



技術戦略研究センターレポート

TSC Foresight

Vol. **22**

バイオマスからの化学品製造分野の 技術戦略策定に向けて

2017年11月

1 章	バイオマスからの化学品製造技術の概要	2
2 章	バイオマスからの化学品製造技術の置かれた状況	4
	2-1 国内外の市場動向	4
	2-2 特許出願件数、論文発表件数等	7
	2-3 国内外の研究開発（政策）の状況	10
3 章	バイオマスからの化学品製造分野の技術課題	14
	3-1 バイオマス利用の技術体系	14
	3-2 国内バイオマスの利用と技術開発課題	16
4 章	おわりに	18

TSCとはTechnology Strategy Center（技術戦略研究センター）の略称です。

1 章 バイオマスからの化学品製造 技術の概要

我が国の化学製品のほとんどは石油由来の原料から製造されている。「エネルギー白書2017」によれば、石油消費量の約23%を化学品原料として使用するなど、化学産業は化石資源を大量に消費している。また、「日本国温室効果ガスインベントリ報告書」2017年版によれば、化学産業は産業部門（製造業及び建設業）の約16%、日本全体の約4%の二酸化炭素を排出している。そのため、二酸化炭素が固定化されたバイオマスへ原料転換することで、二酸化炭素の削減を図ることは、温暖化対策や持続可能な低炭素社会の実現の観点からも重要である。バイオマスからの化学品製造の分野には、欧州や米国などでは、多くの公的支援が投入され、活発に研究開発が進められており、将来的に市場が拡大することが予想されている。

バイオマスからの化学品製造とは、バイオマス由来の原料から化学品を製造することを意味し、原料としては、バイオマス由来の糖類や油脂類に加えて、非可食性バイオマス（セルロース、ヘミセルロース、リグニン）が利用され始めている。

表1にバイオマスを原料とした主な化学品製造の事業化の動向を示す。現在、米国、中国、ブラジルなど、比較的安価に可食性糖（サトウキビやトウモロコシなど）が入手可能な地域において、発酵法（バイオプロセス）により、糖から製造しやすい乳酸、エタノール、コハク酸、イタコン酸などの化学品やこれらの誘導品が商業化されている。また、バイオプロセス以外の方法では作りにくい香料や高機能性ポリマー用の芳香族系モノマーなどの一部の化学品が実用化されている。

油脂類を原料にした化学品については、大量に用いられている界面活性剤に加えてポリアミドやポリウレタンなどのプラスチックが実用化されている。また、バイオディーゼ

ルの製造時に副生するグリセロールからエピクロロヒドリンの生産が、タイ・中国などで事業化されている。

非可食性バイオマスを原料にした化学品製造については、国内外で活発に取り組まれている。セルロースについては、既に、実用化されている酢酸セルロースやCMC（カルボキシメチルセルロース）の他、近年、セルロースナノファイバーが実用化されている。ヘミセルロースからは、中国などで、希硫酸で蒸煮し、その後蒸留するプロセスでフルフラールが製造されている。リグニンは、主に製紙工程から出てくるリグノスルホン酸塩やクラフトリグニンを原料にして、コンクリート混和剤や分散剤に一部利用されているが、多くは製紙工程内で燃料として利用されている。また、リグニンからは、香料や機能性ポリマーなどに使用されるバニリンが製造されている。

バイオマスを利用した化学品製造では、原料確保が課題の一つである。日本には安価に入手可能な糖や油脂類がないため、一部の日本企業は原料を輸入したり、海外で生産を行っているが、生産量自体は多くないのが現状である。現在、原料を安価に、かつ安定的に供給するために、バイオマスの原料成分であるセルロース、ヘミセルロース、リグニンを総合的に利用する試みが進められている。

バイオマスからの化学品製造分野の技術戦略策定に向けて

表1 バイオマスからの化学品製造の主な事業化の動向

出発物質	化合物	製造企業	事業化動向
糖類	乳酸、エタノール、コハク酸、イタコン酸、酢酸エチルなど多数	米国、カナダ、欧州、ブラジル、中国、アジアの企業など多数	<ul style="list-style-type: none"> 海外の安価な可食性糖から、発酵法（バイオプロセス）により、糖から製造しやすい乳酸、エタノール、コハク酸、イタコン酸、1,3プロパンジオールなどが商業化されているほか、多くの化合物の製造が主に発酵法により、石油製品の代替として検討されている。 また、エタノールの誘導品である酢酸エチルなど、バイオマス由来の誘導品が検討され、一部、商業化されている。
	サフラン、ノートカトン、レスベラトロールなど	エボルバ（スイス）	<ul style="list-style-type: none"> 独自の発酵法（バイオプロセス）により、石油からは製造しにくい、芳香族系を中心とした香料、機能性食品、ポリマー原料を開発している。
油脂類	油脂由来ポリマーなど	アルケマ（フランス）、三井化学、東洋紡、ユニチカ、ソルベ（ベルギー）、ダウ・デュボン（米国）など	<ul style="list-style-type: none"> 古くから、油脂類から界面活性剤など多くの製品が利用されているほか、アジア地域のひまし油を用いたポリアミドやポリウレタンが実用化されている。 バイオディーゼルの副生物であるグリセロールを原料としてエポキシ樹脂などに用いられるエピクロロヒドリンなどが実用化されている。
セルロース	セルロースナノファイバー	日本製紙、王子ホールディングス、大王製紙、中越パルプ工業など	<ul style="list-style-type: none"> 物理・化学的に解繊処理された様々な種類のセルロースナノファイバーが事業化・製品化されている。 TEMPO触媒^{※1}を用い、次亜塩素酸ソーダ酸化でシングルセルロースナノファイバー化したCNFがボールペンインクへの添加剤（濡れ性の改善）、紙おむつ（消臭用途）などの用途で実用化が進展している。
ヘミセルロース	フルフラール	中国、インド、欧州の企業など多数	<ul style="list-style-type: none"> 希硫酸を用いたプロセスにより、ヘミセルロースからフルフラールが生産されている。
リグニン	バニリン	ボレガード（ノルウェー）	<ul style="list-style-type: none"> 木材から得られたリグノスルホン酸塩からアルカリ中で酸化分解することで、芳香族系の高付加価値モノマーのバニリン（香料・ポリマー用途）が生産されている。

出所：各種資料を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2017）

※1 2,2,6,6-テトラメチルピペリジン 1-オキシド (2,2,6,6-tetramethylpiperidine 1-oxyl) の略称。有機合成において、触媒として用いられる。東京大学の磯貝明教授は、TEMPOを用いてセルロースからシングルセルロースナノファイバー(CNF)を製造することに成功した。

