

戦略研究報告書
地域・産業特性に応じたエネルギーの
分散型利用モデルの構築

平成 31 年 3 月

戦略研究報告書
地域・産業特性に応じたエネルギーの分散型利用モデルの構築
目次

1. はじめに	1
2. GIS で見た北海道のエネルギーの状況	4
2.1 再生可能エネルギー等の賦存量・利用可能量	4
2.1.1 農業系バイオマス	6
2.1.2 富良野圏域における市町村別伐採可能量及び低質材集荷可能量の推定	13
2.1.3 有機系廃棄物	21
2.1.4 地中熱・温泉熱	26
2.2 エネルギー需要量の推定手法の開発	34
2.2.1 農産施設および酪農施設	35
2.2.2 林産施設	41
2.2.3 住宅・公共施設	46
2.3 統合型 GIS	50
2.3.1 開発した統合型 GIS の概要	50
2.3.2 スタンドアロン GIS の概要	50
2.3.3 Web 版 GIS の概要	51
3. エネルギーの効果的な利用のための各種要素技術	54
3.1 木質・農産バイオマス利用技術	56
3.1.1 チップ乾燥システムの評価	56
3.1.2 木質燃焼灰の有効利用	60
3.1.3 バイオガス関連技術（既存施設の状況、消化液固形分の燃料・敷料利用）	62
3.1.4 低温炭化	73
3.1.5 バイオマスのガス化	77
3.2 廃棄物燃料利用技術	83
3.3 省エネルギー技術	90
3.3.1 制御を考慮したバイオマスボイラの適正導入に関する検討	90
3.3.2 地中熱ヒートポンプ計算法の比較と長期性能予測	94
3.3.3 データーセンターの外気性能・外気冷房についての検討	97
4. 地域や施設でのエネルギー利用モデル	100
4.1 エネルギー消費量推計と最適なエネルギーシステム導入検討手法の提案	102
4.1.1 富良野圏域のエネルギー消費量の推計	102
4.1.2 熱負荷密度の高い地域のエネルギーシステム検討	104
4.1.3 複数の施設を対象とした最適な設備導入検討手法の提案	107
4.2 地域での RDF（ごみ固形燃料）利用の取組 ～富良野市の事例～	112
4.3 地域における木質エネルギー利用の分析 ～南富良野町の事例～	118
4.4 足寄町における畜産バイオマスの資源循環・エネルギー利用モデル	122
4.5 漁村地域におけるコンブ乾燥を念頭においた再生可能エネルギーの利用検討	130
4.6 有機系廃棄物	135
5. おわりに	143
Appendix データマップ	144
担当者一覧	164

1. はじめに

1) 研究の背景

地球温暖化による世界的規模の異常気象と自然災害が多発する今日、世界的な人口の増加と経済成長、国際情勢の混迷によって化石エネルギーの供給は厳しい状況となっており、脆弱性が明白となった日本のエネルギー事情のもとで、低炭素・脱CO₂・水素社会の必要性が強く認識され、地域エネルギーを利用した分散型エネルギーシステムの確立が期待されている。また、地域社会の超高齢化・人口減少による地域の衰退や自然の荒廃等の問題も深刻化しており、地域定住と新たな雇用を生み出す地域産業の創出が求められている。

2018年9月、北海道民は、台風と北海道胆振東部地震で被災し、北海道全体が停電するというブラックアウトの体験により、非常事態には、一極集中型の電力供給システムは脆弱不適であり、各地域に分散する地産地消型エネルギーの利活用やエネルギーミックスの推進に向けた研究開発が重要であることを痛感させられた。

積雪寒冷地の北海道では、多くの熱エネルギーを消費するため、自治体や地域の事業者等が密接な連携協力を図りながら、民生・産業両分野で徹底した省エネルギー化を実現するとともに、低密度で変動性を有する地域のエネルギーを最大限に活用することでエネルギー自給率の向上を目指し、分散型エネルギーミックスのシステムを構築することが不可欠である。

再生可能エネルギーは、一度利用しても比較的短期間に再生が可能で、資源が枯渇せず持続的に利用できるエネルギーである。自然豊かな北海道は太陽、風力、水力、バイオマス、地熱等の再生可能エネルギーの宝庫であるため、その利用モデルの構築と普及拡大は、熱と電気エネルギー源の安定確保においても極めて重要な課題である。

図1-1に、再生可能エネルギーの種類とバイオマスの種類を示す。再生可能エネルギーの中で、太陽光、風力、水力は研究開発例が多く、既に国内で利用技術が確立されている。バイオマスは木質系、農産系、廃棄物系、畜産系に大別され、地域に密着したエネルギー資源である。

木質系バイオマスでは、樹木の伐採時に生じる未利用材、木材加工場で生じる端材やおが粉は、チップやペレット等に成形され、ボイラ等の燃料に利用することができる。農産系バイオマスでは、水田や畑で作物を収穫した後に残るわら類や農産物の選別や加工時に生じる残渣などは、直接燃焼し、熱利用することもできる。廃棄物系バイオマスでは、家庭や事務所から生じる可燃ごみは細かく粉碎・固形加工し、ボイラの燃料に利用することができ、生ごみや畜産系バイオマス（牛や豚、鶏等の家畜が排泄するふん尿）は、微生物の作用で発酵させるとボイラや発電機の燃料に利用可能な可燃性ガス（バイオガス）を製造することができる。本研究では、再生可能エネルギー等の広く地域に分散するエネルギー資源を有効に利活用できる技術・支援システムを開発し、地域の振興・活性化とエネルギー自給率の向上の実現を目指した最適なエネルギー需給システムの構築を目指した。

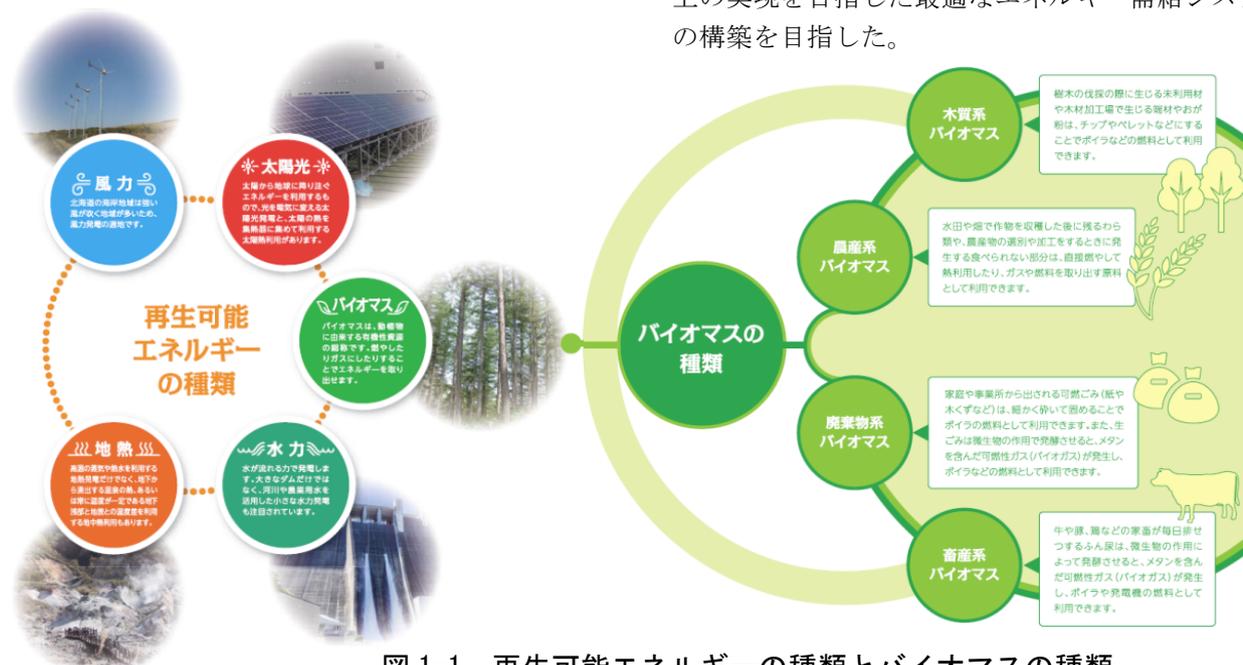


図1-1 再生可能エネルギーの種類とバイオマスの種類

2) 研究の概要

北海道立総合研究機構（道総研）の戦略研究エネルギープロジェクト（2014-2018）では、道総研の6つの研究本部（農業・水産・森林・産業技術・環境地質・建築）の分野横断的な連携協力のもとで、熱利用を中心に、地域・産業特性に応じたエネルギーの分散型利用モデルの構築を検討した。

図1-2に、「道総研戦略研究（エネルギー）」の研究概要を示す。「北海道に現存する再生可能エネルギーの賦存量・利用可能量・需要量の調査と実用的な推定手法の開発（さがす）」、「統合型地理情報システム（Geographic Information System：GIS）を用いた市町村のエネルギー施策立案支援システムの開発（見える化）」、「低密度な分散型エネルギーを最大限利活用するための要素技術の開発（つくる・ためる・つかう）」、「道内モデル圏域で具体的なエネルギー需給モデルの提示（しめす）」により、エネルギーの地産地消や地域活性化を推進した。

図1-3に、道内の再生可能エネルギーの典型的検討例として、バイオマスエネルギーの研究概要フローを示す。バイオマスの利活用には、エネルギーを効率的に利用できる仕組みづくりが必要である。本研究では、チップ乾燥施設の品質管理、廃漁網入りペレットの製造、バイオマスボイラの導入手法、燃焼灰の有効利用等の技術開発を行うとともに、開発したGISや各種要素技術を活用し、エネルギー需

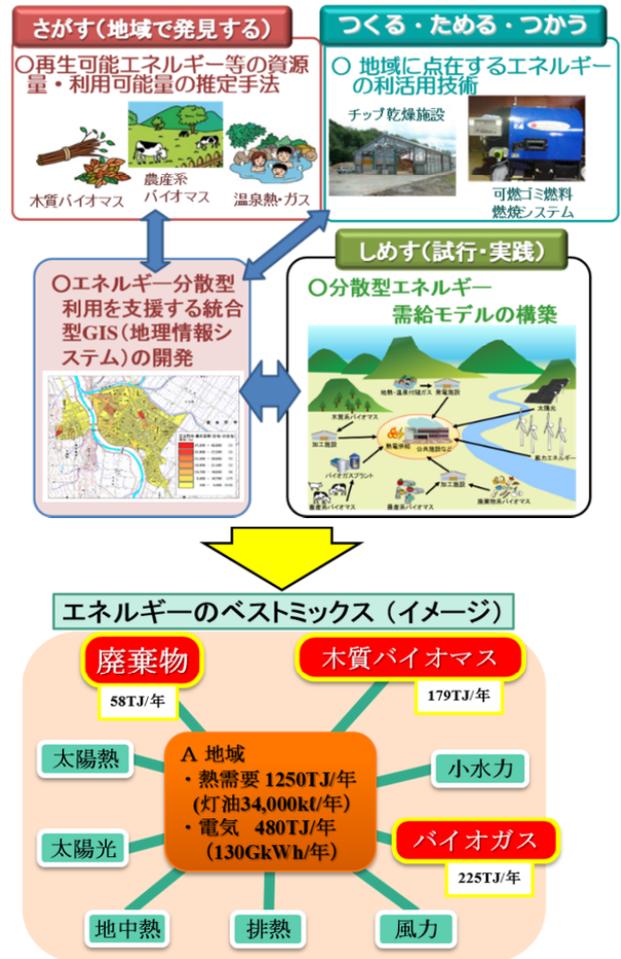


図1-2 道総研戦略研究（エネルギー）の研究概要

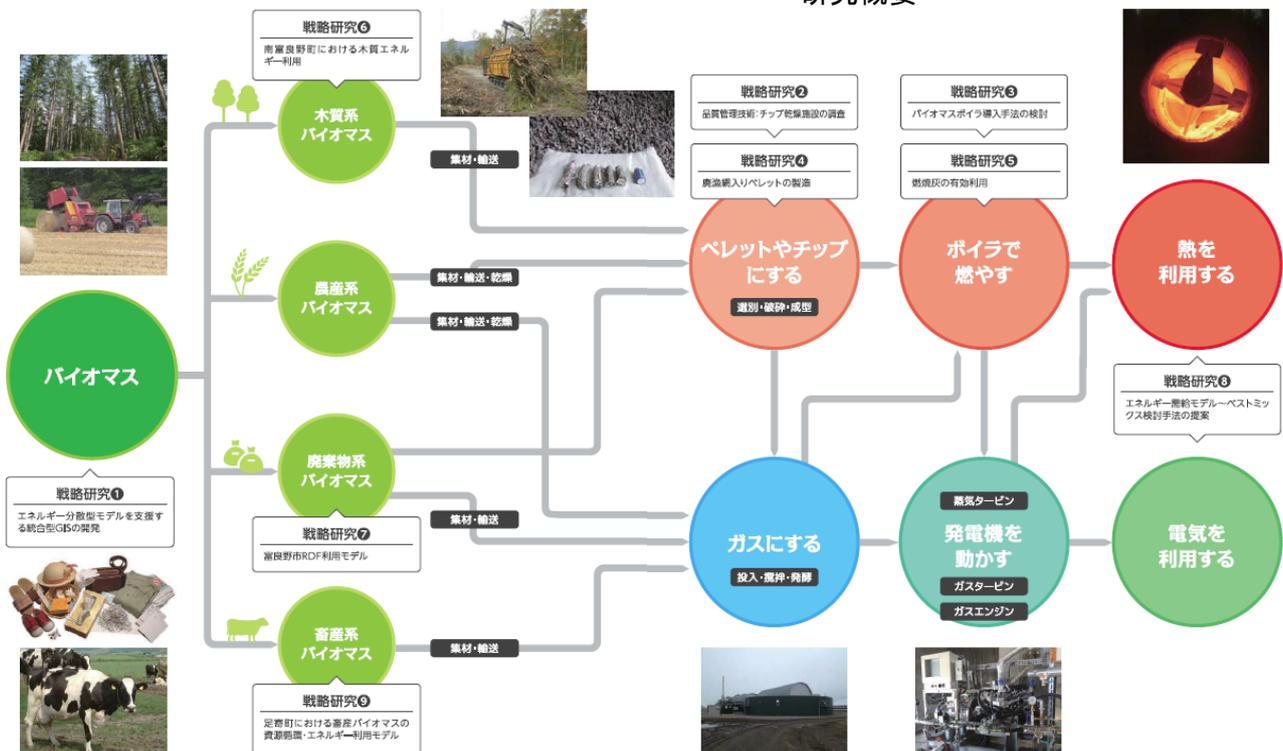


図1-3 バイオマスエネルギーの研究概要フロー

要のベストミックスの検討，南富良野町での木質エネルギー利用，富良野市での RDF 利用，足寄町の畜産バイオマスの資源循環・エネルギー利用等のモデルを構築した。

3) 研究の内容と項目

(1) 再生可能エネルギー等の賦存量・利用可能量の推定手法の開発

地域に存在する木質系・農産系・畜産系バイオマス，地中熱・温泉熱，太陽光，雪氷冷熱，有機系廃棄物由来エネルギーについて，存在場所，発生時期，変動特性，熱量等を把握して賦存量・利用可能量のデータを整備する共に，その評価手法，推定手法を開発した。

(2) エネルギー需要量の推定手法の開発

一次産業機械・各種施設等を対象として，場所・時期・量等の運用エネルギーの実態を把握すると共に，それらの簡易推定手法を開発した。

(3) エネルギー分散型利用を支援する統合型 GIS の開発

(1)と(2)のデータを GIS 上に取り込み，データを統合してマップ閲覧・解析・評価に使用できる2種のデータセット（市町村職員向け：地域のエネルギー活用可能性評価・解析用，一般市民向け：地域の特性把握用）を作成した。

(4) エネルギーの効率的な利用のための各種要素技術の開発

再生可能エネルギーのうち北海道に豊富に存在するバイオマスを対象とし，それらを効果的に利用するため，自然エネルギーを利用した木質チップ乾燥システムの評価，バイオマスの粉碎性向上などを旨とした低温炭化技術，バイオマスのガス化炉，バイオマスボイラを導入する場合のコストを考慮した適正導入手法，バイオマスボイラから排出される灰分の有効利用技術を開発した。また，家畜ふん尿のメタン発酵処理については，既存施設の整理やふん尿の固形燃料化，都市ごみについては，固形ごみ燃料 (RDF) の地域内での有効利用するための燃焼技術等の開発を行った。さらに省エネルギーの観点からバイオマスボイラの適正な導入手法を開発した。

(5) 分散型エネルギーの需給モデルの構築

富良野圏域や足寄町などのモデル地域・施設を対象に，廃棄物・木質，畜産系バイオマスなどの有効

利用に向け，資源循環・環境・エネルギー需給などの面から分析・評価を行うほか，エネルギーベストミックスに向けた最適化手法についても検討した。具体的に取り組んだ項目を以下に示す。

- ① 市町村全体のエネルギー消費量の推計
- ② 地域熱供給を想定したいくつかの熱源システムの有効性についての比較検討
- ③ 富良野市での紙・布・プラスチックなどの可燃廃棄物から製造された固形燃料である RDF の利用促進の取組
- ④ 南富良野町における木質エネルギー利用の経済面や環境面での有効性に関する検討
- ⑤ 足寄町における畜産廃棄物の利活用を基軸とした分散型エネルギー利用モデルの構築
- ⑥ 昆布乾燥における廃棄物や再生可能エネルギー利用の検討
- ⑦ 富良野圏域5市町村，足寄町における有機系廃棄物に関して，エネルギー利用に着目した将来の処理システムの検討

執筆者：赤澤 敏之（工業試験場）

2. GIS で見た北海道のエネルギーの状況

北海道は、再生可能エネルギー・廃棄物等の利用可能性が高く、エネルギー自給率を高めた分散型エネルギーシステムの構築が期待される。

本研究は、再生可能エネルギーなど広く地域に分散するエネルギー資源を有効に利活用できる技術・支援システムを開発し、地域の振興・活性化とエネルギー自給率の向上の実現を目指した最適なエネルギー需給システムを構築・提案することを主な目的としている。

本章では最適なエネルギー需給システムを検討するための前段階に必要な北海道に現存する再生可能エネルギーの賦存量・利用可能量・需要量を調査するとともに実用的な推定手法の開発成果を報告する。またそれらを地理情報システム (GIS) 上に統合することで作成した市町村役場職員向 (地域のエネルギー活用可能性評価・解析用) と一般市民向 (地域の特性把握用) の2つのGISについて報告する。

2. 1 再生可能エネルギー等の賦存量・利用可能量

1) はじめに

本項では、市町村または特定の地域においてベストミックスを検討するための前段階に必要な多種多様な再生可能エネルギー等の利用可能量とその根拠となる賦存量について、地域における偏在性も踏まえた探索・推定手法と、これらの方法を適用して得られた結果について述べる。

ここでは、本研究において新たな知見を得た「農業系バイオマス(2.1.1)」、「木質バイオマス(2.1.2)」、「有機系廃棄物(2.1.3)」、「地中熱・温泉熱(2.1.4)」について詳述する。なお、これら以外の再生可能エネルギーの賦存量・利用可能量については、すでに各団体等から既出の推定手法を引用する場合も含めて、後段のAppendixに取りまとめたので、こちらを参照していただきたい。

2) 本節の構成

本節は、道内およびモデル地域に賦存する再生可能エネルギー等の賦存量・利用可能量を推定する手法の開発に取り組んだ内容について報告するものであり、4項により構成されている。

2. 1. 1 農業系バイオマス

道内各市町村における「①家畜排泄物」と「②圃場残渣」の賦存量について、農林水産省による統計

情報「農林業センサス」のデータを用いて推計した。

またモデル地区とした足寄町と富良野圏域について、「①家畜排泄物」、「②圃場残渣」、「③農産施設残渣」について、市町村が取りまとめている自衛防疫データや農業協同組合の資料等の複数の異なるデータを利用し、GISを用いて賦存量と利用可能量について空間分布の推計を行った。

2. 1. 2 富良野圏域における市町村別伐採可能量及び低質材集荷可能量の推定

本研究のモデル地域である富良野圏域について、一般民有林の将来の樹種(カラマツ・トドマツ)の資源量を検討した上で、「①現在と同程度の資源量」、「②林野庁の目標を考慮した現在の70%程度の資源量」の2つのケースについて50年後の伐採可能量を検討した。両ケースについて、林分からチップ工場までの搬入距離を考慮した「低質材集荷可能量」を算出した。なお、集荷可能量からパルプや土木資材等の他の用途を差し引いた量がエネルギーとして利用できる。

2. 1. 3 有機系廃棄物

道内における「自治体に処理責任がある有機系廃棄物」のうち、一般廃棄物については環境省による年次調査、下水汚泥については道建設部のデータを利用し、総排出量を集計した。一般廃棄物のうち燃料化ごみ及び生ごみについては、ごみ分別の先進的な取り組みを進める富良野市の割合(0.344及び0.334)を利用して、道内各市町村における総排出量から利用可能量を推計した。また下水汚泥については、処理後の濃縮汚泥量を賦存量とし、すでにメタン発酵によるエネルギー回収が行われている量を差し引いた値を利用可能量とした。

2. 1. 4 地中熱・温泉熱

地下に賦存する熱エネルギーである地中熱と温泉熱の検討結果を示した。

2. 1. 4. 1 地中熱

富良野盆地(上富良野町・中富良野町・富良野市)において、既設の井戸データを用いた「地下水流動・熱輸送解析」を実施し、盆地を伏流する地下水の方向・流速を求めた。得られた結果から、各種施設や住宅等で採用が進んでいる「地中熱ヒートポンプ」の設計に必要な地下の50m深度および100m深度の平均地温と見かけの熱伝導率を推定した。

2. 1. 4. 2 温泉熱

熱エネルギーとして直接利用できる道内の温泉（地熱流体）について、無駄が少ない温度帯別の多段階利用（カスケード利用）を前提として、温泉の湧出温度と湧出量、さらに正確な源泉位置の再調査を実施した。得られたデータに基づき道内全域の「温度帯別放熱量図」を新たに整備した。

執筆者：垣原康之（地質研究所）

2. 1. 1 農業系バイオマス

1) 背景と目的

農業系バイオマスは、圃場で発生する作物残渣や調製・加工施設で発生する農産加工残渣などの農産系バイオマスと、家畜排せつ物などの畜産系バイオマスに大別される。バイオマス資源の分類は用途により様々であり、廃棄物系資源、未利用系資源、生産系資源の3つに大別され^[1]、圃場残渣は未利用資源系に、農産加工残渣や家畜排せつ物は廃棄物系バイオマスに分類される。

北海道の農業農村地域において、バイオマスエネルギーの利用計画を構築する際には、農業系バイオマスを始めとするバイオマスの種別毎の賦存量等を推計・把握し、実用化が進んでいる変換技術を軸とした利用計画を関係機関の合意形成を踏まえて具体化していく必要がある。

バイオマスの賦存量の推計については、独立行政法人新エネルギー・産業技術開発機構（NEDO）や北海道では経済部よりデータベースとして公開されており、可視化されたマップも提供されている。しかし、これらは市町村単位で推計されているデータがほとんどである。特に農業系バイオマスは、地域で局所的に、あるいは薄く広く存在していることから、小地域単位のデータ構築が必要である。また、他の再生可能エネルギー資源と重ね合わせて解析が可能なデータの構築が必要である。

そこで、農業系バイオマスについて、統計データおよび地域データを活用して賦存量を推計・把握するとともに、統合型GISで利用する賦存量の3次メッシュ空間分布データを構築する。

2) 方法

(1) 賦存量の原単位と推計方法（市町村）

① 家畜排せつ物

対象とする畜種は、乳用牛、肉用牛、豚とした。推計式は2-1-1-I式として、家畜排せつ物の原単位^[2]は表2-1-1-1、飼養頭羽数は2015年農林業センサスの値を用いた。調査対象数が2以下の場合には秘密保護の観点から秘匿処理がなされているため、市町村の合計値と集落の集計値の差分を秘匿集落の経営体数で除して秘匿集落に按分した。

家畜排せつ物量賦存量

$$= \text{家畜排せつ物量原単位} \times \text{飼養頭羽数}$$

(式2-1-1-I)

② 圃場残渣

対象とする作物は水稲、小麦、大豆、てん菜とした。推計式は2-1-1-II式として、圃場残渣の原単位^[3]は表2-1-1-2の値を、作付面積は北海道統計書の「主要農作物作付面積」の値を用いた。

$$\text{圃場残渣量} = \text{圃場残渣量原単位} \times \text{作付面積}$$

(式2-1-1-II)

表2-1-1-1 家畜排せつ物量原単位

畜種	排せつ物量 (kg/頭/日)			
	ふん	尿	合計	
乳用牛	搾乳牛 (2産以降)	51.4	13	64.4
	初産 (初産)	35.8	13.8	49.6
	育成牛	17.9	6.1	24.6
肉用牛	2才未満	17.8	6.5	24.3
	2才以上	20	6.7	26.7
	乳用種	18	7.2	25.2
豚	肥育豚	2.1	3.8	5.9
	繁殖豚	3.3	7	10.3

出典：家畜ふん尿処理利用の手引き2004

表2-1-1-2 圃場残渣量原単位

作物	作付面積 (ha)	可食部 (t)	搬出可能部 (t)	残渣部計 (t)	圃場残渣量原単位 (t/ha)
稲	144,900	575,300	816,800	972,100	5.637
秋まき小麦	102,500	291,500	454,700	612,100	4.436
てん菜	69,700	814,240	488,500	488,500	7.009
馬鈴しょ	69,700	539,500	124,100	134,900	1.78
大豆	15,500	26,610	48,690	53,759	3.141
小豆	37,100	52,050	41,140	46,334	1.109
金時	27,100	42,280	60,870	70,165	2.246
にんじん	4,270	12,600	5,530	5,846	1.295
トマト	557	1,051	1,020	1,020	1.831
たまねぎ	8,370	42,610	5,114	5,323	0.611

出典：北海道農業試験場研究報告 第149号 (1988)

北海道の耕草地におけるバイオマス生産量および作物による無機成分吸収量

(2) 空間分布の推計・把握 (3次メッシュ)

① 統計データによる空間分布の推計・把握

農業系バイオマスの賦存量を統計値から推定する場合、多くの統計値が市町村単位であることから、地域内の分布状況を把握できない (図2-1-1-1)。

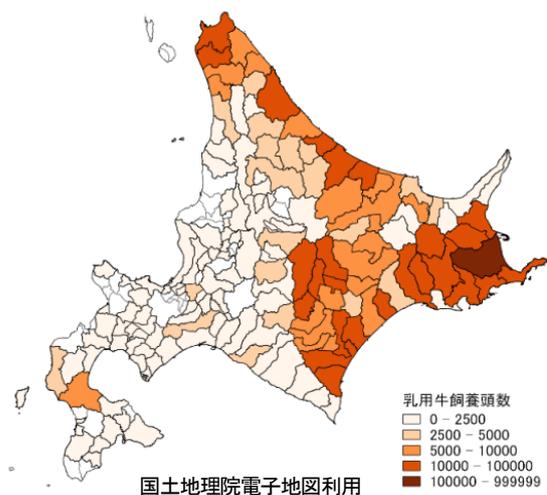


図2-1-1-1 乳用牛飼養頭数 (市町村単位)

農林業センサスは、農業集落単位で集計されており、集落毎の分布は把握できるものの、独特な境界単位のため他の統計値と合わせて分析することが困難である(図2-1-1-2)。

そこで、GISを援用して農林業センサスから3次メッシュデータを作成する手順を整理し、農業系バイオマスの空間分布を推計した。対象とする地域は全道、対象とする農業系バイオマスは、①家畜ふん尿(乳用牛、肉用牛、豚)、②圃場残渣(稲わら、麦稈)とした。

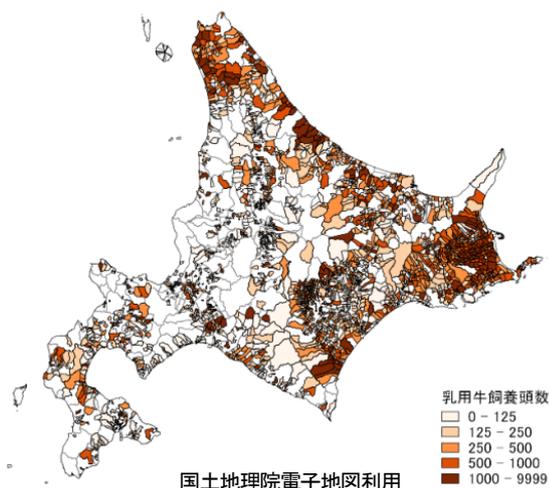


図2-1-1-2 乳用牛飼養頭数(農業集落単位)

② 地域データによる空間分布の推計・把握

ア 足寄町

対象とする農業系バイオマスとして、①家畜排せつ物(乳用牛、肉用牛、豚)、②圃場残渣(水稻、秋まき小麦、大豆、小豆、金時、てん菜、馬鈴しょ、にんじん)とした。

地域データに関して、①家畜排せつ物は、市町村が家畜防疫法に準じて作成している自衛防疫データを活用し、推定式は2-1-1-I式、原単位は表2-1-1-1を用いた。②圃場残渣は、農業協同組合が所有する農業用GISの作付マップを抽出・加工し、推定式は2-1-1-II式、原単位は表2-1-1-2を用いた。

イ 富良野圏域

対象とする農業系バイオマスとして、①家畜排せつ物(乳用牛、肉用牛、豚)、②圃場残渣(水稻、秋まき小麦、大豆、小豆、金時、てん菜、馬鈴しょ、にんじん、たまねぎ)、③農産施設残渣とした。

地域データに関しては、①家畜排せつ物、②圃場残渣は、足寄町と同様である。③農産施設残渣は、農業協同組合が運営する有機物供給センターにおける農産加工施設残渣の受入状況を調査して、その結果から賦存量を推計した。

(3) GISの援用による空間分布データの活用

GISを援用した空間分布データの活用方法を、足寄町における乳用牛ふん尿の利活用において検討した。

3) 結果の概要

(1) 統計データによる推計・把握

① 家畜排せつ物

足寄町、富良野圏域における家畜飼養頭数と家畜排せつ物賦存量をそれぞれ表2-1-1-3、表2-1-1-4に示す。

足寄町における乳用牛および肉用牛の飼養頭数はそれぞれ9,384頭、16,007頭であり、家畜排せつ物の賦存量はそれぞれ220,580t/年、155,996t/年であった。

富良野圏域においては、家畜飼養頭数は上富良野町、中富良野町、富良野市で多く、それぞれの畜種の飼養頭数は、乳用牛が7,157頭、肉用牛が6,018頭、豚が42,436頭であった。家畜排せつ物の賦存量は、それぞれ168,232t/年、58,648t/年、91,386t/年であった。

いずれの地域においても乳用牛の排せつ物の賦存量が最も多かった。

表2-1-1-3 飼養頭数(頭)

地方	市町村	乳用牛	肉用牛	豚
十勝	足寄町	9,384	16,007	—
上川	上富良野町	1,520	1,785	39,631
	中富良野町	332	1,338	—
	富良野市	4,740	781	2,805
	南富良野町	375	776	—
	占冠町	190	1,338	—
富良野圏域 計		7,157	6,018	42,436

出典：2015年農林業センサス、注) 斜体下線は農業経営体数で按分した値

表2-1-1-4 家畜排せつ物の賦存量(t/年)

地方	市町村	乳用牛	肉用牛	豚
十勝	足寄町	220,580	155,996	—
上川	上富良野町	35,729	17,396	85,345
	中富良野町	7,804	13,039	—
	富良野市	111,418	7,611	6,041
	南富良野町	8,815	7,563	—
	占冠町	4,466	13,039	—
富良野圏域 計		168,232	58,648	91,386

注) 斜体下線は農業経営体数で按分した値

② 圃場残渣

足寄町と富良野圏域における作付面積と圃場残渣の賦存量をそれぞれ表2-1-1-5、表2-1-1-6に示す。

足寄町においては、小麦の作付面積が903haと大きく、圃場残渣の賦存量は4,006t/年であった。

富良野圏域においては、作付面積は上富良野町、中富良野町、富良野市で多く、水稻および小麦の作付面積の合計は、それぞれ2,708ha、4,740haである。圃場残渣の賦存量はそれぞれ15,265t/年、21,027t/年と推計された。

いずれの地域においても水稲および小麦の圃場残渣の賦存量が多かった。

表 2-1-1-5 作付面積 (ha)

地方	市町村	水稲	小麦	大豆	てん菜
十勝	足寄町	—	903	75	563
上川	上富良野町	726	1,610	764	417
	中富良野町	1,230	801	75	145
	富良野市	656	2,060	105	555
	南富良野町	96	269	40	74
	占冠町	—	×	—	—
富良野圏域 計		2,708	4,740	984	1,191

出典：北海道統計書

表 2-1-1-6 圃場残渣の賦存量 (t/年)

地方	市町村	水稲	小麦	大豆	てん菜
十勝	足寄町	—	4,006	236	3,946
上川	上富良野町	4,092	7,142	2,400	2,923
	中富良野町	6,934	3,553	236	1,016
	富良野市	3,698	9,138	330	3,890
	南富良野町	541	1,193	126	519
	占冠町	—	×	—	—
富良野圏域 計		15,265	21,027	3,091	8,348

(2) 統計データによる空間分布の推計・把握

GIS を援用して農林業センサスから 3 次メッシュデータを作成する手順と使用するデータを表 2-1-1-7 に示す。

手順は農業集落境界データと 3 次メッシュデータを用いて、両データ間で重ね合わせて作成される交差ポリゴンのセンサスデータに対する按分比率を空間演算処理により算出する (手順 1~3)。農業集落データの交差ポリゴン按分値をメッシュ単位に再集計して作成する (手順 4)。

家畜排せつ物の賦存量は、農林業センサスの「農業経営体_家畜等を販売目的で飼養している経営体数と飼養頭羽数」データの飼養頭羽数と 2-1-1- I 式を用いて推計した (図 2-1-1-3, 4, 豚ふん尿省略)。

表 2-1-1-7 メッシュデータの作成手順

手順等	内容
GIS データ	①農林業センサスの境界データ (2015年、農水省及び政府統計の窓口HP)
	②土地利用メッシュ・農地面積 (1997年、国土数値情報HP)
	③地域メッシュ統計・農林業就業者数 (2010年、統計情報研究開発センター)
1	農業集落境界データとメッシュデータを重ね、両データ間で重ね合わされて作成される交差ポリゴンデータの面積を算出する
2	空間的範囲の同定のためのメッシュデータを交差ポリゴンデータの面積に応じて按分し、交差ポリゴンごとの推定値を算出する
3	集落単位で集計した推定値を分母、交差ポリゴンデータごとの推定値を分子として、按分比率を算出する
統計データ	①家畜排せつ物：農業経営体_家畜等を販売目的で飼養している経営体数と飼養頭羽数
	②圃場残渣：農業経営体_販売目的で作付け (栽培) した作物の類別作付 (栽培) 面積
4	按分比率を農林業センサスデータに乗じてポリゴン単位の按分値を算出し、メッシュ単位に再集計してメッシュデータを作成する
作成データ	①畜産系バイオマス：乳用牛・肉用牛・豚の飼養頭羽数、ふん尿の賦存量
	②圃場系バイオマス：稲作付面積、麦類作付面積、積稲わら、麦稈の賦存量

個別型バイオガスプラントが経済性を確保するには 200~300 頭以上の規模 (ふん尿原料 20t/日程度) が必

要であることを踏まえると^[4]、20t/日以上となるメッシュは導入ポテンシャルが高いと考えられるが、そのメッシュ数は 755 であった。250 頭規模のバイオガスプラントを導入した場合に、発酵槽の加温などプラントで消費するバイオガスを除いた余剰ガスの割合は 64.7%である^[5]。バイオガスの発生量を 32.6 m³/t、メタン濃度を 54%とし (バイオガス関連技術の表 3-1-3-1-3)、メタンの低位発熱量 35.8MJ/m³を用いて、図 2-1-1-3 の結果から余剰バイオガス熱量の空間分布を推計した (図 2-1-1-5)。

稲わら、麦稈については、「農業経営体_販売目的で作付 (栽培) した作物の類別作付 (栽培) 面積」データの水稲、小麦の作付面積と 2-1-1- II 式を用いて、空間分布を推計した (図 2-1-1-6, 7)。250~500t/年程度のメッシュは作付が集中していて、利活用の可能性が高いと考えられるが、そのメッシュ数は稲わら 427、麦稈 82 であった。

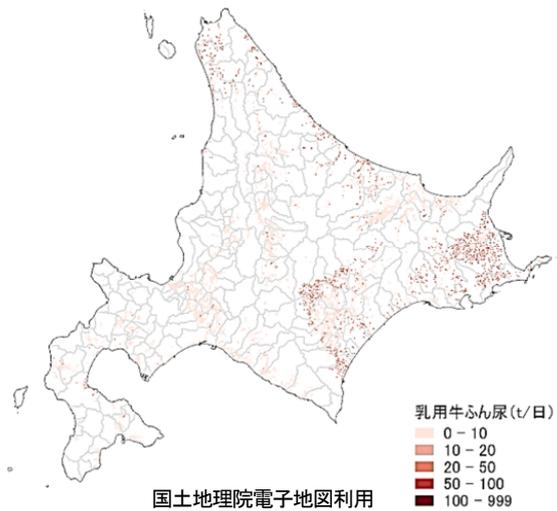


図 2-1-1-3 乳用牛ふん尿賦存量の空間分布推計

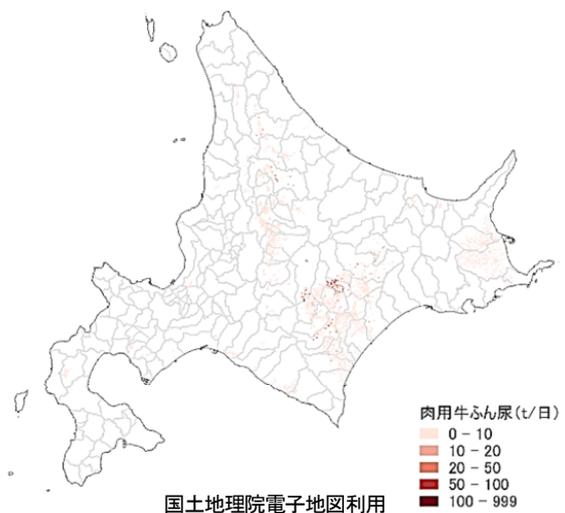
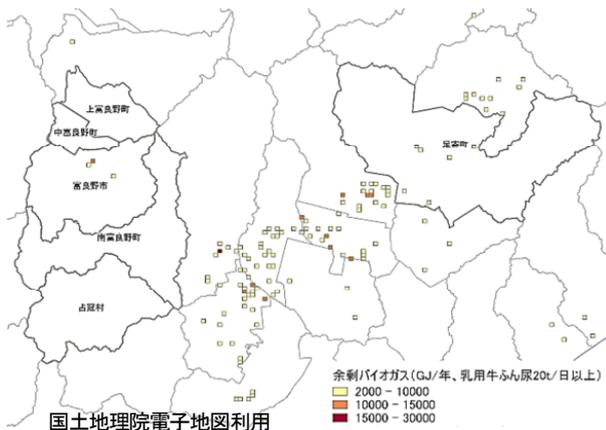
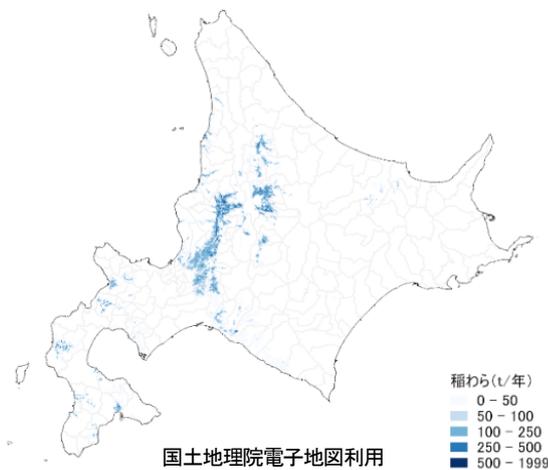


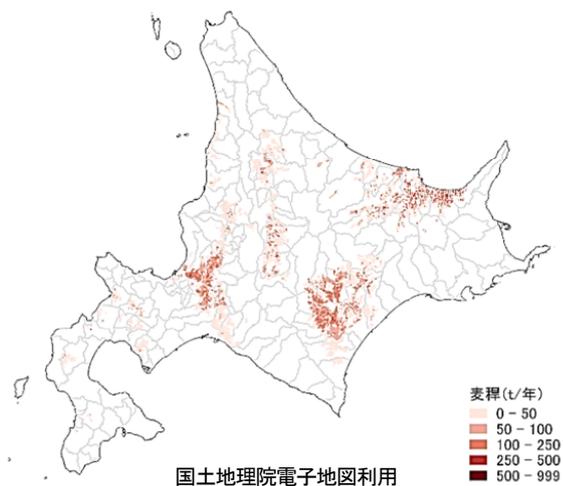
図 2-1-1-4 肉用牛ふん尿賦存量の空間分布推計



国土地理院電子地図利用
 図 2-1-1-5 余剰バイオガス熱量の空間分布推計
 (乳用牛ふん尿原料 20t/日以上)



国土地理院電子地図利用
 図 2-1-1-6 稲わら賦存量の空間分布推計



国土地理院電子地図利用
 図 2-1-1-7 麦稈賦存量の空間分布推計

(3) 地域データによる空間分布の推計・把握

① 足寄町

地域データによる家畜飼養頭数は、乳用牛が 9,619 頭、肉用牛が 14,275 頭である (表 2-1-1-8)。2-1-1-

I 式と表 2-1-1-1 の原単位から、家畜排せつ物の賦存量は、それぞれ 462t/日 (168,519t/年)、365t/日 (133,199t/年)、賦存量の合計は、それぞれ 827t/日 (301,718t/年) と推計された。地域データには、属性値として位置情報も含まれる。位置情報と推計値を 3 次メッシュで集計して、家畜排せつ物の空間分布を作成した (図 2-1-1-8)。

地域データによる小麦、てん菜、馬鈴しょ、大豆、小豆、金時、にんじんの作付面積は、それぞれ 914ha、472ha、82ha、84ha、247ha、153ha、22ha である (表 2-1-1-9)。2-1-1-II 式と表 2-1-1-2 の原単位から圃場残渣の賦存量は、それぞれ 4,055t、3,308t、145t、264t、274t、345t、29t と推計され、小麦の残渣量が約半数を占めていた。

農業協同組合が所有する農業用 GIS の作付マップは圃場単位で作成されている。小麦作付圃場の面積をメッシュ単位で按分・集計して、圃場残渣の賦存量の空間分布推計を行った (図 2-1-1-9)。

表 2-1-1-8 家畜飼養頭数と家畜排せつ物の賦存量

畜種	飼養頭数	原単位		排せつ物賦存量	
		(kg/頭/日)	(t/日)	(t/年)	(t/年)
乳用牛	経産牛	5,655	64.4	364	132,926
	育成牛	3,964	24.6	98	35,593
	小計	9,619		462	168,519
肉用牛	2才以上	5,814	26.7	155	56,660
	2才未満	3,914	24.3	95	34,715
	乳用種	4,547	25.2	115	41,823
小計	14,275		365	133,199	
合計	23,894		827	301,718	

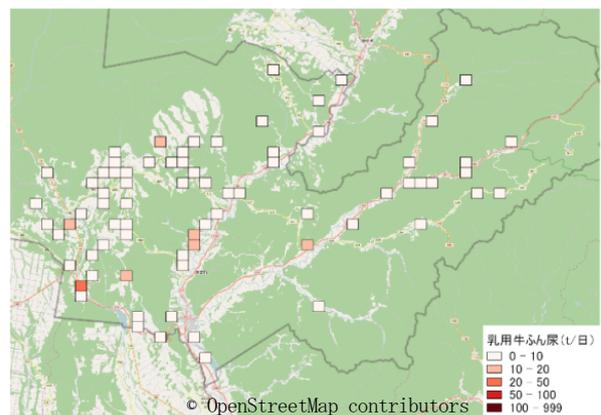


図 2-1-1-8 乳用牛排せつ物賦存量の空間分布推計

表 2-1-1-9 圃場残渣量

作物	作付面積 (ha)	残渣量原単位 (t/ha)	圃場残渣量 (t)
小麦	914.13	4.436	4,055
てん菜	472.02	7.009	3,308
馬鈴しょ	81.71	1.780	145
大豆	83.91	3.141	264
小豆	247.46	1.109	274
金時	153.43	2.246	345
にんじん	22.25	1.295	29

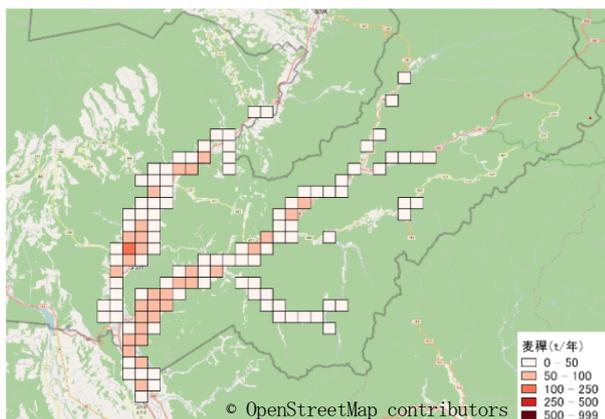


図 2-1-1-9 麦稈賦存量の空間分布推計

② 富良野圏域

地域データによる家畜飼養頭数は、富良野圏域全体で乳用牛が7,276頭、肉用牛が9,994頭、豚が42,620頭である(表 2-1-1-10)。2-1-1-I 式と表 2-1-1-1 の原単位から家畜排せつ物の賦存量は、それぞれ129,453t/年、97,397t/年、91,782t/年と推計された(表 2-1-1-11)。家畜排せつ物の賦存量の合計は、318,632t/年と推計された。また、位置情報と推計値を3次メッシュで集計して、家畜排せつ物の空間分布推計を行った(図 2-1-1-10(a))。

地域データによる水稻、秋まき小麦、大豆、小豆、金時、てん菜、馬鈴しょ、にんじん、たまねぎの作付面積は、富良野圏域全体でそれぞれ2,764ha、3,696ha、1,179ha、920ha、849ha、307ha、31ha、667ha、2,351haである(表 2-1-1-12)。2-1-1-II 式と表 2-1-1-2 の原単位から圃場残渣の賦存量は、それぞれ15,579t、16,395t、8,264t、1,638t、2,668t、340t、69t、864t、1,436tと推計された(表 2-1-1-13)。特に小麦、

水稻、たまねぎの残渣量が多く、対象とする圃場残渣の賦存量の約半数を占めていた。また、水稻と小麦の各圃場の圃場面積をメッシュ単位で按分・集計して圃場残渣の賦存量の空間分布推計を行い、さらに水稻について、現実的に回収可能な量は土壌鋤込み量(上川振興局における2010-2014年の平均割合70.32%(農政部米に関する資料))の2/3程度と考えられる^[6]ことを踏まえて、利用可能量を推定した。(図 2-1-1-10(b)、(c))。

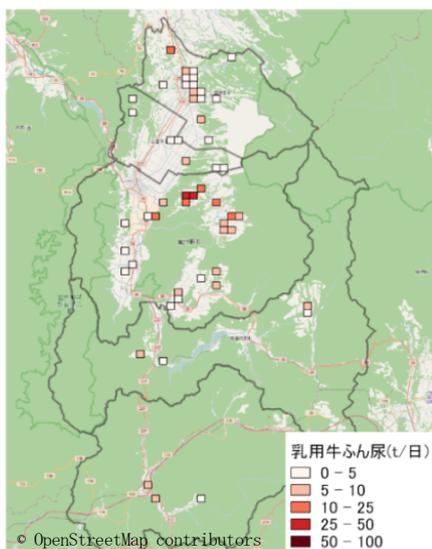
施設残渣は、馬鈴しょ系、にんじん系、たまねぎ系、その他廃棄物に分類され、年間排出量はそれぞれ3,231t、3,260t、6,483t、578tである(表 2-1-1-14)。馬鈴しょ系廃棄物は4~6月頃、にんじん系廃棄物が7~9月頃に多く発生している。たまねぎ系廃棄物は10~12月が多く、通年通じて排出されている。施設残渣は有機物供給センターに収集された後、副資材で水分調整され、好気性発酵処理により堆肥化されている。

表 2-1-1-10 飼養頭数

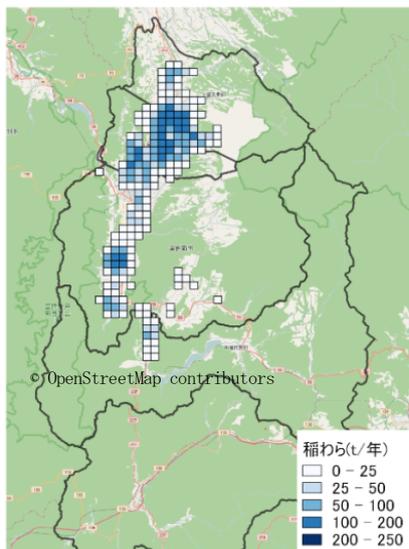
市町村	乳用牛			肉用牛	豚
	経産牛	育成牛	合計	合計	合計
上富良野町	987	509	1,496	8,560	38,963
中富良野町	260	80	340	724	—
富良野市	2,645	2,079	4,724	210	3,656
南富良野町	291	72	363	20	—
占冠町	231	122	353	480	1
富良野圏域 計	4,414	2,862	7,276	9,994	42,620

表 2-1-1-11 家畜排せつ物の賦存量 (t/年)

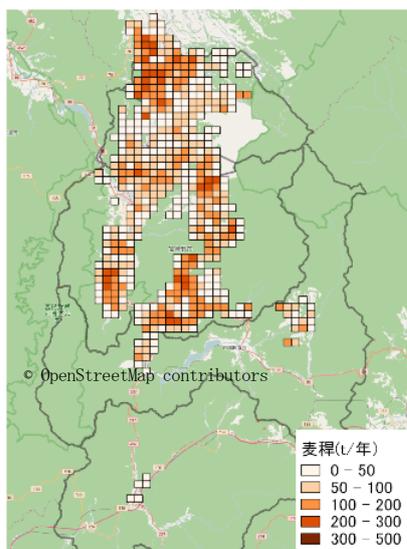
市町村	乳用牛			肉用牛	豚
	経産牛	育成牛	合計	合計	合計
上富良野町	23,200	4,570	27,771	83,421	83,907
中富良野町	6,112	718	6,830	7,056	—
富良野市	62,173	18,667	80,841	2,047	7,873
南富良野町	6,840	646	7,487	195	—
占冠町	5,430	1,095	6,525	4,678	2
富良野圏域 計	103,755	25,698	129,453	97,397	91,782



(a) 乳用牛ふん尿



(b) 稲わら (利用可能量)



(c) 麦稈

図 2-1-1-10 農業系バイオマス賦存量の空間分布推計

表 2-1-1-12 作付面積 (ha)

作物	上富良野町	中富良野町	富良野市	南富良野町	占冠村	合計
水稲	766	1,234	668	96		2,764
秋まき小麦	1,114	587	1,777	208	10	3,696
てん菜	390	147	568	74		1,179
馬鈴しょ	391	116	186	227	0	920
大豆	686	61	90	13		849
小豆	102	25	76	103		307
金時	13	0	14	3		31
にんじん	24	68	200	375		667
たまねぎ	30	778	1,531	12		2,351

表 2-1-1-13 圃場残渣の賦存量 (t/年)

作物	上富良野町	中富良野町	富良野市	南富良野町	占冠村	合計
水稲	4,318	6,956	3,763	541		15,579
秋まき小麦	4,940	2,606	7,883	922	44	16,395
てん菜	2,735	1,029	3,984	516		8,264
馬鈴しょ	695	207	332	404	1	1,638
大豆	2,155	191	281	40		2,668
小豆	113	28	85	115		340
金時	30	1	31	8		69
にんじん	31	88	259	485		864
たまねぎ	18	475	935	8		1,436

表 2-1-1-14 施設残渣賦存量

種類	4-6月	7-9月	10-12月	1-3月	合計
ばれいしょ系	1,368	573	652	638	3,231
にんじん系	132	2,073	1,042	13	3,260
たまねぎ系	1,176	1,552	2,652	1,103	6,483
その他有機性	100	314	107	56	578
施設廃棄物合計	2,777	4,513	4,452	1,809	13,552
副資材	4,426	5,831	4,259	4,102	18,617
堆肥出荷量	7,368	6,302	2,306	0	15,976
堆肥生産量	3,375	3,650	3,325	3,000	13,350

(4) GIS の援用による空間分布データの活用

GIS を援用して、乳用牛ふん尿発生分布の密度解析を行い、共同利用型バイオガスプラントの設置候補地を3箇所設定(A, B, C)した。さらに到達圏解析を行った結果、5km, 10km 到達圏における原料収集可能量は、A : 20t/日, 67t/日, B : 16t/日, 67t/日, C : 21t/日, 21t/日となり、A地点が適すと考えられた(図 2-1-1-11)。

次にA地点の周辺酪農家12戸について、GIS を援用して、草地分布と傾斜区分を整理した(図 2-1-1-12)。草地の区画数・面積の合計は217区画・862haであり、傾斜区分毎の区画数・面積は、それぞれIa(0~3度)が58区画・217ha, Ib(3~8度)が129区画・538ha, IIa(8~12度)が25区画・91ha, IIb(12~15度)が5区画・16haである。消化液の散布作業が可能とされるIa, Ibの傾斜区分に該当する草地は、187区画・755haと推計された。

4) まとめ

一般的には市町村単位で推計されている農業系バイオオマスの賦存量について、GIS を援用して農林業センサスデータから3次メッシュデータを作成し、全道を対象とした畜産バイオマス(乳用牛, 肉用牛, 豚)および農産バイオマス(稲わら, 麦稈)の賦存量の空間分布を推計した。

また、モデル地域である足寄町、富良野圏域5市町村において、地域が有するデータを横断的に活用することで、詳細な資源量の推計・把握が可能であった。また、GIS を援用することで賦存量とその分布の可視化や到達圏解析によるバイオマス資源等の収集可能量等の検討が可能であった。さらに他の空間データとの組合せにより、様々な解析・集計が可能であり、高度な活用が期待できることを確認した。

全道的にもモデル地域においても、農業系バイオマスについては、畜産バイオマスは乳用牛ふん尿、農産バイオマスは稲わら、麦稈の賦存量が多かった。特に、酪農地帯をはじめとする農業地域では、乳用牛ふん尿は、従来より地域有機物資源として、資源循環されているが、飼養頭数規模の拡大や飼養形態の変化のなかで、適正な管理を続けていくためにも、畜産系バイオマスを主原料とする資源循環・エネルギー利用システムの構築が期待されている。

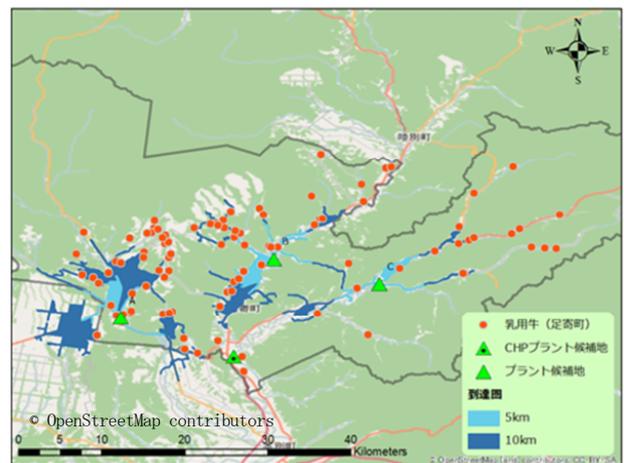


図 2-1-1-11 プラント候補地の5, 10km 到達圏

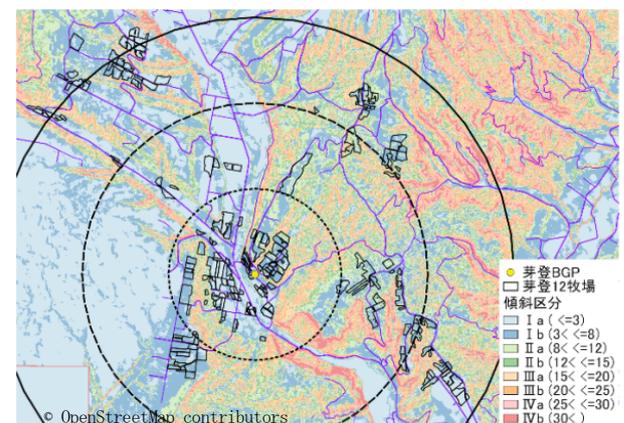


図 2-1-1-12 草地分布と傾斜区分

5) 引用文献等

[1] 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機

- 構. 『再生可能エネルギー技術白書 (第 2 版)』.
(2014)
- [2] 北海道農業改良普及協会. 『家畜ふん尿処理利用
の手引き 2004』. (2004)
- [3] 小川和夫ら. “北海道の耕草地におけるバイオマ
ス生産量及び作物による無機成分吸収量”. 北海道
農業試験場研究報告 第 149 号 (1988)
- [4] 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合
開発機構. 『バイオマスエネルギー地域自立導入案
件・技術指針』. (2017.9)
- [5] 中央農業試験場. 『余剰バイオガス精製・圧縮装
置と地域利用システム』. 北海道農業試験会議 普
及推進事項. (2009.1)
- [6] 中央農業試験場. 『北海道におけるソフトセルロ
ース利用技術の確立』. 受託研究報告書. (2012.2)

研究担当機関：十勝農業試験場

執筆者：鈴木 剛

2. 1. 2 富良野圏域における市町村別伐採可能量及び低質材集荷可能量の推定

1) はじめに

木質バイオマスのエネルギー利用が全国的に高まっており、北海道においても木質バイオマスボイラは各地に導入されている^[1]。一方、木質バイオマスは化石燃料と比較してエネルギー密度が低く^[2]、長距離の輸送は経済的ではない。そのため、木質バイオマス資源の利用計画の策定では、木質バイオマス資源の輸送距離を考慮した集荷可能量及び利用形態を検討することが重要である。

また、木質資源は再生可能ではあるものの、森林を伐採すると、再度資源として利用できるまでに数十年の期間を要する。そのため、木質バイオマス資源の利用量を検討するには、森林資源の持続性に十分留意する必要がある。

そこで本項では、富良野圏域における森林バイオマス利用可能量の推計を目的に、森林から算出される丸太のうち、バイオマス用途にも用いられる低質材(腐朽等で建築材等に用いられない丸太)を対象とした集荷可能量の推定を行った。具体的には、一般民有林における市町村別伐採可能量の推計、及び国有林・道有林・一般民有林を丸太の産出地とした市町村別・工場別低質材集荷可能量の推計を行った。

2) 材料と方法

(1) 対象地の概要

樹種別・所管別人工林面積を図 2-1-2-1 に、樹種別・所管別伐採材積を図 2-1-2-2 に、市町村別・所管別・樹種別人工林面積を図 2-1-2-3 に、カラマツ及びトドマツ人工林の国有林・道有林・一般民有林位置図を図 2-1-2-4 に示す。

分析対象とした資料は、国有林については 2016 年度伐木造林計画、道有林については森林調査簿および 2013 年度道有林野事業統計書、一般民有林については 2012~2015 年度の齢級別伐採量および資源構成表、森林調査簿とした。

対象地の富良野圏域では、主要な人工林であるトドマツとカラマツの面積がそれぞれ 33 千 ha、13 千 ha 存在する。伐採材積は、トドマツでは国有林と民有林からほぼ同じであるが、カラマツは民有林からの出材がほとんどを占める。

市町村別の人工林面積は、北部の上富良野町、中富良野町は民有林カラマツが多く、南部の南富良野町と占冠村では国有林トドマツが多い。富良野市はカラマツでは民有林のみだが、トドマツでは民有林

と国有林がほぼ同数である。

チップ工場は中富良野町に 1 件、富良野市に 2 件、南富良野町に 1 件存在する。

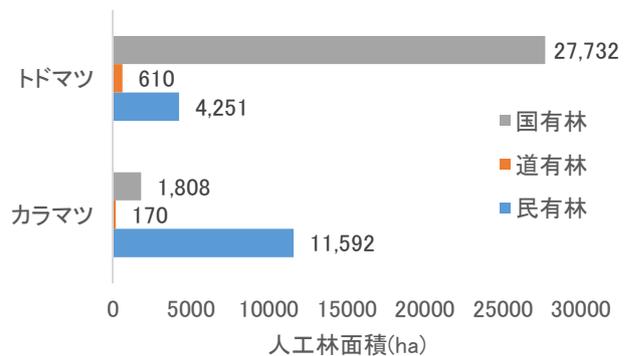


図 2-1-2-1 樹種別・所管別人工林面積

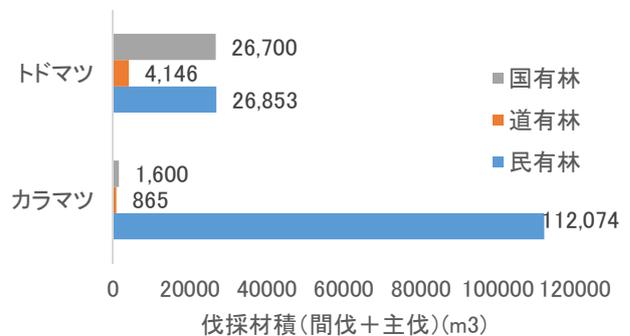


図 2-1-2-2 樹種別・所管別伐採材積

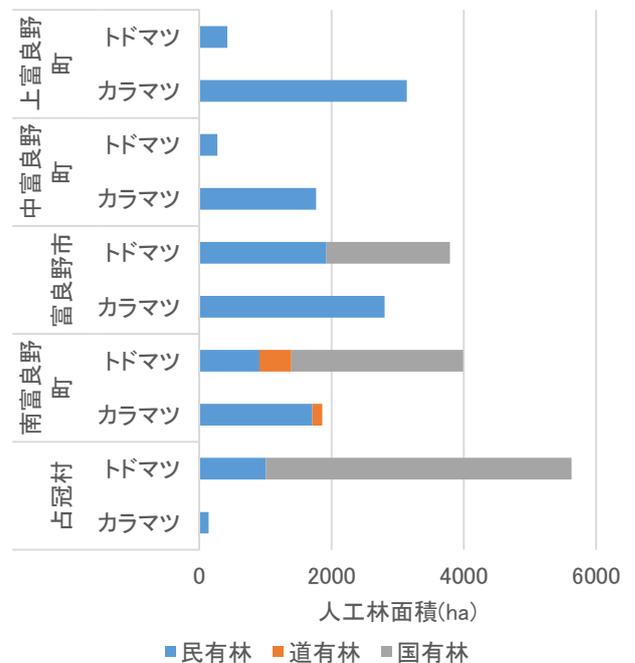


図 2-1-2-3 市町村別・所管別・樹種別人工林面積

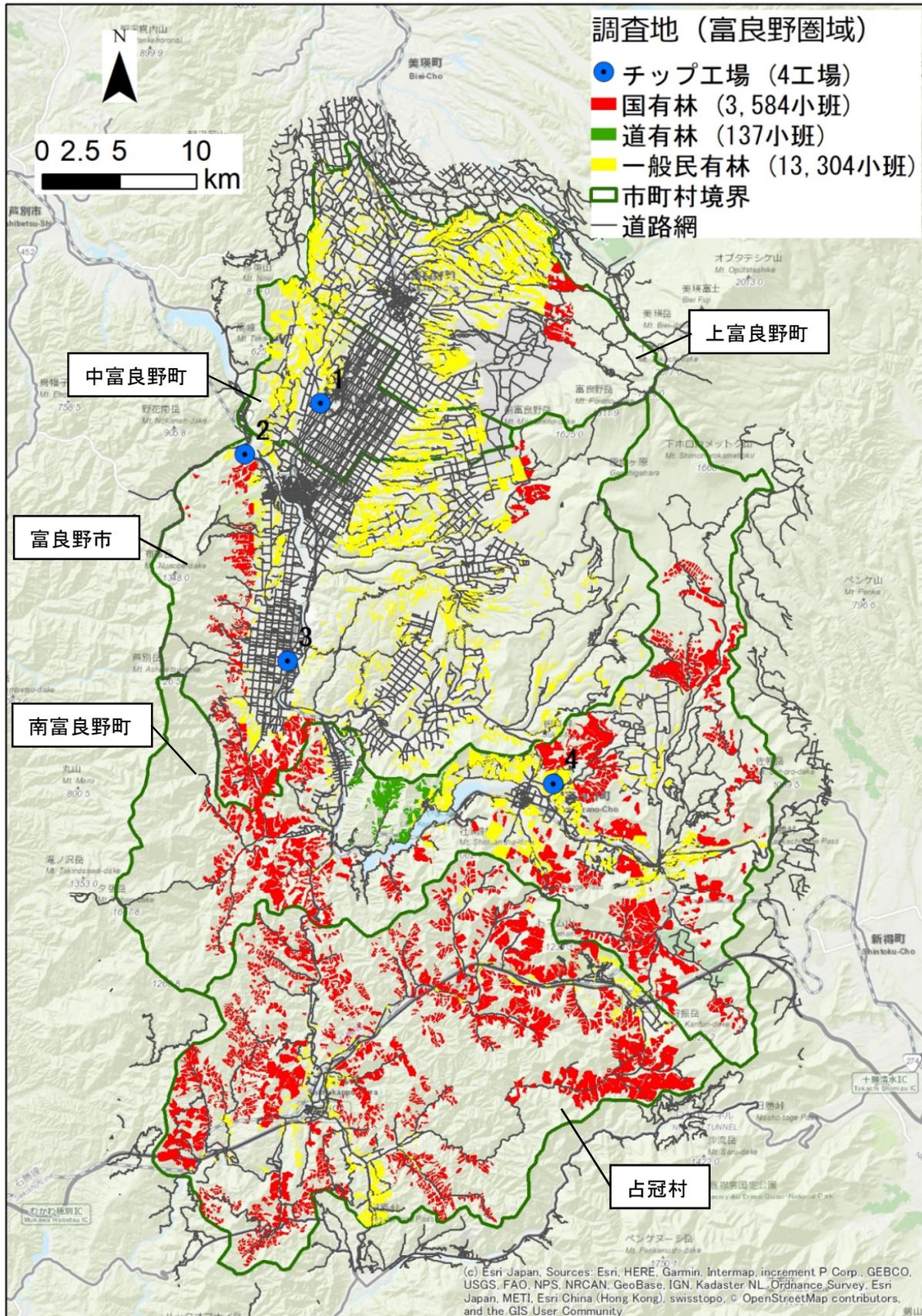


図 2-1-2-4 カラマツ及びトドマツ人工林の国有林・道有林・一般民有林位置図

(2) 一般民有林における伐採可能量の推定

モデル構築に用いた設定条件を表 2-1-2-1 に、シ

ミュレーション条件を表 2-1-2-2 に示す。

一般民有林では、5 年を 1 期とする森林経営計画

で間伐や主伐が計画されるが^[3]，経営計画自体は変更可能であり，伐採量は丸太の需要や間伐補助金等により各年度での変動幅が大きい。また，森林経営計画では森林資源の主伐可能量は，森林成長量を基にしたカメラルタキセ式を用いて計算している^[4]。しかし，この計算式は現状の蓄積を法正蓄積に近づける主伐量を算出するものであり^[5]，日本の人工林で見られる単峰型の齢級構成では伐採可能量は年次により大きく変動してしまうおそれがある。このため，森林経営計画の方法では，木質バイオマスの安定的な供給可能量の水準は計算できないといえる。そこで本研究では，富良野圏域の各市町村の一般民有林を対象に年間伐採量と人工林資源の長期的な変動の関連性を分析し，資源の持続可能性を担保した上で木質バイオマスの安定的な供給可能量を推定した。

富良野地域の各市町村におけるカラマツ，トドマツ人工林の持続可能な伐採量の推定では，図2-1-2-5に示す津田^[6]が作成した人工林資源シミュレーションモデルを使用した。本モデルは資源循環フローと出材フローの2つで構成される。資源循環フローは人工林の資源動態をモデル化したもので，期首の資源構成から始まり，伐採→植栽→林分成長までの一連のサイクルで構成される。本稿ではこのフローを使用し，表2-1-2-1に示す設定条件でシミュレーションモデルを構築した。

次に，構築したモデルに伐採量と植栽量を入力し，50年間の森林蓄積の変化をシミュレーションした（表2-1-2-2）。伐採量は，各市町村単位で算出した2013～2016年の所管別の伐採量の平均値を基準に5

～9段階の年間伐採材積を設定した。また，年間の植栽量は前年の主伐面積と設定した。

以上の計算から予測した50年後の人工林蓄積を基に，伐採可能量を推定した。伐採可能とする基準値については，資源保続の観点からは現行と同程度の森林蓄積を維持可能な状態が望ましい。そのため，これを達成できる伐採可能量を伐採可能量①とした。一方，林野庁は将来の人工林資源について，面積ベースで2060年は現在比で約80%，2110年は現在比で約60%を目標としている^[7]。本稿ではこの観点も考慮し，50年後の資源量を森林蓄積ベースで現在の70%程度とする状態を伐採可能量②とした。

表 2-1-2-1 人工林資源シミュレーションモデルの設定パラメータ

設定項目	設定内容
伐採率（齢級別主伐率，間伐率）	2008－2013年の齢級別伐採面積及び森林面積から，上川南部の平均的な齢級別主伐率及び間伐率を樹種別に算出し設定（図2-1-2-6～7）
林分成長量	トドマツ人工林収穫予測ソフト ^[8] 及びカラマツ人工林収穫予測ソフト ^[9] から，上川南部の平均的な齢級別林分成長量を樹種別に設定
人工林資源（面積）	各市町村の一般民有林の齢級別人工林面積の9割を設定（蓄積が著しく低い林分や急傾斜地等，経済的に施業対象にならない林分の割合を1割と仮定）

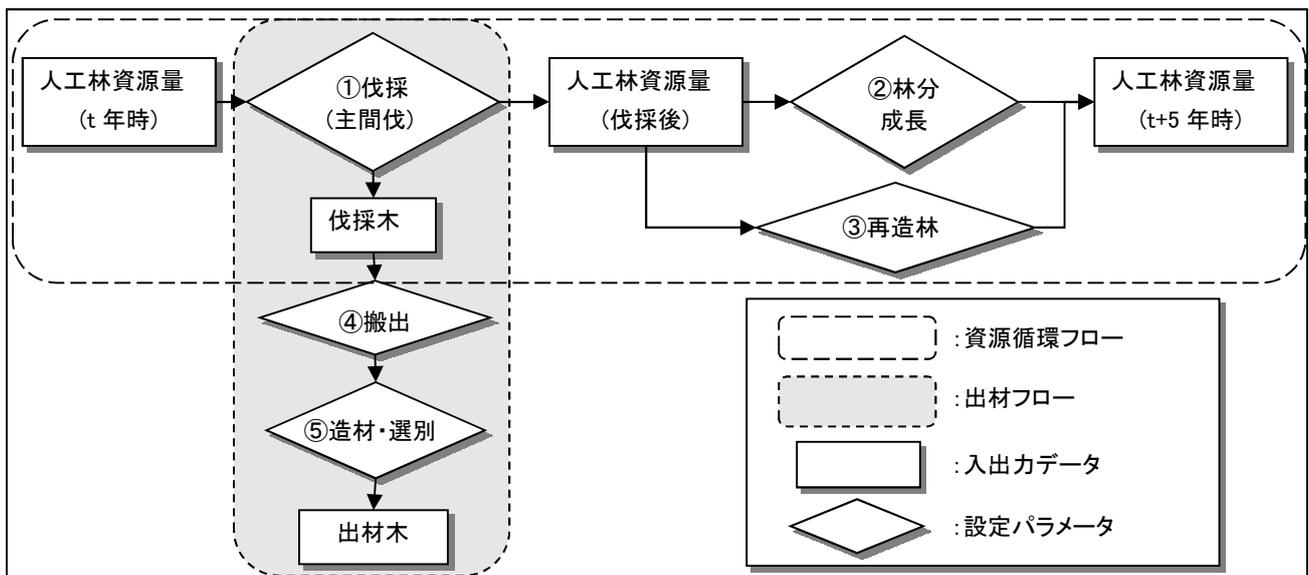


図 2-1-2-5 人工林資源シミュレーションモデル

表 2-1-2-2 人工林資源シミュレーションのシナリオ

設定項目	設定内容
計算期間	50年（5年1分期）
年間伐採材積	各市町村単位で算出した 2013-2016 年の所管別の伐採量の平均値を基準に 5~9 段階の年間伐採材積を設定
年間植林面積	主伐面積分を植林

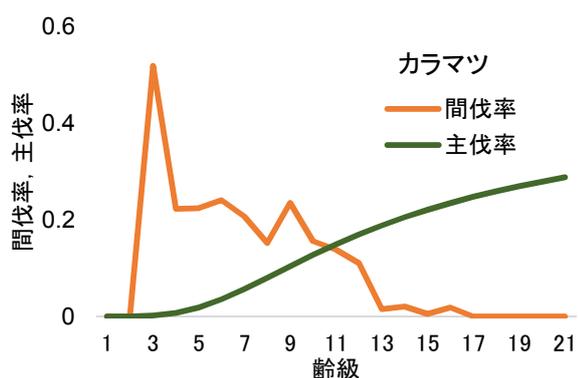


図 2-1-2-6 カラマツ人工林の面積、間伐率、主伐率

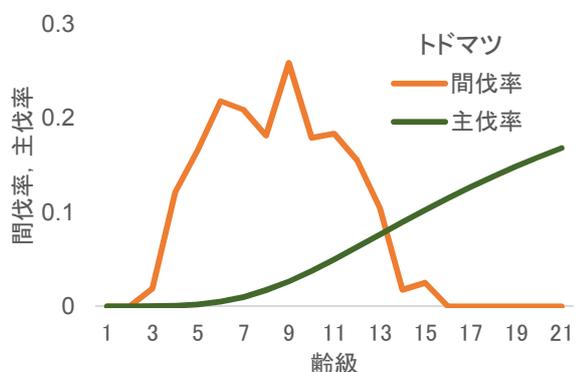


図 2-1-2-7 トドマツ人工林の面積、間伐率、主伐率

（3）市町村別及び工場別低質材集荷可能量の推定

所有区分毎の伐採候補林分の抽出方法は、以下の通りである。

一般民有林については、前項で推定した 2 パターンの市町村別・樹種別伐採可能量を上限とし、それぞれのパターンに基づいて年齢別間伐材積及び主伐材積を市町村別に算出した。次に、一般民有林の 2014 年の森林調査簿より、カラマツ及びトドマツが植栽された小班を抽出し、小班の材積に間伐の場合は

30%、主伐の場合は 100%を乗算し、当該小班の伐採材積を計算した。そして、0-1 整数計画法により、伐採可能量から算出した年齢別間伐材積及び主伐材積量に適合する小班の組合せを抽出した。

道有林については、10 年単位で設定される地域森林計画及び森林調査簿から伐採量の設定及び伐採小班の抽出を行った。具体的には、2013 年度の上川南部全体での間伐材積、主伐材積に、南富良野町での道有林面積の割合を乗じて間伐、主伐材積を得た。そして、道有林の森林調査簿から成林成績が B 以上の面積が 60%以上を占める小班を施業対象として抽出し、伐採材積率を間伐で 35%、主伐（受光伐）で 40%と設定し、各小班での伐採材積を算出した。間伐の対象小班は 7~11 年齢級、主伐は 12 年齢級以上の小班とした。以上より得た伐採候補小班より、年齢別間伐材積及び主伐材積量に適合する小班の組合せを 0-1 整数計画法により抽出した。

国有林については、10 年単位で設定される地域森林計画及び各計画区での伐採計画、伐木造林計画簿を基に伐採量の設定及び伐採小班の抽出を行った。具体的には、2014 年の伐木造材計画簿より間伐、択抜、複層伐、皆伐の指定がある小班を抽出し、各伐採種での材積伐採率（間伐：40%、択抜：30%、複層伐：50%、皆伐 100%）を乗算して伐採材積を算出した。

以上より得られた一般民有林、道有林、国有林の小班ごとの伐採材積に対し、樹種別・年齢別の低質材発生率^[10]を乗算し、低質材材積を算出した。

次に、一般民有林、道有林、国有林の伐採小班を統合し、小班位置とチップ工場を道路網で結合したネットワークを構築した。道路網は、無償利用可能な地図データであるオープンストリートマップ（openstreetmap.org, 2017）の道路網のうち、道路属性が track(林道が含まれる)以上の規格のものを使用した。以上のネットワークから、小班から最寄りのチップ工場までの経路距離を算出し、距離別の低質材集荷可能量を市町村別及びチップ工場別に算出した。

伐採小班の計算では、Excel2013 (Microsoft) を、整数計画法のソルバーは scip4.01 (zib) を、ネットワーク解析では ArcGIS10.3.1(Esri) の NetworkAnalyst を使用した。

3) 結果と考察

（1）一般民有林の伐採可能量

カラマツにおける伐採材積と 50 年後の森林蓄積の現在比を図 2-1-2-8 に、トドマツにおける伐採材

積と50年後の森林蓄積の現在比を図2-1-2-9に、各市町村における直近4年の平均伐採材積と伐採可能量①及び伐採可能量②を図2-1-2-10に示す。

カラマツでは、50年後の森林蓄積を現在と同程度とする場合(伐採可能量①)、富良野市、上富良野町では現行の7割、その他では5割の伐採材積が適当と考えられた。50年後の森林蓄積を現在の70%以上とする場合では(伐採可能量②)、年間伐採材積は、直近4年間の平均伐採材積と比較して、上富良野町と富良野市では同じ程度、その他の町村では7割程度の水準にする必要があると推定された。

トドマツでは、50年後の森林蓄積を現在と同程度とする場合(伐採可能量①)、中富良野町と占冠村では現行と程度、上富良野町で1.3倍、富良野市で1.7倍、南富良野町で2倍の伐採材積が適当と考えられた。50年後の森林蓄積を現在の70%以上とする場合(伐採可能量②)、年間伐採材積は、直近4年間の平均伐採材積と比較して、南富良野町では3倍程度、上富良野町と富良野市では2倍程度、中富良野町と占冠村では1.3倍程度の水準まで増産が可能と推定された。

以上の推計値と現在の伐採量を比較すると、50年後の森林蓄積を現在と同程度とする場合(伐採可能量①)、カラマツは現行の伐採材積の6割程度に減産する必要があるが、トドマツは現行の1.4倍程度まで伐採材積を増加できると推定された。5市町村を合計した伐採材積は、現行の伐採材積の約7割と推定された。また、50年後の森林蓄積を現在の70%以上とする場合(伐採可能量②)、全体的にカラマツの伐採材積を減少させる必要があるが、トドマツの伐採材積の増加により、上富良野町、富良野市、占冠村では現在より伐採材積を増加できると推定された。また、5市町村を合計した伐採材積は、現在とほぼ同程度と推定された。

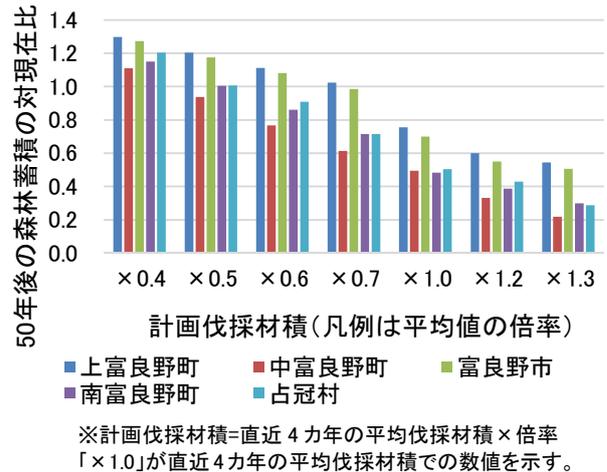


図2-1-2-8 各市町村における伐採材積毎の50年後の森林蓄積(カラマツ)

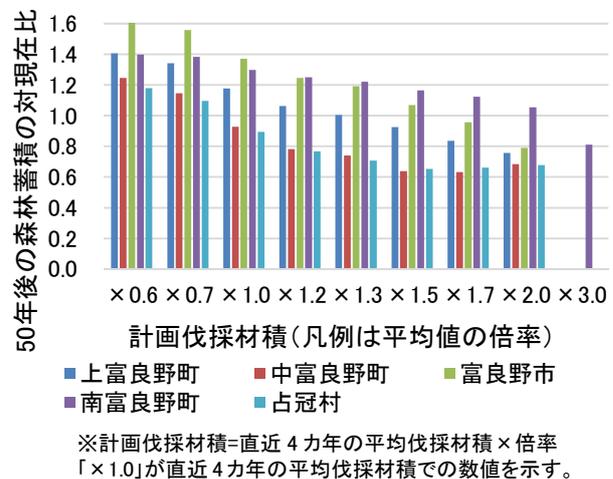


図2-1-2-9 各市町村における伐採材積毎の50年後の森林蓄積(トドマツ)

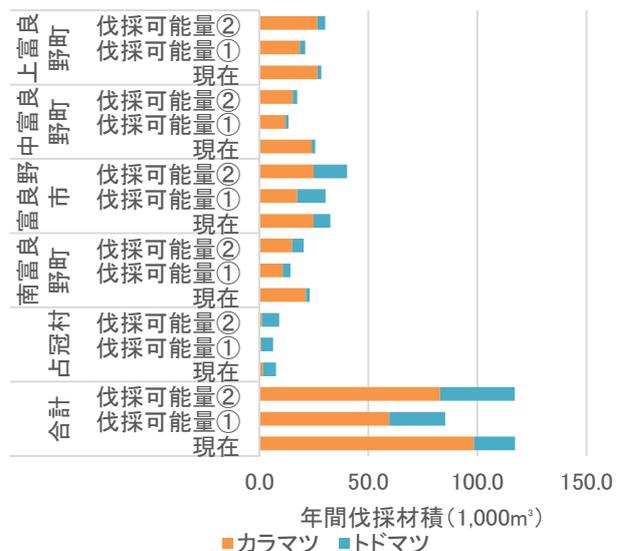


図2-1-2-10 各市町村における直近4年の平均伐採材積と各シナリオでの伐採材積

(2) 伐採可能量① (50年後の森林蓄積が現在と同程度の場合)における低質材集荷可能量

樹種別の伐採小班～チップ工場までの距離別低質材材積を図2-1-2-11に、各市町村における低質材運材距離と材積を図2-1-2-12に、各チップ工場における低質材運材距離と材積を図2-1-2-13に、各チップ工場における低質材運材距離と低位発熱量を図2-1-2-14に、運材距離30km以内における各チップ工場の樹種別低質材材積を図2-1-2-15に示す。

チップ工場までの集荷距離別低質材材積では、カラマツでは25km以内、トドマツでは50km以内でほぼ100%の低質材が出荷可能であった。合計では、全低質材材積の80%が出荷距離30km以内であった。

市町村別の集荷距離別低質材材積では、占冠村以外の4市町村では、チップ工場までの運材距離が30km以内でほぼ全ての低質材を出荷可能であった。

各チップ工場からの距離別低質材材積では、No.1～2のチップ工場では30km以内、No.4のチップ工場では40km以内、No.3のチップ工場では50km以内でほぼ全ての低質材を集荷可能であった。30km以内での低質材材積をみると、No.1(中富良野町)とNo.4(南富良野町)では集荷可能な低質材材積が多かった。一方、30km以内の集荷可能な低質材を低位発熱量に変換した場合、No.1のチップ工場が最も多いと推定された。No.1では比重が大きいカラマツの材積が多いのに対し、No.4では比重の小さいトドマツの材積が多くなるため、得られる低位発熱量はNo.1の方が多くなったと考えられる。

