

「セルロース系エタノール生産システム 総合開発実証事業」

事業原簿【公開版】

担当部	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部
-----	--------------------------------------

— 目 次 —

概 要	i
プロジェクト用語集	iv
I. 事業の位置付け・必要性について	I-1
1. 事業の背景・目的・位置づけ	I-1
1. 1 背景	I-1
1. 2 研究開発の目的	I-1
1. 3 本事業の位置づけ	I-4
2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性	I-7
2-1 NEDO が関与することの意義	I-7
2-2 実施の効果	I-8
II. 研究開発マネジメントについて	II-1
1. 事業の目標	II-1
2. 事業の計画内容	II-2
2-1 研究開発の内容	II-2
2-2 研究開発の実施体制	II-4
2-3 研究開発の運営管理	II-5
2-4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性	II-9
3. 情勢変化への対応	II-9
4. 評価に関する事項	II-11
III. 研究開発成果について	III-1
1. 事業全体の成果	III-1
2. 研究開発項目毎の成果	III-2
2-1 木本バイオマスを原料とする日本の持続可能性基準に適合するセルロース系エタノールの一貫生産技術開発および事業性評価	III-2
2-2 パルプを用いた水蒸気爆砕法によるバイオエタノール生産に関する技術開発および事業性評価	III-33
IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組および見通しについて	IV-1
1. 成果の実用化・事業化に向けた取組および見通しについて	IV-1
2. 研究開発毎の事業化の見通しについて	IV-1
2-1 木本バイオマスを原料とする日本の持続可能性基準に適合するセルロース系エタノールの一貫生産技術開発および事業性評価	IV-1
2-2 パルプを用いた水蒸気爆砕法によるバイオエタノール生産に関する技術開発および事業性評価	IV-1
(添付資料)	- 1 -
「バイオマスイエネギー技術研究開発」基本計画	1

概要

		最終更新日	平成 29 年 11 月 1 日
プロジェクト名	セルロース系エタノール生産システム 総合開発実証事業	プロジェクト番号	P14025
担当推進部/PM 担当者	新エネルギー部 PM 森嶋誠治（平成 29 年 11 月～現在） 矢野貴久（平成 26 年 6 月～平成 29 年 10 月） 古川信二（平成 26 年 4 月～平成 26 年 6 月） 濱田利幸（平成 26 年 4 月～現在） 山家美歩（平成 28 年 6 月～現在） 橋本 大（平成 26 年 4 月～平成 27 年 3 月） 佐藤秀美（平成 26 年 4 月～平成 27 年 3 月） 櫻庭美那（平成 27 年 4 月～平成 28 年 4 月）		
0. 事業の概要	<p>本事業では、エネルギー安全保障、および地球温暖化対策の観点から、食糧と競合しないバイオ燃料の実用化を目指し研究開発を実施する。</p> <p>2020 年にガソリン価格を見据えつつ、海外のエタノール価格と競合できるバイオエタノール生産コストで年産数万～20 万 kL のエタノール生産を実現するため、セルロース系バイオマス原料からバイオエタノールの製造に至る一貫生産モデルを確立し、食糧問題や環境問題にも配慮したセルロース系バイオエタノール生産システムの構築を目指す。</p>		
1. 事業の位置付け・必要性について	<p>環境負荷が少ない石油代替エネルギーの普及に向けた、新たな技術の開発およびコスト低減・性能向上のための戦略的取り組みが要求されている。バイオマスエネルギーは、カーボンニュートラルとして扱われているため、地球温暖化対策の一手段として重要である。一方、供給安定性の確保、食料との競合や森林破壊等の生態系を含めた問題、化石燃料との価格競争性・価格安定性といった経済面での課題、LCA（ライフサイクルアセスメント）上の温室効果ガス削減効果・化石エネルギー収支等の定量化等の課題を克服していくことが重要である。</p> <p>国内においては、2010 年 11 月に「エネルギー供給構造高度化法」に基づく非化石エネルギー源の資料に関する石油精製業者の判断の基準（平成 22 年経済産業省告示第 242 号）として、2017 年におけるガソリン対比 GHG 排出量削減率 50%以上のバイオエタノール利用目標量（原油換算）50 万 kL が定められた。</p> <p>2014 年の「エネルギー基本計画」改定においてもバイオ燃料については、国際的な動向や次世代バイオ燃料の技術開発の動向を踏まえつつ、導入を継続するとされている。また、NEDO の第 3 期中期計画においても、食糧供給に影響しない第 2 世代バイオ燃料であるセルロース系エタノールについては、2020 年頃の実用化・事業化を目指すこととしている。そのため、セルロース系エタノールの大量生産に向けた、製造技術の開発、実証開発を推進する必要がある。</p> <p>しかしながら、技術的なハードルの高さに加えて、実用化に至るまでに多額の投資が必要であるため企業単独で取り組むにはリスクが高い。また、現状では我が国にバイオ燃料産業は確立しておらず、ビジネスモデルの創出と産業創出が必要である。2020 年頃の実用化の見通しが確実となるまでは、NEDO が主体となって関与し実施することが必要である。</p>		
2. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	<p>本事業では以下を達成目標とする。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① ガソリン比 GHG 削減効果 50%、化石エネルギー収支 2 以上の一貫生産プロセスの最適化 ② プレ商用実証プラントの建設と年産 1 万 kL の運転の実証 ③ ガソリン価格を見据えつつ海外エタノール価格と競合できるバイオエタノール生産コストの実現 <p>【中間目標（2017 年度）】</p>		

	<p>商用プラントを想定して①を達成し、プレ商用実証プラントの設計・建設に進むに値するFS結果を得ることを目標とする。FS実施時に、商用化に資するコスト目標を事業目標として事業者側が設定し、その目標の妥当性を外部有識者により審議し、妥当であるとの評価を得る。</p> <p>【最終目標（2019年度）】</p> <p>商用化に向け、プレ商用実証プラントを建設し、プレ商用実証プラントでの実証運転にて、①、②、③を達成する。</p>							
事業の計画内容	主な実施事項	H26fy	H27fy	H28fy	H29fy	H30fy	H31fy	
	(i) 国内外の優良技術の調査・検討	○	○					
	(ii) 最適組合せの検証		○	○	○			
	(iii) 一貫生産プロセス開発・事業性評価（FS）の実施				○			
	(大型実証)					○	○	
事業費推移 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位：百万円)	会計・勘定	H26fy	H27fy	H28fy	H29fy	H30fy	H31fy	総額
	一般会計	0	0	0	0	-	-	0
	特別会計（需給）	1	1,494	2,306	1,243	-	-	5,044
	総予算額	1	1,494	2,306	1,243	-	-	5,044
開発体制	経産省担当原課	経済産業省 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー課						
	プロジェクトリーダー	なし						
	プロジェクトマネージャー	新エネルギー部 森嶋誠治						
	委託先	<p>【(i) 国内外の優良技術の調査・検討】</p> <p>(一財) エネルギー総合工学研究所</p> <p>【(ii) 最適組合せの検証、(iii) 一貫生産プロセス開発・事業性評価（FS）の実施】</p> <p>①JXTG エネルギー(株) / 王子ホールディングス(株)</p> <p>②(株)Biomaterial in Tokyo/三友プラントサービス(株) / コスモ石油(株)</p>						
情勢変化への対応	事業立ち上げ当初に、ブラジル、米国で第2世代エタノールプラントが相次いで立ち上がりつつあり、本事業の報告性の妥当性を検討し結果を踏まえて公募した。							
評価に関する事項	事前評価	平成26年度実施 担当部 新エネルギー部						
	中間評価	平成29年度						
	事後評価	平成32年度 実施予定						
3. 研究開発成果について	<p>【(i) 国内外の優良技術の調査・検討】</p> <ul style="list-style-type: none"> 国内外の優良技術の調査・検討（(一財) エネルギー総合工学研究所） <p>本調査では、年産1万kL規模のプレ商用実証プラントに向けた事業継続判断に参考として用いるため、セルロース系エタノールの製造技術について、国内外の優良技術を抽出し、技術情報の整理を行った。</p> <p>事業化レベルに基づいて、優良技術を分析した結果、以下のことが明らかになった。</p> <ul style="list-style-type: none"> 一貫プロセスの実証～商用規模プラントで用いられている原料は主に、農業残渣系など、残渣系の原料であり、大規模プランテーションによるエネルギー作物を利用した例ははまだ実施されていない。 商業規模プラントは主に数万kL/年の規模で行われており、10万kL/年の規模はほとんどない。 <p>以上のことから、セルロース系エタノールの製造技術を事業化に導くためには、</p>							

	<p>技術の選定に加えて、事業形態（事業モデル）の設定が重要であることを明らかにした。</p> <p>【(ii) 最適組合せの検証、(iii) 一貫生産プロセス開発・事業性評価（FS）の実施】</p> <p>①「木本バイオマスを原料とする日本の持続可能性基準に適合するセルロース系エタノールの一貫生産技術開発および事業性評価（JXTGエネルギー（株）/王子ホールディングス（株）」</p> <p>本テーマでは、日本の持続可能性基準適合セルロース系エタノールの商用生産を目指し、複数の要素技術（前処理・糖化・発酵・酵素回収の各プロセスおよび原料、酵素、発酵菌株等）について、実験室レベルおよびパイロットプラントにて組合せ評価を実施した。その結果、最適組合せを選定し、その運転条件および装置組合せを最適化することによりパイロットプラントレベルでの技術確立を達成した。</p> <p>また、確立された一貫生産システムを前提とし、原料調達から製品エタノールの日本への供給までの全工程におけるセルロース系エタノールの商用生産時におけるビジネスモデルを設定した上でコスト分析および GHG 排出量/化石エネルギー収支の分析を実施した。また、本事業性評価の一環として、商業化技術完成におけるスケールアッププラントでの検証の必要性について検討した。</p> <p>②「パルプを用いた水蒸気爆砕法によるバイオエタノール生産に関する技術開発および事業性評価（(株)Biomaterial in Tokyo/三友プラントサービス（株）/コスモ石油（株）」</p> <p>本テーマでは第 2 世代バイオエタノール製造システムとしてセルロース系廃棄物を原料とした 2 つの事業モデルを設定し、パイロットプラントの実証データに基づいて環境性・経済性を評価した。パイロットプラントでは前処理技術として汎用性の高い連続蒸気爆砕装置を採用した。各種爆砕処理物をそれぞれに適した自製酵素カクテルで糖化させ、C5C6 糖資化性酵母でエタノール発酵させ、本事業を通して廃パルプを基軸とした多様な原料に対応できるバイオエタノール製造システムを実証した。その結果、本事業の目標値である GHG 削減効果 50%以上、化石エネルギー収支 2.0 以上、生産コスト 70 円/L 未満を満足するセルロース系バイオエタノール製造システムの可能性を明らかにした。</p> <p>今後は更に多様なセルロース系廃棄物に対して、当該システム技術の適用可能性を検証し、生産規模拡大の可能性を探索する。また、各種原料に対して、効率的な自製酵素カクテル製造、糖化促進添加剤を適用しエタノール収率向上と製造コスト削減の両立を進める。</p> <table border="1" data-bbox="464 1491 1375 1630"> <tr> <td>投稿論文</td> <td>査読付き 1 件 その他 5 件</td> </tr> <tr> <td>特 許</td> <td>出願 1 件</td> </tr> <tr> <td>その他の外部発表 (プレス発表等)</td> <td>研究発表・講演 3 件 新聞・雑誌への掲載 0 件</td> </tr> </table>	投稿論文	査読付き 1 件 その他 5 件	特 許	出願 1 件	その他の外部発表 (プレス発表等)	研究発表・講演 3 件 新聞・雑誌への掲載 0 件
投稿論文	査読付き 1 件 その他 5 件						
特 許	出願 1 件						
その他の外部発表 (プレス発表等)	研究発表・講演 3 件 新聞・雑誌への掲載 0 件						
4. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通しについて	<p>化石燃料との価格競争力や米国等の開発計画を勘案し、経済的かつ多量、安定的にセルロース系原料からバイオエタノールを生産する革新的な一貫生産システムを実用化することで、バイオ燃料の技術競争力およびコスト競争力が確保され、国内外を問わず既存の産業構造にはない新たなエネルギー産業として事業化されることが期待される。</p>						
5. 基本計画に関する事項	<table border="1" data-bbox="464 1798 1375 1986"> <tr> <td>作成時期</td> <td>平成 27 年 2 月 制定</td> </tr> <tr> <td>変更履歴</td> <td>平成 27 年 12 月 変更 中間評価時期及び研究開発の運営管理方法の変更により改定</td> </tr> </table>	作成時期	平成 27 年 2 月 制定	変更履歴	平成 27 年 12 月 変更 中間評価時期及び研究開発の運営管理方法の変更により改定		
作成時期	平成 27 年 2 月 制定						
変更履歴	平成 27 年 12 月 変更 中間評価時期及び研究開発の運営管理方法の変更により改定						

プロジェクト用語集

	用語	定義
A	ADT	Air Dry Ton の略。内部に水を含んだ状態のバイオマスの重量単位。
B	BDT	Bone Dry Ton の略。絶乾状態のバイオマスの重量単位。
	BOD	Biochemical Oxygen Demand (生物化学的酸素要求量) の略。20°Cで5日間放置した際に水中の好気性微生物によって消費される溶存酸素量で、水質汚濁の指標の1つ。
C	C5 糖 (ペントース、五炭糖)	炭素原子5個を持つ単糖の総称。分子式 $C_5H_{10}O_5$ 、構造式 $C_5(H_2O)_5$ 。天然には、D-、L-アラビノース、D-リボース、D-キシロース、D-リブロース、D-、L-キシロースなどがあり、多糖体、配糖体、リン酸エステルなどの形で生体内に存在する。アルコール発酵に用いられる酵母サッカロマイセス・セレビシエはキシロースなどのペントースを代謝できないため、ペントース代謝系酵素の遺伝子を導入することによりペントース発酵酵母を育種する研究開発が進められている。
	C6 糖 (ヘキソース、六炭糖)	炭素原子6個を持つ単糖の総称。分子式 $C_6H_{12}O_6$ 、構造式 $C_6(H_2O)_6$ 。天然には、D-、L-ガラクトース、D-グルコース、D-マンノース、D-フルクトースなどがあり、多くは二糖類、多糖類、配糖体の形でバイオマス中に存在する。生物が炭素源・エネルギー源として最もよく利用する物質の一つである。ガラクトースを除き、酵母により発酵されやすい。
	CFD	Computational fluid dynamics の略。流体の運動に関する方程式をコンピュータで解くことによって流れを観察する数値解析・シミュレーション手法。
	CIP	Cleaning In Place (定置洗浄) の略。分解せずに装置内部を洗浄剤などで自動的に洗浄する操作。
	CSL	Corn Steep Liquor の略。コーンスターチ製造工程のとうもろこしを膨潤させる浸漬工程において、可溶成分が溶出した浸漬液を分離し、乳酸発酵させた後、濃縮したもの。各種アミノ酸やビタミンを含むため、微生物培養の培地成分として用いられる。
	COD	Chemical Oxygen Demand (化学的酸素要求量) の略。水中に含まれる有機物を酸化分解させる際に必要な酸化剤の消費量を酸素の量に換算して示される値で、水質汚濁の指標の1つ。
D	DCW	Dry cell weight の略。乾燥菌体重量
E	ETBE	バイオ ETBE の ETBE とはエチル・ターシャリー・ブチル・エーテル (略号は ETBE、化学式は $C_2H_5OC(CH_3)_3$) の略で、トウモロコシやサトウキビ等の植物から生産されるバイオエタノールに石油系のガスのイソブテンを合成したもの。バイオガソリンは従来のガソリンに、このバイオ ETBE を配合して作られる。
F	FPU	FPU (Filter Paper Unit の略) セルラーゼの総合的な活性の指標。ろ紙から1分間に $1\mu\text{mol}$ のグルコースに相当する還元糖を生成する酵素量が1FPU と定義される。
G	GBEP	Global BioEnergy Partnership の略
	Greenhouse Gas, GHG	温室効果ガスの項を参照
	REET (米国)	米国アルゴンヌ研究所が開発した、温室効果ガス、排出量規制、エネルギー使用を含む交通モデル。
L	<i>Lactobacillus paracasei</i>	乳酸菌の一種。パイロットプラントでの雑菌汚染の原因菌。

	LCFS (アメリカ)	Low Carbon Fuel Standard の略。カルフォルニア州大気資源局 (CARB : California Air Resources Board) による、石油事業者の販売燃料の平均 GHG 排出量削減を義務付けた制度。
	L18 水準法	統計手法を用いることで少ない実験数で多くの条件を検討可能な手法
N	NAD、NADP	NAD : ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド (nicotinamide adenine dinucleotide) NADP : ニコチンアミドアデニンジヌクレオチドリリン酸 (ニコチンアミドアデニンジヌクレオチドリリン酸、nicotinamide adenine dinucleotide phosphate) 全ての真核生物と多くの古細菌、真正細菌で用いられる電子伝達体のこと。さまざまな脱水素酵素の補酵素として機能し、酸化型 (NAD+) および還元型 (NADH) の 2 つの状態を取り得る。どちらの補酵素が利用されるかは酸化還元酵素の種類によって決まっている場合が多い。
	NSSCP	中性亜硫酸蒸解パルプ(Nuclear Sulfate Semi Chemical Pulp の略)亜硫酸ナトリウムをアルカリとして用いて木質バイオマスを蒸解して得られたパルプもしくは中性亜硫酸蒸解処理
P	Pichia stipitis	エタノール発酵を触媒する微生物の代表格である <i>Saccharomyces cerevisiae</i> は、キシロースについては基質としての利用性がない。一方、 <i>Pichia stipitis</i> は、 <i>Pichia segobiensis</i> 、 <i>Candida shehatae</i> 、 <i>Pachysolen tannophilus</i> などと並び、キシロースをエタノールに発酵する微生物群として知られている。なお、これらの株は、主に甲虫類の後腸などから単離されている。
R	RFS	Renewable Fuels Standard の略。 米国の再生可能燃料導入義務制度で、燃料供給事業者に一定の持続可能基準を満たすバイオ燃料の導入を義務付けるもの。2000 年以降の導入目標量を定めた 2007 年の改訂制度を RFS2 と呼ぶことがある。2022 年に 360 億ガロンの導入を目標としている。
	RTFO	Renewable Transport Fuel Obligation の略。 英国の再生可能輸送燃料義務制度で、燃料供給事業者に一定の持続可能性基準を満たすバイオ燃料の導入を義務付けるもの。2010 年に燃料供給量の 5% の導入を義務付けている。
S	SIP	Sterilization in Place (定置滅菌) の略。分解せずに装置内部を蒸気で滅菌する操作。
	SS	Suspended solid (浮遊物質) の略。水中に浮遊する粒径 2mm 以下の不溶解性固体の微粒子の総称。
T	TS	Total Solids (全蒸発残留物) の略。スラリー中に含まれる固形物の総量。
V	VSS	Volatile Suspended Solids (揮発性懸濁物質) の略。SS (SS の項目参照) を強熱した際に揮発する成分で、主に有機物。

ア	アセチル基	一価の基 CH ₃ CO-をいう。酢酸から誘導されるアシル基。
	亜硫酸ナトリウム	化学式 Na ₂ SO ₃ 。蒸解に用いるアルカリの一種
	アロケーション (代替法) (価格按分法) (熱量按分法)	<p>バイオ燃料の製造プロセスで、有用な副産物が発生する場合において、バイオ燃料と副産物でエネルギー投入量と環境負荷を分割すること。このうち、副産物へ分割されたエネルギー投入量・環境負荷量を「アロケーション量」と呼ぶ。大きく分けて、エネルギー投入量のアロケーションには下記の二つの方法がある（環境負荷についても同様である）。</p> <p>1. 副産物のエネルギー価値（エネルギークレジットともいう。副産物の保有エネルギーや、代替製法での製造エネルギー等）をプロセスに投入されたエネルギー合計から差し引いた結果を、バイオ燃料に投入されたエネルギーとみなす方法（「代替法」）。</p> <p>（バイオ燃料へのエネルギー投入量） $= (\text{エネルギー投入量合計}) - (\text{副産物のエネルギー価値})$</p> <p>2. バイオ燃料と副産物の価値の比を用いる按分法で、プロセス投入されたエネルギー量合計を按分した結果を、バイオ燃料に投入されたエネルギーとみなす方法のことをいう。市場価値と比較する場合を「価格按分法」、保有エネルギーと比較する場合を「熱量按分法」という。</p> <p>（バイオ燃料へのエネルギー投入量） $= (\text{エネルギー投入量合計})$ $\times \frac{(\text{バイオ燃料の価値})}{(\text{バイオ燃料の価値}) + (\text{副産物の価値})}$</p>
	亜塩素酸法	脱リグニン法の一つ。
ウ	ウロン酸	アルドースのアルデヒド基はそのままにして他端の第一アルコール基だけをカルボキシル基に酸化したヒドロキシ・アルデヒド酸の総称。
エ	エタノール	エタノール (ethanol) はアルコールの一つ。「エチルアルコール」 (ethyl alcohol) や、酒類の主成分であるため「酒精」とも呼ばれる。アルコール類の中で、最も身近に使われる物質の1つである。揮発性が強く、殺菌・消毒のほか、自動車燃料でも用いられる。
	エタノール生産適性 早生樹	生産性、糖含有量、酵素糖化難易性がいずれも高い早生樹。
	エタノール発酵	グルコース、フルクトース、ショ糖などの糖を分解して、エタノールと二酸化炭素を生成し、エネルギーを得る代謝プロセスであり、酸素を必要としない嫌氣的反応。
	エバポレーター	水を主とする揮発性の物質を除去したり、逆にそれを回収したりする装置で、常圧下もしくは減圧下で行うため諸種の装置がある。
	エネルギー供給構造 高度化法	エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律。電気やガス、石油事業者といったエネルギー供給事業者に対して、太陽光、風力などの再生可能エネルギー源、原子力などの非化石エネルギー源の有効な利用を促進するために必要な措置を講じている。石油事業者はバイオ燃料の利用を促進することが求められている。
	エネルギー自給率	生活や経済活動に必要な一次エネルギーのうち、自国内で確保できる比率
	エネルギー収支	投入エネルギーに対する出力エネルギーの比率

	オートクレーブ	加圧加熱処理が可能な装置。密閉容器中に試料等を入れて、容器内の水を加熱することにより加圧し100℃以上の蒸気や水で処理する。滅菌処理などでも多用されている。
オ	温室効果ガス	大気圏にあって、地表から放射された赤外線の一部を吸収することにより温室効果をもたらす気体の総称。対流圏オゾン、二酸化炭素、メタンなどが該当する。近年、大気中の濃度を増しているものもあり、地球温暖化の主な原因とされている。
	開発輸入	先進国が、発展途上国に資本や技術を提供して、輸入国の仕様に合うように開発して、その生産物を輸入すること。発展途上国にとっても、未開発の資源を活かすことができるうえ、様々な技術やノウハウも学ぶことができ、また雇用の創出にもつながるとして、1963年に国連貿易開発会議で提唱された。
カ	灰分	バイオマスを燃焼後に残る不燃性の物質。主としてミネラル成分のこと。
	化学パルプ化法	薬品の作用で木材を繊維状に離解するパルプ化法。
	カップー価	パルプ中の不純物（リグニン）含量を現す指標。
	カルシウムベース	Ca(OH) ₂ 、CaCO ₃ などの陽イオンがCaの塩基類。
	加熱器	蒸解反応（蒸解の項目参照）を行う反応器。
	環境ストレス	乾燥、気温（高温あるいは低温）、洪水、強風などの環境要因によって、植栽木が被るストレス。環境ストレスが高じると、枯死、幹割れ、根腐れなどの状態を引き起こす。
	含水率	物質中に含まれる水分の割合
キ	揮発油	原油を分別蒸留する際、低沸点で得られる油。ふつう燃料用のものをガソリン、溶剤用のものをベンジンとよぶ。
	機械パルプ化法	機械力だけを用いて木材から作るパルプ化法。そのパルプを機械パルプ（mechanical pulp:MP）という。
	キシラン	β-1,4結合のキシロース単位からなる鎖状分子。木材ヘミセルロースの主要構成成分の一種。
	キシリトール脱水素酵素	キシリトールを脱水素してキシロースに変換する反応を触媒する酵素。通常のエタノール発酵用酵母はこの酵素を持っていない。
	キシロキナーゼ	キシロースをリン酸化してキシロース 5-リン酸を生成する反応を触媒する酵素。これにより糖がペントースリン酸経路に導入され、最終的にエタノールに変換される。通常のエタノール発酵用酵母はこの酵素を持っているが、活性が低い。
	キシロース還元酵素	キシロースを還元してキシリトールに変換する反応を触媒する酵素。通常のエタノール発酵用酵母はこの酵素を持っていない。
ク	クラソンリグニン	試料を硫酸で処理し、炭水化物などを分解し去り、残物として分離されたリグニン。
	クラフトパルプ	木材から洋紙を作る過程において、現在最も主流な手法で、木材をチップにし、苛性ソーダを加え、熱処理して得られたパルプ
ケ	減圧蒸留	減圧蒸留とは蒸留プロセスの一種で、真空ポンプなどで減圧状態にして行う蒸留。一般に高沸点の石油系炭化水素は350℃前後の温度から熱分解を始めるので有機物の熱分解を防ぐために行われる。

コ	叩解（こうかい）	水の存在下でパルプを機械的に処理し、紙の製造に適した性質を与えること。繊維のせん断が主なときは遊離状叩解、フィブリル化がおもなときは粘状叩解という。紙をすく工程および出来上がり品質に大きな影響を与える。
	抗生物質	微生物が産生し、他の微生物など生体細胞の増殖や機能を阻害する物質の総称。雑菌汚染を防ぐために用いられる。
	酵素	酵母が利用可能な単糖までパルプ（多糖）を分解する生体触媒。
サ	サークルフィーダー	タンクなどからブリッジや偏析を起こすことなく固体を排出することが可能な供給器。
	サーモメカニカルパ ルプ	リグニンのガラス転移点以下の温度（110-125℃）でチップを2～3分間予備加熱して、レファイニングをして作られるパルプ。
	砕木パルプ	回転する砥石に木材を平行に押し付け、摩擦力によって木材を摩砕して繊維化したパルプ。
	雑菌	エタノール発酵中に培養槽へ混入してくる酵母以外の菌の総称。酵母のエタノール生産性低下や、エタノール発酵停止を引き起こす。
	晒し	パルプを漂白すること
	酸可溶性リグニン	クラソンリグニン測定の際に酸に可溶化したリグニン。205nmの吸光度から算出。
シ	資源作物	エネルギー源や製品材料とすることを主目的に栽培される植物。トウモロコシ、なたね等の農作物やヤナギ等の樹木が該当する。
	自己遺伝子利用 （セルフクローニン グ）	「遺伝子組換え食品（微生物）の安全性評価基準」においては、宿主に導入されたDNAが、当該微生物と分類学上の同一の種に属する微生物のDNAのみである場合（セルフクローニング）、に該当する微生物を利用して製造されたものは原則として安全性評価の対象に含めないと記載されている。酵母の場合、すべて酵母の遺伝子から構成され、外来（異種生物、化学合成など）の遺伝子を一切含まない方法で作製した組換え酵母は、食品安全委員会などでセルフクローニング認定を受けることにより、「遺伝子組換え体」ではなく、通常の食品微生物として扱えることになる。
	自己熱再生技術	自己熱再生技術とは、エクセルギー再生を利用したエネルギー循環利用技術のこと。蒸留や乾燥などのプロセスで蒸発した蒸気を断熱圧縮により高温にアップグレードすることにより、潜熱と顕熱を回収し大きな省エネルギー効果を実現する技術である。
	糸状菌（=カビ）	糸状菌類とは、糸状の菌糸で生活する微生物で、一般的に「カビ」と呼ばれている生物のこと。単細胞性で生活する酵母や肉眼で見えるほどの大きな繁殖器官を作るキノコとともに真菌類に属する。菌類界のうちで、酵母またはキノコと言われるもの以外のものを包含する。
	持続可能性	人間活動、特に文明の利器を用いた活動が、将来にわたって持続できるかどうかを表す概念。
	持続可能性基準	温室効果ガス削減率 ガソリン比 50%以上

	充填塔	固体の各種充填物を塔内に充填し、その間隙に気液を流通接触させることで、塔内の充填物間隙において再蒸留をさせる構造としたもの。充填物には、不規則充填物と規則充填物がある。構造が簡単で、安価に製作でき、塔内の圧力損失が少ないという利点がある。
	樹種試験	単位面積最大の生産量をあげる適性樹種を判定するための植林試験
	蒸解	チップに薬品を加え、高温・高圧で処理することでリグニンおよび一部のヘミセルロースを溶解させパルプを製造すること。
	植栽密度試験	単位面積最大の生産量をあげるための適性密度（植栽間隔）を検討するために行う植林試験。
ス	スクリーデカンター	横型の遠心分離器の一種で、主に遠心力により固液分離を行う装置。
	スクリープレス (SP)	スライドを機械式機構によって駆動する、機械プレスに分類されるプレス機械の一種。パルプの脱水に用いられる。
セ	生成糖あたりの酵素使用量	糖化工程において、最大の課題は、糖化に用いる酵素のコストのこと。
	精留	精留とは成分を精製する蒸留操作のこと。エタノール製造プロセスでは、エタノールを共沸点に近い90%ぐらいに濃縮する蒸留操作のことを指す。
	絶乾重量	水分を除いた重量(=乾燥させた時の重量)
	セミケミカルパルプ	軽度の化学処理を行ってからレファイニングによって作られるパルプ。
	セルフクローニング	遺伝子組換え技術によって最終的に宿主に導入されたDNAが、当該宿主と分類学上同一の種に属する微生物のDNAのみであるもの。遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律（カルタヘナ法）の適用除外となるメリットをもつ。
	セルラーゼ	セルロースのβ-1,4グルコシド結合の加水分解を触媒する酵素群の総称。β-エンドグルカナーゼ、セロビオヒドロラーゼ、β-グルコシダーゼなどから成る。
	セルロース	セルロース (cellulose) とは、分子式 (C ₆ H ₁₀ O ₅) _n で表される炭水化物（多糖類）。植物細胞の細胞壁および繊維の主成分で、天然の植物質の1/3を占め、地球上で最も多く存在する炭水化物である。繊維素とも呼ばれる。自然状態においてはヘミセルロースやリグニンと結合して存在するが、綿はそのほとんどがセルロースである。
	セルロースマイクロファイブリン	セルロース分子が規則正しく積層して形成された超微細繊維で、木質等の基本構成成分。セルロースマイクロファイブリンが更に集合し積層して木材組織が形成されている。
	セルロース系エタノール	バイオマスからセルロースを分離し、セルロースを酵素を用いて糖分に分解し、微生物によって変換されたエタノール
ソ	早生樹	乾燥地や養分の少ない場所でも成長が早く、経済的価値が高い樹種のこと。熱帯アジアでは、ユーカリ類、アカシア類がこれに当る。また日本では、ポプラ、ヤナギがこれに当る。

タ	棚段式	塔内を複数段に空隙を有する棚板で水平に区切り、各段ごとに液溜めを作り空隙部（トレイ）から蒸気を噴出させることで気液を接触させて再蒸留する構造とした蒸留塔。棚板の構造は蒸留対象の液性状に応じて使用される。各段で気液の接触を図る液溜め構造としている関係で、圧力損失は大きくなる。各段の液はかなりの流速で液流下部から流れ落ちて行くので、固形物や懸濁物が含まれている液体の蒸留でも比較的目的まりしにくいことから、発酵もろみなどの汚れた液体の蒸留に採用されている。
	短伐期試験	伐期（植え付けから収穫までの期間）を1～3年に設定し、各伐期における生産量を検討するための植林試験。
チ	逐次糖化発酵	酵素による糖化と酵母によるエタノール発酵が別々の容器中で順次行われる糖化発酵法。
テ	ディスクミル	電動の石臼型粉碎機。ディスクはセラミックの他に金属製もある。湿式および乾式粉碎が可能。
	ディスク型遠心分離	円錐状のディスクを組込んだ回転体を高速回転させて生じる遠心力により、比重差を用いて液液や固液の二相、固液液の三相を効率よく短時間で連続的に分離する装置。
	デミスター	気体中に同伴される液体の微粒子（ミスト）を気体中から分離除去する装置。
ト	糖化	糖化とは、デンプン等の多糖類を分解し少糖類・単糖類にすること。酒造・製糖などで行われる。
	糖化率	パルプを酵素糖化した時に可溶化する割合
	糖収量	バイオマスを前処理、酵素糖化した時に得られる糖の量。
	土壌固定 CO ₂	土壌中に含まれる炭素を CO ₂ 換算したもの
	土壌炭素ストック	土壌中に含まれる炭素
	土地利用変化	森林、耕作地等の地上部の利用形態が変化すること
	トリコデルマ・リーセイ	<i>richoderma reesei</i> 糸状菌の一種。セルロースを分解する力が強い。
ナ	内在性遺伝子	新たに組み込まれた遺伝子ではなく、個々の生物に含まれる種特異的な遺伝子。
	ナトリウムベース	NaOH, Na ₂ CO ₃ などの陽イオンが Na の塩基類。
	ナノ空間形成法	産業技術研究所で開発している木質系バイオマス等の酵素糖化前処理技術。木質等を湿式粉碎し、ナノサイズの超微細繊維（セルロースマイクロファイブール）にほぐすことにより、超微細繊維の周囲に酵素が容易に活動（加水分解）できる空間を形成する技術。
ハ	バイオエタノール	サトウキビやトウモロコシなどのバイオマスを発酵させ、蒸留して生産されるエタノールのこと。バイオマスエタノールという語は、エネルギー源としての再生可能性やカーボンニュートラル性を念頭において使われる。品確法（揮発油などの品質の確保等に関する法律）で 3%までガソリンと混合（E3 と表記）することが可能。
	バイオマス	バイオマス (biomass) とは生態学で、特定の時点においてある空間に存在する生物 (bio-) の量を、物質の量 (mass) として表現したものである。通常、質量あるいはエネルギー量で数値化する。日本語では生物体量、生物量の語が用いられる。植物生態学などの場合には現存量 (standing crop) の語が使われることも多い。転じて生物由来の資源を指すこともある。

