

「バイオ燃料製造の有用要素技術開発事業」

事後評価報告書（案）概要

目 次

分科会委員名簿	1
評価概要（案）	2
評点結果	4

はじめに

本書は、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条に基づき研究評価委員会において設置された「バイオ燃料製造の有用要素技術開発事業」（事後評価）の研究評価委員会分科会（平成29年7月27日）において策定した評価報告書（案）の概要であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第33条の規定に基づき、第53回研究評価委員会（平成29年10月11日）にて、その評価結果について報告するものである。

平成29年10月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会「バイオ燃料製造の有用要素技術開発事業」分科会
（事後評価）

分科会長 横山 伸也

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究評価委員会

「バイオ燃料製造の有用要素技術開発事業」(事後評価)

分科会委員名簿

(平成29年7月現在)

	氏名	所属、役職
分科 会長	よこやま しんや 横山 伸也	公立鳥取環境大学 環境学部 環境学科 特任教授
分科 会長 代理	いもう けんじ 芋生 憲司	東京大学 大学院農学生命科学研究科 生物・環境工学専攻 教授
委員	おおたに しげる 大谷 繁	国立研究開発法人理化学研究所 環境資源科学研究センター
	かりた しゅういち 莉田 修一	三重大学 生物資源学研究科 生物圏生命科学専攻 教授
	たかはし かおり 高橋 香織	みずほ情報総研株式会社 環境エネルギー第2部 次長
	たけやま はるこ 竹山 春子	早稲田大学 先進理工学部 生命医科学科 教授
	にった ようじ 新田 洋司	茨城大学 農学部 地域総合農学科 教授

敬称略、五十音順

「バイオ燃料製造の有用要素技術開発事業」（事後評価）

評価概要（案）

1. 総合評価

セルロース系エタノール製造は世界各国で行われているが、本案件での研究開発は適切なマネジメントの下で行われ、その成果は世界に誇れるものと判断する。ほとんどの目標をクリアーし、中には突出した成果もある。参加研究機関も民間企業、大学、国研、協会団体など多数であるが、これを上手くマネジメントした結果として、それぞれの特徴を生かした成果を生み出している。また、単なる研究開発にとどまらず、他の NEDO の事業へのリンク、また海外を視野にいれた実用化の展開を始めている点でも評価できる。

一方、多くの成果が出されたが、バイオマス生産における開発には、もう少し長い研究期間が必要だったように思う。

それぞれの受託企業は将来展望として、バイオプラスチックやバイオケミカルに展開して行くような考えを持っている。海外の状況を見ても米国や欧州で大規模な計画が進捗している中で、今後本事業の成果を足がかりに展開して行くことが望まれる。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

本事業は、世界各国でしのぎを削って開発競争を行っている第二世代バイオエタノールの製造技術に関するものであり、長期的な世界のエネルギーの低炭素化、環境負荷低減に資するものである。また、石油資源のない日本として、将来のエネルギーセキュリティのための技術を蓄積しておく意味は大きい。欧米において環境負荷の低いバイオ燃料への転換へ向けて研究開発が着々と進行している状況、さらには開発に相当の研究資源が必要であることを考慮すると、民間企業に依存するだけでは激化する競争に勝てる保証はなく、国家プロジェクトとして NEDO が関与することは適当と判断する。

2. 2 研究開発マネジメントについて

研究成果から研究開発マネジメントの妥当性を判断すると、必ずしも容易に達成できるとは予想されなかったハードルの高い目標値をクリアーしており、計画、体制、進捗管理などは適切だったと考える。また、実施者間での連携も、試料をシェアするなど有効に機能しており、連携がなければ困難であった目標も達成した。NEDO の管理体制については担当者の人材の適切さ、高い指導能力も評価したい。

一方、国際的な動向やバイオ燃料の現状についての解析がやや弱く感じ、その点で、数値目標の妥当性にやや疑問を感じた。また、今回の要素研究の中には、研究開発時間が短く、得られた結果の妥当性に不安を感じるものがあつた。結果に時間を要するものについては、より正確なデータを取るためにも、研究期間の延長等も視野に入れても良かったように思う。

