

第2章 持続可能な生活拠点形成のための省エネ街区構築

2.1 対象フィールドについて

2.1.1 津別町の概要

(1) 町の概要

津別町は北海道オホーツク圏の内陸部に位置し、東西 37.2km、南北 34.1km、総面積は約 716.80km²あり、総面積の 87%を森林（国有林・道有林・民有林）が占める^[1]（写真 2-1-1-1）。令和 2 年 12 月末現在の人口は 4,485 人であり、ピーク時（昭和 36 年）の人口と比べ約 1/3、平成 27 年国勢調査時から約 10%減少している^[2]。月別の気温を図 2-1-1-1 に示す。日最高気温の平年値は 25.4℃、日最低気温の平年値は -15.3℃であり、夏冬の寒暖差が大きい気象条件であることから、豊富な森林資源を生かし冬場を中心とした熱需要に対応することがエネルギー施策の要となっている。



写真 2-1-1-1 津別町中心部（津別町提供）

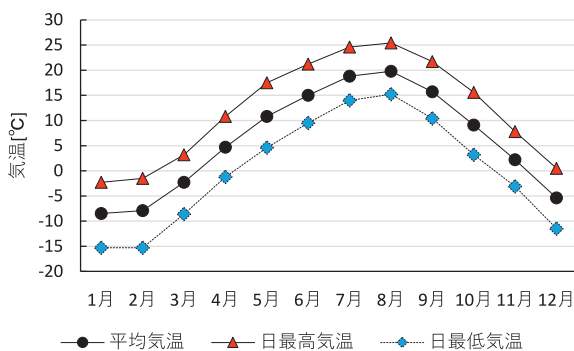


図 2-1-1-1 津別町の月別気温
※気象庁平年値のデータを基に作成

(2) 津別町の木質バイオマス

1) 利用可能量

津別町の森林面積は 61,362ha あり、森林面積の 45%は国有林、36%を人工林が占めている（図 2-1-

1-2)^[3]。津別町における木質バイオマスの賦存量について、環境省の再生可能エネルギー情報提供システム (REPOS) による推計値を表 2-1-1-1 に示す^[4]。木質バイオマスの賦存量の推計値は熱利用換算で 1,030,516.1GJ/年と見込まれ、同システムによる津別町全体の熱需要量の推計値 158,094.6GJ/年の 6.5 倍程度に達するものの、現実的には伐採された木材の大部分は、より付加価値の高い建材や敷料等に利用され、主に林地残材や未利用材が燃料用途に充てられる。また、燃料として利用可能な量は、年間の施業計画に基づく伐採量に依存し、製造工場の処理能力も供給量に係る制約条件となる。

津別町における木質バイオマスの利用可能量の推計値について、津別町の町有林と民有林の年度別伐採量に基づく推計結果を表 2-1-1-2 に示す^[5]、^[6]。将来的な伐採量については、その時点での森林蓄積と木材需給等に依拠するためここでは取り扱わない。近年の伐採計画を基にした町有林及び民有林から伐採される木質バイオマスの利用可能量は、年平均 5,999m³/年、発熱量はチップ利用で 6,821GJ/年、ペレット利用で 12,160GJ/年と推計され、津別町全体の熱需要量の推計値 158,094.6GJ/年の 4~8%程度と見込まれる。このため、限りある木質バイオマスを暖房等の熱エネルギーとして有効利用するためには、施設の省エネ化や運用改善により熱需要量を大幅に減らす取り組みが不可欠である。また、木質バイオマスのボイラーは導入コストが高額であることから、設備の稼働率を高める工夫が減価償却費削減のために必要である。

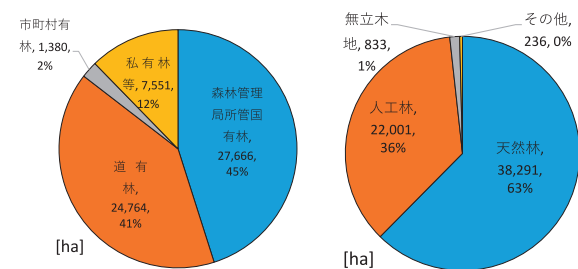


図 2-1-1-2 津別町の森林の現況^[3]

表 2-1-1-1 木質バイオマス賦存量の推計値^[4]

区分	賦存量
発生量(森林由来分)	167.192 千 m ³ /年
発熱量(発生量ベース)	1,288,145.1 GJ/年
熱利用換算	1,030,516.1 GJ/年

表 2-1-1-2 木質バイオマス利用可能量の推計値^{[5]、[6]}

年度	計画伐採面積 [ha]	計画伐採材積 [m ³]	利用可能量 [m ³] ^{注2}	木質バイオマスチップ利用 ^{注3}		木質バイオマスペレット利用 ^{注3}	
				生産量 [t]	発熱量 [GJ]	生産量 [t]	発熱量 [GJ]
2018	235	25,316	7,088	3,721	25,306	2,495	45,112
2019	441	56,885	15,928	8,362	56,862	5,607	101,367
2020	169	12,174	3,409	1,790	12,169	1,200	21,694
2021	61	6,824	1,911	1,003	6,821	673	12,160
2022	57	5,919	1,657	870	5,917	583	10,547
平均	193	21,424	5,999	3,149	21,415	2,112	38,176



写真 2-1-1-2 ペレット製造施設

2.1.2 津別町のエネルギー及びまちづくり施策

(1) 木質バイオマス利用

津別町における木質バイオマス利用に係る取組を表 2-1-1-3 に示す。津別町では平成 19 年(2007 年)に策定された「津別町バイオマスタウン構想」策定を端緒に、ペレット製造施設の整備(写真 2-1-1-2)、町内施設における木質バイオマス利用のボイラー導入、西町団地における熱供給システムの整備が進められた(写真 2-1-1-3)。近年では、「津別町まちなか再生事業」と連携した取り組みによる新規公共施設におけるボイラー導入、「地域内エコシステム構築事業」による津別町木質バイオマスセンターの整備(写真 2-1-1-4)、つべつウッドロスマルシェなどの取り組みが進められ、町内において木質バイオマス利用における川上から川下までの体制が整備されるなど、国内でも屈指の先進的取組が行われている。



写真 2-1-1-3 西町団地熱供給施設

表 2-1-1-3 木質バイオマス利用に係る取組^[5]

年度	取組概要
H19(2007)	・津別町バイオマスタウン構想策定 ・丸玉木材株式会社バイオマスエネルギーセンター運用開始
H21(2009)	・津別町木質ペレット製造施設稼働 ・役場庁舎等公共施設にペレットボイラー3台導入
H23(2011)	・津別町森林バイオマス利用推進協議会設置
H24(2012)	・津別町森林バイオマス熱電利用構想策定
H26(2014)	・認定こども園にペレットボイラー導入
H27(2015)	・津別町モデル地域創生プラン策定
H28(2016)	・西町団地に熱供給システム(ペレットボイラー)を整備
R2(2020)	・役場新庁舎にペレットボイラー1台導入 ・消防新庁舎にペレットボイラー1台導入
R4(2022)~ R5(2023)	・津別町木質バイオマスセンターを整備 ・つべつ木材工芸館にチップボイラー1台 ・複合施設にチップボイラー1台
R5(2023)~	・つべつ版木の駅プロジェクト(つべつウッドロスマルシェ) ・再生可能エネルギーマネジメントセンター



写真 2-1-1-4 津別町木質バイオマスセンター

(2) 津別町まちなか再生事業

津別町では平成 27 年(2015)より「まちなか再生事業」に取り組むと共に役場庁舎等の中心市街地における公共施設整備のため「津別町市街地再生基本計画」^[7]が令和 2 年(2020)に策定された。同計画では、津別町中心市街地を対象に現況と将来的な構想を踏まえたゾーニングを行い、公共施設等の整備を進めている(図 2-1-1-3)。本研究では、津別町同計画の中心市街地を検討対象とし、街区全体の省エネ化による効果の試算、公共施設の運用エネルギーに係る省エネモデルとして役場庁舎の運用改善の検討、木質バイオマスを活用したエネルギー融通による省 CO₂ モデルとして、福祉・住宅整備事業と消防庁舎建替事業を対象とした検討を行う。

エネルギー融通の検討対象

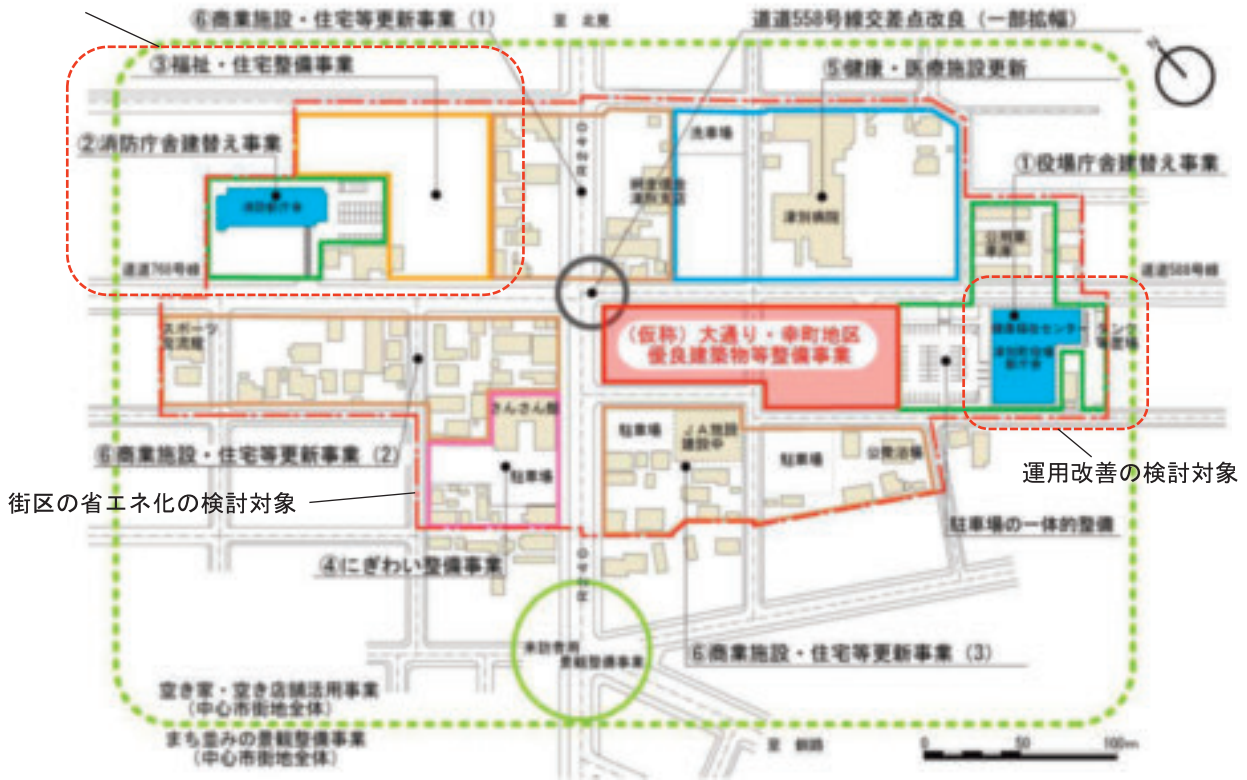


図 2-1-1-3 津別町市街地再生基本計画の対象街区^[7]

(3) 津別町公共施設等総合管理計画

国内の多くの自治体では、1950年代の高度経済成長期から1990年代のバブル期にかけて、行政需要や住民ニーズの高まりにより、多くの公共施設が整備された。これらの施設の多くは建設から30年以上が経過し、経年劣化による老朽化や更新時期を順次迎えることから、改修や建替費用が自治体財政にとって大きな負担となっている。このような背景から津別町では、町の保有する公共施設について、適正な施設配置や長寿命化を含めた維持管理など、将来を見据えた公共施設の在り方について計画を策定し再編整備を進めている^[8]。公共施設のライフサイクルコストの観点では、暖冷房などの運用エネルギーが、維持コストの過半を占めることから、新規施設の省エネ化と共に既存施設の運用改善が、公共施設の管理において極めて重要である。

図 2-1-1-4 に津別町の公共施設における一次エネルギー消費量を示す。津別町内では役場庁舎のエネルギー消費が多い状況にあり、本研究では役場庁舎をモデルケースに運用改善によるエネルギー消費削減の検討を行う。

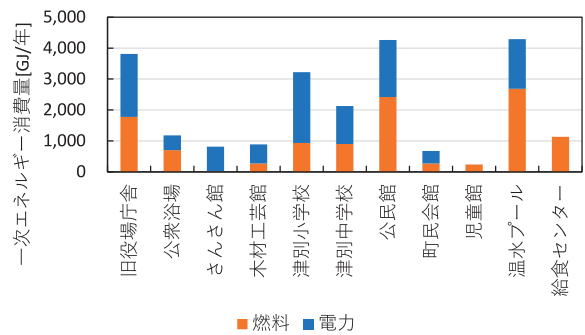


図 2-1-1-4 津別町の公共施設における一次エネルギー消費量 (町提供の燃料等使用量調査票 H27~R2 を基に作成)

2.1.3 先行事例分析による課題の整理

地域の省エネルギーを実現するには、個々の建物単体における高断熱化や高効率設備の導入等によるエネルギー消費量の削減に加え、都市及び地域的な視点からもエネルギー消費量を把握し、削減する取り組みが重要である。国内では、佐土原らによる東京都23区を対象とした地域冷暖房の導入に関する研究^[9]、下田らによる大阪市を対象としたエネルギー需要のモデル化とエネルギーシステムの更新シナ

リオに関する研究^[10]，山口らによる大阪市を対象とした地域冷暖房の導入可能性評価に関する研究^[11]，坂本らによる名古屋市を対象としたエネルギー需要と未利用エネルギーの活用による省エネルギー効果に関する研究^[12]，石河・村木らによる東京都 23 区を対象としたコージェネレーションの導入による最適な市街地のあり方に関する研究などがある^[13]。これらの研究は，主に温暖地におけるエネルギー需要密度の高い大都市を対象としたものである。一方で，エネルギー需要密度の低い地方都市を対象とした熱エネルギーの面的利用に関する研究も一部見られるものの^{例えば[14]}，寒冷地の地方都市を対象としたエネルギーに関する研究例は少ない状況にある^{例えば[15]}。地区・街区レベルの複数の建物群においてエネルギー利用の最適化を図る手法として熱エネルギーの面的利用がある。表 2-1-1-4 に街区における熱エネルギーの面的利用パターンとその特徴を示す。利用パターンは規模や契約形態，法的位置づけ，供給形態などから「①地域熱供給事業型」，「②地点熱供給事業型（集中プラント型）」，「③建物間熱融通型」の 3 つに類型される^[16]。この内，地域熱供給事業型と地点熱供給事業型は，近年，エネルギー需要密度の高い都市部の再開発事業などで，導入と適用が進んでいる。一方，北海道においても地域熱供給事業が導入された時期があったものの，事業採算性などの課題に直面し，事業は縮小している状況にある^[17]。

地方都市では，エネルギーの地産地消の観点から木質バイオマスを熱源とした地点熱供給を行う事例も見られる^{[18]~[20]}。複数の建物群に熱供給を行う場合，異なる負荷パターンを組み合わせることで負荷平準化や熱源機器容量の低減，熱源機の効率が低下する部分負荷運転の回避，再生可能エネルギーや未利用エネルギーの活用が可能になる等のメリットがある。一方で，広域に温水を供給する際は，ポンプの搬送動力や熱導管からの熱損失が大きくなり，省エネルギーの点での課題が指摘されている^[21]。既設の熱供給プラントを対象とした調査によると，熱供給プラント内における電力消費量のうち，搬送系の占める割合は約 2 割と報告されている^[22]。

諸外国では，熱負荷密度の低い地方都市であっても地域熱供給が行われている。オーストリアでは，数棟の建物を数百 m の熱導管で接続する小規模な木質バイオマスの地域熱供給（マイクロ地域熱供給）が行われており，学校や役場などの公共施設の中にバイオマスボイラーを導入し，その施設へ熱を供給するだけでなく，周辺の戸建住宅などへ熱導管を接続して熱供給を行っている^[23]。同様の取り組みは

国内においても実施されており，北海道下川町では町内中心部に熱導管を整備し木質バイオマスの地域熱供給施設により複数の公共施設に熱供給を行っている^[24]。地域熱供給を行う利点としてボイラー更新費用の低減，熱融通による効率的な木質ボイラー利用，ボイラー管理費の低減などが挙げられ，課題として熱導管のイニシャルコスト，ポンプ動力の電気代などが指摘されている。

街区における熱エネルギーの面的利用については，国内外において導入が試みられているものの，事業採算性や技術的な課題が指摘されている。本研究では，小規模自治体での取組可能な手法として，比較的導入コストが低く，既存熱源機器を活用できる「建物間熱融通型」の導入可能性について，実建物を対象としたケーススタディを行い，省 CO₂ 効果等を評価する。

表 2-1-1-4 熱エネルギーの利用パターンと特徴^[16]

