

# 剪定枝葉のバイオエタノール化可能性 に関する調査研究

平成 29 年 3 月

長野県 長野市  
一般財団法人 地方自治研究機構

**剪定枝葉のバイオエタノール化可能性  
に関する調査研究**

**平成 29 年 3 月**

**長野県 長野市**

**一般財団法人 地方自治研究機構**



## はじめに

少子高齢化の進行に伴う本格的な人口減少社会の到来や、厳しい財政状況が続くなど、地方を取り巻く環境が一層厳しさを増す中で、地方公共団体は、多様化する住民ニーズに的確に対応し、地域の特性を活かしながら、安心・安全の確保、産業振興による地域の活性化、公共施設の維持管理等の高度化・複雑化する諸課題の解決に取り組まなければなりません。

また、地方分権の進展に伴い、住民に最も身近である地方公共団体が、自らの判断と責任において、行政運営を担うことが求められています。

このため、当機構では、地方公共団体が直面している諸課題を多角的・総合的に解決するため、個々の団体が抱える課題を取り上げ、当該団体と共同して、全国的な視点と地域の実情に即した視点の双方から問題を分析し、その解決方策の研究を実施しています。

本年度は8つのテーマを具体的に設定しており、本報告書は、そのうちの一つの成果を取りまとめたものです。

本研究の対象である長野市においては、ごみ資源のリサイクル事業として剪定枝葉の堆肥化等の事業を実施しています。しかしながら、厳しい財政状況において堆肥化等の処理委託費用が年々増加傾向にあることから、より効率的なリサイクル事業として剪定枝葉のバイオエタノール燃料化の可能性を検討しているところです。事業としての実現事例がほとんどない中、本研究では、現時点における技術検証のみならず将来への可能性を含めた調査を行いました。

本研究の企画及び実施に当たりましては、研究委員会の委員長及び委員をはじめ、関係者の方々から多くの御指導と御協力をいただきました。

また、本研究は、公益財団法人 地域社会振興財団の助成金を受けて、長野市と当機構が共同で行ったものであり、ここに謝意を表する次第です。

本報告書が広く地方公共団体の施策展開の一助となれば大変幸いです。

平成 29 年 3 月

一般財団法人 地方自治研究機構  
理事長 山中 昭 栄





## 目次

序章 調査研究の概要 .....	1
1. 調査研究の背景・目的・視点 .....	3
2. 調査研究の流れと全体像 .....	5
第1章 長野市の現状 .....	7
1. 市の概況 .....	9
2. 長野市におけるリサイクル事業の現状と課題 .....	13
第2章 バイオエタノール化技術の進展と市場動向 .....	25
1. バイオエタノール化進展の背景 .....	27
2. バイオエタノール化技術の進展 .....	32
3. 世界におけるエタノールの生産動向 .....	42
4. バイオエタノール市場の動向 .....	47
第3章 バイオエタノール化事業に係る要件検証 .....	55
1. 事業化に必要な技術要件と課題 .....	57
2. 事業化に必要な基盤条件と課題 .....	80
3. 先進地事例視察調査 .....	91
4. 事業化に関わる制約について .....	97
5. 事業化に関わる採算性の向上要件について .....	99
第4章 事業化に向けた考察 .....	101
1. 事業化に向けた基本的考え方 .....	103
2. バイオエタノール化処理のシミュレーション .....	105
3. 事業化に向けた課題を踏まえた見直し .....	116
4. 事業化に向けたシミュレーション .....	122
5. 事業化に向けた今後の検討課題 .....	130
第5章 バイオエタノール化事業の将来展望 .....	137
1. 実用化技術の進展と製造コストの削減 .....	139
2. リサイクル資源の拡大の可能性 .....	141

3. 商品市場の拡大.....	141
4. 事業実施主体の多様化.....	143
5. 長野地域連携中枢都市圏ビジョン.....	144
委員コメント .....	147
調査研究委員会名簿 .....	157
資料編 .....	161
参考資料：第3章 2-(5)収集運搬費用シミュレーションにおける現状分析値計算方法.....	163
ヒアリング質問票・回答結果.....	165
引用・参考文献一覧.....	169

## 序章 調査研究の概要



## 序章 調査研究の概要

### 1. 調査研究の背景・目的・視点

#### (1) 背景と目的

長野市では、平成 21 年（2009 年）10 月から家庭ごみの有料化を施行し、家庭から排出される剪定枝葉については無料収集を実施している。回収した枝葉は民間事業者により有料で処理委託し、堆肥化又はチップ化を経て焼却発電という形で年間約 6,000t を安定的にリサイクルしているところである。

その結果、リサイクル率は、導入前の 23.8%（平成 16 年～平成 20 年平均）から導入後には 27.7%（平成 22 年～平成 27 年平均）までに押し上げる効果を得ている。

しかしながら、処理開始以来、処理委託費用は年々増加傾向にあり、リサイクル率を高めつつコストを削減していくことが長野市における喫緊の課題となっている。

長野市では国のバイオマス産業都市の認定を目指し、効率的な剪定枝葉のバイオエタノール化の研究（効率の良い酵素開発、酵素の繰り返し利用等）に着目しているところである。そのため、温室効果ガス排出量の削減や処理費用の低廉化が期待される剪定枝葉のバイオエタノール化について、今後のリサイクル事業としての実現可能性を見極めるための技術的な検証等を交えた調査研究を行なうことを目的とする。

#### (2) 調査研究の視点

剪定枝葉のリサイクル事業を、より効率的な事業に昇華させることを目的にバイオエタノール化処理の実現可能性を検討する調査研究の視点は以下のとおりである。

##### ①年々増加するリサイクルコストの抑制など市としての事業化実施の判断材料提供

剪定枝葉等のセルロース系バイオエタノール化技術による処理対象（資源）及び処理方法、処理費用等の算出と事業化に必要な設備や体制などの事業化要件の洗い出し等のほか、CO2 排出量を始めとした経済性、社会性コストの削減効果の算定など、事業単体として捉えるだけでなく公的事业としての意義も踏まえた判断材料を提示できる調査研究を行う。

##### ②持続可能なバイオエタノール化リサイクル事業の在り方検討

- ・市場マクロ的観点：需要と供給の市場動向を俯瞰した調査分析の実施
- ・事業ミクロ的観点：事業化の基本要件と品質や安定稼働等に向けた要件整理
- ・処理対象資源の拡大など、市としての計画的・安定的な事業運営の実現可能性に配慮した検討を行う。

- ③バイオエタノール化リサイクル事業の自立運営（剪定枝葉等の資源の価値化等）の可能性  
設備や運営体制等の事業の自立運営に必要なコスト試算と、バイオエタノール販売の可能性  
に関する調査検討を通じた民間等における自立的な運営事業の確立可能性について、可能な  
限り考察できるよう将来展望に関する情報を整理する。

## 2. 調査研究の流れと全体像

### (1) 長野市の現状整理

長野市のリサイクル事業の現状について市におけるこれまでの取組等を踏まえて整理し、問題点や課題を取りまとめる。

### (2) バイオエタノール技術の進展と市場動向

事業化可能性検討のスタートラインとして、バイオエタノール技術の現状とバイオエタノール市場の現状を文献及びWeb調査等により整理し、調査すべき技術要件や事業化検討に向けて把握すべき事項等、検証・検討に向けた観点整理として役立てる。

### (3) バイオエタノール燃料等に関する長野市の需給環境動向と事業化に向けた基本的考え方の整理

調査・検討を進めるに当たり、効率的な調査研究とするために、あらかじめ事業化に関する考え方の基本的な整理をする。

### (4) 事業化に必要な技術・設備等の要件検証

事業化するための基本的な要件として、バイオエタノール化の技術と設備等の事業基盤環境について整理し、実現に向けての課題やその対応策についての検討を行う。

#### ① 技術要件から見た課題の整理

- ・原料のストック・管理：原料の含水率平均、かさ比重平均からストック・管理について課題を整理
- ・原料の前処理（乾燥・粉碎等）：乾燥条件・方法、粉碎条件・方法の他、必要な前処理について課題を整理
- ・製造工程管理：衛生管理、品質管理、メンテナンス等を含めた課題を整理
- ・排水処理及び残渣の処理について課題を整理
- ・原料収集方法の課題を整理

#### ② 技術面からの基礎的条件の整理

- ・処理対象とする原料の量・種類・状態を確認し、原料を用いてエタノール化試験を行い、必要な前処理工程（乾燥・粉碎、リグニン分離の要不要）を検討
- ・排水について、排水基準への適合等を検討し、推奨する排水処理法を検討
- ・残渣について、各種分析を行い、推奨する有効活用法を検討
- ・事業化要件や技術要件・条件を元に処理設備概要をまとめ、概要設計と設備コスト概算を算出



(5) 事業化における各種制約条件の確認

事業化に取り組む場合の法的要件や設備環境設置に関わる地理的条件など想定される課題やリスクについて整理し、求められる対処事項等を明らかにする。

(6) 事業化に向けた検討

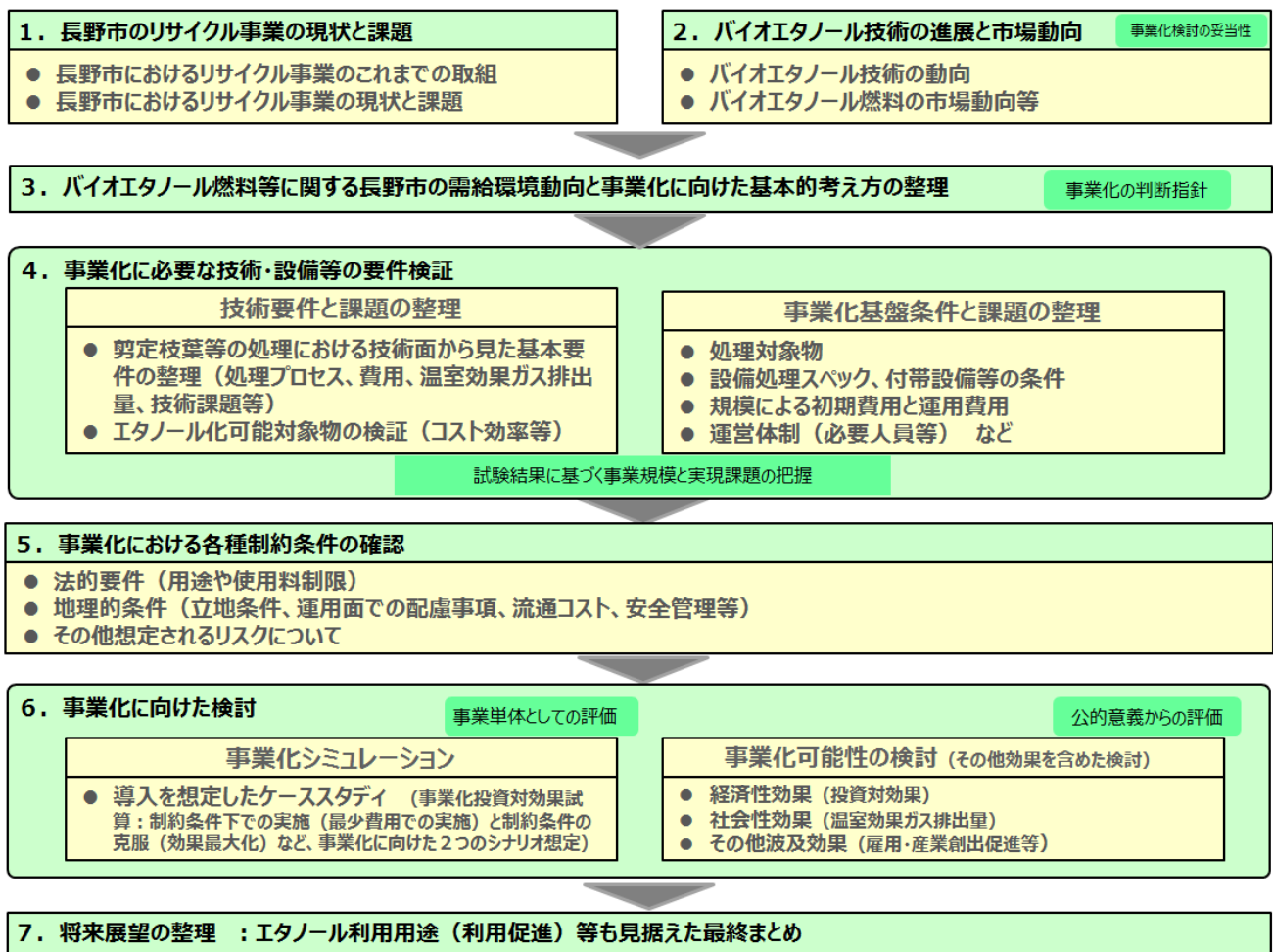
バイオエタノール化に関わる各コストと要件に基づき、事業採算性を検討し、長野市で事業化が実現可能な条件を考慮したケーススタディを行う。

(7) 将来展望の整理

バイオエタノールの利用法等について、事業化判断の一助として燃料用途以外の用途も含めて、整理する。

調査研究全体の流れは以下のとおりである。

図表 序-1 調査研究の全体像



## 第1章 長野市の現状



## 第1章 長野市の現状

### 1. 市の概況

#### (1) 位置と地勢

長野市は、本州の中央部長野県の北部に位置し、妙高戸隠連山国立公園の飯縄山、戸隠山、黒姫山（信濃町）等の北信五岳を背景に、面積は83,481ha、東西約36.5km、南北約41.7kmの広がりを持つ。

市内への高速道路でのアクセスは、市内の上信越自動車道長野ICと、須坂長野東IC、信州中野IC、小布施スマートIC及び更埴ICから可能となっている。また、北陸新幹線によって東京までは約1時間30分、金沢までは約1時間で結ばれている。

地形は大きく区分すると、中心にある長野盆地とその西側の西部山地、東側の東部山地の3地域に分けられる。市域の最高地は高妻山頂の2,353m、最低地は豊野町浅野地区の327.4mと、標高差は2,025.6mであり、そのうち標高600m以下の土地が約60%（県平均11.5%）を占めている。

図表1-1 長野市の位置



#### (2) 沿革

長野市は、北アルプスに源を発する犀川の扇状地と千曲川の沖積地によって形成された肥沃な長野盆地に位置し、古くから善光寺の門前町として日本全国から親しまれてきた。

善光寺は飛鳥時代、本田善光により阿弥陀如来像が安置されたのが始まりとされており、以来、旅籠、商家などが集まった門前町の町並みが形成され、北国街道の宿場町も兼ねた商業都市として発展してきた。

明治30年(1897年)、市制施行により県内初めての市として誕生し、県庁等の官公庁が置かれたことにより、政治・経済の中心として、また、信越線等の整備により交通の要衝としても発展してきた。

大正12年(1923年)には、近隣4町村を編入合併、昭和29年(1954年)に近隣10村を編入合併、昭和41年(1966年)には2市3町3村の大合併により市域が拡大し、善光寺平の中心都市へと成長した。こうした都市の拡大・発展の中で平成10年(1998年)には第18回オリンピック冬季競技大会、第7回パラリンピック冬季競技大会が開催され、国際都市へと躍進した。

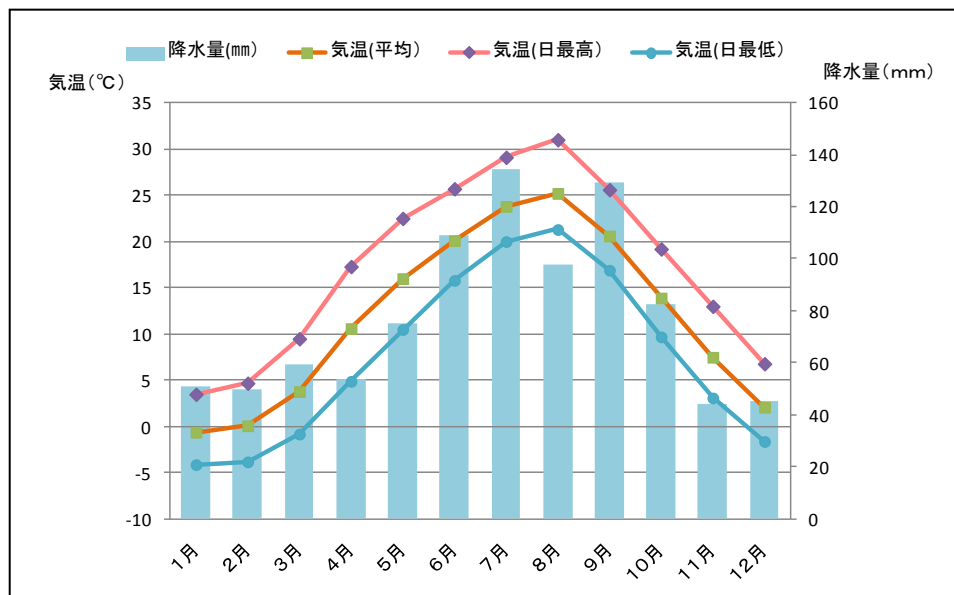
その後、平成17年(2005年)に豊野町、戸隠村、鬼無里村、大岡村を、平成22年(2010年)には、隣接する信州新町、中条村を編入合併し、人口38万人余、面積83,481haの新長野市が誕生した。

### (3) 気候

長野市は、長野盆地のほぼ中央部とその周囲の山地を占め、気候としては犀川を挟んで、北部は日本海側、南部は太平洋側の影響を受けやすく、気候上の地域差が大きい。また、四方を山に囲まれているため、寒暖の差が大きく、降水量は少ない、いわゆる内陸的な気候である。

しかし、冬の降雪量は、平年値(昭和56年(1981年)～平成22年(2010年)の統計値)で170.1cmと、比較的多くなっている。

図表 1-2 長野地方気象台(1981年～2010年の気候)

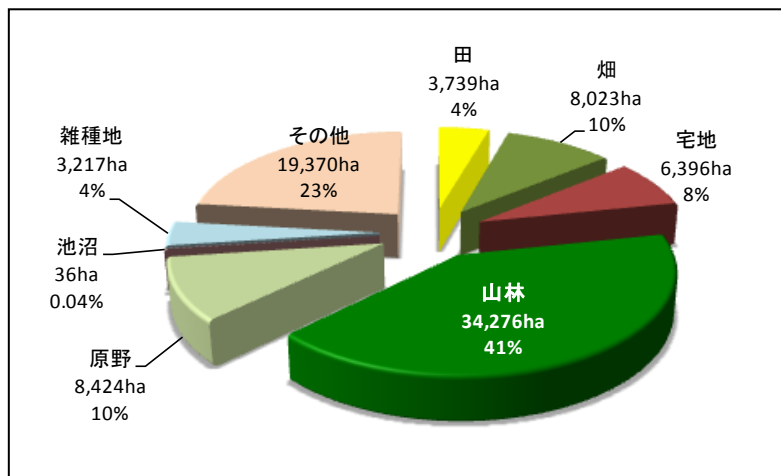


(出所：気象庁HP)

(4) 面積

長野市の面積は 83,481ha である。山林及び原野で 51%、宅地が 8%、田及び畑で 14%を占めている。

図表 1-3 長野市の土地利用状況



(出所：固定資産税概要調書)

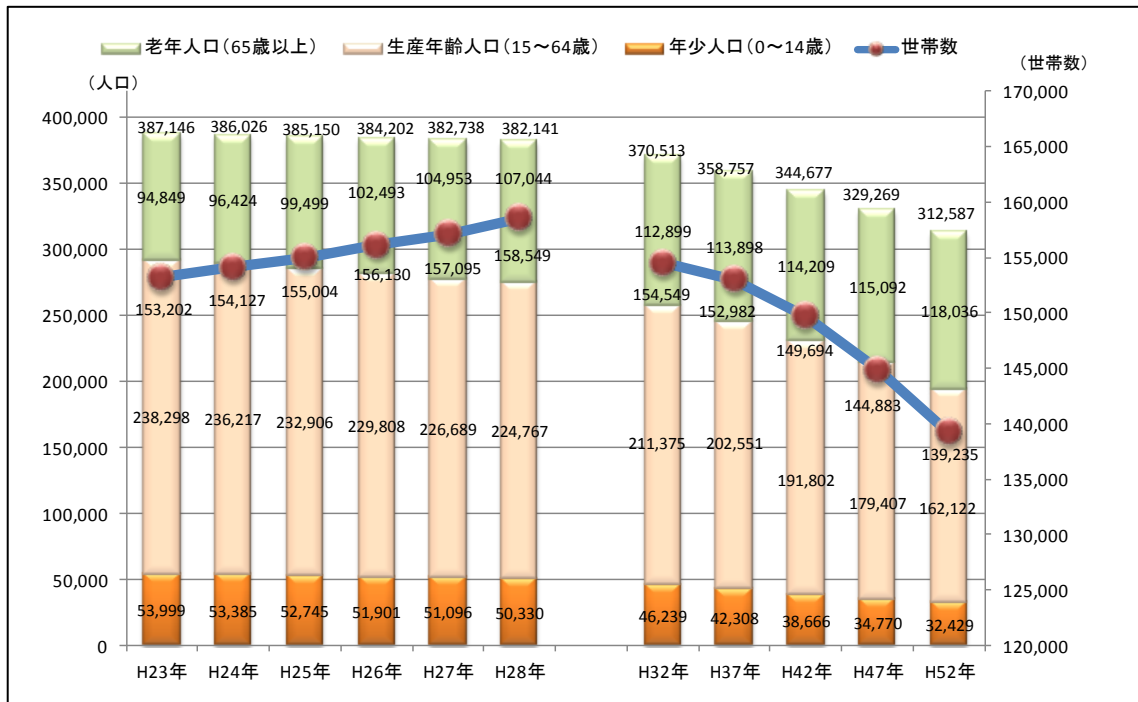
(5) 人口

長野市の人口は、近年横ばいから減少傾向にあり、平成 52 年には、現在より約 2 割の減少が予想されている。世代別では 65 歳以上の人口が常に増加している一方で 15 歳未満の人口は減少し続けており、少子高齢化が進行している。

図表 1-4 長野市の年齢別人口・世帯数(平成 28 年 4 月時点)

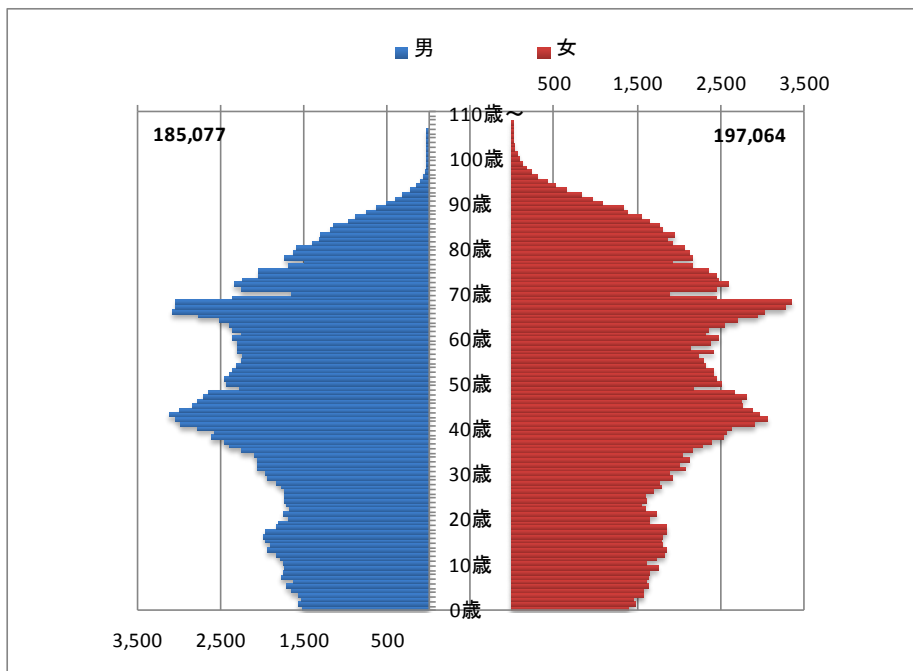
区分	人口	年齢別			世帯数
		0～14 歳	15～64 歳	65 歳以上	
人数	382,141	50,330	224,767	107,044	158,549
割合 (%)	100	13.2	58.8	28.0	

図表 1-5 年齢別・階層別人口及び世帯数の推移及び将来人口予測



(出所:長野市住民基本台帳、長野市将来人口推計結果表)

図表 1-6 長野市の年齢人口ピラミッド(平成 28 年 4 月 1 日時点)



(出所:長野市住民基本台帳)

## 2. 長野市におけるリサイクル事業の現状と課題

### (1) ごみ処理等の概要

#### ① 分別等

ア 旧長野市地域（平成 17 年（2005 年）1 月合併以前の旧長野市）

ごみ収集については、家庭から排出されるごみと事業所から排出されるごみに大別し、家庭から排出されるごみについてはごみ集積所（ステーション方式）を通じて、8 分別（可燃ごみ、不燃ごみ、プラスチック製容器包装、紙類、ビン類（乾電池含む）、缶類、ペットボトル、剪定枝葉等）・指定袋（市指定）収集を実施している。

昭和 57 年（1982 年）以降実施されていた 3 分別（可燃、不燃、資源ごみ）から、平成 4 年（1992 年）11 月古牧・若槻地区、平成 5 年（1993 年）8 月三輪・吉田・大豆島・安茂里・川中島・更北地区、平成 6 年（1994 年）6 月第三・芹田・篠ノ井地区、平成 6 年（1994 年）8 月から全市において 5 分別（可燃、不燃、紙、ビン、缶）完全実施を行ってきた。

この間、市民の理解を得るため、延べ 1,300 回余りの住民説明会を開催し、ごみの減量及び分別の定着を図った結果、大きな成果を得ることができた。

しかし、再びごみ量が増加に転じてきたことを契機に、新たな減量策として平成 8 年（1996 年）11 月から指定袋の実費負担制度及び超過有料化制度（一定量までは指定袋実費のみ）並びにペットボトルの分別収集（これにより 6 分別）を実施した。

各種リサイクル法が整備される中、平成 13 年（2001 年）4 月に家電リサイクル法が施行され、家電 4 品目（エアコン、テレビ、冷蔵庫・冷凍庫、洗濯機）のリサイクルが義務付けられた。

平成 15 年（2003 年）10 月からは家庭用パソコンがリサイクルされるなど、新たな取組が始まり、本市でもそれらの動きを受け、平成 13 年（2001 年）4 月からは家電 4 品目、平成 16 年（2004 年）4 月からは家庭用パソコンの集積所への排出を禁止した。

また、容器包装リサイクル法が完全施行されたことを受け、可燃ごみの削減及び石油資源の有効利用のため、平成 13 年（2001 年）10 月から第二・篠ノ井中央・篠ノ井川柳の 3 地区、平成 16 年（2004 年）4 月からは、全市で、プラスチック製容器包装の分別収集（これにより 7 分別）を実施した。

導入に当たり、市民の理解を得るため、延べ 1,100 回余りの住民説明会を開催した。

割れていない家庭用使用済み蛍光灯については、拠点による回収場所を拡大し、平成 18 年（2006 年）10 月から県電機商業組合加盟の回収協力店、市役所、支所での回収を試行し、平成 19 年（2007 年）4 月からは集積所収集を廃止した。

平成 19 年（2007 年）3 月からは家庭から出るタイヤ、スプリング入りマットレス等の、市ごみ処理施設で処理できない指定廃棄物について、市清掃センターで事前に予約を受け付けし、市清掃センターストックヤードで市民から有料での受け入れを開始した。



しかしながら、ごみ量が増加傾向にあること、また「長野市ごみ処理基本計画（平成 17 年 6 月策定）」の数値目標（後述）並びに長野市を含む広域圏内に新たなごみ焼却施設建設を計画している長野広域連合の「広域化基本計画（平成 18 年 3 月策定）」の数値目標を達成するためにも、市民がごみの排出者としての自覚と責任を明確に意識できる制度として、平成 21 年（2009 年）10 月から家庭ごみ処理手数料有料化制度（超過分有料制から単純従量制へ）を導入した。

同時に、庭木などの剪定枝葉の分別収集・資源化（これにより 8 分別）を実施し、現在に至っている。なお、移行に際しては、市民の理解と協力を求め、延べ 1,071 回の住民説明会を開催した。

一方、事業所から排出されるごみは、事業者の責任により、平成 8 年（1996 年）6 月から事業者自らが事業系一般廃棄物 5 分別（可燃ごみ、紙類、ビン類、缶類、ペットボトル）により処理施設へ搬入、又は市が許可した一般廃棄物収集運搬業許可事業者に処理を委託、若しくは市が許可した一般廃棄物処分業許可事業者等に自己搬入、のいずれかの方法で処理することを指導している。平成 8 年（1996 年）4 月からは、事業系一般廃棄物 5 分別と産業廃棄物（一部は市清掃センターで受入れ）に分別されていないごみの市処理施設への搬入を禁止している。

焼却施設の老朽化を背景に、より一層のごみ減量のため、従来一般廃棄物処理に支障が生じない範囲において一部受け入れてきた、紙くず、木くずなどの産業廃棄物については、平成 21 年（2009 年）10 月から受入れしないこととし、また、造園業などの剪定枝葉（一廃）についても民間リサイクル事業者への誘導を図り、同日から原則搬入禁止とした。

また、事業者独自の取り組みとして、市内中心部の飲食業の組合が、長野オリンピック開催に向けて廃棄物の収集とその適正処理、再資源化を目指し、平成 6 年（1994 年）に「飲食ごみリデュース委員会」（発足当時 14 組合 約 800 店加盟）を組織した。収集業務の委託、指定袋の作成・販売、収集コンテナの設置などの事業を展開していたが、組合員の減少などにより、平成 23 年（2011 年）3 月に解散した。

#### イ 豊野地区（平成17年（2005年）1月合併 旧豊野町）

合併以前の旧豊野町は、一部事務組合である北信保健衛生施設組合の構成自治体として、北信保健衛生施設組合の処理施設で処理を行っていた（合併後も豊野地区については一部継続中）ことから、合併協議において、一部（平成 17 年（2005 年）4 月～金属ごみ、粗大ごみの区分を一部変更）を除き、当面の間合併前の分別区分を踏襲することとした。合併後の家庭ごみについては、ごみ集積所（ステーション）及び指定回収場所において 8 分別・指定袋（市及び北信保健衛生施設組合指定）による収集を実施していたが、平成 18 年（2006 年）4 月からプラスチック製容器包装の分別収集を開始し、9 分別となった。

平成 21 年（2009 年）10 月の家庭ごみ処理有料化制度の導入に伴い、全市住民の公平性を保つために、旧長野市地域と同様の分別区分となり、これにより、全市の分別区分が統一された。

ウ 戸隠、鬼無里、大岡地区（平成17年（2005年）1月合併 旧戸隠村、旧鬼無里村、旧大岡村）  
平成17年（2005年）1月の合併に伴い、各地区で説明会等を実施し、平成17年（2005年）4月から旧長野市地域と同様の分別を実施している。

エ 信州新町、中条地区（平成22年（2010年）1月合併 旧信州新町、旧中条村）  
合併以前に各地区で説明会等を実施し、平成22年（2010年）1月の合併と同時に、旧長野市地域と同様の分別及び有料化制度を実施している。

図表 1-7 ごみ処理の主な経緯

年 号	内 容
昭和 57 年（1982 年）	3 分別 可燃・不燃・資源ごみの実施
平成 6 年（1994 年）8 月	5 分別 可燃・不燃・紙・ビン・缶及び指定袋製の全市実施
平成 8 年（1996 年）11 月	6 分別 ・家庭ごみ用指定袋実費負担制度開始（超過量従量型） ・ペットボトル分別収集・資源化開始
平成 16 年（2004 年）4 月	7 分別 プラスチック製容器包装分別回収・資源化開始
平成 21 年（2009 年）10 月	8 分別 ・家庭ごみ処理手数料有料化制度開始（単純従量制） ・剪定枝葉等の分別収集・資源化開始 ・産業廃棄物の市清掃センターへの搬入禁止

図表 1-8 家庭ごみ処理手数料(市が定期収集により運搬・処分するもの)

可燃ごみ	容量が 10 リットル相当の指定袋 1 袋につき	10 円
	容量が 20 リットル相当の指定袋 1 袋につき	20 円
	容量が 30 リットル相当の指定袋 1 袋につき	30 円
	容量が 40 リットル相当の指定袋 1 袋につき	40 円
不燃ごみ	容量が 20 リットル相当の指定袋 1 袋につき	20 円
	容量が 30 リットル相当の指定袋 1 袋につき	30 円
粗大ごみ※	粗大ごみシール 1 枚につき	40 円

※粗大ごみとは、指定袋に収まらない可燃ごみ及び不燃ごみをいう。

(出所:平成 28 年度長野市ごみ処理概要)

## ② 家庭ごみの収集運搬

### ア 旧長野市地域（平成17年（2005年）1月合併以前の旧長野市）

明治33年（1900年）の汚物清掃法施行とともに汚物収集を開始し、昭和29年（1954年）の清掃法施行後、昭和31年（1956年）に清掃車を導入し、市街地を中心とした容器収集対象地域（約2,500世帯）から直営による本格的なごみ収集を実施した。昭和38（1963年）年には、容器収集対象地域の世帯及びごみ量の増加に伴い、収集の一部を事業者委託した。

昭和41年（1966年）には長野市大合併に伴い、収集体制の見直しが行われ、収集範囲を拡大するとともに、昭和43年（1968年）に委託事業者数及び委託体制を大幅に拡充し、併せて直営体制を大幅に削減した。

委託事業者による長野市委託清掃事業協同組合が昭和61年（1986年）に設立され、安定的な収集体制を確保するため昭和62年（1987年）から同組合と委託契約し、現在に至っている。

### イ 豊野地区（平成17年（2005年）1月合併 旧豊野町）

豊野地区における収集運搬は、可燃ごみ、プラスチック製容器包装、剪定枝葉については、平成17年（2005年）の合併以降も非常勤職員による直営体制で実施してきたが、平成28年（2016年）4月から市委託事業者による委託体制で実施している。

不燃ごみ、紙類、缶類については、市委託事業者による委託体制、ビン類、ペットボトルについては北信保健衛生施設組合委託事業者による委託体制で実施している。

### ウ 戸隠、鬼無里、大岡地区（平成17年（2005年）1月合併 旧戸隠村、旧鬼無里村、旧大岡村）

戸隠地区、鬼無里地区、大岡地区における収集運搬は、合併協議により、非常勤職員による直営体制で実施してきたが、平成20年（2007年）4月から市委託事業者による委託体制で実施している。

### エ 信州新町、中条地区（平成22年（2010年）1月合併 旧信州新町、旧中条村）

信州新町地区、中条地区における収集運搬は、合併以前から委託事業者による委託体制で実施しており、合併後も引き続き委託体制で実施している。

図表 1-9 豊野地区以外の地域(ステーション(集積所)方式により、事業者委託による定日収集)

区分	可燃 ごみ	プラスチック 製容器包装	剪定枝葉	不燃 ごみ	紙	ビン 乾電池 家庭灰	缶	ペットボトル
収集回数	週 2 回 または 週 1 回	週 1 回	週 1 回	4 週 1 回	4 週 1 回	4 週 1 回	4 週 1 回	4 週 2 回
ステーション箇所	5, 4 8 4			4, 5 1 1		(計) 9, 9 9 5		
収集時間	8 : 0 0 ~ 1 7 : 0 0							
収集体制	<ul style="list-style-type: none"> <li>戸隠・鬼無里・大岡・信州新町・中条地区を除く地域 委託収集(委託事業者:長野市委託浄掃事業協同組合) パッカー車 3 8 台、平ボディ車 1 2 台、従事者 1 3 2 人</li> <li>戸隠・鬼無里・大岡・信州新町・中条地区 委託収集(豊野・戸隠・鬼無里・大岡・信州新町・中条地区ごとに委託) パッカー車 1 7 台、平ボディ車 1 4 台、従事者 9 9 人(※他地区との兼務を含む)</li> </ul>							

※信州新町地区の一部及び戸隠・鬼無里・大岡・中条地区の可燃ごみの収集は週 1 回

※戸隠・鬼無里・大岡・信州新町・中条地区の剪定枝葉は、サンデーリサイクル会場で拠点回収

図表 1-10 豊野地区(ステーション(集積所)及び拠点方式により、事業者委託または直営による定日収集)

区分	可燃 ごみ	プラスチック 製容器包装	剪定枝葉	不燃 ごみ	紙	缶	ビン	ペットボトル	乾電池 家庭灰
収集回数	週 2 回	週 1 回	週 1 回	月 1 回	月 2 回		月 1 回		随時回収
ステーション箇所	1 2 6			1 2 6		(計) 2 5 2			1 (拠点)
収集時間	8 : 0 0 ~ 1 7 : 0 0								
収集体制	<ul style="list-style-type: none"> <li>委託収集(市が委託) : 可燃ごみ、不燃ごみ、プラスチック製容器包装、紙、缶、剪定枝葉 パッカー車 5 台、平ボディ車 2 台、従事者 2 3 人(※他地区との兼務を含む)</li> <li>委託収集(北信保健衛生施設組合が委託) : ビン、ペットボトル パッカー車 1 台、平ボディ車 3 台、従事者 4 人</li> </ul>								

※乾電池及び家庭灰は、随時指定回収場所(豊野支所)で拠点回収を実施

### ③ 処理施設

#### ア 豊野地区以外の地域(平成22年(2010年)1月合併地区を含む)

可燃ごみは、市清掃センター焼却施設(大豆島地区松岡)で焼却処理し、不燃ごみはセンター内資源化施設で破碎・選別処理し、鉄・アルミの有価物は長野資源協同組合に売却している。

また、プラスチック製容器包装及びペットボトルについては、センター内プラスチック製容器包装圧縮梱包施設で梱包した後、(財)日本容器包装リサイクル協会及び市委託事業者に引渡し、リサイクルしている。

資源物の缶は資源化施設で選別・プレスして長野資源協同組合に売却し、ビンは3色に区分された状態でストックし、無色透明・茶は売却、その他の色は上記協会に引き渡している。

集積所から収集した紙類はそのまま上記組合に搬入し売却している。

剪定枝葉も集積所収集後、委託先の民間資源化事業者へ搬入し、直接センターに持ち込まれる家庭系の剪定枝葉は一旦センター内ストックヤードで受け入れた後、委託先へ搬入して資源化している。

ごみ焼却は大正15年（1926年）6月、現在の芹田地区七瀬に日量約45トンの焼却能力をもつ焼却施設を建設したことに始まる。

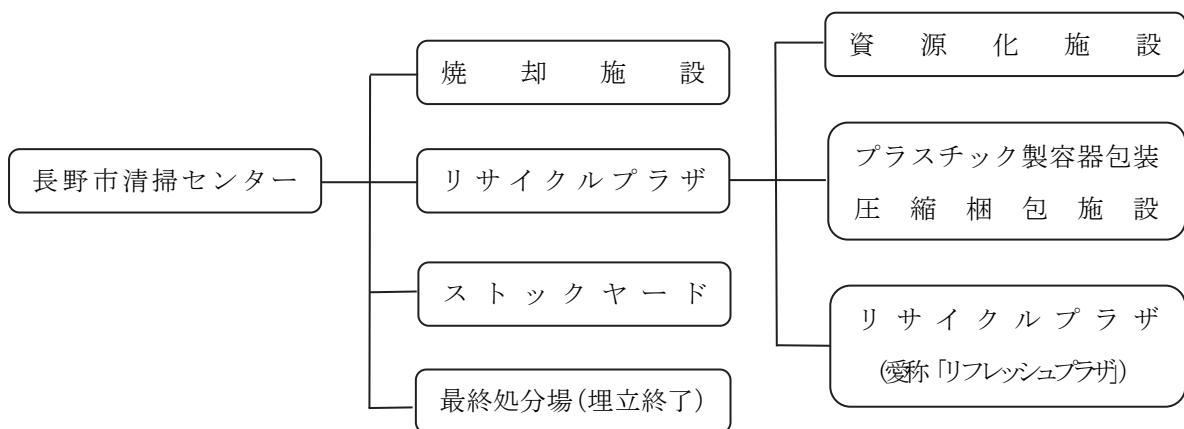
その後、人口増加や施設の老朽化に伴い、昭和37年10月に大豆島地区松岡（焼却能力日量100トン）へ移転し、昭和57年（1982年）1月には旧松岡清掃工場の西側に日量450トンの焼却能力をもつ焼却施設が完成し、現在に至っている。

現在の焼却施設では、余熱利用発電機（当初1,300kw/h、平成21年（2009年）11月より1,450kw/hに改修）による電力で施設内の電気を補い、さらに余熱は大豆島いこいの家で利用されている。また、平成11年（1999年）9月から平成14年（2002年）3月にかけて、新しいダイオキシン類排出基準（平成14年（2002年）12月から適用）にあわせ、焼却施設の燃焼改善及び排ガス処理設備の改修工事を実施した。

資源化処理は、昭和57年（1982年）3月にセンター内に資源物を手選別回収する資源回収工場が建設され、平成8年（1996年）3月に分別収集に対応した施設として、現在の資源化施設（リサイクルプラザ）に建替を実施した。プラスチック製容器包装圧縮梱包施設については、平成16年（2004年）7月に稼動を開始した。

焼却灰及び不燃残渣の埋立については、昭和54年（1979年）に篠ノ井地区小松原（総面積50,600㎡）に最終処分場を設置し、さらに平成4年（1992年）からは隣接する天狗沢（総面積60,461㎡）へ設置し、平成25年（2013年）3月で埋立が終了した。平成25年度（2013年度）から、一部を再資源化し、残りを市外の一般廃棄物処理事業者に埋立処理を委託している。

図表 1-11 長野市が所有する処理施設



## イ 豊野地区

可燃ごみは、北信保健衛生施設組合東山クリーンセンター（中野市）で中野市、山ノ内町、小布施町と共同で焼却処理している。東山クリーンセンターは昭和49年（1974年）から稼働し、平成9年（1997年）に改築した。焼却熱については、余熱利用発電機（110kw/h×2基）による電力で施設内の電気を補い、さらに余熱は施設道路の融雪や中野市農村環境改善センターで利用されている。

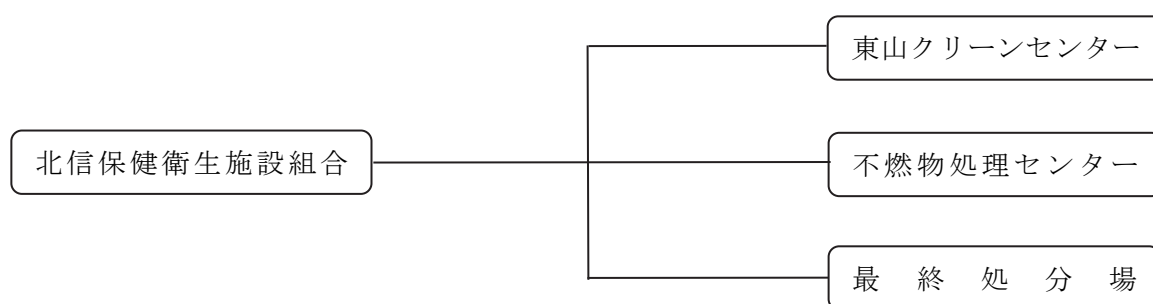
平成21年（2009年）9月まで、豊野地区のみ分別区分のあった埋立ごみについては、北信保健衛生施設組合最終処分場（中野市、総面積18,700㎡）に直接埋立て処理をしていたが、平成21年（2009年）10月家庭ごみ処理有料化制度導入に併せ、分別区分が全市統一されたことから、直接埋立て処理はなくなった。

プラスチック製容器包装については、豊野地区以外の地域とともに、長野市清掃センター内プラスチック製容器包装圧縮梱包施設で中間処理し、リサイクルしている。

平成21年（2009年）9月まで、豊野地区のみ分別区分のあった金属ごみについては、北信保健衛生施設組合不燃物処理センター（下高井郡山ノ内町）で鉄、アルミ、金属類に選別処理した後、北信保健衛生施設組合が資源化処理事業者に売却していたが、埋立ごみと同様に平成21年（2009年）10月に分別区分が統一され、缶類として引き続き前記施設でリサイクルしている。

また、粗大ごみも、平成21年（2009年）10月に分別区分が統一され、その性状により可燃ごみについては北信保健衛生施設組合焼却施設で焼却、不燃ごみについては豊野地区以外の地域とともに長野市清掃センター資源化施設等で処理・処分（前述）している。

図表 1-12 北信保健衛生施設組合処理施設の概要



## (2) ごみ処理経費からみた家庭ごみ処理手数料負担割合

ごみ処理経費におけるごみ処理手数料の負担割合は、現在おおむね9%で推移しており、その負担割合は大きく変化していない。

1世帯当たりの月額負担金は、300円弱で推移し、過度な負担にはなっていない。

また、ごみの分別化・資源化の促進のため、資源物類については無料回収を実施している。

図表 1-14 家庭ごみ処理手数料負担割合

年度	ごみ処理経費①	家庭ごみ処理手数料②	負担割合 ②÷①
H22	3,737,156千円	334,946千円	9.0%
H23	3,667,945千円	326,741千円	8.9%
H24	3,692,882千円	333,663千円	9.0%
H25	3,939,546千円	369,113千円	9.4%

※「ごみ処理経費」とは、啓発、補助事業を含めた処理行政全般に係る事業費（決算ベース）の総額

図表 1-13 一世帯当たりの  
手数料月額負担額

年度	月額負担想定額/世帯
H20	331円
H21	320円
H22	284円
H23	287円
H24	285円
H25	283円
H26	281円

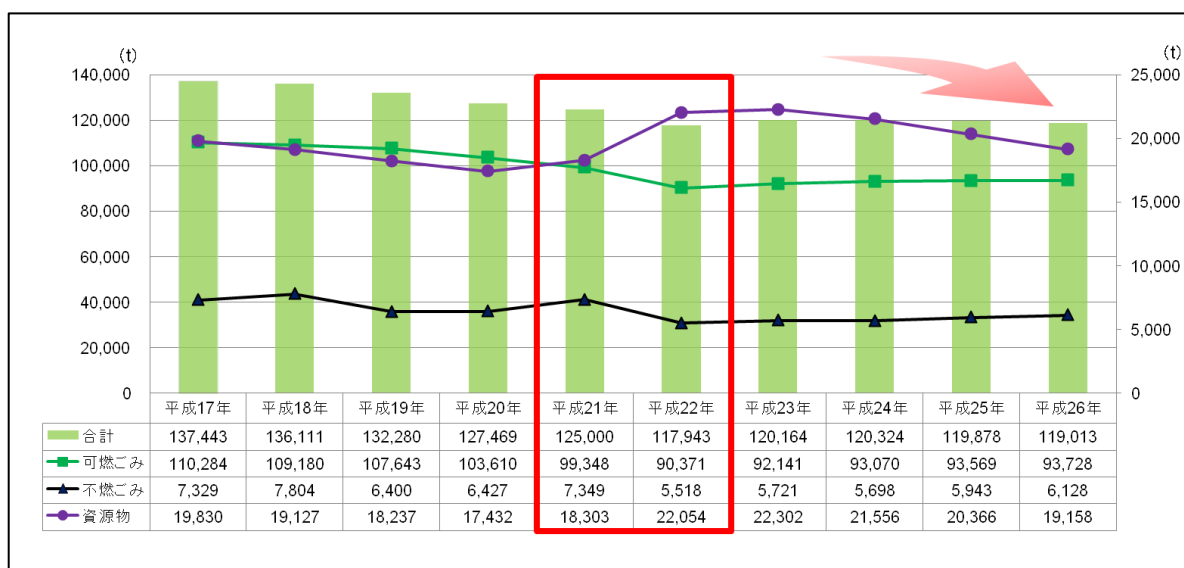
（出所：長野市調べ）

## (3) ごみ搬入量・組成の推移

平成21年度（2009年度）の家庭系ごみ処理手数料の有料化に伴い、ごみの総量及び可燃ごみ量は減少し、資源物は大幅に増加したが、近年、可燃ごみ量は増加し、資源物は減少に転じている。