今後は、利用バイオマスが国内産でない点や、国産バイオマスの多様性を踏まえた上で、これまで開発してきた技術の応用・展開を考えるべきである。

2. 3 研究開発成果について

投入された研究開発費に見合う世界的水準の技術開発によって、目標値は概ね達成されている。数値的にクリアーしていることにとどまらずに、サイエンティフィックな解釈もされており質の高い研究成果が得られたと考える。特に、「革新的糖化酵素」の研究課題において商用機スケールでの培養を実施したこと、及び「糖化発酵」の課題において原料に応じて菌株を使い分けて目標とするエタノール濃度が得られたことを高く評価する。また、具体的なコストについて踏み込み、納得できる試算が示されていることも高く評価できる。

一方、プラントを大型化した時に発生が予測される諸課題が残っていると思われる。波及成果として他分野での実用化、事業化も予想されるので、そのような課題の抽出と研究開発・実証にわたる計画などを作成しておくことも必要と思われる。

事業化のためにはまだ検証が必要なレベルの研究項目が見られるため、今後は是非、実践的なレベルでの技術の検証を積み重ねてほしい。また、開発した主要技術や成果のほか、副次的な成果等も随時公表されることを期待したい。

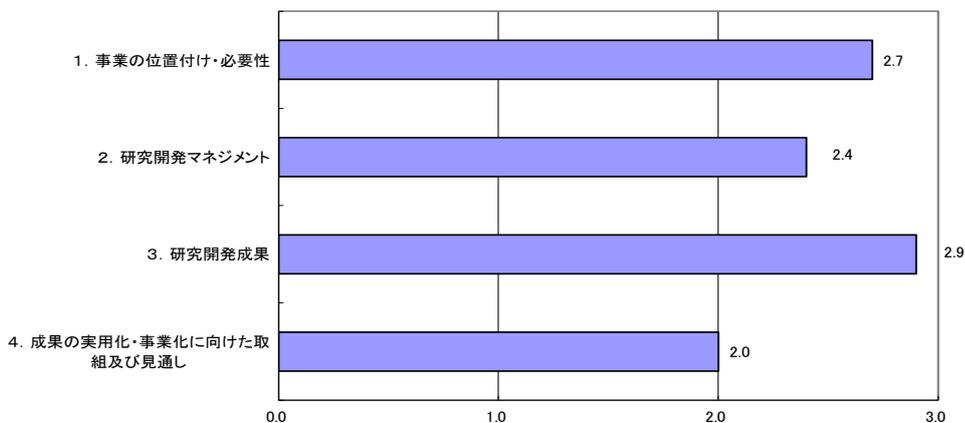
2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

すでに、海外事業への展開が考慮されており、実用化に向けての戦略や取組みが明確になっている。また、それぞれの想定する製品はバイオ燃料の市場ニーズに合致しており、それぞれの分野において技術として普及することが期待できる。ここだけの成果をもって直接事業化を図るということではないが、産業技術として極めて重要な課題について研究開発を行い、事業化あるいは産業化へ向けて経済性を考慮した上で技術的なブレークスルーを行ったという意味で評価できる。石油価格変動により、国産エタノールがすぐ事業化できるという状況ではないが、再生可能エネルギー技術の蓄積、将来にわたる安全保障という意味は大きい。

一方、想定される実用化先として、例えば東南アジアあるいは南アジアでの展開では、現地のユーザーニーズに合わせる必要があり、想定されているコスト等が、現場でのコストに合うかどうかを考慮したほうがよい。

世界的には、この分野は競合状況にあるので、この時点での優位性はすぐに失われる可能性がある。今後とも、研究成果をアップデートしていく必要があり、それについても期待している。ここで得られた成果を次へつなげて頂きたい。

評点結果〔プロジェクト全体〕



平均値

評価項目	平均値	素点（注）							
		A	A	B	A	B	A	A	
1. 事業の位置付け・必要性について	2.7	A	A	B	A	B	A	A	
2. 研究開発マネジメントについて	2.4	A	B	B	A	A	B	B	
3. 研究開発成果について	2.9	A	B	A	A	A	A	A	
4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	2.0	B	C	C	B	B	A	A	

