

高バイオマス量サトウキビを用いたバイオエタノール生産 - 沖縄県伊江島における実証試験 -

アサヒビール(株) 豊かさ創造研究所 バイオエタノール技術開発部 小原聡

1. はじめに

サトウキビは糖類を植物体内に蓄積し高収量であるため、優れたバイオマス原料である。蓄積した糖分を容易にエタノールへ変換でき、搾り粕（バガス）も製造エネルギー源やセルロース資源として活用できることから、他の原料の場合よりも変換コスト・エネルギー面で有利と言われている。一方で砂糖原料でもある為、エネルギー利用の検討に際しては、食料との原料競合の回避が重要な課題となる。これまで食料競合を避けるエタノール生産方法として、製糖副産物である廃糖蜜やバガスの利用など様々な試みがなされている。しかし、これらは砂糖生産用に改良されたサトウキビ品種と、砂糖生産優先の製糖プロセスから排出される副産物を前提としている為、原料の質・量的な問題から多くの生産量が望めない。また、砂糖生産エネルギーとして90%以上のバガスを消費するため、エタノール生産においてバガスが不足し、結局エタノール製造に多くの石油を消費することになる。

これらの課題に対して、アサヒビールと九州沖縄農業研究センターは2002年より共同研究を行ない、砂糖生産で糖質資源、製造燃料資源（バガス）を独占せず、エタノール生産など副産物利用を考慮した総合的な製糖プロセスの改良、それに適した特性を具える原料の開発を行ってきた。共同研究成果として、高バイオマス量サトウキビからの新しい砂糖・エタノール複合生産プロセスを開発した（特許第3769734号）。また2006年1月からは沖縄県伊江島にてプロセスの実証試験を実施している。

本稿では、新規複合生産モデルの概要、伊江島での実証試験結果について紹介する。

2. 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プロセス

開発した新規プロセスは、現在の製糖産業のプラント・システムにエタノール生産プロセスを組み込み、効率良く砂糖とエタノールを複合生産するものである。プロセス概念図を図1に示す。

原料は九州沖縄農業研究センターが開発中の高バイオマス量サトウキビを利用する。サトウキビ原料の生産量（糖収量、繊維収量）を増加させ、既存の農場、輸送収集ライン、製糖工場を最大限活用することにより、エタノール原料用糖蜜の大幅なコストダウンを図る。具体的には、製糖工場に隣接して新たにエタノール製造設備（発酵～蒸留～脱水）を併設し、

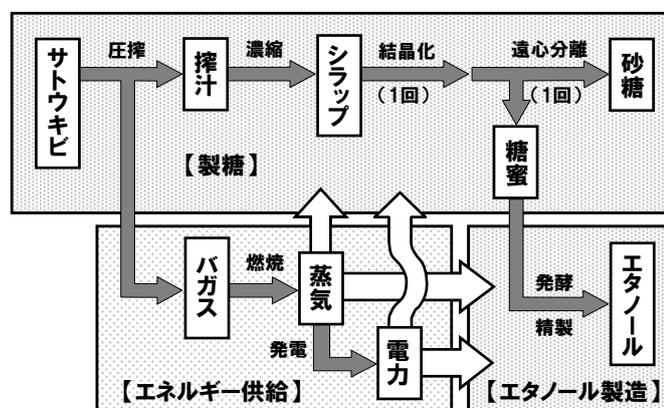


図1 砂糖・エタノール複合生産プロセスの概略図

製糖工場と一連の工程にすることで、砂糖生産とエタノール生産の共通工程（圧搾機、ボイラー等）の設備投資、糖蜜の輸送費を削減する。高バイオマス量サトウキビから排出される大量のバガスを製糖工場のバガスボイラーで燃焼しエネルギーを共用することで、エタノール生産に石油を使用しない。よって環境負荷が小さく製造燃料費も不要になる。

一方、製糖工程もエタノール生産を考慮した工程に改良し、従来3回行っていた粗糖の結晶化工程（収率=3回で約95%）を、最も収率の高い1回目の結晶化（収率=約70%）のみに短縮する。効率の悪い2、3回目の結晶化工程を省略することで製糖工程におけるエネルギー効率の向上が図れる。