バイオマスからの化学品製造分野の技術戦略策定に向けて

2章

バイオマスからの化学品製造 技術の置かれた状況

2

-1 国内外の市場動向

米国や欧州などでは、バイオテクノロジー^{※2}と経済活動を一体化させた「バイオエコノミー」という概念に基づく総合的な戦略のもとに技術開発や政策が推進されてお

り、再生可能原料であるバイオマスからの化学品製造の市場は、2010年の11兆円から、2020年には62兆円へと大幅に広がることが予想されている（図1）。現在のバイオマスからの化学品製造の市場は、植物油、でん粉・糖などを主な原料としているが、将来的な市場拡大には、食糧との競合の回避や豊富に存在する未利用資源の活用観点から、非可食性バイオマス原料の利用が必要である。

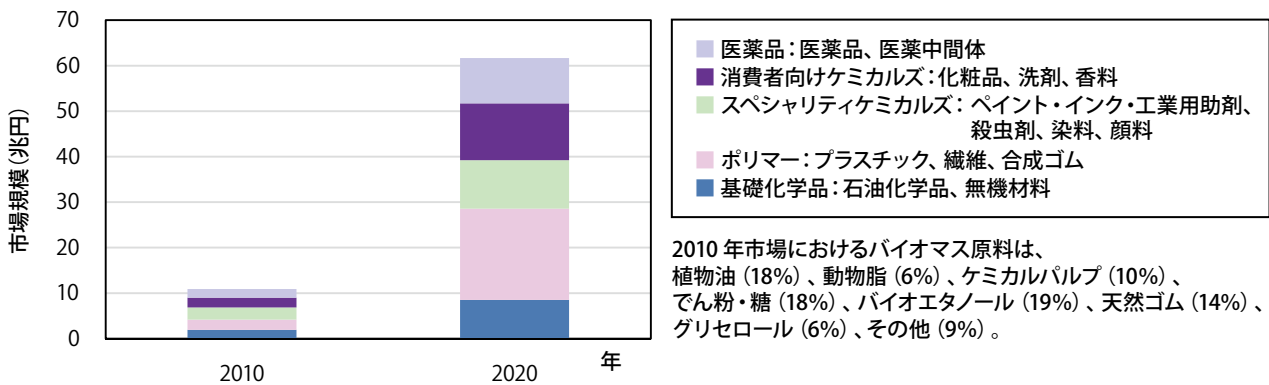


図1 バイオマスからの化学品製造の市場規模 (世界)

1€ = 120円で計算

出所: N. Scarlat *et al* (European Commission, Joint Research Centre), Environmental Development, 15, 3-34 (2015)

“The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts”を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2017)

バイオマスからの化学品製造の分野で、大きな市場規模が見込まれる主なバイオプラスチックを表2に示す。

汎用石油代替樹脂類であるPET (ポリエチレンテレフタレート)、PE (ポリエチレン) が、エタノール経由で得られるエチレングリコールやエチレンを用いて製造されている。また、生分解性はあるものの、耐熱性や耐久性が低いPLA (ポリ乳酸) なども供給されている。これらの汎用石油代替樹脂類については、安価なバイオマス原料に恵まれた地域で海外企業が主に生産しており、日本企業はほとんど生産していない。

植物由来の構造を活かした高機能樹脂類については、ひまし油の化学構造を活かしたPA (ポリアミド)、石油からでは作りにくい糖由来の化合物を用いたPTT (ポリトリメチレンテレフタレート)、生分解性機能を有する生分解性プラスチックなど、植物成分構造を活かした高機能品が供給されている。植物由来機能性樹脂類も、生産量は海外企業が多い。

※2 OECD (2014) では、科学技術を生体だけでなく、パーツ、製品、及びモデルなどに応用し、知識、物品、及びサービスの生産のために生きた材料または生きていない材料を変更することと定義されている。

<http://www.oecd.org/sti/biotech/statisticaldefinitionofbiotechnology.htm>

バイオマスからの化学品製造分野の技術戦略策定に向けて

日本企業は、三菱ケミカルが、バイオマス由来のイソソルビドを用いることで、石油由来PC（ポリカーボネート）にはない、光透過性に優れるという特徴を持つPCを製品化している。ユニチカと東洋紡は、耐熱性が300℃前後

と従来よりも高いポリアミドを実用化している。このように、日本企業は、植物由来の特徴を活かした高機能グレードを展開している。

表2 工業化されている主なバイオプラスチック

分類	樹脂	企業名	植物原料 (モノマー)	主な機能	生産能力 (t/y)
汎用石油樹脂代替	PET (ポリエチレンテレフタレート)	インDRAM・ベンチャーズ (タイ)、遠東新世紀 (台湾)、ロッテケミカル (韓国) など	糖 (エチレングリコール)	石油由来PETと同じ	460,000 ^{注1}
	PE (ポリエチレン)	プラスケム (ブラジル)	糖 (エチレン)	石油由来PEと同じ	200,000
	PLA (ポリ乳酸)	ネイチャーワークス (米国)、海生生物材料 (中国) など	糖 (乳酸)	生分解性、低耐熱性、低耐久性	170,000
植物由来高機能樹脂類	PA (ポリアミド)	アルケマ (フランス)	ひまし油 (油脂由来モノマー)	耐熱性、耐薬品性、低温衝撃性	60,000 ^{注2}
		ユニチカ	ひまし油 (油脂由来モノマー)	耐熱性、高結晶性、低吸水性	500
		東洋紡	ひまし油 (油脂由来モノマー)	耐熱性、強靭性、低吸水性	1,000
	PTT (ポリトリメチレンテレフタレート)	ダウ・デュポン (米国)	糖 (1,3プロパンジオール)	耐久性、伸縮性	120,000 ^{注3}
	PBS (ポリブチルサクシネート)	三菱ケミカル、昭和電工	糖 (コハク酸、ブタンジオール)	生分解性、加工性、PLAとの相溶性など	7,000
	PHA (ヒドロキシカルボン酸ポリマー)	ダニマー・サイエンティフィック (米国)	糖 (3-ヒドロキシアルカン酸)	生分解性	30,000
		カネカ	糖 (3-ヒドロキシヘキサン・酪酸)	生分解性 (嫌気性・好気性)、加工性など	1,000
PC (ポリカーボネート)	三菱ケミカル	糖 (イソソルビド)	光透過性、耐強度、耐衝撃	5,000	

■は日本企業

注1 バイオマス由来のエチレングリコールの生産能力からの推定値。エチレングリコールは、インディアグリコール (インド)、台湾緑醇社 (台湾) (日本の豊田通商が出資) が供給している。

注2 バイオマス由来であるPA11、PA610、PA1010、PA1012の生産能力からの推定値。

注3 1, 3プロパンジオールの生産能力からの推定値。

出所:「2016年版バイオプラスチックの市場動向と需要実態」(2016) (株式会社矢野経済研究所)、及びwebサイト情報を基にNEDO技術戦略研究センター作成 (2017)