	バイオ燃料	生物体の持つエネルギーを利用したアルコール燃料、その他合成ガスのこと。石油のような枯渇性資源を代替しうる非枯渇性資源として注目されている他、二酸化炭素(CO ₂)の総排出量が増えない(カーボンニュートラル)と言われていることから、主に自動車や航空機を動かす石油燃料の代替物として注目されている。
	発酵母(発酵残渣の固形分)	発酵残渣のうち固形分のこと。飼料・肥料の混合材料として利用することが出来る。海外においては、穀類を原料とするエタノール発酵液はその全量が飼料化されている。固形分を乾燥したものをDDG(Distillers Dried Grain)と称し、高栄養配合飼料として、牛・豚・養鶏用の飼料に利用されている。
	発酵	狭義には、酵母などの微生物が嫌気条件下でエネルギーを得るために有機化合物を酸化して、アルコール、有機酸、二酸化炭素などを生成する過程。広義には、微生物を利用して、食品を製造すること、有機化合物を工業的に製造すること。
	発酵阻害物質	エタノール発酵を阻害する物質のこと。代表的な阻害物質として、ペントースやヘキソース由来のフラン類(フルフラール、5-ヒドロキシ-2-フルアルデヒドなど)、リグニン由来のフェノール類(バニリン、4-ヒドロキシベンズアルデヒド、シリングアルアルデヒドなど)、ヘミセルロース由来の酢酸などがある。
	発酵廃液(発酵残渣の液体分)	発酵残渣のうち液体のこと。製造工程から排出される液体で最も有機物濃度が高い液で、飼料・肥料向けの液体混合物としての利用が期待されている。
	伐採周期	樹木を繰り返して伐採する林地における、伐採の間隔のこと
	半並行複発酵	酵素による糖化が一部進んだところで、酵母によるエタノール発酵が同一容器中で同時に行われる糖化発酵法。
ヒ	非滅菌土壌	滅菌処理を実施していない通常の土壌。滅菌土壌
フ	フーゼル油	イソアミルアルコールなど、高沸点の有機不純物。
	歩留り	製造など生産全般において、「原料(素材)の投入量から期待される生産量に対して、実際に得られた製品生産数(量)比率」のこと
	プラグスクリュー	らせん型のスクリューを回転させ内部の固体を移送するスクリューフィーダーと呼ばれる供給器の一種で、加熱器へのチップ供給に使用される。シリンダーにより固体の進行方向とは逆向きに加圧することで固体が「プラグ」と呼ばれるコルク様のシール層を形成するため、圧力差のある場所にも固体を供給することができる。
へ	並行複発酵	酵素による糖化と酵母によるエタノール発酵が同一容器中で同時に行われる糖化発酵法。
	ヘキソース	グルコース、マンノースなど炭素原子6個を持つ単糖の総称
	ヘミセルラーゼ	陸上植物細胞の細胞壁を構成する多糖類のうちセルロースとペクチン以外の多糖であるヘミセルロースを分解する酵素群の総称。分解位置や基質特異性により、エンドキシラーナーゼ、β-キシロシダーゼ、アラビノフラノシダーゼ、グルクロニダーゼ、アセチルキシランエステラーゼ、マンナナーゼ、β-マンノシダーゼ、フェルラ酸エステラーゼなど、多くの酵素タンパク質が存在する。

	ヘミセルロース	植物細胞壁中に含まれるセルロース以外の多糖混合物。複数種の糖からなるヘテロ多糖のこと。キシロースやアラビノースのようなペントース、およびマンノース、グルコース、ガラクトースといったヘキソースも含まれる。主要構成要素はキシランとガラクトマンナンである。イネ科植物ではキシランにフェルラ酸がエステル結合しており、このフェルラ酸を介して、リグニンと結合しているため、強固なマトリックスを形成している。
	ペントース	キシロース、アラビノースなど炭素原子 5 個を持つ単糖の総称
ホ	ぼう(萌)芽	主伐後の切り株（場合によっては根から）発生する芽あるいは新梢のこと。
	萌芽更新試験	主幹の収穫後、切り株から発生する萌芽による次世代更新を行い、その生産量を検討するための植林試験のこと。
	ボールミル	容器内にボールと試料を投入し、振動や回転によってボールと試料を衝突させて粉碎処理を行う装置。容器やボールの材質には金属の他にセラミックなどが用いられている。乾式の他、湿式粉碎も可能。
	ホロセルロース	セルロース+ヘミセルロース
マ	前処理	セルロース、ヘミセルロースは、天然バイオマス中ではリグノセルロースとして存在しており、そのままでは酵素分解を受けにくい。基質の比表面積を上げる、またヘミセルロースやリグニンを変性、除去することによりセルロース繊維と酵素の接触性を高める様々な処理法のこと。 物理的処理として、機械的粉碎（ボールミル）、高温高压（蒸煮、爆砕）、マイクロ波等の照射がある。化学的処理として、硫酸等の酸処理、苛性ソーダ等のアルカリ処理、メタノール等の有機溶媒処理がある。生物的処理として、白色腐朽菌などリグニン分解微生物処理がある。
	膜脱水	エタノール製造プロセスにおける一般的な膜脱水とは、ゼオライトやポリイミドなど水を選択的に透過させる膜でエタノール・水の混合物から水を取り除き、エタノールを 99.5% 以上まで濃縮する操作のこと。
	磨砕	一般的には、こすり、くだくこと。石うすでこなごなにすること。本プロジェクトでは特に木材のパルプ化のための「叩解」のことを指す。
	膜分離法	液体または気体を選択性を持つ隔壁（膜）に通すことで目的物を濾し分ける操作の総称。
	マックスブレンド翼	ボトムパドルと上部グリッドが一体化したユニークな形状で、攪拌性に優れ短時間での完全混合が可能な攪拌翼。
ミ	ミニスキッター	装備したグラブ（油圧シリンダーによって動く一対の爪）により、伐倒木を牽引式で集材する集材専用の自走式機械
メ	メカノケミカルパルピング前処理	機械パルプ化(メカノ・・・)と化学パルプ化(ケミカル・・・)法を組み合わせた前処理法のこと。既存のパルプ化法とは異なることから差別化の意味を込めて作った造語。
	滅菌土壌	滅菌処理した土壌
モ	もろみ塔	エタノール濃縮を目的とした蒸留塔のこと。 もろみ塔では発酵もろみ中の酵母や原料由来のスラッジ分などの固形分とエタノールを含む揮発性有機物などの分離に効果的に作用しており、エタノールと発酵もろみ中に含まれる固形の共雑物や不揮発成分などの分離を目的とした蒸留塔である。
ユ	輸送用液体バイオ燃料	現在の主な輸送用バイオ燃料は、バイオエタノール、ETBE、バイオディーゼル(BDF)

ヨ	溶媒抽出法	固体または液体に適当な溶媒を加え、その溶媒に可溶性の成分を溶かし出す分離法。
ラ	ライフサイクル GHG 排出量	バイオ燃料の原料栽培、原料輸送、燃料製造、燃料流通までの工程における GHG 排出量を総計したもの。原料栽培に必要な肥料を製造する際に排出される GHG 等、間接的な GHG 排出も含む。
	ライフサイクルアセスメント	製品やサービスに対する、環境影響評価の手法のこと。
リ	リグニン	フェニルプロパンを構成単位とする不規則な高分子物質。あらゆる高等植物に含まれ、物理的、化学的に植物を強固なものとしている。植物種によって構成単位は異なる。構造は複雑な網目状であり、植物体ではその中にセルロース繊維が埋め込まれている。さらにヘミセルロースも絡み合い、植物細胞壁を強固なものにしている。パルプ繊維とリグニンは鉄筋コンクリートになぞらえて説明すると、鉄筋がパルプ繊維でコンクリートに相当するのがリグニンである。およその含量は針葉樹で 30%、広葉樹や草本類では 20%前後である。
	林地残材	立木を丸太にする際に出る枝葉や梢端部分、森林外へ搬出されない間伐材等、通常は林地に放置される残材。
レ	レファイナー	平行に向き合って回転する円盤の中心にチップを水とともに送り込み、せん断力によってチップを粉碎し、パルプ化する装置

I. 事業の位置付け・必要性について

1. 事業の背景・目的・位置づけ

1. 1 背景

2014年に改定された「エネルギー基本計画」においてバイオ燃料は、引き続き導入を継続することとしており、NEDOの第3期中長期計画においても、食糧供給に影響しない第2世代バイオ燃料であるセルロース系エタノールについては、2020年頃の実用化・事業化を目指すこととしている。国産技術により生産されたエタノールが普及することで、石油製品供給の一端を担える選択肢を確保することができ、エネルギーセキュリティー向上効果を得ることができる。しかし、セルロース系エタノールの大量生産のためには、まだ技術的課題が多く、当該技術の実用化・事業化に向け、今後も製造技術の開発、実証開発を推進する必要がある。

NEDOでは、2009～2013年度に実施した「セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業」（以下、「セル革事業」と略記）において、パイロットスケールの一貫生産プラントを建設して試験を行い、事業終了時の技術目標はほぼ達成した。しかし、セルロース系エタノールの実用化・事業化には、一貫生産システムとしての性能向上、スケールアップ技術の確立などが必要であり、現有技術だけでの実用化は難しいのが現状である。

セル革事業のうち「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」（以下、「木質系」と略記）では原料・前処理工程に優れた成果を、「セルロース系目的生産バイオマスの栽培から低環境負荷前処理技術に基づくエタノール製造プロセスまでの低コスト一貫生産システムの開発」（以下、「草本系」と略記）では糖化発酵工程に優れた成果を得ている。セルロース系エタノールの実用化のためには、セル革事業の木質系と草本系のそれぞれで得られた特長を組み合わせ一貫生産プロセスとしての性能向上を図るとともに、プロセスのスケールアップ技術を確立し、大規模なプレ商用実証プラント（年産1万kL規模）による最終的な技術実証事業が必要と考えられる。

1. 2 研究開発の目的

① 政策的な重要性

経済産業省は、2008年に「CooL Earth エネルギー革新技术計画」の中で“2050年までに世界全体の温室効果ガス（GHG）排出量を現状に比して半減する”という長期目標を掲げ、我が国として重点的に取り組むべきエネルギー革新技术開発として「バイオマスからの輸送用代替燃料製造」を選定している。また、バイオ燃料技術革新協議会では「バイオ燃料技術革新計画」において具体的な生産モデルや技術開発の方向性を技術ロードマップとしてまとめた。2016年11月にはパリ協定も発効し、世界規模での二酸化炭素削減の機運は益々高まっており、我が国の政策においてもバイオマス利用の促進はこれまで以上に重要となる見込みである。

セルロース系エタノールの実用化にあたって、最大の課題はコスト低減であり、未だこの課題を明確に解決し商業的に成功した事例は少ない。しかしながら、GHG削減の観点から導入が求められており、今後のセルロース系エタノールの開発競争は、各国において一層激しくなっている。

くことが予測され、我が国もこれに追従すべく強力に推進して行く必要がある。

また、バイオエタノールの供給をブラジル一国に依存している現状の下、エネルギーセキュリティーの観点から日本の技術および日本企業が供給可能な原料を使って準国産バイオ燃料「日の丸エタノール」の製造、導入を推進することは重要である。

② 我が国の状況

国内においては、2010年11月に「エネルギー供給構造高度化法」に基づく非化石エネルギー源の利用に関する石油精製業者の判断の基準（平成22年経済産業省告示第242号）として、バイオエタノールに関しては、石油精製事業者に対して各社の国内での揮発油供給量に応じてLCAでのCO₂削減効果を評価したバイオエタノールをガソリンに混和して自動車燃料として供給して行くことが課せられている。具体的には2011年度から2017年度までの7年間にバイオエタノールの利用量を段階的に増やすとともに、2017年度におけるガソリン対比GHG排出量削減率50%以上のバイオエタノール利用目標量（原油換算）を50万kLと定めた。2015年度の導入実績は41万kLで、定めた義務量38万kLを超えている。なお、2018年度以降の導入量については、「バイオ燃料の今後の導入のあり方検討委員会」において議論がなされている。

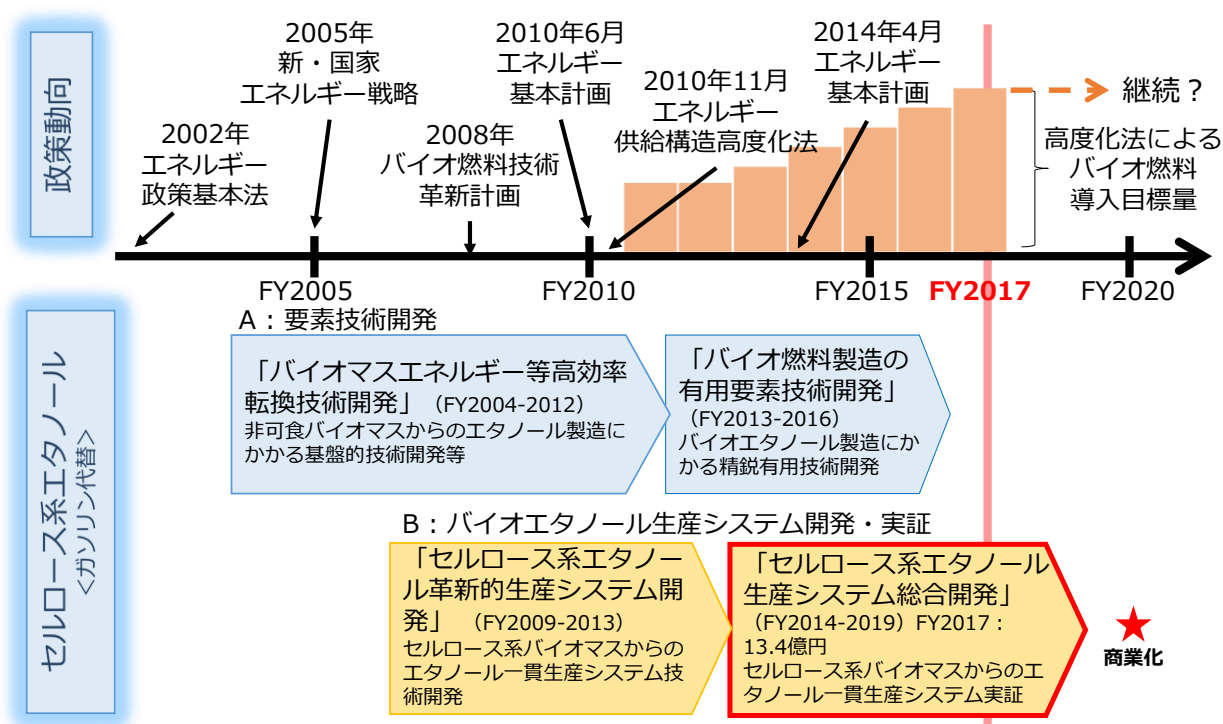


図1-2-1 これまでの施策とNEDOプロジェクト

③ 世界の取り組み状況

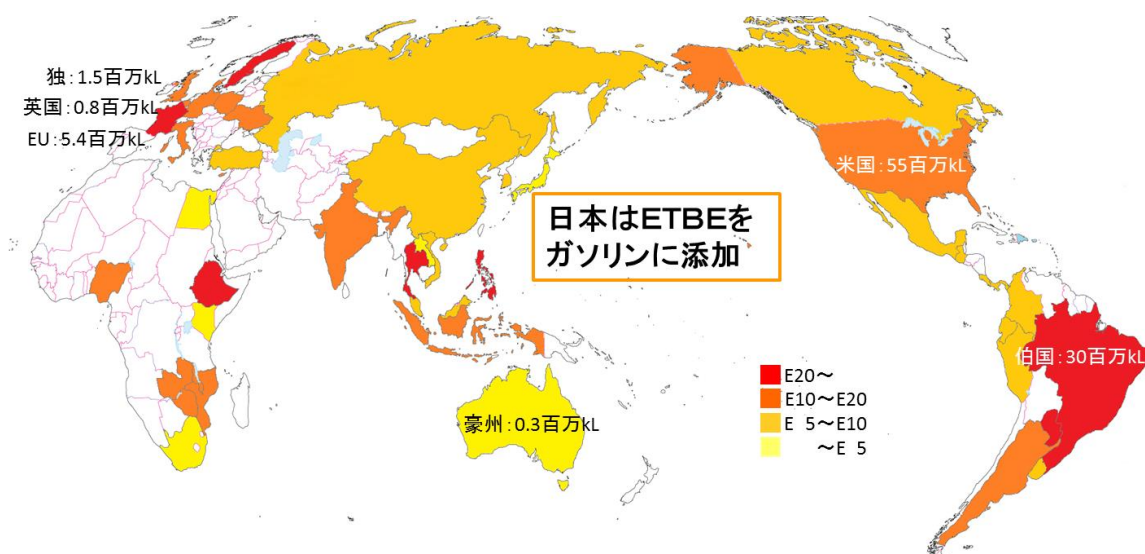


図1-2-2 世界のバイオエタノール導入状況

地球温暖化への対策として、各国でバイオエタノールの導入が進んでおり、総生産量は2015年時点で約1億kL/年である。米国およびブラジルにおいてトウモロコシやサトウキビなど可食バイオマスを原料とした大規模な商用生産が行われている。一方、本事業で取り組む食糧と競合する可能性の低いセルロース系バイオマスを原料とするエタノール製造については、米国において基盤研究から実証研究まで行われ、技術的困難さから何度か導入目標量が下方修正されてきたが、現時点でようやく商用化が現実のものとなりつつある。

欧州では2009年に制定した「RED」において、2020年には、GHG削減率60%以上の輸送用燃料を導入し運輸部門の再生可能エネルギーの割合を10%以上にする目標を作成した。各国はバイオディーゼル導入中心の計画であるが、バイオエタノールについても総量として7,306ktoe（≒150万kLのエタノール）の導入量を作成した。この政策実現のため、「バイオエネルギー産業イニシアティブ」（EIBI）において製造技術開発の方向性2015年までの実証プラントの取り組みが取りまとめられている。イタリアではBeta Renewables社が7万5000kL/年で藁やGiant reedなどを原料にバイオエタノール生産を行っている。

米国では2010年に米国環境省（EPA）が、再生可能燃料基準を見直し「RFS2」を発表し、2022年にはガソリン対比GHG削減率60%以上のセルロース系バイオエタノールとして160億ガロン（≒6,060万kL）の導入目標を作成した。この政策実現のため、米国エネルギー省

（DOE）、米国農務省（USDA）が共同議長として「バイオマス研究開発委員会」を立ち上げ具体的な「バイオ燃料アクションプラン」を指導し、2015年以降商業プラントを建設し、目標達成を目指している。本事業開始時には、パイロットベースで2,3機（生産規模：1万kL/年以下）が動いているのみであったが、2015年にはコーンストーバ等を原料にDuPont社が11万kL/年規模、POET社が9万5000kL/年規模で、第2世代エタノール商用生産を実施中である。

また、ブラジルにおいてGranBio社がバガス等を原料に8万2000kL/年規模での生産を開始している。

バイオエタノール導入に係る主要国の施策と第2世代バイオエタノールプラントの導入状況を

表1-2-1と図1-2-3に示す。

表1-2-1 世界のバイオエタノール導入施策と開発動向

国	バイオエタノール導入政策	セルロース系エタノール開発動向
日本	供給高度化法により、2017年度は82万kL/年のバイオエタノール導入が義務。セルロース系エタノールは2倍カウントの優遇策あり。	パイロットレベルでの一貫生産システムでの評価の段階。開発輸入では、原料として製紙会社の植林地の木質バイオマスのセルロース系廃棄物を想定。
アメリカ	再生可能燃料基準(RFS2)により、2017年度は1.2百万kLのセルロース系バイオ燃料導入目標。CWCによる導入促進策、設備建設に対する補助金による支援などがある。	2014年度に数万kL/年規模の商用プラントが4つ(POET-DSM、Ineos Bio、Abengoa、DuPont)立ち上がった。うち少なくとも1プラントは燃料目的だけではなく、化成品原料目的。原料は農業残渣(トウモロコシ)、都市残渣。
ブラジル	特別なセルロース系エタノール導入促進策なし。第一世代については、混合率27%を義務化。セルロース系エタノールは当面、高値で売れるアメリカに輸出。	2014-15年度に数万kL/年規模の商用プラントが3つ(Gran Bio、Raizen、Abengoa)立ち上がった。原料はサトウキビ残渣。
中国	2020年までに、政策で120万kL/年のセルロース系エタノールを導入推進。 ※ただし、補助、罰則義務等は無し	すでに数万kL/年規模の商用プラントが1基稼働中。本プラントではエタノールはキシロース等生産の副産物(残渣利用)としての扱い。
欧州	EU指令に基づき、2020年に運輸部門の再生エネルギー比率を10%にする目標を設定。持続可能性基準を定め、セルロース系エタノールは優遇(2倍カウント)。	2013年から商用機(Beta Renewable7.5万kL/年)建設。技術はアメリカ、ブラジル、中国で展開中。主に原料は草本系残渣(麦わら、ダンチク等)を想定。

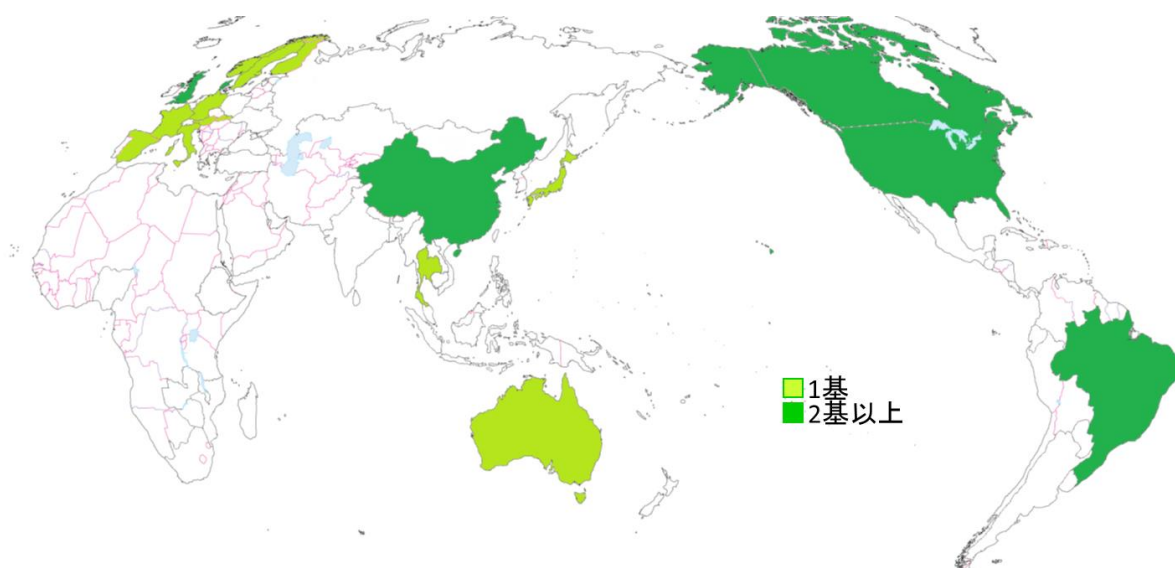


図1-2-3 セルロース系エタノールプラントの設置状況

④ 本事業のねらい

2020年にガソリン価格を見据えつつ、海外のエタノール価格と競合できるバイオエタノール生産コストで年産数万～20万kLのエタノール生産を実現するため、セルロース系バイオマス原料からバイオエタノールの製造に至る一貫生産モデルを確立し、食料問題や環境問題にも配慮したバイオエタノール生産システムの構築を目指す。

1. 3 本事業の位置づけ

NEDOでは、セルロース系エタノール製造に関する研究開発は、「バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発事業」と「バイオ燃料の有用要素技術開発」で基盤研究から応用研究を、また、「セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業」では実証研究をそれぞれ行い、実

用化に取り組んできた。「バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発事業」では中長期的視野も見据えてバイオマスからのエネルギー転換効率の向上を目指し「転換要素技術開発」と「先導技術研究開発」という形で2004年度～2012年度で行った。これまでの技術開発により、バイオマス（原料）から前処理工程、糖化工程、発酵工程および濃縮・脱水工程の各基盤技術は世界のトップクラスに到達しつつある。特にラボスケールで優れた糖化酵素が得られ、改良した有用微生物を用いた高効率なエタノール発酵生産をすることができた。2013年度～2016年度に行った「バイオ燃料の有用要素技術開発事業」（以下、「有用要素事業」と略記）では、より優れた糖化酵素、有用微生物によるエタノール発酵生産能力向上の開発を行い、生産規模においても、ラボスケールからパイロットスケールに大きくした場合でも、効率的に生産できる要素技術を確立し、2020年の実機スケールでの実用化に適用が見込まれている。さらに、その成果は、本事業「セルロース系エタノール生産システム総合開発実証事業」（以下、「セル総事業」と略記）にも活用されている。

2009～2013年度に行った「セル革事業」において、パイロットスケールの一貫生産プラントを建設して試験を行い、事業終了時の技術目標はほぼ達成した。しかし、セルロース系エタノールの実用化・事業化には、一貫生産システムとしての性能向上、スケールアップ技術の確立などが必要であり、当時の技術だけでの実用化は難しいのが実情であった。

セル革事業のうち「木質系」では原料・前処理工程に優れた成果を、「草本系」では糖化発酵工程に優れた成果を得ていた。

「セル革事業」の前倒し事後評価においては、開発目標は概ね達成しており、要素技術に優れたものがあると評価された一方で、「セル総事業」への反映（対処方針）のポイントとして次のことが課題として指摘された。

- ・各工程要素技術の総・棚卸しを実施し、その中から、早期に実用化可能な原料および前処理プロセスを選定、コスト・GHG削減を念頭に後段工程要素技術の組み合わせ・最適化について検討する。
- ・最適化した技術についてパイロットレベルでの評価を実施し、プレ商業プラントの設計・事業化検討に必要なデータを得る。
- ・事業主体が明確な企業体のみを採択候補とする。

これら意見を踏まえ、セル総のプロジェクト基本計画に、「国内外の優良技術の調査・検討」、「最適組み合わせの検証」の項目を位置づけ、幅広く技術やビジネスモデルについて事業化可能性を検討するとともに、パイロットレベルでの事業性の検証を実施することとした。また、公募に当たっては、事業主体が明確な2チームを採択した。

表1-3-1 セル革事業の前倒し事後評価における指摘事項等（概要）

評価のポイント	反映(対処方針)のポイント
<p>・本プロジェクトでは、原料調達スキームが確立している企業、エンドユーザー企業が積極的に開発に参画し、セルロース系バイオマスからのエタノール製造という世界でも確立していない技術開発に取り組み、各要素技術の開発目標は概ね達成している。</p> <p>・草本系及び木質系いずれのエタノール生産技術において、おのおの課題が残っており、その克服が必要である。特に、要素技術の達成度に比べて一貫生産システムの検討が遅れ、テストプラントを用いた問題点の抽出と改善がまだ十分ではない。スケールアップに際しての課題の抽出、整理を実施し、プロセスフローの見直しも含めて、プラント設計の精度を上げることが重要である。</p> <p>・草本系エタノール生産技術の実用化・事業化に向けては、要素技術を統合する事業主体の明確化が必要と考える。</p>	<p>次のプレ商用プラントの設計・建設に先立ち、後継事業の開始後2年間に、本事業のみならず幅広くセルロース系エタノールの各工程要素技術の総・棚卸しを実施し、その中から、<u>早期に実用化可能な原料及び前処理プロセスを選定、コスト・GHG削減を念頭に後段工程要素技術の組合せ・最適化について検討する。</u>さらに、<u>最適化した技術についてパイロットレベルでのテストプラント評価を実施する。</u>これにより、更なる技術のブラッシュアップ及びコスト削減を図り、<u>プレ商業プラントの設計・事業化検討に必要なデータを得る。</u></p> <p>後継事業においては、<u>事業主体が明確な企業体のみを採択候補とする。</u></p>

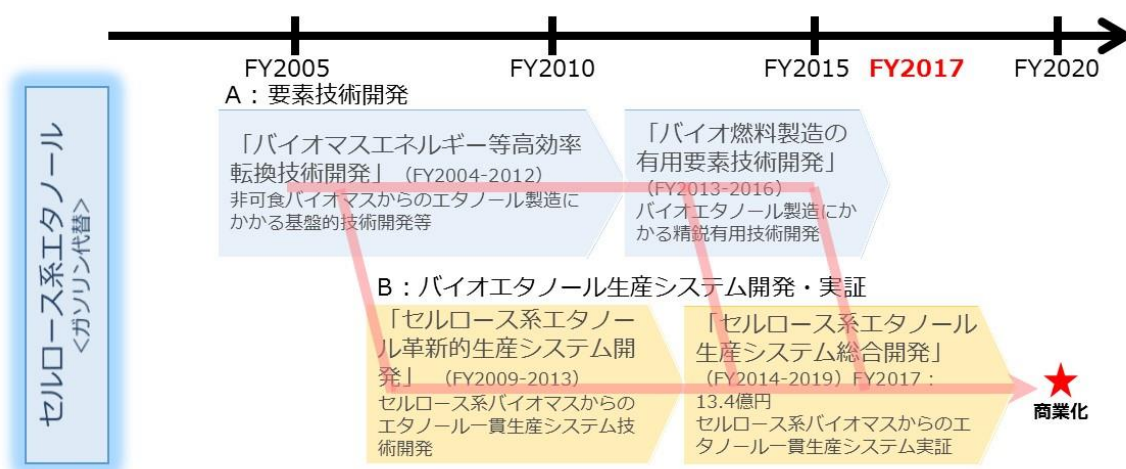


図 1-3-1 NEDO におけるバイオエタノール生産関連の事業

2. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

2-1 NEDO が関与することの意義

日本のエネルギー利用の23%は運輸部門が占め（図2-1-1）、燃料についてはそのほとんどが液体燃料である。再生可能エネルギーの中でバイオマスだけが液体燃料を直接製造することが可能である。ただし、液体バイオ燃料製造において、砂糖、トウモロコシ、パーム油が食糧と競合する問題が生じている。そこで、エタノールを、木質系や農業残渣系など食品として食べられない部分や、エネルギー用途に栽培した植物から得ることにより、食糧と競合しない原料からエタノールを製造することが課題となっている。

そのためNEDOでは、今までバイオマスの利点を最大活用した液体燃料化（ガソリン代替、ジェット燃料代替）の製造技術開発に注力しており、政策面で見ても世界的にニーズは増加している。中長期計画において、ガソリン代替のバイオエタノールは2020年実用化という目標があるが、大量導入のためにはまだ技術的課題が多く、今後もバイオ燃料を大量導入するための技術開発を推進することとしている。バイオマスの利用の中でも食料と競合せず大量に製造可能なセルロース系エタノールの開発は、コスト要求に技術的に対応困難であるため、諸外国においても事業化が遅れているのが現状である。このような技術開発、実証研究等の取り組みは技術的ハードルの高さに加えて、実用化に至るまでに多額の投資が必要であるため、企業単独で取り組むにはリスクが高い。現状では我が国にバイオ燃料産業は確立しておらず、ビジネスモデルの創出と産業創出が必要。2020年までの実用化の見通しが確実となるまでは、NEDOが主体となって関与し実施することが必要である。

