

3. 大阪府エコタウンにおける廃木材等由来のバイオエタノール利用用途拡大の検証

3.1 モデル事業

3.1.1 モデル事業の狙い

(1) 背景

大阪府エコタウンでの廃木材等からバイオエタノールを製造する事業(DINS 堺バイオエタノール事業所)は、連携する事業所などからの調達も含めて、原料調達については拡大可能性が見込まれる状況にある。

一方、製造したバイオエタノールについては、現在供給している E3 ガソリン用の燃料に加えて、多様な用途が想定されるものの、品質要件などがきちんと評価されておらず、用途が拡大しないという課題がある。

(2) 大阪府エコタウンプランでの位置づけ

建設廃棄物など「最終処分される量及び比率が高い廃棄物」の有効利用については、大阪府エコタウンプランにおいて、優先的に解決すべき課題として位置づけられている。

廃木材等からのバイオエタノール製造施設は、建設廃棄物としての廃木材の処理を主に想定しており、上記の優先的に解決すべきものとして重要な施設となっている。

(3) モデル事業の選定理由

上記のとおり、大阪府エコタウンには、廃木材等からのバイオエタノールを製造する事業者が存在する。この事業所は大阪府エコタウンプランでの優先的に解決すべき課題への対応施設である。

しかしながら、バイオエタノールについては需要先が限られ、製造したバイオエタノールの新たな販路拡大を検討することが必要な状況にある。

このため、新たな需要先として、将来の需要拡大が見込まれる燃料電池用途への技術的な利用可能性を評価することは、製造設備の効率化などの検討においても重要な要因となるため、実証実験として実施するものとした。

3.1.2 モデル事業に係わる各種状況

(1) 大阪府における木くずの未利用量の推計

平成 22 年度の大阪府における木くずの発生量は約 14 万トン／年と推計されている（「大阪府産業廃棄物処理実態調査報告書（平成 22 年度実績）」）。

これに対して、木くずの処理割合は、再生利用率 82%、減量化率 12%、最終処分率 6%となっており、この割合から、未利用量（減量化および最終処分）は、2.52 万トン／年と推計される（図 3-1）。

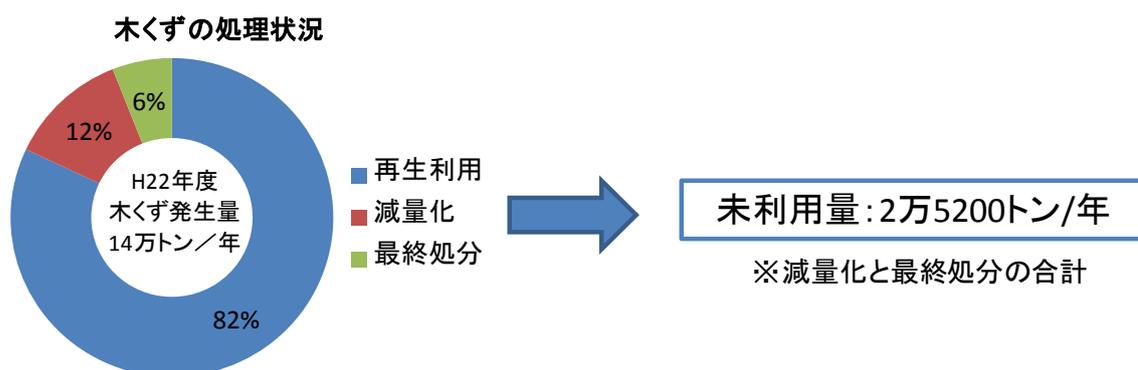


図 3-1 大阪府での木くずの発生量及び未利用量

（出典）「大阪府産業廃棄物処理実態調査報告書（平成 22 年度実績）」をもとに作成

(2) バイオエタノール事業の現状

バイオエタノールの製造設備は、以下のように 55t/日の廃木材処理能力を持っており、年間および 2 万トンの処理が可能な設備となっている。しかしながら、平成 23 年の処理実績では、月間 210 トン程度で年間でも 2,500 トン程度にとどまっている状況にある。なお、バイオエタノールは、廃木材 1 トンに対して 31L 精製されると見込まれている（「エコ燃料実用化地域システム実証事業 成果報告書」）。

従って、年間 1 万 5000 トン以上の処理余力を持っており、大阪府の未利用廃木材 25,200 トンの多くを処理できることとなる。

- バイオエタノール製造設備
 - 55t/日（廃木材）の設備能力
 - 年間処理能力がおよそ 2 万トンであり、未利用量と同程度に相当
 - しかしながら、H23 年の処理実績は主に需要要因から約 210 トン/月

これに対して、バイオエタノールは大阪府が実施した「エコ燃料実用化地域システム実証事業」での E3 ガソリン利用が主な需要先と考えられ、平成 23 年度の実績では E3 ガソリンで 12,702kL である。これをバイオエタノール量に換算すると、381kL となる。

このバイオエタノールは複数の供給元から得られたバイオエタノールを利用しているため、DINS 堺以外からの調達も受けているが、全量を廃木材由来のものと換算すると、廃木材約 12,000 トン程度の量に相当する。

「エコ燃料実用化地域システム実証事業」では、複数の供給元からのバイオエタノールの供給を受けて、安定した E3 ガソリンの製造を行うことを検証した。これを踏まえて、平成 23 年 12 月に E3 ガソリンの製造を行う中国精油（株）において、複数の供給元のバイオエタノールを用いて E3 ガソリンを製造するための「揮発油特定加工品質確認計画認定書」を得ることができた。

- バイオエタノールの需要
 - 自動車用燃料でのバイオマス燃料の需要有り。
 - 大阪府の「エコ燃料実用化地域システム実証事業」の平成 23 年度販売実績は、E3 ガソリンで 12,702kL。
 - ただし、ガソリン価格との兼ね合いで安価での売却が求められる場合もあり。

(3) 燃料電池需要の予測

燃料電池を含むコジェネの普及が「革新的エネルギー・環境戦略」において示されている。これによると、家庭用燃料電池の導入目標は、2020 年時点で 140 万台、2030 年時点で 530 万台（2010 年現在 1 万台）となっており、急速な普及を目指しているものである。

このように、燃料電池を含むコジェネ（熱電併給）を最大限普及させ、エネルギーの有効利用を促進することが狙いであるが、重要な点はコジェネとして、電気に加えて熱を利用することでエネルギー効率を高めるという点である。

<コジェネの拡大イメージ>

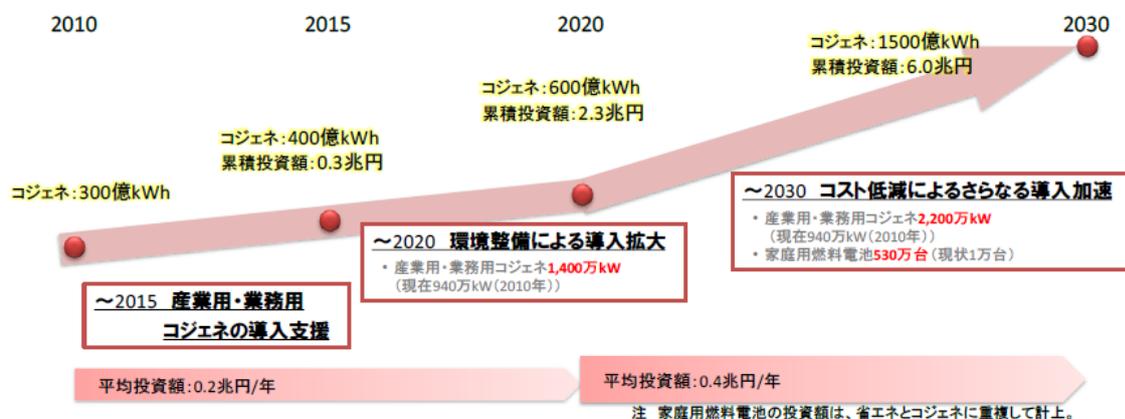


図 3-2 燃料電池を含むコジェネの普及拡大の予測

(出典)「革新的エネルギー・環境戦略」平成 24 年 9 月 14 日 エネルギー・環境会議

(4) 工業用アルコールの需要動向

工業用アルコールの需要は、過去 10 年間に約 3 割程度拡大している。これは、エタノールの市場が平成 18 年に自由化されたという要因が大きなものであり、新規許可事業者数の増加（輸入事業者：H13 年度 26 事業者、H22 年度 46 事業者）が進んでいる。

用途別に需要を見ると、バイオ燃料の使用拡大、製品アルコール輸入の増大といった点が特徴的である。

- 工業用アルコールの用途別実績
 - 使用実績は、アルコール事業法施行の H13 年度と比べ約 7 割拡大
 - 用途別では、化学品が H21 年度と比べ約 5 割増加。増加分の約 6 割は、バイオ燃料の一種である ETBE（エチル・ターシャリ・ブチルエーテル）の原料として使用

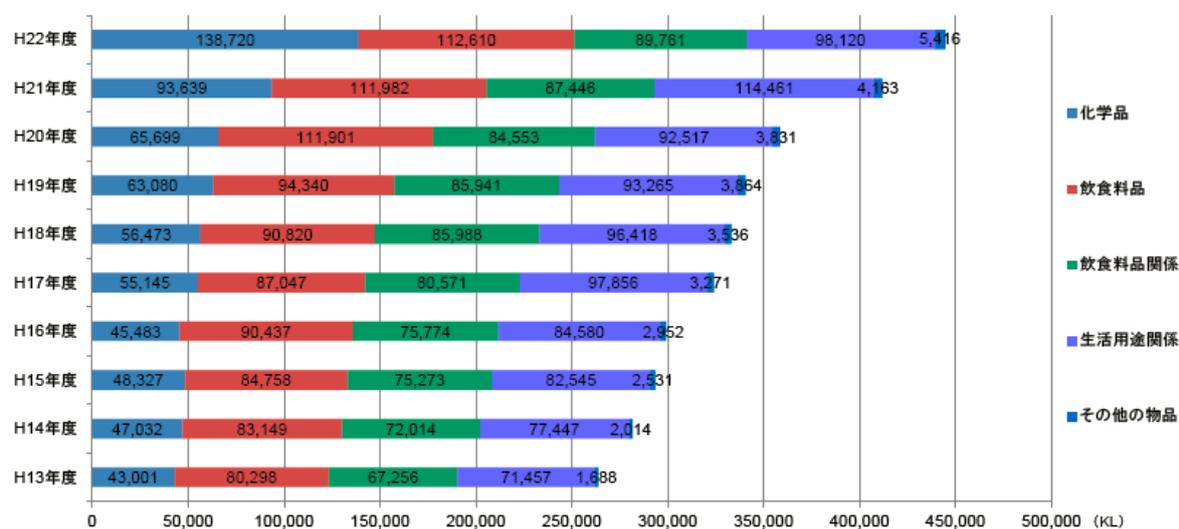


図 3-3 工業アルコールの用途別需要量の推移

（出典）中国経済産業局「1. 工業用アルコールについて、2. 工業用アルコールの制度について」（平成 23 年 2 月）

なお、海外から供給されるエタノールの原料は、主に農産物のため、砂糖、穀物価格に影響を受けており、近年のバイオ燃料の世界的需要に伴い、原油価格とも連動し高騰している状況にある。

また、国内では燃料用エタノールの JIS (JIS K2190) の制定が、利用を促す環境にも繋がっている。

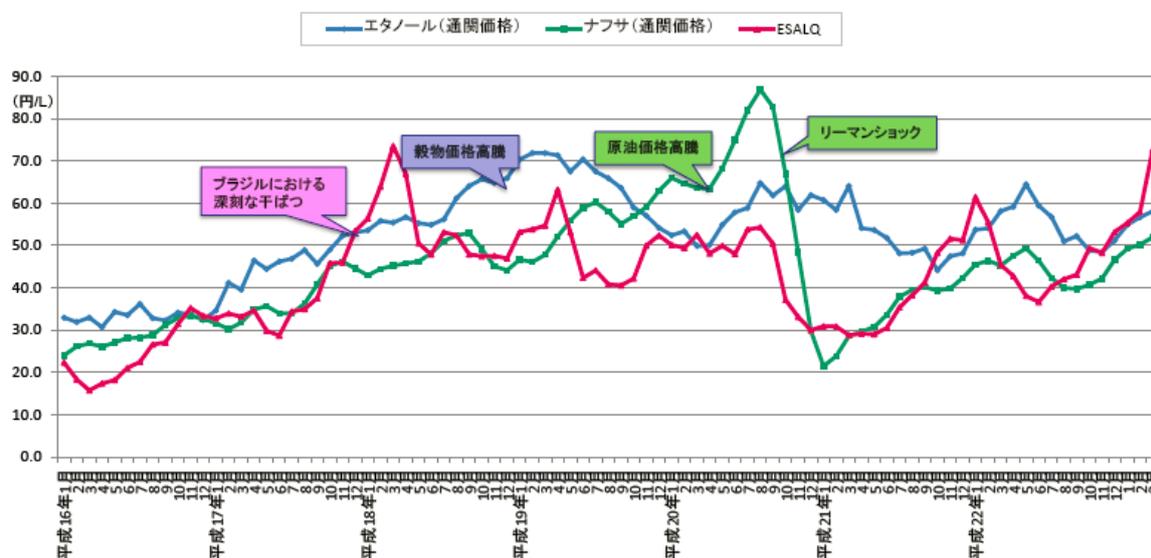


図 3-4 アルコールの原料価格の推移

(出典) 中国経済産業局「1. 工業用アルコールについて、2. 工業用アルコールの制度について」(平成 23 年 2 月)

3.2 実証実験計画

3.2.1 実証実験概要

(1) 実証実験の狙い

① 全体

大阪府エコタウンでの実証実験では、バイオエタノールの高付加価値用途への技術的適用可能性を評価することを目的とする。

② 燃料電池用途の品質等評価実験

バイオエタノールの製造工程での効率化という観点では、新たに燃料電池用に適したバイオエタノールの供給可能性を評価する。

まずは、バイオエタノールの製造工程から燃料電池利用を想定した低アルコール濃度のバイオエタノールが抽出可能かについて検証する。次に、この低アルコール濃度の原料の品質を評価する。