バイオマスからの化学品製造分野の技術戦略策定に向けて

表3に、CNF（セルロースナノファイバー）の主な生産設備を示す。CNFは多くの国で生産が開始されているが、海外にある生産規模の大きい設備では、マイクロサイズを含んだものやナノフィブリル構造を含んだCNFを生産している。

一方、日本では、高機能・高品質なものを中心に実用

化が進められている。例えば、日本製紙は、TEMPO触媒を利用してナノ解繊処理し、ガスバリア性や消臭効果を持たせたCNFを、王子ホールディングスは、独自に開発したリン酸処理によりナノ解繊処理された、透明度、強度、高温下での寸法安定性、及び柔軟性の高いCNFを開発している。

表3 セルロースナノファイバーの主な生産設備

企業	国	生産規模 (トン/年 [※])	特徴
Borregaard	ノルウェー	1,000	・マイクロフィブリルセルロースを含むセルロースナノファイバー
University of Maine	米国	300	・リファイナー処理がベースで、樹脂補強剤、保湿剤、耐油剤として活用
American Process	米国	150	・セルロースナノフィブリル・セルロースナノクリスタル
Innventia	スウェーデン	30	・酵素・機械処理によりナノ解繊したCNFや、カルボキシメチル化、カチオン化したCNFも製造
日本製紙	日本	540	・シングルセルロースナノファイバー化したCNF (500トン/年)のほか、強化樹脂用途のCNF (10トン/年)や食品用途向けCNF (30トン/年)
中越パルプ工業	日本	100	・パルプ懸濁液を2つのノズルで対向噴射、衝突圧により解繊したCNF
大王製紙	日本	100	・パルプから、省エネルギーに機械・化学処理することにより解繊 ・樹脂混合用に乾燥したCNFも提供
王子ホールディングス	日本	40	・パルプのCNF表面に、イオン性官能基であるリン酸基を導入し、CNF同士の静電反発性を高めることでナノ化したCNF

■ は日本企業

注 University of Maine、American Process、Innventiaについては、1日あたりの生産能力の公表データに300を乗ずることによる推計
出所：Webサイト情報を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2017）

2 -2 特許出願件数、論文発表件数等

(1) 特許出願動向

図2 に、バイオマスからの化学品製造分野における出願人国籍別特許出願件数^{※3}を示す。2000～2014年における日本の特許出願件数は、中国、米国に次いで第3位であり、世界の18%（7,382件/40,171件）を占める。

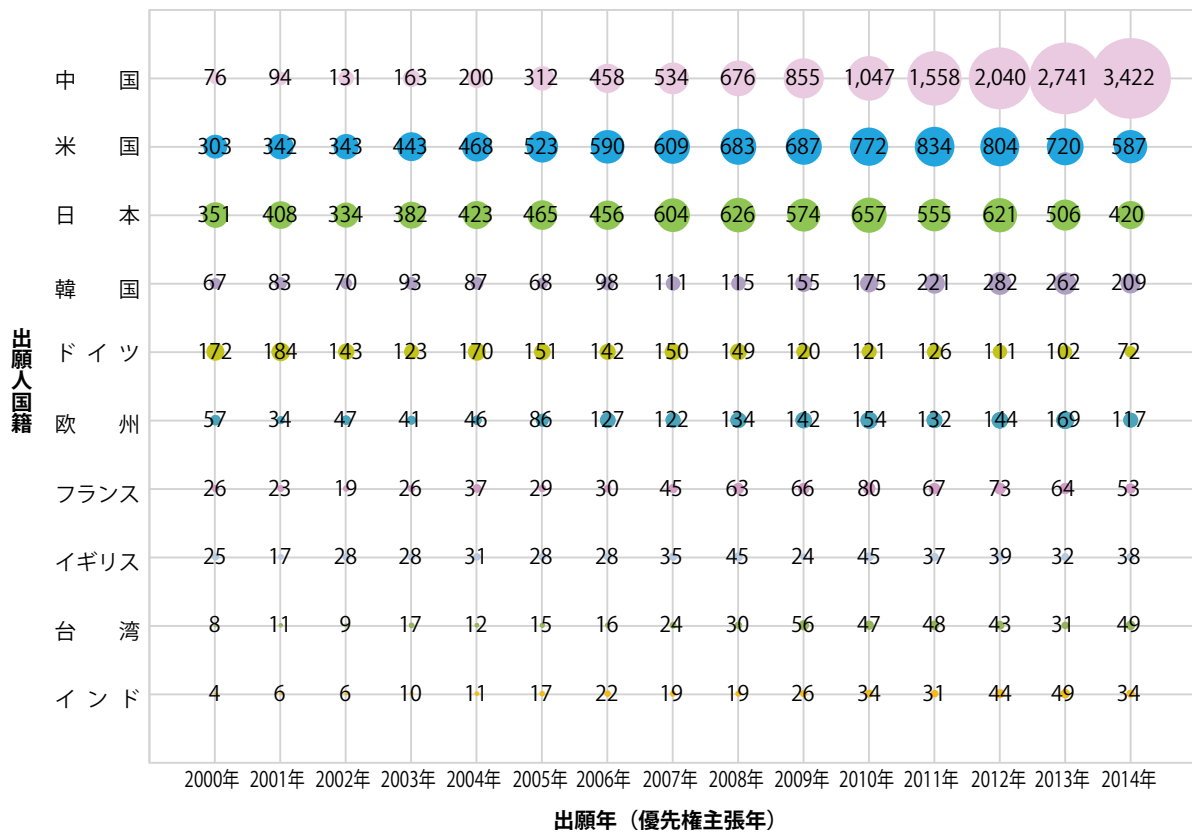


図2 バイオマスからの化学品製造に関する出願人国籍別特許出願件数 TOP10（2000～2014年出願）

出所：NEDO「平成28年度出願特許における日本のポジションに関する情報収集」調査の結果を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2017）

※3 出願人国籍は、最先の優先権主張国とした。

バイオマスからの化学品製造分野の技術戦略策定に向けて

出願先国比較 (図3) では、米国は、日本、中国、WO (国際出願)、EP (欧州特許庁) に対しても、多くの特許を出願している。一方で、中国は、特許出願件数自体は多いが、自国への出願が多い。日本は、米国には及ばないものの国際出願も積極的に行っている。

図4に、原料種 (糖類・セルロース・リグニン) ごとの特許発明件数を示す。糖類を原料とした化学品製造については、欧米を中心としたグローバル企業の出願が上位を占めている。一方で、セルロースやリグニンを利用した技術など、非可食性バイオマスの構造を活用した特許出願件数では、日本企業が上位を占める。

