

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
I. 事業の位置付け・必要性について	I-1
1. 事業の背景及び目的	I-1
2. 事業の位置付け	I-1
2-1. 我国のバイオ燃料政策及び達成目標における位置づけ	I-1
2-2. バイオ燃料技術革新計画について	I-3
2-3. 研究開発政策上の位置付け	I-5
3. NEDO が関与することの意義	I-5
4. 実施の効果	I-6
5. 海外での研究開発動向	I-6
II. 研究開発マネジメントについて	II-1
1. 事業の目標	II-1
2. 事業の計画内容	II-3
3. 事業の実施体制	II-8
4. 事業の運営管理	II-10
5. 情勢変化への対応	II-13
6. 知財マネジメント	II-13
7. 評価に関する事項	II-13
III. 研究開発成果について	III-1
1. 事業全体の成果	III-1
2. 研究開発項目毎の成果	III-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	III-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	III-49
2-3. バイオ燃料の持続可能性に関する研究	III-77
IV. 実用化、事業化の見通しについて	IV-1
1. 成果の実用化可能性について	IV-1
2. バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発	IV-2
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-2
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-8
添付資料	
添付資料 1 エネルギーイノベーションプログラム基本計画	1
添付資料 2 「バイオマスエネルギー技術研究開発」基本計画	9
添付資料 3 事前評価書	18

事業原簿概要

		作成日	平成 21 年 3 月 12 日
		改訂日	平成 23 年 6 月 27 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/三代川洋一郎・濱田利幸・西川向一		
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、CO₂削減率5割以上（対ガソリン）、化石エネルギー収支2*¹以上）の実現に向けて、食料と競合しない草本系又は木質系バイオマス原料からのバイオエタノール生産について、大規模安定供給が可能なセルロース系目的生産バイオマス*²の栽培からエタノール製造プロセスまでの一貫生産システムを構築し、研究開発を実施することにより環境負荷・経済性等を評価する。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><位置付け></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、CO₂削減率5割以上（対ガソリン）、化石エネルギー収支2以上）を実現するために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><必要性></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 ₂ 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		

	<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 （予定）	H25fy （予定）	総額 （予定）
	一般会計	0	0	0	0	0	0
	特別会計（需給）	759	1851	2424	1246	1166	7446
	総予算額	759	1851	2424	1246	1166	7446
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王子製紙（株）/（独）産業技術総合研究所/新日鉄エンジニアリング（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、気候帯毎に国内（一部海外も含む）での圃場試験を実施し、対象植物の絞り込みを行うと共に、それらの最適組合せた栽培モデルの立案と栽培コスト試算を行った。また、エタノール製造プロセスについて、ラボ試験によりプロセス設計に必要なデータを取得し、ベンチプラントのプロセス設計及び詳細設計を完了し、現在建設中である。ベンチプラントは、本年10月末に完成する予定で、年度内には試運転を完了し、試験運転も開始できる見込みである。</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（王子製紙/産業技術総合研究所/新日鉄エンジニアリング）」</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（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すると共に、伐採現場等の調査から得られた基礎データを基に伐</p>						

	<p>採・輸送コストも考慮したうえで収穫・運搬に関する施業工程の最適化を行った。また、エタノール製造プロセスについて、熱収支や物質収支の検討した上で、パイロットプラントのプロセス設計及び詳細設計を完了し、現在建設中である。パイロットプラントは、本年 10 月末に完成する予定で、年度内には試運転を完了し、試験運転も開始できる見込みである。</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。</p> <p>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。</p> <table border="1" data-bbox="472 927 1406 1003"> <tr> <td>投稿論文</td> <td>査読付き 11 件</td> <td>その他 21 件</td> </tr> <tr> <td>特許</td> <td colspan="2">出願 15 件</td> </tr> </table>		投稿論文	査読付き 11 件	その他 21 件	特許	出願 15 件	
投稿論文	査読付き 11 件	その他 21 件						
特許	出願 15 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 中間評価実施予定 平成 26 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です。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
	GREET (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リン酸 (ニコチンアミドアデニンジヌクレオチドリリンさん、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	<p>圧力スウィング吸着法 (Pressur Swing Adsorption)。</p> <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>Renewable Fuels Standard の略。</p> <p>米国の再生可能燃料導入義務制度 (Renewable Fuel Standard) 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>Renewable Transport Fuel Obligation の略。</p> <p>英国の再生可能輸送燃料義務制度 (Renewable Transport Fuel Obligation) 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	X 線回折 (X - ray diffraction)

ア	アセチル基	一価の基 CH_3CO -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>(バイオ燃料へのエネルギー投入量) $= (\text{エネルギー投入量合計}) - (\text{副産物のエネルギー価値})$</p> <p>2. バイオ燃料と副産物の価値の比を用いる按分法で、プロセス投入されたエネルギー量合計を按分した結果を、バイオ燃料に投入されたエネルギーとみなす方法のことをいう。市場価値と比較する場合を「価格按分法」、保有エネルギーと比較する場合を「熱量按分法」という。</p> <p>(バイオ燃料へのエネルギー投入量) $= (\text{エネルギー投入量合計})$ $\times \frac{(\text{バイオ燃料の価値})}{(\text{バイオ燃料の価値}) + (\text{副産物の価値})}$</p>
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) ₂ 、CaCO ₃ 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（＝ガビ）	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-グルコシダーゼなどから成る。
	セルロース	セルロース (cellulose) とは、分子式 (C ₆ H ₁₀ O ₅) _n で表される炭水化物（多糖類）。植物細胞の細胞壁および繊維の主成分で、天然の植物質の1/3を占め、地球上で最も多く存在する炭水化物である。繊維素とも呼ばれる。自然状態においてはヘミセルロースやリグニンと結合して存在するが、綿はそのほとんどがセルロースである。
	セルロース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	電動の石臼型粉砕機。ディスクはセラミックの他に金属製もある。湿式および乾式粉砕が可能。

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 ₂	土壌中に含まれる炭素を CO ₂ 換算したもの
	土壌炭素ストック	土壌中に含まれる炭素
	土地利用変化	森林、耕作地等の地上部の利用形態が変化すること
	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 ₂ CO ₃ などの陽イオンが Na の塩基類。
	ナノ空間形成法	産業技術研究所で開発している木質系バイオマス等の酵素糖化前処理技術。木質等を湿式粉碎し、ナノサイズの超微細繊維（セルロースマイクロフィブリル）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しうる非枯渇性資源として注目されている他、二酸化炭素(CO ₂)の総排出量が増えない（カーボンニュートラル）と言われていたことから、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碎処理を行う装置。容器やボールの材質には金属の他にセラミックなどが用いられている。乾式の他、湿式粉碎も可能。
マ	前処理	セルロース、ヘミセルロースは、天然バイオマス中ではリグノセルロースとして存在しており、そのままでは酵素分解を受けにくい。基質の比表面積を上げる、またヘミセルロースやリグニンを変性、除去することによりセルロース繊維と酵素の接触性を高める様々な処理法のこと。 物理的処理として、機械的粉碎（ボールミル）、高温高圧（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. 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度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、さらには食糧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. 事業の位置付け

2-1. 我国のバイオ燃料政策及び達成目標における位置づけ

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、食糧との競合、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糧との競合、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CO₂削減効果を評価したバイオエタノールをガソリンに混和して自動車燃料として供給して行くことが課せられている。

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糧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。

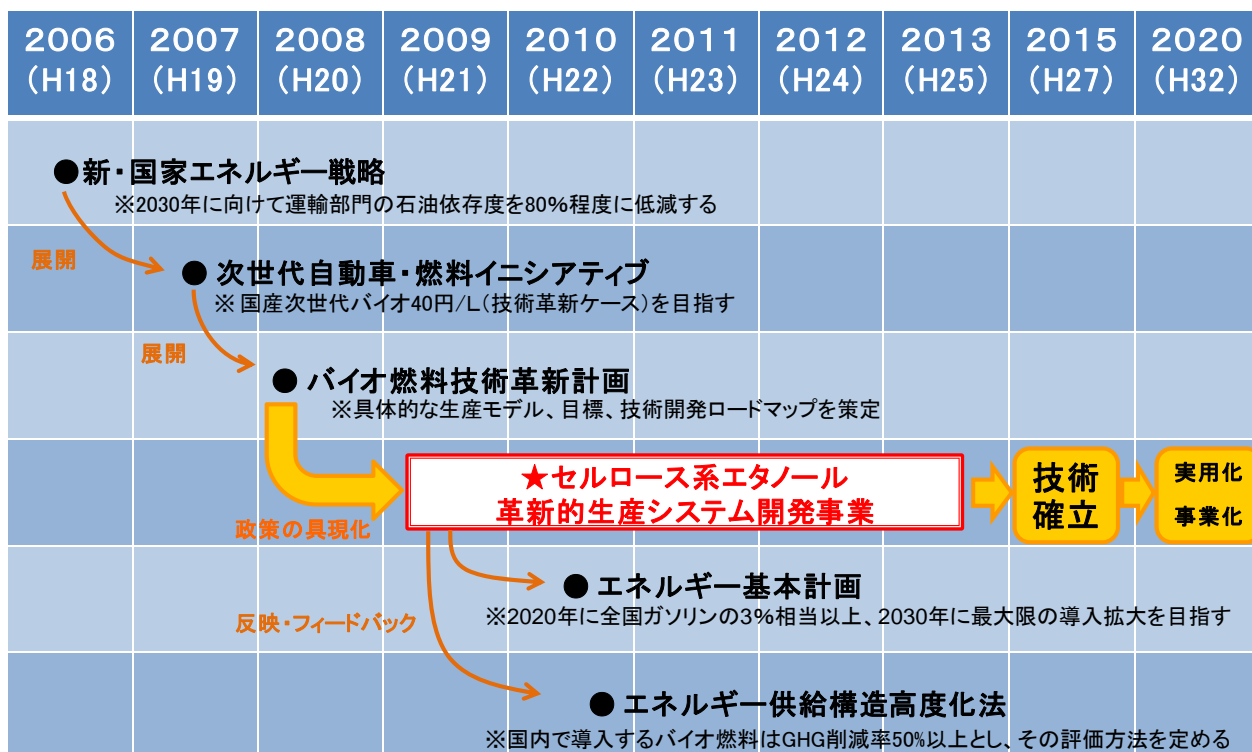


図 I-1 我国のバイオ燃料政策及び達成目標における位置づけ

2-2. 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は重油価格を50米ドル/バレル、円レートを120円/米ドルとして免税等なしでガソリンとの価格競争性があるとの考え方によって設定されている。

なお、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糧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: 王子製紙株式会社)



図 I-4 技術革新ケースにおけるエタノール生産モデル

出典: バイオ燃料技術革新計画

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、サウキビ、ススキ、ネビアグラスなど) 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 ₂ 削減率50%以上、エネルギー収支2.0以上	

2-3. 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。

3. NEDOが関与することの意義

食糧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の関与が不可欠であると言える。

4. 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。

セルロース系エタノールだけに限って見ると、2020年においては国産・準国産で原油換算43万kLとなり、本事業の成果は主に準国産の生産量に貢献するものと期待される。また、2020年における準国産セルロース系エタノールの生産量は原油換算10万kLと決して多くはないが、これは時期的に商用生産が開始された直後であるためと思料される。しかし、その後は商用生産が本格化して行くことや、エネルギー基本計画においてセルロース系エタノール等の次世代バイオ燃料について2030年に最大限の導入拡大を目指すとされていることを考慮すれば、2020年以降の準国産セルロース系エタノールの生産量は増加していくものと予測される。

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、カナダ、ブラジル等において取り組まれているが、いずれも技術開発・実証の段階であり、実用化までに至っている例はごく僅かである。その中でも最も強力に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。DOEが関与するプロジェクトの内、生物化学的転換プロセスを用いる代表的なものを表I-2にまとめる。

セルロース系エタノールの実用化にあたって、最大の課題はコスト低減であり、未だこの課題の解決に至っているプロジェクトは存在しないのが実情である。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

力に推進して行く必要がある。

表 I-2 米国におけるセルロース系エタノール関連プロジェクト

フェーズ	実施企業	バイオマス種	技術内容
商業化	BlueFire Ethanol Fuels, Inc.	間伐材、都市ゴミ、幅広い農業廃棄物など	Arkenol社の特許プロセスを開発・展開。70-77%濃硫酸で糖化処理し、 <i>Zymomonas mobilis</i> によりC5・C6糖同時発酵。
	Poet, LLC	トウモロコシの穂軸や茎、落ち葉、穀類の殻など	トウモロコシの穂軸を前処理し、酵素加水分解と発酵処理してエタノールを製造。酵素の開発はNovozymes社と共同。
デモ (実証)	Lignol Innovations, Inc.	ハンノキ、アスペン、ポプラなどの木質系バイオマス	原料は微粉化され、水と酵素を混合して加熱することで液化。セルロースやヘミセルロース等を分離し、リグニンや有用な副製品成分は特殊な有機溶媒で分離。
	Pacific Ethanol, Inc.	麦藁、トウモロコシの穂軸やポプラの間伐材	微粉碎後に約200℃の高温下で水蒸気と酸素で酸化、酵素糖化した後にC6糖は酵母で、C5糖は耐熱性菌で二段発酵。
パイロット (試験)	ICM, Inc.	トウモロコシの繊維質、スイッチグラス、トウモロコシ	Novozymes社から供給される酵素で糖化し、C5・C6糖同時発酵。
	Logos Technologies, Inc.	トウモロコシの茎、スイッチグラス、木材屑	機械的前処理し、Novozymes社が開発し酵素で糖化。USDAの研究機関が開発した高収率の酵母により発酵。

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、食糧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。

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。ここで言う技術確立とは、セルロース系エタノールに関する研究開発が完了し、さらには準商用規模（商用規模の1/10～1/20程度のイメージ）での実証が完了していることを意味するものである。

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。

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、それぞれで詳細な目標を設定している。これについては、「Ⅲ-1-2. 研究開発項目毎の成果」において説明する。

<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、英国、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、食糧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、食糧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た。これに関する詳細な目標を設定は、「Ⅲ-1-2. 研究開発項目毎の成果」において説明する。

2. 事業の計画内容

「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を開発を行う。

(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-2-2. 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。

【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。

【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
(王子製紙、産業技術総合研究所、新日鉄エンジニアリング)

【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のオンサイト生産、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、蒸溜、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-1に整理する。

表 II-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	
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
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(王子製紙、産業技術総合研究所、新日鉄エンジニアリング)	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のオンサイト生産	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。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。

研究開発スケジュール及び予算を図Ⅱ-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、温室効果ガス以外の食糧競合や生物多様性等については、未だ各国において監視や関係法令遵守に留まっており、具体的な基準や評価方法が決まっていない状況である。そのため、2011年度以降では、温室効果ガス以外の持続可能性基準について今後の国際動向に応じて、適宜対応を検討して行くことにしている。なお、事業の後半においては、本

事業において開発した一貫生産システムの持続可能性を評価することを計画している。

		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術の開発	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(検討中) 一貫生産システムの持続可能性評価	
予算(億円)		7.8	19.0	24.2	(12.5)	(11.6)

図 II-1 研究開発スケジュールと予算

3. 事業の実施体制

本事業における研究開発体制を図 II-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、三菱重工業、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、王子製紙、産業技術総合研究所、新日鉄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製紙は、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、王子製紙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、本事業ではプロジェクトリーダーは設置していない。その理由としては、研究開発の範囲が広く多方面での専門性が必要となり、全てを網羅できる適切な人物がいないためである。そのため、本事業では、プロジェクトリーダーの設置に代わって、各分野で専門性を有する有識者からなる自主中間評価委員会を構成し、当該委員会により事業の運営管理を行っている。

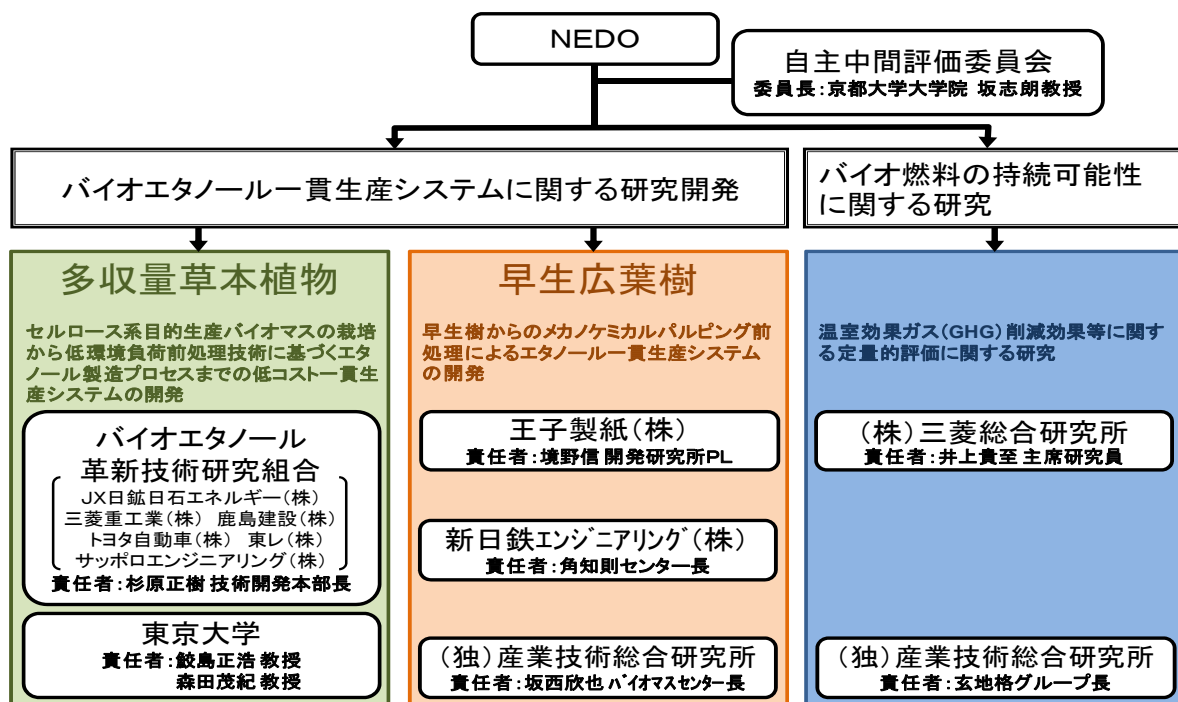


図 II-2 研究開発体制

4. 事業の運営管理

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。

<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成功している。

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くため、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、各分野における有識者を網羅することに配慮した。

表Ⅱ-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 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	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	
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年度及び2010年度で実施した。

- ◆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（王子製紙、産業技術総合研究所、新日鉄エンジニアリング）

2009年度における自主中間評価では、初年度における研究開発の進捗状況を踏まえて、翌年度以降にベンチ・パイロットプラントを設置し本格的な研究開発に移行することの適否について判断することを目的とし、合計2回の委員会（2009年12月、2010年3月）を開催して、最終的な評価結果を取りまとめた。

2010年度における中間評価では、2年間の進捗状況及び成果を評価すると共に、実用化を見据えた上で研究開発の一層の効率化を図るために研究開発内容の選択と集中を行うことを目的として、合計2回の委員会（2010年10月、2011年2月）を開催して、最終的な評価結果を取りまとめた。

自主中間評価の結果については表Ⅱ-3に整理する。

2009年度の自主中間評価結果の概略として、2テーマ共に一部条件を付した上で翌年度以降の本格的な研究開発へ移行することについて問題ないと判断されている。

2010年度の自主中間評価結果の概略として、2テーマ共に2年間の進捗状況及び成果は概ね適切であるとされているが、将来の実用化を十分に考慮して今後さらに研究開発内容の選択と集中を進めることの必要性が指摘されている。

また、「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、研究開発内容の一部中止（木本系植物の栽培技術に係る研究開発）及び縮小（草本系植物の栽培技術に係る研究開発の範囲の絞り込み）するべきと判断された。

これらの自主中間評価結果については、既に2011年度の実施計画及び2012年度の概算要求にも反映をしている。また、今後については、実用化・事業化の見込みについても重点を置きつつ継続的に自主中間評価を実施して行く予定である。

表Ⅱ-3 自主中間評価結果

年度	テーマ及び実施者	自主中間評価結果の概略
21	【テーマ】 早生樹からのメカノケミカルパルピング前処理によるエタノール一貫生産システムの開発	平成22年度以降も事業を継続し、本格的な研究開発を実施することに問題なし。 ただし、自己熱再生型蒸留プロセスの研究開発を追加するにあたっては、実証プラントに適用することを前提に、目標及び達成時期を明確した上で実施すること。また、本件に係る共同実施先の追加に関しては、別途NEDOが判断する。
22	【実施者】 王子製紙 産業技術総合研究所 新日鉄エンジニアリング	進捗状況及び成果等は、概ね適切であると判断する。 ただし、将来の事業化を十分考慮して 研究開発内容の選択と集中を進めること 。
21	【テーマ】 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	平成22年度以降も事業を継続し、本格的な研究開発を実施することに問題なし。 ただし、革新的技術であるアンモニア前処理による一貫生産システムを確立こと。
22	【実施者】 バイオエタノール革新技術研究組合 東京大学	進捗状況及び成果等は、概ね適切であると判断する。 ただし、 一部研究開発を中止(木本系栽培研究)・縮小(草本系栽培研究範囲の絞り込み) すると共に、将来の事業化を十分考慮して 研究開発内容の選択と集中を進めること 。

<バイオ燃料の持続可能性に関する研究>

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た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針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。

5. 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、先般の東日本大震災による原子力発電事故を受け、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、今後は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。

6. 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、王子製紙、産業技術総合研究所、新日鉄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。

7. 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対象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植物種選定が完了しており、生産性や栽培条件、収集・運搬効率等に関する基礎的知見も十分に得られている。また、エタノール製造技術に関しても前処理、糖化、発酵、濃縮・脱水の要素技術に関する研究開発成果を基にプロセス検討、設計を完了しプラント建設中であり、年度内には試験運転が開始できる状況にある。

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、中間目標は達成されていると判断できる。

<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」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、気候帯毎に国内（一部海外も含む）での圃場試験を実施し、対象植物の絞り込みを行うと共に、それらの最適組合せた栽培モデルの立案と栽培コスト試算を行った。また、エタノール製造プロセスについて、ラボ試験によりプロセス設計に必要なデータを取得し、ベンチプラントのプロセス設計及び詳細設計を完了し、現在建設中である。ベンチプラントは、本年10月末に完成する予定で、年度内には試運転を完了し、試験運転も開始できる見込みである。

「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」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すると共に、伐採現場等の調査から得られた基礎データを基に伐採・輸送コストも考慮したうえで収穫・運搬に関する施業工程の最適化を行った。また、エタノール製造プロセスについて、熱収支や物質収支の検討した上で、パイロットプラントのプロセス設計及び詳細設計を完了し、現在建設中である。パイロットプラントは、本年10月末に完成する予定で、年度内には試運転を完了し、試験運転も開始できる見込みである。

<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。

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. はじめに

食料と競合しないセルロース系バイオエタノールの一貫生産技術に関する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、三菱重工業、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術研究組合」を設立した。本技術研究組合の最終目標は、将来の事業化を目指し原油に対して競争力のある価格(40 円/L：原油 50 ドル/バレル時)で、20 万 kL/年規模を生産できる生産プロセスを確立することである。

また、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強固な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、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 月で中止）、秋田県総合食品研究所、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ている。

本プロジェクトの特長は、各社が保有・開発している要素技術（原料生産、収穫、保管、前処理、糖化、発酵、濃縮）の部分最適化を目指すのではなく、一貫生産システムの構築を目指して、要素技術の全体最適化をはかることにある。具体的には、各社が主担当となっている技術の前後工程、更には全体の開発状況を常に把握すると共に、お互いの問題点を共有し、相互の工程間の条件設定調整等で解決を図ることである。

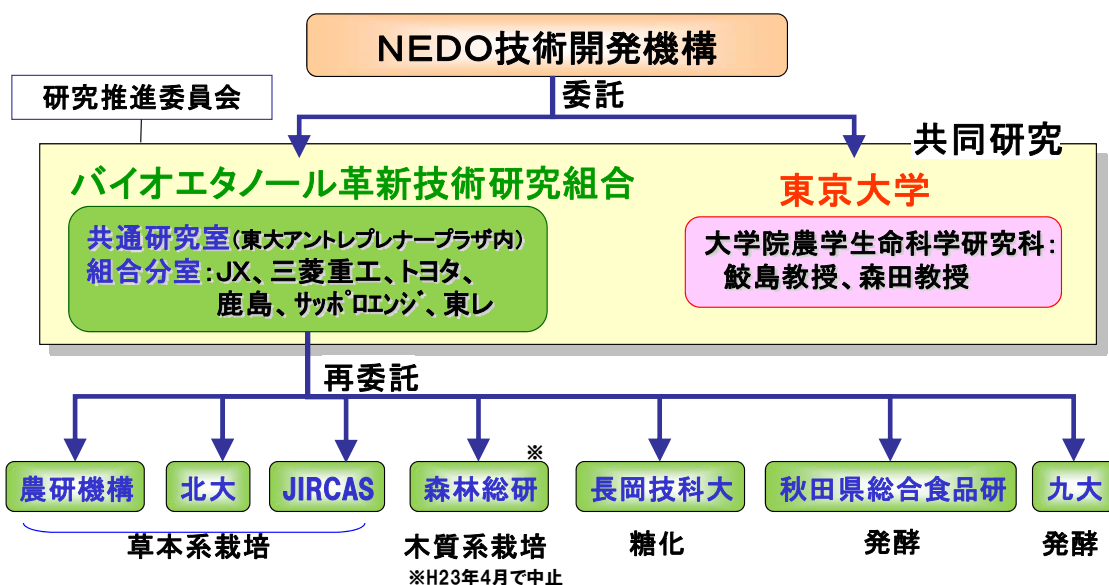


図 III-1-1 研究開発体制

2-1-2. 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ている。

具体的な研究内容は、下記の4点である。

○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、LCA 支援ツール (GaBi4) を有効に活用し、エネルギー収支、GHG 削減率の評価を行う。

○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。

○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、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

廃酵母や発酵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 C5 糖発酵プロセスを開発する。

○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、長期運転データの取得、エネルギー収支・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。

研究開発の概要

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します。

具体的研究内容

- 一貫システムの最適化
- エネルギー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

図 III-1-2 研究開発の内容

2-1-3. 研究開発目標と根拠

NEDO 基本計画において、平成 23 年度の間目標は、「セルロース系目的生産バイオマスの植物選定、栽培地検討、大量栽培技術の開発および収集・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を得る。技術革新ケースの開発ベンチマーク（平成 27 年度）を踏まえて、エタノール製造プラントを構築する」こととしている。また、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\$時）、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 を見据えた目標設定となっている。また、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-1-1 研究開発の目標と根拠

	H23年度中間目標	H25年度最終目標
基本計画	<ul style="list-style-type: none"> セルロース系目的生産バイオマスの植物選定、栽培地検討、大量栽培技術の開発および収集・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を得る。 技術革新ケースの開発ベンチマーク(H27年度)を踏まえて、エタノール製造プラントを構築する。 	<ul style="list-style-type: none"> 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(H27年度)を参照しつつ評価する。

研究開発項目(個別テーマ)	H25年度研究開発目標	根拠
一貫生産システムの最適化	<ul style="list-style-type: none"> 80円/L(原油50\$時) エネルギー収支2以上 GHG削減率50%以上 	<ul style="list-style-type: none"> H27年度ベンチマークを見据えて中間段階となるH25年度PJ最終目標を80円/L(原油50\$時)と設定 「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

2-1-4. 研究開発のスケジュール

本プロジェクトの研究開発スケジュールは、以下のように設定している。

○原料生産技術

・周年供給モデルの策定

平成 21 年度に各種植物の基礎データを取得し、栽培モデル案を作成、以降 2 年間で検証と修正を行う。平成 23 年度の間目標達成時点で、最終のモデル案を構築する。その後、2 年間は、圃場面積を広げ、大規模実証により実用化に近いデータ取得し、モデルを確立する。

・収穫運搬貯蔵技術の開発

平成 21 年度に収穫機械、収穫体系の基礎データを取得し、収穫運搬貯蔵の基本技術を確立し、以降 2 年間で検証と修正を行う。平成 23 年度の間目標達成時点で、最終の収穫体系を構築する。その後、2 年間は大規模実証により実用化に近いデータ取得し収穫体系を確立

する。

○エタノール製造技術

・基盤技術の確立

平成 21 年～23 年度の 3 年間でベンチ実証に必要な前処理、酵素糖化、発酵濃縮脱水技術を確立する。ベンチ実証装置稼働後は、更なる高性能化を目指した研究開発を継続し、ベンチ実証装置において検証することで、システム全体のブラッシュアップを図る。

・ベンチ実証

平成 21 年度よりプロセス設計を開始し、平成 22 年度～23 年度で建設を進める。平成 23 年度下期より試運転を開始し、平成 24～25 年度で実バイオマスを用いてエタノールを製造する実証を行い、実用化を想定したスケールアップデータを取得する。

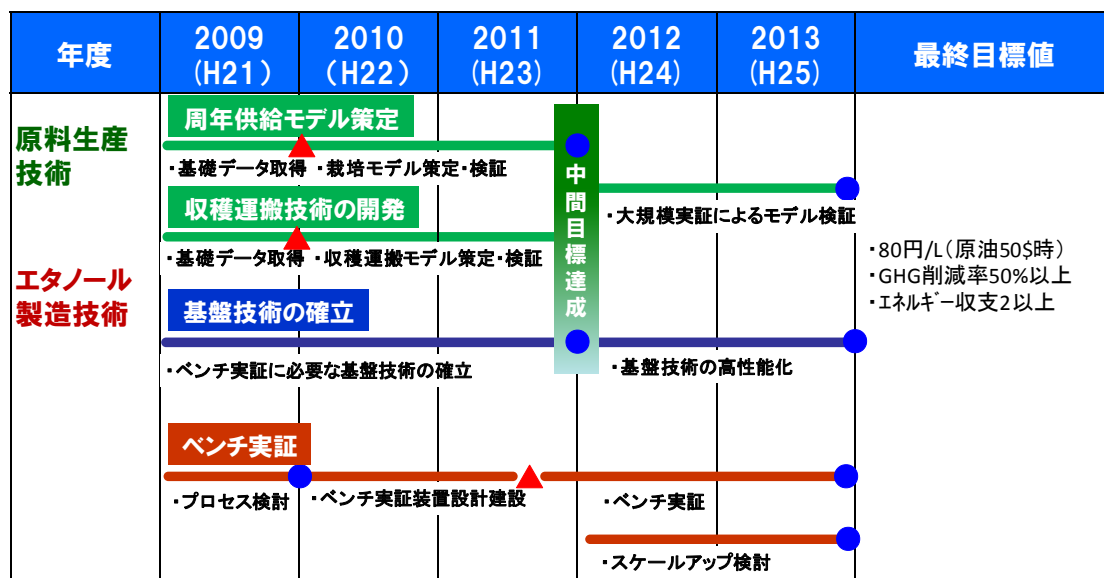


図 III-1-3 研究開発のスケジュール

2-1-5. 研究開発の全体像

セルロースからのエタノール製造には、大きく分けて 2 つの課題が存在する。

(1)原料供給の課題：安定供給に繋がる周年供給システム構築、コスト削減、生産持続性

エタノール製造工場は、年間を通じて生産することがコストおよび設備規模の観点でも重要な要素である。例えば、稲わらのような農業残渣は、温帯であれば年 1 回の収穫となり、製造工場は限定された期間に運転するか、多量の在庫を持って運転する必要が生じる。前者の場合であれば年間生産量が短期間に集中するため、それに見合った年間供給量の数倍規模の工場を建設必要がある。後者の場合であれば、嵩高いバイオマスを多量に保管する倉庫が必要となり、現実的では無い。また、長期保管により、原料の変質も懸念される。従って、原料供給は年間を通じて平準化し極力在庫を持たないことが、製造コスト削減に非常に重要な要素となる。

また、同一の栽培地において、多収量のエネルギー植物を繰り返し栽培することで、地力が衰え単位面積当たりの収穫量が減少してゆくことが懸念され、これに対応できる栽培技術の確立も重要な要素である。

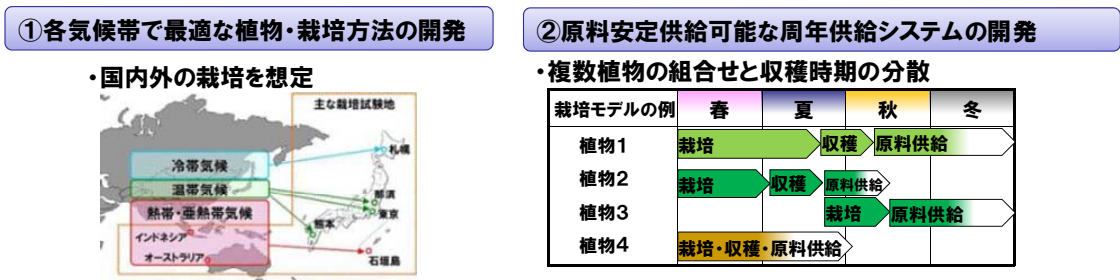
これらの課題に対して、本プロジェクトでは、様々な気候帯における栽培実験を行うことで、それぞれに適した多収量の植物を選択し、更に、異なる収穫時期の植物を組み合わせることで年間平準に原料を供給できる周年供給モデルを確立することを目標としている。

(2)エタノール製造技術の課題：変換効率の向上、コスト削減・省エネ、プロセス革新

エタノール製造技術については、欧米を中心として世界中で技術開発にしのぎを削っている。本プロジェクトでは、前処理－酵素糖化－発酵－濃縮脱水からなる、いわゆる生化学法を採用している。一般的に現在提案されているどの製造方法においても、「前処理工程に消費エネルギー、コストがかかる」、「廃棄物が多量に発生する」など課題が最も多く、革新的な技術開発が求められている。また、酵素糖化工程では、エタノールを得るための酵素コストの割合が極めて大きく、酵素メーカーもその削減に努力をしているものの、燃料用のエタノールとして現実的なコストからは程遠いのが現状である。さらに、発酵工程では、バイオマスの構成糖のうち約3割を占めるキシロースのエタノール発酵が課題である。この課題に対し遺伝子組換えにより、酵母にキシロース資化能を付与する取り組みは数多く試みられているが、遺伝子組換えした酵母の隔離、廃棄等に課題が多く存在する。

本プロジェクトでは、前処理工程に、アンモニアそのものを利用するドライーアンモニアプロセスを採用している。この方法は、水を全く加えない処理法で、希硫酸法等で問題となるヘミセルロース成分の水系への流出が全く無く、全ての糖成分を回収できるという大きな特長を有している。また、酵素糖化工程では、酵素コスト大幅削減のため低コスト酵素製造技術と膜を利用した酵素回収再利用、糖液濃縮も組み込んだ新たな酵素糖化技術の開発を目指している。発酵工程においては、非遺伝子組み換え酵母を使用することにより、周辺環境に影響を与える事無く、更には発酵残渣、廃酵母などの農地還元が可能な循環環境調和型の発酵システムの開発を目指している。

原料供給の課題：安定供給につながる周年供給システム、コスト低減、生産持続性



エタノール製造技術の課題：変換効率の向上、コスト削減・省エネ、プロセス革新

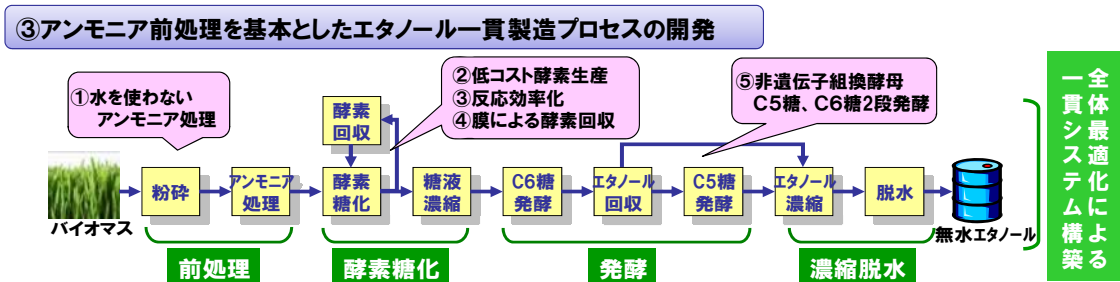


図 III-1-4 研究開発の全体概要

2-1-6. 全体目標の達成状況

(1) エタノール製造コストの評価

本プロジェクトでは、バイオ燃料技術革新計画のコストベンチマーク 40 円/L(平成 27 年、原油 50\$時) を目指したものである。プロジェクト開始時には、目標の 5 倍以上であったものを平成 22 年には前処理プロセスの改善、糖化残渣からのエネルギー回収を盛り込むことで、ほぼ半減とすることができた。平成 23 年度の間目標に対して、今年度は更なる前処理エネルギーの低減、酵素コスト半減により、目標のレベルまで達成する目途がついた。プロジェクト最終年の平成 25 年度には、バイオ燃料技術革新計画のベンチマークを見据えて中間段階としての目標を設定して、最終目標である 40 円/L に対しての課題と対応策の明確化することを目標としている。(図 III-1-5)

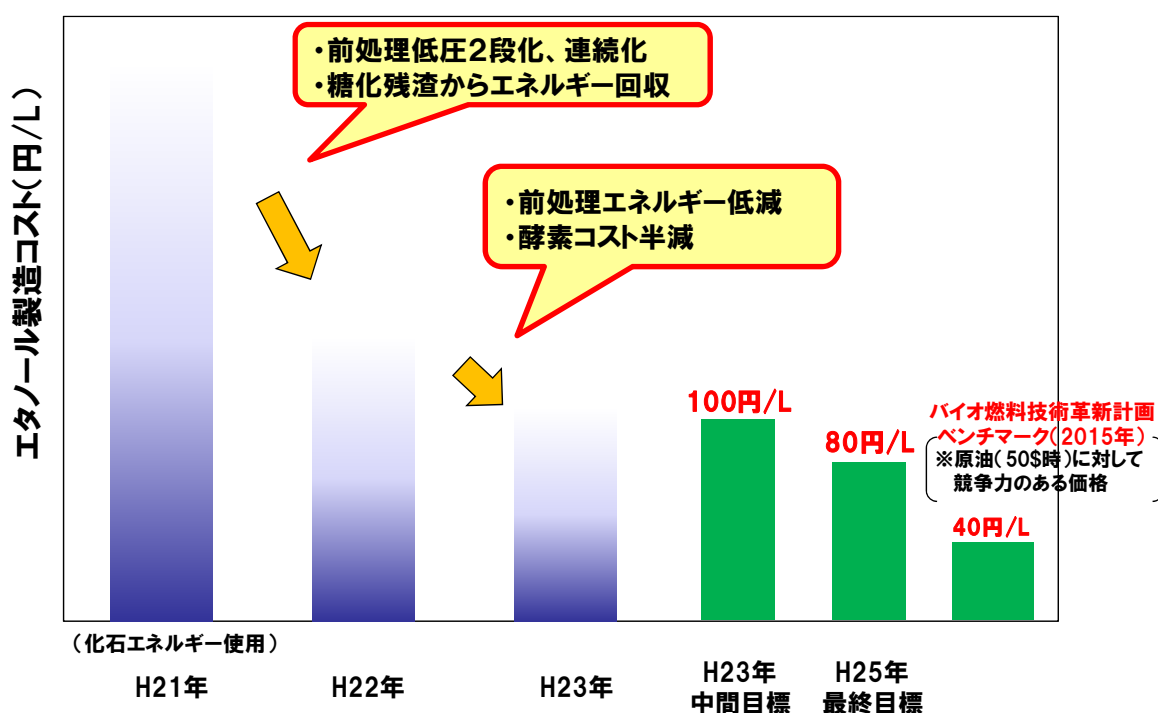


図 III-1-5 中間目標の達成度

(2) GHG 排出量、エネルギー収支の評価

収集した工程データを用いて LCA 支援ツールである GaBi4 を用いて評価システムを構築した。Gabi4 の特長は、階層ごとに分けてプロセスが作成可能であり、プロセスフローを視覚的に再現できる特徴を有している。プロセス開発を主目的としている本プロジェクトではプロセスの再現、評価に適しているため、本プログラムを選択した。LCA の評価システムは細分化され、最小単位である単位プロセス(Unit Process)を最小構成要素として、これらを組合せて、一貫システムを構築している(図 III-1-6)。

本プロジェクトでは、バイオ燃料技術革新計画のベンチマーク、エネルギー収支 2 以上、GHG 削減率 50%以上達成することを目標としている。ここでは、プロジェクト終了時のシステム全体を糖化残渣からのエネルギー回収により、プロセスのエネルギーを賄うエネルギー自立ケースについて、熱帯地域(インドネシア)での生産を想定し試算を行ったところ、GHG 削減率

はガソリンの GHG 排出量に対して 74%削減、エネルギー収支は 4.9 とライフサイクルでの投入化石エネルギーに対して 4.9 倍のエタノールのエネルギーを得ることが可能であるとの試算結果を得ている（図 III-1-7）。

LCA評価ソフト(Gabi4※)によりエネルギー、GHGの観点で一貫プロセスを評価

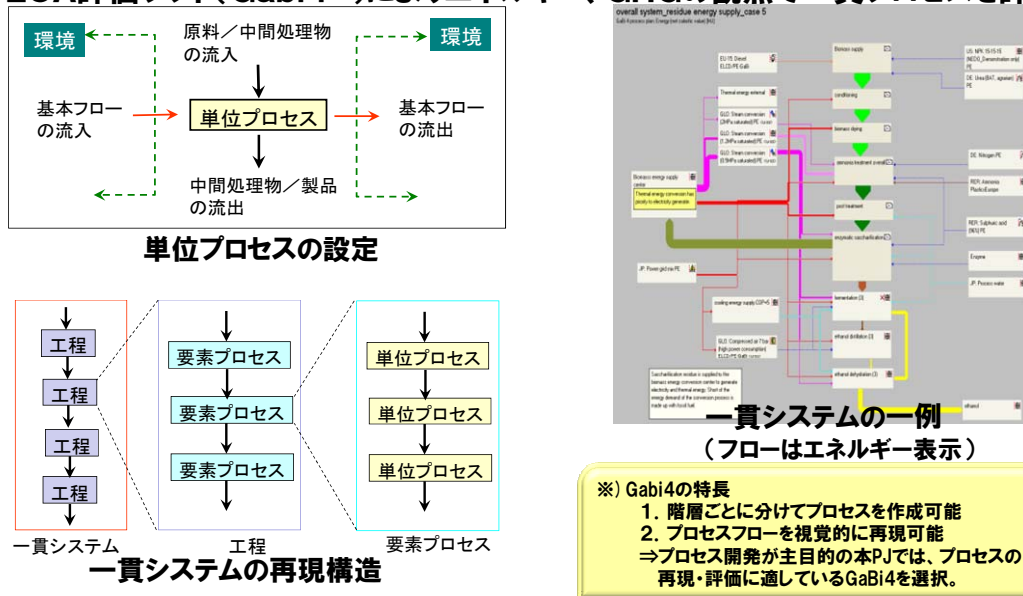


図 III-1-6 一貫システムの評価

エネルギー自立ケースでの推算結果(エネルギー収支4.9、GHG削減率74%)

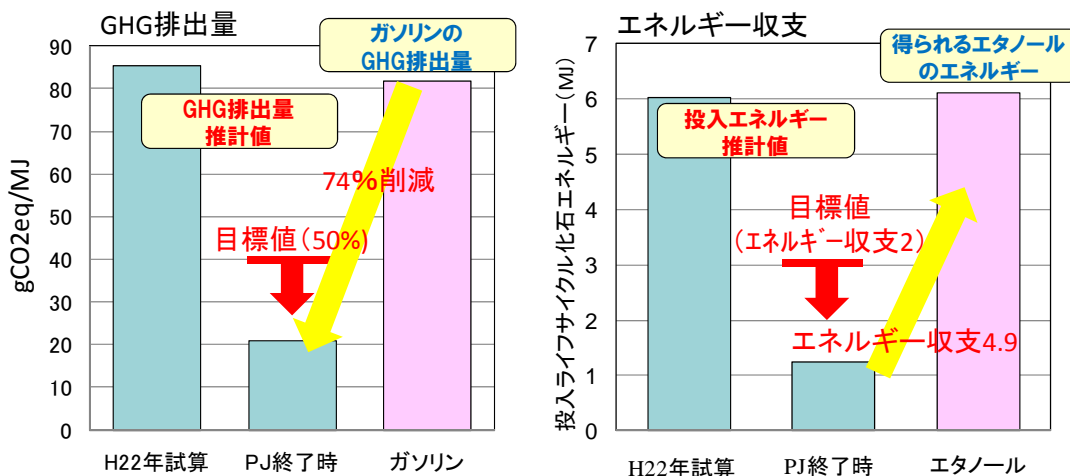


図 III-1-7 LCA 評価結果

2-1-7. 個別テーマの達成状況

全体目標の達成状況については、2-1-6.に示したように、コストについては中間目標の 100 円/Lに目途がつき、また、GHG 削減率、エネルギー収支を試算するにあたっての評価系を構築することができ、プロジェクト終了時を想定した試算も実施することができた。今後の課題としては、設備コストが現移転時の積算では非常に大きく、設備のシンプル化、省エネ化の取り組みが急務である。また、プロセス全体を、糖化残渣の燃焼エネルギーによって、自立化で

きるようなプロセス構築が必要であり、プラントの省エネルギー化を推進する必要があることが分かった。以下に、個別テーマについての中間目標の達成度について、取り纏める。(表 III-1-2)

(1)エネルギー植物の生産システムの最適化

中間目標としては、植物生産コスト 3 円/kg および収量 50t/ha と設定している。生産コスト 3 円/kg は、原料植物からエタノールへの変換効率にもよるが、おおよそ 10 円/L に相当するコストである。また、バイオ燃料技術革新計画 2015 年のベンチマーク 40 円/L に対しても、原料コストを約 25%以内に収めることのできる目標である。

国内の各気候帯、および海外（熱帯）において、各種植物の栽培試験を実施し最適な周年供給モデル案を策定し、コスト試算を行った。その結果、国内では 8 円/kg 程度が限界であることがわかったが、一方、熱帯（インドネシア）においては、2.1 円/kg まで低コスト化が可能であるという試算結果を得ており、中間目標を達成している。栽培コストについては、目標を大きく上回る成果が得られたが、熱帯での栽培を考えた場合、年間を通じて青刈りで収穫を繰り返すことになり、長期持続的に安定した収穫量を得ることが、今後の大きな課題となってくる。

(2)前処理技術

前処理技術の中間目標は、糖化効率 80%が達成できるようなアンモニアによる前処理技術の確立である。当初、高压のアンモニア処理において達成が確認されたが、高压状態での反応はプロセス構築上課題が多いことが判明した。将来的な連続プロセス化、省エネルギー化を目指すためには、低压での反応においても、この目標値を達成することが求められた。これに対して、アンモニア処理の反応を、低压ガス相によるリグニン-ヘミセルロース間の結合切断（一段目）と X 成分存在下でのセルロース結晶の変換（二段目）の 2 工程に分けても、中間目標である糖化率 80%を達成できることを見出し、プロセスの連続化、省エネルギー化に道筋をつけることができた。

(3)酵素糖化技術

酵素糖化技術の中間目標は、糖収量 500g/kg バイオマス以上、酵素使用量 10mg/g 生成糖、酵素コスト 25 円/L と設定した。これらの目標に対して、酵素組成の最適化による酵素活性向上、酵素生産コストの大幅な低減、酵素の回収再利用の 3 つの方針に沿った取り組みを行った結果、全ての目標値を達成することができ、製造コストの大きな部分を占める酵素糖化コスト低減の道筋をつけることができた。

(4)発酵濃縮脱水技術

発酵濃縮脱水工程の中間目標は、C6 糖からのエタノール収率 90%以上、C5 糖からのエタノール収率 80%以上である。酵母の改良を行った結果、いずれの目標値も達成することができた。特に C5 糖の発酵においては、C6 糖発酵-C5 糖発酵の 2 段発酵法を用いることにより、達成することができた。

(5)ベンチ実証

ベンチ実証装置の設計および建設を進め、平成 23 年度下期に稼働することができる見込みであり、中間目標は達成できる予定である。

表 III-1-2 個別テーマの中間目標と成果、達成度と課題

	中間目標	成果	達成度	今後の課題
一貫生産システムの最適化	・100円/L ・エネルギー収支、GHG削減率の評価手法確立	・コスト目標達成 ・エネルギー収支、GHG削減率を推算	○	・エネルギーの自立化 ・省エネ化 ・設備コスト精査、低減
エネルギー植物 1) 物の生産システムの確立	・3円/kg(=10円/L相当) ・50t/ha	・熱帯でコスト2.1円/kg・生産性50t/ha ・周年穫供給モデルを提案	○	・安定的に生産性持続できるシステム構築 ・熱帯現地で大規模実証しモデル実証完了
2) 前処理技術	・糖化効率80%以上	・収穫機械改良で収穫効率向上 ・アンモニア処理にて糖化効率80%達成	○	・変質少なく低コストな貯蔵運搬技術の確立 ・スケールアップデータ取得 ・500kL装置基本設計
3) 酵素糖化技術	・糖収量500g/kg以上 ・酵素使用量10mg/g生成糖以下 ・酵素コスト25円/Lエタノール以下	・糖収量目標達成 ・酵素使用量目標達成 ・酵素コスト目標達成	○	・酵素組成最適化により、酵素使用量2mg/g達成 ・酵素生産コスト削減と使用量削減で酵素コスト4円/L達成
4) 発酵・濃縮・脱水技術	・エタノール収率90%以上(C6)、80%以上(C5)	・C6糖90%達成 ・C5糖80%達成	○	・酵母改良により実糖化液で安定的に高生産
5) ベンチ実証	・ベンチ実証装置の設計と建設	・建設と試運転完了	○	・実バイオマスによる実証、運転最適化

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

2-1-8. 個別テーマの進捗状況

(1) エネルギー植物の生産システムの確立

エネルギー植物の生産システムの確立における主な課題は、①周年供給システムの確立、②原料植物生産性の向上とコスト低減、③生産持続性の確立である（図 III-1-8）。

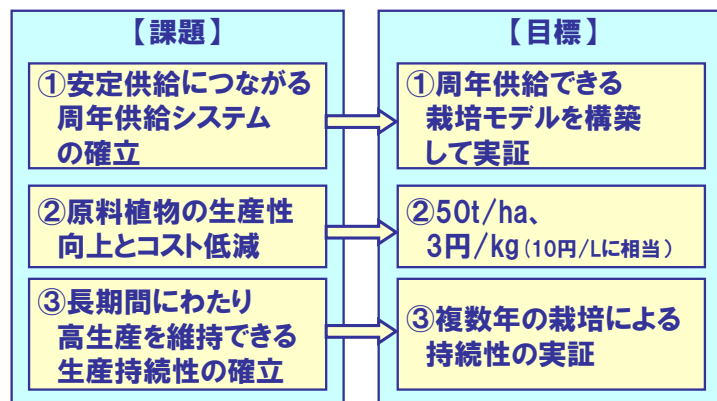


図 III-1-8 開発の概要

バイオエタノール製造コストの低減のためには、プラントの年間稼働を平準化することが必須であり、そのためには原料バイオマスの周年供給システムの確立が必要となる。

通常の作物栽培では種や品種が異なっても収穫時期が集中しやすい。しかしセルロース系バイオマスの目的生産にあつては、種や品種の組み合わせや収穫時期・収穫方法の工夫を含む新しい栽培システムの構築によって、年間供給量を下げずに周年供給体制を確立できる可能性がある。そこで、草本系候補作物と木本系候補作物を組み合わせ、低投入持続的でありながら (2)、バイオマスの周年供給できる栽培システムの確立 (1) を目指した。

国内とともに海外における栽培を検討することが想定されることから、生態条件の異なる複数の地域において栽培試験を行い、各気候帯に対応したモデル案の作成、検証、修正を進めると共に、低投入栽培技術、持続的な栽培方法の開発 (3) を行った。(図 III-1-9)

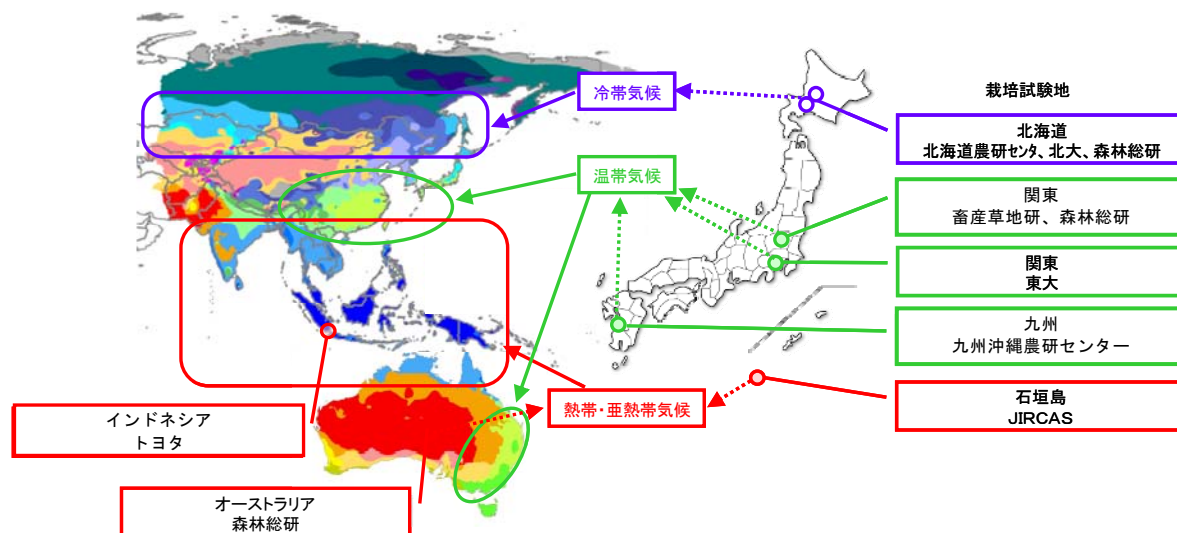


図 III-1-9 各気候帯で行う栽培試験地

a) 周年供給システムの確立

a)-1 栽培システム

バイオエタノール製造にあつてはプラントの年間稼働を平準化することが必須であり、そのためには原料バイオマスの周年供給システムの確立が必要となる。

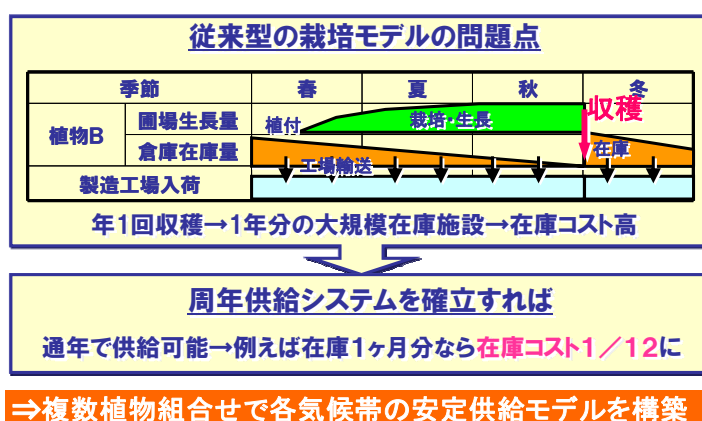


図 III-1-10 通年安定供給できる目的生産栽培システムの確立

栽培から収穫・運搬・貯蔵までを含めた製造プラントへの最適な原料植物周年供給を実現エネルギー作物の栽培とあわせて、収穫・乾燥・貯蔵・運搬の工程まで含めて安定した品質で周年供給できるシステム化を検討した。

従来型の栽培モデル（単一種の植物栽培）では収穫が一時期に集中してしまう問題点がある。これに伴い大規模な保管在庫施設が必要となり、大きなコストアップ要因となるばかりか、気候に伴う豊作不作の変動がエタノール生産に影響を及ぼす可能性がある（図 III-1-10）。このことを避けるために、各気候帯で収穫時期が異なり高収量が見込まれる植物種を複数種選定して組み合わせる安定供給栽培モデルの構築を行った。

また収穫運搬貯蔵の工程についても検討を行った。バイオマスは変質しやすく嵩高いため、保管に一定の管理と空間を必要とし、通常の作業体系では、この工程のみで優に目標のエタノール製造コストを超えてしまうとの試算があり、全体のコスト低減のボトルネックとなりうる工程である。このため、収穫運搬貯蔵分野では「作業体系のゼロからの見直し」をキーワードに、どこまで作業を簡略化できるか、システムとして体系化できるかを検討した。

さらに各気候帯で行われる原料植物の栽培試験研究成果を元に、生産性と気候条件、土壌条件などの自然立地条件との関係についての整理・解析を行った。また、原料植物の栽培試験と収穫・運搬・貯蔵技術に関する研究成果を基に、栽培から収穫・貯蔵・運搬までを含めた製造プラントへの原料植物周年供給を実現するためのモデルとなるシステムを構築した。

