

「バイオマスエネルギー技術研究開発／
セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業」
中間評価報告書（案）概要

目 次

分科会委員名簿	1
プロジェクト概要	2
評価概要（案）	7
評点結果	12

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究評価委員会

「バイオマスエネルギー技術研究開発／

セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業」(中間評価)

分科会委員名簿

(平成23年7月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	やまね つねお 山根 恒夫	中部大学 応用生物学部 環境生物科学科 教授
分科会長 代理	いとう のぶや 伊藤 伸哉	富山県立大学 工学部 生物工学科 教授
委員	かたくら よしお 片倉 啓雄	関西大学 化学生命工学部 生命・生物工学科 教授
	こんどう あきひこ 近藤 昭彦	神戸大学大学院 工学研究科 応用化学専攻 教授
	はすいけ ひろし 蓮池 宏	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 部長
	ほんどう ひろき 本藤 祐樹	横浜国立大学大学院 環境情報研究院 准教授
	やまもと ひろみ 山本 博巳	財団法人 電力中央研究所 社会経済研究所 上席研究員

敬称略、五十音順

プロジェクト概要

事業原簿概要

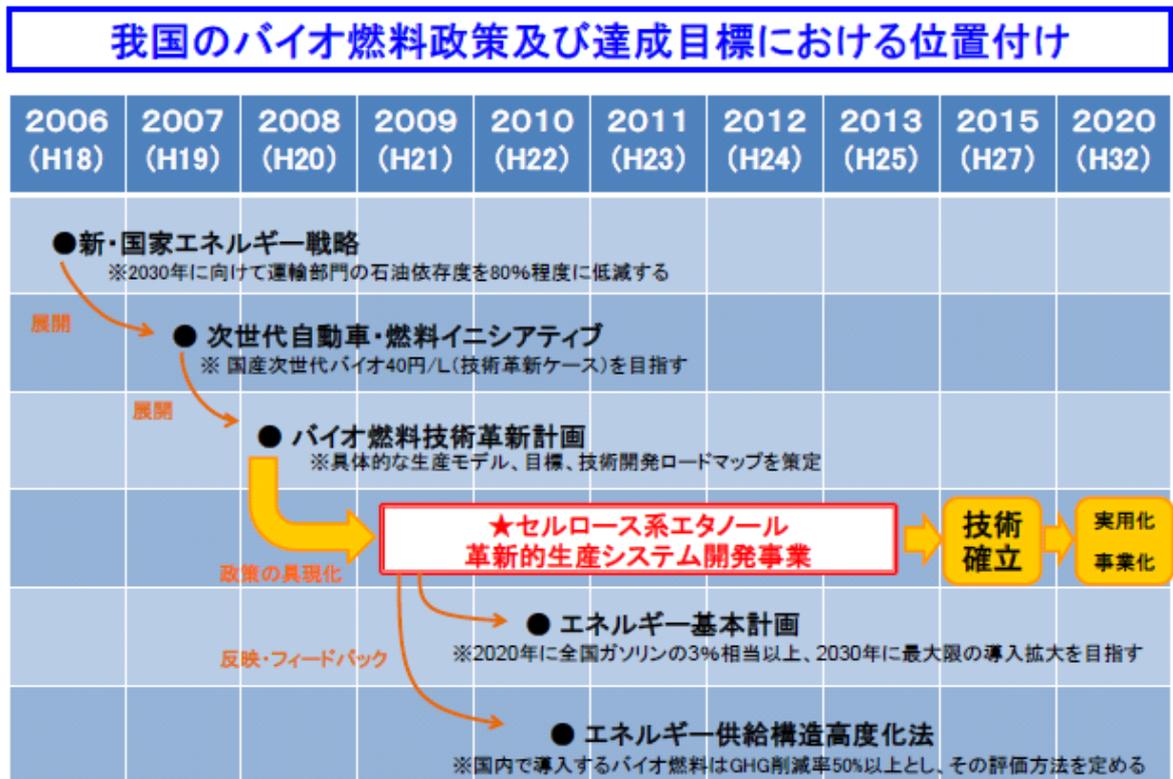
		作成日	平成 21 年 3 月 12 日
		改訂日	平成 23 年 6 月 27 日
プログラム（又は施策）名	エネルギーイノベーションプログラム		
プロジェクト名	セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業	プロジェクト番号	P09014
担当推進部/担当者	新エネルギー部/三代川洋一郎・濱田利幸・西川向一		
0. 事業の概要	<p>本プロジェクトは、「バイオ燃料技術革新計画」における技術革新ケース（2015～2020年においてバイオエタノール製造コスト40円/L、年産10～20万kL規模、CO₂削減率5割以上（対ガソリン）、化石エネルギー収支²*1以上）の実現に向けて、食料と競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*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）	【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バイオエタノール革新技術研究組合（参加6社）/東京大学 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） 【バイオ燃料の持続可能性に関する研究】 （株）三菱総合研究所/（独）産業技術総合研究所					
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）」 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="539 862 1447 927"> <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、事業化の見直しについて	<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	<table border="1" data-bbox="539 1070 1447 1178"> <tr> <td>事前評価</td> <td>平成 20 年度実施</td> <td>担当部 新エネルギー技術開発部</td> </tr> <tr> <td>中間評価以降</td> <td>平成 23 年度</td> <td>中間評価実施予定</td> </tr> <tr> <td></td> <td>平成 26 年度</td> <td>事後評価実施予定</td> </tr> </table>	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
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	<table border="1" data-bbox="539 1178 1447 1283"> <tr> <td>作成時期</td> <td>平成 21 年 1 月</td> <td>作成</td> </tr> </table>	作成時期	平成 21 年 1 月	作成						
作成時期	平成 21 年 1 月	作成								