分類	地域熱供給事業型	地点熱供給事業型（集中プラント型）	建物間熱融通型
概要	地域熱供給あるいは地域冷暖房と称され，その多くは熱供給事業法の適用対象となる。	集中熱発生施設による熱供給システムであるが，規模が小さいもので，同一の敷地内で特定の需要家に供給するもの。	近隣の建物相互間で熱を融通し，熱源設備を共同利用するもの。
規模	大（加熱能力 21GJ/h 以上）	中～小	小
契約等	熱供給事業法に基づく供給義務（供給条件は供給規定に基づく）	供給者・需要家間の契約に基づく供給義務（供給条件は契約に基づく）	建物所有者同士の相互契約に基づく供給義務（供給条件は相互契約に基づく）

2.1.4 本章における社会実装

(1) 社会実装の目的と研究項目

本章の対象フィールドである津別町では木質バイオマスの活用に関し，先進的な取り組みが行われており，川上から川下までの体制が構築されている状況にある。一方で，その利用可能量については，計画伐採面積や工場の生産能力が上限となることから，限りある木質バイオマスを域内で有効利用できるよう，施設の省エネ及び省 CO₂ に関する取り組みを進める必要がある。建築関連の CO₂ 排出量に関しては，運用エネルギーが 7 割程度を占めており（図 2-1-1-4）^[25]，北海道全体においても，省エネ性能の高い建築物の建設に加え，絶対数の多い既存建築物

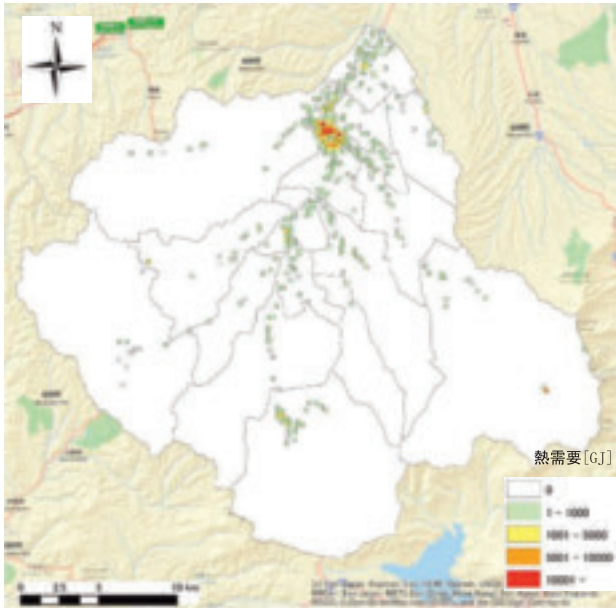


図 2-1-1-5 津別町の熱需要マップ（民生部門）

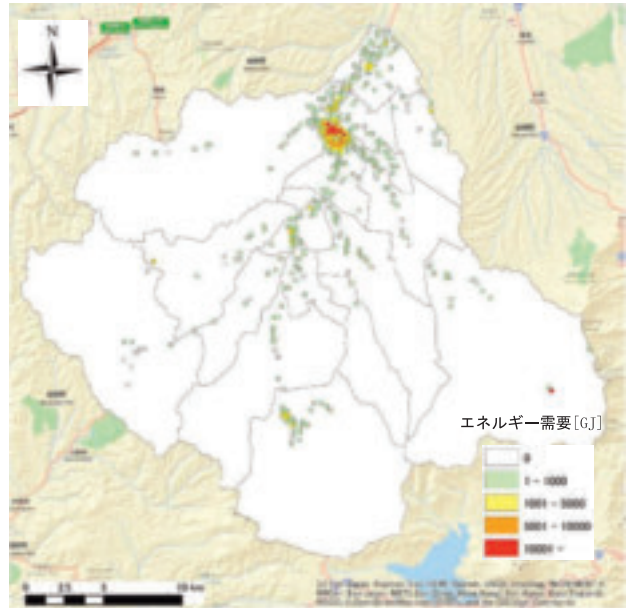


図 2-1-1-7 津別町のエネルギー需要（熱+電力）

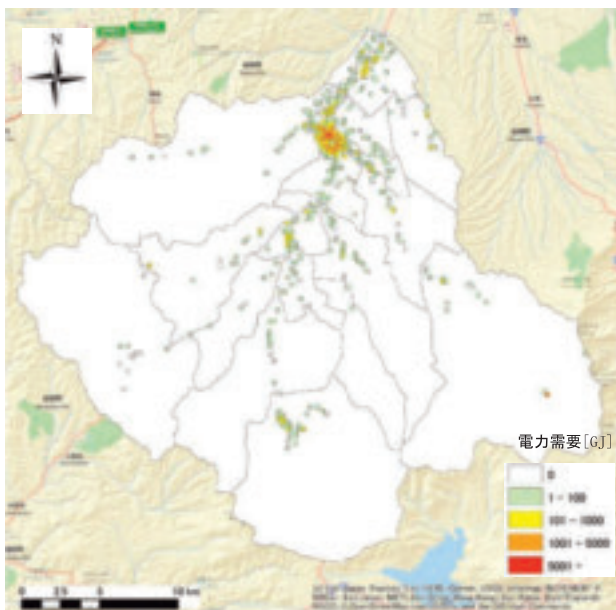


図 2-1-1-6 津別町の電力需要マップ（民生部門）

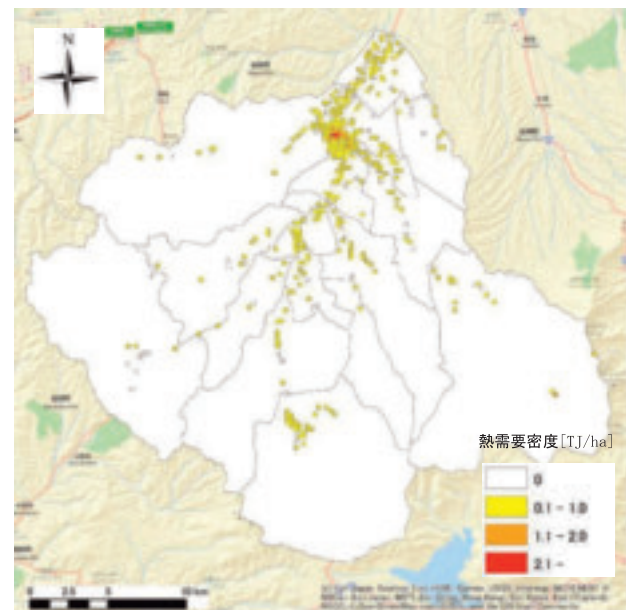


図 2-1-1-8 津別町の熱需要密度マップ

の運用改善が特に重要である。

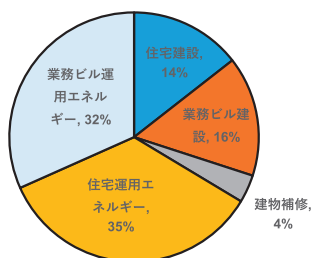


図 2-1-1-4 建築関連の CO₂ 排出量の割合^[25]

このような背景から、本章では、津別町内の公共施設でエネルギー使用量の多い既存建築物を対象とした運用改善に関するケーススタディを行い、その効果について定量的評価を行い、他地域への適用等に関する課題を整理する。ここでは自治体による運用改善の取り組みが比較的容易な役場庁舎を対象とした検討を行う。

前述のように建物単体のみならず、地域的な視点からもエネルギー消費量を把握し、削減する取り組みが重要であることから、津別町の実街区を対象とした省 CO₂に関するケーススタディを行う。

図 2-1-1-5～8 に津別町の民生部門におけるエネルギー需要マップを示す (250m×250m メッシュ間隔)。図に示すように津別町では、図 2-1-1-3 に示す再生基本計画の対象街区となっている中心市街地でのエネルギー需要が高く、熱需要密度も高い。一方、地方都市であるため建物が密集していないことから、その熱需要密度は (図 2-1-1-9)、地域冷暖房の導入可能性を検討する際の指標値 (4.2TJ/ha 以上) より低く^[16]、表 2-1-1-4 に示す地域熱供給事業型の採用は採算性等の観点から困難である。このような背景から、本研究では、低い熱需要密度でも適用可能で、ボイラー等の熱源設備の導入コストを抑えることが出来る建物間熱融通型を適用した際の CO₂ 削減効果について、実建物を対象としたケーススタディにより検討を行う。また、街区内の既存建築物を省エネ性能の高い建築物に建て替えた際の効果について、試算を行い、エネルギービジョンに向けた基礎資料とする。

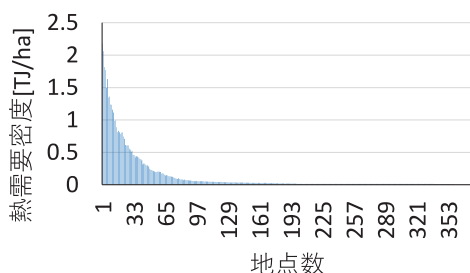


図 2-1-1-9 津別町における熱需要密度

(2) 社会実装のプロセス

本章では、下記の項目について社会実装に関する検討を行った。後述する「役場庁舎を対象とした運用改善」については、社会実装が行われ、エネルギー削減効果が定量的に示された。一方、「エネルギー融通の可能性評価」については、現段階では、モデルの評価に留まっており、社会実装には、新たに建設される施設の用途や規模について慎重に検討する必要があるほか、採算性等の事業性についても精緻に検討を行う必要がある。

注 1) 理論的に算出することができるエネルギー資源量。環境省の再生可能エネルギー情報提供システム (REPOS) における木質バイオマスの賦存量は、国有林・民有林の人工林としている。

注 2) 伐倒木をそのまま森林作業道端まで搬出して土場で造材する全木集材と仮定した値。係数の設定は文献[5]による。

注 3) 重量あたりの発熱量等の各換算係数を用いて

試算した値。係数の設定は文献[6]による。

[引用文献等]

- [1] 津別町. 『津別町勢要覧』. (2020)
- [2] 津別町. 『津別町勢要覧資料編』. (2021)
- [3] 北海道水産林務部. 北海道林業統計. (2021)
- [4] 環境省. 『再生可能エネルギー情報提供システム REPOS (リーポス)』. <https://www.renewable-energy-potential.env.go.jp/>
- [5] (一社) 日本森林技術協会, (株) 森のエネルギー研究所. 『北海道津別町「地域内エコシステム」モデル構築事業報告書』. (2021)
- [6] 日本データサービス株式会社. 『津別町森林バイオマス熱供給システムプラン策定業務』 (2017)
- [7] 津別町. 『津別町市街地再生基本計画』. (2020)
- [8] 津別町. 『津別町公共施設等総合管理計画』 (2017)
- [9] 河原透, 佐土原聡, 尾島俊雄. “低温熱媒地域冷暖房導入に伴う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. 448. 29-38 (1993)
- [10] 下田吉之, 山口容平, 浅井崇志, 水野稔. ” 地区を基本単位とした都市エネルギー需給のモデル化と将来シナリオに関する研究”. 日本都市計画学会都市計画論文集. 41-3. 833-838. (2006)
- [11] 山口容平, 下田吉之. “建物規模・用途別の熱源システム採用状況を考慮した地域冷暖房施設導入可能性評価に関する研究”. 日本建築学会環境系論文集. 76. 663. 509-515. (2011)
- [12] 坂本雄三, 中原信生, 元田晃二. ” 名古屋市域における未利用エネルギーの活用による省エネルギー効果の推計と評価 第 2 報 省エネルギー効果の推計と評価”. 空気調和・衛生工学会論文集. 58. 111-118. (1995)
- [13] 石河正寛, 村木美貴, 菊地啓. ” エネルギー供給システムからみた最適市街地のあり方に関する研究—コージェネレーションに着目して—”. 日本都市計画学会都市計画論文集. 47. 3. 937-942. (2012)
- [14] 住友雄太, 古林敬頭, 中田俊彦. “バイオマス資源と熱需要分布を考慮した中山間地域熱供給システムの設計”. エネルギー・資源学会論文誌. 36. 5. 1-11. (2015)
- [15] 阿部佑平, 月館司, 立松宏一, 堤拓哉, 鈴木大隆. “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. 739. 801-809. (2017)
- [16] (一社)都市環境エネルギー協会. 『地域冷暖房技術手引書改訂第4版』. (2013)
- [17] 浦上健司. ”寒冷地における住宅向け地域熱供給システムの衰退事例から学ぶ普及課題”. 環境情報科学 学術研究論文集. 30. 303-306. (2016)
- [18] 福島明, 魚住昌広. ”バイオマスを用いた地域熱供給システムに関する調査研究”. 日本建築学会北海道支部研究報告集. 89. 111-114. (2016)
- [19] 山崎慶太, 斉藤雅也, 宿谷昌則. ”木質バイオマスを活かす地域熱供給システムのエクセルギー解析 北海道下川町を事例として”. 日本建築学会環境系論文集. 721. 295-305. (2016)
- [20] 阿部佑平, 月館司. ”公営住宅を対象とした木質バイオマスによる熱供給システムに関する研究 その1 竣工初年度における運用評価”. 日本建築学会大会学術講演梗概集. 1335-1336. (2018)
- [21] 小山一茂, 岡井大八, 米良まり子. ”地域冷暖房における搬送動力と熱ロスに関する調査”. 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集. 157-160. (2014)
- [22] 国立研究開発法人建築研究所. ”新設地域熱供給プラントの一次エネルギー換算係数に関する研究”. 建築研究資料. 201. (2020)
- [23] 三浦秀一. “オーストリアにおける森林によるマイクロ地域熱供給の取り組み”. 熱供給. 82. 12-15(2012)
- [24] NEDO 再生可能エネルギー熱オンラインシンポジウム, 配布資料, https://noman.heteml.net/_file/1221/02_3_mbionetsu.pdf. (2022)
- [25] 秋山宏, 伊香賀俊治, 木俣信行. ”わが国の建築関連 CO₂ 排出量の割合”. 建築雑誌. 114. (1999)

研究担当機関：建築研究本部

執筆者：堤 拓哉

2.2 省エネ施設・省エネ街区の構築

2.2.1 公共施設の集約化等による省エネ化の検討

(1) はじめに

地方都市における公共施設のエネルギー消費量は、都市の総エネルギー消費量の数%を占めている。都市の総エネルギー消費量を削減するためには、公共施設の省エネ化を進めることが重要である。

本項では、津別町内にある公共施設を対象に、施設属性やエネルギー消費量を調査し、実態を把握する。さらに、得られたデータをもとに、公共施設の集約化を検討し、集約化によるエネルギー消費量の削減効果を試算する。

(2) 公共施設のエネルギー消費量

1) 調査方法

表 2-2-1-1 に調査対象の公共施設を示す。津別町が所有する公共施設（建築物を伴う施設）を調査対象とし、町内にある公共施設のうち、中心市街地にある主要な 11 施設を調査対象とした。なお、公営住宅、教員住宅、公園内施設及び国・北海道が所有する公共施設は対象外とした。

表 2-2-1-1 調査対象の公共施設

施設名	竣工年	延床面積[m ²]
旧役場庁舎	1958	3,547.46
公衆浴場	1988	163.60
さんさん館	2011	396.90
木材工芸館	1984	863.58
津別小学校	1974	6,533.30
津別中学校	1996	4,777.00
公民館	1982	2,602.56
町民会館	1970	1,327.30
児童館	1969	875.22
温水プール	1998	2,061.29
給食センター	1978	456.00

調査は、施設属性調査とエネルギー消費量調査を実施した。施設属性調査では、施設の竣工年、延床面積、暖房・冷房・給湯の熱源、利用状況等を調査した。エネルギー消費量調査では、H27 年度から R2 年度の 6 年間を対象に、電力、燃料（灯油、A 重油、LPG、ペレット）の年間消費量を調査した。

2) 施設属性

図 2-2-1-1 に各施設の暖房・冷房・給湯の熱源を示す。まず暖房については、調査した 11 施設のうち、7 施設で複数の熱源が採用されていた。灯油、重油、ペレットの熱源を採用している施設が多い傾向にある。ペレットを採用している 6 施設では、ペレットボイラーが 2 施設、ペレットストーブが 3 施設、ペレットボイラーとペレットストーブの併用が 1 施設あった。

