

日本作物学会シンポジウム記事

日本作物学会 第228回講演会シンポジウム1

バイオエタノール：食とエネルギーの確保と環境保全に向けて

(2009年9月29日、於静岡コンベンションアーツセンター)

コーディネーター：山内 章 (名古屋大学大学院生命農学研究科)

座長：山内 章 (名古屋大学大学院生命農学研究科)

岩間和人 (北海道大学大学院農学研究科)

1. 食料問題とバイオエタノール

鈴木宣弘 (東京大学大学院農学生命科学研究科)

2. 国産バイオエタノールの利活用の推進について (モデル実証事業の実施等)

遠藤順也 (農林水産省大臣官房環境バイオマス政策課)

3. 日本におけるバイオエタノール用原料作物としてのイネの生産の現状と課題

根本 博 (作物研究所)

4. 糖質・デンプン系資源作物の品種育成と栽培技術研究

服部太一郎 (九州沖縄農業研究センター)

5. 日本におけるセルロース系原料作物生産の現状と課題

我有 満 (九州沖縄農業研究センター)

6. 日本におけるバイオエタノール生産の取り組み事例

大西茂志 (JA 全農営農総合対策部)

7. 日本におけるバイオエタノール生産システム構築に向けた課題と今後の展望

芋生憲司 (東京大学大学院農学生命科学研究科)

8. 総合討論

趣旨と概要

エネルギーのほとんどを海外に依存し、食料自給率もカロリーベースで40%を切っているわが国では、食料・エネルギー安全保障は将来を決める最優先課題である。バイオ燃料の生産、利用の促進は、農村振興と直結させることによって、これらの安全保障を強化することが期待されると同時に、地球温暖化対策としても非常に有望視されている。とりわけわが国においてはバイオエタノールが重要である。わが国は、この課題をエネルギー・資源政策の中に位置づけ、中長期的な視点に立ってその技術開発に真摯に取り組む、世界、とりわけアジアをリードしていく必要がある。

今世紀に入って、農業のグローバル化が急速に進行し、多国籍アグリビジネスや食品産業の影響が強まり、世界的には、食料や資源の生産や分配の問題が先鋭化してきた。とくに、2007年後半からの原油価格の高騰に端を発して、ほぼ同時にアメリカ産トウモロコシを中心とする穀物価格の上昇が、家畜飼料や関連食料品の価格の上昇をもたらしたことが、食料・エネルギー問題に非常に高い社会的関心を引き起こした。加えて、とくにトウモロコシ由来の燃料用エタノールの増産が急速に進んだのを受け

て、あたかも食料と燃料が競合する、つまり、バイオ燃料の材料となる作物を食用とするのか、エネルギー用とするのか、といった議論がマスコミを中心に巻き起こったが、本当の問題は、限られた資源(土地、水、肥料など)とエネルギーを食料生産に回すか、エネルギー生産に回すかという競合と捉える必要がある。さらには、こうした資源分配の問題に加え、食料価格の高騰の原因は相互に影響を及ぼしあい単純ではないが、生産量・額ともに食料作物はエネルギー作物に比べ圧倒的に多いのであって、根底には、世界の食料需要の増加に食料作物の生産、供給が追いつかないという構造的な問題がある。

そこで本シンポジウムでは、まず、こうした、食料とエネルギーを取り巻く情勢を概観した上で、バイオエタノール開発と普及の推進に関わる、様々な自然科学的、社会科学の要素について分析するとともに、国の政策について理解する。それを踏まえて、とくに、バイオエタノール生産に関わる原料作物の育種や低投入持続型を目指した栽培技術研究に焦点を当てる。具体的には、何を、どこで、どのように栽培するか、さらに事業化に向けては誰が栽培するかという点が重要である。そして、それらの生産物の利用、ならびにバイオエタノールの生産技術について、研究の最先端を専門家に、また実証事業の現場から実践家に解説し

ていただき、バイオエタノール生産、開発・利用、普及の現状を理解するとともに、わが国が目指すべき、将来展望と課題について議論することを目的とした。

シンポジウムではまず、鈴木氏が、世界の食料需給、わが国の食料とエネルギーを巡る情勢、ならびにその中におけるバイオエタノールの位置づけについて、また、とくにバイオエタノール原料作物の生産に関する現状と今後の課題について整理された。続いて遠藤氏は、行政の立場から、国産バイオエタノールの利活用の現状と今後の課題について概観された。根本氏は、バイオエタノール原料の候補となる飼料イネおよび多収イネの品種育成や品種特性、ならびにそれらの栽培技術について詳しく紹介された。バイオエタノール原料の候補となる作物のうち、イネ以外の作物を精力的に研究されている服部氏は、それらの品種育成や栽培技術研究の現状と課題について紹介された。続いて我有氏が、今後、ますます需要が伸びてくると考えられている、セルロース系バイオエタノール原料作物一般に関する栽培技術や育種研究の現状と課題について紹介された。JA全農は、新潟県で米からバイオエタノールを作る実証事業を進めていて、完成したプラントで、すでに99.9%のバイオエタノールを製造始めている。それは、規模が小さく、エネルギーの地産地消モデルとしてすぐれており、大西氏はその現状と展望について紹介された。最後に、芋生氏は、バイオエタノール製造のための収穫、収集、運搬関係、エネルギー収支やLCA解析（ライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment, LCA）に注目し、生産から消費までの総過程の環境に対する負荷を見積もることによって、環境に対する影響を評価しようとする手法）について、自らの研究をもとに詳しく解説された。

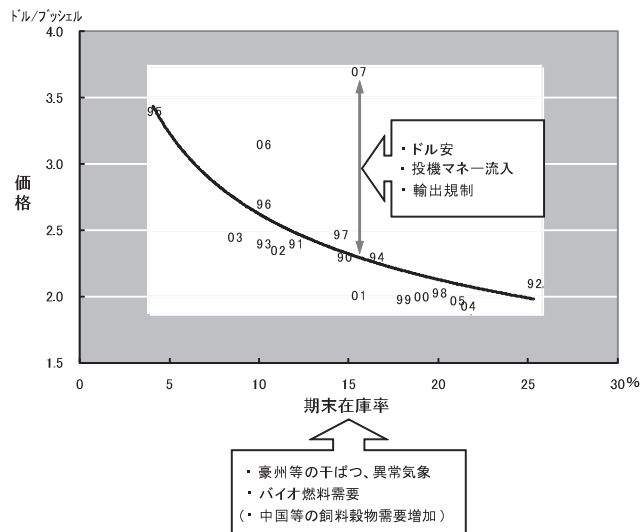
総合討論では、バイオエタノールと食料生産における作物学の役割を中心に議論し、とくに我が国においては原料作物の生産と供給が最重要課題であることから、作物学の果たすべき役割は、今後ますます大きくなることを確認した（岩間和人・山内章）。