サトウキビ単位重量あたりの粗糖生産性は低下するが、単位面積あたりのサトウキビ収量の増加によって砂糖生産量は現状を維持できる。また、結晶化工程の短縮によって、省エネルギー化が図れるほか、残糖量が多く、塩濃縮・発酵阻害物質の少ない、良質な糖蜜がエタノール原料として副生する。これによりエタノール収率の飛躍的な向上が期待できる。経済的にも、高付加価値の砂糖を併産することで、サトウキビ原料価格を大幅に下げることなく、良質な糖蜜が安価に入手可能になる。結果として、安価なエタノール製造コストが可能になる。

3. 伊江島におけるプラント実証試験

3-1. 伊江島試験の概要

2006年1月より沖縄県伊江島において、パイロットプラント規模での実証試験を行なっている。実証試験は沖縄県、伊江村、JAおきなわ伊江支店など地域の支援、協力のもと、九州沖縄農業研究センターとアサヒビールが主体となって、農林水産省、経済産業省、環境省、内閣府の4府省連携プロジェクトとして実施している。試験は、サトウキビの現地栽培、プラントでの砂糖・エタノール複合生産、E3ガソリン製造、公用車でE3ガソリン利用、副産物の総合利用、経済性評価、環境影響評価（LCA）など幅広い内容である。

パイロットプラントでは、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プロセスの実証、物質収支、エネルギー収支の調査を行なっている。プラントは実際の工場をスケールダウンさせた製糖設備とエタノール設備からなり、高バイオマス量サトウキビ原料30tから、砂糖2tとエタノール1.1kL程度を年間生産する規模（1バッチあたりの原料処理量1t）である（写真1、2）。



写真1. 伊江島パイロットプラント



写真2. サトウキビの圧搾

3-2. プラントスケールでの物質収支

様々な形質を持つ高バイオマス量系統 1 t を原料として一連の物質収支を調査した。

複合生産プロセスでは 1 回の砂糖結晶化（回収）工程のみであるため、結晶収率の低下が粗糖生産歩留に大きな影響を与える。既往の研究からサトウキビ搾汁の純糖率（全可溶性固形分に占めるショ糖の割合）が低下するにつれて結晶収率が低下することが分かっている。高バイオマス量系統には低純糖率の形質を持つものが多く結晶収率の低下が懸念される。複合生産プロセスでは結晶収率（粗糖生産歩留）が低下しても、その分だけエタノール生産量が増加するため問題が無いように見えるが、現状量以上の粗糖を生産するという条件を付けると、粗糖生産歩留の低下を更なる単収増加でカバーする必要があり、品種開発のハードルを更に上げることになる。

様々な原料における結晶収率を調査した結果を図 2 に示す。製糖用原料である Ni15（農林 15 号）を対照として、多収で低糖度・低純糖率である高バイオマス系統第 1 世代と、第 1 世代をやや高糖度に改良した第 2 世代を試験に用いた。その結果、高バイオマス系統第 1 世代は、製糖用と比較して収率が著しく低下するが、第 2 世代は製糖用とほぼ同等の収率であることが分かった。

プロセスにおけるショ糖収支を図 3 に示す。製糖用品種と比較して、第 1 世代では原料中のショ糖量、粗糖回収率がともに低下するため、従来と同等の粗糖生産量（3 回結晶化で 100～120kg/t-cane）を維持するには、単位収量を製糖用品種の 3.5～4 倍程度にする必要がある。第 2 世代は製糖用品種より原料中のショ糖量が約 2 割低いが、粗糖回収率がほぼ同等であるため、単位収量が製糖用品種の 1.5～2 倍程度（当初の育種目標）であれば、従来と同等の粗糖生産量が確保できることが分かった。