冷房については、熱源は電力のみであった。調査した 11 施設のうち、5 施設で冷房が導入されていた。

給湯については、LPG を熱源に採用する施設が最も多かった。給湯需要の小さい施設では、電力を熱源に採用する傾向が見られた。

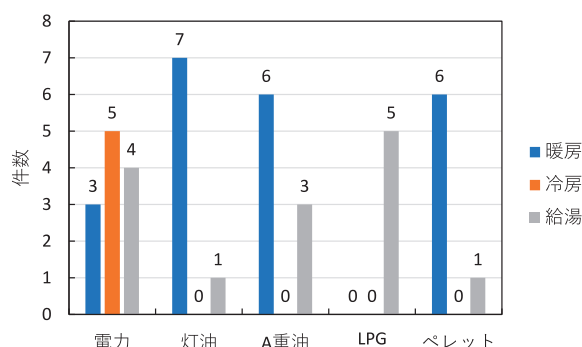


図 2-2-1-1 各施設の暖房・冷房・給湯の熱源

3) エネルギー消費量

図 2-2-1-2 に各施設の最終エネルギー消費量(H27 年度～R2 年度)を示す^{注1)}。エネルギー消費量が最も

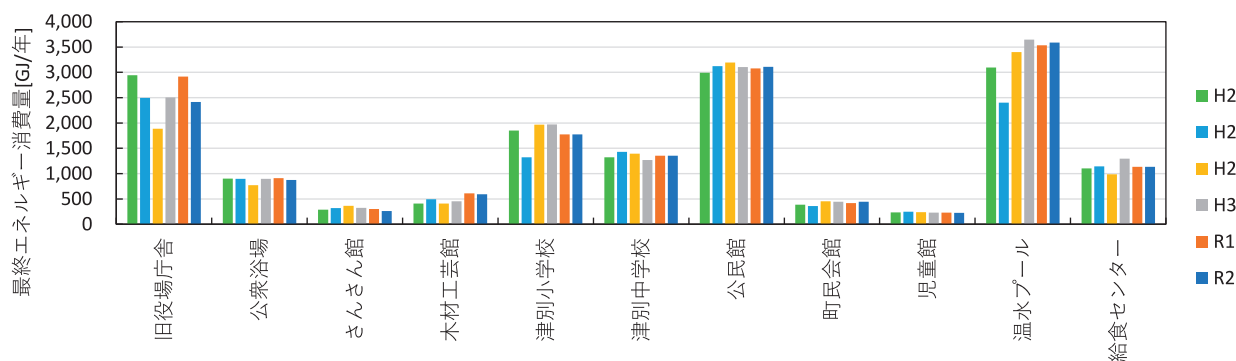


図 2-2-1-2 各施設最終エネルギー消費量 (H27 年度～R2 年度)

大きい施設は、温水プールであり、次いで公民館、旧役場庁舎、小学校、中学校の順であった。

旧役場庁舎、津別小学校、温水プールでは、エネルギー消費量がやや増減した年度があったが、それ以外の施設ではほとんど毎年のエネルギー消費量は変わらなかった。

図 2-2-1-3 に各施設の最終エネルギー消費量の熱・電力内訳を示す^{注2)}。図中では、6 か年平均値を示している。熱と電力の比率を見ると、温水プール、公民館、公衆浴場では、熱は電力よりも4 倍程度大きく、熱需要の大きい施設であることがわかる。

一方、小学校では、熱と電力の比率がほぼ同じ、また中学校では、熱は電力の2 倍程度となり、調査した施設の中では、電力需要の大きい施設であることがわかる。

図 2-2-1-4 に各施設の最終エネルギー消費量を延床面積で除して算出した最終エネルギー消費原単位を示す。1,000[MJ/(m²・年)]を上回った施設は、公

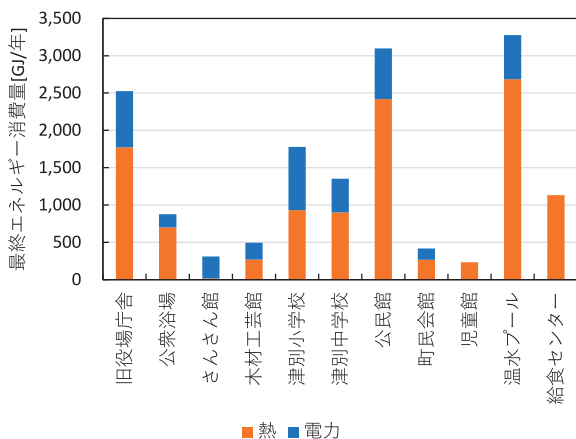


図 2-2-1-3 各施設の最終エネルギー消費量の熱・電力内訳 (6 か年平均値)

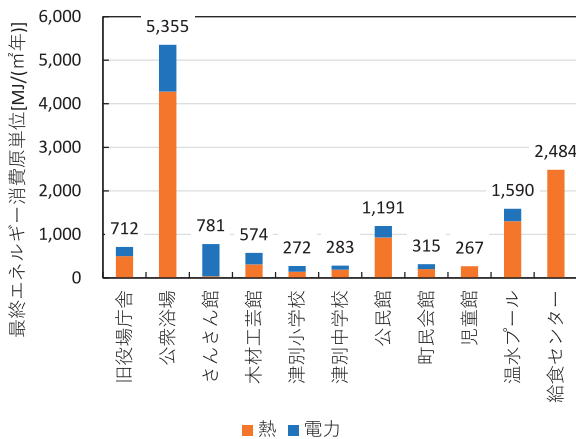


図 2-2-1-4 各施設の最終エネルギー消費原単位

衆浴場、公民館、温水プール、給食センターの4 施設であった。これらの施設では、年間を通じて給湯エネルギーが発生することが影響している。その中でも、特に公衆浴場では、延床面積が小さいため5,000[MJ/(m²・年)]を上回った。

(3) 公共施設の集約化の検討

1) 検討内容

類似する建物用途であれば、集約化により効率的な運用ができる可能性がある。そこで本検討では、調査した公共施設のうち、小学校と中学校を対象とした施設の集約化を検討する。集約化にあたっては、小学校から中学校の義務教育を一貫して行う義務教育学校を想定する。

2) 試算結果

表 2-2-1-2 に小学校と中学校の集約化の試算結果を示す。試算条件として、義務教育学校の延床面積は、現状の小学校及び中学校の校舎部分の面積(8,432.3 m²)と小学校の体育館の面積(1,635 m²)を合計した値とした。また、義務教育学校のエネルギー消費原単位については、小学校と中学校の平均値とした。

現状のエネルギー消費量は、小学校と中学校を合計すると3,129[GJ/年]となるが、集約化して義務教育学校とした場合には、2,799[GJ/年]となった。集約化により建物の延床面積が減るため、エネルギー消費量は11%削減されることが試算された。

なお、本検討はエネルギーの観点から集約化の検討を行ったため、小学校及び中学校の利用実態や住民の意向は考慮していない。

表 2-2-1-2 小学校と中学校の集約化の試算結果

		延床面積 [m ²]	エネルギー消費原単位 [MJ/(m ² ・年)]	エネルギー消費量 [GJ/年]
現状	小学校	6,533.3	272	1,777
	中学校	4,777.0	283	1,352
集約化	義務教育学校	10,067.3	278	2,799

(4) まとめ

津別町内にある公共施設の熱源やエネルギー消費量の実態を把握するとともに、公共施設の集約化によるエネルギー消費量の削減効果を試算した。

注 1) 最終エネルギー消費量への換算係数は、電力

3.6[MJ/kWh], 灯油 36.7[MJ/L], A 重油 39.1[MJ/L],
LPG50.8[MJ/kg], ペレット 20[MJ/kg]とした。

注2) 「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。

研究担当機関：北方建築総合研究所

執筆者：阿部 佑平

2.2.2 公共施設を対象としたエネルギー消費実態の把握と運用改善

(1) 背景と目的

施設の建て替えの際に省エネ化しても、設計時に想定した設備性能や運用と異なるなどにより、期待したほどには省エネにならない場合もある。

そこで、2021年に建て替えた北海道内の津別町役場庁舎のエネルギー消費量と温熱空気環境を調査し、運用改善による消費量削減方法を検討し、試行した。同様の課題がある庁舎等の改善方法として示すとともに、今後建て替えの庁舎等で暖冷房・空調設備の設計をする際の留意点として示すことを目的としている。

(2) 対象施設の概要

1) 建物概要

表 2-2-2-1 に、調査対象の津別町役場庁舎の概要を示す。暖房設備は、木質ペレットボイラー（以下、PB）を主熱源とした温水暖房で、執務スペースには床暖房、ペリメーター（室内の外壁側）及び会議室等の仕切られた空間にはパネルラジエーターを備える。図 2-2-2-1 に、温水暖房配管の系統図を示す。

なお、常時使用はしない多目的ホールと議事堂は、冷暖切替のパッケージエアコンと熱交換換気設備を備え、個別に制御している。

表 2-2-2-1 津別町役場庁舎概要

竣工年月	2021年4月	
構造	鉄筋コンクリート・木混構造	
規模	2階建て	
延床面積	3,208.16 m ²	
外皮断熱等	屋根	高性能グラスウールボード [®] 16kg t100mm×2 硬質ウレタンフォーム t100mm
	外壁	ビーズ法ポリスチレンフォーム t100mm
	基礎外周	押出法ポリスチレンフォーム 3種 b t75mm
	窓	Low-E 複層ガラス (A12)
設備	暖房熱源	主：ペレットボイラー 232kW 副：灯油ボイラー 52kW×4台 台数制御
	暖房放熱器	パネルラジエーター 33台 121.741kW ファンコンベクター 2台 12.8kW 床暖房 敷設面積 1,515.9m ²
	冷房	パッケージエアコン 冷房のみ 40台 冷暖切替 9台
	外調機	送風機風量 1F 5,840m ³ /h 2F 4,550m ³ /h 加熱能力 1F 142kW 2F 111kW

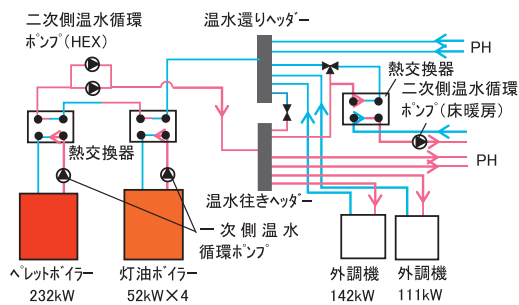


図 2-2-2-1 温水暖房配管系統図

2) 一次エネルギー消費性能評価

図 2-2-2-2 に、建築物エネルギー消費性能計算プログラム（非住宅版）WEBPROver. 3.0. による当該庁舎の一次エネルギー消費量の計算結果を示す。BEI（基準値に対する設計値の割合）は 0.68 である。なお、暖房熱源の PB はエネルギー消費性能の評価対象設備ではないため、補助熱源の温水ボイラー（灯油）で評価をした。

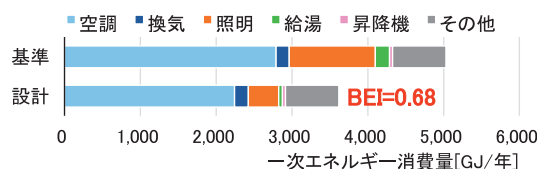


図 2-2-2-2 エネルギー消費性能（標準入力法）

3) 調査の概要

表 2-2-2-2 に調査項目を示す。計測は、2021年11月から開始した。

表 2-2-2-2 調査項目

項目	調査方法
電力（空調動力）	ポンプ・送風機・ボイラー等 多回路エネルギーモニター Panasonic 社製 BT3720KN
電力（AC）	エアコン・イシヨナ・室外機 クランプ電流計 HIOKI LR5051 一時測定 (PW3365-10) の力率を用いて電力に換算
温水熱量	一次側：ペレットボイラー・灯油ボイラー* 二次側：全体・床暖房*・パネルラジエーター* 往・還管表面温度 T 熱電対 流量計キエンス社製 FD-R80 富士電機社製 Portaflow-C *定流量のため一時測定値を使用
温湿度・二酸化炭素濃度	T&D 社製 TR-76Ui
外調機吹出温度 (2022.11~)	T&D 社製 RTR-53A
床下・床表面温度 (2022.11~)	T&D 社製 TR-52
一次エネルギー消費量	燃料購入量から換算

(3) 暖冷房・空調設備の運用の実態と改善点

調査の結果、以下の運用実態を把握し、改善を実施した。

1) 暖房（ボイラー）主熱源と補助熱源の運転

図 2-2-2-3 に示す温水暖房のボイラー熱源別の供

給熱量を見ると、灯油ボイラーからの供給のみで主熱源 PB からの供給がない時間があった。これは、PB の出力を下げたことが原因と判明した。PB を主熱源とする（供給割合を高くする）ためには、温水暖房の熱を供給している時間帯は常に PB の出力を維持（補助熱源よりも温水温度の設定を高く）する必要がある。

これを改善した結果、図 2-2-2-4 に示す通り、供給熱量が約 500MJ を超えないときには PB のみ、それを超過するときに灯油ボイラーの供給熱量が発生していることから、ペレットが主熱源となったことがわかる。

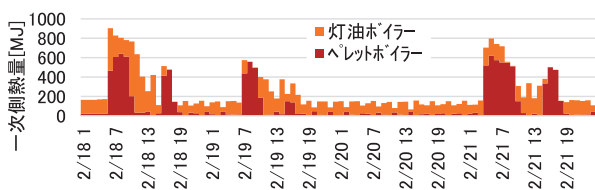


図 2-2-2-3 温水暖房一次側の供給熱量（2022 年）

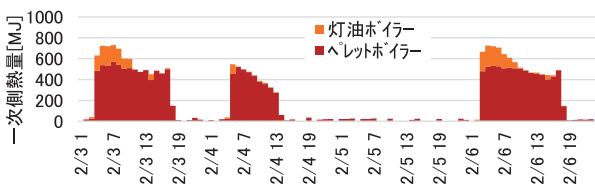


図 2-2-2-4 温水暖房一次側の供給熱量（2023 年）

2) 夜間の温水暖房の運転

図 2-2-2-5 に示す空調（暖冷房、換気）動力の消費電力量を見ると、温水循環ポンプのうち一次側ボイラー（PB、FF）と二次側全体（HEX）が 24 時間連続で動いていたことがわかる。消費電力を削減するた

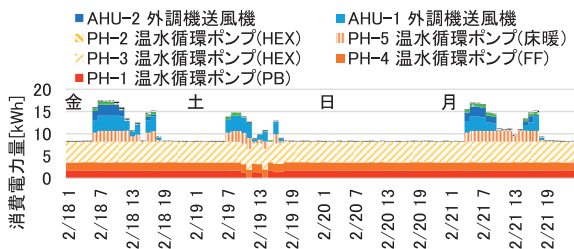


図 2-2-2-5 空調動力の消費電力量（2022 年）

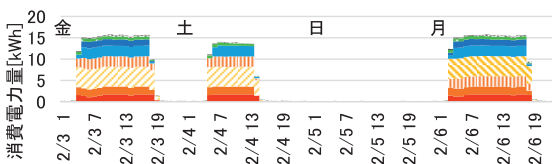


図 2-2-2-6 空調動力の消費電力量（2023 年）

めには、暖房の温水循環ポンプを停止できる時間は可能な限り停止することが望ましい。

夜間と休日の温水暖房を停止する改善を行った結果、図 2-2-2-6 に示す通り、夜間と休日の温水循環ポンプの消費電力毎時約 8kW を削減できた。11 月中旬から 3 月中旬の 4 か月間では、2021 年度 26,219kWh から 2022 年度は 15,381kWh に削減できた。

図 2-2-2-7 に執務空間と外気の温度を示す。ペリメーターに配されたパネルラジエーター暖房の執務室は、夜間、休日も常に 22℃以上となっている。床暖房の執務スペースの温度は、開庁時間帯は 20℃以上であるが、床暖房の温水循環を停止している夜間と休日には温度が低下している。不在時にペリメーターゾーンの温度が高く外気との差が大きいと、壁や窓などを通して外に逃げる熱量が増える。暖房エネルギーを削減するためには、不在時には可能な限り暖房を停止することが望ましい。

夜間と休日の温水暖房を停止する改善を行った結果、図 2-2-2-8 に示すとおり、パネルラジエーター暖房の執務室、床暖房の執務スペースとも、開庁時間は 20℃以上であるが、夜間と休日には 17℃程度まで低下した。この結果、2 月中旬～3 月中旬の 1 か月間で、暖房供給熱量が 2021 年度の 179,246MJ から 2022 年度は 156,183MJ に削減できた。

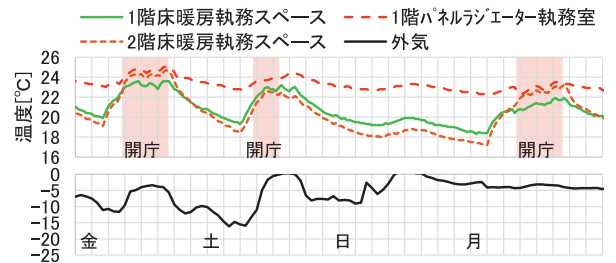


図 2-2-2-7 執務空間と外気の温度（2022 年）

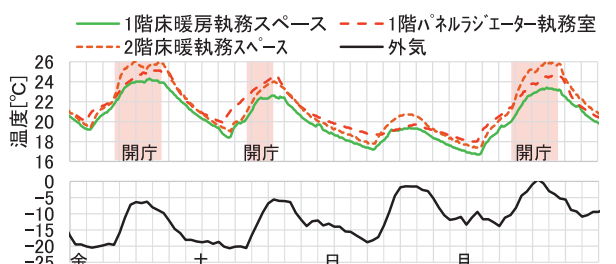


図 2-2-2-8 執務空間と外気の温度（2023 年）

3) 換気量と換気送風機の運転時間

図 2-2-2-9 に、執務スペースの CO₂ 濃度と外調機注1)の送風機（以下、送風機）の消費電力の推移を示す。消費電力を見ると、朝 4 時または 5 時から送風機を運転し、1 階（送風機 1）は昼休みの 1 時間、2 階（送風機 2）は昼から 15 時頃まで停止していることがわかる。CO₂ 濃度を見ると、送風機を停止してから上昇し、15 時頃に事務所の基準^[1]である 1,000ppm を超えるときがあった。CO₂ 濃度が 1,000ppm を超えないように、在庁時間は常に送風機を運転する必要がある。また、送風機を停止する前の濃度は平均 700ppm 前後であることから、送風量を 30～40%程度減らす（800～900ppm 程度とする）ことは可能と考えられる。