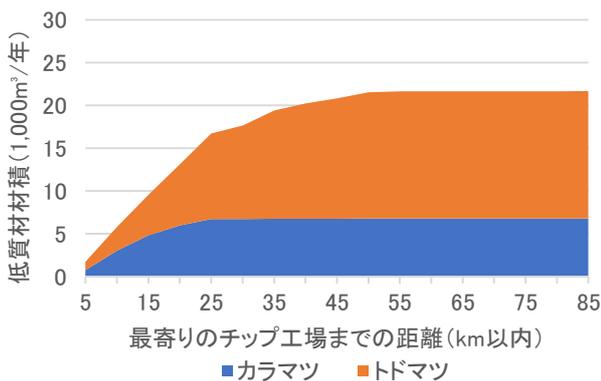


図2-1-2-11 樹種別の伐採小班～チップ工場までの距離別低質材材積

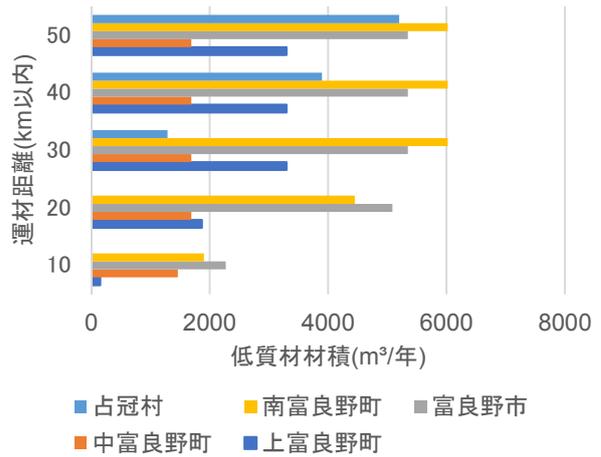


図2-1-2-12 各市町村における低質材出荷距離と材積

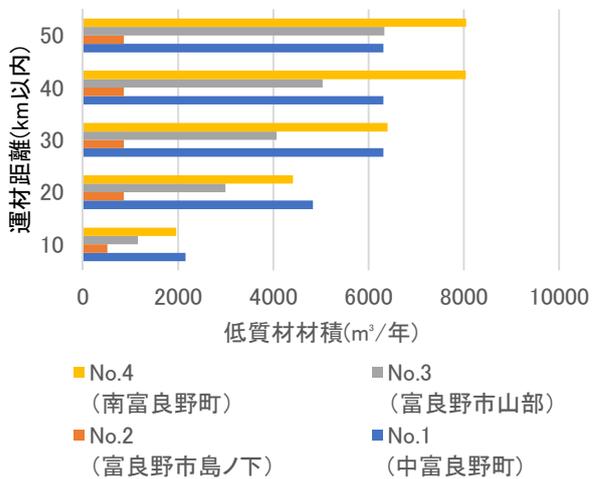


図2-1-2-13 各チップ工場での低質材集荷距離と材積

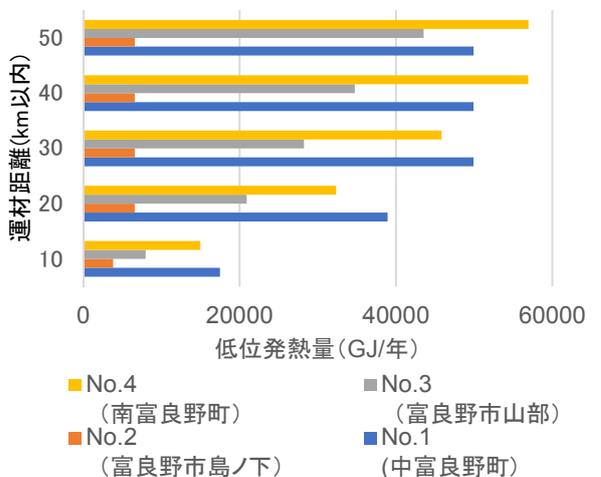


図2-1-2-14 各チップ工場での低質材集荷距離と低位発熱量

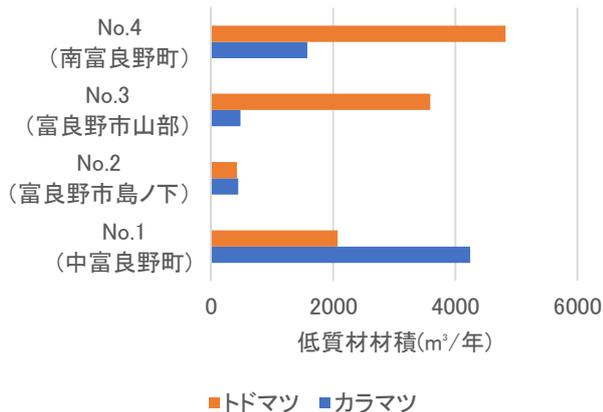


図 2-1-2-15 運材距離 30km 以内における各チップ工場における樹種別低質材材積

(3) 伐採可能量② (50 年後の森林蓄積が現在の 70% 以上の場合) における低質材集荷可能量

樹種別の伐採小班～チップ工場までの距離別低質材材積を図 2-1-2-16 に、各市町村における低質材運材距離と材積を図 2-1-2-17 に、各チップ工場における低質材運材距離と材積を図 2-1-2-18 に、各チップ工場における低質材運材距離と低位発熱量を図 2-1-2-19 に、運材距離 30km 以内における各チップ工場の樹種別低質材材積を図 2-1-2-20 に示す。

全体的な傾向は、伐採可能量①とほぼ同様であった。ただし、チップ工場から 30～50km 以内で出荷可能な低質材材積の最大値は、前項よりも 1,000m³/年ほど多かった。また、工場別の低質材集荷可能量をみると、前項と比べて各工場とも 500～1,300m³/年ほど多かった。

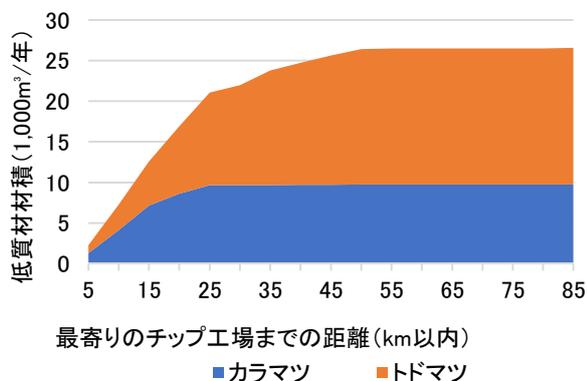


図 2-1-2-16 樹種別の伐採小班～チップ工場までの距離別低質材材積

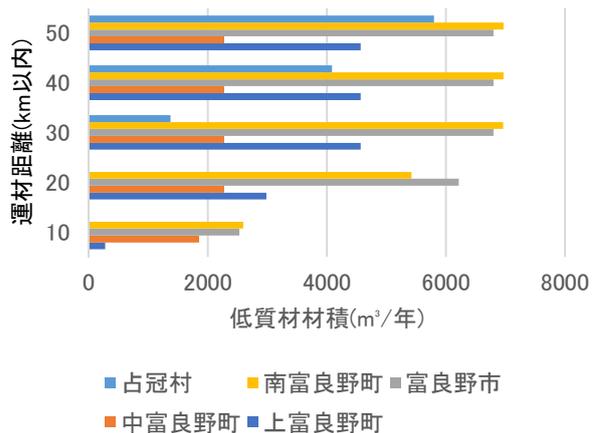


図 2-1-2-17 各市町村における低質材出荷距離と材積

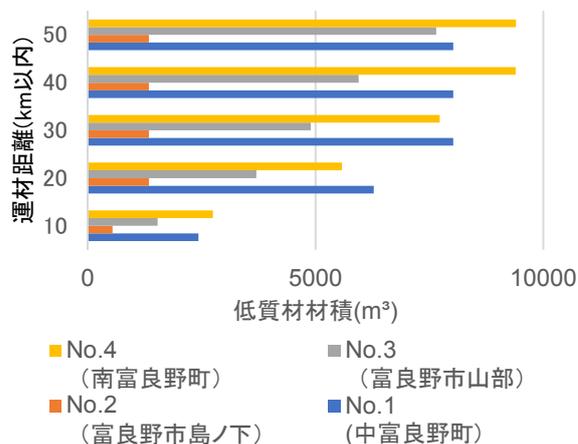


図 2-1-2-18 各チップ工場での低質材集荷距離と材積

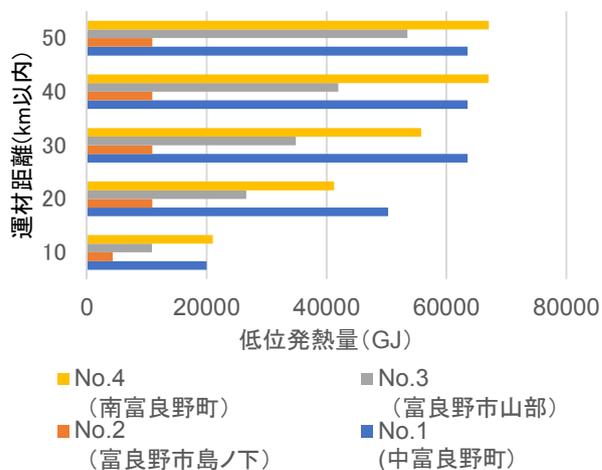


図 2-1-2-19 各チップ工場での低質材集荷距離と低位発熱量

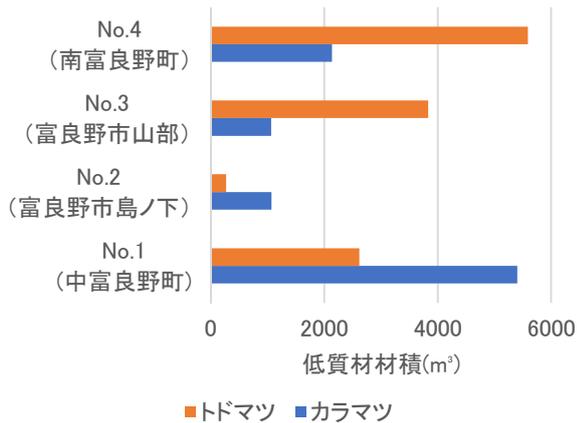


図 2-1-2-20 運材距離 30km 以内における各チップ工場における樹種別低質材材積

4) おわりに

本稿では、富良野圏域におけるカラマツ及びトドマツ資源の資源持続性に留意した上での、低質材集荷可能性を検討した。

検討の結果の概要は、以下の通りである。

【結論①】一般民有林での 50 年後の資源量の維持を前提とした伐採可能性を検討した結果、カラマツでは直近の伐採材積を持続するのは基本的に難しく、トドマツでは直近の伐採材積よりも増産可能と予測された。50 年後の森林蓄積を現在と同程度とした場合（伐採可能性①）、5 市町村を合計した伐採材積は、現行の伐採材積の約 7 割と推定された。一方、50 年後の森林蓄積を現在の 70%以上とした場合（伐採可能性②）、5 市町村を合計した伐採材積は、現在とほぼ同程度と推定された。

【結論②】伐採可能性と森林調査簿より抽出した伐採林分は、チップ工場から 30km 以内にほとんどが分布していた。特に No.1 と No.4 の工場では集荷可能性が大きかったが、得られる低位発熱量としては No.1 が最も大きかった。また、各チップ工場での低質材集荷可能性は、伐採可能性②より伐採可能性①では 500~1,300m³/年ほど少なかった。

本稿の分析結果の留意点としては、チップ工場での集荷可能性は、伐採林分で発生すると見込まれる低質材丸太を全て 4 箇所のチップ工場に搬入するという前提で検討した点である。実際はパルプ工場等この 4 箇所以外へ出荷する状況は十分にあり、その分を割り引く必要がある。また、工場で加工されたチップも全てがエネルギー利用されるわけではなく、暗渠疎水材や敷料等の既存利用もある。エネルギー

利用を検討する際は、以上 2 点を考慮してエネルギーとしての利用可能性を検討する必要がある。

また、本稿では各工場で生産する木材チップの目標生産量は考慮せず、伐採林分からみた最寄りのチップ工場に搬入するという条件で各工場での集荷可能性を算出した。これは丸太の運材費を最小化するという条件に適合するものである。一方、チップ工場での目標生産量を設定し、それに見合う集荷範囲を算出することも可能である。ただし、集材対象とする林分が工場間で重複した場合、その場合の丸太の分配方法を検討する必要がある。

5) 引用文献等

- [1] 北海道水産林務部林務局林業木材課. 北海道の木質バイオマスエネルギーの利用状況.
<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/rrm/biomassriyoujoukyou/29energyriouryou3.pdf>. (2017)
- [2] 熊崎実・沢辺攻. 『木質資源とことん活用読本』. 農山漁村文化協会. 98. (2013)
- [3] 林野庁. 林家のための森林経営計画ガイド.
http://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/sinrin_keikaku/pdf/gaid2604.pdf. (2014)
- [4] 森林計画研究会編. 『森林経営計画ガイドブックー森林経営計画がわかる本ー』. 全国林業普及協会 263. (2013)
- [5] 當山啓介, 広嶋卓也, 白石則彦. “森林経営計画制度における更正期の概念と主伐量上限制限”. 森林計画学会誌. 49(2). 75-81. (2016)
- [6] 津田高明. “道内のカラマツおよびトドマツ人工林の低質材出材可能性-エネルギー用途を見据えて-”. 北方林業. 69(1). 7-10. (2018)
- [7] 林野庁. プレスリリース「森林整備保全事業計画」の策定について」. (2014)
- [8] (地独) 北海道立総合研究機構 林業試験場. 「北海道版トドマツ人工林収穫予測ソフト」.
<https://www.hro.or.jp/list/forest/research/fri/syukakuyosoku/todosyukaku.html>. (2012)
- [9] (地独) 北海道立総合研究機構 林業試験場. 「北海道版カラマツ人工林収穫予測ソフト」.
<https://www.hro.or.jp/list/forest/research/fri/syukakuyosoku/syukakuyosoku.html>. (2012)
- [10] 大野泰之. “一般材・パルプ材別出材量の予測”. 戦略研究報告書『新たな住まい』と森林資源循環による持続可能な地域の形成. 46-49. (2015)

研究担当機関：林業試験場

執筆者：津田高明

2. 1. 3 有機系廃棄物

1) 対象とする有機系廃棄物の概要

ここで対象とする有機系廃棄物は、自治体に処理責任のある有機系廃棄物とする。具体的には家庭や事業所から排出される一般廃棄物のうち、生ごみや可燃ごみ、し尿・浄化槽汚泥のほか、分類上は産業廃棄物となっている下水汚泥である。これらの処理においてエネルギー回収する場合、一般的にスケールメリットがないと経済性が悪い。また、既にエネルギー回収を行っている廃棄物処理施設であっても、近年のごみ減量化や人口減少などの流れも相まって処理能力に余力を生じ、その効率が低下している実態がある。このような場合、広域処理など周辺自治体間で有機系廃棄物処理の融通を検討する価値がある。以上の点から、自治体の有機系廃棄物処理における効率的なエネルギー回収システムを検討する場合、近隣市町村を含めて各種有機系廃棄物の賦存量や処理状況を GIS で視覚的に俯瞰できるようにしておくことが望ましい。

2) 方法：賦存量・利用可能量の推計

本事業では、有機系廃棄物の賦存量および利用可能量を推計するにあたり、有機系廃棄物の処理状況に関する地理情報データベース（以下、GIS データベースという。）を構築し、これを元に当該廃棄物の数量を推定することとした。本項では、この手続きについて述べる。

（1）有機系廃棄物 GIS データベースの作成

① 基礎データの収集

GIS データベースを作成するにあたって、統計情報などの基盤データを収集した。

ア 市町村における一般廃棄物処理データ

市町村における一般廃棄物処理の状況に関しては、環境省が年次調査（一般廃棄物処理実態調査 処理状況調査）を行っており、その結果が公開^[1]されている。ここでは、データ作成時点での最新版である 2014 年度調査結果を利用した。

イ 処理施設における一般廃棄物処理データ

アで述べた一般廃棄物処理実態調査では、市町村における処理状況調査に並行する形で、処理施設における処理状況の年次調査（施設整備状況調査）も実施されており、同様に結果が公開^[1]されている。ここでは、処理状況調査結果と同様に、2014 年度調査結果を利用した。

ウ 一般廃棄物処理施設位置データ

一般廃棄物は、各家庭や事業所から排出されるが、実際には市町村が実施するごみ収集や、処理施設への直接持ち込みによって処理施設へ集約されることになる。したがって、廃棄物の賦存状況は発生時における分布と、処理時における分布の双方が考えられるが、有機系廃棄物を資源として利用する場合、通常は一般廃棄物収集プロセスを経た後で集約されたものを取り扱うことが利用システムを検討する上では現実的である。

このため、処理施設の位置に関する情報が重要となる。そこで、国土交通省から公開されている処理施設の位置情報データ（データ作成年度：2012 年度）^[2]を入手し、これを基盤データとして利用した。

エ 下水処理施設における汚泥処理状況

前記の一般廃棄物処理施設の他に、地域で発生する有機系廃棄物の一つである下水汚泥の賦存量および利用可能量の推計のため、下水処理施設における汚泥処理状況に関する統計データ（2013 年度データ）^[3]を利用した。

オ 下水処理施設位置データ

下水汚泥の発生箇所、空間分布を把握するため、下水処理施設の位置情報データ（データ作成年度：2012 年度）^[4]も同様に入手した。

カ その他のデータ

前記以外に、GIS データベースに搭載するための基盤的なデータとして

- ・市町村の面データ^[5]
- ・基準地域メッシュデータ^[6]
- ・メッシュ人口（2010 年度）^[7]

を入手または作成した。

② 収集したデータのデータベース統合

①で収集したデータを、単一のデータベースシステムへ統合する作業を行った。このプロセスは、データソースによって異なるデータの構造やルールを一定のデータ体系（スキーマ）を定義して統合化するもので、データの安定性の確保、データ検証、その他取り扱いの上で重要である。

ここでは、ネットワーク環境を前提としないローカル型のオープンソース軽量データベース（RDBMS^{注 1)}）である SQLite^[8]を採用し、さらに地理情報を取り扱うことのできる地理空間拡張である Spatialite^[9]を適用することとした。これを適用したデータベースを 2.1.3 における GIS データベースとする。

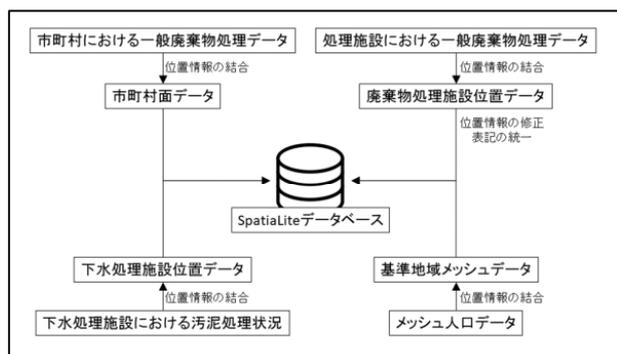


図 2-1-3-1 データ統合

③ 位置情報の付加および修正

②で整理した廃棄物処理施設の位置データと、一般廃棄物処理実態調査結果（施設整備状況）に掲載されている処理施設のデータは、年次の相違等のため一対一の対応となっていない。こうしたデータは機械的に位置情報が付与されず、地理空間情報として取り扱えないため、位置情報が付与されていない処理施設を対象として、主に Web 検索の方法（一般廃棄物処理基本計画等の行政資料の確認、航空写真等による座標照合、住所からの座標検索）による位置特定と追加を行った。

また並行して、既に位置情報が付与されている処理施設情報についても、元の位置情報に誤りがある場合には同様に修正を行った。

さらに、同一の施設であっても、データの出典によって標記が異なる場合があった。こうしたデータは、同一の施設として結合できないため、これらを統合する名称統一も併せて行った。

（２）有機系廃棄物の賦存量・利用可能量の推計

（１）で作成したデータベースをもとに、有機系廃棄物の賦存量（発生量）を推計する。ここでは、① 燃焼によってエネルギー回収可能なごみ（衛生ごみは含めない。以下、燃料化ごみ）および生ごみと、② し尿・浄化槽汚泥・下水汚泥とに分けて述べる。

① 燃料化ごみおよび生ごみ

一般的に、分別収集および処理のプロセスによって処理される一般廃棄物のうち、エネルギー回収が可能なごみは燃料化ごみおよび生ごみに大別される。前者は比較的含水率が低く、燃焼によってエネルギー回収可能なごみ、後者は含水率が高いためメタン発酵などのプロセスによって有用ガスとしてエネルギー回収が可能なごみである。

ア 燃料化ごみ

ア) 賦存量

燃料化ごみについては、現在富良野市で「固形燃料ごみ」として回収されているごみが、一般廃棄物における燃料利用可能なごみのモデルケースであると想定し、富良野市におけるごみ総排出量に対する燃料化ごみ処理量の比率を用いて、各市町村における燃料化ごみの発生量を推計することとした。

一般廃棄物処理実態調査によれば、2013年の富良野市におけるごみ総排出量に対する燃料化ごみ量の比率は

$$\frac{\text{燃料化ごみ量}}{\text{ごみ総排出量}} = \frac{2585\text{t}}{7517\text{t}} = 0.344$$

となる。これを各市町村におけるごみ総排出量に適用し、各市町村における燃料化ごみの発生量を推計した。

$$\begin{aligned} \text{市町村における燃料化ごみ発生量} \\ = \text{ごみ総排出量} \times 0.344 \end{aligned}$$

イ) 利用可能量

燃料化ごみについては、現状で固形燃料化や焼却時のエネルギー回収などの方法によってエネルギー利用されていないものを、エネルギー転用可能な利用可能量として想定する。こうした廃棄物は、固形燃料化を実施している場合を除くと、焼却処理されず埋め立てられている場合と、焼却処理時に発電あるいは余熱利用を行っていない場合に大別されると考えられる。

（ア）埋め立てられている場合

固形燃料化を行っておらず、焼却処理もされていない場合は埋め立てを行っているものと想定される。一般廃棄物処理実態調査（処理状況）では、各市町村における施設区分別の処理量が整理されているため、燃料化施設および焼却施設への搬入量がともにゼロである市町村における処理量を利用可能量とする。

（イ）焼却施設において発電あるいは余熱利用されていない場合

焼却施設におけるエネルギー回収の有無については、焼却施設によって異なる。また、市町村単位の処理状況調査結果には、焼却処理におけるエネルギー回収の有無は把握されていない。一般廃棄物処理は広域で実施されている場合があること、および同一市内であっても搬入先によって状況が異なる場合があるため、焼却処理されているもののうち、エネルギー回収されていないごみ量を市町村ごとに把握することは困難である。そこで、これに該当する利

用可能量の分布状況は、処理施設毎に整理・表示することとした。

イ 生ごみ

ア) 賦存量

生ごみについては、以下の要領で処理実績値と比率による推計値で数量を区分することとした。

(ア) 堆肥化またはメタン化施設へ搬入している場合

堆肥化またはメタン化を実施している場合は、一般廃棄物処理実態調査(処理状況)において、該当施設へのごみ搬入量が記録されている。こうした施設への搬入量は、その全量が生ごみであるとみなし、搬入量を賦存量として取り扱うこととした。

(イ) 堆肥化またはメタン化施設へ搬入していない場合

(ア)のような処理を行っていない市町村においては、燃料化ごみと同様に富良野市における処理状況をモデルケースとして、ごみ総排出量に対する生ごみの比率を適用し、各市町村における生ごみの発生量を推計することとした。

富良野市への聞き取り調査の結果、2013年の富良野市における生ごみの処理量は2,514tであった。したがって、ごみ総排出量に対する比率は

$$\frac{\text{生ごみ量}}{\text{ごみ総排出量}} = \frac{2514\text{t}}{7517\text{t}} = 0.334$$

となる。これを適用し、各市町村における生ごみの発生量を以下によって推計した。

$$\begin{aligned} \text{市町村における生ごみ発生量} \\ = \text{ごみ総排出量} \times 0.334 \end{aligned}$$

イ) 利用可能量

生ごみの利用可能量については、前述の賦存量のうち、メタン化施設へ搬入されていない賦存量の全量を、エネルギー転用可能な利用可能量として取り扱うこととした。

② し尿・浄化槽汚泥・下水汚泥

し尿・浄化槽汚泥および下水汚泥も、地域で発生する有機系廃棄物の一種である。このうち、し尿・浄化槽汚泥は一般廃棄物として処理され、下水汚泥は下水処理施設において処理される産業廃棄物に分類される。

ア し尿・浄化槽汚泥

ア) 賦存量

し尿・浄化槽汚泥の数量については、一般廃棄物処理実態調査(施設整備状況)において、「し尿処理施設・汚泥再生処理センター」として各施設におけ

る汚泥処理量が把握されている。そこで、この処理量を賦存量(発生量)の実績値として取り扱うこととした。

なお、この数量は市町村単位での調査では把握されておらず、広域収集されている場合もあることから、施設単位での数量として整理することとした。

イ) 利用可能量

前述の賦存量のうち、一部は処理施設においてメタン発酵によるエネルギー回収が行われており、その実績についても把握されている。したがってここでは、メタン発酵によるエネルギー回収が行われていない処理施設における処理量を、エネルギー転用可能な利用可能量として整理することとした。

イ 下水汚泥

ア) 賦存量

下水汚泥については、地域によっては広域下水道や流域下水道など、市町村を越えた範囲での処理が実施されており、市町村別の発生量の把握は困難である。既述の通り、下水処理施設における処理実績(本節(1)①エ)、ならびに下水処理施設の位置データ(本節(1)①オ)をデータベースに統合したため、これを組み合わせ処理施設における処理後の濃縮汚泥量(m³)を、賦存量として取り扱うこととした。

イ) 利用可能量

一部の下水処理施設においては、メタン発酵によるエネルギー回収が行われている。下水処理施設におけるバイオガス発電利用事例については調査が行われている^[10]ことから、ここではこれに該当しない施設における賦存量をエネルギー転用可能な利用可能量として取り扱うこととした(把握できなかった熱利用のみ行っている施設分はこちらに含まれる)。

3) 結果：有機系廃棄物の賦存量推計結果

(1) 一般廃棄物由来の有機系廃棄物

① 燃料化ごみ

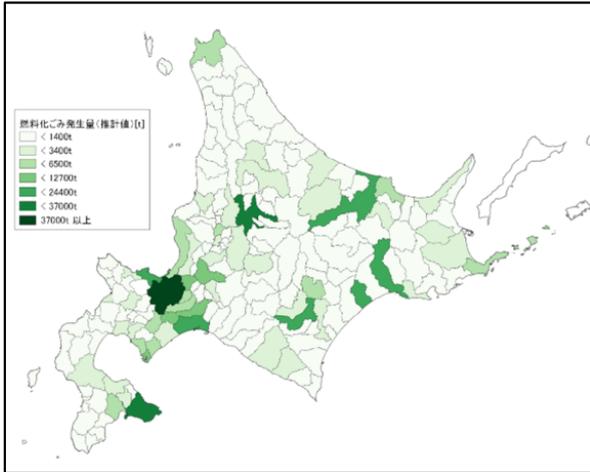


図 2-1-3-2 燃料化ごみ賦存量分布

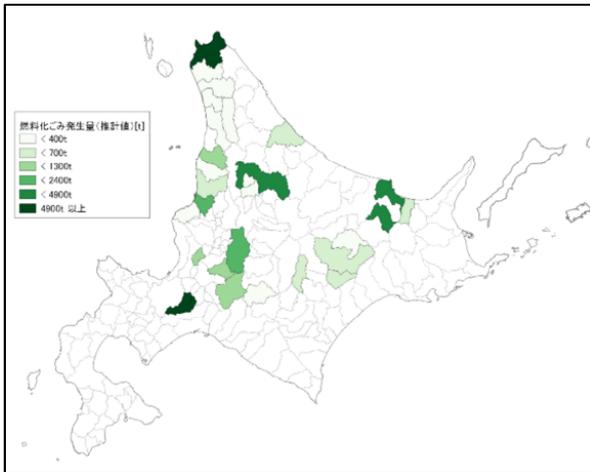


図 2-1-3-3 燃料化ごみ利用可能量分布
(埋め立てごみ)

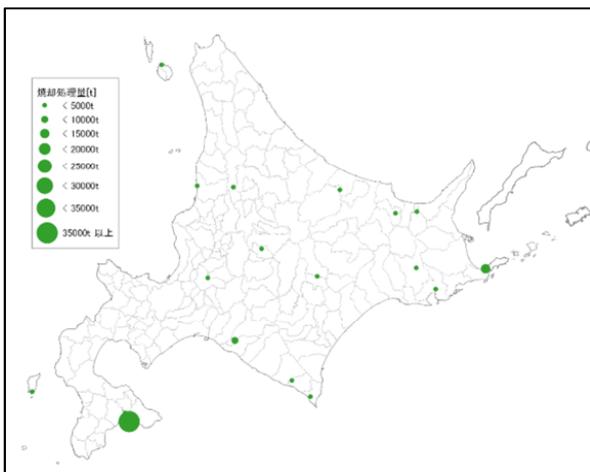


図 2-1-3-4 燃料化ごみ利用可能量分布
(エネ利用されていない焼却処理量)

② 生ごみ

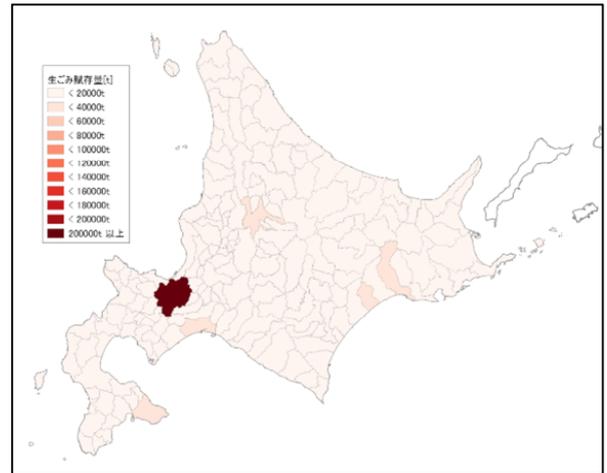


図 2-1-3-5 生ごみ賦存量

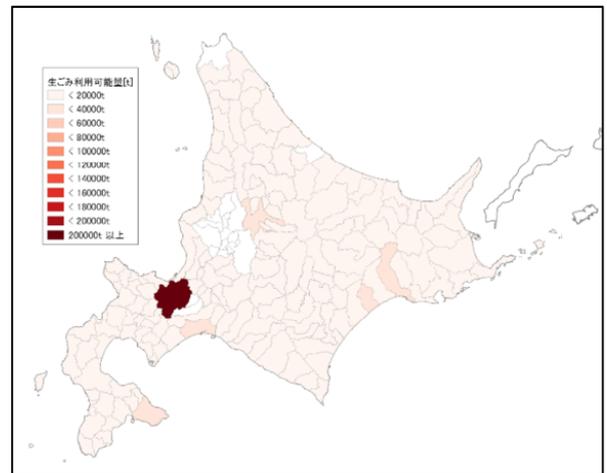


図 2-1-3-6 生ごみ利用可能量

(2) し尿・浄化槽汚泥・下水汚泥

① し尿・浄化槽汚泥

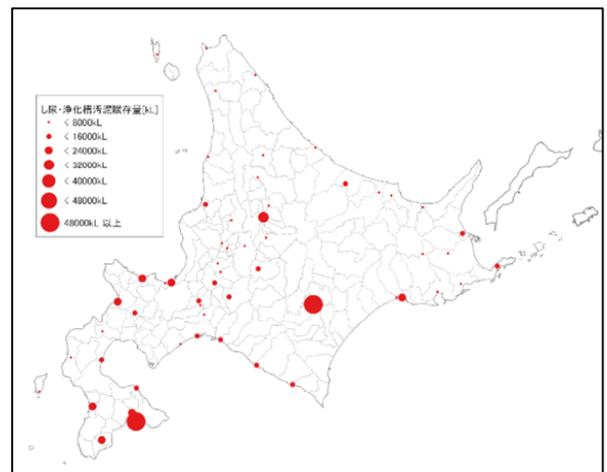


図 2-1-3-7 し尿・浄化槽汚泥賦存量

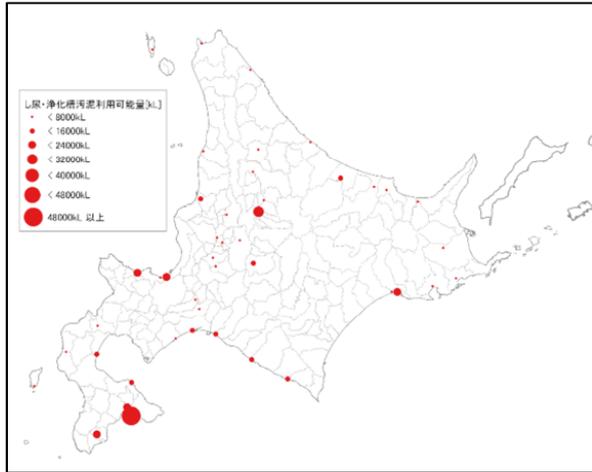


図 2-1-3-8 し尿・浄化槽汚泥利用可能量

② 下水汚泥

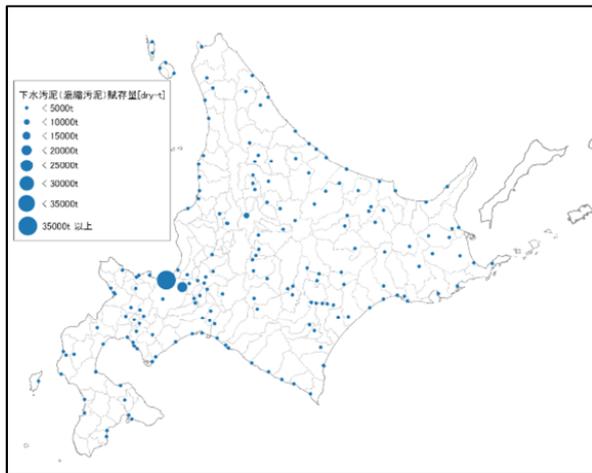


図 2-1-3-9 下水汚泥賦存量

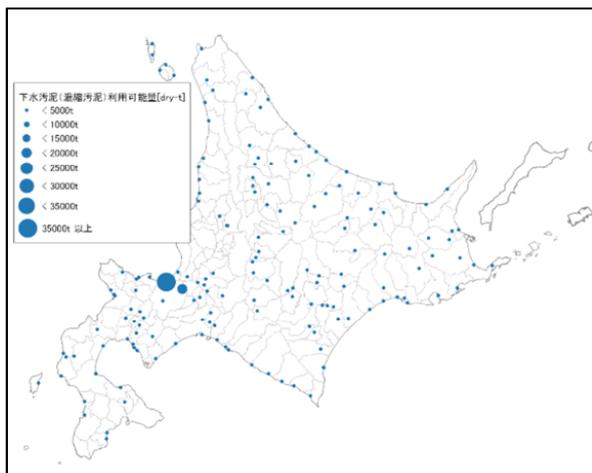


図 2-1-3-10 下水汚泥利用可能量

注 1) 関係データベース管理システム
(Relational Database Management System)

4) 引用文献等

- [1] 環境省, 一般廃棄物処理実態調査 平成 28 年度調査結果,
http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ipp/an/h28/index.html
(データ入手 2017/10/31)
- [2] 国土交通省国土政策局国土情報課, 国土数値情報 廃棄物処理施設データ,
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P15.html> (データ入手 2015/01/16)
- [3] 北海道建設部まちづくり局都市環境課, 北海道の下水道 2014, 2016
- [4] 国土交通省国土政策局国土情報課, 国土数値情報 下水道関連施設データ,
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P22.html> (データ入手 2015/01/16)
- [5] 国土交通省国土政策局国土情報課, 国土数値情報 行政区域データ,
http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v2_3.html
(データ入手 2016/07/30)
- [6] JIS X 0410-1976. 地域メッシュコード
- [7] 総務省統計局, 地域メッシュ統計 平成 22 年国勢調査 男女別人口総数及び世帯総数 (3 次メッシュ), <https://www.e-stat.go.jp/gis>
(最終アクセス 2017/10/13)
- [8] SQLite, <https://www.sqlite.org>
(最終アクセス 2018/11/09)
- [9] The Gaia-SINS federated projects,
<http://www.gaia-gis.it/gaia-sins>
(最終アクセス 2018/11/09)
- [10] 国土交通省, 下水処理場におけるバイオガス発電箇所一覧 (平成 29 年 3 月末時点),
http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewage/crd_sewage_tk_000104.html
(最終アクセス 2018/11/09)

研究担当機関：環境科学研究センター
執筆者：阿賀裕英, 福田陽一郎

2. 1. 4 地中熱・温泉熱

2. 1. 4. 1 地中熱

1) はじめに

近年、公共施設や工場、住宅等で、地下浅部（約100m以浅）の熱を利用する地中熱ヒートポンプ（GSHP）の採用が進んでいる。GSHPの熱交換井の採熱量の試算は熱応答試験を実施して求めた見かけの熱伝導率と平均地温を用いる。本研究では地下地質構造を明らかにし、地下水流動・熱輸送解析を実施し求めた地下水位、地下水流速、地下温度を用いて50・100m掘削時に得られる見かけ熱伝導率分布図と平均地温分布図を作成した。

2) 見かけの熱伝導率

見かけの熱伝導率とは地盤の熱伝導率に地下水の移流の効果が加わった見かけ熱伝導率を示す。

このため、見かけ熱伝導率を求めるためには、掘削時の地層（層相）の割合、各地層の熱伝導率、地下水位（飽和・不飽和の区分）、地下水流速（移流の効果）の4項目について明らかにする必要がある。

(1) 掘削時の地層の割合

富良野盆地は、第四紀層（盆地埋没層）により埋積され、盆地の東西両縁が活断層により限られる構造盆地である。盆地周辺では十勝火砕流堆積物（FT年代でおよそ120万年前）が白亜系および新第三系を覆っている^[1]。盆地内の第四紀層厚は北海道^[2]によって400m以上と見積もられている。このため、今回対象になる富良野盆地内の深度100m以浅の地下地質は主に第四系の盆地埋没層および十勝火砕流堆積物で構成される。

森野・小澤^[3]が作成した盆地埋没層基底標高分布図（図2-1-4-1）を用いて50・100m掘削時の地層の割合を求めた。

(2) 地層の熱伝導率

十勝火砕流堆積物と盆地埋没層の熱伝導率を推定するために熱応答試験結果を収集した。熱応答試験結果は地下水の移流の効果が加味された値が算出されるが、地下水流速は地形の起伏との関連性が強く平地では非常にゆっくりと流れるため、移流の効果をほとんど受けない。このことから、地形の起伏の小さい富良野盆地の低地部で実施された熱応答試験結果を地層の熱伝導率とした。熱応答試験結果から砂礫質の盆地埋没層の熱伝導率（飽和）を2.00 W/(m・K)、十勝火砕流堆積物の熱伝導率（飽和）1.70 W/(m・

K)、不飽和の熱伝導率はそれぞれ一般的な間隙率から水の熱伝導率0.60 W/(m・K)を差し引き、盆地埋没層の熱伝導率（不飽和）を1.85 W/(m・K)、十勝火砕流堆積物の熱伝導率（不飽和）を1.50 W/(m・K)とした。

(3) 地下水位分布

掘削時の飽和・不飽和の区分を明らかにするために、50・100m掘削時の地下水位分布を求める必要がある。森野^[4]が富良野盆地を対象に実施した3次元地下水・熱輸送解析結果から50・100m掘削時の地下水位分布図（図2-1-4-2）を作成した。

(4) 地下水流速分布

森野^[4]が実施した3次元地下水・熱輸送解析結果から十勝火砕流堆積物と盆地埋没層の地下水流速分布図を作成した（図2-1-4-3、図2-1-4-4）。

(5) 算出方法

見かけの熱伝導率の算出は、(1)から(3)で求めた要素に(4)で求めた地下水の移流の効果を考える必要がある。富樫ほか^[5]は大久保ほか^[6]が示したペクレ数(Pe)と見かけ熱伝導率($\lambda \alpha$) / 地層の熱伝導率(λ)関係から、ペクレ数Peを変数として見かけの熱伝導率($\lambda \alpha$)を概算する以下の式を提案した。

$$(\lambda \alpha = (e^{0.0733Pe}) \lambda)$$

ペクレ数Pe[-]は、

$$Pe = ul / Ke$$

で評価され、uは地下水流速[m/s]、lは地中熱交換井の外周の半分の長さ[m]、Keは等価熱拡散率[m²/s]である。

Keは、

$$Ke = \lambda / (\rho c)$$

で評価され、 ρ は地層の平均土粒子密度[kg/m³]、cは地層の平均比熱[J/kg/K]である。

したがって、地下水流速分布からPeを求めて地層の熱伝導率(λ)に移流の効果を加えて、見かけ熱伝導率($\lambda \alpha$)を求めた。

3) 平均地温

森野^[4]が実施した3次元地下水・熱輸送解析結果を用いて、深度10mから100mまでの地温を10m

毎に抽出しそれぞれ 50・100m 掘削時の平均地温を求めた。

4) 推定結果

(1) 見かけ熱伝導率分布

50m 掘削時の見かけ熱伝導率分布 (図 2-1-4-5a) は地層の熱伝導率が高い盆地埋没層が 50m 以上堆積している盆地東半部の山部から上富良野町にかけての地域で高く (2.00~2.25 W/(m・K)), 中富良野町西部と上富良野町西部, 山部西部で低い (1.70~1.85 W/(m・K)) 結果になった。

100m 掘削時の見かけ熱伝導率分布 (図 2-1-4-5b) は地層の熱伝導率が高い盆地埋没層が厚く堆積している盆地東半部の富良野市から中富良野町にかけての地域で最も高く (2.00~2.25 W/(m・K)), 中富良野町西部と上富良野町西部, 山部西部で低い (1.70~1.80 W/(m・K)) 結果になった。

(2) 平均地温分布

50m 掘削時の平均地温分布 (図 2-1-4-6a) 富良野市から中富良野町北部までの地域で最も高く (主に 15~17.5℃) 盆地の縁辺部で低い (7.5~10℃) 結果になった。

100m 掘削時の平均地温分布 (図 2-1-4-6b) は富良野市から中富良野町まで地域で最も高く (主に 15~17.5℃) 盆地の縁辺部で低い (7.5~10℃) 結果になった。

5) 50m・100m 掘削時の比較

50m・100 掘削時の見かけ熱伝導率分布は, 50m 掘削時のほうが 100m 掘削時に比べ 2.00~2.25 W/(m・K) の地域が広い。これは熱伝導率の高い盆地埋没層の厚さが大きく関係している。熱伝導率が高い盆地埋没層の層厚が 50m 以上 100m 未満の地域で 100m 掘削時に比べ 50m 掘削時の見かけ熱伝導率が高い値を示す。

50m 掘削時と 100m 掘削時の平均地温分布は同じ傾向を示し, 地温勾配により 100m 掘削時が高い温度を示す。

6) まとめ

富良野盆地を対象に 50m・100m 掘削時の見かけの熱伝導率分布図と平均地温分布図を作成した。その結果, 見かけ熱伝導率は地層の熱伝導率が高い盆地埋没層が厚く堆積している富良野市北部から中富良野町にかけての地域で高く, 平均地温は盆地北半部の低地を北東~南西に流れる河川沿いで最も高い結

果になった。

本研究で推定した見かけ熱伝導率と平均地温の情報に利用する温度情報を加えることで, 100m の熱交換井 1 本当たりで得られる熱量が推定できる。建築物などの必要熱量が決まっていれば熱交換井の必要本数の試算に活用できる。

7) 引用文献

- [1] 田近 淳, 小板橋重一, 大津 直, 廣瀬 亘, 川井 武志. 北海道中央部の活断層と大規模地すべり地形. 地質学雑誌. 113 補遺. 51-63 (2007)
- [2] 北海道. 「平成 14 年度 地震関係基礎調査交付金十勝平野断層帯, 富良野断層帯及び標津断層帯に関する調査成果報告書」. 1-230, 1-121, 1-56 (2003)
- [3] 森野祐助, 小澤聡. Terramod-BS を用いた水理地質境界面の推定. 情報地質. 27. 70-71 (2016)
- [4] 森野祐助. 富良野盆地を対象とした地下水流動・熱輸送モデルの構築. 情報地質. 28. 80-81 (2017)
- [5] 富樫聡, 西山浩平, 山本晃, 檀智之, 高橋努. 広域を対象とする地中熱ポテンシャル評価手法の提案. 日本地下水学会 2013 年春季講演会講演要旨集. 104-109 (2013)
- [6] 大久保博晃, 藤井光, 糸井龍一. 同軸型地中熱交換器の室内モデル実験および数値モデリング. 日本地熱学会誌. 31. 51-62 (2009)

研究担当機関: 地質研究所

執筆者: 森野祐助

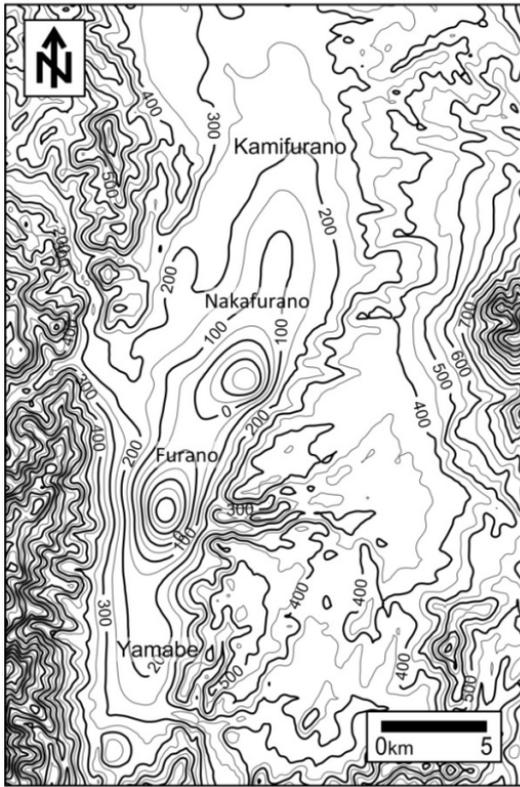


図 2-1-4-1 盆地埋没層基底標高
分布図 (森野・小澤, 2016)

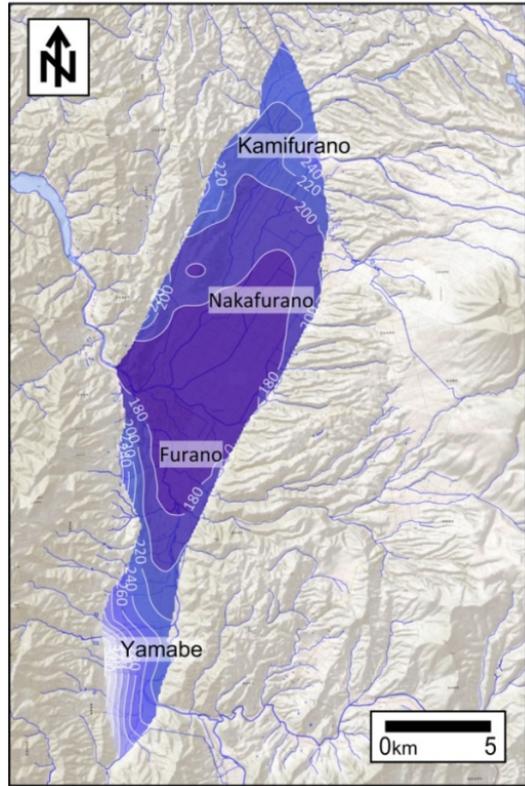


図 2-1-4-2
100m 掘削時の地下水位

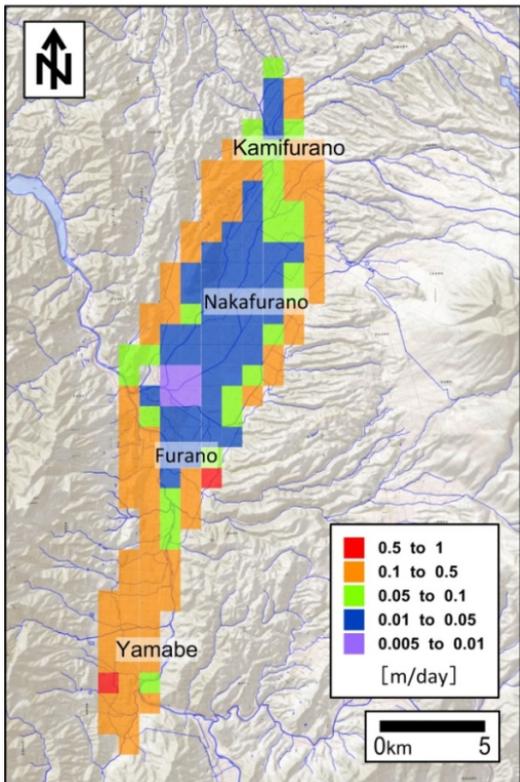


図 2-1-4-3 十勝火砕流堆積物の
地下水流速分布図

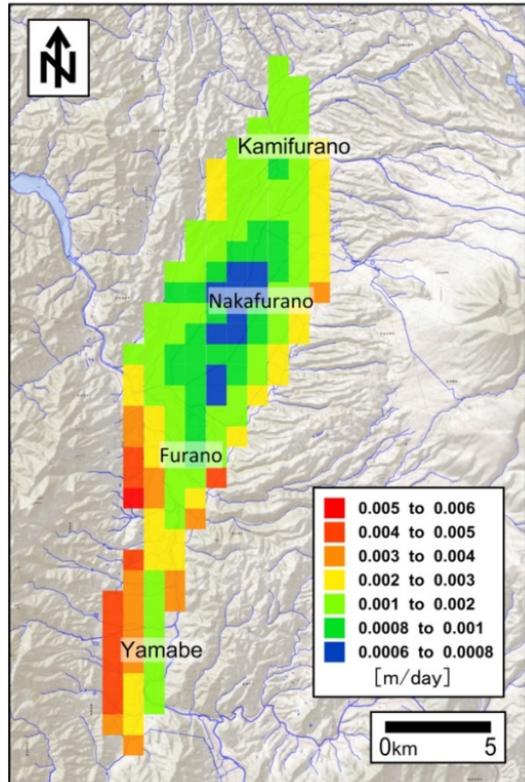


図 2-1-4-4
盆地埋没層の地下水流速分布図

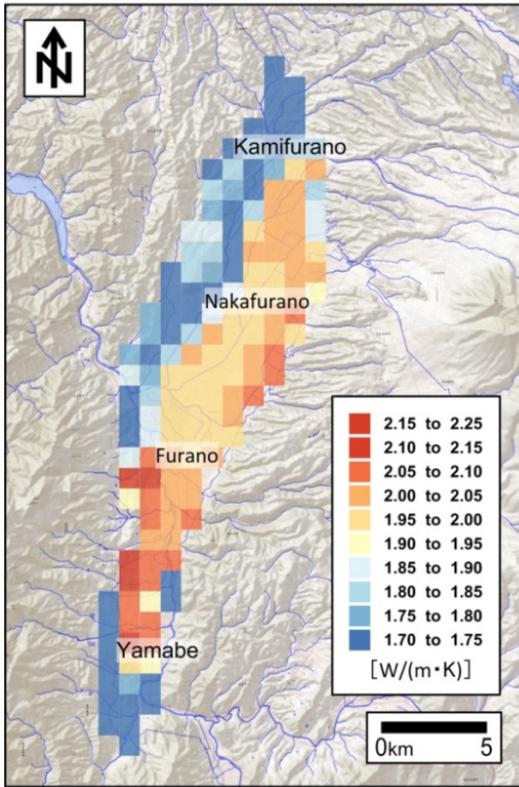


図 2-1-4-5a

50m 掘削時の見かけ熱伝導率分布図

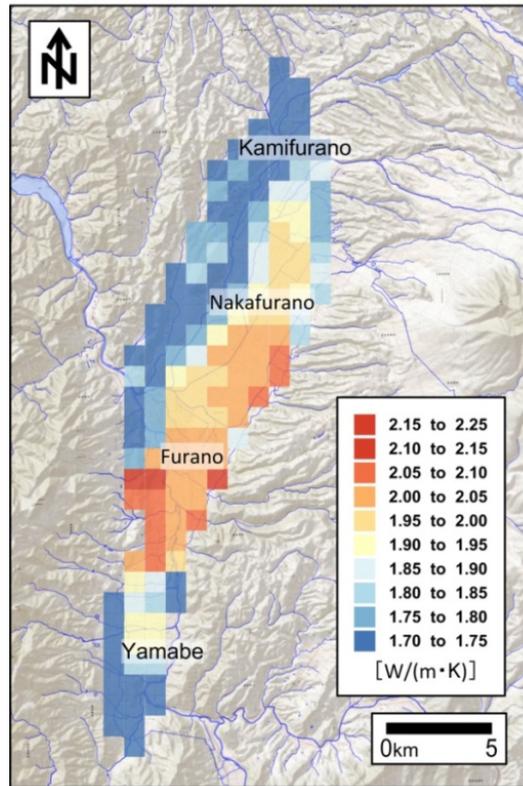


図 2-1-4-5b

100m 掘削時の見かけ熱伝導率分布図

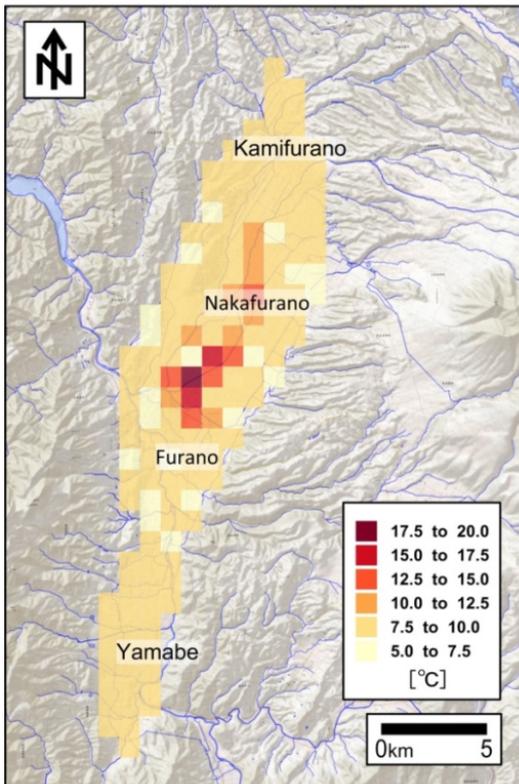


図 2-1-4-6a

50m 掘削時の平均地温分布図

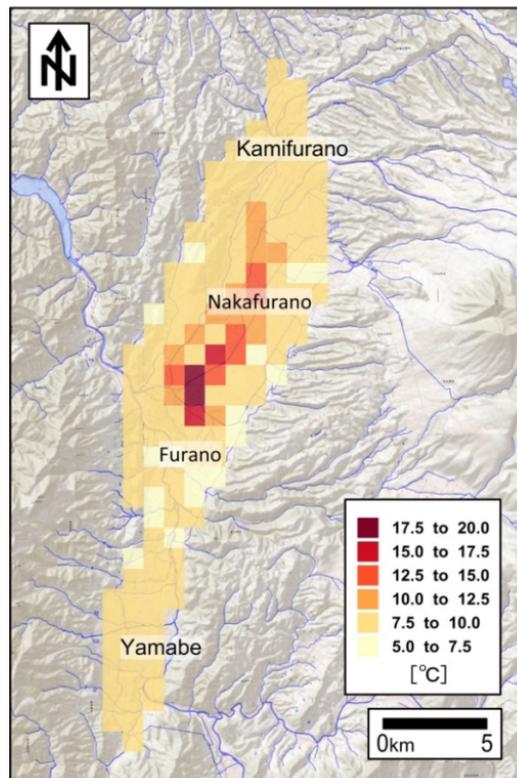


図 2-1-4-6b

100m 掘削時の平均地温分布図

2. 1. 4. 2 温泉熱

1) はじめに

地熱流体（蒸気・熱水）の利用の中で最も高温帯での利用形態は発電である。地下から取り出した蒸気で直接タービンを回転させて発電する従来のフラッシュ発電方式では、最低 150℃以上の蒸気が必要となるため、国内で地熱開発が可能な地域がかなり限定される。一方、バイナリー発電方式（バイナリーサイクル発電ともいう）では、地下から取り出した蒸気・熱水で、水より沸点の低い媒体（例えば、アンモニア・ペンタン・代替フロン）を熱交換器で加熱・蒸発させ、タービンを回転させて発電する。このため、中低温の地熱流体（80～120℃）でも発電が可能となることから、近年、小規模な発電を中心に導入が進んでいる。

発電以外の目的に地熱を利用することを、“地熱の直接利用”といい、その用途は、暖房、給湯、施設園芸、養殖漁業、融雪、工業利用などに分類される（一般的に浴用は直接利用の中に含まない）。北海道は積雪寒冷地という地域特性から古くから温泉熱の利用が盛んで、国内における地熱・温泉熱の利用の先進地といえる。北海道内でのこうした熱利用の進展には、1979年に始まった北海道の地域エネルギー開発利用施設整備事業（北海道市町村振興補助金）[※]が大きな役割を果たしてきた。

しかし、現状では補助事業で整備された施設の老朽化が進み、維持管理のコストや労力が大きな負担になっていることもあり、一部の施設では利用を休止・停止したほか、施設そのものを廃止した場合もある。その一方で、道外の事業者が道内の温泉を活用して農業分野（いわゆる植物工場プラントなど）への進出を検討するなど、旧来の“地熱の直接利用”からビジネスモデルとしての新たな“地熱の直接利用”へ徐々にシフトしてきている。特に過疎化や高齢化が進む自治体では、企業誘致による地域の活性化が期待できるため、地域の地熱資源（温泉の温度や湧出量）の情報を知っておくことは重要である。

※：地域エネルギー開発利用施設整備事業

第2次オイルショックを受け、地域エネルギーの開発と利用を積極的に推進するため、1979年から北海道経済部（当時は商工労働観光部）が始めた市町村振興補助金のメニュー。補助対象の地域エネルギーは、地熱・温泉、天然ガス、太陽熱、風力、小水力、波力、ヒートポンプ、廃熱と多種多様であったが、1980年以降は、地熱・温泉開発のボーリングが要望の主体となった。これを契機に道内の温泉熱の直接利用が著しく進展した。

2) 利用用途と利用温度

図 2-1-4-7 に地熱の温度帯と直接利用の用途の関係を示した^[1]。ただし、ここでの温度域は、あくまで目安として示したものであり、下限温度はその利用用途に合わせて検討が必要である。例えば、温風式やパネルヒーター式で室内暖房をする場合、最低でも 50℃が必要であるのに対し、床暖房ではあまり高温だと不快になるため、30～40℃で設計するのが一般的と言われている^[2]。

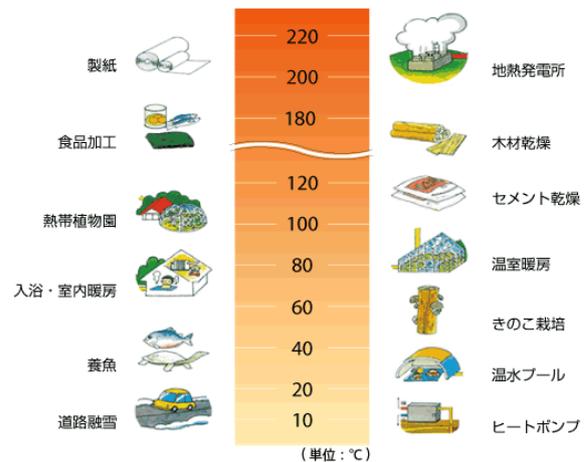


図 2-1-4-7 温度帯による地熱直接利用の用途

温泉が有する熱量は温度と湧出量の積で表されるため、計算上は低温多量の温泉と高温少量の温泉の熱量が同等に評価されることがある。ところが、施設暖房のような高温での利用用途では、低温の温泉が利用できないのに対し、道路融雪のような低温での利用用途では、高温の温泉を利用することができる。高温の温泉は、高温の用途で利用した後に中温の用途で再利用、中温の用途で利用した後に低温の用途で再利用するというように、多段階の温度域で繰り返し利用（カスケード利用^{※※}という）ができるため、計算上熱量が同じでもその用途や価値は大きく異なってくる。このため、利用用途ありきで温泉を開発・利用するのではなく、温泉の温度に見合った利用の用途と規模を設定（＝利用用途と湧出温度のマッチング）することが、温泉熱を有効に利用する際には重要である。

※※：カスケード利用^[3]

資源やエネルギーを利用すると品質が下がるが、その下がった品質レベルに応じて繰り返し利用することで、多段階に利用する方法をなぞらえてカスケード利用と呼ぶ。同じ品質レベルで複数回使用するリサイクルとは異なり、サイクルをなしていないため、厳密的にはリサイクルと区別するが、リサイクルに含められることもある。

3) 温泉放出熱量の計算

湧出した温泉水の温度が外気温まで下がった時に放出した熱量を“温泉放出熱量”とし、以下の計算式で求めた^[4]。なお、計算にあたり、北海道の年平均気温を10℃とした（札幌の年平均気温は8.9℃^[5]）。

$$\text{温泉放出熱量(kcal/時)} = (\text{湧出温度} - \text{年平均気温(℃)}) \times \text{湧出量(L/分)} \times 60(\text{分})$$

当所で構築してきた温泉データベース^{[6][7]}を基とし、2013～2015年に行った現況調査、および道内の保健所が行っている利用実態調査票からデータベースを再構築した。可能な限り直近の湧出温度と湧出量のデータに基づいて放出熱量を算出しているが、湧出温度や湧出量が不明な源泉については、計算対象から除外した。また、後述のしきい値の下端温度（20℃）よりも低い温泉、森町濁川の森地熱発電所から産出される熱水について、計算対象から除外したため、最終的には全2605データ中の1817データを用いて放出熱量を求めた。

※※※※※：温泉放出熱量
一般的に「熱量」や「熱エネルギー」と言う場合の単位にはJ（ジュール）やcal（カロリー）を用いるが、ここでは単位時間に湧出する温泉からの放出熱量であるため、W（ワット＝J/S）やkcal/h（キロカロリー毎時）といった熱流量の単位を用いている。

4) 源泉位置の特定

地理情報システムで放出熱量分布図を作成するには、正確な源泉の位置情報が必要なため、極力、現地でGPS測量を行いデータの取得に努めた。アクセスが厳しい源泉や未確認の源泉については、道の保健福祉部および保健所が管理している温泉台帳の位置図を地理院地図（<http://maps.gsi.go.jp/>）と照合し、経緯度を読み取った。

5) 温度帯別放出熱量図

2) で述べたように、単純に温度と湧出量の積で得られた熱量では、利用価値の判断基準とはならないため、源泉温度の80℃、60℃、40℃、20℃にしきい値を設け、①80℃以上の温度帯、②80～60℃の温度帯、③60～40℃の温度帯、④40～20℃の温度帯の4つに区分した。

3) と4) を基に、コード番号、緯度、経度、温度、湧出量、放出熱量のデータセットを作成し、上記の温度帯（①～④）で条件抽出した源泉のデータからESRI

社の ArcGIS10.3 を用いて主題図を作成した（図2-1-4-8～11）。なお、各主題図のシンボルは、利用状況で区分して塗色し（利用源泉を赤色、未利用源泉を青色）、4段階の等級シンボル※※※※※で表示した。しきい値の設定は自然分類※※※※※ではなく手動分類を用い、それぞれ50万kcal/時、150万kcal/時、450万kcal/時とした。次からは各温度帯別の分布の特徴について説明する。

※※※※※：等級シンボル
フィーチャーの値をしきい値でクラス分けしてグループ化する方法。個々のフィーチャーの値を識別することはできない。
※※※※※：自然分類
フィーチャーの値を自然なグループ化によって分類する方法。値の変化量が比較的大きい箇所に境界が自動的に設定される。

(1) 湧出温度が80℃以上の温泉

80℃以上の高温の温泉が湧出する地域は、現在も活発に活動を続ける第四系火山岩類の分布域（桃色の範囲）とほぼ一致しており、北海道東部の羅臼・弟子屈・阿寒地域、北海道中央部の大雪山・十勝岳・東大雪地域、北海道西部の定山溪・登別・北湯沢・洞爺・熊石・濁川・鹿部・南茅部地域に相当する。

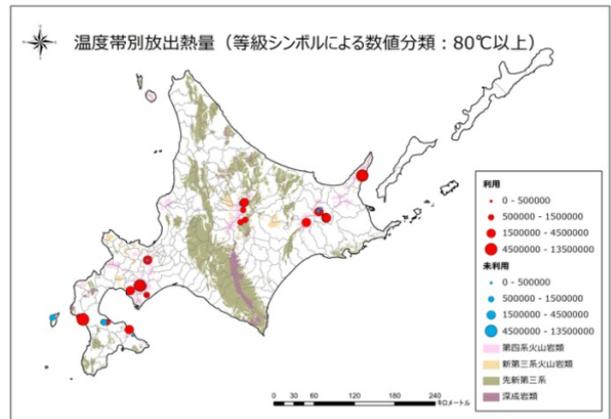


図2-1-4-8 温度帯別温泉放出熱量
（湧出温度が80℃以上の温泉）

(2) 湧出温度が80℃～60℃の温泉

80℃～60℃の温泉が湧出する地域も80℃以上と同様に第四系火山岩類の分布域（桃色の範囲）とほぼ一致する。北海道東部では宇登呂・清里・標津地域、北海道西部では壮瞥・ニセコ・乙部・函館平野地域がさら

に加わる。放出熱量の等級シンボルに最大クラスのものが多いことから、80℃以上の温泉よりも湧出量が多い源泉の割合が高いことがわかる。

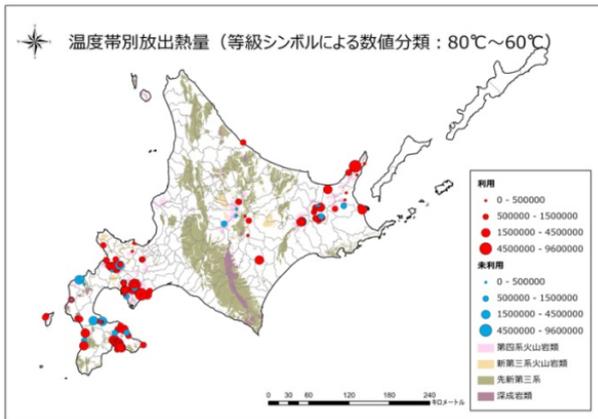


図 2-1-4-9 温度帯別温泉放出熱量
(湧出温度が 80℃～60℃の温泉)

(3) 湧出温度が 60℃～40℃の温泉

60℃以上とは異なり、北海道の中軸部（オリーブ色の範囲）を除き、ほぼ全域に温泉が分布する。凡例にある 4 種類の地質以外の分布域（白色の範囲）に相当し、北海道東部の斜里平野・根釧原野、北海道中央部の十勝平野・石狩低地帯・苫小牧～白老の平野部、北海道西部の黒松内低地帯・大沼周辺に該当する。温泉のほとんどは鮮新世～中新世の堆積岩を主体とする深層熱水型であるため、比較的湧出量が多い。また、青色のシンボルが目立つようになり、この温度帯になると未利用源泉の割合が増えていることがわかる。

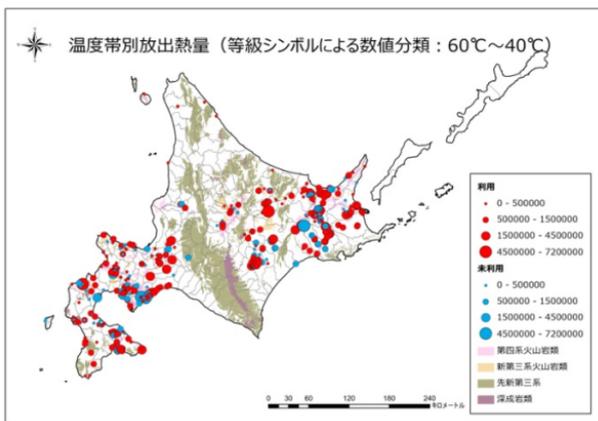


図 2-1-4-10 温度帯別温泉放出熱量
(湧出温度が 60℃～40℃の温泉)

(4) 湧出温度が 40℃～20℃の温泉

温度が低いため、放出熱量の等級シンボルは最小クラスのものが多い。所々に点在する最大クラスものは、自然湧出や掘削自噴によって低温で多量に湧出する温泉である。胆振東部～空知～上川～宗谷に連なる南北に分布が広がるほか、都市部（札幌市周辺・小樽市内・旭川市内・帯広市周辺・釧路市周辺）に多く分布している。浴用利用には加温を要する温度帯である。また、直接利用には相当量の湯量の確保が必要である。

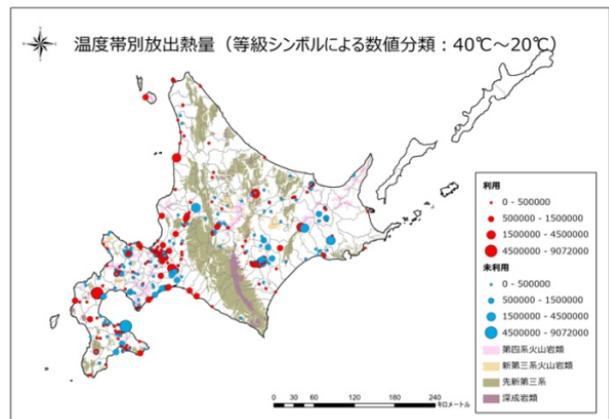


図 2-1-4-11 温度帯別温泉放出熱量
(湧出温度が 40℃～20℃の温泉)

6) おわりに

太陽光、風力、バイオマス、水力などエネルギー変換が必要な再生可能エネルギーと異なり、温泉熱は熱エネルギーとして直接利用できる。また、その利用用途も多種多様で、積雪寒冷地である北海道には最も適した地域エネルギーともいえる。今後も温泉熱の利用を積極的に推進していくべきである。しかし、その一方で、需要と供給のバランスを無視した開発や利用は、再生可能エネルギーと言われる温泉でさえも資源の枯渇や衰退につながりかねない。既に道内の 14 の地域では、温泉保護地域・準保護地域に指定され、掘削や揚湯量の規制がかけられている。

温泉熱の利用事業の検討にあたっては、土地条件や温泉資源の状況といった地域の特性に見合った開発と利用を考え、地域エネルギーとして有効利用と共に、最終的には地域の産業振興、地域の活性化、新たな雇用の創出にもつなげていく視点が重要である。

最後に調査を進めるにあたり、データ提供等の協力をいただいた道保健福祉部食品衛生課ならびに保健所の方々はこの場を借りて厚くお礼申し上げます。

7) 引用文献

- [1] 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構
<http://geothermal.jogmec.go.jp/information/hotsprings/use.html>
- [2] 北海道立地下資源調査所(1999)：北海道の地熱・温泉利用の現状－1998－，63p.
- [3] ウィキペディア
<https://ja.wikipedia.org/wiki/カスケード利用>
- [4] 平成 29 年度 環境・地質研究本部調査研究成果発表会要旨集，21p.
http://www.hro.or.jp/list/environmental/research/gsh/publication/report/report0401/2017gsh_lecture_material.pdf
- [5] 気象庁
http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/nml_sfc_ym.php?prec_no=14&block_no=47412
- [6] 北海道立地質研究所(2008)：温泉資源の多目的利活用に向けた複合解析研究，北海道立地質研究所調査研究報告第 37 号，122p.
- [7] 道受託研究報告書「平成 27 年度地熱・温泉熱開発可能性調査業務報告書」
http://www.pref.hokkaido.lg.jp/kz/kke/tinetu27_houkoku_2.1.pdf

8) データベース作成に用いた資料・文献

- 北海道立地下資源調査所(1976)：北海道の地熱・温泉
(A) 西南北海道中南部，158p.
- 北海道立地下資源調査所(1977)：北海道の地熱・温泉
(B) 西南北海道北部，198p.
- 北海道立地下資源調査所(1979)：北海道の地熱・温泉
(C) 北海道中央部，192p.
- 北海道立地下資源調査所(1980)：北海道の地熱・温泉
(D) 北海道東部，155p.
- 北海道立地下資源調査所(1983)：北海道の地熱温泉資源，54p.
- 北海道立地下資源調査所(1985)：北海道の地熱・温泉
－1985 年・I 版－，98p.
- 北海道立地下資源調査所(1985)：北海道の地熱・温泉
－1985 年・II 版－，80p.
- 北海道立地下資源調査所(1986)：北海道の地熱・温泉
利用の現状－1985－，47p.
- 北海道立地下資源調査所(1991)：北海道地熱・温泉ボ
ーリング井データ集～1990，205p.
- 北海道立地下資源調査所(1991)：北海道地熱・温泉ボ
ーリング井索引図～1990，144p.
- 北海道立地下資源調査所(1995)：北海道市町村の地
熱・温泉ボーリング－地域エネルギー開発利用施

- 設整備事業－(昭和 55 年度～平成 5 年度)，256p.
- 北海道立地下資源調査所(1996)：北海道地熱・温泉ボ
ーリング井データ集 1991～1995，82p.
- 北海道立地下資源調査所(1996)：北海道地熱・温泉ボ
ーリング井索引図 1991～1995，118p.
- 北海道立地下資源調査所(1999)：北海道の地熱・温泉
利用の現状－1998－，63p.
- 北海道立地質研究所(2001)：北海道地熱・温泉ボーリ
ング井データ集 1996～2000，52p.
- 北海道立地質研究所(2001)：北海道地熱・温泉ボーリ
ング井索引図 1996～2000，82p.
- 北海道立地質研究所(2004)：北海道市町村の地熱・温
泉ボーリングデータ集，220p.
- 北海道立地質研究所(2008)：北海道地熱・温泉ボーリ
ング井データ集および索引図(統合版)，CD-ROM 版.
- 北海道立地質研究所(2008)：北海道における地熱・温
泉利用の現状－2007 年版－，CD-ROM 版.
- 北海道立地質研究所(2008)：温泉資源の多目的利活用
に向けた複合解析研究，北海道立地質研究所調査研
究報告第 37 号，122p.
- 北海道立総合研究機構 地質研究所 (2016)：平成 27 年
度地熱・温泉熱開発可能性調査業務報告書，17p.

研究担当機関：地質研究所

執筆者：鈴木隆広

2.2 エネルギー需要量の推定手法の開発

1) はじめに

再生可能なエネルギーを地域で利用する場合、エネルギー消費量（需要量）の動向は最も基本的な情報である。道内は、本研究のモデル地域（富良野圏域、足寄町）も含めて農林業が盛んであり、木質バイオマス、畜産系バイオマス、麦かん、稲わらなどの圃場系バイオマスを地場で消費し、エネルギーを賄うことが想定され、その供給先としては農産施設や農業機械、製材工場などの林産施設、住宅・公共施設などが考えられる。

そこで本研究では、以上の各種建物や機械でのエネルギー消費量を推定するための検討を行った。手順としては、まず農業機械、農産・林産施設におけるエネルギー消費量や住宅・公共施設の運用エネルギーについて、聞き込み、アンケート、既存資料等で場所・時期・消費量などの情報を整理した。次に、得られた情報からエネルギー消費量原単位を作成し、各種建物・機械におけるエネルギー消費量の簡易推定手法を開発した。

2) 本節の構成

本節は、道内およびモデル地域の各種建物・機械を対象にエネルギー需要量の推定手法の開発に取り組んだ内容について報告するものであり、3項により構成されている。

2.2.1 農産施設および酪農施設

本研究のモデル地域である富良野圏域は、25,200haの農耕地を有し、多様な農畜産物を生産している。穀類の乾燥調製施設や畑作、園芸作物の選果加工施設など、多くのエネルギーを必要とする農産施設が立地しており、これら農業関連施設におけるエネルギー消費量について検討した。

もう一つのモデル地域である足寄町は、酪農・畜産が盛んなことから、酪農施設のエネルギー消費量の検討を行った。農業機械のエネルギー消費量については、両モデル地域で検討し、富良野圏域では水田、畑作など、足寄町では草地、小麦、豆類、てん菜などで使用する機械について検討した。

2.2.2 林産施設

林産施設に関しては、エネルギー消費量の大きい製材工場ときのこ生産施設を検討対象とした。いずれの施設もモデル地域には少ないため、より広域に全道の関連施設に対して聞き取りやアンケート調査を実施し、熱エネルギー消費量等の実態を把握した。

そのデータを基に建築材生産、産業用資材生産、品目別のきのこ生産に関する熱エネルギー消費量の原単位を作成し、熱エネルギー消費量の推定方法を検討した。

2.2.3 住宅・公共施設

住宅のエネルギー消費量については、北海道消費者協会が行った北海道家庭用エネルギー実態調査結果を分析し、戸建て集合住宅別の熱と電力のエネルギー消費量の原単位、月別のエネルギー消費量を検討した。

公共施設のエネルギー消費量については、富良野圏域を対象に調査した。このうち富良野市、上富良野町および中富良野町の3市町が所有する98の公共施設については、電力、重油、灯油、プロパンガスの月別消費量を調査した。それ以外の圏域内の65施設についても、NEDOのエネルギービジョンに記載の値を参考にエネルギー消費量を整理した。公共施設を用途別に分け、熱と電力のエネルギー消費量の原単位、月別のエネルギー消費量を検討し、熱需要と電力需要の関係からコジェネレーションによる省エネルギー化を提案した。

執筆者：安久津久（林産試験場）

2. 2. 1 農産施設および酪農施設

1) 目的

北海道は、再生可能エネルギー・廃棄物等の利用可能性が高く、エネルギー自給率を高めた分散型エネルギーシステムの構築が期待されている。既に道内の多くの農業地域では、バイオマスタウン構想や新エネルギービジョン等を策定しているが、具体的なバイオマス活用システムの構築が不確定な市町村が多い。

モデル地域である足寄町は13,400haの農耕地に、乳牛や肉牛といった酪農・畜産を中心に、小麦、豆類、てん菜といった畑作物、施設園芸のいちごなどが生産されており、乾燥調整施設や選果施設に加えて、山菜加工施設やシイタケ生産施設が立地している。

もう一方のモデル地域である富良野圏域は、25,200haの農耕地に、玉ねぎ、にんじん、馬鈴しょ、水稻、麦、てん菜、畜産、メロン、スイカ、トマトなど多様な農畜産物を生産しており、穀類の乾燥調整施設や畑作物園芸作物の選果加工施設など、多くのエネルギーを必要とする施設が立地している。

そこで、本項ではこれらモデル地域を主な対象として、農村地域における主なエネルギーの需要先である農業関連施設と農業機械におけるエネルギー消費量について、地域データの活用や、北海道農業生産技術体系を基にした集計によって推計・把握した結果を示す。

2) 方法

(1) 地域データを活用した推計・把握

① 機械・施設のエネルギー消費量の推計・把握

農業機械・施設（個別利用）のエネルギー消費量の推計・把握方法については、2-2-1-I式より算出した。

$$\begin{aligned} & \text{農業機械・施設（個別利用）のエネルギー消費量} \\ & = \text{作付面積} \times \text{エネルギー消費量原単位} \times \text{換算係数} \\ & \quad \text{(式2-2-1-I)} \end{aligned}$$

作付面積については、農業協同組合が所有する農業用GISの作付マップを抽出・集計した。

エネルギー消費量原単位については、北海道及び各地域における農業振興計画、営農類型、経営指標などを作成するに際し、その基礎となる標準的な生産技術体系として活用することを目的に作成されている「農業生産技術体系」^[1]の燃料消費量を換算集計し、原単位として使用した。換算係数は省エネ法（正式名：エネルギーの使用の合理化に関する法律）のエネルギー使用量の原油換算方法の値を用いた（表2-2-1-1）。

表2-2-1-1 エネルギー消費量の原油換算係数

エネルギーの種類		換算係数	
		数値	単位
燃料 および熱	灯油	36.7	GJ/kℓ
	軽油	37.7	GJ/kℓ
	A重油	39.1	GJ/kℓ
電気	電気事業者（買電）	9.76	GJ/千kWh

出典) 省エネ法の概要（経済産業省資源エネルギー庁）

② 農産施設のエネルギー消費量の推計・把握

農産施設（共同利用）のエネルギー消費量の推計・把握方法については、2-2-1-II式より算出した。

$$\begin{aligned} & \text{農産施設（共同利用）のエネルギー消費量} \\ & = \text{各施設のエネルギー消費量} \times \text{換算係数} \\ & \quad \text{(式2-2-1-II)} \end{aligned}$$

対象とする農産施設は、地域の農業協同組合が所有する施設とし、使用電力量や燃油使用量を調査した。

足寄町においては、3施設群、6施設を調査対象とし、使用電力量は農協への聞き取り調査により実施した。燃油使用量は経理簿よりデータを抽出して集計した。調査は2014年度に実施し、対象期間は2011～2013年度とした。

富良野圏域においては、17施設群を調査対象とした。使用電力量は契約件数（2社、約150契約）が多いことから、電力会社への開示請求により実施した。開示請求に際して、電力会社に所定の様式がなかったことから、開示請求書兼委任状を作成して実施した。燃油使用量は各事業所の購入履歴よりデータを抽出して集計した。調査は2015年度に実施し、対象期間は2012～2014年度とした。

③ 酪農施設のエネルギー消費量の推計・把握

酪農施設（個別利用）のエネルギー消費量の推計・把握方法については、2-2-1-III式より算出した。

$$\begin{aligned} & \text{酪農施設（個別利用）のエネルギー消費量} \\ & = \text{経産牛飼養頭数} \times \text{エネルギー消費量原単位} \\ & \quad \times \text{換算係数} \\ & \quad \text{(式2-2-1-III)} \end{aligned}$$

対象とする酪農施設は地域の個別酪農専業経営とし、モデル地域である足寄町では、地域の酪農専業経営について農協が保有する電力および燃油の購入履歴などの地域データに、経済産業省および電気事業者の開示資料などを用いてエネルギー消費量原単位を推計した。推計方法は、それぞれのエネルギーの購入額と各年

度の電灯電力総合単価，および経済産業省の燃油価格統計（表 2-2-1-2）からエネルギー使用量を推計し，表 2-2-1-1 の換算係数を用いてエネルギー消費量を産出する方法とした。解析対象期間は 2011～2016 年度を基本とし，他年度のデータを適宜追加して整理した。

表 2-2-1-2 エネルギー種別の購入単価

年度	2011	2012	2013	2014	2015	2016
電灯電力総合単価 (円/kWh)	17.1	17.3	18.7	21.0	22.3	21.6
軽油(免税・円/L)	99.2	100.1	108.5	107.1	79.4	73.3
灯油(配達・円/L)	92.9	94.4	101.6	100.1	73.8	67.6

出典) 電灯電力総合単価: 北海道電力株式会社 IR 情報 CSR・ESG & Annual Report 石油価格: 経済産業省資源エネルギー庁「石油製品価格調査」

(2) FIT の状況

再生可能エネルギーの固定価格買取制度 (FIT : Feed-in Tariff) は 2012 年 7 月に施行された，再生産可能な資源から発電された電力を一定価格で電気事業者が買い取る制度である^[2]。農村地域のバイオマス資源をエネルギー利用する際の重要な変換手段のひとつであるメタン発酵施設の多くは発電した電力のうち，施設内での消費量を差し引いた余剰電力を FIT で売電している。このため FIT は再生可能エネルギーにおける広義の需要先と位置づけられ，メタン発酵施設の導入において重要な制度となっている。そこで，農村地域における FIT の利用状況について，経済産業省などの報告書，および施設建設事業者への聞き取り調査を基に整理した。

3) 結果と考察

(1) 地域データを活用した推計・把握

① 機械・施設のエネルギー消費量

農業用 GIS データから抽出・集計した作付面積と「農業生産技術体系」より整理した農業機械のエネルギー消費量の面積あたりの原単位を使用して，足寄町および富良野圏域における農業機械のエネルギー消費量を推計した。

足寄町では，草地を中心に畑作とたまねぎ，にんじん，ごぼう，長いもなどの野菜作が導入されている。農業生産における農業機械のエネルギー消費量は，畑作が 11,980GJ/年，野菜作が 19,942GJ/年，草地・飼料作が 62,077GJ/年であり，合計は 94,000GJ/年であった（表 2-2-1-3，図 2-2-1-1）。

富良野圏域では，畑作，野菜作を中心に水田作と草地・飼料作が導入されている。野菜作では，ハウスを利用した促成栽培が行われており，一部で加温してい

ることから，農業生産における農業機械のエネルギー消費量は，水田作が 34,694GJ/年，畑作が 50,910GJ/年，野菜作が 1,240,744GJ/年，草地・飼料作が 31,893GJ/年であり，合計は 1,382,490GJ/年であった（表 2-2-1-4，図 2-2-1-2）。富良野圏域において，市町村別にみると，富良野市が 55%，中富良野町が 25% を占めていた（図 2-2-1-3）。

表 2-2-1-3 農業機械・施設の消費量（足寄町）

作物名	作付面積 (ha)	原単位 (GJ/ha)	消費量 (GJ/年)
秋播き小麦 (普通畑)	914.13	5.51	5,034
てん菜 (移植)	225.96	7.29	1,646
てん菜 (直播)	246.06	6.58	1,619
馬鈴しょ (生食・加工)	76.54	9.08	695
馬鈴しょ (でん原)	5.17	6.54	34
大豆 (普通畑)	83.91	5.03	422
小豆	247.46	5.64	1,396
金時・手亡	197.67	5.73	1,134
たまねぎ	20.84	232.79	4,851
にんじん	22.25	195.85	4,358
ごぼう	4.95	290.48	1,438
長いも	6.85	773.19	5,296
ブロッコリ	0.56	88.28	49
スイートコーン (露地)	35.95	109.86	3,950
飼料用とうもろこし	31.98	7.95	254
牧草 (採草地)	8,446.40	7.32	61,823
その他	3.45	—	—
合計	10,570.13		94,000

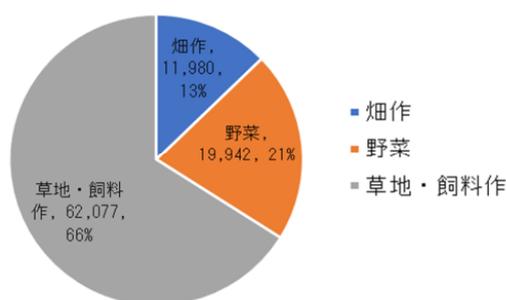


図 2-2-1-1 農業機械エネルギー消費量 (足寄町)

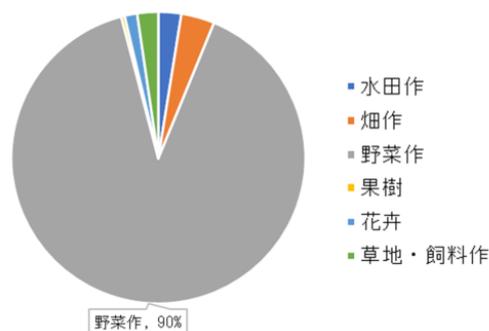


図 2-1-1-2 農業機械エネルギー消費量 (富良野圏域)

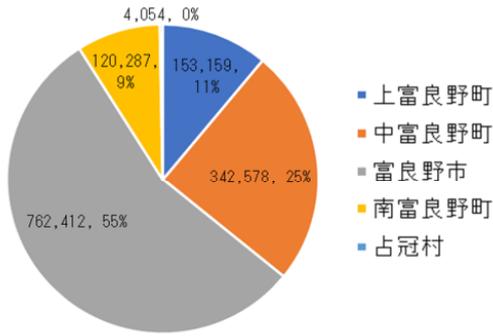


図 2-1-1-3 農業機械エネルギー消費量(富良野圏域)

表 2-2-1-4 農業機械・施設の消費量(富良野圏域)

作物名	作付面積 (ha)	原単位 (GJ/ha)	消費量 (GJ/年)
水稻	2,764	12.55	34,694
秋播き小麦(転作畑)	3,838	6.07	23,290
春播き小麦	845	5.22	4,410
大麦	407	5.24	2,132
てん菜(移植)	59	7.29	431
てん菜(直播)	149	6.58	980
馬鈴しょ(生食・加工)	742	9.08	6,737
馬鈴しょ(種子)	179	9.12	1,630
大豆(転作畑)	849	6.42	5,452
小豆	307	5.64	1,732
金時・手亡	70	5.73	399
えん豆	230	5.58	1,282
そば	241	4.21	1,015
緑肥	660	2.16	1,423
飼料作物	24	7.32	176
飼料用とうもろこし	883	7.95	7,026
牧草(採草地)	3,371	7.32	24,676
牧草(放牧地)	5	3.11	15
にんじん	667	195.85	130,658
たまねぎ	2,352	232.79	547,492
キャベツ	21	110.15	2,271
レタス	5	97.57	499
白菜	2	127.31	208
大根	59	217.72	12,804
ほうれん草	17	182.09	3,136
スイートコーン(露地)	808	109.86	88,775
スイートコーン(ハウス)	1	411.61	598
長ねぎ	14	366.72	5,113
ブロッコリ	50	88.28	4,419
ピーマン(ハウス)	4	2361.73	9,978
トマト(ハウス)	20	1003.77	20,566
ミニトマト(ハウス)	29	842.60	24,305
カボチャ	566	183.84	104,096
グリーンアスパラ(露地)	115	480.53	55,242
グリーンアスパラ(ハウス)	12	712.60	8,314
イチゴ(ハウス)	6	640.63	3,632
メロン(ハウス)	253	565.07	143,152
スイカ(ハウス)	147	507.67	74,645
ゆり根(販売)	7	103.86	741
ゆり根(養成)	1	91.62	101
ハスカップ	13	113.43	1,512
醸造用ブドウ	36	102.13	3,637
花卉	37	520.71	19,100
その他	172	-	-
休耕地・調整田	436	-	-
合計	21,471	-	1,382,490

