

BRAIN

Bio-oriented Technology Research Advancement Institution

平成23年3月15日(隔月1回15日発行)

ISSN 1345-5958

TECHNO NEWS

No.144

15 MARCH, 2011

ブレインテクノニュース

「あなたの街にリサイクル」

- ◆ 廃プラ（プラスチック製容器包装）からゴミ袋の製造が可能に。
- ◆ これまで 廃プラは 用途が限られ せつかく分別されても処分に困ることも。
- ◆ 進化するバイオマス技術
「石油資源の更なる節約」 これまで使えなかった廃棄物系の資源を活用
「地域資源の有効利用」 市民が分別収集に協力した資源を活用



廃プラのナノコンポジット化



廃プラから製品化した
ごみ袋

地域資源を利用したバイオプラスチックの開発

アグリフューチャー・じょうえつ株式会社
大野 孝

目 次

特 集

稲わらからバイオエタノール製造のための前処理技術「CaCCO 法」の開発と応用展開 ……	1
徳安 健 ((独) 農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所)	
食料とエネルギーの同時的増産技術を開発 — 高バイオマス量サトウキビを原料とした 砂糖・エタノール複合生産システムをプラント規模で実証 — ……	5
石田哲也 ¹ ・小原 聡 ¹ ・寺島義文 ³ ・樽本祐助 ² ・寺内方克 ² ・杉本 明 ³ (¹ アサヒビール 株式会社 豊かさ創造研究所, ² (独) 農業・食品産業技術研究機構 九州沖縄農業研究 センター, ³ (独) 国際農林水産業研究センター)	
微生物機能を利用した未利用バイオマス資源リグニンの化学原料への変換とその活用技術 ……	11
中村雅哉 ¹ ・大塚祐一郎 ¹ ・大原誠資 ¹ ・政井英司 ² ・敷中一洋 ³ ・重原淳孝 ³ ・片山義博 ⁴ (¹ (独) 森林総合研究所, ² 長岡技術科学大学 生物系, ³ 東京農工大学 工学府, ⁴ 日本大学 生物資源科学部)	
CBP 用スーパー酵母を用いたバイオエタノール生産技術の開発 ……	17
蓮沼誠久 ¹ ・荻野千秋 ² ・近藤昭彦 ² (¹ 神戸大学自然科学系先端融合研究環, ² 神戸大学 大学院工学研究科応用化学専攻)	
地域資源を利用したバイオプラスチックの開発 ……	23
大野 孝 (アグリフューチャー・じょうえつ株式会社)	

国内情報

高機動型果樹用高所作業台車 ……	28
太田智彦・山田祐一・猪之奥康治 ((独) 農業・食品産業技術総合研究機構 生物系特定産業技術研究支援センター)	

文献情報

母体の年齢がミトコンドリアの DNA コピー数, ATP 含量及び体外受精成績に及ぼす影響 ……	32
H. Iwata et al. (<i>Reproduction, Fertility and Development</i> , 23, 424-432, 2011) 抄訳: 下司雅也	
<i>Ice-COLD-PCR</i> は、低度、未知のDNA変異を迅速に増幅し、強力に濃縮することができる ……	33
Coren A. Milbury et al. (<i>Nucleic Acids Res.</i> , 39, e12, 2011) 抄訳: 高橋正之	

生研センターからのご案内

生研センター基礎的研究業務の研究成果について ……	34
---------------------------	----

表紙の説明

筆者は、コメや間伐材などの地域資源を利用したバイオプラスチックの開発を行ってきた。セルロースナノコンポジットを合理的に得ることができるようになり、これを家庭ゴミ由来のプラスチック製容器包装に適用したところ、廃プラからは不可能と言われていた薄肉フィルムの成型が可能となり、自治体の指定ゴミ袋などとして商品化・実用化に成功した(表紙写真)。

詳細については23頁をご覧ください。

◀ 特集 ▶

稲わらからバイオエタノール製造のための
前処理技術「CaCCO 法」の開発と応用展開

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所

徳安 健

籾収穫後に適切に管理された稲わら中には、セルロースやキシランのような繊維質由来の多糖のみならず、ショ糖や澱粉などの易分解性糖質が含まれることが少なくない。著者らは、これらの稲わら原料中に存在する有用糖質を可能な限りムダにせず回収し、効率的にエタノールに変換するための前処理技術 CaCCO (Calcium Capturing by Carbonation(CO₂)) 法を開発した。

1. はじめに

農林水産省では、地球温暖化抑制と地域活性化を両立できるバイオマス変換技術を開発すべく、委託プロジェクト研究「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発」(H19-23)において、稲わら、麦わらや単子葉系資源作物、双子葉系資源作物及び木質系原料からのバイオエタノール製造技術の開発を行っている。本プロジェクトでは、2017年頃に、年産1.5万kL程度の極めて小規模のプラントで、100円/L程度でのエタノール製造が可能な技術の開発を目標としており、その際の原料コストは、稲わらで15円/kg(乾燥重量ベース)と初期設定されている。このような極めて高い達成目標に対して、当所では、稲わらの原料特性の見直しから開始することとした。

2. 稲わらの原料特性

コーンストーパー、サトウキビバガスや麦わらなどの草本系植物茎葉をバイオエタノールの原料とする場合には、主に繊維質多糖であるセルロース及びキシランから発酵性糖質を回収するための技術が検討されてきた。稲わら原料に

ついては、シリカを含む分だけリグニン量が少ない点に変換プロセス構築上の留意点となるが、他の農産廃棄物と同様に、セルロースとキシランを主要な発酵性糖源とする方法が研究されている。著者らの初期のデータでは、市販の稲わら(コシヒカリ)には、セルロース及びキシランが、乾燥重量あたりそれぞれ約30%及び14%含まれていた。繊維質中では、これらの多糖がリグニンと強固に結合し、頑強な構造を形成している。そのため、熱化学的前処理によって繊維質中のセルロースやキシランを剥き出しにしつつ改質を行い、後段の酵素糖化を促進する必要があると考えられた。

バイオエタノール製造技術の開発に向けて要素技術を絞り込む段階では、種々のコスト要因、製造規模や地域事情などの様々な因子を考慮する必要がある。また、導入されるべきセルラーゼ利用技術、革新的な発酵技術、副産物利用技術などの重要な要素技術については、採用すべき変換技術によって絞り込む必要がある。現在、稲わら中のソフトセルロース変換技術の開発については、各地域の原料生産特性や資源循環のあり方などを考慮しつつ、複数の中核技術が選択され実証試験が行われている。このような中で、本プロジェクトの推進にあたり上記の市販稲わらの成分データを考慮すると、六炭糖(C6)と五炭糖(C5)の両方を効率的にエタノール変

TOKUYASU Ken

〒305-8642 茨城県つくば市観音台 2-1-12

換した場合でも、1Lあたり4kg(60円)の原料を必要とし、変換費用40円の超効率的なプロセスの開発が必要となる。この原料価格で上記稲わらを用いて100円/Lの達成をめざす場合には、事実上、キシラン回収とC5利用が不可欠となる。

そこで、著者らは、原料特性を詳細に解析し、より良質な稲わらを原料とする可能性に活路を見出すこととした。作物研究所の協力を仰ぎ、多様な稲わら試料を分析した結果、セルロースやキシランに加えて、澱粉、ショ糖、遊離ブドウ糖、遊離果糖、そして β -1,3-1,4-グルカンが存在することを確認した(これらを総称して「易分解性糖質」と定義)。作物学分野では、稲茎葉部にショ糖や澱粉等の非構造的炭水化物を蓄積する現象は広く知られており、稲の生長と子実の充実度との関係等について研究が行われてきた。しかしながら、バイオ燃料の原料としての稲わらについては、これらの易分解性糖質の存在は殆ど注目されず、その結果、主として繊維質からの糖回収のみを考慮した苛酷な前処理技術が検討されてきた。

稲わら中の易分解性糖質が注目されなかった背景には、注目すべき理由が隠れている。上述した市販稲わらには、易分解性糖質は殆ど含まれていないのに対して、わら収集後に直ちに乾燥するなど、適切な方法で保存された試料からは、セルロース量の数十%に相当する量の易分解性糖質が検出される。また、易分解性糖質は、日陰乾燥を行う間に急速に減耗・変質することを確認することができた。これらのことは、稲わらの品質を高く保持するための収集・貯蔵技術や、その品質保持技術を支える迅速・効率的な収集体系の構築が極めて重要であることを示す。易分解性糖質が蓄積する現象は、三大穀物の他の二つに由来する農産廃棄物、コーンストーパーや麦わらには観察されず、稲作文化圏のみの新たなチャンスを提供すると期待される。

3. CaCCO法の概要

上記知見を踏まえて、著者らは、セルロース、キシラン及び易分解性糖質からの効率的な発酵性糖質回収をめざして前処理技術の検討を行うこととした。研究室スケールで酸処理、水熱処理やアルカリ処理を予備検討したが、繊維質への前処理効率を優先させると易分解性糖質の一部が過分解することとなり、それぞれの利点・欠点を踏まえて、三者の回収率のバランスを考慮した前処理の絞り込みを行う必要が生じた。また、ショ糖や還元糖など易分解性糖質の一部は、原料スラリーの液相に溶出し、ロスとなる。前処理後に固液分離を行い、繊維質と薬液を分離回収するという工程は、本開発の目的には沿いにくいと考えられた。

このような中で、著者らは、アルカリ前処理に注目して、固液分離を伴わない工程の開発を試みた。アルカリ処理は、脱リグニンやエステル加水分解を伴う工程であり、続く繊維質糖化効率を大きく向上する。また、前処理時におけるセルロースやキシランの安定性が高く、易分解性糖質のうち、還元糖は分解されるものの、他の糖は比較的安定に維持されることが期待できた。固液分離を伴わずに薬品の回収が可能となるプロセスの候補としては、蒸発可能なアンモニアによる処理及び炭酸塩として沈殿形成が可能な(水)酸化カルシウム(ライム)による処理の二つに絞り込まれた。本研究では、溶解度が低く処理効果が鈍い欠点をもつ一方で、薬品コストが低く薬品回収効率を上げる際の目標を低く設定でき、作業安全性が高い利点をもつライムを用い、開発を進めた結果、CaCCO法として完成させることができた。以下にCaCCO法の概要を示す(図1)。

本法では、原料粉砕物スラリー中にライムを投入し、通常、 120°C ・1時間程度のアルカリ前処理を行う。その後、固液分離を行わずに、炭酸ガスを吹き付けて中和を行うことにより、ライムは炭酸カルシウムとして沈殿する。炭酸カルシウムの沈殿が存在する状態で、酵素糖化を行うことにより、糖化物を得る。また、同様に並行複発酵を行うことにより、ワンポットでの

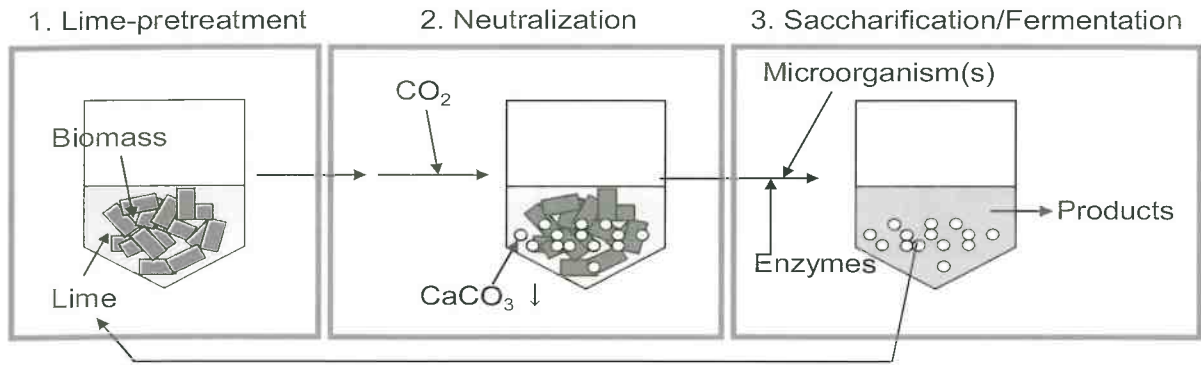


図1 CaCCO法を用いたバイオマス変換技術の概要図

バイオエタノール製造が可能となる。もろみ蒸留後には、固液分離を行い、液相を廃液処理または再利用に供するとともに、固相は燃焼により熱エネルギーと灰分を回収し、さらに、灰分中の炭酸カルシウムをキルン焼成によりライムに再生することを想定している。稲わらでは、大量のシリカが共存することから、灰分の付加価値創出を含めた多様な検討が可能となる。このようなシンプルな設備により、小規模なバイオエタノール製造・化学物質製造に道が拓けるものと期待する。

4. 技術改良 (RT-CaCCO法) による展望の拡大

著者らは、CaCCO法における熱投入を抑えるために条件検討を進めた結果、原料粉砕物とライム懸濁液を混合し室温で7日間程度静置することで、 $120^\circ\text{C} \cdot 1$ 時間処理と同等の前処理効果を得られることを確認した。この改良法 (RT-CaCCO法: Room Temperature-) では、前処理設備費や熱投入に係るコストを抑制することが可能となり、ロールベールやサイロ中で原料を貯蔵しつつ前処理を行うという、一層シンプルな工程となることが期待される (図2)。

その一方で、RT-CaCCO法の利点は、これまで強く意識していなかった分野への展開可能性も期待できる。世界中で栽培される主要なイネ科農作物 (稲、麦、トウモロコシ等) から得ら

れる茎葉部は、多くの場合、40-60%程度またはそれ以上の含水率を示し、穀物収穫のために切断した後は腐敗し、製品価値を落とす。それに対して、汎用性の高い解決策は存在せず、天日乾燥が可能な地域や、サイレージ製造が経済的に見合う地域以外では、圃場鍬込み、野焼き等を行っているのが現状である。バイオエタノール原料の稲わら原料の貯蔵技術を考えた場合、まず、天日または日陰乾燥による原料貯蔵が考えられる。しかしながら、これらの乾燥が可能な地域が限定されているのみならず、乾燥期間が長期にわたる場合には、易分解性糖質の減耗が激しく原料価値が低下する。また、稲わらの強制乾燥については、事実上、火力発電所やゴミ焼却施設等からの熱源供給が可能な地域に限定される。湿式貯蔵の代表としての乳酸菌処理 (サイレージ化) については、サイレージ化コストがバイオ燃料製造に見合う場合には有効と考えるが、稲わらの場合には、易分解性糖質、特にショ糖の減耗が懸念されるとともに、エタノール発酵時の乳酸菌汚染や乳酸副生リスクを解消する必要がある。その他、アンモニアや尿素などを用いた湿式処理法が検討されているが、薬品コストがバイオ燃料製造に見合うか否かについては不安が残る。このように、バイオ燃料製造に対応した湿式貯蔵技術は存在せず、我が国のみならず全世界におけるバイオマス原料の流通システム構築上の重大障壁となっている。

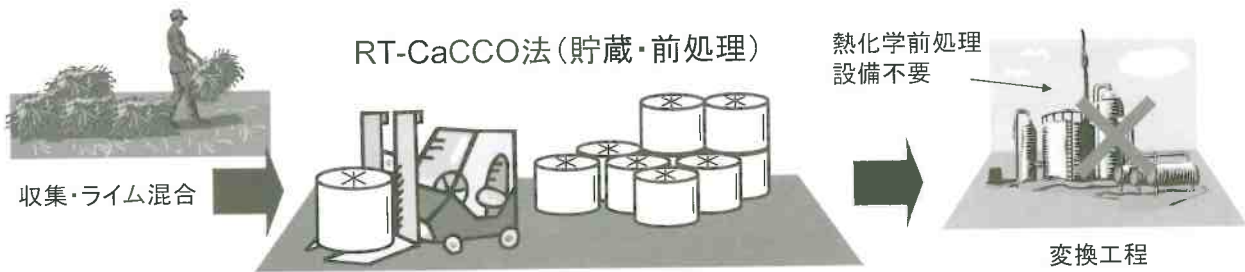


図2 RT-CaCCO法の適用による前処理工程の簡素化（イメージ）

それに対して、RT-CaCCO法では、稲わら原料の湿式貯蔵と前処理を兼ねており、使用するライムのコストは前処理費用に入るものとなる。また、澱粉と並ぶ、易分解性糖質の主要成分であるショ糖を効率的に維持することが可能となる。ライムはアルカリ薬品であり、作業時には注意が必要であるが、農業資材としても使用されており、環境への影響が比較的低いものと期待される。

前述したとおり、稲わら以外でも、含水率が高い状態での保存技術が求められている原料は少なくない。これらの原料に対するライム添加・貯蔵技術の適用性が確認される場合、貯蔵後にライムを中和・洗浄除去する方法と、系内に残して糖化反応を行うCaCCO法との実用性を比較し、適用性の高い方法を用いる必要があると考えられる。

