

「セルロース系エタノール  
革新的生産システム開発事業」  
(事後評価)分科会  
資料5-1

# 「セルロース系エタノール 革新的生産システム開発事業」

## 事業原簿【公開】

担当部	独立行政法人新エネルギー・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
<b>I. 事業の位置付け・必要性について</b>	<b>I-1</b>
1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性	I-1
1-1 NEDO が関与することの意義	I-1
1-2 実施の効果	I-1
2. 事業の目的・背景・位置付け	I-2
2-1 事業の背景及び目的	I-2
2-2 我国のバイオ燃料政策及び達成目標における位置づけ	I-2
2-3 バイオ燃料技術革新計画について	I-4
2-4 研究開発政策上の位置付け	I-6
2-5 海外での研究開発動向	I-7
<b>II. 研究開発マネジメントについて</b>	<b>II-1</b>
1. 事業の目標	II-1
2. 事業の計画内容	II-5
2-1 研究開発の内容	II-5
2-2 研究開発の実施体制	II-10
2-3 研究開発の運営管理	II-13
2-3-1 自主中間評価	II-13
2-3-2 推進委員会	II-15
2-4 研究開発成果の事業化に向けたマネジメントの妥当性	II-16
3. 情勢変化への対応	II-18
4. 中間評価結果への対応	II-18
5. 評価に関する事項	II-20
<b>III. 研究開発成果について</b>	<b>III-1</b>
1. 事業全体の成果	III-1
2. 研究開発項目毎の成果	III-4
2-1 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	III-4
2-1-1 研究開発の概要	III-4
2-1-2 研究開発の目標設定	III-6
2-1-3 目標と成果	III-7
2-1-4 知的財産権等の取得及び成果の普及	III-77
2-2 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	III-78
2-2-1 研究開発の概要	III-78
2-2-2 研究開発の目標設定	III-81
2-2-3 目標と成果	III-83
2-2-4 知的財産権等の取得及び成果の普及	III-143
2-3 バイオ燃料の持続可能性に関する研究	III-144
2-3-1 研究開発の概要	III-144
2-3-2 研究開発の目標設定	III-146
2-3-3 目標と成果	III-147
2-3-4 知的財産権等の取得及び成果の普及	III-160
<b>IV. 実用化・事業化の見通しについて</b>	<b>IV-1</b>
1. 成果の実用化可能性について	IV-1
2. 研究開発項目毎の事業化の見通し	IV-3

2-1	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 .....	IV-3
2-1-1	セルロース系エタノール一貫生産システム事業化の意義 .....	IV-3
2-1-2	セルロース系エタノール一貫生産システムの実用化・事業化へのシナリオ ....	IV-4
2-1-3	波及効果.....	IV-7
2-2	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.....	IV-9
2-2-1	事業化の可能性について .....	IV-9
2-2-2	事業化のシナリオ .....	IV-10

付録 研究発表・講演・特許リスト

## 事業原簿概要

		作成日	平成 21 年 3 月 12 日
		改訂日	平成 25 年 11 月 6 日
プログラム（又は施策）名	エネルギーイノベーションプログラム		
プロジェクト名	セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業	プロジェクト番号	P09014
担当推進部/担当者	新エネルギー部/古川信二・濱田利幸・本多文博・佐藤秀美		
0. 事業の概要	<p>本プロジェクトは、「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、CO<sub>2</sub>削減率 5 割以上（対ガソリン）、化石エネルギー収支 2<sup>*1</sup>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<sup>*2</sup>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。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。</p> <p>* 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)</p> <p>* 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、パガス、間伐材、林地残材等）を除く。</p>		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>&lt;位置付け&gt;</p> <p>本事業は、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）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、CO<sub>2</sub>削減率 5 割以上（対ガソリン）、化石エネルギー収支 2 以上）を実現するために必要な研究開発として位置付けられる。また、技術戦略マップでは、エネルギー分野の「新エネルギーの開発・導入促進」及び「運輸部門の燃料多様化」、生物機能活用技術分野の「生物機能を活用したエネルギー生産技術」にも位置付けられる。</p> <p>&lt;必要性&gt;</p> <p>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性、LCA 上の温室効果ガス削減効果・エネルギー収支等の正確な定量化・政策上の導入効果の適切な評価といった課題を今後克服していくことが重要である。</p> <p>本事業は、食料と競合せず、大規模安定供給が可能なセルロース系目的生産バイオマスの栽培からエタノール製造プロセスまでを一貫した革新的な生産システムの開発を行い、環境負荷・経済性等を評価すると共に、国際的な取組、議論の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も調査研究を行うものであり、バイオ燃料の持続可能な生産・利用を図る上でも必要なものである。</p>		
II. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	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、CO <sub>2</sub> 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		

	<p>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。</p> <p>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。</p>						
事業の計画内容	主な実施事項	H21fy	H22fy	H23fy	H24fy	H25fy	
	バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発	○	○	○	○	○	
	バイオ燃料の持続可能性に関する研究	○	○	○	○	○	
開発予算 （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	H21fy	H22fy	H23fy	H24fy	H25fy	総額
	一般会計	0	0	0	0	0	0
	特別会計（需給）	771	1855	2410	1214	876	7126
	総予算額	771	1855	2410	1214	876	7126
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 新エネルギー対策課					
	プロジェクトリーダー	なし					
	委託先（*委託先が管理法人の場合は参加企業数も記載）	<p>【バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発】</p> <p>①バイオエタノール革新技術研究組合（参加6社）/東京大学</p> <p>②王子ホールディングス（株）/（独）産業技術総合研究所/新日鉄住金エンジニアリング（株）</p> <p>【バイオ燃料の持続可能性に関する研究】</p> <p>（株）三菱総合研究所/（独）産業技術総合研究所</p>					
情勢変化への対応	特になし						
Ⅲ. 研究開発成果について	<p>【バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発】</p> <p>①「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（バイオエタノール革新技術研究組合/東京大学）」</p> <p>多収量草本系植物による原料周年供給システムについて、熱帯においてネピアグラスの大規模栽培実証試験を行い、複数の条件で生産性50t/haを達成し、有機物施用の効果、圃場条件の違いによる生産性の増減について知見を得た。また、エタノール製造プロセスについて、前処理プロセス、酵素糖化プロセス、発酵蒸留プロセスのベンチプラントを建設し、一貫生産試験を実施した。その結果、酵素コスト10円/Lに目処をつけ、エタノール発酵収率で目標値（C6:95%、C5:85%）を達成するなどそれぞれの要素技術の目標を達成し、全体目標であるコスト80円/L、化石エネルギー収支2以上、GHG削減率50%以上の達成に目処がついた。</p> <p>②「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（王子ホールディングス/産業技術総合研究所/新日鉄住金エンジニアリング）」</p> <p>生長量等調査の結果から選定したエタノール生産適性早生樹について、植栽方法</p>						

	<p>(植栽密度、伐採時期、萌芽更新等)の検討を行うため、国内(一部海外も含む)での圃場試験を実施し、一部条件では目標の17t/haを達成し、条件の違いによる生産性の増減について知見を得た。また、エタノール製造プロセスについて、パイロットプラントを建設し、前処理、糖化発酵、蒸留の一連プロセスの一貫生産試験を実施した。その結果、投入エネルギー量6MJ/kg以下と糖化率80%以上を同時に達成する前処理方法の確立、自己熱再生型蒸留によりエネルギー消費量を従来の1/6にするなどの要素技術成果が得られた。一貫生産システムとしては、雑菌コンタミの発生により十分な長期にわたる試験結果は得られておらず、糖化発酵プロセスなどにおいて目標が一部未達となっている。</p> <p>【バイオ燃料の持続可能性に関する研究】 「温室効果ガス(GHG)削減効果等に関する定量的評価に関する研究(三菱総合研究所/産業技術総合研究所)」</p> <p>現在及びこの数年の間に日本国内において導入可能な各種輸送用液体バイオ燃料と中期及び長期に日本国内において導入が想定される各種輸送用液体バイオ燃料の温室効果ガス削減効果を定量的に評価するために、生産地、原料の生産、原料の貯蔵・輸送、バイオ燃料の製造方法、バイオ燃料の輸送・貯蔵といった個別プロセス毎に温室効果ガスの排出量を定量的に評価し、当該バイオ燃料を利用した際の温室効果ガス排出量を算出した。更には算出した標準的定量値を技術水準(準商用段階、実証段階、研究段階等)毎に整理した。また、上記バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発での開発成果に基づき、それぞれのケースについて温室効果ガスの排出量を定量的に評価した。</p>	
	投稿論文	査読付き27件 その他19件
	特許	出願47件
IV. 実用化・事業化の見通しについて	<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及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>	
V. 評価に関する事項	事前評価	平成20年度実施 担当部 新エネルギー技術開発部
	中間評価以降	平成23年度 中間評価実施 平成25年度 事後評価実施予定
VI. 基本計画に関する事項	作成時期	平成21年1月 作成

プロジェクト用語集

	用語	定義
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。
D	DNA マイクロアレイ	数万から数十万種類の遺伝子に対応する DNA 断片をガラスやシリコンの基板上に高密度に配置、固定したもの。これを用いると遺伝子群の発現を網羅的に解析できる。
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	FT-IR	フーリエ変換赤外分光法 (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)
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。
H	HIDiC 法	内部熱交換蒸留法。蒸留塔の濃縮部を加圧、回収部を常圧に調整し、濃縮部と回収部のエネルギーを 1 本の蒸留塔内で熱交換することで、理論的には還流ゼロが実現できる省エネルギー蒸留法である。内部熱交換蒸留法のエタノール濃縮への適用について研究開発が進められ実用化されることが期待される。
L	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。
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ン酸 (ニコチンアミドアデニンジヌクレオチドリン酸、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。
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。
	PSA 法	圧カスウィング吸着法 (Pressure Swing Adsorption)。

		<p>吸着剤としてゼオライトを充填した2本の吸着塔（A塔、B塔）からなり、A塔では常圧あるいは加圧で、かつ、エタノールが蒸気で存在できるように沸点以上の温度条件のもと、含水エタノール蒸気を供給することで水蒸気をゼオライトに選択的に吸着させ、A塔の出口から無水エタノールを流出させる。一方、B塔では吸着時の温度を維持したまま、減圧条件としてA塔流出の無水エタノール蒸気の一部を導入することで、ゼオライトに吸着された水を脱着させてゼオライトを再生する。バルブを切り替えることで、吸着・脱着操作をA塔とB塔で交互に行うことにより、連続的に無水エタノールを得ることができる。</p>
R	RFS	<p><b>Renewable Fuels Standard</b> 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。</p>
	RO	<p>逆浸透（reverse osmosis）。膜に分子が透過できる程度の孔があれば分子の熱運動によって孔を通り抜けることができ浸透現象が起こる。膜孔が小さく、タンパク質のような巨大分子を通さなければ、濃度の低い側から高い側へと水分子が浸透する。しかし、濃度の高い側へ圧力をかければ、水は逆に濃度の低い方へと移動し、溶質が濃縮される。これを逆浸透という。</p>
	RTFO	<p><b>Renewable Transport Fuel Obligation</b> 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。</p>
U	UF	<p>限外ろ過（ultrafiltration）。大きい溶質分子を小さい溶質分子や溶媒分子からふるい分ける分子レベルの濾過。対象分子は、分子量数百程度の物質から、タンパク質などの高分子、コロイド粒子を経て、ウイルス粒子に及ぶ。限外ろ過に用いられる膜はセルロースアセテートやポリスルホンなどの非イオン性の合成ポリマー製で、孔はないが溶媒で満たされた空隙を持ち、小分子はこの空隙から染み出す。この過程は重力下では進行せず、数十万 Pa 程度の加圧を要する。</p>
X	XRD	<p>X線回折（X-ray diffraction）</p>



ア	アセチル基	一価の基 $\text{CH}_3\text{CO}$ -をいう。酢酸から誘導されるアシル基。
	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 style="text-align: center;">(バイオ燃料へのエネルギー投入量) = (エネルギー投入量合計) - (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 style="text-align: center;">(バイオ燃料へのエネルギー投入量) = (エネルギー投入量合計) × <math>\frac{\text{(バイオ燃料の価値)}}{\text{(バイオ燃料の価値)+(副産物の価値)}}</math></p>
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	エステル架橋	キシランと他のヘミセルロースやリグニンはエステル結合で架橋されている。アルカリ処理では、このエステル結合が加水分解され、リグニン除去の効果が得られる。
	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
	エリアンサス	エリアンサスは、永年性イネ科植物。年間乾物収量5トン/10アール程度の高い乾物生産性を示し、永続的に生産性を維持し、構成成分の灰分割合は6.5パーセント少ないのでセルロース系資源作物として有望。機械収穫には既存の飼料用収穫機械が利用できる。

オ	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。
	オミックス	ゲノム、トランスクリプトーム、プロテオームなどの、生物学的情報の網羅的な解析に関する学問体系のこと
	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。
カ	開発輸入	先進国が、発展途上国に資本や技術を供与して、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。
	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。
	カルシウムベース	Ca(OH) <sub>2</sub> 、CaCO <sub>3</sub> などの陽イオンがCaの塩基類。
	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。
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。
	共沸蒸留	水との混合液が最低沸点を示す共沸を形成し、かつ、水との溶解性が低く相分離する性質を有する溶剤を、共沸剤として含水エタノールに添加して蒸留することで、含水エタノールを脱水する方法。共沸剤としては、シクロヘキサン、ジエチルエーテル、ノルマルペンタンなどが一般的に用いられている。
	菌根菌	菌根を作って植物と共生する菌類のこと。土壌中の糸状菌が、植物の根の表面または内部に着生したものを菌根と言う。共生の形態から植物の根を包み込み鞘状の菌糸を形成する外生菌根菌と、根の内部で伸長する内生菌根菌に大別される。
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。

ケ	結晶構造変化（結晶型変態）	高濃度のアルカリ処理でセルロースの強度と染色性が増す（マーセル化）。マーセル化においては、アルカリが水素結合を切断し結晶内に侵入することで繊維が大きく膨潤する。マーセル化に伴ってセルロースⅠはセルロースⅡに変化する。一方、液体アンモニア処理により、セルロースⅠはセルロースⅢに結晶形の変化が起こる。
	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。
	根系	植物の地下部全体のこと
	根重	根の重量
サ	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。
	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。
	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

	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	スラッシュバンダラー	北欧でバイオマス発電用に栽培されているヤナギの収穫に使用される機械。収穫した萌芽を一定量にまとめる機械。
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。
	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-エンドグルカナナーゼ、セロビオヒドロラーゼ、β-グルコングターゼなどから成る。
	セルロース	セルロース (cellulose) とは、分子式 (C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>n</sub> 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Ⅰ型	天然セルロースの結晶構造はセルロースⅠと呼ばれる。地球上で最も多い高分子結晶はセルロースⅠである。セルロースⅠは分子鎖が平行でO6が分子鎖上の隣接残基のO2を向いている。
	セルロースⅢ型	セルロース繊維の強度と染色性の向上、防縮、形状安定などの目的で液体アンモニア処理がしばしば行われるが、この処理により、セルロースⅠ結晶はセルロースⅢ結晶に変化する。この結晶変態は可逆的である。セルロースⅢは平行鎖構造だが、O6とO2の水酸基の向きはセルロースと同様に分子鎖に垂直な方向を向いている。アンモニアはセルロース結晶格子内に侵入し、水酸基配位して複合結晶を形成する。ここからアンモニアが抜ける際には結晶は元に戻らず、強い分子間水素結合をもつセルロースⅢになる。
	セルロース結晶形	木材や木綿等は天然型のセルロースⅠ型、溶解・再生して製造するセロハンやレーヨン繊維ではセルロースⅡ型。化学処理などにより生成するセルロースⅢ型やⅣ型もある。
	セルロースマイクロフィブリル	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ィブリル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詰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。
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。

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。
	土壌固定 CO <sub>2</sub>	土壌中に含まれる炭素を CO <sub>2</sub> 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
	ドライ・アンモニアガス	水を一切用いない 100% ガス状のアンモニア。従来のアンモニア水処理と区別するための名称。
	トリコデルマ・リーセイ (Trichoderma reesei)	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 <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 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ィブリル）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。
ネ	燃料電池	補充可能な何らかの負極活物質（通常は水素）と正極活物質となる空気中の酸素等を常温または高温環境で供給し反応させることにより継続的に電力を取り出すことができる発電装置。
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する非枯渇性資源として注目されている他、二酸化炭素(CO <sub>2</sub> )の総排出量が増えない（カーボンニュートラル）と言われていたことから、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。
	廃酵母（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
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。
	プロテオーム解析	プロテオーム解析は、最初に二次元電気泳動などの手法により多種類のタンパク質を分離精製し、分離されたタンパク質それぞれについて質量分析などにより部分アミノ酸配列を決定すること。
ヘ	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砕処理を行う装置。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、湿式粉砕も可能。
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、機械的粉砕（ボールミル）、高温高圧（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。

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切な溶媒を加え、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砕し、パルプ化する装置

## I. 事業の位置付け・必要性について

### 1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

#### 1-1 NEDOが関与することの意義

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は、地球温暖化対策、エネルギー自給率向上、エネルギー源多様化の観点から重要である。同時に、ガソリンと競争可能なレベルまで製造コストを低減させていく経済性の向上も不可欠とされている。

セルロース系エタノールについては、過去に多くの研究開発が行われてきたが、未だに実用化に至っていない原因の一つとして、コスト要求に技術的に対応できなかったことが挙げられる。裏を返せば、セルロース系エタノールの実用化は技術的なハードルが非常に高く、その解決には革新的な研究開発が必要とされるため、民間企業だけに留まらず大学等の研究機関と連携して取り組んで行くことが重要である。研究開発のリスクの高さと併せて、実用化に至るまでには多額の投資が必要になることが見込まれ民間企業単独で取り組むことも困難である。

また、セルロース系エタノールについては、現状において産業が存在せず、実用化した暁に社会への導入・普及を促していくためには、ビジネスモデルの構築や新規エネルギー産業の創出も必要になる。

このような状況とNEDOがエネルギー・環境分野等における政策実施機関として、民間企業だけではリスクが高く実用化には至らない重要技術について迅速に実用化を図り社会に普及させていくための開発等を一体的に実施し、産学官の研究開発能力を最適に組み合わせることで効率的に事業を実施していることを照らし合わせれば、NEDOの関与は不可欠である。

#### 1-2 実施の効果

経済産業省と農林水産省が、有識者を交えて2020年におけるセルロース系バイオ燃料の生産量試算検討を行っており、その結果が2009年5月の「総合資源エネルギー調査会 第35回新エネルギー部会」において報告されている。

試算検討結果では、2020年における我が国の国産・準国産のセルロース系エタノール等の生産可能性については、国産・準国産の合計で原油換算約50万kL程度とされている。

国産バイオ燃料は、草本系（稲わら等）、木質系（製材工場残材等）の原料を中心に、2015年頃から生産拡大・設備整備が進むと見込まれ、バイオマスの賦存量等から原油換算約40万kLとし、その内訳としてはセルロース系エタノール原油換算33万kL（エタノール換算61万kL）、糖・でんぷん系エタノール原油換算3万kL（エタノール換算6万kL）、バイオディーゼル原油換算5万kLとなっている。

いわゆる開発輸入バイオ燃料（準国産バイオ燃料）については、技術確立やスケールアップ等の課題からセルロース系エタノール原油換算約10万kL（エタノール換算20万kL）が可能になるとされている。



この数値を前提とした場合、バイオエタノールCO<sub>2</sub>排出削減量は867gCO<sub>2</sub>eq/Lであるため、CO<sub>2</sub>削減効果は867gCO<sub>2</sub>eq/L x 20万kL/年 = 17.3万tCO<sub>2</sub>eqと見積もられる。

また、総合資源エネルギー調査会基本問題委員会（第27回）「資源・燃料の安定供給の課題と今後の対応（参考資料）」によれば、2020年のガソリン需要量の予測は3600万kL原油換算=4040万kLであり、エネルギー基本計画によりその3%がエタノールとすると2020年エタノール需要は120万kLとなる。すなわち、上記前提によれば、2020年エタノール需要の1/6を本事業にて開発した準国産バイオ燃料で置き換えられることになる。

## 2. 事業の目的・背景・位置付け

### 2-1 事業の背景及び目的

バイオ燃料は、炭素循環の観点から、地球温暖化対策の有効な手段となる可能性がある。また、資源に乏しく運輸部門で消費される燃料のほぼ全量を化石燃料に依存している我国においては、燃料多様化、エネルギー安全保障及び自給率向上の観点からも重要である。

しかし、その一方では、バイオ燃料の導入にあたっては、ライフサイクルアセスメント（LCA）において十分な温室効果ガス削減効果が得られることを前提にしつつ、さらには食料競合の回避や生物多様性の保全、経済性や供給安定性の確保といった課題を克服して行くことが必要である。

このような背景から、本事業では食料と競合せずに経済的かつ大規模に安定供給することが可能なセルロース系エタノールを実用化するため、バイオマス原料の栽培からバイオエタノール製造プロセスまでを一貫したセルロース系バイオエタノール生産システムを開発することを目的とする。

また、バイオ燃料の持続可能性についても、諸外国の動向を調査し、その定量的な評価方法等の研究に取り組み、我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を目的とする。

### 2-2 我国のバイオ燃料政策及び達成目標における位置づけ

我国のバイオ燃料政策及び達成目標と本事業の位置付けについて図 I-1 に整理するとともに、以下において説明する。

2006年5月に発表された「新・国家エネルギー戦略」において、運輸部門の化石燃料依存度を2030年に約8割程度にする同時にエネルギー効率を30%向上させるという目標が設定された。

2007年5月の「次世代自動車・燃料イニシアティブ」では、この目標を達成する手段として、バッテリー、クリーンディーゼル、水素・燃料電池、バイオ燃料、世界一優しいクルマ社会構想の5つの技術について、これらの技術をどのように組み合わせ、どのように進化していくべきかについて、関係業界である自動車業界と石油業界を交えて議論を重ね、その結果が取りまとめられた。

その中で、バイオ燃料の導入は燃料の多様化を図る上で、当面の重要な取り組みとして位置付け、特にバイオエタノールについては詳細な検討がなされている。

バイオエタノール導入にあたっての対応の方向性として、ライフサイクルでの二酸化炭素の排出削減効果、食料との競合、産業競争力の観点から、その効果と影響を十分に踏まえてセルロース系原料を利用したエタノール製造技術開発を進めることが必要であるとし、同時に持続的に活用していくためには、中長期的にガソリンと競争可能なレベルまでエタノール製造コストを低減させていく経済性の向上も不可欠であるとしている。

このことを踏まえて、経済的かつ多量にセルロース系バイオマスからバイオエタノール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検討を進めるため、推進主体である官民（独法を含む）が協議して、具体的な目標、技術開発、ロードマップ、実施主体等を内容とする「バイオ燃料技術革新計画」を官民連携して策定する必要があると結論付けている。

また、2030年に向けたロードマップでは、バイオ燃料（バイオエタノール）の製造コストについてベンチマークが設定されており、2015年では製材工場等残材・稲わら等を原料とした場合にバイオマス・ニッポンケースで100円/L、技術革新ケースで40円/L、2020年では林地残材・資源作物を原料とした場合にバイオマス・ニッポンケースで100円/L、技術革新ケースで40円/Lとされている。

2008年3月の「バイオ燃料技術革新計画」では、バイオマス・ニッポンケースと技術革新ケースについて、具体的なモデルケースを例示した上で、実現に向けた技術開発の方針やベンチマークをロードマップとして取りまとめた。また、LCA上の視点から留意すべき点や食料との競合、生態系への影響等の課題についても整理を行っている。

なお、本事業は本計画の技術革新ケースを具現化するものであり、特に関わりが深いことから次項において詳細に説明する。

2010年6月に閣議決定された「エネルギー基本計画」では、再生可能エネルギーの導入拡大は、地球温暖化対策、エネルギー自給率向上、エネルギー源多様化、環境関連産業育成の観点から重要であるとし、今後2020年までに一次エネルギー供給に占める再生可能エネルギーの割合が10%に達することを目指すとしている。

バイオ燃料については、LCAでの十分な温室効果ガス削減効果や安定供給、経済性を前提に2020年に全国のガソリンの3%相当以上の導入を目指し、さらにはセルロース・藻類等の次世代バイオ燃料の技術確立により2030年に最大限の導入拡大を目指すとしている。

2009年8月に施行された「エネルギー供給構造高度化法」では、エネルギーの安定的かつ適切な供給の確保を図ることを目的に、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を促進することが定められた。

また、翌年9月には、同法に基づきエネルギー供給事業者が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を促進するための基本方針及び判断基準が示されており、バイオエタノールに関しては、石油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CO<sub>2</sub>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。

以上のことから、特に2006年以降の各政策において、地球温暖化対策、エネルギー自給率向上、

エネルギー源多様化の観点から、セルロース系エタノールの実現は重要な課題であり、技術開発の推進により2020年以降の導入を目指していくものとされている。

併せて、セルロース系エタノールの導入にあたっては、温室効果ガス削減効果や食料競合や生物多様性等の持続可能性にも配慮して進めていくことが重要であるとされている。



図 I-1 我国のバイオ燃料政策及び達成目標における位置づけ

### 2-3 バイオ燃料技術革新計画について

バイオ燃料技術革新計画では、次世代自動車・燃料イニシアティブにおいてベンチマークが設定されたバイオマス・ニッポンケースと技術革新ケースについて、セルロース系エタノールの実現に向けた検討を行っている。

バイオマス・ニッポンケースでは、国内の未利用バイオマスを原料として生産規模1.5万kL/年、製造コスト100円/Lとし、技術革新ケースでは、国内外を問わず目的生産バイオマスを原料として生産規模10～20万kL/年、製造コスト40円/Lとして設定している。

それぞれの製造コストについては、バイオマス・ニッポンケースの100円/Lはバイオ燃料が免税措置を受けてガソリンとの競争性があるものであり、技術革新ケースの40円/Lは、米国NRELの研究開発目標（1.07ドル/ガロン）をベースに当時の原油価格（50ドル/バレル）等を考慮して、2015年を目標として設定したものである。参考として、その後NRELは2011年報告書のなかで、2012年における目標製造コストを2.15ドル/ガロンと当初想定約2倍の水準に修正しており、また、原油価格についてもIEA予測では2020年120ドル/バレルとの見方もあり、原油価格と為替予測を考慮すると既存のエタノールと競争力のある製造コストの等価値は60円/L前後と考えら

れる。

本事業は技術革新ケースの実現を目指して政策の具現化がなされたものであることから、以降では技術革新ケースについて説明する。

技術革新ケースでは、その生産規模が10～20万kLであることから、原料となるバイオマスについては食料と競合せず生産性が高いことに着目し、エリアンサス（図 I -2）やネピアグラス等の多収量草本植物とユーカリ（図 I -3）やヤナギ等の早生広葉樹をエタノール製造の原料として目的生産することを前提に2つのエタノール生産モデルを設定している。

エタノール製造については、前処理、糖化、発酵、濃縮脱水の各工程の要素技術について、高い目標を掲げ、これを達成すべく革新的な技術開発を進めると共に、各工程を一貫したプロセスについて全体の最適化を図っていく。

エタノールの製造コストは、原料コストとエタノール転換コストの合計となることから、目的生産バイオマスとエタノール製造プロセスを組み合わせた一貫生産システムの最適化によって、製造コスト40円/Lを実現する技術を2015年に確立して行くことにしている。

さらには、エタノール生産モデルについてLCA上の留意点について考察すると共に、バイオ燃料の実用化を進めて行く上でLCAによる温室効果ガス排出評価や環境・社会影響評価についても指針や基準、評価方法等を整備して行くことが重要であるとしている。

なお、技術革新ケースにおけるエタノール生産モデルを図 I -4に、技術内容を表 I -1に示す。



図 I -2 エリアンサス

(写真提供: バイオエタノール革新技術研究組合)



図 I -3 ユーカリ

(写真提供: 王子ホールディングス株式会社)



図I-4 技術革新ケースにおけるエタノール生産モデル

表 I-1 技術革新ケースにおける技術内容等 出典: バイオ燃料技術革新計画(概要)

		技術革新ケース(40円/L)	
原料	生産地	国内外	
	バイオマス原料	(目的生産バイオマス) 多収量草本植物(エリアンサス、ミスカンサス、ソルガム、サトウキビ、ススキ、ネピアグラスなど) 早生広葉樹(ヤナギ、ポプラ、ユーカリなど) ※大幅なシステム革新があれば針葉樹(スギなど)も活用できる可能性はある。	
製造	生産規模	10~20万kL/年	
	開発対象技術	前処理	微粉碎処理、アンモニア処理、水熱処理、ソルボリシス、※アルカリ処理、微生物処理
		酵素糖化	高活性酵素選択・創製、成分比最適化、オンサイト酵素生産、酵素回収再利用、含水固体糖化リアクター、糖液濃縮技術
		エタノール発酵	連続発酵、5炭糖・6炭糖同時利用、高温耐性、含水固体発酵装置
		濃縮脱水	膜分離法、溶媒抽出法
廃液処理	廃液処理-再利用(膜分離法など)、発酵残渣・灰分の有効利用(肥料、飼料)、処理エネルギー低減		
原料～製造に係るLCAの視点		CO <sub>2</sub> 削減率50%以上、エネルギー収支2.0以上	

(※) ソルボリシス: 加溶媒分解

## 2-4 研究開発政策上の位置付け

経済産業省が制定した「エネルギーイノベーションプログラム」において、運輸部門の燃料多様化の内、バイオマス由来燃料として「新・国家エネルギー戦略」に掲げる目標(2030年に向け、運輸部門の石油依存度が80%程度となることを目指す)の実現のために、官民が中長期的な展望・方向性を共有しつつ、技術開発として位置付けられている。

## 2-5 海外での研究開発動向

セルロース系エタノールの開発は、我国以外でも欧州、米国、中国等において取り組まれており、最近では商業規模プラントの建設事例が数例報告されている。最も強力で推進しているのは米国であり、エネルギー省（DOE）が中心となって研究開発段階から商業化段階までの広範囲において多くのプロジェクトが実施されている。海外各国で推進されている代表的なバイオエタノール一貫生産プラントを表 I-2 にまとめる。詳細については、NEDO 調査事業「バイオエタノール一貫生産システムに係る最新動向と事業化へ向けた市場性・経済性に関する検討」報告書を参照のこと。

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存在しない。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くことが予測され、我国もこれに追従すべく強力で推進して行く必要がある。

また、米国や中国ではトウモロコシ残渣を原料にする案件が多く、自国内の作物の有効利用を優先して考えている。ところが日本の場合、原料調達を海外の生産者に依存するのは、価格などが海外の市況に左右されることになり、エネルギーセキュリティ上好ましくない。この点で、日本発の技術で、日本企業が生産・販売を調整可能な原料を使って製造する準国産バイオ燃料「日の丸エタノール」の導入は、エネルギーセキュリティ上大いに意味がある。

表 I-2 各国における主なバイオエタノール一貫生産プラント概要

国	プロジェクト	生産開始時期	生産規模	技術				主な副産物等	収量、コスト等
				原料	転換技術/糖化発酵プロセス	前処理・糖化	発酵		
日本	セル革 (草本系)	2011年 (ベンチ実証試験開始)	19L/日	エネルギー作物	生物化学転換	ドライアンモニア法	C5糖、C6糖2段階発酵	—	100円/L達成 (2013年までに80円/Lの目標達成見込み)
	セル革 (木質系)	2011年 (一貫プロセス試験開始)	250L/日	木質バイオマス	生物化学転換/SSF <sup>1</sup>	メカノケミカルパルピング前処理	C5糖、C6糖並行発酵	—	要素技術目標達成時に40円/L達成を確認
米国	Abengoa	2013年第4四半期 (建設完成)	9,500万L/年	農業残さ	生物化学転換/SSF	希酸処理	C5糖、C6糖並行発酵	電力18MW	—
	Blue Fire	2014年 (建設完成)	7,200万L/年	森林残さ	濃硫酸法	濃硫酸加水分解	C5糖、C6糖(自然発酵酵母菌)	—	・303L/乾燥トン (期待される結果) ・0.44ドル/L (2015年見積、減価償却控除後)
	POET	2013年第4四半期 (建設完成)	7,600万L/年 (後9,500万L/年に増強)	農業残さ	生物化学転換	水蒸気爆砕	C5糖(rDNA酵母)、C6糖(商業酵母)	—	・299~321L/トン ・0.60~0.71ドル/L (2012年見積) ・325~336L/トン ・0.53~0.60ドル/L (2015年想定)
	Mascoma	2014~2015年 (建設完了)	7,600万L/年	木質バイオマス (硬材、パルプ材等)	生物化学転換/CBP <sup>2</sup>	—	C5糖、C6糖発酵	リグニン回収	・0.53ドル/L以下 (想定)
	INEOS	2012年12月	3,000万L/年	植物性廃棄物	ハイブリッド	(ガス化)	(自然微生物による発酵)	電力:6MW	・310L/乾燥トン ・除く原料:0.45ドル/L(期待される結果) ・理論上は、511~548L/

<sup>1</sup> SSF (同時糖化発酵) : セルロースの糖化と糖の発酵が同じ反応器で行われ、セルロース酵素とエタノール発酵酵母菌を同時に投入する方式

<sup>2</sup> CBP (糖化発酵同時進行) : セルロースの糖化と糖の発酵が同じ反応器で行われ、さらに同一の菌で酵素生産とエタノール生産を実施する方式

国	プロジェクト	生産開始時期	生産規模	技術				主な副産物等	収量、コスト等
				原料	転換技術/糖化発酵プロセス	前処理・糖化	発酵		
									乾燥トンが可能
	Enerkem	2013年4月(計画開始)	3,800万L/年	都市固形廃棄物	熱化学転換	(ガス化)	(触媒使用)	—	321~340L/乾燥トン(想定)
	Pacific BioGasol	2012年第4四半期予定	1,000万L/年	エネルギー作物等	生物化学転換	水蒸気爆砕	C5糖発酵	—	・314L/乾燥トン(2011年想定) ・269L/乾燥トン(2007年達成) ・0.53ドル/L(商業規模実施時の想定)
	Lignol	2013年10月(建設完了目標)	760万L/年	森林資源等	生物化学転換	—	—	・リグニンから芳香族化学品製造、糖からのグルコース、フルフラール製造等	—
欧州	BIOLYFE(イタリア Chemtex 等)	2013年12月(プロジェクト終了)	5,070万L/年	エネルギー作物	生物化学転換/SSF	水蒸気爆砕	C5糖 C6糖並行発酵	—	・317L/乾燥トン ・0.5ユーロ/L以下(目標値)
	FibreEtOH(フィンランド UPM 等)	2013年12月(プロジェクト終了)	1,500万L/年	廃繊維等	生物化学転換/SSF	スラッジ使用の場合特になし	C6糖発酵	電力: 60GWh/年	200L/乾燥トン(目標値)
	KACELLE(デンマーク Dong Energy 等)	2013年7月(プロジェクト終了)	540万L/年	農業残さ(麦わら)	生物化学転換/SSF	水熱処理	C6糖発酵	・C5糖は飼料(モラセス)に転換 ・CO <sub>2</sub> 回収販売	—
	LED(スペイン Abengoa)	2013年8月(プロジェクト終了)	5,000万L/年	農業残さ(穀物わら)	生物化学転換	—	—	リグニンから高付加価値製品製造	—



国	プロジェクト	生産開始時期	生産規模	技術				主な副産物等	収量、コスト等
				原料	転換技術/糖化 発酵プロセス	前処理・糖化	発酵		
	等)								
中国	中糧生化肇東	2010年	1,200万L/年	農業残さ (コーンストーパー)	生物化学転換	水蒸気爆砕	—	—	・15.78元/L (2006年60万L/年の パイロットプラント 時) ・5.26元/L (2011年コスト推計)
	河南天冠燃料乙醇	2009年末 (建設完成)	1,200万L/年	農業残さ (コーンストーパー等)	生物化学転換	水蒸気爆砕	—	ヘミセルロース 嫌気発酵による メタンガス製造	・211L/トン ・4.7～5.1元/L (2006年360万L/年の パイロットプラント 時)
	山東竜力生物	2009年10月 (建設完成)	現在6,500万 L/年 (建設完成 から徐々に 拡大)	農業残さ (コーンコブ)	生物化学転換	簡易前処理 (脱リグニン溶剤 浸漬)	並行複発酵	主製品であるキシロオリゴ糖生産後の残さからエタノール製造	・3.8元/L

※生産規模やコストについては、単位変換のためエタノール密度789kg/kL、およびガロン：3.7854L/ガロンで計算を実施している  
NEDO調査「バイオエタノール一貫生産システムに係る最新動向と事業化へ向けた市場性・経済性に関する検討」(2013)より引用

## II. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

2020年において製造コスト40円/L、生産規模10～20万kL/年（一工場単位）でセルロース系エタノールを実用化するためには、多収量草本植物や早生広葉樹等の目的生産バイオマスの栽培と革新的技術によるエタノール製造プロセスを組み合わせた一貫生産システムの開発が必要である。

また、セルロース系エタノールをはじめバイオ燃料の導入にあたっては、十分な温室効果ガス削減効果があることや、食料競合回避や生物多様性保全等の持続可能性が確保されていることが必要であり、同時に持続可能性に関する基準や評価手法についても取りまとめて行くことが必要である。

このようなことから、本事業では「バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発」と「バイオ燃料の持続可能性に関する調査研究」を実施することとし、プロジェクト基本計画においてそれぞれの目標を以下の通り設定している。

<バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発>

#### 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。

#### 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）を得ると共に、エタノール製造プラントを構築する。

我国の方針として、セルロース系エタノールについては2020年の実用化を目指しているところである。実際に2020年においてセルロース系エタノールの商用生産を開始するにあたっては、その前段階としてバイオマスの生産や工場立地のための用地確保や、製造プラントの設計及び建設工事が必要となってくる。これらにかかる時間を見込んで、技術確立時期は2015年と設定されている。

本事業は、2015年の技術確立に至る研究開発段階において、セルロース系エタノール一貫生産システムの基盤技術を確立し、次に来る実証に備えてこれに耐えうるレベルで完成させておくことを最終目標としている。具体的には、中小規模でセルロース系目的生産バイオマスで生産し、これを原料にベンチスケールからパイロットスケール程度の設備で実際にエタノールを製造することで一貫生産システムの開発を進めて行く。

そのため、事業の前半においては、バイオマス生産については対象となる植物の選定や栽培技術、収穫・運搬技術等について基礎的な知見を得ておく必要があり、エタノール製造プロセスについては前処理、糖化、発酵、濃縮・脱水といった各要素技術を開発すると共に、これらを組み合わせたプロセス検討を行いベンチプラント、或いはパイロットプラントとして構築しておくこ

とが必要である。これらのことを踏まえた上で中間目標を設定している。

また、セルロース系エタノールの製造コスト40円/Lは、実用化時点でのコスト目標であって、本事業において達成されるものではない。したがって、本事業における製造コストは、実験結果に基づく試算値や、今後の成果による見込み値であり、研究開発の達成度合いを示す指標として整理する。

最終目標では、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こととしている。技術革新ケースにおける開発ベンチマークは、バイオ燃料技術革新計画のなかで次のように定められている。

表 II-1-1 「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

		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

バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発においては、多収量草本植物を原料とするセルロース系エタノール一貫生産システムの開発 (以下、略称として「草本系」と呼ぶ) と早生広葉樹を原料とするセルロース系エタノール一貫生産システムの開発 (以下、略称として「木質系」と呼ぶ) の2テーマを実施している。

各テーマについては、原料となるバイオマスの種類以外にも、エタノール製造プロセスの違いにより研究開発要素も異なることから、上記ベンチマークと照らし合わせてそれぞれのテーマで以下の個別テーマ目標を設定している。また、研究開発を実施するにあたって個別テーマ目標を、さらに詳細にブレークダウンしている。これについては、「III-2 研究開発項目毎の成果」において説明する。

表 II-1-2 草本系テーマの個別テーマ目標

	全体目標	乾物収量	前処理	酵素糖化	エタノール発酵	濃縮脱水	一貫生産プロセスとして	
開発ベンチマーク(40円/Lに向けて個別技術の達成度を表す指標)	コスト40円/L、年産10~20万kL、CO2削減率5割以上、化石エネルギー収支2以上	草本系50t/ha・年 木質系17t/ha・年	酵素糖化効率80%以上となる前処理	酵素使用量1mg/g生成糖以下、酵素コスト4円/L エタノール以下、糖収量500g/kgバイオマス以上	エタノール収率95%以上	エネルギー使用量2.5MJ/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)	エタノール収率0.3L/kgバイオマス以上、エネルギー回収率35%以上	エネルギー使用量6MJ/kgバイオマス以内(自立)
個別テーマ目標(草本系)	80円/L化石エネルギー収支2以上、GHG削減率50%以上	50t/ha・年	糖化率80%以上を維持	酵素コスト10円/L以下	C6糖:95%以上 C5糖:85%以上 C6C5同時発酵時:85%以上	一貫工程に必要な既存の省エネ技術の適用・ベンチ規模評価	エタノール収率0.25L/kg	—
個別テーマ目標を定めた根拠	2020年に40円を達成するうえで、事業終了時(2013)の目標は80円と設定。	ベンチマークと同じ	ベンチマークと同じ	2020年に酵素コスト4円/Lを達成するうえで、事業終了時(2013)の目標は10円と設定	C6、C5:2020年に合計で95%を達成するうえで、2013年時点の目標として設定。同時発酵:技術的に難しいことを考慮し、技術水準から設定	一貫工程でLC目標を達成するための既存技術選定評価(当事業では技術選定・適用・評価を実施するため)	革新計画ベンチマーク収率を参照、木質の糖質含量(650~740g/kg)を草本の糖質含量(625g/kg)に換算	ベンチマークは木本バイオマスのエネルギーやリグニン・糖質組成の例を参考にした数値。草本系の開発目標設定に適切ではないため、全体目標(化石エネルギー収支2以上)で置き換え

※草本系酵素糖化における目標の設定について

酵素コストは、2020年に4円/Lを達成するうえでの2013年度末目標として10円/Lを設定した。この酵素コスト10円/Lを成立させるための最適組合せとして、回収率目標(75%)と酵素製造コスト目標(1000円/L)、酵素使用量(重量比1/100(=20mg/g生成糖))の3つを目指すこととした。

糖収量はバイオマスに依存し変動するため目標として明記はしないが、エタノール収量目標を満たす指標として内部で500g/kgを設定している。

※草本系同時発酵における目標の設定

C6C5同時発酵方式は最新の技術であり、エタノール収率では2段発酵方式に及ばないが、設備費・変動費(※)が抑えられる。このため、技術ハードルの高さ(非遺伝子組換え酵母で遺伝子組換え到達水準を目指す)を踏まえ目標を設定した。

(※)設備費:発酵設備が2段でなく1段⇒タンク数や特に高価な菌体分離装置数が半分、耐性が弱いC5酵母に必要なエタノール回収装置、阻害物質除去装置は不要

変動費:攪拌動力、菌体分離動力、薬剤が概ね半分

表 II-1-3 木質系テーマの個別テーマ目標

	全体目標	乾物収量	前処理	酵素糖化	エタノール発酵	濃縮脱水	一貫生産プロセスとして	
開発ベンチマーク (40円/Lに向けて個別技術の達成度を表す指標)	コスト40円/L、年産10~20万kL、CO2削減率5割以上、化石エネルギー収支2以上	草本系50t/ha・年 木質系17t/ha・年	酵素糖化効率80%以上となる前処理	酵素使用量1mg/g生成糖以下、酵素コスト4円/L エタノール以下、糖収量500g/kgバイオマス以上	エタノール収率95%以上	エネルギー使用量2.5MJ/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)	エタノール収率0.3L/kgバイオマス以上、エネルギー回収率35%以上	エネルギー使用量6MJ/kgバイオマス以内(自立)
個別テーマ目標 (木質系)	エタノール製造40円/L、エネルギー収支2以上、CO2削減率5割以上を実現するモデルケース(2020)の提示	17t/ha・年	酵素糖化効率80%以上となる前処理	キシロシターゼ活性10倍以上、セルラーゼ生産性1.5倍、など	同時糖化発酵SSFに適した酵母へのC5発酵機能の付与(C6糖85%、C5糖60%)	自己熱再生技術(従来法の熱量の1/6)実用化可能な省エネプロセス構築	エタノール収率0.3L/kgバイオマス以上、エネルギー回収率35%以上	エネルギー使用量6MJ/kgバイオマス以内(自立)
個別テーマ目標を定めた根拠	2020年の事業化を見据えて設定	ベンチマークと同じ	ベンチマークと同じ	糖収量目標と実験データからC5糖分解能力は10倍向上が必要。コスト目標は酵素回収率90%+セルラーゼ生産性1.5倍により費用1/15を設定	原料の特性から、一貫生産プロセスとしてのエタノール収率目標0.3L/kgを達成するうえで、C6糖80%、C5糖60%が妥当として設定。	従来法の濃縮・精留で要していた10.2MJ/Lを1/6に低減できれば、膜分離工程で必要な0.9MJを加えてもベンチマーク目標2.5MJ/Lを達成可能	ベンチマークと同じ	ベンチマークと同じ

※木質系酵素糖化における目標の設定

糖収量500g/kgバイオマス以上を達成するためには、キシロシターゼ活性(C5少糖分解能力)を増強してキシロース収率を向上させることが必要であり、実験データから活性向上の目標値を10倍以上と設定。

2020年実用化時に酵素コスト4円/Lを達成するためには、一般的な酵素コストの平均値60円を1/15にする必要があり、酵素回収再利用(回収率90%)による酵素使用量1/10+セルラーゼ生産性1.5倍を設定。オンサイト大量生産技術については、上記の開発が終了しセルラーゼ生産菌が確定した後のフェーズで本格的に取り組むこととし、本事業では調査を実施することとどめ具体的な目標は設定しなかった。

ベンチマークに示されている1mg/g生成糖の目標は、前処理物の糖化性が確定していなかったため、本テーマでは目標としては設定しなかった。

※木質系エタノール発酵における目標の設定

2020年実用化時にコスト40円/Lを達成するうえでは、設備費を大幅に低減可能な同時発酵が有利。同時発酵方式にてエタノール収量0.3L/kgを達成するうえでは、原料の性質と本事業で採用するプロセスの特性を考慮すると95%は必要なく、C6糖85%、C5糖60%を達成すればよい。

## <バイオ燃料の持続可能性に関する研究>

### 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。

### 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。

セルロース系エタノールの研究開発は、持続可能性を無視して進めることはできない。実際、エネルギー供給構造高度化法の判断基準において、今後我国で導入して行くバイオエタノールはLCAでの温室効果ガス削減率がガソリンに対して50%以上であるものとし、さらに調達に際しては食料競合回避及び生物多様性の確保に配慮することとしている。

このような状況を踏まえて、本事業において開発する一貫生産システムについて持続可能性を評価することを目標に設定している。

また、バイオ燃料の持続可能性に関する国内外の動向として、欧州、米国を中心に検討が進められおり、GBEP（Global Bioenergy Partnership）のような国際的枠組みにおいても関係各国による議論が進められている。持続可能性基準の内、温室効果ガス削減量については各国間でのばらつきはあるものの基準やLCAによる評価方法が確立しており、GBEP等での議論において統一の動きも見られる。

しかし、食料競合や生物多様性等については、各国共に重要な項目であることを認識しつつも、食料価格の監視や特定の保護地区の利用規制等に留まっており、具体的な基準や評価方法については何も決まっていない。

このような状況を踏まえ、今後の国際動向に応じて対象とする持続可能性項目を抽出した上で、我国のバイオ燃料に係る基準や評価指針、評価方法等について検討を行うことを目標として設定している。なお、最終的に基準や指針を定めるのは国の役割であり、NEDOはそれらの妥当性や評価手法に関して科学・技術的検討を行うものである。

なお、バイオ燃料の持続可能性に関する研究では、2009年～2010年の2ヶ年で温室効果ガス削減効果の定量評価に関するテーマを実施し、2012年に食料競合、生物多様性等の評価に関するテーマを実施した。

## 2. 事業の計画内容

### 2-1 研究開発の内容

「1. 事業の目標」において説明した通り、本事業では「バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発」及び「バイオ燃料の持続可能性に関する研究」に取り組んでいる。それぞれの研究開発内容及び計画を以下の通り説明する。

#### <バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発>

セルロース系エタノールを40円/Lといった低コストで、しかも生産規模10～20万kL/年といった大規模で実用化するためには、目的生産バイオマスの大規模栽培、収穫・運搬に関する研究開発とエタノール製造における前処理、糖化、発酵、濃縮・脱水について革新的技術の開発及び製造プロセスの開発、これらを組み合わせた一貫生産システムを開発する必要がある。

したがって、本研究開発項目における研究開発内容は以下の通りとなる。

#### (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。

なお、「I-2-3 バイオ燃料技術革新計画について」で説明した通り技術革新ケースでは、セルロース系目的生産バイオマスとして多収量草本植物と早生広葉樹を原料とした2つのエタノール生産モデルを提示している。多収量草本植物では単位面積あたりの収量が高く毎年収穫可能なため早生広葉樹に比べ栽培面積は1/3で済むといった特徴がある。早生広葉樹では、栽培期間に3年程度を必要とするが、その反面干ばつ等の気候変化の影響を受けにくいといった特徴がある。これらのことから、セルロース系目的生産バイオマスとしては、多収量草本植物と早生広葉樹はいずれも甲乙付け難く、原料として有望であると言える。

また、セルロース系エタノールの製造コストは原料コストとエタノール変換コストとの合計となる。そのため、製造コスト40円/Lといった非常に高い目標を実現するためには、セルロース系目的生産バイオマスに適合したエタノール製造システムを組み合わせることが重要である。そのため、多収量草本植物と早生広葉樹を原料とすることをベースに、それぞれの原料に適した前処理技術、糖化技術、発酵技術、濃縮脱水技術等を開発すると共に、これらの工程を組み合わせた

エタノール製造システムを開発し、さらには一貫生産システムの最適化等により製造コストの最小化を図っていく必要がある。

したがって、本研究開発項目においては、多収量草本植物を原料とするセルロース系エタノール一貫生産システムの開発（草本系）と早生広葉樹を原料とするセルロース系エタノール一貫生産システムの開発（木質系）の2テーマを実施している。前者のテーマ名は「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」であり、後者のテーマ名は「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」である。

それぞれのテーマの概要は以下のとおりである。また、各テーマの詳細な研究開発内容は、「Ⅲ-2 研究開発項目毎の成果」において説明する。

#### 【(草本系) テーマ名・実施者】

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（バイオエタノール革新技術研究組合、東京大学）

#### 【研究開発概要】

多収量草本植物のセルロース系目的生産バイオマスを原料とし、低コストな収穫・運搬・貯蔵技術により、エタノール工場へ原料を安定的かつ年間を通じて均一に供給できる周年供給システムの開発を行う。さらに、低環境負荷なアンモニア前処理技術を基本として、最適糖化酵素の取得と高度利用、膜を利用した糖化液濃縮、非遺伝子組換え酵母によるエタノール生産等のエタノール製造技術と組合せ、大規模安定供給が可能なセルロース系エタノール一貫生産システムの開発を行う。

#### 【(木質系) テーマ名・実施者】

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（王子ホールディングス、産業技術総合研究所、新日鉄住金エンジニアリング）

#### 【研究開発概要】

エタノール生産適性早生樹を原料とし、国内・海外のパルプ生産用樹木の植林経営で培われた低コスト・高効率な植林・収穫・運搬技術を応用した大規模バイオマス栽培技術、パルプ産業機械技術を応用したエネルギー負荷の小さいメカノケミカル前処理技術、糸状菌を利用した糖化酵素、C5・C6糖同時発酵耐熱・耐酸性酵母による連続糖化発酵プロセス、糖化酵素回収、エネルギー回収を効率的に行う減圧蒸留、精留、脱水システムを組み合わせたバイオエタノール一貫生産システムを開発する。

また、研究開発内容（1）～（3）と各テーマの技術内容の関係を表Ⅱ-2-1-1に整理する。



表 II-2-1-1 研究開発内容と各テーマ技術内容の関係の整理

研究開発内容 テーマ・実施者	(1) セルロース系目的生産バイオマスに関する研究開発	(2) エタノール製造システムの開発				(3) 一貫生産システムの最適化及び評価
		前処理	糖化	発酵	濃縮・脱水	
(草本系) 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(バイオエタノール革新技術研究組合、東京大学)	多収量草本植物(エリアンサス、ネピアグラス等)及びそれに適した収穫・運搬技術	気相アンモニア処理	糸状菌によるオンサイト生産及び膜を利用した糖化液濃縮・酵素回収システム	C5糖発酵とC6発酵を組み合わせた二段発酵及びC5・C6糖同時発酵	加圧蒸留と有機膜脱水による濃縮脱水プロセス	左記(1)～(2)を組み合わせた一貫生産システム
(木質系) 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(王子ホールディングス、産業技術総合研究所、新日鉄住金エンジニアリング)	早生広葉樹(ユーカリ等)及びそれに適した収穫・運搬技術	メカノケミカルパルピング処理	(独)産業技術総合研究所オリジナル糸状菌による酵素生産	C5・C6糖同時発酵実用酵母による連続糖化発酵	自己熱再生方式蒸留プロセス	左記(1)～(2)を組み合わせた一貫生産システム

### <バイオ燃料の持続可能性に関する研究>

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、ERIA、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。

なお、本開発項目においては、2009年度から2010年度の2ヶ年で、我が国の輸送用液体バイオ燃料の導入形態を踏まえ、導入が想定される輸送用液体バイオ燃料の温室効果ガス排出量を評価することをテーマとして研究を実施した。また、2012年度には、上記ライフサイクルGHG 評価の最新化に加え、様々なバイオ燃料導入形態に対応したデータベースの充実化を図るとともに、持続可能性基準に関する国際的な議論や評価手法（GBEP 等）を調査することをテーマに研究を実施した。それぞれのテーマ名、実施者、研究開発概要は以下の通りである。テーマの詳細な研究開発内容は、「Ⅲ-2. 研究開発項目毎の成果」において説明する。

#### 【テーマ名・実施者】

温室効果ガス（GHG）削減効果等に関する定量的評価に関する研究（三菱総合研究所、産業技術総合研究所）

#### 【研究概要】

現在、日本国内において導入可能な各種輸送用液体バイオ燃料の温室効果ガス削減効果を定量的に評価するために、生産地、原料の生産、原料の貯蔵・輸送、バイオ燃料の製造方法、バイオ燃料の輸送・貯蔵等を個別に定量的に評価し、日本において当該バイオ燃料を利用した際の温室効果ガス排出量を評価する。また、セルロース系エタノール等の今後の技術開発により実用化が期待され、中長期的（2030年頃）に日本国内において新たに導入が想定される輸送用液体バイオ燃料を抽出し、上記と同様に温室効果ガス排出量を評価する。

#### 【テーマ名・実施者】

バイオエタノール燃料の持続可能性に関する検討（三菱総合研究所）

#### 【研究概要】

上記にて評価したバイオ燃料の製造におけるライフサイクルGHG 排出量に関し、最新動向を反映し、評価対象、各種係数の見直しを行う。また、平成22年11月に告示された「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）」において、ライフサイクルGHG 排出量以外にも土地利用変化（直接土地利用変化、間接土地利用変化）、食料競合影響、生物多様性保全等に係る基準が設けられており、指標化されている。これらについても持続可能性基準に関する国際的な議論や評価手法（GBEP 等）を調査し、国際的な評価手法との整合性を確認した上で評価する。

研究開発スケジュール及び予算を図Ⅱ-2-1-2に示す。

バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発では「1. 事業の目標」でも説明したとおり、2015年の技術確立に至る研究開発段階において、セルロース系エタノール一貫生産システムの基盤技術を確立し、次期実証に耐えうるレベルで完成させておくことを考慮している。

そのため、事業の前半3ヶ年では、バイオマス生産については対象となる植物の選定や栽培、収穫・運搬についての技術開発、エタノール製造プロセスについては前処理、糖化、発酵、濃縮・脱水についての各要素技術を開発し、これらをプロセス化した実験プラントの建設を行う。

事業の後半2ヶ年では、中小規模でセルロース系目的生産バイオマスで生産し、これを原料に実験プラントで実際にエタノールを製造することで一貫生産システムの開発を進めて行く。

バイオ燃料の持続可能性研究では、2009年～2010年の2ヶ年で温室効果ガス削減効果の定量評価に関する研究を実施した。また、2012年には、土地利用変化（直接土地利用変化、間接土地利用変化）、食料競合影響、生物多様性保全等に係る基準についても持続可能性基準に関する国際的な議論や評価手法（GBEP等）を調査し、国際的な評価手法との整合性を確認した上で評価する研究を実施した。

		2009 (H21)	2010 (H22)	2011 (H23)	2012 (H24)	2013 (H25)
バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発	セルロース系目的生産バイオマスに関する研究開発	植物種選定、栽培条件の最適化、大量栽培技術の開発等			栽培実証試験	
	エタノール製造に関する革新技术の開発	前処理、糖化、発酵、濃縮・脱水等の技術開発、プロセス化検討、最適化			前処理、糖化、発酵、濃縮・脱水等の高効率化・高性能化	
	一貫生産システムの開発	テストプラントの設計		テストプラントの建設	テストプラントの試運転、本運転及びデータ収集、システム最適化検討、経済性等評価、スケールアップ検討	
バイオ燃料の持続可能性に関する研究		GHG削減効果の定量評価方法		食糧競合、生物多様性等の評価方法		
予算(億円)		7.7	18.6	24.1	12.1	8.8

図 II-2-1-2 研究開発スケジュールと予算

## 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 II-2-2-1に示す。

バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発については、事業化ポテンシャルの高い民間企業を中心に大学、独立行政法人等の研究機関が連携する体制で2つのテーマが実施されている。

多収量草本植物を原料にセルロース系エタノール一貫生産システムの開発を目指している「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」については、バイオエタノール革新技術研究組合と東京大学が共同で実施している。

バイオエタノール革新技術研究組合は、民間企業6社（JX日鉱日石エネルギー、三菱重工メカトロシステムズ、鹿島建設、トヨタ自動車、東レ、サッポロエンジニアリング）から成っており、石油事業者であるJX日鉱日石エネルギーが民間企業の中核となっていることから事業化のポテンシャルは高いと考えられる。

また、バイオエタノール革新技術研究組合は自らが研究開発を行うと共に、研究開発全体の統括も行っており、各組合員企業及び東京大学が連携して一体的な取り組みがなされている。

早生広葉樹を原料にセルロース系エタノール一貫生産システムの開発を目指している「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」については、王子ホールディングス、産業技術総合研究所、新日鉄住金エンジニアリングが共同で実施している。

体制の中核となる王子ホールディングスは、紙パルプ生産のための植林地を国内外に保有しており、原料及び栽培用地確保の観点から事業化のポテンシャルは高いと考えられる。

また、王子ホールディングスは研究開発全体の統括を行っており、三者が連携して一体的な取り組みが行われている。

バイオ燃料の持続可能性に関する研究では「温室効果ガス（GHG）削減効果等に関する定量的評価に関する研究」について、三菱総合研究所と産業技術研究所が共同で研究を実施した。また、「バイオエタノールの持続可能性に関する検討」では三菱総合研究所が研究を実施している。

本事業は、2つのチームの実施者が独立し、それぞれのチームとNEDOが1対1で組になって事業を推進する体制が固まっている。このため、外部にプロジェクトリーダー（PL）を置くより、各チームのリーダーに日々のマネジメントを任せるほうが効率的と判断した。ただし、外部専門家によるチェックは必要のため、年2回専門家によるアドバイスを頂ける機会として自主中間評価委員会を設置した

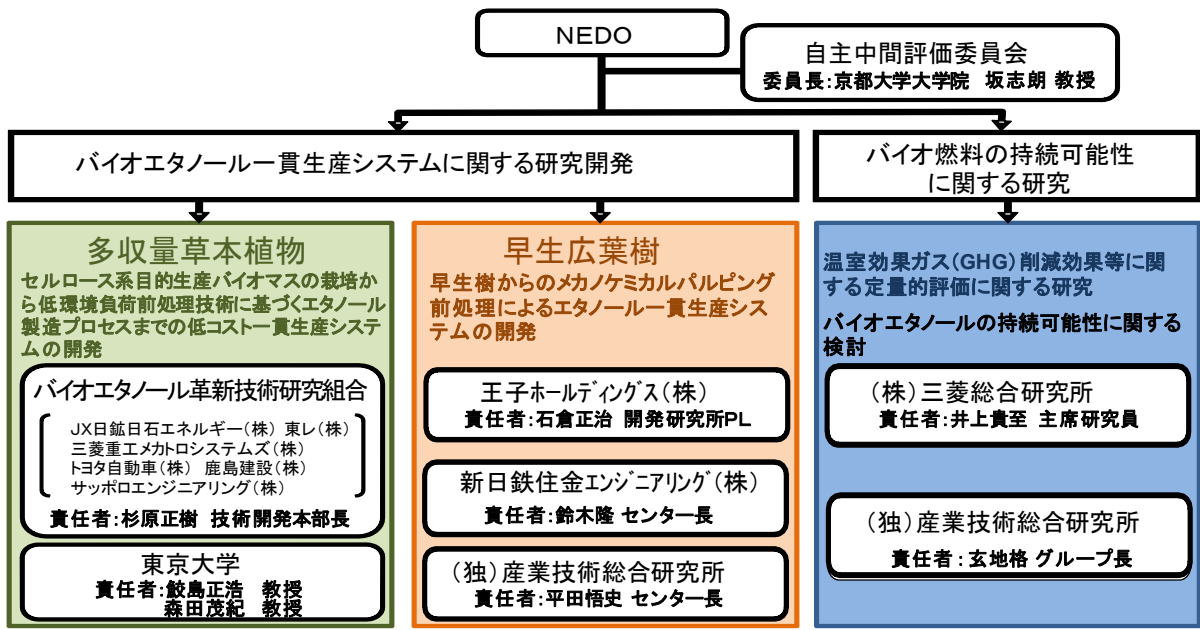


図 II-2-2-1 研究開発体制

## 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。具体的な運営管理について、以下に説明する。

### 2-3-1 自主中間評価

バイオエタノール一貫生産システムの開発では、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、セルロース系エタノール製造コスト40円/Lを実現するためには、バイオマスの栽培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。

事業立ち上げ段階においては、これらの点を公募に反映し、応募資格や提案技術を明確化することで最適な研究開発を構築することに努めた。

事業の実施段階においては、研究開発の進捗状況や成果を踏まえつつ選択と集中を行い、効率的に研究開発を推進し、着実に実用化に結び付けるために行うため、自主中間評価を実施してきた。

自主中間評価は、新エネルギー部が事務局となり、表Ⅱ-2-3-1-1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バイオマスの栽培からエタノール製造の広範囲に亘り、しかもベンチ・パイロットプラント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Ⅱ-2-3-1-1 セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業 自主中間評価委員会

区分	氏名	所属・役職	備考
委員長	坂 志朗	国立大学法人京都大学 大学院 エネルギー科学研究科 エネルギー社会・環境科学専攻 教授	
委員	明石 良	国立大学法人宮崎大学 フロンティア科学実験総合センター実験支援部門遺伝資源分野 農学部生物環境科学科草地環境科学講座（兼任） 教授	H22年度～
委員	井上 貴至	株式会社三菱総合研究所 環境・エネルギー研究本部 低炭素エネルギー研究グループ 主席研究員	
委員	大谷 繁	株式会社荏原製作所 技術・研究開発統括部 技術企画室 参事	
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 エネルギーチーム シニアコンサルタント	H24年度～
委員	中川 仁	独立行政法人農業生物資源研究所 研究主幹 （現 農業・食品産業技術総合研究機構 バイオマス研究センター長）	～H21年度
委員	羽田 謙一郎	みずほ情報総研株式会社 環境・資源エネルギー部 温暖化対策戦略チーム シニアコンサルタント	～H23年度
委員	山田 富明	財団法人エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 副参事	

※敬称略、委員長を除いて五十音順

自主中間評価は、下記の2テーマを評価対象として、2009年度～2013年度の各年度で計8回実施した。(2009年12月、2010年3月、2010年10月、2011年2月、2011年12月、2012年5月、2013年2月、2013年6月)

- ◆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 (バイオエタノール革新技術研究組合・東京大学)
- ◆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 (王子ホールディングス、産業技術総合研究所、新日鉄住金エンジニアリング)

これらの自主中間評価結果については、実施計画及び各年次の概算要求に反映するなど、事業の運営管理を行ううえで重要な指針となっている。過去8回の自主中間評価委員会においては、進捗状況及び成果等は概ね適切であると判断されている。指摘事項と対応事例について、数例を下記にあげる。

#### (1)2010年10月の自主中間評価委員会

##### <指摘事項>

研究開発内容の選択と集中を進めることが必要であり、「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 (バイオエタノール革新技術研究組合・東京大学)」については、栽培研究における原料の選択と集中を図ること。

##### <対応>

本テーマにおける栽培研究については、将来的に最も事業化の可能性が高い熱帯地方を対象とし、ネピアグラスおよびエリアンサスを中心とした研究開発に集中することとし、草本系の各気候帯での栽培試験の終了、木本系植物の栽培研究の中止など、実施内容を大幅に見直した。

#### (2)2011年2月の自主中間評価委員会

##### <指摘事項>

化学成分の定量化、糖化率、LCAやGHG、化石エネルギー収支についての現時点での評価値を明示すること。上記に基づき優先すべき手法を定量的な比較によって決定すること。

##### <対応>

栽培に関するデータ、糖化発酵に関するデータ、外部投入エネルギーに関するデータのそれぞれについて、定量的に分析するためのフォーマットシートを準備し、委員の助言にしたがって新エネルギー部にて様式を決定した。そのフォーマットシートに両チームが実験結果に基づく数値を記入し、各プロセスで得られる化学成分や、各プロセスに要するコストや外部エネルギーなどを定量的に評価できるようにした。この成果は持続可能性評価にも活用している。

## 2-3-2 推進委員会

バイオエタノール一貫生産システムの開発では、自主中間評価とは別に、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II-2-3-2-1および表II-2-3-2-2に、各テーマの推進委員会のメンバーを示す。

表 II-2-3-2-1 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  
(バイオエタノール革新技術研究組合・東京大学) 推進委員会メンバー

区分	氏名	所属・役職	備考
委員長	長島 實	(独) 農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所 顧問	
委員	片山 秀策	(社) 畜産技術協会 非常勤参与	
委員	斉木 隆	元(社) 地域資源循環技術センター 上級技術監	

※敬称略、委員長を除いて五十音順

表 II-2-3-2-2 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 (王子ホールディングス、産業技術総合研究所、新日鉄住金エンジニアリング)  
推進委員会メンバー

区分	氏名	所属・役職	備考
委員長	大宮 邦雄	名城大学農学ハイテクリサーチセンター 元教授	
委員	白井 義人	九州工業大学 生命体工学研究科 教授	
委員	杉山 淳司	京都大学 生存圏研究所 教授	

※敬称略、委員長を除いて五十音順



## 2-4 研究開発成果の事業化に向けたマネジメントの妥当性

本事業の事業化に向けた戦略を図に示す。既に述べたように、本事業は2015年の技術確立に至る研究開発段階において、セルロース系エタノール一貫生産システムを確立し、次に来る実証に備えてこれに耐えうるレベルで完成させておくことを最終目標としている。次に来る実証段階では、本事業の成果に基づき、商用スケールの前段階として1万kL/年程度の実証プラントを建設して、量産技術を確立する。その後、2020年の商用化を目指す方針としている。

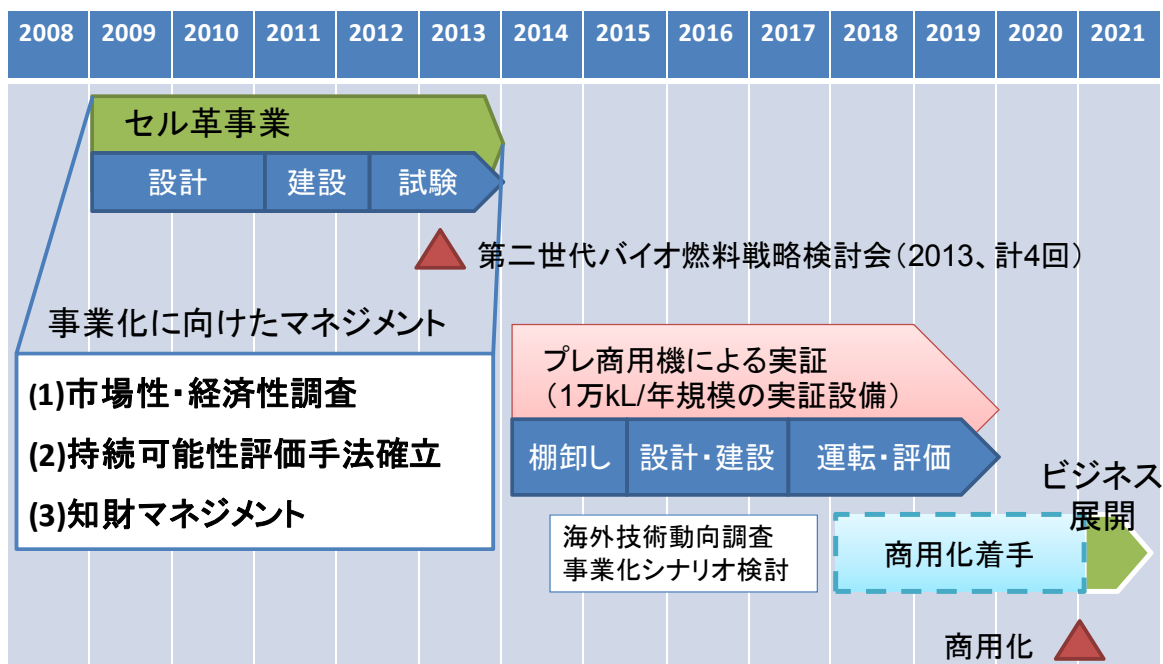


図 II-2-4-1 事業化に向けた戦略とマネジメント

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事業化に向けたマネジメントに努めてきた。具体的な事業化に向けたマネジメントとして、以下3点を説明する。

### (1) 市場性・経済性の調査

2012年度に、「バイオエタノール一貫生産システムに係る最新動向と事業化に向けた市場性・経済性に関する検討」調査を実施した。この調査は、本事業で開発した技術について、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網羅的・体系的に整理することで、今後の事業展開の方向性を明確化することを目的としている。

本調査で得られた各国の技術動向および市場調査の結果について、以下に報告書からまとめを抜粋する。これにより、事業化に向けて有望な市場や、今後の必要な技術開発の方向性を明らかにできた。

セルロース系エタノールは、国内外で精力的に技術開発が進められているが、国内で開発が進む生物化学転換技術については今のところ完全には商業化されていないのが実情である。米国では、今後、遅れていた商業規模プラントの稼働が始まる予定となっているが、実際に計画通り稼働するかどうかは今後も注視が必要な状況である。

4章で検討したように、例えば、日本技術をアジアに導入できるとすれば、導入期間全体で一定規模の経済波及効果が期待でき、また、技術開発による低コスト化により市場が拡大し、経済波及効果も向上することが分かった。

国内技術は、現在のところ実証が進められているところであるため、大規模化を含めた技術開発を通じて製造コスト低減が実現すれば、市場が拡大するものと期待できる。ただし、その際には、第一世代バイオエタノールも競合になると考えられるため、技術開発とともに、可能な限り低コストで利用可能な原料を想定することも重要と考えられる。

ブラジルや米国でバイオエタノールが一大産業として育成された背景には、導入初期において様々な政策支援があったことを考慮すると、セルロース系エタノールが産業化されるためにも政策支援が必要と考えられる。アジアの豊富なバイオマスポテンシャルを活用する場合には、相手国での政策支援等も必要になってくると考えられるため、相手国の産業育成等も考慮した日本発のプランを描くことができれば、相手国の協力下において、相手国と日本双方の産業育成につなげることができると考えられる。

セルロース系エタノールは、各国の政策動向の影響を大きく受けるものの、今後も既存ガソリンのGHG削減の切り札として一定の需要が見込めるのではないかと考えられる。この市場に切り込むには、先行する他国の技術開発より先んじることが重要である。そのためには、十分な検討を経た上で大規模化を実現し、大規模で実施して初めて把握できる技術課題を克服していくことが他国の技術開発に先んじる方法の一つと考えられ、今後の技術開発に期待したい。

## (2) 持続可能性評価手法の確立

我国におけるバイオ燃料の持続可能性基準については、2009年以降に経済産業省が主体となって策定が進められてきている。そのため、これらの政策動向と連携して研究を推進し、その成果をフィードバックすることを意識して本事業の運営管理を行ってきた。

2009年4月に経済産業省は、「バイオ燃料持続可能性研究会」での検討結果を取りまとめて報告書を公表している。報告書においては、日本版のバイオ燃料の持続可能性基準の制度化に向けた課題の整理・取りまとめがなされており、特に温室効果ガスについては、諸外国での温室効果ガス排出量算定手法を参照しつつ、我国においても日本のバイオ燃料導入形態の実態を反映した評価手法の構築を目指すとともに、制度運用のためのデフォルト値設定に向けた調査を推進する必要があるとしている。

このことを受けて、本事業のバイオ燃料の持続性に関する研究では、LCAによる温室効果ガスの定量的評価について研究に着手している。

また、2010年の「バイオ燃料導入に係る持続可能性基準等に関する検討会」では、経済産業省、農林水産省、環境省の三省が連携し、我が国におけるバイオ燃料の持続可能性基準についての方向性の取りまとめを行っているが、NEDOは同検討会にオブザーバーとして参加すると共に、本事業の成果であるLCAによる温室効果ガス削減排出量評価結果をフィードバックしている。

### (3) 知財マネジメント

バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発では、テーマ毎で実用化及び事業化を目指していると共に、テーマ毎の体制において実施者間で適切な知財運用が十分に図られていることから、NEDOの知財マネジメントとしては産業技術力強化法に基づき実施者に帰属させることを基本としている。

ちなみに、バイオエタノール革新技术研究組合においては、知財に関する規約を定め各組合企業への知財の帰属や将来の事業化主体による実施許諾を担保し、さらには知財ミーティングの開催により複数の組合企業にまたがる知財について帰属の範囲の明確化等が行われている。

また、王子ホールディングス、産業技術総合研究所、新日鉄住金エンジニアリングでは各々で結ぶ共同研究契約において帰属や実施許諾、第三者へ実施許諾する際の承認等について約定されている。

なお、バイオ燃料の持続可能性に関する研究に関して、知財が生じることがないため、NEDOとして知財マネジメントは行っていない。

## 3. 情勢変化への対応

バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発に関しては、現在に至るまで特に情勢の変化はなかったため特段の対応はしていない。ただし、エネルギー基本計画の見直しが進められているところであり、バイオマスも含む再生可能エネルギーへの期待や重要性が高まることが予測される。そのため、今後も我国の政策動向や国民ニーズ等の状況を踏まえたうえで、必要に応じて適宜柔軟に対応して行く。

バイオ燃料の持続可能性に関する研究に関しても、現在に至るまで特に情勢の変化はなかったため特段の対応はしていない。今後は国際動向に注視し、関係省庁との連携を維持しながら情勢変化に対して適宜対応していく。

## 4. 中間評価結果への対応

2011年に実施された中間評価結果での評価結果の概要は次の通り。

### 1) 総合評価

本プロジェクトは、エネルギー会社や製紙会社など将来の事業化を目指す企業を中心に、草本系と木質系でそれぞれ栽培から精製まで一貫したプロセスとして開発を進め、短い開発期間にもかかわらず全般的に明確な成果が上がっており、食料と競合しないバイオマスからの効率的なエタノール生産につながる新しい知見が得られている。また、バイオ燃料に関する温室効果ガスの定量的評価のデータも具体的に示されており、高く評価できる。

また、事業全体として計画通りの成果が得られれば、セルロース系からのエタノール生産に関する実用的な技術の保有につながり、将来における我が国のエネルギー安全保障の面からも寄与すると考えられる。

一方、バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発において、コストの多くを酵素糖化技術、特に酵素価格が占めている。**酵素による糖化技術、および発酵技術**はそれぞれに工夫がされているが、まだ十分ではなく**一層の技術開発が必要**である。また、前処理以外の糖化、発酵、精製プロセスについては共通要素が多く、**2つのテーマ間の情報交換**が望まれる。

### 2) 今後に対する提言

草本系と木質系テーマのそれぞれの要素技術には他のシステムに取り入れられれば一層の効率が図れるものもある。知的所有権の問題もあるが、少なくとも、学会等で公表した内容や、既に特許出願した内容に関しては、草本系、木質系テーマの間で、**実務者レベルの情報交換**の機会を積極的に設けることが望まれる。

事業化およびその拡大は国際的に進めることが不可欠であり、生産コストの低減という目標だけではなく、**原料生産国の環境や社会経済の影響も考慮**して技術開発を進めて欲しい。

中間評価での指摘事項への対応について、下記のとおりまとめる。

#### (1)糖化技術、発酵技術に関する一層の技術開発

酵素糖化、発酵技術は事業開始時より重要課題として取り組んできており、両テーマとも具体的な目標を設定したうえで、その達成のために研究開発を推進してきた。

草本系チームにおいては、酵素コスト10円/Lを達成するため、①酵素単価1000円/kg、②酵素添加量1/100、③酵素回収率75%以上の各個別目標を定めた。これに対し、自製酵素と酵素回収技術の開発により、上記3つの目標を実現し、酵素コスト10円/Lに目処がついた。また発酵工程においては、非遺伝子組み換え酵母により目標収率を達成するとともに、従来プロセスを改良した新二段発酵法を開発し消費エネルギーを大幅に削減した。

一方、木質系チームでは、2020年酵素コスト4円/Lのため、一般的な酵素コスト60円/Lを1/15にする必要があり、酵素回収率90%達成とセルラーゼ生産性1.5倍を設定した。またあわせて、実験結果に基づき、糖収率500g/kgバイオマス達成のため、キシロシダーゼ活性10倍を目標に設定した。

基盤研究においては、遺伝子組み換え技術によりセルラーゼ生産性1.5倍、キシロシダーゼ活性70倍を達成したが、実際のパイロットプラントを用いた一貫生産試験では、雑菌コンタミの発生により十分な長期にわたる試験結果は得られていない

しかし、現在実施している実験では、前処理条件を変更するなどにより、糖化・発酵収率の改善が見られている。

## (2)テーマ間の情報交換

指摘事項に基づき、NEDOが音頭を取って2011年8月および2011年10月に、テーマ間の情報交換会を設定した。その結果、両テーマのメイン事業者である王子ホールディングスとJX日鉱日石エネルギーの2社間で情報交換を継続する方針が打ち出され、その後も継続的に情報交換が実施されている。

また、NEDOの仲介により、(1)持続可能性評価の実施のため両テーマから試験データを評価機関に提出してその結果を返す、(2)別のNEDO事業で高い成績を得られた酵素について、両テーマにて評価を実施する、といった、テーマ間以外の情報交換についても進めている。

これらの情報交換を進めることにより、今後の事業展開の可能性を拡げることができた。

## (3)原料生産国の環境や社会経済の影響考慮

GBEPバイオエネルギー持続可能性指標は、国際的な取り組みにより策定された評価基準であり、環境8項目、社会8項目、経済等8項目の計24項目からなる。このうちほとんどは本事業の結果により推定が可能であり、両テーマとも、今後GBEP基準による評価を実施の予定である。

## 5. 評価に関する事項

事前評価は内部評価により実施した。また、2008年12月26日から2009年1月13日の間でNEDOポストにより本事業の基本計画案についてパブリックコメントの募集を行った。その結果、4件のパブリックコメントがあり、その内3件は本事業に賛同するものであった。残り1件は廃棄物系バイオマスも原料も対象とすべきといった意見であり、大規模安定供給の観点から本事業の主旨にそぐわないことを回答した上で、基本計画には反映していない。

### III. 研究開発成果について

#### 1. 事業全体の成果

バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発の2テーマ、バイオ燃料の持続可能性に関する研究の1テーマについて、それぞれの成果の概略を以下にまとめる。なお、各テーマ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。

各テーマの成果を総合的に見てみれば、バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発の2テーマについては、いずれもセルロース系目的生産バイオマスの栽培技術、収集・運搬技術においてベンチマーク目標に達している。また、エタノール製造技術に関してもプラントを建設し、試験運転を実施し、結果の確認により全体目標である2020年のコスト目標40円/L、化石エネルギー収支2以上、GHG削減率50%以上を達成する道筋をつけることができた。

また、バイオ燃料の持続可能性に関する研究の1テーマについても、LCAによる温室効果ガスの定量的評価方法を確立しており、さらにその成果はエネルギー供給構造高度化法における判断基準にも反映されている。

これらのことから判断して、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とした最終目標は達成されていると判断できる。一方、開発ベンチマークを参照しての評価としては、後述の通り一部の項目で個別テーマ目標に未達のものが残った状態となっている。

#### <バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発>

「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」（草本系）では、多収量草本系植物による原料周年供給システムについて、熱帯においてネピアグラスの大規模栽培実証試験を行い、複数の条件で生産性 50t/ha を達成し、有機物施用の効果、圃場条件の違いによる生産性の増減について知見を得た。また、エタノール製造プロセスについて、前処理プロセス、酵素糖化プロセス、発酵蒸留プロセスのベンチプラントを建設し、一貫生産試験を実施した。その結果、酵素コスト 10 円/L に目処をつけ、エタノール発酵収率で目標値（C6:95%、C5:85%）を達成するなどそれぞれの要素技術の目標を達成し、全体目標であるコスト 80 円/L、化石エネルギー収支 2 以上、GHG 削減率 50%以上の達成に目処がたった。

「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」では、生長量等調査の結果から選定したエタノール生産適性早生樹について、植栽方法（植栽密度、伐採時期、萌芽更新等）の検討を行うため、国内（一部海外も含む）での圃場試験を実施し、一部条件では目標の 17t/ha を達成し、条件の違いによる生産性の増減について知見を得た。また、エタノール製造プロセスについて、パイロットプラントを建設し、前処理、糖化発酵、蒸留の一連プロセスの一貫生産試験を実施した。その結果、投入エネルギー量 6MJ/kg 以下と糖化率 80%以上を同時に達成する前処理方法の確立、自己熱再生型蒸留によりエネルギー消費量を従来の 1/6 にするなどの要素技術成果が得られた。一貫生産システムとしては、一貫プラントによる実証はできたが、現時点では十分な期間の連続運転による検証が出来ておらず、2020 年のコスト、エネルギー、GHG 目標を達成するモデルケースの提示には至っていない。

これらの2テーマについて、個別テーマ目標とその達成状況を以下に示す。

表III-1-1 個別テーマ目標と達成状況

	全体目標	乾物収量	前処理	酵素糖化	エタノール発酵	濃縮脱水	一貫生産プロセスとして	
開発ベンチマーク (40円/Lに向けて個別技術の達成度を表す指標)	コスト40円/L、年産10~20万kL、CO2削減率5割以上、化石エネルギー収支2以上	草本系50t/ha・年 木質系17t/ha・年	酵素糖化効率80%以上となる前処理	酵素使用量1mg/g生成糖以下、酵素コスト4円/Lエタノール以下、糖収量500g/kgバイオマス以上	エタノール収率95%以上	エネルギー使用量2.5MJ/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)	エタノール収率0.3L/kgバイオマス以上、エネルギー回収率35%以上	エネルギー使用量6MJ/kgバイオマス以内(自立)
個別テーマ目標と達成状況 (草本系)	80円/L 化石エネルギー収支2以上、GHG削減率50%以上	50t/ha・年	糖化率80%以上を維持	酵素コスト10円/L以下	C6糖:95%以上 C5糖:85%以上 C6C5同時発酵時:85%以上	省エネ技術の適用・ベンチ規模評価	エタノール収率0.25L/kg	—
	○ (2014/2達成見込み)	○ 複数条件で50t/haを達成	○ 糖化率80%維持 エネルギー大幅低減	○ 10円/Lの達成	○ C6糖95%、C5糖85%を確認、C6C5同時発酵は2014/2見込み	○ 有機膜法3.5MJ/L	○ 0.254L/kgを達成	—
個別テーマ目標と達成状況 (木質系)	エタノール製造40円/L、エネルギー収支2以上、CO2削減率50%以上を実現するモデル(2020)の提示	17t/ha・年	酵素糖化効率80%以上となる前処理	キシロシターゼ活性10倍以上、キシラン分解活性の向上、等	同時糖化発酵SSFに適した酵母へのC5発酵機能の付与(C6糖85%、C5糖60%)	自己熱再生技術(従来法の熱量の1/6)実用化可能な省エネプロセス構築	エタノール収率0.3L/kgバイオマス以上、エネルギー回収率35%以上	エネルギー使用量6MJ/kgバイオマス以内(自立)
	△ 一貫プラントによる実証はできたが、モデルケースの提示に至っていない	○ 最大で21.5t/ha	○ 現在78%で今年度中に目標達成見込み	○ キシロシターゼ活性70倍以上	△ C5発酵機能を付与した酵母開発できたが収率は未達	◎ 自己熱再生によりエネルギー大幅低減、2.5MJ/L以下を達成	△ 雑菌コンタミ発生により正確に評価できず未達	○ 6MJ以下、エネルギー自立を達成

◎: 大幅達成、○: 達成、△: 一部未達、×: 断念

多くの項目で個別テーマ目標を達成または大幅達成となっているが、木質系テーマにおいてエタノール収率が目標に未達となっており、またこれにより一貫生産システムとしてのエタノール収率も目標に達していない状況である。

<バイオ燃料の持続可能性に関する研究>

「温室効果ガス（GHG）削減効果等に関する定量的評価に関する研究」では、現在及びこの数年の間に日本国内において導入可能な各種輸送用液体バイオ燃料と中期及び長期に日本国内において導入が想定される各種輸送用液体バイオ燃料の温室効果ガス削減効果を定量的に評価するために、生産地、原料の生産、原料の貯蔵・輸送、バイオ燃料の製造方法、バイオ燃料の輸送・貯蔵といった個別プロセス毎に温室効果ガスの排出量を定量的に評価し、当該バイオ燃料を利用した際の温室効果ガス排出量を算出した。更には算出した標準的定量値を技術水準（準商用段階、実証段階、研究段階等）毎に整理した。

また、現在及びこの数年の間に日本国内において導入可能な各種輸送用液体バイオ燃料の温室効果ガス排出量の定量評価方法及び算定値は、エネルギー供給構造高度化法における判断基準（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）において、LCA でのGHG 排出量算定方法及び既定値として採用されている。

表III-1-2 バイオ燃料の持続可能性に関する研究の目標と達成状況

<p>目標</p>	<p>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</p>	<p>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</p>
<p>達成状況</p>	<p>○ ライフサイクルGHG評価、食料競合・生物多様性等の持続可能性基準、GBEPの動向調査のそれぞれについて調査結果をとりまとめた</p>	<p>○ 草本系・木質系の事業者から提出されたデータに基づき、第三者機関による客観評価を実施した</p>



## 2. 研究開発項目毎の成果

### 2-1 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

#### 2-1-1 研究開発の概要

本プロジェクトは、NEDO の基本計画に基づき、セルロース系目的生産バイオマス（エネルギー植物）を原料とし、低コスト収穫・運搬・貯蔵技術を用いた周年供給システムと低環境負荷なアンモニア前処理技術を基本として、最適糖化酵素の取得と高度利用、膜を利用した糖化液濃縮、非遺伝子組換え酵母によるエタノール生産等の技術を組合せた大規模安定供給が可能なエタノール一貫生産システムを開発することを目的とした。

#### 研究開発の概要

**大規模安定供給が可能なエタノール一貫生産システムを開発**  
**セルロース系目的生産バイオマス(エネルギー原料植物)**  
**周年供給システムと低環境負荷なアンモニア前処理技術を軸**  
**最適糖化酵素の取得と高度利用**  
**膜を利用した糖化液濃縮**  
**非遺伝子組換え酵母によるエタノール生産**

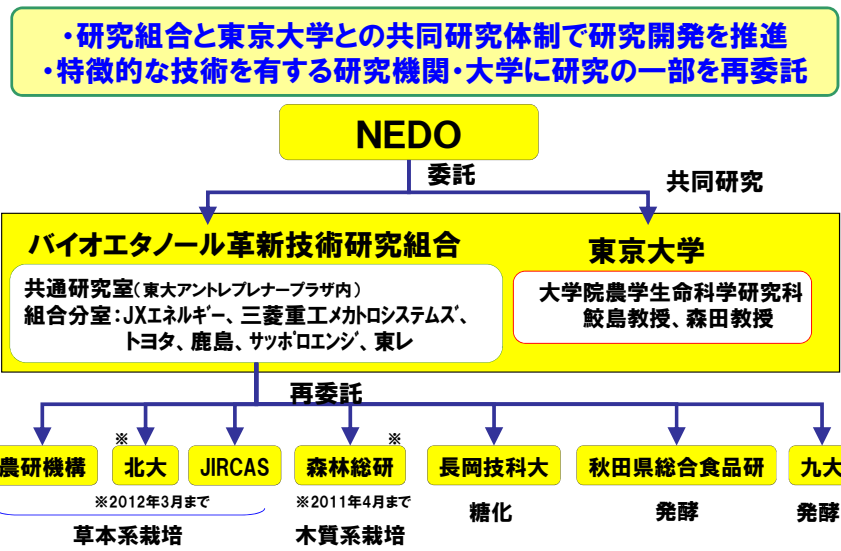
#### 具体的研究内容

- エネルギー原料植物の生産システムの確立
- エタノール製造技術に関する研究開発
  - ・前処理
  - ・酵素糖化
  - ・発酵・濃縮・脱水
- ベンチ実証
- 一貫システムの最適化

図III-2-1-1-1 研究開発の内容

研究開発を効率的に推進するため、JX 日鉱日石エネルギー、三菱重工メカトロシステムズ、トヨタ自動車、鹿島建設、サッポロエンジニアリング、東レの 6 社は、「バイオエタノール革新技术研究組合」を設立した。

本技術研究組合は、バイオマス資源に関する先端的な研究拠点である東京大学と共同研究体制を構築し、さらに、農業・食品産業技術総合研究機構、北海道大学(平成 24 年 3 月で役務完了)、国際農林水産業研究センター (JIRCAS)、森林総合研究所 (平成 23 年 4 月で役務完了)、秋田県総合食品研究センター、長岡技術科学大学、九州大学の各研究機関および大学と密に連携し研究開発を推進した。



図Ⅲ-2-1-1-2 研究開発体制

具体的な研究内容は、下記の4点である。

1) エネルギー植物の生産システムの確立

本プロジェクトでは、農産残渣等のような廃棄物系原料の課題である供給安定性、コストの問題を解決するもので、目的生産バイオマスとして単位面積当たりの収量が多いいわゆるエネルギー植物の低コスト、持続的に栽培できる技術確立を行うものである。

2) エタノール製造技術に関する研究開発

・前処理技術

アンモニアは回収再利用ができ、廃液発生の無い低環境負荷を特長とするドライアンモニアガスを用いた世界初の前処理プロセスを開発する。

・酵素糖化技術

酵素の回収再利用、発酵に適した高濃度糖液の供給が可能な分離膜を活用した世界初の糖化プロセスを開発する。

・発酵・濃縮・脱水技術

廃酵母や蒸留廃液の循環利用が容易な非遺伝子組換え酵母による世界初のキシロース発酵プロセスを開発する。

3) ベンチ実証試験

各工程におけるスケールアップデータの取得、物質収支データの取得を目的としたベンチ実証運転を行う。

4) 一貫システムの最適化

エネルギー植物生産から、エタノール製造まで一貫工程を評価し最適化を図る。全体工程は、LC 評価支援ツール (GaBi) を有効に活用し、化石エネルギー収支、GHG 削減率の評価を行う。

## 2-1-2 研究開発の目標設定

NEDO 基本計画において、平成 25 年度の最終目標は、「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。技術の達成度合いを技術革新ケースの開発ベンチマーク（平成 27 年度）を参照しつつ評価する」こととなっている。

これを受けた本プロジェクトでは、プロジェクト最終年（平成 25 年度）の目標を、「エタノール製造コスト 80 円/L（原油 50 ドル/バーレル時）、化石エネルギー収支 2 以上、GHG 削減率 50%以上」と設定した。この目標は、バイオ燃料技術革新計画の平成 27 年度ベンチマークのコスト 40 円/L（原油 50 ドル/バーレル時）を見据えた目標設定となっている。また、化石エネルギー収支、GHG 削減率は、バイオ燃料技術革新計画の平成 27 年度ベンチマークおよびエネルギー供給構造高度化法の判断基準により、設定したものである（表Ⅲ-2-1-2-1）。

表Ⅲ-2-1-2-1 研究開発目標と根拠

H25年度最終目標		
NEDO基本計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 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、<b>基盤技術を確立する。</b></li> <li>■ 技術の達成度合いを<b>技術革新ケースの開発ベンチマーク(H27年度)</b>を参照しつつ評価する。</li> </ul>	
H25年度最終目標		根拠
本開発事業 (東京大学・バイオエタノール研究組合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <b>80円/L</b> (原油50ドル/バーレル時)</li> <li>■ <b>エネルギー収支2以上</b></li> <li>■ <b>GHG削減率50%以上</b></li> </ul>	H27年度ベンチマークに対して中間段階となるH25年度の目標として設定  「バイオ燃料技術革新計画」 技術革新ケース ベンチマーク  エネルギー供給構造高度化法 判断基準

また個別の開発項目の目標をその設定の考え方を表Ⅲ-2-1-2-2 に記した。いずれも上記研究開発目標を個別の研究項目にブレークダウンしたものである。

表Ⅲ-2-1-2-2 個別の開発目標と設定の考え方

項目	目標	目標設定の考え方
原料生産技術	バイオマス収量	50t/ha 「バイオ燃料技術革新計画」のベンチマーク
	原料生産コスト	3円/kg (製造コスト目標のうち目安として10~12円/L)
製造技術	前処理	糖化率80% 「バイオ燃料技術革新計画」のベンチマーク
	酵素糖化	コスト10円/L (製造コスト目標80円/Lのうちの目安として)
	C6-C5二段発酵	C6:95% C5:85% 「バイオ燃料技術革新計画」のベンチマーク「95%」を目安として
	C6C5同時発酵	85% 独自に設定
	濃縮脱水	省エネ技術の評価・適用 (「革新計画」のベンチマーク2.5MJを参照)
ベンチ 実証	バイオマスからのエタノール収量	0.25L/kg

### 2-1-3 目標と成果

#### (1) 各気候帯における「エネルギー原料植物」の周年供給システム確立

##### a) 開発概要（課題と目標）

原料生産技術の開発においては、原料を年間安定的に供給するための周年供給システムの確立、原料の生産持続性の確立、生産性の向上とコスト低減が課題である。以下の原料生産技術開発に関する検討項目 2-1-3 (1) (2) (3) (4) 共通の目標を次のように設定した：原料の周年供給システムの確立の課題に対する目標は、本開発事業の開始時は冷帯から熱帯までの各気候帯の栽培モデルを構築することを目標としたが、熱帯に選択集中する方針変更に伴い、平成 23 年度以降は熱帯の周年供給モデルの構築とインドネシアで実現可能であることの立証を目標に改めた。生産性については、バイオ燃料技術革新計画のベンチマーク 50t/ha を目標とし、原料生産コストについては本事業の生産コスト目標 80 円/L のうち目安として 10~12 円/L 換算となる 3 円/kg を目標とした。生産持続性の確立に関しては、候補地での大規模栽培試験における生産持続性の実証と環境・社会影響評価の終了を目標とした。食料生産との競合回避については環境・社会影響評価の中で検討評価した。

##### b) 周年供給システム構築のための栽培・収穫・貯蔵モデルの検討

###### b)-1 個別目標

冷帯から熱帯までの各気候帯において、生産性 50t/ha・原料コスト 3 円/kg のバイオマス原料を周年供給するための栽培・収穫・貯蔵モデルを検討し、候補植物・地域を選定する。

###### b)-2 検討内容（方法と結果）

###### 1) 各気候帯における原料候補植物のバイオマス生産性評価

冷帯から熱帯までの各気候帯で、原料候補植物の栽培試験を行い、生産性を中心に評価を行った。すなわち、冷帯（北海道）では 9 種、温帯（関東）では 21 種、暖温帯（九州）では 10 種、熱帯（インドネシア）では 10 種の候補植物の生産性を評価した結果、冷帯ではススキが（推定収量 25t/ha・年）、温帯・暖温帯ではエリアンサス（推定収量 50t/ha・年）、熱帯ではネピアグラス（50t/ha・年）が、それぞれ最も生産性が高いことが明らかとなった。

表Ⅲ-2-1-3-(1)-1 各気候帯の原料栽培・貯蔵モデル

気候帯	検討数	周年供給の組合せ	収穫機械	乾燥方法	貯蔵期間	生産性(年換算)
冷帯	9種	ススキ 11~2月	ハーベスタ	立毛	4ヵ月	25t/ha
		ヤナギ 3~6月	モア・テッタ、ハーベスタ		4ヵ月	15t/ha
		牧草 7~10月	ハーベスタ	圃場	なし	20t/ha
温帯	21種	エリアンサス 12~6月	ハーベスタ	立毛・集積所	7ヵ月	50t/ha
		牧草 7~11月	モア・テッタ、ハーベスタ	圃場	なし	15t/ha
暖温帯	10種	エリアンサス 12~6月	ハーベスタ	立毛	4ヵ月	50t/ha
		牧草 7~11月	モア・テッタ、ハーベスタ	圃場	なし	25t/ha
熱帯	10種	ネピアグラス 周年	ハンディー、乗用型	圃場・集積所	なし	50t/ha

