

農産廃棄物カスケード型循環利用バイオエタノール製造システムの構築

北口 敏弘, 鎌田 樹志, 山越 幸康, 富田 恵一, 三津橋 浩行, 高橋 徹, 柏瀬 浩司

Establishment of the Bioethanol Manufacturing System from Agricultural Waste

Toshihiro KITAGUCHI, Tatsuyuki KAMADA, Yukiyasu YAMAKOSHI
Keiichi TOMITA, Hiroyuki MITSUHASHI, Touru TAKAHASHI, Kouji KASHIWASE

抄 録

ビートトップなど畑作農業で排出される農産廃棄物から抗肥満性物質を含有するビートトップ油を生産し、その残渣および麦わら、豆殻をバイオエタノールの原料として利用するカスケード型高効率バイオエタノール生産システムの検討を行った。その結果、有効なビートトップ回収方法、カロテノイドおよび糖類の長期保存方法、ビートトップからの脂溶性物質の抽出方法、エタノール製造のための原料の前処理方法を明らかにした。また、同時糖化発酵の高効率化、エタノール蒸留残渣焼却灰の成分評価を行い、プロセスの最適化を図った。

キーワード：ビートトップ、抽出油、セルロース、バイオエタノール、カスケード利用

Abstract

The purpose of this study is construction of economically competitive bioethanol production system by cascading of the agricultural residue. The tops of the sugar beets (beettops) are a candidate for the cascading waste. It has considerable content of Omega-3 polyunsaturated fatty acids (PUFA) and carotenoids. We studied on producing bioethanol from agricultural wastes such as wheat straws, bean stalks and pods in combination with the cascading of beettops. We found the significant collection method for beettops, the long period presevation method of carotenoids and sugars, the ethanol extraxtion method from beettops, pretreatment methods for manufacturing bioethanol from cellulosic biomass such as wheat straw, bean stalks and pods and the residue after the ethanol extraction treatment of beettops. And it was carried out the efficiecy improvement of the simultaneous saccharification and fermentation, the evaluation of the incineration ashes after ethanol distillation for fertilizers, the process optimization.

KEY-WORDS : Beettops, Extracted Oil, Cellulose, Bio-ethanol, Casucade use

1. はじめに

北海道十勝地方などではビート、小麦、ジャガイモ、豆類の主要4作物による畑作輪作体系が確立されており、その生産量は全国の15~40%を占め、大規模畑作地域が形成されている。その生産活動に伴ってビートトップ（ビートの収穫の際に事前に切り取られる葉部、茎部、根部の一部）、麦わら（麦稈）、ジャガイモ地上部、豆殻などのセルロース系農産廃棄物が大量に発生している。おもに家畜の敷料として圃場から収集されている麦わら以外のものは圃場に鋤込まれるか野

焼きされているのが現状であり、適切な処理が望まれている。

一方、それら廃棄物の中には抗肥満性を示すカロテノイド（ネオキササンチン）などの脂溶性高付加価値物質が含まれているものもあり、それらを回収して廃棄物から機能性食品を生産することで、廃棄物の有効利用ができる。また、高付加価値物質を回収したのちの残渣を原料とする高効率なバイオエタノール製造体系を確立することで、廃棄物のカスケード利用が可能となる。さらに、バイオエタノール製造過程で排出される、エタノール蒸留残渣のサーマルリサイクル後に得られる焼却灰を肥料等として圃場還元すれば、圃場から収奪