5. おわりに

本技術は、シンプルな技術であることを特徴としており、製造会社の工場敷地内での有機物処理システム、目標の年産1.5万キロリットルのプラントや、それ以上の大規模商用プラントなど、多様な規模での実証・実用化が期待される。今後は、ラボスケールでの技術の高度化、革新的技術の導入、そして様々な規模での実証試験を行うことが必要となると考えられる。また、バイオエタノールのみならず、コハク酸、酢酸、乳酸などの化成品やその基幹化合物を稲

わら原料から作れば、地球温暖化抑制に繋がる環境技術としての可能性が広がるものと期待される。さらに、一般には澱粉や糖液などから製造される発酵生産物、例えば、アミノ酸、ビタミン、生分解性プラスチック原料、ヒアルロン酸、キトサン、産業用酵素、酵母菌体、藻類菌体などを、CaCCO法による糖化産物を用いて製造することにより、地域ごとの個性的な取組が活性化すると期待される。このような、日本の石油化学産業やバイオ産業の強みを活かした取組が進むことによって、稲作や他の農林作物の生産を軸とした、それぞれの適正規模での循環型産業が創り出されていくものと強く期待できる。

本研究は、農林水産省農林水産技術会議事務局による委託研究プロジェクト「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発」(BEC-BA220, BA250, BA260)による成果である。本研究の推進に関連して原料研究にご協力頂いた研究者を含め、関係者各位に深く感謝する。

文 献

- 1) Park J-Y., et al. (2010), *Bioresour. Technol.*, 101, 6805-6811
- 2) Shiroma R. et al. (2011), *Bioresour. Technol.*, 102, 2943-2949

◀ 特集 ▶

食料とエネルギーの同時的増産技術を開発

高バイオマス量サトウキビを原料とした
砂糖・エタノール複合生産システムをプラント規模で実証

¹アサヒビール株式会社 豊かさ創造研究所

²独立行政法人農業・食品産業技術研究機構 九州沖縄農業研究センター

³独立行政法人国際農林水産業研究センター

石田哲也¹・小原 聡¹・寺島義文³・樽本祐助²・寺内方克²・杉本 明³

世界的な人口増加や新興国での消費拡大に伴い、食料とエネルギーの逼迫は続いている。優良農地の新規開墾が困難な中、この地球規模課題を解決する手段として、不良環境でも安定多収が可能なサトウキビと、それを原料にした砂糖（食料）とエタノール（エネルギー）の増産技術を開発している。プラント規模の試験により、単位面積当たりの砂糖生産量を維持しながら、従来技術の約5倍量のエタノール生産が可能である事を実証した。

1. はじめに

世界人口は開発途上国を中心に過去30年間で約1.6倍に増加し、2030年には現在の約1.3倍に増加することが予測されている。一方で新興国の経済発展はめざましく、中国やインドではGDP成長率が10%に迫る勢いであり、消費も拡大している。これらが要因となった食料とエネルギーの逼迫・高騰は、今や地球規模の課題となっている。再生可能なエネルギーとして注目されているバイオエタノールは、食糧生産との競合になる場合があり、課題も残されている。非可食性バイオマスをバイオエタノールの原料にする試みも行われているが、原料生産や運搬コスト面から、実用化には至っていない。また、

ISHIDA Tetsuya¹, OHARA Satoshi¹, TERAJIMA Yoshifumi³, TARUMOTO Yusuke², TERAUCHI Takayoshi², SUGIMOTO Akira³

¹〒302-0106 茨城県守谷市緑1-1-21

²〒861-1192 熊本県合志市須屋2421

²〒891-3102 鹿児島県西之表市安納1742-1

³〒907-0002 沖縄県石垣市真栄里川良原1091-1

その取組みは食料生産との競合回避であっても、食料増産につながるものではなく、根本的な解決策とはなっていない。

先述のような地球規模課題を解決する手段として、不良環境適応性の高い農作物を、農耕不適地で安定的に生産し（土地の高度利用技術）、その農作物から食料とエネルギーを同時的に増産する技術（高付加価値利用技術）は有効である。アサヒビールと九州沖縄農業研究センターは、土地が痩せ、台風や旱魃が頻発する南西諸島を「日本の中の不良環境地域」と捉え、平成14年度より、南西諸島でも持続的安定多収が可能なサトウキビ（高バイオマス量サトウキビ）と、それを原料とした、「砂糖・エタノールを複合生産システム」の開発を共同研究で開始した。本稿では、平成18年度～21年度に沖縄県伊江島で実施した、パイロットプラント規模での実証試験結果を述べ、その結果に基づき、同システムの国内（南西諸島）への普及の可能性について論じる。

2. サトウキビを原料としたエタノール生産の現状の課題と解決策

バイオエタノール原料としてのサトウキビは、単位面積あたりのバイオマス生産量が多く、糖質を蓄積するため糖化等の前処理が不要であり、バガス（搾り粕）がボイラー用の燃料となるなどメリットが多い。バイオエタノールへの利用方法には、大きく分けて、サトウキビ搾汁を直接エタノール原料とする方法と、砂糖の製造副産物である糖蜜を原料とする方法がある。砂糖が重要な甘味資源（食料）であることを考えると、食料生産との競合を回避するためには後者の方が望ましい。我々は、糖蜜を原料とするエタノール生産方法（以下；従来法）の現状の課題を整理し、それを解決し、発展させた新たな方法（以下；新規法）の開発に取り組んだ。

日本における従来法のご概念図を図1に示す。従来法では、砂糖生産用に育種・栽培され、「高糖・低繊維」という製糖工程に適した特徴を持つサトウキビが全てのスタートとなる。

従来法は砂糖製造を優先した工程に、エタノール製造工程を追加した形になっている。製糖工程では、3回の結晶化により糖分を徹底的に

回収する。最終的に糖分の約9.5%が砂糖になるため、糖蜜（3番蜜）に移行する糖分は少なく、結果としてエタノール生産量も少なくなる。糖蜜自体は安価なエタノール原料といえるが、少量のエタノールしか生産できないため、スケールの的にエタノールの製造原価が高価になる。これが一つ目の課題である。エネルギー源であるバガスは、製糖工程で約90%が消費されるため、エタノール製造用には不十分であり、新たに石油の投入が必要となる。これが二つ目の課題である。また従来法では度重なる加熱・濃縮により、3番蜜中の塩濃度と着色物質濃度が高く、発酵原料として好ましい品質とは言いがたい。三つ目の課題としては、高い塩濃度が引き起こす発酵阻害、排水まで移行する着色物質が与える環境負荷が挙げられる。

これらの課題を解決するために、理想的な姿から砂糖とエタノールをバランス良く生産する新規法を設計した（図1）。一つ目の課題を解決するためには、エタノールの生産量増加が不可欠であり、そのためには、原料となる糖蜜の発

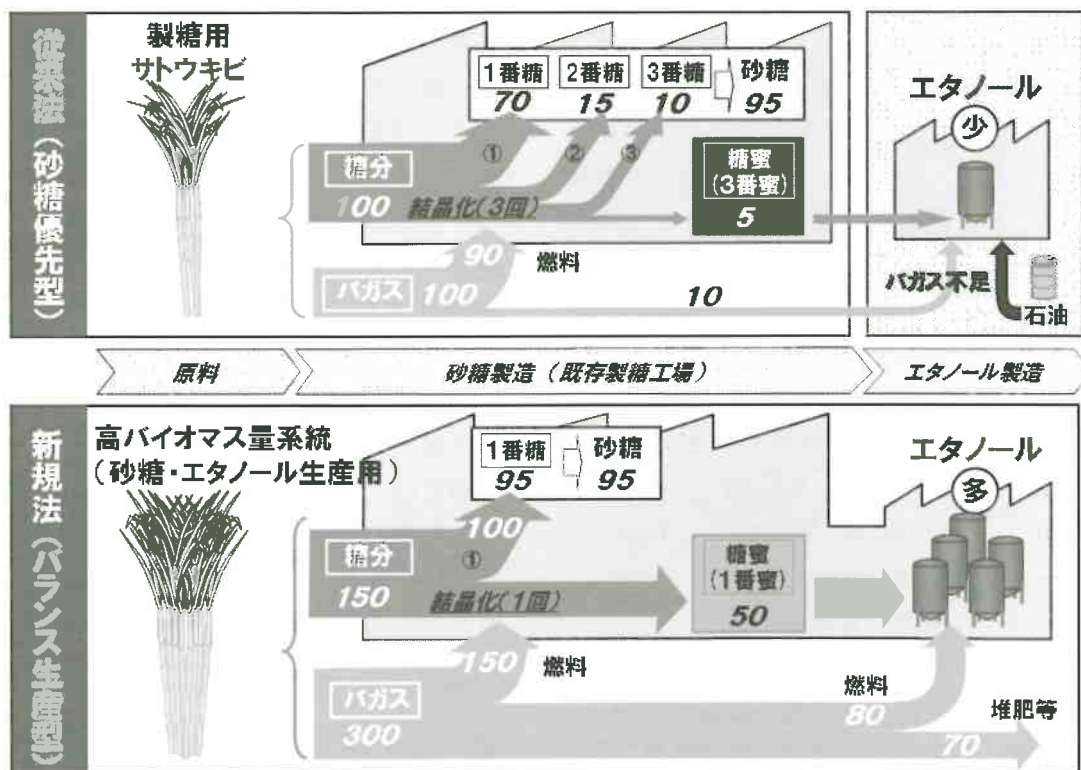


図1 糖蜜を原料としたエタノール生産方法のご概念図

生量増加が不可欠である。新規法では、原料改良により単位面積あたりの糖生産量を増加させ、結晶化を1回に変更し、従来法と同等の砂糖を確保した上で、大量の糖蜜（1番蜜）を得る方法を考案した。結晶化回数の減少は、塩濃縮と着色物資発生軽減の効果もあるため、三つめの課題も同時に解決できる。二つ目の課題を解決するためには、製糖とエタノール製造の両方のエネルギーを充たす量のバガスが必要である。またサトウキビの持続的生産の観点からは、農地に還元するバガスも確保したい。新規法では、一つ目の課題に対して挙げた「単位面積あたりの糖生産量増加」に加え、「単位面積あたりのバガス生産量増加」を実現するサトウキビを原料とする。このように、理想的なプロセスを設計し、次にプロセス実現に必要な原料を開発する、という「農工一体型」の新しい発想で研究を行った。

3. 持続的生産が可能で「砂糖・エタノール複合生産」に適したサトウキビの育種

九州沖縄農業研究センターでは、アサヒビールとの共同研究以前より、杉本らが中心となり、*S. spontaneum*（サトウキビ野生種）の萌芽性や耐病性、不良環境耐性などの能力を、製糖用サトウキビに導入するために種間交雑を実施していた。用途も砂糖生産だけを前提とせず、やや糖含有率は低くても、不良環境下でも高いバイオマス生産力を発揮し、サトウキビの総合利用を可能とするような特性を目標としていた。このような取組みの中で、様々な「高バイオマス量サトウキビ系統群」が開発された。

アサヒビールとの共同研究では、理想的なプロセス（新規法）を実現するための品種特性として以下の条件を設定し、高バイオマス量サトウキビ系統群の選抜を実施した。

条件①: 1回の結晶化で従来の砂糖生産量（8 t/ha）が得られるような「単位面積あたりのショ糖量」を有する。

条件②: バガス燃焼エネルギーで全製造エネルギーを供給可能な「単位面積あたりの繊維収量」を有する。

これらの条件を、各工程における収率、エネルギー原単位を利用して、サトウキビの形質中で改造が可能な「単位収量」、「ショ糖含率」、「還元糖含率」、「繊維含率」の4つのパラメーターで表した¹⁾。この関係式を元に、九州沖縄農業研究センターが新たに作出した系統群から条件を充たす有望系統を選抜した。それらの中から、パイロットプラントでの検討結果を元に、「砂糖・エタノール複合生産用」として「KY01-2044」を最終的に選抜し、平成22年に品種登録申請を行った²⁾（写真）。



写真 「KY01-2044」の草姿

左は製糖用サトウキビ「NiF8」

右は高バイオマス量サトウキビ「KY01-2044」

いずれも株出し栽培（平成20年10月撮影）

「KY01-2044」は、南西諸島各地域での試験において製糖用サトウキビと比較して、単位収量が約1.5倍、糖収量が約1.3倍、繊維収量が約2倍の栽培特性を持つ。また、分けつ性や萌芽性に優れるため、「株出し栽培（収穫後刈り株か

ら再生してくる萌芽茎を栽培する方法)」で特に茎数が多くなり多収となる。伊江島（南西諸島の中でも干ばつ等の影響で単位収量が低い地域）では、製糖品種の収量低下が顕著となる株出し2回目以降においても「KY01-2044」が高い生産力を維持できることを確認した³⁾（図2）。この特性はサトウキビの持続的生産に大きく貢献するものである。

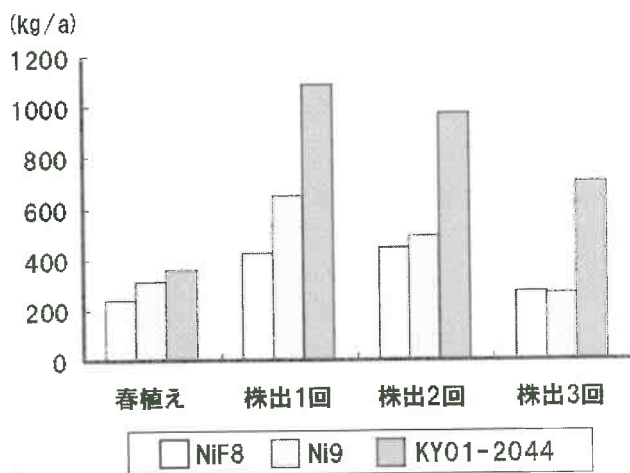


図2 多回株出しでの原料茎重 (沖縄県伊江村)

4. パイロットプラントでの検証

沖縄県伊江島に、パイロットプラントを建設し、主に新規法の実証と原料選抜を目的とした実証試験を行った(平成18年度～平成21年度；農林水産省、経済産業省、環境省、内閣府の連携プロジェクト)。プラントは、砂糖、エタノール、E3 ガソリンが一連の流れで製造できる仕様となっている。このうち製糖工程は、原料となるサトウキビを、1t/日に処理可能であり、国内製糖工場の約1/1000規模となっている。

実証試験では、様々な形質を持つ「高バイオマス量サトウキビ系統群」の原料1tからの一連の物質収支を調査した。このうち、製糖用サトウキビであるNi15と、高バイオマス量サトウキビ「KY01-2043 (KY01-2044と同じ母材、種子親を持つ)」を原料とした場合の、生産物収支結果を表1に示す。原料データは、平成20/21年の伊江島での「夏植え栽培(新植1.5年栽培)」の実績値を示す。生産物は、プラントでの実測値を単位面積あたりの生産量に換算した。従来法での砂糖回収率およびエタノール生産量、従来法と新規法のバガス収支は、シミュレーションにより算出した。

表1 従来法と新規法の生産物収支比較

			製糖用 (従来法)	高バイオマス (新規法)
原料データ	原料名	[-]	Ni15	KY01-2043
	単位収量	[t/ha]	76.1	137.3
	ショ糖含有率	[%]	15.7	11.6
	還元糖含有率	[%]	0.6	0.6
	繊維含有率	[%]	13.3	14.7
	搾汁純糖率	[%]	93.2	84.5
生産物	砂糖生産量 (砂糖回収率)	[t/ha] [%]	10.0 (84%)	9.7 (61%)
	エタノール生産量	[kL /ha]	0.7	3.3
	バガス発生量	[t/ha]	21.9	44.1
バガス収支	製糖燃料	[t/ha]	19.5	29.3
	エタノール製造燃料	[t/ha]	2.4	6.9
	余剰(圃場還元等)	[t/ha]	0.0	7.9

新規法での砂糖生産量は9.7t/haであり、従来法とほぼ同等の砂糖生産を確保することができた。またエタノールは3.3kL/haであり、従来法の4.7倍となった。新規法でのバガス発生量は44.1t/haであり、製糖燃料に必要な29.3t/haと、エタノール製造燃料に必要な6.9t/haを使用しても、7.9t/haの余剰バガスが発生することを確認した。以上の結果より、プラント規模の試験で、「新規法」が成立することが実証できた。

5. 新規法の国内での普及の可能性⁴⁾

新規法の国内での普及の可能性を検討するため、沖縄県の平均データから、架空の「モデルアイランド」を設定し、新規法を導入した際の生産量変化や、エタノール製造コストを試算した。設定条件および生産量は表2に示す通りである。モデルアイランドは、沖縄県で平均的な生産規模である石垣島の圃場規模(2000ha)、栽培形態比率(夏植え：株出し：春植え(新植1年栽培) = 6：1：1)、製糖工場規模(1000t/

日処理)を採用した。原料収支、生産歩留りは伊江島での実証試験で得られた数値を使用した。

試算の結果、新規法導入後の原料生産量は約2倍に、砂糖生産量は約1.2倍に、エタノール生産量は約5倍に増加することが示された。この規模では、年間4400kLのエタノールが製造でき、この時の設備投資額を試算すると約13億円となった。糖蜜価格を現状と同等の2000円/tに設定した場合、製造コストは51.5円/L(うち原料価格4.5円/L)となった。新規法での糖蜜(1番蜜)は従来法の糖蜜(3番蜜)と異なり、砂糖生産に使用可能な糖蜜であるため、仮にその価格を20000円/t(現状の10倍)に設定した場合、製造コストは92円/Lとなった。設備投資額の内訳と、製造コストの内訳を図3に示す。