（注）素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

〈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. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて |
| ・非常によい →A | ・明確 →A |
| ・よい →B | ・妥当 →B |
| ・概ね適切 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・適切とはいえない →D | ・見通しが不明 →D |

概要

		最終更新日	2017年7月19日			
プロジェクト名	バイオ燃料製造の有用要素技術開発事業			プロジェクト番号	P13011	
担当推進部/ PMまたは担当者	新エネルギー部 PM 矢野貴久（平成26年PM制度発足～現在） 担当者氏名 荒巻聡（平成27年4月～現在） 松永悦子（平成26年10月～現在） 内田和道（開始～平成27年3月） 林芳弘（開始～平成26年9月）					
0. 事業の概要	<p>食料と競合しないセルロース系エタノールについて、2020年頃の実用化・事業化を目指し、ガソリン価格、海外エタノール価格に競合可能な製造コストでのバイオエタノール製造に資する有用要素技術を確立することを目標とした。要素技術として、バイオマス資源の生産技術、有用糖化酵素の生産技術、有用微生物を用いた発酵生産技術の開発に取り組んだ。</p> <p>バイオマス資源の増産については、マーカー育種、土壌評価技術及びバイオマス評価システムを開発し、1.8倍のバイオマス増産を見込める技術開発に成功した。酵素生産技術については、対象原料と方法の異なる2つのチームにおいて性能アップと製造コスト削減に取り組み、10円/L-EtOHの生産コストとなる技術開発に成功した。さらに組換え酵素生産菌対応の数m³規模のパイロット設備におけるF/Sも実施した。発酵生産技術の開発においては、糖化発酵率0.80～0.85=糖化率×発酵（エタノール変換）率となる高機能な組換え酵母菌の開発に成功した。さらに組換え菌対応の2m³規模の同時糖化発酵パイロット設備を設計・設置し、複数の原料を使用したエタノール生産にこれらの酵母菌を適用し、目標レベル（糖化発酵率0.765、エタノール濃度5w/v%）以上でのエタノール生産の実証に成功した。</p>					
1. 事業の位置 付け・必要性 について	<p>環境負荷が少ない石油代替エネルギーの普及に向けた、新たな技術の開発及びコスト低減・性能向上のための戦略的取り組みが要求されている。バイオマスエネルギーは、カーボンニュートラルとして扱われているため、地球温暖化対策の一手段として重要である。一方、供給安定性の確保、食料との競合や森林破壊等の生態系を含めた問題、化石燃料との価格競争性・価格安定性といった経済面での課題、LCA（ライフサイクルアセスメント）上の温室効果ガス削減効果・エネルギー収支等の定量化等の課題を克服していくことが重要である。</p> <p>国内においては、2010年の「エネルギー基本計画」で掲げられた、2020年には全国のガソリンの3%相当以上をバイオ燃料にする目標（約180万kL）に向け、バイオエタノール製造が検討されている。そのための施策として2010年11月には「エネルギー供給構造高度化法」に基づく非化石エネルギー源の資料に関する石油精製業者の判断の基準（平成22年経済産業省告示第242号）として、2017年におけるガソリン対比GHG排出量削減率50%以上のバイオエタノール利用目標量（原油換算）50万kLが定められた。</p> <p>以上のことから、食料と競合しないセルロース系エタノールの実用化に資する技術開発が必要であると判断されるが、技術的なハードルと資金面から企業のみでは実施が困難であった。</p>					
2. 研究開発マネジメントについて						
事業の目標	<p>本事業では、前NEDO事業の「バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発事業」で優れた成果が得られた有用糖化酵素によるバイオマス前処理物の糖化能力の向上、及び有用微生物によるエタノール発酵生産能力向上の開発を行うと共に、スケールアップ技術によるパイロットスケールでの生産技術開発を行い、2020年の商用機スケールでの実用化に適用可能な生産技術を確立する。またバイオマス原料についても、植栽技術の改良による更なる収量アップを目指し、実用化を促進する。事業実施にあたっては、開発される要素技術が実証プラントへ適用されバイオエタノールの実用化に着実に資することを念頭におき、事業を実施する。</p>					
事業の計画内容	主な実施事項	H25fy	H26fy	H27fy	H28fy	
	バイオマス資源の生産技術開発	○	○	○	○	
	有用糖化酵素の生産技術開発	○	○	○	○	
	有用微生物を用いた発酵の生産技術開発	○	○	○	○	