###### 2) 同一条件（温帯）における原料候補植物の（バイオマス生産性・ストレス耐性の）比較検討

バイオマス生産性に関する既往研究のレビューから候補植物としてあがったのは、(表Ⅲ-2-1-3-(1)-2) にあげたもので、多くは、イネ科・C4型・多年生植物であった。この中から10種の候補植物を選定し、温帯(東大農場)において比較検討のために栽培試験を実施した。その際、バイオマス生産性とストレス耐性を中心にして比較検討を行うため、露地では候補植物の収量性と窒素利用効率を、ハウスでは耐乾性に着目した。以上の比較検討の結果、バイオマスの生産性からエリアンサスとネピアグラスを選定した(表Ⅲ-2-1-3-(1)-3)。ネピアグラスは、窒素利用能、耐乾性でも最も優れており、ストレス環境条件下での栽培に向いていると考えられた。

表Ⅲ-2-1-3-(1)-2 セルロース系バイオエタノール原料の候補植物

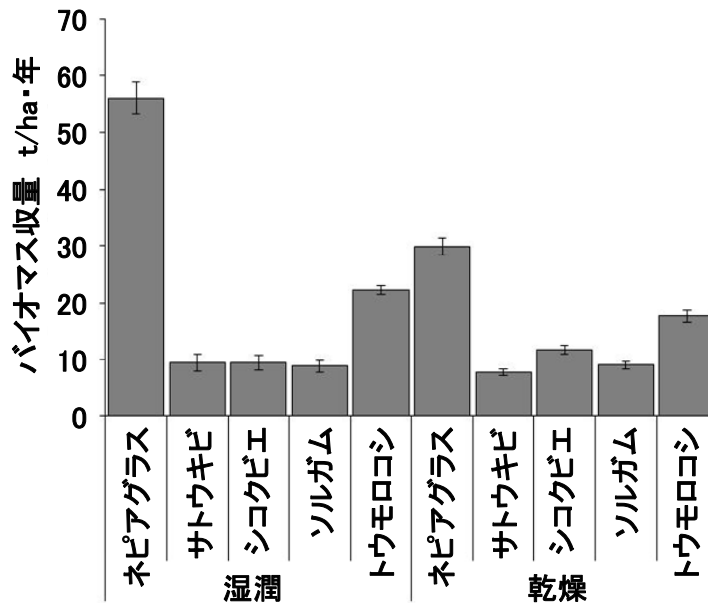
植物名	英名	学名	科	光合成	年生
トウモロコシ	Corn, Maize	<i>Zea mays</i> L.	イネ	C4	1年生
ソルガム	Sorghum	<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench	イネ	C4	1年生
ジョンソングラス	Johnson Grass	<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	イネ	C4	多年生
シコクヒエ	Finger Millet	<i>Echinochloa crusgalli</i> (L.) Gaertn.	イネ	C4	1年生
エリアンサス	Erianthus	<i>Erianthus ravennae</i> (L.) Beauv.	イネ	C4	多年生
スイッチグラス	Switch Grass	<i>Panicum virgatum</i> L.	イネ	C4	多年生
ギニアグラス	Guinea Grass	<i>Panicum maximum</i> Jacq.	イネ	C4	多年生
ネピアグラス	Napier Grass	<i>Pennisetum purpurascens</i> Schum.	イネ	C4	多年生
トウナンヒエ	Pearl Millet	<i>Pennisetum glaberrimum</i> Rich.	イネ	C4	1年生
サトウキビ	Sugar Cane	<i>Saccharum officinarum</i> L.	イネ	C4	多年生
糖用サトウキビ	Sugar Cane	<i>Saccharum</i> sp. hybrid	イネ	C4	多年生
ススキ	Eulalia	<i>Miscanthus sinensis</i> Anders.	イネ	C4	多年生
オギ	Amur Silvergrass	<i>Miscanthus sacchariflorus</i> Wiedm. Hack.	イネ	C4	多年生
ヤブタバコ	Giant Miscanthus	<i>M. Xiphioides</i>	イネ	C4	多年生
リードカナリヤ	Reed Canary-Grass	<i>Phalaris arundinacea</i> L.	イネ	C3	多年生
セタリア	Setaria	<i>Setaria eschscholzi</i> (Scribn.) Stapf et G.E. Hitchc.	イネ	C3	1年生
オーチャードグラス	Orchard Grass	<i>Dactylis glomerata</i> L.	イネ	C3	多年生
チモシー	Timothy	<i>Phleum pratense</i> L.	イネ	C3	多年生
トールフェスク	Tall Fescue	<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	イネ	C3	1年生

森田ら (2013) 日本エネルギー学会誌 92 巻 562-570 を参照

表Ⅲ-2-1-3-(1)-3 これまでに報告されたセルロース系バイオエタノール原料植物の収量

植物名	収量 (t ha <sup>-1</sup> )	試験地	引用文献
ネピアグラス	93	エルサルバドル	Watkins and Levy van Severen (1951)
	85	フェルトリコ	Vicent-Chandler et al. (1953)
	67	中国	Kitamura et al. (1982)
	23	ドイツ北部	El Bassem (1993)
エリアンサス	40-60	フロリダ	Miskov et al. (1997)
	ソルガム	19-47	イタリア南部
22-33		ロシア中部	El Bassem (1993)
10		バーマニア (米国)	Worley et al. (1992)
ミスカンサス	40	中国	El Bassem (1993)
	15-20	イタリア	Ercoli et al. (1993)
	18	ドイツ西部	Boshmel et al. (2005)
	12	トルコ	Acaroğlu and Aksay (2005)
スイッチグラス	7-35	アラバマ (米国)	Gladden et al. (1991)
	13-21	米国東部	Parrish et al. (1997)
	10-11	バーマニア (米国)	Parrish et al. (1993)
リードカナリヤ	11-19	スウェーデン	Modavilla et al. (1993; 1994; 1995)

Hattori and Morita (2010) Plant Production Science 13, 221-234 を参照



図Ⅲ-2-1-3-(1)-1 異なる土壌水分条件で栽培したセルロース系バイオエタノール原料候補植物の収量（値は平均値±標準誤差（n=3））

### 3) 各気候帯における収穫・貯蔵モデルの検討

冷帯・温帯・熱帯の各地域別に、原料植物、収穫機械、天日乾燥、貯蔵方法の検討を行った。ススキ、ヤナギ及び牧草は、既存の収穫機械で収穫が可能だが、ネピアグラス、エリアンサスには専用収穫機はなく、機械収穫に関する情報が乏しい。そこで、これらの様な長大な原料植物を収穫するために既存の汎用機による収穫試験を試みた結果、ネピアグラス、エリアンサスは、サトウキビ収穫用のケンハーベスタ、飼料作物収穫用のケンパーで収穫が可能であることを確認した（図Ⅲ-2-1-3-(1)-2）。

ケンハーベスタでこれらを収穫した際のデータを、表Ⅲ-2-1-3-(1)-4 に示した。この結果から、収穫機械の能力範囲の中で適正に運転できたと判断した。



図Ⅲ-2-1-3-(1)-2 ケンハーベスタによる収穫試験の様子

表Ⅲ-2-1-3-(1)-4 ケーンハーベスタによる収穫試験結果

原料植物	草丈 [m]	含水率 [%]	乾物収量 [t/ha・年]	作業速度 [m/s]	所要動力 [kW]	燃料消費量 [ℓ/ha]	投入エネルギー [MJ/TDW]
社°アグラス	3.5	78	15.9	0.63	81	32.4	24.4
エリアンサス	3.9	74	16.3	0.81	83	33.5	19.2

備考：試験地 JIRCAS（沖縄県石垣市）

熱帯を除く各気候帯では、収穫後に一定期間貯蔵し、原料バイオマスを安定的に周年供給する必要がある。原料バイオマスの貯蔵によるセルロース、ヘミセルロース、リグニンの性状変化について調査し、その結果をもとに貯蔵モデルを検討した。

表Ⅲ-2-1-3-(1)-5 貯蔵条件による成分の回収状況

気候帯	植物種	貯蔵条件	貯蔵後の成分の回収状況			
			セルロース	ヘミセルロース	リグニン	
冷帯	ススキ	立毛(乾燥)	嫌気	○	○	◎
	エゾノキヌヤナギ	丸太	屋外	○	○	△
温帯	スイッチグラス	青刈り(高水分)	好気	×	×	◎
		青刈り(高水分)	嫌気	○	△	○
	エリアンサス	青刈り(高水分)	嫌気	○	△	○
暖温帯	ネピアグラス	青刈り(高水分)	嫌気	○	△	○

好気条件での貯蔵ではセルロース、ヘミセルロースの性状変化が大きく回収が困難になった。貯蔵するためには、嫌気条件による貯蔵方法が必要と判断できた。

嫌気条件の貯蔵方法には、ロールバール、ラップサイロ、バンカーサイロなどの方法があり、一カ所に貯蔵する原料バイオマスの量に応じて適した方法を選択すべきことがわかった。

#### 4) 各気候帯におけるコスト

1)～3)までの、栽培・収穫・貯蔵試験の結果に基づき得られた、各気候帯における栽培モデルとコストの試算例を表Ⅲ-2-1-3-(1)-6に示した。

試算を行ったのは栽培・収穫・貯蔵コストで、運搬・乾燥コストは含まれていない。冷帯、温帯、暖温帯は原料バイオマスを周年栽培できないため貯蔵が必要になるが、周年栽培できる熱帯は貯蔵コストを含んでいない。

表Ⅲ-2-1-3-(1)-6 各気候帯の原料栽培モデルと生産性・コストの試算結果

気候帯	検討した植物	周年供給の組合せ	生産性(年換算)		コスト例
冷帯	9種	ススキ 11～2月	25t/ha	20t/ha	9.8円/kg
		ヤナギ 3～6月	15t/ha		
		牧草 7～10月	20t/ha		
温帯	21種	エリアンサス 12～6月	50t/ha	35t/ha	9.3円/kg
		牧草 7～11月	15t/ha		
暖温帯	10種	エリアンサス 12～6月	50t/ha	40t/ha	8.3円/kg
		牧草 7～11月	25t/ha		
熱帯	10種	ネピアグラス 周年	50t/ha		2.1円/kg

b)-3 まとめ

これらのモデルにおける生産性とコストを検討した結果、熱帯におけるネピアグラス栽培により、生産性 50t/ha・年、原料コスト 3 円/kg の実現性について目途付けた。なお、エリアンサスはネピアグラスより条件の悪い土地においても栽培できる可能性があり、非農地での生産ポテンシャルについてさらに検討するため、ネピアグラスと合わせて候補植物とした。



## (2) 候補地選定手法の開発

### a) 候補国・地域の絞り込み

#### a)-1 個別目標

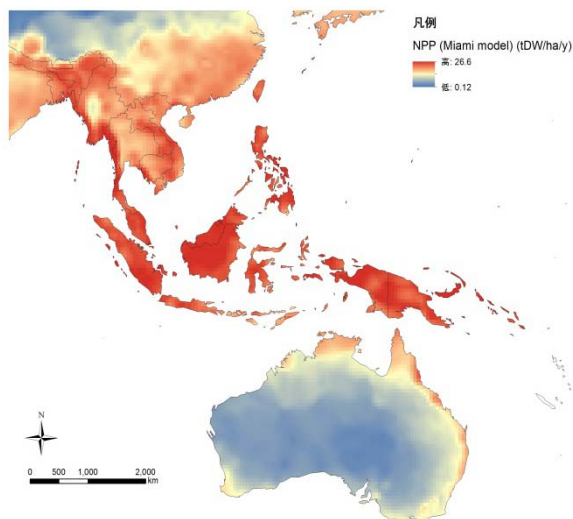
食料生産と競合しない原料植物の生産を実現するためには、①未利用地の利用など食料生産と非競合及び共存可能な土地、②原料生産に必要な栽培面積の確保、③輸送コスト・エネルギーの最小化、が課題である。本事業で検討した収穫運搬体系のコスト評価を行うことを目的として、これら①②③の条件を考慮して候補国・地域の絞り込みと、絞り込まれた地域における栽培候補地の探索・抽出を経て、輸送コストも評価可能な栽培候補地の選定評価手法を確立することを目標とした。

#### a)-2 検討内容

##### 1) 候補国・候補地域の絞り込み

食料生産と競合せずに原料バイオマスを生産するためには、非食用の植物を利用することに加え、食料生産と競合しない、あるいは共存できる土地を利用する必要がある。事業の候補地を検討する場合、原料植物の栽培に必要な土地の確保と、収穫・輸送コスト、およびエネルギーを最小化することが必要である。そこで、第1ステップとして候補国・地域の絞り込み方法について検討した。

本検討の範囲を、日本へ輸送を考慮し、東南アジアとオセアニアを対象地域とした。原料植物の生産ポテンシャルと事業環境の評価に基づいて候補国・地域の絞り込みを行った。原料植物の生産ポテンシャルは、Miami モデル(Lieth, 1975)を利用し、降水量と気温から推定できる純一次生産量(NPP)を指標とした。対象地域のNPPを求めた結果、地域によってやや差があるが東南アジア諸国は全般に生産ポテンシャルが高く、オーストラリア東海岸の一部でも生産ポテンシャルが高いことが確認された(図III-2-1-3-(2)-1)。事業環境を評価するために、「食糧需給、耕地需給、労賃、事業リスク」の4項目を取り上げ、統計情報を基に対象国のスコア付けを行った(表III-2-1-3-(2)-1)。総合点の高かった上位8カ国の中から事業リスクが特に高い(評点1または2)国を除外し、有望な候補国としてインドネシア、タイ、ベトナム、オーストラリアが選ばれた。これら候補国の現地踏査の結果を踏まえ、中でもインドネシア・スマトラ島は広範囲に亘って生産ポテンシャルが高い地域が分布しており、原料バイオマスの生産候補地域として適当であると考えた。研究組合参加企業の研究拠点がある、スマトラ島ランブン州が検討を行う地域として適していると考えられたことから、本地域を事業モデルとして栽培候補地を絞り込む手法の検討を行うこととした。



NPPの推定はMiamiモデル(Lieth,1975)を適用。気候データはLegates and Willmott Average Monthly Surface Temperature and Precipitation (National Center for Atmospheric Research (NCAR) 1989年リリース、データ取得：1920～1980)を参照。

図Ⅲ-2-1-3-(2)-1 平均気温と年降水量より推定した純一次生産量(NPP)の分布

表Ⅲ-2-1-3-(2)-1 候補国の事業環境に関する評価表

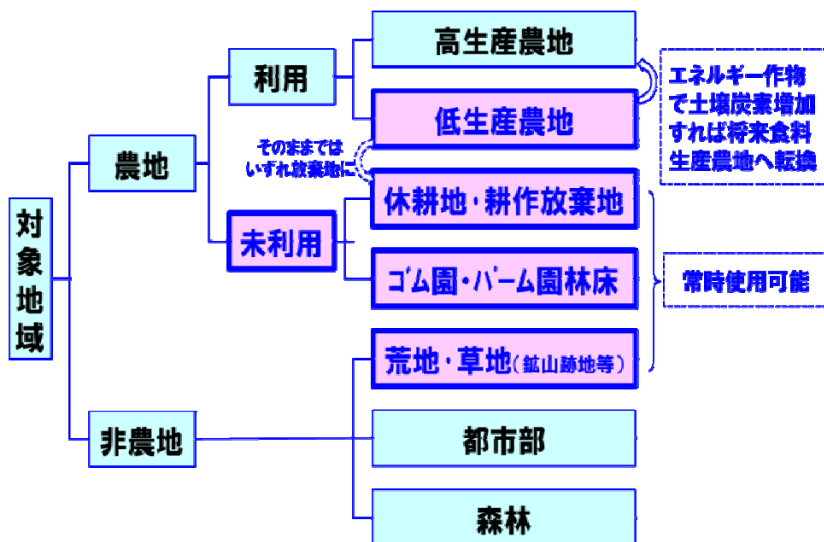
各評価(5段階)	総合点	食糧が足りているか	土地があるか	安価な労働力	事業しやすいか
		食糧需給(重み2)	耕地需給(重み3)	労賃(重み3)	事業リスク(重み1)
カンボジア	38	5	4	5	1
タイ	36	4	5	3	4
ベトナム	36	3	4	5	3
インドネシア	33	3	4	4	3
ラオス	32	5	3	4	1
バブアニューギニア	32	3	4	4	2
オーストラリア	31	4	5	1	5
ミャンマー	29	5	4	2	1
パキスタン	28	4	1	5	2
スリランカ	26	1	2	5	3
バングラディシュ	25	3	1	5	1
ネパール	25	3	1	5	1
マレーシア	24	1	4	2	4
フィリピン	22	2	1	4	3
モンゴル	22	1	1	5	2
ニュージーランド	19	1	3	1	5
韓国	19	1	3	1	5
日本	13	1	1	1	5

【参考資料】  
 耕地需給：Land Resource Potential and Constrain at Regional and Country Levels(FAO 2000)  
 労賃：Laborsta Labor Statistics Database 1998-2009 (ILO)  
 食糧需給：Food Balance Sheets (FAOSTAT 2007)  
 事業リスク：Country Risk Handbook 2009 (COFACE 2009)

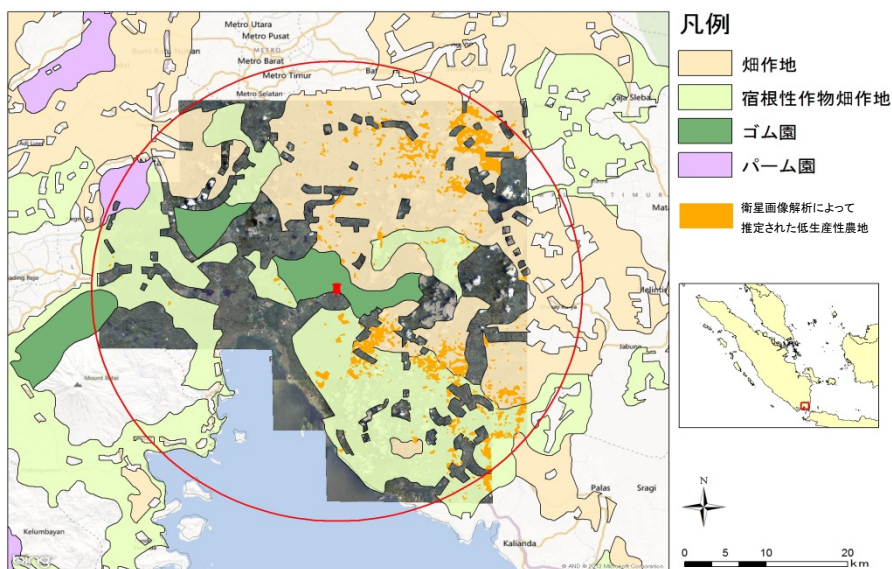
## 2) 候補国・候補地域における栽培候補地の探索・抽出

第2ステップとして、1)で絞り込まれた地域における栽培候補地の探索・抽出方法について検討した。

食料生産との競合を回避するために、原料植物を栽培する土地は非農地であること、また農地であっても有効利用されていない土地であることが条件の一つとなる。また、現状において生産性が低い農地についても将来的に食料生産に切り替えることを前提として栽培候補地の対象になると考えた(図Ⅲ-2-1-3-(2)-2)。事業モデルとしたインドネシア・ランブン州において、この条件を満たす具体的な栽培候補地を検討したところ、非農地では鉱山跡地や洪水常襲地、農地では、ゴム園・パーム園の林床、及びキャッサバ農地や牧草地などの低生産性農地が対象地となることが明らかとなった。本項では、これらの対象地を探索・抽出する手法を検討した。バイオ燃料技術革新計画(2008)では年産10～20万kL(エタノール)規模のモデルとして半径6.5kmの土地で効率的な原料生産と収集・運搬コスト低減の可能性が報告されている。ランブン州においては対象となる栽培候補地はかなり分散して存在することが事前検討により予想されたことから、製造プラントの候補地を中心にして半径30km圏(上記モデルの約20倍の面積に相当)を検討対象にすることとした。探索は、まず土地利用図やGISデータ等を利用してゴム園・パーム園と畑作地を抽出した。さらに、畑作地から低生産性農地を栽培候補地として抽出するため、衛星画像が持つ反射スペクトルデータを利用した画像分類によって土地被覆状況をより小スケールで推定・分類(ISODATA法による教師なし分類)するとともに、植生量との相関が高いとされる正規化植生指数(NDVI)を指標として植生量が少ない畑作地を低生産性農地として推定した。これらの手法によって抽出された栽培候補地の例を図Ⅲ-2-1-3-(2)-3に示す。



図Ⅲ-2-1-3-(2)-2 原料植物の栽培地候補対象地域

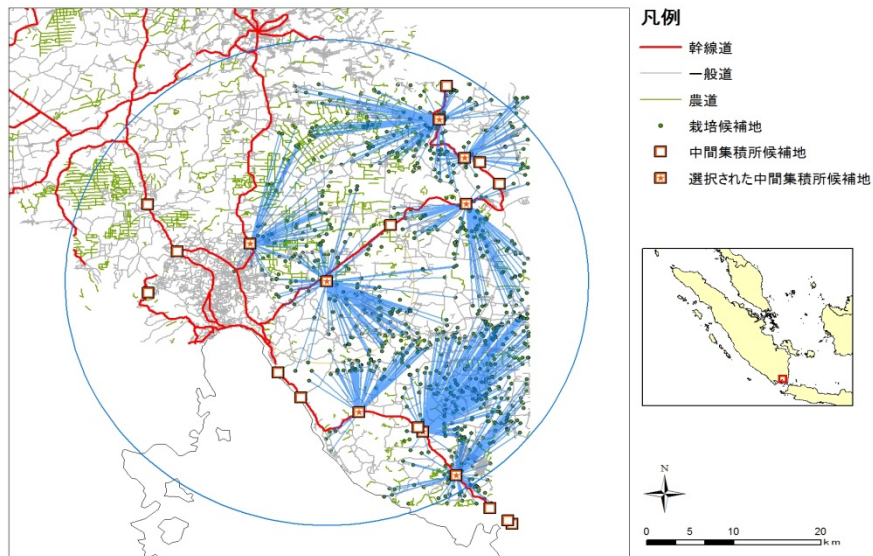


赤円は半径 30km 圏を示す。

図Ⅲ-2-1-3-(2)-3 土地利用図と衛星画像解析 による栽培候補地の探索・抽出結果の例

### 3) 輸送距離・コストの算出と評価

栽培候補地が分散して存在する地域では、栽培地を選定する上で輸送コストの評価も重要である。そこで、対象地域の道路を地図や衛星画像から読み取って GIS データ化し、選定された栽培候補地と中間集積所及び製造工場候補地を GIS 上に設定することにより、実際の道路網に基づいて輸送距離や輸送時間を効率的に算出し評価する手法を構築した。図Ⅲ-2-1-3-(2)-4 はネットワーク解析プログラムを利用して、工場の位置と栽培候補地の位置を設定して、栽培地から中間集積所までの輸送距離を解析し、輸送距離が最少となる中間集積地を 21 ヶ所の候補地の中から 8 ヶ所選定するケーススタディの結果である。



図Ⅲ-2-1-3-(2)-4 道路網に基づいて輸送距離が最小となるよう  
中間集積所 8ヶ所選定した解析結果例

また、GIS 上で算出される輸送距離データは後述の(4)c)で開発した収集運搬の計画支援プログラムでも活用する。事業モデルでは、中間集積所は幹線道路沿いで 6ha 程度の敷地が確保できる場所、製造プラントについては用水など必要なユーティリティの確保などが立地選定の主要要件であるが、本手法を利用することにより、栽培地候補地のみならず中間集積所や製造プラントの立地選定における輸送コスト面からの評価や見直し、ケーススタディを効率的に行うことが可能である。

#### a)-3 まとめ

候補植物に合わせて未利用地や共存可能な土地を確保できる候補国・地域の絞り込みと、絞り込まれた地域における栽培候補地の探索・抽出を経て、輸送コストも評価可能な栽培候補地の選定評価手法を確立した。

原料バイオマスの生産候補地としてインドネシアのスマトラ島南端のランブン州を選定した。抽出された栽培候補地と中間集積地、製造工場候補地に加え、それらを結ぶ道路網を GIS 上に重ね合わせることで輸送コストまでを効率的に算出・評価することが可能となった。これを活用して本事業で検討した収穫運搬体系のコスト評価を行うことができた。

### (3) 原料バイオマス生産技術の開発

#### a) 熱帯原料植物の栽培技術開発

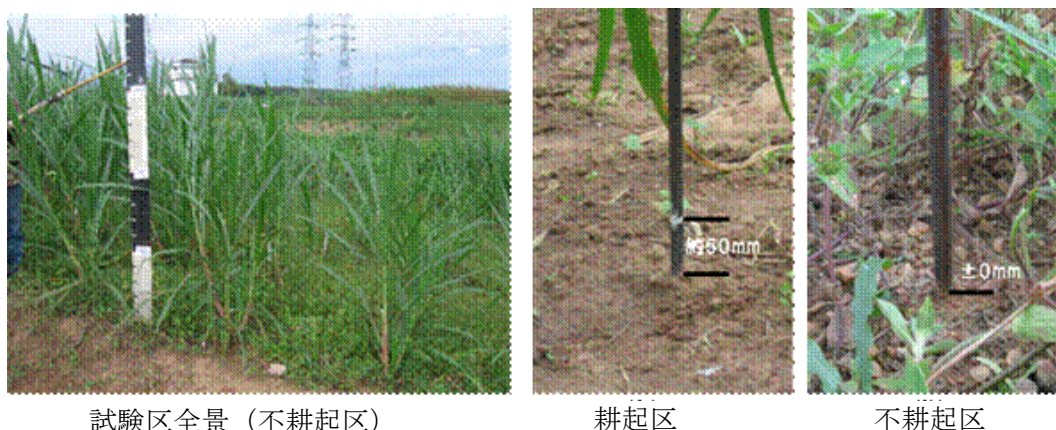
##### a)-1 個別目標

原料バイオマスの生産において、①低コスト・多収栽培、②周年供給、③持続可能性の 3 つの条件を担保する原料植物の栽培技術を開発する。

##### a)-2 検討内容

##### 1) 熱帯におけるネピアグラスの低コスト・多収栽培技術の開発

(1)-a)で、熱帯における原料候補植物としてネピアグラスを選定した。そこで、インドネシア・ランブンプン州でネピアグラスの低コスト・多収栽培技術の開発に取り組んだ。その結果、原料バイオマスが最も安価となる植付条件や施肥量等を明らかにした。特に、不耕起によるネピアグラス栽培への影響について評価した結果、植付コストを低減できるだけでなく、不耕起栽培を導入することで土壌浸食を軽減できることが分かった(図Ⅲ-2-1-(3)-1)。また、除草剤散布の方法を工夫することで、雑草の再生を抑制する効果があることを明らかにした。



試験区全景 (不耕起区)

耕起区

不耕起区

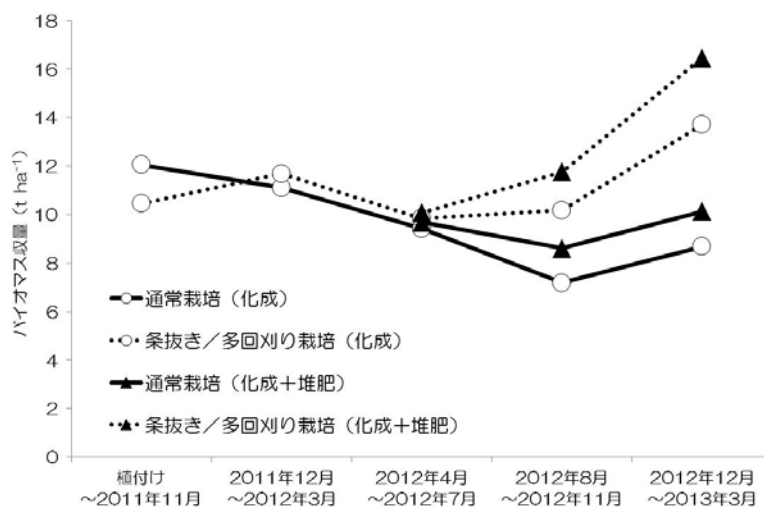
図Ⅲ-2-1-3-(3)-1 土壌侵食量の測定例

ネピアグラスを、ゴム・パーム園の林床やキャッサバ低収地等、低利用の土地で栽培試験を実施した。林床では、ゴムやパームのメインクロップの植え付けから数年間は、高い生産性を維持したままネピアグラスを栽培することが可能であり、キャッサバ低収地では堆肥施用が増収に有効であることを確認した。これらの研究によって、低コスト・多収にて周年供給を可能とする栽培体系を構築した。

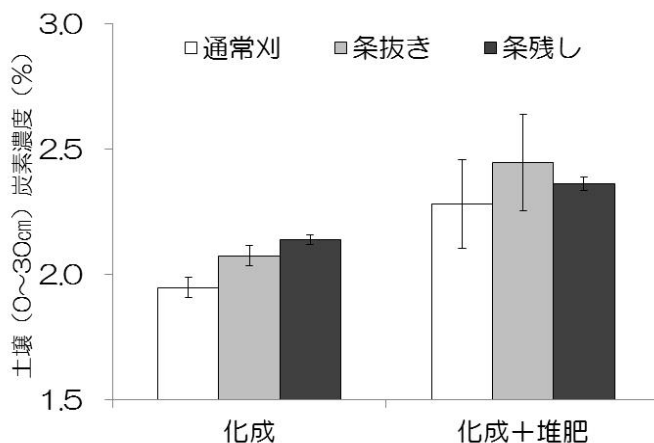
##### 2) 低投入多収栽培のための技術開発

インドネシアでネピアグラスを栽培し、通常刈り(4ヵ月毎に一斉刈取)と条抜き多回刈り(2ヵ月毎に4条ずつ刈取)についてバイオマス収量の推移を比較した。その結果、このような栽培と刈り取りの組合せを繰り返していくと、通常刈り区では収量が低下したが、条抜き多回刈り区では収量レベルが維持された(図Ⅲ-2-1-3-(3)-2)。このように、本事業で新たに考案した条抜き多回刈り栽培を導入することで、低投入で年間の総バイオマス収量を増加させるとともに、バイオマスの周年供給も実現できるシステムを構築することができた。しかも、条抜き多回刈り区では通常刈り区に比べて、土壌中の炭素濃度が増加することも明らかになった(図Ⅲ-2-1-3-(3)-3)。これは、条抜き多回刈り栽培が持続的なシステムであり、土壌肥沃度の維持向上にも役立つことを意味しており、土地生産力が上がった場合には食料生産のために農地として利用できる可能性を示唆している。

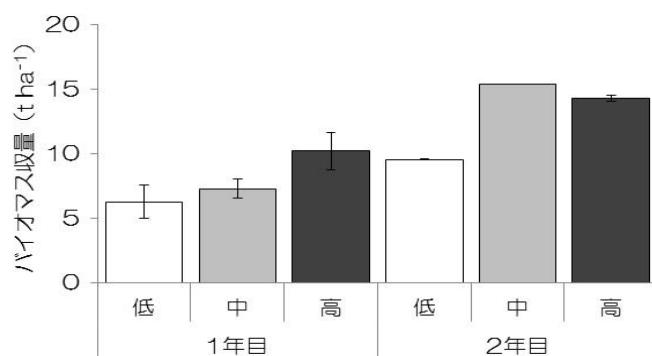
栽植密度は、苗の準備にかかる時間・労力・費用を別にすれば、低投入栽培管理技術で、植物の収量に大きな影響を与える。しかし、原料植物を栽培する場合の最適栽植密度に関する情報はほとんどない。そこで、ランプン州の圃場において、ネピアグラスの栽植密度、施肥・苗条件を変えて生産性に与える影響を調査し、haあたり2万本を植え付けることで、費用×収量が最大化し、最も低コストになることを明らかにした。また、エリアンサスについても、栽植様式を確立することを目的として、栽植密度が原料植物の収量に与える影響を調査した。すなわち、東京大学大学院農学生命科学研究科附属生態調和農学機構の圃場において高・中・低密度の栽植条件でエリアンサスを栽培し、収量の経年変化を調査した。その結果、栽培初年目は高密度区の収量が高く、2年目は中密度区の収量が高かった（図III-2-1-3-(3)-4）。このことから、栽培開始当初は高密度で植え付けを行い、生育に伴って間引きすれば、単位面積当たり収量を最大化できると考えられる。



図III-2-1-3-(3)-2 ランプン（インドネシア）の耕作放棄地で栽培したネピアグラスの収量に対する条抜き／多回刈りおよび堆肥施用の影響。値は平均値（n=3）。



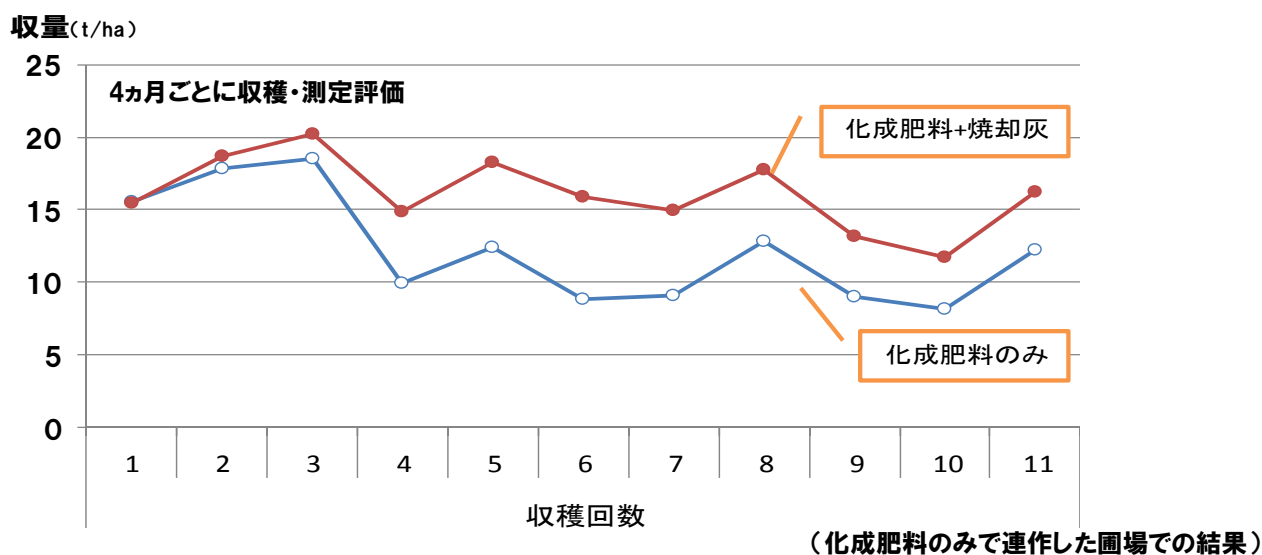
図III-2-1-3-(3)-3 ランプンの耕作放棄地で栽培したネピアグラスに条抜き／多回刈り



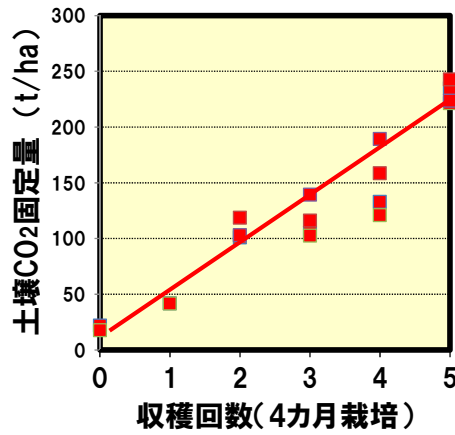
図Ⅲ-2-1-3-(3)-4 東大農場において3つの栽植密度（低・中・高）で栽培したエリアンサスの栽植1年目，2年目の収量。  
値は平均値±標準誤差(n=3)。  
森田ら(2013)日本エネルギー学会誌 92 巻 562-570 を改編。

### 3) 持続可能性に係る栽培技術の開発

エタノール工場のバイオマスボイラから排出される焼却灰の循環モデルとして、ネピアグラスの焼却灰を畑に連用して、ネピアグラスの収量の経年変化を評価した。その結果、焼却灰を施用した区では、4年間に渡って収穫11回繰り返しても収量レベルが低下しない傾向が認められた(図Ⅲ-2-1-3-(3)-5)。また、地域で発生する残渣を有機肥料として施用したところ、化成肥料のみの区に比べ、収量が向上した。これらのことから、ネピアグラスの収量レベルの維持には、多量要素(N・P・K)だけでなく、それ以外の微量元素の施用も重要であることを明らかにした。なお、土壌中の炭素量が増加していることも確認できており、低生産地の地力向上への効果も期待できる(図Ⅲ-2-1-3-(3)-6)。



図Ⅲ-2-1-3-(3)-5 化成肥料のみで連作したネピアグラスへの焼却灰施用効果



図Ⅲ-2-1-3-(3)-6 ネピアグラス栽培地における土壌 CO<sub>2</sub> 固定量 (小規模試験)

本事業の目標を達成するためには、食料生産との競合を回避するために原料植物を非農地や耕作放棄地のような不良土壌で栽培しなければならないし、そこで高いバイオマス生産性を発揮することが強く期待されている。このような場合には、原料植物の環境ストレス耐性が高い必要があるが、植物の環境ストレス耐性は根系の生育に密接に係っていることが多い。また、原料植物の栽培では地上部全量を収穫し原料として利用するため、低投入栽培を行って高いバイオマス生産を持続させるためには、根を介した土壌への有機物還元（生きている根からの有機物の分泌、および根の枯死脱落の2つが重要）が不可欠である。このように、原料植物の低投入持続的な栽培システムを確立するためには根系の生育に関する情報が必須であるに拘わらず、ネピアグラスとエリアンサスでは根系調査がほとんど行われていない。そこで、両種の根系調査を行い、根系の分布と根量を把握することを試みた。すなわち、インドネシアと東京大学大学院農学生命科学研究科附属生態調和農学機構の圃場においてネピアグラスおよびエリアンサスを栽培し、改良塹壕法を利用して根系調査を行った。また、合せて土壌炭素/窒素量の変化も検討した。その結果、いずれの植物も、少なくとも深さ 2.0~2.6m の土層まで根が到達していた（表Ⅲ-2-1-3-(1)-1）。根系の分布を比較検討するために根の深さ指数（根系のいわば重心にあたる値で、大きいほど深根性であることを意味する）を算出したところ、両植物ともイネ科の代表的な食用作物と比べて深根性であり、根量も数倍~数十倍と多いことが明らかとなった（表Ⅲ-2-1-3-(3)-1）。



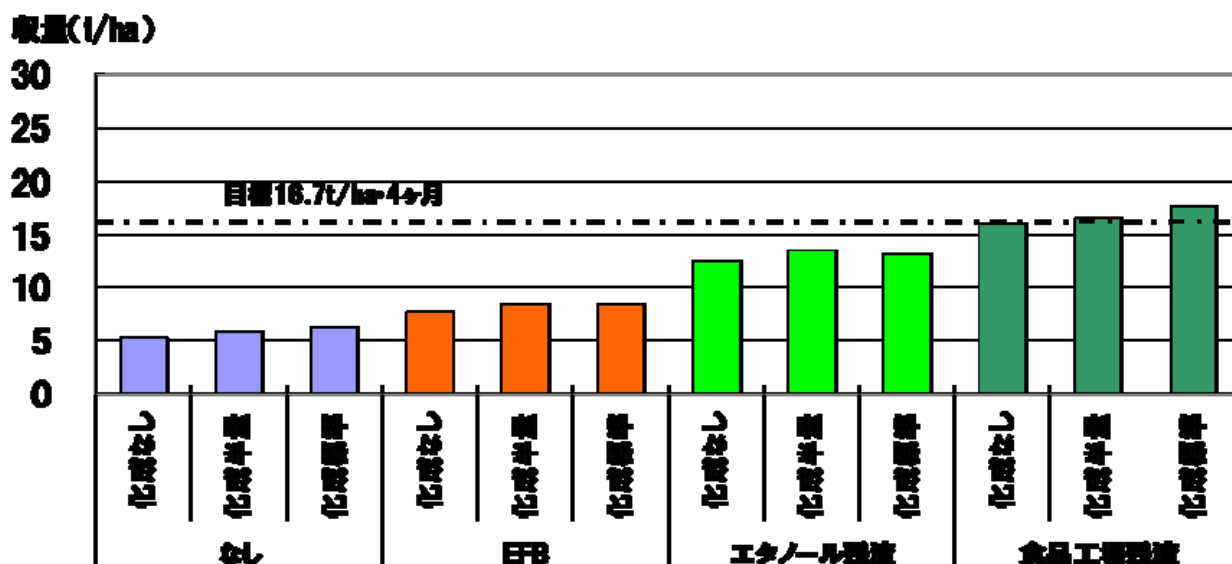
表Ⅲ-2-1-3-(3)-1 東大農場（圃場，ハウス）とランプン（インドネシア，圃場）で栽培したネピアグラスとエリアンサスの各種パラメータ。値は平均値（n=2~3）。Sekiya et al. (submitted)を改編

試験地	植物種 (栽植後月数)	地下部					地上部			
		密度		根の深さ			収量 (g m <sup>-2</sup> )	草丈 (m)	莖数 (株 <sup>-1</sup> )	
		深さ (m)	根重密度 (g m <sup>-3</sup> )	根長密度 (km m <sup>-3</sup> )	根の深さ 指数 (m)	根重 (g m <sup>-2</sup> )				根長 (km m <sup>-2</sup> )
東大 (圃場)	Er (33)	0.0-0.4	694	34.0	0.79	657	35.8	n.a.	n.a.	224.3
		0.4-0.8	387	16.0						
		0.8-1.2	227	11.7						
		1.2-1.6	165	13.7						
		1.6-2.0	169	14.2						
	2.0-2.6	34	4.3							
	Er (13)	0.0-0.4	432	40.9	0.40	384	28.8	n.a.	n.a.	124.2
		0.4-0.8	243	11.1						
		0.8-1.2	175	8.9						
		1.2-1.6	55	5.2						
		1.6-2.0	56	6.1						
	2.0-2.6	na	na							
	Na (13)	0.0-0.4	264	37.1	0.47	183	29.3	n.a.	n.a.	12.5
		0.4-0.8	62	10.1						
		0.8-1.2	49	9.4						
1.2-1.6		47	8.8							
1.6-2.0		37	7.9							
2.0-2.6	na	na								
Su (13)	0.0-0.4	233	17.7	0.48	158	14.6	n.a.	n.a.	3.2	
	0.4-0.8	88	6.7							
	0.8-1.2	23	4.0							
	1.2-1.6	35	4.3							
	1.6-2.0	15	3.7							
2.0-2.6	na	na								
東大 (ハウス)	Er (28)	0.0-0.4	1,121	60.8	0.34	850	31.6	1,517	3.7	61.3
		0.4-0.8	440	8.5						
		0.8-1.2	284	3.8						
		1.2-1.6	160	3.7						
		1.6-2.0	120	2.2						
	2.0-2.6	64	1.8							
	Na (17)	0.0-0.4	566	93.6	0.24	334	43.6	2,678	4.6	7.8
		0.4-0.8	86	6.0						
		0.8-1.2	69	3.2						
		1.2-1.6	53	3.6						
1.6-2.0		60	2.7							
2.0-2.6	62	2.9								
ランプン (圃場)	Na (28)	0.0-0.4	460	19.9	0.73	448	15.6	1,669	3.1	10.0
		0.4-0.8	176	5.3						
		0.8-1.2	169	4.9						
		1.2-1.6	153	4.0						
		1.6-2.0	163	4.8						
2.0-2.6	34	0.9								

両原料植物の巨大な根系は、土壤深層に残存する水分や、土壤中に分散する少量の養分を効率的に吸収することを通じて、環境ストレス耐性が高いことの基礎となっていると考えられる。同時に、多量の根から土壤中に多量の有機物が分泌されたり、やがて枯死脱落することで土壤肥沃度を維持・向上させると考えられる。したがって、本事業で提案した栽培システムの持続性が担保できたといえる。

#### 4) 地域残渣の活用

ネピアグラス栽培において化成肥料のみで連作すると減収することから、地域で排出される未利用有機資源の肥料利用による、低コスト多収栽培の検討を実施した。図Ⅲ-2-1-3-(3)-7 に、残渣施用による増収効果について示した。残渣の施用により化成のみで栽培するよりも増収が確認され、食品工業残渣（アミノ酸発酵調味料廃液）の施用で、年間収量 50t/ha・年の確保が可能である。



図Ⅲ-2-1-3-(3)-7 ネピアグラス栽培における地域残渣の施用効果

a)-3 まとめ

熱帯において、ネピアグラスを、①低コスト・多収、②周年供給が可能、③持続可能性の 3 つの条件を担保しながら生産できる技術を開発した。

b) 熱帯における原料植物の品種開発

b)-1 個別目標

低生産地、日陰などの条件不利地でも適応し、高い生産性を持つ新品種の育成に取り組んだ。単一品種の栽培による病虫害リスクを低減するため、3~5 品種程の系統を選抜することを目標とした。選抜は、インドネシアの栽培品種の栽培試験の結果、生産性の最も高かった Thailand よりも収量の多いものを条件とした。

b)-2 検討内容

1) 個体選抜

現地で栽培試験に利用している 6 品種の自然交配から種子 1 万個を獲得し、実生苗の生産性を指標にして選抜を実施し、現在、本事業に採用している品種 (Thailand) よりも優れた 200 系統を選抜した。

2) 系統選抜

個体選抜で得られた 200 系統を更に、系統選抜によって優良 30 系統に絞り込んだ。次に、試験圃場のうち普通、不良土壌およびゴム園林床の 3 条件下で生産性の評価を行い 8 系統を選抜した。

b)-3 まとめ

自然交配種子 1 万個の実生苗から個体選抜、系統選抜により、高生産性のネピアグラス 8 系統 (新品種候補) を獲得した。原料生産において、生産性を向上できる可能性があるとともに、これら複数の品種を組み合わせることで、病虫害のリスクを低減できる。

## c) 熱帯における原料植物の収穫装置の開発と乾燥

### c)-1 個別目標

熱帯における原料バイオマスのエタノール工場への供給において、受け入れ条件を満たした原料バイオマスを低コスト・エネルギー低投入・GHG 低排出量で収穫・乾燥する体系を検討し、一貫工程全体でのコスト・LC 評価結果が事業目標値を達成することを目標とした。

### c)-2 検討内容

工場受入れ時のバイオマスに要求される乾燥度（含水率 15%）にまで、圃場および中間集積場で天日乾燥する前提で確立した収穫体系における収集効率（コスト）・消費エネルギーを把握し、一貫製造システム評価に資することを目的として検討を行った。

収穫機械の選定、開発、収穫試験による検証、中間集積場における含水率 15%を達成する乾燥条件の評価を通じて、コストとエネルギーの最小化を図り、一貫工程全体でのコスト・LC 評価結果が事業目標値を達成することを目標とした。

#### 1) 刈倒し収穫機械の開発と収穫試験

本プロジェクトで検討対象とする圃場条件は、分散した小規模な面積の低生産性圃場、ゴムやパームなどのプランテーションの樹間、農業利用に不適な傾斜地などであるため、小型の刈倒し収穫機が必要となる。このような圃場条件では、従来方法として肩掛け式刈り払い機による刈倒し作業がある。刈倒し作業を効率化して従来方法の 1/2 程度のコストを目標に小型刈り倒し機を開発し、収穫試験を実施した。

小型刈り倒し機は、圃場の条件により選択することを想定して、歩行型、乗用型の 2 タイプを開発した。収穫能率、消費エネルギーを評価する収穫試験は日本国内で実施するため、エリアンサスを対象植物とした。結果を表Ⅲ-2-1-3-(3)-2 に示す。収穫装置としては乗用式刈倒し収穫機械が作業効率・燃料消費量とも最も良い成績であった。



図Ⅲ-2-1-3-(3)-8  
肩掛け式刈倒し収穫機械



図Ⅲ-2-1-3-(3)-9  
歩行式刈倒し収穫機械



図Ⅲ-2-1-3-(3)-10  
乗用式刈倒し収穫機械

表Ⅲ-2-1-3-(3)-2 刈倒し式収穫機による収穫試験結果

刈倒し機械	作業能率 [h/ha]	燃料消費量 [ℓ/ha]
肩掛け式	14.31	5.87
歩行式	9.52	25.14
乗用式	0.80	1.09

備考：試験地 富津試験圃場（千葉県富津市）

## 2) 天日を利用する乾燥方法

工場受入れ時のバイオマスを含水率 15%以下にまで乾燥させるための消費エネルギーを少なくするために、天然エネルギーの太陽光をできる限り利用する天日乾燥の乾燥体系を検討した。

天日乾燥と収穫を連動した効率的な体系として、圃場乾燥と中間集積所乾燥を組み合わせた方式とした。圃場でネピアグラスを刈り倒して天日乾燥し、一定期間圃場で予乾した後、中間集積場で原料のエタノール工場の受け入れ条件として定められた長さ 50mm 程度に切裁し、降雨の影響を排除した透光性の屋根下における攪拌（切り返し）作業により、含水率 15%以下まで天日乾燥を行うことを目標とした。

熱帯で圃場と中間集積所を組み合わせた乾燥方法の実証試験を行い、天日乾燥により屋根下 60cm に積上げた原料バイオマスを含水率 15%以下まで乾燥できることを確認した。

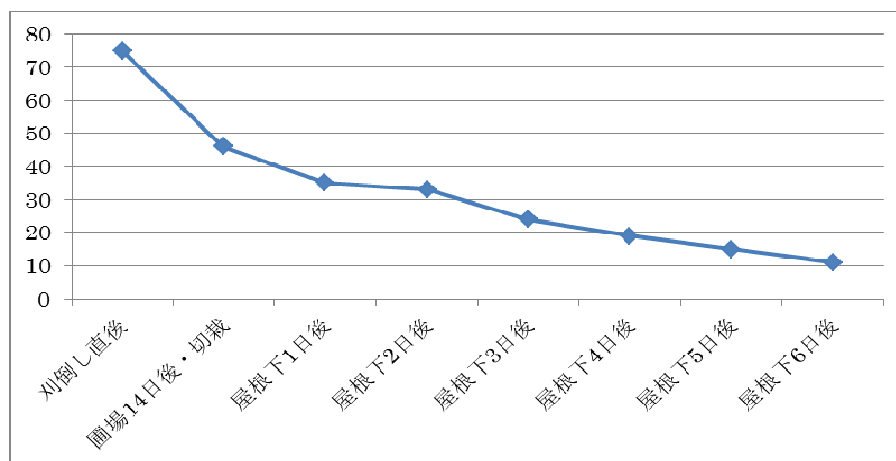
ただし天日乾燥は天候により乾燥状況が異なるため、必要に応じて、圃場における踏圧の実施、屋根下における切り返し作業の回数増、送風機による乾燥促進などの補助的作業と組み合わせて乾燥を促進させた。



図Ⅲ2-1-3-(3)-11 圃場の乾燥状況



図Ⅲ2-1-3-(3)-12 屋根下の乾燥状況



備考：試験地 トヨタ・バイオ・インドネシア

表III-2-1-3-(3)-13 圃場・中間集積場の乾燥試験結果

### c)-3 まとめ

収穫装置としては乗用式刈倒し収穫機械がコストを最も安価にできることをあきらかにした。また、原料バイオマスの受け入れ条件である、長さ50mm程度、含水率15%以下を担保するための圃場での予乾、中間集積所での切裁・天日乾燥モデルを確立した。

## d) 熱帯における原料植物の中間集積所の設置と収穫・乾燥・貯蔵体系の検討

### d)-1 個別目標

インドネシア・ランブン州の現地実態を踏まえ工場持ち届け体系を検討する中で、収穫から運搬乾燥を通した工程では圃場から直接工場へ持ち届けるよりも中間集積場で乾燥調製することでさらに低コスト化・省エネルギー化できる可能性が明らかとなってきた。また受け入れ品質確保のための検査体制や運搬車両が工場一箇所に集中することによる渋滞を回避しながら、現地道路事情に即したロジスティクスを構築できる可能性があることもわかってきた。そこで中間集積場を設置する体系を構築しコスト・エネルギー消費を評価することを目的とした。本評価で直接持ち届け体系か中間集積所体系かいずれか有利な方を選択し、一貫工程全体でのコスト・LC評価結果が事業目標値を達成することを目標とした。

### d)-2 検討内容

中間集積所は、エネルギー原料植物の①雨季など雨天時の原料乾燥（含水率15%以下）②エタノール製造工場での原料受け入れサイズへの切断（長さ5cm程度）③エタノール製造工場への原料供給の平準化（圃場は8時間作業、中間集積所及びエタノール製造工場は24時間作業）を目的とし、エネルギー原料植物の乾燥方法は、圃場乾燥および中間集積所の天日乾燥に輸送方式を組み合わせることを目的とした。

#### 1) 乾燥・輸送方式

エネルギー原料植物を圃場からエタノール製造工場へ直接運搬すると、運搬車両の昼間集中による渋滞、原料の含水率のバラツキなどが課題となることが判明し、以下の表の①から⑦の7ケースを想定しプレスタディを行った。7ケースは圃場乾燥の有無、中間集積所での圧搾・切裁の加工、天日乾燥の有無により区分した。

①・③の圧搾はサトウキビ圧搾機で試験を実施。①～④の粉碎は機械メーカー等で試験を実施した。

③～⑥は圃場乾燥を実施した。⑤・⑥は含水率 15%以下まで圃場乾燥が可能としたケースを示した。⑦は圃場に圧搾機を持ち込み、圧搾物を散布、含水率 15%以下まで天日乾燥後回収した。表Ⅲ-2-1-3-(3)-3 にプレスタディの内容を示す。

表Ⅲ-2-1-3-(3)-3 乾燥・輸送方式の検討（プレスタディ）

方式		中間集積所				直送		
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
収穫	方法	刈倒・積込・輸送		刈倒・踏圧 ↓1～2週後 積込・輸送		刈倒・踏圧 ↓ 積込・輸送		刈倒・圧搾 ↓ 積込・輸送
	回収ロス	小		中		中/大		大
	想定含水率	80%		70%		15%		
集積所	方法	圧搾・天日乾燥 ↓ 回収・粉碎・積込	切碎・圧搾 天日乾燥 ↓ 回収・積込	圧搾・天日乾燥 ↓ 回収・積込	切碎・天日乾燥 ↓ 回収・積込	積替のみ		

以上の7方式のプレスタディの結果、エタノール製造工場への運搬を小型車両から大型車両への積替えと天日乾燥による目標含水率の品質管理を目的に、最も現実的な方式として②④⑤の方式に絞り込み、再度検討を行った。施設規模設定のため、エネルギー原料植物の乾燥試験をトヨタ・バイオインドネシアにて、雨季及び乾季に実施し、これらのデータから施設規模・内容を設定し事業検討を行った。表Ⅲ-2-1-3-(3)-4 に検討内容を示す。

表Ⅲ-2-1-3-(3)-4 乾燥・輸送方式の検討（事業検討）

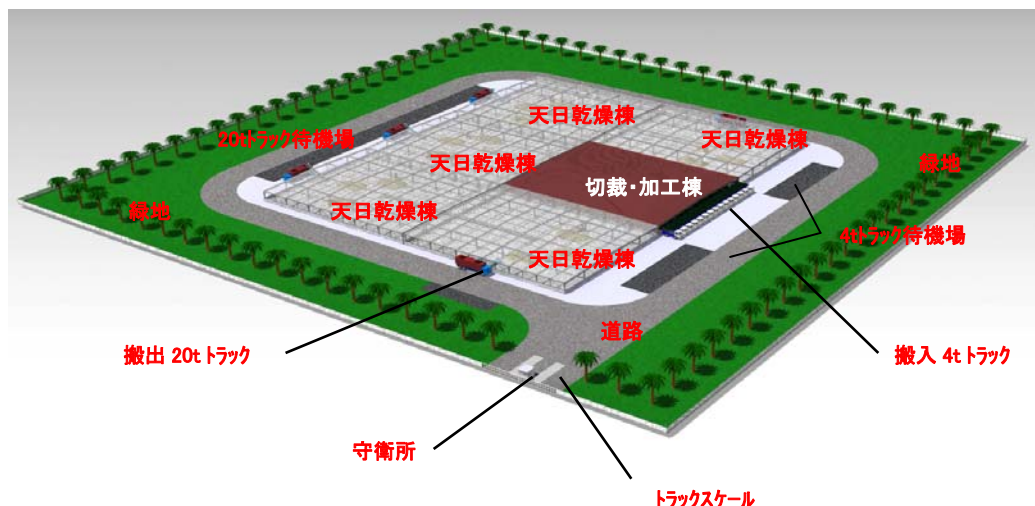
中間集積所方式		方式①(前回②)	方式②(前回④)	方式③(前回⑥)
		切裁・圧搾→天日乾燥 (圃場乾燥無し)	圃場乾燥→切裁・天日乾燥	圃場乾燥→切裁 (天日乾燥施設無)
収穫乾燥	方法	刈倒・積込・輸送	刈倒 圃場乾燥↓1週程度 積込・輸送	刈倒・踏圧等 圃場乾燥↓含水率到達後 積込・輸送
	回収ロス	小	中	中
	回収含水率	75～80%	55～60%	15%
集積所	方法	圧搾・切裁 ↓ 天日乾燥・攪拌 ↓ 回収・積替	切裁 ↓ 天日乾燥・攪拌 ↓ 回収・積替	切裁 ↓ 一時保管 ↓ 回収・積替
課題等		圃場乾燥がない分、重量が増し、輸送費や施設費が大きい。圧搾に伴う動力費が増加し、圧搾水の輸送や処理が必要(圃場還元)。	圃場乾燥が雨季や雨天時に含水率 15%超えても対応可能。圃場乾燥分の施設や動力費が少ない。含水率が 15%以上に増加する場合、天日乾燥以外の乾燥設備が必要。	切裁及び天日乾燥の施設費が少ない。圃場での乾燥が年間を通じ含水率 15%以下の確保が難しい。

2) 施設規模想定（乾燥期間4日）

方式② 1箇所当たり（合計8箇所）

- ・敷地面積 6.25ha (250m×250m)
- ・切裁・加工棟：3,000 m<sup>2</sup>×1棟、天日乾燥棟 3,000 m<sup>2</sup>×5棟（内1棟荷用） 合計 18,000 m<sup>2</sup>

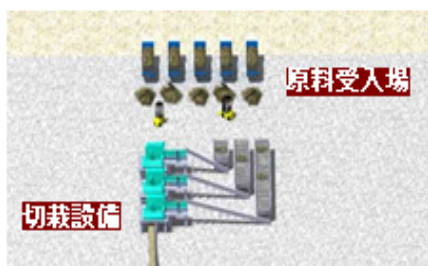
・ 付属施設等：守衛所・トラックケール・緑地・構内道路・トラック待機場



図Ⅲ-2-1-3-(3)-14 中間集積所（全体外観図）

### 3) 施設検討例、方式②（イメージ）

■ 切裁・加工設備全体配置 方式②・③共通



■ 天日乾燥場



図Ⅲ-2-1-3-(3)-15 施設検討例（イメージ）

天日乾燥場は、雨天を考慮し、透明（透過率 90%程度）屋根付きとし周囲は解放された空間をもつ、乾燥場での原料はコンクリート床に直積し適宜乾燥を推進させるため、バケット式フォークリフトで複数回/日の攪拌（切り返し）を行う。原料が含水率 15%以下まで下がったものを、20 tトラックに積み込み、エタノール製造工場に運搬する。

### 4) 方式選定と雨季や雨天時の乾燥対策

方式検討の結果、ケース③は雨季の含水率が確保できないこと、ケース②がケース①に比べエネルギーとコストが少ないことで、ケースに②決定した。

圃場乾燥での含水率が雨季や雨天時に 60%を超える対策は、天日乾燥に加え、天井面の熱された空気（40℃以上を想定）を送風設備の付加により床面の原料に向け送風し、乾燥効果を向上させることとした。さらに乾燥促進を図るため、攪拌（切り返し）回数を複数回/日とした。また、攪拌（切り返し）回数の増加に伴い、乾燥場の縮小のため積み上げ高さを 60cm から 1m に上げることにした。

中間集積所の作業工程は、切裁、天日乾燥、換気乾燥、保管、積替とし、圃場から中間集積所への輸送を 4t トラック、中間集積所からエタノール製造工場へは 20t トラックで輸送する体系が最も効率的で

あり、エネルギーとコストの評価結果を一貫工程システム評価に反映した。

d)-3 まとめ

中間集積所による収穫運搬貯蔵体系を確立した。中間集積所の設置により、エタノール工場へ定時・定質・定量的に原料バイオマスを供給するシステムを構築した。現在、直接持ち届け体系と比較評価を実施しており、事業終了までには結論を得る予定である。

(4)原料バイオマスの生産における本事業で開発した技術の実証

a) 熱帯における大規模栽培実証

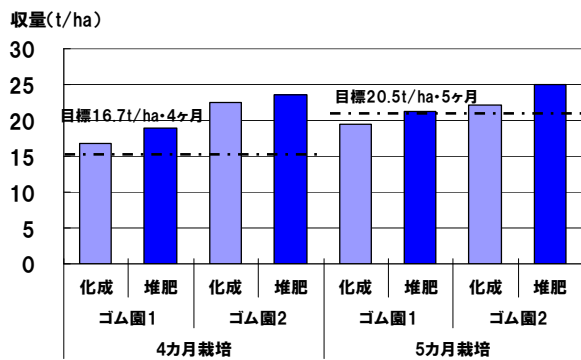
a)-1 個別目標

原料生産技術開発で開発した低投入栽培技術・収量目標が熱帯現地の大規模実証栽培で立証できることを目標とした。

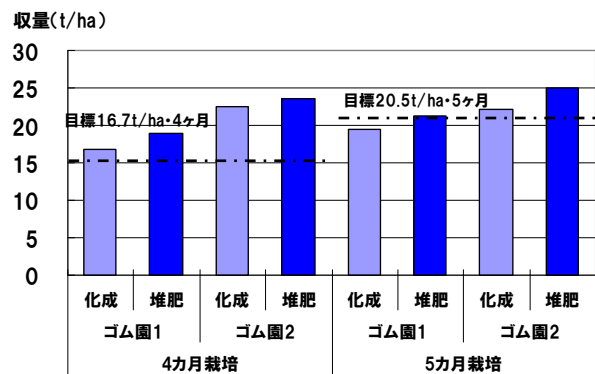
a)-2 検討内容

1) 生産候補地での大規模栽培による生産性・コストの評価

16か所、計32haの大規模実証圃場で、ネピアグラスの栽培試験を行い、圃場ごとに生産性・コストを評価した。ゴム園、パーム園の林床を活用したネピアグラス栽培では、生産性50t/ha・年を達成し、コスト3円/kgに目途を付けた。自社圃場では、地力が低下した圃場でも、有機物施用によって生産性50t/ha・年が確保でき、安価な有機物を選択することでコスト3円/kgが実現可能であると結論付けた。これらの結果から、大規模実証栽培において概ね生産性50t/ha・年、コスト3円/kgを達成し、有機物施用の効果、圃場条件の違いによる生産性の増減について知見を得た。なお、傾斜地、低生産地では堆肥等の有機物を施用することで生産性を増加させることができたがコスト3円/kgの達成については、圃場により異なり、作業の効率化等のコスト低減が必要であることが分かった。



図Ⅲ-2-1-3-(4)-1 林床での実証結果(1)



図Ⅲ-2-1-3-(4)-2 林床での実証結果(2)

2) 環境影響評価

大規模栽培圃場のうち、異なる栽培条件で土壌炭素量の変化を測定した。その結果、ネピアグラスの栽培によって、全ての圃場で土壌中炭素量が増加した。



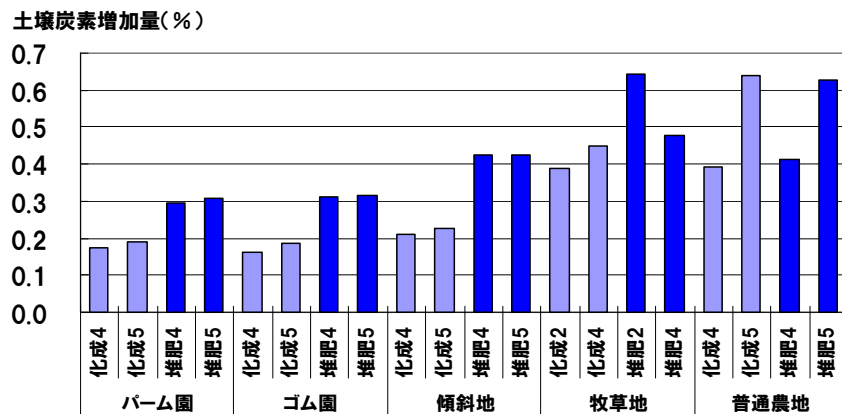


図 III-2-1-3-(4)-3 各実証圃場での炭素増加量

### a)-3 まとめ

原料生産技術開発で開発した低投入栽培技術・収量目標を熱帯現地の大規模実証栽培で立証することができた。さらにネピアグラスによる土壤炭素固定の現象を確認できたことは原料植物栽培にともなうGHG削減効果を裏付ける傍証であり、本栽培技術が持続可能性に貢献できる可能性を示唆している点で意義は大きい。

最終的には、原料植物を非農地で栽培することが期待されている。そこで、非農地で栽培するための問題点を抽出しながら、本事業における技術開発に基づく栽培システムの検証と改良を行った。

## b) 非農地での栽培実証

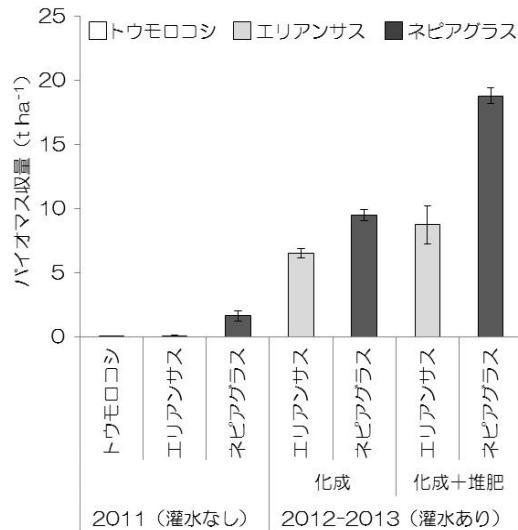
### b)-1 個別目標

非農地で原料植物を栽培することが最終的な目的・目標である。そこで、非農地で栽培するための問題点を抽出しながら、本研究で得られた技術の未利用地で栽培できることを明らかにすることを目標とした。

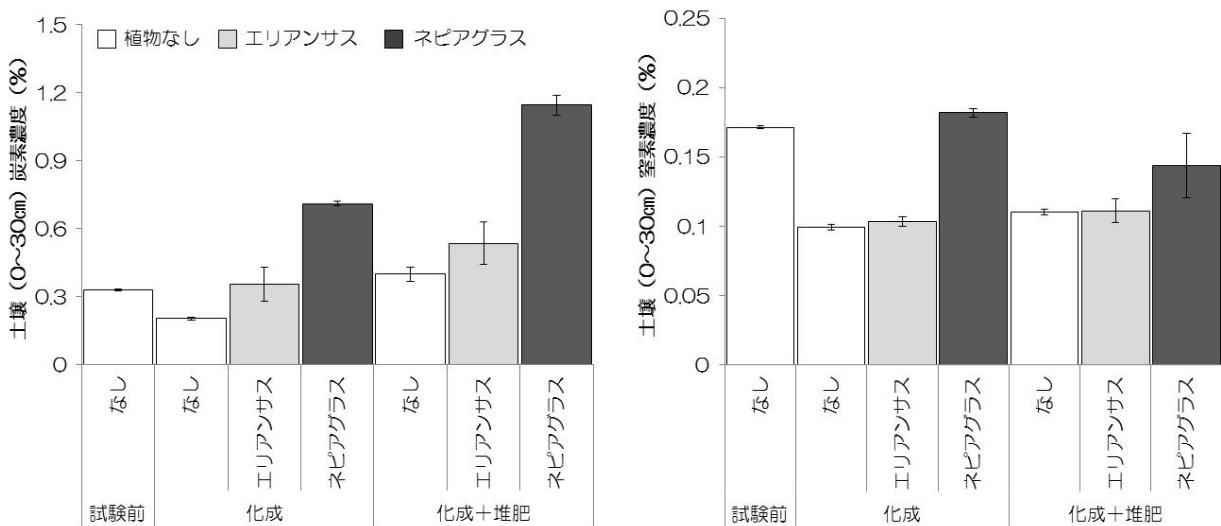
### b)-2 検討内容

#### 1) 鉱山跡地

非農地における検証を行うために、インドネシアのスマトラ島（ランブン州）にある鉱山跡地で栽培試験を実施した。この鉱山跡地の問題点としては、土壤硬度が高いこと（表土が剥され、心土が露出している）、土壤肥沃度が低いことのほか、土壤の水分保持能が低いことがあげられる。このような条件の悪い場所においても、必要最小限の灌水および施肥、とくに有機物の施用によってかなりのバイオマス生産を上げることが確認できた（図III-2-1-3-(4)-4）。また、ネピアグラスを栽培することで、土壤炭素が増加したり、土壤窒素が減少しないことが明らかとなった点は、栽培システムの持続可能性に関連して重要な知見である（図III-2-1-3-(4)-5）。



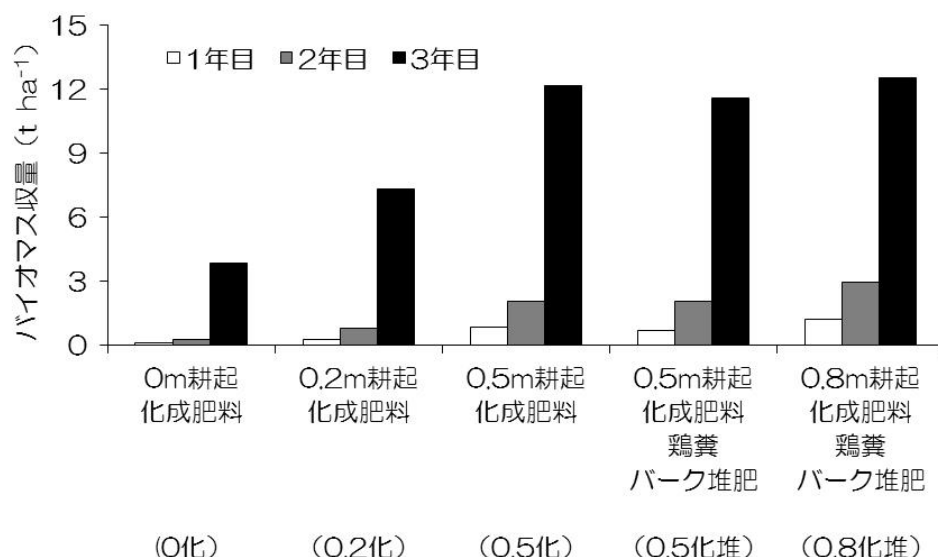
図III-2-1-3-(4)-4 インドネシアのスマトラ島 (ランブン州) の鉱山跡地で栽培したエリアンサス、ネピアグラスのバイオマス収量に対する灌水と施肥の影響. バーは標準誤差 (n=3).



図III-2-1-3-(4)-5 インドネシアのスマトラ島 (ランブン州) の鉱山跡地におけるエリアンサスおよびネピアグラスの栽培にともなう土壌 (0~30 cm) 炭素・窒素量の変化. バーは標準誤差 (n=3).

## 2) 採砂地跡

国内でも詳細な検証を行うために、非農地の事例として千葉県富津市にある採砂跡地を選定し、原料植物の一つであるエリアンサスの栽培試験を行った。富津市の採砂跡地における非農地としての主要な問題点は、土壌硬度が高いことと、土壌肥沃度が低いことの2点である。土壌硬度への対応として耕起の深さを検討したところ、耕起が深いほどエリアンサスの収量が高かったが、耕起が浅くても年単位の時間が経過すれば収量がおいつくことも確認できた。土壌肥沃度への対応として施肥を検討したところ、堆肥量が多いとエリアンサスの収量も高かったが、施肥より耕起の効果の方が大きいことが明らかとなった。



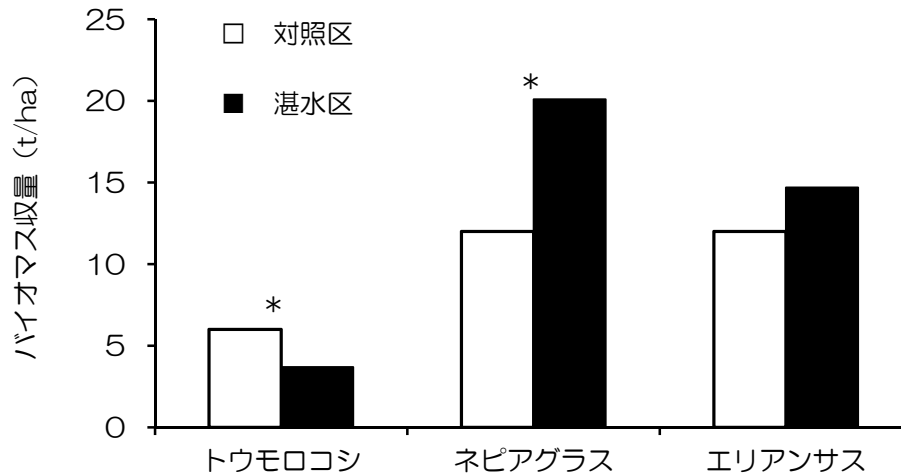
図Ⅲ-2-1-3-(4)-6 千葉県富津市の採砂跡地で栽培したエリアンサスのバイオマス収量に対する耕起深と堆肥の影響

(1年目：36株，2年目：10株，3年目：8～10株の平均収量)。

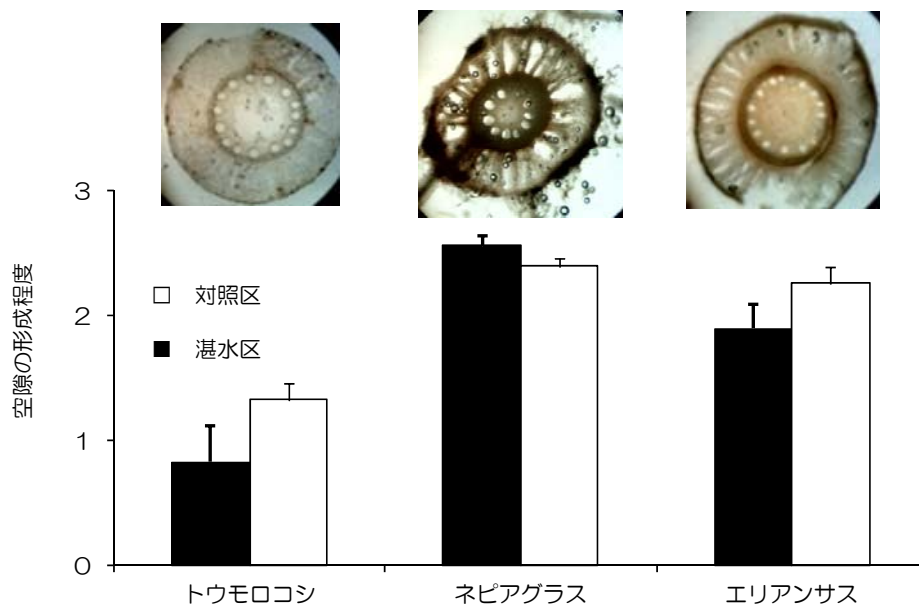
### 3) 洪水常襲地

インドネシアのスマトラ島（ランブン州）では、河川周辺の低地が、毎年雨季を中心に一時的な湛水状態となることが少なくないが、土壌肥沃度や利用状況から、このような場所も、原料植物の栽培候補地の一つと考えられる。また、それ以外の非農地も、水はげが著しく悪く、雨季には過湿あるいは湛水状態になり易い。このため、原料植物をこのような場所で栽培することを想定すると、耐湿性（耐冠水性）を備えていることが望ましいし、それを前提とした栽培システムの確立が期待される。そこで、ネピアグラスおよびエリアンサスの耐湿性を検証するとともに、それを前提とする栽培システムを確立するための問題点の抽出を行い、対応を検討した。

フィールドでネピアグラスとエリアンサスを栽培し、約1ヶ月間の湛水処理を行ったところ、トウモロコシの生育が抑制されたのに対して、ネピアグラスとエリアンサスは旺盛に生育し、洪水常襲地や水はげの悪い非農地でも栽培可能であることが確認できた（図Ⅲ-2-1-3-(4)-7）。ネピアグラスとエリアンサスのこのような強い耐湿性は根が支えていると考えられる。すなわち、ポット試験も併せて行い、詳細な検討を行った結果、ネピアグラスとエリアンサスは畑作物であるにも係らず、水稻のように根に通気組織が発達することが明らかとなった（図Ⅲ-2-1-3-(4)-8）。また、とくにネピアグラスでは、湛水状態になると地上茎の発根節数が増え、そこから水中根が発達するなど、嫌気的な条件に対する反応をすることも分かった。このような根の適応的な特性を効果的に利用する栽培システムの改良が期待される。



図III-2-1-3-(4)-7 生育途中の1ヶ月間の湛水处理がバイオマス収量に及ぼす影響。ランブン（インドネシア）でのフィールド試験。  
\*は処理により5%水準で有意な差が生じたことを示す。



図III-2-1-3-(4)-8 根の皮層における空隙（通気組織）の形成程度。顕微鏡観察により、空隙の発達度合いを0（空隙なし）～3（皮層全体に空隙が発達）の4段階で評価した。トウモロコシに比べてネピアグラスとエリアンサスの根では、湛水处理の有無に関わらず通気組織がよく発達していた。

### b)-3 まとめ

非農地において原料植物が栽培できることを明らかにした。鉱山跡地においては植付時の灌水と有機物施用、採砂地跡については深耕が有効であり、洪水常襲地において、ネピアグラス・エリアンサスのストレス耐性が根の特徴に起因することを明らかにした。

### c) 評価プログラムによる収穫・運搬体のシミュレーション

#### c)-1 個別目標

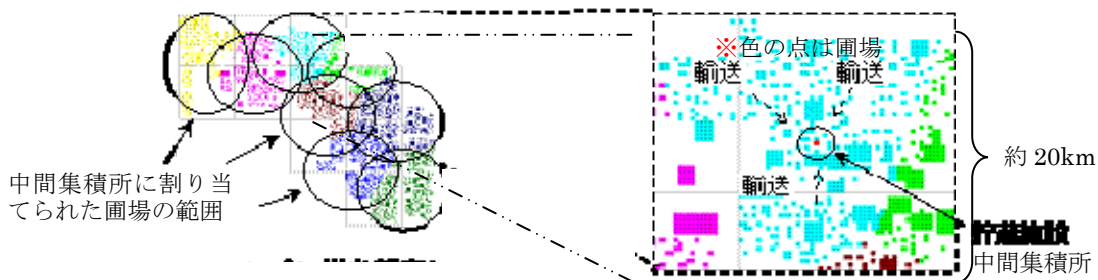
(3) で確立した収穫・運搬体系を評価プログラムでコストを評価するとともに、物流の効率化により、原料バイオマスコスト 3 円/kg の実現性について、定量評価を行った。

#### c)-2 検討内容

##### 1) 輸送コストの最小化（施設への圃場割当て機能）

エネルギー原料植物の運搬において、インドネシアなど小規模圃場が広範囲に分散している地域では収穫の順番や圃場から中間集積所、中間集積所からエタノール製造工場への運搬距離により、圃場から中間集積所、中間集積所からエタノール製造工場への運搬車両の集中により運搬車両の割り当て台数が運搬コストに大きな影響を与える。これを平準化させるため圃場から中間集積所、中間集積所からエタノール製造工場への収集運搬コストの試算・計画評価を行うための支援評価プログラムを開発する。

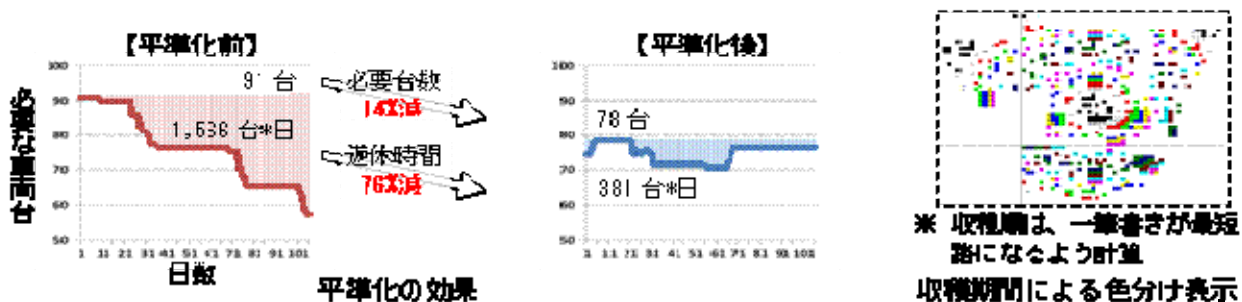
広域に分散した圃場群に対して、それぞれの圃場で収穫されたエネルギー原料植物をどこの中間集積所に運び込めば全体の輸送コストが最小となるか、運搬距離を直線ベースで算出し、いくつかのモデルを設定し検討した。立地検討機能としては離散的なアプローチ及び連続的アプローチ、ユザビリティの確保（非線形計画としてモデル化）を行った。



図Ⅲ-2-1-3-(4)-9 インドネシア・ランブン州を想定した配置

##### 2) 運搬車両台数の平準化（収穫・運搬計画の策定機能）

中間集積所から遠い圃場と近い圃場を同時に収穫し、必要な車両台数の最適化を図った。収穫の順番も、収穫機械の移動コストが最少化するように図った。収穫・運搬計画の策定機能としては、平準化の過程で中間集積所から圃場への距離に応じてソート、平準化の過程で、中間集積所から圃場への距離に応じてソートを行えることとした。



図Ⅲ-2-1-3-(4)-10 収穫・運搬計画の策定機能

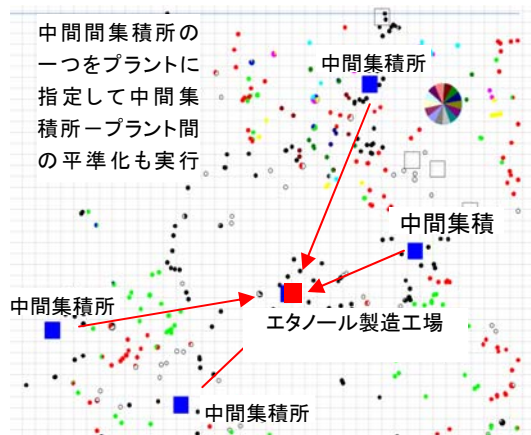
### 3) 評価プログラムの機能拡張

#### (1) 平準化機能の精度の向上

GIS から取り込んでいた地図ベースの経路情報は、圃場－中間集積所間の運搬距離を直線ベースで算出していたが現実的には道路線形に応じた実距離の経路情報が必要となり、実距離データを GIS から取り込めるように改良し、平準化機能の精度向上を図った。また、GIS 側の出力機能やデータ数の制限等にも対応するよう機能拡張した。

#### (2) 中間集積所－エタノール製造工場間の平準化

圃場－中間集積所間のみであった経路情報を集積所の一つをエタノール製造工場と仮定した場合の中間集積所－エタノール製造工場間の運搬の平準化をするように機能拡張した。

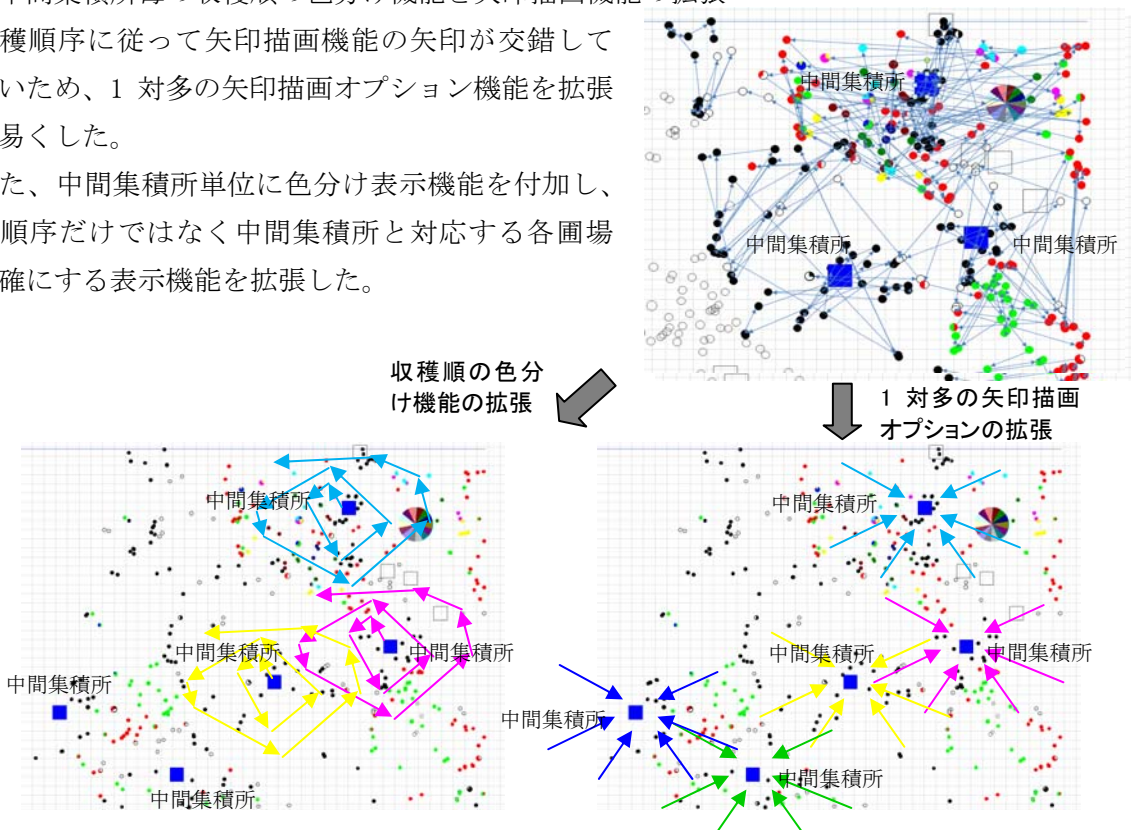


図Ⅲ-2-1-3-(4)-11 中間集積所－エタノール製造工場間の平準化機能の拡張

#### (3) 中間集積所毎の収穫順の色分け機能と矢印描画機能の拡張

収穫順序に従って矢印描画機能の矢印が交錯して見難いため、1 対多の矢印描画オプション機能を拡張し見易くした。

また、中間集積所単位に色分け表示機能を付加し、収穫順序だけではなく中間集積所と対応する各圃場を明確にする表示機能を拡張した。



図Ⅲ-2-1-3-(4)-12 中間集積所毎の収穫順の色分け機能と矢印描画機能の拡張

エネルギー植物を栽培する圃場から中間集積所及び中間集積所からエタノール製造工場への収集運搬コストの試算・計画評価を行うための支援評価プログラムが開発できた。これにより小規模圃場が広範囲に分散している地域は、収穫の順番や運搬車両の割り当て方法の平準化が可能となった。本手法をインドネシア・ランブン州の土地・道路網に適用し**2-1-3-(3)** d)で確立した中間集積所・エタノール製造工場持ち届け体系で運用し、最適化したデータをもとに評価した運搬に関わるエネルギーおよびコストを一貫工程のシステム評価に反映し目標を達成することができた。

#### c)-3 まとめ

本事業での技術開発を基に確立した収穫・運搬システムを採用することによって、原料バイオマスのコスト 3 円/kg の実現性について目途付けた。

#### d)他の競合技術に対する優位性

本事業で開発した原料生産技術(上記**2-1-3 (1) (2) (3) (4)**)が競合技術に対して優位性が高いと考える点を以下に示す。

乾季でも高い生産性を持つネピアグラスを採用したことにより周年での安定供給を可能にした。

ネピアグラスは食料生産に不適な土地(鉱山跡地、洪水常襲地)でも栽培可能であることを確認でき、食料生産との競合を回避できることを明らかにした。

ネピアグラスの栽培によって土壤有機物が増加することを立証した。このことは CO<sub>2</sub> の吸収・固定と痩せ地の土地肥沃度を改善できる技術を見出したことにつながる。

ネピアグラスの条抜き多回刈り技術を開発した。これにより土地の有効活用と生産性の向上を果たすことができるようになった。

エタノール製造残渣の圃場還元により生産性を維持する技術を確認した。これにより持続可能な原料植物の生産技術を確認できたことになる。

ネピアグラスの新品種を開発した。条件不利地でも生産性を向上させることができる。

#### e)目標の達成度と技術成果

本事業での原料生産技術開発において、課題であった周年供給システムの確立についてはネピアグラスの4~5ヵ月周期栽培で周年供給が成立することを実証することができた。また生産持続性については製造残渣投入の持続性を確認し、低投入栽培技術を確認するとともに、環境・社会影響についての評価を完了した。生産性・コストについては50t/ha・年、3円/kgを熱帯植物の大規模栽培で実証することができた。これにより、バイオエタノール製造コスト80円/Lの達成に寄与した。またエネルギー使用量・GHG排出量の評価結果を一貫製造工程のシステム評価に反映し、本事業のLC目標(化石エネルギー収支、GHG排出量削減)を達成できていることを確認した。

以下に、上記**2-1-3 (1) (2) (3) (4)**で述べた原料生産技術の開発成果について総括する。

セルロース系バイオエタノールを製造するために十分な原料バイオマスを安定的に供給するためには、どの原料植物をどこで栽培するかを組合せを選定したうえで、①生産性50t/ha・年、コスト3円/kg、②原料バイオマスの周年供給、③持続可能性の3点を実現するような栽培システム(栽培・収穫・乾燥・輸送・貯蔵により製造プラントへ供給するまでの一貫システム)を確立する必要がある。

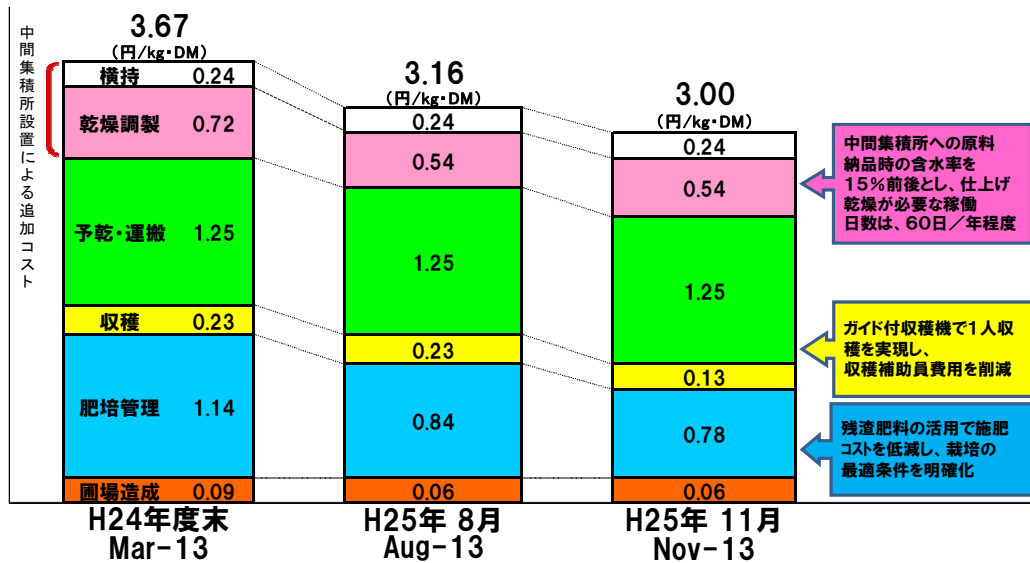
まず、既往研究も参考にしながら、各気候帯において②原料バイオマスの周年供給を可能にするような原料植物の組合せを検討したうえで、現地で栽培試験を行い、①生産性とコストの面から評価を行っ

た結果、熱帯においてネピアグラスを栽培するモデルが最適であることが明らかとなった。

つぎに、原料植物の具体的な栽培場所の絞り込みについて、方法論の開発を行った。第1ステップとして熱帯が選定されたので、第2ステップとして熱帯においてどの国・地域が最適であるかを検討するために、バイオマス生産性と事業可能性の2点から絞り込みを行う方法論を開発した。すなわち、第1次生産のポテンシャルから国・地域レベルの選定を行ったうえで、事業環境を食料需給、耕地需給、労賃、事業リスクの4点に着目して評価を行ったところタイ、ベトナム、インドネシア、オーストラリアが候補国として選定された。さらに広範囲に生産ポテンシャルが広がっており生産候補地域として適当であるという理由から、インドネシアのスマトラ島南端のランブン州が選定された。現地調査を行った評価したところ、事業化のために十分な栽培候補地が分布することが確認できたことから、第2ステップにおける地域の絞り込みに関する方法論が有効であることが確認できた。

さらに第3ステップとして具体的な栽培場所の選定を行う方法論を開発した。バイオエタノールの原料バイオマス生産は、食料生産との競合を回避できる場所で栽培しなければならず、そこで高いバイオマス生産性と低コストを実現させることが強く期待されている。インドネシア・スマトラ島のランブン州で現地調査を行い、栽培場所を検討したところ、ゴム・パーム園林床、低生産地としてキャッサバ低収地が候補となることが明らかとなり、このような場所で栽培試験を行った結果、生産性 50t/ha・年を確保できることが確認できた。また、鉱山跡地、採砂地、洪水常襲地といった、食料生産が困難な条件下でも、原料植物として選定したネピアグラスやエリアンサスであれば、環境ストレス耐性が高いため栽培が可能であることも確認できた。

このように、何をどこで栽培するかが煮詰まってきたため、それを踏まえて①高バイオマス生産性・低コスト、②周年供給、③持続可能性をさらに高めるための栽培システムについてさらに詳細な検討を行った。すなわち、原料植物の栽培において、不耕起植え付け、栽植密度（栽植間隔）、施肥量の最適化等による低投入栽培栽培技術、条抜き多回刈りなどの個別技術要素の開発を進めたうえで、収穫機の選定・改良、収穫運搬の最適化も含めて、安価な原料バイオマスを周年供給するための持続可能な栽培システムを組み立てたところ、原料バイオマスコスト 3 円/kg を実現できる見込みがたった（図 III-2-1-3-(4)-13）。



図III-2-1-3-(4)-13 インドネシアでの原料生産コスト評価結果



なお、本事業で構築した栽培システムを現地で検証したところ、土壌炭素および土壌窒素の動態から判断して持続可能なシステムであることが確認できた。「原料バイオマスは、安価にかつ、定質・定量で製造工場に供給する必要がある。中間集積所による原料バイオマスの収穫運搬体系を確立し、コスト・GHG 排出量・エネルギー収支の定量評価から、一貫製造システムにおけるバイオエタノール製造の有効性について明らかにした（詳細は（8）システム評価にて述べる）。

以上のように、原料植物の選定、栽培場所の選定方法の開発を行った結果、本事業におけるモデルとしてインドネシアのスマトラ島南端のランプン州が抽出された。現地で具体的な栽培場所の絞り込みを行いながら、現地での栽培試験を通じて開発した個別の栽培技術を利用して栽培・収穫・乾燥・輸送・貯蔵を含めた原料バイオマス生産システムを構築した。このシステムを採用すれば、①生産性・コストの目標を達成しながら、②原料バイオマスの周年供給が可能であること、しかも③このシステムが持続可能性を有していることも確認できた。

## (5) 前処理技術に関する研究開発

### a) 開発概要（課題と目標）

前処理工程においては、商業機設計可能なプロセスの構築と、変動費の削減が課題である。

プロセス構築は、糖化性能は変えずにプロセスの低圧化を図ること（エネルギー削減できること）を目指した。これらが達成できれば本事業の LC 目標（化石エネルギー収支 2、GHG50%削減）およびエタノール製造コスト目標（80 円/L、20 万 kL/年規模）の達成に目処がつくとの位置付けである。

### b) 前処理条件の最適化（JX）

#### b)-1 目標

酵素糖化の最適化と組み合わせて、周年供給を可能にするバイオマスについて、糖化率 80%を与えるアンモニア処理条件を確立することを目標とした。

#### b)-2 検討内容（方法と結果）

##### 1) アンモニア処理機構の解明と単段法最適化

###### ①検討内容

原料エリアンサスを用いて種々条件でアンモニア処理を行い、得られた処理品のエステル開裂度、セルロースの結晶型変化および酵素糖化性能などを解析し、単段法の最適条件を求めた。

