

《 講演 3 》

バイオリファイナリーの世界動向と実用化に向けた取り組み

(公財) 地球環境産業技術研究機構
バイオ研究グループ グループリーダー
湯川 英明

1. はじめに

バイオリファイナリー産業の将来市場規模は、2020年には\$230 Billion、2030年には\$300 Billionに達すると予測されている⁽¹⁾。このため、すでに本分野に流入する投資資金は、90年代にIT産業に投入された額をすでに上回るとの推測である。米国における燃料エタノール市場はこのような資金流入に加え、原油価格の高騰もあり、生産量は急増し、トウモロコシ生産量の4割がエタノール原料として消費され、穀物価格高騰の主要因と批判されている。

このような背景から、米国は2007年12月にエネルギー自立・安全保障法 (Energy independent and security act of 2007 : EISA) を成立させ、従来の再生可能燃料基準 (Renewable Fuel Standard : RFS) を修正した (RFS2)。これによれば、バイオ燃料の生産において、非食料セルロース原料への転換を推進し、食糧問題を回避しながら、自国での再生可能燃料の製造・消費拡大を意図している。この計画によれば、2010年~2011年は、そのターニングポイントとなるはずであった (図1左)。ところが、食料資源トウモロコシから非食料セルロース原料への転換は順調に推移するどころか、完全にストップしている状況にある。前記のバイオ燃料導入国家目標 RFS2 の実現は困難とし、目標値をほぼ100分の一とする新計画を設定した (図1右)。

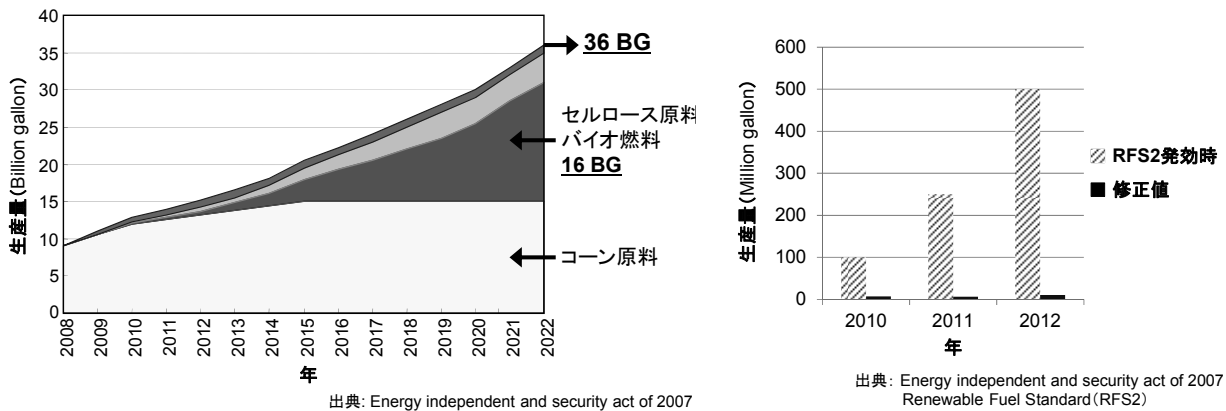


図1 バイオ燃料導入計画 in 米国

2. セルロースエタノール生産量『ゼロ』の背景・理由

この理由は、現状技術では、経済性あるセルロースエタノール製造が不可能なことにある。米国政府による膨大な研究開発費が投入されてきたが「技術的な壁」が突破できないのである。

セルロースエタノールの製造は前処理工程と発酵工程の2つのプロセスから構成される。「技術的な壁」は、前処理工程における「発酵阻害物質」の副生である (図2)。より正確に言えば、酵素セルラーゼの必要

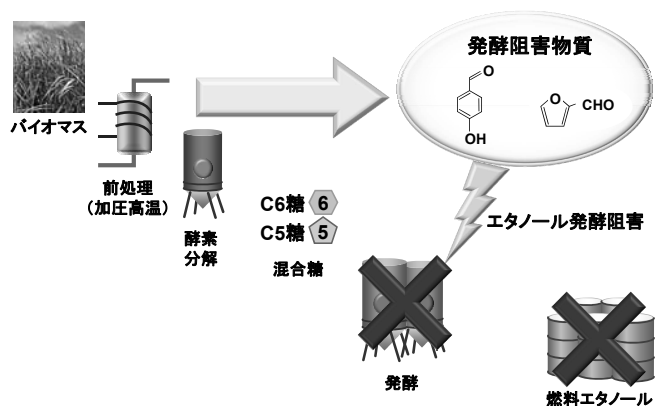


図2 工業化に障害：発酵阻害物質

量が、当初予測をはるかに超える量となる点にある。副生を抑えるため、前処理条件（温度、処理時間等）をマイルドとすると、酵素セルラーゼの必要量の大幅アップが避けられず、前処理条件と必要酵素量は、完全な trade-off の関係となっているのである（図 3）。

