

エタノール併産物DDGSの現状と特徴

アメリカ穀物協会 DDGSコンサルタント 米持 千里

発酵エタノールと併産物の生産

穀類を原料としたバイオエタノール生産は世界各地で行われており、それぞれの地域で多く収穫されている穀類(米国ではトウモロコシや一部ソルガム、カナダやEUでは小麦)が原料として利用されている。米国では、1970年に行われた大気浄化法の全面改正とガソリンの無鉛化政策の開始を契機に、クリーンなオクタン価向上剤としてバイオエタノールが使用されるようになった。さらに、2005年に成立した包括エネルギー法(Energy Policy Act 2005)の中で設けられた再生燃料基準(RFS, Renewable Fuel Standard)においてバイオエタノールの使用義務量が2006年の40億ガロンから2012年の75億ガロンまで拡大するように設定されたことから、発酵エタノールの生産量が著しく拡大し、さらに2007年にエネルギー自立・安全保障法(EISA)において2022年までの目標量RFS2が制定され、これに従って環境保護庁が毎年の導入義務量を設定しています。2015年のエタノール生産量は約150億ガロンであり、これに伴ってバイオエタノール発酵の併産物であるトウモロコシDDGS(Dried Distiller's Grains with Solubles)の生

産量も急速に増加し、近年の生産量は3,600万トン前後で推移している(図1)。

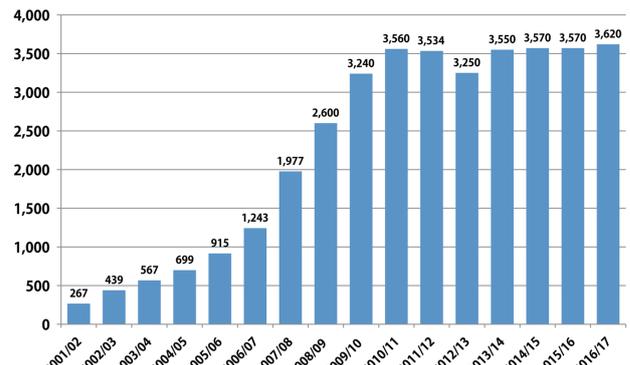


図1 2015年におけるエタノール発酵併産物生産量の推移(百万トン)
(出典:U.S. Bioenergy Statistics (<http://www.ers.usda.gov/data-products/us-bioenergy-statistics/>))

発酵エタノール併産物の製造方法

乾式のバイオエタノール・プラント(写真1)におけるバイオエタノールとその併産物の製造工程の概略は図2に示したとおりであり、① 原料となるトウモロコシ(主としてUS No.2レベル