また、各気候帯の植物栽培試験の結果から、各気候帯毎に、候補作物の絞り込みを行った（表 III-1-3）。

表 III-1-3 国内各気候帯の多品种植物からの候補絞り込み（概要）

気候帯	栽培試験を行った作物種*	供給モデルの構築
冷帯 (北海道)	9種の植物から絞り込み	ススキ (11~2月) ヤナギ (3~6月) 牧草 (7~10月)
温帯 (関東)	21種の植物から絞り込み	エリアンサス (12~3月) 樹木 (4~7月) 牧草 (8~11月)
暖温帯 (九州南部)	10種類の植物から絞り込み	エリアンサス (12~7月) 牧草 (8~1月)
熱帯 (インドネシア)	10種の植物から絞り込み	ネピアグラス (周年)

※高生産性が期待される植物を選抜、栽培試験で生長量を計測し選定

大規模栽培で高生産モデルの構築を完了

周年でもっとも安定的で生産性が高くなる組合せは、熱帯ではネピアグラス主体、温帯～亜熱帯ではエリアンサス主体、冷帯ではススキと牧草類にヤナギを組み合わせるモデルとなった（表 III-1-4）。

表 III-1-4 周年栽培のモデル構築

(予想値に基づく貯蔵までのコスト・生産面積〔60万tの生産用〕変動例)

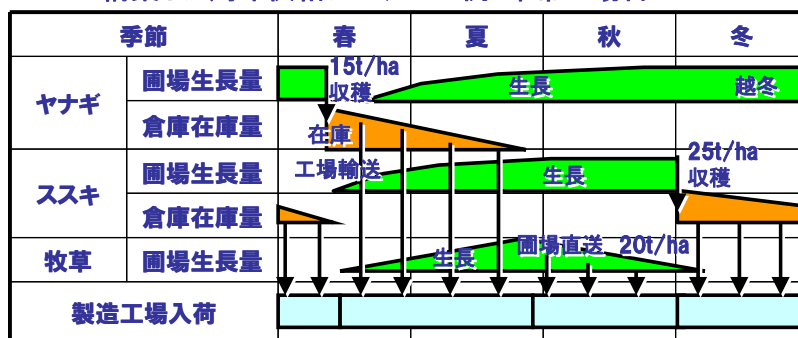
気候帯	栽培試験を実施した作物*	選択した作物の生産効率
冷帯 (北海道)	ススキ、オギ、ジャイアントミスキャンタス、リードカナリーグラス、オーチャードグラスチモシー、トールフェスク スイッチグラス、ヤナギ	ススキ(11月): 25t/ha 牧草(7月): 20t/ha ヤナギ(3月): 15t/ha
温帯 (関東)	ススキ、オギ、ジャイアントミスキャンタス、リードカナリーグラス、オーチャードグラス、チモシー、トールフェスク、スイッチグラス、エリアンサス、ジョンソングラス、サウキビ、ネビアグラス、ソルガム、トウモロコシ、シコクビエ、イタリアンライグラス、トウジンビエ、セタリア、ギニアグラス、ニセアカシア、ユーカリ	エリアンサス: 50t/ha 牧草(7月): 20t/ha 樹木(3月): 15t/ha
暖温帯 (九州南部)	ススキ、オギ、ジャイアントミスキャンタス、リードカナリーグラス、エリアンサス、ジョンソングラス、サウキビ、ネビアグラス、ソルガム、トウモロコシ	エリアンサス: 50t/ha 牧草(7月): 25t/ha
熱帯 (インドネシア)	スイッチグラス、エリアンサス、ネビアグラス、トウモロコシ、ソルガム、サウキビ、ラミー、ギニアグラス、クロタリア、セタリア	ネビアグラス(周年): 50t/ha

a)-2 生産性の向上とコストの低減

周年供給システムのケーススタディと周年供給モデルの構築を行った。

国内各気候帯で構築した複数植物種組合せモデルの例として、冷帯の周年供給システムを図 III-1-11 国内気候帯で構築した複数植物組合せモデルの例に、海外のモデルとして熱帯の周年供給システムを図 III-1-12 熱帯の周年供給システムに示す。

構築した周年供給システムの例: 冷帯の場合

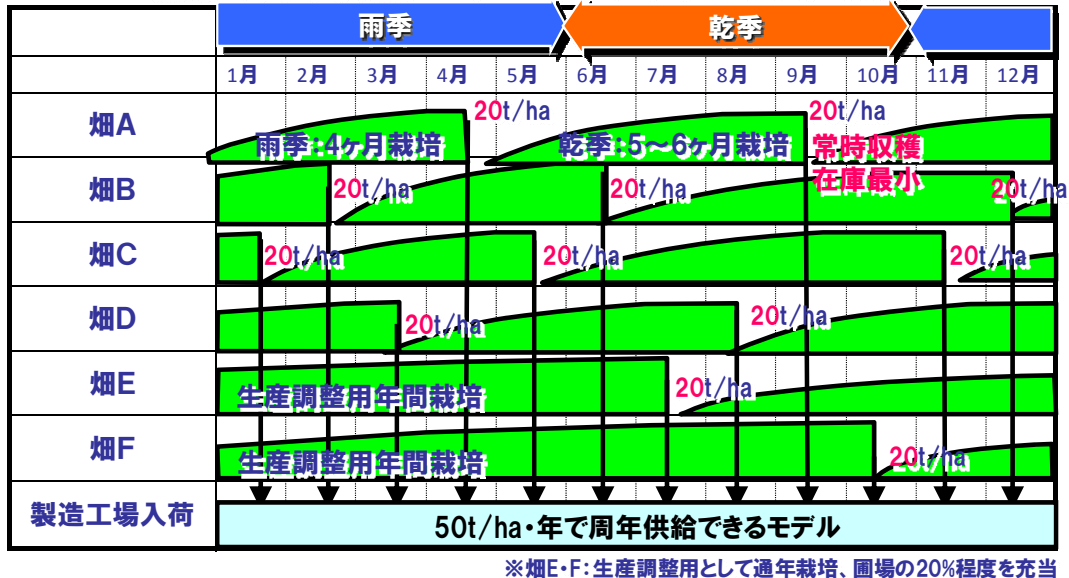


ヤナギ(越冬)・ススキ(秋収穫)・牧草(収穫直送)の組合せでコスト最適化

⇒国内各気候帯では複数植物の組合せモデルを構築

図 III-1-11 国内各気候帯で構築した複数植物種組合せモデルの例

熱帯の周年供給システム：ネピアグラス50t/haケース



熱帯はネピアグラス単一で常時収穫供給モデル、現在実証試験中

図 III-1-12 熱帯の周年供給システム

各気候帯における周年供給モデル案を検討するために、今年度の栽培試験結果から、収穫時期の異なる作物の組合せについてコスト、栽培面積のケーススタディを実施した(表 III-1-5)。

冷帯では、ススキ、牧草、ヤナギを組み合わせることで 9.8 円/kg まで低下した。関東を前提とした温帯では、エリアンサスと牧草を組み合わせることで、9.3 円/kg まで低下した。九州南部を前提とした温帯では、エリアンサスと牧草の組み合わせで 8.3 円/kg まで低下した。熱帯では、ネピアグラスを周年収穫することで 2.1 円/kg の計算結果が得られた。

原料のコスト目標 10 円/L (乾燥バイオマス 3 円/kg) に対して、日本の現状コストは 2 倍以上となっており、大幅なコスト低減が必要である。コスト分析の結果から、化学肥料由来のコストが 6~8 割を占めることから、化学肥料をエタノール製造残渣に切り替えることで、コスト低減を図る。インドネシアのネピアグラスにおいては、周年において青刈りになる事が予想されるため、微量要素を含めた養分がバイオマスに含まれて土壌から収奪される。インドネシアにおいては、焼却灰によって乾物収量に持続性がみられたが、エタノール残渣の循環利用に関する技術開発を含め、長期間に渡る持続的性を確認する必要があると考えられる。

表 III-1-5 周年栽培の試算事例 (前提: 60 万 t のバイオマス生産)

地域	単一作物	2種組合せ	3種組合せ	備考
冷帯 (北海道)	14.0 円/kg・ 2.0 万 ha (ススキ11月収穫、 その後長期保管)	10.7 円/kg・ 2.8 万 ha (牧草7月+ ススキ11月)	9.8 円/kg ・ 4.1 万 ha (ヤナギ3月+牧草7月+ ススキ11月)	前提条件 ススキ: 30t/ha 牧草: 14t/ha ヤナギ: 10t/ha
温帯 (関東)	11.7 円/kg・ 1.2 万 ha (エリアンサス 12月~4月収穫)	9.3 円/kg ・ 1.6 万 ha (牧草7月+ エリアンサス)	12.5 円/kg・ 3.2 万 ha (樹木3月+牧草7月+ エリアンサス)	前提条件 エリアンサス: 50t/ha 牧草: 15t/ha 樹木: 10t/ha
暖温帯 (九州南部)	10.7 円/kg・ 1.2 万 ha (エリアンサス 12月~4月収穫)	8.3 円/kg ・ 1.5 万 ha (牧草7月+ エリアンサス)	11.8 円/kg・ 2.4 万 ha (樹木3月+牧草7月+ エリアンサス)	前提条件 エリアンサス: 50t/ha 牧草: 25t/ha 樹木: 15t/ha
熱帯 (インドネシア)	2.1 円/kg ・ 1.2 万 ha (ネピアグラス周年収穫)	-	-	前提条件 ネピアグラス: 50t/ha

a)-3 検討の過程で得られた成果

栽培試験研究の過程で数多くの重要な知見及び成果が得られた。これらはセルロース系エタノール生産技術に限らずバイオマス生産技術の発展と普及に広く活用される技術として期待される。

a)-3-1 温帯で冬季立枯するエリアンサスにおける養分の下部組織への転流

立ち枯れ収穫の高さが次年度への生産持続性と施肥低減につながる可能性を見出した（図 III-1-13）。

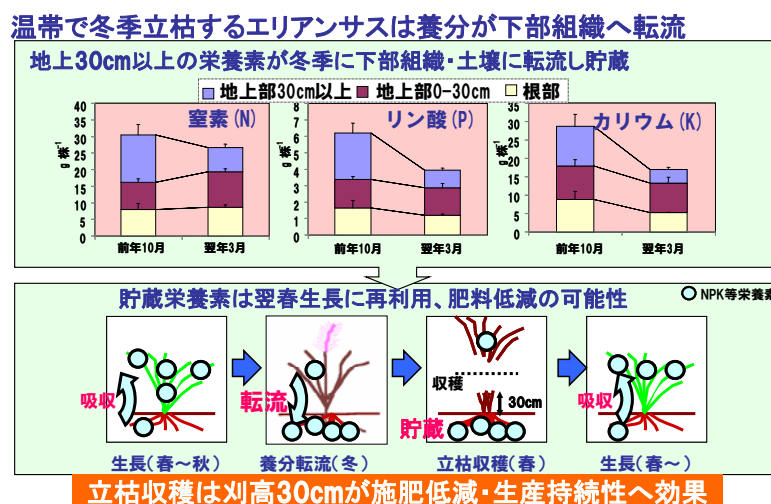


図 III-1-13 検討の過程で得られた成果 刈高と施肥低減・生産持続性との関係

畜産草地研究所において、肥料成分の動態について分析を行った。冬季の冬枯れ時に、窒素・リン・カリウムの半分以上の量が、地上部 30cm 以上の場所から 30cm 以下の場所に移動することが推定された。試験開始 1 年目の施用窒素の肥効率は約 26%であった。また、全窒素吸収量に占める施肥由来窒素の割合は約 33%であった。施肥由来窒素の器官分配は全窒素のそれとほぼ同じであった。

このことは冬季立枯するエリアンサスは養分が地上部 30cm よりも下に転流して貯蔵され、翌春の再生生長に再利用されることを示唆しており、立ち枯れ収穫の刈高を 30cm とすることで施肥を低減し、生産持続性を高める効果が期待されることを意味する重要な知見である。

a)-3-2 収穫・運搬機械の改良と収穫試験の実施

冬季立枯れ（温帯）収穫の機械改良による効率向上の検討を行った。

エリアンサスを対象にした細断収穫体系（収穫時に細断しそのままトラックに積み込む体系）として、トラクタ直装式ロータリロックロップアタッチメントによる収穫試験を実施した（図 III-1-14）。疎植区においては、株が大きくなりすぎることから 0.3m/s 以上の作業速度は出せず、過負荷になるなどの問題が発生した。一方、密植区では、倒伏の少ない条であれば、



図 III-1-14 エリアンサスの収穫状況

収穫機械への適性も良く、疎植区よりも高速で連続作業が可能であった（図 III-1-15）。

冬季立枯れ(温帯)収穫の機械改良による効率向上



	2009年度	2010年度
	 <p>ケンパー機をエリアンサス収穫に適用しデータ採取 粗植部分では目詰発生</p>	 <p>植付密度と立型品種採用で 効率向上、目詰なし (条間2.5m、株間1m)</p>
作業速度[m/s]	0.36	0.4~0.7
PTO所要動力[kW]	64.8	26~34
燃料消費量[l/h]	23.9	3.5~6.9
植栽密度等の改良等の効率向上(温帯、エリアンサス)		

図 III-1-15 機械改良による効率向上の概要

天日乾燥のため、既存の予乾牧草体系用機械（牧草のように圃場で反転しながら天日乾燥する体系）のエリアンサス収穫への適用を検討した結果、エリアンサス稈茎の剛性が強いため機械による反転・攪拌が容易ではないこと等から困難と判断された。

一方、高水分原料の周年供給を円滑に行うために、細断収穫体系に加えて圃場乾燥を前提とした結束式収穫体系（稲わらのように結束した状態で天日乾燥する体系）の詳細な検討が必要と考えられた。（図 III-1-16、17）

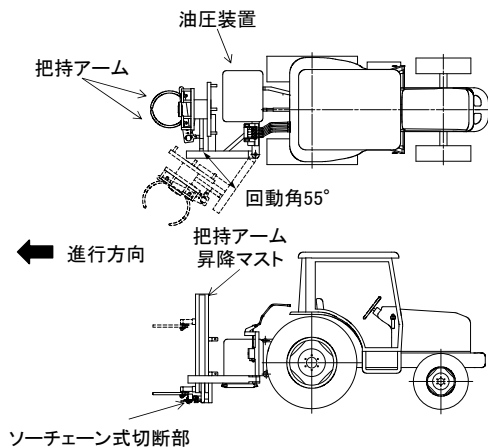


図 III-1-16 集束型収穫機構造



図 III-1-17 集束型収穫機の収穫風景

b) 各気候帯における周年栽培モデルの策定

持続性可能な原料生産用の作物を評価するために、気候帯毎に基礎データを取得し、気候帯毎に最適な周年供給栽培モデルの検討を行った。

b)-1 冷帯

北海道大学において、ススキ 5 系統の実生系統の乾物収量を比較した結果、系統間でバイオマス収量に大きな変異があり、本州以南の高標高地で収集された「明野」、「塩塚」では、2.5kg/個体の乾物収量が得られた（図 III-1-18）。

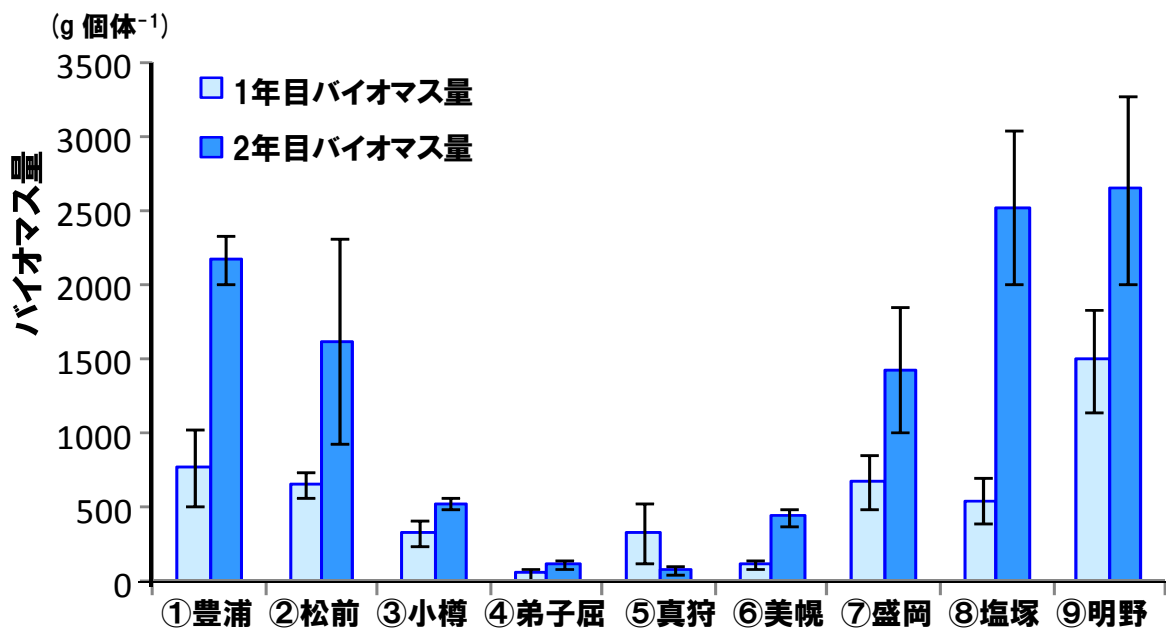


図 III-1-18 ススキ 9 系統のバイオマス調査結果

1haあたりでは、個体密度などを考慮して、30t/haの乾物収量が期待できることが示唆された。

各肥料試験におけるススキのバイオマス量の経時変化をみたところ、夏までは施肥量の違いにより、バイオマス量への影響はみられなかった。秋にやや差異があったが、全体としては施肥量の効果は少ないと考えられた（F0：無施肥 F2：31 F3：62 F4：93（N：kg/ha））。無施肥区でも 10 t/ha のバイオマス量が得られることが明らかになった（図 III-1-19）。栽培開始 2 年目で 10 t/ha 以上のバイオマス量を示したことは、造成 3~4 年には 30t/ha 以上になることが期待できる。

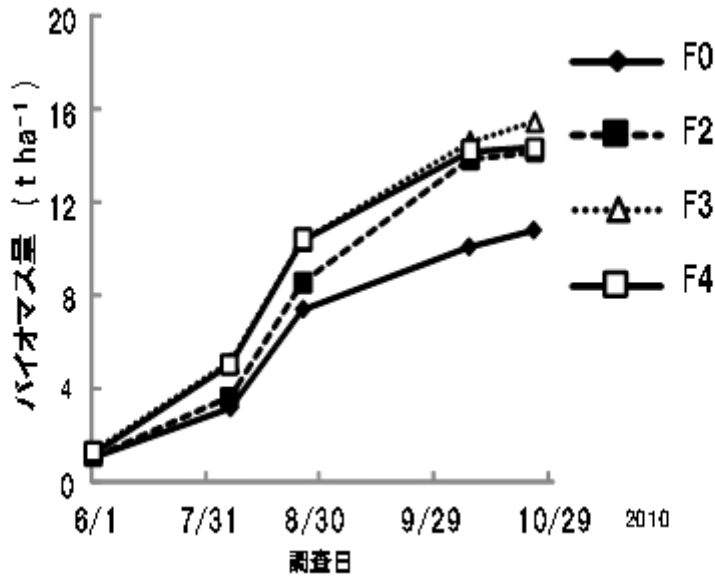


図 III-1-19 ススキのバイオマス量の変化

表 III-1-6 栽培管理条件の違いによる乾物収量とコスト推定値

草種	使用圃場	収穫回数 及び時期	施肥回数 及び内容	推定乾物収量 (t/ha)	コスト (円/kg)	備考
リードカナ リーグラス	新播草地	2回 開花期・晩秋	2回 化成肥料・標準量	12	16.3	
	新播草地	1回 登熟期	2回 化成肥料・標準量	9	21.4	
	既存草地	2回 開花期・晩秋	2回 化成肥料・標準量	12	13.3	
	既存草地	1回 登熟期	2回 化成肥料・標準量	9	17.5	
	既存草地	1回 登熟期	2回 堆肥及び化成肥料・標準量	9	10.5	
	既存草地	1回 登熟期	2回 堆肥及び化成肥料・1/2標準量	9	5.6	
スイッチグ ラス	新播草地	1回 晩秋	1回 化成肥料・標準量	8	23.8	
	新播草地	1回 晩秋	0回	8	5.7	種子代をリードカ ナリーグラス並み
	新播草地	1回 晩秋	0回	6	7.6	種子代をリードカ ナリーグラス並み

推定乾物収量:リードカナリーグラスは7年目草地及びこれまでの試験データ、スイッチグラスは2年目草地の本年試験データから推定。

北海道農研センターにおいて、実施した栽培試験データからコストを試算した結果、リードカナリーグラスの新規造成草地では、16～21 円/kg、既存草地が活用できれば 5.6～18 円/kg 程度になると推測された。スイッチグラスでは、種子代がリードカナリーグラスと同程度であれば 5.7～7.6 円/kg と推定された（表 III-1-6）。

リードカナリーグラスを用いて刈取り時期・施肥量を変えて収穫量・コストを比較した結果、年 2 回収穫において、開花期・晩秋あるいは登熟期・晩秋刈りが多収を示した。施肥は 1 回刈り

および2回刈りのいずれも多肥による効果がみられた(図 III-1-20)。利用1年目の今年度試験結果からコストを推定すると、既存草地を利用する場合には4.2~6.1円/kgの可能性が示された。スイッチグラスを用いて、刈取り回数・施肥量を変えて収穫量・コストを比較した結果、8月の乾物重が高く、低施肥区の生産性も高いことが判明した。また、除草剤の使用により、除草コストを低減し、生産性が維持できることが示された。コストを推定すると、夏季の1回刈りにおいて6.4円/kg、種子代をリードカナリーグラスと同額まで削減することで、4.1円/kgになると推測された。

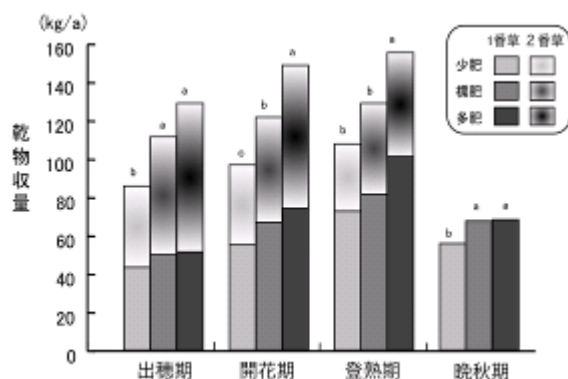


図 III-1-20 リードカナリーグラスの刈取時期・施肥別特性

下川町において、森林総合研究所がエゾノキヌヤナギの選抜系統の植栽を行った。収穫は3年後となるため、既存資料の生産量(20t/ha)と今回の試験地造成に要した費用からコストを推定した結果、3年の伐採周期、21年間の栽培において、主に育苗コストを低減することにより、収穫までのコストは3.9円/kgになると推定した(表 III-1-7)。

表 III-1-7 生産コスト低減にむけた将来コスト(育苗コストの大幅低減を含む)

場所	樹種	栽培期間 (y)	伐期 (y)	収穫量 (ton/ha/y)	生産コスト 全工程 (円/kg)	工程別コスト				
						育苗 (円/kg)	育林 (円/kg)	収穫 (円/kg)	保管 (円/kg)	運搬 (円/kg)
下川町	エゾノキヌヤナギ	21	3	20	3.9	1.2	0.9	1.8	---	---
同上	オノエヤナギ	21	3	20	3.9	1.2	0.9	1.8	---	---

エゾノキヌヤナギとオノエヤナギの選抜系統の植栽を行った。収穫は3年後となるため、既存資料の生産量(10t/ha/年)と今回の試験地造成に要した費用からコストを推定した結果、3年の伐採周期、21年間の栽培において、主に育苗コストを低減することにより、収穫までのコストは、現状では11.4円/kgであるが、3円/kgまでのコスト低減においては、大型機械による作業効率の向上が必要であることが示された。

b)-2 温帯

東京大学農場において、各作物の乾物収量を評価した結果、ネピアグラスは植付け初年度から 50t/ha 以上の高いバイオマス生産性を示した。エリアンサスでは、初期生長が遅く、密植区において 3.4t/ha、標準区において 1.7t/ha の生産性であった (表 III-1-8)。

表 III-1-8 各作物の試算結果 (植付け～収穫)

植物種	処理区	収穫まで 日数(日)	収量 (t/ha)	コスト (円/kg)	投入エネルギー (MJ/L)	CO ₂ 排出量 (g/MJ)
エリアンサス (実生苗)	標準	195	1.7	114.1	0.91	3.06
	高密度		3.4	96.7	0.46	1.53
ネピアグラス	標準	207	54.3	9.2	0.05	0.17
	高密度		52.0	9.2	0.05	0.18
サトウキビ	標準	179	15.9	23.8	1.06	3.55
	高密度		13.5	30.7	1.25	4.20
ジョンソングラス	標準	160	5.3	47.1	0.29	0.98
	高密度		8.9	28.6	0.17	0.58
スイッチグラス	標準	160	8.7	26.5	0.18	0.60
	高密度		9.4	24.5	0.16	0.55
ソルガム	標準	178	23.9	9.1	0.55	1.86
	高密度		26.6	8.2	0.65	2.24
シコクビエ	標準	188	8.9	27.1	0.35	1.17
	高密度		14.2	21.1	0.22	0.73
茎葉利用 トウモロコシ	標準	149	11.8	16.1	1.53	5.13
	高密度		29.1	6.9	0.56	1.89

ネピアグラスの条抜き栽培試験を行った結果、日本では、通常栽培による生産性が高く、35.1t/ha の最大値を示した。エリアンサスの密度試験では、1 ha の植栽密度を 1 万本に増加させことで、生産性が向上し、コストが低下した。

畜産草地研究所において、エリアンサスとサトウキビ野生種(JW630)について栽培 1 年目の乾物収量を比較した結果、エリアンサス系統 NS2 では、株あたり収量では、密植区 (ha あたり 5,000 本、植付け間隔 2m×1m) の方が疎植区 (ha あたり 2,500 本、植付け間隔 2m×2m) より高くなり、1ha 当たりの収量に換算した結果では、2 倍以上の差が見られた。初期成長の遅いエリアンサスに関しては、初期の生産性を向上させるためには、植付け密度を上げる事が有効な手段であることが示された (表 III-1-9)。

表 III-1-9 エリアンサスの植栽密度試験における収量調査結果

系統	処理区	乾物収量		乾物率 (%)
		株あたり ¹⁾ (kg・株 ⁻¹)	haあたり ²⁾ (t・ha ⁻¹)	
JW599	堆肥区	0.2	1.0	47.7
	標準・密植区	0.1	0.4	50.8
	標準・疎植区	0.1	0.4	50.5
	半量・密植区	0.2	0.9	50.1
	半量・疎植区	0.1	0.2	52.0
JW630	堆肥区	1.1	5.5	53.2
	標準・密植区	1.1	5.4	50.2
	標準・疎植区	0.8	2.1	52.7
	半量・密植区	0.5	2.7	52.3
	半量・疎植区	0.5	1.2	53.1
NS1	標準・密植区	0.9	4.6	48.4
	標準・疎植区	1.1	2.7	48.5
	半量・密植区	0.9	4.4	49.3
	半量・疎植区	0.6	1.5	52.1
NS2	標準・密植区	1.3	6.4	50.5
	標準・疎植区	0.8	2.0	49.7
	半量・密植区	1.2	6.1	49.5
	半量・疎植区	0.7	1.7	50.3

¹⁾ 地際から30cmの高さで収穫(n=3).

²⁾ haあたりの個体数は密植区, 粗植区でそれぞれ5,000, 2,500個として計算

九州沖縄農業研究センターにおいて、エリアンサス4系統、スイッチグラス、ジョンソングラス、ネピアグラス、ススキ、リードカナリーグラスの3年目草地の乾物収量を調査した。最大収量を示したエリアンサス「KO2」では、多肥区において44t/ha、少肥区において36t/haの生産性を示した。1年目の栽培試験では、ネピアグラス7.7t/ha、ジョンソングラス2.3t/ha、エリアンサス1.4t/ha、スイッチグラス0.8g/ha、ススキ0.2t/haの生産性を示した。エリアンサスの初年度の生産性は、植栽密度により変化し、2m×1mでは2.9t/haに対して、1m×1mでは4.3t/haの生産性を示した(表 III-1-10)。

表 III-1-10 エリアンサスの植付密度と乾物収量

畦幅×株間 (m)	乾物率 (%)	乾物収量 (kg/10a)
5×1	41.5	143.4
4×1	42.1	153.2
3×1	45.0	187.8
2×1	42.8	287.8
1×1	42.9	425.4

エリアンサスを中心とした栽培試験を行った。3年目のエリアンサスは堆肥のみを散布した少肥区においても、乾物収量が維持しやすい傾向が見られたが、夏季の原料候補となる他の牧

草類では、肥料が少なくなることで、乾物収量が減少した（図 III-1-21、-22）。エリアンサスについては、1haに植付けを行い、初期コストを把握した。収穫までのコストを試算した結果、初年度のコストは90円/kg、2年目6円/kg、3年目4円/kgになると推定した。

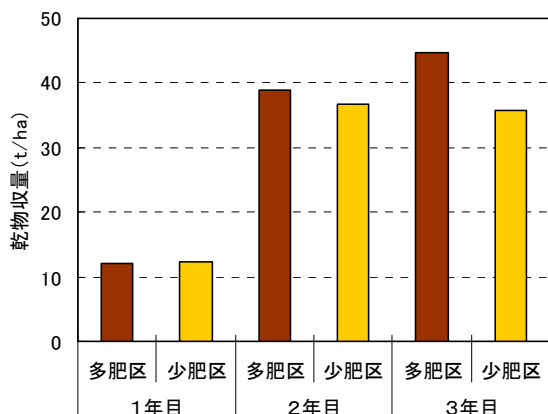


図 III-1-21 エリアンサスの乾物収量

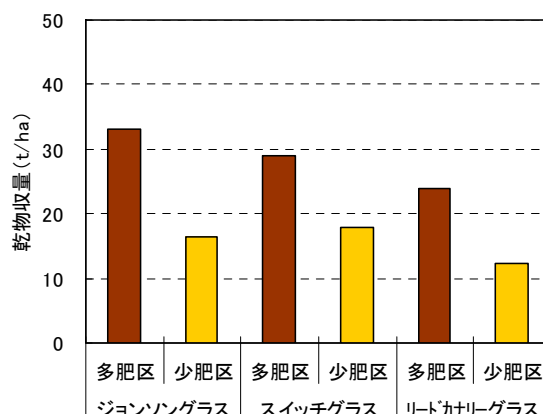


図 III-1-22 夏収穫牧草の乾物収量

茨城県において、森林総合研究所がニセアカシア、ユーカリの実生苗の植栽を行った。収穫は5年後となるため、既存資料の生産量（15t/ha）と今回の試験地造成に要した費用からコストを推定した結果、5年の伐採周期、20年間の栽培において、収穫までのコストは約7円/kgになると推定された（表 III-1-11）。

収穫は5年後となるため、既存資料と今回の試験地造成に要した費用からコストを推定した結果、10年の伐採周期、10年間の栽培において、運搬までのコストは約14.4円/kgになると推定されたが、3円/kgまでのコスト低減においては、大型機械による作業効率の向上、伐採期間の長期化が必要であることが示された。

表 III-1-11 収穫量とコスト

場所	樹種	栽培期間 (y)	伐期 ※1 (y)	収穫量 (ton/ha/y)	生産コスト全工程 (円/kg)	工程別コスト				
						育苗 (円/kg)	育林 (円/kg)	収穫 (円/kg)	保管 (円/kg)	運搬 (円/kg)
温帯(茨城)	ニセアカシア	20	5	15	6.67	211	0.86	3.7	—	—
温帯(茨城)	ユーカリ	20	5	15	6.87	231	0.86	3.7	—	—

※1 5年伐期で、萌芽更新を3回行う。

b)3 亜熱帯・熱帯

JIRCASにおいて平成21年6月に植付け、平成22年2月に収穫したエリアンサス3系統、ネピアグラスでは、ネピアグラスの初期成育が早く、標準施肥・密植区で24t/haの乾物収量を示した。エリアンサスでは系統間差があり、「IJ76-349」では、標準施肥・密植区(2m×0.5m)において23t/haの最大乾物収量を示した（表 III-1-12）。

表 III-1-12 エリアンサス、ネピアグラスの収量

処理名	有効茎数 (本/10a)	草本乾物重 (kg/10a)	草本乾物率 (%)	茎乾物重 (kg/10a)	茎乾物率 (%)	茎割合 (%)	他乾物重 (kg/10a)	他乾物率 (%)
JW4 標肥・密植	21277±694	2089±309	41±5	660±115	36±2	32±4	1429±241	43±6
JW4 標肥・標植	16110±1988	1736±342	42±4	522±111	36±2	30±2	1214±236	45±5
JW4 半肥・標植	14777±4525	1412±453	41±1	426±168	37±2	30±3	986±290	43±2
JW630 標肥・密植	24332±1041	2333±395	57±1	449±38	43±4	19±2	1884±359	62±3
JW630 標肥・標植	20944±3006	1859±94	51±9	358±32	40±5	19±1	1501±77	55±10
JW630 半肥・標植	13555±3093	1951±737	59±3	343±191	45±8	17±4	1608±550	65±9
IJ76-349 標肥・密植	9222±1171	2294±346	37±3	1295±308	31±2	56±5	999±42	52±14
IJ76-349 標肥・標植	8555±1251	1936±399	34±3	979±168	30±2	51±4	957±252	39±6
IJ76-349 半肥・標植	7666±500	1676±136	36±1	940±60	31±1	56±3	736±91	45±3
ネピアグラス標肥・密植	14777±2496	2995±544	35±4	2172±467	32±3	72±3	823±78	51±11
ネピアグラス標肥・標植	13722±1357	2327±241	33±3	1724±161	29±3	74±2	603±90	53±6
ネピアグラス半肥・標植	13722±2275	2512±627	36±5	1808±493	33±3	72±2	704±134	49±5

エリアンサス数系統、ネピアグラスの生産性について、収穫時期を変えて生産性を評価した。10月植・10月収穫では、ネピアグラスの2年間の生産量は140t/haを超えたが、2年目の生産量は50t/ha以下となった。エリアンサスでは、2年目の生産量が増加し、2年間の生産量は120t/ha程度となった。6月植・2月収穫、その後の再生株の10月収穫では、施肥量・植付け間隔について検討を行い、株間については、50cmの方が100cmの場合より多収であり、エリアンサス JW4、JW630 およびネピアグラスは多肥の方が多収であった。12月植・12月収穫では、初期生育が遅く、12ヶ月間の栽培でも収量は少なかった。

熱帯の高生産性が期待できる植物から、従来作物の生産性を大きく上回る植物2種を選定することができた(図 III-1-23)。

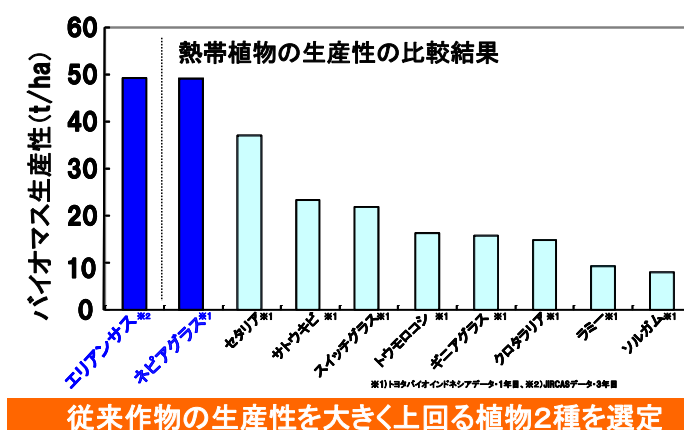


図 III-1-23 熱帯植物の生産性の比較結果

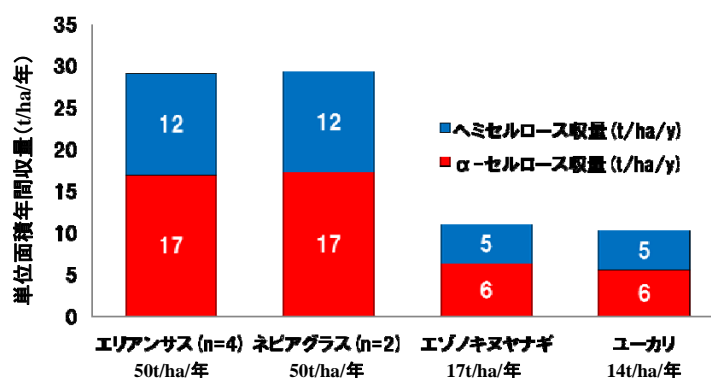
インドネシア スマトラ島において、生産性が高いと思われる10種の植物について、10種類の栽培条件で評価した結果、乾季(7月~10月)と雨季(10月~2月)において、ネピアグラスが最も高い生産性を示した(表 III-1-13)。エリアンサスについては、日本と同様に初期生

長が悪い特徴が見られたが、乾季からは比較的高い生産性を示した。

表 III-1- 13 熱帯植物の生産性比較

No.	作物名	栽培時期	栽培期間	(t/ha)									
				1 標準	2 低堆肥	3 無堆肥	4 低肥料	5 無肥料	6 高密度	7 低密度	8 無灌水	9 無除草	10 耕運無し
1	ネピアグラス	乾季	4ヶ月	10.1	13.0	10.5	7.3	11.9	13.7	8.0	10.4	7.9	8.4
		雨季	4ヶ月	21.1	15.9	18.8	13.5	18.7	24.1	17.0	19.7	16.4	14.8
		合計	8ヶ月	31.2	28.9	29.3	20.8	30.5	37.9	25.0	30.1	24.3	23.3
2	サトウキビ	乾季	8ヶ月	30.8	28.7	30.7	19.0	20.5	34.7	20.7	27.4	23.3	25.6
		雨季		30.8	28.7	30.7	19.0	20.5	34.7	20.7	27.4	23.3	25.6
		合計	8ヶ月	30.8	28.7	30.7	19.0	20.5	34.7	20.7	27.4	23.3	25.6
3	セタリア	乾季	4ヶ月	6.2	6.2	5.0	5.2	5.1	7.1	2.6	4.8	5.2	5.6
		雨季	4ヶ月	12.7	11.3	12.3	9.9	8.8	15.0	10.4	13.5	10.3	11.1
		合計	8ヶ月	18.9	17.5	17.3	15.1	13.9	22.0	12.9	18.3	15.5	16.7
4	スイッチグラス	乾季	4ヶ月	4.7	4.2	4.2	3.9	2.5	7.1	1.9	3.9	3.1	3.6
		雨季	4ヶ月	9.8	9.5	9.9	9.4	9.6	7.8	7.5	10.0	7.7	8.1
		合計	8ヶ月	14.4	13.7	14.2	13.3	12.2	15.0	9.4	13.9	10.7	11.6
5	茎葉利用 トウモロコシ	乾季	4ヶ月	8.8	6.4	6.6	9.7	5.9	8.2	4.7	6.9	6.4	4.8
		雨季	4ヶ月	3.5	2.3	3.8	3.7	3.2	2.2	3.3	4.6	2.1	3.0
		合計	8ヶ月	12.4	8.8	10.4	13.4	9.1	10.4	8.0	11.5	8.5	7.8
6	ギニアグラス	乾季	4ヶ月	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	4.0	0.8	1.8	0.7	1.2
		雨季	4ヶ月	7.9	10.6	8.8	7.3	7.2	12.4	7.6	10.3	5.1	6.5
		合計	8ヶ月	9.4	12.1	10.1	8.7	8.6	16.5	8.3	12.1	5.8	7.8
7	エリアンサス	乾季	8ヶ月	12.2	8.3	9.9	7.9	9.5	18.9	4.8	9.8	6.0	7.7
		雨季		12.2	8.3	9.9	7.9	9.5	18.9	4.8	9.8	6.0	7.7
		合計	8ヶ月	12.2	8.3	9.9	7.9	9.5	18.9	4.8	9.8	6.0	7.7
8	クロタラリア	乾季	4ヶ月	2.9	2.4	3.4	3.3	3.0	5.1	3.0	3.7	3.6	2.9
		雨季	4ヶ月	3.3	2.0	3.1	2.2	2.6	4.8	1.8	3.6	1.4	2.8
		合計	8ヶ月	6.2	4.4	6.4	5.5	5.5	9.9	4.7	7.3	5.0	5.7
9	ソルガム	乾季	4ヶ月	2.2	2.2	1.9	1.7	1.1	2.2	2.0	2.3	3.0	2.2
		雨季	4ヶ月	3.9	3.7	3.3	3.0	1.8	4.3	2.7	3.5	2.4	3.3
		合計	8ヶ月	6.1	5.8	5.3	4.7	2.9	6.5	4.7	5.8	5.4	5.5
10	ラミー	乾季	4ヶ月	2.0	1.3	1.5	1.2	1.1	1.0	1.0	1.3	1.1	1.3
		雨季	4ヶ月	3.3	2.6	2.3	2.1	1.5	2.7	2.1	3.9	2.0	2.3
		合計	8ヶ月	5.3	3.9	3.7	3.3	2.5	3.7	3.2	5.2	3.1	3.6

単位面積当たりの糖収量を試算した（図 III-1- 24）。木本植物（ヤナギ、ユーカリ）と比較すると単位面積当たりの年間糖収量はエリアンサス・ネピアグラスが大きいことがわかった。



⇒バイオマス分析結果より、単位面積あたりの糖収量を試算

図 III-1-24 単位面積あたりの糖収量の試算

単位面積当たりのエタノール生産ポテンシャルを試算した（図 III-1- 25）。エリアンサス・ネピアグラスが 50t/ha で収穫でき、本開発により糖化率 80%・エタノール収率 90%が達成できた場合には、第一世代エタノールに比べて 4 倍以上のエタノール生産性が期待される。

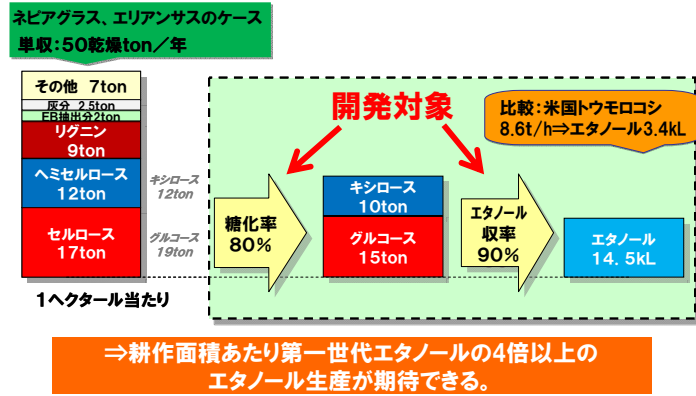


図 III-1-25 エタノール生産ポテンシャル

各気候帯ごとの組合せ植物と生産コストの概要を表 III-1-14 に示す。

表 III-1-14 各気候帯ごとの組合せ植物と生産コスト

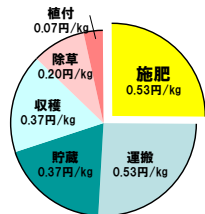
方針転換(選択と集中): 国内(冷帯~暖温帯)のコストは7円程度が限界。熱帯(海外)は低コストと高い生産効率。

地域	組合せ植物	コスト
冷帯 (北海道)	ヤナギ+牧草+ススキ 15t/ha 20t/ha 25t/ha	9.8 円/kg
温帯 (関東)	樹木+牧草+エリアンサス 15t/ha 20t/ha 50t/ha	9.3 円/kg
暖温帯 (九州南部)	牧草+エリアンサス 25t/ha 50t/ha	7.7 円/kg
熱帯 (インドネシア)	ネピアグラス周年収穫 50t/ha (エリアンサス:構築中)	2.1 円/kg

c) 生産持続性の確立

研究開発の結果として熱帯でのネピアグラスの栽培コストの内訳を図 III-1-26 に示す。施肥コストが大きくしていることがわかる。インドネシア(熱帯)の前提は、栽培収穫は人力中心であること、農開拓栽培で行うため土地取得費用は不要であることである。また常緑・青刈りのため養分は土地から常に収奪されることが特徴となる。

ネピアグラスの栽培コスト(インドネシア)



熱帯(インドネシア)の前提
①栽培収穫は人力中心で成立
②農家委託栽培で土地代は不要(農家収益を確保する必要あり)
③常緑・青刈りのため養分は土地から収奪される。適切な施肥の手法の選択が重要。

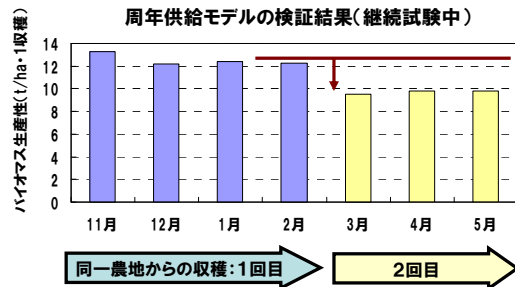
コスト合計2.1円/kg (50t/ha)

熱帯では常緑・青刈りのため土地からの養分が収奪。コスト割合の多い施肥の手法は生産持続性にも影響大。

図 III-1-26 熱帯でのネピアグラスの栽培コストの内訳

肥料としてネピアグラスで NPK のみを施肥として使用した場合には、2 回目以降に明らかに生産性が低下する傾向にあることがわかった（図 III-1-27）。

**肥料として、化学肥料(N・P・K)のみを使用した結果、
同一農地からの2回目の収穫から、生産性が低下**



熱帯では、生産性の維持が課題

図 III-1-27 NPK 肥料のみを使用した場合の生産持続性

図 III-1-28 に示すように、温帯では冬季立ち枯れの際に養分が下部組織・土壌へ転流・貯蔵され次の生長にその栄養素が活用されるのに対し、熱帯では常緑であるため収穫のたびに養分は収奪される傾向にある。このことが熱帯で収奪型となりうる要因である。熱帯の栽培においてはこうした養分収奪をいかに補いながら持続的に栽培していくかが課題である。

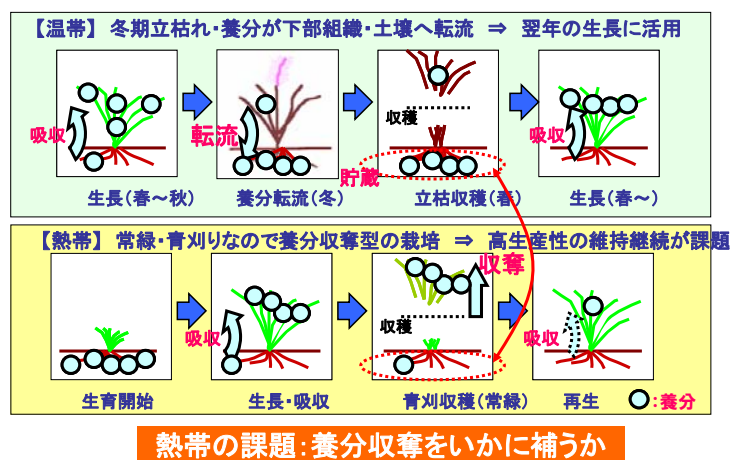
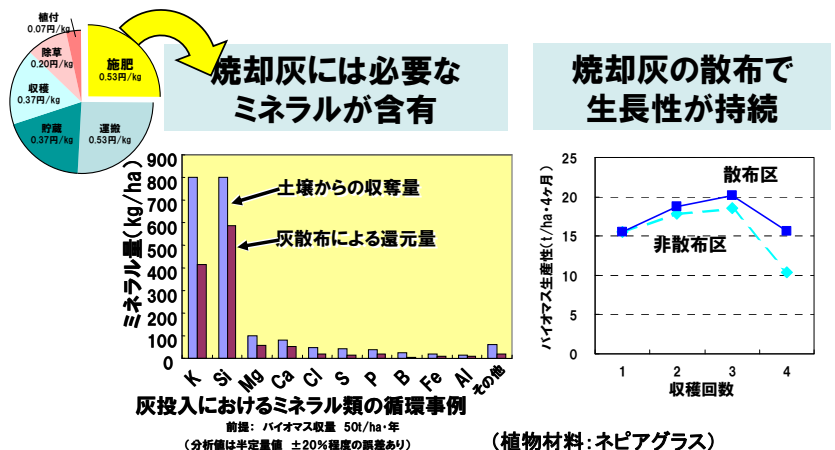


図 III-1-28 熱帯で地中養分を貯蔵した翌年の生長に利活用する考え方

まず熱帯条件での栽培生産の安定性について確認した。インドネシア スマトラ島において、ネピアグラスの周年供給モデル案に基づく栽培試験を行った。栽培パターンの異なる圃場において、毎月収穫を行った結果、収穫データを取得できた4ヶ月間は、毎月、12~13t/ha（年換算 40t/ha）の安定した生産性を示した。

さらに長期間にわたる生産持続性の確立を目指して、熱帯条件で施肥改善・低減検討を行った。バイオマスボイラー残渣を想定した焼却灰を用いた栽培試験では、焼却灰を投入しない試験区では4回目の収穫から大幅に生産性が低下したのに対して、焼却灰投入区では、生産性が低下しにくい傾向がみられた（図 III-1-29）。



バイオマス灰等の残渣で持続的生長と施肥コスト減の可能

図 III-1-29 焼却灰を投入した栽培試験

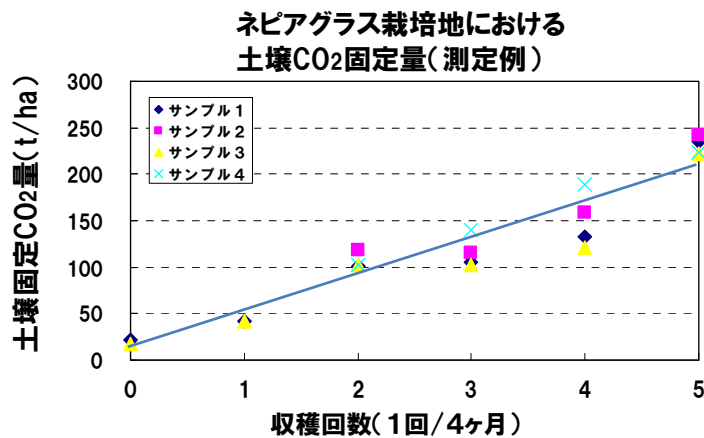
激しい降雨による肥沃な表土の流出防止技術として、不耕起栽培の効果を検討した結果、表土の流出を大幅に低減することができた。不耕起栽培では、雑草の発生が問題となるが、除草剤の使用方法を検討することで、初期雑草の発生を抑えることができた。食料生産不適地を前提とした栽培試験では、キャッサバの収量が半分以下に低下する農地において、ネピアグラスの収量低下は3割程度に抑えられることがわかった。貯蔵までのコストは2.1円/kgと推定され、施肥、収穫に関するコストの割合が高いことがわかった(表 III-1-15)。東京大学が、ネピアグラスのポット苗試験において、菌根菌の効果について検討した結果、菌根菌を接種すると根重が増加し、非滅菌土壌では石膏の添加により地上部の生育改善が見られた。

表 III-1-15 推定コスト

内訳	植付	施肥	除草	収穫	運搬	貯蔵	合計
コスト(円)	0.07	0.53	0.20	0.54	0.36	0.40	2.10
率	3.4%	25.4%	9.4%	25.7%	17.1%	19.0%	100.0%

インドネシアのネピアグラスの栽培地において、持続可能な栽培技術として根系の増加による土壌固定 CO₂ の増加について調査した。

**土壤炭素量の変化から、土壤に固定されるCO₂量を推定。
栽培初期の固定量は80～100t/ha・年。**
(栽培初期値： 約60万kLガソリン相当分/1.4万ha・年[20万kLエタノール生産用面積])



**多年草栽培による土壤有機物の増加、
土壤炭素ストックの増加が期待される**

図 III-1-30 ネピアグラス栽培地における土壤 CO₂ 固定量測定結果

土壤の炭素量を継続的に測定した結果、栽培初期の CO₂ 固定量は、80～100t/ha・年（ガソリン相当量：47～58kL）になると推定された。（図 III-1-30）

土地利用変化として捉えた場合には、有用な値であるため、今後、長期データについて、精度を上げて取得する。

d) 中間目標の達成度、課題と対策

中間目標の達成度および課題と対策の概要について図 III-1-31 に示した。

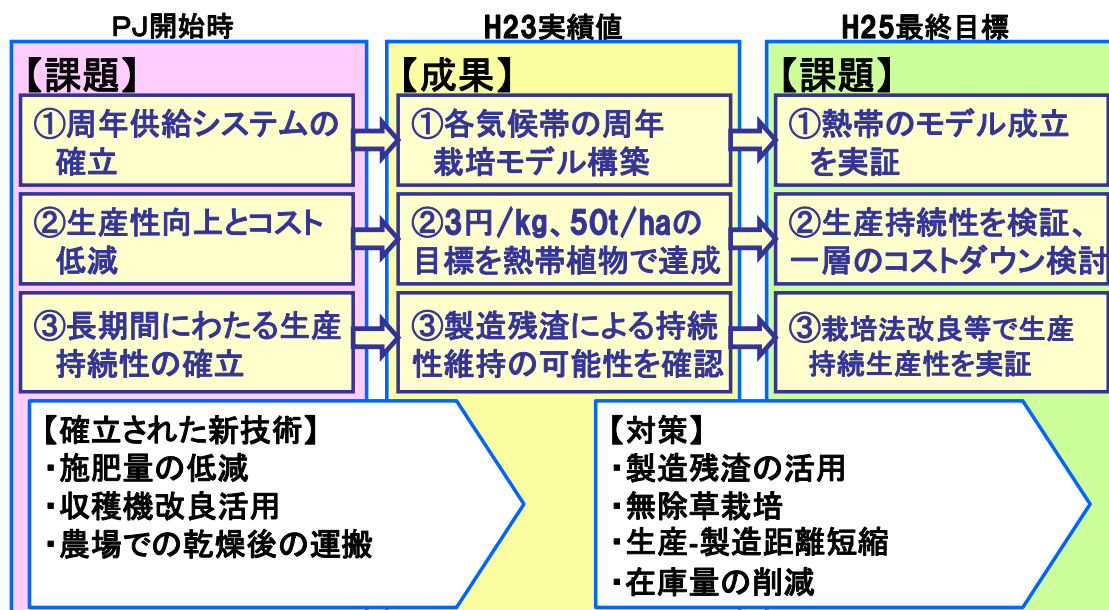


図 III-1-31 中間目標の達成度、課題と対策

(2) エタノール製造技術に関する研究開発

a) 開発技術の特徴と課題

前処理工程は、バイオマスの乾燥・粉砕工程、アンモニア処理工程から成っており、水を用いないアンモニアガスを用いた世界初の前処理プロセスの実用化を目指している。アンモニアガスは回収・再利用が可能であり、廃液発生が無いことに特徴がある。課題としては、アンモニア処理におけるエネルギーの削減とアンモニア処理プロセスの大規模装置化がある。

酵素糖化工程は、酵素生産工程、酵素糖化工程、固液分離工程、酵素回収工程、糖液濃縮工程から成っており、3種の分離膜を活用した世界初の糖化プロセスの実用化を目指している。分離膜の利用技術により、酵素の回収・再利用を可能とし、発酵に適した高濃度糖液の供給が可能であることに特徴がある。課題としては、酵素コストの低減と膜利用プロセスの大規模装置化がある。

発酵・濃縮・脱水工程は、C6糖発酵工程、エタノール分離工程、C5糖発酵工程、エタノール濃縮脱水工程から成っており、非遺伝子組み換え酵母を用いた世界初のC5糖発酵プロセスの実用化を目指している。非遺伝子組み換え酵母を利用することにより、廃酵母や発酵廃液の原料生産工程への循環利用が容易となることに特徴がある。課題としては、発酵収率効率の向上とエタノール分離および濃縮脱水にかかるエネルギーの低減がある。