事業名：公募型（環境研究総合推進費補助金研究事業研究）

課題名：農産廃棄物カスケード型循環利用バイオエタノール製造システムに関する研究

した肥料成分を再び圃場に戻すことができ、循環利用が可能となる。本研究は、これらのことを実現し、廃棄物の排出量削減と地球温暖化抑制に寄与することを目的とする。

本事業では原料収集・保存に関する検討、原料に含まれる有用成分評価、エタノール製造のための原料の前処理に関する検討、進化工学的手法による温度ストレス耐性機能性酵母（酵母にセルラーゼを生産させ酵母表層に提示させた酵母）の最適化、酵素生産・同時糖化発酵の装置的課題の実験的検証、エタノール蒸留残渣焼却灰の成分評価、プロセスの最適化の検討を行った。そのうち、原料に含まれる有用成分評価および進化工学的手法による温度ストレス耐性機能性酵母の最適化以外の項目について、以下に報告する。

2. 供試試料（ビートトップ）

ビートトップは高付加価値物質（カロテノイドや ω -3脂肪酸）を高濃度で含有しており¹⁾、本研究では、それらの物質を抽出し、カスケード利用（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何度も利用すること）を目的のひとつとしている。ビートは、図1に示すように、ビート葉部、茎部、クラウン、根部からなり、収穫時に根部の上部を切断するため、葉部、茎部、クラウンからなるビートトップ（図2）が残渣として生じる。

試験の供試試料としては、平成23年9月、平成24年8月、平成25年10月に（地独）北海道立総合研究機構十勝農業試験場で採取したサンプルを使用した。



図1 ビートの部位



図2 ビートトップ

3. 試験方法

3.1 原料の収集・保存

数種の農産廃棄物について、現在の排出状況や実利用のための収集・運搬方法などに関して、文献調査及び関係機関へのヒアリングなどによる情報収集を行い、賦存量を推計するとともに、収集・運搬方法について検討を行った。

また、エタノール水溶液を噴霧したビートトップの長期間の保存時の糖含有量の経時変化、ビートトップのエタノール抽出液の長期間の保存時のカロテノイド含有量の経時変化を調べた。NREL/TP-510-42618²⁾で糖類の含有量を求め、その合計値を糖含有量とした。なお、液体クロマトグラフで、9'-シス-ネオキササンチン、ピオラキササンチン、ルテインを定量し、その合計値をカロテノイド含有量とした。

エタノールによる抽出条件を決定するため、抽出液のエタノール濃度を31-85wt%と変えて、抽出液の糖類、カロテノイド類の抽出率を検討した。

3.2 エタノール製造のための原料の前処理

セルロース系農産廃棄物から有用物質を抽出した後の残渣や他のセルロース系農産廃棄物から高効率なバイオエタノール製造を行うために原料特性の解明、前処理条件の最適化、蒸煮・爆砕処理の連続処理装置の開発を行った。

ビートトップ、麦わら、ジャガイモ地上部、大豆殻、小豆殻、長いも茎を対象として、水・アルコール抽出物質³⁾、糖類²⁾、リグニン²⁾、灰分⁴⁾、たんぱく（ケルダール法）について分析を行った。

賦存量の多い麦わら、豆殻を対象として水酸化ナトリウムを用いたアルカリ処理と蒸煮・爆砕処理を組み合わせた前処理方法について、おもにアルカリ処理条件を変えて最適前処理条件の検討を行った。試験条件を表1に示す。

爆砕処理はバッチ処理となり効率的ではないため、連続爆砕処理装置の設計、試作を行い、不具合点を逐次改良しながら、連続処理装置の開発を行った。図3に連続前処理装置のフロー図を、表2に試験条件を示す。