② 農産施設のエネルギー消費量

足寄町における代表的な農産施設(3施設群,5施設)とそのエネルギー消費量を表2-2-1-5に示す。

年間消費量で見ると、麦豆乾燥調製施設およびシイタケ菌床製造・生産施設のエネルギー消費量が大きく、それぞれ12,083GJ/年、11,820GJ/年であり、合計は26,291GJ/年であった。

月別消費量の年間推移をみると、麦豆乾燥調製施設では、小麦および豆類の収穫乾燥期間である8~9月のエネルギー消費量が7,396GJと最も多く、12月までの豆類調製期間を含めた電力需要量は年間消費量の約60%を占めている(図2-2-1-4)。シイタケ菌床製造・生産施設では、通年電力需要が大きく、冬季の暖房用燃油需要が大きかった。

表 2-2-1-5 農産施設の消費量(足寄町)

施設名	電力量 (GJ/年)	熱量 (GJ/年)	合計 (GJ/年)
麦豆乾燥調製施設	7,299	4,784	12,083
ニンジン等選果施設	1,082	2	1,084
山菜加工処理施設	764	253	1,017
シイタケ関連施設	4,363	7,457	11,820
温泉熱利用ハウス	68	220	288
合計	13,574	12,717	26,291

注) 電力量は1次エネルギー換算値

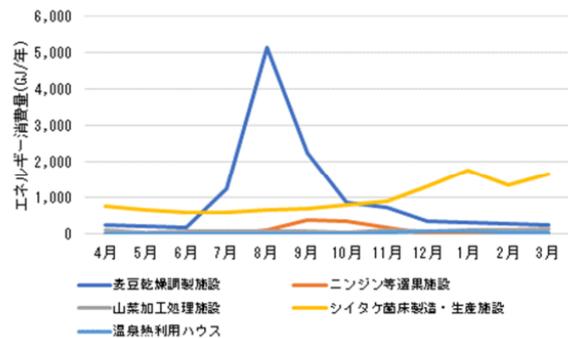


図 2-2-1-4 農産施設の消費量(足寄町, 月別)

注) 電力量は1次エネルギー換算値

富良野圏域における代表的な農産施設(17施設群)とそのエネルギー消費量を表2-2-1-6に示す。

年間消費量で見ると、特に米麦乾燥調製施設(上富良野, 中富良野, 富良野, 山部, 南富良野の合計), 富良野農産加工施設, 南富良野馬鈴薯加工施設の年間エネルギー需要量が大きく、それぞれ49,963GJ/年, 64,734GJ/年, 67,821GJ/年(燃油のみ)であり、合計は228,996GJ/年であった。

表 2-2-1-6 農産施設の消費量（富良野圏域）

施設名	電力量 (GJ/年)	熱量 (GJ/年)	合計 (GJ/年)
上富良野・米麦乾燥調製施設	10,231	5,609	15,841
上富良野・種子馬鈴薯倉庫	477	—	477
上富良野・大根選果場	553	—	553
中富良野・玉葱選果施設	10,062	1,245	11,308
中富良野・水稲種子乾燥施設	19	191	210
中富良野・米麦乾燥調製施設	19,491	3,173	22,664
富良野・米麦乾燥調製施設	3,413	1,387	4,800
富良野・農産加工施設	37,807	26,927	64,734
下五区・玉葱選果場	3,199	784	3,983
麓郷・玉葱選果場	5,373	887	6,260
麓郷・有機物供給センター	5,473	25	5,499
山部・青果物集出荷施設	887	55	942
山部・米麦乾燥調製施設	1,956	148	2,104
東山・農産施設	8,658	4,044	12,702
南富良野・人参選果施設	3,799	745	4,544
南富良野・米麦乾燥調製施設	952	3,602	4,554
南富良野・馬鈴薯加工施設	×	67,821	67,821
合計	112,351	116,645	228,996

注) 電力量は1次エネルギー換算値

17施設群を、米麦乾燥調製施設、農産加工施設、馬鈴薯加工施設、選果・調製・貯蔵施設、有機物供給施設に集約した月別消費量の年間推移を図2-2-1-5に示す。米麦乾燥調製施設では収穫乾燥期間である7～9月のエネルギー消費量が24,485GJと多く、年間消費量の約25%を占めている。農産加工施設ではたまねぎ、にんじん収穫後の10～12月のエネルギー消費量が25,782GJと多く、年間消費量の約40%を占めている。馬鈴薯加工施設の月別燃油消費量は11～12月および3～4月頃にやや高くなるが、その他の月でも4,000GJ以上で推移しており、年間を通じて燃油消費量が高かった。

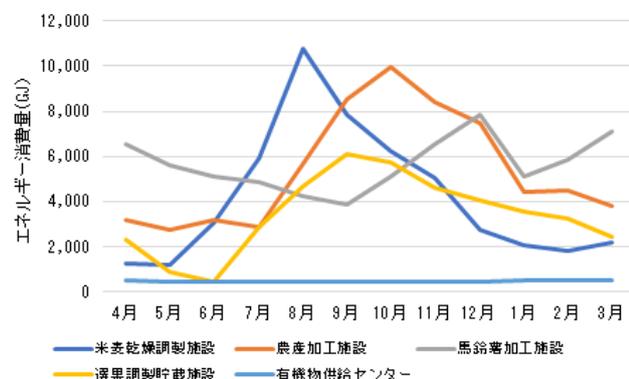


図 2-2-1-5 農産施設の消費量（富良野圏域，月別）

注) 電力量は1次エネルギー換算値

③ 酪農施設のエネルギー消費量

北海道における酪農経営の搾乳牛飼養形態は、つな

ぎ牛舎（TS：タイストール）による飼養とフリーストール牛舎（FS）による飼養に大別され、前者は小～中規模経営、後者は主に中～大規模経営で採用されている。2017年度の足寄町酪農経営85経営のうちTS飼養は68経営、FS飼養は17経営であった。また近年、地域の粗飼料生産や飼料調製作業を賄うTMRセンターが各地で設立されており、足寄町でも2013年12月より螺旋TMRセンターが稼働している。

図2-2-1-6は足寄町の酪農専業経営で1年間に消費された電力、軽油、灯油を熱量換算したエネルギー消費量の合計を、各経営の経産牛飼養頭数を横軸に示した図である。この図では、粗飼料生産に係るエネルギー消費に影響を及ぼすTMRセンターを利用している経営、および消費電力が多くなる搾乳ロボット利用経営を除外して作図した。本図より、足寄町の酪農経営では年間のエネルギー消費量が概ね経産牛飼養頭数から推計可能と考えられ、足寄町が把握する町内の経産牛飼養頭数5,655頭から計算すると、1年間に足寄町内の酪農経営が消費するエネルギー量は121,582GJとなった。また、表2-2-1-3の飼料作物に該当する「飼料用とうもろこし」と「牧草（採草地）」の消費エネルギー量を酪農経営の年間消費エネルギー量から差し引くことで推計される酪農施設関連のエネルギー消費量は59,505GJとなった。

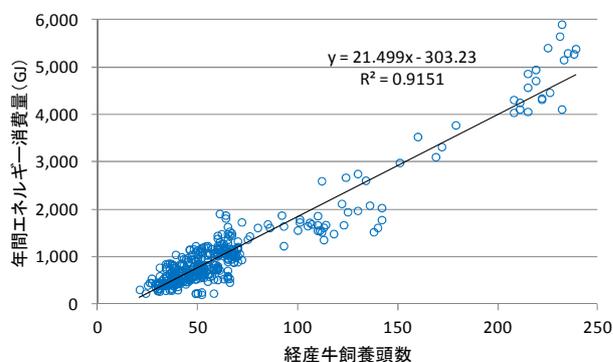


図 2-2-1-6 酪農経営の年間エネルギー消費量

注) 電力量は1次エネルギー換算値を使用

図2-2-1-7に足寄町の酪農専業経営におけるエネルギー消費の月別変動状況を示す。主に搾乳関連設備や牛舎設備で消費される電力は月別の変動が比較的少ない。一方で、圃場作業での消費が多いと考えられる軽油は4月から11月に、牛舎で使用する温水製造や暖房で使用される灯油は11月から4月にかけて消費が多くなった。しかし、これら3種のエネルギーの熱量換算値を合計すると、年平均消費量に対する月別の変動率は最大で22%であった。

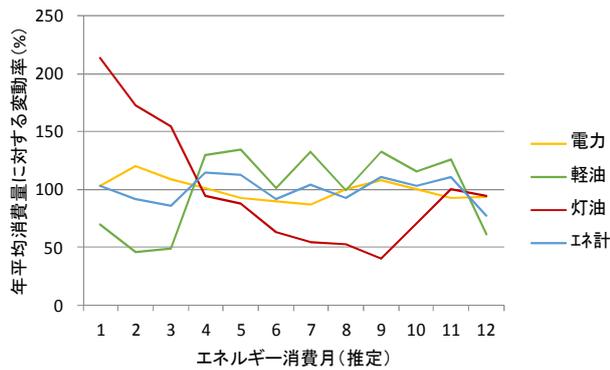


図 2-2-1-7 酪農経営の月別エネルギー消費

注) 電力量は1次エネルギー換算値を使用

近年、畜産由来バイオマスのエネルギー変換施設として普及が進むメタン発酵施設は、投入原料の性状やバイオマス発生量などの面から中～大規模酪農経営、中でもFS飼養体系に親和性が高いと考えられる。このため、足寄町の酪農経営からFS飼養の酪農経営のみを抽出し、エネルギー消費を推計した(図2-2-1-7, 8, 9)。後項で検討する再生可能エネルギーの地域利用モデルではこちらの推定式を使用する。

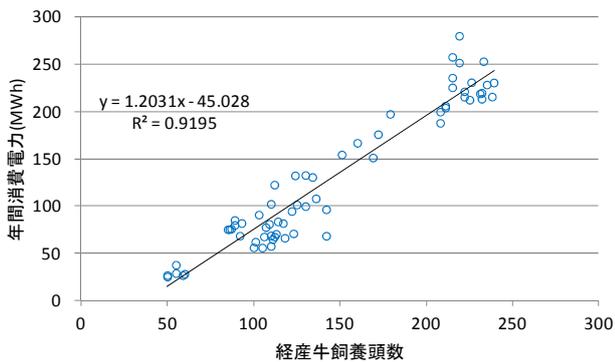


図 2-2-1-8 FS飼養酪農経営の年間電力消費量

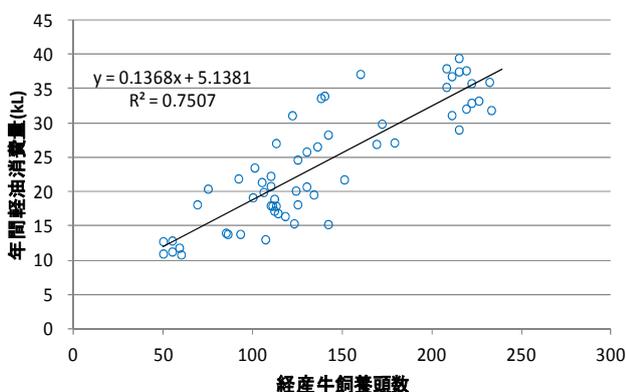


図 2-2-1-9 FS飼養酪農経営の年間軽油消費量

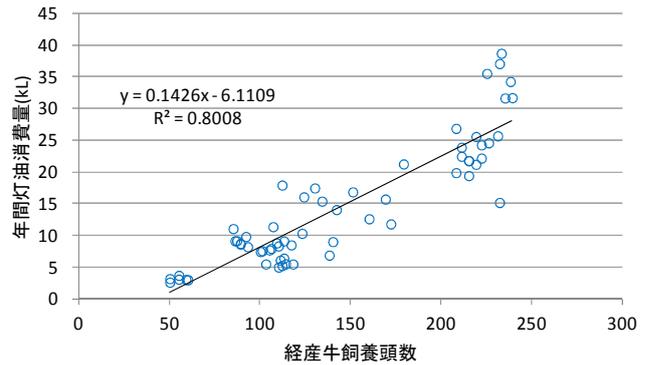


図 2-2-1-10 FS飼養酪農経営の年間灯油消費量

④ 農業系エネルギー消費量のまとめ

各地域における農業系エネルギー消費量を集計した。農業機械・施設(個別利用)は①、農産施設(共同利用)は②を用いた。酪農施設に関しては③で推計した値を用いた。

足寄町におけるエネルギー消費量は、個別の農業機械・施設が94TJ/年、共同の農産施設が26TJ/年、個別の酪農施設が60TJ/年と推計され、農業系エネルギーの消費量の合計は180TJ/年と推計された。

富良野圏域におけるエネルギー消費量は、個別の農業機械・施設が1,382TJ/年、共同の農産施設が229TJ/年、個別の酪農施設が67TJ/年と推計され、農業系エネルギーの消費量の合計は1,679TJ/年と推計された。

いずれの地域も共同利用の農産施設のエネルギー消費量は全体の14～15%と少なかった。足寄町では酪農施設が全体の33%を占めたのに対し、富良野圏域の酪農施設はわずか4%にとどまるなど、酪農が主である足寄町と施設野菜作を組み込んだ水田作・畑作が主である富良野圏域の地域特性を反映していた。

表 2-2-1-7 農業系エネルギー消費量のまとめ

地域名	足寄町 (GJ/年)	富良野圏域 (GJ/年)
機械・施設(個別)	94,000(52.2%)	1,382,490(82.4%)
農産施設(共同)	26,291(14.6%)	228,996(13.6%)
酪農施設(個別)	59,505(33.1%)	67,145(4.0%)
農業系合計	179,796	1,678,631

(2) FITの状況

FITは初期費用が高む再生可能エネルギー発電設備の導入促進を目的として、再生可能エネルギーで発電した電気を電力会社が一定価格で一定期間買い取ることを国が義務付けた制度で、電力会社は買い取り費用を電気の利用者から賦課金として徴収している。FITが対象とする再生可能エネルギーは太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスの5種で、国が定める要件を満

たす事業計画を策定し、その計画に基づいた発電が電力買い取りの条件となる^[3]。

FIT は再生可能エネルギー発電設備の導入促進が目的であるため、普及が進み、発電コストが低下したと判断される再生可能エネルギーに対しては、買取価格が減額改訂されてきた(表 2-2-1-8)。ただし、メタン発酵ガスの区分では FIT の施行以来、買取価格の改訂は行われていない。

表 2-2-1-8 FIT の電力買取価格(抜粋, 円/kWh 税別)

年度	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
太陽光 10kW 以上	40	36	32	29	24	21	18
風力 20kW 未満	55	55	55	55	55	55	20
水力 200kW 未満	34	34	34	34	34	34	34
地熱 15MW 未満	40	40	40	40	40	40	40
メタン発酵ガス (バイオ由来)	39	39	39	39	39	39	39
木質(間伐材等) 2000kW 未満	32	32	32	40	40	40	40

出典) 経済産業省資源エネルギー庁「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」

買取期間は「地熱」の15年以外は20年

北海道の農村地域は農業以外の産業、特に二次、三次産業の集積が少ない地域が多く、エネルギーの総需要量は多くない。このような地域では再生可能エネルギーの行き先のひとつとして売電が考えられる。売電の仕組みにもいくつかの選択肢があるが、最も多く利用されているのが FIT を活用した電気事業者への売電である。FIT の施行以降、これまで主として建設費用の問題から普及が進まなかった、農業系バイオマスを原料とするメタン発酵施設の導入が加速している。

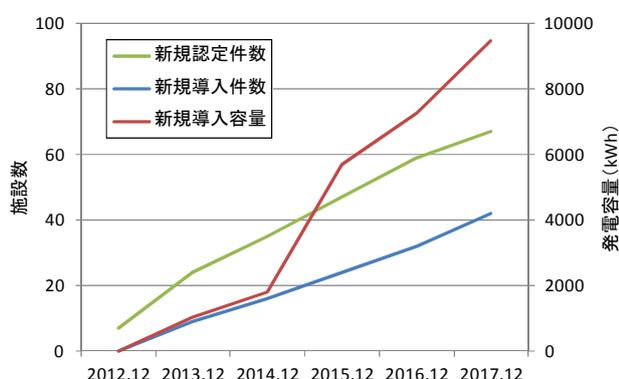


図 2-2-1-11 FIT によるバイオマス(メタン発酵ガス)発電施設の認定・導入状況(北海道内)

※ 移行認定分は除く

FIT による売電は農村地域の再生可能エネルギーで発電された電力の重要な需要先かつ収益源であり、現状では FIT の設備認定取得の可否が、メタン発酵施設導入の成否を事実上左右している状況にある。

4) まとめ

北海道の農業は季節の推移に伴って繁忙閑散の差が大きく、エネルギー需要も連動して増減することが予想される。今回の調査でも農産施設において、いわゆる農繁期にエネルギー消費が増加し、農閑期となる冬季には消費が減少する傾向が把握されており、地域への再生可能エネルギーの供給にはこのような需要量の変動を踏まえた計画設計が求められる。

しかし、農村地域におけるエネルギーの大口需要家である農産物収穫後の乾燥調製や選果・調製・加工などの農産関連施設管理者の立場から見ると、農産物の安定供給や品質の維持が大前提であるため、安定供給への信頼が確立されていない再生可能エネルギーの導入は困難との意見が聞かれる。

このため、現状では再生可能エネルギーの供給先は FIT を除けば、自家消費あるいは、近隣地域内の意思疎通が可能な施設に限られることになる。従って再生可能エネルギー施設の立地を検討する地域に、エネルギーの需要家がどの時期にどれだけ存在するのか把握することは非常に重要であり、地域電力会社などのローカルなエネルギー供給ネットワークの構築が期待されているのも、こうした背景に起因していると考えられる。

5) 引用文献等

- [1] 北海道農政部. “北海道農業生産技術体系第4版”. 公益社団法人北海道農業改良普及協会. (2013)
- [2] 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構. “バイオマスエネルギー導入ガイドブック(第4版)”. (2015)
- [3] 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構. “バイオマスエネルギー地域自立システムの導入要件・技術指針”. (2017)

研究担当機関: 十勝農業試験場

執筆者: 関口建二

2. 2. 2 林産施設

2. 2. 2. 1 製材工場

1) 目的

本研究では、農林水産業関連施設のうち、林産業の関連施設等を対象として、運用エネルギーの実態を把握するとともに、それらの推定手法を検討した。

2) 方法

木材産業におけるエネルギー需要等の実態を把握するため、道内の製材工場に対して、アンケート調査と聞き取り調査を実施した。アンケート調査では、2014年における原木消費量のほか、工場で使用している電力使用量、木材の乾燥用・暖房用の灯油・A重油・木質燃料（製材端材）の使用量、また、運搬車両用の軽油の使用量等のエネルギー消費量、および、主製品・副製品の生産量を月別に把握した。

聞き取り調査では、主に木材の乾燥工程における製材1m³あたりのエネルギー消費量を把握した。アンケート調査と聞き取り調査で得られた結果を基に、製材工場を対象としたエネルギーに係る原単位を作成したうえで、運用エネルギーの簡易推定手法を検討した。また、推定式を用いて製品別振興局別のエネルギー消費量を試算した。

3) 結果と考察

(1) 熱エネルギー消費量の把握

道内の製材工場（288 工場）に対して実施したアンケート調査は、47の製材工場から調査表を回収した。このうちデータの欠損・不備等を有する調査表を控除し、23工場における各使用量のデータをエネルギー消費量に換算し、取りまとめた。

調査結果を基に主製品である製材1m³あたりの月別の熱エネルギー^{注1)}消費量を示す(図2-2-2-1-1)。

いずれの月も乾燥用に使用している灯油の熱エネルギー量が最も多く、254~170MJ/製材m³で、全体の58~76%であった。乾燥・暖房用の熱エネルギー消費量が多い月は、冬期間の12月~3月で300MJ/製材m³を超えている。

(2) エネルギー消費量簡易推定手法の開発

アンケート調査のデータの欠損・不備等を有する調査表を控除した23工場のうち、熱エネルギー消費量に関係していると思われる乾燥材生産において、産業用資材等のみ、あるいは建築材等のみを生産する工場のデータを抽出し、各生産量と熱エネルギー消費量の関係を把握した(図2-2-2-1-2, 2-2-2-1-3)。

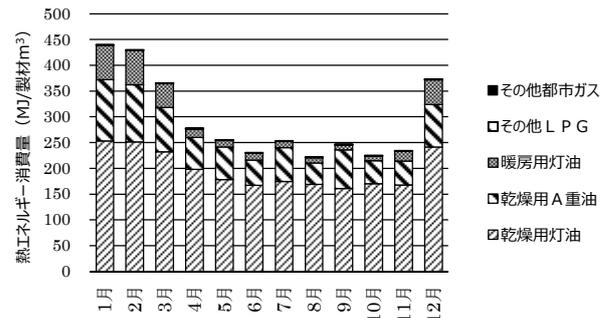


図2-2-2-1-1 製材1m³あたりの月別熱エネルギー消費量

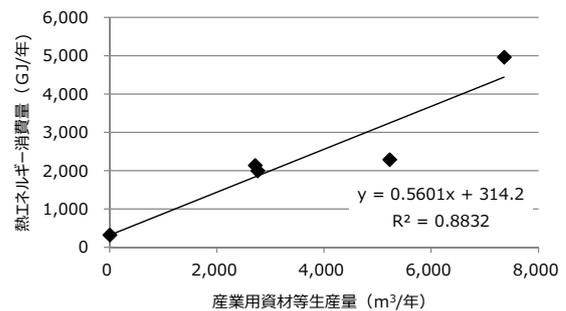


図2-2-2-1-2 産業用資材等の生産量と熱エネルギー消費量の関係

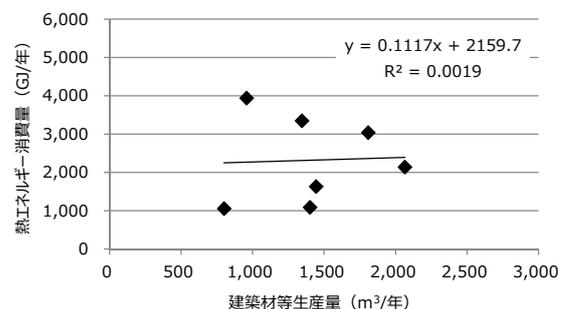


図2-2-2-1-3 建築材等の生産量と熱エネルギー消費量の関係

産業用資材等のみを生産している5工場のデータでは、生産量と熱エネルギー消費量の相関（相関係数：0.8832）は高かったが、建築材のみを生産している7工場では、生産量と熱エネルギー消費量に相関（相関係数：0.0019）は見られなかった。

これは、後者では各工場において取り扱う樹種・製品断面などが異なるため、乾燥スケジュールが様々であるためと考えられる。そのため、建築材を生産している工場の熱エネルギー消費量は、聞き取り調査で把握した1,000MJ/m³を適用することとした。

以上から、林産施設（製材工場）の熱エネルギー消費量は、製材工場で生産する主な製品毎に次の(1)、(2)式で求められる。

○産業用資材等の熱エネルギー消費量 (GJ/年) : y

$$y = (0.5601 x + 314.2) / 1000 \quad (1)$$

○建築材等の熱エネルギー消費量 (GJ/年) :

$$y = 1,000 x \quad (2)$$

いずれも x を年間の製品生産量 m^3 とする。

(3) 簡易推定手法を用いた振興局別の熱エネルギー消費量

上項(2)で設定した推定式等を用いて振興局別の熱エネルギー消費量を試算した。

試算にあたっては、振興局毎の製品別生産量とそれらの乾燥材比率を 2014 年度の製材工場動態調査と人工乾燥材生産実態調査結果から把握した。

製材工場における用途別生産量と乾燥材比率を示す(図 2-2-2-1-4)。

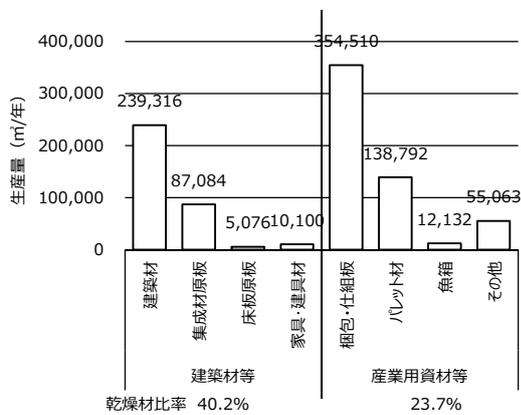


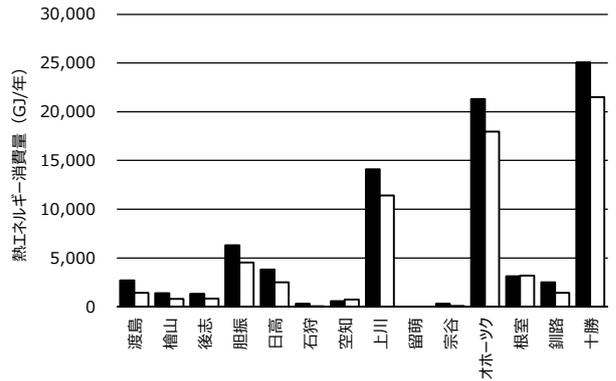
図 2-2-2-1-4 製材工場における用途別生産量 (2014 年度)

製材工場動態調査では、製品の用途が 8 種類に区分されているため、これらの分類のうち乾燥工程における熱エネルギー消費量が同程度であると考えられる建築材、集成材原板、床板原板、家具・建具材を“建築材等”と分類し、梱包・仕組板、パレット材、魚箱、その他を“産業用資材等”に分類した。

さらに、人工乾燥材生産実績の乾燥材比率から、熱エネルギー消費量に影響する人工乾燥材の生産量を把握し、以下の通り試算した。

産業用資材等の熱エネルギー消費量をアンケート調査からの推定式(1)と聞き取り調査で把握した $500MJ/m^3$ から試算したところ、概ね同様の傾向であった(図 2-2-2-1-5)。

また、建築材等の熱エネルギー消費量は、聞き取り調査で把握した $1,000MJ/m^3$ から試算した(図 2-2-2-1-6)。



■アンケート調査からの推定式を適用 □聞き取り調査により把握した原単位を適用

図 2-2-2-1-5 製材工場における振興局別の熱エネルギー消費量の推定【産業用資材等】

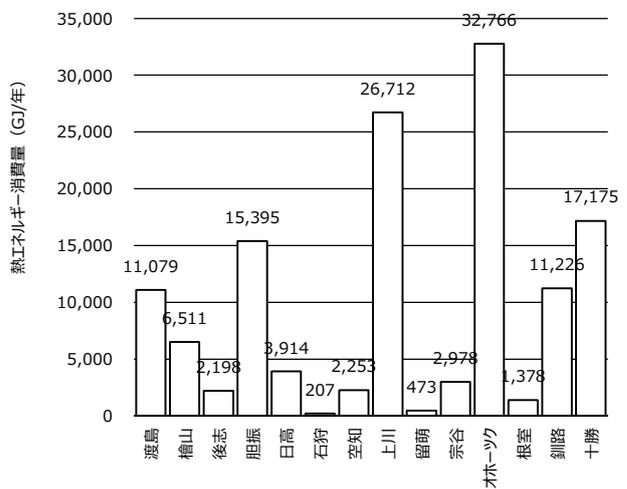


図 2-2-2-1-6 製材工場における振興局別の熱エネルギー消費量の推定

4) まとめ

本研究では、製材工場における運用エネルギーの実態を把握し、それらの生産品目別(産業用資材等、建築材等)の各生産量と熱エネルギー消費量の関係から熱エネルギーの推定手法を検討した。

今後は、この結果を基に製材工場や地域におけるエネルギーの低減策等を提案していきたいと考えている。

注 1) 熱エネルギー = 木材乾燥用灯油・A 重油 + 暖房用灯油 + その他 LPG・都市ガス

研究担当機関：林産試験場

執筆者：石川佳生

2. 2. 2. 2 きのこ生産施設

1) 目的

きのこ生産では、施設の暖房や菌床の殺菌などに多くの熱エネルギーを必要とする。本州と比較して寒冷な北海道では、特に冬期間、大量の熱エネルギーをきのこ生産施設で消費していると考えられる。しかし、ほとんどの施設では、それら1次エネルギーに、灯油などの化石燃料が使用されている。資源枯渇や地球温暖化などの地球環境に影響を与えるだけでなく、採算性の面でも問題であり、化石燃料の削減が重要な課題となっている。

ところが、きのこ生産におけるエネルギー消費量に関する報告例は少なく、これまで、北海道のきのこ生産施設におけるエネルギー消費量の実態は明らかではない。海外ではいくつかの LCA (Life Cycle Assessment) の事例^[1]が報告されており、その中でエネルギー消費量についても分析される一方で、我が国では、カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム (CFP 事業) において、菌床栽培生しいたけの温室効果ガス排出量が1社から公表されているのみである^[2]。

CFP 事業の結果によると、菌床生しいたけの原材料調達段階から廃棄・リサイクル段階までのライフサイクルにおいて、温室効果ガスの約7割は生産段階から排出されている。エネルギー消費量についても同様に、生産段階が大部分を占めると推定され、ここで大量の熱エネルギーが消費されていると思われる。化石燃料の削減、自然エネルギーへの代替を検討する上で、まずは実態調査が必要である。

本研究では、農林水産業関連施設のうち、林産業、特にきのこ生産施設を対象として、運用エネルギーの実態を把握するとともに、それらの推定手法を検討した。

2) 方法

2015年度下期に、道内のきのこ生産施設に対してアンケート調査を実施した。調査票には、2014年において使用した資材(おが粉等)の量、電力、灯油・A重油・木質燃料の熱エネルギー消費量、および、種類別きのこの生産量の記入欄を月別に設けた。また、おが粉の入手先、樹種、金額および施設の敷地面積についても回答欄を設けた。調査票は、道内のきのこ生産施設(82法人)に対して発送した。データの欠損・不備等を有する調査票を控除して、21法人(21施設)から有効回答が得られた。

とりまとめでは、きのこ1kgあたりの熱エネル

ギー消費原単位を種類別に算出した。1つの施設から単一種類を生産していたのは、菌床栽培生しいたけ(7施設)、原木栽培生しいたけ(2施設)、たもぎたけ(2施設)、菌床栽培なめこ(1施設)であり、その他の施設では複数のきのこを併産していた。前述の4種類のうち、菌床栽培なめこを除く3種類については、生産量荷重平均で原単位を求めた。また、他の種類については、原単位を以下のように算出した。

(1) 菌床栽培乾燥しいたけ

施設数:2(いずれも菌床栽培生しいたけと菌床栽培乾燥しいたけを併産)

方法:菌床栽培生しいたけの年間の生産量と熱エネルギー消費量の回帰式を用いて各施設の全体の年間熱エネルギー消費量から菌床栽培生しいたけの熱エネルギー消費量を控除して、菌床栽培乾燥しいたけの年間熱エネルギー消費量を算出し、その加重平均値を原単位とした。

(2) 原木栽培乾燥しいたけ

施設数:1(原木栽培生しいたけと原木栽培乾燥しいたけを併産)

方法:原木栽培生しいたけの加重平均値を用いて全体の年間熱エネルギー消費量から原木栽培生しいたけの熱エネルギー消費量を控除し、算出した。

(3) えのきたけ、ひらたけ、えぞ雪の下

施設数:1(3種類を生産)

方法:きのこ生産量の質量基準で配分し、算出した。

(4) 生きくらげ

施設数:2(菌床栽培生しいたけと生きくらげを併産が1施設;A, まいたけと生きくらげを併産が1施設;B)

方法:まず、Aについて、菌床栽培生しいたけの年間の生産量と熱エネルギー消費量の回帰式を用いて菌床栽培生しいたけの熱エネルギー消費量を控除し、生きくらげの年間熱エネルギー消費量を算出した。次に、Bについて、きのこ生産量の質量基準で配分し、生きくらげの年間熱エネルギー消費量を算出した。最後にAとBの加重平均値を原単位とした。

(5) ぶなしめじ、えりんぎ

施設数:1(ぶなしめじ、エリンギ、まいたけの3種類を併産)

方法:きのこ生産量の質量基準で配分し、算出した。

(6) まいたけ

施設数：2（ぶなしめじ，エリンギ，まいたけを併産が1施設；A，生きくらげとまいたけを併産が1施設；B）

方法：まず，Aについて，きのこ生産量の質量基準で配分し，まいたけの年間エネルギー消費量を算出した。次に，Bについて，先に算出した原単位と年間生産量を用いて生きくらげの年間熱エネルギー消費量を控除した。最後に，AとBの加重平均値を得た。

2以上の施設数が得られた菌床栽培生しいたけと原木栽培生しいたけについては，生産規模と熱エネルギー消費原単位の回帰式を導出した。さらに算出した原単位に種類別振興局別のきのこ生産量を乗じて種類別振興局別の年間熱エネルギー消費量を推定した。

3) 結果と考察

(1) 種類別きのこ生産におけるエネルギー消費原単位

図2-2-2-2-1にきのこ生産における熱エネルギー消費原単位を種類別に示した。熱エネルギー消費量が最も大きかったのは，原木栽培乾燥しいたけ，次いで，菌床栽培乾燥しいたけであった。これは，きのこの乾燥に大量のエネルギーが必要であることを示唆した。それ以外の生きのこは，種類別に熱エネルギー消費量の大小が見られ，これらは栽培方法，栽培規模，栽培環境の違いを反映しているものと思われる。

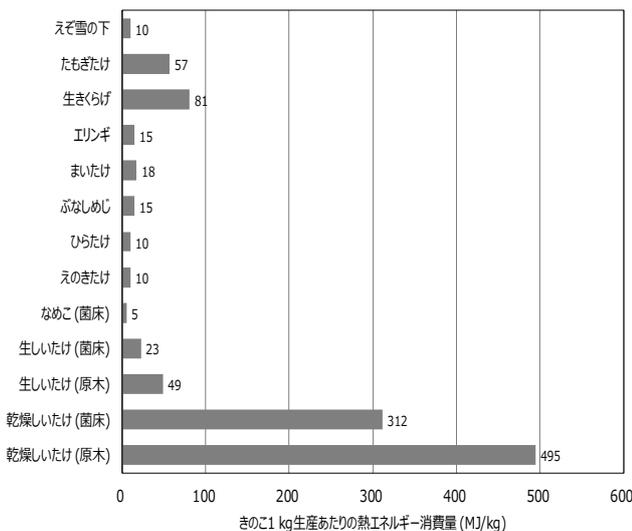


図2-2-2-2-1 1kgのきのこ生産における熱エネルギー消費原単位

(2) 菌床栽培生しいたけの生産規模と熱エネルギー消費原単位の回帰式

図2-2-2-2に菌床栽培生しいたけの生産規模別の熱エネルギー消費原単位を示した。生産規模が大きくなるにつれ，顕著にエネルギー消費原単位が小さくなる傾向が認められた。

一方，原木栽培生しいたけの生産規模別の熱エネルギー消費原単位は，施設数が2と少ないため，傾向については明らかではないものの，生産規模の大きな施設の方が，エネルギー消費原単位は小さかった。

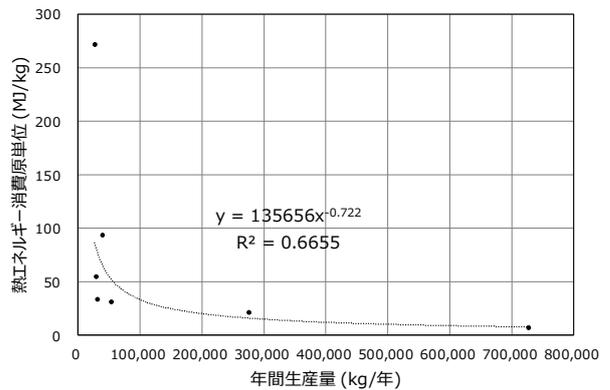


図2-2-2-2 菌床栽培生しいたけの生産規模別の熱エネルギー消費原単位

(3) 種類別振興局別のエネルギー消費量

図2-2-2-3に種類別振興局別のきのこ生産量を，図2-2-2-4に種類別振興局別のきのこ生産における熱エネルギー消費量を示した。振興局別のエネルギー消費量(図2-2-2-5)は，種類別原単位の差異による大小はあるものの，基本的にきのこ生産量(図2-2-2-4)に連動していた。熱エネルギー消費量の大きい振興局は大きい方から順に，胆振，空知，上川，石狩の4振興局であり，その他の地域における熱エネルギー消費量は小さかった。きのこ生産施設での熱エネルギー消費量(316630 GJ/年)を灯油に換算すると北海道全体で9231 kLにも及び，削減ポテンシャルの大きさが示された。

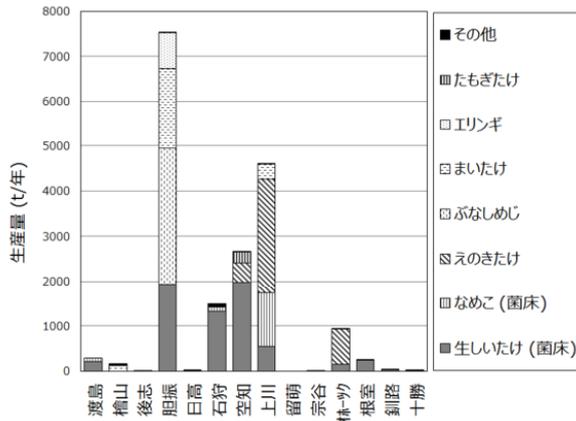


図 2-2-2-2-3 種類別振興局別のきのこ生産量

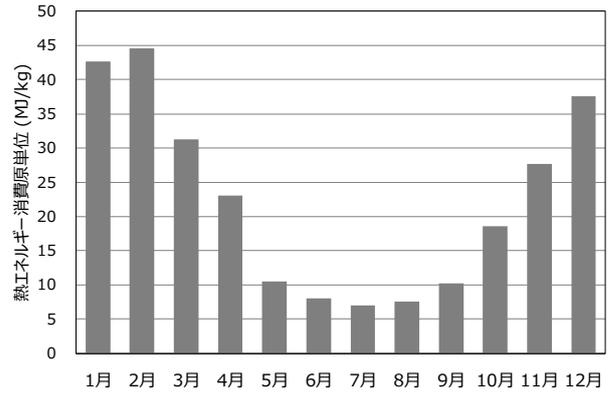


図 2-2-2-2-5 菌床栽培生しいたけの月別エネルギー消費量

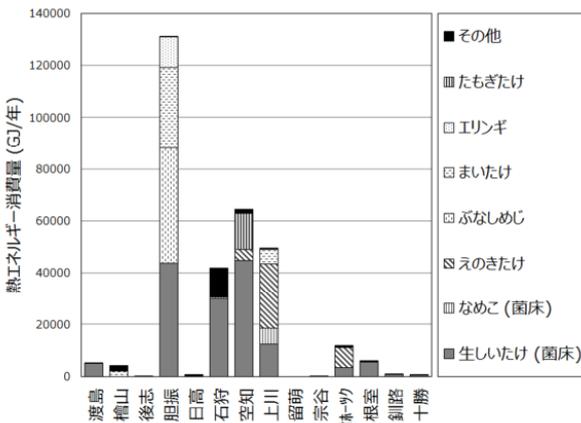


図 2-2-2-2-4 種類別振興局別のきのこ生産における熱エネルギー消費量

(4) 菌床栽培生しいたけの月別エネルギー消費量

施設数が大きかった菌床栽培生しいたけについて、1 kg 生産あたりの月別熱エネルギー消費量を図 2-2-2-2-5 に示した。冬季と夏季で熱エネルギー消費量は大きく異なっており、熱エネルギー消費量の最も多かった2月と最も少なかった7月を比較すると、単位生産量あたりの熱エネルギー消費量は7倍もの違いがあった。

4) まとめ

北海道のきのこ生産施設において熱エネルギー消費量の調査をはじめて行い、種類別きのこの熱エネルギー消費原単位ならびに振興局別にきのこ生産における年間熱エネルギー消費量を算出した。また、菌床栽培生しいたけと原木栽培生しいたけの2種類について、生産規模と熱エネルギー消費原単位の回帰式を導出した。本研究は自然エネルギーへの代替を検討するための基礎資料となる。

実際に、自然エネルギーの導入を図っていく上では、3) (4)項に示したように、施設の冬季と夏季の熱需要量の差が非常に大きいことから、システムの年間稼働率の低下が懸念される。投資コストの回収を考慮した採算性の高い自然エネルギーシステムの検討が求められる。

5) 引用文献等

- [1] Bethany Robinson, Kiara Winans, Alissa Kendall, Jeff Dlott, Franklin Dlott. "A life cycle assessment of Agaricus bisporus mushroom production in the USA". The International Journal of Life Cycle Assessment. <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1456-6> (2018)
- [2] 産業環境管理協会. CFP 対象製品 カーボンフットプリント登録情報『菌床しいたけ 200 g 袋詰め』. https://www.cfp-japan.jp/common/pdf_pemission/000601/CR-BW02-12003.pdf (2011)

研究担当機関：林産試験場

執筆者：古俣寛隆

2. 2. 3 住宅・公共施設

1) 目的

地域における省エネルギーや分散型エネルギー利用推進のためには、各種建物用途のエネルギー消費特性の把握が必要であるが、住宅等一部用途を除き、調査事例が少ない。このため、富良野圏域5市町村を対象として、各種施設の運用エネルギーの実態を把握する。

2) 方法

住宅のエネルギー消費量の調査は、北海道消費者協会^[1]が行った既往の調査結果を用いて分析した。

公共施設のエネルギー消費量の調査は、富良野市、上富良野町および中富良野町の3市町が所有する公共施設（建築物を伴う施設）を対象とし、2014年度に実施した。なお、公営住宅、教員住宅、公園内施設および国・北海道が所有する公共施設は対象外とした。

表2-2-3-1に調査を行った施設の用途分類と件数を示す。本調査における対象施設は、合計で98施設であり、2012年4月～2014年3月の2年間における電力、重油、灯油、プロパンガスの月別消費量を調査した。

一方、富良野圏域では、中富良野町を除く4市町村（富良野市、上富良野町、南富良野町、占冠村）で、NEDOの「地域新エネルギー・省エネルギービジョン策定等事業」により、新エネルギービジョンまたは省エネルギービジョンを策定している^{[2]~[6]}（以下、「エネルギービジョン」という）。これらのエネルギービジョンにおいても、公共施設の年間のエネルギー消費量が調査されている。そこで、今回エネルギー消費量調査を行わなかった65施設については、エネルギービジョンに記載の値を参考に用いることとした。ただし、調査年に最大10年の乖離があるため、都道府県別エネ

表2-2-3-1 調査対象施設の件数

分類	具体例	エネルギー消費量	調査件数
本庁舎	市役所、役場庁舎	3	(2)
職員10名以上庁舎	支所、分庁舎	2	(3)
図書館等	児童センター、集会場、その他事務系庁舎（職員10名未満）	20	(17)
宿泊施設等	宿泊施設、寮	3	(4)
病院等	病院、診療所、老人福祉施設	9	(2)
店舗等	物産館、道の駅	0	(3)
学校等	学校、保育所	32	(12)
体育館等	体育館、スポーツ施設、プール、スキー場ロッジ	8	(4)
処理施設等	廃棄物処理施設、水道・下水道施設、火葬場、給食センター、食品加工施設、車庫	21	(18)
計		98	(65)
		163	

※エネルギー消費量調査件数の()内の数字は、エネルギービジョンで調査した件数

ギー消費統計^[7]の北海道のデータを用い、業務他（第三次産業）における各年の消費量と2012年の消費量の比を用いて補正を行った。

3) 結果と考察

(1) 住宅のエネルギー消費量

① 年間のエネルギー消費量

図2-2-3-1に住宅のエネルギー消費原単位を示す。エネルギー消費原単位は延床面積で除して算出した。戸建住宅と集合住宅を比較すると、熱および電力ともに集合住宅の方がやや大きな値となった。

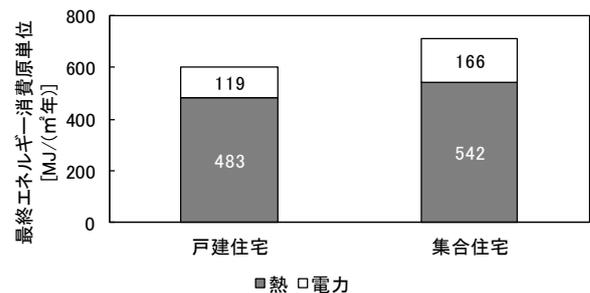


図2-2-3-1 住宅のエネルギー消費原単位

② 月別のエネルギー消費量

図2-2-3-2に住宅の熱および電力の変動係数を示す。熱の変動係数は、暖房需要のある冬期に大きくなり、給湯需要しかない夏期で小さくなった。一方、電力の変動係数は、各月の電力需要には大きな差がないことから季節変動が少なく、年間を通じてほぼ同じ値であった。

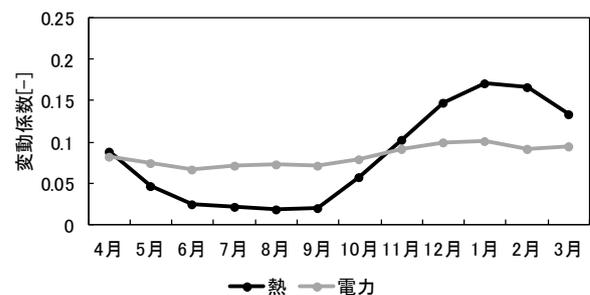


図2-2-3-2 住宅の変動係数

(2) 公共施設のエネルギー消費量

① 年間のエネルギー消費量

図2-2-3-3に各施設のエネルギー消費量の熱および電力内訳と延床面積を示す。熱および電力の消費量はそれぞれ燃料と電力の消費量から熱量換算した最終エネルギー消費として示している^[注1]。また、表2-2-3-1に示す用途分類ごとに、消費量の合計が昇順になるように並べている。浴場や温水プール等の温浴施設を有する施設に●印を付しているが、これらの施設のエネ

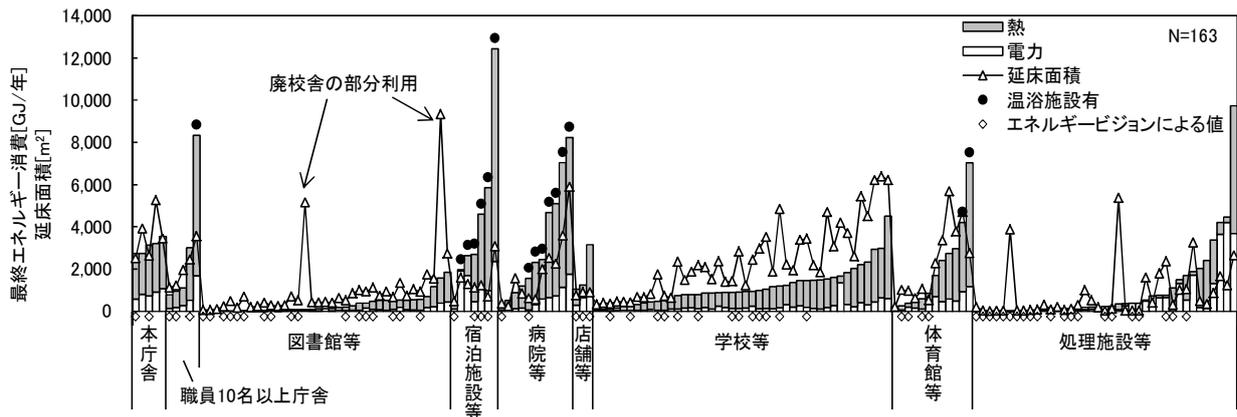


図2-2-3-3 各施設のエネルギー消費量の熱・電力内訳と延床面積

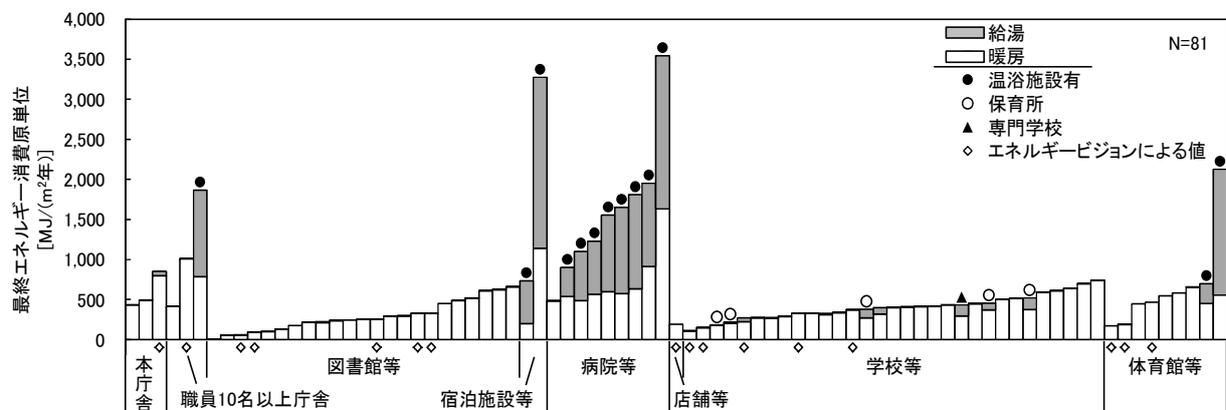


図 2-2-3-4 各施設のエネルギー消費原単位

ルギー消費量が特に多いことがわかる。また、処理施設等の中では、広域のごみ処理を担う焼却施設のエネルギー消費量が突出している。それ以外の処理施設等では、給食センター、食品加工施設、火葬場で熱の消費が多く、下水道処理施設、送水場で電力消費量が多い。

図2-2-3-4にエネルギー消費量を延床面積で除して算出したエネルギー消費原単位を示す。図中には図2-2-3-3に示した施設のうち、熱需要の暖房と給湯の内訳を把握できた施設を示している。温浴施設を有する施設で給湯エネルギーが多く、中には暖房エネルギーを上回る施設も見られる。また、学校等のうち保育所、専門学校で給湯エネルギーがやや目立つが、他の施設では圧倒的に暖房エネルギーが多い。

図2-2-3-5に用途別のエネルギー消費原単位を示す。エネルギー消費原単位は用途別の平均値を示しており、処理施設等は延床面積とエネルギー消費量の相関が小さいため、本集計からは除いた。また、参考値として、非住宅建築物の環境関連データベース（以下、「DECC」という）^[6]の北海道に該当する地域区分から集計した類似用途の値を、図中の○印で示す。

まず、本調査による原単位を見ると、熱と電力を合計した原単位は、宿泊施設等で最も大きく、店舗等、病院等、職員10名以上庁舎、体育館等、本庁舎、学校等、図書館等の順に小さくなった。熱と電力の内訳を見ると、各用途において電力よりも熱の原単位の方が大きい。熱の原単位は、宿泊施設等や病院等で大きく、図書館等、学校等で小さい傾向にあり、電力の原単位は、宿泊施設等や店舗等で大きく、図書館等、学校等で小さい傾向にあった。また、宿泊施設等の標準偏差が他の施設に比べ大きかったことから、他の用途に比べ、エネルギー消費量のバラツキが大きかったと言える。

次に、本調査による原単位とDECCの原単位と比較すると、本調査による原単位は宿泊施設等で特に大きな値となり、DECCの約2.1倍であった。これは調査対象施設の多くが大浴場を有し、温泉も1施設を除き加温が必要であることによると考えられる。また、宿泊施設等を除く他の用途では、本調査による原単位とDECCの原単位は、ほとんど同じ値であった。

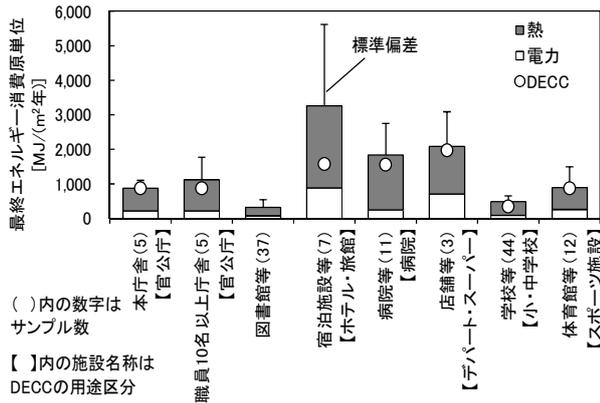


図2-2-3-5 用途別のエネルギー消費原単位

② 月別のエネルギー消費量

図2-2-3-6に用途別の電力および熱の変動係数を示す。変動係数は、月別エネルギー消費量を年間エネルギー消費量で除して算出し、図中には2012～2013年度の平均値を示している。

まず、電力需要の変動係数を見ると、電力消費量が少なく、使用時間もほぼ日中に限られる学校等や図書館等で冬期に増加する傾向にある。これは、断定はできないが、照明の点灯時間の違い等が影響していると考えられる。その他の用途では、電力消費量の季節変動は少なく、年間を通じてほぼ同じ値であった。

次に、熱需要の変動係数を見ると、本庁舎、図書館等、学校等で冬期に非常に大きく、これらの施設では夏の燃料消費がほぼゼロである。一方、処理施設等や宿泊施設等は季節変動が比較的少なく、病院等、体育館等も温浴施設のある場合は夏期に熱需要が生じる。

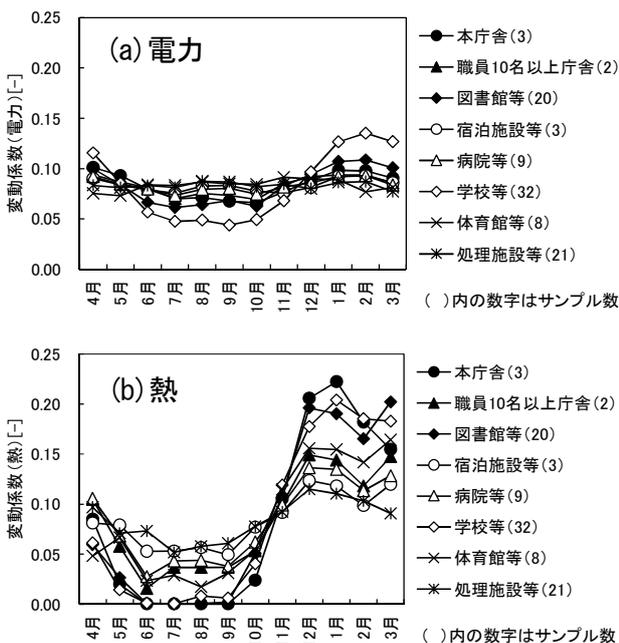
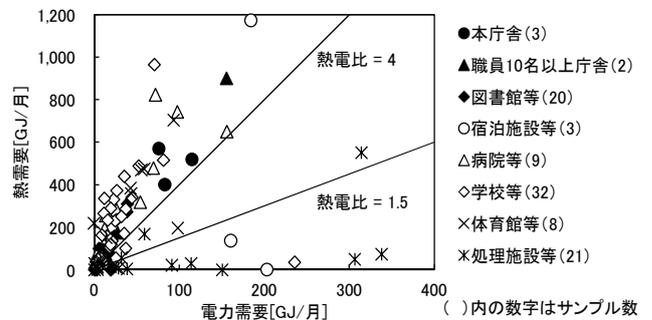
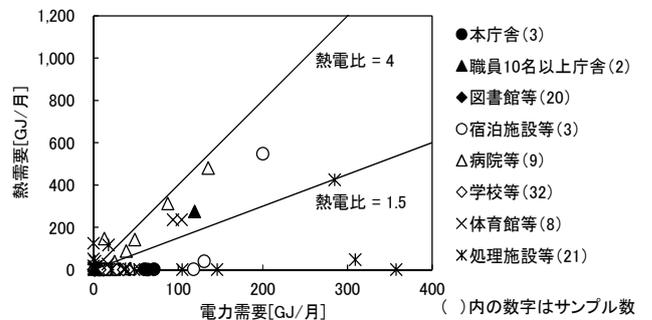


図2-2-3-6 用途別の変動係数

図2-2-3-7に1月と7月における熱需要と電力需要の関係を示す。図中には熱電比^{注2)}を示しているが、熱電比は値が大きいほど、電力需要に比べ熱需要の割合が大きいことを示す指標である。図中の熱電比=1.5と4の直線は、それぞれガス、バイオマスによるコージェネレーションの熱電比を想定している。1月は暖房による熱需要があるため、調査対象の施設のうち、約70%で熱電比が4を上回っている。一方、7月は熱電比が4を上回る施設はほとんど見られないが、温浴施設がある宿泊施設等や病院等では、熱電比が1.5～4であった。このように、夏期においても熱需要が多い施設においては、コージェネレーションの採用により省エネルギーが図られる可能性が高いと考えられる。



(a) 1月



(b) 7月

図2-2-3-7 熱需要と電力需要の関係

4) まとめ

既往の調査結果や富良野圏域5市町村を対象とした公共施設のエネルギー消費量調査により、各種施設の運用エネルギーの実態を把握した。

注1) 「熱」とは、燃料消費量を示しており、ヒーター、ヒートポンプ等の電力消費量は少量として無視した。「電力」とは電力消費量を示している。また、換算係数は、電力3.6[MJ/kWh]、A重油39.1[MJ/L]、灯油36.7[MJ/L]、LPG50.8[MJ/kg]とした。

注2) 熱電比は、熱需要を電力需要で除して算出した。

5) 引用文献等

- [1] 一般社団法人北海道消費者協会, 石油連盟北海道石油システムセンター:平成19年度北海道家庭用エネルギー消費実態調査(2007エコファミリー省エネアンケート) 報告書, 2008.3
- [2] 富良野市地域新エネルギービジョン報告書, 富良野市, 2010.2
- [3] 上富良野町地域省エネルギービジョン報告書, 上富良野町, 2010.2
- [4] 上富良野町地域新エネルギービジョン報告書, 上富良野町, 2011.2
- [5] 南富良野町地域新エネルギービジョン報告書, 南富良野町, 2008.2
- [6] 占冠村地域新エネルギービジョン, 占冠村, 2006.2
- [7] 都道府県別エネルギー消費統計, 経済産業省 資源エネルギー庁,
http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/energy_consumption/ec002/
- [8] 非住宅建築物の環境関連データベース, 一般財団法人日本サステナブル建築協会,
http://www.jsbc.or.jp/decc_download/

研究担当機関: 北方建築総合研究所

執筆者: 阿部佑平

2. 3 統合型 GIS

2. 3. 1 開発した統合型 GIS の概要

1) 開発の考え方

本研究では各種の再生可能エネルギーを扱っているが、位置データを伴う賦存量等のデータを GIS (地理情報システム) に取り込み、データを統合してマップ閲覧・解析・評価ができるものを目指した。

再生可能エネルギーの種類によって、データの項目が異なるほか、一般的な公表が可能なもの、不可のものがある。また、ニーズとしても、市町村役場など再生可能エネルギーの活用に関する計画立案等を行う組織では、パソコンに細かなデータを取り込んで、各種エネルギーの活用可能性等を解析・評価できるものが望まれるのに対し、一般市民等には大まかな地域特性などがわかる概略データを簡便に閲覧できることが望ましいと考えられる。これらを踏まえ、本研究では、次の 2 種類の GIS を整備することとした。

- ・市町村役場等の関係者向けデータセット (一般公表不可のデータを含む) として、「スタンドアロン版 GIS」(2.3.2 参照)
- ・インターネット経由で誰でも使えるデータセット (一般公表可能なデータのみ) として、「Web 版 GIS」(2.3.3 参照)

2. 3. 2 スタンドアロン版 GIS の概要

1) 開発の考え方

スタンドアロン版 GIS は、市町村役場等の関係者向けに、パソコン上で、各データをマップの形式で表示し、閲覧・解析・評価に利用できるものである。

一般的な Windows パソコンで利用できるものとし、無料 GIS ソフト、データ、マニュアルを登録した DVD-R ディスクを配付(2019 年 3 月予定)する。

2) 主な内容

配付する DVD-R ディスクには、

- ・閲覧・解析用の無料 GIS ソフトとして「QGIS」(インストーラーを含む)
- ・データ一式 (主な内容は Appendix 参照)
- ・データ一式を「QGIS」で閲覧するためのプロジェクトファイル (プラグインを含む)
- ・「QGIS」のインストールからデータ閲覧、操作方法を解説した「ユーザマニュアル」を登載する。

マニュアルに沿ってディスクからソフト・データを Windows パソコンにインストールし、プロジェクトファイルを開くことで、各データをマップの形式で利用できる。また、ソフトの機能を使用して、マップの印刷や、集計・解析などを行うことができる。

(図 2-3-1~図 2-3-4)

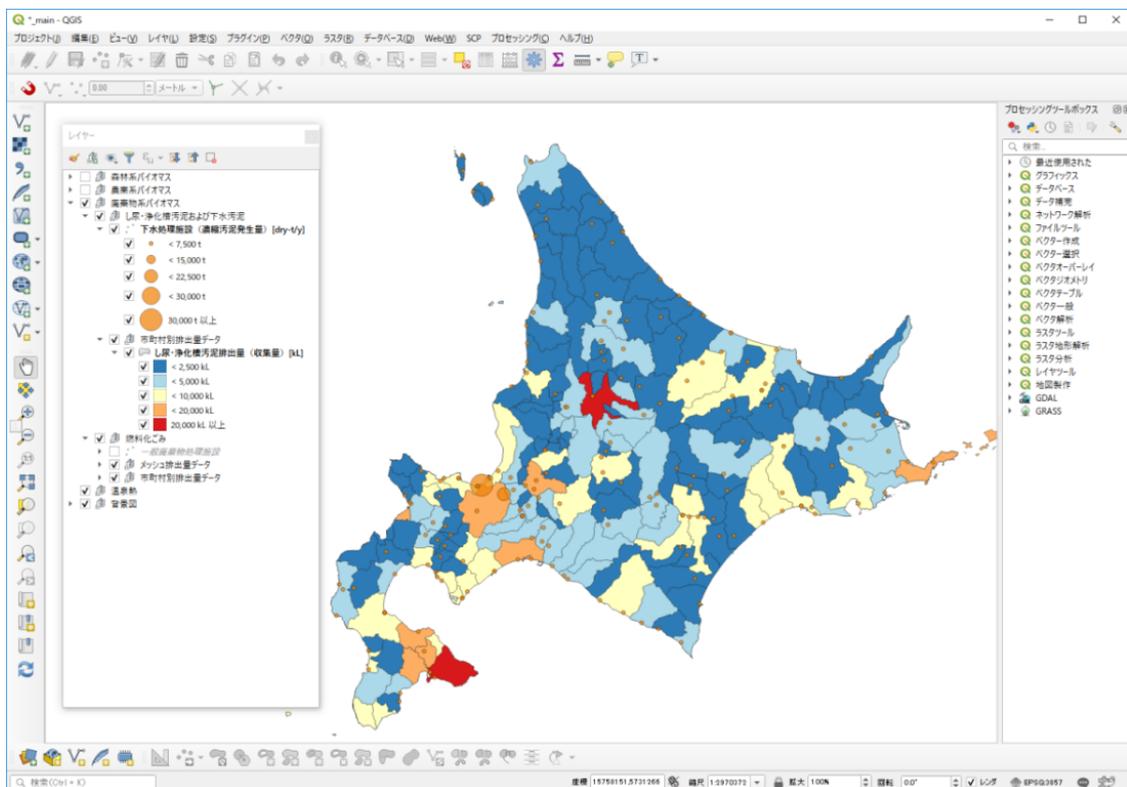


図 2-3-1 スタンドアロン版 GIS の画面イメージ

2. 3. 3 Web 版 GIS の概要

1) 開発の考え方

Web 版 GIS は、あらゆる利用者向けに、パソコン上で、エネルギー賦存量等のマップを表示し、閲覧できるものである。各ユーザはパソコンからブラウザを利用して、インターネット経由で道総研 GIS にアクセスし、各データをマップの形式で閲覧することができる。

インストール作業等は不要であるが、各ユーザがマップ閲覧に関する各種設定の変更はできないため、解析・評価等の作業には不向きである。簡便さを重視した普及用の位置づけとなる。

2) 主な内容

各ユーザは、パソコンからブラウザを利用して、インターネット経由で道総研のウェブサイトへアクセスする。

戦略研究のページ(現行 <http://www.hro.or.jp/research/develop/system/subject.html> Web 版 GIS の URL は未定) から、メニュー画面を介して表示したいマップを選択すると、道総研 GIS のページに移動してマップが表示される。任意の地域への移動・拡大などを行うことができる。

データの主な内容は、スタンドアロン版 GIS と同様に Appendix に記載のものとなるが、各データ個別に公表に際しての手続きが必要であり、条件が付く場合もある。各データの公表手続き完了後、条件に応じて加工したファイルを、順次、登載する。

(図 2-3-5)

研究担当機関：十勝農業試験場，林業試験場，工業試験場，環境科学研究センター，地質研究所，北方建築総合研究所

執筆者：小野 理（環境科学研究センター）

作図等担当：GIS-WG（2018 年度メンバーは以下のとおり：[十勝農業試験場]鈴木剛，関口建二，[林業試験場]津田高明，菅野正人，[工業試験場]保科秀夫，柏瀬浩司，[環境科学研究センター]小野理，福田陽一朗，[地質研究所]高橋徹哉，鈴木隆広，[北方建築総合研究所]阿部佑平)

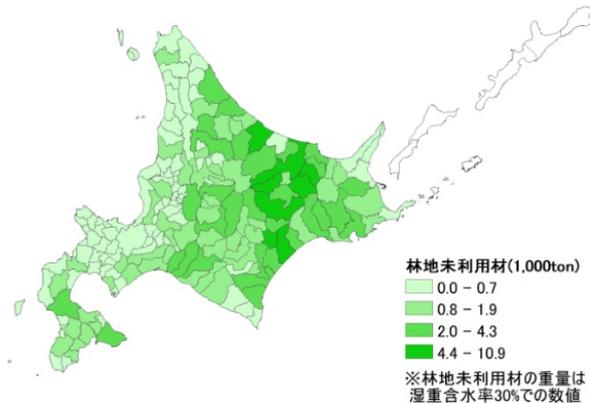


図 2-3-2 データマップの出力事例(1)

市町村別の林地未利用材推定発生量（林業試験場）及び基盤地図情報（国土地理院）に基づき GIS-WG 作図

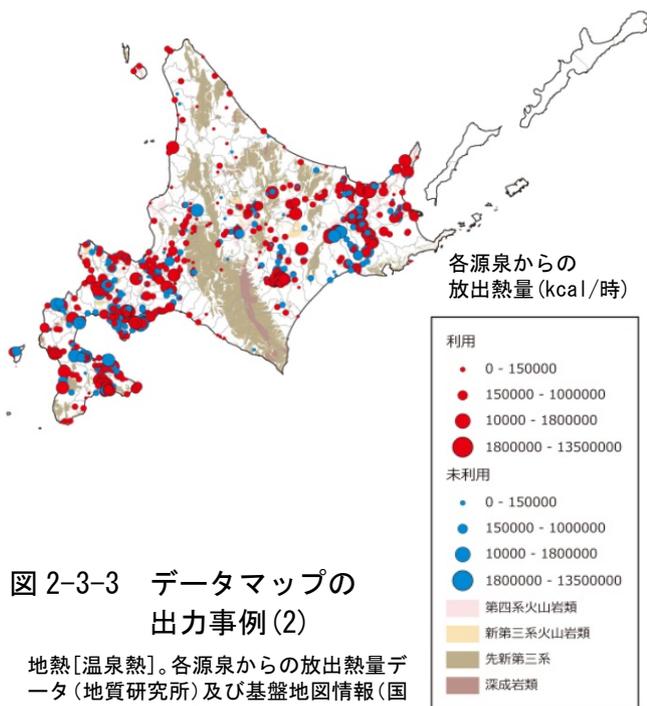


図 2-3-3 データマップの出力事例(2)

地熱[温泉熱]。各源泉からの放出熱量データ（地質研究所）及び基盤地図情報（国土地理院）に基づき GIS-WG 作図

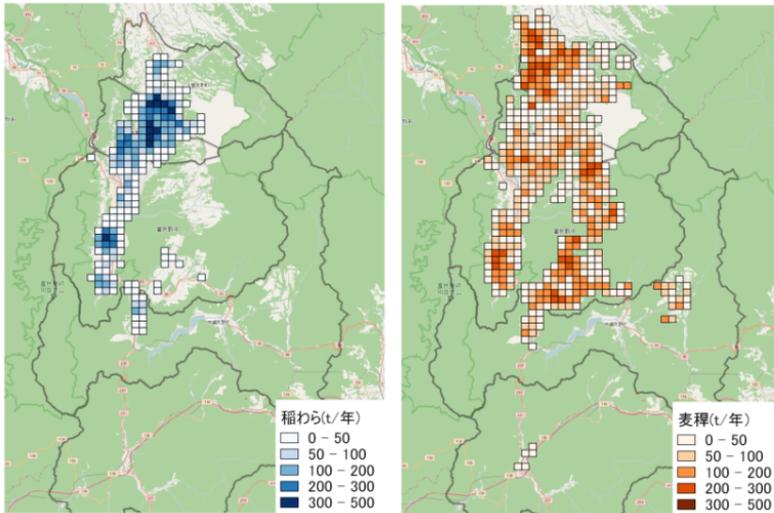


図 2-3-4 データマップの出力事例(3)

富良野圏の稲わらと麦稈の発生量。地域関係機関（役場，JA 等）が所有する作付マップデータ等に基づき中央・十勝農業試験場が推計したデータを GIS-WG 作図

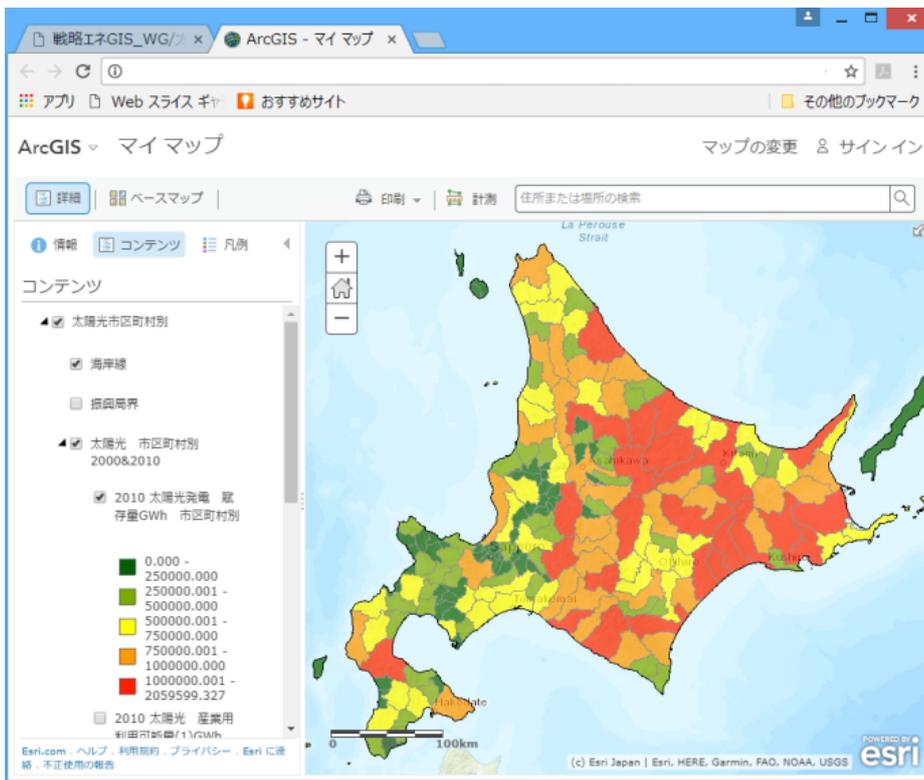


図 2-3-5 Web 版 GIS のマップイメージ

全道市区町村別の「太陽光発電 賦存量」
北海道・経済部提供による緑の分権改革推進会議 第四分科会「再生可能エネルギー資源等の賦存量等の調査についての統一的なガイドライン」(2011)のデータから GIS-WG 作図

3. エネルギーの効果的な利用のための各種要素技術

1) はじめに

本研究では、再生可能エネルギーなど広く地域に分散するエネルギー資源を有効に利活用するための技術・支援システムを開発し、地域の振興・活性化とエネルギー自給率の向上の実現を目指した最適なエネルギー需給システムを構築・提案することを主な目的としている。

再生可能エネルギーの種類には太陽光、風力、バイオマス、水力、地熱、雪氷熱、地中熱などがあるが、それらを効果的に利用するためには、それぞれのエネルギー源特有の課題を解決する必要がある。また、省エネルギーの視点からの検討も重要である。

ここでは、再生可能エネルギーのうち北海道に豊富に存在するバイオマスを対象とした。それらを効果的に利用するため、自然エネルギーを利用した木質チップの乾燥システムの評価、バイオマスの粉碎性向上などを目指した低温炭化技術、バイオマスのガス化炉の開発、バイオマスボイラを導入する場合のコストを考慮した適正導入手法、バイオマスボイラから排出される灰分の有効利用技術について検討を行った。また、酪農業では規模拡大に伴う飼養頭数の増加により適切なふん尿処理が必要となるため、ふん尿の処理方法の一つであるメタン発酵処理に関して既存施設の整理やふん尿の固形燃料化などについて、また、都市ごみ由来の燃料（RDF）を地域内で有効利用するための取組や、省エネルギーの観点からバイオマスボイラの適正導入手法について報告する。

2) 本章の構成

本節は、バイオマスの有効利用のための要素技術に関する検討内容について報告するものであり、3節により構成されている。

3. 1 木質・農産バイオマス利用技術

3. 1. 1 チップ乾燥システムの評価

木質バイオマスをチップ化して比較的小規模（数十～数百kW）のボイラで利用するとき、チップの水分は低ければ低いほどボイラ効率は向上するので、水分はできるだけ低くしたい。また、水分にばらつきがあると、安定的な運転に支障を来すばかりではなく、ボイラへのダメージが大きくなる。よって、ボイラでの安定的、効率的な利用には水分調整（チップ乾燥）は非常に重要である。ここでは、送風空

気の除湿、加温に自然エネルギー（雪氷と太陽熱）を使用し、環境的、経済的な効率性をねらったユニークなシステムを採用している南富良野町森林組合のチップ乾燥施設を対象とした調査を行い、システムの現状を評価した。

3. 1. 2 木質燃焼灰の有効利用

木質バイオマスの燃焼に伴って発生する灰の処理は、燃焼施設の運営上の課題となっている。木質バイオマスをエネルギー利用する全国の事業所の6割において、木質燃焼灰（以下、燃焼灰とする）は産業廃棄物として処分されるか、もしくは保管状態となっており、処理や保管にかかるコストや環境負荷を軽減するために、有効利用策の検討が求められている。そこで、無垢材（塗料や防腐剤等の化学物質による処理を受けていない材）を専焼ボイラで燃焼させた時に得られる灰を対象に、基本的な性状の把握を行うとともに、積雪地帯である道内での幅広い利用を念頭に、融雪資材としての利用可能性を検討した。

3. 1. 3 バイオガス関連技術

酪農・畜産から発生する家畜ふん尿は、北海道のバイオマス発生量（湿潤ベース）の約半分を占めており、担い手不足による規模拡大に伴う飼養頭数の増加や飼養形態の変化により、水分率の高いふん尿の適正な管理・処理とその省力化が求められている。家畜ふん尿の嫌気発酵処理により生成されるバイオガスは、農業・農村地域の有望な再生可能エネルギーとして注目されている。ここでは、バイオガスプラント関連技術について、既存施設（研究施設含む）の現地調査および資料調査による整理、ふん尿の乾燥試験による固形分の利用目的（再生敷料、燃料）に応じた目標水分と、これに対する乾燥所要エネルギーの明示、余剰ガス発生量に基づく乾燥可能量の試算による余剰ガスの有効活用について報告する。

3. 1. 4 低温炭化

低温炭化（トレファクション（Torrefaction））とは、バイオマスを低温（200～320℃）で熱処理することにより、発熱量向上・破砕性向上・吸水性低下等の性能を付与する技術であり、従来の木炭製造より収率が高く、微粉炭ボイラの混焼用燃料等としての活用が期待される。北海道産木質チップ燃料をトレファクションし、各種性能を測定するとともに熱分析、構造解析を行い、製造条件を検討した。

3. 1. 5 ガス化

比較的小規模でも発電が可能な方法として、バイオマスをガス化して可燃ガスを生成させ、それをガスエンジンに使用して発電する手法がある。ガスエンジンは 200kW 程度でも 30%程度の高い発電効率であるため、比較的小規模でも導入可能で、バイオマスの地域分散型利用のための有効な手段として期待されている。本項では、バイオマスガス化装置設計のための基礎データを得ることを目的に、バイオマスの熱分解や熱分解ガスからのタールの除去について検討をしたので報告する。

3. 2 廃棄物燃料利用技術

都市ごみ由来の固形燃料 (RDF) は地域で生産できるエネルギー源として有望であるが、比較的小規模のボイラではダイオキシン類の発生が懸念され、やむなく他地域へ安い価格で販売しているのが現状である。地産地消を図るため、比較的小規模のボイラでも環境負荷の少ないボイラの開発の取り組みについて、廃オムツなどの衛生ごみの燃料化の検討結果とともに報告する。

3. 3 省エネルギー技術 (バイオマスボイラの適正導入)

化石燃料消費量や CO₂ 排出量を削減し、エネルギーの地産地消を進める方法の一つに、バイオマスボイラの導入がある。しかし、バイオマスボイラは高額であるため、補助が得られなければ導入が難しいのが現状である。ここでは、建物の熱負荷特性を考慮し、比較的簡易な制御により、なるべくコストの増加を抑えてバイオマスボイラを導入する方法を検討した。

執筆者：北口敏弘 (工業試験場)

3. 1 木質・農産バイオマス利用技術

3. 1. 1 チップ乾燥システムの評価

1) はじめに

木質バイオマスの燃料形態には、チップ、ペレット、薪などがある。道内の地域エネルギー利用ではチップを使用するケースが多く、比較的小規模（数十～数百kW）のボイラが利用されている。

比較的小規模のチップボイラを安定的、効率的に燃焼させる上で、水分調整（チップ乾燥）は重要とされる。土場等で丸太を積み置き、自然乾燥させてからチップ化する場合と、チップ化後の保管時に乾燥させる場合がある。道内では前者の方が一般的であるが、後者の場合もあり、さらに送風を行って能動的に乾燥を行う施設もある。

能動的な送風乾燥は、自然乾燥と比べて短時間でチップ水分を下げることができ、水分調整されたチップの安定的な供給に寄与する。また、このことは、生チップに対応する必要がなく、内部機構が省略された安価なチップボイラの導入を可能にする。一方、送風乾燥はエネルギーを消費し、コストがかかることから、効率的なシステムが求められる。

道内には数か所のチップ乾燥施設があるが、実態が調査されたことはない。道内において最も規模が大きく、稼働実績があるチップ乾燥施設は、南富良野町森林組合のチップ乾燥施設である。本施設は、送風空気除湿、加温に自然エネルギー（雪氷と太陽熱）を使用し、環境的、経済的な効率性をねらったユニークなシステムを採用している^[1]。そこで本研究では、このチップ乾燥施設における乾燥調査を行い、システムの現状を評価した。

本研究の実施にあたり、南富良野町森林組合、NPO法人利雪技術協会の各位に多大なるご協力をいただいた。ここに記して厚くお礼申し上げます。

2) 南富良野町森林組合チップ乾燥施設の概要

乾燥施設のシステム概略図を図3-1-1-1に示す。

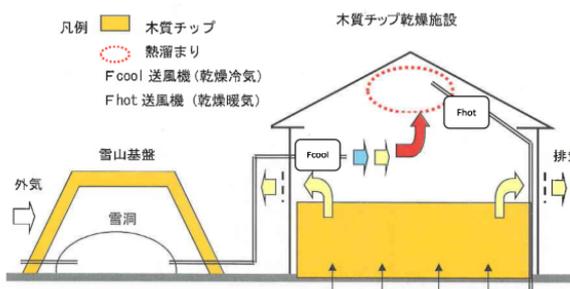


図3-1-1-1 乾燥施設のシステム概略図

* 南富良野町森林組合提供

本システムでは、送風ファンを使用して空気の流れを作る。まず、外気を取り込み、雪氷下を通過させて温度を下げ、結露させて空気中の水分量を低下させる。次に、雪氷下を経た空気は施設内へ入り、太陽熱により40～50℃に加温され、高温低湿度の空気となる。これを堆積したチップの下から送風してチップを乾燥する。チップを通過した空気は、施設側面の通気口より排気される。本システムは、送風ファンを動かすために電気を使用しているが、自然エネルギー（雪氷、太陽熱）を活用して乾燥を促進させており、他に例を見ないシステムである。

本施設の床面積は、全体で400m²、チップ堆積エリア（送風配管の敷設エリア）が260m²である。上記システムにより切削チップを水分35%程度に乾燥し、町内4施設のボイラ燃料として出荷している。切削チップの粒度は、日本木質バイオマスエネルギー協会策定の「燃料用木質チップの品質規格」^[2]における寸法区分P16に準じ、かさ密度は248kg/m³（水分35%時）である。

3) 方法

(1) チップの水分変化に関するシミュレート

移流を伴う一次元の非定常熱水分同時移動方程式を用いて、チップの水分変化に関する解析モデルを作成した（図3-1-1-2）。また、合計3回のチップ乾燥試験を行い、チップ水分や施設内外の温湿度を測定した。解析モデルに実測の温湿度データを入力してチップ水分を計算させ、その値を実測値と比較してモデルの妥当性を確認した。確認後、本モデルを使用して、送風量とチップの水分変化の関係をシミュレートした。

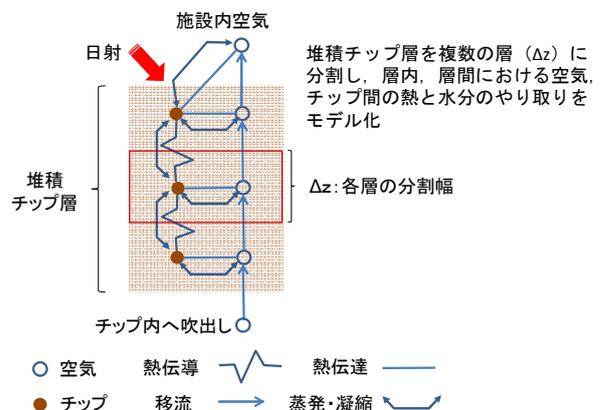


図3-1-1-2 解析モデル概略

(2) チップ乾燥システムの評価のための試験

シミュレート結果に基づいて、チップの堆積高さを1.2mに設定し、32日間終日送風を行ってチップ

を乾燥させた(図3-1-1-3)。チップ堆積エリアを攪拌あり区と攪拌なし区に2分割し、攪拌あり区では乾燥開始日から14日後にホイールローダでチップの攪拌を行った。各区では、挿込式水分計(Schaller製)により、所定の位置(12地点)においてチップ水分を経時的に測定した。また、施設内外の温湿度をおんどり(T&D製)にて測定するとともに、配電盤にクランプロガー(日置電気製)を設置し、送風ファンの稼働に伴う電流を測定した。



図3-1-1-3 乾燥中の堆積チップ

4) 結果と考察

(1) チップ水分変化のシミュレート

南富良野町森林組合では、乾燥施設の運用にあたり、「初期水分40%の切削チップを20日程度の乾燥で30~35%に仕上げる」ことを目標としている。そこで、この場合においてどのくらいの堆積高さまでチップを乾燥することが可能なのかについて、解析モデルを使ってシミュレートした。

風量(送風配管の敷設エリアの床面平均)が20~80m³/m²hの範囲における結果を図3-1-1-4に示す。

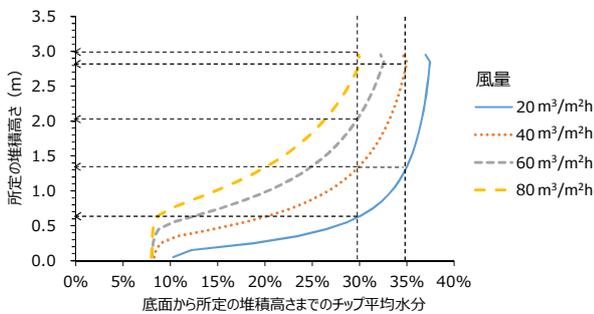


図3-1-1-4 初期水分40%の切削チップを送風量の異なる条件下で20日間乾燥した時のチップ平均水分と乾燥到達高さの関係(解析モデルによる乾燥シミュレート)

施設の現状の風量は36m³/m²h程度と推定され、風量40m³/m²hの場合に近いと考えられる。すなわち、20日程度の乾燥では、底面から高さ1.2~1.3m程度までの平均水分が30%以下に、底面から約2.8mまでの平均水分35%以下になると推測された。

(2) チップ乾燥システムの評価

相対湿度100%時の重量絶対湿度から測定時の重量絶対湿度を差し引いた値を Δ とし、乾燥試験中の Δ の日平均の推移を算出した(図3-1-1-5)。 Δ は空気が水蒸気を新たにどれくらい含むことができるのか、そのキャパシティを示す値とみなされる。送風空気の Δ は、外気よりも大きい値で推移しており、チップから水蒸気をより奪いやすい状態と考えられた。すなわち、自然エネルギー(雪氷と太陽熱)による除湿と加温の効果で、外気がチップ乾燥にとってより有効な空気に改質されていると考えられた。