③ 燃料電池用途に適したバイオエタノール品質の検証

②で製造した低アルコール濃度の原料を用いて、エタノール改質器を備えた燃料電池（PEFC）にて発電実験を実施する。この際に、改質後の燃料の品質を分析し、適切に改質が行われているか評価を行う。また、発電量が想定どおりであるかを評価する。

(2) 事業仮説

本実証実験の成果を踏まえて実施を検討する事業の仮説を整理した。

① 現状

原料として、バイオエタノール用の廃木材の調達量の増加については、関連事業所からの調達などで現実性が高い。このため、供給側から見て増産余地はあるものと考えられる。

これに対して、需要側では、カーボンフリーの燃料として、ガソリン混合燃料（E3 ガソリン）としてモデル事業や使用が始まっているが、販売ルートが急速には拡大していかないという課題がある。

また、工業用のエタノールへの利用を想定した場合には、燃料用エタノールより厳しい品質規格のため、設備投資を含めた高品質化が必要な状況にある。

以上の状況を踏まえると、E3 ガソリンの需要拡大という点が一つの事業拡大策であるものの、関係事業者の取組み依存する部分があるため、新規の需要先の検討を実施することとした。

② 燃料電池用途

新たな用途として、燃料電池での利用を見込むメリットとしては、以下に示すとおりである。

- 新たな用途として中長期的な需要拡大性が見込まれること。
 - また、この際にバイオエタノールは複数ある燃料電池用の燃料の中でカーボンフリー燃料という特徴が出せること。
- 燃料の品質を高める必要性が低いこと。
 - 保管、管理等の観点からエタノール濃度が 30%と低くても良いこと。
 - 高純度の精製が不要で、製造コストが低減可能であること。

③ 原料用途

バイオエタノールを工業用の原料として利用する場合には、競合品が純粋なエタノールとなるため、現状のガソリン混合用の原料よりも更に高い品質要件が要求されることと想定される。

しかしながら、更なる高品質化には設備投資が必要な状況であり、当面事業拡大策としては適切でないと考え、本事業での検討対象からは除外することとした。

(3) 検証すべき課題

実証実験で検証すべき課題を整理した。

① 燃料電池用のバイオエタノール抽出

燃料電池用に適したエタノール濃度 30%程度のバイオエタノールを製造工程、特に蒸留塔から適切に抽出できるかを検証する。この際に、以下のように、不純物等も含めて抽出物の品質（成分）が燃料電池用途に適しているかを検証する。

なお、エタノールはアルコール類として濃度 60%以上のものは、消防法による可燃物となり、一定規模（400L）以上の保管には危険物としての対応が必要となる。この規定に掛からない濃度のエタノールを燃料電池用で使うことを想定し、今回はエタノール濃度を 30%と設定して、実験を行うこととした。

- エタノール濃度 30%程度→バイオエタノール濃度が 30%程度の、バイオエタノールの抽出実証
 - 蒸留工程（蒸留塔）の適切な場所からの抽出
 - 一定の濃度で継続的に抽出できるか検証
 - 不純物等を含めた成分分析

② 燃料電池への利用可能性検証

抽出した燃料電池用のバイオエタノールを用いて、エタノール改質器を持つ燃料電池による利用可能性を実証する。この際に、以下のように、燃料電池用にサンプル抽出したバイオエタノールが燃料電池用に適切な品質であるが評価を行い、必要があれば前処理をおこなった上で、燃料電池での発電実証を行う。

また、発電実証を行う過程で、改質された水素燃料の成分が適切であるか、すなわち、改質が適切に行われたかについて検証を行う。

- エタノール原料用の燃料電池改質器による改質の実証
 - 改質後の水素燃料や不純物の成分分析
- 燃料電池での運転実験
 - バイオエタノールを用いた燃料電池の運転実験による利用可能性の検証
 - 発電量、稼働状況、機器への影響などを検証
- 燃料電池用途に適したバイオエタノール抽出、蒸留の可能性
 - 燃料電池用途に必要とされる品質要件のバイオエタノールを抽出、蒸留し、安定的、継続的生産の可能性を検証

3.2.2 燃料電池用途の品質等評価実験

(1) 実験概要

発酵処理で生成されたバイオエタノールは、蒸留・脱水・精留の工程を経て製品のバイオエタノールに精製される（図 3-5）。廃木材由来のバイオエタノール精製工程では、一度の蒸留・精留工程で規格に合致した製品の製造ができない場合があり（図 3-6）、必要に応じて再度の蒸留・精留処理を行っている。この再処理が必要な理由は、酸度（原料由来と想定）、硫黄分（希硫酸由来と想定）が基準を超える場合が多いということである。

これに対して、再処理が不要な品質の用途があれば、コスト低減の可能性があることとなるため、燃料電池利用の実証実験を行うことで、新たな品質のバイオエタノール供給の可能性を評価する。また、品質の低いものを途中で抜き出すことで、精留後のバイオエタノールの品質の向上も期待される。

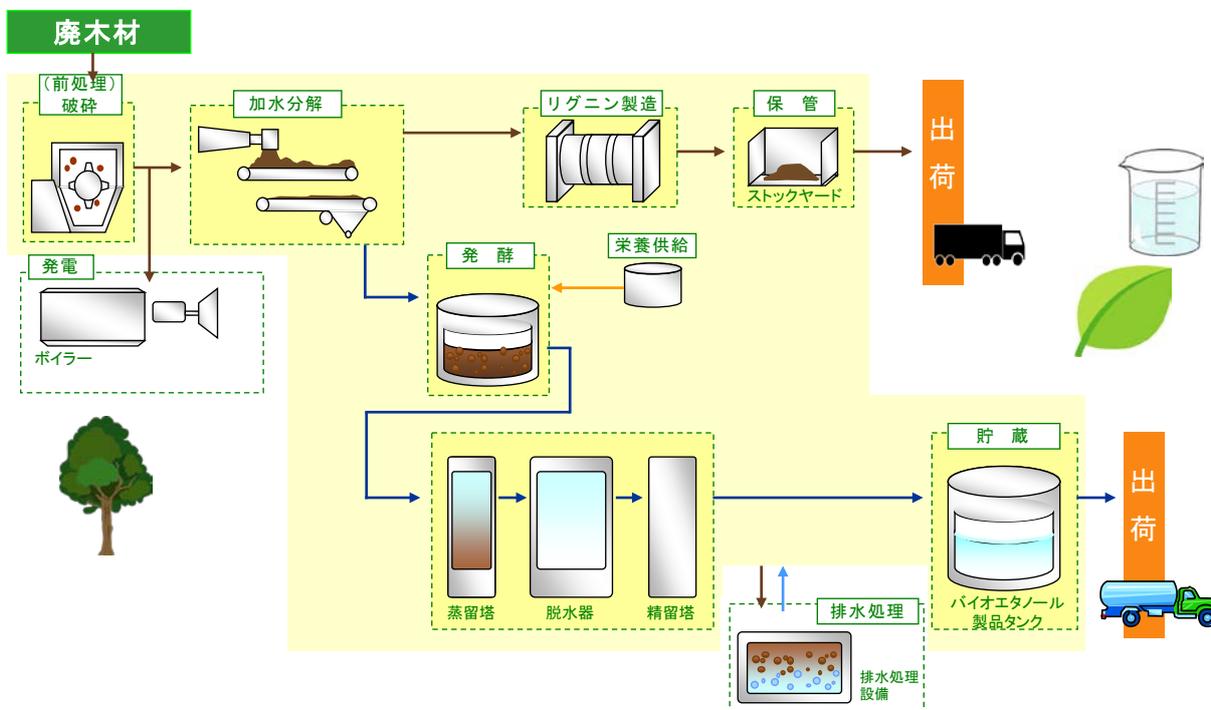


図 3-5 廃木材からのバイオエタノール製造工程

(出典) DINS 堺作成

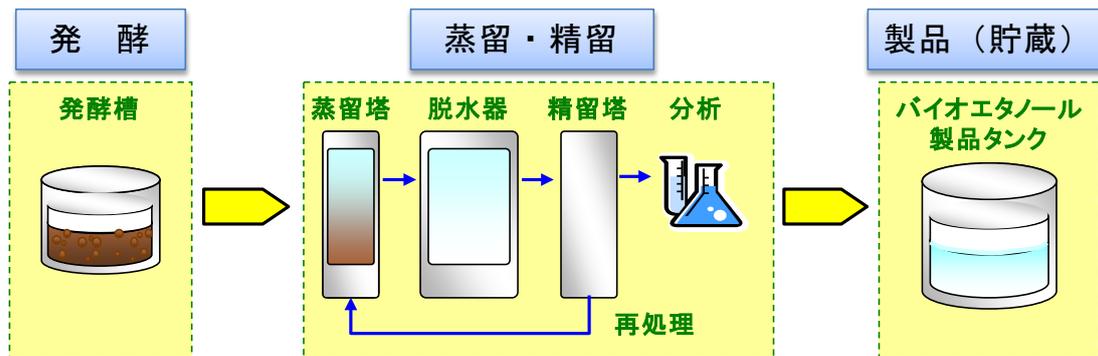


図 3-6 バイオエタノールの精製工程

(2) 実験内容

① 燃料電池用バイオエタノール（30%濃度）の抽出検証

燃料電池用途に適したエタノール濃度 30%程度バイオエタノールの抽出ができるか検証を行う。この場合、図 3-7 に示すように発酵させたエタノールを蒸留する蒸留塔の途中段階において、エタノールの抽出を実施し、エタノール濃度 30%程度バイオエタノールが抽出可能か検証する。

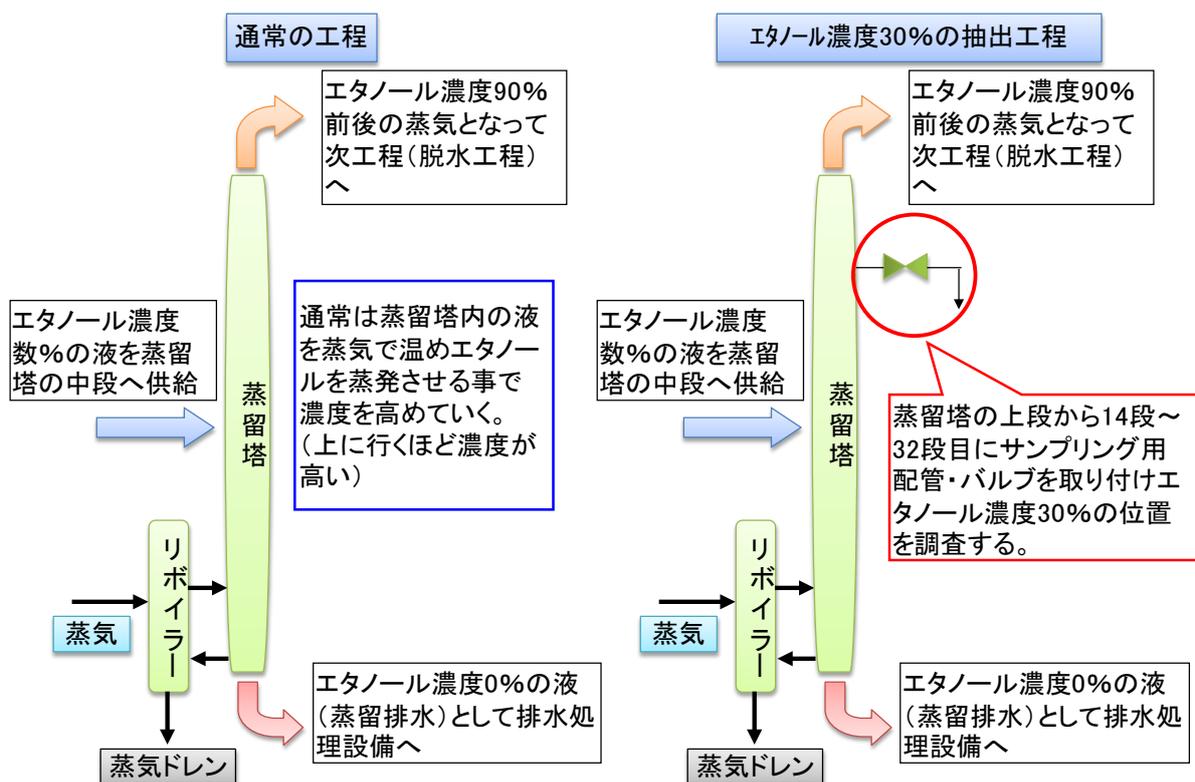


図 3-7 30%濃度バイオエタノールの抽出実験 (イメージ)

② 品質評価

抽出した濃度 30%想定バイオエタノールが、燃料電池用途に適した品質かどうか、以下のような成分を分析して評価を行う。

- 温度
- エタノール濃度
- アセトアルデヒド
- メタノール
- プロパノール
- ブタノール
- 酢酸エチル
- 酢酸メチル

3.2.3 燃料電池用途に適したバイオエタノール品質の検証

(1) 実験概要

燃料電池用に抽出したバイオエタノール（濃度 30%程度）を用いて、エタノール改質器を備えた燃料電池（PEFC）で発電の実証実験を行う。

これにより、バイオエタノールを使用してエタノール改質器が適切に機能するかという点と、バイオエタノールを使用した際にどのくらいの発電が行われるかという点を評価して、バイオエタノールの燃料電池用途への適用可能性を評価することが目的である。

(2) 実験内容

① エタノール用改質器の性能評価

燃料電池用に抽出されたバイオエタノールを用いて、エタノール改質器で改質を行い、改質後の燃料電池用の燃料成分を分析し、適切に改質処理が行われているか評価を行う。

なお、燃料電池用に抽出されたバイオエタノールの成分が燃料電池用途として課題がある場合は、改質前に適切な前処理を行うこととする。

エタノール改質器で処理後のバイオエタノール燃料の分析項目は、以下のとおりである。

- 水素
- 一酸化炭素
- 二酸化炭素
- メタン
- 窒素
- エタノール濃度
- アセトアルデヒド
- メタノール
- プロパノール
- ブタノール
- 酢酸エチル
- 酢酸メチル