換気による熱損失を減らすため送風量を 30%減らした上で、開庁時間は送風機を停止しない改善を行った結果を図 2-2-2-10 に示す。CO₂ 濃度は 700ppm 以下を保っていた。また、送風機の消費電力も 30%削減されたため、開庁時間に連続運転しても 1 日の消費電力量は微減した。

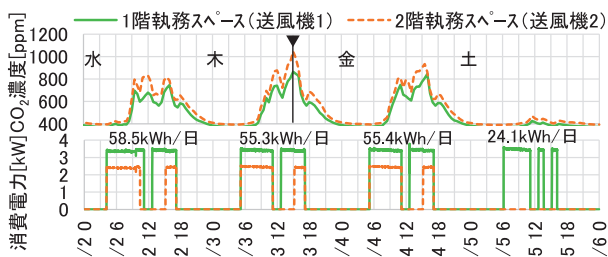


図 2-2-2-9 CO₂ 濃度と送風機消費電力 (2022 年)

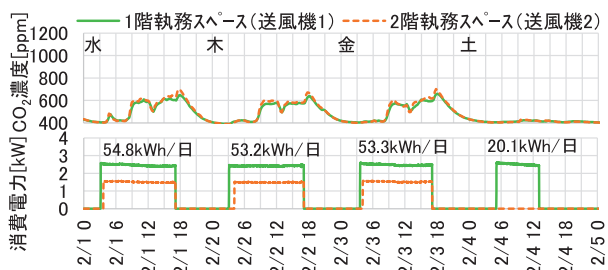
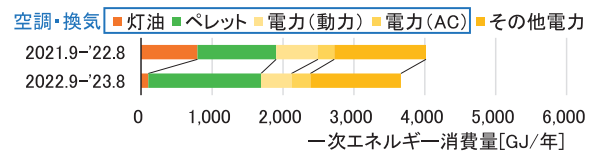


図 2-2-2-10 CO₂ 濃度と送風機消費電力 (2023 年)

(4) 運用改善の効果

図 2-2-2-11 に、改善前 2021 年 8 月から翌年 9 月までと改善後 2022 年 8 月から翌年 9 月までの年間一次エネルギー消費量を示す。改善前は暖房熱源である灯油とペレットの比率が 4 : 6 程度であったが、改善後は 9 割以上ペレットとなった。また、暖房用（灯油+ペレット）と、空調・換気動力用（電力）のエネルギーが削減され、庁舎全体では 9%削減とな

った。この結果、図 2-2-2-2 の設計のエネルギー消費量と比べて、改善後は同等になった。



一次エネ換算 灯油：36.7MJ/L, ペレット：20.0MJ/kg, 電気：9.76MJ/kWh

図 2-2-2-11 改善前後の一次エネルギー消費量

(5) まとめ

津別町役場庁舎改築後のエネルギー消費量を削減するために、以下の運用改善を行った結果、庁舎全体のエネルギー消費量を改善前から 9%削減し、概ね設計値通りになった。

- ・温水暖房を運転している間は主熱源（PB）の出力を維持
- ・温水暖房の温水循環を夜間・休日は停止
- ・外調機の送風量を 30%減、在室時は連続運転

ただし、現状、床暖房の床材の熱の伝わりが小さく床暖房では温まりにくいいため、外調機の吹き出し温度を高くして温風暖房のように使用していた。今後、外調機に頼らずに床暖房で暖められるように、温水暖房配管がある床下と執務スペースとの空気循環をする改善を試みる予定である。

注 1) 外調機とは、送風機と温水コイルから構成され、換気のために取り入れる外気を冬季には暖めてから室内に送る装置。

[引用文献等]

[1] 厚生労働省. “建築物衛生管理基準”.
<https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seika/tsu-eisei10/>

研究担当機関：北方建築総合研究所

執筆者：村田 さやか

2.2.3 街区を対象としたエネルギー需要の推計と省エネ街区形成の検討

(1) はじめに

津別町では、令和2年4月に市街地総合再生基本計画が公表された。「つながりがにぎわいを生む、歩いて暮らせるコンパクトシティ」を基本コンセプトに中心市街地を8つのゾーンに分けた再開発事業が進んでいる。これに伴い、中心市街地のエネルギー需給は今後大きく変化することが予想され、エネルギーのエリアマネジメントが重要となる。

本項では、中心市街地の街区を対象にエネルギー需要を推計するとともに、街区全体の省エネルギー化を目指した将来シナリオと削減効果を検討する。

(2) 街区を対象としたエネルギー需要の推計

1) 対象街区

図2-2-3-1に対象街区のエリア、写真2-2-3-1に対象街区内の建物を示す。対象街区は、津別町が令和2年4月に公表した「市街地総合再生基本計画」^[1]における中心市街地の再開発検討エリアを対象とする。街区には、役場庁舎や消防庁舎等の公共施設、病院、銀行等の非住宅建築物のほかに、住宅が数多くある。特に、市街地中央を縦貫している国道240号線には、店舗併用住宅が並んでいる。

図2-2-3-2に対象街区内における建設年代別の棟数・延床面積を示す。図中では、民生部門の建物用途を住宅、集合住宅、医療、業務、商業、文化、浴場の7つに分類し集計した^{注1)}。街区には、76棟の建物があるが、棟数では住宅が55棟と最も多い。建設年代の傾向として、1980年代以前に建設された建物が多いが、業務、文化施設においては、再開発により2020年代に建設された建物が見られる。また、延床面積についても住宅が最も大きく、次いで業務、医療施設の順に大きい。



図2-2-3-1 対象街区のエリア^[1]



(a) 役場庁舎



(b) 病院

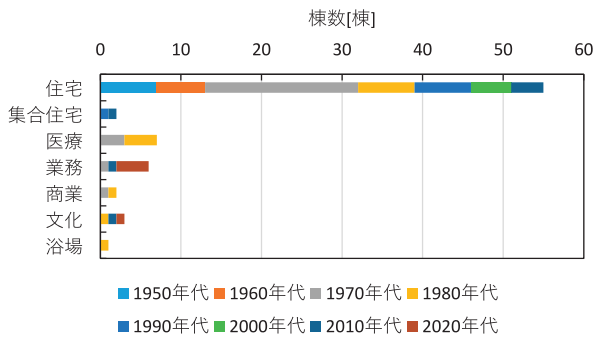


(c) 銀行

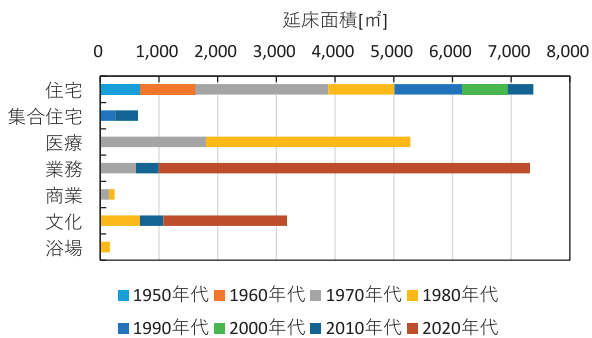


(d) 店舗併用住宅

写真2-2-3-1 対象街区内の建物



(a) 棟数



(b) 延床面積

図 2-2-3-2 対象街区における建設年代別の棟数・延床面積

2) エネルギー需要の推計方法

対象街区における各建物のエネルギー消費量を一棟ずつ調査することは困難であるため、ここでは、建物用途別のエネルギー消費原単位に建物の延床面積を乗じて年間エネルギー需要を推計した。

表 2-2-3-1 に本研究で使用した建物用途別のエネルギー消費原単位を示す^[2]。建物の延床面積については、固定資産課税台帳に記載されている値を使用した。なお、津別町でエネルギー需要を把握している公共施設については、エネルギー需要の推計は行わず、町から各施設の年間エネルギー消費量のデータを提供してもらい、その値を使用した。

表 2-2-3-1 建物用途別のエネルギー消費原単位

建物用途	エネルギー消費原単位[MJ/(㎡年)]	
	熱	電力
住宅	483	119
集合住宅	542	166
医療	1,584	248
業務	652	225
商業	1,366	715
文化	239	77

3) エネルギー需要の推計結果

図 2-2-3-3 に建物用途別のエネルギー需要（熱需要及び電力需要）と熱電比^{注2)}を示す。対象街区においては、医療のエネルギー需要が最も大きく、次いで業務、住宅の順に大きい。また、熱電比を見ると、医療で熱電比が大きくなっており、他の用途に比べ熱需要の割合が大きい傾向にある。

図 2-2-3-4 に熱と電力需要を合計して算出した年間エネルギー需要の建物用途別割合を示す。医療が最も大きく全体の 41% を占め、次いで、業務が 24%、住宅が 19% の順になっている。街区内の省エネ化を進めるためには、エネルギー需要が最も大きい医療施設(病院)の省エネ改修または改築が欠かせない。業務施設については、再開発により 2020 年代以降に建設された建物が多いため、運用で省エネ化を進めていく必要がある。また、住宅については、戸数が多いためエネルギー需要が大きくなっている。街区内にある住宅は、1980 年代以前に建設されたものが半分以上を占めている。これらの住宅は、旧耐震基準で設計されているため、省エネと耐震をあわせた改修を進めていく、または建て替えにより省エネ化を進めていく必要がある。

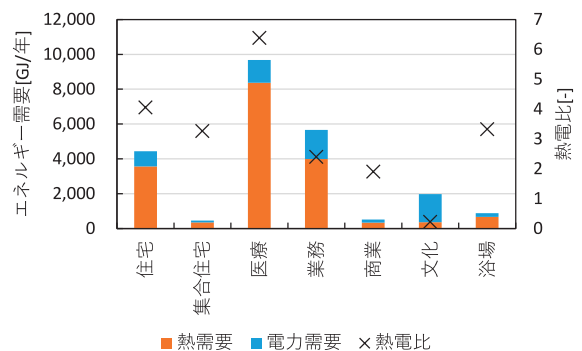


図 2-2-3-3 建物用途別のエネルギー需要と熱電比

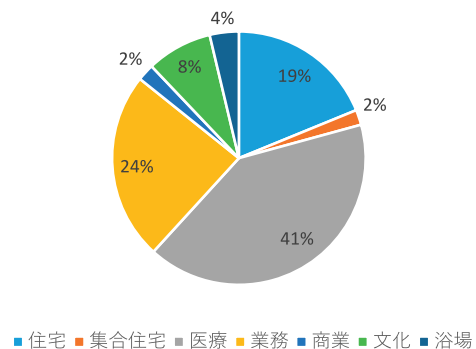


図 2-2-3-4 年間エネルギー需要の建物用途別割合

4) CO₂ 排出量の推計結果

街区内のエネルギー需要の推計値をもとに、CO₂ 排出量を推計した^{注3)}。推計にあたり、住宅及び集合住宅の熱源は灯油、その他の建物用途は重油と仮定した。ただし、公共施設で木質バイオマスボイラーが導入されている建物については、ペレットまたはチップを熱源とした。

図 2-2-3-5 に建物用途別の CO₂ 排出量を示す。エネルギー需要と同様に、医療で最も大きく、次いで業務、住宅の順になった。

図 2-2-3-6 に CO₂ 排出量の建物用途別割合を示す。医療が最も大きく全体の 38% を占め、次いで、業務が 22%、住宅が 18% の順になった。

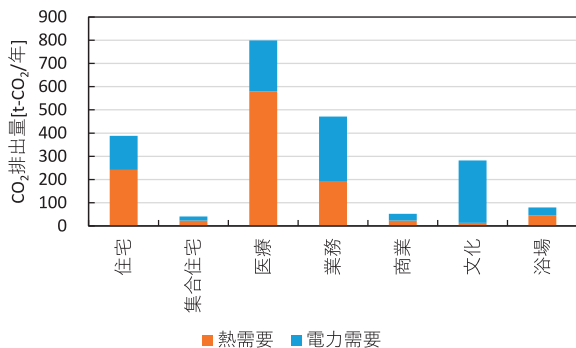


図 2-2-3-5 建物用途別の CO₂ 排出量

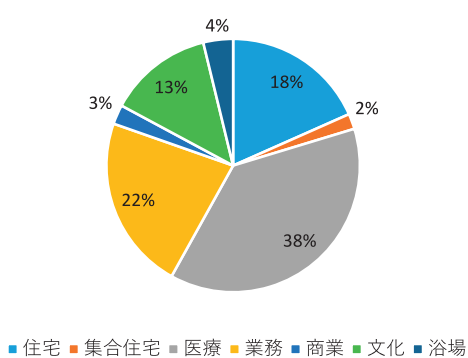


図 2-2-3-6 CO₂ 排出量の建物用途別割合

5) エネルギー需要の空間分布特性

エネルギー需要の推計結果をもとに、GIS を用いて対象街区を含む中心市街地におけるエネルギー需要の空間分布特性を把握する。GIS で作成するマップの種類には、町丁目単位によるマップと、メッシュ単位によるマップがある。町丁目単位によるマップでは、町丁目面積によりエネルギー需要が左右され、面積の異なる町丁目では同一に比較することができない。一方、メッシュ単位によるマップでは、全メッシュが同面積であるため、メッシュ同士のエ

ネルギー需要を比較することができる。このため、本研究ではメッシュ単位で分析することとし、メッシュ単位は将来的な建物間のエネルギー融通の検討に活用することも考慮し、図 2-1-1-5~8 のメッシュ単位とは異なり、100m×100m メッシュ間隔とした。エネルギー需要の推計で必要となる建物データには、建物ポイントデータ (ゼンリン社) を使用した。また、建物用途別のエネルギー消費原単位には、表 2-2-3-1 の値に加え、参考文献[1]に記載された値を使用した。

図 2-2-3-7 に熱及び電力需要を合計した年間エネルギー需要を示す。年間エネルギー需要が 2.0[TJ/年]未滿のメッシュが数多く分布している。病院があるメッシュではエネルギー需要が多い傾向にあり、8.0[TJ/年]以上となるメッシュがある。

図 2-2-3-8 に熱負荷密度を示す。熱負荷密度は地域冷暖房の導入可能性を検討するために用いられる指標であり、熱負荷をメッシュ面積(100m 四方, 1ha)で除して算出した。図 2-2-3-7 と比較すると、年間エネルギー需要が多いところでは、熱負荷密度も大きい傾向にあり、熱負荷密度の最大値は 6.8[TJ/ha]であった。佐土原ら^[3]は、地域冷暖房の導入可能性

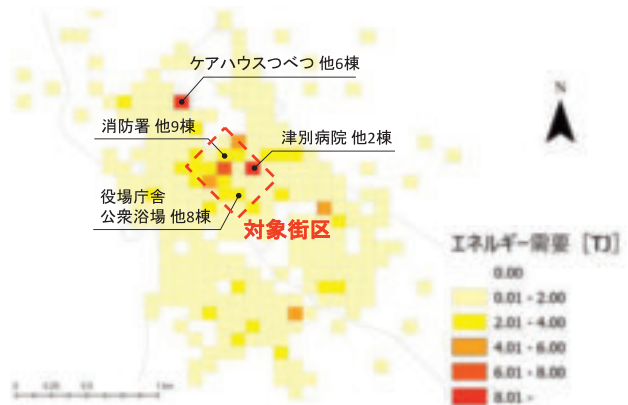


図 2-2-3-7 年間エネルギー需要

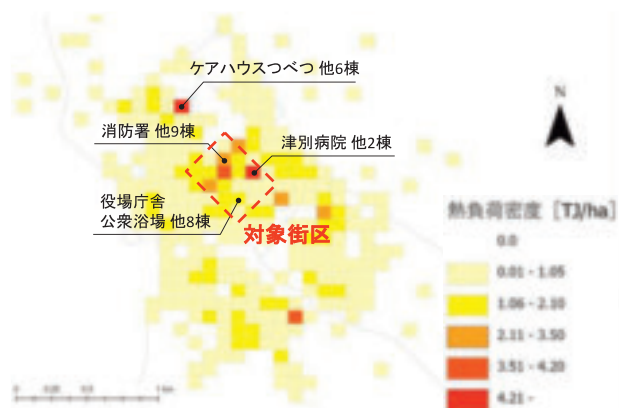


図 2-2-3-8 熱負荷密度

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、対象街区内では、病院があるメッシュで 4.2[TJ/ha]以上となった。また、対象街区からは外れるが、福祉施設（ケアハウスつべつ）があるメッシュでも 4.2[TJ/ha]以上となった。