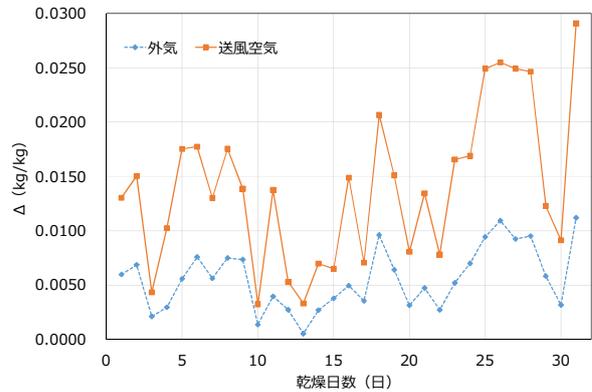


図3-1-1-5 外気および送風空気の Δ の日平均の推移

* Δ = 相対湿度100%時の重量絶対湿度 - 測定時の重量絶対湿度

図3-1-1-6に乾燥試験でのチップ水分変化の推移を示す。水分は直線的に低下しており、1日あたりの低下率は0.55~0.56%であった。20日間で水分が11%程度低下しており、初期水分が40%程度であれば30%程度に仕上がることを示唆された。なお本稿では記載しないが、水分40%程度から乾燥を始めた場合に20日程度で30%程度になることを別途確認しており、乾燥シミュレートの妥当性が確かめられた。

水分の低下速度は、攪拌あり区および攪拌なし区でほとんど差がなかった。森林組合における作業労力との兼ね合いから、現実的な作業回数として本試験では攪拌回数1回としたが、攪拌は不要と判断された。(なお、攪拌回数を増やした場合には効果が出る可能性は残されている。)

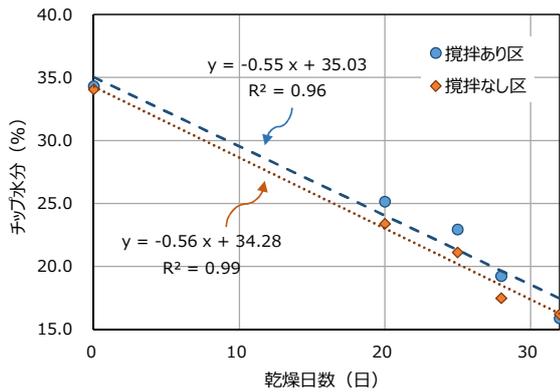


図 3-1-1-6 堆積チップの水分変化

上記のように、森林組合では「初期水分 40%程度の切削チップを 20 日程度の乾燥で 30~35%に仕上げる」ことを乾燥施設の運用目標としている。これを踏まえて、水分 42%の原料チップより水分 35%の乾燥チップを製造する設定で施設を運用した場合の生産量，エネルギー，コストに関する諸値について試算を行った。チップ水分以外の設定条件として，チップ堆積高，チップ水分の低下速度，1 日あたりの消費電力量などについては，乾燥試験における実測値（攪拌あり区と攪拌なし区の平均値）を使用した。表 3-1-1-1 に設定条件および試算結果を示す。

表 3-1-1-1 水分 42%の原料チップより水分 35%の乾燥チップを製造する設定で施設を運用した場合の生産量，エネルギー，コストの試算

設定条件	単位	備考	
床面積	m ²	259.5 実測値 (17.3m*15m)	①
堆積高	m	1.2 設定値	②
チップ乾物かさ密度	t/m ³	0.161 実測値	③
堆積チップ体積	m ³	311.4 =①*②	④
堆積チップ乾物重	t	50.1 =③*④	⑤
原料チップ水分	%	42.0 設定値	⑥
乾燥チップ水分	%	35.0 設定値	⑦
水分低下速度	%/日	0.56 実測値	⑧
1日あたりの消費電力量	kWh/日	195.5 実測値	⑨
試算結果 (諸特性)			
原料チップ重量	t	86.4 =⑤*100/(100-⑥)	⑩
乾燥チップ重量	t	77.1 =⑤*100/(100-⑦)	⑪
乾燥日数	日	13 =(⑥-⑦)/⑧	⑫
チップ乾燥による水分蒸発量	t	9.3 =⑩-⑪	⑬
消費電力量	kWh	2541.4 =⑨*⑫	⑭
原料チップ低位発熱量 (1tあたり)	GJ/t	10.2 計算値	⑮
乾燥チップ低位発熱量 (1tあたり)	GJ/t	11.8 計算値	⑯
チップ1tあたり低位発熱量比 (乾燥チップ/原料チップ)		1.15 =⑯/⑮	⑰
原料チップ低位発熱量 (試料全体)	GJ	884 =⑮*⑩	⑱
乾燥チップ低位発熱量 (試料全体)	GJ	907 =⑯*⑪	⑲
水分1tの蒸発に要する消費電力量	kWh/t	273.0 =⑭/⑬	⑳
乾燥チップ1tの製造に要する消費電力量	kWh/t	32.9 =⑳*⑰	㉑
乾燥チップ1tの製造に要する送風エネルギー	GJ/t	0.119 =㉑*3.6/1000	㉒
送風エネルギー-控除後の乾燥チップ低位発熱量 (1tあたり)	GJ/t	11.6 =⑯-㉒	㉓
送風エネルギー-控除後の乾燥チップ低位発熱量 (試料全体)	GJ	898 =㉓*⑪	㉔
試料全体での低位発熱量の比 (㉔/⑱)		1.02 =㉔/⑱	㉕
水分1tの蒸発にかかる電気料金 (ランニングのみ)	円/t	4737 =調査値 (北電1kWhあたり17.35円) *㉑	㉖
乾燥チップ1tの製造にかかる電気料金 (ランニングのみ)	円/t	572 =調査値 (北電1kWhあたり17.35円) *㉒	㉗
試算結果 (施設運用)			
乾燥日数 (1回につき)	日	13 =⑫	㉘
出し入れ作業 (1回につき)	日	2 設定値	㉙
所要日数計 (1回につき)	日	15 =㉘+㉙	㉚
乾燥チップ生産量 (1回につき)	t/回	77.1 =⑪	㉛
乾燥チップ水分	%	35.0 =⑦	㉜
乾燥チップ製造回数 (年間)	回/年	8 設定値	㉝
所要日数 (年間)	日/年	120 =㉚*⑬	㉞
乾燥チップ生産量 (年間)	t/年	617.1 =㉛*⑬	㉟
町内乾燥チップ需要	t/年	535.4 調査値 (4ボイラーで乾物348t/年使用)	㊱
余剰	t/年	81.7 =㉟-㊱	㊲
乾燥チップ製造に要する消費電力量 (年間)	kWh/年	20331.4 =㉑*㉝	㊳
電気基本料金 (低圧電力11kW)	円/年	69498 =調査値 (北電1kW・1月あたり1263.6円) *5か月分	㊴
電力量料金 (ランニング)	円/年	352749 =調査値 (北電1kWhあたり17.35円) *㉖	㊵
電気料金 (年間)	円/年	422247 =㊴+㊵	㊶
乾燥チップ1tの製造に要する電気料金	円/t	684 =㊶/㉗	㊷

1回の乾燥において原料チップ86.4tが処理され、乾燥チップが77.1tできる。乾燥に要する日数は13日であり、消費電力量は2541.4kWhであった。水分を42%から35%にすることで、チップ1tあたりの低位発熱量は1.15倍となった。また、送風エネルギー控除後の乾燥チップ(77.1t)の低位発熱量は898GJであり、原料チップ(86.4t)の低位発熱量(884GJ)の1.02倍であった。これは、乾燥チップから取り出せるエネルギーが大きく、その値はチップ乾燥にかけたエネルギーを控除してもなお、原料チップより得られるエネルギーを上回っていることを示しており、チップ乾燥がエネルギーの有効利用に寄与していると評価される。また、13日の乾燥日数に加えて出し入れ作業に2日を見込み、1回の乾燥サイクルは15日と試算される。このサイクルを8回繰り返すことで年間617.1tの乾燥チップが得られる。この量は、現状の町内出荷先(4施設)における年間需要量(581t)を上回っている。また、所要日数は120日であり、6月から9月の概ね4か月間で完了でき、太陽熱の利用において無理のない運用が可能と考えられる。乾燥チップ1tの製造に要する電気料金(送風にかかるランニングコスト)は684円であった。

5) おわりに

上記の通り、調査を行った乾燥システムは、自然エネルギー(雪氷と太陽熱)を活用したユニークなシステムである。乾燥チップより得られるエネルギーは、送風にかけたエネルギーの控除後も原料チップを上回っており、チップが保有するエネルギーの有効利用に寄与する点が評価される。また、送風にかかるランニングコストも、乾燥チップ(水分35%)1kgあたり1円に満たない額であった。

測定を通して、チップ水分については森林組合で目標とする30~35%に下がるのはもちろんのこと、さらに低い水準まで下がり、15%程度まで到達可能であることが明らかとなった。1回あたりの生産量や乾燥日数等、さらに検討が必要と思われるが、乾燥チップ専用の安価なボイラや、さらには熱電併給装置向けの燃料として、より付加価値の高いチップを製造販売できる可能性が示唆された。幅広い燃焼装置に対応した乾燥チップの生産は、チップ販路の拡大や本乾燥システムの普及に貢献するものと考えられる。

南富良野町の木質エネルギー利用(4.3参照)において、本チップ乾燥施設は重要な施設であり、今後さらなる発展が期待される。また、道内の他のチップ製造施設においても、本システムのような能動的な送風チップ乾燥システムの普及の可能性がある。

6) 引用文献等

- [1] 酒井秀夫.“雪氷を利用したチップ乾燥システムの取り組み(北海道南富良野町森林組合)”.現代林業.2013年1月号.1-6.(2013)
- [2] 日本木質バイオマスエネルギー協会.“燃料用木質チップの品質規格”.
<https://www.jwba.or.jp/woodbiomass-chip-quality-standard/>

研究担当機関：林産試験場，北方建築総合研究所
執筆者：折橋 健（林産試験場）

3. 1. 2 木質燃焼灰の有効利用

1) はじめに

木質バイオマスの燃焼に伴って発生する灰の処理は、燃焼施設の運営上の課題となっている。木質バイオマスをエネルギー利用する全国の事業所の6割において、木質燃焼灰（以下、燃焼灰とする）は産業廃棄物として処分されるか、もしくは保管状態となっており、処理や保管にかかるコストや環境負荷を軽減するために、有効利用策の検討が求められている。

燃焼灰の利用においては、廃棄物の不法投棄との誤解を避けるため、用途別に適切な用法、用量等の情報を整備した上で利用する必要があり、道においても2017年3月に情報整備のガイドラインとして「焼却灰の利用の手引き」を発行している^[1]。木質バイオマスの地域エネルギー利用が拡大し、道内の自治体や森林組合等から木質燃焼灰の利用に関する技術相談も増加していることから、利用に関する情報の蓄積と発信が急がれる。

そこで本研究では、無垢材（塗料や防腐剤等の化学物質による処理を受けていない材）を専焼ボイラで燃焼させた時に得られる灰を対象に、基本的な性状の把握を行うとともに、積雪地帯である道内での幅広い利用を念頭に、融雪資材としての利用可能性を検討した。

本研究の実施にあたり、燃焼灰のご提供元、ならびに分析にご協力いただいた皆様にこの場を借りて厚くお礼申し上げます。

2) 方法

(1) 性状分析

道内においてチップ（針葉樹）もしくは薪（広葉樹、針葉樹）を燃料とするボイラ7か所（200～1200kW）より、燃焼灰12試料（主灰5試料、飛灰5試料、主灰と飛灰のミックス灰2試料）を採取し、表3-1-2-1に示す分析を行った。

表3-1-2-1 分析項目と方法

項目	方法
水分	土壌標準分析・測定法
pHおよびEC	堆肥等有機物分析法
強熱減量	JIS M 8812 : 2004
粒度分布	ロータップ型ふるい振とう機により測定。目開き250μmのふるいを通過した灰画分をさらにレーザー回折・散乱法で測定
仮比重	JIS Z 7302-9 : 2002
真比重	JIS K 6920 : 2000附属書B
無機成分組成	燃焼灰をタブレット状とし、蛍光X線分析装置にて分析
有害元素溶出試験	Cd、Cr ⁶⁺ 、Hg、Se、Pb、As、F、Bを分析。灰と水を1:10（g : mL）の割合で混合し6時間振とう後、ろ過して検液を得る。検液中の各成分の測定はJIS K 0102 : 2013に準じた
有害元素含有量分析	Cd、Cr、Hg、Se、Pb、As、Bを分析。Hgは加熱酸化・原子吸光法による。その他は湿式灰化により検液を得てICP-OES、ICP-MSを用いて分析

(2) 雪上散布試験

燃焼灰は、クリンカ（塊状となった燃焼灰）を除けば粉体であり、既存の融雪資材（木炭、もみ殻炭）と同様の散布方法が適用できると考えられる。一方、散布量については科学的な報告例がないことから、雪上散布試験を実施した。

試験区として、燃焼灰散布区、木炭散布区、もみ殻炭散布区、対照（無散布）区を設けた（図3-1-2-1）。燃焼灰は道内のチップボイラより採取したものを、木炭およびもみ殻炭は道内産で融雪、土壌改良用に市販されているものを使用した。試験は3月中旬、積雪40～50cm時に開始した。各散布区においては、木炭の散布量を目安に1㎡あたり20gを散布し、積雪減少量を経時的に調査した。



図3-1-2-1 雪上散布試験の様子

* 散布3日後、手前から木炭散布区、もみ殻炭散布区、対照区、燃焼灰散布区

3) 結果と考察

(1) 採取燃焼灰の基本的性状

燃焼灰12試料の水分は0.1～1.8%と非常に低い値であった。燃焼灰溶液（灰：水=1：10）のpHは12.0～13.1であり、強アルカリ性を示した。同様にECは値が低いものでも9.4mS/cmであり、中には20mS/cm以上の値を示すものもあった。pHとECについては、主灰よりも飛灰の方が高値になる傾向があった。強熱減量（未燃分）は6.1～21.9%であり、ボイラ間での燃焼性の違いが伺われた。粒度分布については、ロータップ型ふるい振とう機による測定において、粒径250μm未満の重量割合が飛灰で96.3～99.6%を占めた。これに対して主灰では56.6～79.9%、ミックス灰では50.6～84.2%であり、飛灰との間に差異があった。さらに、目開き250μmのふるいを通過した灰画分の粒度測定（粒子径分布）では、

飛灰の粒子は概ね9割が70~80 μ m未満であり、主灰やミックス灰よりも細かい粒子が多かった。仮比重は0.25~0.95kg/L、真比重は2.68~3.12kg/Lであり、仮比重、真比重のいずれも飛灰より主灰の方が高値を示した。

無機成分組成（酸化物換算）については、CaO、K₂Oが無機成分の主体であった（図3-1-2-2）。これらの他、SiO₂、MgO、P₂O₅、Al₂O₃、Fe₂O₃、SO₃、MnOの割合が高かった。有害元素の溶出試験に関しては、金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を全試料が全項目で満たしていた。また、有害元素の含有量については、全試料が土壌含有量基準（Cd、Cr、Hg、Se、Pb、As、B）を満たしていた。

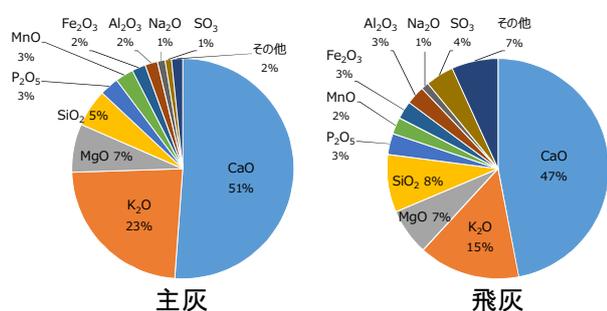


図3-1-2-2 燃焼灰の無機成分組成
* 酸化物換算，平均値

(2) 燃焼灰の融雪効果

図3-1-2-3に雪上散布試験における積雪減少量の推移を示す。各資材の散布区については順調に積雪が減少し、対照区と比べて融雪効果は明らかであった。燃焼灰散布区の積雪減少量は、木炭散布区ともみ殻炭散布区の間位置した。

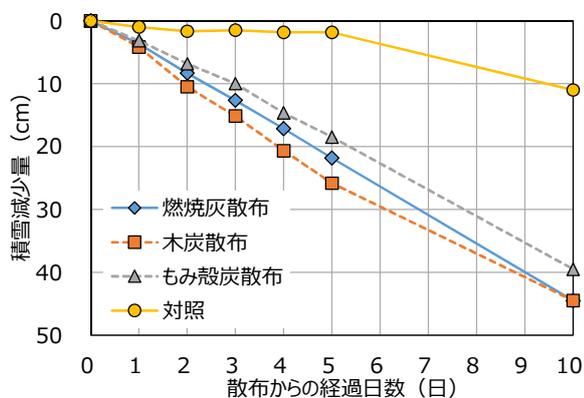


図3-1-2-3 燃焼灰の雪上散布試験における積雪減少量の推移 (20g/m² 散布)

試験中(3月中旬)の試験地周辺の日平均気温については、散布1日後から5日後までは連日-3℃未

満であり、散布日と6日後以降は-3℃を上回っていた。融雪は日平均気温が-3℃以上で起こり得るとされ、対照区の積雪減少の推移はこの指摘に一致するものであった。

一方、各資材の散布区では、対照区で融雪が進まない間も融雪が進んだ。木炭やもみ殻炭については、太陽光線を吸収し、熱として放出することで融雪が起こる。散布1日後から5日後までは日平均気温が-3℃未満であったが、天候はよく、晴れの日が続いたことから、融雪が進んだと考えられる。燃焼灰についても、木炭やもみ殻炭の場合と同様の融雪作用が考えられるが、それに加えて燃焼灰には水溶性の無機塩が含まれており、凍結防止剤(塩化カルシウムなど)と同様の作用、すなわち無機塩が水に溶解の際の溶解熱や凝固点降下による融雪も起きたと想像される。

本試験により、燃焼灰は既存の融雪資材(木炭やもみ殻炭)と同様の散布量で融雪資材として使用できると判断された。

4) おわりに

本研究では、チップもしくは薪ボイラより採取した燃焼灰を分析し、その基礎的性状を明らかにするとともに、雪上散布試験を行って燃焼灰が既存の融雪資材(木炭、もみ殻炭)と同等の融雪効果を示すことを確認した。この他、本稿では触れないが、燃焼灰を雪上散布した際の安全性についても検討しており、一定の安全性があると判断している^[2,3]。

今後は、これらの結果を取りまとめ、燃焼灰利用の技術情報として、燃焼灰の排出者および利用者に向けて発信に努めていきたい。

5) 引用文献等

- [1] 北海道水産林務部林務局林業木材課ほか.『焼却灰(天然木由来)の利用の手引き』.(2017)
- [2] 折橋健,安久津久,丹羽忍,大塚英幸.“木質燃焼灰の雪上散布における融雪水の安全性の検討”. 廃棄物資源循環学会第29回研究発表会講演集. B3-8-P. (2018)
- [3] 折橋健,安久津久,丹羽忍,大塚英幸.“木質バイオマス燃焼灰の活用に向けた検討(2)―無機微量元素の含有量分析―”. 日本木材学会北海道支部講演集. 50. 33-35. (2018)

研究担当機関：林産試験場，環境科学研究センター
執筆者：折橋 健（林産試験場）

3. 1. 3 バイオガス関連技術（既存施設の状況、消化液固形分の燃料・敷料利用）

3. 1. 3. 1 既存施設の状況

1) 背景・目的

北海道の農業において、酪農・畜産は農業産出額の6割程度を占め、乳業・食品加工業をはじめ地域経済を支える基幹産業という位置づけである。

酪農・畜産から発生する家畜ふん尿は、北海道のバイオマス発生量(湿潤ベース)の約半分を占めており、さらに畜種別の内訳は、乳用牛が64%、肉用牛が25%、豚が7%、他が4%であり、乳用牛がその大半を占めている^[1]。また、家畜ふん尿は、そのほとんどが堆肥やスラリーとして地域の農地に還元されているが、規模拡大に伴う飼養頭数の増加や飼養形態の変化により、水分率の高いふん尿の適正な管理・処理とその省力化が求められている。

一方で、家畜ふん尿の嫌気発酵処理により生成されるバイオガスは、農業・農村地域の有望な再生可能エネルギーとして注目され、家畜ふん尿を主原料とするバイオガスプラントは60機以上導入されている。

バイオガスプラントで生成されるバイオガスは、専用ボイラで直接燃焼して利用されるほか、電力と発電廃熱を使用するエネルギー効率の高いコージェネレーションシステムに利用される。また、バイオガスを都市ガス規格相当に調整して外部利用することも可能である。一方、発酵後の残渣液である消化液は液肥として農地に還元されるが、消化液の分離固形物が再生敷料として利用されるなど、バイオガスに関連する技術は様々である。

そこで本報告では、バイオガスプラント関連技術について、既存施設（研究施設含む）の現地調査および資料調査により整理する。

2) 方法

現地調査を行った既存施設は以下の表3-1-3-1-1の通りである。各バイオガスプラントにおいて、①施設概要、②バイオガス関連技術について調査を実施した。

表 3-1-3-1-1 バイオガス関連技術の現地調査一覧

バイオガス関連技術	項目	概要
バイオガス発電	プラント	A, B (X町)
	利用形態	個別型
余剰バイオガス精製供給技術	プラント	C (Y町)
	利用形態	共同利用型
消化液の固形分離および乾燥技術	プラント	D (X町)
	利用形態	個別型
低水分家畜ふん尿を原料とする乾式メタン発酵システム	プラント	E (Z市)
	利用形態	個別型

3) 調査結果

(1) バオガス発電

① バイオガスプラント概要

X町では、飼養頭数の拡大に伴い、飼養形態がつなぎ飼いからフリーストールへ変化し、水分率の高いスラリー状のふん尿が発生し、完熟堆肥化による地域農地への還元が困難になってきたことと地球温暖化（温室効果ガス）などの環境問題へ対応するため、2012年に農業協同組合が事業主体となって農林水産省の補助事業を活用して、4戸の酪農家に4基の個別型バイオガスプラントを建設し、2013年5月より本格稼働している。バイオガスプラントの管理は酪農家へ委託している。

バイオガスプラントの概要を表3-1-3-1-2、外観を写真3-1-3-1-1に示す。飼養頭数および投入原料量はプラントAが170頭規模、15t/日程度、Bが270頭規模、19t/日程度である。メタン発酵は湿式で中温発酵（発酵温度41℃程度）である。

表 3-1-3-1-2 バイオガスプラント概要

プラント	A	B
牛舎形式	フリーストール	フリーストール
飼養頭数(頭)	170	270
投入原料量(t/日)	14.7	19.5
原料槽(m ³)	85	85
発酵槽(m ³)	630	777
貯留槽(m ³)	3,317	2,375
発電機(kW)	50 → 64	50 → 64



写真 3-1-3-1-1 バイオガスプラント



写真 3-1-3-1-2 バイオガス発電機

発生するバイオガスを使って発電を行い（写真3-1-3-1-2）、固定価格買取制度（再生可能エネルギーで発電された電気をその地域の電力会社が一定期間固定価格で買い取ることを国が義務付けた制度）を活用して売電している。また、バイオガス発電機の出力は、稼働初期は50kWであったが、2013年11月より64kWに更新されている。発電設備から廃熱を温水として回収し、メタン発酵槽の加温や牛舎の給湯・暖房などに使用している。

② バイオガス発電機の稼働状況

表3-1-3-1-3、図3-1-3-1-1にプラントAの稼働実績値を示す。平均飼養頭数は経産牛163頭で、うち搾乳牛は142頭であった（経産牛に対する搾乳牛の比率0.87）。投入原料は7,300t程度、メタン濃度は55%程度であった。発電機のバイオガス使用量は約256,000m³/年であり、年間発電量は475,000kWh程度であった。発電機の稼働率は99%、利用率（=（年間発電量）/（発電機容量*365（日）*24（時間））*100）は85%（54kW）程度と一年を通じて安定した稼働状況であった。発生するバイオガスは、ガス発電機およびガスボイラでほぼ全量を消費していることから、バイオガス使用量をバイオガス発生量とみなすと、単位原料当たりのバイオガス発生量は35.2m³/t、単位体積当たりの発電量は1.86kWh/m³であった。

表3-1-3-1-4、図3-1-3-1-2にプラントBの稼働実績値を示す。プラントの立ち上げは2013年4月である。平均飼養頭数は経産牛246頭で、うち搾乳牛は212頭であった（経産牛に対する搾乳牛の比率0.86）。投入原料は8,500t程度、メタン濃度は54%程度であった。発電機のバイオガス使用量は約273,000m³/年、年間発電量は516,000kWh程度であった。発電機の稼働率は97%、出力割合は89%（57kW）程度と一年を通じて安定した稼働状況であった。単位原料当たりのバイオガス発生量は32.6m³/t、単位体積当たりの発電量は1.90kWh/m³であった。

表3-1-3-1-3 稼働状況（プラントA）

年度	2014	2015	平均
経産牛（頭）	163	162	163
搾乳牛（頭）	143	142	142
投入原料（t/年）	6,909	7,633	7,271
メタン濃度（%）	56	54	55
発電量（kWh）	460,909	490,162	475,536
発電機稼働率（%）	99.2	98.8	99.0
利用率（%）	82.2	87.5	84.9
発電機使用ガス量（m ³ ）	246,060	265,450	255,755
ボイラ使用ガス量（m ³ ）	110	269	190
バイオガス使用量（m ³ ）	246,170	265,719	255,945
単位発生量（m ³ /t）	35.7	34.8	35.2
単位発電量（kWh/m ³ ）	1.87	1.84	1.86

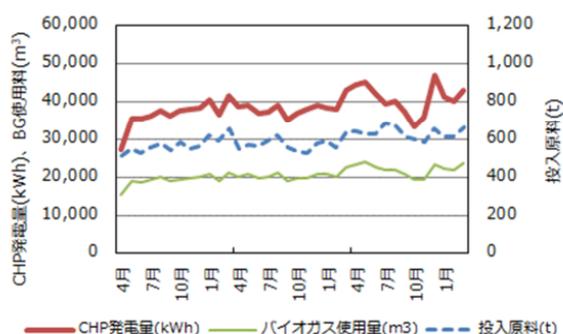


図3-1-3-1-1 発電機稼働状況（プラントA）

表3-1-3-1-4 稼働状況（プラントB）

年度	2014	2015	平均
経産牛（頭）	239	253	246
搾乳牛（頭）	206	219	212
投入原料（t/年）	8,546	8,343	8,445
メタン濃度（%）	54	55	54
発電量（kWh）	513,188	518,909	516,049
稼働率（%）	95.3	98.8	97.1
利用率（%）	91.6	87.5	89.5
使用ガス量（m ³ ）	267,334	276,395	271,865
ボイラ使用ガス量（m ³ ）	2,533	518	1,526
バイオガス使用量（m ³ ）	269,867	276,913	273,390
単位発生量（m ³ /t）	31.8	33.3	32.6
単位発電量（kWh/m ³ ）	1.92	1.88	1.90

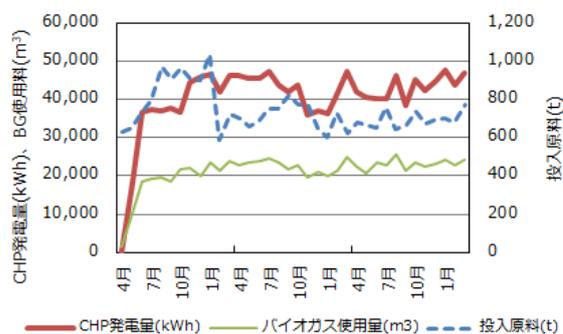


図3-1-3-1-2 発電機稼働状況（プラントB）

（2）余剰バイオガス精製供給技術

① バイオガスプラント概要

Y町は農業と観光を基幹産業とする農村地域である。農業における畜産部門は酪農が主体となっている。近年、観光農園や体験型農業の施設が整備され、観光客が増加する中、市街地を中心に家畜ふん尿の適正処理や市街地周辺の環境改善や生ごみ・汚泥など地域の廃棄物の有効資源利用に関する要望が高まってきたことから、既存の汚泥処理施設にバイオガスプラント・堆肥化施設を新設し、環境に配慮した地域資源循環型社会の形成を推進している。

バイオガスプラントの概要を表3-1-3-1-5に示す。プラント周辺の酪農家から排出される乳用牛ふん尿を

主原料とする共同利用型バイオガスプラントであり、投入原料は専用コンテナを利用して搬送される。投入原料量は94.8t/日である。発酵槽は箱型と円柱型が併設されている。貯留槽は冬期間に発生する消化液の貯留に十分な容量を備えている。消化液は良質な有機肥料として町内の農地、草地に還元される。

バイオガス関連設備としては、108kWの専焼発電機、200kWのコジェネ発電機を各1基装備している。発電により得られる電力は施設内で利用するとともに、余剰分は固定価格買取制度を利用して電力会社に売電している。発電機から熱回収した温水とバイオガスボイラの温水は原料槽や発酵槽の加温と消化液の殺菌に使用される。

バイオガスプラントで生産されるバイオガスのメタン濃度は58～60%程度である。バイオガスの使用量は108kW専焼発電機が約42万m³/年、200kWのコジェネ発電機が約88万m³/年であり、発電量は約227万kW/年である(2016年)。固定価格買取制度の活用以前には、余剰ガスはガスフレアで燃焼廃棄されていた。

表 3-1-3-1-5 バイオガスプラント概要

プラント		C
利用形態		共同利用型
発酵方式		湿式・中温
投入原料種類・量		①乳牛ふん尿・85.8t/日 ②敷料等・4.0t/日 ③車両洗浄水・5.0t/日
主要施設	原料槽	250 m ³ ×2 槽
	発酵槽	400 m ³ ×4 槽, 800 m ³ ×2 槽
	貯留槽	6,231 m ³ ×2 槽, 11,477 m ³ ×1 槽
	ガスホルダ	250 m ³ ×2 基
バイオガス 関連設備	発電機	200kW×1 基, 108kW×1 基
	温水ボイラ	100,000kcal/h×3 基
	蒸気ボイラ	1,000kg/h×1 基
	ガスフレア	100 m ³ /h×1 基
	精製圧縮充填装置	100N m ³ /日以下

② バイオガス精製圧縮装置と精製ガス利用

バイオガスプラントから産出される余剰バイオガスをプラント施設外で活用するため、精製圧縮充填装置を導入実証している(写真 3-1-3-1-3)。精製装置は、高圧ガス保安法で規定される第二種製造者が生産できる高圧ガス製造量「100N m³/日未満」に対応した装置で、同法で規定された「移動式製造設備」である^[2]。バイオガスの精製は同装置内の分離膜で行われ、分離後のガスの品質を都市ガス規格 12A (ウォッペ指数 (WI: ガスの発熱量をガスの比重の平方根で除した値): 49.2～53.8, 燃焼速度 34～47m/s の範囲内のガス) 相当の熱量に調整する熱量調整機能を搭載している。

精製バイオガスは町役場の給湯室、CNG 車、育苗用

ハウスで施設外利用されている。町役場の給湯室(給湯器、ガスコンロ)では、精製バイオガスが圧縮充填されたボンベをプラント職員が運搬・交換している(写真 3-1-3-1-4)。使用量としては24 m³/年(2本×2回/年交換)程度である(2014年)。



写真 3-1-3-1-3 精製圧縮充填装置



(a) ガスポンペ

(b) 給湯器

写真 3-1-3-1-4 精製バイオガスの利用例



写真 3-1-3-1-5 デュアルフューエル型の CNG 車

精製圧縮バイオガスとガソリンの利用の手動切替が可能なデュアルフューエル型の CNG 車で利用されている(写真 3-1-3-1-5)。年間使用量は精製バイオガスが443 m³/年、ガソリンが723L/年で、年間走行距離は7,500～8,000km程度である(2014年)。

農業用途としては、試験的に施設内に設置されているさつまいも育苗用ハウスで利用されている（写真 3-1-3-1-6）。6本セットのカードルに充填して、運搬・利用している。年間使用量は964 m³である（2014年）。

精製されたバイオガスは、硫化水素を含まないことから、一般ガス機器の利用と同じく腐食がない。農村地帯では一般にプロパンガスの利用が多いことから、利用にあたっては専門業者によるガス機器のノズル交換・流量調整等が必要である。

現在は、固定価格買取制度が活用でき、事業実施中は、ガス機器燃料としての代替より精製（改質）しないバイオガスを直接、発電機の燃料として活用することが望ましい。精製圧縮充填装置の維持管理費がやや課題であることから、経営系内利用を前提としたパイピングによる精製ガス移送が望ましいと思われる。



(a) ガスボイラと精製 (b) カードル供給装置
写真 3-1-3-1-6 育苗ハウスでの利用状況

(3) 消化液の固形分離および乾燥技術

① バイオガスプラント概要

前述しているX町において、環境省の地域循環型バイオガスシステム構築モデル事業を活用して、2013年から稼働しており、事業主体の民間企業が運営管理している。

バイオガスプラントの概要を表 3-1-3-1-6 に示す。隣接する大規模牧場より排出されるふん尿を主原料とする個別型バイオガスプラントである。投入原料はフリーバーン牛舎で発生する固形ふん尿（ふん尿、敷料、残餌の混合物）で、TS30%程度であることから、原料槽において固形ふん尿の投入量 30～35t に対して消化液分離液 80t を混合して TS10～15%に調整して発酵槽へ投入している。原料量は約 115t/日である。発酵温度は 41.5～42℃程度であり、発酵槽加温のためのガスボイラ運転はほとんど無い。消化液は固液分離され、分離液の一部は原料水分調整に返送され、その他は貯留されて、隣接農地・草地へ無償還元される。分離固形

物は温水床加温型乾燥施設で乾燥され、乾燥固形物は隣接牧場へ再生敷料として販売している。ガス発電機は 25kW×7 基を装備しており、発生した電力は隣接牧場に販売している。

表 3-1-3-1-6 バイオガスプラント概要

プラント		D
利用形態		個別型
発酵方式		湿式・中温
投入原料種類・量		①固形牛ふん尿・35 t/日 (ふん尿、敷料、残餌の混合物) ②消化液分離液・80.0t/日
主要施設	原料槽	200 m ³ ×2 槽
	発酵槽	1,300 m ³ ×2 槽
	貯留槽	5,000 m ³ ×2 槽
	ガスホルダ	380 m ³ ×2 基
消化液関連設備	固液分離機	プレス型圧搾機×2 機 最大 38 m ³ /h
	乾燥施設	温水床加温型乾燥施設
バイオガス関連設備	発電機	25kW×7 基
	温水ボイラ	100,000kcal/h×3 基
	蒸気ボイラ	1,000kg/h×1 基
	精製装置	50N m ³ /h

② 消化液の固形分離および分離固形物乾燥技術

消化液はプレス型圧搾機（写真 3-1-3-1-7）で固液分離され、分離固形物はベルトコンベヤで温水床加温型乾燥施設へ移送される。固液分離メッシュ間隔は2mmである。分離固形物の含水率は70%程度である。



写真 3-1-3-1-7 固液分離機（プレス型圧搾機）



写真 3-1-3-1-8 温水床加温型乾燥施設

温水床加温型乾燥施設（写真 3-1-3-1-8）は、施設の床下に温水パイプを配管し、発電廃熱を利用した温水とバイオガスボイラの温水を利用して床を加温する。さらに強制攪拌装置、送風ファンによる表面通風、送風ブロワによる床面通気孔を装備しており、消化液分離固形物の乾燥を促進させている。7～10 日程度の処理期間で含水率は 50～55%程度に低下する。乾燥処理後は、そのままの状態ですべて再生敷料として隣接牧場に販売している。

温水床加温装置、強制攪拌装置、送風ファンおよび送風ブロワの通気装置を装備した屋根付き乾燥舎による分離固形物の乾燥処理能力は大きい、敷地面積や設備投資も大きい。200～300 頭規模の個別型バイオガスプラントでの利用を想定した場合、春から秋にかけて余剰となる発電排熱やバイオガスを活用したコンパクトな分離固形物乾燥装置の開発・導入が望まれる。

表 3-1-3-1-7 メタン発酵技術の概要

項目	湿式	乾式
原料濃度	2～10%	15～30%
処理概要	メタン菌を低い汚泥濃度で浮遊させ処理	メタン菌を高い汚泥濃度で処理
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・運転管理容易 ・消化液の処理が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・固形物処理可能 ・排水処理不要 ・原料単位重量あたりのガス発生量大（紙ごみ、草本類も処理可能なため）
主な適用先	<ul style="list-style-type: none"> ・事業系／家庭系生ごみ ・食品加工残渣 ・家畜ふん尿 ・下水汚泥 	<ul style="list-style-type: none"> ・事業系／家庭系生ごみ ・食品加工残渣 ・固形廃棄物
実績	国外多い	国内少ない
分別収集、機械選別	異物の混入条件が厳しいため可燃物の機械選別の採用が難しく、分別収集が原則となる	異物の混入条件が緩いため、機械選別により選別しても発酵施設への影響が少ない
残渣処理、利用	<ul style="list-style-type: none"> ・液肥として利用可能 ・発酵残渣を脱水後に堆肥や再生敷料としての利用も可能 ・液肥利用できない場合は排水処理が必要となる 	<ul style="list-style-type: none"> ・脱水した発酵残渣を焼却施設で燃料として利用可能 ・分別収集を行えば残渣を液肥、堆肥利用することも可能 ・希釈水の投入量が少なく、排水処理コストが少ない

出典) バイオマスエネルギー地域自立導入案件・技術指針 (2017, NEDO)

(4) 家畜ふん尿を原料とする乾式メタン発酵システム

① 家畜ふん尿の性状とメタン発酵処理方式

乳用牛の飼養管理方法としては、牛舎内に牛をつなぎ留めて飼養するタイストール方式と、牛が牛舎内を自由に行動できるフリーストール方式に大別できる。

フリーストール方式は、飼養頭数規模が大きい牧場

で採用されている。フリーストール方式の牛舎から排出されるふん尿は、水分調整材が少なく高水分のスラリー状である。

一方でタイストール方式は、牛舎面積が少なく、個体管理や飼料給与がしやすいことから、国内の乳牛舎の主流であり、道内でも約 8 割の牧場で採用されている。タイストール牛舎から排出されるふん尿は、水分調整材を多く含んだ水分率 85%未満の半固形状のセミソリッドふん尿であることから、前述したプラント D のような事例はあるが、湿式メタン方式のバイオガスプラント原料として適しているとはいえない。

メタン発酵処理方式は、基本的に原料水分量によって「湿式」と「乾式」に区別される (表 3-1-3-1-7) [3]。湿式メタン発酵処理方式は原料濃度 2～10%が適していることから、前述した湿式メタン発酵処理方式のバイオガスプラント原料として適している。乾式メタン発酵処理方式は原料濃度 15～30%が適している。タイストール牛舎から排出される半固形状のセミソリッドふん尿は、乾式メタン発酵処理方式のバイオガスプラント原料に適していると想定されるが、国内での導入事例は事業系／家庭系生ごみや食品加工残渣を対象としたもののみである。

② 乾式メタン発酵処理システムの概要

Z 市において、タイストール牛舎から排出される家畜ふん尿を投入原料とする乾式メタン発酵処理方式によるバイオガスプラント (表 3-1-3-1-8) の構築について、民間企業が NEDO 事業を活用して技術開発を進めている。

表 3-1-3-1-8 バイオガスプラント概要

プラント	E	
利用形態	個別型	
発酵方式	乾式・高温	
投入原料種類・量	ふん尿、・6.4 t/日 (飼養頭数 133 頭規模、TS15%程度)	
主要施設	原料受入部	ホッパー (容量 3t) + 細断装置
	発酵槽	154 m ³
	ガスホルダ	30 m ³
消化液関連設備	固液分離機	ローラープレス方式 処理能力 6～10 m ³ /h
バイオガス関連設備	温水ボイラ	1 基

タイストール牛舎から排出される乳牛ふん尿には一般的に麦稈等の敷料を多量に含むことから原料受け入れ部のホッパー下部には破砕機 (写真 3-1-3-1-9) が設置されており、麦稈などの有機物を細断して発酵槽へ移送される。発酵槽の形状は円筒式 (写真 3-1-3-1-10) で、原料を攪拌しながら加温し、嫌気発酵処理してバ

イオメタンガスを回収する。原料となる麦稈混合ふん尿を分離せず均一にするために、発酵槽の内部にはらせん状に配置されたパドル型の攪拌機構が装備されている。発酵残渣は、発酵槽後部の排出コンベヤより排出される。



写真 3-1-3-1-9 原料受け入れ部（破砕機）



写真 3-1-3-1-10 円筒型発酵槽

冬期に実施した試験時のバイオガスの発生量は 60 m³/t 程度、メタン濃度は 55%程度であった。バイオガスは脱水・脱硫後に、ガスバックに貯蔵される。実用化に向けては、メタン発酵効率やエネルギー効率の向上などに関する技術開発、運用システムの構築、共同利用方法の検討など、さらなる検討が必要である。

4) まとめ

バイオガスプラントおよび関連技術に関して、既存施設（研究施設含む）の現地調査および資料調査を行った。

バイオガス発電機の稼働状況は、170 頭規模、270 頭規模で大きな差はなく、メタン濃度が 55%程度、発電

機の稼働率 97%以上、利用率 85%以上で安定的に稼働していた。単位あたりのガス発生量や発電量はそれぞれ 32~35 m³/t 程度、1.9kWh/t 程度であった。

余剰バイオガス精製供給技術は実用レベルにあるが、導入コスト等を考慮すると、固定価格買取制度を活用して、バイオガスを直接発電機の燃料として活用するのが現実的である。精製利用に関しては、経営系内利用を前提としたパイピングによるガス移送が望ましいと思われる。

消化液の固形分離および固形物乾燥により再生敷料としての利用が可能であるが、規模や能力に応じて敷地面積や設備投資が増大する。200~300 頭規模の個別型バイオガスプラントにて、余剰となる発電排熱等を活用したコンパクトな分離固形物乾燥装置が望まれる。

メタン発酵処理方式に関しては、飼養頭数規模の大きい乳用牛のフリーストール牛舎から排出される高水分ふん尿を投入原料とする湿式バイオガスプラントは普及段階にあるが、道内の約 8 割の牧場で採用されているタイストール牛舎から排出される乳牛ふん尿や肉牛から排出される低水分ふん尿を投入原料とする乾式バイオガスプラントは実用化研究段階であるが、将来の北海道における資源循環・エネルギー利用型の農業・農村の構築に必要な技術の一つである。

5) 引用文献等

- [1] 農政部生産振興局畜産振興課. 『北海道の畜産環境をめぐる情勢』. (2017. 6)
- [2] 中央農業試験場. 『余剰バイオガス精製・圧縮装置と地域利用システム』. 北海道農業試験会議 普及推進事項. (2009. 1)
- [3] 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構. 『バイオマスエネルギー地域自立導入案件・技術指針』. (2017. 9)

研究担当機関：十勝農業試験場

執筆者：鈴木 剛

3. 1. 3. 2 消化液固形分の燃料・敷料利用

1) 背景と目的

バイオガスプラントによる家畜糞尿の嫌気発酵処理は悪臭抑制が主目的であるが、処理過程で発生するバイオガスからエネルギーを獲得できるメリットがあり、畜産系バイオマスをエネルギー利用する場合の代表的な技術である。嫌気発酵処理によるバイオガスの発生量は、夏期の余剰ガスの有効活用が課題となっている^[1]。一方、嫌気発酵済みの消化液は固液分離が容易であり、近年は分離された固形分の再生敷料としての活用が広がっている。また、糞尿と木質敷料は一定の熱量を有することから、これらに由来する消化液固形分も燃料利用の可能性はある。

本項では、中央農試が技術指導で参画して新たに開発された、余剰ガスを熱源とする温風式乾燥装置（平成28年度道経済部・先進的エネルギー関連技術開発支援事業「家畜ふん尿のメタン発酵消化液から抽出した固形物の燃料化装置の開発」）による乾燥試験から、固形分の利用目的（再生敷料、燃料）に応じた目標水分と、これに対する乾燥所要エネルギーを明らかにし、余剰ガス発生量に基づく乾燥可能量の試算から、余剰ガスの有効活用について検討する。

2) 方法

(1) 供試機の概要

供試機は、固液分離した消化液の固形分（以下「消化液固形分」）を乾燥用ドラムに投入して、ドラムの回転による攪拌と、余剰バイオガスを熱源とした温風供給で乾燥する温風式乾燥装置である（表3-1-3-2-1、写真3-1-3-2-1）。ドラムの末端には熱交換器（ラジエータと送風機）が配され、ラジエータに供給される温水でファンからの送風を加温し、ドラム内部に温風を供給する。送風機の回転はインバータにより15～50Hzの範囲で調整可能である。投入口は送風機と反対側の末端で上方に開放されており、排風口を兼ねる。ドラムは外周に配置されたチェーンの駆動により回転する。投入された原料はドラムの回転で攪拌されるとともにファンからの温風を受け、乾燥される。ドラム全体は直方体フレームの内部に水平に固定、外部フレームに回転支持されており、排出口側に傾けてドラムを回転することで排出する。

表 3-1-3-2-1 供試機主要諸元

名称				
本体	外形寸法	全長	(mm)	3410
		全幅	(mm)	1400
		全高	(mm)	2080
	原料投入口	縦×横	(mm)	400×600
		排出口	縦×横	(mm)
ドラム	攪拌方式	回転による攪拌		
	寸法	直径	(mm)	1200
		長さ	(mm)	2400
		容量	(m ³)	2.7
	回転数	(rpm)	4.8	
熱交換器	ラジエータ	内容量	(L)	18
		送風機	形式	軸流 4枚羽根
		直径	(mm)	500
		出力	(kW)	0.75



写真 3-1-3-2-1 供試機外観
(右側が熱交換器及び排出口)

(2) 供試原料

供試原料として、家畜糞尿と木質敷料及び残餌の混合物をバイオガスプラントで嫌気発酵処理した後、固液分離機（CRI-MAN製、SM260professional）で分離された消化液固形分を用いた。かさ密度は0.353kg/L、水分は約70±1.6%であった。また、分離前後の消化液TS（Total Solids）は、それぞれ7.1%（分離前）、9.3%（分離後）であった。

表 3-1-3-2-2 供試原料の性状

項目				
消化液	水分	(%)	70	68.4～71.6%の平均
固形分	かさ密度	(kg/L)	0.353	5反復平均 (14L容器)
消化液	分離前	(%)	7.1	
TS	分離後	(%)	9.3	

TS:Total Solids

(3) 運転方法及び調査項目

① 試験処理と運転方法

ア 試験処理

ラジエータに供給する温水の温度は、バイオガスプラントの高温発酵、中温発酵における貯湯槽からの給

湯温度を想定し、それぞれ 70℃（高温発酵，試験 1），及び 60℃（中温発酵，試験 2）に設定して試験処理とした。原料投入量はいずれも 320kg（約 0.9m³，ドラムが回転できる限界の重量）とした。

イ 運転方法

原料投入後に各部電源とボイラを稼動し，運転を開始した。試験は 1 バッチ 1 日とし，24 時間運転を実施した。予備運転において投入口（排風口）から内容物の飛散が発生し，乾燥の進行に伴って増加したことから，排風口に防虫ネット（網目 1mm）を張ってドラム外への内容物の飛散を防止するとともに，最低風量で飛散を抑えるため送風機のインバータを 15Hz（最低値）に設定した。また乾燥の進行に伴い，ドラムの外周部分から内容物の漏出がみられたため，試験中に漏出した原料は適宜投入口からドラム内部へ戻して運転を継続した。

なお，今回は温水供給源として灯油ボイラを用いた。

② 調査項目及び調査方法

ア 乾燥試験の調査項目

調査項目

原料投入・排出量，運転時間，水分，重量，各部温度，温水流量，燃料消費量，電力消費量

調査方法

投入量と排出量は電子はかりで計測し，水分は各サンプル（原料，排出時，及び運転中 1～3 時間毎に採取）を 105℃-24h 法で測定した。各部温度は T 型熱電対での計測値をデータロガーで記録した。温水流量はラジエータ下流側の配管にデジタル式水量計を装着し，燃料消費量はボイラへの燃料配管入口にデジタル式燃料計を装着して，サンプリング時の読み取り値から求めた。ドラム回転モータ及び送風機の電力消費量はデジタルパワーメータで記録した。ボイラについてはクランプメータで電流値（AC100V）を記録し，VA を電力値とみなして消費電力を計算した。

イ 乾燥時の目標水分

再生敷料としての目標水分は，道総研畜産試験場による現地調査事例（50～60%，未公開）に基づき 60%とした。

消化液固形分を燃料として持続的に燃焼させるためには，造粒（ペレット化）する必要がある。消化液固形分の造粒において，原料水分 15%では容易に崩れ，19%では崩れないペレットが成形された（写真 3-1-3-2-2）。このことから，燃料としての乾燥目標水

分を 20%とした。



写真 3-1-3-2-2 原料水分 15%（左）及び 19%（右）での造粒状態

ウ 消化液固形分の発熱量及び灰分

消化液固形分の燃料特性を把握するため，発熱量をボンベ式発熱量計で，灰分を 600℃-5h 法によりそれぞれ調査した。灰分中の元素分析は，蛍光 X 線分析により実施した（調査実施機関：工業試験場 環境エネルギー部 エネルギー技術 G）。

3) 試験結果

（1）目標水分までの処理時間と所要エネルギー

① 乾燥試験結果

試験 1・2 とも，運転開始の約 6 時間後から送風温度の低下が見られた（図 3-1-3-2-1，2）。飛散した内容物で排風口の防虫ネットが目詰まりを起こして風量が低下し，ラジエータの熱交換に影響したことが伺われた。

水分 60%（再生敷料）までの乾燥時間は高温発酵で 5 時間，中温発酵で 6 時間であった。また水分 20%（燃料）には，高温発酵で 21 時間，中温発酵の場合でも 24 時間で到達し，燃料としての目標水分まで供試機の方式で乾燥できることが確認された（図 3-1-3-2-3）。合計投入エネルギー（うち電力消費量）は，試験 1 では 1790MJ（70MJ），試験 2 では 1606MJ（76MJ）であり，大部分が灯油由来の熱量であった（表 3-1-3-2-3）。また原料乾物あたりの投入エネルギーは，試験 1・2 それぞれで 17.7MJ/TSk_g，17.5MJ/TSk_gであった。

表 3-1-3-2-3 乾減率と投入エネルギー

	単位	試験 1		試験 2	
		乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後
温水温度 (24h 平均)	(°C)	69.6		58.2	
温風温度 (24h 平均)	(°C)	53.7		47.1	
原料重量	(kg)	320	100	320	127 ¹⁾
水分	(%)	68.4	8.8	71.4	19.9
乾減率	(%/h)		2.5		2.1
かさ密度	(kg/L)	0.353	0.253	0.353	NA
水分蒸発量	(kg)		209		206
電力消費量	(MJ)		70		76
燃料消費量	(L)		49.3		43.8
投入エネルギー 合計 ²⁾	(MJ)		1790		1606
原料乾物あたり (MJ/TSk _g)			17.7		17.5

1) 試験 2 は排出時の計量に前回運転の残存分が含まれるため，乾燥前後の原料重量と水分蒸発量が整合しない。

2) 灯油の低位発熱量 (34.9MJ/L) から計算

NA: not applicable

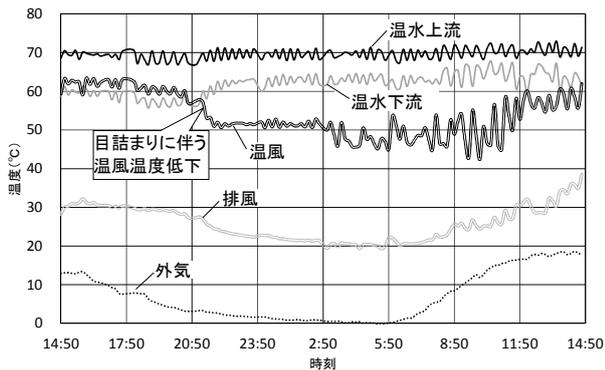


図 3-1-3-2-1 各部の温度推移
(試験 1, 温水 70°C)

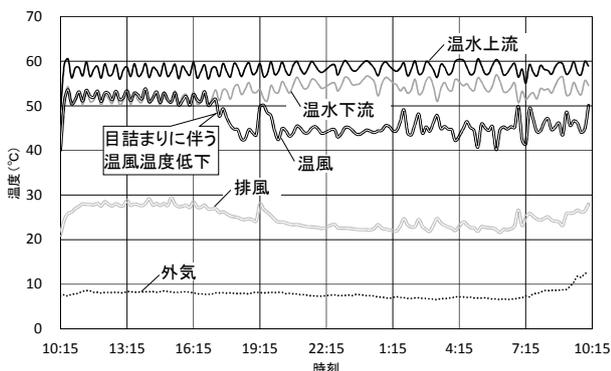


図 3-1-3-2-2 各部の温度推移
(試験 2, 温水 60°C)

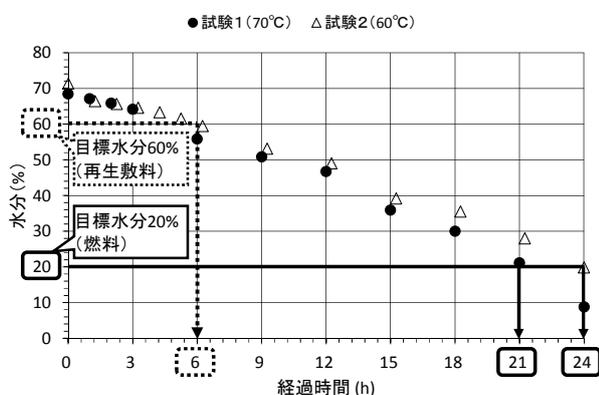


図 3-1-3-2-3 経過時間, 目標水分と
内容物水分の推移

② 目標水分までの処理時間及び所要エネルギー

分離前の消化液 TS を 7% (供試原料の生産農家における測定値), 固液分離比を固:液=1:10^{[2][3]}とし, 分離固形分の水分を本試験における平均の 70%とした場合, 消化液 1t から分離される固形分は約 90.9kg で, TS は約 27.3kg となる。これに基づく, 供試機による 1 バッチの処理量 (現物 320kg) は, TS96kg, 消化液換算では 3520kg となり, 乳牛およそ 55 頭分の排出量に相当する (1 頭あたり 64.4kg の場合)。

すなわち表 3-1-3-2-4 に整理したとおり, 水温 70°C, 目標水分 20%で乾燥する場合, 運転時間は 21 時間であり, 所要エネルギーは 1 バッチあたり合計 1595MJ で, うち熱量 1533MJ, 電力 62MJ となる。

表 3-1-3-2-4 目標水分と所要時間,
及び 1 バッチ¹⁾あたりの所要エネルギー

目標水分 (%)	運転時間 (h)	水温70°C (高温発酵)			水温60°C (中温発酵)			
		熱量 (MJ)	電力 (MJ)	合計 (MJ)	運転時間 (h)	熱量 (MJ)	電力 (MJ)	合計 (MJ)
60 (再生敷料)	5	432	17	449	6	473	21	494
50	10	825	32	857	11	790	37	827
40	14	1108	43	1151	16	1090	53	1143
30	18	1372	54	1426	20	1307	65	1372
20 (燃料)	21	1533	62	1595	24	1530	76	1606

1)1バッチ = 消化液3.52t, 現物320kg, TS96kg

(2) 消化液固形分の発熱量及び灰分

消化液固形分 (乾燥後) の発熱量及び灰分は, それぞれ 18.8MJ/kg, 灰分 10.6%であった (表 3-1-3-2-5)。

表 3-1-3-2-5 消化液固形分 (乾燥後) の
発熱量と灰分 (工業試験場調べ)

発熱量 (無水) (MJ/kg)	灰分 (%)
18.8	10.6

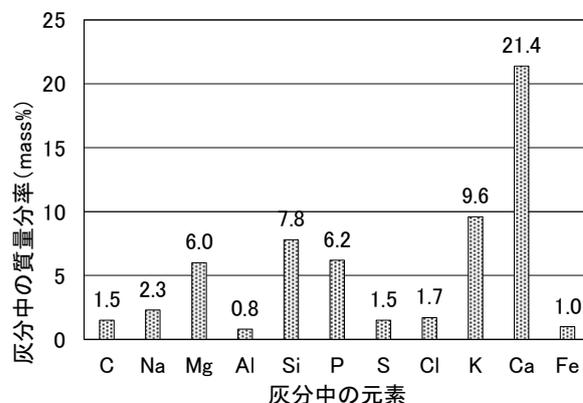


図 3-1-3-2-4 消化液固形分 (乾燥後) から
生成した灰分中の元素と質量分率
(工業試験場調べ)

木質ペレットの品質規格^[4]において, 高位発熱量は C 品で 17.5MJ/kg 以上, A 品でも 18.0 MJ/kg 以上とされており, 消化液固形分の発熱量 18.8MJ/kg はこれを満たしている。一方, 灰分については品質規格が A 品で 0.5%以下, C 品でも 1~2%とされているのに対し, 消化液固形分では 10.6%と高い。また, 乾燥後の固形分から生成した灰分は Mg, K, Ca を多く含み (図 3-1-3-2-4), 溶融した燃焼灰が炉内に堆積付着し, ボイラの不具合を生じるスラッシング障害が発生しやすいと評価される。このことから消化液固形分を燃料とするには, 付

着抑制のために高品位な燃料との混焼、炉内のコーティング、燃焼調整等による燃焼灰の付着対策や、あるいは近年開発された農業残渣ペレットに対応したボイラによる燃焼が必要となる。以上のように、消化液固形分の燃料としての利用場面は現状では限定的と考えられ、今後の燃焼技術向上や、燃焼可能なボイラの普及拡大が望まれる。

4) 余剰ガスによる処理可能量

250頭規模のプラントで発生するバイオガスのうち、余剰となるのは12万m³/年とされている^[1]。バイオガス中のメタン濃度を55%、メタンの低位発熱量を35.8MJ/m³とすると、余剰ガスから得られる年間の発熱量は次のとおり約2.36TJとなる。

$$120,000\text{m}^3 \times 55\% \times 35.8\text{MJ/m}^3 = 2,362,800\text{MJ} \text{ (2.36TJ)}$$

また、乳牛1頭・日あたりのふん尿排出量を64.4kgとした場合の乾燥処理におけるマテリアルフロー、及び投入エネルギーを表3-1-3-2-6に示す。

表3-1-3-2-6 乾燥処理におけるマテリアルフロー及び投入エネルギー

<牛舎>					
	原料	備考			
kg/頭・日	ふん尿	64.40			
t/日		16.10	250頭		
<バイオガスプラント>					
	消化液	備考			
kg/頭・日	64.40				
t/日	16.10	250頭			
TS %	7.00				
<固液分離>					
	消化液	液分	備考		
	固形分				
分離比	1	10	文献[2],[3]		
kg/頭・日	5.85	58.55			
t/日	1.46	14.64	250頭		
TS %	30.00	5.33	30%は実測値		
		(貯留槽)			
<乾燥>					
	再生敷料	燃料	備考		
kg/頭・日	4.39	2.20			
t/日	1.10	0.55	250頭		
TS %	40.00	80.00			
乾燥投入エネルギー					
	再生敷料		燃料		備考
	高温発酵	中温発酵	高温発酵	中温発酵	
消費 MJ/固形分kg	0.05	0.07	0.19	0.24	①
電力量 MJ/頭	0.31	0.39	1.13	1.39	②:①×5.85kg/頭・日
MJ	77.64	97.97	282.50	348.42	②×250頭
kWh/頭	0.09	0.11	0.31	0.39	③:②/3.6
kWh	21.57	27.21	78.47	96.78	③×250頭
消費 MJ/固形分kg	1.35	1.48	4.79	4.78	④
熱量 MJ/頭	7.90	8.65	28.05	27.98	⑤:④×5.85kg/頭・日
MJ	1974.19	2162.96	7011.48	6996.17	⑤×250頭
L/頭	0.23	0.25	0.80	0.80	⑥:⑤/34.9MJ/L (灯油換算)
L	56.57	61.98	200.90	200.46	⑥×250頭
m ³ /頭	0.40	0.44	1.42	1.42	⑦:⑤/35.8MJ/m ³ ×55% (バイオガス換算)
m ³	100.26	109.85	356.09	355.32	⑦×250頭

供試機においては、再生敷料の場合は1日最低4バッチ(約220頭分)、1ヶ月では120バッチの、燃料の場合は1日最低1バッチ(約55頭分)、1ヶ月で30バッチの処理が可能である。このことから1ヶ月で供試機により使用できる余剰バイオガス量は、最大で2882m³(56747MJ、表3-1-3-2-7、中温発酵・再生敷料の場合)となる。また250頭規模の処理に向けては、現状より115%程度の容量アップ(約3.1m³)が必要となる(再生敷料の場合)。

表3-1-3-2-7 供試機における乾燥所要エネルギー

温水温度 (発酵方式)	目標 水分	①		②		③		①×③		②×③	
		熱量 /バッチ	電力量 /バッチ	月間 バッチ数	月間 処理量 ¹⁾	月間 熱量	同左 ²⁾ (ガス 換算)	月間 電力量			
(°C)	(%)	(MJ)	(MJ)	(バッチ)	(消化液t)	(MJ)	(m ³)	(MJ)			
70	60(再生敷料)	432	17	120	422	51795	2631	2037			
(高温発酵)	20(燃料)	1533	62	30	106	45997	2336	1846			
60	60(再生敷料)	473	21	120	422	56747	2882	2570			
(中温発酵)	20(燃料)	1530	76	30	106	45888	2331	2285			

1)1バッチ = 消化液3.52t, 現物320kg, TS96kg

2)バイオガスの発熱量19.69MJ/m³(メタン低位発熱量(35.8MJ/m³)×メタン濃度(55%))から

年間の余剰ガス量12万m³(2.36TJ)に対して、計算上は供試機を年間運転することで、最大約3.45万m³(0.68TJ)の余剰ガスを消費可能である。ガスの発生量は季節変動が大きいため、ガスの使用状況(自家燃焼利用、精製利用など)によっては余剰ガス量が乾燥所要量を下回り、運転できない時期が生じる可能性があるが、夏期(7~9月)には発酵槽の加温と経営外での精製利用を差し引いても約6千m³/月のガスが余剰となる^[1]ため、夏期の余剰ガス活用において本方式は有効である。

5) 成果の展開

本項では、温風式乾燥装置による乾燥試験を通じて目標水分(再生敷料で60%、燃料で20%)までの乾燥時間と所要エネルギーを明らかにし、更に余剰ガスを用いた場合の処理可能量を提示した。搾乳牛1頭あたりで年間に使用される敷料の価格は9603円とされており、250頭規模では年間240万円に達する^[5]。また、消化液固形分を再生敷料として利用するには、一般的には好氣的発酵により水分を70%から50~60%にまで低下させるため、堆積・切り返しの作業を要する。

供試機においては内容物の飛散や漏出の防止といった要改善箇所が残されているが、余剰ガスを熱源として消化液固形分を乾燥することは、敷料資材の調達、及び調整に係る経費と時間の削減につながり、有効な技術と判断できる。今後の改良・市販化により、敷料が不足しやすい酪農専業地域において、バイオガスプラントを導入している大規模経営での有効活用が期待される。

一方、消化液固形分（乾燥後）は、木質ペレット並の熱量をもつ反面、生成する灰分は、ボイラの不具合の原因となるスラッシング障害を起こしやすいと判断される。このことから、現状においては高品位燃料との混焼材としての利用や、近年開発された農産残渣ペレットを燃焼可能なボイラでの燃焼など、限定的な利用に留まると考えられる。燃料利用の拡大に向けては、今後の燃焼技術向上や、燃焼可能なボイラの普及拡大が望まれる。

6) 引用文献等

- [1] 木村義彰, 日向貴久. ”余剰バイオガスの精製・圧縮装置を用いた地域利用システム”. 『新しい研究成果』. 北海道農業研究センター. 95-101 (2009)
- [2] 阿寒農業協同組合, 北海道エア・ウォーター株式会社. “バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業 地域自立システム化実証事業 家畜ふん尿由来のバイオガスエネルギーを利用した酪農地域自立システムの事業性調査 (FS) ”. NEDO 平成 28 年度成果報告書 (2017)
- [3] 河原林孝由基. ”酪農経営を下支えする畜産バイオマス発電と再生敷料 —北海道江別市・(有)小林牧場の取組み—”. 『調査と情報』. 農林中金総合研究所. 14-15 (2016)
- [4] “木質ペレット品質規格”. (一社) 日本木質ペレット協会. 3 (2017)
- [5] 農林水産省. ”平成 27 年度 畜産物生産費”. (一社) 農林統計協会. 93 (2017)

研究担当機関：中央農業試験場

執筆者：吉田邦彦

3. 1. 4 低温炭化

1) はじめに

北海道では、年間約 70 万 m³ の木質バイオマスエネルギーを利用している。今後、バイオマス発電等との燃料競合により、低品質な林地未利用材等の利用が増加することが見込まれることから、バイオマス燃料の性能向上を図る必要がある。

低温炭化（トレファクション（Torrefaction））とは、バイオマスを低温（200～320℃）で熱処理することにより、発熱量向上・破碎性向上・吸水性低下等の性能を付与する技術であり、従来の木炭製造より収率が高く、微粉炭ボイラの混焼用燃料等としての活用が期待される^{[1][2]}。

そこで北海道産木質チップ燃料をトレファクションし、各種性能を測定するとともに熱分析、構造解析を行い、製造条件を検討した^[3]。

また、原料の形状や種別により処理条件が異なることと予想されることから、さらに北海道産の形状の異なる木質チップ燃料 2 種および農作物残さ 3 種を同一処理条件でトレファクションし、各種性能を比較した^[4]。

2) 方法

(1) 製造条件の検討

試料には北海道産カラマツ伐根粉碎物（水分 17.8%）を供した。トレファクションには実験用の外熱（5 kW）式の横型回転炭化炉（図 3-1-4-1）を用いた。炭化炉のレトルト（10L）に試料 500 g を充てんし、回転させながら 1 時間で所定温度（200～300℃）まで昇温し、ただちに室温にて冷却した後、処理物の重量および水分を測定し無水ベースの収率を求めた。



図 3-1-4-1 横型回転炭化炉

得られた熱処理物は、JIS M8812「石炭類及びコークス類—工業分析方法」、JIS M8813「石炭類及びコークス類—元素分析方法」、及び JIS M8814「石炭類及びコークス類—ボンブ熱量計による総発熱量の測

定方法及び真発熱量の計算方法」に従い、工業分析値（灰分、揮発分、固定炭素）、元素分析値（H, C, N 含有量）、及び総発熱量を測定した。

破碎性の良否を示すハードグローブ破碎性指数（HGI）は JIS M8801「石炭—試験方法」に準じて測定した。ただし、試料が石炭に比べてかさ高いため、試料充てん量は規定の 1/2（25g）とした。吸水性は旧運輸省船舶局長通達船査第 52 号（昭和 59 年 2 月 1 日付け）「排出油防除資機材の性能試験基準」を準用して測定した。

熱分析には示差熱天秤（TG8120（株）リガク製）を用いた。微粉碎した試料 5mg を空気気流中（200ml/min）において昇温速度（20.0℃/min）で 500℃まで加熱し、質量減少率の変化及び反応熱を測定した。

構造解析にはフーリエ変換赤外分光光度計（FT/IR4200 日本分光（株）製）を用いて、KBr 法により FT/IR スペクトルを測定した。

(2) 各種処理物の性能比較

試料には美深町産トドマツ（パルプチップ）、南富良野町産カラマツ（ピンチップ）の木質チップ燃料、農作物残さとして比布町産モミガラ、訓子府町産タマネギ茎葉、芽室町産アズキ茎葉を供した。処理条件は 250℃単一とし、前節と同様に収率、工業分析値、元素分析値、総発熱量、破碎性、及び吸水性を測定した。

3) 結果と考察

(1) 製造条件の検討

無処理（cont.）、200℃、225℃、250℃、275℃、及び 300℃で処理したカラマツ伐根粉碎物のトレファクション処理物を図 3-1-4-2 に示す。処理物は褐色を帯び、処理温度が高くなるに従い黒色に近づく傾向が見られた。

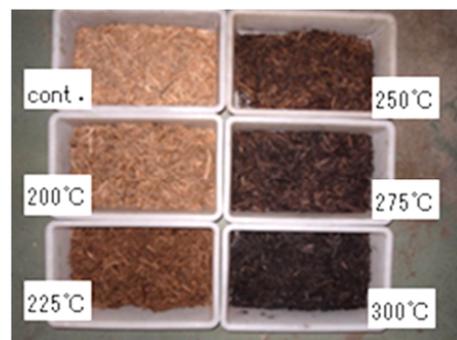


図 3-1-4-2 処理温度による外観の違い

カラマツ伐根粉碎物トレファクション処理物の収率、発熱量、水分、およびエネルギー収率を表

3-1-4-1 に示す。収率は処理温度の上昇とともに減少し、300℃では30%以上減少した。しかし、総発熱量は高くなり、エネルギー収率(収率と発熱量の積)は275℃まで、大きな変化はなかった。

表 3-1-4-1 収率, 水分, 及びエネルギー

処理温度	収率 [%]	総発熱量 [MJ/kg]	水分 [%]	エネルギー収率 (収率×発熱量)
cont.	100	19.05	17.8	19.1
200℃	99.6	19.04	5.5	19.0
225℃	95.3	20.13	1.8	19.2
250℃	91.6	20.22	2.4	18.5
275℃	85.7	21.40	1.5	18.3
300℃	68.7	23.51	2.2	16.2

注：収率，総発熱量，及びエネルギー収率は無水ベースの値

表 3-1-4-2 に工業分析値及び元素分析値を示す。処理温度が高くなるに従い、工業分析における揮発分は減少し、固定炭素が増加する傾向が見られた。元素分析の結果でも、処理温度が高くなるに従い、水素含有率 (H) が減少し、炭素含有率 (C) が増加した。

表 3-1-4-2 工業分析値, 元素分析値

処理温度	工業分析値			元素分析値		
	灰分[%]	揮発分[%]	固定炭素[%]	H[%]	C[%]	N[%]
cont.	5.0	79.2	15.7	6.2	47.5	0.3
200℃	4.7	78.9	16.4	5.8	46.4	ND
225℃	2.6	79.7	17.8	5.9	48.6	ND
250℃	3.2	77.2	19.6	5.8	50.1	ND
275℃	2.6	74.5	23.0	5.6	52.6	0.2
300℃	3.0	63.5	33.5	5.2	57.8	ND

注：各項目は無水ベースの値

図 3-1-4-3 に破碎性、吸水性を示す。ハードグループ粉碎性指数は、微粉炭燃焼のために石炭を粉碎する際の難易度を表す指標で、標準炭で100となり(参考^[5]: アラスカ産亜歴青炭 27~オーストラリア産褐炭 88), 大きいほど破碎性が高く、粉碎動力の節減のために重要な指標である。

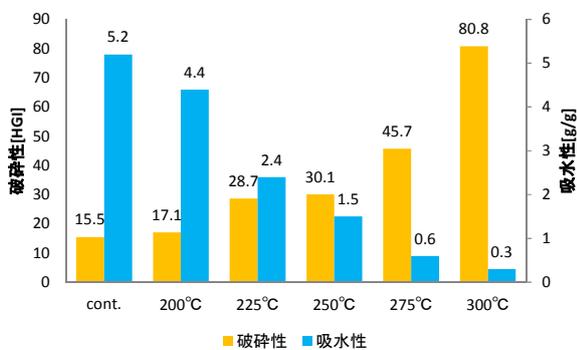
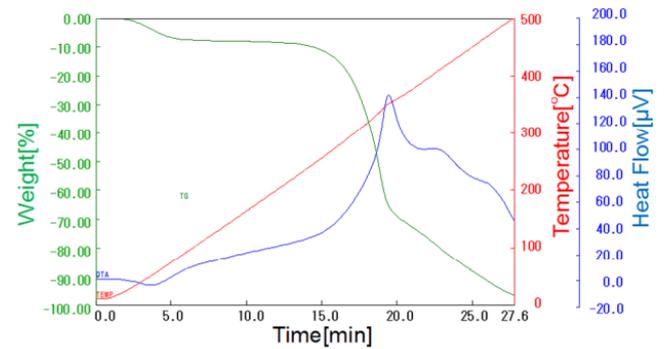


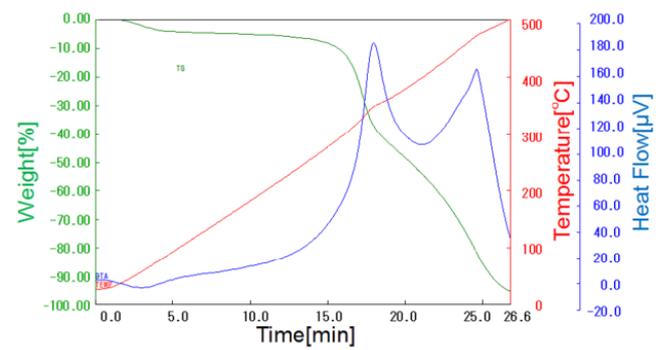
図 3-1-4-3 破碎性, 吸水性の変化

破碎性はトレファクションにより向上し、処理温

度 275℃以上では石炭と同等以上の破碎性 (HGI=46~81) が認められた。吸水性は処理温度の上昇とともに減少し、トレファクションによる耐水性の向上が期待できた。



cont.



300℃.

図 3-1-4-4 熱分析結果 (cont., 300℃)

無処理と 300℃で処理物のした試料の熱分析の結果を図 3-1-4-4 に示す。処理により、初期 (0~400℃付近まで) の重量減少が小さくなり、後半 (450℃付近) の発熱ピークが大きくなった。

初期の重量減少及び発熱ピークは水分の蒸発と揮発分による分解燃焼、後半の発熱ピークは固定炭素の表面燃焼に由来するものと考えられ、トレファイド処理物の燃焼は未処理物と異なり表面燃焼の割合が高くなると予想された。

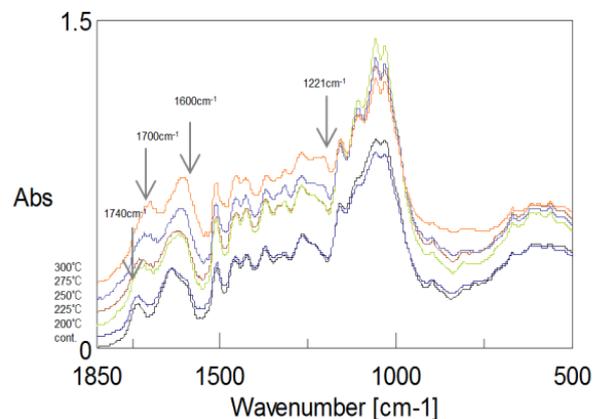


図 3-1-4-5 FT/IR スペクトル

各処理温度のトレファクション処理物のFT/IRスペクトルを図3-1-4-5に示す。無処理物及び200℃に比べ、225℃以上では処理温度が高くなるに従い、カルボニル基と一致する1740cm⁻¹のピークの減少、C=C及びC=Oに由来する1700cm⁻¹及び1600cm⁻¹のピークの増加、並びにグアイアシル基を示す1221cm⁻¹のピークの増加が認められた。Parkらは、それらの変化が脱アセチルに起因するヘミセルロースのエステル基の除去、炭水化物の分解によるケトン類、アルデヒド、エステル類、カルボキシル基と芳香族構造、及びリグニンの相対的な増加によるものと考察しており^[6]、300℃でも多くの官能基が残っていると推測された。

以上の結果から、明らかな化学構造の変化がおこる225℃から、エネルギー収率の大きな低下が見られない275℃までが処理条件として適切であると考えられた。そこで、次節ではオーバーシュートが少なく比較的安定的な処理が可能な250℃にて各種バイオマスをトレファクション処理し性能比較を行った。

(2) 各種処理物の性能比較

各種バイオマスのトレファクション処理物を図3-1-4-6に示す。前節と同様にトレファクションにより、多少の色ムラはあるが褐色に変色した。



図3-1-4-6 各種トレファクション処理物

原料及びトレファクション処理物の収率、総発熱量、工業分析値、および元素分析値を表3-1-4-3に示す。トレファクションにより収率は8~17%減少したが、総発熱量は0.7~2.0MJ/kg向上しており、処理により水分が減少することを考慮すると、燃料のエネルギー総量の変化は少ないと考える。

工業分析値では、トレファクションにより、揮発分の減少、固定炭素の増加が認められた。元素分析値でもC含有量の増加が認められ、熱による化学構造の変化が起こっていることが推測された。

各種バイオマスのトレファクションによるハードグロブ粉砕性指数の変化を図3-1-4-7に示す。

表3-1-4-3 原料及び処理物の収率、総発熱量、工業分析値、および元素分析値

試料	収率 [%]	総発熱量 [MJ/kg]	工業分析値 [%]			元素分析値 [%]			
			灰分	揮発分	固定炭素	H	C	N	
パルプチップ	cont.	100	20.48	0.5	83.9	15.6	5.7	44.3	0.1
	250°C/h	92.0	21.17	0.5	81.7	17.8	5.6	46.5	0.2
ピンチップ	cont.	100	19.95	1.2	83.6	15.2	6.1	46.5	0.2
	250°C/h	90.0	21.39	1.9	78.1	20.0	5.7	47.7	0.4
モミガラ	cont.	100	16.76	16.8	66.5	16.8	5.2	39.2	0.4
	250°C/h	90.3	17.61	18.8	61.6	19.7	5.1	43.6	0.3
タマネギ茎葉	cont.	100	16.05	14.7	71.6	13.8	4.1	36.1	1.3
	250°C/h	83.4	17.61	18.9	64.8	16.4	4.2	40.4	1.2
アズキ茎葉	cont.	100	17.84	10.5	73.2	16.3	4.1	36.6	2.0
	250°C/h	83.8	19.79	9.6	71.4	19.0	5.6	46.3	0.3

注：各項目は無水ベースの値

いずれの試料においても処理により1.0~83.4HGIの破砕性の向上が認められた。

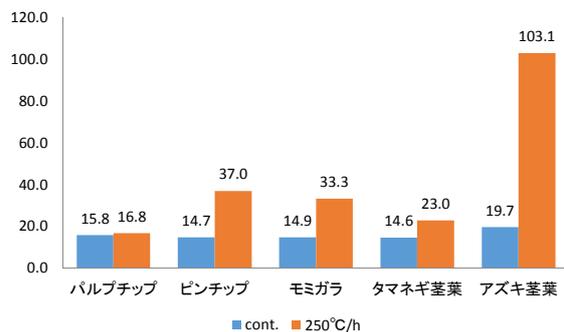


図3-1-4-7 処理による破砕性の変化

最も変化が小さかったパルプチップは、他の原料に比べて形状が大きく(図3-1-4-6参照)、トレファクションの効果が内部まで及ばなかったと推測される。

石炭火力発電所等と同様な屋外での燃料保管を想定した場合、降水等による燃料水分の増加が考えられるため、吸水性は低いことが望ましい。図3-1-4-8にトレファクションによる吸水性の変化を示す。木質チップ燃料2種については明らかな吸水性の低下が認められたが、農作物残さについては、原料自体の吸水性が低く、大きな変化は認められなかった。

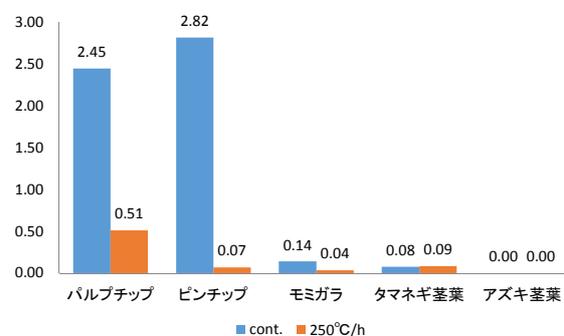


図3-1-4-8 処理による吸水性 (g/g) の変化

トレファクションにより、発熱量や破砕性の向上など認められたが、同一条件での処理にもかかわらず、各種性能変化は様々であり、要求される性能に

応じて、種別ごとに原料の形状及び適正な処理条件を検討する必要があると考える。

4) おわりに

北海道産木質チップ燃料のトレファクション処理を行い、発熱量向上・破砕性向上・吸水性低下等の性能を付与できることを明らかにするとともに、示差熱天秤やFT/IR スペクトルにより、その熱分解挙動及び化学構造の変化を分析した。さらに北海道産の形状の異なる木質チップ燃料2種および農作物残さ3種を同一処理条件でトレファクションし、各種性能を比較した。

その結果、明らかな化学構造の変化がおこる225℃から、エネルギー収率の大きな低下が見られない275℃までが処理条件として適切であると考えられた。また、要求される性能に応じて、種別ごとに原料の形状及び適正な処理条件を検討する必要性が示唆された。

トレファクション処理はヨーロッパで既に実用化されている技術である^[7]。北海道電力は道内3カ所に石炭火力発電所を有し、その年間石炭使用量は452万tに及ぶ^[8]。トレファクションにより木質チップ燃料の品質を向上させ、それらの石炭火力発電所の混焼燃料等として活用することにより、CO₂排出量の削減に寄与するとともに、木質バイオマスの需要拡大が期待できると考える。

5) 引用文献等

- [1] IEA Bioenergy Task 32, Status overview of torrefaction technologies - A review of the commercialization status of biomass torrefaction, (2015)
- [2] Patrick C.A. Bergman, Jacob H.A. Kiel: Torrefaction for biomass upgrading, Published at 14th European Biomass Conference & Exhibition, Paris, France, 17-21 (2005)
- [3] 山田敦, 梅原勝雄: 北海道産木質チップ燃料のトレファクション, 第64回日本木材学会大会研究発表要旨集, Q13-P-07, pp. 207 (2014)
- [4] 山田敦, 梅原勝雄: 北海道産バイオマスのトレファクション, 第12回バイオマス科学会議発表論文集, P-19, (2016)
- [5] 水谷幸夫: 燃焼工学第2版, p5 (1989)
- [6] J. Park, et al.: Transformation of lignocellulosic biomass during torrefaction, J. Anal. Appl. Pyrol., Vol. 100, P 199-206 (2013)
- [7] IEA Bioenergy Task 40, Possible effect of

torrefaction on biomass trade, (November 2015)

- [8] 総合資源エネルギー調査会 総合部会 電気料金審査専門委員会 (第28回) - 資料5-1 燃料費 http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/sougou/denkiriyokin/pdf/028_05_01.pdf (2013)

研究担当機関：林産試験場

執筆者：山田 敦

3. 1. 5 バイオマスのガス化

1) はじめに

近年、災害時のエネルギー供給などへの関心の高まりから、分散型電源導入の気運が高まっている。道内には木質資源や農産残渣など豊富なバイオマス資源があり、既にいくつかの場所でバイオマス発電の取組が始まっている。バイオマスを用いて発電する手法としては、燃焼させて水蒸気を作り、蒸気タービンで発電する手法があるが、小規模プラントでは効率が低く、事業として成立するためには数千kW以上の大規模プラントが必要となるといわれている^[1]。そのような大規模のプラントを運用していくためには、多量のバイオマスが必要となるため（例えば1万kWでは日量500tの木質チップが必要^[1]）、収集・運搬等原料調達上の問題があり、実現が難しい場合が多い。バイオマスで発電するその他の技術としては、バイオマスをガス化して可燃ガスを生成させ、それをガスエンジンに使用して発電する手法がある。ガスエンジンは200kW程度でも30%程度の比較的高い発電効率^[2]であるため、小規模でも導入可能で、バイオマスの地域分散型利用のための有効な手段として期待されている。本項では、ガスエンジン用燃料を製造するバイオマスガス化装置の設計のための基礎データを得ることを目的に、バイオマスの熱分解や熱分解ガスからのタールの除去について検討したので報告する。

2) 方法

(1) バイオマスガス化装置の製作

ガス化装置は、地域での利用を考え、できるだけシンプルな固定床ダウンドラフト型直接加熱方式とした。試験装置の模式図、写真を図3-1-5-1、3-1-5-2に示す。ガス化炉の内径は30cm、高さ58cmで、上部から連続的に燃料を供給できる装置（図3-1-5-2右）も設置した。誘引ファンはインバータでガス流量を概ね1-10m³/hの範囲で制御できるようにした。熱分解ガスの組成を把握するためにサンプリング孔を冷却器の後方に設けた。また、炉内の温度を把握するため、図3-1-5-1に示すように炉の中心、中間（中心から6.5cm）、外周（中心から13cm）それぞれに火格子から高さ5cm間隔で30cmの高さまで熱電対を設置して反応時の温度を計測した(d1-d6)。

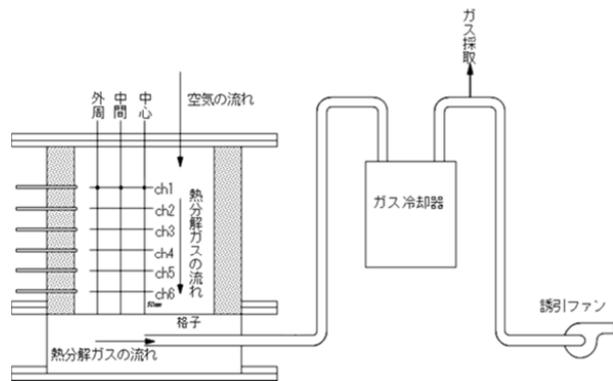


図 3-1-5-1 ガス化装置の模式図



図 3-1-5-2 ガス化装置の外観

(2) バイオマス熱分解ガス化試験

試験毎の燃料形状や性状の影響をできるだけ排除するため、供試バイオマスとしては、市販の木質ペレット（(株)エムケイ）、稲わらペレット（広教資材(株)）を使用した。それぞれのバイオマスについては、工業分析（JIS_M8812）、元素分析（CHNS分析、Elementar VarioELcubu）、発熱量測定（IKA_C7000）を行い、性状を把握した。なお、燃料は熱分解ガス化試験前に105℃で4時間乾燥して絶乾状態にしたものを使用した。

バイオマスの熱分解ガス化試験では、ガス化炉内にバイオマスを2/3程度（概ね11kg）入れ、上部から着火した。炉内温度が概ね500℃以上に達し燃焼が安定するまでは誘引ファンの風量は、10m³/h程度とし、安定後に所定の風量（1-5m³/h程度）に制御した。また、連続燃料投入装置を使用した試験では、3分もしくは5分ごとに120gの燃料を投入した（それぞれ2.4kg/h、1.44kg/hに相当）。熱分解ガスは図3-1-5-1に示したガス採取孔からテドラーバッグに採取し、ガスクロマトグラフ（GC8A（島津製作所）キャリアー：Ar、カラム：SHINCARBON_ST_50-80mesh_6.0m×3.0mm）で、水素、酸素、窒素、一酸化炭素、メタン、二酸化炭素はカラム温度100℃で、エチレンとエタンはカラム温度150℃で測定を行い、ガス組成を求めた。