② バイオエタノールの燃料電池利用での発電実験

①で燃料電池用に適した改質を行った後、改質した燃料を燃料電池で発電処理を実施する。実験時には、複数回の発電実験を実施し、発電の安定性と発電量を評価する。

① エタノール用改質器の性能評価、② バイオエタノールの燃料電池利用での発電実験の概要を図 3-8 に示す。

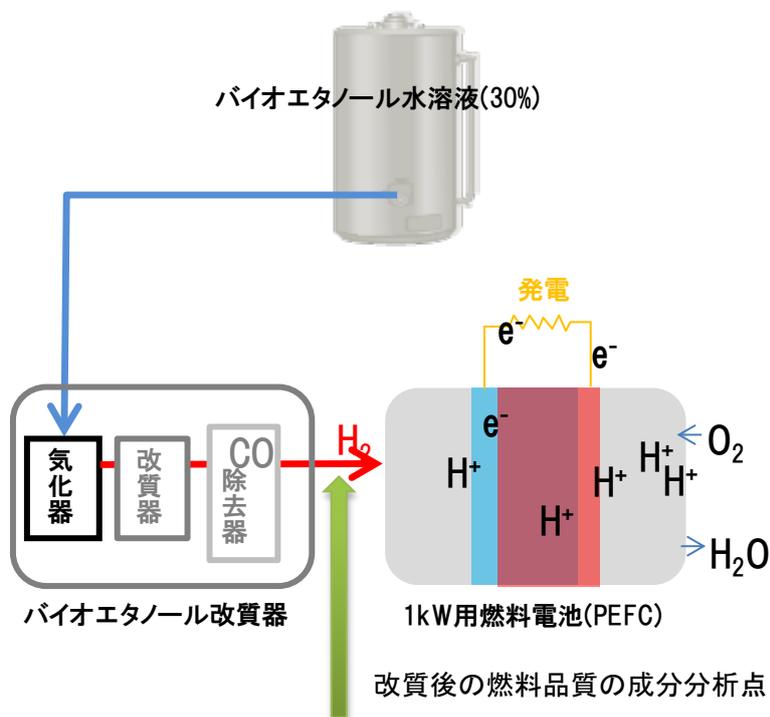


図 3-8 エタノール用改質器での実証実験 (イメージ)

3.3 実証実験結果

3.3.1 30%濃度エタノールの抽出実験

図 3-9 に示す蒸留塔の中間段階からバイオエタノールを抽出し、エタノール濃度 30%のエタノール抽出を試みた。

複数箇所からの抽出を行い、エタノール濃度を分析した上で、最終的には、図 3-10 に示す、蒸留塔の 20 段目の位置からバイオエタノールを抽出することとした。



図 3-9 バイオエタノール精製設備（最も高いのが蒸留塔）



図 3-10 30%濃度バイオエタノール抽出用の抜出点（蒸留塔の 20 段目）

抽出したサンプルの成分分析結果を表 3-1 に示す。

蒸留塔の複数の場所から抽出を行ったが、エタノール濃度については 30% よりも高い状態にあり、最終的に選定した 20 段目でのサンプルもエタノール濃度が 40~70% 程度と高い結果となった。また、蒸留塔の中間段階で抽出したバイオエタノールは、黄色の着色があり、また、硫黄分も高い値となった。

今回は、表 3-1 に示すサンプルを用いて燃料電池の発電実験を実施することとした。

表 3-1 30%エタノール抽出サンプルの分析結果

(株)DINS塚 バイオエタノール事業所

運転状況									
分析目的									
採取日									
分析者				サンプル採取場所					
分析項目	規定値	単位	分析方法	1/26 16:30 蒸留塔 20段目	1/31 16:30 蒸留塔 20段目	2/5 15:30 蒸留塔 20段目	2/11 19:00 蒸留塔 20段目	2/12 17:00 蒸留塔 20段目	2/13 11:30 蒸留塔 20段目
				外観 (色度)	無色透明	—	目視	黄色	黄色
外観 (浮遊物)	浮遊物無		目視	浮遊物無	浮遊物無	浮遊物無	浮遊物無	浮遊物無	浮遊物無
エタノール		v/v%	酒精計	74.8	71.6	56.7	62.9	41.7	56.3
メタノール		g/L	GC/FID	14.2	12.1	10.1	13.5	12.1	13.4
1-プロパノール		g/L	GC/FID	4.4	4.7	9.2	3.5	2.9	3.6
2-プロパノール		g/L	GC/FID	0.03	0.04	0.07	0.06	0.04	0.04
1-ブタノール		g/L	GC/FID	0.03	0.02	0.02	0.07	0.12	0.07
2-ブタノール		g/L	GC/FID	0.08	0.09	0.16	0.38	0.28	0.51
アセトアルデヒド		g/L	GC/FID	3.2	3.3	6.0	4.7	2.4	6.2
アセトン		g/L	GC/FID	0.13	0.11	0.10	0.07	0.09	0.09
酢酸エチル		g/L	GC/FID	0.02	0.04	0.03	0.11	0.01 ↓	0.08
酢酸メチル		g/L	GC/FID	0.01 ↓	0.01 ↓	0.01 ↓	0.01 ↓	0.01 ↓	0.01 ↓
蒸発残分		mg/100mL	重量法	0.32	0.22	0.03	0.04	0.06	0.31
硫黄分		mg/kg	紫外蛍光法/ 波長分散蛍光×線法	252	197	135	67	81	84
密度		g/cm ³	密度計	0.870	0.861	0.890	0.900	0.946	0.918
備考	— — — — — — — — — —								

3.3.2 バイオエタノールの燃料電池利用実験

今回は、図 3-11～図 3-13 に示すような機材を用いてバイオエタノールの燃料電池利用実験を実施した。

燃料電池本体については、市販の PEFC 型の燃料電池を使用し、改質器については、現在開発を進めているエタノール改質器を用いて実験を行った。



図 3-11 実証実験でを使用した燃料電池実験機器（全体イメージ）



図 3-12 実証実験でを使用した燃料電池改質器（装置全体）



発電量測定装置（YOKOGAWA）



接続（燃料電池インバータ）

図 3-13 燃料電池発電実験（使用した機器）

(1) バイオエタノールサンプルの前処理

燃料電池実験で用いるバイオエタノールサンプルは、表 3-1 に示すように、着色があるとともに、エタノール以外の臭気も認められる状態であった。このため、バイオエタノールサンプルの蒸発残分の分析を行った結果、茶色の臭気成分が回収された。この蒸発残分を、IR（赤外線分光法）で分析した結果、リグニン成分および硫化物（硫酸）を主とする成分と推定された。

このような、アルコール系成分以外の残分が存在すると、改質器に影響する可能性がある為、着色成分の除去を行った後、改質ガス分析を行った。この際に、着色成分の除去は、活性炭吸着による処理とした。

また、サンプルのエタノール濃度が 40～70%と高いため、蒸留水での希釈を行い、エタノール濃度を 30%に調整した上で改質器での実験を行うこととした。

前処理の概要を図 3-14 に示す。

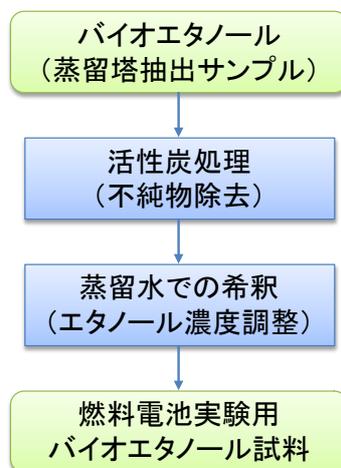


図 3-14 燃料電池実験の前処理

(2) エタノール改質器の改質試験

実験に用いたサンプルは表 3-1 の 6 サンプルである。また、比較のために工業用エタノール（95 度一級エタノール）を用いた実験を行った。

結果は表 3-2 に示すとおり、6 つのサンプルとも比較データ（工業用エタノール 95% のものを希釈して 30%濃度としたもの）の結果とほぼ変わらず、適切に改質処理ができることが示された。

表 3-2 30%エタノールの改質後燃料の成分分析結果

実験日	2013/1/26	2013/1/31	2013/2/5	2013/2/11	2013/2/12	2013/2/13	比較データ
改質用エタノール濃度(%)	30.1	30.4	30.3	30.4	30.3	30.4	30.2
水素(%)	35.3	35.6	35.6	35.5	35.5	35.6	35.5
一酸化炭素(ppm)	22	5	30	18	20	10	20
二酸化炭素(%)	10.4	10.4	10.4	10.4	10.3	10.3	10.4
メタン(%)	2.99	2.95	2.86	2.85	2.83	2.86	2.85
窒素(%)	50.4	50.4	50.4	50.4	50.4	50.4	50.4
温度(°C)	110	110	110	110	110	110	110
エタノール(ppm)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)
アセトアルデヒド(ppm)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)
メタノール(ppm)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)
プロパノール(ppm)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)
ブタノール(ppm)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)
酢酸エチル(ppm)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)
酢酸メチル(ppm)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)	(限界未満)

注1) (限界未満) 検出限界未満の濃度

注2) 比較データ: 95度一級エタノール

(3) 燃料電池発電実験

入手した 6 つのサンプルについて燃料電池での発電実験を行った。結果は表 3-3 に示すように比較データと同等の発電ができることが検証できた。

これは、概ね改質後の燃料成分の分析データ（表 3-2）が比較データと一致することからも示唆された結果である。

なお、参考までに都市ガス利用燃料電池の発電実績（参考値）を以下に示す。

- 都市ガス 1m³ あたりの発電量：約 5,882Wh

表 3-3 30%エタノールの燃料電池・発電実験結果

実験日	改質用エタノール濃度(%)	30%エタノール1Lあたりの発電量(Wh)	100%エタノール1Lあたりの発電量(Wh)
2013/1/26	30.1	1666	5553
2013/1/31	30.4	1667	5557
2013/2/5	30.3	1666	5553
2013/2/11	30.4	1666	5553
2013/2/12	30.3	1666	5553
2013/2/13	30.4	1667	5557
比較データ	30.2	1667	5557

注) 比較データ: 95度一級エタノール

- 測定時間：1 検体あたり 2 時間

3.4 環境負荷削減効果の評価

3.4.1 基本方針

LCA的手法を用いて、バイオエタノールの燃料電池利用による環境負荷低減効果进行评估する。本モデル事業によっては、以下の削減効果が主に想定される。

- ① 未利用廃木材のバイオエタノール利用による GHG 削減効果
- ② 未利用廃木材の埋立削減効果（焼却灰の埋立）

評価に当たっては上記の削減効果が評価できるように、評価範囲、ベースラインケース等の条件設定を行うこととする。

また、廃木材のバイオエタノール化による利用という観点から、廃木材の直接焼却による利用（バイオマス発電）、バイオエタノールの直接燃料利用（ボイラーでの燃焼）との比較評価を行う。さらに、バイオエタノール利用という観点から、輸入バイオエタノールとの比較評価を行うこととした。

なお、評価に当たっては実証実験で得られたデータを優先的に使用するが、一部で実証実験を試験的な状態で実施し、事業化の際に行う処理と異なる工程については、事業化段階で想定される処理工程でのデータを見なし値として使用する。

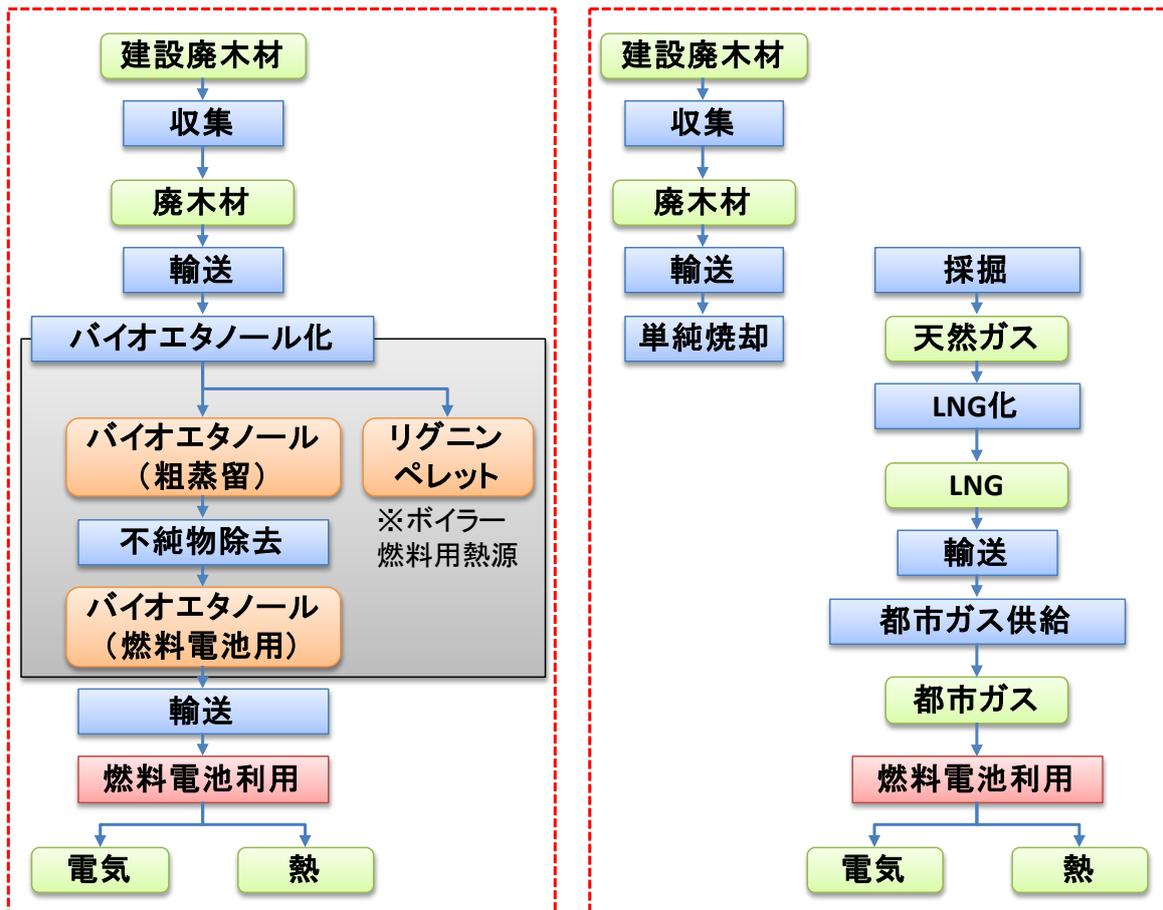
廃木材に由来するバイオエタノールの処理では、同時にリグニンが副産物として生ずるため、このリグニンもペレット化して燃料として利用することを考慮している。