これらの革新的な技術の組合せで、環境負荷が小さく、効率の良いエタノール一貫製造プロセスの実用化を目指している。

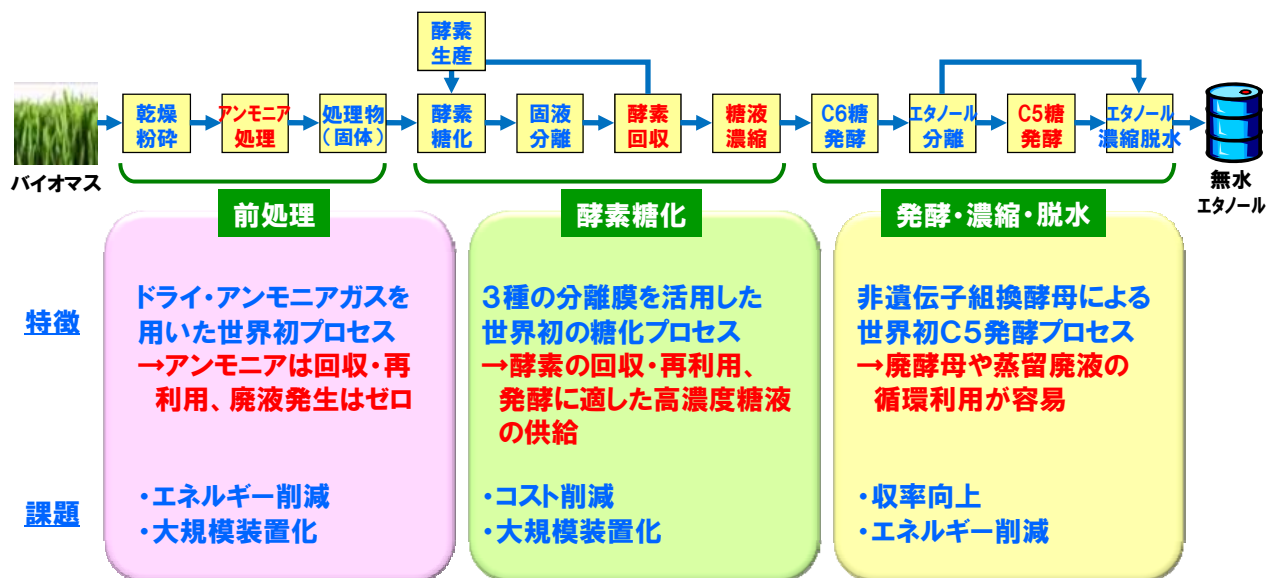


図 III-1-32 開発技術の特徴と課題

b) 前処理技術に関する研究開発

本研究開発は、世界初のアンモニアプロセスの確立を目指した新規プロセスの開発である。開発課題として、①変換効率の向上、②処理コストおよびエネルギーの削減、③革新的プロセスの開発があり、それぞれ①糖化率 80%以上、②アンモニア回収率の向上とアンモニア処理反応およびアンモニア回収エネルギーの低減、③実機化可能なアンモニア反応条件の確立を中間目標として設定した (図 III-1-33)。

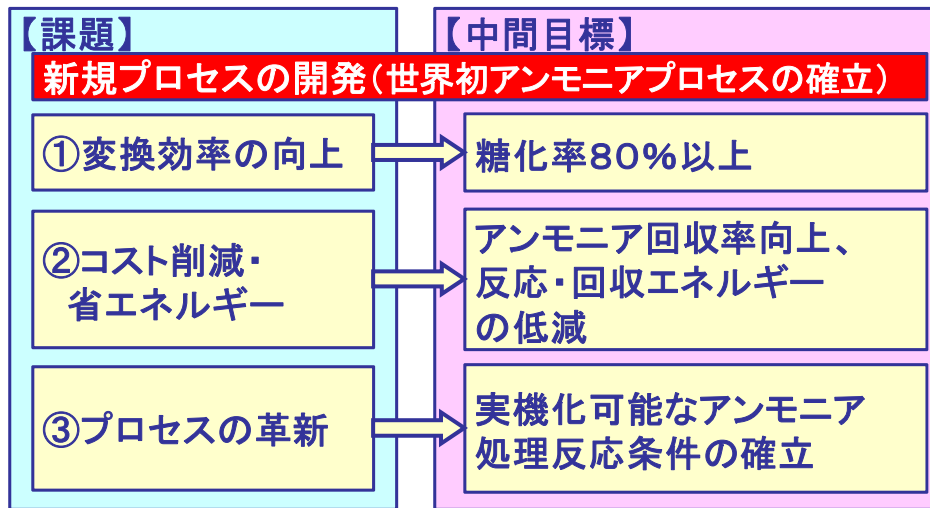


図 III-1-33 前処理工程の課題と中間目標

b)-1 アンモニア処理条件の最適化

高圧の一段アンモニア処理法では回収エネルギーが過大なことから、エステル開裂などの化学的な作用とセルロースの高次構造変化の物理的作用を分離し、それぞれ最適化した。アンモニア処理は、図 III-1-34 示す装置を用いて行った。

高温ではリグニンが縮合する可能性があることから、1 段目の低圧気相アンモニア処理最適処理温度を求めた (図 III-1-35)。また、2 段処理品でほぼ同等の酵素糖化率が得られる最低の圧力を 1 段目の最適圧力とした (図 III-1-36)。

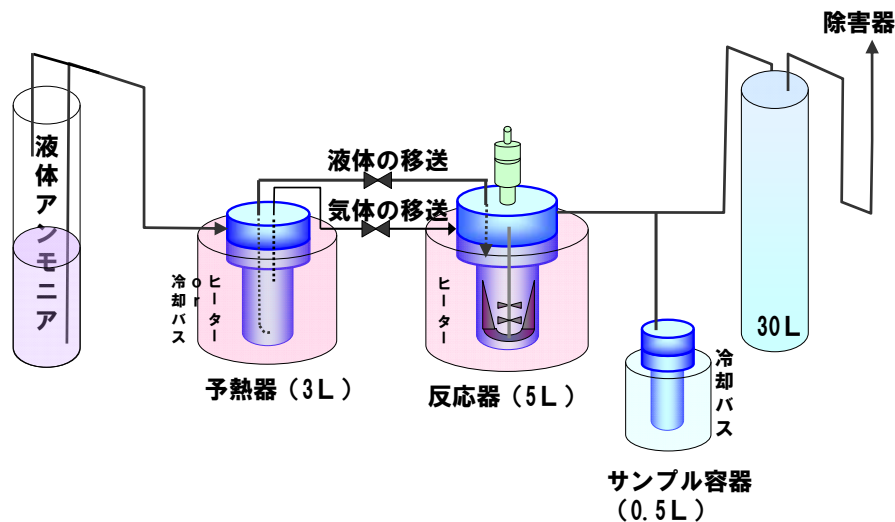


図 III-1-34 アンモニア処理装置概要図

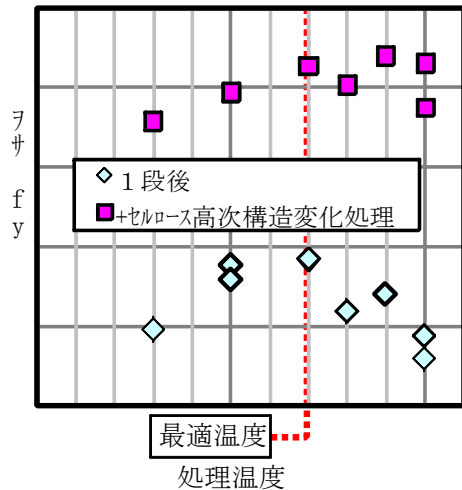


図 III-1-35 一段目最適圧力条件

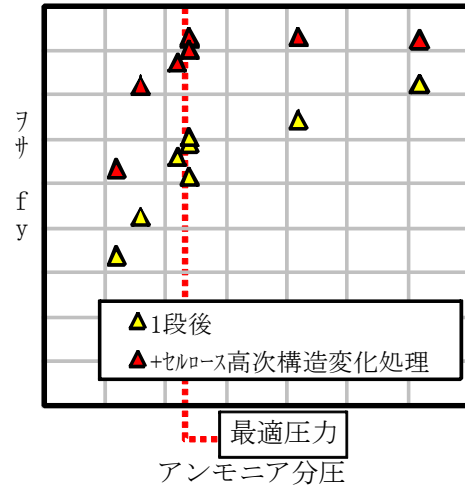


図 III-1-36 一段目最適温度条件

二段目は、X成分によるセルロースの結晶型変態処理(図III-1-37)で糖化率を向上できる(図III-1-38)ことを明らかにした。

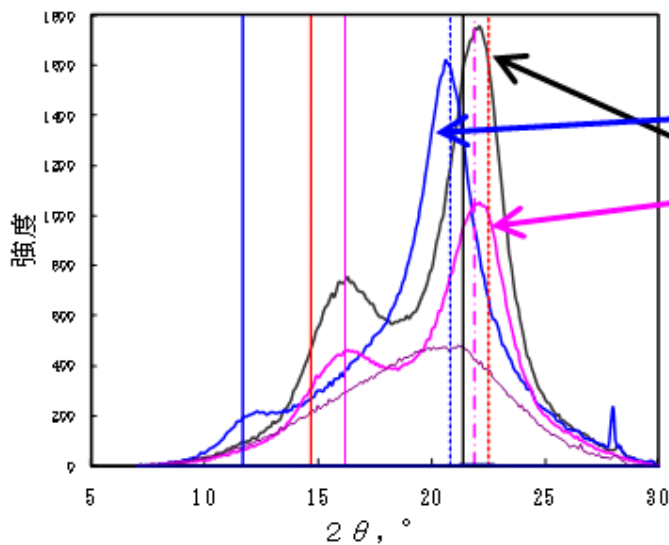


図 III-1-37 XRD チャート

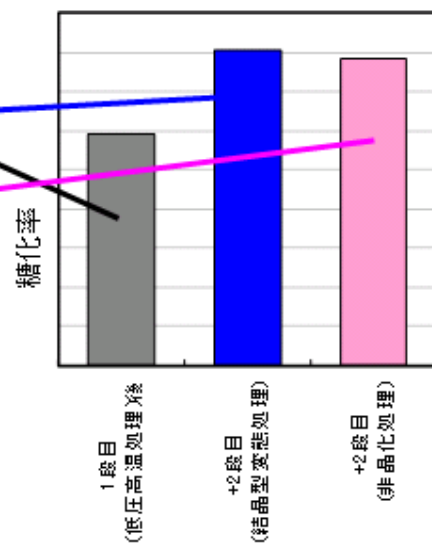


図 III-1-38 二段処理品糖化率

b)-2 前処理工程にかかるエネルギーの削減

アンモニア処理工程に関して、高压一段式から低压二段式に変更することにより、1kgのバイオマスを処理するための消費エネルギーを37%削減することができた。

さらに、低压化により2段バルブで各槽のバイオマスのシールが可能となり、擬似連続化が可能となった。連続反応器においては、昇圧・降圧等の不必要なエネルギー、アンモニア・窒素のパーロス削減できた。さらに、連続反応器においては、バッチ反応器での昇降温エネルギーを必要としないため、消費エネルギーの削減が可能となった。

また、混合槽等における減圧によるパージガスの完全除去により、回収アンモニア純度を上

げ、圧縮 液化法によるアンモニア回収が可能となり、水吸収塔で使用した水を除去するためのエネルギーが不必要となり、さらなる消費エネルギーの削減が可能となった。
 以上のプロセスの省エネ化検討の結果、アンモニア処理・回収工程にかかる直接投入エネルギーを 73%削減できた。

b)-3 前処理工程の中間目標達成度、課題と対策

平成 23 年度の中間目標である①糖化率 80%以上、②アンモニア回収率の向上とアンモニア処理反応およびアンモニア回収エネルギーの低減、③実機化可能なアンモニア反応条件の確立に対して、①実機化可能な低圧二段式で糖化率 80%を達成し、②擬似連続化ならびに反応の低圧化によりアンモニア処理反応および回収エネルギーの 73%削減を達成し、③低圧化・連続化が可能な低圧二段プロセスの基本概念を確立した。

平成 25 年度の最終目標として、①糖化率 80%以上を維持しつつ、②乾燥技術選定による乾燥エネルギーの削減、パージ用窒素ガス使用量の最小化による材料費の削減、③ベンチ装置ならびにコールド試験装置の運転結果に基づく 500kL 規模のアンモニア処理装置の基本設計を実施する (図 III-1-39)。

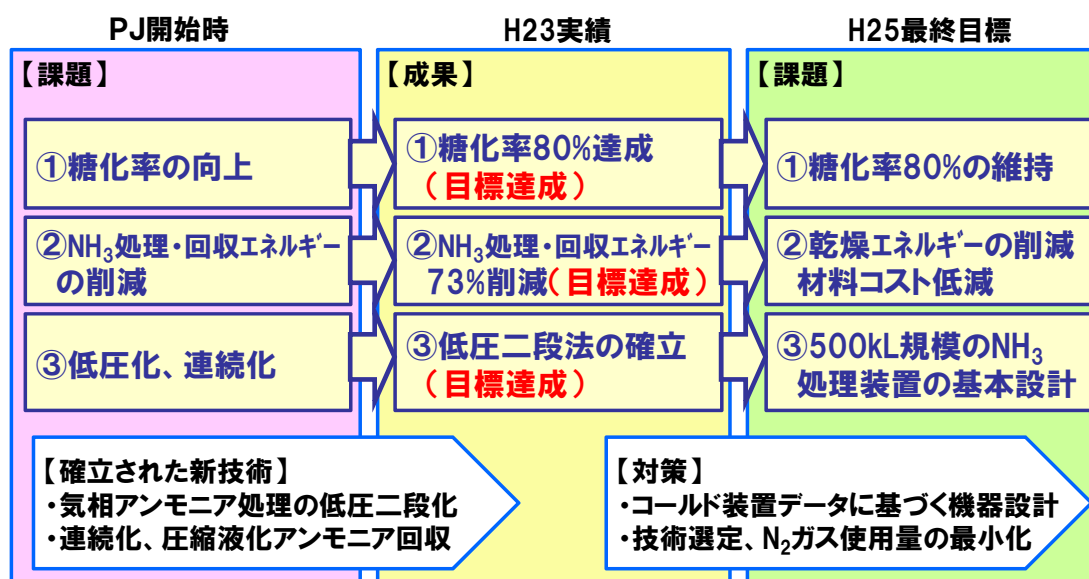


図 III-1-39 前処理工程の中間目標達成度、課題と対策

c) 酵素糖化技術に関する研究開発

開発課題として、①変換効率の向上、②処理コストおよびエネルギーの削減、③革新的プロセスの開発があり、それぞれ①バイオマス 1kg あたりの糖収量 500g 以上、②1g 生成糖あたりの酵素使用量 10mg 以下、エタノール 1L あたりの酵素コスト 25 円以下、③発酵に適した糖濃縮膜プロセスの確立を中間目標として設定した。

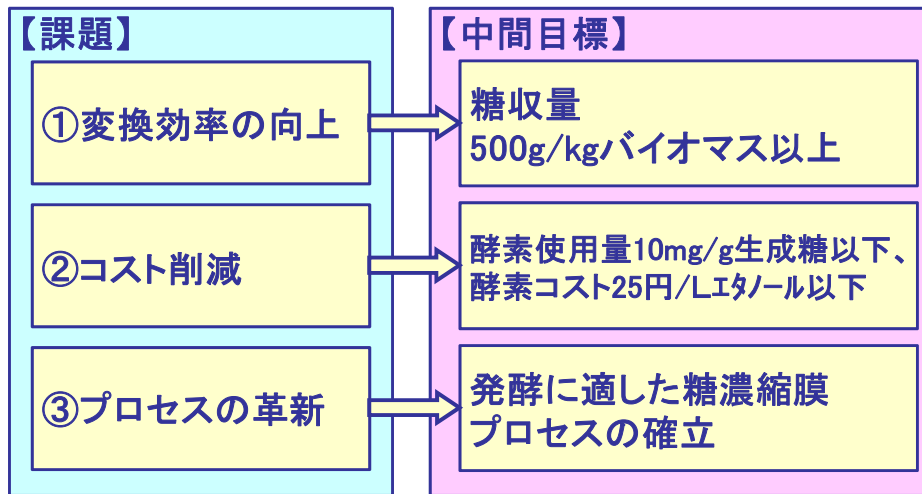


図 III-1-40 酵素糖化工程の課題と中間目標

c)-1 酵素コストの削減

酵素糖化工程における変動費を試算したところ、酵素コスト（酵素剤の調達費用）の占める割合が非常に大きいことが判明した。酵素コストを削減するためには、①酵素生産コストの削減、②高効率酵素剤の開発、③酵素剤の回収・再利用の3つの手段をそれぞれ関連させつつ、糖化プロセス全体を最適化していくことが必要である（図 III-1-41）。

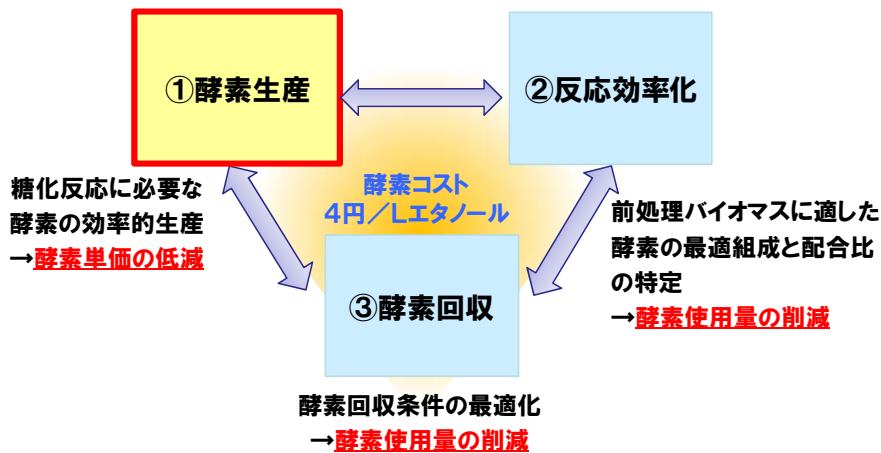


図 III-1-41 酵素コスト削減の戦略

また、最適化の段階では、それぞれの手段の貢献度をそれぞれにコスト削減ならびに消費エネルギー削減の2つの観点から評価していくことが必要である。そこで、それぞれの手段の効果を定量的にシミュレーションする手法を開発し、酵素糖化試験によって得られた結果を入力して酵素低減を目指したシミュレーションを実施した。酵素糖化試験はアンモニア処理エリアンサス粉体を基質とし、酵素濃度、バイオマス濃度、反応時間という3つの観点に基づき、生成糖量および回収酵素に関する酵素糖化反応の基本解析を行った。酵素剤には市販酵素剤Xを用いた。

反応時間6時間でのキシロース生成量では（図 III-1-42 左）、酵素濃度/バイオマス濃度が1/1あるいは1/2で良好のキシロース収量が得られ、反応時間24時間（図 III-1-42

右) ではバイオマス濃度 10%以上の領域でも良好のキシロース収量が得られた。したがって、市販酵素剤 X では、キシロース生成酵素が不足していると考えられる。

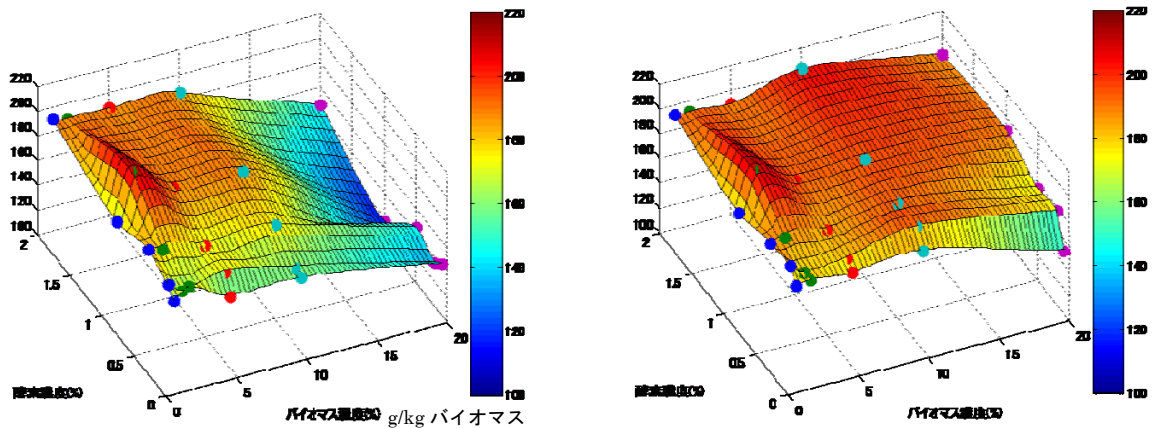


図 III-1-42 6時間キシロース生成量 (左)、および 24 時間キシロース生成量 (右)

グルコース生成量では、反応時間 6 時間 (図 III-1- 43 左) では酵素濃度/バイオマス濃度が 1/5 から 1/1 あたりで良好なグルコース収量が得られる。反応時間が 24 時間 (図 III-1- 43 右) になると、バイオマス濃度 10%で酵素濃度/バイオマス濃度が 1/20 から 1/10 あたりでグルコースが最も高収量で得られたことから、最適反応条件が 6 時間と 24 時間では異なることが明らかとなった。これより、グルコース生成については酵素濃度依存的な領域と基質濃度依存的な領域が存在するものと考えられる。

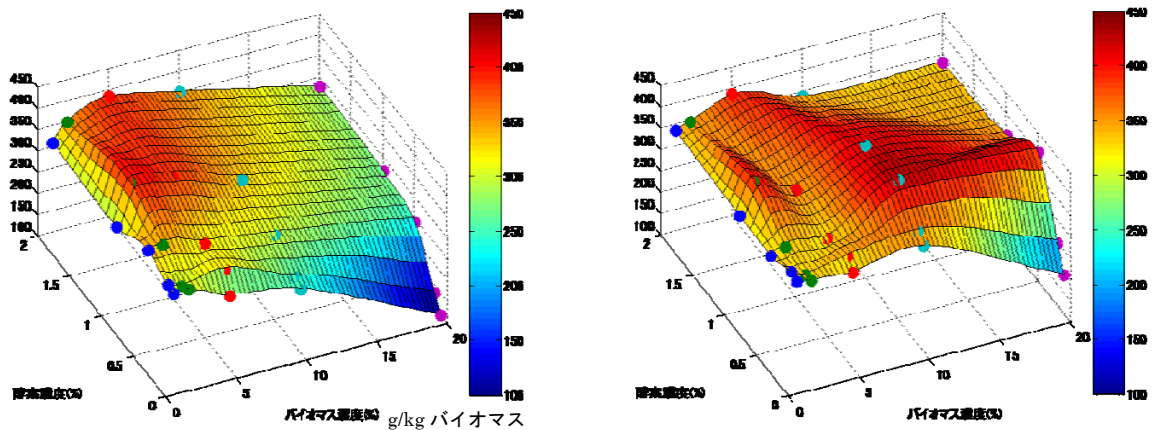


図 III-1-43 6時間グルコース生成量 (左)、および 24 時間グルコース生成量 (右)

グルコースとキシロースを合わせた全単糖生成量 (図 III-1- 44) では市販酵素剤 X には糖収量の目標達成に必要なすべての酵素成分が含まれているものの、目標達成のために必要な酵素量はバイオマスに対して 1/20 量であることから、さらに酵素成分組成の最適化による使用酵素量の削減が必要であることが示された。

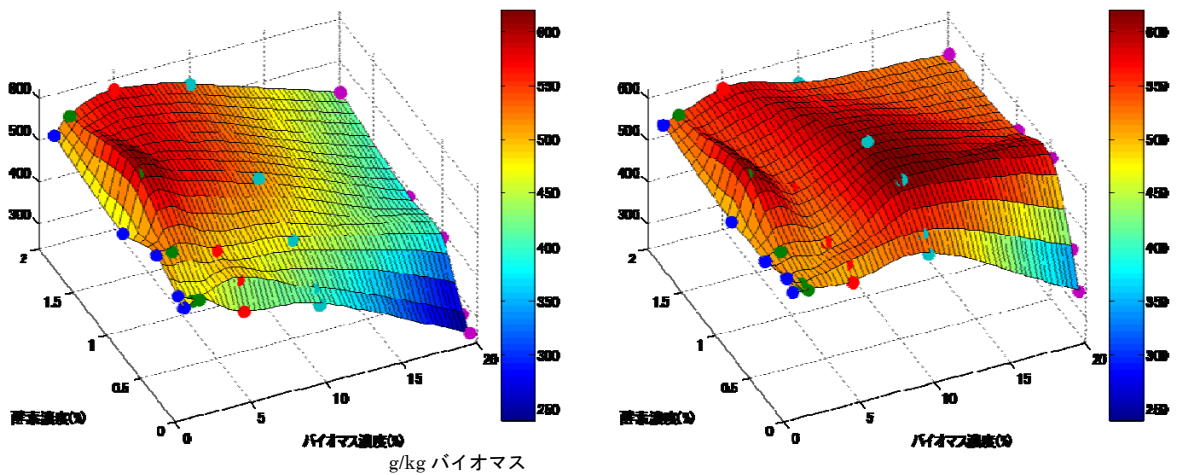


図 III-1-44 6時間全単糖生成量（左）と24時間全単糖生成量

次に、反応後に回収した酵素の活性をみると、グルコース生成活性では（図 III-1-45 左）、高バイオマス濃度かつ低酵素濃度で反応させた場合、反応後のグルコース生成活性の回収率が激減する。セルロース分解に参与する酵素成分が回収されていないことが予想される。一方、キシロース生成活性（図 III-1-45 右）では、どの濃度においても非常に高い回収率が達成された。

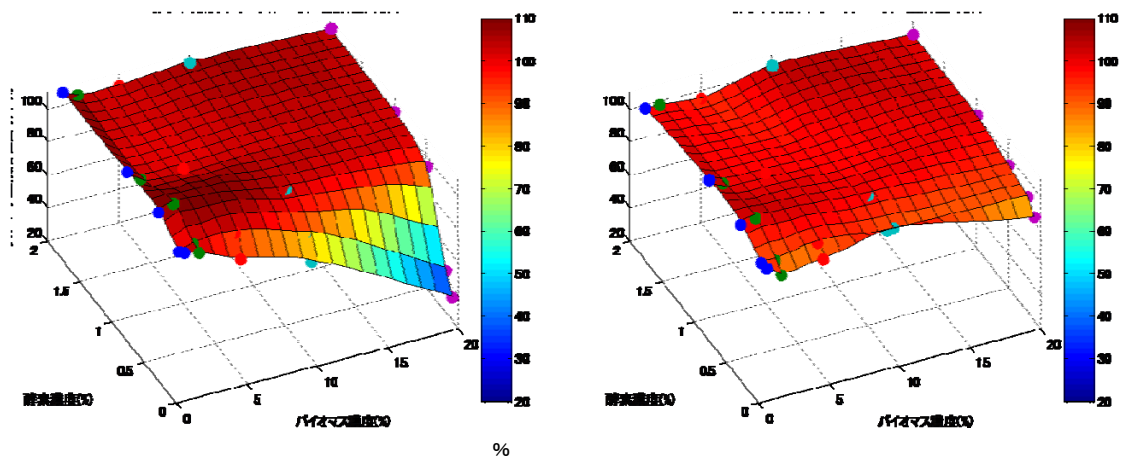


図 III-1-45 反応後の酵素活性回収率 グルコース生成活性（左）、キシロース生成活性（右）

以上の酵素糖化試験結果を酵素糖化プロセスのシミュレーションモデルに入力し、酵素コストを試算した。手法としては、まず解析ソフトウェアとして GaBi4 を選択し、糖化・酵素回収・糖液濃縮プロセスについて物質収支および消費エネルギーの観点から評価するモデルを作成した。そこに、酵素糖化結果試験によって得られた結果を入力して酵素コストを試算した。その結果、酵素回収工程を加えることで酵素コストの大幅削減が可能なることを確認した（図 III-1-46）。

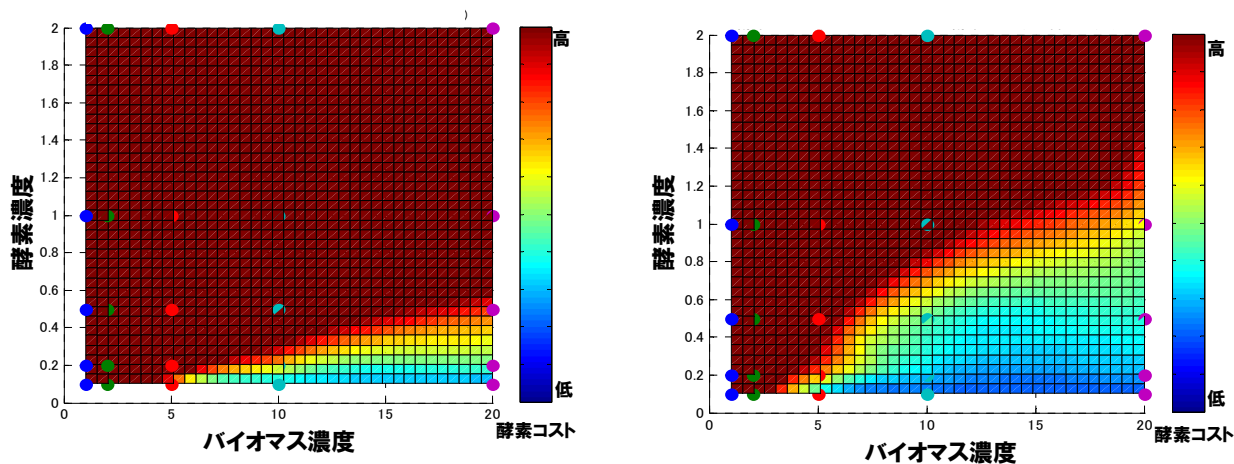


図 III-1-46 酵素糖化試験結果に基づくコスト評価 酵素回収なし (左)、酵素回収あり (右)

以上より、試験で得られた情報を糖化プロセス全体で評価し、コスト低減に向けたプロセス開発に反映させるスキームを構築した。また、本成果により、アンモニア処理バイオマスの酵素糖化効率化のための開発指針が得られたことから、今後は独自に安価で効率的な酵素剤を開発することを目指す。

c)-2 酵素生産コストの低減

糸状菌によるセルラーゼ製造ラボ技術を確認し、培地コストの多くを占める窒素源およびセルラーゼ誘導物質の低コスト代替品の探索を行い、培地比例費を1/10まで削減することに成功した。さらなる培地コスト削減を目指し、セルラーゼ誘導物質の探索を行い、培地比例費を昨年度比1/2まで削減することができた。これまでの検討結果により、市販酵素購入価格に対して、1/2に削減できる可能性を見いだした。

前述培地を使用して培養した糸状菌培養液の酵素比活性を、市販酵素 X と比較した。その結果市販酵素 X のセルロース糖化率に対して、糸状菌のセルロース糖化率はその6割程度であった。両者の比活性に差異を生じさせる酵素成分を探索したところ、糸状菌培養液において、特定のセルラーゼ活性が低いことを見出した。そこで、その特定のセルラーゼ活性を有する市販酵素を糸状菌培養液に添加し、酵素比活性を測定した結果、糸状菌培養液は市販酵素 X と同程度の比活性を示した。以上より、糸状菌培養液に、特定のセルラーゼ活性を強化することで、市販酵素同等の酵素液を製造できる可能性が示された。

c)-3 酵素糖化液の膜濃縮によるエタノール蒸留エネルギーの低減

糖化液を発酵して得られる発酵液からのエタノール蒸留エネルギーを削減するためには、高い糖濃度の糖液が好ましい。一方、酵素糖化工程においては、生成物阻害のため、高い糖濃度の糖化反応は効率が悪い。すなわち、糖化反応における最適条件と発酵蒸留における最適条件が一致していなかった。

これらを両立させるために、酵素反応は糖化に適した低濃度で行い、糖化液を RO 膜濃縮し、発酵工程に提供する方法を選択した (図 III-1-47)。

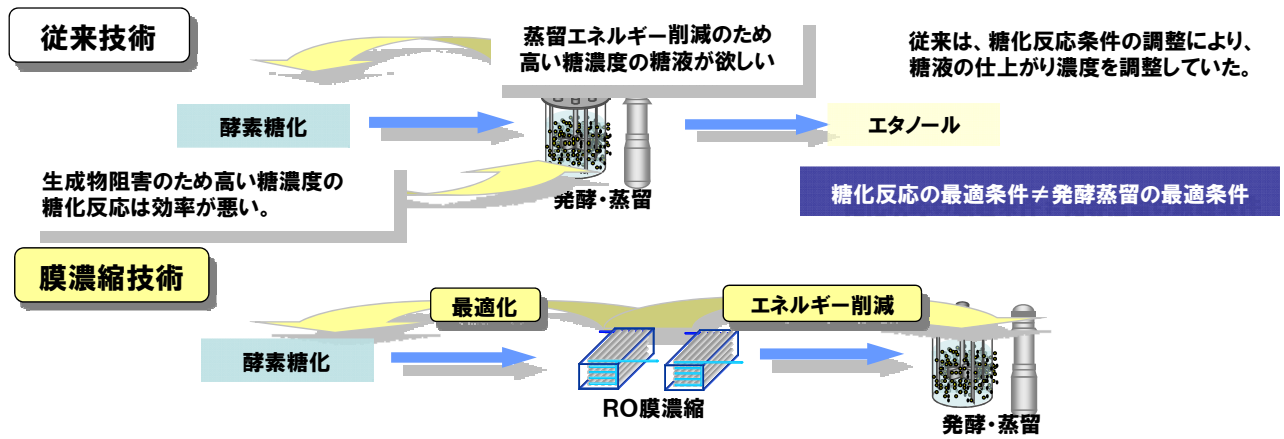


図 III-1-47 酵素糖化液の膜濃縮による蒸留エネルギーの削減

RO 膜濃縮には 1L エタノールあたり 0.4MJ のエネルギーを要するが、糖濃度が上がることにより、エタノール蒸留におけるエネルギーが 5MJ 削減されるため、全体としては 4.6MJ のエネルギー削減となることが示された（表 III-1-16）。

表 III-1-16 酵素糖化液の膜濃縮によるエタノール蒸留エネルギーの低減効果

	試算条件	消費エネルギー（MJ/L エタノール）		
		RO 膜濃縮	蒸留	合計
従来法	6%単糖 → →3%エタノール → 蒸留	—	7.5	7.5
RO 膜濃縮法	6%単糖 → 18%単糖 → 9%エタノール → 蒸留	0.4	2.5	2.9

c)-5 酵素糖化工程の中間目標達成度、課題と対策

平成 23 年度の中間目標である①糖収量 500g/kg 以上、②酵素コスト 25 円/L 以下、③膜利用糖化液濃縮法の確立に対して、酵素生産培地の低コスト化、糖液の膜濃縮プロセスの確立により、全ての目標を達成した。

さらに、自製酵素の比活性向上、酵素組成最適化による回収率向上の検討により、平成 25 年度の最終目標として、①糖収量 500g/kg 以上を維持しつつ、②酵素コスト 4 円/L 以下の達成、③膜利用酵素糖化プロセスの実装置化を実施する（図 III-1-48）。

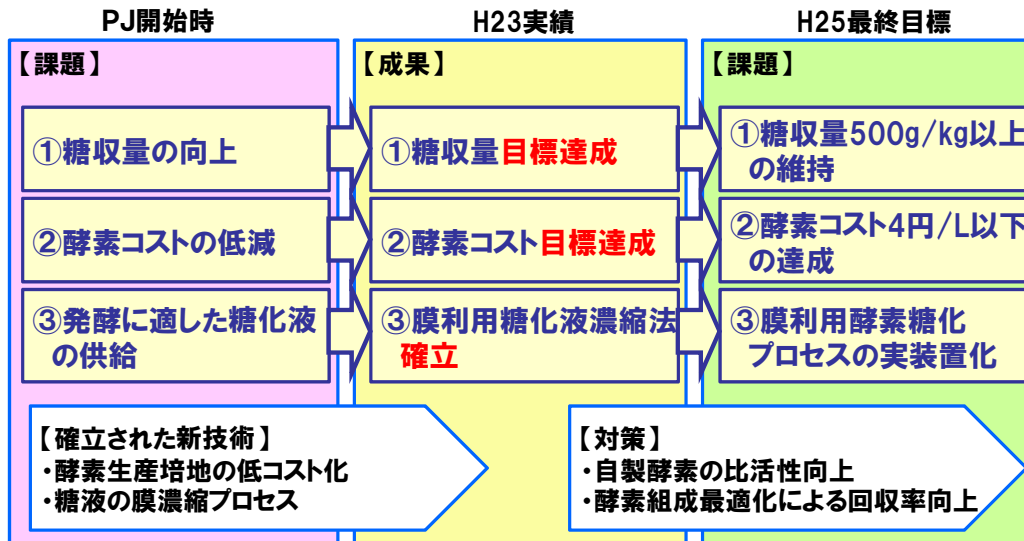


図 III-1-48 酵素糖化工程の中間目標達成度、課題と対策

d) 発酵濃縮脱水技術に関する研究開発

開発課題として、①変換効率の向上、②処理コストおよびエネルギーの削減、③革新的プロセスの開発があり、それぞれ①エタノール収率 90%以上 (C5 糖)、80%以上 (C6 糖)、②エタノール耐性向上によるエタノール分離工程のエネルギー削減、③省エネ濃縮脱水装置の選定を中間目標として設定した (図 III-1-49)。

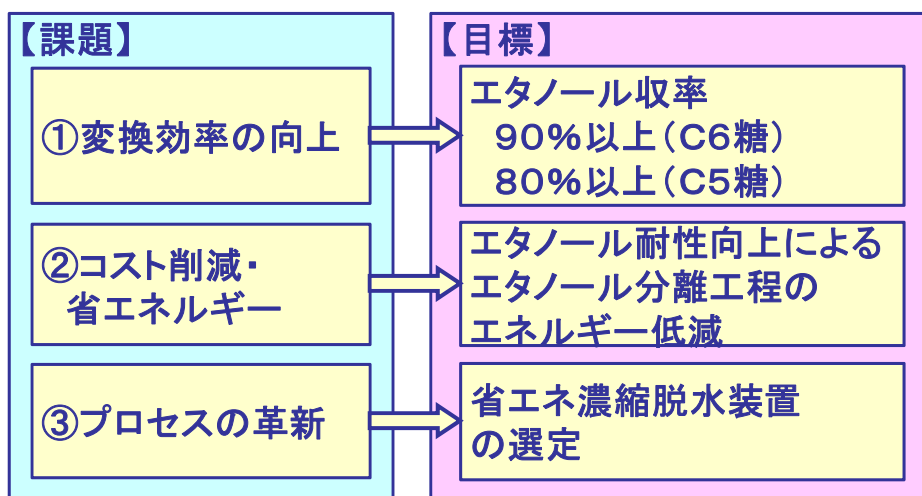


図 III-1-49 発酵濃縮脱水工程の課題と中間目標

d)-1 エタノール耐性向上による消費エネルギー低減

キシロースなどの C5 糖からエタノールを生産することのできる酵母である *P. stipitis* はエタノールに対する耐性が低い。このため、*P. stipitis* による発酵 (二次発酵) の前に、一次発酵により得られたエタノールを蒸留などにより除去する必要がある。エタノール耐性の高い株の取得は、このエタノール除去工程で使用するエネルギーの削減につながる。*P. stipitis* の細胞を突然変異処理や高濃度のエタノールに対する馴化処理に供与した。その結果、3%(w/v)のエタノールが存在する発酵用培地中でも高いエタノール発酵能を保持する酵母変異株 SS1-2ET 株の取得に成功した。SS1-2ET 株はエタノールがない状態で SS39-1 株よりも高いエ

タノール発酵能を示した。また、SS1-2ET 株は 3%(w/v)エタノール存在下の培地中でも、エタノールが存在しない培地中での SS39-1 株よりも高いエタノール発酵能を示した (図 III-1-50)。一次発酵で生成されるエタノールの濃度は 3.6%(w/v)程度であるので、更に突然変異誘導処理や馴化処理を行い、より高濃度のエタノールに対して高い耐性を持つ酵母変異株を取得する計画である。

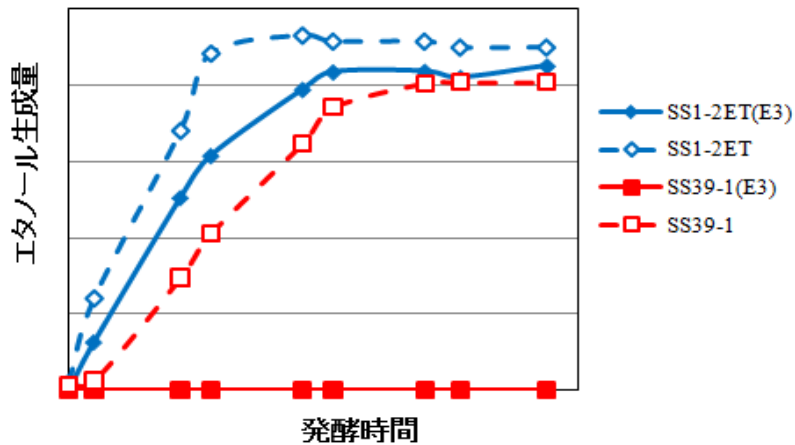


図 III-1-50 3%(w/v)エタノール存在下でのエタノール生成量の経時的な変化
SS1-2ET(E3)および SS39-1(E3)は 3%(w/v)のエタノールを培地に添加

d)-2 自己遺伝子利用による C 5 糖発酵能付与

本プロジェクトでは、バイオマスからのエタノール生産に遺伝子組換体でない酵母の利用を検討しているが、キシロース発酵性を持つ酵母を活用するほかに、通常のサッカロマイセス酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) を利用する方法が考えられる。本酵母は、キシロース (C5 糖) 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おり (図 III-1-51)、これらの遺伝子の活性化により、キシロース資化能を付与できるものと期待される。

そこで、PGK プロモーター制御のもと活性化させた内在性のキシロース還元酵素遺伝子、キシリトール脱水素酵素遺伝子、キシロースリン酸化酵素遺伝子を、サッカロマイセス酵母の染色体に組み込み、キシロース発酵性を調べた。その結果、4%のキシロースを約 40 時間で消費し、エタノールを生産し、その収率は約 51%であった (図 III-1-52)。今後、エタノール収率の更なる向上のため、改良を進める予定である。

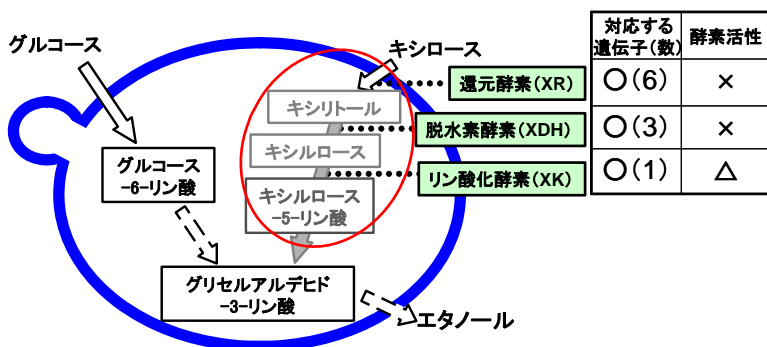


図 III-1-51 サッカロマイセスのキシロース資化遺伝子群と酵素活性

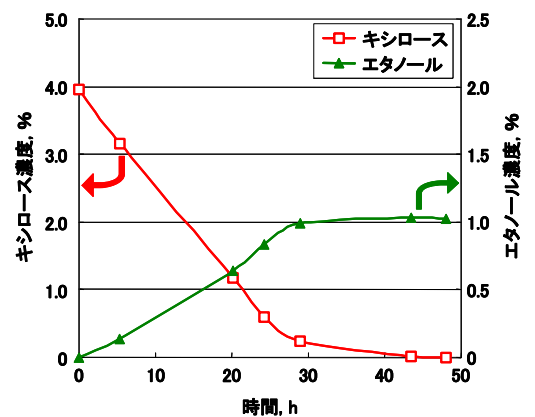


図 III-1-52 キシロース発酵性

d)-3 省エネ濃縮脱水装置の選定

主に4つの方法からベンチプラントにおける蒸留機・脱水技術検討を行った（表 III-1-17）。

表 III-1-17 蒸留・脱水技術の比較

	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4
	加圧蒸留 +有機膜法	HIDiC 法 (内部熱交換型 蒸留塔+無機膜)	常圧蒸留 +無機膜法	減圧蒸留 +無機膜法
エネルギー 使用量	5.3MJ/L	3.2MJ/L	7.7MJ/L	7.1MJ/L
評価	省エネ効果高 く、夾雑物対応 が容易	省エネ効果高い	実績もあり安定 した運転が可能	スケールリングに 強い

※ エネルギー使用量には、ユーティリティー分を見込む

上記4つの方法から、ベンチプラントでは省エネ効果の高い加圧蒸留および HIDiC 法が有効であると判断し、比較検証を行った。その結果、下記理由により加圧蒸留法を採用した。

- ① 加圧蒸留法はバイオエタノールでの実績はないが、数多くの実績を有し、省エネ貢献・安定した運転が期待できる。
- ② もろみ塔（棚段式）、濃縮塔（充填塔）を使用した蒸留は一般的なものであり、糖化液成分に、ばらつきが発生しても、スケール対策、フーゼル油除去が行ないやすい。

さらに、主に表 III-1-18 に示す4つの方法からベンチプラントにおける脱水方法比較検討を行い、ベンチプラントでは有機膜脱水法を採用することとした。低濃度エタノールからの有機膜除去法について、他実績からシステムは完成している。有機膜脱水の課題は、有機膜の耐久性検証である。この点について、ベンチプラントにて脱水膜の耐久性試験を実施・検証する。有機膜の耐久性課題をクリアにすることで、今後バイオエタノール製造における展開可能技術になる。

表 III-1-18 脱水技術の比較

	膜脱水 (有機膜)	膜脱水 (無機膜)	PSA 法	従来法
評価	安価。 耐圧性があり構成が 簡略になる。低アルコ ールでも脱水可。	実績がある。 高温や薬品に強い。	実績がある。	共沸蒸留であり、工業 エタノールでは一般 的。

d)-4 発酵濃縮脱水工程の中間目標達成度、課題と対策

平成 23 年度の中間目標である①C6 糖からのエタノール収率 90%以上、C5 糖からのエタノール収率 80%以上、②エタノール耐性 3%以上、③省エネ濃縮脱水装置の選定に対して、発酵阻害物質除去技術、発酵阻害耐性の向上、エタノール耐性の向上により、全ての目標を達成した。

さらに、C5 糖利用酵母の変異改良、自己遺伝子利用酵母の改良により、平成 25 年度の最終目標として、①C6 糖からのエタノール収率 90%以上、C5 糖からのエタノール収率 85%以上、②エタノール耐性 3.6%以上、③省エネ濃縮脱水装置の性能評価を実施する（図 III-1-53）。

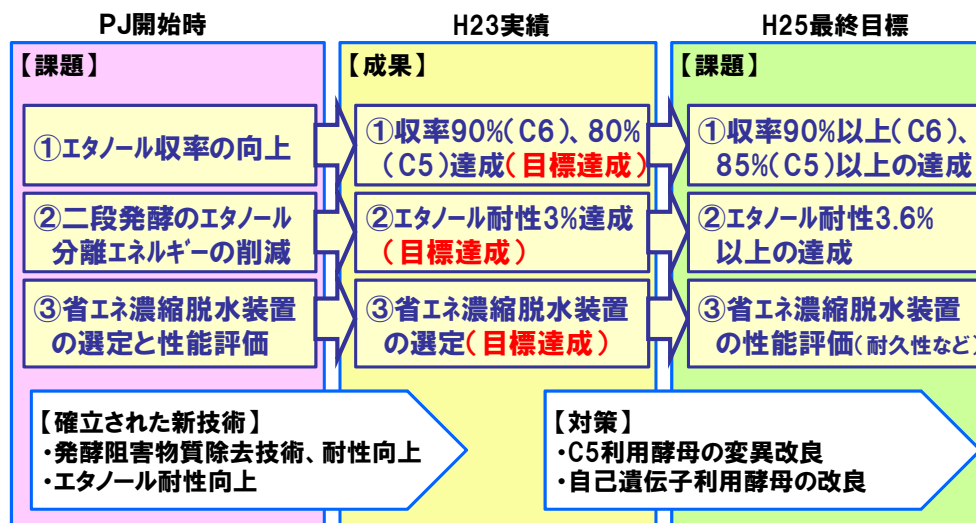


図 III-1-53 発酵濃縮脱水工程の中間目標達成度、課題と対策

e) ベンチ実証試験

各工程における（ア）ラボ試験またはプレベンチ試験での検討結果のスケールアップデータの取得、（イ）長期運転試験データの取得、（ウ）エネルギー収支・物質収支のデータの取得を目的にベンチ実証試験を行う。

ベンチ装置の建設・運転スケジュールは表 III-1-19 に示す通り、平成 23 年度の下期から試運転・本運転を開始できるよう建設工事を進めている。

表 III-1-19 ベンチ装置の建設・運転スケジュール

	平成22年度(2010年度)									平成23年度(2011年度)													
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3		
前処理	基本/詳細設計	→																					
	機器製作/調達			→																			
	建設工事												→										
	試運転/本運転																						
酵素糖化	基本/詳細設計	→																					
	機器製作			→																			
	建築/設備工事												→										
	試運転/本運転																						
発酵	詳細設計			→																			
	機器選定/調達	→																					
	建設工事																						
	試運転/本運転																						

e)-1 前処理工程ベンチ装置の概要

本プラントは、バイオマスを粗粉碎し、乾燥した後、2段処理する設備からなる（図 III-1-54）。

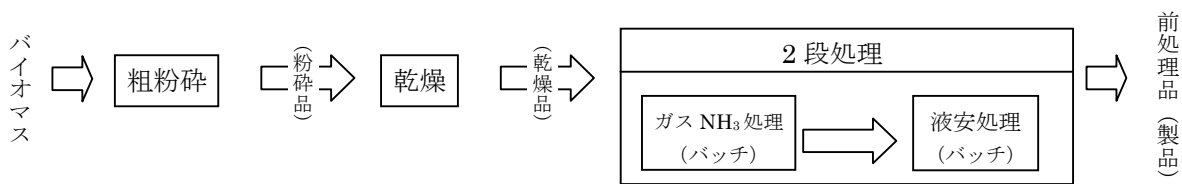


図 III-1-54 前処理工程プロセスフロー図（概略）

e)-2 酵素糖化工程ベンチ装置の概要

ベンチ実証のための、基本設計および詳細設計を実施した（図 III-1-55）。

糖化工程フロー概略

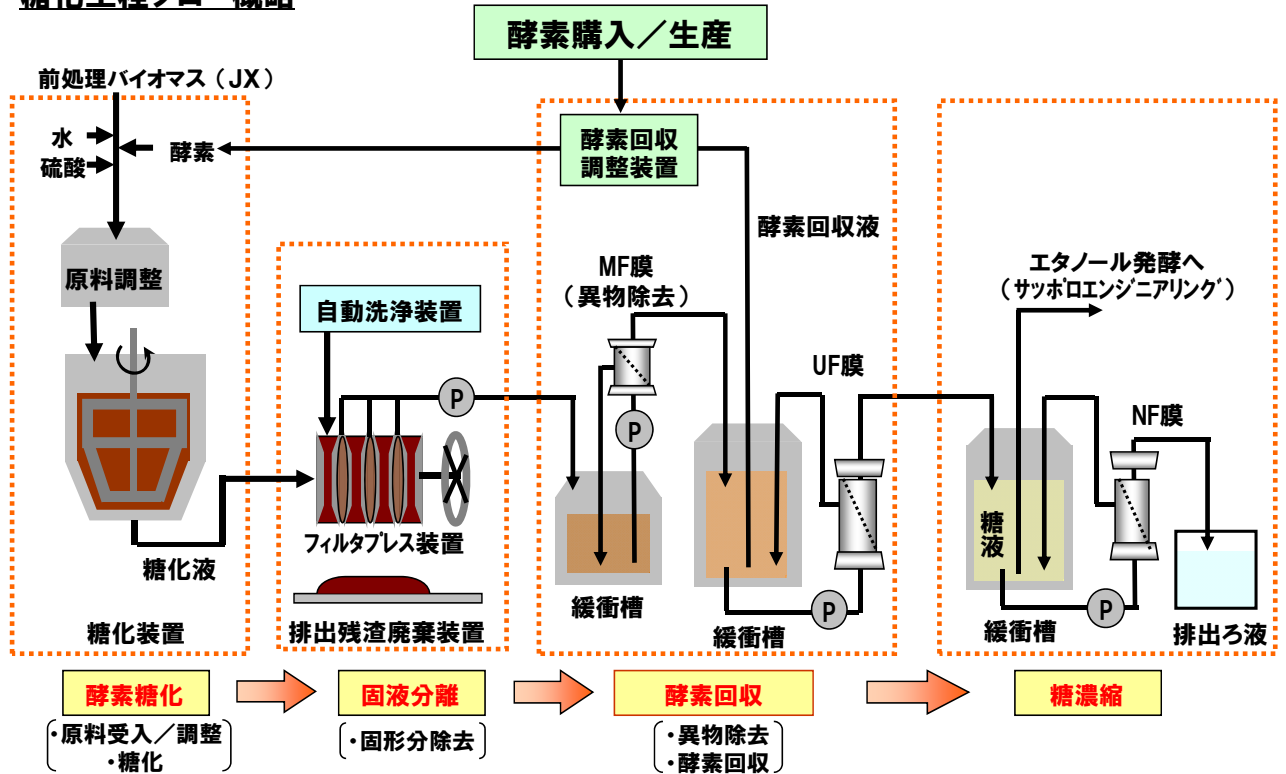


図 III-1-55 酵素糖化工程プロセスフロー図 (概略)

e)-3 発酵濃縮脱水工程ベンチ装置の概要

ベンチプラントでは、2段階発酵法をベースに C6 発酵・エタノール分離・C5 発酵・蒸留・脱水を行う。これらのプロセス設計を行った (図 III-1-56)。

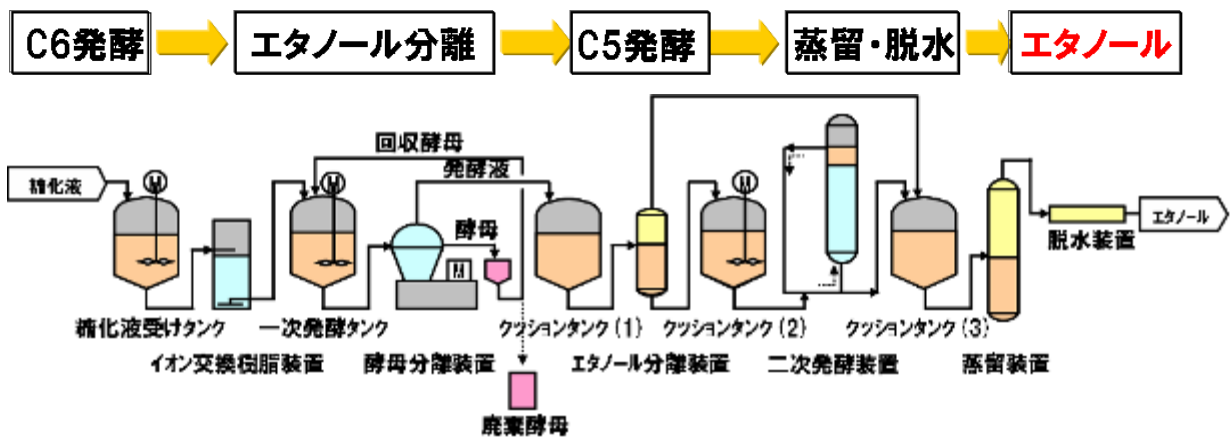


図 III-1-56 発酵濃縮脱水工程プロセスフロー図 (概略)

2-1-9 特許、論文、対外発表等の状況

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-1-20 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-1-20 特許、論文、対外発表等の状況

	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT出願	査読付き	その他	
H21FY	2	0	0	0	0	27
H22FY	3	0	0	3	0	34

また、研究組合の知財グループが中心となって組合成果の帰属、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-1-57)

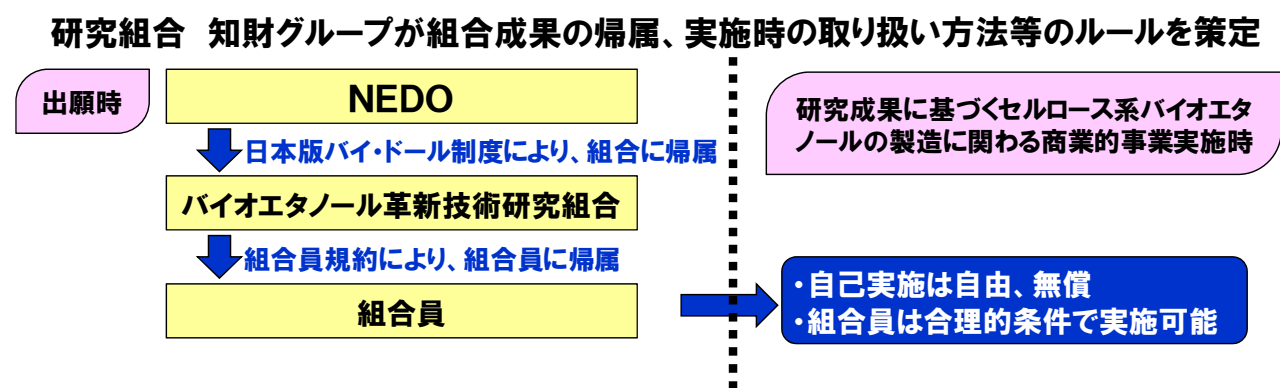


図 III-1-57 知的財産権の取り扱いについて

2-1-10 最終目標と達成見通し

表 III-1-21 に最終目標と達成見通しについてまとめた。

全体目標である一貫システムの最適化については、プロジェクト最終年で 80 円/L を目指すものであるが、現時点の試算においては当初想定よりプラントコストが大幅な増加する試算値を得ており、固定費の増大に繋がっている。酵素コストは今年度末までに順調に低減できており、今後計画通りに進行することで、80 円/L の目標は達成できる見込みである。個別の目標については、以下にまとめた。