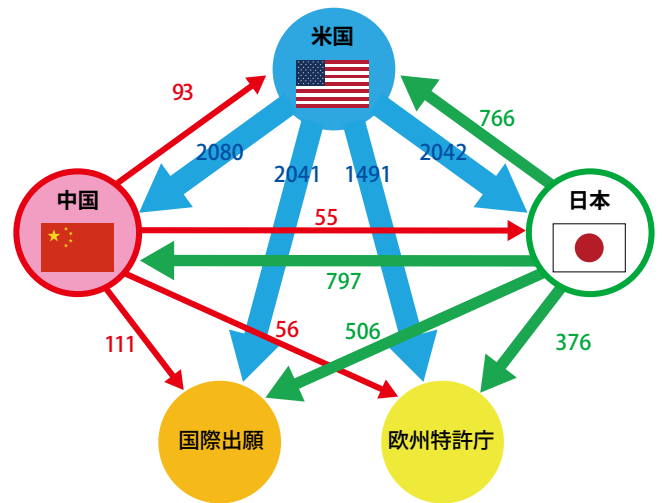


図3 バイオマスからの化学品製造に関する日米中の出願先国比較

出所：NEDO「平成28年度出願特許における日本のポジションに関する情報収集」調査の結果を基にNEDO技術戦略研究センター作成 (2017)

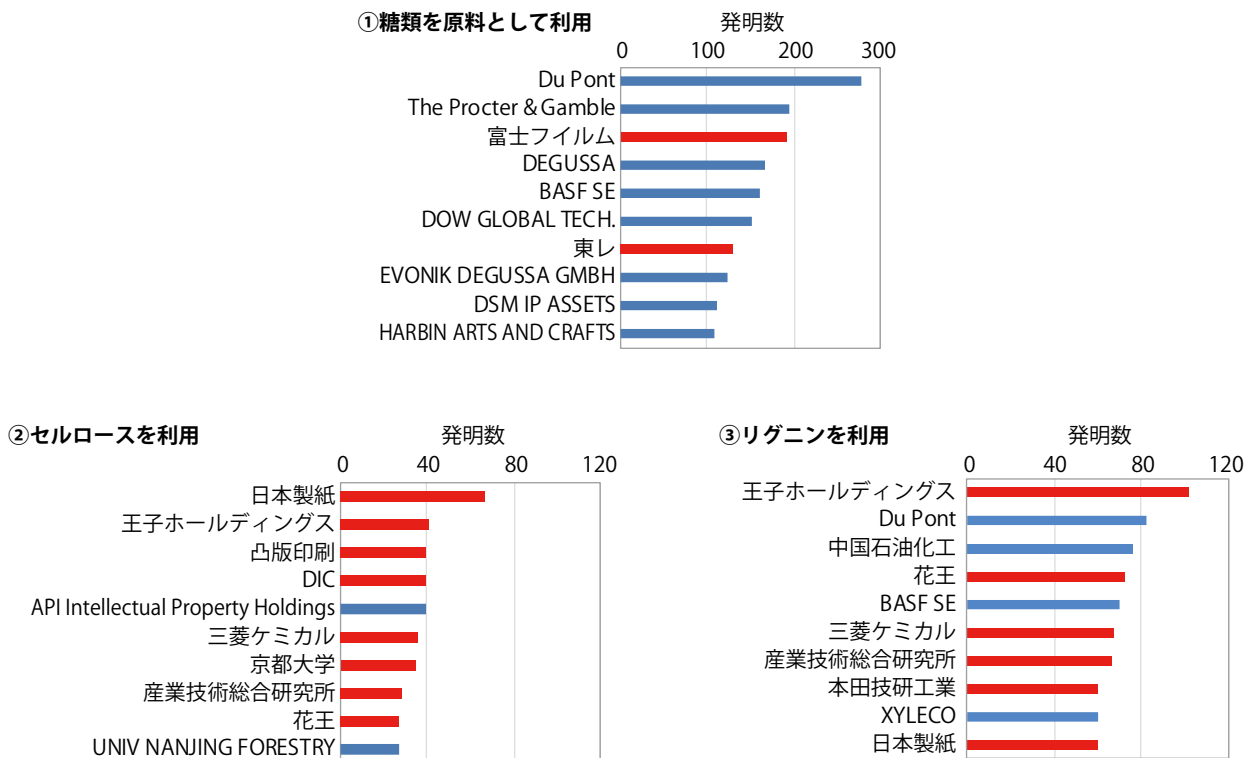


図4 バイオマスからの化学品製造に関する出願人別特許発明数 TOP10 (2000～2014年出願)

出所：NEDO「平成28年度出願特許における日本のポジションに関する情報収集」調査の結果を基にNEDO技術戦略研究センター作成 (2017)

バイオマスからの化学品製造分野の技術戦略策定に向けて

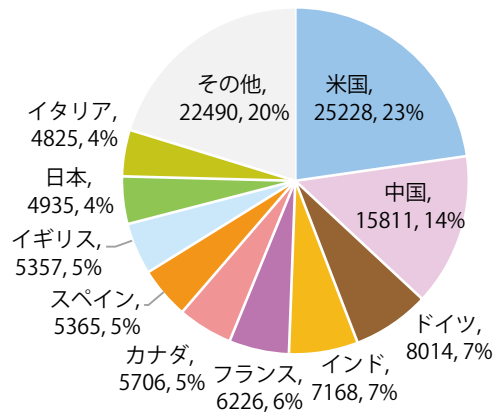
(2) 論文発表動向

図5に、バイオマスからの化学品製造分野の論文発表件数を国籍別に比較した結果を示す。

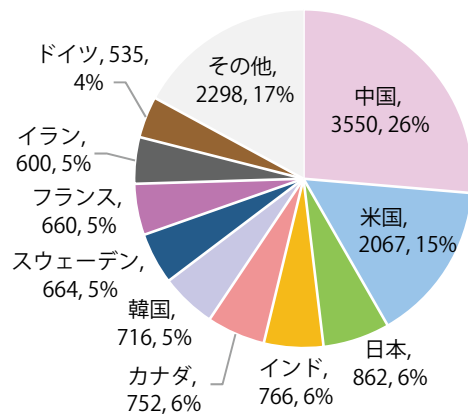
当該分野では、米国・中国の発表が多い。また、分野

全体では北米・アジア地域・欧州の各国が上位であり、日本は第9位にとどまるが、ナノセルロースやリグニンの利用技術に関しては、日本はいずれも第3位である。

①バイオマスからの化学品製造分野全体



②ナノセルロース



③リグニン

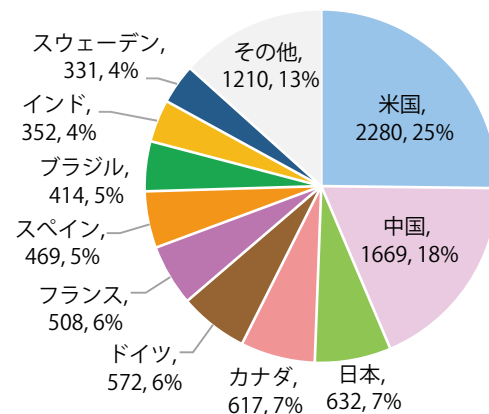


図5 バイオマスからの化学品製造に関する論文発表件数 国籍別比較

出所：Web of Science™での検索結果を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2017）