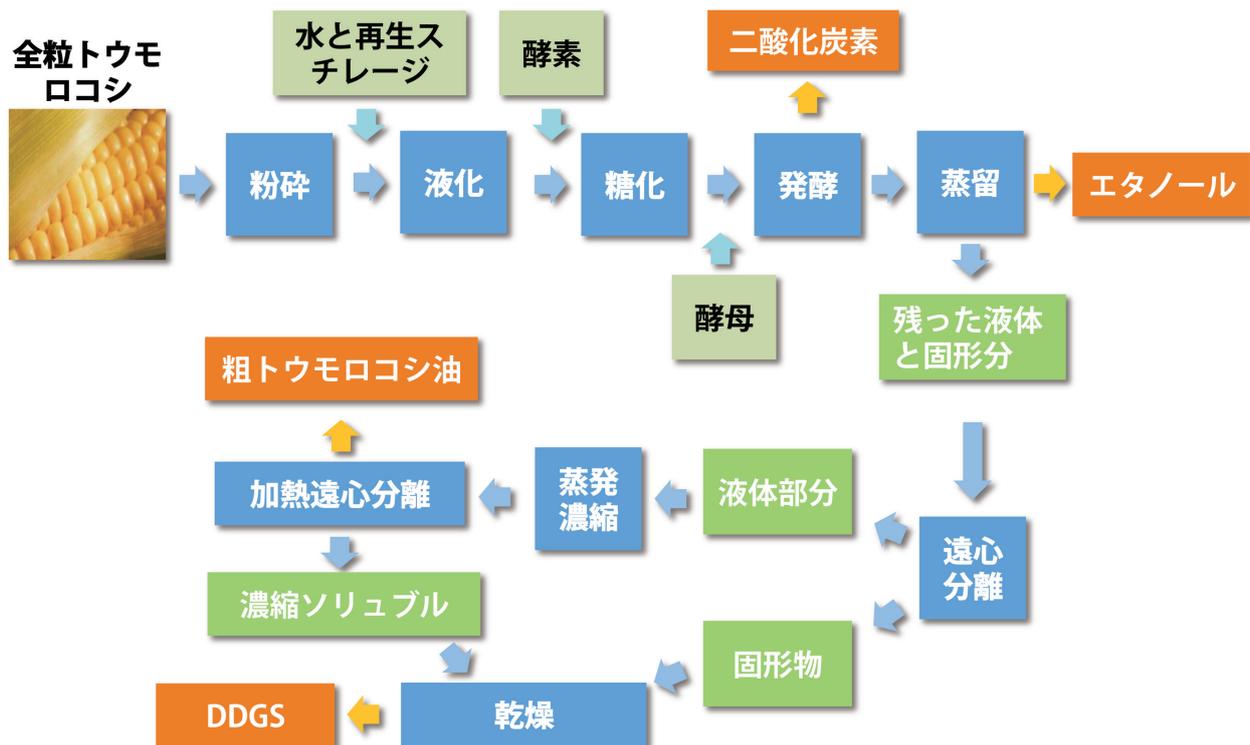


図2 DDGSの製造工程



写真1 バイオエタノール工場

の品質のものが使用されている)を粉砕したのち、水と再生スチレージを加えて液状化、② これにデンプン分解酵素を加えて糖化したのち、酵母を加えて発酵(ここで発生する二酸化炭素は炭酸飲料用などに販売されることもある)、③ 発酵産物からエタノールを蒸留回収して精製(精製されたエタノールはバイオエタノールとして販売され、自動車用ガソリンに混合される)、④ ホールスチレージ(発酵産物蒸留後に残った液状部分と固形物)を遠心分離して液体部分(シンスチレージ)と固形部分(ジスチラーズ・グレイン)に分離、⑤ シンスチレージを蒸発濃縮して、ある程度余剰な水分を取り除いた後に加熱遠心分離し、粗トウモロコシ油(CDO: Corn Distillers Oil)を抽出、⑥ CDO抽出後に残った濃縮ジスチラーズ・ソリュブル(CDS: Condensed Distillers Solubles)をジスチラーズ・グレインに加えながらドラムドライヤーなどで乾燥させることでDDGSなどが製造される(写真2)。なお、CDOの抽出は比較的近年導入されたもので、抽出したCDOがバイオディーゼル用原料や家禽用油脂原料として比較的高価格で販売することができるため、プラント内にCDO抽出用の加熱遠心分離機を追加設置するためのコストを比較的短期間で回収でき、その後はエタノール・プラントの収益性に大きく高めることから、CDO抽出工程を組み込むプラント数が急速に拡大し、現在では全米の90%以上の工場でCDOの抽出が行われるようになってきている。



写真2 生産されたDDGSの倉庫

発酵エタノール併産物の種類と製造割合

乾式のバイオエタノール・プラントで製造される併産物は、我が国でも配合飼料用原料として利用されているDDGS(ジスチラーズ・グレインにCDSチラーズ・ソリュブルを加えながら乾燥させて製造)の他にも、それ以前の工程で取り出された様々な形態で家畜用の飼料として利用されている。すなわち、CDSや未乾燥のジスチラーズ・グレイン(WDG: Wet Distillers Grains、水分含量は65%以上)は、腐敗しやすいという欠点もあるものの、バイオエタノール・プラント近郊の乳牛や肉牛農家では2~3日間隔で搬入・使用することで、わが国で生の焼酎粕を利用しているのと同様の形態に利用されている。また、多くのバイオエタノール・プラントでは、DDGSを製造する際に2連のドラムドライヤーを使用しているが、ドラムドライヤーを1基通過した時点で取り出したある程度水分含量が高いDDGS(MDG: Modified Distillers Grains、水分含量は40~64%)や、CDSを加えずに乾燥させたジスチラーズ・グレイン(DDG: Distillers Dried Grains)なども利用されている。