(3) 省エネ街区形成の検討

1) シナリオの設定

エネルギー需要の推計結果より、街区全体の省エネ化を図るためには、需要が大きく、かつ 1980 年代以前に建設された古い建物の延床面積の占める割合が大きい病院及び住宅の省エネ化を進めるのが効果的であると考えられる。そこで、2030 年を想定した将来シナリオを設定し、対象街区の CO₂ 排出量を推計した。

表 2-2-3-2 に将来シナリオを示す。病院については、現状の延床面積と同じ規模で ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）クラスの省エネ性能を有する施設に建て替えることを想定する。住宅については、旧耐震基準で設計された 1980 年代以前の戸建住宅を ZEH（ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス）クラスの省エネ性能を有する 120 m²の住宅に建て替えることを想定し、人口減少等の影響による戸数の減少は考慮せず推計を行った。

表 2-2-3-2 将来シナリオ^{注4)}

CASE0	現状
CASE1	病院の ZEB 化
CASE2	CASE1 に加え、1980 年代以前の戸建住宅の 50%を建て替えて ZEH 化
CASE3	CASE2 に加え、1980 年代以前の戸建住宅のすべてを建て替えて ZEH 化
CASE4	CASE3 に加え、電力の CO ₂ 排出係数の改善（北海道電力の 2030 年目標値 0.37[kg-CO ₂ /kWh]を使用）

2) シナリオに基づくエネルギー需要の推計結果

図 2-2-3-9 に各シナリオに基づく CO₂ 排出量の推計結果を示す。CASE0 の現状では、CO₂ 排出量が 2,116[t-CO₂/年]となったが、病院の ZEB 化 (CASE1) により、CO₂ 排出量は 17%削減となった。また、CASE1 の結果に戸建住宅の ZEH 化を追加することでさらに CO₂ 排出量は削減された。1980 年代以前の戸建住宅をすべて ZEH 化することで、現状よりも 25%削減となった (CASE3)。さらに、電源の再エネ率が増加し、電力の CO₂ 排出係数が低くなると、更なる CO₂ 排出量の削減が可能となることを確認した (CASE4)。

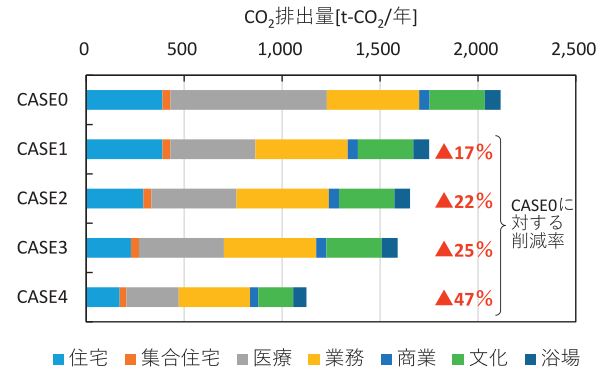


図 2-2-3-9 CO₂ 排出量の推計結果

(4) まとめ

津別町の中心市街地における街区を対象にエネルギー需要の推計と、街区の省エネ化に関する検討を行った。街区内におけるエネルギー需要の大きい施設を対象に、今後の省エネ化に向けた建て替えてを検討し、具体的な削減効果を示した。

注 1) 店舗併用住宅は住宅に分類し、複合用途の非住宅建築物は各用途の延床面積のうち、最も延床面積が大きい用途に分類した。

注 2) 熱電比は熱需要を電力需要で除して算出した。

注 3) CO₂ 排出係数は、灯油 67.8[kg-CO₂/GJ]、重油 69.3[kg-CO₂/GJ]、ペレット 0.20[kg-CO₂/kg]、チップ 0.07[kg-CO₂/kg]、電力 0.601[kg-CO₂/kWh]とした。

注 4) CASE1 の病院の ZEB 化、CASE2 及び 3 の戸建住宅の ZEH 化については、道内における事例や調査結果をもとに病院と ZEH の原単位を設定し、試算した。

[引用文献等]

- [1] 津別町. 『津別町市街地再生基本計画』.(2020)
- [2] 阿部佑平, 月館司, 立松宏一, 堤拓哉, 鈴木大隆. “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. 82. 739. 801-809. (2017)
- [3] 佐土原聡, 長野克則, 三浦昌生, 村上公哉, 森山正和, 下田吉之, 片山忠久, 依田浩敏, 北山広樹. “日本全国の地域冷暖房導入可能性と地球環境保全効果に関する調査研究”. 日本建築学会計画系論文集. 510. 61-67. (1998)

研究担当機関：北方建築総合研究所

執筆者：阿部 佑平

2.2.4 公共施設における木質バイオマスボイラーの導入等に関する検討

(1) はじめに

津別町では、2009年度に津別町木質ペレット製造施設を整備し、これまで町内の公共施設等を中心に、ボイラーの燃料を化石燃料からペレットに切り替え、木質バイオマスの活用を推進してきた。さらに、2023年には、津別町が進める地域内エコシステムの核となる「木質バイオマスセンター」が完成した。木質バイオマスセンターは、林地未利用材等の収集（買取）、チップ化、販売等を行う施設であり、製造するチップは、町内の公共施設に新たに導入されるチップボイラーへの供給が計画されている。

チップボイラーは海外製が多く、化石燃料ボイラーに比べてイニシャルコストが非常に高いため、ボイラー容量は運用実態に即した容量で設計することが望ましい。このため、本項では、チップボイラーが導入される公共施設を対象に、ボイラーの容量設計で必要となる設計情報等を調査したので報告する。

(2) 対象施設

写真 2-2-4-1 に調査対象建物を示す。津別町に建設された木材工芸館を対象とする。1984年に竣工し、鉄骨造2階建て、延床面積は863.58㎡である。当時は、木材加工品等の展示販売施設として使用されていたが、2018年度に内部の改修工事が行われ、2019年4月より子ども向け施設として使用されている。

改修工事に伴い、熱源システムと暖房方式の改修が行われた。図 2-2-4-1 に改修後の熱源システムを示す。改修前は、重油ボイラー（290kW）で製造した温水をパネルヒーターとファンコイルユニットに送水し、館内を暖房していた。子ども向け施設として改修するにあたり、新たに床暖房が設置され、床暖房に温水を供給するため灯油ボイラー（52kW×2台）が設置された。

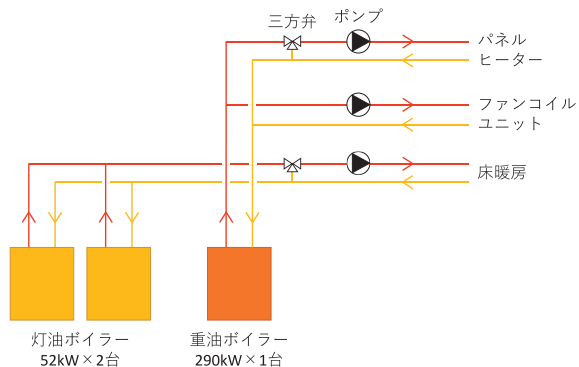


図 2-2-4-1 熱源システム



(a) 建物外観



(b) 建物内観



(c) 重油ボイラー



(d) 灯油ボイラー

写真 2-2-4-1 調査対象建物

(3) 実測調査

1) 調査概要

本調査では、木材工芸館に竣工当初から設置されている重油ボイラーをチップボイラーに改修することを想定し、運用時におけるボイラーの製造熱量等を調査し、チップボイラーの容量設計で必要となる設計情報等を取得する。

表 2-2-4-1 に測定項目、写真 2-2-4-2 に測定機器の設置状況（流量計）を示す。本調査では、温水温度、流量を測定した^{注1)}。コロナ禍における施設の稼働状況を考慮し、調査は2019年11月～2020年5月、2020年12月～2021年5月の2か年の冬期に渡り実施した。

表 2-2-4-1 測定項目

項目	測定場所	
温水温度	重油ボイラー	一次側温水行き温度 一次側温水還り温度
	灯油ボイラー	一次側温水行き温度 一次側温水還り温度
流量	重油ボイラー系統、パネルヒーター系統 灯油ボイラー系統	

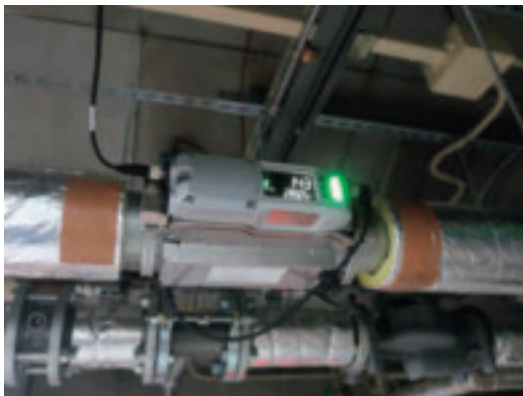


写真 2-2-4-2 測定機器の設置状況（流量計）

2) 調査結果

図 2-2-4-2 にボイラーの1時間間隔の製造熱量^{注2)}を示す。2019年度の測定結果を見ると、実測期間における重油ボイラー及び灯油ボイラーの製造熱量を合計した最大値は、1月17日に記録した226kWであった。新型コロナウイルス感染症の影響により、3月及び4月で休館した期間があり、この期間は館内の暖房は停止していた。

また、2020年度の測定結果を見ると、灯油ボイラーの製造熱量は2019年度よりも小さい傾向にある。これは、新型コロナウイルス感染症により施設の利用者が減ったため、床暖房の設定を最小限に抑えたことが影響している。これにより、重油ボイラーの製造熱量は、2019年度よりも大きくなっている。実測期間における重油ボイラー及び灯油ボイラーの製造熱量を合計した最大値は、1月7日に記録した133kWであり、2019年度に比べて4割程度小さくなった。

次に、ボイラーの時刻別製造熱量を考察する。実測期間において最大製造熱量を記録した日、及び最寒日を代表日として選定する。

図 2-2-4-3 に代表日におけるボイラーの製造熱量を示す。2019年度の最大製造熱量は226kW、最寒日における製造熱量の最大値は208kWであった。両日とも、重油ボイラーが稼働する朝8時に製造熱量は最大となった。パネルヒーター、ファンコイルユニットは、施設の開館時間に合わせて使用しているため、暖房を開始した時間に製造熱量が最大となった。一方、灯油ボイラーについては、24時間稼働していた。木材工芸館はガラスが多い施設であることから、翌日の暖房の立ち上がりを考慮し、夜間でも最低室温を確保するために、床暖房を行っていた。

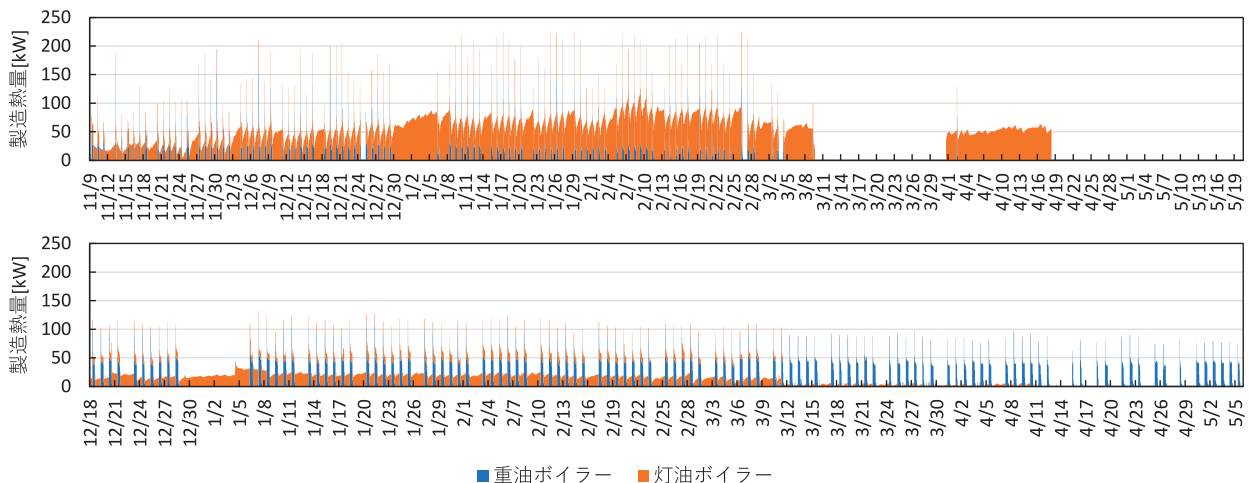
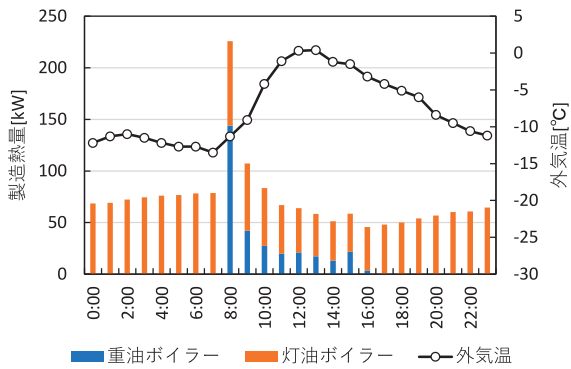
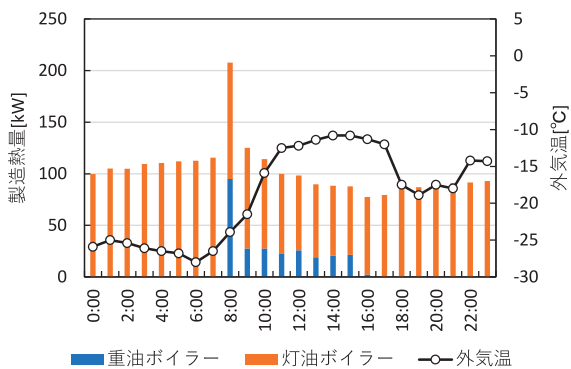


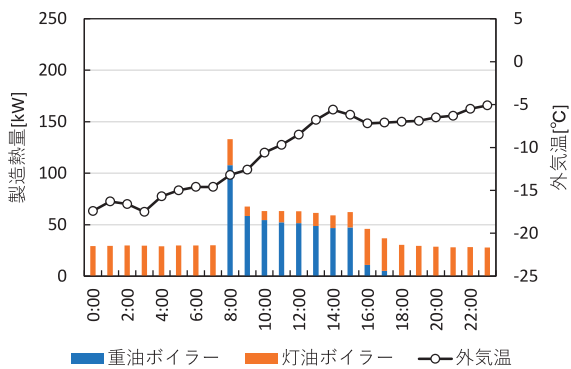
図 2-2-4-2 ボイラーの製造熱量（上図：2019年度、下図：2020年度）



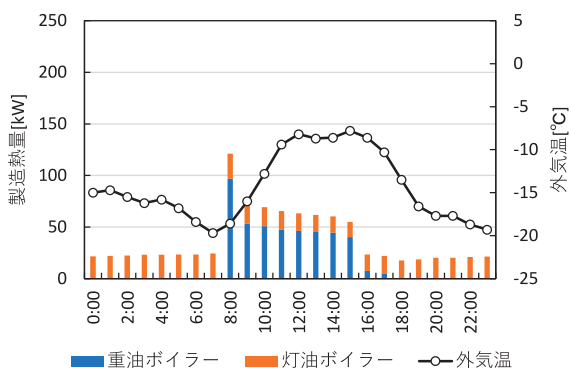
(a) 2019年度最大製造熱量出現日 (1月17日)



(b) 2019年度最寒日 (2月9日)

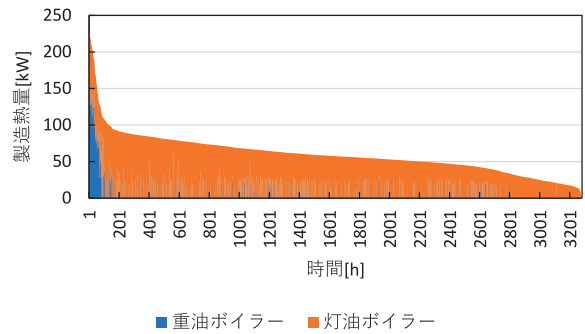


(c) 2020年度最大製造熱量出現日 (1月7日)

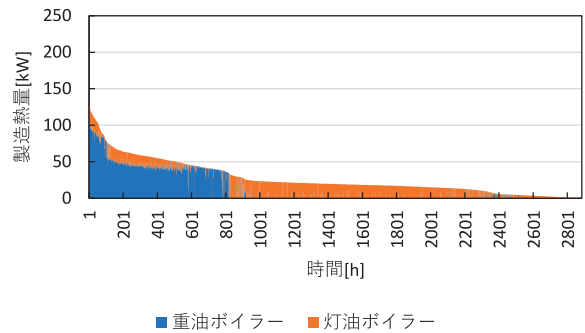


(d) 2020年度最寒日 (2月4日)