1. 食料問題とバイオエタノール

鈴木宣弘（東京大学大学院農学生命科学研究科）

バイオ燃料は食料危機の元凶か？それとも、地球温暖化抑制の切り札か？穀物価格高騰は止まらないのか？様々な要因は相互に関連している。自然科学と社会科学の知見を結びつけた総合評価体系の構築が望まれる。

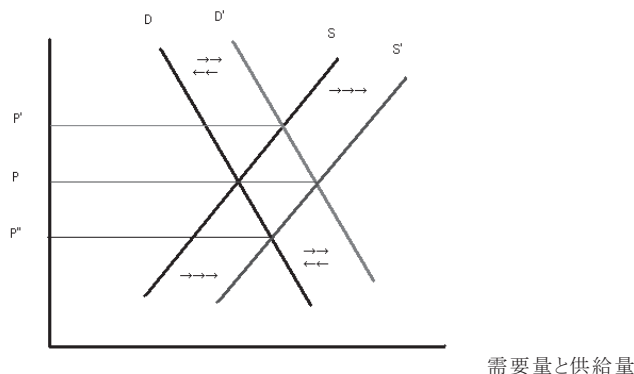
米国は、世界的な穀物価格高騰の主因はバイオ燃料需要の拡大でないと主張するが、そもそも、バイオ燃料の需要の喚起は、米国だけでなく、中国やEUにおいても、穀物等の過剰在庫を処理し、低迷していた穀物価格の上昇による農家支援のために推進された側面も大きいことが指摘されている。この意図からすれば、まさに目的が達成されたことになるが、今回の穀物価格高騰は、豪州の干ばつ等に



第1図 穀物価格と期末在庫率の関係。

注：豊田通商（株）古米潤氏が示したトウモロコシのデータをイメージ化して農林水産政策研究所木下順子主任研究官が作成。

価格



第2図 バイオ燃料需要による穀物需給の変化と価格への影響。

注：バイオ燃料向けの需要の増加により穀物への需要曲線DがD'にシフトして、供給曲線Sがシフトしなければ、均衡価格はPからP'に上昇するが、増産型技術開発の促進による単収の向上等により供給曲線がSからS'にシフトすれば、価格はPに戻るかもしれない。さらに、第二世代バイオ燃料が商業化されて需要曲線がDに戻れば、価格は一時的にはP''まで下落する可能性もある。

よる供給減やバイオ燃料需要の拡大という需給要因、すなわち、在庫率の変動に集約される要因だけでは説明できない異常な高騰であるのも確かである（第1図参照）。穀物価格が在庫率で説明可能な水準からかけ離れて暴騰している要因として、金融市場の不安からの投機マネーの流入、各国が自国民への供給確保の不安から輸出規制を行い、在庫は比較あるのに貿易量が急減したこと等が指摘されている。バイオ燃料需要の拡大が主因か否かを判定するには、これらの様々な要因を総合的に考慮した上でバイオ燃料によるネットの（＝正味の）影響を分離する経済分析が必要

である。

最近における穀物価格高騰が「構造的」で、価格は「もう戻らない」という見方にも疑問が残る（第2図参照）。価格が戻らない根拠として、需要面でのバイオ燃料需要の拡大と中国、インド等の人口爆発と爆食に対し、供給面での単収の伸びの技術的限界説等が指摘されている。いずれの要因も割引いて見るべき点があるが、バイオ燃料については、1973年のオイルショック時のブームも原油価格の下落とともに、ブラジル以外では終息してしまった経緯も忘れてはならない。原油に対してトウモロコシが割高になると、使用目標が義務づけられていても、追加的な補助金支出が困難になれば、トウモロコシによるエタノール生産の採算はとれなくなり、目標そのものを見直さなくてはなくなる可能性がある。バイオ燃料等の代替燃料の生産増加によるエネルギー需給の緩和が原油価格を引き下げる可能性も念頭に置くべきである。

また、食料や飼料と競合する材料ではなく、木くずや雑草等を使用したセルロース系バイオ燃料（第二世代）の生産技術の研究が急ピッチで進められている。その技術が低コストで実用化されれば、食料や飼料と競合し、生産コストがガソリンより割高で、二酸化炭素の排出削減効果も小さいとされるトウモロコシ等へのエタノール向け需要は縮小していくことが見込まれる。したがって、最近の国際穀物市場の混乱は、やや中長期にみれば、第二世代が普及するまでの過渡期をどう乗り切るかという問題である可能性が高い。

ただし、ブラジルのサトウキビは、生産コストの低さ、二酸化炭素の排出削減効果の大きさ、潜在的可耕地の大きさから食料（砂糖）生産と競合しにくい面があり、第二世代と共存する可能性もある。しかし一方、ブラジルについても、間接的にアマゾンの森林破壊を誘発し、二酸化炭素排出が増加するとの指摘もあり、総合評価が求められている。

我が国でコメをバイオ燃料にすることを食料との競合から疑問視する見方もあるが、現時点でコメの生産が過剰な日本においては、水田機能を維持しつつ、食料不足時に主食用に回すことができるという意味で、むしろ日本及び世界の食料確保に貢献する政策の一部に位置づけられる。

バイオ燃料の推進にあたっては、経済的な採算性、食料需給・価格への影響、環境への影響等に関係する様々な自然科学的、社会科学的要因の相互依存のメカニズムを把握し、市場で取引されない価値も含めた総合的な費用便益の視点から妥当な方向性を見いだしていく必要がある。

2. 国産バイオエタノールの利活用の推進について（モデル実証事業の実施等）

遠藤順也（農林水産省大臣官房環境バイオマス政策課）

政府では、現在、農林水産省をはじめ関係府省が連携して、バイオマスの総合的な利活用の推進に向けた取組を進

めている。そもそも、バイオマスとは、動植物に由来する有機物で化石資源を除いたものであり、生命と太陽がある限り再生可能な資源である。また、全体としてはその利用により大気中の二酸化炭素を増加させない「カーボンニュートラル」という性質がある。