高バイオマス量系統（KY01-2043）でのバガス収支を図 4 に示す。これより、バガス燃焼エネルギーのみで砂糖・エタノール製造が可能であることが示された。

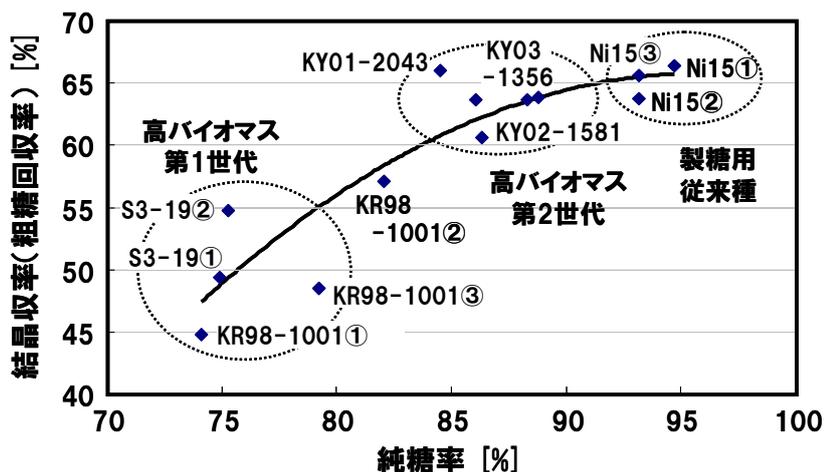


図 2 様々な原料での結晶収率

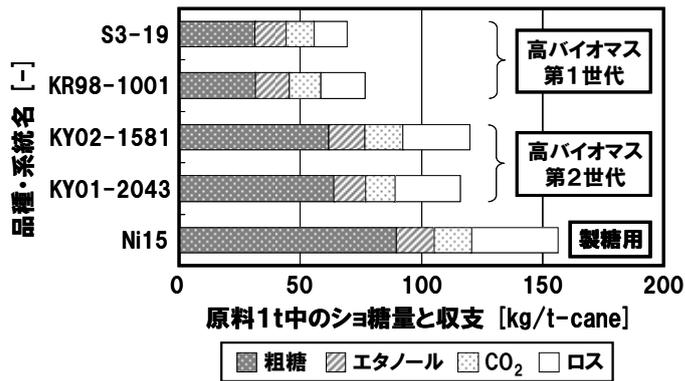


図3 各サトウキビ原料でのショ糖収支

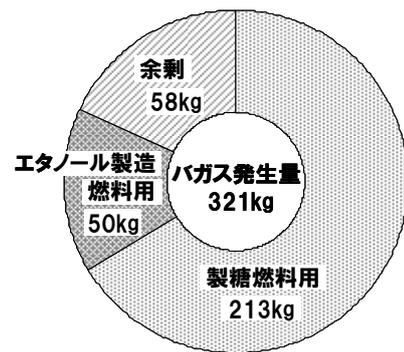


図4 高バイオマス量系統でのバガス収支 (KY01-2043)

3-3. 導入による生産量変化およびエタノール製造コスト試算 (モデルアイランドでの試算)

高バイオマス原料，複合生産モデルを導入した際の生産量変化やエタノール製造コスト試算を行なうために，モデルアイランドを設定した。設定条件及び生産量は下表のようになる。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：株出：春植=6：1：1)，製糖工場規模(1000t/d 処理)を採用し，気象条件等は伊江島の条件で設定した。原料収量，生産歩留は実証試験で得られた数値を基に設定した。試算では導入後の原料生産量が約2倍となり，導入前に比べて粗糖生産量が約1.2倍，エタノール生産量が約5倍に増加することが示された。

モデルアイランドにおいて，エタノール製造に必要な設備投資額および製造コストを試算した結果を図5に示す。モデルアイランド規模では年間4400kLのエタノールが製造できるが，この時の設備投資額が約13億円，製造コストで約51.5円/Lとなる。エタノール製造コストは生産スケールと原料糖蜜価格の影響が大きいため，モデルアイランドの規模と糖蜜価格を変えた場合のコスト試算を図6に示した。これより糖蜜価格が現状レベルの2000円/tで，製糖工場規模が2000t/d(モデルアイランドの2倍)であれば，40円/L程度のエタノール製造コストが達成できることが分かった。

表 モデルアイランドの設定とプロセス導入後の試算データ

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		159,400t/y
工場データ	工場稼働日数	80d		160d	
	粗糖生産量	9,250t/y		10,800t/y	
	エタノール生産量	840kL/y		4,400kL/y	
	バガス生産量	21,900t/y		53,200t/y	