バイオマスからの化学品製造分野の技術戦略策定に向けて

2-3 国内外の研究開発(政策)の状況

(1) 欧米

欧米では、石油供給リスクの低減や二酸化炭素の排出量の低減のために、公的支援が投入され、バイオマスからの化学品製造に関する技術開発が展開されている。日本の予算規模は、欧米に比べて小さい(表4)。

欧州では、Horizon2020で大規模に公的資金が投入され、研究開発が進められている。具体的には、民間のコン

ソーシアムであるBIC (Bio-based industries consortium) が、官民連携 (BBIJU: BBI Joint undertaking) の枠組みの中で、Horizon2020から9.75億ユーロ(約1,170億円)の出資を受け、BICが企業から集めた資金を含む37億ユーロ(約4,440億円)で、ヨーロッパのバイオエコノミーの実現と進展を目的としてプログラムを実施している。このプログラムでは、農林業の残渣や廃棄物から、バイオリファイナリー^{※4}等の技術によって高品質なバイオマス由来製品の大規模商業化を目指したプロジェクトが実施されている(表5)。

表4 EU・米国・日本の公的支援の状況

国・地域	プログラム名	支援内容	予算(期間)
EU	Horizon 2020	・バイオマスからの化学品製造については、2014年から続々立ち上げられており、セルロース系バイオマス、木材、農業廃棄物を対象にバイオ化学品や材料開発が支援されている。	約1,170億円 (2014-2020年)
米国	・ Agile Biofoundry ・ ChemCatBio ・ Consortium for Computational Physics and Chemistry (CCPC) ・ Bioprocessing Separations Consortium 等	・ 米国エネルギー省 (DOE) は、バイオエネルギー技術局 (BETO) などが燃料と化学品の併産により、燃料コストの低減、二酸化炭素の削減を狙いとして、変換技術や実証事業などに支援を行っている。 ・ バイオ変換、触媒技術、計算機科学、分離技術など重点的に解決すべき課題については、国立研究所等が連携したコンソーシアムを組織して、プロジェクト化している。	BETO全体で 約250億円/年
日本	非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発 (NEDO)	・ 製紙産業の原料・前処理技術と化学産業の製造技術・材料技術により、非可食性バイオマスから高付加価値化学品を製造する一貫プロセスを開発している。	総額約71億円(予定) (2013~2019年度)
	地域のリグニン資源が先導するバイオマス利用システムの技術革新 (SIPリグニン)	・ 木質バイオマスから機能性リグニンを抽出して、得られたリグニンから高付加価値素材を開発している。	2014~2017年度の 総額約16億円 (2014~2018年度)
	先端的低炭素化技術開発 (ALCA) 特別重点技術領域「ホワイトバイオテクノロジーによる次世代化学品創出プロジェクト」(JST)	・ バイオマスから高付加価値化成品を生産するための革新的な要素基盤技術を開発している。	総額約15億円(予定) (2015~2019年度)

1€ = 120円、1\$ = 110円で計算

出所: Webサイトを基にNEDO技術戦略研究センター作成(2017)

※4 バイオマスを原料にバイオ燃料や化学品などを統合的に製造するプロセス。

バイオマスからの化学品製造分野の技術戦略策定に向けて

表5 Horizon2020 におけるプロジェクト例 (抜粋)

プロジェクト名	概要	EU負担分予算 (プロジェクト総額)
BIOFOREVER (2016～2019年)	リグノセルロースを利用した化学品製造のための変換技術の開発 【製造する物質例】 ・一次変換：セルロース、C5/C6糖、スペシャルティ糖、リグニン、フミン ・二次変換：ブタノール、樹脂、酵素、フランジカルボン酸	約12億円 (総額約19億円)
BIORESCUE (2016～2019年)	農業残渣(マッシュルーム栽培培地残渣など)のカスケード利用による化学品製造プロセスの開発	約3.1億円 (総額約4.6億円)
CARBOSURF (2015～2018年)	糖脂質界面活性剤、スペシャルティ炭化水素(シアル酸付加された炭化水素)の製造プロセスの開発	約3.2億円 (総額約7.2億円)
EXILVA (2016～2019年)	マイクロフィブリルセルロースの大規模供給と市場評価に向けたプラントの実証	約32億円 (総額約54億円)
GREENSOLRES (2016～2020年)	リグノセルロースバイオマスからレプリン酸を経由して、溶剤や樹脂製造を行うための変換技術の開発 【製造する物質例】レプリン酸、2-メチルテトラヒドロフラン、γ-バレロラクトン、メチルブタンジオールなど	約9億円 (総額約13億円)
LIBRE (2016～2020年)	炭素繊維プレカーサーであるポリアクリロニトリルを代替する、リグニンベースの炭素繊維の開発	約5.5億円 (総額約5.9億円)
SMARTLI (2015～2018年)	副生リグニンを原料としたバイオ製品(可塑剤やポリウレタン、フェノール、エポキシ等の樹脂)の製造技術の開発	約1.8億円 (総額約2.9億円)

1€ = 120円で計算

出所：Webサイトを基にNEDO技術戦略研究センター作成(2017)

米国でも、バイオエコノミーの実現のために、バイオマス燃料に加えて、化学品の生産による経済性の向上を目指して、DOEのBETOが、変換技術や大規模実証を支援している。また、DOEだけでなく、USDA(農務省)と連携した支援も実施されている。バイオ変換、触媒技術、計算機科学、分離技術など重要な課題については、国立研究所等が連携したコンソーシアムを組織して、重点的に取り組まれている。

表6に、BETOで支援されているプログラム領域を示

す。BETOでは、「変換技術」や「実証と市場移行」に対する支援に加えて、米国内の非可食性バイオマス原料調達のための課題解決に資する「原料供給と物流」の領域や、バイオマス利用の経済的、社会的、環境的な便益を理解し、強化するための科学ベースの戦略策定を支える「分析と持続可能性」の領域も支援しており、バイオマスによる燃料製造や化学品製造を経済的に社会実装するための総合的な取組が実施されている。