事業費推移 (会計・勘定別に NEDO が負担した実績額を記載) (単位:百万円)	会計・勘定	H25fy	H26fy	H27fy	H28fy	総額
	一般会計	0	0	0	0	0
	特別会計 (需給)	475	1981	1580	1102	5138
	総 NEDO 負担額	475	1981	1580	1102	5138
	(委託)	475	1981	1580	1102	5138
開発体制	経産省担当原課	経済産業省 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー課				
	プロジェクトリーダー	なし (チームごとに研究開発責任者を設置)				
	プロジェクトマネージャー	NEDO 新エネルギー部 矢野貴久				
	委託先 (助成事業の場合「助成先」とするなど適宜変更) (組合が委託先に含まれる場合は、その参加企業数及び参加企業名も記載)	【バイオマス資源の生産技術開発】 日本製紙(株)、東京農工大学、千葉大学 【有用糖化酵素の生産技術開発】 ① (株) Biomaterial in Tokyo、信州大学、(国研) 森林総合研究所 ② 花王(株)、長岡技術科学大学、(一財) バイオインダストリー協会 【有用微生物を用いた発酵の生産技術開発】 日揮(株)、崇城大学、(一財) バイオインダストリー協会、 (国研) 産業技術総合研究所				
情勢変化への対応	特になし					
評価に関する事項	事前評価	平成24年度実施 担当部 新エネルギー部				
	中間評価	中間評価は実施せずステージゲート方式(NEDO内)とした				
	事後評価	平成29年度 事後評価実施				
3. 研究開発成果について	<p>各テーマにおいて最も重要なコスト削減に関する目標はすべて達成することができ、予定通り2020年の実用化・事業化に向けて利用される予定。以下、個別に記載。</p> <p>【バイオマス資源の生産技術開発】 「ゲノム育種及び高効率林業によるバイオマス増産に関する研究開発(日本製紙(株)、東京農工大学、千葉大学)」 バイオマス増産を目的として、1.8倍の収量アップ(マーカー育種技術により1.4倍×土壌評価技術により1.3倍)を目標とした。マーカー育種技術についてはDNAマーカー解析の形質予測式の相関係数を0.7に高め、選抜育種により収量が1.4倍となる3系統を得た。土壌評価技術として年6000haを迅速に分析できる土壌センシング技術、回帰モデル及び評価システムを開発し、目標どおり土壌選定により1.3倍の成長量が見込める技術を開発した。また、地上3Dレーザースキャナによる高精度なバイオマス評価システムの開発において、現行の4倍の効率を目標とし、UAVを利用した3D情報からバイオマス量を測定するソフトウェアの開発により、この目標を達成した。</p> <p>【有用糖化酵素の生産技術開発】 ①「可溶性糖質源培養による木質系バイオマス由来パルプ分解用酵素生産の研究開発(株)Biomaterial in Tokyo、信州大学、森林総合研究所)」 炭素源として可溶性糖のみを原料として生産できる特殊なセルラーゼ生産菌(トリコデルマ・リーセイ M2-1)をベース酵素として選定し、これに不足するBGLなどの酵素を酵母に異種発現させて添加しバイオマス原料の糖化を行う系を用いて、パルプ分解酵素生産技術の開発に取り組んだ。本ベース酵素は糖化中のバイオマス糖液を酵素生産の原料とする事で酵素生産コストを削減できる事も特徴である。ベース酵素、添加酵素のいずれについても、培地のコスト削減と培養方法の検討によりコスト削減と酵素活性の上昇に成功し、目標とした酵素変動費10円/L-EtOH以下(5~6円/Kg-発酵性糖)を達成した。また、ベース酵素については2kLまでの</p>					