バイオマスの利活用の推進により、食品・木材について従来の利用にとどまらず、エネルギーとしての活用を推進することは、地球温暖化の防止や循環型社会の形成といった意義はもちろん、新たな戦略的産業の育成やバイオマスの大きな供給源である農林漁業、農山漁村の活性化にもつながるものであり、持続的に発展可能な社会を目指す上で不可欠なものである。

このようなバイオマスの利活用を総合的に推進するため、2002年12月に「バイオマス・ニッポン総合戦略」が閣議決定された。その後、2005年2月に京都議定書が発効し、実効性のある地球温暖化対策の実施が喫緊の課題となるなど、バイオマスの利活用をめぐる状況が変化する中で、2006年3月に見直しが行われたところである。この見直しにおいて、「バイオマスタウン構築の加速化」と「バイオ燃料の利用促進」が新たに大きな2本柱として打ち出されており、農林水産省においても、これらの実現に向けて様々な施策を講じているところである。

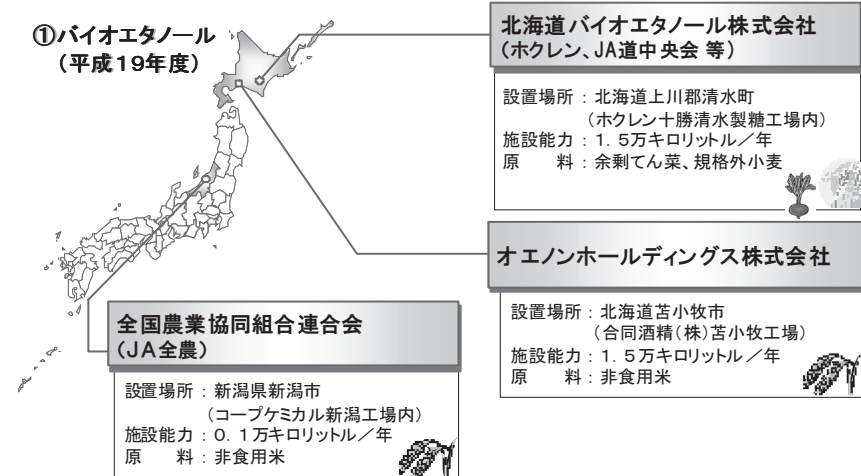
農産物やその副産物をエネルギーとして活用するバイオ燃料は、従来の食料や飼料を対象とした食料生産の枠を超えた取組といえる。しかしながら、国産バイオ燃料の生産拡大に当たっては、原料の安定的な確保や製造コストなど様々な課題があることから、農林水産省では、これら課題の解決に向け、技術開発や実証事業等を進めるとともに、税制・法制度の整備も含めた体制整備を行っているところである。

具体的な施策としては、我が国におけるバイオ燃料の商業生産の本格的な開始に向け、2007年度からバイオ燃料製造の大規模実証を行っている。北海道2地区、新潟県1地区で年間3.1万KLのバイオエタノールを生産することとしている。現在は、それぞれの施設で試運転を行っているところであり、今後、本格的な生産が開始されることになる。種々の技術実証を行うことにより、効率的なバイオエタノールの生産に期待が寄せられる。こうした取組は規格外の農産物等を原料とするものであり、日本の実情にあったバイオ燃料生産の実現に向けた大きな一歩となるもの。

さらに、2008年度からは、食料自給率の低い我が国において、食料供給と両立する稲わらや間伐材等のセルロース系の原料を有効に活用し、国産バイオ燃料の生産拡大を図るための研究開発、技術実証等の取組を行う「日本型バイオ燃料生産拡大対策」を開始した。このうち、稲わら等のソフトセルロース系原料からバイオエタノールを製造する技術の確立を図る事業においては、北海道、秋田県、兵庫県そして千葉県の4地区で事業を行うこととしており、国産バイオ燃料の大幅な生産拡大を目指している。

バイオ燃料地域利用モデル実証事業

- 国産の輸送用バイオ燃料の利用推進に向け、データの取得や地域利用モデルの支援を目的として、平成19年度から大規模事業を含む実証事業を開始。



第1図 バイオ燃料地域利用モデル実証事業実施地区。

バイオエタノール採択地区の事業概要及び現在の状況

	北海道バイオエタノール株式会社※	オエノンホールディングス株式会社	全国農業協同組合連合会 (JA全農)
事業概要	原料	多収穫米 (当面MA米)	多収穫米
	地域エリア	北海道清水町	新潟県新潟市
	バイオ燃料製造量	1.5万kL/年	1千kL/年
	プラント建設	三菱商事、キリンビール、キリンエンジニアリング、日本化学機械製造	三井造船、サタケ
	バイオ燃料販売量	50万kL/年 (ETBE)	3.3万kL/年 (E3)
現在の状況 (今後の予定)	<ul style="list-style-type: none"> 平成19年4月25日 地域協議会設立総会 平成19年6月27日 北海道バイオエタノール(株)設立 平成19年10月8日 バイオエタノール製造プラント起工式 平成21年3月 施設完成 平成21年4月 バイオ燃料製造開始 平成21年5月24日 竣工 	<ul style="list-style-type: none"> 平成19年5月7日 地域協議会設立総会 平成19年12月13日 バイオエタノール製造プラント起工式 平成21年3月 施設完成 平成21年5月 バイオ燃料製造開始 平成21年6月8日 竣工 	<ul style="list-style-type: none"> 平成19年7月6日 地域協議会設立総会 平成20年2月25日 バイオエタノール製造プラント起工式 平成20年2月 施設完成 平成21年3月 バイオ燃料製造開始 平成21年7月8日 竣工

※北海道バイオエタノール(株)は、ホクレン、三菱商事、北海道信用農業協同組合連合会、日本経済新聞、北海道農業協同組合中央会、北海道厚生農業協同組合連合会、北海道観光、日本通運、北海道電力、朝日新聞、朝日道中小企業総合支援センター、朝日北海道銀行、帯広信用金庫、札幌通運、三輪運輸、十勝毎日新聞社、北海道ガス、全国共済連、トヨタ自動車北海道、北海道旅客鉄道が出資

第2図 実証事業実施地区の概要。

バイオマスの利活用に係る施策は、農林漁業・農山漁村の活性化といった側面だけではなく、エネルギー、環境といった様々な観点から講じられるもの。今後とも、政府が一丸となり、「予算」「税制」「法律」といった各種施策を駆使し支援体制を整え、民間企業とも連携しつつ強力に推進していきたい。