表6 DOE BETOの支援内容

プログラム領域	概要	2016年度予算額
変換技術	・バイオマス原料から、生物学的、及び化学的にバイオ燃料、バイオ製品や化学中間体に商業的に実行可能な変換技術を開発	約94億円
実証と市場移行	・統合されたバイオリファイナリーを開発、構築、運用することで、生産技術における投資リスクを削減し、最終製品の市場移行を実現	約83億円
分析と持続可能性	・バイオエネルギーの経済的、社会的、環境的な便益を理解し、強化するための科学ベースの戦略を開発	約12億円
先端藻類システム	・藻類バイオマスの生産性と培養・収穫の効率向上	約33億円
原料供給と物流	・バイオリファイナリーに利用される持続可能な原料の質と量の向上、コストを低減させるための取組	約18億円

1\$ = 110円で計算

出所：Webサイトを基にNEDO技術戦略研究センター作成(2017)

バイオマスからの化学品製造分野の技術戦略策定に向けて

(2) 日本

我が国のバイオマス利用関連施策等及び研究開発の経緯の概要を図6に示す。我が国では、バイオマスニッポン総合戦略(2002年閣議決定、2006年改定)を契機に、バイオマス由来の再生可能エネルギーに関わる研究が進められてきた。その後、バイオマス活用推進基本法(2009年制定)に基づくバイオマス活用推進基本計画(2010年)に続いて、2011年には電気の調達に関する特別措置法(FIT法)が制定され、再生可能エネルギーとして全国各地でバイオマス発電所が建設され、稼働している。

バイオマスからの化学品製造については、2009～2012年度のNEDO「グリーン・サステナブルケミカルプロセス基盤技術開発」以降、様々なプロジェクトが実施されてきている。現在、2013～2019年度の予定で、NEDO「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発」が進められている。これは、製紙業界と化学業界の連携により、バイオマスからの化学品製造という新規産業の創出を目指す試みである。内閣府のSIP(戦略的イノベーション創造プログラム)では、リグニン構造を活かして機能性部材に利用しようとする試みが進められている。JSTでは、ALCA(先端的低炭素化技術開発)の中で、特別重点技術領域「ホワイトバイオテクノロジーによる次世代化成品創出プロジェクト」として、基礎研究が進められている。

また、7府省(内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、国土交通省、環境省)により構成されるバイオマス活用推進会議が、バイオマス活用技術の到達レベルの横断的な評価と事業化戦略の検討を行っている。同会議では、原料生産から収集・運搬、製造・利用までの一貫したシステムの構築が掲げられており、需要の創出・拡大に向けた出口戦略の一つとして、化学品などの高付加価値製品の製造などによる事業化の推進が行っていくことが記載されている。

さらに、2016年に内閣府が制定した、「エネルギー・環境イノベーション戦略」においては、二酸化炭素を固定

したバイオマスを炭化水素燃料や化学品原料、その他の有価物等に転換・利用する革新的なブレークスルーにつながる研究開発の推進が記載されている。また、同年に閣議決定された「新たなバイオマス活用推進基本計画」では、地域に存在するバイオマスを活用し、地域が主体となる事業を創出し、農林漁業の振興や地域活性化につなげるための施策が示されている。加えて、2017年に閣議決定された「未来投資戦略2017-Society5.0の実現に向けた改革」では、「攻めの農林水産業の展開」として、セルロースナノファイバーやリグニン等について、国際標準化や製品化等に向けた研究開発を進めることが提言されている。

バイオマスからの化学品製造分野の技術戦略策定に向けて

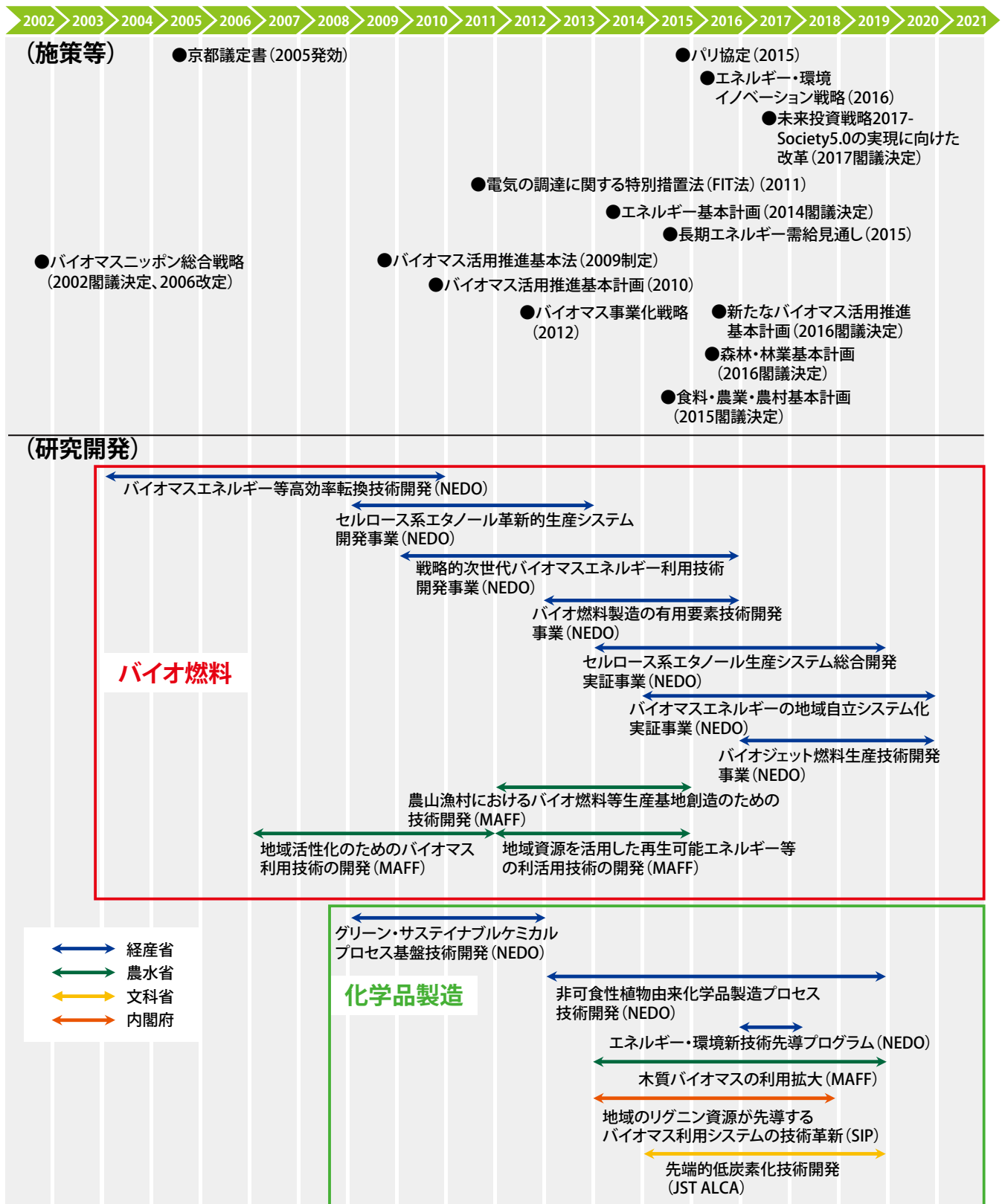


図6 我が国のバイオマス利用関連施策等及び研究開発の経緯

出所：各種資料を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2017）

バイオマスからの化学品製造分野の技術戦略策定に向けて

3章

バイオマスからの化学品製造分野の技術課題

3

-1 バイオマス利用の技術体系

(1) 非可食性バイオマスの利用

油脂類（菜種油、パーム油、大豆油、ひまし油など）やサトウキビ、とうもろこし、キャッサバなどの可食性バイオマスを利用した化学品製造については、民間レベルで多くの研究開発が行われ、一部事業化されていることから、ここでは、非可食性バイオマスからの化学品製造技術を対象とする（図7）。