###### ②検討結果

アンモニア処理による酵素糖化性向上は、リグニンとヘミセルロース間のエステル結合の開裂反応とセルロース結晶構造の膨潤化（I 型→III 型）の相乗効果によること、および、エステル結合の開裂とセルロース結晶構造の膨潤化をそれぞれ別途に組み合わせても単一の工程で処理した（図 III-2-3-1-(5)-1）場合と同様の効果が得られることを明らかにした。単段法の場合、飽和蒸気圧線近傍の気相域で 80℃付近が最適条件（図 III-2-3-1-(5)-2）であることを明らかにした。

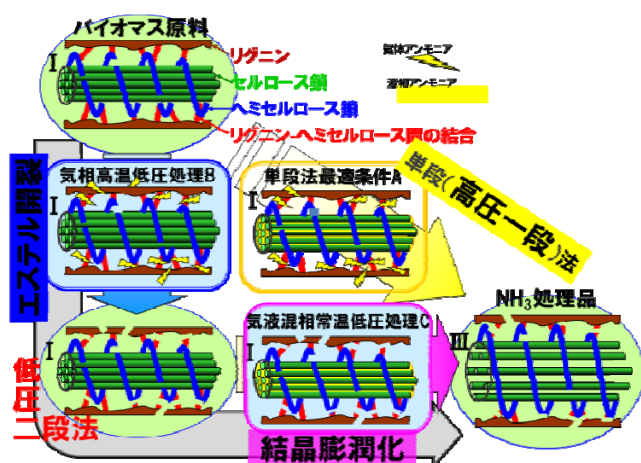


図 III-2-1-3-(5)-1 アンモニア法模式図

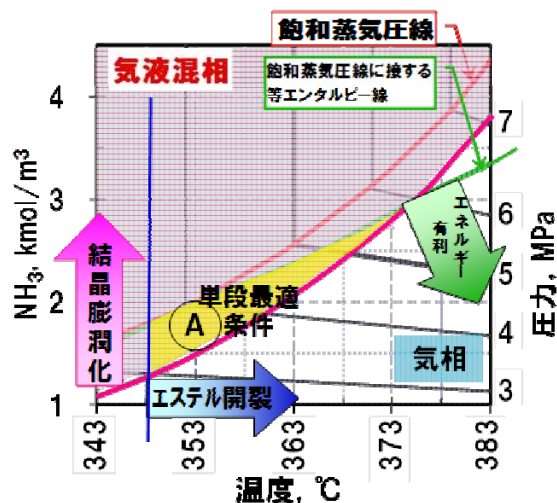


図 III-2-1-3-(5)-2 単段法最適化条件

##### 2) 低圧二段化およびその最適化

###### ①検討内容

単段最適処理圧力が 3.8MPa と高かったため（以降高圧一段法と称す）装置連続化は難しいと考えた。そこで、リグニンとヘミセルロース間のエステル結合の開裂反応とセルロース結晶構造の膨潤化を別途

にシリーズに行い、それぞれの工程を最適化することで処理圧力の低減を図った（以降低圧二段法と称す）。

## ②検討結果

原料エリアンサスを用いて、120℃×1.2MPa でリグニンとヘミセルロース間のエステル結合を開裂反応させ、続いて、常温程度で0.4w/w-乾燥バイオマスの液体アンモニアを含浸させる低圧二段法を開発した。低圧二段法によって高圧一段法に比べ、糖化性能は維持しながら反応圧を1/3、アンモニア量を1/2に低減することに成功（表Ⅲ-2-1-3-(5)-1）したばかりか、連続装置化を可能とした。

表Ⅲ-2-1-3-(5)-1 高圧一段法と低圧二段法の処理条件と所要アンモニア量

		処理条件		セルロース 結晶型	糖収量 kg/t-dBM	アンモニア 使用量 mol/kg-dBM
		温度 K	圧力 MPa・A			
高圧一段法		353	3.8	Ⅲ	510	68
低圧二段法	（一段目） 気相高温低圧	393	1.2	Ⅲ	480	32
	（二段目） 気液混相低圧	283	0.6			

## 3) インドネシア産原料ネピアグラスの品質変動に対する適用条件の検討

### ①検討内容

品質（糖質含有率）の異なる種々のインドネシア産・原料ネピアグラスについて、低圧二段法で、フラスコスケール前処理装置で主に圧力条件をまた、ベンチ装置において常用圧で反応時間を変化させ、糖化率80%を得る前処理反応条件を検討した。

### ②検討結果

原料の糖質（糖換算）含量と糖化率は負の相関を示すことを明らかにした。糖化率は糖質含有率、圧力および反応時間の関数として表すことができた。種々の原料ネピアグラスに対して適切なアンモニア処理条件で対応可能なことを示している。たとえば、C6 含量 365kg/t 原料では糖収量 500kg-全糖/t 原料を得た。また、処理しにくい C6 含量が 410kg/t の原料でも条件を最適化することによって 80%の糖化率を保持できることができた。

### b)-3 まとめ

以上のように、連続装置化を可能にする低圧二段法を開発し、最もアンモニア処理し難い糖含量の大きなインドネシア産原料ネピアグラスに対しても適切な反応時間を確保するかあるいは適切な圧力で処理することにより目標を達成することができた。

## c) アンモニア前処理の最適生産プロセス開発（JX）

### c)-1 目標

省エネルギーかつ実装可能な、アンモニア前処理擬似連続プロセスを確立する。

確立したアンモニア前処理プロセスを含む、バイオマスの工場受入から次工程の糖化工程への前処理バイオマスの受渡しまでの間のプロセスについて、商業規模（20 万 kL/年想定）での主要装置の概略設

計を完了し、一貫生産システムとしてのコスト、GHG、エネルギー収支の概略積算に必要な前処理工程の主要データをシステム評価グループに提供する。

## c)-2 検討内容（方法と結果）

### 1) アンモニア前処理擬似連続プロセスの確立

#### ①検討内容

アンモニア前処理の実装置化について、コールドモデル試験装置を用いた試験やエンジニアリング検討を実施した。

引き続き、並列バッチ式と低圧二段流通式の二法について検討を行った。並列バッチプロセスでは、回収エネルギーの低減を目指して、バッチ槽を並列し、ひとつめのバッチ槽の反応後のアンモニアを隣のバッチ槽で直接再利用する方法を、また低圧二段流通式では、リグニン-ヘミセルロース間のエステル結合を開裂させる工程と、セルロースの結晶構造を変化させる工程の二段階に分けることで圧力条件を最適化し課題の解決を目指した。

#### ②検討結果

①の結果、高圧一段法では、流通方式での高圧容器へのバイオマスの連続的送り込み、抽出システムの構築、バッチ方式での単位時間／体積あたりの処理量の向上、ならびにアンモニア回収エネルギーの低減に課題があることが判明した。

引き続きの検討の結果、並列バッチプロセスについては、アンモニア均圧移送再利用方式と圧縮機移送再利用方式での検討を行ったが、いずれも回収エネルギーの低減効果は期待できるものの、反応器の基数増加や圧縮機の追加及び再利用アンモニアの移送システムの追加による設備の増大を招くことから不採用とした。一方、低圧二段流通式プロセスについては、一段目にアンモニアガス処理、二段目に液安処理もしくは湿式粉碎処理での擬似連続プロセスとしての検討を行い、昇降圧や昇降温に伴うエネルギーロスの削減、パージ操作に伴う材料費ロスの削減等の効果が期待できることが判明した。本プロセスに対して更なるアンモニア回収系の省エネ化と組合せる事により大幅な消費エネルギーの削減ができる事を見出した。これにより、スケールアップ検討の方向性を決定し、ベンチ実証設備における運転条件等の確認事項について、明確化した。

### 2) 商業規模概略設計及びコスト、GHG、エネルギー収支概略積算

#### ①検討内容

1)で決定したプロセスを元に、商業機規模のプロセス最適化を実施、対応する設備検討を実施した。

さらには、原料生産工程との連携により決定した原料の受け渡し条件を前提に、原料の受け入れからアンモニア処理工程受渡しまでの各工程の商業規模での設備検討を実施した。

#### ②検討結果

アンモニア処理工程における商業機規模でのプロセス最適化を行ない、対応する設備機器仕様を決定、商業機規模での設備費概略積算を実施した。高圧一段処理に対して消費エネルギーの83%削減、アンモニア使用量の40%削減、窒素使用量の80%削減を達成し、アンモニア処理工程の机上評価を終了した。

加えて、原料受入⇒粉碎⇒乾燥の3工程について、要求仕様を決定し、粉碎、乾燥の各工程では、機器ベンダーにて、粉碎、乾燥、バイオマスの受入、抽出し評価を実施することにより、概略設備仕様を決定した。

以上にに基づき各工程のプロセスフローを決定し、商業機規模でのプロセス最適化を行ない、商業機規

模での設備費概略積算を実施した。

#### **d) 他の競合技術に対する優位性**

本技術開発において、競合技術に対して優位性が高いと考える点は以下の通りである。

ドライなアンモニアを用いた前処理であるため、原料と同等の糖含量を前処理後も保持している。これは他の前処理技術にはない特長であり、高糖収量が期待できる。

また同じくドライで粉体状の前処理品が得られるため、湿潤状態あるいは懸濁状態の他の前処理法による前処理品にくらべ変性や腐敗がなく、保存安定性に優れるなどの特長がある。

さらにリグニンの変性が少ないため、原料に近い状態のリグニンを他技術・他事業へ活用することも可能である。

また他の多くの前処理法にくらべ処理温度が低く発酵阻害物質生成が少ないため、後段の酵素糖化したあとの糖化液はエタノール発酵に適している特長がある。

#### **e) 目標の達成度と技術成果**

前処理プロセスの低圧化を図りつつ、糖化性能は 80%を維持することができた。これにより一貫プロセスでの評価による LC 目標（化石エネルギー収支 2、GHG50%削減）の達成に寄与した。

変動費はプロセスの低圧二段化と効率化により高圧一段処理に対して 89%削減を達成した。これによりバイオエタノール製造コスト 80 円/L 達成に寄与した。

## (6) 酵素糖化技術に関する研究開発

### a) 開発概要 (課題と目標)

酵素糖化工程においては、酵素コストの低減が課題である。バイオ燃料技術革新計画において、バイオエタノール製造コスト目標を40円/Lとした際の酵素コストのベンチマークが4円/Lであることから、80円/Lを製造コストの目標とおいた本事業における酵素コスト目標は10円/Lと設定した。

まず、酵素コスト10円/Lを達成するための要素技術の開発目標値を設定し、ラボで要素技術を開発した。さらに、前処理ベンチ装置から得られたバイオマスに対して酵素糖化ベンチ装置で目標を達成するためのスケールアップ検討を行った。

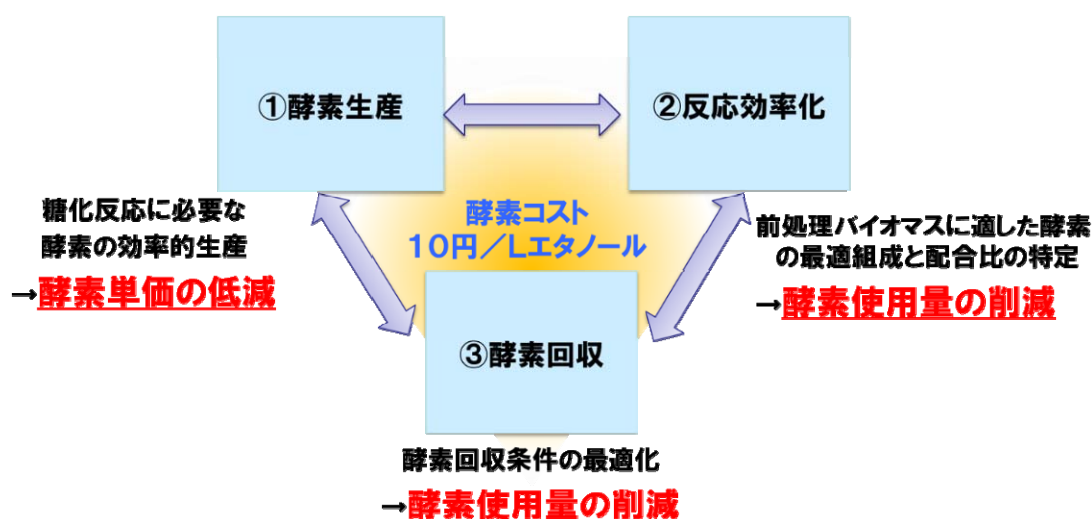
### (要素技術開発)

酵素コスト10円/Lを達成するための要素技術開発の検討内容をb)～f)に示す。

### b) 酵素コスト低減に向けた酵素糖化プロセスの最適化 (東京大学)

#### b)-1 個別目標

酵素コスト10円/Lの達成に向けた、①酵素生産コスト、②高効率酵素剤の開発、および③酵素剤の回収・再利用の3つの手段の最適化指針を策定する(図Ⅲ-2-1-3-(6)-1)。



図Ⅲ-2-1-3-(6)-1 酵素コスト10円/Lに向けた戦略

#### b)-2 検討内容 (方法と結果)

市販酵素剤を使った酵素糖化ならびに酵素回収実験結果に基づき、酵素生産—酵素反応—酵素回収・再利用の3つの観点から酵素コスト削減シナリオを策定した。

#### 【検討①】 反応効率化のための24時間で500g生成糖/kgバイオマス以上を達成する反応条件の検討

市販酵素(Accellerase DUET、以下DUET)を基本酵素剤として、アンモニア処理エリアンサスに対して酵素濃度(0.1～2% w/w)、バイオマス濃度(1～20% w/w)の条件で酵素濃度-バイオマス濃度-生成糖量のマトリックス・データを取得した。500g生成糖/kgバイオマスを達成する反応条件を検討した結果、目標糖収量を安定的に得られる反応条件は酵素/バイオマス重量比で1/50であることが明らかとなった。

## 【検討②】 500g生成糖/kgバイオマスを達成する反応条件における酵素回収率の検討

市販酵素剤（DUET）を用いた糖化試験試料に対して酵素回収試験を実施し、酵素回収率について回収タンパク質量ベースでもとめた。その結果、500g生成糖/kgバイオマスを達成する条件である酵素/バイオマス重量比1/50におけるタンパク質の回収率は50%程度であった。

### b)-3 まとめ

市販酵素の性能評価では、安定的に糖収量 500g 生成糖/kg バイオマスを達成する酵素添加量は 1/50 であり、その条件での酵素回収率は 50%であった。この結果に基づき、酵素コスト 10 円/L の条件を達成する 3つの要素技術として、①酵素単価 1,000 円/kg 以下、②酵素添加量 1/100 以下、③酵素回収率 75% 以上を本研究開発の目標として定めた。

## c) 酵素高効率生産プロセス検討（東レ）

### c)-1 個別目標

20 万 kL エタノール生産に必要な自製酵素（1250t）を 1,000 円/kg で生産できる可能性に目途を付ける。

### c)-2 検討内容（方法と結果）

#### 【検討①】 酵素生産菌の選定

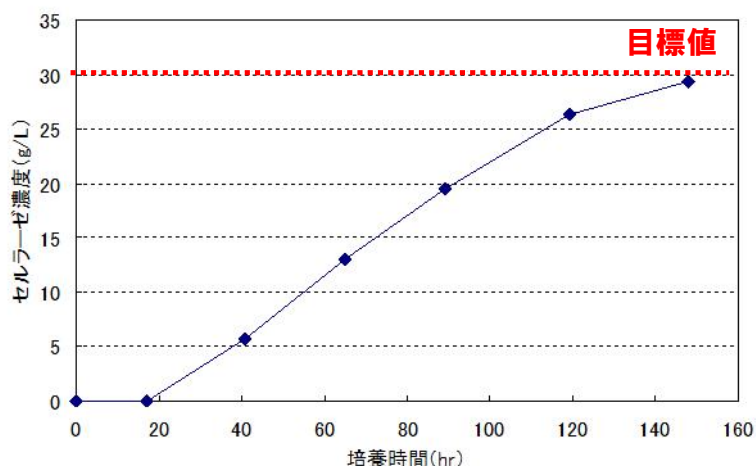
セルラーゼ高生産菌として知られる *Trichoderma reesei* について、標準株を含む 3 株を安価なパルプをセルラーゼ誘導物質として用いたフラスコ培養評価を行った。その結果、パルプ培地で最も培養し易く、かつ最も高い生産性を示す株 C を選定し、以降の検討に用いた。

表Ⅲ-2-1-3-(6)-1 セルラーゼ生産性の評価結果

	セルラーゼ生産性 (アビセル使用)	セルラーゼ生産性 (パルプ使用)	培養時のハンドリング (低発泡性など)
株A (標準株)	1.4g/L	1.0g/L	×
株B	2.2g/L	1.0g/L	△
株C	5.2g/L	4.2g/L	○

#### 【検討②】 酵素生産ラボ検討（パルプ）

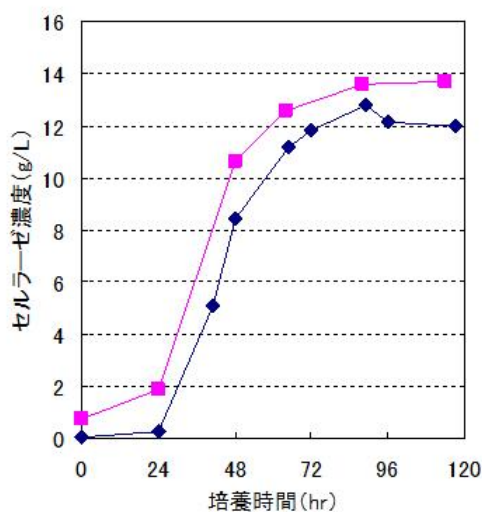
*Trichoderma reesei* の酵素生産条件について、セルラーゼ誘導物質として安価なパルプを選定し、培養条件を決定した。ラボ 5L ミニジャーを使用した好気培養において、パルプを主要炭素源とする半合成培地で培養を開始後、パルプ追加添加するフェドバッチ培養によって、酵素生産量 30g/L を達成した。但し、セルロース純度が高いアビセル培養に比べると酵素生産量が低減することから、パルプでも生産量が向上した変異株の取得を実施した。



図III-2-1-3-(6)-2 ラボ 5L ミニジャーでの酵素生産検討結果

### 【検討③】 ベンチ 90L スケールアップ検討

上記【検討②】の培養条件で、90L フェルメンターを用いてスケールアップを検討した。その結果、通常のバッチ培養において、ラボ 5L ミニジャーと同等の酵素生産量および酵素活性が得られることを確認した。フェドバッチにより、実証試験 1Run に必要な酵素量を一度の培養で供給することが可能となった。さらなる生産量向上に向けた設備対応が今後の課題であるが、糖化実証試験の実施には十分な生産性が得られた。



		ラボ5L	ベンチ90L
<b>セルラーゼ濃度 (g/L)</b>		<b>12.8</b>	<b>13.7</b>
<b>活性値 (相対値 ラボを1)</b>	pNP-Glc	1.00	1.01
	pNP-Xyl	1.00	1.16
	pNP-Lac	1.00	1.01

図III-2-1-3-(6)-3 ベンチ 90L スケールアップの検討結果

### 【検討④】 酵素生産コスト FS

酵素生産コストのFSを実施した。20万 kL/年 (エタノール) 生産に必要な自製酵素 (1,250t) を、安価なパルプを誘導物質として用いて生産する前提でコスト概算を行った。ベンチでの生産量を基準に酵素コスト概算を実施したところ、1,000円/kg程度で生産できる可能性が確認できた。

#### c)-3 まとめ

*Trichoderma reesei* を生産菌として、パルプを主要成分とする生産培地を用いてジャーフェルメンタ



一を用いた通気攪拌培養することによって、糖化酵素を1,000円/kgで生産できる可能性に目処がついた。パルプコスト、設備費については今後精査が必要。

#### d) 酵素糖化の効率化（東京大学、共通研究室）

##### d)-1 個別目標

バイオマス/酵素比 1/100、24h で 500g 生成糖/kg バイオマスを達成する酵素剤の開発。

##### d)-2 検討内容（方法と結果）

#### 【検討①】白色腐朽菌由来の各種モノコンポーネント酵素ライブラリーの整備（東京大学）

自製酵素ならびに市販酵素の機能改善を目的として、糖質加水分解酵素群について白色腐朽菌を遺伝子ソースとして各酵素のcDNAクローニングを実施し、さらに酵母菌*Pichia pastoris*の発現系を利用してアンモニア前処理バイオマスの酵素糖化効率化を目的としたセルロース、キシラン主鎖およびキシラン側鎖を分解する加水分解酵素すべてをモノコンポーネントとして取得し、目標とする酵素ライブラリーを構築した（表Ⅲ-2-1-3-(6)-2）。

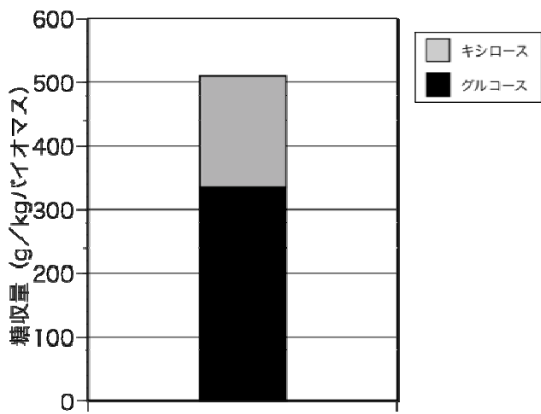
表Ⅲ-2-1-3-(6)-2 白色腐朽菌由来のモノコンポーネント酵素ライブラリー

機能分類	酵素名	酵素カテゴリー	
セルロース分解	<i>PcCel16A</i>	セロビオヒドロラーゼ	
	<i>PcCel16Acat</i>	セロビオヒドロラーゼ	
	<i>PcCel15A</i>	エンドグルカナーゼ	
	<i>PcCel15Acat</i>	エンドグルカナーゼ	
	<i>PcCel145A</i>	エンドグルカナーゼ	
	<i>PcCel112A</i>	エンドグルカナーゼ	
	<i>PcCel161D</i>	エンドグルカナーゼ	
	<i>PcBGL1A</i>	β-グルコシダーゼ	
	<i>PcBGL1B</i>	β-グルコシダーゼ	
	<i>PcBGL1Bcat</i>	β-グルコシダーゼ	
	<i>PcBGL3A</i>	β-グルコシダーゼ	
	<i>PcBGL3Acat</i>	β-グルコシダーゼ	
	ヘミセルロース分解	<i>PcXyn10A</i>	キシラナーゼ
		<i>PcXyn10C</i>	キシラナーゼ
<i>PcXyn11B</i>		キシラナーゼ	
<i>PcBx13</i>		β-キシロシダーゼ	
<i>PcGly3B</i>		β-キシロシダーゼ	
<i>PcXgh74B</i>		キシログルカナーゼ	
<i>PcGH115</i>		α-グルクロニダーゼ	
<i>FvGH51</i>		α-アラビノフラノシダーゼ	
<i>PcAxECE1</i>		アセチルキシランエステラーゼ	
<i>PcFerECE1</i>		フェルロイルエステラーゼ	
ペクチン分解	<i>PcPGGH28</i>	ポリガラクトクロナーゼ	

#### 【検討②】モノコンポーネント酵素の組み合わせによるバイオマスの糖化（東京大学）

白色腐朽菌由来のモノコンポーネント酵素として得られたセルラーゼ、β-グルコシダーゼおよび各種ヘミセルラーゼを組み合わせ、アンモニア処理ネピアグラスを対象に酵素糖化を行った。その結果、モノコンポーネント酵素（表Ⅲ-2-1-3-(6)-3）を最適量組み合わせることにより、酵素/バイオマス比

1/100 で、目標糖収量の 500g 生成糖/kg バイオマスを達成することができた(図Ⅲ-2-1-3-(6)-4)。

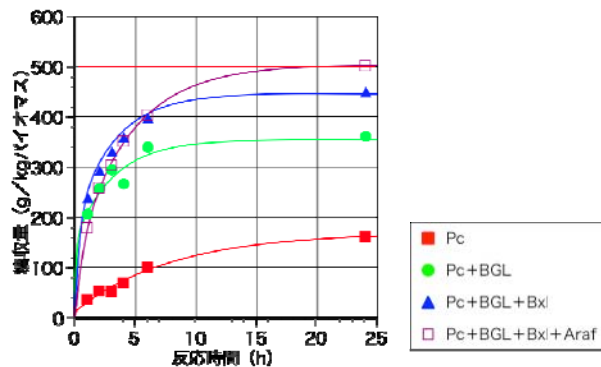


表Ⅲ-2-1-3-(6)-3 使用したモノコンポーネント酵素

セルロース分解酵素	ヘミセルロース分解酵素
<i>PcCe16A</i>	<i>PcXyn10C</i>
<i>PcCe17D</i>	<i>PcBx13</i>
<i>PcCe15A</i>	<i>PcGH115</i>
<i>PcBGL3Acat</i>	<i>FrGH51</i>

図Ⅲ-2-1-3-(6)-4 白色腐朽菌由来モノコンポーネント酵素によるアンモニア処理ネピアグラスの糖化

【検討③】糸状菌連続培養による酵素高効率生産プロセスの開発 (東京大学)



図Ⅲ-2-3-1-(6)-5 モノコンポーネント酵素添加による白色腐朽菌培養液の改良

白色腐朽菌培養液 タンパク質/バイオマス重量比=1/135、Pc:Phanerochaete 培養液、BGL:β-グルコシダーゼ、Bxl:キシロシダーゼ、Araf :α-アラビノフラノシダーゼ。

自製酵素 (白色腐朽菌培養液) に対して白色腐朽菌由来のモノコンポーネント酵素として得られたセルラーゼ、β-グルコシダーゼおよび各種ヘミセルラーゼを組み合わせ、アンモニア処理ネピアグラスを対象に酵素糖化を行った。その結果、自製酵素にβ-グルコシダーゼ、キシロシダーゼ、α-アラビノフラノシダーゼを添加することにより、酵素量 1/100 以下 (1/135) で目標糖収量 500g 生成糖/kg バイオマス以上を達成できる酵素製剤を調製できた。

○酵素剤の取得における担子菌由来酵素の位置づけ

検討①～③において、白色腐朽担子菌由来のベース酵素とモノコンポーネント酵素を適宜組み合わせることで最適酵素剤の構築を検討したが、一方、酵素単価 1,000 円/kg を目標とした実用化検討では、酵素の生産性の高さから糸状菌 *Trichoderma reesei* 由来の粗酵素をベースとして、これに担子菌由来モノコンポーネント・ライブラリーから必要酵素を選択して最小量を添加することで目標を達成することが必要とされる。

#### 【検討④】東レ自製酵素をベースとした酵素組成の最適化（共通研究室）

ベンチ装置で低圧二段アンモニア処理したバイオマスについて、各種酵素剤およびそれらの組み合わせで糖収量を評価した。その結果、酵素濃度（タンパク重量/バイオマス重量）を 1/125 で統一して評価したところ、酵素剤によってグルカン糖化性、キシラン糖化性のバランスが異なり、自製酵素をベースとした酵素剤がグルカン、キシランの糖化性のバランスが良く、高い糖収量が得られることがわかった。

#### d)-3 まとめ

アンモニア前処理バイオマスの酵素糖化効率化を目的として、セルロース、キシラン主鎖およびキシラン側鎖を分解する主要な加水分解酵素すべてをモノコンポーネント酵素として取得した。取得したモノコンポーネント酵素の組み合わせだけでも酵素/バイオマス比 1/100 以下で、反応 24 時間で目標糖収量の 500g 生成糖/kg バイオマスを達成することが可能となったので、自製酵素剤に対してモノコンポーネント酵素を補助的に添加することで、酵素/バイオマス比 1/100 で 500g 生成糖/kg バイオマスを達成した。

さらに、低圧二段アンモニア処理ベンチ装置から得られるバイオマスについて 500g 生成糖/kg バイオマス以上を得るための酵素組成を検討した結果、自製酵素をベースとした酵素剤が 500g 生成糖/kg バイオマスを得るための最適組成酵素剤であると判断した。以上の検討によって、酵素糖化の高効率化のための酵素剤が開発できた。

#### e) 酵素回収・再利用の検討（東レ）

##### e)-1 個別目標

酵素はエタノール製造の比例費の多くを占めており、その使用量の削減が課題である。膜分離による酵素回収を行うことで、酵素使用量の削減を目的としている。技術開発は、初期酵素投入量に対して 75% の回収を目標（2.5mg/g バイオマス）として設定した。

##### e)-2 検討内容（方法と結果）

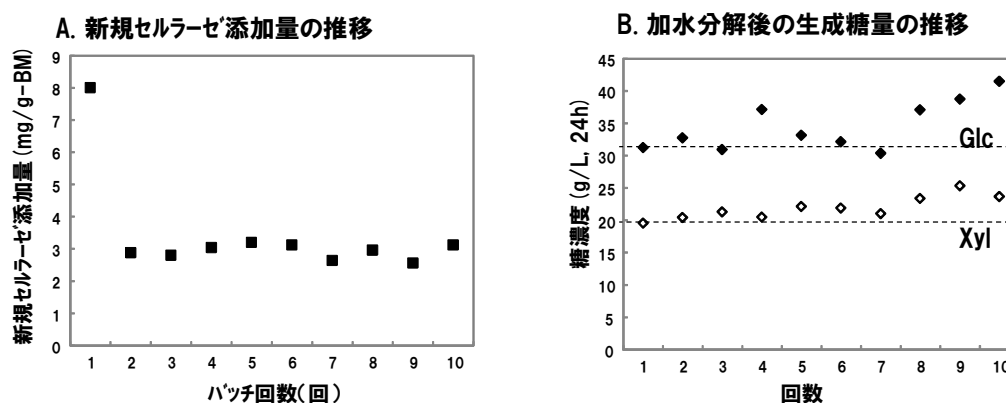
#### 【検討①】市販セルラーゼを使用したバイオマス加水分解物からの酵素回収

市販セルラーゼを使用して高圧 1 段処理エリアンサスの加水分解を実施し、加水分解物の遠心上清（糖液上清）に含まれるセルラーゼ成分を限外ろ過により分離回収した。2 回目以降は回収セルラーゼおよび新規セルラーゼの 2 種を用いて 10 回まで加水分解を繰り返したところ、2 回目以降の生成糖量はグルコース、キシロース共に 1 回目とほぼ同じで、なおかつ回収 3 回目以降の新規セルラーゼの添加量が約 4mg/g バイオマスを推移したことから、酵素回収率は約 60%であることが判明した。回収されたセルラーゼ成分の活性の推移を見てみると、2 回目以降、 $\beta$ -キシロシダーゼの回収量が特に減少していることが判明したため、糖化残渣の洗浄による回収を検討し、条件 A を見出した。但し、条件 A による糖化残渣の洗浄を加えても 2 回目以降の新規セルラーゼの投入量は約 3.5mg/g バイオマスを推移したことから、酵素回収率は 65%とまだ課題を残す結果となった。

#### 【検討②】トリコデルマ培養液を使用したバイオマス加水分解物からの酵素回収

セルラーゼを市販セルラーゼからトリコデルマ培養液（2-1-3（5）c）に記載に変更すること

で、酵素回収率を改善できないか検討を行った。トリコデルマ培養液はセロビオース分解活性が不十分であったため、市販セルラーゼを若干添加してセルラーゼ剤として使用した結果、2回目以降の新規セルラーゼの添加量は約2.9mg/g バイオマスを推移し、酵素回収率は71%まで改善された。さらに、回収再利用8回目以降は生成糖量の増大が確認され（図III-2-1-3-(6)-6）、新規セルラーゼ添加量が過剰になっている可能性があったため、新規セルラーゼの添加量を2.5mg/g バイオマスまで削減して11回目の加水分解反応を実施したところ、生成糖量の減少はなく、トリコデルマ培養液を使用することにより酵素回収率75%が達成できることが確認された。



図III-2-1-3-(6)-6 酵素回収検討結果

#### e)-3 まとめ

ラボでの酵素回収条件の最適化を進め、75%の酵素回収率を達成可能な条件設定を行った後、これと同じ手順でのベンチ実証試験で検証する流れで開発を進めた。ラボにて酵素回収条件の最適化を実施し、目標回収率75%を達成するとともに、本条件をベンチ実証装置および一貫製造技術開発において検証することで、75%の酵素回収率を得ることができた。

### f) 酵素糖化液の濃縮 (東レ)

#### f)-1 個別目標

後段エタノール発酵試験の結果を基に必要十分な糖濃度設定として、糖濃度20%（グルコースおよびキシロースの合計濃度）を目標とした。また、ベンチ実証の糖分離収率97%を達成可能な濃縮用分離膜の選定を実施した。

#### f)-2 検討内容 (方法と結果)

一般的にセルロース系バイオマス由来の糖液は、澱粉系の糖化液に対し、高い糖濃度の糖液を得ることが難しい課題がある。これは分解対象であるセルロース系バイオマスが、固体であって加水分解槽に高濃度での投入、攪拌操作、均一化が困難であること、がその要因である。本項では、固液分離された加水分解物を逆浸透膜で濃縮することで後段発酵に適した糖濃度の糖液を省エネルギーに製造することを目的とした。また糖液に含まれる糖成分と芳香族化合物などの不純物の分離の可能性についても併せて検討を行った。

#### 【検討】糖液濃縮用の分離膜の選定

ベンチ実証において、糖分離収率97%を達成可能な濃縮用分離膜の選定を実施した。モデル糖液をラボ

膜評価装置に使用してグルコース・キシロース、およびその他低分子分解産物の阻止率を測定し、グルコース、キシロースの阻止率が高く、低分子分解産物の膜の阻止率が比較的低い膜を選定した。

次に実際のアンモニア処理バイオマスの糖化液を限外ろ過膜処理したろ過液に関し、前述膜を用いて、3倍糖濃縮する実験を行った。結果、グルコース、キシロースを合計した糖収率が99%以上得られることが判明した。実証試験では、本膜を使用することとした。また、糖濃度に関しては、前記アンモニア処理糖液に関してさらに膜濃縮を行うことで、目標の糖濃度まで濃縮できることが確認できた。

#### f)-3 まとめ

アンモニア処理バイオマスの糖液において、目標糖収率99%、および糖濃度20%まで濃縮できることが確認できた。

### (スケールアップ検討)

開発した要素技術のスケールアップのための検討結果をg)~h)に示す。

## g) バイオマス試料の評価 (東京大学)

### g)-1 個別目標

酵素糖化の最適化に資するバイオマス側の情報を取得する。

### g)-2 検討内容 (方法と結果)

#### 【検討①】原料および前処理ネピアグラスの収穫時期毎の構成糖の変化と酵素糖化性の評価

東京大学の西東京フィールドに6月に定植し、8月、10月、12月、翌年2月に収穫したネピアグラスについて、収量測定および酵素糖化を対象とするバイオマス分析を行った。さらにネピアグラスの茎部に対してアンモニア前処理(120°C、8.6MPa、24h)を行い、酵素糖化(バイオマス5%、酵素量1/100、24h)による糖収量を測定した。その結果、温帯に属する気候帯においても、立ち枯れ前の12月までは順調にバイオマス収量が増加することを確認した。また、酵素糖化で得られる糖収量は収穫時期が10月までは増加したが、それ以降はほぼ一定であった。さらに、1回の収穫から製造可能なヘクタール当りの糖収量では、12月(栽培期間6ヶ月)に収穫したものが最も糖収量が高かったが、熱帯での原料作物の収穫回数を考慮し、1年間で製造可能な糖収量の観点から評価すると、3回収穫可能な栽培期間4ヶ月サイクルで収穫するのが最も糖収量が高いことが明らかとなった。

### g)-3 まとめ

セルロース系原料からの高効率エタノール生産のためには原料の栽培期間の検討が重要であるが、収穫時期の選定にはバイオマス収量や糖含量だけではなく、単位時間および単位面積当たりにおける酵素糖収量を考慮する必要があることが示された。

## h) インドネシア産ネピアグラスに対する糖収量向上検討 (共通研究室)

### h)-1 目的および目標

インドネシアで年間を通じて生産されるネピアグラスに対して安定的に糖収量500g/kgを得るための方策(前処理条件、酵素組成最適化方針)を得る。

## h)-2 検討内容（方法と結果）

インドネシアから供給されるバイオマスについて、市販酵素で糖化性を評価した。その結果、インドネシアからベンチ運転の原料として供給されるバイオマスは、栽培方法（施肥量）や栽培期間、乾燥・粉碎条件などを一定の範囲に管理しても、降水量（雨季／乾季）、圃場条件（土壌の肥沃度）などによって、品質が変動することがわかった。ベンチ装置で標準としている前処理条件では、市販酵素（1/125 濃度）での糖収量が原料の糖含量と負の相関を示し、いずれの試料においても 24h 糖収量 500g/kg を得ることはできなかった。このため、ベンチ原料として供給されたインドネシア産ネピアグラスのうち糖収量が最も低かった試料について、スケールアップ時の前処理装置での適用を前提にベンチ装置ならびにラボ装置でアンモニア処理条件の変更を行い、糖収量を向上できるか確認した。その結果、運転条件変更により糖収量が向上したが、市販酵素ではまだ 500g/kg には達しなかった。さらに、これまでの酵素成分最適化の知見をもとに、自製酵素（1/125 濃度）に酵素成分を添加したところ、24h 糖収量 514g/kg と目標を達成できた。

## h)-3 まとめ

以上から、さらなるスケールアップでの前処理の反応条件変更と自製酵素をベースとした酵素成分の強化により、原料バイオマスの品質が変動しても安定して糖収量 500g/kg を達成する目途を得た。

## i) 他の競合技術に対する優位性

本技術開発において、競合技術に対して優位性が高いと考える点は以下の通りである。

①アンモニア処理バイオマスの糖化性能が高い酵素を、目標コスト 1,000 円/kg で生産できる酵素自製技術に目処を得た（市販酵素推定価格 3,000 円/kg）。②自製酵素に特定の成分を追加することで、市販酵素を上回る糖収量を達成し、従来 48 時間以上必要な糖化反応に対し、24 時間の反応で目標糖収量 500g 生成糖/kg バイオマスを達成した。③残渣からの酵素回収技術を確立し、酵素糖化・回収を 10 回以上繰り返しても、酵素回収率 70～75% が安定に維持できることを世界で初めて示した。

## j) 目標の達成度と技術成果

酵素生産性の向上により酵素単価 1,000 円/kg に、酵素成分の最適化により酵素使用量 1/100 に、酵素回収法の工夫により酵素回収率 75% に目途をつけ、これらの組み合わせにより酵素コスト 10 円/L に目途を付けた。これにより、バイオエタノール製造コスト 80 円/L 達成に大きく寄与した。

## （7）発酵・濃縮・脱水技術に関する研究開発

### a) 開発概要（課題と目標）

本事業では、製造工程から生成する残渣・廃棄物の有効利用・循環利用を容易にするために、非遺伝子組み換え酵母を用いた発酵プロセスの開発を目指している。非遺伝子組み換え酵母は、①自然界から分離したキシロース利用能を持っている酵母の変異改良、および②醸造酵母が元々持っている自己遺伝子の活性化によるキシロース利用能の付与、の 2 通りの技術に対して技術開発を行った。①キシロース利用能を持っている酵母を用いた「二段階発酵」は、エタノール収率の向上とエネルギー削減が課題である。エタノール収率は、バイオ燃料技術革新計画のベンチマークであるエタノール収率（95%）の実現にむけた中間目標として、グルコースからの収率 95%以上、キシロースからの収率 85%以上と設定した。また、二段階発酵においてはグルコース発酵の後に設置するエタノール分離工程におけるエネルギーが

過大であるため、この分離工程の省略を目標と設定した。②キシロース利用能を付与した醸造酵母を用いた「同時発酵」は、エタノール収率の向上が課題である。エタノール収率は、遺伝子組み換え体による同時発酵で報告 (DOE) されている 85%をベンチマークとし、グルコースとキシロースの混合からのエタノール収率 85%以上を本事業の目標と設定した。

また、濃縮脱水工程に関しては、バイオ燃料技術革新計画のベンチマーク (10%エタノール水溶液から無水エタノール分離回収に要するエネルギー使用量 2.5MJ/L 以下) を参考に、新規な省エネ濃縮脱水技術の評価とベンチ規模での実証を目指した。

## a) 二段階発酵による連続バイオエタノール生産システムの開発

インドネシア産ネピアグラスを原料としてベンチ装置で作製した糖化液に対して、発酵阻害物質除去工程 (活性炭あるいはイオン交換樹脂) を省略し、グルコースとキシロースから二種類の非遺伝子組換え酵母を使用してバイオエタノール生産を行う二段階発酵システムの開発を目指し、全糖 (投入糖に対して) からのエタノール収率 90%以上を達成することを目標とした。

### a)-1 高温発酵性酵母によるグルコース発酵 (サッポロエンジ、秋田県)

#### a)-1-1 目標

一段階目のグルコースからのエタノール生産において発酵とエタノール回収を同時に行うために、高温でグルコース発酵可能な酵母の取得を目指した。さらに、ネピアグラスを原料とした糖化液に対して、活性炭 (あるいはイオン交換樹脂) 処理無しで、グルコースから 6 時間以内に 95%以上のエタノール収率 (投入糖に対して) を達成することを目標とした。また、42°Cで発酵させることでエタノールを揮散回収し、二段階目のキシロース発酵に供する発酵液中のエタノール濃度を 2%以下とすることも目標とした。

#### a)-1-2 検討内容 (方法と結果)

##### 1) 高温グルコース発酵酵母の取得

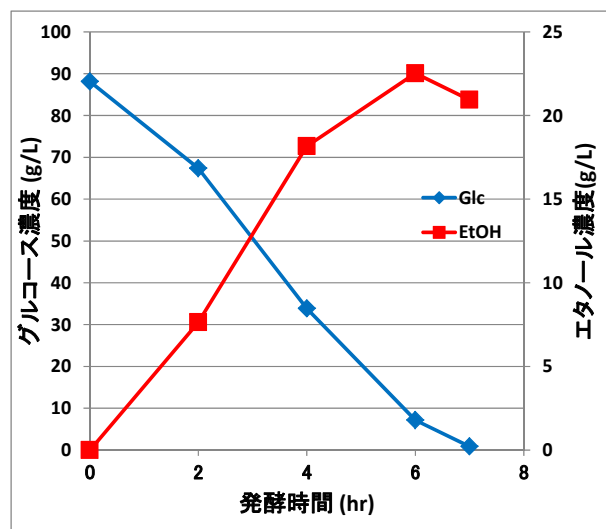
秋田県内の温泉地より高温でエタノールを生産できる酵母の探索を行い、42°Cで発酵可能な酵母を見つけた。本酵母は、*Schizosaccharomyces japonicus* と同定され、凝集能を有する酵母であった。

##### 2) 高温グルコース発酵酵母による同時発酵蒸留の最適化 (合成培地による発酵試験)

合成培地を使用して上記で取得した高温発酵性酵母 (SS4-5 株と命名) による同時発酵蒸留の最適化を検討した。その結果、42°Cで発酵を行うことにより 6 時間でグルコース発酵が終了し、発酵中に産生したエタノールの一部を回収しながら発酵を行うことができた。また、発酵終了時のエタノール濃度は 2%でエタノール収率 90%を達成した。

##### 3) ネピアグラス糖化液からのバイオエタノール生産

ネピアグラス糖化液を使用して SS4-5 株によるグルコース発酵を行った。その結果、42°Cで発酵を行うこ



図Ⅲ-2-1-3-(7)-1 ネピアグラス糖化液からのバイオエタノール生産

とにより 7 時間でグルコース発酵が終了しエタノール収率 90%を達成した (図Ⅲ-2-1-3-(7)-1)。

#### 4) 高温グルコース発酵酵母による連続バイオエタノール生産

二段階発酵システムは、バッチ生産及び連続生産とも両方対応可能なシステムである。そこで、グルコースからの連続エタノール生産をラボスケールにて SS4-5 株を使用して連続グルコースバイオエタノール生産を検討した。その結果、滞留時間 8 時間でエタノール収率 88%以上を維持しながら 10 日間にわたり連続発酵を行うことができた。

#### 5) ベンチスケールでのグルコース発酵酵母の性能評価

SS4-5 株を使用してベンチスケールで発酵試験を行った。その結果、活性炭処理したネピアグラス糖化液から発酵時間 8 時間でエタノール収率 95%を達成した。

##### a)-1-3 まとめ

以上のように、新規に取得した高温グルコース発酵酵母を用いることで、インドネシア産ネピアグラスを原料としてベンチ装置で作製した糖化液から、阻害物質除去工程無しでグルコースから 6 時間以内に 95%の収率でエタノールが得られ目標が達成できた。また、42℃でエタノールを揮散回収しエタノール濃度を 2%以下にした。ベンチ実証試験では、37℃で揮散回収しベンチ実証の運転 (2-1-3 (8) 参照) の RUN#06・08・09 において発酵収率 95%を達成した。

##### a)-1-4 他の競合技術に対する優位性

高温発酵性酵母を使用することにより冷却エネルギーの削減や微生物汚染の防御を達成することができる。そのため、多くの研究者が高温発酵性酵母を用いた研究を行っている。赤田らは *Kluyveromyces marxianus* を使用して 40℃でエタノール生産できることを報告しているが、凝集能を有していないため遺伝子組換え技術により凝集遺伝子を導入した。(特願 2006-313162、特願 2008-069329)。本プロジェクトでは、自然界より凝集能を有する高温発酵性酵母を取得し、42℃で安定的に発酵できることを明らかにし、実用化に問題ないことを確認した。

#### a)-2 ストレス耐性酵母によるキシロース発酵 (サッポロエンジ、秋田県)

##### a)-2-1 目標

インドネシア産ネピアグラスを原料としてベンチ装置で作製した糖化液に対して活性炭 (あるいはイオン交換樹脂) 処理無しでグルコース発酵を行い得られた糖液 (エタノール 1.5%程度含有) について、キシロースから 48 時間以内に 85%以上の収率 (投入糖に対して) でエタノールを得ることを目標とした。

##### a)-2-2 検討内容 (方法と結果)

###### 1) キシロース発酵酵母のエタノール耐性の向上 (変異、馴養)

秋田県総合食品研究センターで自然界から分離し変異改良を加えたキシロース発酵酵母 *Pichia stipitis* SS39-1 株へエタノール耐性を付与するために、SS39-1 株の細胞をエチルメタンスルホン酸及び紫外線による突然変異誘導処理に供与した。最終的に 80g/L のエタノールを含む培地で生育が可能な酵母変異株の取得に成功した。この酵母を TT-E8 株と名付けた。TT-E8 株は SS39-1 株よりも高濃度のエ



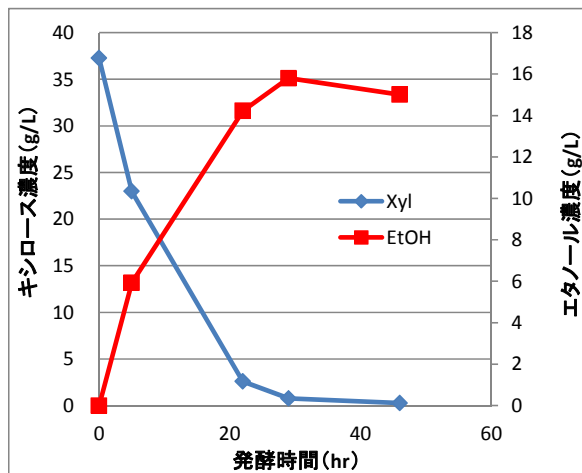
タノールを生成し、初期エタノール濃度が 20g/L でも高いエタノール発酵能を維持していた。

## 2) キシロース発酵酵母の糖化液由来阻害物質への耐性の向上 (変異、馴養)

酵母菌体外への阻害物質排出能を増強するため、TT-E8 株の突然変異誘導処理株の薬剤耐性株の取得を行った。得られた酵母変異株をエタノール発酵試験に供与すると、阻害物質を除去しないバイオマス糖化液で TT-E8 株よりもエタノールの生成速度が 2.7 倍上昇した株が得られ、90g/L のエタノール培地で生育が可能な酵母変異株を取得に成功した。得られた酵母変異株を C-X2 株と命名した。

## 3) 無処理糖化液を用いたフラスコスケールでのキシロース発酵酵母の性能評価

発酵阻害物質濃縮効果が他の膜よりも強いと想定される R0 膜から濃縮されたバイオマス糖化液でも、C-X2 株は非常に高い発酵能を示した。発酵阻害物質の除去処理を行っていないグルコース発酵後の糖液 (R0 膜により濃縮、エタノール 20g/L 程度含有) での C-X2 株によるエタノール発酵試験では約 30 時間で発酵が終了し、エタノール収率が 83%以上 (投入糖に対して) を達成した (図Ⅲ-2-1-3-(7)-2)。



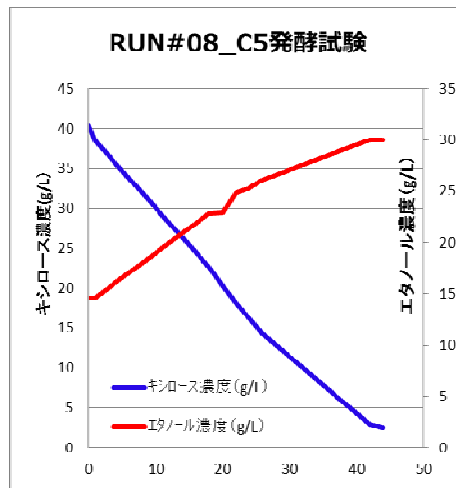
図Ⅲ-2-1-3-(7)-2 フラスコスケールでのキシロース発酵酵母の性能評価

## 4) 固定化キシロース発酵酵母による連続発酵

10L ジャーファメンターを用いて TT-E8 株をウレタンフォームに固定化し、合成培地及び糖化液を用いたバッチ繰返し発酵でバイオエタノール生産試験を行った。その結果、合成培地では発酵時間 24 時間・エタノール収率 90%以上を維持、ベンチ実証運転 (2-1-3 (8) 参照) の RUN#06 糖化液では、発酵時間 25 時間、エタノール収率 90% (投入糖に対して) を達成、25 日間バッチ繰返しエタノール生産を行うことができた。

## 5) ベンチスケールでのキシロース発酵酵母の性能評価

TT-E8 株を用いたベンチ実証運転 (2-1-3 (8)) RUN#08 において、発酵時間 42 時間、発酵収率 85% (投入糖に対して) を達成した (図Ⅲ-2-1-3-(7)-3)。RUN#07 では、実証試験馴化回収酵母を用いて阻害物質除去工程を省略、発酵時間 67 時間、エタノール収率 71% (投入糖に対して) を達成、TT-E8 株の回収馴化酵母を用いることで目標達成に目処を立てた。



図Ⅲ-2-1-3-(7)-3 ベンチスケールでのキシロース発酵酵母の性能評価

### a)-2-3 まとめ

フラスコレベルでのアルコール発酵試験の結果、C-X2 株は阻害物質を除去しないバイオマス糖化液においてキシロースから約 30 時間で約 83%のエタノール収率 (投入糖に対して) でエタノールを生成した。

TT-E8 酵母と比較するとエタノール生成工程の改善を達成した。キシロースから 48 時間以内に 85%以上のエタノール収率（投入糖に対して）でエタノールを得ることを可能とする酵母変異株を取得することを目指しているが、C-X2 株の改良結果から、より高い薬剤耐性を付与した酵母変異株を取得することで目標達成に目処をつけることは可能と考えられる。ベンチ実証試験（**2-1-3(8)** 参照）では、RUN#08 でエタノール収率目標を達成し、今後 C-X2 株の適用により阻害物質除去工程省略プロセスにおいて目標達成に目処をつける。

#### a)-2-4 他の競合技術に対する優位性

突然変異誘導処理によるバイオエタノール生産に関与する酵母の改変に関する研究はキシロースをエタノールに変換できる天然酵母が持つエタノール生成能の増強もしくは遺伝子組み換え技術によりキシロースからのエタノール生成能を付与した酵母形質転換株に発酵阻害物質に対する耐性能を付与する目的で行われている。両方の研究に関する報告は少なく、特に、天然酵母の改変に関する報告は乏しい。キシロースをエタノールに変換できる天然酵母の非遺伝子組み換え技術による改良の研究事例としては 2011 年の渡辺らの報告がある。高いエタノール生産性を獲得するために、*Pichia stipitis* NBRC1687 の細胞を UV 処理による突然変異誘導処理に供与し、エタノールを含む培地での選抜を行った。その結果、親株である NBRC1687 株よりも高いエタノール生産能を示す酵母変異株 PXF58 株の取得に成功している。PXF58 株は 50~70g/L のエタノール存在下で生育が可能であると報告されている。我々が取得した酵母変異株である C-X2 株は 95g/L のエタノール存在下でも生育が可能であり、PXF58 株よりも高いエタノール耐性能を持っている。エタノール生成量も PXF58 株が最大で 44g/L なのに対して C-X2 株は 47g/L であった。このことから、C-X2 株は PXF58 株よりも高いエタノール生成能を持つと思われる。また、PXF58 株はエタノール耐性能を付与し、エタノール生成能を増強した酵母変異株であり、他の発酵阻害物質に対する耐性に関しては改変されていない。合成培地での発酵試験の結果しか報告されていないため、バイオマス糖化液での発酵能は不明である。以上のことから、C-X2 株が PXF58 株よりもバイオマス糖化液でのアルコール発酵においてより実用的な酵母であると思われる。

#### a)-3 二段階発酵による連続バイオエタノールシステムの開発に関する総括

グルコースとキシロースを含む糖化液から *Schizosaccharomyces japonicus* SS4-5 株と *P. stipitis* Pigna1C-X2 株を二段階に用いてバイオエタノール生産を行うシステムを開発した。すなわち、一段階目の発酵で SS4-5 株を使用してバイオマス糖化液中のグルコースを 42°C でバイオエタノール生産と産生したエタノールの蒸留回収を同時に行わせた後、二段階目の発酵で C-X2 株を使用して低濃度のエタノールとキシロースが残った糖化液からバイオエタノール生産を行わせるシステムである。本システムを使用することにより、バッチでも連続でもバイオエタノールの生産が可能である。本システムを使用してネピアグラス糖化液からのバイオエタノール生産を行った結果、グルコース・キシロースからバイオエタノールを生産し、エタノール収率 90%を達成した。

#### b) 醸造酵母の自己遺伝子活性化によるグルコース、キシロース同時発酵 (JX)

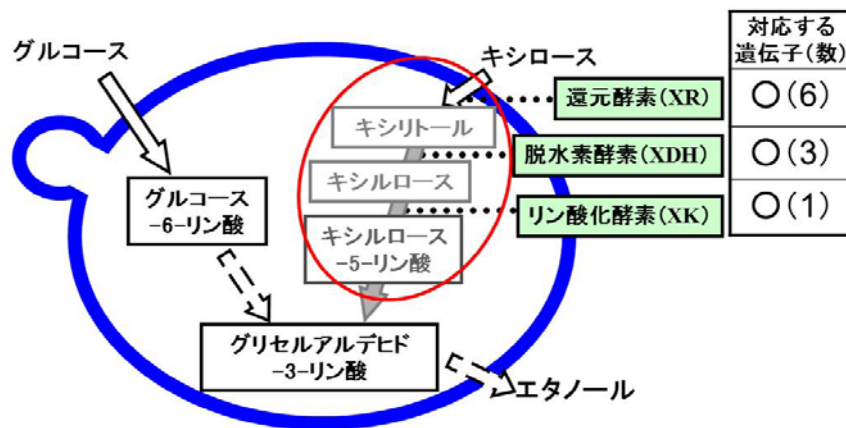
##### b)-1 目標

インドネシア産ネピアグラスを原料としたベンチ装置で作製した糖化液に対して、活性炭（あるいはイオン交換樹脂）処理無しで、グルコースとキシロースの混合糖液から 48 時間以内に 85%以上のエタノール収率（投入糖に対して）を得ることを目標とした。

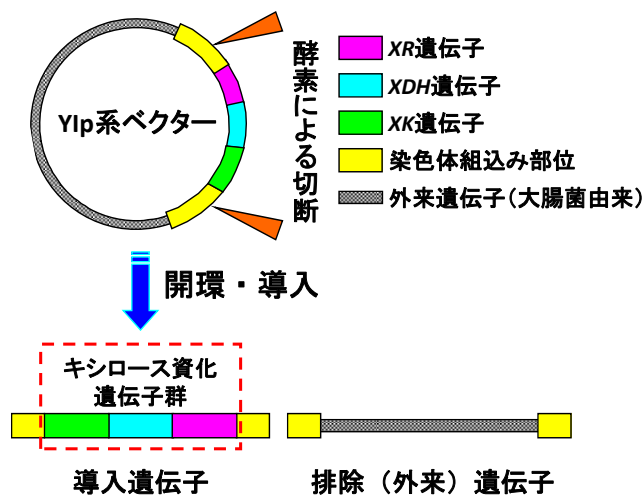
b)-2 検討内容（方法と結果）

1) 醸造酵母の自己遺伝子活性化によるキシロース資化能付与

醸造酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) は、バイオマスに含まれる糖の約 1/3 を占めるキシロースを資化できないものの、その資化に必要な遺伝子群を保有している (図Ⅲ-2-1-3-(7)-4)。これらの遺伝子群の活性化によりキシロース資化能を付与できれば、外来遺伝子を導入せずに済み、遺伝子組換え体とならないキシロース資化能を持つ醸造酵母を得ることができる。そこで、図Ⅲ-2-1-3-(7)-5 に示すように調製したキシロース資化遺伝子群を醸造酵母の染色体に導入したところ、目論み通り、キシロース資化能を有する醸造酵母を取得することができた。



図Ⅲ-2-1-3-(7)-4 醸造酵母のキシロース資化遺伝子群



図Ⅲ-2-1-3-(7)-5 キシロース資化遺伝子群の調製

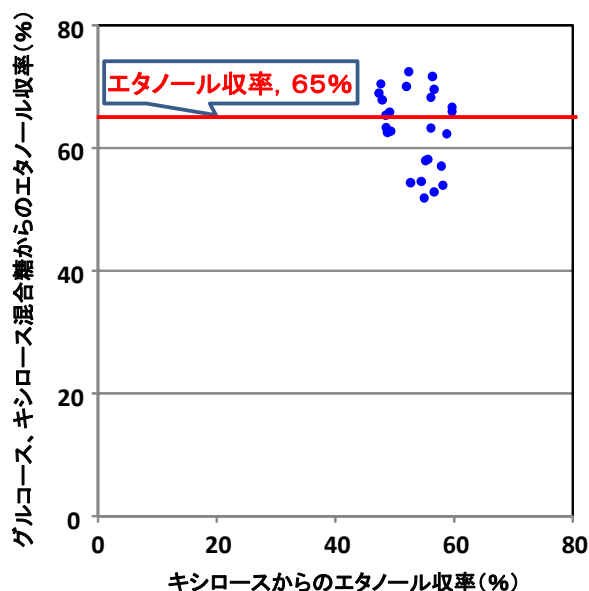
2) キシロース資化能付与に適した酵母の選定

キシロースを唯一利用可能な炭素源とする培地と、グルコースとキシロースを利用可能な炭素源とする培地 (表Ⅲ-2-1-3-(7)-1 : とともに pH 5.0) を用い、キシロース資化能を付与した複数のサッカロマイセス酵母株について、両培地でのエタノール収率をフラスコ試験により比較した。その結果、キシロースからのエタノール収率が高い株が、必ずしもグルコース、キシロースの混合糖からのエタノール収率

が高いわけではないことが判った（図Ⅲ-2-1-3-(7)-6）。そこで、グルコース、キシロースの混合糖からエタノール収率が高い13株（エタノール収率65%以上）を、今後の改良対象株とした。

表Ⅲ-2-1-3-(7)-1 エタノール収率評価培地組成 (g/L)

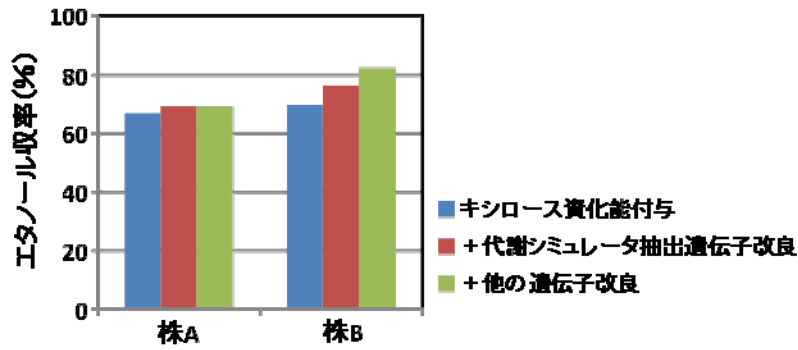
	培地中の利用可能な炭素源	
	キシロース	グルコース、キシロース
グルコース	0	80
キシロース	50	50
硫酸アンモニウム	7.5	7.5
リン酸水素一カリウム	3.5	3.5
フタル酸水素カリウム	10.2	10.2
硫酸マグネシウム・7水和物	0.8	0.8



図Ⅲ-2-1-3-(7)-6 エタノール収率の比較

### 3) 代謝シミュレータによるエタノール収率向上

2)より選定した酵母13株のうち株Aについて中間代謝物を調べ、代謝シミュレータを構築し、感度解析によりエタノール収率向上に寄与する改良対象遺伝子を抽出した。感度解析により、エタノール収率改善に最も効果があるとされた遺伝子の増強を、1)で選定した複数の株に実施し、グルコース、キシロースを利用可能な炭素源とする培地を用い、フラスコ試験で発酵性を評価した。その結果、ほとんどの株でエタノール収率向上効果が認められた。これらの株のうち、株Aおよび株Bについて、他の遺伝子を改良したところ、さらにエタノールの収率向上が認められ、株Bではエタノール収率80%以上を達成することができた（図Ⅲ-2-1-3-(7)-7）。



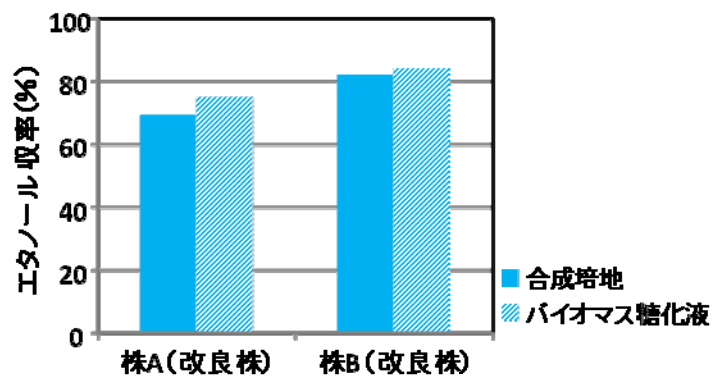
図III-2-1-3-(7)-7 遺伝子改良によるエタノール収率向上効果

4) インドネシア産ネピアグラスを原料としたベンチ装置で作製した糖化液の発酵性評価結果

3)により得られた遺伝子改良株 2 株について、インドネシア産ネピアグラスを原料としたベンチ装置で作製した糖化液（バイオマス糖化液）および同じ糖濃度に調整したグルコース、キシロースを唯一の利用可能な炭素源とする培地（表III-2-1-3-(7)-2）を用い、フラスコでの発酵性を評価した。その結果、エタノール収率はバイオマス糖化液でやや高い値を示し、株Bの改良株ではエタノール収率84%を示した（図III-2-1-3-(7)-8）。従って、これらの菌株の発酵性は、バイオマス糖化液による影響をほとんど受けないものと考えられた。

表III-2-1-3-(7)-2 培地組成 (g/L)

グルコース	7.8
キシロース	4.0
硫酸アンモニウム	7.5
リン酸水素一カリウム	3.5
フタル酸水素カリウム	10.2
硫酸マグネシウム・7水和物	0.8



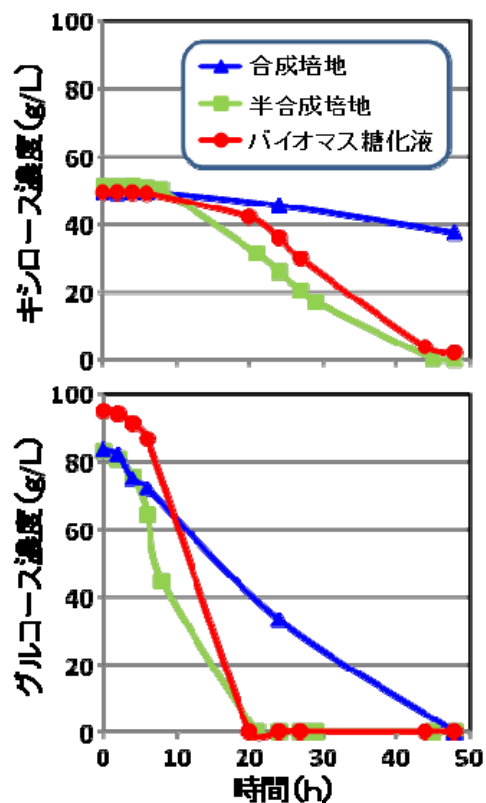
図III-2-1-3-(7)-8 選別株の発酵性評価

5) 培養槽を用いた検討

5L培養槽においてキシロース資化能を付与した酵母の性能を評価する際、培地の影響を明らかにするため、上述の添加した糖のみ利用可能な炭素源とする培地（合成培地）と添加した糖以外に酵母エキスや有機窒素を含む培地（半合成培地）（表III-2-1-3-(7)-3：ともに pH 5.0）およびバイオマス糖化液を用い、改良前の株 A を用いて培養試験を行った。その結果、半合成培地とバイオマス糖化液はほぼ同等の時間でグルコース、キシロースを消費するのに対し、フラスコ試験で酵母の性能評価に用いた合成培地では、糖の消費に時間を要することが確認された。従って、培養槽を用いた検討の際、培地には半合成培地を用いることとした。なお、この際のエタノール収率は、合成培地で 55%、半合成培地とバイオマス糖化液で 69%であった。

表Ⅲ-2-1-3-(7)-3 培地組成 (g/L)

	合成培地	半合成培地
グルコース	80	80
キシロース	50	50
硫酸アンモニウム	7.5	
リン酸水素一カリウム	3.5	
フタル酸水素カリウム	10.2	
硫酸マグネシウム・7水和物	0.8	
酵母エキス		10
ソイトン		20



図Ⅲ-2-1-3-(7)-9 培地とバイオマス糖化液における糖の消費

#### 6) スケールアップの検証

バイオマス糖化液で株 A を用い、200L 培養槽での発酵試験を行ったところ、5 L 培養槽とエタノール収率はほぼ変わらない値を示した (表Ⅲ-2-1-3-(7)-4)。

表Ⅲ-2-1-3-(7)-4 異なるスケールでの培養におけるエタノール収率

培養槽サイズ	エタノール収率
5L	77%
200L	76%

#### b)-3 まとめ

以上のように、バイオマス糖化液を用いたフラスコ試験でエタノール収率 84%と、目標値 85%に近い値に到達し、培養槽を用いた試験では、200 L 培養槽で 5 L 培養槽と同等の結果が得られることを確認した。今後は、フラスコ試験で高いエタノール収率を示した株でバイオマス糖化液を用い、200 L 培養槽での発酵試験を行い、バイオマス糖化液でのエタノール収率 85%の目標を達成させる予定である。

#### b)-4 他の競合技術に対する優位性

遺伝子組換え体でないキシロース資化醸造酵母としては、変異により作製された醸造酵母 (特願 2007-526108) が知られているが、エタノール収率等のデータは開示されておらず、キシリトールを生成するとの記述があることから、十分なエタノール収率は得られないものと推察される。また、遺伝子組換

え体であるキシロース資化醸造酵母としては、エタノール収率 85-90%という数値が報告されており、これらの数値が最も高いエタノール収率として知られている。今回、本プロジェクトで開発されたキシロース資化醸造酵母は、自己遺伝子を利用しており遺伝子組換え体でないため、組換え体利用の場合に比べ、設備コストを安価に抑えることができる。また、本酵母はエタノール収率 84%と、遺伝子組換え体醸造酵母とほぼ同等のエタノール収率を示しており、設備コストを安価にできるなど、実用的に優位であると言える。

また、酵母の中間代謝物測定法、代謝シミュレータによる感度解析法を本事業において確立したので、酵母の改良が必要となった場合、速やかに改良できる点も他の競合技術に対する優位性となる。

### c)濃縮脱水（サッポロエンジ）

#### c)-1 目標

省エネルギー蒸留脱水技術の評価・選択により、エタノール一貫製造工程での化石エネルギー収支とGHG削減の全体目標の達成に寄与することを目標とする。

このためにインドネシア産ネピアグラスを原料としたベンチ装置で得られた発酵液に対して、上記目標を満たす省エネルギー水準で 95%以上のエタノール回収率かつ 99.5%(v/v)濃度のエタノールを加圧蒸留+有機膜のベンチ装置で得られることを実証する。

#### c)-2 検討内容（方法と結果）

##### 1) 省エネルギー濃縮脱水技術（加圧蒸留+有機膜法）の選定

発酵もろみ液からのエタノール濃縮として工業規模で用いることが可能な蒸留法の中から、4つ蒸留方法を選定、消費エネルギー及び建設コストを考慮し機種選定を行った。

名称	Case1	Case2	Case3	Case4
設備イメージ	従来法 発酵液 → 40% → 90% → 99.6% エタノール もろみ塔濃縮塔 脱水 (常圧) [常圧] [無機膜]	減圧法 発酵液 → 40% → 85% → 99.6% エタノール 低沸濃縮塔 脱水 除去塔減圧 [無機膜] (減圧)	有機膜法 発酵液 → 65% → 85% → 99.6% エタノール もろみ塔 膜濃縮 脱水 [加圧] [有機膜] [有機膜]	HIDiC法 発酵液 → 85% → 99.6% エタノール HIDiC [加圧] 脱水 [無機膜]
特徴	納入実績有り	減圧化を行うため、スケールが付きにくい	高濃縮率の有機膜を使用し、蒸留と膜濃縮を組合せた装置	ハイブリット型省エネ装置
エネルギー使用量 (20万KL/年想定)	7.7MJ/L	7.1MJ/L	5.3MJ/L	3.2MJ/L
メリット	安定した運転が可能	スケールリングに強い	省エネ効果高い	清澄液でなければ蒸留が出来ない
デメリット	省エネ効果少ない		開発途上の方式膜の耐久性に懸念	

図III-2-1-3-(7)-10 濃縮脱水技術の選定

##### 2) 選定技術（加圧蒸留+有機膜法）のベンチ規模での性能評価

ベンチ装置（2-1-3-(8) 参照）を使用して RUN#01~12 まで合計 13 回の実証試験を行った。ベンチ実証では、インドネシア産ネピアグラス糖化液を原料とした発酵液から、20 万 kL/年プラントにおけるエタノール 1L あたりの消費エネルギーが当初の 5.3MJ となることを確認し、将来プラント運転における基礎データ蓄積を行った。

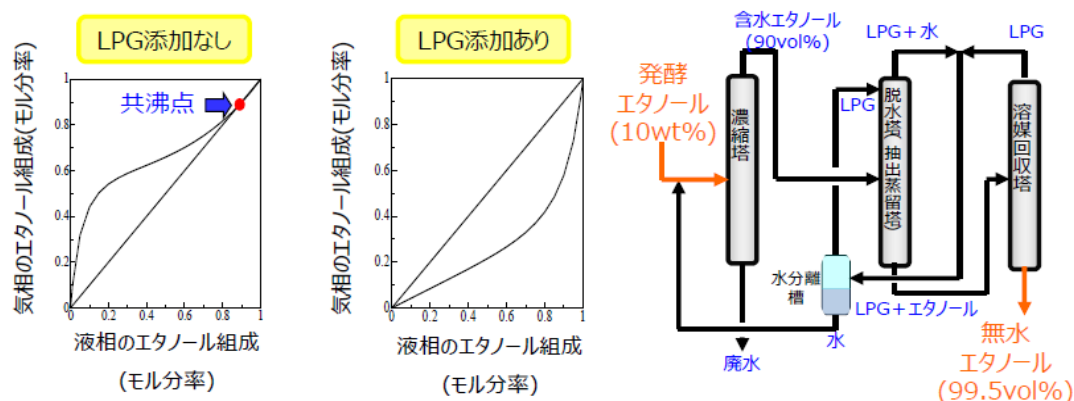
##### 2)-2 選定技術（加圧蒸留+有機膜法）の競合技術との優位性

塔頂加圧蒸気を直接有機膜に供給する蒸気透過法を用いた蒸留膜分離統合システムは、以下の点で有力な競合他技術との優位性がある。①膜一次側圧力（ゲージ圧：0.1MPa）が低く、低エネルギー蒸留が

可能かつ第一種圧力容器適用のため設備コストが安価（無機膜：ゲージ圧 0.2MPa 以上の場合、高圧ガス保安法適合の可能性有り）。②膜二次側圧力が 15 kPa と高く、低差圧による脱水が可能（無機膜：約 2 kPa の高真空）。③エタノール濃縮コンデンサの冷水供給温度が、5°C程度と低エネルギー（無機膜：高真空のため冷凍機適用の可能性有り）。④発酵エタノール液の蒸留前処理が不要。低コストでの建設・生産が可能（他競合技術では、前処理が必要な場合有り）。

### 3) 蒸留新技術の検討

本事業期間において、「LPG 抽出蒸留脱水技術」（以下、LPG 抽出蒸留脱水）が、新たな省エネルギー性能評価に値する蒸留技術として浮上してきた。本技術は、第三成分である抽出溶媒（LPG）を添加し、共沸点を消して分離を行う蒸留法である。NEDO の技術開発目標である 2.5MJ/L より低消費エネルギーでエタノール濃縮が可能な LPG 抽出蒸留脱水を検証した（図Ⅲ-2-1-3-(7)-11）。本蒸留法にヒートポンプを組み合わせた技術の検討を行った。予備検討において 10%(w/w)エタノールから 2.3MJ/L で無水エタノール製造が可能であることを確認した。



図Ⅲ-2-1-3-(7)-11 LPG 抽出蒸留脱水技術

### 4) 蒸留新技術のラボ規模での性能評価

ベンチ実証試験で製造されたインドネシア産ネピアグラス糖化液 5.5%(w/w) 発酵液からラボ装置蒸留を行った結果、JIS K2190 燃料用エタノール規格に適合することを確認、ラボエネルギー消費量から、20 万 kL/年プラントにおいて濃縮に要する消費エネルギーは、10%(w/w)において NEDO の目標値以下であることを確認した。

### 5) 省エネルギー濃縮脱水技術の総合評価・技術選定

加圧蒸留+有機膜法ベンチ実証装置からインドネシア産ネピアグラス糖化液を原料とした発酵液を用いて、加圧単蒸留からの連続膜濃縮プロセスの最適化を行い、塔頂部低濃度エタノール（30%(v/v)）からの膜濃縮により 99.0%(v/v) 以上のエタノールが製造可能であることを確認した。

一方、LPG 抽出蒸留脱水では、インドネシア産ネピアグラス糖化液を原料とした発酵液を用いたラボ試験により 20 万 KL/年プラントでの消費エネルギー比較において、加圧蒸留+有機膜法より優位であることを確認した。

LPG 抽出蒸留脱水は、今後の更なる技術検討により、建設コスト削減等による価格競争力が見込まれ 20 万 KL/年プロセスにおいて現実的な選択肢であることを確認した。一方の加圧蒸留+有機膜法においても、第一種圧力容器・膜モジュールユニットと設備が簡易・建設コストが安価であるメリットがあり、両技



術の優位性を確認した。

#### c)-3 まとめ

実発酵液中の濃度に相当するエタノール濃度 5.45%(w/w) から加圧蒸留+有機膜法では 20 万 kL /年プラント規模において 5.3MJ/L で無水エタノールが製造可能であることを確認した。また LPG 抽出蒸留脱水により 3.4MJ/L 以下でエタノール濃縮が可能であることを確認した。

またベンチマークの前提である発酵液エタノール濃度 10%(w/w) からの濃縮条件では、加圧蒸留+有機膜法では 20 万 kL /年プラント規模において 3.4MJ/L で無水エタノールが製造可能であることを確認した。また LPG 抽出蒸留脱水によりベンチマーク以下の 2.3MJ/L 以下のエネルギーでエタノール濃縮が可能なことを確認した。

#### d) 目標の達成度と技術成果

二段階発酵技術において、阻害物質耐性ならびに高活性を指標に変異株をスクリーニングし、グルコースからのエタノール収率 95%、キシロースからのエタノール収率 85%を達成した。さらに、高温酵母を新規に取得しグルコース発酵に適用することで、エタノール分離工程を省略し発酵濃縮脱水工程にかかる消費エネルギーを大幅に削減することができた。

蒸留脱水技術検討では、LPG 抽出脱水により消費エネルギーが 20 万 kL/年プラントにおいて 2.3MJ/L で製造可能であることを確認、ラボ試験により JIS K2190 規格適合エタノールが生成可能であることを確認した。

同時発酵技術において、代謝シミュレーターを活用した醸造酵母の自己遺伝子改変でグルコースとキシロースの混合からのエタノール収率 84%を得て目標を達成した。

エタノール濃縮脱水工程において、有機膜法で 3.5MJ/L、新規技術で 2.3MJ/L に目途を付け、目標を達成した。

(8) ベンチ装置による技術実証

a) ベンチ装置運転の概要

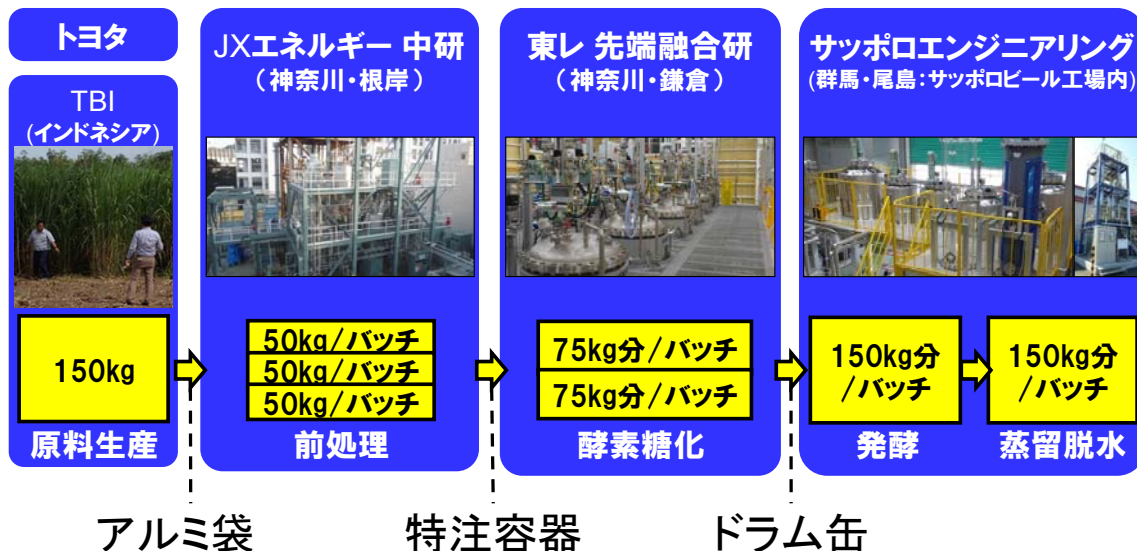
a)-1 目標

- 1) ベンチ装置においてバイオマス（ネピアグラス）からエタノールを生産する一貫製造運転を実施し、各工程の製造技術が中規模スケールでも成立することを実証する。
- 2) ベンチ装置での運転状況から各工程の問題点・課題等を抽出し、必要な対策を施してその効果を確認し、改善を反映した工程を確立する。
- 3) マテリアルバランス・ユーティリティバランスのデータを採取し、一貫システム評価での重要課題（コスト、GHG、化石エネルギー収支）の検討に必要な情報を提供する。
- 4) 全工程を統合した一貫システムとして収率 250L/t を達成する技術を確立する。

a)-2 フローとスケジュール

ベンチ装置は工程毎に担当各社が管轄する敷地内に建設し、1ロット 150kg を、適宜バッチに分割して製品／原料を受け渡しする方式とした。

設計は平成 22 年 7 月から開始し、運転は平成 23 年度下期から開始した。



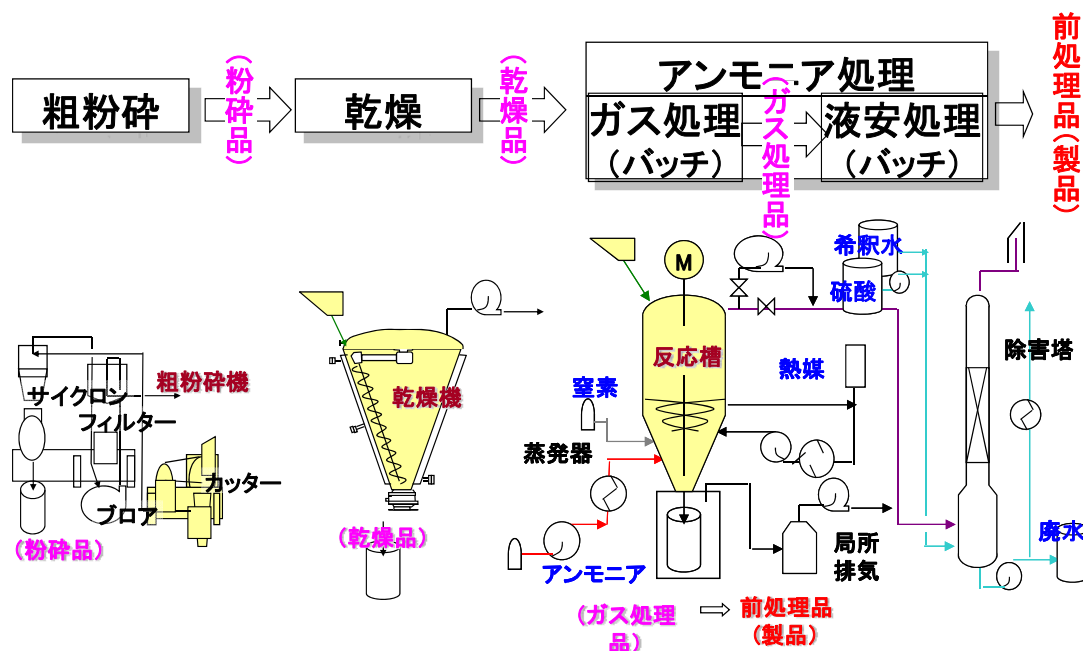
図Ⅲ-2-1-3-(8)-1 ベンチ装置運転フロー

表Ⅲ-2-1-3-(8)-1 ベンチ装置運転スケジュール

	2010年度		2011年度		2012年度		2013年度					
	上期	下期	上期	下期	上期	下期	上期	下期				
基本 ／詳細設計		➔										
機器製作 ／調達			➔									
建設 ／設備工事				➔								
運転					試運転	ラボ条件 ベンチ再現	運転最適化	コスト削減 省エネ				
Run#					Test 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18							

a)-3 各工程の概要

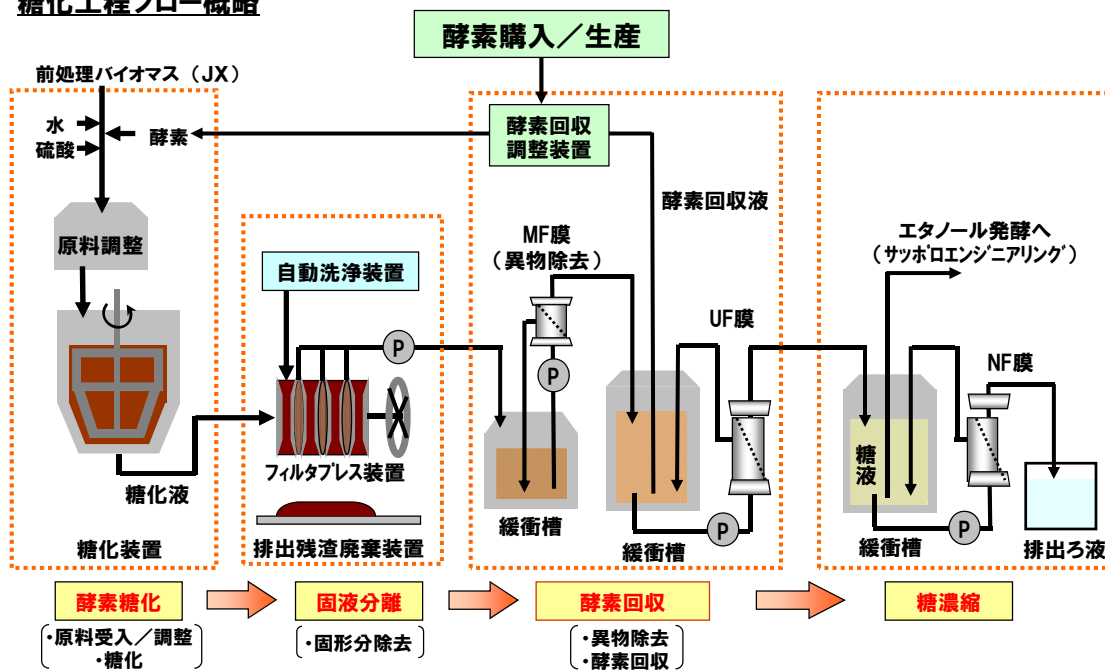
前処理工程は、バイオマスを粗粉碎して乾燥した後、2段処理する設備から成る。ガス状アンモニア処理と液体アンモニア処理は、それぞれバッチ単位で行なう。処理に用いたアンモニアは、除害塔で硫酸アンモニウムとして中和・回収する。



図III-2-1-3-(8)-2 前処理ベンチ装置概要

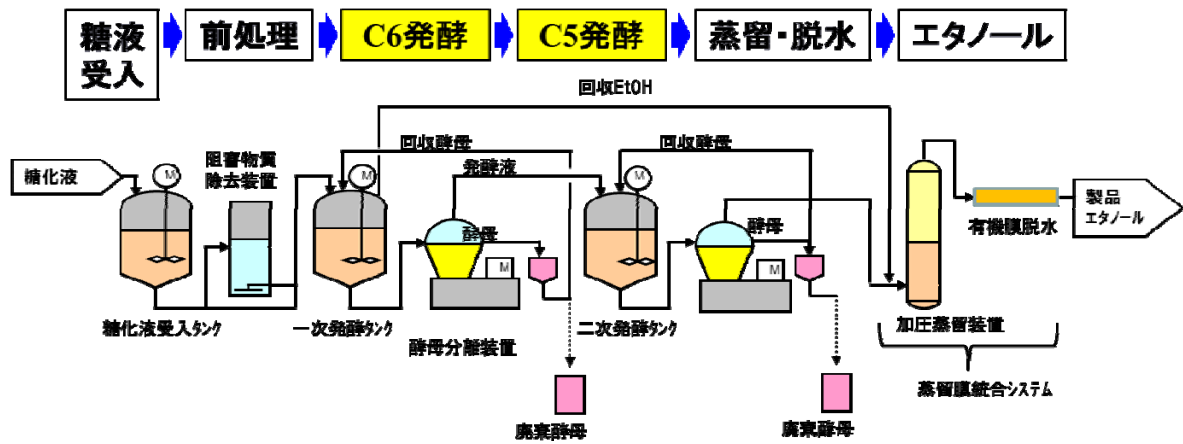
酵素糖化工程は、酵素糖化・固液分離・酵素回収・糖濃縮から成る。酵素糖化では、自製酵素による反応改善及びコストダウンを図った。固液分離ではフィルタープレス装置及び分離膜の最適化による回収率最大化を追及した。糖濃縮工程でも分離膜による最適化(糖の濃縮及び阻害物質の除去)を詳細に検討した。

糖化工程フロー概略



図III-2-1-3-(8)-3 酵素糖化ベンチ装置概要

発酵工程では、2段階発酵法をベースにグルコース発酵・エタノール分離・キシロース発酵・蒸留・脱水を行う。発酵工程全体に占めるエタノール分離工程のエネルギーは約50%程度と高いため、一次発酵を高温で行いつつ同時に気化でエタノールを分離する新2段階発酵法を詳細に検討した。



図Ⅲ-2-1-3-(8)-4 発酵蒸留脱水ベンチ装置概要

**b) 原料供給**

b)-1 目標

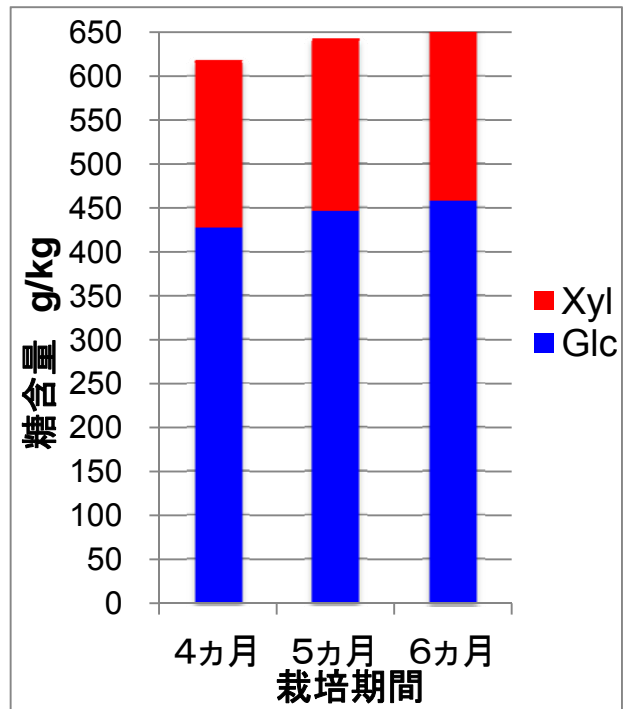
- 1) 原料ネピアグラスについて、高糖質含量（糖含量 625kg/t を想定）を確保する。
- 2) 後段工程（前処理）へ、各 Run あたり 160kg（50kg×3 バッチ+秋田県総合食品センター評価用等予備分析および保管用サンプリング 10kg）の原料を供給する。

b)-2 検討内容

1) 原料における糖含量の確保

糖含量 625kg/t を確保できるネピアグラスの栽培条件を検討するため、種々の調製条件（品種、肥沃度、栽培期間、収穫時期・日照、施肥条件、部位、乾燥方法）で得られたインドネシア産ネピアグラスについて糖含量の比較を行った。その結果、部位別では、組織として若い茎先端部よりも成熟の進んだ茎下部の方で糖含量が高かった。栽培期間では生育が進むとともに糖含量が増加した。品種では現行の品種(Thainland)より糖含量が高いものが見られた。

その他、乾燥方法、肥沃度、日照では多少の増減はあるものの一定の法則性は見られなかった。糖化工程の目標糖化率 80%で糖収量 500g/kg を得るためには原料バイオマス中に 625g/kg 以上の糖が含まれるのが望ましいが、供試試料の中では、施肥（化成肥料）・長期栽培（5ヶ月以上）で収量が 50t/ha・年を超えた圃場から収穫したネピアグラスの茎下部で糖含量 625g/kg 以上が



図Ⅲ-2-1-3-(8)-5 インドネシア産ネピアグラスの調整条件による糖質含量の比較

## 2) 原料供給

圃場・栽培期間・収穫時期・施肥方法等が異なるネピアグラスサンプル 8 種をそれぞれ 320kg 製造してベンチ運転 2 Run 当たり 1 種類の原料を供給し、ベンチ実証装置においてもネピアグラスの調製条件と糖化反応性の関係を評価した。

結果、ベンチ実証運転でも原料調製条件と糖化率の関係を把握すると共に、ベンチ実証装置としての糖収量 254kg/t を実現し、原料供給の役割を完遂した。

### b)-3 まとめ

- 1) 化成肥料栽培 5 ヶ月栽培で 50t/ha・年を超えた圃場から収穫したネピアグラスの茎下部で糖含量 625kg/t を確保できることを見出した。ベンチ実証装置でも糖収量 254kg/t を実現し、原料工程における目標を達成した。
- 2) 全 Run において後段工程(前処理)に 160kg の原料を供給し、技術実証センター内での役割を完遂した。

## c) 前処理

### c)-1 目標

- 1) 酵素糖化率 80%を達成する前処理技術を確立する。
- 2) 後段工程(酵素糖化)へ、各 Run 毎に 150kg の原料を供給する。

### c)-2 検討内容

#### 1) 安定供給

建設当初のベンチ装置ではアンモニア除去に要する時間が運転制約となった。そこで、アンモニア除去(脱圧、脱着方法等)条件を効率化し、除去時間を 80 時間から 6 時間程度まで短縮し、1 バッチの処理を設計の 24 時間より短い 19 時間程度で行うことが可能になった。

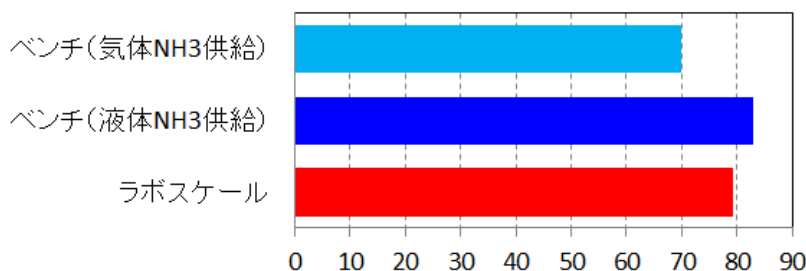
さらに設備改良や糖化反応に適した前処理条件の改善を進めつつ、後段工程(酵素糖化)へ約 150kg/Run (約 1 Run/月) の前処理品を安定的に供給した。

#### 2) 前処理性能

##### ①スケールアップ検討

Run#01 において、エリアンサスを用いてベンチ装置へのスケールアップの確認試験を行ったが建設当初の運転方法ではラボスケールと同等の処理性能を達成することが出来なかった。検討の結果、原因が気相処理時のバイオマス中へのアンモニアの含浸量不足の可能性であることが分かり、気相処理工程へのアンモニア供給方法を、気化器で気化させてから供給する方式から液体アンモニアで供給する方式に変更した。

これにより、制限圧力下におけるアンモニア/バイオマス比が増加し、ベンチ装置でもラボスケールと同等の処理性能を持つ処理方法が確立された(図Ⅲ-2-1-3-(8)-6)。

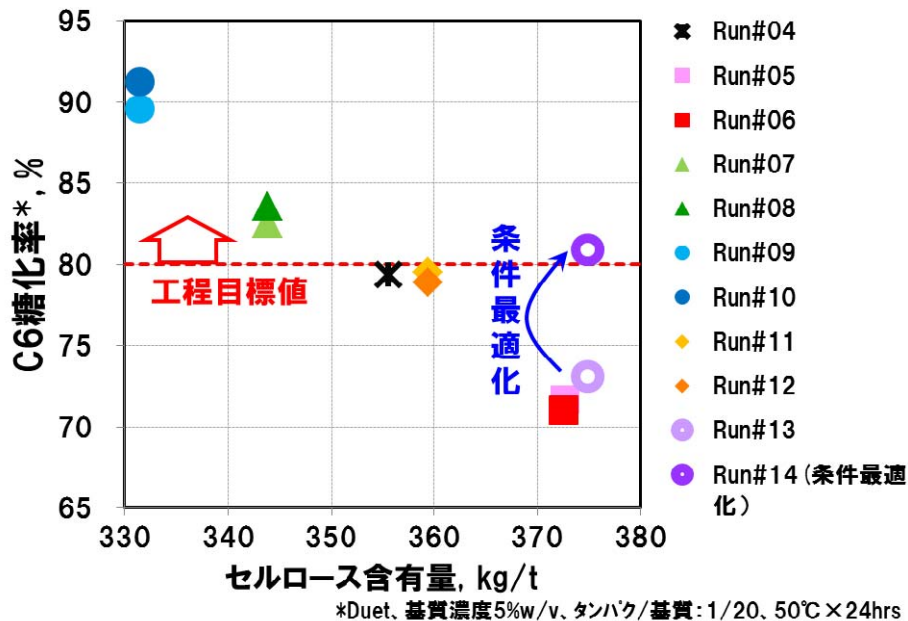


図Ⅲ-2-1-3-(8)-6 スケールアップ検討結果

## ②原料性状と糖化反応性

多様なネピアグラス原料を処理する過程において、糖含量が高い方がアンモニア前処理性能（酵素糖化性）が低い、すなわち、糖含量と糖化率に負の相関があることを見出した（図Ⅲ-2-1-3-(8)-7）。

Run#10において酵素糖化収量 496kg/t を可能とする前処理を実現し（糖含量 558kg/t、前処理：120℃・1.4MPa・5.0h／糖化：酵素量 1/20・24h～糖収率 88.9%）した。糖含量の高い原料（約 600kg/t）を用いた Run#13、14 においても、条件を最適化することで酵素糖化率を 80%まで向上できることを見出した（図Ⅲ-2-1-3-(8)-7）。



図Ⅲ-2-1-3-(8)-7 糖含量と前処理性能の関係

### c)-3 まとめ

- 1) 処理後のアンモニア除去条件を最適化することによって、除去時間を 80 時間から 6 時間まで短縮した。これにより、設計通り 1 バッチ/日の生産体制を確立した。
- 2) 2012 年度下期から、後段工程（酵素糖化）へ約 150kg/Run（約 1 Run/月）で前処理品を安定的に供給し、技術実証センター内での役割を完遂した。
- 3) アンモニア供給方法等気相処理法の最適化により、前処理工程における工程目標値糖化率 80%を達成した。