3. 日本におけるバイオエタノール用原料作物としてのイネの生産の現状と課題

根本 博 (作物研究所)

現在、国内で普及している水稻品種は、コシヒカリなど米飯の食味を重視した主食用品種がほとんどであり、バイオエタノール原料として十分な特性を備えているとは言えない。しかし、近年、高い生産性と優れた栽培性に重点を置いて開発が進んでいる飼料用や米菓原料用の多収性水稻品種は、バイオエタノール原料として一般の主食用品種よ

りも適性が高いと期待される。特に、飼料用品種には子実が多収の飼料用米品種と、稲株全体が多収の稲発酵粗飼料用品種があり、それぞれ、でん粉とセルロース類を利用するバイオエタノール生産の素材として期待できる。本報では、こうした多収性品種の開発の現状と問題点を紹介する。

(1) 飼料用や加工原料用品種として育種目標

海外の多収性品種を国内で栽培すると、登熟力、耐冷性や脱粒性が不十分で、必ずしも安定して多収が得られない場合が多い。そのため、国内での栽培に適した多収性品種を育成するために、インド型品種の多収性と日本型品種の栽培性を組み合わせる方向で品種改良を進める例が多い。飼料用や加工原料用品種の開発では、米飯としての食味を無視し、飼料や米粉などへの適性に加えて、コメや茎葉の多収性と低コスト生産への適応性に重点を置いている。特に、多肥栽培に耐える耐倒伏性、直播栽培適性、農業施用を減らすための幅広い病害虫抵抗性、そして粗放的な栽培法への適応性が重視される。こうした特性はバイオエタノール原料向けの品種にも共通すると考えられる。

(2) 飼料用米と加工原料用品種

でん粉を多く含むコメはバイオエタノール原料として利用しやすい素材である。飼料用や加工用の品種は米飯食味や玄米外観などの品質は著しく劣るが、0.7~1t/10aの高い収量性を備えている（第1表）。農研機構では各地域向けの多収性品種の開発を実施し、2009年までにほぼ全国の稲作地域で栽培可能な多収性品種シリーズを育成した。こうした品種は穂重型の草型をしたものが多く、大きな穂を支える強い稈と、優れた登熟力により高い収量性を実現できる。なかでも「べこあおば」は2001年から08年に秋田県大仙市で行った極多肥栽培（窒素量16~18kg/10a）において、平均で0.92t/10aの粗玄米重を示した。また、新潟県でのバイオエタノール原料稲栽培実証事業で利用されている「北陸193号」は新潟県三条市における3ヵ年の現地実証試験で0.7~0.9t/10aの粗玄米重を示した。2008年に新潟県下8農協管内で行った全栽培面積301ha、総農家戸数344戸の栽培実証試験では、多くの農家で0.8

t/10a程度の粗玄米重を示し、15戸の農家数が1t/10a以上の粗玄米重を記録した。最高事例は1.09t/10aであった。

しかし、育成された多収性品種は耐冷性などが既存の主食用品種と比較して、やや劣る傾向がある。また、「北陸193号」や「タカナリ」は休眠性が強いいため、直播栽培では苗立ちが不安定になるなどの欠点もあり、今後のさらなる改良が必要である。

(3) 稲発酵粗飼料用品種

茎葉とコメを一緒に収穫し、稲発酵粗飼料として家畜に給与するために、株全体の収量が高い品種が開発されている（第2表）。全重が多収の品種には「べこあおば」、「夢あおば」のように子実の割合が高い品種と、「はまさり」や「リーフスター」のように子実よりも茎葉の割合が高い品種がある。茎葉が多収な品種は“茎葉型”と呼ばれ、穂が小さく、茎葉が繁茂する。成熟期に通常の品種ではコメに蓄積される炭水化物が稈などにも多く蓄積する。また、穂が小さいため、長稈でも台風などによる倒伏は少ない。こうした品種はセルロース類を利用するバイオエタノール原料として期待され、ワラの積極的利用を考える上で、ユニークな存在と言える。

(4) 今後の展望と問題点

既存の飼料用や加工原料用の品種は一般品種よりも多収ではあるが、玄米収量は0.8t/10aから1t/10a程度と想定され、バイオエタノールの素材として経営的には十分とは言えない。実用的なバイオエタノール原料用としては、より高度な生産力を備えた品種の育成が必要である。しかし、短期間に収量性を一気に高めることは困難であり、継続的に収量性と栽培性を向上させる品種改良を続けて行くことが重要である。また、ワラや株全体を利用するためにはアルコール発酵に向けたワラの組織学的な研究や遺伝資源の評価も重要であると考えられる。

海外の多収性品種を遺伝資源として利用した場合、目的

第2表 主要な稲発酵粗飼料用品種

品種名	栽培適地	風乾全重 (成熟期、 t/10a)	特徴
べこあおば	東北中部以南	1.77	米多収
夢あおば	東北南部以南	1.73	米多収
ホシアオバ	東北南部以南	1.72	米多収
クサホナミ	関東以西	2.14	米・茎葉多収
クサノホシ	関東以西	1.88	米・茎葉多収
たちすがた	関東以西	2.19	茎葉多収
はまさり	関東以西	1.60	茎葉多収
リーフスター	関東以西	2.14	茎葉多収
ニシアオバ	九州	1.90	茎葉多収
タチアオバ	九州	2.49	茎葉多収
ときわみどり	九州	1.91	茎葉多収
モグモグあおば	九州	2.08	茎葉多収
ルリアオバ	九州	2.27 ¹⁾	茎葉多収、二回刈り専用

注) 新品種決定に関する参考成績書による。1) 二回刈り合計値。

第1表 主要な飼料用米と加工原料用品種

品種名	栽培適地	粗玄米重 (t/10a)	基準品種比率 (%)
きたあおば	北海道	0.83	126 (きらら397)
べこごのみ	東北中北部以南	0.69	105 (アキカリ)
ふくひびき	東北中部以南	0.70	108 (アキカリ)
べこあおば	東北中部以南	0.73	106 (ふくひびき)
夢あおば	東北南部以南	0.72	98 (ふくひびき)
北陸193号	北陸以西	0.77	117 (日本晴)
タカナリ	関東以西	0.80	119 (むさしこがね)
ホシアオバ	関東以西	0.69	129 (日本晴)
モミロマン	関東以西	0.77	132 (日本晴)
ミズホチカラ	九州	0.73	118 (ニシホマレ)