現状では、必要酵素セルラーゼのコストは、ガロン・エタノール当り、\$3~5 に達すると言われ、全く経済性が出ない（ガソリンの末端価格から計算されるエタノール価格は\$3 前後となる）。

これに対し、工学的に該阻害物質を除去する方法や、発酵に用いる微生物に耐性機能を付与させる試みなどが行われているが、経済性ある解決策がないのが現状である。このため、一部の石油メジャーは、セルロースエタノール事業計画から撤退を表明、その他の主要企業は、実証生産の開始時期を、軒並み、2013 年以降に繰り延べとしている。

3. 次世代バイオ燃料ブタノールへの期待

次世代のバイオ燃料として「ブタノール燃料」が注目されている。その理由はエタノールと比較するとよく理解できる。エタノール混合ガソリンは、僅かな水の混入により、エタノールが水側に移動して相分離現象を起こす。このため、製油所から消費地にパイプライン輸送ができないという欠点がある。これに対し、ブタノールは水にはほとんど溶けないために製油所で混合し、パイプラインでの輸送、すなわち、既存のインフラ設備が利用できるという大きな利点がある。このほか熱量密度が高いなどの利点を表 1 に示す。

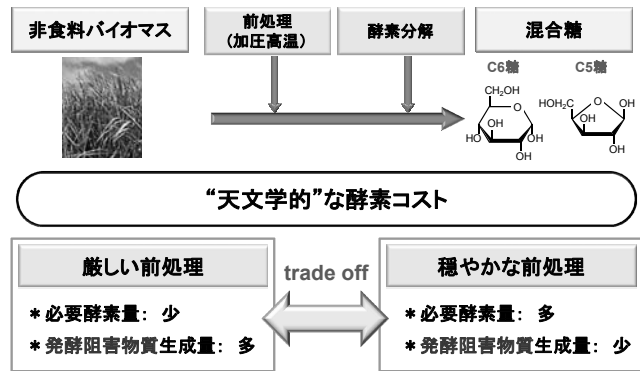


図 3 “セルロースエタノール生産”実現への障害

表 1 バイオブタノール：燃料特性

バイオブタノール…次世代燃料としてエタノール以上に有望 優位なる特性(対エタノール) ○ 発熱量 : 高 ⇒ 燃費の悪化が少ない ○ 水との親和性 : 低 ⇒ 相分離の発生なし(製油所で混合可能) ○ ガソリンブレンドによる蒸気圧上昇 : なし				
燃料種	ガソリン	エタノール	1-ブタノール	イソブタノール
熱量比(ガソリン:100)	100	66	84	83
オクタン価(RON)	95	120	94	109
水への溶解性		大 (任意の割合で溶ける)	小(エタノールとの比較)	

表 2 主要グリーン化学品ベンチャー企業

4. グリーン化学品

バイオ燃料とは状況が大きく異なるのが、グリーン化学品分野である。グリーン化学品は、バイオ燃料と比較し、より高度な技術開発が求められるが、製品としては、付加価値も高く、ビジネスモデルも設計しやすい。グリーン化学品の将来市場は、2020 年に約\$100 Billion に達するとされ、続々とベンチャー企業が誕生している（表 2）。

企業名	開発品	設立	本拠地	原料	生産計画
NatureWorks	ポリ乳酸	1997	ネブラスカ州	コーン	第2工場(2015年 タイ建設予定)
Myriant	コハク酸	2009	マサチューセッツ州	ソルガム/CO ₂	1.4万トン(2013年)
BioAmber	コハク酸	2008	ミネソタ州	コーン	3千トン稼働中、 1.7万トン(2013年)、 6.5万トン(2014年)
Genomatica	ブタンジオール	1998	カリフォルニア州	コーン、 サトウキビ	デモプラント生産中、 商業生産(2013年)
OPX Biotechnologies	アクリル酸	2007	コロラド州	コーン	3-5年以内に 商業化計画
Verdezyne	アジピン酸	2008	カリフォルニア州	コーン、 サトウキビ	パイロットプラント 2011年から稼働中
Gevo	イソブタノール	2005	コロラド州	コーン	5.4万トン(ミネソタ州 2012年稼働予定)
Amyris	ファルネセン	2003	カリフォルニア州	コーン、 サトウキビ	化学品に特化 (2012年1月)
LS9	脂肪酸(ディーゼル油、 界面活性剤等)	2005	カリフォルニア州	コーン、 サトウキビ	20KL 生産計画(2012年)