### d) 酵素糖化

#### d)-1 目標

- 1) 糖化率 80%、酵素回収率 75%の技術実証。
- 2) 糖分離収率 96%の技術確立。

#### d)-2 検討内容

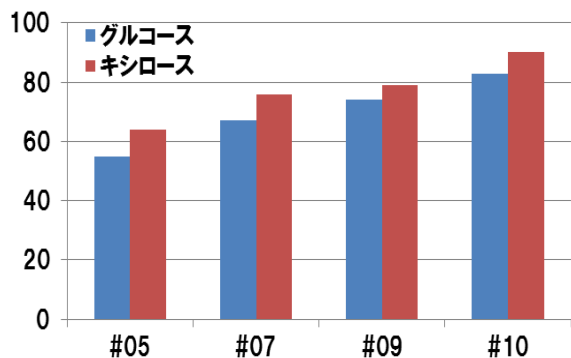
##### 1)安定供給

2012 年 1 月に実証ベンチ設備を完成させ、同月よりテストランおよび模擬前処理バイオマスを用いた動作確認を実施し、同年 6 月に実証試験を開始し、膜処理糖液を安定的に発酵工程に供給した。（2013 年 10 月現在 Run#16 まで実施）

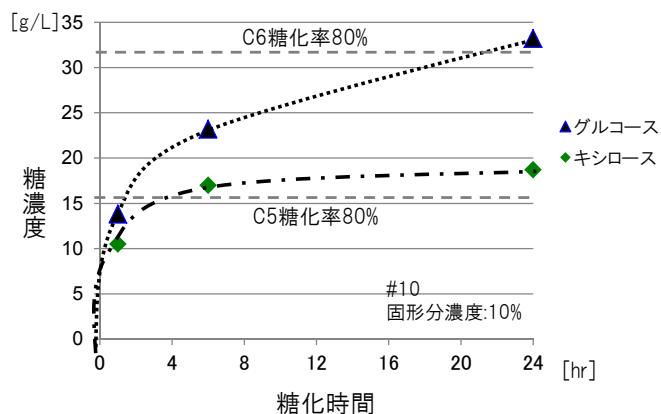
## 2) 性能検討

### ①糖化率 80%, 酵素回収率 75%

バイオマスの栽培条件および前処理の条件（温度・圧力・時間）が Run 毎に改善され、Run#10 において、自製したトリコデルマ培養液を使用し、酵素添加量 1/100（対バイオマス乾燥重量比）の条件で C6 糖化率 83.3%、C5 糖化率 89.6%を達成した。各 Run 毎の糖化率を図Ⅲ-2-1-3-(8)-8 にまとめた。また、Run#10 の糖化反応を図Ⅲ-2-1-3-(8)-9 に示す。ラボ評価と同様の糖化プロファイルが得られた。



図Ⅲ-2-1-3-(8)-8 東レ自製酵素を使用した Run 毎の糖化率推移



図Ⅲ-2-1-3-(8)-9 Run#10 糖化反応挙動

また、ラボで確立した酵素回収技術をベンチ装置に適用し、Run#10 のバイオマスを用いて酵素回収を検討した。自製したトリコデルマ培養液を用いて糖化し、UF 膜濃縮液の回収率（酵素活性）をラボで評価した。結果、UF 膜濃縮液を添加せず、10.0mg/g-バイオマス分の新規酵素を添加した時の糖化率が、UF 膜濃縮液と 2.5mg/g-バイオマス分の新規酵素（自製）を混合して添加した時の糖化率が同一であった。すなわち酵素回収率 75%以上をラボ検討通り、達成したことを確認した。次に、酵素回収率が 75%であると仮定して、得られた UF 膜濃縮液と 2.5mg/g-バイオマス分の新規酵素（自製）を混合してベンチスケールで糖化反応を行ったところ、C6 糖化率 79.5%、C5 糖化率 89.2%を得、目標を概ね達成した。

### ②糖分分離率 96%

固液分離工程においてフィルタープレスで捕捉した糖化残渣の洗浄条件を検討し、収率 99.2%に高めた。また、糖濃縮工程において、糖の濃縮に適切な分離膜を適用し、収率 99.4%を実現した。Run#08 での糖濃縮工程前後の糖のマテリアルバランスを表Ⅲ-2-1-3-(8)-2 に示す。結果、糖分分離率は 98.6%となり、目標 96%以上を達成した。

表Ⅲ-2-1-3-(8)-2 濃縮工程前後糖バランス

成分名	単位	原水	濃縮液	ろ液
液量	L	273	116	170
グルコース	g/L	41.3	96.7	0.3
	kg	11.27	11.22	0.05
キシロース	g/L	22.9	53.6	0.2
	g	6.25	6.22	0.03

### ③ 酵素自製化および自製酵素による糖化

自製酵素をベンチ装置に適用し、市販酵素と同等以上の糖化率を得た (Run#5, 7~10)。

#### d)-3 まとめ

- 1) 酵素糖化率 80%以上、酵素回収率 75%を概ね達成した。
- 2) 糖分離収率 98.6%を達成した。
- 3) 酵素自製化のスケールアップを実施。作製酵素は市販酵素と同等の糖化率を達成した。

### e) 発酵濃縮

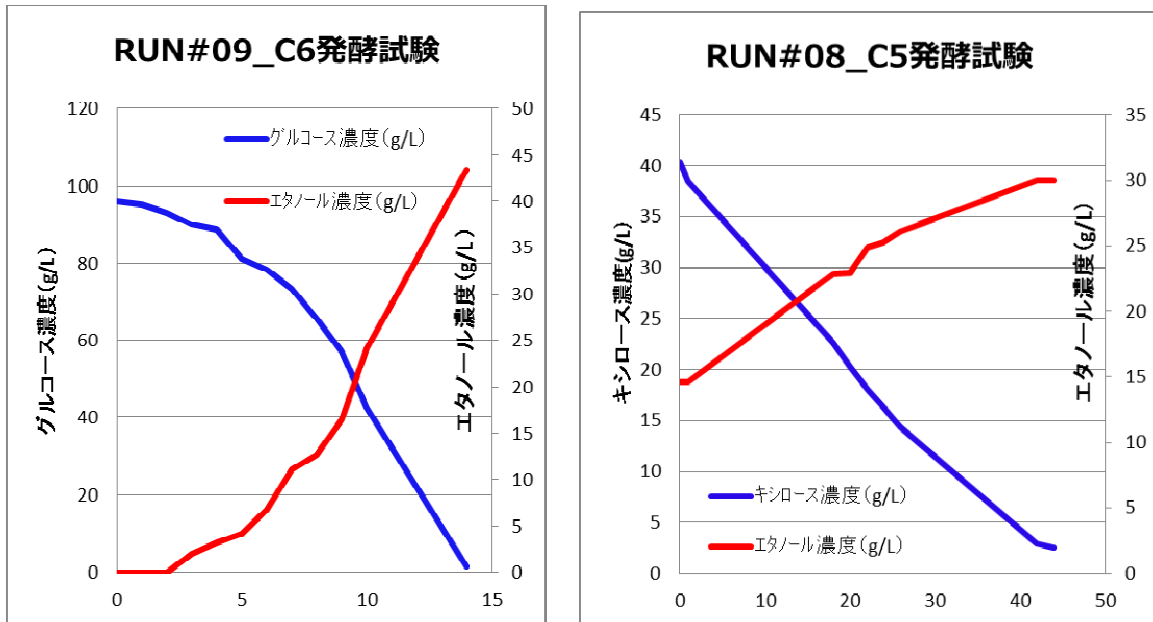
#### e)-1 目標

- 1) グルコースからのエタノール収率 95%・キシロースからのエタノール収率 85%の技術実証および発酵技術の確立。
- 2) 加圧蒸留+有機膜脱水の蒸留膜統合プロセスでの技術実証。
- 3) LPG 蒸留脱水技術のラボ実証検証。

#### e)-2 検討内容

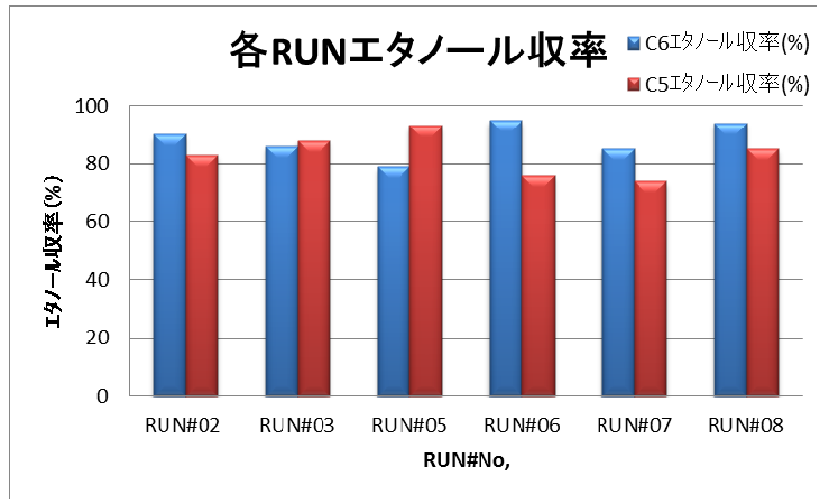
##### 1) 二段階発酵法

一段目のグルコースの発酵において高温発酵性酵母の適用により蒸散エタノール回収を発酵と同時にを行い、発酵工程の消費エネルギーの約 40%を占めていたエタノール分離工程を省略、連続的に二段目のキシロースの発酵に進める二段階発酵プロセスを検証した。インドネシア産ネピアグラスを原料としたバイオマス糖化液を用い、グルコース発酵酵母 (*Schizosaccharomyces japonicas*) を添加、ラボより低酵母濃度からの発酵開始で、グルコースからエタノール収率 95%(Run#09)、キシロース発酵酵母 (*Pichia stipites*) を用いてキシロースからエタノール収率 85%(Run#08)の目標収率を達成した。また、SS4-5 株・TT-E8 株の前培養条件・好気培養技術の確立、バイオマス糖化液の発酵馴化酵母の回収再利用技術を確認、各 Run において安定したエタノール収率を維持可能とし、発酵スケールアップ技術を確認した。



図III-2-1-3-(8)-10 Run#08 における C6・C5 発酵挙動



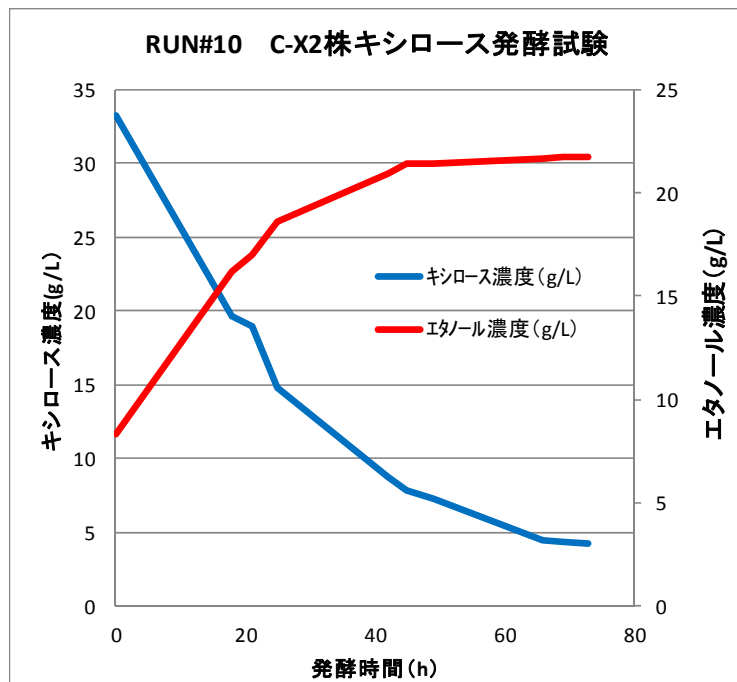


図Ⅲ-2-1-3-(8)-11 各RunにおけるC6・C5エタノール収率

### 2) 新規改良株適用

秋田県総合食品研究センターが本プロジェクトで新規取得した高温発酵性グルコース発酵酵母 SS4-5 株 (*Schizosaccharomyces japonicas*) を用い、37°Cにおいて目標のグルコース発酵収率 95% (Run#09) を達成した。

また、従来株であるキシロース発酵酵母 (*Pichia stipites*) SS39-1 株へエタノール耐性を付与した TT-E8 株を用い、目標の C5 発酵収率 85%を達成した (Run#08)。さらに、株株改良により TT-E8 株より優れた阻害物質耐性を獲得した C-X2 株を検証し、ベンチラボ試験から 79%のエタノール収率を得た。



図Ⅲ-2-1-3-(8)-12 Run#10\_C-X2 株 C5 ベンチ試験

### 3) 加圧蒸留+有機膜蒸留法適用検証

インドネシア産ネピアガラス糖化液の発酵もろみ液を用い、加圧蒸留+有機膜の蒸留膜統合プロセスで、99.0%以上の高濃度エタノールへの濃縮を達成した (Run#10)。



図Ⅲ-2-1-3-(8)-13 EtOH 排出状況



図Ⅲ-2-1-3-(8)-14 蒸留 EtOH

表Ⅲ-2-1-3-(8)-3

ロット名	膜濃縮条件	濃縮前 EtOH 濃度	濃縮 EtOH 濃度
RUN#10	一次側 0.285Mpa 二次側 15kPa	7.5vol%	99.4 vol%

#### 4) LPG 蒸留脱水技術検証

ベンチ実証試験で製造されたインドネシア産ネピアグラス糖化液 5.5%(w/w) (Run#12) 発酵液を用いてラボ試験を行った。濃縮エタノールは、JIS K2190 燃料用エタノール規格適合であることを確認した。分析結果を表Ⅲ-2-1-3-(8)-4 に示す。

表Ⅲ-2-1-3-(8)-4 LPG 蒸留脱水技術のラボ評価で得られた濃縮エタノールの分析結果

試験項目	単位	RUN#12	規格値
外観		無色透明・混濁物・浮遊物なし	無色又は淡黄色透明で懸濁物や浮遊物のないこと
アルコール分,体積分率	%	99.9	99.5以上
メタノール	g/L	0.19	4.0以下
水分、質量分率	%	0.16	0.70以下
有機不純物	g/L	2.91	10以下
電気伝導度	μS/m	140	500以下
蒸発残分	mg/100mL	2.4	5.0以下
銅	mg/kg	0.10未満	0.10以下
酸度	%	0.0014	0.0070以下
pHe		7.7	
硫黄分	mg/kg	2	10以下

e)-3 まとめ

- 1) 全糖収率 92% (C6 エタノール収率 95%、C5 エタノール効率 85%)、発酵目標を達成した。
- 2) 酵母前培養技術を確認、発酵スケールアップ技術を得た。
- 3) 加圧蒸留+有機膜脱水技術を用いて、加圧蒸留塔において約 30vol%の低濃度 EtOH を生成、99.4%以上のエタノール濃度を実現、20 万 kL/年プラントにおいて 3.5MJ/L で蒸留可能であることを確認した。

f) 総括

f)-1 ベンチ実証における収量目標達成状況

一貫システムの収量目標 (250L/ t) に向け、各工程での想定 (原料糖含量 625kg/t、前処理回収率 100% / 酵素糖化収率 80% / 発酵収率 C6 : 95%・C5:85%) を目途に運転改善を積み重ねた。その結果、栽培・収穫条件の絞り込み / 自製酵素使用条件最適化 / 酵母の改良等により、Run#10 までの成績によりエタノール収量 254L/t を実現した。

表Ⅲ-2-1-3-(8)-5 エタノール収量改善検討

工程	原料	前処理	糖化		発酵		濃縮 脱水	エタノール 収量		
			糖化	固液分離 膜分離	発酵	酵母分離				
目標/想定	工程収率 %	--	100	G:80 X:80	固液:99 膜:97	C6:95 C5:85	96	95	--	
	糖 kg	625	625	500	480					
	EtOH L					274	263	250	250	
ベンチ実績	工程収率 %	--	100	G:83.3 X:89.6	固液:99.2 膜:99.4	C6:94 C5:85	97	94.7	--	
	糖 kg	551	551	477	470					
		Glc kg	365	365	304	300				
		Xyl kg	193	193	173	171				
	EtOH L					276	268	254	254	

f)-2 まとめ

- 1) インドネシアでの原料栽培から前処理・酵素糖化・発酵濃縮まで 全工程の運転を計 18 回完遂し、当センターの保有技術が中規模スケールでも成立することを実証した。
- 2) 原料生産工程での栽培条件、前処理工程での運転条件 (温度・圧力・時間等) 最適化、糖化工程での使用酵素最適化、発酵濃縮工程での新 2 段発酵技術採用等、抽出した各工程の問題点・課題に基づき必要な改善を実施し、最適工程を確立した。
- 3) マテリアル・ユーティリティバランスのデータから、コスト・GHG・化石エネルギー収支の検討に必要な情報を整理した。システム評価でこれを元に検討を進めた結果、コスト 80 円/L 以下・GHG 削減率 50%以上・化石エネルギー収支 2 以上 を達成する見通しを得た。
- 4) 全工程を統合した一貫システムとして、Run#10 までにバイオマスからのエタノール収量 254L/t を実現した。

## (9) 一貫生産システムの最適化

### a) 一貫生産システム評価の概要

1) 目的：原料バイオマス生産からエタノール製造までの一貫生産システムの確立

2) 目標：製造コスト : 80 円/L  
GHG 排出量削減率 : 50% (対ガソリン比)  
化石エネルギー収支 : 2

3) 内容

- ・原料バイオマス供給(植物栽培・貯蔵・運搬)／前処理(粉碎・乾燥・アンモニア処理)／糖化(酵素糖化・固液分離・膜濃縮)／発酵濃縮(C6・C5 発酵・酵母分離・蒸留・脱水)について、各工程の能力及び一貫生産システム評価に必要な基本性能を把握した。
- ・各工程で必要な改善事項及び工程間連携に必要な調整事項を検討し、エタノール製造能力 20 万 kl/y の一貫生産システムとしての計画条件を設定した。またこの条件を、本システムの能力を実証するベンチ装置の設計に反映させた。
- ・上記設定に基づき、各装置の概念設計・ベンチ装置での実証運転・実験室での補助データ採取等により、一貫生産システム評価に必要なデータを整理し、3 指標(製造コスト・GHG 排出量削減率・化石エネルギー収支)を評価した。
- ・以下、3 指標の改善に資する諸施策を検討し、設計変更・ベンチ装置運転条件変更・実験データ確認等によりその成否を検証し、成立する成果を積み重ねた。
- ・最終的に、  
3 指標の目標値(製造コスト：80 円/L、GHG 排出量削減率：50%、化石エネルギー収支：2)  
を達成する見通しを得た。以下に詳細を示す。

### b) コスト評価

b)-1 目標

エタノール製造コスト 80 円/L を達成する

b)-2 コストの算定方法

固定費として

建設費(製造設備：前処理(粉碎・アンモニア処理)・糖化・発酵・蒸留・脱水等

付帯設備：ボイラー・発電・排水処理・工業用水供給・純水製造・窒素製造等を、減価償却条件・ロケーションファクター等を考慮して)

人件費・保守費・保険料等

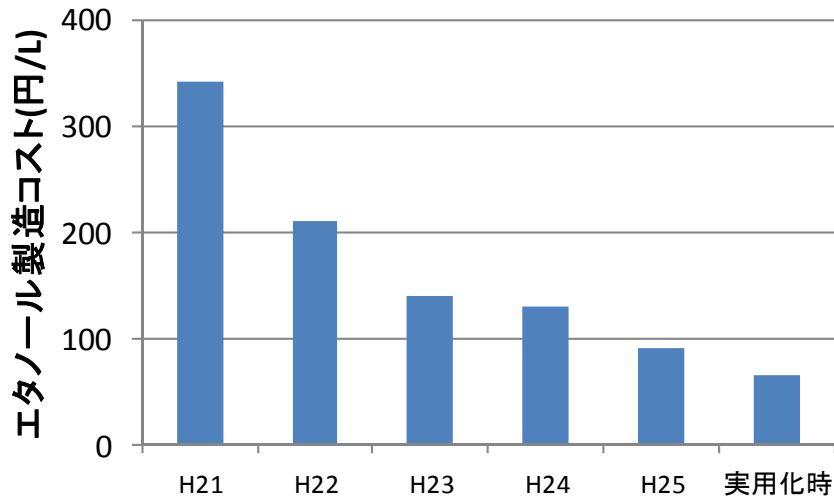
変動費として

原料バイオマスの生産に係るコスト

酵素・アンモニア他薬品類・購入電力・軽油等の現地調達価格に基づくコスト等を整理し、評価した。

b)-3 検討内容

年度毎のコスト評価結果の推移を図Ⅲ-2-1-3-(9)-1 に示す。



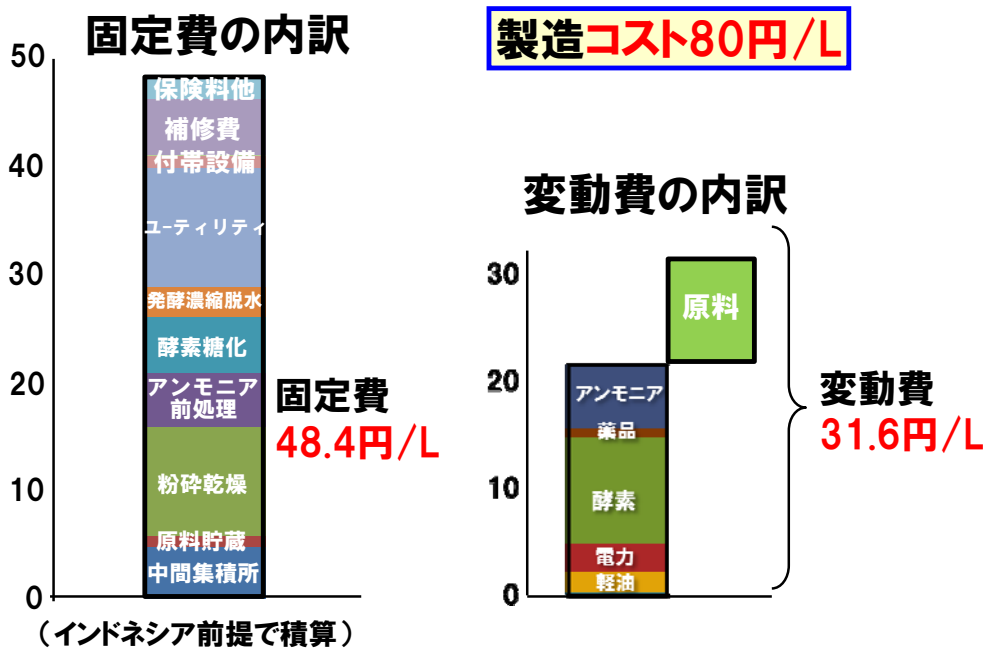
図Ⅲ-2-1-3-(9)-1 エタノール製造コスト評価結果

当初想定していたプロセスは、高圧一段アンモニア処理・原料の真空乾燥・市販酵素の購入等であり、エタノール製造コストは、(設備費を中心とした)固定費・変動費の両面から目標を大きく上回る巨額となった。これに対し、プロセスの見直しを実施し、アンモニア処理の高圧一段から低圧二段への変更・原料乾燥の真空乾燥方式から気流乾燥方式への変更・糖化酵素の自製化 及び そのコスト削減等、プロセスの大幅な見直しを行った。

設備費については、上記に加え、貯蔵能力の最適化(保管期間短縮)、各種設備の効率化(バイオマス(BM)ボイラー小型化・乾燥機大型少数化等)で削減を迫及すると共に、現実的な事業環境(インドネシア想定(償却条件(16年)・ロケーションファクター)等考慮)で積算したところ、固定費は48円/Lとなった。

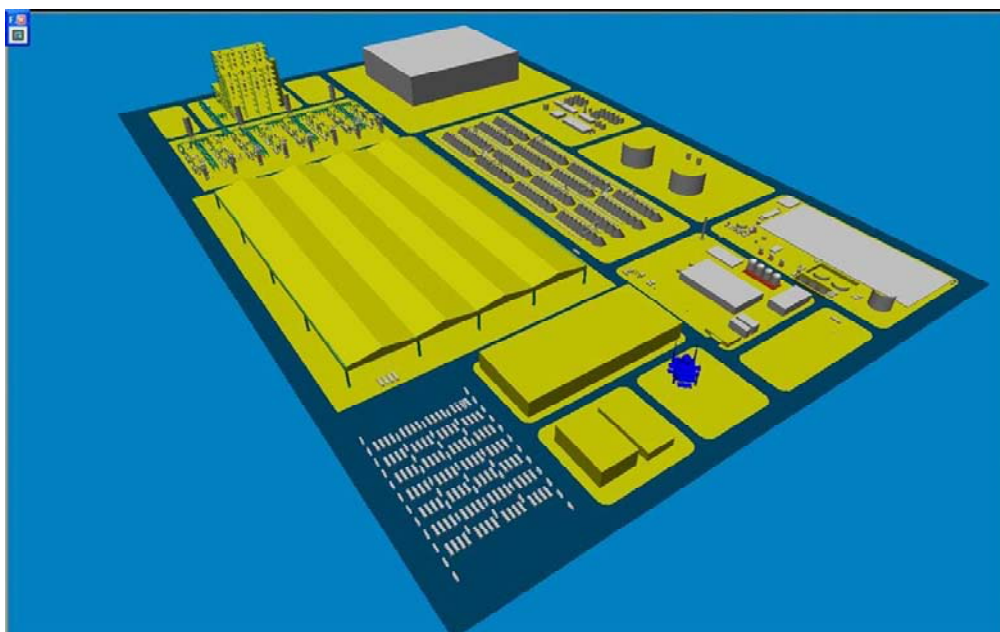
変動費についても、糖化残渣及び廃酵母の燃料化によって軽油・購入電力の消費量削減を行うとともに、酵素糖化・蒸留等における省エネルギー成果を原料乾燥工程に適用するエネルギー使用の最適化によって工場内軽油消費量のゼロ化を実現し変動費は32円/Lとなった。

以上より、設備費と変動費を合わせ、エタノール製造コスト80円/Lの見通しを得ることが出来た。最終的なコスト構成を図Ⅲ-2-1-3-(9)-2に示す。



図Ⅲ-2-1-3-(9)-2 エタノール製造コスト構成 III-72

事業性を更に向上させるためには、設備費の更なる圧縮の必要性が非常に高い。中でも、前処理粉碎乾燥工程の比率が非常に高く改善余地も大きいため、この部分の削減が非常に重要と考えられる。変動費においては、自製酵素(製造コスト・活性・回収)の最適化による酵素コスト削減が最大の鍵と考えられる。図Ⅲ-2-1-3-(9)-3 に、本プロジェクトにおける一貫製造工場の概要を示す。



図Ⅲ-2-1-3-(9)-3 エタノール製造工場概要

#### b)-4 まとめ

計画条件での一貫生産プロセスにおいて、エタノール製造コスト 80 円/L を達成する見通しを得た。

### c) GHG 評価

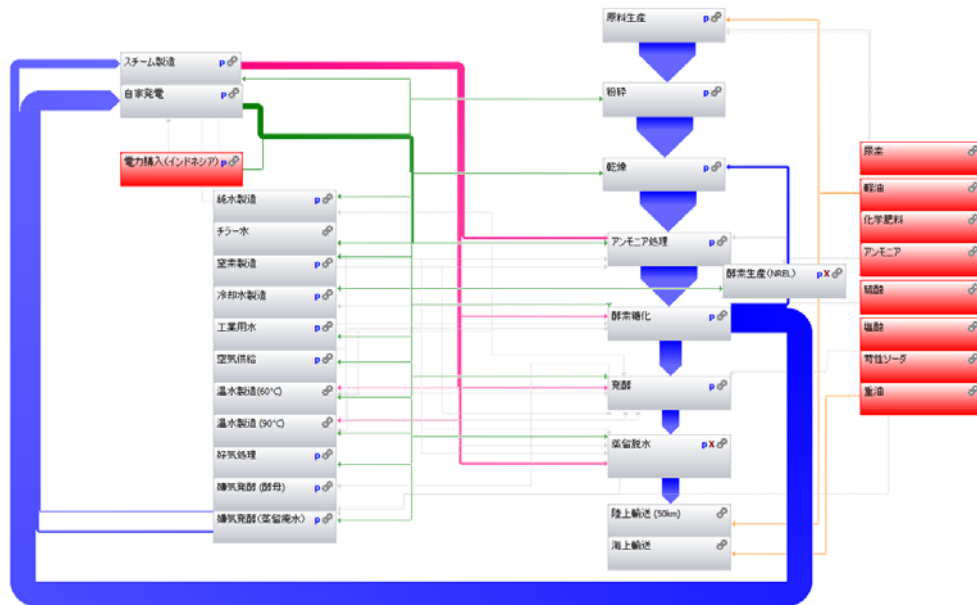
#### c)-1 目標

温室効果ガス(以下 GHG と略記) 排出量削減率 50%(対ガソリン比)を達成する。

#### c)-2 GHG の算定方法

原料バイオマスの栽培から エタノール製造、製品輸送まで含めた一貫システムにおいて、原材料・燃料・エネルギー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)への基本フローとしての GHG 排出量)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。対象ガスは  $\text{CO}_2$ ・ $\text{CH}_4$ ・ $\text{N}_2\text{O}$  とし、原料供給工程では肥料製造に伴う GHG 排出の他栽培土壌からの施肥に起因する  $\text{N}_2\text{O}$  排出も計上した。製造工程ではエネルギー使用及び化学物質の製造・調達に伴う GHG 排出および燃料としての残渣燃焼に伴う GHG 発生、原料・製品輸送では使用した化石燃料起源の GHG を計上した。平成 23 年度からは LC 解析ツール GaBi4 により、工程毎に物質・エネルギーフローを整理した(図Ⅲ-2-1-3-9-(4))。

GHG 削減率は、ガソリンのライフサイクル GHG 排出量 81.7gCO<sub>2</sub>eq/MJ から算出した。



図III-2-1-3-(9)-4 GaBiによるエネルギーフロー評価事例

## c)-3 検討内容

GHG 評価においては、低圧 2 段アンモニア処理・圧縮液化アンモニア回収、加圧蒸留・有機膜脱水等、各種改善を反映させた段階から検討を開始したが、事業当初の GHG 排出量はガソリンを大きく上回り、50%削減の目標達成に向けては大幅な改善が必要な状況が判明した。

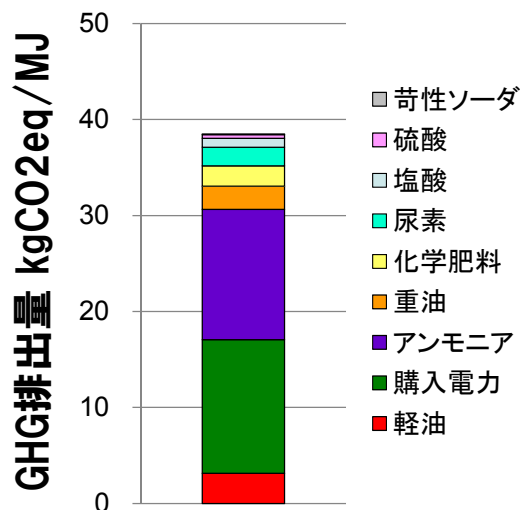
精度の高い検討に向けては、LCA 解析ツール GaBi4 の活用を開始、マテリアル・ユーティリティバランスシートを構築して工程毎に物質・エネルギーフローを整理し、RTFO(Renewable Transport Fuel Obligation：英国の再生可能運輸燃料導入義務制度)や産業環境管理協会のデータベース (IDEA v. 1.1.0) を始めとする、一般に広く用いられている最新のデータベースに基づいた解析を開始した。

まず、糖化残渣のバイオマスボイラ燃焼、廃酵母・蒸留廃液メタン発酵によるエネルギー回収等のエネルギー自立指向策や蒸留排熱回収等の省エネルギーによって投入エネルギー削減を迫及、外部から投入する軽油・買電等を大幅に削減して基盤を整備し、目標の GHG 削減率 50% を射程内に捉えた。

更なる GHG 削減のためには、原材料・エネルギー消費の削減(量)に加え、GHG 排出係数の高いエネルギー源から排出係数の低いエネルギー源への転換(質)も重要な鍵となる点に着目、削減すべきはまず軽油、次いで買電であることを確認し、製造技術面の省エネルギー努力 (エタノール濃縮脱水工程での蒸留-脱水間エタノール濃度最適化・酵素糖化工程での攪拌電力の削減 等) で獲得した糖化残渣エネルギーの余裕代を軽油の代替として原料乾燥に適用して工場内軽油ゼロ化を実現した。

結果、GHG 削減率 52% と、目標の 50% を達成する見通しを得た。

最終的な GHG 排出構成を図 III-2-1-3-(9)-5 に示す。工場内軽油ゼロ化により軽油消費は大幅に減少した。更なる GHG 削減率の向上に向けては、各工程での省エネルギーによる購入電力削減が最も効果的であり、買電ゼロ化による工場内完全エネルギー自立が望まれる。アンモニアは現工程においては極限まで使用量削減・回収が進んでいるため、これを改善するには、現状では製造システムから系外へ排出されているアンモニアの循環利用などが次のステップでの課題であると捉えている。



図Ⅲ-2-1-3-(9)-5 GHG 排出構成

c)-4 まとめ

・計画条件での一貫生産プロセスにおいて、GHG削減率50%を達成する見通しを得た。

d) 化石エネルギー収支の評価

d)-1 目標

化石エネルギー収支2を達成する

d)-2 化石エネルギー収支の算定方法

GHGと同様、原料バイオマスの栽培からエタノール製造 更には 製品輸送まで含めた一貫システムにおいて、原材料・燃料・エネルギー等の使用に伴う環境負荷（ここでは外部から一貫生産システムへの基本フローとしての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を評価対象とした。

原料供給工程については、肥料の製造、収穫作業等の燃料使用に起因する化石エネルギー資源の消費量を、製造工程については電力・蒸気などの使用エネルギー量及びその他のユーティリティや化学物質の製造・調達に起因する化石エネルギー資源の消費量、原料・製品輸送については液体燃料に起因する化石エネルギー資源投入量を計上した。化石エネルギー資源消費原単位は、産業環境管理協会のデータベース (IDEA v. 1. 1. 0) (記載の無いものについては GaBi 標準搭載のデータベース) を使用した。

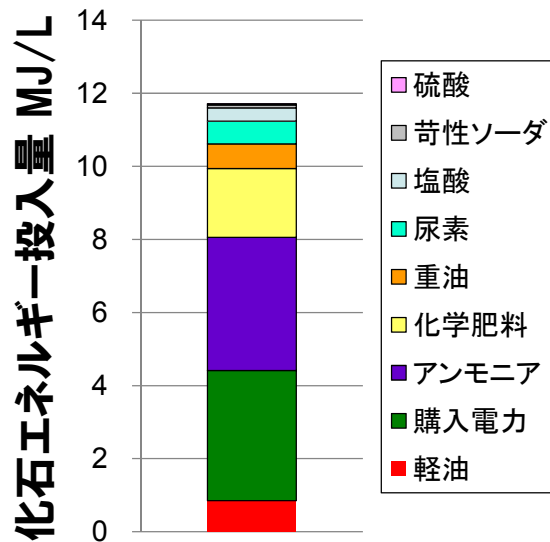
化石エネルギー収支は、(製品エタノール発熱量/一貫生産システムへの化石エネルギー資源投入量) で算出した。

d)-3 検討内容

化石エネルギー評価においても、低圧2段アンモニア処理・圧縮液化アンモニア回収、加圧蒸留・有機膜脱水等、各種改善を反映させた段階から検討を開始したが、検討当初は、目標化石エネルギー収支2の達成に向けては大幅な改善が必要な状況であった。GHG 検討と同様に LCA 解析ツール GaBi4 を活用して主要な改善策を実施した結果、H25 年度において化石エネルギー収支は 2.0 となり、目標の 2 以上を達成する見通しを得た。

最終的な化石エネルギー投入構成を図Ⅲ-2-1-3-(9)-6 に示す。





図III-2-1-3-(9)-6 化石エネルギー投入構成

d)-4 まとめ

・計画条件での一貫生産プロセスにおいて、化石エネルギー収支2以上を達成する見通しを得た。

e) 総括

e)-1 本事業における成果のまとめ

工場レイアウト・用役設備・バッテリーリミット・現地事情等の各種因子を最大限考慮した綿密な積算、マテリアル・ユーティリティバランスシートや LCA 解析ツールを用いた高精度な解析により、一貫生産システム構築の成果を評価した。

その結果、

エタノール製造コスト 80 円/L

GHG 削減率 50%

化石エネルギー収支 2

を達成する見通しを得た。

## 2-1-4 知的財産権等の取得及び成果の普及

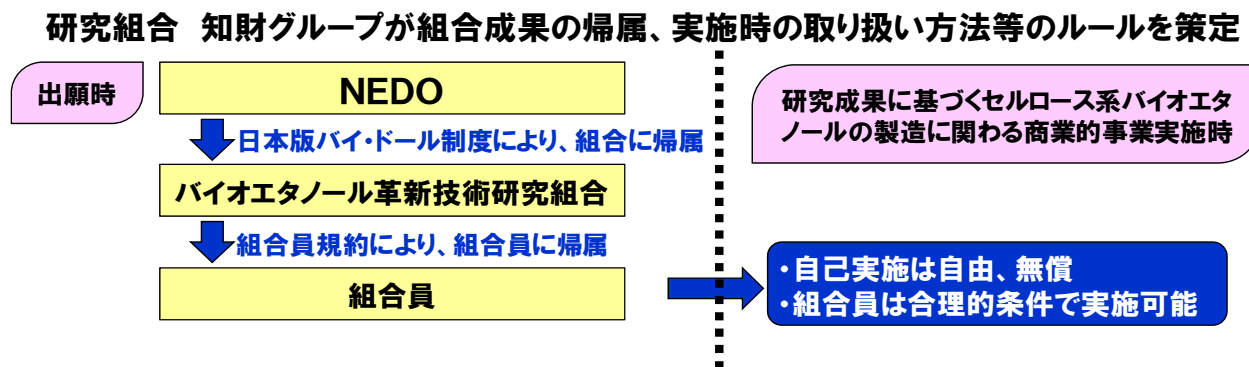
本事業における年度ごとの特許、論文、対外発表の状況を表Ⅲ-2-1-4-1に示した。特に、本事業の成果、活動をアピールするために外部発表を数多く実施した。

表Ⅲ-2-1-4-1 特許、論文、対外発表等の状況（経過）

区分 年度	特許出願			論文・専門誌・図書		その他外部発表		
	国内	外国	PCT※ 出願	査読付き	その他	学会発表・ 講演	新聞・雑誌等 への掲載	その他
H21FY	2件	0件	0件	1件	5件	22件	5件	0件
H22FY	3件	1件	0件	3件	1件	32件	2件	1件
H23FY	4件	0件	0件	4件	3件	34件	4件	2件
H24FY	3件	2件	0件	3件	2件	29件	2件	1件
H25								
合計	12件	4件	0件	11件	11件	117件	13件	4件

(※Patent Cooperation Treaty：特許協力条約)

また、研究組合の知財グループが中心となって組成果の帰属、実用化時の知的財産権の取り扱いの基本スタンスを策定している。成果の出願時には、NEDOより日本版バイドール制度により、知的財産権は研究組合に帰属するが、組合員規約により成果をなしたそれぞれの組合員に帰属させることを取り決めている。実施にあたっては、本事業の目的であるセルロース系エタノールの製造に関わる商業的事業を実施する場合に、自己実施は自由、無償、また、組合員は他の組合員の保有する知的財産権も合理的な条件で実施できると定めている。(図Ⅲ-2-1-4-1)



図Ⅲ-2-1-4-1 知的財産権の取り扱いについて

## 2-2 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

### 2-2-1 研究開発の概要

木質系バイオマスは、セルロース、ヘミセルロースおよびリグニンがお互いに複雑に絡み合いネットワーク構造を形成し、それぞれが部分的に化学結合してより強固な構造体となっている。セルロースの糖化は硫酸で加水分解する方法が先行して開発されており、その方法には希硫酸法と濃硫酸法がある。硫酸法では成分分離および中和処理が必要で、コストアップの要因となっている。更に、硫酸加水分解では過分解により高い糖収率が望めない。従って、木質系バイオマス原料からの単糖製造技術としては、木質を非硫酸法で前処理後、酵素により糖化する技術にシフトすることが必須であると考えられる。

そこで本事業では、以下の技術開発を柱として、早生樹の植栽から前処理、糖化発酵、蒸留、廃棄物処理のバイオエタノール一貫プロセス全体の最適化を行った上で、事業性の判断を行うことを目的とした。

早生樹原料は樹種、伐採時期、産地などによって、糖質、リグニン、灰分などの組成が異なり、これらの原料毎にメカノケミカル前処理条件の最適化が必要になる。一貫プロセス全体での最適化とは、この前処理から前処理によって影響を受ける前処理時のレファイナー磨砕動力、前処理後の糖質の回収率、酵素必要量、併行糖化発酵時の酵素による糖化速度、最終的な糖化率、発酵への影響の有無、酵素回収への影響、エタノール収率などコスト、エネルギー収支に影響する一連の全ての項目を評価し最もエネルギー、コスト削減が可能なプロセスの構築を行うことである。本事業ではさらにこれをパイロットプラントで実証することを目指した。また早生樹は五炭糖の含量が高いため、これをエタノールに発酵できるように酵母、特に高温性酸塩耐性酵母にセルフクローニングによりペントース発酵能を持たせ、エタノール収率の向上を実現することも技術開発の柱として実施した。

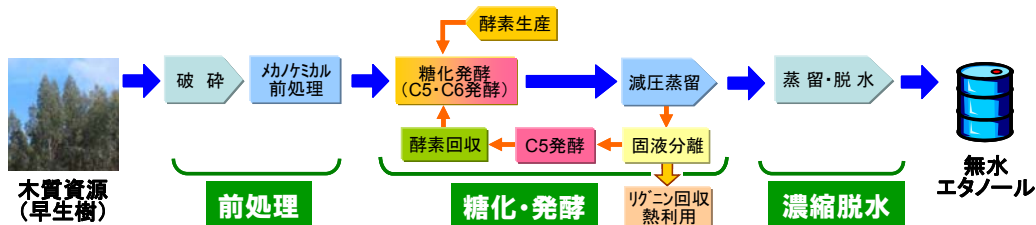


図 III-2-2-1 早生樹からのメカノケミカルパルピング前処理によるエタノール一貫生産システム

具体的には以下の技術開発を目指した。

- ①植栽による低コスト原料の調達：紙パルプ産業がこれまで実施してきたパルプ用植林の技術を応用した、エタノール生産に適した早生樹の低コスト原料供給システムの構築。
- ②前処理：湿式粉砕法をベースとしたナノ空間形成法を、既に大規模に工業化している紙パルプ製造設備に応用展開し、木質組織構造をゆるめると同時にセルロースフィブリルをナノレベルで解離させて、酵素反応性を著しく高める前処理技術の最適化。
- ③糖化：酵素糖化の生成物障害の回避、高濃度化、酵素反応速度向上を実現する併行糖化発酵技術、酵素コストを下げるため、酵素の繰り返し利用を効率化する連続プロセス及び酵素の自製。
- ④発酵：酵素の最適温度 50°Cに近い条件で併行糖化発酵を行うための、高温性酸塩耐性酵母の利用、五炭糖からエタノール発酵を可能とする酵母の育種。
- ⑤濃縮：蒸留の省エネルギー化を可能にする自己熱再生技術及び酵素回収を可能にする低温（高真空）、水分蒸発・酵素濃縮機能を付加した酵素回収型自己熱再生蒸留技術の確立。
- ⑥パイロットプラントによる実証試験：1日原料処理量1tの能力を持つパイロットプラントにより、実

際に植栽した原料からのエタノール製造の実証試験。

⑦一貫プロセスとして全体としてエネルギー収支、コストを最小化したうえでの事業性の評価。

本研究開発は以下の実施体制で進めた。

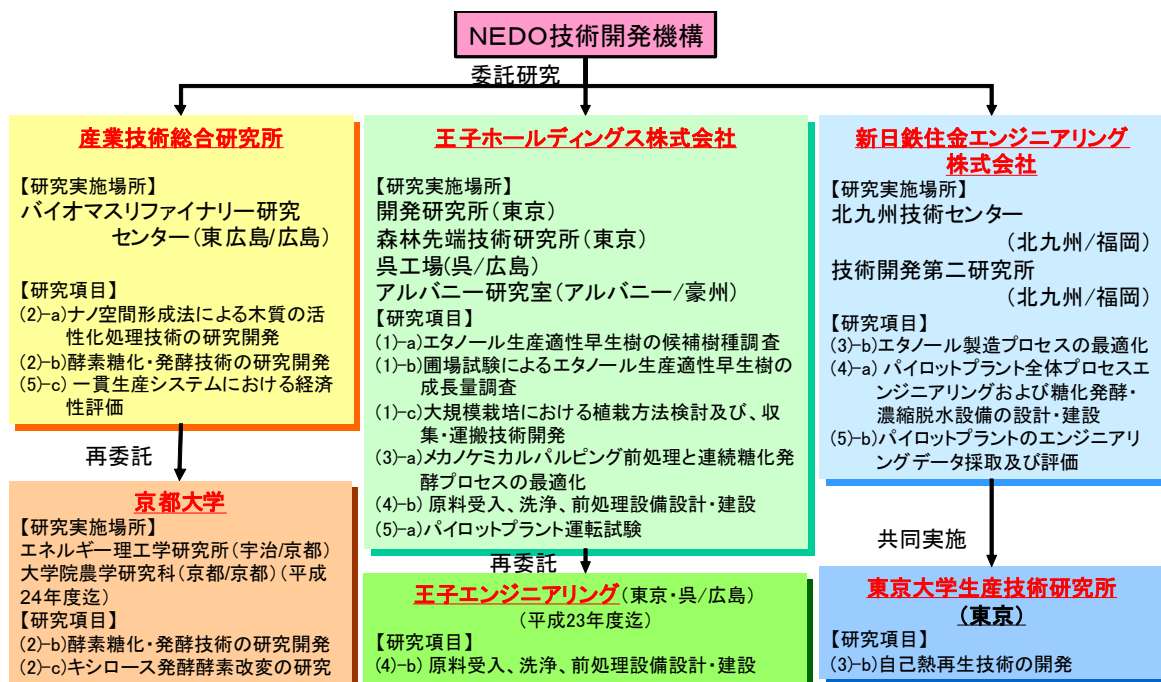


図 III-2-2-2 体制と役割分担

#### A) 王子ホールディングス株式会社

紙パルプ産業で培った国内外の植林技術、紙パルプ製造設備を応用する前処理、これまで NEDO プロジェクトなどで実施してきた糖化、発酵技術を背景に、原料からエタノール発酵までの一貫プロセスの基盤研究と実用化に向けた以下の研究開発を実施した。

- (1-a) エタノール生産適正早生樹の候補樹種調査
- (1-b) 圃場試験によるエタノール生産適正早生樹の生長量調査
- (1-c) 大規模栽培における植栽方法検討および、収集・運搬技術開発
- (3-a) メカノケミカルパルピング前処理と連続糖化発酵プロセスの最適化
- (4-b) 原料受入、洗浄、前処理設備設計・建設
- (5-a) パイロットプラントの運転試験

#### B) 独立行政法人産業技術総合研究所

本技術開発の基となる前処理、糖化、発酵の基盤技術の開発実績と、これらを可能にする広範な基礎研究の実績を背景に、本プロジェクトの実用性を高め、実用化を促進するための以下の基盤技術開発を行った。

- (2-a) ナノ空間形成法による木質の活性化処理技術の研究開発
- (2-b) 酵素糖化・発酵技術の研究開発
- (5-c) 一貫生産システムにおける経済性評価

#### C) 新日鉄住金エンジニアリング株式会社

これまで NEDO プロジェクトなどで実施してきた都市ゴミや産業廃棄物からのエタノール製造技術の開発実績を基に、以下に示す本プロジェクトの糖化発酵、エタノールの濃縮脱水プロセスの実

用化研究とパイロットプラント建設を分担した。また実用機へのスケールアップに向けて、プラント全体のエネルギーバランスなどエンジニアリングデータの採取、評価を担当した。

(3)-b) エタノール製造プロセスの最適化

(4) パイロットプラント設備設計・建設

(5)-b) パイロットプラントのエンジニアリングデータ採取及び評価

#### D) 王子エンジニアリング株式会社

王子ホールディングスからの再委託として、以下に示す本プロジェクトのパイロットプラントの前処理設備の設計、建設を担当した。王子ホールディングスの工場・設備の設計、建設を担当する子会社であり、紙パルプ設備に精通している。

(4)-b) 原料受入、洗浄、前処理設備設計・建設

#### E) 京都大学

産総研からの再委託先として、基盤技術の開発を担当した。これまでの酵母の五炭糖発酵の研究実績、酵素の基礎研究を背景に以下の研究を分担した。

(2)-b) 酵素糖化・発酵技術の研究開発

(2)-c) キシロース発酵酵素改変の研究

#### F) 東京大学

新日鉄住金エンジニアリングと共同実施の形で参画した。エネルギー収支改善に重要であると考えられる蒸留エネルギーのエネルギー収支改善に新しい技術開発を実施してきた実績がある。

(3)-b) 自己熱再生技術の開発

また、本プロジェクトの研究開発スケジュールを図 III-2-2-3 に示した。

事業項目	平成21年度		平成22年度		平成23年度		平成24年度		平成25年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期	上期	下期	上期	下期
(1)エタノール生産適性早生樹の大量栽培技術開発										
(1)-a) エタノール生産適性早生樹の候補樹種調査(王子HD)										→
(1)-b) 圃場試験による、エタノール生産適性早生樹の生長量調査(王子HD)										→
(1)-c) 大規模栽培における植栽方法検討および、収集・運搬技術開発(王子HD)										→
(2)プロセス最適化のための基盤研究										
(2)-a) ナノ空間形成法による木質の活性化処理技術の研究開発(産総研)										→
(2)-b) 酵素糖化・発酵技術の研究開発(産総研)										→
(2)-c) 五炭糖発酵酵母および酵素生産菌の分子機能改変の研究(京都大学)										→
(3)一貫プロセス最適化研究										
(3)-a) メカケミカルバルピング前処理と連続糖化発酵プロセスの最適化(王子HD)										→
(3)-b) エタノール製造プロセスの最適化(王子HD、新日鉄住金エンジ、東京大学)										→
(4)パイロットプラント設備設計・建設										
(4)-a) パイロットプラント全体プロセスエンジニアリング及び糖化発酵・濃縮脱水設備設計・建設										→
(4)-b) 原料受入、洗浄、前処理・糖化発酵設備設計・建設(王子エンジ)										→
(5)パイロットプラント運転試験および経済性評価										
(5)-a) パイロットプラント運転試験(王子HD)										→
(5)-b) パイロットプラントのエンジニアリングデータ採取および評価(新日鉄住金エンジ、王子エンジ)										→
(5)-c) 一貫生産システムにおける経済性・GHG評価(産総研)										→
(6)研究開発推進委員会の開催(王子HD、産総研、新日鉄住金エンジ)	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
(7)報告書などの取纏め(王子HD、産総研、新日鉄住金エンジ)		○		○		○		○		○

図 III-2-2-3 開発スケジュール

## 2-2-2 研究開発の目標設定

「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、CO<sub>2</sub>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、食料と競合しない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、研究開発を実施した。また、環境負荷・経済性などを評価することを目的とした。

これらの目標であるコスト40円/Lについては特に原料費と酵素費が大きい。原料コストについては、ほとんどのバイオマス原料からのエタノールの収量は1～3割程度なので、エタノール1L製造に必要な原料は3～10kgであり、原料が5円/kgで調達できたとしても1Lのエタノール製造の原料コストだけで15～50円かかる。また酵素のコストも大きい。酵素自体の価格は米国DOEが2大酵素メーカーに対して行った酵素価格削減の研究委託によって、1kgあたり1,000円であった価格が、大量に購入すれば1kgあたり300円程度までに価格が低下したが、それでも標準的な酵素の使用量で、エタノール1Lあたりの酵素のコストは100円を超える。原料費と酵素費だけで115～150円かかる。エタノールの製造コスト

を 40 円にするためには、原料コストや酵素コストを大きく削減する技術が必要である。

目標 40 円/L の達成に向けて、原料コストは紙パルプの経験を活かして、エタノール生産に適した植物の選抜、枝葉も含めた植物全体の利用、短伐期、密植、萌芽更新などによる、面積あたりのバイオマス生産性の向上、一定の土地あたりの生産性を高める研究、および前処理、糖化発酵後の糖の収量増加による原料原単位の改善によって、原料コストをどこまで下げることができるか検討した。

また酵素については前処理条件の検討による酵素の必要量の削減、酵素をオンサイト生産することによるメイクアップ、輸送、保管、在庫管理のコスト削減、酵素回収率の向上、などを組み合わせることにより、酵素コストの削減を検討した。

上記目標達成に向けて各項目毎に以下の目標を目指して研究を進めた。

- ① 栽培に関する研究開発については、平成 23 年度までの中間目標として代表的な植林候補地 3ヶ所について、収量予測に必要な、樹種、栽培法、成長量等の情報調査を完了する。最終年度まで 1ヘクタールあたりの年間乾物収量 17 トン以上となるエタノール生産適正早生樹の原料栽培技術を確立する。

これらの研究は王子ホールディングスが担当した。

- ② エタノール製造技術に関する研究開発については、中間目標として原料 1kg あたりの投入エネルギー 10MJ で、糖化率 80%を達成する。最終目標は、原料 1kg あたりの投入エネルギーが 6MJ 以下となる前処理・糖化技術、エタノール収率が 0.3L 以上、エタノール回収率 35%以上となるプロセスを開発する。

これらの研究は一貫プロセスとしては王子ホールディングスが担当し、個別の基盤技術として、前処理、糖化、発酵は産業技術総合研究所とその際委託先の京都大学が担当した。

- ③ 濃縮・脱水に関して、自己熱再生蒸留技術を開発・実証することで、中間目標としてバイオマス燃料革新技术計画の開発ベンチマーク 2.5MJ/L-EtOH (10%エタノール水溶液⇒無水エタノールに濃縮時)、最終目標として酵素回収を行う上で必要となる低温(高真空)、水分蒸発・酵素濃縮機能を付加した酵素回収型自己熱再生蒸留技術を確立することである。数値目標としては、6%エタノール水溶液を無水エタノールと 1.5 倍の酵素濃度に濃縮した酵素濃縮液を抽出する場合に、実機規模で必要なエネルギーを 2.5MJ/L-EtOH 以下にする技術を確立することを目標とする。

この研究は新日鉄住金エンジニアリングとその共同実施先である東京大学が実施した。

- ④ パイロットプラントに関する研究開発については、平成 23 年度までに本研究開発に適切な規模のパイロットプラントの建設を行う。最終目標としてラボレベル実験で得た結果を再現する。

この研究は新日鉄住金エンジニアリングと王子ホールディングス、その再委託先である王子エンジニアリングで実施した。

- ⑤ プロセス全体のコスト、GHG の評価については、最終年度までに、2015~2020 年に、木質バイオマスを原料として、バイオエタノール製造コスト 40 円/L、年産 10~20 万 kL、CO<sub>2</sub>削減率 5 割以上(対ガソリン)、化石エネルギー収支 2 以上を実現することに対して、具体的な目標達成モデルケースを示す。

この研究は産業技術総合研究所が中心となって実施した。

## 2-2-3 目標と成果

### (1) エタノール生産適性早生樹の大量栽培技術開発

#### a) エタノール生産適性早生樹の候補樹種調査 (王子ホールディングス株式会社)

##### a)-1 個別目標

本研究では、これまでに事業植林で実際に植栽された樹種について事業植林のデータを中心に網羅的に調査を行い、生長量や酵素による糖化性などを調査した上で、目標値である 17t/ha/年の生長量を達成することが可能となる候補樹種を選定する。調査対象の樹種にはパルプ品質に問題があった為に、パルプ用の事業植林として現在は使用されていない樹種も含め、バイオエタノール用の原料として適性を評価することを目標とした。また、調査した樹種の一部について、日本国内での生長量調査を行い、MAI (m<sup>3</sup>/ha/年 : Mean annual increment 以下 MAI) の算出を行うことも目標とした。

さらに、塩害地などは現在、事業植林としての採算が不安視されていたため、植栽をあまり行っていない。しかし、事業規模のバイオエタノール生産を行う場合、数万～数十万 ha の植林地が必要となり、食料生産との競合などを勘案すると、これまで植栽を行っていない、塩害地なども必要となる可能性があるため、試験植栽の検討を行うこととした。

##### a)-2 検討内容 (方法と結果)

###### 1) 生長量による第一段階選抜

(方法) 事業植林で実際に使用された樹種として 31 樹種 (*Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus botryoides*, *Eucalyptus rudis*, *Eucalyptus viminalis*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus nobilis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus robusta*, *Eucalyptus urograndis*, *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus brassiana*, *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus cam x uro*, *Eucalyptus cam x deglupta*, *Acacia mangium*, *Acacia auriculiformis*, *Acacia crassicarpa*, *Acacia man x auri*, ドロノキ、オノエヤナギ、エゾノキヌヤナギ、エゾノカワヤナギ、エゾヤナギ、タチヤナギ、イヌコリヤナギ、北海ポプラ) を選定し、事業植林における MAI の調査を行った。

生長量の算出にはまず、7年から10年生の植林地について樹高、胸高直径の測定を行い、植栽本数と植栽年数を考慮して全バイオマス量の計算を行う。次に実際に一部を伐採、チップ化を行って材積量を測定し、全バイオマス量より導かれる係数を求める。

樹種の生長量調査については一カ所だけでなく、各気候帯 (温帯、熱帯・亜熱帯 (乾期のない地域)、熱帯モンスーン (乾期のある地域)、冷帯) について複数箇所調査を行い、各気候帯について生育が適しており、なおかつ MAI が 10m<sup>3</sup>/ha/年以上の高い樹種を第一段階として選定した。

(結果・考察) 結果を表 III-2-2-1 に示す。各気候帯について調査を行ったところ、温帯地域で 7 樹種、熱帯・亜熱帯地域で 7 樹種、熱帯モンスーン地域で 5 樹種、冷帯地域で 2 樹種の樹種について生長量が良いことが判明した。選択された各樹種について、MAI と事業植林での伐期、特徴などをまとめた結果を表 III-2-2-2 に示す。

調査の結果、*E. globulus* などパルプ用材として使用されている樹種以外にもパルプ用材としては未知もしくは不適な樹種でも生長量が高く、バイオエタノール用原料の調達として有望と思われる樹種があることが判明した。



表 III-2-2-1 第一段階選定結果

	事業植林で調査された樹種	生長量で選択された樹種
温帯	<i>E. globulus, E. robusta, E. tereticornis, E. grandis, E. botryoides, E. rudis, E. viminalis, E. camaldulensis, E. nobilis, E. saligna, E. dunnii, E. nitens, E. urograndis</i>	<i>E. globulus, E. tereticornis, E. grandis, E. viminalis, E. camaldulensis, E. nobilis, E. dunnii,</i>
熱帯・亜熱帯 (乾期の無い地域)	<i>E. pellita, E. urophylla, E. brassiana, E. deglupta, E. tereticornis, E. grandis, E. camaldulensis, E. cam x uro, A. mangium, A. auriculiformis, A. crassicarpa, A. man x auri,</i>	<i>E. pellita, E. urophylla, E. tereticornis, E. grandis, E. camaldulensis, A. mangium, A. auriculiformis,</i>
熱帯モンスーン (乾期のある地域)	<i>E. pellita, E. camaldulensis, E. tereticornis, E. brassiana, E. urograndis, E. grandis, E. cam x deglupta, A. mangium, A. auriculiformis,</i>	<i>E. pellita, E. tereticornis, E. grandis, A. mangium, A. auriculiformis,</i>
冷帯	ドロノキ、オノエヤナギ、エゾノキヌヤナギ、エゾノカワヤナギ、エゾヤナギ、タチヤナギ、イヌコリヤナギ、北海ポプラ	オノエヤナギ、エゾノキヌヤナギ

表 III-2-2-2 選択された各樹種についての MAI と事業植林での伐期（どちらも *E.globulus* の最小値を 100 とした相対値）、特徴

	MAI 相対値	伐期 相対値	特徴
<i>E. globulus</i>	100～475	100～ 171	パルプ用材としても良好で広く植栽されている。耐霜性があり、温帯性気候で生育が良好。
<i>E. camaldulensis</i>	125～338	57～100	材はやや軽いが、耐病性、耐乾燥性に優れる。生長は良好。
<i>E. dunnii</i>	288～413	100～ 171	耐霜性があり、温帯地方でも植栽可能。材はやや重く、パルプ用材としては良好
<i>E. viminalis</i>	188～475	114～ 214	温帯地域植栽に適した樹種。家具材として利用される。
<i>E. nobilis</i>	188～475	114～ 214	<i>E. viminalis</i> から分けられた新種。
<i>E. tereticornis</i>	125～300	57～100	東南アジアで植栽されている樹種。病害抵抗性、風害抵抗性樹種として知られている。
<i>E. grandis</i>	375～663	71～100	ブラジルに導入された樹種。胴枯病に感受性のため、現在は <i>E. urophylla</i> との雑種が主要樹種となっている。パルプ用材としての価値は高い。
<i>E. urophylla</i>	275～375	71～100	インドネシア原産のユーカリ。胴枯病抵抗性がある。東南アジアで植栽されており、パルプ材として利用されている。
<i>E. pellita</i>	275～475	71～100	近年、東南アジアで広く植栽可能な樹種として注目されている。パルプ用材としては未知。
<i>A. mangium</i>	375～475	71～100	生長が良く、幹が比較的通直。芯腐れにかかりやすく、材質が低下しやすい。
<i>A. auriculiformis</i>	275～375	71～100	材はやや重くて硬く、薪炭・杭・家具材・パルプ用材などに用いられるほか、緑化樹や街路樹としても植栽されている。
<i>Salix pet-susu</i> (エゾノキヌヤナギ)	250～438	萌芽 更新	春の発芽が早く生育が旺盛。冷涼な気候に適している。
<i>Salix sachalinensis</i> (オノエヤナギ)	250～438	萌芽 更新	四国以北に広く分布する種。高密度植栽をしても成長性が落ちない特性を有している。

## 2) 日本国内におけるエタノール生産適性早生樹候補の樹種試験

(方法) 温帯性気候の樹種試験として、大分県日出町の遊休地(0.48ha)、冷帯性気候の樹種試験として、北海道栗山町の社有林(1.0ha)にそれぞれ樹種試験用の圃場を確保し、植栽を行った。選択した樹種は、温帯性気候樹種試験では気候適性に加え、冬期の霜降や多湿時における病虫害を考慮して、耐霜性、耐病性で優れている5種類(*E. globulus*、*E. camaldulensis*、*E. grandis*、*E. viminalis*、*E. tereticornis*)を選択した。さらに、*E. globulus*については三重県亀山市の森林資源研究所圃場(0.48ha)にも植栽し、

地域による比較も行うこととした。冷帯性気候樹種試験では、荒廃地や河川沿いに自生するオノエヤナギとエゾノキヌヤナギを選択。当社でこれまでに研究開発した優良クローンから各 10 クローンを選抜し、試験に供した。

ユーカリ苗はオーストラリア連邦科学産業研究機構（Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation 以下 CSIRO）より種子を入手し、各樹種 200 本を準備して植栽した。ヤナギは当社で保有する優良クローン母樹を初年度に台切りして穂を繁茂させ、一年後に採穂し、各 2,750 本を植栽した。各植栽条件、実験スケジュールを表 III-2-2-3、表 III-2-2-4 に示す。

表 III-2-2-3 樹種試験植栽条件

	温帯性気候樹種試験(T1-Cfa)	冷帯性気候樹種試験(T1-Dfa)
植栽場所	三重県亀山市、大分県日出町	北海道栗山町
植栽面積	各 0.48ha	0.36ha
植栽密度	2,500 本/ha(4.0x1.0m)	14,814 本/ha(1.125x0.6m)
反復	4	2
植栽樹種数	5	2(各 10 クローン)

表 III-2-2-4 実験スケジュール

	2009	2010	2011	2012	2013
T1-Cfa	▽試験苗調製 ▽植栽	▽1年目生長量調査	▽2年目生長量調査	▽3年目生長量調査	▽4年目 ▽伐採
T1-Dfa	▽クローン苗木調製	▽植栽	▽1年目生長量調査	▽2年目生長量調査	3年目生長量調査▽ 伐採▽

（結果・考察） T1-Cfa の試験植栽地では三重県亀山市の森林資源研究所において、植栽一年目に 341、植栽二年目に 504 の MAI が観察された（表 III-2-2-2 の *E.globulus* の最小値を 100 とした相対値）が、植栽三年目に台風が通過した際、そのほとんどが倒木した。同様に、大分県日出町の試験植栽地では台風による倒木に加え、イノシシなどの鳥獣害が激しく、個体生存率が 50%以下となった。特にユーカリについては風倒木被害が起りやすく、国内における大規模植栽は困難であることが示唆された。

T1-Dfa の試験植栽地では順調に生育が見られ、*Salix pet-susu*（エゾノキヌヤナギ）の植栽二年目には高い 215（表 III-2-2-2 の *E.globulus* の最小値を 100 とした相対値）の MAI が観察された。

### 3) 塩害地におけるユーカリ植林

(方法) 西豪州アルバニー地区(降雨量 630mm/年)内でパルプ用材生産に適さない塩害地に、耐塩性ユーカリとして7種類(*E. camaldulensis*、*E. rudis*、*E. saligna*、*Eucalyptus cladocalyx*、*Eucalyptus occidentalis*、*Corymbia maculata*、*Eucalyptus smithii*)の種子をCSIROより入手し、コントロールとして、オーストラリアで広く植栽されている*E. globulus*を追加して、苗を作成した。さらに、当社で選抜した*E. globulus*精英樹と*E. camaldulensis*と*E. globulus*との雑種について、挿し木苗を作成した。それぞれ45本を、5本ずつ9反復のランダム配置で植栽した。

植栽箇所の塩濃度は、交換性ナトリウム率(塩害の程度を示す土壌指標)が10.7であり、土壌分類学上では塩性土壌とされる区域について試験区を設けた。

植栽条件、実験スケジュール、植栽図面をそれぞれ表 III-2-2-5、表 III-2-2-6、図 III-2-2-4 に示す。樹高と胸高直径を毎木調査し、アルバニーで用いられる*E. globulus*の幹材積求式に代入して単木材積を求め、5本分の材積合計値を250倍(1,250÷5)してMAIを求めた。幹が複数本の場合は、最大と最小の胸高直径の平均値を用い、幹本数を乗じて全てバイオマス生産量に加えた。

表 III-2-2-5 塩害地樹種試験植栽条件

	塩害地樹種試験(T1-ST)
植栽場所	西オーストラリア アルバニー
植栽面積	約 2ha
植栽密度	1,250 本/ha(5.0x1.6m)
反復	5 本×9 反復
植栽樹種数	30

表 III-2-2-6 実験スケジュール

	2009	2010	2011	2012	2013
T1-ST	▽試験苗調製 ▽植栽 ▽1年目生長量調査 ▽2年目 ▽伐採				

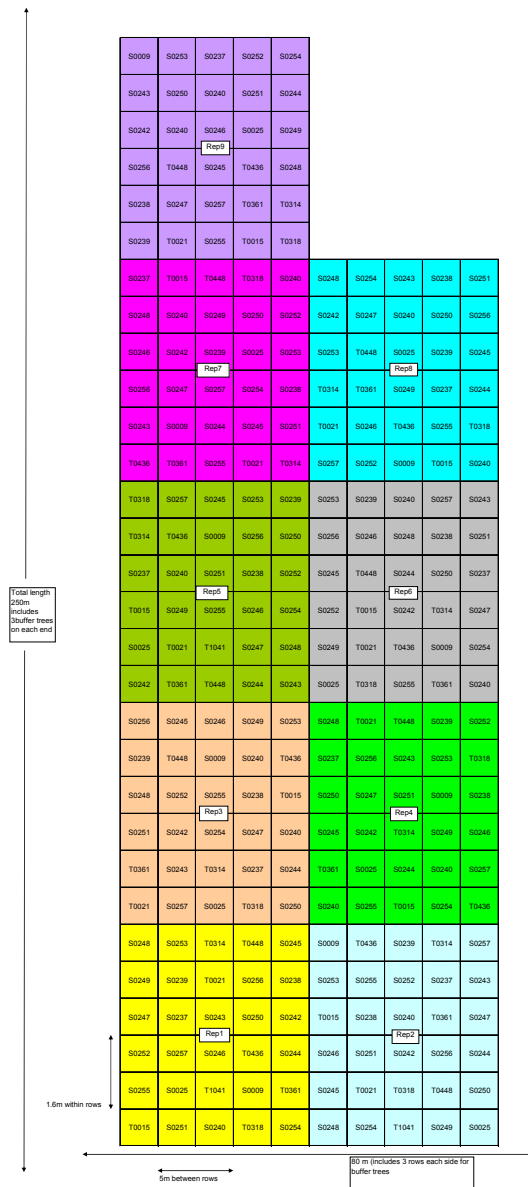


図 III-2-2-4 塩害地樹種試験植栽図面

(結果・考察)

各樹種における MAI 調査結果を表 III-2-2-7 に示す。MAI は、最小 33～最大 100 (*E. camaldulensis*×*E. globulus* 雑種を 100 とした相対値) であり、*E. camaldulensis*×*E. globulus* 雑種で最も高く、100 を示した (*E. camaldulensis*×*E. globulus* 雑種を 100 とした相対値)。パルプ用材の植林に適さない塩害地であっても、適正な樹種を選択することにより生産性向上が見込め、エタノール原料用ユーカリ類等早生樹植林が可能であると思われる。特に *E. camaldulensis* と *E. globulus* の雑種は、従来の植林樹種をはるかにしのぐ生産性を示し (*E. camaldulensis* の 2.1 倍、*E. globulus* の 1.6 倍)、ユーカリ雑種による育種の効果が示唆された (写真 III-2-2-1)。

しかし、MAI は目標値 (17t/ha/年＝約 34m<sup>3</sup>/ha/年) を達成していない。事業化では塩害地における土地コストなどを考慮して植栽を検討する必要がある。

表 III-2-2-7 塩害地におけるユーカリ樹種と MAI  
 (*E. camaldulensis*×*E. globulus* 雑種を 100 とした相対値)

樹種	MAI-相対値
<i>E. camaldulensis</i> × <i>E. globulus</i> 雑種	100
<i>E. globules</i>	61
<i>E. cladocalyx</i>	56
<i>E. occidentalis</i>	53
<i>E. camaldulensis</i>	47
<i>E. rudis</i>	41
<i>E. saligna</i>	36
<i>C. maculate</i>	34
<i>E. smithii</i>	33



写真 III-2-2-1 塩害地におけるユーカリ雑種の成長  
 (左) *E. camaldulensis*×*E. globulus* 雑種、(右) *E. camaldulensis*

#### 4) 酵素糖化性による第二段階選抜

(方法) 生長性で選定した樹種の中から、糖含量、酵素糖収量、酵素糖化可溶化率を測定し、第二段階の選定を行った。

##### ①試料

表 III-2-2-2 に記載の樹種のうち、入手可能なサンプルとして、*E. globulus*、*E. camaldulensis*、*E. viminalis*、*E. tereticornis*、*E. pellita*、*A. mangium*、*A. auriculiformis*、オノエヤナギ、エゾノキヌヤナギを試験植林地などから入手した。

## ②木質バイオマス糖含量測定

木質バイオマスサンプルを十分に乾燥し、粉碎機にて粉碎した。粉碎後硫酸水溶液で処理を行い、上清の糖濃度をフェノール硫酸法にて測定し、単位サンプル量に含まれる糖含量の算出を行った。

## ③メカノケミカルパルピング前処理

木質バイオマスサンプルをチップ化し、晴天時に屋外で十分に風乾した。風乾後、含水率を赤外水分計（ケット社製）で測定し、水、亜硫酸ソーダ、水酸化ナトリウムを混合し、最後に木質バイオマスに含まれる水分を考慮して、最終的に全体を調整するように水を添加した。添加後、オートクレーブでの加熱を行った。

加熱後、加熱処理サンプルをろ別し、磨砕処理を行った。磨砕処理後はろ別し、前処理サンプルを得た。

## ④前処理サンプル糖含量測定

前処理サンプルを十分に乾燥し粉碎した。粉碎後硫酸で処理を行い、上清の糖濃度をフェノール硫酸法にて測定し、単位サンプル量に含まれる糖含量の算出を行った。

## ⑤前処理サンプル酵素糖化处理

前処理サンプルの含水率を測定し、酢酸バッファー、市販酵素を添加した。添加後振盪処理を行い、上清の糖濃度をフェノール硫酸法にて測定し、酵素によって溶出する糖量の算出を行った。

## ⑥酵素糖化率、酵素糖化糖回収量の算出

前述の試験に供した木質バイオマスサンプルと実験によって得られた前処理サンプル糖含量、酵素糖化处理での可溶化糖量から酵素糖化率、酵素糖化糖回収量を算出した。

（結果・考察）表 III-2-2-8 に樹種における酵素糖化性の検討結果を示す。酵素糖化によって得られる糖量（酵素糖化糖回収量）ではユーカリ・グロブラス、ユーカリ・ペリータ、エゾノキヌヤナギが高い値を示しており、この3樹種が有力樹種であると考えられた。

表 III-2-2-8 樹種における酵素糖化性の検討結果  
(どちらも *E.globulus* の値を 100 とした相対値)

	酵素糖化率 相対値	酵素糖化糖回収量 相対値
<i>E. globulus</i>	100	100
<i>E. tereticornis</i>	100	80
<i>E. viminalis</i>	97	75
<i>E. camaldulensis</i>	107	78
<i>E. nobilis</i>	96	80
<i>E. dunnii</i>	86	83
<i>E. pellita</i>	97	93
エゾノキヌヤナギ	103	103

#### a)-3 まとめ

候補樹種として、生長量と酵素糖化性から酵素糖化性が容易かつ生長量 17t/ha/年が見込まれる 3 樹種を選択した。一部の樹種については国内における試験植栽を行い、一部試験植栽地において 20.3t/ha/年の生長量が得られたが、台風による倒木や鳥獣害により国内における植栽試験の継続は難しいと判断した。食料生産、産業用植林に適さない土地として、塩害地でも生長が良好なユーカリについて調査を行った。

#### b) 大規模栽培における植栽方法検討および、圃場試験による、エタノール生産適性早生樹の生長量調査 (王子ホールディングス株式会社)

##### b)-1 個別目標

候補樹種の調査では、パルプ用原料としての事業植林施業であるため、伐期を 7~12 年で最大収穫となるよう植栽密度が設定されている。一方、エタノール用原料に適した施業として、植栽密度や伐採時期、ぼう芽更新方法を検討することにより、生産性が向上する可能性がある。そこで、伐期を 1~3 年に設定した上で、植栽密度やぼう芽更新を検討する圃場試験と伐期や植栽密度、ぼう芽更新で得られるサンプルにおけるセルロースやヘミセルロース、リグニンなどの組成分析を行い、エタノール用原料として必要植栽面積及び生産コストの算出のために必要なデータを取得することを目標とした。

##### b)-2 検討内容 (方法と結果)

###### 1) 植栽密度試験

(方法) パルプ用材生産 (1,000 本/ha 程度) の 1,250 本/ha を標準に、植栽密度を 2 倍 (2,500 本/ha)、3 倍 (3,704 本/ha) と高めた場合の生産量増産効果を把握するため、ユーカリ・グロブラスを用い、アルパニー地区の一般的な植林地 (降雨量 750mm/年) に試験植林した (図 III-2-2-5)。



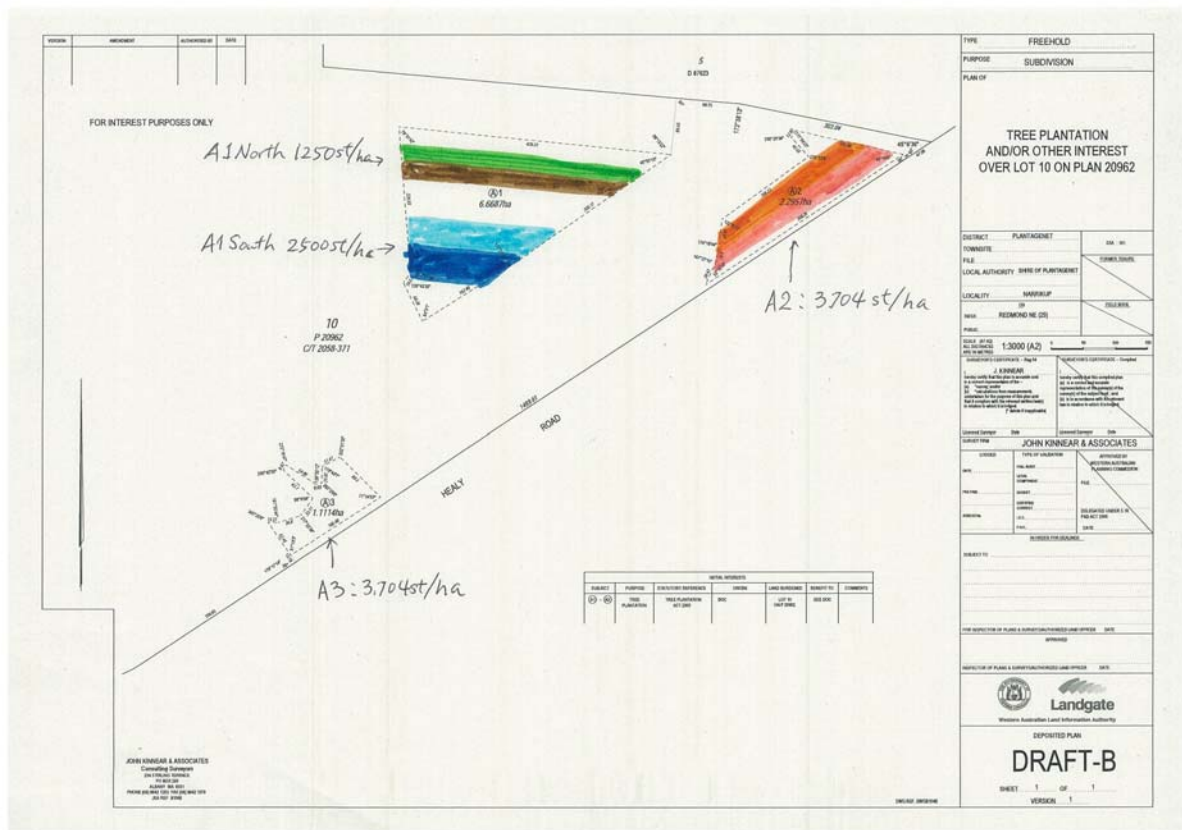


図 III-2-2-5 植栽密度試験図面

植栽間隔は、機械による収穫作業を考慮し、畝間隔 4m×植付間隔 2m (1,250 本/ha)、畝間隔 4m×植付間隔 1m (2,500 本/ha)、畝間隔 4m と 2m を交互×植付間隔 0.9m (3,704 本/ha) とした。植付時に 1 本あたり肥料 50g (N:P:K=20:5:5%) を与えた。雑草繁茂の状況から、適宜除草剤を四輪バギーで散布した。



写真 III-2-2-2 植栽密度試験の状況 (左) 1,250 本/ha 区、(右) 3,704 本/ha 区

植栽後 2.5 年目の生長量調査を行った（写真 III-2-2-2）。各植栽密度に、約 20m（畝方向）×約 12m の測定プロットを 3 反復設け、樹高と胸高直径を毎木調査し、1 本あたりの材積を求め、調査個体すべての値を合計した。プロット面積と材積合計値を基に、MAI に換算した。幹が複数本の場合も、全て生長量に加えた。植栽条件、実験スケジュールをそれぞれ表 III-2-2-9、表 III-2-2-10 に示す。

表 III-2-2-9 試験植栽条件

	植栽密度試験
植栽場所	西豪州、アルバニー地区
植栽面積	10ha
植栽密度	1,250、2,500、3,704 本/ha
反復	3
植栽樹種	<i>E. globulus</i>

表 III-2-2-10 実験スケジュール

	2009	2010	2011	2012	2013
植栽密度試験	▽試験苗調製	▽植栽	▽1年目調査	▽2年目調査	▽3年目調査 ▽伐採

（結果・考察）植栽密度を 2 倍、3 倍と増やすに連れ、植栽 2.5 年後でのヘクタールあたりの総生長量（幹材積で計算）は、それぞれ 1.4 倍、2.3 倍に向上した（図 III-2-2-6）。植栽 2.5 年目における MAI は、標準、2 倍、3 倍区でそれぞれ 100、138、229（1250 本/ha を 100 としたときの相対値）となった（表 III-2-2-11）。3 倍区において事業植林（1,250 本/ha）における 10 年間での成長性が達成できると仮定するとの MAI データでは植栽後 4 年目に目標値である 17t/ha/年に達する（図 III-2-2-7）ことから、植栽密度を増やすことにより、より短時間で目標値に到達することが可能であることが示唆された。

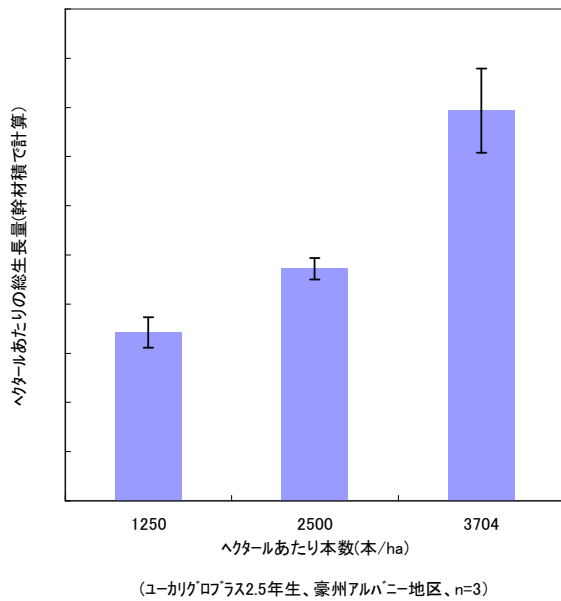


図 III-2-2-6 植栽密度と総生長量との関係

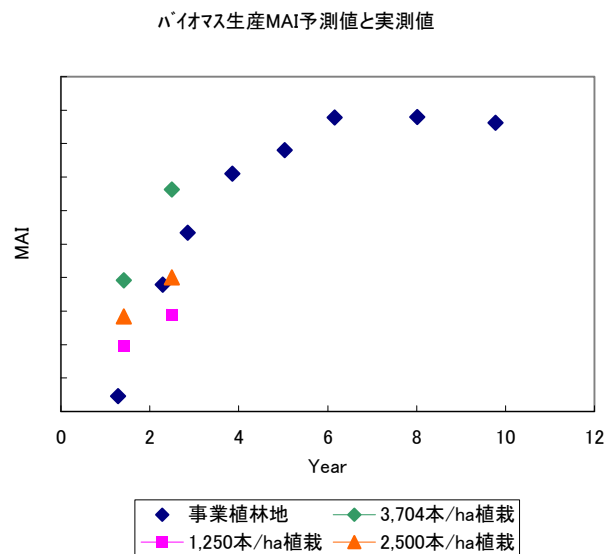


図 III-2-2-7 年間生長量の経年変化

表 III-2-2-11 植栽密度と MAI

(ユーカリグロブラス2.5年生、豪州アルバニー地区、n=3)

植栽密度	MAI - 相対値
1250 本/ha (標準区)	100
2500 本/ha (2倍区)	138
3704 本/ha (3倍区)	229

\*1250 本/ha を 100 としたときの相対値

## 2) ぼう芽更新試験

(方法) 伐採 9 ヶ月後の植林地 (1,250 株/ha、降雨量 590mm/年) に、施肥の量と種類を変えて施肥を行い、2.5 年目の生長量調査を行った (写真 III-2-2-3)。

施肥内容として、ヘクタールあたり窒素量を 4 段階とし、他の要素 (5 種の無機塩) を加えた。またヘクタールあたり窒素量も設けた。各施肥区を 4 区画ずつランダムに配置した (図 III-2-2-8)。1 区画は 7 列×15 本で構成し、区画内の 3 列×5 本について、樹高と胸高直径を測定し、MAI を算出した。植栽条件、実験スケジュールをそれぞれ表 III-2-2-12、表 III-2-2-13 に示す。

表 III-2-2-12 試験植栽条件

	萌芽更新試験
植栽場所	西豪州、アルバニー地区
植栽面積	7ha
植栽密度	1,250 株/ha の萌芽更新
反復	4
植栽樹種	<i>E. globulus</i>

表 III-2-2-13 実験スケジュール

	2009	2010	2011	2012	2013
萌芽更新 試験	▽伐採	▽施肥			▽3年目調査



写真 III-2-2-3 萌芽更新試験の状況 (左) 無施肥区、(右) 300kg/ha 尿素施肥区

Leighton

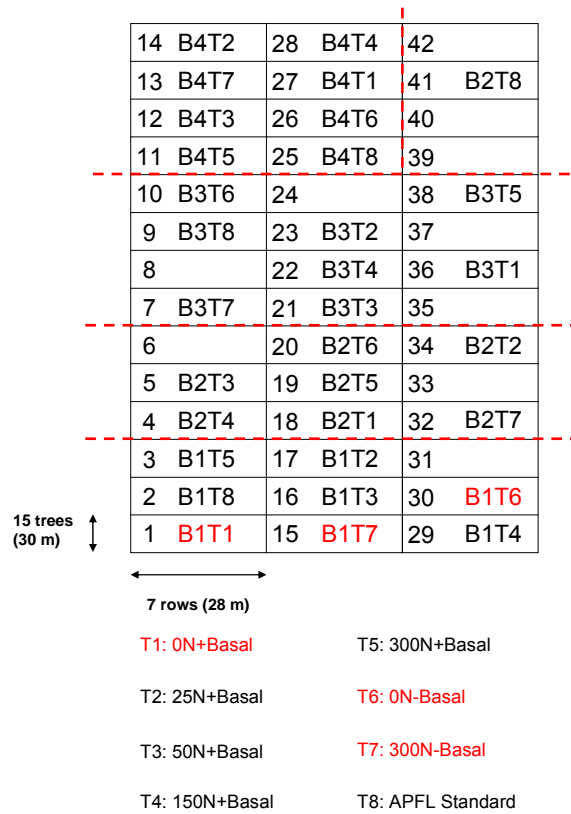
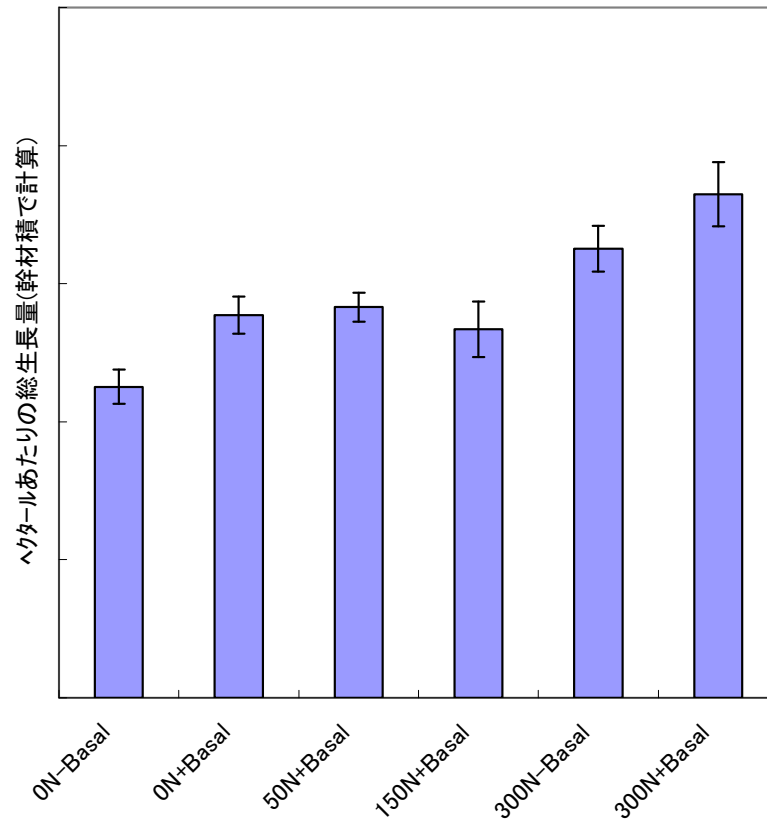


図 III-2-2-8 萌芽更新試験図面 (T8 が標準区画)

(結果・考察) 窒素以外の要素 (5 種の無機塩添加、Basal と表記) を伐採 9 ヶ月後に与えた場合、伐採 2.5 年後でのヘクタールあたりの総生長量が増加した。さらに、窒素施肥量を増やすに連れ、総生長量が増加する傾向にあった (図 III-2-2-9)。MAI は、無施肥区、窒素施肥 (他の要素添加あり) 区でそれぞれ、100、162 (0N-Basal を 100 とした相対値) となった (表 III-2-2-14)。窒素施肥区の生長量は、植栽密度試験の標準区 (1,250 本/ha、植栽後 2.5 年目) の生長量を上回った。エタノール生産に適した植栽密度は 3,704 本/ha と考えられることから、萌芽更新時のエタノール生産に適した施肥量は、上記窒素と 5 種の無機塩の約 3 倍量までが適当と考えられる。



施肥量 (窒素 + その他要素有無)

(ユーカリ・グロブラス2.5年生、豪州アルパニー地区、n=4)

図 III-2-2-9 萌芽更新施肥量と生長量との関係

表 III-2-2-14 萌芽更新施肥量と MAI との関係

(ユーカリ・グロブラス2.5年生、豪州アルパニー地区、n=4)

施肥	MAI
0N-Basal	100
0N+Basal	123
50N+Basal	126
150N+Basal	118
300N-Basal	144
300N+Basal	162

\*0N-Basal を 100 とした相対値

### 3) 原料組成分析

#### (方法)

##### ①試料

植栽密度試験サンプル (2.5年生ユーカリ・グロブラス全木、1,250、2,500、3,704本/ha)、伐期(1,

2, 2.5 年生ユーカリ・グロブラス全木) について後述する組成分析を行った。比較として、ユーカリ・グロブラス林地残材、チップについても分析を行った。

### ②木質バイオマス糖質測定

木質バイオマスサンプルを十分に乾燥し粉碎した。粉碎後、硫酸で予備分解を行った後、希釈を行い、完全加水分解を行った。溶液をイオンクロマトグラフィーにて糖分析を行い、グルコースからセルロース含量を算出し、キシロース、アラビノース、ガラクトース、マンノースからヘミセルロース含量を算出した。

### ③灰分測定

木質バイオマスサンプルを十分に乾燥し粉碎した。粉碎後、灰化し、灰分量の測定を行った。

(結果・考察) 結果を表 III-2-2-15 に示す。生長の過程でセルロース含量が増加することが判明。植栽密度では糖質、リグニン組成に大きな差はないことが判明した。さらに、伐期による糖収量の差と植栽密度による糖収量の差を算出した結果を表 III-2-2-16, III-2-2-17 に示す。植栽方法により、糖質の収量は 2.5 年で最大 219 (2.5 年生、1250 本/ha の値を 100 とした相対値) 見込まれる。

表 III-2-2-15 伐期による糖収量の差(1 年生、全木、1250 本/ha を 100 とした相対値)

樹種	部位・植栽密度	糖質			リグニン		灰分		水溶性成分	ウロン酸
		セルロース	ヘミセルロース	合計	クラソン	酸可溶性	シュウ酸カルシウム由来	その他		
ユーカリ グロブ ラス	1 年生、全木、 1,250 本/ha	100	-	100	100	100	-	-	-	-
	2 年生、全木、 1,250 本/ha	124	-	115	111	129	-	-	-	-
	3 年生、全木、 1,250 本/ha	131	-	98	156	141	-	-	-	-
	3 年生、全木、 2,500 本/ha	127	-	96	164	138	-	-	-	-
	3 年生、全木、 3,704 本/ha	132	-	99	156	142	-	-	-	-
	7 年生、木部、 1,250 本/ha	166	-	144	84	154	-	-	-	-
	林地残材	116	-	118	87	147	-	-	-	-

表 III-2-2-16 植栽密度による糖収量の差

(1 年生、1250 本/ha の値を 100 とした相対値)

	収量-相対値	糖質含量 -相対値	糖質収量-相対値
1 年生、全木、1,250 本/ha	100	100	100
2 年生、全木、1,250 本/ha	660	123	818
2.5 年生、全木、1,250 本/ha	1440	107	1869

表 III-2-2-17 植栽密度による糖収量の差

(2.5 年生、1250 本/ha の値を 100 とした相対値)

	収量-相対値	糖質含量 -相対値	糖質収量-相対値
2.5 年生、全木、1,250 本/ha	100	100	100
2.5 年生、全木、2,500 本/ha	138	97	134
2.5 年生、全木、3,704 本/ha	229	96	219

### b)-3 まとめ

植栽 2.5 年目に植栽密度を 3 倍にしてもやや生産性が低く、収量は 229 (2.5 年生、1250 本/ha の値を 100 とした相対値) であった。通常植栽の栽培期間データから勘案すると、栽培期間を長くすることにより目標達成が可能であることが示唆された。さらに、栽培期間、植栽密度の異なるサンプルについて組成分析を行い、植栽方法による糖質収量の算出を行った。その結果、生長の過程でセルロース含量が増加、植栽密度では糖質、リグニン組成に大きな差はないことが判明した。また植栽方法により、糖質の収量は 2.5 年で最大 219 (2.5 年生、1250 本/ha の値を 100 とした相対値) が見込まれた。

## c) 大規模栽培における収集・運搬技術開発 (王子ホールディングス株式会社)

### c)-1 個別目標

パルプ用材の収集運搬技術を中心に調査を行い、エタノール用原料の収集・運搬に適した施行方法について検討を行う。

### c)-2 検討内容 (方法と結果)

#### 1) 施業方法の検討

(方法) 事業植林における施業方法の調査を行い、エタノール用植栽に適した施業方法の検討を行った。検討方法としては、現状の施業方法からエタノール用植栽に変更となった場合に使用可能となる機械について選定を行った。

(結果・考察) 伐採においては通常の事業植林では剥皮と伐採を同時に行うシングルグリップハーベスターを使用しているが、エタノール用原料としては剥皮が必要ないこと、フェラバンチャーが苦手とする直径 30cm 以上にならないことから、短時間に伐採が可能なフェラバンチャーを使用することとした。



本機器の選定により、伐採スピードが短縮化され、大幅にコスト削減が可能であると考えられた。

また、伐採後の運搬としては、通常施業ではフォアローダーとエスカベーターにてトラックへの積載を行い、運搬後にチップ化している。しかし、林地内で破砕することが可能なグラインダーとインフィールドチッパーについて検討を行ったところ、いずれの機器においても破砕が可能であることを確認した。破砕後のサンプルが嵩高くないことから、インフィールドチッパーを採用することにより、収集及び運搬コストも削減可能であると考えられた。

その他、収集運搬として、スラッシュバンダラーについても調査を行ったが、3～4年生のユーカリにおいては処理が困難であるという結果となった。



写真 III-2-2-4 フェラーバンチャー（左）による伐採



写真 III-2-2-5 スキッター（右）による収集とインフィールドチップパー（左）による破碎とトラック輸送

## 2) 事業モデルの構築とコスト試算

（方法） 事業植林調査から得られたコストからエタノール用植栽に適した施業方法におけるコスト試算を行った。事業モデルとしては直径 2~4km の植林地（約 10km<sup>2</sup>）が 100 箇所ある分散型植林モデルと、直径 20km の植林地（約 300km<sup>2</sup> 中の 7 割（保護林、道路を除く））に植栽が 5 箇所ある集中型植林モデルを設定した。平均輸送距離を分散型植林モデルは 75km、集中型植林モデルは 20km に設定し、植栽コストとしては地拵え、施肥、植え付け、苗木、柵、除草、防火管理、病虫害防除、土地代、管理費を計上し、単位収量あたりの植栽コストを算出した。伐採費については通常施業とエタノール用植林施業についてそれぞれ算出を行った。輸送費については現状の輸送コストから算出を行っている。

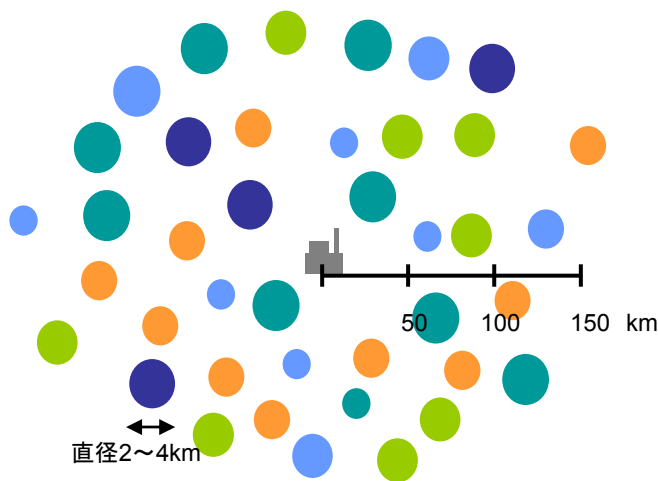


図 III-2-2-10 分散型植林モデル

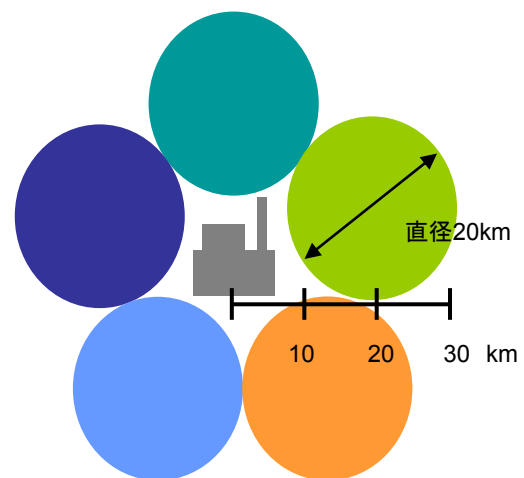


図 III-2-2-11 集中型植林モデル

(結果および考察)

それぞれのモデルについてコスト算出した結果を表 III-2-2-18, III-2-19 に示す。植栽コストは植栽密度変更により、苗木代や植え付け、施肥コストは上昇するが、収量増により、エタノール用植林施業にすることにより 50%削減可能であった。伐採コストはフェラバンチャー、インフィールドドチッパー採用により 63%のコスト削減が可能であった。

表 III-2-2-18 分散型植林モデルコスト試算

	通常植林 (チップ)	エタノール 原料用植林 (目標達成時)
植栽総コスト/ha	100	80
収量 (t/ha/年)	100	250
植栽費/t	100	50
伐採費/t	100	37
輸送費/t	100	100

\*通常植林 (チップ) の数値を 100 とした時の相対値

表 III-2-2-19 集中型植林モデルコスト試算

	通常植林 (チップ)	エタノール 原料用植林 (目標達成時)
植栽総コスト/ha	100	80
収量 (t/ha/年)	100	250
植栽費/t	100	50
伐採費/t	100	37
輸送費/t	50	50

\*通常植林 (チップ) の数値を 100 とした時の相対値

c)-3 まとめ

エタノール生産用早生樹としての伐採、収集、運搬方法を検討。フェラバンチャー採用により伐採時間の短縮、インフィールドドチッパー採用により、輸送時の減容化と効率化が見込まれた。実際に試験植栽サンプルを本施業法により収穫・運搬を行いコスト算出データの指標とした。

	目標(最終目標(H25FY)のみ設定)	成果	達成度
栽培研究	面積あたりの生産性を1ヘクタールあたり年間17トン	事業植林樹種について網羅的に調査し、第一段階として生長性、第二段階として糖含量、酵素糖収量、酵素糖化率を指標として選択。 塩害地でも従来の植林樹種より生育良好な樹種が認められ、適正な樹種を選択することにより生産性向上が見込める。	○
		三重県亀山の圃場での植栽試験では植栽密度が2,500本/haのとき、19ヶ月目の測定結果で534を達成した。オーストラリアで設定した試験植栽では、栽培期間の検討を行い、2.5年目に植栽密度を3倍にして年間330であった。通常植栽の栽培期間データから勘案すると、栽培期間を長くすることにより、目標達成が可能であることが示唆された。*表II-2-2の <i>E.globulus</i> の最小値を100とした相対値	○
収穫・貯蔵・運搬技術	同上	エタノール生産用早生樹としての伐採、収集、運搬方法を検討。フェラバンチャー採用により、伐採時間の短縮、インフィールドチップパー採用により、輸送時の減容化と効率化が見込まれた。 事業モデルとして、分散型、集中型植林についてモデルを構築し、それぞれについての原料コストについて試算を行った。	○

## (2) プロセス最適化のための基盤研究（平成 22 年度以降実施）

### a) ナノ空間形成法による木質の活性化処理技術の研究開発（産総研担当）

#### a)–1 個別目標

パイロットプラントにおける前処理の最適化を進めるため、基盤研究においてセルロース・ヘミセルロースの糖化率を95%以上にするための前処理物の要件および最適な前処理プロセスを明らかにすることを目標とした。

#### a)–2 検討内容（方法と結果）

これまでアルカリ添加水熱処理とレファイナー処理を組み合わせたメカノケミカルパルピング前処理による酵素糖化性向上機構の解明を目的とした基盤的研究を進めてきた。原料として製紙用ユーカリチップの3mm粗粉碎木粉を用い、アルカリとして水酸化ナトリウム、水酸化カルシウムおよび亜硫酸ナトリウムを木粉に対して5~20wt%になるように添加し、130~170℃で水熱処理を行った。その後、レファイナー処理の基盤試験としてボールミルを用いて湿式粉碎を行い、酵素糖化性と処理物の物性変化について調べた。

実験の結果、アルカリ処理のみや湿式粉碎処理のみでは酵素糖化性は向上せず、両者を組み合わせることが必須であることが分かった。また、従来、高濃度（対木粉1000倍量）の水酸化ナトリウム処理では、セルロースの結晶形が天然のI型からII型に変化し、酵素糖化性が向上することが知られていたが、10wt%程度の低濃度処理ではセルロース結晶形はI型のままであり、粉碎処理を行った両結晶形試料の酵素糖化試験では、お互いに糖化速度や糖化率は類似していた。さらに、アルカリ処理は酵素糖化を阻害すると言われるリグニンを溶出する効果があり、これが利点とされていたが、水酸化カルシウムを添加し水熱処理と粉碎処理を行った試料では、原料木粉の6割以上のリグニンを保持しているにもかかわらず、酵素糖化率90%を達成できることが分かった。したがって、酵素糖化性を向上させる要因としてセルロースの結晶形やリグニン含量の影響は小さく、セルロース結晶形を変化させるような高濃度アルカリ処理は必要ないことや、脱リグニンも必須ではないことが示された。

一方、酵素糖化性の向上には、湿式粉碎処理による比表面積の増大が強く関与していることを明らかにした。粉碎処理によってナノサイズにまでほぐされた試料は、酵素糖化性が著しく向上することが分かり、酵素糖化率 95%以上を達成するには、比表面積 130 m<sup>2</sup>/g 以上が必要であることが示された。これらの結果から、比表面積が酵素糖化性の目安となることが分かった。よって、簡便な比表面積測定法を用いることで、実際に酵素糖化試験を行うことなく迅速に糖化性を評価することが可能となった。さらに、アルカリはリグニンとヘミセルロースをつなぐエステル結合を切断する効果があることを明らかにした。この結合の切断により、木質組織は脆弱になり、粉碎処理が効率的に進行することが示された。

以上のことから、アルカリ水熱処理によって木質組織を軟化させることにより粉碎効率を高め、試料をナノサイズまでほぐして比表面積を増大させることが酵素糖化性の向上に大変重要な機構であることを明らかにし、同時に、現行のパイロットプラントの運転条件（対木粉濃度 20%アルカリ、170℃以上）が妥当であることを確認することができた。

### a)–3 まとめ

パイロットプラントにおける前処理の基盤試験として、アルカリ添加水熱処理とボールミルを用いた湿式粉碎処理を行った結果、両技術の組み合わせが必須であること、処理過程でのリグニンの除去や結晶形の転換は重要ではないことが分かった。前処理物の要件として最も重要な点は、木質原料がナノサイズにほぐされて表面積が増大していることであり、酵素糖化率 95%以上を達成するには、比表面積 130 m<sup>2</sup>/g 以上が必要であることを明らかにした。基盤試験により得られた結果から、パイロットプラントにおける運転条件（アルカリ添加量、処理温度、アルカリ添加水熱処理と機械的粉碎処理の組み合わせ処理）が妥当であることが示された。

バイオエタノール製造のための前処理技術としては、海外では希硫酸前処理やアンモニア処理に重点が置かれており、機械的処理技術についての研究開発事例は少ない。従来、粉碎技術は、前処理方法としては効果が高いものの、経済的には成り立たないとされていた。本技術開発による、アルカリ添加水熱処理と湿式粉碎処理を組み合わせた前処理技術は、低コストで高い酵素糖化性を発揮させることができ、パイロット試験では粉碎処理も紙パルプ産業で実際に用いられているレファイナー（湿式解繊機）をそのまま用いて実証できたことから、実用的にも有望であることが示された。

	開発項目	目標	成果	達成度
前処理	(2)-a) ナノ空間形成法による木質の活性化処理技術の研究開発（産総研）	セルロース、ヘミセルロースの糖化率を95%以上にするための前処理物の要件および最適な前処理プロセスを明らかにする。	酵素糖化率95%以上を得るためには、セルロースの結晶形やリグニン等の木質成分の量に関わらず、機械的な粉碎処理によりナノサイズにほぐすことが重要であることを明らかにした。 また、前処理におけるアルカリの添加は、リグニン・ヘミセルロース間の結合を切断し、木質組織を脆弱にして、粉碎を効率的に進行させる効果があることを示した。	○

## b) 酵素糖化・発酵技術の研究開発（産総研担当）

### b)–1–1 糖化技術の個別目標

本事業開始以前から、ユーカリを糸状菌 *Acremonium cellulolyticus* が生産する酵素で糖化する実験を行っていたが、ベンチマーク目標である糖収量 500g / kg バイオマスは達成できていなかった。この理由を解析したところ、キシロースの回収率が低く、一方β-キシロシダーゼに富む市販酵素を添加するとキシロース収量が上がって目標を達成できることから、β-キシロシダーゼ活性が不足していることが明らかになった。これより、生産菌の改良によりβ-キシロシダーゼ活性を 10 倍以上にしてキシラン分解能を向上させることと、併せてセルラーゼ生産性を 1.5 倍以上にすることを目標に設定した。

### b)–1–2 検討内容（方法と結果）

上記の目標を効率良く達成するためには遺伝子組換えによる菌の育種が有効な手段であるが、*A. cellulolyticus* については効率の良い遺伝子組換え技術が開発されていなかった。そこで、本菌のゲノム情報（産総研独自データ）を用いながら、形質転換系の研究開発を行った結果、ウラシル要求性を指標とした形質転換系の構築に成功し、従来の方法と比較して 50 倍以上の効率で遺伝子を導入することが可能になった。しかし、本菌は導入した遺伝子を基本的にランダムに染色体へ組込むために、ジーンターゲットングが困難であるという問題が残った。これについて検討した結果、導入する遺伝子の相同領域長を通常の 2.5 倍以上に設定すれば相同組換えが起こることがわかり、遺伝子破壊を含むジーンターゲットングが可能となった。

β-キシロシダーゼ活性の向上については、本菌のゲノム情報からβ-キシロシダーゼをコードすると予測された遺伝子を選抜し、これをセロビオハイドロラーゼ I プロモーター下に連結したプラスミドを作製して野生株への導入を行った。その結果、細胞外に分泌されるβ-キシロシダーゼ活性が野生株より 70 倍以上高い遺伝子組換え株を取得することができた（図 III-2-2-2-12）。さらに、この遺伝子組換え株が生産する酵素液を用いることにより、キシランをより効率良く分解できることを明らかにした。

また、他の糸状菌でセルラーゼ遺伝子への関与が報告されている転写因子遺伝子 (*cre1*, *xyr1*, *clbR*) のオルソログを、本菌のゲノム情報からそれぞれ選抜した。これらの遺伝子の破壊株を作製することによって各遺伝子の機能を解析したところ、*cre1* はセルラーゼ生産の抑制に、*xyr1* は主としてキシラナーゼ生産の誘導にそれぞれ働き、*clbR* は酵素生産に関わらないことが明らかとなった。また、*cre1* 遺伝子破壊株が生産する酵素液は、野生型株のそれと比較してセルラーゼ活性が高かったことから、本菌の酵素生産性を向上させることができた。（図 III-2-2-2-13）。現在更なる改良を目指して、他の転写因子についての研究を実施中である。

### b)–1–3 まとめ

以上のように、β-キシロシダーゼ活性の向上によりキシラン分解能が改良され、さらに *cre1* 遺伝子の破壊によりセルラーゼ生産性を向上させることができた。

本菌が生産する糖化酵素群は、*Trichoderma reesei* が生産するそれと比較してバイオマスを効率良く糖化できることが報告されている（下記参考文献）。本研究により、本菌の遺伝子操作技術が確立され、またこれを用いて酵素生産性の向上を実現させることができたことで、本菌をオンサイト酵素生産菌として利用するための基盤技術を開発できたと考えられる。

参考文献： Fujii T, Fang X, Inoue H, Murakami K, Sawayama S., *Biotechnol. Biofuels*. Vol 2:24., 2009.