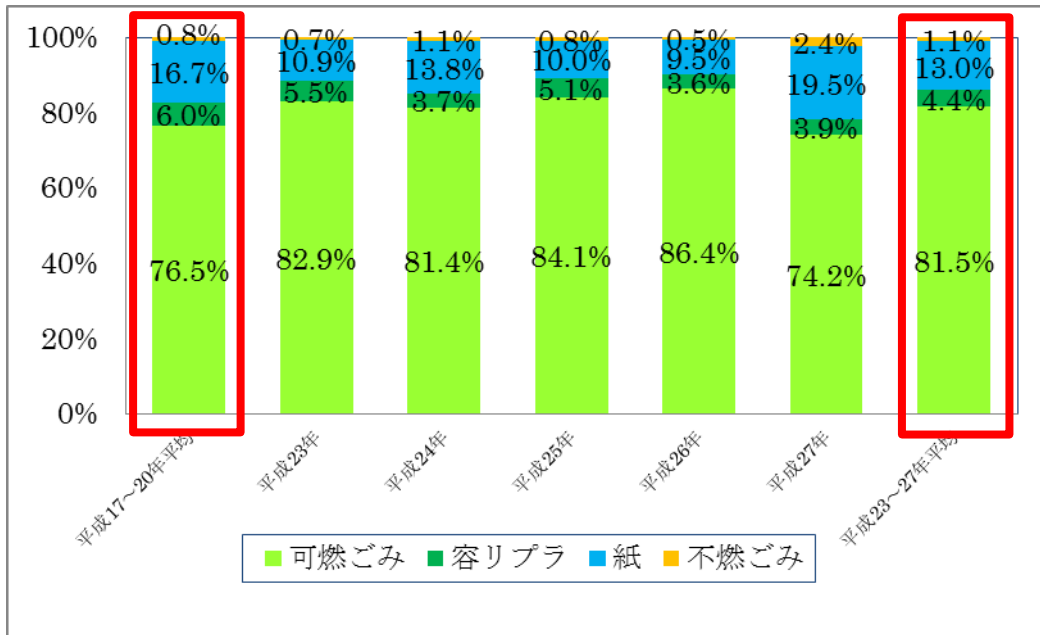
また、可燃ごみ・不燃ごみの資源物混入割合は減少し、より分別化が図られおり、プラスチックの資源化量は年間約3,600t、剪定枝葉の資源化量は年間約6,000tで推移している。

図表 1-15 ごみ収集・搬入量の推移

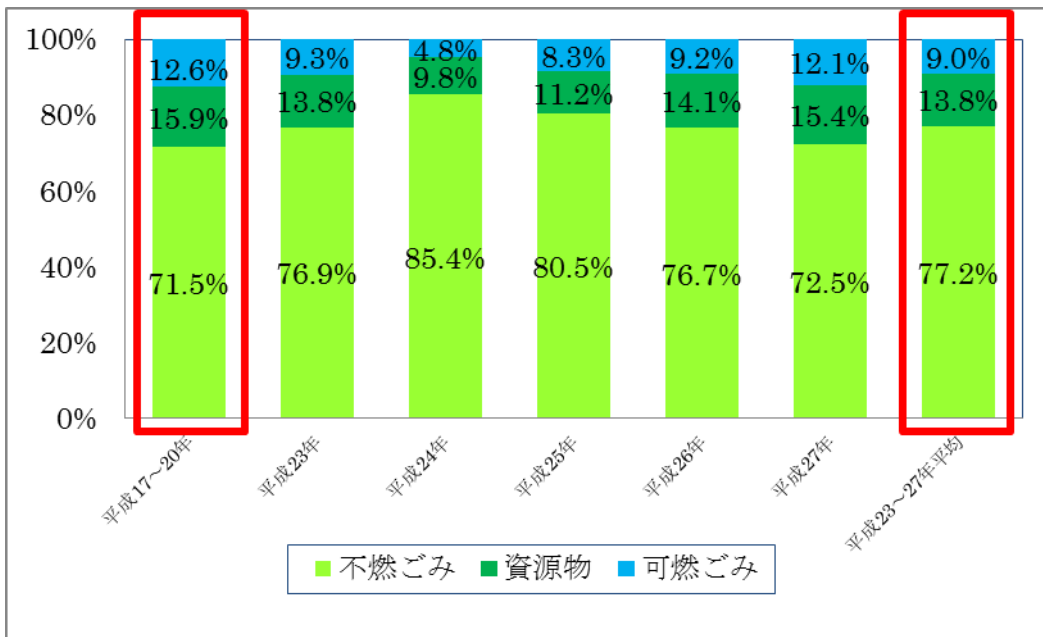


出所：平成27年度長野市ごみ処理概要（平成26年度結果 平成27年11月改訂）

図表 1- 16 可燃ごみの組成分析



図表 1- 17 不燃ごみの組成分析

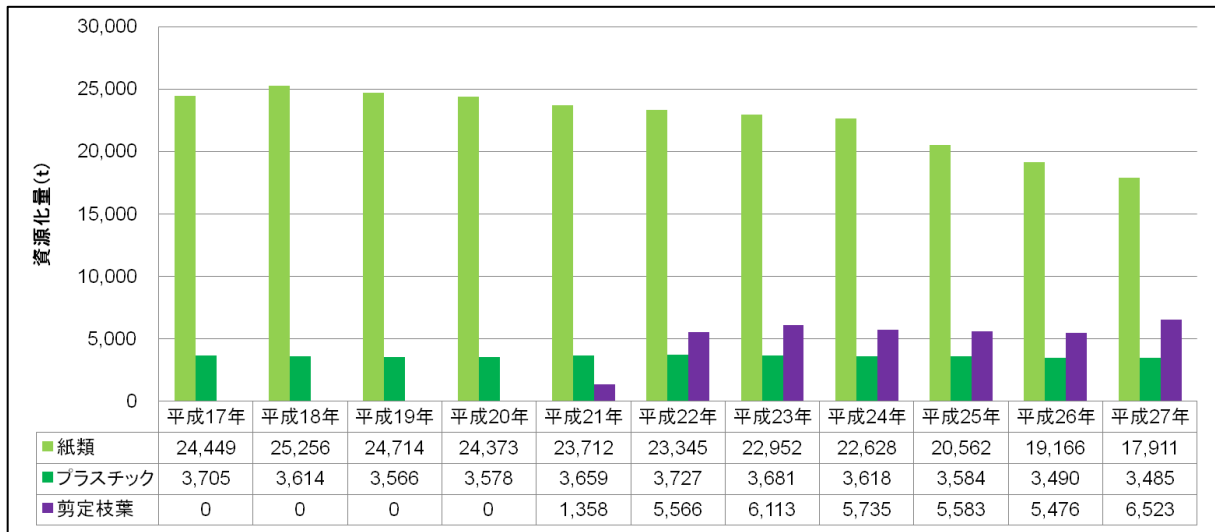


出所: H27 長野市廃棄物減量等推進審議会

(第3回一般廃棄物処理手数料(し尿を除く)改定専門部会 参考資料2)  
 (第1回一般廃棄物処理基本計画策定専門部会 資料2)



図表 1- 18 資源物上位 3 品目の回収実績の推移



(出所:平成 28 年度長野市ごみ処理概要(平成 27 年度結果 平成 28 年 10 月改訂))

\* 紙類には集団資源回収量も含む。

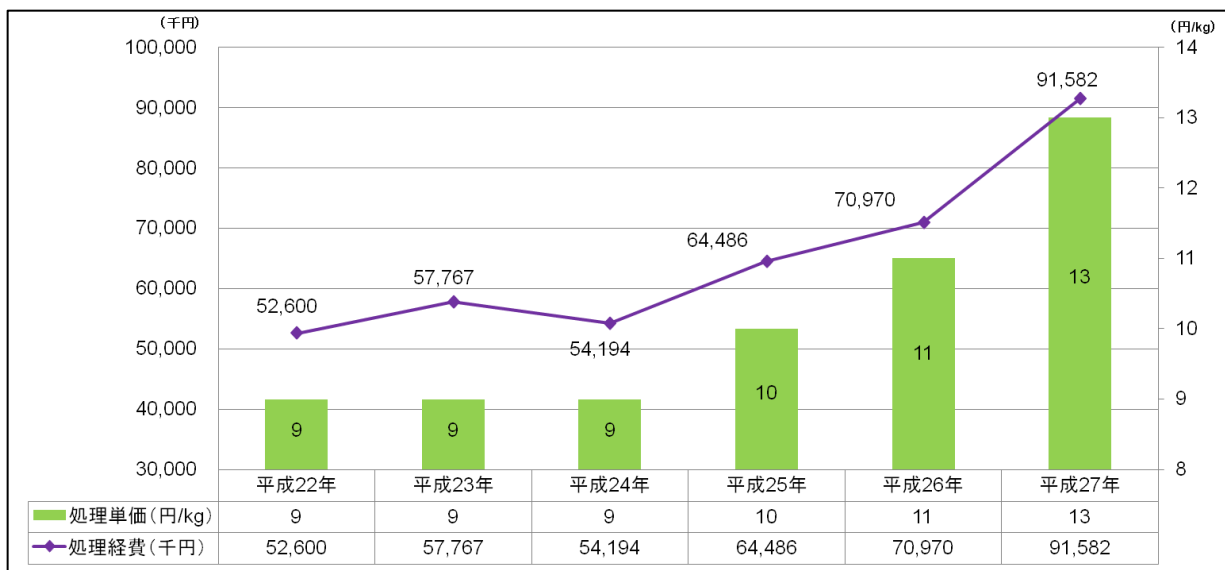
(4) 現状の問題点

資源物として無料で回収されている剪定枝葉は、市内民間事業者 2 社に委託処理され、堆肥・土壌改良剤などとして利用されるほか、チップ化され、民間木質バイオマス発電所の燃料として利用されている。

処理費用は、処理単価の上昇に伴い、年々増加傾向にあり、平成 27 年度 (2015 年度) の処理費用は、平成 22 年度 (2010 年度) と比較して 1.74 倍になっている。

このため、今後はさらにリサイクル率を高めつつコスト削減をしていくことが喫緊の課題であり、厳しい財政状況を鑑み、より効果の高い持続可能な事業へ展開していくことが望まれる。

図表 1- 19 剪定枝葉処理経費の推移

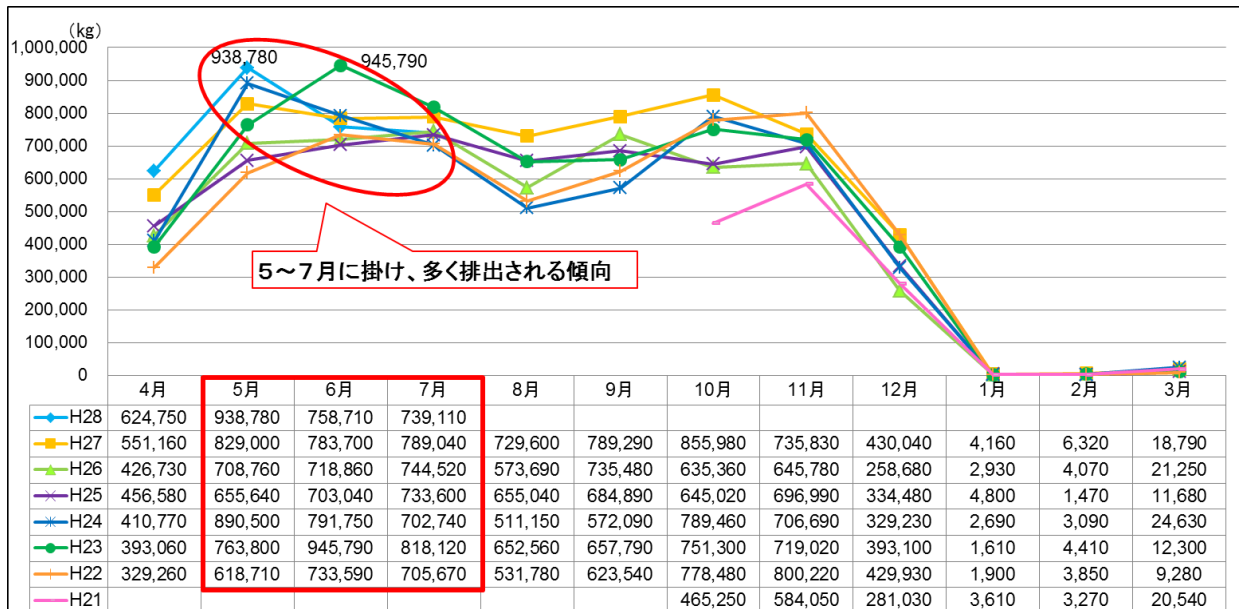


(出所:平成 28 年度長野市ごみ処理概要(平成 27 年度結果 平成 28 年 10 月改訂)を基に作成)

図表 1- 20 は、剪定枝葉における月別の回収状況を示したグラフである。

冬季（1～3月）期間は、回収作業を行っていないため、回収量は激減するが、清掃センターへの直接搬入は実施している。

図表 1- 20 剪定枝葉の月別回収量



(出所：長野市調べ)



## 第2章 バイオエタノール化技術の進展と市場動向



## 第2章 バイオエタノール化技術の進展と市場動向

### 1. バイオエタノール化進展の背景

地球温暖化の危機が叫ばれる中、昭和60年（1985年）10月のフィラハ会議（オーストリア）にて、地球温暖化に関する初めての世界会議が開催されて以降、平成9年（1997年）12月に京都で開催された第3回気候変動枠組条約締約国会議で、地球温暖化の原因となる温室効果ガスの一種である二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）、メタン（CH<sub>4</sub>）等について、先進国における削減率を平成2年（1990年）を基準として各国別に定め、共同で約束期間内に目標値を達成することとし、日本でも平成2年（1990年）に比し、「-6%」の削減目標が設定された。

この削減目標の実現に向けて、日本政府においても、長期的な低炭素社会・経済に向けた戦略の構築が急務となり、温室効果ガスの排出量の少ない「バイオマス」が一躍注目を浴びることとなった。

環境負荷の少ない持続可能な社会を構築すべく、平成21年（2009年）9月に「バイオマス活用推進基本法」が施行され、バイオマスの利用拡大、バイオマス新産業の規模、バイオマス活用推進計画の策定を評価軸に、平成32年（2020年）に国が達成すべき目標値を策定した。

また、平成24年（2012年）9月には、バイオマス事業課戦略が策定され、バイオマス産業を軸とするまちづくり・むらづくり（バイオマス産業都市）の推進が記載された。

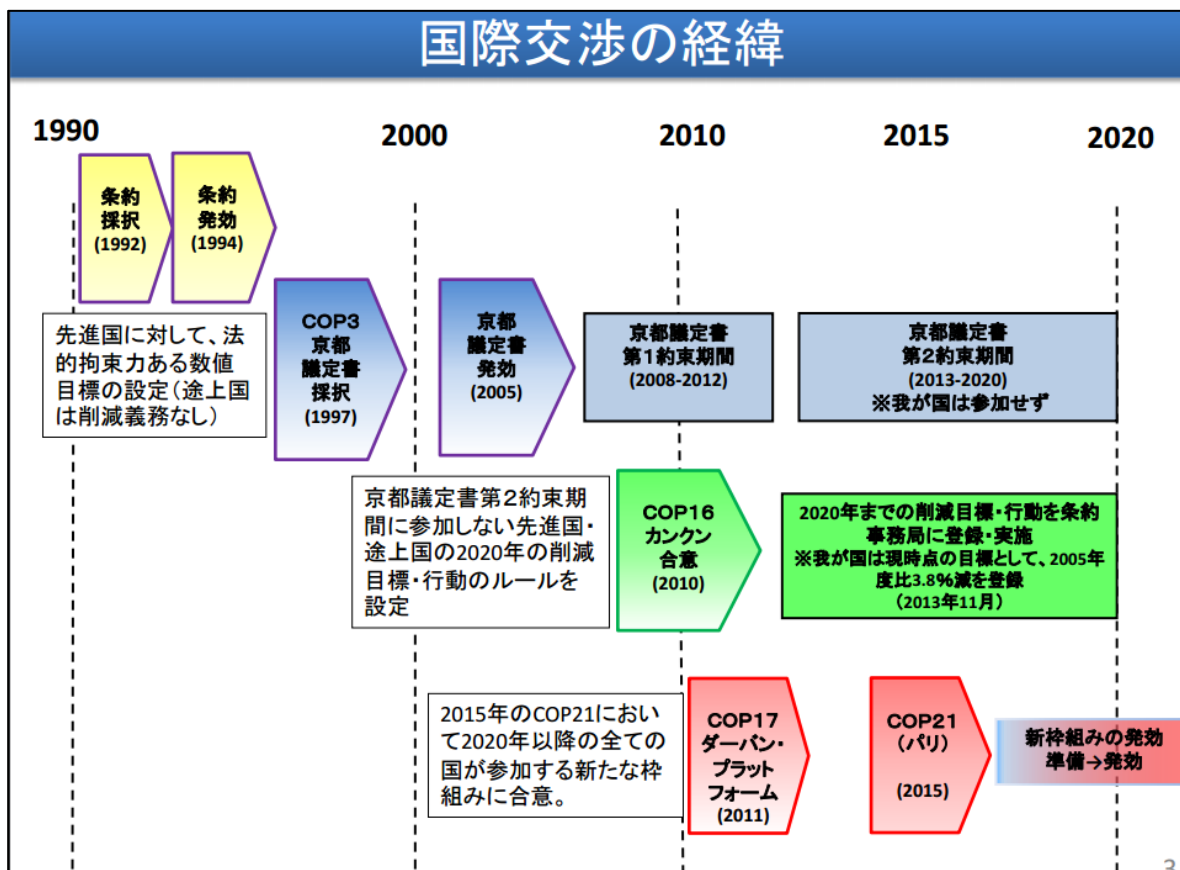
これらにより、多くの自治体でバイオマスを利用した発電事業等の動きが活発化した。

中国やインドでの経済成長や自動車の普及により、原油価格の急騰もあって、バイオ燃料への投資が世界的に拡大傾向になったほか、日本国内においても、バイオエタノールを含むバイオマスエネルギーの利用促進に向け、平成19年度（2007年度）から、北海道十勝地区や沖縄県宮古島等6地域において各種植物からのエタノール製造とE3（エタノール混合率3%ガソリン）の実証走行試験が進められた。

そしてさらなる持続可能な社会の実現に向け、平成27年（2015年）12月にフランス・パリで開催された国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（以下「COP21」という。）において、平成32年（2020年）以降の温暖化対策の国際的枠組みである「パリ協定」が正式に採択され、世界の平均気温上昇を産業革命前と比較して2°C未満に抑えることに加え、1.5°Cに気温上昇を抑制する努力目標が設定された。


これらの目標を達成するために、21世紀後半までに人間活動による温室効果ガスの排出量を実質的に「ゼロ」にする方向性が打ち出され、世界全体の削減目標を設定したことに加え、開発途上国・新興国にも温暖化対策への自主的な取組が求められることになった。日本においても、平成42年（2030年）までに、平成25年（2013年）に比し、26%の温室効果ガス削減の目標が定められた。

図表 2- 1 COP21 の成果と今後



## COP21におけるパリ協定の採択

- COP21(11月30日～12月13日、於:フランス・パリ)において、「パリ協定」(Paris Agreement)を採択。
  - ✓ 「京都議定書」に代わる、**2020年以降の温室効果ガス排出削減等のための新たな国際枠組み**。
  - ✓ 歴史上はじめて、**すべての国が参加する公平な合意**。
- 安倍総理が首脳会合に出席。
  - ✓ **2020年に現状の1.3倍の約1.3兆円の資金支援を発表**。
  - ✓ 2020年に1000億ドルという目標の達成に貢献し、合意に向けた交渉を後押し。



- パリ協定には、以下の要素が盛り込まれた。
  - ✓ 世界共通の**長期目標として2℃目標の設定**。1.5℃に抑える努力を追求することに言及。
  - ✓ 主要排出国を含む**すべての国が削減目標を5年ごとに提出・更新**。
  - ✓ 我が国提案の二国間クレジット制度(JCM)も含めた**市場メカニズムの活用**を位置付け。
  - ✓ **適応の長期目標**の設定、各国の**適応計画プロセスや行動の実施**、**適応報告書の提出と定期的更新**。
  - ✓ 先進国が資金の提供を継続するだけでなく、**途上国も自主的に資金を提供**。
  - ✓ **すべての国が共通かつ柔軟な方法で実施状況を報告し、レビューを受けること**。
  - ✓ 5年ごとに**世界全体の実施状況を確認する仕組み**(グローバル・ストックテイク)。

## 今後の対応 (12月22日 地球温暖化対策推進本部決定)

### I. 国内対策の取組の方針

#### 1. 地球温暖化対策計画の策定

来春までに地球温暖化対策計画を策定。中央環境審議会・産業構造審議会の合同会合を中心に検討。

#### 2. 政府実行計画の策定

政府は来春までに、先導的な対策を盛り込んだ政府実行計画を策定。率先して取組を実施。

#### 3. 国民運動の強化

政府が旗振り役となって地球温暖化防止国民運動を強化。地方公共団体、産業界、全国地球温暖化防止活動推進センター、NPO等多様な主体が連携し、情報発信、意識改革、行動喚起を進める。

### II. 美しい星への行動2.0(ACE2.0)の実施

#### 1. 途上国における気候変動対策の実施

2020年に、途上国において、官民合わせて年間約1兆3,000億円(現在の1.3倍)の気候変動関連事業を実施。

#### 2. エネルギー・環境イノベーション戦略の策定

春までに「エネルギー・環境イノベーション戦略」を策定。革新的技術の開発について集中すべき有望分野を特定し、研究開発を強化。

### III. パリ協定の署名・締結・実施に向けた取組

パリ協定の実施に向けて国際的な詳細なルールの構築に我が国としても積極的に貢献していくとともに、我が国の署名及び締結に向けて必要な準備を進める。

40

## パリ協定に関する今後の予定①

※ COP決定に記載されている各種スケジュール

2016年

- 4月22日～翌年4月21日までパリ協定を署名のため公開 (4月22日署名式)
- 5月2日まで 約束草案の統合報告書の更新(4月4日までの提出分が対象)
- 5月16～26日 補助機関会合: 併せて「パリ協定に関する特別作業部会」を開催?  
前半: 約束の暫定公的登録簿を準備
- 11月7～18日 締約国会合(COP22)・補助機関会合  
: 資金源の拡大機会特定のための促進的対話を実施。

- 2016-2020年: 「2020年までの行動強化」として
  - ・緩和の技術的検証プロセス(TEP)を継続・強化
  - ・2020年までに官民合わせて年間1000億ドル目標に向けたロードマップ・資金拡充
  - ・適応の技術的検証プロセスを開始

#### 詳細ルール等の検討

- ※各国の約束、アカウンティング、透明性枠組み(2018年まで)等
- ・パリ協定に関する特別作業部会
- ・補助機関会合 等で検討

↓

パリ協定第1回締約国会議で検討・採択

2018年

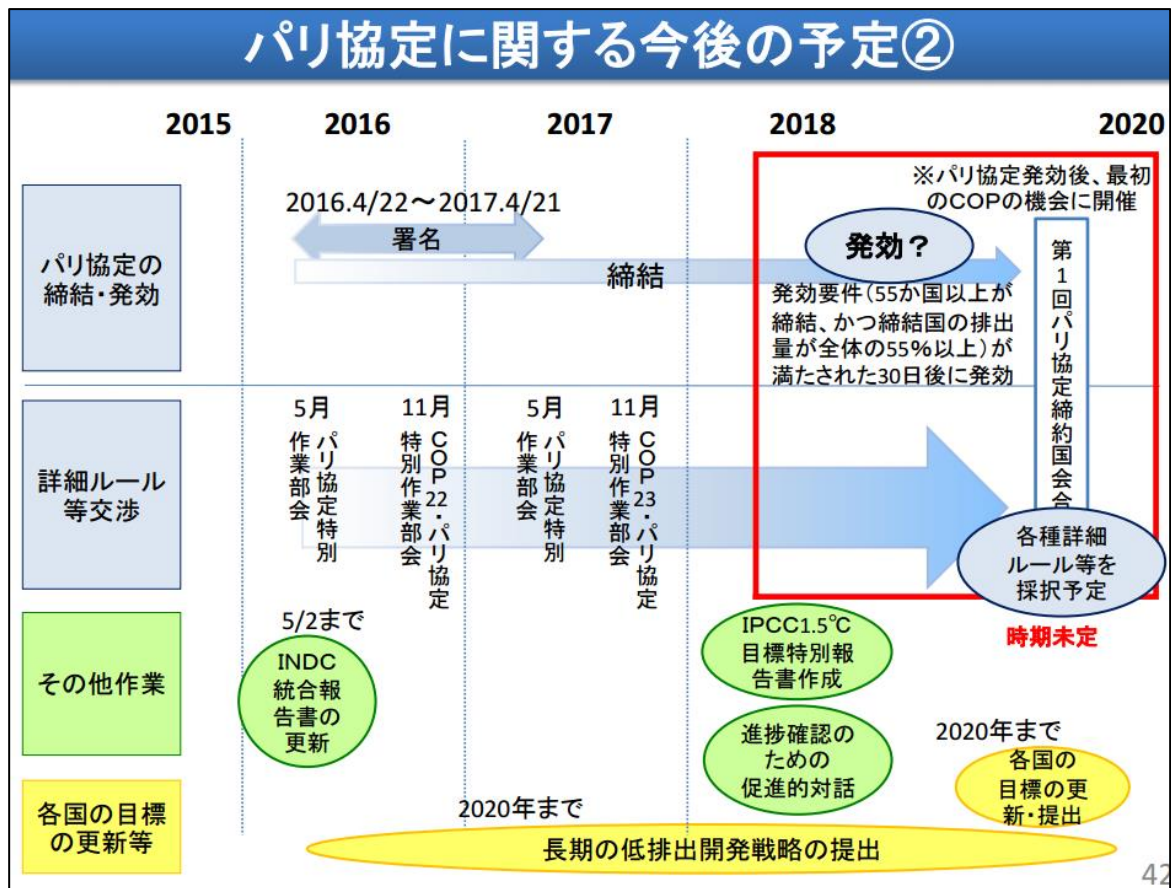
- ・「促進的対話」を実施: 緩和の長期目標の進展等に関する全体の努力の進捗を確認
- ・IPCCが1.5°C上昇の影響等に関する特別報告書を作成

2020年

- ・2020年までに削減目標を提出又は更新(COPの少なくとも9～12ヶ月前)
- ・2020年までに長期の温室効果ガス低排出開発戦略を提出

41





42

## 地球温暖化対策に関する当面の課題

- ### 1. パリ協定の早期署名と締結、実施に向けた取組

  - 全ての国が参加する公平かつ実効的な国際枠組みとして採択された「パリ協定」の実施に向け、**国際的な詳細ルールの構築に積極的に貢献**していくとともに、我が国の**早期署名及び締結に向けて必要な準備**を進める。
  - 途上国支援、イノベーションからなる新たな貢献策「**美しい星への行動2.0**」の実施に向けて取り組む。
- ### 2. 地球温暖化対策計画・政府実行計画の策定、実施

  - 日本の約束草案を確実に実現するため、**今春までに地球温暖化対策計画を策定**。  
 ※我が国のエネルギー起源CO2排出量の4割を占める電力部門について、**電力業界全体でCO2排出削減に取り組む実効性のある枠組みの早期構築**が必要。  
 ※**環境大臣を先頭に各省一体となって国民運動を強化**。地方自治体、産業界、民間団体等多様な主体が連携し、情報発信、意識改革、行動喚起を推進。
  - 庁舎へのLED照明の率先導入等、先導的対策を盛り込んだ**政府実行計画を今春までに策定**。
- ### 3. 気候変動の影響への適応計画の実施

  - 平成27年11月、我が国として初めて策定した「**気候変動の影響への適応計画**」を着実に実施。
- ### 4. 2050年、さらにその先を見据えた長期的・戦略的な取組

  - 世界共通の長期目標となった2℃目標の達成に貢献するため、G7エルマウ・サミット首脳宣言（昨年6月）やパリ協定において盛り込まれた、**長期的な低炭素戦略の策定に向けた検討に着手**。

(出典: 環境省地球環境局国際地球温暖化対策室 COP21 の成果と今後 平成 28 年 12 月)

([https://www.env.go.jp/earth/ondanka/cop21\\_paris/paris\\_conv-c.pdf](https://www.env.go.jp/earth/ondanka/cop21_paris/paris_conv-c.pdf))

温室効果ガスの削減ため、日本政府においても、さらなるバイオマスの利用は急務であり、将来的に実現すべきバイオマスの活用が進んだ社会の姿の実現に向け、「環境負荷の少ない持続的な社会」、「農林漁業・農山漁村の活性化」及び「新たな産業創出」という3つの観点から、それぞれバイオマスの利用拡大、バイオマス活用推進計画の策定、バイオマス新産業の規模に関する目標を設定している。

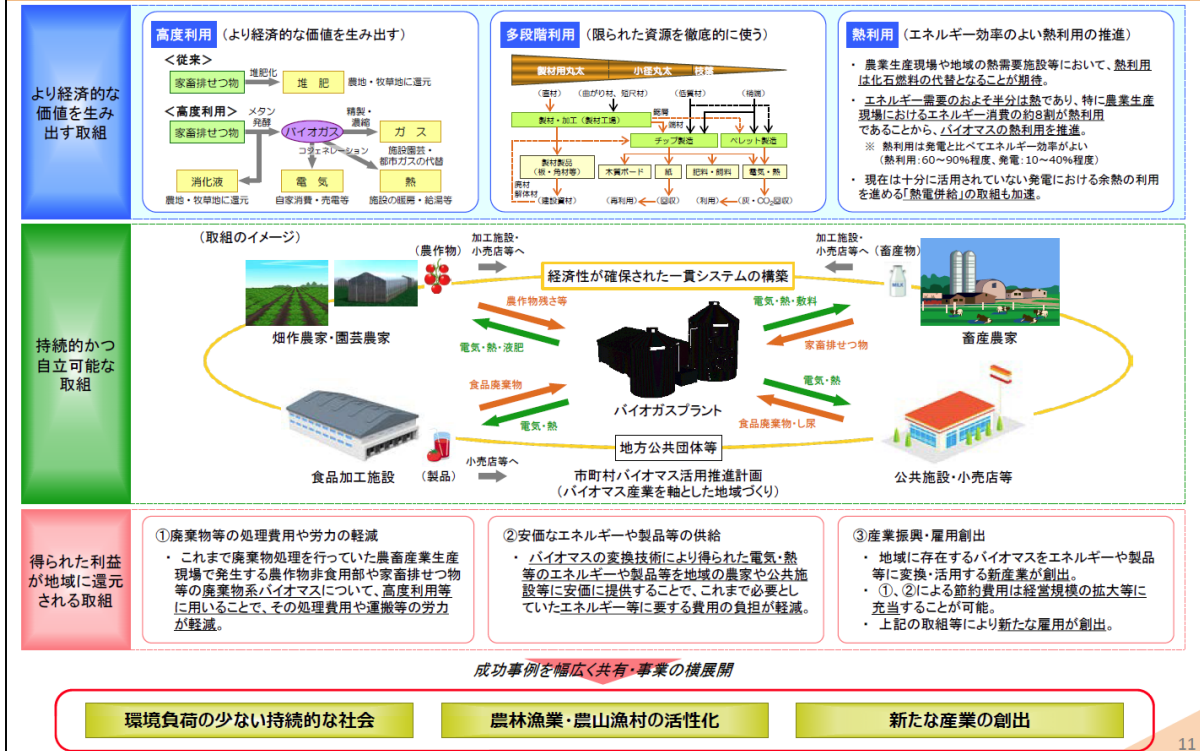
農山漁村に豊富に存在するバイオマスの活用は、地域の1次産業としての農林漁業とこれに関連する2次・3次産業に係る事業を融合させることによって地域ビジネスの展開と新たな業態の創出を促す「農山漁村の6次産業化」の重要な取組の一つとして、その取組に対し、国も支援していく方針である。

図表 2-2 バイオマス活用推進基本計画の改定について



## 6. 新たなバイオマス活用推進基本計画によって目指す姿

農林水産省  
食料産業局



(出典:バイオマス活用推進基本計画の改定について 農林水産省 食料産業局 平成 28 年 9 月)より抜粋

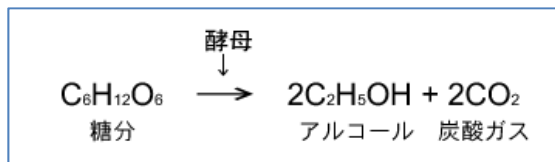
([http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b\\_suisin/attach/pdf/160908-2.pdf](http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_suisin/attach/pdf/160908-2.pdf))

## 2. バイオエタノール化技術の進展

### (1) 第一世代から第二世代へ

一般的なバイオエタノールの製造方法は、サトウキビ等のバイオマス資源から、デンプンやセルロース等の多糖類を抽出し、硫酸等の化学薬品や熱分解、酵素によって、グルコース等の単糖類に分解（以下「糖化」という。）した後、酵母の発酵作用によりエタノールに変換（以下「発酵」という。）する手法である。酵母の発酵作用を用いる点では、一般的な酒造業と同じ製法である。

図表 2-3 アルコール発酵の化学式



また、バイオエタノールの製造法は、次の 2 種類がある。

第一世代型：サトウキビやトウモロコシ等の食糧由来素材からエタノールを製造する手法

第二世代型：木くずやシュレツダーダスト等の非食糧由来素材からエタノールを製造する手法



第一世代型は、大抵の穀物を原料として利用出来ることから、安い穀物や廃棄するような穀物を使うことでコストを抑えることができるため、穀物を大量に生産するアメリカやブラジルでの製造が進んでいる。

しかし、天候により作物の生産量が左右されるほか、食糧競合による穀物市場への影響が懸念されることから、食糧と直接競合しない第二世代型のバイオエタノール製造技術の開発へと研究は進められている。酵母発酵技術で優れている日本においても第二世代の研究が進められた。

## ① バイオエタノールの製造工程

第一世代型及び第二世代型に限らず、一般的なバイオエタノールの製造工程は、下図に示したように、

- I. 前処理：バイオマスを粉砕し、セルロース等の「多糖類」を糖化反応させやすくする
- II. 糖化：化学薬品や熱分解、酵素等を用いて多糖類をグルコース等の「単糖類」に分解
- III. 発酵：酵母による発酵作用で単糖類をエタノールに変換
- IV. 蒸留：不純物を除去し、エタノールのみを抽出



バイオエタノールの製造には、4つの工程を考慮する必要があり、各工程でのコスト試算が重要な鍵となる。

原料を効率良く糖化・発酵させ、より多くのエタノールを製造するには、原料からセルロースを効率良く抽出するのと同時に、酵素との接触回数を増やす必要がある。

そのためには、原料をなるべく細かく粉砕し、表面積を大きくする必要があり、それにより原料と酵素の接触回数を増やすことができ、最終的にエタノールの製造効率の向上が期待できる。

よって、バイオエタノールの製造においては、この「前処理」工程の最適化が重要なポイントとなる。

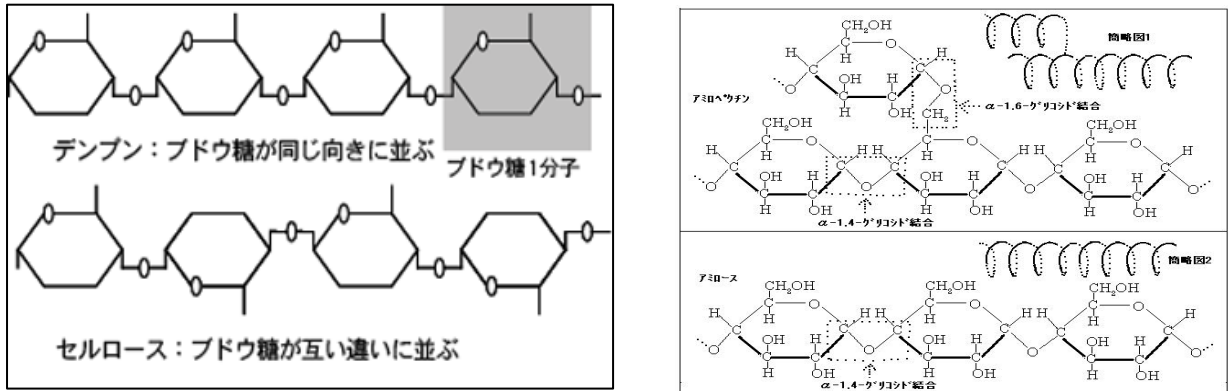
第一世代と第二世代での「素材」の違いは、糖化する原料及び「リグニン(※)」の含有にある。

第一世代で扱う食糧由来素材の糖類は「デンプン」であり、アミロペクチンとアミロースより構成され、その構造は螺旋状をしている。

一方、第二世代で扱う非食糧由来素材の糖類は「セルロース」であり、その構造は直線的で、植物の細胞壁の主成分にもなっている。

(※) リグニン：図表 2-5 のようにリグニンは、植物の細胞壁と細胞壁を結合させる、接着剤のような役割を持つ。鉄筋コンクリートに例えて、鉄筋がセルロース、鉄筋を結ぶ針金がヘミセルロース、コンクリートがリグニンといわれている。

図表 2-4 デンプンとセルロースの構造の違い

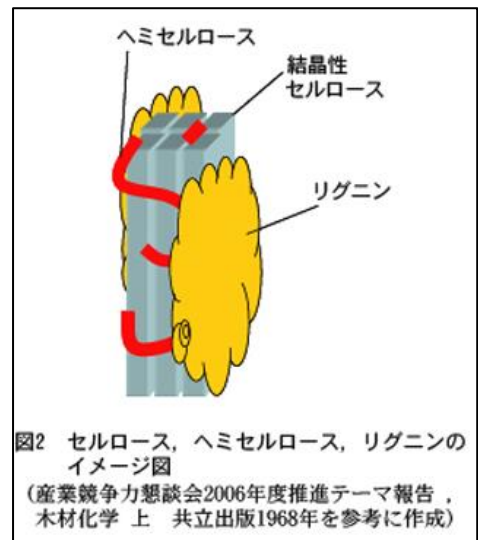


例えば木材の構造を見ると、一般的に多糖類であるセルロース（約 50%）、ヘミセルロース（約 20%）及び芳香族高分子であるリグニン（約 30%）から構成されている（成分比率の誤差幅は±10%程度）。

木材の細胞の構造を説明したものが図表 2-5 であり、原料となるセルロースはリグニンに覆われており、木材からエタノールを製造するには、原料となる「セルロース」の抽出が不可欠であり、「リグニン」の分離が重要となる。

この「リグニン」を効率良く分離し、セルロースを抽出する方法の研究が進められている。

図表 2-5 木材の構造図



## ② 国内におけるバイオエタノール事業化への取組

日本国内においては、農林水産省の支援の下、平成 19 年度（2007 年度）より全国 3 地区（北海道清水町（事業実施主体：北海道バイオエタノール㈱）、北海道苫小牧市（同：オエノンホールディングス㈱）、新潟県新潟市（同：全国農業協同組合連合会））において、国産バイオエタノール生産に係る原料調達からエタノールの製造・販売までの一貫システム構築のための事業化に向けた実証実験が進められた。

しかしながら、北海道バイオエタノール㈱とオエノンホールディングス㈱の 2 社については、自立化・事業化の見通しが立たず、平成 26 年度（2014 年度）でバイオエタノール事業から撤退することとなった。

## (2) 製造コスト削減に向けた取組

第一世代と第二世代の違いは、糖化する原料及び「リグニンの分離」にあることは既に述べた。

第一世代における国内実用化での経済性の課題を考えると、事業化に向けては「リグニン分離」に関わるコストの増加が大きな壁となることは明白である。

実際に、国内でバイオエタノール事業が自立化されないのは製造コストが高いためであると指摘されており、特に、木材等からバイオエタノールを製造する第二世代型の製造法においては、「前処理」工程の最適化が課題となる。

各国において前処理技術の研究が推し進められており、現在では図表 2-6 のような手法が存在している。

図表 2-6 前処理工程の手法とその利点と課題

前処理方法	糖化率	利点		課題		
		単純処理	樹種依存性 低	消費電力 高	ストックード <sup>①</sup> の 確保	
粉砕処理	高	単純処理	樹種依存性 低	消費電力 高	ストックード <sup>①</sup> の 確保	
蒸煮処理	中～高	パルプ化技術 応用		薬品回収	廃液処理	樹種依存 性 有
爆砕処理	中～高	比較的単純処理		高耐圧施 設	熱回収	樹種依存 性 有
水熱処理	中	使用媒体は水 のみ	単糖化可能	過分解の 発生	熱回収	樹種依存 性 有
薬品処理	高	比較的単純処 理	環境影響度 低	薬剤コス ト	ストックード <sup>①</sup> の 確保	廃液処理

(出所: バイオ燃料を木材からナノテクで生産するーセルロースの構造特性を利用した酵素糖化前処理技術ーより加筆編集)

粉砕処理は木材等の原料を 0.1 mm 程度まで細かく砕くことでセルロースとリグニンを分離させる方法である。単純な方法であるが高性能な粉砕機を長時間運転する必要がある。

蒸煮処理は木材等を高温で煮沸しつつ薬品等の投与によりリグニンを分離する方法である。煮沸で煮出した後の溶液から薬品成分を回収する必要もある。

爆砕処理はポン菓子のように高圧炉で圧縮したものを一気に解放することで木材等の原料を粉砕させ、リグニンごと分離する方法である。

水熱処理は水熱でバイオマス細胞膜内に熱水を浸透させ一気に減圧することで得られる膨張エネルギーでリグニンを粉砕・分離する方法である。

薬品処理は過酸化水素水や水酸化ナトリウムを使ってリグニンを溶解して除去する方法である。薬品の費用のほか、働きを最適化するための温度管理や溶解まで時間を要するなどの問題がある。

各手法には利点と課題があり、電力、熱源、排水処理、施設整備等は共通の課題として、全体的な製造コストに大きく影響する。

前処理技術によっては、樹種への依存性も認められるため、何を原料にするかにより、最適な前処理方法を選択する事が重要であり、最適化を検証することで、製造コストの削減効果が期待できるものと考えられる。

### (3) 先進的な前処理技術の取組

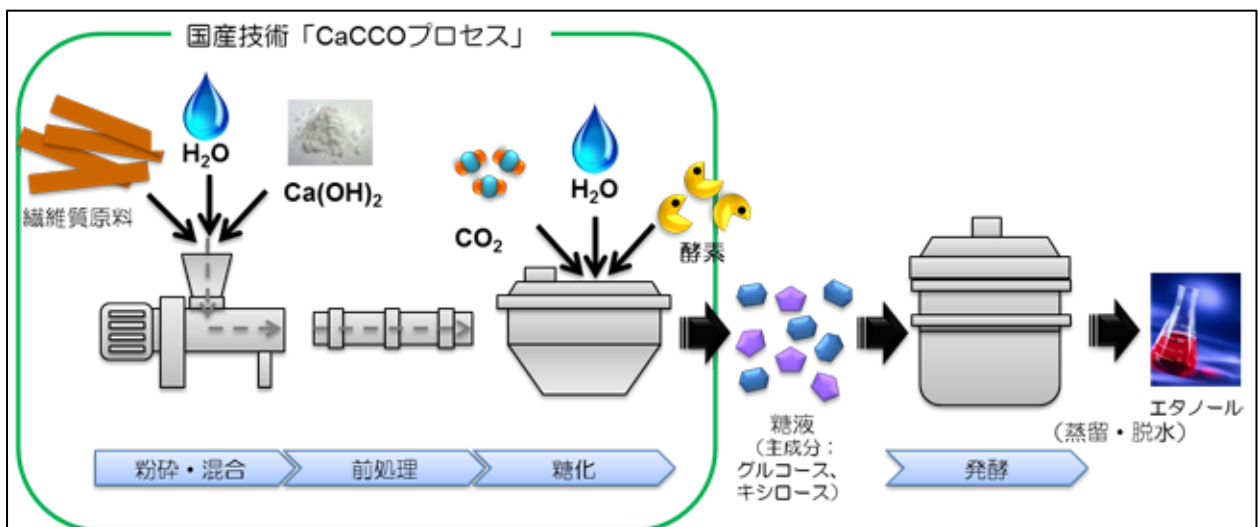
そこで、コスト削減につながる前処理技術に関する先進的な事例として実証実験等事業化を想定した取組として CaCCO プロセスと複合メカノケミカル処理技術について触れておく。

#### (3)-1 CaCCO (カッコ) プロセス

平成 22 年 (2010 年) 12 月に閣議決定された「バイオマス活用推進基本計画」には、平成 32 年 (2020 年) を目標年として、炭素量換算で約 2,600 万トンのバイオマス利用や新たな市場創出等の目標が記載されている。この目標を達成するためには、農山漁村で豊富に得られる草本からバイオ燃料等を製造する技術の開発が不可欠であることから、農林水産省では、国内に賦存するバイオマスを活用し、農山漁村地域におけるエネルギーの地産地消を推進する観点から、草本を利用したバイオエタノールの低コスト・安定供給技術を開発することとし、平成 24 年度 (2012 年度) から、国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 (以下、「農研機構」という。) において委託プロジェクト研究「地域資源を活用した再生可能エネルギーの生産・利用のためのプロジェクト」(草本を利用したバイオエタノールの低コスト・安定供給技術の開発)を推進している。

農研機構では、稲わらの収集・貯蔵技術の開発、資源作物の作出等の研究テーマに加えて、年産 1.5 万kl規模での国産バイオエタノール製造に向けた CaCCO プロセスの改良・技術評価を行っている。

図表 2-7 CaCCO プロセスによる糖液製造とエタノール製造の概要



(出典: 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構HPより抜粋)

([http://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/press/laboratory/nfri/048872.html](http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/press/laboratory/nfri/048872.html))

図表 2- 8 一貫試験でのエタノール製造プロセス評価結果

		Run 2014-6	Run 2014-7	Run 2014-8	Run 2014-2	Run 2014-3
原料		稲わら (コシヒカリ)	稲わら (コシヒカリ)	稲わら (コシヒカリ)	エリアンサ ス(JEC1)	ススキ (塩塚)
条件	前処理	Ca(OH) <sub>2</sub> (対原料)	10 % (w/w)	10 % (w/w)	10 % (w/w)	15 % (w/w)
	加熱条件	95°C, 1h	120°C, 1h	95°C, 1h	120°C, 1h	120°C, 1h
酵素量	糖化時	Cellulase (/g-BM)	5.8 FPU	5.8 FPU	9.1 FPU	9.3 FPU
	発酵時	BGL (/g-BM)	3.3 CbU	3.3 CbU	3.3 CbU	3.7 CbU
		BXL (/g-BM)	0.6 XU	0.6 XU	0.6 XU	0.7 XU
結果	糖化	可溶化率	65 %	65 %	72 %	78 %
	発酵 (SSF)	EtOH生産量 (/kg-BM)	0.20 L	0.20 L	0.21 L	0.24 L
		EtOH収率(対原料)	51 %	54 %	60 %	64 %

(出典: 農林水産省委託プロジェクト研究「地域資源を活用した再生可能エネルギー等の利活用」  
草本を利用したバイオエタノールの低コスト・安定供給技術の開発【成果発表会予稿集】, 91 頁)