2015年(10~9月)におけるバイオエタノール併産物の製造量の割合(図3)でもわかるように、DDGSは全体の4割強を占めているものの、水分含量が高いWDGやMDGの製造量もかなりの割合を占めている。このことから、わが国では養鶏用飼料原料としての利用が全体の約7割を占めているのに対して、米国では乳牛用及び肉牛用への利用が全体の約8割と

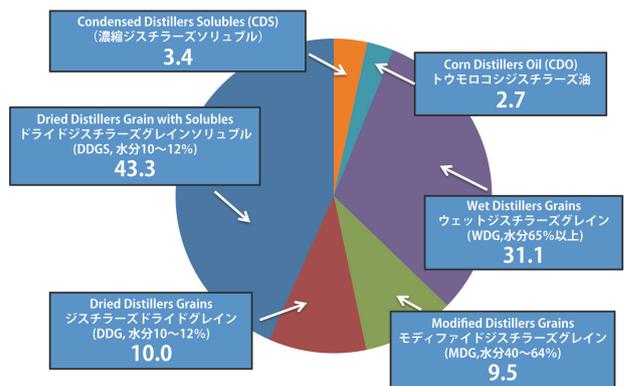


図3 2015年におけるエタノール発酵併産物の種類別生産割合(%)
(出典: USDA・NASS "Grain Crushings and Co-Products Production 2015 Summary")

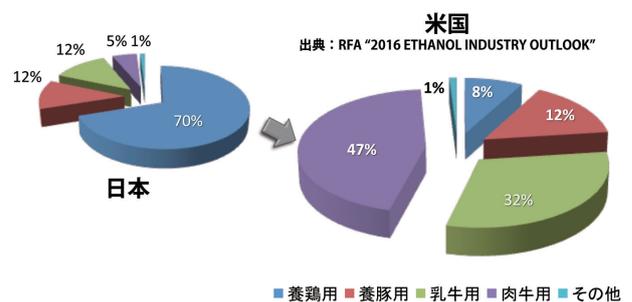


図4 日本と米国におけるDDGSの畜種別使用割合

なっており、バイオエタノール・プラント近郊の農場でいわゆる地産地消の形でかなりの量が利用されていることが伺われる(図4)。

DDGSの成分と栄養価

トウモロコシにはデンプンが約65%含まれており、残りは、たん白質、脂肪、繊維、ミネラルなどで構成されている。バイオエタノール発酵にはトウモロコシ中の約2/3をしめるデンプンが利用され、このうちの約1/2がバイオエタノールに、残りの1/2が二酸化炭素となるため、エタノール発酵に利用されなかった部分(全体の1/3)には、元のトウモロコシに比べてたん白質や脂肪などがほぼ3倍に濃縮されて残ることになり、主にたん白質源及びエネルギー源としてトウモロコシと大豆粕と置換することにより使用されている。



図5 原料となるトウモロコシ1トンあたりのエタノール及び併産物の生産量

なお、DDGS製造工程でCDOを抽出するエタノール・プラントが増加したことに伴って、わが国を含めた海外に輸出されるDDGS中の粗脂肪含量が低下したことから、2014年7月には農林水産省から従来のDDGSとは別に、低脂肪DDGSの栄養価が公表されている(表1、「燃料用アルコールの副産物を乾燥したものであって、粗脂肪含量が7~11%となるようシンスチレージから油分を除去したものであること」と定義されている)。