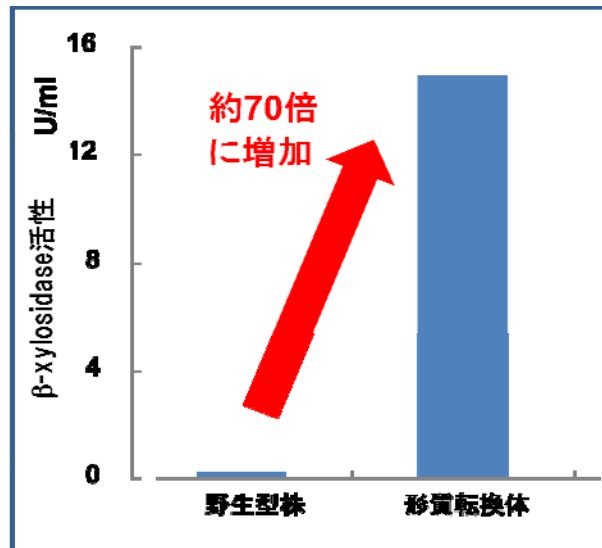


図 III-2-2-2-12.  $\beta$ -キシロシダーゼ遺伝子導入による酵素活性の増大

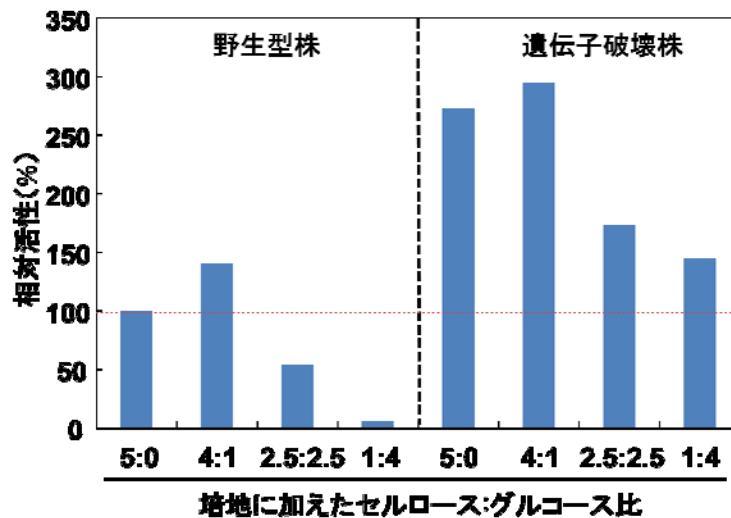


図 III-2-2-2-13. *cre1* 遺伝子破壊によるセルラーゼ生産性の向上

#### b)–2–1 発酵技術の個別目標

高温、高塩、酸性条件下で様々な阻害物質に耐性を持つ、同時糖化発酵 (SSF) に適したキシロース発酵性酵母を開発することを目標とした。

#### b)–2–2 検討内容(方法と結果)

##### 1) 酵母におけるキシロース発酵能改善と発酵効率最適化の研究

キシロース発酵性を獲得させた *Saccharomyces cerevisiae* の実用株を用いて、連続的な植え継ぎによってキシロースにおける増殖と発酵能を大きく改善すると共に、ペントースリン酸経路 (PPP) における新規酵素遺伝子のキシロース発酵における重要性を明らかにし、また様々な発酵条件 (発酵培地に投入する初期細胞量や発酵阻害物質である酢酸と pH の効果など) がキシロース発酵パラメータに及ぼす効果を調べた。さらに、グルコースで培養した場合とキシロースで培養した場合の代謝物蓄積量や遺伝子発現量の差をみるためにメタボローム解析や DNA マイクロアレイ解析を行った。これらの結果から得ら

れた知見を基に、酵母の改良に有用な遺伝子の探索を行い、C5糖代謝を向上させる効率的な遺伝子改変を行い、高温性酸塩耐性酵母の開発に必要な知見を得た。

## 2) SSFに適したキシロース発酵性酵母の開発

発酵技術に関しては、*S. cerevisiae* に導入可能なキシロース代謝酵素遺伝子発現カセット (pAUR-XKXDHXR, XR, XDH は *Pichia stipitis*, XK は *S. cerevisiae* 由来) を高温性酸塩耐性酵母 *Issatchenkia orientalis* に導入したが、キシロース代謝活性を示す形質転換体が取得できなかった。そこで *I. orientalis* のゲノム解析を実施し、キシロース等の糖代謝に関与する候補遺伝子や解糖系、ペントースリン酸経路の遺伝子などを複数同定した。また、抗生物質 zeocin の耐性遺伝子をマーカー遺伝子としてキシロース代謝酵素遺伝子を発現させるプラスミドを構築して *I. orientalis* に形質転換を行った。その結果、多数の形質転換体の取得に成功したが、いずれの株でも酵素活性は得られなかった。この原因としては、*P. stipitis* および *S. cerevisiae* と *I. orientalis* のコドン使用頻度の違いなどが考えられた。そこで *I. orientalis* のゲノム情報をもとに、*I. orientalis* における解糖系の phosphoglycerate kinase (PGK) プロモーターの制御下でキシロース代謝酵素遺伝子を発現させるプラスミドを構築し、このプラスミドを *I. orientalis* に形質転換を行った結果、キシロース代謝酵素の活性を有する形質転換体を取得することができ、本形質転換体はキシロースからエタノール生産が可能であった。さらに、本酵母は高温、高塩、酸性条件下でキシロースをエタノールに変換できたことから、SSF に適したキシロース発酵性酵母を開発することができた。

## 3) 環境ストレス耐性株の取得とその耐性に関わる遺伝子の同定

*I. orientalis* は高温耐性や耐酸性、耐塩性を特徴とする酵母であり、ゲノム上に環境ストレス耐性に関わる優れた遺伝子を有することが予想される。そのような遺伝子を同定するために、*I. orientalis* のゲノムライブラリーを作製し、これを *S. cerevisiae* に導入し、本来であれば生育できない強酸や高塩濃度などのストレス条件下で生育可能な *S. cerevisiae* 株のスクリーニングを実施した。その結果、強酸・高塩濃度の条件下で耐性株が取得でき、この耐性株から *I. orientalis* 特有の環境ストレス耐性に関わる新規遺伝子を同定した。

### b)-2-3 まとめ

以上のように、高温、高塩、酸性などの発酵阻害条件下でキシロースからエタノール発酵可能な、SSF に適した酵母を開発し、またこの酵母から環境ストレス耐性に関わる遺伝子の同定に成功した。さらに、酵母におけるキシロース発酵能改善と発酵効率最適化の研究を実施し、将来実用化するための重要な知見を得た。これらの結果により、「発酵技術の研究開発」における目標を達成することができた。高温、高塩、酸性条件下でキシロース発酵できる酵母の開発および高温性酸塩耐性酵母からの強酸や高塩などの耐性に関わる遺伝子の単離は、いずれも世界初である。これらの成果により、SSF プロセスを含む実証プラントにおける利用や、他の酵母の環境ストレス耐性付与・強化の道が開かれ、産業界に貢献することが期待される。



	開発項目	目標	成果	達成度
糖化	(2)-b) 酵素糖化・発酵技術の研究開発(産総研)	セルラーゼ生産性1.5倍以上	<i>CreI</i> 遺伝子の破壊により、セルラーゼの生産性向上が確認された。更に複数の転写因子について、酵素生産への関連性が明らかになった。	○
		キシロシダーゼ活性10倍以上、キシラン分解活性の向上	キシロシダーゼ活性が70倍以上増強された形質転換体の作製に成功した。本形質転換体が生産する酵素液を用いたところ、ユーカリに含まれるキシランに対する分解活性の向上が確認された。	○
発酵		高温、高塩、酸性条件下で様々な阻害物質に耐性を持つ、キシロース高効率発酵性SSF用酵母を開発する。	遺伝子組換えで <i>I. orientalis</i> にキシロース発酵能を付与することに成功した。また <i>I. orientalis</i> のゲノムライブラリーを <i>S. cerevisiae</i> に導入後、ストレス条件下で生育可能な酵母株のスクリーニングを実施し、環境ストレス耐性に関わる新規遺伝子を同定した。	○

### c) 五炭糖発酵酵母および酵素生産菌の分子機能改変の研究（産総研再委託先：京都大学実施）

#### c)-1 個別目標

五炭糖発酵酵母に関して、キシロース高効率発酵性SSF用酵母の開発のための基盤となる知見を提供することを目的として、分子機能改変および関連酵素遺伝子高発現により酵母 *S. cerevisiae* のキシロース発酵能の上昇を目標とした。酵素生産菌に関しては、糸状菌アクレモニウム遺伝子抑制技術の確立に目途をつけることを目標とした。

#### c)-2 検討内容（方法と結果）

##### 1) 五炭糖発酵酵母の改良

キシロース発酵における重要酵素であるXRおよびXDHについて、新規に作成した補酵素依存性変異XRを既に作成済みの補酵素依存性変異XDHとともに酵母 *S. cerevisiae* で発現させたところ、NADPH完全依存のXRをNADP<sup>+</sup>完全依存のXDHと同時に発現させた場合に、発酵効率がさらに改善されることを見出した（図 III-2-2-14）。さらに、PPPに関与する4つの酵素遺伝子（*PKII*、*RPE1*、*TAL1*、*TKL1*）を同時に高発現させることにより、機能変換酵素（XRおよびXDH）の発現に加えて、PPP関連酵素遺伝子の高発現によりキシロース発酵速度が大幅に増加することを明らかにした（図 III-2-2-15）。また、キシロース発酵酵母である *P. stipitis* のゲノム配列を参考にしてキシローストランスポーターと推測される遺伝子を探索し、それらのうち、*XUT1* 遺伝子を *S. cerevisiae* に導入することにより、既知である *SUT1* 遺伝子発現と同様のキシロース消費の加速を明らかにした。

##### 2) 酵素生産菌の分子機能改変の研究

早生樹を原料としたバイオエタノール一貫生産システムにおいて、酵素コストの低減が重要な技術課題となっている。当該事業全体においては、前処理、糸状菌の育種、酵素回収再利用の3点から酵素コストの低減を図っている。本再委託研究では、糸状菌について産総研と協力し、糖化酵素生産性向上に関して分子育種技術の研究開発を行った。まず、糖化酵素生産糸状菌 *A. cellulolyticus* のゲノム情報を解析し、糖センサーおよび糖輸送体に関わる遺伝子群の検索に成功した。その後、検索した糖センサー候

補遺伝子と非相同組換え候補遺伝子の転写を抑制することを目標に、遺伝子転写抑制技術の開発を行った。平成 24 年度末までに、糖センサー候補遺伝子と非相同組換え候補遺伝子について、栄養要求性をマーカーに使用してヘヤピン型遺伝子転写抑制用のベクターを作成し、*A. cellulolyticus* 形質転換体の作出に成功した。作出した *A. cellulolyticus* の糖センサー候補遺伝子および非相同組換え候補遺伝子転写抑制用ベクター形質転換体について、mRNA 転写量を測定した結果、それぞれの遺伝子転写量が減少した形質転換体の作出に成功した。*A. cellulolyticus* における RNA 干渉の研究成果は、今までに報告がない新規な知見である。

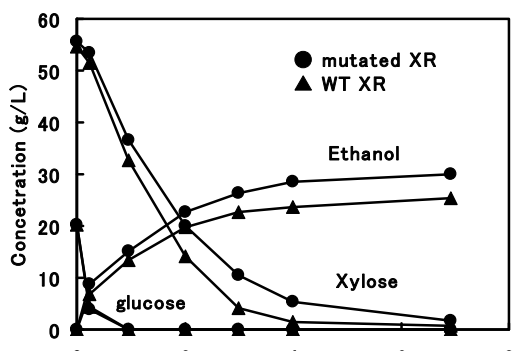


図 III-2-2-14 補酵素依存性変異 XR 発現によるキシロース発酵の改善

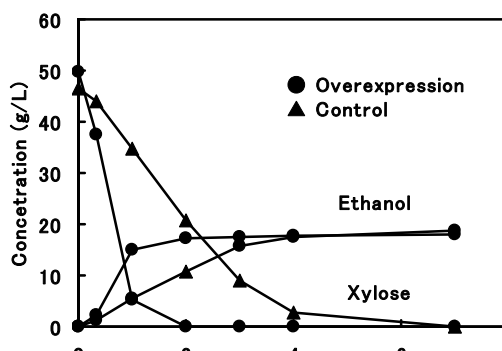


図 III-2-2-15 ペントースリン酸経路 (PPP) 関連酵素遺伝子高発現によるキシロース発酵の改善

### c)-3 まとめ

以上のように、五炭糖発酵酵母に関して、XDH および XR の補酵素依存性は NADP<sup>+</sup> および NADPH が最適であること、PPP 関連酵素高発現によりキシロース消費速度およびエタノール発酵速度が大幅に増大すること、およびキシローストランスポーター類似遺伝子の発現によりキシロース消費速度が増大することを明らかにした。また PPP 関連酵素高発現によるキシロース消費速度の増大は従来の野生型 XDH/XR 発現酵母では約 2.3 倍であったが本研究では約 3.2 倍となり、XDH/XR の補酵素依存性変換との相乗効果が認められ、補酵素依存性変換と PPP 関連酵素高発現を組合せた技術は、単独の場合より優位であることを示した。以上より、分子機能改変および関連酵素遺伝子高発現による酵母 *S. cerevisiae* のキシロース発酵能の上昇という目標を達成し、キシロース高効率発酵性 SSF 用酵母の開発のための基盤となる知見を提供することができた。

酵素生産菌については、糖センサー候補遺伝子および非相同組換え候補遺伝子について、RNA 干渉による遺伝子転写抑制に成功したことから、遺伝子転写抑制技術の確立に目途をつけるという目標が達成できた。

	開発項目	目標	成果	達成度
糖化	(2)-c) 五炭糖発酵酵母および酵素生産菌の分子機能改変の研究 (京大)	糸状菌アクレモニウム遺伝子抑制技術の確立に目途をつける。	アクレモニウムについて効率の良い遺伝子抑制技術(RNA干渉)を検討し、糖センサー候補遺伝子と非相同組換え候補遺伝子の抑制に成功し、アクレモニウム遺伝子抑制技術の確立に目途をつけることができた。	○
発酵		キシロース代謝における重要酵素遺伝子の発現効果の検証により、キシロース高効率発酵性SSF用酵母の開発のための基盤となる知見を提供する。	<i>S. cerevisiae</i> において、XR, XDHの補酵素依存性の最適な組合せ、および五炭糖代謝経路酵素遺伝子の高発現によるキシロース発酵速度の大幅な増大を見出すことに成功した。	○

### (3) 一貫プロセス最適化研究

#### a) メカノケミカルパルピング前処理と連続糖化発酵プロセスの最適化 (王子ホールディングス株式会社)

##### a)-1 個別目標

一貫プロセスとしてエタノール製造技術に関する研究開発について最終目標は、原料 1kg あたりの投入エネルギーが 6MJ(1.67kWh)以下となる前処理・糖化技術、エタノール収率が 0.3L 以上、エタノール回収率 35%以上となるプロセスを開発することを目標とした。

##### a)-2 検討内容 (方法と結果)

###### 1) 前処理技術

###### 1)-a) 前処理条件の検討

(目標) 原料については、最終的には事業化の候補となる植栽した早生樹を使用して実証試験を実施することを目標とする。前処理の収率および酵素による糖化性を高め、発酵原料となる糖質の収量を高める前処理条件の検討をおこなう。しかしながら、ベンチプラント (王子ホールディングス関連：江戸川工場内に建設) やパイロットプラント (王子ホールディングス関連：呉工場内に建設) における実証試験の過程においては、原料の大量入手が容易であるチップや林地残材を使用して各工程の評価を実施することとした。

(背景) 加速的先導事業においては、原料を薬品処理した後にレファイナーで磨砕するセミケミカルパルプ化 (メカノケミカルパルピング前処理) に着目し、薬品処理による収率低下を極力少なくした条件で、機械パルプ化の動力削減との組み合わせにより、前処理の収率向上を図り、酵素糖化率を高め、最終的にバイオマス原料からの糖の収率が最も高くなる条件の検討を行った。

前処理条件の検討で評価した薬品は、NaOH、Ca(OH)<sub>2</sub>、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>である。いずれも紙パルプ産業においては回収・再利用の技術が確立されている。評価に供する原料としては、安価かつ大量に入手可能な原料であるユーカリ・グロブラス (*E. globulus*) の林地残材を主に使用したが、植栽中の早生樹についても一部伐採して評価した。本事業では、連続併行糖化発酵による高効率なエタノール生産を指向している。本プロセスにおいては、酵素を回収・再利用することがコスト削減の鍵であり、重要な検討項目でもある。前処理で使用する薬品の種類による、酵素回収への影響度についても評価を実施

した。

(方法) ユーカリ・グロブラス (*E. globulus*) の林地残材 (以下、原料と略記する) の含水率を事前に計測した上で、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に対して、処理温度、処理時間およびレファイナークリアランス等の処理条件を変更して前処理を実施後、サンプルを回収した。回収した前処理後サンプルのレファイナークリアランス、固形分回収率、糖含量、酵素糖化率および糖収量 (前処理によって生成した単糖) を測定することにより、前処理条件の評価を行った。本検討の結果得られた、最良と思われる前処理条件で早生樹についても評価を実施した。

以上の試験は温度 189 (表 III-2-2-20 の  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  の最低温度を 100 とした相対値) まで昇温可能な、ラボ用オートクレーブを使用して実施した。また、ベンチプラントによる連続糖化発酵試験を実施し、酵素残存率や糖化率の経時変化に対する、薬品種類の影響についても評価した。

(結果) ユーカリ・グロブラス (*E. globulus*) の林地残材を原料として、メカノケミカルパルピング前処理の検討を実施した。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{NaOH}$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_3$  それぞれの薬品に対して、薬品濃度、液比、処理温度、処理時間等を変更して、レファイナークリアランス、前処理後固形分回収率、前処理後原料の糖含量、酵素糖化率および糖収量を評価した結果の概要を表 III-2-2-20 に示す。使用した 4 種類の薬品についてそれぞれの特徴を記載すると下記ようになる。

- $\text{Ca}(\text{OH})_2$  : 固形分回収率は高いが、レファイナークリアランスが大きく、酵素糖化率が低い。
- $\text{NaOH}$  : 前処理原料の糖含量が高いが、固形分回収率が低く、糖収量が上がらない。
- $\text{Na}_2\text{CO}_3$  : 総じてレファイナークリアランスが大きく、酵素糖化率が低い。
- $\text{Na}_2\text{SO}_3$  : 固形分回収率と糖含量は平均的な値だが、酵素糖化率が高く、糖収量が多い。

表 III-2-2-20 メカノケミカルパルピング前処理の条件検討結果概要  
( $\text{Ca}(\text{OH})_2$  の最小値を 100 とした相対値)

薬品処理条件					結果				
使用薬品	薬品濃度 相対値	液比 相対値	処理温度 相対値	処理時間 相対値	レファイナークリアランス [kWh/BD-t]	前処理 固形分回収率 相対値	糖含量 ※前処理後原料あたり 相対値	酵素糖化率 相対値	糖収量 ※前処理後原料あたり 相対値
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	100~200	100~129	100~189	100~800	128~465	100~122	100~124	100~164	100~171
$\text{NaOH}$	40~120	100	100~189	200~400	59~317	75~102	129~159	150~202	90~171
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	200~400	100	111~189	200~400	102~435	83~110	127~151	124~171	124~171
$\text{Na}_2\text{SO}_3$	40~160	100	167~189	100~600	56~223	79~99	120~151	162~217	143~214

以降に前処理条件の検討結果を詳述する。

ユーカリ・グロブラス (*E. globulus*) の林地残材を原料とした評価において、 $\text{NaOH}$  を前処理工程の処理薬品として使用した場合は、全ての処理温度条件下において、レファイナークリアランスが 100 [kWh/BD-t] 以下となり、負荷動力が総じて少なくなる傾向のあることが分かった。酵素糖化率は処理温度の上昇と共に増加する傾向があるが、前処理後の固形分回収率は総じて少なく、 $\text{NaOH}$  を使用した前処理では前処理工程での糖損失が多いことが分かった。

表 III-2-2-21 NaOH を処理薬品としたときの林地残材 (*E. globulus*) の糖収量・他データ

(各条件は表 III-2-2-20 の Ca(OH)<sub>2</sub> の最小値を 100 とした相対値、また結果は表中一番上段の条件を 100 としたときの相対値)

薬品種類	薬品添加率 相対値	液比 相対値	処理温度 相対値	処理時間 相対値	レファイナー クリアランス 相対値	レファイナー 負荷動力 [kWh/BD-t]	固形分 回収率 相対値	糖含量 相対値	酵素糖化率 相対値	糖収量 相対値
NaOH	120	100	<b>100</b>	100	100	99	100	100	100	100
	120	100	<b>122</b>	100	100	76	92	101	120	112
	120	100	<b>144</b>	100	100	85	95	106	102	104
	120	100	<b>167</b>	100	100	59	91	107	132	131
	120	100	<b>189</b>	100	100	81	90	106	148	142

Ca(OH)<sub>2</sub> を処理薬品として使用した場合は処理温度の上昇と共に、レファイナー負荷動力が減少していくものの、NaOH で前処理した場合と比較すると多くの動力を必要とする。一方、固形分回収率が総じて高く、前処理工程での糖回収量（固形分回収率×糖含量）は多い。しかし、糖含量が低いことから、リグニン等の不純物が多いと予想される。加えて糖化率が低いため、糖収量に関しては、NaOH を処理薬品とした場合と比較して少なくなった（処理温度 189 の場合）。糖含量が低いこと（＝不純物が多い）と糖化率が低いことは、糖化発酵工程の系内で残渣の蓄積が多くなる原因となり、プラントの長期安定運転に対して悪影響を及ぼす可能性が示唆された。

表 III-2-2-22 Ca(OH)<sub>2</sub> を処理薬品としたときの林地残材 (*E. globulus*) の糖収量・他データ各条件は表 III-2-2-20 の Ca(OH)<sub>2</sub> の最小値を 100 とした相対値、また結果は表中一番上段の条件を 100 としたときの相対値)

薬品種類	薬品添加率 相対値	液比 相対値	処理温度 相対値	処理時間 相対値	レファイナー クリアランス 相対値	レファイナー 負荷動力 [kWh/BD-t]	固形分 回収率 相対値	糖含量 相対値	酵素糖化率 相対値	糖収量 相対値
Ca(OH) <sub>2</sub>	100	100	<b>100</b>	100	100	248	100	100	100	100
	100	100	<b>122</b>	100	100	365	99	102	116	120
	100	100	<b>144</b>	100	100	344	101	100	106	110
	100	100	<b>167</b>	100	100	225	103	98	106	110
	100	100	<b>189</b>	100	100	128	99	91	143	130

次に、Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> を処理薬品として使用した場合において、処理温度を 189 に固定して、処理時間を 0～200 の範囲で変化させた場合のデータを示す。処理時間 100 および 200 のケースでは糖化率が 150 と、非常に良好な数値となった。固形分回収率は Ca(OH)<sub>2</sub> に劣るが、NaOH よりも良い。糖含量についても NaOH に遜色無く、糖化率が高いことと相まって糖収量は最も高くなった。後述する連続糖化発酵試験での安定した糖化率の高さや、酵素が残固形分に吸着されにくい挙動を示す結果から、前処理で使用する薬品としては Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> が好適であると考えられた。

表 III-2-2-23  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  を処理薬品としたときの林地残材 (*E. globulus*) の糖収量・他データ各条件は表 III-2-2-20 の  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  の最小値を 100 とした相対値、また結果は表中一番上段の条件を 100 としたときの相対値)

薬品種類	薬品添加率 相対値	液比 相対値	処理温度 相対値	処理時間 相対値	レファイナー クリアランス 相対値	レファイナー 負荷動力 [kWh/BD-t]	固形分 回収率 相対値	糖含量 相対値	酵素糖化率 相対値	糖収量 相対値
$\text{Na}_2\text{SO}_3$	133	100	189	0	50	177	100	100	100	100
	133	100	189	50	50	139	94	103	135	129
	133	100	189	100	50	112	92	101	151	139
	133	100	189	200	50	97	89	100	151	132
	127	100	186	300	50	87	105	99	142	145

・各条件共に、NaOHを添加  
※1 189昇温後、直ちに降温させた

$\text{Na}_2\text{SO}_3$  を処理薬品として使用した場合の、処理温度ならびにレファイナークリアランスの影響について、データを取得した。処理温度については、189 から 178、167 へ低下させただけでも顕著な影響が見られ、レファイナー負荷動力の大幅な増加と酵素糖化率の低下が確認された。処理温度が低めのほうが、固形分回収率が高くなる傾向があるが、糖含量や糖化率も含めて総合的に評価すると、処理温度を 189 まで上げたほうが糖収量は多い。レファイナーのクリアランスに関しては、10 まで狭くすると酵素糖化率が高まり、糖収量が多くなるが、レファイナー負荷動力は 2 倍以上増加するため、ランニングコストを考慮した処理条件の判断が必要となる。

表 III-2-2-24  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  を処理薬品としたときの林地残材 (*E. globulus*) の糖収量・他データ

【処理温度変更】各条件は表 III-2-2-20 の  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  の最小値を 100 とした相対値、  
また結果は表中一番上段の条件を 100 としたときの相対値)

薬品種類	薬品添加率 相対値	液比 相対値	処理温度 相対値	処理時間 相対値	レファイナー クリアランス 相対値	レファイナー 負荷動力 [kWh/BD-t]	固形分 回収率 相対値	糖含量 相対値	酵素糖化率 相対値	糖収量 相対値
$\text{Na}_2\text{SO}_3$	133	100	167	200	50	211	100	100	100	100
	133	100	178	200	50	167	96	103	102	103
	133	100	189	200	50	97	92	105	117	114

・各条件共に、NaOHを添加

表 III-2-2-25  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  を処理薬品としたときの林地残材 (*E. globulus*) の糖収量・他データ

【レファイナークリアランス変更】各条件は表 III-2-2-20 の  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  の最小値を 100 とした相対値、  
また結果は表中一番上段の条件を 100 としたときの相対値)

薬品種類	薬品添加率 相対値	液比 相対値	処理温度 相対値	処理時間 相対値	レファイナー クリアランス 相対値	レファイナー 負荷動力 [kWh/BD-t]	固形分 回収率 相対値	糖含量 相対値	酵素糖化率 相対値	糖収量 相対値
$\text{Na}_2\text{SO}_3$	133	100	189	200	200	59	100	100	100	100
	133	100	189	200	100	56	64	103	98	103
	133	100	189	200	50	97	68	103	102	111
	133	100	189	200	10	224	66	103	110	116

・各条件共に、NaOHを添加

1 年生ユーカリ・2 年生ユーカリ (*E. globulus*) およびヤナギを原料として、 $\text{Na}_2\text{SO}_3$  で前処理したときのデータを取得した。 $\text{Na}_2\text{SO}_3$  処理の特徴と考えられる高い糖化率は、これらの早生樹に対しても再現された。2 年生ユーカリのレファイナー負荷動力が高くなるのは、成長するにつれて堅い木部の比率が高くなるためと考えられるが、糖含量が増加するため、糖収量は多くなった。

表 III-2-2-26  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  を処理薬品としたときの早生樹の糖収量・他データ

【1年生、2年生ユーカリおよびヤナギ】各条件は表 III-2-2-20 の  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  の最小値を 100 とした相対値、また結果は表中一番上段の条件を 100 としたときの相対値)

薬品種類	原料	薬品添加率	液比	処理温度	処理時間	レファイナー クリアランス	レファイナー 負荷動力	固形分 回収率	糖含量	酵素糖化率	糖収量
		相対値	相対値	相対値	相対値	相対値	[kWh/BD-t]		相対値	相対値	相対値
$\text{Na}_2\text{SO}_3$	1年生ユーカリ	133	100	189	200	50	140	100	100	100	100
	2年生ユーカリ	133	100	189	200	50	356	120	111	95	126
	ヤナギ	133	100	189	200	50	168	105	106	106	116

・各条件共に、NaOHを添加

NaOH、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_3$ それぞれの薬品で前処理した原料について、ベンチプラントを使用して連続糖化発酵試験を実施した。セロビオヒドロラーゼ I (CBH I) の上清中の残存活性、 $\beta$ -グルコシダーゼ (BGL) の上清中の残存活性および糖化率の経時変化を測定し、酵素の回収と再利用に関する知見を得た。

処理薬品それぞれの前処理条件を以下に示す (前処理はベンチプラントのオートクレーブを使用)。

- ・ NaOH 処理 : 対原料 67 添加、温度 100、処理時間 100
- ・  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  処理 : 対原料 100 添加、温度 122、処理時間 200
- ・  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  処理 : 対原料 133 添加、温度 189、処理時間 200

酵素は培養開始時に、対原料(前処理前の原料)50%添加し、以降、追添加した。

NaOH で前処理した原料では、併行糖化発酵中の上清に CBH I と BGL の活性が検出されなかった。酵素の追添加を繰り返しても上清中に活性を検出しないことや糖化率は低めであるものの糖化は進行していることから、失活して検出されないのではなく、リグニンや繊維分に酵素が吸着されて酵素が作用しにくい状態にあると考えられた。連続併行糖化発酵のプロセスにおいては、所定の反応時間を経過したリグニン等の不純物や未糖化の繊維分は、一定の割合では系外に排出される。NaOH で前処理すると、残渣と共に排出される酵素量が増加して、再利用される酵素が減少し、酵素コストが高くなると考えられた。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$  処理に関しては、BGL については NaOH と同様の挙動を示すが、CBH I は少ないながら上清中にも残留活性を認めた。但し、前述したように、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$  による前処理の酵素糖化率は低い。 $\text{Na}_2\text{SO}_3$  処理では CBH I と BGL 活性が上清中に検出される。未糖化の繊維等に吸着している酵素は多いと考えられるが、酵素の回収・再利用を考えた場合、 $\text{Na}_2\text{SO}_3$  による前処理が、最も好適であると考えられた。

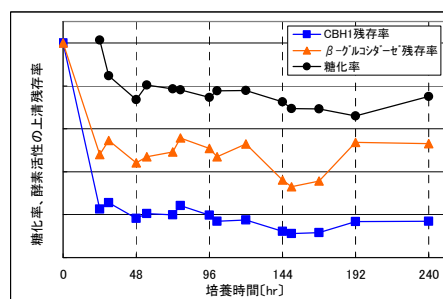
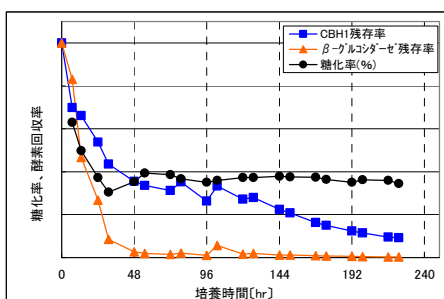
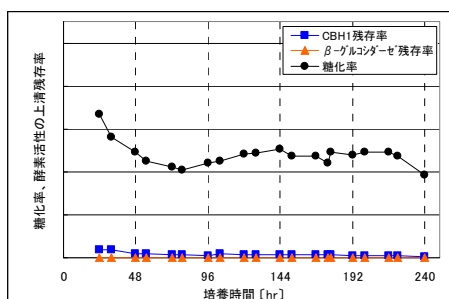


図 III-2-2-16 NaOH による前処理 図 III-2-2-17  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  による前処理 図 III-2-2-18  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  による前処理

[まとめ]

以上の検討結果から、メカノケミカルパルピング前処理で使用する薬品としては、レファイナー負荷動力が小さく、酵素糖化率が高いことに加え、残渣への酵素吸着による廃棄ロスが少ない  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  が好適であることが分かった。紙パルプ製造においては、チップを  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  で加温薬品処理した後、レファイナーで磨砕処理するセミケミカルパルプの製造実績がある。実機レベルの設備設計や、プロセス管理および薬品回収系において既存の技術を応用できるため、テストプラントのスケールアップ或いは実機製造を想定した場合、速やかに安定操業を行えるものと期待できる。

#### 1)-b) ベンチプラントによる連続糖化発酵試験

ユーカリ・グロブラス (*E. globulus*) の林地残材を原料とした検討において、前処理で使用する薬品として  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  が好適であることが確認できた。 $\text{Na}_2\text{SO}_3$  を前処理薬品として大量のサンプルを調製し、ベンチプラントで連続併行糖化発酵試験を実施して運転データを取得した。

[試験方法]

産業技術総合研究所の地球釜を利用して、原料の薬品添加による加温処理を実施し、ベンチプラントのレファイナーで磨砕した後にスクリーンプレスで洗浄・脱水して、前処理サンプルを調製した。糖化発酵工程で発生する未糖化残渣は、スクリーンプレスで脱水した後、回収・再磨砕して再糖化したが、スクリーンプレスを抜けるリグニンリッチな不溶成分の一部はデカンターによって、連続的に系外へ排出した。

糖化発酵槽では合成培地を使用して酵母を増殖させておいた。酵母増殖後、前処理前の絶乾重量で 100kg に相当する前処理後原料を、24 時間毎に投入した。酵素は初回の原料投入時に、対原料あるの割合で添加し、以降、デカンターから排出される分を補充した。

[試験結果]

#### ユーカリ・グロブラス (*E. globulus*) の林地残材を原料とした連続糖化発酵試験

ユーカリ・グロブラス (*E. globulus*) の林地残材を、 $\text{Na}_2\text{SO}_3$  の対原料添加率 133、処理温度 183～187、処理時間 200 で処理した。ボイラの性能に制限され、地球釜の処理温度を 189 まで上げることができなかった。固形分回収率はラボ試験の結果をほぼ再現した。レファイナー負荷動力の平均値は 52 [kWh/BD-t] で、ラボ試験よりも小さくなった。大容量の地球釜を使用したため昇温と降温に時間が掛かり、処理温度前後の高温にさらされる時間が長くなったことに起因すると考えられる。



表 III-2-2-27  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  で前処理した林地残材のレファイナー負荷動力と固形分回収率（各条件は表 III-2-2-20 の  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  の最小値を 100 とした相対値、また結果は表中一番上段の条件を 100 としたときの相対値）

バッチ数 (1バッチ処理量:100kg)	薬品種類・添加濃度- 相対値	処理温度 相対値	処理時間 相対値	固形分 回収率 相対値	レファイナー クリアランス 相対値	レファイナー 負荷動力 [kWh/BD-t]
1	$\text{Na}_2\text{SO}_3$ :133	187	200	100.0	50	59
2	$\text{Na}_2\text{SO}_3$ :133	186	200	96.6	50	54
3	$\text{Na}_2\text{SO}_3$ :133	186	200	96.6	50	54
4	$\text{Na}_2\text{SO}_3$ :133	186	200	88.9	50	57
5	$\text{Na}_2\text{SO}_3$ :133	187	200	95.0	50	55
6	$\text{Na}_2\text{SO}_3$ :133	187	200	95.0	50	64
7	$\text{Na}_2\text{SO}_3$ :133	186	200	93.1	50	54
8	$\text{Na}_2\text{SO}_3$ :133	184	200	97.8	50	24
9	$\text{Na}_2\text{SO}_3$ :133	186	200	94.6	50	33
10	$\text{Na}_2\text{SO}_3$ :133	183	200	107.6	50	64

・各条件共に、NaOHを添加

本試験では 192 時間まで断続的に原料を投入した。前処理前の林地残材として 863 [BD-kg]（前処理後原料として 508 [BD-kg]、固形分回収率：85.9（表 III-2-2-28 基準での相対値））の原料を投入し、240 時間の連続併行糖化発酵を行った。初期投入した 100 の酵素に加え、追添加した酵素量は 28 となり、合計 128 の酵素を使用した。

エタノール生産量は 98L、糖化率は 66~85%、発酵収率は 71~78%の範囲で推移した。本試験で使用した酵母にはキシロース発酵能が無いため、グルコースのみをエタノール発酵させたデータである。

本試験における林地残材 1,000 [BD-kg] あたりのエタノール生産量は 127L であった（C6 発酵のみ）。

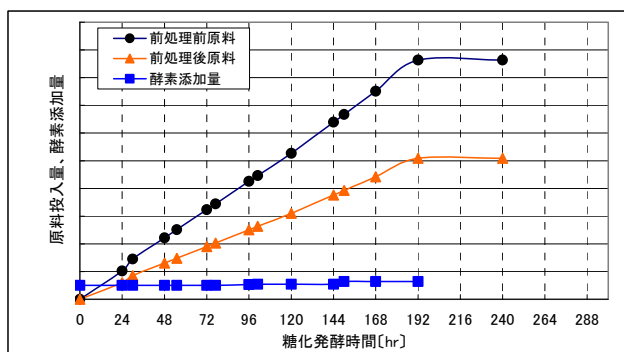


図 III-2-2-19 原料投入量および酵素投入量

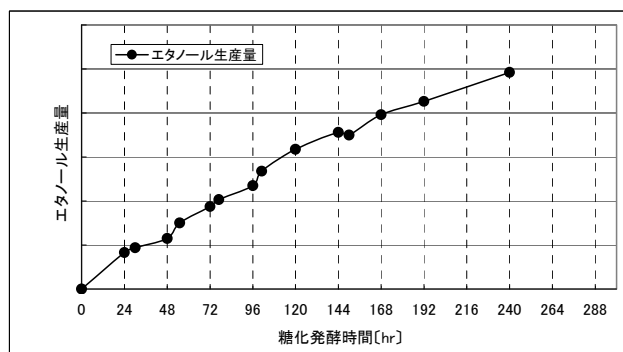


図 III-2-2-20 エタノール生産量

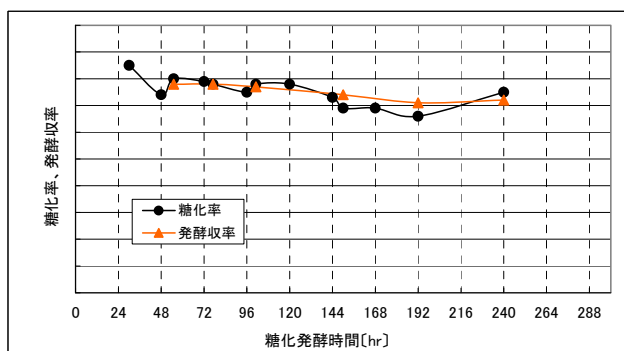


図 III-2-2-21 糖化率および発酵収率

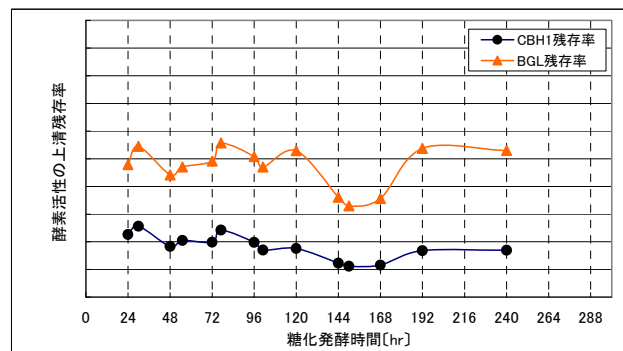


図 III-2-2-22 上清の酵素残存率

ユーカリ・グロブラス (*E. globulus*) の早生樹 (2 年生) を原料とした連続糖化発酵試験

ユーカリ・グロブラス (*E. globulus*) の早生樹 (2 年生) を、 $\text{Na}_2\text{SO}_3$  の対原料添加率 133、処理温度 178~182、処理時間 150 および 300 で処理した。ボイラの性能に制限され、地球釜の処理温度を最大 182 までしか上げることができなかった。レファイナー負荷動力の平均値は 133 [kWh/BD-t] で、ラボ試験結果よりも大幅に小さくなった。

表 III-2-2-28  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  で前処理したユーカリ早生樹 (2 年生) のレファイナー負荷動力と固形分回収率 (各条件は表 III-2-2-20 の  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  の最小値を 100 とした相対値、また結果は表中一番上段の条件を 100 としたときの相対値)

バッチ数 (1バッチ処理量:125kg)	薬品種類・添加濃度- 相対値	処理温度	処理時間	固形分 回収率	レファイナー クリアランス	レファイナー 負荷動力
		相対値	相対値	相対値	相対値	[kWh/BD-t]
1	$\text{Na}_2\text{SO}_3$ :133	178	300	100.0	50	—
2	$\text{Na}_2\text{SO}_3$ :133	178	300	97.5	50	—
3	$\text{Na}_2\text{SO}_3$ :133	182	150	100.0	50	135
4	$\text{Na}_2\text{SO}_3$ :133	182	150	97.1	50	125
5	$\text{Na}_2\text{SO}_3$ :133	182	150	95.2	50	120
6	$\text{Na}_2\text{SO}_3$ :133	182	150	107.1	50	154
7	$\text{Na}_2\text{SO}_3$ :133	182	150	107.9	50	145
8	$\text{Na}_2\text{SO}_3$ :133	180	300	96.6	50	113
9	$\text{Na}_2\text{SO}_3$ :133	178	300	89.7	50	128
10	$\text{Na}_2\text{SO}_3$ :133	178	300	107.2	50	141

・各条件共に、NaOHを添加

本試験では 299 時間まで断続的に原料を投入した。前処理前の 2 年生ユーカリ早生樹として 1,200 [BD-kg] (前処理後原料として 778 [BD-kg])、固形分回収率 101.2 (表 III-2-2-28 での相対値) の原料を投入し、312 時間の連続併行糖化発酵を行った。初期投入した 100 の酵素に加え、追添加した酵素量は 209.4 となり、合計 309.4 の酵素を使用した。エタノール生産量は 134L、糖化率は 69~83%、発酵収率は 65~80% の範囲で推移した。本試験で使用した酵母にはキシロース発酵能が無いいため、グルコースのみをエタノール発酵させたデータである。本試験における 2 年生ユーカリ 1,000 [BD-kg] あたりのエタノール生産量は 112L であった (C6 発酵のみ)。本試験では雑菌のコンタミが多く、216 時間目以降、酵母数を上回るほどに増殖した。経時的な発酵収率の低下はコンタミに起因する可能性がある。

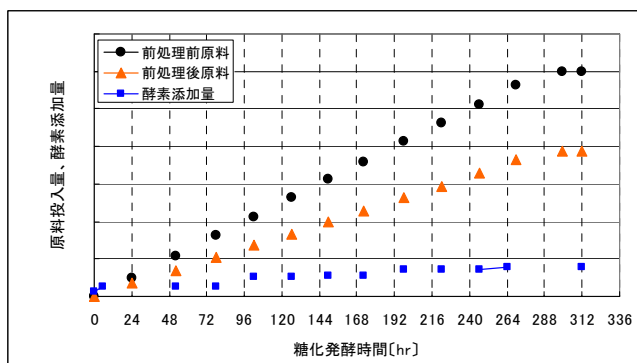


図 III-2-2-23 原料投入量および酵素投入量

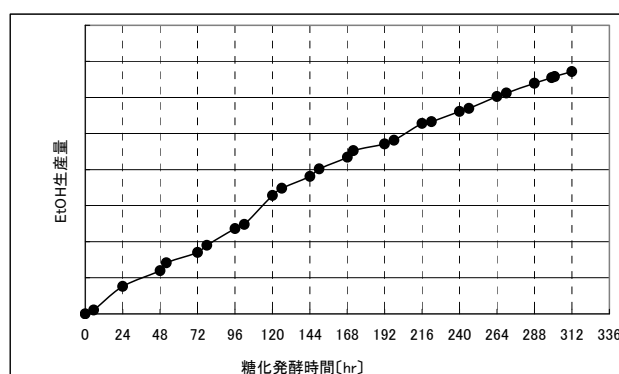


図 III-2-2-24 エタノール生産量

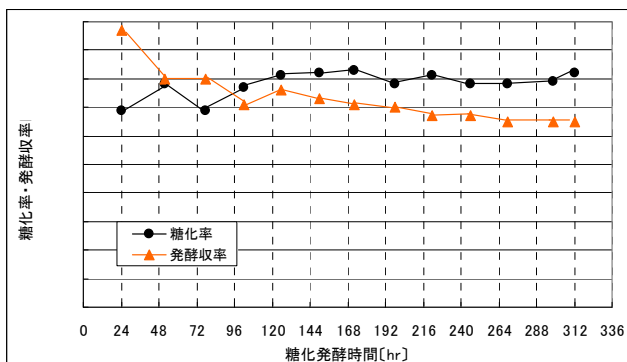


図 III-2-2-25 糖化率および発酵収率

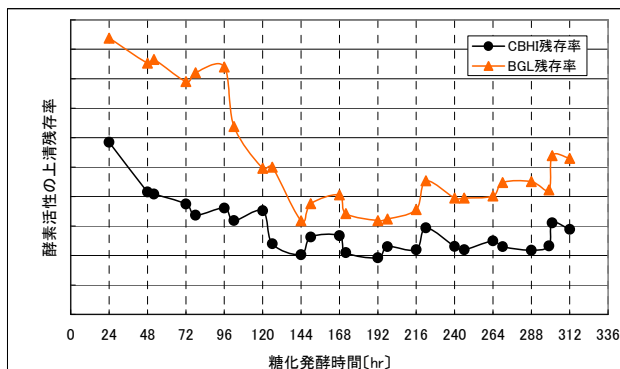


図 III-2-2-26 上清の酵素残存率

[まとめ]

本試験で使用した林地残材 1,000 [BD-kg] 中のホロセルロース含量は 521 [BD-kg] (C6 : 367kg、C5 : 154kg)、前処理後原料のホロセルロース収量は 403 [BD-kg] (C6 : 337kg、C5 : 66kg、ホロセルロース回収率 : 77%) であった。403 [BD-kg] のホロセルロースから製造可能なエタノール量は、酵素糖化率 85%、発酵収率 85% (C6、C5 共に) とすれば 207L となる。

一方、2年生ユーカリ 1,000 [BD-kg] 中のホロセルロース含量は 568 [BD-kg] (C6 : 421kg、C5 : 147kg)、前処理後原料のホロセルロース収量は 433 [BD-kg] (C6 : 331kg、C5 : 102kg、ホロセルロース回収率 : 76%) であった。433 [BD-kg] のホロセルロースから製造可能なエタノール量は、酵素糖化率 85%、発酵収率 85% (C6、C5 共に) とすれば 223L となる。計算上、2年生ユーカリを原料とする場合、前処理後のホロセルロース回収率、酵素糖化率、発酵収率の全てが 90% の場合で 0.295 である。ラボ試験での糖収量およびベンチプラントでの酵素糖化率、発酵収率の実績から考えれば、林地残材や 2年生ユーカリでエタノール収率 : 0.3 [L/原料 BD-kg] を達成するのは非常に困難と考えられる。ホロセルロース含量の高い原料の使用、前処理条件の更なる検討等、エタノール収率を向上させる必要がある。

2) 雑菌コンタミ対策

(目標) パイロットプラントの操業において雑菌のコンタミが発生し、酵素による糖化率、発酵収率に影響することが明らかとなった。また、そのため短期間運転の評価に留まっている。パイロットプラントでの実証を雑菌コンタミの影響を最小限にとどめる条件下で、以下の酵素のコスト削減、発酵収率の向上の検討を進めることを目的として雑菌汚染の原因の究明と、対策、効果確認を行った。

2)-a) 混入雑菌の遺伝子配列による同定

(方法) パイロットプラントで混入が確認された雑菌についてはコロニーPCRにより表 III-2-2-29 に示したプライマーにより 500 bp 程度の 16SrDNA 遺伝子断片を増幅し、シーケンス解析により得られた配列を DDBJ や GenBank 等の生物情報データベースを用いて BLAST 検索を行い、高い相同性を示したものを同定結果とした。

表 III-2-2-29 雑菌同定に用いたプライマー

9F	5'-GTGTTTGATCCTGGCTCAG-3'
536R	5'-GTATTACCGCGGCTGCTG-3'

(結果) 第 8～12 回のパイロットプラント実証試験について各タンクで混入・増殖が見られた雑菌を同定した。混入した雑菌は各試験、タンクで多少違いが見られたもののグラム陽生菌である乳酸菌 *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus fermentum*, *Pediococcus pentosaceus*, *Lactobacillus casei* や腸球菌 *Enterococcus faecalis* が主だったものであった。また、芽胞菌を形成する *Bacillus* 属やグラム陰性の *Enterobacteriaceae* 科の細菌も検出された。

## 2)-b)雑菌汚染の原因究明

(背景・方法) 雑菌の混入経路としては①原料由来、②現場使用水、③外気からの混入、④内在汚染源からの混入などが考えられる。そこで、①、②について雑菌の有無を調べた。

(結果)①について雑菌は検出されなかった。原料は前処理工程で 150℃以上の温度で加熱、煮沸処理し、洗浄も 60℃以上を保っているため雑菌混入の可能性は少ないと考えられる。また②については 600 (個/L) のバクテリアが検出されたもののパイロットプラントで検出されるバクテリアとはコロニーの色、形状が全く異なっていた。

(まとめ) 呉のバイオエタノールパイロットプラント設備はサニタリー仕様ではない。また第一種圧力容器ではなく蒸気滅菌はできない。更にデカンター、振動スクリーン、レファイナーなど設備的に外気そのまま混入する箇所が幾つも存在する。プラント試験に際しては糖化発酵設備はできる限り分解洗浄し、熱アルカリによる定置洗浄を行うなど時間をかけて丁寧に洗浄を行っているが、施工上、十分に洗浄ができない差込溶接部分やセンサー部分、溜まりの残り易い接続部などが多く存在することから③外気からの混入、④内在汚染源からの混入の可能性が高い。このようにコンタミに対しては設備面での対応が必要であるが、すべての対策をとることは時間的、費用的に難しいため、パイロットプラントでは抗菌剤等の薬剤を使用して評価することとした。

## 2)-c)亜硫酸ナトリウムの効果

(背景・方法) 亜硫酸ナトリウムは雑菌の混入対策としてワインの製造に使われている。また、紙パ製造設備においては黒液からの回収系が確立されており、バイオエタノール製造に際しても同様に回収して使用できる可能性がある。ラボでのフラスコ実験では 5 mM 亜硫酸ナトリウムの添加によって第 8 回パイロットプラント実証試験より取得した *L. fermentum*, *E. faecalis* に対する殺菌効果が確認された。一方で、この効果は 3 L ジャーでのパルプを原料とした同時糖化発酵試験では単回の添加では十分に雑菌を抑えることができなかった。そこで 3L ジャーでのパルプ原料を用いた同時糖化発酵において上記雑菌を加え亜硫酸ナトリウムの添加を複数回行い、雑菌の抑制が可能かどうか検討を行った。また同様に異なる pH での亜硫酸ナトリウム複数回添加の効果について調べた。

(結果) Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 無添加では、雑菌が増加、EtOH 濃度が他と比較すると低く、酵母数も減少した (図 III-2-2-27)。Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> を 40%量添加の水準では、40 時間ほどまで雑菌の抑制が見られたが、40 時間以降、雑菌が増加した(図 III-2-2-28)。Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> を 100%量添加の水準では、雑菌の生菌数抑制効果が見られた (図 III-2-2-29)。

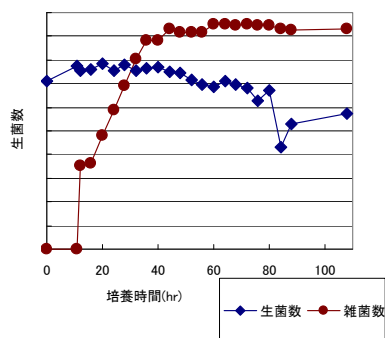


図 III-2-2-27 Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 添加なし

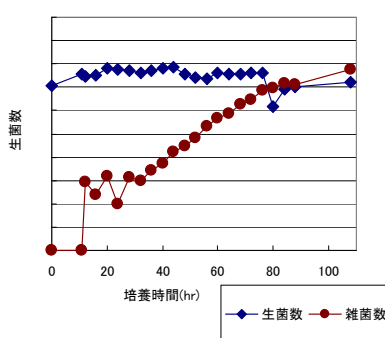


図 III-2-2-28 40%量 Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>

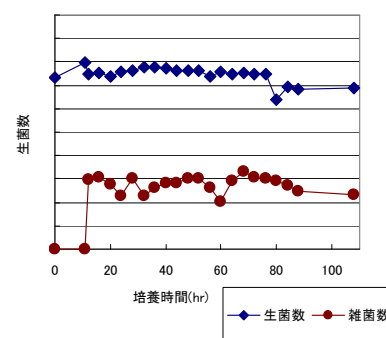


図 III-2-2-29 100%量 Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>

図 III-2-2-30 の pH では Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 添加により酵母数が減少し、添加 12 時間後には検出されなくなった。図 III-2-2-31 では雑菌の増殖をほぼ完全に抑えることができたが、酵母数も徐々に減少した。図 III-2-2-32 では雑菌の増殖を抑えることが可能で酵母数を維持することができた。

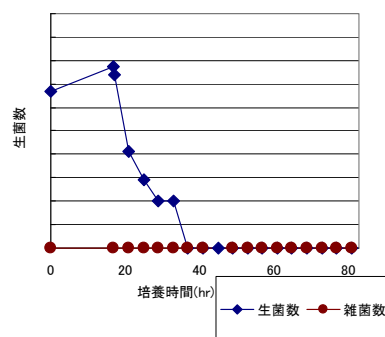


図 III-2-2-30 pH 低

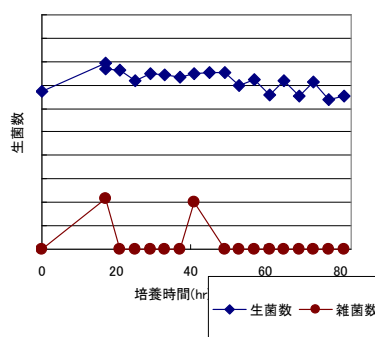


図 III-2-2-31 pH 中

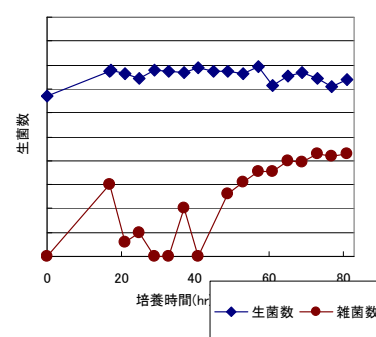


図 III-2-2-32 pH 高

(まとめ) 亜硫酸ナトリウムは雑菌の増殖抑制に効果が見られるものの、その効果は濃度の他、pH にも影響を受け、また酵母への影響も見られる。

## 2)-d) 抗菌剤の効果

(背景・方法) 亜硫酸ナトリウムは様々な雑菌に効果が見られるものの酵母にも影響を及ぼすことが明らかとなった。そこで、様々な抗菌剤から①入手が容易なこと、②パイロットプラント実証試験より取得した雑菌への効果があること、③広い抗菌スペクトルを持つこと、④酵母への悪影響がないことおよび⑤工場排水(活性汚泥)への影響が出ないように熱アルカリ処理でプラントで失活(熱アルカリ処理)が可能であることを要件に抗菌剤の選定を行った。

(結果) 抗菌剤 1 の結果を図 III-2-2-33, 34 に示す。上記要件を満たす抗菌剤として抗菌剤 1~6 が候補となった。

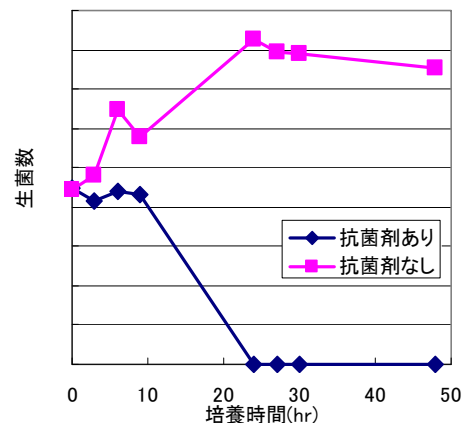
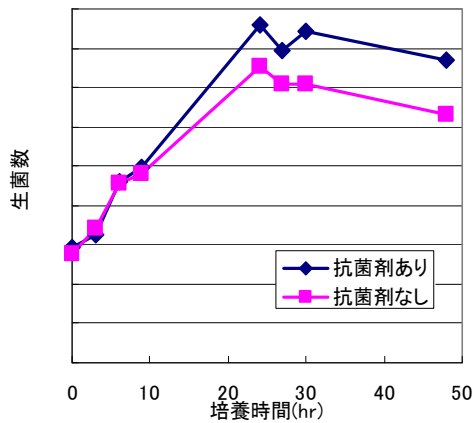


図 III-2-2-33 抗菌剤 1 の酵母増殖への影響

図 III-2-2-34 抗菌剤 2 の雑菌増殖への影響

(まとめ) パイロットプラントでの実証は、雑菌コンタミの影響を最小限にとどめる条件として上記抗菌剤を複合的に組み合わせることによって、また場合によっては亜硫酸ナトリウムを併用してパイロットプラント連続運転を行うことで、酵素コスト、発酵収率を確認する。

### 3) 酵素コスト削減

(目標) 2020年までの事業化に向けて酵素のコスト削減の見通しを明らかにするために、パイロットプラントで酵素の添加量、酵素の回収再利用を検討し、本事業終了時までには、原料あたりの酵素の使用量を 1/10 以下とする事を目標とする。

(方法・結果) 前処理技術、1)-b)ベンチプラントによる連続糖化発酵試験、[試験結果] ユーカリ・グロブラス (*E. globulus*) の林地残材を原料とした連続糖化発酵試験に記載の実験は途中 192 時間目までに前処理後原料を 863kg 投入した。ベンチプラントのフローを図 III-2-2-35 に示す。糖化発酵槽を出た酵素を含む発酵液はスクリーンプレスにより固形分を除去後、エタノール回収、デカンターにより再度固形分を除去し糖化発酵槽に戻して操作を行った。酵素は初回の原料投入時に対原料(前処理前)一定の割合で添加し、以降、デカンターから固形分とともに排出される分を補充した。当初予定の原料あたりの酵素使用量と比較して使用した酵素はその 1/8.8 であった。この間の酵素糖化率は 66 %であった。

(まとめ) 以上のように、酵素コスト削減に関してベンチプラントでの連続糖化発酵試験により当初予定の酵素使用量より 1/8.8 に使用量を削減することができた。

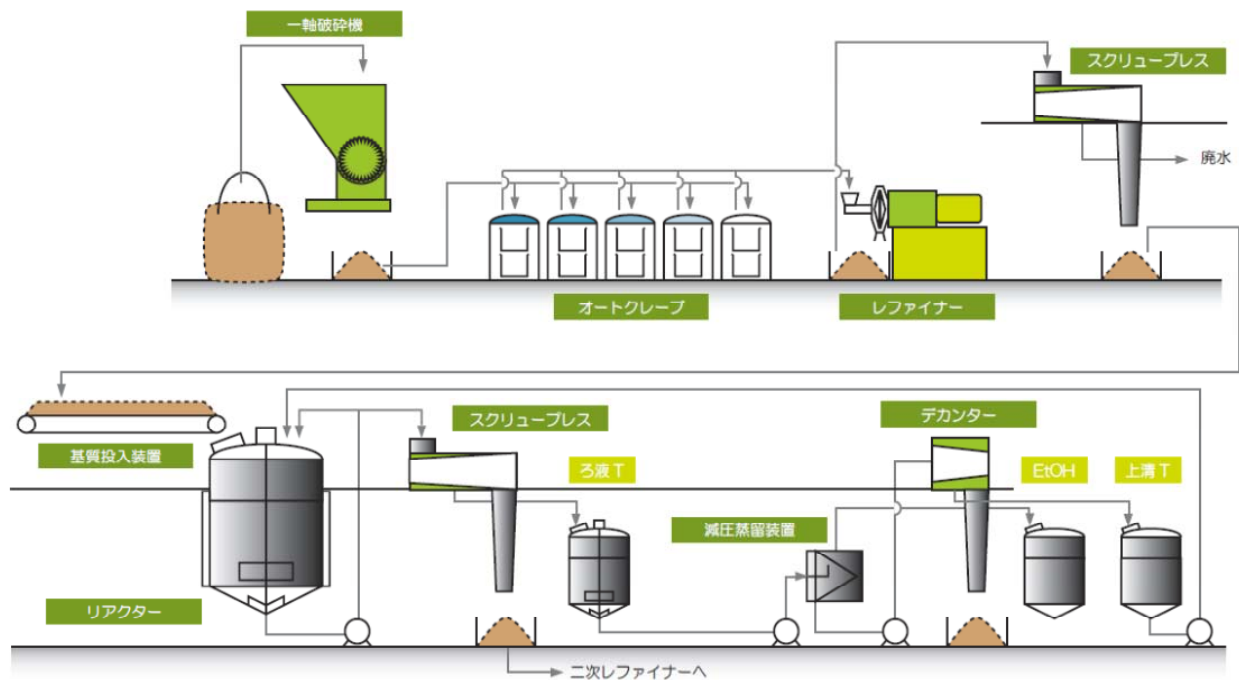


図 III-2-2-35 ベンチプラントフロー

#### 4) 糖化発酵工程の効率化、設備コスト削減

##### 4)-a) キシロース資化性野性酵母 (*Pichia* 酵母) のパイロットプラントへの導入

(目標) パイロットプラントでは木質バイオマスに含まれるグルコースを1段目の糖化発酵槽にて高温性酸塩耐性酵母を用いてエタノール発酵させ、得られる糖化発酵液を蒸留後、キシロースなどの五炭糖が含まれる糖化液をキシロース資化性野性酵母 (*Pichia* 酵母) により発酵させる2段発酵システムでプラントを建設した。そこで、パイロットプラントでの連続操業試験の運転条件を設定するために、パイロットプラント操業から得られる蒸留後の糖化液を用いて、ラボスケール(3 L ジャー)で pH や通気量の検討を行い、最適な運転条件を見出す。

##### (方法・結果)

##### ①至適 pH の検討

パイロットプラント糖化液を用いて *Pichia* 酵母のキシロース消費における pH の影響を検討した。パイロットプラント糖化液(グルコース:0.44%, キシロース:1.04%)を予め pH を低、中、高に調整後、*Pichia* 酵母を植菌し、30°Cで嫌気培養を行い、各種培地成分の経時変化を追跡した。結果を図 III-2-2-36,37,38 に示す。

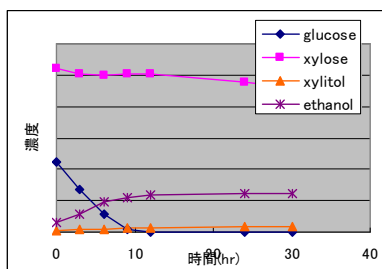


図 III-2-2-36 pH 低培養

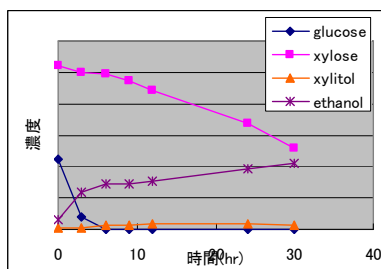


図 III-2-2-37 pH 中培養

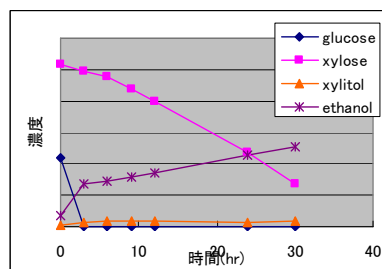


図 III-2-2-38 pH 高培養

キシロース消費速度、発酵収率を表 III-2-2-30 に示す。

表 III-2-2-30 キシロース消費速度ならびに発酵収率

	pH 低	pH 中	pH 高
キシロース消費速度(相対値)* <sup>1</sup>	16.1	69.5	100
発酵収率(相対値)* <sup>2</sup>	28.1	89.5	100

\*<sup>1</sup> : キシロース消費速度 : 30 時間目までの消費速度

\*<sup>2</sup> : 発酵収率 : エタノール生産量(g)/(投入キシロース量(g)×0.511)×100(%)

パイロットプラントで得られた実際の糖化液を用いた場合、pH 依存性が高く、pH 中以上が高いキシロース消費速度が得られた。しかし、pH 高以上の高い pH 条件では糖化酵素の安定性が低下するとの報告があり、以下の通気量の検討は pH 中で実施した。

#### ②至適通気量の検討

ユーカリ・グロブラス木材チップを用いたパイロットプラント操業において得られた蒸留後の糖化液を用いて、*Pichia* 酵母における通気量の検討を行った。結果を図 III-2-2-39,40,41、表 III-2-2-31 に示す。

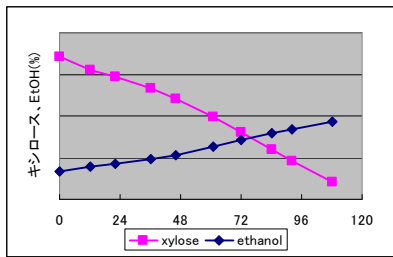


図 III-2-2-39 低 vvm

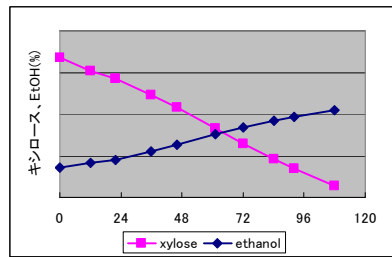


図 III-2-2-40 中 vvm

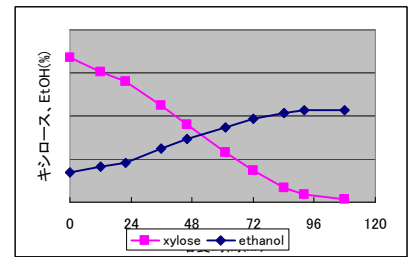


図 III-2-2-41 高 vvm

表 III-2-2-31 キシロース消費速度、発酵収率

通気量	低 vvm	中 vvm	高 vvm
キシロース消費速度(相対値)* <sup>1</sup>	63.2	78.9	100
発酵収率(相対値)* <sup>2</sup>	80.2	96.5	100

\*<sup>1</sup> : キシロース消費速度 : 72 時間目までの消費速度

\*<sup>2</sup> : 発酵収率 : エタノール生産量(g)/(投入キシロース量(g)×0.511)×100(%)

通気量のより高い vvm 試験も続けて行ったが、エタノール生産性の向上は認められなかった。

(まとめ) パイロットプラント糖化液を用いて *Pichia* 酵母のキシロース発酵におよぼす pH および通気量の影響を調べた。その結果、糖化酵素の活性も考慮に入れパイロットプラントでは pH 中、通気量は高 vvm で運転の検討を行うこととした。

#### 4)-b) 酸塩耐性酵母のセルフクロニング技術の開発 (王子ホールディングス株式会社)

(目標) 木質バイオマスにはグルコース (C6 糖) のみならず、キシロース (C5 糖) も相当量 (広葉樹の場合、乾燥重量の 25~30%) 含まれているため、木質を原料としてエタノール発酵を実施する場合、キシロース発酵能をあわせて有する微生物は単独の発酵槽のみで C5 糖、C6 糖を同時に発酵することができ、設備コスト低減に繋がり、実用化を進める上で有利である。しかし、一般的な酒酵母はグルコー



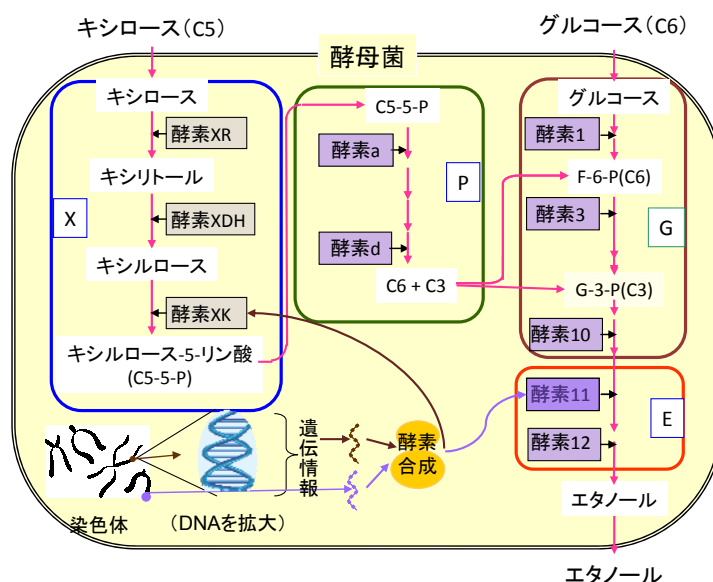
スからしかエタノール発酵ができないために、原料として木質バイオマスを利用する場合、発酵過程で利用されないキシロースの蓄積が認められ、その結果、酵素糖化阻害物質として作用し、糖化速度の低下をもたらす。また、蓄積されたキシロースにより乳酸菌などの雑菌汚染のリスクも高まる危険がある。一方、C5糖発酵酵母として *P. stipitis* が広く研究され、酒酵母との共培養が検討されているが、本菌においてグルコースが存在するとキシロースの代謝はほとんど行われないため、発酵槽を二段に分ける必要がある。

これに対し、高温性酸塩耐性酵母 *Issatchenkia orientalis* MF-121 株は、キシロース発酵能は有さないが、キシロース代謝に関連する遺伝子群は存在していた。そこで、これらの内在性の遺伝子のみを用いて、キシロース代謝遺伝子群を増強することによりキシロース発酵能を付与した改変株を作製し、コスト低減を目指す。

### (方法と結果)

#### ①各種遺伝子の取得

C5糖発酵性酵母である *P. stipitis* のキシロース代謝関連遺伝子の塩基配列および産業技術総合研究所所有の *Issatchenkia orientalis* NBRC 株のゲノムデータベースを基に PCR プライマーを作成し、*I. orientalis* MF-121 株の染色体 DNA から PCR 法により 3 種類のキシロース代謝関連遺伝子 (XR、XDH、XK) を取得した。



酵素 XR : xylose reductase、酵素 XDH : xylitol dehydrogenase、酵素 XK : xylulokinase

図 III-2-2-42 MF121 株によるキシロースの代謝

さらに、キシロース代謝関連遺伝子のプロモーター領域を置換するために構成的に発現するプロモーター遺伝子を MF-121 株染色体 DNA から PCR 法により取得した。また、選択マーカー遺伝子としては内在性の遺伝子を改変することにより作製して用いた。

#### ②形質転換用遺伝子の構築

相同組換えにより MF-121 株へ遺伝子を導入できるよう、プロモーターを置換したキシロース発酵代謝に係わる 3 つの遺伝子と選択マーカー遺伝子を配置した形質転換用遺伝子を構築した。なお、構築した形質転換用遺伝子では遺伝子の単離に使用したリンカー部位も全て除去し、MF-121 株由来 DNA のみで構築した。

#### ③MF-121 株への形質転換

前述の形質転換用遺伝子を酢酸リチウム法にて MF-121 株に導入し、形質転換を行い、形質転換体 MF-121(Io3EzIX)株を得た。

#### ④MF-121(Io3EzIX)株の染色体に挿入された遺伝子の確認

MF-121(Io3EzIX)株構築過程において酵母、大腸菌シャトルベクターから目的遺伝子をアガロースゲルから切り出す過程が含まれており、大腸菌などの外来遺伝子の混入が危惧される。外来遺伝子が混入した場合はセルフクロニング株と見なされないために、外来遺伝子が混入していないことをサザンハイブリダイゼーションにより確認する必要がある。そこで、Io3EzIX 構築に使用したベクター部分(3.6kb)をプローブとして用いた結果、該当する異種生物の DNA 断片の混入は検出されなかった。

#### ⑤MF-121(Io3EzIX)株のキシロース発酵能の確認

MF-121(Io3EzIX)株のキシロース発酵能を確認するために、MF-121(Io3EzIX)株をグルコース 0.5%、キシロース 3.0%を含む合成培地にて 37°Cで培養し、経時的にエタノール濃度を測定した。MF-121(Io3EzIX)株は添加したグルコースから生産されるエタノール理論量である 0.25%を上回る約 1.0%のエタノールを生産した。これより、本セルフクロニング株はキシロースからエタノールを生産しており、導入した改変遺伝子によりキシロース発酵能を獲得していることが確認された。

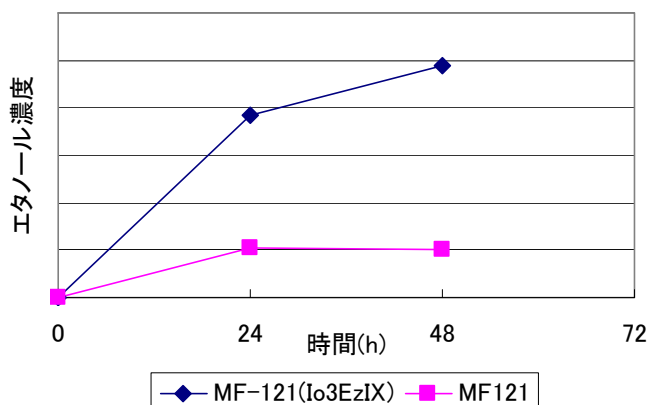


図 III-2-2-43 MF-121(Io3EzIX)株のキシロース発酵能の確認

#### 4)-c)パイロットプラント前処理原料を用いたセルフクロニング候補株による併行糖化発酵試験

(目標) パイロットプラントで調製した前処理原料を用いて、パイロットプラント操業条件下での発酵性の評価を行うことを目標とした。

#### (方法・結果)

以下の条件でラボスケール(5L)での併行糖化同時発酵(連続 SSCF)試験を検討した。

使用原料：糖含量：65.7%、糖組成：グルコース：78.2%、キシロース：21.8%

1日当たり基質濃度一定となるように基質追添加、酵素添加

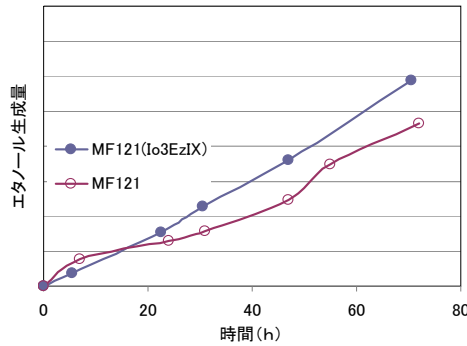


図 III-2-2-44 木質バイオマス前処理物を用いた併行糖化発酵比較

セルフクローニング候補株はキシロース発酵能が付与されているため、元株 MF-121 株の 1.27 倍のエタノール生産性を示した。

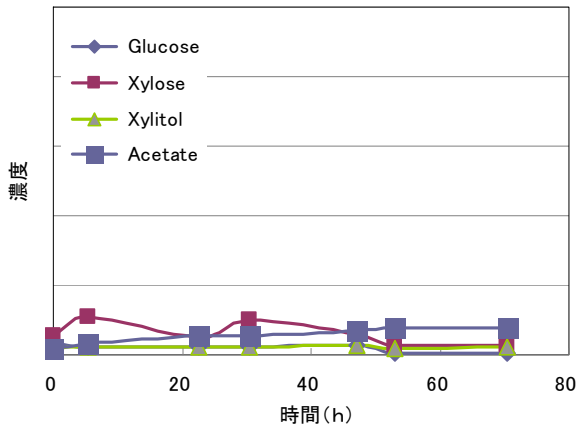


図 III-2-2-45 セルフクローニング株 副産物の推移

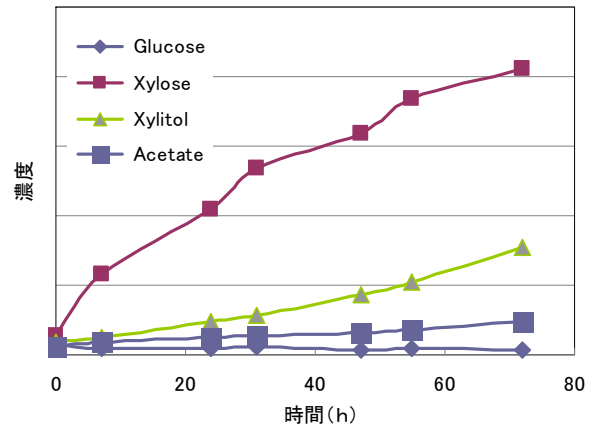


図 III-2-2-46 野性株 副産物の推移

セルフクローニング候補株ではパルプ添加時にキシロースの若干の増減が観察されたが、72 時間の発酵期間において、ほぼゼロであった。これに対し、野性株 MF-121 株ではキシロースが経時的に増加した。また、キシロースの蓄積に伴い、キシリトールの漏出も認められた。

### a)-3 まとめ

高温性酸塩耐性酵母 *I. orientalis* MF-121 株へキシロース発酵能を付与することに成功した。構築の過程で外来遺伝子を全く含まないセルフクローニング技術による付与株である。セルフクローニング株であれば、遺伝子組換え株には該当せず、新たな拡散防止措置を執る必要は無い。さらにラボスケールであるが、パイロットプラントで調製した前処理原料を用いて、併行糖化同時発酵 (SSCF) を実施し、木質バイオマス由来のキシロースが利用され、野性株と比べ、エタノール生産量の増大が確認できた。

	開発項目	目標	成果	達成度
一貫プロセス最適化研究	前処理	(3-a)メカノケミカルパルピング前処理と連続糖化発酵プロセスの最適化	原料1kgあたりの投入エネルギーが6MJ(ネット)/kg以下で酵素糖化率80%を達成	○
	発酵	SSFに適した酵母へのC5発酵機能の付与	セルフクローニング技術を用い酸塩耐性酵母にC5糖からのエタノール発酵能を付与することに成功した。パイロットプラントで前処理したパルプを原料に、ラボでミニジャーフェーマンターにより併行糖化発酵を行い、C5糖からのエタノール生産を確認した。	○

## b) エタノール製造プロセスの最適化（濃縮プロセスの省エネルギー化）（新日鉄住金エンジニアリング株式会社、東京大学）

### b)-1-1 10%エタノールを原料とした濃縮プロセスの省エネルギー化の個別目標

エタノール製造プロセスの最適化に関する研究開発については、中間目標として10%エタノールを99.5vol%に濃縮するのに必要なエネルギーを2.5MJ/L・エタノール以下とする「バイオ燃料革新計画」に対応する技術の見極めを行うことを目標とした。また、選定した自己熱再生技術での北九州のパイロットプラントでの実証運転の実行およびデータの評価も目標とした。

### b)-1-2 検討内容（方法と結果）

#### （背景）

バイオエタノール製造プロセスの重要な単位操作である蒸留工程は、液体混合物を一度蒸発させ、後で再び凝縮させることで、沸点の異なる成分を分離・濃縮する操作である。エタノール蒸留においては、常圧でエタノールの沸点は79℃、水の沸点は100℃であることから、この温度差を利用してエタノールを数%含む発酵液に熱を加え、エタノール濃度90%程度になるように濃縮する。しかし、この蒸留操作は、塔底のリボイラ等において蒸気などで熱を供給し、原料の液体混合物を一旦気相に変換するため、それを行うための蒸発潜熱を必要とする。また、塔全体において物質移動のための気液接触を行わせ、塔頂のコンデンサで蒸気から凝縮潜熱を奪って再び液相に戻す操作も必要となる。したがって、バイオエタノール製造プロセスにおける蒸留操作は、膜分離や抽出など他の分離プロセスよりも容易にエタノールを分離できる反面、熱エネルギーを多く消費するプロセスであると言える。具体的に10wt%エタノールから90wt%エタノールに濃縮するために必要な蒸留エネルギーは、缶出液（塔底からの抽出液）からの熱回収を行った場合で、3.7MJ/L-EtOHとなる。これは製造したバイオエタノールの熱量（約21MJ/L-EtOH）の約18%であり、バイオエタノール化プロセスはこの熱量分エネルギー転換効率を低下させている。特にアメリカにおいてはこのエタノール蒸留に必要な熱量を天然ガスから得ており、カーボンニュートラルという特性を有するバイオエタノールの価値を大きく損ねている現状がある。

そこで蒸留プロセスの入熱部と出熱部をそれぞれにペアリングさせ、潜熱と顕熱を最大限に回収する自己熱再生型蒸留に着目し、その優位性について検討を行った。

#### （方法）

比較対象として、従来型エタノール蒸留のT-Q線図（温度-熱量線図）を図III-2-2-47に示した。従来型のエタノール蒸留においては一般に蒸留塔の塔底から排出される缶出液に含まれている顕熱を原料供給液（発酵液）と熱交換させて熱回収を行う。これにより蒸留に必要な熱量の20%強を削減することができる。しかし、蒸留塔の塔頂部から出てくる濃縮エタノールに含まれている潜熱と顕熱は、コンデンサで冷やすのみで熱回収は行っていない。これは蒸留操作で水とエタノールが分離すると、塔頂のエタノール蒸気は塔底の排水に比べ温度が21℃以上低くなってしまい、この蒸留プロセスではその潜熱と顕熱を利用できなくなっているためである。したがって、従来型蒸留プロセスでは、缶出液の顕熱を利用したとしても、外部から蒸気等で熱量を与える必要がある。

次に自己熱再生型エタノール蒸留のT-Q線図を図III-2-2-48に示した。自己熱再生型蒸留では、従来型蒸留と同様に塔底から排出される缶出液に含まれている顕熱を回収する熱交換器を設置する。次に、塔頂からでてくる濃縮エタノール蒸気をコンプレッサによって断熱圧縮することにより、蒸気温度を上

昇させ、還流側の蒸気は蒸留塔塔底の循環液と、留出（払い出し）側の蒸気は予熱部で蒸留塔に供給される供給原料液と熱交換させて、圧縮されたエタノール蒸気の潜熱と顕熱を供給する。特に予熱部においては、圧縮により高温となったエタノール蒸気の潜熱を蒸留塔へ供給される液の直前で熱交換させ、その後凝縮した濃縮エタノールの顕熱を前段に缶出液の熱交換器と並列に配置した熱交換器で熱交換させることで、潜熱と顕熱を最大限熱交換させる工夫を行い、省エネルギー効果の向上を図っている。

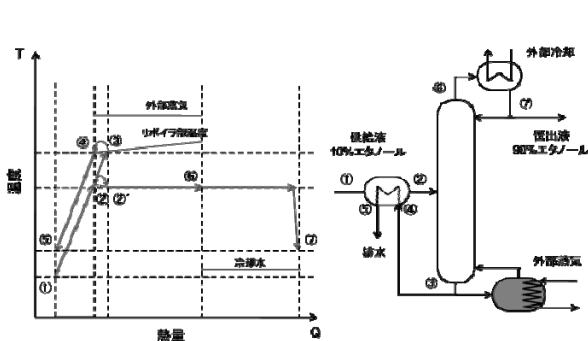


図 III-2-2-47 従来型蒸留の T-Q 線図

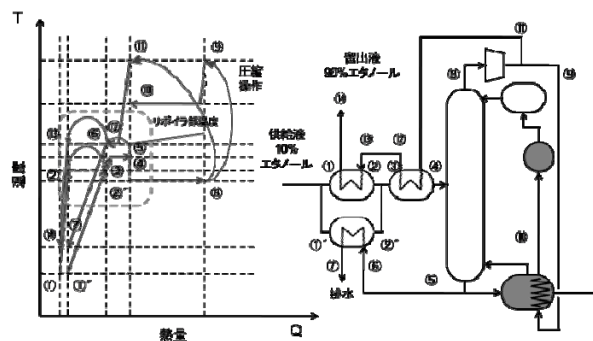


図 III-2-2-48 自己熱再生型蒸留の T-Q 線図

上述の通り、画期的な省エネルギー効果が得られると期待される自己熱再生型エタノール蒸留であるが、①凝縮などによる機械的トラブルを発生させずに蒸気をコンプレッサで圧縮できるか、②立上時および定常時の圧力と熱バランスの制御は可能かなど、エンジニアリング的に克服すべき技術的課題があった。そこで平成 23 年度に北九州のパイロットプラントにて実証試験を行った。また、それに先立ち平成 22 年度には、自己熱再生型エタノール蒸留を行うためのパイロットプラントの設計、蒸気圧縮機の製作、据え付け工事を行った。

基本プロセスの検討では、自己熱再生技術をエタノール蒸留に適用した場合、どの程度の圧縮比が必要となるか、蒸留塔本体の圧力を変化させた場合省エネルギー効果にどのような影響があるか、既設の蒸留塔に圧縮機を追設する形で改造が可能かなどの検討を行った。そして、圧縮機の型式の選定と操作圧力の決定を行い、それに対応した圧縮機の仕様を確定した。

平成 22 年度の自己熱再生型エタノール蒸留塔の設計については、圧縮機や熱交換器の配置場所等レイアウト、圧縮機および圧力の制御方法などを検討した。その後、圧縮機等の機器製作を行い、年度末に設置工事を行った。