CaCCO プロセスの特徴は、小規模バイオエタノール製造のための国産技術として農研機構で研究開発を進めてきたものであり、本プロセスは、地域の多様な原料を使って糖液を製造できるよう、以下に示すような簡素な技術となっている。

原料の前処理には「湿式粉碎技術」を導入したことにより、原料を乾燥する必要がなくなり、原料は 13mm 程度に磨り潰すように粉碎する。

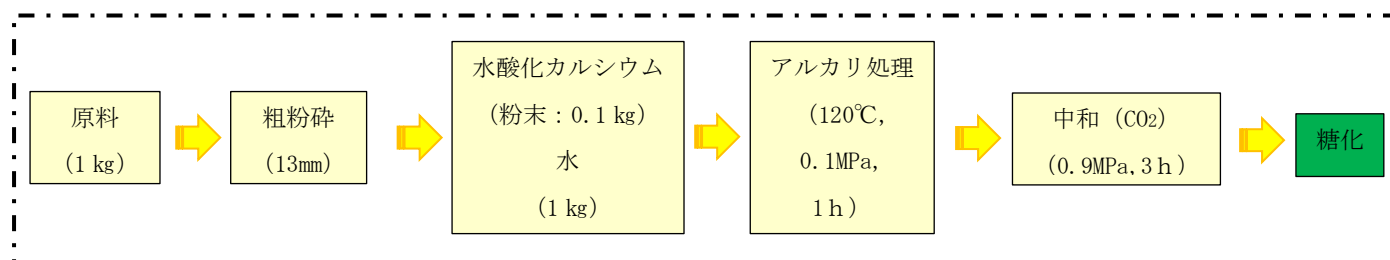
粉碎処理後、水酸化カルシウムと水を添加し、120°C、0.1MPa、1 時間の条件でアルカリ処理を行い、原料中の細胞壁構造を変えて酵素分解性を向上させる。添加量の割合は、原料 1kg に対し、原料：水酸化カルシウム：水=1：0.1：1 である。

アルカリ処理後に、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) を注入し中和反応を行う。

この際、系内の CO<sub>2</sub> 分圧に応じて pH が変動し、CO<sub>2</sub> 分圧 0.9MPa の条件下では糖化酵素が働ける pH 範囲内である pH5.0±0.5 となる。

CaCCO プロセスにおける前処理工程のフロー図を以下に示す。

図表 2- 9 CaCCO プロセスにおける前処理工程フロー図





原料の前処理時に湿式粉碎技術を導入し、濡れた稲わら等高い水分量の原料も扱えるようにすることにより、原料を乾燥することなく処理する流れである。

また、水酸化カルシウムは、農業資材、食品添加物などとして使われるアルカリであり、中和に必要な二酸化炭素は、エタノール製造工程内の発酵槽やボイラーなどから賄うことが可能であり、中和用の酸を別に用意する必要がないため、新たな排水中和施設の整備の必要もない。

さらに、中和後は、カルシウムを炭酸カルシウムとして沈澱させることで、酵素糖化後の糖液から簡単に分離回収が可能である。

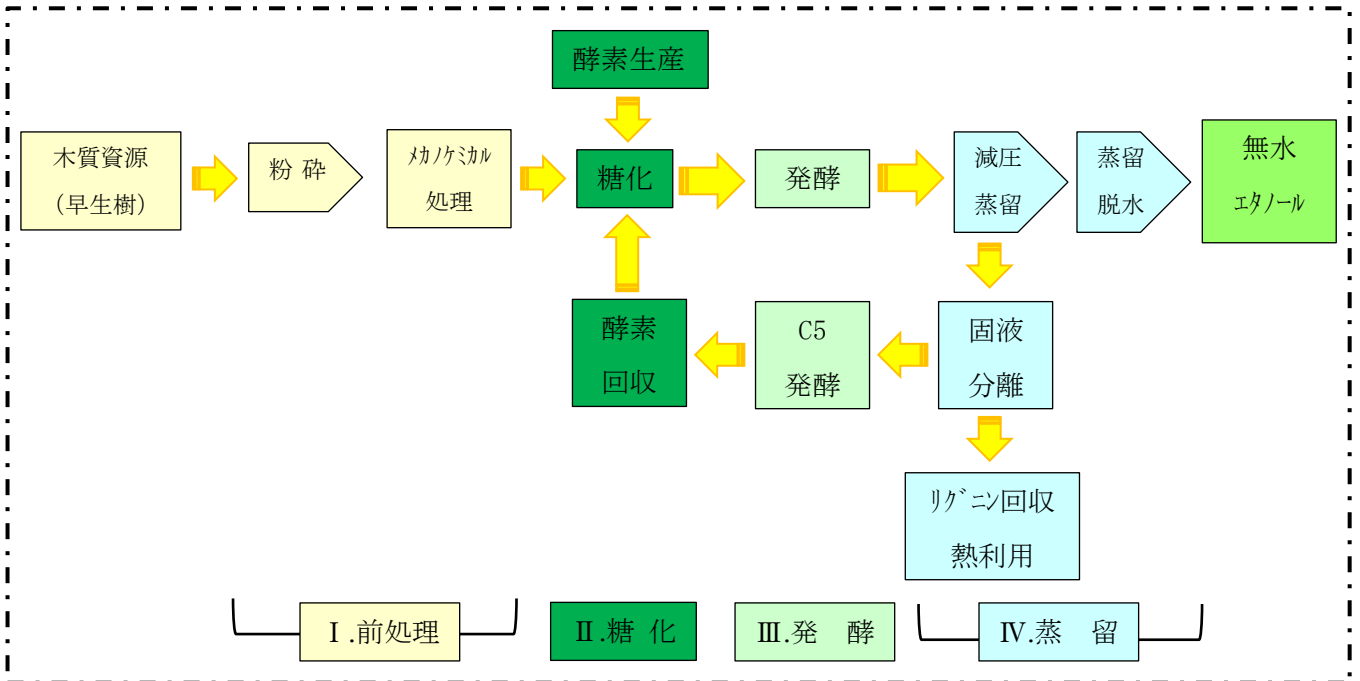
CaCCO プロセスの成果は今後海外におけるバイオエタノール製造技術として輸出することも想定しており、限りなく実用化段階に近づいているものである。

CaCCO プロセスは、稲わら等のソフトバイオマスを対象とした方法で、本検討では剪定枝葉というハードバイオマスも混在している条件であるため、粉碎法をそのまま導入することは困難であるが、原材料の腐敗防止処理について参考にした。

### (3)-2 複合メカノケミカル処理技術

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）において、バイオエタノール製造コスト 40 円/ℓ（原油価格が 1 バレル 50US\$換算）、年産 10～20 万ℓ、二酸化炭素削減率 5 割以上（対ガソリン）、化石エネルギー収支 2 以上の実現に向け、食糧と競合しない草本系又は木質バイオマス原料からのバイオエタノール生産について、大規模安定供給が可能なセルロース系目的生産バイオマスの栽培からエタノール製造プロセスまでの一貫生産システムの構築、環境負荷・経済性等を評価すべく、国立研究開発法人 産業技術総合研究所（以下「産総研」という。）及び新日鉄住友エンジニアリング㈱へ委託研究し、研究開発を実施した。

図表 2-10 早生樹からのメカノケミカルパルピング前処理におけるエタノール一貫生産システムの概要

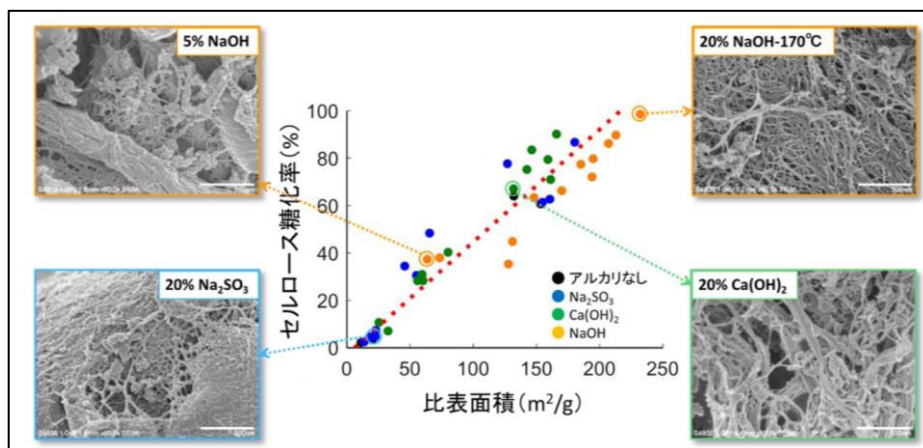


(出典:セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業/バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発/早生樹からのメカノケミカルパルピング前処理によるエタノール一貫生産システムの開発 平成 26 年 5 月 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, 7 頁)より加筆編集

NEDO では、図表 2-10 に示した生産システム構築の技術開発の研究を実施し、前処理技術においては、湿式粉碎法をベースとしたナノ空間形成法(※)を、既に大規模に工業化している紙パルプ製造設備に応用展開し、木質組織構造を緩めると同時にセルロースフィブリルをナノレベルで解離させて、酵素反応性を著しく高める前処理技術の最適化を実施した。

(※) ナノ空間形成法：木質を湿式で機械的に粉碎処理(湿式メカノケミカル処理)することによって超微細繊維(セルロースフィブリル)に解せば、セルロース等の木質成分の周囲に酵素が容易に接近・吸着できる空間が形成(ナノ空間形成)され、酵素糖化反応が安易に進行する。

図表 2- 11 異なるアルカリ種による水熱処理物の酵素糖化率と表面積の関係

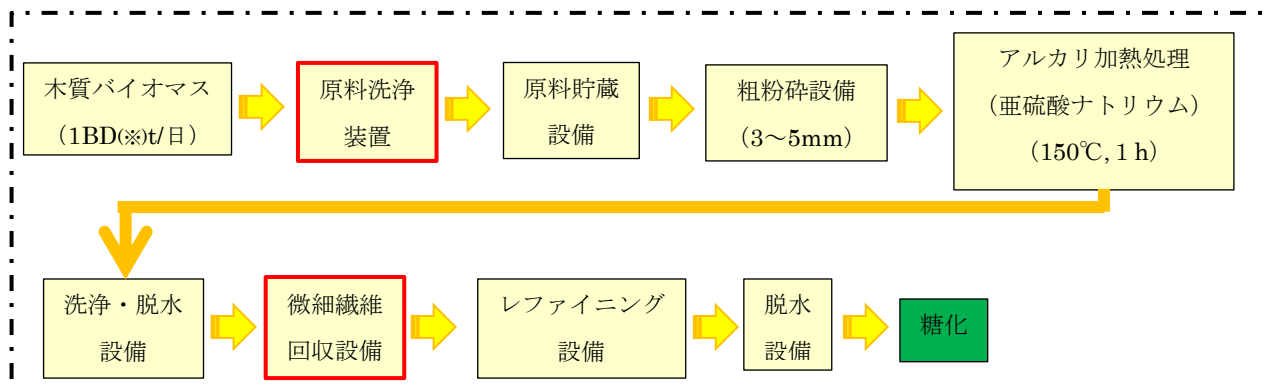


(出典:セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業/バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発/早生樹からのメカノケミカルパルピング前処理によるエタノール一貫生産システムの開発 平成 26 年 5 月 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, 42 頁)

図表 2- 11 のように、原料を超微粉碎し、表面積を大きくすることで、糖化率が大きく向上することが示された。

この実験結果を基にし、実験室規模からパイロットプラント規模にスケールアップした際の前処理工程の検証を行った結果、図表 2- 12 のように示された。

図表 2- 12 メカノケミカルパルピング技術における前処理工程フロー図



(※) BD : bone dry ton = 乾燥重量

(出典:セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業/バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発/早生樹からのメカノケミカルパルピング前処理によるエタノール一貫生産システムの開発 平成 26 年 5 月 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, 163 頁)より加筆編集

メカノケミカルパルピング技術の前処理においては、原料の洗浄が必須になる。

これは、木質バイオマスには、鉄片の他に金属及び砂、小石等が混入しており、レファイニング設備 (※1) の故障やディスクの摩耗につながり、前処理プロセスにおいて重大なトラブル発生の要因となるためである。

したがって、これらの重量異物除去を目的とした原料洗浄装置の設置は不可欠となり、パルプ産業で用いられる原料洗浄技術には、水中での木材と重量異物の沈降速度差を用いた分離法があり、当該事業においてもこの技術を応用しているとのことである。

パイロットプラントに供される木質バイオマス原料は、日中の8時間で原料ホッパーに貯蔵されるが、原料ホッパー払い出し以降のプロセスは24時間連続運転を前提としているため、最低でも16時間分の原料を原料ホッパー内に貯蔵する必要がある。

ホッパー内でのアーチングトラブル（※2）を発生させる可能性の高い木質系バイオマス原料の貯蔵は、設備面で十分な配慮が必要となり、原料ホッパーは下部にレジューサー（※3）を持つことは厳禁であるため、鉛直な壁面構造とし、下部は全面での切り出しが可能となるように4本の切り出しスクリーを設置している。

ホッパー中間部には、樹皮等の嵩の高い原料を対象としたアーチングブレイカーを2基設置し、アーチング対策を取っている。

また、洗浄装置から繊維が漏れ収率が低いという問題が発生したが、これは微細繊維回収装置（スクリーン）を導入したことで改善された。

技術的にみても既に実用化のレベルにあり、今後は事業化に向けた取組が想定されている。

このように、現在、国内でもコスト削減に向けた技術検討が進められており、第二世代型のバイオエタノール化事業も現実味を帯びてきている。

（※1）レファイニング設備：叩解装置。繊維に機械的剪断力を与え、毛羽立たせたり、同心円状の緩みを与えることにより繊維を柔軟にし、乾燥時の繊維間結合を強くする。

（※2）アーチングトラブル：原料ホッパー下部の出口付近で、貯蔵物が壁面に付着したり圧縮されることで、上部の流出が妨げられる現象。

（※3）レ ジ ュ ー サ ー ：異なる径の直管を接続する継手等のこと。

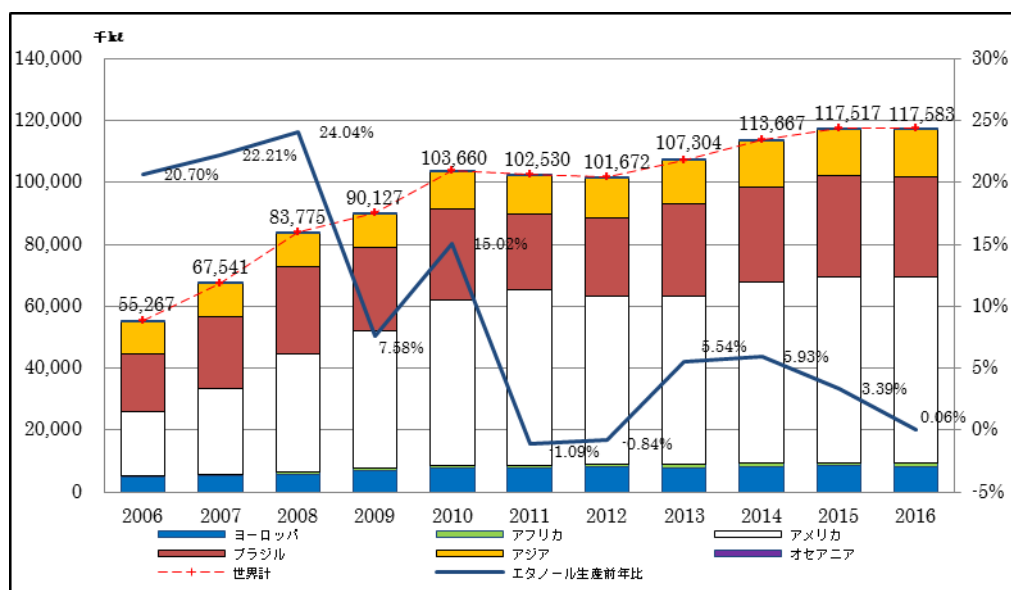
### 3. 世界におけるエタノールの生産動向

図表 2-13 のように、世界全体のエタノール生産量は、平成 28 年 (2016 年) では平成 18 年 (2006 年) に比し、2.12 倍まで増産される見通しである。エタノール生産対年比率は鈍化傾向にあるが、生産量は増産傾向にある。

また、図表 2-14 のように、世界全体のエタノール生産の構成比はアメリカとブラジルだけで約 78%を占めている。

また、アジアの構成比は世界全体の約 13%程度で推移している。

図表 2-13 世界のエタノール生産量の推移



(出所: F.O.Licht)

※ 2016 年は見込値

※見込値は、ブラジルの場合、原料が「サトウキビ」であり、中南部地域の収穫時期は 4～12 月、北東部地域は 8～3 月であり、年度を通して収穫が行われており、合計値を算出できないため。

図表 2-14 世界のエタノール生産量の構成比

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
ヨーロッパ	8.4	7.6	6.9	7.7	7.4	7.7	7.9	7.3	7.3	7.2	7.0
アフリカ	1.1	1.0	0.8	0.8	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8
<b>アメリカ</b>	<b>37.2</b>	<b>40.6</b>	<b>45.5</b>	<b>49.1</b>	<b>51.7</b>	<b>55.1</b>	<b>53.5</b>	<b>50.8</b>	<b>51.4</b>	<b>51.2</b>	<b>51.4</b>
<b>ブラジル</b>	<b>33.8</b>	<b>34.7</b>	<b>33.6</b>	<b>30.2</b>	<b>28.2</b>	<b>23.8</b>	<b>24.7</b>	<b>27.6</b>	<b>27.0</b>	<b>27.7</b>	<b>27.2</b>
アジア	19.2	15.9	13.0	11.9	11.6	12.3	12.7	13.1	13.2	12.9	13.2
オセアニア	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
合計	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

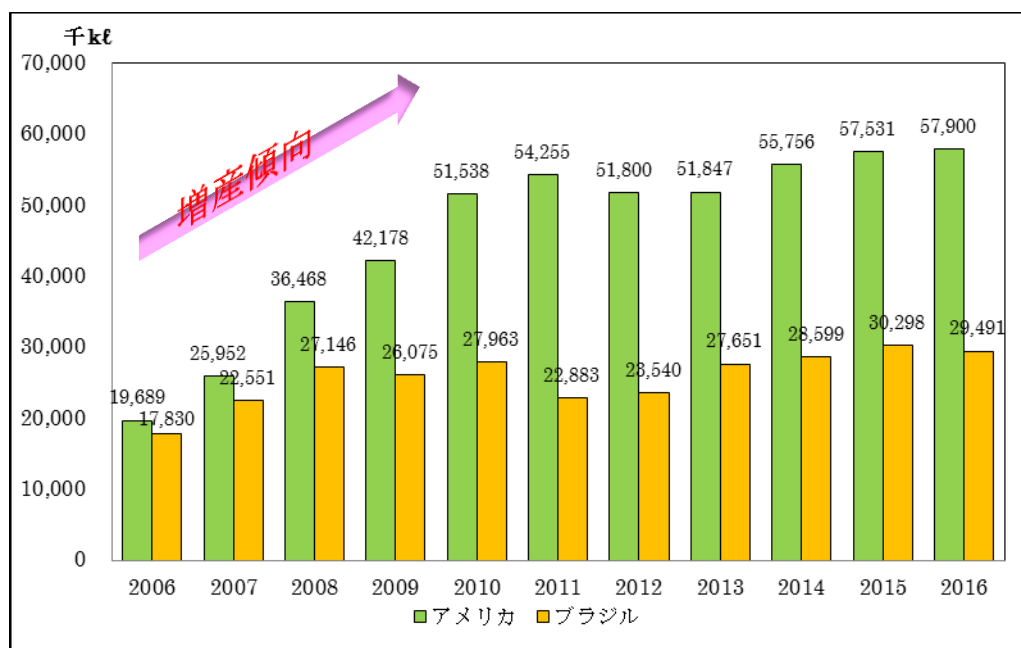
※ 2016 年は見込値

(出所: F.O.Licht)

図表 2- 15 のように、アメリカとブラジルの生産量の推移に注目してみると、アメリカでは平成 28 年（2016 年）には平成 18 年（2006 年）に比し、約 3 倍の増産が見込まれ、過去最大になる見通しである。

一方、ブラジルでは 2015 年には前年比約 5.9%増加したものの、平成 28 年（2016 年）は前年比で 2.7%の減少となり、近年では平成 27 年（2015 年）が最大値になる見込みである。

図表 2- 15 アメリカ・ブラジルのエタノール生産量の推移



(出所:F.O.Licht)

※ 2016 年は見込値

アメリカにおける生産量が平成 22 年（2010 年）から横ばい気味であるのには「ブレンドの壁」という問題がある。

アメリカの場合、国策である再生可能燃料基準（Renewable Fuel Standard）（以下「RFS」という。）の元、平成 34 年（2022 年）までにガソリンに混合する再生可能燃料を年間 360 億ガロンに増やすという目標を掲げた。

これにより、アメリカではガソリンにエタノールを直接混合する方式を取っており、「E10」と言われるエタノールを 10%混合したガソリンが販売されているが、現状では E10 を全ての地域にオールシーズン販売するには、給油所もそれに対応した施設を整備する必要があり、技術面及びコスト面でも困難とされている。

また、近年ではハイブリッドカーや電気自動車等の台頭により、自動車自体の燃費が大幅に向上し、ガソリンの消費量も頭打ちの兆しが見えている。今後もガソリン消費量の減少傾向が続き、RFS を遵守する場合は、10%を超える高い混合率のガソリンを増やす必要がある。この場合も、それに対応した施設を整備する必要があり、技術面及びコスト面の問題が浮上する。

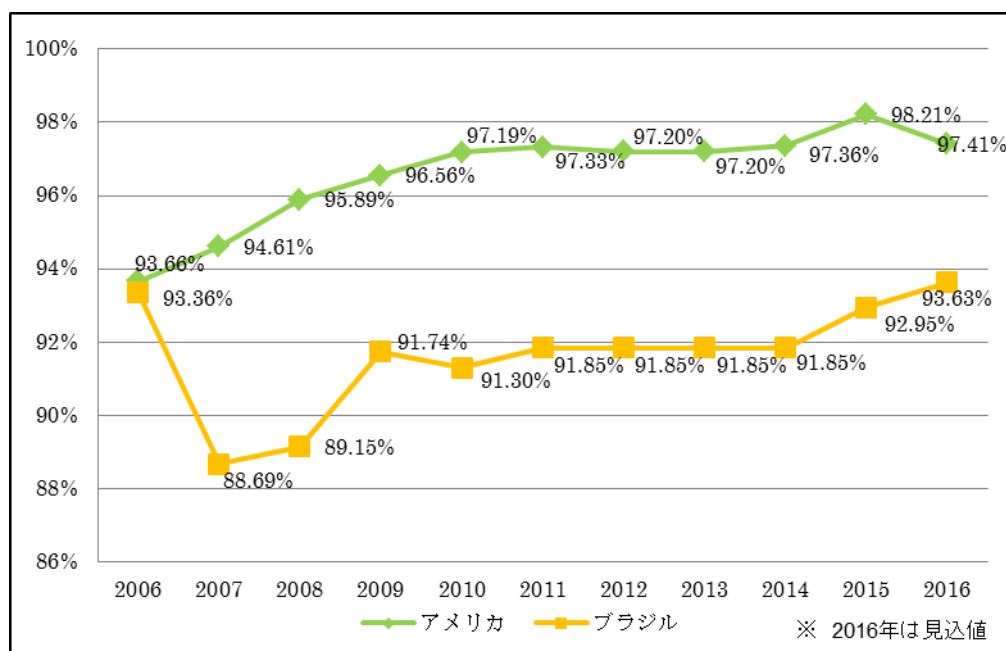
E10 以外では、フレックスカーと呼ばれる適合車に対して E85（混合率 85%）という高い規格の燃料も販売されているが、普及には至っていない。現状ではアメリカで販売されている車種の全てのエンジンに安全に対応できるのは、E10 までとされている。

一方、ブラジルでは国策により、フレックス車両への税制優遇措置が実施され、平成 23 年（2011 年）から混合義務割合を 20%（E20）とし、さらにはエタノール 100%（E100）が普及している。ブラジルの給油所では、エタノールとガソリンを給油することができ、ドライバーはエタノールが安くなればエタノールを入れ、混合ガソリンが安くなれば混合ガソリンを給油する。

このように給油所の整備等の環境面の充実化を図る等、施策次第では、大いに伸びしろのある産業だと考えられる。

次に図表 2- 16 のように、アメリカとブラジルにおけるエタノールに占める燃料用の比率を見ると、生産されたエタノールは両国ともに、9 割以上を自国の燃料用に割り当てており、残りの数値は、輸出用に割り当てている。ブラジルにおいても、近年、自国消費分に多く割り当てている傾向が見受けられる。

図表 2- 16 アメリカ・ブラジルのエタノールに占める燃料用比率

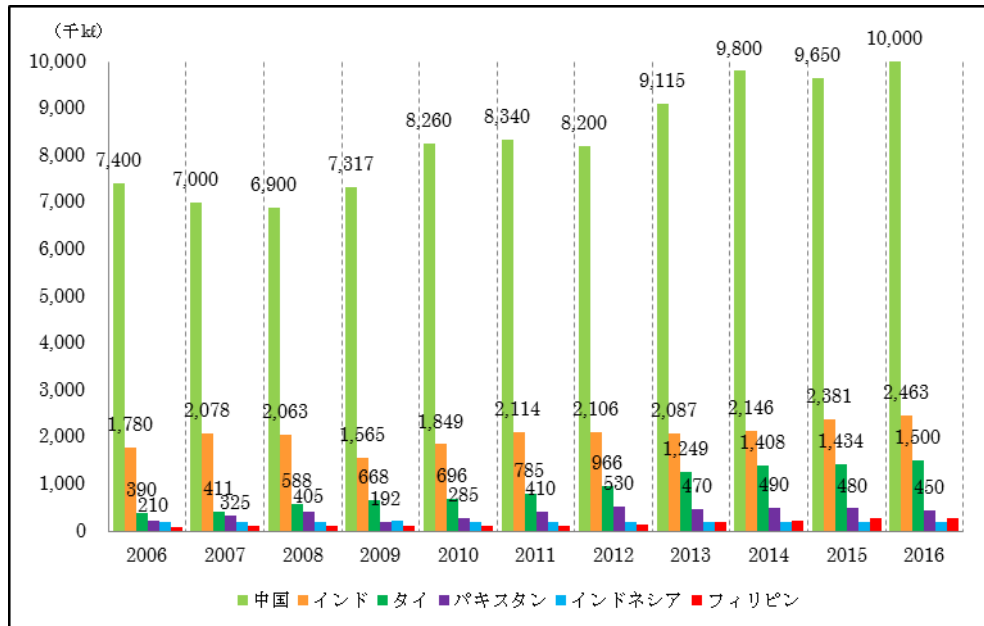


(出所:F.O.Licht)

さらに、図表 2- 17 のように、アジア主要国のエタノール生産の推移と変化に注目してみると、中国、インド、タイ等で生産量が増加傾向にある。

中でも中国は平成 28 年度（2016 年度）に 1,000 万klになる見込みであり、アジアでも群を抜いているほか、インド・タイでも増産傾向であり、平成 28 年（2016 年）では平成 18 年（2006 年）に比し、インドでは 1.38 倍、タイでは 2.14 倍まで増加する見込みであり、アジア全体でも、バイオエタノールの生産量は増加傾向にある。

図表 2-17 アジア主要国のエタノール生産量の推移



※ 2016 年は見込値

(出所:F.O.Licht)

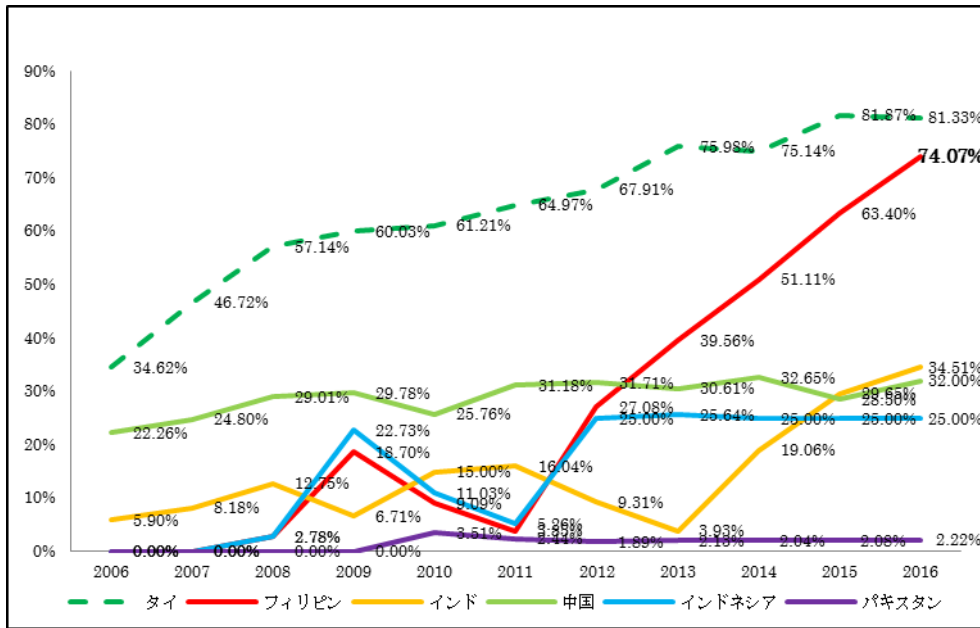
また、アジア主要国では、燃料用の需要が高まっており、図表 2-18 のように、生産に占める燃料比率は、タイが最も高く 81.3%を占めている。

フィリピンにおける急激な比率上昇の要因は、平成 19 年（2007 年）1 月「バイオ燃料法」が、施行され、平成 32 年（2020 年）までに「E20」の目標設定を行ったことによる。2013 年度では「E8.5」まで普及させている状況である。

各国に開きはあるが、主要国では生産されたエタノールの約 3 割以上を燃料用に割り当てている。



図表 2-18 アジア主要国のエタノール生産に占める燃料用比率の推移



※ 2016年は見込値

(出所:F.O.Licht)

世界・アジア主要国のエタノールの生産量と燃料用への割り当て率について述べてきたが、各国の共通点は、サトウキビ等の主食作物を原料とした「第一世代型」による製造方法を用いていることである。

図表 2-19 各国におけるバイオエタノールの原料の比較

国名	主な原料
アメリカ	トウモロコシ
ブラジル	サトウキビ
アジア	廃蜜糖 (※) キャッサバ

(※)廃蜜糖：サトウキビ等の糖蜜から、繰り返し砂糖を結晶させた後の残渣物

特筆すべきは、アジア諸国におけるバイオ燃料の開発は、石油代替等のエネルギー対策だけではなく、貧困問題、農村開発等、先進国と異なる背景を持っていることである。

商業ベース（プランテーション）の開発と同時に、貧困地域における小作農形態のエネルギー作物の栽培は、燃料確保において重要な政策となりうる一方で、森林破壊や転作による食糧栽培面積の減少、さらには異常気象による不作等の要因により、食料供給への懸念が浮上しているのが現状である。

アジア諸国においても、第二世代型のような食糧と競合しない作物等によるバイオエタノールの製造の確立が求められている。

## 4. バイオエタノール市場の動向

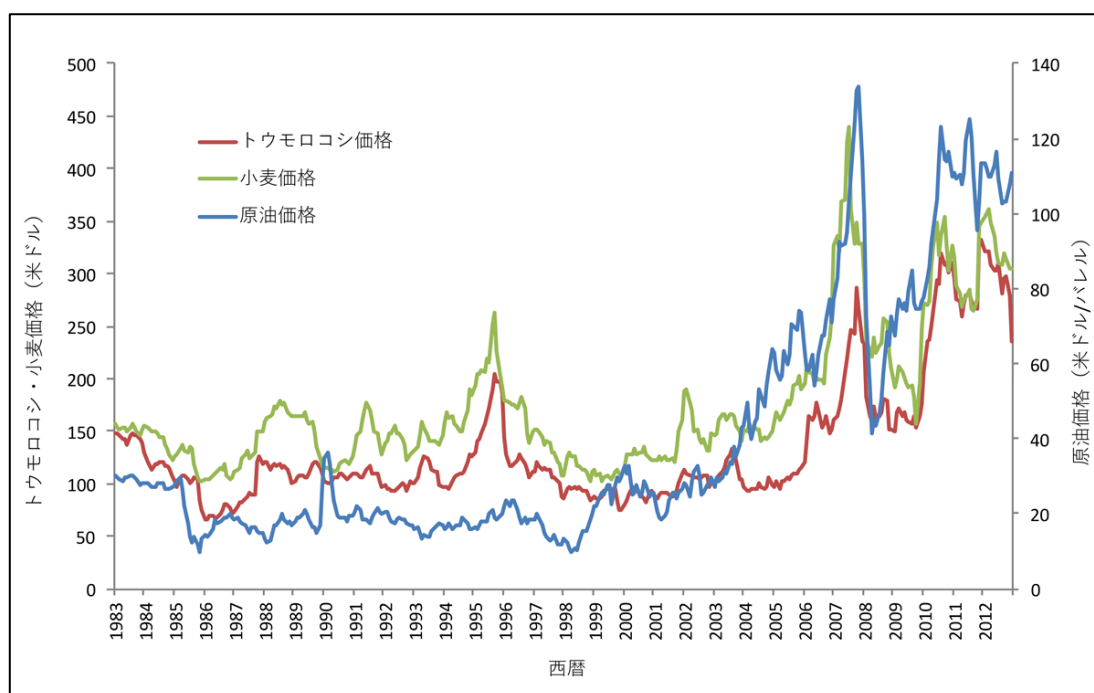
### (1) 海外市場の動向

これまで述べてきたように、生産されたバイオエタノールは主に「燃料用」に割り当てられている現状であり、自国消費分に割り当てる割合も増加傾向にある。

図表 2- 20、図表 2- 21、図表 2- 22 のように、燃料用エタノール価格は、生産コストだけでなく、原油やガソリン価格、加えて政治的要因に影響を受けやすい。

2008 年に起こった「リーマンショック」は記憶に新しい。それまでは新興国における石油の需要増加に伴う原油価格の高騰に連動した形で、穀物価格とバイオエタノール生産コストも上昇している。中でもバイオマスエネルギーに利用されない小麦の価格がトウモロコシ以上に高騰していることから、第一世代型のバイオエタノールの製造法では、食糧供給・価格に影響を与えてしまうことが考えられる。

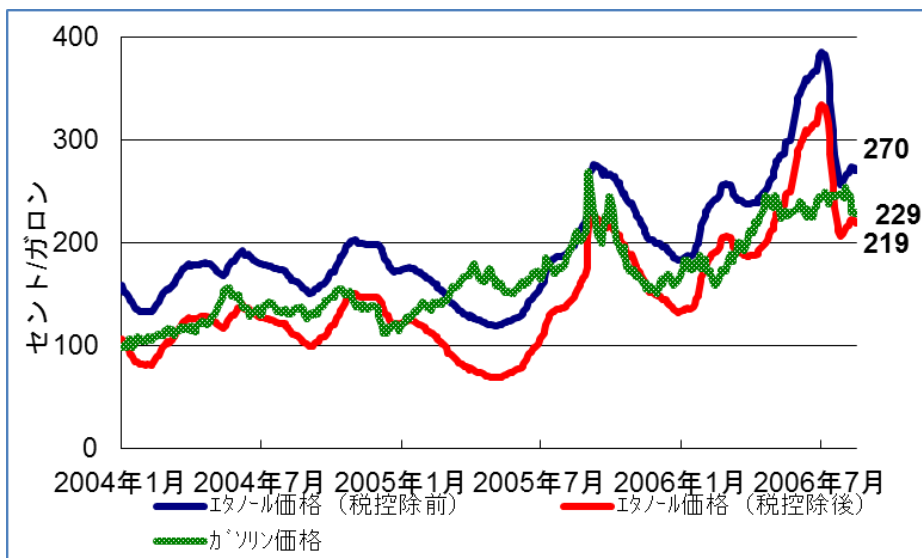
図表 2- 20 アメリカの原油価格と穀物価格の推移



(出典: 国立研究開発法人 国立環境研究所HP/バイオマスエネルギーは温暖化対策に有効?)

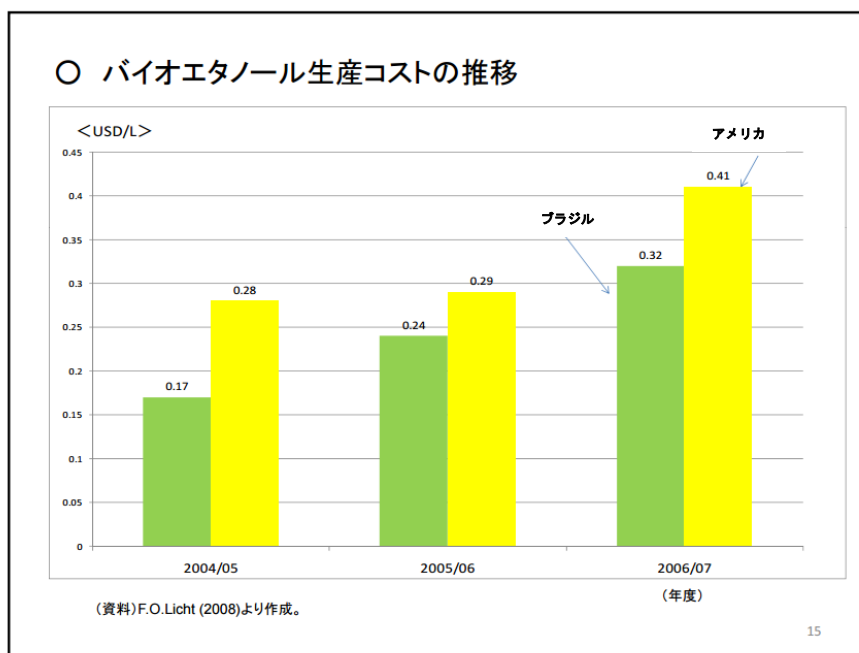
([http://www.cger.nies.go.jp/ja/library/qa/25/25-2/qa\\_25-2-j.html](http://www.cger.nies.go.jp/ja/library/qa/25/25-2/qa_25-2-j.html))

図表 2- 21 アメリカのエタノール価格とガソリン価格の推移



(出典: 経済産業省資源エネルギー庁 / 平成 19 年度エネルギー白書 /  
 第 2 節 原油価格高騰によるエネルギー需給構造への影響)  
 (<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2008html/1-1-2.html>)

図表 2- 22 アメリカとブラジルにおけるバイオエタノール生産コストの推移



(出典: 農林水産政策研究所研究成果報告会 / ブラジルにおけるバイオ燃料政策 / 2011 年 8 月 30 日)  
 ([http://www.maff.go.jp/primaff/meeting/kaisai/2011/pdf/110830\\_2sec.pdf](http://www.maff.go.jp/primaff/meeting/kaisai/2011/pdf/110830_2sec.pdf))

## (2) 国内市場の動向

まず、日本国内に流通しているアルコールは、図表 2-23 のように分類及び法律の適用を受け、適正に取り扱うことが必要である。

図表 2-23 日本国内におけるアルコールの関係法令

名称	アルコール関係法令	所管省庁
工業用アルコール	アルコール事業法	経済産業省
酒類	酒税法	財務省
日本薬局方アルコール 【医薬品】	薬事法 【日本薬局方】	厚生労働省
アルコール類	消防法	消防庁

(出典:アルコール事業法の理解を深める 経済産業省製造産業局アルコール室 平成 26 年 3 月

／1-2 アルコールと関係法令)

アルコール事業法の対象となるアルコールは、アルコール分（濃度 15 度の時において原容量 100 分中に含有するエチルアルコールの容量をいう。）が 90 度以上のアルコールを指す。

なお、アルコール分 1 度以上の飲料（薄めてアルコール分 1 度以上の飲料とすることができるもの又は溶解してアルコール 1 度以上の飲料とすることができる粉末状のものを含む。）は、酒類（酒税法第 2 条第 1 項）として、財務省の所管となり、酒税が賦課される。

また、消防法で危険物として指定される化学薬品等については、指定数量が規定されているため、必要以上に購入はできないものとされている。

消防法におけるアルコール類は、危険物第 4 類である引火性液体に分類され、400ℓが指定数量として定められており、この数量以上のアルコールを扱う場合は、許可が必要となる。

さらに、アルコール事業法におけるアルコールは主に工業用アルコールと呼ばれるが、工業用アルコールの中では、大きく以下の 2 つに分類される。

I. 一般アルコール：加算額が含まれない低廉価格のアルコール。

使用には事前の許可、使用等の記帳、使用数量等の定期報告が必要。

II. 特定アルコール：酒類原料への不正利用を防止する価格（加算額）を含むアルコール。

使用には事前許可や、使用等の記帳等の手続きは必要なし。

図表 2-24 アルコール事業法における特定アルコールの加算額

アルコール度数	加算額 (1ℓ の場合)	加算額 (1 kℓ の場合)
99 度	990 円	990,000 円
98 度	980 円	980,000 円
97 度	970 円	970,000 円
96 度	960 円	960,000 円
95 度	950 円	950,000 円
91 度～94 度	910 円～940 円	910,000 円～940,000 円
90 度	900 円	900,000 円

(平成 26 年 3 月現在)

(出典:アルコール事業法の理解を深める 経済産業省製造産業局アルコール室 平成 26 年 3 月

／1-2 アルコールと関係法令)

次に、日本国内で使用されるエタノールは、主にブラジルからの輸入に依存している状況であり、輸入されるエタノールは「粗留アルコール」と呼ばれる、アルコール分 90 度の状態で輸入されている。

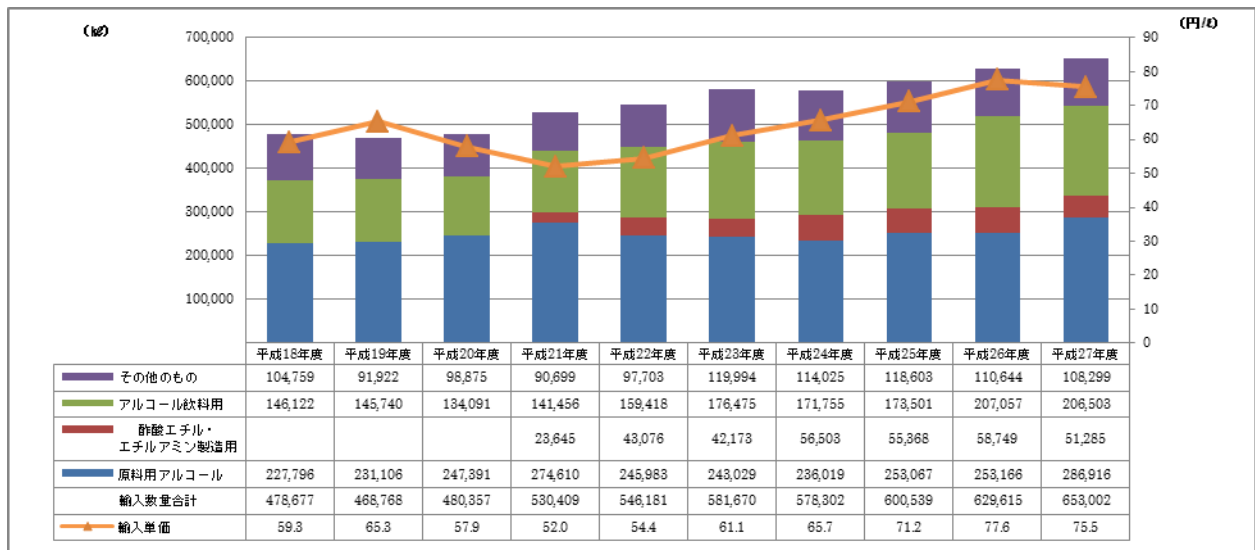
図表 2-25 のように、年々アルコールの輸入量と輸入単価は増加傾向にある。

酢酸エチル・エチルアミン製造用は、関税定率法（明治 43 年法律第 54 号）の一部改正に伴い、平成 19 年（2007 年）4 月から、酢酸エチル・エチルアミンの製造の用に供するアルコールについては、関税が廃止され、これに伴い、アルコール事業法のアルコール事業法用途分類コードに変更が生じたため、追記されている。

また、酢酸エチル・エチルアミンは、ともに工業化学や有機合成の原料として広く用いられており、近年、エタノールを用いた製造法が確立されつつある。

その他のものは、アルコール飲料の原料、アルコールの製造用のもの以外で課税対象物、または、薬事法の規制を受ける品物（消毒用アルコール、化粧品などの製品輸入）を指す。

図表 2- 25 日本国内におけるアルコールの輸入量と輸入単価の推移



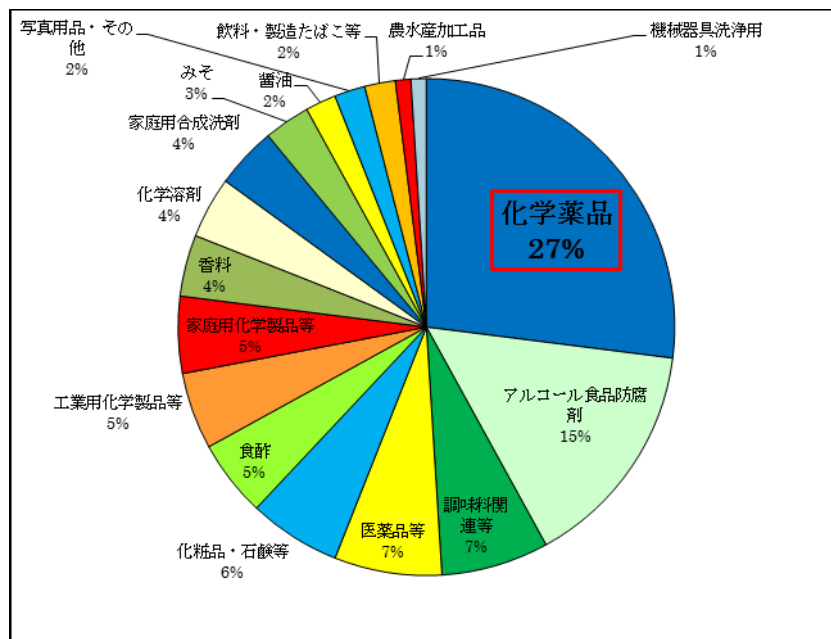
(出所:F.O.Licht)より加筆編集

原料用アルコール：アルコール分90%以上のものの内、工業用アルコールに供するもの

その他のもの：アルコール飲料の原料、アルコールの製造用のもの以外の課税対象のもの

海外では、エタノールは主に燃料用として使用されるが、日本の場合は、図表 2- 26 のように輸入された粗留アルコールをさらに蒸留して、有機合成等の化学薬品用や薄めて食品用や家庭用に加工する等、燃料用以外で使用され、その利用用途は多岐にわたっていることが特徴である。

図表 2- 26 用途別の事業法アルコールの国内需要



(出所：一般財団法人アルコール協会 HP)より加筆編集

### (3) バイオエタノール化事業取組の動向

これまで述べてきたように、バイオエタノール化事業は、主にアメリカ、ブラジル、アジア等の海外で盛んな現状であり、製造されたエタノールは燃料用に使用されている。

現にアメリカでは RFS による E10 の普及、ブラジルではフレックス車両への税制優遇等が実施されているほか、フィリピンにおいても、「バイオ燃料法」による、平成 32 年（2020 年）までに E20 の達成等、国家戦略の政策が進んでいる背景もあり、今後も海外におけるバイオエタノール化事業は、増々加速し、その市場規模も成長していくものと推測される。