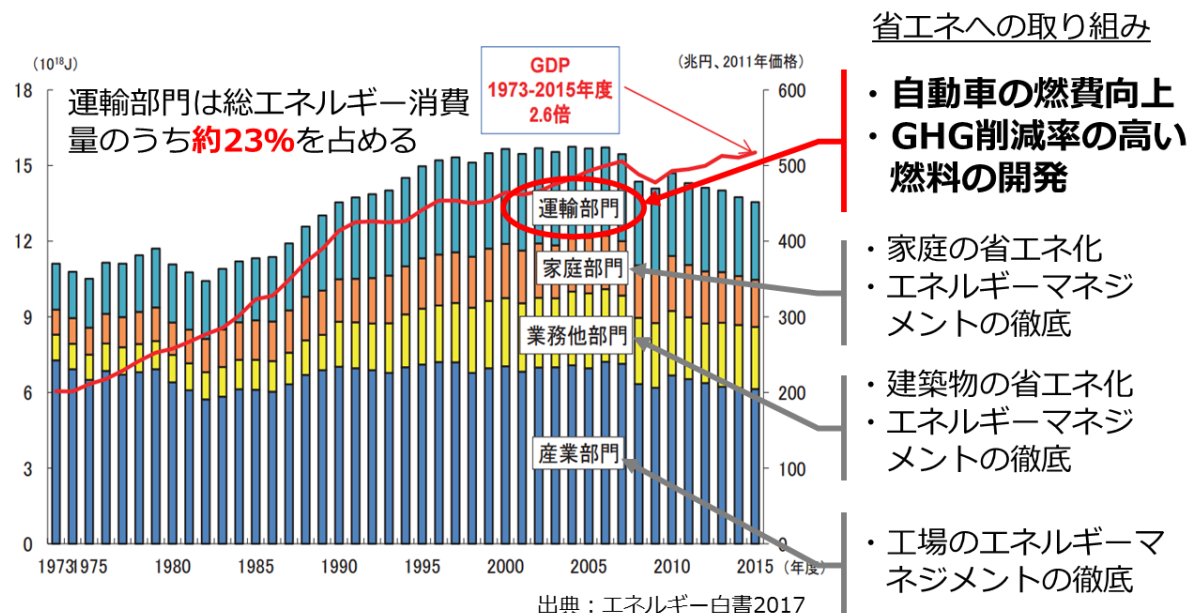


図2-1-1 最終エネルギー消費と実質GDPの推移（出典：エネルギー白書2016）

2-2 実施の効果

〔セルロース系エタノール生産による二酸化炭素削減効果〕

本事業の目的を達成することにより、2020年にはガソリン対比50%以上のGHG削減率のバイオエタノール製造設備について、数万～20万kL/年規模での実用化に利用され、本事業費のCO₂排出削減効果として、十分な費用対効果があると判断している。また2020年以降更に製造設備が設置されれば、試算以上のアウトカムが期待できると考える。試算は、本事業で得られるバイオエタノールをガソリンに代替えた時のCO₂削減量と本事業の投資額より算出した。

<2020年に期待されるCO₂削減効果試算>

$$\begin{aligned} & (\text{エタノール生産量}) \times (\text{バイオエタノールによるGHG排出削減量}) \times (\text{エタノール発熱量}) \\ & = 20(\text{万kL}) \times 40.9(\text{gCO}_2\text{eq/MJ}) \times 21.2 (\text{MJ/L}) = \underline{17.3\text{万tCO}_2\text{eq}} \end{aligned}$$

<事業としての費用対効果>

$$\begin{aligned} & (\text{総事業費}) \div (\text{CO}_2\text{削減期待量}) \\ & = 50.4(\text{億円}) \div 17.3\text{万}(\text{tCO}_2\text{eq}) \doteq \underline{29,100\text{円/tCO}_2\text{eq}} \end{aligned}$$

〔その他の効果〕

本事業の実用化・事業化後には、海外社有林におけるバイオマス増産、酵素事業の展開によるセルロース系バイオマスの利用促進、プラント受注や事業展開等において日本企業の海外展開を支援するものであり、波及効果も含めて世界規模での二酸化炭素削減に寄与するものである。また、セルロース系バイオマスから糖を安価に生産するプラットフォームが構築できれば、セルロース系エタノールの製造以外にも、さまざまなバイオマス由来の化学品製造に利用できるコアとなり、波及効果が期待できる。

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

本事業の成果目標は、セルロース系エタノール生産の商用化に資する技術の確立である。技術確立後の商用化にあたっては、バイオ燃料の導入意義に鑑み、環境性と経済性の両立が求められる。内外の技術動向、市場動向を踏まえつつ、プロジェクト中間時と終了時に達成すべき戦略的な目標として以下を設定している。

【中間目標（2017年度）】

『商用プラントを想定して、ガソリン比 GHG 削減効果 50%、化石エネルギー収支 2 以上の一貫生産プロセスの最適化を達成し、プレ商用実証プラントの設計・建設に進むに値する F S 結果を得ることを目標とする。FS 実施時に、『商用化に資するコスト目標』を事業目標として事業者側が設定し、その目標の妥当性を外部有識者により審議し、妥当であるとの評価を得る。』

【最終目標（2019年度）】

『商用化に向け、プレ商用実証プラントを建設し、プレ商用実証プラントでの実証運転にて、「ガソリン比 GHG 削減効果 50%、化石エネルギー収支 2 以上の一貫生産プロセスの最適化」、「プレ商用実証プラントの建設と年産 1 万 kL の運転の実証」、「ガソリン価格を見据えつつ海外エタノール価格と競合できるバイオエタノール生産コストの実現」を達成する。』

◆NEDO は技術検討委員会の審議を通じて『商用化に資する（生産）コスト目標』を策定

NEDO は NEDO に設置した技術検討委員会の平成 29 年 2～3 月の審議を通じて、『商用化に資する（生産）コスト目標』の目標値は 70 円/L 未満とするのが妥当とした。

これは、2014 年（「セル総事業」開始時）の輸入エタノール日本着価格 77 円/L を参考に、輸送費と利益他の事業条件等を考慮し、事業性評価に用いる『商用化に資する（生産）コスト目標』の目標値は 70 円/L 未満とするのが妥当と考えるため。

なお、米国では、第 1 世代エタノール全体の導入義務とは別に、セルロース系エタノールの導入義務量が課されていることにより、需給の関係から補助金や各種インセンティブがない中でも、第 1 世代エタノールよりも高値で取引されている。

本事業の事業性評価にかかる生産コスト目標については、必ずしも第 1 世代との競合を想定した 70 円/L 未満に拘らず、事業者自身で事業が成立するシナリオを策定しこれに基づく生産コスト目標を設定する事もあり得る。生産コスト目標が 70 円/L を超える形で事業者案が提出された場合は、そのシナリオの成立性(現実性、実現性)とそれに基づく生産コストの妥当性を技術検討委員会にて精査することとした。

ガソリン比 GHG 削減効果 50%、化石エネルギー収支 2 以上の一貫生産プロセスの最適化に係る算定方法は次のとおり。

ガソリン比GHG削減効果50%、化石エネルギー収支2以上の一貫生産プロセスの最適化

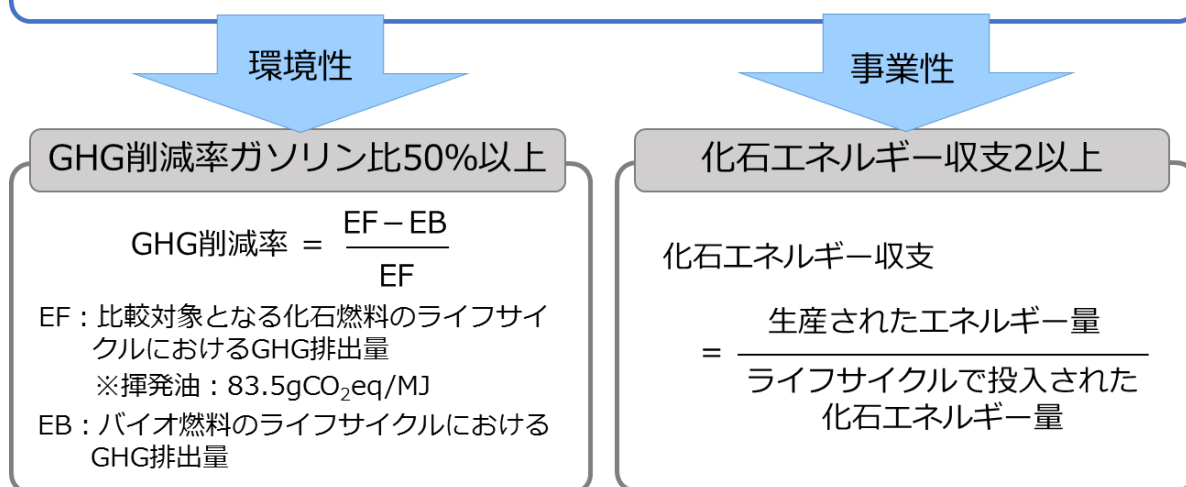


図 1-1 GHG 削減率および化石エネルギー収支算定方法

2. 事業の計画内容

2-1 研究開発の内容

2017年度までに、セル革事業で得られた木質系と草本系の成果を一本化した、各工程要素技術の最適組合せ検討を実施するとともに、国内外の優良技術を調査・検討する。これらと市場見通しを踏まえ、事業性評価（コスト評価、GHG削減効果、化石エネルギー収支評価）を実施し、有識者の意見を参考にしつつ、実証事業継続の可否を判断する。評価の結果、以後の研究を中止する場合もある。

事業性評価の結果、実証事業を継続することとなれば、プレ商用実証プラントによる技術実証を行う。

具体的には、下記の内容に取り組む。

1) 要素技術の最適組合せ検討〔委託〕

(i) 国内外の優良技術の調査・検討（2014年度～2015年度）

国内外のセルロース系エタノール生産技術の最新の技術動向を調査し、各工程要素技術における技術評価とコスト試算を実施する。

(ii) 最適組合せの検証（2015年度～2017年度）

セル革事業で得られた要素技術を中心に、キー技術となる前処理技術、糖化発酵技術（糖化酵素選定、発酵微生物選定）の組合せ検討をラボ試験レベル（実験室レベルでの小規模な試験）で実施し、早期に実用可能かつ性能的に有望な技術の組合せを選定する。選定した組合せについてパイロットスケールで原料～糖化～発酵に至るプロセスの事業性を検証する。

セル総事業では、次の2テーマについて実施した。

a. 木本バイオマスを原料とする日本の持続可能性基準に適合するセルロース系エタノールの一貫生産技術開発および事業性評価（以下実施事業者をAチームと称す）

エタノール生産のキー技術となる前処理技術、糖化発酵技術（糖化酵素選定、発酵微生物

物選定)の組合せ検討を実験室レベルでの小規模な試験で実施し、予備検証を行った。選定した組合せについてパイロットスケールで事業性検証を行うため、パイロットプラントの設計・建設・運転試験を行った。

b. パルプを用いた水蒸気爆砕法によるバイオエタノール生産に関する技術開発および事業性評価 (以下実施事業者をBチームと称す)

水蒸気爆砕前処理技術、糖化発酵技術(糖化酵素選定、発酵微生物選定)の組合せ検討を実験室レベルでの小規模な試験で実施し、予備検証を行った。選定した組合せについてパイロットスケールで事業性検証を行うため、パイロットプラントの設計・建設・運転試験を行った。

(iii) 一貫生産プロセス開発・事業性評価(FS)の実施(2017年度)

(ii)の検証結果より、有望な要素技術を選定し、商用プラントのプロセスと運転条件を決定し、原料収集からエタノール出荷までの総合的なシステムのコスト、GHG削減効果、化石エネルギー収支の評価を行う。この評価結果と(i)の検討結果および市場見通しを踏まえ、年産数万~20万kL規模の商用化を想定した事業性評価を実施し、NEDOは、継続の可否を判断する。

なお、本研究開発項目(i~iii)は、産学官の複数の事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する基盤的技術の開発にかかる事業であり、委託事業として実施した。

2) プレ商用実証プラントによる実証(2018年度~2019年度) [助成:NEDO負担率2/3もしくは1/2]

FSの結果、実証事業の継続が妥当と判断された場合、年産1万kL規模のプレ商用実証プラントを建設し、実証運転を行う。得られた運転データを基に、商用化を想定した最終的な事業性評価を実施する。

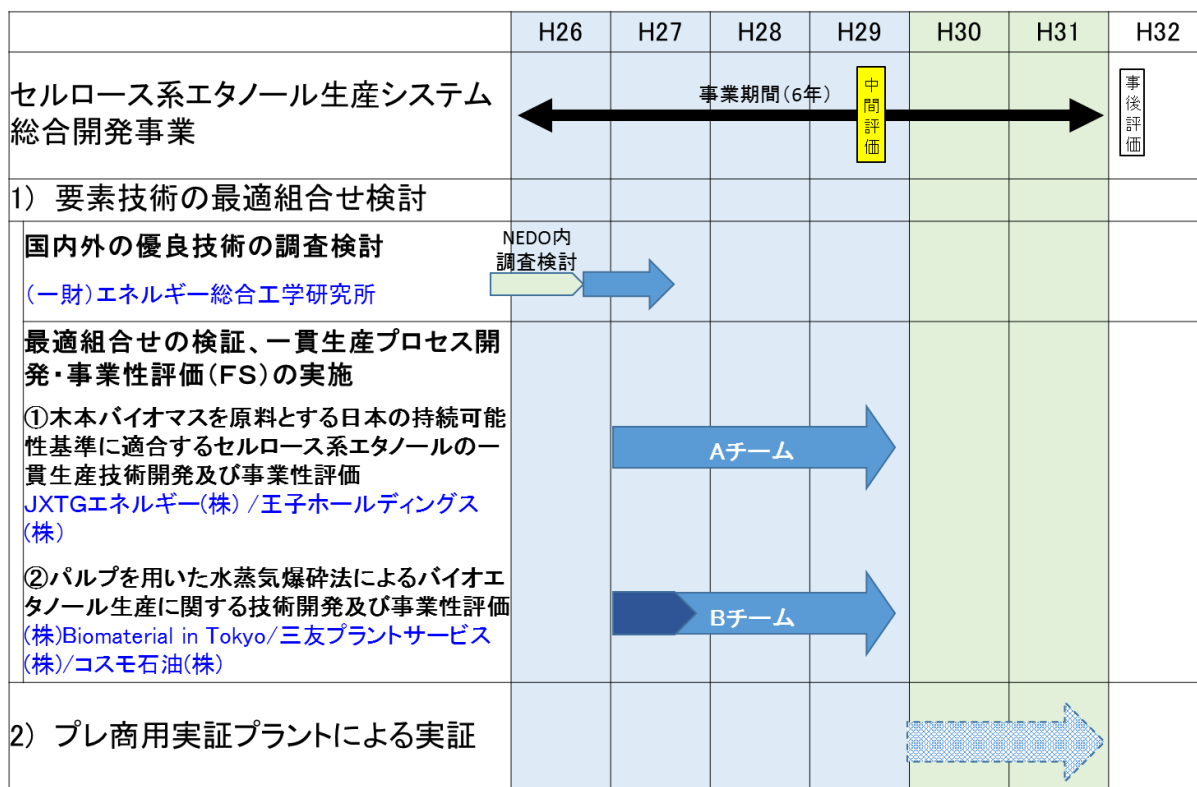


図2-1-1 事業の実施計画

2-2 研究開発の実施体制

本事業における研究開発体制を図 2-2-1 に示す。

要素技術の最適組み合わせの検証については、技術力および事業化能力を有する民間企業を中心に大学が連携する体制で2つのテーマが実施されている。

国内外の優良技術の調査検討は、調査能力と実績を有する財団法人が実施し、調査内容はプロジェクト運営に活用している。

本事業では、当初1チームを想定しプロジェクトリーダー(PL)を置くこととしていたが、2チームを採択し個別に事業化に向けた検討を進めることが効果的と判断したため、セル革事業と同様に外部有識者で構成する技術検討委員会を組織し、定期的に技術的評価および助言を受けNEDOが各チームを直接マネジメントする運営方法とした。

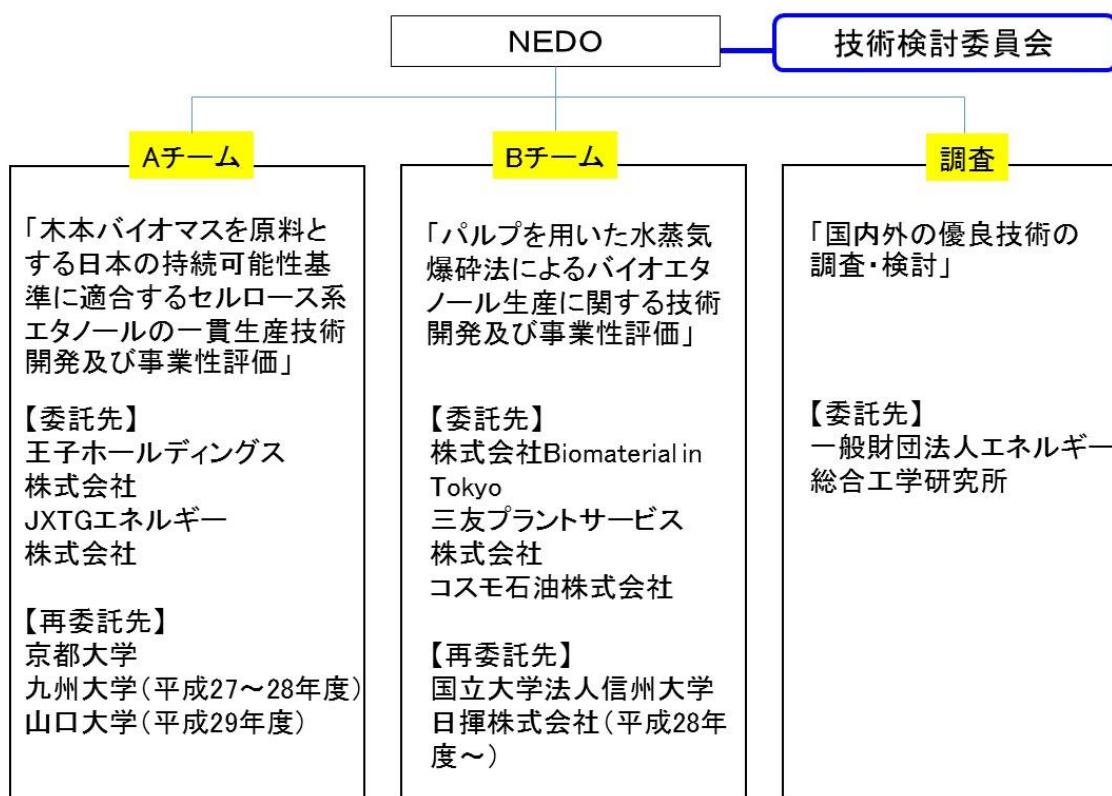


図 2-2-1 実施体制図

2-3 研究開発の運営管理

本事業においては、事業の立ち上げ段階から現在に至るまで適宜適切な運営管理に努めてきた。最適組合せの検討および事業性評価では、比較的短期間で実用化を目指す研究開発であることから将来の事業化を強く意識した民間企業を中心として研究開発体制を構築すること、事業化を推進するためには、バイオマス原料の入手からエタノール製造までを一貫して研究開発に取り組み最適なシステムを構築することが必要である。

事業の実施段階の具体的な運営管理について、以下に説明する。

2-3-1 技術検討委員会

事業の実施段階においては、各テーマの研究開発の進捗確認、ステージゲート、事業のコスト目標の検討、事業実施体制の見直し等について、NEDOに対する評価・助言を行い、効率的に研究開発を推進し、着実に実用化に結び付けて行くため、技術検討委員会を設置した。

技術検討委員会は、新エネルギー部が事務局となり、表2-3-1に示す外部有識者からなる委員会として開催した。委員の選定にあたっては、本事業における研究開発が原料の入手からエタノール製造の広範囲に亘り、しかもラボスケール・パイロットスケールでの研究開発を行うことからエンジニアリング要素も必要となることや、持続可能性に関する観点も必要になることを考慮して、幅広い分野における有識者を網羅することに配慮した。

表2-3-1 セルロース系エタノール生産システム総合開発実証事業 技術検討委員会

区分	氏名	所属・役職
委員長	横山 伸也	公立鳥取環境大学 環境学部 環境学科 特任教授
委員	井上 貴至	株式会社三菱総合研究所 シンクタンク部門 統括室長
委員	大谷 繁	国立研究開発法人理化学研究所 環境資源科学研究センター 嘱託職員
委員	坂西 欣也	産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギー研究所 所長代理
委員	高橋 香織	みずほ情報総研株式会社 環境エネルギー第2部 次長 環境ビジネス戦略チーム
委員	山田 富明	Bioengineering Consulting Office 代表

※敬称略、委員長を除いて五十音順

技術検討委員会は、2015年度～2017年度にかけて、延べ8回実施した（2017年10月現在）。主な実施事項は以下のとおり。

- ・Bチームの前処理への新規技術適用に係る ステージゲート評価（第1回）
- ・Bチーム再委託先追加の妥当性検討（第4回）
- ・事業性評価の進め方検討（第5回）
- ・NEDOの目標値設定（第1回、5回）
- ・両チームの事業性評価結果の評価（第8回）

特に、ステージゲート評価と事業性評価は次のとおり実施した。

【ステージゲート】

Bチームは、公募時に廃パルプを原料としたエタノール製造に関わる開発を提案した。廃パルプを原料とすることによる原料費削減、バガスで実績のある前処理（水蒸気連続爆砕技術）の適用や高性能酵素の採用によるプロセスの最適化などの工夫には期待ができるとして採択された。しかしながら、前処理技術として提案された水蒸気連続爆砕技術は、当時草本系の実用化検討でいくつかの適用事例はあったものの、木本系での前処理技術としての実績が乏しいことから、データ検証を十分に実施し、実現性の有無を判断した上でパイロットプラントにおける検証を含む契約を締結することを契約・助成審査委員会での採択条件として付された。

そこで、Bチームは、2015年度当初の数ヶ月かけてデータ取得を行い、本技術検討委員会（2015年8月）においてステージゲート審査を実施し、実現性があると判断されたためパイロットプラントでの検証に着手することが妥当と判断した。

【事業性評価結果の評価】

当部は、2017年10月の技術検討委員会において、事業者が報告した事業性評価結果を評価・確認した。

『商用化に資する（生産）コスト目標』の算出と評価手順について

1) プロセスフローの各工程における技術開発成果

- a) 以下の各工程における技術開発成果について、その考え方・内容の説明と成果数値を示す。
- ・ 原料バイオマス供給（栽培・収穫・運搬・貯蔵）
 - ・ エタノール生産プロセス（前処理・糖化・発酵濃縮）

2) 算出準備

- a) ラボ試験の成果を元に、パイロット試験実施の際に採用する技術を決め、その判断根拠を示す。なお、プレ商用設備、あるいは商用化設備を想定する場合において、この採用技術は基本的に同じものとする。
- b) 商用化のビジネスモデルを明示し、想定した候補地、周辺立地条件でのエタノール製造設備（数万～20万kL/年）におけるレイアウトや運転方法を設定し、プロセスフロー、マテリアル（物質）・ユーティリティ（用役・薬品等）のバランステーブルを作成する。これらプロセスフローとバランステーブルを元に、機器仕様等を決定して、建設費と用役・薬品類使用量等を積算し、保守費・保険料・労務費等を含め、算定根拠を明示して、固定費・変動費を算出する。

3) 評価項目およびその数値の算出

- a) GHG削減率・化石エネルギー収支
- 上記のデータを元に、供給構造高度化法の『判断基準』および『エタノールのLCAでのGHG排出量の算出方法』に基づき、GHG削減率・化石エネルギー収支を算出し、その結果がGHG削減率ガソリン比50%以上、化石エネルギー収支2以上であるかどうか検証する。
- b) 商用化に資する（生産）コスト目標
- 上記のデータを元に、選択した事業性評価手法に基づき事業性を計算し、「商用化に資する（事業性が成立する）（生産）コスト目標」を算出する。
- 算出した（生産）コスト目標に対して感度分析を行い、変動幅を明らかにする。

2-3-2 推進委員会

最適組み合わせの検討および事業性評価では、技術検討委員会とは別に、各テーマでも推進委員会を年2回実施し、外部有識者からの意見を事業に反映している。推進委員会は各テーマの実施者が事務局となり、新エネルギー部はオブザーバーとして参加している。表2-3-2および表2-3-3に、各テーマの推進委員会のメンバーを示す。

表2-3-2 木本バイオマスを原料とする日本の持続可能性基準に適合するセルロース系エタノールの一貫生産技術開発および事業性評価
(JXTGエネルギー、王子ホールディングス) 推進委員会

区分	氏名	所属・役職
委員長	松方 正彦	早稲田大学先進理工学研究科応用化学専攻・教授
委員	出口 英次	バイオマス燃料供給有限責任事業組合 (JBSL)・業務グループマネージャー
委員	福島 和彦	名古屋大学生命農学研究科森林化学研究室・教授

※敬称略、委員長を除いて五十音順

表 2-3-3 パルプを用いた水蒸気爆砕法によるバイオエタノール生産に関する
技術開発および事業性評価 (Biomaterial in Tokyo、三友プラントサービス、コスモ石油)
推進委員会

区分	氏名	所属・役職
委員長	五十嵐 泰夫	東京大学 名誉教授 / 中国西南大学資源環境学院 生物エネルギー・生物修復研究センター センター長
委員	芋生 憲司	東京大学 大学院 農学生命科学研究科 生物・環境工学専攻 教授
委員	森山 亮 (H28年4月 から)	エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 主管研究員
委員	渡部 啓吾 (H28年3月 まで)	日本製紙株式会社 研究開発本部 総合研究所 主席研究員

※敬称略、委員長を除いて五十音順

2-4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

1) 事業性評価

「セル総事業」においては、2020年頃という比較的短期の事業化に向けて、プロジェクトの中間年度即ち2017年度に、実用化・事業化に向けた事業性を評価する。事業性評価においては、各チームの報告を踏まえて、技術検討委員会において、外部有識者の評価を受け、NEDO推進部としての自己評価を行い、中間評価を経て、技術動向・政策動向を踏まえて必要に応じて事業の見直しを行うこととしている。

2) 知財マネジメント

開発成果に関する取扱いとして、委託事業の成果に関わる知的財産権等については原則として、すべて実施機関に帰属させることとする。（「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等）

実施機関においては、我が国の新エネルギー技術を基盤とする産業競争力の強化に資するべく、開発した技術や成果の知的財産マネジメントを実施した。

各チームはいずれも産学連携のチームであり、チーム毎に知財合意書を作成して、各チームの研究開発責任機関である企業が知財運営委員会の運営を実施。本委員会にて特許出願や学会発表についての審議を行うこととしている。

3. 情勢変化への対応

【事業立ち上げ当初の情勢】

- 2014年に、ブラジル、米国でセルロース系エタノールプラントが相次いで立ち上がりつつあった。
- セル総事業を立ち上げるにあたって、再度情報の整理を行い、本事業の方向性が妥当かどうかについて検討を行った。
- セルロース系エタノール製造事業者数か所の調査結果から次のことが分かった。
 - ▶ 一貫プロセスの実証～商業規模プラントで用いられている原料は主に、農業残渣など、残渣系の原料であり、大規模プランテーションによるエネルギー作物を利用した例は未だに実施されていない。
 - ▶ 商業規模プラントは主に数万kL/年の規模で行われており、10万kL/年の規模はほとんどない。
 - ▶ セルロース系エタノールの製造技術を事業化に導くためには、技術の選定に加えて、事業形態（事業モデル）の設定が重要である。
- これらに基づき木質系バイオマス为原料と想定する本事業の妥当性があると判断し、立ち上げることにした。加えて、商用生産規模に必要な量を安定して供給できるのであれば、他の原料を用いた提案でも差支えないこととして公募した。

【実施者採択と実施に際して】

- 前年実施したセル革事業の前倒し事後評価にて指摘を受けた「実用化可能な原料とプロセス」、「事業化に向けた実施者」を選定することに留意して採択を行うこととした。
- 当初から目標コストを設定するのではなく、プロジェクト前半の調査結果を踏まえて中

間地点で技術評価委員会にて判断基準を設定した。

- 調査結果から、セルロース系エタノールの製造コストは70円～100円/Lで生産可能と推測され、技術検討委員会で審議し、商用化に資する（生産）コスト目標70円/L未満が妥当と考えた。
- なお、2018年以降の国内の市場動向を左右するエネルギー供給構造高度化法の導入義務量の告示改正を注視しつつ、事業を実施した。

バイオ燃料に関する高度化法の今後の方向性（案）

- ガソリン代替のバイオエタノールは、現時点では、ブラジル産のサトウキビ由来エタノールに100%依存。
- 食物由来のバイオエタノール（第1世代）の国産化は厳しい状況。
（⇒セルロースや廃棄物由来のバイオエタノール等（第2世代）は、国産化の可能性あり。）
- バイोजェット等の導入については、ICAOなどの国際動向と整合の取れた形で検討する必要あり。

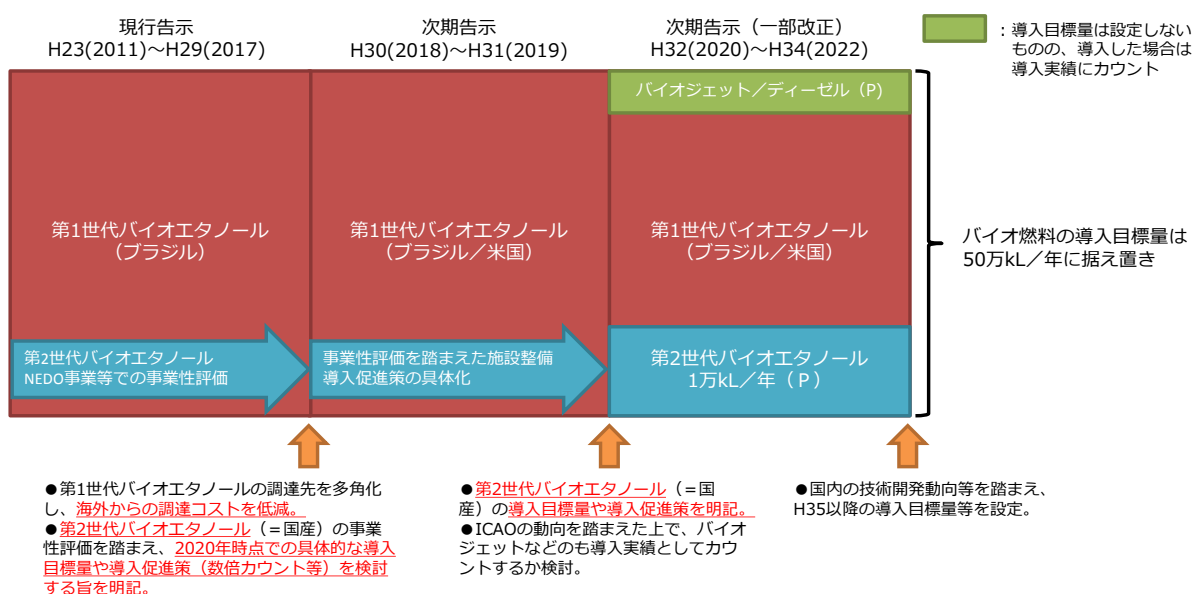


図3-1 バイオ燃料に関する高度化法の今後の方向性（案）

（出典：平成28年度石油産業体制等調査研究（バイオ燃料を中心とした我が国の燃料政策のあり方に関する調査）（バイオエタノール関連）報告書）

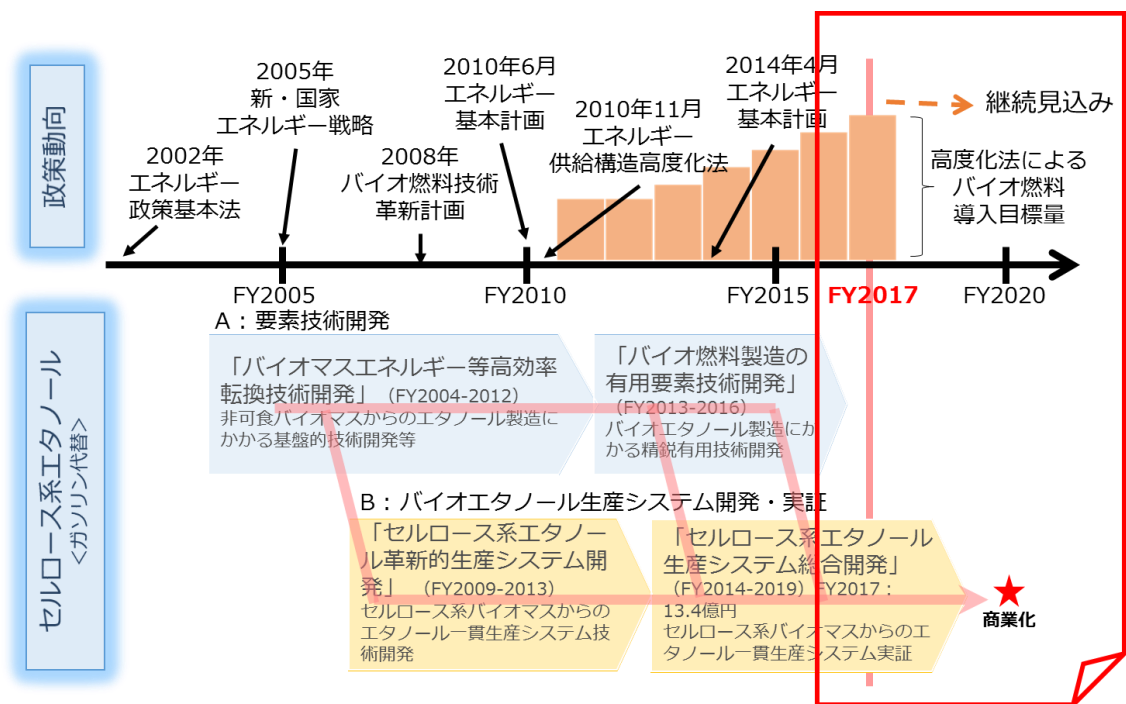


図3-2 2018年以降のエネルギー供給構造高度化法の導入義務量の告示改正を注視

4. 評価に関する事項

評価に関しては以下のとおり。

- ・事前評価：2014年度に当部で実施し、事前評価書を策定。
- ・中間評価：2017年度に実施。
- ・事後評価：2020年度に実施予定。

事業期間内必要に応じて外部有識者等による研究開発の評価を実施し、プロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

III. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

各チームの成果を総合的にみると、ラボレベル、パイロットスケールの研究を通じ商用プラントを想定して、両チームともガソリン比GHG削減効果50%、化石エネルギー収支2以上の一貫プロセスを構築し、実用化に資するコスト目標としてNEDOで設定した製造コスト70円/L未満を達成している。また、両チームとも、これまでのNEDOのエタノール生産技術開発の成果を活用している。それぞれの成果の概略を以下にまとめる。なお、各チームの詳細な成果については、「Ⅲ-2. 研究開発項目毎の成果」において説明する。

Aチームは、セル革事業の木本系チームのメカノケミカルパルピング（王子HD）と、草本系チームの酵素（JXTGエネルギー）の優れた成果を組み合わせ、要素技術の組み合わせ棚卸評価を実施・検証した。ラボ検討の結果、エタノール収量が最大化するとともに製造設備機器点数が最少となる、並行複発酵を最適プロセスとして選択した。パイロットプラントでは、エタノール収量の確認や連続運転条件の最適化を実施し、低コストな運転条件を見出した。実用化モデルは、海外の既設パルプ工場にエタノール製造工場（10万kL/年）を併設し、日本にセルロース系エタノールを供給するものである。本事業で確立した技術を用いたセルロース系エタノールの原料収集から日本着までのコストを積算したところ、事業者側で設定した「持続可能性基準適合輸入エタノール日本着価格」の目標価格に対して下回る日本着コストになることを確認した。

並行複発酵に適した高粘度攪拌技術の確認や、空気分散の検証が必要であるものの、前処理、蒸留・脱水部分の検証は既存技術で十分対応可能であることから、実用化に向けたプレ商用実証プラント（1万kL/年）における検証については不要であると報告された。

Bチームは、前処理技術として多様な原料に効果が期待される連続水蒸気爆砕技術を適用し、事業開始当初にその有用性を確認し、パイロットプラントの検討を実施した。酵素糖化には、2016年度まで実施したバイオ燃料生産の有用要素技術開発事業の成果を活用した。実用化モデルは、海外製紙工場の廃パルプを用いた海外モデルと、国内の廃パルプ、廃菌床、コーヒー粕を活用し、廃棄物処理業との組み合わせによる原料流通、設備費の削減を図る国内モデルとした。前者は2万kL/年以上で、後者は3万kL/年以上の生産規模において製造コストのNEDO目標（70円/L未満）を達成した。

種々の廃棄物に対する運転条件の最適化が必要であるものの、実用化に向けたプレ商用実証プラント（1万kL/年）における検証については不要であると報告された。

技術動向調査では、エネルギー総合工学研究所は、本事業で開発する技術について、国内外の技術開発の最新動向との比較を通じて強みを明らかにし、さらに、国内外におけるバイオ燃料の市場やバイオ燃料の導入がもたらす便益・社会的影響について整理することで、事業展開の方向性を明らかにした。

2. 研究開発項目毎の成果

2-1 木本バイオマスを原料とする日本の持続可能性基準に適合するセルロース系エタノールの一貫生産技術開発および事業性評価

2-1-1 本事業の目的

本事業は、食糧と競合せず、日本のエネルギー供給構造高度化法におけるバイオ燃料としての持続可能性基準を満たすセルロース系エタノール（以下「持続可能性基準適合セルロース系エタノール」と略記）一貫生産技術において、実験室レベルでの組合せ評価、パイロットプラントでの検証を通じて各種要素技術の棚卸を実施、セルロース系エタノールの生産において商業化するに足る最適組合せを選定し、パイロットプラントレベルでの技術確立、および、確立した一貫生産システムを採用した際に2-1-2項記載のビジネスモデル成立可否の検証を目的とする。

2-1-2 本事業のビジネスモデルおよび目標

本事業では、海外植林地から供給される木本系バイオマスを原料とし、海外または日本国内の既存のパルプ工場等に併設したセルロース系エタノール製造工場にて生産された持続可能性基準適合セルロース系エタノールを、ETBE原料として日本の石油会社へ販売するビジネスモデル（図2-1-2-1）とする。

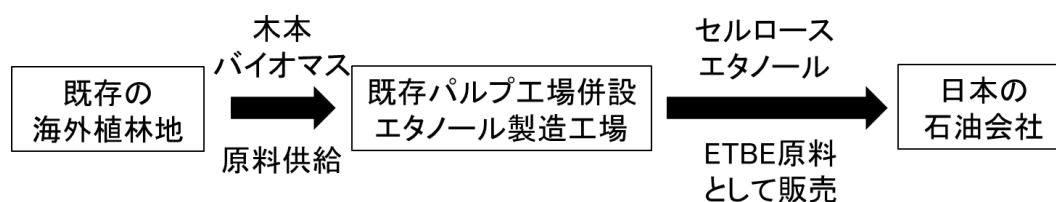


図 2-1-2-1 ビジネスモデルスキーム

この際、持続可能性基準適合輸入エタノール日本着価格と等価以下となるようなセルロース系エタノール販売価格を目標とし、商業化想定時点での「持続可能性基準適合輸入エタノール日本着価格」を本事業では設定し、本価格を目標として技術開発及び事業性評価を実施した。

2-1-3 本事業の概要

本事業は、日本の持続可能性基準適合セルロース系エタノールの商用生産を目指し、複数の要素技術（前処理・糖化・発酵・酵素回収の各プロセス及び原料、酵素、発酵菌株等）について、実験室レベル及びパイロットプラントにて組合せ評価を実施することにより、最適組合せを選定し、その運転条件及び装置組合せを最適化することによりパイロットプラントレベルでの技術確立を目指すものである。

さらには、確立された一貫生産システムを前提とし、安定的な原料調達から製品エタノールの日本への供給までの全工程におけるセルロース系エタノールの商用生産・販売事業のコスト分析・実現性評価を実施した上で、事業性評価を実施し、事業性の有無を判断するものである。

また、本事業性評価の過程で、商業化技術完成におけるスケールアッププラントでの検証の必要性について検討し、その実施の可否判断を実施するものである。

具体的には、「セル革事業」における「木本系事業」において王子HDが、「草本系事業」においてJXTGエネルギーが、セルロース系エタノールの一貫生産システムに関する研究開発に取り組んで得られた、表 2-1-3-1 に示す要素技術を組合せることにより実施する。

表 2-1-3-1 「木本系事業」及び「草本系事業」の各要素技術

	原料	前処理	糖化/発酵
木本系事業	木本	パルプ化	並行複発酵
草本系事業	草本	アンモニア	逐次糖化発酵/セルフクローニング酵母

本事業にて要素技術の組合せ検討を実施するにあたって、原料については、木本系バイオマスは草本系バイオマスに比べて嵩密度が高く、輸送が効率的であること、通年収穫が可能で貯蔵や保存の問題が無いこと、既に王子HDで事業植林を展開しており、栽培、収集、輸送のインフラや技術が確立されていること、安定供給が期待できることから、木本系バイオマスを選択する。

前処理工程については、木本系バイオマスに対する前処理として、原料との適合性、スケールアップ技術確立の確実性の観点から、「木本系事業」で開発した中性亜硫酸セミケミカルパルプ処理（NSSCP、詳細は原料および前処理の検討（2-1-4-2）に記載）等のパルプ化技術を選択する。

糖化発酵工程は、王子HD及びJXTGエネルギー双方の保有する要素技術（プロセス及び酵素、酵母）を組合せた比較検討を実施し、商用生産を目指した各要素技術の最適組合せを見出す。

酵母は、別の種の遺伝子を導入することなくキシロース利用能を付与したセルフクローニング酵母（遺伝子組換え体に該当しない）を採用する。セルフクローニング酵母を採用することで、遺伝子組換え体を使用する際に必要な設備対策が不要となり設備コストが抑えられ、万一の漏洩等の際の環境負荷も低減できる。

2-1-4 棚卸評価

2-1-4-1 各種プロセスの検討

本事業においては、先にも述べた通り「セル革事業」における「木本系事業」と「草本系事業」において開発した要素技術の組合せを検討するが、各要素技術の検討に先立ち、最適な糖化発酵プロセスの選定を目的に、「木本系事業」で採用した並行複発酵プロセスと、「草本系事業」で採用した逐次糖化発酵プロセスと、両プロセスの中間である半並行複発酵プロセスを比較した。

並行複発酵プロセスは機器点数が少なく、設備コストの面で逐次糖化発酵プロセスより有利と考えられる。一方、並行複発酵プロセスは、酵母の生育温度に合わせて低温で糖化を進める必要があるのに対し、逐次糖化発酵プロセスは糖化と発酵をそれぞれの最適条件で実施できるため、並行複発酵プロセスより反応効率の面で有利と考えられる。また、半並行複発酵は、両者の中間に位置付けられる（表 2-1-4-1-1、図 2-1-4-1-1）。

表 2-1-4-1-1 各プロセスの特徴

	プロセス	反応方式	機器点数
1	「木本系事業」ベース	並行複発酵	◎
2	「草本系事業」ベース	逐次糖化発酵	△
3	組合せ	半並行複発酵	○

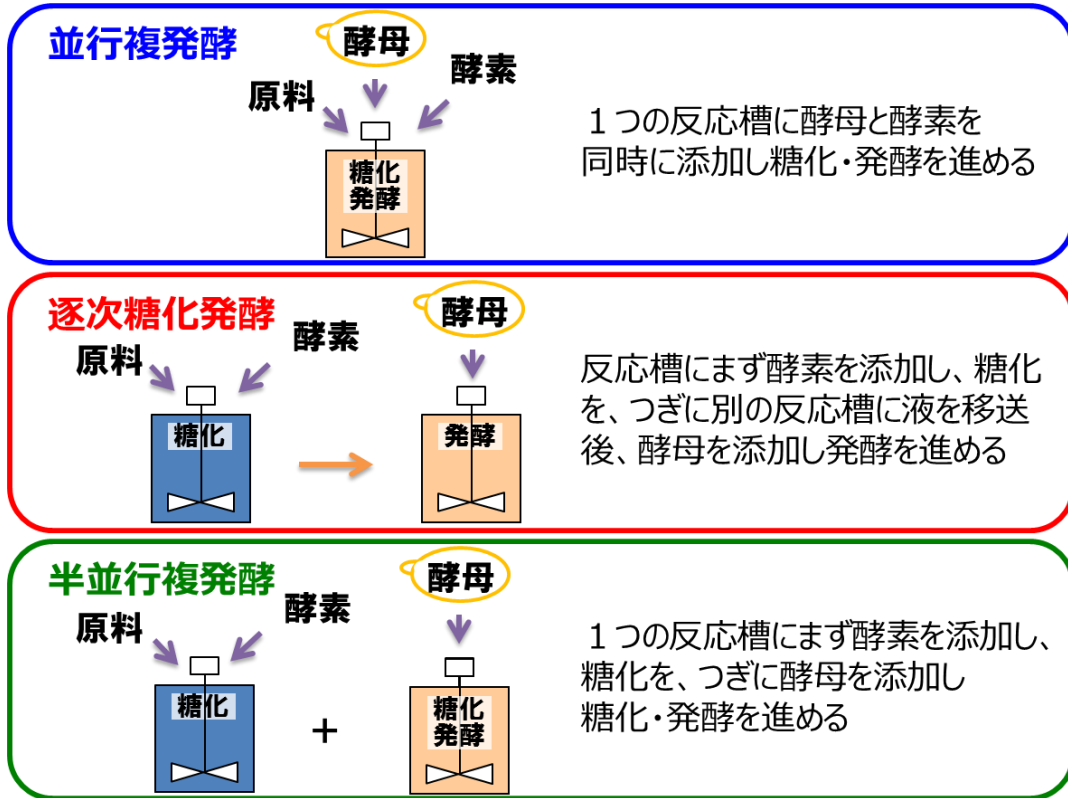


図 2-1-4-1-1 各プロセスの概要

2-1-4-1 a 実施内容および成果

(方法)

醸造酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) はバイオマスに含まれるキシロースを資化できないが、その資化に必要な遺伝子を有している (図 2-1-4-1-2)。これらのキシロース資化遺伝子群 (図 2-1-4-1-3) を活性化し、醸造酵母の染色体に導入することで、キシロース資化能を付与することが可能となる。本酵母は自己遺伝子を活性化したのみで外来遺伝子を導入していないため、遺伝子組換え体に該当しない (セルフクローニング) 酵母となる。

「セル革事業」の「草本系事業」にて開発した自己遺伝子の活性化によりキシロース資化能を付与した醸造酵母を用いて表 2-1-4-1-1 記載の 3 つのプロセスを比較した。

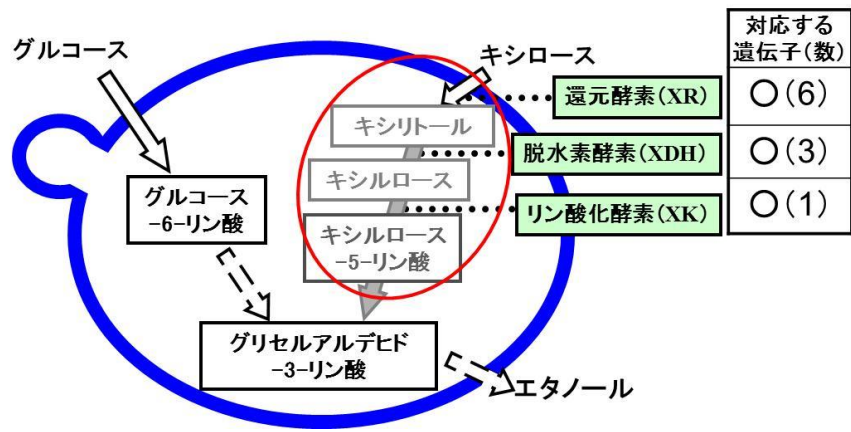


図 2-1-4-1-2 醸造酵母のキシロース資化遺伝子

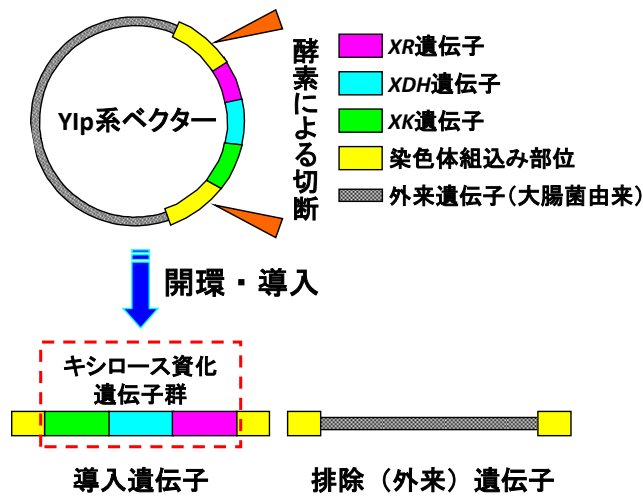


図 2-1-4-1-3 キシロース資化遺伝子の調製

試験条件は、基質濃度：NSSCP 所定濃度、酵素液量：所定量、初期酵母量： 1×10^7 個/mL、pH：4.8 (25mM 酢酸緩衝液)、反応容器：500 mL 三角フラスコ (液量：200mL)、表 2-1-4-1-2 に記載の反応温度と反応時間 (相対値) にて、各プロセスにおけるエタノール生産性を評価した。

表 2-1-4-1-2 糖化発酵条件

反応方式	糖化温度, °C	発酵温度, °C	糖化時間 (相対値)	発酵時間 (相対値)
並行複発酵	-	30	-	1
逐次糖化発酵	50	30	0.5	0.5
半並行複発酵	50	30	0.04	0.96

(結果)

保有する 11 株のキシロース資化能付与醸造酵母を用い、3つのプロセスを比較した。各プロセスで最も性能の良かった株を用いた結果を図 2-1-4-1-4 に示すが、エタノール濃度は並行複発酵

と半並行複発酵はほぼ同等で、逐次糖化発酵は両プロセスより低い値を示した。なお、いずれのプロセスでも目標とした効率を達成した。表 2-1-4-1-4 に示す通りエタノール生産性の観点より、並行複発酵が最も優れたプロセスと考えられた。並行複発酵は機器点数が少なくプロセスを連続化できるメリットもあるため、本事業では並行複発酵を最適プロセスとして選定し、以降の要素技術の最適化に取り組んだ。

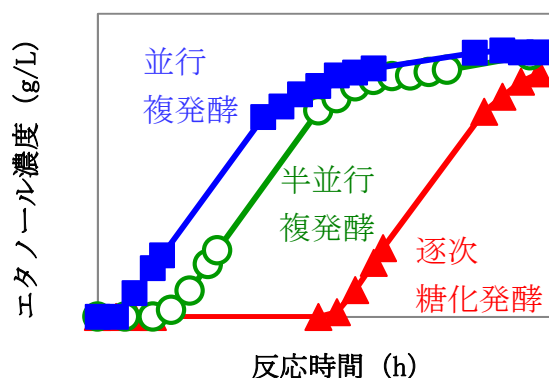


図 2-1-4-1-4 各プロセスにおけるエタノール濃度の比較

表 2-1-4-1-3 各プロセスにおけるエタノール生産性の比較

	糖化発酵効率*	エタノール生産速度*
並行複発酵	1	1
半並行複発酵	0.99	0.98
逐次糖化発酵	0.93**	0.90

*並行複発酵を 1 とした相対値

**発酵効率

2-1-4-1b まとめ

「セル革事業」における「木本系事業」および「草本系事業」において開発した並行複発酵、逐次糖化発酵と、両者の中間である半並行複発酵 3 つのプロセスのエタノール生産性を比較した結果、いずれのプロセスでも目標とした糖化発酵効率を達成したが、機器点数が少なく連続化が可能な並行複発酵を本事業における最適プロセスとして選定した。

今後は、並行複発酵に適した酵素および酵母の選定を進め、並行複発酵の条件を確立し、パイロットプラントの運転へ適用する予定である。

2-1-4-2 原料および前処理の検討

本事業は、木本系バイオマス为原料として、既存のパルプ工場等に併設したセルロース系エタノール製造工場にて生産された持続可能性基準適合セルロース系エタノールの製造技術を検討し、事業性の評価を実施することを目的とする。

木本系バイオマス为原料として選定する理由は、草本系バイオマスに比べて嵩密度が高く輸送効率が高いこと、通年収穫が可能で貯蔵や保管の問題が無いこと、王子HDでは事業植林を展開しており、栽培・収穫・輸送に関わるインフラや技術が確立されていること、安定供給が期待で

きること等が挙げられる。

2009～2013年度のNEDO「セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業」（以下「セル革事業」と略記）において、王子HDは「早生樹からのメカノケミカルパルピング処理によるエタノール一貫生産システムの開発」（以下「木本系事業」と略記）を実施した。木本系バイオマスであるユーカリの木材チップや全木に対して中性亜硫酸セミケミカルパルプ処理（セル革事業ではメカノケミカルパルピング処理と記載）を検討し、ユーカリ・グロブラス (*Eucalyptus globulus*) チップを原料として、高い糖化率で未糖化残渣の少ない前処理原料を得た。

本事業においても、木質バイオマス原料の前処理プロセスにおいては主に中性亜硫酸セミケミカルパルプ処理を採用する。より具体的には、薬品、反応温度、反応時間等の条件検討を実施し、高糖化率を維持しつつ糖収率の向上によるエタノール収量の向上を目指す。

また、前処理条件検討の比較対象として、国内パルプ工場で生産しているクラフトパルプについても評価を行った。

本章では、下記の木質バイオマス原料について実施した前処理条件の検討結果について報告する。

- ・セルロース系エタノール製造の経済性評価に用いるため、産地の異なる4種類の林地残材に対して実施した前処理条件の検討結果。
- ・プラント実証試験で使用するユーカリ・グロブラスチップに対して実施した前処理条件の検討結果。
- ・有望な林地残材に対して実施した前処理条件の検討結果。

2-1-4-2 a 実施内容および成果

(方法)

木質バイオマスのチップあるいは林地残材の含水率を事前に計測した上で、これら原料の絶乾重量をベースとして、一定の比率で薬品と水を添加し、前処理試験用の原料サンプルを調製した。調製した原料サンプルをラボ蒸解釜（オートクレーブ：内容積4000mL）に投入し、温度、時間等の処理条件を変更して前処理試験を実施後、処理物を回収してリファイナーで摩砕することにより前処理サンプルを調製した。

回収した前処理サンプルの歩留り、カップー価等を測定し、ラボ酵素糖化試験あるいはラボ糖化発酵試験を実施して、溶出糖濃度やエタノール収量等を測定することにより前処理条件の評価を実施した。

(結果 1)

セルロース系エタノールの経済性評価に用いるため、産地の異なる4種類の林地残材に対して実施した前処理条件の検討結果を以下に示した。

アルカリの濃度や温度及び時間等の処理条件は表2-1-4-2-1に記載した条件に設定した。A国、B国、C国、D国の植林地より調達した林地残材を前処理試験に供した。

上記4種の林地残材に対してL18水準法による前処理条件の検討を実施して、得られた前処理原料に対して酵素糖化試験を行った。酵素糖化は、250mL容の三角フラスコを使用して全量100mLの反応系にて実施した。反応条件は、前処理サンプルは所定濃度、所定の酵素添加量、pH5.0、振

盪 150rpm、反応温度は基準温度+4°Cおよび反応時間は所定時間とした。

本試験結果を、表 2-1-4-2-1 に示した。酵素糖化試験後のサンプル評価結果について統計解析を行ったところ、糖化率に関して有意に効果がある前処理条件因子は、樹種、温度及び時間であった。本前処理試験条件下における最適条件は、最高温度、最高時間との結果となったが、実際の最適条件は温度、時間の両方あるいはどちらかを更に厳しい条件としたところにある可能性が高い。

また、検討した 4 種類のサンプルの中では、A 国林地残材の糖化率が最も高い前処理原料が得られると推定できた。

表 2-1-4-2-1 産地の異なる林地残材に対する前処理条件評価結果

200	1	7	0.3	94
100	1.6	7	0.5	98
200	1.6	7	1	56
100	2	7	0.3	79
150	1	7	0.5	68
150	1.6	7	0.3	60
200	2	7	0.5	63
100	1	7	1	62
100	2	7	0.5	- ※1
150	1	7	1	97
200	1.6	7	0.3	100

(結果 2)

プラント実証試験で使用するユーカリ・グロブラスチップに対して実施した前処理条件の検討結果を以下に示した。プラント糖化発酵試験に供する原料としてはいくつかの候補が考えられるが、原料（樹種や部位）が変わっても基本的な前処理条件評価の手法は同じであること、糖化発酵工程の条件変更等の評価においては同一の原料を使用するのが好ましいこと、加えて木本系事業での実績から基本的な前処理条件が把握できていることや入手しやすいこと等の条件を鑑み、ユーカリ・グロブラスチップを選定した。

処理温度や時間等について条件を変更して前処理試験を実施した後、リファイナーで摩砕することにより前処理原料を調製した。得られた前処理原料に対して下記の条件でラボ糖化試験とラボ糖化発酵試験を実施し、糖化率やエタノール収量等を評価した。

糖化試験は、250mL 容の三角フラスコを使用して全量 100mL の反応系にて実施した。反応条件は、前処理サンプルは所定濃度、酵素液量は所定量、pH4.8、振盪 150rpm、反応温度は基準温度および反応時間は所定時間とした。

糖化発酵試験も、糖化試験と同様の反応系で実施した。反応条件は、前処理サンプルは所定濃度、所定の酵素添加量、pH5.0、反応温度は基準温度+2°Cとして、前培養した酵母培養液（ 1×10^8 個/mL）を 2.5mL 添加して、150rpm で振盪しながら所定時間反応させた。

表 2-1-4-2-2 に、温度及び蒸解薬品添加量変更して実施した前処理試験の結果を示した。

時間を固定して、温度を上げると、温度上昇につれて歩留りとカップー価が大きく低下した。一方、糖化液中の溶出糖濃度と糖化率は温度上昇に比例して増加したが、歩留りが低下する影響で原料あたりのエタノール収量に明確な傾向や差を認めなかった。また、蒸解薬品の増添は、カ

ッパー価の低下並びに糖化率の向上に寄与すると考えられた。

糖化率が低い前処理条件で処理した原料による長期プラント連続運転を想定すると、未糖化残渣の蓄積量増大に伴う早期の操業不良が予想される。目標とする糖化率をクリアし、かつエタノール収量の向上を志向するならば、温度は本試験の最高温度付近として、時間のファクターを変更することにより、歩留りと糖化率の両立を目指すのが良いと考えられた。

表 2-1-4-2-2 ユーカリ・グロブラスチップの前処理に関わる温度と蒸解薬品添加量の影響

温度 〔相対値〕	時間 〔相対値〕	アルカリ1 〔相対値〕	アルカリ2 〔相対値〕	液比 〔-〕	歩留り 〔相対値〕	銅価 〔相対値〕	糖化試験		糖化発酵試験
							糖濃度 C5+C6 〔相対値〕	糖化率 〔相対値〕	エタノール収量 〔相対値〕
100	100	100	100	5	100	100	100	100	100
103	100	100	100	5	93	72	108	103	95
106	100	100	100	5	87	52	115	106	99
100	100	120	100	5	98	90	100	102	99
103	100	120	100	5	96	70	109	106	102
106	100	120	100	5	86	45	114	108	96

次に、温度を固定して時間及び蒸解薬品添加量を変更した前処理試験の結果を表 2-1-4-2-3 示した。ラボ糖化試験とラボ糖化発酵試験は前述と同様の条件にて実施した。

前述の試験結果と同様に、蒸解薬品の増添は銅価の低下と糖化率の向上に寄与すると考えられた。一方、本試験の条件範囲内では、時間の延長は銅価の低下に対して大きな効果があるが、歩留りに対する影響は、温度を上昇した時と比較して影響度が少ない結果となった。温度を高くした場合は顕著な歩留りの低下を認めたが、時間の延長は歩留りの低下に対する影響度が低い。また、蒸解薬品の添加量が多い条件では、糖化率が安定して目標値以上の数値となった。

以上の試験結果から、プラント試験に供するユーカリ・グロブラスチップに関しては、相対値として温度 103~106、蒸解薬品添加量 120 の条件で糖化率がほぼ目標値を超え、高いエタノール収量が得られると考えられた。

表 2-1-4-2-3 ユーカリ・グロブラスチップの前処理に関わる時間と蒸解薬品添加量の影響

温度 〔相対値〕	時間 〔相対値〕	アルカリ1 〔相対値〕	アルカリ2 〔相対値〕	液比 〔-〕	歩留り 〔相対値〕	銅価 〔相対値〕	糖化試験		糖化発酵試験
							糖濃度 C5+C6 〔相対値〕	糖化率 〔相対値〕	エタノール収量 〔相対値〕
100	100	100	100	5	100	100	100	100	100
100	120	100	100	5	102	92	102	101	102
100	150	100	100	5	99	83	106	102	102
100	180	100	100	5	94	67	111	102	101
100	100	120	100	5	100	87	106	103	101
100	120	120	100	5	98	78	106	103	104
100	150	120	100	5	94	60	108	103	104
100	180	120	100	5	93	58	109	103	98

ユーカリ・グロブラスチップに対して実施した全ての前処理試験結果について、銅価と歩留りの関係（図 2-1-4-2-1）、銅価と糖化率の関係（図 2-1-4-2-2）を示した。

前述した試験結果から容易に推察できるように、本試験の条件範囲内において、銅価と歩留り、銅価と糖化率には明らかな相関関係が認められる。ラボ試験と異なり連続運転を行うプラント試験では試験途中の前処理原料の歩留りや糖化率を把握するのは困難かつ測定時間を要する等の問題がある。一方、銅価に関しては少量の前処理原料をサンプリングすれば

数時間で測定可能であるため、プラント前処理設備の運転管理に有効である。具体的にはカップ一価が一定の範囲に収まるように蒸解条件を制御すれば、目標値以上の糖化率でエタノール収量の高い前処理原料が得られると考えられた。

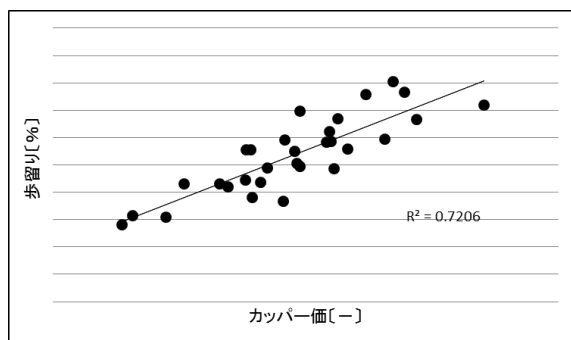


図 2-1-4-2-1 カッパー価と歩留りの関係

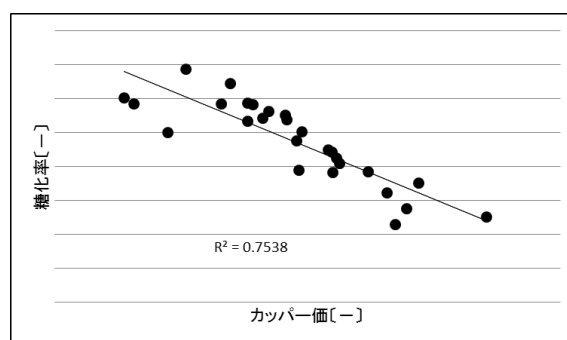


図 2-1-4-2-2 カッパー価と糖化率の関係

(結果 3)

A 国の林地残材に対して実施した前処理条件の検討結果を以下に示した。

処理温度や時間等について条件を変更して前処理試験を実施した後、リファイナーで摩砕することにより前処理原料を調製した。得られた前処理原料に対してラボ糖化試験とラボ糖化発酵試験を実施し、糖化率やエタノール収量等を評価した。糖化試験と糖化発酵試験は前述と同様の条件にて実施した。

表 2-1-4-2-4 に、蒸解薬品条件を統一し、温度、時間を変更した時の、9 通りの試験条件における前処理試験の結果を示した。

ユーカリ・グロブラスチップの前処理試験結果と同様に、A 国林地残材においても温度が高く時間が長いほど歩留りとカップ一価が低下し、糖化率が高くなる傾向が見られた。しかしながら同じ試験条件におけるチップの試験結果と比較した場合、歩留りは低く、糖化率も低いため、原料あたりのエタノール収量も低い結果となった。蒸解薬品の添加量を減添した試験も実施したが、歩留り低下の抑制に関して目立った効果はなかった。

表 2-1-4-2-4 林地残材の前処理に関わる温度と時間の影響

温度 [相対値]	時間 [相対値]	アルカリ1 [相対値]	アルカリ2 [相対値]	液比 [-]	歩留り [相対値]	カップ一価 [相対値]	糖化試験		糖化発酵試験
							糖濃度 C5+C6 [相対値]	糖化率 [相対値]	エタノール収量 [相対値]
100	100	100	100	5	100	100	100	100	100
100	150	100	100	5	97	89	108	104	104
100	200	100	100	5	89	73	112	108	98
103	100	100	100	5	85	79	111	104	92
103	150	100	100	5	83	72	119	106	93
103	200	100	100	5	79	62	122	106	92
106	100	100	100	5	79	73	118	107	95
106	150	100	100	5	76	69	119	105	89
106	200	100	100	5	72	80	119	104	84

A 国林地残材の前処理条件に関しては、歩留り低下の影響が大きくエタノール収量が低下するため、温度は上げ過ぎないほうが良い。一方で蒸解性が悪いため、糖化率を高くするには時間を長くする必要がある。アルカリ 2 添加率を変更した影響を確認することと、原料の性状に起因し

た測定データばらつき懸念があるため、温度、時間一定条件における試験を実施した。表 2-1-4-2-5 にアルカリ 2 添加率を変更した時の測定データを示した。

アルカリ 2 については歩留り、カップ一価ともに影響が無かった。糖化率目標値を達成したが、チップと比較してエタノール収量は低かった。

また、ユーカリ・グロブラスチップの試験結果と同様に、A 国林地残材を原料とした全ての試験結果についてカップ一価と歩留りの関係および歩留りと糖化率の関係を調べた。その結果、相関係数はそれぞれ $R^2=0.4499$ 、 $R^2=0.2460$ となり、チップの試験結果のような強い相関関係は見られなかった。

表 2-1-4-2-5 温度、時間一定条件における前処理データとアルカリ 2 添加率の影響

温度 〔相対値〕	時間 〔相対値〕	アルカリ1 〔相対値〕	アルカリ2 〔相対値〕	液比 〔-〕	歩留り 〔相対値〕	カップ一価 〔相対値〕	糖化試験		糖化発酵試験
							糖濃度 C5+C6 〔相対値〕	糖化率 〔相対値〕	エタノール収量 〔相対値〕
100	100	100	100	5	100	100	100	100	100
100	100	100	150	5	103	100	101	99	102
100	100	100	200	5	101	91	99	100	100
100	100	100	200	5	110	102	103	101	108

(結果 4)

広葉樹クラフトパルプ（以下 KP）に対し、ラボ糖化試験とラボ糖化発酵試験を前述と同様の条件にて実施し、NSSCP との比較を行った。ラボ評価に供した KP は、LBKP（広葉樹晒しクラフトパルプ）、LOKP（広葉樹酸素晒しクラフトパルプ）、LUKP（広葉樹未晒しクラフトパルプ）の 3 種類である。