(1) エネルギー植物の生産システムの最適化

数値目標である 50t/ha、3 円/kg は既に達成しているが、熱帯地域での生産の持続性については、今後の検討課題であり、複数年にわたる栽培試験により検証を行ってゆく。

(2) 前処理技術に関する研究開発

糖化効率 80%以上は、既に達成済みである。今後は、消費エネルギー、材料コストの更なる低減を実施し、500kL/年へのスケールアップ検討を実施してゆく。

(3) 酵素糖化技術に関する研究開発

酵素コスト低減、酵素糖化の効率化が大きな課題であり、今年度までに得られた知見を活用し、酵素組成の最適化による自製酵素の比活性向上と回収率の向上により目標の達成を目指す。

(4) 発酵濃縮脱水技術に関する研究開発

最終目標は、エタノール収率 90% (C6 糖) 以上、85% (C5 糖) 以上である。C6 糖収率は既に目標値を達成している。C5 利用酵母の収率は 80%まで達成できており、酵母改良の継続により、達成が見込める。

バイオ燃料技術革新計画の 2015 年におけるベンチマーク 40 円/L(原油 50\$時)に対しては、プロジェクト最終年の目標を達成したとしても、更に設備コストの大幅な低減が必要となってくる。本プロジェクトにおいては、各工程の要素技術開発およびそれを繋いだ一貫システムとしての最適化を実施し、セルロース系バイオエタノールの一貫システムの基盤技術を確立できると考えている。プロジェクト終了後は、更にプロセスのブラッシュアップによる設備の省エネ化、コンパクト化の検討によるコスト削減を継続し、実用化への道筋を確実なものにしてゆく必要がある。

表 III-1-21 最終目標と達成見通し

研究課題	最終目標（平成25年度末）	達成見通し
一貫システムの最適化	・ 80円/L（原油50¢時）	・ 現時点の試算では当初想定より大幅な固定費増となったが、酵素コストの削減により、コスト80円/Lの目標は達成できる見込み。
	・ エネルギー収支2以上 ・ GHG削減率50%以上	・ 最終年を想定した試算を実施し、エネルギー自立化が達成できれば達成可能であることが分かった。
(1)エネルギー植物の生産システムの確立	・ 周年供給できる栽培モデルを構築し成立することを確認	・ 熱帯植物・熱帯地域での試験でモデル成立を実証する。
	・ 50t/ha ・ 3円/kg(10円/Lに相当)	・ 目標値は達成済。持続して目標値の生産性が継続できるか検証が必要（下記項目）。
	・ 複数年にわたる栽培で生産持続性を確認	・ 熱帯植物・熱帯地域での栽培方法改良により持続生産性を実証する。
(2)前処理技術に関する研究開発	・ 糖化効率80%以上	・ 達成済。 ・ 消費エネルギー、材料コストの更なる削減 ・ 500kL規模のアンモニア処理装置の基本設計
(3)酵素糖化技術に関する研究開発	①酵素使用量2mg/g生成糖以下 ②酵素コスト4円/L以下 ③糖収率500g/kg以上	・ 酵素組成の最適化による自製酵素の比活性向上と回収率の向上により達成を目指す。
(4)発酵・濃縮・脱水技術に関する研究開発	イタール収率90%（C6糖）以上、85%（C5糖）以上	・ C6糖の発酵収率は達成済み。 ・ C5利用酵母の収率は80%まで達成できしており、酵母改良の継続により、達成が見込める。

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. 研究開発の目標

「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、CO₂削減率5割以上（対ガソリン）、化石エネルギー収支2以上）の実現に向けて、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、研究開発を実施する。また、環境負荷・経済性などを評価することを目的とする。

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る。

- 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製紙が担当する。

- 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製紙が担当し、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後委託先の京都大学が担当する。

- ③ 自己熱再生蒸留技術に関して、中間目標として得られた実験データをもとに実用化時の条件に補正・換算したうえで、省エネルギー効果（エタノール水溶液濃度を10%から90%に濃縮するために必要なエネルギーを従来法の約1/6（約0.7MJ/L-エタノール）とする）を立証する。最終目標は実用化可能な省エネルギープロセスの構築である。

この研究は新日鉄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する。

- 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。

この研究は新日鉄エンジニアリングと王子製紙、その後委託先である王子エンジニアリングで実施する。

- 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、CO₂削減率5割以上（対ガソリン）、化石エネルギー収支2以上を実現することに対して、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する。

2-2-2. 研究開発の内容

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、蒸溜、廃棄物処理の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する。

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。前処理条件の最適化とは、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全ての項目を評価して、一貫プロセス全体で最もエネルギー、コスト削減が可能な一貫プロセス全体の最適化を行うことである。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。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する。

具体的には以下の技術開発を行う。

- 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：湿式粉碎法をベースとしたナノ空間形成法を、既に大規模に工業化している紙パルプ製造設備に応用展開し、木質組織構造を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：酵素糖化の生成物阻害の回避、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、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℃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：蒸溜のエネルギー回収を容易にする自己熱再生技術の導入。
- 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。

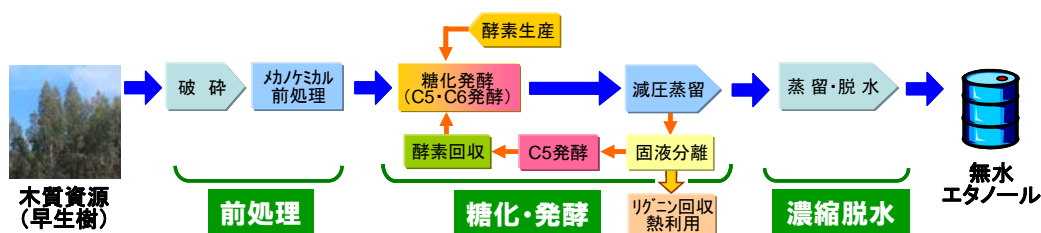


図 III-2-1 早生樹からのメカノケミカル前処理によるエタノール一貫生産システム

①エタノール生産適性早生樹の大量栽培技術開発

①-1 エタノール生産適性早生樹の候補樹種調査（王子製紙担当）

本事業では、これまで王子製紙が国内外で行ってきたパルプ用植林における育種・育林技術をバイオエタノール生産原料用として最適化することを目的とする。本研究項目では、これまでに事業植林として行ってきた国内外の各地域における早生樹の生長量を調査し、エタノール

製造に最適化した植林を行った場合の収量予測を行う。

最終目標として本開発事業のベンチマークである面積あたりの生産性が1ヘクタールあたり年間17トンを達成することが可能な樹種の選定を行う。

①-2 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（王子製紙担当）

本研究項目では①-1で選定したエタノール生産適性早生樹の候補樹種を実際に国内、海外に0.5~10ha程度の植栽を行い、植栽密度試験、短伐期試験、萌芽更新試験、樹種試験を組み合わせた圃場試験による1~4年程度の短伐期での収穫量調査を行う。これら収穫量の基礎データによって、原料調達として年産10万kLのエタノール生産に必要な植栽面積およびコストなどを算出する。また収穫した原材料は③-4で行うパイロットプラント運転試験で使用し、一貫生産システムとしての評価を行う。

①-3 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（王子製紙担当）

パルプ材を目的とした植林では通常、6年から15年程度で伐採する。これは紙の性質に大きく関与する繊維長や、黒液中に回収されるリグニン量、パルプ蒸解性およびパルプ収率など様々な条件を考慮した上で設定している。しかし、エタノール原料として考慮した場合、必ずしもこの条件が当てはまるとは限らない。特に酵素による木質バイオマスの糖化を行う場合、リグニンによる強固な構造がセルロースへの酵素接触の妨げとなると想定され、リグニンが糖化率低下の原因の一つと考えられる。

そこで、本研究項目では、国内外に2~20ha程度の大規模栽培試験地を設定し、植栽樹種の検討、密度・施肥などの育林技術の検討、初期成長段階におけるリグニン蓄積の少ない時期（伐期：収穫時期）の前処理における投入エネルギーの検討、収穫方法の検討、効率的な運搬方法の検討により、大規模栽培に必要な技術開発を行う。短期伐採で得られる原料の集荷方法、輸送方法の調査を平行して行う。

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）

②-1 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）

木質系バイオマスからの、酵素糖化-発酵法によるバイオエタノール製造プロセスでは、最初に強靱な木質を低コストかつ高効率で酵素分解し易くする前処理が重要である。これまでの研究において、木質系バイオマスを湿式で機械的に粉碎処理することによって超微細繊維（マイクロフィブリル）にほぐし、セルロース等の木質成分に酵素が容易に接近・吸着して加水分解を進行させることができるナノ空間形成法を開発した。

湿式粉碎処理方法としては、これまでに連続・大量処理が可能なディスクミルを用い、さらに処理効率の向上のために湿式での予備粉碎処理および比較的低温でのオートクレーブ処理を組み合わせる方法（複合湿式メカノケミカル処理）を構築した。この手法では、従来、木質の酵素糖化性を向上させるために必要と言われてきた、結晶性の高いセルロース成分の非晶化や脱リグニン処理は必要ない。複合湿式メカノケミカル処理による生成物では高結晶性かつ木質成分がそのまま残存した状態でも、高い酵素糖化性を発揮する。

王子製紙ではこれらラボ技術を発展させ、実用化・大型化を目指してアルカリ添加水熱処理と機械的粉碎処理としてレファイナー処理を組み合わせ低コストで高い酵素糖化性を発揮する

メカノケミカルパルピング前処理を構築した。産総研での基盤研究では、王子製紙で実施した前処理技術による酵素糖化性向上メカニズムの解明を行い、効率的な処理条件を明らかにし前処理コスト・エネルギーの低減と実用化を推進する。

平成 23 年度までに、メカノケミカルパルピング前処理工程を効果的に進めるための基盤的試験として、製紙用ユーカリチップおよび本プロジェクトで栽培した早生樹等の木質原料を種々の条件（処理温度、アルカリ種）で水熱処理し、小型粉砕機を用いて湿式メカノケミカル処理して得られた処理物および王子製紙で前処理した原料について、成分組成の変化、物理・化学特性と酵素糖化性の関連について解析し、酵素糖化性を向上させるための機構解明を進める。また、酵素糖化性評価方法として、物理・化学的手法、生化学的手法の種々の前処理物への応用性と最適化を行い、迅速酵素糖化性評価方法の構築を進める。平成 25 年度までには、酵素糖化に最も影響を与える因子について明らかにし、パイロットプラントで得られた前処理物について、これまでに明らかにした酵素糖化性向上機構および重要因子の観点から解析・評価し、パイロットプラントの効果的かつ経済的な運転条件の最適化を進める。

②-2 酵素糖化・発酵技術の研究開発（産総研担当）

リグノセルロース由来バイオエタノール製造一貫システムの技術の中でも糖化酵素工程の経済性は特に重要な要素であり、糖化酵素をオンサイト生産することにより経済的なシステム構築が可能になると試算しているが、そのためには優れた酵素生産菌株の育種が必須である。産総研オリジナルのセルラーゼ高生産性糸状菌 *Acremonium cellulolyticus* について、従来ランダム変異による育種開発に成功してきたが、産総研ではこの菌のゲノム解析や形質転換法など基盤的な研究開発を進めており、今後遺伝子操作を利用して、さらに高生産性の菌株が効率良く開発されることが期待される。

産総研ではこのような状況をふまえ、平成 23 年度までに、糸状菌による広葉早生樹に適したセルラーゼおよびヘミセルラーゼの生産性向上を、主に遺伝子操作により行うために、糖化酵素遺伝子、転写因子遺伝子等の取得、形質転換株の解析、などの基盤的研究を行い、キシロシダーゼの活性を野生株の 2 倍以上、セルラーゼ転写因子の解析までを中間目標とする。

これらに基づいて平成 25 年度までにセルラーゼ、ヘミセルラーゼ高生産性菌株を育種し、特に製造コスト目標の達成に貢献すると共に、パイロットプラント規模での生産実験とその評価を行う。最終目標としてキシロシダーゼ活性が 10 倍以上、セルラーゼ生産性 1.5 倍以上を目指す。

発酵技術については、広葉樹バイオマスに多量に含まれるが通常酵母では発酵できないキシロースなどの五炭糖を利用するために、遺伝子組み換えにより酵母に発酵性を付与する分子育種が必須である。また、併行複発酵（SSF）は同一装置内で糖化と発酵を行えると共に、生成糖による糖化阻害を回避できる効率の良いシステムであるが、実用化のためには、*Saccharomyces cerevisiae* が SSF に求められる高温耐性を十分保持していないことが問題になる。

産総研でのこれまでの研究において、キシロース発酵能の優れた工業用 *S. cerevisiae* として凝集性酵母 IR-2 株を選定し、この酵母株の染色体にキシロース代謝性酵母 *Pichia stipitis* のキシロース還元酵素（XR）遺伝子とキシリトール脱水素酵素（XDH）遺伝子、および *S. cerevisiae* のキシロキナーゼ（XK）遺伝子を連結した染色体組込型発現カセットを導入する

ことで、グルコース存在下でもキシロースを効率よく発酵できる C5・C6 糖同時発酵性工業用酵母株の作製に成功した。さらに、野性型 XDH の代わりに NAD⁺ 要求性から NADP⁺ 要求性に補酵素特異性を変換した改変型 XDH を発現させることで、キシロースからのエタノール発酵速度の向上も達成している。

産総研では平成 23 年度までに、*S. cerevisiae* 酵母株をさらに改良するために、DNA マイクロアレイ解析によるキシロース発酵に関わる新規遺伝子の同定やペントースリン酸経路における酵素群の増強等の研究を実施する。また王子製紙で開発している酸塩耐性酵母による併行糖化発酵に適した高温耐性や耐酸・耐塩性の特質を持つ酵母を探索し、これにキシロース発酵能を付与するための技術開発を行う。

平成 25 年度までに、メタボローム解析などの各種オミックス解析を実施し、それによる知見も活用しながら、効率的な C5・C6 糖同時発酵および SSF 用酵母を育種し、製造コスト、CO₂ 削減効率、エネルギー収支の各目標達成に貢献すると共に、パイロットプラント規模での生産実験とその評価を行う。

②-3 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：京都大学担当)

現在、工業的なエタノール発酵にはその高い発酵効率から出芽酵母 (*S. cerevisiae*) がもっぱら使用されている。しかしこの酵母は、ヘミセルロースの構成糖であるキシロース等のペントース (五炭糖) を炭素源として用いる能力をもたない。従って、ペントース発酵性のない酵母に遺伝子組み換え技術を用い、ペントース発酵性を付与する分子育種が必須である。木質のペントースとしては、通常キシロースが最も含有量が多いため、本研究ではキシロースのエタノール発酵について研究開発を行う。従来の研究では、キシロース代謝系酵素の補酵素依存性の違いにより、細胞内酸化還元環境が不均衡になり、キシロース代謝が遅いことが指摘されてきた。

これまでの研究においては、まずキシロース代謝系酵素の一つである XDH について、補酵素依存性をタンパク質工学的な手法により改変する研究を行った。具体的には、キシロース代謝酵母 *Pichia stipitis* の XDH 遺伝子配列をターゲットとし、大腸菌内で補酵素結合部位のアミノ酸を部位特異的変異導入によって置換することにより、NAD⁺ 依存性の野生型 XDH から NADP⁺ 依存性の新規改変型 XDH を作成した。さらに、この補酵素依存性変換 XDH を野生型の XR とともに、常時高発現型のプロモーターである PGK プロモーターを利用し、実験室酵母 *S. cerevisiae* D452-2 株等に形質導入しキシロース代謝効率を測定した。その結果、改変型 XDH を発現させた場合は、キシロースからのエタノール変換効率が上昇するとともに、中間代謝物質であるキシリトールの培地中への蓄積も抑制されることを見出した。

以上の研究成果をふまえ平成 23 年度までに、XR について補酵素依存性を変換させた XR の作成を試みる。現在までの研究成果から、NADP⁺ 依存性の XR が効率的なキシロース代謝に有用であると推測され、試みられているがいまだ成功していない、NADP⁺ 依存性 XR の作成に重点を置く。さらに、キシローストランスポーターおよびその関連遺伝子について探索を行い、効率的キシロースの細胞内取り込みに有用と思われる遺伝子の同定および単離を行う。

ついで平成 25 年度までに作成した補酵素依存性変異 XR を XDH とともに酵母内で発現させることにより、さらに効率的なキシロースからのエタノール変換を目指す。また、トランスポ

ーターなどの関連遺伝子も同時に酵母内で発現させることにより、更なる高効率化を目指す。最終目標としてキシロースからの発酵特性改善効果を検証する。

またセルラーゼ生産糸状菌について糖化酵素生産性の向上を目指した遺伝子操作を行うためには、ターゲット遺伝子の探索が重要となる。酵素生産性・糖化特性などの評価を行うとともに、ゲノムデータを解析して糖化酵素転写因子やヘミセルラーゼなど遺伝子操作のターゲット遺伝子の解析を行う。平成 23 年度までに、糸状菌 *A. cellulolyticus* のゲノム情報を解析し、ターゲット遺伝子として糖化酵素転写因子やヘミセルラーゼに関する遺伝情報を解析する。さらに糸状菌 *A. cellulolyticus* に糖化酵素転写因子やヘミセルラーゼ遺伝子を形質転換した株について、ゲノム情報との相関関係を解析してターゲット遺伝子を探索し、遺伝子操作による更なる糖化酵素生産性向上を目指す。ついで平成 25 年度までに、糸状菌 *A. cellulolyticus* のゲノム情報から探索した糖化酵素生産性を向上させる遺伝子を改変し、遺伝子操作による糖化酵素生産性向上につなげる。糸状菌 *A. cellulolyticus* の糖化酵素生産性を向上させる遺伝子操作を最適化し、糖化酵素が経済性よく生産できる糸状菌株の創生を目指す。

③ 一貫プロセス最適化研究

③-1 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（王子製紙担当）

産業技術総合研究所でのオートクレーブ処理（高温蒸気処理）とディスクミル処理の複合処理により、高効率での酵素糖化前処理が可能であることを示された。そこで別途実施した NEDO 委託研究「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（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」（加速的先導事業）において、平成 20 年度から平成 21 年度まで、海外植林の広葉樹林地残材を原料に、これらの前処理の効率化と糖化性の向上および大規模化（事業化）を目的として、機械パルプ化技術を基盤とした前処理技術の構築を行った。

機械パルプ化法は、丸太あるいはチップに湿潤状態でせん断力を加え、木材組織における繊維間の中間層を破壊し、繊維を単離するもので、グラインダーで丸太を磨砕する碎木パルプ（groundwood pulp：GP）、高温・高圧下でリファイニングするサーモメカニカルパルプ（thermomechanical pulp：TMP）、アルカリ薬品などの化学的前処理を経たのちにレファイナーで磨砕するセミケミカルパルプ（semi-chemical pulp：SCP）などが実用化され 1 日数千トン処理できる技術がある。機械パルプ化法はパルプ収率が高いという特徴がある。反面、リグニンが残っているため酵素での糖化率が低い事、レファイナーによる磨砕の動力が大きく、電力コストが大きい事がエタノール製造にとって問題である。

そこで加速的先導事業においては、軽度の薬品処理と高濃度レファイナーを用いた磨砕処理の組み合わせにより、収率が高く、レファイナーの動力負荷の少ない技術の開発を検討してきた。その結果、ラボレベルであるが、機械的処理にかかるエネルギーを 0.5kWh/原料 kg 以下でかつ、後工程の酵素糖化収率が 80%以上となる処理可能な前処理条件を見出した。

糖化、発酵プロセスについては、糖化酵素のコストが大きいこと問題である。そこで王子製紙では経産省の事業「エネルギー使用合理化古紙等有効利用二酸化炭素固定化技術開発」（平成 12 年～平成 15 年）の成果として、糖化発酵後の酵素を回収再利用することで、酵素を何度繰り返し使用でき、酵素のコストを下げる事が可能であることを見出した。しかしながら、糖化発酵後に残渣が多量に出るバイオマスの場合、残渣の除去により酵素も付随して除去される。

そこで残渣と酵素回収を両立させる技術の開発を行うため、残渣除去を行いながら連続併行糖化発酵を行う最小規模の設備を王子製紙関連の江戸川工場内に建設した。本ベンチスケールプラントでは、大量バッチ処理で作成した林地残材前処理物を用いて、不純物を除去し、酵素を回収再利用しながらの連続糖化発酵試験を行い、高い糖化率を維持することに成功した。

一方、セルラーゼなどの多糖分解酵素によるセルロースの糖化では、一般に処理時間が長いことと、酵素反応によって生じた単糖類が酵素反応を阻害するため、反応系における原料濃度を高くすることができない等の問題がある。この状態で事業化を試算した場合、巨大な酵素反応槽が必要となり、設備コストが莫大になることが予想される。

また併行糖化発酵ではセルラーゼなどの多糖分解酵素の最適温度は 50℃前後であるのに対し、酵母によるエタノール発酵は 30℃前後でしか行えない。このため、糖化と発酵を同じ系で行う場合、酵素の能力を犠牲にして常温付近で反応を行う必要があった。さらに、これまでの検討の結果、コストを考慮して酵素の添加率を低く設定した場合には、反応における律速は発酵よりも糖化になることを確認している。

セルロース系エタノールの事業化には、生産するエタノール濃度が高いこと、また反応槽あたりの生産性が高いことが重要である。生産速度の点で優れた連続処理を優先にバッチ処理など実用化が可能なプロセスにより、エタノールの生産速度、最終到達濃度とエタノール収率を含めて糖化、発酵の最適条件の検討を行い、発酵残渣の除去方法も含めてプロセスフローの検討を行う。これまでに基質としてパルプを使用し、酵素の高濃度添加による反応時間の短縮、糖化収率向上、酵素の回収再利用による酵素コスト削減、基質濃度 10%以上の高濃度糖化・発酵プロセスを特長とする連続糖化・発酵プロセスの開発を行ってきた。使用する酵母の候補としては高温耐性酵母の開発を行っており、これまでに 40℃でも通常と同程度の発酵能を有する酵母 (*Issathcenkia orientalis*) を見いだしている。

本事業では、パルプ産業設備とメカノケミカル処理との組合せによる前処理方法によって得られた処理物を原料として、高効率糖化酵素、六炭糖・五炭糖同時発酵実用酵母による連続糖化発酵条件（糖化収率、発酵収率、反応速度、生産コストなど）の最適化を進める。さらに産業技術総合研究所で開発する六炭糖、五炭糖同時発酵実用酵母の開発の成果を受け、これらの酵母の導入によるプロセスの簡素化により、より実用性の高いプロセスの構築を行う。

本事業は①-2で行う早生樹の栽培による原料の供給が可能になる平成 22 年度から実施し、これまでに得られた知見を用いて同様の結果が得られるカラボレベル、および江戸川工場に建設したベンチスケールプラントで検討する。また、粗破碎と磨碎の比率の最適化や、薬品の種類・濃度の最適化により回収コスト削減、酵素必要量削減および糖化率向上を加速的先導事業に引き続き検討する。

さらに平成 23 年度には、酸塩耐性酵母のセルフクロニング技術の開発を行い、産総研が開発する六炭糖、五炭糖同時発酵技術と合わせて実用的な六炭糖、五炭糖同時発酵実用酵母の作成を開始する。また最終年度までに樹種、樹齢、施肥条件などのことなる原料毎に前処理条件の最適化をプロセスの所要動力、酵素使用量、エタノール収率、残渣分離・酵素回収などの一貫プロセスとして全体で評価検討し、経済性と収穫適期の関係を明らかにする。中間目標としてプロセスへのネットの投入エネルギーが 6MJ/kg 以下の処理で糖化率 80%以上にするプロセスフローを開発する。さらに前処理、原料の検討を行い、平成 25 年度には最終目標として原料 1kg あたりの投入エネルギーが 6MJ 以下、エタノール収率が 0.3L 以上、エネルギー回収

率 35%以上となるプロセスの開発を目標とする。

③-2 エタノール製造プロセスの最適化(新日鉄エンジニアリング、

東京大学(一部共同実施)担当)

本事業の要件である実用化を目指した研究開発の観点から、パイロットプラント設備の位置付けは極めて大きい。平成 21 年度は、王子製紙・産総研の開発成果の把握をおこない、平成 22 年度以降にパイロットプラントの設備基本計画検討を行い、平成 23 年度のまでに以下の検討を行う。

a)パイロットプラントの設計、建設のための設計条件明確化

王子製紙および産業技術総合研究所の開発成果、ラボ実験・ベンチプラント実験データ等を基に、物質・熱収支を検討しパイロットプラント設計データを把握する。また、NEDO 殿が保有する食品廃棄物エタノール化設備を活用して、糖化発酵槽流動挙動把握試験、酵素回収型減圧蒸留塔条件確認試験、蒸留塔省エネルギー化運転条件確認試験を実施し、設計条件を明らかにする。更に

b)バイオエタノール蒸留塔の省エネルギー化検討

バイオエタノール蒸留塔に自己熱再生技術を適用し、省エネルギー化の検討を行う。コンピュータシミュレーションによる自己熱再生型蒸留プロセスの最適化、NEDO 殿が保有する食品廃棄物エタノール化設備を活用した実証実験を実行する。(新日鉄エンジニアリング・東京大学共同実施)

得られた実験データとシミュレーションとの差異の要因を定量的に分析し、放熱量、機器性能・ロス・発酵後のエタノール濃度、機器構成等の条件を補正・換算したうえで、エタノールの濃縮にかかるエネルギーについて、自己熱再生技術による省エネルギー効果（自己熱再生技術の適用により、エタノール水溶液濃度を 10%から 90%に濃縮するために必要なエネルギーを従来法の約 1/6（約 0.7MJ/L-エタノール）とする）を立証する。

平成 24 年度以降は一貫生産システムにおいて、長期間安定的に運転できるような設備仕様の最適化検討、セルロースエタノール化プロセスの物質収支に対応したエタノール濃縮について、最適化検討、水の循環を中心に物質・熱収支の検討を継続し、最適なプロセスを構築し、一貫生産システムへの反映と評価、セルロースエタノール化プロセスの物質収支に対応したエタノール濃縮条件での実証試験データに合わせたプロセスシミュレーションモデルの確立を行う。

④パイロットプラント設備設計・建設（新日鉄エンジニアリングおよび

王子エンジニアリング担当)

平成 21 年度までに実施した開発の成果をもとに、平成 22 年度、23 年度において、パイロットプラントの設備設計および建設を行う。平成 21 年度までの成果に基づいて決定したパイロットプラントの主な仕様とプロセスは、下記のとおりである。平成 22 年度以降の開発および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、運転条件を決定する。

a)パイロットプラントの主な計画仕様

- ・原料：木質系バイオマス（エタノール生産適性早生樹）
- ・設備能力：バイオマス処理量 1 トン/日（乾基準）
 ……エタノール製造量 約 250L/日（無水エタノール JASO 規格相当適合）
- ・原料受入設備：原料受入ヤード+原料洗浄
- ・前処理設備：粗破碎+メカノケミカルパルピング処理

<主な構成機器>

原料洗浄装置 ……メタルトラップ+ドレーナー
 原料貯蔵ホッパ ……供給装置付き 15m³ホッパ×1 台
 粗破碎機 ……一軸破碎機（110kg/h、破碎粒径 20mm 以下）×1 台
 薬品処理装置 ……アルカリ処理装置（運転温度約 90～120℃）×1 台
 レファイナー ……高濃度ディスクレファイナー（420kg/h）×1 台

<主な構成機器>

連続糖化発酵槽 ……12 m³糖化発酵槽×2 槽（運転温度：約 37℃、pH：約 4 程度、
 滞留時間：2 槽で約 33 時間）
 固液分離装置 ……スクリュープレス（約 0.3 m³/h）×1 台
 減圧蒸留装置 ……減圧蒸留装置×1 台（エタノール濃度約 4～10%に濃縮）
 C5 糖発酵槽 ……1.5m³発酵槽×1 槽（運転温度：約 30℃、pH：約 4 程度、
 ……滞留時間：約 12 時間）

酵素回収装置 ……固液分離方式
 発酵用酵母培養槽 ……1200L 培養槽×1 槽
 ・濃縮脱水設備：精留+膜脱水

<主な構成機器>

精留塔 ……連続精留塔×1 台（エタノール濃度約 10%→約 90%に濃縮）
 膜脱水装置 ……膜脱水装置×1 台（脱水後エタノール濃度 99.5%以上）
 ・排水処理：パイロットプラントを併設する製紙工場の排水処理設備を利用
 ・熱源供給：パイロットプラントを併設する製紙工場の黒液ボイラから発生する蒸気を利用
 ・建設予定地：広島県呉市 王子製紙呉工場敷地内

b)パイロットプラントのプロセス説明

- ・原料受入設備

①- 2 および①- 3 で栽培したエタノール生産適性早生樹は、圃場内で粗破碎・切断もしくはバンドリングされ、パイロットプラントの原料受入ヤードに搬入される。搬入された原料は、圃場別・栽培条件別等で分類して保管され、パイロットプラントに供給される。

- ・前処理設備

パイロットプラントに供給された原料は、洗浄処理実施後、原料貯蔵ホッパに貯蔵される。貯蔵ホッパから供給された原料は、粗破碎機により粒径 20mm 以下に破碎され、糖化効率向上のため、薬品処理装置とレファイナーによりメカノケミカル処理される。メカノケミカル前処理の運転条件は②- 1 および③- 1 の開発事業により検討される。

メカノケミカル処理に使用された薬品は、薬品回収装置により回収・再利用される。

- ・糖化発酵設備

メカノケミカル前処理された原料は、連続糖化発酵槽に供給され、当初は市販酵素で、また②-2および②-3で高セルラーゼ生産系状菌が得られた際には、この株を培養して得た酵素と、高温耐性酵母、特に②-2および②-3でC5・C6糖同時発酵可能な高温耐性酵母が開発された場合にはその株により、連続的に糖化・発酵される。

C6糖がC5糖よりも優先的に資化され、C5糖が残存する可能性があるため、連続糖化発酵された発酵液は、減圧蒸留でエタノールを分離した後、C5糖発酵槽に供給され、②-2および②-3で改良するC5糖発酵性実用酵母等により、発酵される。

C5糖発酵槽で発酵された発酵液は酵素回収のため、連続糖化発酵槽に返送される。

・濃縮脱水設備

減圧蒸留により分離されたエタノール水溶液は、精留塔と膜脱水装置により蒸留・脱水され、無水エタノールとなる。

パイロットプラントの安定運転を優先して、③-2で開発する自己熱再生型蒸留プロセスはパイロットプラントに組み込まないが、パイロットプラントの運転データを利用したシミュレーションや、蒸留試験の実施により、実用化時に問題なくプロセスに組み込めるよう、研究開発を進める。

④-1 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（新日鉄エンジニアリング担当）

③-2で実施したパイロットプラント設備基本計画検討及び設計データ確保のための食品廃棄物エタノール化設備による実験結果を基に、平成22年度、23年度の2年間において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) 王子製紙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
- b) 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
- c) 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

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・製作を中心に実施する。平成23年度は糖化発酵設備・濃縮脱水設備の建設及び王子エンジニアリングが担当する前処理設備（④-2参照）を含んだ一貫生産システムとしての試運転を実施し、計画仕様を満たしたパイロットプラントを完成させる。

④-2 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担当）

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、パルプ産業技術およびベ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。具体的には以下の業務を実施する。

- a) メカノケミカルパルピング技術および王子製紙での試験結果を応用した、原料受入、洗浄、および前処理設備（薬品回収設備を含む）の設計および建設・試運転
- b) パイロットプラント全体の共通設備（ユーティリティー供給、排水処理、廃棄物処理等）の設計および建設
- c) パイロットプラント全体の土工工事に関する設計および建設

平成22年度は基礎・土工工事を先行して実施し、納期に時間がかかる必要な機器の発注を

行う。平成 23 年度は原料受入、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る。さらに試運転試験を行い、平成 24 年度以降に実施する本格実証試験に備え、計画仕様を満たした設備であることを確認する。

⑤ パイロットプラント運転試験および経済性評価

⑤-1 パイロットプラント運転試験（王子製紙担当）

④のパイロットプラント設備完成後、平成 23 年度からパイロットプラントの総合試運転を実施し、運転試験を開始する。具体的には、エタノール一貫生産システムの確立に向けたパイロットプラントにおける試験計画の策定を行い、運転員による試験計画に従ったパイロットプラントの運転・管理を行う。

また、運転試験を通じてパイロットプラントの問題点を抽出し、必要に応じて装置上の改善等を実施し、平成 24 年度からの本格実証試験に備える。平成 24 年度から 2 年間で実証試験を行い、ラボ試験の結果の再現性をとり、実用化に向けてマテリアルバランス、エネルギーバランスの検討を行う。

⑤-2 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

（新日鉄エンジニアリングおよび王子エンジニアリング担当）

平成 23 年度において④のパイロットプラント設備の個別設備及び一貫システムとしての試運転により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。

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・データログ等の設置を行い平成 24 年度からの本格実証試験に備える。

平成 24 年度以降は、パイロットプラントによる実証試験から、物質収支の整合性、電力負荷等用役の使用量などのデータを採取し、実用規模での設計データとしてとりまとめを行う。また、閉塞対策や発酵安定性など設備を安定稼働させるための設計ポイントを把握し、実用規模のプラント設計が可能になるように検討する。

⑤-3 一貫生産システムにおける経済性・GHG 評価（産総研担当）

上記に記載のエタノール生産適性早生樹の栽培・収穫・運搬、木質前処理、酵素糖化、発酵技術については実験データを用い、トータルシステムのエネルギー収支・一貫生産システムにおける温室効果ガスの排出量・経済性を検討する。実用機のスケールの違いによる経済性等への感度解析を行い、要素技術の開発の方向性にフィードバックする。これらの開発により、2015 年～2020 年にエタノール製造コスト 40 円/L を実現する製造技術の確立に貢献する。

平成 23 年度までに早生樹の栽培からエタノール生産までの一貫生産システムのフロー作成を行い、各要素技術の感度解析を実施して技術開発にフィードバックを行う。最終年度までに事業化イメージに基づいた目標達成モデルケース（40 円/L システム）のグランドデザインを行う。

2-2-3 研究体制

本研究開発は以下の実施体制で進める。

A) 王子製紙株式会社

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研究を実施する。

研究の分担は以下の通りである。

- 1-1)エタノール生産適正早生樹の候補樹種調査、
- 1-2)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
- 1-3)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
- 3-1)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
- 5-1)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基盤技術開発を行う。

研究の分担は以下の通りである。

- 2-1)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
- 2-2)酵素糖化・発酵技術の研究開発
- 5-3) 一貫生産システムにおける経済性評価

C) 新日鉄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、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する。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、評価を担当する。

研究の分担は以下の通りである。

- 3-2)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
- 5-2)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

王子製紙からの再委託として、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、建設を担当する。王子製紙の工場・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。

研究の分担は以下の通りである。

- 4) パイロットプラント設備設計・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する。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する。

- 2-2)酵素糖化・発酵技術の研究開発

2-3)キシロース発酵酵素改変の研究

F) 東京大学

新日鉄エンジニアリングと共同実施の形で参画する。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。研究の分担は以下の通りである。

3-2)自己熱再生技術の開発



図 III-2-2 体制と役割分担

2-2-4. 研究開発の成果

(1)研究開発における成果

①エタノール生産適性早生樹の大量栽培技術開発

①-1 エタノール生産適性早生樹の候補樹種調査（王子製紙実施）

現在、使用しているパルプ用植林樹種と、パルプ用植林としては不適もしくは未知の樹種について主に生長性を調査し、候補となる樹種の選定を行った。代表的な植林候補地として、温帯（国内および、オーストラリア、ニュージーランドなど）、熱帯・亜熱帯・熱帯モンスーン（東南アジア、南米など）、冷帯（国内、中国など）を設定し、これまでに事業植林で実際に植栽された42樹種について、各気候帯毎に生長性を調査し、第一段階として候補となる樹種の選定を行った。第一段階として選抜された候補樹種に対し、容積重、糖含量の測定と、メカノケミカルパルピング前処理を行った後に、酵素糖化性の評価を行い、第二段階として候補となる樹種の選定を行った。

樹種試験植栽地の生長量調査は継続して行い、調査データとの比較を行っている。樹種試験結果および酵素糖化難易性などのデータから、エタノール生産に最適な樹種の絞り込みを行っている。

①-2 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（王子製紙実施）

国内三カ所（大分県王子製紙山香社有林、大分県日出町遊休地、三重県王子製紙森林資源研究所圃場）に計11.7haの試験植栽地を設定し、植栽を行った。海外については大規模植栽試験として、オーストラリア・アルバニー地区に10haの試験地2カ所に植栽を行い、植栽試験を開始した。

国内におけるユーカリ大規模植栽は *Eucalyptus globulus* 以外に実績がない為、国内でのエタノール生産適性早生樹の植栽試験は、①-1で選定したユーカリ・グロブラス以外に、菅供す取れ謳い性、耐病性、耐霜性等の特徴がある5種類を選定し、大分県日出町遊休地にて植栽試験を開始している。その結果、*Eucalyptus globulus* など2種類が良好な生育を示し、樹高が10ヶ月で2~4mに達するものもあることを確認した。さらにパイロットプラント用原料として、通常の植栽密度（1250本/ha）で三重県王子製紙森林資源研究所圃場に植栽している19ヶ月目の *Eucalyptus globulus* を伐採し、生長量を測定したところ、21.5t/y/haの生長量を確認した。

①-3 大規模栽培における植栽方法検討及び、収集・運搬技術開発（王子製紙実施）

短伐期生産を目指した植栽方法の検討として、植栽密度試験、短伐期試験、萌芽更新試験については①-2の圃場試験に組み込み、圃場試験を開始した。植栽密度試験については1250本/haから10000本/haの超高密度植栽試験も遅れて開始した。

短伐期、萌芽更新試験についても同様に圃場試験を開始しており、短伐期試験としては1~4年目の伐採、萌芽更新試験としては1~3年目の伐採が可能なように試験プロットを設定し、苗木生産を行った後、大分県日出町遊休地にて植栽を完了した。

伐採方法についてユーカリ大規模植栽地での作業方法の確認及び、トラック輸送の実態、チップ工場の調査を実施した。収穫方法の検討として、スラッシュバンダラーやインフィールド

チップングなどの周辺技術調査を実施した。

原料コスト算出の為、平均輸送距離が長い分散型モデルと、工場近辺に巨大な植栽地を設定する集中型モデルについて、それぞれ土地代、地拵え、施肥、植え付け、苗木代、防火帯、虫害防除、管理費などを含めた植栽コスト、伐採コスト、輸送コストを算出し、最終的なバイオマスコストの算出を行った。

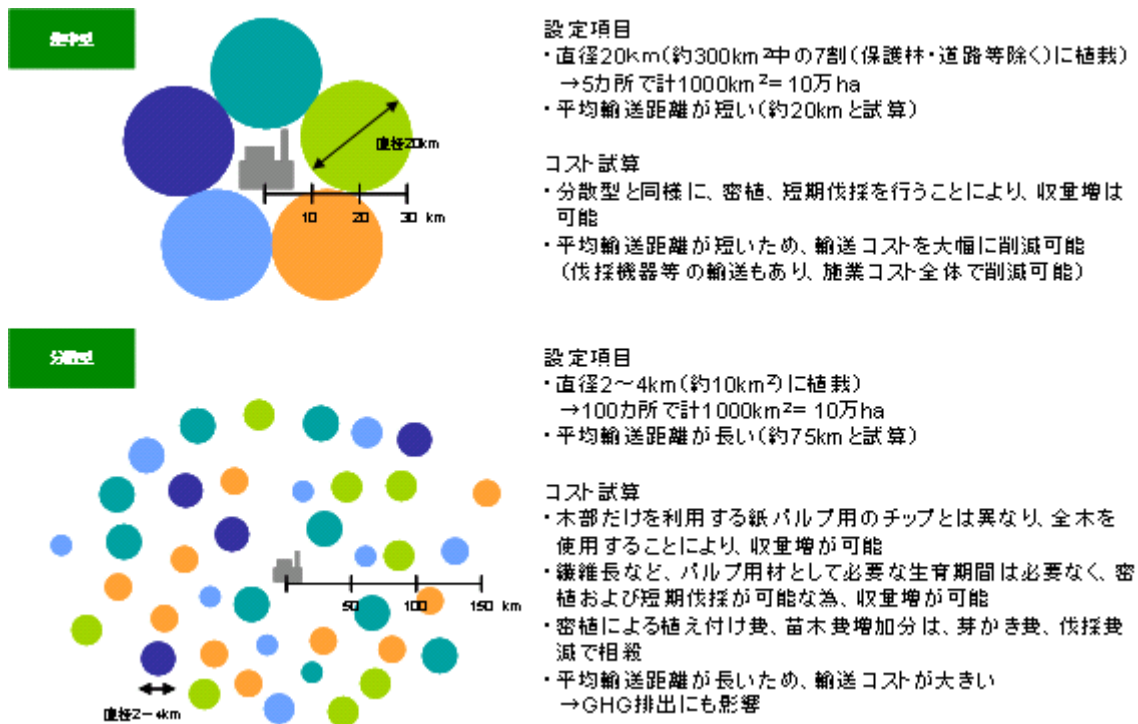


図 III-2-3 集中型植林と分散型植林のコスト比較

表 III-2-1 栽培研究及び収集運搬貯蔵技術の開発計画と進捗

	開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題(達成の見込み)
栽培研究	①-1 エタノール生産適性早生樹の候補樹種調査(王子製紙)	中間目標: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。 最終目標:本開発事業のベンチマークである面積あたりの生産性を1畝あたり年間17tとする。	代表的な植林候補地として、温帯、熱帯・亜熱帯、冷帯の3カ所について事業植林された樹種の生長性調査から樹種を選定し、試験植栽地の生長量測定データ、糖含量、酵素糖化難易性、酵素回収率などのデータからエタノール生産に最適な樹種の絞り込みを行った。	◎	継続して行う試験植栽地生長量の測定データと調査データとの比較を行う。生産コストの算出はさらに事業植林のデータを集約し、精度を高める
	①-2 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(王子製紙)		各試験植栽の生長量測定を開始した。国内の植林地では20t/ha/y以上のバイオマス生産性が可能であることを確認した。	◎	各試験植栽の生長量測定を行い、精度の高い必要植栽面積及びコストの算出を行う
	①-3 大規模栽培における植栽方法検討及び、収集・運搬技術開発(王子製紙)		エタノール生産に適した植栽密度、ぼう芽更新、伐採時期、施肥量の試験を開始した。	○	各試験植栽の生長量測定を行い、エタノール生産に適した植栽密度、ぼう芽更新、伐採時期、施肥量、その他施行条件の絞り込みを行い、最適な大規模栽培における施業項目の絞り込みを行う
収集・運搬・貯蔵	①-3 大規模栽培における植栽方法検討及び、収集・運搬技術開発(王子製紙)	同上	事業植林伐採現場にてインフィールドチップパーなどの集荷・運搬機器のテストを行い、集荷・輸送コストの算出を行った。	○	事業植林地で行われている施業方法の調査を行い、エタノール生産に適した施業方法について検討する。試験植栽地より伐採した原料の集荷・輸送を行い、最適な施業における集荷・輸送コストを算出する。

◎大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

② プロセス最適化のための基盤研究

②-1 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 (産総研実施)

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3mmに粗粉碎した製紙用ユーカリチップを用い、アルカリとして水酸化ナトリウムを対木粉10wt%添加して、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。その結果、アルカリ処理のみでは酵素糖化性は向上せず、粉碎との組み合わせが必須であることが分かった。比較試験として高濃度アルカリ処理(対木粉1000倍量)も行ったが、粉碎処理を行わなければ酵素糖化率は50%程度であった。また従来、高濃度アルカリ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%程度の低濃度アルカリ処理では、酵素糖化性は高いものの結晶形の変化は部分的にでも観察されなかった。200µm以下に微粉碎したユーカリ木粉を高濃度アルカリ処理しセルロースの結晶形をII型にした試料と10wt%の低濃度アルカリ処理によりセルロースの結晶形がI型のままの試料をそれぞれ粉碎処理して酵素糖化性を比較したところ、お互いに糖化速度や糖化率は類似していた。以上のことから、アルカリ添加水熱処理では、粉碎処理を組み合わせることが必須であること、およびセルロースの結晶形は酵素糖化性に影響が少なくセルロースの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が明らかとなった(図 III-2-8)。また、アルカリ処理物では比表面積が大きく増大していたことから、酵素との接触面積の増加が酵素糖化性向上のために重要であることが示された。

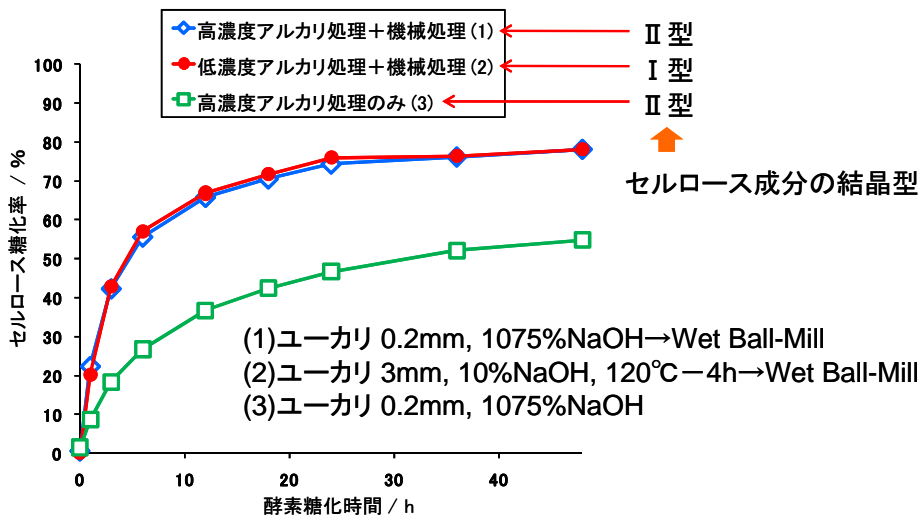


図 III-2-4 メカノケミカルパルピング前処理を施した試料の酵素糖化性

表 III-2-2 前処理の開発計画と進捗

	開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題 (達成の見込み)
前処理	②-1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	アルカリ処理による酵素糖化性向上機構の解析	<ul style="list-style-type: none"> アルカリ処理によるセルロース結晶型の変化は重要でないことを解明 表面積を増加させれば酵素糖化性が著しく上昇することを解明 	○	<ul style="list-style-type: none"> 前処理物と酵素との相互作用解析 前処理方法/条件を最適化するための評価手法にめどがついた

◎大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

②-2 酵素糖化・発酵技術の研究開発 (産総研担当)

糸状菌 *A. cellulolyticus* のゲノム情報 (産総研独自データ) から β -xylosidase をコードすると予測された遺伝子を選抜した。この遺伝子を cellobiohydrolase I プロモーター下に連結したプラスミドを作製し野生株へ導入することにより、細胞外に分泌される β -xylosidase 活性が野生株より 70 倍以上高い株を取得した。また *A. cellulolyticus* のゲノム情報 (産総研独自データ) から、セルラーゼ遺伝子への関与が予測された転写因子遺伝子 (*xy11*, *cre1*, *ace1*, *ace2*) を選抜した。これらのうち、*xyr1* および *ace1* について、遺伝子破壊用のプラスミドを構築・導入し、各転写因子遺伝子の破壊株を作製している。また、ウラシル要求性を指標とした本菌の新たな宿主ベクター系の作製に成功した。これを既に構築済みの薬剤耐性遺伝子を用いた形質転換系と組み合わせることにより、複数の遺伝子を同時に解析することが可能となった。

S. cerevisiae に導入したキシロース代謝酵素遺伝子発現カセット pAUR-XKXDHXR を高温性耐酸耐塩酵母 *Issatchenkia orientalis* に導入し、形質転換体の取得には成功したが、いずれも酵素活性は得られない結果となった。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を複数同定した。今後はこの結果をもとに、酵素遺伝子の他のベクターへの移し変えや、*I. orientalis* 由来のプロモーターで発現させる実験を行う。

S. cerevisiae 実用株を用いて、初期細胞量のキシロース発酵に対する効果を調べ、また順化処理によるキシロース発酵能の向上を試みた。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遺伝子発現量の差をみるために DNA マイクロアレイ解析を行った。今後、これらキシロース代謝関連遺伝子の調節機構を解析していく。

表 III-2-3 糖化発酵(産総研)の開発計画と進捗

	開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題 (達成の見込み)
糖化	②-2糖化の研究開発1 (産総研)	糸状菌アクレモニウムのキシロシダーゼ遺伝子の単離	アクレモニウムのドラフトゲノム解析からキシロシダーゼ遺伝子をクローニングし、アクレモニウムへ導入した。その結果、10倍以上の活性の増強に成功した。	○	作製した組み換え株を用いて、バイオマスに含まれるキシランの糖化能を評価する。
	②-2糖化の研究開発2 (産総研)	糸状菌アクレモニウムのセルラーゼ生産に関わる転写因子の単離	xyl1, cre1, ace1遺伝子およびace2遺伝子を選抜し、xyl1,ace1,cre1の遺伝子破壊用プラスミドの構築を完了。Xyl1破壊用プラスミドを導入し、形質転換体を約300株取得済。現在、これらの株から遺伝子が破壊された株を探索中。	○	各転写因子の機能の解析を通じて、セルラーゼ生産性の上昇を目指す。
発酵	②-2発酵の研究開発1 (産総研)	SSFに適した酵母への五炭糖発酵能の付与	高温耐性・酸塩耐性酵母 <i>Issatchenkia orientalis</i> のゲノム解析を実施して、糖代謝関連酵素遺伝子等を同定	○	ゲノム解析結果を利用して <i>Issatchenkia</i> 用のベクターを作成し、五炭糖発酵能を付与する。

◎大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

②-3 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)

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た。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(図 III-2-10)。今後、さらに他の遺伝子の効果を解析する予定である。また、XR 酵素について新たな変異酵素の作成に成功した。今後この酵素の発酵における効果を解析する予定である。

糸状菌の酵素生産性向上を目的として、*A. cellulolyticus* のゲノム情報(産総研独自データ)から糖センサーおよび糖輸送体に関わる遺伝子を選抜した。*S. cerevisiae* 由来 HXT と比較的相同性の高いクラスターに属する遺伝子が、少なくとも7個存在した。また、*A. cellulolyticus* ゲノム上にある推定糖輸送体遺伝子のほとんどは、*S. cerevisiae* 由来 HXT と比較的相同性の低いクラスターに属する遺伝子であった。今回検索に成功した *A. cellulolyticus* の糖センサー候補遺伝子を改変し、糖化酵素生産性向上を目指す。また、検索に成功した推定糖輸送体遺伝子は、キシロース代謝能をもつ酵母に形質転換することによって、酵母のキシロース発酵効率を改善する形質転換候補遺伝子でもある。

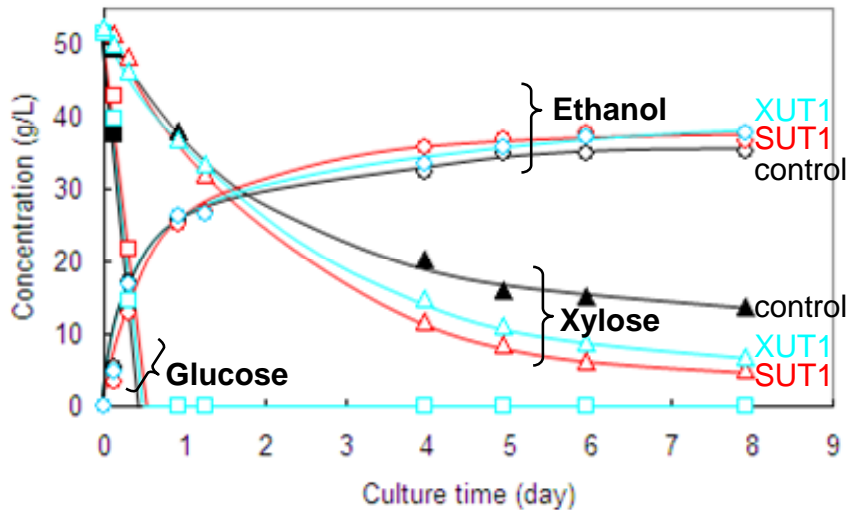


図 III-2-5 糖輸送タンパク質発現によるキシロース発酵の改善

表 III-2-4 糖化発酵(京都大学)の開発計画と進捗

	開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題 (達成の見込み)
糖化	②-3糖化の研究開発3 (京大)	セルラーゼ生産性を向上させる遺伝子の探索	糸状菌に糖化酵素を恒常的に生産させるために、ゲノム情報から阻害因子となる糖センサー遺伝子の探索に成功	○	
発酵	②-3発酵の研究開発2 (京都大学)	キシロース代謝系遺伝子の発現解析	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> 実用株を用いて、キシロースを基質とした場合を含む発酵条件でのDNAマイクロアレイ解析を完了	○	キシロース代謝遺伝子と代謝フローの解析結果を利用して、キシロース発酵速度向上を目指す。
	②-3発酵の研究開発3 (京都大学)	五炭糖発酵効率の向上	五炭糖発酵における重要酵素であるキシロースレダクターゼに関して補酵素要求性変換酵素の作成に成功	○	作製した補酵素要求性変換酵素を組み込むことにより五炭糖発酵効率の向上を目指す。

◎大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

③ 一貫プロセス最適化研究

③-1 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 (王子製紙実施)

本事業では図 III-2-11 に示したように早生樹を植栽し、実際に植栽して得られたバイオマスを原料として、メカノケミカルパルプ化前処理を施し、現状で最も効率が高いと考えられる高温発酵酵母を用いた連続併行糖化発酵プロセスによりエタノールを製造し、またコストのネックとなる酵素を回収再利用することでコストの最小化を目指すプロセスを一貫した評価を実施している。

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。前処理条件の最適化は一貫プロセス全体を評価して判断している。具体的には前処理時の磨砕動力 (レファイナー負荷動力)、前処理後の糖質の回収率、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を評価して、一貫プロセス全体で最もコスト削減が可能な前処理条件の最適化を行っている。



図 III-2-6 早生樹からの効ケミカル前処理によるエタノール一貫プロセス

早生樹の1年目、2年目、ぼう(萌芽)更新などの原料について、入手可能となった原料から順次、組成分析、前処理条件の検討、一貫プロセスとしての評価をラボレベルで実施している。これまでにユーカリの1年生、2年生を一部伐採し、またヤナギの萌芽などについて、前処理条件の検討による連続糖化発酵について比較検討した。併行糖化発酵工程では、市販の酵素を用い、酸塩耐性酵母との併行糖化発酵を行って評価しているが、五炭糖発酵能を持たないため、グルコースからのエタノールの収率で前処理の評価を行っている。

前処理の薬品としては、水酸化ナトリウムは100℃以下の処理でもレファイナー負荷動力削減、酵素糖化率向上効果があるが、前処理での糖質の収率がやや下がること、酵素の回収率が低いこと、水酸化カルシウムは130℃から170℃で動力削減効果が高く、前処理時の収率が9割以上と高く、酵素の回収率が高いが、酵素での糖化率80%達成には糖化発酵後の残渣を再磨砕する必要があること、糖化発酵工程への持ち込みのリグニンが多く、デカンター残渣が多いため、酵素回収に洗浄が必要であること等を明らかにした。またアルカリ性条件下で亜硫酸ソーダで170℃以上に加熱する処理により、レファイナー負荷動力が約80kWh/t以下で、酵素糖化率が80%を超える実用的な条件を見出した。

また残渣とともに排出される酵素の回収率を高める条件の検討を行い、酵素を回収できる条件を見いだした。

表 III-2-5 一貫プロセス最適化研究の開発計画と進捗

	開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題(達成の見込み)
前処理	③一貫プロセス最適化研究/前処理技術(王子製紙)	全前処理エネルギー200kWh/t以下(粗粉砕込み)で酵素糖化率80%以上となるプロセス開発	ラボレベルでは前処理の動力が200kWh以下で、糖化率80%以上を可能とする前処理条件を見つけた。	○	樹種、樹齢、植栽方法など原料早生樹の違いに応じた前処理方法の最適化
糖化・発酵	③一貫プロセス最適化研究/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(王子製紙)		・原料処理量1日100kg規模の糖化発酵設備を使用して、糖化率および酵素回収率向上のための条件の解析を行い、同スケールでもラボ実験と同様の結果を得た。 ・早生樹の短期伐採による前処理エネルギー削減、糖化率向上を検討中	○	・所要動力、酵素使用量、エタノール収率、残渣分離・酵素回収条件の最適化 ・残渣からのエネルギー回収、前処理、糖化発酵プロセスの省エネルギー化により目標達成を目指す ・高温性酸塩耐性酵母へのセルフクーリングによる五単糖発酵能付与により糖化発酵プロセスの効率化を図る

◎大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

③-2 エタノール製造プロセスの最適化（新日鉄エンジニアリング実施）

本開発事業は実用化を目指した研究開発であることから、パイロットプラント設備におけるエタノール製造プロセスの最適化が非常に重要となる。今回の検討では、王子製紙によるメカノケミカルパルピング前処理技術開発、連続糖化発酵技術開発、および産業技術総合研究所による木質の活性化処理技術開発、五炭糖酵母の研究等のラボ実験結果からパイロットプラントのプロセスフロー、物質収支、機器配置図の作成を行った。また、本プロセスの技術課題の一つとなるエタノール濃縮脱水工程の省エネルギー化に関して、潜熱と顕熱を最大限に回収することを目的とした自己熱再生型蒸留技術を選定し、セルロース系エタノール製造プロセスへの適用について検討を行った。