糖蜜価格や工場規模によって製造コストは増減するが、国内でも新規法を導入すれば、ガソリン卸値程度のエタノール製造コストを達成できる可能性が示された。

表2 モデルアイランドの設定値と新規法の導入効果

モデルアイランド		設定値(導入前)		導入後	
圃場データ	栽培形態	栽培面積	単位収量	栽培面積	単位収量
	夏植	732ha	75t/ha	332ha	100t/ha
	株出(1回目)	244ha	50t/ha	332ha	110t/ha
	株出(2回目)			332ha	95t/ha
	株出(3回目)			332ha	90t/ha
	株出(4回目)			332ha	85t/ha
	春植	244ha	50t/ha		
	夏植次年度収穫	732ha		332ha	
	苗畑	48ha		8ha	
	収穫面積計	1220ha		1660ha	
	栽培面積計	2000ha		2000ha	
	原料生産量計		79,300t/y		159,360t/y
	工場データ	工場稼働日数		80d	
砂糖生産量			9,260t/y		10,840t/y
糖蜜生産量			2,040t/y		9,960t/y
エタノール生産量			840kL/y		4,410kL/y
バガス生産量			21,890t/y		53,190t/y

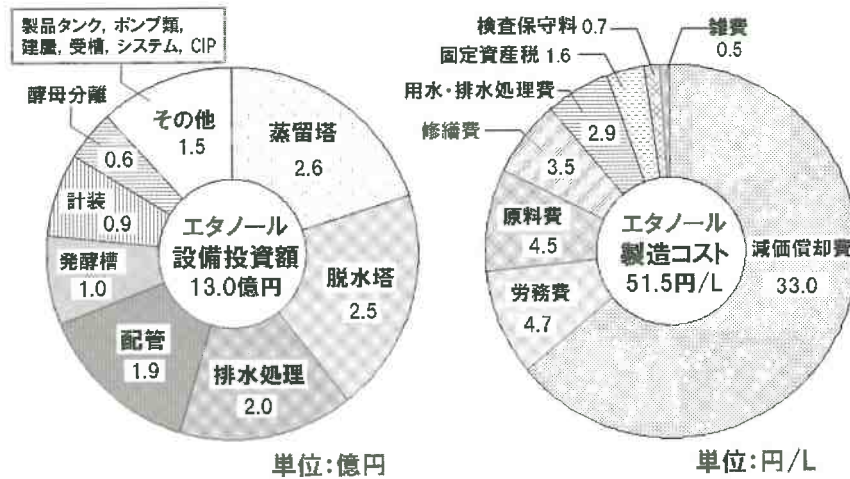


図3 モデルアイランドでの設備投資額とエタノール製造コスト

6. おわりに

日本は、国土が狭く新たな農地開墾が困難な上、人件費が高いため、経済的に見合うバイオエタノール生産には困難な地域と言える。その日本の不良環境地域（南西諸島）で、食料（砂糖）とエネルギー（エタノール）を経済的に見合う形で増産できることを実証した意義は大きい。世界的に優良農地の開墾が困難な中、人口増加と新興国の経済発展による食料とエネルギーの逼迫に対処するには、これまで農業に使われてこなかった不良環境地域の活用が不可欠になる。世界が近い将来に直面する課題に、日本はいち早く直面したからこそ、今回紹介したような技術が生まれたと考える。「高バイオマス量サトウキビを原料とした砂糖・エタノール複合生産システム」を通じ、国内の食料とエネルギーの増産と、世界が今後直面する課題の解決に貢献していきたい。

7. 謝辞

伊江島における実証試験は、農林水産省「バイオマスの環づくり交付金」、NEDO 技術開発機構「バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業」、環境省「地球温暖化対策技術開発事業」、

農林水産技術会議「農林水産バイオリサイクル研究」および「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発」等の研究助成のもと進められた。

また、伊江村、JA おきなわ伊江支店、内閣府沖縄総合事務局、沖縄県農業研究センター、鹿児島県農業開発総合センター等の方々に多くの協力を頂いた。この場をお借りしてお礼申し上げる。

8. 参考文献

- 1) 小原聡ら (2005), 日本エネルギー学会誌, 84 (11), 923-928
- 2) 寺島義文ら (2010), 平成 21 年度九州沖縄農業研究成果情報
- 3) 寺島義文ら (2010), 日本作物学会記事, 229, 124-125
- 4) 小原聡 (2011), バイオサイエンスとインダストリー, 69 (2), 149-153

◀ 特 集 ▶

微生物機能を利用した未利用バイオマス資源 リグニンの化学原料への変換とその活用技術

¹独立行政法人 森林総合研究所, ²長岡技術科学大学 生物系,
³東京農工大学 工学府, ⁴日本大学 生物資源科学部

中村雅哉¹・大塚祐一郎¹・大原誠資¹・政井英司²・
敷中一洋³・重原淳孝³・片山義博⁴

未利用の木質系芳香族バイオマス資源であるリグニンは、複雑な化学構造から非常に限定的な分野でしか利用されてこなかった。近年、リグニン分解微生物のバイオプロセスを用いてリグニン化合物を均一な中間物質に変換することが可能となり、それを新規グリーンプラスチック原料として高強度エポキシ接着剤、伸縮性ポリウレタンの製造に成功した。

1. はじめに

現代社会においては、化学原料のほぼすべてを石油資源に依存してきたが、その結果として、地球の温暖化、石油資源の枯渇化等の問題が顕在化している。地球環境を保全し、持続可能な社会を構築していくために、地球の自然循環系を構成するバイオマス資源にその原料を求める必要性が「バイオマス・ニッポン総合戦略」に謳われ、研究開発が盛んに実施されている。

地球上に存在するバイオマス資源のうち最も多量に存在するのは植物系バイオマスで、その90%を木質系バイオマスが占め、賦存量は1兆6500億トンと試算されている¹⁾。森林資源は古くから木材として利用されて来ているが、その構成成分を上手く利用することができれば、石

¹〒305-8687 つくば市松の里 1

²〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1

³〒184-8588 東京都小金井市中町 2-24-16

⁴〒252-0880 神奈川県藤沢市亀井野 1866

油を中心とした化石資源から作られるエネルギー、化学原料・製品の95%が木質バイオマス資源からも製造可能であると言われている²⁾。多糖類成分のセルロース(約50%)、ヘミセルロース(20-25%)はこれまでに紙・パルプ、繊維の原料、キシロオリゴ糖、キシリトール等の甘味料、医薬品として高度利用技術が確立されており、近年ではアルコール、水素ガス、メタンガス等のエネルギー源への変換技術開発研究が盛んに行われている。一方、芳香族成分のリグニン(25-30%)は、化石資源に含まれる成分に類似の化合物から構成されているにもかかわらず、その複雑な化学構造のため均一な成分に分離、精製することが難しく、分散剤、土壤改良剤、紙・パルプ産業での燃料としてのみ利用されるに過ぎない。そのため、現在、具体的なリグニンバイオリファイナリー技術の開発(リグニンからの有用物質変換技術)が求められている。

2. リグニンの化学構造

リグニンはフェニルプロパン構成単位(針葉樹では芳香環の3位にメトキシル基が、広葉樹

は芳香環の3,5位にメトキシ基が付いた構造単位)が、種々のエーテル結合や炭素-炭素結合で結合した3次元網状構造の複雑で難分解性な高分子である(図1上段)³⁾。一般的に自然界では主に木材腐朽菌と呼ばれるきのこ類と土壤細菌類の相乗作用により時間をかけてゆっくりと二酸化炭素まで分解されている^{4,5)}。しかしリグニンはその複雑な構造から、セルロースなどの多糖類成分が化学処理による加水分解により構成糖成分まで分解されるのと異なり、化学処理によりフェニルプロパン構成単位に分解することはできない。しかしながら、リグニンをアルカリ条件下で酸化分解すると種々の低分子芳香族化合物として主にバニリン(V)、バニリン酸(VA)、シリングアルデヒド(S)、シリング酸(SA)を得ることができる(図1下段)。

3. 微生物機能を用いたリグニンからの有用物質 2-ピロン-4,6-ジカルボン酸(PDC)の生産

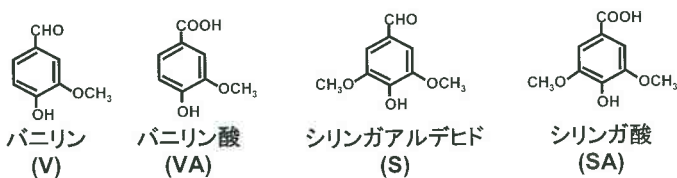
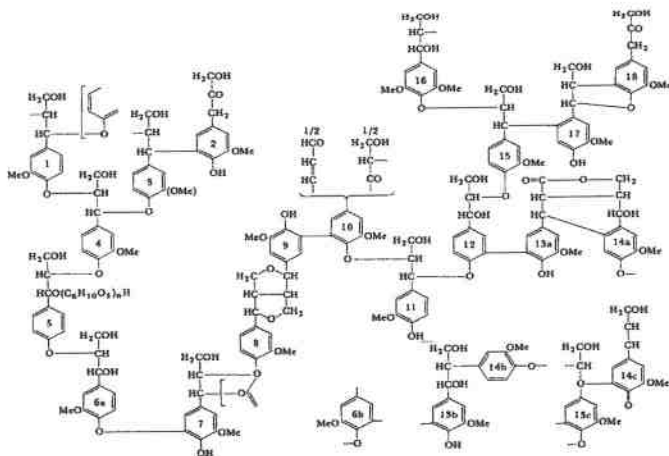


図1 リグニンの推定化学構造(上)と
アルカリ酸化分解で得られる主な化合物(下)

パルプ工場廃液中から単離された土壤細菌 *Sphingobium* sp. SYK-6 株(以下 SYK-6 株)は、V, VA, S, SA をはじめ、様々な低分子リグニン二量体化合物(ビフェニル, β -アリアルエーテル, ジアリアルプロパン化合物)を炭素源として生育することができる。近年、政井、片山らの系統的な研究により図2に示すような SYK-6 株のリグニン低分子芳香族化合物分解・代謝経路および各々の代謝酵素をコードする遺伝子が明らかになっている^{6,7)}。そしてその低分子リグニン代謝過程において、様々なリグニン低分子芳香族化合物(二量体・単量体)は2-ピロン4,6-ジカルボン酸(PDC)という単一の安定した代謝中間体物質に収斂した後、クエン酸回路において完全分解されることが明らかとなった(図2)。そこで、複雑な構造のリグニンが必ず一つの低分子化合物 PDC を経由して分解するという事実に着目し、この中間体化合物から高分子材料を創製できれば石油化学工業に置き換わる新手法として、第一歩を踏み出せるのではないかと考えた。

PDC は、ピロン環に二つのカルボキシル基が置換した擬芳香族化合物で、有機化学合成での報告例はなく、カルボキシル基という腕を2つ持つため、典型的な重縮合のためのモノマー基質となりうるものと考えられた。PDC は①分極性の強い3つのカルボニル基、②弱アルカリ・生分解性を受けやすいラクトン部分、③共役二重結合等の特徴的な極性剛直構造を有している事から、PDC 骨格を有するポリマーは、剛直環構造からなり親疎水性であると同時に、容易なラクトン環の加水分解開裂、共役二重結合の酸化・水和開裂などが予想でき、循環型社会に適合した生分解性高分子材料となることが期待される。

そこで SYK-6 株のリグニン分解・代謝機能を利用した PDC 生産シ

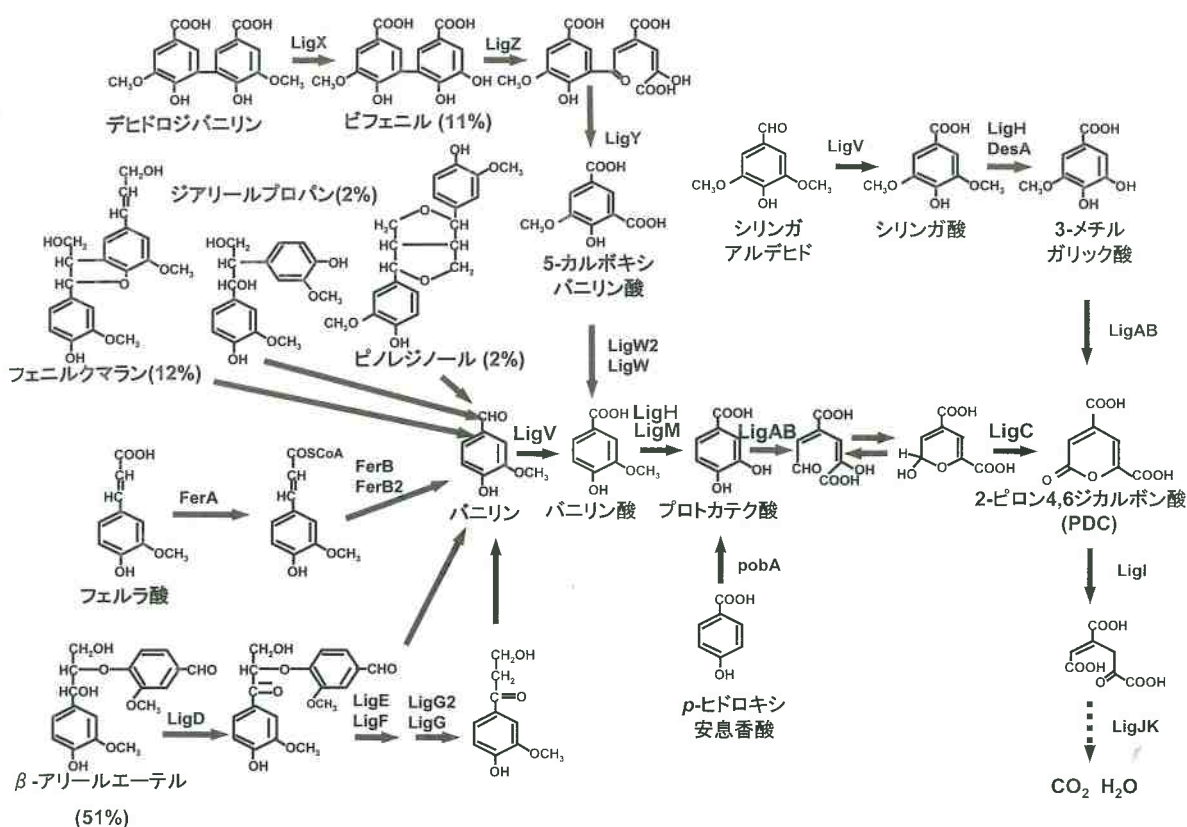


図2 *Sphingobium* sp. SYK-6 株の低分子リグニン代謝経路と代謝酵素遺伝子

システムを確立するために、分解・代謝経路の中でPDCの直上流のプロトカテク酸 (PCA) からのPDC変換系を構築した。PCAからPDCへの変換には、*lig AB* にコードされるPCA 4,5-ジオキシゲナーゼとそれにより生ずる4-カルボキシ-2-ヒドロキシムコン酸-6-セミアルデヒド (CHMS) をPDCへと変換する *lig C* によってコードされるCHMSデヒドロゲナーゼが必要である。そこで、PCA→CHMS→PDCの各反応ステップを触媒する酵素遺伝子を人為的に再構成し、PDC生産組換体を作製した。この組換体に15mMのPCAを添加して培養をしたところ24時間で、PCAは完全にPDCに変換された。そこで、さらに分解・代謝経路を上流に遡り、前述のリグニンのアルカリ酸化分解で得られるVA, SAからのPDC変換系の構築も検討した。VA, SAの脱メチル反応を触媒する酵素をコードする遺伝子 *van A*, *van B* を前述の *lig ABC* 遺伝子とともに再構成し組換体を作製し、タンク培

養によるVA, SAからのPDC生産を行ったところ、VAでは24時間以内に、SAでも36時間以内に、各々15g/Lの出発物質(基質)をほぼ完全にPDCへ変換することが出来た。さらにVをVAに酸化する酵素遺伝子 *lig V* を *van AB*, *lig ABC* 遺伝子に繋ぎ遺伝子を再構成して得た組換体によりバニリンからのPDC変換系も構築されている。また、茶殻やバガス等の農産廃棄物から抽出可能なガリック酸、*p*-ヒドロキシ安息香酸からのPDC変換系の構築にも成功している。近年ではパルプ廃液(リグノスルホン酸)の低分子リグニン化合物画分や、木質系バイオマスのアルカリ蒸解法によるバイオエタノール生産過程で生成するアルカリリグニンの低分子画分から、PDCの直接発酵生産も検討されている。