表 2-1-4-2-6 に示した通り、エタノール収量は NSSCP と比較して若干低いですが、反応系の糖濃度と糖化率は NSSCP よりも高かった。コスト面では LBKP>>LOKP>LUKP であることから KP では LOKP、LUKP が有望であることがわかった。

表 2-1-4-2-6 各種 KP の糖化試験及び糖化発酵試験結果

パルプ種類	糖化試験		糖化発酵試験
	糖濃度 C5+C6〔相対値〕	糖化率 〔相対値〕	エタノール収量※ 〔相対値〕
NSSCP	100	100	100
LBKP	116	103	92
LOKP	113	102	95
LUKP	106	101	95

※木質バイオマスからのクラフトパルプ収率を 50%として計算

2-1-4-2b まとめ

前項に記載通り、セルロース系エタノール製造の経済性評価に用いることを目的として産地の異なる 4 種類の林地残材について前処理条件を比較検討した。その結果、A 国林地残材の糖収量が最も多く、かつ残渣量の少ない前処理原料が得られると推定できた。

また、ユーカリ・グロブラスチップと、A国の林地残材について前処理条件を検討し、それぞれの原料についてラボレベルで前処理条件を最適化した。その結果、高糖化率を維持しつつ、糖収率や脱リグニンの向上によってエタノール収率を向上させるという目標を達成した。

しかしながら、パイロットプラントでの木質バイオマス前処理においては、ラボ蒸解釜（オートクレーブ）と比較して、攪拌方法の差異、電気加温（ラボ）生蒸気吹き込み加温（パイロットプラント）による加温方法の差異、更には釜容量の大型化に伴う熱損失や温度分布の差異など、スケールアップに起因した前処理反応の差異がある。このためパイロットプラントにおける木質バイオマスの前処理では、ラボ前処理試験の結果をベースとして、温度や反応条件等を修正して前処理原料の品質を合わせ込む必要があると考えた。

2-1-4-3 有望酵素の選定

木質バイオマスからのエタノール生産を実施する上で、原料コストと酵素コストが比例費の大部分を占めることが知られている。本事業では、原料としてユーカリなど成長の早い広葉樹バイオマスを用い、前処理として中性亜硫酸セミケミカルパルプ（NSSCP）処理を行い、木質部分の柔軟化を生じさせる。次いで磨砕処理を行い、酵素糖化性を高め、糖化率目標値以上の前処理条件を見出した。

本項ではパイロットプラントでの使用を念頭に、複数の酵素を入手し、上記 NSSCP に最適な酵素の選定を実施した。

2-1-4-3 a 実施内容および成果

(方法)

市販品として入手可能なセルラーゼ酵素製剤（酵素 A、酵素 B）について、添加するタンパク量を変化させて糖化率を評価することにより、必要酵素量の検討を行った。試験条件は、基質濃度：NSSCP 所定濃度、反応容器：250mL 三角フラスコ（液量：100mL）、pH：5.0（25mM 酢酸緩衝液）、反応温度：50℃、反応時間：24 時間とし、残渣量から糖化率を算出した。

(結果)

酵素製剤（酵素 A、酵素 B）を用いた結果を以下に示す。

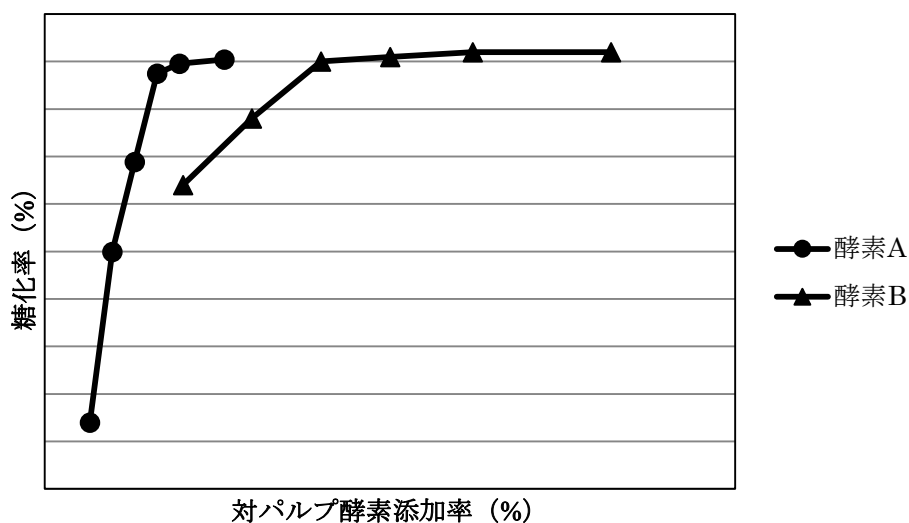


図 2-1-4-3-1 有望酵素選定試験結果

本事業で調製したパルプに対する目標以上の糖化率を提示する必要酵素量は投入酵素タンパク量で比較すると酵素 A が酵素 B の 50%程度で同等であることが認められた。

2-1-4-3 b まとめ

2種の酵素の比較検討を行い、どちらの酵素でも目標糖化率を達成した。酵素 A が酵素 B の 50%程度で同等の糖化率を示したことから、少量で目標糖化率を満たす酵素 A を選定することとした。

2-1-4-4 有望酵母の選定

本事業では「セル革事業」にて開発したキシロース資化能を付与した酵母を、中性亜硫酸セミケミカルパルプ(NSSCP)を用いた並行複発酵に供する。

一般に、酵母による発酵は、原料や前処理の影響を受けることが知られている。そこで、NSSCP に対しスクリーニングし、有望な酵母を選定した。さらに、選別した優良酵母同士を交配させ性能向上を試みた。

2-1-4-4 a 実施内容および成果

(1) NSSCP に耐性を持った醸造酵母のスクリーニング

(方法)

NSSCP を用いた並行複発酵を実施し、保有する 178 種の醸造酵母をスクリーニングした。NSSCP 耐性の指標として生菌数に着目し、エタノール生産量および生菌数が多い株の選別を試みた。試験条件は、基質濃度：NSSCP 所定濃度、酵素液量：所定量、初期酵母量： 1×10^7 個/mL、反応容器：50mL チューブ（液量：10mL）、pH：5.0（25mM 酢酸緩衝液）、反応温度：基準温度+2℃、反応時間：所定時間とした。

(結果)

スクリーニングの結果を図 2-1-4-4-1 に示すが、2-1-4-1 a に記載の「セル革事業」の「草本系事業」で開発したキシロース資化能付与醸造酵母（図 2-1-4-4-1 中の赤丸）よりも、NSSCP でのエタノール生産性、生菌数が多い酵母が複数みつかり、その中でも特に性能の優れた酵母（図 2-1-4-4-1 中の赤枠）を更なる改良に供した。

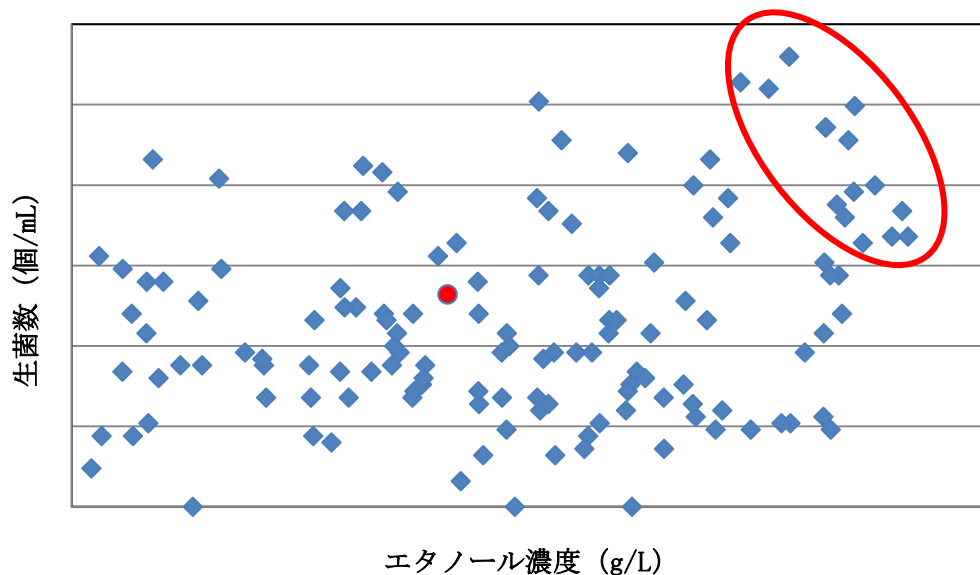


図 2-1-4-4-1 NSSCP 中でのエタノール濃度と生菌数の評価

(赤丸：セル革事業)の「草本系事業」で開発したキシロース資化能付与醸造酵母

赤枠：スクリーニングにより選んだ選別株)

(2) 選別株同士の交配による性能向上

(方法 1)

異なる性質をもつ優良株同士を交配させることで、両方の株の良い性質を継承した性能向上株を取得できる可能性がある。前項で選別した株の中で特にエタノール生産量が多い酵母と特に生菌数が多く NSSCP の発酵に適していると考えられた酵母を図 2-1-4-4-2 に示す方法にて交配させた。

通常条件下では、酵母は同一の遺伝子を二組持つ二倍体 (a/α) の状態で存在するが、胞子形成により遺伝子を一組しか持たない一倍体 (a 体または α 体) に分離する。二倍体である選別株を一倍体に分離した後、各一倍体に図 2-1-4-1-3 に記載したキシロース資化遺伝子を導入し、キシロース資化能を付与した。キシロース資化能を付与した一倍体を他の選別株由来の一倍体と交配させ、再度二倍体に戻した改良株を取得した。改良株を用いて並行複発酵によりエタノール収量を評価した。

試験条件は、基質濃度：NSSCP 所定濃度、酵素液量：所定量、初期酵母量： 1×10^7 個/mL、pH：5.0 (25mM 酢酸緩衝液)、反応容器：500mL 三角フラスコ (液量：200mL)、反応温度：基準温度、反応時間：所定時間とした。

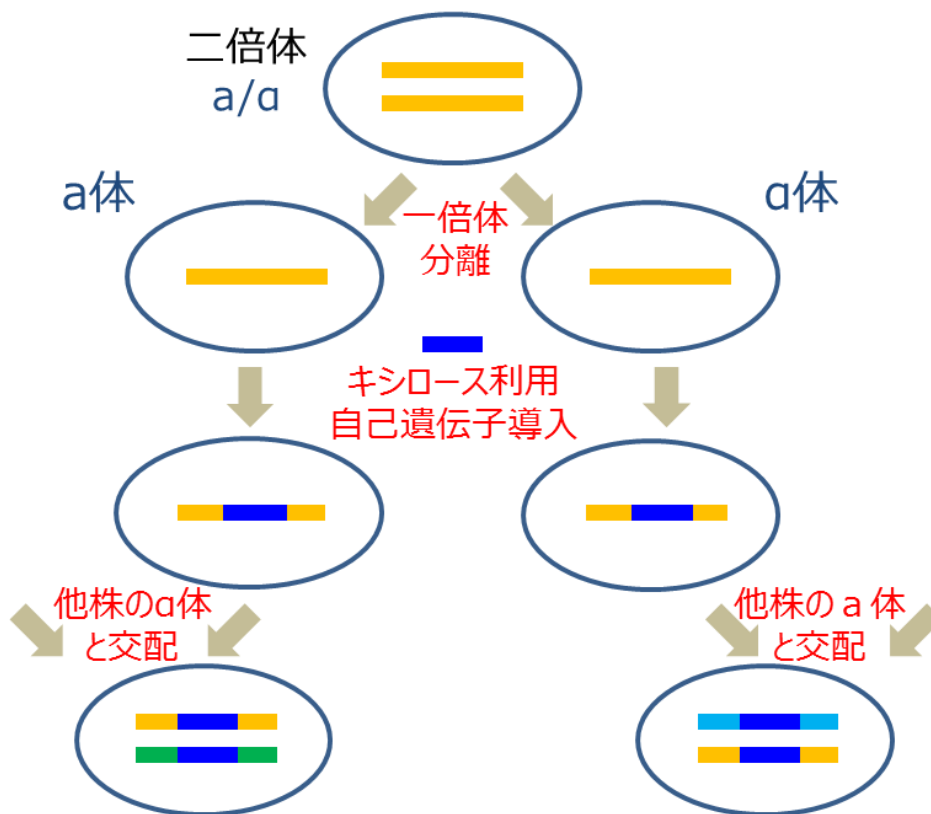


図 2-1-4-4-2 選別株の交配方法

(結果 1)

取得した改良株のエタノール生産性を評価し、性能の最も優れた株の評価結果を図 2-1-4-4-3 に示す。「セル革事業」の「草本系事業」にて開発した醸造酵母（図 2-1-4-4-3 中の従来株）に比べ、エタノール濃度およびエタノール生産速度が向上した改良株を複数取得した。また、改良株は従来株よりも生菌数が多く、NSSCP で調製した発酵液中でも良好な生育を示した。

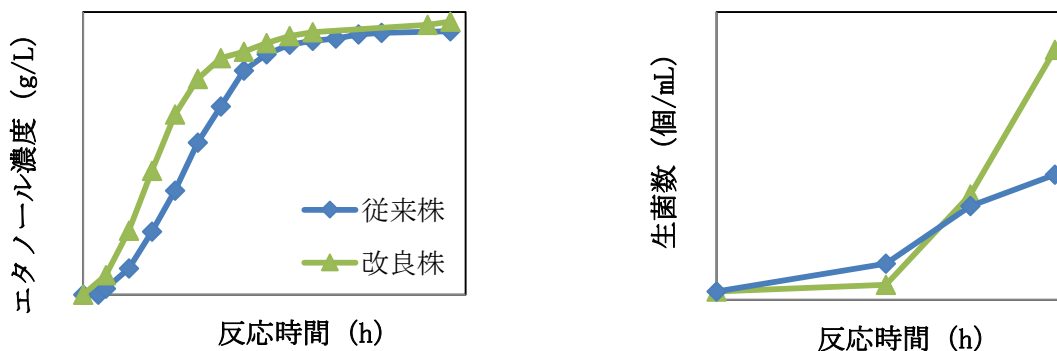


図 2-1-4-4-3 改良株のエタノール生産性および生菌数の評価

(方法 2)

取得した改良株の発酵効率を確認するため、NSSCP を用いて糖化液を調製し、発酵試験を行った。なお、選定したプロセスは並行複発酵だが、並行複発酵では発酵効率を算出できないため、逐次糖化発酵により発酵効率を確認した。

酵素糖化条件は、基質濃度：NSSCP 所定濃度、酵素液量：所定量、反応容器：500mL 三角フラス

コ (液量：200mL)、pH：4.8 (25mM 酢酸緩衝液)、反応温度：50℃、反応時間：所定時間とした。得られた糖化液を遠心分離し、上清を 0.22 μ m のフィルターでろ過し、ろ過液に酵母を植菌し発酵を開始した。

発酵条件は、初期酵母量： 1×10^7 個/mL、反応容器：50mL 三角フラスコ (液量：15mL)、pH：5.0 (25mM 酢酸緩衝液)、反応温度：基準温度、反応時間：所定時間とした。

(結果 2)

結果を図 2-1-4-4-4 に示すが、改良株は全糖を資化し、エタノールを生産した。

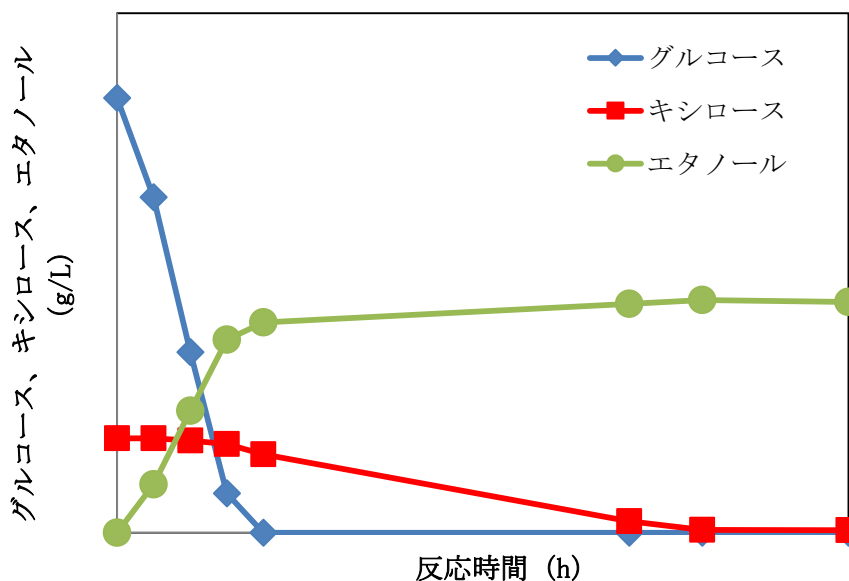


図 2-1-4-4-4 改良株の発酵効率確認結果

2-1-4-4 b まとめ

NSSCP に適性を持ち生菌数が多く、エタノール生産性も高い酵母を選別した。さらに選別株同士を交配させることで、NSSCP での並行複発酵に適した酵母を創出した。今後は、創出した酵母を変異育種し、エタノール生産性を更に向上させる予定である。

2-1-4-5 並行複発酵連続プロセスの検討

「セル革事業」の「木本系事業」において、紙パルプ製造技術を活用した NSSCP を連続的に投入しながら並行複発酵を行い、生成したエタノールを回収する連続プロセスとすることにより、設備の稼働率を高め、投入した酵素をなるべく系外に排出せず効率的に使用することでコスト削減を目指した。

2-1-4 において、逐次糖化発酵、半並行複発酵、並行複発酵の各プロセスを比較、検討した結果、並行複発酵が最適プロセスであることが確認できた。よって、本事業でも、並行複発酵を最適プロセスとして選定し、設備稼働率の向上、酵素の効率的な使用を目的として、並行複発酵の連続運転のための運転条件の最適化を検討した。

2-1-4-5 a 実施内容および成果

①中性亜硫酸処理セミケミカルパルプ (NSSCP) を用いた最適運転条件の検討

NSSCP を用いた並行複発酵連続プロセスにおいて、最適な運転条件を、ラボ試験で検討した。

(1) 通気量の検討

キシロースからのエタノール発酵では、予備検討により通気条件の影響を強く受けることが確認されている。酸素供給量が多すぎるとキシロース資化速度は速いがエタノールは生成せず、酸素供給量が少なすぎるとキシロースを資化せずにエタノールを生成しないため、最適点が存在すると考えられる。最適な酸素供給量を見出すため、発酵液への通気量を検討した。

(方法)

ジャーファメンター (容量: 1L) を用いた連続糖化発酵試験を行い、槽内エタノール濃度の変化を計測した。試験条件は、基質濃度: NSSCP 所定濃度、酵素液量: 所定量、初期酵母量: 1×10^7 個/mL、液量: 0.6L、pH: 5.0 (5N NaOH で調整)、反応温度: 基準温度とした。株は 2-1-4-4 で選定した改良株を用いた。

(結果)

図 2-1-4-5-1 に、各通気量での槽内エタノール濃度の比較結果を示す。通気量: 条件 1 では槽内エタノール濃度が低下し、通気量が過剰で糖が呼吸を通して代謝され、エタノール生産性が低下したと考えられた。通気量: 条件 2、条件 3 ではほぼ同等のエタノール濃度であった。なお、通気量は、条件 1 > 条件 2 > 条件 3 である。

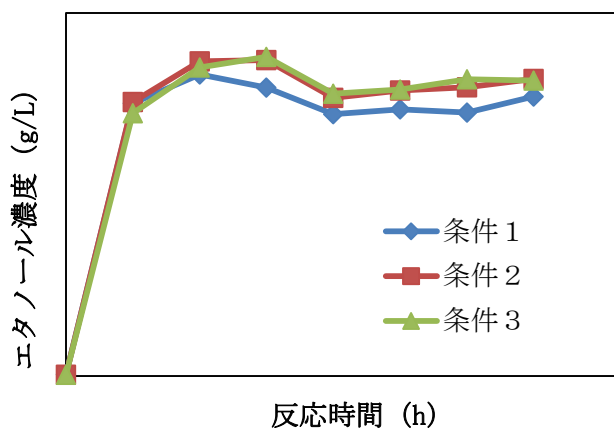


図 2-1-4-5-1 各通気量での槽内エタノール濃度の比較

(2) 温度の検討

酵素糖化の最適温度は 50°C で、酵母による発酵の最適温度は $25 \sim 30^{\circ}\text{C}$ であり両者の最適温度は異なる。酵素糖化の最適温度 50°C では酵母が死滅するため、糖化と発酵を同時に行う並行複発酵に適した温度が存在すると考えられる。 30°C 以上 50°C 未満の温度域で最適な反応温度を検討した。

(方法)

各温度 (基準温度 -3°C 、基準温度、基準温度 $+2^{\circ}\text{C}$ 、基準温度 $+4^{\circ}\text{C}$) での糖化発酵試験を実施し、エタノール濃度の経時変化を測定した。

試験条件は、基質濃度: NSSCP 所定濃度、酵素液量: 所定量、初期酵母量: 1×10^7 個/mL、反

応容器：500mL 三角フラスコ（液量 200mL）、pH：4.8、反応時間：所定時間とした。株は 2-1-4-4 で選定した選定株を用いた。

（結果）

基準温度、基準温度+2°Cにおいてエタノール濃度は高く、基準温度-3°C、基準温度+4°Cにおいてエタノール濃度はやや低い結果となった。基準温度、基準温度+2°Cのどちらを最適な反応温度とするかは、長期運転試験（後述）にて引き続き検討することとした。

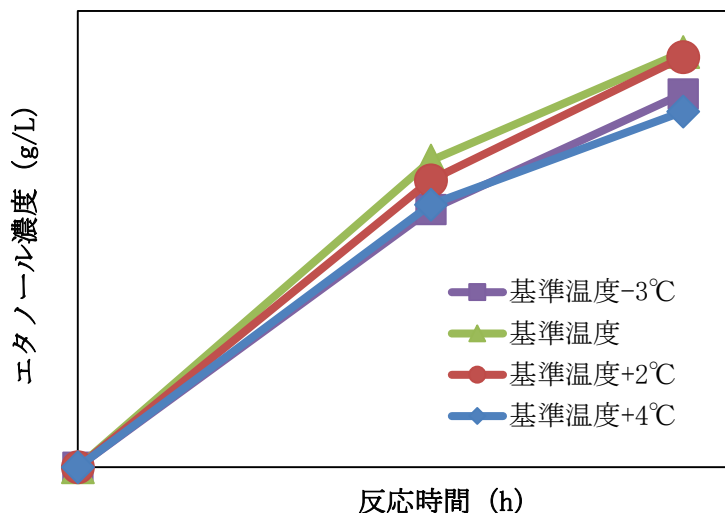


図 2-1-4-5-2 各温度での槽内エタノール濃度の比較

（3）必要酵素量検討

本事業で作製した NSSCP に対して前項で選定した酵素 A を用いて、必要酵素量の検討を実施した。

（方法）

反応系 100g、基質濃度：NSSCP 所定濃度、pH：4.8（50mM クエン酸バッファー）、酵素液量：所定量、反応温度：基準温度+2°C、初期酵母量： 1×10^7 個/mL、反応時間：所定時間とした。分析は HPLC を用いて各種成分を評価した。

（結果）

NSSCP を用いて酵素添加量を短期の連続並行複発酵試験にて評価した結果を図 2-1-4-5-3 に示す。一定の酵素添加率以上で目標のエタノール収量を達成した。

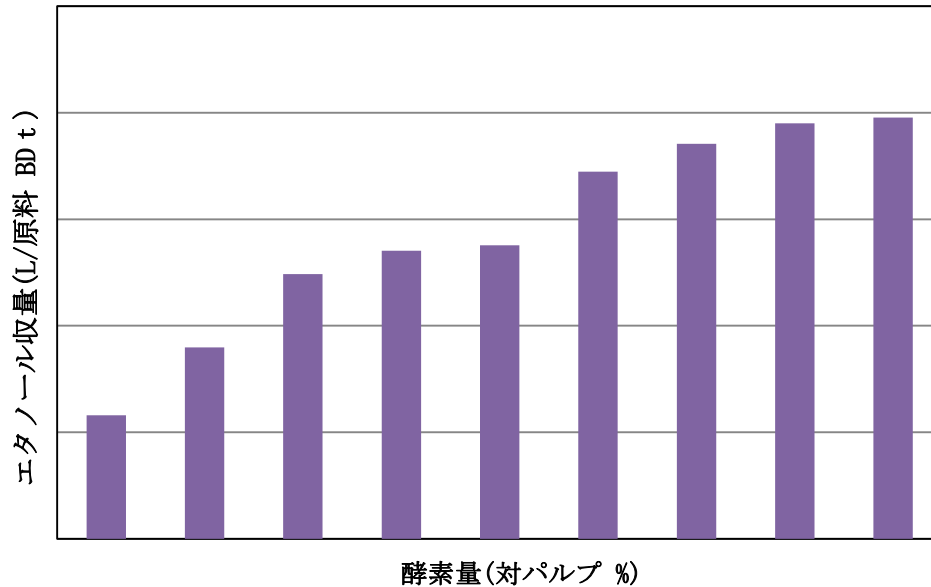


図 2-1-4-5-3 NSSCP での酵素添加量検討試験結果

(4) 長期連続並行複発酵運転評価

上記の試験結果を基に各条件での長期連続並行複発酵試験を実施し、各条件の最適組合せを検討した。

(方法)

ジャーファメンター（容量：3L）を用いた連続並行複発酵試験を実施した。試験条件は、基質濃度：NSSCP 所定濃度、酵素液量：所定量、初期酵母量： 1×10^7 個/mL、pH：4.8（5N NaOH で調整）、反応温度：基準温度、基準温度+2°C、通気量：所定量、とした。株は 2-1-4-4 で選定した改良株を用いた。

(結果)

結果を表 2-1-4-5-1 に示すが、No. 2 の条件が、エタノール収量が高く、必要酵素量が少なかった。反応温度は基準温度と基準温度+2°C で明確な差異はなく、酵母の性状がより安定な基準温度を選択した。本条件を、パイロットプラント運転条件のベースとした。

表 2-1-4-5-1 NSSCP での長期連続並行複発酵試験結果

	試験条件			試験結果	
	温度	パルプ濃度 (相対値)	酵素量 (相対値)	連続運転期間 (相対値)	エタノール収量 (相対値)
1	基準温度	100	100	100	100
2	基準温度	100	150	125	105
3	基準温度	100	200	126	104
4	基準温度 +2°C	100	150	117	103

②クラフトパルプ (KP) を用いた運転条件検討

(1) 必要酵素量検討

LOKP (広葉樹酸素晒しクラフトパルプ) に対して前項で選定した酵素 A を用いて、必要酵素量の検討を実施した。

(方法)

反応系 100g、基質濃度：LOKP 所定濃度、pH：4.8 (50mM クエン酸バッファー)、酵素液量：所定量、反応温度：基準温度+2°C、初期酵母量： 1×10^7 個/mL、反応時間：所定時間とした。各種成分の分析には、HPLC を用いた。

(結果)

各酵素添加量におけるエタノール収量を短期糖化発酵試験にて評価した結果について図 2-1-4-5-4 に示す。一定以上の酵素添加率で最大のエタノール収量を達成した。

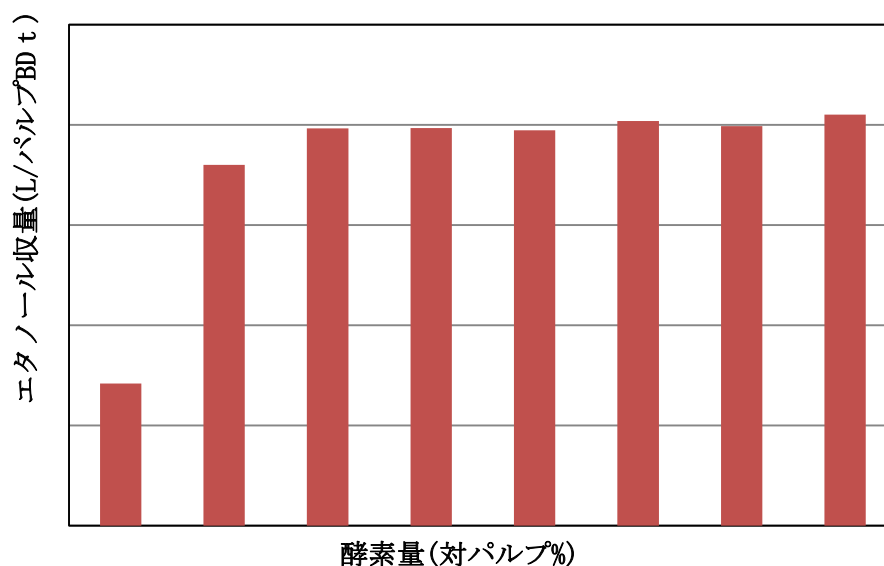


図 2-1-4-5-4 KP での酵素添加量検討結果

(2) 長期連続並行複発酵評価

(方法)

長期連続並行複発酵試験を実施した。条件は表 2-1-4-5-4 の No. 2 の条件とした。ジャーファーマンター：1L、基質濃度：NSSCP 所定濃度、LOKP 所定濃度、酵素液量：所定量、初期酵母量： 1×10^7 個/mL、pH：4.8 (5N NaOH で調整)、反応温度：基準温度、通気量：所定量。株は 2-1-4-4 で選定した改良株を用いた。

(結果)

試験結果を表 2-1-4-5-2 に示す。LOKP は NSSCP よりエタノール収量を長期間一定値以上に保つことができた。

表 2-1-4-5-2 NSSCP と KP との長期連続並行複発酵試験結果の比較

パルプ種類	連続運転 期間*(相対値)	エタノール収量 (相対値)
中性亜硫酸処理セミケ ミカルパルプ(NSSCP)	100	100
クラフトパルプ(LOKP)	183	104**

*エタノール収量が低下し始めるまでの期間

**歩留り=50%として算出

2-1-4-5 b まとめ

ラボでジャーフェンターを用いて反応温度、通気量、酵素添加量を検討し、NSSCPでの長期運転試験の試験条件を決定した。その後の長期運転評価において、エタノール収量が高く、必要酵素量が少ない条件を見出した。さらに、クラフトパルプでの必要酵素量検討を行い、一定以上の酵素添加率で最大のエタノール収量が得られることを確認した。

2-1-5 パイロットプラント

前処理設備については、木本系事業で得られた成果を元に前処理設備の改造を行った。

糖化発酵設備については系内に蓄積する残渣を排出しない残渣全循環フローと一部残渣を排出するフローの2つのフローが検証可能なパイロットプラントとして設計、建設を行った。

2-1-5-1 パイロットプラント概要

以下に建設したパイロットプラントの概要を示す。

- ・設置場所：王子HD呉敷地
- ・処理能力：木本系バイオマス 1原料 BDt/day
- ・製品：エタノール
- ・仕様：前処理設備^{注)}及び上記2つのフローが検証可能な糖化発酵設備及びエタノール蒸留設備

注)前処理設備：「セル革事業」からの共用替え

表 2-1-5-1-1 主要設備の設計基準

主要設備	設計基準
前処理設備	原料払い出し：原料の形状の変化に対応した設備 メカノケミカルパルピング処理：「木本系事業」よりも厳しい条件で処理可能な設備 洗浄・殺菌：「木本系事業」から更に雑菌汚染対策を強化した設備
糖化・発酵槽	2槽直列の反応槽 第一槽：高原料濃度での攪拌糖化が可能な構造
エタノール蒸留・ 酵素回収設備	酵素変性のない40℃以下で、発酵液から酵素水溶液を回収する濃縮塔、エタノール濃度を90vol%以上に濃縮を可能とする精留塔