技術分野全体での位置づけ

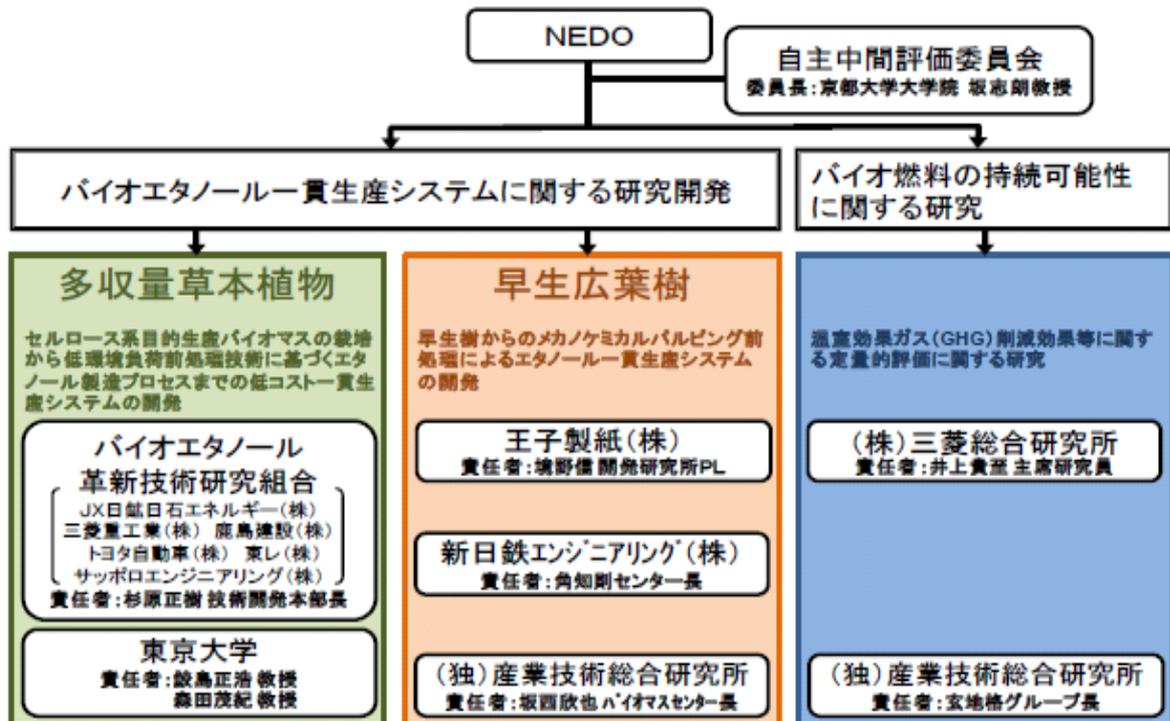
(分科会資料6より抜粋)