非可食性バイオマスでは、木本系バイオマス（針葉樹・広葉樹）や草本系バイオマス（稲わら、もみがら、バガス、ト

ウモロコシの芯）などを原料とする開発が進められている。

非可食性バイオマスは、セルロース、ヘミセルロース、リグニンという3成分が強固に結合した構造となっている。セルロースは多数のβ-グルコース分子がグリコシド結合により直鎖状に重合した天然高分子である。また、セルロースは、水素結合などによって結晶状になっている。セルロースのまわりはリグニンが保護するように取り囲んでいる。ヘミセルロースは、リグニンとセルロースを結び付けるような役目を果たしている。

非可食性バイオマスを化学品原料として利用するためには、アルカリ蒸解法、メカノケミカル法、高温高压水処理法などの前処理を行い、後段のプロセスで処理しやすくする必要がある。セルロースとヘミセルロースは、酵素糖化により、セルロースはC6糖であるグルコース、ヘミセルロースは、C5糖であるキシロース、C6糖であるマンノー

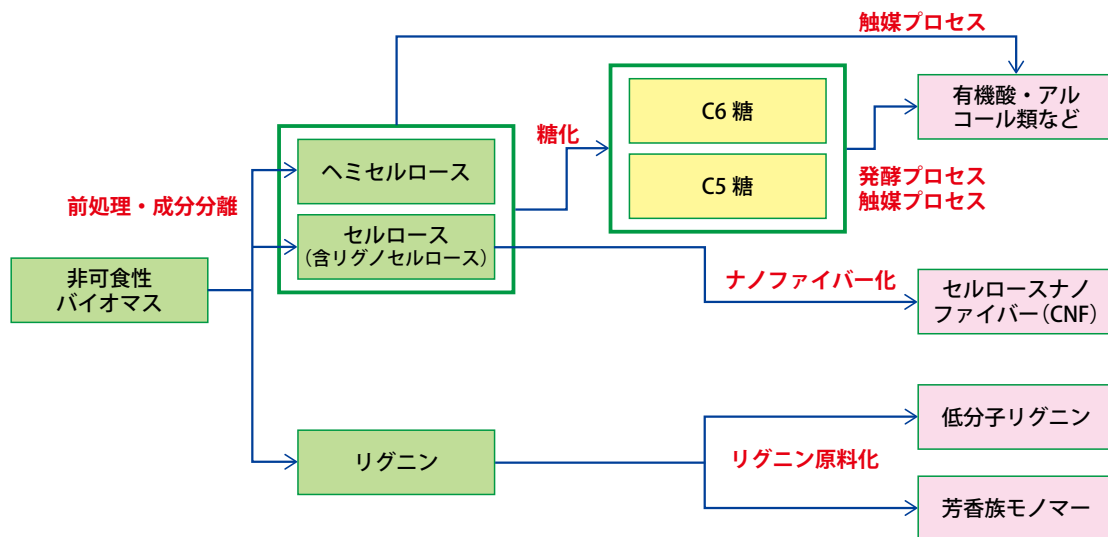


図7 非可食性バイオマスからの化学品製造の技術体系

出所：NEDO 技術戦略研究センター作成（2017）

バイオマスからの化学品製造分野の技術戦略策定に向けて

スなどに分解される。

近年注目を浴びているのがCNFであり、CNFの軽くて強い（鋼鉄の5分の1の重さで5倍以上の強さ）、比表面積が大きい（ $250\text{m}^2/\text{g}$ 以上）、熱による変形が小さい（ガラスの50分の1程度）といった特長を活かして、ポリマーの補強材としての開発が進められている。また、TEMPO触媒を用い、次亜塩素酸ソーダにより、CNFを酸化分解して、シングルCNF化することで、バリア性を高めたり、消臭機能を高めたりできることが明らかになっている。さらに、製紙会社を中心にして、様々な特性を持ったCNFの開発が活発化している。CNFの課題は、製造コストと性能のバランスである。高機能化するための処理にエネルギーや薬品を多く投入することで、製造コストが高くなるのが課題として挙げられる。そのため、処理コストを低減した形で高機能化を実現することが求められる。

リグニンは、現在、製紙プロセスの前処理によって重縮合が進み、前処理に使用された薬品が混ざって黒ずんだ液体（黒液）となった形で主に抽出されるため、そのままでは、化学品として使用しにくく、燃料用途として利用されるケースが多くなっている。そのため、リグニンを化学的手法により、低分子化・モノマー化して、芳香族骨格を活かしたリグニン由来樹脂や芳香族モノマーとしての活用が検討されている。一方で、リグニンは原料種、部位、前処理技術によって得られる性状が異なるため、バイオマスの原料供給と処理技術に応じた用途開発が不可欠である。

(2) 化学品への変換技術

バイオマスからの化学品への変換技術としては、発酵法が用いられることが多い。現在、原料として可食性糖（トウモロコシ・サトウキビなど）から、発酵プロセスにより、エタノールなどの燃料だけではなく、乳酸、コハク酸、アミノ酸など多くの化学品が製造されている。非可食性バイオマスを利用する場合、セルロース由来のグルコース以外にも、ヘミセルロース由来の糖類が含まれてくるが、多く

の微生物では、グルコース以外の糖に対して、相対的に発酵が遅い。また、前処理によって生成するフルフラールなどの発酵阻害物質の混入により、発酵速度の低下やポリマー化を阻害することがある。

一方で、触媒などを用いた化学的な手法による変換技術もある。この場合、原料である糖、セルロース、ヘミセルロース、リグニンの化学構造を活かした形で変換されるが、触媒反応の選択率・収率、分離・精製のプロセス向上に加えて、処理プロセスから得られる化学品の用途開発が課題となる。

このように、非可食性バイオマスの化学品原料としての利用には、バイオマスの供給、前処理技術、製造プロセス、及び用途開発間での相互のフィードバックが不可欠であり、企業単独でこれらの総合的な利用技術を開発することが困難であることから、技術開発のハードルは高い。