3.4.2 評価範囲（バウンダリ）

(1) バイオエタノール燃料電池利用

バイオエタノールの燃料電池利用による環境負荷削減効果は、比較対象となるベースラインケースとして廃木材の単純焼却を想定して評価を行うこととした（図 3-15）。

また、廃木材の発生源については主に解体時の木くずを想定し、分別解体されることで、廃木材のみを収集するケースを想定している。



(注) 両者の電気、熱が合うように系統電力、化石燃料燃焼で調整

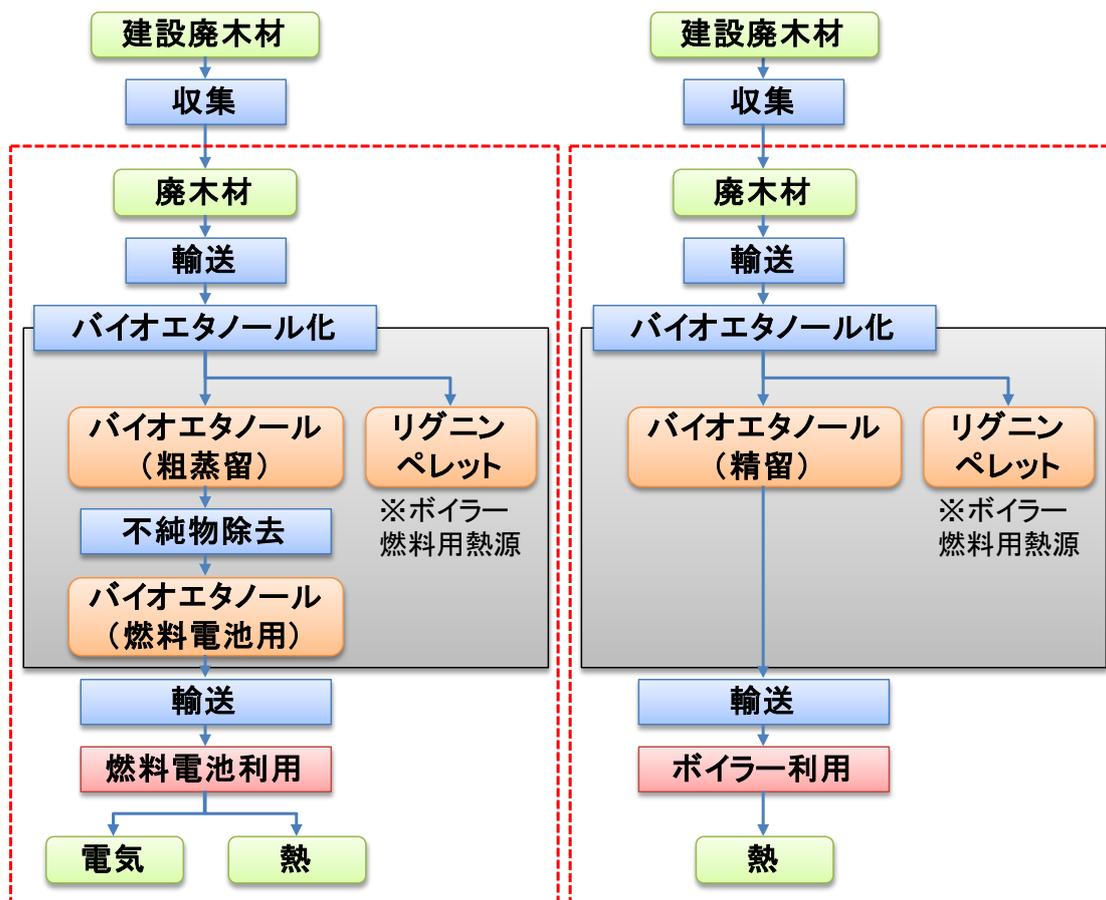
図 3-15 バイオエタノールの比較評価（化石燃料での燃料電池利用）の評価範囲

(2) バイオエタノール利用条件比較（直接燃焼との比較）

バイオエタノールのガソリン利用以外の用途の比較として、燃料電池利用と直接燃焼利用の比較を行った。

比較対象となる直接燃焼ケースとしてエタノールのボイラーでの燃焼と熱の利用を想定して評価を行うこととした（図 3-16）。

なお、本ケースでは廃木材の収集までの部分は評価対象外とした。



(注) 両者の電気、熱が合うように系統電力、化石燃料燃焼で調整

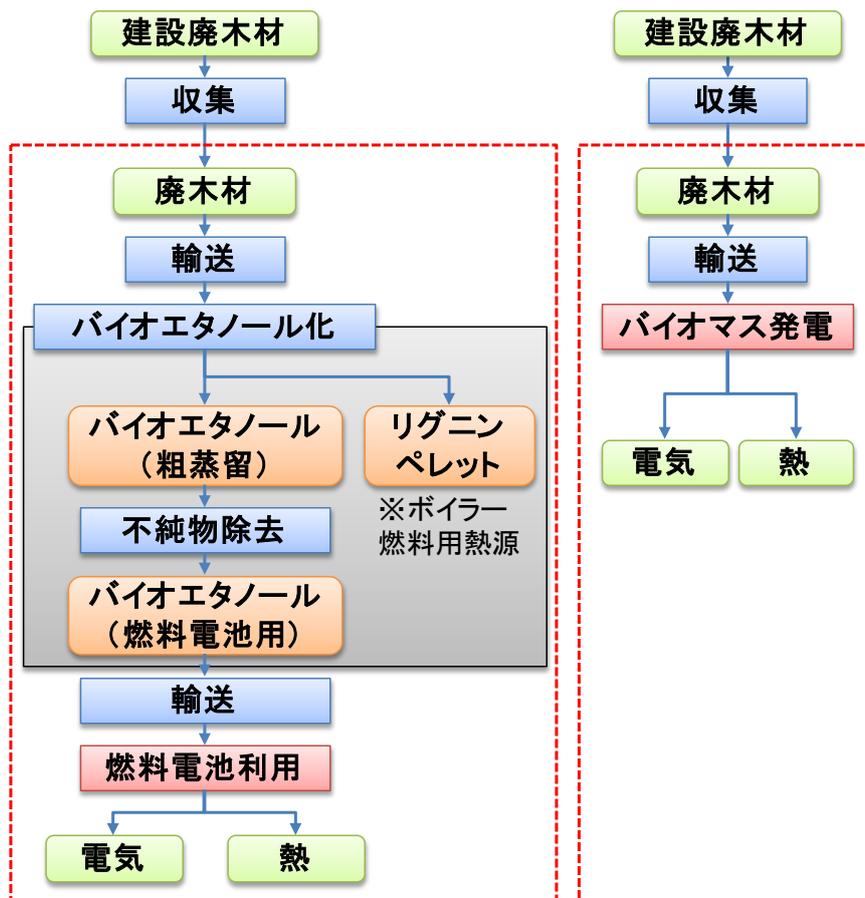
図 3-16 バイオエタノールの CO2 削減効果評価範囲（バイオエタノール直接燃焼）

(3) バイオエタノール利用条件比較（木くず発電との比較）

バイオエタノールの燃料電池利用と、バイオエタノール化せずに木くずを直接燃焼利用した場合との比較を行った。

比較対象となる木くず発電のケースでは、電気及び熱を両方使うケースを想定する（図 3-17）。

なお、本ケースでは廃木材の収集までの部分は評価対象外とした。



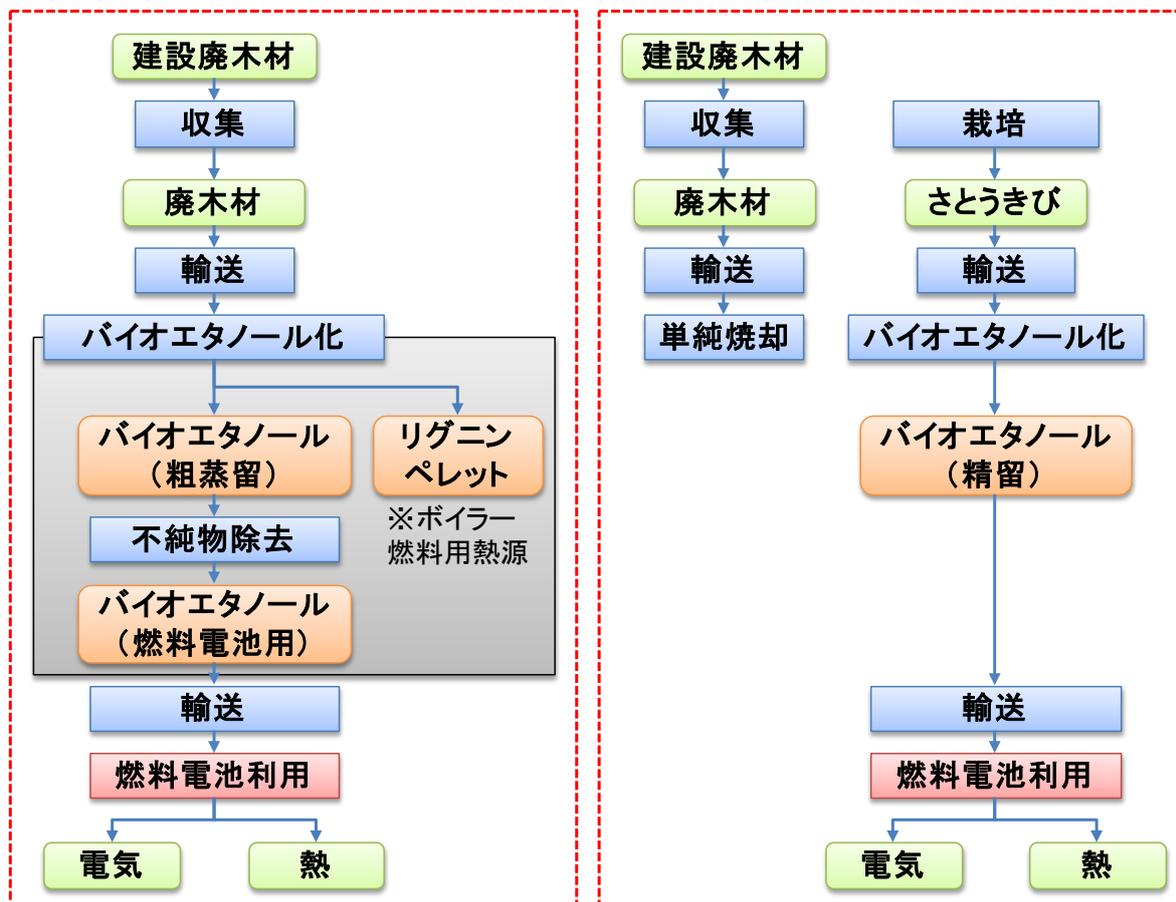
(注) 両者の電気、熱が合うように系統電力、化石燃料燃焼で調整

図 3-17 バイオエタノールの CO2 削減効果評価範囲（バイオマス発電との比較）

(4) バイオエタノールの比較（海外調達との比較）

廃木材由来のバイオエタノールと輸入のバイオエタノール（ブラジルのさとうきび産）との比較を行った。両者とも燃料電池利用を想定する（図 3-18）。

なお、輸入ケースでは、廃木材の処理として単純焼却を想定して、廃棄物処理としての機能が同等となるように調整した。



(注) 両者の電気、熱が合うように系統電力、化石燃料燃焼で調整

図 3-18 バイオエタノールの CO2 削減効果評価範囲（輸入バイオエタノールとの比較）

3.4.3 使用データ

個別に記載をしていない CO₂ 排出原単位データは、「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 基本データベース ver. 1.01 (国内データ)」を使用することとした。なお、「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 基本データベース ver. 1.01 (国内データ)」については、出典を「CFP ver1.01」と記す。

(1) バイオエタノールとリグニンの熱量按分

バイオエタノールとリグニン（リグニンペレット）の熱量按分は、大阪府の実施した E3 の実証事業の報告書（「平成 22 年度 エコ燃料実用化地域システム実証事業 成果報告書」、以下「H22 エコ燃料報告書」と記載）と同様に以下の条件で実施した。

なお、按分比は評価の容易性を考慮して 1:9 の按分比で計算を行うこととした。

バイオエタノール化の工程では、エネルギー生産が主な目的であるため、バイオエタノール化の工程までの上流の範囲（最大：廃木材、最小：バイオエタノール化工程のみ）で発生する GHG 排出量を、表 3-4 の比率で按分することとした。

表 3-4 バイオエタノールとリグニンペレットの熱量按分

	発生量	発熱量	熱量	按分比
バイオエタノール	4.68kL/日	21.2MJ/L	100GJ	10%
リグニンペレット	61.8t/日	15GJ/t	927GJ	90%

(出典)「H22 エコ燃料報告書」

(2) 廃木材の収集工程

廃木材の収集工程の条件として、以下の条件を設定した。

- 廃木材の収集
 - 輸送距離（往復） 86km（片道 43km）
 - ◇ 「H22 エコ燃料報告書」の廃木材収集距離 43km を採用
 - 輸送方法 10 トントラック
 - ◇ 往路（空荷） 積算率 0%
 - ◇ 復路 積算率 100%
 - CO₂ 排出量原単位
 - ◇ 往路 6.59E-01 (kg-CO₂/km)
 - トラック輸送（10 トン車：積載率 0%）（出典：CFP ver1.01）
 - ◇ 復路 1.01E-01 (kg-CO₂/tkm)
 - トラック輸送（10 トン車：積載率 100%）（出典：CFP ver1.01）