表 III-2-2-32 は、自己熱再生型エタノール蒸留の実証試験を行ったパイロットプラントの設備仕様である。実証試験は、北九州市の若松区にある食品廃棄物エタノール化リサイクルシステム実証実験事業で使用した通常型蒸留設備に圧縮機や熱交換器を追設する形で、試験を行うこととした。したがって、熱交換器と圧縮機以外は、既設の蒸留塔と仕様は変わらない。また、原料エタノール濃度は、本プロジェクトの基盤研究の目標値に合わせるため 10wt%とし、塔頂エタノール濃度は膜分離前のエタノール蒸留の設計条件である 90wt%に設定した。蒸留塔本体は既設の蒸留塔をそのまま使用しているが、原料供給段より下部（回収部）はシーブトレイを用い、上部（濃縮部）は規則充填物を用いている。熱源は、従来型蒸留は隣接するガス化溶解炉（ごみ焼却場）のボイラの外部蒸気を用いていたが、自己熱再生型蒸留はこれに代えて圧縮エタノール蒸気を使用し、その熱量を熱交換させるためのエタノール蒸気用熱

交換器を追設した。圧縮機は、エタノール蒸気の使用に耐えうるものを選定し、電動機の定格電力は 15kW とした。

表 III-2-2-32 自己熱再生型エタノール蒸留試験設備仕様

	既設蒸留塔	自己熱再生型蒸留 (自己熱部追設)
原料エタノール濃度	10wt%	10wt%
原料供給量	400kg/h	400kg/h
塔頂エタノール濃度	90wt%	90wt%
蒸留塔	濃縮部 (規則充填) 回収部 (シーブトレイ)	濃縮部 (規則充填) 回収部 (シーブトレイ)
熱源	外部蒸気	圧縮エタノール蒸気
リボイラ	外部蒸気用熱交換器	追設 エタノール蒸気用 熱交換器
コンプレッサ定格	—	15kW

以下に、実証試験を行ったパイロットプラントの写真を示した。圧縮機は蒸留塔の塔頂からでてくるエタノール蒸気を速やかに圧縮するために、4階のデッキを張りださせた場所に設置した。その他の熱交換器等は既設蒸留塔に隣接させる形で、1階に設置した。

写真 III-2-2-6 自己熱再生型エタノール蒸留設備 (北九州)

### (結果)

実証試験は、平成 24 年 3~4 月と平成 24 年 9~10 月の 2 期にわたって実施した。平成 24 年春の第 1 期試験では、機械的トラブルを発生させずにエタノール蒸気をコンプレッサで圧縮できることを確認したが、熱交換量のバランスの調整やエタノール蒸気処理量の適正化など課題が発生したため、改造工事を行い第 2 期目の試験に臨むこととした。平成 24 年秋の改造後の第 2 期試験では、第 1 期試験時の課題を解消し、良好な試験結果を得ることができた。図 III-2-2-49 に実証試験結果を示す。

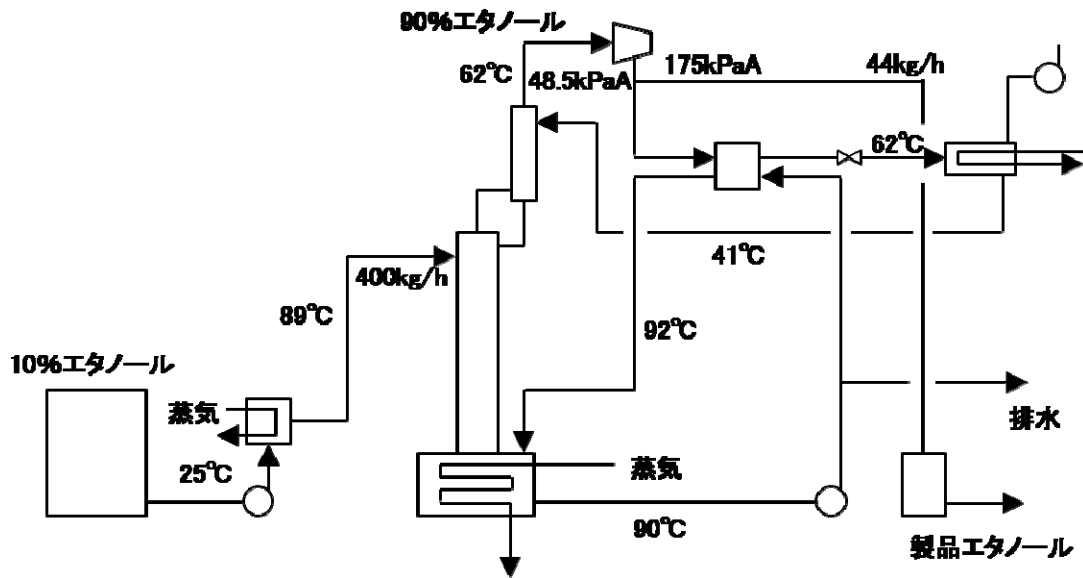


図 III-2-2-49 自己熱再生型エタノール蒸留実証試験結果

第 2 期試験では、蒸留塔塔頂からのエタノール蒸気を設定した圧力で圧縮する運転方案を確立することができた。このときエタノール蒸気は断熱圧縮により温度上昇することを確認し、その温度は断熱圧縮効率のロス分により、断熱圧縮計算温度より高い温度となることを確認した。断熱圧縮効率は実測で 58% となり、計画値の 50% と同等以上の値を得ることができた。これにより、放熱量、機器性能・ロス・エタノール濃度、機器構成等の条件を補正・換算したうえで、自己熱再生型エタノール蒸留の濃縮にかかるエネルギーが従来型エタノール蒸留に比べて約 7 分の 1 になることを立証することができた。表 III-2-2-33 は、自己熱再生型エタノール蒸留実証値から省エネルギー効果の評価をまとめたものである。

表 III-2-2-33 自己熱再生型エタノール蒸留エネルギー評価

	蒸気使用量	圧縮機 電力使用量	評価 1	評価 2
1. 通常型蒸留	3.7MJ/L-EtOH	なし	100	1
2. 自己熱再生型蒸留	なし	0.65MJ/L-EtOH	18 (53)	1/6 (1/2)

※1. 通常型エタノール蒸留は廃液の熱回収のみ行ったものとした。

※2. 加熱側のみを考慮して、コンデンサ側のメリット（冷却水削減）は算出しなかった。

※3. 評価の（）内は、蒸気と電気のエネルギー価値を下記の関係で換算した。

表 III-2-2-33 の通常型蒸留では、蒸気使用熱量を 3.7MJ/L-EtOH としたときを基準として、その値を評価 1 では 100 とし、評価 2 では 1 とした。これに対し、2 段目の自己熱再生型蒸留（実測値）では、電動機動力が 9.3kW という結果を得ることができたので、0.65MJ/L-EtOH と換算でき、評価 1 では 18、評価 2 では 1/8 という数字が得られる。2 段目の計算値と同様に『電力コスト=蒸気コスト×3』で評価した場合、評価 1 では 53、評価 2 では 1/2 となり、自己熱再生技術によってエタノール蒸留にかかるランニングコストを半減できることを実証した。ただし、この評価は簡易的に評価したものであって、実

機検討においては各立地での電力コストと蒸気コストの関係を反映することが必要になる。

#### b)-2-1 酵素を回収再利用する濃縮プロセスの省エネルギー化の個別目標

平成 23 年度までは、濃縮・脱水工程における基盤研究として、自己熱再生技術による 10wt%エタノールを 90wt%エタノールまで濃縮する技術開発を行った。これを踏まえ最終目標として、セルロースエタノール化一貫製造システムの酵素を回収するプロセスにて、下記の項目を定めた。

- a) セルロース系エタノール実証試験の中で、省エネ効果及び実機化の観点で最適であると判断したコンプレッサを 2 台用いた自己熱再生プロセスを一貫実証する。
- b) 自己熱再生プロセスの実機規模での課題の抽出・対策検討を行とともに、実機化に向けた設備仕様・構成を再検討し、酵素回収・酵素濃縮機能を付加した自己熱再生蒸留プロセスの実機試設計を行う。
- c) パイロットプラントにおける実証試験結果を基に、全体プロセスの水循環、エネルギー回収を中心とした熱・物質収支の検討を行い、実機での最適なプロセスを構築する。

#### b)-2-2 検討内容（方法と結果）

##### （背景）

前述のとおり、本プロジェクトでは、メカノケミカルパルピング処理によるセルロースエタノール一貫製造プロセスの開発に取り組んでいる。このプロセスでは、結晶セルロースをグルコースまで加水分解する糖化工程において多量のセルラーゼ酵素が必要となるが、そのセルラーゼ酵素を蒸留・固液分離を経て回収し、再度糖化発酵工程に利用する酵素回収技術の開発を行っている。

図 III-2-2-50 は、現在取り組んでいるセルロース系エタノール製造プロセスのパイロットプラントのプロセスフロー図である。このプロセスでは、糖化発酵槽で生成されたエタノール発酵液は、粗い固液分離工程を経て、減圧蒸留工程に供給される。減圧蒸留工程では、塔頂部からエタノールを留出させ、塔底部から水やその他の高沸点成分を含む液を缶出させる。このとき、蒸留塔に供給されるエタノール発酵液は糖化発酵工程で用いるセルラーゼ酵素を多く含み、そのセルラーゼ酵素は塔底から缶出される液に含まれている。缶出液は、微細な残渣を除去した後、C5 発酵槽を経由して、糖化発酵槽に循環することで酵素が再利用される。ここでセルラーゼ酵素は一般に 50~60°C 以上で失活しはじめるため、本プロセスでは圧力を 10kPaA まで減圧することで、缶出液をその温度以下にしている。したがって、とうもろこしやさとうきびなどを原料とした一般的なバイオエタノールの蒸留に比べ、非常に真空度の高い条件で蒸留を行う必要があるという特徴がある。また、この循環系内に前処理後バイオマスの付随水などが入ってくるので、これを除去するプロセスが必要となる。そこで本プロセスでは、水分を除去するために、濃縮塔で持ち込み分に相当する水分をエタノールと共に留出させて、その後精留塔でエタノールと水分とを分離する 2 段階蒸留プロセスを採用することとした。しかし、濃縮塔では蒸発潜熱の大きな水分を蒸発させる必要があるため、エタノールのみを蒸留するプロセスに比べ 2~3 倍の蒸留エネルギーが必要となり、酵素回収を行うエタノール製造プロセスは蒸留にかかるエネルギーコストが過大になるという問題がある。そこでこの酵素を回収するエタノール製造プロセスの蒸留工程にも自己熱再生技術を適用し、使用エネルギー量を通常型の蒸留に比べ数分の 1 に削減することに取り組んだ。



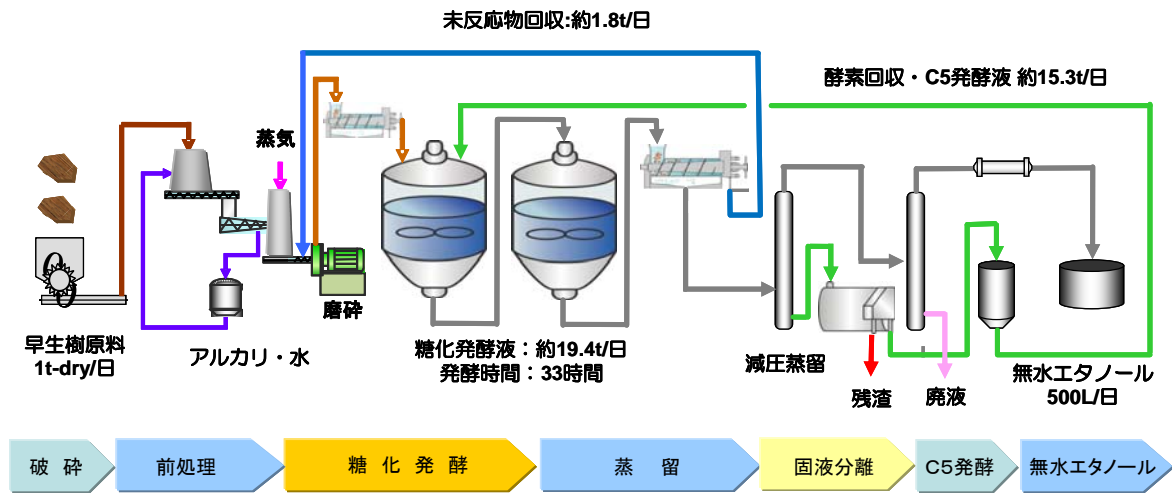


図 III-2-2-50. パイロットプラントプロセスフロー

(方法)

酵素を回収するプロセスでは、①塔内の圧力を約 10kPaA と高真空状態にする、②濃縮塔と精留塔の 2 段構成とし、濃縮塔ではエタノールと共に水も必要量蒸発させるという特徴がある。このような特殊な蒸留プロセスに対し、シミュレーションで効率的なプロセス条件の探索を行い、図 III-2-2-51 のような圧縮機を 2 台設置して、それぞれに最適な圧縮条件を設定するプロセスを確定させた。

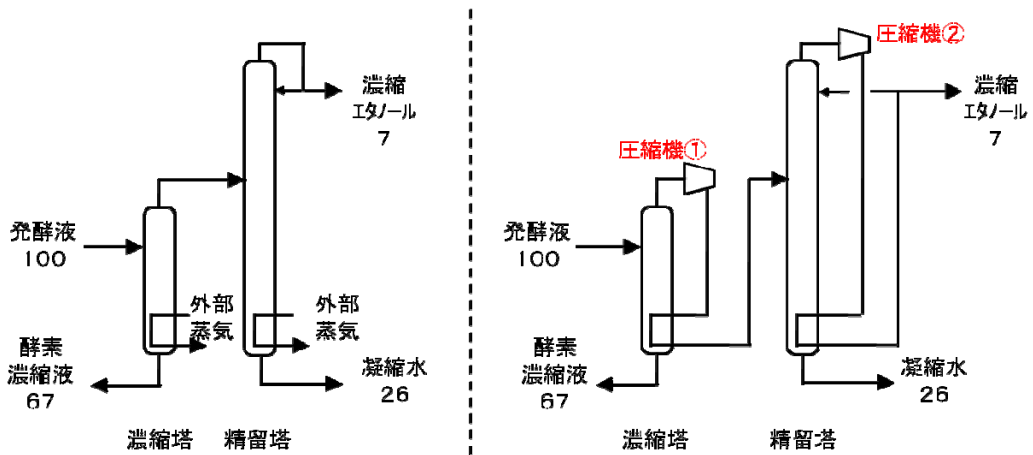


図 III-2-2-51. 自己熱再生型酵素回収蒸留のプロセスフロー (圧縮機 2 段)

写真 III-2-7 は、呉のセルロース系エタノール製造一貫プラントに追設した自己熱再生設備の写真である。点線部で囲った部分が自己熱再生設備で、その奥の架構に濃縮塔および精留塔が配置されている。圧縮機は濃縮塔と精留塔それぞれに設置している。この設備を用いて、自己熱再生型酵素回収蒸留の試性能確認試験を行い、エネルギー収支の算出を行った。性能確認試験は、蒸留塔に供給する液としてエタノール濃度を 6wt% に調整した模擬液を使用し、立上期を除き外部蒸気を使用せずに所定の蒸留性能を満足した安定運転が出来ることを実証できた。エネルギー収支の算出においては、自己熱部リボイラとコンデンサ凝縮は圧縮機出口の温度と流量から算出し、系内で相殺される「自己熱」部とした。入熱部については、圧縮機動力はモーターの電力を測定し、自己熱運転時蒸気は全く使わずに運転できたので、外部蒸気リボイラは 0kcal/h となった。



写真 III-2-2-7. 自己熱再生型酵素回収蒸留設備（呉）

上記のように自己熱再生型酵素回収蒸留の実証運転を行い、蒸気使用せずに実証データを採取することができた。表 III-2-2-34 はその結果を一覧にまとめたものである。この結果では、小型のパイロットプラントであり効率の高い型式の圧縮機を採用できなかったことから、圧縮機の断熱圧縮効率の実測値は 30%前後にとどまった。実機規模での圧縮機の断熱圧縮効率は 65%程度確保可能であり、この値を用いた実機規模での自己熱再生の想定値を表 III-2-2-34 に示す。この結果、従来蒸留で 10.2MJ/L-EtOH 必要だった外部蒸気の熱量は、パイロットプラントでの実測値で 2.9MJ/L-EtOH に削減され、実機規模では 1.3MJ/L-EtOH まで 1/8 まで削減できると考えられる。

表 III-2-2-34. 自己熱再生型酵素回収蒸留の省エネルギー効果

		従来蒸留 (蒸留放熱なし)	自己熱再生型蒸留 呉プラント実測	自己熱再生 実機規模想定
濃縮塔	外部蒸気熱量	8.0MJ/L-EtOH	—	—
	圧縮機熱量（動力）	—	2.2MJ/L-EtOH	1.0MJ/L-EtOH
	圧縮比	—	2.5	2.5
	断熱圧縮効率	—	29.2%	65%
精留塔	外部蒸気熱量	2.2MJ/L-EtOH	—	—
	圧縮機熱量（動力）	—	0.7MJ/L-EtOH	0.3MJ/L-EtOH
	圧縮比	—	3	3
	断熱圧縮効率	—	31.0%	65%
合計	圧縮機定格	10.2MJ/L-EtOH	2.9MJ/L-EtOH	1.3MJ/L-EtOH

	開発項目	目標	成果	達成度
一貫プロセス最適化研究	(3)-b)エタノール製造プロセスの最適化	酵素回収再利用プロセスでの自己熱再生型蒸留の実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・省エネ技術として、『自己熱再生技術』を選定した。</li> <li>・発酵液 10%エタノール濃度から 90%エタノールを得るための省エネ蒸留プロセスの実証試験を行い、0.7MJ/L-EtOH を下回ること目処をつけ、革新計画目標値 2.5MJ/L-EtOH を下回ることを確認した。</li> <li>・酵素回収再利用を可能とする蒸留プロセスの検討を行い、呉の実証プラントで安定運転を行った。</li> </ul>	○

#### (4) パイロットプラント設備設計・建設

##### a) パイロットプラント全体プロセスエンジニアリングおよび糖化発酵・濃縮脱水設備の設計・建設 (新日鉄住金エンジニアリング)

###### a)-1 個別目標

王子ホールディングス殿と産総研殿と共同でメカノケミカルパルピング前処理技術に関する研究開発の成果などをもとに、木質系バイオマス処理能力 1 トン/日のパイロットプラントの全体プロセスエンジニアリング及び糖化発酵設備・濃縮脱水設備の設計・建設を実施する。

具体的には主に以下の業務を実行する。

a) 王子ホールディングスベンチプラントの試験結果を基にした糖化発酵設備の設計および建設・試運転、酵素回収機能を含む濃縮脱水設備の設計および建設・試運転

b) パイロットプラント最適化のための全体プロセスエンジニアリング

パイロットプラントに関する研究開発については、平成 23 年度までに本研究開発に適切な規模のパイロットプラントの建設を行う。

###### a)-2 検討内容（方法と結果）

平成 21 年度までに実施したメカノケミカルパルピング前処理技術に関する研究開発の成果をもとに、詳細設計により適宜見直しを行い、平成 22 年度は設備の詳細設計及び仕様が確定した機器の発注・製作を中心に実施した。平成 23 年度は、平成 22 年度に設計・製作を行った糖化発酵・濃縮脱水設備の機器の建設工事（据付・試運転）及び実際に原料を通した負荷運転を行った。

試運転では、据付状況を確認した後、配管のラインチェックを実施し、各種用役（水、空気）の通気、通水チェックを実施した。次に各種ポンプ類等のモーターの単独運転を実施し、モーターの回転方向の確認（M単）と、同時に単体での水負荷運転を実施した。M単と水負荷運転で各機器の個別の試運転を行った後、水負荷連動試験として、各タンク類の連動運転を実施した。電機系の試運転では、まずインターフェースチェックを実施した。その後、各種インターロックチェック、連動チェックを実施し、水負荷連動の際に動作確認を行った。水を使った負荷チェックを行った後、王子ホールディングス殿の担当する前処理で製造された原料パルプを糖化発酵槽に供給し、糖化発酵、濃縮蒸留しエタノールを生産するとともに、減圧蒸留で濃縮した酵素を含んだ濃縮液を糖化発酵槽への循環する、一貫プロセスを用いた運転を実施し、基本設備機能の確認をすることができた。

平成 24 年度以降は、更なるプロセス改善のため、下記の改造に取り組んだ。

a) C5 発酵槽の滞留時間の適正化等を行い、エタノールの収率を改善するための工事

- b) 濃縮脱水システムにおいて自己熱再生技術を導入するための工事
- c) 酵素回収率の向上を行い、酵素コスト削減を確認するための固液分離装置の改造工事

	開発項目	目標	成果	達成度
パイロットプラント 設備設計・建設	(4-a)パイロットプラント 全体プロセスエンジニア リングおよび糖化発酵・ 濃縮脱水設備の 設計・建設	1t/日パイロットプラント を改造含め、設計建設 し、試運転を経て データ採取	・1t/日パイロットプラントを設計建設し、試運転を経て一貫プロセスデータを採取した。 ・一貫運転を経て、前処理・糖化発酵・蒸留濃縮から酵素再利用に至るプロセスでのエタノール製造を実証した。	○

**b) 原料受入、洗浄、前処理設備設計・建設（王子エンジニアリング（再委託平成 23 年度迄）および王子ホールディングス）**

**b)-1 個別目標**

パイロットプラントに関する研究開発については、平成 23 年度までに本研究開発に適切な規模のパイロットプラントの建設を行う。

平成 22 年度、23 年度において、パイロットプラント設計・建設業務の内、紙パルプ産業技術およびパンチプラント等の実験結果を応用した原料受入、洗浄、前処理設備とプラント全体の共通設備についての設計および建設を実施する。平成 24 年度はこの漏出による収率低下を防止するため、スクリュープレスの排液などからの微細繊維の回収を行う前処理収率改善装置を導入し、現行の 10%以上収率向上を目標とする。

**b)-2 検討内容（方法と結果）**

平成 21 年度までに実施したメカノケミカルパルピング前処理技術に関する研究開発の成果をもとに、詳細設計により適宜見直しを行い、最終的な仕様・機器構成・プロセスフロー、運転条件を決定した。エタノール製造プロセスは、バイオマスを粗粉碎して薬品（アルカリ）処理・レファイナー処理を行う前処理工程、酵素と酵母を利用した糖化発酵工程、エタノールを燃料利用できるまで精製する濃縮脱水工程により構成される。

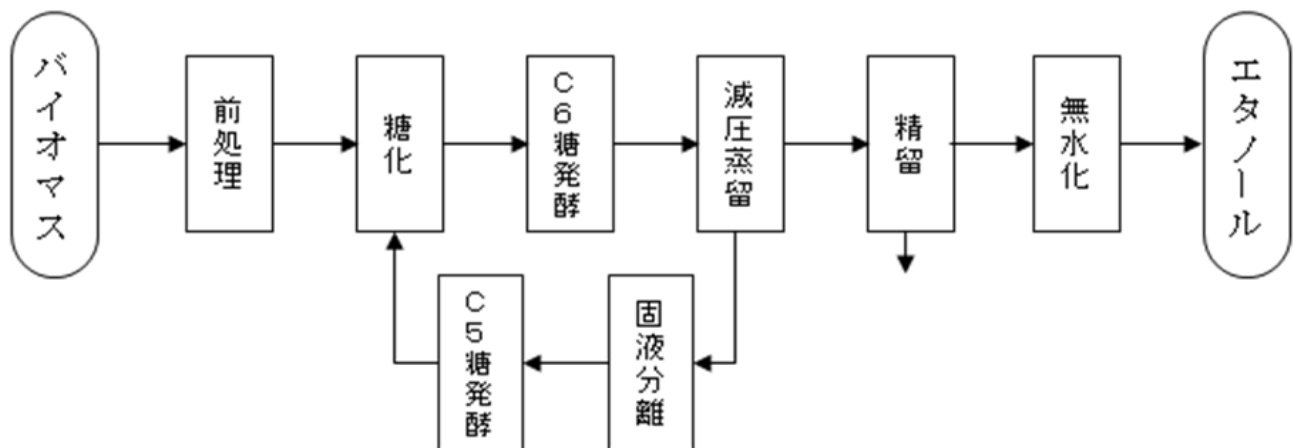


図 III-2-2-52 エタノール製造プロセスフロー案

原料受入、前処理設備の建設をおこない、原料を1日1トン処理できる前処理設備を完成させた。さらに試運転を開始し、設備の不具合を抽出、修正した。その結果パイロットプラントによるスケールアップ試験により、前処理工程中の固液分離装置からの微細繊維の漏出が大きく、前処理原料の回収率低下が著しいことが明らかとなった。そこで固液分離装置のろ液側に微細繊維を回収するためのスクリーンを新たに設置した。また原料ホッパーからの原料の切り出し時に原料がつまって、供給が滞る問題があったためホッパーの切り出し装置に改善を施した。その他細かく破碎された原料の場合には原料搬送不良などの問題が発生したため、設備の改修を行った。その結果、元原料の形状にも依存するが、前処理原料の回収率は大きく改善した

### b)-3 まとめ

以上のように、当初導入した設備ではスケールアップによる前処理原料収率の低下が著しかった。また、原料ホッパーの詰まり、原料搬送不良などの問題が発生したが、設備の改修を行い前処理原料の回収率は大きく改善した。

	開発項目	目標	成果	達成度
プラント建設	(4-b) 原料受入、洗浄、前処理設備設計・建設(王子ホールディングス)	平成23年度までに本研究開発に適切な規模のパイロットプラントの建設を行う。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・木質原料1t/日処理の原料受入、洗浄、前処理設備の建設完了。</li> <li>・前処理工程の微細繊維の流出による収率低下課題は、設備改善を実施し、対策済み。</li> </ul>	○

## (5) パイロットプラント運転試験および経済性評価

### a) パイロットプラント運転試験 (王子ホールディングス株式会社)

#### a)-1 個別目標

前述のようにパイロットプラントではスケールアップにおける課題として前処理工程での原料の漏出が明らかとなった。そこでこの漏出による収率低下を防止するため、スクリーンプレスの排液などからの微細繊維の回収を行う前処理収率改善装置を導入し、現行の10%以上収率向上を目標とした。また今年度は新たに糖化発酵工程での雑菌汚染の課題が明らかとなった。パイロットプラントでは雑菌コンタミの影響を最小限にとどめる条件下で、植栽した早生樹や木材チップなどの木質バイオマスを原料として、一貫システムとして前処理収率、酵素糖化率、エタノール収量の定量的なデータを収集し、これまでに得たラボ試験結果の実証を目標とする。

#### a)-2 検討内容 (方法と結果)

##### 1) 前処理試験

(背景) 平成23年11月のパイロットプラント竣工以来、スケールアップにおける課題抽出を行い、前処理工程での原料の漏出と、糖化発酵工程での雑菌汚染の課題を明らかにした。パイロットプラントは1,000 [BD·kg/day] の原料を連続的に前処理できるように設計した設備である。当初の設計では、原料タンクからの原料切出し時の閉塞や切出し量のばらつきが多く、加えて計量方法に起因した計量誤差が多いという問題があった。林地残材については、原料の閉塞や切出し量のばらつきは十分に解消されておらず、更なる改良が必要である。

(方法) 原料タンクから切出された原料は、連続的に加熱器に移送される。このとき、所定量の処理薬品と水を加え、薬品濃度と液比を整える。加熱器は蒸気で温度コントロールされている。所定の処理温度に加熱され、所定時間反応の後、排出される。排出された原料はドレーナーで洗浄後、スクリーブプレスで脱水され、レファイナーで磨砕される。その後、再度脱水されて前処理が終了する。

- ・原料タンクから切出される原料を計量した
  - ・スクリーブプレス 1 から排出される加温薬品処理済みの原料を計量した
  - ・振動スクリーンで濾別される加温薬品処理済みの原料を計量した
  - ・スクリーブプレス 2 から排出されるメカノケミカルパルピング前処理済みの原料を計量した
  - ・各サンプルの糖分析や糖化（ラボ試験）試験等を実施し、前処理後の糖収量を測定した
- 本試験ではユーカリ・グロブラス (*E. globulus*) の林地残材とチップを使用した。

(結果) 表 III-2-2-35 に、ユーカリ・グロブラス (*E. globulus*) の林地残材およびチップを、パイロットプラントにてメカノケミカルパルピング前処理した結果を示す。表に記載の数値は、前処理温度：189、前処理時間：200 で試験したデータであり、酵素糖化はラボで実施した。

- ・ $\text{Na}_2\text{SO}_3$  添加率 133 で処理した林地残材の前処理歩留りは、約 75%であった。前処理後原料中の全糖は約 66%であり、林地残材 1,000 [BD·kg] あたりの糖回収量は約 360 [BD·kg] となった (②、③林地残材の測定結果より)。
- ・チップに関しては、 $\text{Na}_2\text{SO}_3$  の添加率を 133、200、266 に変更して試験した。前処理歩留りは 75～80%となった酵素糖化率に関しては  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  添加率が高くなるほど向上する傾向が認められ、添加率 200 の糖化率、添加率 266 の糖化率と増加した。これらの前処理条件において、ユーカリグロブラス・チップ 1000 [BD·kg] あたりの糖回収量は約 490 [BD·kg] (実測値の最大量) となった。糖化発酵工程における C5 および C6 の発酵収率を 85%とすれば、計算上のエタノール生産量は約 269 [L/BD-t] となる。
- ・メカノケミカルパルピング前処理後の、微細パルプの漏出→再回収に関しては、 $\text{Na}_2\text{SO}_3$  添加率の増加 (266) やスクリーン目開きを広くする (100→50：相対値) ことにより、多少低下する傾向を認めた。 $\text{Na}_2\text{SO}_3$  の添加率に関しては、更なる試験条件の検討と試験回数を増やすことにより、前処理条件の最適化を更に推し進め、精度を高める必要がある。スクリーンの目開きについては、微細パルプの回収率向上と操業性（濾水性の悪化や目詰まりの起こり易さ）が相反する傾向を認めているので、プラント操業により実地に確認する必要がある。

表 III-2-2-35 ユーカリ・グロブラス (*E. globulus*) の林地残材およびチップの固形分回収率 (歩留り)、糖収量 (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 添加率は表 III-2-2-20 の Ca(OH)<sub>2</sub> の最小値を 100 とした相対値、他の結果相対値は表中一番上段の条件を 100 としたときの相対値)

※SP=スクリュープレス ※SCon=振動スクリーン回収分	原料切出し量 [BD-kg]	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> 添加率 ※対原料乾重量 相対値	振動スクリーン 目開き 相対値	前処理後 歩留り※1 相対値	固形分の組成			酵素糖化率※3 相対値	酵素糖化後の 糖収量 相対値	C6:C5の比率 [-]
					全糖(C6+C5)※2 [%]	クラソニン [%]	酸可溶性グニン [%]			
①林地残材 (SP1出+SCon=SP2出)	586	133	100	68.4	-	-	-	100	100	78:22
林地残材 (SConのみ)				-	-	-	115	28	75:25	
②林地残材 (SP1出+SCon=SP2出)	878	133	100	74.4	-	-	-	89	93	78:22
林地残材 (SConのみ)				-	-	-	102	31	76:24	
③林地残材 (SP1出+SCon=SP2出)	878	133	100	76.1	-	-	-	92	97	78:22
林地残材 (SConのみ)				-	-	-	105	27	77:23	
④チップ (SP1出+SCon=SP2出)	868	133	100	76.0	-	-	-	90	104	77:23
チップ (SConのみ)				-	-	-	101	10	79:21	
⑤チップ (SP1出+SCon=SP2出)	1022	133	100	76.3	-	-	-	95	108	79:21
チップ (SConのみ)				-	-	-	108	10	78:22	
⑥チップ (SP1出+SCon=SP2出)	868	200	100	75.0	-	-	-	101	116	78:22
チップ (SConのみ)				-	-	-	103	13	78:22	
⑦チップ (SP1出+SCon=SP2出)	1022	200	100	78.4	-	-	-	104	123	79:21
チップ (SConのみ)				-	-	-	105	10	78:22	
⑧チップ (SP1出+SCon=SP2出)	1022	267	100	80.0	-	-	-	105	129	81:19
チップ (SConのみ)				-	-	-	115	10	82:19	
⑨チップ (SP1出+SCon=SP2出)	1022	267	100	80.5	-	-	-	108	131	83:17
チップ (SConのみ)				-	-	-	107	10	81:19	
⑩チップ (SP1出+SCon=SP2出)	1022	200	50	77.4	-	-	-	106	125	80:20
チップ (SConのみ)				-	-	-	104	10	80:20	

※1 歩留り : [(SP2から排出される前処理後原料の総乾重量)/(原料タンクから切出される原料の総乾重量)]×100  
"SP2から排出される前処理原料=糖化発酵槽に投入される原料"であり、リグニンを含んでいる

※2 全糖(C6+C5) : 前処理原料をラボで酸加水分解して、ICで各糖を定量して加算した数値

※3 酵素糖化率 : (酵素糖化により単糖まで分解された糖量)/全糖(C6+C5)

※全て処理温度:189、処理温度200

## [まとめ]

パイロットプラント操業試験において、ユーカリグロブラス・チップを原料とした場合、前処理後原料の酵素糖化後の糖収量は、最大で 131 (相対値) であった。このときの前処理歩留りは約 80%、酵素糖化率は 85% であった。エタノール収率:0.3[L/原料 BD-kg]を達成するためには、計算上の発酵収率として 95% (C6、C5 共に)を達成する必要がある。より現実的な数値で考えれば、前処理歩留り(固形分回収率)80%を維持して、前処理後原料の全糖比率を 80%に向上させる。このときの原料中の糖含量を 800 [BD-kg/原料 BD-t] として、全糖回収量が 640 [BD-kg] でなくてはならない。

## 1) 連続糖化発酵試験

### (背景・結果)

新たに建設したパイロットプラントを用いてこれまでのラボ試験、ベンチプラント試験の結果を検証するために連続糖化発酵試験を行い設備の課題抽出、操業による改善の可能性を検討した。その結果、試験運転が安定する前に雑菌の混入・増殖による酵母数の減少、エタノール生産量が激減するという課題が見られた。設備上の課題である外気の吸い込み対策として、ベントフィルターの設置を実施した。一方で洗浄困難な構造に起因する雑菌の洗浄不良の可能性が示唆された。また、操業による対応としては薬品添加など運転条件の検討により、改善の可能性を見出した。しかしながら、まだ雑菌の抑制効果が低いため、雑菌の影響を排除した連続的なエタノール生産が実施できていない。これまでの運転試験結果を表 III-2-2-36 に示す。

今後は抗菌剤の使用によりパイロットプラントでのエタノール収率、酵素原単位などの基礎データを取得し、本プロセスによりバイオエタノール生産目標の達成を目指す。

表 III-2-2-36 パイロットプラント運転試験結果

技術特徴	プロジェクト終了時 目標	パイロットプラント実績 (改善見込み)	課題	対策
前処理 (メカノミカル)	歩留(木材チップ) 80%	← (80%)	微細繊維(SS) 漏出	SS回収設備設置
酵素 リサイクル	酵素使用量 1/20(対原料)	- ← (検討中)	雑菌コンタミの為 長時間運転でき ない	雑菌コンタミ対策後確認
併行糖化発酵	糖化率 80%	← (80%)	糖化率低い	前処理条件の最適化
新規酸塩耐性酵母	C6発酵収率 85%	← (検討中)	雑菌コンタミの為 発酵収率低い	雑菌コンタミ対策後確認

a)-3 まとめ

パイロットプラント前処理工程を用いて前処理試験を行った結果ユーカリグロブラス・チップを原料とした場合、前処理後原料の酵素糖化後の糖収量は、最大で131(相対値)であった。糖化発酵工程については雑菌のコンタミのため長期運転ができていない。このため今後は試験データ取得のため抗菌剤を添加し雑菌の繁殖を抑えることによりパイロットプラントでの様々なデータを蓄積、生産性の向上を行うことを計画している。

	開発項目	目標	成果	達成度
プラ ント 運 転	(5)-a)パイロット プラント運転試験	ラボレベル実験で得た結果を 再現	・パイロットプラント前処理工程の微細繊維のフィルターからの流出による収率低下課題は、前年度末までに設備改善を実施し、対策済み。 ・糖化発酵工程では ①雑菌がコンタミする、 ②C6糖の発酵収率が低い、 ③C5糖の発酵設備が能力が不足している、 という課題がある。特に雑菌のコンタミにより、パイロットプラントの連続運転ができず、前処理工程の収率、酵素糖化率、発酵収率、酵素回収率などの正確な評価ができていない。 ③対策として、C5発酵槽増設が完了した。	△
		前処理収率80%	・パイロットプラント前処理工程の微細繊維のフィルターからの流出による収率低下課題は、前年度末までに設備改善を実施し、対策済み。	△
		(糖化収率80%以上)エタノール収率0.3L/kg(発酵収率C6-85%、C-560%)以上	パイロットプラントで木材チップから前処理を行って得たパルプを使用してSSFを行った結果、ラボ試験ではエタノール収率(野生株でC6発酵のみ)と比較し、パイロットプラントでは低かった。	△
	(5)-b)パイロット プラント運転試験	原料1kgあたりの投入エネルギーが6MJ以下となる前処理・糖化技術、エタノール収率が0.3L以上、エネルギー回収率35%以上	・所要動力の中で占める割合の大きい前処理のレファイナーについては、木材チップの場合、パイロットプラントで6MJ以下と目標通りの動力でパルプを得、ラボ試験により酵素糖化率80%を確認したが、パイロットプラントでは雑菌コンタミにより評価できていない。 ・早生樹については2013年2月末までに実施予定である。ラボ試験のマテリアルバランスの結果からエネルギー収支を推計すると、投入エネルギーは、廃液(黒液)と糖化発酵残渣からの熱回収によって相殺され、投入エネルギーが6MJ以下で行えると推定した。 ・ユーカリを原料として、現状ではエタノールの収量が低いため、エネルギー回収率も低い、今後C6糖発酵効率の向上とC5糖発酵の実施により、エタノール収量の向上を図っていく。	△
		1T/日パイロットプラントを改造含め、設計建設し、試運転を経てデータ採取	・1T/日パイロットプラントを設計建設し、試運転を経て一貫プロセスデータを採取した。 ・一貫運転を経て、前処理・糖化発酵・蒸留濃縮から酵素再利用に至るプロセスでのエタノール製造を実証した。 ・実機規模で断熱圧縮効率65%の圧縮機を採用すれば、酵素回収蒸留の必要熱量は1.3MJ/L-EtOHとなり、膜分離(0.9MJ/L-EtOH)を加味しても、2.5MJ/L-EtOH(H25FY自主目標値)を下回ることができる。	◎



## b) パイロットプラントのエンジニアリングデータ採取および評価（新日鉄住金エンジニアリング）

### b)-1 個別目標

木質系バイオマス 1 トン/日を用いて、エタノール製造を行う一貫生産システムのパイロットプラントにて実証試験を行い、エンジニアリングデータの採取および評価を行う。特に機械的な不具合の洗い出しと装置の改善を行い、計画仕様を満たした設備であることを確認するとともに、オペレータへの設備管理方法、操業方法の指導を実施する。その後、パイロットプラントでの実証データをもとに王子ホールディングス殿と産総研殿とプロセス検討を行い、エネルギー評価と経済性の評価を行う。

### b)-2 検討内容（方法と結果）

平成 23 年度より、木質系バイオマス 1 トン/日を用いて、エタノール製造の実証試験を行った。パイロットプラントでの運転においては、ポンプや配管ラインの閉塞対策や蒸留の温度条件など機械的な不具合への対策や操業条件の最適化を行った。また、エタノール一貫生産システムの確立に向けて、パイロットプラントのエンジニアリングデータの取得と評価を開始し、必要に応じてデータ取得のための検出端・データロガー等の設置を行った。

平成 24 年度以降は、パイロットプラントで得られたデータをもとに、実機規模の各機器の設備能力、使用エネルギー量等を検討し、試設計を実施した。この試設計では、パイロットプラントと同様に前処理・糖化発酵・蒸留プロセスとともに、パイロットプラントでは設置していない薬品回収装置やボイラなどについても検討を行った。

また、プラント設備やフローの改善など、実用化に向けた検討を行った。具体的には、パイロットプラントの運転試験の効果を検証するとともに、試験データを基にプロセスフローを決定し、想定する実機規模でのエネルギー使用量、工業用水使用量等のエネルギーバランス、マテリアルバランスを検討し、実機試設計の見直し・精度向上を図った。そして、このデータ等をもとに王子ホールディングスと産総研とともにエネルギー収支の計算を行った。図 III-2-2-53 は、その検討結果をもとに実機プロセスでのエネルギーフローを算出したものである。また、前述の自己熱再生技術の導入効果を明らかにするために、比較対象として自己熱を採用しない場合のエネルギー収支も算出した。

図 III-2-2-53 では、上段に自己熱を採用しない場合のバイオマスからのエタノール製造プロセスのエネルギー収支を表している。このデータは自己熱の効果を表すために、前処理にナトリウムを使用して、2020 年にエタノールの生産量が高まった場合の収支を高位発熱量ベースでまとめている。このプロセスでは、原料となるバイオマスの熱量（高位）を基準 100 として、エタノールが所定量製造された場合には製造エタノールの熱量は 48 となる。また、このプロセスに必要な電力は 3 で、必要な蒸気等の熱エネルギーは 58 となる。蒸気等の熱エネルギーは系内でのカスケード利用などにより 25 をまかない、残さや黒液として排出される 43 のエネルギーをボイラ燃焼することで残りの 33 をまかなう。したがって、余剰蒸気は発生せずに、電力は外部より調達することとなる。

これに対し、下段に自己熱再生技術を採用した場合のバイオマスからのエネルギー製造プロセスのエネルギー収支を示している。エタノールの収量や残さ・黒液の排出量は変わらないので、前処理・糖化発酵・黒液濃縮プロセスに必要な蒸気等の熱は、自己熱採用しない場合と同じである。また、自己熱再生技術に必要な圧縮機動力分電気エネルギーの使用量が増えるため、必要電力は 1 増えて 4 となる。

一方、自己熱再生技術の省エネ効果により蒸留リボイラに必要な蒸気量が減少するため、ボイラから供給が必要なエネルギーは7減って26となる。この必要なエネルギーは残さ・黒液のボイラ熱回収で賄うことができ、さらに余剰分の蒸気を用いて発電を行うことで、所内必要電力4を賄い、さらに売電も可能となる。

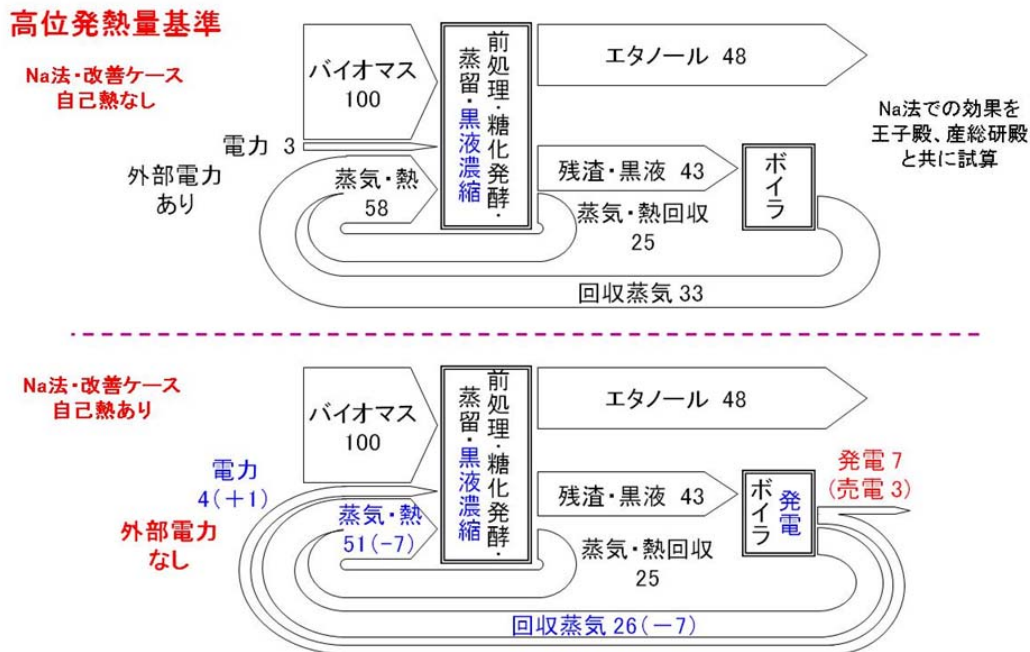


図 III-2-2-53 実機プロセスでのエネルギーフローと自己熱の効果

以上のように、自己熱再生技術を酵素を回収再利用するセルロースバイオマスからのエタノール製造プロセスに採用することにより、電力を含めエネルギー自立が可能となることがわかった。

	開発項目	目標	成果	達成度
パイロットプラント 運転試験および 経済性評価	(5)-b)パイロットプラントの エンジニアリングデータ 採取および評価	パイロットプラントで のエンジニアリング データ採取と 実機規模(1,000t/ 日)の設備試設計	・パイロットプラントデータをベースに全体プロセスの 最適化を実施し、王子 HD・産総研とともに エネルギー評価と経済性評価を行った。 ・実機規模の(1,000t/日)の設備の試設計を行い、 平面図と立面図を作成した。	○

## (5) パイロットプラント運転試験および経済性評価

### c) 一貫生産システムにおける経済性・GHG 評価（産総研担当）

#### c)-1 個別目標

早生樹の栽培から無水エタノールの生産までの一貫プロセスにおける物質収支、エネルギー収支、経済性、温室効果ガス(GHG)排出量について、将来の事業化イメージに基づいた検討・解析を行い、2015年~2020年にエタノール製造コスト 40 円/L（原油価格が1バレル 50US\$ : 6,000 円として）、化石エネルギー収支比 2 以上、対ガソリン比で GHG 排出量 50%以上削減、を実現できるモデルケースを提示することを目標とする。

#### c)-2 検討内容（方法と結果）

一貫生産プロセスの内、早生樹栽培から伐採、輸送、チップ化、に関しては、オーストラリア、ブラジルでの現地調査、国際学会等での情報収集、文献調査等により、解析に必要なデータ（物質投入、エネルギー投入、生産性など）を収集した。その結果、栽培、伐採、輸送、チップ化に関わるGHG排出量等の原単位データを取得することができた。また植林の形態としては、オーストラリアのように植林地が数ヶ所以上に分散している中でそのほぼ中心にエタノール工場を建設する植林地分散型と、ブラジルのように植林地が集中していてその中央にエタノール工場を建設する植林地集中型があることが確認され、これらの2つのモデルについて、それぞれ解析を行った。さらに生産されたエタノールを日本まで海上輸送する際のエネルギー消費、GHG排出量等の検討を行った。

エタノール生産プロセスに関しては、「バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発（先導技術開発）/メカノケミカルパルピング前処理によるエタノール生産技術開発」の成果であるエタノール生産プロセスの基本フローをベースにフローシートを作成した。また物性、化学反応式の設定を行うと共に、共同研究者間で工程、フロー名、固液比等の定義と測定方法等を統一した。これらに基づいて、化学プロセスの定常状態をシミュレーションできるプロセスシミュレータ PRO/II(Invensys plc) を用いて、各種単位操作の実験条件・変換効率を反映できるセルロース系エタノール製造プロセスのシミュレータを構築し、エタノール変換工程全体での物質収支、エネルギー収支の計算を可能にした。

以上に基づいて、原料栽培試験、パイロットプラント運転結果、自己熱再生効果等の実データを用いて、物質収支、エネルギー収支、経済性、GHG 排出量の解析・評価を行った。

表 III-2-2-37 各モデルの評価結果

ケース		化石エネルギー 収支比	GHG 排出量 (対ガソリン)	製造コスト* (¥/L)
目標		>2	<0.5	<40 (60-65)
集中型植林	パルプ工場併設	3.5	0.34	55
	新設独立型	3.5	0.34	60
分散型植林	パルプ工場併設	3.3	0.36	60
	新設独立型	3.3	0.36	65

\*コストは NREL の試算条件に基づく。道路、港湾などのインフラ整備に必要な費用は考慮していない。

c)-3 まとめ

解析の結果、同時糖化発酵用の酵母が開発され C5 糖 C6 糖同時糖化発酵が可能になった段階では、化石エネルギー収支比は目標の 2 以上に対して集中型植林で 3.5、分散型植林では 3.3 となり、GHG 排出量削減では目標の削減率 50% 以上に対して集中型植林で 66%、分散型植林で 64% と、いずれも目標を達成できることが示された。エタノール製造コストについては植林の集中型、分散型と、エタノール工場の独立型、パルプ工場併設型、の組み合わせによる 4 つのケースを想定して、55~65 円/L の範囲と計算されたが、現状の原油価格（1 バレル 100US\$：10,000 円）を考慮すると目標を達成しているレベルにあると考えられる。以上から目標達成ケースを提示することができた。

	開発項目	目標	成果	達成度
評価	(5)-c) 一貫生産システムにおける経済性・GHG 評価 (産総研)	エタノール製造コスト 40 円/L、エネルギー収支 2 以上、CO <sub>2</sub> 削減率 5 割以上を実現するモデルケースの提示	想定する事業化モデルにおいて、化石エネルギー収支 2 以上、ガソリンに対する CO <sub>2</sub> 削減率 5 割以上を達成できることを示した。原油価格を考慮すると製造コストも達成レベルにある。	○

2-2-4 知的財産権等の取得及び成果の普及

特許、論文、対外発表等の状況を以下に示す。

年度	区分	特許出願	論文		その他外部発表 (プレス発表等)
			査読付き	その他	
H21FY				件	2 件
H22FY		6 件	6 件	1 件	17 件
H23FY		9 件	4 件	4 件	16 件
H24FY		16 件	3 件	2 件	17 件
H25FY		- 件	3 件	1 件	7 件
合計		31 件	16 件	8 件	59 件

平成 25 年 8 月 27 日現在

## 2-3 バイオ燃料の持続可能性に関する研究

### 2-3-1 研究開発の概要

本事業では、我が国の輸送用液体燃料の導入形態を踏まえ、具体的な持続可能性基準を評価するため、導入が想定される輸送用液体バイオ燃料の温室効果ガス排出量を評価した。

また、エネルギー供給構造高度化法の判断基準ではライフサイクル GHG 排出量以外にも食料競合影響、生物多様性保全等に係る基準が設けられている。将来的な定量的基準の策定も見据え、食料競合、生物多様性等の持続可能性基準について、GBEP の議論や欧州における持続可能性制度運用にて活用されている自主的基準での評価手法を調査し、我が国での評価方法の考え方、方向性を整理した。

本事業の実施体制を以下に示す。

平成21年度は、主に三菱総合研究所が当面のバイオ燃料導入形態を想定したデフォルト値の算定を行い、研究成果の進捗状況に応じて「バイオ燃料GHG排出量デフォルト値算定検討会」を開催し、産官学の意見を反映した検証を行った。また、これと同時に、主に産業技術総合研究所が国際会議等に出席し、現地で情報を収集しつつ、本研究内容との整合性を図った。

平成22年度は、中長期的に導入可能なバイオ燃料を三菱総合研究所が抽出した後に、産業技術総合研究所がデフォルト値を算出し、そのデフォルト値の精緻化に向けた検討を行った。平成22年度も平成21年度と同様、研究成果の進捗状況に応じて「バイオ燃料GHG排出量デフォルト値算定検討会」を開催し、国際会議出席等による情報収集を行った。

平成24年度は三菱総合研究所が平成21、22年度に算定したバイオ燃料のGHG排出量について、最新の研究開発動向に基づくデータの反映や新規対象国、原料の追加等を行い、数値の更新を行うとともに、食料競合、生物多様性といったGHG排出量以外の持続可能性指標について検討を行った。

表 III-2-3-1 本調査における検討項目

		主な役割分担		H21	H22	H23	H24	H25
		三菱総研	産総研					
バイオ燃料の持続可能性に関する国内外動向調査、基準、評価指標、評価方法等のとりまとめ	ライフサイクル GHG 排出量	主担当	副担当		→		→	
	食料競合、生物多様性等の持続可能性基準	主担当	—				→	
	GBEP の動向調査	—	主担当	→	→			
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持続可能性評価	LCA 評価	主担当	—		→		→	
	社会・環境影響評価	主担当	—				→	

1) バイオ燃料 GHG 排出量デフォルト値算定検討会メンバー

表 III-2-3-2 バイオ燃料 GHG 排出量デフォルト値算定検討メンバー

座長	
横山 伸也	東京大学 名誉教授
有識者メンバー	
石塚 森吉	独立行政法人 森林総合研究所 研究コーディネーター（温暖化影響研究担当）
内海 竜也	全国農業協同組合連合会 営農総合対策部 バイオマス資源開発室
尾山 宏次	財団法人 石油産業活性化センター 自動車・燃料研究部 部長
片山 秀策	独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター 専門員
川端 秀雄	バイオエタノール革新技術研究組合 技術開発本部
後藤 一郎	バイオマス燃料供給有限責任事業組合 事務局長
境野 信	王子製紙株式会社 研究開発本部 バイオ関連研究セクション 総合リーダー
大聖 泰弘	早稲田大学理工学術院 教授
西山 理郎	三菱重工業株式会社 機械・鉄構事業本部 交通・先端機器事業部 先端機器部 先端機器グループ 部長代理
オブザーバー	
環境省 地球環境局 地球温暖化対策課	
農林水産省 大臣官房環境バイオマス政策課	
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 新エネルギー対策課	
経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部 政策課	

## 2) 検討会の開催状況

表 III-2-3-3 検討会開催状況

検討会の審議内容	
第1回 平成21年10月30日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実施計画について</li> <li>・ 国産バイオ燃料のデフォルト値設定方法</li> <li>・ ブラジル産エタノールのデフォルト値設定方法</li> </ul>
第2回 平成21年11月25日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 国産バイオエタノールのGHG排出量算定</li> <li>・ ブラジル産バイオエタノールのGHG排出量算定</li> </ul>
第3回 平成22年3月25日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ バイオエタノール評価結果</li> <li>・ BDF評価結果</li> <li>・ 土地利用変化に係る排出量評価結果</li> <li>・ 来年度事業の進め方</li> </ul>
第4回 平成22年7月6日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ BDF評価結果について（追加検討）</li> <li>・ バイオ燃料デフォルト値算定の方針</li> </ul>
第5回 平成22年10月12日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 関連動向に関する情報提供（判断基準（案）、GBEP最新動向）</li> <li>・ バイオ燃料デフォルト値検討状況</li> </ul>
第6回 平成23年1月18日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ エネルギー供給構造高度化法 判断基準</li> <li>・ 本事業での評価値の位置づけ</li> <li>・ バイオ燃料デフォルト値検討状況</li> </ul>

### 2-3-2 研究開発の目標設定

各種バイオ燃料のライフサイクルGHG排出量の算定にあたっては、技術水準や位置付けについて整理するとともに、現状のデータ入手状況等を考慮しつつ評価対象を設定することが求められる。例えば以下のような整理軸が考えられる。

- ・ 技術水準による整理
  - 商用機
  - 準商用機
  - 実証機（デモプラント）
  - パイロットプラント
  - 実験室
- ・ 値の位置付けによる整理
  - 実績値：実在する設備における実績。商用機だけでなく、実証機やパイロットプラント等の実績値等も有り得る（設計値も同様）。
  - 設計値（計画値）：実在する設備における設計上（計画上）の値
  - 推計値：実験室データ、要素技術データ、実証データ等を元に、商用機規模での効率等を推計した値

なお、商用機規模のプラントを想定した場合、実験室レベルの技術の推計値と商用機の実績値では、必ずしも商用機の実績値が良い（又は悪い）とは限らない。様々な要因により、当初想定していた効率が達成できなかったり、想定以上の効率を達成できたりすることは有り得る（推計値は保守的に算定されることも多い）。

本来比較したいのは商用化された各バイオ燃料が日本に導入された場合の「実力」であり、商用機の実績値であればこれに該当する。ただし、そもそも技術水準が商用レベルにないバイオ燃料や、商用レベルに達していても実績値が入手できないバイオ燃料もあるため、本事業では技術水準と値の位置付けを明確にした上で、データを整理することを目標とした。

また、平成 22 年 11 月に告示された「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）」では、ライフサイクル GHG 排出量以外にも、食料競合への影響、生物多様性保全等について定性的に言及されている。

将来的な定量的基準の策定も見据え、食料競合、生物多様性等の持続可能性基準について、GBEP の議論や欧州における持続可能性制度運用にて活用されている自主的基準での評価手法を調査し、我が国での評価方法の考え方、方向性について検討するとともに、セル革事業の対象の国・原料を含むバイオ燃料について、評価の際の留意点について整理することを目標とした。

### 2-3-3 目標と成果

#### (1) ライフサイクル GHG 排出量の定量化

##### a) 評価対象

評価対象とするバイオ燃料種については、すでに製造技術等が確立されており、短・中期的に導入が期待されるバイオ燃料と、現在技術開発途中であり、長期的に導入が期待されるものに分類を行い、対象を選定した。その中で、国産原料を利用したもの、海外にて開発輸入の形態で生産されるもの、海外にて生産されるもののうち日本への輸出ポテンシャルが認められるもの等を選定し評価を実施した。

本事業において評価対象としたバイオ燃料種／原料／生産国／技術水準の対応表を以下に示す。

表 III-2-3-4 本調査での評価対象バイオ燃料の一覧

燃料		エタノール							
原料		サトウキビ	キャッサバ	多収量米、MA 米	小麦	てん菜	建設廃材	廃糖蜜	一般廃棄物
生産国		ブラジル	タイ	日本	日本	日本	日本	インド・日本	日本
技術水準	商用機	●			●※	●※		× (インド)	
	準商用機		●、○	○ (同一プラントの設計値を適用)			○		
	実証機						▲※	○ (日本)	
	パイロット								
	実験室								

※EU 再生可能エネルギー指令、英国 RTFO (Renewable Transportation Fuel Obligation) 資料を参照し、欧州の実績値、推計値を適用



燃料		エタノール						
原料		黒液	未利用古紙	林地残材	早生広葉樹	稲わら・麦わら	多収量草本植物	バガス
生産国		日本	構想段階	日、豪、加、ベトナム	豪、ベトナム、中国、ラオス、インドネシア	日本	日本	ブラジル
技術水準	商用機							
	準商用機							×
	実証機			▲（共通技術を想定）		▲（共通技術を想定）		
	パイロット							
	実験室	×	×					

燃料		バイオディーゼル/BHD					
原料		パーム油	大豆油	菜種油	廃食用油※	ココナツ油	ジャトロファ油
生産国		東南アジア	北南米	豪、加	日本	フィリピン	東南アジア
技術水準	商用機	●	▲	●	●	▲	
	準商用機						▲
	実証機						
	パイロット						
	実験室						

※廃食用油はバイオディーゼルのみ

燃料		BTL		ブタノール	BDF 等
原料		林地残材	早生広葉樹	サトウキビ	微細藻類
生産国		日、豪、加、ベトナム	日、豪、ベトナム	ブラジル	構想段階
技術水準	商用機				
	準商用機				
	実証機	▲	▲		
	パイロット				
	実験室			▲	□

●：実績値、○：設計値/計画値、▲：推計値、□：既存評価に基づき概算

×：データ入手制約により評価に至らなかったもの

色付：H24年度調査にてデータ更新、新規追加したもの

b) 算定方法

LCA (Life Cycle Assessment) とは、ある製品の生産・輸送・使用・廃棄までの各段階における環境への影響および負荷をその製品の生産に必要な原料や設備の製造や廃棄までを考慮して、評価する手法である。本事業におけるバイオ燃料の温室効果ガス排出量に関する LCA では、原料の栽培、原料輸送に至るまでの各段階で排出する温室効果ガス (CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O) 排出量を評価する。

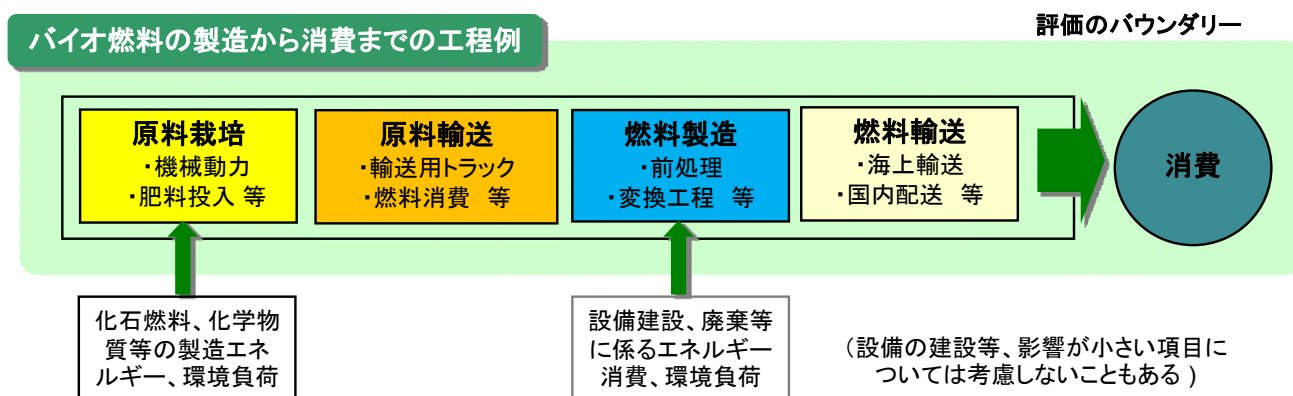


図 III-2-3-1 LCA における評価のバウンダリー

各バイオ燃料のライフサイクル GHG 排出量は、エネルギー供給構造高度化法の判断基準に示された算定ルールに従い算定した。

表 III-2-3-5 ライフサイクル GHG 排出量の算定ルール

算定対象ガス	<ul style="list-style-type: none"> <li>算定すべき温室効果ガスの種類は CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O とする。CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O の温暖化係数はそれぞれ 21、310 とする。</li> <li>CH<sub>4</sub> については、バイオマスの燃料に伴う排出及び有機物の発行による排出、N<sub>2</sub>O については肥料の製造、施肥に伴う排出について考慮する。</li> </ul>
バウンダリー (※)	<ul style="list-style-type: none"> <li>直接的土地利用変化、原料栽培、原料収集、燃料製造、燃料輸送 (製油所まで) の各工程を算定対象とする。ガソリン混合段階における排出については今後の検討課題として認識した上で当面は考慮しない。</li> <li>間接的土地利用変化、リークエージ (※) については当面の間、政府の監視項目とし、事業者による算定は不要とする。</li> </ul>
土地利用変化に関する算定方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>湿地や泥炭地、高密度森林での原料栽培は禁止</li> <li>森林又は草地が農地へ転換された場合、直接的土地利用変化に伴う地上・地中の炭素ストック変化を 20 年に均等配分して計上する。</li> <li>土地利用変化が生じたとは、「エネルギー供給構造高度化法」バイオ燃料、基本方針・判断基準に係る施行日前 (→判断基準告示では平成 24 年 4 月 1 日) の状態から変更があった場合と定義する。</li> <li>荒廃地や汚染地、放棄地で原料栽培された場合、一定のボーナスを付し、バイオ燃料の GHG 排出量から控除可能とする。</li> </ul>
原料栽培に関する算定方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用したエネルギー起源の CO<sub>2</sub>、バイオマスの燃焼に伴う CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、廃棄物等の処理に伴う CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、殺虫剤等の化学物質の製造・調達に伴う CO<sub>2</sub>、肥料の製造・施肥に伴う CO<sub>2</sub>・N<sub>2</sub>O の排出を計上。</li> <li>廃棄物を原料とする場合、原料の収集に要したエネルギー起源の CO<sub>2</sub> のみを計上する。また、回避される GHG 排出 (例：メタン発酵の防止) の量が立証できる場合、削減として考慮することが可能。</li> <li>化石燃料、電力の排出係数については、ライフサイクル排出量を考慮した値を用いる。(以下同様)</li> </ul>

燃料製造に関する算定方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用したエネルギー起源の CO<sub>2</sub>、バイオマスの燃焼に伴う CH<sub>4</sub>・N<sub>2</sub>O、廃棄物等の処理に伴う CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 及び触媒等の化学物質の製造・調達に伴う CO<sub>2</sub> の排出を計上。</li> <li>発生した CO<sub>2</sub> を回収・隔離している場合、排出量から控除可能。</li> </ul>
原料輸送、燃料輸送に関する算定方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>原料・燃料の輸送や貯蔵、中間処理に要した化石燃料や電力・熱等のエネルギー起源の CO<sub>2</sub> を計上する。</li> <li>他貨物と共同で輸送されている場合、当該輸送機関が消費したエネルギーを重量で按分し、自らの輩出とする。</li> <li>復路便のエネルギー消費についても考慮する。</li> </ul>
アロケーション方法 (※)	<ul style="list-style-type: none"> <li>副産物が発生した場合、プロセスを細分化して副産物の環境負荷を個別に評価する。機械的な配分が不可避な場合、出来る限り合理的に説明できる方法を採用し、その方法と理由を明記する。</li> <li>副産物とは、自らエネルギー又はマテリアル利用するもの、及び他者に有償で販売したものと定義する。</li> </ul>
化石燃料との比較方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>ライフサイクル温室効果ガス排出量の削減率は、次式により計算する。なお、バイオエタノールはガソリン、バイオディーゼルは軽油を比較対象の化石燃料とする。</li> <li>削減率 = <math>(EF - EB) / EF</math></li> <li>EF : 比較対象となる化石燃料のライフサイクル温室効果ガス排出量</li> <li>EB : バイオ燃料のライフサイクル温室効果ガス排出量</li> <li>ガソリンのライフサイクル温室効果ガス排出量は 81.7g CO<sub>2</sub>eq/MJ とする。</li> </ul>

※バウンダリー：LCA 評価の対象となる算定対象範囲（境界）

※リーケージ：廃棄物系資源をバイオ燃料用原料に利用することで、他のエネルギー・マテリアル用途を阻害してしまうことにより生ずる環境負荷（GHG 排出増）

※アロケーション：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（エタノールの場合、サトウキビのバガスや発酵残渣（飼料代替等）等が副産物として発生する）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。

算定の考え方やデータの入手方法等の具体的な算定方針について、エタノールを例に次表に示す。

表 III-2-3-6 各バイオ燃料におけるライフサイクル GHG 排出量の算定方針例

原料	生産地域	算定方針			
		原料栽培	原料輸送	燃料製造	燃料輸送
サトウキビ	ブラジル	英国 RTFO のデフォルト値、EU 指令のデフォルト値のベースとなった CONCAWE 等の共同研究、カリフォルニア Low Carbon Fuel Standard のデフォルト値、UNICA による試算結果を比較、分析し、我が国にとって適切な値を設定。			ブラジル→日本の輸送距離や使用船舶種、燃費を想定し、排出量を算定。国内輸送についてはガソリンと同じと想定。
多収量米	国産	生産統計等より単収や肥料投入量、燃料消費量等を把握し、算定。	収集距離や収集形態、燃費を想定し、排出量を算定。	国内プラントについてデータ収集に努め、算定。	国内輸送について実際の輸送距離、輸送形態等を踏まえ算定。
規格外小麦	国産	生産統計等より単収や肥料投入量、燃料消費量等を把握し、算定。	収集距離や収集形態、燃費を想定し、排出量を算定。	国内プラント設計値、英国 RTFO や EU 指令のプラントデータを利用して算定。	国内輸送について実際の輸送距離、輸送形態等を踏まえ算定。
てん菜	国産	生産統計等より単収や肥料投入量、燃料消費量等を把握し、算定。	収集距離や収集形態、燃費を想定し、排出量を算定。	国内プラント設計値、英国 RTFO や EU 指令のプラントデータを利用して算定。	国内輸送について実際の輸送距離、輸送形態等を踏まえ算定。
建築廃材等	国産	廃棄物利用のため算定不要。	収集距離や収集形態、燃費を想定し、排出量を算定。	国内プラント設計値、NEDO の研究開発事業の結果、EU 指令のプラントデータを利用して算定。	国内輸送について実際の輸送距離、輸送形態等を踏まえ算定。
廃糖蜜	日本	廃棄物利用のため算定不要。	収集距離や収集形態、燃費を想定し、排出量を算定。	国内プラント設計値、英国 RTFO (糖蜜) のプラントデータを利用して算定。	国内輸送について実際の輸送距離、輸送形態等を踏まえ算定。
早生広葉樹	豪州等	セル革事業主体よりデータを収集。参照値として文献値も併記。	セル革事業主体よりデータを収集。参照値として文献値も併記。	セル革事業主体よりデータを収集。参照値として文献値も併記。	生産国→日本の輸送距離や使用船舶種、燃費を想定し、排出量を算定。国内輸送についてはガソリンと同じと想定。
多収量草本植物	アジア等				

c) 算定結果

算定結果の例として、セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業において開発が進められている早生広葉樹、多収量草本植物の評価結果について以下に示す。

セル革事業の両実施主体よりエネルギーや化学物質の投入量等のデータを提供いただき、別途想定した排出係数等を適用してライフサイクル GHG 排出量を算定した。両事業の結果の特徴は以下のとおり。

表 III-2-3-7 セル革 2 事業の算定結果の特徴

実施主体	結果の特徴
早生広葉樹チーム	燃料製造工程では必要なエネルギーを全て自給できるだけでなく、余剰電力も発生するため、大きな GHG 削減効果が得られる。 なお、本数値は GHG 排出量のアロケーション（エタノールと余剰電力への配分）について、熱量按分法を採用した場合の値である。
多収量草本植物チーム	ライフサイクル排出量の 6 割以上を燃料製造時の電力、軽油使用に伴う CO <sub>2</sub> 排出が占める（電力、軽油の比率はほぼ半々）。 原料栽培時の肥料投入に伴う排出（肥料製造時の排出＋土壌 N <sub>2</sub> O 排出）も全体の約 2 割と、比較的大きな割合を占める。

昨年度の実績データに基づき算定した結果では、両実施主体が自ら算定している値と比べ、概ね同水準であることを確認した。

今年度末、事業終了して結果が確定した段階でデータを更新し、再度算定を行う予定である。

前述の結果も含め、各種の原料からバイオエタノールを製造した際の温室効果ガス排出量を算定した結果のうち、主なものを示す。算定にあたっては、様々な条件での原料栽培、燃料製造が考えられるため、これらの幅を最小値～最大値として表記した。

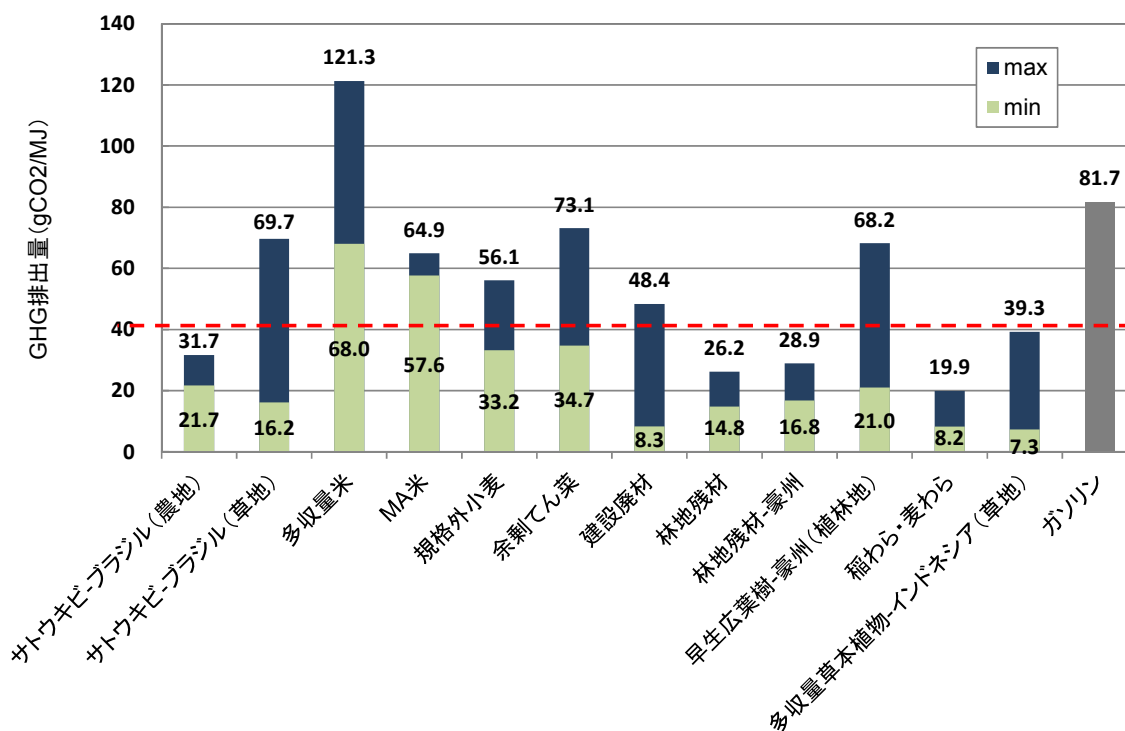


図 III-2-3-2 各種バイオエタノールの算定結果

算定結果については、以下のような項目毎に整理し、データベースとして整備した。このように、評価対象とするバイオ燃料の抽出及び GHG 排出量の算定や更新について目標とした成果を挙げることができた。

- ・ バイオ燃料種（バイオエタノール／バイオディーゼル／BHD／ブタノール）
- ・ 原料（サトウキビ／キャッサバ／多収量米・・・等）
- ・ 原産国（ブラジル／タイ／日本・・・等）
- ・ 従前の土地利用形態（農地／草地／森林）
- ・ 製造プラントデータ種別（実績値／設計値／目標値／推計値）、データ出典
- ・ アロケーション方法（アロケーション無し／プロセス分化法／代替法／熱量按分法／価格按分法）
- ・ GHG 排出量（土地利用変化含まず／土地利用変化／合計）、対化石燃料比率

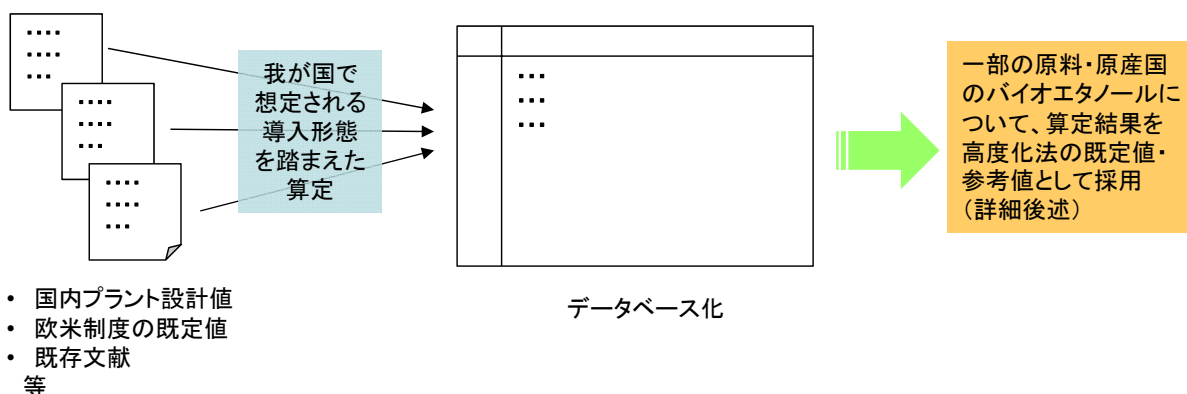


図 III-2-3-3 算定結果の整理イメージ

表 III-2-3-8 各種バイオ燃料の GHG 排出量算定結果 (イメージ)

バイオ燃料	原料	国	変化前の土地利用形態	土地利用変化以外				土地利用変化				合計		
				アロケーション方法	前提		排出量 [gCO2/MJ]	化石燃料比	排出量 [gCO2/MJ]	原料栽培アロケーション比率	アロケーション後排出量 [gCO2/MJ]	備考	排出量合計 [gCO2/MJ]	化石燃料比
					燃料製造プラントデータ	データ種別								
エタノール	サトウキビ (単年生)	ブラジル	農地	アロケ無し	ブラジルプラント実績値	Macedo (2008)	31.7	39%	—	—	—	31.7	39%	
				プロセス分化			31.4	38%	—	—	—	31.4	38%	
				代替法			21.7	27%	—	—	—	21.7	27%	
				熱量按分法			31.0	38%	—	—	—	31.0	38%	
				価格按分法			30.3	37%	—	—	—	30.3	37%	
			草地	アロケ無し			31.7	39%	38.0	100%	38.0	69.7	85%	
				プロセス分化			31.4	38%	38.0	91%	34.7	66.1	81%	
				代替法			21.7	27%	38.0	100%	38.0	59.7	73%	
				熱量按分法			31.0	38%	38.0	96%	36.6	67.6	83%	
				価格按分法			30.3	37%	38.0	93%	35.2	65.5	80%	
			森林	アロケ無し			31.7	39%	309.5	100%	309.5	341.2	418%	
				プロセス分化			31.4	38%	309.5	91%	282.9	314.3	385%	
				代替法			21.7	27%	309.5	100%	309.5	331.2	405%	
				熱量按分法			31.0	38%	309.5	96%	297.7	328.7	402%	
				価格按分法			30.3	37%	309.5	93%	286.6	316.9	388%	
	サトウキビ (多年生)	ブラジル	農地	アロケ無し	—	—	31.7	39%	—	—	—	31.7	39%	
				プロセス分化			31.4	38%	—	—	—	31.4	38%	
				代替法			21.7	27%	—	—	—	21.7	27%	
				熱量按分法			31.0	38%	—	—	—	31.0	38%	
				価格按分法			30.3	37%	—	—	—	30.3	37%	
			草地	アロケ無し			31.7	39%	-5.5	100%	-5.5	26.2	32%	
				プロセス分化			31.4	38%	-5.5	91%	-5.0	26.4	32%	
				代替法			21.7	27%	-5.5	100%	-5.5	16.2	20%	
				熱量按分法			31.0	38%	-5.5	96%	-5.3	25.7	31%	
				価格按分法			30.3	37%	-5.5	93%	-5.1	25.2	31%	
			森林	アロケ無し			31.7	39%	254.0	100%	254.0	285.7	350%	
				プロセス分化			31.4	38%	254.0	91%	232.2	263.6	323%	
				代替法			21.7	27%	254.0	100%	254.0	275.7	337%	
				熱量按分法			31.0	38%	254.0	96%	244.3	275.3	337%	
				価格按分法			30.3	37%	254.0	93%	235.2	265.5	325%	
多収量米 (水管理状態変化あり)	日本	—	アロケ無し	設計値	日本国内実証プラントデータよりMRI算定	121.3	148%	—	—	—	121.3	148%		
			熱量按分法			99.0	121%	—	—	—	99.0	121%		
			価格按分法			110.4	135%	—	—	—	110.4	135%		
多収量米 (水管理状態変化なし)	日本	—	アロケ無し			73.8	90%	—	—	—	73.8	90%		
			熱量按分法			68.0	83%	—	—	—	68.0	83%		
			価格按分法			69.1	85%	—	—	—	69.1	85%		
多収量米 (MA米)	日本	—	アロケ無し			64.9	79%	—	—	—	64.9	79%		
			熱量按分法			57.6	71%	—	—	—	57.6	71%		
			価格按分法			61.4	75%	—	—	—	61.4	75%		

※網掛け部分は LCA 基準 (ガソリン・軽油 50%未満) を達成していないもの

## (2) GHG 排出量以外の持続可能性指標の検討

### a) 食料競合に関する評価手法の検討

GBEP 等で整理されているとおり、廃棄物および食用作物の残渣を原料とする場合は、食料競合を引き起こすリスクは一般的には低い。一方、食用作物を使う場合には食料競合のリスクが高い。また、草本植物等のセルロース系目的生産バイオマスを使う場合には直接的には食料競合を引き起こすものではないが、生産に使う土地や水等の資源利用の点において、食料生産と競合する可能性が指摘される。主なバイオ燃料における食料競合に関する評価の際の留意点を以下に例示する。

表 III-2-3-9 食料競合の評価における留意事項 (例)

原料	国	食料競合の可能性
サトウキビ	ブラジル	食用利用（砂糖）と競合する恐れがある。 サトウキビ農地の開発に際し、他の食用作物の栽培と土地や水等の資源で競合する恐れがある。
多収量草本植物	インドネシア	栽培地の開発に際し、他の食用作物の栽培と土地や水等の資源で競合する恐れがある。
早生広葉樹	ブラジル、中国、ラオス、インドネシア、豪州	植林地の開発に際し、他の食用作物の栽培と土地や水等の資源で競合する恐れがある。
多収量米	日本	食用利用と競合する恐れがある。

欧米等の先行事例をまとめると、食料競合への影響評価の方法は下記のように整理される。

表 III-2-3-10 食料競合の評価手法

評価の方法	評価の単位	参考事例
評価しない（食料競合は持続可能性のスコープ外）	—	英国 RTFO、米国 RFS
バイオ燃料製造事業ごとに操業地近郊の世帯への影響を調査	事業	EU(RSB)
食料価格等の統計を用いて影響を調査	国	EU 指令、GBEP
モデル分析を用いて影響を調査	国/世界	EU 指令、GBEP

※英国 RTFO : Renewable Transportation Fuel Standard

米国 RFS : Renewable Fuel Standard

RSB : Roundtable on Sustainable Biofuels (欧州委員会が認定した自主的基準の一つ)

このうち、バイオ燃料製造事業ごとに操業地近郊で世帯調査する方法は、事業者にとっての負担が著しく大きく、実現可能性が低い。このため食料価格等の統計やモデル分析による評価が適切であるといえる。

食料価格等の統計としては、以下のような統計が評価の参考となる。



表 III-2-3-11 食料競合の評価の際に参考となる統計

機関	統計	掲載項目
国際連合食糧農業機関 (FAO)	FAO STAT	国内生産量、供給量、輸出入量、在庫量、生産者価格、一人あたりの食品別摂取量等
国際連合食糧農業機関 (FAO)	Global Information and Early Warning System (GIEWS)	国・地域単位での食料価格
OECD-FAO	Agricultural Outlook	世界の主要農作物市場今後 10 年の予測
米国国際開発庁 (USAID)	Famine Early Warning Systems Network	飢餓発生の確率の高い国の特定、主要作物の流通状況等
Agrolink	Agrolink	ブラジルの国・州単位での食料価格、FAO 統計の出典となっている

一例として、FAO STAT や Agrolink では以下のような情報を入手することができる。

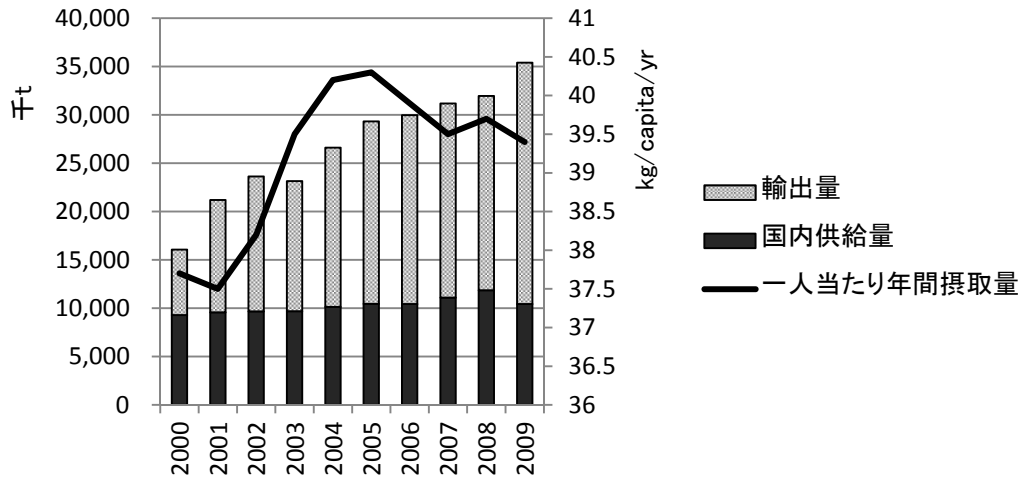


図 III-2-3-4 ブラジル砂糖の国内供給量・輸出量・一人当たり年間摂取量

出典) FAO STAT



図 III-2-3-5 Sao Paulo 州の砂糖価格

出典) Agrolink

このように食料供給に関して入手できる統計は整備されているものの、バイオ燃料事業に起因する食料供給の変化を分析するためには、モデル等による分析が必要といえる。欧州では IFPRI、米国では GREET といったモデルを使って、バイオ燃料生産による影響評価が行われており、我が国でもこのようなモデルの開発が必要といえる。

#### b) 生物多様性等に関する評価手法の検討

いかなる原料をいかなる国で栽培しようとも、そこに保全価値の高い土地が含まれている可能性が排除されず、全てのバイオ燃料を評価対象とすることが必要と考えられる。

欧米等の先行的な事例を参照すると、バイオ燃料事業と生物多様性との関わりは、

- ① 保全価値の高い土地でバイオ燃料の生産・製造を行わない
- ② バイオ燃料の原料として、侵略性のある種を使用しない

という 2 つの側面があるといえる。それぞれの側面について先行事例を参照すると、下記に述べる手順により生物多様性への影響を評価しながら、事業を実施していくことが必要であるといえる。

##### ① 保全価値の高い土地利用の禁止

保全価値の高い土地利用の有無を確認するためには、バイオ燃料生産・製造に利用する土地について、以下の手順で確認を行うことが必要であると考えられる。

第一に、土地利用変化を伴う場合については、一般的に生物多様性が高いとされる、森林・原生林・泥炭地・湿地の開発は行うべきではない。これらの土地は炭素ストックも豊富であるため、温室効果ガス削減の観点からも利用に適さない土地である。第二に、森林・原生林・泥炭地・湿地以外の土地については、法律等により土地開発の認可があるかを確認する必要がある。この際、保護地区や重要生物の生息地等としての国や地方自治体からの認定の有無を確認する。第三に、環境アセスメント調査を実施する。これは、土地利用変化を伴わないバイオ燃料事業であっても、同様に必要となるものである。この中で、利用しようとする土地の生物多様性の状況についても確認する。保全価値は高くないと評価された土地については、利用することに問題はない。一方、保全価値が高い区域が含まれていると評価された土地については、生物多様性の保全方法を含む管理計画を策定し、これにそった操業を行うことが必要となる。

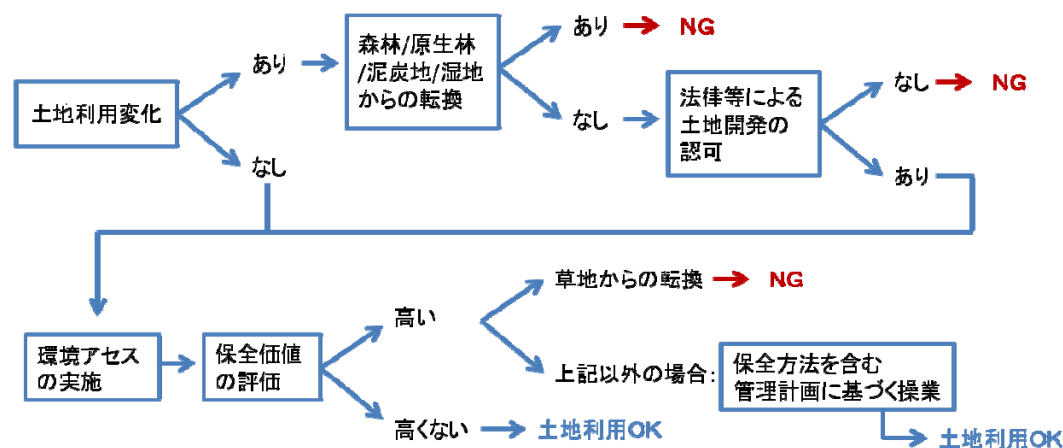


図 III-2-3-6 保全価値の高い土地利用有無の評価手順

この手順を実施する上で参考となるデータやツールとして、以下のものがある。

表 III-2-3-12 保全価値の高い土地利用の有無を評価する際に参考となるデータ・ツール

機関	データ・ツール	掲載項目
国連環境計画世界自然保全モニタリングセンター	世界保護地域データベース	世界の保護地区が世界地図上に表示
国際連合教育科学文化機関 (UNESCO)	世界自然遺産	世界で 183 件を登録
ラムサール条約	湿地	世界で 2,046 ヲ所の湿地を登録
欧州委員会	Biodiversity Information System for Europe	欧州における生態系評価のケーススタディ集
米国鳥類保護団体(American Bird Conservancy)	Alliance for Zero Extinction	米国の NPO によるツールで、587 地点・920 種の希少な生物の生息地をマッピング
グリーンピース、世界資源研究所等	Intact Forest Landscapes	世界中の原生林をマッピング

② 侵略性のある種の使用の禁止

バイオ燃料の原料として、侵略性のある種を持ち込むことは、生産地域の生物多様性の損失につながりうるため、原料の侵略性の有無を判断する必要がある。

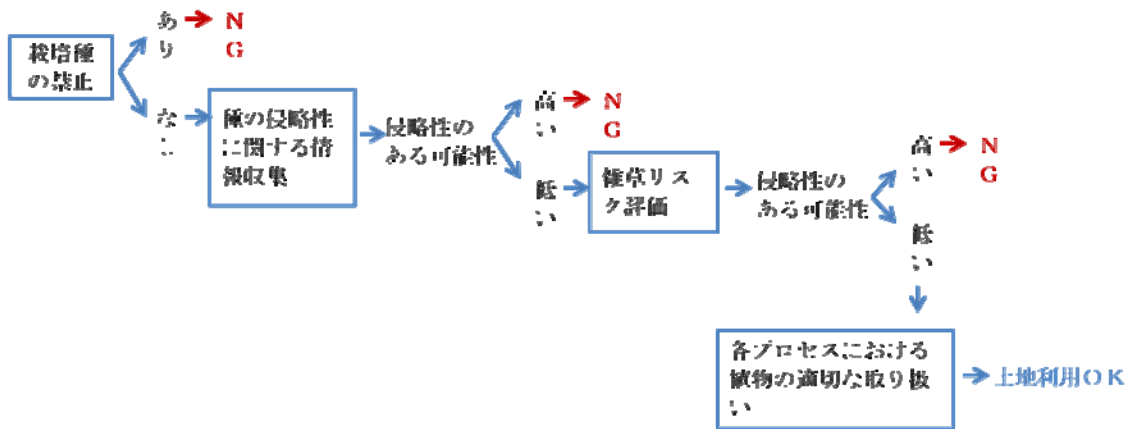


図 III-2-3-7 侵略性のある種の使用有無の評価手順

評価方法として、第一に国際機関等による種の侵略性に関する情報を収集し、危険な種としてリストアップされていないかを確認する。参考となる文献には、以下のものがある。

表 III-2-3-13 侵略性のある種の使用有無を評価する際に参考となるデータ・ツール

機関	データ・ツール	掲載項目
国際自然保護連合 (IUCN)	グローバル侵入種データベース	自然保護分野の国際組織 IUCN が作成した侵略性のある種のデータベース
Global Invasive Species Information Network(GISIN)	GISIN データベース	アメリカ地質調査所等が作成した侵略性のある種のデータベース
Inter-American Biodiversity Information Network (iabin)	I3N Database	中南米諸国における侵略性のある種のデータベース、米国国務省等の出資による

国際機関等による種の侵略性に関する情報を収集した結果、侵略性のある種としてリストアップされていない種については、次に雑草リスク評価を行い、侵略性の可能性について改めて判断することが考えられる。雑草リスク評価の手法も複数提案されているが、簡素な植物チェックリストを用いて、その侵略性を判断することが可能である。一例として、雑草リスク評価手法のイメージ図を下に示す。

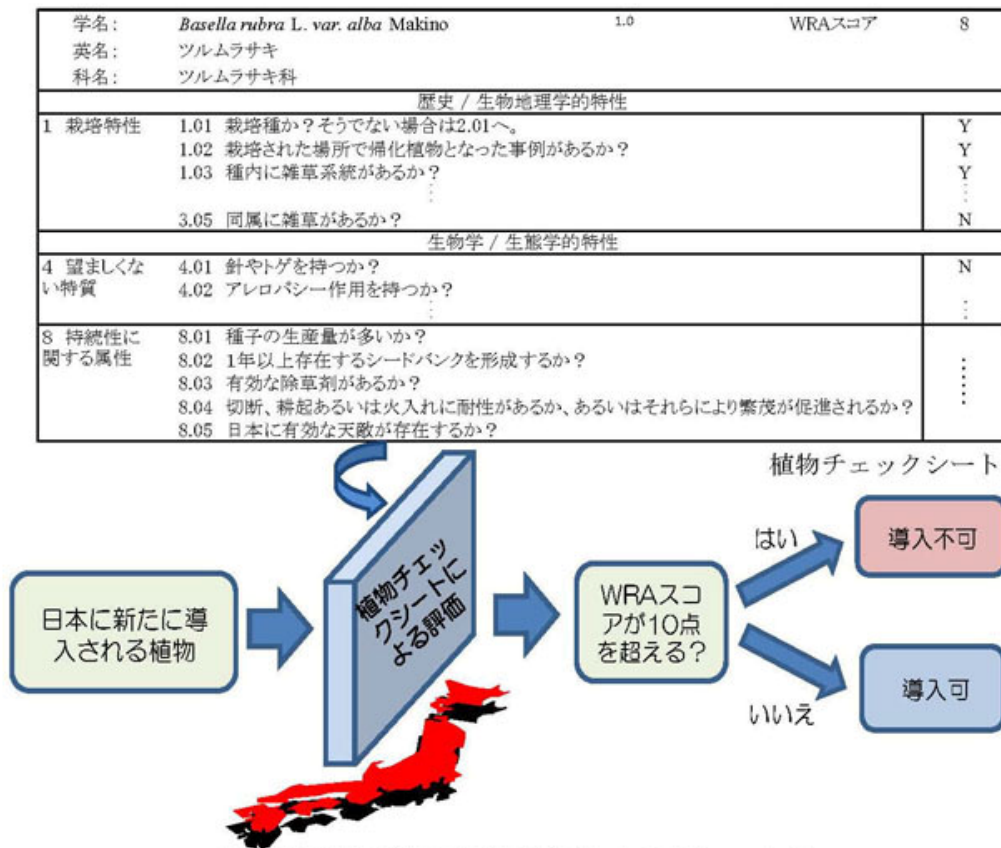


図 III-2-3-8 雑草リスク評価手法のイメージ図

出典) 農業環境技術研究所

雑草リスク評価を実施し、導入に問題がないと判断された種については、バイオ燃料原料として用いて問題ないと評価されることとなる。

生物多様性の状況は、個別のサイトに固有であるため、国全体で何らかの評価を実施すること

は適さないが、今回の対象とする国・原料においては、下記の点に留意しつつ、上記の評価手法を活用することが望ましいといえる。

### 2-3-4 知的財産権等の取得及び成果の普及

<エネルギー供給構造高度化法関連>

- ・ 2009年7月 「エネルギー供給構造高度化法」成立
- ・ 2010年3月10日 「バイオ燃料導入に係る持続可能性基準等に関する検討会」開催
  - 経済産業省、農林水産省、環境省の3省が連携し、地球温暖化対策として有効なバイオ燃料の導入について検討を行い、我が国におけるバイオ燃料の持続可能性基準についての方向性がとりまとめられた。
  - 本検討会に対し、以下のバイオ燃料について本事業で評価した温室効果ガス排出量を報告した。

バイオ燃料種	生産国	原料
バイオエタノール	ブラジル	サトウキビ
	日本	多収量米、MA米、規格外小麦、余剰てん菜、てん菜、廃糖蜜、建設廃材

- ・ 2010年11月 エネルギー供給構造高度化法の判断基準の策定
  - 上記検討会で報告された結果がパブリックコメントを経て一部修正の上、ブラジル産バイオエタノールは既定値、国産バイオエタノールは参考値として判断基準に掲載された。

<GBEP 関連>

- ・ 2011年1月 GBEP バイオエネルギーの温室効果ガス(GHG)ライフサイクル分析手法に関する共通枠組 ver.1
  - 本事業において日本語版和訳を作成し、GBEP ホームページにて公開された。

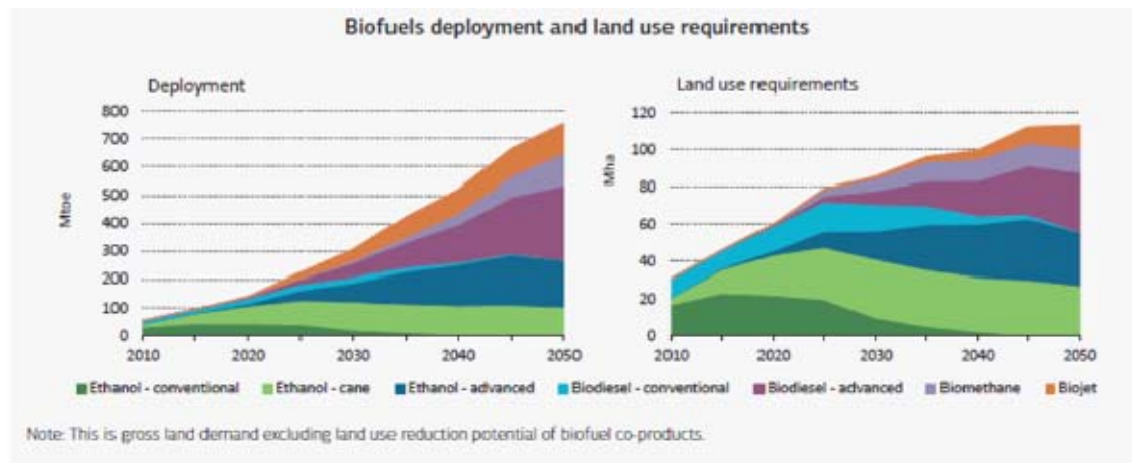
## IV. 実用化・事業化の見通しについて

### 1. 成果の実用化可能性について

日本国内のバイオエタノールの需要は、バイオ燃料政策により2017年までは確実な拡大が見込まれる。すなわち、「エネルギー供給構造高度化法及び判断基準」(2010年11月)では、2017年度に50万kL/年(原油換算)の導入を石油精製事業者に義務づけており、その達成に向けた各年度の導入目標を明記している。2017年の導入義務50万kL/年をバイオエタノールに換算すると約82万kL/年となる。