注) 新品種決定に関する参考成績書による

とする形質以外の特性も一緒に導入され、普及の際に問題となることがある。現在、対応が求められている形質が2点ある。

1) いもち病抵抗性

多収性品種には遺伝資源のインド型品種からいもち病抵抗性について未知の主働遺伝子を受け継いでいる品種が多い。そのため、栽培面積の拡大によっては、いもち病レースの変化により抵抗性反応が変化する危険性がある。今後、圃場抵抗性を利用した安定性の高い抵抗性を備えた多収性品種の開発を加速する必要がある。

2) 除草剤感受性

国内の主食用品種では問題にならない除草剤「ベンゾピシクロン」に対して、子実多収型稲品種の「モミロマン」や「ミズホチカラ」等は感受性を示し、葉害を起こすことが明らかになった。こうした特性は、遺伝資源のインド型品種から受け継いだと考えられる。多収性品種の栽培に当たっては、栽培マニュアル等の品種情報に十分注意する必要がある。

4. 糖質・デンプン系資源作物の品種育成と栽培技術研究

服部太一郎 (九州沖縄農業研究センター)

近年、世界的にバイオ燃料が注目されており、日本でもバイオ燃料利用促進に向けた取り組みが推進されている。2007年に発表された「国産バイオ燃料の大幅な生産拡大」と題する報告では、2030年頃までに国産バイオ燃料をエタノール換算で600万kL生産するという目標が掲げられ、そのうちの200~220万kLについては、耕作放棄地の一部に新たに作付けする資源作物を原料とすることが想定されている。

資源作物はその性質から糖質系、デンプン系およびセルロース系に大別される。日本では、収量性の高さから、糖質系ではサトウキビ、テンサイ、スイートソルガム等が、デンプン系ではイネ、コムギ、カンショ、バレイショ等が、セルロース系ではススキやエリアンサス等が、それぞれ有望であると考えられている。いずれの植物種においても、耕作放棄地での生産を想定した場合、省力・低コスト栽培であることが必須となる。また、バイオエタノール利活用の趣旨からすれば、温室効果ガス削減効果と健全なエネルギー収支が担保されていることが前提となるため、多収を実現しつつも低投入型栽培であることが望ましい。いずれの要素も従来の作物学における主要課題であり、即効的な解決策の提示は難しい。しかし、生産物が食用・飼料用として利用されないことから、従来とは異なるアプローチも可能になると考えられる。たとえば、従来は選抜されなかった、低品質だが多収で省力栽培に適する品種候補についての再評価は重要であろう。以上のような観点を踏まえながら、本稿では、イネ以外の糖質・デンプン系資源作物に焦点を当て、日本における品種改良や栽培技術研究の現状と

課題について考察する。

日本における約38.6万haの耕作放棄地から200~220万kLのバイオエタノールを生産することを想定すると、必要な単位面積当たりのエタノール収量は、およそ5.2~5.7kL ha⁻¹となる。農林水産省の統計では、2004~2008年の日本におけるサトウキビ、テンサイ、バレイショ、カンショおよびコムギの平均単収は、新鮮重で、それぞれ61.7, 63.6, 32.7, 24.7および4.1t ha⁻¹である。新鮮重当たりのバイオエタノール収量を、それぞれ56.8, 83.3, 87.1, 128.7および302.8Lt⁻¹とすると(大聖・三井物産2004)、現在の普及品種を用いた場合の各作物種の単位面積当たりエタノール収量は、それぞれ3.5, 5.3, 2.8, 3.2および1.2kL ha⁻¹と推定できる。また、同じく農林水産省の統計では、2007年の資本金・地代を除く生産コストは、それぞれ163, 84, 59, 122および50万円ha⁻¹であり、そのうちの労働費の占める割合は58.6, 27.8, 22.3, 67.0および12.7%である。他方、既往の文献を参照すると、バガスやワラをエタノール製造工場での燃料として利用できるサトウキビやコムギでは、バイオエタノール生産過程におけるエネルギーの生産/投入比が、それぞれ8~9および2~3程度であるとする報告が多いが、一方で、テンサイ、バレイショおよびカンショでは1~2程度と低い水準にある。なお、スイートソルガムについては生産コストの統計は見当たらないが、農林水産省の飼料作物(ソルゴー)に関する統計を参照すると単収は約60tha⁻¹と推定できる。また、新鮮重当たりおよび単位面積当たりのバイオエタノール収量は、それぞれ56.8Lt⁻¹および3.4kL ha⁻¹であり、海外の報告を参照すれば、エネルギー生産/投入比は5~6程度と見込まれる。

以上のことから、まず、単位面積当たりのエタノール収量が低いコムギは、主要な資源作物として用いるよりも他の作物の裏作として作付けし、年間バイオマス生産量の向上に用いる方が有効であると考えられる。サトウキビ、スイートソルガム、バレイショおよびカンショでは、現在の1.5~2倍を目指したバイオマス生産性の改善が必要となり、とくに生産コストが高いサトウキビとカンショでは、生産コストの大半を占める労働費の削減に向けた省力化技術の開発も求められる。また、バイオエタノール生産性に比較的優れるテンサイでは、エネルギー収支改善のための低投入型栽培技術の開発が望まれる。現在、日本では、上記の観点も含め、以下に紹介するような品種改良や栽培技術の改善が進んでいる。

サトウキビ: 野生種や近縁種との種・属間交配により、既存の製糖用品種の2倍のバイオマス生産性、1.5~2倍の糖収量を達成し得る高バイオマス量サトウキビの開発が進められており、いくつかの候補系統が得られている。栽培面では、省力・低コスト化に向けた多回株出し技術の開発が重視されているが、近年、株出しを阻害する害虫に有効な農業が開発されたことに加え、上記の高バイオマス量サ

トウキビ系統が株出し能力にも優れることから、両者の連携的利用による多回株出し栽培技術の構築が期待される。

テンサイ：北海 87 号および北海 98 号などがバイオマス用テンサイとして有望視されている。また、冠部のバイオマス資源化が検討されるとともに、フルクタン合成酵素遺伝子の導入による低温耐性と糖収量の複合的向上が図られるなど、バイオマス生産性改善に向けた取り組みが進められている。栽培面では、上記の北海 98 号など直播栽培適性を示す品種が開発されたことで、直播栽培の導入による省力・低コスト化が期待される。この他、DNA マーカーの開発により、黒根病抵抗性が強い北海 90 号が世界に先駆けて育成されるなど、低投入栽培という面でも進展がみられている。