表1 アルカリ処理、爆砕処理試験条件

試験番号	粒度 mm	処理方法	アルカリ処理				爆砕処理		
			NaOH 濃度 % (対基質)	NaOH 温度 ℃	NaOH 時間 h	アルカリ 処理TS %	攪拌速度 rpm	爆砕温度 ℃	爆砕時間 min
麦稈1	0.18~0.85	振とう 培養機 or 恒温 振とう 水槽	13	60	6	10	150	190	2
麦稈2	0.18~0.85		13	60	6	22	200	190	2
大豆1	0.18~0.85		13	60	6	10	150	190	2
大豆2	0.18~0.85		13	60	6	22	200	190	2
大豆3	0.18~0.85		13	60	6	22	200	190	20
大豆4	0.18~0.85		13	60	0	22	200	190	20
大豆5	0.18~0.85		13	75	6	10	150	190	2
大豆6	0.18~0.85		13	60	24	22	200	190	2
大豆7	0.18~0.85		13	60	48	22	200	190	2
大豆8	0.18~		13	60	6	10	150	190	2
大豆9	0.18~0.85	攪拌培養機 オートクレーブ	13	75	6	25	50	190	2
大豆10	0.18~0.85		13	90	6	10	50	190	2

3.3 酵素生産・同時糖化発酵の装置的課題の実験的検証

糖化・発酵工程におけるエタノール最終濃度を高めることを目的として、同時糖化発酵⁵⁾における二次原料の固形分増

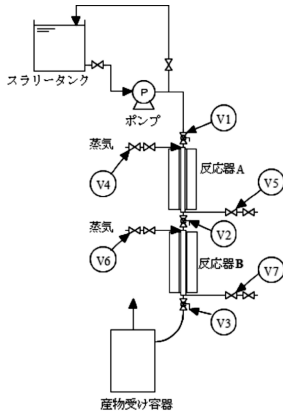


図3 連続爆砕装置フロー

表2 連続爆砕処理試験条件

条件設定項目	設定値
BM種	コーン茎葉、 麦わら
処理回数	3回
BM投入時間	180s
反応器A処理時間	10s
A→B移送時間	3s
反応器B処理時間	120s
排出時間	3s
反応器A設定温度	170℃
反応器B設定温度	190℃

加による効果を調査し、高固形分濃度で高い糖化発酵効率が得られる方法を検討した。まず、同時糖化発酵における固形分濃度の糖化・発酵に対する影響を調査するため100mLの小型糖化発酵試験装置（図4）を用いて、固形分5-10%に対する同時糖化発酵試験を行った。次に、高固形分での同時糖化発酵における酵素酵母液との混合について、①培地・緩衝液・酵素・酵母混合液への浸漬、②酵素製剤量、③振とう攪拌による効果を検証し、同時糖化発酵装置の混合方式に関する基礎検討を行った。最後に、高固形分の原料で酵素、酵母を効果的に原料に接触させるため、ジャケット式セパラブルフラスコ（内容量1L）を用いて、上部から攪拌機で攪拌する反応装置を用いた検討を行った（図5）。



図4 小型糖化発酵試験装置



図5 攪拌装置

3.4 エタノール蒸留残渣焼却灰の成分評価

エタノールを製造した後に生じる各種残渣は、サーマルリサイクルによるエネルギー回収に用いる。最終的な残渣であるサーマルリサイクル後の焼却灰に関して、肥料としての利用が期待できることから、肥効成分の評価、安全性を担保するための有害物質の量および溶出性について検討した。

ビート茎葉部、麦わら、大豆殻について、600℃または815℃で灰化、粉碎して試料とした。得られた粉碎物をプレス成形し、波長分散型蛍光X線分析装置により、定性分析およびファンダメンタルパラメーター法（以下FP法）による半定量分析を行った。

また、安全性の評価のために、重金属などの溶出試験と含有量試験を行った。溶出試験は土壤の汚染に係る環境基準に準拠して行った。含有量試験は焼成汚泥肥料の含有量基準での全分解法を考慮して分解し、分解試料についてICP発光分光分析法（標準添加法併用）などにより定量した。

3.5 プロセスの最適化の検討

ビートトップからビートトップ油を生産し、その残渣と他のセルロース系バイオマスからバイオエタノールを生産するシステムについて、最適と考えられるプロセスを提案し、そのプロセスにおけるLCA評価および経済性評価を行った。