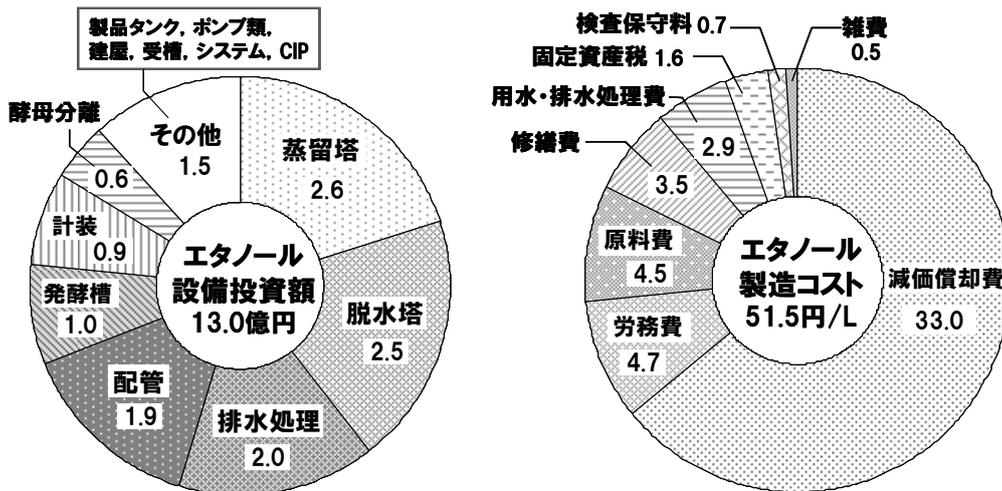


図5. モデルアイランドに導入した場合の設備投資金額(左), エタノール製造コスト(右)

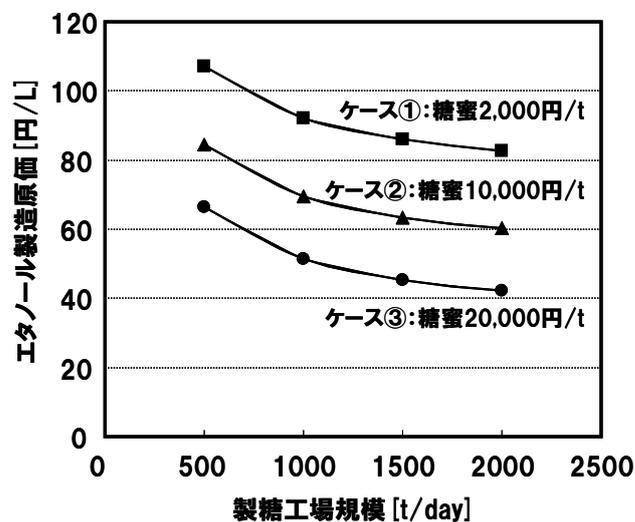


図6. 規模, 糖蜜価格が変化した場合のエタノール製造コスト (試算)

5. おわりに

伊江島での複合生産プロセスの実証結果は、食料とエネルギーの同時増産という新しい可能性を示唆するものであり、食料自給に余裕の無い日本でも実施可能なプロセスである。

南西諸島のサトウキビ産業（農家、製糖工場）は、農家の高齢化、台風・早ばつなどの自然災害による経営の不安定化、重労働の割に収入が少ない等の理由で年々縮小傾向である。このような中で、台風・早ばつに強く、安定的に高収量が見込める「高バイオマス量サトウキビ」を栽培し、多くの原料から安定的に砂糖とエタノールを生産することは、国産食料の安定生産とエネルギー自給への貢献に繋がる。農家にとっては同じ面積の農地で収入が増え、増えた収入の一部で機械収穫を導入できれば、低労働で収益が改善されるため、持続的にサトウキビ生産を続けられる。また今後このように高収量原料から必要な食料分を作り出し、余りをエタノールにする方式が普及すれば、豊作の時はエタノール生産割合を増やすことで食料価格の値崩れを防ぎ、不作の時は食料生産割合を増やし自給率を

維持するという弾力的な生産が可能になり、農家の経営安定化、食料安定生産とともに、バイオエタノールの普及に繋がるであろう。

経済的にも、低投入でのサトウキビ収量増加と、高付加価値商品である砂糖の併産により、原料価格の大幅な下落を伴うことなく安価なエタノール製造が可能になるため、農家、製糖工場、エタノール事業が Win-Win の関係を築けると考えている。

アサヒビールは、食品会社として農業・食料を守ること、アルコール製造技術をエネルギー等の他分野にも活用することを社会的使命と感じている。よって、単に食料競合問題に目を背けるのではなく（食料になる植物からエタノールを作ることを単純に否定するのではなく）、食料不足の解消、食料自給率向上の課題と正面から向き合い、食料の安定的増産とバイオエタノール生産の両立を可能にする技術を展開していきたいと考えている。

伊江島パイロットプラントにおける実証試験は、農林水産省「地域バイオマス利活用交付金（旧バイオマスの環づくり交付金）」、NEDO「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」等の研究助成のもと進められている。