表1 我が国で公表されているトウモロコシDDGSの栄養価

	高脂肪DDGS	低脂肪DDGS
DM (%)	90.7	89.1
CP (DM%)	30.8	32.6
粗脂肪 (DM%)	13.7	10.2
鶏 代謝エネルギー (Kcal/kg)	2,900	2,490
豚 TDN (%)	78.9	72.8
牛 TDN (%)	84.7	78.4

表2には本年10月にデトロイト(米国ミシガン州)で開催された、アメリカ穀物協会と再生可能燃料協会主催のエクスポート・

エクステンジ2016会議の会場で入手したDDGSを取り扱っている7業者から入手したパンフレットに記載されていたDDGSの成分保証値および各ブース担当者から聴取した成分値の範囲や期待値を示したが、ほとんどの製品の粗脂肪含量は7~8%(原物)で、粗たん白質(CP)は26%以上のものがほとんどであった。しかし、一部の製品ではCDOをより多く抽出してCP含量を高めた製品も見られた。また、ある大手業者の担当者は、収益性の関係から、今後自社で取り扱うDDGSの粗脂肪含量を6%程度とする方向にあるとしていた。現状では、表1に示した低脂肪DDGSより粗脂肪含量が低い製品やCP含量がより高いDDGS製品はわが国には紹介されていないが、今後、これらの製品の動向についても注目する必要がある。

表2 各社のパンフレットから見たDDGSの成分値(原物値)

	粗脂肪 (%)	CP (%)	Pro-Fat	水分 (%)	粗繊維 (%)	粗灰分 (%)	ハンター値
A社 (normal)	10以上	26以上	36以上	12以下	10以下		
A社 (hi-pro)	2.5以上	50以上		2以下	3以下	5以下	
B社	9 (7~9)	26以上		10以下	15以下	5.5以下	56~58
C社	7以上 (7~8)	26以上			11以下	6以下	
D社	7		35以上 (36~36.5)				
E社	6~9		36以上				
F社	6.5以上 (平均7)		35以上				
G社	4以上 (5.23)	27以上 (28.78)		12以下 (10.37)	9以下 (7.47)	8以下 (4.86)	50以上 (52.68)

注) ()内は、担当者から聴取した成分値の範囲または期待値

なお、DDGSの各畜種用飼料への使用可能量に関しては、様々な研究者が実証試験を行っているが、アメリカ穀物協会(USGC)および全米トウモロコシ生産者協会(NCGA)では、表3に示すように、各畜種における使用可能な最大量の推奨量を示している。また、表3にはエクスポート・エクステンジ2016会議の会場で出会った韓国の研究者から聴取した韓国における一般的な使用量も併載したが、わが国より多く使用している傾向がうかがわれる。

表3 DDGSの畜種別配合量(%)

	USGC (最大値)	NCGA (最大値)	韓国*
肉用牛	40	10 - 20	4~7
乳用牛	20	20	4~7
豚	30	15 - 20	4~7
ブロイラー	10 - 15	10	2~4
産卵鶏	15	15	8~15

注) *韓国における一般的な配合量(韓国の研究者からの聴き取りによる)

DDGSの機能性

上述したように、DDGSは、たん白質源およびエネルギー源としてトウモロコシおよび大豆粕の代替え原料としてとらえられることが多いが、デンプン以外の成分が約3倍に濃縮されていること、また、発酵工程を経ていることから、たん白質源およびエ

エネルギー源以外の副次的な効果が報告されている。

すなわち、抗酸化作用を持つルテインやゼアキサンチンなどのカロテノイドやビタミンE(トコフェロール)などをトウモロコシに比べて豊富に含んでいることから、産卵鶏に給与した場合には卵黄中の濃度が高まること、豚肉の酸化を抑制するなどの報告があり、乳牛に給与した場合には、牛乳中の共役リノール酸(CLA)濃度を高めるとの報告もある。また、豚用原料としてDDGSを実際に使用している(子豚育成期には最大30%、肥育期には最大10%配合)米国の養豚生産者の話によると、おそらくDDGSに豊富に含まれる繊維の影響によると思われる