	<p>スケールアップに成功した。添加酵素について、BGL の改良による高性能化、ソホロース合成酵素の導入には成功したが、ソホロースによる酵素生産誘導技術については時間的な制約から未確認であり、継続して検討を行っている。また、単糖までの糖化率についてはやや低い事が懸念されるが、添加酵素量の最適化により達成見込みである。</p> <p>②「バイオ燃料事業化に向けた革新的糖化酵素工業生産菌の創製と糖化酵素の生産技術開発」 (花王(株)、長岡技術科学大学、バイオインダストリー協会)</p> <p>糖化の困難なバガス(サトウキビの抽出残渣)を原料として80%の糖化率を示す酵素を10円/L-EtOH以下のコストで生産できる酵素生産技術の開発に取り組んだ。酵素の性能としてはアルカリ処理バガスについて当初8mg/g-生成糖必要であった酵素使用量について2.5mg/g-生成糖を目標とし、各種遺伝子の探索と実用菌株への遺伝子組換えにより高機能化を図り、2.3mg/g-生成糖を達成する性能の高い菌の獲得に成功した。酵素タンパクの生産性については、当初17g/Lの生産性に対し25g/Lを目標とし、変異育種と遺伝子組換えにより工業生産菌を開発し、より低コストの培養条件において30g/L以上を達成した。さらに3KLパイロットスケールでのF/Sの実施により、目標通り10円/L-EtOH以下のコストでオンサイト酵素生産できる技術の開発に成功した。さらに、46kLまでスケールアップし、酵素生産性と性能に問題の無い事を確認した。</p> <p>【有用微生物を用いた発酵の生産技術開発】 「有用微生物を用いた発酵生産技術の開発(日揮(株)、崇城大学、産業技術総合研究所、バイオインダストリー協会)」</p> <p>C5C6同時糖化発酵のプロセスに適した組換え酵母菌の開発、パイロット試験設備の設置と実証、商用機スケールでの実用化に適用可能なプロセスデザインパッケージの作成に取り組んだ。目標値としては実バイオマス(バガス・ユーカリ)の前処理物を原料とし、エタノール5w/v%以上の濃度で、糖化発酵率0.765以上=糖化率0.85X発酵(エタノール変換)率0.90以上を設定した。酵母菌の開発においては各種有用形質に係る遺伝子の獲得と実装により、複数の実バイオマスを原料としたラボスケールでの実験において、エタノール濃度5~6w/v%、糖化発酵率0.80~0.85=糖化率X発酵率となる高機能な組換え酵母菌の開発に成功した。この時の最高推定エタノール変換効率は0.95と世界最高レベルを達成している。これらの組換え酵母菌を用いて2m³パイロット設備での実証試験を実施し、3種類の前処理原料について目標値である糖化発酵率0.765以上を達成した。さらに実施に適用可能なスラリーハンドリング技術を確立し、プロセスデザインパッケージを完成させた。</p>	
	投稿論文	「査読付き」17件、「その他」2件
	特 許	「出願済」12件
	その他の外部発表 (プレス発表等)	「研究発表・講演」149件 「新聞・雑誌への掲載」3件
4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	<p>各テーマにおいて最も重要なコスト削減に関する目標は達成できたので、予定通り2020年の実用化・事業化に向けて利用する予定である。</p> <p>日本製紙(株)は本年度中にも自社の事業植林への本成果の適用を開始する。2020年には選抜した苗の事業植林を開始する予定である。</p> <p>(株)Biomaterial in Tokyoは平行して実施中のNEDO事業「セルロース系エタノール生産システム総合実証事業への適用を開始し、2020年頃のエタノール生産事業化へのオンサイト酵素生産を見込んでいる。</p> <p>花王(株)はサンプル提供を開始しており、今後の事業性判断・評価を経て、アジアでのオンサイト生産による酵素提供事業を目指している。</p> <p>日揮(株)はプラント受注、糖製造事業者との共同事業化を目指して、より経済的な事業モデル(廃糖蜜+バガス糖液を原料としたエタノール製造事業)を検討中である。</p>	
5. 基本計画に関する事項	作成時期	2013年8月 作成
	変更履歴	バイオ燃料製造の有用要素技術開発事業については変更なし