(3) バイオエタノール化処理（精留物生産）

バイオエタノール化の処理についても、「H22 エコ燃料報告書」のデータを使用することとした。なお、以下のデータは熱量按分前のデータであり、リグニンペレットとの按分を行うと、バイオエタノール分の排出量は 1/10 となる。

- バイオエタノール化処理（排出量総量）
 - バイオエタノール生産量 4.68 (kL/日)
31 (L/t-廃木材)
 - 製造時の CO2 排出量 2,942 (kg-CO2/日)
629 (kg-CO2/kL)
19.49 (kg-CO2/t-廃木材)

◇ （出典：「H22 エコ燃料報告書」）

(4) バイオエタノール化処理（燃料電池用粗精留物）

今回の実験では、蒸留塔の 20 段目から粗精留物をサンプルとして抽出した。この場合に、完全な蒸留、脱水、精留工程を経ないため、エネルギー消費量が減ると想定されている。

しかしながら、どの程度の削減が見込めるかについては、評価できていないため、今回の推計では、精留物（ガソリン用燃料の規格に合致する製品の製造）と同じデータを使用することとした。

なお、サンプル抽出物の重量や CO2 排出原単位は、エタノール換算することで推計することとした。

- バイオエタノール化処理（排出量総量）
 - バイオエタノール生産量 4.68 (kL/日)
31 (L/t-廃木材)
 - 製造時の CO2 排出量 2,942 (kg-CO2/日)
629 (kg-CO2/kL)
19.49 (kg-CO2/t-廃木材)

◇ （出典：「H22 エコ燃料報告書」）

(5) 製品輸送

製造したバイオエタノールもしくは燃料電池用のバイオエタノール（粗精留物）の輸送は、「H22 エコ燃料報告書」を参考に以下の条件で設定した。

- バイオエタノール輸送
 - 輸送距離（往復） 172km（片道 86km）
 - ◇ 「H22 エコ燃料報告書」のモデル1（地域別平均輸送距離）を採用
 - 輸送方法 タンクローリー輸送（積載量 16kL）
 - ◇ 往路（空荷） 積算率 100%
 - ◇ 復路 積算率 0%
 - CO2 排出量原単位
 - ◇ 往路 8.47E-02 (kg-CO2/tkm)
 - タンクローリー輸送（積載量 16kL：積載率 100%）（出典：CFP ver1.01）
 - ◇ 復路 7.28E-01 (kg-CO2/km)
 - タンクローリー輸送（積載量 16kL：積載率 0%）（出典：CFP ver1.01）

(6) 燃料電池利用

実証実験の結果を用いて、バイオエタノールの燃料電池利用のデータは、本事業での実証実験の値を使用する。

表 3-3 に示すようにエタノール濃度に応じた発電量を以下のとおり設定する。

なお、実験で行った前処理（活性炭吸着処理、濃度調整）については、材料由来の CO2 排出が想定されるが、ランニング時のエネルギー消費は少ないと考えられるため、前処理分の CO2 排出量はゼロと見なすこととした。

また、発電量で換算したエタノールと都市ガスの換算は、エタノール（100%）1L に対して都市ガス 0.944m³ と推計できる。

なお、燃料電池の起動時には外部電源を必要とするが今回は運転中の状態で評価することとして、燃料（バイオエタノール、都市ガス）由来の CO2 排出量のみを考慮することとする。

- 燃料電池利用（発電量） 1,666 (Wh/L-30%エタノール)
5,553 (Wh/L-100%エタノール)
- 都市ガス代替率 5,553 (Wh/L-100%エタノール) / 5,882 (Wh/m³)
=0.944 (m³/L-100%エタノール)

(7) 単純焼却（廃棄物焼却）

廃木材の単純焼却は、データが公開されている一般廃棄物の焼却データを使用することとした。なお、廃木材由来のCO₂はバイオマス起源となるため、ゼロと見なした。

- 焼却処理（一般廃棄物） 3.34E-02 (kg-CO₂/kg) (出典：CFP ver1.01)
 - 残さの埋立処分に係る排出量を含むデータ

(8) バイオマス発電

バイオマス発電は、ごみ焼却施設に発電装置を組み合わせた設備と類似する。今回は廃木材を焼却し発電する設備を想定するため、ランニング時のCO₂は焼却処理と同じと見なし、廃木材のエネルギーに発電効率を掛けた分の電力が得られるものとして評価を行うこととする。

なお、発電効率についてはごみ発電の効率や各種事例、文献を参考に15%と設定した。

- バイオマス発電
 - 発電効率 15% (各種文献等から設定)
 - 焼却処理（一般廃棄物） 3.34E-02 (kg-CO₂/kg) (出典：CFP ver1.01)

(9) エタノールのボイラー燃焼

エタノールのボイラー発電は、エタノールの燃焼が可能となった場合に、そのボイラーで利用している燃料の代替となるものと考えられることができる。

また、エタノール燃焼では熱利用用途が想定されるため、A重油のボイラー利用をベースに、熱量換算での代替効果を評価することとした。

- ボイラー利用
 - A重油の燃焼 7.48E-02 (kg-CO₂/MJ) (出典：CFP ver1.01)
 - ◇ ボイラーでの燃焼、高位発熱量 39.1 (MJ/L)
- エタノールの熱量
 - 高位発熱量 21.2 (MJ/L)

(10) リグニンペレット

リグニンペレットは、熱量換算し、A重油代替品と見なすこととした。

- リグニンペレット（発熱量） 15 (GJ/t) = 15 (MJ/kg)
 - (出典：「H22 エコ燃料報告書」)

(11) 輸入バイオエタノール

輸入バイオエタノールの CO₂ 排出量としては、経済産業省による検討資料である「バイオマス燃料の CO₂ 排出等に関する LCA (ライフ・サイクル・アセスメント) 評価について (2) ~ 我が国で想定される導入形態への LCA 適用による試算結果～」において、熱量当たりのデータが示されている。

- ブラジルからのさとうきび由来バイオエタノール (ケース 1 : 平作時)
 - 生産～輸入時 15.9 (kg-CO₂/GJ)
 - 0.598 (kg-CO₂/L)

(12) その他原単位

その他の共通的な原単位データは以下を使用する。

- 電力 (公共電力) 4.79E-01 (kg-CO₂/kWh) (出典 : CFP ver1.01)
 - 平成 16～20 年度の日本平均値 (送電ロスを考慮済み)
- 都市ガス 13A 燃焼 6.02E-02 (kg-CO₂/MJ) (出典 : CFP ver1.01)
 - ボイラーでの燃焼、高位発熱量 45.6MJ/Nm³
- 一般炭の燃焼 9.22E-02 (kg-CO₂/MJ) (出典 : CFP ver1.01)
 - ボイラーでの燃焼、高位発熱量 25.7MJ/kg
- A 重油の燃焼 7.48E-02 (kg-CO₂/MJ) (出典 : CFP ver1.01)
 - ボイラーでの燃焼、高位発熱量 39.1MJ/L

3.4.4 環境負荷削減効果

(1) ケース① バイオエタノールの燃料電池利用（都市ガス燃料電池との比較）

廃木材 1t を原料として、バイオエタノール化を行い燃料電池で使用する場合の CO₂ 排出量を推計した。比較対象としては、廃木材は単純焼却し燃料電池は都市ガス燃料を使用する場合を選定した。

結果は図 3-19 のようにバイオエタノール化処理ではエタノール製造時の CO₂ 排出があるものの全体で 27.78kg-CO₂ と推計した。

一方、比較対象では廃木材の単純焼却による CO₂ 排出 (33.40kg-CO₂) と、都市ガスの燃料電池利用時の CO₂ 排出 (81.22kg-CO₂) が多く、合計で 121.80kg-CO₂ と推計した。また、廃木材由来のバイオエタノールからはリグニンペレットが生産されるため、これを A 重油代替と見なすと、この部分が 438.6kg-CO₂ となり最も効果が出ている部分となり、これを合わせると 560.4kg-CO₂ となる。

以上から CO₂ 削減効果は、532.6kg-CO₂/t-廃木材と推計される。

詳細な推計結果については表 3-5 に示す。

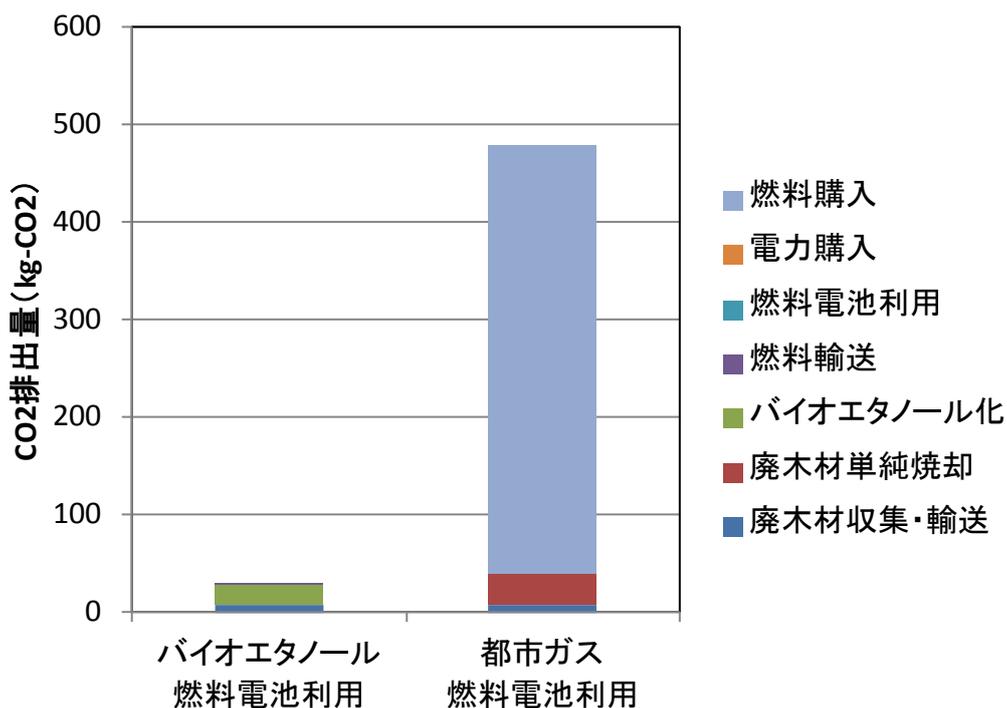


図 3-19 ケース① 廃木材 1t のバイオエタノール化と燃料電池利用の CO₂ 排出量

(2) ケース② バイオエタノールの用途比較（燃料電池利用とボイラー利用との比較）

廃木材 1t を原料として、バイオエタノール化を行い燃料電池で使用する場合の CO₂ 排出量と、同じく廃木材からバイオエタノールを製造し、これをボイラーで直接燃焼し熱利用を行う場合の CO₂ 排出量を比較推計した。

結果は図 3-20 のようにバイオエタノールの製造までは同じとなる。また、燃料輸送では燃料電池用はエタノール濃度 30% であるのに対して、ボイラー利用ではエタノール濃度 100% となるため、ボイラー利用の方が CO₂ 排出量は少ない。

利用段階で比較すると、電力製造は燃料電池だけで行われるため、系統電力の購入をボイラー利用で想定した。また、ボイラー利用の方は熱利用量が多くなるため、燃料電池利用の方で A 重油の燃料購入が必要として、CO₂ 排出量を積算した。

利用時の比較では、ボイラー利用による熱利用量が多く CO₂ 排出量は 24.58kg-CO₂ 少ないものの、系統電力購入による CO₂ 排出が 82.46kg-CO₂ 増えるため、トータルでは燃料電池利用の方が 57.07kg-CO₂ 排出量が少ないこととなる。

詳細な推計結果については表 3-6 に示す。

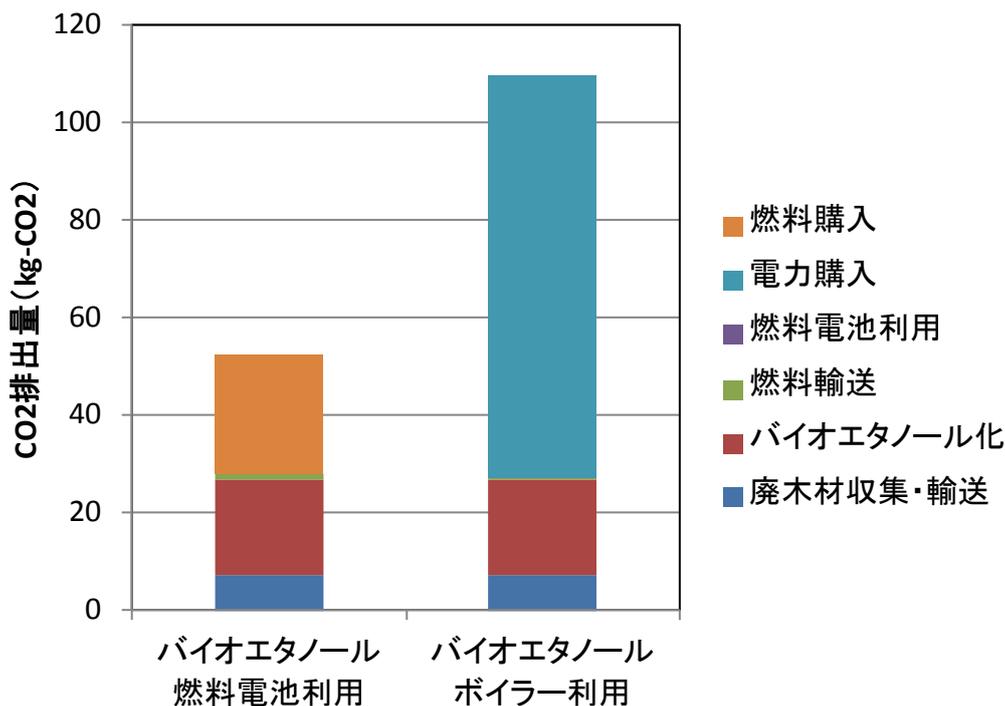


図 3-20 ケース② 廃木材 1t からのバイオエタノールの用途比較
(燃料電池利用とボイラー利用の CO₂ 排出量比較)