バイオマスからの化学品製造分野の技術戦略策定に向けて

3 -2 国内バイオマスの利用と技術開発課題

(1) 国内バイオマスの利用

「新たなバイオマス活用推進基本計画」においては、地域に存在するバイオマスを活用した新たな産業を創出し、農林業の振興や地域への利益還元による活性化につなげることが期待されている。

我が国の国土面積3,779万 haのうち、森林面積は2,508万 ha (国土の約66%)、耕地(農地)面積は447万 ha (国土の約12%)である。この農林業の生産現場から、林業由来の林地残材が炭素換算値で400万t/年、農業由来の農業残渣(農作物非可食部)が448万t/年、

合わせて約848万t/年の農林業バイオマスが発生している。農林水産省はそれぞれの利用目標(2025年に、林地残材30%(約120万t/年)、農作物非可食部45%(約202万t/年))を定めている(表7)。

地域のバイオマスを活用することは、①地域における新産業の創出によるGDP向上、②農林業の活性化、③未利用バイオマス利用による低炭素社会への貢献、④我が国固有の資源の活用、といったメリットがある。

しかし、バイオマスを利用した産業を地域に創出するためには、経済性の確保が重要になる。そのためには、効率的な収集システムの確立、高付加価値品への変換技術、化学品原料の規格化など、バイオマスを効果的に活用する取組を総合的に実施する必要がある。

表7 2015年の我が国の農林業バイオマスの活用状況(炭素換算値)

バイオマスの種類	発生量 (万t)	利用量 (万t)	利用率 (%)	2025年目標	
				利用量 (万t)	利用率 (%)
林地残材	400	36	9	120	30
農作物非可食部 (すき込みを除く)	448	142	32	202	45

出所：農林水産省「バイオマスの活用をめぐる状況」(2017)を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2017)

バイオマスからの化学品製造分野の技術戦略策定に向けて

(2) 高付加価値化利用技術

国内バイオマスの利用システムを構築するためには、バイオマスから付加価値の高い化学品製造プロセスを開発することが課題である。

そのためには、バイオマスを構成する成分の価値を最大限に活用する形で、高い歩留りで化学品原料成分を抽出することが重要となる。バイオマスからの化学品製造の高付加価値化利用技術の一例を図8に示す。国内バイオマスの利用システム技術を経済的に成立させるためには、改質リグニンや結晶性セルロース、あるいは、ヘミセルロース由来やセルロース由来の成分から得られる糖類など、バイオマスが本来持つ化学構造を最大限活かすことが有効になる。また、テルペン類などのように高付加価値化が可能な成分を抽出して活用することで、システ

ム全体の経済性を向上させることが可能になる。

一方で、このように生産された改質リグニン、結晶性セルロース、テルペン類などの化学品原料については、化学品・素材・材料に利用するための用途開発を行い、需給をマッチングさせる必要がある。

また、地域に賦存するバイオマスを利用する場合、バイオマス利用技術の地域での成立性を検証する必要がある。特に、バイオマス種によっては、季節、地域、部位等によって成分や生産量も変動するが、こうした変動にも対応する必要がある。さらに、生産されたバイオマス由来化学品原料については、形状・成分・品質などを担保する必要があるため、規格化も重要な課題となる。

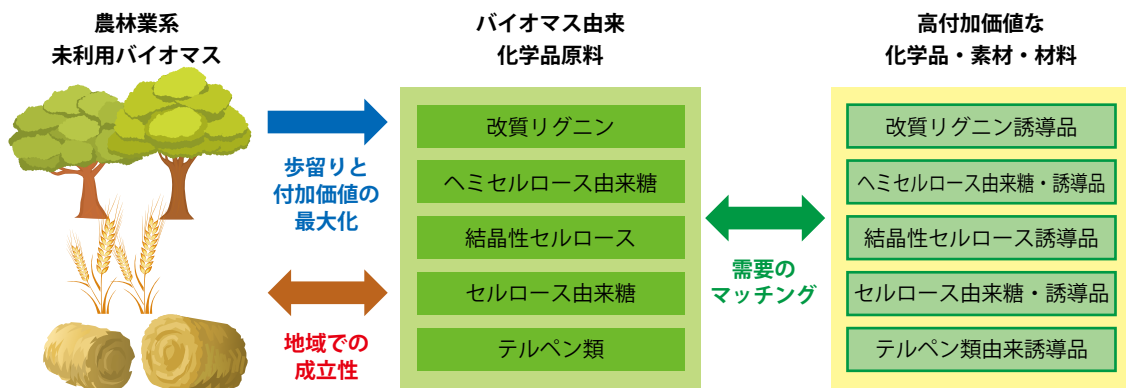


図8 高付加価値化利用技術の一例
出所：NEDO技術戦略研究センター作成（2017）

4章 おわりに

バイオマスからの化学品製造の分野は、バイオエコノミーの進展により、市場が大きく拡大していくことが予想されている。欧米などでは、低炭素社会の実現や石油依存の低減のために、非可食性バイオマスの利用技術に対して、公的支援が多く投入されている。

バイオマスからの化学品製造と産業利用の実現は、温暖化対策と産業競争力の両方に対する貢献を可能にする。また、国内バイオマスの利用が実現できれば、地域のGDP向上、農林業の活性化といった効果も期待される。

国内に賦存するバイオマスを利用できるようにするためには、高付加価値化利用技術として、化学構造を保持した形での生産技術と、用途開発に加えて、地域での成立性の検証が重要な課題になる。また、化学品製造のプロセスの開発だけでなく、バイオマスの収集システムの構築など、様々な課題を克服することが必要である。

技術戦略研究センターレポート

TSC Foresight Vol.22

バイオマスからの化学品製造分野の技術戦略策定に向けて

2017年11月1日発行

TSC Foresight Vol.22 バイオマスからの化学品製造分野 作成メンバー

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術戦略研究センター (TSC)

■ センター長 川合 知二

■ センター次長 矢島 秀浩

■ 環境・化学ユニット

・ユニット長 石田 勝昭

・主任研究員 山下 勝

・研究員 加藤 知彦

石井 雅久

定兼 修

森 智和

・フェロー 島田 広道 産業技術総合研究所 理事

室井 高城 アイシーラボ 代表

安井 至 製品評価技術基盤機構 名誉顧問

指宿 堯嗣 産業環境管理協会 技術顧問

● 本書に関する問い合わせ先
電話 044-520-5150 (技術戦略研究センター)

● 本書は以下URLよりダウンロードできます。
<http://www.nedo.go.jp/library/foresight.html>

本資料は技術戦略研究センターの解釈によるものです。
掲載されているコンテンツの無断複製、転送、改変、修正、追加などの行為を禁止します。
引用を行う際は、必ず出典を明記願います。