また、2010年6月に閣議決定された「エネルギー基本計画」(改訂中)によれば、2020年に全国のカソリンの3%相当以上のバイオ燃料を導入する計画となっている。総合資源エネルギー調査会基本問題委員会(第27回)「資源・燃料の安定供給の課題と今後の対応(参考資料)」によれば、2020年のカソリン需要量の予測は3600万kL原油換算=4040万kLであり、その3%がエタノールとすると、2020年エタノール需要は120万kLとなる。

また、世界的に見ると、米国などで伸び悩みが見られるものの、全体的にはバイオエタノールの需要は引き続き拡大傾向にある。IEA Technology Roadmap: Biofuels for Transport (2011)によれば、従来型(第1世代)のバイオエタノールは今後縮小あるいは横ばいの傾向にあるが、セルロース系など先進バイオエタノールは2020年以降需要が拡大していくものと予想されている。



出典：IEA Technology Roadmap: Biofuels for Transport (2011)

図IV-1-1 バイオ燃料の持続可能性に関する研究の目標と達成状況

このような状況のなか、2013年には、経済産業省の主催で「第二世代バイオ燃料の戦略検討会」(全4回)が開催された。この検討会は、食料との競合がなく、より安定的に供給可能なセルロース系エタノールの生産技術の開発が世界的に進められ、実用化の段階を迎えるにあたって、セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業の次の段階の研究開発をどのような形で進めるべきかを検討するために開催されたものである。この検討会の結果、セルロース系エタノール

の実用化のためには事業化に向けた本格的なプレ商業実証プラント（1万kL/年規模）による最終的な実証が必要であること、それに先だって要素技術の棚卸しを行うべきとの提言がされた。上記提言においては、本事業の後継となる事業の1年目に徹底的な技術棚卸しを実施し、2年目には中心となる技術を選別しプレ商業実証プラントの設計に進み、その後3年目から4年間で建設・実証を行うという方向性が示されている。

一方、バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発における2テーマについて、それぞれ基盤技術の確立という最終目標は達成しているものの、2020年事業化のスケジュールに沿って次のプレ商業実証プラントを建設する場合を想定した場合、各要素技術がそのまま利用できるとは限らない。表IV-1-2に、2020年事業化に向けた各テーマの成果の利用可能性についてまとめる。

表IV-1-1 バイオ燃料の持続可能性に関する研究の目標と達成状況

	原料生産	前処理	酵素精化	エタノール発酵	濃縮脱水
実用化・事業にあたっての留意事項	持続可能性を多面的に考慮する必要あり 栽培用土地を確保することが必要	木質系材料か草本系材料かで採用可能な技術が異なる	オンサイト生産技術は必須。日本国内での実証の場合遺伝子組み換え体の利用に制限あり	日本国内で実証する場合、遺伝子組み換え体の利用には制限がある	コストおよびGHG排出量の両面ですぐれた技術が望ましい
草本系事業の成果利用可能性	ネピアグラスは農産物として大量生産する体制を新たに構築する必要がある	アンモニア前処理は厳しい原料の乾燥・破砕条件を要するため、全体プロセス設計時の制約となる。スケールアップに2段階が必要	日本独自の膜を利用した酵素回収を含むオンサイト酵素生産技術が確立できている	新2段発酵・同時発酵プロセスは、非遺伝子組み換え技術であり、実用性の点で優位性あり	既存技術の選定に主眼をおいており、実用性は十分
	○	△	○	○	○
木質系事業の成果利用可能性	ユーカリはすでに植林地にて大量に栽培されている。植林地近傍にあるパルプ工場に併設することで、収集・廃液処理などの周辺設備を利用することが可能	木質系材料の場合、メカノケミカル処理法は優位性を示している	遺伝子組み換え体のため国内実証で使うのは難しい	酵素回収と同時糖化発酵の組み合わせは、コンタミを誘発しやすいため、プロセスの見直しが必要	自己熱再生技術はコストの面では不利だが、GHG目標達成のためには優位
	◎	○	△	△	○

上記にまとめたように、草本系は、全体に目標は達成しているものの、前処理プロセスが事業化のためのネックとなっている。木質系は、原料調達点では優れているが、糖化・発酵プロセスは十分とは言えない。2020年事業化のためには、本事業で成果の得られた技術を棚卸しし、最適な組合せを見極めることが適切であると言える。今後は、官民における取り組みの整合を図りつつ施策やNEDO支援制度に反映して後継事業に取り組んで行くことで、実用化及び事業化は大いに期待できる。

なお、バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発における個別テーマの実用化、事業化の見通しについては「IV. 2. 研究開発項目毎の事業化の見通し」において詳細に説明する。

また、「バイオ燃料の持続可能性に関する研究」については、持続可能性の指標や評価方法を取りまとめることが目的であり、何らかの実用化・事業化を目指したものではないので、本章での対象とならない。

## 2. 研究開発項目毎の事業化の見通し

### 2-1 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

#### 2-1-1 セルロース系エタノール一貫生産システム事業化の意義

2010年、エネルギー供給構造高度化法の判断基準によって、バイオエタノール導入義務量の拡大（2017年に原油換算50万kL）とその温室効果ガス排出量がガソリンの50%未満であることが必須となった。現状では、これに応えるためにはブラジルのサトウキビから製造されるエタノールに頼らざるを得ないが、以下のような2つの大きな課題がある。本プロジェクトの成果であるセルロース系エタノールの一貫生産システムが確立できることが、これらの課題に対しての解決策となるものと期待される。

##### 1) 第一世代エタノールの供給安定性

現状では、輸出余力があるのはブラジル一国であり、気候影響等による収穫量の変動、砂糖相場の変動によるエタノール生産量・価格の変動などの不安定要素が極めて多いことが、大きな課題となっている。

##### 2) 持続可能性基準への適合性

持続可能性の調査研究の結果からも明らかなように新規開拓農地でのサトウキビからのエタノールは土地利用変化を考慮すると持続可能性基準を満たさない可能性が高く、基準を満足したエタノールの確保が困難になるおそれがある。

原油換算50万kLのバイオエタノールの導入義務が2017年以降も継続されるのであれば本事業の成果をいち早くこの供給に反映させ、第一世代からの置き換えにより、これらの課題解決に繋げることが必要となっている。

#### 取り巻く状況

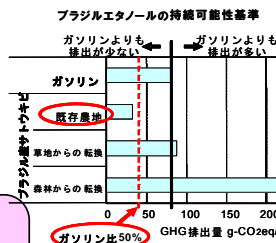
- ◎バイオエタノール導入義務化量の拡大(2017年、原油換算50万kL)  
(エネルギー供給構造高度化法)
- ◎温室効果ガス排出量がガソリンの50%未満であることが条件。  
(持続可能性基準)

#### 国内石油精製業者に対する バイオエタノール利用義務化量

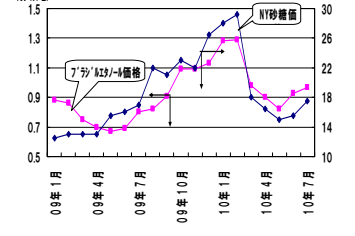
万kL/年	2011-2012	2015	2016	2017
エタノール量	36	65	75	86
“(原油換算)”	21	38	44	50
ETBE換算量	84	152	175	200

#### ブラジルから輸入の場合の課題

- ・新たに開墾した場合は、土地利用変化により持続可能性基準が未達
- ・1国に頼ることは生産面(季節変動)、価格面(砂糖相場)において不安定。



#### ブラジルエタノールと砂糖価格推移



持続可能性基準を満たし安定供給可能な食糧と競合しないセルロース系バイオエタノールの自前生産の達成

セルロース系バイオエタノールは、利用量を2倍計上できるというインセンティブもあり

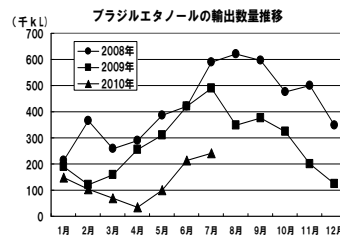


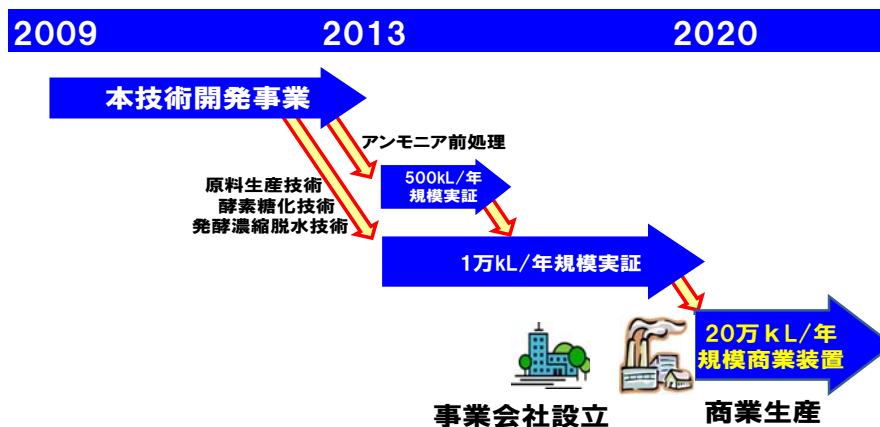
図 IV-2-1-1-1 セルロース系エタノール一貫生産システムの事業化の意義



## 2-1-2 セルロース系エタノール一貫生産システムの実用化・事業化へのシナリオ

### a) スケジュール

本プロジェクトでは平成 24～25 年において、原料生産の技術開発においては 30ha 規模での実証栽培試験を実施し、製造技術開発においてはベンチ実証装置での本格的な実証運転をおこなった。これらの成果をエタノール生産 20 万 kL/年規模の一貫プロセスの技術完成に繋げていくためには、1 万 kL/年規模へのスケールアップを介して、商業生産技術へブラッシュアップしてゆく必要がある。



図IV-2-1-2-1 実用化・事業化へのシナリオ

一方、実用化・事業化のためには原料栽培地も確保する必要がある。栽培候補地については、本プロジェクトの中で海外栽培候補地の事業性の調査を行ってきた。事業化を進めるにあたって、本プロジェクトで開発した候補地選定手法を応用的に活用しながら、商業化に向けた本格的な用地確保、栽培システムの構築を行ってゆく必要がある。さらに 1 万 kL/年規模の実証プラントによる実証が終了した時点で、本格的な事業化に向けた原料植物の植え付けを開始してエタノール製造工場完成と同時に原料の供給を行えるようにする必要がある。

### b) 原料生産技術の事業化に向けた課題

先に述べたように、原料生産技術の事業化に向けた課題は、事業化に最適な候補地を選定すること、選定された土地において事業化規模に見合った面積の原料植物の植え付けを開始しエタノール製造工場完成と同時に原料の供給を行うために、土地、資源・資材を確保しインフラを整備することにある。

#### b)-1 栽培候補地の選定

本技術開発事業においては、Ⅲ2-1-3 (2) 候補地選定手法の確立の項目で述べたように、食料生産と競合せずエネルギー作物の目的生産のポテンシャルが高いことを指標としたうえで、事業性を勘案した具体的な国および地域を統計・文献情報等からスクリーニングし、日本への輸送を考えた経済的観点より港からの距離にて絞り込むことができた。さらに抽出された地域を GIS の土地被覆データから希望する土地面積の確保可否、治安情報、想定する事業モデルから具体的な場所

を選定する手法を確立し、一定の前提条件のもとに具体的な国・地域まで絞り込むことができている。この手法に基づいて具体的に事業化の候補地を選定していくことができると考える。

## **b)-2 原料栽培地の確保と原料供給体制の確立**

事業化・実用化にむけて適切な原料植物の栽培条件および規模に合致した土地を確保するために、候補地での生産性の確認、生産者および苗、肥料等の生産資材の確保と、収穫運搬を含む中間集積所等のインフラ整備が必要である。また、原料植物生産をマネジメントする人材の確保、デモプロットでの栽培技術指導、生産委託を含んだ生産計画等の策定により、エタノール製造工場稼働までに原料植物の生産・運搬・供給体制を確立することが必要である。

## **c) エタノール製造技術の事業化にむけた課題**

### **c)-1 スケールアップにむけた展望と課題**

アンモニア前処理を軸とした一貫製造プロセスとしては課題となる前処理工程での連続化・マテリアルハンドリング性を検証し技術確立することが課題である。エタノール生産 500kL/年規模でのパイロット装置でのスケールアップ・実証研究を経たうえで、実用化に結び付けていきたい。

各要素技術（酵素糖化、発酵濃縮脱水）はより大きい規模（エタノール生産 1 万 kL/年、あるいはそれ以上の規模）での技術評価に進められる技術が確立できつつあると考える。

本事業における要素技術開発・ベンチ実証・システム評価の成果を踏まえ、スケールアップにむけた展望と課題を以下に記す。

#### **1) アンモニア前処理**

本事業で開発したアンモニア前処理技術は、原料と同等の糖含量を前処理後も保持すること、保存安定性に優れ取扱い容易であることをベンチ装置規模でも実証することができた。一方、商業機においては連続化が必須であるが本開発事業において技術検証したベンチ装置はバッチ運転である。そのため連続反応装置前提のマテリアルハンドリングおよび連続化機構について約 20 倍程度にスケールアップした 500kL/年（エタノール生産）規模でのパイロット装置で検証することが必須である。

#### **2) 糖化技術**

本事業で開発した酵素糖化プロセスは、技術検証を行ったベンチ設備をベースに、膜分離ユニット並列化で、1 万 kL/年（エタノール）規模に対応したスケールアップに目処を得ることができた。

自製酵素生産技術は、市販酵素同等以上の性能を持つ酵素製剤の製造に繋がる基礎技術をベンチスケールで確立しており、エタノール生産 1 万 kL/年規模に向けたスケールアップに目処が得られた。

#### **3) 酵母培養発酵技術**

本事業で改良取得した酵母はいずれも既存バイオエタノール設備の技術転用によるスケールアップ培養が基本的に可能であり、容易かつ安価な設備導入が可能である。酵母培養・発酵ユニットは大型化および並列化によりエタノール生産 20 万 kL/年規模のスケールアップ展開が可能である。

また改良取得した酵母はいずれも非遺伝子組換え体酵母のため隔離のための設備・管理が不要であり、コスト面での優位性を備えている。

また同時発酵酵母は、実用化にむけた更なる改良の過程で、本事業で確立した酵母代謝系解析技術が更なる酵母の改良に適用できる。

### **c)-2 事業化時におけるコストの削減(50~70 円/L)に向けて**

固定費ではなお粉碎乾燥設備費が巨額であり、変動費ではなお 10 円/L を占める酵素費用がコスト削減のための重要な対象となる。

前処理設備費の削減に関しては、前処理粉碎工程と原料供給粉碎工程の統合(前処理工程内での粉碎の省略)原料乾燥工程の気流乾燥方式からキルン方式への変更が考えられる。両者をあわせれば数百億円の設備コスト削減効果が考えられ、買電量も大幅な減少となる(買電ゼロ、軽油ゼロと合わせエネルギー完全自立となる)ため、これが成り立てば 10 円/L 以上の削減が見込まれる。但し、乾燥度が悪化してアンモニア回収系への水分混入が起これば、アンモニアを分離回収するための新たな課題が生じることとなるため、これを解決する新たな検討が必要となる。

酵素費用に関しては、継続的に酵素生産性の向上、酵素回収率の向上および酵素添加量の削減を検討するにより酵素コスト 4 円/L を目指す。両者が共に成立すれば、事業化時の想定コスト 50 ~70 円/L の達成が現実的なものとなる。

### **c)-3 実用化・事業化にむけた成果と課題のまとめ**

本事業の最終成果報告にむけて、草本系の栽培システムとアンモニア前処理を軸とする製造システムが、優れたセルロース系エタノール製造技術として開発できたことを示し、開発の成果と残された課題を明確にするとともに、開発技術をパッケージとして(完成度も含めて)正確にまとめ、各工程の開発成果を基にエタノール製造スケールアップ実証へ進める際の課題と対処法を整理した技術成果をまとめていく。

### 2-1-3 波及効果

#### a) セルロース系バイオエタノール生産事業

本プロジェクトの最終の絵姿として、エネルギー植物を単収 80t/ha・年、単価 3 円/kg で出荷することができたとし、また、エタノールは導入義務量である 50 万 kL/年を製造価格 40 円/L、販売価格 50 円/L として販売できたとする。

その場合の、エネルギー植物の出荷総額は年間 60 億円にものぼり、インドネシア等の東南アジアを想定すると 1 日あたり 1 万 5 千人もの雇用を創出できる可能性がある。

また、エタノールとしての出荷総額は年間 250 億円となり、それによる GHG 排出量の削減量は年間 120 万 t 以上になるものと推定される。

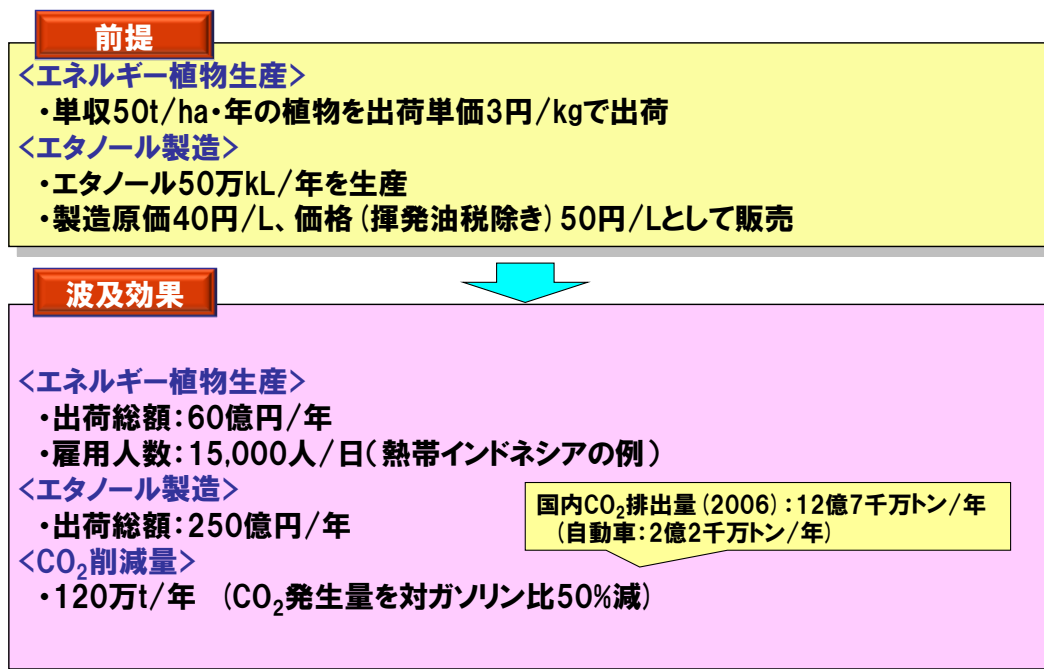


図 IV-2-1-3-1 セルロース系バイオエタノール生産事業が市場に与える波及効果

#### b) 関連分野・他分野事業への波及効果

本プロジェクトで開発された技術成果の強みと、利用可能と考えられる関連分野・他分野事業への波及効果を表IV-2-1-3-1 にまとめた。

表IV-2-1-3-1 技術成果の強みと他分野・事業への利用

技術開発項目	技術成果の強み	利用できる分野・事業
原料生産技術		
ネピアグラスの持続的な生産技術（大規模実証）	高生産性（50t/ha・年）、安価（3円/kg）、持続的、食料生産と非競合、高品質な原料を供給可能	バイオマス原料供給（ガス化FT合成、ペレット燃料、バイオマス由来化成品原料など）
土壌CO <sub>2</sub> 固定の評価	土壌CO <sub>2</sub> 固定量増加による大きなGHG削減	他の多年生作物に考え方を応用
アンモニア前処理技術		
以下を満たすアンモニア前処理技術の完成 ・糖質損失がない ・排水が出ない ・後工程への影響が小さい	発酵阻害物質の少ない糖化原料の供給	セルロース・ヘミセルロース・リグニンのロスや過分解がほとんどない唯一の前処理 バイオマスの総合的利活用（バイオリファイナリー）への展開
酵素糖化技術		
分離膜技術による酵素回収・糖の濃縮技術の確立	膜利用により実用的なコストで糖液のみを分離し高濃縮できる唯一の技術	バイオケミカル製造に適した糖の製造（高効率な糖濃縮技術の展開）
発酵技術（C5C6同時発酵）		
非遺伝子組換え（セルフクローニング）の同時発酵酵母の獲得	非遺伝子組換えのC5利用酵母で世界トップレベルのエタノール収率80%超を達成	キシロースからのエタノール以外の物質生産（コハク酸など）への適用

## 2-2 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

### 2-2-1 事業化の可能性について

本プロジェクトの事業化は、王子ホールディングスでは自社の植林資源を利用してエタノールを製造し、ガソリン代替燃料として石油会社に提供することを指す。また新日鉄住金エンジニアリングおよび王子エンジニアリングでは木質バイオマスからのエタノール製造プラントを販売することを指す。

本プロジェクトにおけるそれぞれの研究開発毎の目標が達成された場合、本プロジェクト終了時点での NREL 基準での年産 20 万 kL 設備での製造原価試算結果は 64 円/L、さらに酵素コスト等が下げられた場合で 55 円/L となった。この試算では固定費は操業 30 年間の平均を用いての結果である。一方で年産 15 万 kL 設備（原料：林地残材）で王子社内で製造原価の試算を行ったところ本 PJ の当初目標がすべて達成された場合で 120 円/L、さらに C5 糖からの発酵収率が向上し、酵素のオンサイト生産によりコストが下げられたときで 90 円/L との結果となった。

表 IV-2-2-1 コスト試算結果

	コスト試算(NREL基準) <sup>※1</sup>		(王子事業化時試算) <sup>※2</sup>	
	2013年度末	2020年	本PJ目標達成時	事業化時
製造原価	64円/L	55円/L	120円/L(超概算)	90円/L(超概算)
変動費	51円/L	42円/L	77円/L(超概算)	47円/L(超概算)
（原料）	(22円/L)	(22円/L)	-	-
（酵素・他）	(32円/L)	(24円/L)	-	-
固定費※	10円/L	9円/L	43円/L(超概算)	43円/L(超概算)
備考	操業期間30年の平均単価		15万kL/年時 (設備費 →)	15万kL/年時 海外パルプ工場併設: 設備費300億円

※1 設備規模は年産20万kL、固定費はNRELと同様の操業期間30年間の平均。保険、メンテナンス費用をNRELと同等の比率で算出。(金利、公課含まず)

※2 王子ケース:原料は林地残材。NREL基準との差:設備規模(15万kL/年)、固定費(償却は定率法。金利、公課・保険、修理費などを含む)、酵素単価が異なる。

「バイオ燃料技術革新計画」におけるベンチマークである「2015年に40円/L」という目標は米NRELが2002年に設定したセルロース系の2012年における目標コスト「1.07ドル/ガロン」(当時の為替水準(1ドル=約120円)で約34円/L)を参考に設定された。その後NRELは目標の修正を行い2.15ドル/ガロンと当初想定より約2倍の水準(当時の為替水準(1ドル=約80円)で約46円/L)としている。また原油価格についてもベンチマーク設定時は50ドル想定であったが、IEA予測では2020年には120ドルとなっている。またセルロース系バイオマス燃料の本来の導入意義である地球温暖化問題への対応という観点からのダブルカウント効果なども見込めば製造コストは40円/Lよりも上振れが許容される可能性がある。バイオ燃料の導入に関する政策に関しては石油精製業者に対して2017年度には50万kL/年(原油換算、バイオエタノール換算で約82万kL/年)の義務量が設定されたが、2018年以降の政策については不透明である。しかしながら海外では第一世代のバイオ燃料についても政府が独自の政策的インセンティブを付与しており、日本においても本事業のコスト範囲での政策次第では第二世代のバイオエタノールの事業化も可

能となってくると考えられる。

## 2-2-2 事業化のシナリオ

今後の検討課題としては以下があげられる。

**課題① 発酵**：高温耐性酵母の開発に取り組み、実機レベルで酵素回収と同時糖化発酵を両立させることを検討したが、同時糖化発酵での酵素の分離プロセスはコンタミリスクをかかえており、次の大規模実証までに更なる改良には時間的な問題がある。

今後以下の様に酵素回収+同時糖化発酵というプロセスを見直すことを検討する

- ・前処理の最適化により排出残渣を極限までなくす⇒排出残渣からの酵素回収を不要とするプロセス
- ・逐次糖化発酵プロセス

**課題② 酵素コスト削減**：コストに占める酵素の割合はまだ大きい。今後上記①にも記載の前処理の最適化を行い排出残渣を減らすことにより告訴使用量の削減を目指す。

以上については他社の最新動向、技術も含めて可能性を検討していくことが望ましいと考えられる。

また本プロジェクトの結果、事業性ありと示されたケースについては、事業化までにおよそ以下のようなスケールアップの検討が必要になる。

- H25年度（2013年度）プロジェクト終了後に他プロジェクト技術の導入など、より生産性の高い実用的な一貫システムを検討し、事業化に向けて次期スケールアップ設備に反映させる。  
(セルフクロニグ C5C6 同時発酵の呉<sup>®</sup> イロットプラント試験含む)
- H25年度（2013年度）末に次の検討に進むかについて、H26年度（2014年度）末にスケールアップ試験(高額の投資が必要)に進むかについて判断が必要。GOの場合は、FSで1万kL/年（国内）、15万kL/年（海外）を含めた設計を行う。

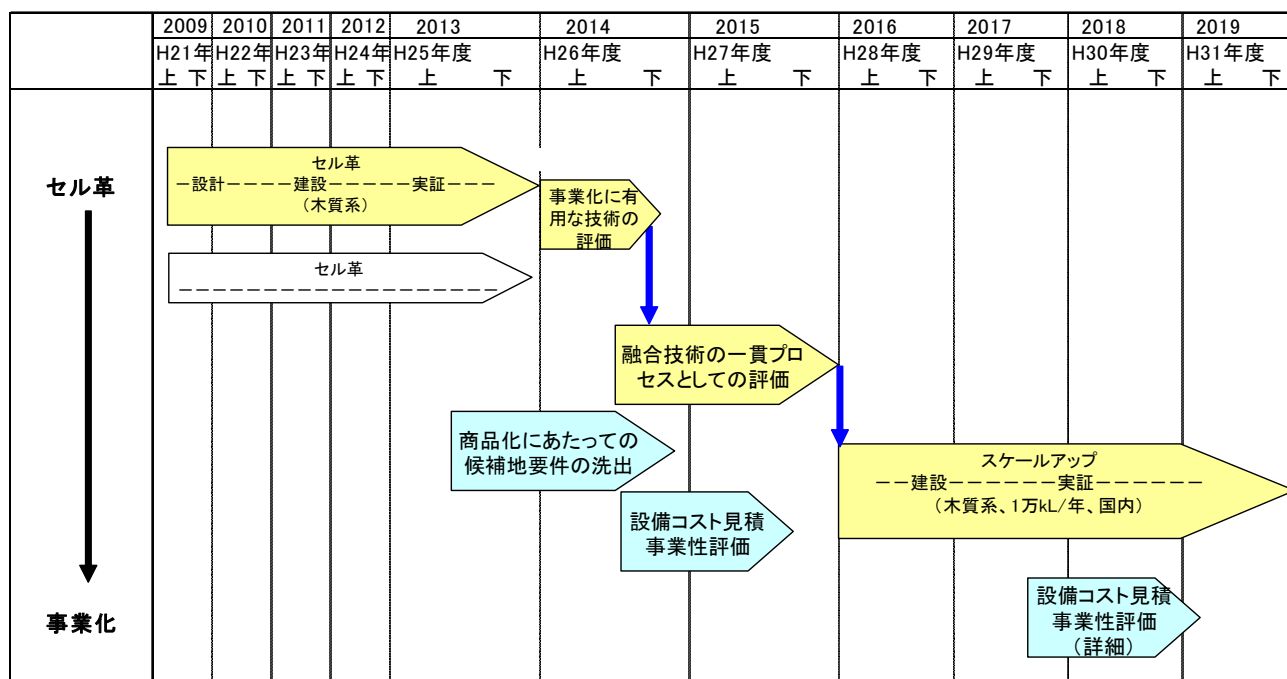


図 IV-2-2-1 事業化へのシナリオ

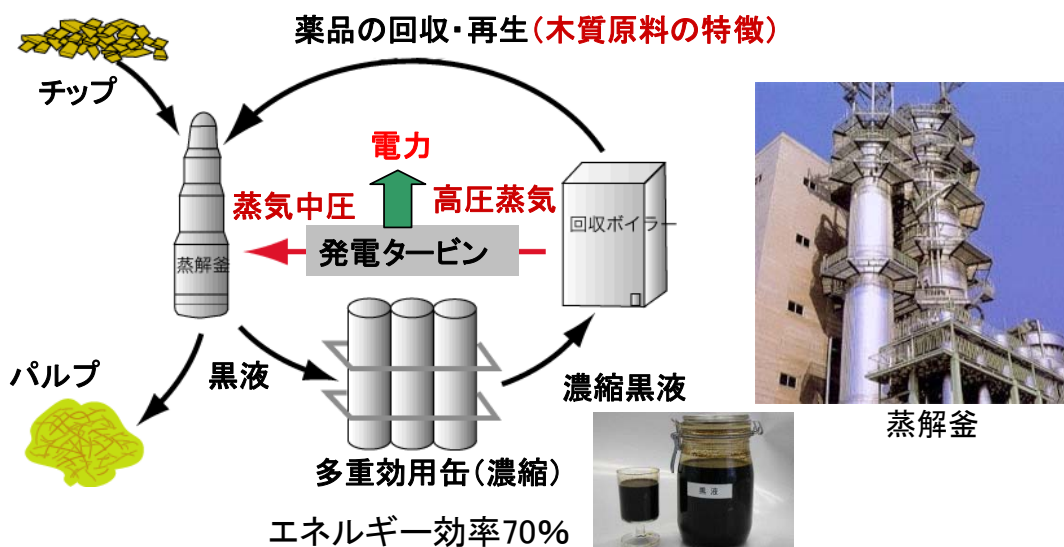
### (1) 年産1万kL規模の実証プラント

最終的な事業化の規模は年産15万kLを想定するが、この規模の実生産規模のプラントの設計、建設には、糖化発酵プロセスが前例がないため、本プロジェクトのパイロットプラントから理想的には10倍ごとにスケールアップでの実証試験が必要である。

本プロジェクトの次のステップとしては数年をかけて海外を含めた他プロジェクトの有用要素技術の融合をはかることが適当であると考え。この融合により当初目的としたコスト目標に向けさらにコストを下げることを目指す。また様々な要素技術を融合するにはそれに合わせたプロセスの最適化が必要となるためプラントでの試験を行う。このようにして最適化したプロセスについて事業性およびLCAを行いエネルギー収支、GHG評価を行い次の段階への判断を行うことが必要であると考え。

その次の段階として年産1万kL程度の規模(具パイロットプラントの約20倍)のプラントでの技術検証が必要であると考え。この実証試験では実生産規模の設計に必要な情報を得るだけでなく、それまでに確立した全ての技術を利用して、植林木からのエタノール製造におけるエネルギーバランス、コストの詳細な検討を行い、事業性の確度を高める検討を行う。また、薬品回収や残渣を利用したエネルギー回収についても検討を行いたい。生産したエタノールは国内の石油メーカーに提供し、ガソリン代替燃料として利用する。

## ークラフトパルプ(KP)製造法ー



**クラフトパルプ製造設備:  
黒液(バイオマス燃料)だけで操業可能(化石燃料は不要)**

図 IV-2-2-2 紙パ設備でのエネルギー回収

### (2) 事業化

年産15~20万kL規模の本格的な事業化は上記の実証試験の結果を見ながら判断するが、2020年に実現するためにはさらに前から原料確保の大規模植林地の確保や植林、プラント建設などの検討の準備が必要である。実際の事業化、工場稼働には原料である大規模植林地およびインフラが整備されているブラジルなどの既存工場への併設が有利であると考えられる。これにより既存



の紙パ産業で実用化されている薬品回収プロセスを利用し（残渣であるリグニンの燃焼による）エネルギー回収、薬品回収が可能となる。また、排水処理や製品の運搬に必要なインフラも使用することが可能である。

### 無水化

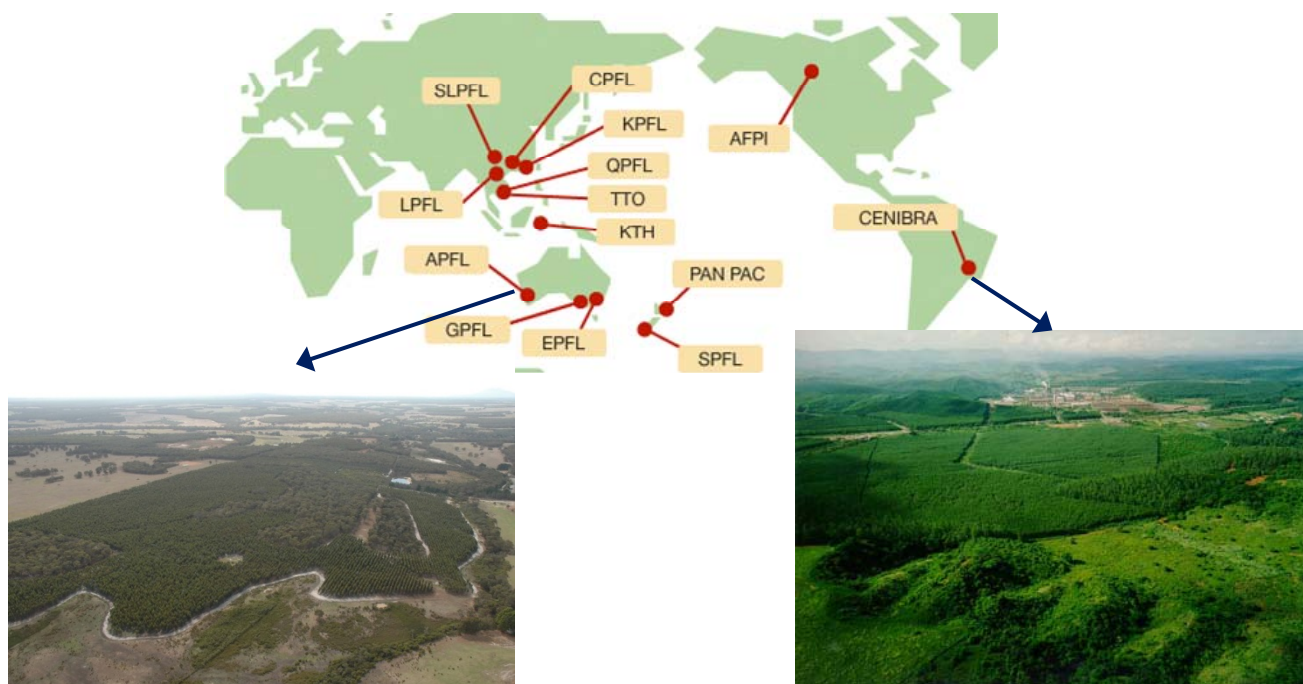


図 IV-2-2-3 王子ホールディングスが進める海外植林



図 IV-2-2-4 集中型植林モデル（ブラジル植林地）

### iii) 事業化の効果

本事業の目標が達成された場合、生産するバイオエタノールの GHG 排出比は 0.35 となる。15 万 kL/年の設備でバイオエタノールを生産し供給した場合、従来より年間で 17 万 t の CO<sub>2</sub> 排出の削減、2017 年の導入目標である約 82 万 kL/年のバイオエタノールをすべて本技術で生産した場合年間で約 93 万 t の CO<sub>2</sub> 排出の削減が期待される。

また事業拡大にあたっては、早生樹だけでなく、製紙用原料の林地残材からのエタノール製造も含めて、高付加価値製品の製造を行う事で事業性を高め、また他の化学品の供給などと合わせた総合的なバイオリファイナリープラントとすることにより、石油化学から再生可能資源への転換に重要な役割を果たせることも期待される。

<付録> 研究発表・講演・特許一覧

1. 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

1) 研究発表・講演（口頭発表も含む）

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2009年4月14日	新化学発展協会、ライフサイエンス部会講演会	セルロースの酵素糖化とその効率化	鮫島正浩（東京大学大学院農学生命科学研究科）
2009年6月20日	第23回セルラーゼ研究会	バイオ燃料導入に向けた期待と課題	川端秀雄（（新日本石油）
2009年7月1日	農業および園芸84: 687-691	バイオエタノール原料作物の栽培に関する視点	森田茂紀（東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場） 服部太一郎（九州沖縄農業研究センター） 塩津文隆（東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場）
2009年7月20日	The World Congress on Industrial Biotechnology and Bioprocessing, Montreal, Canada,	Improvement of Cellulase and Cellulose Interaction Towards Technology Innovation on Biofuel Production from Cellulosic Biomass	Masahiro Samejima, Kiyohiko Igarashi and Masahisa Wada. (The University of Tokyo)
2009年8月6日	IUPAC Congress, UK	Bioethanol research in Japan - biofuel for transportation	Hideo Kawabata (Nippon Oil Corp.)
2009年8月26日	IEA Bioenergy Multi-Task Conference A Changing Climate	Movement for the Introduction of Cellulosic Bioethanol in Japan	Hideo Kawabata (Nippon Oil Corp.)
2009年9月3日	The 7th ISRR (International Society of Root Research) Symposium Root Research and Applications (Root RAP)	Analysis of determining factors on community structure of soil bacteria in volcano ash soil (Kanto Loam) farming field using PCR-DGGE method	Tetsuya Doi (The University of Tokyo) Shigenori Morita (The University of Tokyo) Jun Abe (The University of Tokyo) Shuo Zhu (The University of Tokyo) Junko Yamagishi (The University

			of Tokyo)
2009年9月29日	University of Tokyo _ Swedish University of Agricultural Sciences Bioenergy workshop, SLU	The white rot fungus Phanerochaete chrysosporium: a treasure box of enzymes for biomass conversion Sweden	Masahiro Samejima (The University of Tokyo)
2009年10月19日	第4回横浜バイオマス研究会	セルロース系バイオマスの酵素糖化効率化に向けた課題	鮫島正浩 (東京大学大学院農学生命科学研究科)
2009年10月26日	第9回バイオマス合同交流会 ポスト資源消費文明に向けたアルコール・バイオマス研究	バイオマスの目的生産からエタノール製造までの一貫生産システムの開発	三橋秀一 (バイオエタノール革新技術研究組合)
2009年11月21日	第31回根研究集会	塩ストレス条件下で栽培したトウモロコシへのアーバスキュラー菌根菌の接種-感染率の違いが接種効果に及ぼす影響-	服部林太郎 (東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場) 阿部淳 (東京大学大学院農学生命科学研究科) 森田茂紀 (東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場)
2010年1月10日	次世代バイオエタノール燃料製造の最新技術と事業化 (図書)	食料生産とバイオエタノール生産の動向	服部太一郎 (九州沖縄農業研究センター) 森田茂紀 (東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場) 塩津文隆 (東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場)
2010年1月10日	次世代バイオエタノール燃料製造の最新技術と事業化 (図書)	セルロース系バイオマス原料とその収穫技術 3. バイオマス資源作物の低投入持続的栽培	塩津文隆 (東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場) 服部太一郎 (九州沖縄農業研究センター) 森田茂紀 (東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場)
2010年1月10日	次世代バイオエタノール燃料製造の最新技術と事業化 (図書)	食料と競合しないセルロース一貫生産システムの開発	川端秀雄 (バイオエタノール革新技術研究組合)
2010年1月10日	次世代バイオエタノール	酵素糖化技術各論: セルロー	五十嵐圭日子 (東

日	燃料製造の最新技術と事業化（図書）	スの高効率酵素糖化に向けたセルラーゼの反応解析	京大学大学院農学生命科学研究科） 鮫島正浩（東京大学大学院農学生命科学研究科）
2010年1月10日	次世代バイオエタノール燃料製造の最新技術と事業化（図書）	エタノール発酵技術各論	新藤昌（秋田県総合食品研究所）
2010年1月10日	ASIA SCIENCE SEMINAR on "Sustainable Eco-Design of Our Future on Food-and Bio-production". 7-13, January 2010 at Institute of Subtropical Agriculture, Changsha City, Hunan province, China.	Bio-ethanol, its production and utilization model for rural development.	Shigenori Morita (The University of Tokyo) Fumitaka Shiotsu (The University of Tokyo)
2010年1月20日	日本エネルギー学会バイオマス部会第5回バイオマス科学会議	セルロース系バイオエタノール一貫生産システムの開発	三橋秀一（バイオエタノール革新技術研究組合）
2010年1月20日	日本エネルギー学会バイオマス部会第5回バイオマス科学会議	セルラーゼとセルロースの分子間インタラクション強化による酵素糖化の高効率化	五十嵐圭日子，岡本道子，和田昌久，鮫島正浩（東京大学大学院農学生命科学研究科）
2010年1月21日	日本エネルギー学会バイオマス部会第5回バイオマス科学会議	セルロース系バイオエタノール生産のためのアンモニア前処理	丹羽雅裕，上村毅，磯村佳功，井口靖敏，両角周平（新日本石油） 鮫島正浩，和田昌久，五十嵐圭日子（東京大学大学院農学生命科学研究科） 三橋秀一（バイオエタノール革新技術研究組合）
2010年3月9日	公開シンポジウム 次世代バイオエタノール生産に向けた技術革新とシステム構築（東京大学農学部）	インドネシアにおける原料生産の可能性と開発課題	松井邦夫（トヨタ自動車（株））
2010年3月9日	公開シンポジウム 次世代バイオエタノール生産に向けた技術革新とシステム構築（東京大学農学部）	セルロース系バイオマスからのバイオエタノール生産技術の開発—発酵技術開発の取り組みを中心に—	新藤昌（秋田県総合食品研究所）
2010年3月9日	公開シンポジウム 次世代バイオエタノール生産に向けた技術革新とシス	セルラーゼの一分子観察から見えてきた固液界面で働く酵素の可能性	五十嵐圭日子（東京大学大学院農学生命科学研究科）

	テム構築（東京大学農学部）		
2010年3月9日	公開シンポジウム 次世代バイオエタノール生産に向けた技術革新とシステム構築（東京大学農学部）	エネルギー植物栽培からエタノール製造までの一貫生産システム開発	川端秀雄（バイオエタノール革新技術研究組合）
2010年3月	日本園芸学会小集会	結晶性セルロース上を動くセロビオヒドロラーゼ：高速原子間力顕微鏡によるセルラーゼの一分子観察	五十嵐圭日子
2010年3月19日	第60回日本木材学会大会（宮崎）	酵素糖化に伴うエリアンサス組織の形態変化の観察-糖化前処理としてのアンモニア処理の影響-	木村聡、和田昌久、五十嵐圭日子、鮫島正浩（東京大学大学院農学生命科学研究科）
2010年3月31日	日本作物学会第229回講演会	塩ストレス条件下のトウモロコシ栽培におけるアーバスキュラー菌根菌の接種効果—感染率の向上に伴う接種効果の改善の可能性—	服部林太郎（東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場） 阿部淳（東京大学大学院農学生命科学研究科） 森田茂紀（東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場）
2010年3月31日	日本作物学会第229回講演会	エリアンサスの根の形態学的特性	塩津文隆（東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場） 阿部淳（東京大学大学院農学生命科学研究科） 土肥哲哉（東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場） 森田茂紀（東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場）
2010年4月20日	第32回根研究集会	エリアンサスの根におけるケイ素とデンプンの蓄積	阿部 淳1・塩津文隆1・森田茂紀1・辻 涉2・谷本英一3（1東京大学, 2鳥取大学, 3名古屋立大学）
2010年4月30日	東京大学農学部バイオマス利用研究特論 I 月例セミナー	バイオマスの生産と利用の促進による農業の振興—食料とエネルギーの競合から競存へ—	森田茂紀（東京大学）

2010年5月25日	World Bioenergy 2010	Ammonia treatment of cellulose is a key technology on dramatic improvement of cellulase activity	Masahiro SAMEJIMA (The University of Tokyo)
2010年6月6日発行	環境施設No. 120 36-40. (公共投資ジャーナル社)	日本におけるバイオエタノール：エネルギー問題としての側面	森田茂紀 (東京大学)
2010年5月29日	日本学術会議公開シンポジウム「植物を活かすー植物を利用したグリーンイノベーションに向けて」	次世代バイオエタノールの持続可能な生産に向けた植物科学への期待	三橋 秀一 (バイオエタノール革新技術研究組合)
2010年6月21日	化学技術戦略推進機構 資源分科会講演会	エネルギー植物栽培からエタノール製造までの一貫生産システム開発	川端秀雄 (バイオエタノール革新技術研究組合)
2010年7月発行	Plant Production Science Vol.13 No.3 221-234.	Energy crops for sustainable bioethanol production; which, where and how?	Taiichiro Hattori and Shigenori Morita <sup>2</sup> (1 National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region. 2 The University of Tokyo.)
2010年7月発行	Plant Production Science Vol.13 No.3 252-255.	Suppression of Tillering in Erianthus rabennae (L.) Beauv. due to drought stress at establishment	Taiichiro Hattori <sup>1</sup> , Fumitaka Shiotsu <sup>2</sup> , Tetsuya Doi <sup>2</sup> , Shigenori Morita <sup>2</sup> (1 National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region. 2 The University of Tokyo.)
2010年7月8日	環境バイオマスセミナーin とちぎ	日本の農業とバイオマス	森田茂紀 (東京大学)
2010年7月9日	バイオエタノール新潟サミット	国産バイオエネルギーの利用拡大に向けて	森田茂紀 (東京大学)
2010年7月27日	東京大学大学院農学生命科学研究科・J X 日鉱日石エネルギー(株) 組織連携活動「インテレクチュアル・カフェ」	セルロース系バイオマス由来バイオエタノール製造が目指すもの	川端秀雄 (バイオエタノール革新技術研究組合)
2010年7月27日	東京大学大学院農学生命科学研究科・J X 日鉱日石エネルギー(株) 組織連携活動「インテレクチュアル・カフェ」	バイオエタノール本格導入に向けた課題	森田茂紀 (東京大学)
2010年9月5日	日本作物学会第230回講演会	エリアンサスの生育初期における根系形態の系統間比較.	塩津文隆 <sup>1</sup> ・阿部淳 <sup>1</sup> ・羅 海燕 <sup>1</sup> ・我有 満 <sup>2</sup> ・上床修

			弘2・森田茂紀(1 東京大学, 2九州沖 縄農業研究センタ ー)
2010年9月5日	日本作物学会第230回講演 会	セルロース系エネルギー作物の バイオマス収量と窒素吸収.	羅 海燕・塩津文 隆・阿部 淳・森 田茂紀(東京大学)
2010年11月16 日	森林技術連携フォーラム in 下川町 木質バイオマス生産を考える	木質バイオマスの栽培技術	宇都木玄(森林総合 研究所 北海道支 所)
2011年1月12 日	日本エネルギー学会バイオ マス部会 第6回バイオマス科学会議	セルロース系バイオエタノール 生産のためのアンモニア前処理 反応解析	(JX日鉱日石エネル ギー・中央技術研 究所)○柴田悠一, 磯村佳功, 井口靖敏 , 丹羽雅裕(バイオ エタノール革新技 術研究組合) 三橋秀 一
2011年1月12 日	日本エネルギー学会バイオ マス部会 第6回バイオマス科学会議	バイオ燃料変換プロセス開発に おけるLCAの活用	○昔農英夫, 黒澤美 幸, 鮫島正浩(東京 大) 西山理郎, 川 端秀雄, 三橋秀一, 守田英太郎(バイオ エタノール革新技 術研究組合) 財部 明郎(JX日鉱日石 リサーチ)
2011年1月13 日	日本エネルギー学会バイオ マス部会 第6回バイオマス科学会議	寒冷地におけるススキ系統の遺 伝的変異性とバイオマス特性	Kossonou Guillaume Anzoua 、当真要、飯塚菜摘 山田敏彦(北海道大 学)
2011年1月13 日	日本エネルギー学会バイオ マス部会 第6回バイオマス科学会議	セルロース系バイオマスからの 2段階発酵法によるバイオエタ ノール生産	進藤 昌、西田孝伸 (秋田県総合食品研 究センター)
2011年1月20 日	日本エネルギー学会誌 第90巻第1号 (59~65)	Potentiality of Four Cool Season Grasses and Miscanthus sinensis for Feedstock in the Cool Regions of Japan	Kossonou Guillaume Anzoua, Yasuhisa Kajihara, Yo Toma Natsumi Iizuka, Toshihiko Yamada (Hokkaido University)
2011年1月21 日	東京大学アグリコクーン 第9回月例セミナー	セルロース系資源植物(特にエ リアンサス、ススキ)の育種・ 栽培技術開発の方向	我有満(九州沖縄農 業研究センター)
2011年1月発 刊	Designing our future: Local perspectives on bioproductin, ecosysytems and Humanity. United	Biomass as energy resource.	Fumitaka Shiotsul, Taiichir o Hattori2 and Shigenori



	Nations University Press, PP. 88-98		Morita1(1The University of Tokyo. 2National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region.)
2011年2月9日	JBAアルコール・バイオマス研究会	セルロース系バイオマスからのバイオエタノール生産に向けて	鮫島正浩(東京大学)
2011年2月9日	NEDOバイオマスエネルギー関連事業成果報告会	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	川端秀雄(バイオエタノール革新技術研究組合)
2011年3月27日	2011年度日本草地学会宇都宮大会	暖地における栽培系資源作物の有望草種	上床修弘1、我有満1、木村達郎2、桂真昭1、高井智之1、山下 浩1 (1:九州沖縄農業研究センター, 2:トヨタ自動車株式会社)
2011年3月27日	日本農芸化学会2011年度大会	メイラード反応生成物によるアルコール発酵阻害機構の検証	西田 孝伸1、○戸松 さやか1、佐々木 美希子1、三橋 秀一2、林 礼子2、進藤 昌1 (1秋田総食研、2バイオエタノール研究組合)
2011年3月27日	日本農芸化学会2011年度大会	バイオマス糖化液におけるアルコール発酵阻害機構の解明	西田 孝伸1、戸松 さやか1、佐々木 美希子1、上村 毅2、進藤 昌1 (1秋田総食研、2JXエネルギー中研)
2011年3月27日	日本農芸化学会2011年度大会	内在性遺伝子を利用したキシロース資化性サッカロマイセス酵母の開発	小西仁、牟田口梢栄、福田明、上村毅 (JX日鉱日石エネルギー)
2011年3月28日	日本化学会 第91春季年会	エネルギー植物栽培からエタノール製造までの一貫生産プロセス開発	川端秀雄(バイオエタノール革新技術研究組合)
2011年3月31日	日本作物学会第231回講演会	温帯におけるセルロース系原料作物の栽培研究	我有満、上床修弘、加藤直樹(九州沖縄農業研究センター)
2011年3月31日	日本作物学会第231回講演会	熱帯におけるセルロース系原料作物の栽培研究	松井邦夫(トヨタ自動車株式会社)
2011年3月31日	日本作物学会第231回講演会	バイオエタノール原料作物の栽培候補地の選定	小川浩司、高砂裕之、平山康典、小泉千絵子(鹿島建設株式会社)

2011年3月31日	日本作物学会第231回講演会	セルロース系バイオエタノールの一貫生産システム	川端秀雄 (バイオエタノール革新技術研究組合)
2011年3月31日	日本作物学会第231回講演会	セルロース系バイオエタノール原料作物の栽培研究	森田茂紀・塩津文隆・羅海燕・阿部淳(東京大学)
2011年3月31日	日本作物学会第231回講演会	エリアンサスの生育初期の乾物重と出液速度の系統間比較	塩津文隆1・羅海燕1・阿部淳1・我有満2・上床修弘2・森田茂紀1(1東京大学, 2九州沖縄農業研究センター)
2011年3月31日	日本作物学会第231回講演会	インドネシアでポット栽培したネピアグラスの生育に及ぼす菌根菌接種の影響	羅海燕・阿部淳・塩津文隆・森田茂紀(東京大学)
2011年3月31日	日本作物学会第231回講演会	エネルギー作物エリアンサスの初年目の生育とバイオマス収量に及ぼす栽植密度の影響	羅海燕1・塩津文隆1・阿部淳1・我有満2・上床修弘2・森田茂紀1(1東京大学, 2九州沖縄農業研究センター)
2011年3月発行	森林総研パンフレット	ヤナギ畑からの利用 木質バイオマス資源の生産	宇都木玄、上村章、石原誠、大原誠資、橋田光、榎野礼、野尻昌信、真柄謙吾、池田努(森林総合研究所) 丸山温(林野庁)
2011年4月27日	BIT's 2nd Symposium on Enzymes & Biocatalysis-2011	Ammonia Treatment of Cellulose is a Key Technology on Dramatic Improvement of Cellulase Activity	Masahiro Samejima (The University of Tokyo)
2011年5月14日	第34回根研究集会(於:佐賀大学)	インドネシアでのエネルギー作物生産における在来植物利用の可能性 - 菌根菌利用の視点から -	羅海燕, 阿部淳, 塩津文隆, 森田茂紀(東京大学大学院農学生命科学研究科)
2011年5月14日	第34回根研究集会(於:佐賀大学)	インドネシアで栽培したネピアグラスの根系形成およびバイオマス生産	塩津文隆, 阿部淳, 羅海燕, 森田茂紀(東京大学大学院農学生命科学研究科)
2011年5月18日	石油学会第60回研究発表会	キシロース発酵に適したサッカロマイセス酵母の選定	牟田口梢栄、福田明、小西仁、上村毅(J X 日鉱日石エネルギー株式会社)
2011年6月7日	19th European Biomass Conference and Exhibition	Utilization of the white-rot basidiomycete Phanerochaete chrysosporium as a source of enzymes for biorefinery of lignocellulosic biomass	Masahiro Samejima, Michiko Maruyama and Kiyohiko Igarashi (The University of

			Tokyo)
2011年8月	FEMS Microbiol. Lett. 321: 14-23	Effects of xylan and starch on secretome of the basidiomycete <i>Phanerochaete chrysosporium</i> grown on cellulose	*Hori, C., *Igarashi, K., Katayama, A., and *Samejima, M., (*The University of Tokyo)
2011年8月10日	第20回日本エネルギー学会大会	バイオエタノール生産における酵素糖化条件の最適化に向けたシミュレーション	黒澤美幸、古久保美樹、昔農英夫、五十嵐圭日子、鮫島正浩 (東大院)
2011年8月10日	第20回日本エネルギー学会大会	結晶性セルロース酵素糖化の高効率化	丸山 道子、中村 彰彦、和田 昌久、五十嵐 圭日子、鮫島正浩 (東大院)
2011年8月24日	Gordon Research Conferences, Cellulosomes, Cellulases & Other Carbohydrate Modifying Enzymes	Traffic jams reduce hydrolytic efficiency of cellulase on cellulose surface	Kiyohiko Igarashi (The University of Tokyo)
2011年8月28日	Gordon Research Conferences, Cellulosomes, Cellulases & Other Carbohydrate Modifying Enzymes	Dramatic Improvement on Saccharification of Crystalline Cellulose	Michiko Maruyama, Akihiko Nakamura, Kiyohiko Igarashi and Masahiro Samejima (The University of Tokyo)
2011年8月28日	Gordon Research Conferences, Cellulosomes, Cellulases & Other Carbohydrate Modifying Enzymes	How to reduce the enzyme cost for saccharification of cellulosic biomass	Masahiro Samejima, Miyuki Kurosawa, Miki Kokubo, Hideo Sekino, Kiyohiko Igarashi (The University of Tokyo)
2011年9月5-9日	7th International Symposium on Structure and Function of Roots (Slovakia)	Root distribution of perennial energy crop <i>Erianthus</i> .	Fumitaka Shiotsu (The University of Tokyo), Jun Abe (The University of Tokyo), Kaien Ra (The University of Tokyo), Mitsuru Gau (Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region, NARO), Shigenori Morita (The University of Tokyo)
2011年9月2日	Science 333: 1279-1282	Traffic jams reduce hydrolytic efficiency of cellulase on cellulose surface	*Igarashi, K., Uchihashi, T., Koivula, A.,

			*Wada, M., *Kimura, S., Okamoto, T., Penttilä, M., Ando, T., and *Samejima, M. (*The University of Tokyo)
2011年9月2日	日本作物学会 第232回講演会 (於: 山口大学)	挿し木・組織培養によるエネルギー作物エリアンサスの苗生産の検討	1羅海燕, 2田中正美, 2上床修弘, 2齋藤彰, 2我有満, 1塩津文隆, 1阿部淳, 1森田茂紀 (1 東京大学大学院農学生命科学研究科, 2九州沖縄農業研究センター)
2011年9月12日	バイオエタノール通信 第7号(2011) p. 43-54	セルロース系資源作物栽培からエタノール製造までの一貫生産システム開発	三橋秀一 (バイオエタノール革新技術研究組合)
2011年10月7日	東京大学大学院農学生命科学研究科=JX日鉱日石エネルギー株式会社組織連携公開シンポジウム「持続可能なエネルギー作物生産の現状と展望」	基調講演 エネルギー作物生産に関する研究戦略	森田茂紀 (東京大学大学院農学生命科学研究科)
2011年10月7日	東京大学大学院農学生命科学研究科=JX日鉱日石エネルギー株式会社組織連携公開シンポジウム「持続可能なエネルギー作物生産の現状と展望」	寒冷地における資源作物のバイオマス生産への将来展望ー特にミスカンサスの栽培と新品種の研究開発の現状と今後の方向性	山田敏彦 (北海道大学)
2011年10月7日	東京大学大学院農学生命科学研究科=JX日鉱日石エネルギー株式会社組織連携公開シンポジウム「持続可能なエネルギー作物生産の現状と展望」	バイオエタノール生産に向けた資源作物の育種・栽培の現状及び展望」	保谷泉 (トヨタ自動車株式会社、バイオエタノール革新技術研究組合兼任)
2011年10月7日	東京大学大学院農学生命科学研究科=JX日鉱日石エネルギー株式会社組織連携公開シンポジウム「持続可能なエネルギー作物生産の現状と展望」	資源作物の計画栽培におけるバイオマス資源の安定確保	我有満 (九州沖縄農業研究センター)
2011年10月15日	セルラーゼ研究会第25回大会	アンモニア処理木材分解時における担子菌Phanerochaete chrysosporium の全分泌タンパク質 (セクレトーム) 解析	櫻木潔, 堀 千明, 五十嵐圭日子, 鮫島正浩 (東大院), 林 礼子, 三橋 秀一 (バイオエタノール革新技術研究組合)

2011年10月15日	セルラーゼ研究会第25回大会	Phanerochaete chrysosporium由来セルラーゼを用いた結晶性セルロース糖化の高効率化	丸山道子、中村彰彦、和田昌久、五十嵐圭日子、鮫島正浩（東大院農生科）
2011年10月24日	日仏セミナー バイオマスエネルギー	Development of an Integrated System from Energy Crop Cultivation to Bioethanol Production	Masahiro Samejima (The University of Tokyo)
2011年11月17日	第11回糸状菌分子生物学コンファレンス	担子菌Phanerochaete chrysosporium がアンモニア処理木材の分解時に生産する酵素のセクレトーム解析	櫻木潔、堀千明、五十嵐圭日子、鮫島正浩（東大院）、林礼子、三橋秀一（バイオエタノール革新技術研究組合）
2011年11月23日	PLoS One, 6(11)	The putative endoglucanase PcGH61D from Phanerochaete chrysosporium is a metal-dependent oxidative enzyme that cleaves cellulose	Westereng, B., *Ishida, T., Vaaje-Kolstad, G., Wu, M., Eijsink, V. G. H., *Igarashi, K., *Samejima, M., Stålberg, J., Horn, S. J., Sandgren, M. (*The University of Tokyo)
2011年12月6日	The JSRR's 20th Anniversary Symposium "The Latest Frontiers of Root Research in Asia"	Seasonal changes of starch grain accumulation in roots of Erianthus	Fumitaka Shiotsu, Jun Abe, Kaien Ra, Shigenori Morita (The University of Tokyo)
2012年1月18日	第7回バイオマス科学会議	原料栽培から製造までの バイオエタノール一貫製造プロセスの構築と評価 ～東大・6社企業連合 草本系バイオマスからの エタノール一貫生産技術開発（1）～	（バイオエタノール革新技術研究組合）○守田英太郎、三橋秀一、（三菱重工業）寺倉誠一、（東京大学）鮫島正浩、森田茂紀
2012年1月18日	第7回バイオマス科学会議	熱帯におけるセルロース系バイオエタノール原料生産の課題～東大・6社企業連合草本系セルロースからのエタノール一貫生産技術開発（2）～	保谷泉、鈴木剛、松井邦夫（トヨタ自動車株式会社）、小川浩司（鹿島建設株式会社）、森田茂紀（東京大学大学院農学生命科学研究科）、守田英太郎（バイオエタノール革新技術研究組合）
2012年1月18日	第7回バイオマス科学会議	低圧二段化による省エネ・装置化 ～東大・6社企業連合 草本系バイオマスからのエタノール	丹羽雅裕、井口靖敏、磯村佳功、上村毅、青柳健一（J X日

		ルー貫生産技術開発(3)～	鉦日石エネルギー株式会社)、三橋秀一(バイオエタノール革新技術研究組合)
2012年1月18日	第7回バイオマス科学会議	酵素コスト削減に向けた指針策定～東大・6社企業連合 草本系バイオマスからのエタノールルー貫生産技術開発(4)～	黒澤美幸、古久保美樹、昔農英夫、五十嵐圭日子、鮫島正浩、(東大院)三橋秀一(バイオエタノール革新技術研究組合)、(東レ先端融合研)山田勝成、栗原宏征、南野淳
2012年1月18日	第7回バイオマス科学会議	バイオマス糖化液および模擬糖化液におけるアルコール発酵阻害機構の解明と比較～東大・6社企業連合 草本系バイオマスからのエタノールルー貫生産技術開発(5)～	西田孝伸(秋田県総合食品研究センター)、佐々木美希子(秋田県総合食品研究センター)、戸松さやか(秋田県総合食品研究センター)、進藤昌(秋田県総合食品研究センター)、上村毅(JX日鉦日石エネルギー(株))
2012年1月18日	第7回バイオマス科学会議	キシロース資化能付与サッカロマイセス酵母によるバイオマス糖化液からのエタノール生産～東大・6社企業連合 草本系バイオマスからのエタノールルー貫生産技術開発(6)～	福田明、牟田口梢栄、小西仁、上村毅(JX日鉦日石エネルギー株式会社)、三橋秀一(バイオエタノール革新技術研究組合)
2012年1月19日	第7回バイオマス科学会議	Effect of fertilizer and harvesting time on biomass feedstock production of Miscanthus sinensis in cold region	Kossonou Guillaume Anzoua、山田敏彦(北海道大学)
2012年2月	Biomass and Bioenergy Vol. 37 :330-33	Biomass yield and nitrogen use efficiency of cellulosic energy crops for ethanol production	Kaijen Ra, Fumitaka Shiotsu, Jun Abe, Shigenori Morita (The University of Tokyo)
2012年2月1日	JBAアルコール・バイオマス研究会講演会 バイオマス研究が日本を元気にする ～キーワードは「糖化技術」とサステイナブルエネルギー～	草本系バイオマスからのエタノールルー貫生産技術開発	三橋秀一(バイオエタノール革新技術研究組合)
2012年2月2日	NEDOバイオマスエネルギー	セルロース系目的生産バイオマ	守田 英太郎(バイ

	関連事業成果報告会	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	オエタノール革新技術研究組合)
2012年3月	農林水産技術会議事務局研究成果シリーズ	農林水産省委託プロジェクト研究「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発」研究成果	小林真 (畜産草地研究所)
2012年3月8日	平成23年度 生研センター事業報告	バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発ーエネルギー植物の収穫・運搬・貯蔵技術の開発ー	(生物系特定産業技術研究支援センター・特別研究チーム)
2012年3月15日	第62回日本木材学会大会	アンモニア処理と酵素分解が木材細胞壁微細構造に与える影響	櫻木 潔、秋山 拓也、木村 聡、和田 昌久、五十嵐 圭日子、鮫島 正浩 (東大院) 真清 高志、高間 瑠佳、福島 和彦 (名大院生命農)
2012年3月24日	日本農芸化学会2012年度大会	内在遺伝子を活用したキシロース資化性サッカロマイセス酵母の開発	福田明、小西仁、牟田口梢栄、上村毅 (J X日鉱日石エネルギー株式会社)
2012年3月26日	日本化学会 第92春季年会 (2012) T4-未来を創る環境・資源テクノロジー (C. 多様化する炭素資源にどう対応するか)	エネルギー植物栽培からエタノール製造 までの一貫生産プロセス開発	杉原正樹 (バイオエタノール革新技術研究組合)
2012年3月29日	日本作物学会 第233回講演会 (於:東京農工大学)	異なる栽植密度で植え付けたエネルギー作物エリアンサスの2年目のバイオマス収量および根系形態	1 林智仁, 1 羅海燕, 1 阿部淳, 2 我有満, 2 上床修弘, 1 森田茂紀 (1 東京大学大学院農学生命科学研究科, 2 九州沖縄農業研究センター)
2012年4月	J. Appl. Glycosci. 59: 105-110	Degradation of crystalline celluloses by Phanerochaete chrysosporium cellobiohydrolase II (Cel6A) heterologously expressed in methylotrophic yeast Pichia pastoris	Igarashi, K., Maruyama, M., Nakamura, A., Ishida, T., Wada, M., and Samejima (The University of Tokyo)
2012年4月	Prot. Express. Purif. 82: 290-296 (2012)	Cellulose affinity purification of fusion proteins tagged with fungal family 1 cellulose-binding domain	Sugimoto, N., Igarashi, K., and Samejima, M. (The University of Tokyo)
2012年4月	BIT's 2nd World Congress of Bioenergy (WCBE-2012)	A strategy how to reduce the enzyme cost for saccharification of	Samejima, M. (The University of Tokyo)

		cellulosic biomass	
2012年4月20日	日本土壌肥科学雑誌(報文)	温帯におけるエリアンサス(Erianthus arundinaceus(L.) Beauv.)の栄養生理学的特性 Ⅲ・エリアンサス栽培における施肥窒素の利用性	畜産草地研究所 松波寿弥
2012年5月	Appl. Environ. Microbiol. 78: 3770-3773	Transcriptional response of cellobiose dehydrogenase gene to cello- and xylooligosaccharides in the basidiomycete Phanerochaete chrysosporium	Hori, C., Suzuki, H., Igarashi, K., and Samejima, M. (The University of Tokyo)
2012年5月	日中バイオテクノロジー国際シンポジウム2012	Development of an integrated system from cultivation of energy crop to production of ethanol for biofuel	Samejima, M. (The University of Tokyo)
2012年5月30日	JBA先端技術情報セミナー 「バイオマス利活用技術はここまで来ている!今こそ実用化に向けた取り組みを」	草本系バイオマスからのエタノール一貫生産技術開発	三橋秀一(バイオエタノール革新技術研究組合)
2012年6月	20th European Biomass Conference and Exhibition	Development of an integrated system from cultivation of energy crop to production of ethanol for biofuel	Samejima, M. (The University of Tokyo)
2012年6月15日	根研究会(第36回根研究集会)	バイオ燃料原料作物ネピアグラスとエリアンサスの過湿条件下での生育と根の通気組織形成 - インドネシアでの予備的圃場試験	阿部 淳1・林 智仁2・塩津文隆3・森田茂紀2 1 東京大学大学院農学生命科学研究科, 2 東京大学大学院農学生命科学研究科 附属生態調和農学機構, 3 茨城大学農学部
2012年6月15日	根研究会(第36回根研究集会)	食糧生産との競合を避けるための非農地におけるエネルギー作物 エリアンサスの栽培研究 - 耕起と施肥がバイオマス収量と根系発達に及ぼす影響 -	林智仁1*・塩津文隆2・阿部淳3・羅海燕1・我有満4・上床修弘4・森田茂紀1 (1 東京大学大学院農学生命科学研究科附属生態調和農学機構・2 茨城大学農学部 3 東京大学大学院農学生命科学研究科・4 九州沖縄農業研究センター)
2012年8月6日	第21回エネルギー学会大会	高温発酵性酵母を用いた新2段	(秋田県総合食品研



～7日		階発酵法によるグルコース・キシロースからのバイオエタノール生産	究センター) ○進藤昌, 西田孝伸, (バイオエタノール革新技術研究組合) 三橋秀一
2012年8月27～29日	2012年度日本草地学会北海道大会	エリアンサス周年収穫によるバイオマス原料の供給ポテンシャル	上床修弘・高群憲一郎・我有満 (農研機構・九州沖縄農業研究センター)
2012年8月27～29日	2012年度日本草地学会北海道大会	貯蔵条件の違いがバイオマス資源作物の構造的炭水化物の回収率に及ぼす影響	服部育男・我有満・加藤直樹・上床修弘 (農研機構九州沖縄農業研究センター)
2012年9月7日	近畿バイオインダストリー振興会議 バイオマス研究会 バイオマス研究会公開セミナー (於、大阪科学技術センター)	草本系バイオマスからのエタノール一貫生産技術開発	三橋秀一 (バイオエタノール革新技術研究組合)
2012年9月	1st International Global Challenges University Alliance workshop Biofuels and Biorefineries	A strategy - How to reduce the enzyme cost for saccharification of cellulosic biomass	Samejima, M. (The University of Tokyo)
2012年9月23～26日	15th EUROPEAN CONGRESS on BIOTECHNOLOGY of the European Federation of Biotechnology - ECB15	Production of bioethanol with novel fermentation system using high temperature tolerance Schizosaccharomyces japonicus and Pichia stipitis from cellulosic biomass.	(秋田県総合食品研究センター) ○進藤昌, 西田孝伸
2012年9月30日	日本草地学会誌 (研究報告)	収穫時期と刈り高が越冬後のエリアンサスの再生に及ぼす影響	畜産草地研究所 松波寿弥
2012年9月30日	日本草地学会誌 (研究報告)	冬季期間中のエリアンサス体内の無機養分の動態と炭水化物の消長	畜産草地研究所 松波寿弥
2012年10月	Langmuir 28: 14323-14329	Adsorption characteristics of fungal family 1 cellulose-binding domain from Trichoderma reesei cellobiohydrolase I on crystalline cellulose: Negative cooperative adsorption via a steric exclusion effect	Sugimoto, N., Igarashi, K., Wada, M., and Samejima (The University of Tokyo)
2012年10月	12-2 エコマテリアル研究会	Development of an integrated system from cultivation of energy crop to production of ethanol for biofuel	Samejima, M. (The University of Tokyo)
2012年10月	Lignobiotech II Symposium	Development of an integrated system from cultivation of energy crop to production of ethanol	Samejima, M. (The University of Tokyo)

		for biofuel	
2012年10月11日	石油学会 第42回 石油・石油化学討論会	醸造用酵母のキシロース資化内在性遺伝子の過剰発現	(JX日鉱日石エネルギー) ○上村毅・小西 仁・福田明・牟田口 梢栄・雨宮 正臣
2012年12月2日	第37回根研究集会(京都大学 理学部セミナーハウス)	インドネシア共和国ランブン州で栽培したエネルギー作物ネピアグラスの根系分布	関谷信人 1*, 林智仁 2, 阿部淳 1, 森田茂紀 1 (1 東京大学大学院農学生命科学研究科, 2 名古屋大学大学院生命農学研究科)
2012年12月20日	農林水産省委託プロジェクト「草本を利用したバイオエタノールの低コスト・安定供給技術の開発」展開加速に向けた見学・意見交換会	バイオマス作物の貯蔵	九州沖縄農業研究センター 服部 育男
2012年12月20日	農林水産省委託プロジェクト「草本を利用したバイオエタノールの低コスト・安定供給技術の開発」展開加速に向けた見学・意見交換会	バイオマス作物としてのエリアンサスの栽培研究	東京大学 森田茂紀
2013年1月9日	日本エネルギー学会 第8回バイオマス科学会議～バイオマスエネルギーの本格導入に向けて～	原料栽培から製造までのバイオエタノール一貫生産プロセスの構築と評価 ～東大・バイオエタノール革新技術研究組合 草本系セルロースからのエタノール一貫生産技術開発(1)～	(バイオエタノール革新技術研究組合) ○守田英太郎, 三橋秀一, (JX 日鉱日石エネルギー) 上村毅, 丹羽雅裕, (三菱重工メカトロシステムズ) 寺倉誠一, (トヨタ自動車) 松井邦夫, (鹿島建設) 小川浩司, (サッポロエンジニアリング) 河守正司, (東レ) 山田勝成, (東京大) 鮫島正浩, 森田茂紀
2013年1月9日	日本エネルギー学会 第8回バイオマス科学会議～バイオマスエネルギーの本格導入に向けて～	原料作物の根系と栽培システムの持続性 ～東大・バイオエタノール革新技術研究組合 草本系セルロースからのエタノール一貫生産技術開発(2)～	(東京大) ○森田茂紀, 関谷信人, 阿部淳, (トヨタ自動車) 松井邦夫, (バイオエタノール革新技術研究組合) 守田英太郎
2013年1月9日	日本エネルギー学会 第8回バイオマス科学会議	モノコンポーネント酵素を組み合わせた高性能バイオマス糖化	(東京大) ○古久保美樹, 丸山道子, 黒

	～バイオマスエネルギーの本格導入に向けて～	酵素剤の調製 ～東大・バイオエタノール革新技術研究組合 草本系セルロースからのエタノール一貫生産技術開発(3)～	澤美幸, 五十嵐圭日子, 鮫島正浩, (バイオエタノール革新技術研究組合) 三橋秀一
2013年1月9日	日本エネルギー学会 第8回バイオマス科学会議～バイオマスエネルギーの本格導入に向けて～	高効率アルコール発酵のための二段階発酵法の開発と使用する酵母の改良 ～東大・バイオエタノール革新技術研究組合 草本系セルロースからのエタノール一貫生産技術開発(4)～	(秋田総食研) ○西田孝伸, 進藤昌, 佐々木美希子, 柏谷香織, (サッポロエンジニアリング) 河守正司, 碓井優仁, (バイオエタノール革新技術研究組合) 三橋秀一
2013年1月11日	東京大学アグリコクーン(産学官民連携型農学生命科学研究インキュベータ機構) 平成24年度 バイオマス利用研究特論I 第11回月例セミナー	セルロース系バイオマスからのバイオエタノール一貫生産プロセスに関する技術開発	(バイオエタノール革新技術研究組合) 守田英太郎
2013年3月6日	日本工業出版「クリーンエネルギー」3月号	エネルギー植物栽培からエタノール製造までの一貫生産システム開発	(バイオエタノール革新技術研究組合) 杉原正樹
2013年3月14日	平成24年度生研センター事業報告	バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発 ーエネルギー植物の収穫・運搬・貯蔵技術の開発	生物系特定産業技術研究支援センター 藤井 幸人
2013年3月26日	日本農芸化学会 2013年度大会	PH013 破壊がキシロース資化性 サッカロマイセス酵母のキシロースからのエタノール生産性に及ぼす効果	○小西 仁, 福田明, 牟田口 梢栄, 上村 毅, 雨宮 正臣 (JX日鉱日石エネルギー(株)中央技術研)
2013年3月27日	第63回日本木材学会大会	Phanerochaete chrysosporium 由来糖質加水分解酵素ファミリー 115 に属する $\alpha$ -glucuronidase のクローニング	杉本直久, 丸山道子, 堀千明, 五十嵐圭日子, 鮫島正浩 (東大院)

## 2) 特許等

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2009年10月20日	特願 2009-241693	エタノールの製造方法	JX日鉱日石エネルギー・秋田県
2009年6月19日	特願 2009-146466	バイオマスの処理方法	東京大学
2011年1月11日	特願 2011-003292	酵素糖化用原料の製造方法、糖の製造方法及びエタノールの製	東京大学・JX日鉱日石エネルギー

		造方法	
2011年1月11日	特願 2011-003299	酵素糖化用原料の製造方法、並びに糖の製造方法、及びエタノールの製造方法	JX 日鉱日石エネルギー・東レ（日本のみ共願）
2011年2月22日	特願 2011-35283	セルロース系バイオマスからのエタノール製造方法	秋田県
2011年3月29日	特願 2011-072354	酵素糖化用原料の製造方法、並びに糖の製造方法、及びエタノールの製造方法	JX 日鉱日石エネルギー
2012年1月13日	特願 2012-005444	酵素糖化用原料の製造方法、糖の製造方法、並びにエタノールの製造方法	JX 日鉱日石エネルギー
2012年2月13日	特願 2012-028962	糖液の製造方法、糖液及びエタノールの製造方法	東レ・JX 日鉱日石エネルギー・秋田県
2012年10月10日	特願 2012-225391	キシロースからエタノールを生産する酵母	JX 日鉱日石エネルギー
2012年03月13日	特願 2012-055443	新規酵母およびそれを用いたエタノールの製造方法	秋田県
2013年3月29日	特願 2013-073514	酵母	JX 日鉱日石エネルギー

## 2. 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

### 1) 研究発表・講演（口頭発表も含む）

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2010年1月20日	第5回バイオマス科学会議 (口頭発表)	バイオエタノール生産における酵母培養・発酵工程のプロセスシミュレーションの検討	柳田高志, 佐賀清崇, 藤本真司, 美濃輪智朗
2010年1月20日	第5回バイオマス科学会議 (口頭発表)	メカノケミカルパルピング前処理によるエタノール製造プロセスの経済的要因分析	佐賀清崇, 柳田高志, 藤本真司, 美濃輪智朗, 古城敦, 趙雅蘋, 杉浦純
2010年4月28日	日本粉体工業技術協会編, 粉碎技術とエコ・リサイクル, エヌジーティー(東京), pp119-129	木質からのバイオエタノール製造における粉碎技術	遠藤貴士
2010年5月4日	18th European Biomass Conference and Exhibition	MODELING OF THE AEROBIC GROWTH AND ANAEROBIC FERMENTATION OF YEAST ON ETHANOL PRODUCTION	柳田高志, 佐賀清崇, 藤本真司, 美濃輪智朗
2010年6月1日	日本粉体工業技術協会, 5(6), pp. 37-42	粉碎技術を用いた木質系バイオマスのエネルギーおよびマテリアル転換技術	遠藤貴士
2010年6月20日	FPS 64th International Convention	Microfibrillated cellulose production by the combined method of hot-compressed water treatment and mechanical grinding	李承桓, 遠藤貴士
2010年6月22日	徳島文理大学ナノテクノロジー入門講座	生物資源ナノ材料	遠藤貴士
2010年7月16日	セルロース学会第17回年次大会	バイオエタノール製造のためのセルロースナノファイバー	遠藤貴士
2010年7月	<i>J. Biosci. Bioeng.</i> , 110, pp. 102-105	Evolutionary adaptation of recombinant shochu yeast for improved xylose utilization	A. Matsushika, E. Oguri, S. Sawayama
2010年7月	<i>Appl. Biochem. Biotechnol.</i> , 162, pp. 1952-1960	Effect of initial cell concentration on ethanol production by flocculent <i>Saccharomyces cerevisiae</i> with xylose-fermenting ability	A. Matsushika, S. Sawayama
2010年8月3日	第19回日本エネルギー学会大会	メカノケミカルパルピング前処理によるエタノール製造プロセスのピンチ解析	佐賀清崇, 柳田高志, 藤本真司, 美濃輪智朗, 木内崇文, 石橋洋一, 森泰彦, 古城敦, 趙雅蘋, 杉浦純
2010年8月19日	The 2nd International Symposium Kyoto University Global COE Program "Energy Science in the Age of Global Warming	Development of Highly Efficient Bioethanol Production Yeast from Sugars in Lignocellulosic Biomass using Protein Engineering	T. Kodaki

	-Toward CO2 Zero-emission Energy System-		
2010年8月19日	The 2nd International Symposium Kyoto University Global COE Program "Energy Science in the Age of Global Warming -Toward CO2 Zero-emission Energy System-	Construction of a Novel Strictly NADPH-Dependent <i>Pichia Stipitis</i> Xylose Reductase by Site-Directed Mutagenesis for Effective Bioethanol Production	S. M. R. Khattab, S. Watanabe, M. Saimura, M. M. Afifi, A. -N. A. Zohri, U. M. bdul-Raouf, T. Kodaki
2010年9月9日	酵母遺伝学フォーラム第43回研究報告会(奈良)	Metabolome analysis of using xylose-fermenting flocculent yeast	A. Matsushika, A. Nagashima, S. Sawayama
2010年10月	<i>Bioresource Technology</i> , 101, pp. 7218-7223	Increase in enzyme accessibility by generation of nanospace in cell wall supramolecular structure	李 承桓、井上誠一、遠藤貴士
2010年10月26日	産総研計測フロンティア研究部門第23回公開セミナー	セルロースナノファイバー複合材料の特徴と評価技術	遠藤貴士、李 承桓
2010年10月27日	Symposium for Bioenergy and Biorefinery, Seoul, Korea	Development of Recombinant Yeast for Effective Co-Fermentation of Glucose and Xylose using Protein Engineering	T. Kodaki
2010年10月28日	第62回日本生物工学会大会(宮崎)	Omics analysis of using xylose-fermenting flocculent yeast	A. Matsushika, A. Nagashima, S. Sawayama
2010年11月3日	Chinese Academy of Sciences, Cellulose seminar	Cellulose Nanofiber for Bioethanol and Material	遠藤貴士
2010年11月3日	1st International Conference of Bio-processing and Application of Microbial Biotechnology in Agriculture, Cairo, Egypt	Protein engineering of a Novel Strictly NADPH-Dependent Xylose Reductase from <i>Pichia stipitis</i> by Site-Directed Mutagenesis for Effective Bioethanol Production from Xylose Sugar	S. M. R. Khattab, S. Watanabe, M. Saimura, M. M. Afifi, A. -N. A. Zohri, U. M. Abdul-Raouf, T. Kodaki
2010年11月19日	糸状菌分子生物学コンファレンス (広島)	セルラーゼ高生産糸状菌 <i>Acremonium cellulolyticus</i> の形質転換系の構築	T. Fujii, M. Kanna, K. Murakami, S. Sawayama
2010年11月30日	中国地方総合研究センター、バイオマス技術セミナー	微粉碎技術の概要とナノファイバーのアプリケーション	遠藤貴士
2010年11月	エネルギー・資源学会論文誌、31、pp. 1-6	バイオエタノール生産における酵母の培養およびエタノール発酵のプロセスシミュレーションの検討	柳田高志、藤本真司、佐賀清崇、美濃輪智朗
2010年12月7日	第33回日本分子生物学会年会・第83回日本生化学会大会合同大会(神戸)	Construction of a NADPH-Dependent Xylose Reductase by Site-Directed Mutagenesis for Effective	T. Kodaki, S. M. R. Khattab, S. Watanabe, M. Saimura,

		Bioethanol Production	M.M. Afifi, A.-N.A. Zohri, U.M. Abdul-Raouf
2010年12月9日	第31回日本分子生物学学会年会(神戸)	Enhancement of hemicellulase productivity by genetic engineering on <i>Acremonium cellulolyticus</i>	M. Kanna, T. Fujii, M. Gao, H. Inoue, S. Yano, S. Sawayama
2010年12月	<i>Bioresource Technology</i> , 101, pp.9645-9649	Enzymatic saccharification of woody biomass micro/nanofibrillated by continuous extrusion process II: Effect of hot-compressed water treatment	李承桓、井上誠一、寺本好邦、遠藤貴士
2011年1月	<i>Biochem. Biophys. Res. Commun.</i> 404, pp.634-637	A novel Strictly NADPH-Dependent <i>Pichia stipitis</i> Xylose Reductase Constructed by Site-directed Mutagenesis	S.M.R. Khattab, S. Watanabe, M. Saimura, T. Kodaki
2011年2月8日	アルコールバイオマス研究会講演	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状況	杉浦純
2011年2月24日	第11回コプロワークショップ	自己熱再生を用いた省エネルギー型バイオエタノール蒸留プロセス	木内崇文
2011年4月21日	BTJ/GreenInnovation メールマガジン、Vol.180	E3 ガソリンはもうかる	澤山 茂樹
2011年4月25日	サイエンス&テクノロジーセミナー/セルロース系バイオマスの高効率前処理と第二世代バイオ燃料の市場動向(東京)	バイオ燃料製造のための粉碎技術を基盤とした前処理技術	遠藤貴士
2011年4月	ケミカルエンジニアリング, 56(4), p267-272	自己熱再生を用いた省エネルギー型バイオエタノール膜分離脱水プロセス	甘蔗寂樹、岸本啓、木内崇文、石橋洋一、堤敦司
2011年6月9日	19th European Biomass Conference and Exhibition	LIFE CYCLE ANALYSIS OF EUCALYPTUS WOOD CHIP PRODUCTION BY SHORT ROTATION COPPICE	柳田高志、舞田浩一、藤本真司、美濃輪智朗
2011年6月13日	<i>Biosci. Biotechnol. Biochem.</i> , Vol.75, (2011)	Ethanol Production from Xylo-oligosaccharides by Xylose-Fermenting <i>Saccharomyces cerevisiae</i> Expressing beta-Xylosidase.	Fujii T., Yu G., Matsushika A., Yano S., Murakami K., Sawayama S.
2011年6月13日	<i>Bioscience, Biotechnology, and</i>	Ethanol Production from Xylo-oligosaccharides by	藤井達也、松鹿昭則、矢野伸一、村上

	<i>Biochemistry</i> , 75 (6), pp. 1140 -1146	Xylose-Fermenting <i>Saccharomyces cerevisiae</i> Expressing $\beta$ -Xylosidase	克治、澤山茂樹
2011年6月16日	BTJ/GreenInnovation メールマガジン、Vol.188、	世界最大のセルロース系エタノール工場と日本の課題	澤山 茂樹
2011年6月17日	第14回真核微生物交流会	産総研オリジナル糸状菌 <i>Acremonium cellulolyticus</i> による糖化酵素生産の研究	藤井達也
2011年6月30日	<i>AMB Express</i> , 1, 15	Enhancement of $\beta$ -xylosidase productivity in cellulase producing fungus <i>Acremonium cellulolyticus</i>	神名麻智、矢野伸一、井上宏之、藤井達也、澤山茂樹
2011年6月	ケミカルエンジニアリング, 56(6), pp1-7	バイオエタノール製造プロセスおよび材料としてのセルロースナノファイバー	遠藤貴士
2011年7月8日	<i>Green Energy and Technology "Zero-Carbon Energy Kyoto 2010"</i> pp. 117-122	Construction of a novel strictly NADPH-dependent <i>Pichia stipitis</i> xylose reductase by site-directed mutagenesis for effective bioethanol production.	Khattab, S. M. R., Watanabe, S., Saimura, M., Afifi, M. M., Zohri, A. -N. A., Abdul-Raouf, U. M., and Kodaki, T.
2011年8月9日	第20回日本エネルギー学会大会	メカノケミカルパルピング前処理によるバイオエタノール製造の経済性環境性評価	舞田浩一、柳田高志、藤本真司、美濃輪智朗、古城敦、鶴見和恒、杉浦純、木内崇文、日高亮太
2011年8月19日	The 3rd International Symposium Kyoto University Global COE Program "Energy Science in the Age of Global Warming -Toward CO <sub>2</sub> Zero-emission Energy System-	Highly Efficient Bioethanol Production Yeast from Sugars in Lignocellulosic Biomass using Protein Engineering.	小瀧務
2011年9月15日	BTJ/GreenInnovation メールマガジン、Vol.201、	カビと糸状菌	澤山 茂樹
2011年10月15日	第25回セルラーゼ研究会	糸状菌 <i>Acremonium cellulolyticus</i> の遺伝子操作の	藤井達也、井上宏之、矢野伸一、村上



		ための基盤技術の開発	克治、澤山茂樹
2011年12月15日	平成23年度 広島中央サイエンスパーク、研究公開フォーラム	糸状菌 <i>Acremonium cellulolyticus</i> の遺伝子操作のための基盤技術の開発	藤井達也
2012年2月2日	NEDO成果報告会	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	杉浦純
2012年2月2日	第11回コプロワークショップ	自己熱再生型バイオエタノール蒸留プロセスの開発	木内崇文
2012年2月2日	プレス発表	自己熱再生理論を用いた省エネ蒸留プロセス実証試験	東京大学 新日鉄エンジニアリング株式会社
2012年2月7日	<i>Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry</i> , 76 (2), pp. 245 -249	Isolation of Uracil Auxotrophs of the Fungus <i>Acremonium cellulolyticus</i> and the Development of a Transformation System with the pyrF Gene	藤井達也、岩田和也、村上克治、矢野伸一、澤山茂樹
2012年3月1日	シーエムシー出版、バイオマス分解酵素研究の最前線	第1編、第1章、3, <i>Acremonium cellulolyticus</i>	藤井達也、澤山茂樹
2012年3月9日	広島大学酵母細胞プロジェクト研究センター、春期シンポジウム(広島)	木質系バイオマスからのエタノール生産のための高温耐性酵母の開発	五島徹也
2012年3月15日	第62回日本木材学会大会(札幌)	酵素糖化性および表面的性質からみた前処理基質の評価	石黒真希, 石井現相, 田中紀子, 遠藤貴士
2012年4月4日	<i>Enzyme Microb. Technol.</i> 51 (1), pp. 16-25	<i>Characterization of non-oxidative trans-Aldolase and Transketolase enzymes in the pentose phosphate pathway with regard to xylose utilization by recombinant Saccharomyces cerevisiae.</i>	A. Matsushika, T. Goshima, T. Fuji, H. Inoue, S. Sawayama, S. Yano
2012年4月30日	34th Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals (New Orleans)	The development of genetic engineering tools for cellulase producing fungus <i>Acremonium cellulolyticus</i>	藤井達也、井上宏之、村上克治、矢野伸一、澤山茂樹

2012年5月28日	木質バイオマス利活用に関する講演会（主催：一関高専・バイオマス研究グループ）	セルロースナノファイバーを利用するエネルギーおよびマテリアル開発	遠藤貴士
2012年6月21日	20th European Biomass Conference and Exhibition (Milan)	Economic and environmental analysis of bioethanol production from lignocellulosic biomass using mechano-chemical pulping pretreatment	S. Fujimoto, H. Maita, T. Yanagida, T. Minowa, A. Furujo, K. Tsurumi, J. Sugiura, T. Kiuchi, R. Hidaka
2012年6月21日	20th European Biomass Conference and Exhibition (Milan)	Feasibility model study on establish as annex of bio-ethanol production	S. Fujimoto, H. Maita, T. Yanagida, T. Minowa
2012年7月1日	バイオサイエンスとインダストリー誌、70巻4号、pp259-262	セルラーゼ高生産糸状菌 <i>Acremonium cellulolyticus</i> の育種	藤井達也
2012年7月24日	えひめバイオマスリフアインアリーフォーラム（松山）	セルロースナノファイバーを軸としたエネルギーおよびマテリアル製造技術	遠藤貴士
2012年9月19日	第61回高分子討論会（名古屋）	セルロースナノファイバーを軸とした資源循環技術	遠藤貴士
2012年9月	紙パルプタイムス、55(9)、pp39-45	セルロースナノファイバーを基盤としたバイオ燃料製造技術	遠藤貴士
2012年10月4日	紙パルプ技術協会年次大会	木質バイオマスからのバイオエタノール製造技術開発	古城敦
2012年10月10日	Pacific Rim Summit on Industrial Biotechnology and Bioenergy	Ethanol production by recombinant flocculent <i>Saccharomyces cerevisiae</i> that can effectively co-ferment glucose and xylose	松鹿昭則、澤山茂樹、星野保
2012年10月18日	<i>Appl Biochem Biotechnol.</i> 168 (8), pp. 2094-2104	<i>Characterization of a recombinant flocculent Saccharomyces cerevisiae strain that co-ferments glucose and xylose: II. influence of pH</i>	A. Matsushika, S. Sawayama

		<i>and acetic acid on ethanol production.</i>	
2012年11月9日	繊維学会紙パルプシンポジウム	木質バイオマスからのバイオエタノール製造技術開発	境野信
2012年12月1日	第19回日本生物工学会九州支部大分大会	セルラーゼ生産糸状菌 <i>Acremonium cellulolyticus</i> における非相同組換え関与遺伝子 RNAiの試み	早田昂太郎、藤井達也、澤山茂樹
2012年12月14日	NEDO成果報告会	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	杉浦純
2012年12月29日	<i>Appl Biochem Biotechnol.</i> 169 (3), pp. 712 -721	<i>Characterization of a recombinant flocculent Saccharomyces cerevisiae strain that co-ferments glucose and xylose:</i> <i>I. Influence of the ratio of glucose/xylose on ethanol production.</i>	A. Matsushika,, S. Sawayama
2013年1月10日	第8回バイオマス科学会議	開発輸入型バイオエタノールのGHG排出量要因分析	美濃輪智朗、舞田浩一、矢野伸一
2013年3月	未来材料、13(3)、pp65-67	セルロースナノファイバーを軸としたバイオ燃料および複合材料製造技術	遠藤貴士
2013年3月25日	日本農芸化学会2013年大会(仙台)	セルラーゼ高生産糸状菌 <i>Acremonium cellulolyticus</i> Y-94株のcre1遺伝子の機能解析	藤井達也、井上宏之、石川一彦
2013年3月28日	第63回日本木材学会大会(盛岡)	ユーカリの水熱粉碎前処理におけるアルカリの影響	石黒真希、遠藤貴士
2013年4月10日	第19回パルプ技術セミナー(東京)	セルロースナノファイバーを利用したエネルギーおよびマテリアル製造技術	遠藤貴士
2013年5月	ペトロテック、36(5)、p334-338	バイオエタノール製造における自己熱再生型蒸留	木内崇文
2013年6月	<i>Journal of Biotechnology</i> , 165, pp. 153-156	Boost in bioethanol production using recombinant <i>Saccharomyces cerevisiae</i> with mutated strictly NADPH-dependent xylose reductase and NADP <sup>+</sup> -de	Khattab, S. M. R., Saimura, M., Kodaki, T

		pendent xylitol dehydrogenase.	
2013年7月9日	<i>PLOS ONE</i> 8 (7), e69005	<i>Fermentation of Xylose Causes Inefficient Metabolic State due to Carbon/energy Starvation and Reduced Glycolytic Flux in Recombinant Industrial Saccharomyces cerevisiae</i>	Matsushika A., Nagashima A., Goshima T., Hoshino T.
2013年7月19日	セルロース学会第20回年次大会（京都）	アルカリ水熱粉碎処理した木質系バイオマスの特性評価	石黒真希, 遠藤貴士
2013年7月24日	再生可能エネルギー国際フォーラム	王子ホールディングスにおける再生可能エネルギーへの取り組み ～バイオエタノール製造技術開発の紹介～	古城敦
2013年7月	<i>Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry</i> , 77 (7), pp. 1579 -1582	Comparison of the Performance of Eight Recombinant Strains of Xylose-Fermenting <i>Saccharomyces cerevisiae</i> As to Bioethanol Production from Rice Straw Enzymatic Hydrolyzate	Fujii T, Matsushika A, Goshima T, Murakami K, Yano S
2013年8月11日	2013 SIMB Annual Meeting	Metabolome analysis of recombinant industrial <i>Saccharomyces cerevisiae</i> with xylose-fermenting ability	松鹿昭則、五島徹也、星野保
2013年9月20日	第65回日本生物工学会	五炭糖発酵性改良を目指した酵母の分子育種	松鹿昭則
2013年9月20日	第7回新エネルギー促進検討会	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	杉浦純

## 2) 特許等

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2010年7月22日	特願 2010-165151	エタノール製造装置及び	新日鉄エンジニアリング