(3) ケース③ バイオエタノールの燃料電池利用（バイオマス発電との比較）

廃木材 1t を原料として、バイオエタノール化を行い燃料電池で使用する場合の CO₂ 排出量と、廃木材を用いて直接バイオマス発電を行う場合とで CO₂ 排出量を比較推計した。

結果は図 3-21 のように、バイオマス発電の方による発電量は、バイオエタノールの燃料電池利用時の発電量よりも多く、燃料電池利用側に電力購入に伴う 208.9kg-CO₂ がある。一方、熱利用ではリグニンペレットの熱利用量分の方がバイオマス発電の熱利用よりも多く、A 重油購入による 240.9kg-CO₂ の排出がある。これに、処理工程での CO₂ 排出量を加えると、バイオエタノールの燃料電池利用では 412.1kg-CO₂、バイオマス発電は 281.5kg-CO₂ となり、バイオマス発電の方が 130.7kg-CO₂ 排出量が少ないと推計された。

詳細な推計結果については表 3-7 に示す。

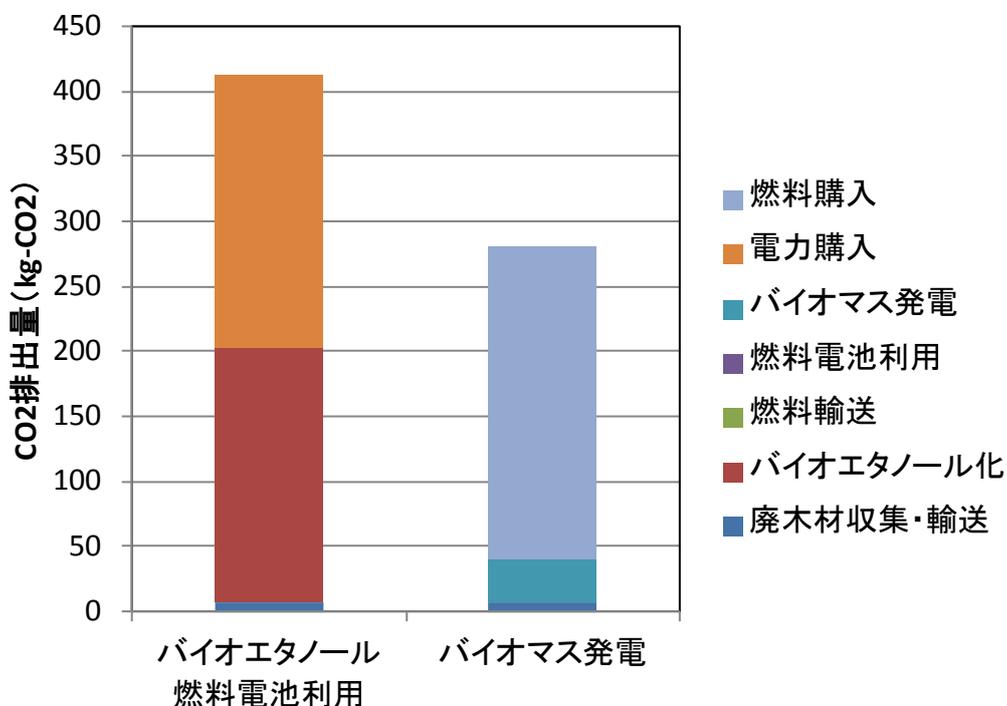


図 3-21 ケース③ 廃木材 1t のバイオエタノール化燃料電池利用とバイオマス発電の比較

(4) ケース④ バイオエタノールの燃料電池利用（輸入バイオエタノールとの比較）

廃木材 1t を原料として、バイオエタノール化を行い燃料電池で使用する場合と、同等のバイオエタノールを輸入材で利用する場合の CO₂ 排出量を比較推計した。輸入品は、ブラジルで「さとうきび」から製造したバイオエタノールを比較対象として選定した。

輸入バイオエタノールについては、製造・輸入までに化石燃料の消費があるため、燃料利用時に 32.7g-CO₂/MJ の CO₂ 排出がある燃料として設定した。廃木材由来の方は、原料での CO₂ 排出量はゼロとなり、製造時の CO₂ 排出量を考慮することとした。

結果は図 3-22 のように、輸入バイオエタノールには、リグニンペレットの利用量に相当する燃料購入による CO₂ 排出量があり、輸入バイオエタノールを利用する方が CO₂ 排出量は 493.5kg-CO₂ 多くなる。なお、リグニンペレットと廃木材の単純焼却の部分を除いた、バイオエタノールの利用部分だけを見ると、差は 0.84kg-CO₂ とあまりない結果とである。

詳細な推計結果については表 3-8 に示す。

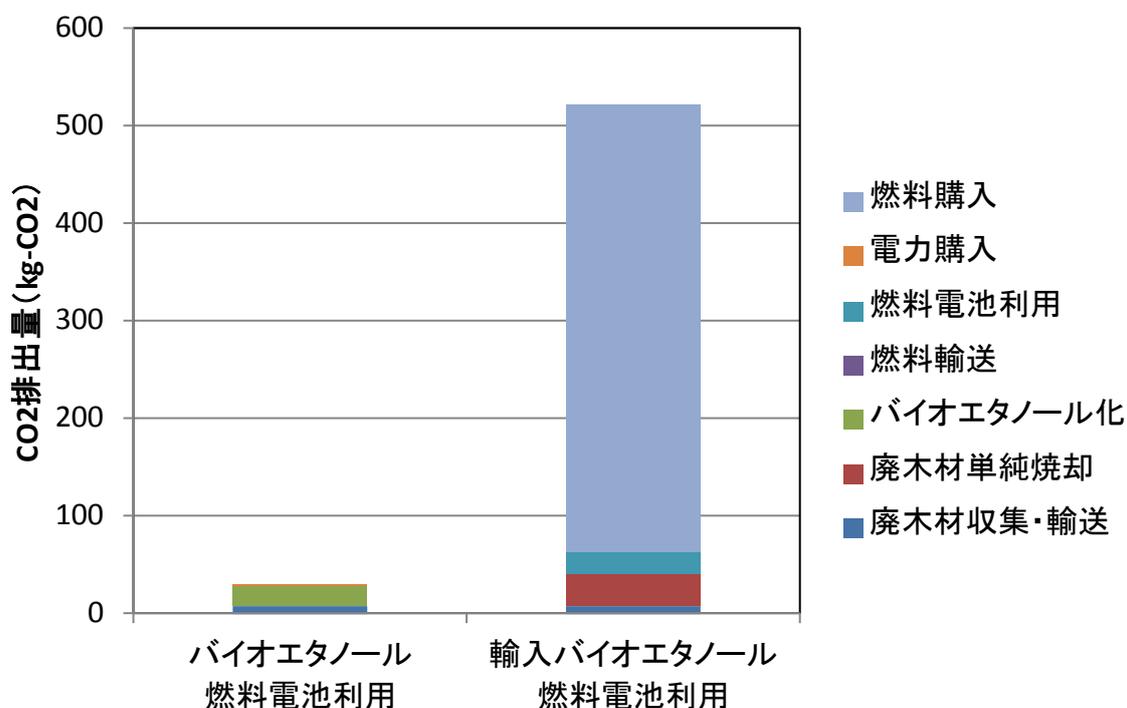


図 3-22 ケース④ バイオエタノールの燃料電池利用（廃木材由来と輸入品の比較）

(5) 熱利用効率の比較

廃木材のエネルギー利用という観点から、廃木材が持っているエネルギー量に対して、バイオエタノールの燃料電池利用、バイオエタノールのボイラー利用、バイオマス発電の3つの比較を行った。なお、バイオエタノール製造時に生ずるリグニンペレットについては、熱効率80%で利用されると仮定した。

廃木材 1t が有する 14,600MJ に対して、それぞれのエネルギー利用量を図 3-23 に示す。バイオエタノールの利用では、リグニンペレットを 80%に利用効率で使うことで、燃料電池利用の場合も、ボイラー利用の場合も概ね 40%のエネルギーを利用できることとなる。

一方、バイオマス発電は発電効率 15%、熱利用効率 20%と仮定すると 35%のエネルギー利用率となり、発電量が多いために CO2 排出量は最も低いものの、エネルギー効率ではバイオエタノールよりも低いことが想定される。

なお、この試算ではバイオエタノール化処理で投入するエネルギー分を考慮していない点に注意が必要である。バイオエタノール化時に発生する 19.49kg-CO₂ を A 重油換算してエネルギー量を推計すると約 260MJ であり、どの方法とも大きな差は無いものと考えられる。

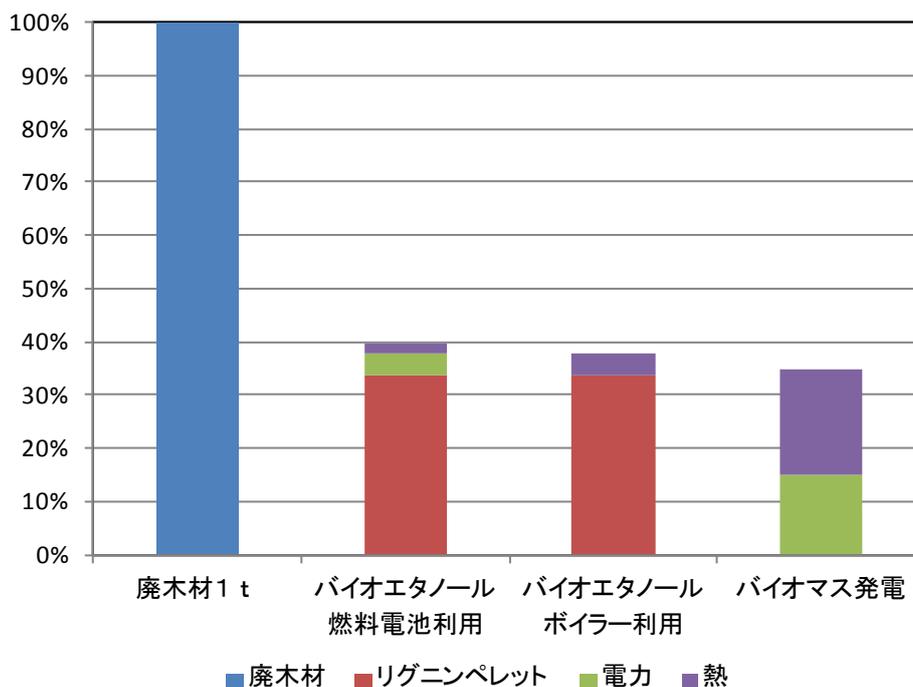


図 3-23 廃木材のエネルギー利用効率の比較

表 3-5 ケース① バイオエタノールの燃料電池利用による CO2 削減効果（都市ガス燃料電池との比較）

工程	活動量	インベントリデータ		CO2排出量
処理対象	廃木材 1.0 t			
収集・輸送 (10t車)	廃木材 1.0 t	往路は1t/10tで按分		
	輸送距離(往路) 43 km	6.59E-01 kg-CO2/km	10トン車積載率0%	2.83 kg-CO2
	輸送距離(復路) 43 km	1.01E-01 kg-CO2/tkm	10トン車積載率100%	4.34 kg-CO2
	<小計>			7.18 kg-CO2
バイオエタノール処理	廃木材 1.0 t			
	バイオエタノール(99%) 31.0 L	31 L/t-廃木材	エコ燃料報告書	
	リグニンペレット 409.4 kg	409.4 kg/t-廃木材 19.49 kg-CO2/t-廃木材	エコ燃料報告書 エコ燃料報告書	19.49 kg-CO2
リグニンペレット利用	リグニンペレット 409.4 kg	0 kg-CO2/kg	CO2発生は考慮せず	
	6,140 MJ	15 MJ/kg	エコ燃料報告書	
燃料輸送	バイオエタノール(30%) 103.3 L	復路は103.3L/16kLで按分		
	バイオエタノール(30%) 96.8 kg	0.78942 kg/L	エタノール比重(20℃)	
	輸送距離(往路) 86 km	8.47E-02 kg-CO2/tkm	16kLローリー積載率100%	0.71 kg-CO2
	輸送距離(復路) 86 km	7.28E-01 kg-CO2/km	16kLローリー積載率0%	0.40 kg-CO2
<小計>			1.11 kg-CO2	
燃料電池利用	バイオエタノール(30%) 103.3 L	0.0 kg-CO2/L	バイオ燃料	0.00 kg-CO2
	バイオエタノール(30%) 657.2 MJ	21.2 MJ/L	エタノールの熱量	
	消費電力(含む前処理) 0 kWh	0 kg-CO2/L	CO2発生は考慮せず	
	発電量 172.2 kWh	1.666 kWh/L	実験値(エタノール30%)	
熱利用 262.9 MJ	40%	熱利用率		
電力購入	系統電力 0.0 kWh	0.479 kg-CO2/kWh	公共電力	0.00 kg-CO2
燃料購入	A重油 0.0 MJ	0.075 kg-CO2/MJ	A重油ボイラー利用	0.00 kg-CO2
<合計>				27.78 kg-CO2
工程	活動量	インベントリデータ		CO2排出量
処理対象	廃木材 1.0 t			
収集・輸送 (10t車)	廃木材 1.0 t	往路は1t/10tで按分		
	輸送距離(往路) 43 km	6.59E-01 kg-CO2/km	10トン車積載率0%	2.83 kg-CO2
	輸送距離(復路) 43 km	1.01E-01 kg-CO2/tkm	10トン車積載率100%	4.34 kg-CO2
	<小計>			7.18 kg-CO2
単純焼却	廃木材 1.0 t			
	焼却処理 1.0 t	3.34E-02 kg-CO2/kg	一般廃棄物焼却	33.40 kg-CO2
燃料電池利用	都市ガス13A 29.3 m3	0.283 m3/L	30%エタノールの都市ガス換算	
	都市ガス13A 1,349.2 MJ	4.61E+01 MJ/Nm3 6.02E-02 kg-CO2/MJ	都市ガス13Aの熱量 都市ガス13Aの利用	81.22 kg-CO2
	消費電力 0 kWh	0 kg-CO2/L	CO2発生は考慮せず	
	発電量 172.2 kWh	5.882 kWh/m3	事例値	
	熱利用 539.7 MJ	40%	熱利用率	
<小計>				81.22 kg-CO2
電力購入	系統電力 0.0 kWh	0.479 kg-CO2/kWh	公共電力	0.00 kg-CO2
燃料購入	A重油 5,863.6 MJ	0.075 kg-CO2/MJ	A重油ボイラー利用	438.59 kg-CO2
<合計>				560.40 kg-CO2
<削減効果>				532.62 kg-CO2