(3) 熱分解ガスからのタール除去試験

熱分解ガスには相当量のタールが含まれており、その除去がガス利用の上での大きな課題である。

本研究では、熱分解ガス中のタールを触媒で分解し、低減することを目指した。触媒としては、Ni系触媒(N139, スチームリフォーミング用触媒, 日揮(株))とリモナイト((株)日本リモナイト)を使用した。リモナイトについては、既往の文献にあるように蒸留水で超音波洗浄後に105°Cで乾燥し、その後650°Cで2時間焼成する活性化処理を施し^[3], その処理によりタール分解に活性な α -Fe₂O₃(ヘマタイト)が生成していることをX線回折装置(RIGAKU, ULTIMAIV)で確認した。それぞれの触媒は、必要に応じて粉砕, 分級し1.0から2.8mmのものを試験に使用した。また, それぞれの触媒は, 蛍光X線分析装置(RIGAKU, ZSX Primus II)で金属や酸化物の組成を分析(ファンダメンタルパラメーター法)するとともに, 高精度比表面積・細孔分布測定装置(BELJAPAN, BELSORP-mini II)で表面積を測定した。

タール分解試験は, 図3-1-5-3に模式的に示すように, 熱分解ガスをガス化炉下部から上部に向けて吸引することのできる管を設置し, その途中の高温部(火格子から15cmの高さ)に触媒を配置して行った。管は複数の触媒を同時に測定するために4本設置した。タールの捕集は, 捕集液としてイソプロピルアルコールを使用したインピンジャーを2段組み合わせることで行った。インピンジャーの第1冷却浴は氷と水で0°C程度, 第2冷却浴は氷, 水, 塩化ナトリウムを用いて-20°C程度とした。熱分解ガスのサンプリングは所定の流量(100-1000ml/min)で所定時間(30-60分)吸引することで行った。試験終了後にロータリーエバポレーターを用いて70°Cに加熱し, 20mmHgに減圧することで捕集液からイソプロピルアルコールと水を除去し, 残存物の重量を

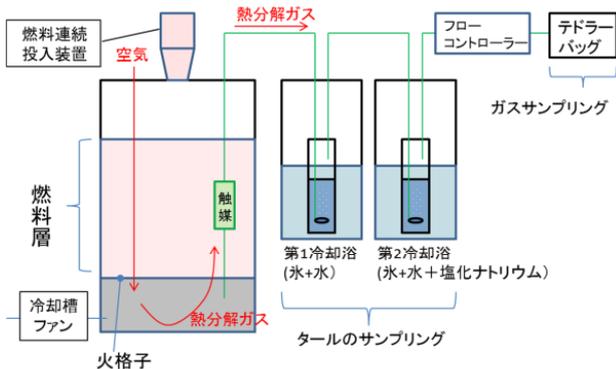


図3-1-5-3 タール分解試験の模式図

タールの重量とした。

また, 触媒の充填重量と真比重(比重測定装置AccuPyc1330(micrometrics)で測定)から触媒層の気相部分の体積を算出し, サンプリング時の吸引流量から空間速度(SV)を求めた。

3) 結果と考察

(1) 装置特性の確認

バッチ式装置で熱分解ガス化試験を行った際の半径及び高さ方向温度分布を図3-1-5-4, 3-1-5-5に示す。半径方向(図3-1-5-4)は概ね一定の温度となっている。それに対して高さ方向(図3-1-5-5)には温度分布が生じている。この装置は炉の上部から着火しており, 時間の経過とともに熱分解反応領域が下部へ移動するため, 下部の温度が上昇し, 上部の温度は反応物が少なくなると低下していく。バッチ式の場合は上部からの新しい燃料の供給がないため有効な反応領域(高温部分)は時間の経過とともに下部に移っていくが, 着火後も所定量の燃料を上部から投入することができれば, 概ね定常状態で反応を進めることができるものと推定される。

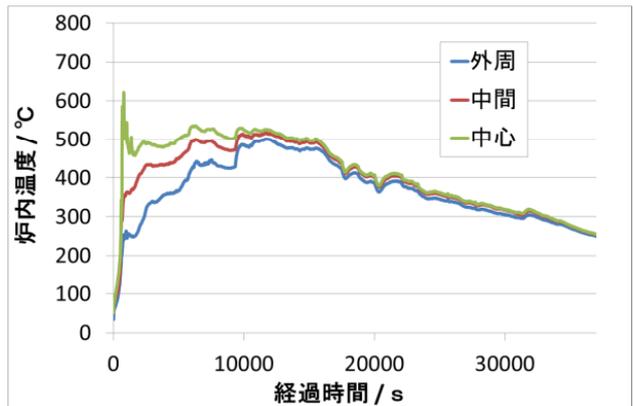


図3-1-5-4 半径方向の温度分布 (高さ30cm)

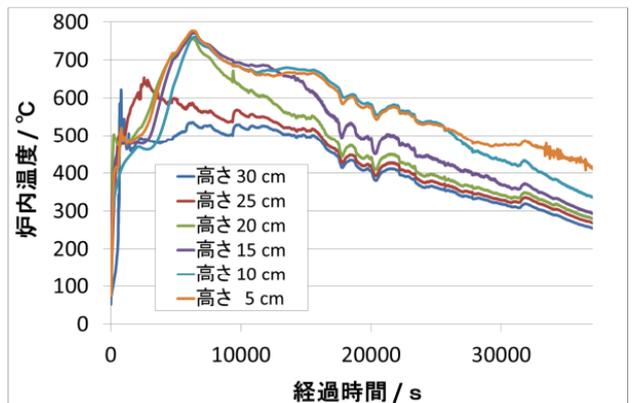


図3-1-5-5 高さ方向の温度分布 (半径方向中心部)

連続燃料投入装置を用いた試験結果を図 3-1-5-6 に示す。各高さの温度は定常状態に達した後（1 時間 30 分以降）は概ね一定温度を維持することができ、連続投入装置を使用することで定常状態での試験を行うことができるようになった。

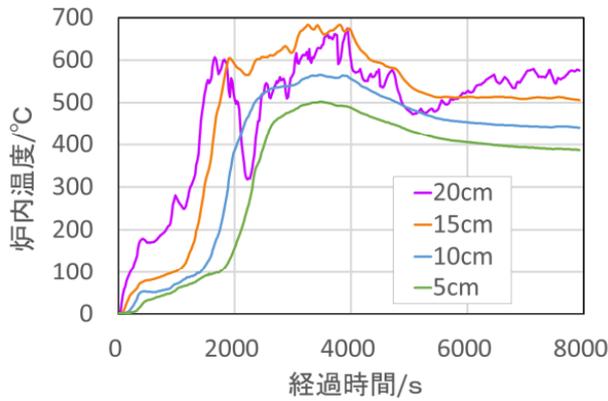


図 3-1-5-6 連続投入試験での温度の経時変化（投入量 1.44kg/h）

（2）バイオマス熱分解試験

試験に用いたバイオマスの性状を表 3-1-5-1 に示す。稲わらは灰分が 15%程度と高いため、それに伴い発熱量も低い。揮発分の測定値は、木質ペレットの方が多く見えるが、灰分を除いたベースと比較すると稲わら 83%，木質 86%となり、概ね近い値であった。元素分析結果から炭素、水素、酸素の物質質量比を求め、それらだけの分子式で示すと、稲わらおよび木質ペレットはそれぞれ $C_{1.23}H_{2.0}O_{0.92}$ 、

$C_{1.31}H_{2.0}O_{0.86}$ となり、稲わらの方が若干炭素が少なく、酸素が多いため、熱分解時には空気が少なくても良いように見えるが、灰分の違いの方が熱分解特性に大きく影響を及ぼすことになりそうで、この差は大きな要因にはならないものと思われる。

熱分解ガスを燃料として利用するためには少なくとも $4MJ/m^3$ 程度の発熱量が必要である^[4]。投入空気量を少なくすればするほど、生成ガスを希釈する窒素の投入量を抑えることができる。しかしながら、本研究で用いた直接加熱式の場合、ガス化炉の温度維持のために、燃料の部分的な燃焼も必要で、空気量を少なくすることで燃焼反応も抑制され、反応に必要な温度に維持することもできなくなる可能性がある。

適正な空気量を把握するため、誘引ファン風量を変えて熱分解試験を行った。燃料は 1.44kg/h で連続投入した。表 3-1-5-1 の元素組成からこの燃料を完全燃焼するために必要な空気量は概ね木質ペレットで $4.3m^3/h$ 、稲わらペレットで $3.2m^3/h$ である。一般的に直接加熱式の場合、完全燃焼に必要な酸素量の 1/3 程度が必要といわれている^[4]。本装置の場合、単位時間あたりの燃焼量を正確に把握することはできないが、定常状態を概ね維持できている燃料投入量(1.44kg/h)中の 1/3 を燃焼できる空気量は概ね木質で $1.4m^3/h$ 、稲わらで $1.1m^3/h$ であり、これが投入空気量のひとつの目安になるものと思われる。

分解試験時のガス組成を表 3-1-5-2 に示す。木質ペレットの試験の風量 $6.0m^3/h$ は、ガス組成の窒素含有量から計算すると空気供給量 $5.3m^3/h$ に相

表 3-1-5-1 供試バイオマスの性状

	水分(wt%) (受入ベース)	揮発分 (wt%)	固定炭素 (wt%)	灰分 (wt%)	元素組成(wt%)					発熱量(MJ/g)	
					水素	炭素	窒素	硫黄	酸素	高位	低位
木質	9.66	86.2	13.7	0.1	6.4	49.8	<0.2	<0.4	43.7	19.4	17.8
稲わら	13.1	69.7	14.7	15.7	5.4	39.5	0.8	<0.4	38.6	15.6	14.1

※水分のみ受入ベースの値、その他は無水ベースの値、酸素は灰分、水素、炭素、窒素、硫黄の差分から算出

表 3-1-5-2 熱分解試験の結果（1.44kg/h 連続投入）

	熱分解ガス 発熱量 ^{※1} (MJ/m ³)	ガス組成(vol%)								風量(m ³ /h)		ガス化炉 温度 (°C) ^{※4}	
		水素	酸素	窒素	一酸化 炭素	メタン	二酸化 炭素	エチ レン ^{※2}	エタン ^{※2}	熱分解 ガス	空気 ^{※3}		
木質	RUN1	1.5	0.8	10.6	68.5	6.5	1.5	12.1	—	—	6.0	5.3	520
	RUN2	3.4	1.4	8.1	53.9	15.0	3.7	17.9	—	—	4.5	3.1	504
	RUN3	4.8	2.2	2.6	46.0	20.7	5.3	23.2	—	—	3.6	2.1	503
	RUN4	5.7	2.0	1.3	46.6	21.9	6.0	22.1	0.3	0.7	2.5	1.5	501
	RUN5	4.7	1.7	1.1	48.7	20.5	5.3	22.6	—	—	1.5	0.9	481
稲わら	RUN1	4.3	2.1	3.4	40.4	16.9	3.4	33.8	0.3	0.9	4.7	2.4	474
	RUN2	2.8	1.4	3.4	48.1	14.2	2.5	30.5	—	—	1.1	0.7	461

※1 木質RUN4と稲わらRUN1はエチレン、エタンを加えた発熱量
※3 窒素の組成値からの計算値

※2 エタン、エチレンは木質RUN4と稲わらRUN1のみ測定
※4 ガス化炉温度は火格子から高さ15cmの値

当し、前述の目安の値の4倍近い値である。空気量が過剰であるため、燃焼反応が過剰に進行し、その結果としてガス化炉内を比較的高い温度に維持できてはいる。その一方で、燃焼に燃料の大部分を消費するため、熱分解反応を起こす燃料が少なくなるとともに過剰の空気によってガスが希釈され、発熱量は低い値にとどまっている。空気量（風量）を少なくしていくと、炉内温度は若干低下するが、過剰な空気の量も少なくなるため、熱分解ガスの発熱量も増加し、木質で最大5MJ/m³程度となった。稲わらは、灰分が多く、発熱量も低いため、木質よりも炉内温度の維持が難しく、やや低め値となっているが、発熱量は4MJ/m³を超える値となり、当初の目標を充たす燃料を製造できることがわかった。

ただしガス化炉の温度は、最大でも500℃程度にとどまっている。空気量を減少させていくと炉内温度は低下し、結果として熱分解ガスの量も低下した。熱分解ガスの発生量を増やすためにはより高い反応温度が必要であり、そのためには燃料投入量の増加が必要である。

燃料連続投入量を2.4kg/h（1.44kg/hの5/3倍の供給量）とした場合の試験結果を表3-1-5-3に示す。燃料供給量の増加により、炉内の温度は650-670℃程度に上昇しているが、発熱量は2-3MJ/m³程度で500℃での試験結果より減少している。このことは温度の上昇に伴い、メタン、エタン、エチレン等の比較的发熱量の高い物質が減少し、水素の生成量が増加していることが原因と思われる。これは、発熱反応である炭素の水素化（ $C+2H_2 \rightarrow CH_4$, $\Delta H=-87.5kJ/mol$ ）やメタン化（ $CO+3H_2 \rightarrow CH_4+H_2O$, $\Delta H=-206.5kJ/mol$ ）が起こりづらくなり、吸熱反応であるBoudouard反応（ $C+CO_2 \rightarrow 2CO$, $\Delta H=159.9kJ/mol$ ）や水性ガス化反応（ $C+H_2O \rightarrow CO+H_2$, $\Delta H=118.5kJ/mol$ ）が起こりやすくなるため、メタンの生成は少なくなり、その結果水素の組成比が増加したものと推定される。本研究の大きな目的であるタールの分解反応は高温ほど起こりやすく、反応によって生じる可燃

ガスによる発熱量の上積みも期待できるので、発熱量については、タール除去試験時に評価することとした。

（3）熱分解ガスからのタール除去試験

触媒の性状を表3-1-5-4に示す。両触媒ともに表面積は大きく、特にリモナイトは120m²/gという大きい表面積を有していた。Ni系触媒は、Niを金属、その他を酸化物として、リモナイトは全て酸化物で鉄は三価の状態が存在していると仮定して計算すると、組成は表のとおりとなった。

タール除去試験後の捕集液の状態を図3-1-5-7に示す。後方にある2段目の捕集液はあまり着色されておらず、1段目のインピンジャーで大部分のタールが捕集されているものと思われる。

表 3-1-5-4 供試触媒の性状

触媒	BET表面積 (m ² /g)	比重 (g/cm ³)	蛍光X線分析結果
Ni系触媒	36	2.83	Ni:16%、Al ₂ O ₃ :54%、CaO:19%、SiO ₂ :6%、MgO:3%
リモナイト	120	3.33	Fe ₂ O ₃ :48%、SiO ₂ :36%、Al ₂ O ₃ :6%、CaO:2%



図 3-1-5-7 タール捕集液の状態

表 3-1-5-3 熱分解試験の結果（2.4kg/h連続投入，木質ペレット）

	熱分解ガス 発熱量 (MJ/m ³)	ガス組成(vol%)								風量(m ³ /h)		ガス化炉 温度 (°C) ^{※2}
		水素	酸素	窒素	一酸化 炭素	メタン	二酸化 炭素	エチ レン	エタン	熱分解 ガス	空気 ^{※1}	
RUN1	2.1	5.1	1.5	67.3	5.7	2.3	18.1	0.0	0.0	3.9	3.4	673
RUN2	2.7	6.6	0.9	63.2	7.9	2.6	18.8	0.0	0.0	3.1	2.7	652

※1 窒素の組成値からの計算値

※2 ガス化炉温度は火格子から高さ15cmの値

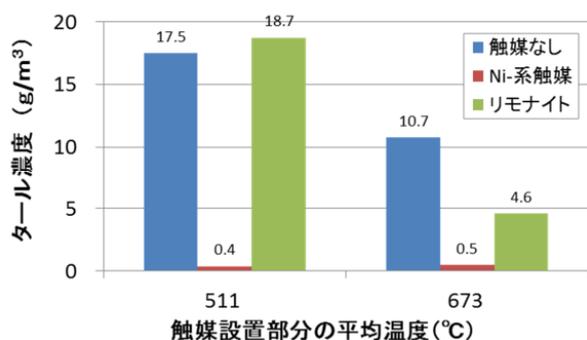


図 3-1-5-8 タール除去試験での残存タール濃度

タール除去試験の結果を図 3-1-5-8 に示す。

リモナイトは触媒層の温度が 511°C (SV10000) の場合は触媒が無い場合と同程度のタール濃度となっており低減効果が見られないが、672°C (SV11000) の場合はタール濃度を 4 割程度に低減することができている。Ni 系触媒については 511°C (SV6900) でもタール濃度は 1/50 程度に低減された。スチームリフォーミング用の Ni 触媒でのタールの低減は過去にも報告例が有り^[5]、本研究の結果もそれらと符合する結果となった。Ni 系触媒において、672°C (SV14000) での低減効果は 511°C の場合より低く見えるが、これは空間速度を 2 倍に上げた影響が大きく、空間速度を低くすることでタール濃度はさらに低減するものと思われる。

ガスエンジンなどで熱分解ガスを利用する場合のタール許容量は概ね 0.1g/m³ 以下といわれている^[6]。本研究の結果は、その値を満たすことは出来なかったが、反応温度や空間速度等のパラメータの最適化で、達成可能と思われるレベルまでは到達することができた。

タール分解試験時の生成ガス組成などを表 3-1-5-5 に示す。リモナイト、Ni 系ともに熱分解を

促進させ、触媒がないものと比べて可燃ガスの量が増加している。リモナイトは 511°C ではタール濃度の低減に寄与していないが、水素、一酸化炭素、メタン等の可燃ガス濃度は増加しており、タールにカウントされない軽質の有機成分を分解しているものと推定された。Ni 系触媒は特に水素の生成量を増加させており、水素濃度が極めて高いガスが得られた。発熱量は温度が上昇して低下しているように見えるが、高い温度を保つために誘引ファンの風量（空気投入量）を増加させており、熱分解ガスの量は 1.5 倍程度に増加している。また、水素の組成比が高くなると見かけ上、低カロリーガスになるが、ガスエンジンで利用する場合ガス中の水素は 10%程度であっても使用可能といわれており^[1]。リモナイトや Ni 系触媒で処理した熱分解ガスは燃料として問題なく使用できるものと思われる。

なお、本装置の場合、単位時間あたりの燃焼量を正確に把握することができないが、単位時間あたりに投入した燃料の発熱量を分母とした場合、リモナイトは 38%程度、Ni 系触媒は 50%程度の発熱量のガスが得られており、熱分解ガスの発生及びタールの分解に有効な触媒であることがわかった。

4) おわりに

当初目標としていた 4MJ/m³ 以上の発熱量については達成することができたが、タール濃度 0.1g/m³ については達成することができなかった。タール濃度についても反応条件の精査で達成可能と思われるレベルまでは到達しており、今後検討を進めていく予定である。

本研究により、ガス化反応や装置設計に係る基礎データを習得することができており、今後はガス化装置開発の技術支援等に活用していきたいと考えている。

表 3-1-5-5 タール分解試験でのガスの性状

触媒層の温度 (°C)	触媒	ガス組成 (%)								熱分解ガス発熱量 (MJ/m ³)
		水素	酸素	窒素	一酸化炭素	メタン	二酸化炭素	エチレン	エタン	
511	触媒なし	2.9	0.4	60.3	13.0	3.5	19.7	0.0	0.3	3.3
	リモナイト	8.2	1.1	51.1	14.2	5.2	19.5	0.2	0.5	4.9
	Ni系触媒	25.3	0.6	33.3	8.9	8.6	23.4	0.0	0.0	6.9
672	触媒なし	5.5	1.9	66.3	5.0	2.6	18.7	0.0	0.1	2.2
	リモナイト	9.5	0.8	55.4	10.8	4.4	19.1	0.1	0.3	4.1
	Ni系触媒	24.8	0.2	41.1	14.6	2.5	16.8	0.0	0.0	5.4

5) 謝辞

本研究を進めるにあたり、日揮株式会社、株式会社日本リモナイト、新鉱工業株式会社には触媒をご提供いただきました。ここに記して厚くお礼申し上げます。

6) 引用文献等

- [1] バイオマスプロセスハンドブック, (公社) 化学工学会 - (一社) 日本エネルギー学会共編, オーム社 (2012)
- [2] コージェネレーション総合マニュアル, 日本コージェネレーションセンター編, 通算資料調査会 (2000)
- [3] Hee Joon Kim et. Al., Journal of energy Engineering, Vol/20, No. 4, pp298-302 (2011)
- [4] バイオマスハンドブック (第2版), (一社) 日本エネルギー学会編, オーム社 (2009)
- [5] Jun Han, Hee joon Kim, Renewable and Sustainable Energy Rview, 12, pp397-416 (2008)
- [6] バイオマスエネルギー高効率転換技術開発
バイオマスの低温流動層ガス化技術の開発事業原簿, NEDO (2003)

研究担当機関：工業試験場

執筆者：山越幸康

3. 2 廃棄物燃料利用技術

1) はじめに

廃おむつと医療機関から排出される衛生ごみ（両者合わせて以下”衛生ごみ”とする）の燃料化およびごみ由来固形燃料（以下、RDF）の地域利用に向けた燃料の原料となる衛生ごみ・固形燃料ごみの前処理、出力 350kW、700kW の 2 機種 of 燃焼装置の改良および開発を行った。

2) 廃棄物の燃料利用のための前処理

(1) 衛生ごみの前処理

富良野市の衛生ごみの排出量は 2017 年度で約 640t に及んでいる。衛生ごみは上富良野町クリーンセンターで焼却処理を行っており、その処理費用は年間 2,550 万円 (40,000 円/t) に上っている。クリーンセンターの焼却炉は老朽化しており、将来的に安定した受け入れが保証されていない。このような背景から富良野市では衛生ごみの市内での処理 (RDF への混合) について、次の 2 つの方法で検討を行った。

① 乾燥・粉砕

富良野市では 2013 年度から家庭系衛生ごみ、事業系衛生ごみ、医療系衛生ごみを対象としてペレット燃料化の実験を行っている (図 3-2-1)。



廃おむつ

処理装置

処理後

図 3-2-1 おむつの処理工程 (富良野市提供)

衛生ごみの水分量はおよそ 70% で、燃料化にあたってはこの水分値を 3% 程度に低下させる必要があり、市内の専門業者へ業務委託して試験的に滅菌・乾燥・粉砕を行っている。全量を業務委託した場合の前処理コストは年間 3,500 万円となる。

この処理方法で問題となるのは、単純な滅菌・乾燥・粉砕であるため、乾燥時に排気される臭気の処理、ハンドリング時の粉塵、成型時の悪臭である。また、滅菌しているとはいえ乾燥した便が燃料に混合されることによる RDF の大きなイメージダウンも避けられない。臭気の原因は便に含まれるスカトール (沸点 265°C)、インドール (沸点 253°C) で、乾燥程度の温度では分解しないため、臭気はそのまま残存してしまう。また、廃おむつに含まれている高分子吸水剤は燃焼時に飛散し、空気孔に付着して供給空

気の送りを妨げることを小規模燃焼炉による燃焼試験で確認した。

富良野市では、乾燥・粉砕プラント建設に向けて環境省への補助金申請を検討していたが、これらの問題のため申請を中止した。

② 水熱処理 (高温・高圧処理)

水熱処理は高温高圧の水蒸気中でごみを分解する方法である。道内では数か所で水熱処理による廃棄物処理が行われている。しかしながら、水熱処理時に過剰な水を投入すると廃水が増え処理が煩雑となる。また、塩分を含むと燃料利用時に燃焼炉の腐食の問題もある。

道総研と富良野市は、水熱処理の利点、欠点を再検証したところ、適正な水分量での水熱分解を行うことで、原料中の塩類を凝縮水とともに排出ができる可能性があるなどの結論に至り、水熱処理の事業実施について再検討することとなった。

(2) RDF の低塩素化

RDF 燃焼時に発生する塩化水素、ダイオキシン類 (以下ダイオキシン) を軽減するために、RDF の品質改善を目指した。取組みについては、4.2 に詳述した。

3) 燃焼装置の改良と開発

都市ごみを原料として生産された RDF には 0.3-1.5% の塩素が含まれているといわれており^[1]、燃焼時には塩化水素、ダイオキシンが発生する。このことが都市ごみを原料とする RDF が日本国内に定着しなかった原因のひとつである。富良野市の RDF 生産コストは 25,000 円/t で、この RDF を市外の企業へ 2,500 円/t で販売している。また富良野市負担である輸送費が販売収益と同程度かかり、RDF 製造経費が大きな負担となっている。

このような背景から、富良野市は RDF の地域利用を目指し、韓国製の小規模ボイラ 2 台 (出力 350kW、700kW) を導入し、熱利用に関する実証実験を開始した。これら燃焼ボイラは 2 機種ともほぼ同様の燃焼形態、制御機能であった。工業試験場・環境科学研究センターの研究グループは本節に記述するボイラの改良、システムの適正化、運転方法の最適化等の燃料利用機器に係る取組と、4.2 に詳述する RDF の低塩素化等の燃料側の取組についての技術支援を通して、排出されるダイオキシンの低減を図った。

なお、富良野市はダイオキシン排出量の自主規制値を 5ngTEQ/m³N (小型焼却炉の規制値と同等) としている。下記にダイオキシン発生量を低減するため

の要件を示す^[2]。

- ① 燃焼ガスを 800℃以上で 2 秒間滞留させる。
- ② 燃焼炉内は一酸化炭素濃度 50ppm 以下とする。
- ③ 排ガスを急冷してダイオキシンの再合成を阻止する。

(1) 350kW ボイラシステムの性能

350kW ボイラシステムの適正運転のために、ボイラの特長検査等により性能を把握した。350kW ボイラシステムは、RDF バーナ、熱交換器、サイクロン、バグフィルタで構成されており(図 3-2-2)、RDF バーナは韓国製の石炭ボイラを転用したものである。発生した熱は容量 2t の貯湯タンクを通して隣接した富良野市の博物館の暖房や温室への熱供給に利用される。

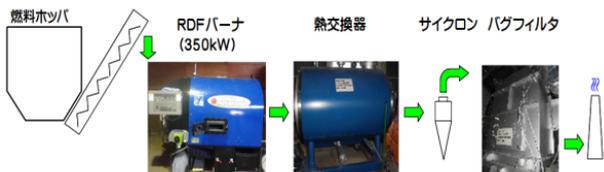


図 3-2-2 350kW ボイラシステム

このシステムの欠点は以下に示すように、ボイラシステムが効率的に機能するような設計思想での装置の組合せがなされていない点である。

(燃焼制御の問題)

- ・燃焼用空気(一次空気、二次空気)が 1 台の送風機で挿入されているため、燃焼に必要な空気量の調整が困難である。
- ・揮発分が 40%程度の石炭用に設計された燃焼装置であるため揮発分 85%の RDF を燃焼するには燃焼室が狭すぎる。また、熱分解温度のピークは石炭が 350℃程度に対して、RDF は 250℃程度と低いため、熱分解速度が速い RDF では多量の煤煙を発生する。
- ・システムを構成している機器のスペックが統一した設計思想で選定されていないため、燃焼装置の送风量、燃焼に必要な空気量、バグフィルタの誘引量が適正值に設定できない。
- ・燃焼制御がされていないため無人運転、緊急自動停止ができない。

(熱交換器の問題)

- ・熱交換器は水管円筒ボイラを採用しているが、固体燃料では飛灰、煤塵が熱交換器内に多量にたま

るため、この燃焼機には不向きである。

- ・熱交換器の能力が低下すると排ガス温度が上昇し、バグフィルタを焼損させることがあった。このため、エコマイザを導入し、その上流で外気を取入れて燃焼ガス温度を低下させていたが、同時に熱効率の低下を招いた。

(装置の構造上の問題)

- ・燃焼炉の耐熱温度は公称 1,300℃であったが、長期間燃焼試験後の炉壁の劣化の状況を見ると 1,000℃程度と推察された。燃焼速度の速い RDF では 1,200℃程度までは容易に温度上昇するため炉壁の劣化が早い。
- ・燃焼装置の密閉度が悪く燃焼圧力の変化に伴って燃焼ガスの室内への漏洩が起きている。

このように数多くの問題点が明確となった。この状態での燃焼試験の結果は表 3-2-1 のとおりで、酸素を過剰に投入しているにもかかわらず一酸化炭素濃度が高く、燃焼温度が低い状態で、そのため熱効率も 50%以下の低い値であった。

表 3-2-1 350kW ボイラシステムの性能
(改良前)

項目	単位	値
燃焼温度	℃	750~850
一酸化炭素濃度	ppm	2,000~20,000
酸素濃度	%	14
回収熱量	kW	140
熱効率	%	46

(2) 350kW ボイラの改良

本ボイラシステムの燃焼率向上、熱効率向上を重点目標に改良を行った。改良後の燃焼システムを図 3-2-3 に示す。

改良前との大きな相違点は、燃焼装置(燃焼バーナ)と熱交換器の接続部を延長し、そこへ二次空気を図 3-2-4 のように旋回を生じるように送入することで、燃焼ガスの滞留時間を延長し(疑似的な燃焼室の拡張)、空気の良い拡散による燃焼温度の上昇と



図 3-2-3 改良後の燃焼システムの機器構成燃

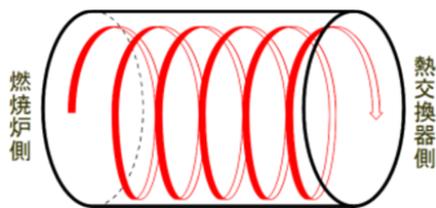


図 3-2-4 接続部への空気送入

表 3-2-2 350kW ボイラシステムの性能 (改良後)

項目	単位	値
燃焼温度	℃	1,050~1,150
一酸化炭素濃度	ppm	<100
酸素濃度	%	8~10%
回収熱量	kW	250
熱効率	%	84.1

熱効率の改善を図った。その結果、燃焼温度、一酸化炭素濃度は大きく改善された (表 3-2-2)。

また、燃焼状態が改善されたことと熱交換器 (エコノマイザ) の増設により回収熱量、熱効率も大きく改善された。熱回収結果を表 3-2-3 に示す。表中のバーナ冷却とは、ストーカなど燃焼装置内の稼動部分を冷却したときに回収した熱を意味する。ボイラの公称は出力 350kW ではあるが、炉壁の耐熱性が悪く、RDF 燃焼量を増加させることができなかつたために 250kW 程度の出力での運転にとどまったが、十分な成果が得られた。

表 3-2-3 回収熱量と熱効率

供給熱量 (kW)	上段：回収熱量 (kW)、下段：構成率 (%)				熱効率 (%)
	エコノマイザ	バーナ冷却	熱交換器	Total	
297	30.5	45.8	173.6	249.8	84.1
	12.2	18.3	69.5	100	

ボイラでの熱回収において、酸素濃度 10%以上の酸化雰囲気にする、排ガスを急冷してダイオキシンの再合成を阻止することは、効率的な熱回収するうえで不合理である。なぜなら、高酸素濃度を維持することは排ガス損失の増大を引き起こし、ダイオキシン再合成温度域 200~600℃間を急冷するのは熱回収する上で実用上困難である。急激な排ガスの冷却は熱交換システムを湿式スクラバなどの高価な装置に変更する必要がある。このため、富良野市での事業では、1,200℃程度の高温燃焼を行い、短時間でダイオキシンの前駆体であるクロロベンゼン類の熱分解を促進させ熱交換器内でのダイオキシンの再合成を阻止する方針とした。今後、次項に示す 700kW ボイラの燃焼経験をもとに段階的に 350kW ボ

イラの設計を進める予定である。

(3) 700kW ボイラシステムの性能

700kW ボイラシステムの適正運転のために、システム特性検査等を行い、性能を把握した。システム構成は図 3-2-5 に示したように燃焼機、熱交換器、サイクロン、バグフィルタ、エコノマイザで基本的に 350kW ボイラと同様である (図 3-2-6 ボイラシステムの外観)。発生した熱は容量 20 t (システム全体の貯湯量は約 25 t) の貯湯タンクを通して宿泊・温浴施設 (ハイランドふらの) への熱供給 (給湯、暖房、浴場) に利用した。

この燃焼機も石炭ボイラを転用したもので、350kW ボイラとほぼ同様の問題が起きた。

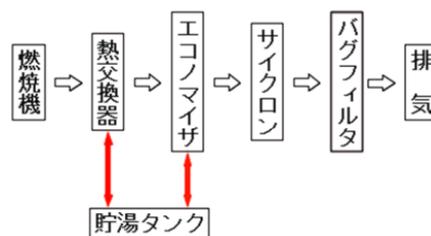


図 3-2-5 700kW ボイラのシステム構成



図 3-2-6 700kW ボイラシステムの外観

このシステムの欠点は以下に示すように燃焼のバランスが考慮されていないことにある。

(燃焼制御の問題)

- 燃焼用一次空気はインバータで制御されてはいるもののオーバースペックの送風機が設置されており、電源周波数 10Hz 以下で運転されている。このため送風機への負担が大きすぎるとともに自動調節が困難である。

- ・二次空気も同様にオーバースペックの送風ファンが設備されており、1台のファンで7カ所の二次空気を調整する仕組みとなっており、実用上全く機能していない。
- ・350kW ボイラ同様に石炭ボイラの転用であるため、燃焼条件が大幅に異なる。
- ・燃焼装置の送風量、燃焼に必要な空気量、バグフィルタの誘引量が適正值に設定できない。
- ・熱交換器の能力が低いため、高温の排気ガスがバグフィルタに入り、バグフィルタを焼損させることがあった。(エコマイザの設置で改善)
- ・温度センサの精度あるいは変換装置の精度が悪く、正確な温度で制御がされていない。
- ・システム自動停止などの安全装置がなく、無人運転ができない。燃焼中にどこか故障した際には故障した箇所は停止するが、他の装置はそのまま稼働するため大きな危険が伴っている。

(熱交換器の問題)

- ・熱交換器は煙管式を採用しているが、効率的に熱を採取できるような構造にはなっておらず、熱交換器内での水流停滞が起きていると予想される。熱交換器内の内部を確認したところ停滞した水によりエロージョンを起こしていることが推測された。

(装置の構造上の問題)

- ・装置全体の断熱状態が悪く、燃焼装置からボイラ室への放熱量が極めて多い。
- ・燃焼炉の耐熱温度は公称 1,300℃であったが、試験時の炉壁の傷み状況から実際には 1,000℃程度と予想された。また、要石が入っていないなど耐熱煉瓦の積み方が至る所で間違っており、燃焼実験中にも耐火煉瓦の脱落が頻繁に発生した。

このように 350kW ボイラ以上に致命的な欠陥が数多く見つかり、新たな燃焼機開発を視野に入れた燃焼実験を進めた。

図 3-2-7 は燃焼室構造を表している。一次空気はストーカの冷却を兼ねており、燃焼室真下から送入される。二次空気は1台のファンで図 3-2-8 に示した7ブロック(図中で1~7と表記)に分割した配置で壁から垂直に送入されている。図で最上段が奥側の壁(3, 4, 5, 6)の、最下段が手前側の壁(1, 2, 7)の、左側が左側の壁(7)の空気孔の配置である。空気孔の大きさと配列は均一ではないため均等に空気が送入されおらず、1カ所の空気送込量を調整すると全体

のバランスが崩れ、必要なところへ適正量供給するのは不可能であった。また、炉内の燃焼ガスは誘引ファンで強制的に吸引されるため、そのほとんどが仕切り壁上部(図 3-2-9)を通過し、図 3-2-7 の右下に示したような燃焼にまったく寄与しない空間部(DEAD ZONE)が生じる。このため燃焼空間は狭くなり、未燃ガスはそのままの状態での排気され、熱交換器内での冷却で膨大な量の煤塵が発生した。

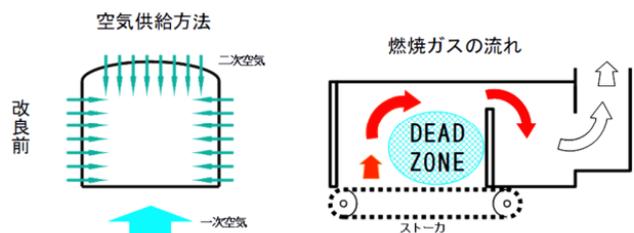


図 3-2-7 700kW ボイラ燃焼装置の概略

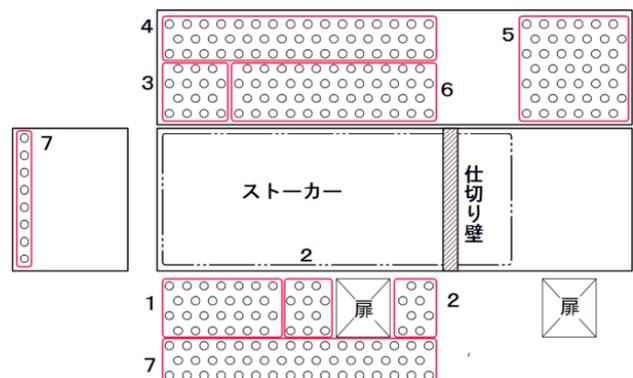


図 3-2-8 空気送入孔(展開図, 壁の○印は孔を, 数字はブロック番号を示す)



図 3-2-9 仕切り壁, 天井構造, 空気孔

この状態での燃焼結果を表 3-2-4 に示す。酸素を過剰に投入しているにもかかわらず、一酸化炭素濃度が高く、燃焼温度が低い状態であった。熱効率は 350kW ボイラシステムの初期値を下回る 30%という極めて低い値であった。

表 3-2-4 中型ボイラシステムの性能
(改良前)

項目	単位	値
燃焼温度	°C	750~800
一酸化炭素濃度	ppm	1,400
酸素濃度	%	16~18
熱効率	%	30

燃焼機本体からの放熱はすさまじく、とくに一次空気の風箱と燃焼炉の連結部(図 3-2-10)、着火口(図 3-2-11)、着火口両側面(図 3-2-12)、炉内点検扉(図 3-2-13)、燃料投入口(図 3-2-14)は他所と比べて表面温度は高く、400°C以上になっている箇所もあった。

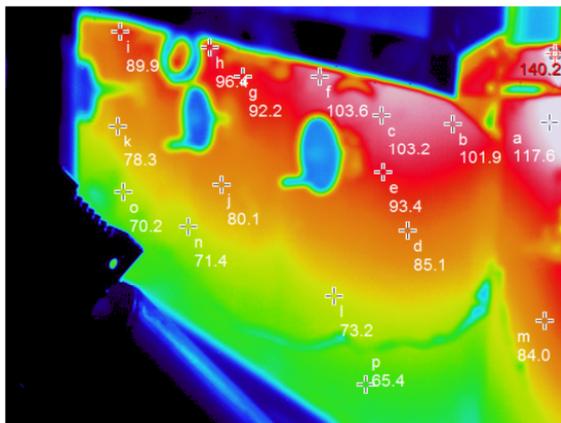


図 3-2-10 連結部からの放熱

(上: 写真, 下: 表面の温度分布(数字は温度(°C)))

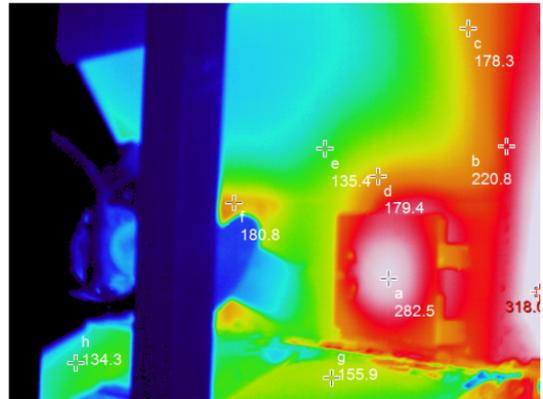


図 3-2-11 着火口

(上: 写真, 下: 表面温度分布(数字は温度(°C)))

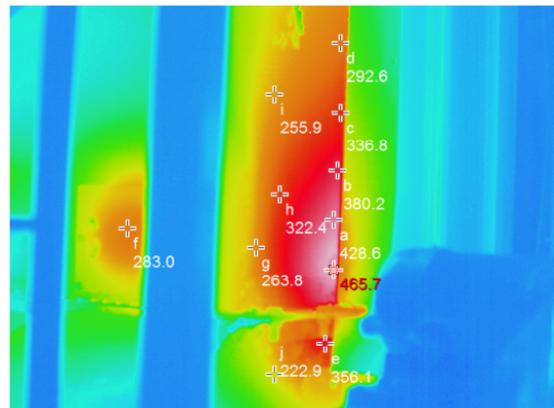


図 3-2-12 着火口両側面

(上: 写真, 下: 表面温度分布(数字は温度(°C)))

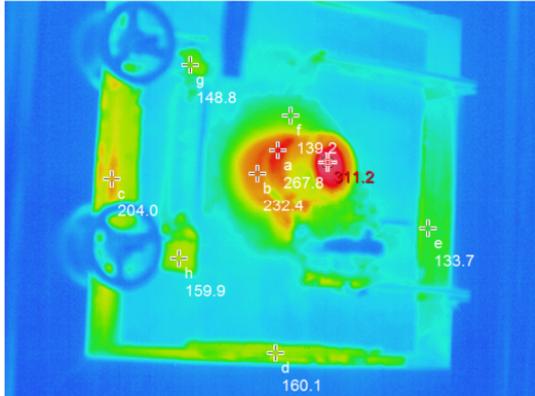
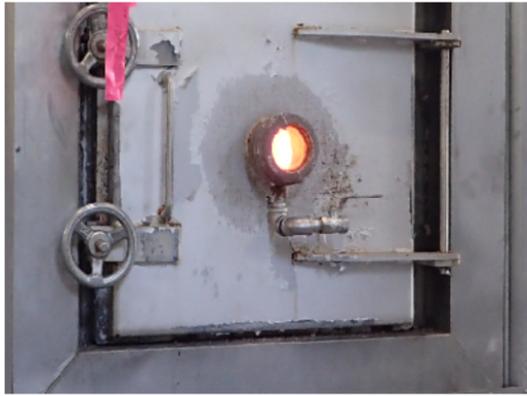


図 3-2-13 点検扉

(上: 写真, 下: 表面の温度分布(数字は温度(°C)))

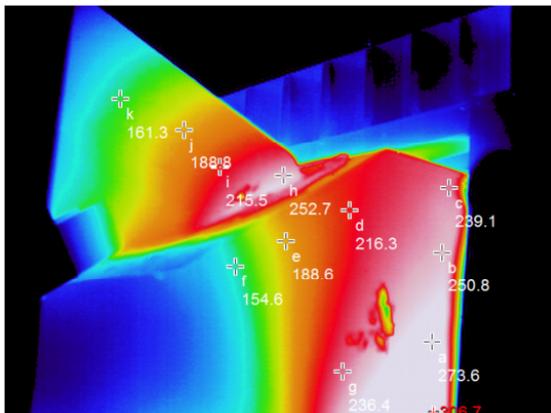


図 3-2-14 燃料投入口

(上: 写真, 下: 表面の温度分布(数字は温度(°C)))

(4) 700kW ボイラシステムの開発のための燃焼試験

燃焼試験にあたり、燃焼空気量を抑制するために図 3-2-8 に示した送風孔 1, 2, 7 を閉鎖した。燃焼炉内での燃焼ガスの旋回を行わせるために送風孔 3, 4, 5, 6 にはそれぞれ独立した送風機を設置し、インバータで風量を調節できるようにした。また、燃焼温度を 1, 200°C 程度に安定させるために RDF 燃焼量を 100kg/h になるように手動調節を行った。その結果、表 3-2-5 に示したとおり明らかな改善が見られた。また、高温状態を維持しているため、定常燃焼時の煤塵の発生量は減少し、熱交換器内部に付着することがなくなり、排ガス温度は 200°C 程度で安定した。

表 3-2-5 中型ボイラシステムの性能(改良後)

項目	単位	値
燃焼温度	°C	1,100~1,200
一酸化炭素濃度	ppm	50~100
酸素濃度	%	8~10%
回収熱量	kW	290
熱効率	%	45

また、燃焼室内の DEAD ZONE を解消するために、ストーカ上部全域で燃焼するようにストーカ速度を速くしたところ、図 3-2-15 のように DEAD ZONE が消え、炉内全体で火炎が旋回するのを目視で確認した。この条件では、炉内全体の燃焼温度が 1, 200°C 以上となり、RDF のチャーが未燃状態で排出されるため、一次空気の送入量を増加したが、炉からの放熱量が増加するとともに、炉壁崩壊の危険性があったため、この条件での実験は中止した。しかしながら、当初の狙い通りに炉内全体が燃焼に寄与できる領域となり、効率の良い揮発分の燃焼状態が得られることを確認した。

燃焼ガスの流れ

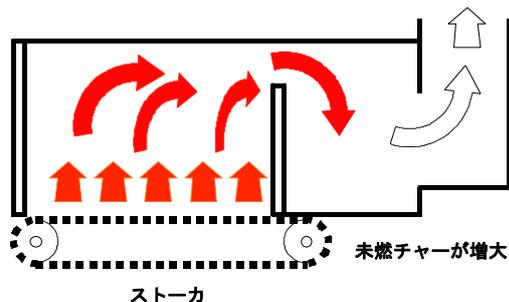


図 3-2-15 ストーカ速度の変更

(5) 700kW RDF ボイラシステムの開発

約1年間の燃焼実験の繰り返しで、自動制御のためのデータ収集を行った。その結果、現状のボイラの改造では全自動化、高効率化の目的は達成できないと判断し、燃焼炉の開発に取り組むこととした。主な変更点は以下の通りである。

① 炉壁の耐熱温度の強化(1,500℃対応)

可能な限り高温で燃焼し、ダイオキシンの低減、熱効率の向上(80%以上)を図る。

② 空気送入角度の変更

図 3-2-16 のように炉内に旋回流を作ることによって燃焼効率を改善し、煤塵の発生量を軽減するとともに、燃焼温度を改善する。

③ ボイラの完全自動運転

安全性向上と効率改善のため、上記の開発の他に、「熱効率改善のための熱交換器の開発」、「燃焼炉の断熱と連続運転(1日16時間以上)による効率改善」、「重油消費量の大幅な削減(RDFでの完全熱供給)のための貯湯槽の増加(40t)」も行った。これら燃焼機の開発・開発は既に取り組んでおり2019年3月末にはある程度のデータを公表できる予定である。

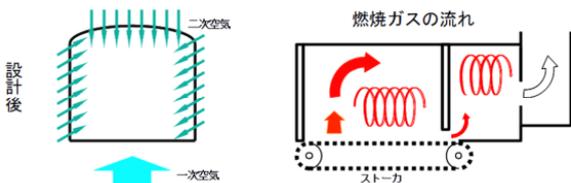


図 3-2-16 700kW ボイラの新たな開発

(6) ダイオキシン排出量の評価

これまでの燃焼装置の改良、運転方法の改善で RDF を燃焼しても排出されるダイオキシンは表 3-2-6 に示したように 700kW の中規模ボイラでは 0.84ngTEQ/m³N と低かった。ダイオキシンを低減す

る要件を満たさなくても 1,100~1,200℃の高温燃焼を維持することで排出量を低減できることが証明された。

4) おわりに

廃棄物を燃料として有効利用する目的で、廃おむつと医療機関から排出される衛生ごみの燃料化と、既存の2つのボイラシステム(350kW, 700kW)の現状把握及びこれらシステムの低公害化、高効率化を図るため改良を行った。

その結果、衛生ごみの燃料化については、単なる乾燥・粉碎処理では、悪臭や燃焼障害の問題があることを明らかとし、それらを克服できる水熱処理の提案を行った。また、2つの RDF ボイラについては、それぞれ現状の性能試験を通して問題点を把握し、それに基づいた改良により、350kW ボイラシステムでは熱効率の大幅な改善が見られた。700kW ボイラシステムについては、現段階では改良工事中であることから、ここでは改良後の結果を示せないが、350kW ボイラシステムと同様、大幅な改善を期待している。ダイオキシン対策については、4.2 で検討した、原料ごみから塩ビ製品を除去する新しい分別方式と併せて富良野市の自主規制値(5ngTEQ/m³N)を十分クリアできると考える。

5) 参考文献

- [1] 最新材料の再資源化技術事典, 材料の再資源化技術事典編, (株)産業技術サービスセンター
- [2] ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等ガイドライン, 平成9年1月, 厚生省

研究担当機関: 工業試験場, 環境科学研究センター
執筆者: 上出光志 (工業試験場)

表 3-2-6 塩化水素及びダイオキシン排出量

計測項目	単位	小規模ボイラ			中規模ボイラ	
		通常RDF	低塩素 RDF (道総研)	通常 RDF	新分別方式 RDF	
塩化水素	mg/m ³ N	160	10	—	130	130
ダイオキシン	ng-TEQ/m ³	260	17	18	20	0.84
備考: バグフィルタ 燃焼温度 熱交換器		無 750~850℃ 空気		有 750~850℃ 水	有 1100~1200℃ 水	
		燃料の基本特性の把握 ダイオキシンの発生実験			ダイオキシンの再合成阻止	

※ 低塩素RDF; 道総研が手選別で分別した原料で製造したRDF
新分別方式RDF; 富良野市の独自施策で回収した原料から製造したRDF(第4章2節参照)

3. 3 省エネルギー技術

3. 3. 1 制御を考慮したバイオマスボイラの適正導入に関する検討

1) はじめに

化石燃料消費量や CO₂ 排出量を削減し、エネルギーの地産地消を進める方法の一つに、バイオマスボイラの導入がある。しかし、バイオマスボイラは高額であるため、補助が得られなければ導入が難しいのが現状である。ここでは、建物の熱負荷特性を考慮し、比較的簡易な制御により、なるべくコストの増加を抑えてバイオマスボイラを導入する方法を検討する。

2) 熱負荷頻度分布

ボイラなどの熱源機は最大出力で運転している時間はごく短く、ほとんどが部分負荷運転である。道総研建築研究本部建物の熱源機の稼働状況（累積熱負荷曲線）を図 3-3-1-1 に示す。年間の合計熱出力を最大出力で割って得られる全負荷相当運転時間は 928 時間（2009-2010）、613 時間（2010-2011）であった。熱源機の負荷率（熱出力／最大熱出力）が 50% を超えているのは運転時間の 20% 以下であるなど、運転時間の多くは小さな負荷率で運転されていることがわかる。T 町暖房熱供給施設の熱源機の稼働状況（累積熱負荷曲線）を図 3-3-1-2 に示す。全負荷相当運転時間は 665 時間であり、熱源機の負荷率が 50% を超えている時間はごく僅かであった。

累積熱負荷曲線を次式で近似すると、これらの設備の指数 C（以下、形状パラメータと呼ぶ）は、それぞれ 0.27, 0.16 となった。

$$r = \frac{Q}{Q_{max}} = 1 - P^C$$

ここで、 Q_{max} ：設備の最大出力

Q：1 時間平均出力

P：負荷率 r を超える出現率、 $0 \leq P \leq 1$

この累積熱負荷曲線の近似式を用いると、平均負荷率は

$$M = \int_0^1 r dP = \frac{c}{c+1}$$

であり、全負荷相当運転時間は、運転時間を T とすると、MT と表される。この近似式を用いて、運転制御法の検討を行う。

3) ボイラ制御方法の検討

木チップなどのバイオマスボイラは高額であるので、重油などのボイラと併用することで、バイオマスボイラの容量をなるべく小さくすることが考えら

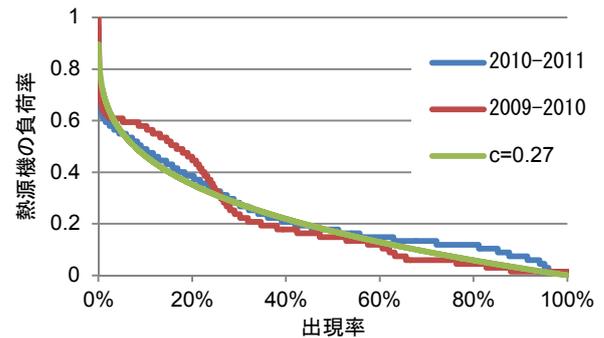


図 3-3-1-1 累積熱負荷曲線（道総研建築研究本部）

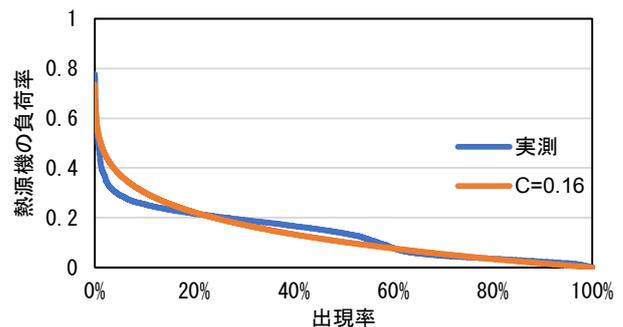


図 3-3-1-2 累積熱負荷曲線（T 町暖房熱供給施設）

れる。その際、重油ボイラとバイオマスボイラを同時に稼働させるのではなく、熱負荷が小さい場合にはバイオマスボイラのみで運転し、負荷が大きい場合に重油ボイラを運転するように制御すると、CO₂ 排出量や化石燃料消費量、運転コストの削減が可能となる。

温水ボイラを想定し、運転制御の方法として次の 3 種類を検討する。

①蓄熱槽温度による運転制御

重油ボイラ：蓄熱槽温度 70℃以下で ON, 75℃以上で OFF

バイオマスボイラ：蓄熱槽温度 75℃以下で ON, 80℃以上で OFF

②ボイラへの戻り温度による制御

重油ボイラ：戻り温度 65℃以下で ON, 70℃以上で OFF

バイオマスボイラ：戻り温度 70℃以下で ON, 75℃以上で OFF

③ボイラの送水温度制御

重油ボイラ：送水温度 73℃設定

バイオマスボイラ：送水温度 80℃設定

ここで、温度の値は仮の値であり、このようにバイオマスボイラと重油ボイラで設定温度を変えることが趣旨である。

①の例を次に示す。循環流量は送りと戻りの温度

差が最大負荷時に 10K となる流量で、一定流量とし、説明を簡単にするため比例制御とする。ボイラ容量は重油、バイオマスとも最大負荷の 50%の容量とし、蓄熱槽の温度により、図 3-3-1-3 のように、熱出力を制御する。理想的に制御された場合、各ボイラの供給熱量および送水温度は図 3-3-1-4~5 のようになる。重油ボイラ (boil2) は、負荷率の大きい時間帯のみ稼働するので、ボイラ容量は同じでもバイオマスボイラ (boil1) の供給熱量が多く、バイオマスへの依存率は高くなる。

同様に、②の制御方法の場合を図 3-3-1-6~8 に示す。①の場合と同様な結果であるが、2 つのボイラの送水の混合後の温度が負荷率に関わらず 75℃となっていることが、①と異なる特徴である。

③の制御方法の場合を図 3-3-1-9~10 に示す。重油ボイラ (boil2) は、設定した送水温度が 73℃であるので、戻り温度が 73℃に達するまでは運転を継続し、①②のように負荷率に比例する運転とはならない。

実際の制御にはディファレンシャル (制御幅) があり、ON/OFF 制御の場合もあるので、ここで示したような単純な運転とはならないが、平均値としてはこのような運転が可能と考えられる。

バイオマスボイラと重油ボイラが併用される場合、負荷率 r のときのバイオマスボイラの供給熱量の全供給熱量に対する割合を表す関数を $f(r)$ (上記供給熱量の図の boil1) とすると、暖房期間全体におけるバイオマスボイラの供給熱量の全供給熱量に対する割合は、次式で表される

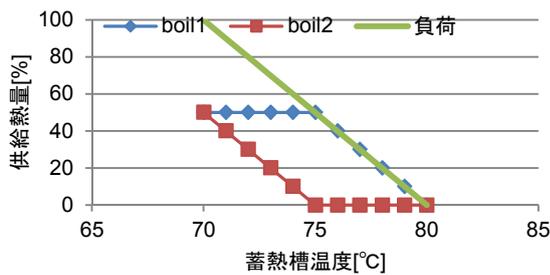


図 3-3-1-3 熱出力の設定 (制御①)

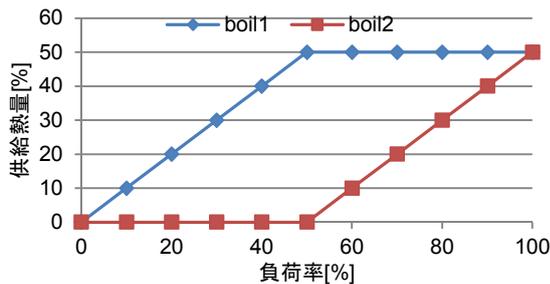


図 3-3-1-4 供給熱量 (制御①)

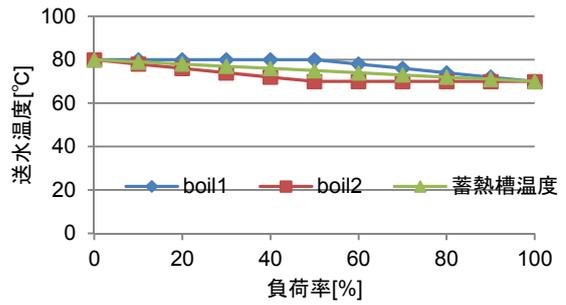


図 3-3-1-5 送水温度 (制御①)

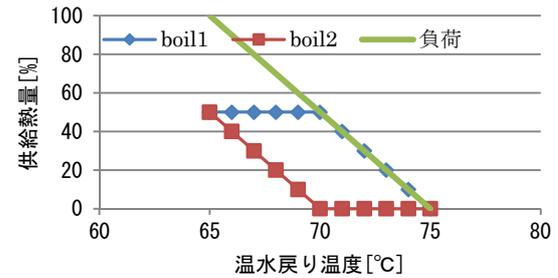


図 3-3-1-6 熱出力の設定 (制御②)

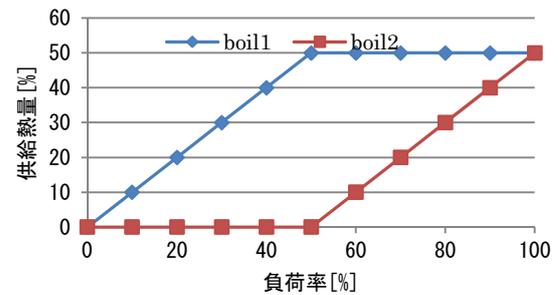


図 3-3-1-7 供給熱量 (制御②)

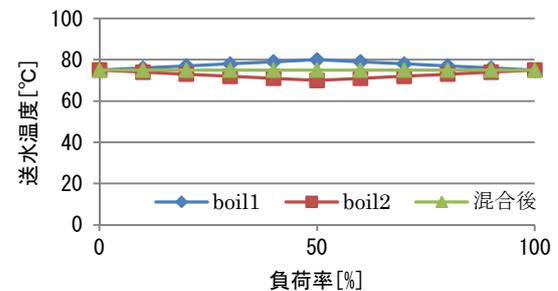


図 3-3-1-8 送水温度 (制御②)

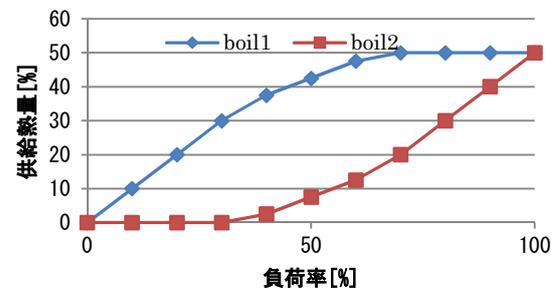


図 3-3-1-9 供給熱量 (制御③)

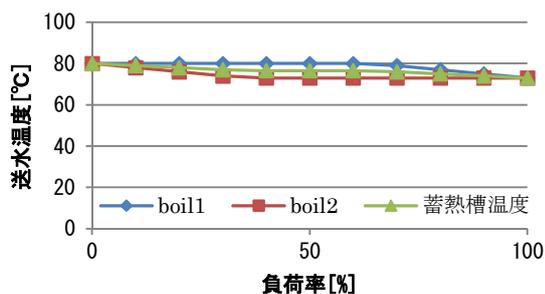


図 3-3-1-10 送水温度 (制御③)

$$q = \int_0^1 f(r) dP = \int_0^1 f(1 - P^c) dP$$

関数 $f(r)$ はバイオマスボイラと重油ボイラの容量の比率により異なる。

各ボイラの容量を変更した場合のバイオマスボイラ (boil1) の供給熱量割合 (バイオマスへの依存率) を図 3-3-1-11~13 に示す。ここで、熱負荷の頻度分布は前述の熱負荷分布モデル (形状パラメータ 0.3 および 0.5) を用いた。バイオマスへの依存率は③の制御が他の制御より低い、それでもバイオマスボイラの容量が全容量の 50% のとき、バイオマスボイラの供給熱量は全供給熱量の 80% 以上となっている。

バイオマスボイラと重油ボイラを併用する場合、両方のボイラを同じ設定で運転すると、供給熱量はボイラ容量に比例する。したがって、各ボイラ容量を全容量の 50% とした場合には、重油消費量は重油ボイラのみを使用した場合の 50% となる。しかし、ここで示したように制御すれば、重油消費量は重油ボイラのみを使用した場合の 20% 以下とすることが可能と考えられる。

バイオマスボイラの価格が重油ボイラよりかなり高く、一方、バイオマス燃料が重油より安価であるとすれば、このように制御を工夫することにより、コストダウンと化石燃料消費量・CO2 排出量の削減が図られる可能性がある。

4) 導入事例

T 町の熱供給施設では定格出力 110kW のペレットボイラ 1 台、出力 44.2kW の灯油ボイラ 2 台が使用されており、ペレットボイラはボイラ出口温水温度 75°C、灯油ボイラは温水供給ヘッダ温度が 70°C を維持するように設定されている。したがって、ペレットボイラで温水供給ヘッダの温度を 70°C 以上に維持できれば、灯油ボイラは運転されない。ただし、11 月下旬までと 3 月下旬以後はペレットボイラを止め、灯油ボイラのみが運転されている。運転状況を図 3-3-1-14 に示す。ペレットボイラと灯油ボイラを

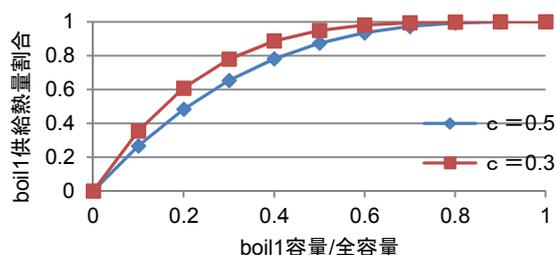


図 3-3-1-11 boil1 の供給熱量割合 (制御①)

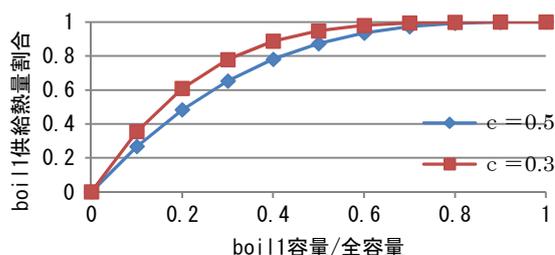


図 3-3-1-12 boil1 の供給熱量割合 (制御②)

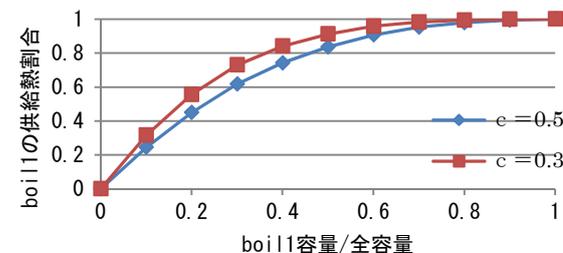


図 3-3-1-13 boil1 の供給熱量割合 (制御③)

併用している期間は、ほとんどペレットボイラのみが運転されていることがわかる。ペレットボイラの容量が全容量の約 55% であり、負荷分布が形状パラメータ $C=0.16$ 程度であったことから、この結果は予想通りと言える。11 月および 4 月についてもペレットボイラを運転できれば、ペレットへの依存率をさらに高めることが可能である。

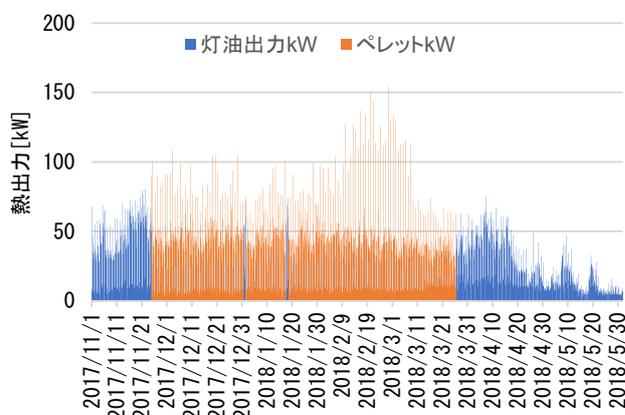


図 3-3-1-14 T 町熱供給施設の熱源機稼働状況

5) 導入効果の試算

故障対応や低負荷時の効率低下などを考慮して、ボイラを2台設置する場合がよくある。重油ボイラを2台、木チップボイラを2台、重油と木チップボイラを1台ずつ設置する場合のCO₂排出量を図3-3-1-15に示す。ここで、電力消費量は無視し、熱出力1MJ当たりの値として示している。チップのEPRは10、CO₂排出係数は重油が0.069kgCO₂/MJ、木チップが0.007kgCO₂/MJとした。ボイラ効率は80%とし、負荷分布曲線の形状パラメータを0.3および0.5とした。制御方法は前述の③の場合である。

木チップボイラの供給熱量の割合は、その容量が全容量の50%のとき、前節の図3-3-1-13より、 $c=0.3$ のとき91.9%、 $c=0.5$ のとき83.6%である。制御により木チップボイラによる熱供給が多くなるため、重油と木チップボイラを1台ずつ設置する場合のCO₂排出量が、重油ボイラのみ設置の場合に比べ、大きく減少することがわかる。

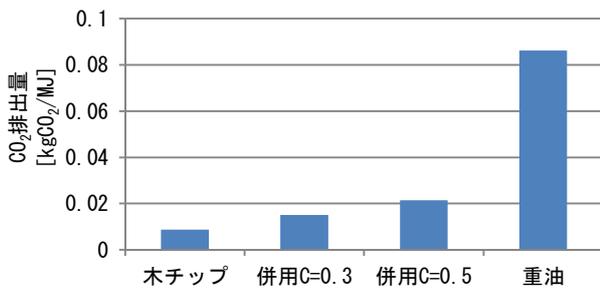


図3-3-1-15 CO₂排出量の比較

次にコスト試算を行う。機器、燃料単価等を表3-3-1-1のように設定した。熱負荷分布を前述の形状パラメータと運転時間により6種類設定した。全負荷相当運転時間と供給熱量1MJ当たりの年間コストの関係を図3-3-1-16に示す。ここで、機器の耐用年数を15年として、機器のコストも1年当たりのコストに換算している。全負荷相当運転時間が長い(機器容量が小さい)ほど、供給熱量1MJ当たりの年間コストは低くなっている。特に、機器コストが高い木チップボイラで顕著である。重油価格を100円/Lとした場合には、全負荷相当運転時間が1000時間以上の場合、木チップボイラと重油ボイラを併用する場合と重油ボイラを2台設置する場合の差はかなり小さくなっている。

以上の結果は、単価の設定などに大きく依存するものであるが、バイオマスボイラと重油ボイラを併用する場合の制御を工夫することにより、コストの増加をなるべく抑えつつ、化石燃料消費量やCO₂排出量を大きく削減できる可能性があることを示唆す

るものである。

6) まとめ

ここでは、建物の熱負荷特性を考慮し、比較的簡易な制御により、なるべくコストの増加を抑えてバイオマスボイラを導入する方法を検討した。累積負荷分布曲線と運転制御のモデル化により、バイオマスボイラと化石燃料ボイラを併用する場合のCO₂排出量などの削減効果とコストを理論的に導く手法を示した。運転設定温度をバイオマスボイラと化石燃料ボイラで差をつけることで、CO₂排出量や化石燃料消費量を大きく減少できること、全負荷相当運転時間が長いほどバイオマスボイラの導入に適することなどを明らかにした。高額なバイオマスボイラを導入する場合、負荷すべてをバイオマスボイラに依存するのではなく、比較的安価な化石燃料ボイラと併用し、運転時間や温度設定など制御を工夫することで、コストの増加をなるべく抑えつつ、化石燃料消費量やCO₂排出量を大きく削減できる可能性があると考えられる。

表3-3-1-1 単価の設定

	重油ボイラ	チップボイラ
機器単価[¥/kW]	10000 円/kW	100000 円/kW
サイロ単価[¥/MJ]		20 円/MJ
維持管理費比率	0.02	0.02
燃料発熱量[MJ/L]	39MJ/L	12MJ/kg
燃料単価[¥/L]	75 または 100 円/L	12 円/kg

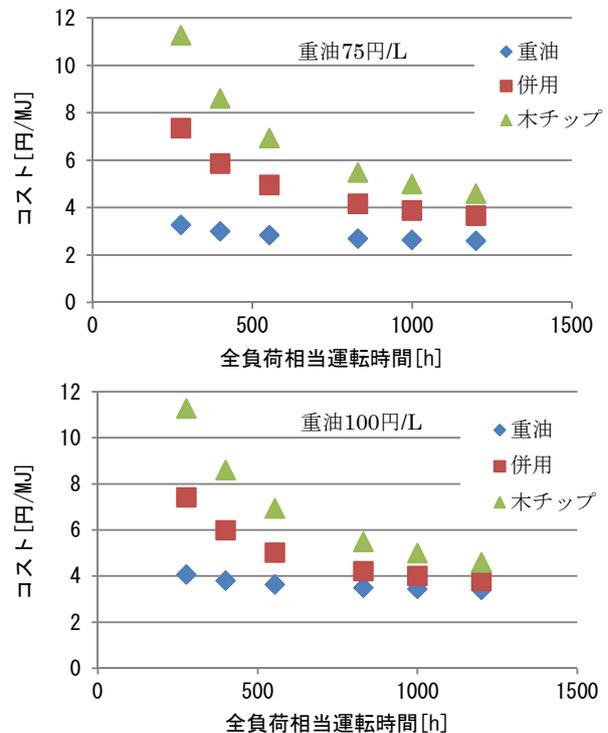


図3-3-1-16 年間コスト

3. 3. 2 地中熱ヒートポンプ計算法の比較と長期性能予測

1) はじめに

建物全体を地中熱ヒートポンプで冷暖房するため、多くの採熱管を設置する例が珍しくなくなっている。採熱管の間隔は一般に5m程度離すのが普通であるが、採熱と放熱のバランスが取れていない場合、時間の経過とともに熱交換温度が変化することがある。そこで、採熱管相互の影響を考慮した解析を行い、長期的な温度変化を確認する必要がある。ここでは、採熱管相互の影響を考慮した解析を行い、実測結果と比較を行って、その妥当性を検討するとともに、長期的な予測を行う。

2) 解析モデル

計算対象は北海道N町の公共施設Nである。公共施設Nの採熱管は、4系統に分かれており、各系統の採熱管の本数は、4本(系統1)、7本(系統2)、10本(系統3)、17本(系統4)である(図3-3-2-1)。採熱管の長さは100m、採熱管と採熱管の間の距離は4m以上離れている。熱応答試験による地盤の熱伝導率は1.74W/mKであった。

各採熱管の長さは100mであるので、上下方向の熱移動は無視できると仮定し、解析方法として、kelvinの線源モデルを基にした応答係数法を用いた。

kelvinの線源モデルでは、線源への熱流のステップ入力に対して、線源からの距離xと経過時間tにおける温度 θ の応答が、 $\theta = f(x, t)$ として求められるので、この応答を重ね合わせることで、任意の熱入力に対する温度が求められる。ここでは、温度のステップ応答を次式で近似し、項別公比法により温度を計算する。

$$\theta(x, t) = A_0 + \sum_{i=1}^6 A_i e^{-t/B_i}$$

ここで、 A_i : 回帰式の係数、 $B_1=10000$, $B_2=5000$, $B_3=1000$, $B_4=100$, $B_5=10$, $B_6=1$

線源理論による応答係数法を用いる場合には、採熱管周囲が凍結温度に達してもその凍結・融解潜熱を考慮することはできない。そこで、採熱温度が氷点下になる場合には円筒座標系の一次元非定常熱伝導モデルまたは直交座標系の二次元非定常熱伝導モデルを差分法で解く手法を用いる。

計算では、採熱管1m当たりの採熱量の実測値を与え、採熱温度を求める。採熱温度は、同じ系統でも採熱管により異なるので、系統ごとに採熱温度の平均をとり、各系統の採熱温度とする。比較する実測

値は、採熱ポンプ稼働時における各系統のヒートポンプ入口と出口の不凍液温度の平均値とする。

与条件となる各系統の採熱管長さ1m当たりの採熱量を図3-3-2-2に示す。系統1は暖房と給湯に使用されており、年間を通じて暖房(採熱)運転が行われている。系統2~4は冬期暖房(採熱)、夏期冷房(放熱)運転が行われている。

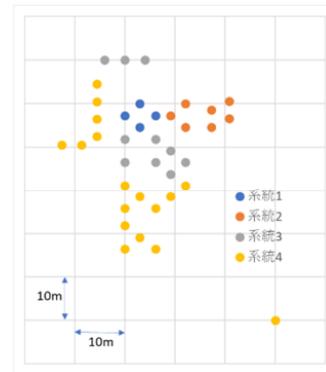


図3-3-2-1 採熱管の配置

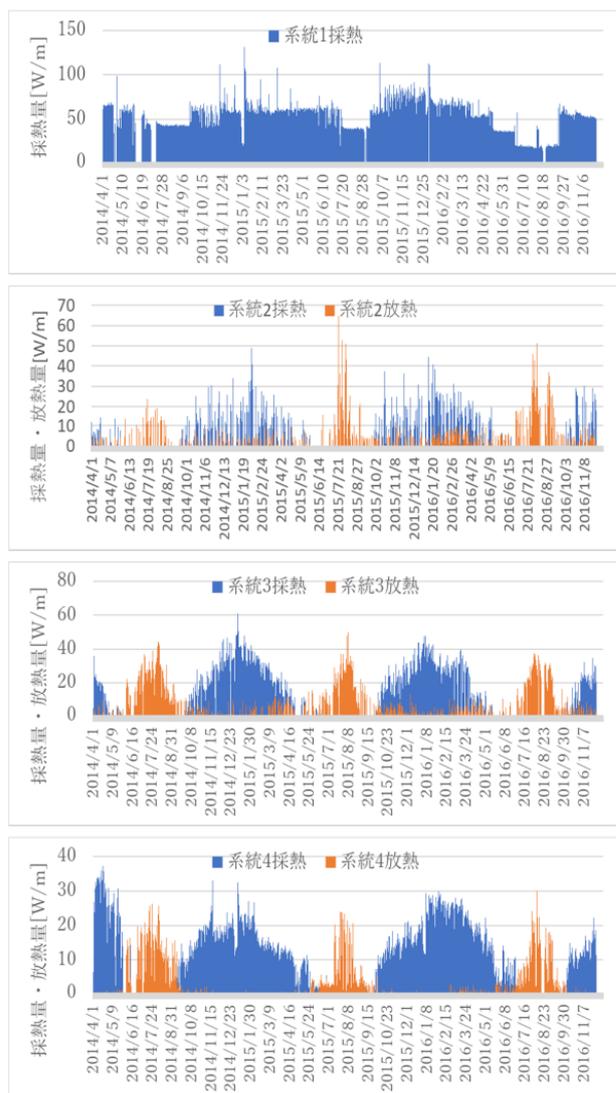


図3-3-2-2 各系統の採熱量・放熱量

3) 解析結果

(1) 採熱管が1本の場合

採熱管相互の影響を考慮しない場合の線源理論による結果を図3-3-2-3に示す。系統1は計算値が実測値より低くなっている。差が大きいのは採熱温度が氷点下の期間であり、地盤の凍結潜熱を考慮していないことが原因と考えられる。ただし、採熱温度が0℃以上の領域では潜熱有無の影響は見られない。これは、凍結潜熱により温度低下が抑制されても温度上昇の際に融解潜熱により温度上昇が抑制されるためである。したがって、長期的な傾向を確認するには必ずしも潜熱を考慮しなくても良いように思われる。系統2および3は実測値と概ね一致しているが、年間の振幅がやや小さいようである。系統4は冬期採熱時の温度は一致しているが、夏期冷房時の温度が実測よりも低くなっており、年間の振幅が小さい。

採熱温度が氷点下となり、地盤の凍結を顧慮する必要があると考えられる系統1についての円筒座標系の差分法による計算結果を図3-3-2-4に示す。凍結潜熱を考慮すると、最低温度は2K程度上昇し、実測結果に近づくことがわかる。

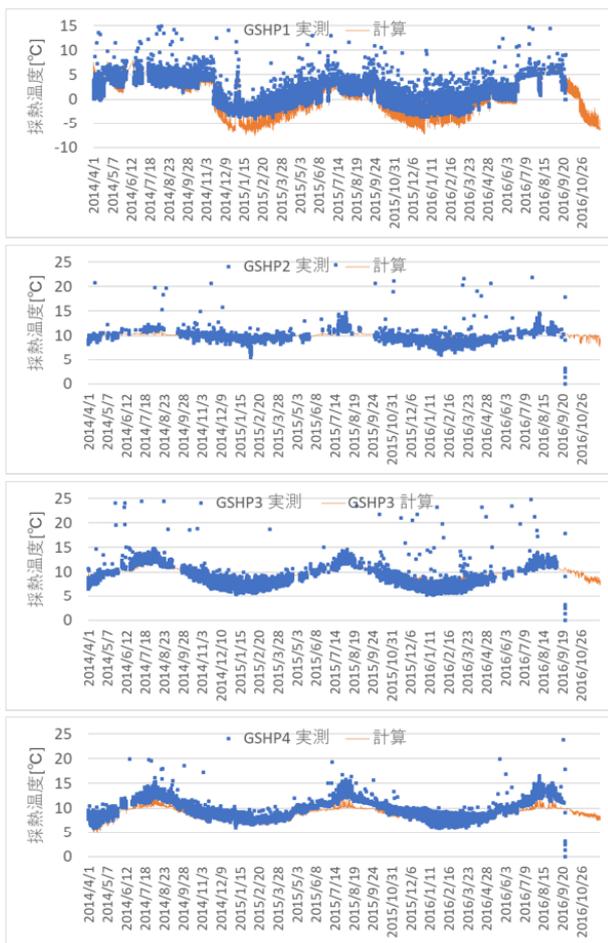


図3-3-2-3 各系統の採熱温度計算値と実測値

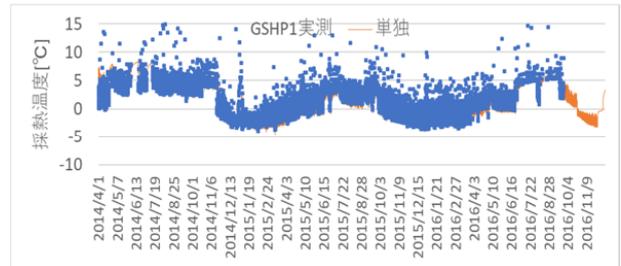


図3-3-2-4 系統1の採熱温度計算値と実測値

(2) 系統内の採熱管相互の影響を考慮した場合

採熱管相互の影響を考慮した線源理論による計算結果を図3-3-2-5に示す。系統2, 3については、前述の結果とほとんど差がないが、年間の振幅はやや大きくなり、実測値に近づいた。系統4については、時間の経過とともに採熱温度がやや低下しており実測結果とは異なる傾向がみられた。

採熱温度が氷点下となり、地盤の凍結を考慮する必要があると考えられる系統1についての差分法による計算結果を図3-3-2-6に示す。採熱管相互の影響を考慮した場合、時間の経過とともに採熱温度が低下し、実測結果と差が生じている。実測結果との比較では、採熱管相互の影響を考慮しない方がむしろ良い結果となった。

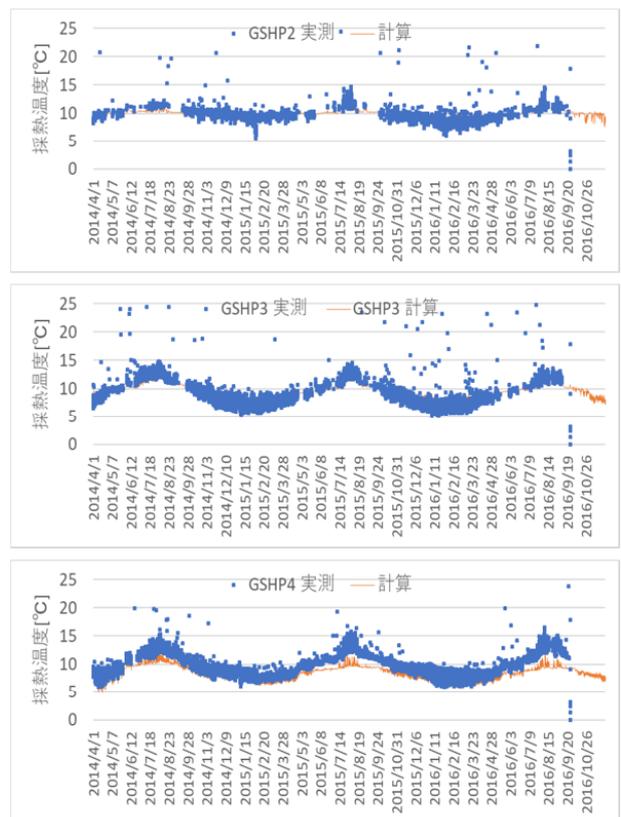


図3-3-2-5 系統2~4の採熱温度計算値と実測値

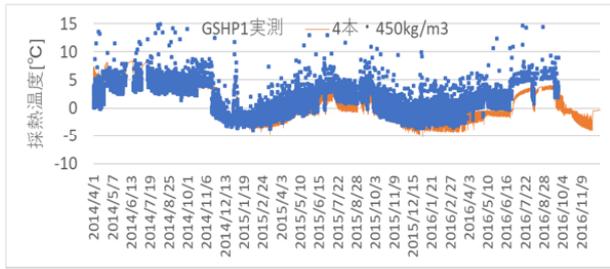


図 3-3-2-6 システム 1 の採熱温度計算値と実測値

(3) 他系統の影響

他の系統の採熱が採熱温度に及ぼす影響を線源理論により検討した。例としてシステム 2 に対する各系統の影響を図 3-3-2-7 に示す。系統間に距離があるため、時間が経過するにつれて影響が大きくなる傾向がある。採熱量はシステム 1 が大きく、他の系統は比較的小さいため、システム 1 に対するシステム 2~4 の影響は小さく、合計でも最大 0.5K 程度であった。システム 2, 3 は採熱量が大きいシステム 1 と近いため、システム 1 により 1K 以上の温度低下がもたらされる。システム 4 はシステム 1 と離れているため、その影響は最大 0.5K 程度であった。

各系統の採熱温度は(2)の結果にここで示した影響を加えた値となるが、実測との比較からは、むしろ他系統の影響を考慮しない方が実測値に近い。これは、システム 1 の周囲温度が実際より低く計算された(線源理論であるため潜熱を考慮できない)ことで他系統への影響を過大評価していることや、実際の熱伝導率が熱応答試験で得られた熱伝導率と異なっている可能性が考えられるが、原因を特定することはできなかった。

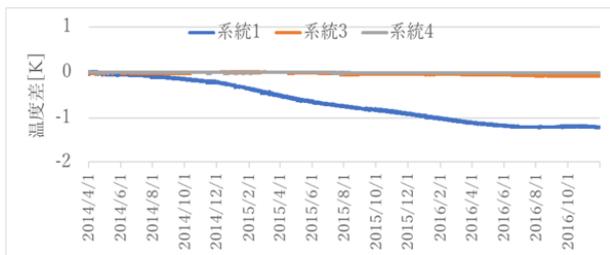


図 3-3-2-7 システム 2 への各系統の影響

4) 採熱バランスの改善と長期予測

現状においては、システム 1 の採熱量が多く、他の系統が少なくなっており、システム 1 の採熱温度が低くなっている。そこで、各採熱管の採熱量が一樣になるようにシステムを変更した場合の予測を行う。計算手法は kelvin の線源理論を基にした応答係数法である。38 本の各採熱管に全採熱量の 1/38 の熱流を与えて

計算を行った。結果を図 3-3-2-8 に示す。採熱温度は 5°C 以上を保てると予測され、ヒートポンプを比較的高い COP で運転できると考えられる。

次に、現状の採熱・放熱パターンが今後も継続すると仮定し、18 年間の計算を行った。計算結果を図 3-3-2-9 に示す。採熱温度の最低値は 4°C 程度まで低下するが、2020 年以後はほとんど低下がみられない。近くで採熱が行われない限り、長期的にも比較的高い温度で採熱が可能と考えられる。



図 3-3-2-8 システム再編後の採熱温度

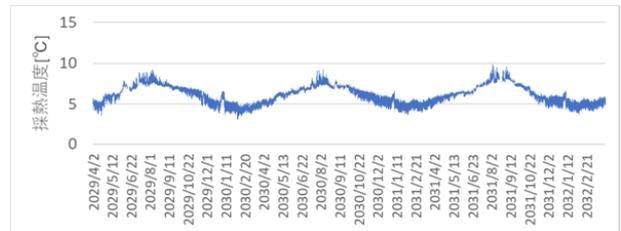


図 3-3-2-9 システム再編後の採熱温度(16~18年後)

5) まとめ

公共施設 N の地中熱ヒートポンプを対象に、採熱管相互の影響を考慮した数値解析を行い、実測結果との比較を行った。得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 最低温度が 0°C 以上の場合には、kelvin の線源理論を用いた応答係数法により、実際の採熱管の配置に基づいて相互の影響を考慮した解析が比較的容易に行える。
- 2) 採熱温度が氷点下になる場合には地盤凍結の潜熱を考慮しないと、採熱温度が低く推定される。
- 3) 他系統の採熱温度への影響を検討したところ、採熱量の大きかったシステム 1 の影響が 1K 以上と推定されたが、実測結果からは確認できなかった。

また、システムの再編を行い、各採熱管から均等に採熱を行った場合の計算を行った、その結果、採熱温度は 5°C 以上となり、18 年間の長期計算の結果でも 4°C 以上保たれと予測された。