### (4) アルコール原料（エタノール材料）の動向

日本国内においても、図表 2- 27 に示すように、バイオ燃料の普及に向けた取組事例がある。

バイオ燃料の導入は、エネルギー供給構造高度化法（平成 21 年法律第 72 号）の基準により、2017 年度までに石油精製者によるバイオエタノールの利用を原油換算で年間 50 万kl<sup>1</sup>とすることを目標としている。

両者の違いは、E3 のようにガソリンに直接エタノールを混合する方式と、エタノールとイソブテンから合成される ETBE をガソリンに混合する方式の違いである。

E3 の場合、エタノールに「水」の混合等ガソリンの性状を変化させてしまう可能性があり、自動車のエンジンを痛めてしまうことなどが考えられるが、ETBE の場合は、ガソリンの性状に悪影響を起さないとされている。

日本における ETBE は主にアメリカから輸入されているが、実際の流れは、ブラジルで生産されたエタノールをアメリカに輸出し、アメリカで ETBE に合成して、日本に輸出されている。ETBE の原料であるイソブテンは石油精製の副産物等で得られるため、日本国内でも製造可能だが、生産コストの観点から、現状では輸入に頼っている状況下にある。

図表 2- 28 に示したように、ETBE の輸入量は年々増加傾向にあるが、平均輸入単価は原油価格に影響される。

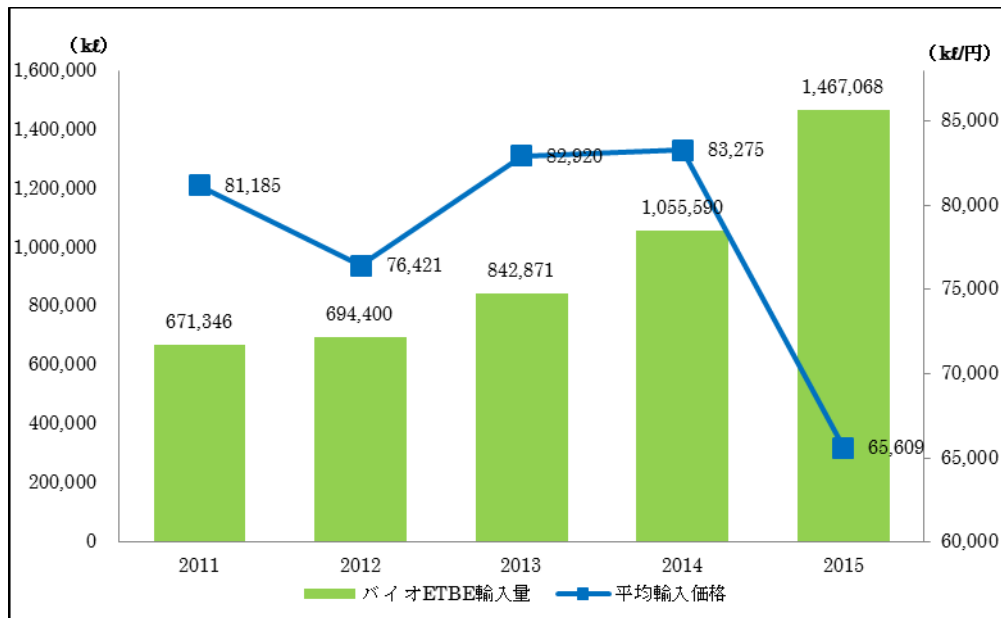
図表 2- 27 E3 燃料とバイオガソリンの違い



(出典: 環境省委託 バイオ燃料利用体制確立推進機構HP)

(<http://www.eco-biofuel.go.jp/directblend/>)

図表 2- 28 バイオ ETBE の輸入量と平均輸入単価の推移



(出所: F.C.Licht)



また、日本国内においても図表 2- 29 のように、平成 24 年（2012 年）4 月から一部の車種においては、E10 ガソリン対応車に限定して販売できるよう、法律が改正され、対応車には給油口にシールが貼られている。

図表 2- 29 E10 対応ガソリン車



(出典：環境省委託 バイオ燃料利用体制確立推進機構HP)

(<http://www.eco-biofuel.go.jp/influence/>)

### 第3章 バイオエタノール化事業に係る要件検証



### 第3章 バイオエタノール化事業に係る要件検証

#### 1. 事業化に必要な技術要件と課題

前章で述べたように、バイオエタノールの製造には、下図に示した4つの工程を考慮する必要があり、各工程でのコスト試算が重要な鍵となる。



自立した事業として確立させるには、前処理の最適化が必須であり、現在でも様々な技術が研究・開発されている。

これらの先進的技術のヒアリング結果等を経て、前処理の最適化を検証し、長野市における剪定枝葉からのバイオエタノール化事業への技術・諸条件について整理する。

#### (1) バイオエタノール化のための処理工程と技術要件

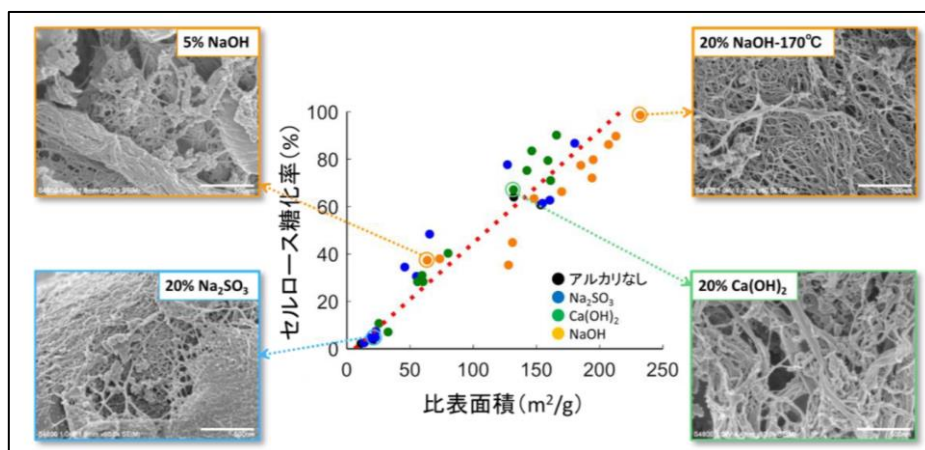
##### ① 処理工程の概要

##### I. 前処理：

前処理工程の目的は、原料からエタノールの元となるセルロースを効率良く抽出するため、木質等の原料の強靱な構造を脆弱化し、かつ、原料を細かく粉砕し表面積を増やし、酵素との接触回数を高め、糖化効率を向上させることを目的とする。

図表 3-1 は、原料の表面積を高めると、糖化率も高くなることを示している。

図表 3-1 異なるアルカリ種による水熱処理物の酵素糖化率と表面積の関係



(出典:セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業／バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発  
／早生樹からのメカノケミカルパルピング前処理によるエタノール一貫生産システムの開発 平成 26 年 5 月  
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, 42 頁)

また、粉砕には、原料を数cmに細断する「1次粉砕」と、1次粉砕した原料を mm 単位に粉砕する「2次粉砕」がある。



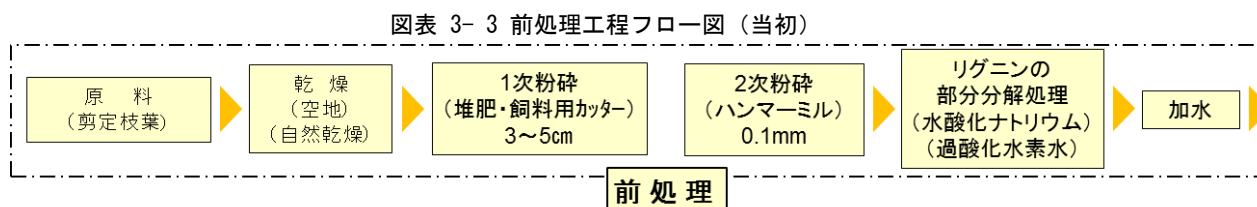
特に、湿式粉碎に用いるカッターミルやディスクミルの場合、あらかじめ小石等の不純物を取り除く原料洗浄作業が必要になる。

これは、小石等が機器のカッター部やディスク部を傷付けてしまう可能性があり、消耗品の交換頻度を早め、場合によっては機器に重大な損傷を与えてしまう可能性があるからである。

原料洗浄技術には、水中で原料と重量異物の沈降速度差を用いた分離方法があり、パルプ産業界でも用いられている。

乾式粉碎で用いるハンマーミルは衝撃力による粉碎で、石も粉碎可能であり、小石等の不純物の除去は不要である（不純物混入量が多くなると、原料中のセルロースの割合が下がり、エタノールの収量は低減する。）。

本調査研究においては、図表 3- 3 のような前処理方法を仮定した。



まず収集した原料を空地にて自然乾燥し、含水率を約 30%まで下げた後、各粉碎機により所定の大きさまで破碎する。

図表 3- 4 原料の含水率

種類	検体の含水率	全回収量における割合	平均含水率 (推定値)	目標含水率
剪定枝葉 (平成25年度)	65.4%	73.8%	67.8%	30%以下 (目標20%)
草 (平成26年度)	74.8%	26.2%		

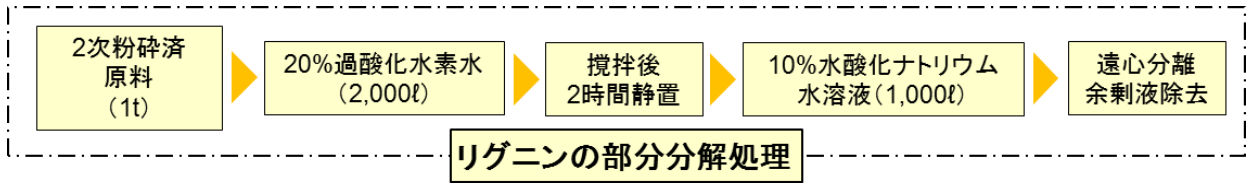
(出所：平成 25 年度長野市剪定枝葉バイオエタノール化試験業務委託調査結果  
平成 26 年度長野市草等バイオエタノール化試験業務委託調査結果) より編集

破碎後、20%過酸化水素水と 10%水酸化ナトリウム水溶液により、リグニンの部分分解処理を行い、その分量は、

原料：20%過酸化水素水：10%水酸化ナトリウム＝1：2：1

とする。

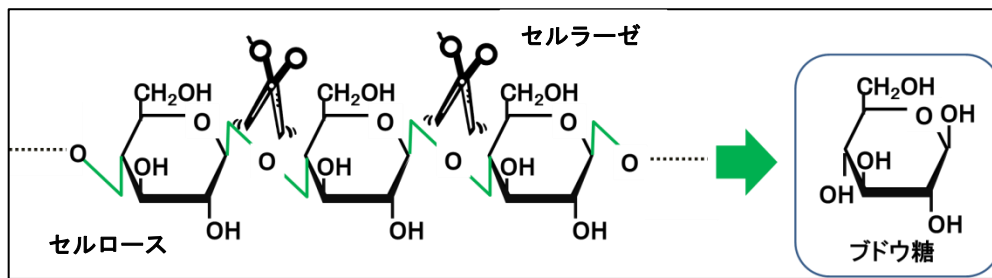
図表 3-5 リグニンの部分分解処理フロー図



II. 糖化：

糖化工程の目的は、前処理で得られたセルロース等の多糖類を、「セルラーゼ」という酵素を用いてブドウ糖等の単糖類へ変換することである。

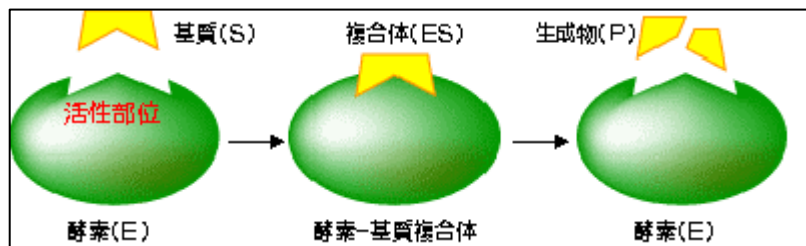
図表 3-6 セルラーゼによるセルロースの分解イメージ図



図表 3-7 のように、酵素には、ある特定の物質（以下「基質」という。）を選択・認識する能力があり、これを基質特異性という。

この特性により、セルラーゼはセルロースを認識することができ、セルロースを分解、目的物であるブドウ糖へ変換することが可能となる。

図表 3-7 酵素の基質特異性



(出典:酵素の化学 HP)

また、酵素は生体のようにタンパク質で構成されていることから、熱や pH の変化により立体構造が不可逆的に大きく変化し、酵素が本来持つ特性も失われてしまう。これを酵素作用の失活と呼ぶ。

よって、酵素を使用する場合は、酵素の高活性の維持・活性安定化のため、温度や pH をその酵素の至適条件に調整することが重要である。

本調査研究において、酵素は、明治製菓株式会社製のアクレモニウムセルラーゼを使用する（FPase、B-glucosidase、arabinofuranosidase 活性など、リグノセルロース質を糖化するために必要な酵素活性を万遍なく含み、幅広い廃棄物材料に対応）。

図表 3-8 明治製菓製アクレモニウムセルラーゼの主な酵素活性

	基質	U/g-enzyme	U/U-CMCase
	セルラーゼ	CMC	$7.2 \times 10^2$
濾紙		310	$4.3 \times 10^{-2}$
β-グルコシダーゼ		257	$3.6 \times 10^{-2}$
キシラーゼ		$4.7 \times 10^2$	0.65
β-キシロシダーゼ		11	$1.4 \times 10^{-3}$
α-L-アラビノ フラノシダーゼ		47	$6.5 \times 10^{-3}$

（出所：廃棄物バイオマスからのバイオエタノール生産／基礎調査機関作成）

エタノールの生産には、酵素や微生物に代表される生体触媒が用いられている。

生体触媒を用いた化学反応は、温度等所定の条件下において、目的生成物の原料となる基質が添加された液中に生体触媒を直接投入することが可能だが、生体触媒の中には、生産が容易ではなく、高価で入手が困難なものもあることから、工業的生産を考えた場合には、生体触媒を反応液中から回収し、繰り返し利用することで生産コストの低減化が期待できる。

そこで、当該調査研究においては、酵素を繰り返し利用することを前提とし、その手法には「固定化生体触媒法（※）」を用いる。

そして、糖化反応条件は、セルラーゼの至適 pH が「 $4.5 \pm 0.5$ 」と弱酸性の範囲であるため、pH 調整には酸等を用いる。

至適温度は「 $50^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 」であるため、加温する必要があり、反応時間は 48 時間とする。

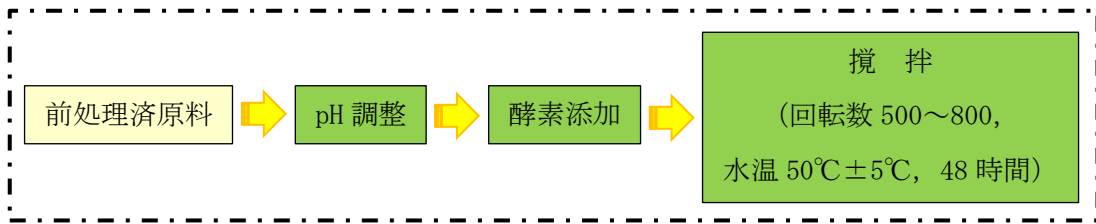
糖化後の糖濃度は、6～10%程度になる。

（※）固定化生体触媒法：包括剤中に酵素及び磁性粒子を含有させ、固定化生体触媒に磁性を付与することにより、磁力を利用して反応液中から固定化生体触媒のみを分離・回収する。

【公開特許公報(A) 特開 2010-131005 固定化生体触媒及びその製造方法  
平成 22 年 6 月 17 日公開】



図表 3-9 一般的な糖化工程のフロー図

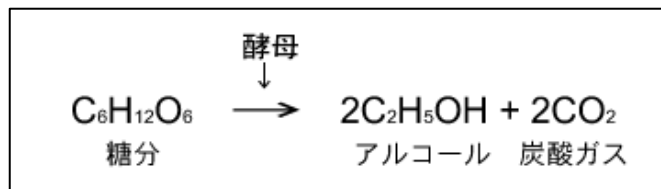


### III. 発酵

発酵工程の目的は、糖化工程で得られた糖化液を「酵母」によって発酵させ、最終的な目的物である「エタノール」を精製する事である。

この発酵は古くから用いられている技術であり、酒造の工程と同様である。

図表 3-10 一般的なアルコール発酵の反応式



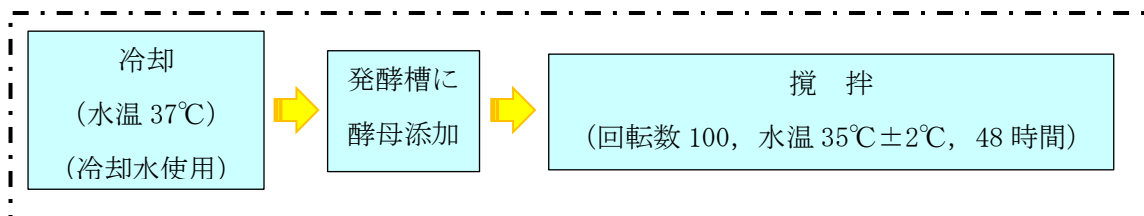
発酵の条件は、酵母の最適生育温度である「35°C ± 2°C」に設定し、反応時間も 48 時間とする。

また、酵母の生育における至適 pH は「pH4.5~6.5」の範囲内であるため、pH 調整は行わないものとする。

また、糖化工程では「50°C ± 5°C」に熱していたため、水温を下げる必要があるが、これには地下水等を用いて適正温度まで下げようとする。

発酵後のエタノール濃度は、3~5%程度になる。

図表 3-11 発酵工程フロー図



#### IV. 蒸留

蒸留工程の目的は、エタノール発酵を行った発酵液に固体である残渣物とエタノールが含まれている液体物が混合しているため、液体からエタノールのみを抽出することである。

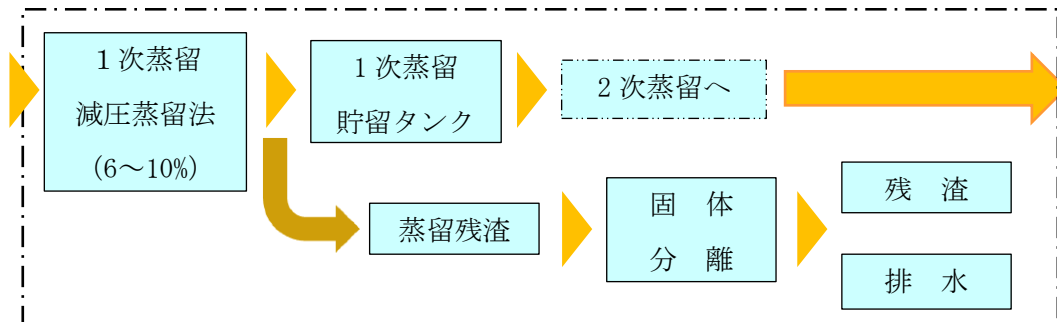
バイオエタノールの製造における蒸留には、減圧蒸留法を用いた「1次蒸留」と常圧蒸留法を用いる「2次蒸留」がある。

まず、1次蒸留では発酵タンクから液体のみを抽出する。

減圧蒸留法の原理は、タンク内の気圧を下げる（真空状態）事により、沸点が下がり、エタノールの通常沸点（85～95℃）より低い温度（45～55℃）にて蒸留することである。

1次蒸留では、濃度6～10%のエタノールが得られ、1次蒸留で得られたエタノールはタンクへ移し、2次蒸留の工程へ移行する。

図表 3-12 1次蒸留工程フロー図



残渣物各種成分分析結果を図表 3-13 ～ 16 に示す。

図表 3- 13 は肥料分析の結果である。この結果から、農業用途としては土壌改良材として利用可能である。

図表 3- 14 は飼料分析の結果である。この結果から飼料としては粗飼料に近い成分構成である。

図表 3- 15 は発熱量の分析結果である。低位発熱量としては約 1,640kJ/kg であり、木質チップの低位発熱量 (1,670kJ/kg) と近い発熱量であることから、ペレット加工して燃料用途で用いることも可能である。

有機物が多く残存することから、メタンガス発酵設備との併用の場合は、メタンガス発酵材料として利用できる。

図表 3- 13 剪定枝葉(代表試料)の肥料分析結果

項目	検査結果	検査方法
全窒素 (現物表示)	0.72 %	肥料分析法 4.1.1
炭素 (現物表示)	14.0 %	土壌環境分析法 第V8.A
リン酸 (現物表示)	0.07 %	肥料分析法 4.2 及び 7.5
加里 (現物表示)	0.22 %	肥料分析法 4.3.3
水分	69.8 %	肥料分析法 3.1

図表 3- 14 剪定枝葉(代表試料)の飼料分析結果

項目	検査結果	検査方法	粗飼料(※) (アルファアルファ)	濃厚飼料 (※)
水分	69.9 %	飼料分析基準第 3 章 1	82 %	13.5 %
粗タンパク質	6.2 %	飼料分析基準第 3 章 2	5 %	8.0 %
粗脂肪	2.9 %	飼料分析基準第 3 章 3		3.8 %
粗灰分	0.2 %	飼料分析基準第 3 章 7		1.3 %

※粗飼料および濃厚飼料の成分：日本標準肥料成分表(2001)

図表 3- 15 剪定枝葉(代表試料)の発熱量分析結果

項目	検査結果	検査方法
乾物発熱量	18,200 kJ/kg	JIS K2279 5
高位発熱量	3,910 kJ/kg	JIS K2279 5
低位発熱量 (実測値)	1,640 kJ/kg	JIS K2279 5

排水の分析結果を図表 3- 16 及び図表 3- 17 に示す。

排水は BOD・COD 共に高く有機質を多く含むため、排水する場合は排水基準を満たすよう排水処理（活性汚泥法・減圧脱水法等）を行う必要があるが、肥料分析結果では C/N 比は約 12.4 で、リン・カリウムも含むことから、液肥としての利用が可能である。

この C/N 比は、発酵に関するバイオマスの中では焼酎かすに近い（農村工学研究所報告 第 50 号メタン発酵消化液の液肥利用と その環境影響に関する研究 中村真人（2011） Table6 各種バイオマスの成分と特性値）。

また、クエン酸を含むことから、除塩や肥料効果増大等の用途でも使用できる。

さらに、有機質等はメタンガス発酵でエネルギーに変えることが可能であることから、メタンガス発酵設備との併設でより環境負荷低減が可能である。

図表 3- 16 剪定枝葉のバイオエタノール製造排水（代表試料）の排水分析結果

項目	検査結果	検査方法
BOD	40,000 mg/ℓ	JIS K0102 21 及び 32.3
COD	21,000 mg/ℓ	JIS K0102 17
SS	38 mg/ℓ	S46 環境庁告示第 59 号 付表 8
全窒素	680 mg/ℓ	JIS K0102 45.2
全リン	260 mg/ℓ	JIS K0102 46.3.1

図表 3- 17 剪定枝葉のバイオエタノール製造排水（代表試料）の肥料分析結果

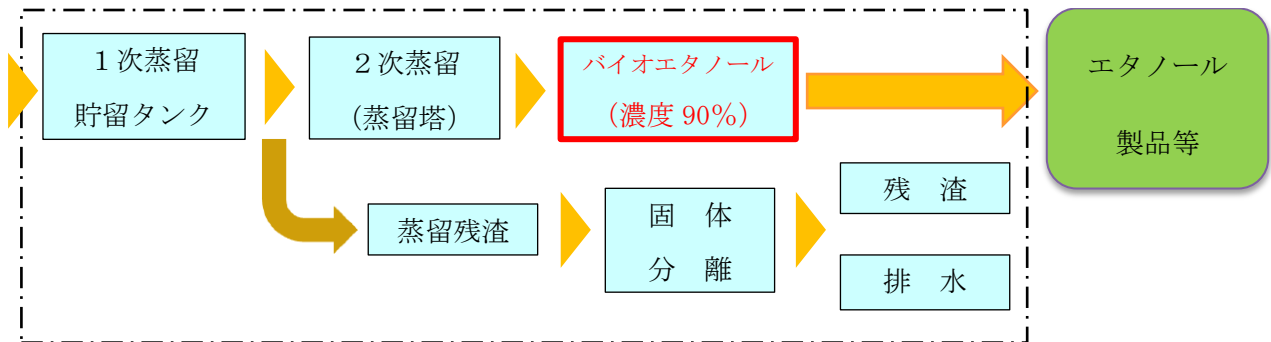
項目	検査結果	検査方法	特記事項
全窒素	1,140 mg/ℓ	肥料分析法	現物表示
炭素	14,100 mg/ℓ	土壌養分分析法	現物表示
リン酸	320 mg/ℓ	肥料分析法	現物表示
加里	1,450 mg/ℓ	肥料分析法	現物表示
水分	94.4 %	肥料分析法	現物表示

1次蒸留で得られた蒸留液のエタノール濃度を高めるため常圧蒸留法で2次蒸留を行う。  
常圧蒸留法は、石油精製等でも用いられる技術であり、水とエタノールの沸点の相違を利用した蒸留法である。

エタノールの沸点（85～95℃）は、水の沸点（100℃）より低いため、エタノールが先に蒸発し、徐々に冷やすことにより、高濃度のエタノールが精製される。

最終的なエタノール濃度は、海外から輸入されている粗留アルコールと同じ、濃度 90%である。

図表 3-18 2次蒸留工程フロー図



## ② 各処理工程に必要な技術要素

### 【前処理】

1次粉碎：粉碎後の剪定枝葉のサイズ 3～5cm 程度

粉碎機の処理量 3,000kg/h 以上

粉碎機の運転時間 2～8 時間/日（日常的なメンテナンス：0.5 時間）

粉碎機メーカーによるメンテナンス頻度見込み 年 2～4 回

2次粉碎：粉碎後の剪定枝葉のサイズ 0.1mm 程度

粉碎機の処理量 1,000kg/h 以上

粉碎機の運転時間 6～8 時間/日（日常的なメンテナンス：0.5 時間）

粉碎機メーカーによるメンテナンス頻度見込み 年 2～4 回

### リグニンの部分分解処理

第2章 2(3) 先進的な前処理技術への取組においてヒアリング調査を実施し、その手法を参考に、当初想定したリグニンの部分分解処理法の見直しを行い、その手法は以下のとおりである。

見直しの詳細については、次項で説明する。

#### <改定前>

薬品処理：添加する薬剤 過酸化水素・水酸化ナトリウム

#### <改定後>

高圧蒸気処理：添加する薬剤 水酸化カリウム

剪定枝葉の乾燥重量に対する割合 1.5%（水：剪定枝葉=3：1）

高圧蒸気処理条件 0.1MPa, 120°C, 1 時間

処理量：6,000kg/日以上

処理後のスラリー（水：剪定枝葉=3：1）に pH 調整剤・剪定枝葉の 2 倍量の水（15°C 以下）を加水して冷却・pH 調整し、糖化槽へ移送（1/4 量ずつ 1 時間おきに移送（分割移送で粘度を徐々に下げ、攪拌におけるトルクを下げる））。

pH 調整剤：クエン酸（粉末）

剪定枝葉量の 0.25% 量を自動計測・糖化槽へ投入。pH 計測結果で不足分を追加投入。

### 【糖化】

糖化温度・pH：50℃±5℃・pH4.5±0.5

固定化酵素：

使用量 剪定枝葉の乾燥重量の6%

交換方法 メンテナンス時に底部から引き抜き回収

交換のタイミング 25 バッチごとに交換（酵素活性として80%以上を維持できる回数）

### 【発酵】

発酵温度：35±2℃

発酵槽の冷却には、地下水等を利用

### 【1次蒸留】

蒸留方式：減圧蒸留

温度条件：70℃以下

温度調整方法：ボイラーによる自動調整

消泡剤の使用：無し（泡センサーで検知・減圧弁の開放で消泡）

### 【2次蒸留】

蒸留方式：常圧蒸留

温度条件：110℃以下

温度調整方法：ボイラーによる自動調整

消泡剤の使用：無し

### 【生成物の品質管理】

生産バッチごとに振動式密度比重計でエタノール濃度計測・管理（簡易検査）

（低濃度等の異常値があった場合は、再度2次蒸留工程に戻す）

出荷バッチごとにエタノール成分分析（外注）（JIS規格）

## (2) 長野市における事業化を見据えた技術要件課題

3回の委員会において、事業化を行う上で、図表 3-20 で示したように当初想定した前処理技術では、以下の3つの課題があることを見出した。

- I. 乾燥用の空地の確保
- II. 排水処理施設の確保
- III. 原料の腐敗による悪臭・雑菌繁殖

Iについては、第1章の図表 1-20により、剪定枝葉は年間約6,000t回収されているが、月別で見ると、冬季(1~3月)期間は排出量の減少等により収集作業を行っていない。

冬季期間を除く、週6日の回収として、年間約220日間と仮定すると、回収日1日に運搬される剪定枝葉・草等の重量は約27t/日になる。

図表 3-4より、平均含水率から27t/日の剪定枝葉・草等の乾燥重量は8.7t/日になり、さらに図表 3-19より、平均かさ比重から27t/日の剪定枝葉・草等の容量は約180m<sup>3</sup>/日となり、仮に高さ1mで空地に保管する場合は、約180m<sup>2</sup>/日の敷地面積が必要になる。

図表 3-19 原料のかさ比重

種類	検体のかさ比重	全回収量における割合	平均かさ比重(推定値)
木質系(剪定枝葉)	0.14g/cm <sup>3</sup>	73.8%	0.15g/cm <sup>3</sup>
草木系(草)	0.19g/cm <sup>3</sup>	26.2%	

(出所：平成23年度除染実証事業 個別試験結果と評価詳細／  
国立研究開発法人 日本原子力研究機構機構)より編集

IIについては、リグニンの部分分解処理において、破碎済み原料1t(乾燥重量)に対し、20%過酸化水素水及び10%水酸化ナトリウム水溶液がそれぞれ2,000l、1,000l必要であり、事業化を見据えた際に、その廃液の処理及び消耗品費等のランニングコスト増大の可能性が示唆された。

特に排水処理については、既存の排水処理施設が存在しない場合、新規で排水基準を満たす施設を併設する必要があるため、イニシャルコストにも影響するものと示唆された。

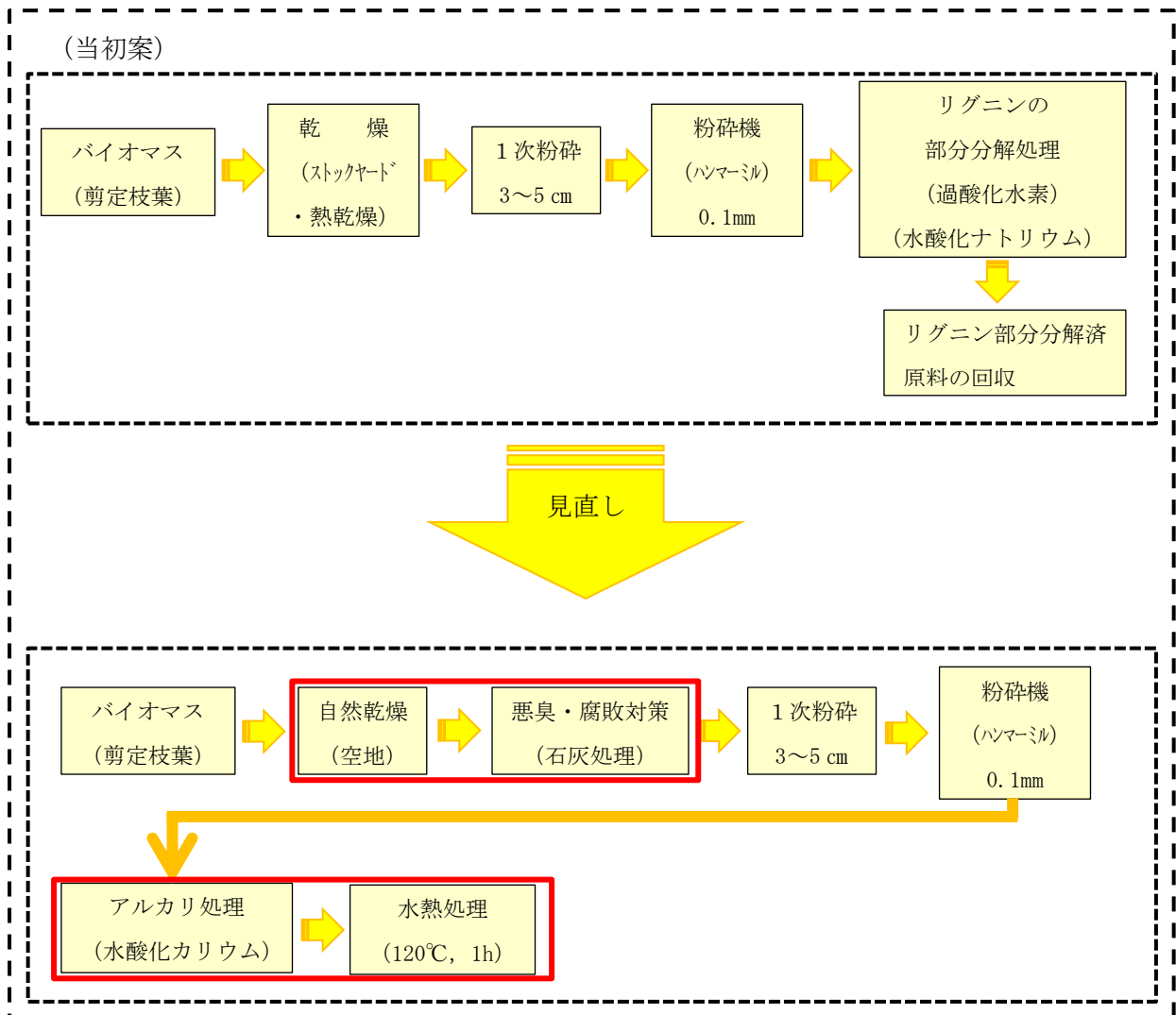
最後にIIIについては、収集された剪定枝葉には草が混入しており、空地による自然乾燥の場合、腐敗による悪臭や雑菌の繁殖による周辺環境の悪化が想定された。



上記課題の解決に、第2章で述べた先進的事例の取組として、農研機構及び産総研中国センターで取り組んでいる「CaCCOプロセス」及び「複合メカノケミカル処理技術」についてヒアリング調査を行った。

ヒアリングの結果より前処理工程の抜本的な見直しを実施し、その改定案は図表 3-20 の改定案のように示した。

図表 3-20 前処理工程の見直し



改定案は当初の自然乾燥方式に、

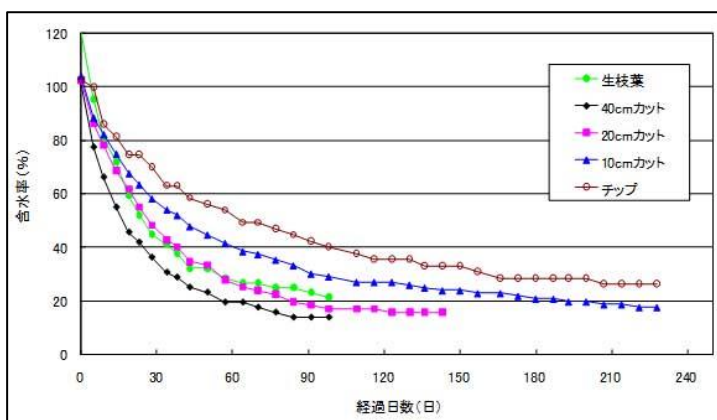
- Ⅰ. 自然乾燥は建屋付のストックヤードではなく、空地にて行う。
  - Ⅱ. 腐敗による悪臭・雑菌繁殖対策に石灰を散布する。
  - Ⅲ. リグニンの部分分解処理には、アルカリ処理及び水熱処理を併用して行う。
- の3つの工程を追加した。

まず、I の自然乾燥を当初案のまま「空地」にて行う理由については、湿式粉碎を行う際は砂や小石の除去等を行う必要があり、収集された 6,000t の剪定枝葉から異物を除去するのは実質不可能なため、時間・コスト面から実用的な乾燥法として、空地による自然乾燥を選択した。

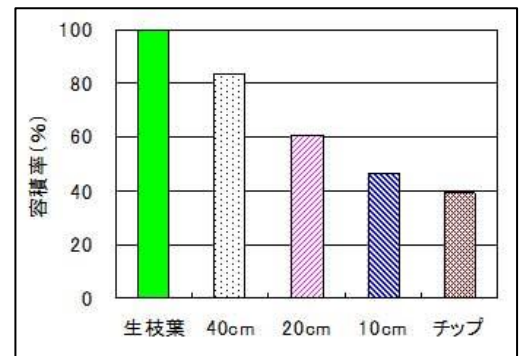
図表 3-21 及び図表 3-22 に示したように、生枝葉の容積率を 100%とした場合、寸法が細くなるに従い容積率は低くなり、20cm では 2/3、10cm では半分以下に減容化できるが、破砕片は細かいほど乾燥しにくくなる。

一般に細かく破砕し、表面積が増えるほど乾燥速度は速くなると考えられるが、積み上げた場合には破砕片のすきまが大きいほど乾燥速度が早くなる傾向になる。

図表 3-21 破砕片別における含水率の変化について



図表 3-22 破砕片別における容積率の変化



(出典: 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 HP/木質バイオマスの効率的輸送保管のための減容化技術の開発)

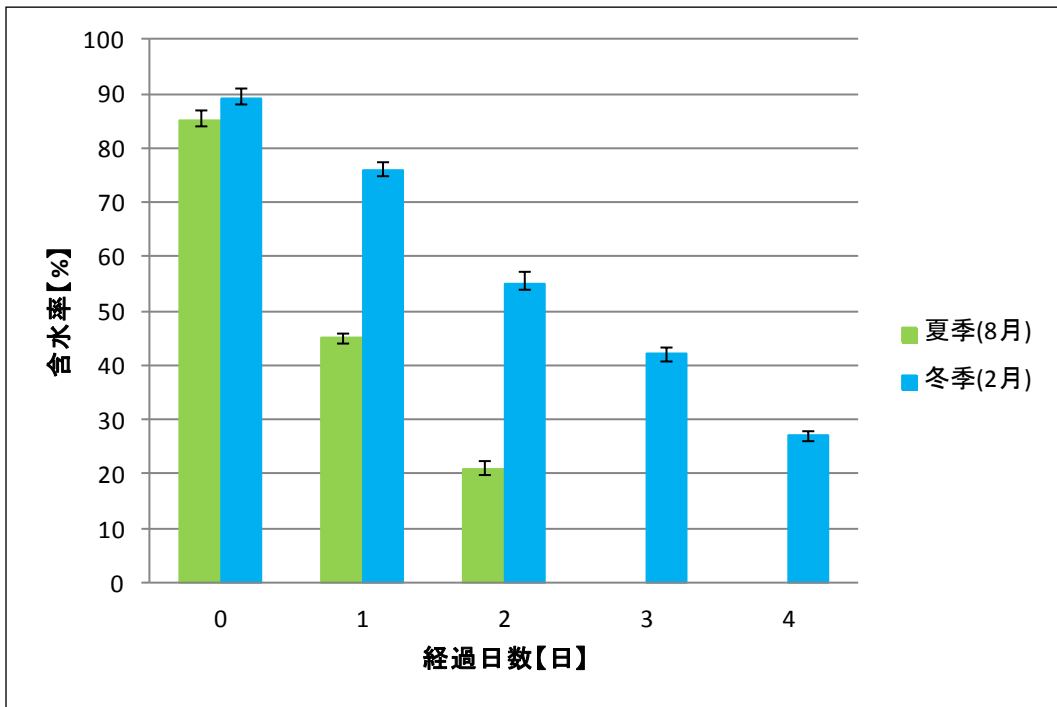
([http://www.naro.affrc.go.jp/org/nfri/yakudachi/biofuel/kadai/2008/kadai\\_b030.html](http://www.naro.affrc.go.jp/org/nfri/yakudachi/biofuel/kadai/2008/kadai_b030.html))

このことから、収集された剪定枝葉は一度、そのままの状態（縦×横×高さ=4×2×2）で空地に運搬し、高さ 1m 以下で空地全体に広げ、含水率を約 30%まで下げることとする。乾燥状態はバイオマス用デジタル水分計で確認を行う。

建屋を建設しないことから、雨曝しになり、乾燥期間が長くなる可能性があるが、ある一定以上乾燥すれば、表面に油膜が形成され、枝葉の内部に水分が染み込みにくくなる。

乾燥にかかる時間は、雨天後の再乾燥を含み 2~7 日間を想定している。

図表 3- 23 刈り草の自然乾燥における含水率の変化 (n=3)



(出所:基礎調査機関社内データ)

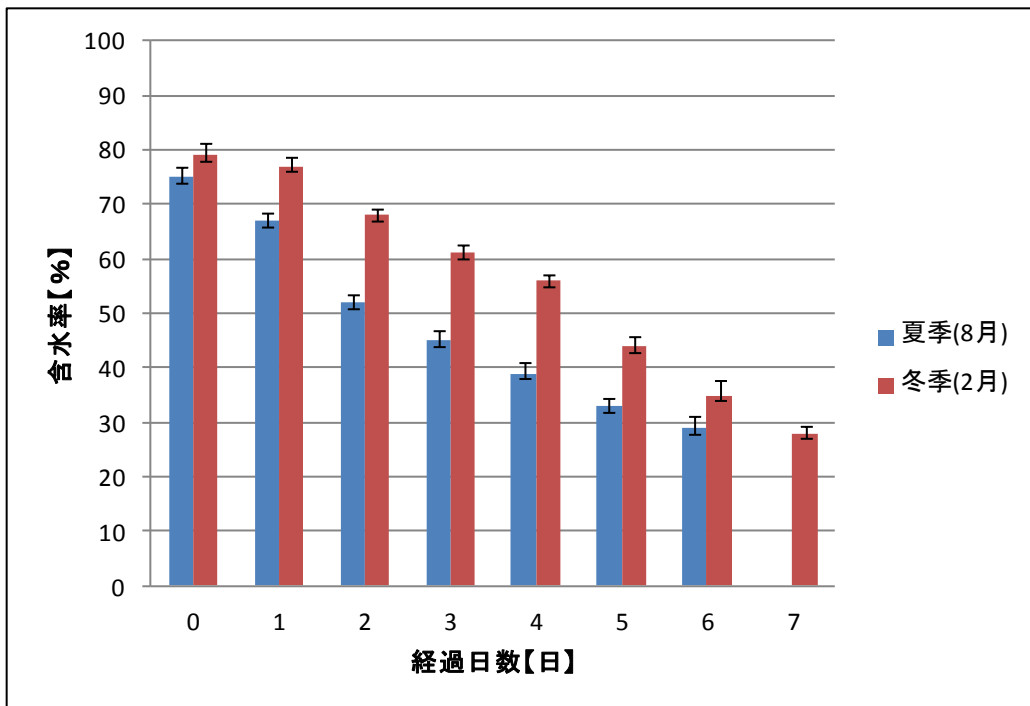
【乾燥条件】

刈草の長さ：100 cm以上（不均一）

乾燥場所：岐阜県羽島市内

乾燥条件：田畑に囲まれており、大きな建屋がなく、日当たり良好

図表 3- 24 剪定枝葉の自然乾燥における含水率の変化 (n=3)



(出所:基礎調査機関社内データ)

### 【乾燥条件】

刈草の長さ：100 cm以上（不均一）

乾燥場所：岐阜県羽島市内

乾燥条件：田畑に囲まれており、大きな建屋がなく、日当たり良好

また、図表 3- 22 のように、枝葉をチップ化することで容積率が減るという事は、密度が高く（空隙率が低く）なり、発酵熱で自然発火の可能性が考えられるが、枝葉そのままの積み上げでは、空隙率が高くなるため、自然発火の危険性も低くなる。

ただ、放火による出火の危険性はあるため、空地にはフェンスで囲う等の安全上の管理は必要と考えられる。

乾燥に要する期間について述べてきたが、乾燥する条件により、最適な含水率に下げするために必要な期間は、前後する可能性がある。

長期間にわたる降雨を想定し、建屋を建設し乾燥する場合は、図表 3- 25 のようなテント倉庫等の設置が考えられる。

テント倉庫は、建築基準法施行令（昭和 25 年政令第 338 号）第八十条の二第二号の規定に基づき、膜構造の建築物の内、「倉庫の用途」に供する建築物を指す。

その構造方法に関する、安全上必要な技術的基準の適用範囲は、

- I. 用途が倉庫であること
- II. 延べ面積 1,000 m<sup>2</sup>以下で階数が「1 階」であること
- III. 軒高 5m 以下であること

と定められており、かつ、建築物であるため、建築確認申請を行う必要がある。

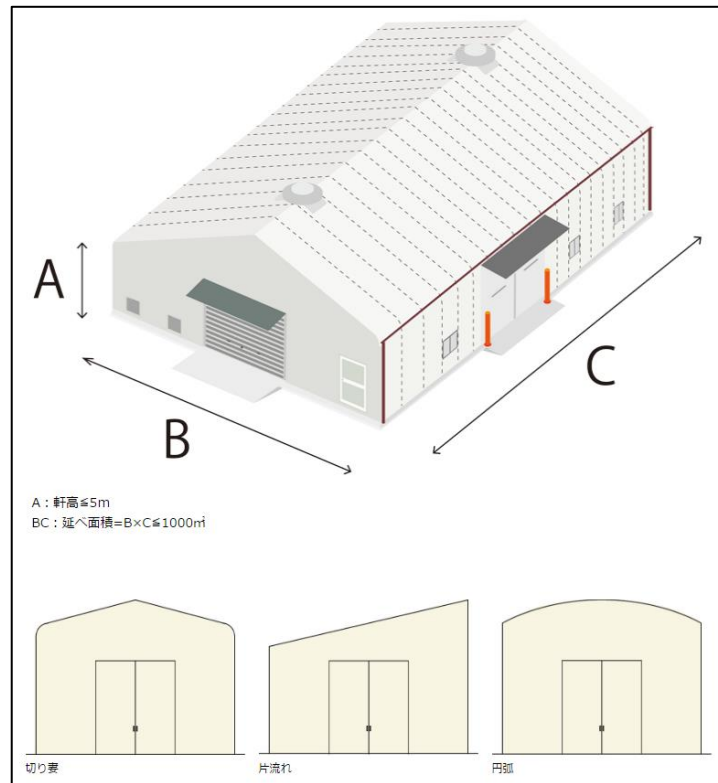
図表 3- 25 テント倉庫の外観と内観



（出所：バイオマスエネルギー地域システム化実験事業視察時）

テント倉庫は、建設費及び工期短縮のメリットがあるとされ、剪定枝葉の乾燥、一時保管、さらに降雨時の作業において、野外での作業時間も少なくなり、作業員への負担軽減の効果に利点があるものと想定される。

図表 3-26 テント倉庫の基準



(出典: テント倉庫.net/テント倉庫 建築確認申請とは)

(<http://big-tent.net/service/warehouse/application/>)

そして、Ⅱについては、収集された剪定枝葉の内訳は「剪定枝葉：草本＝7：3」の割合であり、草本が混入している状態であるため、自然乾燥による腐敗の進行及び悪臭が発生し、周辺環境の悪化が想定される。