図 2-2-4-3 代表日におけるボイラーの製造熱量



(a) 2019年度



(b) 2020年度

図 2-2-4-4 製造熱量のデュレーションカーブ

また、2020年度の最大製造熱量は133kW、最寒日における製造熱量の最大値は121kWであった。2019年度と同様に、重油ボイラーが稼働する朝8時に製造熱量は最大となった。灯油ボイラーについては、24時間稼働していたが、新型コロナウイルス感染症の影響により、床暖房の設定を最小限に抑えていたため、2019年度よりも製造熱量は小さかった。

図 2-2-4-4 にボイラーの製造熱量のデュレーションカーブを示す。デュレーションカーブとは、実測期間における製造熱量を大きい順に並び替えたものである。2019年度、2020年度ともに製造熱量が100kWを超えた時間数はわずかであった。

重油ボイラーからチップボイラーに改修する場合、既存の灯油ボイラー(52kW×2台)をバックアップボイラーとして使用することを考える。ここでは、新型コロナウイルス感染症の影響を考慮し、2019年度の実測結果を用いてチップボイラーの必要容量を求める。最大負荷時には、チップボイラーとバックアップが同時に稼働することを想定し、最大製造熱量223kWからバックアップボイラーの容量を差し引くと、チップボイラーの必要容量は119kWとなる。これより、チップボイラーは120kW程度の容量があれば、建物で発生する暖房負荷を十分処理できることがわかった。

(4) 窓改修による室内温熱環境の改善効果

木材工芸館はガラスの多い施設であるため、冬期はガラスからの熱損失が大きく、館内が暖まりにくい。また、夏期は日射熱により館内がオーバーヒートすることがある。このため、窓改修による室内温熱環境の改善効果について、熱回路網を用いた数値解析により検討した。

まず、数値解析手法の妥当性を確認するため、実測結果と既存の窓仕様（シングルガラス）で計算した結果を比較する。図 2-2-4-5 に室内温度の実測値と計算値の比較を示す。両者は概ね一致する結果となり、数値解析手法の妥当性を確認した。

次に、窓改修による室内温度の改善効果を確認するため、既存の窓仕様（シングルガラス）と改修をした場合の窓仕様（低放射ガラス内付け、真空ガラス）の室内温度を計算し比較する。

図 2-2-4-6 に窓仕様別の室内温度を示す。冬期代表日の計算結果を見ると、低放射ガラス内付けを採用すると日射熱取得の点で不利にはたらし、室内温度が上昇せず、日中はシングルガラスよりも約 2℃ 低くなっている。

一方、夏期代表日の計算結果を見ると、シングルガラスから低放射ガラス内付けまたは真空ガラスに改修することで、日中の室内温度は約 3℃ 下がることがわかった。

図 2-2-4-7 にデュレーションカーブを示す。計算では、開館日の 9～18 時は室内温度を 20℃、夜間及び閉館日は室内温度が 5℃ となるように暖房条件を設定した。デュレーションカーブは窓仕様によって大きな違いは見られず、窓改修による冬期の暖房負荷の低減はほとんど見込めないことがわかった。つまり、窓改修により夏期の温熱環境は改善されるが、冬期の暖房に必要なボイラー容量の低減には寄与しないことを確認した。

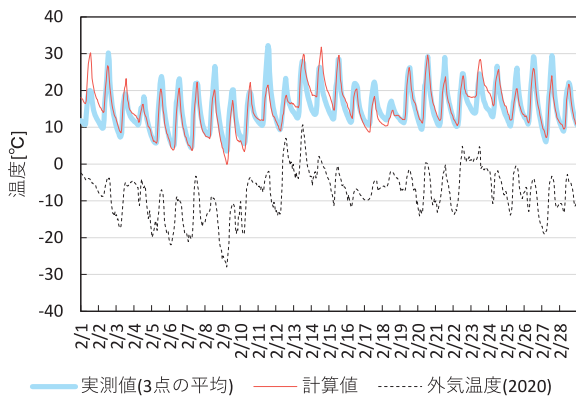
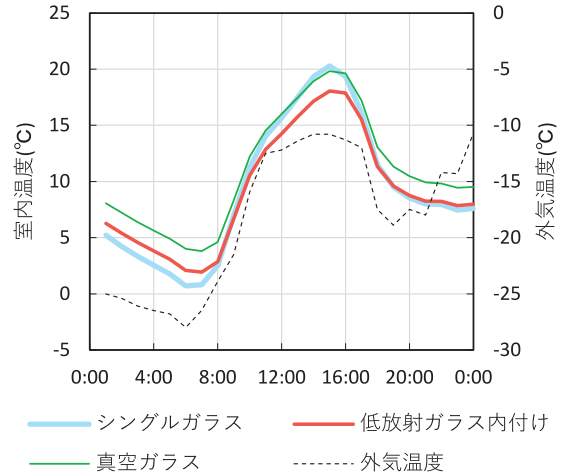
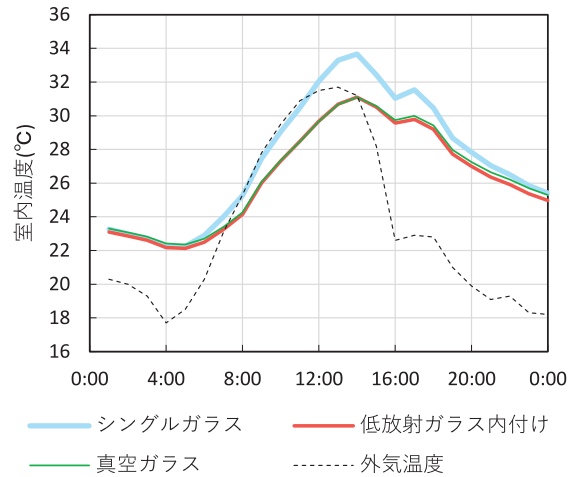


図 2-2-4-5 室内温度の実測値と計算値の比較（窓の U 値 5.9 [W/m² K], η 値 0.70)



(a) 冬期代表日（2月9日）



(b) 夏期代表日（7月28日）

図 2-2-4-6 窓仕様別の室内温度

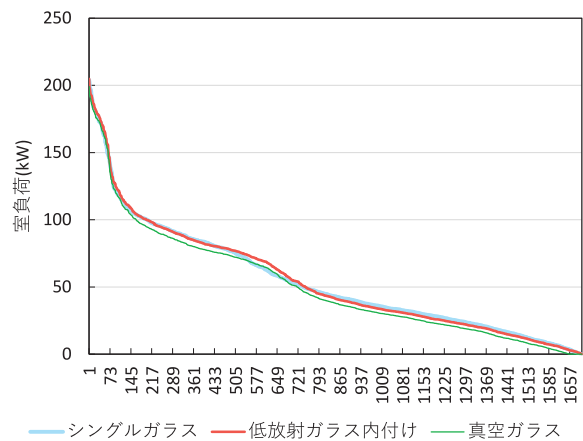


図 2-2-4-7 デュレーションカーブ（12/1～2/28, 無負荷時間は除く）

(5) 木質バイオマスボイラーの導入

以上の実測調査及び数値解析の結果をもとに、図 2-2-4-8 に示す熱源システムの改修案を提案した。竣工当初から設置されている重油ボイラーをチップボイラーに改修し、2018 年度の改修工事で設置された灯油ボイラーをバックアップボイラーとして使用することを考えた。あわせて、チップボイラーは、化石燃料ボイラーに比べて熱負荷変動に対する追従性が低いため、蓄熱槽の設置を提案した。

写真 2-2-4-3 に 2022 年度に完成した木質バイオマスボイラー棟を示す。木材工芸館の既存の機械室では、重油ボイラーを撤去しても新たにチップボイラーや蓄熱槽等を設置できるスペースが十分なかったため、木材工芸館の離れに別棟でボイラー棟を建設することになった。

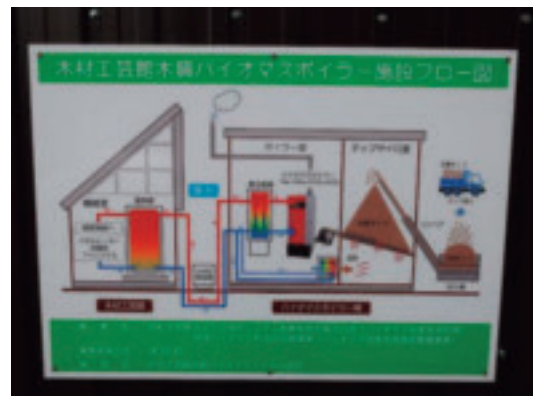
ボイラー棟には、チップボイラーが設置されている。実施設計において、各種安全率が見込まれ、最終的には 150kW のチップボイラーが導入された。チップボイラーで製造された温水は地中に埋設された熱導管を通り、木材工芸館の既存の機械室内に設置された蓄熱槽 (3,000L) に送水される。

また、燃料のチップを製造する木質バイオマスセンターには、乾燥設備が導入されていないため、時期によっては、水分の高いチップがボイラーに投入され、不完全燃焼が発生する恐れがある。このため、サイロ内には温風でチップ乾燥が可能なシステムが導入されている。空気を加温するための熱交換装置には、チップボイラーの戻り温水が使用されており、温水のカスケード利用により、熱の有効利用が行われている。

今後は、チップボイラー導入後の検証として、ボイラー稼働状況、チップ消費量、ランニングコスト等を調査し、効率的な運用に向けた調査を実施する予定である。



(a) 建物外観



(b) 木質バイオマスボイラー施設フロー図



(c) チップボイラー

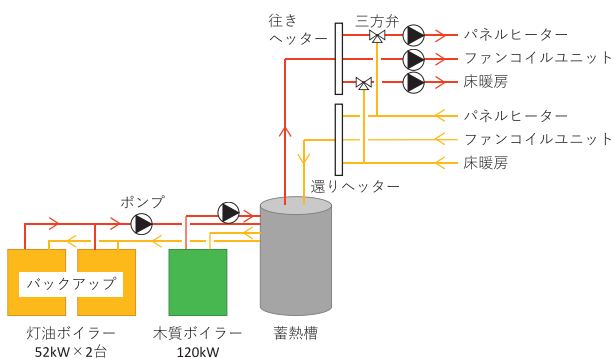


図 2-2-4-8 提案した熱源システムの改修案



(d) 蓄熱槽

写真 2-2-4-3 木質バイオマスボイラー棟



(e) 熱交換装置

写真 2-2-4-3 木質バイオマスボイラー棟 (つづき)

(6) まとめ

ボイラー改修によりチップボイラーの導入が計画されていた公共施設を対象に、ボイラーの容量設計で必要となる設計情報等を取得するため、実測調査や数値解析を行った。得られた成果をもとに、チップボイラーの容量や熱源システムの改修案を提案し、ボイラーの導入に向けた設計支援を行った。

注1) 温水温度は、配管の表面に T 型熱電対を設置し測定した。流量は 2020 年度に実施した調査で測定した。

注2) 製造熱量 Q [W]は、次式より算出した。

$$Q = c\rho V(T_{in} - T_{out})$$

ここで、 c : 比熱[J/(kg・K)], ρ : 密度[kg/m³], V : 流量[m³/s], T_{in} : 一次側温水行き温度[°C], T_{out} : 一次側温水還り温度[°C]

研究担当機関：北方建築総合研究所

執筆者：阿部 佑平

2.3 需給特性に応じたエネルギー融通の可能性評価

2.3.1 エネルギー融通の評価手法

(1) はじめに

実験により建物間のエネルギー融通を評価するには、多大な費用と労力がかかる。また、実験では限られた熱負荷条件でしか検討ができず、多様な熱負荷条件や制御パラメータの影響を考慮し、エネルギー融通を評価するためには、数値解析による検討が有効である。

本項では、エネルギー融通のうち、熱融通を対象に開発した数値解析手法の概要を紹介する。

(2) 数値解析手法の概要

図 2-3-1-1 に解析の流れを示す。流体移動と熱移動を同時に解析することが可能な数値解析手法を開発する。詳細は文献[1]、[2]を参照されたい。

数値解析では、1 ステップ前の値を用いて電動バルブの開度、インバータとポンプの条件を決定して、流体移動解析により流量を計算し、その値を用いて熱移動解析を行うことで、温水温度や熱量を求める。

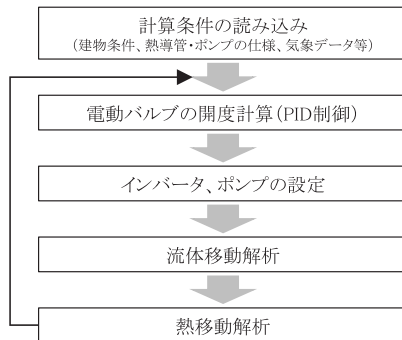


図 2-3-1-1 解析の流れ

まず、流体移動は、流体管路網を用いて計算する。管路や機器の接合部に節点（ノード）を設けると節点 ij 間の流量は式(1)で表される。開度 β_{ij} は、PID制御を行う節点 ij 間では電動バルブの開度計算で求めた値を使用し、PID制御を行わない節点 ij 間では開度を 1 とした。また、ポンプの特性を式(2)で表す。

$$F_{ij} = A_{ij}\beta_{ij} \left\{ \frac{2}{\xi_{ij}\rho} (P_i - P_j) \right\}^{\frac{1}{2}} = a_{ij}(P_i - P_j)^{\frac{1}{2}} \quad \dots (1)$$

$$f_{ip} = G_{\max} \left\{ 1 - \left(\frac{P_i - P_0}{P_x} \right) \right\}^{\frac{1}{n}} \quad \dots (2)$$

ポンプがある場合の各節点における流量収支は、ポンプの吐出し側の節点を 1、吸込み側の圧力基準点を 0 とすると、式(3)で表される。また、ポンプがない場合の各節点における流量収支は、式(4)で表される。

$$a_{12}(P_1 - P_2)^{\frac{1}{2}} + a_{13}(P_1 - P_3)^{\frac{1}{2}} + \dots + a_{1j}(P_1 - P_j)^{\frac{1}{2}} = G_{\max} \left\{ 1 - \left(\frac{P_1 - P_0}{P_x} \right) \right\}^{\frac{1}{n}} \quad \dots (3)$$

$$a_{j1}(P_j - P_1)^{\frac{1}{2}} + a_{j2}(P_j - P_2)^{\frac{1}{2}} + \dots + a_{j,j-1}(P_j - P_{j-1})^{\frac{1}{2}} = 0 \quad \dots (4)$$

ここで、式(1)において $K_{ij} = a_{ij}(P_i - P_j)^{\frac{1}{2}-1}$ 、式(2)において $L = G_{\max} \left\{ 1 - \left(\frac{P_i - P_0}{P_x} \right) \right\}^{\frac{1}{n}-1}$ とすると、式(1)、(2)はそれぞれ式(1)'、(2)' のように表される。

$$F_{ij} = a_{ij}(P_i - P_j)^{\frac{1}{2}-1} (P_i - P_j) = K_{ij}(P_i - P_j) \quad \dots (1)'$$

$$f_{ip} = G_{\max} \left\{ 1 - \left(\frac{P_i - P_0}{P_x} \right) \right\}^{\frac{1}{n}-1} \left\{ 1 - \left(\frac{P_i - P_0}{P_x} \right) \right\} \quad \dots (2)'$$

$$= L - \frac{L}{P_x}(P_i - P_0)$$

式(1)'、(2)' を用いて式(3)、(4)を線形化すると、式(5)、(6)のように表される。

$$K_{12}(P_1 - P_2) + K_{13}(P_1 - P_3) + \dots + K_{1j}(P_1 - P_j) = L - \frac{L}{P_x}(P_1 - P_0) \quad \dots (5)$$

$$K_{j1}(P_j - P_1) + K_{j2}(P_j - P_2) + \dots + K_{j,j-1}(P_j - P_{j-1}) = 0 \quad \dots (6)$$

式(5)、(6)を各節点の圧力で整理すると、式(7)、(8)のように表される。

$$\left(K_{12} + K_{13} + \dots + K_{1j} + \frac{L}{P_x} \right) P_1 - K_{12}P_2 - K_{13}P_3 - \dots - K_{1j}P_j = L + \frac{L}{P_x}P_0 \quad \dots (7)$$

$$-K_{j1}P_1 - K_{j2}P_2 - \dots - K_{j,j-1}P_{j-1} + (K_{j1} + K_{j2} + \dots + K_{j,j-1})P_j = 0 \quad \dots (8)$$

K 及び L を 1 ステップ前の圧力から求めると、この連立方程式から新たに各節点の圧力が求められる。これを収束するまで繰り返し計算を行い、求められた圧力から各節点間とポンプの流量を算出する。この値を用いて熱移動解析を行う。