図 III-13 は、今年度の検討結果を踏まえて、現時点で想定している実機プラントのプロセスフローである。まず、原材料であるバイオマスは粗粉碎したのち、薬品（アルカリ）を用いて前処理を行う。その後前処理工程で、パルプ産業用のレファイナーを用いてメカノケミカルパルピング処理を行い、糖化発酵収率の向上を図る。前処理をしたパルプに水分調整を行って糖化・発酵工程に導入し、酵素の働きによりセルロース及びヘミセルロース分を加水分解し、その後の発酵でエタノールに転換する。糖化発酵工程で得られたエタノール発酵液は、減圧蒸留工程でエタノール分を回収し、缶出液は固液分離した後に五炭糖分を発酵して、糖化発酵工程に循環させる。減圧蒸留で分離したエタノール分は精留塔などで精製し、最終的に無水エタノールとする。このプロセスにより、エネルギー収率の向上が可能となる。加えて、減圧蒸留および精留工程で、蒸発したエタノールや水分をコンプレッサ等によって昇温昇圧し、外部蒸気の代替として利用する自己熱再生型蒸留技術を適用し、革新的な省エネルギーを実現することを目指している。

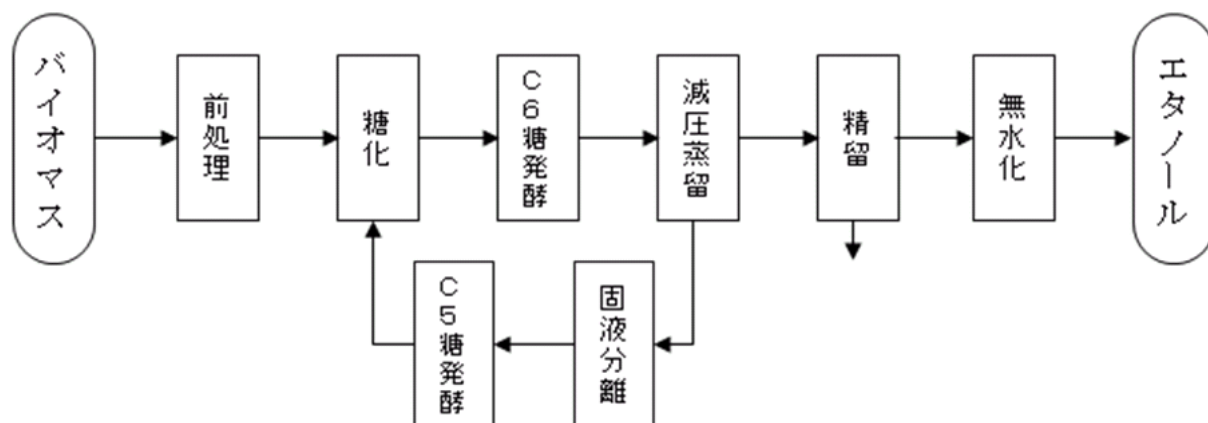


図 III-2-7 エタノール製造プロセスフロー案

本プロセスの技術課題の一つとなるエタノール濃縮脱水工程の省エネルギー化に関して、潜熱と顕熱を最大限に回収する自己熱再生型蒸留技術のパイロットプラント規模での実証試験を計画し、設備設計および建設を行った。設備設計に際しては、共同実施先である東京大学とエンジニアリング的に実用可能な条件の物質収支の算出やコンプレッサの型式選定を実施した。平成 22 年度中に建設工事と試運転を行い、平成 23 年度に試験運転を行うこととしている。現状まで、コンプレッサ動力は、期待値の 4.9kW に対し、7.6kW であった。したがって、省エネルギー効果は、目標 1/6（蒸気換算で 1/2）に対して、1/4（蒸気換算で 3/4）となった。今後コンプレッサ効率の高い条件での運転等検討し、

目標達成を目指す。

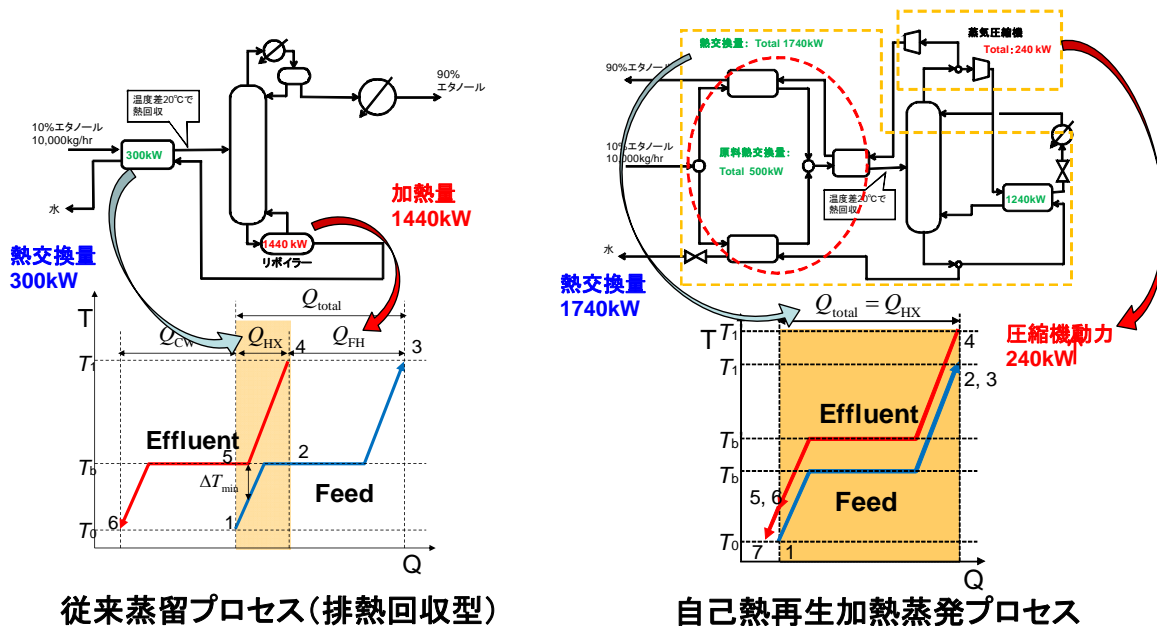


図 III-2-8 自己熱再生加熱蒸発プロセスと従来蒸溜プロセスの比較

また、エタノール製造一貫生産システムを実証するために王子製紙(株)呉工場に建設するパイロットプラントの機器設計条件を確定させるために、蒸留塔における酵素回収試験、パルプの流動性確認試験を実行した。酵素回収試験では、蒸留塔の温度レベルや必要棚段数など蒸留塔を設計するために必要なエンジニアリングデータを採取した。パルプ流動性確認試験では、アルカリ処理を行った原料を使用して流動性の確認を行い、攪拌機形状やポンプ型式の選定を行った。

表 III-2-6 プロセス最適化研究の開発計画と進捗

	開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題
プロセス最適化	③-2蒸留工程の省エネ化	<ul style="list-style-type: none"> 自己熱再生技術を用いたシミュレーションと実証試験 自己熱再生技術による省エネルギー効果の立証 	<ul style="list-style-type: none"> 自己熱再生技術を用いたシミュレーションとパイロットプラントレベルでの初の試運転実施 一次評価として省エネルギー効果目標 1/6 に対し、1/4 を達成。 	◎	<ul style="list-style-type: none"> コンプレッサの効率の良い運転条件で実験を行えるよう改善し、省エネルギー効果目標 1/6 を達成する。
	③-2全体プロセス最適化	<ul style="list-style-type: none"> 自己熱再生による効果等検討(産総研) Naベースマテバラ検討 	<ul style="list-style-type: none"> 自己熱再生による効果等検討(産総研) Naベースマテバラ検討中 	○	<ul style="list-style-type: none"> 自己熱再生省エネルギー効果実験データの反映 Naベースマテバラ精度向上

◎大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

④パイロットプラント設備設計・建設(新日鉄エンジニアリング、王子エンジニアリング実施)

平成 22 年度は、パイロットプラントの設備設計、機器製作を行い、基礎工事、ユーティリティ供給工事を完了した。設備設計に際しては、王子製紙・産業技術総合研究所・新日鉄エンジニアリングの三者でメカノケミカルパルピング前処理技術、連続糖化発酵技

術等に関するラボ・ベンチ実験の結果からパイロットプラントのプロセスフロー、物質収支、機器配置図を決定した。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。本技術開発では、前処理工程・糖化発酵工程における水の加水量や糖化発酵工程の未反応物の循環再利用について検討を行い、最適化を図った。また、設備エンジニアリングの観点から残渣の除去方法や酵素の回収方法についても検討を行った。平成 23 年度は、10 月末の完成を目指し、パイロットプラントの建設工事と機器試運転を行っている。

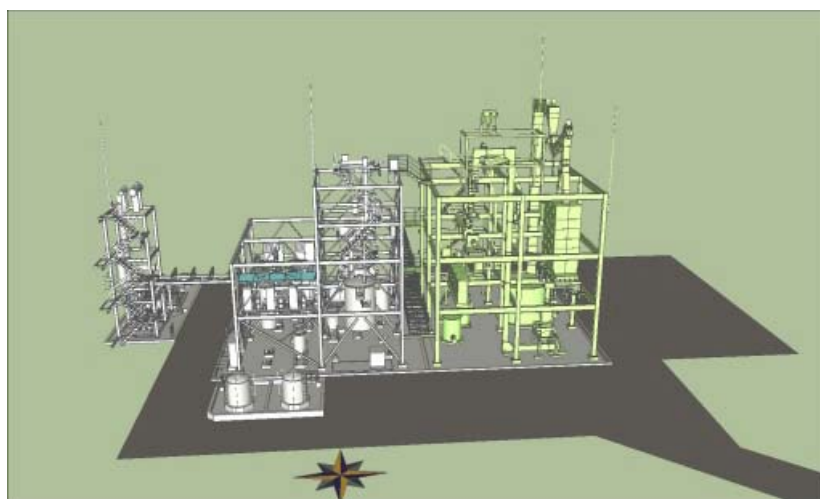


図 III-2-9 パイロットプラントの俯瞰図

表 III-2-7 パイロットプラント設備設計・建設の開発計画と進捗

	開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題
パイ ロ ット プラ ント	④プラント設計・建設 (新日鉄エンジニアリング・ 王子エンジニアリング)	木質バイオマス処理能力 1t/日のパイロットプラ ントを設計、建設する	・機器購入、 現地据付工 事中	○	・工事、試運転実施

◎大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

⑤一貫生産システムにおける経済性・GHG 評価（産総研実施）

平成 21 年度は、早生樹の栽培からエタノール生産までの一貫生産システムのフロー作成を行うことを目標として、栽培から変換場所までの輸送（前段）と変換場所におけるエタノール生産プロセス（後段）に関して検討を行った。

前段に関しては、オーストラリア・アルバニーおよびラオス中央部の産業植林地（製紙用）の調査を行い、地拵え、育苗、植え付け、選定や施肥等の手入れ、伐採、輸送、チップ化、輸送の手順となることを確認した。また、ユーカリのような萌芽更新を行う早生樹であれば、2 回目からは地拵え、育苗、植え付け作業が不要になることが確認された。さらに、3 年程度の伐期であれば選定や施肥等の手入れが不要になる可能性があった。伐採、輸送、チップ化に関

しては、インフィールドチップング（林地内でのチップ化）を導入することで、簡素化できる可能性が確認された。土地利用改変に関連して、塩害地や水没地の調査も行った。

後段に関しては、「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、共同研究者間で工程、フロー名の統一、固液比等の定義と測定方法の統一を行い、三社間で物質収支の一致を行った。さらに、メカノケミカルパルピング前処理の動力や糖化発酵工程濃度の感度解析を実施した。

経済性・GHG 評価に関しては、平成 21 年度に調査を行ったオーストラリアを分散型植林のモデルケースとして一環プロセスとしての経済性・GHG 評価を行った。その結果、各要素技術が達成された場合には、2,000 トン/日規模で 40 円/L の目標を達成できると試算された。また栽培・収集～変換までの GHG 評価を行ったところ、自己熱再生技術の確立によりエネルギー自立型の変換工程が達成されれば、立地制約無く持続可能性基準（ガソリン比 50%以上削減）をクリアできることを確認した（図 III-16）。変換プロセスについては三社間でパイロットプラントの設計値ベースのフロー、マテリアルバランスを共通化するとともに、このパイロットプラント設計値をベースに感度分析を実施して各要素技術開発の効果を提示した。

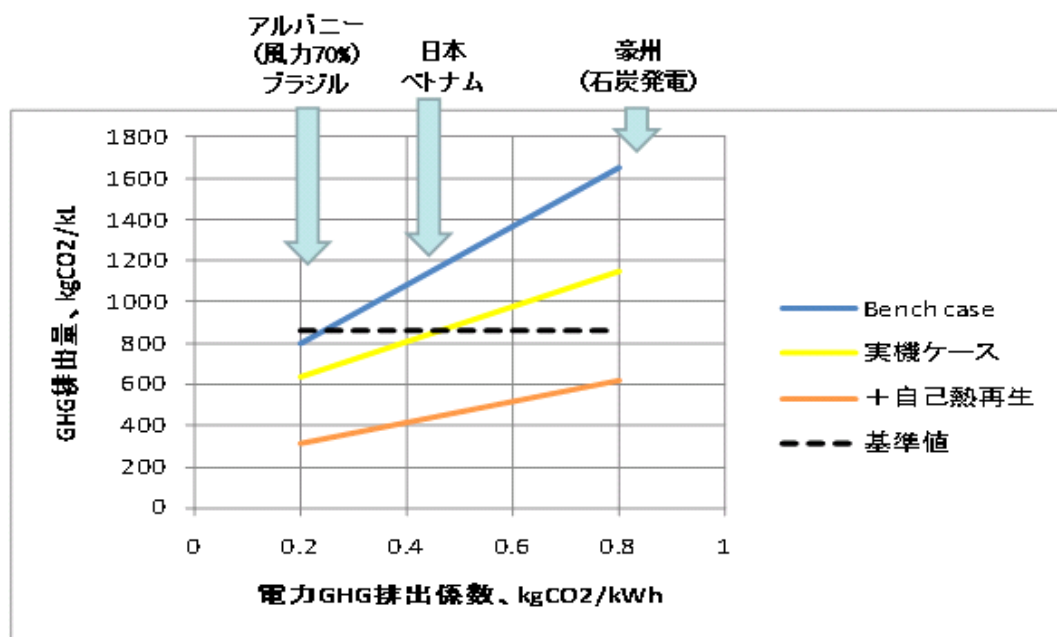


図 III-2-10 電力の GHG 排出係数と製造したエタノール燃料の GHG 排出量との関係

表 III-2-8 一貫生産システムにおける経済性・GHG 評価の開発計画と進捗

開発項目	目標(最終目標 (H25FY)のみ設定)	成果	達成度	今後の課題 (達成の見込み)
⑤一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40円/L、化石エネルギー収支2以上、ガソリンに対するCO2削減率5割以上を実現する目標達成モデルケースの提示	・要素技術目標達成時に40円/L以下となることを確認。 ・自己熱再生技術導入により持続可能性基準を達成できることを確認。	◎	ビジネスモデルの提案を達成する。

◎大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

(2)特許、論文、対外発表等の状況

特許、論文、対外発表等の状況を以下に示す。

表 III-2-9 特許、論文、外部発表等の件数(内訳)

年度	区分	論文		その他外部発表 (プレス発表等)
		特許出願	査読付き	
H21FY				2件
H22FY		8件	7件	19件
H23FY		2件	1件	
合計		10件	8件	21件

平成 23 年 6 月 20 日現在

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11月3日	Chinese Academy of Sciences, Cellulose seminar	Cellulose Nanofiber for Bioethanol and Material	遠藤貴士
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
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
2011年3月	<i>Appl. Microbiol. Biotechnol.</i> (投稿中)	Enhancement of b-xylosidase productivity in cellulase producing fungus <i>Acremonium cellulolyticus</i>	M. Kanna, S. Yano, H. Inoue, T. Fujii, S. Sawayama
2010年8月19日	The 2nd International Symposium Kyoto University Global COE Program "Energy Science in the Age of Global Warming -Toward CO ₂ Zero-emission Energy System-"	Development of Highly Efficient Bioethanol Production Yeast from Sugars in Lignocellulosic Biomass using Protein Engineering	T. Kodaki
2010年8月19日	The 2nd International Symposium Kyoto University Global COE Program "Energy Science in the Age of Global Warming -Toward CO ₂ 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 Bioethanol Production	T. Kodaki, S.M.R. Khattab, S. Watanabe, M. Saimura, M.M. Afifi, A.-N.A. Zohri, U.M. Abdul-Raouf
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3月	<i>Appl. Environ. Microbiol.</i> (投稿中)	Sugar Transporters of Pentose-Metabolizing Yeast, <i>Pichia stipitis</i>	S. Watanabe, A. Matsushika, T. Kodaki, S. Makino, S. Sawayama
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
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6月13日	Biosci. Biotechnol. Biochem., 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.

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
2010/12/3	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
	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

2-3. バイオ燃料の持続可能性に関する研究

2-3-1. 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

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する。

具体的には下記の研究を行う。

- a 短期的なバイオ燃料導入形態に係る GHG 排出量デフォルト値を算出
- b 中長期的なバイオ燃料導入形態に係る GHG 排出量デフォルト値を算出
- c GBEP 等の国際会議に参加し、情報収集を行うとともに、必要に応じ意見を表明

表 III-3-1 中間目標

中間目標（平成 21・22 年度）	
a. 当面のバイオ燃料導入形態を想定したデフォルト値算定	a-1. 当面想定されるバイオ燃料導入形態
	a-2. デフォルト値の算出
	a-3. 産学官の意見を反映した検証
b. 中長期的に導入可能なバイオ燃料のデフォルト値算定	b-1. 導入可能なバイオ燃料の抽出
	b-2. デフォルト値の算出
	b-3. デフォルト値精緻化に向けた検討
	b-4. 産学官の意見を反映した検証
c. 国際会議等における情報収集、整合性調整	

目標についてデフォルト値の算出は次の通り行うこととした。

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つたり、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する。

2-3-2. 事業の計画内容

(1) 事業の計画内容

本事業では、下記の研究を行う。

- a 短期的なバイオ燃料導入形態に係る GHG 排出量デフォルト値を算出

現在及びここ数年の間に導入可能な各種輸送用液体バイオ燃料について、ライフサイクルアセスメントにより原料の生産、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導入した際の温室効果ガス排出量（デフォルト値）を算出する。
- b 中長期的なバイオ燃料導入形態に係る GHG 排出量デフォルト値を算出

中長期的（2030 年頃）に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、デフォルト値を算出する。ここでは、セルロース系原料によるエタノールほか、今後の技術開発により具現化する見通しのバイオ燃料を幅広く対象とする。算定にあたっては、既存評価事例等のサーベイにより各種諸元（プラント効率等）を収集し評価するほか、必要なデータが入手可能なものについてはプロセス設計技術を活用してマテリアルバランス、エネルギーバランスの推計を行い、評価する。
- c GBEP 等の国際会議に参加し、情報収集を行うとともに、必要に応じ意見表明を行う。

表 III-3-2 事業計画

		主な役割分担		
		三菱総研	産総研	
a. 当面のバイオ燃料導入形態を想定したデフォルト算定	a-1 当面想定されるバイオ燃料導入形態の明確化	◎	—	H21 年度
	a-2 デフォルト値の算出	◎	—	
	a-3 産学官の意見を反映した検証	◎	—	
b. 中長期的に導入可能なバイオ燃料のデフォルト値算定	b-1 導入可能なバイオ燃料の抽出	◎	○	H22 年度
	b-2 デフォルト値の算出	○	◎	
	b-3 デフォルト値精緻化に向けた検討	◎	○	
	b-4 産学官の意見を反映した検証	◎	○	
c. 国際会議等における情報収集・整合性調整		○	◎	

(2) 研究予算

三菱総合研究所及び産業技術総合研究所の研究予算の年度展開（平成21年度・22年度）は表Ⅲ-3-3のとおりである。

平成21年度は、主に「a.当面のバイオ燃料導入形態を想定したデフォルト値算定」を実施し、平成22年度は、主に「b.中長期的に導入可能なバイオ燃料のデフォルト値算定」を実施した。「c.国際会議等における情報収集、整合性調整」は平成21年度～22年度を通し実施した。

表 Ⅲ-3-3 三菱総合研究所及び産業技術総合研究所の研究予算

単位：百万円

研究テーマ	21年度	22年度	計
a. 当面のバイオ燃料導入形態を想定したデフォルト値算定			
a-1. 当面想定されるバイオ燃料導入形態の明確化	1		1
a-2. デフォルト値の算出	12.5		12.5
a-3. 産学官の意見を反映した検証	2		2
b. 中長期的に導入可能なバイオ燃料のデフォルト値算定			
b-1. 導入可能なバイオ燃料の抽出	2		2
b-2. デフォルト値の算出		9.4	9.4
b-3. デフォルト値精緻化に向けた検討		3	3
b-4. 産学官の意見を反映した検証		2	2
c. 国際会議等における情報収集、整合性調整	2.3	1.5	3.8
合計	19.8	15.9	35.7

2.3. 研究開発の実施体制

(1) 研究開発の実施体制

本事業の実施体制（平成21年度・22年度）は下図のとおりである。

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参加し、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。

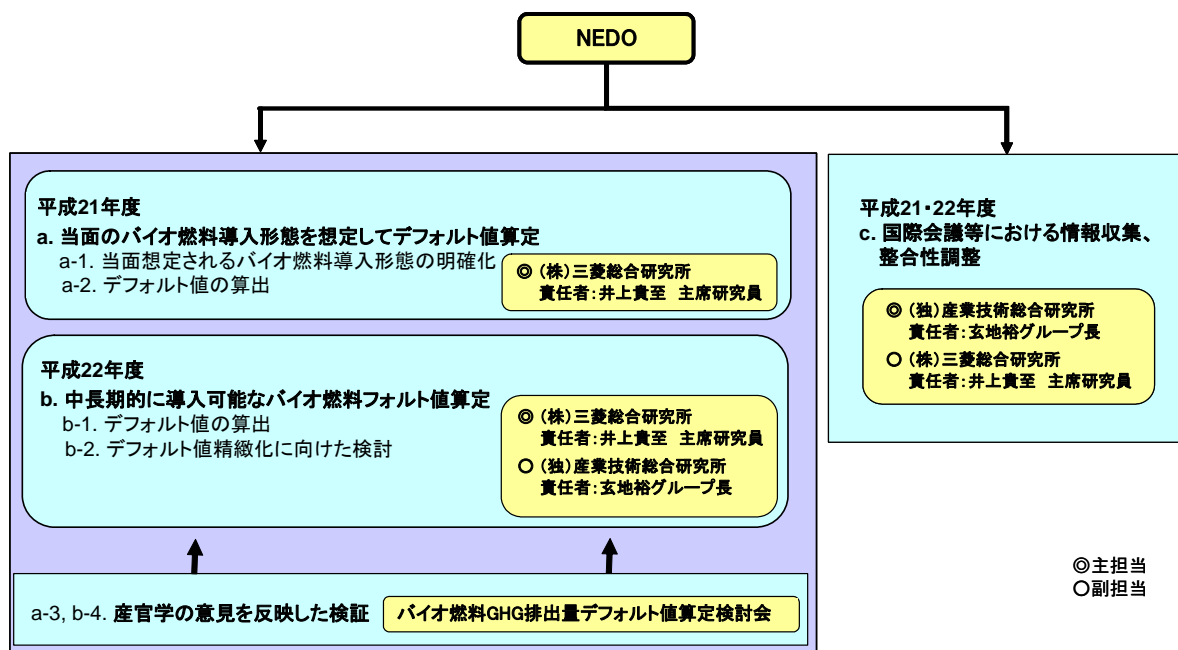


図 III-3-1 本事業の実施体制

(2) バイオ燃料 GHG 排出量デフォルト値算定検討会

事業の実施にあたっては、下記の有識者による検討委員会を設置し、6回にわたる検討会にて審議を行った。検討会メンバーおよび検討会の審議内容については、下記の通りである。

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-3-4 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-3-5 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"> ● 実施計画について ● 国産バイオ燃料のデフォルト値設定方法 ● ブラジル産エタノールのデフォルト値設定方法
第2回 平成21年11月25日	<ul style="list-style-type: none"> ● 国産バイオエタノールのGHG排出量算定 ● ブラジル産バイオエタノールのGHG排出量算定
第3回 平成22年3月25日	<ul style="list-style-type: none"> ● バイオエタノール評価結果 ● BDF評価結果 ● 土地利用変化に係る排出量評価結果 ● 来年度事業の進め方
第4回 平成22年7月6日	<ul style="list-style-type: none"> ● BDF評価結果について（追加検討） ● バイオ燃料デフォルト値算定の方針
第5回 平成22年10月12日	<ul style="list-style-type: none"> ● 関連動向に関する情報提供（判断基準（案）、GBEP最新動向） ● バイオ燃料デフォルト値検討状況
第6回 平成23年1月18日	<ul style="list-style-type: none"> ● エネルギー供給構造高度化法 判断基準 ● 本事業での評価値の位置づけ ● バイオ燃料デフォルト値検討状況

2-3-3. 研究の成果

(1)算定対象

本事業におけるデータの入手状況及び各データの位置付けについて整理した結果を下記に示す。

表 III-3-6 バイオ燃料種／原料／生産国／技術水準の組合せと算定対象

(●実績値、○設計値/計画値、▲推計値)

(1 / 5 表)

燃料		エタノール						
原料		サウキビ	キャッサバ	多収量米	小麦	てん菜	建設廃材	廃糖蜜
生産国		ブラジル	タイ	日本	日本	日本	日本	インド、日本
技術水準	商用機	● (国内 平均値)						
	準商用機		●、○ (国内初の 商用機)	○ (国内プラント)			○ (国内 プラント)	
	実証機							○ (国内 プラント)
	パイロット							
	実験室							

(2 / 5 表)

燃料		エタノール						
原料		一般 廃棄物	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
生産国		日本	日本	構想段階	日、豪、加 ベトナム	豪、 ベトナム	日本	インドネ シア
技術水準	商用機							
	準商用機							
	実証機	○ (新日鉄 E)						
	パイロット				▲ (NEDO プロセス)		※1	
	実験室		▲ (コスモ石油)		▲ (王子製紙)		▲ (革新技術研究組合)	

(3 / 5 表)

燃料		エタノール	BDF					
原料		バガス	パーム油	大豆油	菜種油	廃食用油	ココナツ	ジャトロファ
生産国		ブラジル	東南アジア	北南米	豪、加	日本	フィリピン	東南アジア (インドネシア、マレーシア、ミャンマー)
技術水準	商用機		※2	※2	● (?)	● (京都市)	※2	※2
	準商用機							
	実証機	●、○ (月島機械)						
	パイロット							
	実験室							

(4 / 5 表)

燃料		BHD				BTL		
原料		パーム油	大豆油	菜種油	ココナツ	ジャトロファ	林地残材	早生広葉樹
生産国		東南アジア	北南米	豪、加	フィリピン	東南アジア (検討中)	日、豪、加 ベトナム	日、豪 ベトナム
技術水準	商用機	○ (NExBTL Porvoo)	※3	○ (NExBTL Porvoo)	※3	※3		
	準商用機							
	実証機						▲	▲
	パイロット							
	実験室							

(5 / 5 表)

		BTL		BDF 等	ブタノール	DME	急速熱分解生成油
原料		農業残渣	動物油脂	微細藻類	サウキビ	黒液	林地残材
生産国		構想段階	構想段階	構想段階	ブラジル	構想段階	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				▲ (Butamax)		

注：斜線の欄はデータの入手が不能なもの

※1：木材の NEDO プロセスのデータを流用して MRI にて計算

※2：EU 指令において菜種油のデータを流用して設定

※3：EU 指令において菜種油、パーム油のデータを流用して設定

一方、以下に示すバイオ燃料種については、a) 現段階では基礎技術開発の途上であるため評価に足るデータが入手できない（開発主体にての不開示含む）、b) または構想段階にあり評価に足るデータが入手できない、等の理由により本事業では評価対象とすることが困難である。今後のデータ蓄積を待て、評価対象としていくことが望まれる。加えて、これまでに評価結果を提示したバイオ燃料種についても、今後の技術開発や運用実績の蓄積を踏まえ、常に最新データを把握し、データ更新していくことが必要である。

[現段階では評価が困難なバイオ燃料種（例示）]

- ・ 黒液利用エタノール
- ・ 古紙利用エタノール
- ・ バガス利用エタノール
- ・ 農業残渣、動物油脂利用 BTL
- ・ 微細藻類を利用した BDF
- ・ 黒液利用 DME
- ・ 林地残材利用急速熱分解生成油

(2)算定方法

3) ライフサイクルの考え方

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（CO₂、CH₄、N₂O）排出量を評価する。

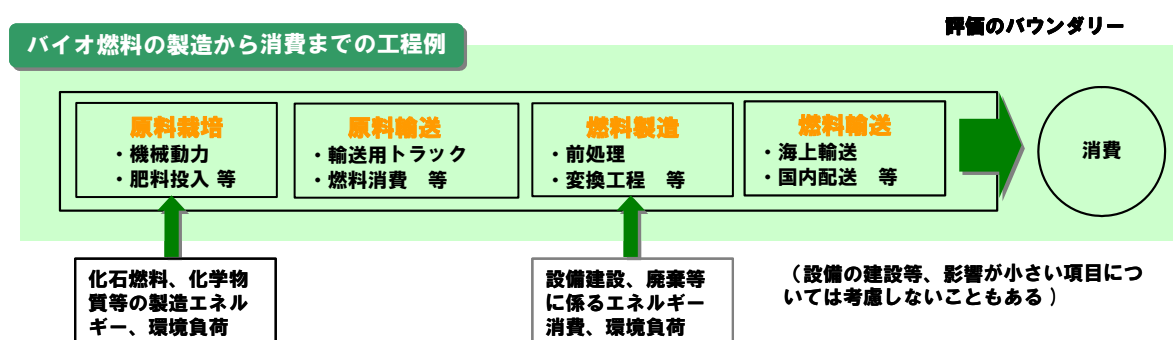


図 III-3-2 LCA における評価のバウンダリー

4) LCA での GHG 排出量の算定方法に用いる設定項目

表 III-3-7 LCA での GHG 排出量の算定方法に用いる設定項目

算定対象ガス	<ul style="list-style-type: none"> 算定すべき温室効果ガスの種類は CO₂、CH₄、N₂O とする。CH₄、N₂O の温暖化係数はそれぞれ 21、310 とする。 CH₄ 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、N₂O 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。
バウンダリ (※)	<ul style="list-style-type: none"> 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。 間接的土地利用変化、リーケージ (※) 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。
土地利用変化に関する算定方法	<ul style="list-style-type: none"> 湿地や泥炭地、高密度森林での原料栽培は禁止 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。 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。 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。
原料栽培に関する算定方法	<ul style="list-style-type: none"> 使用したエネルギー起源の CO₂、バイオマスの燃焼に伴う CH₄、N₂O、廃棄物等の処理に伴う CO₂、CH₄、殺虫剤等の化学物質の製造・調達に伴う CO₂、肥料の製造・施肥に伴う CO₂・N₂O の排出を計上。 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 CO₂ 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。 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）
燃料製造に関する算定方法	<ul style="list-style-type: none"> 使用したエネルギー起源の CO₂、バイオマスの燃焼に伴う CH₄・N₂O、廃棄物等の処理に伴う CO₂、CH₄ 及び触媒等の化学物質の製造・調達に伴う CO₂ の排出を計上。 発生した CO₂ を回収・隔離している場合、排出量から控除可能。
原料輸送、燃料輸送に関する算定方法	<ul style="list-style-type: none"> 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 CO₂ を計上する。 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。 復路便のエネルギー消費についても考慮する。
アロケーション方法 (※)	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。
化石燃料との比較方法	<ul style="list-style-type: none"> 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。 削減率 = (EF - EB) / EF 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 EB：バイオ燃料のライフサイクル温室効果ガス排出量 ガソリンのライフサイクル温室効果ガス排出量は 81.7g CO₂eq/MJ とする。

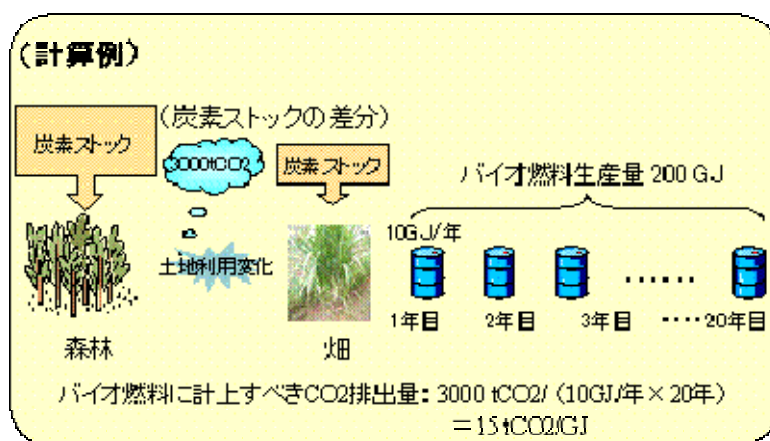
- ※ バウンダリ： LCA 評価の対象となる算定対象範囲（境界）
- ※ リーケージ： 廃棄物系資源をバイオ燃料用原料に利用することで、他のエネルギー・マテリアル用途を阻害してしまうことにより生ずる環境負荷（GHG 排出増）
- ※ アロケーション： バイオ燃料の製造プロセスで有用な副産物が発生する場合（エタノールの場合、サトウキビのバガスや発酵残渣（飼料代替等）等が副産物として発生する）において、バイオ燃料と副産物でエネルギー投入量と環境負荷を分割すること。

5) 算定の前提

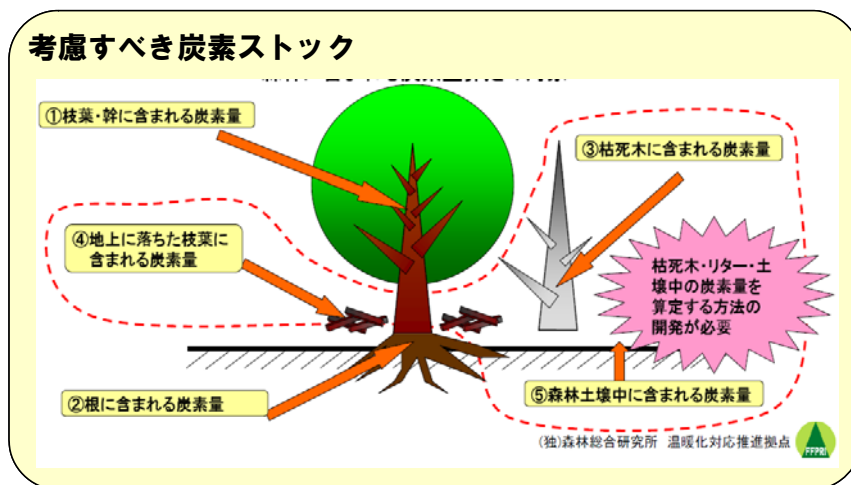
EU 指令をベースとして、本調査事業で調査の対象とする全ての国およびバイオ燃料原料についての、土地利用変化に伴う排出量を算定する。算定の前提は、下記の通りである。

バイオ燃料の LCA における直接土地利用変化の考え方

バイオ燃料の原料生産にあたっては、森林、草原から農地への転用など土地利用変化を伴う場合がある。森林等では、地上部および土壌中に大量の炭素を蓄積しているが、これらの炭素の一定部分は農地に転換された際、温室効果ガスとして大気中に放出される。このような土地利用変化に伴う排出についても、IPCC ガイドラインに基づき評価を行う。



土地利用変化に伴う温室効果ガス排出は、土地利用変化の時点で排出された量を諸外国の例にならない 20 年に均等配分し計上する。土地利用変化には、直接的な土地利用変化と間接的な土地利用変化があるが、本事業では、直接的变化についてのみ評価する。



(3) 評価結果

これまで、短期的、中長期的に導入可能な各種輸送用液体バイオ燃料について、温室効果ガス（GHG）評価に係るデータおよび算定方法について整理をしてきたが、次に下記の代表的なプロジェクトについて評価をおこなうこととする。

- 1) サトウキビ由来バイオエタノール
- 2) 多収量米由来バイオエタノール
- 3) セル革（王子製紙プロジェクト）早生広葉樹由来バイオエタノール
- 4) 多収量草本植物由来バイオエタノール
- 5) 廃食用油由来バイオディーゼル

1) サトウキビ由来バイオエタノール

①算定方針

ブラジル産エタノール（サトウキビ原料）の評価は、土地利用変化以外分、土地利用変化分に分けて検討するが、ここでは土地利用変化以外を示す。

土地利用変化以外分は、主要なサトウキビエタノールのライフサイクル評価である、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、ブラジルのカンピナス大学の研究者 Macedo 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する。

表 III-3-8 サトウキビ評価のための参照文献

略称	概要	文献名
RTFO	<ul style="list-style-type: none"> ・英国 RTFO 制度におけるデフォルト値。 ・原料栽培、原料輸送、燃料製造、燃料国内輸送、燃料国際輸送、土地利用変化（3 通り）のデフォルト値が既定されている。 ・評価に用いるデータのデフォルト値も既定されている。 	Renewable Fuels Agency, “Carbon and Sustainability Reporting Within the Renewable Transport Fuel Obligation Technical Guidance Part Two Carbon Reporting – Default Values and Fuel Chains Version 2.0”, March 2009
EU	<ul style="list-style-type: none"> ・EU 指令に記載されたデフォルト値のベースとなった EUCAR（欧州自動車メーカーの研究共同組織）、CONCAWE（欧州石油環境保全連盟）等の共同研究。 ・原料栽培、燃料製造、輸送の平均値が示されている。EU 指令ではこの平均値の 4 割増しをデフォルト値に設定している。 	EUCAR, CONCAWE and the Joint Research Centre of the EU Commission, “Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context WELL-TO-TANK Report Version 3.0”, November 2008
カリフォルニア	<ul style="list-style-type: none"> ・カリフォルニア州 Low Carbon Fuel Standard 制度におけるデフォルト値。 ・土地利用変化以外（3 シナリオ）、土地利用変化のデフォルト値が既定されている。 	California Air Resources Board, “Detailed California-Modified GREET Pathways for Brazilian Sugarcane Ethanol: Average Brazilian Ethanol, With Mechanized Harvesting and Electricity Co-product Credit, With Electricity Co-product Credit Stationary Source Version 2.3” September 23, 2009
Macedo (2008)	制度に紐付けられたデフォルト値ではないが、現地情報に基づく LCA 研究として著名。	I. C. Macedo et al, “Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020,” 2008

表 III-3-9 文献におけるライフサイクル GHG 排出量の比較

		RTFO			EU	カリフォルニア			Macedo (2008)
		農地	森林	草地		ベースライン	収穫機械化・余剰電力売却	余剰電力売却	
サトウキビ栽培	機械等	1.7	1.7	1.7	1.3	1.8	1.8	1.8	5.0
	火入れ	5.1	5.1	5.1	3.5	8.0	0.0	8.0	3.9
	化学物質製造	1.5	1.5	1.5	4.2	4.5	4.5	4.5	2.2
	土壌	4.7	4.7	4.7	5.5	4.7	4.7	4.7	6.9
サトウキビ輸送		1.8	1.8	1.8	0.9	2.0	2.0	2.0	1.5
エタノール製造		0.0	0.0	0.0	0.7	2.1	2.1	2.1	1.2
エタノール輸送	クレジット	NA	NA	NA	NA	NA	-7.0	-7.0	-10.5
	ブラジル国内	3.5	3.5	3.5	2.3	0.6	0.6	0.6	2.4
	国際	6.5	6.5	6.5	5.4	1.8	1.8	1.8	NA
輸入国内		NA	NA	NA	0.4	1.1	1.1	1.1	NA
合計		25	25	25	24	26.6	11.6	19.6	12.6
土地利用変化		0	213	0	NA	46	46	46	NA
合計(土地利用変化含む)		25	238	25	NA	72.6	57.6	65.6	NA

※カリフォルニア州のデフォルト値は、混合・燃焼時のN2O、CH4が別途1.2gCO2e/MJ計上される。

*EU の内訳は暫定値。

*Macedo(2008)自体は GHG 排出量の内訳を明示していないが、本論文を元に計算した値¹を記載。

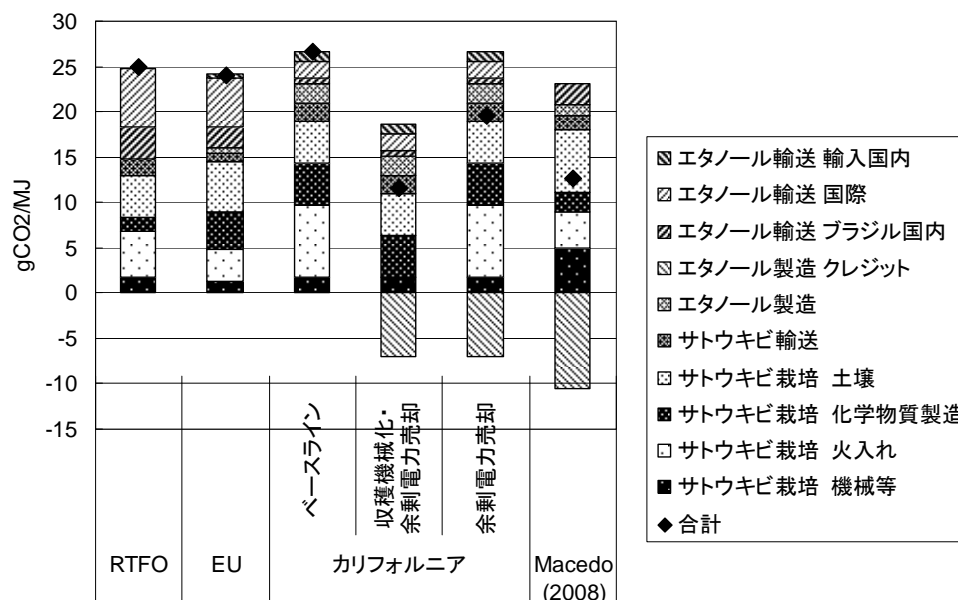


図 III-3-3 ライフサイクル GHG 排出量の比較 (土地利用変化分を除く)

②原料栽培工程

(ア) ブラジルにおけるサトウキビ栽培サイクル

サトウキビ栽培は、一般的に 6 年サイクルで行われる。新規植え付けを行ったサトウキビは 12 ヶ月後 (一部は 18 ヶ月後) に第 1 回の収穫を行い、収穫後の地下株から出る芽の栽培 (株出栽培) からの収穫を 4 回行う。

必要なエネルギー・肥料投入量は、農地がどの状態にあるかによって異なる (表 III-3-8)。

¹ I. C. Macedo and Joaquim E.A. Seabra, "Mitigation of GHG emissions using sugarcane bioethanol", 2008 (In: Peter Zuurbir and Jos van de Vooren (edt), "Sugarcane ethanol – Contributions to climate change mitigation and the environment", 2008)

表 III-3-10 ブラジルにおけるサトウキビ栽培サイクル

		単収 [t-cane/ha]*1	収穫	新植	株出
1年目	新植	0		○	
2年目	新植分収穫、株出	106	○		○
3年目	株出分収穫、株出	90	○		○
4年目	株出分収穫、株出	78	○		○
5年目	株出分収穫、株出	71	○		○
6年目	株出分収穫	67	○		

*1 Macedo(2004)

(イ) 化学物質・肥料製造、施肥に伴う GHG 排出

(i) 既存文献による評価

(a) 肥料・化学物質投入量

肥料・化学物質の投入量、排出係数は表通り想定されている。下記の肥料投入量は、6年サイクル中の平均値である。化学物質の投入量では、P肥料、K肥料、石灰の差が大きい。

RTFO、カリフォルニアの肥料投入量の原典は不明である。

Macedo はブラジルのサトウキビ研究センター（CTC, Centro de Tecnologia Canavieira）の 2005/2006 年データを利用している。ここでは、77%²の栽培地でエタノール生産の副産物である蒸留残渣を、30%の栽培地で砂糖生産時の残渣（フィルターケーキ）を肥料として撒布することを仮定しているため、肥料投入量は小さい。

EU は Macedo(2004)を参照しているが、これは同サトウキビ研究センターの 2002 年データである。ここでも 30%の栽培地への蒸留残渣、フィルターケーキの撒布が仮定されている。

表 III-3-11 各文献の肥料・化学物質投入量

	RTFO	EU	カリフォルニア	Macedo (2008)
N 肥料[kg N/ha.a]	80	63	82	60
P 肥料[kg P ₂ O ₅ /ha.a]	60	28	9	25
K 肥料[kg K ₂ O/ha.a]	100	74	15	37
石灰[kg CaO/ha.a]	60	367	205.5	316.7
除草剤[kg /ha.a]	NA	NA	2	2.2
殺虫剤[kg /ha.a]	0.2	2	0.2	0.16
単収[t-cane/ha.a]	71.6	68.7	75.0	72.6

なお、FAO “Fertilizer use by crop in Brazil,” 2004 では、ブラジルのサトウキビ栽培に消費される肥料の量を表 III-3-12 の通り計算している。なお、これは統計値ではなく FAO による推計値であり、単収は 71.4[t-cane/ha.a]とされている。投入量・単収とも、RTFO の値に近い。

また、同文献によると、ブラジルで使用される N 肥料の大半が尿素、P 肥料の多くが MAP（リン酸マグネシウムアンモニウム）である。

² 副産物を全てエタノール仕向けサトウキビ農地に撒布する場合の撒布可能量。

表 III-3-12 ブラジルのサトウキビ栽培の肥料消費量推計値

TABLE 14
Fertilizer consumption by crop and region (kg/ha)

Crop	Region	Product	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Total
Sugar cane	North	198	14	28	63	105
	Northeast	277	31	30	79	140
	Centre West	496	57	60	130	247
	Southeast	509	61	57	118	236
	South	400	76	45	113	234
	Total	447	55	51	110	216

出典) FAO "Fertilizer use by crop in Brazil", 2004

(b) 肥料・化学物質の排出係数

肥料・化学物質の排出係数は文献によりかなり差が大きい（表 III-3-13）が、肥料の製造に係る GHG 排出文献を複数比較した論文 Sam Wood and Annette Cowie, “A Review of Greenhouse Gas Emission Factors for Fertiliser Production,” 2004 によると、下記が指摘されている。

- ・ 同じ N 肥料であっても、硝安（硝酸アンモニウム）・尿素等、種類によって製造エネルギー起因の排出係数[gCO₂/kgN]の違いは大きい。
- ・ 尿素有排出係数の差は、原料として利用する CO₂ をマイナス計上しているかどうかによる差が大きい。ただし、この CO₂ 分は施肥後に排出されるため、計上にあたっては整合が必要である。
- ・ P 肥料の排出係数に輸送用エネルギー消費が占める GHG 排出は相対的に大きいため、これを考慮すべきである。

以上を勘案すると、RTFO の N 肥料・P 肥料、EU の N 肥料、カリフォルニアの N 肥料の排出係数の値は適切でない可能性がある。

表 III-3-13 各文献の肥料・化学物質排出係数

	RTFO	EU	カリフォルニア	Macedo (2008)	備考
N 肥料[kg/kgN]	1.33	6.065	2.8	3.97	
想定肥料種類	尿素	硝安系の可能性	硝安系の可能性	尿素	ブラジルではほとんどが尿素
CO ₂ 計上	なし			不明	施肥後排出計上との整合が必要
P 肥料[kg/kgP ₂ O ₅]	0.596	1.017	1	1.3	
輸送用 GHG 計上	あり	不明	不明	不明	計上すべき
K 肥料[kg/kgK ₂ O]	0.333	0.583	0.7	0.71	
石灰[kg/kgCaO]	0.124	0.124	0.6 ^{*1}	0.01 ^{*2}	RTFO は EU を引用 Macedo は著者推計
除 草 剤 [kg/kgProduct]	NA	NA	21.4	25	
殺 虫 剤 [kg/kgProduct]	17.3	17.3	24.9	29	RTFO は EU を引用

*1 g/kgCaCO₃

*2 g/kg dolomite (CaMg(CO₃)₂)

(ii) 我が国における評価

(a) 肥料製造・施肥に伴う GHG 排出

肥料投入量において実態を踏まえていると考えられ、また排出係数の不適切性が特に見当た
らなかつた Macedo(2008)の評価値 (表 III-3-14) を用いる。Macedo(2008)では石灰の排出係
数が過小評価されている可能性があるが、全体に与える影響は軽微であるため無視する。

また、肥料投入レベルに大きく影響すると考えられる単収の値も Macedo(2008)の評価値
72.6t-cane/ha を用いる。

表 III-3-14 肥料等製造に伴う GHG 排出

	投入量*1		排出係数*1		排出量 [kgCO ₂ /ha.a]
N 肥料	60	kg N/ha.a	3.97	kg/kgN	238.2
P 肥料	25	kg P ₂ O ₅ /ha.a	1.3	kg/kgP ₂ O ₅	32.5
K 肥料	37	kg K ₂ O/ha.a	0.71	kg/kgK ₂ O	26.27
蒸留残渣	107.8	m ³ /ha.a	0	(副産物利用)	0
フィルターケーキ	1.5	t(dry)/ha.a	0	(副産物利用)	0
石灰	316.7	kg/ha.a	0.01	kg/kg dolomite	3.167
除草剤	2.2	kg /ha.a	25	kg/kgProduct	55
殺虫剤	0.16	kg /ha.a	29	kg/kgProduct	4.64
GHG 排出量[kgCO ₂ /ha.a]					360
単収[t-cane/ha.a]*1					72.6
GHG 排出量[kgCO ₂ /t-cane]					4.96
GHG 排出量[gCO ₂ /MJ]					2.7

*1 Macedo(2008)

(b) 施肥に伴う GHG 排出

IPCC2006 年ガイドラインに従い、施肥に伴う GHG を計上する (表 III-3-15)。

上表に示す N 肥料が尿素、P 肥料が MAP (リン酸マグネシウムアンモニウム) であるとし
て、それぞれが施肥後に排出する N₂O を計上する。なお、尿素施肥による CO₂排出は、製造
時の吸収 CO₂をマイナス計上していないと考えられるので、排出分も計上しない。

また、石灰撒布による CO₂排出、蒸留残渣・フィルターケーキ撒布による N₂O も計上する。

表 III-3-15 施肥に伴う GHG 排出

GHG 排出源		投入量*2		N 含有量	GHG 排出 係数*3	排出量 [kgCO ₂ e/ha.a]
N ₂ O	尿素	60	kg N/ha.a	1 kg-N/kg-N	1.325%	387.3
	MAP	25	kg P ₂ O ₅ /ha.a	0.212*1 kg-N/kg-P ₂ O ₅	1.325%	34.2
	蒸留残渣	107.8	m ³ /ha.a	0.36*2kg-N/m ³	1.225%	231.6
	フィルター ケーキ	1.5	t(dry)/ha.a	12.5*2kg-N/t	1.225%	111.9
CO ₂	石灰	316.7	kg dolomite /ha.a	—	13%	150
GHG 排出量[gCO ₂ /ha.a]						915.9
単収[t-cane/ha.a]						72.6
GHG 排出量[kgCO ₂ /t-cane]						12.6
GHG 排出量[gCO ₂ /MJ]*4						6.9

*1 RTFO

*2 Macedo(2008)

*3 IPCC2006 年ガイドライン

*4 エタノール収率 86.3L/t-cane, エタノール発熱量 21.2MJ/L

(ウ) 収穫前の火入れに伴う N₂O・CH₄ 排出

(i) 既存文献による評価

手作業でサトウキビを収穫する場合には、収穫前に畑に火入れを行って葉を焼き払い、収穫をし易くするのが一般的である。この工程において、N₂O や CH₄ といった GHG を排出する。

一方で収穫が機械化された場合等には、この火入れは必ずしも必要なくなり、この分の GHG 排出が削減されるが、機械に利用されるエネルギー消費は大きくなる。

RTFO と MACEDO では、火入れを行う農地の比率を仮定し、加重平均としてデフォルト値を算出している。

カリフォルニアでは、火入れをする場合（ベースライン）、しない場合（収穫機械化）それぞれでデフォルト値を算出している（表 III-3-16）。

表 III-3-16 各文献の火入れに伴う GHG 排出量の評価

		RTFO	EU	カリフォルニア	Macedo (2008)	備考
火入れ比率		77%	80%	100%*1 /0%*2	69%	
葉発生量 [kg/t cane]		140	不明	190	140	RTFO、Macedo の出典は IPCC2006 ガイドライン。値の差は GWP によるものか。
葉焼却 排出係数 [gCO ₂ e/g]	N ₂ O	0.022		0.021	0.021	
	CH ₄	0.0585		0.0675	0.062	
火入れに伴う GHG 排出量 [gCO ₂ /MJ]		5.1	3.5 (仮)	8.0*1 /0*2	3.9	

*1: ベースライン (火入れを行う場合)、*2: 収穫機械化 (火入れを行わない場合)

なお、サトウキビ生産量がブラジル最大のサンパウロ州では、火入れを段階的に禁止する法律を定めている。この法律は、2011 年には勾配 12%未満の畑において、収穫面積の 50%に火入れを禁止するものである (表 III-3-17)。機械化が困難である急勾配の畑や面積が小さい畑においてはより低い値が課せられている。

表 III-3-17 サンパウロ州における火入れ禁止法律

勾配 12%未満の畑		勾配 12%以上または 150ha 未満の畑	
2002 年:	20%廃止	2011 年:	10%廃止
2006 年:	30%廃止	2021 年:	30%廃止
2011 年:	50%廃止	2031 年:	100%廃止
2016 年:	80%廃止		
2021 年:	100%廃止		

(ii) 我が国における評価

(a) 全体方針

我が国においては、火入れに伴う GHG 排出は、火入れによる GHG 排出量に火入れ比率を乗じることによって平均値として評価するものとする。

(b) 火入れ比率

サンパウロ州の勾配 12%未満の畑に対する 2011 年の火入れ禁止比率から、火入れ比率は 50%とする。

ただし、専門家によると、サンパウロ州でも機械化困難な急勾配・小規模な畑があること、地方部では機械のメンテナンス機能の制限から機械化が進展しない可能性が高いことなども指摘されている。

(c) 葉発生量

140[kg/t cane]とする。

(d) 葉の排出係数

IPCC2006年ガイドラインにおける農業残渣焼却時の排出係数を参照する。N₂Oの排出係数は0.07gN₂O/kg、CH₄の排出係数は2.7gN₂O/kgである（表 III-3-18）。

温暖化係数はIPCC第二次評価報告書の係数である310、21を用いて二酸化炭素換算すると、それぞれ0.0217gCO₂e/g、0.0567gCO₂e/gとなる。

表 III-3-18 IPCC ガイドライン

TABLE 2.5 EMISSION FACTORS (g kg ⁻¹ DRY MATTER BURNT) FOR VARIOUS TYPES OF BURNING. VALUES ARE MEANS ± SD AND ARE BASED ON THE COMPREHENSIVE REVIEW BY ANDREA E AND MERLET (2001) (To be used as quantity 'G _{gr} ' in Equation 2.27)					
Category	CO ₂	CO	CH ₄	N ₂ O	NO _x
Savanna and grassland	1613 ± 95	65 ± 20	2.3 ± 0.9	0.21 ± 0.10	3.9 ± 2.4
Agricultural residues	1515 ± 177	92 ± 84	2.7	0.07	2.5 ± 1.0
Tropical forest	1580 ± 90	104 ± 20	6.8 ± 2.0	0.20	1.6 ± 0.7
Extra tropical forest	1569 ± 131	107 ± 37	4.7 ± 1.9	0.26 ± 0.07	3.0 ± 1.4
Biofuel burning	1550 ± 95	78 ± 31	6.1 ± 2.2	0.06	1.1 ± 0.6

Note: The "extra tropical forest" category includes all other forest types.
Note: For combustion of non-woody biomass in Grassland and Cropland, CO₂ emissions do not need to be estimated and reported, because it is assumed that annual CO₂ removals (through growth) and emissions (whether by decay or fire) by biomass are in balance (see earlier discussion on synchrony in Section 2.4).