「バイオマスエネルギー技術研究開発」

セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業」

全体の研究開発実施体制



「バイオマスエネルギー技術研究開発」

セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業（中間評価）

評価概要（案）

1. 総論

1) 総合評価

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

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

一方、バイオエタノール一貫生産システムに関する研究開発において、コストの多くを酵素糖化技術、特に酵素価格が占めている。酵素による糖化技術、および発酵技術はそれぞれに工夫がされているが、まだ十分ではなく一層の技術開発が必要である。また、前処理以外の糖化、発酵、精製プロセスについては共通要素が多く、2つのテーマ間の情報交換が望まれる。

2) 今後に対する提言

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

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

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

エネルギーをほぼ100%海外に依存している日本では、エネルギー関連技術は国家の存亡に関わる最重要課題であり、食糧と拮抗せずエネルギー収支が良好なバイオエタノールの生産は、直接的な生産技術（前処理・糖化・発酵・精製）のみなら

ず、バイオマスの栽培・収穫・輸送・保管、廃水・廃棄物処理、用途開発など、非常に幅広い分野の英知の集結が必須なプロジェクトである。

バイオ燃料開発はエネルギーの供給の多様化と安定化のために極めて公共性が高い研究開発と考えられ、技術的ハードルも高く、国のエネルギー政策、CO₂削減政策にも強く関わっており、NEDOの関与は必要である。

一方、国際競争力を製品価格だけで比較すれば、サトウキビ、トウモロコシを原料とした場合に比べて明らかに不利であるが、地球温暖化防止対策と食糧問題対策を配慮した目的生産によるバイオマスを原料にするプロジェクトであることをもっとアピールするべきである。

2) 研究開発マネジメントについて

戦略的で高い目標を達成するために事業化能力を有する企業が実施者として選定され、得られたエタノールを使用する企業が実施者に入っているなど、事業化を念頭に置いた開発体制を構築していることは評価できる。また、バイオマスの確保から精製までの必要な要素技術を網羅して、既存技術の改良、新技術の開発などバランスのとれた技術開発が行われている。さらに、自主中間評価委員会の設置によって、研究対象の取舍選択や軌道修正の検討に関して客観性、機動性を持たせることができている。

一方、当該事業を構成する3テーマが独立で進められているが、一定の情報交換等を行うことが、当該事業全体としての有効性を高めることにつながるため、これらテーマ間の交流において、NEDOの積極的なマネジメントがあると良いと考える。

3) 研究開発成果について

非食料系バイオマスからのエタノール製造の各工程について、何れのプロジェクトにおいても、植物種の選定が終了しており、栽培・収穫・運搬に関する検討結果、および、前処理・糖化・発酵・濃縮・脱水の検討結果をふまえ、試験プラントの建設も行われている。従来技術に比べて大きな改善が得られており、それぞれの要素技術の多くは優秀で独創的であり、中間目標は概ね達成していると評価される。

一方、酵素による糖化技術、および発酵技術は、それぞれに工夫がされているがまだ十分ではない。糖化酵素でのオンサイト生産や回収再利用、発酵での工程単純化・省エネ化を図ることなど、更なる技術革新を期待する。