採熱管が複数本ある場合、それらの間の領域の温度回復が十分ではなく、時間の経過とともに採熱温度が低下する可能性がある。kelvin の線源理論に基づく応答係数法を用いれば、エクセルでも短時間に長期的な計算が可能であることが確認できた。

3. 3. 3 データセンターの外皮性能・外気冷房についての検討

1) はじめに

データセンターは電力消費量が多く、省エネルギー化が重要な課題である。ここでは、ASHRAE2011 クラス A1 の許容温度 15~32℃を維持するために必要な暖冷房負荷または暖冷房エネルギーを最小にする外皮性能および外気冷房の導入効果について、美唄の気象データ（拡張アメダス標準年）を用いて、理論的な検討を行う。

2) 計算方法

データセンターは開口部が小さく、一定環境を維持するように制御されるため、毎時刻データを用いた定常計算を採用する。サーバー発熱量を 24 時間一定とすると、熱収支は次式で表される。

$$Q=H+K\sum r_i(SAT_i-\theta_R)$$

Q：冷暖房負荷[W]

H：発熱量（サーバー等）[W]

K：外皮の総熱損失係数(W/K)

r_i ：ある部位 i（外壁，屋根）の熱損失の割合

SAT_i ：ある部位の相当外気温[℃]

θ_R ：暖房または冷房設定室温[℃]

上限室温 32℃において Q が正值，下限室温 15℃において Q が負値の場合に冷房負荷，暖房負荷となる。換気は外調機で室温まで加熱・冷却されると仮定し，室温冷房負荷にはカウントしない。

また，熱交換器を用いた間接的な外気冷房を導入し，除去熱量不足分を冷水コイルで除去するシステムについて，外気との熱交換量を次式で算出する。

$$Q_{ex}=GC\eta(\theta_R-\theta_0)$$

Q_{ex} ：外気による除去熱量[W]

G：風量（サーバー発熱量を温度差 10K で処理するための風量とする）[m³/h]

C：空気の比熱[Wh/m³K]

θ_0 ：外気温[℃]

η ：温度効率 (0.7)

冷房で除去しなければならない熱量（装置負荷）は次式で表される。

$$Q_c=Q-Q_{ex}$$

ヒートポンプで冷暖房を行うことを想定し，冷房および暖房時の電力消費 E は，カルノーサイクルをベースにした次式で推定する。

[冷房]

$$E=Q_c \cdot C(\theta_c-\theta_e) / (\theta_e+273)$$

Q_c ：冷房装置負荷[W]

C：係数 (0.5)

θ_e ：蒸発器温度（=冷水温度-5℃）

θ_c ：凝縮器温度（=外気温+5℃）

[暖房]

$$E=Q_h \cdot C(\theta_c-\theta_e) / (\theta_c+273)$$

Q_h ：暖房装置負荷[W]

C：係数 (0.5)

θ_c ：凝縮器温度（=温水温度+5℃）

θ_e ：蒸発器温度（=外気温-5℃）

冷水温度は 7℃，温水温度は 45℃とする。ヒートポンプの COP を図 3-3-3-1 に示す。外気温 8.5℃以下ではフリークーリングとし，COP は 12 と仮定した。なお，雪冷房がある場合には，この冷房負荷の一部が雪冷房で賄われるとする。

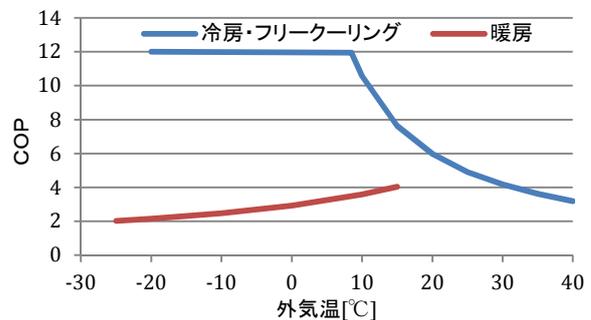


図 3-3-3-1 設定したヒートポンプの COP

この計算では，冷暖房負荷の合計または冷暖房消費電力の合計が最小となる外皮の総熱損失係数 K を求める。屋根（水平面）および東西南北の 4 壁面（垂直面）について，すべての熱コンダクタンス（熱貫流率と面積の積）が等しい条件（各部位の $r_i=0.2$ ，「均等」と表現），および，ある一面にのみ熱流が生じその他の面は完全断熱である条件（方位で表示）の合計 6 条件を設定した。床は空調空気の供給スペースとなることが多いため，熱損失を計算しない。

3) 計算結果と考察

(1) 外気冷房を導入しない場合

屋根および外壁の日射吸収率 0.2，屋根および外壁の熱コンダクタンスが等しい場合（計算条件「均等」）の計算結果を図 3-3-3-2~4 に示す。年間冷暖房負荷は，発熱量当たりの熱損失係数が 0.05 付近で最小となり，年間電力消費量は，0.04 付近で最小となる。最大冷房負荷は熱損失係数の影響をあまり受けないが，最大暖房負荷は熱損失係数が小さいほど小さい。

外皮の熱損失係数が「均等」，「水平屋根面に集中」，「北向き外壁面に集中」の 3 条件の電力消費量，最大冷房負荷を図 3-3-3-5，6 に示す。どちらも水平面が大きく，北向き外壁面が小さい。最大冷房負荷は，

水平面では熱損失係数が大きくなると大きくなるが、北向き外壁面では熱損失係数が大きくなると最大冷房負荷は小さくなる。

日射吸収率が 0.8 の場合には (図省略), 年間冷暖房負荷, 年間電力消費量は日射吸収率 0.2 の場合よりやや大きくなるが, 最小となる熱損失係数は日射吸収率 0.2 の場合とほとんど差がなかった。最大冷房負荷は, 方位にかかわらず, 熱損失係数が大きいほど大きくなったが, その影響は水平面で大きく, 北向き外壁面で小さかった。年間電力消費量は, 日射吸収率 0.2 と同様に, 水平面が大きく, 北向き外壁面が小さかった。

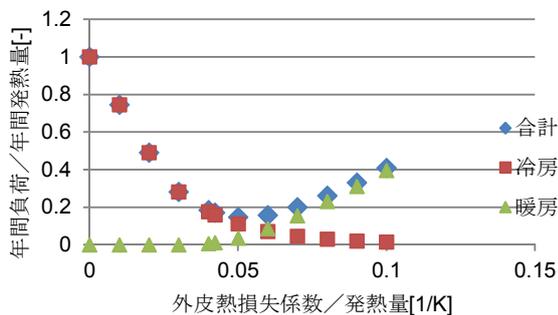


図 3-3-3-2 年間冷暖房負荷 (美唄, 日射吸収率 0.2, 熱コンダクタンス均等)

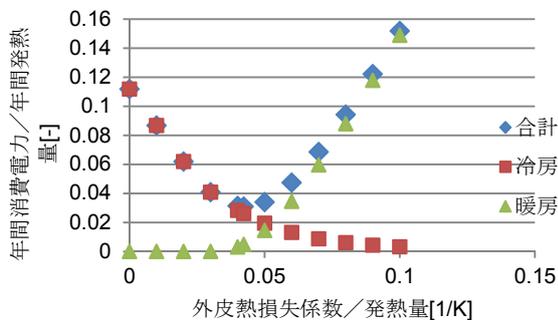


図 3-3-3-3 年間電力消費量 (美唄, 日射吸収率 0.2, 熱コンダクタンス均等)

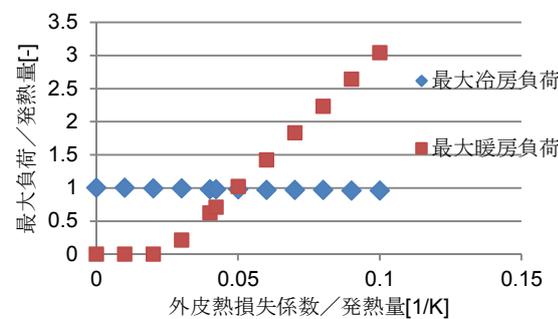


図 3-3-3-4 最大冷暖房負荷 (美唄, 日射吸収率 0.2, 熱コンダクタンス均等)

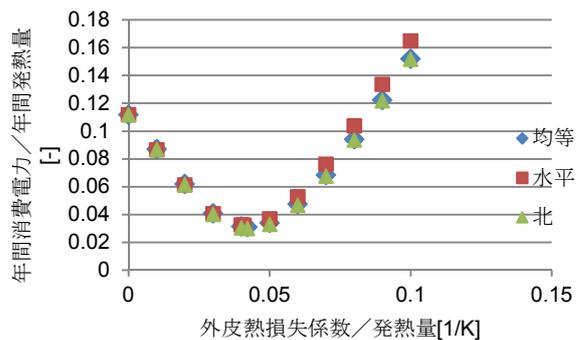


図 3-3-3-5 年間消費電力 (美唄, 日射吸収率 0.2)

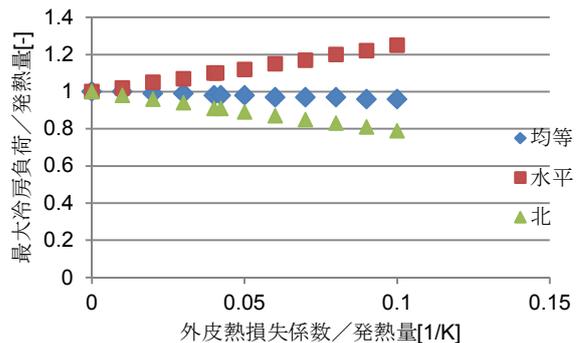


図 3-3-3-6 最大冷房負荷 (美唄, 日射吸収率 0.2)

(2) 外気冷房を導入した場合

日射吸収率 0.2, 屋根および外壁の熱コンダクタンスが等しく, 外気冷房を導入した場合の結果を図 3-3-3-7~9 に示す。年間冷暖房負荷, 年間電力消費量は, 発熱量当たりの熱損失係数が 0.03 付近で最小となるが, 熱損失係数がそれより小さい範囲では, 熱損失係数の影響は小さい。最大冷房負荷は熱損失係数の影響をあまり受けないが, 最大暖房負荷は熱損失係数が小さいほど小さい。

外皮の熱損失係数が「均等」「水平屋根面に集中」「北向き外壁面に集中」の 3 条件の年間電力消費量, 最大冷房負荷を図 3-3-3-10, 11 に示す。どちらも水平面が大きく, 北向き外壁面が小さい。水平面では熱損失係数が大きくなると最大冷房負荷は大きくなるが, 北向き外壁面では熱損失係数が大きくなると最大冷房負荷は小さくなる。

日射吸収率が 0.8 の場合には (図省略), 年間冷暖房負荷, 年間電力消費量は日射吸収率 0.2 の場合よりやや大きくなるが, 最小となる熱損失係数は日射吸収率 0.2 の場合とほとんど差がなかった。最大冷房負荷は熱損失係数が大きいほど大きくなるが, その影響は水平面で大きく, 北向き外壁面では非常に小さかった。年間電力消費量は, 日射吸収率 0.2 と同様に, 水平面が大きく, 北向き外壁面が小さかった。

美唄の気象データ (拡張アメダス標準年) の最高

気温は 30.7℃であり、室温上限の 32℃より低い。したがって、面の受ける日射量によって、その面で冷房負荷が発生するか否かが異なっている。水平面では面の最高相当外気温が 32℃より高いため断熱性能が高いほど最大冷房負荷は小さくなるが、北面で日射吸収率が小さい場合は最高相当外気温が 32℃より低いため、断熱性能が低いほど放熱され最大冷房負荷が小さくなった。

また、外気冷房は年間冷房負荷の削減に非常に効果的であったが、最大冷房負荷の削減効果は 10%程度であった。これは、最大冷房負荷が発生するのは外気温が高いときであり、外気と室内の温度差が小さいためである。

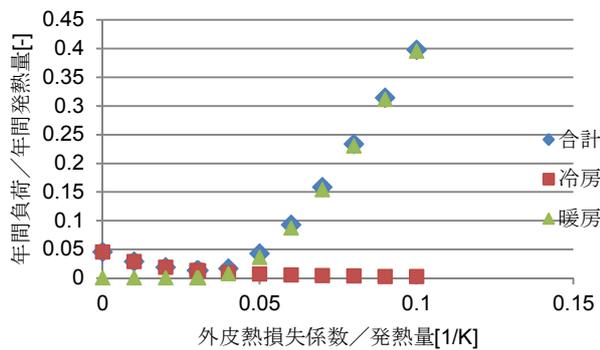


図 3-3-3-7 年間冷暖房負荷 (美唄, 日射吸収率 0.2, 熱コンダクタンス均等)

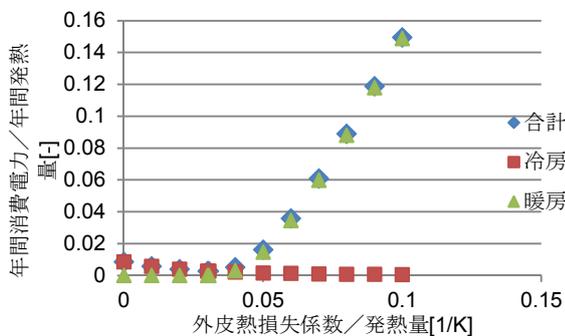


図 3-3-3-8 年間消費電力 (美唄, 日射吸収率 0.2, 熱コンダクタンス均等)

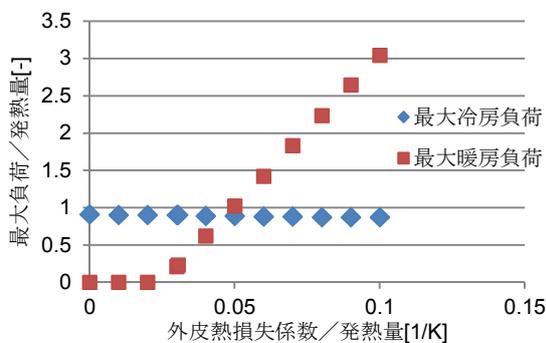


図 3-3-3-9 最大冷暖房負荷 (美唄, 日射吸収率 0.2, 熱コンダクタンス均等)

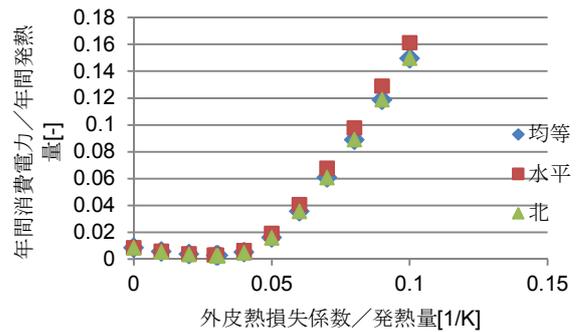


図 3-3-3-10 年間消費電力 (美唄, 日射吸収率 0.2)

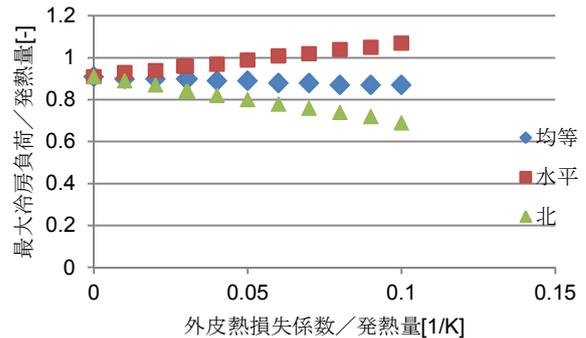


図 3-3-3-11 最大冷房負荷 (美唄, 日射吸収率 0.2)

4) まとめ

データセンターにおいて、ASHRAE2011 クラス A1 の許容温度 15~32℃を維持するために必要な暖冷房負荷または暖冷房エネルギー消費量について、美唄の気象条件下で理論的な検討を行い、以下の知見を得た。

- 1) 暖冷房エネルギー消費量を削減するためには、外気冷房が有効であり、外皮の日射吸収率は小さい方が良い。
- 2) 外気冷房を導入した場合、年間冷暖房負荷および電力消費量に対する外皮の熱損失係数の影響は比較的小さい
- 3) 最大負荷を小さくするためには熱損失係数が小さい方がよく、特に水平屋根面の高断熱化が効果的である。

データセンターでは内部発熱が非常に大きいので、外皮の断熱性能が結露が生じない程度の低断熱であっても、発熱量 1W 当たりの熱損失係数は 0.02W/K 以下と推定される。したがって、外皮性能の調整による省エネルギー化の余地は小さく、外気冷房の導入と機器の高効率化が重要と考えられる。また、最大冷房電力削減のためには雪冷房など再生可能エネルギーの導入が必要と考えられる。

研究担当機関：北方建築総合研究所
執筆：月館 司

4. 地域や施設でのエネルギー利用モデル

1) はじめに

多くの熱エネルギーを消費する積雪寒冷地の北海道では、民生・産業両分野で徹底した省エネルギー化を実現するとともに、地域に存在する再生可能エネルギーを最大限に活用する分散型エネルギーシステムを構築し、CO₂排出量の削減やエネルギーの地産地消、地域経済の活性化を進めることが重要である。本章では、富良野圏域や足寄町などのモデル地域・施設を対象に、廃棄物や木質バイオマス、畜産系バイオマスなどの有効利用に向け、資源循環・環境・エネルギー需給などの面から分析・評価を行うほか、エネルギーベストミックスに向けた最適化手法についても検討する。

2) 本章の構成

4. 1 エネルギー消費量推計と最適なエネルギーシステム導入検討手法の提案

2章の建物用途別エネルギー消費量の原単位を用いて、市町村全体のエネルギー消費量の推計や、地域熱供給を想定したいくつかの熱源システムの有効性についての比較検討を行なった結果を述べる。また、自治体や複数の事業所をもつ企業において、改築や設備更新に当たり、どの施設にどのような設備あるいはエネルギー源を導入するのが、施設全体としてのコストやCO₂排出量、化石燃料消費量削減のために最も有効であるか検討するための最適化手法を提案する。

4. 2 地域での RDF（固形ごみ燃料）利用の取組 ～富良野市の事例～

紙・布・プラスチックなどの可燃廃棄物から製造された固形燃料である RDF の利用促進技術について述べる。富良野市は、ごみ収集に「固形燃料ごみ」という区分を設け、RDF 製造原料に生ごみが混入しないように分別・収集しているため、安定した性状の RDF を製造しているが、塩素含有量が高いため、高度な排ガス処理設備を付帯していない中小型ボイラでは、ダイオキシン類や塩化水素などの発生が懸念される。そのため、富良野市内の施設では、RDF は利用されておらず、遠方の製紙工場等大型施設での利用にとどまっている。RDF は発熱量ベースで富良野市内の公共施設の約7割を賄うことのできる資源量が有り、市内施設での利用が期待されている。ここでは、地域の中小型ボイラ用燃料として利用するため、RDF 中の塩素低減や適性燃焼化に取組んだ

成果を報告する。

4. 3 地域における木質エネルギー利用の分析 ～南富良野町の事例～

木質エネルギーの利用効果について述べる。木質バイオマスは、化石資源の代替、地球温暖化対策などの観点から注目を集めているほか、地域資源の有効利用とそれに伴う地域経済の活性化の面からも期待されている。木質エネルギー利用を推進する上では、その実態を客観的に分析することが重要である。分析結果を木質エネルギーの事業関係者が把握するのはもちろん、地域の住民等に積極的に提示し、理解を得ていくことが、木質エネルギー事業の円滑な運営や事業の改善につながると考えられる。ここでは、木質エネルギー利用が盛んな南富良野町を対象に利用実態を調査し、経済面や環境面における有効性等について分析する。

4. 4 足寄町における畜産バイオマスの資源循環・エネルギー利用モデル

足寄町を対象に、畜産廃棄物の利活用を基軸とした近い将来に向けた分散型エネルギー利用モデルについて述べる。現状において導入事例が多い湿式バイオガスプラントに加え、将来モデルとして、肉牛糞尿及び繋ぎ飼ひ飼養の乳牛糞尿の利用に適した乾式バイオガスプラントについて、エネルギー生産と資源循環などの面から検討を行い、各方式のエネルギー収支、バイオマス利活用率を評価する。

4. 5 漁村地域におけるコンブ乾燥を念頭にいた再生可能エネルギーの利用検討

昆布乾燥におけるエネルギー利用について述べる。コンブは当日中に天日乾燥で仕上げるのが一般的であるが、天候により乾かし上がりが不十分となり、多くの漁家では機械乾燥を併用している。海霧の影響を受けやすい道東地域などではその依存度が高く、コンブ生産の経費に占める燃料費の割合が高い。したがって、昆布の品質を保持した上で、より低コストかつ高効率な乾燥システムの開発に加え、廃漁網などの廃棄物や再生可能エネルギーの活用が期待されている。ここでは、風力、太陽光、太陽熱、木質バイオマスの利用、さらに廃漁網の燃料化に関して検討する。

4. 6 有機系廃棄物

富良野圏域5市町村、足寄町における有機系廃棄物に関して、エネルギー利用に着目した将来の処理システムについて述べる。混合ごみの組成調査のほか、中富良野町、占冠町の可燃ごみを富良野市の RDF

化施設の余力を活用して合同 RDF 化する場合や占冠村の短期的な埋立ごみ減量方策や中長期的な埋立以外のシナリオについて評価を行う。また、富良野圏域 5 市町村の湿潤系有機系廃棄物に関して、生ごみを従来型の焼却処理に回すシナリオ、現行の高速堆肥化を継続するシナリオ、メタン発酵でエネルギー回収後に堆肥化するシナリオの 3 通りについて、コスト、エネルギー収支、埋立処分量の面から比較評価する。

執筆者：月館 司（北方建築総合研究所）

4. 1 エネルギー消費量推計と最適なエネルギーシステム導入検討手法の提案

4. 1. 1 富良野圏域のエネルギー消費量の推計

1) はじめに

2章で示した建物用途別エネルギー消費量の原単位を用いて、富良野圏域5市町村のエネルギー消費量を推計する。また、エネルギー消費統計をもとにした案分法による推計との比較を行う。

2) エネルギー消費量の推計

富良野圏域5市町村の民生部門および産業部門のエネルギー消費量を推計する。民生部門は前述の建物用途別エネルギー消費量原単位と建物延べ床面積を用いた積み上げ法を用い、産業部門はエネルギー消費統計記載の北海道全体のエネルギー消費量を案分する手法を用いることで、各市町村のエネルギー消費量を推計する。資源エネルギー庁「市町村別エネルギー消費統計作成のためのガイドライン」を参考に、産業部門は出荷額に基づき案分することとしたが、農林水産業については、富良野圏域にない水産業をエネルギー消費統計の農林水産業の値から分離することは困難であった。そこで、農林業に関しては北海道が実施した調査結果を用いることとした。

エネルギー消費統計および北海道の調査結果による北海道全体の部門別エネルギー消費量を表4-1-1-1に、案分に用いる従業者数、販売額などを表4-1-1-2に示す。漁業を含む農林水産業の北海道全体のエネルギー消費量は、エネルギー消費統計と

北海道の調査結果を用いた場合で差が生じている。また、エネルギー消費統計は2013年度から推計方法が変更されており、その前後でも値が異なるなど、調査方法の違いによる影響は小さくない。

エネルギー消費量の推計結果を図4-1-1-1に示す。エネルギー消費量は、占冠村を除けば、人口の多い順となった。占冠村は民生業務部門のエネルギー消費量が極端に多いと推計された。

3) 積み上げ法と案分法の比較

民生部門のエネルギー消費量についても、案分法を用いることができれば、推計が容易になる。そこで、積み上げ法と案分法の比較を行った。案分法と積み上げ法による推計値を図4-1-1-2, 3に示す。ここで、民生家庭部門は人口と世帯数で、民生業務部門は事業所数と従業者数でそれぞれ案分した。

民生家庭部門については人口と世帯数のどちらを使用しても大きな違いは見られなかった。民生業務部門については、従業者数で案分した方が、2地点でやや小さめに推計された。

民生家庭部門では人口と世帯数、民生業務部門では事業所数と従業者数により、それぞれ案分した値の平均値を用いた場合の推計結果を図4-1-1-4に示す。電力に関しては、占冠村を除いて、積み上げ法と案分法は比較的近い値を示した。占冠村で差異が大きいのは、大きなリゾート施設の占める割合が大きいためと考えられる。熱に関しては、家庭部門では積み上げ法と案分法の差は小さかったが、業務部門では両者の差は大きかった。

表 4-1-1-1 北海道全体の産業部門別エネルギー消費量

	都道府県別エネルギー消費統計 2015					緊急雇用創出推進事業による北海道エネルギー問題関連調査業務 H22					
	民生家庭	民生業務	農林水産業	建設業・鉱業	製造業	林業	耕種農業	畜産	農業サービス	漁業	農林水産業・合計
熱[TJ]	102956	61273	5970	13557	270329	1581	8814	1596	1106	20964	34061
電力[GWh]	12286	13871	256	480	5043	28	102	362	130	19	641

表 4-1-1-2 北海道および富良野圏域の人口、世帯数、事業所数、従業者数、出荷額、産出額

	民生家庭		民生業務		建設業・鉱業	製造業	林業	耕種農業	畜産
	人口*1	世帯数*1	事業所数*2	従業者数*2	従業者数*2	出荷額*2	総収入*3	産出額*4	算出額*4
北海道	5,431,658	2,738,172	192583	1725684	191833	6.05E+08	4273525	121143	69852
富良野市	23,324	11,036	1034	7751	909	746304	125525	1734	307
上富良野町	11,263	5,216	446	1931	465	514430	12800	891	509
中富良野町	5,272	2,186	122	824	87	162535	300	744	33
南富良野町	2,650	1,436	100	596	113	131231	46050	325	24
占冠村	1,218	686	58	246	43		5050	40	39

*1: H27.1.1 住民基本台帳, *2: H24 経済センサス (単位: 百万円), *3: H24 農林センサス, *4: H28 農林センサス (単位: 千万円)

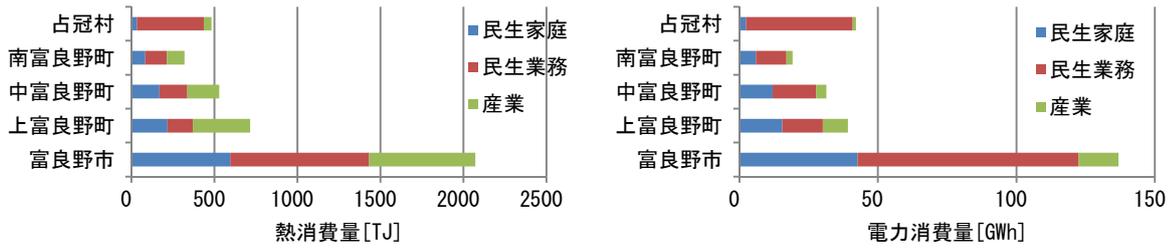


図 4-1-1-1 エネルギー消費量推計結果

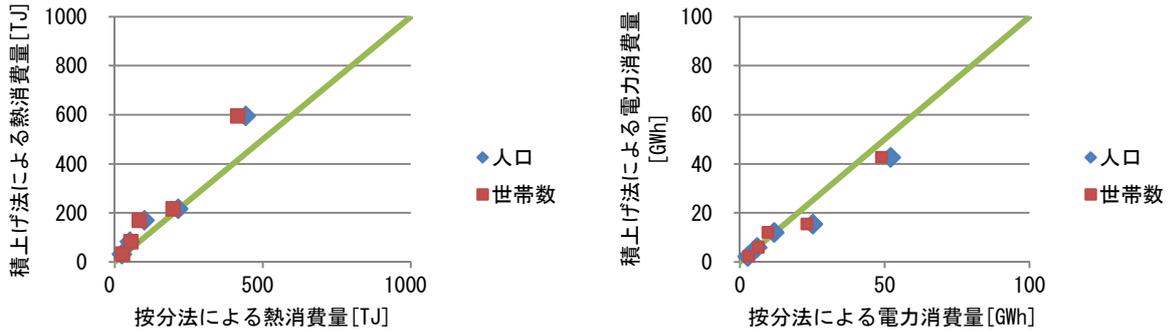


図 4-1-1-2 積み上げ法と案分法の比較（民生家庭部門）

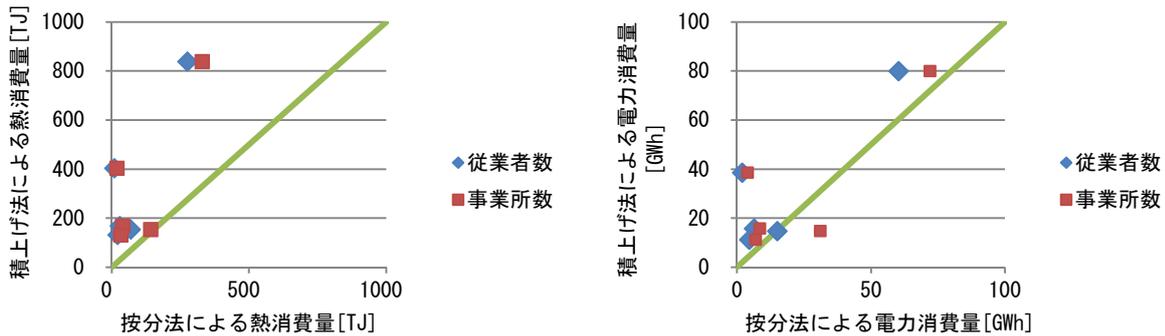


図 4-1-1-3 積み上げ法と案分法の比較（民生業務部門）

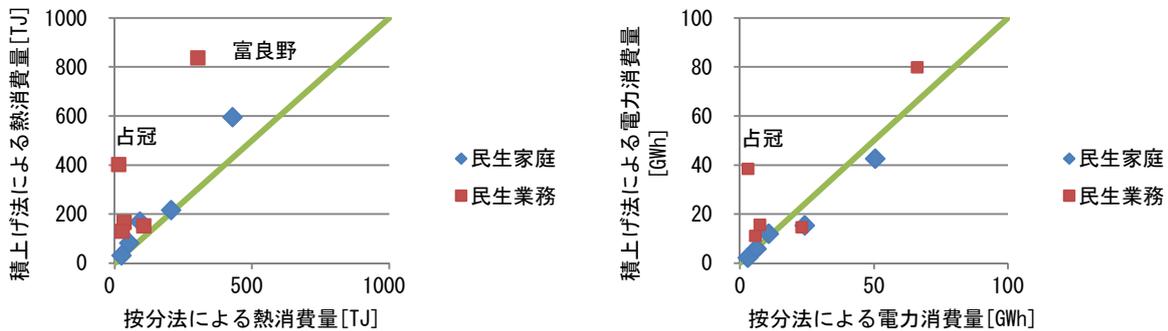


図 4-1-1-4 積み上げ法と案分法の比較（平均値）

4) まとめ

富良野圏域 5 市町村のエネルギー消費量を推計した。圏域全体では、熱が 4121TJ，電力が 269GWh と推計された。民生部門について、積み上げ法とエネルギー消費統計を用いた案分法を比較したところ、電力については占冠村の業務部門を除いて両者は概ね一致したが、熱については家庭部門で概ね一致したものの、業務部門では差がみられた。

エネルギー消費統計を用いた案分法を比較したところ、電力については占冠村の業務部門を除いて両者は概ね一致したが、熱については家庭部門で概ね一致したものの、業務部門では差がみられた。

4. 1. 2 熱負荷密度の高い地域のエネルギーシステム検討

1) はじめに

エネルギーの有効利用のため、街区等への未利用エネルギー・再生可能エネルギー設備、コージェネレーションシステム、CEMS (Community Energy Management System) の導入が考えられる。ここでは、検討の初期段階として、地域熱供給を想定したいくつかの熱源システムについて、それらの有効性を比較検討する。

2) 検討対象

2章のデータより作成した富良野市の熱負荷密度を図4-1-2-1に示す。熱負荷密度は熱需要をメッシュ面積(250m四方, 6.25ha)で除して算出した。佐土原^[1]は、地域冷暖房の導入可能性を検討する際、熱負荷密度4.2[TJ/ha]以上であることを抽出条件としている。これに倣うと、富良野市で4.2[TJ/ha]以上となるメッシュは、3メッシュあった(以下、a, b, c地区と称する)。ここでは、これら3地区の地域熱供給を想定し、熱源システムの簡易的な検討を行う。これら3地区の月別電力需要、熱需要を図4-1-2-2に、年間電力・熱需要を図4-1-2-3に示す。年間の熱電比はa, b地区が約2.5, c地区が約5である。

3) 計算方法

検討対象とする熱源システムは、重油ボイラ、バイオマスボイラ、RDFボイラ、重油コージェネレーション、地中熱ヒートポンプ、空気熱ヒートポンプである。

計算は月単位の収支計算とし、各機器の効率は一定と仮定する。搬送用ポンプは各システムとも共通として、考慮しない。また、補機動力も考慮しない。各機器の効率、コストの設定値を表4-1-2-1に示す。バイオマスおよびRDFのEPR, CO₂排出係数は文献より得られた表4-1-2-2の値を参考に設定した。

熱導管の熱損失は供給熱量の10%とし、熱供給量を熱需要の1.1倍と仮定した。重油ボイラとバイオマスボイラの併用システムでは、機器容量を「重油1:バイオマス1」としたが、運転制御に関する3章の検討結果を参考に、燃料消費量を「重油3:バイオマス7」と仮定した。CGSでは熱・電力の需給バランスを考慮した分単位の解析が望ましいが、ここでは、細かな負荷データがないため系統電源への依存率(電力消費量のうち系統電力を使用する割合)を設定して計算した。逆潮流なしで系統電源への依存率を小さくするためには蓄電池の導入が不可欠とな

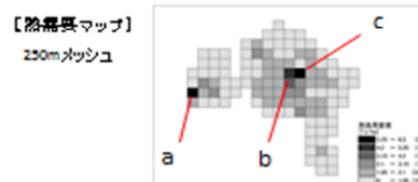


図4-1-2-1 熱負荷密度分布

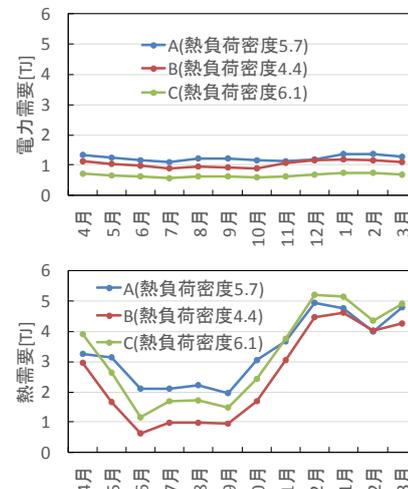


図4-1-2-2 a, b, c地区の月別熱・電力需要

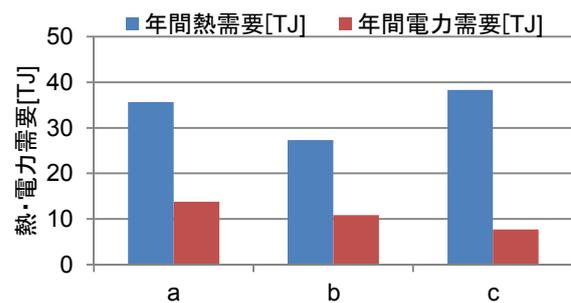


図4-1-2-3 a, b, c地区の年間熱・電力需要

るが、ここでは、停電時の稼働など最小限の蓄電にとどめることを想定し、依存率を40%とした。検討地区外への逆潮流がある場合にはCGSの容量を大きくできるので、依存率として40%に加え10%も設定した。どちらの場合も大規模な蓄熱は考慮せず、余剰熱は発生させない。したがって、熱需要が小さい場合にはそれに対応して発電量も減少させるので、熱需要が小さい月には、設定した系統電源への依存率

よりも大きくなることがある。

表 4-1-2-1 設定条件

【機器効率】 重油ボイラ 80%, バイオマス・RDF ボイラ 70% CGS 発電効率 35%熱回収効率 45%, ASHP の COP2, GSHP の COP3,
【CGS の系統電力依存率】 40% (逆潮流ありの場合 10%と 40%の 2 条件)
【燃料の EPR】 バイオマス 5, RDF10, 重油 1
【CO2 排出係数】 電力 0.67kgCO2/kWh, 重油 0.0693kgCO2/MJ バイオマス 0.01kgCO2/MJ, RDF0.04 kgCO2/MJ
【化石燃料消費量換算】 電力 9.76MJ/kWh, 重油は高位発熱量 バイオマスおよび RDF は EPR を基に重油に換算
【契約電力・定格出力】 系統電力の契約電力は全負荷相当運転時間 2000 時間として 設定, CGS の契約電力は CGS がいない場合の 50% 熱源機の定格出力は全負荷相当運転時間 1000 時間として 設定
【電気料金・燃料単価】 系統電力の基本料金 1800 円/kW, 買電単価 18 円/kWh 売電単価 12 円/kWh 重油 1.92 円/MJ, バイオマス 1 円/MJ, RDF0.13 円/MJ
【設備費】 重油ボイラ 10000 円/kW, CGS300000 円/kW (電力) バイオマスボイラおよび RDF ボイラ 100000 円/kW 燃料保管・供給装置 70000 円/kW ASHP50000 円/kW, GSHP100000 円/kW 地中熱交換器 15000 円/m (採熱量 20W/m) 設備費は, 機器の耐用年数を 15 年 (地中熱交換器は 30 年) として, 1 年当たりのコストに換算 熱導管, 機器工事費は各システムとも共通と仮定し, 考 慮しない。

表 4-1-2-2 燃料の EPR, CO2 排出係数

エネルギー源	発熱量 MJ/kg	EPR	CO2排出係数[kgCO2/kg]	備考	
チップ					
林地残材チップ (密伐)	10.5	9.9	0.07	酒井ほか	
林地残材チップ (切り捨て間伐)	10.5	4.1	0.18		
丸太およびチップ製造	10.5	31.0	0.02	吉保ほか (2014)	
ペレット					
通内5社	18.8	6.5	0.20	吉保ほか (2010)	
隣接地・立ち枯れ	18.8	7.0	0.18		
間伐材	18.4	5.2	0.24	土屋ほか (2010)	
山土場残材	18.7	5.4	0.24		
RDF	富良野市	23.0	9.7	0.16+0.775(燃焼)	北海道バイオマス検討会報告書

※文献をもとに評価範囲を統一して再計算。
製造された燃料の運搬, 機械製造時の値は除いた。

4) 計算結果と考察

各システムの化石燃料消費量, CO2 排出量を図 4-1-2-4, 5 に示す。化石燃料消費量, CO2 排出量ともに a 地区が最も多いが, b 地区と c 地区はシステムによって順位が異なる。たとえば, 重油ボイラと系統電源を用いる場合には化石燃料消費量, CO2 排出量ともに c 地区が多いが, バイオマスボイラまたは逆潮流ありの CGS を導入する場合には c 地区の方が化石燃料消費量, CO2 排出量ともに少なくなる。これは, c 地区の熱電比が大きいためである。すな

わち, 熱需要に伴う化石燃料消費量, CO2 排出量がおおきく減少するシステム, あるいは, 熱需要が多いほど発電量が多くなるシステムの導入が, 熱電比の大きい c 地区には効果的であるためである。

重油ボイラと系統電源を利用するシステムを基準とした化石燃料消費量削減率, CO2 排出量削減率を図 4-1-2-6, 7 に示す。化石燃料消費量の削減率が大きいのは, バイオマスボイラ, RDF ボイラ, 重油 CGS とバイオマスボイラ併用, 逆潮流ありの重油 CGS である。CO2 排出量削減率についてもほぼ同様であるが, RDF ボイラは 20%削減にとどまっている。

同様に, 重油ボイラと系統電源を利用するシステムを基準としたコストの増加率を図 4-1-2-8 に示す。コストの増加率が小さいのは, RDF ボイラ, 重油ボイラとバイオマスボイラの併用, CGS と重油ボイラの併用である。RDF ボイラは, 機器は高いが, 現状を参考に RDF の燃料単価を低く設定したことで, コストの増加率が比較的小さくなっている。

化石燃料削減率をコスト増加率で割った値を図 4-1-2-9 に, CO2 排出量削減率をコスト増加率で割った値を図 4-1-2-10 に示す。コストの増加に対して化石燃料消費量の削減量が大きいのは RDF ボイラ, CO2 排出削減量が大きいのは重油ボイラとバイオマスボイラの併用である。

熱電比の大きい c 地区では, RDF, バイオマスの利用や CGS で逆潮流する場合に, 化石燃料および CO2 排出量を削減する効果が大きい, コストの増加率も大きく, 削減率/コスト増加率でみると, a, b 地区よりも効果的とは言えない。

逆潮流ありの場合, 化石燃料や CO2 排出量の削減効果が大きい, コスト当たりの効果でみると逆潮流しない CGS の方が有利である。これは売電価格が低いためであり, 化石燃料・CO2 削減のためには, 売電価格が高いことが望まれる。

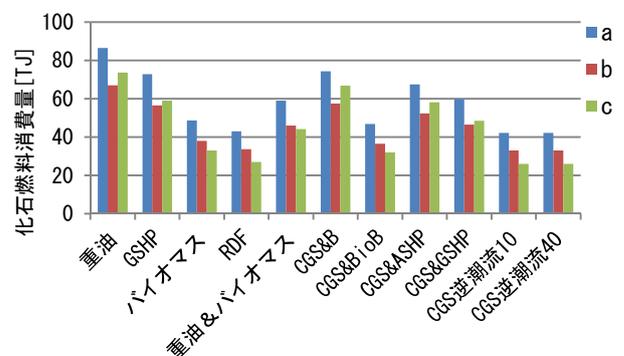


図 4-1-2-4 化石燃料消費量

注) CGS&B: 重油 CGS と重油ボイラの併用
CGS&BioB: 重油 CGS とバイオマスボイラの併用
CGS 逆潮流 10, 40: 系統電力依存率が 10%, 40%

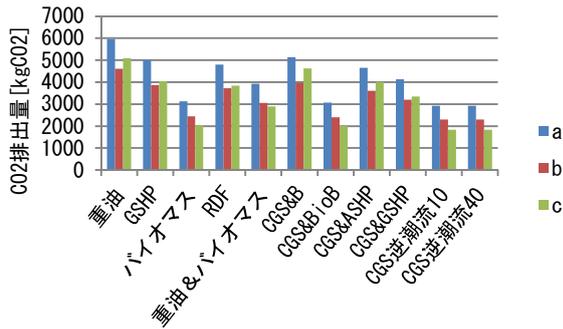


図 4-1-2-5 CO2 排出量

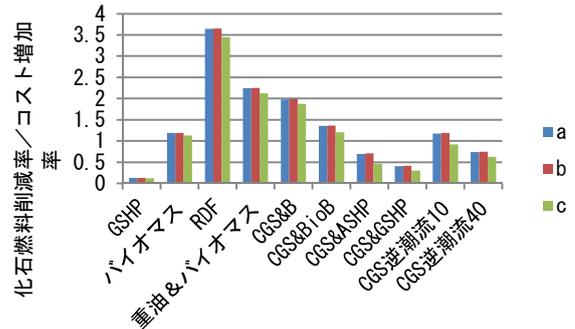


図 4-1-2-9 化石燃料削減率／コスト増加率

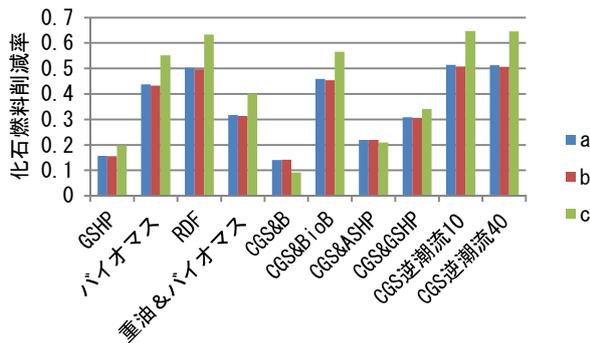


図 4-1-2-6 重油ボイラ・系統電力に対する化石燃料削減率

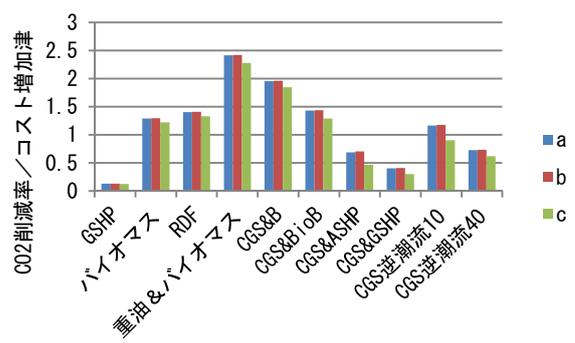


図 4-1-2-10 CO2 排出量削減率／コスト増加率

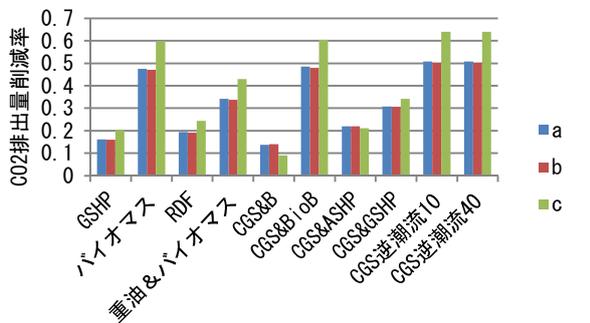


図 4-1-2-7 重油ボイラ・系統電力に対する CO2 排出量削減率

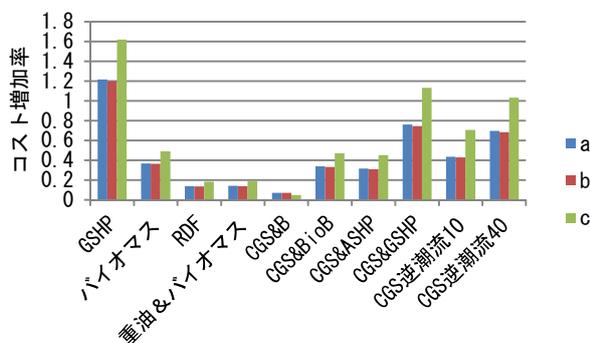


図 4-1-2-8 重油ボイラ・系統電力に対するコスト増加率

5) まとめ

熱負荷密度の高い富良野市の3地区を対象に、いくつかのエネルギーシステムの導入効果を比較検討した。熱電比の大きいc地区では、RDF、バイオマスの利用やCGSで逆潮流する場合に、化石燃料およびCO2排出量を削減する効果が大きくなった。しかし、コストの増加率も大きく、削減率／コスト増加率でみると、a、b地区よりも効果的とは言えなかった。コストの増加に対して化石燃料消費量の削減量が多いのはRDFボイラ、CO2排出削減量が多いのは重油ボイラとバイオマスボイラの併用であった。

逆潮流ありのCGSは、化石燃料やCO2排出量の削減効果が大きいですが、売電価格が低いと、コスト当たりの効果は逆潮流しないCGSの方が有利となった。また、CGSでは複数台に分けて設置するなど自家発補給電力分を含んだ契約電力を低く抑えることも重要と考えられる。

6) 参考文献

- [1] 佐土原聡, 尾島俊雄: 地域冷暖房の熱需要特性による東京の地区分類に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, No. 364, pp86-93, 1986.6

4. 1. 3 複数の施設を対象とした最適な設備導入検討手法の提案

1) はじめに

C02 排出量の削減や地域経済活性化のため、地域にある再生可能エネルギーの導入拡大が望ましい。木チップや RDF は、一般に、燃料費は化石燃料より低額であるがボイラなどの設備費が高額であるほか、地域で供給できる量に制約がある。また、コージェネレーションは、化石燃料による熱と系統電力を利用する場合よりも高効率であり、ライフサイクルコストでも有利となる場合がある。

自治体や複数の事業所をもつ企業では、改築や設備更新に当たって、どの施設にどのような設備あるいはエネルギー源を導入するのがコストや C02 排出量、化石燃料消費量削減のために最も有効であるか迷うことが多い。

エネルギーシステムは一般に非線形要素が含まれるため、全体を最適化するためには、非線形計画法を用いる必要があり、最適値の見極めが難しいことが多い。ここでは、施設毎の設備導入検討と整数混合線形計画法を組み合わせて用いることで、所有する複数の施設全体で最適化を図る手法を提案する。

2) 最適化手法

所有する全施設で同時に設備更新が行われるわけではないので、更新時期を考慮し、評価期間を設定して、その期間内で最適化を図ることを考える。施設 i において、ある設備 j の導入有無 x_{ij} を変数とすると、線形計画法による最適化（たとえばコストの最小化）は次式で表される。

目的関数

$$C = \sum_i \sum_j \frac{(P - p_i)c_{ij}x_{ij} + p_i c_{in}}{P}$$

制約条件

$$\sum_j x_{ij} = 1$$

$$\sum_i \sum_j \frac{(P - p_i)a_{ij}x_{ij} + p_i a_{in}}{P} \leq A$$

$$\sum_i \sum_j \frac{(P - p_i)b_{ij}x_{ij} + p_i b_{in}}{P} \leq B$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}$$

ここで、

x_{ij} : i 施設への j 設備の導入有無 (バイナリ変数)

P : 評価期間

p_i : 施設 i の更新時期 (現設備を使用する期間)

$a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, \dots$:

i 施設に j 設備を導入する場合の C02 排出量, 燃料消費量, コストなど

$a_{in}, b_{in}, c_{in}, \dots$:

i 施設で現状設備を使用する場合の C02 排出量, 燃料消費量, コストなど

A, B, \dots :

コスト, C02 排出量, 燃料消費量などの上限値 (1 年当たり)

設備導入コストは耐用年数で除して、年当たりのコストとする。何を最小化し、何を制約条件とするかは、目的によって決定する。

各施設のコスト, C02 排出量など評価対象の値は、施設毎にあらかじめ計算しておく必要がある。初期検討段階では月毎に概略値を算出しても良いし、詳細に検討する場合には 1 時間毎のシミュレーションを実施するなど検討目的に合わせて計算する。建物の改築・改修を伴う場合には、負荷が現状と異なるが、改築・改修後の各値を熱負荷計算から求めるか、2 章の原単位を用いることが考えられる。

3) 富良野市施設を対象としたケーススタディ (1) 現状のエネルギー消費量

富良野市の公共施設 10 施設を対象にケーススタディを行う。ここでは、各月のエネルギー消費量をベースに更新設備の設定を行い、コスト, 化石燃料消費量, C02 排出量を計算する。計算はすべてエクセル上に計算用シートを作成して行い、線形計画法もエクセルのツールを用いる。

現状の年間の化石燃料消費量, C02 排出量を図 4-1-3-1 に示す。ここで、電力は原油換算している。また、一部に灯油が使用されていたが、すべて重油として表している。

エネルギー消費量の最も多い施設 3 は宿泊施設であり、次に多い施設 2 は多目的プールを有するスポーツ施設、施設 7 は福祉施設、施設 8 は食品工場である。

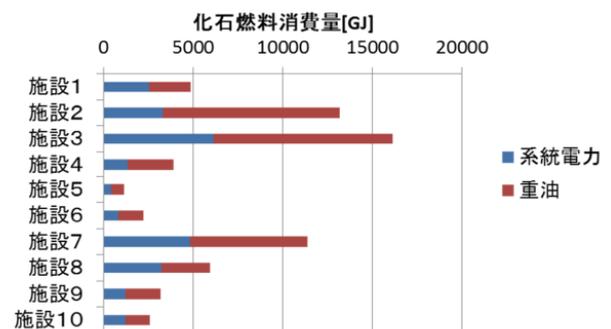


図 4-1-3-1 対象施設の化石燃料消費量

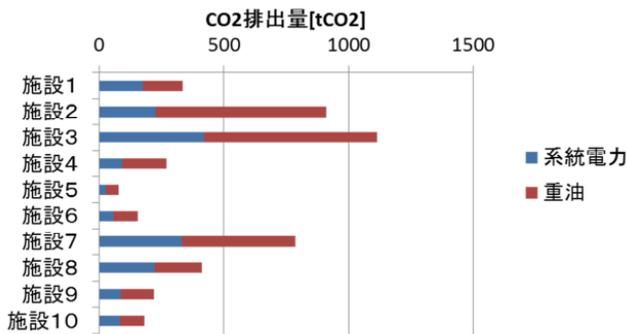


図 4-1-3-2 対象施設の CO2 排出量

(2) 燃料の EPR, コスト等の設定

計算に用いる燃料の発熱量, CO2 排出係数, EPR を表 4-1-3-1 に示す。EPR は燃料の発熱量を燃料製造に要した一次エネルギーで除した値であり, 前節の表 4-1-2-2 を参考に設定した。

検討対象とする熱源設備を表 4-1-3-2, 機器および燃料単価を表 4-1-3-3 に示す。機器の耐用年数は 15 年とし, 1 年あたりのコストに換算して用いる。また, 富良野市のエネルギービジョンを参考に, 木質燃料の供給上限を 438TJ, RDF の供給上限を 55TJ とする。

表 4-1-3-1 燃料の CO2 排出係数, EPR など

	発熱量		CO2 排出係数		EPR
	値	単位	値	単位	
重油	39	MJ/L	2.71	kgCO2/L	1
灯油	36.7	MJ/L	2.49	kgCO2/L	1
プロパンガス	100	MJ/m3	6	kgCO2/m3	1
都市ガス	46	MJ/m3	2.23	kgCO2/m3	1
木チップ 45%	11	MJ/kg	0.1	kgCO2/kg	10
木チップ 15%	17	MJ/kg	0.2	kgCO2/kg	5.6
ペレット	18	MJ/kg	0.2	kgCO2/kg	5
RDF	23	MJ/kg	0.935	kgCO2/kg	9.1
電力	3.6	MJ/kWh	0.67	kgCO2/kWh	0.102

表 4-1-3-2 検討対象とする設備

【検討対象機器】
○重油ボイラ (効率 80%)
○地中熱ヒートポンプ (暖房 COP3)・空気熱ヒートポンプ (給湯 COP2~3) 併用
○チップボイラ・重油ボイラ (効率 80%) 併用
○ペレットボイラ・重油ボイラ (効率 80%) 併用
○RDF ボイラ・重油ボイラ (効率 80%) 併用
○重油コージェネレーション (発電効率 30%熱利用効率 45%)・重油ボイラ (効率 80%) 併用
○木チップコージェネレーション (発電効率 20%熱利用効率 50%)・重油ボイラ (効率 80%) 併用
※施設 8 は食品工場のため, RDF ボイラの代わりに木チップコージェネレーションを選択肢とした

表 4-1-3-3 コストの設定

【機器単価】
重油ボイラ 1 万円/kW, チップボイラ 10 万円/kW
ペレットボイラ 8 万円/kW, RDF ボイラ 8 万円/kW
地中熱ヒートポンプ 10 万円/kW,
重油コージェネレーション 40 万円/電力 1kW
木チップコージェネレーション 100 万円/電力 1kW
燃料サイロ 7 万円/kW, 地中熱交換器 1 万円/m
【燃料単価】
重油 75 円/L, プロパンガス 1200 円/m3, 木チップ 15 円/kg,
乾燥木チップ 21 円/kg, ペレット 45 円/kg, RDF 3 円/kg

(3) 設備更新後のエネルギー消費量

設備更新後のエネルギー消費量は, 1 時間毎のシミュレーションを実施するなど詳細に求めることが望ましいが, ここでは, 以下に述べる簡易な方法を用いる。

各施設の現状のエネルギー消費量をベースに, 暖房・給湯・冷房の用途別負荷を月別に推定する。暖房・給湯を分離できないものについてはまとめて熱需要とする。一例として, 施設 1 の熱・電力需要を図 4-1-3-3 に示す。

コストを算出する際, 設備機器の容量を設定する必要がある。現状の機器容量と同じにすることも考えられるが, ヒートポンプやバイオマスボイラを用いる場合には過大な容量としないことが重要である。そこで, 機器容量は全負荷相当運転時間をもとに設定する。

暖房の全負荷相当運転時間は重油ボイラで 500 時間, 設備コストが高額なバイオマスボイラおよび地中熱ヒートポンプは蓄熱槽の設置や厳寒期の連続運転を考慮し, それぞれ, 1500, 1000 時間とする。

コージェネレーションは熱主運転とし, 電力需要に占める発電量の割合は最大で 60% (月平均) とした。

施設 1 について, RDF ボイラ導入時, 地中熱ヒートポンプ導入時, コージェネレーション導入時の月別エネルギー消費量推定値を図 4-1-3-4~6 に示す。施設 1 は庁舎であるため, 給湯需要が小さく, 夏期の熱需要はほとんどない。したがって, CGS 導入時にも 5~9 月の電力はすべて系統電源に依存している。

このような検討を対象とする全施設について実施し, 各施設において, ある設備を導入した場合の燃料消費量, 電力消費量, コストを算出する。各施設の年間の試算結果を表 4-1-3-4 に示す。施設 8 は食品工場であるため, イメージの点から RDF の代わりに木チップ CGS を選択肢としている。

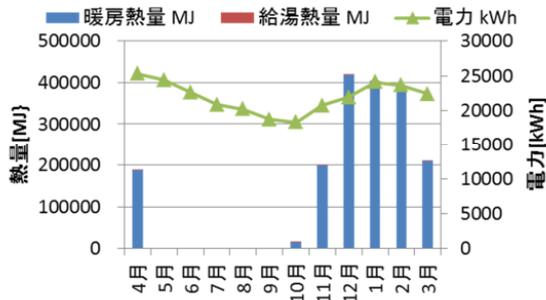


図 4-1-3-3 熱・電力需要 (施設 1)

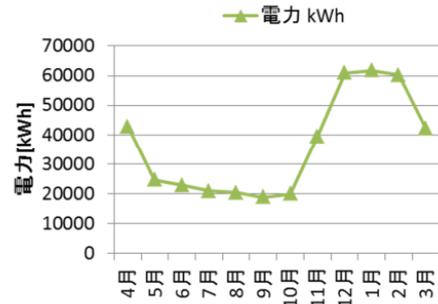


図 4-1-3-5 ヒートポンプ導入時のエネルギー消費量

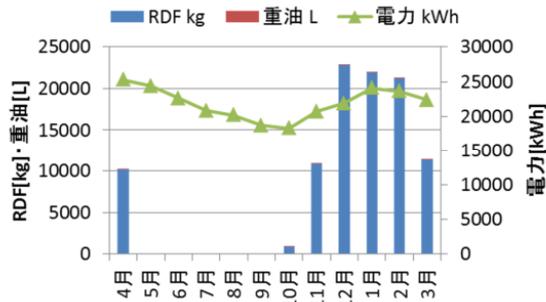


図 4-1-3-4 RDF ボイラ導入時のエネルギー消費量

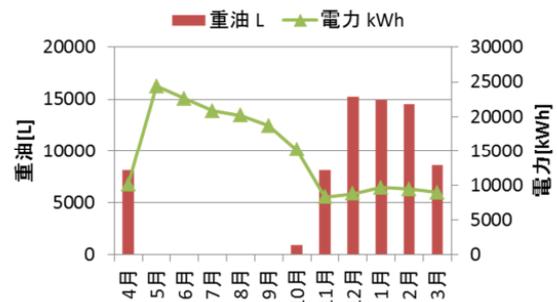


図 4-1-3-6 重油 CGS 導入時のエネルギー消費量

表 4-1-3-4 各施設のエネルギー消費量・コスト試算結果

		施設 1	施設 2	施設 3	施設 4	施設 5	施設 6	施設 7	施設 8	施設 9	施設 10	
重油ボイラ	系統電力	262894	338057	629902	137226	43553	84546	494146	331200	128605	125197	kWh
	重油	2308811	9887141	9984000	2569948	727937	1413054	6552941	2727670	1944866	1390130	MJ
	設備コスト	686927	3690116	4036230	762482	265091	514597	2237382	1187133	576257	414068	円
	運転コスト	12741203	29987832	39181723	9724608	2788399	5412852	28280752	15798438	7874038	6691752	円
ヒートポンプ	系統電力	434434	1209047	1562817	327778	106413	206570	1033450	596496	272669	228536	kWh
	設備コスト	11003946	26962173	26376683	12306198	2319365	4502403	23481517	16962079	9333692	6687987	円
	運転コスト	16384279	45637410	55424988	13544154	3931936	7632749	39260882	20237525	11070588	8815700	円
チップ・重油ボイラ	系統電力	262894	338057	629902	137226	43553	84546	494146	331200	128605	125197	kWh
	重油	26580	2756585	1740950	9520	303691	589518	2772846	54700	0	1730	MJ
	木チップ	2282231	7130556	8243050	2560428	424245	823535	3780095	2672970	1944866	1388400	MJ
	設備コスト	4230302	14294407	16140771	4737783	910912	1768250	8106330	5337167	3595841	2569688	円
ペレット・重油ボイラ	系統電力	262894	338057	629902	137226	43553	84546	494146	331200	128605	125197	kWh
	重油	26580	2756585	1740950	9520	303691	589518	2772846	54700	0	1730	MJ
	ペレット	2282231	7130556	8243050	2560428	424245	823535	3780095	2672970	1944866	1388400	MJ
	設備コスト	3779491	12885903	14512514	4232020	827110	1605576	7359645	4809173	3211670	2295436	円
RDF・重油ボイラ	系統電力	262894	338057	629902	137226	43553	84546	494146		128605	125197	kWh
	重油	26580	2756585	1740950	9520	303691	589518	2772846		0	1730	MJ
	RDF	2282231	7130556	8243050	2560428	424245	823535	3780095		1944866	1388400	MJ
	設備コスト	3779491	12885903	14512514	4232020	827110	1605576	7359645		3211670	2295436	円
重油 CGS・重油ボイラ	系統電力	177042	135223	267861	88678	17753	34464	197658	194845	88198	81162	kWh
	重油	2759535	10952021	12093404	2824823	867744	1684458	8109501	3835287	2157000	1623410	MJ
	設備コスト	1988004	5353499	9182253	1311487	618392	1200459	6655066	4448905	1062802	1057838	円
	運転コスト	12075238	26822024	34528579	8951181	2399684	4658307	23664294	16898588	7445531	6332150	円
木 CGS・重油ボイラ	系統電力								227841			kWh
	重油								725402			MJ
	乾燥チップ								3203629			MJ
	設備コスト								14930778			円
	運転コスト								18593258			円

(4) 10 施設全体での最適化

上述の試算結果をもとに、コスト最小、化石燃料消費量最小、CO2 排出量最小となる設備を線形計画法により求めた。

更新時期を設定せず、同時に更新した場合の結果を表 4-1-3-5 に示す。また、そのときの各施設のコスト、化石燃料消費量、CO2 排出量を現状との比として、図 4-1-3-7~9 に示す。

更新時期を 1~10 年後に設定した場合の結果 (15 年間の平均) を表 4-1-3-10 に、そのときの各施設のコスト、化石燃料消費量、CO2 排出量を現状との比として、図 4-1-3-10~12 に示す。

表中の斜字・太字で示したのが目的 (最小化) とした項目で、その最小値である。

目的がコスト最小の場合、施設 8 を除いて RDF ボイラが選択され、コストは現状より 5%削減されると試算された。この場合、化石燃料消費量は約 40%、CO2 排出量は約 29%削減となる。施設により化石燃料消費量などの削減率が異なるが、これは各施設の設備容量や熱電比、重油使用率などが異なるためである。

目的を化石燃料消費量最小とした場合と CO2 排出量最小とした場合では同じ結果が得られ、施設 8 以外は木チップボイラ、施設 8 は木チップ CGS となった。化石燃料は約 44%、CO2 排出量は約 42%削減されたが、コストは約 29%増加となった。施設 4、9 はチップボイラへの依存率が高いため、CO2 排出量の削減効果は大きいですが、コストの増加も大きい。

コストを現状以下とする制約を加えると、RDF ボイラが 6 施設、チップボイラが 4 施設で選択された。

化石燃料消費量は約 43%削減、CO2 排出量は約 25%削減となった。コストが増えても CO2 排出量を減らすのが良い施設とその逆の施設を組み合わせることで、全体のコストを現状のまま、化石燃料消費量および CO2 排出量が削減できることがわかる。

施設の設定更新時期を設定し、評価期間 15 年の平均値として計算した場合にもほぼ同様の結果が得られたが、コスト現状以下の制約では、施設 6 および 9 でチップボイラと RDF ボイラが入れ替わっている。同時更新よりも化石燃料、CO2 排出量の削減効果が小さいのは、現状のシステムが数年間使われるためである。

4) まとめ

複数の施設を所有する自治体や企業において、改築や設備更新に当たって、どの施設にどのような設備あるいはエネルギー源を導入するのがコストや CO2 排出量、化石燃料消費量削減のために最も有効であるかを比較的簡便に検討する手法を提案した。

富良野市の 10 施設を対象にケーススタディを行ったところ、設定したコスト等の条件下においては、現状のコストで化石燃料および CO2 排出量を削減する場合、RDF ボイラが 6 施設、チップボイラが 4 施設で選択され、化石燃料消費量が約 30%、CO2 排出量が約 20%削減できる試算結果が得られた。

本手法は、各施設において複数のエネルギーシステムの検討を実施しておき、施設全体で最適化する場合には線形計画法を用いるものであり、設備システムが非線形であっても、最適値を容易に求められるのが特徴である。

表 4-1-3-5 各施設の最適な設備と削減効果 (同時更新の場合)

現状との比			施設 1	施設 2	施設 3	施設 4	施設 5	施設 6	施設 7	施設 8	施設 9	施設 10	制約条件
コスト	化石燃料消費	CO2 排出量											
0.950	0.607	0.812	RDF ボイラ	重油ボイラ	RDF ボイラ	RDF ボイラ	なし						
1.293	0.564	0.578	チップボイラ	木 CGS	チップボイラ	チップボイラ	なし						
0.999	0.569	0.752	チップボイラ	RDF ボイラ	RDF ボイラ	RDF ボイラ	チップボイラ	チップボイラ	RDF ボイラ	チップボイラ	RDF ボイラ	RDF ボイラ	コスト現状以下

表 4-1-3-6 各施設の最適な設備と削減効果 (1~10 年後に順次更新の場合)

現状との比			施設 1 [更新] 1 年後	施設 2 [更新] 2 年後	施設 3 [更新] 3 年後	施設 4 [更新] 4 年後	施設 5 [更新] 5 年後	施設 6 [更新] 6 年後	施設 7 [更新] 7 年後	施設 8 [更新] 8 年後	施設 9 [更新] 9 年後	施設 10 [更新] 10 年後	制約条件
コスト	化石燃料消費	CO2 排出量											
0.963	0.713	0.863	RDF ボイラ	重油ボイラ	RDF ボイラ	RDF ボイラ	なし						
1.188	0.693	0.703	チップボイラ	木 CGS	チップボイラ	チップボイラ	なし						
0.999	0.696	0.825	チップボイラ	RDF ボイラ	RDF ボイラ	RDF ボイラ	チップボイラ	RDF ボイラ	RDF ボイラ	チップボイラ	チップボイラ	RDF ボイラ	コスト現状以下

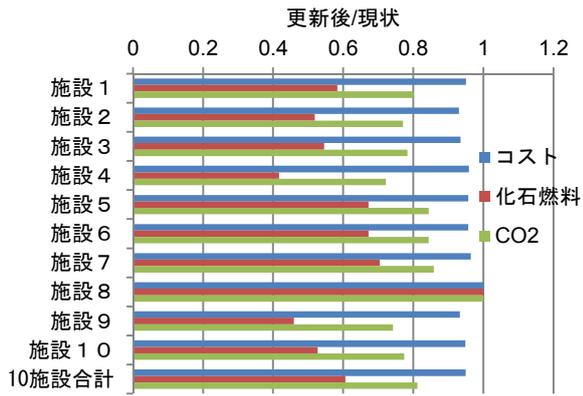


図 4-1-3-7 コスト最小の場合（同時更新）

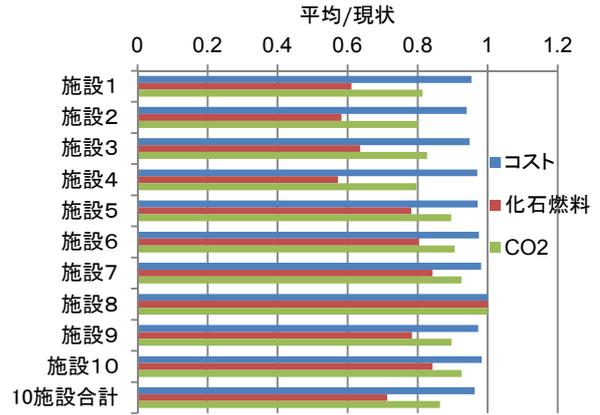


図 4-1-3-10 コスト最小の場合

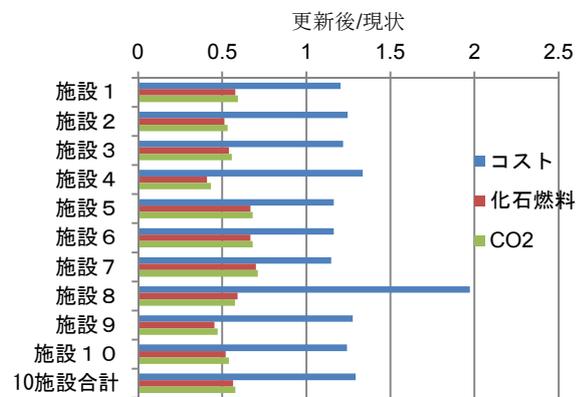


図 4-1-3-8 化石燃料・CO2 排出量最小の場合（同時更新）

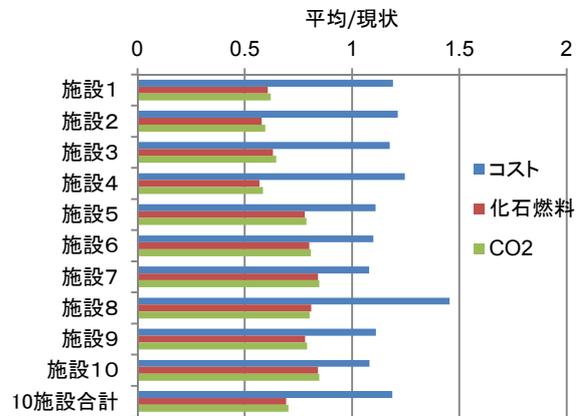


図 4-1-3-11 化石燃料・CO2 排出量最小の場合

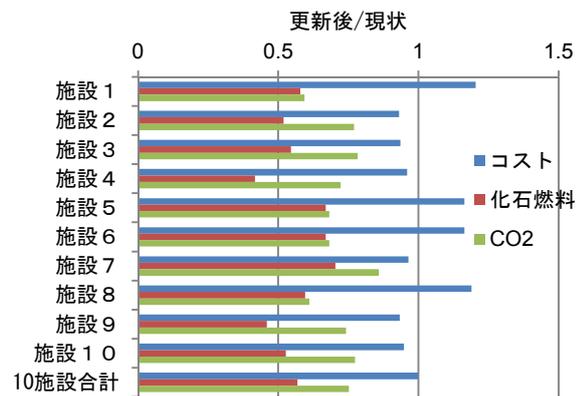


図 4-1-3-9 コスト現状以下，化石燃料・CO2 排出量最小の場合

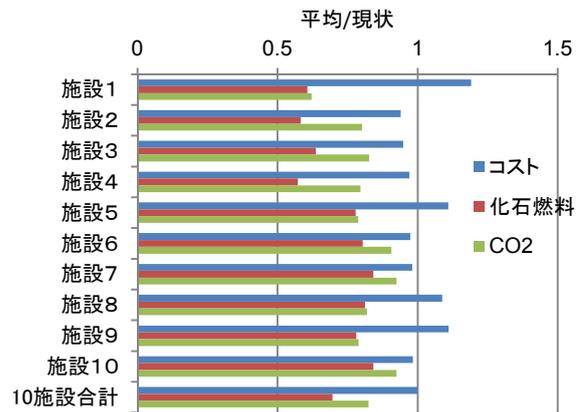


図 4-1-3-12 コスト現状以下，化石燃料・CO2 排出量最小の場合

研究担当機関：北方建築総合研究所
執筆者：月館 司

4. 2 地域での RDF（ごみ固形燃料） 利用の取組 ～富良野市の事例～

1) はじめに

RDF (Refuse Derived Fuel) は紙・布・プラスチックなどの可燃の廃棄物から製造された固形燃料であり、国内では成型機でブリケット状に固形化し、利用されている。国内 RDF の製造量は年間 37 万 5 千トン (2012 年) ^[1]であるが、生ごみの含有や高い塩素濃度のため、製造・管理が煩雑となり、利用先は大規模な熱利用・発電施設にとどまっている。

富良野市は、1988 年より RDF の製造を開始しており、現在、概ね年間 2000-2500t の燃料を製造している。また、RDF 製造原料として「固形燃料ごみ」という区分を設け、原料に生ごみが混入しないように分別・収集しているため、安定した性状の RDF (総発熱量 21 MJ/kg 程度、水分 4%程度、灰分 6%程度) を製造している (図 4-2-1)。しかしながら、RDF の塩素濃度が高い値 (1%程度) であるため、高度な排ガス処理設備を付帯していない小規模ボイラでは、塩化水素やダイオキシン類などの発生が懸念される。そのため、富良野市内の施設では、RDF は利用されておらず、遠方の製紙工場等の大型施設で利用されている。

一方、富良野市内の公共施設の熱需要は年間 70TJ 程度であり ^[2]、RDF は発熱量ベースでその約 7 割を賄うことのできる資源量が有るため、市内施設での利用が期待されている。

道総研は富良野市と研究協力協定を結び、地域で生じたごみを、地域で小規模ボイラ用燃料として利用することを目指し、RDF 中の塩素低減のための基礎調査や燃焼試験等を行ったので、その成果を報告する。



図 4-2-1 固形燃料ごみ(左)と RDF(右)

2) 本研究が目指す RDF 利用モデル

本研究では、図 4-2-2 に示すような RDF の地域利用モデルの形成を目指した。富良野市のごみ分別は、30 年にわたる取組で住民に十分に浸透しているた



図 4-2-2 RDF 地域利用モデル

め、RDF 製造原料である固形燃料ごみの性状は安定している。また、RDF 製造技術についても 30 年間の製造により様々なノウハウが蓄積され、確立されている。

富良野市内の小規模ボイラで RDF を利用するための障壁は、RDF の高い塩素濃度により、塩化水素やダイオキシン類などの有害ガスが高濃度で発生する可能性が高いことである。大型の燃焼機の場合には、それらのガスは消石灰の吹き込みなどの高度な排ガス処理によりある程度低減できるため、燃料利用が可能である。小規模燃焼機の場合には、コスト的にも高度な排ガス処理を行うのは難しく、燃焼制御の改善のみで排ガス中の有害ガスの値を十分に低減することは容易ではない。そのため本研究では、燃焼制御等の燃焼機側の取り組みによる低減だけでなく、燃料側の取り組みでの低減も試みた。

3) 固形燃料ごみ (RDF 原料) に関する取組 (燃料側からの改善)

(1) ごみ性状調査

固形燃料ごみには 1%程度の塩素が含まれており、それが地域で利用するための障壁となっている。固形燃料ごみ中の塩素含有物質を特定するため、表 4-2-1 に示す性状調査を行った。

表 4-2-1 固形燃料ごみの性状調査

	調査年月	
	平成28年9月	平成29年1月
調査対象ごみ	家庭系: 143kg 事業系: 80kg	家庭系: 215kg 事業系: 143kg
実施内容	<ul style="list-style-type: none"> 燃料不可ごみ(洗剤、農薬容器等)及び廃プラの分別 塩素含有ごみ(ラップ、薬容器等)の分別 塩素の含有は携帯型蛍光X線等で判断 	

表 4-2-2 ごみ性状調査の結果 (単位 : kg)

調査時期	ごみ区分	ごみ総重量	包装ラップ		薬容器		その他塩素含有物
			総重量	塩素含有物	総重量	塩素含有物	
平成28年9月	家庭ごみ	143.28	1.81	1.01	0.12	0.08	1.06
	事業ごみ	79.68	1.40	1.00	0.00		
	計	222.96	3.21	2.01	0.13	0.08	
平成29年1月	家庭ごみ	215.48	3.16	2.31	0.17	0.11	0.55
	事業ごみ	142.71	1.45	0.84	0.02	0.02	0.84
	計	358.19	4.61	3.15	0.19	0.13	1.38

固形燃料ごみの性状調査は、2016年9月、2017年1月の2回実施した。ごみの種別は概ね家庭系6割、事業系4割であったため、本調査でもその比率になるように調査サンプルを抽出した。

本調査では、塩素の含有が想定される包装用ラップ、薬容器などを分別し、その重量を測定した。また、包装ラップ、薬包装容器及びその他の塩化ビニル含有の可能性が高いごみについては、携帯型蛍光X線分析装置 (NitonXL3t-950s, Thermo Fisher Scientifics) や炎色反応(バイルシュタイン反応) などにより塩素含有ごみかどうかを識別した。

ごみ性状調査の結果、表 4-2-2 に示すように包装用ラップの2/3程度が塩素含有製品であった。包装用ラップは家庭系ではポリ塩化ビニリデン(塩素濃度73%)、事業系ではポリ塩化ビニル(57%)が使われており、いずれも塩素濃度が高いため、少量であっても固形燃料ごみの塩素濃度をかなり上昇させる可能性がある。薬包装容器も、2/3程度がポリ塩化ビニルを材料として使用したものであった。また、その他の塩素含有ごみ(塩化ビニル製品)は、図 4-2-3 に示すようなものであった。

図 4-2-4 に調査結果から推算した RDF 中の塩素分への各ごみの寄与のイメージを示す。推算は、RDF の塩素濃度 1%とし、家庭系の塩素含有包装ラップを塩化ビニリデン、事業系の塩素含有包装ラップ・薬包装容器・その他塩化ビニル製品を全て塩化ビニルとして行った。RDF 中の塩素分のうち 2/3 は包装ラップに由来するものであることがわかった。また、塩化ビニル製品と判別されたその他のごみの割合も 24%と大きく、それらを除去することで、RDF 中の塩素濃度は大幅に低減できることが示唆された。

(2) RDF 製造・燃焼試験

2017年5月に、固形燃料ごみから包装ラップ、薬容器、その他塩化ビニル製品等の塩素含有ごみを除去し、それらを用いて 900kg の RDF (低塩素 RDF) を



図 4-2-3 その他の塩化ビニル製品

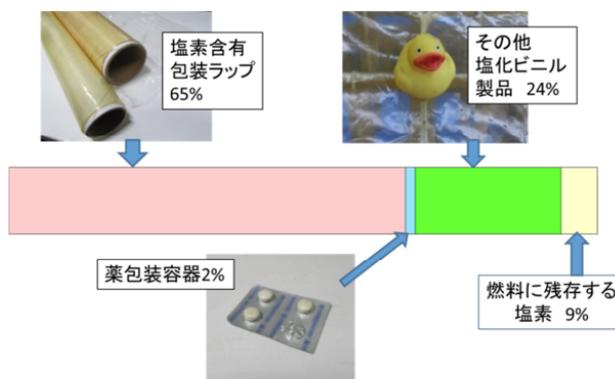


図 4-2-4 RDF 中の塩素分への各ごみの寄与 (2016年9月調査)

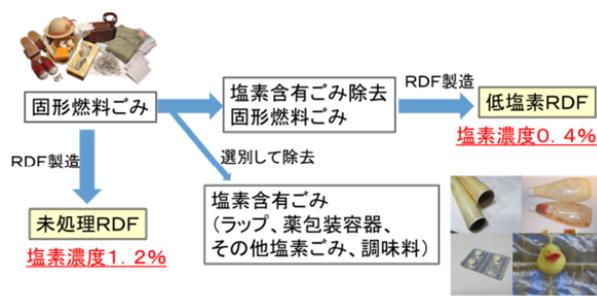


図 4-2-5 RDF 製造試験実施イメージ

試験的に製造した(図4-2-5)。低塩素 RDF の塩素濃度は0.4%で、上記の試験製造と同時期に製造した塩素含有ごみを除去していない RDF (未処理 RDF) の塩素濃度(1.2%)と比較して極めて低い値となった。

燃焼試験は図4-2-6に示す小規模ボイラ(80kW)を用いて、低塩素 RDF、未処理 RDF の両方でを行い、それらの結果を比較することで塩素含有ごみ除去の効果を検討した。

燃焼試験での排ガス分析値を表4-2-3に示す。塩素含有ごみの除去により、塩化水素とダイオキシン類の濃度は著しく低減している。この燃焼試験では、炉内の温度が800℃程度と低いため、低塩素 RDF でもダイオキシン類はやや高い値とはなっているが、これは燃焼状態を制御して燃焼温度を高くすることで、改善可能なレベルである。燃焼試験の結果、塩素含有ごみ除去によるダイオキシン類等の低減効果は大きいことがわかった。



図4-2-6 燃焼試験に使用した小規模(80kW)ボイラ

表4-2-3 燃焼試験時の排ガス分析値

計量の対象	単位	計量の 方法	分析値		備考
			低塩素 RDF	未処理 RDF	
窒素酸化物 (酸素6%換算値)	vol ppm	JIS K 0104.6	220	180	排出基準350
硫黄酸化物	m ³ /h	JIS K 0103.6.1	0.0053	0.0067	排出基準0.12
塩化水素 (酸素12%換算値)	mg/m ³ N	JIS K 0107.7.1	10	160	排出基準700 (注2)
ダイオキシン類 (酸素12%換算値)	ng-TEQ/m ³ N	JIS K 0311	17	260	排出基準5 (注2)

注1) m³/h, 及び g/m³ は 273.15K, 101.32kPa (1気圧) の状態に換算した1時間あたりの排出量及び濃度

注2) 廃棄物焼却炉の基準値であり、今回のボイラは該当しない

(3) 富良野市ごみ分別施策への活用

富良野市では、前項の RDF 製造・燃焼試験の結果を受けて、分別制度の見直しを行い、包装用ラップ



図4-2-7 地域住民への説明会

等の容器包装リサイクルごみへの分別強化に係る地域住民への説明会(図4-2-7)を実施した。分別説明会は富良野市内26箇所で10月19日~11月8日に渡って開催され、約750人が参加した。

富良野市の分類では、包装用ラップや薬包装容器は従来より容器包装リサイクル法の対象プラスチックであり、プラスチック類となる。説明会はその分類の住民への周知を徹底し、分別の適正化により、固形燃料ごみから包装用ラップなどを除去することを目的に開催された。

また、その他の塩素含有ごみについては、ごみ分別だけでは除去することができないため、ごみ性状調査の結果から、その他の塩素含有ごみのデータベースを作成し、RDF製造時の前処理である手選別での除去工程を強化した。

実際の分別強化等の取組については、2017年12月からスタートした。

道総研では、分別施策定着まで支援することを目的に、分別説明会後も継続して、ごみ性状調査を実施している。家庭ごみの包装ラップ含有量の推移を図4-2-8に示す。分別は徐々に浸透してきているものの概ね下がり基調である。また、RDF中の塩素濃度についても図4-2-9に示すように分別説明会後の2018年度の値は低下しており、分別強化の効果が現れている。

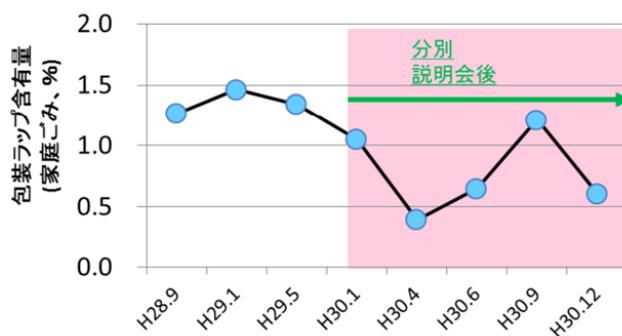


図4-2-8 包装ラップ含有量の推移



図 4-2-10 その他の塩素含有ごみ

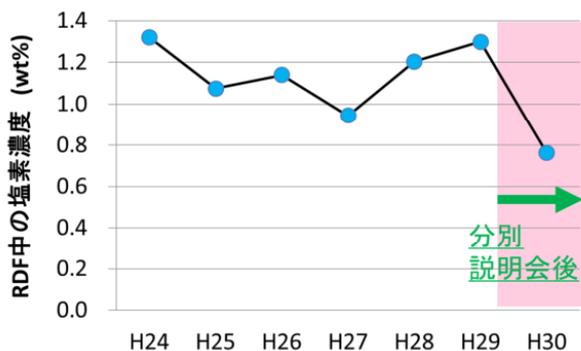


図 4-2-9 RDF 中の塩素濃度の変化

さらに、調査の結果、その他の塩素含有ごみの量の季節変動が大きいことがわかってきた。特に、引越等が多い年度末は高くなる傾向がみられた。このようなごみの除去にも対応できるように、性状調査でその他の塩素含有ごみを把握することで、塩素含有ごみのデータベースの強化を図った(図 4-2-10)。

分別強化の効果は浸透しつつあるが、地域によるばらつきや季節変動等もあるため、定着のために、

今後も経過を見守り、必要に応じて改善措置を講じる必要がある。

4) 燃焼装置の開発(燃焼機側からの改善)

燃焼機側からの改善については、3.2に記述したように燃焼状態の適切なコントロールでダイオキシン類等を低減して、安定して燃料利用できる装置を開発した。富良野市では2017年度から燃焼試験及び温浴施設への熱供給試験を行い、設備導入のための基礎データを整備することができた。

2018年1月には、700kWのボイラ(図4-2-11)で燃焼試験を行い、適切な燃焼状態とすることで、ダイオキシン類の濃度を著しく低減し、安全・安定的に燃料利用が可能であることも示された(表4-2-4)。

現在、富良野市では、北海道補助金(新エネルギー導入支援事業(設備導入支援))を受けて、市内温浴施設へのRDFを燃料とした熱利用システムの設置を進めている。



図 4-2-11 燃焼試験に用いた 700kW ボイラ

表 4-2-4 700kW ボイラでの燃焼試験結果

計測項目	測定値
塩化水素	130 mg/m ³ N
ダイオキシン類	0.84 ng-TEQ/m ³
備考	<ul style="list-style-type: none"> ・バグフィルタ有 ・燃焼温度：1150-1200℃ ・空気比：2.1