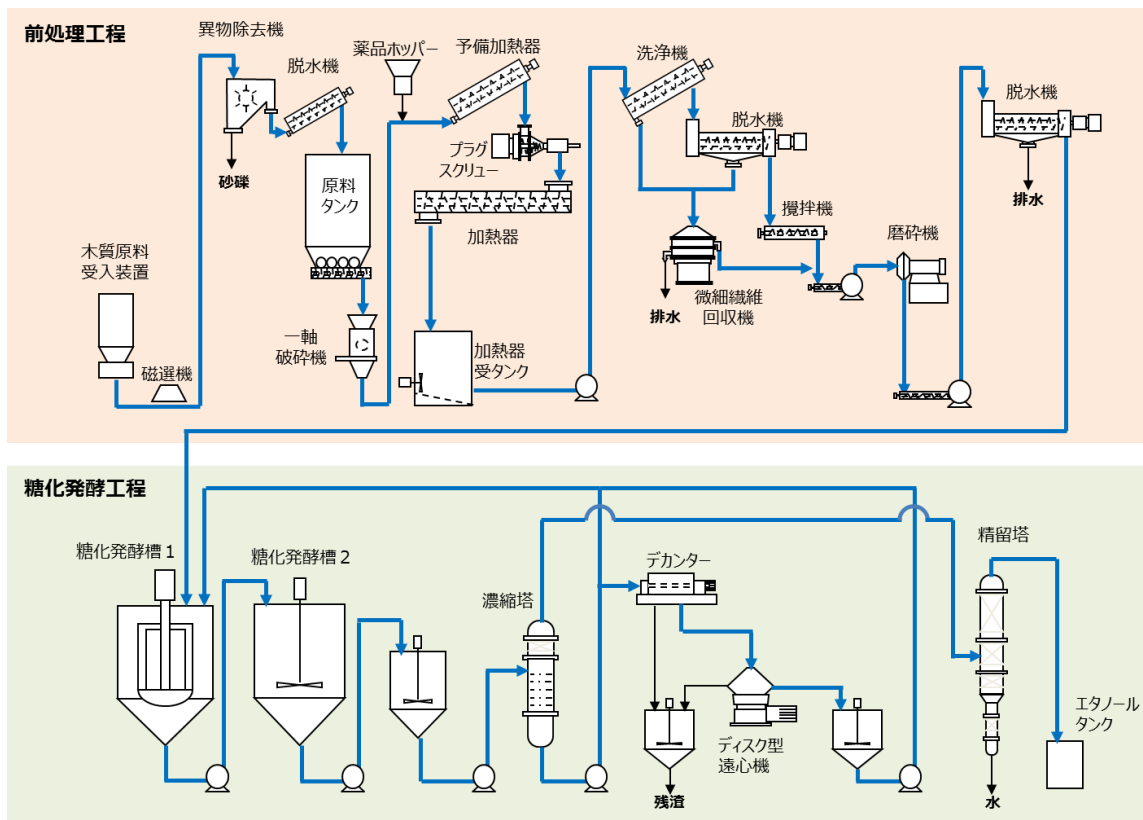


図 2-1-5-1-1 パイロットプラントフロー図

「木本系事業」におけるパイロットプラント評価では、糖化発酵及び酵素回収の設備はアルカリ溶液による洗浄及び加圧とされない範囲での蒸気の吹き込みが可能な設備であったが、酵素回収設備は外気との接触が不可避であり雑菌の混入に対する対策が十分でなかったため、雑菌汚染の影響によりデータ取得が困難となり大量の抗菌剤を使用してデータを取得した。

しかしながら、「木本系事業」における抗菌剤の使用量は大幅なコストアップとなるため、実事業時への使用は困難であると考えられることから、雑菌混入対策として、糖化発酵設備を食品製造レベルの装置仕様とした。

一方で事業時にこれら全てを満たすスペックで設備を作る事はコストアップにつながり、難しいことからプロセス、フローを決定後、必要最小限のスペックの設備を設定した。

2-1-5-2 パイロットプラント運転

パイロットプラント運転では前処理試験と、前処理、糖化発酵を含むエタノールの一貫製造試験を行った。

2-1-5-2 a 実施内容および成果

(前処理試験)

(方法)

原料タンクからユーカリ・グロブラスチップを連続的に一定量切り出し、加熱器に移送する。加熱器内に移送される前に所定量のアルカリと水を加え、薬品濃度と液比を整えた。加熱器内は蒸気で温度コントロールされており、所定温度、所定時間反応後、排出される。排出された原料

はドレーナーで洗浄後、スクリープレスで脱水され、リファイナーで磨砕される。その後再度スクリープレスにより脱水されて前処理が終了する。

回収した前処理サンプルの歩留り、カップー価等を測定し、ラボ酵素糖化試験あるいはラボ糖化発酵試験を実施して、溶出糖濃度やSS濃度、エタノール濃度等を測定することにより前処理条件の評価をした。

(結果)

2-1-4-2で行った前処理の検討を元に、プラントで行った前処理試験結果を以下に示した。プラント試験ではラボ試験と同等条件では糖化率が低い傾向が見られた。温度を上昇させることで糖化率目標を達成したが、歩留りが著しく低下し、糖化試験から得られた木質バイオマス当たりの推定エタノール収量は下がる傾向が見られた。

表 2-1-5-2-1 プラント前処理試験結果

試験番号	温度 (相対値)	時間 (相対値)	アルカリ (相対値)	歩留り (相対値)	カップー価 (相対値)	糖化試験			糖化発酵試験
						糖濃度 C5+C6 (相対値)	糖化率 (相対値)	推定EtOH収量 (相対値)	EtOH収量 (相対値)
1	100	100	100	100	100	100	100	100	
2	100	80	100	99	97	101	100	100	
3	100	80	100	97	92	104	100	101	
4	100	80	117	89	105	103	100	91	
5	97	80	100	118	174	88	91	103	100
6	97	100	100	116	136	95	95	110	103
7	97	120	100	111	130	94	95	105	98
8	99	80	100	112	136	94	95	105	100
9	97	100	100	112	161	94	92	105	102
10	97	120	100	112	146	95	94	105	102

(糖化発酵試験)

(方法)

前述の前処理方法で作製したパルプを糖化発酵設備に投入し、並行複発酵プロセスで連続的に蒸留を行い、糖化発酵残渣は全量を糖化発酵槽に戻す「残渣全循環フロー」と一部を排出する「残渣一部排出フロー」で試験を行った。

定期的にサンプリングを行い、エタノール濃度、SS濃度等を測定し、木質バイオマス当たりのエタノール収量を算出することで評価を行った。

(結果)

糖化発酵試験結果のまとめ及び代表的な運転状況を以下に示した。「木本系事業」では雑菌汚染により、大量の抗菌剤を加えた試験以外はほとんどの場合、短期間の連続運転しかできなかったが、本事業では最小限の抗菌剤の使用で20日間の連続運転を達成することができた。

エタノール収量の目標は、残渣全循環フローと残渣一部排出フローの両フローで達成できた。図2-1-5-2-1にRun 8の結果を示す。

表 2-1-5-2-2 プラント糖化発酵試験結果

Run	フロー	運転目的	運転結果
1-5	残渣全循環 & 残渣排出	残渣全循環&残渣排出フローの検証/比較 ⇒連続並行複発酵プロセスの検証	連続プロセス検証 残渣全循環を採用
6-7	残渣全循環	酵素使用量の最適化検討	必要酵素量の決定
8	残渣全循環	長期連続運転	目標エタノール収量達成 連続運転日数達成

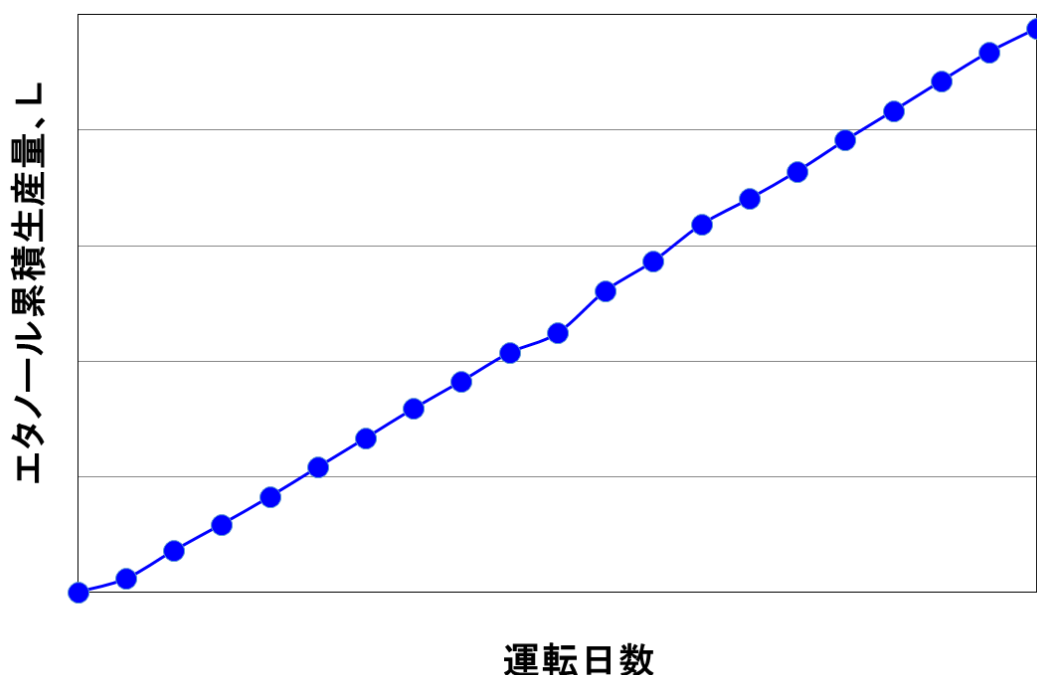


図 2-1-5-2-1 プラント運転状況 (Run8)

2-1-5-2 b まとめ

パイロットプラントにて前処理試験の検討を行い、目的とするエタノール収量が得られることを確認した。

本条件にて糖化発酵工程も含めたパイロットプラント運転を実施したところ、目標エタノール収量と必要最小限の抗菌剤添加により連続運転日数は 20 日間を達成することが出来た。

2-1-6 スケールアップ事前検討

商業化を前提とした生産プロセス確立において、プレ商業機(1 万 kL/年製造規模)での実証の必要性について検証する。

2-1-6 a 実施内容および成果

商業機で想定している製造フローの概略を図 2-1-6-3-1 に示す。以下の各工程において、プレ商業機の検証必要性について、要否判定を行った。検討結果を表 2-1-6-3-1 に示す。

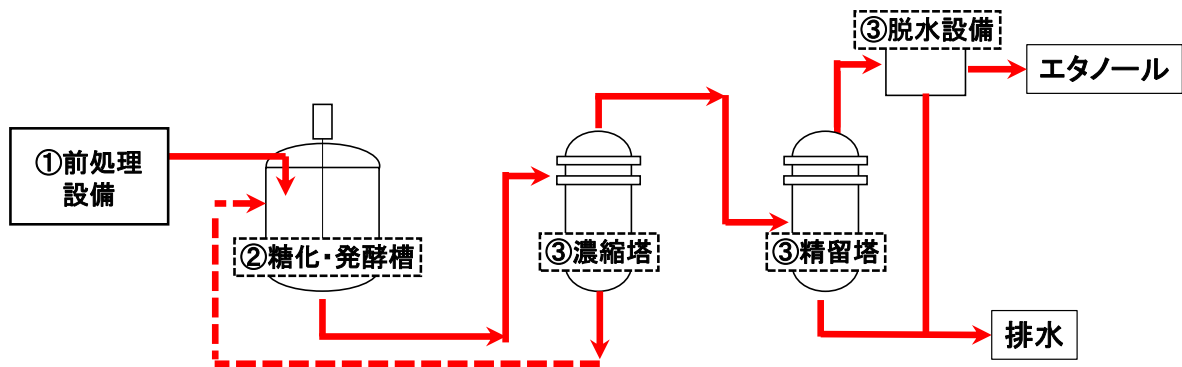


図 2-1-6-3-1 商業機の想定製造フロー

概略

表 2-1-6-3-1 検証要否判定結果

工程	要否判定	判定理由
①前処理	不要	パイロットプラントで十分な設計データを得た。大型化は既存設備にて類似の事例が多数あり対応可能。
②糖化・発酵	プレ商業機での実証は不要 小規模(数 m ³)での糖化発酵槽の追加検証必要	商用機仕様に即した糖化発酵設備の検証が必要。
③蒸留・脱水	不要	パイロットプラントで十分な設計データを得た。大型化は既存設備にて類似の事例が多数あり対応可能。

2-1-6 b まとめ

以上の検討結果から、プレ商業機(1万 kL/年製造規模)での実証は不要であるが、小規模(数 m³)での糖化発酵槽の追加検証は必要と判断した。

2-1-7 事業性評価

各研究開発項目で得られたデータをもとに、エタノール生産コストの評価を実施するとともに、ライフサイクル評価を実施し、バイオ燃料に必要な要件である持続可能性基準に対する到達度を検証した。その結果を踏まえ、セルロース系エタノールの原料調達からエタノール生産、日本への供給までの全工程を対象とした事業性評価を実施した。

2-1-7-1 原料評価

製紙会社の海外事業植林地で生産されている木質バイオマスを前提として、セルロース系のエタノール製造の原料となる木材チップ、林地残材、工場残材について、収集ポテンシャルとコストを調査した。この調査により、セルロース系原料の選定、モデル候補地の選定、原料コストの見積もりを行った。

2-1-7-1 a 実施内容および成果

① 原料調達候補地の調査

モデルサイトの候補地となるA国、B国、C国、D国の林地残材、工場残材と木材チップを成分分析して、表2-1-7-1-1に示す結果を得た。木材チップと比較して林地残材では糖質（セルロース、ヘミセルロース）含量は9～20%程度低いことが明らかになった。一方、林地残材ではA国の林地残材が最も高い糖質含量が得られた。

表2-1-7-1-1 サンプルの成分分析結果

	セルロース (%)	ヘミセルロース (%)	糖質小計 (%)	リグニン (%)	抽出成分 (%)	灰分 (%)
木材チップ (A国)	49.6	25.5	75.1	26.7	1.1	0.3
林地残材 (A国)	43.6	22.6	66.2	25.5	5.1	1.8
工場残材 (A国)	46.7	19.7	66.4	25.2	2.3	4.7
木材チップ (B国)	50.8	24.2	75.0	32.1	0.8	0.1
林地残材 (B国)	43.1	11.8	54.9	31.0	12.4	4.2
工場残材 (B国)	47.3	15.5	62.8	27.1	3.5	7.0
木材チップ (C国)	49.0	25.0	74.0	26.8	2.2	0.4
林地残材 (C国)	47.9	14.6	62.5	32.4	2.3	2.5
木材チップ (D国)	48.9	28.5	77.4	24.2	0.4	0.5
林地残材 (D国)	41.2	16.8	58.0	27.0	9.7	4.7

② 収集可能量および施業方法の調査

植林地単位面積あたりの林地残材収集量と、林地残材単位重量あたりの収集コストを算出することを目的として、A国にてトライアルテストを実施した（コストについては次項に記載）。

トライアルテストは図2-1-7-1-1に示すように、ミニスキッターにて、植林地に残存する林地残材を収集し、植林地内で木材破砕機にて破砕し、トラックで輸送するスキームで収集した。収集した林地残材重量を測定し、試験地の面積から単位面積あたりの収集量を算出した。

トライアルテストは収集量を重視した第1回トライアルテストと、収集効率を重視した第2回トライアルテストを実施しており、2カ所の試験地（それぞれ0.5ha程度）を設定してテストを実施した。

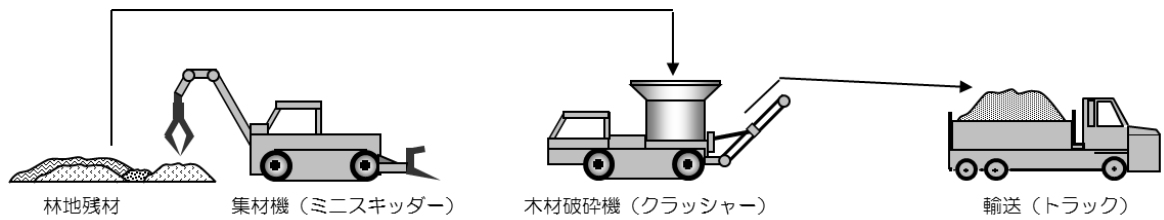


図 2-1-7-1-1 トライアルテストスキーム



写真 2-1-7-1-2 ミニスキッダー

写真 2-1-7-1-3 木材破砕機および輸送トラック

③ 林地残材による原料調達コスト

A国でのトライアルテスト(林地残材収集試験)結果から機械装置の償却を含むコストを試算した(表2-1-7-1-3)。2回のトライアルテストにより、収集工程、輸送工程を効率化して、原料調達コストを削減することができた。原料を林地残材にすることにより、一般的な木材チップより安価に入手できることが明らかになった。

表2-1-7-1-3 収集コスト試算 (相対値)

作業工程	詳細作業	第1回トライアル	第2回トライアル
収集	集材(原木集材機)	41	31
破砕・積込	破砕+積込	4	3
	集材・破砕補助	3	3
輸送	輸送(林地内)	11	4
	輸送(林地～工場)	25	21
	工場荷下	2	2
その他	施肥	14	14
合計		100	80

トライアルテストで得られた林地残材サンプルの組成分析をセルロース、ホロセルロースは亜塩素酸法、リグニンはクラソン法、抽出成分はアルコールベンゼン抽出、灰分は乾式灰化(525℃ 240分)で測定して、表2-1-7-1-4に示す結果を得た。A国で入手した林地残材サンプルは、木材チップと同程度の成分を有することが明らかになった。

表 2-1-7-1-4 トライアルテストサンプルの成分分析結果

林地残材 (A 国)	セルロース (%)	ヘミセルロース (%)	糖質小計 (%)	リグニン (%)	抽出成分 (%)	灰分 (%)
第 1 回トライアル n=1	55.0	17.1	72.1	25.4	3.1	2.6
第 1 回トライアル n=2	55.3	15.1	70.4	25.9	4.7	3.1
第 1 回トライアル n=3	53.4	15.4	68.8	26.5	4.0	3.9
第 1 回トライアル平均	53.9 (1.0)	15.9 (1.1)	69.8 (2.0)	25.9 (0.6)	3.9 (0.8)	3.2 (0.7)
第 2 回トライアル n=1	56.5	14.6	71.1	27.5	1.3	2.0
第 2 回トライアル n=2	57.6	13.5	71.1	27.2	1.5	2.1
第 2 回トライアル平均	57.1 (0.8)	14.1 (0.8)	71.1 (0.0)	27.4 (0.2)	1.4 (0.1)	2.1 (0.1)
トライアル平均	55.2 (1.9)	15.1 (1.3)	70.3 (1.6)	26.5 (0.9)	2.9 (1.5)	2.7 (0.8)

※ 括弧内は標準偏差

④コスト評価およびエネルギー・薬品原単位の算出

2015 年度（第 1 回）と 2016 年度（第 2 回）に実施したトライアルテスト結果より、残材収集および追加施肥作業に必要な燃料消費量を算出した（表 2-1-7-1-5）。第 2 回トライアルテストでは、収集効率と林地内輸送効率が向上したことにより、燃料消費量は 90%に低減した。

表 2-1-7-1-5 残材収集および追加施肥作業に必要な燃料消費量（相対値）

	収集	破碎	輸送	回送	追加施肥	合計
第 1 回トライアル	48	6	40	1	5	100
第 2 回トライアル	42	5	35	2	7	90

2-1-7-1 b まとめ

セルロース系エタノール製造の原料として、木材チップ、林地残材、工場残材について成分分析を行ったところ、木材チップと比較して、安価に入手できると期待される林地残材は、発酵原料となる糖質（セルロース、ヘミセルロース）含量が木材チップより 9~20%程度低いことが明らかになった。しかし、A 国の林地残材は他国の林地残材より糖質含量が高いことも判明した。

林地残材の単位面積あたりの収集可能量、収集コスト、収集・輸送等に必要となる燃料消費量の算出を行った。

2-1-7-2 モデルサイト選定

商業化を前提に原料栽培の候補地から、エタノール製造工場設置サイト候補を選定する。基本方針としては、原料の栽培、収集・輸送のインフラを活用できる既存事業植林地近傍もしくは、エタノール製造工場のエネルギー回収設備と薬品回収設備が共用化できる既存パルプ工場隣接を

考慮して、海外と国内でモデルサイトを選定した。

2-1-7-2 a 実施内容および成果

王子HD海外植林地をベースとする原料調達の可能性を表 2-1-6-2-1 にまとめた。A 国は、大量の林地残材が発生する可能性があり、また、エタノール製造工場に必要なエネルギー回収設備と薬品回収設備を供給できることから、海外でのモデルサイトの最有力候補と考えた。

表 2-1-7-2-1 王子HD海外植林地をベースとするモデルサイトの可能性評価

対象国	植林面積(相対値)	
	王子HD (2014/3末)	周辺 (推定)
A	100	-
B	7	181

一方、海外より木材チップを輸入してエタノールを製造する国内ケースが考えられ、国内製紙工場を活用する検討として、広葉樹パルプ/針葉樹パルプ/林地残材の供給可能量と原料コストを試算した(表 2-1-7-2-2)。その結果、広葉樹パルプや針葉樹パルプを利用することで原料費が日本国内で林地残材を利用する場合と比較して半分以下となることが判明した。

表 2-1-7-2-2 国内製紙工場活用時の供給可能量/エタノール生産量/原料コスト

バイオマス 種類	供給可能量 相対値	エタノール 生産量 相対値	原料単価 相対値	原料コスト 相対値
広葉樹 パルプ (東南アジア/ 豪州チップ由来)	100	100~104	100~120	100~124
針葉樹 パルプ (北米由来)	100	100~104	100~120	100~124
林地残材 (A 国)	195~365	101~162	73~123	172~291

2-1-7-2 b まとめ

- ・海外および国内のモデルサイトで原料費の算出を行った

2-1-7-3 生産コスト

上述の検討で選定したモデルサイトに建設可能な商業設備の規模を想定し、商業設備の設備費を見積もるとともに、原料費や運転費等々の変動費も積算しセルロースエタノールの生産コストを算出した。

2-1-7-3 a 実施内容および成果

① プロセス性能

商業設備設計に際し、上述の原料供給可能量を鑑みて、製造規模としては10万 kL/年を設定し、マテリアルバランスおよびProcess Flow Diagramについて検討し、以下の検討を実施した。

② エタノール製造工場建設費（設備費）

①で検討した前提に従い、必要な機器仕様およびプロットプランを検討し概略設計および概略建設費の算出を実施した。また、必要な機器仕様を鑑みた上で、既存パルプ工場と共用可能な設備を検証し、“A国ケース”と“日本ケース”の両ケースにおける必要設備を整理した上で、各ケースにおける工場建設費を算出した。（表 2-1-7-3-1）

表 2-1-7-3-1 商業設備(10万 kL/年製造規模)建設費積算表（○が新設必要設備）

設備区分	A国 ケース	日本 ケース
蒸解/洗浄/リファイナー	○	既設利用
アルカリ薬品回収設備	○	既設利用
エバポレーター/黒液ボイラー/発電機	既設利用	既設利用
糖化・発酵	○	○
濃縮・蒸留・脱水	○	○
陸上出荷	○	(不要)
排水処理	○	○
その他(培養設備/冷却水設備)	○	○

③ 変動費

（原料費）

原料評価結果およびパイロットプラント運転実績より、原料費を算出した。

（薬品費）

ラボ/パイロットでの糖化・発酵反応検証結果より、必要な薬品使用量(酵素使用量/他薬品)を算出し、薬品費を算出した。

（用益費）

上記検討で導出した機器の仕様・基数等およびパイロットプラントでの実績も参考にスケールアップの影響も考慮して必要用役使用量を想定し、これらの供給形態（工場内自給部と電力・燃料の外部購入部 等）に基づいて必要なユーティリティ費用を算出した。

（その他）

モデルサイトの立地条件（国・地域 等）を踏まえて、土地代や人件費等を想定し、エタノールコストに必要となる費用を導出した。

④ セルロース系エタノール生産コストの積算

上述の①-③の検討結果をもとに、エタノール生産に必要な設備費・運転費用等の積算を実施した。

⑤ 物流評価

セルロース系エタノールの日本着コストを評価する上では“A国ケース”では、A国から日本までの運搬費用にかかる下記の項目について調査を実施した。

- ✓ A国国内エタノール製造工場出荷から港湾までの陸上輸送（ローリー）
- ✓ A国の港湾から日本までの海上輸送（ケミカルタンカー）

⑥ セルロースエタノール日本着コストの積算

④と⑤の結果を踏まえ、A国ケースと日本ケースの両ケースにおけるセルロース系エタノールの日本着コストを算出した。

2-1-7-3b まとめ

“A国ケース”と”日本ケース”における日本着コストは遜色ない結果と推算された。また、両ケースともに、本事業で設定した目標である「持続可能性基準適合輸入エタノール日本着価格」を下回ることを確認した。

2-1-7-4 ライフサイクル評価

環境対策としてのバイオ燃料の市場導入にあたっては、実効的な GHG 削減効果と一定以上の化石エネルギー収支が求められる。本事業では、GHG 削減効果についてはエネルギー供給構造高度化法で求められるガソリン比 50%以上、化石エネルギー収支については NEDO 事業目標である 2 以上の達成度について検証した。

2-1-7-4 a 実施内容および成果

① GHG 削減効果/エネルギー収支

原材料・燃料等の使用に伴う環境負荷（ここでは一貫生産システムから外部（大気）への GHG 排出量及び化石エネルギー資源投入量）を、資源採掘から最終消費までのライフサイクル全体で評価した。本検討の際には、木本バイオマス中の不要成分の有効活用、特にパルプ工場隣接の場合には当該工場からの回収エネルギー（残渣リグニン・黒液等）の有効活用を前提とした。

ガソリンのライフサイクル GHG 排出量(81.7gCO₂/MJ)と比較した GHG 削減率はいずれのケースにおいても 50%以上であり、目標を達成していることを確認した。

また、エタノールの高位発熱量(23.8MJ/L)から算出したエネルギー収支においても両ケースとも本事業の目標である“エネルギー収支 2 以上”を達成した。

2-1-7-4 b まとめ

本事業で技術確立したセルロース系エタノールの一貫生産システムを前提とし、バイオマス原料調達から製品エタノールの日本への供給までの全工程における GHG 排出量およびエネルギー収支を試算したところ、本事業の目標である GHG 削減率 50%以上およびエネルギー収支 2 以上を達成見込みであることを確認した。

2-1-8 総括

本事業では、日本の持続可能性基準に適合するセルロース系エタノールの商用生産を目指し、複数の要素技術（前処理・糖化・発酵・酵素回収の各プロセス及び原料、酵素、発酵菌株等）について、実験室及びパイロットプラントにて組合せ評価を実施した。その結果として、最適組合せを選定し、運転条件及び装置組合せを最適化することによりパイロットプラントレベルでの技術確立を達成した。

また、本事業にて技術確立した一貫生産システムを前提とする、セルロース系エタノールのピ

ジネスモデルを設定し、コストおよび GHG 排出量/エネルギー収支の積算を実施し、いずれも本事業の目標を達成見込みであることを確認した。また、本事業性評価の一環として、商業化技術完成におけるスケールアッププラントでの検証の必要性について検証した。

2-2 パルプを用いた水蒸気爆砕法によるバイオエタノール生産に関する技術開発および事業性評価

2-2-1 研究開発の概要

第二世代バイオエタノール事業を成立させるためには、原料が安定かつ安価であることが重要である。そのような条件を満たす原料として、製紙産業から一定量発生する廃パルプが挙げられる。この廃パルプを基軸として、地域で発生する多様なセルロース系バイオマスを経済的にエタノール原料として利用できれば、スケールメリットを活かすこと、事業の安定性を向上させることが可能となる。前処理技術は汎用性の高い連続水蒸気爆砕装置を採用した。各種爆砕処理物をそれぞれに適した自製酵素カクテルで糖化させ、C5C6 糖資化性酵母でエタノール発酵させる。多様なセルロース系廃棄物を原料として、前処理、酵素糖化、エタノール発酵、固液分離などの技術組合せを選定し、化石エネルギー収支 2.0 以上、GHG 削減効果 50%以上、エタノール生産コスト 70 円/L 未満を満たすエタノール製造システムの可能性をパイロットプラントで実証する。

2-2-2 研究開発項目

第二世代バイオエタノール製造システムにおける要素技術は、主に前処理技術、酵素糖化技術、エタノール発酵技術の三種類に分類される。本研究開発では糖化・発酵工程を分離した SHF (Separate Hydrolysis and Fermentation) プロセスを採用した。以下に各要素技術の研究開発項目を概説する。

1) 水蒸気爆砕 (BITS、三友プラントサービス)

廃パルプ、廃菌床、コーヒー粕などの地域で発生するセルロース系バイオマスに対する水蒸気爆砕処理の効果を検証し、各種原料の最適爆砕条件を明らかにする。

2) 酵素糖化

2)-1 自製酵素カクテル (BITS、信州大学)

NEDO 有用要素技術開発「可溶性糖質源培養による木質系バイオマス由来パルプ分解用酵素生産の研究開発」にて自製酵素カクテル製造技術が開発された。当該 PJ で得られた成果をパイロットプラントに適用し、自製酵素カクテルによって各種爆砕物を糖化できることを検証し、自製酵素カクテルによる酵素費削減効果を明らかにする。

2)-2 糖化促進添加剤 (BITS、日揮)

NEDO 有用要素技術開発「有用微生物を用いた発酵生産技術の開発」において、糖化促進添加剤による酵素添加量削減効果が確認された。当該 PJ で得られた成果を本研究開発事業に適用し、各種爆砕物における対する糖化促進添加剤による酵素費削減効果を明らかにする。

2)-3 コンタミ抑制剤 (BITS)

爆砕処理物の糖化反応時に危惧されるコンタミネーション抑制技術を確立する。

3) エタノール発酵

セルロース系バイオマス糖化液に含まれる C5 糖を効率的にエタノール変換し、バイオマス糖化液に含まれる単糖の 80%以上をエタノール変換できる技術を確立する。

3)-1 遺伝子組み換え酵母 *S. cerevisiae*

C5 糖資化遺伝子を組み込んだ酵母によるエタノール生産技術を検証する。

3)-2 非遺伝子組み換え酵母 *C. intermedia*

C5糖をエタノール変換できる非遺伝子組み換え酵母によるエタノール生産技術を検証する

4) 事業性評価 (BITS、三友プラントサービス)

上記の要素技術の組合せからなるプロセスのエネルギー収支・経済性を検証し、目標値を達成するプロセスを構築する。

2-2-3 パイロットプラントの主要設備

図 2-2-1 にパイロットプラントの主要設備を示す。本研究開発プロセスは水蒸気爆砕、酵素糖化、エタノール発酵、固液分離などの各種単位操作から構成されており、多様なプロセス検討可能である。

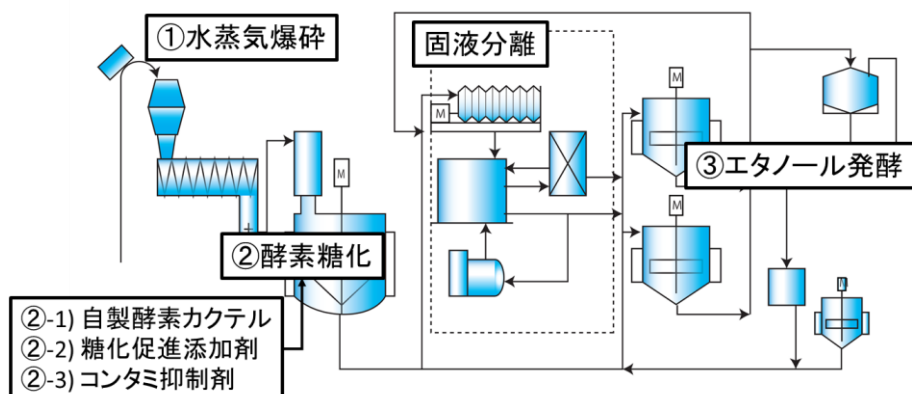


図 2-2-1 パイロットプラントの主要設備

2-2-4 研究開発の目標設定

本事業で開発する第二世代バイオエタノール製造システムの目標値は、化石エネルギー収支 2.0 以上、GHG 削減効果 50%以上、生産コスト 70 円/L 未満と設定している。まず、水蒸気爆砕処理、酵素糖化、エタノール発酵などのプロセス要素技術を組み合わせて、要素技術の反応条件・反応収率などのパラメータの影響を検討できるバイオエタノール生産システムのシミュレータを構築した。そして、目標値を達成するための各プロセス要素技術の許容される反応条件及び効率を明らかにし、表 2-2-1 に示す研究開発項目ごとの目標パラメータを導出した。

表 2-2-1 研究開発項目の内容及び目標パラメータ

研究開発項目	内容	目標パラメータ
①水蒸気爆砕処理	多様な原料に対する水蒸気爆砕効果を確認する。酵素使用量、基質濃度、攪拌動力、反応時間などを満足する爆砕条件を探索する。	糖化時の基質濃度:10~20%、酵素使用量:5~10FPU/g-基質 糖化時間:48時間以内、糖化率:80%程度、単糖濃度:~10% 水蒸気爆砕装置の排熱はエタノールの粗留工程で利用することが必須
②酵素糖化 2-1. 自製酵素カクテル 2-2. 糖化促進添加剤 2-3. コンタミ抑制剤	自製酵素カクテル、糖化促進添加剤による酵素費削減効果を確認する。コンタミ抑制のための技術を確立する。	
③エタノール発酵 3-1. GMO酵母 3-2. nonGMO酵母	植菌量、反応時間、エタノール濃度、エタノール収率のトレードオフ関係を整理し、最適プロセスを選定する。	エタノール発酵効率:80%程度、発酵時間:~72時間 前培養時の菌体対糖収率:25~50%程度 酵母シングルユースプロセス 植菌量:0.1~0.2dcw/v% 酵母リサイクルプロセス 植菌量:1.0dcw/v%、リサイクル回数:5回程度
④事業性評価 4-1. 海外モデル 4-2. 国内モデル	GHG削減効果50%以上、エネルギー収支2.0以上、生産コスト70円/Lを満足するバイオエタノール製造モデルの構築	

2-2-5 研究体制

図 2-2-2 に本研究開発の体制を示す。BITS が水蒸気爆砕処理、酵素糖化、GMO 酵母のプロセス要素技術を開発し、コスモ石油が nonGMO 酵母の研究開発を担当した。三友プラントサービスは原料調達及び原料に関する情報収集し、BITS とともにシステム技術のパイロット実証を担当した。信州大学は各種爆砕物で必要となる酵素成分を同定し、当該成分を生産する技術を開発する。また、H28 年度より研究項目「糖化促進添加剤」を日揮に再委託し、研究開発を加速させた。