この対策には「消石灰」を散布することで、雑菌の繁殖及び悪臭の発生を抑制する。

Ⅲについては、当初案では、水酸化ナトリウムと過酸化水素水によるリグニンの部分分解処理工程を想定していたが、この工程を除外し、代わりに、粉碎処理後水酸化カリウムによる「アルカリ処理」及び「水熱処理」の工程を追加した。

水酸化カリウムを用いる理由は、安価で酵素に影響しない薬品を用いるとともに、残渣や排水を農業用途で利用しやすくするためである。

木質のアルカリ処理では、リグニン量の減少とともに酵素糖化性は向上することが知られており、アルカリ処理はリグニン除去を期待して採用されることが多い。

これは、セルロース表面を直接的あるいは間接的に覆うリグニンの分離により、糖化酵素が反応可能なセルロース表面を増やすことや、リグニンに対する酵素糖化の非特異的吸着を防ぐために効果的であると考えられているからである。

また、水熱処理を行うことで、腐敗した原料を滅菌し、以降の糖化・発酵工程への雑菌汚染の持ち込みを防止する効果も期待できる。

産総研中国センターへのヒアリング調査においては、アルカリ処理と水熱処理を併用していた。

図表 3-27 のように、アルカリ水熱処理と粉碎処理技術とを組み合わせ合わせた複合処理が、酵素糖化性を向上させることを示している。

また試験では処理時間を1時間と4時間で比較しているが、処理時間を長くしても糖化率が飛躍的に向上することはなかったため、処理時間は1時間で必要十分であることが示された。

図表 3-27 アルカリ添加処理－湿式粉碎処理による生成物の比表面積

アルカリ添加水熱処理のみ			湿式 ボールミル粉碎	アルカリ添加水熱処理＋湿式粉碎処理		
試料	比表面積 (m <sup>2</sup> /g)	糖化率 (%)		試料	比表面積 (m <sup>2</sup> /g)	糖化率 (%)
10%NaOH, 室温-1h	7.9	2.7	→	10%NaOH, 室温-1h	86.6	50
10%NaOH, 50°C-1h	11.8	3.9		10%NaOH, 50°C-1h	86.9	61
10%NaOH, 80°C-1h	16.4	3.8		10%NaOH, 80°C-1h	88.0	66
10%NaOH, 120°C-1h	30.8	8.5		10%NaOH, 120°C-1h	97.0	75
試料	比表面積 (m <sup>2</sup> /g)	糖化率 (%)	湿式 ボールミル粉碎	試料	比表面積 (m <sup>2</sup> /g)	糖化率 (%)
10%NaOH, 50°C-4h	10.9	3.2		10%NaOH, 50°C-4h	96.5	60
10%NaOH, 80°C-4h	12.7	4.2	→	10%NaOH, 80°C-4h	101.9	63
10%NaOH, 120°C-4h	36.6	9.3		10%NaOH, 120°C-4h	122.0	78

(出典:セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業／バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発／早  
 木からのメカノケミカルパルピング前処理によるエタノール一貫生産システムの開発 平成 26 年 5 月  
 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, 40 頁)

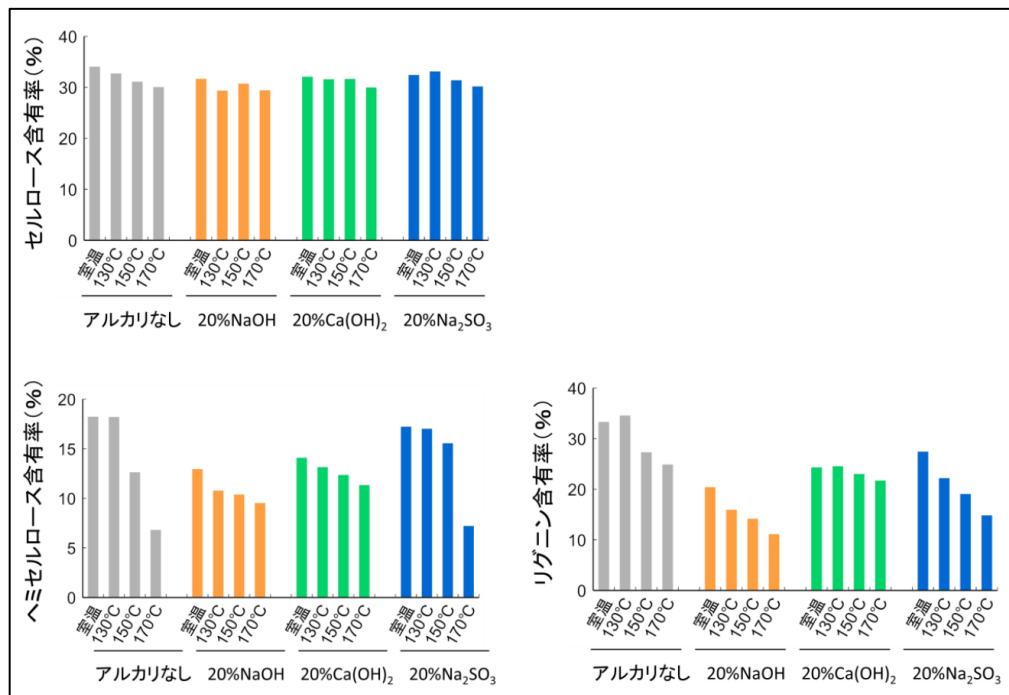
また、図表 3-28 に示したように、セルロース含有率は、粉碎処理のみの場合（アルカリなし、室温処理）と比較して、各種アルカリ処理、又その水熱処理においても顕著な変化はなく、少なくとも木粉重量に対して 20%までの希薄なアルカリ処理とその室温～170°Cの処理条件は、セルロースの組成に大きく影響しないことが示された。

ヘミセルロース含量は 150°C以上の加熱処理に対して影響されやすく、アルカリを加えない水熱処理単独条件では、170°C処理において 2 分の 1 以上のヘミセルロースが溶出していた。

亜硫酸ソーダ処理においても 150°C処理時には比較的溶出が抑えられているが、170°C処理では 170°C水熱単独処理と同等であった。

水酸化ナトリウムおよび水酸化カルシウム処理では、室温処理でも 150°C水熱単独処理と同等量までヘミセルロース含量は減少していたが、170°C処理までの減少幅は小さいことが示された。

図表 3-28 異なるアルカリ種による水熱粉碎処理物の成分組成変化



(出典:セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業/バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発/早生樹からのメカノケミカルパルピング前処理によるエタノール一貫生産システムの開発 平成 26 年 5 月 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, 43 頁)

さらに、図表 3-29 のように、酵素糖化試験を行った前処理物全てにおける、ヘミセルロース含量とセルロース糖化率との関係を見ると、ヘミセルロース含量の少ない試料ほど糖化率が高い傾向が示された。

一方、リグニン含量は亜硫酸ナトリウム及び水酸化ナトリウムにおいて処理温度の影響を受けやすく、処理温度が上がるにつれてリグニンの溶出量も増加しており、さらに、リグニンの溶出量が多い試料は糖化率も高い傾向にあった。

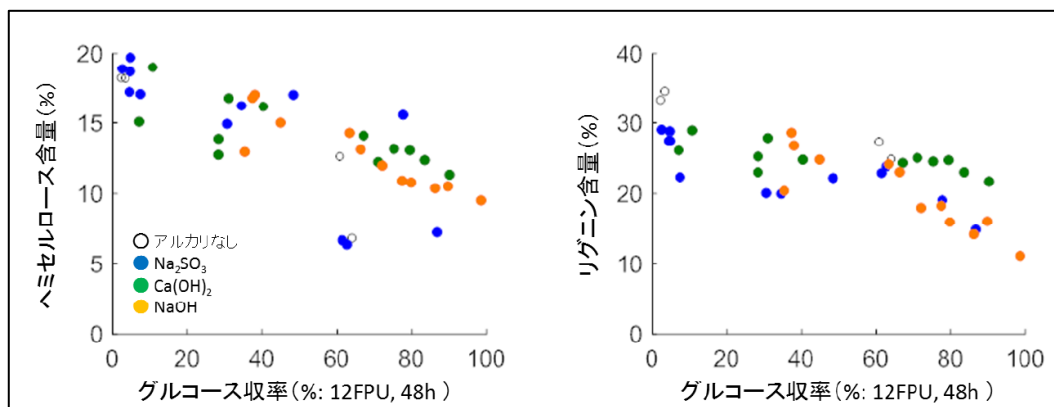
木材中のリグニンが溶出することにより木質組織は脆弱化し、そのため粉碎効率が向上したと推測される。

しかしながら、水酸化カルシウム処理においては、20%水酸化カルシウム - 170°C 処理においても 3 分の 2 のリグニンが残ったままであった。これは、水酸化カルシウム由来のカルシウムがカルボキシ基やメトキシ基、水酸基といったリグニンのイオン化しやすい官能基をブロックし、リグニンとの複合体を形成して、リグニンの可溶性を弱めることが原因と考えられている。

図表 3-29 においても、リグニン量は酵素糖化性との相関性はほとんどないことが示されたことにより、リグニン成分の除去作用以外にも、アルカリによる粉碎効率向上のメカニズムがあることが推測された。



図表 3-29 異なるアルカリ種による水熱粉砕処理物の糖化率と木質成分



(出典:セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業／バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発／早  
 木からメカノケミカルパルピング前処理によるエタノール一貫生産システムの開発 平成 26 年 5 月  
 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, 44 頁)

これらのことから、図表 3-20 のように、前処理方法の見直しを行い、改定案による再検証を実施した。

**【実験手順】**

1. 粉砕済剪定枝葉 100g に対し、3 倍の水 (300ml) につき重量の 1%~10%の水酸化カリウム (1g~10g) を溶解して剪定枝葉に添加  
 (対照として無処理の剪定枝葉および水酸化カリウムを添加しない剪定枝葉についても試験を行った)
2. 0.1MPa, 120°C で 1 時間水熱処理
3. 処理済剪定枝葉を糖化反応容器 (ジャーフェーマンター) に投入
4. 初期重量の 2 倍の水とともにクエン酸を添加・混合
5. pH4.5±0.5 となっていることを確認後、酵素を添加
6. 48 時間後、糖濃度を測定し、糖化率を算出



図表 3-30 原料(剪定枝葉)の1次粉碎と2次粉碎後の比較



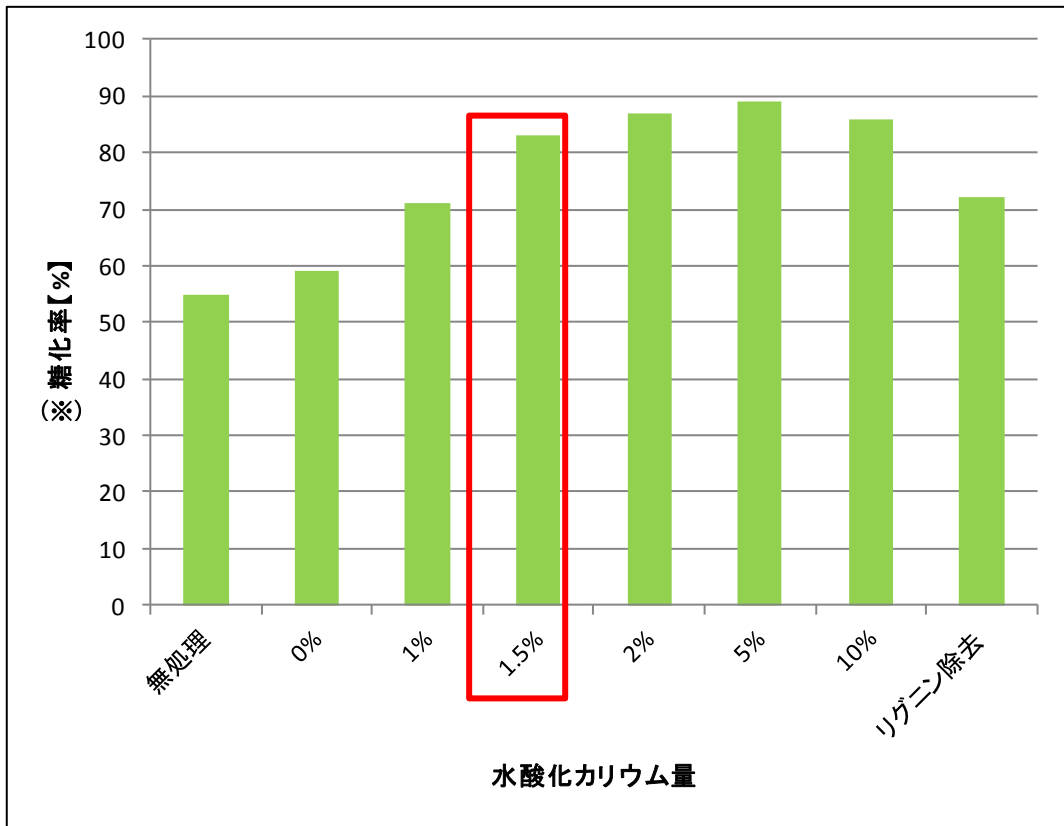
### 【試験結果】

図表 3-31 の結果から、剪定枝葉重量の 1.5%以上の水酸化カリウムによるアルカリ蒸解処理により、糖化率が 80%以上に改善できることが確認された。

この糖化率は、リグニン除去処理における糖化率 (71%) より高く、前処理方法として適していると考えられる。

また、アルカリ蒸解処理後の pH 測定結果 (図表 3-32) から、水酸化カリウム量が 2%以下のアルカリ蒸解処理後の pH は中性付近であり、以降の工程で添加する酸の量に大きな影響は与えないことが確認された。

図表 3- 31 アルカリ蒸解処理(水酸化カリウム)による糖化率の変化



(出所:基礎調査機関 自社試験データ)

(※) 糖化率の算出式：(剪定枝葉 100g から得られた総糖量)/(剪定枝葉 100g 中のホロセルロース量)×100

比較対象：無処理およびリグニン除去のデータ

図表 3- 32 アルカリ蒸解処理後の剪定枝葉の pH 測定結果

水酸化カリウム量【%】	0	1	1.5	2	5	10
pH 値	5.9	6.1	6.5	6.9	7.9	8.1

(出所:基礎調査機関 自社試験データ)

以上の結果から、改定案による前処理法は有効であると考えられる。

## 2. 事業化に必要な基盤条件と課題

### (1) 事業に係る法的要件の整理

バイオエタノール製造施設の導入に当たっては、バイオマス処理を業として営む際や、処理施設を建設する際、施設の運転時等において、多種・多様な法規制の適用がおよぶ。

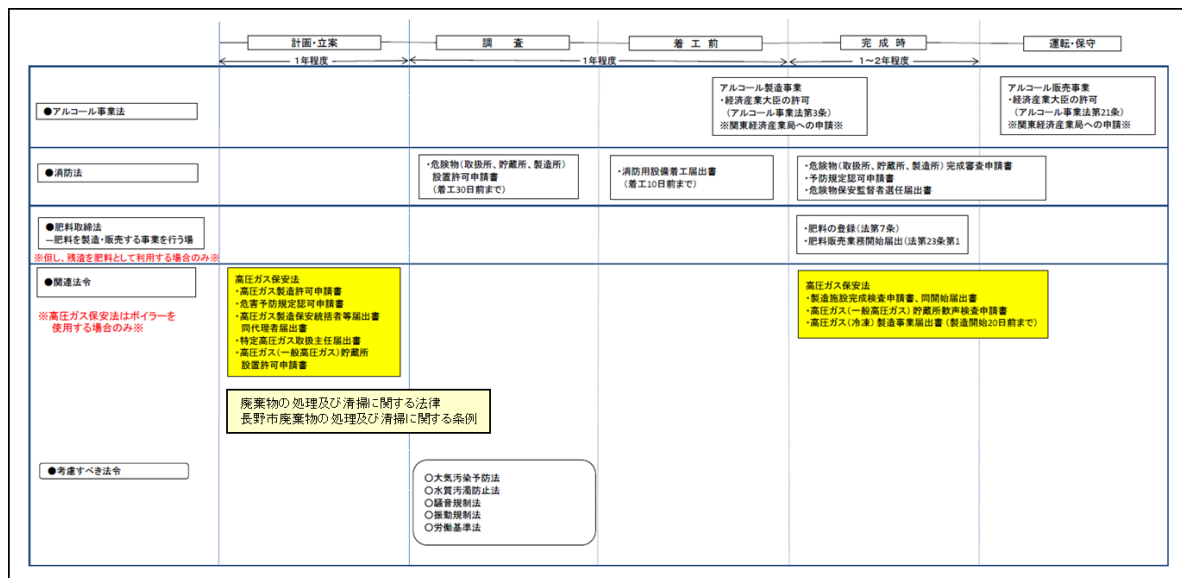
これらの法規制は、取り扱うバイオマスの種類や量、または事業主体の性質等によって、手続き上の特例措置が設けられていたり、適用法令が異なったりすることから、当該事業の枠組みを踏まえ、関係する法規制に関する情報を収集・確認することが重要である。

また、昨今の環境保全強化の動きから規制強化が進むものもあれば、一方で、手続きの簡素化等の規制緩和・撤廃の動きもあり、関係する法規制の見直しが盛んに行われているため、常に最新の法規制を調べた上で事業を進める必要がある。

実務上で関連する主な法令と管轄省庁、当該法令における適用範囲等を整理する。

関連する法令フローシートを図表 3-33 に示す。

図表 3-33 関連法令フロー図



(出所：メタン活用いしかわモデル導入手引き～小規模下水道処理場における混合バイオマスメタン発酵システム～(平成27年3月)より加筆編集)

### (2) 収集した剪定枝葉の自然乾燥を行う空地について

今回の条件では乾式粉碎が適していると考えられ、収集した剪定枝葉は、含水率30%以下まで乾燥する必要がある。

なお、乾燥方法は自然乾燥とする。熱乾燥等のエネルギー投入は収支が見合わず、またバイオマスの劣化(リグニンの変質によるセルロース糖化効率低下、炭化等)を招くこともあるためである。

自然乾燥の場合、気象条件の影響を受けることから、予備も含め処理量の7日分に当たる剪定枝葉が乾燥できる面積とした。

尚、長期にわたる降雨も想定されることから、テント倉庫等が設置されることが望ましい。  
作業内容は以下である。

作業内容：

- I. 収集車から下ろした剪定枝葉を、高さ50～100cmになるように広げる
- II. 代表試料についてバイオマス水分計で初期含水率を測定する
- III. 2～7日間自然乾燥し、バイオマス水分計で代表試料が30%以下になった時点で乾燥終了とする
- IV. ヘイベラー（※）を用いて、剪定枝葉を圧縮し、製造エリアへ運搬する

（※）ヘイベラー：剪定枝葉を圧縮して梱包し、トワイン（細いロープの一種）で結束するために用いる梱包機械。

面積：高さ100cmとした場合は1. (2)で記載された180 m<sup>2</sup>/日×7日=1,260 m<sup>2</sup>

高さ50cmとした場合は7日分で2,520 m<sup>2</sup>

環境：放火・ごみ投入等を防止するためフェンス等を設置

必要機材：バイオマス水分計、ヘイベラー

### (3) 施設全体の規模について

施設全体の規模は、物質収支シートをベースとした大型設備の配置から、6t/日処理の設備で600 m<sup>2</sup>以上が必要であると見込まれる。

<設備要件>

高圧蒸気処理機 1基：処理量 6,000kg/日以上

糖化槽 3基：有効容量 直径5m×高さ7.2m

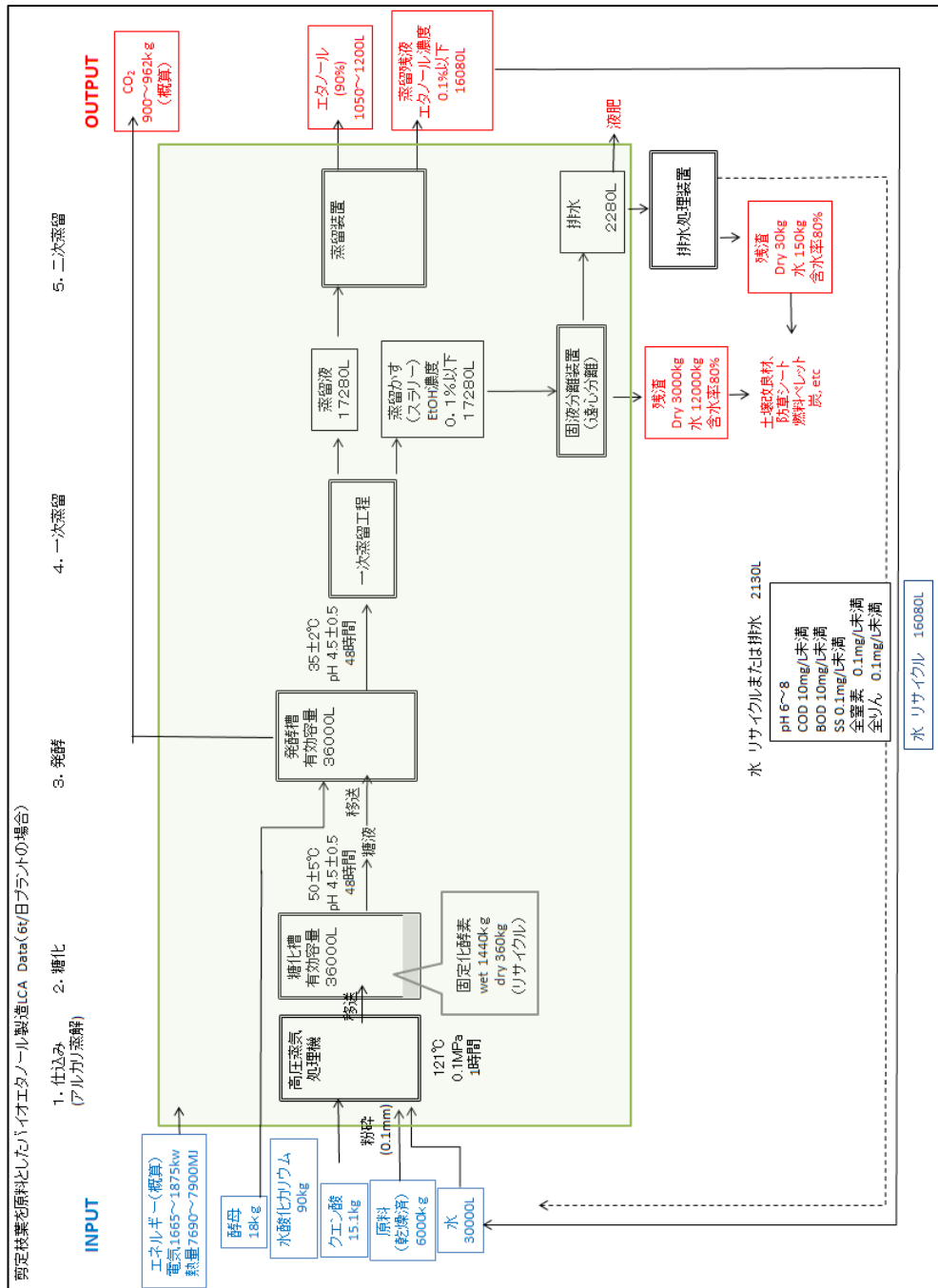
発酵槽 3基：有効容量 直径5m×高さ7.2m

1次蒸留機 1基：処理量 36,000ℓ/日以上

2次蒸留機 1基：処理量 17,280ℓ/日以上、エタノール濃度 90%以上

固液分離装置 1基：処理量 17,280ℓ/日以上、脱水ケーキの含水率 80%以下

図表 3-34 剪定枝葉を原料としたバイオエタノール製造 LCA(6t/日処理)



#### (4) 収集運搬に係る現状

##### ア 概要

剪定枝葉については、平成 21 年（2009 年）10 月から、資源ごみとして分別回収が行われており、市街地を中心とした地域では、週 1 回の頻度で集積所による収集を実施し、自家処理する家庭の多い戸隠・鬼無里・大岡・信州新町・中条地区は、集積所による収集は行わず、月 1 回の「サンデーリサイクル（※）」に併せて各地区の支所で収集している。その他、長野市清掃センターにストックヤードへの持ち込みも受け入れしている。

（※）サンデーリサイクル：長野市が、スーパーマーケットなどの駐車場を借りて、缶・ビンなどの資源物を特別収集する事業

収集対象、排出方法は図表 3- 35 のとおりである。


図表 3- 35 剪定枝葉の集積所への出し方

- 庭木の剪定枝葉や竹
- 庭の草花や切り花
- 雑草 ●落ち葉
- 家庭用菜園から出る茎や葉  
※トマトやナスなど食用になる実の部分は可燃ごみへ  
※生ごみ、調理くずは可燃ごみ
- 食用以外の実や種  
(松かさやナンテンなど) 直径50cm以内  
くらいに束ねる

**注意1** 枝1本ごとの直径は25cm以下。  
**注意2** 旧指定袋は使用しないでください。  
**注意3** アレチウリやオオキンケイギク等の  
特定外来生物は、可燃ごみとして出してください。(生息域拡大を防ぐため、剪定枝葉等では不可)


指定の袋はありません。  
①束ねて、縄やビニールひもなどでしばるか、  
②中身の見える袋に入れて、出してください。  
※いずれの場合も粗大ごみシールは不要。

1mくらいの  
長さに切る



針金・コードなどは不可  
荒縄・麻縄が望ましい

土をできるだけ落として  
から袋に入れる



※タバコの吸いがら等小さな  
ごみを入れないで下さい。

(出所:家庭用 資源物とごみの出し方保存版 2016. 3 月改訂)

集積所収集は 4 月から 12 月、サンデーリサイクルは 4 月から 11 月を収集期間とし、排出量の少ない 1 月から 3 月の間は、長野市清掃センターへの持ち込みのみ実施している。

図表 3- 36 地域毎の収集形態等

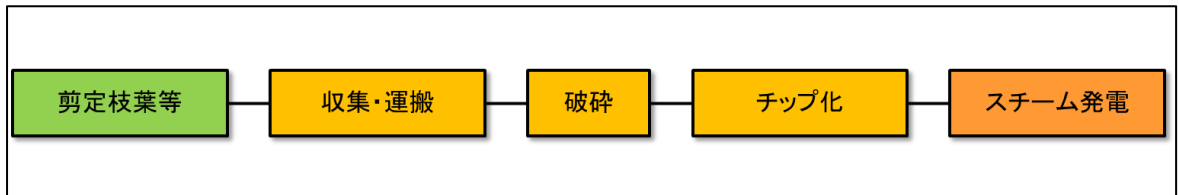
地区等	収集形態	頻度等	収集期間
戸隠・鬼無里・大岡・ 信州新町・中条地区	サンデーリサイクル	1 回/月	4 月～11 月
上記以外	集積所収集	1 回/週	4 月～12 月
全地域	清掃センターへの 持ち込み	清掃センター稼働日に 受け入れ	通年

収集した剪定枝葉は、市北部に位置する浅川地区にあるA社、市南部に位置する若穂地区にあるB社に処理委託され、堆肥化等の資源にリサイクルされている。

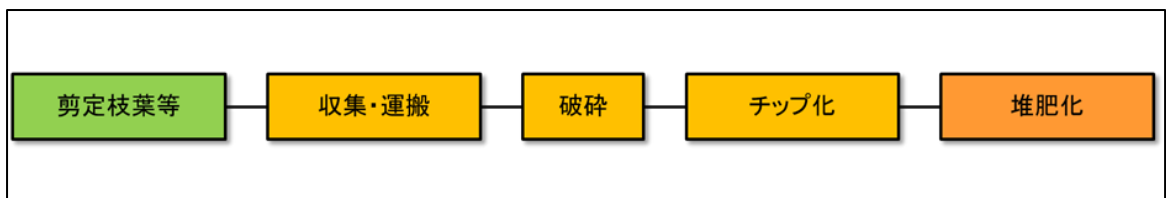
各地区で収集された剪定枝葉は、2箇所のうち、近くにある委託先に搬入している。

図表 3-37 各事業所における剪定枝葉の処理フロー図

【A社】

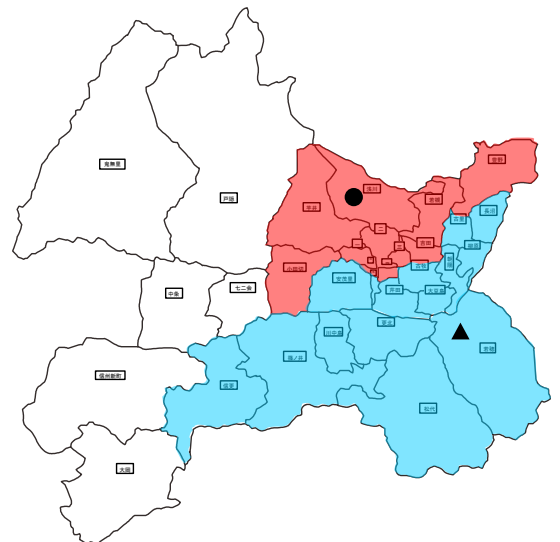


【B社】



図表 3-38 剪定枝葉の収集日及び収集運搬業者の区域と位置関係

	地 区					
月	第1	第5	古牧	小田切	川中島	
火	第3	第4	古里	朝陽	浅川	篠ノ井3
水	芹田	大豆島	安茂里	更北	豊野1	
木	三輪	吉田	若槻			
金	第2	柳原	若穂	篠ノ井1	篠ノ井2	
土	長沼	芋井	松代	七二会	信更	豊野2



● A社	▲ B社
■ A社への搬入地域	■ B社への搬入地域

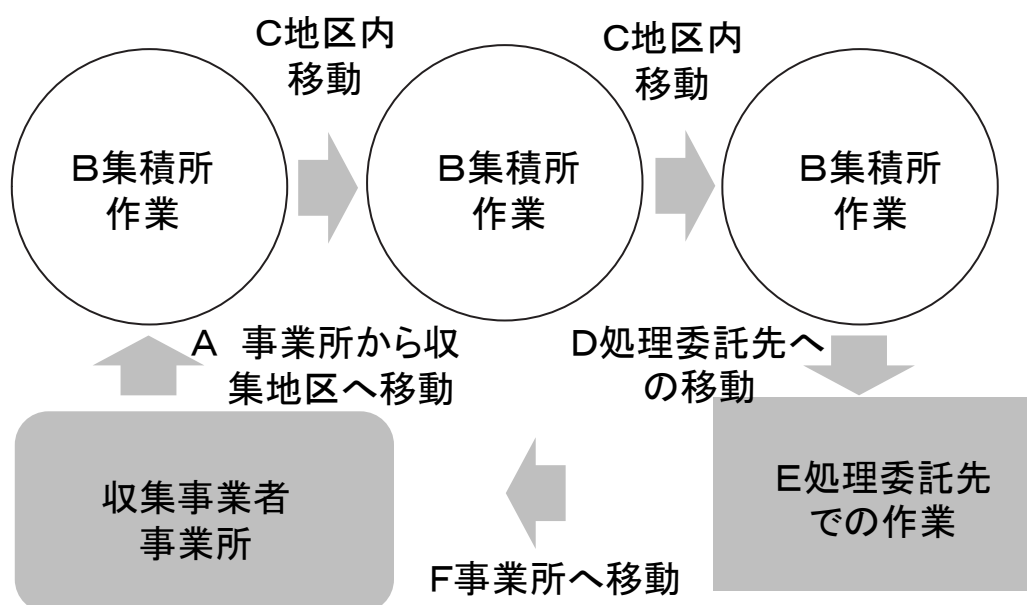
剪定枝葉の収集運搬については、C組合に可燃ごみ、不燃ごみ等と合わせて一括で委託しており、剪定枝葉のみの収集運搬費用の正確な支出額は把握できないが、作業量の按分等から、約8,000万円と推定する。

## イ 収集運搬事業者の作業について

図表 3- 39 に収集運搬事業者の作業フローを示す。

収集運搬事業者は、事業所からその日の収集地区へ移動し(A)、集積所における収集作業(B)を行い、地区内の集積所を一巡し(C)、収集作業(B)を繰り返す。担当する全ての集積所からの収集が終わった後、処理委託先に移動し(D)、処理委託先で計量、積み降ろしといった作業を行い(E)、事業所へ戻る(F)、という工程で日々の収集がなされている。

図表 3- 39 収集運搬業者の作業フロー



以下の図表 3- 40 に、収集状況を示す。

剪定枝葉、草は、市からの指定により、透明な袋に入れるか、紐で結束されて集積所に出されている。

その袋、紐のほとんどは、ビニール製であり、現在の処理委託先で受け入れが困難なため、収集車両に積み込む際に、作業員が取り除いており、可燃ごみ等に比較し、作業効率の低下を招いている。長野市では、結束について「縄紐」の使用が望ましいとしているが、縄紐が使われていたのは、観察時4tの排出物のうち、4個に留まった。



図表 3-40 収集・運搬状況

写真	状況
	<p>集積所への排出状況</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・草、細かな枝葉は、透明なビニール袋に入れて排出</li> <li>・枝等は、1m以内に揃えられ、直径 50cm 以内に束ねて排出。袋、紐ともにビニール製</li> </ul>
	<p>収集車両への積み込み作業</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ビニールの袋、紐は、積み込む段階で、除去</li> </ul>
	<p>収集車両への積み込み作業</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・市が望ましいとしてる縄紐で結束された排出物。</li> <li>・このままりサイクル可能</li> <li>・観察時約 4t の排出物中、4 個のみ縄紐で結束されていた。</li> </ul>
	<p>委託先（A社）での積み降ろし作業</p>
	<p>委託先（B社）での積み降ろし作業</p>

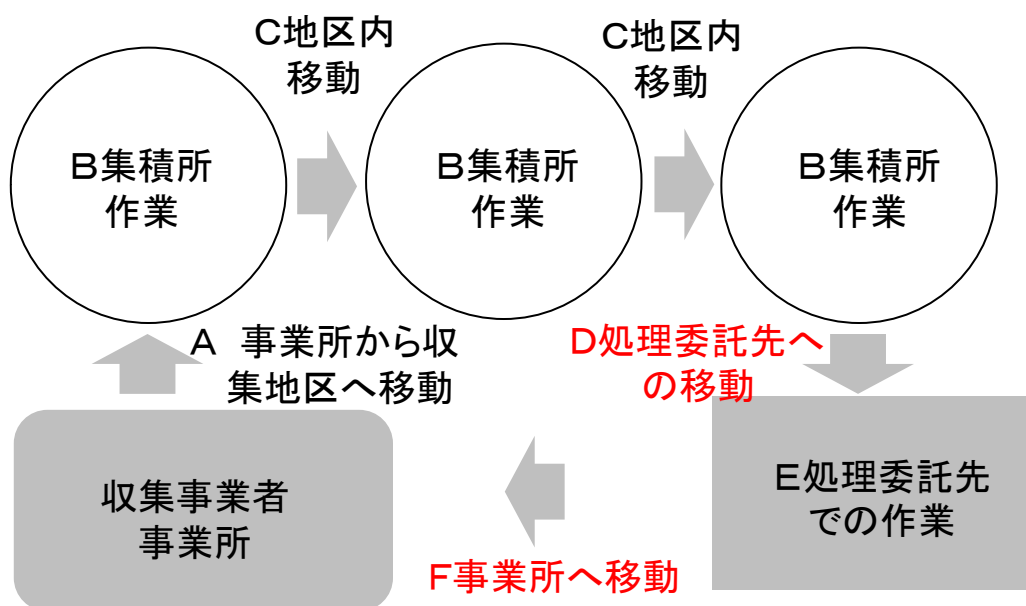
## (5) 収集運搬費用シミュレーション

### ア シミュレーションの考え方

剪定枝葉のバイオエタノール化の実現に当たっては、新たなプラント整備が必要となるが、その設置位置によって、収集運搬費用が変動することが想定される。

収集運搬事業者の収集工程は、前項で述べたとおりであるが、新たなプラントの位置によって、図表 3-41 に赤色で示した、収集後の処理委託先への移動（D）、処理委託先から事業所への移動（F）、の部分が変動する。

図表 3-41 収集運搬業者の作業フロー(D及びFの変動)



そこで、現在の収集状況における、それぞれの作業工程に係る費用を、それぞれに要する推移時間で現在の処理費用約 8,000 万円を按分し、算出する。

そして、プラントの設置位置によって、変動する部分について要する時間を推計し、全体費用のシミュレートを試みることにした。

なお、シミュレートに当たって、収集運搬に掛かる費用は全て時間で按分できるものと仮定した。

#### 【収集運搬に係る費用】

- A 事業所から収集地区へ移動
- B 集積所における収集作業
- C 地区内移動
- D 処理委託先（プラント）への移動 ⇒プラント位置によって変動
- E 処理委託先（プラント）での作業
- F 処理委託先（プラント）から事業所へ移動 ⇒プラント位置によって変動

## イ 現状分析

図表 3- 42 の推計方法により、地区毎に各工程毎の所要時間を算出する。次に、各工程毎に各地区の所要時間を合算し、その割合で 8,000 万円を按分し、各工程に要する費用を算出した。

根拠とした実測値については、2 地区で実際に収集作業を行う車両に同行し、各工程に要する時間を実測したものである。

図表 3- 42 各工程毎の所要時間算定方法

工程	推計方法	備考
A 事業所から収集地区へ移動	実測値をナビソフトにより算出した時間で按分	
B 集積所における収集作業	実測値を収集量で按分	地区別収集量は全体収集量を戸建て住宅数で按分
C 地区内移動	実測値を地区内面積で按分	中山間地域は、森林面積を考慮し、地区面積を 1/5 とした。
D 処理委託先（プラント）への移動	実測値をナビソフトにより算出した時間で按分	
E 処理委託先（プラント）での作業	実測値から算出	
F 処理委託先（プラント）から事業所へ移動	実測値をナビソフトにより算出した時間で按分	

結果を、図表 3- 43 及び図表 3- 44 に示す。

最も時間（費用）を要しているのが、C：地区毎の地区内移動時間で 56%を占め、B：地区毎の作業時間が 23%で続いている。

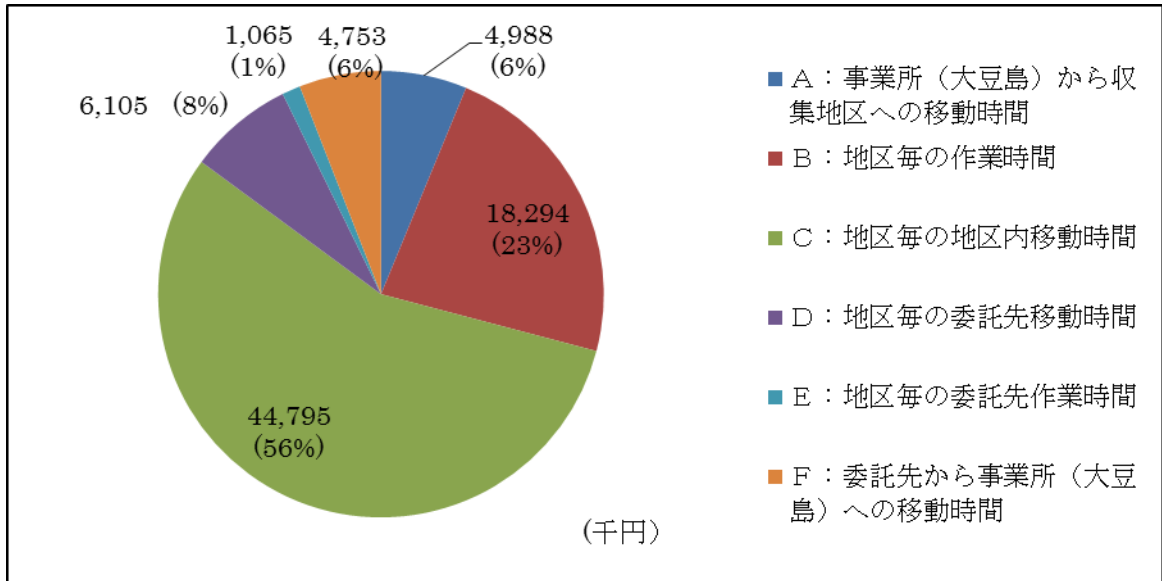
プラント位置によって変動するD：地区毎の委託先移動時間、F：委託先から事業所（大豆島）への移動時間については、合計で 14%であった。

図表 3- 43 現行の収集運搬における各工程毎の所要時間と費用推計

処理プラント設置想定地区		①事業所（大豆島）から収集地区への移動時間	②地区毎の年間作業時間	③地区毎の年間地区内移動時間	⑤地区毎の委託先作業時間	④地区毎の委託先移動時間	⑥委託先から事業所（大豆島）への移動時間	合計
		現状	時間（分）	77,937	285,854	699,935	16,640	
	按分金額（円）	4,987,890	18,294,399	44,795,135	1,064,951	6,104,874	4,752,751	80,000,000

（出所：長野市調べ）

図表 3- 44 剪定枝葉の収集工程毎の想定費用



(出所：長野市調べ)

ウ プラント位置による収集運搬費用の変動

前項の現状分析で得た費用のうち、D：地区毎の委託先移動時間、F：委託先から事業所（大豆島）への移動時間を変動させて、費用をシミュレートした。

処理プラントは、各地区の支所（第一～第五は公民館）に位置するものと仮定した。

図表 3-45 処理プラント位置による各工程毎の所要時間シミュレート

工程	推計方法	備考
A 事業所から収集地区へ移動	現状分析値と同じ	
B 集積所における収集作業	現状分析値と同じ	
C 地区内移動	現状分析値と同じ	
D 処理委託先（プラント）への移動	現状分析値をナビソフトにより算出した時間で按分	
E 処理委託先（プラント）での作業	現状分析値と同じ	
F 処理委託先（プラント）から事業所へ移動	現状分析値をナビソフトにより算出した時間で按分実	

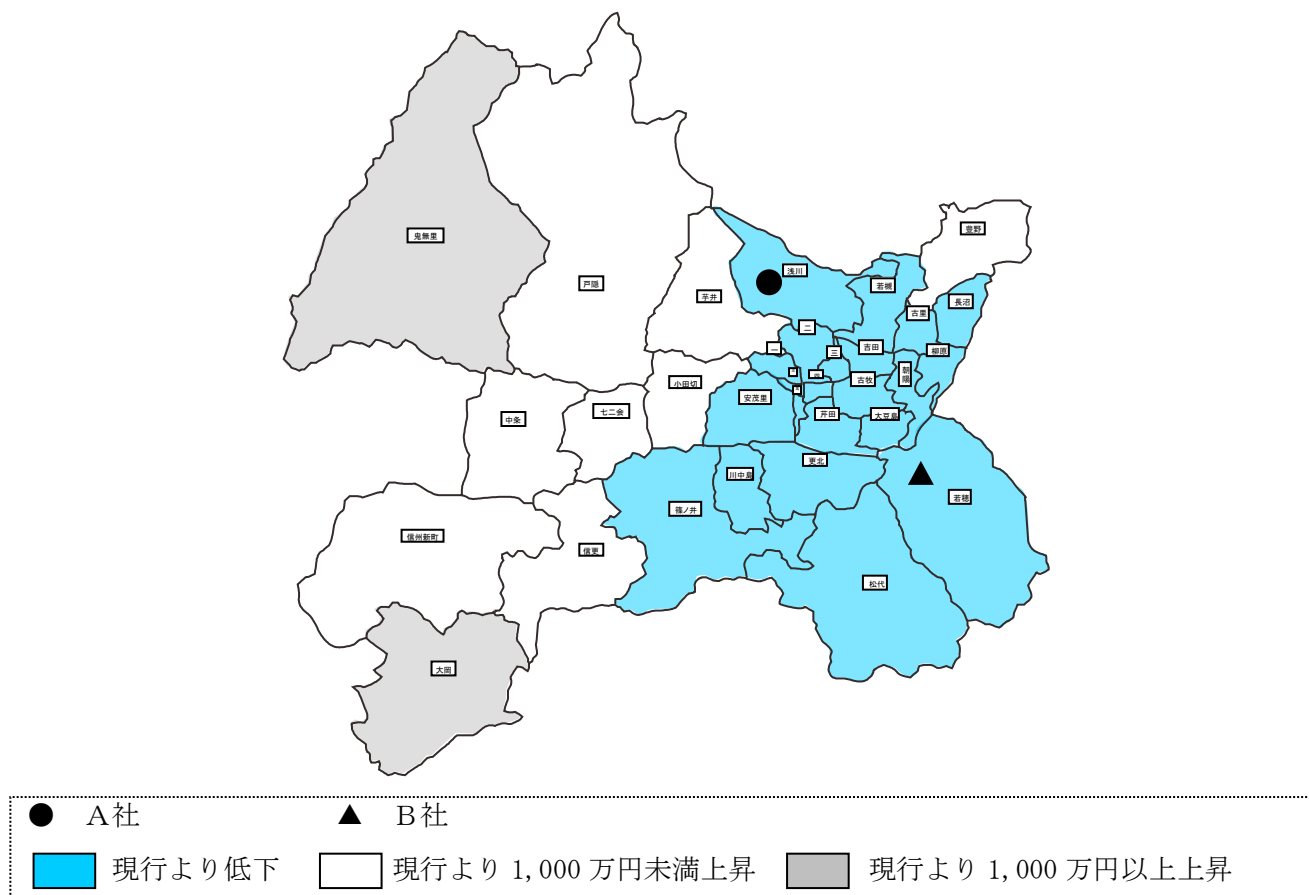
結果を図表 3- 46 及び図表 3- 47 に示す。収集運搬費用について、22 地区が現行の 8,000 万円よりも下がると想定され、10 地区が現状よりも上がり、その内 2 地区については 1,000 万円以上の増加が想定された。

図表 3- 46 処理プラント位置による想定収集運搬費用シミュレート

処理プラント 設置想定地区	想定収集運搬 費用	処理プラント 設置想定地区	想定収集運搬 費用
大豆島	72,825	川中島	77,288
第三	74,008	古里	77,390
芹田	74,228	松代	79,144
第五	74,411	長沼	79,177
三輪	74,914	篠ノ井	79,742
第四	74,998	現状	80,000
古牧	75,167	芋井	80,058
吉田	75,263	豊野	80,586
朝陽	75,314	小田切	81,782
第一	75,420	中条	85,015
第二	75,486	七二会	85,315
更北	75,564	信更	87,656
安茂里	75,622	信州新町	89,264
若穂	76,159	戸隠	89,396
浅川	76,789	鬼無里	91,678
柳原	76,818	大岡	98,070
若槻	76,990		

(千円)

図表 3- 47 処理プラント位置による想定収集運搬費用の現行との比較





### 3. 先進地事例視察調査

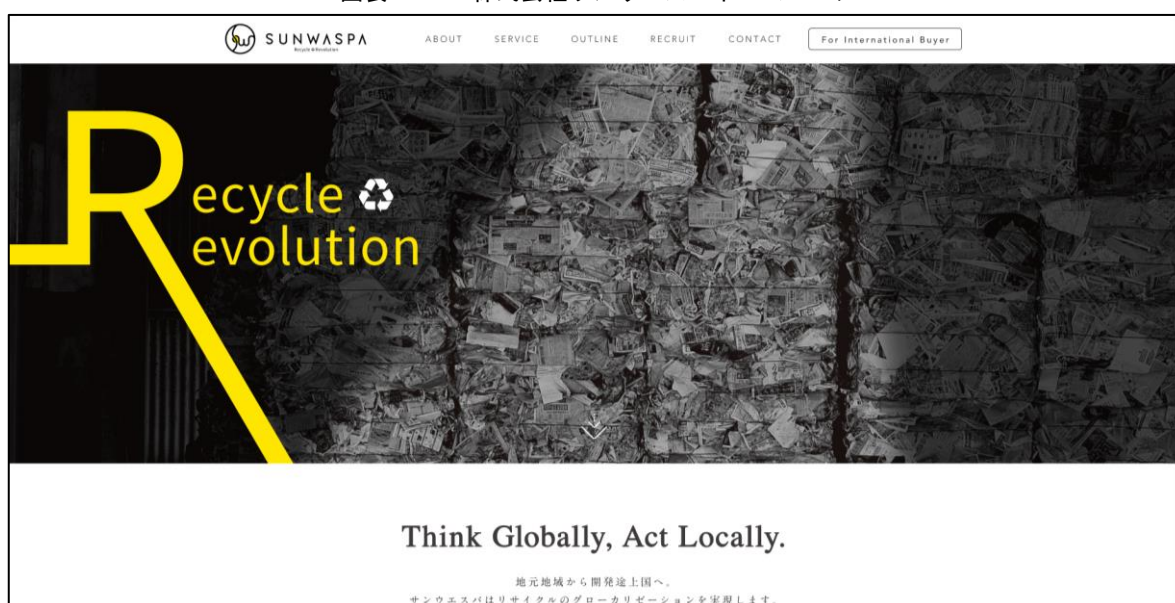
国内において、既にバイオエタノール事業を行っている事業所等の視察及び意見交換を行い、重要視点の検討等に活かすことを目的に事例視察調査を実施した。