北海道十勝地方でビートトップ、麦わら、豆殻の収集に最適な市町村を選定し、工場建設予定地を想定した。また、原料の保存性や収穫時期、可能収集量などからバイオエタノール生産量、時期による最適な原料の選択とプロセスの提案を行った。

上記の最適化されたプロセスについて、これまでの研究成果や文献値などを用いてそれぞれの工程に係る投入エネルギー量を算出し、CO₂排出量やエネルギー収支について検討を行った。

各原料の収集運搬費、電力費、ユーティリティ費、薬品費、廃水処理費など変動費を、これまでの成果や文献値から推算した。ビートトップ油の生産費用および販売収入額などを予測し、バイオエタノール価格低減額を算出した。

4. 試験結果および考察

4.1 原料収集・保存

本研究でターゲットとしている麦わら、豆殻、ビートトップ、スイートコーン茎葉などについて北海道内及び十勝管内の廃棄物排出量を推算した（表3）⁶⁻¹¹⁾。収集運搬方法については、麦わら、小豆殻、スイートコーン茎葉は、すでに方法が確立されており、ビートトップについては、過去に収集装置を製造し、現在、装置を試作しているメーカーがあり、これらの装置で収集可能であることがわかった（図6）。

各種バイオマスの保存については、麦わら、小豆殻、スイートコーン茎葉は、既往の研究成果であるアルカリ浸漬保存が

適用可能である。ビートトップについては、アルカリ浸漬では含有している有用物質が変質する恐れがある。そのため、エタノール水溶液を噴霧した状態で保存試験を行ったところ、低温下で保存すれば、9ヶ月間経過後も初期値と同程度の糖含有量を維持することができ、長期間保存することは可能であることがわかった（表4）。

表3 北海道内及び十勝管内の農業残渣排出量
(推算値, スイートコーンのみ湿物基準)

農業残渣	作付面積あたりの 乾物重量(kg/ha)	作付面積(ha)		賦存量(万t)	
		北海道	十勝管内	北海道	十勝管内
小豆殻+茎葉	1107	23200	12500	3	1.4
大豆殻+茎葉	3141	24400	4160	8	1.3
麦わら(小麦)	3583	116300	45700	42	16.4
スイートコーン茎葉	—	9640	3190	12	3.7
ビートトップ	6800	62600	26800	43	18.2

表4 長期保存試験での糖含有率の変化
(単位: wt%, 無水ベース)

保存温度 (°C)	噴霧エタノール 濃度(wt%)	初期値	保存期間								
			2日	1週間	2週間	1月	2月	3月	4月	6月	9月
3	0	30	26	27	33	32	33	30	29		
	1		28	29	32	34	34	30	25	24	23
	10		27	28		31	30	27	31	33	
	90		29	21	27	29	32	30	27	31	34
25	0	30	28	30	28	0	27	24	17	15	14
	1		30	30	27	32	26	20	16	16	13
	10		27	24		27	27	22	21	15	
	90		26	27	29	31	29	29	27	27	31



図6 ビートトップ回収機(試作機)

ビートトップ中のカロテノイドおよび脂質の保存については、高濃度のエタノールにより、低温下で遮光保存することで、長期間にわたり初期値と同程度の含有量を維持できることがわかった(図7)。また、エタノール濃度が低下すると

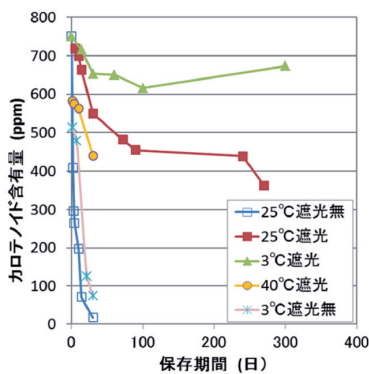


図7 長期保存試験でのカロテノイド抽出率の変化

保存性が悪くなるため、少なくとも75%程度以上の濃度での保存が望ましく、より長期間の保存のためには85%以上が好ましいことがわかった(表5)。

表5 いくつかのエタノール抽出液での保存試験結果
(3°C, 遮光)