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆ 事業実施の背景と事業の目的

NEDOのバイオ燃料開発の意義

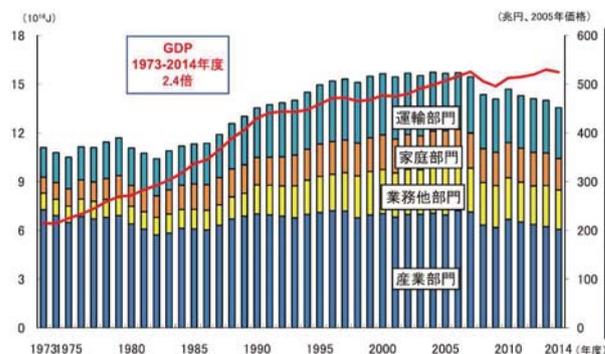
運輸部門の温暖化対策として、代替燃料の導入が必要。当面の調達では、ブラジルをはじめ第1世代のエタノールとなるが、食糧競合の観点から、非可食バイオマスを原料とした、第2世代のセルロース系エタノールでの調達が理想であり、2020年代にその一部を担うことを想定して技術開発を実施。

日本のエネルギー利用の約23%を占める運輸部門については、**液体燃料**がほとんど

運輸部門におけるGHG排出量削減のために、再生可能な代替燃料の開発を行う。

現状、液体バイオ燃料はサトウキビ、トウモロコシ、パーム油等を原料としており、**食糧と競合**

代替燃料は食糧競合を回避でき、新たにGHG排出を増加させないものを原料とすべき。



課題

- ・バイオエタノールの低コスト転換技術の確立
- ・スケールアップ技術の確立

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆ 事業の目標

・2020年に(ガソリン対比)**CO2削減率50%以上**を達成する生産プロセスで、**国内外のバイオエタノールと競合可能な生産コスト**でのバイオエタノール製造の実用化に資する有用要素生産技術を確立する。

・要素技術の具体的内容は以下とする

- ① **バイオマス資源**の生産技術開発
- ② 有用**糖化酵素**の生産技術開発
- ③ 有用微生物を用いた**発酵生産技術**開発

糖化の困難なセルロース系バイオエタノールの製造に資する要素技術に特化

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆ 研究開発目標

2020年の実用化に向け、競合可能な技術開発目標

研究開発テーマ	研究開発目標	根拠
ゲノム育種及び高効率林業によるバイオマス増産に関する研究開発 <small>日本製紙</small>	バイオマス生産性が1.8倍となる技術開発 (マーカー育種1.4倍、土壌選定技術1.3倍)	⇒原価約5円/BDkg
可溶性糖質源培養による木質系バイオマス由来パルプ分解用酵素生産の研究開発 <small>Bits</small>	【ユーカリパルプ】 酵素生産の低コスト化(10円/L-EtOH以下)	⇒オンサイト酵素生産で競合可能
バイオ燃料製造に向けた革新的糖化酵素工業生産菌の創製と糖化酵素の生産技術開発 <small>花王</small>	【バガス】 酵素生産の低コスト化(10円/L-EtOH以下) スケールアップ数m3規模でのF/Sの実施	⇒オンサイト酵素生産で競合可能
有用微生物を用いた発酵生産技術の開発 <small>日揮</small>	高機能酵母開発、パイロットスケール2m3規模で実証(糖化発酵率0.765以上＝糖化0.85X発酵0.9以上)	⇒世界最高レベルのセルロースエタノール生産効率