スイートソルガム：出穂特性や再生性などに着目した分子マーカー開発や育種素材開発を通じてバイオマス生産性の向上が図られているとともに、糖含量の向上やリグニン含有率の低下を通じたエタノール変換効率向上のための取り組みも検討されている。また、耕作放棄地等の不良環境条件に対応した省力栽培技術として、散播密植栽培法などの開発が進められている。

パレイショ：耕作放棄地などの不良環境条件への導入を見据えて、疫病やジャガイモ Y ウイルス等、病害虫への抵抗性改善に向けた研究が行われている。また、不耕起や簡易耕、疎植栽培、培土作業の簡略化などによる省力化技術の開発が図られているとともに、過去に淘汰された低品質極多収デンプン原料用系統の再評価も検討されている。

カンショ：蔓根いもの着生が多い直播栽培向け多収系統の作出が進められている。直播栽培適性に優れた品種の開発は、苗作りや定植の省略による省力・低コスト化とともに、大規模機械化栽培を可能とする重要課題である。アルコール変換効率に優れる低温糊化性多収系統の作出や、種イモの出芽斉一化技術の開発等も行われている。

コムギ：現在、バイオマス利用を想定した研究は少ないが、従来と同様に、水田（休耕田）におけるイネとの二毛作を想定した耐湿性の向上が重要な研究課題として考えられる。その他、各地域の特性に対応した輪作体系の構築が必要であろう。

資源作物をバイオエタノール原料用に目的生産することについては、食料とエネルギーとの競合という観点から批判がなされる場合もある。しかし、日本では耕作放棄地における資源作物生産が想定されており、むしろ耕地の荒廃抑制を通じて食料生産基盤を強化する効果が期待できる。また、本稿で紹介したように、従来とは異なる視点から品種改良や栽培技術開発が進められているが、その成果を通常の食用作物生産にも積極的に活用していくことで、日本の食料生産力の向上を促すことができると考えられる。

引用文献

大聖泰弘・三井物産編 2004. 図解バイオエタノール最前線, 工業調査会.

5. 日本におけるセルロース系原料作物生産の現状と課題

我有 満（九州沖縄農業研究センター）

飼料作物の遺伝資源評価の延長で、エネルギー生産を目的とする資源作物の評価を実施してきた。バイオマスからのエネルギー変換技術が開発途上であることから、資源作物の評価基準も未確定であるが、乾物生産性が高い、水分率低減が容易、省力栽培が可能等を指標に有望草種の選定を行った。有望草種のうち、エリアンサスについては栽培から工場搬入までの CO₂ 収支を算出し、現時点での資源作物としての可能性を確認した。ソルガム、エリアンサス、ススキ・オギについては系統評価・育種を開始した。「バイオマス・ニッポン総合戦略」における資源作物の年間乾物収量は 10～20 t / ha（炭素量として 5～10 t / ha）程度と見積もられており、飼料作物の一般的な乾物生産性と比較して決して高いものではない。資源作物が新たな展開の場を得て活かされようとする中で、資源作物に関する情報不足という状況認識が動機・背景である。

以下に選定した有望草種について述べる。

(1) ソルガム (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

乾物生産および糖生産の能力が高く、サトウキビと同様に搾汁液とバガス利用の変換システムが利用できる。低リグニン含量の変異体 (bmr) によるエタノール収率向上や熱帯型の短日要求性を利用した乾物生産性向上が期待できる。サトウキビを補完して変換プラントの稼働率向上への貢献やサトウキビ栽培が困難な低温条件での糖質系バイオマスの原料供給が可能と考えられる。競合力が高いため、雑草抑制や耕作放棄地等の不良環境における栽培に対応できる。バガスのガス化変換の実証的試験も開始されており、多様な変換系に対応できる資源作物として期待できる。ポリフェノールを含む子実の機能性飼料としての利用や根部のセンチュウ抑制効果を活用したクローニングクロープとしての利用等と組合せた食糧・飼料生産との両立が可能な新しい体系確立が望まれる。

(2) エリアンサス (*Erianthus ravennae* (L.) Beaub.)

地中海原産で東南アジア地域に広く自生する多年生イネ科草である。日本への導入はサトウキビの育種材料としての流れと飼料資源としての 2 つの流れがある。九州沖縄農研における今回の調査で、乾物生産性が最も高く、極めて省力的に栽培できる最も有望なセルロース系資源作物と評価された。倒伏に強いいため冬期に立毛状態で乾燥させることができる。構成成分はススキに類似して灰分が少ない。糖含量に関して収穫時期による変化があるようで、糖の積極的利用の可能性について、検討が必要である。秋田県での越冬が確認されており、国内で広い範囲の栽培が可能と考えられる。その他の長所として、夏期の旺盛な繁茂による雑草抑制、サツマイモネコブセンチュウ抑制或いは深い

根系による養分の表層への集積等が予想される。これらの長所を整理して、食糧・飼料生産に貢献する体系確立が必要である。平成21年度より、九州沖縄農研、JIRCAS、畜産草地研究所が連携して育種を開始した。

(3) ススキ・オギ (*Miscanthus sinensis* Anderss, *Miscanthus sasacchariflorus* (Maxim.))

東南アジアから東北アジアにかけて広く分布する。2倍体のススキ (*Miscanthus sinensis* Anderss.) に比べ、4倍体のオギ (*Miscanthus sasacchariflorus* (Maxim.)) は分布の中心が低温域である。それらの自然交雑による3倍体のオギススキ (*Miscanthus* × *giganteus*, Poacea/Gramineae) も希に自生している。EUでジャイアントミスカンサスとして商品化されているのはオギススキであり、米国ではスイッチグラスに次ぐ第2のセルロース系資源作物として注目されている。日本にはこれらの *Miscanthus* 属が多く自生し、古くは各地に茅場があり、建築材、肥料、燃料として利用されていた。先にEUで商品化されたジャイアントミスカンサスは熊本県内に自生していたオギススキであることが報告されている。日本においても、まずは国内の遺伝資源の収集・評価を行う必要がありそうである。平成21年より北海道大学を中心に九州沖縄農研が連携してススキ・オギの育種が開始された。