抽出液エタノール濃度(wt%)	76	71	65	61	55	参考85%60日
51日後のカロテノイド残存率(wt%)	76	52	49	59	44	87

次に、エタノール抽出条件について、基礎検討を行った。エタノール濃度が高いほど脂質およびカロテノイドの抽出率は高くなり、エタノール濃度75%では、原料ビートトップの15%のカロテノイド、30%の脂質を抽出することができた(図8および図9)。また、抽出時の糖の損失は少なく、90%以上の糖が抽出残渣に残存しており、エタノール溶液で抽出することで効率的に脂質およびカロテノイドなどの有効成分のみを抽出できることがわかった。以上のことから実プロセスでは、少なくとも75%以上のエタノール濃度で抽出し、抽出液をそのままの状態での保存するのが好ましいことがわかった。

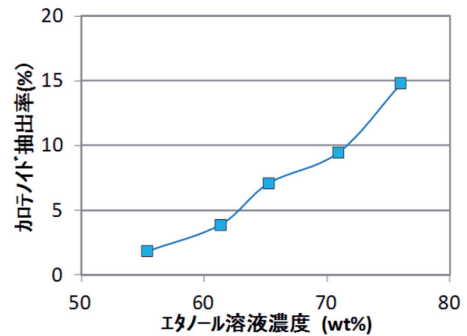


図8 カロテノイド抽出率の変化

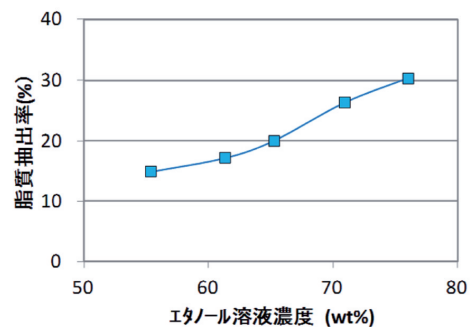


図9 脂質抽出率の変化

4.2 エタノール製造のための原料の前処理

ビート茎葉部およびビートクラウンのバイオマス組成はともに水・アルコール抽出物質が非常に多く、ビート茎葉部で55~58%、ビートクラウンで70%強であり、両者ともグルカ

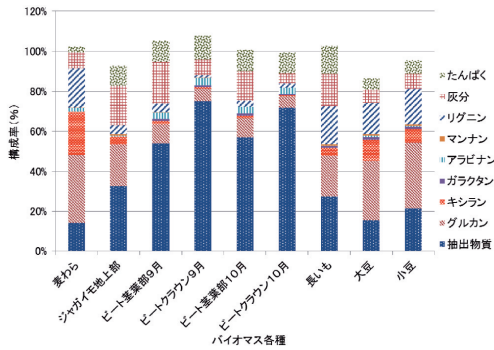


図10 各種バイオマス組成

ンが少なく10%弱であった。また、リグニンは10%以下で非常に少なかった。麦わらおよび豆殻類は抽出物質が15～20%、グルカンが30%台、リグニンは20%程度で他の草本類と同程度であった(図10)。一方、ビートトップ茎葉およびクラウンには多くの可溶性糖が含まれていることが明らかとなり、これをエタノール原料とすべきであることが分かった。また、十勝地方の農産廃棄物の賦存量はビートトップ、豆殻、麦わらがそれぞれ18.2トン、2.7トン、16.4トン(いずれも乾物ベース)と多く、上記結果とあわせて考えると、これらの廃棄物が原料として有望であることが分かった。

これらのバイオマスを原料とし、前処理を行った。麦わらの糖化効率90%以上で良好な結果を得た。大豆殻については、麦わらと同じ前処理条件(アルカリ処理条件:13%, 60℃, 6h)で65%程度であったので、条件を変えて検討した結果、アルカリ処理条件:13%, 75℃, 6hで糖化効率77%を得た(図11)。大豆8の糖化効率が高いが微粉砕によるものであり、エネルギー的に不利と思われた。麦わらではグルカンのほぼすべて、キシランの86%が固形分として残り、良好な残存率を得た(表6)。