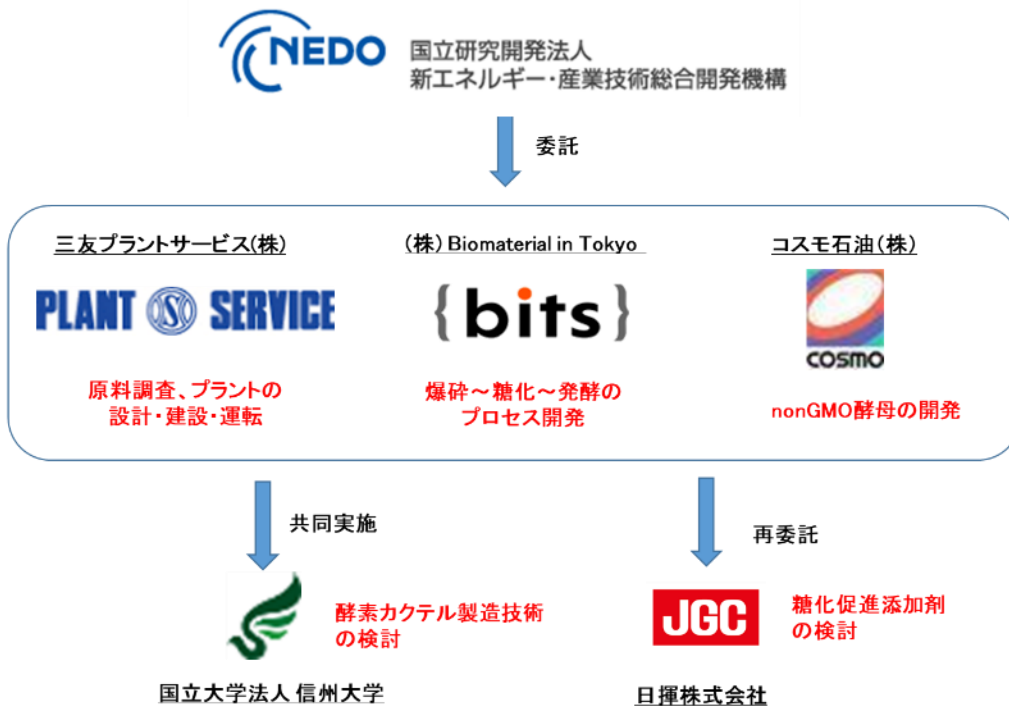


図 2-2-2 本研究開発における体制

2-2-6 事業性評価

パイロットプラントで得られた水蒸気爆砕、酵素糖化、エタノール発酵の反応条件・収率に基づき、各種原料（廃パルプ、廃菌床、コーヒー粕）での物質・エネルギー収支を算出した。これら結果にヒアリング・文献調査したコスト原単位、GHG 排出原単位を乗じて、図 2-2-3 に示す 2 つの事業モデルの GHG 削減効果、エタノール生産コストを検討した。

- 海外モデル：海外の大規模パルプ工場から発生する廃パルプを利用するモデル
- 国内モデル：パルプ工場の廃パルプに加え、地域で発生する廃菌床やコーヒー粕などのセルロース系廃棄物を利用するモデル

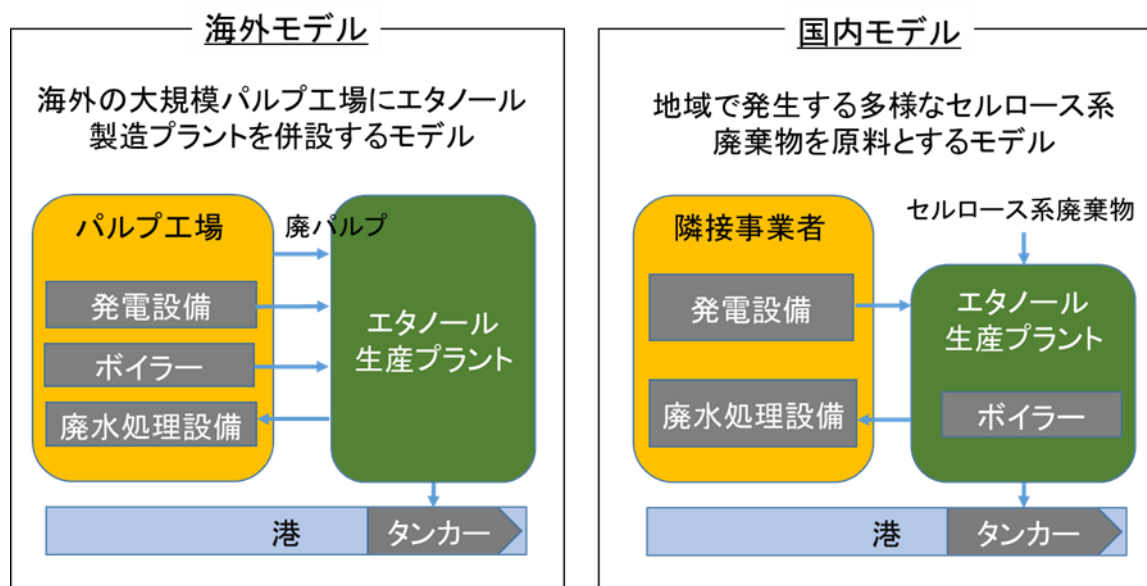


図 2-2-3 検討する 2 つの事業モデル

1) エネルギー収支・GHG削減効果

図 2-2-4 に各種原料のバイオエタノール製造プロセスの化石エネルギー収支を示す。化石エネルギー収支、GHG 削減効果の計算に用いた主な前提条件を以下に列挙する。

- 連続水蒸気爆砕装置からの排蒸気は蒸留工程で利用。（爆砕メーカーにも実施例を確認済み）
- 廃菌床、コーヒー粕をエタノール原料とした場合にプロセスから発生する残渣発生量は、バイオマスボイラーで熱エネルギーを回収する。
- 原料輸送に関する値は、各種原料の輸送距離、高密度、エタノール収率、ダンプカー燃費・積載容積から算出した。
- プラント建設、酵母前培養の窒素源、PH 調整の薬品、製品輸送からの GHG 排出量は既往研究より少量であることから除外した。
- CO₂ 排出係数：電気 533g-CO₂/kWh、A 重油 87.3g-CO₂/MJ、ガソリン 83.5g-CO₂/MJ
- 化石エネルギー収支＝製造されたエタノールの発熱量／プロセス内で投入される熱及び電気エネルギー
- GHG 削減率＝（エタノールで代替されるガソリンの GHG 排出量－システムで排出される GHG 排出量）／エタノールで代替されるガソリンの GHG 排出量

全ての原料において化石エネルギー収支は 2.0 以上であり、GHG 削減効果も 50%以上が達成可能であることを確認した。廃菌床、コーヒー粕から回収される熱エネルギーはプロセスで要する熱エネルギーを上回っていることから、余剰となる残渣を固形燃料ペレットなどで系外に供給できる場合は更に GHG 削減効果が向上すると考えられる。

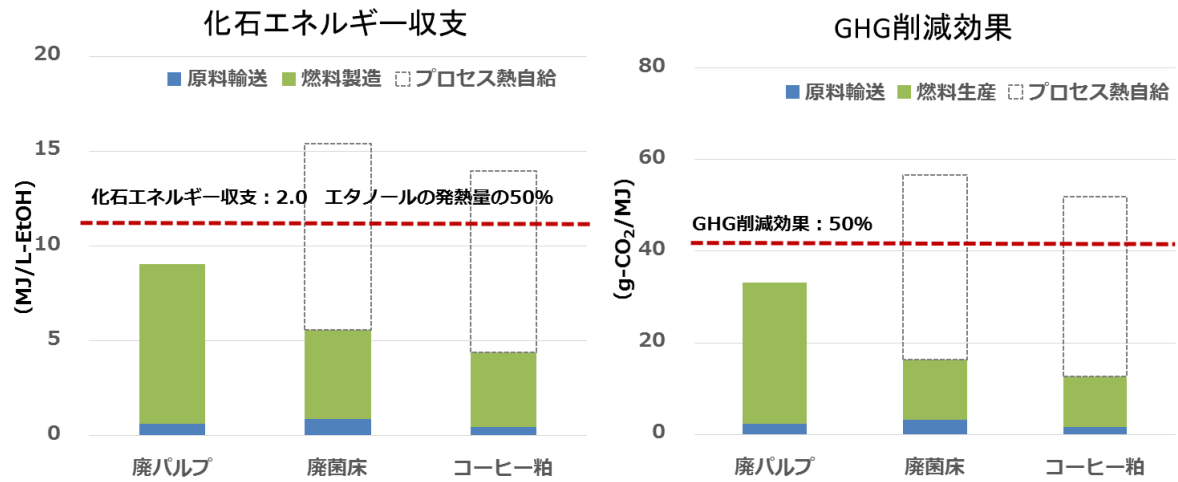


図 2-2-4 各種原料のバイオエタノール製造プロセスの化石エネルギー収支、GHG 削減効果

2) エタノール製造コスト

図 2-2-5 に 2 種類の事業モデルのエタノール生産コストを示す。原料収集可能量を調査した結果、海外モデルでは年間エタノール生産量 1~3 万 kL、国内モデルでは年間エタノール生産量を 1~5 万 kL と設定した。計算に用いた前提条件を以下に列挙する。

- 単位操作の反応条件、収率はパイロットプラントデータ（2017 年 9 月末時点）に基づく
- エタノール生産設備の検討範囲：廃水処理設備は共用、電気は購入、蒸気は海外モデルでは併設のパルプ工場から購入し、国内モデルではバイオマスボイラーで熱エネルギーを自給する。
- 償却年数：15 年
- メンテナンス費：設備総額の 2%
- コスト下限条件：酵素添加量削減、エタノール収率向上達成見込みケース
- コスト上限条件：設備稼働率 80% 低下ケース

海外モデルでは年産 2 万 kL 規模で、国内モデルでは年産 3 万 kL 規模で展開できればエタノール生産コスト 70 円/L 未満を達成可能であることが明らかとなった。コスト下限条件は既にラボスケールで確認されている条件であり、今後、パイロットスケールでその可能性を検証する。

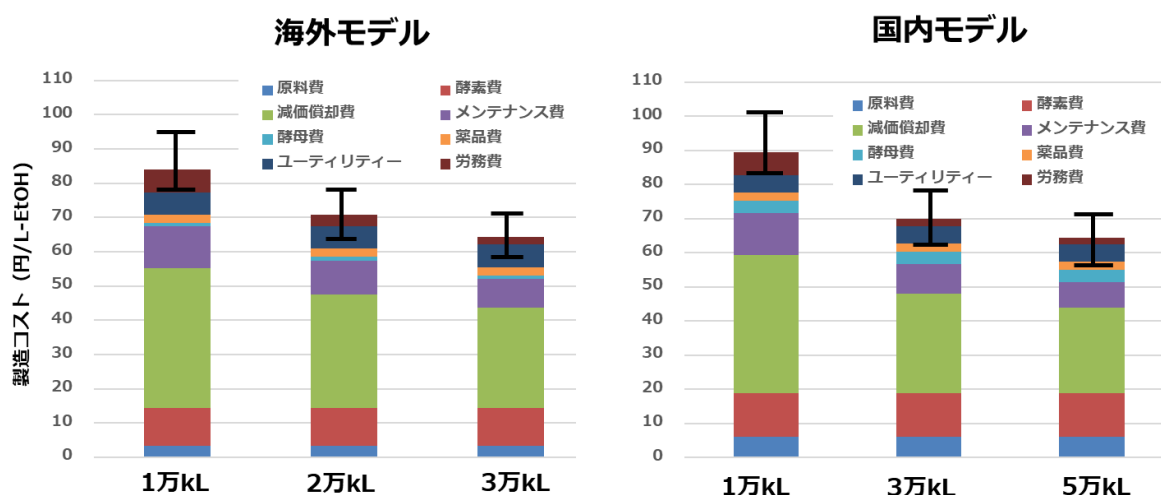


図 2-2-5 2つの事業モデルのエタノール生産コスト

2-2-7 研究開発成果のまとめ

本研究開発では第二世代バイオエタノール製造システムとして 2 つの事業モデルを設定し、パイロットプラントの実証データに基づいて環境性・経済性を評価した。その結果、本事業の目標値である化石エネルギー収支 2.0 以上、GHG 削減効果 50% 以上、生産コスト 70 円/L 未満を満足するセルロース系バイオエタノール製造システムの可能性を明らかにした。

今後、各種原料に対する自製酵素カクテルの最適化、糖化促進添加剤の適用とあわせて、プロセスをブラッシュアップし、その可能性をパイロットプラントで実証する。更に多様なセルロース系廃棄物に対して、当該システム技術の適用可能性を検証し、生産規模拡大の可能性を探索する。

知的財産権等の取得及び成果の普

【特許】

出願番号：特願 2017-88067

発明の名称：酵母の培養方法及びエタノール生産方法

発明者：齊藤 優、長崎 宏

【論文】

石油学会誌 (Journal of the Japan Petroleum Institute)

題目：Study of Steam Explosion Conditions for Hydrolysates from Unbleached Pulp Waste on Ethanol Fermentation with Xylose-Fermenting

Yeast, *Candida intermedia* 4-6-4T2

著者：齊藤 優、長崎 宏、池田 智明、渡邊 繁幸 (コスモ石油株)、佐賀清崇、吉田浩爾 (Biomaterial in Tokyo)

【学会発表】

発表先：第 46 回石油・石油化学討論会 (2016.11.18)

題目：非遺伝子組換え酵母(*Candida intermedia* 4-6-4T2)によるセルロース系バイオマス糖化液からのエタノール生産

発表者：齊藤優、長崎宏、大崎貴之、藤本尚則、渡辺佳久

発表先：第 31 回セルラーゼ研究会 (2017.7.7)

題目：ガラクトマンナン分解系酵素の発現系構築と作用機構の調査

発表者：高橋ひろみ、杉浦かなえ、佐賀清崇、泉 可也、藤野尚人、野崎功一

発表先：第 26 回日本エネルギー学会大会 (2017/9/2)

題目：酵素糖化のためのセルロース系廃棄物の連続蒸気爆砕処理

発表者：佐賀清崇、吉田浩爾、西島拓人、杉本直久、石倉喜郎、廣田真、泉可也、荒井進、今井史規、金松雅俊

発表先：日本応用糖質科学会平成 29 年度大会 (2017.9.7)

題目：Trichoderma reesei 由来ガラクトマンナン分解系酵素の機能解析

発表者：高橋ひろみ、杉浦かなえ、佐賀清崇、泉 可也、藤野尚人、野崎功一

発表先：第 47 回石油・石油化学討論会 (2017.11.16)

題目：非遺伝子組換え酵母 (*Candida intermedia* 4-6-4T2) によるセルロース系バイオエタノールの製造コスト削減検討

発表者：齊藤 優、長崎 宏、池田 智明、渡邊 繁幸

IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組および見通しについて

1. 成果の実用化・事業化に向けた取組および見通しについて

第1世代に比べても GHG 排出を削減できるセルロース系エタノールの需要は今後高まると予想される。これまで主にコストの問題で事業化が困難であったが、本事業の成果により、日本企業が有する技術を利用したセルロース系エタノール生産の事業化が近づいたと言える。各チームともに事業性評価において商用化に資するコスト目標を概ね達成しており、2020年頃の実用化・事業化が期待される。

A チームは、事業性評価により 10 万 kL/年規模の想定事業モデルを明確化した。並行複発酵に適した高粘度攪拌技術の確認や、空気分散の検証について、継続検討を実施する予定。商用化時期については、経営判断を経て決定する予定。

B チームは、事業性評価により、海外、国内の事業モデルを明確化した。今後は、原料組合せと運転条件の最適化を実施し、ビジネスモデルの具現化に取り組む。

2. 研究開発毎の事業化の見通しについて

2-1 木本バイオマスを原料とする日本の持続可能性基準に適合するセルロース系エタノールの一貫生産技術開発および事業性評価

本事業で想定した商業設備設計を確立する上では、今後、継続して商業設備を想定した“糖化・発酵設備”の技術検証が必要であり、継続して本技術検証を実施し、商業設備設計の確立を目指す予定である。また、将来的な国内外の政策動向や需給動向に注視しながら、本事業のビジネスモデルの具体化について検討を継続する。

2-2 パルプを用いた水蒸気爆砕法によるバイオエタノール生産に関する技術開発および事業性評価

2-2-1 成果の事業化に向けた戦略

本事業で確立した数万 kL 規模のセルロース系廃棄物からのバイオエタノール製造システムを国内に水平展開することでバイオ燃料導入目標量 10 万 kL に寄与することが可能である。有望な原料としてはコーンスターチ工場からのコーンファイバー、きのこ工場からの廃菌床、製紙工場からの廃パルプ、首都圏からのコーヒー粕などが挙げられる。

2-2-2 成果の事業化に向けた具体的取組

現在、パイロットプラントでの実証と並行して、成果の事業化に向け、下記の取り組みを実施している。

- 具体的取組① 原料バイオマスの確保（プラント建設候補地及び原料収集）

プラント候補地を数か所選定し、エタノール製造コストを圧迫しない収集コストで収集可能なバイオマス原料の調査を実施している。

- 具体的取組② プラント建設費

ユーティリティ設備の共有又は使用が可能なプラント建設候補地を選定中である。

- 具体的取組③ プラント基本仕様の作成

パイロットプラント実証で得られた結果に基づき、プロセス構成設備を選定し、基本仕様を作成している。

2-2-3 波及効果

本事業で確立されるセルロース系廃棄物からのバイオエタノール製造システムによって、燃料エタノールだけでなく、ポリエチレンなどの樹脂原料、ATJ（アルコール由来バイオジェット）燃料が展開可能である。また、セルロース系廃棄物由来の糖を安価に製造することはバイオリファイナリーの基盤技術となる。例えば、セルロース系バイオマス糖液から油脂*を経由してバイオジェット燃料の製造も可能となる。

*NEDO 戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業、委託先：Biomaterial in Tokyo, 宮崎大学, コスモ石油 「油糧微生物ラビリンチュラを利用したジェット燃料・船舶燃料生産の研究開発」

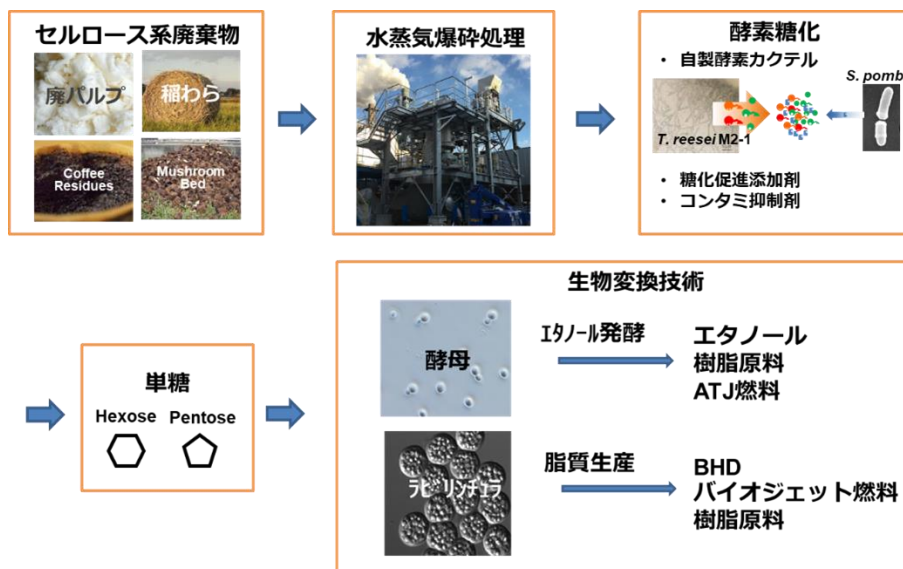


図 2-2-1 本研究開発による技術的な波及効果

(添付資料)

プロジェクト基本計画

P10010

P13011

P14025

「バイオマスエネルギー技術研究開発」基本計画

新エネルギー部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

2005年2月に発効した京都議定書および2008年4月に制定されたエネルギーイノベーションプログラム、環境安心イノベーションプログラムの対応として、環境負荷が少ない石油代替エネルギーの普及に向けた、新たな技術の開発及びコスト低減・性能向上のための戦略的取り組みが要求されている。

バイオマスエネルギーは、カーボンニュートラルとして扱われているため、地球温暖化対策の一手段として重要である。一方、供給安定性の確保、食料との競合や森林破壊等の生態系を含めた問題、化石燃料との価格競争性・価格安定性といった経済面での課題、LCA（ライフサイクルアセスメント）上の温室効果ガス削減効果・エネルギー収支等の定量化等の課題を今後克服していくことが重要である。

このような中で、2012年までに京都議定書の目標達成に貢献すべく取り組むことに加え、2030年度、更には2050年に向けた長期的視野に立ち、国内の知見・技術を結集して、バイオマスエネルギー分野における革新的・新規技術の研究開発、開発技術の適用性拡大、コストの低減、利用・生産システム性能の向上等を行い、世界における優位性を確保することが重要となっている。このためには、従来技術の延長にない技術革新をも目指した継続的な研究・技術開発が必要不可欠である。

本研究開発では、バイオマスエネルギーの更なる使用促進・普及に向け、これを実現するための技術開発を行うことを目的とする。

(2) 研究開発の目標

本研究開発は、2010年度以降の更なる二酸化炭素等の温室効果ガス排出量削減に向けて、新技術の開発、開発技術の拡大、性能の向上及びコストの削減を図り、2005年3月総合資源エネルギー調査会需給部会の2030年のエネルギー需給展望(答申)にある2030年度目標値の達成に資する。

なお、個々の研究開発項目の目標は別紙「研究開発計画」に定める。

(3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

- ①バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発(制度)〔委託事業、共同研究事業(負担率: 1 / 2、2 / 3)〕
- ②セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業〔委託事業〕
- ③戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業〔委託事業、共同研究事業(助成率: 2 / 3)〕
- ④バイオ燃料製造の有用要素技術開発事業〔委託事業、共同研究事業(助成率: 2 / 3)〕
- ⑤セルロース系エタノール生産システム総合開発実証事業〔委託事業、助成事業(助成率: 2 / 3もしくは1 / 2)〕

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、「NEDO」という。)が、単独ないし複数の原則本邦の企業、大学等の研究機関(原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点からの国外企業との連携が必要な場合はこの限りではない)から公募によって研究開発実施者を選定し実施する。

NEDOは、研究開発に参加する各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルを検討し、これを最大限活用することにより効率的な研究開発を図る観点から、委託先決定後に必要に応じて研究開発責任者(プロジェクトリーダー)を指名し、その下に効果的な研究を実施する。

(2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて外部有識者による技術検討委員会を設置し、開発内容について審議し、その意見を運営管理に反映させる。

3. 研究開発の実施期間

本研究開発の実施期間は研究開発項目ごとに以下のとおりとする。

- ① バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発
本研究開発の期間は、平成16年度から平成24年度までの9年間とする。
- ② セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業
本研究開発の期間は、平成21年度から平成25年度までの5年間とする。
- ③ 戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業
本研究開発の期間は、平成22年度から平成28年度までの7年間とする。
- ④ バイオ燃料製造の有用要素技術開発事業
本研究開発の期間は、平成25年度から平成28年度までの4年間とする。
- ⑤セルロース系エタノール生産システム総合開発実証事業
本研究開発の期間は、平成26年度から平成31年度までの6年間とする。

4. 評価に関する事項

評価の実施時期や方法は、研究開発項目毎に別紙「研究開発計画」に記載する。

5. その他重要事項

(1) 研究開発成果の取扱いについて

①成果の普及

本研究開発で得られた研究成果についてはNEDO、委託先とも普及に努めるものとする。

②知的財産権の帰属

本研究開発で得られた研究開発の成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

(2) 基本計画の変更

NEDOは、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

① バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発

「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1号ロ」

② セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業

「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1号ロ」

③ 戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業

「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1号ロ」

④ バイオ燃料製造の有用要素技術開発事業

「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1号ロ」

⑤セルロース系エタノール生産システム総合開発実証事業

「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1号ロ、第3号、第9号」

6. 基本計画の改定履歴

(1) 平成22年3月、「新エネルギー技術研究開発／バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発」

「E3地域流通スタンダードモデル創成事業」「セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業」「戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業」を統合して新たに制定。

(2) 平成23年3月31日、「E3地域流通スタンダードモデル創成事業」が経済産業省の直執行事業となることを受けて削除、また(別紙)「研究開発計画」のうちの研究開発項目①「バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発」の2. 研究開発の具体的内容における公募の実施について、「また、平成22年度に実施した加速的先導技術の技術委員会での評価結果を受けて、実施中の研究開発テーマにおいて一部強化が必要な技術について委託先を追加するため、平成23年度に公募を実施する。」を追加により改定。

(3) 平成25年8月26日、研究開発項目④「バイオ燃料製造の有用要素技術開発事業」の追

加により改定。

- (4) 平成27年2月2日、研究開発項目⑤「セルロース系エタノール生産システム総合開発実証事業」の追加により改定。
- (5) 平成27年12月1日 研究開発項目⑤「セルロース系エタノール生産システム総合開発実証事業」の中間評価時期及び研究開発の運営管理方法の変更により改定。

(別紙) [研究開発計画]

研究開発項目①「バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発」

(イ) バイオマスエネルギー先導技術研究開発

1. 研究開発の必要性

現在のバイオマス転換エネルギーは化石燃料に比べてコスト競争力に乏しく、導入普及のネックとなっている。バイオマス社会の実現に向けて、中長期的視野に立ったエネルギー転換効率のさらなる向上を目指した、新規で革新的な超高効率エネルギー転換技術及び付加価値が高く採算性を有したエネルギー形態に転換する技術の可能性探索が必要である。

また、平成16年度「バイオマスエネルギーテクノロジー・ロードマップ策定に関する調査」においてバイオマスエネルギー利用導入・普及拡大のための課題として

①バイオマスエネルギー地域システム化実験事業の必要性

②バイオマスエネルギー先導技術研究開発事業の必要性

が示され、特に②の先導的な研究に関しては2030年の実用化を見据えたバイオマスエネルギー利用技術のシーズを探索し、中長期的視点から革新的なバイオマス先導技術研究の必要性が指摘された。

さらに、バイオマス・ニッポン総合戦略推進会議「国産バイオ燃料の生産拡大工程表（平成19年2月策定）」において、ガソリンの卸売価格等と競合できる価格でバイオ燃料を生産する必要性が提唱され、原料別、段階的に100円/Lの製造コストの目安が示された。

また、次世代自動車・燃料に関する懇談会「次世代自動車・燃料イニシアティブとりまとめ（平成19年5月策定）」において、上述の「国産バイオ燃料の生産拡大工程表」との整合性を図りつつ、経済的かつ多量にセルロース系バイオマスからバイオ燃料等を効率的に生産する画期的な技術革新の実現についての具体的な議論を進める必要性が提唱された。ここでは、技術革新ケースのベンチマークとして40円/Lの製造コストの目安が示された。また、燃料に限らず、化成品原料への転換も併せて行う総合利用（リファイナリー）の視点の重要性についても提唱された。

これらの状況に鑑みると、バイオマスのエネルギー転換、利用技術等の分野において2015～2030年頃の実用化を目指した新規な革新的技術を発掘、支援し、日本独自の代替エネルギーの確立を探索・推進するために本事業が必要である。

2. 研究開発の具体的内容

バイオマスを気体・液体・固体燃料、電気等のエネルギーに転換する技術に関連した2015～2030年頃の実用化を目指した先導的な研究開発及び将来の革新的なブレイクスルーにつながる基礎研究のテーマを公募し、委託により実施する。

なお、2015～2020年頃の実用化を目指し、特にセルロース系バイオマスからバイオ燃料等を効率的に生産する画期的な技術（以下、加速的先導技術という）について、重点的に実施する。

個別テーマの開発期間は2年間（加速的先導技術は最大3年間）を基本とし、NEDOに設置する技術委員会で継続に関して高い評価が得られたテーマについては、最大8年間実施することを可能とする。

公募は平成17年度から平成21年度まで実施する。また、平成22年度に実施した加速的先

導技術の技術委員会での評価結果を受けて、実施中の研究開発テーマにおいて一部強化が必要な技術について委託先を追加するため、平成23年度に公募を実施する。

3. 達成目標

実施テーマごとに、従来の技術に比べて画期的に優れた効率、低コスト化、省エネ性等の技術水準を見込めることを基礎的データの取得・分析により確認する。

なお、個別研究開発テーマの開発目標及び実施内容の詳細については、採択テーマ決定後にNEDOと委託先の間で協議の上決定し、別途「研究開発テーマ一覧」に定める。

4. 評価の時期及び方法

NEDOは、政策的観点から見た制度の意義、目標達成度、将来の産業への波及効果、効果的な制度運営等の観点から、制度評価を制度評価指針に基づき、原則、内部評価により毎年度実施する。(事後評価を含む)ただし、制度立上げの初年度、翌年度に公募を実施しない年度においては制度評価を実施しないこととする。また、評価結果を踏まえ、必要に応じて制度の拡充・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。

個別テーマについては、2年度(加速的先導技術は最大3年度)を単位としてNEDOに設置する技術委員会で評価を行い、その結果を踏まえて継続の要否を判断する。

また、NEDOに設置する技術委員会で実用化研究への移行が適切であるとの評価が得られたテーマについては、(ロ)バイオマスエネルギー転換要素技術開発に移行して実施することとする。

(ロ) バイオマスエネルギー転換要素技術開発

1. 研究開発の必要性

平成14年度「新エネルギー等導入促進基礎調査」“バイオマスエネルギー開発・利用戦略に関する調査研究”により、コア技術だけでなくエネルギー転換システムの構成要素である「原料の前処理技術、生成燃料の利用技術等」にも多くの開発要素があることが明らかになった。さらに、平成13年度から平成17年度にかけて実施した、11テーマの研究開発内容を補完する要素技術の必要性が明らかになり、本技術開発を行うことにより、2010年の新エネルギー導入目標の達成に向けてバイオマスエネルギー転換事業の普及を促進させることが期待される。

さらに、バイオマス・ニッポン総合戦略推進会議「国産バイオ燃料の生産拡大工程表(平成19年2月策定)」において、ガソリンの卸売価格等と競合できる価格でバイオ燃料を生産する必要性が提唱され、原料別、段階的に100円/Lの製造コストの目安が示されるとともに、次世代自動車・燃料に関する懇談会「次世代自動車・燃料イニシアティブとりまとめ(平成19年5月策定)」において、上述の「国産バイオ燃料の生産拡大工程表」との整合性を図りつつ、経済的かつ多量にセルロース系バイオマスからバイオ燃料等を効率的に生産する画期的な技術革新の実現についての具体的な議論を進める必要性が提唱され、技術革新ケースのベンチマークとして40円/Lの製造コストの目安が示された。また、燃料に限らず、化成品原料への転換も併せて行う総合利用(リファイナリー)の視点の重要性についても提唱された。

2. 研究開発の具体的内容

(1) 2010年の新エネルギー導入目標の達成に向けた研究開発(平成18年度で公募終了)

バイオマスを気体・液体・固体燃料、電気等のエネルギーに転換する技術に関連した、下記に示す要素技術の研究開発をNEDOとの共同研究により実施する。

①高効率化要素技術

②高品質化要素技術

③小型化・低コスト化要素技術

④その他、現在進めている「バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発」に比して差別化されたエネルギー転換の基幹技術

- ・共同研究におけるNEDOの負担割合は、共同研究先が企業等の法人単独の場合は2分の1とし、企業等の法人が大学等の公的研究機関と連携して行う場合は3分の2とする。
- ・個別テーマの開発期間は最長3年間とする。
- ・公募は平成16年度から平成18年度まで実施する。

(2) 2015年ごろの実用化を目指したバイオ燃料等生産に係わる要素技術開発

セルロース系バイオマスからバイオ燃料等を経済的かつ多量に生産・利用する上でボトルネックとなっている要素技術のうち、既存技術の組み合わせ等によって解決を図ることが可能な実用化研究をNEDOとの共同研究により実施する。

- ・NEDOの負担割合は3分の2とする。
- ・個別テーマの開発期間は最長3年間とする。
- ・公募は平成20年度から平成21年度まで実施する。
- ・NEDOに設置する技術委員会で、バイオマスエネルギー先導技術研究開発から、実用化研究への移行が適切であるとの評価が得られたテーマについても実施する。

3. 達成目標

- ・提案された要素技術を用いることにより、従来の技術に比して有意な差(エネルギー損失の解消等)をもって高い効率を達成する。
- ・2010年の導入目標につながる技術にあつては、従来の技術水準に対する優位性(コスト、性能等)を達成する。
- ・2015年の実用化を目指した技術にあつては、セルロース系バイオマスからバイオ燃料等の製造・利用コスト及び投入エネルギーの低減について、従来の技術水準に対する優位性を達成する。

なお、個別研究開発テーマの開発目標及び実施内容の詳細については、採択テーマ決定後にNEDOと共同研究者との間で協議の上決定し、別途「研究開発テーマ一覧」に定める。

4. 評価の時期及び方法

NEDOは、政策的観点から見た制度の意義、目標達成度、将来の産業への波及効果、効果的な制度運営等の観点から、制度評価を制度評価指針に基づき、原則、内部評価により毎年度実施する。(事後評価を含む)ただし、制度立上げの初年度、翌年度に公募を実施しない年度においては制度評価を実施しないこととする。また、評価結果を踏まえ、必要に応じて制度の拡充・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。