(e) 評価結果

表 III-3-19 収穫前の火入れに伴う N₂O・CH₄排出（火入れ比率を50%とした場合）

項目	値	
火入れ比率	50% ^{*1}	
葉発生量[kg/t-cane]	140 ^{*2}	
葉焼却排出係数 [gCO ₂ e/g]	N ₂ O	0.0217 ^{*3}
	CH ₄	0.0567 ^{*3}
GHG 排出量[kgCO ₂ /t-cane]	5.49	
GHG 排出量[gCO ₂ /MJ] ^{*4}	3.0	

*1 想定

*2 Macedo(2008)

*3 IPCC2006年ガイドライン

*4 エタノール収率 86.3L/t-cane, エタノール発熱量 21.2MJ/L

(エ) 農業機械利用に伴うエネルギー由来 CO₂ 排出

(i) 既存文献による評価

(a) 燃料消費量

4 文献の値はそれぞれ表 III-3-20 の通りである。

Macedo の機械等投入燃料量には、農業機械生産に係るエネルギー消費や、バイオ燃料用サトウキビ生産以外の農家の活動に係る消費が含まれている。

表 III-3-20 各文献のサトウキビ栽培工程（機械等）における前提と GHG 排出量

	RTFO	EU	カリフォルニア	Macedo (2008)
投入燃料量 [kJ/MJ ethanol]	19	17	26	19
機械製造等に係る エネルギー消費 [kJ/MJ ethanol]	0 (バウンダリ外)	0 (バウンダリ外)	0 (バウンダリ外)	33

RTFO、カリフォルニア、Macedo(2008)においてはこれらの値の前提は明らかではないが、EU が参照している Macedo(2004)では表 III-3-21 の通りである。

表 III-3-21 収穫機械化比率 35%の場合のエネルギー消費 (Macedo(2004))

工程	ディーゼル燃料 消費量(EU) [L/ha.a]	比率
新植 (6年に1度)	102.6	1/6
新植 (6年に4度)	9.11	4/6
収穫 (6年に5度)	機械 (35%)	5/6 × 35%
	手作業 (65%)	0*1
平均ディーゼル燃料消費量 [L/ha.a]	55	
平均ディーゼル燃料消費量 [L/t-cane]*2	0.797	

*1 文献からはサトウキビ運搬に 14.1L/ha.a のエネルギーを使うとも読めるが、ディーゼル燃料消費量総量と一致しなくなるのでゼロとおいた。

*2 単収 68.8t-cane/ha.a(6年平均)の場合。

(b) 機械化比率

火入れを行っていない場合、ほとんどの場合で収穫は機械化されている。ただし、収穫が機械化されているにも関わらず火入れが行われている場合もあるとして、火入れ比率と非機械化比率は一致しない。

各文献で想定している火入れ比率、機械化比率は表Ⅲ-3-22の通りである。Macedo(2008)によると、EUやRTFOが想定している機械化比率35%は2002年頃の値であり、2005年にはこれが50%に向上するとしている。

表 Ⅲ-3-22 各文献の火入れ比率・機械化比率の想定

	RTFO	EU	カリフォルニア	Macedo (2008)	備考
火入れ比率	77%	80%	100%*1 /0%*2	69%	RTFO、EUは2002年頃の実態。
機械化比率	34%	35%	0%*1 /100%*2	50%	Macedoは2005年頃の実態。

*1：ベースライン（火入れを行う場合）、*2：収穫機械化（火入れを行わない場合）

(ii) 我が国における評価

(a) バウンダリ

農業機械製造等に係るエネルギー消費はバウンダリ外であり、機械でのエネルギー消費に伴うCO₂排出のみを考慮する。

(b) 工程別のディーゼル燃料消費量

EUが参照している研究（Macedo(2004)）の値を用いる。本文献が最もその根拠が明らかであるためである。

ただし、この数字はサトウキビ単収や収穫の機械化比率の想定で異なってくるため、工程別のディーゼル燃料消費量から算出するものとする。

(c) 機械化比率

火入れは機械化されていない農地でのみ行われると考えて、火入れ比率を50%としたため、機械化比率を50%（=1-火入れ比率）とする。

(d) ディーゼル燃料の排出係数

ディーゼル燃料製造に係る間接排出分も考慮する。Macedo(2004)より、ディーゼル燃料の発熱量を38.7MJ(LHV)/L、排出係数を88.4gCO₂/MJ(LHV)（直接排出分は74.1gCO₂/MJ）とする。

表 III-3-23 ディーゼル燃料の排出係数

発熱量 [MJ/L]*1	排出係数[gCO ₂ /MJ] *2		排出係数 [gCO ₂ /L]	cf 日本(軽油) [gCO ₂ /L]
		うち直接		
38.7	88.4	74.1	3.42	2.80

*1 Macedo(2004). 9,235kcal(LHV)/L

*2 Macedo(2008)

*3 H11 年度 PEC 報告書 (石油製品油種別 LCI 作成と石油製品環境影響評価調査報告書、2000 年 3 月)

(e) 評価結果

表 III-3-24 農業機械利用に伴うエネルギー由来 CO₂ 排出 (機械化比率 50%とした場合)

工程		ディーゼル燃料消費量 [L/ha.a]*1	比率
新植	(6年に1度)	102.6	1/6
新植	(6年に4度)	9.11	4/6
収穫 (6年に5度)	機械 (50%*2)	107.9	5/6×50%
	手作業 (50%)	0	5/6×50%
平均ディーゼル燃料消費量 [L/ha.a]		68	
ディーゼル燃料排出係数[kgCO ₂ /L]		3.42	
GHG 排出量[kgCO ₂ /ha.a]		233	
単収[t-cane/ha.a]		72.6	
GHG 排出量[kgCO ₂ /t-cane]		3.21	
GHG 排出量[gCO ₂ /MJ]*3		1.8	

*1 Macedo(2004)

*2 想定

*3 エタノール収率 86.3L/t-cane, エタノール発熱量 21.2MJ/L

③原料輸送工程

(ア) 我が国における評価

Macedo(2008)における前提を用いる。

表 III-3-25 サトウキビ輸送に係る CO₂ 排出の評価

項目	値
往復輸送距離[km]*1	40
輸送時ディーゼル燃料消費原単位[tkm/L] *1	49
ディーゼル燃料消費量[L/t cane]	0.816
ディーゼル燃料排出係数[kgCO ₂ /L]	3.42
GHG 排出量[kgCO ₂ /t cane]	2.79
GHG 排出量[gCO ₂ /MJ]	1.5

*1 Macedo(2008)

④燃料製造工程

(ア) 既存文献による評価

(i) バウンダリ

エタノール製造過程においては、文献によって評価バウンダリが異なる。

RTFO や EU では、プラント燃料としてバガスを利用するという前提であり、この分の GHG はゼロと評価される。一方で、カリフォルニアではほぼ全量をバガスで賄う仮定ではあるが、バガス燃焼に伴う CH₄、N₂O 排出が計上されている。

Macedo では、プラント燃料のうち一部を電力で賄うが、このブラジルにおける電源は水力が中心として排出係数ゼロで評価している。(なお、電力購入と同時に余剰電力が発生する想定としているが、これは複数のプラントの平均を取っているためと考えられる。)

EU と Macedo では、化学物質製造に係るエネルギー投入も評価している。また、Macedo では、建築・機器製造に係るエネルギー消費も評価している。

表 III-3-26 各文献のエタノール製造工程の前提と GHG 排出量

	RTFO	EU	カリフォルニア	Macedo
燃料	バガスのみ (GHG 発生無視)	バガスのみ (GHG 発生無視)	バガス 99.7% (CH ₄ 、N ₂ O 発生)、重油	バガス(GHG 発生無視)、電力(排出係数ゼロで評価)
化学物質	—	0.7 gCO ₂ /MJ (石灰、シクロヘキサン、硫酸、潤滑油)	—	1.0 gCO ₂ /MJ (NaOH、石灰、シクロヘキサン、硫酸、潤滑油、消泡剤)
その他	—	—	—	0.2 建築・機器製造
副産物クレジット	—	—	余剰電力販売 (余剰電力販売ケース)	余剰電力・バガス販売
GHG 排出量 (エタノール製造)[gCO ₂ /MJ]	0.0	0.7	2.1	1.2

(ii) 化学物質

Macedo(2008)における化学物質に係る CO₂ 排出量の評価は表 III-3-27 の通り。なお、EU は Macedo(2004)を参照しているが、この値は Macedo(2008)とは異なる。

表 III-3-27 エタノール製造の化学物質製造に係る排出の評価 (Macedo(2008))

化学物質	投入量 [kJ/L-ethanol]
水酸化ナトリウム	98.6
石灰	64.9
硫酸	48
クロロヘキサン	5.2
消泡剤	2.6
潤滑油	1.6
その他	2.0
エネルギー消費量[kJ/L]	222.9
平均的排出係数[gCO ₂ /MJ]	95
GHG 排出量[kgCO ₂ /kL]	21.2
GHG 排出量[gCO ₂ /MJ]*1	1.0

(iii) 燃料消費とバガス余剰

バガスの発熱量等は、EU が参照している Macedo(2004)に、表 III-3-28 の通り記載されている。

表 III-3-28 バガスの発熱量

項目	値
バガス発生量[kg/t cane]	280
発熱量[MJ(LHV)/kg]	7.54
バガス供給熱量[MJ(LHV)/t cane]	2111

バガスによりエタノール製造に十分のエネルギーが賄えるため、バガスの余剰が発生する(表 III-3-29)。

カリフォルニアは、UNICA (ブラジルサトウキビ生産協会) からの情報を用いて、バガス発電に伴う余剰電力 (0.96kWh/gal-ethanol、バガス 276MJ/t cane (13%) に相当) を外部に供給しているとしたシナリオも評価している。

ブラジルのエネルギー統計によると、2006 年のバガス消費の 6.6%がエネルギー転換に利用されており、35%がエネルギーセクタ (エタノール製造)、59%が食料セクタ (砂糖製造) に利用されている。

専門家によると、バガス余剰分の多くは工場内で発電に利用され、電力として外販されているとのことである。

表 III-3-29 バガス余剰比率

文献	バガス余剰比率	
Macedo(2004)	Average	5%
	Best	15%
Madedo(2008)	サトウキビ研究センター (CTC) の 2005/2006 年データ	9.6%
カリフォルニア	一部の高効率プラント (UNICA からの聞き取り情報)	13% (余剰電力)
“Brazilian Energy Balance”, 2006		6.6%

(イ) 我が国における評価

(i) バウンダリ

燃料消費、化学物質製造に係る GHG 排出を考慮する。なお燃料としてのバガス燃焼に伴う GHG 発生も考慮する。

(ii) 化学物質

評価しているのは EU、Macedo(2008)であるが、保守的に大きい値である Macedo(2008)の値を採用する。また、エタノール収率は、同じく Macedo(2008)の値を用いて整合する 86.3L/t cane とする。

(iii) 燃料

燃料は全量バガスで賄うとする。Macedo(2008)では発生バガスの 91.4%がエタノール製造に利用されるとしている。バガス燃焼に伴う N₂O、CH₄ 排出を評価する。ただし、余剰バガスも処理もしくはエネルギー利用のため燃焼されるため、発生バガス全量分を評価する。

バガスの工業用ボイラでの燃焼に伴う N₂O、CH₄ 排出係数は、これを唯一評価しているカリフォルニアの値を用いる。

表 III-3-30 火入れ比率を 50%とした場合のバガス燃焼に伴う GHG 排出の評価

項目	値	
バガス供給熱量[MJ(LHV)/t cane]*1	2111	
バガス燃焼率*2	100%	
バガス焼却排出係数 [kgCO ₂ e/MJ]*2	N ₂ O	0.00123
	CH ₄	0.00062
GHG 排出量[kgCO ₂ /t-cane]	3.93	
GHG 排出量[gCO ₂ /MJ]	2.1	

*1 Macedo(2004)

*2 カリフォルニア

(iv) アロケーション

プロセスのエネルギー所要量・機器効率を下記のように想定する。バガスベースでの余剰量は約 16%である。

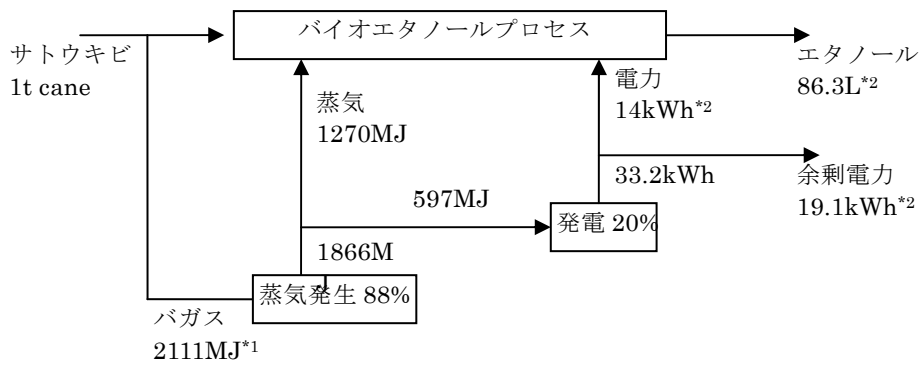


図 III-3-4 エタノール製造プロセスのエネルギーバランス

*1 Michael Wang et al., “Well-to-Wheels Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Brazilian Sugarcane Ethanol Production Simulated by Using the GREET Model”, 2007.

*2 I. C. Macedo et al., “Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020”, 2008 (サトウキビ研究センター(CTC)の2005/2006年データ)より。平均として余剰電力 9.2kWh/t cane・余剰バガス 9.6%であるが、ここではこの余剰バガスも発電に用いられるとした。

余剰バガスの利用に関して、下記のケースを想定してアロケーションを行う。

表 III-3-31 アロケーション評価方法

ケース名	余剰バガスを利用	アロケーション
アロケーション無し	しない (焼却)	—
プロセス分化	する	プロセス分化 (余剰バガス利用に伴う排出を控除)
代替法	する (発電利用)	代替法
熱量按分法	する (発電利用)	熱量按分法
価格按分法	する (発電利用)	価格按分法

<プロセス分化ケース>

プロセス分化ケースでは、余剰バガス利用 (燃焼) に伴う N₂O、CH₄ 排出を控除する。

<代替法>

代替法においては、余剰電力を火力電源平均排出係数の 0.90kgCO₂/kWh³を適用して評価する。

<熱量按分法>

熱量按分法における按分対象は、原料生産～燃料製造工程（化学物質投入を除く）である。

表 III-3-32 熱量按分法によるアロケーション比率

	発生量	単位発熱量	発熱量
エタノール	86.3L/t-cane	21.2MJ/L	1830MJ
電力	19.1kWh/t-cane	3.6MJ/kWh	69MJ
比			27 : 1

<価格按分法>

価格按分法における按分対象は、原料生産～燃料製造工程（化学物質投入を除く）である。

表 III-3-33 価格按分法によるアロケーション比率

	発生量	単価	金額
エタノール	86.3L/t-cane	0.57\$/L	49\$
電力	19.1kWh/t-cane	0.12\$/kWh	2.3\$
比			21 : 1

出典) エタノール単価 : Indicador Alcool CEPEA/ESALQ

電力単価 : IEA, "Energy Prices and Taxes, Volume 2009 Issue 4: Fourth Quarter 2009"

³ DOE/EIA, "Voluntary Reporting of Greenhouse Gases Program"で既定されている各国の火力電源平均排出係数より。

⑤燃料輸送工程

(ア) 既存文献による評価

(i) ブラジル国内輸送

エタノール輸送のブラジル国内（輸出港まで）輸送の前提は下記の通り。ブラジル国内利用を前提としている Macedo はこれを評価していない。

表 III-3-34 各文献のブラジル国内輸送工程の前提と GHG 排出量

	RTFO	EU	カリフォルニア
輸送距離 [km]	600	700	805 (500mile)
輸送方法	重・長距離貨物 トラック	40t トラック	鉄道 50%、パイ プライン 50%
輸送効率 [MJ/t.km]	1.8*1	0.94 (復路考慮)	—

*1 出典は WBCSD/IEA (2004) Transport spreadsheet model – Mobility 2030 Project.

(ii) 国際輸送

利用国によって輸送距離は当然異なるが、輸送に利用する船舶の仮定も異なる。

表 III-3-35 各文献の国際輸送工程の前提と GHG 排出量

	RTFO	EU	カリフォルニア
輸送距離 [km]	10000	10186 (5500 海里)	11935 (7416mile)
輸送方法	船舶	50,000 DWT* タンカー	150,000t タンカー
輸送効率 [MJ/t.km]	0.2	0.124 (復路考慮)	0.04 (復路考慮)

*載貨重量トン

(イ) 我が国における評価

(i) ブラジル国内輸送

トラック輸送が一般的である。輸送距離と輸送効率として、保守的に評価値が大きいものを採用する。

表 III-3-36 エタノール輸送に係る CO₂ 排出の評価

項目	値
片道輸送距離[km]*1	700
輸送時ディーゼル燃料消費原単位 [MJ/t.km]*2	1.8
燃料消費量[MJ/t]	1,260
ディーゼル燃料排出係数[gCO ₂ /MJ]	88.4
GHG 排出量[kgCO ₂ /t]	111.3
GHG 排出量[gCO ₂ /MJ]	4.2

*1 EU

*2 RTFO

(ii) 国際輸送

輸送距離としては、ブラジル・日本間の輸送概算距離 24000km で評価する。

輸送効率として、RTFO の輸送効率の値の根拠が不明であるため、50,000DWT タンカーを想定している EU の値を用いる。

排出係数は、EU、RTFO で共通して利用されている値 87.3gCO₂/MJ を適用する。

表 III-3-37 エタノール輸送に係る CO₂ 排出の評価

項目	値
片道輸送距離[km]*1	24000
輸送時重油消費原単位 [MJ/t.km]*2	0.124
重油消費量[MJ/t]	2,976
重油排出係数[gCO ₂ /MJ]	87.3
GHG 排出量[kgCO ₂ /t]	259.8
GHG 排出量[gCO ₂ /MJ]	9.7

*1 想定

*2 EU

⑥総括

以上の結果をまとめると、サトウキビ由来エタノールのライフサイクル GHG 排出量は以下の通り算出される。

表 III-3-38 サトウキビ由来エタノールの GHG 排出量の試算結果 (gCO₂/MJ)

		原料栽培	原料輸送	燃料製造 ※	燃料輸送	計	ガソリン 比
サ ト ウ キ ビ	アロケーション無し	14.4	1.5	3.1	13.9	32.9	40%
	プロセス分化			2.8		32.6	40%
	代替法			-6.3*		23.5	29%
	熱量按分法	13.8	1.5	3.1		32.3	39%
	価格按分法	13.7	1.5	3.1		32.1	39%

*うちクレジットは-9.4gCO₂/MJ

※商用プラントデータに基づく評価。

表 III-3-39 ブラジル産サトウキビ由来エタノールの GHG 排出量の試算結果の詳細
(土地利用変化以外、アロケーション無しケース)

		GHG 排出量		GHG 排出量 [gCO ₂ /MJ]*
原料栽培	化学物質製造	4.96	kgCO ₂ /t-cane	2.7
	土壌 (施肥)	12.6	kgCO ₂ /t-cane	6.9
	火入れ	5.49	kgCO ₂ /t-cane	3.0
	機械	3.21	kgCO ₂ /t-cane	1.8
サトウキビ輸送		2.79	kgCO ₂ /t-cane	1.5
エタノール製造	バガス焼却	3.93	kgCO ₂ /t-cane	2.1
	化学物質製造	21.2	kgCO ₂ /kL	1.0
	クレジット	0		0
エタノール輸送	ブラジル国内	111.3	kgCO ₂ /t	4.2
	国際	259.8	kgCO ₂ /t	9.7
合計				32.9

*エタノール収率 86.3L/t cane、発熱量 26.7MJ(LHV)/kg, 21.2MJ(LHV)/L で換算

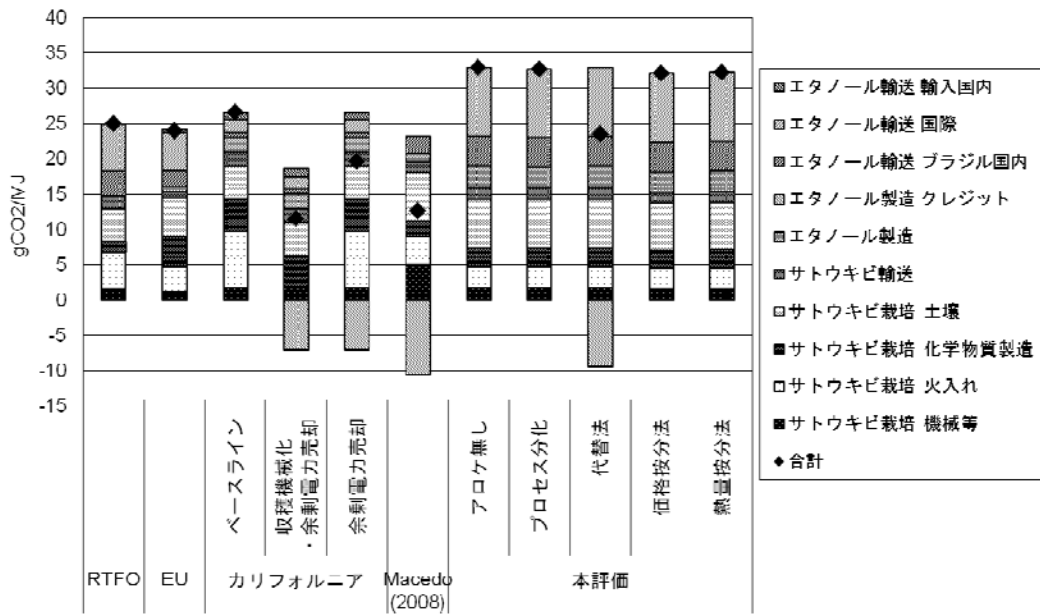


図 III-3-5 ブラジル産サトウキビ由来エタノール GHG 排出量の試算結果の比較

- ・ RTFO との違いの主要要因：
 - ・ 火入れ比率を低めに想定。(－)
 - ・ 栽培時の化学物質・肥料製造エネルギーを保守的に評価。(＋)
 - ・ 燃料製造時のバガス燃料起因 CH₄・N₂O を評価。(＋)
 - ・ 海上輸送距離が長い。(＋)
- ・ EU との違いの主要要因
 - ・ 燃料製造時のバガス燃料起因 CH₄・N₂O を評価。(＋)
 - ・ 火入れ比率を低めに想定。(－)
 - ・ 陸上輸送原単位を低めに想定。(＋)
 - ・ 海上輸送距離が長い。(＋)

参考文献一覧

略称	文献名
RTFO	Renewable Fuels Agency, “Carbon and Sustainability Reporting Within the Renewable Transport Fuel Obligation Technical Guidance Part Two Carbon Reporting – Default Values and Fuel Chains Version 2.0”, March 2009
EU	EUCAR, CONCAWE and the Joint Research Centre of the EU Commission, “Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context WELL-TO-TANK Report Version 3.0,” November 2008
カリフォルニア	California Air Resources Board, “Detailed California-Modified GREET Pathways for Brazilian Sugarcane Ethanol: Average Brazilian Ethanol, With Mechanized Harvesting and Electricity Co-product Credit, With Electricity Co-product Credit Stationary Source Version 2.3” September 23, 2009
Macedo(2008)	I. C. Macedo et al, “Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020,” 2008
Macedo(2004)	Macedo I.C. et al, “Assessment of greenhouse gas emissions in the production and use of fuel ethanol in Brazil”, 2004
IPCC 2006 年ガイドライン	IPCC, “2006 IPCC guideline for national greenhouse gas inventories”, 2006

2) 多収量米由来バイオエタノール

①原料栽培工程

原料栽培工程については、各種統計値より食用米栽培に関する GHG 排出量を算定した上で、単収増等を考慮して多収量米向けの値に補正する。

(ア) エネルギー使用に伴う排出

「平成 19 年産米及び小麦の生産費」に基づく米生産におけるエネルギー使用量の全国平均値を表 III-3-40 に示す。電力については金額ベースでのみ記されているため、平成 17 年(2005 年)産業連関表の物量表より推計した単価(表 III-3-41)で除して電力量に換算する。

CO₂ 排出量は、(財)石油産業活性化センター報告書や(社)産業環境管理協会作成の Simple-LCA で用いられている排出係数をエネルギー使用量に乗じて算定する。

表 III-3-40 米生産におけるエネルギー使用量（全国平均）

エネルギー種		単位	使用量	排出係数	排出係数出典
動力燃料	軽油	L/10a	12.0	2.80 kgCO ₂ e/L	H11 年度 PEC 報告書
	灯油	L/10a	7.0	2.65 kgCO ₂ e/L	H11 年度 PEC 報告書
	ガソリン	L/10a	7.4	2.70 kgCO ₂ e/L	H11 年度 PEC 報告書
	混合油	L/10a	0.9	2.70 kgCO ₂ e/L	H11 年度 PEC 報告書
電力料		円/10a	669		
		kWh/10a	33.5	0.446 kgCO ₂ e/kWh	Simple-LCA

出典) 使用量：平成 19 年産米及び小麦の生産費（電力料の kWh/10a 除く）

排出係数：H11 年度 PEC 報告書（石油製品油種別 LCI 作成と石油製品環境影響評価調査報告書、2000 年 3 月）、Simple-LCA

- 注 1) 光熱動力費には「潤滑油」と「その他」も含まれるが、前者は燃焼利用されるものではないこと、後者は内容不明のため、CO₂算定対象外とする。
- 注 2) 混合油の排出係数はガソリンと同様と想定。

表 III-3-41 米生産における事業用電力投入量

数量[百万 kWh]	金額[百万円]	単価[円/kWh]
561	11,196	20.0

出典) 平成 17 年（2005 年）産業連関表 物量表より推計

<p>エネルギー使用に伴う CO₂ 排出</p> $= 12.0 \text{ [L/10a]} \times 2.80 \text{ [kgCO}_2\text{e/L]} + 7.0 \text{ [L/10a]} \times 2.65 \text{ [kgCO}_2\text{e/L]}$ $+ 7.4 \text{ [L/10a]} \times 2.70 \text{ [kgCO}_2\text{e/L]} + 0.9 \text{ [L/10a]} \times 2.70 \text{ [kgCO}_2\text{e/L]}$ $+ 33.5 \text{ [kWh/10a]} \times 0.446 \text{ [kgCO}_2\text{e/kWh]}$ $= 89.5 \text{ [kgCO}_2\text{e/10a]} \quad (2.1)$

(イ) ユーティリティー使用に伴う排出

(i) 肥料

「平成 19 年産米及び小麦の生産費」に基づく米生産における肥料費の全国平均値を表 III-3-42 に示す。この値に、国立環境研究所作成の「産業連関表による環境負荷原単位データベース」の 2005 年 β 版（以後、2005 年 3EID β 版）の原単位（表 III-3-43）を乗じて CO₂ 排出量に換算する。

表 III-3-42 米生産における肥料費（全国平均）

区分		肥料費[円/10a]	
化学肥料	窒素質	硫安	32
		尿素	7
		石灰窒素	39
	リン酸質	過リン酸石灰	95
		よう成リン肥	124
		重焼リン肥	179
	カリ質	塩化カリ	21
		硫酸カリ	14
	けいカル		213
	炭酸カルシウム（石灰を含む）		15
	けい酸石灰		24
	複合肥料	高成分化成	3,113
		低成分化成	311
		配合肥料	1,417
固形肥料		13	
小計		5,617	
有機肥料	土壌改良資材		669
	たい肥・きゅう肥		227
	その他		1,417
	自給	たい肥	19
		きゅう肥	74
		稲・麦わら	6
		その他	5
小計		2,417	

出典) 平成 19 年産米及び小麦の生産費

表 III-3-43 米生産における肥料関連の環境負荷原単位

	[t-CO ₂ /百万円]
化学肥料	6.33
有機質肥料（除別掲）	2.75

出典) 2005 年 3EID β 版

肥料使用に伴う CO₂ 排出

$$\begin{aligned}
 &= (5,617 \text{ [円/10a]} \times 6.33 \text{ [t-CO}_2\text{/百万円]} + 2,417 \text{ [円/10a]} \times 2.75 \text{ [t-CO}_2\text{/百万円]}) \div \\
 &1,000 \\
 &= 42.2 \text{ [kgCO}_2\text{e/10a]} \qquad (2.2)
 \end{aligned}$$

(ii) 農薬

「平成 19 年産米及び小麦の生産費」に基づく米生産における農業薬剤費の全国平均値を表 III-3-44 に示す。この値に、国立環境研究所作成の「2005 年 3EID β 版」の原単位（表 III-3-45）を乗じて CO₂ 排出量に換算する。

表 III-3-44 米生産における農業薬剤費（全国平均）

区分	農業薬剤費[円/10a]
殺虫剤	764
殺菌剤	816
殺虫殺菌剤	1,763
除草剤	3,540
その他	93
合計	6,976

出典) 平成 19 年産米及び小麦の生産費

表 III-3-45 米生産における農薬の環境負荷原単位

農薬	5.33 [t-CO ₂ /百万円]
----	-------------------------------

出典) 2005 年 3EID β 版

農薬使用に伴う CO₂ 排出

$$= 6,976 \text{ [円/10a]} \times 5.33 \text{ [t-CO}_2\text{/百万円]} / 1,000 = 37.2 \text{ [kgCO}_2\text{e/10a]} \quad (2.3)$$

(ウ) 土壌からの排出

(i) CH₄ 排出

土壌からの CH₄ 排出については、「日本国温室効果ガスインベントリ報告書（2009 年）」に記されている原単位を用いて算定する。水田の種類毎の排出係数及び作付面積の比率は表 III-3-46 の通り想定し、加重平均値をとる。

CH₄ の温暖化係数は、IPCC 第二次評価報告書の係数である 21 を用いる（以後同様）。

表 III-3-46 水田からの CH₄ 排出係数

水田の種類	排出係数 [gCH ₄ /m ² /年]	作付面積 比率
常時湛水田	28.29	2%
間欠灌漑水田（中干し）	15.98	98%

出典) 日本国温室効果ガスインベントリ報告書（2009 年）

土壌からの CH ₄ 排出 $= (28.29 \text{ [gCH}_4\text{/m}^2\text{/年]} \times 2\% + 15.98 \text{ [gCH}_4\text{/m}^2\text{/年]} \times 98\%) \times 21$ $= 340.8 \text{ [kgCO}_2\text{e/10a]}$	(2.4)
---	-------

(ii) N₂O 排出

土壌からの N₂O 排出については、「日本国温室効果ガスインベントリ報告書（2009年）」に記されている肥料投入量及び排出係数を用いて算定する（表 III-3-47）。N₂O の温暖化係数は、IPCC 第二次評価報告書の係数である 310 を用いる（以後同様）。

計算式は以下の通り。

$$\begin{aligned} & \text{農用地の土壌への有機質肥料の施肥に伴う N}_2\text{O 排出量 [kgN}_2\text{O]} \\ & = \text{肥料に含まれる窒素量 [kg N]} \times \text{作物種別の排出係数 [kgN}_2\text{O-N/kgN]} \times 44/28 \end{aligned}$$

表 III-3-47 米栽培における肥料投入量及び N₂O 排出係数

化学肥料投入量	6.27 kgN/10a
有機質肥料投入量	3.2 kgN/10a
排出係数	0.31% kgN ₂ O-N/kgN

出典) 日本国温室効果ガスインベントリ報告書（2009年）

土壌からの N ₂ O 排出 $= (6.27 \text{ [kgN/10a]} + 3.2 \text{ [kgN/10a]}) \times 0.31\% \text{ [kgN}_2\text{O-N/kgN]} \times 44/28 \times 310$ $= 14.3 \text{ [kgCO}_2\text{e/10a]}$	(2.5)
---	-------

(エ) 残渣の野焼きに伴う排出

残渣の野焼きに伴う CH₄、N₂O の排出については、「日本国温室効果ガスインベントリ報告書（2009年）」に記されている算定方法に準ずる。

計算式は以下の通り。

$$\begin{aligned} & \text{農作物の野焼きに伴う CH}_4\text{ 排出量 [kgCH}_4\text{]} \\ & = \text{CH}_4\text{ 排出係数 [kgCH}_4\text{-C/kgC]} \times \text{全炭素放出量 [kgC]} \times 16/12 \\ & \text{農作物の野焼きに伴う N}_2\text{O 排出量 [kgN}_2\text{O]} \\ & = \text{N}_2\text{O 排出係数 [kgN}_2\text{O-N/kgN]} \times \text{全窒素放出量 [kgN]} \times 44/28 \\ & \text{農作物の野焼きに伴う全炭素放出量、全窒素放出量 [kg C, kg N]} \\ & = \text{年間作物収穫量 [t]} \times \text{作物収穫量に対する残渣の比率} \times \text{残渣の平均乾物率 [t-dm/t]} \\ & \quad \times \text{野焼きされる割合} \times \text{酸化率} \times \text{残渣の炭素・窒素含有率 [t C/t-dm, tN/t-dm]} \times 1,000 \end{aligned}$$

表 III-3-48 米の残渣発生量算定に関するパラメータ

単収	542.3 kg/10a
作物残渣の比率	1.4
残渣の平均乾物率	0.85
炭素含有率	0.4144
窒素含有率	0.0068
野焼きされる割合	0.10
酸化率	0.90

出典) 単収：平成 20 年産水陸稲の収穫量

その他：日本国温室効果ガスインベントリ報告書（2009 年）

表 III-3-49 米残渣の野焼きに伴う CH₄、N₂O 排出係数

CH ₄ 排出係数	0.005 kgCH ₄ -C/kgC
N ₂ O 排出係数	0.007 kgN ₂ O-N/kgN

残渣の野焼きに伴う CH₄ 排出

$$\begin{aligned}
 &= 542.3 \text{ [kg/10a]} \times 1.4 \times 0.85 \times 0.4144 \times 0.10 \times 0.90 \times 0.005 \text{ [kgCH}_4\text{-C/kgC]} \times 16 / 12 \\
 &\times 21 \\
 &= 3.4 \text{ [kgCO}_2\text{e/10a]} \qquad \qquad \qquad (2.6)
 \end{aligned}$$

残渣の野焼きに伴う N₂O 排出

$$\begin{aligned}
 &= 542.3 \text{ [kg/10a]} \times 1.4 \times 0.85 \times 0.0068 \times 0.10 \times 0.90 \times 0.007 \text{ [kgN}_2\text{O-N/kgN]} \times 44 / 28 \\
 &\times 310 \\
 &= 1.3 \text{ [kgCO}_2\text{e/10a]} \qquad \qquad \qquad (2.7)
 \end{aligned}$$

(オ) 原料栽培まとめ

原料栽培に伴う GHG 排出量の合計は以下の通り計算される。なお、米の単収は表 III-3-48 に示す値 (542.3kg/10a)、エタノールの収率は 420L/t 米 (国産事業者の平均値)、エタノールの発熱量は 21.2MJ/L (LHV) を用いる。

原料栽培に伴う GHG 排出量 (作付面積あたり) = 式(2.1)～ (2.7) の合計 = 89.5+42.2+37.2+340.8+14.3+3.4+1.3 = 528.7 [kgCO ₂ e/10a]	(2.8)
原料栽培に伴う GHG 排出量 (米生産量あたり) = 式(2.8)/単収 = 528.7 [kgCO ₂ e/10a]/542.3 [kg/10a]×1,000 = 975 [kgCO ₂ /t 米]	(2.9)
原料栽培に伴う GHG 排出量 (エタノール生産量あたり) = 式(2.9)/エタノール収率 = 975 [kgCO ₂ /t 米]/420 [L/t 米]×1,000 = 2,321 [kgCO ₂ /kL]	(2.10)
原料栽培に伴う GHG 排出量 (エタノール熱量あたり) = 式(2.10)/エタノール発熱量 = 2,326 [kgCO ₂ /kL]/21.2 [MJ/L] = 109 [gCO ₂ /MJ]	(2.11)

(カ) 多収量米への補正

(i) 単収増の考慮

新潟県 JA にいがた南蒲における平成 18 年度、19 年度の多収量米の収穫結果を以下に示す。平成 18 年度は新潟県平均単収 541kg/10ha に対し、多収量米は平均で 880kg/10a の単収が得られ、平均値の 63%増という結果となった。一方、平成 19 年度は冷害により多収量米の単収は 602kg/10a に減少し、県平均 539kg/10a の 12%増しに留まった。多収穫品種とするためインディカ種の形質を導入した「北陸 193 号」は寒さに対する耐性が弱く、低温による減収の影響が大きい。

ここでは、通常の栽培条件において当初目標値である 800kg/10a の達成が可能と想定し、前述の算定結果を補正する。なお、多収量米栽培におけるエネルギー等の投入量は食用米と変わらないと想定する。

表 III-3-50 JA にいがたにおける多収量米の収穫結果

	18年度	19年度
生産農家(戸)	2	46
作付面積(ha)	0.8	37.5
単収(kg/10a)	880	602

出典) JA にいがた資料

(ii) 土壌からの CH₄ 排出

多収量米の作付け可能な休耕田を調整水田と想定する。調整水田は水を張るため、作付けの有無に依らず CH₄ が発生するため、多収量米の作付けによる追加的な CH₄ 排出は 0 となる。

上記 2 点を踏まえると、食用米の統計値を活用した多収量米の算定結果は、以下の通り補正される。単収増と調整水田活用を想定すると、多収量米の原料栽培工程の GHG 排出量は 39gCO₂/MJ となり、ガソリン比 48%になる。

表 III-3-51 多収量米の原料栽培工程における GHG 排出量

	単位	食用米	単収増	調整水田
エネルギー使用に伴う排出	kgCO ₂ /10a	89.5	89.5	89.5
肥料使用に伴う排出	kgCO ₂ /10a	42.2	42.2	42.2
農薬使用に伴う排出	kgCO ₂ /10a	37.2	37.2	37.2
土壌からの CH ₄ 排出	kgCO ₂ /10a	340.8	340.8	0.0
土壌からの N ₂ O 排出	kgCO ₂ /10a	14.3	14.3	14.3
野焼きに伴う CH ₄ 排出	kgCO ₂ /10a	5.0	5.0	5.0
野焼きに伴う N ₂ O 排出	kgCO ₂ /10a	2.0	2.0	2.0
計（作付面積あたり）	kgCO ₂ /10a	530.9	530.9	190.1
計（エタノール熱量あたり）	gCO ₂ /MJ	109	75	27
対ガソリン比		134%	91%	33%

(キ) MA 米の GHG 排出量

MA 米については、購入先が毎年入札により決定されることから、栽培工程の GHG 排出量を一意に定めることは困難である。また、その特性上、多収量米のように栽培工程の排出量を計上することは必ずしも適当でないと考えられる。他方、MA 米は通常飼料利用されることから、アロケーションにおける代替法の考え方を踏襲し、MA 米の GHG 排出量を代替する飼料のライフサイクル GHG 排出量と想定する。

飼料のライフサイクル GHG 排出量は、農業・食品産業技術総合研究機構による輸入飼料の地域別ライフサイクルエネルギー消費量および GHG 排出量データベースにおけるトウモロコシ由来飼料の GHG 排出量の全国平均値（表 III-3-52）を用い、270kgCO₂/t 飼料と想定する。また、MA 米のエタノール収率は国産バイオ燃料事業者の平均な値を想定し、480L/t 米とする（白米を利用するため、玄米を利用する多収量米より収率が高い）。

MA 米調達に伴う GHG 排出量（エタノール生産量あたり）

$$\begin{aligned}
 &= \text{MA 米 GHG 原単位} / \text{エタノール収率} = 270 [\text{kgCO}_2/\text{t 米}] / 480 [\text{L/t 米}] \times \\
 &1,000 \\
 &= 563 [\text{kgCO}_2/\text{kL}] \qquad \qquad \qquad (2.12)
 \end{aligned}$$

原料栽培に伴う GHG 排出量（エタノール熱量あたり）

$$\begin{aligned}
 &= \text{式(2.12)} / \text{エタノール発熱量} = 563 [\text{kgCO}_2/\text{kL}] / 21.2 [\text{MJ/L}] \\
 &= 27 [\text{gCO}_2/\text{MJ}] \qquad \qquad \qquad (2.13)
 \end{aligned}$$

表 III-3-52 輸入飼料のライフサイクル GHG 排出量

供給地域	輸入港	輸送先	GHG (kg-CO ₂ /t)					
			トウモロコシ	ダイズ	ソルゴー	ムギ類	乾草	稲わら
北海道(東)	釧路	帯広	269.8	276.0	332.9	138.7	242.5	105.1
北海道(西)	苫小牧	札幌	249.8	256.0	312.5	119.2	222.2	87.4
青森(東部)	八戸	青森	319.3	325.5	381.9	188.7	291.6	155.5
青森(西部)	新潟	弘前	268.8	275.2	333.0	136.4	242.6	93.0
秋田	新潟	秋田	253.6	259.9	317.7	121.1	227.3	77.8
岩手(北部)	八戸	盛岡	280.8	287.0	343.5	150.3	253.1	117.0
岩手(南部)	石巻	花巻	265.0	271.3	328.3	133.5	233.3	96.0
山形(内陸)	石巻	山形	265.2	271.5	328.6	133.8	233.5	96.3
山形(沿岸)	新潟	酒田	253.4	259.8	317.6	121.0	227.2	77.6
宮城	石巻	仙台	248.1	254.3	311.4	116.6	216.4	79.1
福島	石巻	福島	264.4	270.7	327.8	133.0	232.7	95.4
新潟	新潟	新潟	242.2	248.6	306.3	109.8	216.0	66.4
長野(北部)	新潟	長野	286.7	293.1	350.8	154.3	260.5	110.9
長野(南部)	名古屋	松本	293.1	299.5	357.2	161.0	257.3	117.7
富山(東部)	新潟	富山	296.0	302.4	360.1	163.6	269.8	120.2
富山(西部)	名古屋	高岡	295.3	301.7	359.4	163.2	259.5	119.9
茨城	鹿島	水戸	252.1	258.4	315.9	123.6	217.4	80.1
栃木	鹿島	宇都宮	268.5	274.8	332.3	140.0	233.8	96.5
群馬	鹿島	前橋	287.5	293.8	351.3	159.0	252.8	115.5
埼玉	鹿島	さいたま	267.3	273.6	331.1	138.8	232.6	95.3
千葉	鹿島	千葉	257.1	263.4	320.9	128.6	222.4	85.1
東京	鹿島	東京	263.4	269.7	327.2	134.8	228.6	91.3
石川	名古屋	金沢	296.5	302.9	360.6	164.4	260.7	121.1
岐阜	名古屋	岐阜	251.8	258.2	315.9	119.7	216.0	76.4
愛知	名古屋	名古屋	245.4	251.7	309.4	113.2	209.6	70.0
三重	名古屋	津	252.5	258.8	316.5	120.3	216.6	77.0
神奈川	清水	横浜	273.1	279.4	336.9	144.6	238.4	101.1
山梨	清水	山梨	274.6	281.0	338.4	146.2	239.9	102.6
静岡	清水	静岡	241.2	247.5	304.9	112.7	206.4	69.1
福井	神戸	福井	293.9	300.3	358.6	161.0	256.9	115.6
滋賀	神戸	大津	259.9	266.3	324.6	126.9	222.8	81.5
京都	神戸	京都	257.5	263.9	322.2	124.6	220.5	79.2
大阪	神戸	大阪	247.9	254.4	312.6	115.0	210.9	69.6
兵庫	神戸	神戸	242.1	248.5	306.8	109.1	205.0	63.7
奈良	神戸	奈良	255.8	262.2	320.5	122.8	218.7	77.4
和歌山	神戸	和歌山	246.7	253.2	311.4	113.8	209.7	68.4
徳島	神戸	徳島	246.7	253.1	311.4	113.7	209.6	68.3
香川	神戸	高松	246.1	252.5	310.8	113.2	209.1	67.8
高知	神戸	高知	252.7	259.1	317.4	119.7	215.7	74.3
愛媛(東部)	神戸	新居浜	250.9	257.3	315.6	117.9	213.9	72.5
佐賀	志布志	佐賀	314.0	320.5	379.6	180.5	273.9	129.0
長崎	志布志	長崎	333.1	339.6	398.7	199.6	293.0	148.1
熊本	志布志	熊本	290.1	296.6	355.7	156.7	250.1	105.2
大分	志布志	大分	257.3	263.8	322.9	123.9	217.3	72.4
福岡	福岡	福岡	244.6	251.1	310.4	110.0	206.7	57.8
鳥取	水島	鳥取	284.4	290.9	350.0	150.3	246.5	103.2
島根	水島	島根	286.0	292.6	351.7	151.9	248.2	104.8
岡山	水島	岡山	250.0	256.5	315.6	115.9	212.1	68.8
広島	水島	広島	276.2	282.7	341.8	142.1	238.3	95.0
山口	福岡	山口	278.3	284.9	344.1	143.7	240.4	91.5
愛媛(西部)	志布志	松山	261.2	267.7	326.8	127.8	221.2	76.3
宮崎	志布志	宮崎	260.9	267.4	326.5	127.5	220.9	76.0
鹿児島(東部)	志布志	国分	254.7	261.2	320.3	121.2	214.6	69.7
鹿児島(西部)	谷山	鹿児島	245.2	251.7	310.8	111.8	205.2	60.3
沖縄	志布志	那覇	276.2	282.7	341.8	142.7	236.2	91.2

出典) 農業・食品産業技術総合研究機構「輸入飼料の地域別ライフサイクルエネルギー消費量およびGHG排出量データベース」

②原料輸送工程

(ア) 多収量米

原料の輸送距離は、バイオ燃料技術革新計画における 1.5 万 kL/年規模のプラントを想定した場合の距離を参照し、片道 30km と想定する。また、輸送機関の燃費については改正省エネ法の営業用軽油貨物車（最大積載量 8,000～9,999kg）の原単位を参照し、0.0575l/t・km と想定する。

軽油の排出係数は平成 11 年度 PEC 報告書を参照し、2.80 kgCO₂/L と想定する。

原料輸送に伴う GHG 排出量（米輸送量あたり） = 30 [km] × 2 × 0.0575 [L/t・km] × 2.80 [kgCO ₂ /L] = 9.7 [kgCO ₂ /t 米] (2.14)
原料輸送に伴う GHG 排出量（エタノール生産量あたり） = 式(2.14) / エタノール収率 = 9.7 [kgCO ₂ /t 米] / 420 [L/kg 米] × 1,000 = 23.0 [kgCO ₂ /kL] (2.15)
原料輸送に伴う GHG 排出量（エタノール熱量あたり） = 式(2.15) / エタノール発熱量 = 23.0 [kgCO ₂ /kL] / 21.2 [MJ/L] = 1.1 [gCO ₂ /MJ] (2.16)

(イ) MA 米

MA米も多収量米と同様に計算を行うが、収率の差を考慮する。

原料輸送に伴う GHG 排出量（エタノール生産量あたり） = 式(2.14) / エタノール収率 = 9.7 [kgCO ₂ /t 米] / 480 [L/kg 米] × 1,000 = 21.0 [kgCO ₂ /kL] (2.17)
原料輸送に伴う GHG 排出量（エタノール熱量あたり） = 式(2.15) / エタノール発熱量 = 23.0 [kgCO ₂ /kL] / 21.2 [MJ/L] = 0.9 [gCO ₂ /MJ] (2.18)

③燃料製造工程

燃料製造工程における GHG 排出量については、実プラントの設計値を参考に、以下の通り算定する。

燃料消費量	H11 年度 PEC 報告書（石油製品油種別 LCI 作成と石油製品環境影響評価調査報告書、2000 年 3 月）や産業環境管理協会 Simple-LCA で提供されている排出係数を使用量に乗じて算定。
ユーティリティー	産業環境管理協会 Simple-LCA や JLCA-LCA データベース 2009 年度 3 版等で提供されている排出係数を使用量に乗じて算定。
副産物	製造工程についてはプロセスを細分化し、エタノール製造に係る投入のみを計上。また、発酵残渣は飼料利用を想定し、原料栽培～原料輸送工程の排出について、EU 指令で認められている熱量按分法と英国 RTFO で認められている価格按分法を用いて按分を行った結果を併記する。

計算式は以下の通り。

燃料製造工程の GHG 排出量

= (燃料消費由来 GHG 排出量 + ユーティリティー使用由来 GHG 排出量)

／エタノール熱量

= (燃料消費量 × 排出係数 + ユーティリティー使用量 × 排出係数)

／ (エタノール製造量 × 単位発熱量)

(ア) インプット、アウトプット

多収量米を原料とするバイオエタノール製造プラントにおけるインプット、アウトプットについて以下に整理する。排出係数が不明なもの（酵素、リン酸など）は算定結果に含まれていないが、結果に大きな影響を与えるものではない（以下同様）。

なお、副産物として DDGs が発生するが、前述の通りプロセスを細分化してエタノール製造に係る投入のみを計上しているため、燃料製造工程においては副産物アロケーションを実施しない。

表 III-3-53 多収量米由来エタノールの燃料製造工程における前提と GHG 排出量

エタノール 1L あたり			国内プラント
イン プ ツ ト	原料	規格外小麦[kg]	2.447
	エネルギー	A 重油[MJ]	6.91
		電力[kWh]	0.390
	主なユーテ ィリティー	工業用水[L]	94.8
NaOH[g]		16.7	
アウトプット		エタノール[L]	1
		DDGs[kg]	0.68
備考			エタノール製造に係る投入のみを計上
製造工程の CO ₂ 原単位[kgCO ₂ /L]			0.71
製造工程の CO ₂ 原単位[kgCO ₂ /MJ]			33
対ガソリン比			41%

(イ) アロケーション

本プロセスでは、エタノール7,500kL/年に対して副産物である DDGs が 3,600t/年発生する。熱量按分法及び価格按分法により原料栽培～原料輸送工程におけるアロケーション比率を算定すると以下の通り。

表 III-3-54 熱量按分法及び価格按分法によるアロケーション比率

	発生量	発熱量	熱量	単価	金額
エタノール	1L	21.2MJ/L	159TJ	100 円/L	525,000 千円
DDGs	0.68kg	18.2GJ/t	65.5TJ	28 円/kg	100,800 千円
比			2.43 : 1		5.21 : 1

出典) DDGs 発熱量 : Well-to-Wheel Evaluation for Production of Ethanol from Wheat (LowCVP Fuels Working Group, WTW Sub-Group, Oct. 2004)

エタノール単価、DDGs 単価 : 農水省調べ

④燃料輸送工程

燃料輸送工程について、既存プラントでは北海道から神奈川の製油所へ輸送して ETBE 化するケース、大阪から岡山の油槽所へ油槽して E3 混合するケース、及び地産地消型の E3 混合のケースが存在する。

北海道から神奈川までの輸送距離を陸上 100km、海上 850km と想定し、大阪から岡山の製油所までの輸送距離を 200km と想定する。

輸送機関の燃費については改正省エネ法の原単位を参照し、トラックについては営業用軽油貨物車 (最大積載量 8,000~9,999kg) の原単位 0.0575l/t・km、船舶については 0.555MJ/t・km と想定する。また、軽油の排出係数は H11 年度 PEC 報告書を参照し 2.80 kgCO₂/L、A 重油の排出係数は H11 年度 PEC 報告書を参照し 79.8 gCO₂/MJ と想定する。エタノールの比重は 0.79 とする。

このとき、燃料輸送に伴う GHG 排出量は以下の通り計算される。

○北海道～神奈川

燃料輸送に伴う GHG 排出量 (エタノール輸送量あたり) = $120 \text{ [km]} \times 2 \times 0.0575 \text{ [l/t} \cdot \text{km]} \times 0.79$ + $850 \text{ [km]} \times 0.555 \text{ [MJ/t} \cdot \text{km]} \times 79.8 \text{ [gCO}_2\text{/MJ]} / 1,000 \times 0.79$ = $90 \text{ [kgCO}_2\text{/kL]}$ (2.19)

原料輸送に伴う GHG 排出量 (エタノール熱量あたり) = 式(2.19) / エタノール発熱量 = $90 \text{ [kgCO}_2\text{/kL]} / 21.2 \text{ [MJ/L]}$ = $4 \text{ [gCO}_2\text{/MJ]}$ (2.20)

○大阪～岡山

燃料輸送に伴う GHG 排出量 (エタノール輸送量あたり) = $200 \text{ [km]} \times 2 \times 0.0575 \text{ [l/t} \cdot \text{km]} \times 0.79$ = $92 \text{ [kgCO}_2\text{/kL]}$ (2.21)

原料輸送に伴う GHG 排出量 (エタノール熱量あたり) = 式(2.21) / エタノール発熱量 = $60 \text{ [kgCO}_2\text{/kL]} / 21.2 \text{ [MJ/L]}$ = $4 \text{ [gCO}_2\text{/MJ]}$ (2.22)

以上より、エタノールを長距離輸送して利用するケースの原料輸送に伴う GHG 排出量を $4\text{gCO}_2\text{/MJ}$ と想定する。

また、地産地消型利用については、燃料輸送に伴う GHG 排出量を加算しない。

⑤ライフサイクル GHG 排出量

以上より、各工程の GHG 排出量を合計すると以下の通り。

表 III-3-55 多収量米、MA 米由来エタノールの GHG 排出量の試算結果 (gCO₂/MJ)

			原料栽培	原料輸送	燃料製造	燃料輸送	計	ガソリン比
多収量米	多収量米（土地利用変化を伴う水田）	アロケ無し	75	1	33	4	113	138%
		熱量按分	53	1			91	112%
		価格按分	63	1			101	124%
	多収量米（土地利用変化を伴わない水田）	アロケ無し	27	1	33	4	65	80%
		熱量按分	19	1			57	70%
		価格按分	22	1			61	75%
	MA 米	アロケ無し	27	1	33	4	65	80%
		熱量按分	19	1			57	70%
		価格按分	22	1			61	74%

注) 地産地消型利用の場合、燃料輸送工程の排出は 0 となる。

3) セル革（王子製紙プロジェクト）早生広葉樹由来バイオエタノール

① 原料栽培工程

早生広葉樹の原料栽培工程における排出については、原料栽培～集材・チップ化に至るまでのエネルギー消費及び肥料等の化学物質投入、窒素肥料投入による土壌からの N₂O 排出を考慮する。

各文献の値を比較すると、EU 指令ではエネルギー投入量が少ない代わりに肥料投入が大きい。米国 GREET と日本製紙連合会による板紙の LCI データ算定概要（個別文献①）ではエネルギー投入はほぼ同じであるが、肥料投入は GREET の方が大きい。

ここでは、早生広葉樹の原産国として豪州及びベトナムを想定していることから、日本製紙連合会資料の値を活用することとする。なお、肥料、農薬について種類別内訳が示されていないため、便宜上肥料は全て N 肥料、農薬は全て除草剤と想定する。

また、これとは別に、セル革事業（開発達成ケース）を評価する。栽培地は豪州を想定し、豪州の排出係数を適用する。

表 III-3-56 早生広葉樹の原料栽培工程に係る各種投入

		単位	EU 指令	米国 GREET	個別文献①	セル革事業
	単収	t/ha	10	NA	NA	NA
エネルギー	軽油	MJ/t	166.5	247.7	247	207
	電力	kWh/t		3.9	11.9	13.7
化学物質	N 肥料	gN/t	2,500	709	800 (内訳不明)	380
	P 肥料	gP ₂ O ₅ /t		189		380
	K 肥料	gK ₂ O/t		331		380
	除草剤	g/t		24	100	
	殺虫剤	g/t			2 (内訳不明)	

個別文献①：日本製紙連合会 板紙の LCI データ算定概要、平成 18 年 12 月

各国における軽油、電力の排出係数は林地残材と同様に想定した。また、ブラジルの電力排出係数は英国 RTFO を参照し、0.079kgCO₂/kWh とした。

N 肥料の排出係数は International Fertilizer Industry Association 資料、除草剤の排出係数については米国 GREET を参照した（豪州、ベトナムとも共通）。また、N 肥料施肥に伴う土壌からの N₂O 排出については、2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories を参照し、0.01kgN₂O-N/kgN の排出係数を想定した。

表 III-3-57 肥料、農薬の排出係数想定

	豪州、ベトナム、ブラジル	出典
N 肥料 (kgCO ₂ /kgN)	0.500	IFIA ¹⁾
P 肥料 (kgCO ₂ /kgP ₂ O ₅)	0.170	
K 肥料 (kgCO ₂ /kgK ₂ O)	0.330	
農薬 (kgCO ₂ /kg)	20.5	米国 GREET

1) IFIA : International Fertilizer Industry Association

以上より、早生広葉樹の原料栽培工程に係る GHG 排出量は表 III-3-58 の通り計算される。

表 III-3-58 早生広葉樹の原料栽培工程に係る GHG 排出量

		単位	豪州		ベトナム	ブラジル
			標準	セル革事業		
エネルギー	軽油	kgCO ₂ /t	21.5	18.0	21.5	21.5
	電力	kgCO ₂ /t	10.3	11.9	5.0	0.9
化学物質	N 肥料	kgCO ₂ /t	0.4	0.2	0.4	0.4
	P 肥料	kgCO ₂ /t	0	0.1	0	0
	K 肥料	kgCO ₂ /t	0	0.1	0	0
	除草剤	kgCO ₂ /t	2.1	0.0	2.1	2.1
土壌	N ₂ O	kgCO ₂ /t	7.8	3.7	7.8	7.8
計	殺虫剤	kgCO ₂ /t	42.1	34.0	36.7	32.7

② 原料輸送工程

バイオ燃料技術革新計画では、早生広葉樹を原料とした「技術革新ケース（40 円/L ケース）」において、40,000ha からの収集を想定している。これは半径約 11.3km の円に相当する。燃費については林地残材と同様、日本製紙連合会における紙 LCI 評価時の値とし、輸送距離を片道 11.3km と想定する。