4. PDCを原料とした高機能性ポリマーの開発

PDC は 4,6-位のカルボキシル基を二官能性の共モノマーと重縮合して、対応するポリアミドやポリエステル、ポリウレタンなどの高分子へと導くことが可能である (図 3)。現在 PDC をグリーンプラスチック材料として展開する研究を進めている。

(1) 高強度 PDC エポキシ接着剤の製造

これまでの研究から PDC, PDC 誘導体 (ビスヒドロキシエチル PDC), ビスヒドロキシエチルテレフタール酸 (PET 樹脂の成分) の 3 成分から成るコポリエステルポリマーが、極性表面を有する様々な金属, ガラスに対して優れた接着性を示すことが明らかとなり, PDC のピロン環ユニットが極性表面の接着に重要な役割を果たしていることが推定された⁸⁾。そこで, 低接着温度で反応型硬化の PDC エポキシ接着剤への展開を図った⁹⁾。

PDC とグリシドールとの直接反応により, エポキシ誘導体としてジグリシジル PDC (DGPDC) を合成し, それを無水コハク酸, 無水マレイン酸等の酸無水物を硬化剤として反応させることにより, PDC エポキシ接着剤を開発した (図 4)。金属片をテストピースとして用いて接着強度を測定したところ, この接着剤は, ステンレス同士の接着で最大 90M Pa (1cm² 当

たり約 900kg の力), 鉄同士の接着では 115 M Pa の接着強度を示す高性能なものとなった。この強度は, 鉄板 (幅 8cm, 厚さ 8mm, 長さ 15cm) 二枚の端面同士を接着したものを橋渡しして, 上に人が乗っても破断しないほど強力なもので (図 4), 市販の石油系エポキシ接着剤 (ビスフェノール A 型エポキシ接着剤) の接着強度 (30 M Pa 程度) と比較すると, およそ 3 倍の強度となった。この接着剤は金属の他に, ガラス, セラミックス, 耐熱性の難接着性プラスチック (PPS 樹脂) にも適用可能であり, 接着剤以外に, 塗料や電気・電子材料への用途が期待されている。

PDC エポキシ接着剤の強力な接着機構を DGPDC-鉄粉混合物を用いて X 線光電子分光 (XPS) 測定により分析したところ, 鉄表面における電子状態の遷移を示すピークシフトが確認された。これは, PDC-金属間において新たな結合が形成されていることを示唆しており, PDC のピロン環開環による金属表面の酸化膜, 水酸基との相互作用が予想された。

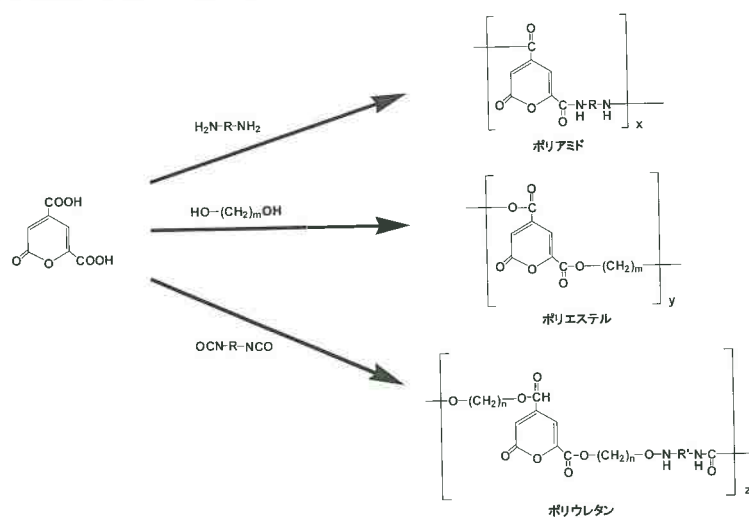


図 3 PDC を出発物質とした生分解性高分子材料

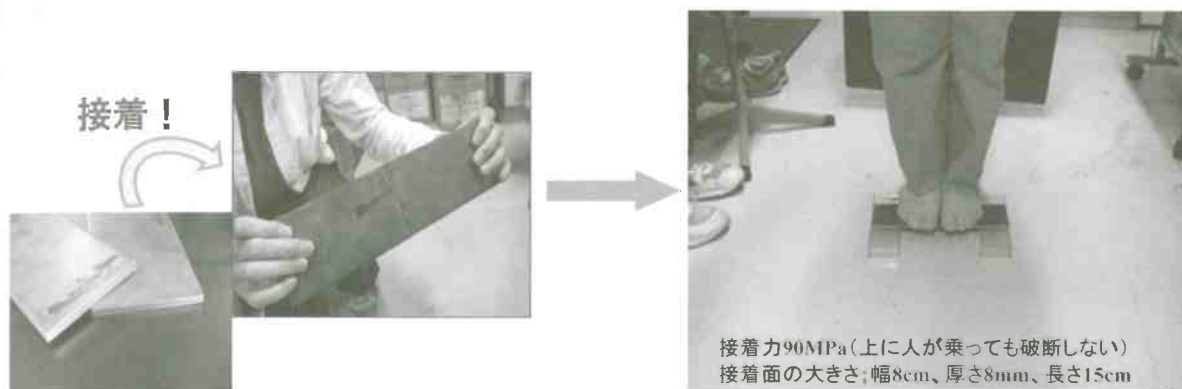
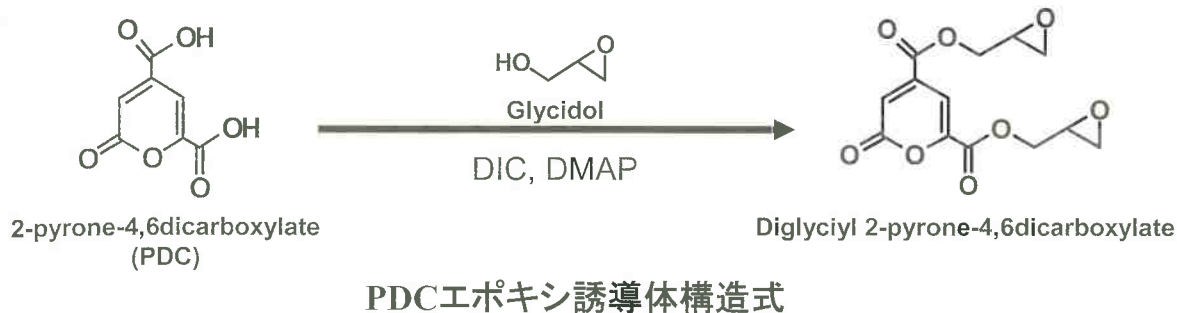


図4 PDC エポキシ接着剤で接着したステンレス金属板

(2) PDC ポリウレタンの製造

PDC の酸アジド誘導体を合成し、様々な炭素数のジオール（アルコール）を結合させることで、炭素数に応じた様々な物性を有する PDC ポリウレタンを製造した。

ジオールとしてオリゴテトラヒドロフラン（オリゴ THF）を用いた PDC ポリウレタンから溶液キャスト法により調製したキャストフィルムの場合、THF が 3 量体の場合は柔軟かつ強靱なエラストマーが、約 9 量体の場合は柔軟性、伸縮性に富む、市販品のスパンデックスに似たエラストマーとなり（図 5）、約 14 量体の場合は柔軟なゴム状のエラストマーとなった。これらの結果は PDC ポリウレタンが、衝撃吸収材や自動車内装材へ適用できる可能性を示唆している。

機能を適用したバイオプロセスにより、植物系バイオマスを原料とするグリーン素材を効率よく創製できるかが鍵となる。本稿では木質系芳香族バイオマス資源であるリグニンからグリーンプラスチック原料となる有用化合物 PDC への物質変換と PDC をベースとした高分子材料の可能性について紹介した。リグニンはその圧倒的な存在量にもかかわらずリグニン化学構造の複雑さ故、これまでほとんど利用されてこなかった。しかし、リグニン分解微生物の複雑且つ緻密な分解・代謝機能を代謝工学技術により応用することができれば、全く新しいリグニン高度利用技術の確立が期待できる。近い将来 PDC をはじめ、微生物機能を適用してリグニンから誘導される有用物質が石油化学由来の製品に取って代わる時代が到来するものと思われる。

5. おわりに

資源循環型の社会を実現するためには微生物

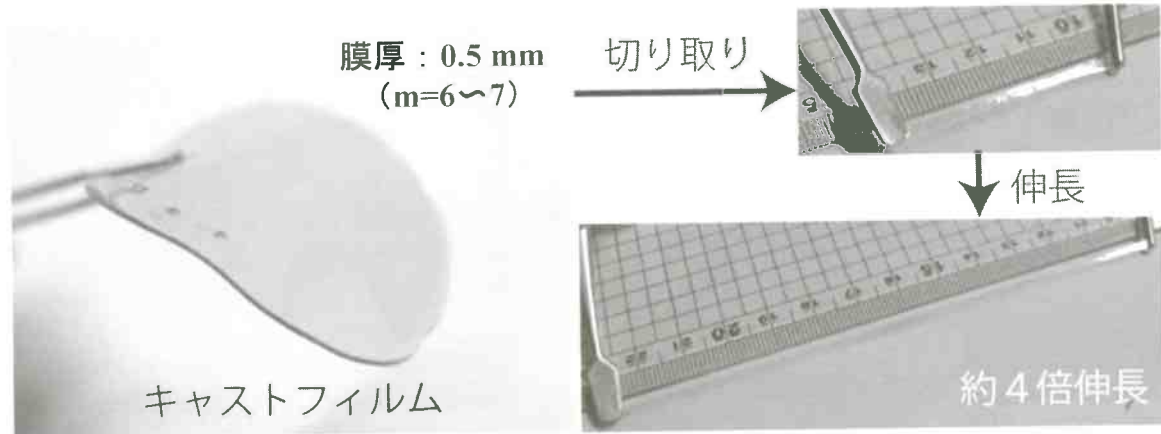
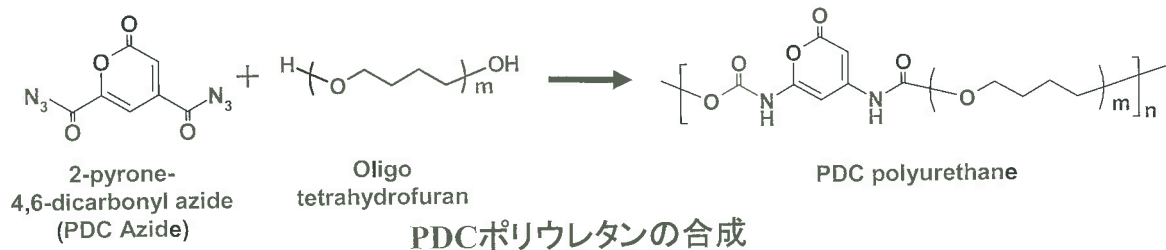


図5 柔軟性、伸縮性を持つ PDC ポリウレタン

6. 謝 辞

本研究は農林水産省委託プロジェクト (H19-23) 「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発」等の助成を受けて行われたものである。ここに謹んで感謝申し上げます。

7. 引用文献

- 1) 阿部勲 (1998), 木材科学講座 I (阿部 勲・作野友康編), 12 海青社
- 2) I. S. Goldstein (1975), *Science*, 189, 847-852
- 3) 榊原彰ら (1979), リグニンの化学 (中野準三編), 150 ユニ出版
- 4) D. W. Wong (2009), *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 157, 174-209
- 5) W. Zimmermann (1990), *J. Biotechnol.*, 13, 119-130
- 6) Y. Katayama *et al.* (1987), *Mokuzai Gakkaishi*, 33, 77-79
- 7) E. Masai *et al.* (2007), *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 71, 1-15
- 8) M. Hishida *et al.* (2009), *Polymer Journal*, 41, 297-302
- 9) Y. Hasegawa *et al.* (2009), *Fiber*, 65, 359-362

◀ 特集 ▶

CBP 用スーパー酵母を用いた バイオエタノール生産技術の開発

¹神戸大学自然科学系先端融合研究環²神戸大学大学院工学研究科応用化学専攻蓮沼誠久¹・荻野千秋²・近藤昭彦²

セルロース系バイオマスからのエタノール生産の実用化の鍵は省エネルギーかつ低コストなプロセス開発の成否にかかっている。酵母の表層にセルラーゼを集積させる細胞表層工学技術は、酵素生産と糖化、発酵をワンパッケージにすることが可能であり、プロセスの統合によりセルロースエタノールの実用化を推進するコア技術の一つである。本稿では、統合プロセスの確立に最適なスーパー酵母を軸とするバイオエタノール生産技術の進捗について述べる。

1. はじめに

温室効果ガス削減、すなわち低炭素社会の構築に向け、再生可能な資源であるバイオマスを環境調和型プロセスにて変換し、次世代燃料であるバイオ燃料やグリーン化学品などの多様な化学製品を統合的に生産する“バイオリファイナリー”の確立は、地球温暖化を防ぐためにも早急に確立すべき技術である。バイオリファイナリーとは、バイオマスを原料として、燃料、汎用化学品の原料などを微生物によるバイオプロセスを用いて発酵生産し、多様な化学製品の開発へと展開するコンセプトである。神戸大学では、バイオリファイナリーの学術基盤や技術体系を確立するとともに、それらの実用化・普及を行うことを目的として、2007年12月に「統合バイオリファイナリーセンター」を設立し、バイオエタノールをはじめとするバイオ由来燃料・化学品生産の研究開発をいち早く推進してきた。本稿では、筆者らが構築した細胞表層工学技術を核としたバイオエタノール製造戦略に

HASUNUMA Tomohisa¹, OGINO Chiaki²,KONDO Akihiko²^{1,2}〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1

ついて解説するとともに、製造プロセスの構築に向けて必要とされる高温発酵や、前処理工程で生成する過分解物質による発酵阻害の回避などの解決すべき課題に対する、筆者らの最近の研究成果を紹介したい。

2. 統合バイオプロセス (CBP) による バイオエタノール製造技術

バイオマス由来のエタノール (バイオエタノール) は米国やブラジルを中心に工業規模で生産され、燃料の一部として利用されている。例えば、デンプンが豊富に含まれるトウモロコシ穀粒は酵素処理により液化・糖化を受け、発酵によりエタノールに変換される。しかしながら、トウモロコシ穀粒やサトウキビ糖液は食糧の供給と競合することから、エタノールの供給源はセルロース系バイオマスへ転換することが求められている。

セルロース系バイオマスは、D-グルコースが β -1 \rightarrow 4 グルコシド結合で直鎖状に結合したセルロース微繊維 (セルロース系バイオマス全体の35~50%) を、D-キシロースが β -1 \rightarrow 4 結合したキシラン主鎖にアラビノースやグルクロン酸が

らなる側鎖が連結したヘミセルロース（25～30%）などのマトリクス高分子が取り囲み、そこに芳香族系化合物の重合体であるリグニン（15～30%）が沈着した構造を形成している。セルロース系バイオマスからのエタノール生産プロセスにおいては、この強固な高分子構造を、発酵工程の微生物が利用可能な化合物に変換する前処理および糖化工程が必須であり、この点がトウモロコシ穀粒やサトウキビ糖液といったデンプン・スクロース系バイオマスからのバイオエタノール生産プロセスとの大きな違いの一つである。

一般に、バイオエタノールの製造プロセスは、①バイオマスを生化学的な変換反応に利用可能にする前処理工程（希硫酸法、アンモニア爆砕法、水熱処理法など）、②セルロース、ヘミセルロースなどの高分子物質を微生物が利用可能な低分子糖にまで分解する糖化工程、③微生物（主として酵母 *Saccharomyces cerevisiae*）による発酵工程、④エタノールの蒸留・脱水工程、に分けられ、各工程の最適化研究が進められている。前処理工程では、糖化反応を触媒するセルラーゼ類が基質にアクセスしやすくなる膨潤化を促進しつつ、バイオマスの過分解により生じる発酵阻害物質（酢酸、ギ酸、フラン類、シリングアルデヒド、バニリン等）の生成をできるだけ抑える条件の検討が必要である。糖化工程は、セルラーゼなどの酵素を利用することにより環境への負荷を低減することができるが、バイオマスを単糖レベルまで分解するために大量の酵素が必要であり、酵素生産にかかるコストを削減することが重要な課題である。発酵工程では、エタノール生産能力が高いだけでなく、バイオマスの分解によって生じる混合糖（主としてグルコース、キシロース）を効率よく利用するとともに、前処理工程で生じる発酵阻害物に対する耐性を有し、雑菌汚染の観点から低 pH で発酵する酵母の開発が鍵となる。蒸留・脱水工程では省エネルギー型の蒸留塔や連続式脱水システムの開発が求められるが、リグニン性残渣や粘着性物質を含む発酵もろみからのエタノール