視察先の株式会社サンウエспаは、当調査研究会の基礎調査機関の技術を応用し、日本で初めて古紙（シュレツダーダスト）からバイオエタノールの精製に成功している。

#### I. 事例視察調査先

株式会社サンウエспа 岐阜県岐阜市岩田西 3-429

図表 3- 48 株式会社サンウエспаホームページ



(出所：<http://sunwaspa.com/>)

#### II. 実施日

平成 28 年（2016 年）11 月 8 日（火）

#### III. 事業所概要

昭和 44 年（1969 年）3 月創業。家庭や企業、地域団体から発生する新聞やダンボールなどのあらゆる有用な古紙を回収し、品目別に国内外の製紙メーカーのニーズに合わせて製紙原料として供給している。

現在では、「古紙回収事業」に加え、「集団資源回収事業」、「機密文書回収事業」、「行政資源回収事業」、「バイオエタノール事業」、「エコファミリー事業」を展開している。

古紙回収事業においては、現在 2,000 以上の事業者と取引しており、事業所、店舗、工場などから発生する事業系古紙（ダンボール、カタログ、パンフレット、シュレツダーダスト、紙筒など）を、顧客のニーズに合わせ適切に回収・処理し、条件によっては有価物として買い取っている。

図表 3- 49 回収された古紙



(出所：視察時)

集団資源回収においては、家庭から発生する、新聞、雑誌類、ダンボール、古着、アルミ缶などの再生資源を、学校、地方自治体、子ども会、保護者会などの地域団体とともに分別して回収している。

集団で回収することにより、効率よく質の高い循環資源を回収・リサイクルすることができ、それら循環資源の売却益は地域活動のために還元している。

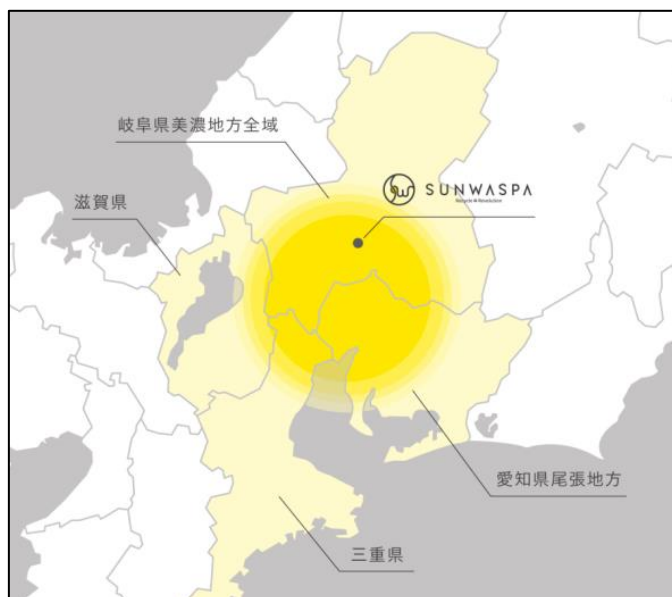
サンウエスパでは、岐阜県美濃地方全域で 100 以上の地域団体とつながりを持っている。

機密文書回収では、個人情報及び社内機密が記載された書類等、個人情報はもちろん、あらゆる情報が第三者の目に触れることの無いよう、細心の注意を払い、直接溶解処理を行っており、機密文書の溶解証明書も発行している。

行政資源回収では、行政からの委託による、資源ごみの回収も行っており、地域団体と協力しながら、定められた日程で、新聞、雑誌類、ダンボール、古着、アルミ缶などの再生資源を回収している。

岐阜市では、昭和 58 年（1983 年）に資源分別協議会が発足した当初から、その任を担い、現在では、岐阜市 20 地区、関市全域で行政回収を行っている。

図表 3- 50 回収エリア



(出典：株式会社サンウエспаHP／古紙回収業務概要)

(<http://sunwaspa.com/recycle>)

エコファミリー事業では、ロードサイドや店舗駐車場、学校等の複数箇所にリサイクルステーションを設置し、家庭で不要になった古紙や古着などを大切な都市資源として無料で無人回収を行い、地域のごみ減量に貢献するとともに、世界規模でのリユースを実現するための入り口としての役割を担っている。

24時間365日、安心・安全・清潔に利用できるよう、24時間の監視体制やネットワークシステムによる管理体制を構築している。

回収された古着は、途上国に輸送され、再利用されて「From JAPAN」の古着は各国で非常に高い需要がある。



図表 3- 51 エコファミリーのイメージ図



(出典：株式会社サンウエспаHP／エコファミリー業務概要)

([http://sunwaspa.com/ecofamily\\_p](http://sunwaspa.com/ecofamily_p))

バイオエタノール事業においては、日本初の取組として、シュレッダーダストを原料としたバイオエタノール事業化に成功した。

バイオエタノールの原料には、市内の病院から排出される不要となったカルテ等を処理したシュレッダーダスト及び回収した古紙から製造している。

図表 3- 52 試験プラント全景



図表 3- 53 一次蒸留機器



#### IV. 現在のバイオエタノールの製造状況について

現在は、基礎調査機関の協力を経て、社内敷地内に試験機を設置している状況である。平成28年（2016年）6月から検証を行っている段階であるため、製造コストのデータ収集を行っている。

施設の設置スペースは、縦×横：10.0m×4.0m程度である。

前章でも述べてきたように、バイオエタノールの製造には原料と糖化酵素との接触回数を高め、糖化効率を高めることが重要である。

シュレッダーダストは既に原料が数mm程度に粉砕されており、リグニンも除去されているため、更なる粉砕等の前処理の必要がないことから、バイオエタノール製造事業には好条件である。

#### V. バイオエタノール化における課題

回収した古紙及びシュレッダーダストの中には、ビニール片、ホチキス芯等の異物が混入している。

異物は残渣として分別可能であるが、廃棄物として処分している。

残渣物はエネルギー源として自主回収可能な観点からも、異物を除去できる微細目スクリーン等の設置が課題である。

図表 3-54 異物が混入したシュレッダーダスト



また、バイオエタノール製造施設が紙ごみ等のプレス倉庫内にあることから、紙粉が空気中に舞うため、製造品質が安定していない。

紙粉に付着した雑菌の混入による製造への影響が考えられることから、衛生管理を徹底する必要がある。

## VI. 今後の展望

現在は3つの事業所を有するが、別の事業所の一つに、2t/日処理のプラント設置を検討している。

バイオエタノールは、消毒液やウェットティッシュ等に利用し、シュレッダーダストの回収元である市内の病院に還元できるものと考えられる。

しかし、販路等については限定する考えはなく、多様な用途原料となりうるため柔軟に考え、条件に合致した企業等へ卸す戦略である。

#### 4. 事業化に関わる制約について

バイオマス全般は、カーボンニュートラル、太陽光や風力に比べ出力が安定しているといった特徴がある。

また、地域の未利用資源として、地域産業創出や地域活性化、循環型社会形成等の効果が期待できるものの、石油等の化石燃料に比べ価格競争力が劣る。

そのため、事業化に当たっては、コスト低減と安定供給等を踏まえつつ、投資家・事業者の参入を促す需要の創出・拡大に向けた政策、インセンティブの付与が必要になることが多い。

本調査では、バイオマスとして既に分別収集しリサイクルを行っている剪定枝葉を対象としているが、事業化には第3章で述べたものの他、様々な制約がある。

##### (1) 原料の確保に係る制約

広域に存在するバイオマスの確保は、民間事業者の取組だけでは限界があり、行政による支援が必要である。また多様なバイオマスの混合利用・組合せによって原料を安定的に確保することが必要である。

さらにバイオマス活用と一体となった川上の農林業の体制整備も課題である。

森林施業の集約化、路網整備と搬出間伐の一体的促進、高性能林業機械の導入等の推進、生産者との連携、減容圧縮技術の利用等により稲わら、麦わら等の効率的な収集・運搬システム構築等が考えられる。

##### (2) 適切な立地確保に係る制約

一般的にバイオマス活用の事業化には、原料・販路の確保や排熱利用によるコスト低減を目指し、バイオマス活用施設を既存の熱・エネルギーを有する施設の周辺に設置するなど、適切な施設立地を行うことが必要である（農林水産省 バイオマス事業化戦略（平成24年9月6日 バイオマス活用推進会議））。

バイオエタノール製造についても、製造工程で熱が必要になることから、よりランニングコストを低減するには既存の熱・エネルギー利用施設の周辺に設置することが望ましい。

また、バイオエタノール発酵残渣や蒸留かすを有効利用し、環境負荷を低減するためには、残渣・排水からエネルギー回収を行う為のメタン発酵設備を併設することが望ましい。

##### (3) 付加価値の高い製品の創出に係る制約

出口（販路）として、化学品等の付加価値の高い製品の製造・販売や、汎用物質を基点に多様な化学品やエネルギーの効率的な併産が必要である。

エタノールは、化学工業用途を除き発酵エタノール（バイオエタノール）が流通・使用されており、除菌・消毒・消臭用の製品に多く用いられている。

付加価値が高い製品には、成分の基準（JIS規格、日本薬局方等）があるが、燃料用途でも同等の基準であり、販路開拓においてはエタノールの流通・用途のほか規格基準に関する知識を持つことが必要である。

また、事業化には、エタノール残渣や排水を副産物として利用することでコスト及び環境負荷低減が可能である。

エタノール発酵残渣は肥料・飼料利用またはメタン発酵に利用、排水は肥料、又はメタン発酵に利用など副産物の利用・販売が重要であり、自治体・事業者が連携して利用拡大を推進することが望ましい。

#### (4) 各種クレジット制度の活用に係る制約

バイオマス活用の事業化に当たり、各種クレジット制度（クレジット制度、グリーン電力証書）の積極的活用により、温室効果ガス削減、クレジット売買による収入源の確保、CSR（企業の社会的責任）等が推進されている。

パリ協定も踏まえ、地域資源の活用による温室効果ガス削減に向けた地域の取組やクレジットの地産地消を後押しし、地域活性化につながるような制度とする必要がある。

#### (5) 関連税制に関する制約

バイオマスは化石燃料に比べ供給コストが高いため、投資家・事業者の参入を促す税制によるインセンティブ付与が必要である。

現在推進されている関連税制は、バイオ燃料の混合分の税減免、再生可能エネルギー関係設備の初期投資に係る税負担の軽減措置（グリーン投資減税（所得税・法人税）、再生可能エネルギー発電設備・バイオ燃料製造設備（固定資産税））等がある。

バイオ燃料混合分の税減免については、揮発油税課税前の燃料を購入することが難しく、実質あまり活かされていない。

例えば揮発油税課税後のガソリン 97ℓにバイオ燃料 3ℓを混合した場合は、再度ガソリンとバイオ燃料を足した 100ℓに対する揮発油税が課税される。

揮発油税課税前の燃料を容易に購入出来れば、バイオ燃料混合分の揮発油税課税が減免され、優遇効果があることから、利用促進には揮発油税課税前の燃料の供給販売を促進することも必要である。

グリーン投資減税については、景気回復と企業の内部留保の活用によるものが大きく、まだ大きな効果は出ていない。

セルロース系バイオエタノールの事業化には制約があるが、条件を満たすことが出来れば地域産業創出や地域活性化、循環型社会形成に大きく貢献する施設となる。

平成 28 年（2016 年）9 月の第 8 回 バイオマス活用推進会議において、経済産業省 中川大臣政務官が食糧と競合しないセルロース系バイオエタノールの研究開発を引き続き推進する旨を述べており、国としては引き続きバイオエタノールに期待を寄せている。

## 5. 事業化に関わる採算性の向上要件について

### (1) 排熱利用

経済産業省によると、国内の未利用熱エネルギーの合計は年間 1 兆 kWh に達する。

これは年間総発電量と同水準のエネルギーが排熱として無駄になっているということを意味する。

つまり日本が輸入している燃料は、半分が排熱になっているといえる。

バイオエタノール生産工程では各工程で熱を利用する為、可能な限り排熱を利用することが望ましい。

これまで、排熱利用をする場合には、主に 300℃以上の熱が利用されており、300℃未満の低温排熱は利用率が低く、大気中に放出される排熱は、年間 20 万 t カロリーにのぼる。

しかし、現在、100℃以下の排熱も有効利用できるシステムが普及してきており、工場内の 100℃以下の低温水の未利用熱を集めて再利用する「蒸気発生ヒートポンプ」が 700 万円程度から販売されている。

100℃～120℃の蒸気を最大で毎時 45 kg 発生できる（加熱能力 30kW）ことから、バイオエタノール生産で利用する温度範囲内であり、活用することで各工程に用いるボイラーの蒸気発生量を低減でき、燃料費や二酸化炭素排出量を削減できる。

100℃以下の排熱は、排熱を出しているとされる化学・鉄鋼・機械・清掃・紙パルプだけではなく、食品や飲料等を含む多くの産業で発生している。

例えば、平成 23 年（2011 年）の東日本大震災後の計画停電を経験した半導体製造の企業内では、ガスエンジン、燃料電池といった自家発電機を導入している。これらは、熱電併給（コージェネレーション）であるものの 100℃以下の排熱が出ている。

この排熱を、もともとボイラーから熱を供給していた吸収式冷凍機に供給して空調用冷水製造に用いることで、エネルギー多消費型の半導体工場において平成 27 年度（2015 年度）で 10%省エネを積み増しており、大きなコスト削減効果を得ている。

排熱の対象を 100℃以下の排熱とすることで、利用可能な設備は大幅に増える。

また、温泉熱・太陽熱・地熱等の自然熱についても有効利用が可能である。

## (2) 他のバイオマス活用技術・自然エネルギー活用技術との併用

バイオマス活用技術は、バイオエタノールの他、メタンガス発酵・バイオマスボイラー発電等がある。

廃棄物由来のバイオエタノール生産は、残渣や蒸留かすを有効利用するため、他のバイオマス活用技術との併用が望ましい。

残渣や蒸留かすは土壌改良材としての活用のほか、メタンガス発酵に用いることができる。特に大型のバイオエタノール生産設備（20t/日処理以上）であれば、発生するメタンガスのガスボイラーによってエネルギーを有効に利用できると考えられる。

ただし、小規模のバイオエタノール生産設備では、専用でメタンガス発酵設備の併設はインシヤルコストの負担が大きい為、生ごみ処理との併用等で共同処理を行うといった負担低減を行う必要があると考えられる。

また、残渣は木質チップと同等の発熱量があることから、バイオマスボイラーを併設して残渣を燃料として利用することで各工程に用いるボイラーの燃料使用量を低減できる。

バイオマスボイラーについては、バイオエタノール残渣のように材料の含水率が80%程度の材料でも十分に稼働ができる設備が普及してきている。

## 第4章 事業化に向けた考察





## 第4章 事業化に向けた考察

### 1. 事業化に向けた基本的考え方

ここでは、事業化の実施可否判断をする上での軸となる基本的な考え方について整理する。

#### (1) 事業化実施判断に関わる基本的考え方

本調査研究はそもそも現在の剪定枝葉のリサイクルコストが年々増加することへの対策として、新たなリサイクル方法によるコスト削減及びリサイクル事業としての環境影響に配慮した取組として開始していることから、現在のリサイクル費用よりも低く抑えられることが基本となる。

その際に剪定枝葉の燃料化処理費用だけでなく、剪定枝葉のリサイクル処理事業総額として捉える必要がある。

#### 事業化判断基準としての基本的考え方（1）

##### コスト削減

##### ① 処理単価の削減

現在、平成28年度（2016年度）の剪定枝葉1kgごとの処理費用が14円であることから、

**14円/kg 相当以下**

であること

##### ② 収集運搬費用等を含めた判断

現在の処理費用は収集運搬作業が他のごみ回収と合わせた経費となっていることを踏まえ、収集運搬費用を含めた総合的な判断とする。

特に収集運搬時における剪定枝葉の分別作業については現場での作業負担も大きいことから将来的な作業軽減の可能性に配慮する。

事業化に向けては将来に向けた安定的・安全な運営など事業継続性を確保することも必要である。特に家庭から排出される剪定枝葉の量については推計も難しいことから、大幅な将来変動が生じることを前提とした検討も必要である。そのため、事業化においては事業継続性の観点からの判断も重要である。

そのため、いくつか別の方法での継続可能性を見ておくことも必要である。

## 事業化判断基準としての基本的考え方（2）

### 事業としての継続性

- ① 対象とする原料の確保
  - ・ 処理対象は家庭からの剪定枝葉が基本
  - ・ その他原料や事業者からの資源ごみへの対応可能性
- ② 必要とする設備の確保
  - ・ 処理対象とする量・種類を踏まえた処理能力条件
  - ・ 収集・運搬費用及び管理・運営上で必要な立地条件
- ③ 安定的な販路の確保（事業コストの回収）
  - ・ バイオエタノール需要の将来性
  - ・ バイオエタノール製造費用等の競争力

本調査研究では民間事業と異なり、環境政策としての要素もあることを踏まえ、社会的な意味・効果からの判断も必要となる。

## 事業化判断基準としての基本的考え方（3）

### 社会性（社会的な意義・効果）

- ① 従来のリサイクル方法よりも優れた環境への配慮
  - ・ 温室効果ガス（CO<sub>2</sub>）の排出量の削減
  - ・ リサイクル処理におけるエネルギー消費量の削減
- ② 未利用資源の再利用促進

剪定枝葉についてはチップ化又はそのまま焼却とする自治体も多いため、他用途活用が見込まれる製造・生成物とすることで、燃焼以外の再利用促進が社会的に促進される可能性がある。

## 2. バイオエタノール化処理のシミュレーション

ここでは中核となるバイオエタノール化の処理プラント設備の規模判断と主要なコスト構造を洗い出すことを目的にシミュレーションを行う。

なお、自動車燃料用途（ガソリン代替、国内施策上 E3）ではエタノール濃度を 99.5%以上にする必要があり、ガソリン代替とするには蒸留設備に多大なコストが掛かるため、90%濃度をベースとする。

### (1) シミュレーションにおける前提について

#### ① シミュレーション範囲

- ・シミュレーション範囲は乾燥・粉砕後のエタノール化処理とする。
- ・酵素価格については基礎調査機関の技術特許にともなう再利用方式によりコストが削減された場合の想定額での試算とする。
- ・減価償却費の算出については「化学工業用設備その他」としてプラント設備の耐用年数は 8 年とし、有形固定資産として定率法を用いる。
- ・資源回収に係る経費、設備の運転・管理に係る人件費については計上対象外とする。

#### ② プラント規模

- ・長野市における剪定枝葉リサイクル資源量は年間約 5,500 t～6,000 t（湿潤）で推移しており、年間 300 日（月間 25 日）処理として、1 日に換算すると、約 18.33 t～21.67 t（湿潤）である。
- ・乾燥・粉砕重量は草木の割合や樹種により変動するが、試験結果から乾燥処理後の重量は剪定枝葉 22%・草 32.6%であり、全回収量における枝葉と草の割合から、乾燥・粉砕後重量は湿潤重量の 25.2%相当となる。
- ・25.2%で試算すると、エタノール化処理の原料として 21.67 t（湿潤）の枝葉を乾燥・粉砕すると 5.46 t（乾燥）となる。
- ・一方、剪定枝葉資源回収量は季節変動があり、特に 1 月から 3 月は激減する。
- ・ピーク時の回収量は、月 950 t 弱であり、1 月から 3 月を除く期間の月平均は平成 27 年度で 721.5 t、1 日当たり 28.86 t（湿潤）相当となる。
- ・これを同じく 25.2%で試算すると乾燥・粉砕後重量は約 7.28 t になる。

以上から、6 t 処理プラントと 8 t 処理プラントで処理設備を比較検討する。

#### Case1 通年平均化処理理想定の場合

→ 6 t/日処理プラント

※ただし、この場合、相当程度の規模のストックヤードが必要になる。

#### Case2 季節変動に対処可能な処理理想定の場合（冬季閉鎖）

→ 8 t/日処理プラント

※この場合でも一時的にある程度のストックヤードは必要になる。

なお、どちらの場合も稼働日基準で計算すると設備稼働率は91%となる。

### ③ 製造プラントにおけるエタノール製造効率

平成25年度（2013年度）及び平成26年度（2014年度）に実施した長野市で回収した剪定枝葉によるバイオエタノール製造実験結果では、6000tの剪定枝葉から、最大で約539klのエタノール製造が見込まれるとの試算を得ている。

図表 4-1 剪定枝葉・草からのエタノール製造可能量

種類	検体(乾燥重量)からのエタノール製造可能量	検体含水率	検体(湿潤重量)からのエタノール製造可能量	全回収量における割合	全回収量(6,000t)からのエタノール製造可能量
剪定枝葉 (平成25年)	191kg/t(245ℓ/t)	65.4%	66.1kg/t(84.8ℓ/t)	73.8%	292,690kg (375,494ℓ)
草 (平成26年)	326kg/t(412ℓ/t)	74.8%	82.2kg/t(104ℓ/t)	26.2%	129,218kg (163,488ℓ)
					421,908kg (538,982ℓ)

この試算に従えば、枝葉・草 1t（湿潤）当たり 89.8ℓ（理想・目標値）のエタノールが得られることとなる。

今回の試算では、90%濃度のバイオエタノールの製造を想定するに当たり、剪定枝葉の樹種のほか、枝葉や草の混合割合や資源材料の含水率によって製造効率が変動することを考慮し、原料からの製造化率を上記の70%程度として試算することとする。

そのため、枝葉・草（湿潤） 1t 当たり 63ℓ のエタノール製造とする。

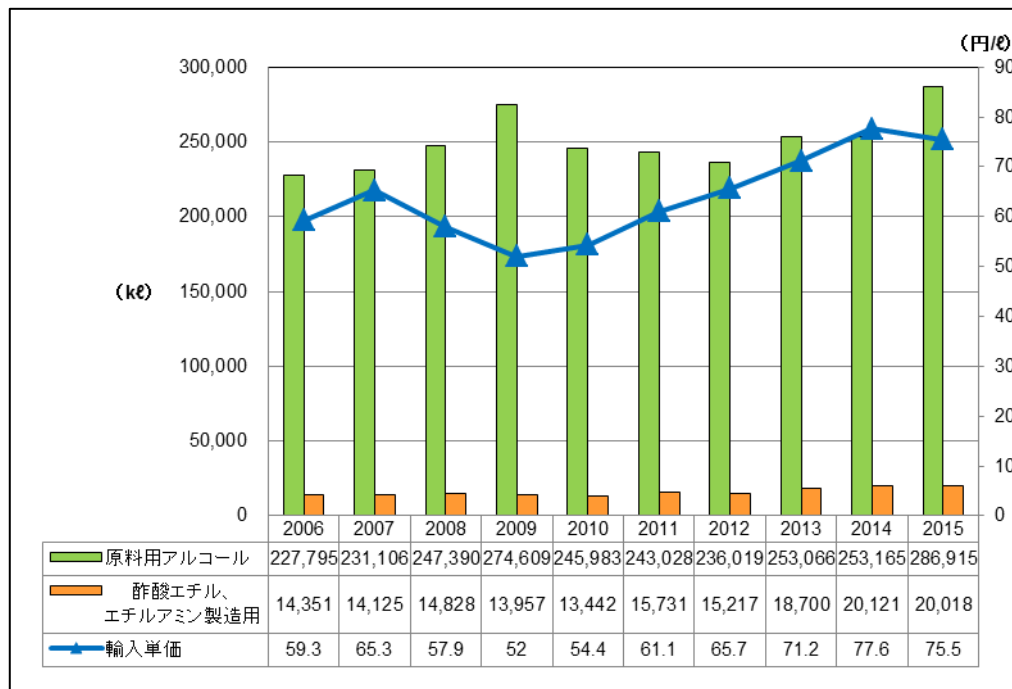
### ④ 販売価格（単価）

- バイオエタノール燃料としての利用の他、多様な用途での活用が見込まれる原料として、製造するエタノール濃度は90%以上とする。
- 原料アルコール（90%濃度）の輸入単価は近年やや上昇傾向にあり、平成27年（2015年）で75.5円/ℓ、過去5年間の平均でも70.22円/ℓである。
- 販売価格は産油国でのエネルギー輸出等の国際情勢、市場動向、為替状況によって変動することから、輸入単価との競争性の確保を考慮するとともに、販売に関わる輸送等の経費の上乗せ等が生じることを鑑み、

バイオエタノール 1ℓ 当たり 60円

での販売単価で試算することとする。

図表 4- 2 原料アルコール等の輸入数量と輸入単価の推移



(出所: F.O.Licht)

⑤ 各種経費試算の原単位・単価

費用算出における原単位・単価等については以下のとおりとする。

図表 4-3 試算条件と原単位・単価

設定条件	6t プラント	8t プラント
年間稼働日数	300 日	225 日 (1 月から 3 月閉鎖)
1 日の稼働時間	24 時間	24 時間
剪定枝葉量 (湿潤)	21.67 t / 日	28.86 t / 日
剪定枝葉量 (乾燥・粉砕)	5.46 t / 日	7.28 t / 日
エタノール販売価格	60 円/ℓ	
酵素使用量 (処理量)	360 kg/25 日 (14.4 kg/日)	480 kg/25 日 (19.2 kg/日)
酵母使用量 (処理量)	16.38kg/日	21.84kg/日
電気使用量 (処理量)	1,638kw/日	2,184kw/日
LNG 使用量 (設備規模)	57.9 m <sup>3</sup> /日	77.21 m <sup>3</sup> /日
水使用量 (処理量)	27 m <sup>3</sup> /日 (リサイクル含む)	36.4 m <sup>3</sup> /日 (リサイクル含む)
消耗品量 (処理量) ※原料による変動あり	クエン酸 546kg/日 溶液 1.4ℓ/日 苛性ソーダ溶液 1.4ℓ/日	クエン酸 728kg/日 溶液 2ℓ/日 苛性ソーダ溶液 2ℓ/日
基準単価		
保守費 (設備規模による)	設備費用の 1% (定期メンテナンス、定期交換 (蒸留装置振動振り子ユニット、 ゼオライト膜ユニット))	
酵素費	1,814 円/日	2,419 円/日
酵母費	463 円/日	617 円/日
消耗品単価	139 円/kg	
電気料金 (単価)	17 円/kwh	
LNG (単価)	280 円/m <sup>3</sup> (1 立方メートル 99MJ 想定)	
水道料 (単価)	234 円/m <sup>3</sup> (1 kℓ)	
プラント設備一式	500,000 千円	650,000 千円

## 【参考】

図表 4-4 必要となる設備・装置

工程	設備	用途等
前処理	コンベア	ストックヤードから原料ホッパーへ運搬
	原料ホッパー	原料を1次粉砕機へ送る（一時貯留）
	1次粉砕機	原料サイズを数センチメートル以内にする
	2次粉砕機	1次粉砕済原料を0.1mm程度まで粉砕
糖化  (※) 糖化・発酵は別の槽で行う	糖化槽	5 t（乾燥）処理/日とした場合、30 m <sup>3</sup> 容タンク×3（攪拌機付） SUS (※) 316
	滴下ポンプ	pH調整用
	移送ポンプ	糖化槽⇒発酵槽への移送用
発酵・一次蒸留	発酵槽	5 t（乾燥）処理/日とした場合、有効容量30 m <sup>3</sup> 容タンク×3（攪拌機付） SUS316
	コンデンサー	冷却装置
	受槽	一次蒸留液の回収槽
	遠心分離機	蒸留後のスラリーの固液分離 含水率80%未満
	排水受タンク	遠心分離機からの排水を貯留
	排水ポンプ	排水処理装置へ送水するポンプ
	残渣受け	蒸留かす（固体）の回収
二次蒸留	二次蒸留タンク	
	精留塔	
	コンデンサー	冷却装置
	還流分配機	濃縮装置
	製品貯留槽	製品保管
各工程共有	ボイラー	
	コンプレッサー	
	真空ポンプ	
	温水タンク	
	温水ポンプ	
	窒素ボンベ	
	井水又は水道水供給設備	
排水処理	真空排水処理装置又は活性汚泥処理槽	

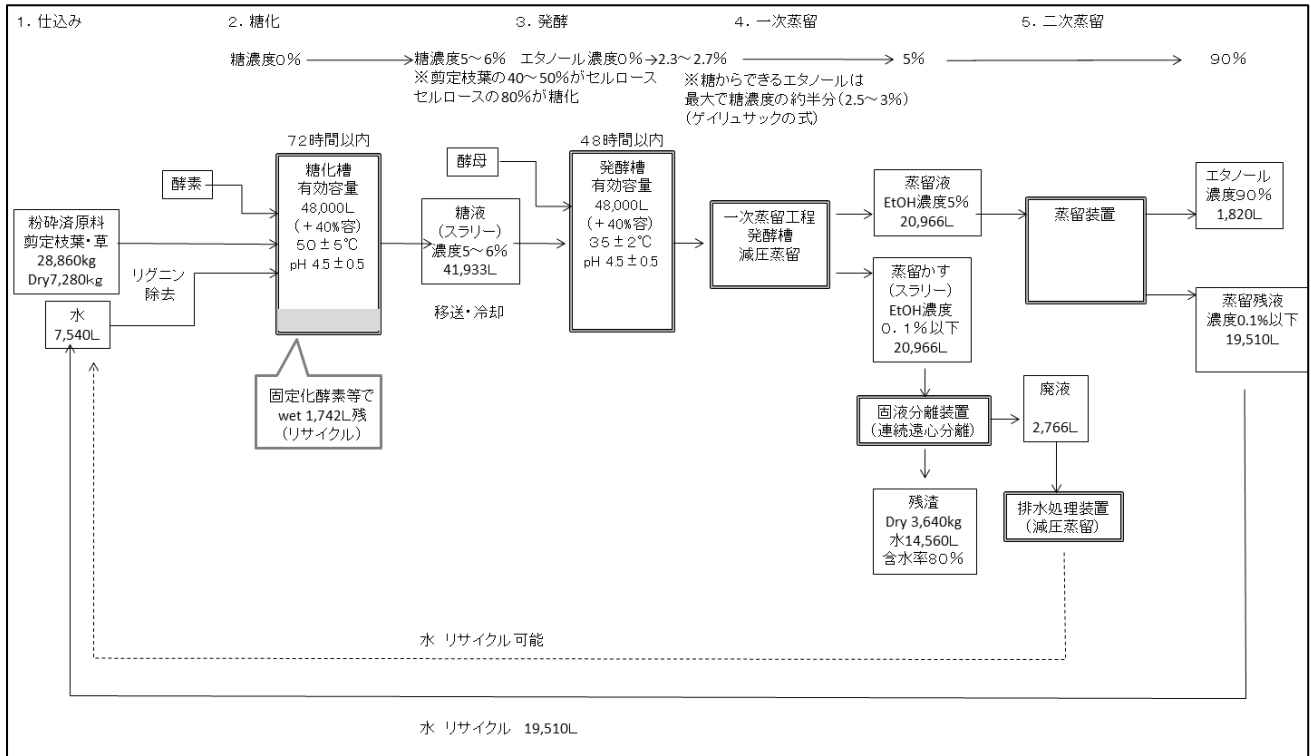
(※) SUS : Stainless Used Steel の略。ステンレス鋼材の規格を示す。



## (2) シミュレーション結果

シミュレーション前提による LCA(ライフサイクルアセスメント)及び試算結果を以下に示す。

図表 4-5 6t プラント設備での処理(LCA:ライフサイクルアセスメント)



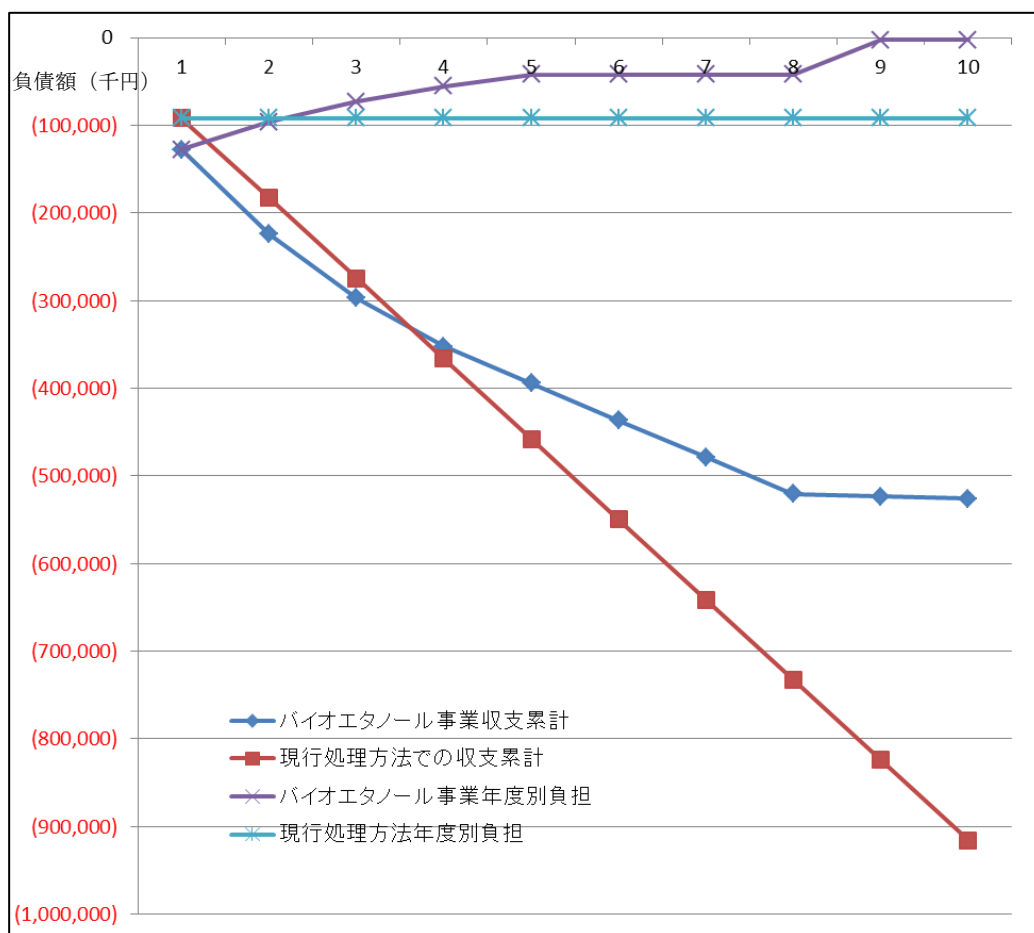
図表 4-6 6t プラント設備での処理試算結果

項目	初年度	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目
剪定枝葉 量 (トン/年)	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500
売上高	24,570	24,570	24,570	24,570	24,570	24,570	24,570	24,570	24,570	24,570
販売単価 (*リットル・円)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
エタノール製造量 (キロリットル)	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5
売上原価 (千円)	27,160	27,160	27,160	27,160	27,160	27,160	27,160	27,160	27,160	27,160
原材料収集運搬経費	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
酵素・酵母費	683	683	683	683	683	683	683	683	683	683
電気代	8,354	8,354	8,354	8,354	8,354	8,354	8,354	8,354	8,354	8,354
燃料費	4,864	4,864	4,864	4,864	4,864	4,864	4,864	4,864	4,864	4,864
水道料	888	888	888	888	888	888	888	888	888	888
労務費 (運操作業2名)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
消耗品費	7,371	7,371	7,371	7,371	7,371	7,371	7,371	7,371	7,371	7,371
保守費 (1%)	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
販売費 (千円)	125,000	93,750	70,313	52,734	39,551	39,630	39,630	39,392	0	0
人件費 (管理者 1名)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
減価償却費 (プラント設備等)	125,000	93,750	70,313	52,734	39,551	39,630	39,630	39,392	0	0
バイオエタノール事業収支累計	-127,590	-223,931	-296,834	-352,158	-394,300	-436,520	-478,741	-520,723	-523,314	-525,904
現行処理方法での収支累計	-91,582	-183,164	-274,746	-366,328	-457,910	-549,492	-641,074	-732,656	-824,238	-915,820
バイオエタノール事業年度別負担	-127,590	-96,340	-72,903	-55,324	-42,141	-42,220	-42,220	-41,982	-2,590	-2,590
現行処理方法年度別負担	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582

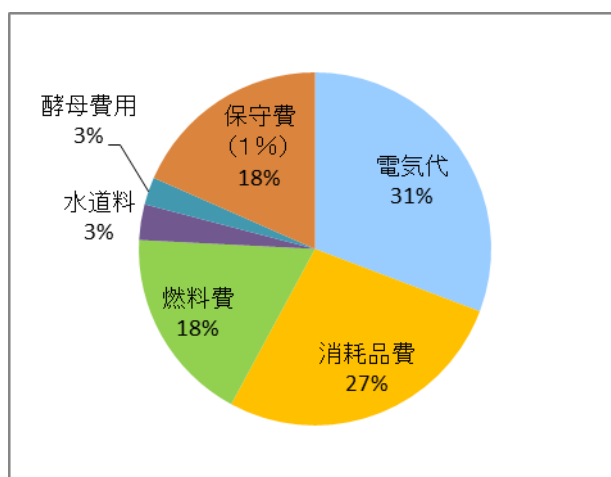
単年度負担については3年目からバイオエタノール事業が現行のリサイクル事業よりも優位になり、累積で見ると4年目以降で優位となる。

なお、バイオエタノール10当たりの製造コストは減価償却後で66.33円になる。

図表 4-7 6t プラントでの収支グラフ

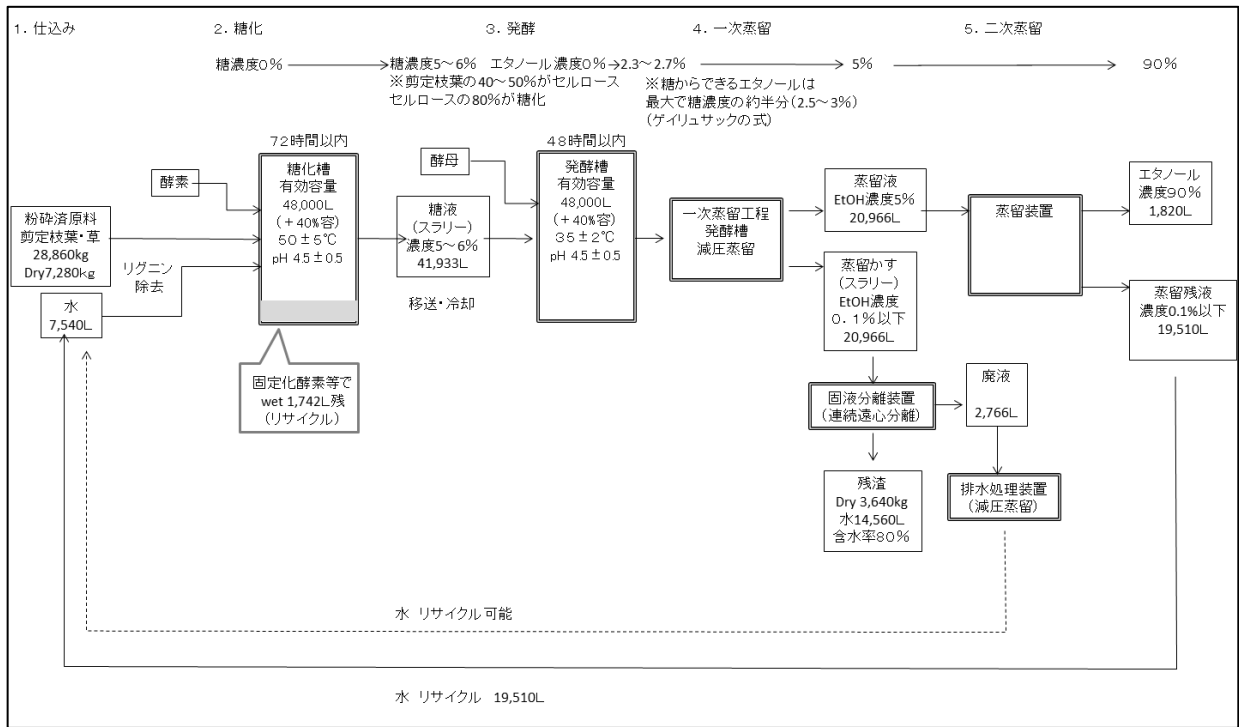


図表 4-8 6t プラント運用時の売上原価構成比率(プラント初期費を除く)



酵素や水道料についてはプラント内でのリサイクル利用率が高いこと等から運用段階での費用全体に占める費用割合は低く、保守費以外では燃料費や電気代、リグニン除去等の化学薬品費(消耗品費)が大きな割合を占めている。

図表 4-9 8t プラント設備での処理 (LCA: ライフサイクルアセスメント)



図表 4-10 8t プラント設備での処理試算結果

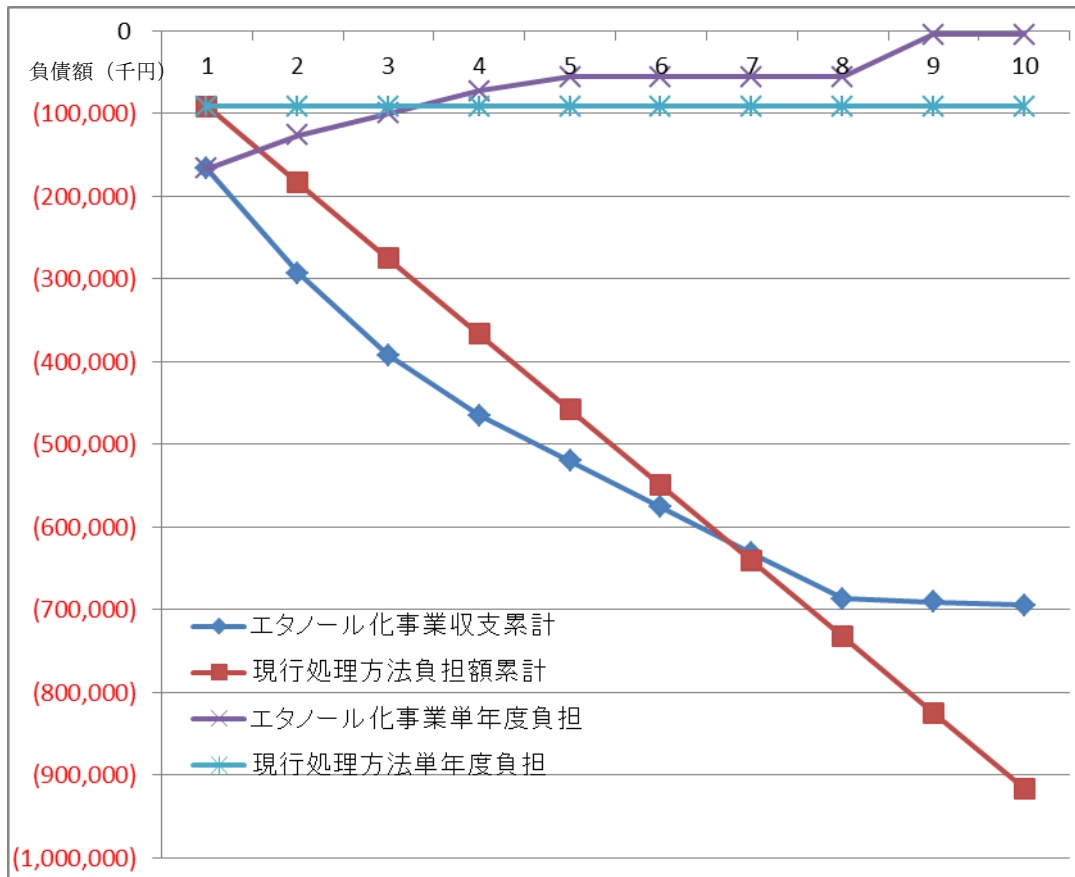
		初年度	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目
剪定枝葉	量 (トン/年)	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500
	販売単価 (千円/トン)	24,570	24,570	24,570	24,570	24,570	24,570	24,570	24,570	24,570	24,570
	エタノール製造量 (キロリットル)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
売上原価	エタノール製造量 (キロリットル)	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5
	(千円)	28,665	28,665	28,665	28,665	28,665	28,665	28,665	28,665	28,665	28,665
	原材料収集運搬経費	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	酵素・酵母代	683	683	683	683	683	683	683	683	683	683
	電気代	8,354	8,354	8,354	8,354	8,354	8,354	8,354	8,354	8,354	8,354
	燃料費	4,864	4,864	4,864	4,864	4,864	4,864	4,864	4,864	4,864	4,864
	水道料	893	893	893	893	893	893	893	893	893	893
	労務費 (運操作業2名)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	消耗品費	7,371	7,371	7,371	7,371	7,371	7,371	7,371	7,371	7,371	7,371
保守費 (1%)	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	
販売費 (千円)	人件費 (管理者1名)	162,500	121,875	95,406	68,555	51,416	51,519	51,519	51,209	0	0
	減価償却費 (プラント・設備等)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		162,500	121,875	95,406	68,555	51,416	51,519	51,519	51,209		
	エタノール化事業収支累計	-166,595	-292,521	-391,977	-464,582	-520,049	-575,618	-631,188	-686,447	-690,497	-694,548
	現行処理方法負担額累計	-91,582	-183,164	-274,746	-366,328	-457,910	-549,492	-641,074	-732,656	-824,238	-915,820
	エタノール化事業単年度負担	-166,595	-125,925	-99,456	-72,605	-55,466	-55,569	-55,569	-55,259	-4,050	-4,050
	現行処理方法単年度負担	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582

※休止期間中の電力・ガス・水道等の料金は加算していない。

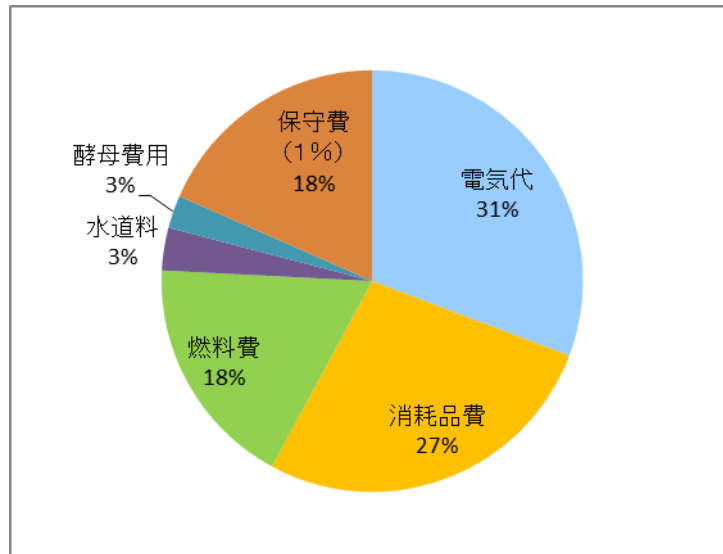
単年度負担については4年目からバイオエタノール事業が優位になり、累積で見ると7年目以降で優位となる。