資源作物からエネルギーを生産する過程のエネルギーとコストの収支は、資源作物を利用すべきか否かを判断する根本的な問題であるが、今後の社会構造の変化や意識の変化で大きく変わると考えられる。一方、資源作物からエネルギーを生産し、かつ、食料生産に貢献する新しい技術づくりが農業分野に強く求められることは必至と考えられる。

6. 日本におけるバイオエタノール生産の取り組み事例 大西茂志 (JA全農営農総合対策部)

(1) はじめに

わが国は260万haの水田を有するものの、主食用米生産は150万ha程度しか作付けできない実態にある。こうした水田農業の抱える課題への対応を図るため、全国農業協同組合連合会(以下JA全農)は、農林水産省、新潟県域の関係行政・JAの協力のもと以下の目的を掲げ、イネを原料としたバイオエタノールの地域循環モデルづくりに取り組んでいる。

- ①米の消費減退等により米の生産数量が減少していくなかで、地域の水田を維持する。
- ②とりわけ、畑作物への転換が困難な地域の水田の有効活用をはかる。
- ③加えて、水田を水田として活用することにより、地域の農地・水・環境を将来にわたり良好な状態で保全する。この取り組みは、平成17年度に、JA全農と新潟県JAに

がた南蒲が連携し、休耕田に原料イネ(主食用と峻別する意味からイネと表現している)を栽培、そのイネを原料としてバイオエタノールを製造しガソリンに直接混合して地域で活用するエネルギーの地産地消をめざした仕組みづくりの調査事業からスタートした。

平成18年、19年には原料イネの試験栽培をおこない、あわせて平成19年度農水省「バイオ燃料地域利用モデル実証事業」に採択されて以降、バイオエタノール製造所の建設を開始し平成20年末に完成し、平成21年1月よりバイオエタノールの製造を開始し、平成21年7月17日バイオエタノール混合ガソリン(愛称:グリーンガソリン)の販売を開始した。

(2) 事業の概要

1) 原料イネの栽培

原料イネは、農研機構中央農研北陸研究センター育成の飼料用多収穫品種の北陸193号(半矮性インド型品種)を栽培している。この品種は、収量は見込めるもののインデিকা種形質を導入していることから低温の影響を受けやすく冷害対策が必要という課題がある。20年度は栽培面積300ha、361名の生産者により、2350tの原料イネを確保した。(参考20年度粗玄米重:平均780Kg/10a、1000kg/10a以上農家15名、対照となる一般主食米530Kg/10a)

2) エタノール製造とグリーンガソリンの販売計画

年間計画は、2250tの原料イネから1000KLのバイオエタノールエタノール(無水)を製造し、ガソリンに3%以内の濃度で混合したグリーンガソリン33000KLを新潟県内の19のJAのガソリンスタンドでの販売を見込んでいる。

3) バイオエタノールの製造

本プラントは、製造効率0.455(1KGのイネから0.455Lの無水エタノール製造)を目標としている。

4) その他

ア. 籾殻の活用

原料イネと地域で発生する籾殻をエタノールプラントの熱源とし活用し、可能な限り化石燃料を使用しない仕組みを採用している。エタノールプラントの必要熱源の約90%を籾殻ガス化プラントで製造する。また、この残渣は、土壌改良剤として地域で利用する。

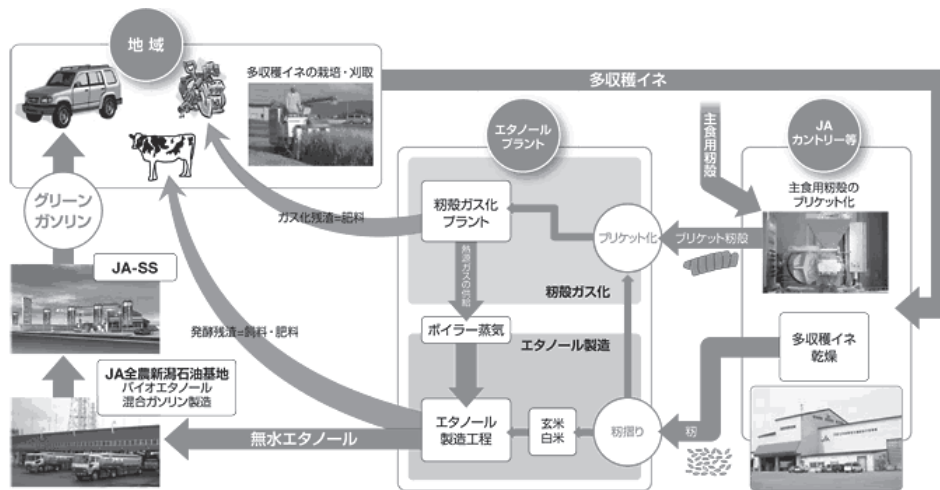
イ. 発酵残渣の活用

エタノール発酵残渣は、飼料あるいは肥料として地域で利用する。

(3) 事業上の課題

1) 資源作物(原料イネ)の安定確保

本取り組みは、休耕田等で栽培したイネを原料としている。エタノール製造者側としては原料コストを安価で抑えたいが、生産者側からすれば休耕田の活用等の目的は理解するものの生産コストと若干の手数料を確保したいということとで、その差額を現在は産地確立交付金等の補助金で対応し



第1図 国産イネ顔料バイオエタノール地域エネルギー循環モデル。

ている。この補助金は期限付きおよび地域での財源が限られているため、バイオ燃料資源作物への支援策を別に制度化する必要がある。

2) バイオエタノール利用促進策

先進国においてバイオエタノール利用は、その国（あるいは地域）で利用するガソリンはすべてバイオエタノールを10%程度等混合することが義務化されている。しかし、わが国におけるガソリンの品質に関する法令では、3%以下までであれば混合してもよいという基準となっているため、その使用量が制限され、採算に見合う大量製造の採算性が見通しがたない。混合義務化などのバイオエタノールの利用促進策とあわせ、さらに国産バイオ燃料資源作物への支援策などの社会システムが、今後、国内で整備されるかが、バイオ燃料地域エネルギー循環づくりにとって必要条件である。バイオマスニッポン総合戦略会議で取りまとめている国産バイオ燃料の生産拡大工程表を確実に進めるためにも、国としての明確な位置づけと取り組みが必要不可欠である。