が、豚腸管の健康状態に好影響が見られるとのことであった。

また、トウモロコシ中のリン(約0.3%)の約7割は豚や鶏などの単胃動物では利用できないフィチン態リンとして存在しているが、発酵工程で利用可能なリンに変化していることから単胃動物におけるリンの利用性が大幅に高まっており、排泄物由来の環境負荷を低減できることも特徴といえる。さらに、乳牛用TMRに、DDGSを10、20、30%配合した場合、メタンの発生量が直線的に低下したとの報告もあることから、今後、DDGSを利用する場合には、これらの効果も考慮する必要がある。

米国農務省「世界農業需給予測(WASDE)」による 飼料穀物(トウモロコシ、ソルガム、大麦)需給概要の抜粋

2016年11月9日米国農務省発表の世界農業需給予測の米国産飼料穀物に関する部分の抜粋の参考和訳を以下に掲載いたします。WASDE のフルレポートについては(<http://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/>)よりご確認ください。また、数値や内容については、原文のレポートのものが優先いたします。各項目の詳細、注釈についても原文をご参照ください。

今月の2016/17年度の米国産トウモロコシの予測は、生産量の上方修正、食品・種子・産業利用(FSI)の上方修正と若干の価格上昇となっています。トウモロコシの生産は、単収が1.9ブッシェル/エーカー上方修正され175.3エーカー/ブッシェルとなり、先月より1億6,800万ブッシェル高い152億2,600万ブッシェルと予測されています。2013/14年から2015/16年までのエタノール以外の産業(FSI)利用は、利用推算値の更新に沿って引き上げられています。それに伴う在庫の更新をもとに、これらの年度の飼料そのほかへの利用も引き下げられています。2016/17年度のトウモロコシのエタノールへの利用は先月より2,500万ブッシェル高く、FSI利用は6,000万ブッシェル高く予測されています。供給の上昇が消費より早いため、トウモロコシの期末在庫は8,300万ブッシェルに上方修正されています。2016/17年度のトウモロコシの年間平均農家出価格は、シーズン初期の価格が予想より高いため、両端でブッシェル当たり5セント引き上げられ、\$3.00から\$3.60と予測されています。

世界の2016/17年度の粗粒穀物生産量は490万トン上方修正され、13億1,970万トンとなっています。今月の米国外での2016/17年度の粗粒穀物生産予測は先月と比較して、生産量

と消費の増大、輸出の拡大、在庫の低下となっています。エジプト、チュニジア、ベトナムなど、いくつかの国について過去の数値の見直しが行われています。ウクライナのトウモロコシ生産量は、11月初旬以来、史上最大に近い単収が政府より報告されているため、上方修正されています。ロシアのトウモロコシ生産量は、現在までの収穫の結果から史上最高の単収が見込まれるため、今月は高くなっています。これらによって、ベトナムとボリビアでの生産量減少が一部相殺されています。

ウクライナとロシアからのトウモロコシの輸出が高く予測されています。月別のトウモロコシ輸入量が、イランとサウジアラビアで増加すると予測されています。一方で、インドネシアでは政策の規制によってトウモロコシ輸入が制限され、韓国の購買ペースが落ち着くと予想されるため、両国の輸入量が減少しています。米国外のトウモロコシの2016/17年度の期末在庫は、ベトナムとインドネシアで予測される最大の在庫減少によって、ウクライナとロシアでの増加が一部相殺されるため、先月より70万トン下方修正されています。

ネットワークに関するご意見、
ご感想をお寄せ下さい。



U.S. GRAINS COUNCIL アメリカ穀物協会

〒105-0001 東京都港区虎ノ門1丁目2番20号
第3虎の門電気ビル11階

Tel: 03-6206-1041 Fax: 03-6205-4960
E-mail: grainsjp@gol.com

本部ホームページ(英語): <http://www.grains.org>
日本事務所ホームページ(日本語): <http://grainsjp.org/>