4) 実用化、事業化の見通しについて

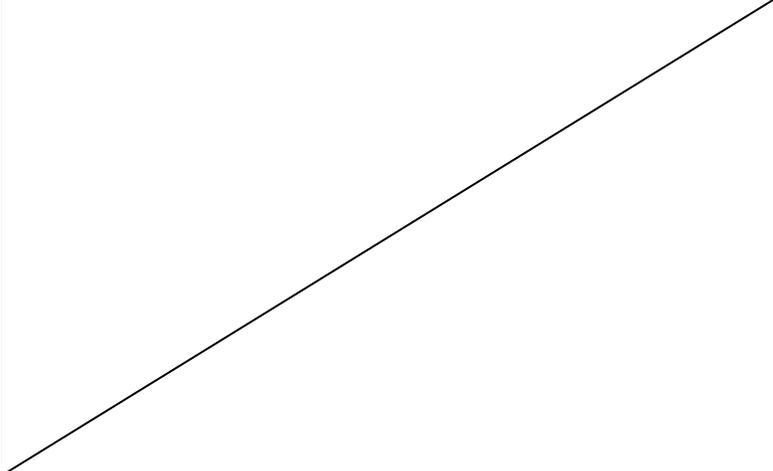
事業化を意識した要素技術の選択や課題設定を行い、商業プラント運転開始までの基本的なシナリオが示されている。今後、パイロットプラントの建設・運転を通じて、産業技術としての見極めが可能であり、事業全体として計画通りの成果が得られれば、セルロース系からのエタノール生産における実用的な技術の保有につながり、我が国のエネルギー安全保障の面からも寄与する可能性を持つ。さらに、一貫した生産を可能とするためには、技術開発を通じて、原料生産国との連携をどの

ように進めるかを検討することは実用化にとって重要と考える。

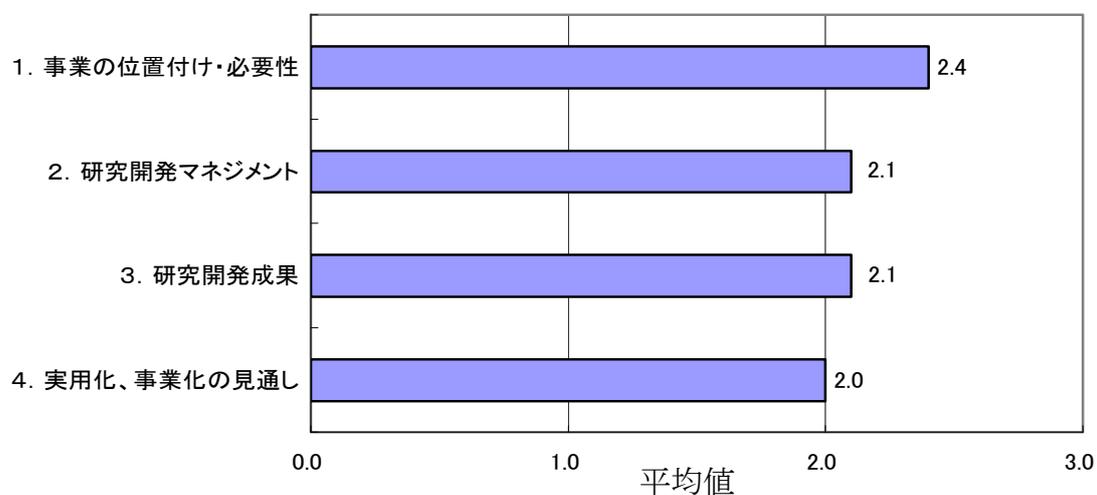
一方、輸入バイオエタノールと比較して、このプロジェクトで商業化した場合にコスト的に対抗できるかが今後、問われる。コストダウンの多くは酵素による糖化技術、および発酵技術にかかっており、この部分に集中的な研究開発が必要である。