(4) おわりに

今後、バイオエタノールの生産性の向上に努めるとともに食料自給率が40%と極めて低位にある日本において、栽培できない水田が多くあるという課題の解決策として、また有効な炭酸ガス削減の環境対策として、休耕田等を活用した原料イネ生産とグリーンガソリン供給の持続的な日本型バイオ燃料の地域循環の仕組みを確立していくことが必要となっている。

7. 日本におけるバイオエタノール生産システム構築に向けた課題と今後の展望

茅生憲司（東京大学大学院農学生命科学研究科）

(1) はじめに

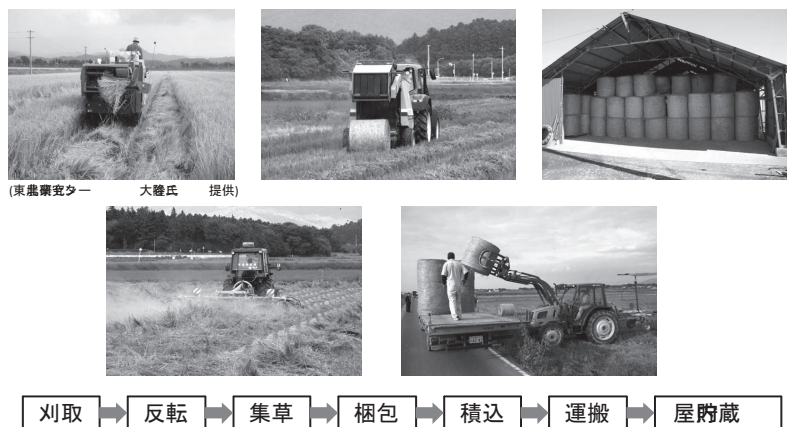
国産のエタノール原料として稲わらが注目されている。稲わらは食料と競合せず、木質に比べると酵素による糖化を行いやすいと言われている。また米の副産物であり、生産に投入されるエネルギーは食料生産への必要分として位置づけられるなどの利点がある。しかし現状では収集、運搬に多大な経費がかかり、エネルギーとして利用するには解決すべき課題が多い。本研究では稲わらの収集、運搬工程のコスト調査と、これに貯蔵工程を含めたLCA解析（注）を行った。

(2) 稲わらの発生量と利用可能性

現在国内で約900万トンの稲わらが生産されており、約1割が飼料用に利用され、それと同程度が農業資材として利用されている。稲わらの大部分は田にすき込まれており、2006年における「すき込、焼却、その他」の量は約711万トンで全体の76.6%であったと推定されている。仮にこの3割をエタノール原料として供給し、稲わらの水分を15%、乾物からのエタノール収率をかなり高く見積もって0.3L/kgとすると、1kgの稲わらから0.255Lのエタノールが生産され、年間で約55万kLのエタノールを生産できることになる。

(3) 稲わらの収集作業体系とコスト事例

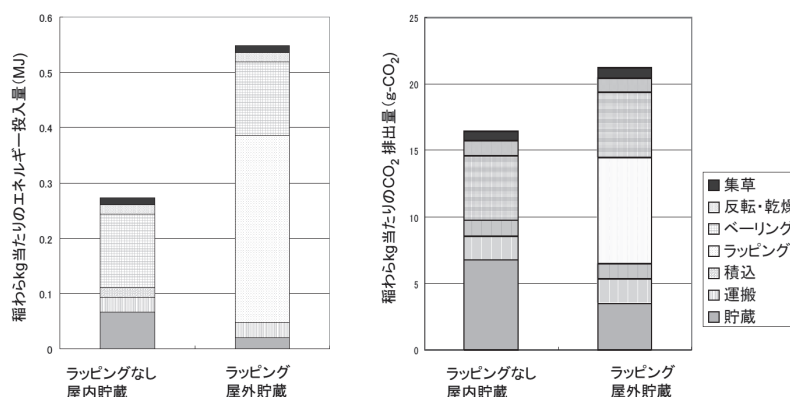
家畜飼料としての稲わら供給は事業化されており、作業体系が確立している。第1図に代表的な作業体系を示す。これらの工程のコストを明らかにするため、茨城県筑西市の大規模収集事業者の協力を得て調査を行った。その結果を第1表に示す。調査の結果、稲わら購入費の割合が大き



第1図 乾燥稲わら供給事業の代表的作業体系。

第1表 稲わら収集コストの調査事例。

経費(円/kg)	購入費	反転	集草	梱包	ラッピング*	積込	運搬
乾燥稲わら	10.0	5.2	2.7	9.7	0	2.3	6.7
ラップサイレージ	10.0	0	2.7	9.7	13.2	2.3	6.7



第2図 稲わら1kg供給(水分15%)に伴うエネルギー投入量と二酸化炭素排出量。

かった。これは農家に支払う礼金であり、肥料代価の意味を持つ。そこでエタノール製造時の糖化残渣や発酵残渣を肥料として利用できれば、水田に還元することで購入費に代えられる可能性がある。しかし、購入費を除いてもなお多大なコストがかかっているのが現状であり、今後エタノール原料として本格的な供給を行うには大幅なコスト低減が必要である。コスト低減策として、反転作業を行わず、圃場で自然乾燥させるなどの方法が考えられる。この場合は重量損失や、組成の変化による品質低下が予想されるので、現在試験を行っているところである。飼料としては高品質の稲わらが要求されるが、エタノール原料としてどの程度の品質が必要なのかを、明らかにする必要がある。

(注)：LCA (ライフサイクルアセスメント)、製品の製造から廃棄に至る全ての段階を通しての環境影響評価

(4) 稲わらの収集、運搬、貯蔵工程におけるエネルギー消費

乾燥稲わらを屋内で貯蔵する場合と、4層のラッピングをして屋外で貯蔵する場合を想定し、LCA解析ツール(GaBi4)を用いて、収集、運搬、貯蔵工程のLCA解析を行った。機械等の間接エネルギーも含まれている。解析結果として、稲わら1kg当たりの投入エネルギー(MJ)とCO₂排出量を第2図に示す。エネルギーに関しては、ラッピングとベーリング(梱包)工程が際立って大きい。主因はラップ・フィルムとベール結束用のトワインである。CO₂排出に関しては、フィルム等資材の他、貯蔵ヤードのコンクリート・スラブに起因する影響が大きい。稲わら1kgからのエタノール収率を0.255Lとすると、発熱量換算で5.94MJに相当する。ラッピング有り、なしのエネルギー投入量はそれぞれ0.55MJ、0.27MJで製品発熱量の約9.2%、4.5%に相当する。