セル革事業開発達成ケースでは、輸送距離は 9km と想定されている。燃費の想定には乖離が大きいが、全体への寄与は大きくない。

表 III-3-59 早生広葉樹輸送に係る燃料消費、GHG 排出量

	豪州(標準)、ベトナム、ブラジル	豪州(セル革事業)
輸送距離(km)	11.3(片道)	9.0(片道)
輸送形態	トラック・貨車	トラック
燃費(MJ/t・km)	1.18	3.79
燃料消費 (MJ/t)	27	34.1
GHG 排出量(kgCO ₂ /t)	2.3	3.0

③ 燃料製造工程

我が国で開発されている濃硫酸法 (NEDO プロセス)、水熱メカノケミカル前処理・酵素糖化法 (AIST プロセス) 等の実証値と、エネルギー自立となるバイオ燃料革新技術計画目標値 (目標) を想定する。なお、これらの資料では、林地残材と早生広葉樹について収率やエネルギー投入等の差異を想定していないため、林地残材の値が流用されている。

これに加えて、豪州については、セル革事業における開発達成ケースの評価を行った。

表 III-3-60 早生広葉樹からのエタノール製造に係る GHG 排出量

	単位	豪州				ベトナム			ブラジル		
		NEDO	AIST	目標	セル革事業	NEDO	AIST	目標	NEDO	AIST	目標
収率		302	318	300	318	302	318	300	302	318	300
軽油	kgCO ₂ /kL										
電力	kgCO ₂ /kL	33	494		460	16	238		3	45	
硫酸アンモニウム	kgCO ₂ /kL	12	12	12		12	12	12	12	12	12
酸化カルシウム	kgCO ₂ /kL	38				38			38		
硫酸	kgCO ₂ /kL	33				33			33		
アンモニア	kgCO ₂ /kL	139	139	139		139	139	139	139	139	139
計	kgCO ₂ /kL	255	645	152	460	238	390	152	225	197	152

④ 燃料輸送工程

これまでの評価では現地国内輸送を評価していなかったが、セル革事業で評価されているのと同様に評価を行うこととする。輸送距離は 22km で、輸送手段は燃費 1.8MJ/t.km のトラックを想定する。なお、エタノール 1MJ あたりに換算するとこの影響は 0.1 gCO₂/MJ と僅かである。

表 III-3-61 現地国内陸上輸送に係る前提条件、評価結果

	共通
輸送距離 (km)	22(片道)
輸送形態	トラック
燃費 (MJ/t・km)	1.80
燃料消費 (MJ/t)	40
GHG 排出量 (kgCO ₂ /t)	3.4

海上輸送についての想定は以下の通りであり、距離の想定を除いては、他の輸入エタノールと共通である。

表 III-3-62 海上輸送に係る前提条件、評価結果

	豪州		ベトナム	ブラジル
	標準	セル革事業		
輸送距離 (km)	9,000	8,700	3,700	22,000
輸送形態	50,000DWT タンカー			
燃費 (MJ/t・km)	0.124			
燃料消費 (MJ/t)	1,116	1,079	459	2,728
重油排出係数 (gCO ₂ /MJ)	87.3			
GHG 排出量 (kgCO ₂ /t)	97.4	94.2	40.1	238

⑤ アロケーション

NEDO プロセス、AIST プロセス、技術革新計画における目標値、セル革事業ケースいずれにおいても余剰電力等は発生しないため、アロケーションは考慮不要となる。

⑥ 総括

以上の結果をまとめると、早生広葉樹由来エタノールのライフサイクル GHG 排出量は以下の通り算出される。追加したセル革事業ケースを含め、いずれの場合もガソリン比削減率 50% を達成する。

4) 多収量草本植物由来バイオエタノール

① 原料栽培工程

多収量草本作物の原料栽培工程における排出については、エネルギー消費及び肥料等の化学物質投入、窒素肥料投入による土壌からの N₂O 排出を考慮する。

バイオ燃料技術革新計画ではエリアンサスやミスカンサス、ネピアグラス等を有望な多収量草本作物と位置付けているが、栽培エネルギーに関するデータは入手できていないため、米国 GREET のスイッチグラスのデータを流用することとする。単収、肥料投入についてはバイオ燃料技術革新計画や国際農林水産業研究センター資料（個別文献②）の値を用いる。

また、これとは別に、セル革事業を評価する。栽培地はインドネシアを想定する。

表 III-3-63 多収量草本作物の原料栽培工程に係る各種投入

		単位	米国 GREET (スイッチグラス)	個別文献②	セル革事業
	単収	dry-t/ha	NA	50	NA
エネルギー	軽油	MJ/t	212.7	NA	2.3
	電力	kWh/t	4.6		0
化学物質	N 肥料	gN/t	10,635	3,000	尿素: 1,237
	P 肥料	gP ₂ O ₅ /t	142	3,000	
	K 肥料	gK ₂ O/t	226	3,000	NPK 肥料: 3,711
	除草剤	g/t	28		

個別文献②

(単収) バイオ燃料技術革新計画

(化学物質) (独)国際農林水産業研究センター成果情報 第9号 (2001)

電力の排出係数はインドネシアでの栽培を想定し、英国 RTFO のデフォルト値を採用した。軽油の排出係数は林地残材での想定と同様に、米国 GREET を参照した。肥料の排出係数は International Fertilizer Industry Association 資料を参照し、N 肥料施肥に伴う土壌からの N₂O 排出については、2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories を参照し、0.01kgN₂O-N/kgN の排出係数を想定した。

表 III-3-64 エネルギー、肥料の排出係数想定

		単位	インドネシア	出典
エネルギー	軽油	kgCO ₂ /L	3.141	GREET
	電力	kgCO ₂ /kWh	0.778	RTFO
化学物質	N 肥料(一般)	kgCO ₂ /kgN	0.50	IFIR
	N 肥料(尿素)	kgCO ₂ /kgN	1.33	RTFO
	NPK 肥料	kgCO ₂ /kgN	2.0	RTFO
	P 肥料	kgCO ₂ /kgP ₂ O ₅	0.17	IFIR
	K 肥料	kgCO ₂ /kgK ₂ O	0.33	IFIR

以上より、多収量草本作物の原料栽培工程に係る GHG 排出量は次表の通り計算される。

表 III-3-65 多収量草本作物の原料栽培工程に係る GHG 排出量

		単位	インドネシア	
			標準	セル革事業
エネルギー	軽油	kgCO ₂ /t	18.5	0.2
	電力	kgCO ₂ /t	3.6	0.0
化学物質	N 肥料	kgCO ₂ /t	1.5	3.1
	P 肥料	kgCO ₂ /t	0.5	0.0
	K 肥料	kgCO ₂ /t	1.0	0.0
	NPK 肥料	kgCO ₂ /t		14.4
土壌	N ₂ O	kgCO ₂ /t	29.2	33.1
計		kgCO ₂ /t	54.3	50.9

② 原料輸送工程

標準ケースでは、バイオ燃料技術革新計画では、草本作物を原料とした「技術革新ケース (40 円/L ケース)」において、半径 6.5km 圏内からの収集を想定している。燃費については稲わら・麦わらと同様とし、輸送距離を片道 6.5km と想定する。

セル革事業ケースでは、輸送距離 10km と想定されている。

表 III-3-66 多収量草本作物輸送に係る燃料消費等想定

	インドネシア	
	標準	セル革事業
輸送距離(km)	6.5(片道)	10.0(片道)
輸送形態	トラック・貨車	トラック
燃費(MJ/t・km)	2.64	1.58
燃料消費(MJ/t)	34	32
GHG 排出量 (kgCO ₂ /t)	3.0	2.7

③ 燃料製造工程

草本系資源からの各プロセスにおけるエネルギー、化学物質等の投入量を次表に示す。各文献値は実在する商用規模のプラントの実績値ではなく、実証段階における設計値等である点に留意が必要である。

NEDO プロセス、AIST プロセス、技術革新計画における目標値についてはデータがないため、木材と同等の収率、各種投入を想定している。ただし、硫酸アンモニウム、アンモニアの投入量は、EU 指令の値を流用している。

表 III-3-67 各プロセスにおけるエネルギー、化学物質等の投入量

	単位	EU 指令 (麦わら)	米 GREET (スイッチグラス)	NEDO プロセス (建築木材)	AIST プロセス (木材)	革新計画 目標	セル革 事業
規模	kL/年	約 20 万	NA	5 万	約 1 万	10~20 万	
収率	L/t	286	360	302	318	300	258
軽油	MJ/kL		50				
電力	kWh/kL			37	569		147
余剰電力	kWh/kL	-307	-151				
硫酸アンモニウム	kg/kL	5.7		5.7	5.7	5.7	
酸化カルシウム	kg/kL	51.1		34.8			
硫酸	kg/kL	87.2		78.3			70.0
窒素	kg/kL						100.0
アンモニア	kg/kL	21.9		21.9	21.9	21.9	110.0

注) NEDO プロセス、AIST プロセス、革新計画目標における硫酸アンモニウム、アンモニアの投入量は EU 指令の値を流用

インドネシアにおけるエタノール生産について、我が国が関与する開発輸入を想定して NEDO プロセス、AIST プロセス、バイオ燃料技術革新計画における目標値を適用すると想定する。電力の排出係数は表の値を用い、燃料製造工程における GHG 排出量は以下の通り計算される。

表 III-3-68 多収量草本作物からのエタノール製造に係る GHG 排出量

	単位	インドネシア			
		NEDO	AIST	目標	セル革事業
電力	kgCO ₂ /kL	29	443	0	115
硫酸アンモニウム	kgCO ₂ /kL	5	5	5	0
酸化カルシウム	kgCO ₂ /kL	38			
硫酸	kgCO ₂ /kL	33			30
窒素	kgCO ₂ /kL				NA
アンモニア	kgCO ₂ /kL	53	53	53	266
計	kgCO ₂ /kL	158	500	58	411

④ 燃料輸送工程

海外産バイオ燃料の輸送については、現地国内の輸送及び海上輸送を考慮する。現地国内の輸送については、EU 指令におけるパーム油由来 BDF の前提条件を流用する。

表 III-3-69 現地国内輸送に係る前提条件、評価結果

	インドネシア
輸送距離(km)	50
輸送形態	40tトラック
燃費(MJ/t・km)	0.94
燃料消費(MJ/t)	47
重油排出係数(gCO ₂ /MJ)	87.3
GHG 排出量(kgCO ₂ /t)	4.1

海上輸送については、輸送形態及び燃費は中間とりまとめにおけるブラジル産サトウキビ由来エタノールの試算の前提条件を流用する。海上輸送距離としては、各国から日本間の輸送概算距離を次表の通り想定した。

表 III-3-70 海上輸送に係る前提条件、評価結果

	インドネシア
輸送距離(km)	6,000
輸送形態	50,000DWT タンカー
燃費(MJ/t・km)	0.124
燃料消費(MJ/t)	744
重油排出係数(gCO ₂ /MJ)	87.3
GHG 排出量(kgCO ₂ /t)	65

⑤ アロケーション

NEDO プロセス、AIST プロセス、技術革新計画における目標値では余剰電力等は発生しないため、アロケーションは考慮不要となる。

セル革事業では、余剰電力が発生する。これは熱量按分で評価するものとする。

⑥ 総括

以上の結果をまとめると、多収量草本作物由来エタノールのライフサイクル GHG 排出量は以下の通り算出される。

表 III-3-71 多収量草本作物由来エタノールのライフサイクル GHG 排出量
(アロケーション前)

	単位	インドネシア			
		NEDO	AIST	目標	セル革事業
原料栽培	gCO ₂ /MJ	8.5	8.0	8.5	4.9
原料輸送	gCO ₂ /MJ	0.5	0.4	0.5	0.5
燃料製造	gCO ₂ /MJ	7.4	23.6	2.7	19.4
燃料輸送	gCO ₂ /MJ	2.6	2.6	2.6	2.6
計	gCO ₂ /MJ	19.0	34.7	14.3	27.3
ガソリン比削減率		▲77%	▲58%	▲82%	▲67%

5) 廃食用油由来バイオディーゼル燃料

① サプライチェーンの想定

我が国での廃食用油由来 BDF 利用において想定されるサプライチェーン、及び各国制度のデフォルト値算定におけるサプライチェーンの想定は以下の通り。

表中の網掛けは、廃食用油由来 BDF のライフサイクル GHG 排出量の算定において参考となる箇所である。

(サプライチェーン)

- ・ 日本：国内で廃食用を収集してエステル化、燃料輸送
- ・ 英国 RTFO：英国内で廃食用を収集してエステル化、燃料輸送
- ・ EU 指令：EU 域内の各国で廃食用を収集してエステル化、燃料輸送

表 III-3-72 我が国及び各国制度での廃食用油由来 BDF 利用における
サプライチェーンの想定

	日本	英国 RTFO	EU 指令	加州 LCFS
原料油前処理	—	—	—	加州内
原料油輸送	国内	英国内	—	加州内
エステル化	日本	英国	EU	加州
燃料輸送	—	—	EU 内	加州内

原料輸送においては、輸送形態や燃費等が参考になる。また、エステル化工程では、各国制度のデフォルト値における燃料消費量や化学物質投入量、収率等が参考になる。なお、廃食用油由来 BDF については、国内にも製造プラントがあるため、当該データも併せて参照する。

燃料輸送は、基本的に BDF 製造地域周辺での利用が想定されるため、算定対象外とする。また、加州 LCFS では動物性油脂の脱水処理等の原料油前処理も考慮しているが、我が国のサプライチェーンの想定では考慮不要とする。

② イフサイクル GHG 排出量の概観

各国制度のデフォルト値における工程別排出量を次表に示す。なお、表 III-3-73 はアロケーション前の値であるが、後述するように各国制度によってアロケーションの方法やその量が異なるため、アロケーション前の値を推計した結果を表 III-3-76 に示す。

表 III-3-73 廃食用油由来 BDF のライフサイクル GHG 排出量 (アロケ後)

	英国 RTFO	EU 指令	加州 LCFS	
			脱水有り	脱水無し
原料油精製	—	—	4.73	0.65
原料油輸送	0	—	0.31	0.31
エステル化	13	9.14	5.56	5.56
燃料輸送	0	1.27	0.76	0.76
計	13	10.41	11.36	7.28

※加州 LCFS の「脱水有り」は動物性油脂の脱水処理を考慮した値、「脱水無し」は廃食用油の前処理を考慮した値 (以下同様)。

表 III-3-74 廃食用油由来 BDF におけるアロケーション手法、量

	副産物	手法	アロケーション量
英国 RTFO	グリセリン、硫酸カリウム(エステル化工程)	価格按分	1gCO ₂ /MJ
EU 指令	グリセリン(エステル化工程) バイオオイル(エステル化工程)	熱量按分	1gCO ₂ /MJ
加州 LCFS	グリセリン(エステル化工程)	熱量按分	脱水有り: 1gCO ₂ /MJ 脱水無し: 0gCO ₂ /MJ -

表 III-3-75 廃食用油由来 BDF のライフサイクル GHG 排出量 (アロケ前)

	英国 RTFO	EU 指令	加州 LCFS	
			脱水有り	脱水無し
原料油前処理	—	—	5	1
原料油輸送	0	—	0	0
エステル化	14	10	6	6
燃料輸送	0	1	1	1
計	14	11	12	8

以下、我が国に適用可能なデフォルト値候補の算定に向けて、工程別に分析を行う。

③工程別の分析

(ア) 原料油輸送工程

原料油輸送工程は、我が国において想定されるサプライチェーンと英国 RTFO、加州 LCFS 度が同等であるため、特異な値でない限り、各国制度で想定した燃費を流用する。なお、EU 指令では廃食用油は BDF 利用されない場合でも、処理のために収集されるため、原料油輸送工程の GHG 排出量を計上不要としている。輸送距離については、国内のプラントは比較的小規模になることが予想されるため、片道 20km と想定した。

廃食用油輸送に関する各国制度の前提条件及び GHG 排出量を次表に示す。また、輸送距離により補正した結果を表 III-3-77 に示す。EU 指令ベースの燃費については保守的に加州 LCFS の値を流用した。

表 III-3-76 廃食用油輸送に関する前提条件、GHG 排出量

		英国 RTFO	EU 指令	加州 LCFS
輸送距離(km)		50	—	80
輸送形態		トラック	—	トラック
燃費(MJ/t・km)		1.53	—	1.6
燃料消費(MJ/t)		77	—	132
GHG	(kgCO ₂ /t)	7	—	11
	(gCO ₂ /MJ)	0	—	0

※ 加州 LCFS の燃費は復路を考慮すると明示されている。英国 RTFO は不明。

表 III-3-77 廃食用油輸送の補正後 GHG 排出量

		英国 RTFO ベース	EU 指令 ベース	加州 LCFS ベース
輸送距離(km)		20	20	20
燃費(MJ/t・km)		1.53	1.6	1.6
燃料消費(MJ/t)		31	33	33
GHG	(kgCO ₂ /t)	3	3	3
	(gCO ₂ /MJ)	0	0	0

(イ) 精製・エステル化工程

i) 国産プラントデータ

廃食用油を原料とする BDF 製造プラントの GHG 排出量は以下の通り。なお、副産物として発生するグリセリン、洗浄排水は清掃工場に燃焼処理しているが、当該工場では発電も行っているため、燃料利用と見なすこともできる。

ここでは簡便化のため、発電分に対するアロケーションも、処理に伴う GHG 排出量の計上も行わないこととする。

燃料製造に伴う GHG 排出量（1 年あたり）

$$\begin{aligned}
 &= \text{電力消費に伴う GHG 排出量} + \text{灯油消費に伴う GHG 排出量} \\
 &\quad + \text{プロセス水消費に伴う GHG 排出量} + \text{メタノール消費に伴う GHG 排出量} \\
 &\quad + \text{水酸化カリウム消費に伴う GHG 排出量} \\
 &= \text{電力量 [kWh/年]} \times 0.446[\text{kgCO}_2/\text{kWh}] + \text{灯油消費量 [L/年]} \times 2.645 \\
 &\quad [\text{kgCO}_2/\text{L}] \\
 &\quad + \text{工業用水量}[\text{m}^3/\text{日}] \times 0.1080[\text{kgCO}_2/\text{m}^3] \\
 &\quad + \text{メタノール消費量}[\text{kg/年}] \times 0.3999[\text{kgCO}_2/\text{kg}] \\
 &\quad + \text{水酸化カリウム消費量}[\text{kg/年}] \times 2.43[\text{kgCO}_2/\text{kg}] \\
 &\simeq 350 [\text{tCO}_2/\text{年}] \tag{2.23}
 \end{aligned}$$

燃料製造に伴う GHG 排出量（BDF 生産量あたり）

$$\begin{aligned}
 &= \text{式(2.23)} / \text{年 BDF 生産量} = 350 [\text{tCO}_2/\text{年}] / 1,500 [\text{kL/年}] \\
 &= 0.23 [\text{kgCO}_2/\text{L}] \tag{2.24}
 \end{aligned}$$

燃料製造に伴う GHG 排出量（BDF 熱量あたり）

$$\begin{aligned}
 &= \text{式(2.24)} / \text{BDF 発熱量} = 0.21 [\text{kgCO}_2/\text{L}] / 33.2 [\text{MJ/L}] \times 1000 \\
 &= 7 [\text{gCO}_2/\text{MJ}] \tag{2.25}
 \end{aligned}$$

※BDF の発熱量は発熱量 9,000kcal/kg、比重 0.88 より算出

ii) 各国制度デフォルト値

我が国において想定されるサプライチェーンでは日本国内でのエステル化を想定しているため、各国制度のデフォルト値における収率やエネルギー投入量を参照し、電力の排出係数を我が国の値に修正することとする（特異値の場合を除く）。

(a) エネルギー投入（精製）

各国制度のデフォルト値におけるエネルギー投入量、GHG 排出量を表 III-3-78、表 III-3-79 に示す。GHG 排出量を比較すると大きな差はないため、各値をベースに、我が国の電力排出係数（Simple LCA を参照して 0.446kgCO₂/kWh と想定）を適用して、GHG 排出量を補正した結果を表 III-3-80 に示す。

表 III-3-78 廃食用油のエステル化におけるエネルギー消費量（BDF 1t あたり）

	英国 RTFO	EU 指令	加州 LCFS	(参考) 国内プラント
収率	0.875	0.975	不明	0.95
電力(MJ/t)	335	151	254	約 200
燃料(MJ/t)	1,690	3,651	2,570	約 1,200

表 III-3-79 廃食用油のエステル化におけるエネルギー起源
GHG 排出量 (BDF 1t あたり)

		英国 RTFO	EU 指令	加州 LCFS
電力 (kgCO ₂ /t)		44	19	21
燃料 (kgCO ₂ /t)		105	247	132
計	(kgCO ₂ /t)	149	266	154
	(gCO ₂ /MJ)	4	7	4

※燃料は全て天然ガスを想定

表 III-3-80 廃食用油のエステル化における補正後エネルギー起源
GHG 排出量 (BDF 1t あたり)

		英国 RTFO ベース	EU 指令 ベース	加州 LCFS ベース
電力 (kgCO ₂ /t)		42	19	27
燃料 (kgCO ₂ /t)		105	247	132
計	(kgCO ₂ /t)	146	266	159
	(gCO ₂ /MJ)	4	7	4

(b) 化学物質投入

英国 RTFO、EU 指令における廃食用油のエステル化工程の化学物質投入量及び GHG 排出量を以下に示す。3 制度とも概ね同程度の投入量を想定している。なお、加州 LCFS では塩酸、水酸化ナトリウム、ナトリウムメトキシドの投入を想定しているが、GHG 排出量については値が小さいためか、計上していない模様である。

大豆油由来 BDF と同様にメタノール由来 GHG 排出量については我が国の排出係数を用いて補正すると、GHG 排出量の合計値は各国で同程度であるため、我が国に適用可能なデフォルト値候補として活用可能と判断とする。

表 III-3-81 廃食用油のエステル化における化学物質投入量 (kg/t BDF)

	英国 RTFO	EU 指令	加州 LCFS	(参考) 国内プラント
メタノール	113	113	101	約 140
水酸化カリウム	26	14	—	約 10
リン酸	—	15	—	—
塩酸	—	—	不明	—
水酸化ナトリウム	—	—	不明	—
ナトリウムメトキシド	—	—	不明	—

表 III-3-82 廃食用油のエステル化における化学物質 GHG 排出量 (kgCO_{2e}/t BDF)

	英国 RTFO	EU 指令	加州 LCFS
メタノール	311	217	51
水酸化カリウム	63	NA	—
リン酸	—	NA	—
塩酸	—	—	—
水酸化ナトリウム	—	—	—
ナトリウムメトキシド	—	—	—
計	(kgCO _{2e} /t)	374	217
	(gCO _{2e} /MJ)	10	6

表 III-3-83 廃食用油のエステル化における補正後化学物質 GHG 排出量
(kgCO_{2e}/t BDF)

	英国 RTFO	EU 指令	加州 LCFS
メタノール	45	44	42
水酸化カリウム	63	NA	—
リン酸	—	NA	—
塩酸	—	—	—
水酸化ナトリウム	—	—	—
ナトリウムメトキシド	—	—	—
計	(kgCO _{2e} /t)	108	44
	(gCO _{2e} /MJ)	3	1

(c) まとめ

以上を踏まえ、国内プラント及び各国制度をベースとした、我が国に適用可能なデフォルト値候補（エステル化工程）は以下の通りとなる。

表 III-3-84 廃食用油由来 BDF のエステル化工程の GHG 排出量 (gCO_{2e}/MJ)

	英国 RTFO ベース	EU 指令 ベース	加州 LCFS ベース
エネルギー	4	7	4
化学物質	3	1	1
計	7	8	5

④燃料輸送工程

日本国内での燃料輸送（陸上）については、軽油のバウンダリを製油所までとしていることから、考慮不要とする。

⑤アロケーション

廃食用油由来 BDF の副産物のグリセリンは性状が安定しない恐れがあり、国内のプラントでも現状では清掃工場での焼却処理・発電されているため、アロケーションは考慮しない。

⑥総括

以上を踏まえ、北南米産廃食用油由来 BDF のライフサイクル GHG 排出量のデフォルト値候補は以下の通り算出される。

表 III-3-85 廃食用油由来 BDF のライフサイクル GHG 排出量 (gCO_{2e}/MJ)

	国内プラント ベース	英国 RTFO ベース	EU 指令 ベース	加州 LCFS ベース
原料油輸送	0	0	0	0
エステル化	7	7	8	5
燃料輸送	—	—	—	—
計	7	7	8	5

6) 土地利用変化に伴う GHG 排出量推計

① 算定方針

土地利用変化に伴う GHG 排出量は、先行する欧州での制度（英国 RTFO および EU 指令）を参考にして、算定することを検討した。検討開始当初、欧州では EU 指令が発表されていなかったため、英国 RTFO をベースとした算定を実施した。なお、エネルギー供給構造高度化法の施行令においては、英国 RTFO をベースとしつつ、算定方法を一部改良した値が、「ブラジル産サトウキビ由来エタノールの既定値」とされている。その後、2010 年 6 月に欧州委員会より土地利用変化の算定方法についての決定（“Commission Decision of 10/June/2010 on guidelines for the calculation of land carbon stocks for the purpose of Annex V to Directive 2009/28/EC”）が発表された。詳細は次節以下に後述するが、英国 RTFO および EU 指令共に IPCC に準拠した算定を行っているものの、一部の算定式および参照する IPCC デフォルト値が異なっており、評価結果も若干異なる。欧州では今後、英国 RTFO が EU 指令に適合する形で改正されていく見通しであることから、本調査事業においては最終的には EU 指令をベースとした算定を実施し、この結果を用いることとした。

② EU 指令における算定方法

EU指令における算定式は、下記の通りである。

排出量(t-CO₂/ha)

$$= \{ \textcircled{1} (\text{土地利用変化前の土壌有機炭素量ストック } t\text{-C/ha} - \text{変化後の土壌有機炭素量ストック } t\text{-C/ha}) + \textcircled{2} (\text{土地利用変化前の地上・地下の炭素ストック } t\text{-C/ha} - \text{変化後の地上・地下の炭素ストック } t\text{-C/ha}) \} \times 44/12$$

①土壌有機炭素量ストック変化 (t-C/ha)

$$= \text{土地利用変化前の土壌有機炭素量ストック } t\text{-C/ha} - \text{変化後の土壌有機炭素量ストック } t\text{-C/ha}$$

= 気候区分と土壌による炭素ストック

×土地利用変化前の利用形態による炭素ストック 【全原料のデフォルト値で1を想定】

×土地利用変化前の耕起状態による炭素ストック 【全原料のデフォルト値で1を想定】

×土地利用変化前の施肥状態による炭素ストック 【全原料のデフォルト値で1を想定】

－気候区分と土壌による炭素ストック

×土地利用変化後の利用形態による炭素ストック

×土地利用変化後の耕起状態による炭素ストック

×土地利用変化後前の施肥状態による炭素ストック

②地上及び地下の炭素ストック変化 (t-C/ha)

$$= \text{土地利用変化前の地上及び地下の炭素ストック } t\text{-C/ha}$$

－変化後の地上及び地下の炭素ストック t-C/ha

英国 RTFO と比較して、土地利用変化により失われる炭素ストックに伴う土壌中の N 量および枯死木/リターに含まれる炭素ストック、Organic soil に含まれる炭素ストックを考慮しない点が異なっている。また、参照する IPCC のデフォルト値も異なる。

③ 評価結果

評価結果は、下記の通りである。なお、本評価結果を土地利用変化以外の GHG 排出量と加算するには、MJ 当たりの排出量に変換する必要があるが、その時には、土地利用変化以外の算定に用いた収率等により、変換を行う。

表 III-3-86 土地利用変化に伴う GHG 排出量 評価結果

国	栽培作物	転換前の土地利用形態	t-CO ₂ /ha
ブラジル	サトウキビ(単年生)	森林	822.1
		草地	101.0
	サトウキビ(多年生)	森林	674.7
		草地	-14.5
	広葉樹	森林	513.3
		植林地	0.0
草地	-183.0		
単年生作物	森林	840.4	
	草地	119.3	
タイ フィリピン	キャッサバ	森林	517.7
		草地	144.1
	多年生作物	森林	244.6
		草地	-129.1
	ココナッツ	森林	95.3
		草地	-278.3
インドネシア マレーシア	単年生作物	森林	957.7
		草地	144.1
	多年生作物	森林	757.5
		草地	-56.1
	ジャトロファ	森林	746.2
		草地	-67.5
	ココナツ	森林	535.3
		草地	-278.3
パーム油	森林	757.5	
	草地	-56.1	
豪州	広葉樹	森林	100.8
		植林地	0.0
		草地	-21.6
	菜種	森林	159.4
草地		37.0	
ベトナム	広葉樹	森林	443.7
		植林地	0.0
		草地	-205.0
米国 カナダ	単年生作物	森林	385.0
		草地	56.1
	菜種	森林	374.7
		草地	45.8
アルゼンチン	単年生作物	森林	328.5
		草地	-1.2
ミャンマー	ジャトロファ	森林	412.5
		草地	-34.5

これまで様々な土地利用変化に伴う GHG 排出量の評価結果を述べてきたが、本事業の GHG 排出量の評価結果を次に示す。

(3)総括

(1)～(2)で算定した土地利用変化以外の GHG 排出量と、(3)で算定した土地利用変化に伴う GHG 排出量を合算した評価結果の総括表は、下記の通りである。

表 III-3-87 各種バイオ燃料の GHG 排出量評価結果 総括表(1/8)

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						
				前送			その他前提	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			
				アロケーション方法	燃料製造プラントデータ データ種別	データ源泉												
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)		33	40.3%	—	—	—	33	40.3%				
				プロセス分化				33	40.0%	—	—	33	40.0%					
				代替法				24	28.8%	—	—	24	28.8%					
				熱量按分法				32	39.5%	—	—	32	39.5%					
				価格按分法				32	39.5%	—	—	32	39.5%					
				アロケ無し				33	40.3%	38.0	100%	38.0	71	86.8%				
			プロセス分化	33				40.0%	38.0	91%	34.7	67	82.5%					
			代替法	24				28.8%	38.0	100%	38.0	62	75.3%					
			熱量按分法	32				39.5%	38.0	97%	36.8	69	84.6%					
			価格按分法	32				39.5%	38.0	96%	36.6	69	84.4%					
			アロケ無し	33				40.3%	309.5	100%	309.5	342	419.1%					
			プロセス分化	33				40.0%	309.5	91%	282.9	316	386.3%					
		代替法	24	28.8%				309.5	100%	309.5	333	407.6%						
		熱量按分法	32	39.5%				309.5	97%	299.6	332	406.2%						
		価格按分法	32	39.5%				309.5	96%	298.4	331	404.7%						
		アロケ無し	33	40.3%				—	—	—	33	40.3%						
		プロセス分化	33	40.0%				—	—	—	33	40.0%						
		代替法	24	28.8%				—	—	—	24	28.8%						
		熱量按分法	32	39.5%				—	—	—	32	39.5%						
		価格按分法	32	39.5%				—	—	—	32	39.5%						
		アロケ無し	33	40.3%				-5.5	100%	-5.5	27	33.5%						
		プロセス分化	33	40.0%				-5.5	91%	-5.0	28	33.9%						
		代替法	24	28.8%				-5.5	100%	-5.5	18	22.0%						
		熱量按分法	32	39.5%				-5.5	97%	-5.3	27	33.0%						
	価格按分法	32	39.5%	-5.5	96%	-5.3	27	33.0%										
	アロケ無し	33	40.3%	254.0	100%	254.0	287	351.2%										
	プロセス分化	33	40.0%	254.0	91%	232.2	265	324.2%										
	代替法	24	28.8%	254.0	100%	254.0	278	339.7%										
	熱量按分法	32	39.5%	254.0	97%	245.9	278	340.5%										
	価格按分法	32	39.5%	254.0	96%	244.9	277	339.2%										
	キャッサバ	タイ	農地	実績値	King Mongkut's 大学論文			138	138.3%	—	—	—	138	169.3%				
				設計値				93	111.4%	—	—	—	93	113.7%				
				実績値				138	123.6%	126.1	100%	126.1	264	323.6%				
			設計値	93				79.6%	126.1	100%	126.1	219	268.1%					
			実績値	138				69.8%	452.9	100%	452.9	591	723.6%					
			設計値	93				113.7%	452.9	100%	452.9	546	668.1%					
		多収量米 (水管理状態変化なし)	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UMRI算定		113	138.3%	—	—	—	113	138.3%
								熱量按分法				91	111.4%	—	—	—	91	111.4%
								価格按分法				101	123.6%	—	—	—	101	123.6%
			アロケ無し	65				79.6%				—	—	—	65	79.6%		
			熱量按分法	57				69.8%				—	—	—	57	69.8%		
			価格按分法	61				74.7%				—	—	—	61	74.7%		
	多収量米(MA米)	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UMRI算定		65	79.6%	—	—	—	65	79.6%				
				熱量按分法				57	69.8%	—	—	—	57	69.8%				
				価格按分法				61	74.7%	—	—	—	61	74.7%				
		アロケ無し	48	58.8%				—	—	—	48	58.8%						
		熱量按分法	44	53.9%				—	—	—	44	53.9%						
		価格按分法	45	55.1%				—	—	—	45	55.1%						
規格外小麦	日本	—	アロケ無し	設計値	RTFO		47	57.5%	—	—	—	47	57.5%					
			熱量按分法				28	34.3%	—	—	—	28	34.3%					
			価格按分法				36	44.1%	—	—	—	36	44.1%					
			アロケ無し				64	78.3%	—	—	—	64	78.3%					
			熱量按分法				30	36.7%	—	—	—	30	36.7%					
			価格按分法				38	46.5%	—	—	—	38	46.5%					

※網掛け部分は LCA 基準 (ガソリン・軽油 50%未滿) を達成していないもの

表 III-3-87 各種バイオ燃料の GHG 排出量評価結果 総括表(2/8)

バイオ燃料	原料	国	炭化前の土 地利用形態	土壌利用変化以外				土壌利用変化				合計						
				アロケーション 方法	燃料製造プラントデータ		その他前提	排出量 [gCO ₂ /MJ]	化石 燃料比	排出量 [gCO ₂ /MJ]	原料単位アロ ケーション比 率	土壌利用変化 によるGHG 排出量 [gCO ₂ /MJ]	備考	排出量合計 [gCO ₂ /MJ]	化石燃料 比			
					データ種別	データ源泉												
					アロケーション 方法	データ種別										データ源泉		
エタノール	余剰てん菜	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		40	49.0%	—	—	—	40	49.0%				
				熱量按分法			39	47.7%	—	—	39	47.7%						
				価格按分法			40	49.0%	—	—	40	49.0%						
				アロケ無し			70	85.7%	—	—	70	85.7%						
				熱量按分法		RTFO	46	56.3%	—	—	46	56.3%						
				価格按分法			36	44.1%	—	—	36	44.1%						
				アロケ無し			42	51.4%	—	—	42	51.4%						
				熱量按分法		EU指令	33	40.4%	—	—	33	40.4%						
				価格按分法			31	37.9%	—	—	31	37.9%						
				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		48	58.8%	—	—	48	58.8%					
建築廃材	日本	—	—	熱量按分法	設計値	日本国内実証プラントデー タよりMRI算定		8	9.8%	—	—	—	8	9.8%				
				アロケ無し	目標値	NEDO	電力、蒸気ともリグニン供給(不足電力は外部調達 蒸気のみリグニン供給)	11	13.5%	—	—	11	13.5%					
				アロケ無し			19	23.3%	—	—	19	23.3%						
				アロケ無し			13	15.9%	—	—	13	15.9%						
				熱量按分法		EU指令	12	14.7%	—	—	12	14.7%						
				価格按分法			12	14.7%	—	—	12	14.7%						
				アロケ無し	日本国内プラント設計値	MRI算定		55	67.3%	—	—	55	67.3%					
				アロケ無し			45	55.1%	—	—	45	55.1%						
				アロケ無し		RTFO	52	63.6%	—	—	52	63.6%						
				アロケ無し			4	4.9%	—	—	4	4.9%						
廃糖蜜	日本	—	—	アロケ無し	推計値	NEDO報告書		19	23.0%	—	—	—	19	23.0%				
				アロケ無し	推計値	AIST報告書		26	32.1%	—	—	—	26	32.1%				
				アロケ無し	目標値	バイオ燃料革新技術計画		15	18.1%	—	—	—	15	18.1%				
				熱量按分法	推計値	NEDO報告書		19	23.0%	—	—	—	19	23.0%				
				推計値	AIST報告書		26	32.1%	—	—	—	26	32.1%					
				目標値	バイオ燃料革新技術計画		15	18.1%	—	—	—	15	18.1%					
				アロケ無し	推計値	NEDO報告書		23	28.6%	—	—	—	23	28.6%				
				アロケ無し	推計値	AIST報告書		41	50.7%	—	—	—	41	50.7%				
				アロケ無し	目標値	バイオ燃料革新技術計画		19	22.8%	—	—	—	19	22.8%				
				熱量按分法	推計値	NEDO報告書		23	28.6%	—	—	—	23	28.6%				
				推計値	AIST報告書		41	50.7%	—	—	—	41	50.7%					
				目標値	バイオ燃料革新技術計画		19	22.8%	—	—	—	19	22.8%					
				アロケ無し	推計値	NEDO報告書		20	24.0%	—	—	—	20	24.0%				
				アロケ無し	推計値	AIST報告書		26	32.3%	—	—	—	26	32.3%				
				アロケ無し	目標値	バイオ燃料革新技術計画		16	19.1%	—	—	—	16	19.1%				
				熱量按分法	推計値	NEDO報告書		20	24.0%	—	—	—	20	24.0%				
				推計値	AIST報告書		26	32.3%	—	—	—	26	32.3%					
				目標値	バイオ燃料革新技術計画		16	19.1%	—	—	—	16	19.1%					
				林地残材	豪州	—	—	アロケ無し	推計値	NEDO報告書		33	39.8%	—	—	—	33	39.8%
								熱量按分法	推計値	NREL		30	36.6%	—	—	—	30	36.6%
推計値	NEDO報告書		25					30.6%	-84.1	100%	-84.1	-59	-72.3%					
推計値	AIST報告書		23					28.6%	-79.8	100%	-79.8	-56	-69.1%					
目標値	バイオ燃料革新技術計画		22					26.4%	-84.6	100%	-84.6	-63	-77.1%					
推計値	NEDO報告書		25					30.6%	235.8	100%	235.8	261	319.2%					
推計値	AIST報告書		23					28.6%	224.0	100%	224.0	247	302.8%					
目標値	バイオ燃料革新技術計画		22					26.4%	237.4	100%	237.4	259	317.0%					
推計値	NEDO報告書		25					30.6%	0.0	100%	0.0	25	30.6%					
推計値	AIST報告書		23					28.6%	0.0	100%	0.0	23	28.6%					
目標値	バイオ燃料革新技術計画		22	26.4%	0.0	100%	0.0	22	26.4%									
推計値	NEDO報告書		23	27.7%	-9.9	100%	-9.9	13	15.5%									
推計値	AIST報告書		41	49.8%	-9.4	100%	-9.4	31	38.3%									
目標値	バイオ燃料革新技術計画		18	21.8%	-10.0	100%	-10.0	8	9.5%									
推計値	NEDOセル革事業		28	34.2%	NA	—	NA	同NEDO事業では単収を想定せず。	28	34.2%								
早生広葉樹	豪州	—	—	アロケ無し	推計値	NEDO報告書		23	27.7%	46.3	100%	46.3	69	84.3%				
				推計値	AIST報告書		41	49.8%	44.0	100%	44.0	85	103.6%					
				目標値	バイオ燃料革新技術計画		18	21.8%	46.6	100%	46.6	64	78.8%					
				推計値	NEDOセル革事業		29	34.2%	NA	—	NA	同NEDO事業では単収を想定せず。	29	34.2%				
				推計値	NEDO報告書		23	27.7%	0.0	100%	0.0	22.6	27.7%					
				推計値	AIST報告書		41	49.8%	0.0	100%	0.0	41	49.8%					
				目標値	バイオ燃料革新技術計画		18	21.8%	0.0	100%	0.0	18	21.8%					
				推計値	NEDOセル革事業		28	34.2%	NA	—	NA	同NEDO事業では単収を想定せず。	28	34.2%				

※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

表 III-3-87 各種バイオ燃料の GHG 排出量評価結果 総括表(3/8)

バイオ燃料	原料	国	変化する土地利用形態	土地利用変化以外				土地利用変化				合計			
				前掲		排出量 [gCO ₂ /MJ]	化石 燃料比	排出量 [gCO ₂ /MJ]	原料栽培アロ ケーション比	原料栽培アロ ケーション後排 出量	備考	排出量合計 [gCO ₂ /MJ]	化石燃料 比		
				アロケーション 方法	燃料製造プラントデータ									その他前掲	
					データ種別										データ原典
エタノール	早生広葉樹	ベトナム	草地	アロケ無し	推計値	NEDO報告書	19	23.0%	-94.2	100%	-94.2	-75	-92.3%		
					推計値	AIST報告書	26	31.5%	-89.5	100%	-89.5	-64	-78.0%		
					目標値	バイオ燃料革新技術計画	15	18.1%	-94.8	100%	-94.8	-80	-98.0%		
			推計値		NEDO報告書	19	23.0%	203.9	100%	203.9	223	272.6%			
			推計値		AIST報告書	26	31.5%	193.6	100%	193.6	219	268.5%			
			目標値		バイオ燃料革新技術計画	15	18.1%	205.3	100%	205.3	220	269.4%			
		森林	推計値	NEDO報告書	19	23.0%	0.0	100%	0.0	19	23.0%				
			推計値	AIST報告書	26	31.5%	0.0	100%	0.0	26	31.5%				
			目標値	バイオ燃料革新技術計画	15	18.1%	0.0	100%	0.0	15	18.1%				
		植林地	推計値	NEDO報告書	14	17.1%	—	—	—	14	17.1%				
			推計値	AIST報告書	22	26.6%	—	—	—	22	26.6%				
			目標値	バイオ燃料革新技術計画	10	12.1%	—	—	—	10	12.1%				
	稲わら・麦わら	日本	—	アロケ無し	推計値	NEDO報告書	19	28.6%	—	—	—	19	23.3%		
					推計値	AIST報告書	35	47.9%	—	—	—	35	42.5%		
					目標値	バイオ燃料革新技術計画	14	22.9%	—	—	—	14	17.5%		
					推計値	NEDOセル革事業	27	22.9%	NA	—	NA	27	33.4%		
					推計値	NEDO報告書	19	23.3%	-8.8	100%	-8.8	10	12.5%		
					推計値	AIST報告書	35	42.5%	-8.3	100%	-8.3	26	32.3%		
	多収量草本植物	インドネシア	農地	アロケ無し	推計値	NEDO報告書	14	17.5%	-8.8	100%	-8.8	5	6.7%		
					推計値	AIST報告書	19	23.3%	118.4	100%	118.4	137	168.1%		
					目標値	バイオ燃料革新技術計画	14	17.5%	-8.8	100%	-8.8	5	6.7%		
			推計値		NEDO報告書	19	23.3%	118.4	100%	118.4	137	168.1%			
			推計値		AIST報告書	35	42.5%	112.4	100%	112.4	147	180.1%			
			目標値		バイオ燃料革新技術計画	14	17.5%	119.2	100%	119.2	133	163.4%			
草地		推計値	NEDO報告書	19	23.3%	-8.8	100%	-8.8	20	12.5%					
		推計値	AIST報告書	35	42.5%	-8.3	100%	-8.3	26	32.3%					
		目標値	バイオ燃料革新技術計画	14	17.5%	-8.8	100%	-8.8	5	6.7%					
森林		推計値	NEDO報告書	19	23.3%	118.4	100%	118.4	137	168.1%					
		推計値	AIST報告書	35	42.5%	112.4	100%	112.4	147	180.1%					
		目標値	バイオ燃料革新技術計画	14	17.5%	119.2	100%	119.2	133	163.4%					
BDF	バーム油	インドネシア	農地	アロケ無し	英国RTFO	66	85.6%	—	—	—	66	85.6%			
				アロケ無し	EU指令	60	77.8%	—	—	—	60	77.8%			
				アロケ無し	英国RTFO	35	45.4%	—	—	—	35	45.4%			
				熱量按分法	英国RTFO	61	79.1%	—	—	—	61	79.1%			
				熱量按分法	EU指令	55	71.3%	—	—	—	55	71.3%			
				熱量按分法	EU指令	33	42.8%	—	—	—	33	42.8%			
			草地	アロケ無し	英国RTFO	66	85.6%	-28.0	100%	-28.0	38	49.3%			
				アロケ無し	EU指令	60	77.8%	-18.9	100%	-18.9	41	53.3%			
				アロケ無し	英国RTFO	35	45.4%	-18.9	100%	-18.9	16	20.9%			
				熱量按分法	英国RTFO	61	79.1%	-28.0	95%	-26.6	34	44.6%			
				熱量按分法	EU指令	55	71.3%	-18.9	95%	-18.0	37	48.1%			
				熱量按分法	EU指令	33	42.8%	-18.9	95%	-18.0	15	19.5%			
		森林	アロケ無し	英国RTFO	66	85.6%	378.5	100%	378.5	444	576.5%				
			アロケ無し	EU指令	60	77.8%	255.2	100%	255.2	315	408.8%				
			アロケ無し	英国RTFO	35	45.4%	255.2	100%	255.2	290	376.4%				
			熱量按分法	英国RTFO	61	79.1%	378.5	95%	359.5	421	545.4%				
			熱量按分法	EU指令	55	71.3%	255.2	95%	242.4	297	385.8%				
			熱量按分法	EU指令	33	42.8%	255.2	95%	242.4	275	357.2%				
		マレーシア	農地	アロケ無し	英国RTFO	65	84.3%	—	—	—	65	84.3%			
				アロケ無し	EU指令	60	77.8%	—	—	—	60	77.8%			
				アロケ無し	英国RTFO	35	45.4%	—	—	—	35	45.4%			
				熱量按分法	英国RTFO	61	79.1%	—	—	—	61	79.1%			
				熱量按分法	EU指令	55	71.3%	—	—	—	55	71.3%			
				熱量按分法	EU指令	33	42.8%	—	—	—	33	42.8%			
	草地		アロケ無し	英国RTFO	65	84.3%	-26.1	100%	-26.1	39	50.4%				
			アロケ無し	EU指令	60	77.8%	-22.5	100%	-22.5	37	48.6%				
			アロケ無し	英国RTFO	35	45.4%	-18.9	100%	-18.9	16	20.9%				
			熱量按分法	英国RTFO	61	79.1%	-26.1	95%	-24.8	36	46.9%				
			熱量按分法	EU指令	55	71.3%	-22.5	95%	-21.4	34	43.6%				
			熱量按分法	EU指令	33	42.8%	-18.9	95%	-18.0	15	19.5%				
	森林	アロケ無し	英国RTFO	65	84.3%	352.6	100%	352.6	418	541.6%					
		アロケ無し	EU指令	60	77.8%	304.5	100%	304.5	364	472.7%					
		アロケ無し	英国RTFO	35	45.4%	255.2	100%	255.2	290	376.4%					
		熱量按分法	英国RTFO	61	79.1%	352.6	95%	334.9	396	513.5%					
		熱量按分法	EU指令	55	71.3%	304.5	95%	289.3	344	446.5%					
		熱量按分法	EU指令	33	42.8%	255.2	95%	242.4	275	357.2%					

※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

表 III-3-87 各種バイオ燃料のGHG 排出量評価結果 総括表(4/8)

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	燃料製造プラントデータ		その他前提	排出量 [gCO2/MJ]	化石燃料比	排出量 [gCO2/MJ]	原料増産アロケーション比率	アロケーション後の排出量 [gCO2/MJ]	備考	排出量合計 [gCO2/MJ]	化石燃料比
					データ種別	データ原典									
BDF	大豆油	ブラジル	農地	アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	187	242.5%	—	—	—	187	242.5%		
				アロケ無し	EU指令	原料輸入	181	234.8%	—	—	—	181	234.8%		
				アロケ無し	EU指令	BDF輸入	125	162.1%	—	—	—	125	162.1%		
				熱量按分法	英国RTFO	原料輸入	136	176.4%	—	—	—	136	176.4%		
				熱量按分法	EU指令	原料輸入	130	168.6%	—	—	—	130	168.6%		
				熱量按分法	EU指令	BDF輸入	77	99.9%	—	—	—	77	99.9%		
			熱量按分法	EU指令	原料輸入	59	76.5%	—	—	—	59	76.5%			
			草地	アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	187	242.5%	12.3	100%	12.3	199	258.5%		
				アロケ無し	EU指令	原料輸入	181	234.8%	12.2	100%	12.2	193	250.6%		
				アロケ無し	EU指令	BDF輸入	125	162.1%	12.2	100%	12.2	137	178.0%		
				熱量按分法	英国RTFO	原料輸入	136	176.4%	12.3	96%	11.8	148	191.7%		
				熱量按分法	EU指令	原料輸入	130	168.6%	12.2	96%	11.7	142	183.8%		
		熱量按分法		EU指令	BDF輸入	77	99.9%	12.2	96%	11.7	89	115.1%			
		森林	アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	59	76.5%	12.2	96%	11.7	71	91.7%			
			アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	187	242.5%	71.8	100%	71.8	259	335.7%			
			アロケ無し	EU指令	原料輸入	181	234.8%	71.3	100%	71.3	252	327.2%			
			アロケ無し	EU指令	BDF輸入	125	162.1%	71.3	100%	71.3	196	254.6%			
			熱量按分法	英国RTFO	原料輸入	136	176.4%	71.8	96%	68.9	205	265.8%			
			熱量按分法	EU指令	原料輸入	130	168.6%	71.3	96%	68.4	198	257.4%			
		カナダ	農地	アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	71	99.9%	71.3	96%	68.4	147	188.6%		
				アロケ無し	EU指令	原料輸入	59	76.5%	71.3	96%	68.4	127	165.3%		
				アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	125	162.1%	—	—	—	125	162.1%		
				熱量按分法	英国RTFO	原料輸入	76	98.6%	—	—	—	76	98.6%		
				アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	125	162.1%	5.3	100%	5.3	130	169.0%		
				熱量按分法	英国RTFO	原料輸入	76	98.6%	5.3	96%	5.1	81	105.2%		
			草地	アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	125	162.1%	36.7	100%	36.7	162	209.7%		
				熱量按分法	英国RTFO	原料輸入	76	98.6%	36.7	96%	35.2	111	144.3%		
				アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	147	190.7%	—	—	—	147	190.7%		
				熱量按分法	英国RTFO	原料輸入	97	125.8%	—	—	—	97	125.8%		
				アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	147	190.7%	-0.1	100%	-0.1	147	190.5%		
				熱量按分法	英国RTFO	原料輸入	97	125.8%	-0.1	96%	-0.1	97	125.7%		
		森林	アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	147	190.7%	28.1	100%	28.1	175	227.1%			
			熱量按分法	英国RTFO	原料輸入	97	125.8%	28.1	96%	27.0	124	160.8%			
			アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	122	158.2%	—	—	—	122	158.2%			
			熱量按分法	英国RTFO	原料輸入	73	94.7%	—	—	—	73	94.7%			
			アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	122	158.2%	4.7	100%	4.7	127	164.3%			
			熱量按分法	英国RTFO	原料輸入	73	94.7%	4.7	96%	4.5	78	100.5%			
		米国	農地	アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	122	158.2%	32.1	100%	32.1	154	199.9%		
				熱量按分法	英国RTFO	原料輸入	73	94.7%	32.1	96%	30.8	104	134.7%		
				アロケ無し	加州LCFS	原料輸入	108	140.1%	NA	—	NA	加州LCFSでは単収を想定せず。	108	140.1%	
				アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	81	105.1%	—	—	—	81	105.1%		
				熱量按分法	英国RTFO	原料輸入	60	77.8%	—	—	—	60	77.8%		
				アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	81	105.1%	17.2	100%	17.2	98	127.4%		
			草地	アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	60	77.8%	17.2	96%	16.5	77	99.2%		
				熱量按分法	英国RTFO	原料輸入	81	105.1%	140.9	100%	140.9	222	287.8%		
				アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	60	77.8%	140.9	96%	135.3	195	253.3%		
				アロケ無し	EU指令	原料輸入	80	103.8%	NA	—	NA	EU指令では、域内の単収のみを想定	80	103.8%	
				熱量按分法	EU指令	原料輸入	56	72.6%	NA	—	NA	EU指令では、域内の単収のみを想定	56	72.6%	
				アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	84	108.9%	—	—	—	84	108.9%		
		オーストラリア	農地	アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	62	80.4%	—	—	—	62	80.4%		
				熱量按分法	英国RTFO	原料輸入	84	108.9%	17.1	100%	17.1	101	131.1%		
				アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	62	80.4%	17.1	96%	16.4	78	101.7%		
				熱量按分法	英国RTFO	原料輸入	84	108.9%	73.5	100%	73.5	158	204.3%		
				アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	62	80.4%	73.5	96%	70.6	133	171.9%		
				熱量按分法	EU指令	原料輸入	83	107.7%	NA	—	NA	EU指令では、域内の単収のみを想定	83	107.7%	
			森林	アロケ無し	EU指令	原料輸入	59	76.5%	NA	—	NA	EU指令では、域内の単収のみを想定	59	76.5%	
				推計値	日本国内実証プラントデータよりMRI算定	7	9.1%	—	—	—	7	9.1%			
				アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	7	9.1%	—	—	—	7	9.1%		
				アロケ無し	EU指令	原料輸入	8	10.4%	—	—	—	8	10.4%		
				アロケ無し	加州LCFS	原料輸入	5	6.5%	—	—	—	5	6.5%		

※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

表 III-3-87 各種バイオ燃料の GHG 排出量評価結果 総括表(5/8)

バイオ燃料	原料	国	農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		その他前提	排出量 [gCO2/MJ]	化石燃料比	排出量 [gCO2/MJ]	原料増培アロケーション比	シフト後排出量 [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	データ原典									
BDF	ココナツ	フィリピン	農地	アロケ無し		BDF輸入	39	51.0%	---	---	---	39	51.0%		
				アロケ無し		油脂輸入	42	54.7%	---	---	---	42	54.7%		
				熱量按分法		BDF輸入	33	42.5%	---	---	---	33	42.5%		
			アロケ無し		油脂輸入	36	46.0%	---	---	---	36	46.0%			
			アロケ無し		BDF輸入	39	51.0%	-604.4	100%	-604.4	-565	-732.9%			
			アロケ無し		油脂輸入	42	54.7%	-604.4	100%	-604.4	-562	-729.2%			
		草地	アロケ無し		BDF輸入	33	42.5%	-604.4	77%	-484.5	-432	-559.9%			
			アロケ無し		油脂輸入	36	46.0%	-604.4	77%	-484.5	-429	-556.4%			
			アロケ無し		BDF輸入	39	51.0%	207.1	100%	207.1	246	319.6%			
			アロケ無し		油脂輸入	42	54.7%	207.1	100%	207.1	249	323.3%			
			アロケ無し		BDF輸入	33	42.5%	207.1	77%	159.2	192	249.0%			
			アロケ無し		油脂輸入	36	46.0%	207.1	77%	159.2	195	252.5%			
	ジャトロファ	インドネシア	農地	アロケ無し		BDF輸入	23	29.8%	---	---	---	23	29.8%		
				アロケ無し		油脂輸入	25	32.6%	---	---	---	25	32.6%		
				熱量按分法		BDF輸入	22	28.7%	---	---	---	22	28.7%		
			アロケ無し		油脂輸入	24	31.3%	---	---	---	24	31.3%			
			アロケ無し		BDF輸入	23	29.8%	-175.2	100%	-175.2	-152	-197.4%			
			アロケ無し		油脂輸入	25	32.6%	-175.2	100%	-175.2	-150	-194.7%			
		草地	アロケ無し		BDF輸入	22	28.7%	-175.2	96%	-168.0	-146	-189.3%			
			アロケ無し		油脂輸入	24	31.3%	-175.2	96%	-168.0	-144	-186.7%			
			アロケ無し		BDF輸入	23	29.8%	1937.8	100%	1937.8	1,961	2543.2%			
			アロケ無し		油脂輸入	25	32.6%	1937.8	100%	1937.8	1,963	2545.9%			
			アロケ無し		BDF輸入	22	28.7%	1937.8	96%	1858.4	1,880	2439.0%			
			アロケ無し		油脂輸入	24	31.3%	1937.8	96%	1858.4	1,882	2441.6%			
	マレーシア	農地	アロケ無し		BDF輸入	22	28.3%	---	---	---	22	28.3%			
			アロケ無し		油脂輸入	25	32.0%	---	---	---	25	32.0%			
			熱量按分法		BDF輸入	21	27.2%	---	---	---	21	27.2%			
			アロケ無し		油脂輸入	24	30.7%	---	---	---	24	30.7%			
			アロケ無し		BDF輸入	22	28.3%	-89.5	100%	-89.5	-68	-87.8%			
			アロケ無し		油脂輸入	25	32.0%	-175.2	100%	-175.2	-151	-195.2%			
		草地	アロケ無し		BDF輸入	21	27.2%	-89.5	96%	-85.8	-65	-84.1%			
			アロケ無し		油脂輸入	24	30.7%	-175.2	96%	-168.0	-144	-187.2%			
			アロケ無し		BDF輸入	22	28.3%	1071.2	100%	1071.2	1,093	1417.6%			
			アロケ無し		油脂輸入	25	32.0%	1937.8	100%	1937.8	1,963	2545.4%			
			アロケ無し		BDF輸入	21	27.2%	1071.2	96%	1027.3	1,048	1359.6%			
			アロケ無し		油脂輸入	24	30.7%	1937.8	96%	1858.4	1,882	2441.1%			
	ミャンマー	農地	アロケ無し		BDF輸入	22	28.8%	---	---	---	22	28.8%			
			アロケ無し		油脂輸入	25	32.7%	---	---	---	25	32.7%			
			熱量按分法		BDF輸入	21	27.8%	---	---	---	21	27.8%			
			アロケ無し		油脂輸入	24	31.4%	---	---	---	24	31.4%			
			アロケ無し		BDF輸入	22	28.8%	-175.2	100%	-175.2	-153	-198.4%			
			アロケ無し		油脂輸入	25	32.7%	-89.5	100%	-89.5	-64	-83.4%			
		草地	アロケ無し		BDF輸入	21	27.8%	-175.2	96%	-168.0	-147	-190.2%			
			アロケ無し		油脂輸入	24	31.4%	-89.5	96%	-85.8	-62	-79.9%			
			アロケ無し		BDF輸入	22	28.8%	1937.8	100%	1937.8	1,960	2542.2%			
			アロケ無し		油脂輸入	25	32.7%	1071.2	100%	1071.2	1,096	1422.0%			
			アロケ無し		BDF輸入	21	27.8%	1937.8	96%	1858.4	1,880	2438.1%			
			アロケ無し		油脂輸入	24	31.4%	1071.2	96%	1027.3	1,051	1363.8%			