個別テーマに関する評価

	研究開発成果について	実用化、事業化の見通しについて及び今後の提言
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	<p>草本系バイオマス原料生産に関し、持続的かつ安定的に高収量が得られるエネルギー植物栽培技術の確立に向けコスト計算もされており、目標を上回る成果が得られている。また、二段階のアンモニア前処理技術は画期的であり、膜技術を用いた酵素回収システムや高濃度糖液の供給プロセスは、エネルギー消費とコストの削減の点から高く評価できる。</p> <p>但し、前処理、分離、濃縮における消費エネルギーを、研究開始時に比べて大きく減少させることに成功しているが、一層の削減に取り組む必要がある。膜濃縮や発酵工程では、糖化技術の更なる低コスト化と五単糖と六単糖の二段階発酵法の消費エネルギー低減や一段階発酵法の早期開発が望まれる。</p>	<p>事業化を視野に入れた開発が行われており、要素技術の選択や課題設定も事業化を意識したものになっている。また、実用化に向けての課題は、ほぼ明確になっている。</p> <p>今後、現在建設中のベンチプラントにより、なるべく早期に実証試験を行い、問題点の確認等、全プロセスを総合的に評価できるデータが得られることを期待する。</p> <p>一方、酵素生産の低コスト化、酵素剤カクテルの最適化による糖化の促進、酵素回収効率の向上や不足した酵素の添加など基盤的な技術課題が存在するため、産学連携による、より一層密接な取り組みが望まれる。</p>
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	<p>製紙会社が長年蓄積してきた早生樹の大量栽培技術とセルロース糖化率 80% を 24 時間で達成したメカノケミカルパルピング前処理技術はきわめて優れており、中間目標は概ね達成している。また、糖化酵素の最適温度 (50℃) に近づけるため 40℃ という高温でアルコール発酵できる酵母を使用することにより、コンタミの恐れが少ない連続的な発酵生産システムを開発している点、自</p>	<p>早生樹の栽培については、既に栽培試験や収穫方法の検討結果に基づいて、実用化までの道筋が示されており、評価できる。また、メカノケミカルパルピング法による前処理は既に大規模に行われている実績もあり、さらに植林により原料供給も想定されていることから、実用化・事業化が期待される。</p> <p>今後、パイロットプラントで計画通りの成果が得ら</p>

<p>テムの開発</p>	<p>己熱再生方式の採用による蒸留プロセスの省エネ化、更に実証プラントの建設が進んでいる点は、高く評価できる。</p> <p>一方、糖化のための酵素回収技術は進んでいるが、酵素剤自身のオンサイト生産が遅れており、酵素に関わるコスト削減が計画通り達成できるか、やや不安が残る。酵素コスト削減の達成度を評価できる指標と、その目標値を設定すべきである。今後、酵素のオンサイト生産によるコスト低減と自国生産技術の確立は是非とも必要であり、この部分の集中的な研究開発が望まれる。また、五単糖を六単糖と同時に発酵できる酵母の創製も未だ成功していないことから、重要な課題である。</p>	<p>れば、開発された技術の市場は大きく、将来的には木材に関連する既存産業への波及効果も期待される。</p> <p>一方、糖化酵素群の生産量向上研究は十分な成果が得られておらず、事業期間内に実用的な糖化・発酵プロセスを確立できるか疑問が残る。コストダウンに必要な市販の酵素剤に替わる糖化酵素のオンサイト生産を早い時期に実現することが課題である。酵素生産やSSF（併行複発酵）技術に関しては、基盤的な取り組みが重要と考えられ、エンジニアリング的な開発と融合すべく体制を強化する必要がある。</p>
<p>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</p>	<p>GHG（温室効果ガス）の削減に関する定量的な評価は、ガソリンに対して土地利用も含め各原料毎に具体的に示され、世界的な動向も反映されており評価できる。また、様々なバイオ燃料の温室効果ガス排出量のデフォルト値を、同一の考え方と手法に基づき推計した結果は、今後の我が国のバイオ燃料政策の立案に寄与すると考えられる。</p> <p>今後、一般的な検討に加えて開発した評価法を、本プロジェクトの2テーマに適用して、その有効性を示すなど、全体としての効果的な成果の活用が必要である。</p>	

評点結果〔プロジェクト全体〕



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	C	A	A	C	A	
1. 事業の位置付け・必要性について	2.4	A	A	C	A	A	C	A	
2. 研究開発マネジメントについて	2.1	A	B	B	B	B	B	B	
3. 研究開発成果について	2.1	A	B	C	B	B	A	B	
4. 実用化、事業化の見通しについて	2.0	B	A	C	B	B	B	B	