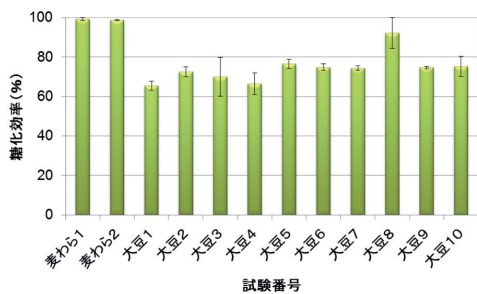


図11 酵素糖化率

表6 前処理産物の残存率(麦わら)

	残存率(%)	
	投入量 =80g	投入量 =125g
グルカン	99	101
キシラン	85	87
リグニン	72	70

試した連続爆砕装置について、逐次改良を行った。アルカリ処理を施した固形分濃度10%のコーン茎葉を基質として連続運転を行った結果、問題なく運転が可能であることを確認した。また、高固形分濃度(30%)の基質に対しても安定した運転ができた。改造の結果、処理能力は約0.43から0.57kg-dry/h/Lに改善された(図12, 表7)。



図12 連続爆砕装置

表7 連続爆砕能力

項目	H24年度	H25年度	
BM投入量/回	kg-dry/回	0.15	0.21
総処理時間	min	13	13.85
処理量	kg-dry/h/L	0.43	0.57
糖化効率	%	-	96

BM:バイオマス

4.3 酵素生産, 同時糖化発酵の装置的課題の実験的検証

100mLの小型糖化発酵試験では、固形分の増加に従い、同時間での糖化発酵効率が低く、エタノール生成速度が低下していることが認められた(図13)。固形分の増加による糖化発酵速度の低下は、流動性の低下による混合不足が要因と思われた。

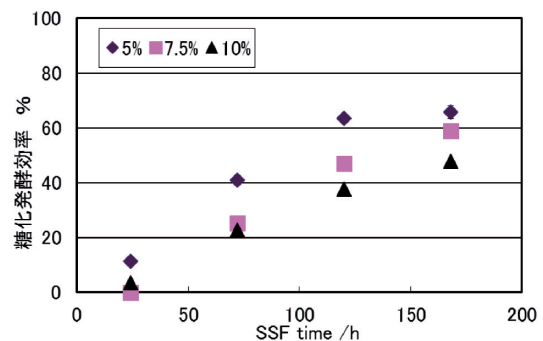


図13 固形分に対する糖化発酵効率

同時糖化発酵装置の混合方式に関する基礎検討では、酵素製剤量の増加や振とう攪拌により処理物全体を揺動させることが糖化発酵効率の向上に影響することを確認した(図14)。また、初期に酵素の至適温度にて糖化(液化)を進行させてから、発酵に適した温度に下げた発酵進めるところ、高固形

る収集範囲を設定した(図16)。

この収集範囲から22万トン(水分87%)のビートトップおよび3.5万トン(水分15%)の麦わら、豆殻を収集し、年間、ビートトップ油5.2トン、バイオエタノールを1.5万kL製造するプロセスを提案した(表11、図17)。