※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

表 III-3-87 各種バイオ燃料の GHG 排出量評価結果 総括表(6/8)

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]	原料増培アロケーション比	シヨン後排出量 [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										その他前提
					データ種別	データ源泉									
BHD	パーム油	インドネシア	農地	アロケ無し	英国RTFO	排水CH4有	59	76.5%	—	—	—	59	76.5%		
					EU指令	排水CH4有	50	64.9%	—	—	—	50	64.9%		
					EU指令	排水CH4無	27	35.0%	—	—	—	27	35.0%		
					英国RTFO	排水CH4有	59	76.5%	-32.8	100%	-32.8	26	34.0%		
					EU指令	排水CH4有	50	64.9%	-18.9	100%	-18.9	31	40.3%		
					EU指令	排水CH4無	27	35.0%	-18.9	100%	-18.9	8	10.5%		
			英国RTFO	排水CH4有	59	76.5%	442.5	100%	442.5	501	650.5%				
			EU指令	排水CH4有	50	64.9%	255.2	100%	255.2	305	395.8%				
			EU指令	排水CH4無	27	35.0%	255.2	100%	255.2	282	366.0%				
			英国RTFO	排水CH4有	59	76.5%	—	—	—	59	76.5%				
			EU指令	排水CH4有	50	64.9%	—	—	—	50	64.9%				
			EU指令	排水CH4無	27	35.0%	—	—	—	27	35.0%				
		英国RTFO	排水CH4有	59	76.5%	-30.5	100%	-30.5	28	36.9%					
		EU指令	排水CH4有	50	64.9%	-18.9	100%	-18.9	31	40.3%					
		EU指令	排水CH4無	27	35.0%	-18.9	100%	-18.9	8	10.5%					
		英国RTFO	排水CH4有	59	76.5%	412.2	100%	412.2	471	611.2%					
		EU指令	排水CH4有	50	64.9%	255.2	100%	255.2	305	395.8%					
		EU指令	排水CH4無	27	35.0%	255.2	100%	255.2	282	366.0%					
		大豆油	ブラジル	農地	アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	148	192.0%	—	—	—	—	148	192.0%
								148	192.0%	12.3	100%	12.3	160	207.9%	
								148	192.0%	71.8	100%	71.8	220	285.1%	
								86	111.5%	—	—	—	86	111.5%	
								86	111.5%	5.3	100%	5.3	91	118.4%	
								86	111.5%	36.7	100%	36.7	123	159.1%	
	108			140.1%	—	—	—	108	140.1%						
	108			140.1%	-0.1	100%	-0.1	108	139.9%						
	108			140.1%	28.1	100%	28.1	136	176.5%						
	82			106.4%	—	—	—	82	106.4%						
	82			106.4%	4.7	100%	4.7	87	112.5%						
	82			106.4%	32.1	100%	32.1	114	148.0%						
	83		107.7%	NA	—	NA	加州LCFSでは単収を想定せず。	83	107.7%						
	65		84.3%	—	—	—	65	84.3%							
	65		84.3%	17.2	100%	17.2	82	106.6%							
	65		84.3%	140.9	100%	140.9	206	267.1%							
	63		81.7%	NA	100%	NA	EU指令では、域内の単収のみを想	63	81.7%						
	67		86.9%	—	—	—	67	86.9%							
	67		86.9%	17.1	100%	17.1	84	109.1%							
	67		86.9%	73.5	100%	73.5	141	182.2%							
	67		86.9%	NA	—	NA	EU指令では、域内の単収のみを想	67	86.9%						
	菜種油		カナダ	農地	アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	39	50.8%	—	—	—	39	50.8%	
								41	52.7%	—	—	—	41	52.7%	
								34	44.1%	—	—	—	34	44.1%	
		35						45.8%	—	—	—	35	45.8%		
		39						50.8%	-604.4	100%	-604.4	-565	-733.1%		
		41						52.7%	-604.4	100%	-604.4	-564	-731.3%		
		34		44.1%	-604.4	0.0	0.0	34	44.1%						
		35		45.8%	-604.4	79%	-480.5	-445	-577.4%						
		39		50.8%	207.1	100%	207.1	246	319.5%						
		41		52.7%	207.1	100%	207.1	248	321.3%						
		34		44.1%	207.1	79%	164.6	199	257.6%						
		35		45.8%	207.1	79%	164.6	200	259.3%						
		フィリピン	農地	アロケ無し	英国RTFO	原料輸入	BDF輸入	39	50.8%	—	—	—	39	50.8%	
							油脂輸入	41	52.7%	—	—	—	41	52.7%	
							BDF輸入	34	44.1%	—	—	—	34	44.1%	
							油脂輸入	35	45.8%	—	—	—	35	45.8%	
							BDF輸入	39	50.8%	-604.4	100%	-604.4	-565	-733.1%	
							油脂輸入	41	52.7%	-604.4	100%	-604.4	-564	-731.3%	
			BDF輸入	34	44.1%	-604.4	0.0	0.0	34	44.1%					
			油脂輸入	35	45.8%	-604.4	79%	-480.5	-445	-577.4%					
			BDF輸入	39	50.8%	207.1	100%	207.1	246	319.5%					
			油脂輸入	41	52.7%	207.1	100%	207.1	248	321.3%					
			BDF輸入	34	44.1%	207.1	79%	164.6	199	257.6%					
			油脂輸入	35	45.8%	207.1	79%	164.6	200	259.3%					

※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

表 III-3-87 各種バイオ燃料の GHG 排出量評価結果 総括表(7/8)

バイオ燃料	原料	国	変化する土地利用形態	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	前処理		その他前処理	排出量 [gCO2/MJ]	化石燃料比	排出量 [gCO2/MJ]	原料増培アロケーション比率	シフト後排出量 [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	データ原典											
BHD	ジャトロファ	インドネシア	農地	アロケ無し	英国RTFO	BDF輸入	22	29.1%	—	—	—	—	22	29.1%			
						油脂輸入	23	30.0%	—	—	—	—	23	30.0%			
			草地			BDF輸入	22	29.1%	-175.2	100%	-175.2	-153	-198.2%				
						油脂輸入	23	30.0%	-175.2	100%	-175.2	-152	-197.3%				
			森林			BDF輸入	22	29.1%	1937.8	100%	1937.8	1,960	2542.4%				
						油脂輸入	23	30.0%	1937.8	100%	1937.8	1,961	2543.3%				
			農地			BDF輸入	24	30.6%	—	—	—	24	30.6%				
						油脂輸入	22	28.7%	—	—	—	22	28.7%				
			草地			BDF輸入	24	30.6%	-175.2	100%	-175.2	-152	-196.6%				
						油脂輸入	22	28.7%	-175.2	100%	-175.2	-153	-198.6%				
		森林	BDF輸入			24	30.6%	1937.8	100%	1937.8	1,961	2544.0%					
			油脂輸入			22	28.7%	1937.8	100%	1937.8	1,960	2542.0%					
		ミャンマー	農地			BDF輸入	22	28.1%	—	—	—	22	28.1%				
						油脂輸入	24	30.7%	—	—	—	24	30.7%				
			草地			BDF輸入	22	28.1%	-89.5	100%	-89.5	-68	-87.9%				
						油脂輸入	24	30.7%	-89.5	100%	-89.5	-66	-85.3%				
			森林			BDF輸入	22	28.1%	1071.2	100%	1071.2	1,093	1417.5%				
						油脂輸入	24	30.7%	1071.2	100%	1071.2	1,095	1420.1%				
		BTL	林地残材			日本	アロケ無し	英国RTFO	国産	14	18.2%	—	100%	—	—	14	18.2%
									推計値	16	20.8%	—	100%	—	—	16	20.8%
推計値	76			98.0%	—				100%	—	—	76	98.0%				
豪州	推計値			10	13.3%				—	100%	—	10	13.3%				
	推計値			12	15.4%				—	100%	—	12	15.4%				
ベトナム	推計値			91	117.7%				—	100%	—	91	117.7%				
	推計値			8	10.5%				—	100%	—	8	10.5%				
カナダ	推計値			10	12.4%				—	100%	—	10	12.4%				
	推計値			79	102.3%				—	100%	—	79	102.3%				
豪州	推計値			14	18.3%				—	100%	—	14	18.3%				
	推計値			17	21.5%	—			100%	—	17	21.5%					
ベトナム	推計値			79	101.8%	—			100%	—	79	101.8%					
	推計値			27	35.4%	—			100%	—	27	35.4%					
カナダ	推計値			33	42.5%	—			100%	—	33	42.5%					
	推計値			82	106.1%	—			100%	—	82	106.1%					
豪州	推計値			15	19.5%	—			100%	—	15	19.5%					
	推計値			18	23.5%	—			100%	—	18	23.5%					
ベトナム	推計値			75	96.7%	—			100%	—	75	96.7%					
	推計値			29	37.9%	—			100%	—	29	37.9%					
カナダ	推計値			35	45.6%	—			100%	—	35	45.6%					
	推計値		83	107.6%	—	100%	—	83	107.6%								
早生広葉樹	ブラジル		アロケ無し	英国RTFO	BTL輸入	12	15.2%	-84.1	100%	-84.1	-72	-93.8%					
					チップ輸入	36	46.2%	-84.1	100%	-84.1	-48	-62.8%					
					BTL輸入	12	15.2%	235.8	100%	235.8	248	321.1%					
					チップ輸入	36	46.2%	235.8	100%	235.8	271	352.1%					
					BTL輸入	12	15.2%	0.0	100%	0.0	12	15.2%					
					チップ輸入	36	46.2%	0.0	100%	0.0	36	46.2%					
					BTL輸入	8	10.0%	-9.9	100%	-9.9	-2	-2.9%					
					チップ輸入	18	23.2%	-9.9	100%	-9.9	8	10.3%					
					BTL輸入	8	10.0%	46.3	100%	46.3	54	70.1%					
					チップ輸入	18	23.2%	46.3	100%	46.3	64	83.2%					
	BTL輸入				8	10.0%	0.0	100%	0.0	8	10.0%						
	チップ輸入				18	23.2%	0.0	100%	0.0	18	23.2%						
	BTL輸入				6	7.7%	-94.2	100%	-94.2	-88	-114.5%						
	チップ輸入				10	12.5%	-94.2	100%	-94.2	-85	-109.7%						
	BTL輸入				8	7.7%	203.9	100%	203.9	210	272.1%						
	チップ輸入				10	12.5%	203.9	100%	203.9	214	277.0%						
	BTL輸入				6	7.7%	0.0	100%	0.0	6	7.7%						
	チップ輸入				10	12.5%	0.0	100%	0.0	10	12.5%						

※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

表 III-3-87 各種バイオ燃料の GHG 排出量評価結果 総括表(8/8)

バイオ燃料	原料	国	炭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	
				前提		排出量 [gCO ₂ /MJ]	化石 燃料比	排出量 [gCO ₂ /MJ]	原料栽培ア ロケーション比 率	シモン後排 出量 [gCO ₂ /MJ]	備考	排出量合計 [gCO ₂ /MJ]	化石燃料 比		
				燃料製造プラントデータ										その他前提	
				データ種別	データ源泉										
ブタノール	サトウキビ(単年生)	ブラジル	農地	アロケ無し		28	34.4%	—	—	—	28	34.4%			
				プロセス分化		27	33.3%	—	—	—	27	33.3%			
				代替法		3	3.5%	—	—	—	3	3.5%			
				熱量按分法		27	32.6%	—	—	—	27	32.6%			
				価格按分法		26	32.1%	—	—	—	26	32.1%			
				アロケ無し		28	34.4%	47.3	100%	47.3	75	92.3%			
				プロセス分化		27	33.3%	47.3	100%	47.3	75	91.2%			
		草地	代替法		3	3.5%	47.3	100%	47.3	50	61.4%				
			熱量按分法		27	32.6%	47.3	96%	45.6	72	88.4%				
			価格按分法		26	32.1%	47.3	89%	42.0	68	83.5%				
			アロケ無し		28	34.4%	309.5	100%	309.5	338	413.2%				
			プロセス分化		27	33.3%	309.5	100%	309.5	337	412.1%				
			代替法		3	3.5%	309.5	100%	309.5	312	382.4%				
			熱量按分法		27	32.6%	309.5	96%	298.4	325	397.9%				
	価格按分法		26	32.1%	309.5	89%	275.1	301	368.8%						
	サトウキビ(多年生)	ブラジル	農地	アロケ無し		28	34.4%	—	—	—	28	34.4%			
				プロセス分化		27	33.3%	—	—	—	27	33.3%			
				代替法		3	3.5%	—	—	—	3	3.5%			
				熱量按分法		27	32.6%	—	—	—	27	32.6%			
				価格按分法		26	32.1%	—	—	—	26	32.1%			
				アロケ無し		28	34.4%	-8.1	100%	-8.1	20	24.5%			
				プロセス分化		27	33.3%	-8.1	100%	-8.1	19	23.4%			
		草地	代替法		3	3.5%	-8.1	100%	-8.1	-5	-6.4%				
			熱量按分法		27	32.6%	-8.1	96%	-7.8	19	23.0%				
			価格按分法		26	32.1%	-8.1	89%	-7.2	19	23.3%				
			アロケ無し		28	34.4%	254.0	100%	254.0	282	345.3%				
			プロセス分化		27	33.3%	254.0	100%	254.0	281	344.2%				
			代替法		3	3.5%	254.0	100%	254.0	257	314.4%				
熱量按分法				27	32.6%	254.0	96%	244.9	272	332.3%					
価格按分法		26	32.1%	254.0	89%	225.8	252	308.4%							

※ 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

(4)関連する国際動向に関する情報収集

1) GBEP

GBEP (Global Bioenergy Partnership, 国際バイオマスエネルギーパートナーシップ) は、2005年7月のグレンイーグルスサミットでの提案を受け、各国首脳がバイオマスエネルギーの持続的発展を図ることを目的として、2006年5月11日に設立された。2011年3月時点での参加国は、アルゼンチン、ブラジル、カナダ、中国、コロンビア、フィジー、フランス、ドイツ、ガーナ、イタリア、日本、モリタニア、メキシコ、オランダ、パラグアイ、ロシア、スペイン、スーダン、スウェーデン、スイス、タンザニア、イギリス、アメリカの23カ国および、欧州委員会、国際連合食糧農業機関(FAO)、米州開発銀行(Inter-American Development Bank, IDB)、国際エネルギー機関(IEA)、国連貿易開発会議(UNCTAD)、国連経済社会局(UN/DESA)、国連開発計画(UNDP)、国連環境計画(UNEP)、国連工業開発機関(UNIDO)、国連財団、世界再生可能エネルギー協議会(World Council for Renewable Energy, WCRE)、欧州バイオマス産業連合(European Biomass Industry Association, EUBIA)の12機関で構成される他、オブザーバーとして22カ国、10機関が含まれている。

GBEPでは意思決定を行う「運営委員会」の下に、「専門家会合」の他、2007年には「温室効果ガス方法論タスクフォース」、2008年には「持続可能性タスクフォース」を設置して、バイオマスの持続可能性に関する検討が進められている。

GBEPのこれら会合に出席することにより、同会議でのバイオマスの持続的発展に関する国際議論に関する情報収集を行った

①温室効果ガス方法論タスクフォース

温室効果ガス方法論タスクフォース(Taskforce on GHG Methodologies)は、米国および国連財団の主導により、バイオマスエネルギーのライフサイクル GHG 排出量評価のための統一的な方法論を示すことを目的に2007年10月に設立された。このタスクフォースの成果として、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(The Global Bioenergy Partnership Common Methodological Framework for GHG Lifecycle Analysis of Bioenergy)のバージョン0が2009年6月に、バージョン1が2011年1月に公開された。これはバイオエネルギーのライフサイクル GHG 評価を算出する際に留意すべき事項のチェックリストであり、様々なライフサイクル GHG 評価結果の比較を容易にするためのものである。現在、GBEP ホームページには共通枠組の英語およびスペイン語版が公開されているが、産業技術総合研究所担当者らは、国内担当省庁とともに共通枠組バージョン1の和訳を行った。この和訳はGBEP事務局に提出され、GBEP ホームページで公開されている。

②持続性タスクフォース

持続性タスクフォース(Taskforce on Sustainability)は、バイオエネルギーの持続性に関する意義のある・実用的・科学的・自発的な基準(criteria)と指標(indicators)の検討が中心に行われている。これらの基準と指標は、多国間貿易義務に準じたバイオエネルギーの持続的な開発を行うための意志決定をするために必要な国内での分析方針を提供することを目的として検討が進められている。このタスクフォースは2008年6月の設立以降、イギリスによって主導されてきたが、2010年11月以降はスウェーデンが議長を務めている。

各国や各機関から提出された案に基づき、環境(environmental)、社会(social)、経済とエネルギーセキュリティー(economic and energy security)の 3 つの側面(basket)それぞれについて、GBEP バイオエネルギーの持続性基準と指標(the GBEP Sustainability Criteria and Indicators for Bioenergy)が 2010 年 7 月に事務局より取りまとめられた。現在はこの事務局案に基づき、加盟各国・機関の合意を得るべく、基準と指標の取捨選択および、表現の修正作業が行われている。

(5)目標の達成度

本事業では、技術水準と値の位置づけを明確にした上で、データを整理することを目標とする。
 本事業における目標の達成度は下表のとおりである。

表Ⅲ-3-88 中間目標の達成状況

	H21	H22
中間目標		
● 本事業では、技術水準と値の位置づけを明確にした上で、データを整理することを目標とする。		
・ ライフサイクルCO ₂ 評価		
① 国内外の動向を総合的に調査・解析・整理	→	
② 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	→	
③ 選定した事項について基準、評価指針、評価方法等を検討	→	
	(短期)	(中長期)

表Ⅲ-3-89 中間目標の達成度

中間目標（平成21・22年度）		主な役割分担		達成度	今後の課題
		★主担当、☆副担当			
		三菱総研	産総研		
a. 当面のバイオ燃料導入形態を想定したデフォルト値算定	a-1. 当面想定されるバイオ燃料導入形態の明確化	★	—	◎	
	a-2. デフォルト値の算出	★	☆	◎	
	a-3. 産学官の意見を反映した検証	★	☆	○	更なるデータ収集
b. 中長期的に導入可能なバイオ燃料のデフォルト値算定	b-1. 導入可能なバイオ燃料の抽出	★	☆	○	今後の技術開発動向に着目し、対象を充実化
	b-2. デフォルト値の算出	☆	★	◎	
	b-3. デフォルト値精緻化に向けた検討	★	☆	○	今後の技術開発動向に着目し、対象を充実化
	b-4. 産学官の意見を反映した検証	★	☆	○	
c. 国際会議等における情報収集、整合性調整		☆	★	◎	更なる情報収集

◎大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

(6)成果の意義及び成果の普及

2-3-11 で示した本事業の研究内容に基づく成果の意義は下表の通りである。

1)「バイオマスエネルギー関連事業成果報告会」や、4)「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」により、関連事業者、関連機関に対し、バイオ燃料持続可能性基準に係る各種の情報提供を行い、広く社会に対する普及啓発に貢献した。

また、本事業の検討成果は2)「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」にて報告され、主要なバイオ燃料の既定値として、同検討会報告書に反映された。さらには、3)「エネルギー供給構造高度化法成立・同判断基準策定」に示す通り、本研究にて評価した結果が「エネルギー供給構造高度化法」判断基準における既定値として採用された。

その結果、輸送用液体バイオ燃料使用による温室効果ガス(GHG)削減効果の定量評価について、我が国共通のスタンダードを作成した。

なお、同判断基準では、評価方法(算定式)についても記載されており、具体的な方法論の普及にも貢献している。

表 III-3-90 本事業の成果の意義及び普及

1) 2011年2月「バイオマスエネルギー関連事業成果報告会(NEDO)」
2011年2月9日ビックサイトにおいて「各種バイオマス燃料における温室効果ガス(GHG)削減効果等の定量的評価」について、三菱総合研究所 井上貴至主席研究員が口頭発表を行う。
2) 2010年3月「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」
2010年3月10日、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が行われた。この検討会に対し、本事業で評価した温室効果ガス(GHG)排出量を報告。この結果、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。
3) 2009年7月「エネルギー供給構造高度化法」成立、2010年11月に同判断基準を策定
本研究にて評価した結果が、「エネルギー供給構造高度化法」の判断基準における既定値として採用される。
4) 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
日本語版和訳を作成。GBEP ホームページにて公開。

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

セルロース系エタノールを実用化するにあたっては、本事業における研究開発の実施だけに留まらず、本事業終了後も含めて官民で協力して取り組んで行くことが重要である。

セルロース系エタノールの実用化に向けて、2015年までの技術開発段階、2020年までのスケールアップ段階、2020年以降の実用化・生産拡大段階のステージを想定した取り組みがなされているところである。本事業では、2015年の技術確立に向けて、多収量草本植物及び早生広葉樹のそれぞれについて、バイオマスの栽培からエタノール製造に至る一貫生産システムのベースとなる技術を2013年度までに開発する。2014年以降においては、本事業での成果を中心に、大規模実証等による量産技術等の開発を進め、その後は民間企業主体で試験的商用生産や商用生産に向けた用地確保やプラント建設の準備が進められていくことを見込んでいる。

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テーマについても、それぞれの中心となる民間企業の事業化に対する意志は明確であり、具体的な事業化シナリオに基づいた研究開発の推進、事業化についての検討もなされている。

今後は、本事業での研究開発成果を踏まえた上で、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継続的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. バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発

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実用化の意義

最近のバイオエタノールを取り巻く状況として、エネルギー供給構造高度化法の判断基準によって、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により、以下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虞がある。

2017年の原油換算 50 万 kL は、それ以降も継続的に導入することが義務化されたものであり、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①、②の課題解決に繋げることが必要となっている。

セルロース系エタノール一貫生産システム/実用化の意義

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	38	65	75	88
原油換算	2.1	3.8	4.4	50
ETBE換算量	8.4	152	17.5	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国に頼ることの生産面(季節変動)、価格面(砂糖相場)において不安定。

**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

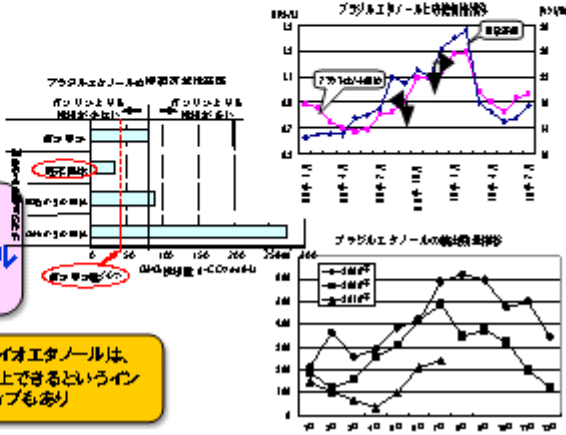


図 IV-1-1 セルロース系エタノール一貫生産システム/実用化の意義

2-1-2. セルロース系エタノール一貫生産システム実用化へのシナリオ

1) スケジュール

本プロジェクトでは、2012～2013年において原料生産の技術開発に関しては、ヘクタール規模での実証栽培試験を実施し、ベンチ実証装置においては本格的な実証運転により実施する予定である。これらの成果に基づきプロジェクト終了後は、2020年の20万kL規模の商業機生産開始に向けて、パイロット試験および実証機試験と段階的なスケールアップをすることにより、商業技術へブラッシュアップしてゆく必要があり、一貫生産プロセスの実用化のためには欠かせないプロセスである。

一方、栽培候補地については、2011年度から本プロジェクトと並行して、海外栽培候補地の事業性の調査を開始する。その後、栽培候補地での具体的な栽培システム構築を進め、エタノール製造技術の実証機試験が終了した時点では、本格的な商業化に向けた原料植物の植え付けを開始し、2020年までにエタノール商業装置完成と同時に原料の供給を行えるようにする計画である。

2) 栽培候補地の選定

○国内

耕作放棄地の大規模事例を調査したが、地権者の問題もあり利用可能な一か所あたりの面積は数十haほどであり、本プロジェクトで想定している20万kL/年のエタノール生産に必要な栽培面積(1.2万ha)には遠く及ばない。また、比較的大面積の確保が期待できる放棄牧草地事例も調査した。北海道においては、使用されていない数十～数百ha規模が点在していることが分かったが、斜度が大きく収穫運搬コストが高くなるなど、低コストのバイオ燃料製造には課題が残ることが判明している。

○海外

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。今後は抽出された地域を GIS の土地被覆データより、希望する土地面積を確保できる可能性があるかを確認し、その他治安情報、ハザードマップなどの情報、及び想定する事業モデルから具体的な場所を選定、現地調査を実施してゆく予定である。現地調査では事業検討するための諸情報を集め、具体的なケーススタディを実施する。その結果をまた国・地域の絞り込みの参考情報としてフィードバックしながら、より精度を高めていくことを考えている。(図 IV-1-3、4)

海外の候補地、とりわけ熱帯地域は、日照、気温、降雨の点で植物生産にとって有利である。本プロジェクトにおいて、熱帯地域の例として、東南アジアに焦点を当て特に栽培試験を実施中のインドネシアにおいて、調査を実施している。インドネシアには、低生産性の農地が存在し、そのほとんどが、キャッサバ等を粗放的に栽培している。このような土地にネピアグラス等のエネルギー植物を栽培する原料供給のスキームを構築することを目指している。また、副次的な効果として、ネピアグラスを長期間栽培した土地では、明らかに土壌中のカーボン蓄積量が増えているデータもあり、養分を収奪された低生産性の農地を肥沃な農地へと変換することも可能である。さらに、インドネシアは、多数の露天掘りの炭鉱が存在している。採掘を終了した後は、埋戻してリハビリテーションが必要である。このような土地を有効活用することで、土地のリハビリテーションと並行してエネルギー生産が可能で一石二鳥のモデル構築も可能と考えている。(図 IV-1-5)

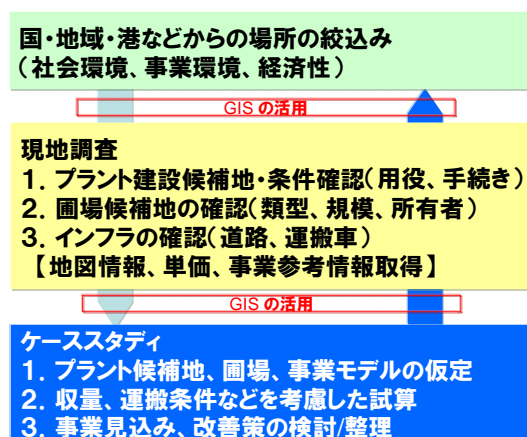


図 IV-1-2 候補地選定フロー案

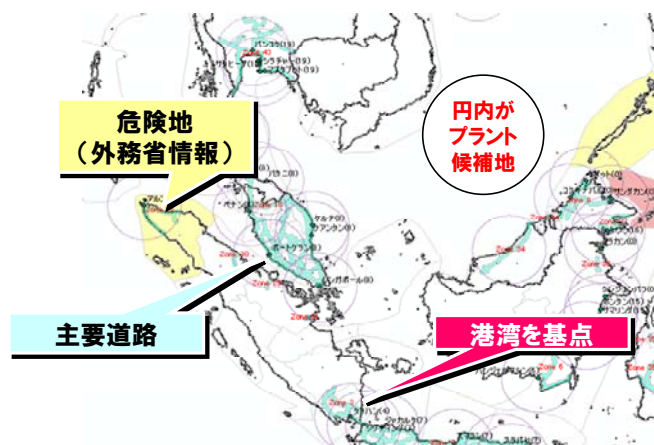


図 IV-1-3 港を拠点とした抽出結果

スマトラ島を調査、不良土壌（低生産農地・炭鉱跡地）の存在を確認
 【課題】不良土壌における持続的な栽培法の確立、候補地選定手法の改良



図 IV-1-4 インドネシアの栽培候補地調査

2-1-3. 波及効果

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、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。

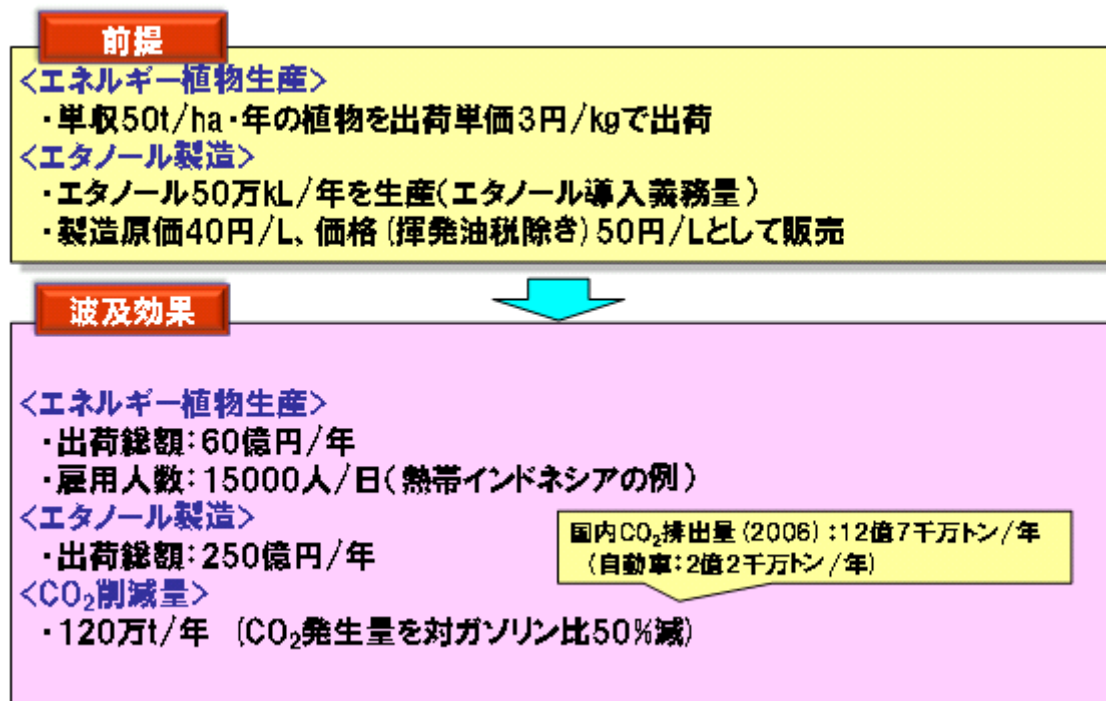


図 IV-1-5 市場に与える波及効果

さらに本プロジェクトでは、原料栽培技術として多年生の多収量植物の栽培技術を確立することができる。この技術は、ファイトレメディエーション(植物による浄化)に寄与できるもので、具体的には油汚染土壌の修復、貧栄養土壌のカーボン蓄積を増加させることにより、優良農地を拡大するなどの効果が期待できる。

また、アンモニア処理-酵素糖化技術が完成すれば、低コストでかつ大量の糖を得ることができる。糖を出発原料として、化学品を得るバイオリファイナリー、ファインケミストリーにとって大きな波及効果が期待されるものである

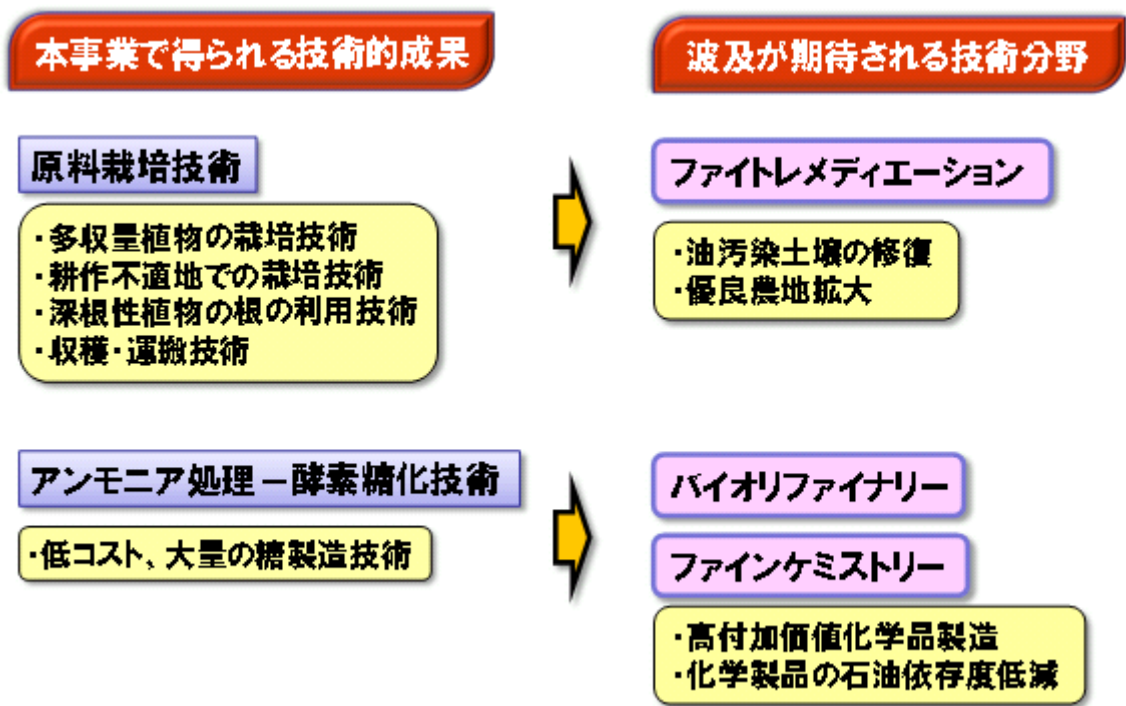


図 IV-1-6 他の技術分野への波及効果

表 IV-1-1 特許出願リスト

番号	出願日	受付番号（出願番号）	出願に係る特許等の標題	出願人
1	2009年10月20日	特願2009-241693	エタノールの製造方法	新日本石油・秋田県
2	2010年2月12日	特願2010-029016	糖の製造方法、エタノールの製造方法、及び乳酸の製造方法	東京大学（五十嵐圭日子、篠島正浩、和田昌久）
3	2010年9月1日	特願2010-195977	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
4	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造方法	篠島正浩、五十嵐圭日子、和田昌久、JX日鉱日石エネルギー
5	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

表 IV-1-2 論文リスト

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
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 ¹ and Shigenori Morita ² (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 ¹ , Fumitaka Shiotsu ² , Tetsuya Doi ² , Shigenori Morita ² (¹ National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region. ² The University of Tokyo.)
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, Yotoma Natsumi Iizuka, Toshihiko Yamada (Hokkaido University)

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

本プロジェクトは、海外植林によって得る木質バイオマス、特に早生樹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供給することによる事業化を目指している。

ここまでの基盤技術開発によって、酵素の添加率、回収再利用および負荷動力が少なく、収率の高い前処理が可能になったことによって、エタノール 1L の製造コストを削減できた。今後パイロットプラントやスケールアップを通じて、電力や蒸気などの消費量やエネルギー収支を明らかにして、より高い精度のコストを明らかにしていく。

今後本プロジェクトの終了時までには様々な対策を施す計画であるが、すべてがうまくいった場合には 40 円/L(原油価格が 1 バレル 50 ドルの場合)にできると推計している。

事業性はエタノールの販売価格によって左右されるため、将来の価格見通しがついて事業性ありと判断されれば、事業化に向けて次のステップに進める。

原料となる早生樹の調達には事業性ありと判断されてから植林地の確保、実際に植栽、収穫まで時間を要するが、既に植林が行われている東南アジア、オーストラリアを候補地とする場合、既存の植林地のパルプ製造に不適な生長不良木や林地残材など未利用資源の原料化により大規模生産の実現の時期を早めることは可能であると考えられる。最初は既存の林地残材を原料とする事業が現実的である。

林地残材の発生量は木材チップの収穫量の約半分であり、大規模植林地であれば林地残材だけでも数万 kL のエタノール生産が可能である場合がある。

木材チップ用植林の林地残材を用いて年間 10 万 kL のエタノールを製造できる規模の植林地も存在するため、ここを中心にバイオエタノールとパルプを併産する複合プラント建設により、事業性を高める検討も行うことができる。

2-2-2. 事業化のシナリオ

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であると考えられる。

(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 20 万 kL を想定するが、この規模の糖化発酵プロセスプラントの設計、建設は、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 10 倍ごとにスケールアップでの実証試験を行い、問題抽出と改良を重ねることが現実的である。本プロジェクトの次のステップとしては年産 1 万 kL 程度の規模(パイロットプラントの約 20 倍)のプラントが適当と考えている。このプラントは 2014 年には建設を開始、2015 年に完成を目指し、2015 年から 17 年にかけて実証試験を行えるように進めたい。そのためには準備を本プロジェクトの最終年度には開始できるように、本プロジェクトを極力前倒しで進めたい。建設候補地としては実際に事業を行うと想定される東南アジアまたはオーストラリアが考えられる。またこの規模のプラントの場合、前処理設備として国内のパルプ工場の遊休設備を利用することも含めて検討する。

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、確立した技術を利用し

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。製造したエタノールは石油会社に提供し、ガソリン代替燃料としての性能を確認したい。

(2)年産 10 万 kL 規模の実証プラント

次の第二段階のスケールアップとして年産 10 万 kL 規模の大規模実証試験を想定する。このプラントの設計及び準備はプロジェクト中からシミュレーションを開始し、遅くとも本プロジェクト終了直後 2014 年度から具体的な準備を開始、2017 年度には設備を建設、2018 年度から実証試験を行い、年間 10 万 kL のエタノールの供給を開始する。このプラントの建設候補地は実証試験に必要な原料の確保が可能な場所が必要であり、候補地としては東南アジアまたはオーストラリアなどが考えられる。10 万 kL のエタノール製造に必要な原料の確保を新規植林で行うためには早期に植林を開始する必要がある、その為の土地の確保など時間を要する可能性がある。原料の調達が新規植林のみでは困難な場合には、パルプ用植林の林地残材や他の農産廃棄物などを利用することも検討する。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。

(3)事業化

年産 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 年に実現する事を目標として、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準備を本プロジェクト実施期間中から開始する。事業化のハードルを下げるために、植林資源だけではなく、農産廃棄物、工芸作物廃棄物などの利用も含めて工場の立地、事業形態のあり方を検討する。

(4)波及効果

政府は化石資源から再生可能資源への転換のため、2017 年には 50 万 kL のガソリンに相当するエタノール 85 万 kL を使用することを義務づけ、2030 年時点で最大限に再生可能資源を利用することとしている。今回開発する研究成果により 2017 年に 10 万 kL、2020 年には 20 万 kL のエタノールの供給が可能となることを目指す。

2020 年以降の事業拡大に向けて、パルプ材用植林と併用して東南アジアに集約的な大規模植林を行うことで、国内へのさらに低コストなエタノールの提供が可能となると考えられる。事業拡大にあたっては、早生樹だけでなく、ヤシ、天然ゴムなどの工芸作物などの植林等の併用により、これらの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。

エネルギーイノベーションプログラム基本計画

平成22年4月1日
産業技術環境局
資源エネルギー庁

1. 目的

「新成長戦略（基本方針）」（2009年12月閣議決定）に記載されている我が国の強みを活かした「課題解決型国家」の実現に向け、世界をリードする「グリーンイノベーション」などを迅速に推進し、課題解決とともに新たな成長の実現を目指す。

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-I. 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-II. 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-III. 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-IV. 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CO₂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-V. 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

- 「新成長戦略（基本方針）」（２００９年１２月閣議決定）
 - 「（１）グリーンイノベーションによる環境・エネルギー大国戦略」及び「（５）科学・技術戦略立国戦略」に対応。
- 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-I. 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-II. 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-III. 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-IV. 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-V. 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-I. 総合エネルギー効率の向上

4-I-i. 共通

(1) 省エネルギー革新技術開発事業（運営費交付金）

①概要

テーマ公募型事業として、「挑戦研究」、「先導研究」、「実用化開発」及び「実証研究」の4つのフェーズにおいて、革新的な省エネルギー技術の研究開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2020年の温室効果ガス排出削減目標の達成に資するため、「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」を踏まえつつ、大幅な省エネルギー効果を発揮する革新的な省エネルギー技術について研究開発・実用化を推進する。

③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）

①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。

②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。

③研究開発期間

2000年度～

(3) 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-III-i 参照）

4－Ⅱ．運輸部門の燃料多様化

4－Ⅱ－ⅰ．共通

- (1) 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－Ⅲ－ⅰ参照）

4－Ⅱ－ⅱ．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－Ⅲ－ⅱ参照）
- (2) E3地域流通スタンダードモデル創生事業（運営費交付金）（4－Ⅲ－ⅱ参照）
- (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（運営費交付金）（4－Ⅲ－ⅱ参照）
- (4) セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業（運営費交付金）（4－Ⅲ－ⅱ参照）

4-Ⅲ. 新エネルギー等の開発・導入促進

4-Ⅲ-Ⅳ. バイオマス・廃棄物・地熱等

(3) セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業（運営費交付金）

① 概要

実用化レベルのセルロース系バイオエタノール生産を目指し、資源作物の栽培から革新的技術を用いたエタノール製造に至る一貫生産システムの開発を行う。
また、バイオ燃料の持続可能性の基準等について調査する。

② 技術目標及び達成時期

2015年から2020年頃を目途に、製造コスト40円/Lを達成するための技術開発を行う。

③ 研究開発期間

2009年度～2013年度

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-I. 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-II. 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-III. 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-IV. 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-V. 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。
- (7) 平成22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21・03・26産局第1号）は廃止。

(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)
「バイオマスエネルギー技術研究開発」基本計画

新エネルギー部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

本研究開発は「エネルギーイノベーションプログラム」及び「環境安心イノベーションプログラム」の一環として実施する。

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

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

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

(2) 研究開発の目標

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

なお、個々の研究開発項目の目標は別紙「研究開発計画」に定める。

(3) 研究開発の内容

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

①バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発(制度)〔委託事業、共同研究事業(負担率:

1 / 2、2 / 3))

②セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業〔委託事業〕

③戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業〔委託事業、共同研究事業（助成率：2 / 3）〕

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. 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」

6. 基本計画の改訂履歴

(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、研究開発項目「E3地域流通スタンダードモデル創成事業」が平成23年3月31日にNEDOの事業としては終了することに伴う改訂。

(本研究開発項目は、平成19年度から平成23年度までNEDOが実施する事業内容として策定されたが、業務見直しにより平成22年度末でNEDOの事業としては終了することとなった。このため、本研究開発項目は平成22年度末で廃止し、平成23年度以降の内容についてはNEDOは実施しない。)

「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を改訂。

研究開発項目②「セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業」

[研究開発の目的]

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

本研究開発は、「バイオ燃料技術革新計画」における技術革新ケース（2015～2020年においてバイオエタノール製造コスト40円/L、年産10～20万kL規模、CO₂削減率5割以上（対ガソリン）、化石エネルギー収支2^{*1}以上）の実現に向けて、食料と競合しない草本系又は木質系バイオマス原料からのバイオエタノール生産について、大規模安定供給が可能なセルロース系目的生産バイオマス^{*2}の栽培からエタノール製造プロセスまでの一貫生産システムを構築し、研究開発を実施することにより環境負荷・経済性等を評価することを目的とする。また、バイオ燃料の持続可能性の検討については、G8各国を中心に、各種国際的なフォーラムでの検討が進められている状況である。こうした動向を十分に踏まえ、我が国におけるバイオ燃料の持続可能な導入のあり方について検討することも目的とする。

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

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

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

[研究開発の目標]

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

2013年度（平成25年度）までにセルロース系目的生産バイオマスの栽培からエタノール製造までの一貫生産システムについて、基盤技術を確立する。また、バイオ燃料の持続可能性について、基準、評価指標、評価方法等を取りまとめる。更に、本事業において開発したバ

イオエタノール一貫生産システムのLCA評価(温室効果ガス排出削減効果、エネルギー収支)及び社会・環境影響評価も行う。

[研究開発の内容]

上記目標を達成するために、以下の研究開発について実施する。

[委託事業]

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

(イ) 「バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発」

1. 研究開発の必要性

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

2. 研究開発の具体的内容

(1) セルロース系目的生産バイオマスに関する研究開発

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

(2) エタノール製造システムの開発

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

(3) 一貫生産システムの最適化及び評価

セルロース系目的生産バイオマスの栽培からエタノール製造プロセスまでの一貫生産システムについて、総合的なシステムの最適化を行い、環境負荷・経済性等について評価する。

3. 達成目標

(1) 中間目標（平成23年度）

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

(2) 最終目標（平成25年度）

セルロース系目的生産バイオマスの栽培からエタノール製造プロセスまでを一貫したバイオエタノール生産システムについて、基盤技術を確立する。なお、本事業で確立した基盤技術の達成度合いは、技術革新ケースにおける開発ベンチマーク（2015年）※を参照しつつ評価する。

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

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

(ロ) 「バイオ燃料の持続可能性に関する研究」

1. 研究開発の必要性

バイオ燃料の利用や開発は食料との競合問題、森林破壊等の環境問題を引き起こす可能性があり、こうした影響を引き起こすことなく持続可能な利用や開発を図ることが重要である。また、バイオ燃料の持続可能性の検討については、G 8 各国を中心に、各種国際的なフォーラムでの検討が進められている状況である。

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

2. 研究開発の具体的内容

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

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

本研究開発は国民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、委託として実施する。

* 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。

事前評価書

		作成日	平成20年12月25日
1. 事業名称	セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業		
2. 推進部署名	新エネルギー技術開発部		
3. 事業概要	<p>(1) 概要：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（草本系又は木質系）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を構築し、研究開発を実施し、環境負荷・経済性等も評価する。また、バイオ燃料の持続可能性についても調査研究を実施する。</p> <p>(2) 事業規模：総事業費約71.3億円（予定）</p> <p>(3) 事業期間：平成21年度～25年度（5年間）（予定）</p>		
4. 評価の検討状況	<p>(1) 事業の位置付け・必要性</p> <p><位置付け></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、CO₂削減率5割以上（対ガソリン）、化石エネルギー収支2以上）を実現するために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><必要性></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> <p>(2) 研究開発目標の妥当性</p> <p>本事業では、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、バイオ燃料の持続可能性についても調査研究を行い、基準、評価指標、評価方法等について検討すること目標としている。このことは、バイオ燃料技術革新計画における技術革新ケースを実現するために必要な基盤技術を確立し、バイオエタノールの供給安定性・経済性を確保すると共に、持続可能な生産・利用</p>		

を図る上でも適切な目標設定である。

(3) 研究開発マネジメント

2015～2020年をターゲットとした比較的短期間で実用化を目指す研究開発であるため、早い段階から事業化を意識した研究開発体制を取ることが望ましい。そのため、大学、研究機関のみによる研究体制ではなく、事業化を目指した民間企業を主体とする研究体制により、バイオエタノール一貫生産システムの開発を進めることが重要である。

また、評価についても毎年度の事業評価と併せて、平成 22 年度に中間評価、平成 26 年度に事後評価を実施することになっており、必要に応じてプロジェクトの加速・縮小・中止等の見直しが可能で弾力的な対応が計られている。

(4) 研究開発成果

従来のバイオエタノールに関する研究開発では、主に前処理、糖化、発酵、濃縮脱水の各工程の要素技術について研究開発が進められて来た。一方、各要素技術の部分最適化は、消費エネルギーやコストの観点から必ずしも全体最適化とはならない可能性がある。

本事業は、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革新的な生産システムの開発に取り組み、全体システムの評価、最適化を行うものであり、コスト及びエネルギーの最小化が図られ、バイオ燃料が経済的に化石燃料と競合出来るようになることが期待される。また、バイオ燃料の持続可能性について、基準、評価指標、評価方法等について検討することによって、バイオエタノールの持続可能な生産・利用に貢献できる

本事業は、バイオ燃料の持続可能性に配慮した上で、製造コスト40円/Lのバイオエタノール生産方法を確立するものであり、これらにより2015～2020年において事業ベースで数十万k L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。バイオエタノールの生産拡大は、「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k L、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必須であり、そのためには従来行ってきた個々の要素技術の開発による取組のみならず、生産システム全体の最適化までを行うことが不可欠となっている。以上から、本事業は大きな社会的インパクトが期待される事業であり、実施することが妥当である。

(5) 実用化・事業化の見通し

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。

(6) その他特記事項

なし

5. 総合評価

2015～2020年にバイオエタノール製造コスト40円/L、年産10～20万kL規模、CO₂削減率5割以上（対ガソリン）、化石エネルギー収支2以上を目指して、技術競争力及びコスト競争力を備えた技術の開発をプロジェクトとして実施することは意義があり、バイオ燃料技術革新計画の実現に大いに貢献することが期待できる。また、比較的短期間での実用化を目指すため、民間企業単独での実施は困難であり、NEDO技術開発機構が関与し効率的かつ円滑に推進することが必要である。

以上のことから、NEDO技術開発機構が実施する事業として適切であると判断する。

「セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業 技術開発基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成21年1月27日
NEDO技術開発機構
新エネルギー技術開発部

NEDO POST 3において標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。
お寄せいただきましたご意見を検討し、別添の基本計画に反映させていただきました。
みなさまからのご協力を頂き、ありがとうございました。

1. パブリックコメント募集期間

平成20年12月26日～平成21年1月13日

2. パブリックコメント投稿数<有効のもの>

計4件

3. パブリックコメントの内容とそれに対する考え方

ご意見の概要	ご意見に対する考え方	基本計画への反映
全体について		
<p>[意見1]</p> <p>持続可能な社会を構築するためには、CO2排出量を削減できるバイオ燃料の活用は重要な課題である。</p> <p>しかしながら、バイオ燃料は、化石燃料との経済性や食料生産との競合等から普及への問題点が多い。</p> <p>そこで、化石燃料と経済的に競合可能で、食料との競合を回避できるセルロース系エタノールの国産技術開発は、エネルギー安全保障、地球温暖化対策として急務である。</p> <p>民間企業においても、バイオ燃料の研究開発が実施されているが、資金・技術面等の開発リソースに限界があり、原料生産からエタノール製造までの一貫システムを開発することは非常に困難である。一貫システムの開発については、原料の種類（作物の種類・保管状況）とエタノール製造プロセス（前処理～脱水）のマッチングを行うことにより低コスト化を実現する上で、重要な作業である。</p> <p>この事業においては、大学、研究機関だけでなく、民間企業を主体とした研究体制を構築することが予定されており、各事業体の技術的な強みを集結させることにより、高い目標値の実現を目指した一貫システムの研究開発の推進が期待できる。</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>本開発事業の目的に賛同いただき、ありがとうございます。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし</p>

全体について

[意見3]

バイオエタノールは地球温暖化対策、エネルギー多様化の手段として重要であり、特にアメリカ、ブラジルにおいては既に大規模な導入が進められている。我が国では、すでに稲わらなどの農産残渣、建築廃材等からのエタノール製造が検討されているが、未利用バイオマスの有効活用という点で意義が大きいものの、これらの薄く広く点在する資源の利用には経済性、安定供給性の点で課題が多い。

NEDO殿提案のプロジェクトは、これらの課題解決のため、エネルギー植物を安定的に目的生産し、それをを用いて効率的安価にエタノールを製造しようとするものであり、これまでのナショナルプロジェクトには無かった画期的なものである。

アメリカにおいては、多額の資金を投入し国策としてセルロース系エタノール製造の研究開発を推進しつつあり、我が国においても、バイオマス資源ならびに変換技術を持つことは、エネルギーセキュリティの確保の観点で非常に重要であり、積極的に推進すべき施策であると考えます。

ただし1点要望としては、本プロジェクトは、バイオ燃料技術革新計画の目標を達成するべく、食料と競合しない資源を用いて、大規模、低コストな一貫製造プロセスの開発を目指すものであるため、これら全ての要件を満たす研究開発であることを必須要件とすべきと考えます。

すなわち、「セルロース系エタノールの製造技術」は、単一の技術を指すのではない。エネルギー植物生産技術、前処理・糖化技術、発酵技術、濃縮脱水技術や、全体最適化を考えた上での各工程への最適化技術、および各工程を繋ぎ合わせる上で必要な技術等、様々な技術の複合体であり、技術全体としては複雑かつ多様性を持ったものである。

現時点で我が国では、個別企業がそれぞれ製造技術の一部を保有しているに過ぎない。構成する各要素技術を統合し、最適化された一貫技術として完成させるためには、各要素技術を保有する複数の企業が結集し、協同で研究を推進することが必要不可欠である。

本プロジェクトを推進する上で、原料生産からエタノール製造までを、一つの研究グループで一貫して開発することにより、全体最適化による低コスト化を目指すことが最も重要な進め方と考える。このグループの中で、要素技術を有する企業、大学、研究機関が連携することにより、これまで蓄積してきた技術を応用して研究の加速が可能となる。また、企業が強く結集した体制を組み、大学等との連携をより強固なものにするために、集中研究所などの設置が必須であると考えます。

このような基礎検討、各要素技術の統合、全体プロセスの実証と着実な技術開発が必要であり、さらには、石油業界等の事業化を目指す企業の参加により、開発された技術が確実に実用化できるものと考えます。

我が国において、これまで個々に進められてきた研究開発を結集し、食料と競合しないバイオマス生産からバイオエタノール製造までの一貫した開発をオールジャパン体制で進めてゆくことが、欧米に負けない国産技術開発のために必要不可欠である。

本プロジェクトの実現に大きな期待を持っている。

[考え方と対応]

本開発事業の目的に賛同いただきありがとうございます。ご要望についても基本計画と一致しております。

期待にお応えできるプロジェクトを実施していきたいと考えております。

[反映の有無と反映内容]

特になし

全体について		
<p>[意見3]</p> <p>エネルギーセキュリティ確保の観点からバイオエタノールの技術開発は重要であり、食料と競合しない技術を対象としている本件は、日本も含めた世界の食料情勢を考慮した場合に有意義な開発であるといえる。</p> <p>本分野は世界的に見ても注目度は高く、特に米国は国策として大々的に取り組んできており、将来にも「グリーンニューディール政策」の一環として精力的に取り組んでいく公算が高い。</p> <p>冒頭に述べたエネルギーセキュリティの面からはこうした動きに対抗すべく、日本の関係トップ企業が産官学連携として早期事業化を見据えて開発に取り組むことが望まれる。</p> <p>事業化の面からは石油業界、自動車業界の参画、栽培から製造までを一貫して実施できる研究開発体制の整備は不可欠な要素といえるだろう。</p> <p>建設業界としては栽培地に関わる事項で土木技術を活かせる点があると考えられ、事業実現に向けた一助ができうるだろうと思う。</p> <p>研究開発の推進に期待している。</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>本開発事業の目的に賛同いただきありがとうございます。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし</p>
1. 研究開発の目的		
(1) 研究開発の内容		
<p>[意見4]</p> <p>このプロジェクトは、栽培から製造エタノール製造プロセスまでの一貫した革新的な生産システム構築のための研究開発であります。一方、繊維廃棄物（綿）は、年120万トンあると言われています。</p> <p>綿繊維製品は、セルロース成分が94%もあり、日本には繊維産地が地方に点在し、この繊維廃棄物の活用も、プロジェクト対象にしていいただければと思います。</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>本開発事業は、「バイオ燃料技術革新協議会」の有識者のご意見を参考にし、「バイオ燃料技術革新計画」における「技術革新ケース」を実現するための事業であります。</p> <p>したがって、廃棄物系、未活用系のバイオマスは対象外となります。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし</p>

以上