5) RDF の経済性

富良野市での RDF 製造費用は 1t あたり 25 千円である。年間の製造量を 2,300t とした場合、年間の製造コストは 57,500 千円である。

RDF は、現在遠方の製紙工場等に 2,500 円/t で販売しているが、その売却額は運送のためのコストと同程度で、収益はほぼ無い状態である。

RDF は生ごみや塩素を分別などで除去することで燃料品質が高まり、本研究でも示したように小規模燃焼機でも重油代替の燃料として利用可能となる。

重油ボイラと RDF ボイラの効率をそれぞれ 90%、85% と仮定すると A 重油の高位発熱量 (38.9MJ/kg^[3])、RDF の高位発熱量 (21.0MJ/kg) から RDF2,300t は発熱量ベースで A 重油 1,170kL に相当する。

A 重油の直近の実勢価格 (2018 年 12 月、8kL 未満ローリー買い)^[4] は 82.4 円/L であり、1,170kL は約 9,640 万円に相当し、RDF を市内で重油代替燃料として利用した割合と RDF 利用による重油コスト削減額の相関は図 4-2-12 のようになる。ボイラのメンテナンスや灰処理、燃料輸送経費等もあるため単純な比較はできないが、RDF の大部分を市内で使用することで、RDF の製造価格 (57,500 千円) を上回る削減効果になる可能性もある。

富良野市では来年度より本格的に市内の温浴施

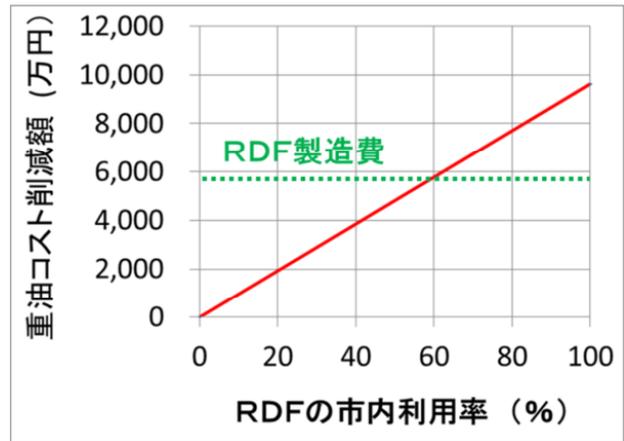


図 4-2-12 RDF の市内利用による重油削減効果

設で RDF の利用を開始するが、それが RDF 利用効果を検証するモデルケースとなる。今後の RDF 利用の取り組みの拡大に向けて、道総研も引き続き支援していきたいと考えている。

6) 本研究の成果と今後の展開

本研究では、燃料側からの改善 (RDF 燃料の塩素濃度の低減) と燃焼機側からの改善 (適切な燃焼制御による高温燃焼等) により、図 4-2-2 に示した RDF の地域利用モデルを構築することができた。

本研究の成果を活用して、現在、富良野市内の温浴施設で RDF を燃料とした熱利用システムの設置工事が行われている。今後はこのモデルを更に精査することで、RDF の利用先として農業ハウスなど多方面の展開が期待される。

道総研としては、本戦略研究終了後も技術支援を継続して行い、利用モデルの定着そしてその後の展開についても支援していきたいと考えている。

また、本研究で開発した燃焼技術は、他地域でも大きな変更無く活用可能であると思われる。

燃料側の塩素の低減については地域社会が一体となった分別の取組が必要であり、富良野市が行ってきたような分別までは少し長い時間を要するが、燃料として利用できるごみを抽出して燃料利用を検討することが、最初のステップと考えている。

道総研は、そのような取組を積極的に支援したいと考えているので、本取組に興味のある自治体の方はご連絡いただければ幸いです。

7) 参考文献

- [1] 最新材料の再資源化技術事典
 材料の再資源化技術事典編集委員会編、
 (株)産業技術サービスセンター

- [2] 富良野市地域新エネルギービジョン
平成 22 年 2 月，富良野市
- [3] エネルギー源別標準発熱量一覧表，資源エネルギー庁，
http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/pdf/stte_016.pdf
- [4] 石製品価格調査，資源エネルギー庁
http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/petroleum_and_lpgas/pl007/results.html

研究担当機関：工業試験場，環境科学研究センター
執筆者：山越 幸康（工業試験場）

4. 3 地域における木質エネルギー利用の分析 ～南富良野町の事例～

1) はじめに

再生可能なエネルギー源である木質バイオマスは、化石資源の代替、地球温暖化対策などの観点から注目を集めている。林野庁の木質バイオマスエネルギー利用動向調査によると、2016年には乾物重量として全国で773万tが、北海道では全国3位の45.7万tがエネルギー利用された。

木質エネルギーの利用は、環境対策以外にも、地域資源の有効利用とそれに伴う地域経済の活性化の面から期待されている。道内でも木材産業をはじめ、公共施設、農業、生活関連サービス業等での木質エネルギーの導入が進みつつある。

こうした地域における木質エネルギー利用を推進する上では、その実態を客観的に分析することが重要である。分析結果を木質エネルギーの事業関係者が把握するのはもちろん、地域の住民等に積極的に提示し、理解を得ていくことが、木質エネルギー事業の円滑な運営や事業の改善につながると考えられ、今後一層重要になると思われる。

以上の背景から今回、戦略研究「エネルギー」の研究フィールドであり、木質エネルギー利用が盛んな南富良野町を対象に利用実態を調査し、経済面や環境面における有効性等について分析した。

本研究の実施にあたり、南富良野町役場、南富良野町森林組合、上川南部森林管理署の各位に多大なるご協力をいただいた。記して厚くお礼申し上げます。

2) 南富良野町の木質エネルギー利用の概要

本町は上川管内の南部に位置し、人口は約2,500人である。町面積(665.54km²)の9割近く(589.55km²)を山林が占め、管内でも上位クラスの林業地域であり、木質エネルギー利用が推進されている。

本町での取り組み(表4-3-1)は、道内でも早い時期にスタートし、2001年からの概ね10年間は、構想、計画、調査期であった。この間に行われた地域新エネルギービジョンの検討では、木質バイオマスの他、太陽光や風力等、幾つかのエネルギー源が検討されたが、その中でも木質バイオマスは利用可能性が高いと判断され、最終的に木質バイオマスを軸とするエネルギービジョンが策定されている。

その後、2010年に燃料用チップの生産とエネルギー利用が実現し、今日まで発展を続けている。現在、町内で4基のチップボイラが稼働している他、先進的な設備としてチップ乾燥施設(図4-3-1)やバイオマスフォワーダ(図4-3-2)が導入されている。

また2017年度には、北海道経済部のエネルギー地産地消事業化モデル支援事業に採択され、道の駅周辺のエネルギー源としてチップボイラの新規導入が計画されている。

表 4-3-1 南富良野町における木質エネルギー利用の取り組み

構 想 計 画 ・ 調 査 期	H13 (2001)	: YAMAびか大作戦構想(木質バイオマスエネルギー供給基地構想)
	H14 (2002)	: 第4次総合計画策定(バイオマスエネルギーの調査・研究の促進)
	H16 (2004)	: 南富良野町森林組合における間伐および林地未利用バイオマス資源エネルギー化調査事業【森林組合】
	H20 (2008)	: 南富良野町地域新エネルギービジョン策定 (重点プロジェクト: 森林バイオマスの公共施設での利用) : 木質バイオマス利用のハウス栽培事業化調査【森林組合】
	H22 (2010)	: 燃料用チップ(破砕チップ)のボイラ供給開始 : チップボイラ導入(150kW、ログホテルラーチ) : チップボイラ導入(225kW、南富良野中学校)
	H23 (2011)	: 南富良野町森林・林業マスタープラン策定 (木質バイオマスエネルギー活用プラン)
	H24 (2012)	: 雪氷・太陽熱利用チップ乾燥施設稼働 : 第5次総合計画策定(木質バイオマスエネルギーの利活用の推進)
	H25 (2013)	: チップボイラ導入(400kW、南富良野小学校) : バイオマス対応型フォワーダ導入
	H26 (2014)	: チップボイラ導入(225kW、金山地区福祉交流センター)
	H27 (2015)	: 木質チップ乾燥のための雪氷システムにおける空調制御技術の開発
実 現 発 展 期	H28 (2016)	: 燃料用チップ(切削チップ)製造施設稼働【森林組合】
	H29 (2017)	: エネルギー地産地消事業化モデル支援事業採択



図 4-3-1 南富良野町森林組合のチップ乾燥施設



図 4-3-2 南富良野町森林組合のバイオマスフォワーダ

3) 方法

(1) 町内産木材の生産流通フローの作成

関係機関への聞き取り調査に基づいて、2016年度の実績を整理し、フローを作成した。

(2) 町内エネルギー需要量の推計および町内産木質エネルギー供給量との比較

町内の民生（家庭、業務）部門および産業部門における熱および電気エネルギーの需要量を推計した。民生（家庭、業務）部門の推計は、積上げ法（建物用途別エネルギー消費量原単位×延べ床面積を案件ごとに計算し、案件分を合計）で行った。また、産業部門については、按分法（エネルギー消費統計および北海道エネルギー問題関連調査業務の2010年度の北海道全体の値を市町村別に按分）で行った。按分基準は、製造業：製造品出荷額，建設業・鉱業：従業者数，林業：総収入，農業：販売額とした。

また、町内産木質エネルギーの供給量について、熱エネルギー、電気エネルギー別に2016年度の実績ベース、森林組合の事業計画ベース（2016年度の約2.4倍、2018年度頃を達成目途）の値を算出した。このうち電気エネルギーについては町外で製造されているが、全量を町内に供給すると仮定した。

(3) 町内での木質エネルギーの生産と利用に関する経済波及効果の試算

本町での燃料用チップの製造施設および熱供給施設の建設と稼働に伴う経済波及効果を産業連関分析により試算した。与件データは、建設に関するものは補助事業の資料から、稼働に関するものは森林組合の事業計画値と道内市況価格から設定した。

試算にあたり、事業投資額は、以下の施設の建設・導入費の総額とした。

【チップ化・乾燥施設】切削チップ製造施設，雪氷・太陽熱利用乾燥施設の建設費およびチップパー，選別機等の導入費

【熱供給施設】4施設（ボイラ本体，敷地造成や建屋建設等の土木工事，ボイラの設置・付帯工事（配管工事，熱交換設備工事）等の全費用）

また経済波及効果については、以下の施設の建設と20年間の稼働に伴う効果とした。

【チップ化・乾燥施設】切削チップ製造施設および雪氷・太陽熱利用乾燥施設，稼働期間20年，チップ生産量は組合事業計画値（丸太換算6,600m³/年）を採用，副産物である家畜敷料の生産販売の効果も含む

【熱供給施設】4施設，稼働期間20年

施設の建設や稼働（特に建設時）には、町外業者も関係するため、経済波及効果は町内に留まらず、

道北圏域（上川・留萌・宗谷管内）に及ぶ。このため、本町を含む道北圏域での生産誘発額および粗付加価値額を試算した。

(4) 町内での木質エネルギーの利用に伴う温室効果ガス（GHG）排出量の試算

本町では、現在4基のチップボイラ（図4-3-3）が稼働しており、年間581t（水分35%）の燃料用チップが使用されている。この燃料用チップの使用に伴う温室効果ガスの排出量を、ライフサイクルアセスメント（燃料源の採取から燃焼までの温室効果ガス排出量の調査）により試算した。また、同量の熱量を得るために灯油を使用した場合の温室効果ガス排出量を同様に算出し、燃料用チップの場合と比較した。



図4-3-3 町内で稼働中のチップボイラ

4) 結果と考察

(1) 町内での木材生産と流通

関係機関への聞き取り調査に基づいて、本町内での木材生産と流通（2016年度分）について整理した（図4-3-4）。なお、以下の説明における数値（体積）は、丸太換算の値（材積）である。

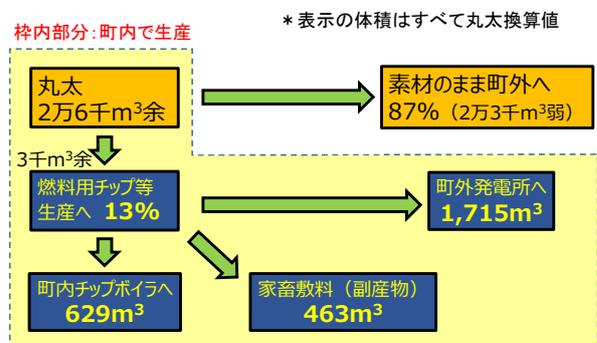


図4-3-4 町内産木材の生産流通フロー（2016年度）

当年度、町内では2万6千 m^3 余の丸太が生産された。そのうち87%分(2万3千 m^3 弱)は丸太のまま町外へ出荷され、残り13%分(3千 m^3 余)が南富良野町森林組合のチップ製造施設で燃料用チップ(図4-3-5)や副産物である家畜敷料に加工された。燃料用チップは、町内のチップボイラに629 m^3 、町外の発電所に1,715 m^3 が出荷され、家畜敷料は463 m^3 が出荷された。本町内での丸太およびチップの生産額(敷料を含む)は、町内の産業生産額(公務を除く)143億円に対し、約1.5%を占めた。



図 4-3-5 燃料用チップの製造(左)と製品(右)

(2) 町内エネルギー需要量と町内産木質エネルギー供給量との比較

町内の民生(家庭、業務)および産業部門における熱および電気エネルギーの需要量を推計したところ、熱エネルギーについては291TJ/年、電気エネルギーについては80TJ/年、それぞれ必要であると試算された(図4-3-6)。

これに対して前述のように2016年度には、町内産の燃料用チップの出荷量は、熱エネルギー向けに629 m^3 、電気エネルギー向けに1,715 m^3 であった。これらの値から町内産木質エネルギー量を計算すると、熱エネルギーが4.7TJ/年、電気エネルギーが3.5TJ/年であり、町内エネルギー需要量に対する木質エネルギーの供給割合は、熱エネルギーが1.6%、電気エネルギーが4.4%と算出された。

また、森林組合の事業計画が実行され、燃料用チップの出荷量が2016年度の約2.4倍になった場合には、町内産木質エネルギー量が熱エネルギーで9.9TJ/年、電気エネルギーで9.4TJ/年になると計算され、町内エネルギー需要量に対する木質エネルギーの供給割合は、熱エネルギーが3.4%、電気エネ

ギーが11.8%になると算出された。

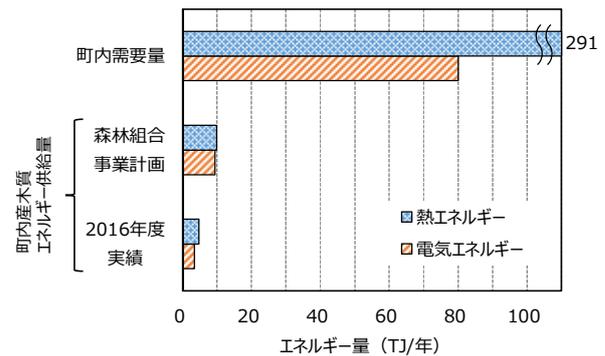


図 4-3-6 町内エネルギー需要量と町内産木質エネルギー供給量の比較

* 電気エネルギーの供給に関しては本文参照のこと

以上の結果のとおり、木質エネルギーのみでは町内の膨大なエネルギー需要をカバーできる訳ではない。しかし、他の地域エネルギーや省エネ技術と組み合わせることで、地域のエネルギー自給率向上に一定の貢献が可能と考えられる。

(3) 町内での木質エネルギーの生産と利用に関する経済波及効果

本町を含む道北圏域での生産誘発額および粗付加価値額を試算した結果、事業投資額7.9億円に対し、生産誘発額(域内に生じる生産額)は22.7億円、粗付加価値額(生産誘発額のうち企業の利潤や従業員の給料となる額)は10.9億円と算出された(図4-3-7)。

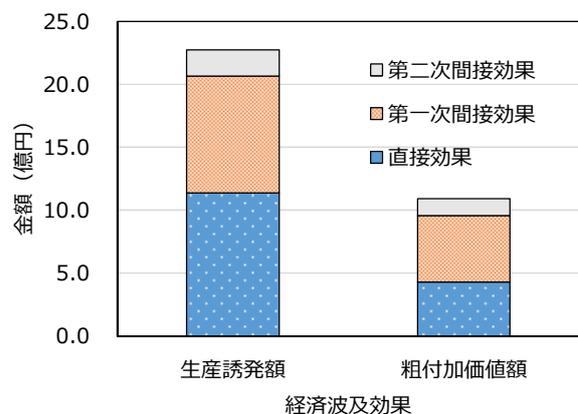


図 4-3-7 町内での木質エネルギーの生産と利用による道北圏域での経済波及効果

* 関連施設の建設と20年間の稼働による効果

建設時には7.9億円のお金が投じられるが、その半分は機械設備や部品など町内で自給できない製品に充てられる。このため、建設時の町内での生産誘発額は全体の3割程度と限定的である。一方、稼働時には、製材・木製品部門（チップ生産）および林業部門で効果が高く、かつ町内での自給割合が高いため、町内での生産誘発額は全体の7割に達する。

（4）町内での木質エネルギーの利用に伴う温室効果ガス排出量

燃料用チップ使用に伴う温室効果ガスの排出量をライフサイクルアセスメントにより求めた結果、排出量は二酸化炭素等量で72t/年と試算された。また、ライフサイクル（丸太生産からチップ燃焼まで）における排出量比率をみると、比率が高いのはチップ製造および丸太生産の段階であった（図4-3-8）。なお、チップ燃焼の数値が0.0%となっているのは、カーボンニュートラルとして二酸化炭素排出量をカウントしないためである。

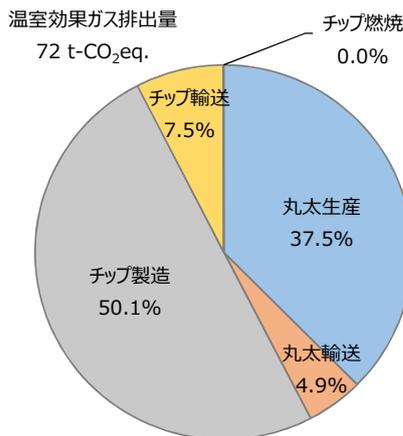


図4-3-8 燃料用チップのライフサイクルの各段階における温室効果ガスの排出比率

一方、同量の熱量を得るために灯油を使用した場合、必要な灯油の量は176kL/年と計算され、この時、灯油使用に伴う温室効果ガスの排出量を算出したところ、灯油のライフサイクル（採掘、精製から燃焼まで）における排出量は、二酸化炭素等量で462t/年であった。この値を燃料用チップの場合と比較すると、チップを使用する方が排出量を84%削減できることが分かる（図4-3-9）。このことから、本町での木質エネルギーの利用は、環境面で効果があると言える。

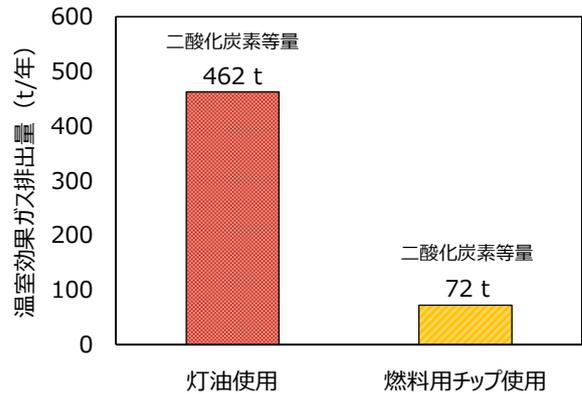


図4-3-9 灯油と燃料用チップ間での温室効果ガス排出量の比較

5) おわりに

以上のように、南富良野町における木質エネルギー利用については、経済面や環境面で効果があることが明らかとなった。最初に述べたように、木質エネルギー利用を推進させるためには、地域の住民等の理解と後押しが大切なことから、今回得られた結果についても積極的に情報発信を行うことが望まれ、また、それに対する住民等の意見も参考としていくべきと考えられる。

また、事業当事者にあつては、上記のような効果のみならず、先駆的取り組みであるが故に生じた課題も含めて整理を行う必要がある。技術的な課題については、機械や設備のメーカー等へのフィードバックや研究機関等に対して協力要請を行い、技術改善を図っていくことが望まれる。

日常生活に不可欠なエネルギーは、安定供給が必須である。南富良野町における木質エネルギーの持続的利用のために、長期スパンでの町内の資源見直しを明確にし、これに見合う木質エネルギー利用計画を立てていくことが重要であり、今後、長期的視点での資源に関する議論を一層深めることが大切と考えられる。

南富良野町における木質エネルギー利用の取り組みは、道内でも先駆的な事例の1つと言える。今回の分析結果も含め、本町での経験の蓄積は、他地域での木質エネルギー利用においても大変参考になるものと思われる。

研究担当機関：林業試験場、林産試験場、北方建築総合研究所

執筆者：折橋 健（林産試験場）

4. 4 足寄町における畜産バイオマスの資源循環・エネルギー利用モデル

1) はじめに

(1) 足寄町におけるバイオマス利活用の取り組み状況について

① 足寄町の概況

足寄町は北海道十勝総合振興局管内の北部に位置し、町村では日本一広い面積を誇る。気候は、十勝内陸部かつ山麓丘陵地帯に位置することから夏期は暑く、冬期は寒く寒暖差が大きく、年平均温度；5.8℃（平均最高気温；25.5℃～平均最低気温；-17.0℃）、降水量は年平均降水量；815.3 mm と少なく、晴天日が多いのが特徴である。

足寄町の総面積 140,804ha のうち、林野面積は約 84%（118,404ha）を占めており、耕地面積は約 10%（13,400ha）である。農業経営体数は 258 経営体、林業経営体数は 82 経営体である。足寄町の産業特性は、農・林業を主体としている。農業は町の多くを占める丘陵地を利用した酪農・肉牛経営を中心として、平坦地では畑作経営が営まれている。また、林業はカラマツおよびトドマツの割合が高い。

2) 本研究での取り組み

(1) 足寄町におけるバイオマス利用の取り組み

足寄町におけるバイオマス利用は、2001年に「足寄町新エネルギービジョン」および「足寄町木質バイオマス資源利活用ビジョン」を策定した後、雪氷冷熱システム、メタン発酵システム（バイオガスプラント）、木質ペレットボイラシステムに係る調査・試験事業やそれらの設備・施設が設置・建設され本格的な取り組み・運用がなされている。

木質バイオマスについては、「足寄町木質バイオマス資源利活用ビジョン」の策定に続き、利活用モデル調査（2002年）を経て、足寄町新庁舎建設計画を策定し（2003年）、2005年にとちかペレット協同組合においてペレット工場の創業が開始され、足寄町役場新庁舎に木質ペレットボイラシステムが設置され、町内の協同組合で生産されるペレットの大口需要先としてペレットの流通や雇用の安定化に寄与している（2008年）。一方、林地残材については、その有効活用方法が、以前から重要な課題となっている。特に、林地残材の山林からの搬出と輸送コストの問題が常に指摘され、様々な取り組みがなされている。

農産・畜産バイオマスについては、資源循環と副産物であるバイオガスのエネルギー化を目的とし、家畜ふん尿を対象としたメタン発酵システムとして 2002

年に十勝地方初となる商用ベースの個別型バイオガスプラントが道営事業にて建設された。農産バイオマスについては、JAあしよろおよび町内企業が椎茸の原木栽培および菌床製造・栽培を行っている。ここから排出される菌床残渣等のバイオマスを利用したバイオマスボイラによる熱利用施設が試験運転されている。

生活系バイオマスについては、下水汚泥は、汚泥のたい肥化が行われている。また、生ごみについては、高速たい肥化装置の導入に合わせて分別回収が開始されている。

近年のバイオマスタウン構想への取り組みについては、地球温暖化や地域の活性化に対する取り組みの必要性から、新たに、バイオマスタウン構想の策定について、道総研を含めた、足寄町、北海道庁、森林管理署、北電、電源開発、九州大学、帯畜大および民間企業の産学官で策定した（2011年）。その結果、バイオマスタウン構想時は固定価格買い取り制度（以下、FIT（Feed-in Tariff）；2.2.1参照）が確立していなかったため、バイオマスエネルギーの利活用方針を経営系内の施設における、ガス・熱の代替を基軸として構想を策定した。その後、FIT が確立し、売電環境が整ったことで本研究の目的となる資源循環と分散型エネルギーの利活用を基軸とした構想の策定に至る。

(2) 本研究での取り組み

本研究では、現在の足寄町を対象とした利活用モデルの提示と、これを基軸とした、近い将来に向けた分散型エネルギー利用モデルを提案することを目的とした。

3) 足寄バイオガスベースモデルの策定と評価

(1) 基本情報の整理

① 足寄町のバイオマス賦存量

足寄町における畜産系バイオマスは、乳牛ふん尿；16.1万t/年（うち、スラリー処理5.2万t/年）、肉牛ふん尿；13.4万t/年であり、足寄町のバイオマス資源の約85%を占める。農産系バイオマスは、麦稈では0.4万t/年、豆がらなどの作物残渣では0.4万t/年である。畜産系および農産系を合算すると約88%の資源量を誇る。また、林産系バイオマス（未利用）は4万tで約12%である。これらのことから、足寄町におけるバイオマス資源は畜産バイオマスを主体に豊富に存在すると言える（図4-4-1）。

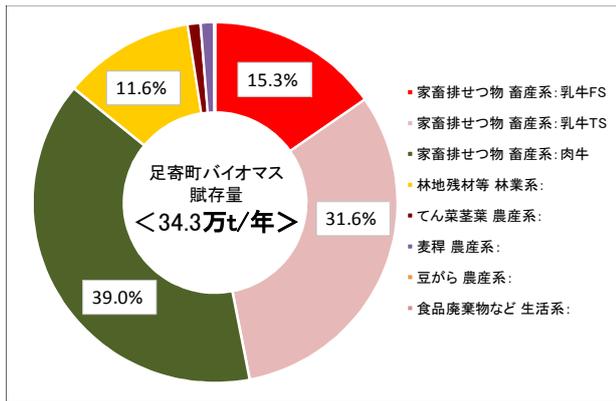


図 4-4-1 足寄町のバイオマス資源構成

② 対象とするバイオマス資源選定・利活用の考え方

足寄町の主要産業は農・畜産業および林業であることから、エネルギー化の対象となるバイオマスは農産・畜産および木質バイオマスが主体となる。これらのうち、本研究のターゲットとすべきバイオマスを選定するに当たり、以下の点を考慮し検討した。

- a) 資源循環が考慮されている
- b) エネルギー化技術の熟成度が高い
- c) 収集に係るインフラ整備に多大な予算を必要としない
- d) 通年で安定した供給が可能である
- e) 貯蔵が容易である
- f) バイオマス利用施設維持のため、町外からのバイオマス資源の移入が不要である
- g) 既に順調にバイオマス利活用がなされている施設はそのまま活用する

これらのうち、バイオマスを利用したエネルギー生産を考える場合、特に重要な項目は、「資源循環」、「エネルギー化技術の熟成度」および「通年安定供給」が挙げられる。また、エネルギー変換後の種別は、電気、ガス（都市ガスもしくはプロパンの代替）、熱、温水が挙げられるが、本課題では、中山間地域での分散型エネルギーの視点およびエネルギー利用形態を鑑み、電気を主体とした。木質ペレットについては、前述のとおり町内での利活用体制が確立していることから検討より除いた。

(2) バイオマスの利用状況分析および利活用の可能性検討

① 畜産廃棄物

足寄町における畜産廃棄物は、主に、乳牛ふん尿および肉牛ふん尿であり、賦存量から鑑みると有望と言える。現在、これらのふん尿はたい肥化施設での処理、曝気処理などにより処理されるものがほとんどである。

バイオマスのエネルギー変換に当たり、夾雑物が少ないフリーストール飼養の乳牛ふん尿は、通年供給が可能であるとともに、そのエネルギー変換の基幹施設である湿式のバイオガスプラントは技術的にも成熟しており、バイオガスプラントより産出されたバイオガスは電力変換され、売電も可能である。また、消化液の利用は資源循環としてエネルギー生産の対となるものであり、生産現場では圃場還元が基本となる。

バイオガスプラントには湿式と乾式の2種類がある。湿式バイオガスプラントは、主にフリーストール飼養の固形分濃度（TS；Total Solid）7～10%（水分93～90%）の家畜ふん尿スラリーを、乾式バイオガスプラントはそれ以上の固形分濃度の家畜ふん尿を対象とする。家畜ふん尿処理におけるバイオガスプラントはほぼ湿式であり、技術的、運用的にもほぼ成熟している。また、乾式バイオガスプラントはリアクター方式もしくはガレージ式である。しかし、施工例は主にパイロットプラントであり、技術的・運用的に、未成熟な部分がある。足寄町の乳牛ふん尿を例にすると、生産現場では、たい肥化またはスラリー処理が困難な、セミソリッド状（水分；84～87%）の家畜ふん尿が約7割を占めることになる。このセミソリッド状はたい肥化の過程において、切り返しを行ってもなかなか温度が上昇しない。また、湿式バイオガスプラントで処理するためには、固液分離処理が必要となるが、水分が低い乳牛ふん尿の固液分離処理は、加水処理や固液分離機の本体やスクリーンに負荷をかけることから導入を躊躇する事例もある。

② 作物残渣

作物残渣は、バイオマスエネルギー的に有望な資源ではあるが、作物構成が多岐にわたるとともに、収穫時期が夏期～秋期に集中する。また、てん菜の茎葉のように生で収穫されるものも多いことから、適正な状態での保管が難しい。このことから、安定的な通年供給が困難となる。また、回収方法の確立も課題である。

③ 農業系バイオマス以外

中山間地域において農業系バイオマス以外で有望と考えられるバイオマスは、林地残材、資源ごみのうち、廃材や生ごみが考えられる。かねてよりバイオマスの利活用の視点より林地残材は有望視されているが、林地残材の収集利用のためには林道整備や機械装備が必要となる。これらの整備のためには国費による補助事業に頼るのが現状である。前述の通り足寄町の面積は140,804haと広大であり、他の町村に比べ面積が広いことから、林地残材全量を確保するためには公共投資

及び運用費用も多大となる。

生ごみについては、地区内の生ごみをバイオガス化やたい肥化する例があるが、生ごみの収集体系・体勢が必須となる。足寄町では、ごみの分別回収が実施されており、生ごみについては、指定のごみ袋にて収集が行われている。回収された生ごみは、主に近隣の町（本別町、足寄町、陸別町の三町）と共同運営する銀河クリーンセンター（池北三町行政事務組合）にて処理を行っている。しかし、銀河クリーンセンターは最終処分場の残余容量がなくなる予定の2019年3月末に閉鎖されることとなっており、今後のごみの処理方法について足寄町役場内の関係各課で検討が進行している。

④ FIT 制度による売電

現在の FIT 制度では、FIT 制度を活用した電気の目的外使用が禁止されていることから、ほぼ全量、売電されている。このため、今後、発電された電気を多角的に利用するためには、行政サイドでルール改定について検討しなければいけない。また、技術面では、分散型電源として活用するためには、バイオガスプラントの自立運転が基本となるが現状では解決が難しい問題がある。バイオガスプラントに付加すべき施設・装備等のルール・留意点は以下の通りである。

【対象とするバイオマス資源選定・利活用の考え方】	
a)	自立運転を考えている場合は、機器・施設の優先順位を考え、最低限優先すべき機器と自立運転できる発電機の性能のバランスを考えて選定
b)	発電機の選定には、自立運転が可能な機種を選定すること。また、複数機の発電機を設置する場合は、自立運転時の負荷を均等化するためシーケンスが必要
c)	災害時は系統接続をシャットアウトする装置が必要
d)	現行の FIT 制度では、バイオガスプラントにおける発電された電気の位置付けとして、発電に係わる施設（嫌気発酵槽、ガスバック及び発電機）における自家消費と、残りの電力をすべて系統に流す設備としなければならない。

⑤ 検討結果

これらのバイオマス資源を前項で示した「対象とするバイオマス資源選定・利活用の考え方」をベースに検討した（表 4-4-1）。その結果、現状では、足寄町にて利活用が可能なバイオマス資源を用いてエネルギー変換する場合、最も有力な対象は乳牛ふん尿、エネルギー変換施設は湿式バイオガスプラントと判断できる。また、将来構想を検討する上で、現在、道東地域の国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）事業にて家畜ふん尿を対象とした乾式メタン

発酵処理システムの構築が進んでいることから、肉牛ふん尿及び繋ぎ飼い飼養の乳牛ふん尿に対して有効な乾式バイオガスプラントを将来モデルに組込むこととした。

表 4-4-1 足寄町における農業系バイオマスのエネルギー化検討結果

種類	エネルギー化技術の成熟度	原料安定供給（通年供給）	その他
肉牛ふん尿	△ バイオガス（乾式）	○ ・通年供給可能	・水分の高いふん尿（TS15%以上）乾式バイオガスの成功例が少ない（△-×） ・乳牛ふん尿でも活用可能
乳牛ふん尿	○ バイオガス（湿式） △ バイオガス（乾式）	○ （湿式） （乾式） ・通年供給可能	・スラリー主体の湿式バイオガスプラント（嫌気発酵処理システム）は技術的に熟成している（○） ・乾式発酵については、まだ、黎明期であり、技術的な問題は少なくなってきたが、システム構築上の技術的問題点がある（△） ・消化液固形分の乾燥処理は敷料を基軸として、エネルギー利用は経営系内での利用にとどめる（△）。
麦稈	○ ボイラ	△-× ・秋に集中産出 ・ストック用の敷地確保が難しい ・秋期の天候によっては回収が困難な場合がある。	・収集時の天候により収集・梱包作業ができない場合があり安定供給面から不安である。（△）
作物残渣	○-△ バイオガス（湿式/乾式）	△-× ・秋に集中産出 ・ストックが難しい	・対象はてん菜茎葉など ・バイオマス自体の含水率が高く、腐敗しやすく保管が難しい（△）

※ ○：システム導入が可能
△：技術的には完成度が高いがシステム導入が困難
×：技術的にまだ検討すべきことがある

（3）足寄バイオガスベースモデルの検討

① バウンダリー設定の考え方

バイオガスシステムを評価するにあたり、そのベースモデルとなる「足寄町バイオガスベースモデル」の構築において、最も考慮すべき項目、すなわち、持続可能なバイオガスシステムの構築に当たり考慮すべき項目を、原料の調達、適切な技術の選択、販路の確保、運営体制の4項目に分類し、構築のポイントを表 4-4-2 に示した。

表 4-4-2 バイオガスシステムの構築に当たり考慮すべき項目

留意すべき項目	足寄モデル構築のポイント
①原料の調達（入口）	・調達可能なバイオマス量（原料の収集・運搬体制）
②適切な技術の選択	・プラントの運転条件（発酵温度，投入原料の有機物負荷） ・原料移送距離
③販路の確保（出口）	・送電の是非，電気買取枠の確保（FIT 制度利用の場合） ・消化液・たい肥の利活用および熱エネルギーの利活用（参画農家での自己消費が基本）
④運営体制	・適切な人材の確保・運営方針の策定（公的機関と農家の強固な連携）

② バウンダリーの検討

バイオマスの利用に係る全体計画立案に当たり，①基幹施設・方式の確定，②対象となる法規の精査，③施設の確定，④共同運用するための運用面，運転面上の条件整理が必須となる。この検討を行う上で重要となるのがバウンダリー設定である。今回のバウンダリー設定では，足寄町A地区の農場を例に設定を行うこととし，湿式バイオガスプラントより産出される消化液とバイオガスによる発電，消化液の敷料利用を基軸に検討を行った。その結果，バウンダリー策定における前提条件は，産出したバイオガスは全量，電気にエネルギー変換し売電し，飼養管理等で用いる電気は商用電源とすることとした。また，消化液は施肥および敷料利用することとした（図 4-4-2）。

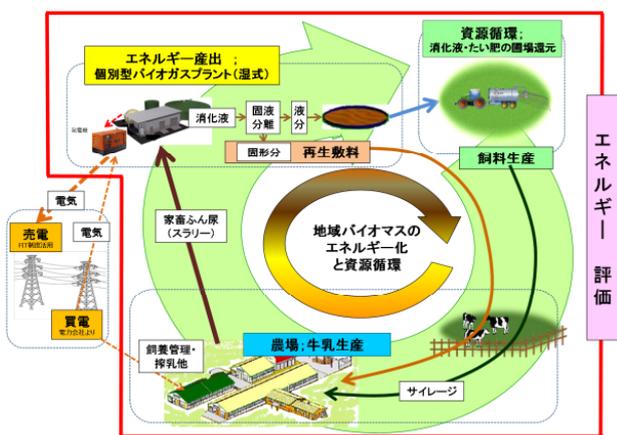


図 4-4-2 足寄バイオガススペースモデルの概要及びエネルギー評価の対象バウンダリー設定（赤ラインは評価バウンダリーの範囲）

これらの前提条件を加味して，バイオガスプラントの処理能力（想定される乳牛ふん尿，敷料，雑排水および生ごみの量）を基軸としたバイオガス発生量の推定，付帯施設の検討，運転上の留意点（性能保証値），運転・運用方法の検討を踏まえ，関係機関と協議の上，

足寄バイオガススペースモデルのバウンダリー及び湿式バイオガスプラントのマテリアルフローを策定した。また，エネルギー評価のバウンダリーは図 4-4-2 中の赤い線で囲まれた範囲とした。

4) 足寄バイオガススペースモデルを基軸とした構築モデルの一般化

(1) モデル検討

足寄バイオガススペースモデルを基に，バイオガスプラントを基軸とし，かつ現行のFIT 制度をフルに活用したモデル，FIT 制度終了後ターゲットとしたモデルとして，以下の2シナリオを検討した。

- シナリオ1；FIT 制度活用型モデル（現行変法型）
モデル①；FIT 活用型（個別型）
モデル②；FIT 活用型（共同利用型）
- シナリオ2；FIT 制度終了想定型モデル（将来型）
モデル③；自己消費型（個別型）

FIT 活用型のコンセプトは，現在，最も普及している湿式バイオガスプラントを基軸とし，1経営体で運用する個別型と数戸の経営体で運用する共同利用型とした。また，FIT 制度終了後の売電状況の悪化を鑑み，発電した電気を経営系内で消費するとともに，バイオマスの資源循環を基軸としたモデルを自己消費型とした。

(2) 各モデルの概要

① FIT 制度活用型モデル（現行変法型）；FIT 制度活用型（個別型）

本モデルは，1経営体で運用する個別型の足寄バイオガススペースモデルに消化液固形分の敷料化を加味したモデルである。基幹となるバイオガスプラントは湿式とした。発電した電気はFIT 制度を活用し全量売電し，営農およびプラントの運転は商用電気を使用する。乾燥消化液固形分は敷料化（再生敷料）して活用する。モデル内の個別型湿式バイオガスプラント（250 頭規模想定）の運転条件は，調査結果より，水理学的平均滞留日数 20 日，発酵温度 55℃，有機物負荷 0.10m³CH₄/kg・VSA と設定した（図 4-4-3）。

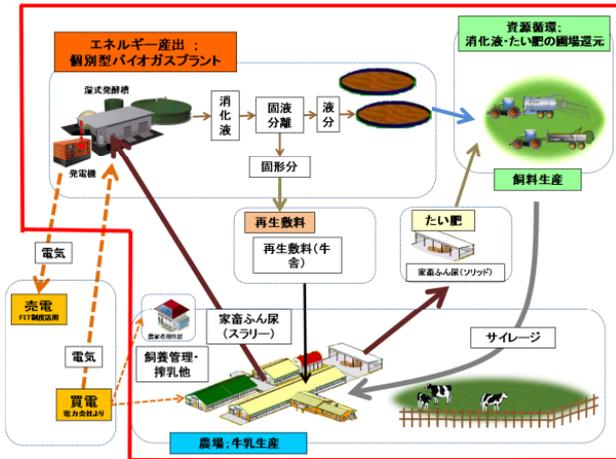


図 4-4-3 モデル① FIT 制度活用型 個別型モデル（飼養頭数 250 頭規模）（赤ラインは評価バウンダリーの範囲）

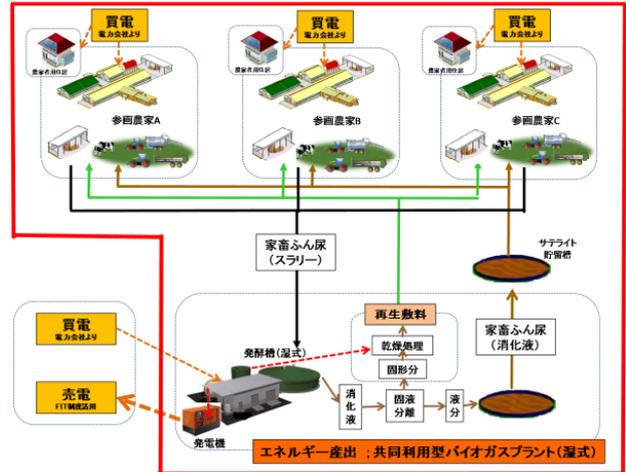


図 4-4-4 モデル② FIT 制度活用型 共同利用型モデル 酪農家 3 戸参画時の例（3 経営体の合計飼養頭数 250 頭）（赤ラインは評価バウンダリーの範囲）

② FIT 制度活用型（現行変法モデル）；FIT 制度活用型（共同利用）モデル

本モデルは足寄バイオガスペースモデルを基軸として数戸の経営体で運用する共同利用型モデルである。基幹となるバイオガスプラントは湿式とした。発電した電気は FIT 制度を活用し全量売電し、営農およびプラントの運転は商用電気を使用する。乾燥消化液固形分は経営系外の施設でペレット化し、再生敷料は参画農家で使用することを前提とした。モデル内の共同利用型湿式バイオガスプラント（250 頭規模、参画経営体一戸当たりの飼養頭数約 83 頭と想定）の運転条件は、水理学的平均滞留日数 20 日、発酵温度 55℃、有機物負荷 0.10m³ CH₄/kg・VSA とした（図 4-4-4）。当該バウンダリーで他のモデルと異なる点は以下の通りである。

- ・家畜ふん尿の移送距離（農家ーバイオガスプラント）
- ・機械・車両装備として新たに共用ふん尿スラリー移送用タンカーを装備

③ FIT 制度終了後の個別型モデル（将来モデル）；自己消費型（個別型）

本モデルは、FIT 制度終了後には、現在の取引価格での売電形態は、FIT 制度成立以前の状況になることを考慮し、エネルギー生産を考慮しつつ資源循環に重きをおいたモデルである。基幹となるバイオガスプラントは湿式から乾式に変更することで飼養方式を変更せず、乳牛ふん尿の賦在量として最も多いセミソリッドや肉牛ふん尿への対応も想定した（図 4-4-5）。

乾式バイオガスプラント導入時のコンセプトは、経営系内の商用電気の消費量を極力抑えること（売買額縮小・自己消費中心）、災害時のバックアップ電源（特に搾乳機械及び乳業工場へ向かう集乳車が来るまでの間、農場で生産した生乳を保存するためのタンク（バルククーラー）で用いることとして活用することである。さらに、バイオガスプラントの原料には家畜ふん尿および町内で発生する生ごみとした。発電した電気は飼養管理、牛乳生産に重点的に使用する。また、乾燥消化液固形分は乾燥処理後、再生敷料として利用すると共に、経営系内に設置した装置でペレット化し家庭内での燃料として使用することを前提とした。

モデル内の乾式バイオガスプラント（250 頭規模）の運転条件は、水理学的平均滞留日数 20 日、発酵温度 55℃、有機物負荷 0.12m³ CH₄/kg・VSA と仮定した（図 4-4-5）。当該バウンダリーで他のモデルと異なる点は以下の通りである。

- ・乾式バイオガスプラントの導入
- ・生ごみ投入による有機物負荷及びバイオガス発生量の変化
- ・発電した電気の経営系内での消費
- ・固液分離機の高性能化（固液分離率）
- ・消化液固形分のペレット化及び家庭用燃料化

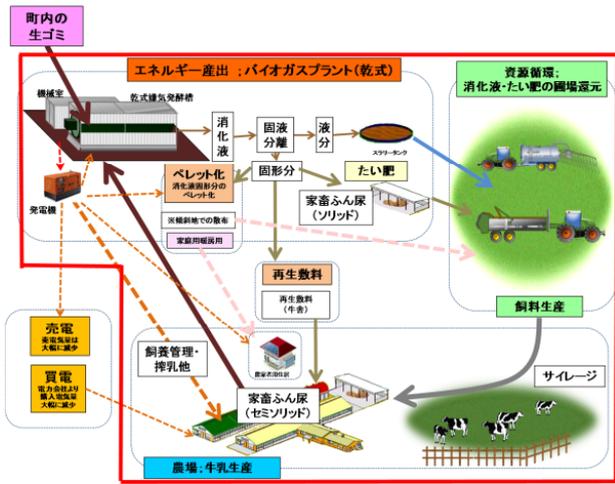


図 4-4-5 モデル③ FIT 制度終了後の個別型モデル（将来モデル）；自己消費型（個別型）（飼養頭数 250 頭規模）

(3) 各モデルの評価

① エネルギー評価

設定した各モデルにおけるバイオガス産出量及び消費量を各バイオガスプラントの方式別に整理した（図 4-4-6）。乾式バイオガスプラントはワラなどの敷料が多いセミソリッドの家畜ふん尿を処理することができる。すなわち、投入原料の有機物量が多くなることから、乾式バイオガスプラントから発生するバイオガス生成量は湿式に比べ多くなる。生ごみの投入効果はわずかと試算された。250 頭規模の各タイプから生成されるバイオガス量を試算すると、湿式では、859 Nm³/日、乾式では 1,666 Nm³/日となる。これらのバイオガスを利用して、発電機により発電される電力量を試算すると、湿式では 1,000 kWh/日、乾式では 2,443 kWh/日と試算される。

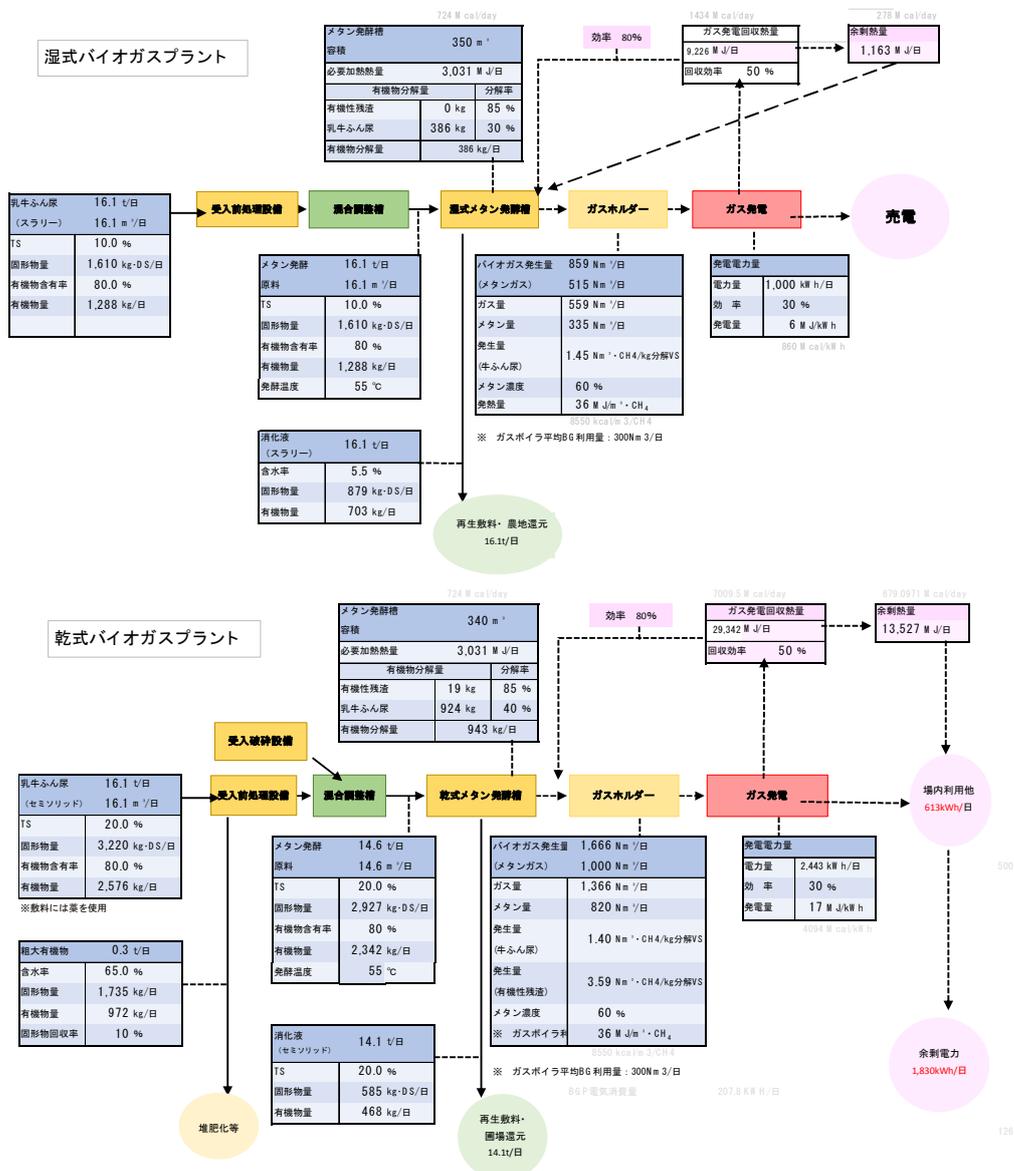


図 4-4-6 バイオガスプラント(湿式および乾式)マテリアルフロー (250 頭規模)

表 4-4-3 各モデルのエネルギー生産量と消費量 (熱量換算、250 頭規模)

		モデル①	モデル②	モデル③	
<前提条件>					
嫌気発酵槽形式・利用形態		湿式・個別	湿式・共同	乾式・個別	
①農家戸数	戸	1	3	1	
②飼養頭数及び草地面積	飼養頭数	250	250	250	ケース 2；3 戸合計で 250 頭 ^{[1]・[2.1.1]}
	草地面積	75	225	75	ケース 2；草地面積 75ha/戸 ^{[1]・[2.1.1]}
<発生エネルギー>					
③メタンガス発生量	m ³ /日	559	559	1,000	ケース 3；生ごみ混合発酵 ^[4] 、引用文献【5】を基に試算、メタン濃度 60% ③×35.79 MJ/m ³ ・CH ₄
④想定発熱量	MJ/日	20,007	20,007	35,791	バイオガス発生量をガスボイラで全量燃焼した場合の想定発熱量
A. 発生エネルギー計		20,007	20,007	35,791	メタンガス発生量の熱量換算値
<消費エネルギー>					
⑤バイオガスプラント；電気使用量	kWh/日	31	42	281	商用電力使用
⑥ "；化石燃料使用量	L-軽油/日	0	0	0	定常運転時はバイオガスを使用
⑦牛舎・搾乳施設等；電気使用量	kWh/日・戸	582	—	582	ケース 2；各農家はプラントに近接して
⑧ "；化石燃料使用量	L-軽油/日・戸	35	—	35	いないので消費量に加えない ^[2.2.1]
⑨バイオガスボイラ；バイオガス消費量	m ³ /日	0	0	0	電気消費量は⑤を含む (200kW) カーボンニュートラルなので相殺
⑩消化液固形分乾燥；電気使用量	kWh/日	94	94	94	固液分離機での電気消費量 (16.5kWh/日) を含む ^[3.1.3]
⑪消化液固形分乾燥；化石燃料使用量	m ³ /日	0	0	0	*バイオガス消費量；100 m ³ /日、 軽油換算：57.5L/日【3.1.3】、 カーボンニュートラルなので相殺
⑫消化液散布	L-軽油/日・戸	3.3	3.3	3.3	散布機；スラリーインジェクター
⑬原料スラリー移送	L-軽油/日・戸	—	4.9	—	移送車；スラリータンカー
⑭飼料生産	L-軽油/日・戸	1.3	1.3	1.3	高水分サイレージ 年 2 回刈り ^[1]
<B.1 バイオガスプラント>					
⑮ 電気消費量	kWh/日	707	136	957	⑤+⑦+⑩、参考；モデル③乾式バイオガスプラントの余剰電力量；2,443-957=1,486
⑯ 電気消費量；一次エネルギー換算値	MJ/日	6,900	1,327	9,340	1kWh=9.76MJ
⑰ 化石燃料消費量	L-軽油/日	0	0	0	プラント加温エネルギー；バイオガス
⑱ 化石燃料消費量；熱量換算値	MJ/日	0	0	0	1L=38.2MJ
<B.2 モデル全体>					
⑲ 電気消費量	kWh/日	707	136	957	
⑳ 電気消費量；一次エネルギー換算値	MJ/日	6,900	1,327	9,340	1kWh=9.76MJ
㉑ 化石燃料消費量	kWh/日	39.6	9.5	39.6	⑥+⑧+⑫+⑬+⑭
㉒ 化石燃料消費量；熱量換算値	MJ/日	1,513	363	1,513	1L=38.2MJ
B. 消費エネルギー計 (熱量換算値)					
㉓ バイオガスプラント	MJ/日	6,900	1,327	9,340	⑯+⑱
㉔ モデル全体	MJ/日	8,413	1,690	10,853	㉒+㉔
C. 余剰エネルギー計 (熱量換算値)					
㉕ バイオガスプラント	MJ/日	13,107	18,680	26,451	C=A-㉓
㉖ モデル全体	MJ/日	11,594	18,317	24,938	C=A-㉔

※⑨、⑱；発酵槽加温及び消化液乾燥に使用するバイオガスはカーボンニュートラルであり化石燃料と相殺されることから、消費エネルギー及び余剰エネルギーには算入していない。

発電時のガス発電機の回収熱量は、全てのモデルにおいて各メタン発酵槽の加温の熱源として利用される。また、モデル①および②において発電された電気 (1,000kWh/日) は全量売電されることとなる。また、モデル③では発電された電気を施設内利用としている。牛舎内の搾乳装置およびバルククーラやパーンクリーナなどで使用される電力量、バイオガスプラントの運転に使用される電力量および家庭で使用される電力量の合計は 957kWh/日となることから、余剰電力量は 1,486 kWh/日と試算される。

② まとめ

乾式バイオガスプラントを導入することにより、足寄町内のバイオマス資源のうち、スラリー状の乳牛ふん尿に加え、セミソリッド上の乳牛ふん尿や肉牛ふん尿の処理が可能となる。足寄町の酪農及び肉牛農家にモデル③の乾式バイオガスプラントを全戸に導入したと仮定した場合、湿式バイオガスプラントを基軸としたモデル①、②に比べ、足寄町内のバイオマスの利用率を約 15%から約 85%まで向上させることができると推察できる (図 4-4-7)。

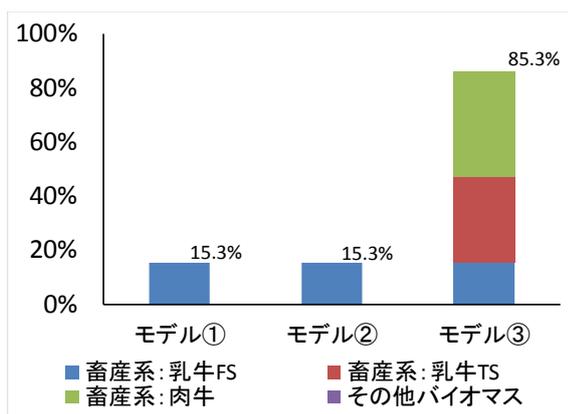


図 4-4-7 乾式バイオガスプラント導入によるバイオマス利活用率の変化

5) 成果の展開

(1) エネルギーの視点から

本研究では、足寄町の多様に存在するバイオマス資源のうち、農業系バイオマスを基軸としたモデリングを行った。今後は、太陽光、風力などを組み入れた、多角的な再生可能エネルギーの利用を想定したモデリングを行いエネルギーのベストミックスを図る必要がある。また、多角的な再生可能エネルギーの利用を想定したモデリングの検討に当たっては、送電線の容量に係る電力会社との協議が必要となる。北海道は送電網の脆弱性が指摘されているが一つの手段として送電線の強化が一考できるが、変電所の設置などインフラの整備が必要となる。分散型エネルギーの視点から鑑みると、災害時の電源供給や確保と言った、地域のエネルギー保証の視点からも重要である。特に、2018年の北海道胆振東部地震後の大規模な停電は火力発電所への過度な依存が一要因とされていることから、自然災害になども含めた強い農山漁村作りのためにはバックアップ電源を視野に入れた分散型電源の確保が必要と言える。ただし、分散型電源として位置づけるためには、「FIT制度で発電した電気の目的外使用禁止」の緩和は重要なポイントとなる。このため、行政における制度改定の検討が要となる。

(2) 資源循環の視点から

家畜ふん尿処理に係るバイオマス利用技術は他のバイオマス資源に比べ、収集から利用まで比較的完成されていると言われている。しかし、家畜ふん尿においては、前述のように、比較的高水分のセミソリッド状の湿式バイオガスプラントでの利用に加え、たい肥化処理も難しい。本研究でモデリングした乾式バイオガスプラントの導入により、足寄町の家畜ふん尿のエネルギー化のためのバイオマス利用率を増加させること

ができる可能性を示した。このことは、乾式バイオガスプラントを導入することでセミソリッド状のふん尿処理対策が可能となることを示すものである。今回の乾式バイオガスプラントは個別型の提案のみとなったが、共同利用型での利用を提案するためには、以下に示すシステム構築や利用機器の開発等を考える必要がある。

- ・セミソリッドふん尿の専用収集車の開発及び収集体系の確立
- ・高濃度のふん尿散布機の装備・導入方法の検討

(3) 今後の展開

農業系バイオマスのエネルギー化に係る今後の展開として、バイオマスと太陽光などの自然エネルギーを融合させたエネルギーネットワークの構築が災害に強い町づくりの基軸となると考える。そのため、地域・集落単位の小規模なスマートグリッドを検討することが重要と考える。最後に、現在、自然・再生可能エネルギーの利用は太陽光発電が高く、この設備容量も高い。地域によっては電気容量の大半が太陽光発電に既に押さえられ送電線の空き容量の余裕がないことが問題視されている。前述のように、2018年の北海道胆振東部地震を境に、バイオマス発電は分散型電源として重要視されている。これらのことも踏まえ、地域・集落単位においても、発電した電気の自家消費の拡大策や施設内における自己完結型の熱エネルギーの利活用方法を加味した議論・検討を産官学で進める必要がある。

6) 引用文献

- [1] (社)北海道農業改良普及協会. 北海道農業生産技術体系第4版, (2013)
- [2] 木村ら. Pretreatment techniques for biofuels and biorefineries – Biogas Purifier for Rural Areas –, Springer, (2013)
- [3] 北海道農林統計協会協議会. 北海道農林水産統計年報(農業統計市町村別編), (2006)
- [4] 廃棄物系バイオマス利活用 導入マニュアル. 環境省, (2017)
- [5] 新エネルギーベンチャー技術革新事業/新エネルギーベンチャー技術革新事業(バイオマス)/低水分乳牛ふん尿の高速乾式メタン発酵システムによる高純度バイオメタン製造の技術, (2013)

研究担当機関：中央農業試験場，環境科学研究センター
執筆：木村義彰（中央農業試験場）

4. 5 漁村地域におけるコンブ乾燥を念頭においた再生可能エネルギーの利用検討

1) はじめに

コンブは当日中に天日乾燥で仕上げるのが一般的であるが、天候により乾かし上がりが不十分となり、多くの漁家では機械乾燥を併用している。特に道東地域では海霧の影響を受けやすく、その依存度が高い。また、道南地域では干場が狭いなどにより機械乾燥が進んだ地域もある^[1]。一方、こうした地域では、コンブ生産の経費に占める燃油の割合が高く、燃油価格の影響を受けやすい状況となっている。このため、生産現場からは昆布の品質を保持した上で、より低コストかつ高効率な処理につながる高度乾燥システムの開発が望まれている。また、沿岸地域で優位とされている廃漁網などの再生可能エネルギー・廃棄物を活用した、エネルギー自給率を高めた分散型エネルギーシステムの構築が期待されている。

このようなニーズを踏まえ、道総研では戦略研究「地域・産業特性に応じたエネルギーの分散型利用モデルの構築」の中で水産ワーキングを立ち上げ、2014～2017年度まで研究を進めてきた。検討対象とする再生可能エネルギーを風力、太陽光・太陽熱及び木質バイオマスとし、さらに廃漁網を検討対象とする廃棄物とした。本節では、これらの成果を報告する。

2) 北海道内における地域ごとのコンブ乾燥の実態

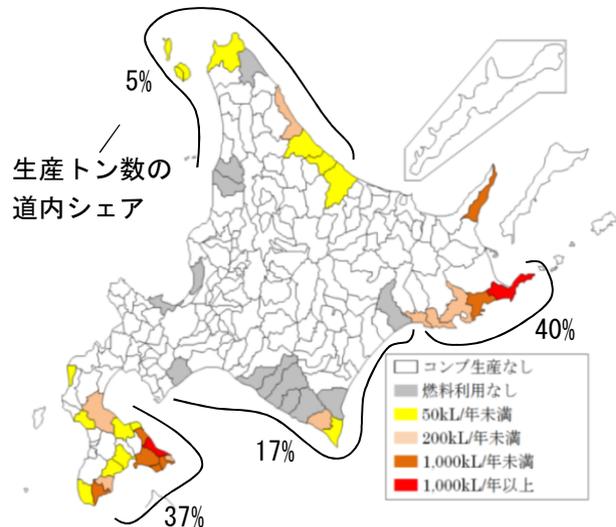
(1) 全道

コンブ乾燥施設における省エネルギー及び再生可能エネルギー活用にむけ、北海道内における地域ごとのコンブ乾燥実態の調査を実施した。調査は旧市町村別のコンブ生産量に基づいた。また、燃料消費量は釧路町及び根室市のみ北方建築総合研究所の実測に基づいたほか、その他の市町村はヒアリングに基づいて推定した。図4-5-1にコンブ乾燥に要する灯油換算消費量（推定）を示す。

コンブ生産の道内シェアは道央・道北地域で約5%、日高地域約17%、道南地域で約37%及び道東地域で約40%である。このうち、日高地域では太陽熱（天日乾燥）のみでコンブ乾燥を賄っている町が多くみられた一方、道内シェアが多い道南地域や道東地域ではコンブ乾燥に要する灯油消費量が多いことが推定された。

(2) 主産地のコンブ乾燥実態

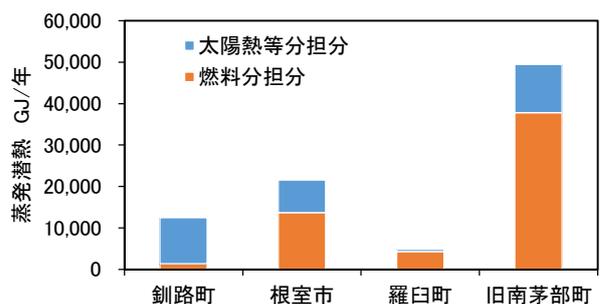
コンブ主産地域の中から、釧路町、根室市、羅臼町及び旧南茅部町におけるコンブ乾燥に要するエネルギーを太陽熱（天日乾燥）と燃料分に分割して示す（図4-5-2）。



【注】旧市町村コンブ生産量に基づく。コンブ生産量当たりの燃料消費量は、釧路町、根室市のみ北総研実測に基づき、その他の市町村はヒアリングに基づく推定値である。

図4-5-1 コンブ乾燥に要する灯油換算消費量（推定）

太陽熱（天日乾燥）の割合が羅臼（約11%）から釧路町（約89%）まで地域ごとに大きく異なっていた。これは、乾燥施設の仕様や機械乾燥時の温湿度制御方法、気象条件、コンブの品質に対する考え方などが原因であることが推定された。



【注】旧市町村コンブ生産量に基づく。燃料分分担の比率は釧路町及び根室市は北総研実測に基づく。羅臼町、旧南茅部町はヒアリングに基づく推定値である。

図4-5-2 コンブ主産地のコンブ乾燥に要するエネルギー

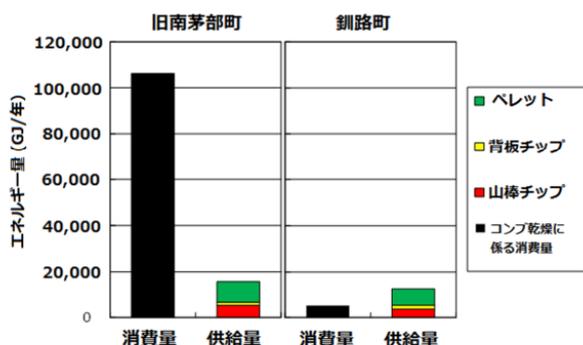
また地域内最終エネルギー消費に占めるコンブ乾燥用のエネルギーの割合は釧路町0.2%、根室市1.2%、羅臼町1.8%、及び旧南茅部町15.6%と推定

され、旧南茅部町におけるコンブ乾燥への負担が大きいことが明らかとなった。

3) 賦存量

(1) 木質バイオマス

旧南茅部町及び釧路町における木質燃料(チップ、ペレット)の生産量と供給可能性を調査した。チップについては、生産量が多いがバイオマス発電所や製紙会社との競合があり供給余力は不明確であった。一方、ペレットについては、供給余力が道南で約700t、根釧で約560tと見込まれた。コンブ乾燥に係るエネルギー消費量と木質燃料供給量のバランスについて、旧南茅部町と釧路町のケースを一定条件下で検討した結果、旧南茅部町ではエネルギー消費量が非常に大きく、木質燃料の供給が不足する可能性が示された。



【注】コンブ乾燥に係るエネルギー消費量は水産ワーキング試算値。木質燃料の供給は、旧南茅部町へは渡島・檜山管内より、釧路町への釧路・根室管内より供給すると設定し、その供給量は、チップ(乾重基準含水率 50%)は現状生産量の1%分、ペレット(乾重基準含水率 10%)はペレタイザー能力×稼働時間と現状生産量の差とした。エネルギー換算において、木質ボイラの効率は80%とした。

図 4-5-3 旧南茅部町と釧路町におけるコンブ乾燥に係るエネルギー消費量に対する木質供給量バランス

(2) 廃漁網

釧路市の廃漁網協議会に聞き取り調査を実施し、釧路地域の水産系廃棄物の排出量を推定した。廃漁網協議会は、釧路地域周辺の漁業協同組合及び魚市場からの負担金で運営されており、廃船や廃漁網の処理に関する事務を行っている組織である。また、廃漁網の利用可能量については、水産系廃棄物が一時保管されている現場の廃漁網数に一網あたりの平均的重量を乗じて推計した。

釧路市廃漁網協議会における聞き取り調査の結果、水産系廃棄物が30~40トン排出されるたびごとに水産系廃棄物は産業廃棄物処理業者へ委託される。

これが年間6~7回あるとのことから、水産系廃棄物の排出量を180~280トンと推定した。また、水産系廃棄物の一時保管現場を目視にて確認し、約15反の利用可能な廃漁網を確認した。

漁網の種類によるが一網約20kgとして、 $15 \times (6 \sim 7) \times 20 \text{ kg} \approx 2 \text{ t/年}$ が利用可能な廃漁網と推定した。

なお、5)で詳しく述べるが廃漁網を燃料化させるためには、木質などのバイオマスを適切に配合させる必要がある。廃漁網5%に対してバイオマスを95%で配合する場合においては、必要な木質バイオマスの量は40tとなる。本項(1)の調査結果より釧路町への木質ペレット供給量は558tであることから、コスト等の社会的条件を除外すると、釧路地域周辺の廃漁網の燃料化のための木質バイオマスの供給は十分可能であることがわかった。

4) コンブ乾燥シミュレーションとコスト計算

(1) 放熱器によるコンブ乾燥

ボイラで温水を作り、放熱器からの熱により、コンブ乾燥を促進するシステムを検討した。コンブ乾燥目標時間を8時間及び10時間と想定し、目標時間を達成するための送水温度、放熱器面積、循環流量を明らかにした上でランニングコストを計算した。

① シミュレーション結果

必要放熱器面積の検討には、図4-5-4に示すようなコンブの間に放熱器を設置する乾燥庫を想定した。乾燥庫規模の関係上、 382.2m^2 ($9.1 \times 3 \times 14$ 列)以上の放熱器は設置することができないため、 382.2m^2 以下を対象とした。

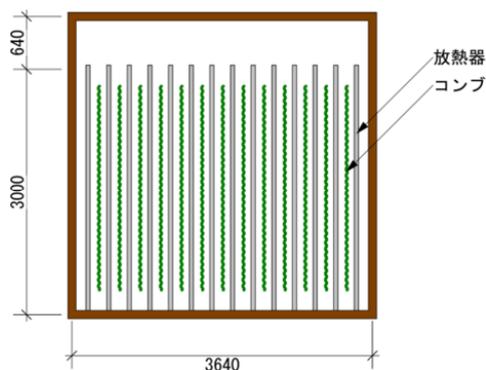


図 4-5-4 コンブ乾燥庫概要(断面図)

図4-5-5には乾燥時間8時間における温水温度を変更したときの必要放熱器面積を示す。また、乾燥庫規模条件下における仕上がりコンブ重量ごとのコンブ乾燥に最適な温水温度、放熱器面積を表4-5-1

にまとめた。

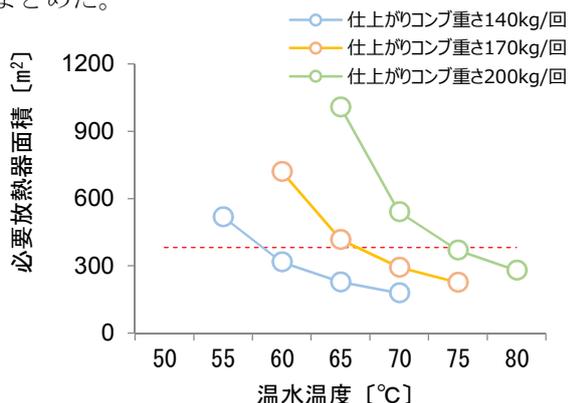


図 4-5-5 温水温度変更時の必要放熱器面積 (8h)

表 4-5-1 コブ乾燥に適した温水温度と放熱器面積 (8h)

仕上げコブ重さ [kg/回]	温水温度	放熱器面積
140	60°C	317m ²
170	70°C	293m ²
200	75°C	369m ²

さらに行き還りの温度差を仮定し、供給熱量と水の比熱から循環流量を推定した。循環流量の推定に際し、水の比熱は 4.186kJ/(kg・K)とした。

ここでは、行き還りの温度差を 5K, 10K 及び 20K, 乾燥時間を 8 時間、各仕上げコブ重さに対する平均温水温度を表 4-5-1 とした結果を表 4-5-2 に示した。

表 4-5-2 行き還り温度差に応じた循環流量 (8h)

仕上げコブ重さ [kg/回]	行き還り温度差	循環流量
140	5K	500L/min
	10K	250L/min
	20K	125L/min
170	5K	605L/min
	10K	303L/min
	20K	152L/min
200	5K	711L/min
	10K	356L/min
	20K	178L/min

② ランニングコスト

仕上げコブ重さ 140kg/回、乾燥時間 8 時間におけるペレットボイラを使用した場合のランニングコストは約 26 千円となった。詳細を表 4-5-4 に示す。

乾燥効率及び電気消費量が等しい場合、灯油ボイラでは約 24 千円であり、ほぼ同等のランニングコストとなった。

(2) ヒートポンプ除湿乾燥を用いた場合に必要再生可能エネルギー利用のための設備

ヒートポンプ除湿乾燥によるコブ乾燥を再生可能エネルギーにより発電した電力を用いて実施した場合について、釧路町昆布森地区を対象に試算した。ヒートポンプ除湿乾燥は従来の乾燥方式よりも 50%程度の一次エネルギー削減が見込まれるとともに系統電力を介さない(送電ロスを 0.63^[2]と仮定)ことから、昆布森地区のコブ乾燥に係る電力消費量は 858GJ (4.638TJ×0.50×0.37)となる。再生可能エネルギーは太陽光と風力を想定し、発電可能量は新エネルギー賦存量等推計支援ツール^[3]を用いて推計した。また、発電コストについては、「長期エネルギー需給見通し小委員会に対する発電コスト等の検証に関する報告」^[4]より必要な単価を表 4-5-3 として計算した。

表 4-5-3 コスト計算に必要な単価

	設置コスト 単価 ^{※1} [円/kWh]	維持コスト 単価 ^{※2} [円/kWh]
太陽光 (非住宅) ^{※3}	17.9	3.0
風力 (陸上) ^{※4}	12.1	3.4

※1 設置コスト単価=建設費+固定資産税+廃棄費用
 ※2 維持コスト単価=人件費+修繕費+業務分担費等
 ※3 文献^[4]p17 図「太陽光 (非住宅) 発電コスト」
 ※4 文献^[4]p18 図「風力 (陸上) 発電コスト」

① 太陽光発電

太陽光発電量は Panasonic 社製の VBHN247WJ01 (公称出力 247W, パネル面積 1.28m², 変換効率 19.3%) を 3,436m² 導入することで、昆布森地区で 1 シーズンにコブ乾燥に必要な電気消費量 238MWh (858GJ) を得ることができる。

また、設置コストは年間 17.1 百万円、及び発電コストは年間約 0.71 百万円となった。計算式を以下に示す。

○設置コスト (年間)

$$17.9[\text{円/kWh}] \times (238[\text{MWh}] \times 4^{※5}) \times 1,000[\text{kWh/MWh}] \approx 17.1 \text{ 百万円}$$

※5 今回のような発電期間を 3 ヶ月とする前提では設置コストが過小評価となるため、通年稼働で得られる発電量を 4 倍することで設置コストとした。風力発電の設置コストも同様。

表 4-5-4 ランニングコスト
(仕上がりコンブ重さ 140kg/回, 乾燥時間 8 時間)

項目		備考
①ペレット価格	22,638 円/回	ペレット必要量 462kg/回。単価 49 円/kg ^[5]
②電気基本料金	1,506 円/回	3ヶ月で 50 回/年使用を想定。 電気基本料金 1,264 円/kW/月 ^[6]
③電気使用料金	1,102 円/回	■消費電力 5.4W (天井扇: 0.23kW×10 台, 排気ファン: 0.5kW×2 台, ボイラ: 1.7kW, 温水循環器: 0.4kW) ■電気料金 17.35 円/kWh ^[6]
ランニングコスト	25,246 円/回	
【比較】灯油ボイラによる ランニングコスト	23,127 円/回	同等の乾燥効率及び電気利用とする。 ペレット及び灯油の低位発熱量 15.5MJ/kg, 灯油 34.9MJ/L, 灯油単価 100 円/L ^[7] として計算。

○発電コスト (年間)

$$3.0[\text{円/kWh}] \times 238[\text{MWh}] \times 1,000[\text{kWh/MWh}] \\ \approx 0.71 \text{ 百万円}$$

② 風力発電

風力発電量は 1000kW 級発電機 2 基導入した場合に 408MWh (1,469GJ) であり、コンブ乾燥庫 177 件 (858GJ) の電力消費量に相当する。同様に、1500kW 級発電機を 1 基導入で 348MWh (1,253GJ), 600kW 級発電機を 3 基導入で 291MWh (1,048GJ) となり、昆布森地区で 1 シーズンにコンブ乾燥に必要な電気消費量に相当する。

設置コストは年間 14.1~19.7 百万円、発電コストは年間 0.99~1.4 百万程度であった。

以下に 1000kW 級を 2 基導入した場合の計算式を示すが、1,500kW を 1 基、及び 600kW を 3 基導入した場合も同様に計算した。

○設置コスト

$$12.1[\text{円/kWh}] \times (408[\text{MWh}] \times 4^{*5}) \times 1,000[\text{kWh/MWh}] \\ \approx 19.7 \text{ 百万円}$$

○発電コスト

$$3.4[\text{円/kWh}] \times 408[\text{MWh}] \times 1,000[\text{kWh/MWh}] \\ \approx 1.4 \text{ 百万円}$$

以上、①、②をまとめた結果を表 4-5-5 に示す。

5) 廃漁網の燃料化の可能性

廃漁網を燃料利用する際には、それ自体ではカロリーが高すぎて燃焼炉を損傷させるなどの不具合が生じる懸念があるためハンドリングが難しい。そのため、ハンドリング改善のための副資材として木質

等のバイオマスを使用することが必要である。

本研究では副資材としてトドマツ粉砕物を利用した。トドマツ粉砕物との重量比を廃漁網:トドマツ粉砕物=5:95 の割合にした後、水分を 10% に調整した上で混合、ペレット化し、燃焼試験を実施した。ボイラは、武田鉄工所 (帯広市西 3 条南 37 丁目 1 番 11 号) 製の小型ボイラ (形式 TKD-SBU02, 熱出力 1~6 万 kcal/h) を使用した。

測定項目は窒素酸化物及び塩化水素とし、それぞれ JIS K 0104.6 及び JIS K 0107.7.1 に基づき測定した。

排ガスの安全性の確認については、実験に使用したボイラが大気汚染防止法の適用外であったことから、最も施設の種類の近いボイラの排出基準値と比較した。すなわち、窒素酸化物については「固体燃焼小型ボイラ (1987 年 4 月 1 日以降に設置)」、塩化水素については、「廃棄物焼却炉」の排出基準値と比較した。結果を表 4-5-6 に示す。窒素酸化物及び塩化水素はいずれも排出基準値内であり燃料としての可能性が確認された。

6) まとめ

以上、水産ワーキングでの成果報告をまとめる。

- ・地域により天日乾燥依存率は乾燥施設の仕様や機械乾燥時の温湿度制御方法、気象条件等で大きく異なる。
- ・旧南茅部町と釧路町におけるコンブ乾燥に係るエネルギー消費量に対する木質エネルギー供給量のバランスを比較した。旧南茅部町地域においては消費量が非常に大きく、木質燃料が不足する可能性を示した。

表 4-5-5 再生可能エネルギー（太陽光，風力）の年間発電コスト（設置コスト＋発電コスト）

機器概要	発電量 ① (3ヶ月) [MWh]	設置コスト 単価② [円/kWh]	設置コスト③ [百万円] (①×4※×② /1000)	維持 コスト単価④ [円/kWh]	維持コスト⑤ [百万円] (①×④/1000)	年間発電コスト ⑥ [百万円] (③+⑤)	
太陽光	Pana 社	238	17.9	17.1	3.0	0.71	17.8
	1000kW 級 2 基	408		19.7 ¹⁾		1.4	21.1
風力	1500kW 級 1 基	348	12.1	16.8	3.4	1.2	18.0
	600kW 級 3 基	291		14.1		0.99	15.1

表 4-5-6 廃漁網入りペレット燃焼試験結果

計量の対象	単位	トドマツペレット	廃漁網入りペレット	排出基準値
NOx 酸素 6%換算値	ppm	100	260	350 ^{※6}
HCl 酸素 12%換算値	mg/m ³	3.6	6.2	700 ^{※7}

※6 実験に使用したボイラは大気汚染防止法の適用外であるが、最も近い固体燃焼小型ボイラの基準値と比較

※7 ※6と同様。廃棄物焼却炉の基準と比較

- ・木質ペレットを燃料に、ボイラで温水を作り、放熱器からの熱によるコンブ乾燥を促進するシステムを検討し、ランニングコストを計算した。その結果、提案する乾燥システムは、乾燥効率および電力消費量が等しい場合、灯油ボイラと概ね同程度のランニングコストとなり、導入可能性が示された。
- ・ヒートポンプによるコンブ除湿乾燥に、太陽光発電または風力発電による電力を用いる場合について、昆布森地区での実施を想定して、必要となる導入機器や台数及びコストをまとめた。
- ・トドマツ、及び廃漁網とトドマツをそれぞれ 5:95 で混合したペレットを成型し、小型ボイラを用いた燃焼試験を実施した。その結果、窒素酸化物及び塩化水素の濃度は排出基準値内であり、燃料としての可能性が確認された。

7) 引用文献等

- [1] 北方建築総合研究所：道産コンブの生産安定化に関する研究(建築研究本部北方建築総合研究所実施分)，調査研究報告 No. 375, p1 (2017)
- [2] 資源エネルギー庁：エネルギーの使用の合理化等に関する法律「省エネ法」の概要
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/summary/pdf/2017_gaiyo.pdf, p7 (2017)
- [3] 北海道経済部：新エネルギー賦存量等推計支援

ツール

http://www.pref.hokkaido.lg.jp/kz/kke/sene/fuzonryou_soft.htm, (2012)

- [4] 資源エネルギー庁総合資源エネルギー調査会基本政策分科会 長期エネルギー需給見通し小委員会 発電コスト検証ワーキンググループ資料「長期エネルギー需給見通し小委員会に対する発電コスト等の検証に関する報告」平成 27 年 5 月
http://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/pdf/cost_wg_01.pdf, (2015)
- [5] NERC (株)：木質ペレット燃料の地産地消型広域連携大量流通ネットワークの構築報告書 p7 (2010)
- [6] 北海道電力 web
<http://www.hepco.co.jp/home/price/ratemenu/lowvoltage.html> (2018)
- [7] 北海道経済産業局 web 北海道の灯油価格
<http://www.hkd.meti.go.jp/hokno/touyu/index.htm> (2018)

研究担当機関：水産ワーキング（中央水産試験場，釧路水産試験場，林産試験場，工業試験場，環境科学研究センター，北方建築総合研究所）
 執筆者：丹羽忍（環境科学研究センター）

4. 6 有機系廃棄物

1) はじめに

(1) 国内の状況

ここで対象とする有機系廃棄物は、2.1.3を受け、自治体に処理責任のある有機系廃棄物とする。具体的には家庭や事業所から排出される一般廃棄物のうち、生ごみや可燃ごみ、し尿・浄化槽汚泥のほか、分類上は産業廃棄物となっている下水汚泥である。これらの有機系廃棄物は、含水率の低い可燃ごみは主に焼却処理、汚泥系など、含水率が高いものは肥料化をはじめ、メタン発酵で減容化後に肥料化などの処理が行われている。これら有機系廃棄物の処理におけるエネルギー回収は、化石燃料の枯渇や温暖化対策の観点、さらに東日本大震災以降は、災害時対策としての地域分散型エネルギーの観点も加わって重要性が増しており、様々な施策のもとに進展しているが、焼却処理時の熱利用の割合は施設数ベースで67.3%^[1]、下水汚泥中の有機物のうち、バイオガスや固形燃料等としてエネルギー利用されているのは図4-6-1に示すように約16%に過ぎないなど^[2]、まだ利用のポテンシャルは大きい状況にあると言える。加えて2.1.3.1)で前記したように、これらの処理においては一般的にスケールメリットがないと経済性が悪いが、既にエネルギー回収を行っている廃棄物処理施設であっても、近年のごみ減量化や人口減少などの流れも相まって処理能力に余力を生じ、その効率が低下しており、広域処理など周辺自治体間で有機系廃棄物処理の融通を検討する余地は、今後のさらなる人口減少も加味すれば拡大していくものと考えられる。

■ 下水汚泥のエネルギー利用状況(平成27年度)

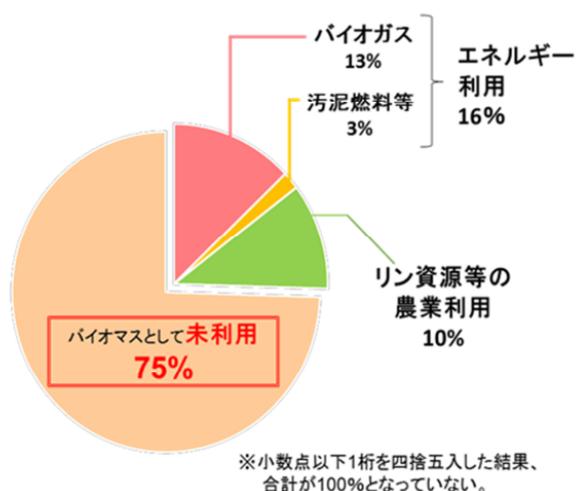


図4-6-1 下水汚泥エネルギー化率
(出典：国土交通省資料)

(2) 富良野圏域5市町村の有機系廃棄物処理状況

本圏域では、道が策定した「ごみ処理の広域化計画」に基づき、圏域5市町村(富良野市・上富良野町・中富良野町・南富良野町・占冠村)による富良野生活圏一般廃棄物広域分担処理検討協議会を設置。1999年3月、「富良野生活圏一般廃棄物(ごみ)広域分担処理基本計画」を策定するとともにごみの排出抑制と資源化等の推進、ダイオキシン類の削減、広域処理体系の整備、広域処理施設の整備を基本方針に廃棄物の広域処理へ向けて適切な役割分担と関係市町村の連携・協力のもと、廃棄物循環型社会の構築を目指し、様々な取組みが進められてきた^[3]。

焼却ごみの処理は、富良野市、中富良野町、南富良野町、占冠村とが焼却炉の一部を改修しながら実施したが、2002年12月以降は廃止。上富良野町にあっては、1999年4月より新設炉(上富良野町クリーンセンター)で焼却を開始する。富良野市、中富良野町、南富良野町、占冠村は2002年11月末、焼却炉の廃止に伴い、富良野市はごみの14種分別により固形燃料(RDF)化し、中富良野町と占冠村は埋立処分をしている。南富良野町は上富良野町クリーンセンターに搬入している。

2003年4月からは富良野広域連合環境衛生センター(汚泥再生処理センター)が供用開始。し尿・浄化槽汚泥及び生ごみの共同処理(高速堆肥化)を行っている^[4]。下水汚泥は各市町村とも、肥料の原料として利用されている^[5]。

(3) 足寄町の有機系廃棄物処理状況

足寄町における一般廃棄物の処理は、本別町、足寄町及び陸別町で構成する「池北三町行政事務組合」にて広域処理を行っており、生ごみについては高速堆肥化、その他の可燃ごみや不燃ごみについては、最終処分場で埋立処理を行っている。しかし最終処分場の埋立終了が2018年度を予定しており、それを機に組合を解散する方針で、各町でその後の生ごみや可燃ごみ等の処理方針が検討されてきた。2018年度時点で、足寄町では生ごみと可燃ごみの焼却、不燃ごみの埋立をいずれも帯広市へ委託する方針となっている。下水汚泥は肥料の原料として利用されている^[5]。

2) 本研究での取り組み

(1) 大きな方向性

モデル地域である富良野圏域5市町村、および足寄町における有機系廃棄物の処理状況について、2.1.3の成果を基に俯瞰し、エネルギー利用に着目した将来の処理システムを提案、評価し、今後の廃棄物処理計