の濃縮が大きな課題として残る。

このように、セルロース系バイオマスからのエタノール生産プロセスは前処理から製品回収に至るまでのステップが多く、生産効率の向上や低コスト化、省エネルギー性能を達成するためには、できるだけ生産工程を簡略化し、統合化することが重要になる。図1(a)に示す通り、バイオマスをエタノールへ変換するためには、4段階のバイオプロセスがある、すなわち、酵素生産、糖化、ヘキソース発酵、ペントース発酵、である。糖化と発酵を分けた SHF (separate hydrolysis and fermentation) プロセスでは、前処理後に得られるセルロース画分とヘミセルロース画分を酵素糖化した後、ヘキソース発酵およびペントース発酵を経てエタノールを得る。SHF では、pH や温度などの反応条件を糖化酵素や発酵微生物の性質に合わせて最適化できる利点があるが、糖化工程で生じるグルコースやセロビオースが過剰に存在すると糖化酵素の加水分解反応が阻害されることが知られている¹⁾。また、グルコースの過剰蓄積は、ヘミセルロースの主要構成糖であるキシロースの細胞内への取り込みを阻害する²⁾。一方、SSCF (simultaneous saccharification and co-fermentation) プロセスは糖化と発酵を同一リアクターで同時に行うため、糖化で生じたグルコースを微生物が発酵で消費でき、糖化酵素の生成物阻害などが起こらない。また、発酵産物としてエタノールが蓄積すると、エタノール耐性を持たないバクテリアによる槽内のコンタミネーションを抑えることができる。既に SSCF プロセスは、SHF プロセスと比べて高濃度、高収率のエタノール生産を達成している³⁾。しかし近年、酵素生産、糖化、発酵の生化学的変換過程をすべて統合化した CBP (consolidated bioprocessing) に注目が集まり、バイオエタノール生産コストを最も削減できるプロセスとして期待されている⁴⁾。従来の糸状菌等による酵素生産プロセスは最もコスト削減が必要な分野の一つであるが、自らバイオマス分解能力を持ち、かつバイオマス分解物からのエタノール生産が可能な微生物を創製すること

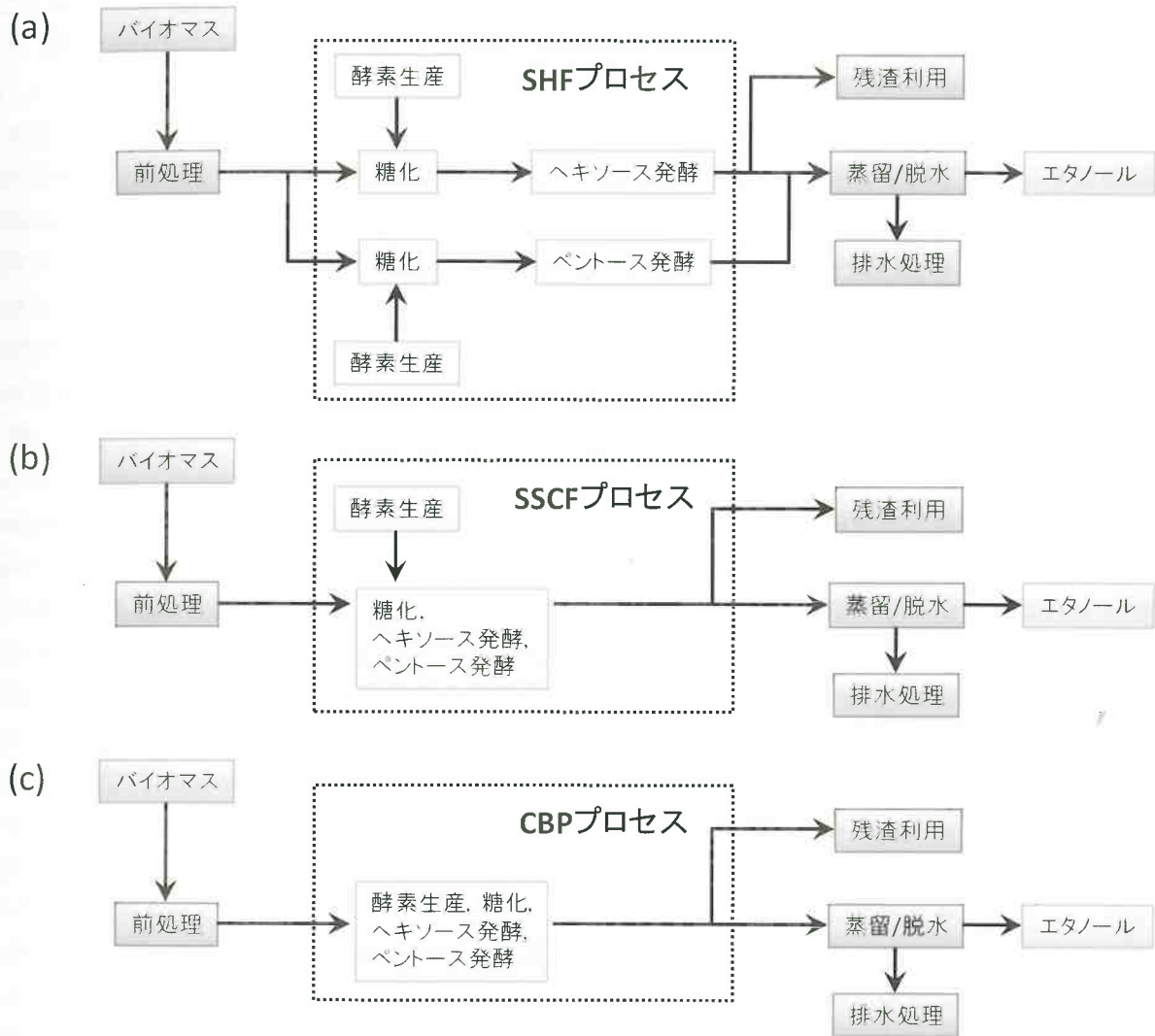


図1 バイオエタノール生産プロセスの概要

ができれば、酵素剤の生産を不要にするだけでなく、バイオプロセスに必要な設備コストも大幅に縮小することが可能になる。そこで筆者らは、細胞表層工学技術を用いて、酵母の細胞表層にセルラーゼなどのバイオマス分解酵素を集積することにより、セルロース系バイオマスからワンバッチで直接エタノールを生産することが可能なCBPの開発に成功してきた。

3. CBPによるバイオエタノール製造に向けた酵母育種

細胞表層工学技術とは、微生物の細胞表層に

酵素などの機能性タンパク質を提示して、細胞に新しい機能を付与する技術である⁵⁾。本来、微生物の細胞表層には細胞の構造や形態を維持するだけでなく、分子認識やシグナル伝達などに関与するタンパク質が集積している。そこで、遺伝子工学的に、外来タンパク質を細胞表層タンパク質との融合タンパク質として表層に発現させることにより、微生物の機能を改変することを考案し、細胞表層工学として、その技術を確認してきた。バイオエタノール生産の場合は、酵母 *S. cerevisiae* の細胞表層にセルラーゼを提示することにより、セルロース系バイオマスを細胞表層で分解し、単糖レベルの分解物を細胞

内に取り込んでエタノール生産することに成功してきた（図2）。

セルロースは直鎖状の β -グルカンの側鎖同士が水素結合にて強固に相互作用して結晶領域と非結晶領域を有する構造を形成しており、分解に必要な酵素としては3種のセルラーゼ類、すなわちエンドグルカナナーゼ（EG）、セロビオヒドロラーゼ（CBH）および β -グルコシダーゼ（BGL）が挙げられる。そこで筆者らは、糸状菌 *Trichoderma reesei* 由来 EG ならびに CBH、麹菌 *Aspergillus oryzae* 由来 BGL の3種の酵素を、別々に、細胞表層に存在する α -アグルチニンとの融合タンパク質として発現する遺伝子組換え酵母を作出した⁶⁾。蛍光顕微鏡を用いた観察を行い、3種類のセルラーゼが細胞表層上に提示されていることが確認できた。そこで、セルラーゼ表層提示酵母を好気条件下で増殖させた後に回収し、10 g/l のリン酸膨潤セルロースを単一炭素源とする培地中で微好気発酵試験を行ったところ、40 h で 2.9 g/l のエタノールを生産することに成功した（対糖理論収率の 88.5%）。この結果は、細胞表層上でのセルロースの分解により生じたグルコースが細胞内に取り込まれ、細胞内で発酵されたグルコースからエタノールが生産されたことを示唆している（図4）。

4. 高温でのセルロースからのバイオエタノール生産に適した酵母育種

CBP 用のセルラーゼ発現酵母を開発する上における課題の一つが酵母の耐熱性の向上である。通常の *S. cerevisiae* の発酵最適温度は 30°C 付近であるが、真菌由来のセルラーゼは 50°C 付近であることが多い。したがって、酵母が発酵可能な温度範囲ではセルラーゼ活性を最大限に発揮させることができない。そこで、筆者らは 45～50°C でも生育が可能な耐熱性酵母 *Kluyveromyces marxianus* への細胞表層技術の導入を行った⁷⁾。まず、UV 照射により *K. marxianus* のウラシル要求性株を作出し、この株に *T. reesei* 由来 EG 遺伝子および *A. aculeatus* 由来 BGL 遺伝子を導入し、*S. cerevisiae* 由来 α -アグルチニンとの融合タンパク質として EG および BGL を細胞表層に提示させることに成功した。

セルラーゼ発現 *K. marxianus* 株を用いて 50 g/L のセロビオースを単一炭素源とする微好気発酵を行ったところ、30°C から 50°C までの発酵温度の上昇とともにセロビオース分解活性が上昇し、45°C 条件下で最大のエタノール生産量を示した（12 時間の発酵で 20.4 g/L のエタノールを生産した）。次に、高分子セルロースの一種である β -グルカンからの発酵試験を行った。その

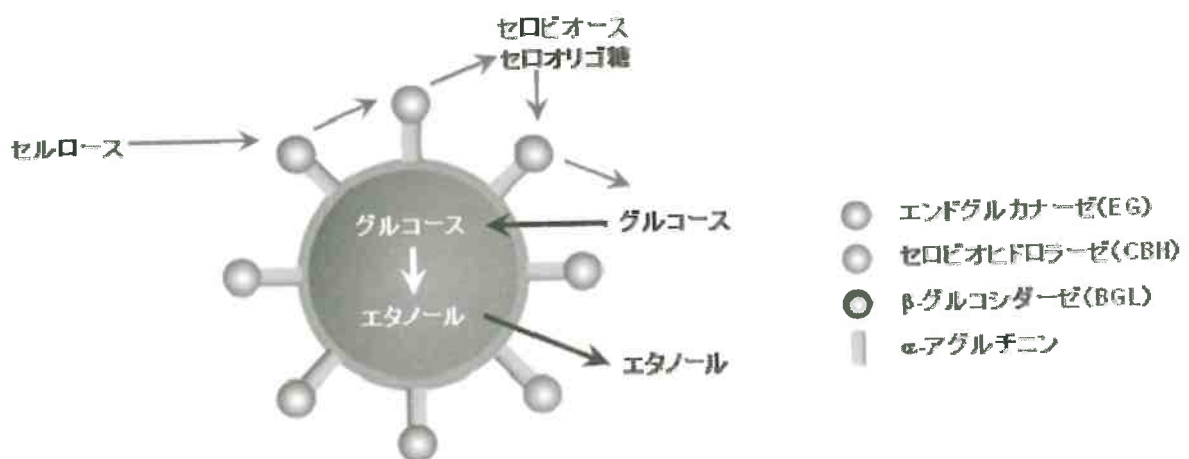


図2 セルラーゼを細胞表層に提示した酵母によるセルロースからエタノールへの変換

結果、発酵温度の上昇とともにエタノール生産速度が向上し、48℃では、発酵開始 12 時間で 10 g/L のβ-グルカンから 4.24 g/L のエタノールを生産することに成功した(図3)。この時の仕込み糖に対するエタノール収率は理論値の82%であった。この実験から明らかのように、発酵温度の上昇はセルラーゼ活性の向上に寄与し、セルラーゼ発現耐熱性酵母を用いた高温条件下での発酵プロセスは、セルロースからのエタノール生産効率を飛躍的に向上させることが示された。今後は、セルラーゼ発現量を向上させたり、表層提示するセルラーゼの種類を増やしたりすることによって、強固な結晶構造を有する結晶性バイオマスからのバイオエタノール生産プロセスへの応用が期待される。高温条件下での発酵は、発酵装置の冷却コストの低減や雑菌の増殖防止が期待でき、安価で高効率かつ実用的なセルロースエタノール生産プロセスの実現化を促進するであろう。

5. 発酵阻害物耐性を有する酵母の創製

前処理工程で生じる過分解物質の中でも、特に量が多く毒性が高い物質として弱酸がある。非解離状態の弱酸は細胞膜を通過した後に酵母細胞内で解離して細胞内 pH を低下させることが推察されている。特に、ヘミセルロースやリグニンのアセチル基に由来する酢酸はキシロース発酵を強く阻害することが問題である。しか

しながら、酢酸による発酵阻害機構は不明であり、なぜキシロース発酵が特異的に阻害されるのかはよく分かっていなかった。そこで筆者らは、酢酸添加状態で発酵した酵母の細胞内代謝物質を網羅的に調べるメタボロミクス解析を行い、酢酸存在下では、ペントースリン酸回路(PPP)に位置するセドヘプツロース7リン酸(S7P)が特異的に蓄積することを明らかにした⁸⁾。このことは、PPPの代謝フラックスが酢酸の添加により遅延させられている可能性を示しており、S7Pを下流の代謝物質に変換するトランスアルドラーゼ遺伝子を過剰発現させたところ、30 mMの酢酸存在下におけるキシロース発酵阻害を回避することに成功した(図4)。また筆者らは、ギ酸存在下でのキシロース発酵をトランスクリプトミクスを用いて解析したところ、ギ酸濃度依存的にギ酸デヒドロゲナーゼ(FDH)遺伝子の発現量が増加していることを突き止めた⁹⁾。そこで、FDHを細胞内で過剰発現させることにより、ギ酸添加によるキシロース発酵阻害を食い止めることに成功した。このように、メタボロミクスやトランスクリプトミクスをはじめとするシステムバイオロジー解析は、目的の形質を付与するための鍵因子を特定するために極めて有効な手段であり、バイオリファインリーに最適な微生物を創製するためのキーテクノロジーになることが期待できる。

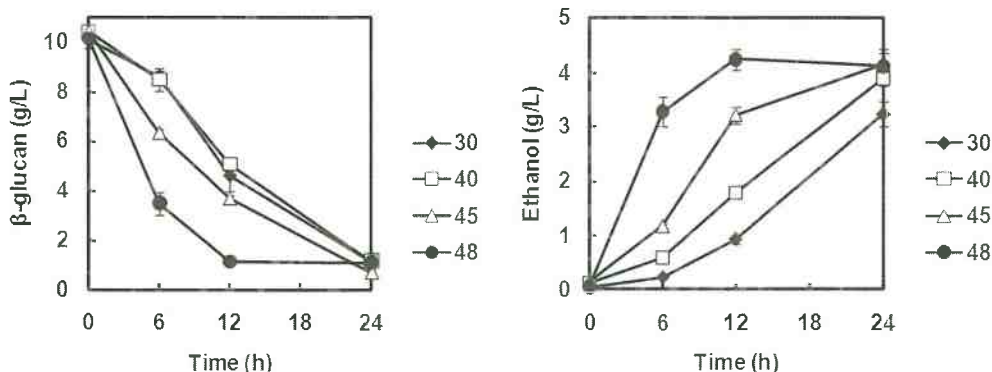


図3 セルラーゼ提示 *K. marxianus* による 30, 40, 45, 48℃でのエタノール生産

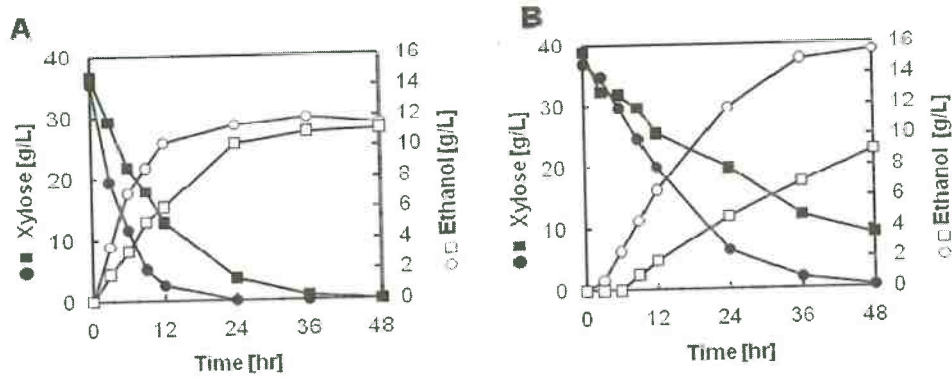


図4 トランスアルドラーゼ過剰発現株 (○, ●) とコントロール株 (□, ■) を用いた、酢酸非存在下 (A) および 30 mM 酢酸存在下 (B) におけるキシロース発酵