表 3-6 ケース② バイオエタノールの燃料電池利用による CO2 削減効果 (バイオエタノールのボイラー利用との比較)

工程	活動量	インベントリデータ		CO2排出量
処理対象	廃木材 1.0 t			
収集・輸送 (10t車)	廃木材 1.0 t	往路は1t/10tで按分		
	輸送距離(往路) 43 km	6.59E-01 kg-CO2/km	10トン車積載率0%	2.83 kg-CO2
	輸送距離(復路) 43 km	1.01E-01 kg-CO2/tkm	10トン車積載率100%	4.34 kg-CO2
	<小計>			7.18 kg-CO2
バイオエタノール処理	廃木材 1.0 t			
	バイオエタノール(99%) 31.0 L	31 L/t-廃木材	エコ燃料報告書	
	リグニンペレット 409.4 kg	409.4 kg/t-廃木材	エコ燃料報告書	
		19.49 kg-CO2/t-廃木材	エコ燃料報告書	19.49 kg-CO2
リグニンペレット利用	リグニンペレット 409.4 kg	0 kg-CO2/kg	CO2発生は考慮せず	
	6,140 MJ	15 MJ/kg	エコ燃料報告書	
燃料輸送	バイオエタノール(30%) 103.3 L	復路は103.3L/16kLで按分		
	バイオエタノール(30%) 96.8 kg	0.78942 kg/L	エタノール比重(20°C)	
	輸送距離(往路) 86 km	8.47E-02 kg-CO2/tkm	16kLローリー積載率100%	0.71 kg-CO2
	輸送距離(復路) 86 km	7.28E-01 kg-CO2/km	16kLローリー積載率0%	0.40 kg-CO2
	<小計>			1.11 kg-CO2
燃料電池利用	バイオエタノール(30%) 103.3 L	0.0 kg-CO2/L	バイオ燃料	0.00 kg-CO2
	バイオエタノール(30%) 657.2 MJ	21.2 MJ/L	エタノールの熱量	
	消費電力(含む前処理) 0 kWh	0 kg-CO2/L	CO2発生は考慮せず	
	発電量 172.2 kWh	1.666 kWh/L	実験値(エタノール30%)	
	熱利用 262.9 MJ	40%	熱利用率	
電力購入	系統電力 0.0 kWh	0.479 kg-CO2/kWh	公共電力	0.00 kg-CO2
燃料購入	A重油 328.6 MJ	0.075 kg-CO2/MJ	A重油ボイラー利用	24.58 kg-CO2
<合計>				52.36 kg-CO2
工程	活動量	インベントリデータ		CO2排出量
処理対象	廃木材 1.0 t			
収集・輸送 (10t車)	廃木材 1.0 t	往路は1t/10tで按分		
	輸送距離(往路) 43 km	6.59E-01 kg-CO2/km	10トン車積載率0%	2.83 kg-CO2
	輸送距離(復路) 43 km	1.01E-01 kg-CO2/tkm	10トン車積載率100%	4.34 kg-CO2
	<小計>			7.18 kg-CO2
バイオエタノール処理	廃木材 1.0 t			
	バイオエタノール(99%) 31.0 L	31 L/t-廃木材	エコ燃料報告書	
	リグニンペレット 409.4 kg	409.4 kg/t-廃木材	エコ燃料報告書	
		19.49 kg-CO2/t-廃木材	エコ燃料報告書	19.49 kg-CO2
リグニンペレット利用	リグニンペレット 409.4 kg	0 kg-CO2/kg	CO2発生は考慮せず	
	6,140 MJ	15 MJ/kg	エコ燃料報告書	
燃料輸送	バイオエタノール(100%) 31.0 L	復路は31L/16kLで按分		
	バイオエタノール(100%) 24.5 kg	0.78942 kg/L	エタノール比重(20°C)	
	輸送距離(往路) 86 km	8.47E-02 kg-CO2/tkm	16kLローリー積載率100%	0.18 kg-CO2
	輸送距離(復路) 86 km	7.28E-01 kg-CO2/km	16kLローリー積載率0%	0.12 kg-CO2
	<小計>			0.30 kg-CO2
ボイラー利用	バイオエタノール(100%) 31.0 L	0.0 kg-CO2/L	バイオ燃料	0.00 kg-CO2
	バイオエタノール(100%) 657.2 MJ	21.2 MJ/L	エタノールの熱量	
	消費電力(含む前処理) 0 kWh	0 kg-CO2/L	CO2発生は考慮せず	
	熱利用 591.5 MJ	90%	熱利用率	
	<小計>			0.00 kg-CO2
電力購入	系統電力 172.2 kWh	4.79E-01 kg-CO2/kWh	公共電力	82.46 kg-CO2
燃料購入	A重油 0.0 MJ	0.075 kg-CO2/MJ	A重油ボイラー利用	0.00 kg-CO2
<合計>				109.43 kg-CO2
<削減効果>				57.07 kg-CO2

表 3-7 ケース③ バイオエタノールの燃料電池利用とバイオマス発電のCO2排出量の比較

工程	活動量	インベントリデータ		CO2排出量
処理対象	廃木材 1.0 t			
収集・輸送 (10t車)	廃木材 1.0 t	往路は1t/10tで按分		
	輸送距離(往路) 43 km	6.59E-01 kg-CO2/km	10トン車積載率0%	2.83 kg-CO2
	輸送距離(復路) 43 km	1.01E-01 kg-CO2/tkm	10トン車積載率100%	4.34 kg-CO2
	<小計>			7.18 kg-CO2
バイオエタノール処理	廃木材 1.0 t			
	バイオエタノール(99%) 31.0 L	31 L/t-廃木材	エコ燃料報告書	
	リグニンペレット 409.4 kg	409.4 kg/t-廃木材 194.9 kg-CO2/t-廃木材	エコ燃料報告書 エコ燃料報告書(リグニン分含む)	194.90 kg-CO2
リグニンペレット利用	リグニンペレット 409.4 kg 6,140 MJ	0 kg-CO2/kg 15 MJ/kg	CO2発生は考慮せず エコ燃料報告書	
燃料輸送	バイオエタノール(30%) 103.3 L	復路は103.3L/16kLで按分		
	バイオエタノール(30%) 96.8 kg	0.78942 kg/L	エタノール比重(20°C)	
	輸送距離(往路) 86 km	8.47E-02 kg-CO2/tkm	16kLローリー積載率100%	0.71 kg-CO2
	輸送距離(復路) 86 km	7.28E-01 kg-CO2/km	16kLローリー積載率0%	0.40 kg-CO2
<小計>			1.11 kg-CO2	
燃料電池利用	バイオエタノール(30%) 103.3 L	0.0 kg-CO2/L	バイオ燃料	0.00 kg-CO2
	バイオエタノール(30%) 657.2 MJ	21.2 MJ/L	エタノールの熱量	
	消費電力(含む前処理) 0 kWh	0 kg-CO2/L	CO2発生は考慮せず	
	発電量 172.2 kWh 熱利用 262.9 MJ	1.666 kWh/L 40%	実験値(エタノール30%) 熱利用率	
電力購入	系統電力 436.2 kWh	0.479 kg-CO2/kWh	公共電力	208.93 kg-CO2
燃料購入	A重油 0.0 MJ	0.075 kg-CO2/MJ	A重油ボイラー利用	0.00 kg-CO2
<合計>				412.12 kg-CO2
工程	活動量	インベントリデータ		CO2排出量
処理対象	廃木材 1.0 t			
収集・輸送 (10t車)	廃木材 1.0 t	往路は1t/10tで按分		
	輸送距離(往路) 43 km	6.59E-01 kg-CO2/km	10トン車積載率0%	2.83 kg-CO2
	輸送距離(復路) 43 km	1.01E-01 kg-CO2/tkm	10トン車積載率100%	4.34 kg-CO2
	<小計>			7.18 kg-CO2
バイオマス発電	廃木材 1.0 t			
	廃木材 14,600 MJ	14.6 MJ/kg-wet	廃木材の熱量(水分20%想定)	
	焼却処理 1.0 t	3.34E-02 kg-CO2/kg	一般廃棄物焼却	33.40 kg-CO2
	発電量 2,190 MJ	15%	発電効率	
	発電量 608 kWh 熱利用 2,920 MJ	3.600 MJ/kWh 20%	熱利用率	
	<小計>			33.40 kg-CO2
電力購入	系統電力 0.0 kWh	0.479 kg-CO2/kWh	公共電力	0.00 kg-CO2
燃料購入	A重油 3,220.4 MJ	0.075 kg-CO2/MJ	A重油ボイラー利用	240.88 kg-CO2
<合計>				281.46 kg-CO2
<削減効果>				-130.65 kg-CO2

表 3-8 ケース④ バイオエタノールの燃料電池利用時のCO2排出量の比較（廃木材由来と輸入バイオエタノールとの比較）

工程	活動量	インベントリデータ		CO2排出量
処理対象	廃木材 1.0 t			
収集・輸送 (10t車)	廃木材 1.0 t	往路は1t/10tで按分		
	輸送距離(往路) 43 km	6.59E-01 kg-CO2/km	10トン車積載率0%	2.83 kg-CO2
	輸送距離(復路) 43 km	1.01E-01 kg-CO2/tkm	10トン車積載率100%	4.34 kg-CO2
	<小計>			7.18 kg-CO2
バイオエタノール処理	廃木材 1.0 t			
	バイオエタノール(99%) 31.0 L	31 L/t-廃木材	エコ燃料報告書	
	リグニンペレット 409.4 kg	409.4 kg/t-廃木材	エコ燃料報告書	
		19.49 kg-CO2/t-廃木材	エコ燃料報告書	19.49 kg-CO2
リグニンペレット利用	リグニンペレット 409.4 kg	0 kg-CO2/kg	CO2発生は考慮せず	
	6,140 MJ	15 MJ/kg	エコ燃料報告書	
燃料輸送	バイオエタノール(30%) 103.3 L	復路は103.3L/16kLで按分		
	バイオエタノール(30%) 96.8 kg	0.78942 kg/L	エタノール比重(20℃)	
	輸送距離(往路) 86 km	8.47E-02 kg-CO2/tkm	16kLローリー積載率100%	0.71 kg-CO2
	輸送距離(復路) 86 km	7.28E-01 kg-CO2/km	16kLローリー積載率0%	0.40 kg-CO2
	<小計>			1.11 kg-CO2
燃料電池利用	バイオエタノール(30%) 103.3 L	0.0 kg-CO2/L	バイオ燃料	0.00 kg-CO2
	バイオエタノール(30%) 657.2 MJ	21.2 MJ/L	エタノールの熱量	
	消費電力(含む前処理) 0 kWh	0 kg-CO2/L	CO2発生は考慮せず	
	発電量 172.2 kWh	1.666 kWh/L	実験値(エタノール30%)	
	熱利用 262.9 MJ	40%	熱利用率	
電力購入	系統電力 0.1 kWh	0.479 kg-CO2/kWh	公共電力	0.05 kg-CO2
燃料購入	A重油 0.0 MJ	0.075 kg-CO2/MJ	A重油ボイラー利用	0.00 kg-CO2
<合計>				27.83 kg-CO2
工程	活動量	インベントリデータ		CO2排出量
処理対象	廃木材 1.0 t			
収集・輸送 (10t車)	廃木材 1.0 t	往路は1t/10tで按分		
	輸送距離(往路) 43 km	6.59E-01 kg-CO2/km	10トン車積載率0%	2.83 kg-CO2
	輸送距離(復路) 43 km	1.01E-01 kg-CO2/tkm	10トン車積載率100%	4.34 kg-CO2
	<小計>			7.18 kg-CO2
単純焼却	廃木材 1.0 t			
	焼却処理 1.0 t	3.34E-02 kg-CO2/kg	一般廃棄物焼却	33.40 kg-CO2
燃料電池利用	バイオエタノール(100%) 31.0 L	エタノールの熱量		
	バイオエタノール(100%) 657.2 MJ	21.2 MJ/L	輸入バイオエタノール	
		32.7 g-CO2/MJ	CO2発生は考慮せず	
	消費電力 0 kWh	0 kg-CO2/L	事例値	
	発電量 172.3 kWh	5.557 kWh/m3	熱利用率	
	熱利用 262.9 MJ	40%		
<小計>				21.49 kg-CO2
電力購入	系統電力 0.0 kWh	0.479 kg-CO2/kWh	公共電力	0.00 kg-CO2
燃料購入	A重油 6,140.4 MJ	0.075 kg-CO2/MJ	A重油ボイラー利用	459.30 kg-CO2
<合計>				521.37 kg-CO2
<削減効果>				493.54 kg-CO2

3.5 コスト評価

現状のバイオエタノールの製造コストをもとに、LCA 評価を行った各ケースのコストについて評価を行った。

(1) バイオエタノール製造コスト

廃木材からのバイオエタノールの製造コストは、現状で概ね 100 円/L(エタノール濃度 99%)となっている。これは、文献値¹の 98 円/L とほぼ一致するコストである。

今回の実証実験で蒸留塔の 20 段からエタノール抽出を行ったが、これは通常の運転での処理ではなく実験用の特別な措置であった、このため、現段階では燃料電池用のバイオエタノールの製造コストを評価することは困難である。

仮に再蒸留・精留の工程が不要となった場合を想定すると、最大で 25 円/L 程度のコストダウンになるものと想定される。

バイオエタノール濃度 100%のもののが 90~100 円/L と想定すると、バイオエタノール濃度 30%の燃料電池量燃料は、20~22.5 円/L 程度となる。