画に資する。

(2) 富良野市における中富良野町、占冠村の可燃ごみ合同 RDF 化の検討

富良野圏域 5 市町村における可燃ごみの処理状況は図 4-6-2 のようになっている。富良野市では衛生ごみを除く可燃ごみ(2.1.3 で燃料化ごみと定義)を RDF 化により燃料として活用しているが、中富良野町と占冠村については中間処理が行われず、それぞれ不燃ごみとともに直接埋立を行っている。後者の 2 町村では最終処分場の残余年数も逼迫しており、対応が喫緊の課題となっていた。そこで、エネルギー利用を重視し、富良野市の RDF 化施設の余力を活用して合同 RDF 化が可能であるか試算を行った(上富良野町と南富良野町は上富良野町内で焼却処理(熱利用無し)を行っている)。

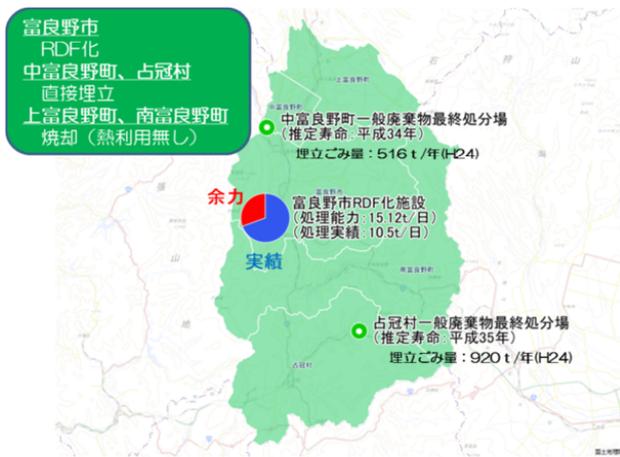


図 4-6-2 富良野圏域 5 市町村の可燃ごみの処理状況

① 中富良野町と占冠村の可燃ごみ量の推計

両町村においては埋立ごみ量のデータはあるものの、含まれる可燃ごみの比率についてデータがなかったため、規模的にも近い近隣自治体である上富良野町と南富良野町の同比率の平均値を用いて可燃ごみ量を以下のように推計した。中富良野町の埋立ごみは {可燃ごみ+不燃ごみ}、占冠村の埋立ごみは {可燃ごみ+不燃ごみ+粗大ごみ} の組成であり、上富良野町と南富良野町の各組成を合計した混合ごみ中の可燃ごみ比率平均値は、2014 年推計値^[6]を用いると {可燃ごみ+不燃ごみ} に対し 88%、{可燃ごみ+不燃ごみ+粗大ごみ} に対し 85% であった。中富良野町と占冠村の埋立ごみ量はそれぞれ 516t/年、920 t/年^[7]であるから、両町村の可燃ごみ量は以下のように推計した。

中富良野町：516t/年×0.88=454t/年

占冠村：920t/年×0.85=782t/年

したがって、両町村の可燃ごみ合計量は 1,236t/年と推計した。この推計値には衛生ごみも含まれるので、衛生ごみも分別する場合はこれより少ない値となる。

② 富良野市 RDF 化施設の処理余力

富良野市 RDF 化施設の処理フロー概略図を図 4-6-3 に示す。処理能力(公称値)は 15.12t/日(15.12t/6hr)であり、これは成形機の処理能力に相当する。富良野市へのヒアリングから、現在の手選別作業は 6hr/日(月曜から金曜)で、この選別作業で選別された固形燃料原料は、成形機により平均 3.95 時間/日(月曜から金曜)で RDF 化されている。したがって、成形機の稼働時間を約 1.5 倍に引き上げられる余力があり、選別作業時間も 1.5 倍とすれば、計算上は可燃ごみ処理量も 1.5 倍にすることが出来る。すなわち、富良野市の可燃ごみ処理量(RDF 化)は現状で 2,628t/年(2014 年)であるから、処理余力は以下のように試算できる。

$$2,628\text{t/年} \times 0.5 = 1,314 \text{ t/年}$$

この値は①で推計した中富良野町と占冠村の可燃ごみ合計量を上回ることから、計算上は両町村の可燃ごみを富良野市で合同 RDF 化できると考えられた。

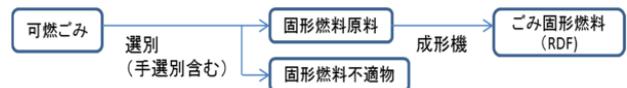


図 4-6-3 富良野市 RDF 化施設の処理フロー概略図

③ 合同 RDF 化した場合の効果

A 増産される RDF の価値

合同 RDF 化した場合に増産される RDF 量、A 重油換算量、A 重油を代替した場合の温室効果ガス(GHG)削減効果を、富良野市の実績値や各種原単位を利用し、以下の順に試算した。

RDF 増産量は、現在の富良野市における RDF 生産係数(RDF 生産量/可燃ごみ処理量)が 0.9528(2014 年度)であることから

$$\begin{aligned} \text{RDF 増産量} &= 1,236 \text{ (t/年)} \times 0.9528 = 1,178 \text{ (t/年)} \\ \text{低位発熱量を現状と同等とみなし, } & 15,838 \text{ (kJ/kg)} \\ & \text{(2011~2013 年度の各年 2 回測定の平均値)とすると,} \\ \text{A 重油換算量は A 重油の低位発熱量 } & 37.1 \text{ (GJ/k1) より} \\ \text{A 重油換算量} &= 15,838 \text{ (kJ/kg)} \times 1,000 \text{ (kg/t)} \times \\ & 1,178 \text{ (t/年)} / 37.1 \text{ (GJ/k1)} = 503 \text{ (k1/年)} \end{aligned}$$

A 重油代替による炭酸ガス削減効果は、A 重油の炭酸ガス排出係数 2.71(t-CO₂/k1) [8], RDF の炭酸ガス排出係数 0.775(t-CO₂/t) [8], 重油ボイラと RDF ボイラの熱効率の差は無いものと仮定して単純計算すると

$$\begin{aligned} \text{炭酸ガス削減効果} &= 503 \text{ (K1/年)} \times 2.71 \text{ (t-CO}_2\text{/K1)} - \\ & 1,178 \text{ (t/年)} \times 0.775 \text{ (t-CO}_2\text{/t)} = 1,363 - 913 \text{ (t-CO}_2\text{/} \end{aligned}$$

年)=450(t-CO₂/年)

さらに、可燃ごみの埋立回避によるメタンガス発生回避量は表 4-6-1、表 4-6-2 の原単位を利用すると（準好気性埋立の場合）、

紙くず由来分=1,236×22.6/(22.6+0.906+4.27) × (1-0.2) × 0.136×0.5=54.7(t-CH₄/年)

天然繊維くず由来分=1,236× 0.906/(22.6+0.906+4.27) × (1-0.2) × 0.150× 0.5=2.42(t-CH₄/年)

木くず由来分=1,236×4.27/(22.6+0.906+4.27) × (1-0.45) × 0.151×0.5=7.89(t-CH₄/年)

表 4-6-1 一般廃棄物直接埋立の組成例^[8]

	組成比	水分含有率 (%)
紙くず	22.6	20
天然繊維くず	0.906	20
木くず	4.27	45

表 4-6-2 埋立処分に伴うメタン排出係数（嫌気性埋立の場合。準好気性埋立は 0.5 を乗じる。）^[8]

	排出係数 (t-CH ₄ /t)
紙くず	0.136
天然繊維くず	0.150
木くず	0.151

これらをメタンの地球温暖化係数 21^[8]から炭酸ガス発生回避量に換算すると

炭酸ガス発生回避量換算値=(54.7+2.42+7.89) × 21=1,365(t-CO₂/年)

以上より、合同 RDF 化による GHG 削減効果は GHG 削減効果=450+1,365=1,815(t-CO₂/年) と試算される。

イ 中富良野町と占冠村の最終処分場延命化効果

最終処分場延命化効果（2017 年度から合同 RDF 化を想定した場合の 2017 年 3 月末時点の試算値）を、次のように概算した。

ア) 中富良野町の最終処分場延命化効果

中富良野町の 2014 年度末における埋立残容量 (m³) は 7,566 m³、直近 3 年度（2012～2014 年度）の平均年間埋立容量は 1,642 m³（いずれも町へのヒアリング）より

残余年数（2016 年度末時点）：2.6 年

一方、2017 年度から合同 RDF 化すると、埋立ごみの 88%が毎年削減されるとすると、

残余年数（2016 年度末時点）：21.7 年（人口減少、

可燃ごみと不燃ごみの比重は無考慮）

すなわち最終処分場延命化効果は 21.7-2.6=19.1 年
これを貨幣価値に換算すると、現行の最終処分場（計画埋立年数 15 年）の事業費（施設設計、処分場本体建設、水処理施設建設）854,175 千円を基準にすれば、

854,175 千円 × (19.1 年/15 年)=1,087,650 千円≒11 億円

と試算される。

イ) 占冠村の最終処分場延命化効果

占冠村の 2014 年度末における埋立残容量 (m³) は 17845 m³、直近 3 年度（2012～2014 年度）の平均年間埋立容量は 2,161 m³（いずれも村へのヒアリング）より

残余年数（2016 年度末時点）：6.3 年

一方、2017 年度から合同 RDF 化すると、埋立ごみの 85%が毎年削減されるとすると、

残余年数（2016 年度末時点）：41.7 年（人口減少、可燃ごみと不燃+粗大ごみの比重は無考慮）

すなわち最終処分場延命化効果は 41.7-6.3=35.4 年
これを貨幣価値に換算すると、現行の最終処分場（計画埋立年数 25 年）の事業費（施設設計、処分場本体建設、水処理施設建設）395,311 千円を基準にすれば、

395,311 千円 × (35.4 年/25 年)=559,760 千円≒5.6 億円

と試算される。

以上のように、埋立ごみに占める割合は 8 割を超えるとみられる可燃ごみを RDF 化して利用することにより、エネルギー面、コスト面、GHG 削減面で大きな効果が期待できることが試算された。この点に関して、占冠村を対象とするより詳細な検討を後述の(3)で行っている。

④ 富良野市における中富良野町、占冠村の可燃ごみ合同 RDF 化に向けた課題

以上の結果について、その実現に向けて課題となる事項を富良野市の廃棄物担当部署に伺った。示された主な課題としては、可燃ごみのストックヤードの拡充、RDF 需要先確保の 2 点であった。後者に関して、現状では札幌方面の製紙会社や熱供給会社の燃料として出荷しているが、製紙会社は高い塩分濃度が理由で需要は縮小傾向にあるとのことであった（製紙会社が求める塩分基準 0.3%以下に対し、実態は平均で 1%余り）。そのため、富良野市は地産地消化を徐々に進める試行を展開しているが、進展は急速には進まないと考えられることから、熱供給会社に対して今後の需要見通しについて 2016 年 4 月にヒアリングを行った。その結果、「熱供給会社としては RDF の受け入れにまだ余裕

があるものの、品質に関して問題となる塩分の原因としては、ラップ類（塩ビ製のものあり）、製品プラの中の塩ビ製品、付着残留している食品類と考えられ、これらの分別を図ることが望ましい。特に製紙会社は発電用のボイラで高温条件のため、塩分はより深刻な腐食に繋がるために高塩分の RDF は積極的な利用が出来ないと考えられる。」との情報を得た。これを受け直ちに富良野市の廃棄物担当部署に対し、以下の情報提供、提言を実施した。

- ・熱供給会社には RDF の受け入れ増量余地があるとのこと。

- ・特に製紙会社が問題とする塩分は、長い目で見れば熱供給会社や富良野市で地消する場合も軽視できない問題と考えられ、ラップ類（塩ビ製のものあり）、製品プラ中の塩ビ製品、付着食品残渣をなるべく排除する対策を図ることで、ボイラ寿命を延ばすことができ、ひいては製紙会社も活用に再度前向きになる可能性があること。

その後、工業試験場、環境研、富良野市で共同し、RDF 原料ごみ中の塩分低減化に向けた組成調査、対策を実施しており、これについては 4.2 に記載されている。

⑤ 富良野圏域 5 市町村における成果情報の共有

富良野圏域における有機系廃棄物のエネルギー利用推進の一助となるよう、2016 年 6 月 21 日、富良野市の RDF 化施設にて 5 市町村の廃棄物担当者に、以上の成果報告を行って情報共有し、今後の廃棄物処理計画に活用していただくこととした。なお、占冠村における最終処分場残余年数の逼迫問題と、それに係る可燃ごみの今後の処理方針については、本戦略研究のみならず、その後発足した占冠村ごみ減量化対策推進委員会の委員としても検討を進めることとなり、これについては次の(3)に記載する。

(3) 占冠村の可燃ごみに関する検討

最終処分場の残余年数が逼迫する占冠村の埋立ごみ減量と可燃ごみのエネルギー利用推進に向け、埋立ごみの組成を明らかにし、短期的な埋立ごみ減量方策を検討するとともに、中長期的な埋立以外のシナリオを最終処分量・エネルギー・温室効果ガス（GHG）・コストを評価軸として検討した^[9]。

① 埋立ごみ組成調査

本対象地域は、大規模リゾートが存在するため、埋立ごみを「家庭+事業系」と「リゾート系」の 2 つに分け、組成調査を 2017 年 10 月 30、31 日、11 月 2、3 日

に行った（1 週間分相当）。結果を図 4-6-4 に示す。これより、「家庭+事業系」には分別違反の資源ごみ（生ごみ、容プラ、ビン、缶、ペットボトル、紙類（新聞紙、段ボール、紙パックなど）が 38%混入していることが分かった。また、リゾート系には分別違反の廃プラ（産廃）と資源ごみ（生ごみ、容プラ、ビン、缶、ペットボトル、紙類（新聞紙、段ボール、紙パックなど）が、それぞれ 28%と 34%も混入していることが分かった。

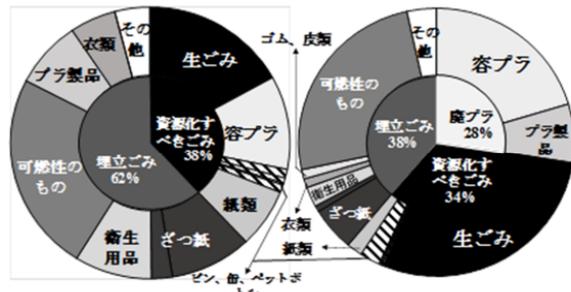


図 4-6-4 埋立ごみ組成調査結果
(左図 家庭+事業系、右図 リゾート系)

② 中長期的な埋立以外のシナリオの検討

図 4-6-5 に想定した廃棄物管理シナリオを示す。高齢化は進むが、ごみ組成の割合は一定とした。現行の最終処分場は 2019 年度まで使用可能であるとし、2020 年度から 2034 年度の 15 年間、2035 年度から 15 年間の 2 回、最終処分場を整備することとし、広域化開始は現行の上富良野町の焼却施設更新予定の 2031 年度とした。評価は 2018 年度から 20 年間とした。

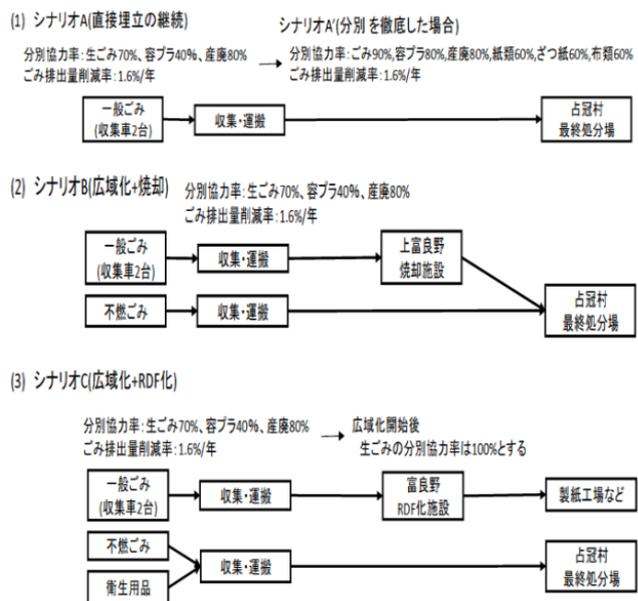


図 4-6-5 廃棄物管理シナリオ

その結果、最終処分量（一般ごみ、不燃ごみ、衛生

用品由来)については、直接埋立を継続して分別を特に徹底したシナリオA'は、Aと比較すると約28%削減できることが分かった。また、広域化を開始した場合、Aに比べてBでは約88%, Cでは約93%も大幅に削減できることが分かった。

エネルギーは各シナリオでの収集・運搬、中間処理時の消費量と回収量を現行からの増減として求め、その総和を正味エネルギー量として示す。広域化初年度での各シナリオの試算結果を図4-6-6に示す。正味エネルギー量を比較すると、シナリオBでは焼却処理施設でのエネルギー回収は行われていないと仮定したため回収量はなく、焼却処理施設で使用する燃料、電力の影響により+2,260 [GJ/年]で消費量が最大となることがわかった。シナリオCでは、RDF化施設で燃料、電力は使用しているもののシナリオBほど影響はなく、生産された固形燃料のエネルギー回収により、-6,824[GJ/年]で回収量が最大となることがわかった。シナリオAでは、浸出水処理施設でのエネルギー量は現行との増減が小さいとしたため、エネルギー消費は0[GJ/年]となった。

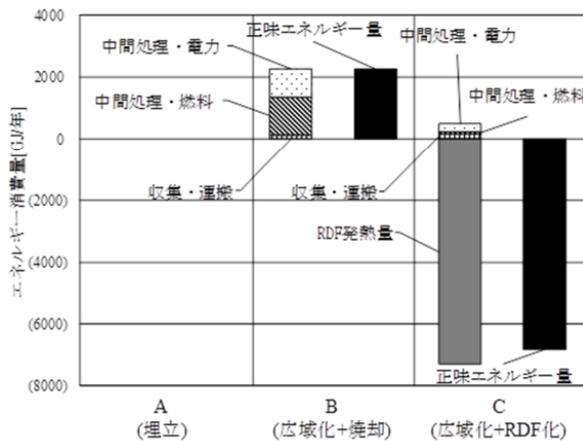


図 4-6-6 広域化初年度での各シナリオのエネルギー比較

GHGについては、現行を基準とすると広域化初年度である2031年度でAは-20.6t-CO₂/年、Bは焼却施設からのGHG排出により+475.1t-CO₂/年で増加量最大、CはRDF化施設で生産された固形燃料を天然ガス代替として使用することで-170.4t-CO₂/年で削減量が最大となった。

コストについては、図4-6-7に示すように、20年間累計で、2回目の最終処分場建設コストの影響により、A、A'の方がB、Cより高コストであった。また、AとA'で差異がないのは、A'で分別品目が増加することにより収集運搬委託費用が増したからである。

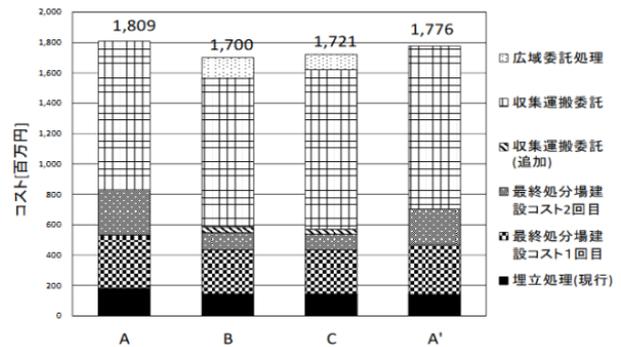


図 4-6-7 各シナリオの20年間累計コスト

以上のことから、最終処分場の延命化は資源ごみの分別徹底が必要であることが分かった。その他、粗大ごみの破碎などの対策も有効と考えられた。また、中長期的に広域で中間処理をする方が、埋立継続するよりもコストが安く、需要があればRDF化がGHGとエネルギーの視点で優位となることが分かった。

(4) 富良野圏域5市町村の湿潤系有機系廃棄物に関する検討

富良野圏域5市町村の湿潤系有機系廃棄物(生ごみ、し尿・浄化槽汚泥)は、現状、富良野市の汚泥再生処理センターに集約され高速堆肥化されている。将来の施設更新期に向けた廃棄物処理計画に資するため、生ごみは従来型の焼却処理に回すシナリオ、現行の高速堆肥化の継続、メタン発酵でエネルギー回収後に堆肥化の3通りのシナリオについてコスト、エネルギー収支、埋立処分量の効果を試算して比較評価した^[10]。

① 各シナリオの詳細

図4-6-8に、設定したシナリオA:生ごみを従来型の焼却処理に回す、シナリオB:現行の高速堆肥化の継続、シナリオC:メタン発酵でエネルギー回収後に堆肥化の物質フロー図を示す。

シナリオAでは生ごみの分別はせずに可燃ごみとして収集し焼却施設に運ぶ。また、汚泥再生処理センターでの資源化は高速堆肥化を行うものとする。シナリオBでは生ごみの分別を行い、高速堆肥化を行う。シナリオCも生ごみの分別を行い、メタン発酵、発酵残渣は脱水・乾燥によって堆肥化するものである。

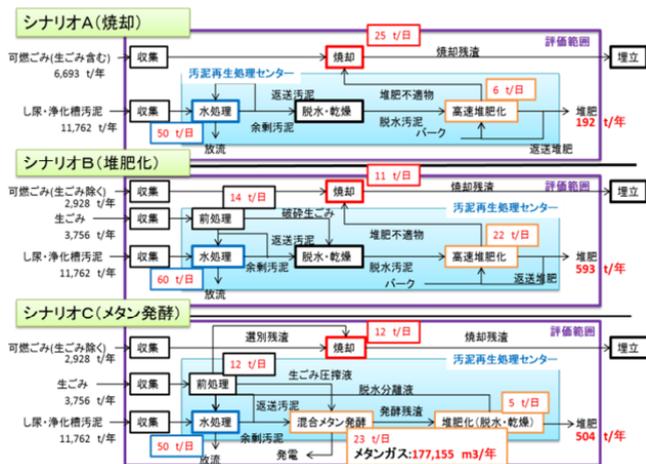


図 4-6-8 設定した各シナリオの物質フロー図

② シナリオ分析結果

ア エネルギー収支

エネルギー収支については、各施設での発電量と消費電力量を試算した結果を図 4-6-9 に示す。

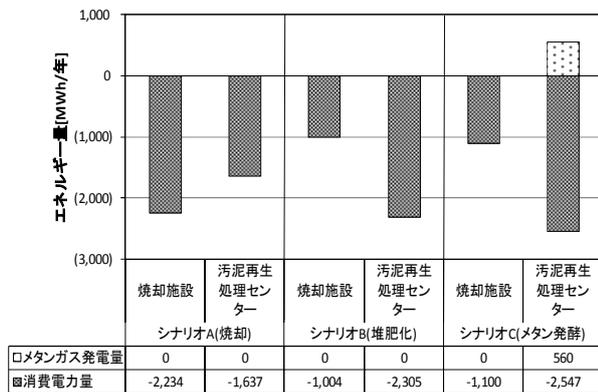


図 4-6-9 各シナリオのエネルギー収支比較

シナリオ A に比べて正味電力量は、シナリオ B で 15% 減少、シナリオ C で 20% 減少となった。このことから、集約処理では焼却施設へのごみ搬入量の減少による消費電力量の減少が大きいことが分かった。一方、シナリオ B に比べて、シナリオ C の正味電力量は 7% 減少した。汚泥再生処理センターでは、堆肥化よりもメタン発酵の方が消費電力量としては多くなるが、メタン発酵によって回収されたメタンガスによる発電量も考慮すると、堆肥化に比べメタン発酵の方が消費量が少なくなることが分かった。

イ GHG 排出量

図 4-6-10 に結果を示す。焼却施設では、電力や燃料、薬品による GHG 排出量が大きく、それは焼却量に依存していることから、ごみ搬入量が減少したことでシナリオ B、シナリオ C の GHG 排出量が大きく減少するこ

とがわかった。一方で、汚泥再生処理センターでは、処理量が増えることで電力や燃料、薬品による GHG 排出量が増えている。また、汚泥再生処理センターでの資源化方法によっては、 N_2O 、 CH_4 が発生することで、GHG 排出量が増加してしまう。本研究では、シナリオ A に比べて、シナリオ B で 1%、シナリオ C で 24% GHG 排出量が減少した。シナリオ C ではメタン発酵により CH_4 がバイオガスとして回収されバイオガス発電に利用されることにより、GHG 排出量が最も少ない結果となった。

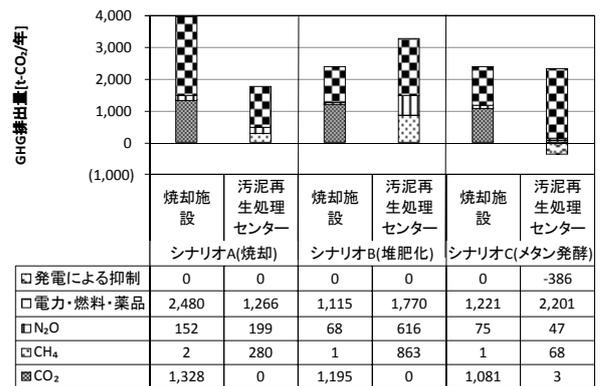


図 4-6-10 各シナリオの GHG 排出量比較

ウ コストと最終処分量

図 4-6-11、図 4-6-12 にそれぞれ結果を示す。コストは、支出が正、利益を負として示す。本研究で設定した評価範囲では、焼却施設のコストが占める割合が大きかった。シナリオ A に比べてシナリオ B は 16%、シナリオ C は 10% 安価となった。シナリオ B、C は焼却施設の施設規模が小さくなるため、コストも安くなる傾向にあることがわかった。また、シナリオ B とシナリオ C を比較すると、シナリオ C の方が 6% 高価となった。汚泥再生処理センターでの処理プロセスを比較した場合、メタン発酵の場合は薬品や燃料の使用量が多いため、シナリオ C の方がコストが高くなる傾向にあることが分かった。

最終処分量は、焼却処分量が減少したため、シナリオ A に比べ、シナリオ B は 39%、シナリオ C は 48% と大幅に減少することが分かった。また、シナリオ B に比べシナリオ C は 14% 最終処分量が減少した。メタン発酵と堆肥化で焼却処分に回される発酵不適物や堆肥不適物の質と量の差からメタン発酵のシナリオ C の方が最終処分量は少なくなることが分かった。

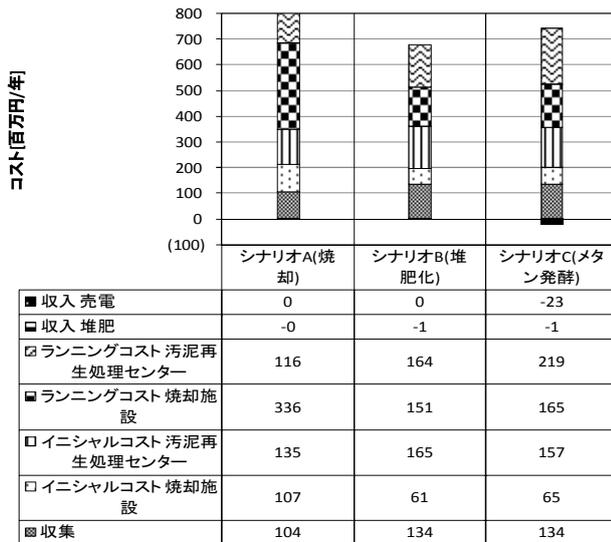


図 4-6-11 各シナリオのコスト比較

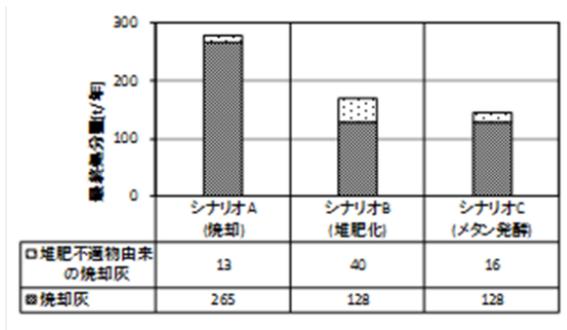


図 4-6-12 各シナリオの最終処分量比較

以上のことから、湿潤系有機系廃棄物の処理方法について、汚泥再生処理センターにおける集約処理に優位性があることが分かった。また、汚泥再生処理センターの資源化処理方法について、メタン発酵を組み込んだ堆肥化はコストがやや高くなるものの、エネルギーやGHG排出量の観点からは導入効果が高いことが分かった。

(5) 足寄町の有機系廃棄物に関する検討

本別町、足寄町及び陸別町で構成する「池北三町行政事務組合」は、最終処分場の埋立終了が2018年度を予定しており組合も解散となる。これにあたり、それまで高速堆肥化していた生ごみ、埋立処分していた混合ごみ(可燃ごみ+不燃ごみ)の処理をどう転換するかが喫緊の課題となっていた。3町それぞれが今後の対応を検討する中、小規模な町単独で新たな処理を始めることも難しく、近隣の自治体などに処理を委託するシナリオが可能性の高い選択肢であった。足寄町において具体には、新設が決まっている町内の家畜ふん

尿バイオガス化プラントへ生ごみを処理委託し、可燃ごみは帯広市の焼却施設(帯広市くりりんセンター)へ処理委託するか、生ごみと可燃ごみの双方を帯広市へ焼却処理委託するシナリオである。いずれにしても混合ごみの組成が不明であり、特に可燃ごみの量を把握しておくことが後の処理法の検討に必要であったことから、2016年10月に混合ごみの組成調査を行ってその後の廃棄物処理計画に必要な基礎データを得た。なお、2018年度現在、足寄町では2019年度から可燃ごみと生ごみの双方を帯広市へ焼却処理委託することが決まっている。

① 埋立ごみ組成調査

2016年10月17日、18日の2日間に渡り、足寄町内全域から収集される埋立ごみの組成調査を行い、燃やすごみ(帯広市くりりんセンターへの持ち込みを想定)、燃やさないごみ、未分別の資源ごみ・有害ごみの割合を求めた。

表4-6-13に組成調査結果を示す。帯広市では製品プラスチック、皮革・ゴム製品は燃やさないごみ扱いとなっているため、ここでの分類もそれに従ったものである。

表 4-6-3 埋立ごみ組成調査結果

	ごみ種	量(kg)	割合(%)
燃やすごみとして想定	紙類(資源ごみ除く)	597.0	19.56
	衛生ごみ(紙おむつ等)	864.9	28.34
	布	718.5	23.54
	猫砂・動物のふん	184.3	6.04
	(判別不能)燃やすごみ	93.7	3.07
	ごみ袋	15.1	0.50
	計	1218.8	39.94
燃やさないごみとして想定	皮革・靴・ゴム	69.1	2.26
	製品プラ(ビニール袋・カセットも)	60.6	1.98
	危険ごみ(ガラス・陶磁器・刃物)	2.1	0.07
	土砂がら等	18.5	0.61
	(判別不能)不燃ごみ	57.5	1.89
計	171.7	5.63	
未分別資源ごみ、有害ごみ	新聞・雑誌	3.0	0.10
	紙バック	1.5	0.05
	紙容器包装	6.4	0.21
	木屑	12.1	0.40
	厨芥	196.9	6.45
	ビン	3.3	0.11
	容器包装プラ	135.1	4.43
	金属(アルミ箔含む)	10.0	0.33
	有害ごみ(電池・ライター等)	2.1	0.07
	計	370.4	12.14
合計	3051.9	100	

② 生ごみを町内の家畜ふん尿バイオガスプラント、燃やすごみを帯広市へ焼却処理委託する場合

2018年度現在、足寄町では2019年度から可燃ごみと生ごみの双方を帯広市へ焼却処理委託することが決まっているが、(4)の結果のように、生ごみは焼却より

もバイオガス化によりエネルギー回収する方が、特に消化液を活用できる場合は有利と考えられており、将来的には町内の家畜ふん尿バイオガスプラントで混合処理することも想定される。これについては 4.4 で触れられている。

また、生ごみを除く可燃ごみを現在の直接埋立から、熱回収設備（発電、熱利用）のある帯広市の焼却処理施設（帯広市くりりんセンター）で処理することによる効果も大きいと考えられる。足寄町における 2016 年度の埋立ごみ量は 453 t/年^[11]であるが、これに①で求めた燃やすごみの割合 39.9%を乗じて燃やすごみ量を求めると、181 t/年である。帯広市クリリンセンターにおける 2016 年度の焼却量 67,097 t/年^[11]と熱回収量 9,786,000MJ^[11]の比を用いて、焼却処理委託により見込まれる熱回収量を単純に焼却量のみから比率計算すると、26,399 MJ である。

3) 本研究の成果と今後の展開

(1) 成果のまとめ

モデル地域はいずれも中小規模の自治体であり、そもそもスケールメリットが出しにくい地域であることから、有機系廃棄物処理に伴うエネルギー利用の実態は乏しい状況にある。しかし本研究により、広域処理など周辺自治体間で有機系廃棄物処理の融通を検討する価値はやはり非常に大きいことを示すことができた。最終処分場残余容量の逼迫や人口減少、自治体の財政問題は、今後ますます深刻化が予想される中、特に可燃ごみを中心に有機系廃棄物の処理とエネルギー利活用に関する自治体間の協同の重要性はさらに増していくものと考えられる。

(2) 成果の展開

今回は検討の対象に含めていなかったが、下水汚泥も混合バイオガス化の有望原料である。本戦略研究で整備された再生可能・未利用エネルギーの GIS データベース等を活用し、有機系廃棄物に留まらず、様々なバイオマス、様々な廃棄物処理施設、様々な再生可能・未利用エネルギーとの組み合わせの可能性等も考慮して、地域特性に応じたより効果的な利活用法を模索できるポテンシャルも高いと考えられる。本成果を足掛かりに、そのような検討が展開されていくことが望まれる。それにあたり、データベースは更新しなければいづれ古くなって使えなくなってしまうことから、データベースの更新が今後の一つの課題になると考えられる。

4) 引用文献等

- [1] 環境省.「平成 30 年版環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書」. P.174 (2018)
- [2] 国土交通省.「下水汚泥エネルギー化技術ガイドラインー平成 29 年度版ー」. p.3 (2018)
- [3] 富良野生活圏一般廃棄物広域分担処理検討協議会.「第二次富良野生活圏一般廃棄物（ごみ）広域分担処理基本計画」. p.1 (2013)
- [4] 富良野生活圏一般廃棄物広域分担処理検討協議会.「第二次富良野生活圏一般廃棄物（ごみ）広域分担処理基本計画」. p.20 (2013)
- [5] 北海道建設部まちづくり局都市環境課.「北海道の下水道」. 第 4 章 (2018)
- [6] 富良野生活圏一般廃棄物広域分担処理検討協議会.「第二次富良野生活圏一般廃棄物（ごみ）広域分担処理基本計画」. p.12 (2013)
- [7] 環境省.「平成 24 年度一般廃棄物処理実態調査結果」. (2014)
- [8] 環境省, 経済産業省.「温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル ver. 4.0」. (2015)
- [9] 山中元貴, 石井一英, 藤山淳史, 佐藤昌宏. “小規模自治体を対象とした埋立ごみ減量方策の検討～占冠村を対象として～”. 土木学会論文集 G(環境). Vol. 74 (2018)
- [10] 勝見慧, 藤山淳史, 石井一英, 古市徹. “エネルギー回収に着目した汚泥再生処理センターでの有機系廃棄物集約処理システムに関する検討”. 土木学会論文集 G(環境). Vol. 72. No. 6. pp. II_229-II_240 (2016)
- [11] 環境省.「平成 28 年度一般廃棄物処理実態調査結果」. (2018)

研究担当機関：環境科学研究センター

共同研究機関：北海道大学大学院工学研究院

執筆者：阿賀裕英（環境科学研究センター）

5. おわりに

経済産業省資源エネルギー庁のエネルギー基本計画（2018年）によれば、エネルギー政策の重要な概念は、安全性（Safety）を前提とした上で、エネルギーの安定供給（Energy Security）を第一に、経済効率性（Economic Efficiency）の向上による低コストのエネルギー供給を実現すると同時に、環境（Environment）への適合を図るため、最大限の取り組みを行うことである。これら 3E+S 原則の下で、我が国は、2030年にはエネルギーミックスを確実に実現させ、2050年にはパリ協定発効における脱炭素化への世界的な方向性を踏まえ、技術革新によるエネルギー転換・脱炭素化への挑戦を掲げ、あらゆるエネルギー選択肢の可能性を追求することになるであろう。

地球温暖化と希少資源の枯渇問題の中で、日本はエネルギー資源の多くを化石燃料に依存しているため、将来的なエネルギーの安定利用や気候変動対策には、再生可能エネルギーの利用拡大と徹底的な省エネルギーを実現することが不可欠である。北海道は、太陽光、風力、中小水力、バイオマス、地熱のような再生可能エネルギー資源が豊富に賦存し、新エネルギーの活用に向けて、全国随一の導入可能性を有しており、エネルギーの地産地消の取り組みや固定価格買取制度（FIT）を契機とした多様なエネルギーの利用構想が提起されている。

本戦略研究では、道総研、道内市町村の自治体と企業、北海道大学の分野横断的な連携協力・支援により、北海道に適した再生可能エネルギーを利活用して、エネルギーのベストミックスと分散型利用モデルを検討してきた。

その結果、「地域のエネルギー賦存量・利用可能量・需要量に関する推定手法」、「自治体・事業者等の構想を支援するための統合型 GIS（スタンドアロン型 GIS）」、「地域のエネルギー収支を改善し新たな産業創生が可能となる各種要素技術（可燃ごみの燃料・燃焼システムや施設群のエネルギーベストミックス等）」を開発するとともに、富良野圏域等を対象に地域・産業特性に適したエネルギーの分散型利用モデルを提案することができた。

特に、統合型 GIS データは、自治体の地域エネルギービジョンの策定と施策の実現、エネルギーミックスの構築・運用・評価等へ活用できる。

また、RDF の地域分散型利用モデル、施設群エネルギーへの最適導入法、木質エネルギーや畜産

バイオマスエネルギー利用モデルは、道内外企業の地域エネルギー産業へ参画を促し、地域の産業創生と雇用拡大への連動が期待される。

今後は、本戦略研究の成果を効果的に広報普及するために、次のような取り組みを予定している。

- 1) 統合型 GIS の精査、データベースの確立と情報提供
 - ・ウェブ GIS による提供情報の精査と実装
 - ・スタンドアロン型 GIS のカスタマイズ
- 2) 富良野圏域へ技術支援と環境教育の推進
 - ・地域エネルギー政策の推進と支援
 - ・スタンドアロン型 GIS の適用方法の支援
- 3) エネルギー分散型利用システム例の提示
 - ・モデル地域への協力支援
 - ・外部資金補助事業への協力支援
 - ・エネルギーミックスの最適化
- 4) エネルギーの連携協力体制の確立と政策提言
 - ・北海道大学、道内企業等と連携協力
 - ・北海道庁、市町村自治体と連携強化
- 5) 本戦略研究エネルギーの総括と展望の紹介
 - ・第4回道総研フォーラムの開催
 - ・道民向けパンフレットの広報普及
 - ・戦略研究報告書の配信と広報

さらに、未来の道内エネルギーの安定確保と供給には、再生可能エネルギーの導入拡大と利用・普及やエネルギーベストミックスの選定ばかりではなく、北本連携をはじめとした送電線の拡充、水素エネルギーの生成・輸送・貯蔵・利用、スマート社会に有効な異種産業の融合等を熟慮することが重要である。

次期の戦略研究では、道内エネルギーの自給率向上を目指して、再生可能エネルギーの利用拡大と省エネルギー化を推進し、具体的な地域特有の課題を対象にした技術開発・実証試験を行い、地域に賦存するエネルギー資源を最大限に活かしつつ、社会実装、環境と調和した持続可能な循環型地域社会の創造に貢献する予定である。

今後も、道総研は「北海道の希望をかたちに！」を基本理念に、2015年、国連で議決された世界の持続可能な開発目標（Sustainable Developing Goals: SDGs）に貢献する Society 5.0 を意識しつつ、地域分散型の再生可能エネルギーを活用した新しいビジネスモデルを提案し、道民生活の向上や道内産業の振興へ貢献していく所存である。

執筆者：赤澤 敏之（工業試験場）

Appendix データマップ

1) データマップ個票について

地域に賦存する再生可能エネルギー利用を検討するために、本研究で主に取り扱った再生可能エネルギーの全道または地域における「賦存量および利用可能量 (Datamap 001~017)」と、既存施設の「エネルギー需要量 (Datamap 018・019)」について、算出する方法および GIS で表現する方法を取りまとめた。

データの収集や計算方法、GIS への表現手法等の詳細についてのお問い合わせは、各個票右下に記した記号に該当する下記の担当者までお願いします。

●問い合わせ先

問い合わせ記号	問い合わせ先
農 1	道総研 農業研究本部 十勝農業試験場 研究部 生産システムグループ 研究主幹 鈴木 剛 TEL 0155-62-9836
林 1	道総研 森林研究本部 林産試験場 利用部 資源・システムグループ 主査 酒井 明香 TEL 0166-75-4233
林 2	道総研 森林研究本部 林業試験場 道南支場 研究主任 津田 高明 TEL 0138-47-1024
環 1	道総研 環境・地質研究本部 環境科学研究センター 環境保全部 循環資源グループ 研究主任 福田 陽一朗 TEL 011-747-3587
地 1	道総研 環境・地質研究本部 地質研究所 資源環境部 資源環境グループ 研究主任 森野 祐助 011-747-2476
地 2	道総研 環境・地質研究本部 地質研究所 資源環境部 資源環境グループ 研究主幹 鈴木 隆広 TEL 011-747-2473
建 1	道総研 建築研究本部 北方建築総合研究所 建築研究部 建築システムグループ 研究職員 阿部 佑平 TEL 0166-66-4211
その他全般	道総研 産業技術研究本部 工業試験場 環境エネルギー部 エネルギー技術グループ 主査 山越 幸康 TEL 011-747-2949

Appendix Datamap 001

名称	畜産系バイオマス		全道版	地域版
			○	-
目的	家畜ふん尿発生量および乳牛ふん尿由来のバイオガス余剰量の空間分布推計			
内容 [数値の単位]	畜種別の家畜ふん尿発生量[t/日], 乳用牛ふん尿由来のバイオガス余剰量[GJ/年]			
データ年	平成27(2015)年農林業センサス(農業経営体_家畜等を販売目的で使用している経営体数と飼養頭羽数)			
計算手法 (概要)	<p>ア) 畜種別のふん尿発生量(乳用牛, 肉用牛, 豚)の推計 $\text{ふん尿発生量} = \text{畜種別ふん尿発生量原単位}^1 \times \text{飼養頭羽数}$</p> <p>イ) 乳用牛ふん尿由来のバイオガス余剰量の推計(乳用牛の飼養頭数250頭規模以上を対象) $\text{バイオガス余剰量} = \text{乳用牛のふん尿発生量} \times \text{バイオガス発生量} \times \text{余剰ガス割合}^2$ $\times \text{メタン濃度} \times \text{メタン低位発熱量}$</p> <p>ウ) 空間分布推計 農業集落データ³および地域メッシュ統計・農林業就業者数⁴データを用いて, 農業集落境界データとメッシュデータの交差ポリゴンデータを作成して, 農業集落データに対する交差ポリゴンデータの按分比率を算出した。その按分比率に農林業センサスデータ³(農業経営体_家畜等を販売目的で使用している経営体数と飼養頭羽数)を乗じて交差ポリゴン単位の按分値を算出し, 按分値を3次メッシュ単位の再集計して作成した。</p>			
季節変動	なし			
対象地域	全道			
構築データ(メタデータ)				
形式	シェープファイル	ポリゴン	105MB	
区域単位	3次メッシュ	CC BY-NC 4.0		
引用元データ			全道版	地域版
1	家畜ふん尿処理利用の手引き2004【農業改良普及協会】 https://www.hro.or.jp/list/agricultural/research/sintoku/SiryouG/ecolo/manual2004/manual_04_information.htm	2004	-	-
2	余剰バイオガス精製・圧縮装置と地域利用システム【中央農業試験場】 http://www.hro.or.jp/list/agricultural/center/kenkyuseika/gaiyosho/h21gaiyo/f1/O11.pdf	2009	-	-
3	2015年農林業センサス【農林水産省】 http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/shuraku_data/2015/sa/sa_2015.html	2015	-	-
4	地域メッシュ統計・農林業就業者数【統計情報研究開発センター】 http://www.sinfonica.or.jp/index.html	2010	-	-
備考	引用元データの利用については, 引用元の利用上の注意を参考にするか, 直接お問い合わせください。			問い合わせ
				農1

Appendix Datamap 002

名称	畜産系バイオマス		全道版	地域版
			-	○
目的	家畜ふん尿発生量および乳牛ふん尿由来のバイオガス余剰量の空間分布推計			
内容 [数値の単位]	畜種別の家畜ふん尿発生量[t/日], 乳用牛ふん尿由来のバイオガス余剰量[GJ/年]			
データ年	家畜防疫法・自衛防疫データ（データ年は対象地域欄に記載）			
計算法 (概要)	<p>ア) 畜種別のふん尿発生量（乳用牛，肉用牛，豚）の推計 ふん尿発生量 = 畜種別ふん尿発生量原単位¹ × 飼養頭羽数</p> <p>イ) 乳用牛ふん尿由来のバイオガス余剰量の推計（乳用牛の飼養頭数250頭規模以上を対象） バイオガス余剰量 = 乳用牛のふん尿発生量 × バイオガス発生量 × 余剰ガス割合² × メタン濃度 × メタン低位発熱量</p> <p>ウ) 空間分布推計 家畜防疫法・自衛防疫データ³の属性の一部である畜種，飼養頭羽数，使用位置を用いて，畜種別のポイントデータを作成し，3次メッシュで集計した。</p>			
季節変動	なし			
対象地域	足寄町（2017）			
	富良野圏域（2014）			
構築データ（メタデータ）				
形式	シェープファイル	ポリゴン	61KB	
区域単位	3次メッシュ	CC BY-NC 4.0		
引用元データ			全道版	地域版
1	家畜ふん尿処理利用の手引き2004【農業改良普及協会】 https://www.hro.or.jp/list/agricultural/research/sintoku/SiryouG/ecolo/manual2004/manual_04_information.htm	2004	-	-
2	余剰バイオガス精製・圧縮装置と地域利用システム【中央農業試験場】 http://www.hro.or.jp/list/agricultural/center/kenkyuseika/gaiyosho/h21gaiyo/f1/O11.pdf	2009	-	-
3	家畜防疫法・自衛防疫データ【市町村役場】	各年	-	-
備考	引用元データの利用については，引用元の利用上の注意を参考にするか，直接お問い合わせください。			問い合わせ
				農1

Appendix Datamap 003

名称	農産系バイオマス		全道版	地域版
			○	-
目的	圃場残渣量の空間分布推計			
内容 [数値の単位]	圃場残渣量[t/年]			
データ年	平成27(2015)年農林業センサス(農業経営体_販売目的で作付け(栽培)した作物の類別作付(栽培)面積)			
計算法 (概要)	<p>ア) 圃場残渣量(稲わら, 麦稈)の推計 圃場残渣量 = 圃場残渣量原単位¹ × 作付面積</p> <p>イ) 空間分布推計 農業集落データ²および土地利用メッシュ・農地面積³を用いて, 農業集落境界データとメッシュデータの交差ポリゴンデータ作成して, 農業集落データに対する交差ポリゴンデータの按分比率を算出し, その按分比率に農林業センサスデータ²(農業経営体_販売目的で作付け(栽培)した作物の類別作付(栽培)面積)を乗じて交差ポリゴン単位の按分値を算出し, 按分値を3次メッシュ単位の再集計して作成した。</p>			
季節変動	なし			
対象地域	全道			
構築データ(メタデータ)				
形式	シェープファイル	ポリゴン	70MB	
区域単位	3次メッシュ	CC BY-NC 4.0		
引用元データ			全道版	地域版
1	北海道の耕草地におけるバイオマス生産量および作物による無機成分吸収量【北海道農業試験場 研究報告 第149号】	1998	-	-
2	2015年農林業センサス【農林水産省】 http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/shuraku_data/2015/sa/sa_2015.html	2015	-	-
3	国土数値情報【国交省】 http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-L03-b.html	2014	-	-
備考	引用元データの利用については, 引用元の利用上の注意を参考にするか, 直接お問い合わせください。			問い合わせ
				農1

Appendix Datamap 004

名称	農産系バイオマス			全道版	地域版
				-	○
目的	圃場残渣量の空間分布推計				
内容 [数値の単位]	圃場残渣量[t/年]				
データ年	農業協同組合の農業用GIS・作付データ（データ年は対象地域欄に記載）				
計算手法 (概要)	<p>ア) 圃場残渣量（稲わら，麦稈）の推計 圃場残渣量 = 圃場残渣量原単位¹ × 作付面積</p> <p>イ) 空間分布推計 農業協同組合の農業用GISの作付データ²から，圃場残渣量を算出し，3次メッシュに集計した。</p>				
季節変動	なし				
対象地域	足寄町（2017）				
	富良野圏域（2014）				
構築データ（メタデータ）					
形式	シェープファイル	ポリゴン	61KB		
区域単位	3次メッシュ	CC BY-NC 4.0			
引用元データ				全道版	地域版
1	北海道の耕草地におけるバイオマス生産量および作物による無機成分吸収量【北海道農業試験場 研究報告 第149号】	1988	-	-	
2	農業用GISの作付データ【農業協同組合】	各年	-	-	
備考	引用元データの利用については，引用元の利用上の注意を参考にするか，直接お問い合わせください。				問い合わせ
					農1

Appendix Datamap 005

名称	森林系バイオマス（林地未利用材）		全道版	地域版
			○	-
目的	木質系のバイオマス利用で想定される「林地未利用材」から得られる低位発熱量の導出			
内容 [数値の単位]	森林施業で発生する林地未利用材の低位発熱量（ウェットベース10～50%）[GJ/年]			
データ年	平成26(2014)年～平成28(2016)年			
計算手法 (概要)	<p>森林施業で発生する林地未利用材の低位発熱量は、以下の数式により算出した。</p> $B = \sum_{n=1}^3 \{V_n \cdot Li(1-F_n)\}$ <p>B：対象市町村の未利用材潜在的利用可能量（m³/年） V_n：市町村内の所管別年間伐採量（m³/年，引用元No.2，No.3） Li：未利用材発生率 F_n：所管別伐採事業における短幹システム割合 なお， n=1：民有林 n=2：道有林 n=3：国有林</p> <p>地理空間を考慮する際の重み付け等に関しては，森林は国有林・道有林・民有林でそれぞれ導入機械や路網状況が異なるため，特に集荷量に影響を与える短幹集材の率に着目して市町村別にそれらを導出後に加算した（詳細は引用元データNo.1を参照）。木材の単位m³で集計した後，乾重量トンに変換し，熱量（GJ）換算した（詳細は引用元データNo.1を参照）。</p> <p>見積もりにあたって，特に工夫をしたこととして，賦存量ではなく実際の集荷可能量に近い数字になるように全道約30カ所の伐採試験地から未利用材率を実測し，用いた（詳細は引用元データNo.1を参照）。</p>			
季節変動	なし			
対象地域	全道			
構築データ（メタデータ）				
形式	CSVファイル	ポイント	8KB	
区域単位	市町村	CC BY-4.0		
引用元データ			全道版	地域版
1	酒井明香・寺田文子・佐々木尚三・渡辺一郎（2015）北海道における機械作業システムと林地残材率を考慮した林地残材集荷可能量の推定，森利学誌30（2）：71～78	2015	-	-
2	北海道林業統計より市町村別立木伐採量【北海道水産林務部】	2014-2016	-	-
3	人工林の市町村別伐採計画量（年平均）【北海道森林管理局】	2014-2016	-	-
備考				問い合わせ
				林1

Appendix Datamap 006

名称	森林系バイオマス（富良野圏域における低質材量）		全道版	地域版
			-	○
目的	富良野圏域での木質系のバイオマス利用で想定される「低質材」の集荷可能量			
内容 [数値の単位]	富良野圏域のカラマツ・トドマツ人工林施業で発生する低質材供給可能量[m ³ /年]			
データ年	平成24(2012)年～平成28(2016)年			
計算法 (概要)	<p>木質バイオマスの原料となる低質材丸太の供給可能量は、以下の数式により算出した。</p> $B = \sum_{n=1}^3 k_x \cdot k_y \cdot f \cdot m \cdot p \cdot V_n$ <p>ただし、 B：富良野圏域のカラマツ、トドマツ人工林における低質材の潜在的集荷可能量（m³/年） k_y：当該小班を伐採するなら1、しない場合は0をとるダミー変数 k_x：小班が設定した運材距離内にあれば1、ない場合は0をとるダミー変数 f：伐採率（間伐なら0.3、主伐なら1.0と仮定） m：造材歩留まり（0.75と仮定） p：出材した丸太に含まれる低質材の割合（林齢に応じて0.2～1.0となる） V_n：小班単位での所管別林分蓄積（m³/年）</p> <p>なお、 n=1：民有林 n=2：道有林 n=3：国有林</p> <ul style="list-style-type: none"> ・経済性を考慮するため、チップ工場に低質材を運搬すると仮定し、工場と林地の距離に応じて出材対象とするかを決定できるようにした。 ・森林資源の持続性を前提とするため、引用元データNo.1～3を基にした市町村別に森林資源の長期予測結果及び引用元データNo.4～7での伐採材積と比較上で森林蓄積を50年間維持できる伐採材積を計算し、上記の計算を行った。 			
季節変動	なし			
対象地域	富良野圏域の5市町村（上富良野町、中富良野町、富良野市、南富良野町、占冠村）			
構築データ（メタデータ）				
形式	シェープファイル	ポイント	8KB	
区域単位	市町村	CC BY-4.0		
引用元データ			全道版	地域版
1	一般民有林 林小班区間及び森林資源データ 【北海道水産林務部森林計画課】	2016	-	-
2	上川南部森林計画区森林調査簿及びGISデータ 【北海道森林管理局上川南部森林管理署】	2016	-	-
3	道有林森林調査簿及びGISデータ 【北海道水産林務部上川南部森林室】	2016	-	-
4	上川の民有林2017【北海道上川総合振興局産業振興部林務課】	2017	-	-
5	人工林の市町村別伐採計画量（年平均）【北海道森林管理局】 http://www.rinya.maff.go.jp/hokkaido/keikaku/other/H27jinnk_ourinnbaxtusaikeikaku.html	2012 2017	-	-
6	国有林野事業統計(北海道森林管理局管内)【北海道森林管理局】 http://www.rinya.maff.go.jp/hokkaido/statistics/kyoku/arc/170607.html	2013- 2017	-	-
7	齢級別伐採量【北海道水産林務部森林計画課 オープンデータ】 http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/srk/OPD.htm	2015- 2017	-	-
備考	<ul style="list-style-type: none"> ・引用元データ1については、一部はオープンデータとして公開されています（http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/srk/OPD.htm）。 ・引用元データ1～3の資料の入手については、右記にお問合せください。 			問い合わせ
				林2

Appendix Datamap 007

名称	廃棄物系バイオマス（燃料化ごみ：市町村別）		全道版	地域版
			○	-
目的	RDF化によってエネルギー利用可能な燃料化ごみの発生量を推計する			
内容 [数値の単位]	燃料化ごみ発生量[t/年], 燃料化ごみ利用可能量[t/年]（埋立処理を行っている場合）			
データ年	平成28(2016)年度			
計算手法 (概要)	<p>発生量：燃料化ごみ発生量は以下の式により算出した。</p> $W_i = r \cdot \sum_{j=1}^3 w_j$ <p> r : 一般廃棄物に占める燃料化ごみ発生量比率 (0.344) w : 対象市町村における当該廃棄物搬入量 i : 市町村 j : 一般廃棄物施設搬入量区分 (1=処理施設搬入, 2=直接資源化, 3=直接埋立) </p> <p>利用可能量：焼却処理の実績が年間10t未満、かつ燃料化施設での処理実績がない自治体では可燃物の埋め立てを行っているものとみなし、これらの自治体における燃料化ごみ発生量を利用可能量とした。</p> <p>廃棄物に関する統計調査結果1を元に作成した数量テーブルデータ（市町村別）に、市町村ポリゴン2を市町村コードをキーとして結合した。また、一般廃棄物に占める燃料化ごみ発生量比率は、富良野市をモデルケースとして想定し、同市における実績3を元に設定した。</p>			
季節変動	なし			
対象地域	全道			
構築データ（メタデータ）				
形式	シェープファイル	ポリゴン	19.3MB	
区域単位	市町村	引用元の利用条件に従う		
引用元データ			全道版	地域版
1	一般廃棄物処理実態調査結果（処理状況）【環境省】 http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h28/index.html	2016	○	-
2	国土数値情報 行政区域データ【国土交通省】 http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-NO3.html	2015	○	-
3	富良野市におけるごみ処理実績	2013	不可	-
備考	<ul style="list-style-type: none"> 焼却処理の実績があるものの、処理施設においてエネルギー回収を行っていない場合における未利用資源量については、廃棄物系バイオマス（燃料化ごみ：処理施設別）を参照してください。 利用可能量の計算手法において焼却処理実績を10t未満としたのは、小動物などの焼却処理を実施している場合など、可燃物の埋め立てを行っていても焼却処理がゼロとされない場合が含まれるためです。 引用元データ3の入手については、右記にお問合せください。 			問い合わせ
				環1

Appendix Datamap 008

名称	廃棄物系バイオマス（燃料化ごみ：処理施設別）		全道版	地域版
			○	-
目的	RDF化によってエネルギー利用可能な燃料化ごみの発生量を推計する			
内容 〔数値の単位〕	燃料化ごみ利用可能量[t/年] （焼却処理を行っているが、発電・余熱利用を行っていない場合）			
データ年	平成27(2015)年度			
計算手法 （概要）	<p>利用可能量：各焼却処理施設のうち、発電・余熱利用を行っていない場合について、当該処理施設における処理量を未利用分（利用可能量）として引用した。</p> <p>廃棄物に関する処理施設毎の統計調査結果1を元に作成した処理量テーブルデータと、処理施設ポイントデータ2を、処理施設名称をキーとして結合し、発電・余熱利用の有無の情報を元に抽出した。</p>			
季節変動	なし			
対象地域	全道			
構築データ（メタデータ）				
形式	シェープファイル	ポイント	6.26kB	
区域単位	施設位置	引用元の利用条件に従う		
引用元データ			全道版	地域版
1	一般廃棄物処理実態調査結果（施設整備状況）【環境省】 http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h28/index.html	2015	○	-
2	国土数値情報 廃棄物処理施設データ【国土交通省】 http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P15.html	2015	○	-
備考				問い合わせ
				環1

Appendix Datamap 009

名称	廃棄物系バイオマス（生ごみ）		全道版	地域版
			○	-
目的	バイオガスプラント等に持ち込むことができる「生ごみ」の賦存量を推定する			
内容 [数値の単位]	推計生ごみ発生量[t/年], 推計生ごみ利用可能量[t/年]			
データ年	平成27(2015)年度			
計算手法 (概要)	<p>発生量：各市町村における生ごみ発生量は、 ①堆肥化またはメタン化施設へ搬入している場合 ②それ以外 に分けてそれぞれ推計した。 ①については、堆肥化施設、メタン化施設への搬入量実績値1を引用した。 ②については以下の式で算出した。</p> $W_i = r \cdot \sum_{j=1}^3 w_j$ <p> r : 一般廃棄物に占める生ごみ発生量比率 (0.334) w : 対象市町村における当該廃棄物搬入量 i : 市町村 j : 一般廃棄物施設搬入量区分 (1=処理施設搬入, 2=直接資源化, 3=直接埋立) </p> <p>利用可能量：上記発生量のうち、メタン化施設への搬入実績のない市町村における数量を利用可能量とした。</p> <p>廃棄物に関する統計調査結果1を元に作成した数量テーブルデータ（市町村別）に、市町村ポリゴン2を市町村コードをキーとして結合した。また、一般廃棄物に占める生ごみ発生量比率は、富良野市における実績3を元に設定した。</p>			
季節変動	なし			
対象地域	全道			
構築データ（メタデータ）				
形式	シェープファイル	ポリゴン	32.4MB	
区域単位	市町村	引用元の利用条件に従う		
引用元データ			全道版	地域版
1	一般廃棄物処理実態調査結果（処理状況）【環境省】 http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h28/index.html	2016	○	-
2	国土数値情報 行政区域データ【国土交通省】 http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-NO3.html	2015	○	-
3	富良野市におけるごみ処理実績	2013	不可	-
備考	・引用元データ3の入手については、右記にお問合せください。			問い合わせ
				環1

Appendix Datamap 010

名称	廃棄物系バイオマス（し尿・浄化槽汚泥）		全道版	地域版
			○	-
目的	バイオガスプラント等に持ち込むことができる「し尿・浄化槽汚泥」の賦存量を推定する			
内容 [数値の単位]	し尿・浄化槽汚泥賦存量[kL/年], し尿・浄化槽汚泥利用可能量[kL/年]			
データ年	平成27(2015)年度			
計算手法 (概要)	<p>賦存量：各し尿処理施設・汚泥再生処理センターにおける処理量を資源賦存量とし、次の式で算出した。</p> $W_i = w_{ia} + w_{ib}$ <p>w_{ia} : し尿処理施設・汚泥再生処理センターにおけるし尿処理量 w_{ib} : し尿処理施設・汚泥再生処理センターにおける浄化槽汚泥処理量 i : し尿処理施設・汚泥再生処理センター</p> <p>利用可能量：上記発生量のうち、メタン発酵によるエネルギー回収の実績がない施設における処理量を利用可能量とした。</p> <p>廃棄物に関する統計調査結果1を元に作成した数量テーブルデータ（処理施設別）に、廃棄物処理施設ポイントデータ2を処理施設名称をキーとして結合した。施設名称などが一致せず、結合に問題がある場合は、名称の修正統一を行った。処理施設の位置が不明なものについては、航空写真等の確認や施設住所、Webサイトなどの情報を元に位置情報の付与を行った。</p>			
季節変動	なし			
対象地域	全道			
構築データ（メタデータ）				
形式	シェープファイル	ポイント	39.5kB	
区域単位	なし（施設位置）	引用元の利用条件に従う		
引用元データ			全道版	地域版
1	一般廃棄物処理実態調査結果（施設整備状況）【環境省】 http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h28/index.html	2016	○	-
2	国土数値情報 廃棄物処理施設データ【国土交通省】 http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P15.html	2015	○	-
備考				問い合わせ
				環1

Appendix Datamap O11

名称	廃棄物系バイオマス（下水汚泥）		全道版	地域版
			○	-
目的	バイオガスプラント等に持ち込むことができる「下水汚泥」の賦存量を推定する			
内容 [数値の単位]	下水汚泥（濃縮汚泥）賦存量[dry-t/年]，下水汚泥（濃縮汚泥）利用可能量[dry-t/年]			
データ年	平成25(2013)年度			
計算手法 (概要)	<p>賦存量：各下水処理施設における，下水処理後の濃縮汚泥量の実績値（年間濃縮汚泥量の乾燥重量[dry-t/年]）を賦存量として引用した。</p> <p>利用可能量：上記賦存量のうち，メタン発酵による発電の実績がない施設における濃縮汚泥量を利用可能量とした。</p> <p>下水処理に関する調査結果1を元に作成した数量テーブルデータ（処理施設別）に，下水道関連施設ポイントデータ2を処理施設名称をキーとして結合した。発電の有無については，バイオガス発電施設に関するデータ3を参照した。</p>			
季節変動	なし			
対象地域	全道			
構築データ（メタデータ）				
形式	シェープファイル	ポイント	158kB	
区域単位	なし（施設位置）	引用元の利用条件に従う		
引用元データ			全道版	地域版
1	北海道の下水道2014【北海道建設部】	2014	○	-
2	国土数値情報 下水道関連施設データ【国土交通省】 http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P22.html	2012	○	-
3	下水処理場におけるバイオガス発電箇所一覧【国土交通省】 http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewera_age_tk_000104.html	2017	○	-
備考	メタン発酵によるエネルギー回収を行っているものの，加温などに利用しており発電を行っていない処理施設における処理量については，利用可能量としてカウントされている可能性があります。			問い合わせ
				環1

Appendix Datamap 012

名称	深度別平均地温分布図		全道版	地域版
			-	○
目的	地中熱利用の検討に必要な、平均地温を示す			
内容 [数値の単位]	地温分布[°C] (50m掘削時及び100m掘削時)			
データ年	解析：地下水流動・熱輸送解析（定常解析） 比較：水井戸検層結果（現地調査結果2014～2016年）			
計算手法 (概要)	地下水流動・熱輸送解析を実施し、富良野圏域における地下の温度分布を推定した ² 。現地調査で得られた温度検層結果と比較し、一定の相関が得られた地点の解析結果から、深度10mごとの値を抽出した。ここで、深度0～50mまでの6点の温度の平均を50m掘削時の平均地温、深度0～100mまでの11点の温度の平均を100m掘削時の平均地温とした。 50m掘削時の平均地温[°C]を求める式 深度0mの温度[°C]+深度10mの温度[°C]+…+深度50mの温度[°C]/6（データ点数） 100m掘削時の平均地温を求める式 深度0mの温度[°C]+深度10mの温度[°C]+…+深度100mの温度[°C]/11（データ点数）			
季節変動	なし			
対象地域	富良野圏域（上富良野町，中富良野町，富良野市）			
構築データ（メタデータ）				
形式	シェープファイル， geotiff	ポイント	1 MB	
区域単位	対象地域の1km×1kmのデータ（3次メッシュではない）		CC BY-NC 4.0	
引用元データ			全道版	地域版
1	水井戸検層結果(2014～2016年)	【非公開】	○	-
2	<地下水流動・熱輸送解析結果> 森野祐助（2017）富良野盆地を対象とした地下水流動・熱輸送モデルの構築，情報地質第28巻80-81.	2017	○	-
備考				問い合わせ 地1

Appendix Datamap 013

名称	見かけ熱伝導率（有効熱伝導率）分布図		全道版	地域版
			-	○
目的	地中熱利用の検討に有効な、見かけ熱伝導率（有効熱伝導率）の分布を示す			
内容 [数値の単位]	見かけ熱伝導率（有効熱伝導率）[W/(m・K)]			
データ年	地下水流動・熱輸送解析（定常解析）			
計算手法 （概要）	$\lambda \alpha = \{(\lambda v \times Dv) + (\lambda s \times Dv) \times ad\} \div D$ <p> $\lambda \alpha$: 見かけ熱伝導率（有効熱伝導率）[W/(m・K)] λv : 地層の熱伝導率（不飽和）[W/(m・K)] λs : 地層の熱伝導率（飽和）[W/(m・K)] Ds : 帯水層の厚さ（飽和帯）[m] Dv : 帯水層の厚さ（不飽和帯）[m] D : 掘削深度[m] ad : 地下水の移流の効果 </p> <p>*50m掘削時，100m掘削時に期待できる見かけ熱伝導率（有効熱伝導率）[W/(m・K)]を推定した。</p>			
季節変動	なし			
対象地域	富良野圏域（上富良野町，中富良野町，富良野市）			
構築データ（メタデータ）				
形式	シェープファイル， geotiff	ポイント	1 MB	
区域単位	対象地域の1km×1kmのデータ（3次メッシュではない）		CC BY-NC 4.0	
引用元データ			全道版	地域版
1	大久保博晃・藤井光・糸井龍一（2009）同軸型地中熱交換器の室内モデル実験および数値モデリング．日本地熱学会誌，31，51-62	2009	-	-
2	富樫聡・西山浩平・山本晃・檀智之・高橋努（2013）広域を対象とする地中熱ポテンシャル評価手法の提案．日本地下水学会2013年春季講演会講演要旨集，104-109.	2013	-	-
備考				問い合わせ
				地1

Appendix Datamap O14

名称	温度帯別温泉放出熱量 (80℃以上, 80~60℃, 60~40℃, 40~20℃)		全道版	地域版
			○	○
目的	温泉熱を直接利用する時に得られる熱量の賦存量			
内容 [数値の単位]	①利用状況(利用・未利用), ②源泉形態(ボーリング・自然湧出), ③湧出温度[℃] ④湧出量[L/分], ⑤温泉放出熱量[kcal/時]			
データ年	平成25(2013)年~27(2015)年			
計算手法 (概要)	<p>温泉放出熱量は湧出した温泉水の温度が外気温まで下がる時に失う熱量と定義し、以下の数式にて算出した[単位：kcal/時]。</p> $H = (T - t) \times V \times 1000[g/L] \times 60 \div 1000$ <p>H：放出熱量[kcal/時] T：湧出温度[℃] t：年平均気温[℃]→北海道の年平均気温を10℃として仮定 V：湧出量[L/分]</p> <p>※一般的に熱量や熱エネルギーの単位にはJ(ジュール)・kcal(カロリー)を用いるが、ここでは単位時間あたりに湧出する温泉水から放出される熱量なので、W(ワット)・kcal/時を用いる(本来、これらは熱流量の単位 1kcal/時=1.163W)。</p> <p>※温泉熱の直接利用は、湧出温度によって利用用途が異なるため、80℃, 60℃, 40℃, 20℃にしきい値を設定し、各温度帯(80℃以上, 80~60℃, 60~40℃, 40~20℃)別に放出熱量を計算した。ただし、しきい値の下端以下(20℃以下)の温泉と森地熱発電用の熱水については、計算対象から除いた。</p>			
季節変動	なし			
対象地域	全道			
構築データ(メタデータ)				
形式	シェープファイル	ポイント	100KB	
区域単位	源泉ポイント(源泉位置の経緯度)		CC BY-NC 4.0	
引用元データ			全道版	地域版
1	独自データ	【非公開】	○	-
備考	<p>※利用可能量は北海道から許可を受けた利用量に依存するため、ここでは示さない。</p> <p>・引用元データ1の入手については、右記にお問合せください。</p>			問い合わせ
				地1

Appendix Datamap 015

名称	太陽光発電		全道版	地域版
			○	-
目的	太陽光発電の賦存量・利用可能量			
内容 [数値の単位]	賦存量[MWh/年], 利用可能量[MWh/年]			
データ年	平成23(2011)年			
計算手法 (概要)	<p>太陽光発電の賦存量・利用可能量は、「再生可能エネルギー資源等の賦存量等の調査についての統一的なガイドライン」（緑の分権改革推進会議 第四分科会）による方法で算出した¹。算出手法の概要は、以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・賦存量[MWh/年] =最適傾斜角日射量[MWh/m²/年]×全面積[m²] ・利用可能量[MWh/年] =基本設計係数×温度補正係数/標準試験条件における日射強度[kW/m²] ×単位面積当たりの太陽光パネル出力[kW/m²](=0.0667)^{*1}×設置可能面積[m²]^{*2} ×傾斜面日射量[MWh/m²/年] <p>※1：15m²で1kWに設定。戸建住宅は3kW，非戸建住宅は10kWに設定した。 ※2：工場は建築面積に設置係数を乗じて算出した。 公共施設，業務用施設は延床面積に設置係数を乗じて算出した。 未利用地は耕作放棄地・工業団地・最終処分場等の面積を使用した。</p>			
季節変動	なし			
対象地域	全道			
構築データ（メタデータ）				
形式	シェープファイル	メッシュ		
区域単位	市町村	利用条件はお問い合わせください		
引用元データ			全道版	地域版
1	再生可能エネルギー資源等の賦存量等の調査についての統一的なガイドライン【緑の分権改革推進会議 第四分科会】 http://www.soumu.go.jp/main_content/000121161.pdf	2011	-	-
備考				問い合わせ 建1

Appendix Datamap 016

名称	太陽熱利用		全道版	地域版
			○	-
目的	太陽熱の賦存量・利用可能量			
内容 [数値の単位]	賦存量[GJ/年], 利用可能量[GJ/年]			
データ年	平成23(2011)年			
計算手法 (概要)	<p>太陽熱の賦存量・利用可能量は、「再生可能エネルギー資源等の賦存量等の調査についての統一ガイドライン」(緑の分権改革推進会議 第四分科会)による方法で算出した。算出手法の概要は、以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・賦存量[GJ/年] =最適傾斜角日射量[kWh/m²]×全面積[m²]×0.0036[GJ/kWh] ・利用可能量[GJ/年] =年積算日射量[kWh/m²]×太陽熱パネルの集熱面積[m²]*×システム効率×0.0036[GJ/kWh] <p>※戸建住宅は3m², 非戸建住宅は10m²に設定した。 公共施設, 業務用施設は延床面積に設置係数を乗じて算出した。</p>			
季節変動	なし			
対象地域	全道			
構築データ (メタデータ)				
形式	シェープファイル	メッシュ		
区域単位	市町村	利用条件はお問い合わせください		
引用元データ			全道版	地域版
1	再生可能エネルギー資源等の賦存量等の調査についての統一ガイドライン【緑の分権改革推進会議 第四分科会】 http://www.soumu.go.jp/main_content/000121161.pdf	2011	-	-
備考				問い合わせ 建1

Appendix Datamap 017

名称	雪氷冷熱利用		全道版	地域版
			○	○
目的	雪氷冷熱の賦存量・利用可能量			
内容 [数値の単位]	賦存量[TJ/年], 利用可能量[TJ/年]			
データ年	昭和56(1981)年～平成22(2010)年の平年値			
計算手法 (概要)	<p>雪氷冷熱の賦存量・利用可能量は、以下の数式により算出した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・賦存量[TJ/年] $= \text{市町村別の最深積雪深(平年値)} [m/\text{年}]^1 \times \text{市町村面積} [m^2]^2 \times \text{雪密度} [t/m^3] (=0.3) \times \text{雪の融解潜熱} [MJ/t] (=335) / 10^6$ ・利用可能量 $= \text{市町村別の最深積雪深(平年値)} [m/\text{年}] \times \text{市町村道路面積} [m^2]^3 \times \text{雪密度} [t/m^3] (=0.3) \times \text{雪の融解潜熱} [MJ/t] (=335) / 10^6$ <p>注) 気象データが整備されていない市町村は、近隣市町村のデータを使用した。</p>			
季節変動	あり			
対象地域	全道			
構築データ (メタデータ)				
形式	シェープファイル	ポリゴン	33MB	
区域単位	市町村	CC BY-NC 4.0		
引用元データ			全道版	地域版
1	気象データ【気象庁】 http://www.jma.go.jp/jma/index.html	各年	-	-
2	面積・人口・人口密度段階別市町村の概要【北海道】 http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ss/scs/gyousei/shityouso.ndata.htm	2014	-	-
3	道路現況調書【北海道】 http://www3.hoctec.or.jp/dgd/general/generalPrintInit.do	2015	-	-
備考				問い合わせ
				建1

Appendix Datamap 018

名称	農業機械・施設エネルギー消費量		全道版	地域版
			-	○
目的	農業機械・施設エネルギー消費量の空間分布推計			
内容 [数値の単位]	農業機械・施設エネルギー消費量[GJ/年]			
データ年	(データ年は対象地域欄に記載)			
計算手法 (概要)	<p>ア) 農業機械・施設 (個別利用) エネルギー消費量 = エネルギー消費量原単位¹ × 作付面積² × 換算係数³</p> <p>イ) 農業施設 (共同利用) エネルギー消費量 = 各施設のエネルギー消費量 × 換算係数³</p> <p>ウ) 空間分布推計 <ul style="list-style-type: none"> 個別利用の農業機械・施設のエネルギー消費量は、農業協同組合の農業用GISの作付データ²から、各作物のエネルギー消費量を算出し、3次メッシュに集計した。 共同利用施設のエネルギー消費量は、各施設の位置及びエネルギー消費量を調査して、3次メッシュに集計した。 </p>			
季節変動	なし			
対象地域	足寄町 (2017)			
	富良野圏域 (2015)			
構築データ (メタデータ)				
形式	シェープファイル	ポリゴン	301KB	
区域単位	3次メッシュ	CC BY-NC 4.0		
引用元データ			全道版	地域版
1	北海道農業生産技術体系 (第4版) 北海道農政部編 【北海道農業改良普及協会】	2013	-	-
2	農業用GISの作付データ【農業協同組合】	各年	-	-
3	省エネ法の概要・原油換算係数【経済産業省資源エネルギー庁】 http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/summary/	2014	-	-
備考	引用元データの利用については、引用元の利用上の注意を参考にするか、直接お問い合わせください。			問い合わせ
				農1

Appendix Datamap 019

名称	民生部門エネルギー需要量		全道版	地域版
			○	○
目的	民生部門における熱および電力のエネルギー需要量			
内容 [数値の単位]	熱需要[TJ/年], 電力需要[TJ/年]			
データ年	平成28(2016)年			
計算手法 (概要)	<p>エネルギー需要量（熱・電力）は、以下の数式により算出した。</p> <ul style="list-style-type: none"> エネルギー需要量[TJ/年] $= \sum (\text{建物用途別のエネルギー消費原単位}[\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{年})] \times \text{建物の延床面積}[\text{m}^2]) / 10^6$ 			
季節変動	あり			
対象地域	富良野圏域			
構築データ（メタデータ）				
形式	シェープファイル	ポリゴン	9MB	
区域単位	市町村			
引用元データ			全道版	地域版
1	阿部他：北海道富良野圏域を対象とした民生部門エネルギー等の需要構造分析，日本建築学会環境系論文集，Vol.82，No.739，pp801-809，2017.9 https://www.jstage.jst.go.jp/article/aije/82/739/82_801/_pdf/-char/ja	2017	-	-
2	非住宅建築物の環境関連データベース【一般財団法人日本サステナブル建築協会】 http://www.jsbc.or.jp/decc_download/	-	-	-
3	平成19年度北海道家庭用エネルギー消費実態調査（2007エコファミリー省エネアンケート）報告書【一般社団法人北海道消費者協会石油連盟北海道石油システムセンター】	2008	-	-
4	都市計画基礎調査データ【北海道】	2010	-	-
5	建物ポイントデータ【ゼンリン】 https://www.zenrin.co.jp/product/category/gis/contents/building-point/index.html	2016	-	-
備考				問い合わせ
				健1

戦略研究「地域・産業特性に応じたエネルギーの分散型利用モデルの構築」(H26~30) 担当者一覧

氏名	所属 (H31年3月現在)			参画時の所属	参画年度				
	研究機関名	部名	職名		H26	H27	H28	H29	H30
赤澤 敏之	工業試験場	材料技術部	部長	工業試験場			○	○	○
三津橋 浩行	工業試験場	環境エネルギー部	部長	工業試験場					○
北口 敏弘	工業試験場	環境エネルギー部	研究主幹	ものづくり支援センター・工業試験場	○	○			○
保科 秀夫	工業試験場	環境エネルギー部	研究主幹	工業試験場	○	○	○	○	○
山越 幸康	工業試験場	環境エネルギー部	主査	ものづくり支援センター・工業試験場	○	○	○	○	○
平野 繁樹	工業試験場	環境エネルギー部	研究主査	工業試験場	○	○	○	○	○
白土 博康	工業試験場	環境エネルギー部	研究主任	工業試験場	○	○	○	○	○
藤澤 拓己	工業試験場	環境エネルギー部	研究主任	工業試験場	○	○	○	○	○
柏瀬 浩司	工業試験場	環境エネルギー部	研究主任	工業試験場	○	○	○	○	○
富樫 憲一	工業試験場	環境エネルギー部	研究職員	工業試験場				○	○
上出 光志	工業試験場	環境エネルギー部	専門研究員	工業試験場	○	○	○	○	○
鈴木 大隆	建築研究本部		本部長	北方建築総合研究所	○	○	○	○	○
立松 宏一	建築研究本部	企画調整部	主査	北方建築総合研究所	○	○	○	○	○
月館 司	北方建築総合研究所	建築研究部	主任主査	北方建築総合研究所	○	○	○	○	○
阿部 佑平	北方建築総合研究所	建築研究部	研究職員	北方建築総合研究所	○	○	○	○	○
戸松 誠	北方建築総合研究所	地域研究部	研究主幹	北方建築総合研究所	○	○	○		
堤 拓哉	北方建築総合研究所	地域研究部	主査	北方建築総合研究所	○	○	○	○	○
下ノ蘭 慧	北方建築総合研究所	地域研究部	研究職員	北方建築総合研究所		○	○	○	○
遠藤 卓	建築性能試験センター	安全性部	研究職員	北方建築総合研究所	○	○	○	○	○
鈴木 剛	十勝農業試験場	研究部	主幹	十勝農業試験場・中央農業試験場	○	○	○	○	○
関口 建二	十勝農業試験場	研究部	主査	十勝農業試験場・根釧農業試験場	○	○	○	○	○
平石 学	十勝農業試験場	研究部	主査	十勝農業試験場			○	○	○
木村 義彰	中央農業試験場	生産研究部	主幹	中央農業試験場			○	○	○
吉田 邦彦	中央農業試験場	生産研究部	主査	中央農業試験場	○	○	○	○	○
加藤 弘樹	中央農業試験場	生産研究部	研究職員	中央農業試験場				○	○
白井 康裕	中央農業試験場	生産研究部	主査	十勝農業試験場	○	○			
江部 成彦	北見農業試験場	研究部	部長	十勝農業試験場			○		
福野 一郎	農業研究本部	企画調整部	主任主査	十勝農業試験場	○	○			
対馬 俊之	林業試験場	森林経営部	部長	林業試験場	○	○	○	○	○
大野 泰之	林業試験場	森林経営部	研究主幹	林業試験場	○	○	○	○	○
渡辺 一郎	林業試験場	森林経営部	主任主査	林業試験場	○	○	○	○	○
菅野 正人	林業試験場	森林経営部	主任主査	林業試験場	○	○			○
滝谷 美香	林業試験場	森林経営部	主査	林業試験場			○	○	○
石濱 宣夫	林業試験場	森林経営部	研究主査	林業試験場	○	○	○	○	○
蝦名 益仁	林業試験場	森林経営部	研究職員	林業試験場				○	○
竹内史郎	林業試験場	森林経営部	研究職員	林業試験場		○	○	○	○
今 博計	林業試験場	保護種苗部	主査	林業試験場	○	○	○	○	
石塚 航	林業試験場	保護種苗部	研究主任	林業試験場	○	○	○	○	○
津田 高明	林業試験場	道南支場	研究主任	林業試験場	○	○	○	○	○
来田和人	林業試験場	道北支場	支場長	林業試験場	○	○	○		
連井 聡	林業試験場	道北支場	研究主任	林業試験場		○	○		
福地 稔	(退職)			林業試験場	○				
八坂 通泰	林産試験場		場長	森林研究本部・林業試験場		○	○	○	
安久津 久	林産試験場	利用部	研究主幹	林産試験場	○	○	○	○	○
渡辺 誠二	林産試験場	利用部	研究主幹	林産試験場			○	○	○
山田 敦	林産試験場	利用部	主任主査	林産試験場	○	○	○	○	○
西宮 耕栄	林産試験場	利用部	研究主査	林産試験場		○	○	○	○
石川 佳生	林産試験場	利用部	主査	林産試験場	○	○	○	○	○
酒井 明香	林産試験場	利用部	主査	森林研究本部・林業試験場・林産試験場	○	○	○	○	○
折橋 健	林産試験場	利用部	研究主任	林産試験場	○	○	○	○	○
古俣 寛隆	林産試験場	利用部	研究主任	林産試験場	○	○	○	○	○
高橋 徹哉	地質研究所		所長	地質研究所	○	○	○	○	○
丸谷 薫	環境・地質研究本部	企画調整部	部長	地質研究所	○	○	○		
岡崎 紀俊	地質研究所	資源環境部	部長	地質研究所				○	○
鈴木 隆広	地質研究所	資源環境部	研究主幹	地質研究所	○	○	○	○	○
林 圭一	地質研究所	資源環境部	主査	地質研究所	○	○			○
森野 祐助	地質研究所	資源環境部	研究主任	地質研究所	○	○	○	○	○
岡 大輔	地質研究所	資源環境部	研究職員	地質研究所	○	○	○	○	○
大森 一人	地質研究所	資源環境部	研究職員	地質研究所		○	○	○	○
垣原 康之	地質研究所	地域地質部	主査	地質研究所			○	○	○
阿賀 裕英	環境科学研究センター	環境保全部	主査	環境科学研究センター	○	○	○	○	○
小野 理	環境科学研究センター	環境保全部	主査	環境科学研究センター	○	○	○	○	○
山口 勝透	環境科学研究センター	環境保全部	主査	環境科学研究センター				○	○
丹羽 忍	環境科学研究センター	環境保全部	主査	環境科学研究センター	○	○	○	○	○
大塚 英幸	環境科学研究センター	環境保全部	主査	環境科学研究センター		○	○	○	○
福田 陽一郎	環境科学研究センター	環境保全部	研究主任	環境科学研究センター		○	○	○	○
瀧原 和広	道総研本部	研究企画部	主査	環境科学研究センター	○	○			
木村 稔	中央水産試験場	加工利用部	副場長	中央水産試験場	○	○	○		
辻 浩司	中央水産試験場	加工利用部	部長	中央水産試験場・釧路水産試験場		○	○	○	
姥谷 幸司	釧路水産試験場	加工利用部	部長	釧路水産試験場				○	
宮崎 亜希子	釧路水産試験場	加工利用部	研究主幹	釧路水産試験場				○	
麻生 真悟	網走水産試験場	加工利用部	部長	釧路水産試験場		○	○		

○共同研究者

氏名	所属 (H31年3月現在)		職名	参画期間
石井 一英	北海道大学	大学院工学院	教授	H26-30
古市 徹	北海道大学	大学院工学院	客員教授	H26-30
藤山 淳史	北海道大学	大学院工学院	特任助教	H27-29

○専門委員

氏名	所属 (H31年3月現在)		職名	就任期間
近久 武美	北海道大学	大学院工学研究院	教授	H26-30
辻 宣行	北海道大学	サステイナビリティ学 研究センター	特任准教授	H26-29
濱田 靖弘	北海道大学	大学院工学研究院	教授	H26-30
山形 定	北海道大学	大学院工学研究院	助教	H29-30

○事務局

氏名	所属 (H31年3月現在)		職名	担当期間
大村 功	工業試験場	情報システム部	研究主幹	H26-28
垣原 康之	地質研究所	地域地質部	主査	H26-28
北口 敏弘	工業試験場	環境エネルギー部	研究主幹	H28-29
山口 勝透	環境科学研究センター	環境保全部	主査	H28
濱原 和広	道総研本部	研究企画部	主査	H29-30
奥田 篤	道総研本部	研究企画部	主幹	H30



戦略研究報告書

地域・産業特性に応じたエネルギーの分散型利用モデルの構築

【発行】2019年3月

【編集・製作】地方独立行政法人北海道立総合研究機構
〒060-0819

札幌市北区北19条西11丁目北海道総合研究プラザ内
電話 011-747-0200（代表）