6 t と比べた場合、設備規模が大きいいため水のリサイクル利用でのロスが生じることから水道料金がやや高くなる。LCAに基づく試算のため電気代、燃料費等は同等となっているが、実際には少し高くなる可能性がある。

図表 4-11 プラントでの収支グラフ



図表 4-12 8t プラント運用時の売上原価構成比率(プラント初期費を除く)



設備が大きくなる分保守費用も大きくなるが、燃料費や電気代、リグニン除去等の化学薬品費(消耗品費)が大きな割合を占めている点は6tプラントと同様である。

### (3) シミュレーションで見えてきた課題

#### ① 処理に必要な熱エネルギー関連費用の抑制検討の必要性

バイオエタノール化処理における電気代、燃料費の占める割合の大きさが浮き彫りとなったことから、以下の課題が新たに明確化した。

試算の対象となっていない前処理工程での剪定枝葉については、自然乾燥（天日干し）を想定したが、回収した剪定枝葉を一度に処理できないため、剪定枝葉のストックヤードが必要となるだけでなく、自然乾燥では「雑菌の繁殖」が問題となるため、熱乾燥等雑菌増殖対策が必要となる。そのため、以下に関する比較検討も必要となった。

- ・ストックヤード確保に係る経費
- ・ストックヤード縮小のための熱処理乾燥による方法
- ・さらには乾燥せずに湿潤枝葉のまま処理する方法

また、熱源については他の焼却施設から出る熱を利用するなど電気やLPG(プロパンガス)への依存度を下げる工夫の必要性が指摘された。

#### ② リグニン除去に伴う化学薬品（消耗品）費用の抑制

酵素再利用により酵素費用を抑制できる面はあるものの、リグニンの部分分解における薬品等の費用が大きいことが鮮明となった。

そのため、爆砕や粉砕によって、リグニンの分離をしない方法での実現可能性についても調査検討することが必要となった。

図表 4-13 セルロースの糖化方法比較表

方法	水蒸気爆砕	アンモニア爆砕
温度	150-250℃	60-110℃
圧力	飽和蒸気圧	液体アンモニア 又は 高濃度のアンモニア水溶液
特徴	加熱に必要なエネルギーが極めて大きい	アンモニアの環境安全対策が必要

(出所:水熱爆砕による草木質系バイオマスの省エネ効率化糖化前処理の研究)

(平成 23 年度 環境研究総合推進費補助金研究事業 名古屋大学)

水蒸気爆砕であれば化学薬品費用を抑制できることとなるが、電気やガス代などの燃料費が必要となる。

### 3. 事業化に向けた課題を踏まえた見直し

バイオエタノール化処理部分のシミュレーション結果を踏まえ、想定される複数の処理方法、事業化シナリオ案について絞込みを行うこととする。

初回シミュレーションを実施した結果、委員長始め各委員から自然乾燥の妥当性について「雑菌の増殖」も踏まえ、適正な評価をすることの必要性が指摘された。熱乾燥等では費用が掛かることや湿式での方法が適当ではないかなど検討に向けた示唆を頂戴した。

そのため、バイオエタノール化処理に関わる研究・実証実験等で最先端の技術検討を行っている関係機関にヒアリング調査を行い、前処理工程での処理方式等について検討を行った。

なお、前処理工程での処理方式については第2章でも触れている（図表2-6参照）。

#### (1) 前処理工程に関する考察

これまでの検討及び委員会での指摘と新たなヒアリング調査から主な課題を整理すると

- ・前処理工程において、天日干し乾燥とする場合にはストックヤードが必要となること
  - ・熱乾燥処理ではエネルギー消費に関わるコストが膨大となること
  - ・湿式による方法ではリグニンの影響を除去するレベルでの裁断・粉砕が難しいこと
- などが挙げられる。

また、ヒアリング調査から以下の問題点がより一層明らかになった。

##### ① 搬入される剪定枝葉の腐敗・雑菌

委員会での指摘もあったが、ヒアリング調査からバイオエタノール化の処理では雑菌により酵素糖化・発酵での酵素及び酵母の働きに悪影響が及ぶため、材料の洗浄、糖化槽や発酵槽の出入口の滅菌や定期的な槽内洗浄が必要であるとの示唆を得た。

材料の洗浄は湿式処理前提であれば大量の水で洗浄することが可能である。

しかし、剪定枝葉では形状や枝葉の混在などから木材よりも洗浄が困難であることが容易に推察される。

回収現場に詳しい職員からの話では、現在の回収サイクルでは休日に剪定をした後、数日経過したものを回収することになることや、苧草などはビニール袋等に密閉された状態で排出されるため、腐敗・液状化した状態での回収となるものも少なくないとのことである。

なお、液状化した状態でもセルロースは残っているため、酵素糖化・発酵は可能である。

## ② 自然発酵による悪臭と発火

天日干しにおいては、腐敗した枝葉を堆積しておくとも腐敗が進行・拡大するほか、発熱・発火の危険性を考慮する必要がある。

また、悪臭については、その原因は乳酸菌による発酵であり、乳酸発酵を抑制するために石灰等を混ぜ込むことが適当との示唆を得た。

しかしながら、石灰を混ぜすぎると pH 値に影響するため、糖化発酵処理で使用する酵素の耐性にあわせた中和処理も必要となる。

## ③ 雑菌及び不純物混入による製造効率の低下

ヒアリング調査から、雑菌混入によって酵素糖化・発酵における酵素及び酵母の働きに悪影響が及ぶことへの懸念があることも明らかとなった。

雑菌対策については、リグニン等の木質構造の脆弱化と同時に、水熱処理が有効であるが、160℃以上で処理をすると、リグニンの変性物質が生成され、物理的に酵素の移動を妨害するものと考えられており、水熱処理は 160℃未満とすることが必要とされる。

ヒアリング調査した、複合メカノケミカル処理及び CaCCO プロセスでは、湿式による粉碎方法がとられているため、原料の乾燥を必要とせず、さらに水熱及びアルカリ処理を採用しているため、雑菌増殖の抑制効果も期待される。

乾式のハンマーミルであれば不純物も含めて細砕することが可能であることは実証段階で判明しており、湿式でどこまで粉碎できるかが課題であったが、湿式では数 mm 程度までの粉碎が限度のようである。さらに細砕するには精砕レファイナー等が別途必要となる。

そこで、前処理に関する比較検討のために整理したものが図表 4- 14 である。



図表 4-14 前処理工程での処理方法比較(検討前)

前処理方式 方法 比較項目	乾式処理		湿式処理			
	自然乾燥 (天日干し)		熱乾燥		無加水 (そのまま)	
ストックヤード	×	広大な敷地が必要となる。	△	一時的なストックとはいえ、かなりの敷地が必要	△	一時的なストックとはいえ、かなりの敷地が必要
乾燥消費エネルギー	◎	なし	×	熱乾燥のための設備とエネルギー費用の増加	◎	なし
雑菌増殖・腐敗進行	×	雑菌増殖する腐敗進行しやすい	◎	温度設定によっては雑菌を殺菌腐敗進行しない	○	雑菌増殖・腐敗進行はほとんどない
悪臭・発火	×	腐敗や雑菌増殖による悪臭が発生する可能性 水分 30%含有までの乾燥でよいため発火はしにくい	○	悪臭・発火の危険はない	○	悪臭・発火の危険はない
粉砕	○	乾燥後のためハンマーミルで 0.1 mm 粉砕が可能	○	乾燥後のためハンマーミルで 0.1 mm 粉砕が可能	△	小石等の不純物混在除去後にディスクミルで細粉砕
コスト	◎	最も安価で済む	×	熱乾燥装置等設備費用が掛かる	△	粉砕機の掛かり増しがある

◎:優 ○:良 △:可 ×:不可

洗浄については、剪定枝葉等の形状から困難であるため実施しないこととしたが、この図表 4-14 からは、湿式による処理を前提に粉砕粒度による酵素糖化等への影響を検討することが適当と思われる。

この図表 4-14 に対し、長野市での本事業における許容性と対策を加味して再度比較整理したものが次の図表 4-15 である（網掛け部が変更された箇所）。

図表 4-15 前処理工程での処理方法比較(検討後)

前処理方式 方法 比較項目	乾式処理		湿式処理			
	自然乾燥 (天日干し)		熱乾燥		無加水 (そのまま)	
ストックヤード	△	空地の再利用等コストを抑制した形での確保可能性	△	一時的なストックとはいえ、かなりの敷地が必要	△	一時的なストックとはいえ、かなりの敷地が必要
乾燥消費エネルギー	◎	なし	△	排熱施設と隣接設置でエネルギー消費軽減の可能性	◎	なし
雑菌増殖・腐敗進行	○	バイオエタノール化での腐敗影響は軽微で許容範囲	○	温度設定によっては雑菌を殺菌腐敗進行しない	○	増殖・進行はあまり進まずに済む
悪臭・発火	△	必要に応じて石灰等の混合により発酵抑制が可能	○	悪臭・発火の危険はない	○	悪臭・発火の危険はない
粉砕	○	乾燥後のためハンマーミルで0.1mm粉砕が可能	○	乾燥後のためハンマーミルで0.1mm粉砕が可能	×	回収される剪定枝葉を考えると不純物除去は不可能であり、湿式用のミルのみでリグニン除去不要なレベルの粉砕は困難
コスト	△	必要に応じて腐敗抑制の石灰等の経費を見込む必要	×	熱乾燥装置等設備費用が掛かる	△	粉砕機の掛かり増しがある

◎:優 ○:良 △:可 ×:不可

自然乾燥(天日干し)におけるマイナス評価項目については許容可能なレベルであり、掛かり増しコストも軽微に済ませることが可能となるが、熱乾燥や湿式処理では適当な改善策がないことから、評価はほぼそのままに近い状態となった。

許容可能な事項を考慮し、総合的に見ると、当初想定した自然乾燥(天日干し)とする方法で問題ないものと判断できる。

なお、乾式・湿式に関係なく、前処理工程においては、必要に応じて雑菌処理を行うことが望ましいことから、雑菌処理タイミングとしては糖化処理前の粉砕処理後に滅菌処理することが適当と考えられる。

## (2) 残渣処理工程に関する考察

### ① 廃液処理

残渣として残る廃液の扱いや処理に関して、適切な扱いや処理方法についても確認するよう委員会での指摘があり、前処理工程のヒアリング調査時に後処理についてもヒアリングを実施した。

廃液に対する共通した答えはメタン発酵によるエネルギー回収であった。廃液を廃液用の密閉槽に溜め、そこで発生するメタンガスを回収しエタノール化処理でのエネルギー源として再利用するのが望ましいとの見解を得た。

また、コストを最小限とするためには残渣固形分は土壤改良剤としての利用を想定することが適当との見解である。

### ② 廃物処理

廃液以外の沈殿物等については汚泥として廃棄するか、燃焼可能な沈殿物等については焼却処理となる。ただし、沈殿物はセルロース等除去後の廃棄物であるため燃焼しても、大きな発熱量は望めない。

なお、廃液や沈殿物等の残渣処理については下水処理の場合とほぼ同様な処理が見込めることから、現在利用していない下水処理設備の一部をメタン発酵用の槽として利用する方法も考えられる。

## (3) リグニンの部分分解処理の省略

委員会においては爆砕による方法でリグニンの分離そのものが不要となる方法があること等についても指摘があったが、ヒアリング調査から 0.1 mm 程度で、リグニンを分離をしなくても酵素糖化・発酵に問題が無いとの情報を得た。

そのため、検証実験にて見直しを行ったところ、0.1 mm 程度で問題なく酵素糖化・発酵できることが確認できた。

これにより、爆砕等によらなくとも乾式において全体としてのコストを大きく削減できることから、湿式での粗粉碎での製造効率への影響については検討不要とした。

## (4) セルロースナノファイバーについて

前処理工程及び残渣処理を中心としたヒアリング調査で新たに明らかになったこととして、セルロースナノファイバーの実用化動向がある。

植物の主要成分のうち、セルロースのみを抽出し、これを処理してセルロースナノファイバーを生成するものである。新たな植物繊維素材として様々な素材と組み合わせることで強度を高める働きをもつため、新素材材料としての実用化が見込まれている。

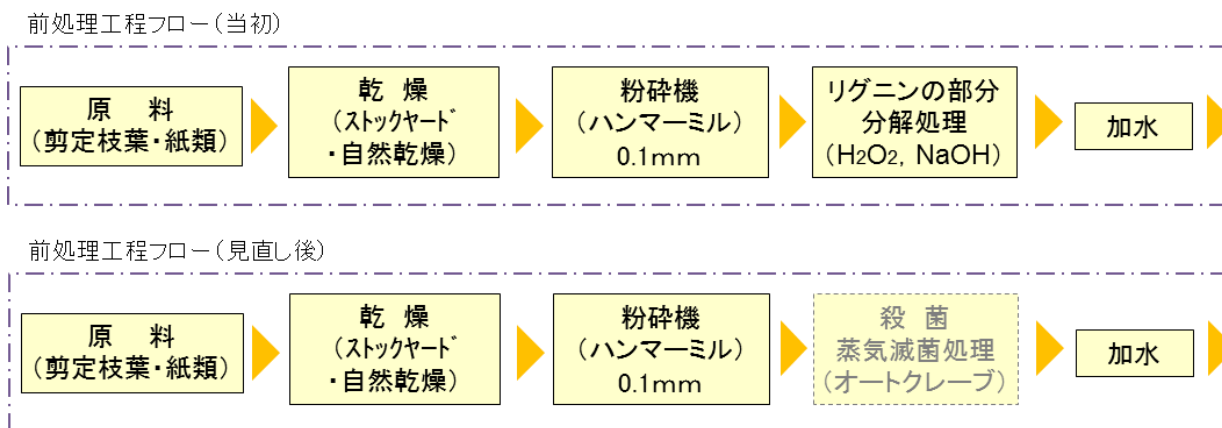
セルロースの抽出を行うには、抽出のための処理機材等が別途必要となるものの、バイオエタノール化処理における前処理工程をそのままいかすことが可能であり、バイオエタノール化処理

で行う酵素・酵母による糖化・発酵処理そのものが不要となることから、今後の剪定枝葉のリサイクル方法の1つとして期待される場所である（第5章で詳しく触れることとする。）。

#### 4. 事業化に向けたシミュレーション

前述したように初回シミュレーションに対する委員会指摘及びその後のヒアリング調査等から、前処理工程については以下のような流れを想定することが適当であると判断した。

図表 4-16 前処理工程フロー



リグニン除去のための部分分解処理は廃止し、必要に応じて殺菌処理を行う流れへの変更である。なお、雑菌によるエタノール製造への影響は材料の腐敗度合による方が大きいものと推察されるが、試験環境（基礎調査機関研究施設内実験）では腐敗することでの酵素糖化・発酵への影響は軽微であることが判明していることから、雑菌処理については任意とすることができる（腐敗原因は乳酸菌であり乳酸菌は糖を分解するが、セルロース自体は分解しないため）。

雑菌影響については本格的な実証実験への移行段階でクローズアップされてきた課題であることが、ヒアリング調査時に得た印象である。

そのため、試験環境では軽微であっても実際の事業化規模においてどこまで影響を及ぼすかは現段階で評価することは困難であることを付け加えておく。

##### (1) 事業化に向けた課題と対応

バイオエタノール化処理のシミュレーションから見えてきた課題について、前処理工程についてはヒアリング調査等から図表 4-15 の比較評価によって方向性が明らかとなってきたが、事業化シミュレーションに向けて、残る課題についての対応方向性を整理する。

##### ① スtockヤードについて

ストックヤードについては平積にて高さ 1m 程度であれば天地返ししなくても天日干し乾燥が可能であるとの実験段階での見込みから、1 日 20t から 30t 弱の処理とした場合、約 180 m<sup>2</sup>/日の天日乾燥用の空地の確保を見込む必要がある。

約 27t/日の剪定枝葉では平積で高さ 1m、180 m<sup>2</sup>の敷地が目安となることから、180 m<sup>2</sup>/日×7 日=1,260 m<sup>2</sup>程度の敷地が最低限必要ということになる。

プラントを大型化することでストックヤードを縮小化する方法も考えられるが、当初のシミュレーション結果から、プラント大型化に伴う初期費及び保守費用の増加による費用回収の長期化が見込まれることから適当ではない。

1,260 m<sup>2</sup>のストックヤード確保として未利用空地等の利用が望ましいが、運搬を考えると、ある程度の車幅で通行が可能な道路も必要である。

利用する空地の状況によっては、道路整備を行うか、平積ではなく段積置きが可能な簡易設備や複数個所に分散させることも必要となる可能性がある。

また、天日干し乾燥では雨による影響を考慮し、テントで覆うことも必要である。全てをテントとすると送風等の設備も必要となるため、一部テントとするのが適当といえる。

## ② ごみ収集時の課題について

ごみ収集時の課題として、ビニール袋やビニール紐、その他不純物の除去作業がある。

この点については、現在の肥料化やチップ化でも同じ課題があるため、現行のままとする。

多少の不純物については糖化・発酵処理で沈殿することとなるため、残渣としての不純物含有量の問題となるが、エタノール化処理への影響は小さく、また、腐敗物についてもエタノール化処理への影響は小さい。

図表 4-17 その他課題と対処案

課題事項		課題対応条件	対応検討事項	対応の方向性・代案等
ストックヤード	候補地の選定	1日分の処理量(180㎡/日)の7倍程度以上プラント隣接地	候補地の検討	未利用空地の活用 簡易設備による段積 ストックヤードの分散確保
収集	収集車1台当たりの積載率	8割以上の積載	過去データ検証	地区別の収集量と積載率
	腐敗した剪定枝葉の選別	腐敗した剪定枝葉の割合と影響度	選別作業の可能性確認	収集方法の変更「持ち込み式」「併用式」
	紙類の導入	民業圧迫しないリサイクル 経費節約となる紙ごみ	機密文書以外の紙ごみ処理の可能性	ライン(糖化槽)の追加 又は 非稼働日や冬季での処理
自然乾燥	施設規模	(ストックヤードに同じ)	(ストックヤードに同じ)	(ストックヤードに同じ)
	雑菌対策	120℃での蒸気加熱	雑菌の影響度	繁殖防止策の実施、洗浄、消毒、薬剤消毒
	乾燥時間	目標含水率に達するまでの日数として8日程度	気温や天候による乾燥効率差 含水率の変化率	広めのストックヤード確保 日照・通風の良い場所を選定 ファンなどの比較的安価な機械乾燥を導入する
前処理工程	コスト削減	湿式粉砕⇒水熱処理	産総研 ヒアリング	前処理工程等の見直し
		湿式による方法 CaCCOプロセス	農研機構 ヒアリング	前処理工程等の見直し
熱源確保	プラントの併設	熱源利用のための設備整備	新清掃センターの排熱利用	
	剪定枝葉の一部燃焼利用	ボイラーの併設	ボイラーに必要な熱量	ボイラーの規模・コスト(燃料)・供給熱量

## (2) 事業化シミュレーション概要

ここでは事業化検討に向けて、前述の検討結果を基に、全ての処理工程を対象としたシミュレーションを行うものとする。

### ①シミュレーション前提

主な内容(追加・変更等含む)は以下のとおりである。

- 冬季の剪定枝葉の排出はほとんどないことから冬季(1月～3月)は休業とし、8tプラントで225日間の稼働とする。
- 人件費については24時間稼働前提から3名とし、うち1名を管理責任者とする。
- 人件費単価は日額15,000円とし、これに現場管理費及び一般管理費等として人件費の16%～20%を加味した額とする(ここでは年額550万円～600万円とする。)

- ストックヤードについては空地又は市保有地等を利用する。
- ストックヤード貯蔵時の腐敗進行防止のための石灰（水酸化カルシウム）については、糖化・発酵処理への影響を考慮し、1t 当たり 1kg 程度を限度として費用を見込むものとする。  
なお、単価は 10kg 当たり 500 円とする。
- ストックヤードにおける一部テントについては面積 500 m<sup>2</sup>×高さ 4m~5m (1,200 万円)
- の設置を見込む。
- 殺菌のための蒸気滅菌処理を行うものとし、設備費用として高圧蒸気処理機を追加する。
- ごみ処理焼却施設等の熱源は確保せず、外部からの購入とする。
- リグニンの部分分解処理をアルカリ蒸解への置き換えることにより、苛性ソーダ（水酸化カリウム）及び過酸化水素水は不要となり、水酸化ナトリウムが新たに必要となる。  
なお、糖化発酵に関わるクエン酸は変更しない。
- 残渣については、廃液はメタン発酵が適当であるが、別途設備が必要となる等、課題も多いため、既存の設備への移送または液肥利用を想定とし、設備整備費は計上しない。
- 固形物については土壌改良剤としての利用とする。
- その他廃棄物については、固形燃料として焼却処分を想定する。

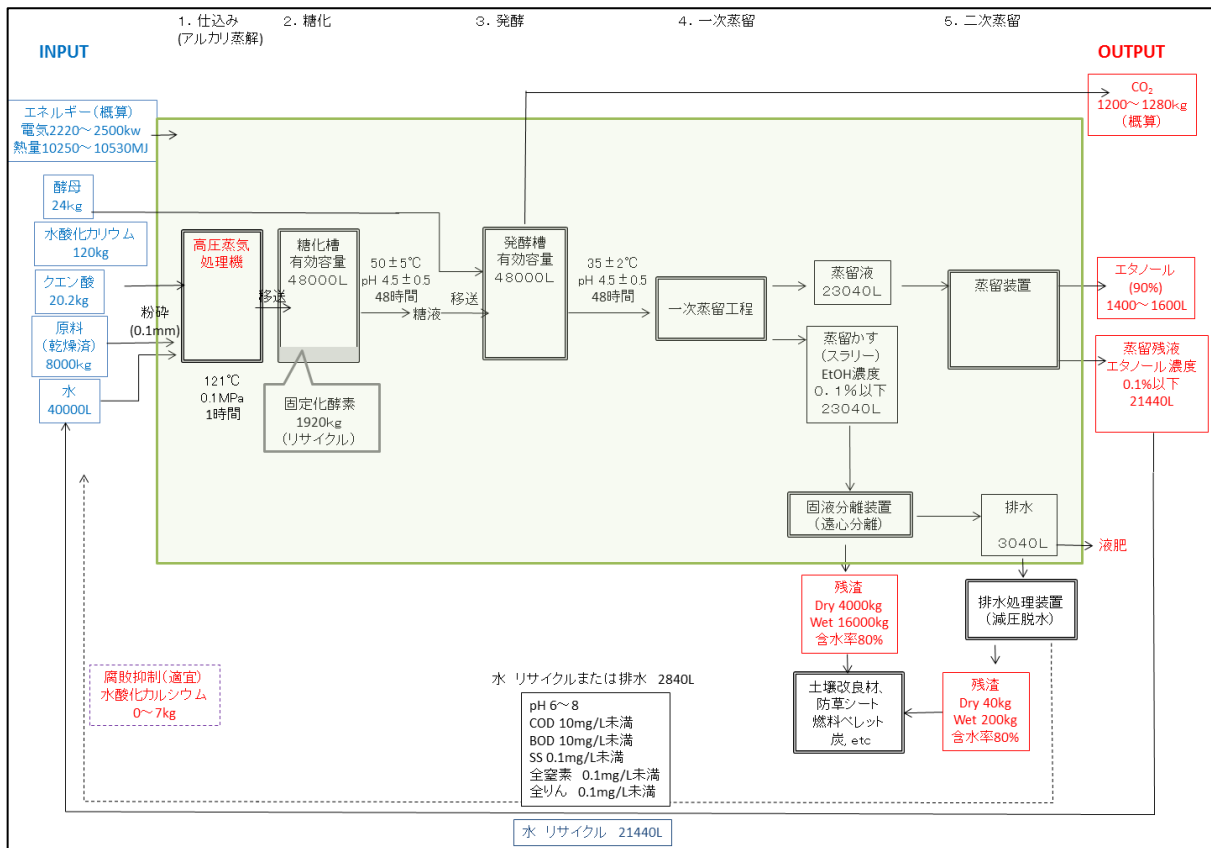


## ②シミュレーション・ベースとしてのマテリアルバランス

前処理を追加した 8t 設備（100%稼働）のマテリアルバランスは以下のとおりである。

リグニン除去処理は無くなり、高圧蒸気処理機の追加に伴うエネルギー消費の増加と天日乾燥処理での腐敗抑止のための薬剤（水酸化カルシウム）追加が主な変更点である。リグニン除去で必要な水酸化ナトリウム、過酸化水素が不要となり、代わりにアルカリ蒸解での水酸化カリウムを投入することとなる。

図表 4- 18 前処理を含めた LCA・マテリアルバランス



### ③シミュレーション結果

図表 4-19 前処理及び人件費等を加味したシミュレーション結果

	初年度	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目
剪定枝葉量 (トン/年)	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500
販売単価 (キロリットル・円)	24,570	24,570	24,570	24,570	24,570	24,570	24,570	24,570	24,570	24,570
エタノール製造量 (キロリットル)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5
売上原価 (千円)	37,272	37,227	37,227	37,227	37,227	37,227	37,227	37,227	37,227	37,227
原材料収集運搬経費	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
酵素・酵母代	683	638	638	638	638	638	638	638	638	638
電気代	8,354	8,354	8,354	8,354	8,354	8,354	8,354	8,354	8,354	8,354
燃料費	6,680	6,680	6,680	6,680	6,680	6,680	6,680	6,680	6,680	6,680
水道料	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005
労務費 (運操作業2名)	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250
消耗品費	5,400	5,400	5,400	5,400	5,400	5,400	5,400	5,400	5,400	5,400
保守費 (1%)	6,900	6,900	6,900	6,900	6,900	6,900	6,900	6,900	6,900	6,900
販売費 (千円)	177,780	134,604	102,212	77,910	59,676	59,746	59,710	59,348	4,955	4,926
人件費 (管理者1名)	4,500	4,500	4,500	4,500	4,500	4,500	4,500	4,500	4,500	4,500
減価償却費 (テント)	780	729	681	637	596	557	521	487	455	426
減価償却費 (プラント等)	172,500	129,375	97,031	72,773	54,580	54,689	54,689	54,361	0	0
	初年度	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目
エタノール化事業収支累計	-190,482	-337,743	-452,611	-543,178	-615,511	-687,914	-760,281	-832,285	-849,897	-867,480
現行処理方法負担額累計	-91,582	-183,164	-274,746	-366,328	-457,910	-549,492	-641,074	-732,656	-824,238	-915,820
	初年度	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目
エタノール化事業単年度負担	-190,482	-147,261	-114,869	-90,567	-72,333	-72,403	-72,367	-72,005	-17,612	-17,583
現行処理方法単年度負担	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582

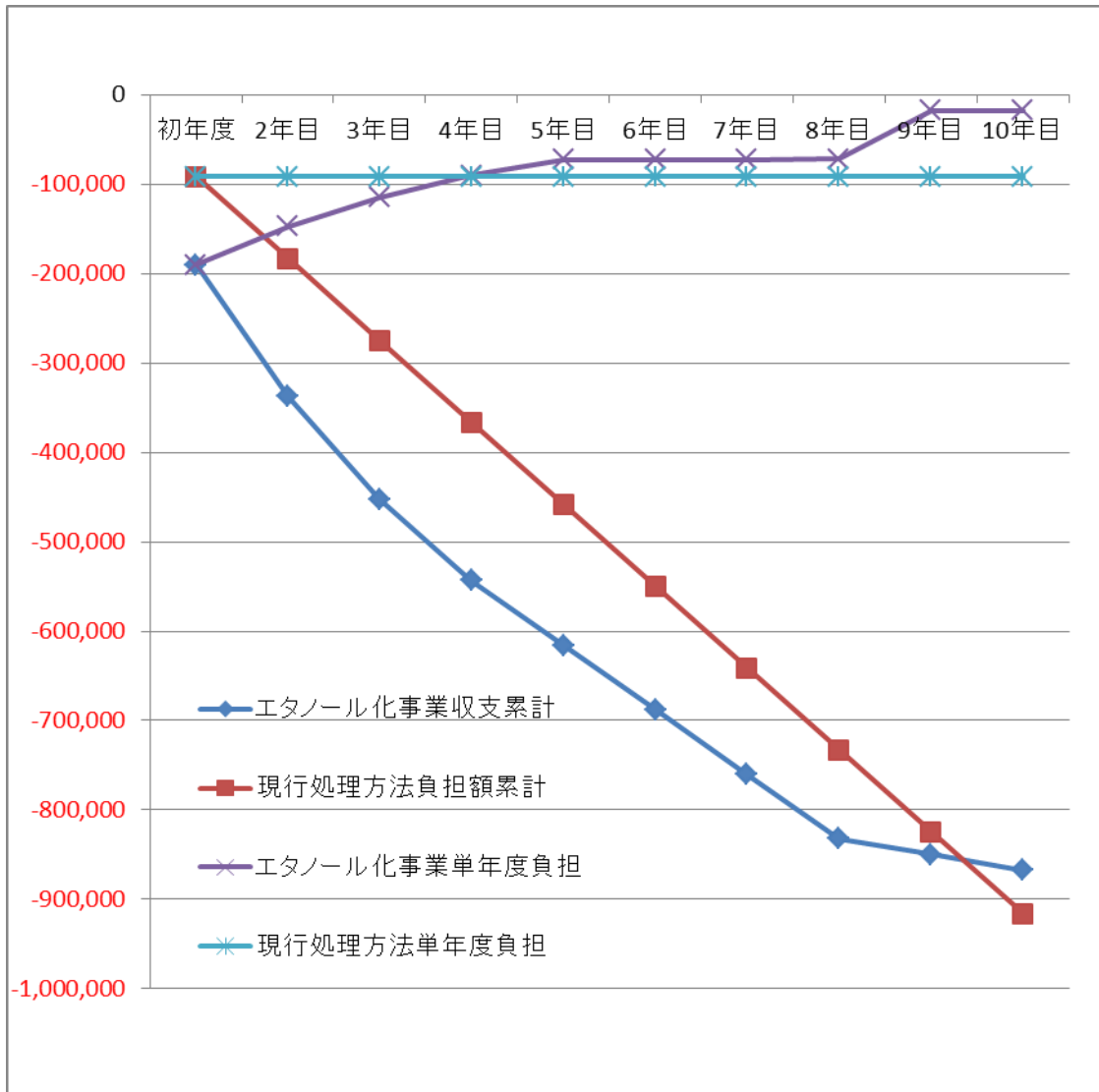
今回はテントや人件費等を加味してのシミュレーションとしていることから、現在の財政負担との比較での効果出現時期は単年度負担で4年目、累積額では10年目となった。先の8tプラントでのシミュレーションでは累積額で7年目に効果が出現するため、約3年程度後ろ倒しとなる。

なお、人件費を除いた費用構成比率は図表 4-21 に示すように、リグニン除去の薬剤が無くなることで消耗品費はやや低下したものの電気代と燃料費が高い割合を占めている。

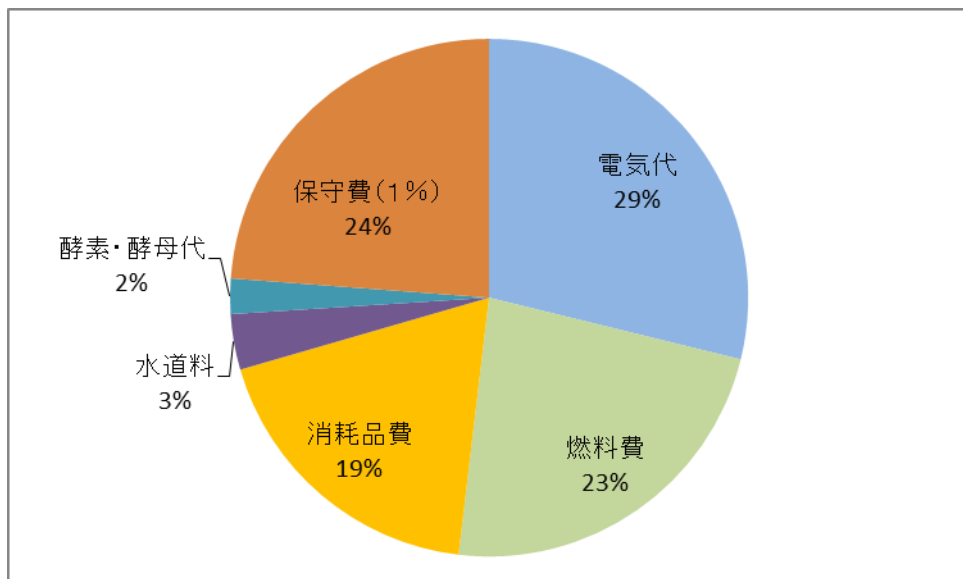
また、バイオエタノール 1ℓ当たりの製造コスト (※) は、減価償却後で 91.02 円/ℓとなる。

(※) 製造コスト：売上原価 (千円) /エタノール製造量 (kℓ) にて算出

図表 4- 20 収支グラフ(前処理追加)



図表 4- 21 主な費用構成割合(前処理追加)



### (3) 事業化への新たな方向性について

第二世代のバイオエタノール化について研究を行っている機関への追加ヒアリングにおいて、今後の意向等を確認したところ、国内でのバイオエタノールの事業化への可能性は低く、どちらかといえば撤退の方向とのことであった。

稲わらや木材等を直接の原料とする第二世代では、民間での自立した事業として、採算性を確保することは困難である。

そのため、ここでは第二世代のバイオエタノール化事業の拡大・転用・普及促進に係る事業取組の方向性について触れておくこととする。

#### ① 拡大：紙を原料としたバイオエタノール燃料

バイオエタノール化処理のシミュレーション結果から、シュレッダーなど紙ごみを原料とする場合にはリグニンの分離が不要となり、糖化・発酵も比較的効率良く実施できるため、製造効率が高く、販路を確保できれば事業化の可能性は高い。

剪定枝葉のリサイクル事業としての検討であるため、真正面で扱うものではないが、バイオエタノール化の事業化可能性という観点からは機密文書等のシュレッダーごみも原料とすることが考えられる。

#### ② 転用：セルロースナノファイバー

剪定枝葉のバイオエタノール化処理における前処理工程をそのまま活用することができることから、今後の需要動向を見据えればバイオエタノール化処理からの転換も見込めるところである。

しかしながら、事業として民間での独立採算性が見込める場合には、剪定枝葉そのものが材料原料としての商品価値を持つことになり、市としては、剪定枝葉の回収・売却が不要になることも考えられる。

#### ③ 普及促進：バイオエタノール燃料を利用した身近な商品の積極導入

バイオエタノール燃料が身近な存在となっていないことがバイオエタノールの需要拡大の足かせになっている面もある。

実際にはバイオエタノール燃料に特化した身近な製品も存在しているため、市として積極的に商品を導入して生成したバイオエタノール燃料の自己消費に充てながら市民等への普及を後押しすることも事業化に向けた取組として考えられる。

例えば暖房器具としてバイオエタノールを燃料とする商品を庁舎内の市民の目に触れやすいところに設置することなどが考えられる。

## 5. 事業化に向けた今後の検討課題

シミュレーション結果を見ると、独立採算性には無理があり、民間では実施困難であるものの、現在の処理費用負担が軽減・改善される可能性があり、なおかつ、地域産業創出や地域活性化、循環型社会形成等の効果が見込めるため、公的機関で取り組むリサイクル事業としては適当と言えるかもしれない。

その意味では現時点におけるバイオエタノール化の事業可能性は微妙なバランスの上にある選択肢として期待されるものである。

ここではバイオエタノール化を想定しつつ今後の取組としての事業化の方向性について整理することとする。

### (1) 排熱利用に関する可能性の検討

市における廃熱利用施設としては、清掃センターのごみ処理発電がある。

発電能力は1,450 kw/hであり、シミュレーションにおいて想定している電気使用量全体の約82%程度に相当する。

しかし、余剰電力として売電しているのは、平成27年度で全体の5%程度であることから、必要な電気の4%相当でしかない。

仮に電力や熱を廃棄物発電等で全て賄った場合、累積額でみて8年目で現行処理よりも優位になることから、2年間の投資回収期間短縮になる。

図表 4-22 電力・熱を全て排熱発電で賄った場合の事業負担額推移

	初年度	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目
エタノール化事業収支累計	-175,448	-307,675	-407,510	-483,043	-540,342	-597,711	-655,044	<b>-712,015</b>	-714,593	-717,142
現行処理方法負担額累計	-91,582	-183,164	-274,746	-366,328	-457,910	-549,492	-641,074	<b>-732,656</b>	-824,238	-915,820
エタノール化事業単年度負担	-175,448	-132,227	-99,835	<b>-75,533</b>	-57,299	-57,369	-57,333	-56,971	-2,578	-2,549
現行処理方法単年度負担	-91,582	-91,582	-91,582	<b>-91,582</b>	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582

住民にとって迷惑施設とも捉えられる焼却施設などは新たに建設したり、拡充したりしようとする場合、土地の選定から着工までに長期間かかるなど、難しい面が多い。例えば一般的に知られている焼却炉のボイラー熱を再利用する(ボイラー方式)場合、以下のような設備が必要となる。

- 乾燥・濃縮等熱源利用、脱臭機、ボイラー給水加熱器、エゼクタコンデンサ、場内温水器、場内冷暖房機、排ガス再加熱器、脱硝用排ガス再加熱器、焼却処理プロセスへの追加設備(焼却用空気予熱器、スートブロア等)

そのため、実際に熱源として排熱利用を想定する場合には、既存の施設への設備の追加や拡充等における費用だけでなく、施設拡充等に関わる住民理解等も踏まえた検討が必要となる。

一方、メタン発酵により回収されるガスを利用する方法については、実現性は高いが、バイオエタノール化処理の残渣から得られるメタン濃度は低いこともあり、熱源としての費用削減効果は小さい。そのため、生ごみ処理施設との併設等を考える必要もある。

その他にも固形残渣物をペレット化したものを燃料として利用するためのボイラーを、バイオエタノール処理プラントに備え付けることなども考えられよう。

排熱利用については電力・燃料コストの削減のためには重要であり、リサイクルとしての意義も大きいですが、検討すべき課題も多い。

同様な条件で6tプラントを通年稼働とした場合のシミュレーションでは、累積額でみた投資回収（現行事業よりも優位となる回収期間）は7年目である。（図表4-23参照）

リサイクルという観点からは排熱エネルギー利用がきわめて重要であるが、排熱利用に係る新たな投資等の必要性を考えれば、初期投資を低く抑える方が効果的であるともいえる。

図表 4-23 6t プラントで通年処理とした場合のシミュレーション結果

項目	初年度	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目
剪定枝葉量 (トン/年)	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500
売上高	24,570	24,570	24,570	24,570	24,570	24,570	24,570	24,570	24,570	24,570
販売単価 (キロリットル・円)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
エタノール製造量 (キロリットル)	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5
売上原価 (千円)	34,334	34,334	34,334	34,334	34,334	34,334	34,334	34,334	34,334	34,334
原材料収集運搬経費	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
酵母費用	683	683	683	683	683	683	683	683	683	683
電気代	8,703	8,703	8,703	8,703	8,703	8,703	8,703	8,703	8,703	8,703
燃料費	6,080	6,080	6,080	6,080	6,080	6,080	6,080	6,080	6,080	6,080
水道料	888	888	888	888	888	888	888	888	888	888
労務費 (運操作業2名)	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000
消耗品費 (薬品)	1,580	1,580	1,580	1,580	1,580	1,580	1,580	1,580	1,580	1,580
保守費 (1%)	5,400	5,400	5,400	5,400	5,400	5,400	5,400	5,400	5,400	5,400
販売費 (千円)	141,780	107,979	82,619	63,590	49,311	49,357	49,321	49,031	6,455	6,426
人件費 (管理者1名)	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
減価償却費 (テント)	780	729	681	637	596	557	521	487	455	426
減価償却費 (プラント設備等)	135,000	101,250	75,938	56,953	42,715	42,800	42,800	42,544	0	0
バイオエタノール事業収支累計	-151,544	-269,287	-361,670	-435,024	-494,099	-553,220	-612,305	-671,100	-687,319	-703,509
現行処理方法での収支累計	-91,582	-183,164	-274,746	-366,328	-457,910	-549,492	-641,074	-732,656	-824,238	-915,820
バイオエタノール事業年度別負担	-151,544	-117,743	-92,383	-73,354	-59,075	-59,121	-59,085	-58,795	-16,219	-16,190
現行処理方法年度別負担	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582	-91,582

## (2) 当初想定処理での試験的取組の継続性検討

先進事例ヒアリングからは実際に動かしてみても分かっていくことがあるとの指摘もある。

異なる技術を採用する場合には、類似といえども異なる事象に出くわすリスクもある。

そのため、投資が無駄にならないようにこれまで中心的に検討してきた技術方式による更なる検証等を行う場合の方策例を挙げておくこととする。

### ① 処理コストの掛かる枝葉以外の紙等によるエタノール化処理での開始

粉碎までの処理工程はセルロースナノファイバーでも同じ設備であり、残渣の液体部分のメタン発酵と固体のエネルギー回収（焼却：熱エネルギー利用）についても同様。

### ② 確保可能なストックヤードに見合う枝葉重量での試験運用

熱源等燃料費用の問題、運搬費用の問題、ストックヤードの問題、腐敗進行に伴う悪臭や雑菌処理の問題など、明らかとなっている課題による経費の掛かり増しに影響する部分を極力排除した運用を指向した形での試験的な運転によりさらなる検証を深める。

具体的には、熱源利用可能な敷地とその周辺で確保可能なストックヤードを最優先に場所を絞り込み、ストックヤードに見合う量の枝葉の運搬を行う。つまりは現地環境の身の丈に合わせた試行である。

## (3) 新たな方向性での実施可能性の検討

### ・セルロースナノファイバーを想定した事業化可能性の検討

バイオエタノール化とは異なるものの、資源の再利用及びリサイクルコスト軽減の目的からは、セルロースナノファイバーを想定した取組も考えられる。

民間事業として採算性のある事業として見込まれることから、市としては、地域産業の育成として市内事業者を育て、そこに剪定枝葉を資源として買い取ってもらえるような取組が想定できる。

市としてリサイクル事業を立ち上げるとした場合であっても、民間への売却を前提とすることも必要である。

その場合、先行して検討を行っている機関（産総研等）との共同研究が考えられる。

#### (4) 経済性に関する考察

本調査では現状のコスト負担と将来的に軽減することも目的の一つである。

6t プラントでの通年処理による方法（稼働率 91%）でのシミュレーション結果からは、単年度でみれば 4 年目から年間の負担額の減少が期待でき、投資回収に相当する初期投資を含む累積での負担軽減は 9 年目以降である。

プラント設備の減価償却は 8 年で計算しているが、耐久性そのものはもっと長期であることを考えると、十分採算性はあるものと見込まれる。

とはいえ、事業化においては、一般には回収期間を 3 年～5 年とすることが多く、新製品を開発して市場を開拓するような”新規性に富んだプラント建設”の場合には、回収期間をより短く設定する傾向にある。

そこで、シミュレーションを参考に投資回収の短縮化について考察することとする。

##### ① 初期投資の抑制

図表 4-6、図表 4-10 の 6t と 8t の処理設備での試算結果の比較から、投資回収期間短縮化には、初期投資額の抑制が有効であることがわかる。

図表 4-19 のシミュレーションでは 6t プラントの設備投資として 5.4 億円程度を見込んでいるが、これを減額できれば、そのまま投資回収期間短縮に直結する。

##### ② 販売価格の引き上げ

一般に投資回収期間の短縮には収入増、つまりは製品販売単価が大きく影響する。シミュレーションでは販売単価を多少低めに設定しているが、上値幅は大きくない。

また、製造可能量はリサイクル資源に対して 4.2%（シミュレーション上の製造比率による）程度であり、大幅な増産は見込めず、資源回収及びストックに要する経費の掛かり増しを考えれば、投資回収期間短縮への効果は小さい。

90%粗留アルコール（濃度 90%）としての売価には限界もあるため、付加価値の高い製品製造に結び付けることができないと投資回収期間短縮は難しいと言える。

##### ③ 稼働率改善、資源・材料コストの削減

その他の方法として一般的には稼働率の改善、資源価格等の引き下げがある。

資源・材料コストについては回収業務になるため、処理設備の立地等にも左右される。

運転等に関わるコストについてはエネルギー消費（電力・ガス等）のコスト割合が大きいため、これらを地熱やごみ焼却設備で生じる熱など、費用のあまりかからないエネルギーで代替することができれば、投資回収の短縮化が可能となる。

なお、既に高い稼働率前提での試算であるため、100%に引き上げても資源に対する製造割合が小さいため、圧縮幅は大きくはない。



(5) 社会性に関する考察

① 温室効果ガス (CO<sub>2</sub>) 排出量の抑制

試算では、1日当たり 21.67 t (湿潤) の剪定枝葉の 6 t 処理プラントで生じる CO<sub>2</sub> は概算で 773kg である。

図表 4-24 参考: CO<sub>2</sub> 排出原単位

処理・処分方法	事業主体または 処理施設	日処理量 t/日	各処理工程等におけるCO <sub>2</sub> 収支(kgCO <sub>2</sub> /kg)								機却処分によるCO <sub>2</sub> 排出量		CO <sub>2</sub> 排出原単位					
			処理工程別排出					エネルギー取得 ※1			収支		kg-CO <sub>2</sub> /kg					
			チップ化	堆肥化	炭化	ペレット化	燃焼等	B	—	C=A+B	機却のみ	機却+熱利用	Fの平均値	G	H=C-E	Iの平均値		
チップ化	現地処理型	A社:企業	20.0	0.0392	—	—	—	—	—	—	0.0392	排出	0.3775	-0.0071	-0.3383	-0.3383	0.0463	0.0463
	プラント処理型	B施設:組合等	50.0	0.0606	—	—	—	—	—	—	0.0606	排出	0.3775	-0.0071	-0.3169	—	0.0677	—
		C町:公共	6.1	0.0653	—	—	—	—	—	—	0.0653	排出	0.3775	-0.0071	-0.3122	—	0.0724	—
		D社:企業	303.0	0.0384	—	—	—	—	—	—	0.0384	排出	0.3775	-0.0071	-0.3391	-0.3305	0.0455	—
		E組合:組合等	22.4	0.0333	—	—	—	—	—	—	0.0333	排出	0.3775	-0.0071	-0.3442	—	0.0404	0.0541
		F組合:組合等	61.3	0.0171	—	—	—	—	—	—	0.0171	排出	0.3775	-0.0071	-0.3604	—	0.0242	—
G施設:公共	19.5	0.0670	—	—	—	—	—	—	0.0670	排出	0.3775	-0.0071	-0.3105	—	0.0741	—		
チップ化+堆肥化	現地処理型	A社:企業	20.0	0.0392	0.0211	—	—	—	—	—	0.0603	排出	0.3775	-0.0071	-0.3172	-0.3172	0.0674	0.0674
	プラント処理型	B施設:組合等	50.0	0.0606	0.0089	—	—	—	—	—	0.0695	排出	0.3775	-0.0071	-0.3080	-0.2900	0.0766	0.0946
炭化		チップ化あり	G施設:公共	19.5	0.0670	0.0384	—	—	—	—	0.1055	排出	0.3775	-0.0071	-0.2720	—	0.1126	—
	H社:企業		15.2	0.5388	—	0.0610	—	—	—	0.5998	排出	0.3775	-0.0071	0.2223	0.2223	0.6069	0.6069	
	I社:企業		3.0	—	—	0.5776	—	—	—	0.5776	排出	0.3775	-0.0071	0.2001	0.2001	0.5847	0.5847	
ペレット化	切断なし	J社:企業	0.1	—	—	0.2034	—	—	—	0.2034	排出	0.3775	-0.0071	-0.1741	-0.1741	0.2105	0.2105	
		N施設:公共	7.9	0.0015	—	—	0.0066	—	—	0.0081	排出	0.3775	-0.0071	-0.3694	—	0.0152	—	
チップ化+エネルギー回収	K施設:公共	O施設:組合等	9.1	0.0378	—	—	0.0017	—	—	0.0395	排出	0.3775	-0.0071	-0.3380	-0.3537	0.0466	0.0309	
		灯油	—	—	—	—	0.0098	-1.1440	灯油	-1.0978	固定	0.3775	-0.0071	-1.4753	—	-1.0977	-1.0946	
(チップ化)+エネルギー回収	L施設:公共	D社:企業	303.0	0.0384	—	—	—	—	—	-1.1440	灯油	-1.1056	固定	0.3775	-0.0071	-1.4831	-1.4792	-1.0985
		灯油	—	—	—	—	0.0500	-1.1440	灯油	-1.0481	固定	0.3775	-0.0071	-1.4256	—	-1.0410	-1.0576	
ペレット化+エネルギー回収	M施設:公共	N施設:公共	7.9	0.0015	—	—	0.0066	—	—	-1.1440	灯油	-1.0814	固定	0.3775	-0.0071	-1.4589	-1.4422	-1.0743
		灯油	—	—	—	—	0.0167	-1.1440	灯油	-1.1359	固定	0.3775	-0.0071	-1.5134	—	-1.4977	-1.1288	
ガス化+エネルギー回収	P社:企業	O施設:組合等	9.1	0.0378	—	—	0.0017	—	—	-1.1440	灯油	-1.1045	固定	0.3775	-0.0071	-1.4820	-1.4974	-1.0974
		灯油	—	—	—	—	0.0096	-0.0383	電力	-0.0288	固定	0.3775	-0.0071	-0.4063	—	-0.4063	-0.2017	
バイオエタノール+エネルギー回収	Q社:企業	R施設:企業	53.7	—	—	—	—	—	0.0096	-0.4326	電力	-0.2467	固定	0.3775	-0.0071	-0.6849	-0.5502	-0.1656
		ガソリン	—	—	—	—	—	—	-0.8086	ガソリン	-0.5215	固定	0.3775	-0.0071	-0.8890	-0.8890	-0.5144	-0.5144