表11 ビートトップ油およびバイオエタノール製造プロセスの各種使用設定

項目	仕様設定
粗粉碎	カッターミルによる素粉碎
破砕	マスコロイダーによるゲル化
ビートトップ初期水分	87%
ビートトップ初期脂溶成分含有量	100mg/g-dry
抽出エタノール/基質比	4kg/kg-wet
抽出エタノール初期濃度	85wt%
抽出エタノール最終濃度	78wt%
抽出段数	1段
抽出時間	16h
固液分離後固形分濃度	25%
固液分離による脂溶成分の液側への亡失率	46%
粗粉碎	カッターミルに供給可能な素粉碎
破砕	スクリーンφ5mm通過
アルカリ処理	アルカリ種:NaOH、濃度:13%、固形分濃度:25%、温度:60~75℃、時間:6h
蒸煮燻砕処理	温度:190℃、時間:2分、アルカリ処理+蒸煮燻砕処理の物質回収率:グルカン100%、キシラン86%、処理後のTS:20%
糖化発酵	セルラーゼ使用量:5FPU/g-セルロース、36℃、収率:ビートトップ200L/t、麦稈等220L/t
蒸留・脱水	蒸留:エタノール回収率99.5%、製品濃度92%wt、脱水:ゼオライト膜脱水、エタノール回収率98%、製品濃度99.5%wt

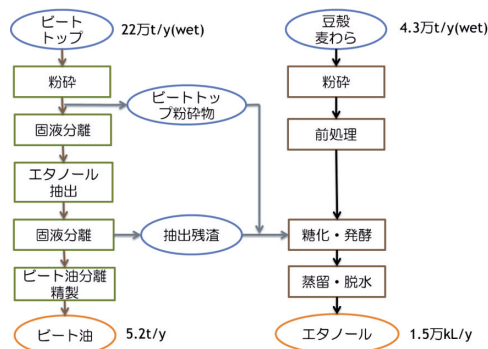


図17 ビートトップ油およびバイオエタノール製造プロセス

プロセスのLCA評価では、農産廃棄物であるビートトップおよび豆殻・麦わらを原料としたバイオエタノール生産に

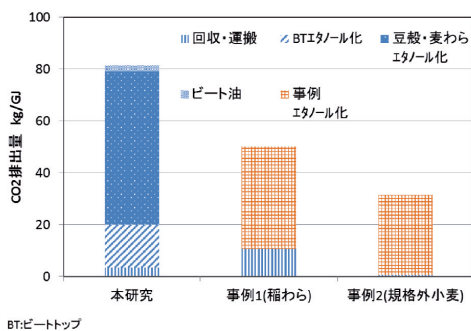


図18 機能単位あたりCO₂排出量 (化石燃料投入時)

におけるCO₂排出量は81kgCO₂/GJである(図18)が、蒸留残渣(リグニン)および豆殻・麦わらを燃焼して投入エネルギーに利用することにより約50%削減され、39kgCO₂/GJとなった(図19)。また、ビートトップ油の生産規模がバイオエタノールに比較して小さいため、CO₂排出量への影響は僅かであった。

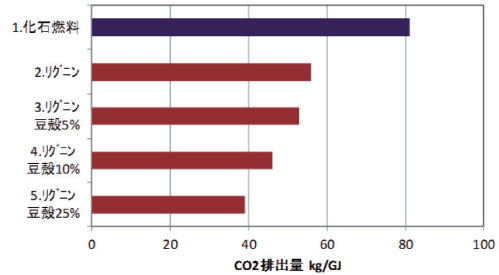


図19 機能単位あたりCO₂排出量 (蒸留残渣および豆殻等燃焼利用)

経済性評価では、原料費が59円/L-BE (BE:バイオエタノール、以下同様)と最も高かった。しかし、蒸留残渣(リグニン)の発電、熱源利用により12円/L-BE、さらにビートトップ油カプセルの販売により31円/L-BE低減されることが分かった。結局バイオエタノール生産価格は71円/L-BE(変動費のみ)となり、農林水産省のソフトセルロース利活用技術確立事業での目標値である90円/L-BEを大幅に下回る価格となることが分かった(表12)。