次に、熱移動は、各部位を節点と熱コンダクタンスからなる熱回路網を後退差分法で解く。ある節点における熱収支は式(9)で表される。熱コンダクタンス K_{ip} は、熱伝達、熱伝導、移流のそれぞれに対して式(10)で表される。

$$C_p(\theta_p - \theta_{p'}) = \left\{ \sum K_{ip}(\theta_i - \theta_p) + Q_p \right\} \Delta t \quad \dots (9)$$

$$K_{ip} = \alpha A, \quad K_{ip} = A\lambda/d, \quad K_{ip} = GC \quad \dots (10)$$

熱交換器は向流型熱交換器とし、熱交換器の出口温度 θ_{1out} , θ_{2out} を式(11)～(16)で計算する。

$$S = - \left(1 - \frac{GC_1}{GC_2} \right) \frac{KA}{GC_1} \quad \dots (11)$$

$$E_1 = 1 - e^S \quad \dots (12)$$

$$E_2 = 1 - \frac{GC_1}{GC_2} e^S \quad \dots (13)$$

$$EF = \frac{E_1}{E_2} \quad \dots (14)$$

$$\theta_{1out} = \theta_{1in} - EF(\theta_{1in} - \theta_{2in}) \quad \dots (15)$$

$$\theta_{2out} = \theta_{2in} + EF \frac{GC_1}{GC_2} (\theta_{1in} - \theta_{2in}) \quad \dots (16)$$

熱導管からの熱損失を考慮して温水温度を計算する場合、熱導管は地盤と一体として扱い、二次元あるいは三次元非定常熱伝導モデルを用いて解析することが可能である。しかし、本研究では周囲温度 θ_r を与条件として与え、式(17)、(18)の熱交換モデルを用いて簡易的に熱導管の温水出口温度を計算する。計算では、パイプ及びその中の流体の熱容量を考慮するため、パイプを2等分し、その間にパイプ全体の熱容量をもつ節点を設けて計算する。

$$EF = 1 - e^{(-KA/GC)} \quad \dots (17)$$

$$\theta_{out} = (1 - EF)\theta_{in} + EF \times \theta_r \quad \dots (18)$$

(3) 数値解析手法の妥当性の確認

本研究では、筆者らが行った既往実験を対象に解析を行い、実験結果と解析結果を比較することにより、数値解析手法の妥当性を確認する。

1) 既往実験の概要

図 2-3-1-2 に実験装置の概要を示す。実験では、2つの建物に対して、熱交換器による間接受入方式で暖房の熱供給を行うことを想定した。実験条件等の詳細については、文献[3]を参照されたい。

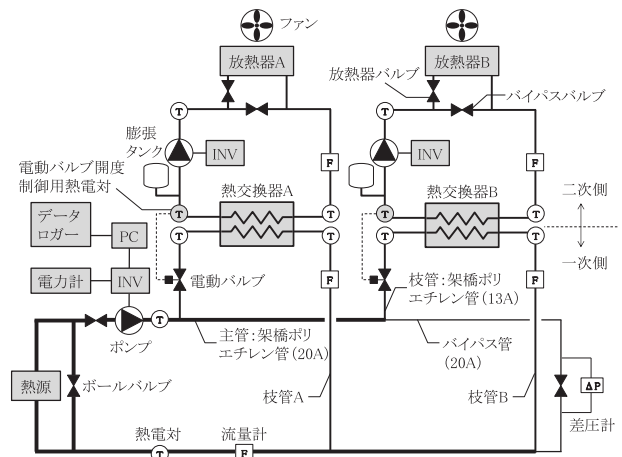


図 2-3-1-2 実験装置の概要

2) 解析概要

図 2-3-1-3 に解析モデルを示す。流体移動解析は一次側、熱移動解析は一次側と二次側で行う。熱源から 75°Cの温水を供給し、二次側温水行き温度は 70°Cとなるように一次側枝管に設置された電動バルブの開度を PID 制御した。図 2-3-1-4 にポンプの周波数毎の特性 (流量-揚程 (圧力) 特性曲線) を示す。実験で使用したポンプの製造者が公表している諸元を参考に、インバータの周波数が 50Hz におけるポンプの特性は、式(2)で $n=1.8$, $P_x=23.52\text{kPa}$, $G_{max}=960\text{L/h}$ とした。他の周波数における特性については、 $n=1.8$ として、周波数に比例して P_x と G_{max} を変更した。二次側流量は実験値を与えた。二次側の放熱器 A と B の温度未知節点では、放熱器からの放熱量と配管からの熱損失に加え熱交換器からの熱損失も考慮するため、図 2-3-1-5 に示す実験で得られた熱交換器一次側熱量を与えて計算した。

熱交換器の KA は、実験結果より式(19)に示す一次側枝管流量 G_{1b} を用いた近似式を作成した。これを用いて熱交換器 A と B の KA を計算し、熱交換器の出口温度を式(11)～(16)で計算した。

$$KA = 1.32G_{1b} + 232.57 \quad \dots (19)$$

また、配管の KA は、架橋ポリエチレン管 (0.41W/mK) の線熱通過率を計算し、これに配管長を乗じて求めた。さらに、式(18)において、配管の周囲温度 θ_r は、実験中における実験室の平均温度を与えた。配管からの熱損失は一次側主管で考慮し、枝管では考慮していない。

本研究では、既往実験のうち、バルブ開度制御を対象に解析した結果を報告する。制御の影響を検討する場合、計算時間間隔は十分小さくするため、2秒間隔で計算を行った。インバータの周波数は、実験と同様に 20 秒毎に設定の変更を判断

した。インバータの周波数の具体的な変更方法としては、実験と同様に、2つの電動バルブのうち、最大開度が85%を下回るとインバータの周波数を6Hz下げてポンプ回転数を下げた。また、温水温度の温度低下の許容範囲を1.5°Cとし、電動バルブが全開となり、放熱器AとBの二次側温水行き温度のうち、どちらか一方が68.5°Cを下回るとインバータの周波数を6Hz上げてポンプ回転数を上げた。

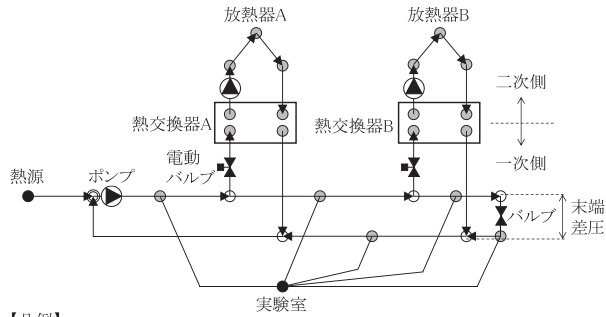


図 2-3-1-3 解析モデル

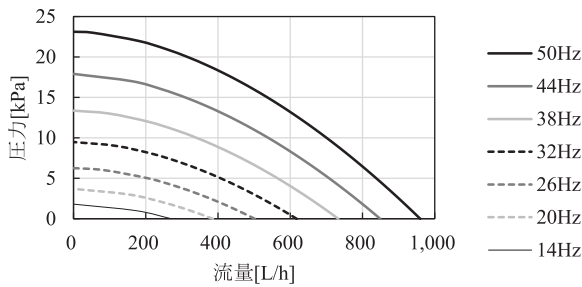


図 2-3-1-4 ポンプの周波数毎の特性

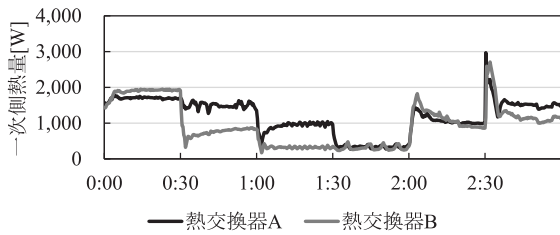


図 2-3-1-5 熱交換器一次側熱量

3) 解析結果と考察

図 2-3-1-6~9 に実験結果と解析結果を示す。実験では、二次側放熱器 A と B の放熱量を 30 分毎に変えて負荷の偏在を考慮して行ったため、30 分毎にそれぞれの値が変化している。

図 2-3-1-6 の一次側流量を見ると、実験結果と解析結果は概ね一致しているが、両者の差がやや大き

くなっている時間帯もある。また、解析結果では実験結果の細かな変動を再現できていないところがあり、この理由として、電動バルブの特性を考慮した解析を行っていないことが考えられる。

図 2-3-1-7 の末端差圧を見ると、一次側流量がやや小さく計算されている時間帯や、一次側流量の細かな変動を再現できていない時間帯では、実験結果と解析結果の差がやや大きくなっているが、流量と同様に傾向は概ね一致している。

図 2-3-1-8 の一次側流量と末端差圧の関係を見ると、解析結果は実験結果の範囲内に収まっている。

図 2-3-1-9 の二次側温水行き温度を見ると、放熱器 A・B ともに実験結果と解析結果はよく一致しており、設定温度の 70°C 付近を推移している。

以上より、解析結果と実験結果は概ね一致することがわかり、本研究で開発した数値解析手法の妥当性を確認した。

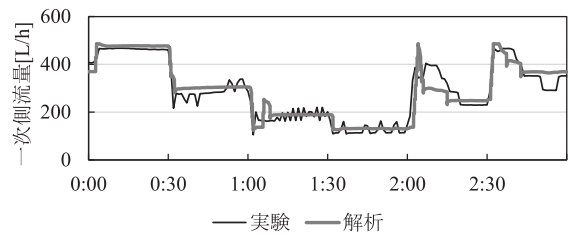


図 2-3-1-6 一次側流量

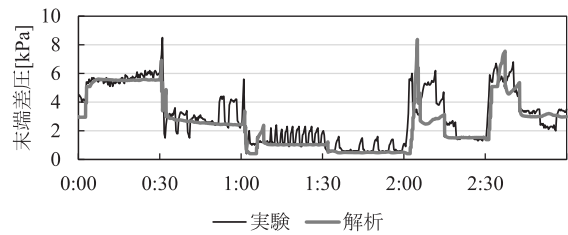


図 2-3-1-7 末端差圧

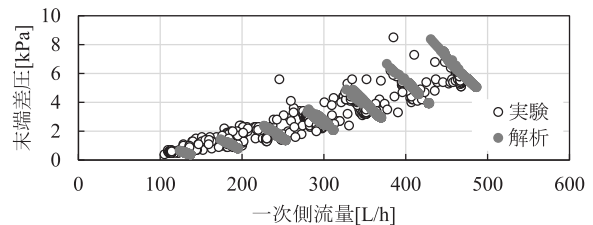
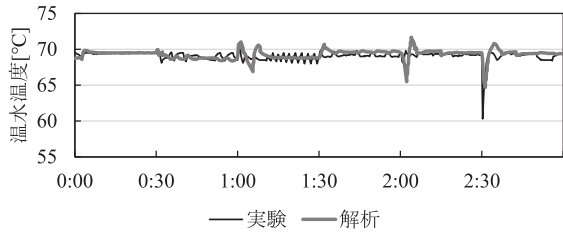
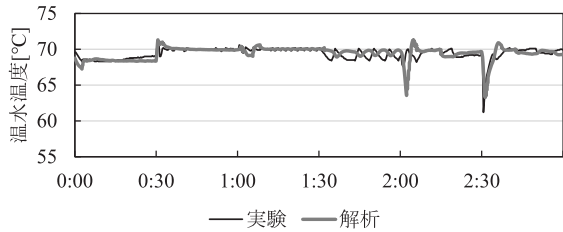


図 2-3-1-8 一次側流量と末端差圧の関係



(a) 放熱器 A



(b) 放熱器 B

図 2-3-1-9 二次側温水行き温度

(4) まとめ

建物間の熱融通の評価手法として、流体移動解析に流体管路網、熱移動解析に熱回路網を用いた数値解析手法を開発した。

記号

A	: 面積	[m ²]
A_{ij}	: 節点 ij 間の開口面積	[m ²]
C	: 流体の容積比熱	[J/(m ³ K)]
C_p	: 節点 p の熱容量	[J/K]
d	: 厚さ	[m]
F_{ij}	: 節点 ij 間の流量	[m ³ /s]
f_{ip}	: 吐出し側の節点 i に対するポンプ流量	[m ³ /s]
G	: 流量	[m ³ /s]
G_{max}	: 最大流量	[L/h]
G_{1b}	: 一次側枝管流量	[L/h]
GC	: 流体の流量と容積比熱の積	[W/K]
GC_1	: 流体 1 の流量と容積比熱の積	[W/K]
GC_2	: 流体 2 の流量と容積比熱の積	[W/K]
K_{ip}	: 節点 ip 間の熱コンダクタンス	[W/K]
KA	: 熱通過率と伝熱面積の積	[W/K]
P_i	: 節点 i の圧力	[Pa]
P_x	: ポンプの全圧 (全揚程の圧力換算値)	[Pa]
Q_p	: 節点 p への供給熱量	[W]
Δt	: 時間	[h]
A	: 熱伝達率	[W/(m ² K)]

β_{ij}	: 節点 ij 間の開度	[-]
θ_p	: 節点 p の現在の温度	[°C]
$\theta_{p'}$: 節点 p の Δt 時間前の温度	[°C]
θ_i	: 節点 i の現在の温度	[°C]
θ_{in}	: 流体の入口温度	[°C]
θ_{out}	: 流体の出口温度	[°C]
θ_{1in}	: 流体 1 の入口温度	[°C]
θ_{1out}	: 流体 1 の出口温度	[°C]
θ_{2in}	: 流体 2 の入口温度	[°C]
θ_{2out}	: 流体 2 の出口温度	[°C]
θ_r	: 周囲温度	[°C]
λ	: 熱伝導率	[W/(mK)]
ζ_{ij}	: 節点 ij 間の抵抗係数	[-]
ρ	: 流体の密度	[kg/m ³]

[引用文献等]

- [1] 北方建築総合研究所.『建物群の熱・電力融通を考慮した建築・設備システムに関する研究』. 経常研究報告書. (2019)
- [2] 阿部佑平, 月館司, 森太郎, 菊田弘輝, 羽山広文. “建物群に対する熱供給を対象とした差圧を用いない変流量制御方式の数値解析による検討”. 空気調和・衛生工学会論文集. 291. 19-29. (2021)
- [3] 阿部佑平, 月館司, 羽山広文. “建物群に対する熱供給を対象とした差圧を用いない変流量制御方式に関する実験的検討”. 空気調和・衛生工学会論文集. 273. 9-18. (2019)

研究担当機関：北方建築総合研究所

執筆者：阿部 佑平

2.3.2 省エネ街区におけるエネルギー融通のケーススタディ

(1) はじめに

木質バイオマスの熱利用は CO₂ 排出量の削減に効果があるが、木質バイオマスボイラーは化石燃料ボイラーに比べて非常に高価であるため、イニシャルコストの削減には複数の建物にまとめて熱を供給することが有効である。

本項では、省エネ街区の CO₂ 排出量の削減を目的として、まちなか再生基本計画の福祉・住宅ゾーンに福祉施設が建設されることを想定し、津別消防庁舎と福祉施設を対象とした木質バイオマスによる熱融通の可能性を検討する。

(2) 津別消防庁舎を対象とした実測調査

1) 調査対象建物

写真 2-3-2-1 に調査対象建物を示す。2021 年 3 月に供用が開始された津別消防庁舎を対象とする。鉄筋コンクリート造 2 階建て、延床面積は 1,597.71 m² である。暖房の熱源機にはペレットボイラー(174kW)、バックアップとして重油熱源の真空式温水発生機(以下「重油ボイラー」という。)(151kW)が採用されており、庁舎内は温水暖房が行われている。



(a) 建物外観



(b) ペレットボイラー

写真 2-3-2-1 調査対象建物

図 2-3-2-1 に熱源システムを示す。庁舎全体は、ファンコイルユニットとパネルヒーターによる温水暖房が行われている。車庫には空調機で加温された温風が供給され、凍結防止のため暖房している。

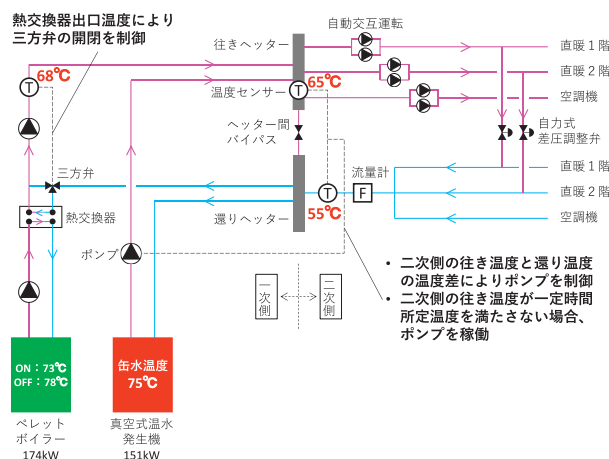


図 2-3-2-1 熱源システム

2) 調査概要

本調査では、消防庁舎のペレットボイラーを活用した熱融通の可能性を検討するため、運用時におけるペレットボイラーの稼働状況を調査する。

表 2-3-2-1 に測定項目を示す。本調査では、温水温度、流量を測定した^{注1)}。調査は 2021 年度冬期から実施したが、新型コロナウイルス感染症の影響により、データが取得できない期間があったため、本報告では 2022 年度冬期に実施した調査結果について報告する。