6. おわりに

セルロースエタノール生産プロセスの実用化に向けて、効率化が求められる技術要素は多い。トータルフローを最適化するためには、バイオマス原料の検討や省エネルギー的なエタノールの濃縮・脱水技術の開発も必要である。また、水のリサイクルや残渣の有効利用も視野に入れなくてはならない。バイオエタノール生産プロセスの各工程は、上流から下流まで密接に関連し合っているため、今後の普及に向けては各工程単独の最適化研究では不十分であり、プロセス全体への影響を評価する研究開発が必要になる。本稿で紹介した CBP 用酵母は、糖化と発酵を同時に行えるだけでなく、細菌と比べても細胞が堅牢であり、酸耐性が高いため雑菌汚染を抑えた発酵を実現するうえでも優位であり、CBP に適した微生物であると言える。今後は、酵母の代謝能力を最大限に活かしながら、バイオマス転換プロセスに最適な酵母のデザインに取り組んでいくことを考えている。

文 献

- 1) Stenberg K. *et al.* (2000), *Biotechnol. Bioeng.*, 68, 205
- 2) Kötter P. *et al.* (1993) *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 38, 776-783

- 3) Hahn-Hägerdal B. *et al.* (2006) *Trends. Biotechnol.*, 24, 549-556
- 4) Lynd L. *et al.* (2008) *Nat. Biotechnol.*, 26, 169-172
- 5) Kondo A. *et al.* (2004) *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 64, 28-40
- 6) Fujita Y. *et al.* (2004) *Appl. Environ. Microbiol.*, 70, 1207-1212
- 7) Yanase, S. *et al.* (2010) *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 88, 381-388
- 8) Hasunuma, T. *et al.* (2011) *Microb. Cell Fact.*, 10:2
- 9) Hasunuma, T. *et al.* (2011) *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, in press

◀ 特集 ▶

地域資源を利用したバイオプラスチックの開発

アグリフューチャー・じょうえつ株式会社

大野 孝

当社は、コメや間伐材などの地域資源を利用したバイオプラスチックの開発を行ってきた。地域で発生するバイオマスを原料として、高度な前処理を加えず、複合材料化することにより、熱可塑性及び熱硬化性のプラスチックを開発してきた。このなかで、平成18年から3箇年にわたり実施した生研センターの民間実用化事業により、ナノコンポジット化が可能な装置の開発に成功し、実用化したので、これらの取組を紹介する。

1. バイオマス混練による高分子複合材料

当社は、2002年12月「バイオマスニッポン総合戦略」が閣議決定されたことを受け、バイオマスのプラスチック化にビジネスチャンスが到来したと考え、この分野の第1人者である白石信夫京都大学名誉教授を研究所長に迎え、地元企業の出資により設立された。

まず、国内で持続的・安定的に供給されるバイオマスとして、水田からの資源に着目し、米をフィラーとしたプラスチック化に取り組んだ。当社の米のプラスチック化は、木材で行なわれていた「木粉をそのまま熱可塑性の高分子と混練・複合化する」手法をとった¹⁾。当初は、米粉を出発物として検討したが、「玄米又は精米を粒状のまま水分を添加し加熱し糊化させたアルファ化米」のかたちで、熱可塑性の合成高分子化合物（及び必要に応じ相溶化剤）とを加熱混練して複合化するものである。すなわち、従来の澱粉系プラスチックで行なわれているような、澱粉を抽出することなく、また、前処理として化学修飾を行なうことなく、バイオマスと熱可塑性の高分子化合物とを複合化する手法である。これは、澱粉系材質がアルファ化すると熱可塑性をもつことを利用したもので、米の場合、米

OHNO Takashi

〒943-0123 新潟県上越市大字辰尾新田1番地

粒のまま水を加え（又は浸漬した米粒を用い）、熱可塑性樹脂と更に相溶化剤を加え熱可塑性樹脂が熱流動する温度で加熱混練することにより、米がアルファ化しながら熱可塑性樹脂と均一に分散させることが出来ることを見出したものである（図1）。本技術は、特許（特許第3878623）として登録されている。

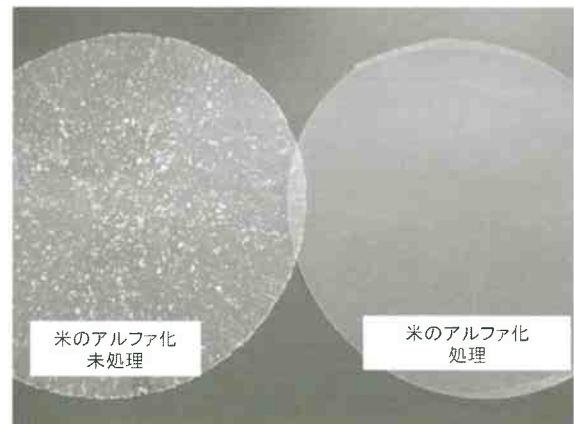


図1 米/PE /相溶化剤の複合化フィルム

複合化する熱可塑性の合成高分子化合物としては、オレフィン系樹脂を中心に検討を行なったが、その立体規則性により、シングルサイト触媒により合成された樹脂とバイオマスとの相溶性が高いことが分かった。これにより、バイオマス度70%以上のバイオマス濃縮物（熱可塑性バイオマス・マスターバッチ）を効率的に生産することができるようになった。この熱可

塑性バイオマス・マスターバッチは、各種樹脂とのドライブレンド(熱を加えた混合ではなく、ブレンダーなどで混合したものをそのまま成形時に用いる。)適性が高く、射出成型からインフレーション成型まで幅広い成形法に対応することができ、汎用樹脂と価格競争力のあるものとなった(図2)。これは、高分子のままのバイオマスと熱可塑性の合成高分子化合物が、ポリマーアロイ化しているためと考えられ、この製造法についても、特許(特許第4638903)として登録されている。

これらのバイオマス混練によるバイオマスと合成高分子化合物との複合法により、間伐材や竹などは、数ミリ程度のチップ、籾殻は、粉碎しない殻のまま、原料として用いることができるようになった。また、養殖された貝の貝殻についても、粒度を調整して粉碎したものであれば、バイオマス由来の無機フィラーとして、高濃度に複合化することができるようになった。これらのバイオマス由来原料は、澱粉系材質のようにアルファ化により可塑化するものではないが、原料バイオマスに高度な前処理を加えず

とも、後述の加圧脱水による分散により、合理的な高分子複合材料化が図られることとなった。

また、極性の高い生分解性樹脂などとバイオマスの相溶性は高く、米と生分解性樹脂においては、相溶化剤を用いずとも、均一分散させることは容易であり、植物由来の樹脂として注目を集めるポリ乳酸(PLA)との複合化においては、その貯蔵弾性率の温度依存性の検討からPLAの結晶化を促進する効果があることが知られた。この複合材料は、澱粉系材質との順化作用により、生分解速度の速いものとなることも知られた。(図3)

この性質(米の順化作用)を利用して、米とポリオレフィンをベースとしながら、利用後にポリオレフィンの酸化劣化を促進する噴霧剤を用いる、利用後に速やかに分解が始まる農業用マルチシートを開発した。

2. バイオマス液化による高分子複合材料

当社では、上述のバイオマスと熱可塑性樹脂



図2 ドライブレンドによる製品例

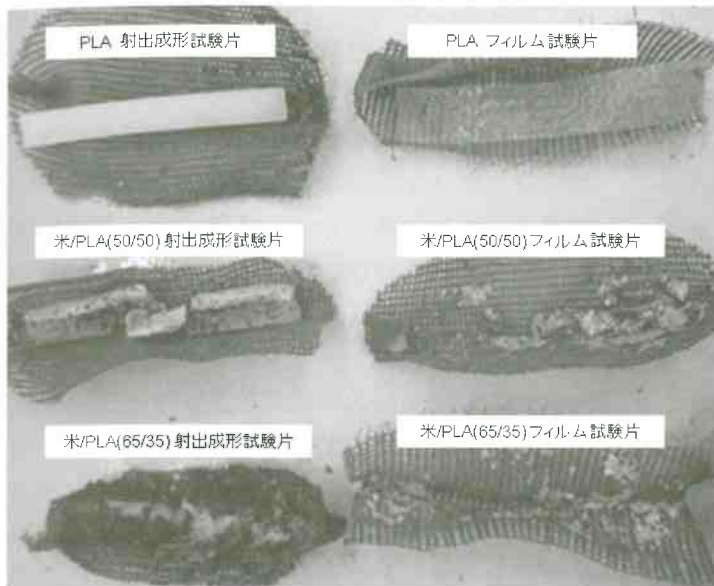


図3 米/PLA 複合化材料の生分解性

との複合化による方法に加え、バイオマスをアルコール系溶媒で可溶化し、熱硬化性樹脂とする方法も用いている。当社研究所長・白石京都大学名誉教授らが開発してきた木材のような多糖類を、酸触媒の存在下に多価アルコールなどと反応することにより液化物を生成する方法である。これらを出発物として、3次元的に架橋させることにより、熱硬化性の複合材料とするものである。

木粉を酸触媒のもと、フェノールにより液化し、ヘキサミンなどの架橋剤を加えると、ノボラック様の樹脂が得られる。これらは、成型材として、自動車のタバコの灰皿に採用されている。また、多価アルコールとの液化物は、イソシアネートなどと反応させることにより、ウレタン様樹脂を得ることができる。これらの液化樹脂を用いた機能性樹脂についても、今後、開発を進めることとしている。(図4)

3. バイオマス可塑化による高分子複合材料

セルロース系のバイオマスは、糊化しないため、容易には、可塑性を示さないが、セルロースアセテートなどのように化学修飾したセルロ



カップ型灰皿

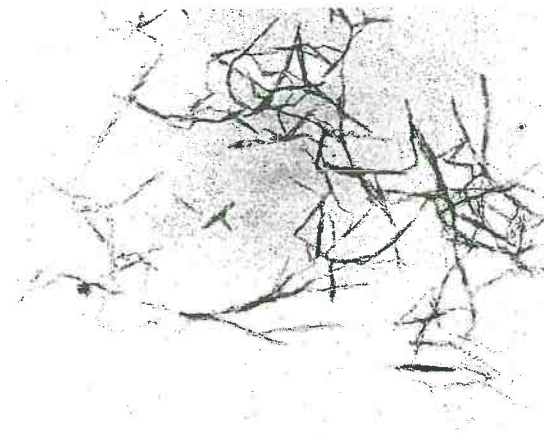
図4 バイオマス由来の熱硬化性樹脂

ース系材質は熱流動性を示す。これは、セルロース系材質の持つ結晶などの高次構造がマーセル化処理や化学修飾により崩されているためと考えられる。これらセルロース系材質の結晶を比較的容易に崩す手法として、湿式メカノケミカル処理や高圧ホモジナイザーによるマイクロファイブリル化ナノファイバーの調製²⁾手法が知られるようになってきた。これは、水などの溶媒を用い、高圧ホモジナイザー処理等を行うことにより、バイオマスが高度に微細化して溶媒中に分散し、「くもの巣状ネットワークを有するセルロースナノファイバー」²⁾が得られる(図5)。

このセルロースナノファイバーの官能基に反応試薬をグラフトすると、セルロース系材質は可塑化し、また、合成高分子等に微分散させると、セルロースナノコンポジットを得ることができるものと考え、平成18年から平成20年の3年にわたり、「バイオマスの機能性プラスチック材料化による利活用」と題し、生研センターの民間実用化事業に取り組んだ。

当社のようにバイオマスに高度な前処理を加えずに合成高分子と複合化する場合、分子間の強固な水素結合に基づく高い結晶性を有するとともに三次元架橋等の高次構造を有しているバイオマスを、合成高分子の母相に、いかにして

微細にかつ均一に分散させるのが重要な課題である。澱粉系材質の場合、上述のとおり、アルファ化することにより、この課題に対応してき



0.5 μm

図5 高圧ホモジナイザー処理後のセルロース (TEM 写真)

た。そして、セルロース系材質の場合、マーセル化などの化学処理を行わなくとも、高圧ホモジナイザー等を用いて、これらバイオマスを水溶媒中で微細化し均質な懸濁液とすることは、上述のとおり合理的にできるようになってきていたが、これを合成高分子と混練すると再凝集する現象が避けられない問題があった。

民間実用化事業においては、この課題に対応することに重点をおいて開発を進め、「バイオマス由来成分の過剰含水物が含まれる混練物を設定された混練温度で混練する混練工程において、混練温度における飽和蒸気圧よりも低くかつ大気圧よりも高い設定圧力で混練物を脱水（加圧脱水）する」ことにより、バイオマスの再凝集を防ぎ、バイオマス由来成分と合成高分子との微細な混練物が得られることを見出し、この方法を装置化することに成功した（図6）。なお、本技術も、先ごろ、特許（特許第 4660528）と

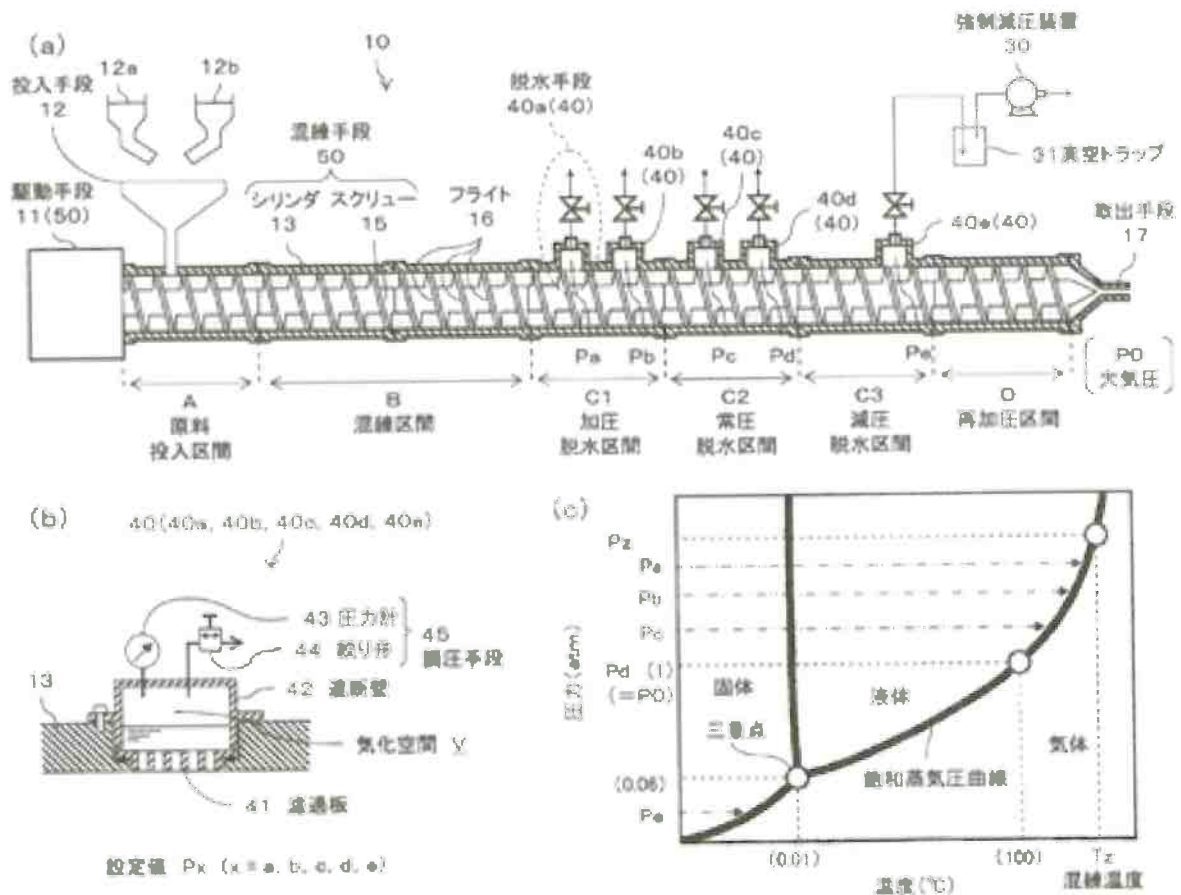


図6 高分子複合材料の製造装置

して登録された。

この結果、本事業において、目的としたセルロースナノコンポジットを合理的に得ることができるようになり、これを家庭ゴミ由来のプラスチック製容器包装に適用したところ、廃プラからは不可能と言われていた薄肉フィルムの成型が可能となり、自治体の指定ごみ袋などとして商品化・実用化に成功した(図7, 図8)。この技術は、民間実用化事業において、並行して開発を進めてきた水性塗料のセルロースナノコンポジット化やセルロースナノファイバーのグラフト化にも生かされており、これらも順次、商品化・実用化していくこととしている。

また、本装置の加圧脱水部は、高圧水蒸気が発生するようになってきているが、これは、圧力鍋と同じような効果を持っている。このため、本装置を、前述のバイオマス混練による高分子複合材料に適用すると、澱粉系材質は容易にアルファ化し、また、アルファ化しない木粉・米粉などのセルロース系材質や貝殻粉などの無機成分についても、結晶・凝集がほぐれ、微細化・均一化が容易となった。