表12 経済性評価結果

項目	単位	数値	備考
計画生産規模	kL/y	15000	
麦わら・豆殻	kL/y	7830	
ビートトップ	kL/y	7170	
処理量	uy	35591	
ビートトップ	uy	28160	
変動費			麦等13.7円/kg-dry、豆殻2.4円/kg-dry、ビートトップ(BT):
原料費	円/L	59.2	39円/kg-wet
電力売電	円/L	0	FITバイオマス廃棄物(木質以外)燃焼発電17.85円/kWh
電力使用	円/L	2	
A重油	円/L	14	
工業用水	円/L	0	
	円/L	14	
	円/L	3	
薬品類	円/L	5	NRELの酵素生産の5.1円/L
	円/L	5	日本アルコール協会ベース、軟水剤など
小計	円/L	27	
排水処理	円/L	1	NRELベース
ビートトップ油	円/L	11	3.3万円/kg-BT油
売油収入	円/L	-42	13万円/kg-BT油
合計	円/L	71	

5. まとめ

以上をまとめると以下の通りである。

- 原料収集、保存に関する検討で、原料の賦存量を明らかにした。また、企業が開発している回収機によるビートトップの回収が可能であることが分かった。また、糖類、カロテノイドについて9ヶ月まで長期保存できる条件を見いだした。また、カロテノイドは、遮光+低温により著しく保存性が改善された。

- 原料の前処理では、グルコース収率は麦わらが90%、大豆殻は77%となる前処理条件を見いだした。さらに安定した運転が可能な連続前処理装置の開発を行った。
- エタノール蒸留残渣焼却灰の成分評価では、ビートトップ灰、麦わら灰、大豆殻灰のすべてが粗製カリ塩の基準以上の酸化カリウムを含有しており、肥料として有効に利用できることが分かった。

以上の研究結果を踏まえて、北海道十勝地方にモデルを設定しビートトップ油とバイオエタノールの生産プロセスを提案し、そのプロセスについてLCA評価、経済性評価を行った。

これらより、農産廃棄物から有用物質を生産し、その残渣を利用したバイオエタノール生産プロセスを構築し、価格競争力のあるバイオエタノール生産体系を確立できた。

謝辞

この研究は、平成23～25年度環境省環境研究総合推進費補助金より実施しました。

また、本研究で使用したICP発酵分光分析装置、ICP質量分析装置、X線回折装置は公益財団法人JKAの機械振興補助事業により整備されました。ここに記して深く感謝いたします。

引用文献

- 1) 加茂川寛之, 陸上植物由来カロテノイドの分析方法の確立とその応用, 平成22年度北海道大学修士論文
- 2) A. Sluiter, B. Hames, R. Ruiz, C. Scarlata, J. Sluiter, D. Templeton, and D. Crocker, Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass, NREL/TP-510-42618, National Renewable Energy Laboratory (2008)
- 3) A. Sluiter, R. Ruiz, C. Scarlata, J. Sluiter, and D. Templeton Determination of Extractives in Biomass NREL/TP-510-42619 (2008)
- 4) A. Sluiter, B. Hames, R. Ruiz, C. Scarlata, J. Sluiter, and D. Templeton Determination of Ash in Biomass NREL/TP-510-42622 (2008)
- 5) N. Dowe and J. McMillan SSF Experimental Protocols - Lignocellulosic Biomass Hydrolysis and Fermentation, NREL/TP-510-42630 (2008)
- 6) 建部雅子, 花井雄次, テンサイ各部位における糖の消長, てん菜研究会報, 24, pp.57-63 (1982)
- 7) 北海道十勝地域の規格外農産物及び農産化工残渣物利用におけるバイオエタノール変換システムに関する事業化可能性調査報告書, 財団法人十勝圏振興機構, 平成17年

3月

- 8) 小川和夫, 竹内豊, 片山雅弘, 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, 149号, pp.57-91 (1988)
- 9) 北海道バイオマス利活用マスタープラン, 北海道, 平成18年3月
- 10) 平成22年度農林水産省作物統計, <http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/index.html>
- 11) 2011十勝の農業, 北海道十勝総合振興局, 平成23年12月