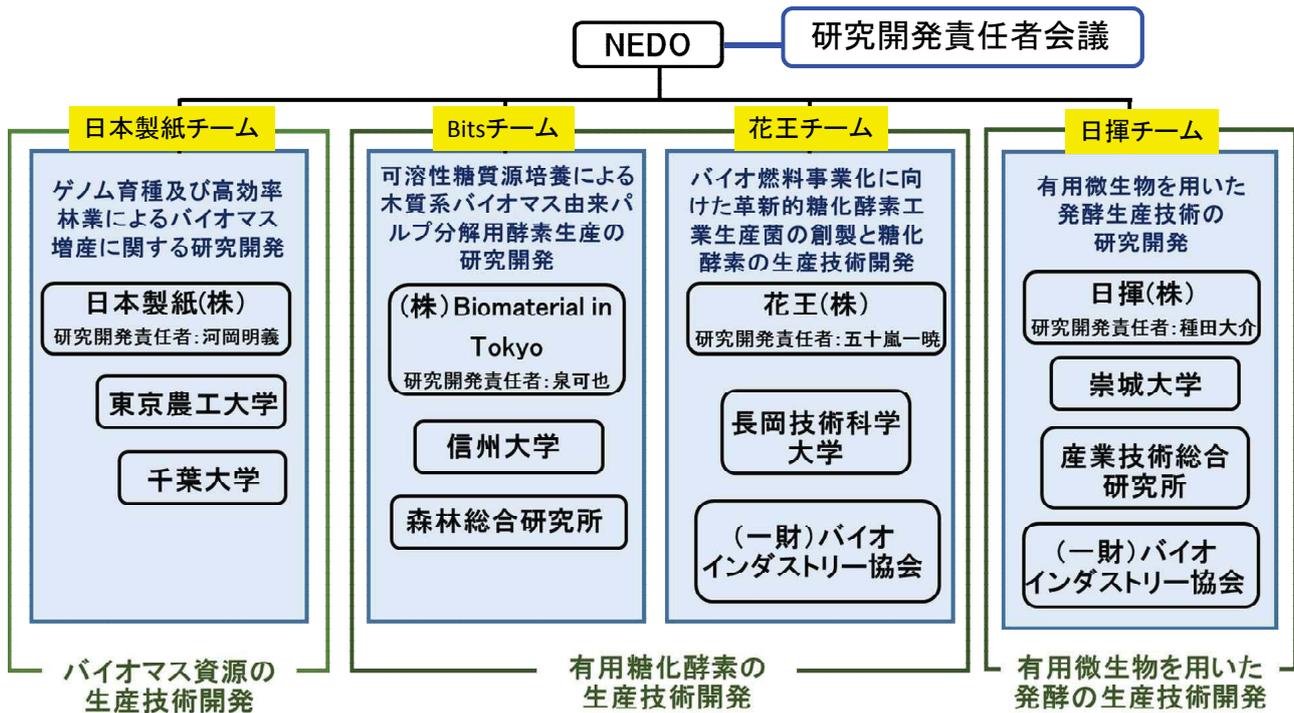
2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆ 研究開発のスケジュール

研究開発テーマ	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度
ゲノム育種及び高効率林業によるバイオマス増産に関する研究開発 <small>日本製紙</small>				
可溶性糖質源培養による木質系バイオマス由来パルプ分解用酵素生産の研究開発 <small>Bits</small>				
バイオ燃料製造に向けた革新的糖化酵素工業生産菌の創製と糖化酵素の生産技術開発 <small>花王</small>				
有用微生物を用いた発酵生産技術の開発 <small>日揮</small>				
研究開発責任者会議				

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

◆研究開発の実施体制



2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆プロジェクト費用

◆費用

(単位: 百万円)

研究開発テーマ	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	合計
ゲノム育種及び高効率林業によるバイオマス増産に関する研究開発 日本製紙	12	102	78	71	263
可溶性糖質源培養による木質系バイオマス由来パルプ分解用酵素生産の研究開発 Bits	100	262	362	244	968
バイオ燃料製造に向けた革新的糖化酵素工業生産菌の創製と糖化酵素の生産技術開発 花王	224	876	490	351	1941
有用微生物を用いた発酵生産技術の開発 日揮	139	741	650	436	1966
合計	475	1981	1580	1102	5138