本事業は、財投による収益還元型の競争的資金で、先の事業仕分けにより廃止されることと

なったと聞いているが、年度ごとの目標設定、これらに対する専門家によるアドバイス、そして各年の評価とフォローアップがシステムとして機能しており、当社の開発には大変役立ったと感謝している。当社のような開発ステップの管理に不慣れなベンチャー企業にとって、3年間の本事業は大変有意義であったと思うが、農林水産業の活性化に資する生物特定系産業の開発・実用化については、実用化のステップが見えている大企業にとっても、その時間軸からリスクが高く感じられることも多いのではなかろうか。

本事業を実施させていただいたことに改めて感謝するとともに、生研センターが持つ特異とも言える専門性をいかし、長期据置き型の無利子資金などに姿を換えるなどしたとしても、本事業が何らかの形で存続することを期待したい。

参考文献

- 1) 白石信夫ほか, 実用化進む生分解性プラスチック, P112, 工業調査会 (2000)
- 2) 近藤哲男, 木材学会誌 Vol54, No. 3, P111 (2008)



図7 廃プラのナノコンポジット化



図8 廃プラから製品化したごみ袋

◀ 国内情報 ▶

高機動型果樹用高所作業台車

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター

太田智彦・山田祐一・猪之奥康治

リンゴなどの果樹園での脚立作業は、昇降、持ち運びに労力を要し、市販高所作業台車の電動式は最高昇降高さが低く、エンジン式は機体が大きいことから、改善が望まれていた。そこで、水平制御機能により安全に4mの樹高までの高所作業が可能で、大きな操舵角により小回りが利き、軽トラックに積載可能な小型高所作業台車を開発した。開発機を利用すると脚立より低い作業負担で、市販の電動作業台車より高能率に高所作業が可能であった。

はじめに

りんごなど果樹栽培は、機械化が進展していない分野の1つで、高齢化が進む中、後継者不足も深刻化している。果樹用機械としては、労働時間の約6割を占めている授粉、摘果、収穫等に幅広く利用できる高所作業台車が市販されているものの、機体が大きいこと、小回りが利かないこと等から普及がそれほど進んでいなかった。こうした作業に広く用いられている脚立は、不安定で危険が伴う上に、持ち運びを要するなど労働負担の面からも問題があり、脚立に代わるような小型で機動性の高い高所作業台車の開発が新たに必要となっていた。

そこで、平成20年度から農業機械等緊急開発事業で、小回りが利く、小型高所作業台車の開発を(株)サンワと共同で進め、平成21年度にプロトタイプを試作し、青森県産業技術センターりんご研究所、福島県農業総合センター果樹研究所の協力を得て、上記問題を改善できる高所作業台車の開発に取り組んだ。

OTA Tomohiko, YAMADA Yuichi, INOOKU Koji
〒331-8537 さいたま市北区日進町 1-40-2

1. 高機動型果樹用高所作業台車の構造と特徴

1) 開発機の構造

開発機は、簡易な構造で高い機動性を持つ、車輪式2輪駆動2輪操舵の高所作業台車である(図1, 図2)。約4mの高所での作業を可能とするため作業台はシザース(パンタグラフ)方式で2mまで昇降可能である。寸法と質量は軽トラックに積載できる寸法と質量である。動力源は電動であり、バッテリーから電源が供給され、連続作業可能時間は摘葉作業時で10時間以上である。

開発機には荷台の水平制御機能を組み込んであり、高所でも安定した作業台上で作業が可能である。操舵部はハンドル回転軸と車輪操舵軸をチェーン、ワイヤ、スプロケットで連結することで、簡易な構造で最大操舵角60°、旋回半径約2mの小回りが利く構造である。開発機のハンドルは自転車のハンドルのような形状であり、自転車と同じように容易にハンドルを回転させることで操舵する。また、開発機は、操舵回数を減らして効率的に作業するためや、樹体への作業者の接近を容易にするための電動張り出し板を備えている。



(a) リンゴ普通樹での作業



(b) リンゴわい化樹での作業

図1 開発機による作業

2) 開発機の特徴

- ① 開発機は小型の寸法であるので、ほとんどの生産者が所有している軽トラックに積載してほ場間移動が可能であり、新たに大型トラックを導入しなくても済むメリットがある。小型であることから、普通樹の枝葉間の小さい空間やわい化樹で枝葉が通路上に大きく伸びた樹間でも走行しやすい。
- ② 作業台水平制御機能を有しているので、安定した作業台上で作業が可能である。張り出し板上に作業者が乗った状態でもロール方向静的転倒角が 23° となり、安全鑑定基準の 15° を越えている。また、作業台高さ

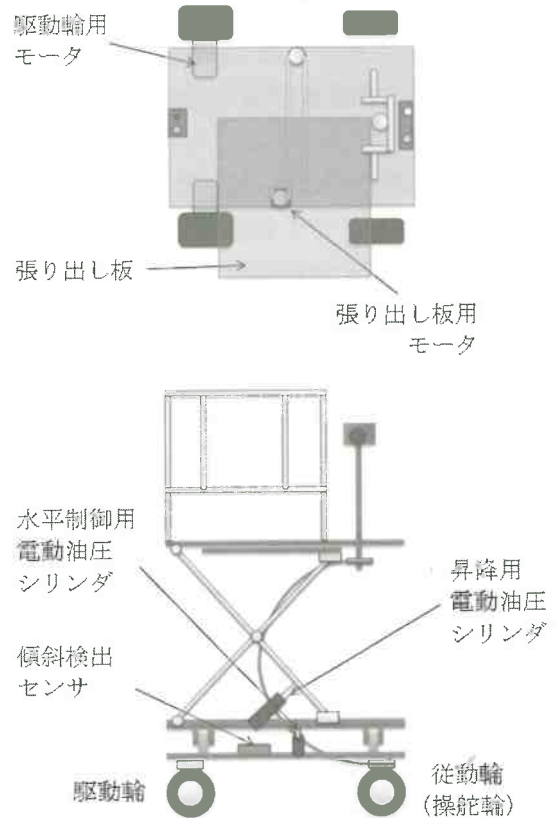


図2 開発機の構造

1.5m 以上での走行速度は安全鑑定基準の 1km/h 以下の超低速であり、高所で安全に移動できる。

- ③ 小回りが利くので樹体への接近が行いやすく、樹冠内で枝葉を避けながら移動することが容易であり、クローラより効率的に移動可能である。さらに、クローラ式高所作業台車では着色マルチ上を走行、操舵するとマルチが破れ、リンゴの摘葉作業や収穫作業で利用できないが、開発機は車輪式であるのでマルチを破りにくく、マルチ上でも走行、操舵が可能である。
- ④ 張り出し板を有しているので、機体を走行させなくても容易に作業対象に近づくこと、昇降させることが可能である。
- ⑤ 電動であるので静かな環境で作業をすることが可能である。エンジン式の作業台車と異なり、脚立と変わらない周囲騒音環境で作業

が可能で負担を感じない作業ができる。また、エンジン式と異なり、温室効果ガスを発生しないので地球環境にも優しい作業台車と言える。

- ⑥ 開発機のハンドルを前方に折りたたむと、歩行用運搬車としても利用できる。作業台最低位置での最大積載量は200kgで、狭い樹冠内、樹列間を運搬することができる。

2. 高機動型果樹用高所作業台車の水平制御機能

1) 水平制御装置の構造

水平制御装置はリニア傾斜センサ、傾斜スイッチ、電動油圧シリンダ、コントローラから構成される。まず、リニア傾斜センサにより作業台の傾斜角を、傾斜スイッチにより傾斜方向を検出する。次にコントローラにより、電動油圧シリンダを伸縮させてロール方向（機体左右方向）に常時、作業台位置を水平に保つに作業台傾斜角を制御する。車体が12°傾斜するまで作業台を水平制御することが可能である。

2) 静的転倒角

水平制御による静的転倒角を測定するために、生研センター内転倒角測定装置により、ロール方向（機体左右方向）の静的転倒角を測定した。張り出し板を傾斜下側に最大に伸ばした位置で、張り出し板上に作業者を想定した65kgの重錘を、作業台中央に35kgの重錘を積載し、車体が転倒するまで傾斜させた。静的転倒角測定試験の結果、ロール方向の静的転倒角が23°となり、安全鑑定基準の15°を越えることを確認した。

3. 高機動型果樹用高所作業台車のほ場作業性能

1) 作業負担

福島県農業総合センター果樹研究所のわい

化リンゴ園（樹列間5m、樹間2m、樹幅3.9m、樹高4.4m、品種「ふじ」）、および、普通栽培リンゴ園（樹列間9m、樹間9m、樹高4.0m、品種「ふじ」）で開発機と市販電動作業台車（床面地上高最高1.5m）を供試し、高所での摘葉作業を行い、心拍数を測定した。高所の対象果実位置を約1.5m以上とした。供試樹数、枝数はわい化樹で2樹、普通樹で亜主枝1本とした。

高所での摘葉作業時の心拍数増加率は、わい化リンゴ園、普通栽培リンゴ園でそれぞれ10、12%となり、脚立利用の心拍数増加率24%（わい化樹・普通樹とも同値）と比べ、10～12ポイント低減し、作業負担の軽減効果を確認した（図3）。脚立では持ち運びや昇降の作業を行うこと、不安定な部分に脚を載せて体のバランスを取りながら作業を行うことから心拍数増加率が脚立で高くなったと考えた。また、脚立上のステップは面積が限られているので手を伸ばす必要が多く、作業負担が高くなったと考えた。

わい化樹2樹と普通樹1亜主枝の高所・低所を連続で行い、心拍数の変化を調べた結果、脚立では心拍数が上昇し、高い心拍数で維持する

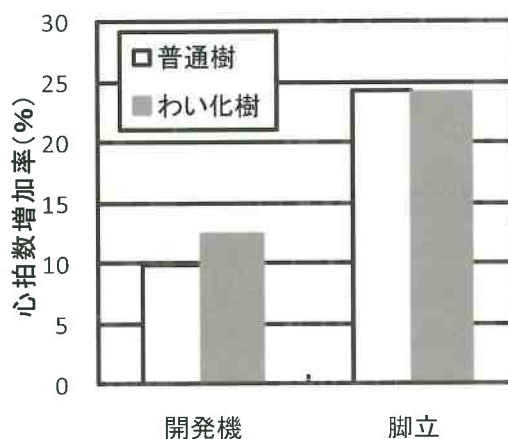


図3 心拍数増加率
(リンゴ摘葉作業、40代男性)

傾向である一方、開発機の場合は、心拍数が低所と同程度か高所作業時に時間とともに下がる傾向があった。脚立での長時間作業では疲労

による負担が高くなるが、開発機では長時間作業を行っても高所作業で作業負担が少なく、疲労の蓄積が少なかったと考える。

2) 作業能率

青森県産業技術センターリンゴ研究所のわい化リンゴ園(樹列間 4 m, 樹間 2 m, 樹幅 1.9 m, 樹高 3.5 m, 品種「ふじ」)で開発機, 市販電動作業台車(以下, 市販機), 脚立を供試し, 高所での摘葉作業(対象果実地上高約 1.5 m 以上)を行い, 作業能率を測定した。供試樹数は 3 樹とした。

高所でのわい化リンゴ園の摘葉作業での 1 時間当たり処理果数は 238 個/h で, 市販機の処理果数 173 個/h と比べ, 38%多くなり, 能率が高く, 脚立と比較すると同等の作業能率であった(図 4)。市販機は張り出し板を有さないため, 樹体に接近した状態で昇降することができず, 昇降する度に開発機を操舵し, 樹体から離れ, 再接近する必要があった。このため, 市販機では樹体近くで操舵する時間が多くなり, 処理果数が少なく, 作業能率が低くなった。

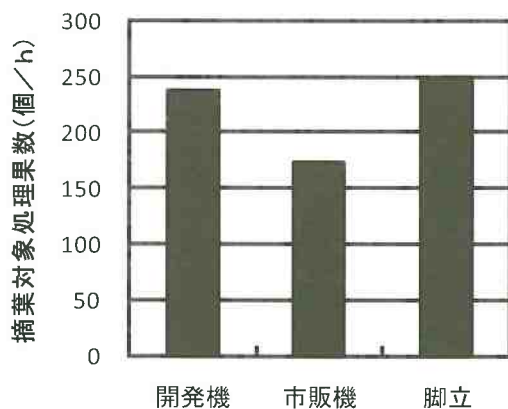


図 4 リンゴ摘葉作業能率

おわりに

本研究では, 果樹栽培の高所作業の軽労・省力化を目指して, 小型で小回りが利き, 水平制御機能を有する電動作業台車を開発し, 高所作業の軽労化, 市販機以上の能率向上を確認した。今後, 積極的に開発した高所作業台車の実演会を行う等, 普及促進のための活動を続ける予定である。平成 23 年度市販化予定であり, リンゴ以外にモモなどの果樹園での普及を図る予定である。

開発機利用上の留意点としては, 樹高 4 m 以下, 樹間 1.2 m 以上の果樹に適用可能で, 本機を利用する際は, 通路となる空間(幅 1.2 m, 地上高 1.7 m)を確保する必要がある。平坦地, または, 5°以内の傾斜地で利用することが望ましい。

参考文献

- 1) 太田智彦ら(2010), 高機動型果樹用高所作業台車の開発—試作 1 号機の概要とほ場試験—平成 22 年度農業機械学会年次大会講演要旨, 206-207
- 2) 山田祐一ら(2010), 高機動型果樹用作業台車の開発—水平制御システムの開発, 平成 22 年度農業機械学会年次大会講演要旨, 208-209

◀ 文献情報 ▶

母体の年齢がミトコンドリア DNA コピー数、ATP 含量及び体外受精成績に及ぼす影響

Effect of maternal age on mitochondrial DNA copy number, ATP content and IVF outcome of bovine oocytes.

H. Iwata¹, H. Goto¹, H. Tanaka¹, Y. Sakaguchi¹, K. Kimura², T. Kuwayama¹ and Y. Monji¹.

¹Tokyo University of Agriculture, Funako 1737, Atugi City 243-0034. ²National Institute of Livestock and Grassland Science, Senbonmatsu 768, Nasushiobara City 329-2793.

Reproduction, Fertility and Development, 23, 424-432 (2011)

胚の初期発生には、卵子の品質が大きく関与していることが知られている。また、ミトコンドリアは、細胞におけるエネルギー産生に重要な役割を果たしており、カルシウムシグナルやアポトーシスにも大きく関与している。ミトコンドリア DNA のコピー数は、始原生殖細胞時の 100 程度から成熟卵子では 300,000~400,000 程度まで増加するが、受精後から胚盤胞期までは増加しない。そのため、ミトコンドリア DNA コピー数は、成熟卵子の品質評価に利用可能と考えられる。また、ATP 含量の多い卵子やミトコンドリア膜活性の高い卵子においては、発生能が高いことも知られている。一方、加齢により哺乳動物の妊孕性は低下することが知られており、13 歳の牛においては、若齢の後代牛に比べて過胚卵処理による採卵において未卵割卵子が多いことが報告されている。さらに、母体の年齢は、ヒトのミトコンドリアの品質と機能に影響していることも報告されている。しかしながら、母体の年齢が、牛卵子におけるミトコンドリア DNA コピー数やミトコンドリア機能にどのように影響するかはこれまで報告されていない。そこで、本論文においては、母体の月齢が、ミトコンドリア DNA コピー数、ATP 含量、

体外受精成績に及ぼす影響や、ミトコンドリア DNA コピー数が体外受精成績や ATP 含量に及ぼす影響が検討された。20~204 ヶ月令の牛から卵子が回収され、卵子中のミトコンドリア DNA コピー数はリアルタイム PCR により測定された。未成熟卵子及び成熟卵子のミトコンドリア DNA コピー数は、それぞれ、368,118 個、807,794 個であった。ATP 含量は、未成熟卵子 1.2pM、成熟卵子 2.0pM であった。卵子の成熟中にミトコンドリア DNA コピー数や ATP 含量は増加した。しかし、90 ヶ月齢以降、成熟卵子のミトコンドリア DNA コピー数は月齢の増加に伴い減少したが、成熟卵子中の ATP 含量は月齢の増加に伴い有意に増加した ($P<0.01$)。ミトコンドリア DNA コピー数と ATP 含量との間には何ら相関は認められなかったが、母体の月齢と異常受精率との間には有意な正の相関が認められた ($P<0.01$)。さらに、全体としてみるとミトコンドリア DNA コピー数と受精成績との間には相関は認められないが、異常受精率については、若齢 (21~89 ヶ月令) では相関は認められないものの老齢 (90 ヶ月令以上) では有意な相関 ($P=0.006$) が認められるなど、年齢により異なっていた。以上の結果から、牛卵子のミトコンドリア DNA コピー数、ATP 含量と体外受精成績には、母体の月齢が影響することが明らかとなった。

加齢による妊孕性が低下することは知られているが、その原因は明らかではなかった。今回、牛においても加齢により、ミトコンドリア DNA コピー数や ATP 含量に変化が起これ、受精成績が悪化することが明らかとなった。受精後の胚発生には、卵子の品質が重要であり、より高品質の体外成熟卵子をえるためにも、卵子の品質評価指標の策定にもつながる ATP 含量、ミトコンドリア等からの研究の推進が期待される。