日		エタノール製造方法	
2010年8月31日	特願 2010-193310	リグノセルロース含有バイオマスの酵素糖化処理方法	王子製紙株式会社
2010年11月12日	特願 2010-253594	リグノセルロース系原料の酵素糖化処理方法	王子製紙株式会社
2010年11月15日	特願 2010-254441	リグノセルロース含有バイオマスからのエタノール製造方法	王子製紙株式会社
2010年12月3日	特願 2010-270848	キシロース代謝改変による効果的なエタノール生産法	産業技術総合研究所
2010年12月9日	特願 2010-274235	リグノセルロース含有バイオマスの酵素糖化処理方法	王子製紙株式会社
2011年1月26日	特願 2011-013779	リグノセルロース含有バイオマスからの有価物の製造方法	王子製紙株式会社
2011年3月30日	特願 2011-075772	リグノセルロース含有バイオマスの酵素糖化処理方法	王子製紙株式会社
2011年4月19日	特願 2011-093033 優先権出願：特願 2010-165151	エタノール製造装置及びエタノール製造方法	新日鉄エンジニアリング株式会社 東京大学
2011年5月13日	特願 2011-107820	リグノセルロース含有バイオマスからのエタノール製造方法	王子製紙株式会社
2011年6月2日	特願 2011-123976	リグノセルロース含有バイオマスの酵素糖化処理方法	王子製紙株式会社
2011年6月30日	特願 2011-198814	キシロシダーゼ遺伝子、組み換えDNA、発現ベクター、形質転換体及びキシロシダーゼ	産業技術総合研究所
2011年7月22日	特願 2011-161186 優先権出願： 特願 2011-93033 特願 2010-165151	エタノール製造装置及びエタノール製造方法	新日鉄エンジニアリング株式会社 東京大学
2011年7月26日	特願 2011-163321 優先権出願： 特願 2010-176499	膜分離装置及び膜分離方法	新日鉄エンジニアリング株式会社 東京大学
2011年10月5日	特願 2011-221133	エタノール製造装置及びエタノール製造方法	新日鉄エンジニアリング株式会社 東京大学
2011年9月16日 (2010年11月15日)	特願 2011-203175 (優先権出願：特願 2010-254441、特願 2011-107820)	リグノセルロース含有バイオマスからのエタノール製造方法	王子製紙株式会社
2011年10月5日	特願 2011-221133	エタノール製造装置及びエタノール製造方法	新日鉄エンジニアリング株式会社 東京大学
2012年2月13日	特願 2012-28185	リグノセルロース含有バイオマ	王子製紙株式会社

日		スからのエタノール製造方法	
2012年2月14日	特願 2012-29017	リグノセルロース含有バイオマスからのエタノール製造方法	王子製紙株式会社
2012年2月14日	特願 2012-29160	リグノセルロース含有バイオマスからのエタノール製造方法	王子製紙株式会社
2012年3月8日	特願 2012-051138	リグノセルロース含有バイオマスの前処理方法	王子製紙株式会社
2012年3月9日	特願 2012-052416	リグノセルロース系原料からのエタノール製造方法	王子製紙株式会社
2012年4月26日	特願2012-100889	リグノセルロース含有バイオマスの前処理方法	王子製紙
2012年6月1日	特願2012-125551	リグノセルロース含有バイオマスの前処理方法	王子製紙
2012年6月14日	特願2012-134540	リグノセルロース含有バイオマスからのエタノール製造方法	王子製紙
2012年7月5日	特願2012-151279 (優先権出願：特願2012-28185)	リグノセルロース含有バイオマスからのエタノール製造方法	王子製紙
2012年7月25日	特願2012-164763	リグノセルロース含有バイオマスからのエタノール製造方法	王子製紙
2012年8月22日	特願2012-183122	リグノセルロース含有バイオマスからのエタノール製造方法	王子製紙
2012年8月29日	特願2012-162374	リグノセルロース含有バイオマスの酵素糖化処理方法	王子製紙
2012年9月12日	特願2012-200227	リグノセルロース含有バイオマスからのエタノール製造方法	王子製紙
2012年9月12日	特願2012-200227	リグノセルロース含有バイオマスの酵素糖化処理方法及びリグノセルロース含有バイオマスからのエタノール製造方法	王子製紙
2012年12月28日	特願2012-288104 (国内優先権：特願2012-29017)	リグノセルロース含有バイオマスの前処理方法	王子ホールディングス
2013年3月4日	特願2013-042196	cre1遺伝子が機能しない糸状菌変異株	産業技術総合研究所

## エネルギーイノベーションプログラム基本計画

### 1. 目的

資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。他方、エネルギー技術開発は、長期間を要するとともに大規模投資を伴う一方で将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的な取組を行うことは必ずしも容易ではない。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となる。

エネルギー安全保障の確立や、世界全体の温室効果ガスを 2050 年までに半減するという長期目標を達成するため、以下に政策の柱毎に目的を示す。

#### 1-1. 総合エネルギー効率の向上

1970 年代以来、官民をあげて省エネルギーに取り組み、産業構造の転換や新たな製造技術の導入、民生機器の効率改善等により世界最高水準の省エネルギーを達成している。今後、「新・国家エネルギー戦略」に掲げる、2030 年までに GDP あたりのエネルギー利用効率を約 30% 向上を実現していくためには、産業部門はもとより、全部門において、総合エネルギー効率の向上に資する技術開発とその成果の導入を促進する。

#### 1-2. 運輸部門の燃料多様化

ほぼ 100% を石油に依存する運輸部門は、我が国エネルギー需給構造上、最も脆弱性が高く、その需給構造の次世代化は、将来に向けた早急な対策が不可欠な課題となっている。

「新・国家エネルギー戦略」に掲げる目標（2030 年に向け、運輸部門の石油依存度が 80% 程度となることを目指す）の実現のためにも、官民が中長期的な展望・方向性を共有しつつ、技術開発と関連施策を推進する。

#### 1-3. 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーは、エネルギー源の多様化や地球温暖化対策の観点から重要である。しかし、現時点では経済性や出力安定性といった普及へ向けての課題が存在する。

そのため、これらの課題解決に向けた技術開発の推進及び新エネルギーの導入促進のための関連施策の実施により、更なる新エネルギーの普及を推進する。

#### 1-4. 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

原子力発電は供給安定性に優れ、運用時に CO<sub>2</sub> を排出しないクリーンなエネルギー源である。安全確保を大前提に核燃料サイクルを含む原子力発電を着実に推進する。

#### 1-5. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

化石燃料資源の大宗を輸入に依存する我が国にとって、その安定供給の確保は国家安全保障に直結する課題である。このため、石油・天然ガス等の安定供給確保を目指し、我が国企業による資源国における資源開発等に対する支援等の施策を進めるとともに、その有効かつクリーンな利用を図る。

## 2. 政策的位置付け

低炭素社会づくり行動計画（2008年7月閣議決定）

2008年6月の福田総理（当時）のスピーチ「福田ビジョン」等を受け、我が国が低炭素社会へ移行していくための具体的な道筋を示すため、国全体を低炭素化へ動かす仕組みや革新的な技術開発、国民一人ひとりの行動を促すための取組について策定。

「環境エネルギー技術革新計画」や「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」等に示された革新的技術の開発に5年間で300億ドル程度を投入するという具体的な目標が示された。

環境エネルギー技術革新計画（2008年5月）

温室効果ガスの大幅な削減を目指すだけでなく、エネルギー安全保障、環境と経済の両立、開発途上国への貢献等を考慮し、以下の戦略等を策定。

1. 低炭素社会実現に向けた我が国の技術戦略
2. 国際的な温室効果ガス削減策への貢献策
3. 革新的環境エネルギー技術開発の推進方策

Cool Earth - エネルギー革新技術計画（2008年3月）

2007年5月の総理イニシアティブ「クールアース50」を受け、世界全体の温室効果ガスの排出量を現状に比して2050年までに半減するという長期目標を達成するため、エネルギー分野における革新的な技術開発について検討をおこない、21の技術を選定。

エネルギー基本計画（2007年3月閣議決定）

重点的に研究開発のための施策を講ずべきエネルギーに関する技術及びその施策として、

1. 総合エネルギー効率の向上に資する技術
2. 原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保に資する技術
3. 運輸部門のエネルギー多様化に資する技術
4. 新エネルギーに関する技術
5. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用に資する技術

以上が位置づけられている。

新・国家エネルギー戦略（2006年5月）

世界最先端のエネルギー需給構造の実現を図るため

1. 省エネルギーフロントランナー計画
2. 運輸エネルギーの次世代化計画
3. 新エネルギーイノベーション計画
4. 原子力立国計画

以上の計画が位置づけられている。また、資源外交、エネルギー環境協力の総合的な強化を図るため、「総合資源確保戦略」が位置づけられている。

第3期科学技術基本計画（2006年3月閣議決定）

国の存立にとって基盤的であり国として取り組むことが不可欠な研究開発課題を重視して研究開発を推進する「推進4分野」であるエネルギー分野、分野別推進戦略（2006年3月総合科学技術会議）における「推進4分野」であるエネルギー分野に位置付けられている。



経済成長戦略大綱（２００６年７月財政・経済一体改革会議）

資源・エネルギー政策の戦略的展開として

- １．省エネルギーフロントランナー計画
- ２．次世代自動車・燃料イニシアティブ等による運輸エネルギー次世代化
- ３．新エネルギーイノベーション計画
- ４．原子力立国計画
- ５．資源外交、環境・エネルギー協力等の総合的な強化

以上が位置づけられている。

京都議定書目標達成計画（２００５年４月閣議決定）

「京都議定書の約束を達成するとともに、更に「脱温暖化社会」に向けて長期的・継続的な排出削減を進めるには、究極的には化石燃料への依存を減らすことが必要である。環境と経済の両立を図りつつ、これらの目標を達成するため、省エネルギー、未利用エネルギーの利用等の技術革新を加速し、効率的な機器や先進的なシステムの普及を図り、世界をリードする環境立国を目指す。」とされている。

### ３．達成目標

#### ３ - 総合エネルギー効率の向上

転換部門における「エネルギー転換効率向上」、産業部門における「製造プロセス効率向上」、民生・運輸部門における「省エネルギー」などにより、GDP当たりのエネルギー消費指数を２０３０年度までに少なくとも３０％改善することを目指す。

#### ３ - 運輸部門の燃料多様化

バイオマス由来燃料、GTL、BTL、CTLなどの新燃料、電気自動車や燃料電池自動車などの導入により、現在ほぼ１００％の運輸部門の石油依存度を２０３０年までに８０％程度とすることを目指す。

#### ３ - 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーの技術開発や燃料電池など革新的なエネルギー高度利用を促進することにより、新エネルギー等の自立的な普及を目指すことで、エネルギー源の多様化及び地球温暖化対策に貢献する。

#### ３ - 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

２０３０年以降においても、発電電力量に占める比率を３０～４０％程度以上とすることを目指すため、高速増殖炉サイクルの早期実用化、既設軽水炉代替へ対応する次世代軽水炉の開発、軽水炉技術を前提とした核燃料サイクルの確立、放射性廃棄物対策などの技術開発を推進する。

#### ３ - 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

石油・天然ガスの化石燃料の安定供給確保を目指し、資源獲得能力の強化に資する先端的な技術開発を推進するとともに、環境負荷低減のために化石燃料の効率的かつクリーンな利用を促進するための技術開発・導入を目指す。

#### 4. 研究開発内容

##### 4 - . 総合エネルギー効率の向上

##### 4 - - . 共通

###### (1) 省エネルギー革新技术開発事業 (運営費交付金)

###### 概要

テーマ公募型事業として、「Cool Earth-エネルギー革新技术計画」に基づき、「先導研究」、「実用化開発」及び「実証研究」の3つの技術開発フェーズに加え、「挑戦研究」フェーズを追加し、革新的な省エネルギー技術の開発を行う。

###### 技術目標及び達成時期

世界全体の温室効果ガス排出量を現状に比べて2050年までに半減するという長期目標を実現するための「Cool Earth-エネルギー革新技术計画」の主旨に基づき、大幅な省エネルギー効果を発揮する革新的なエネルギー使用合理化技術について研究開発・実用化を推進する。

###### 研究開発時期

2003年度～2013年度

###### (2) エネルギー使用合理化産業技術研究助成事業 (運営費交付金)

###### 概要

産業界や社会のニーズに応える省エネルギー技術のシーズの発掘とその育成、並びに、省エネルギー技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。この目的のため、産業界からの期待が高い技術領域・課題を提示した上で、大学や独立行政法人の研究者等から研究開発テーマを募集する。厳正な外部評価によって省エネルギー効果があり且つ独創的・革新的なテーマを選定し、研究者代表者個人を特定して助成金を交付する。

###### 技術的目標及び達成時期

独創性のある研究者等を助成すると共に、中間評価ゲート方式が醸成する競争的環境の下で企業との連携を強化させることにより、10～15年後の実用化が有望な革新的省エネルギー技術の研究開発を促進する。本事業では革新的省エネルギー技術の実用化への第1歩となる特許について、助成期間終了後の出願比率を100%とすることを目標とするとともに、省エネルギー技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。

###### 研究開発期間

2000年度～

###### (3) 新エネルギー技術実用化補助事業 (運営費交付金)(4 - - 参照)

###### (4) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業 (運営費交付金)(4 - - 参照)

#### 4 - - . 超燃焼システム技術

##### (1) 環境調和型製鉄プロセス技術開発 (運営費交付金) (再掲)

###### 概要

高炉ガスからの効率的な二酸化炭素分離と中低温排熱の有効活用及び水素を炭素(コークス)の一部代替として鉄鉱石を還元する革新的製鉄プロセスの開発を行う。

###### 技術的目標及び達成時期

最終的な技術開発目標として製鉄プロセスにおけるCO<sub>2</sub>排出量を30%削減することを目指し、2050年までに実用化する。

###### 研究開発期間

2008年度～2017年度

##### (2) 資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発 (運営費交付金)

###### 概要

高品位な製鉄材料(鉄鉱石・石炭等)の入手が困難になってきていることから、原料使用量の低減及び、比較的入手が容易な低品位原料の使用拡大を図ることが喫緊の課題となっている。本技術開発では、還元剤として低品位な石炭と鉄鉱石の塊成物を開発し、炉内反応の高速化・低温化を実現することにより、省エネルギーで高効率な革新的製鉄プロセスを開発する。

###### 技術的目標及び達成時期

2011年度までに、革新的塊成物の組成・構造条件の探索、革新的塊成物の製造プロセス、革新的塊成物による高炉操業プロセスを開発する。これらによる効果は、年産400万トン規模の中型高炉に適用した場合の炭材使用量のうち高品位炭使用量が約80%から50%程度に削減可能となるとともに、革新的塊成物を高炉に使用する操業技術の改良による還元材比の低減により、新開発のプロセスを含めた製鉄プロセスでの投入エネルギーは約10%削減される。

###### 研究開発期間

2009年度～2011年度

##### (3) 革新的ガラス溶融プロセス技術開発 (運営費交付金)

###### 概要

プラズマ等による高温を利用し瞬時にガラス原料をガラス化することにより、極めて効率的にガラスを気中で溶融(インフライトメルティング法)し省エネに資する革新的ガラス溶融プロセス技術を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

###### 技術的目標及び達成時期

2012年度までに、インフライトメルティング法により原料を溶解する技術、カレットをガラス原料として利用するため高効率で加熱する技術、カレット融液とインフライトメルティング法による原料融液とを高速で混合する技術を開発する。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(4) 革新的マイクロ反応場利用部材技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、マイクロリアクター、ナノ空孔などの精密反応場を利用し、反応分子の自由な運動を活性種レベルで制御した革新的な化学反応プロセスと新機能材料創成技術の確立を目指す。さらに、マイクロリアクターとナノ空孔反応場の組み合わせ、各反応場とマイクロ波等のエネルギー供給手段との組み合わせにより協奏的反応場を構成し、さらなる高効率生産等を可能にする基盤技術を開発する。これらの技術の確立により、反応システムの小型化、多段プロセスの簡略化等を通じた化学産業の製造工程等の省エネルギー化を図る。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術的目標及び達成時期

2010年度までに、マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術を軸とし、これらに更にマイクロ波、超臨界流体等のエネルギー供給手段を組み合わせた協奏的反応場を構成することにより、これまでにない革新的な化学反応プロセスを確立し、新機能材料創成技術を実現する。さらに、これらの技術を用いて高性能・高機能電子材料、医薬中間体などの部材を開発する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(5) 鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発(運営費交付金)

概要

プラント、構造物や自動車等の革新的な高効率化、省エネルギー化、長寿命化、安全・安心化を図るため、最新の科学的知見を導入し、鉄鋼材料及び鋼構造体を超高機能化する基盤的研究開発を行う。具体的には、高強度鋼、高機能鋼の実用化拡大の基盤となる(1)高級鋼厚板(高強度鋼、極低温用鋼、耐熱鋼)溶接部の信頼性・寿命を大幅に向上する溶接施工技術(高密度・清浄熱源溶接技術)及びクリープ破壊、金属組織制御技術を基本とする溶接材料技術(クリープ破壊及び水素破壊の機構解明等を踏まえた)の開発、(2)部材の軽量化を図るために強度、加工性等の最適機能傾斜を付与する機械部品鍛造技術(駆動部材の信頼性確保のための耐疲労破壊特性の向上を踏まえた)の開発を行う。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、高級鋼厚板(高強度鋼・極低温用鋼・耐熱鋼)の溶接を予熱・後熱なしに可能とする溶接技術と材料技術を開発するとともに、傾斜機能部材の鍛造技術を開発する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

## (6) 希少金属等高効率回収システム開発

### 概要

小型電子・電気機器にはベースメタルや、金、銀等の貴金属の他、インジウム、ニッケル等の希少金属等を含有している。現状では、これらの機器が廃棄された後は、非常に高温で処理する乾式製錬技術を用いてリサイクル・処理されているため、多大なエネルギーを消費するばかりか、回収可能な金属が銅、金、銀等に限定されており、その他の希少金属等は回収できずに廃棄処分されている。このため、湿式製錬技術を活用した高効率な最適技術の開発等を通じて、回収工程の省エネルギー及び希少金属等の回収率向上を図る。

### 技術目標及び達成時期

- ・ 従来方法(乾式製錬)で処理する場合に比べて、大幅な省エネルギーの実現(省エネルギー効果:原油換算で約78万kL/年削減)
- ・ 廃小型電子・電気機器、廃超硬工具等中に含まれる希少金属等の回収率の向上(インジウム0%→90%、ニッケル50%→95%、コバルト0%→95%、タンタル0%→80%、タングステン90%→95%、レアアース0%→80%)

### 研究開発期間

2007年度～2010年度

## (7) 低品位鉱石・難処理鉱石に対応した革新的製錬プロセス技術の研究開発

### 概要

世界的な鉱石品位の低下、不要元素等の不純物の増加に対応するため、我が国非鉄金属業においては、低品位鉱石の利用拡大による我が国の鉱物資源の安定供給確保の強化が喫緊の課題となっているため、低品位・難処理鉱石の革新的な省エネルギー型の製錬プロセスを開発する。

### 技術目標及び達成時期

低品位鉱石及び難処理鉱石から効率的に銅等有用な非鉄金属を回収するため、低品位鉱石・難処理鉱石に対応した省エネルギー型プロセスによる新たな選鉱技術、製錬技術及び不純物対策技術の研究開発を行う。

#### (1) 高品位精鉱回収技術

低品位鉱石・難処理鉱石から高品位の精鉱を得る選鉱技術の開発。

ハンドリングが難しい極微細鉱等難処理鉱を処理する製錬技術の開発。

#### (2) 有用金属の抽出等回収技術

低品位精鉱から含有金属を高効率に回収する製錬技術の開発。

#### (3) 高濃度不純物の除去等対策技術

不要な元素(ヒ素、ビスマス、アンチモン等)等を多く含む精鉱からの不純物除去、分離、安定化等技術の開発。

上記要素技術を開発し、将来的にエネルギー消費原単位の悪化が予測される非鉄金属製錬について、省エネルギー見込み量、原油換算約2.6万KLを達成。

### 研究開発期間

2009年度～2012年度

## ( 8 ) 環境調和型水循環技術開発

### 概要

我が国が強みを持つ、膜技術を始めとする水処理技術を強化し、省水型・環境調和型の水循環システムの開発に資する省エネ・省水型の要素技術を開発する。

### 技術目標及び達成時期

2013年度までに、以下の技術を開発する。

- 革新的膜分離技術の開発：

従来法に比べ膜透過加圧エネルギー等を50%以上削減。

- 省エネ型膜分離活性汚泥法（MBR）技術の開発：

従来法に比べ膜洗浄の曝気（空気気泡）エネルギー等を30%以上削減。

- 有用金属・有害物質の分離・回収技術の開発：

従来法に比べ汚泥の削減により汚泥処理・処分エネルギーを80%以上削減。

- 高効率難分解性物質分解技術の開発：

従来法に比べ窒素処理に係るエネルギーを50%以上削減。

オゾン酸化法等のエネルギーを50%以上削減。

### 研究開発期間

2009年度～2013年度

## ( 9 ) 微生物機能を活用した環境調和型製造基盤技術開発

### i) 微生物機能を活用した高度製造基盤技術開発（運営費交付金）

#### 概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、省エネルギーかつ環境負荷が少ないといった特徴を有する微生物機能を活用した有用物質の革新的な生産プロセス（モノ作り）の技術を構築するため、産業用途に必要な機能既知遺伝子で構成されたゲノムを持ち、物質生産性向上につながる性能を備えた高性能宿主細胞の創製や、微生物反応の多様化・高機能化技術を開発するとともに、バイオマスを原料として有用物質を体系的かつ効率的に生産する（バイオリファイナリー）ための基盤技術を開発する。

### 技術目標及び達成時期

2010年度までに、物質生産性向上につながる性能を備えた高性能宿主細胞を創製するとともに、バイオプロセスの実用化適用範囲の拡大のための微生物反応の多様化・高機能化技術の開発を行う。バイオリファイナリー技術については、バイオマスを高効率で糖化し、糖から高効率で各種化成品の基幹物質を生産するバイオプロセス体系を構築する。

### 研究開発期間

2006年度～2010年度

ii) 微生物群のデザイン化による高効率型環境バイオ処理技術開発（運営費交付金）

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、従来エネルギー多消費・廃棄物多排出型であった廃水・廃棄物処理において、微生物群の構成及び配置等を人為的に制御（デザイン化）することで、その処理効率を大幅に向上させ、省エネルギーで廃棄物も少ない高効率型廃水、廃棄物処理の基盤技術を確立する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、特定有用微生物群を人為的に安定導入・維持もしくは人為的に空間配置・優先化させる等のデザイン化技術を開発し、従来の廃水、廃棄物処理に比べより高効率で省エネルギーな処理技術を開発するとともに、実用化に資するための実証可能なテストプラント規模にて評価する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(10) 省エネルギー型化学技術創成研究開発補助事業

概要

化学企業が有する技術シーズの中で、省エネルギーのポテンシャルが大きいにもかかわらず民間だけで事業を進めるには開発リスクが大きいこと等がネックになって十分な研究開発費が投じられていない技術に対して、戦略的な研究開発支援を実施することにより、化学産業のみならず、各種最終製品や他産業において抜本的なエネルギー効率の改善を促進するものである。

技術的目標及び達成時期

2010年度までに、将来の発展が有望な技術に関する研究開発の実施とその実用化と普及を通し、化学産業のみならず他分野も含めた我が国省エネルギー対策への一層の寄与を目標とする。

研究開発期間

2004年度～2010年度

(11) エネルギー使用合理化繊維関連次世代技術開発

概要

製造エネルギーの低減を図ることができる革新的な繊維製品製造技術の開発や、使用することでエネルギー消費の低減が可能となる新たな繊維製品を開発。

技術的目標及び達成時期

2010年度までに、以下の開発を行う。

次世代資材用繊維の開発

ポリエチレンテレフタレート製造エネルギー低減技術の開発

研究開発期間

2005年度～2009年度

## (12) 高効率ガスタービン実用化技術開発

### 概要

省エネルギー及びCO<sub>2</sub>削減の観点から電力産業用高効率ガスタービンの実用化を目指し、大容量機(25万kW程度(コンバインド出力40万kW))の高効率化(52%~56%)のために1700級ガスタービンの実用化に必要な先端要素技術を適用した各要素モジュールの検証等を実施する。また、小中容量機(10万kW程度)の高効率化(45%~51%)のために有望とされている高湿分空気利用ガスタービンの実用化に必要な多段軸流圧縮機、多缶燃焼器等の開発を行うとともにシステムの信頼性等の検証を行う。

### 技術的目標及び達成時期

1700級ガスタービン実用化技術開発：先端要素技術を活用した燃焼器、タービン、圧縮機等各モジュールの検証等を行い、送電端熱効率56%以上の達成が可能なことを確認する。

高湿分空気利用ガスタービン実用化技術開発：2011年までに軸流圧縮機の3.5%(空気重量比)吸気噴霧冷却技術、低NO<sub>x</sub>燃焼技術(運用負荷帯で10ppm以下)等を開発すると共に、実機に近い条件での要素機器の信頼性・耐久性を確認する。

### 研究開発期間

2008年度~2011年度

## (13) エネルギー使用合理化高効率パルプ工程技术開発(運営費交付金)

### 概要

紙パルプ産業では、環境に関する自主行動計画に基づき、2010年度までに製品当たり化石エネルギー原単位を1990年度比13%削減し、CO<sub>2</sub>排出原単位を10%削減することを目指し、紙パルプ工程における省エネルギー対策を着実に進めているものの、より一層の省エネルギー対策を進めるためには、技術開発によるブレークスルーが必要となっている。紙パルプ産業は、エネルギー多消費型産業のひとつであり、紙パルプ工程での省エネルギー対策は波及効果が大きいことから、紙パルプ工程におけるエネルギー使用合理化に資する技術開発を提案公募により実施する。

### 技術的目標及び達成時期

京都議定書の第1約束期間中、又は、第2約束期間中を目途として実用化に至るような技術開発を行うことで、京都議定書の第1約束期間の目標を着実に達成するとともに、現在、検討が行われている第2約束期間に向けた省エネルギー対策の更なる深化を進めていく。

### 研究開発期間

2005年度~2010年度

## (14) 革新的省エネセラミックス製造技術開発(運営費交付金)

### 概要

小型炉設備で生産可能な小型セラミック中空ユニットを複数組みあわせること



で、これまでその製造が難しかった複雑な形状を持つ大型セラミックス部材を省エネで製作することができる革新的なセラミック部材製造技術を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。  
技術目標及び達成時期

2013年度までに、高機能化された小さな精密ブロックを立体的に組み上げ、高効率で接合、一体化をし、複雑な形状の部材や大型の部材を製造可能とする革新的なプロセス技術の基盤を確立し、高耐性部材、高温断熱部材及び高比剛性部材の試作を行う。

研究開発期間

2009年度～2013年度

- (15) 発電プラント用超高純度金属材料開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (16) 先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発(4 - - 参照)
- (17) 噴流床石炭ガス化発電プラント開発(4 - - 参照)
- (18) 石油精製高度機能融合技術開発(4 - - 参照)

#### 4 - - . 時空を超えたエネルギー利用技術

- (1) カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト(運営費交付金)

概要

高純度、高密度に配向した長尺の単層カーボンナノチューブの大量合成技術を開発するとともに、これを用いた従来よりも格段にパワー(電力)と蓄電量が大きなキャパシタを開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。  
技術目標及び達成時期

2010年度までに、単層カーボンナノチューブの高度配向技術及び大量生産技術を確立するとともに、キャパシタ製造技術を確立することで、20Wh/Kgの高エネルギー密度と耐久性を有する電気二重層キャパシタを開発する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

- (2) イットリウム系超電導電力機器技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) 高温超電導電力ケーブル実証プロジェクト(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (4) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (5) 燃料電池先端科学研究(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (6) 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (7) 水素貯蔵材料先端基礎研究事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (8) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (9) 固体酸化物形燃料電池実証研究(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (10) 大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (11) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (12) 革新型蓄電池先端科学基礎研究(運営費交付金)(4 - - 参照)

#### 4 - - . 省エネ型情報生活空間創生技術

##### (1) グリーンITプロジェクト(運営費交付金)

###### 概要

情報化社会の進展に伴うIT機器の消費電力の大幅な増大に対応し、抜本的な省エネを実現するため、サーバ、ネットワーク機器等の各装置の省エネに加え、省エネ型の巨大コンピューティング技術(グリーン・クラウドコンピューティング技術)、パワーエレクトロニクス技術を開発する。

###### 技術目標及び達成時期

2012年度までに、IT機器・システムのエネルギー消費効率を2倍に向上させる基盤技術を開発する。

###### 研究開発期間

2008年度～2012年度

##### (2) 次世代高効率ネットワークデバイス技術開発(運営費交付金)

###### 概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、ネットワークで伝送されるデータ量の爆発的増加に伴い、関連機器の消費エネルギーが増大している中で、ネットワーク全体の消費電力量を抑制することが喫緊の課題であり、消費エネルギーの低減に大きく貢献するルータ・スイッチの高速化のための研究開発を実施するとともに、機器そのものの消費エネルギーを低減するための研究開発を実施する。

###### 技術的目標及び達成時期

2011年度までに、1チャンネルあたり40Gbps超の通信速度に対応するトラフィック計測・分析・管理技術や40Gbpsのインターフェース、さらなる通信速度向上(100Gbps超)を実現するハードウェア技術、SFQ(単一磁束量子)スイッチに関する実現を可能とするための基盤技術を開発する。

###### 研究開発期間

2007年度～2011年度

##### (3) 次世代大型低消費電力ディスプレイ基盤技術開発(運営費交付金)

###### 概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、次世代の大型液晶及び大型プラズマディスプレイに関する低消費電力ディスプレイを実現するための研究開発を行う。

###### 技術的目標及び達成時期

2011年度までに、液晶に関しては、高効率バックライト、革新的なTFTアレイプロセス技術・製造装置及び低消費電力型の画像処理エンジン等に係る技術を確立する。また、プラズマディスプレイに関しては、超低電圧駆動等に係る技術を確立する。

###### 研究開発期間

2007年度～2011年度

(4) 有機発光機構を用いた高効率照明の開発 (運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、蛍光灯に代わる高効率照明として有機EL発光機構を用いるための技術開発課題(発光効率、演色性、面均一性、生産コスト)等を明らかにし、それをブレイクスルーしうる技術シーズを抽出する。

技術目標及び達成時期

2009年までに現在一般に普及している蛍光灯照明に代わる高効率照明としての必要スペックを達成するとともに、次世代照明として同じく期待されているLEDとの差別化要素を技術的に達成し、大面積/高スループット/低コストで量産するプロセス技術を開発する。また、現在蛍光灯の間接・拡散照明が用いられている照明機器を代替する有機EL照明を実用的なコストで製造できる技術を確認する。

研究開発期間

2007年度～2009年度

(5) マルチセラミックス膜新断熱材料の開発 (運営費交付金)

概要

住宅やビルなどの冷暖房における大幅な省エネを実現する画期的な断熱性能を持つ壁および窓材料を、セラミックスのナノ多孔体構造やポリマー複合化構造などからなるマルチセラミックス膜アセンブリ技術によって開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、熱貫流率(熱の伝わりやすさ)が $0.3\text{ W/m}^2\text{ K}$ 以下、壁厚さ10mm程度の超断熱壁材料および熱貫流率が $0.4\text{ W/m}^2\text{ K}$ 以下、光(可視光)透過率が65%以上(Low-Eガラス使用)、ヘイズ率が1%以下の超断熱窓材料を実現する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(6) 超フレキシブルディスプレイ部材技術開発 (運営費交付金)

概要

製造工程等の省エネルギー化を実現するために行う。従来、表示デバイスの製造には、真空蒸着と高温下での焼成と、それに伴う排ガス排水処理が必須であった。これを、ロールtoロール方式に代替することで常圧、常温下での製造を実現し、フレキシブルな薄型ディスプレイを製造する。そのために、有機TFT材料およびコンタクトプリント技術等を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

#### 技術的目標及び達成時期

2009年度までに、実用化に向けた実証のための巻き取り方式ディスプレイのプロトタイプを試作する。またフレキシブルデバイス材料開発に貢献する部材ならびに薄膜複合化技術を開発し、これらをパネル化するための実用化技術を確立する。

#### 研究開発期間

2006年度～2009年度

### (7) 低損失オプティカル新機能部材技術開発（運営費交付金）

#### 概要

近接場光の原理・効果を応用した低損失オプティカル新機能部材技術を開発し、実用化の目処を得ることを目的とする。動作原理に近接場光を用いるオプティカル新機能部材は、従来の材料特性のみに依存した光学部品では不可能な機能・性能を発揮し、液晶プロジェクター・液晶ディスプレイなど情報家電の省エネルギー、高性能・高信頼化を図る上でのキーデバイスとなることが期待できる。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

#### 技術目標及び達成時期

2010年度までに、共通基盤技術として、ナノ構造部材の設計・作製・評価技術を開発するとともに、ナノ構造部材に発現する近接場光の機能を動作原理とする低損失オプティカル新機能部材を検討し機能を確認する。

#### 研究開発期間

2006年度～2010年度

### (8) 次世代光波制御材料・素子化技術（運営費交付金）

#### 概要

ガラス材料に関する精密モールド技術を確立し、機能性の高い光波制御素子を低コストで生産できるプロセス技術を開発することで部材の小型化・高機能化を図りつつ、省エネを実現する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

#### 技術目標及び達成時期

2010年度までにサブ波長レベルの微細構造をガラス表面にモールド成形する技術を実現し、実装可能な具体的なデバイスを作製する。

#### 研究開発期間

2006年度～2010年度

### (9) 次世代高効率エネルギー利用型住宅システム技術開発・実証事業

(運営費交付金)

#### 概要

ゼロ・エミッションハウスによる生活の大幅な省エネの実現に向け、家屋内直流配電システムや、電力需給の状態に応じた太陽電池等の分散型電源の制御、電力ネットワークを活用した家電の制御等、住宅全体としてエネルギーの最適制御

を行うシステムの開発・実証を行う。

技術的目標及び達成時期

2011年度までに、直流給電・配電に関する規格の標準化、直流配電の電流・電圧の規格化、蓄電池設置に係る安全規制の改正に対する提案が可能となる技術を確立する。

研究開発期間

2009年度～2011年度

#### 4 - - . 先進交通社会確立技術

##### (1) エネルギーITS (運営費交付金)

概要

平成19年5月の「次世代自動車・燃料イニシアティブ」に基づき、運輸部門のエネルギー消費効率改善のため、自動運転・隊列走行技術、高度交通流制御技術等の省エネルギーに資するITS技術の開発を行う。

技術的目標及び達成時期

2012年度までにCO2削減効果評価方法の確立を図るとともに、2020年代に実用化が見通せる運転制御、隊列走行の基盤技術の確立を目指す。

研究開発期間

2008年度～2012年度

##### (2) サステナブルハイパーコンポジット技術の開発 (運営費交付金)

概要

炭素繊維複合材料は、軽量、高強度等の優れた特性を有している。従来の熱硬化性樹脂を用いた炭素繊維複合材料では成形性・加工性に乏しくリサイクルが困難であったため、熱可塑性樹脂を用いた炭素繊維複合材料(CFRTP)の開発を行う。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、炭素繊維と熱可塑性樹脂との中間基材を開発し、高速成形技術、接合技術及びリサイクル技術を開発する。

研究開発期間

2008年度～2012年度

##### (3) 次世代構造部材創製・加工技術開発 (次世代航空機用)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、航空機、高速車両等の輸送機器への先進材料の本格導入を加速させるため、先進複合材料及び先進金属材料について部材開発、設計試作及び評価を実施することで、軽量化によりエネルギー使用効率を大幅に向上させる革新的な構造部材の創製・加工技術の開発を行う。

#### 技術目標及び達成時期

2012年度までに、複合材の構造健全性診断技術、チタン合金の創製・加工技術を確立するとともに、航空機用エンジンへの適用を目指し、耐熱・耐衝撃性に優れた複合材料を開発する。

#### 研究開発期間

2003年度～2012年度

#### (4) 環境適応型小型航空機用エンジン研究開発(運営費交付金)

##### 概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、エネルギー使用効率を大幅に向上し、環境対策にも優れた次世代の小型航空機用エンジンの開発にとって重要な要素技術の研究開発を行う。

#### 技術目標及び達成時期

2010年度までに、エネルギー使用効率を大幅に向上する構造設計技術、騒音、NOx等の環境負荷対応に優れた環境対策技術、インテグレーション技術、高バイパス比化等の高性能化技術といった要素技術の研究開発・実証を行う。

#### 研究開発期間

2003年度～2010年度

#### (5) 省エネ用炭素繊維複合材技術開発

##### 概要

航空機、自動車、鉄道、船舶等の輸送機械等における炭素繊維複合材の適用範囲を拡大し、省エネルギーの促進を図るため、先進的な炭素繊維複合材成形技術や、耐雷対策の容易化技術等の研究開発・実証を行う。

#### 技術目標及び達成時期

2013年度までに、従来の方法に比べ、曲率の大きな部位の成形も行うことができるVaRTM(バータム)法等の炭素繊維複合材成形技術や、炭素繊維複合材を用いた製品の耐雷性能を容易に確保する技術の研究開発・実証を行う。

#### 研究開発期間

2008年度～2013年度

#### (6) 燃料電池システム等実証研究(運営費交付金)(4 - - 参照)

#### (7) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

### 4 - - . 次世代省エネデバイス技術

#### (1) ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発 - うち窒化物系化合物半導体基板・エピタキシャル成長技術の開発(運営費交付金)

##### 概要

窒化物系化合物半導体は、パワーデバイス、高周波デバイス、発光デバイス等、重要なデバイスの飛躍的な性能向上と消費電力削減への貢献を期待されている。このため、従来の半導体材料では実現出来ない領域で動作可能なハイパワー・超

高効率の電子素子、超高速電子素子等の作成に必要な窒化物系化合物半導体先進技術の国際競争力を強化すべく、高品質かつ大口径単結晶基板、高品質かつ大口径エピタキシャル成長技術等の開発を行う。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。  
技術目標及び達成時期

2011年度までに、次世代窒化物系半導体デバイスを実現する以下結晶作製技術を開発する。

1) 基板技術 (GaN、AlNバルク結晶作製技術)

・口径2～4インチで高品質エピ成膜を可能とする低コストの単結晶基板作製技術の確立。

2) エピ技術 (エピタキシャル成膜及び計測評価技術)

・低欠陥高品質エピ層を実現する成膜技術及び膜成長過程を計測評価する技術の確立。

・高出力かつ高安定動作可能なエピ層の実現

・高耐圧超高速な新しいデバイス構造の開発

研究開発期間

2007年度～2011年度

## (2) 次世代低消費電力半導体基盤技術開発 (MIRAI) (運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、IT化の進展、IT利活用の高度化を支え、あらゆる機器に組み込まれている半導体の低消費電力化を図るため、テクノロジーノード(微細化レベル)45nm以細の次世代低消費電力半導体を実現するため、微細加工の基盤技術やマスク(半導体素子製造過程で用いる原板)の低コスト化・製造時間短縮に必要な基盤技術の開発等を行う。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、マスク設計・描画・検査の各工程に共通的なマスクデータ処理技術、繰り返しパターンやパターン重要度を利用した描画・検査高速化技術等の基本的な開発及びEUVLマスク基盤技術として、許容欠陥の指標明確化、ブランクス位相欠陥検査技術の確立等を完了する。

研究開発期間

2001年度～2010年度

## (3) 半導体アプリケーションチッププロジェクト (運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、情報通信機器、特に、情報家電(車載を含む)の低消費電力化を実現できる半導体アプリケーションチップ技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに情報家電の低消費電力化を実現できるアプリケーションチ

ップ技術を開発する。

研究開発期間

2003年度～2009年度

(4) 次世代プロセスフレンドリー設計技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、あらゆる機器に組み込まれている半導体の低消費電力化を図るため、テクノロジーノード45nm以細の半導体に対応するSoC(System on Chip)設計技術を開発する。具体的には、テクノロジーノード45nm以細の半導体の共通設計基盤技術開発として、DFM(Design For Manufacturing)基盤技術を中核とした設計及び製造の全体最適を確保する全く新しいSoC製造フローを開発する。

技術目標及び達成時期

テクノロジーノード45nm以細のSoC開発において製造性を考慮した共通設計基盤技術を確立し、システムLSIデバイスの省エネルギーを実現するとともに、設計生産性を従来予想に比べ2倍にすることを目標とする。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(5) 半導体機能性材料の高度評価基盤開発(運営費交付金)

概要

情報通信機器の高機能化や低消費電力化等の要求を満たす半導体集積回路を実現するため、新たな機能性材料開発に貢献する評価基盤技術を開発し、さらに開発した機能性材料の半導体及び半導体集積回路への適用を可能とする統合的なソリューション技術を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術的目標及び達成時期

2011年度までに、半導体デバイス性能に直結する接合素子の性能性及び信頼性等、半導体製造プロセス全体を俯瞰しつつ、機能性材料開発が可能となる評価基盤技術を開発し、開発した機能性材料を用いた統合的なソリューションが提案できる材料評価基盤を構築する。

研究開発期間

2009年度～2011年度

4 - - . その他

(1) 次世代構造部材創製・加工技術開発(次世代衛星基盤)

概要

国際商業市場における我が国衛星メーカーの競争力を強化するべく、準天頂衛星システム(利用者に対し、米国が運用するGPSとの補完による高精度な位置情報等の提供を可能にするシステム)の構築に不可欠な基盤技術(産業競争力強



化にも直結する衛星の軽量化、長寿命化に関する技術等)の開発を行う。本プロジェクトの一部については、他部門と比較して需要増加の割合が高い運輸部門のエネルギー消費を抑制すべく、自動車、高速車両等の輸送機器の軽量化・効率化にも資する複合材料製造設計等の基盤技術を確立するためのものであり、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

静止軌道と一定の角度をなす傾斜軌道に複数の衛星を配置し、見かけ上、常に天頂付近に最低1つの衛星を位置させるシステム。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、準天頂衛星システムの構築に不可欠な基盤技術(産業競争力強化にも直結する衛星の軽量化、長寿命化に関する技術等)の開発を実施し、宇宙空間での技術実証を行う。

研究開発期間

2003年度～2010年度

#### 4 - . 運輸部門の燃料多様化

##### 4 - - . 共通

- (1) 新エネルギー技術実用化補助事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

##### 4 - - . バイオマス由来燃料

- (1) 新エネルギー技術研究開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) E3地域流通スタンダードモデル(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) バイオマス等未活用エネルギー実証事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (4) バイオマスエネルギー地域システム化実験事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (5) セルロース系エタノール革新的生産システム開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

##### 4 - - . G T L 等の合成液体燃料

- (1) 天然ガスの液体燃料化(G T L)技術実証研究(運営費交付金)(4 - - 参照)

##### 4 - - . 燃料電池自動車および水素関連技術

- (1) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) 燃料電池先端科学研究(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (4) 水素貯蔵材料先端基盤研究事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (5) 水素社会構築共通基盤整備事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (6) 燃料電池システム等実証研究(運営費交付金)(4 - - 参照)

##### 4 - - . 電気自動車

- (1) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) 革新型蓄電池先端科学基礎研究(運営費交付金)(4 - - 参照)

#### 4 - . 新エネルギー等の開発・導入促進

##### 4 - - . 共通

###### (1) 新エネルギー技術研究開発(運営費交付金)

###### 概要

新エネルギーの自立的普及に向けて、太陽光、風力、バイオマスなど新エネルギー分野でのイノベーションを促進すべく、高効率かつ低コストを目指した先進的技術開発を実施する。具体的には以下の研究開発を実施する。

- A. 革新的な太陽電池の開発を実施する研究拠点を形成し、海外との研究協力等を行いながら、超長期の視野に立って、飛躍的な性能向上を目指した太陽光発電技術の開発を推進する。(革新型太陽電池国際研究拠点整備事業)
- B. 中長期的に、より一層の高効率化と低コスト化を目指して、革新的な材料、構造等を採用した太陽光発電技術の開発を推進する。(太陽光発電システム未来技術研究開発)
- C. 2020年の目標発電コスト14円/kWhおよび太陽光発電システムの大幅な効率向上を実現すべく、未来技術研究開発などで得られた要素技術開発の成果の内、実用化が期待できる太陽電池作製に係る技術について課題を設定し早期実用化を助成する。(太陽光発電システム実用化促進技術開発)
- D. 電力供給源としての太陽光発電の信頼性を確立し、今後の太陽光発電システムの円滑な普及促進を図るため、太陽光発電システムの大量普及時に不可欠な性能評価技術やリサイクル・リユース技術等システムの共通基盤技術に係る研究等を実施する。(太陽光発電システム共通基盤技術研究開発)
- E. PVシステムの普及拡大のため、「集中連系型太陽光発電システム実証研究」の設備を有効利用しながら、認証制度にも資する複数台連系に係わる試験方法を確立する。(単独運転検出装置の複数台連系試験技術開発研究)
- F. 風力発電技術の国際的な動向を把握しつつ、我が国の複雑地形における風力発電利用上の各種課題を克服するための基礎から応用までの技術について研究開発を行う。具体的には我が国の厳しい風特性を反映した風特性モデルの確立及び高々度風況観測を簡便に行うためのリモートセンシング技術の精度検証・評価を行う。

また、全国規模での落雷電流計測、落雷様相観測による雷特性の把握、落雷特性・落雷保護対策と被害実態との相関把握、上記を踏まえた効果的な落雷保護対策の検討及び実機規模での実雷による保護対策検証等を実施し、高精度落雷リスクマップを作成するとともに、風力発電設備へのより効果的な落雷等に対する対策を策定する。(次世代風力発電技術研究開発事業)
- G. 我が国特有の海上特性や気象・海象条件を把握し、これらの自然条件に適した洋上風況観測法や風力発電システムに関する技術開発とその実証を行なうと共に、環境影響評価システム手法を確立する。(洋上風力発電技術研究開発)
- H. バイオマスのエネルギー利用の促進を図るためには、発生地域が分散し、形状・性状が多種多様にわたるバイオマス資源を利用しやすい形態の有用エネルギーへ効率的に転換できる技術を開発する。(バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発)

I . 世界的にもベンチャー企業による太陽光発電、新型風力発電、燃料電池、バイオ燃料分野におけるイノベーション活動が活発化していることを踏まえ、詳細目標設定・多段階選抜形の米国S B I R制度を参考に特定のキーテクノロジーに対するベンチャーのチャレンジを強力に支援する。(新エネルギーベンチャー技術革新事業)

#### 技術目標及び達成時期

- A . 2050年までに「変換効率が40%超」かつ「発電コストが汎用電力料金並み(7円/kWh)」の太陽電池を実用化することを目指した研究開発の中で、変換効率40%超の実現に向けた技術の基礎・探索研究段階と位置づけて研究開発を実施する。
- B . 2020年頃に業務用電力料金並の発電コスト(14円/kWh、モジュール製造原価として75円/W程度)、2030年頃に火力発電の発電コスト(7円/kWh、モジュール製造原価として50円/W程度)の実現に向けた中・長期的な技術開発を行う。
- C . 2015年に向けて市場競争力を備えた本格生産・商用化を目指す。
- D . 2020年度の技術開発目標である発電コスト14円/kWhを目指し、中期的な視点での太陽光発電の普及拡大に資する。
- E . 2009年度末までに、電力系統側が受け入れ可能な、導入台数の制限のない能動型単独運転検出装置の試験方法を確立する。
- F . 2012年度までに、風力発電の基礎から応用までの技術について、国際的な動向を把握しつつ、我が国特有の気象・地形に起因する各種問題(風車耐久性等)を克服するための研究開発を行って、我が国の風車産業の振興に資するとともに、IEA RD&D WINDなどの最先端の国際的風力発電共同研究に研究成果を反映させる。
- また、2012年度までに、高精度落雷リスクマップを作成するとともに、風力発電設備へのより効果的な落雷等に対する対策を策定する。
- G . 2013年度までに、我が国の海象・気象条件に適した、洋上風況観測システム、洋上風力発電システム及び環境影響評価の手法等の技術を確立する。
- H . 2004年度より、バイオマスエネルギー転換プロセスにおける各工程のボトルネックを抽出し、2008年度までに開発が完了するよう、それぞれのボトルネックをブレイクスルーする要素技術開発を提案公募方式により実施する。更に、2005年度より2009年度まで、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2030年の普及を目指した新規な革新的技術を発掘するための先導技術研究開発を提案公募方式により実施する。
- I . 潜在的なオプションの顕在化や関連産業分野の技術開発による技術革新により、新エネルギー導入促進技術オプションの多様化と経済性の向上に寄与する。

#### 研究開発期間

2007年度～2011年度

## (2) 新エネルギー技術フィールドテスト事業(運営費交付金)

### 概要

2010年度の新エネルギー導入目標達成に向け、新技術を活用した太陽光発電及び太陽熱利用システムの有効性の検証、バイオマス熱利用システムの性能・経済性等の検証、風車立地に必要な高所の風況データの収集・解析など総合的な新エネルギーフィールドテストを実施する。具体的には以下のフィールドテストを実施する。

- A. 新技術を活用した太陽光発電システム等を設置し、出力特性等の情報収集及び分析を行うことで、その有効性を確認するとともに、ガイドラインの策定等により広く情報発信を行う。(太陽光発電新技術等フィールドテスト事業)
- B. 新利用形態の太陽熱利用システムや未利用分野においてシステムを設置し、出力特性等の情報収集及び分析を行うことで、その有効性を確認するとともに、ガイドラインの策定等により広く情報発信を行う。(太陽熱高度利用システムフィールドテスト事業)
- C. 広く薄く賦存するバイオマスを、民間企業や研究機関等において研究開発が終了段階をむかえた高効率に熱利用できるシステムを設置し、設置場所の熱需要に合わせたフィールドテストを実施することにより、実運転におけるバイオマス熱利用転換システムとしての課題抽出、解決を行い、早期実用化を図り、バイオマスエネルギーの導入促進を行う。(地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業)
- D. 風力発電の導入目標(2010年度300万kW)を達成するため、共同研究事業者と大型風車の導入普及に必要な高所の風況データの収集・解析・評価を行い、公開する。(風力発電フィールドテスト事業)

### 技術目標及び達成時期

- A. 設置システムについて、2007年度に策定したガイドラインを2009年度、2012年度及び2015年度に見直し改訂する。
- B. 設置システムについて、2007年度に策定したガイドラインを2009年度に改訂する。また、2012年度及び2015年度に見直し改訂する。
- C. 一定レベルまで確立されたバイオマス熱利用技術について、性能や経済性等の状況・データを収集・分析し、熱利用システムの有効性を実証するとともに、これらの結果を公表することで汎用性の高い熱利用システムの確立し、2010年度のバイオマス熱利用の導入目標(308万KL)達成を目指す
- D. 2010年度までに、高所の風況データの解析・評価を行い、導入普及に有用な資料の取りまとめを行い、これらの結果を風力発電事業者、研究機関や風力発電事業を計画している各種団体等に公開することにより、風力発電導入の素地を形成し、風力発電の導入を拡大する。

### 研究開発期間

2007年度～2011年度

### (3) 新エネルギー技術実用化補助金(運営費交付金)

#### 概要

科学技術基本計画における戦略的技術領域・課題にかかる技術課題等で石油代替エネルギーの製造・生成・利用に資する実用化開発を行う民間企業に対し助成支援する。

#### 技術目標及び達成時期

助成事業終了後3年以上を経過した時点で25%の実用化達成率。加えて、知的資産経営の方針に対する審査時の評価を通じて、「技術等の知的資産を活かす経営の下で収益拡大を図る(技術を経営、収益につなげる)」意識を普及させる。

#### 研究開発期間

2000年度～

### (4) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業(運営費交付金)

#### 概要

産業界や社会のニーズに応える石油代替技術のシーズの発掘とその育成、並びに、石油代替技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。この目的のため、産業界からの期待が高い技術領域・課題を提示した上で、大学や独立行政法人の若手研究者等から研究開発テーマを募集する。厳正な外部評価によって石油代替効果があり且つ独創的・革新的なテーマを選定し、研究者代表者個人を特定して助成金を交付する。

#### 技術目標及び達成時期

独創性のある若手研究者等を助成すると共に、中間評価ゲート方式が醸成する競争的環境の下で企業との連携を強化させることにより、10～15年後の実用化が有望な革新的石油代替技術の研究開発を促進する。本事業では革新的石油代替技術の実用化への第1歩となる特許について、助成期間終了後の出願比率を100%とすることを目標とするとともに、石油代替技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。

#### 研究開発期間

2000年度～

## 4 - - . 太陽・風力

### (1) 太陽光発電無線送受電技術の研究開発

#### 概要

将来の新エネルギーシステムとして期待される宇宙太陽光発電システム(SSPS)の中核的技術として応用可能なマイクロ波による太陽光発電無線送受電技術の確立に向け、安全性や効率性等の確保に不可欠な精密ビーム制御技術の研究開発を行う。

#### 技術目標及び達成時期

2012年度までに複数のフェーズドアレイパネル間の位相同期を行い、パイロット信号の方向にマイクロ波を電送するレトロディレクティブ技術を活用した精密ビーム制御技術の確立を目指す。

研究開発期間

2008年度～2012年度

#### 4 - - . 電力系統制御・電力貯蔵

##### (1) 革新型蓄電池先端科学基礎研究(運営費交付金)

概要

電池の基礎的な反応原理・反応メカニズムを解明することで、既存の蓄電池の性能向上及び革新型蓄電との実現に向けた基礎技術の確立を目指す。

技術目標及び達成時期

世界最高レベルの放射光施設を用いた評価装置により、蓄電池の反応メカニズムを解明するとともに、2030年に電気自動車の航続距離500km、コスト1/40を実現すべく、新材料の開発を行う。

研究開発期間

2009年度～2015年度

##### (2) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

##### (3) 大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

#### 4 - - . バイオマス・廃棄物・地熱等

##### (1) E3地域流通スタンダードモデル創成事業(運営費交付金)

概要

離島(全域)におけるエタノール3%混合ガソリン(E3)の製造から給油までの大規模なフィールドテストを通じ、E3利用に関する社会システムモデルの構築と一般社会へ適用する際の技術課題の抽出を行う。

技術目標及び達成時期

2010年の「京都議定書目標達成計画」の導入目標(50万kl)に資するため、2009年度にE3利用の社会モデルを構築し、2011年度までにその検証を行う。

研究開発期間

2007年度～2011年度

##### (2) バイオマス等未活用エネルギー実証事業(運営費交付金)

概要

地域に賦存する未活用な資源であるバイオマスをエネルギーとして有効活用するため、溶融ガス化等熱化学的変換技術による燃料化システムやメタンガス等生物化学的変換技術による燃料化システム等の実証試験事業、事業可能性調査等を実施し、利用ノウハウ等を蓄積、本格的なバイオマス等エネルギーの導入を推進する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、バイオマス等の種別やエネルギー変換手法、更には地域

特性を加味した一連のエネルギー転換システム毎のフィージビリティスタディや試験設備の設置により、バイオマス等の運搬・収集、エネルギー転換及びエネルギー利用に係るデータの収集、分析、評価を実施し、その結果をフィードバックすることによって本格的なバイオマス等エネルギーの導入を目指す。

研究開発期間

2001年度～2009年度

### (3) バイオマスエネルギー地域システム化実験事業（運営費交付金）

概要

バイオマスエネルギーの資源収集・運搬、転換、残渣処理、利用までの一連の利活用システムについての、各要素の連携の最適化を図るための実証を実施することによって、地域特性に適合した地域主導によるバイオマスの地産地消・地域循環型の先導的モデルシステムを構築することによりバイオマスエネルギーの導入を促進する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、国内バイオマス資源の安定的かつ経済的な供給システム、最適なエネルギー転換技術、エネルギー転換後に発生する残渣の処理等の一連の地産地消型エネルギー転換システムについて、ノウハウ蓄積、課題抽出及びその対策方法の策定、技術確立を行う。また、ここで確立されたバイオマスエネルギーシステムは他地域への波及を先導する事例となることを目標とする。

研究開発期間

2005年度～2009年度

### (4) セルロース系エタノール革新的生産システム開発（運営費交付金）

概要

大規模安定供給が可能で、かつ食料と競合しない、草本系、木質系のセルロース系バイオマス原料の栽培からバイオエタノール製造までの一貫生産システムを構築し、環境負荷、経済性等を評価する。加えて、大規模生産に当たり危惧されている、生態系破壊、森林破壊、ライフサイクルでの環境負荷増大等の負の影響についての適切な評価、認証等、持続可能なバイオ燃料の生産拡大を担保する社会システム整備のあり方についても調査研究を行う。

技術目標及び達成時期

2015年までに、製造コスト40円/L以下、エネルギー回収率35%以上を達成するための技術開発を行う。

研究開発期間

2009年度～2013年度

#### 4 - - . 燃料電池

##### (1) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発(運営費交付金)

###### 概要

自動車用、家庭・業務用等に利用される固体高分子形燃料電池(PEFC)の実用化・普及に向け、要素技術、システム化技術及び次世代技術等の開発を行うとともに、共通的な課題解決に向けた研究開発の体制の構築を図る。

###### 技術目標及び達成時期

2009年度までに、固体高分子形燃料電池の経済性・耐久性の向上や高性能化のための技術開発を行い、燃料電池の普及段階へ向けて必要な基本的技術を確立する。

###### 研究開発期間

2005年度～2009年度

##### (2) 燃料電池先端科学研究(運営費交付金)

###### 概要

燃料電池の基本的反応メカニズムについての根本的な理解を深めるために、高度な科学的知見を要する現象解析及びそのための研究体制の整備を行い、現状の技術開発における壁を打破するための知見を蓄積する。

###### 技術目標及び達成時期

2009年度までに、燃料電池内における反応機構を電気化学(電極触媒反応、イオン移動、分子移動等)及び材料化学(溶解・腐食反応、錯形成反応、ラジカル反応、固相内拡散等)の観点から解明する。また、燃料電池新技術の性能を適切に評価・実証するための基本システムを構築する。

###### 研究開発期間

2005年度～2009年度

##### (3) 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発(運営費交付金)

###### 概要

固体酸化物形燃料電池(SOFC)は発電効率が高く、分散型電源として期待されるが、実用化・普及のためには耐久性・信頼性向上、低コスト化等の課題を解決することが必要であり、材料開発や劣化要因解明など基盤的な要素技術の研究を行う。

###### 技術目標及び達成時期

2012年度までに、耐久性・信頼性の向上のための劣化要因解明等の基礎研究、低コスト化のための材料等や高出力セルスタックの開発、起動停止対応等の実用性向上のための技術開発を実施する。

###### 研究開発期間

2008年度～2012年度



#### (4) セラミックリアクター開発（運営費交付金）

##### 概要

低温域かつ高効率なエネルギー変換を可能とする次世代型セラミックリアクターの実現のため、世界最高効率の燃料電池マイクロセルの集積構造技術等の開発を行う。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

##### 技術目標及び達成時期

2009年度までに、新電解質材料の適用や電極反応の高効率化等による、低温作動時（650以下）での出力性能を向上させる材料技術と共に、マイクロセルの集積構造化や精緻なインターフェース構築のための製造プロセス技術を開発。そして、これらの技術を統合することにより、次世代型セラミックリアクターとしてのプロトタイプモジュール実証（出力性能2kW/L等）を行う。

##### 研究開発期間

2005年度～2009年度

#### (5) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発（運営費交付金）

##### 概要

水素の製造・輸送・貯蔵等に係る機器やシステムについて、性能・信頼性・耐久性の向上や低コスト化を目指す水素利用技術の研究開発を行い、水素社会の実現に必要な基盤技術の確立を図る。

##### 技術目標及び達成時期

2012年度までに、水素製造・貯蔵・輸送・充填に関する機器やシステムの信頼性・耐久性向上、低コスト化、性能向上等実用化検証や要素技術開発、及び当該技術を飛躍的に進展させることができる革新的技術開発や調査研究などを行い、その成果を産業界に提供することにより、水素エネルギー初期導入間近の関連機器製造・普及技術として完成させ、水素社会の真の実現に必要な基盤技術の確立を図る。

##### 研究開発期間

2008年度～2012年度

#### (6) 水素貯蔵材料先端基盤研究事業（運営費交付金）

##### 概要

世界トップ水準の優れた研究者を中核に、国内外の研究機関・企業のバーチャルな連携の下、高圧水素貯蔵に比べよりコンパクトかつ効率的な水素貯蔵を可能とする水素貯蔵材料の性能向上に必要な条件等を明らかにすることにより、燃料電池自動車の航続距離の飛躍的向上を図る。

##### 技術目標及び達成時期

2011年度までに、水素貯蔵材料の基本原則、さらには水素貯蔵能力の革新的向上に必要な条件を明らかにすることにより、水素をより安全・簡便・効率的かつ低コストに輸送・貯蔵するための技術基盤を確立する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(7) 水素先端科学基礎研究事業（運営費交付金）

概要

水素の輸送や貯蔵に必須な材料に関し、水素脆化等の基本原理の解明及び対策の検討を中心とした高度な科学的知見を要する先端的研究を、国内外の研究者を結集し行うことにより、水素をより安全・簡便に利用するための技術基盤を確立する。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、水素脆化、水素トライボロジーの基本原理の解明及び対策の検討等を行い、水素をより安全・簡便に利用するための技術指針を産業界に提供する。

研究開発期間

2006年度～2012年度

(8) 水素社会構築共通基盤整備事業（運営費交付金）

概要

燃料電池の導入・普及に資する基盤整備のため、製品性能の試験・評価手法及び国内外の基準・標準の確立を図る。

技術目標及び達成時期

2009年度を目途に、安全性等に係るデータを取得し、そのデータを基に試験・評価手法の確立、国際標準の確立、規制の再点検を三位一体で進める。

研究開発期間

2005年度～2009年度

(9) 固体酸化物形燃料電池実証研究（運営費交付金）

概要

発電効率が高く、分散型電源として期待される固体酸化物形燃料電池（SOFC）の研究開発・実用化の促進のため、耐久性を始めとしたデータの取得・課題抽出等のための実証を実施する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、SOFCシステムの実証試験を数十～数百台規模で実施し、蓄積が不足している耐久性を始めとした実証データの取得・課題抽出等を行い、SOFC技術開発等へのフィードバックを行う。

研究開発期間

2007年度～2010年度

( 1 0 ) 燃料電池システム等実証研究 ( 運営費交付金 )

概要

実条件に近い中での燃料電池自動車等の実証走行や、高圧水素貯蔵システム、多角的な燃料供給システムの検証を進め、水素エネルギー社会における水素利用の課題等を抽出するとともに、燃料電池・水素に対する国民的理解の醸成を図る。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、実使用条件下における技術的課題を抽出するとともに、環境特性、エネルギー総合効率、安全性、耐久性等に関する基準・標準に資するデータを取得し、燃料電池自動車、水素ステーションの研究開発等へのフィードバックを行う。

研究開発期間

2006年度～2010年度

( 1 1 ) 将来型燃料高度利用技術開発 ( 4 - - 参照 )

4 - . 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

4 - - . 軽水炉・軽水炉核燃料サイクル

< 新型軽水炉 >

( 1 ) 次世代軽水炉等技術開発

概要

2030年前後に見込まれる大規模な代替炉建設需要に対応するため、安全性・経済性、信頼性等に優れ、世界標準を獲得し得る次世代軽水炉の技術開発を行う

技術目標及び達成時期

2010年度までに、次世代軽水炉の実現に必要な要素技術開発等及びプラント概念の成立性について見通しを得るための概念設計検討を行う。

研究開発期間

2008年度～2010年度 ( 見直し )

< 軽水炉使用済燃料再処理技術の高度化 >

( 2 ) 使用済燃料再処理事業高度化

概要

再処理施設で用いられるガラス固化技術について、より多くの白金族元素等を含む高レベル廃液を溶融可能な新しい性状のガラスを開発するとともに、これに対応しうる新型の溶融炉を開発することにより、我が国の使用済燃料再処理技術の高度化を図る。新型ガラス溶融炉の開発に際しては、六ヶ所再処理工場の運転経験を反映する研究もあわせ行う。

技術目標及び達成時期

より多くの白金族元素等を含む高レベル廃液を溶融可能なガラス及び溶融炉の開発等によって、より高品質のガラス固化体を製造可能なガラス固化技術を開発する。

また、本事業によって開発されたガラス固化技術を、5年程度で更新が計画されている日本原燃株式会社六ヶ所再処理工場のガラス溶融炉及び同工場のガラス固化施設の運転に反映させる。

研究開発期間

2009年度～2011年度

#### < プルサーマルの推進 >

##### (3) 全炉心混合酸化物燃料原子炉施設技術開発

概要

プルサーマルが当面のプルトニウム利用策として期待されていることを踏まえ、既存の軽水炉に比べ約3倍のプルトニウムを装荷することができる全炉心混合酸化物燃料原子炉に必要な技術開発を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、原子炉の開発に必要な設計、解析、試験等を行い、全炉心混合酸化物燃料原子炉技術を確立する。

研究開発期間

1996年度～2011年度

#### < 軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの円滑な移行のための技術開発 >

##### (4) 高速炉再処理回収ウラン等除染技術開発

概要

FBR実証炉及び関連サイクル施設の早期実現を図るため、文部科学省と連携し、「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」を推進する。そのなかで、次世代再処理工場から発生する高線量回収ウラン等を既存軽水炉燃料製造施設で取扱可能とする、次世代再処理工場と調和可能な回収ウラン等の除染技術について、調査・基礎試験等を行い、商業的に利用可能な除染技術候補の検討等を実施する。選定された技術については、プロセス試験等を実施する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、回収ウラン等の除染プロセスの候補技術の洗い出し及び候補プロセス技術の基礎試験を終了し、次世代再処理技術との適合性の検証を行い、プロセス試験を実施すべき除染プロセス技術を選定する。

また、2015年までに、選定した除染プロセス技術について工学化規模でのプロセス試験を行い、商業的に利用可能な転換前高除染技術としての実効性を検証する。

研究開発期間

2007年度～2015年度

#### < ウラン濃縮技術の高度化 >

##### (5) 遠心法ウラン濃縮技術開発

概要

我が国におけるウラン濃縮技術や生産能力の維持・向上のため、世界最高水準

の性能を有するなど国際的に比肩し得る経済性と性能を有する新型遠心分離機を開発する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、国際役務価格\$100/kg SWU相当を目指して、現在実用化している金属胨遠心分離機の約5倍という高い分離性能や同遠心分離器を上回る寿命など国際的に比肩し得る技術レベルを有する新型遠心分離機の開発を目指すとともに、最終仕様の新型遠心分離機を多数台用いたカスケード試験の実施により商用プラントとしての信頼性を確立し、運転要領の策定を行う。

研究開発期間

2002年度～2009年度

#### < 回収ウラン >

##### (6) 回収ウラン利用技術開発

概要

六ヶ所再処理工場で回収される回収ウランを再濃縮し、再び軽水炉で利用するため、濃縮施設等既存施設への影響等を把握し、転換プロセスを中心とした回収ウラン利用技術を開発する。併せて劣化ウラン酸化固形化についても検討を行う。

技術目標及び達成時期

2012年頃までに、劣化ウランの取扱・管理の容易さや貯蔵効率を向上させるための劣化ウラン酸化固形化（再転換を含む）技術の研究開発を行い、同技術に係る基礎プロセスを確立する。2015年度頃までに、再処理により回収される回収ウランの濃縮が可能な商用遠心分離機的设计を確定する。

研究開発期間

2008年度～2015年度

#### < 共通基盤技術開発 >

##### (7) 革新的実用原子力技術開発

概要

第4世代原子力システムに関する国際フォーラム（GIF）や国際原子力エネルギー・パートナーシップ（GNEP）等の国際協力枠組みにおいて国際連携による研究開発が提案されている技術分野や、近年希薄化が懸念される原子力を支える基盤技術分野について、産業界の参画やニーズ提示のもと、大学等が実施する研究活動への支援や将来の原子力人材の育成を実施しており、各分野の目的に沿った革新的な技術開発を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度まで、基盤技術分野、国際協力技術分野において個別テーマ毎に研究開発を実施する。

研究開発期間

2000年度～2011年度（見直し）

#### 4 - - . 高速増殖炉（FBR）サイクル

##### （1）発電用新型炉等技術開発

###### 概要

FBR実証炉及び関連サイクル施設の早期実現を図るため、文部科学省と連携し、「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」を推進する。具体的には、実証炉に必要な要素技術のうち、設計・建設段階において必要となる実プラント技術として、格納容器設計技術、耐震性評価技術、高温材料設計技術、保守・補修技術、大型構造物製作技術の試験等を実施する。

###### 技術目標及び達成時期

2010年度までに、実証炉の概念設計へ反映しうる設計基準データ等の技術的根拠を得る。

###### 研究開発期間

2007年度～2010年度

##### （2）高速炉再処理回収ウラン等除染技術開発（4 - - 参照）

#### 4 - - . 放射性廃棄物処理処分

##### （1）地層処分技術調査等

###### 概要

###### ）地層処分共通技術開発

高レベル放射性廃棄物等の地層処分における共通的技术として、今後段階的に進められる処分地選定の際に重要となる地質等調査技術の高度化開発を行う。

###### ）高レベル放射性廃棄物関連処分技術開発

高レベル放射性廃棄物処分に係る基盤技術として、人工バリア等の長期性能評価技術、処分場操業の際のオーバーパック溶接や搬送・定置等の遠隔操作技術の開発を行う。

###### ）TRU廃棄物処分関連技術開発

TRU廃棄物の地層処分に係る基盤技術として、高レベル放射性廃棄物との併置処分の可能性も念頭に、TRU廃棄物に固有に含まれる核種の閉じ込め技術や人工バリア等の長期性能評価技術の開発を行う。

###### 技術目標及び達成時期

###### ）地層処分共通技術開発

2011年度までに、処分地選定の初期段階で必要となる地上からの調査技術のうち、特に沿岸域の環境や高精度での地下水評価等に係る調査評価技術の高度化・確証を行う。

###### ）高レベル放射性廃棄物関連処分技術開発

2011年度までに、人工バリア等の長期性能評価技術や遠隔操作等の工学技術について高度化を図り、幅広い地質環境に対応可能な技術選択肢と成立性を提示する。

###### ）TRU廃棄物処分関連技術開発

2011年度までに、TRU廃棄物に固有に含まれるヨウ素129や炭素1

4の閉じ込め、高アルカリ環境下での人工バリアの性能評価等に関し、幅広い地質環境に対応可能なデータ・モデルの整備と技術選択肢の提示を行う。

研究開発期間

1998年度～2011年度

(2) 管理型処分技術調査等

) 地下空洞型処分施設性能確認試験

概要

TRU廃棄物や発電所廃棄物等の余裕深度処分において検討されている「地下空洞型処分施設」の成立性確認のため、実規模大の空洞を利用した総合的な確認試験を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、実規模大の空洞内にコンクリートピット等からなる地下空洞型処分施設を構築し、施工性や初期性能の総合的な確認を行う。

研究開発期間

2006年度～2011年

(3) 放射性廃棄物共通技術調査等

概要

) 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査

放射性廃棄物処分に係る国内外の最新知見の収集・分析、重要かつ基礎的な課題の抽出並びに研究を実施し、長期に及ぶ処分事業等を支える技術基盤の拡充を図る。

) 放射性核種生物圏移行評価高度化調査

放射性廃棄物処分の安全評価に共通的な基盤情報として、生物圏における核種移行プロセスを評価するため、日本の風土を反映した核種移行パラメータ・モデルを整備する。

技術目標及び達成時期

) 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査

2011年度までに、放射性廃棄物処分に共通的な重要基礎技術として、地質環境の長期安定性評価、人工バリアや岩盤の長期挙動評価等に係る知見を整備する。

) 放射性核種生物圏移行評価高度化調査

2011年度までに、沿岸域の環境も含めたわが国表層環境への適用とTRU廃棄物に固有の核種等を考慮した、生物圏核種移行のモデルとデータベースを構築する。

研究開発期間

2001年度～2011年度

#### 4 - - . 原子力利用推進に資する電力系統技術

##### (1) イットリウム系超電導電力機器技術開発(運営費交付金)

###### 概要

世界的にも我が国が最先端の技術力を有する次世代高温超電導線材を活用し、経済社会の基盤となる電力の安定的かつ効率的な供給システムを実現するため、系統を適正に制御し、電力供給を安定化させるための技術及び発電電力を無駄なく輸送するための高効率な送電技術の確立を目指す。

###### 技術目標及び達成時期

2012年度までに、イットリウム系超電導線材を用いたSME S、電力ケーブル、変圧器実現のための重要な技術開発を行い、各機器の成立性を実証する。

###### 研究開発期間

2008年度～2012年度

##### (2) 高温超電導ケーブル実証プロジェクト(運営費交付金)

###### 概要

革新的な高効率送電技術を確立して高温超電導ケーブルの実用化を促進するため、工業生産プロセスで実用化レベルに達している高温超電導線材(DI-BSCCO等)を活用し、首都圏の系統に接続する実証試験及び評価を行う。

なお、本事業は、発電用施設による電気の供給の円滑化を図る観点から行うものである。

###### 技術目標及び達成時期

2011年度までに、200MVA級の中間接続部を有した三心一括型高温超電導ケーブルを、冷却装置や保護装置などの付帯設備とともに66KV実系統に接続して、12ヶ月以上の長期連系試験を行うことによって総合的な安全性や信頼性を実証する。

###### 研究開発期間

2007年度～2012年度

#### 4 - - . その他電力供給安定化技術

##### (1) 大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証事業(運営費交付金)

###### 概要

大規模太陽光発電を電力系統に連系した場合に課題となる系統安定化対策やピーク対策のための技術等を開発するとともに、その有効性を実証する。

また、国内外の先進的な次世代技術の価格性能を比較することを通じて技術開発を加速する。

###### 技術目標及び達成時期

2010年度までに、下記の実証研究を行い、その有効性を確認する。

(イ) 蓄電池等を組み合わせた出力変動抑制システムの有効性。

(ロ) 発電出力のピーク制御(午後のピーク帯へのシフト)の有効性。

(ハ) 大型インバータによる高調波抑制システムの有効性。

(ニ) 国内外メーカーの太陽電池モジュールの特性比較を行い、性能、経済性等



を比較・検証。

研究開発期間

2006年度～2010年度

## (2) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)

概要

蓄電池技術は、新エネルギーの出力安定化や燃料電池自動車(FCEV)・ハイブリッド自動車(HEV)・電気自動車(EV)等の高効率次世代自動車に共通する重要なコア技術である。そこで、高性能蓄電システムに係る要素技術開発、新材料開発及び基盤技術の開発を行う。

A．系統連系円滑化蓄電システム技術開発

B．次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発

技術目標及び達成時期

A．2010年度末において、寿命10年、コスト4万円/kWh、1MW規模のシステムおよび要素技術の確立と2030年において寿命20年、コスト1.5万円/kWh、20～30MW規模の蓄電システムを見通せる技術開発。また、新エネルギー対応の充放電パターン等、基礎データの整備、大型化に伴う安全性や寿命等の評価手法の確立。

B．2011年度末において、電池開発では、0.3kWhモジュールを作製し、重量エネルギー密度100Wh/kg、出力密度2000W/kg、寿命10年、コスト4万円/kWhを達成すること(条件:3kWhの組電池、100万台生産ベース)。電池構成材料及び電池反応制御技術の開発では重量エネルギー密度200Wh/kg、出力密度2500W/kg、コスト3万円/kWhを小型単電池で達成すること(上記と同条件)。たま、電池周辺機器開発では、格段の高性能化、コンパクト化、低コスト化を達成すること。さらに、重量エネルギー密度500Wh/kgを見通せる新規概念・構造の蓄電池基礎開発の他、劣化・寿命診断法、安全性評価などの各種試験法等の開発およびそれら共通基盤技術の基準・標準化。

研究開発期間

2007年度～2011年度

## (3) 発電プラント用超高純度金属材料の開発(運営費交付金)

概要

超高純度金属材料を発電設備の蒸気配管等に実用化することを目指し、高純度金属材料の高度化に向けた低コスト・量産化製造技術を開発し、実使用環境における超高純度金属材料の耐久性試験等を行う。

なお、本事業は、発電用施設における電気の供給の円滑化を図る観点から行うものである。

技術目標及び達成時期

2009年までに、不純物総量100ppm未満、溶解量数100kg以上の低コスト・量産化技術製造技術を開発するとともに、製造された超高純度材料が発電プ

ラントの各種機器に適用でき、本材料の持つ優れた特性を長期に亘って発揮できることを確認する。

研究開発期間

2005年度～2009年度

#### 4 - . 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

##### 4 - - . 石油・天然ガス・石炭の探鉱・開発・生産技術

###### (1) 石油・天然ガス開発・利用促進型大型/特別研究(運営費交付金)

概要

石油及び可燃性天然ガス資源の開発に係る技術の振興を図る観点から、大水深、複雑な地層といった悪条件化が進む石油・天然ガスの探鉱・開発技術、利用拡大が見込まれる天然ガス田の開発促進に資する天然ガス有効利用技術等について、短期間で実用化が期待され、民間ニーズに直結した研究開発を提案公募により実施する。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、我が国の石油・天然ガスの探鉱・開発技術力の向上、及び天然ガスの利用の促進に向けた天然ガスの有効利用技術の開発を行う。

研究開発期間

2001年度～2012年度

###### (2) 石炭生産技術開発

概要

石油代替エネルギーである石炭の安定供給を図るため、発熱量が低いものの低灰分、低硫黄といった特徴を有する低品位炭の有効利用を目的として、低品位炭の発熱量を高め、自然発火性を抑制する低品位炭改質技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、3500～5000kcal/kgの発熱量の低品位炭を瀝青炭並みの6000kcal/kg以上に改質する低品位炭改質技術を開発し、600t/d大型実証プラントでの製造技術を確立する。

研究開発期間

2006年度～2009年度

###### (3) 石油精製物質等簡易有害性評価手法開発(運営費交付金)

概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から、石油製品等に含まれる化学物質によるリスクを把握し、必要な対策を適切に行うことを可能とするため、*in vitro*培養系技術等の活用により遺伝子組換え細胞等を用いた*in vitro*系簡易有害性予測手法、また、トキシコゲノミクスを活用した短期動物試験結果と相関する遺伝子発現データセットを開発する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、遺伝子導入技術、幹細胞分化誘導技術、生物発光技術等

を適用した培養細胞を用いて、試験期間1ヶ月程度、発がん性、催奇形性及び免疫毒性を予測評価できる試験手法を開発し、また、遺伝子発現解析技術を短期動物試験に適用し、28日間反復投与試験結果と相関する遺伝子発現データセットを完成させる。また、標準的な試験プロトコルを策定する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

#### (4) 石油資源遠隔探知技術の研究開発

概要

我が国が開発・運用する多様な地球観測センサ(ASTER、PALSAR等)の地球観測データを用いて、石油・天然ガス等の安定供給確保のため、資源開発・探査、環境観測等に有効なデータの処理解析手法の研究開発を行う。また、地球観測データのような大容量のデータを容易に扱えるシステムの研究開発を実施することで資源開発・探査、環境観測を含む多様な分野でのリモートセンシングの利用拡大を図る。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、資源開発・探査、環境観測等の分野における地球観測データ処理・解析技術の向上及び地球観測データの利用の拡大を図る。

研究開発期間

1981年度～2010年度

#### (5) ハイパースペクトルセンサ等の研究開発(運営費交付金)

概要

資源開発に有効な岩石・鉱物や地質構造解析の高次元解析を可能とするハイパースペクトルセンサの開発を行うとともに、軌道上におけるデータ取得の実証を行い、センサ技術の確立を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までにスペクトル分解能200バンド前後のハイパースペクトルセンサを開発し、地表面のスペクトル情報を取得して資源開発に有効なセンサ技術の実証を行う。

研究開発期間

2007年度～2011年度

#### (6) 次世代合成開口レーダ等の研究開発

概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から行うものであり、石油及び可燃性天然ガス資源等の開発に資するため、資源探査能力を格段に向上した合成開口レーダである次世代合成開口レーダ(PALSAR)の健全性評価やセンサを維持することにより、取得される画像データを用いた石油・天然ガス資源の遠隔探知を行う技術を確立する。

#### 技術目標及び達成時期

PALSAARの開発、健全性の評価・維持を実施することにより、2010年度までに、レーダ技術の高度化（アンテナ指向の電子制御化、分解能の向上、多偏波観測等）を図る。

#### 研究開発期間

1993年度～2010年度

### (7) 極軌道プラットフォーム搭載用資源探査観測システムの研究開発

#### 概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から行うものであり、石油及び可燃性天然ガス資源等の開発に資するため、資源探査能力を格段に向上した光学センサである資源探査用将来型センサ（ASTER）の健全性評価やセンサを維持することにより、取得される画像データを用いた石油・天然ガス資源の遠隔探知を行う技術を確立する。

#### 技術目標及び達成時期

ASTERの開発、健全性の評価・維持を実施することにより、2010年度までに、センサ技術の高度化（ポインティング機能の追加、分解能の向上、熱センサの搭載等）を図る。

#### 研究開発期間

1987年度～2010年度

## 4 - - . 石油・天然ガスの有効利用技術

### (1) 石油燃料次世代環境対策技術開発

#### 概要

バイオマス燃料から製造した石油製品が自動車排出ガスに及ぼす影響、新たな自動車燃焼技術（自着火燃焼（着火までに燃料と空気を十分に混合し、その混合気体を点火プラグの使用なしで圧縮することにより着火させる燃焼法でNOx排出低減、熱効率が高い等の利点がある））に適応した燃料に関する技術開発を実施する。

また、建設機械、発電機等のオフロードエンジンの排ガスによる環境負荷低減や石油燃焼機器の効率的な利用を進めるための技術開発を実施する。

#### 技術目標及び達成時期

バイオマス燃料の利用時における、燃料と自動車エンジン技術の両面の影響評価を進め、技術的課題を解決し、運輸部門における燃料多様化を目指す。

また、オフロードエンジンの規制は欧米が先行していることから、2012年頃、欧米において規制強化が予定されている排ガス規制に対応した技術を確立し、我が国における規制強化に対応可能な燃焼技術を実現することを目指す。

#### 研究開発期間

2002年度～2011年度

## (2) 石油精製高度機能融合技術開発

### 概要

石油精製業を中心とする石油コンビナート全体の横断的かつ高度な運営機能の融合を図り、単独企業のみでは達成困難なコンビナート域内の省資源、省エネルギーの向上を進めるため、異業種異企業間における限りある貴重なエネルギー資源の利用効率の高い生産技術に関し技術の開発・実証を行う。

### 技術目標及び達成時期

2009年度までに、我が国における他のコンビナートへの波及効果を含め、CO<sub>2</sub>排出量を63万トン/年削減可能とする技術を確立する。

### 研究開発期間

2006年度～2009年度

## (3) 将来型燃料高度利用技術開発

### 概要

省エネ、二酸化炭素削減効果が見込まれる燃料電池自動車の燃料である高純度(99.99%以上)水素を安定的かつ経済的に供給することは重要である。石油は、その長所として豊富な水素供給余力と安価な水素製造技術及び全国に展開した災害に強いガソリンスタンドを保有している。これら石油の長所を活かした水素供給システムの確立により、水素社会の早期実現に貢献するものである。本事業では、製油所からの高純度水素供給技術開発とガソリンスタンドを拠点とする高純度水素製造技術開発を行う。

### 技術目標及び達成時期

コスト低減のため製油所におけるナフサから高効率(80%以上)な高純度水素製造を可能とする新たな技術を開発する。また、供給地のガソリンスタンドにおいて有機ハイドライドから高純度の水素を高効率(80%)に取り出すための水素発生装置を開発する。また、脱硫後の灯油硫黄分を検出限界以下の10ppb以下とする脱硫剤の開発を行うとともに、貴金属使用量を2-3wt%から0.5wt%以下まで低減しても、従来と同等の高い性能が維持できる改質触媒を開発する。さらに、膜分離型反応器を用いた99.99%高純度水素の製造効率を80%、4万時間の耐久性が期待できる水素製造システムを開発する。

### 研究開発期間

2008年度～2010年度

## (4) 革新的次世代石油精製等技術開発

### 概要

原油価格の高騰・高止まりや原油の重質化と製品需要構造変化等の石油を巡る大きな環境変化のなか、連産品である石油製品を今後とも長期的に安定化かつ効率的に供給するためには、製油所の更なる高度化に向けた技術の開発実用化が必要である。このため、非在来型原油を含めた重質油を原料として、製油所におけるボトムレス化、余剰となる分解留分の高付加価値等のためのプロセスや触媒技術等の開発を行う。また、次世代の技術シーズ創出のため、これまでの技術とは

異なる発想により我が国唯一の革新的な新規触媒研究、新規膜分技術研究、新規製造プロセス研究等を産官学の連携等により実施する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに重質油対応型高過酷度接触流動分解技術(HS-FCC)については、3千BD規模(商業レベルの1/10規模)の実証研究を通じ、プロピレン収率20%以上(既存技術4%程度)、将来不足が予想される高オクタン価ガソリン基材(RON98(既存技術92程度))の製造を可能とする技術を確立する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

#### (5) 次世代高信頼性ガスセンサー技術開発

概要

一酸化炭素中毒やガス漏れなどのガス事故を限りなくゼロに近づけるため、センサー素子のナノレベルでのメカニズム解析及び開発設計を行い、コードレスで高信頼性を有する次世代高信頼性ガスセンサ(COセンサ・メタンセンサ)を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、最先端のナノテクノロジー及びMEMS技術を導入し、電池駆動で5年以上の長寿命、高信頼性(数百ppm以下の故障率)、低コストなCOとメタンのセンサを開発する。

研究開発期間

2008年度～2011年度

#### (6) 天然ガスの液体燃料化(GTL)技術実証研究(運営費交付金)

概要

硫黄等を含まず排出ガスがクリーン、着火性が高いという特徴を有することから石油系燃料代替として期待されるGTLについて、天然ガス中に含まれるCO<sub>2</sub>を除去せず、原料として積極的に活用することから、従来利用が困難であったCO<sub>2</sub>を多く含むガス田からの天然ガスが利用可能、CO<sub>2</sub>除去装置が不要であることによる生産設備コストの低減が可能、といった強みを有する我が国独自のGTL製造技術の確立を図る。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、実証プラントによる運転研究(500バレル/日)を行い、商業規模でのGTL製造技術を確立する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

#### (7) 石油・天然ガス開発・利用促進型大型/特別研究(運営費交付金)(4 - - 参照)

#### (8) 高効率ガスタービン実用化技術開発(4 - - 参照)

#### 4 - - .メタンハイドレート等非在来化石資源の利用技術

##### (1)メタンハイドレート開発促進委託費

###### 概要

日本周辺海域に相当量の賦存が見込まれ、国産のクリーンなエネルギー資源として有望なメタンハイドレートを利用可能とするため、資源量評価手法、生産手法及び環境影響評価手法等の確立のための技術開発を行う。

###### 技術目標及び達成時期

2016年度までに、商業的産出のための技術を整備することを目指し、日本周辺海域におけるメタンハイドレートの賦存状況と特性の明確化、有望賦存海域からのメタンハイドレート資源フィールドの選択及び現場産出試験等による生産手法の確立等を推進する。

###### 研究開発期間

2001年度～2016年度

##### (2)革新的次世代石油精製等技術開発(4 - - 参照)

#### 4 - - .石炭クリーン利用技術

##### (1)革新的ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト

###### 概要

石炭の高効率な利用を図るために、

- ・ 酸素吹きによる石炭ガス化発電の開発実証及び化学吸収法によるCO<sub>2</sub>の分離・回収技術の実証
- ・ 石炭ガス化発電からCCSまで一貫したトータルシステムの設計等
- ・ 次世代IGCC(石炭ガス化複合発電)など革新的な石炭ガス化技術にかかる先進基盤研究

を行う。

###### 技術目標及び達成時期

2009年度までに、パイロットプラントにおいて、高圧の石炭ガスからCO<sub>2</sub>の分離・回収技術の確立及びガス化炉の信頼性向上へ向けて、3炭種以上の適応炭種拡大試験を実施する。

###### 研究開発期間

2007年度～2012年度

##### (2)国際革新的ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト補助金

###### 概要

石炭火力発電から排出されるCO<sub>2</sub>の削減技術について諸外国との実証事業等を実施し、当該技術の普及基盤を整備することにより、エネルギー供給に対する環境上の制約を取り除き、もって我が国エネルギー需給構造の安定化を図る。

###### 技術目標及び達成時期

石炭ガス化技術等実証普及事業では、海外において取り組みが進められているゼロエミッション型石炭火力発電の石炭ガス化・発電技術、CO<sub>2</sub>分離回収技術、

CO<sub>2</sub>輸送貯留技術等に関する情報収集や関連する技術調査の実施等により、我が国におけるゼロエミッション型石炭火力発電の実用化開発に資する技術・知見を得る。

酸素燃焼国際共同実証事業では、既存の微粉炭火力発電の改造による酸素燃焼方式のゼロエミッション型石炭火力発電プラントの実用化を目標とするものであり、既存のプラントの改造により対応可能であること、酸素燃焼を行うことにより、燃焼ガスからCO<sub>2</sub>を分離する装置が不要であることから、比較的 low コストで極めて大きなCO<sub>2</sub>削減効果が期待できる。

石炭火力発電原油増進回収国際共同事業では、2008年5月の日中首脳会談で合意された「日中間でのCCS-EOR（二酸化炭素の回収・貯留、石油増進回収法）協力」に係る日中共同事業として、中国における石炭火力発電CCS-EOR事業の事前調査としてCCS-EORの有効性確認、CCS-EORの経済性・事業実現性等を検討する。これらにより、多量のCO<sub>2</sub>排出削減を実現するモデルの構築、世界のCO<sub>2</sub>排出削減への貢献が期待出来る。

研究開発期間

2007年度～2016年度

### (3) 先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発費補助金

概要

従来の超々臨界圧火力発電(USC)は、蒸気温度の最高温度は630程度が限界で、送電端熱効率も42～43%が原理的限界といわれてきた。しかしながら、近年の材料技術の進歩により、700以上の蒸気温度を達成できる可能性が見えてきたことから、これらの材料を活用した先進超々臨界圧火力発電技術(A-USC)の開発を行うものである。A-USCは、蒸気温度700級で46%、750級で48%の高い送電端熱効率の達成が可能な技術であり、2020年以降増大する経年石炭火力発電のリプレース需要に対応するため、早急に技術開発を進める必要がある。そのため、ボイラーメーカー、タービンメーカー及び材料メーカーが共同でA-USCの技術開発に取り組む。

技術目標及び達成時期

平成22年度までにシステム基本設計を完了し、シミュレーションにより送電端熱効率46%～48%の達成が可能なことを確認する。平成24年度までにボイラー、タービン部材等が700以上の蒸気温度に耐えられるかどうかを試作、評価し、経済性を含めたシステム成立性への見通しを得る。平成27年～平成28年度に実缶試験、回転試験を実施し、蒸気温度700以上の条件下でボイラー、タービンの信頼性を確認する。また、ボイラー、タービン部材について3万～7万時間の長期信頼性試験を実施し材料特性を検証する。

研究開発期間

2008年度～2016年度



(4) 石炭利用技術開発(一部、運営費交付金)

概要

環境適合的な石炭利用の拡大を図るため、石炭利用プロセスにおける環境影響を低減させる手法の開発等、クリーン・コール・テクノロジーの開発を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、

- ・ 化学原料等に利用可能な合成用ガスを石炭乾留ガスから無触媒で製造する技術をパイロットプラントで確立する(無触媒石炭乾留ガス改質技術開発)。

2011年度までに、

- ・ 石炭利用プロセスにおいて、環境分析技術の高精度化、環境影響成分の挙動解析のためのモデルの構築等により、環境への影響低減手法を開発する(戦略的炭化ガス化・燃焼技術開発)。

研究開発期間

1995年度～2011年度

- ・ 戦略的炭化ガス化・燃焼技術開発 2007年度～2011年度
- ・ 無触媒石炭乾留ガス改質技術開発 2006年度～2009年度

(5) 噴流床石炭ガス化発電プラント開発費補助金

概要

供給安定性に優れた石炭の高効率かつ低環境負荷での利用を図るため、石炭をガス化して燃料とし、コンバインドサイクル(ガスタービンと蒸気タービンの組合せ)を駆動する高効率発電技術(石炭ガス化複合発電技術(IGCC: Integrated coal Gasification Combined Cycle)の実証試験を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、25万kWの実証機を用いた実証試験により、熱効率40.5%(送電端、高位発熱量ベース)を目指す。この目標は50万kWの商用機における熱効率46～48%に相当する。本技術は実証試験終了後の2010年度より商用化が可能である。

研究開発期間

1999年度～2009年度

(6) 資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発(運営費交付金)(4 - 参照)

4 - - . その他・共通

- ( 1 ) 新エネルギー技術実用化補助事業 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 2 ) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 3 ) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 4 ) 燃料電池先端科学研究 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 5 ) 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 6 ) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 7 ) 水素貯蔵材料先端基盤研究 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 8 ) 水素社会構築共通基盤整備事業 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 9 ) 水素先端科学基礎研究事業 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 10 ) 固体酸化物形燃料電池実証研究 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 11 ) 燃料電池システム等実証研究 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )

## 5．政策目標の実現に向けた環境整備（成果の実用化、導入普及に向けた取組）

### 5 - ．総合エネルギー効率の向上

- 事業者単位の規制体系の導入
- 住宅・建築物に係る省エネルギー対策の強化
- セクター別ベンチマークの導入と初期需要創出（高効率機器の導入補助等）
- トップランナー基準の対象機器の拡充等
- アジアにおける省エネルギー対策の推進を通じた我が国の国際競争力の向上
- 国民の省エネルギー意識の高まりに向けた取組

### 5 - ．運輸部門の燃料多様化

- 公共的車両への積極的導入
- 燃費基準の策定・改定
- アジアにおける新エネルギー協力
- 国際標準化による国際競争力向上

### 5 - ．新エネルギー等の開発・導入促進

- 補助金等による導入支援
- 新エネルギーベンチャービジネスに対する支援の拡大
- 新エネルギー産業構造の形成
- 電気事業制度・ガス事業制度の在り方の検討

### 5 - ．原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保

- 電力自由化環境下での原子力発電の新・増設の実現
- 資源確保戦略の展開
- 次世代を支える人材育成
- 中小型炉の海外市場への展開、我が国原子力産業の国際展開支援
- 原子力発電拡大と核不拡散の両立に向けた国際的枠組み作りへの積極的関与
- 国と地域の信頼強化

### 5 - ．化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

- 資源国等との総合的な関係強化（研究開発の推進・協力、人材育成・技術移転、経済関係強化など）
- 化石燃料のクリーンな利用の開拓

## 6．研究開発の実施に当たっての留意事項

事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金による実施されるもの（事業名に（運営費交付金）と記載したもの）は、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。

また、事業名に（採択テーマ）と記載された事業は、提案公募事業により採択されたテーマを記載したものであり、その採択や評価等は、提案公募事業の実施機関の責任の下、実施されるものである。

## 7. 改訂履歴

- (1) 平成16年7月7日付け、省エネルギー技術開発プログラム基本計画、新エネルギー技術開発プログラム基本計画、燃料技術開発プログラム基本計画、電力技術開発プログラム基本計画、原子力技術開発プログラム基本計画制定。固体高分子形燃料電池/水素エネルギー利用プログラム基本計画(平成16・02・03産局第6号)は、新エネルギー技術開発プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (2) 平成17年3月31日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第8号) 新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第10号) 燃料技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第12号) 電力技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第11号) 原子力技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第13号)は、廃止。
- (3) 平成18年3月31日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第14号) 新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第9号) 燃料技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第17号) 電力技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第12号) 原子力技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第13号)は、廃止。また、次世代低公害車技術開発プログラム基本計画(平成17・03・29産局第2号)は、省エネルギー技術開発プログラム基本計画及び燃料技術開発プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (4) 平成19年4月2日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成17・03・31産局第19号) 新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第15号) 燃料技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第18号) 電力技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第17号) 原子力技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第16号)は、廃止。
- (5) 平成20年4月1日付け、エネルギーイノベーションプログラム基本計画制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成19・03・26産局第1号) 新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成19・03・20産局第4号) 燃料技術開発プログラム基本計画(平成19・03・19産局第7号) 電力技術開発プログラム基本計画(平成19・03・16産局第3号) 原子力技術開発プログラム基本計画(平成19・03・23産局第2号)は、本プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (6) 平成21年4月1日付け制定。エネルギーイノベーションプログラム基本計画(平成20・03・25産局第5号)は廃止。

## 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及び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。

更に、2012年7月から発電事業を対象として再生可能エネルギーの固定価格買取制度が実施され、同年9月にはバイオマス活用推進会議により地域におけるグリーン産業の創出と自立・分散型エネルギー供給体制の強化の実現を推進するバイオマス事業化戦略が決定し、バイオマスエネルギーの早急な導入拡大が望まれている。

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(負担率: 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(負担率: 2/3)〕

## 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、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、「NEDO」という。)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。

## 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、「独立行政法人新エネルギー・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

「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第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

「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第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

「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第1号ロ」

④ バイオ燃料製造の有用要素技術開発事業

「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第1号ロ」

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。

(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可否を判断する。

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、CO<sub>2</sub>削減率5割以上（対ガソリン）、化石エネルギー収支2\*<sup>1</sup>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\*<sup>2</sup>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、CO<sub>2</sub>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、基盤技術を確認する。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、CO<sub>2</sub>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/h a・年、木質系17 t/h a・年
製造	一貫プロセスとして	エネルギー使用量6MJ/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2.5MJ/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\*<sup>3</sup>、ERIA\*<sup>4</sup>、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-エネルギー革新技术計画」(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

ビジネスベ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イ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<sup>(※1)</sup>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ー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)CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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きている。

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）CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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tCO<sub>2</sub>eq/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m<sup>3</sup>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m<sup>3</sup>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m<sup>3</sup>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m<sup>3</sup>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。

確立する。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)CO<sub>2</sub>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術計画では40円/L)での実用化に資する有用要素技術を確認する。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、「独立行政法人新エネルギー・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、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第ロ号に基づき実施する。