研究開発項目②「セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業」

〔研究開発の目的〕

バイオ燃料は、カーボンニュートラルとして扱われているため、地球温暖化対策の一手段として重要である。一方、供給安定性の確保、食料との競合や森林破壊等の生態系を含めた問題、化石燃料との価格競争性・価格安定性といった経済面での課題、LCA（ライフサイクルアセスメント）上の温室効果ガス削減効果・エネルギー収支等の定量化といった課題を今後克服していくことが重要である。このような背景から、2008年3月に経済産業省は農林水産省と連携し、産業界及び大学・公的研究機関の協力を得た上で、2015年に向けた具体的な目標、技術開発、ロードマップ等を内容とする「バイオ燃料技術革新計画」を策定した。

本研究開発は、「バイオ燃料技術革新計画」における技術革新ケース（2015～2020年においてバイオエタノール製造コスト40円/L、年産10～20万kL規模、CO₂削減率5割以上（対ガソリン）、化石エネルギー収支2*¹以上）の実現に向けて、食料と競合しない草本系又は木質系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*²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を構築し、研究開発を実施することにより環境負荷・経済性等を評価することを目的とする。また、バイオ燃料の持続可能性の検討については、G8各国を中心に、各種国際的なフォーラムでの検討が進められている状況である。こうした動向を十分に踏まえ、我が国におけるバイオ燃料の持続可能な導入のあり方について検討することも目的とする。

本技術の確立により、2015～2020年において事業ベースで数十万kL規模単位でのバイオエタノール生産が開始され、2020年から2030年にかけては事業の普及に伴い相当量のバイオエタノールが生産されることが期待される。これにより、「長期エネルギー需給見通し」（2008年5月 総合資源エネルギー調査会・需給部会）における2030年のバイオマス熱利用最大導入ケース423万kL、新・国家エネルギー戦略（2006年5月）における運輸部門の石油依存度を2030年までに8割程度にまで削減する目標の達成に資する。

*1 化石エネルギー収支 = (生産されたエネルギー量 : MJ) / (ライフサイクルで投入された化石エネルギー量 : MJ)

*2 食料と競合せず、大規模安定供給が可能で、バイオエタノール生産に特化した目的で栽培するセルロース系バイオマスを示す。従って、食料に供される作物（イネ、サトウキビ等）や副生的に発生するバイオマス（稲ワラ、麦ワラ、バガス、間伐材、林地残材等）を除く。

〔研究開発の目標〕

技術革新ケース（2015～2020年においてバイオエタノール製造コスト40円/L、年産10～20万kL規模、CO₂削減率5割以上（対ガソリン）、化石エネルギー収支2以上）の実現に向けて、2011年度（平成23年度）までにセルロース系目的生産バイオマスの生産システムに関する基礎的知見（生産性、栽培環境及び条件、収集・運搬効率等）を得ると共に、エタノール製造プラントを構築する。また、バイオ燃料の持続可能性について、総合的な調査を行い、基準、評価指針、評価方法等に関する具体的検討事項を選定する。また、選定した事項について基準、評価指針、評価方法等の検討を行う。

2013年度（平成25年度）までに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までの一貫生産システムについて、基盤技術を確立する。また、バイオ燃料の持続可能

性について、基準、評価指標、評価方法等を取りまとめる。更に、本事業において開発したバイオエタノール一貫生産システムのLCA評価(温室効果ガス排出削減効果、エネルギー収支)及び社会・環境影響評価も行う。

[研究開発の内容]

上記目標を達成するために、以下の研究開発について実施する。

[委託事業]

- イ) バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発
- ロ) バイオ燃料の持続可能性に関する研究

イ) 「バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発」

1. 研究開発の必要性

2015～2020年においてバイオエタノール製造コスト40円/L、年産10～20万kL、CO₂削減率5割以上(対ガソリン)、化石エネルギー収支2以上を実現するためには、セルロース系目的生産バイオマスの栽培、収集・運搬から前処理～糖化～発酵～濃縮・脱水～廃液処理に至るエタノール製造プロセスを一貫した革新的な生産システムを開発し、環境負荷・経済性等も評価することが必要である。

2. 研究開発の具体的内容

(1) セルロース系目的生産バイオマスに関する研究開発

多収量草本系植物(エリアンサス、ミスカンサス、ソルガム、ススキ、ネピアグラス、スイッチグラス等)及び早生樹(ヤナギ、ポプラ、ユーカリ、アカシア等)のセルロース系目的生産バイオマスについて、実用化段階において食料生産に適さない土地で栽培することを前提に、植物種選定、栽培地検討、栽培条件の最適化、大量栽培技術の開発・栽培、育種(遺伝子組み換え技術は除く)を行うとともに、低コストで、かつ、エネルギー効率に優れた収集・運搬技術を確立し、バイオマス生産システムの開発を行う。

(2) エタノール製造システムの開発

前処理～糖化～発酵～濃縮・脱水～廃液処理に至るエタノール製造プロセスの設計、実験プラント(ベンチスケール以上の規模)の建設、運転及びデータの収集を行い、最適化した上でバイオエタノール生産システムを開発する。

(3) 一貫生産システムの最適化及び評価

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について、総合的なシステムの最適化を行い、環境負荷・経済性等について評価する。

3. 達成目標

(1) 中間目標(平成23年度)

セルロース系目的生産バイオマスの植物種選定、栽培地検討、大量栽培技術の開発及び収集・運搬技術の開発を行いバイオマス生産システムに関する基礎的知見(生産性、栽培環境及び条件、収集・運搬効率等)を得る。また、技術革新ケースにおける開発ベンチマーク(2015年)*を踏まえた上で、エタノール製造プラントを構築する。

(2) 最終目標(平成25年度)

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を一貫したバイオエタノール生産システムについて、基盤技術を確立する。なお、本事業で確立した基盤技術の達成度合いは、技術革新ケースにおける開発ベンチマーク(2015年)*を参照しつつ評価する。

※「バイオ燃料技術革新計画」の技術革新ケースにおける開発ベンチマーク(2015年)

		開発ベンチマーク（2015年）
原料	乾物収量	草本系：50 t / ha・年、木質系17 t / ha・年
製造	一貫プロセスとして	エネルギー使用量6 MJ / kg バイオマス以内（バイオマスで自立）、 エタノール収率0.3 L / kg バイオマス以上、エネルギー回収率35%以上
	前処理	酵素糖化効率80%以上となる前処理
	酵素糖化	酵素使用量1 mg / g 生成糖以下、酵素コスト4円 / L エタノール以下、糖収量500 g / kg バイオマス以上
	エタノール発酵	エタノール収率95%以上
	濃縮脱水	エネルギー使用量2.5 MJ / L エタノール以下（10%エタノール水溶液→無水エタノール分離回収）
	廃液処理	エネルギー回収分を除いた処理コスト5円 / L エタノール以下

ロ)「バイオ燃料の持続可能性に関する研究」

1. 研究開発の必要性

バイオ燃料の利用や開発は食料との競合問題、森林破壊等の環境問題を引き起こす可能性があり、こうした影響を引き起こすことなく持続可能な利用や開発を図ることが重要である。また、バイオ燃料の持続可能性の検討については、G8各国を中心に、各種国際的なフォーラムでの検討が進められている状況である。

そのため、本事業においても、単なる生産技術の確立だけに留まらず、こうした国際的な動向を十分に踏まえ、我が国におけるバイオ燃料の持続可能性について検討する必要がある。

2. 研究開発の具体的内容

バイオ燃料の持続可能性の評価及び国際標準化等に資するため、バイオ燃料の持続可能性について、国内外の関係機関（政府機関、研究機関等）や国際的枠組み（GBEP^{*3}、ERIA^{*4}、ISO等）における取り組みや議論の動向を総合的に調査し、基準、評価指標、評価方法等について検討し、とりまとめる。

また、本事業において開発したバイオエタノール一貫生産システムについて、LCA評価（温室効果ガス排出削減効果、エネルギー収支）及び社会・環境影響評価を行う。

*3 国際バイオエネルギー・パートナーシップ（Global Bioenergy Partnership）

2005年のG8サミットにおいて、バイオ燃料の持続的発展を図ることを目的として立ち上げることに合意し、設立された枠組み。

*4 東アジア・ASEAN 経済研究センター（Economic Research Institute for ASEAN and East Asia）

東アジアサミットにおいて、政策提言等を行うことを目的に設立された国際研究機関。バイオ燃料についても、持続可能性・環境評価方法の検討が進められる予定。

3. 達成目標

(1) 中間目標（平成23年度）

バイオ燃料の持続可能性について、国内外の動向を総合的に調査、解析、整理した上で、基準、評価指標、評価方法等に関して具体的に検討が必要な事項を選定する。また、選定した事項について基準、評価指針、評価方法等の検討を行う。

(2) 最終目標（平成25年度）

バイオ燃料の持続可能性について、国内外の動向調査を継続するとともに、基準、評価指標、評価方法等について、とりまとめる。

また、本事業において開発したバイオエタノール一貫生産システムについて、LCA評価

(温室効果ガス排出削減効果、エネルギー収支) 及び社会・環境影響評価を行う。

[評価に関する事項]

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成23年度に、事後評価を平成26年度に実施する。また、必要に応じて、適宜自主中間評価を実施する。中間評価及び自主中間評価の結果を踏まえ必要に応じてプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。評価の時期については、研究開発に係る技術動向、政策動向や進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

[その他]

バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発と密接な連携を図る。必要に応じて、外部有識者の評価等を経た上で、優秀な研究開発案件の取り込みについても検討する。

研究開発項目③「戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業」

〔研究開発の目的〕

①政策的な重要性

本プロジェクトの先導研究フェーズにおいては、「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」（平成20年3月経済産業省）ロードマップにおいて2030年頃の実用化を目標とする技術として位置づけられている、BTL（Biomass to Liquid）、微細藻類由来バイオ燃料製造技術等の次世代バイオマス利用技術について研究開発を実施する。

また、平成21年8月28日施行の「エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律」により、電気以外の部門（ガス、燃料部門）への一定量の非化石エネルギーの導入が新たに義務付けられる予定であり、バイオマス利用へのニーズが増大することが見込まれる。本プロジェクトの実用化開発フェーズにおいては、ガス、燃料部門におけるバイオマス利用の早期拡大に向け、現在は大規模な原料調達が可能である等の特殊な条件でしか普及していないメタン発酵、ガス化技術等の大幅な導入、ランニングコストの削減に関する研究開発を実施する。

②我が国の状況

我が国は、木質、廃棄物系バイオマスエネルギーの導入に関しては、着実に進んでいるものの、バイオマスのエネルギー利用は、化石エネルギー消費量の削減、GHG排出量の削減、エネルギーセキュリティーの確保、また地域社会の活性化と発展、廃棄物量の削減と有効利用の観点からも、今後一層の導入普及を図ることが必要である。

③世界の取り組み状況

BTLに関しては、欧州・米国で既に商用プラントの建設も開始されている。また、微細藻類由来バイオ燃料製造技術に関しては、石油価格の乱高下やGHG削減の要請の増大という社会的な状況の変化と、バイオテクノロジーの技術革新の大幅な進展によってこの技術が見直され、2007年頃から米国を中心として、大規模プロジェクトが始動している。

④本事業のねらい

本プロジェクトにより、バイオマス原料に応じた最適なバイオ燃料製造プロセスが選択できるようになり、ガソリン代替、軽油代替等、出口のオプションが多様化される。その結果、ビジネスとして実用化可能なバイオマス利用技術の幅が広がり、バイオマスエネルギー導入量の拡大に寄与する。

〔研究開発の目標〕

①過去の取り組みとその評価

平成13年度から実施している「バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発」事業の中で、2010年頃の実用化を目指すバイオマス資源のエネルギー転換に関する要素技術の開発を目的とする「バイオマスエネルギー転換要素技術開発」、2015～2030年頃に実用化が期待されるバイオマス利活用、エネルギー転換に係わる幅広い革新的シーズ技術の探索・育成を目的とする「バイオマスエネルギー先導技術研究開発」事業を実施している。さらに、「バイオマスエネルギー先導技術研究開発」事業の中において、「バイオ燃料技術革新計画」の技術革新ケースの達成をめざし、2015～2020年にバイオエタノール製造コスト40円/Lを目指す取り組みとして、「加速的先導技術開発」プログラムを開始している。

また、平成21年度から「セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業」を開始し、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までの、革新的な技術を用いた

一貫生産システムに関する研究開発を行っている。

②本事業の目標

本事業では、先導研究フェーズ（次世代技術開発）、実用化開発フェーズ（実用化技術開発）の二つの研究開発を実施する。

○次世代技術開発

市場でのコスト競争力のあるバイオマス由来液体燃料製造技術の開発とすることを目標とする。

○実用化技術開発

ビジネススペースに乗る技術レベルまで設備導入コスト及びランニングコストを低減できる技術を確立することを目標とする。

尚、個別の研究開発テーマの開発目標及び実施内容の詳細については、採択テーマ決定後にNEDOと実施者との間で協議の上決定し、別途実施計画書に記載するものとする。

③事業以外に必要とされる取り組み

本事業とは別に、NEDOは、バイオマスに係る技術開発、国際標準化や規制見直しに資する研究等を行い、バイオマスの普及・促進に資する活動を総合的に実施している。

④全体としてのアウトカム目標

これらの取り組みにより、2030年までに輸送用バイオ燃料の石油依存度を80%に引き下げる目標達成（新・国家エネルギー戦略 2006年5月経済産業省）に寄与することが期待される。

[研究開発の内容]

上記目標を達成するために、以下の研究開発を実施する。

[委託事業、(共同研究事業 (NEDO負担率：2/3))]

(イ)「次世代技術開発」

バイオマスを気体、液体、固体燃料、電気等のエネルギーに転換する技術に関連した2030年の実用化を目指した次世代の研究開発及び将来の革新的なブレークスルーにつながる基礎研究を実施する。

特に、BTL、微細藻類等のバイオ燃料製造技術開発を実施する。

本研究開発項目は、(1) 実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する事業、又は(2) 試験・評価方法、基準・プラットフォームの提案等、国民経済的には大きな便益がありながらも、民間企業の研究開発投資に見合うものが見込めない「公共財の研究開発」事業であり、原則、委託事業として実施する。ただし、(1)については、上記以外のもの^(※1)は、共同研究事業(NEDO負担率：2/3)として実施する。

※1 民間企業単独、民間企業のみでの連携等、産学官連携とならないもの。

[共同研究事業 (NEDO負担率：2/3)]

(ロ) 実用化技術開発

バイオマスを気体、液体、固体燃料、電気等のエネルギーに転換する技術に関連した下記に示す実用化の研究開発を実施する。

① 高効率化技術

- ② 高品質化技術
- ③ 小型化・低コスト化技術

また、導入普及の実現のためには、収集運搬技術、バイオマス利活用技術、需要の創成等のトータルシステムの研究開発も必要に応じて実施する。

本研究開発項目は共同研究事業（NEDO負担率：2／3）として実施する。

尚、上記研究開発を効果的かつ効率的に実施するために、バイオマス関連技術に関する国内外の技術レベルの把握、技術的課題の明確化等に必要な各種検討を適宜実施する。

〔研究開発の実施方式〕

（１） 研究開発の実施体制

本研究開発は、NEDOが単独ないし複数の原則本邦の企業、大学等（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点から国外企業との連携が必要な場合はこの限りでない。）から公募によって研究開発実施者（又は研究開発グループ）を選定した後、委託または共同研究により実施する。

（２） 研究開発の運営管理

研究開発の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発事業の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて設置される技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させること等を行う。

プロジェクトへの参加者は、これらのNEDOのマネジメントに従い、我が国におけるバイオマスエネルギー導入量拡大のために必要な取り組みに協力するものとする。

〔評価に関する事項〕

NEDOは、政策的観点から見た制度の意義、目標達成度、将来の産業への波及効果、効果的な制度運営等の観点から、制度評価を制度評価指針に基づき、原則、内部評価により毎年度実施する（事後評価を含む）。ただし、制度立ち上げの初年度、翌年度に公募を実施しない年度においては制度評価を実施しないこととする。

また、制度評価結果を踏まえ、必要に応じて制度の拡充・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、本制度に係る技術動向、政策動向や本制度の進捗状況等に応じて、適宜見直すものとする。

次世代技術開発の個別テーマについては、NEDOに設置する技術委員会で2年度を単位として評価を行い、その結果を踏まえて継続の可否を判断する。

研究開発項目④「バイオ燃料製造の有用要素技術開発事業」

[研究開発の目的]

①政策的な重要性

バイオエタノール等のバイオ燃料は、エネルギーセキュリティの向上及び地球温暖化の防止の観点から、再生可能エネルギーの一つとして取り組むべき重要課題である。

経済産業省は、2008年に「Cool Earth エネルギー革新技術計画」の中で“2050年までに世界全体の温室効果ガス（GHG）排出量を現状に比して半減する”という長期目標を掲げ、我が国として重点的に取り組むべきエネルギー革新技術開発として「バイオマスからの輸送用代替燃料製造」を選定している。また、バイオ燃料技術革新協議会では「バイオ燃料技術革新計画」において具体的な生産モデルや技術開発の方向性を技術ロードマップとしてまとめた。当該ロードマップ等を踏まえ、2010年6月に「エネルギー基本計画」が改定され、2020年までに全国のガソリンの3%相当以上のバイオエタノールを導入するとしている。

②我が国の状況

国内においては、2010年の「エネルギー基本計画」で掲げられた、2020年には全国のガソリンの3%相当以上をバイオ燃料にする目標（約180万kL）に向け、バイオエタノール製造が検討されている。現在NEDOでは、セルロース系エタノール製造に関する研究開発は、バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発事業では基盤研究を、また、セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業では実証研究をそれぞれ行い、実用化に取り組んでいる状況である。

③世界の取り組み状況

米国及びブラジルにおいてトウモロコシやサトウキビなど可食バイオマスを原料として大規模な商用生産が行われている。一方、本事業で取り組む予定の食糧と競合する可能性の低いセルロース系バイオマスを原料とするエタノール製造については、米国において基盤研究から実証研究まで行われ、実用化に取り組んでいる状況である。

④本事業のねらい

本事業を実施することにより、2020年に（ガソリン対比）CO₂削減率50%以上を達成する生産プロセスで、国内外のバイオエタノールと競合可能な製造コスト（2008年のバイオ燃料革新技術計画では40円/L）でのバイオエタノール製造の実用化に資する有用要素生産技術を確立する。

[研究開発の目標]

①過去の取り組みとその評価

バイオエタノール製造技術開発については、バイオ燃料技術革新計画（2008年3月 バイオ燃料技術革新協議会）の技術革新ケースとして、製造コスト40円/L、CO₂削減率50%以上（対ガソリン）の技術を持って、2020年に年産10～20万kL規模での実用化を実現すべく取り組んでいる。

NEDOでは、中長期的視野も見据えてバイオマスからのエネルギー転換効率の向上を目指した技術開発として【バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発事業】を「転換要素技術開発」と「先導技術研究開発」という形で2004年度～2012年度で行ってきている。これまでの技術開発により、バイオマス（原料）から前処理工程、糖化工程、発酵工程及び濃縮・脱

水工程の各基盤技術は世界のトップレベルである。特に、有用糖化酵素、有用微生物を用いたエタノール発酵生産、バイオ燃料用のバイオマス原料の改良については、主にラボスケールで優れた成果が得られている。

②本事業の目標

本事業では、高効率事業で優れた成果が得られた有用糖化酵素によるバイオマス前処理物の糖化能力の向上、及び有用微生物によるエタノール発酵生産能力向上の開発を行うと共に、スケールアップ技術によるパイロットスケールでの生産技術開発を行い、2020年の商用機スケールでの実用化に適用可能な生産技術を確立する。またバイオマス原料についても、植栽技術の改良による更なる収量アップ、塩害地や乾燥地での耐性或糖化効率向上に対応した機能を強化した植物創成技術の開発を行い、実用化を促進する。

事業実施にあたっては、開発される要素技術が実証プラントへ適用されバイオエタノールの実用化に着実に資することを念頭におき、事業を実施する。

③アウトカム達成目標についての取り組み（事業以外に必要とされる取り組み）

本事業で開発された要素技術を実証プラントへ組み込み、実証研究事業においてその性能を検証する。

④全体としてのアウトカム目標

ガソリン対比GHG排出削減率50%以上のバイオエタノールについては、2017年には約84万kLの使用が義務化されており、2020年には約180万kLの使用目標が掲げられている。現在は、ブラジルからの輸入のみである。

本事業終了後において、2020年には（ガソリン対比）CO₂削減率50%以上を達成する生産プロセスで、国内外のバイオエタノールと競合可能なコストでのバイオエタノール製造の実用化に資する有用要素生産技術を確立することを目標とする。この技術を用いた実用化により、2020年に10万～20万kL/年規模以下の製造設備により生産されたバイオエタノールの海外からの開発輸入や現地販売が図られ、CO₂削減量の試算として、20万kL/年規模のバイオエタノール生産によるガソリンに代替した時に17.3万tCO₂eq/年になり、地球温暖化対策にも貢献できる。

[研究開発の内容]

上記目標を達成するために、以下の有用糖化酵素、有用微生物を用いた高収率なエタノール生産、原料のバイオマス資源の確保に関する研究開発について実施する。

1. 研究開発の必要性

経済産業省は、2008年に「バイオ燃料技術革新計画」において具体的な生産モデルや技術開発の方向性を技術ロードマップとしてまとめ、その上で2010年6月に「エネルギー基本計画」を改定し、2020年までに全国のガソリンの3%相当以上のバイオエタノールを導入するとしている。

平成24年度まで実施した「バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発事業」において、有用糖化酵素、有用微生物を用いたエタノール発酵生産技術及びバイオ燃料用のバイオマス原料の確保について技術開発が行われ、バイオエタノールの生産に関する優れた成果が得られた。

これらの成果は、主にラボスケールで得られた基盤的な技術であり、バイオマスからのエタノール生産に確実に適用されるためには、例えば、糖化酵素のセルロース系バイオマスを分解する能力アップや微生物によるエタノールの生産能力の向上等が必要である。

2. 研究開発の具体的内容

セルロース系バイオマス（原料）から前処理→糖化→発酵→濃縮・脱水の各工程を経てバイオ燃料（エタノール）を製造する方法において、糖化工程での有用糖化酵素、発酵工程での有用微生物を用いた高収率なエタノール生産、原料のバイオマス資源の確保に関するパイロットスケールに相当する生産技術開発を行う。これらの技術開発により、2020年にセルロース系バイオマスからの一貫生産プロセスでエタノール生産する実用化に資する技術を確立する。

① 有用糖化酵素の生産技術開発

- ・遺伝子操作等により、革新的糖化酵素生産菌を造成し、糖化能力がアップした高活性の酵素を開発する。
- ・革新的糖化酵素生産菌をパイロットスケール（数m³以上）で、安価で最適な培養条件を検討して酵素生産技術を開発し、2020年の商用機スケール（数百m³以上）での実用化に資する技術を確立する。

② 有用微生物を用いた発酵生産技術開発

- ・微生物を遺伝子操作等により、糖化性、耐熱性、耐酸性などの多機能を有する微生物（酵母・細菌）を育種し、糖化同時発酵による高効率エタノール発酵生産を行う。
- ・多機能微生物をパイロットスケール（数m³以上）で、最適な培養条件を検討してエタノール発酵生産技術を開発し、2020年の商用機スケール（数百m³以上）での実用化に資する技術を確立する。

③ バイオマス原料の生産技術開発

- ・海外の植林地（ブラジル等）のユーカリ等をターゲットにして、高バイオ燃料用生産性樹木の評価・選定技術、成長促進剤などの利用による植栽技術などにより収量アップを図り、2020年の実用化に資する技術を確立する。
- ・ユーカリ、エリアンサス等は、遺伝子操作による更なる育種を行い、前処理・糖化されやすい、あるいは不良地耐性等の機能を強化し、特定網室、圃場試験または野外試験を行い、実用化を目指す。

なお、本研究開発は、実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施するものであり、原則、委託として実施する。ただし、上記以外の民間企業単独、民間企業のみでの連携、大学等の単独等、産学官連携とならないものは、共同研究事業（NEDO負担率：2/3）として実施する。

3. 達成目標

有用糖化酵素については、1 mg/g-生成糖以下の酵素活性を持ち、4 円/L-エタノールの酵素コストを達成する。有用微生物を用いた高収率なエタノール生産技術開発については、エタノール生成濃度 5% (w/v) 以上で、エタノール収率 95%以上の生産技術を確立する。バイオマス資源の生産技術開発についてはユーカリ等の木質原料については、改良前の 1.2 倍以上収量をアップする。また、ユーカリ、エリアンサス等については、糖化されやすい機能等を有する育種技術を開発する。これらの技術により、2020年にセルロース系バイオマスからの一貫生産プロセスでの

エタノール生産において、(ガソリン対比)CO2削減率 50%以上で、国内外のバイオエタノールと競合可能な製造コスト(2008年のバイオ燃料革新技术計画では40円/L)での実用化に資する有用要素技術を確立する。実施テーマごとに、従来の技術に比べて画期的に優れた効率、低コスト化、省エネ性等の技術水準を見込めることを基礎的データの取得・分析により確認する。

[研究開発の実施方式]

(3) 研究開発の実施体制

本研究開発は、NEDOが、単独ないし複数の原則本邦の企業、大学等の研究機関(原則、本邦の企業等で日本国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外の企業等(大学、研究機関を含む)の特別の研究開発能力、研究施設等の活用または国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を、国外企業等との連携により実施することができる。)から公募によって研究開発実施者を選定後、共同研究契約等を締結する研究体を構築し、委託(または、共同研究)して実施する。

(4) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて設置される技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、プロジェクトの進捗について報告を受けること等により進捗の確認及び管理を行うものとする。

[研究開発の実施期間]

平成25年度から平成28年度までの4年間とする。

[評価に関する事項]

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の事後評価を平成29年度に実施する。また、事業期間内必要に応じて外部有識者等による研究開発の評価を実施し、プロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。

[その他の重要事項]

(1) 研究開発成果の取扱い

①成果の普及

得られた研究成果により、バイオマス原料からのバイオエタノール一貫生産技術の実用化の普及にNEDO、実施者ともに努めるものとする。これにより、国内におけるバイオエタノールの普及市場創出効果と温室効果ガス排出削減効果を図ることができる。

②知的財産権の帰属

委託研究開発及び共同研究の成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

(2) 基本計画の変更

NEDOは、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第ロ号に基づき実施する。

研究開発項目⑤「セルロース系エタノール生産システム総合開発実証事業」

1. 研究開発の必要性

2014年に改定された「エネルギー基本計画」においてバイオ燃料は、引き続き、導入を継続することとしており、NEDOの第3期中期計画においても、食糧供給に影響しない第2世代バイオ燃料であるセルロース系エタノールについては、2020年頃の実用化・事業化を目指すこととしている。国産技術により生産されたエタノールが普及することで、石油製品供給の一端を担える選択肢を確保することができ、エネルギーセキュリティ向上効果を得ることができる。しかし、セルロース系エタノールの大量生産のためには、まだ技術的課題が多く、当該技術の実用化・事業化に向け、今後も製造技術の開発、実証開発を推進する必要がある。

NEDOでは、2009～2013年度に実施した「セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業」(以下、「セル革事業」と略記。)において、パイロットスケールの一貫生産プラントを建設して試験を行い、事業終了時の技術目標はほぼ達成した。しかし、セルロース系エタノールの実用化・事業化には、一貫生産システムとしての性能向上、スケールアップ技術の確立などが必要であり、現有技術だけでの実用化は難しいのが現状である。

セル革事業のうち「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」(以下、「木質系」と略記)では原料・前処理工程に優れた成果を、「セルロース系目的生産バイオマスの栽培から低環境負荷前処理技術に基づくエタノール製造プロセスまでの低コスト一貫生産システムの開発」(以下、「草本系」と略記)では糖化発酵工程に優れた成果を得ている。セルロース系エタノールの実用化のためには、セル革事業の木質系と草本系のそれぞれで得られた特長を組み合わせ一貫生産プロセスとしての性能向上を図るとともに、プロセスのスケールアップ技術を確立し、大規模なプレ商用実証プラント(年産1万kL規模)による最終的な技術実証事業が必要と考えられる。

2. 研究開発の具体的内容

2017年度までに、セル革事業で得られた木質系と草本系の成果を一本化した、各工程要素技術の最適組合せ検討を実施するとともに、国内外の優良技術を調査・検討する。これらと市場見通しを踏まえ、事業性評価(コスト評価、GHG削減効果、エネルギー収支評価)を実施し、有識者の意見を参考にしつつ、実証事業継続の可否を判断する。評価の結果、以後の研究を中止する場合もある。

事業性評価の結果、実証事業を継続することとなれば、プレ商用実証プラントによる技術実証を行う。

具体的には、下記の内容に取り組む。

(1) 要素技術の最適組合せ検討〔委託〕

(i) 国内外の優良技術の調査・検討

国内外のセルロース系エタノール生産技術の最新の技術動向を調査し、各工程要素技術における技術評価とコスト試算を実施する。

(ii) 最適組合せの検証

セル革事業で得られた要素技術を中心に、キー技術となる前処理技術、糖化発酵技術(糖化酵素選定、発酵微生物選定)の組合せ検討をラボ試験レベル(実験室レベルでの小

規模な試験)で実施し、早期に実用可能かつ性能的に有望な技術の組合せを選定する。選定した組合せについてパイロットスケールで原料～糖化～発酵に至るプロセスの事業性を検証する。

(iii) 一貫生産プロセス開発・事業性評価(FS)の実施

(ii)の検証結果より、有望な要素技術を選定し、商用プラントのプロセスと運転条件を決定し、原料収集からエタノール出荷までの総合的なシステムのコスト、GHG削減効果、エネルギー収支の評価を行う。この評価結果と(i)の検討結果および市場見通しを踏まえ、年産数万～20万kL規模の商用化を想定した事業性評価を実施し、NEDOは、継続の可否を判断する。

なお、本研究開発項目(i～iii)は、産学官の複数の事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する基盤的技術の開発にかかる事業であり、委託事業として、実施する。

(2) プレ商用実証プラントによる実証〔助成：NEDO負担率2/3もしくは1/2〕

FSの結果、実証事業の継続が妥当と判断された場合、年産1万kL規模のプレ商用実証プラントを建設し、実証運転を行う。得られた運転データを基に、商用化を想定した最終的な事業性評価を実施する。

〔研究開発の実施方式〕

(1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、NEDOが、単独ないし複数の原則本邦の企業、大学等の研究機関(原則、本邦の企業等で日本国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外の企業等(大学、研究機関を含む)の特別の研究開発能力、研究施設等の活用または国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を、国外企業等との連携により実施することができる。)から公募によって研究開発実施者を選定し、研究体制を構築する。2.(1)の要素技術の最適組合せ検討は委託により実施し、2.(2)のプレ商用実証プラントによる実証は助成により実施する。

(2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、外部有識者で構成する技術検討委員会を組織し、定期的に技術的評価および助言を受け、研究開発の運営管理を行う。

〔研究開発の実施期間〕

本研究開発の期間は、2014年度から2019年度までの6年間とする。なお、個別研究開発テーマの開発目標及び実施内容の詳細については、採択テーマ決定後にNEDOと研究開発実施者の間で協議の上決定する。また、経済産業省で検討されているエネルギー供給構造高度化法の告示改正に関する動向を踏まえ、2016年度以降に「プレ商用実証プラントによる実証」の実施期間を必要に応じて見なおす。

〔評価に関する事項〕

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を2017年度に、事後評価を2020年度に実施する。また、事業期間内必要に応じて外部有識者等による研究開発の評価を実施し、プロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

〔その他の重要事項〕

(1) 研究開発成果の取扱い

①成果の普及

得られた研究成果により、バイオマス原料からのバイオエタノール一貫生産システムの実用化の普及にNEDO、実施者ともに努めるものとする。これにより、国産技術によるエタノール生産が普及することで、石油製品供給の一端を担える選択肢を確保することができ、エネルギーセキュリティ向上効果と、温暖化ガス削減効果（年間ガソリン比17.3万tCO₂削減）を得ることができる。また、国内におけるバイオエタノールの普及市場創出効果（20万kLで年間120億円に相当する生産：価格60円/L想定時）を図ることができる。

②知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

(2) 基本計画の変更

NEDOは、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、下記の国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法に基づき実施する。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1号ロ、第3号、第9号

3. 達成目標

以下を達成目標とする。

- ①ガソリン比GHG削減効果50%、化石エネルギー収支2以上の一貫生産プロセスの最適化
- ②プレ商用実証プラントの建設と年産1万kLの運転の実証
- ③ガソリン価格を見据えつつ海外エタノール価格と競合できるバイオエタノール生産コストの実現

【中間目標（2017年度）】

商用プラントを想定して①を達成し、プレ商用実証プラントの設計・建設に進むに値するFS結果を得ることを目標とする。FS実施時に、商用化に資するコスト目標を事業目標として事業者側が設定し、その目標の妥当性を外部有識者により審議し、妥当であるとの評価を得る。

【最終目標（2019年度）】

商用化に向け、プレ商用実証プラントを建設し、プレ商用実証プラントでの実証運転にて、①、②、③を達成する。

以上