注) チップを購入して燃焼しているため、処理・処分方法のチップ化(現地処理型・1施設、プラント処理型・6施設、計7施設)の平均値を与えた。  
 設備重量等が不明で機械製造のCO<sub>2</sub>排出量は含まれていないが、事例数が少ないため検討に加えた(エネルギー使用に伴うCO<sub>2</sub>排出で検討)。  
 ペレット利用を灯油代替(チップ化+エネルギー利用などと同様)として適用した。  
 ※1: エネルギー取得の形態(灯油、電力、ガソリン)は各施設において取得・利用されるエネルギーによって区分している。バイオエタノールについては、生産されたエタノールを低位発熱量でガソリン換算し、ガソリン代替とした。

(出所: 街路樹剪定枝の有効利用を想定した処理・処分方法別の CO<sub>2</sub> 削減効果の推計)

(環境情報科学 学術論文集 26 (2012))

バイオエタノール化の処理工程で排出される CO<sub>2</sub> は 0.036/kg であり、長野市において現在行っている堆肥化・チップ化処理が 0.0392/kg 程度と見込まれることから、従来のリサイクル処理よりも環境面で優れることになる。

既存の焼却施設からの排熱利用などガスや電気に依存しない熱源の再利用を進めることで、より一層効果を高めることができる。

また、バイオエタノールの温室効果ガスの排出量は同量のガソリンを消費した場合より 15% 少ないことから地球温暖化対策に有効な取組である。

② 持続可能な社会 資源リサイクル社会構築

剪定枝葉類は変動こそあれ、再生可能な資源である。

製造した燃料を使用することで持続可能な、資源リサイクル社会の構築につながる。

### ③ 地域活性化への波及期待

地球温暖化対策に有効であり、コストも抑えられる高効率な処理として需要が高まれば、設備の拡大等により資源の創出（森林整備促進の可能性）や物流への波及等、地域経済への影響も期待される。



## 第5章 バイオエタノール化事業の将来展望



## 第5章 バイオエタノール化事業の将来展望

### 1. 実用化技術の進展と製造コストの削減

第2章で述べたように、日本国内においても国産バイオエタノール生産に係る原料調達からエタノールの製造・販売までの一貫システム構築に向け、実証実験が行われてきたが、何れも事業化までには至らなかった。

そこで、現在におけるバイオエタノールの製造は、食糧と直接競合しない第二世代型の製造技術が、各国で開発・研究が進められている。

日本国内においても、農研機構の「CaCCO プロセス」及びNEDOが主体で行った「複合メカノケミカル処理技術」等の第二世代型の製造技術の開発が進められており、複合メカノケミカル処理技術は実証実験まで行っており、諸条件にもよるが、約64円/ℓ程度で製造できると試算されている。

アメリカでは、平成25年（2013年）の地点で、第一世代型のバイオエタノール生産施設が211箇所存在し、その製造能力は約5,700万ℓ/年であり、1施設当たり換算すると、約24万ℓ/年/施設となるため、スケールメリットを活かせる特徴はある。

また、RFSにより再生可能燃料の使用割合を規定する等、国策が後押ししていることも要因の一つと考えられる。

このような情勢を鑑みると、製造コストの削減が大きな課題となる。

第4章のシミュレーションで述べたように、原料の前処理から蒸留までの全工程において多量の「熱」が必要となる。

例えば、地域の焼却施設では多量の熱が発生するため、その排熱の一部を利用することができれば、電気代・燃料費削減などのランニングコストの削減効果も期待でき、バイオエタノール製造の単独事業ではなく、焼却施設等と併設させることも考えられる。

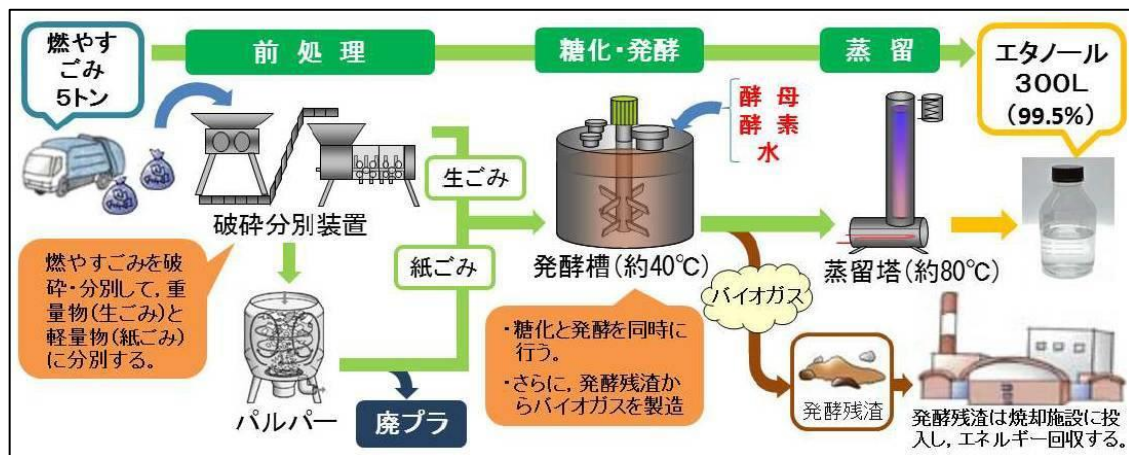
図表 5- 1 都市油田発掘プロジェクトのプラント全景



(出所:京都市HP/都市油田発掘プロジェクトのパンフレット)

(<http://www.city.kyoto.lg.jp/kankyo/cmsfiles/contents/0000120/120683/pamph.pdf>)

図表 5- 2 都市油田発掘プロジェクトにおけるバイオエタノール製造フロー図



(出典:京都市HP/【広報資料】都市油田発掘プロジェクト)

(<http://www.city.kyoto.lg.jp/kankyo/page/0000205717.html>)

図表 5- 1 及び図表 5- 2 は、京都市、熊本大学、日立造船株式会社の産学公連携により開始した「都市油田発掘プロジェクト」である。

本プロジェクトは、全国初の取組で、環境研究総合推進費補助金事業に採択され、さらに、エタノール製造後の残渣からバイオガスを回収するプロセスを組み合わせた「都市域廃棄物からのバイオマス二段階原燃料化システム実証研究」が、環境省のCO2 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業に採択された。

現在は実用化に向けた規模にスケールアップし、実証実験を行っている。

本技術は、京都市内で発生する一般廃棄物中の生ごみや紙ごみ等のバイオマスから、化石燃料代替となるエタノールに加え、メタンガスを製造するものであり、バイオマス以外のプラスチック等のごみは焼却・発電するとともに、従来発電等に利用できなかった低レベルの排熱をバイオエタノ

ール及びバイオガスの製造に活用することで、廃棄物の持つエネルギーを徹底的に利用するとともに、資源が乏しい日本において、国内各地域で燃料を製造することを目的にしている。

京都市の「都市油田発掘プロジェクト」の取組の様に、エタノールの製造に加え、残渣物からバイオガスを回収し、さらには焼却施設を併設させることでエタノールの製造で重要な「熱源」を確保しつつ、発電まで行うことで、施設の集約・簡略化の効果も期待できるものと考えられる。

今後の国内におけるバイオエタノールの製造には、施設の複合化、さらには産学公に市民のマンパワーを加えた「人の環」で、地域が目標に向かって一体となることが事業成功の「鍵」となるものと考えられる。

## 2. リサイクル資源の拡大の可能性

第一世代型のバイオエタノールの製造法では、食糧競合が発生した場合、安定的なエタノールの製造は困難であることは、これまでに述べたとおりである。

しかし、第二世代型の場合、剪定枝葉等のこれまで「ごみ」とされてきたものが、エタノールの原料となるため、ごみではなく「有価物」として、その姿を変えることになる。

さらに、残渣物からはバイオガスを回収できる技術も存在することから、廃棄物の持つエネルギーを徹底的に利用することで、循環型社会形成の効果が期待できる。

## 3. 商品市場の拡大

海外におけるエタノールの利用用途は「燃料用」が主であるため、燃料用に目を向けそうになるが、日本国内におけるエタノールの利用用途は、有機溶剤等の化学薬品、医薬品用等、その利用用途は多岐に及んでいることが特徴的である。

現存している国内のバイオエタノール技術である、全国農業協同組合連合会が行っている取組は、原料の生産からバイオエタノールの製造、販売、副産物の利用まで一貫して「地域循環型」として展開している。



図表 5-3 低濃度エタノールによる土壌還元作用のメカニズム



(出典: 国立研究開発法人農業環境技術研究所 HP/低濃度エタノールを利用した土壌還元作用による土壌消毒技術)

(<http://www.niaes.affrc.go.jp/techdoc/ethanol/>)

図表 5-3 は、エタノールを利用した土壌消毒技術である。

エタノールの殺菌作用に関するメカニズムは、エタノールの濃度により大きく異なるため、その全容は明らかになっていないが、土壌に低濃度のエタノールを散布し、ビニールシート等で覆い、土壌を還元状態にすることで、間接的に土壌の消毒効果を得られる技術である。

図表 5-4 微生物に対するエタノールの作用メカニズム

エタノール濃度	主なメカニズム	死滅時間
1～8%	細胞内外のH <sup>+</sup> イオン濃度勾配、トランスポート系酵素阻害、ATP,RNAの合成阻害	静菌作用
8～20%	細胞膜が傷つき菌体内成分が漏出、トランスポート系酵素阻害などで菌が餓死	30分～48時間
20～40%	カタラーゼが失活し、過酸化水素が生成し、菌体内構造物が酸化変性し、死滅する。細胞膜が傷つき菌体内蛋白、RNAなどが漏出する	10～30分
40～80%	細胞膜、蛋白構造などが急速に変性、破壊する	5分以内
80～99%	細胞膜、蛋白構造などの変性、破壊が40～80%よりも少し遅くなる	10～30分

(出典: 花王株式会社 HP/アルコールと殺菌の話)

([http://www.kao.co.jp/pro/hospital/pdf/08/08\\_05.pdf](http://www.kao.co.jp/pro/hospital/pdf/08/08_05.pdf))

このように、バイオマスからエタノールを製造し、地域に還元する手法も有効であるものと考えられる。

木質バイオマス等から得られる「セルロース」は、バイオエタノールに限定して変換されるものではない。

図表 5- 5 NCV(Nano Cellulose Vehicle)プロジェクト



(出典:環境省HP/世界初! NCVプロジェクトが始動 ~ナノ・セルロース・ビークル・プロジェクト~)

(<http://www.env.go.jp/press/103177.html>)

図表 5- 5 は、現在、バイオエタノールとは別で研究が進められている NCV プロジェクトについてである。

NCV プロジェクトとは、鋼鉄の 5 分の 1 の軽さで 5 倍以上の強度を有する次世代素材セルロースナノファイバーを活用し、CO<sub>2</sub>削減のため、平成 32 年(2020 年)に自動車で 10%程度の軽量化を目標とするプロジェクトのことである。

セルロースは全ての植物細胞壁の骨格成分であり、植物繊維をナノサイズまで細かくほぐすことにより「セルロースナノファイバー」を得られる。

得られたセルロースナノファイバーを樹脂等と複合化させることにより、高高度複合素材に応用する研究・開発が進められている。

#### 4. 事業実施主体の多様化

事例視察を実施した株式会社サンウエスパの取組の様に、バイオエタノール事業の取組は、必ずしも自治体が主体的に取組むことではないが、京都市での取組の様に、産学公が連携し、地域が主体となり事業に取組むことが重要であると考えられる。

まず、事業化には「原料の調達から生成物の販売までにおける、最少費用での実施による最大効果」の検討が重要であると同時に、住民との合意形成も重要な要素であると考えられる。

特に第二世代型のバイオエタノール化事業では、これまで廃棄物として扱われてきたものを収集・運搬する観点から、新たな廃棄物処理施設、つまり迷惑施設と取られられてしまう可能性が示唆される。

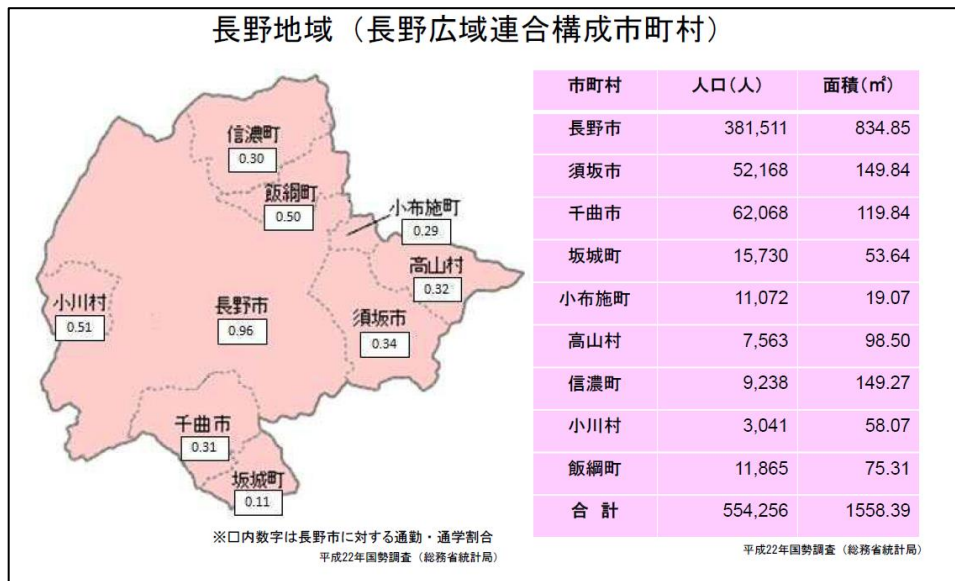
住民との合意形成を図る手段として、シンポジウムやタウンミーティング、個別のワークショップを開催することや広報等で特集記事の掲載、パブリックコメント、アンケート調査を実施することで、問題意識の共有を図る取組がある。

計画策定前の問題点の抽出段階から住民の意向を把握し、事業化への合意形成に至るまで、様々なチャンネルによる情報発信を行い、繰り返し訴え掛けることも必要である。

## 5. 長野地域連携中枢都市圏ビジョン

当該ビジョンは、長野地域の市町村が、人口減少社会における様々な地域の課題に対し、合併によらず、スクラムを組み「お互いの強みを活かし、弱みを補う」ことで、持続可能な地域社会を創造するとともに、長野地域連携中枢都市圏（以下、「圏域」という。）全体を活性化し、発展させることを目的とする。

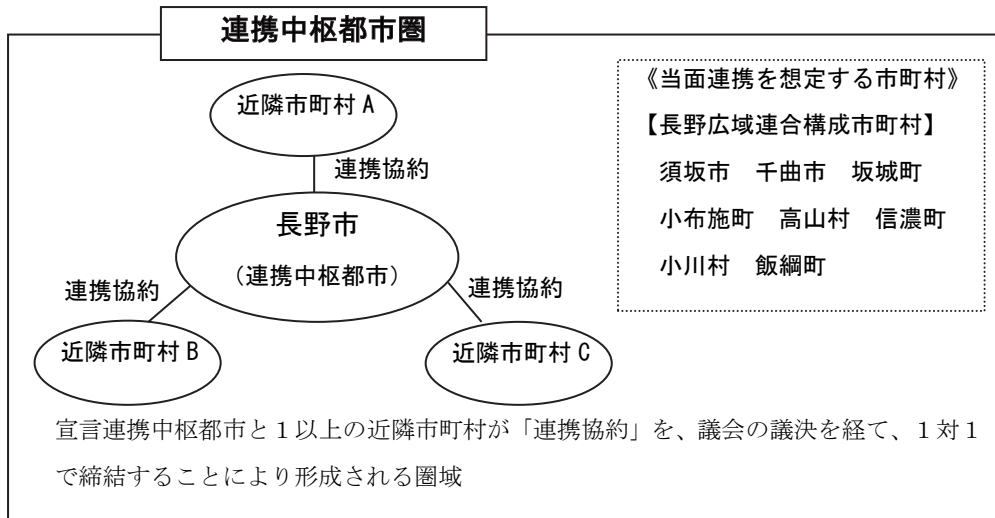
図表 5-6 圏域 9 市町村の位置図、人口、面積及び長野市に対する通勤通学の割合



（出所：長野地域スクラムビジョン 平成 28 年 3 月）

平成 28 年 3 月、中心都市である長野市と近隣市町村とが、連携して取り組む事業を「1 対 1」で柔軟に取決め、それぞれの市町村議会の議決を経て、連携協約を締結した。

図表 5-7 連携中枢都市圏と連携協約のイメージ



(出所:新たな広域連携連携中枢都市圏構想 長野市企画政策部企画課)

連携中枢都市が中心となって、長野地域の「中長期的な将来像」や「連携協定に基づき具体的な取組」を策定し、5年間の計画にて実行するものである。

その具体的な取組として図表 5-8 に示したように、剪定枝葉バイオエタノール化事業の推進検討も掲げられている。

図表 5- 8 連携中枢都市圏構想におけるバイオマス関連事業

事業名	概要	参加市町村
バイオマス利活用に係る調査・研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バイオマス利活用のための調査研究</li> <li>・長野市が目指すバイオマス産業都市認定の効果が圏域全体に波及するよう調査研究</li> </ul>	長野市、須坂市、坂城町、高山村、信濃町、小川村、飯綱町
地域木質バイオマスの利用推進	<ul style="list-style-type: none"> <li>・間伐材等の搬出、燃料化に係る支援</li> <li>・公共施設等への需要施設整備</li> <li>・中山間地域を中心に薪利用モデル事業を構築し、その共有、原材料の補完、需要先の相互利用を図る。</li> <li>・圏域全域での木質ペレット燃料の利活用推進</li> </ul>	長野市、須坂市、高山村、信濃町、小川村、飯綱町
耕作放棄地等の資源作物（ソルガム）活用調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>・資源作物（ソルガム）の栽培・子実販売・茎葉利活用の事業化</li> <li>・圏域のスケールメリットを活かした収益モデルの構築</li> </ul>	長野市、高山村、飯綱町
<b>剪定枝葉バイオエタノール化事業の推進</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>剪定枝葉のバイオエタノール化の調査研究</b></li> </ul>	<b>長野市、飯綱町</b>

(出所:新たな広域連携連携中枢都市圏構想 長野市企画政策部企画課)

## 委員コメント



地球の温暖化に関して炭酸ガスの排出などが関わっていることに対して、否定的な見解もありますが、最近身をもって感じるが多くなったと思っています。

人は種々の活動を行って生きていますから、その際に多くのエネルギーを消費し、これが環境的に思わぬ影響を及ぼしてしまっていることを認識しないといけないと感じます。

個々の人間ができることは限られますが、少しずつの効果でも集めれば、大きな力となるはずで。今回のテーマは正に、地域にあるちょっとした資源をごみとせず活かそうとする取り組みです。民間ベースでは成り立ち難い事業でも、違う見方をした時に、何とかならないのだろうかという取り組みであり、非常に意義のあるテーマであると感じました。

上記の可能性を追求するために、主に文献ベースでの情報を整理し、可能性を見出した点は大いに評価されることと思います。

しかしながら、バイオエタノール化のハードルは大変高いものであり、この調査をもって、すぐに取り組めるというたぐいの話にはならないのは当然です。

不確定な部分について実証することが今後求められることだと認識しています。

特に今回の検討で積み残されているのは、上流部の運搬から貯蔵・乾燥粉碎の工程と、最終的な残渣の処理です。

これらのところが見通せないと、当然実用化は難しい話となります。中間部分の技術的な問題はかなり進んできている面もあり、実際に動かしながらでないといけない要素が多々あると思います。

今回の調査では現状での課題も整理されています。今後の技術の進展いかんでは、実現の可能性はさらに高まることも期待されます。

また、社会も変革していきますから、経済的な観点だけではない要素により、実現する可能性も否定できません。

日本では、まず高度な技術ありきで話を進めますが、中国のようにまず進めてから問題を少しずつ解決していくというやり方もあります。

そういう意味で、日本においても誰かがその先鞭をつけないといけないのでしょう。事業判断をするという意味では不十分な情報ではありますが、この成果をお読みになった方のどこかでお役に立てて頂ければ、調査委員会としても大変うれしく思います。



・ 今回の調査研究についての感想

「剪定枝葉からのバイオエタノール化について」というテーマをお聞きした時に、率直に言えば、技術的にハードルが高く、ましてや、コストを考慮に入れた事業化に関しては非常に難しいだろうと感じていました。

さらに一年間しかない期間内に、どこまでのことを、どのように調査研究するのかという率直な疑問もありました。

その点については、3回の委員会を通じて委員の皆様による議論が深まることにより論点、課題が明確になり、課題に関して地方自治研究機構及び基礎調査機関の皆様が新たな方法、対策を調査・提案していただくなど、より実用化に近づくために何が必要かという前向きな議論になり、非常に良い調査研究になったと感じました。

また、報告書では最終的に前処理工程、人件費等も含め想定される多くの経費を加味した収支シミュレーションがなされており、今後の市行政内部での検討や広く市民への周知、議論してもらうための貴重な基礎資料となることから、非常に価値のある調査研究となったと感じます。

・ 剪定枝葉からのバイオエタノール化に対する考え

バイオ技術による剪定枝葉のエタノール化の可能性を検討するにあたって、根本的な問題は技術的に可能なのか、どの程度のコストでできるのかという点でした。

特に技術的、コスト的に問題となるのは、前処理及び糖化工程だろうと感じていました。その点は委員会、視察等を通して、糖化には耐熱性の高いセルラーゼを25回繰り返し利用すること、前処理は議論、調査を重ねた結果、最終的にリグニンの部分分解処理でなく、湿式方式でアルカリを加えた高圧蒸気処理とするなどの技術的なポイントが示されました。

剪定枝葉の処理委託費用が毎年9,000万円程度かかっている現状に対し、収支シミュレーションでは、単年度負担で4年目、累積負担では10年目でバイオエタノール化事業が逆転し、優位になるとの結果でした。事業として実施するかの判断には最終的に収支バランスが重要であることは言うまでもありませんが、それ以外の観点として、地域に身近にある廃棄物からエタノールという有価物が生産でき、CO<sub>2</sub>排出削減による温暖化対策につながるといった社会的、環境的な意義や、剪定枝葉からバイオエタノール化している他の自治体はなく、全国初となる先進的な取組みとなることから自治体として取組む価値は十分あると考えます。

- ・今後期待すること

今回の調査研究結果に基づき、バイオエタノール化事業に関する市の内部的な検討、市民による幅広い議論をしていただきながら、本格的な事業化の検討には、収支シミュレーションの前提となっている前処理、糖化工程等の根幹技術の技術的、コスト的な実証試験が必須であると考えます。

また、シミュレーションの結果、経費の内訳で電気代、燃料代がかなりの比率を占めることから、現状のごみ焼却施設の熱源利用など廃棄物処理の総合的な見地からの検討をお願いしたい。

・今回の調査研究についての感想

先進的な取り組みに対して、限られた期間内で充実した調査、検討が行われたことに感謝します。参考事例の視察等も含め、現実性についての実感も得られました。委員各位、事務局の皆様、協力者の熱意ある参画に敬意を表します。

・剪定枝葉からのバイオエタノール化に対する考え

長野市で実施されている剪定枝葉の分別回収が始まった頃は、廃棄物の減量化とともに資源の有効利用にもつながる画期的な方法だと感じたことが思い出されます。

現在は、破碎しての堆肥化、または発電用材料となって有効活用されていますが、これからの課題としてはさらにコストを削減して持続性を担保していくことや、より高度な利活用方法の検討が必要であることがあげられます。

この点において、剪定枝葉のバイオエタノール化は、課題解決の方法となりうるものであることが、本調査研究に参加させていただくことにより実感できました。

・今後期待すること

剪定枝葉が単なる廃棄物処理の一環として取り扱われることからさらに発展させ、新たな産業づくりへと発展できれば、経済効果も期待でき、地域振興にも寄与できるものと考えます。

特に、最終的に生産されたバイオエタノールが、燃料用の販路のみならず、市内の医療機関や公共施設、学校などで使用されたり、またはアルコールを使用した製品への利用など、複合的な利用も検討可能に思いました。

これにより、市場価格に大きく左右されず安定的な需要にもつながる可能性も包含しているように思われます。

本調査研究が、実証試験による処理プロセスの確立とフィジビリティスタディによる詳細な事業化検討へと発展させていくことを希望します。

この度は先進事例も少ない事業に対して多くの情報を集約していただき、大変参考となりました。もう少し掘り下げて検討しないといけない情報もあるように感じましたが、一定の評価を得られるレベルのものとなったと思います。今後の皆さんのご意見も参考となることと思います。

長野市民にとって、剪定枝の収集事業は大変歓迎された事業で、今後の期待の集まる事業であると思っています。

その事業を一步進める今回の計画は大変意義深いものであり、低炭素社会へのインセンティブが働く事業となるのではないかと考えます。

規模の問題などあるかと思いますが、実験プラントなどの建設に向かうことを熱望します。

また、今回のプラント全工程を通して、多くの熱が必要となっています。是非その熱源には地元の木質バイオマス燃料の利用も考えて「長野らしさ」の喚起につながることも図る必要があるのではないのでしょうか。

いずれにせよ、先進事例となる事業はリスクの伴う難しいものですが、「環境先進都市長野」としてイニシアティブを発揮する意味も含め、実験プラントの建設に向けて計画が進むことを期待します。

今回の長野市での剪定枝葉のバイオエタノール化可能性に関する調査研究については、第二世代のバイオエタノール化事業への取組であり、特に、リグニンを含有している木質系バイオマスのエタノール発酵は、ハードルの高い変換技術であるが、本調査研究で前処理方法の更なる検討・充実や予備的実験などにより、廃棄物系のバイオマス利活用として、従前の廃棄物リサイクルシステムと比べても経費面でも、一定の目途が立った点では、非常に評価できます。

また、今回の調査研究は、具体的な実験による根拠データの取得とそれによる事業化検討と報告書作成など、単なる情報収集による調査研究でない、具体的な実験的取り組みなどによる事業化検討であり、可能性の調査報告書としても、大変意義のあるものでした。

さらに、剪定枝葉のバイオエタノール化可能性に関する調査研究は、色々な発展性のあるエタノール発酵技術であり、この事業化を加速化する観点からは、

- ①よりエタノール発酵しやすい廃棄物系の雑紙などのリサイクルしにくい紙類との組合せによるエタノール発酵
- ②発酵過程で必要とする熱源や電気などを廃棄物処理で発生する副産物の有効活用との連携
- ③エタノール発酵残渣の有効利用として、食品廃棄物の生ごみなどとの混合メタン発酵によるエネルギー回収などによる事業の拡大とメリットの促進

等が挙げられ、廃棄物の総合的な有効利用による地産地消型の再生可能エネルギーであるバイオマスエネルギーの供給拡大と今後の低炭素型の廃棄物処理システムの構築が期待されます。

また、今回取り上げられたバイオエタノールは、ガソリン代替のバイオ燃料だけでなく、発電効率の高い燃料電池への活用や化成品など幅広い用途が想定され、剪定枝葉などの身近な廃棄物系バイオマスの循環利用により、バイオエタノールの生成や色々な利活用が図れるなど、市民の方々への廃棄物の循環利用とその効果など、身近な廃棄物の有効活用による循環型社会や低炭素社会の構築が図られることなどの環境教育としても環境行政としても発信し、京都議定書に代わるパリ協定が発効し、地球温暖化防止に向けた取組みを加速化させていくことが重要となってきたこの時期に、長野市としても、市民・事業者などに向けた環境政策のシンボリックな取組みとして、剪定枝葉のバイオエタノール化を核として、雑紙や生ごみなどの廃棄物系バイオマスのバイオマスエネルギー化や循環利用の実証事業などを前向きに検討・実施を期待します。

バイオエタノールの世界での生産は、平成 2 年（1,990 年）から右肩上がりが増え始めた。

そして平成 22 年（2,010 年）に 8,500 万キロリットルを超え、その後、シェールオイルの増産や原油価格の下落と連動して、生産量は鈍化したものの、平成 28 年（2,016 年）には 8,600 万kl以上に達した。

生産国は、砂糖を原料とするブラジルから始まり、トウモロコシや大豆を原料とするアメリカ合衆国がそれに続き、現在では、中国、インド、EU 諸国をはじめ ASEAN 各国も生産している。

一方、日本はバイオマスニッポン総合計画に始まるバイオマス利用が政策課題となって久しいが、バイオエタノール生産はほとんどなされていない。

平成 24 年度（2012 年度）行政事業レビューでは、平成 15 年度（2003 年度）から平成 20 年度（2008 年度）にかけて行われたバイオマス利活用関連の事業のうち、決算額が特定出来たのは 214 事業中 122 事業で、1,374 億円であり、残りの事業は特定できなかった。

生産されたバイオエタノール量は平成 23 年度（2011 年度）で 28,491 リットルであり目標の 57% であった。

さらに、バイオマス利活用の大きな利点と考えられる地球温暖化防止に関して、CO<sub>2</sub> 収支を計算した施設は、132 施設のうち 3 施設、また、CO<sub>2</sub> 削減効果が発現した施設は、77 施設のうちわずか 8 施設であった、などが指摘された。

これを受けて、新たにバイオマス活用事業化戦略が計画され、具体的な技術のロードマップと事業化戦略が立案された。基本的な考え方の一つが、地域のバイオマスを活用した自律分散型エネルギー供給体制の強化で、個別重点戦略に木質バイオマス利用促進と地域循環型バイオ燃料利用可能性の具体的方策を検討することが挙げられている。

今回の「剪定枝葉のバイオエタノール化可能性に関する調査」は、このバイオマス利活用事業化戦略の一つとして位置づけられるものである。

前述した、世界でのバイオエタノール生産は原料がサトウ、トウモロコシなどの食糧と競合するものがほとんどで、その反省からか、非食糧バイオマスを原料とする商業プラントが平成 24 年（2012 年）以降増えている。

イタリアでの、イナワラ、ムギワラ、アシを原料とした年間 75,000 kl のプラントをはじめ、アメリカでは、農産廃棄物、林業廃棄物を利用する 100,000 kl プラントも稼働している。

日本では、製造コストを主たる理由としてバイオエタノールの商業プラントは普及していないが、世界の前例が豊富にあるため、単にコストが原因とは考えにくい。とはいえ、製造単価を下げることは製品の競争力強化につながり、そのための技術開発は常に行うことが必要であり、今回は、加水分解に使用する酵素の固定化による繰り返し利用が提案されている。

さらに、より安価で効率高い酵素の開発も必要である。また、収集運搬についても注目すべき方法が提案された。

剪定枝葉は廃棄物でもある。日本の廃棄物行政はこの数年急速に変化している。廃棄物焼却炉の前段としてメタン発酵を行うことが標準化しつつある。これは、主としてCO<sub>2</sub>削減対策である。

時代はすぐ変わる。パリ協定の発効によって日本は2050年までに80%のCO<sub>2</sub>削減を世界に公約した。従来の行政ベースの廃棄物処理は、計画発表、住民説明、用地取得、プラント建設などで7～10年間かけて新たな施設を導入してきた。一方、世界での先導事例をみると、これを商業ベースで行うと、3年間で稼働させている。

この報告書が長野市における環境行政の前進の材料の一つになることを望むとともに、スピード感ある政策の実現を期待している。

## 調査研究委員会名簿





剪定枝葉のバイオエタノール化可能性に関する調査研究

	委員氏名	所属・肩書
委員長	天野 良彦	信州大学技術研究院工学系物質工学担当教授
委員	戸井田 仁一	長野県工業技術総合センター 食品技術部門食品バイオ部研究企画員
	中村 一夫	公益社団法人京都高度技術研究所 バイオマスエネルギー研究企画部長
	堀池 政史	長野市地球温暖化防止活動推進センター政策部長
	宮入 賢一郎	特定非営利活動法人CO <sub>2</sub> バンク推進機構理事長
	田口 裕一	長野市環境部環境政策課長
	岡 裕二	一般財団法人地方自治研究機構 調査研究部長 兼 総務部長
	瀧澤 光男	長野市環境部次長兼生活環境課長
	馬場 光義	長野市環境部清掃センター所長
事務局	久保田 智	一般財団法人地方自治研究機構 調査研究部 主任研究員
	嶋田 匡寿	一般財団法人地方自治研究機構 調査研究部 研究員
	峯村 八郎	長野市環境部環境政策課長補佐兼地球温暖化対策室長
	新井 雄太郎	長野市環境部環境政策課地球温暖化対策室 係長
	村石 敏昭	長野市環境部環境政策課地球温暖化対策室 主査
	唐澤 昌裕	長野市環境部環境政策課地球温暖化対策室 主査
	三井 正幸	長野市環境部生活環境課長補佐
	徳武 恒男	長野市環境部清掃センター 係長
	八木 太志	長野市環境部清掃センター 技師
	永藤 健	長野市環境部清掃センター 技師
基礎調査機関	山田 博子	クレール株式会社 (※) 研究開発責任者
協力・支援	高見澤 一裕	岐阜大学名誉教授

(※) 平成 29 年 2 月から株式会社コンティグ・アイよりバイオエタノール事業を継承したため名称を変更



# 資料編



## 参考資料：第3章 2-(5) 収集運搬費用シミュレーションにおける現状分析値計算方法

### 1 事業所から収集地区への移動時間（A）・・・実測値をナビソフトにより算出した時間で按分

#### (1) 大豆島～第二地区間の移動時間推計値【1】（分/（箇所・回））

- ・ 大豆島－B社、第二地区－A社の移動合計時間【2】を実測
- ・ ナビソフトにより大豆島－第二地区間の移動時間【3】を算出
- ・ ナビソフトにより大豆島－B社、第二地区－A社の移動合計時間【4】を算出
- ・  $【2】 \times 【3】 / 【4】 / \text{調査集積所箇所数}$

#### (2) 大豆島から収集地区への移動時間推計値【5】（分/年）

- ・  $【1】 \times \text{収集回数} \times \text{集積所数} \times (\text{対象地区－大豆島移動時間：ナビ}) / (\text{第二地区－大豆島移動時間：ナビ})$

### 2 地区毎の剪定枝葉収集量推計

#### (1) 地区毎の収集量【6】

- ・ 地区別収集量は全体収集量を戸建て住宅数（※1）で案分  
（※1）戸建て住宅数：（長野市住宅マスタープラン：地区別の一戸建て割合）×（人口動態：地区別世帯数）

#### (2) 地区毎の収集量【7】（kg/（箇所・回））

- ・  $\text{対象地区収集量【6】} / (\text{対象地区集積所箇所数} \times \text{対象地区収集回数})$

### 3 集積所作業時間（B）・・・実測値を収集量で按分

#### (1) 実測値（大豆島、第二地区で実測）

- ・ 実測作業時間【8】：1箇所の平均作業時間算出（分/（箇所・回））
- ・ 実測収集量【9】：1箇所の平均収集量算出（kg/（箇所・回））

#### (2) 実測地区作業時間【10】（分/ kg）

- ・  $\text{実測作業時間【8】} / \text{実測収集量【9】}$

#### (3) 地区毎の年間作業時間【11】（分/年）：

- ・  $\text{実測地域作業時間【10】} \times \text{対象地区の収集量【7】} \times \text{対象地区の集積所数} \times \text{対象地区の収集回数}$

### 4 地区内移動時間（C）・・・実測値を地区内面積で按分

#### (1) 実測値【12】（分/（箇所・回））

- ・ 集積所1箇所毎の平均時間算出

#### (2) 集積所1箇所あたりの地区面積【13】（km<sup>2</sup>/箇所）

- ・  $\text{地区内面積} / \text{地区内集積所数}$

(3) 実測地区地区内移動時間【14】(分/km<sup>2</sup>)

- ・ 実測値【12】/集積所1箇所あたりの地区面積【13】
- ・ 中山間地域(※2)については、森林面積を考慮し(※3)、地区面積を1/5とする  
(※2) 長野市やまざと振興計画に定める13地域(浅川、小田切、芋井、篠ノ井(信里)、松代(豊栄・西条)、若穂(保科)、七二会、信更、戸隠、鬼無里、大岡、信州新町及び中条地区)  
(※3) 市内中山間地域は約75%、森林率は約60%から、中山間地域の森林面積は $60/75=80$ とした。)

(4) 地区毎の年間地区内移動時間【15】(分/年)

- ・ 実測地区地区内移動時間【14】×対象地区の収集回数×対象地区面積

5 委託先への移動時間(D)・・・実測値をナビソフトにより算出した時間で按分

(1) 実測値【16】(分/(箇所・回))

- ・ 集積所1箇所毎の平均時間算出

(2) 地区毎委託先移動時間【17】(分/(箇所・回))

- ・ 実測値【16】を、各地区各支所から委託先への移動時間(ナビ)で比例按分

(3) 地区毎の委託先作業時間【18】(分/年)

- ・ 地区毎委託先移動時間【17】×対象地区の集積所数×対象地区の収集回数

6 委託先での作業時間(E)・・・実測値から算出

(1) 実測値【19】(分/(箇所・回))

- ・ 委託先作業時間実測地/調査集積所箇所数

(2) 地区毎の委託先作業時間【20】(分/年)

- ・ 実測値【19】×対象地区の集積所数×対象地区の収集回数

7 委託先から収集運搬事業所(大豆島)への移動時間(F)

・・・実測値をナビソフトにより算出した時間で按分

(1) 実測値【21】(分/(箇所・回))

- ・ 実測移動時間/調査集積所箇所数

(2) 地区毎の委託先作業時間【22】(分/年)

- ・ 実測値【21】×対象地区の集積所数×対象地区の収集回数×(対象地区-委託先移動時間:ナビ)/(大豆島~神山移動時間:ナビ)

8 各工程の費用算出

- ・ 約8,000万円を工程毎に要する時間で按分

## ヒアリング質問票・回答結果

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

～ CaCCO プロセス ヒアリング項目 ～

- ・ 前処理で残留する Ca 濃度について

CaCCO プロセス（基本型）では、前処理後スラリー全体に対して、炭酸ガスを吹き付けることから、添加 Ca 全量が系内に残留します。前処理後に洗浄を行うことで、Ca イオンは抜けますが、一部が前処理繊維質に吸着するので、脱離挙動は鈍いです。

- ・ CaCCO プロセスで使用可能な糖化酵素、使用できない糖化酵素の情報をお持ちでしたら教えてください。

pH が 6 前後からそれ以上になるので、一般の糸状菌酵素、細菌酵素は使用可能です。糸状菌酵素の最適 pH から見るとやや高いので、安定性も含めて最適条件でない可能性があります。一部の Ca イオンが遊離状態で存在するので、Ca による阻害が問題となる酵素については注意が必要です。

- ・ 処理にかかるランニングコストについて

設定原料の特性、製造規模、副産物利用、廃棄物利用等によって大きく変動し、1.5 万 k $\ell$ /年での製造モデル内で最適化した際の試算値を見ると、約 40 円/ $\ell$ エタノールが一つの目安となっています。この数値は、農林水産省「ソフトセルロース利活用技術確立事業」で、稲わらからのエタノール製造コスト試算値として、各チームが出した値に近いものです。

- ・ 使用する薬品濃度、薬品量について

例として示します。

草本原料（乾燥重量 1 kg）、水酸化カルシウム（0.1 kg）、水 1 kg で前処理

中和（CO<sub>2</sub> 添加）

糖化（6～10FPU（※）/g-原料、補助酵素、消泡剤、水）

発酵（酵母 12 mg/g-原料）

（※）FPU（Filter Paper Unit）：標準的な酵素単位であり、濾紙から 1 分間に 1  $\mu$ mol のグルコースに相当する還元糖を生成する酵素を示す。

- ・ 設備に関連する法規制について

アルコール事業法、原料貯蔵（消防法）、圧力容器使用、ボイラー使用等



- ・ 必要な設備の種類について（全体像）

略（冊子(※)P. 81 参照。）

(※)冊子：農林水産省委託プロジェクト研究「地域資源を活用した再生可能エネルギーの生産・利用のためのプロジェクト」（草本を利用したバイオエタノールの低コスト・安定供給技術の開発）

- ・ 設備の製造が可能なメーカーについて

国内エンジニアリング会社に尋ね、設備建設に特段の技術的問題はないことは確認済。

- ・ 腐敗した原料が混在する場合は使用可能の有無について

→剪定枝葉：草＝7：3 程度

→草類は腐って蕩けた状態の物が混入されている

原料としては使用可能。効率的な変換条件を探す必要あり。

腐敗により、悪臭、原料軟化等の作業上の問題となる場合には要検討。

微生物増殖が激しい場合、選択圧の確保に関する条件検討が必要。

- ・ プロセスに入れる為の粉碎条件について（大きさ・含水率等）

湿式粉碎を採用。サイズ（例：粉碎前数センチ程度。）

含水率 40%以上。

国立研究開発法人産業技術総合研究所中国センター  
～ 複合湿式メカノケミカル処理 ヒアリング項目 ～

- ・複合湿式メカノケミカル処理で使用可能な糖化酵素、使用できない糖化酵素の情報をお持ちでしたら教えてください。

複合湿式メカノケミカル処理により得られた前処理物は、変性度合いが低いため、特定の酵素の活性が阻害されるような現象は確認されなかった。

- ・ 処理にかかるランニングコストについて

電気代、水道代、処理装置の消耗品（ディスク等の摩耗する部品）が必要。具体的な金額は規模による。

- ・ 使用する薬品濃度、薬品量について

最も基本的な複合湿式メカノケミカル処理では薬品を使用しない。  
NEDO 事業では、アルカリ（水酸化ナトリウム、亜硫酸ナトリウム等）を使用。

- ・ 設備に関連する法規制について

水熱処理では压力容器を使用するため、安全労働衛生法（第一種压力容器、第二種压力容器）、  
高圧ガス保安法

- ・ 必要な設備の種類について（全体像）

前処理工程：粗粉碎機→水熱処理装置→微粉碎機。  
各段階で試料を移送する設備。

- ・ 設備の製造が可能なメーカーについて

個別装置は市販品。プラントとして設計・施工が可能な会社は、NEDO 事業に携わったエンジニアリング会社等。

- ・ 腐敗した原料が混在する場合は使用可能の有無について

→剪定枝葉：草＝7：3 程度  
→草類は腐って蕩けた状態の物が混入されている

処理工程では水を使用するため、腐敗物が水の吸収を阻害する場合は、前処理効率が低下する場合もある。腐敗物に含まれる物質による酵素糖化・発酵阻害も考えられる。

- ・ プロセスに入れる為の粉碎条件について（大きさ・含水率等）

粗粉碎機で数ミリ以下にして、微粉碎機に投入。全プロセスが湿式のため、含水率の影響はない。

- ・ 複合湿式メカノケミカル処理工程における課題及び対応策(案)について

大量での低コスト化処理。大型の製紙用設備（リファイナー）の活用。

## 引用・参考文献一覧

- 1) “プロセス最適化のための研究基盤”，セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業／バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発／早生樹からのメカノケミカルパルピング前処理によるエタノール一貫生産システムの開発（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 成果報告書データベース）. 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, [http://www.nedo.go.jp/library/database\\_index.html](http://www.nedo.go.jp/library/database_index.html), (参照 2016-11-18)
- 2) “410 原料の前処理・糖化特性評価および一貫性試験評価”，農林水産省委託プロジェクト研究「地域資源を活用した再生可能エネルギー等の利活用技術の開発」草本を利用したバイオエタノールの低コスト・安定供給技術の開発【成果発表会 予稿集】. 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所
- 3) 公開特許公報 (A), 固定化生体触媒及びその製造方法 (特許情報プラットフォーム). 独立行政法人工業所有権情報・研修館,  
[https://www7.j-platpat.inpit.go.jp/tkk/tokujitsu/tkkt/TKKT\\_GM301\\_Detailed.action](https://www7.j-platpat.inpit.go.jp/tkk/tokujitsu/tkkt/TKKT_GM301_Detailed.action), (参照 2017-02-28)
- 4) 公開特許公報 (A), エタノール製造装置及び製造方法 (特許情報プラットフォーム). 独立行政法人工業所有権情報・研修館,  
[https://www7.j-platpat.inpit.go.jp/tkk/tokujitsu/tkkt/TKKT\\_GM301\\_Detailed.action](https://www7.j-platpat.inpit.go.jp/tkk/tokujitsu/tkkt/TKKT_GM301_Detailed.action), (参照 2017-02-28)
- 5) 中村真人. メタン発酵消化液の液肥利用とその環境影響に関する研究. 農村工学研究所研究報告. 2011, no. 50, 55p,  
[https://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/publication/files/naro-se/nkou50\\_1.pdf](https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/naro-se/nkou50_1.pdf),  
(参照 2017-03-03)



剪定枝葉のバイオエタノール化可能性に関する調査研究

—平成 29 年 3 月発行—

長野市 環境部 環境政策課 地球温暖化対策室

〒 380-8512

長野県長野市大字鶴賀緑町 1613 番地

電話 026-224-7532

一般財団法人 地方自治研究機構

〒 104-0061

東京都中央区銀座 7-14-16 太陽銀座ビル 2 階

電話 03-5148-0661 (代表)