(2) 燃料電池の導入コスト

現状の家庭用燃料電池の価格は、補助金を除いて 200 万程度となっている。10 年間の使用で毎年 20 万円程度のコスト負担を考えられる。家庭での光熱費削減分は年間 5 万円ほどと見込まれるため、更なる燃料電池のコスト削減が求められるところである。

また、バイオエタノール利用の場合には燃料タンクが必要となるため、コスト的には割高になるものと考えられる。また、設置スペースもより必要となる。

ただし、都市ガス供給地域で無い場合は、比較対象が LPG となるものと考えられるため、LPG タンクの設置と同程度の設置スペースと見込まれる。

(3) 配達コスト

家庭用の燃料電池用途としてバイオエタノールを使用する場合を想定すると、現在想定しているガソリンスタンド等の供給施設から家庭への配達のコストが必要となる。このコストは概ね灯油の配達コストと同様の費用と考えることができる。

灯油の配達コストとして、20L で 50 円を想定すると、1L あたり 2.5 円となる。エタノール濃度 30%のバイオエタノールでは、先の 27~30 円/L に、この配達料金を加えると 30 円~33 円/L となる。

エタノール濃度が低い場合は、配達コストが 5 円/L 程度割高になると考えられる。

¹「日本におけるバイオエタノールの生産コストと CO2 削減コスト分析」、2007 年 6 月、朝野賢司、美野輪智朗、産業技術総合研究所

(4) 都市ガスの利用料金との比較

現在、家庭用燃料電池を使用する場合には、割引料金が適用されることとなっている。また、使用量や契約条件によっても料金が変わってくる。

本調査では、表 3-9 の「エネファームで発電エコプラン」の料金を参考に 115 円/m³ を比較用のコストとして想定する。

燃料電池の発電量で換算すると、都市ガス 1m³ はバイオエタノール（100%）で 1.06L に相当する。これをバイオエタノール（30%）の 1L 価格と比較すると、106～117 円とほぼ都市ガスと同等のコストになると推計される。

表 3-9 東京ガスの家庭用ガス料金一覧（2013 年 3 月現在）

家庭用選択約款					単位料金(円/m ³)				
	適用期	適用月	料金表	1ヶ月の	基本料金 (円/件・月)	(基準単位料 金)	13年2月検針 分	13年3月検針 分	13年4月検針 分
				ガスご使用量					
家庭用高効率給湯器契約 《湯ったりエコプラン》			A表～F表	一般契約料金と 同じ	一般契約料金と同じ(※1)				
家庭用ガス温水床暖房契約 《暖らんぶらん》(※3)	冬期	12～4月	A表	0m ³ から20m ³ まで	724.5	153.18	152.49	152.4	155.59
			B表	20m ³ をこえ 80m ³ まで	1,291.50	124.83	124.14	124.05	127.24
			C表	80m ³ をこえる 場合	2,030.70	115.59	114.9	114.81	118
	その他期	5～11月	A表～F表	一般契約料金と 同じ	一般契約料金と同じ				
家庭用コージェネレーションシステム契約 《エコイルで発電エコプラン》	冬期	12～4月	A表	0m ³ から20m ³ まで	724.5	153.18	152.49	152.4	155.59
			B表	20m ³ をこえ 80m ³ まで	1,270.50	125.88	125.19	125.1	128.29
			C表	80m ³ をこえる 場合	2,194.50	114.33	113.64	113.55	116.74
	その他期	5～11月	A表～F表	一般契約料金と 同じ	一般契約料金と同じ(※2)				
家庭用燃料電池契約 《エネファームで発電エコプラン》 (※3)	冬期	12～4月	A表	0m ³ から20m ³ まで	724.5	153.18	152.49	152.4	155.59
			B表	20m ³ をこえ 80m ³ まで	1,497.30	114.54	113.85	113.76	116.95
			C表	80m ³ をこえる 場合	1,833.30	110.34	109.65	109.56	112.75
	その他期	5～11月	A表	0m ³ から20m ³ まで	724.5	153.18	--	--	--
			B表	20m ³ をこえる 場合	1,497.30	114.54	--	--	--

(出典) 東京ガス Web (<http://e-com.tokyo-gas.co.jp/ryokin/Default.aspx?tik=1>)

3.6 事業性の検討

3.6.1 廃木材由来のバイオエタノールの燃料電池利用の事業性

廃木材由来のバイオエタノールについては、先に示したとおり、現状おおよそ 100 円/L の価格で販売されている。この価格をベースに燃料電池利用の事業性について検討する。ここで簡便化のため、配達料金と製造時のコスト削減分が同等であると見なし、100 円/L は、家庭への配達量込みの価格と見なすこととした。

なお、ここでは家庭用の燃料電池が別途あり、この燃料電池用に燃料供給という観点で検討を行う。また、比較する都市ガス用、LPG 用、エタノール用の燃料電池価格は変わらないものと仮定する。

(1) 燃料価格での比較

コストで示したとおり、燃料電池用の燃料価格を比較するために、熱量当たりの価格を整理した。MJ あたりの価格で比較すると、都市ガスが最も安く 2.51 円/MJ であり、次いでバイオエタノールが 4.72 円/MJ、LPG が 6.38 円/MJ となる。

従って、都市ガスには価格面で競合できないものの、LPG には優位性を持つこととなる。

このため、まず燃料電池のターゲットとしては、LPG での燃料電池利用への代替ということが想定される。

● バイオエタノール	100 円/L	→ 4.72 円/MJ
● 都市ガス (13A)	114.54 円/m ³	→ 2.51 円/MJ
● LPG (家庭用)	320.4 円/kg	→ 6.38 円/MJ

(2) 燃料保管場所から見た LPG との比較

LP ガスは家庭用の最大サイズで 50kg 貯蔵でき、外形サイズは約 40cm 程度となる。50kg 分の LPG の熱量は、50.2MJ/kg で換算して約 2,510MJ となる。

これと同様のバイオエタノールの量 (100%濃度) は、118L となる。これを 30%濃度の量に換算すると、393L となる。これは 20L ポリ容器約 20 個分で、高さ 140cm の LPG ガスボンベと同じ高さとする、直径 20cm 程度となり、概ね LPG ガスボンベの設置スペースにタンクを置くことが可能と考えられる。

従って、燃料電池用途の燃料として、燃料電池本体の価格差が無ければバイオエタノールと、LPG は競合可能と考えられる。

(3) 市場規模の推計

LPG の利用世帯は、約 2,500 万世帯と全世帯の半分程度となっている。

先に示した燃料電池の普及の目標から見ると、2020 年の 140 万台の 2 割が LPG 用で、その 10% がバイオエタノールに代替されると仮定して、2.8 万台と推計される。

3.6.2 その他の廃木材由来のバイオエタノールの事業化検討

(1) 直接燃焼利用（熱利用）

直接燃焼利用の場合に代替品として A 重油を想定する。この場合に燃料価格で比較すると A 重油のほうが安くなる。

一方、バイオエタノールのメリットは、CO₂ フリーであるという点である。例えば J-VER 価格を 8,000 円/t-CO₂ として評価した場合に、A 重油の CO₂ 排出係数を 2.71kg CO₂/L として、21.68 円/L 分に相当することとなる。この部分をオフセットした価格でバイオエタノールを評価すると、78.32 円/L となる。この場合でも熱量当たりの価格で見ると 3.69 円/MJ と A 重油よりも高くなる。

このため、A 重油の混合燃料としてみた場合のバイオエタノール代替は難しいと見なせる。

● バイオエタノール	100 円/L	→	4.72 円/MJ
● A 重油	84.0 円/L	→	2.15 円/MJ
● バイオエタノール（オフセット後）	78.32 円/L	→	3.69 円/MJ

3.6.3 今後の事業展開について

(1) 燃料電池用途

エタノールを燃料として使用する燃料電池は、実用化に向けて以下のような開発スケジュールが検討されている。

- 現状 改質器の耐久性試験 実施中
- 半年～1年後 改質器耐久性試験終了後、量産試験機でのモデルハウステスト
- 3年後 量販機の販売開始
- 3～8年後 滋賀県のハウスメーカーが建設中のエコ住宅への導入（150軒目標）

以上のスケジュールで、3年後を目処にエタノール燃料電池の販売が開始される計画があり、本事業において燃料電池用の検証ができたこと、販売時にあわせた供給を想定する場合には有効なタイミングであった。

上記は、滋賀県での事例であるが、大阪府においても以下のような計画の中で燃料電池の普及を目指している。現状では、燃料電池の燃料についてエタノールという形で限定していないが、普及対象としてバイオマス系の燃料である点は重要な要因になるものとする。

- 大阪 21世紀の新環境総合計画（平成23年3月）
 - 「再生可能エネルギー等の普及」の中で燃料電池の普及も明記されている。
- 温暖化対策おおさかアクションプラン～大阪府地球温暖化対策実行計画（区域施策編）～（平成24年3月）
 - 「エネルギー関連技術・製品の開発支援」として電池産業を核とした産業振興の強化があり、電池には燃料電池が含まれている。

上記を踏まえて、燃料電池用では着色成分の除去方法の確立および着色成分を低減する蒸留塔の運転方法の確立など課題を解決していく必要があり、エタノールを燃料とする燃料電池の普及も必要である。

特に、現状の家庭用や事業所の定置型の燃料電池の燃料では都市ガス、LPGのガス燃料が主であるが、これをエタノール燃料に代替していくためには、機器の開発・普及期にバイオエタノールが利用可能であることを検証しておくことで、燃料電池の普及・拡大期にエタノール燃料が使用できる機器も増やすことにつながるものとする。

(2) その他エネルギー用途

中期的には、E10 の普及や燃料電池の普及に合わせバイオエタノールの利用用途拡大が主たる需要拡大先と想定する。

特に、現状の家庭用や事業所の定置型の燃料電池の燃料では都市ガス、LPG のガス燃料が主であるが、これをエタノール燃料に代替していくためには、機器の開発・普及期にバイオエタノールが利用可能であることを検証しておくことで、燃料電池の普及・拡大期にエタノール燃料が使用できる機器も増やすことにつながるものとする。

(3) 工業用アルコール代替

バイオエタノールの利用用途拡大に向けて短期的には、E3 ガソリンの原料として販売するのが主体ですがその他にも機械洗浄用アルコールや散布用の消毒用アルコールの用途が考えられる。

機械洗浄用アルコールは、食品用機械、医療用機械などは高品質アルコールが要求されるが JASO 規格に適合するアルコールで十分な機械については利用可能となる。散布用アルコールは、例えば鳥インフルエンザ感染防止のための広域散布用消毒エタノールなどが想定される。

工業用のアルコールは、図 3-24 に示すように生産量が微増傾向となるとともに、価格（出荷価格）も 120～130 円/L となっており、バイオエタノールの価格でも競争力があると見込まれる。

ただし、図 3-24 の統計データは JASO 規格品だけでなくより高品質なものや食品用も含まれているため、JASO 規格品はもう少し安い価格帯で取り引きされている可能性がある。

この点は、今後品質と価格、取り引きロットなどの条件を整理し、明らかにしていく予定である。

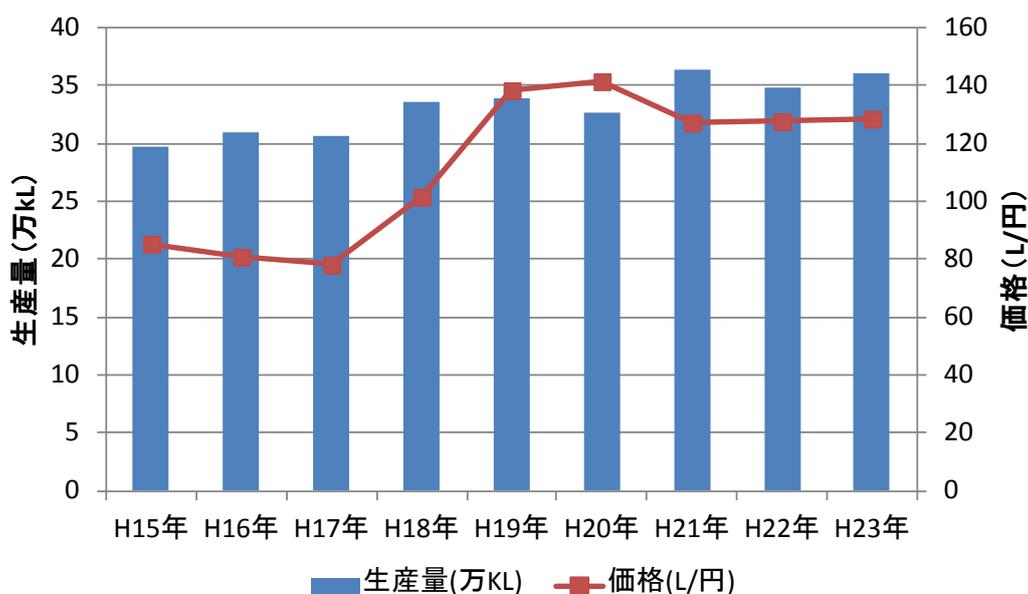


図 3-24 工業エタノールの出荷量と価格の推移

(データ出典)「平成23年 化学工業統計年報」経済産業省

(4) バイオエタノール需要拡大方策

以上のように、短期的中期的な取り組みを進めることで、バイオエタノール事業の収益を向上させ事業性を改善させていくことを目指していく。

今回の実証事業では、中期的な観点で見た技術的課題を検証することを主な目的として実施したものである。

短期的には工業原料用途の需要拡大も重要であるが、工業原料として利用する場合にはバイオエタノールの特徴の一つであるカーボンフリーという点を訴求し難いため、価格面で他のエタノール原料との競合は容易でないと考える。

これに対して、現状の E3 ガソリンに加えて規格策定された E10 ガソリンは継続的に市場拡大を進めていくべき市場である。さらに、燃料電池については、長期的な市場拡大を見据えて今から技術的な課題の検証を含めて、用途拡大のための取り組みを行っておくべき必要性が高いため、今回の実証実験の結果は有用な材料となる。

以上