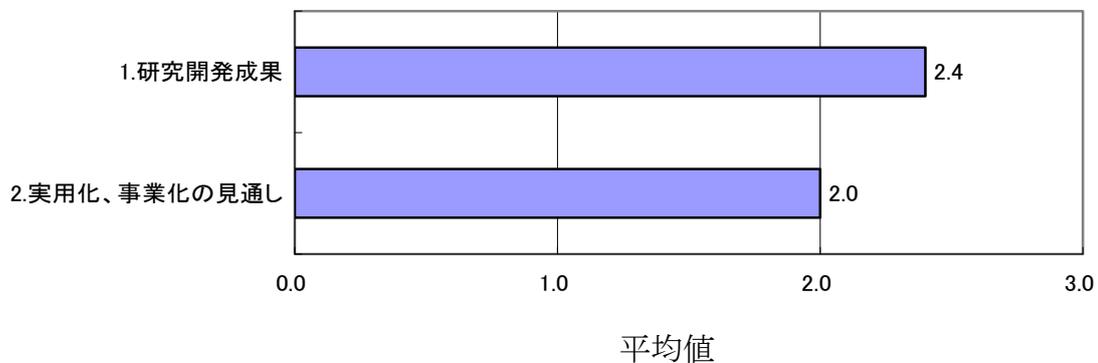
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

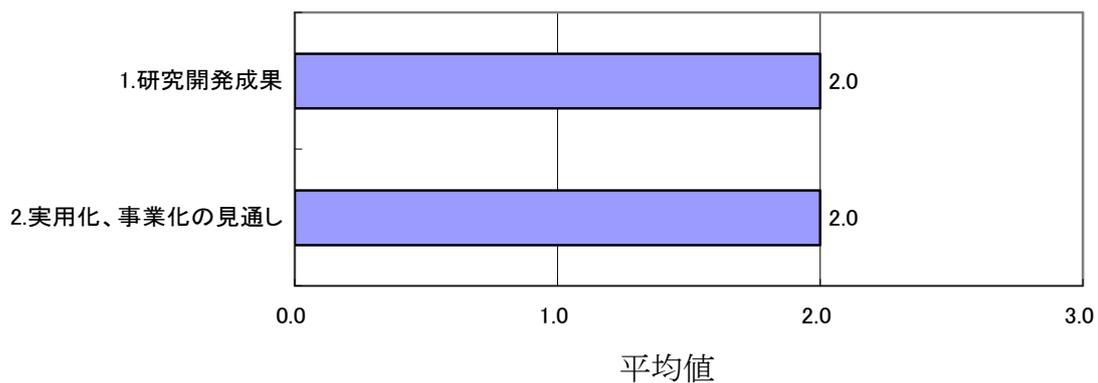
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

評点結果〔個別テーマ〕

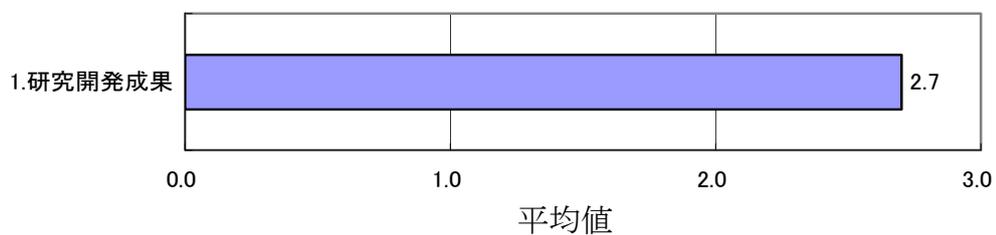
セルロース系目的生産バイオマスの栽培から低環境負荷前処理に基づくエタノール製造プロセスまでの低コスト一貫生産システムの開発



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



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



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点 (注)							
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に基づくエタノール製造プロセスまでの低コスト一貫生産システムの開発									
1. 研究開発成果について	2.4	A	B	B	B	B	A	A	
2. 実用化、事業化の見通しについて	2.0	B	A	B	C	B	B	B	
早生樹からのメカノケミカルパルピング前処理によるエタノール一貫生産システムの開発									
1. 研究開発成果について	2.0	B	B	C	A	B	B	B	
2. 実用化、事業化の見通しについて	2.0	A	A	C	B	C	B	B	
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									
1. 研究開発成果について	2.7	A	B	B	A	A	A	A	

(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

1. 研究開発成果について	2. 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい	→A ・明確
・よい	→B ・妥当
・概ね適切	→C ・概ね妥当であるが、課題あり
・適切とはいえない	→D ・見通しが不明