また、セルロースエタノール生産を主な事業計画としていたベンチャー企業も、事業計画を変更し、グリーン化学品製造を当面の目標とするところも出てきている。

これらベンチャー企業のビジネスプランを見ると、グリーン化学品生産は、バイオ燃料と比較し、生産量自体も小さいため、食料資源との競合の批判も少ないと判断してか、各社とも、当面は、トウモロコシ等の澱粉由来の C6 糖を原料としている。しかしながら、サステイナブルな産業として発展していくためには、原料としてはバイオ燃料と同様に、食料資源と競合しない非食料バイオマスへの転換が必須である。今後の企業業績は、技術開発力の優劣に大きく影響されよう。

5. RITE の取り組み

5-1. RITE 発ベンチャー企業の創立

RITE バイオプロセスは、通常の化学プロセスと同等以上の高い生産性（space time yield ; STY, 単位反応容積の時間あたりの生産量）、さらに、重要な特性として、非食料バイオマス由来の混合糖の完全同時利用、発酵阻害物質に対する高度耐性を有する。我々の研究成果は、国内外の産業界等より高く評価され、バイオリファイナリー産業の実現において、世界をリードする機能設立の要望を受け、RITE 発のベンチャー企業として、Green Earth Institute (GEI) 株式会社を、昨年 9 月に創立した⁽²⁾。

5-2. 米国エネルギー省「再生可能エネルギー研究所 (NREL)」との共同研究

NREL は、バイオリファイナリー分野で、米国のみならず世界の研究をリードしてきた研究機関である。NREL が長年開発してきた非可食バイオマス資源からの混合糖調製に関する研究蓄積は膨大であり、幅広いバイオマス種に対応しうる技術を確立している。我々の技術との組み合わせにより、経済性あるセルロースエタノール生産の実現が見込まれる。

5-3. 今後の展望：バイオリファイナリー産業の実現へ向けて

NREL との共同研究開発における当面の目標は、非可食バイオマスからの燃料エタノールの経済性ある生産であり、この実現による波及効果は、エタノール生産に止まらない。バイオリファイナリー産業の原料となる“非食料バイオマス由来の混合糖”が、低コストで供給可能となることにより非食料バイオマスからのバイオ燃料製造とともに、グリーン化学品の広範囲な製造も可能となる。

NREL との国際共同研究により、バイオリファイナリー産業の実現・拡大による地球環境保全、さらに持続可能社会の実現を図っていきたい (図 6)。

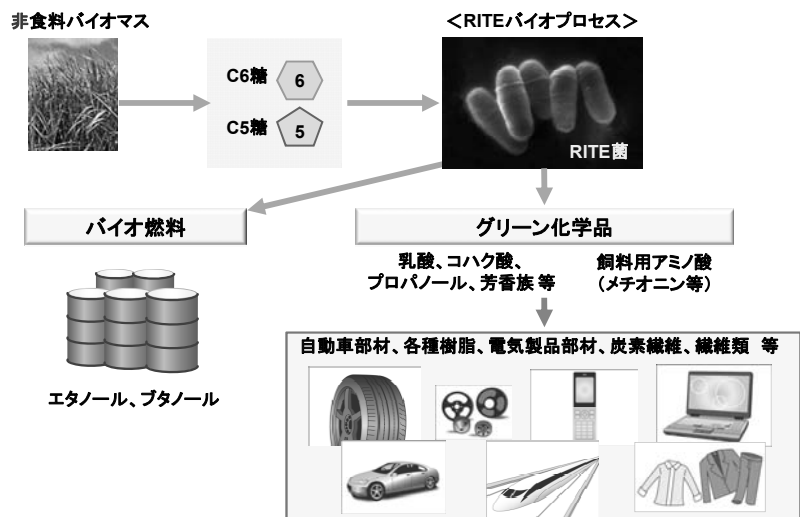


図 6 バイオリファイナリー産業の早期実現へ

参考文献

- (1) World Economic Forum 2011
- (2) Green Earth Institute 株式会社、〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学アントレプレナープラザ 6F、TEL03-3818-9211、info-green@gei.co.jp、<http://www.gei.co.jp/index.html>