(抄訳：下司雅也, GESHI Masaya, 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所)

◀ 文献情報 ▶

***Ice-COLD-PCR*は、低度、未知のDNA変異を迅速に増幅し、強力に濃縮することができる**

Ice-COLD-PCR enables rapid amplification and robust enrichment for low-abundance unknown DNA mutations

Coren A. Milbury^{1,2}, Jin Li^{1,2} and G. Mike Makrigiorgos^{1,2,*}

¹Department of Radiation Oncology, Division of Medical Physics and Biophysics

²Department of Radiation Oncology, Division of DNA Repair and Genome Stability, Dana Farber-Brigham and Women's Cancer Center, Harvard Medical School, Boston, MA 02115, USA

Nucleic Acids Res., 39, e12. (2011)

低度の変異を同定することは、出生前診断やがん、感染症などの治療において、重要であるが、多巢性や浸潤性のがんでは、正常細胞の数が非常に多く、変異を含んでいるがん細胞の数が非常に少ない。そのような低度の変異を診断や治療に利用するには、これまでの分子生物学的手法では、正確性や感度に限界があった。

COLD (CO-amplification at Lower Denaturation temperature)-PCR は、近年開発された PCR 手法で、野生型のアレルに対し、変異を含むアレルを数倍の選択性をもって増幅（濃縮）することができる。しかしながら、既存の COLD-PCR 手法では、濃縮できない変異型が存在したり、濃縮効率が高くないなどの欠点があった。そこで、本研究では、COLD-PCR を改良し、変異の型や配列上の位置によらず、さまざまな変異型を効率的に濃縮可能な手法の開発を行った。

まず、筆者らは、選択的に野生型アレルの増幅抑制を行うプローブ reference sequence (RS) の設計を行った。RS は、(1) 野生型アレルのアンチセンス配列、(2) PCR プライマーが結合できない、(3) 3'末端のリン酸化処理によりポリメ

ラーゼによる伸長が不可能、となるようにデザインした。RS を PCR に組み込むことで、野生型の増幅を抑制し、変異型を優先的に増幅させる手法 (*ice* (improved and complete enrichment)-COLD-PCR) を開発した。手法の検証のため、増幅産物の断片長が 87bp、RS の断片長が 60nt の実験系において、変異型の違い（変異導入後に Tm 値が上昇する (T > G)、等しい (G > C)、減少する (G > T)、変異が 1 塩基欠失である）における、通常の PCR、既存の COLD-PCR、*ice-COLD-PCR* の濃縮効率を、サンガー法によるシーケンスを用いて比較し、どの程度異なるかを検討した。その結果、既存の COLD-PCR である *full-COLD-PCR* 法では、全ての変異体で、5~8 倍程度の濃縮、*fast-COLD-PCR* 法では、Tm 値の上昇又は等しい変異型は濃縮できず、Tm 値の減少する変異型では 15~17 倍に濃縮されたのに対して、*ice-COLD-PCR* では、変異型の違いによらず、13~15 倍程度まで濃縮され、変異型が 1%程度含まれる場合まで同定可能であった。さらに、パイロシーケンス法を用いて比較を行った場合、*ice-COLD-PCR* では、変異型が 0.1%の場合でも 75 倍程度まで濃縮され、同定が可能であり、既存の COLD-PCR 手法による濃縮効率を上回っていた。さらに、増幅産物の断片長が 115bp、RS の断片長が 90nt について検討しており、Tm 値が減少する変異型に *fast-COLD-PCR* 法を適用した場合を除いて、*ice-COLD-PCR* による増幅の方が、既存の COLD-PCR よりも効率的に濃縮された。

本研究により開発された *ice-COLD-PCR* は、高い選択性、スピード、簡便性を持ち、変異型によらず未知の低度の変異を濃縮することが可能であり、パイロシーケンスなどの downstream assay と組み合わせることで、ごく低度の変異を識別、同定が可能となる。これらは、がんの発生や成長、危険性や再発、診断医療の理解に大きく影響すると思われる。

(抄訳：高橋正之，TAKAHASHI Masayuki，独立行政法人 酒類総合研究所)

生研センターからのご案内

生研センター基礎的研究業務の研究成果について

生研センターでは、農林水産業、飲食料品産業等の分野において、生物の持つ多様な機能を活用することにより新たな事業の創出を促すために、産学官の研究勢力を結集した数々の研究を支援しています。

それらの研究のうち「新技術・新分野創出のための基礎研究推進事業」(注)と「生物系産業創出のための異分野融合研究支援事業」(注)及び「イノベーション創出基礎的研究推進事業」の平成22年度終了課題の研究成果の概要をホームページに掲載しておりますので、ご興味のある方は生研センターの各事業のホームページをご覧ください。<http://brain.naro.affrc.go.jp/tokyo/>

新技術・新分野創出のための基礎研究推進事業（一般型）

課題名	研究代表者（所属機関）
オオムギ重要形質に関与する遺伝子の同定と育種への応用	佐藤 和広 (岡山大学資源植物科学研究所)
家畜原虫病に対する Th1 免疫誘導型糖鎖被覆リボソームワクチンの開発研究	横山 直明 (帯広畜産大学原虫病研究センター)
希少糖生理活性の作用機構と生物生産場面での利用	秋光 和也 (香川大学農学部希少糖生産センター)
クロマチン構造と細胞周期制御による高等植物の高効率・高精度遺伝子操作技術の開発	土岐 精一 (独)農業生物資源研究所)
ゲノム情報に基づく麹菌全プロテアーゼの機能解析	竹内 道雄 (東京農工大学大学院農学研究院)
高効率物質生産系宿主としてのカイコのポストゲノム育種	日下部 宜宏 (九州大学大学院農学研究院)
植物の「みずみずしさ」の分子機構解明とその応用のための基盤研究	且原 真木 (岡山大学資源植物科学研究所)
水産無脊椎動物の生殖腺刺激ホルモンの解明と応用	吉国 通庸 (九州大学大学院農学研究院)
耐熱性発酵微生物の「耐熱性」分子機構の解明と発酵産業への利用	松下 一信 (山口大学農学部)
トランスジェニックニワトリ作製のための生殖工学的基礎研究	飯島 信司 (名古屋大学大学院工学研究科)
標的特異的LINEを利用した新規トランスジェニックツールの開発	藤原 晴彦 (東京大学大学院新領域創成科学研究科)

生物系産業創出のための異分野融合研究支援事業（異分野融合研究開発型）

課題名	研究代表者（所属機関）
新しい遺伝子サイレンシング法を用いたスーパーグラスの開発	高溝 正 （（独）農研機構 畜産草地研究所）
花芽形成促進物質 KODA による果樹の花芽着生制御技術の開発	吉田 茂男 （（独）理化学研究所）
環境調和を考慮した細菌情報伝達阻害型薬剤の開発	内海 龍太郎 （近畿大学農学部）
昆布フコキサンチンを利用した食べ易い微粉末食品の開発	金沢 和樹 （神戸大学大学院農学研究科）
最先端クルマエビ養殖技術の構築～安全・安心・健康なエビを作る	酒井 正博 （宮崎大学農学部）
バキュロウイルスの特性を利用した家畜用ワクチンの開発	矢野 良治 （BachTech（株））

イノベーション創出基礎的研究推進事業（技術シーズ開発型）

【若手研究者育成枠】

課題名	技術コーディネーター（所属）
イネいもち病菌の非病原性遺伝子産物の機能と分子構造の解明	曾根 輝雄 （北海道大学大学院農学研究院）
温帯果樹の休眠制御機構の分子基盤解明	山根 久代 （京都大学農学研究科）
高機能食品成分としてのスフィンゴ脂質に関する基盤構築	菅原 達也 （京都大学大学院農学研究科）
全アミノ酸同時計測用バイオチップの開発	釘宮 章光 （広島市立大学社会連携センター）
ヘアリーベッチ導入大豆栽培の多収機構解明と栽培技術の確立	佐藤 孝 （秋田県立大学生物資源科学部）
葉緑体工学を用いた自己糖化型エネルギー作物の開発	中平 洋一 （京都府立大学大学院生命環境科学研究科）

イノベーション創出基礎的研究推進事業（発展型研究）

【一般枠】

課題名	研究代表者（所属機関）
ウシ用胎盤剥離誘導剤の開発と繁殖機能への影響の解明	鎌田 八郎 （（独）農研機構 畜産草地研究所）
海性バイオマス（アルギン酸）からのエタノール生産基盤	村田 幸作 （京都大学農学研究科）
環境負荷低減技術によるキチン系バイオマス資源の高度利用	戸谷 一英 （一関工業高等専門学校）
絹の高機能化による再生医療材料創製システムの構築	朝倉 哲郎 （東京農工大学大学院工学研究院）
CRES-T 法を基盤とした花きの高度形質制御技術の実用化	大坪 憲弘 （（独）農研機構 花き研究所）
抗疲労作用のある新規高アントシアニン茶品種育成と利用食品開発	山本 万里 （（独）農研機構 野菜茶業研究所）
草原短角牛の造成と産肉機構ならびにその肉質特性の解明	山口 高弘 （東北大学大学院農学研究科）

イノベーション創出基礎的研究推進事業（発展型研究）

【ベンチャー育成枠】

課題名	技術コーディネーター（所属）
水産有用甲殻類の難飼育性種苗生産技術の開発	田中 祐志 （東京海洋大学海洋科学部）
味覚受容体をターゲットとした調味ペプチドの評価システムの開発と商品化	駒井 三千夫 （東北大学大学院農学研究科）
ブタ大腸菌性下痢症予防食べるワクチンの開発研究	幸 義和 （東京大学医科学研究所）

(注)

「新技術・新分野創出のための基礎研究推進事業」及び「生物系産業創出のための異分野融合研究支援事業」の新規課題の募集は平成19年度までで終了し、平成20年度以降は「イノベーション創出基礎的研究推進事業」として再編されています。



バックナンバーのご案内
第 143 号
2011 年 1 月 15 日発行

特別寄稿

産業競争力懇談会 (COCN) における「農林水産業と工業の連携研究会」の報告概要 産業競争力懇談会「農林水産業と工業の連携研究会」事務局

特集

グリーンバイオマスからのトチュウエラストマー生産開発 中澤慶久

近赤外分光による豚肉脂質評価装置の開発

..... 大倉 力・朴 善姫・指田邦夫・入江正和
アプタマー技術を応用した食品の安全性に関する簡易リスク判定技術の開発 和賀 巖・秋富 穰・古市真木雄

文献情報

活性 X 染色体における *Xist* 発現抑制によるマウス体細胞核移植技術の改善 (抄訳: 下司雅也)
トマトの種内・種間不和合性に関わる花粉側因子の解析 (抄訳: 高田美信)
アブラムシの体色を変える共生細菌 (抄訳: 柳原沙恵)



バックナンバーのご案内
第 142 号
2010 年 11 月 15 日発行

総説

食品の安全性確保のための技術開発の動向と展望 川本伸一

総説関連

ヒラメの感染症を診断する「抗体チップ・プロテインチップ」の開発 中易千早・松山知正・坂井貴光・釜石 隆・乙竹 充・倉田 修・三吉泰之・福田 穰
生乳中混入抗菌性物質自動検知センシングシステムの開発 数坂昭夫・大森唯義・山川 功・福岡 淳・濱田辰夫
食品の安全性評価へのバイオセンサーの利用 今石浩正・後藤達志・宇野知秀・森垣憲一

国内情報

目標ランプを利用した直進誘導システム 牧野英二・山下貴史・堀 圭二

地域の先端研究

超低温保存したウシ卵子から黒毛和種子牛の生産に成功 詫摩哲也・江副大輔・一丸 仁

文献情報

性選別精子を用いた *Bos taurus*, *Bos indicus* 及び *indicus-taurus* 交雑乳牛からの大規模な体外受精卵生産と受胎成績 (抄訳: 下司雅也)
セントロメア領域を介した染色体排除機構による半数体植物の作成 (抄訳: 高田美信)
Saccharomyces cerevisiae の様々なストレス応答におけるトレハロース蓄積の異なる重要性 (抄訳: 佐々木慧)



バックナンバーのご案内
第 141 号
2010 年 9 月 15 日発行

総説

牛乳および食肉の機能性食品への展開 有原 圭三

総説関連

血管保護作用を有する鶏由来低分子コラーゲンペプチドの開発研究 -コラーゲンペプチドの新規作用を探る-

..... 河口友美・高畑能久・森松文毅

親鶏由来の機能性リン脂質：スフィンゴミエリンの抗高脂血症及び抗高血糖効果

府中英孝・柚木恵太・

松山弘幸・藤野武彦・大西正男・小玉芳郎・杉山雅昭

乳脂肪球膜の摂取による肌質改善効果

..... 後藤英嗣・辻 敏宏・明石啓子・元島英雅

1073R-1乳酸菌に免疫機能を活性化させる効果があることを発見 池上秀二・牧野聖也・伊藤裕之
GABA 高含有チーズを安定生産する手法を開発～GABA 生成力が強い乳酸菌を含むチーズ発酵種菌～ 野村 将

国内情報

バイオディーゼル燃料のトラクタへの利用 清水一史・千葉大基・杉浦泰郎・高橋弘行・積 栄・手島司・原野道生

文献情報

部分的不妊化処理ニワトリ胚への始原生殖細胞の移植による生殖細胞の置換

(抄訳：下司雅也)

アプラーナ自家不和合性ではトランスに作用する低分子 RNA が優劣性を決定する

(抄訳：高田美信)

Lactococcus lactis 生細胞中のペプチドグリカンのナノスケール構造の可視化

(抄訳：柳原沙恵)

生研センターからのご案内



バックナンバーのご案内
第 140 号
2010 年 7 月 15 日発行

総説

家畜繁殖学の挑戦と近未来 佐藤英明

総説関連

糖尿病発症トランスジェニックブタの医療用実験動物としての実用化

梅山一大・渡邊将人・

松成ひとみ・黒目麻由子・長嶋比呂志

ブタゲノム塩基配列の概要解説の完了と今後の展望について

上西博英

超小型豚（マイクロミニピッグ）の安定生産と実験動物としての可能性

金子直樹

国内情報

ドリフト低減効果の高いスピードスプレーヤ用ノズルの開発

水上智道・吉田隆延・宮原佳彦・

猪之奥康治・太田智彦・山田祐一・金光幹雄

特別情報

新たな「食料・農業・農村基本計画」の概要

萩原英樹

文献情報

ブタ胚性幹細胞と思われる細胞の体外および体内における性状

(抄訳：下司雅也)

植物において2本鎖small RNAがサイレンシングの細胞間移行シグナルとして機能する

(抄訳：高田美信)

出芽酵母における、異種遺伝子発現のための染色体組み込み部位の性質決定

(抄訳：土肥良弥)

生研センターからのご案内

編集後記

144号をお届けします。本号では特集として「バイオマス利活用技術の研究最前線」を取り上げました。特集で徳安健氏(食品総合研究所)に稲わらからバイオエタノール製造のための前処理技術「CaCCO法」の開発、石田哲也氏(アサヒビール(株))らに食料とエネルギーの同時的増産技術の開発、中村雅哉氏(森林総合研究所)らに微生物機能を利用した未利用バイオマス資源リグニンの化学原料への変換とその活用技術、蓮沼誠久氏(神戸大学)らにCBP用スーパー酵母を用いたバイオエタノール生産技術の開発、大野孝氏(アグリフューチャー・じょうえつ(株))に地域資源を利用したバイオプラスチックの開発について、それぞれご執筆戴きました。

その他の研究情報としては、太田智彦氏(生研センター)らに高機動型果樹用高所作業台車の開発についてご執筆戴きました。

また、本号の文献情報は、下司雅也氏(畜産草地研究所)、高橋正之氏(酒類総合研究所)にご執筆戴きました。

ご多忙な中玉稿をお寄せ戴きました執筆者各位に深甚の謝意を申し上げます。(佐々木記)

本誌著作物の複写利用等について

本誌掲載の論文・記事の複写・転載等を希望される方は、執筆者ならびに生物系特定産業技術研究支援センター(生研センター)の許諾を得て行って下さい。

生研センター 業務のご案内

～研究開発を強力に支援いたします～

提案公募型の委託研究制度

- 民間企業の実用化段階の研究支援なら 民間実用化研究促進事業
- 技術シーズ開発のための基礎研究や
応用・発展研究及びベンチャー創業を目指すなら イノベーション創出基礎的研究推進事業

その他の支援制度

- 「共同研究先のあっせん」、「遺伝資源配布先のあっせん」などもお気軽にご相談下さい。

詳細は、生研センター企画部企画第1課までお問い合わせください。

ブレインテクノニュース 第144号

平成23年3月15日発行

発行人 前川 泰一郎

編集人 浅野 将人

発行所 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構

◎生物系特定産業技術研究支援センター(生研センター)

〒105-0001 東京都港区虎ノ門3丁目18番19号 虎ノ門マリビル10階

TEL 03-3459-6565 FAX 03-3459-6566

e-mail brainki1@ml.affrc.go.jp

URL <http://brain.naro.affrc.go.jp/tokyo/>