表 2-3-2-1 測定項目

項目	測定場所	
温水温度	ペレットボイラー	一次側温水行き温度 一次側温水還り温度
	重油ボイラー	一次側温水行き温度 一次側温水還り温度
流量	ペレットボイラー系統 重油ボイラー系統	

3) 調査結果

図 2-3-2-2 にボイラーの 10 分間隔の製造熱量(2023 年 2 月)^{注2)}を示す。ペレットボイラーはタイマー制御により、9 時~15 時の時間帯で稼働していた。ペレットボイラーが稼働すると、ペレットボイラーの容量のみで建物で発生する暖房負荷を処理することができるため、ペレットボイラーと重油ボイラーが同時に稼働する時間帯はほとんどなかった。このため、重油ボイラーはペレットボイラーが停止

している時間帯で稼働していた。2月におけるペレットボイラー及び重油ボイラーの製造熱量を合計した最大値は257kW（2月5日9:00）であり、ペレットボイラーが稼働する時間に最大となった。

図2-3-2-3に実測期間におけるボイラーの製造熱量のデュレーションカーブを示す。ペレットボイラーの定格出力は174kWであるが、製造熱量が174kWを上回る時間数はほとんどないことがわかった。

図2-3-2-4に実測期間におけるペレットボイラーの負荷率を示す。負荷率は、ボイラーの製造熱量を定格出力で除して算出した値である。負荷率を算出するにあたり、ペレットボイラーの製造熱量が0である時間帯は除いた。負荷率を見ると、効率低下をもたらす低負荷率の状態が稼働している頻度が多い。特に負荷率が0.1未満となる頻度が最も多く、全体の約70%を占めていた。

これより、現状の消防庁舎の暖房負荷では、ペレットボイラーは定格出力以下で稼働している時間がほとんどであり、他の施設に熱を供給できる余力を有していることがわかった。

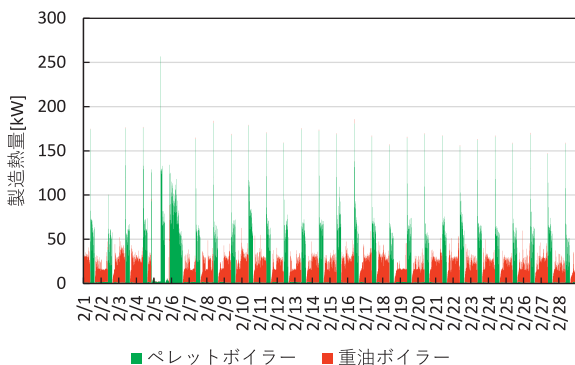


図 2-3-2-2 ボイラーの製造熱量（2023年2月）

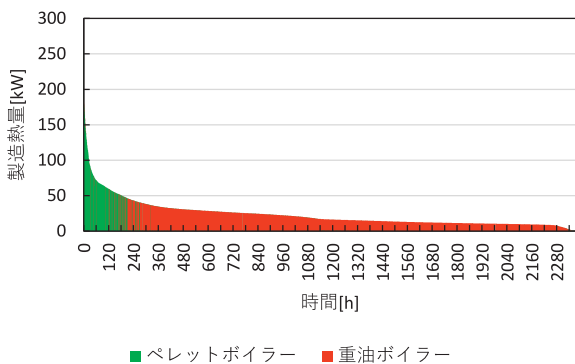


図 2-3-2-3 製造熱量のデュレーションカーブ

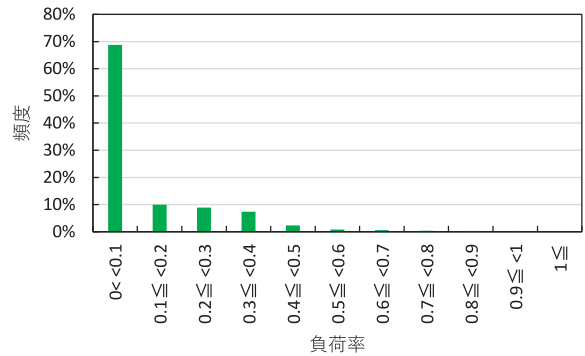


図 2-3-2-4 ペレットボイラーの負荷率

(3) 福祉施設を対象とした実測調査

1) 調査対象建物

写真2-3-2-2に調査対象建物を示す。津別町内にある福祉施設として、2001年12月1日に開所された軽費老人ホームであるケアハウスつべつを対象に調査を行った。鉄筋コンクリート造3階建て、延床面積は2,327.44㎡、入居者定員は30名（単身用居室24室、夫婦用居室3室）である。

図2-3-2-5に熱源システムを示す。当該建物には、灯油熱源の暖房・給湯二回路型の真空式温水発生機（以下「灯油ボイラー」という。）が2台（465kW、



写真 2-3-2-2 調査対象建物

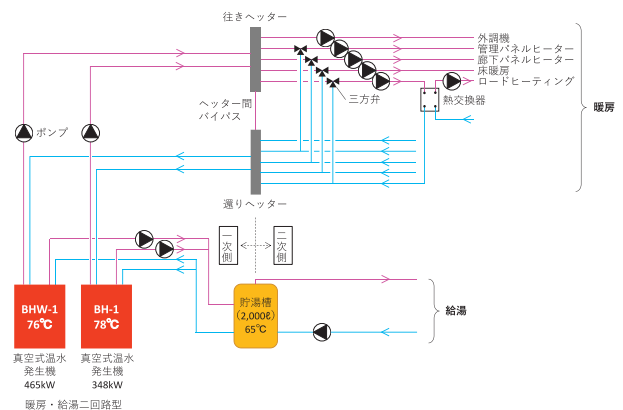


図 2-3-2-5 熱源システム

348kW) 設置されている。灯油ボイラーで製造された温水は、共用部のパネルヒーターや床暖房、外調機、ロードヒーティング、貯湯槽に送水され、建物内の暖房、融雪、給湯で使用されている。また、入居者の居室には灯油熱源のFFストーブが設置されており、個別暖房が行われている。

2) 調査概要

本調査では、消防庁舎との熱融通の可能性を検討するため、ケアハウスつべつの運用時における灯油ボイラーの稼働状況や熱負荷変動を調査する。

表 2-3-2-2 に測定項目を示す。本調査では、温水温度、流量を測定した^{注1)}。調査は 2021 年度冬期に実施した。

表 2-3-2-2 測定項目

項目	測定場所	
温水温度	灯油ボイラー-BHW-1	一次側暖房系統温水
	灯油ボイラー-BH-1	行き・還り温度
流量	灯油ボイラー-BHW-1	一次側給湯系統温水
	灯油ボイラー-BH-1	行き・還り温度

3) 調査結果

図 2-3-2-6 にボイラーの時刻別製造熱量を示す。実測期間における最寒日(2022年1月31日)を含む1週間を代表週として選定し、この期間における結果を示す。灯油ボイラーは2台ともに暖房・給湯二回路型であるため、図中の製造熱量は灯油ボイラー2台の暖房と給湯をそれぞれ合計した値を示している。まず、暖房を見ると、集居室で活動があるため、昼頃に熱量が大きくなっている時間帯(日曜日を除く)があるものの、日中や夜間における時間変動は小さく、約50kWで推移していた。これは、入居者の居室を含まず共用部のみの暖房であることが影響している。また給湯については、月曜日の午前中に行う浴槽のお湯張り、火曜日及び木曜日の夜に行うろ過機内の逆洗浄運転の時に需要が大きくなり、熱量が突出したが、それ以外の時間帯では、需要に応じて熱量が発生していた。

図 2-3-2-7 に実測期間におけるボイラーの製造熱量のデュレーションカーブを示す。暖房と給湯を合計した製造熱量の最大値は560kWであった。暖房と給湯の需要が同時に発生した時に最大となった。また、給湯需要は常時発生していないため、暖房需要のみが発生している時間数が多く、約50kWの熱量で推移している時間数が多かった。

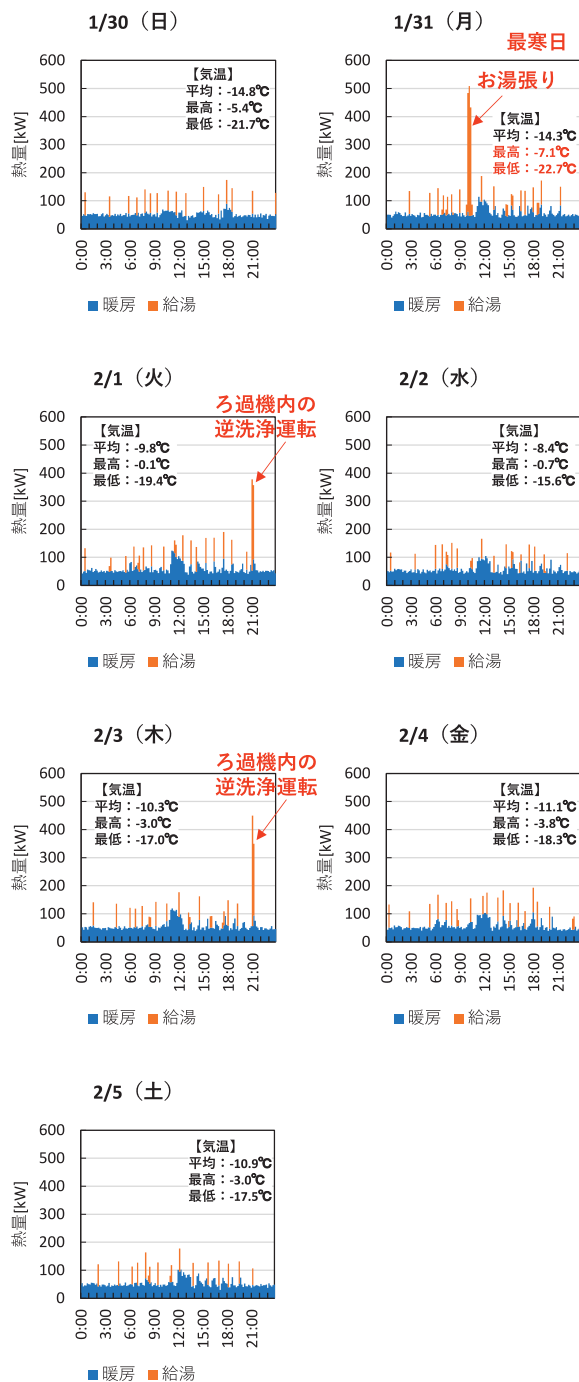


図 2-3-2-6 ボイラーの時刻別製造熱量

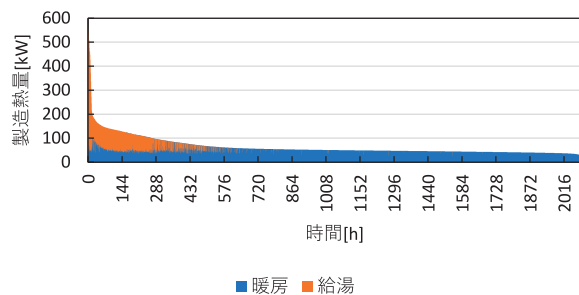


図 2-3-2-7 製造熱量のデュレーションカーブ

(4) 熱融通のケーススタディ

1) 検討条件

ケーススタディとして、消防庁舎と福祉施設を対象とした木質バイオマスによる熱融通の可能性を検討する。実測調査より、消防庁舎のペレットボイラーは低負荷率で稼働している時間帯が多く、余力があることを確認した。また、ケアハウスつべつの共用部の暖房需要は約 50kW で推移している時間が多く、50kW 程度の熱量であれば、消防庁舎のペレットボイラーから熱を供給可能であると考えられる。そこで、本ケーススタディでは、消防庁舎からの熱融通は、福祉施設の暖房で使用することを想定する。

ケーススタディは、実測調査で得られたデータをもとに試算を行い、消防庁舎から福祉施設への熱融通量をパラメータとする。熱融通をするためには、消防庁舎と福祉施設を熱導管で接続し、温水を循環させる必要がある。このため、温水循環ポンプを設置する必要があり、搬送動力が発生する。搬送動力は、熱搬送効率を示す指標である WTF (Water Transportation Factor) を用いて算出する^{注3)}。WTF は値が 35 以上になると効率がよいとされているため^[1]、値を 35 に設定し、搬送動力を算出した。

2) 試算結果

図 2-3-2-8 に熱量とポンプ搬送動力の試算結果を示す。消防庁舎から福祉施設への熱融通量が大きくなると、熱導管からの熱ロスが大きくなるので、消防庁舎と福祉施設の暖房に必要な合計熱量は増加した。また、熱融通量が大きくなると、搬送熱量が大きくなるため、搬送動力が増加することから、搬送動力の削減が課題となる。

図 2-3-2-9 に CO₂ 排出量の試算結果を示す。熱融通量が大きいほど、木質バイオマスによる熱供給が増えるため、搬送動力や熱導管からの熱ロスを加味しても CO₂ 排出量は削減される結果となった。化石燃料を熱源にした熱融通では CO₂ 排出量は削減されず、かえって増加する。熱融通の熱源には、木質バイオマスを選択するのがよい。また、搬送動力については系統電源ではなく、太陽光等の再生可能エネルギーで供給することにより、更なる CO₂ 排出量の削減が可能となる。

(5) まとめ

消防庁舎及び福祉施設の実測調査を行い、得られたデータから両施設における熱融通を検討した。木質バイオマスによる熱融通は、CO₂ 排出量の削減に効果があることを示した。これにより、街区全体の CO₂ 排出量をさらに削減できることが示唆された。

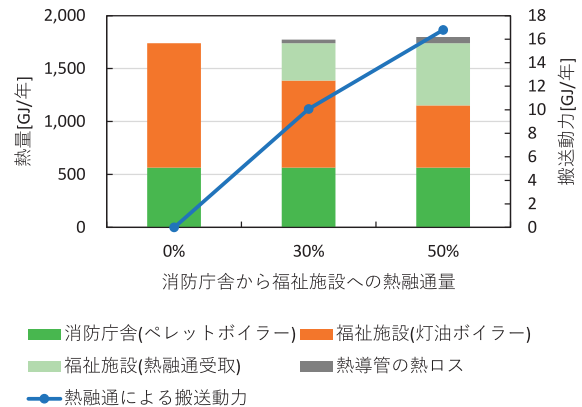


図 2-3-2-8 熱量とポンプ搬送動力の試算結果

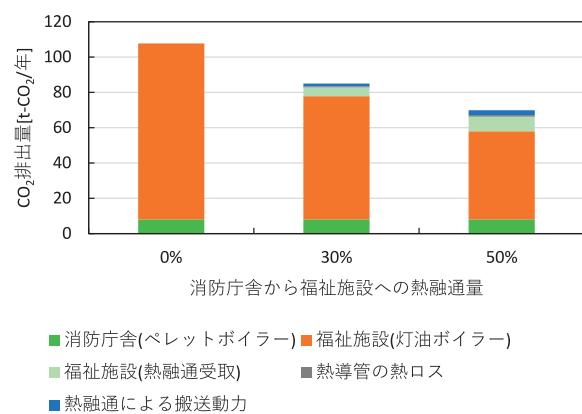


図 2-3-2-9 CO₂ 排出量の試算結果

注 1) 温水温度は、配管の表面に T 型熱電対を設置し測定した。

注 2) 製造熱量 $Q[W]$ は、次式より算出した。

$$Q = c\rho V(T_{in} - T_{out})$$

ここで、 c : 比熱 $[J/(kg \cdot K)]$, ρ : 密度 $[kg/m^3]$, V : 流量 $[m^3/s]$, T_{in} : 一次側温水行き温度 $[^{\circ}C]$, T_{out} : 一次側温水還り温度 $[^{\circ}C]$

注 3) ポンプの搬送動力は、搬送熱量を WTF で除して算出した。

[引用文献等]

[1] 空気調和・衛生工学会. 『建築・設備の省エネルギー技術指針 非住宅編』. (2008)

研究担当機関：北方建築総合研究所

執筆者：阿部 佑平

2.4 まとめ

道内では再生可能エネルギーの利活用の取り組みが進んでいるものの、省エネルギーに関する取り組みは、ZEB 等の新築建築物を除き遅れている状況にある。限りある再生可能エネルギーを有効利用し、省 CO₂を図るには、需要側の省エネに関する取り組みが重要である。本章で示した既存建築物の運用改善による省エネルギー手法は、新たに多額の投資をする必要がなく、再生可能エネルギー賦存量に関わらず、費用的制約も少なく、他自治体においても取り組める効果的手法である。一方で、建物個々の運用状況をモニタリングするなど専門家による関与も必要であることから、その普及には運用改善を行える人材育成が必要である。エネルギーの面的利用については、再生可能エネルギーの熱利用を促進し、省 CO₂に有効であることが示された。しかしながら、熱ロスの少ない熱導管の敷設や異なる負荷パターンの組み合わせにより負荷平準化を図り熱源機器容量を低減する設計が必要など、設備設計者の役割が極めて大きく、専門事業者の技術力向上が不可欠である。