

『バイオマスエネルギー産業の将来展望』

講師：澤 一誠 氏（三菱商事株式会社 新エネルギー・電力事業本部バイオ燃料第二チーム シニアマネージャー）

日時：2012 年 11 月 14 日（水） 18:30～20:30

会場：ノルドスペース セミナールーム（東京都中央区京橋 1-9-10 フォレストタワー8F）

はじめに

持続可能な企業活動として CSR を捉えた場合、バイオマスエネルギーはマイナスとプラスの両方の面を持っています。そのため、色々なことに気を付けてやらなくてはなりませんし、評価のクライテリアや持続可能性基準が定められています。そうした視点から CSR の参考になればと思います。



エネルギーを大別すると、いわゆる電力が約 4 割、そのほかに石油やガスなどを使う分野があります。電力でのバイオマスエネルギー利用としては固体燃料やガスにするということがあります。他に大きな分野としては、石油代替として、輸送用の燃料のガソリン代替や軽油代替などでのバイオ燃料の導入があります。本日は特に輸送用の燃料に着目して話を進めます。

世界の輸送用燃料とバイオ燃料の需要予測

IEA(International Energy Agency/国際エネルギー機関)が毎年出している「World Energy Outlook の 2011 版」によると、輸送用燃料の需要は、2009 年は 17.6 億 toe（石油換算トン）ですが、2035 年には 1.4 倍の 24.4 億 toe になると予測されています。道路輸送用バイオ燃料の需要は、世界的にみると 2009 年は 5,200 万 toe(3%相当)に達し、2035 年には 1 億 9,200 万 toe(8%相当)と、3.7 倍程度の伸びと予測されています。ただ元々は、2010 年には 11%相当までいくと予測されていました。数字が減少した理由は、一つはシェールガス、シェールオイルに関するアメリカの状況があります。もう一つは、アメリカでバイオ燃料に関する優遇措置が昨年末に終了し、今年からは優遇措置が無くなったことが織り込まれた数字になっています。一方、アジアの道路輸送用バイオ燃料の需要は、2009 年は 300 万 toe だったものが 2035 年には 5,600 万 toe と、18.7 倍まで伸びるといふ予測が立てられています。

IEA が出している『輸送用バイオ燃料ロードマップ (2011.4.20)』によると、輸送用バイオ燃料の市場規模は、2010 年で市場に占める割合が 3%相当であるものが、2050 年には 27%相当にまでなるという予測が立てられています。数値で言うと、2050 年には 7.5 億 toe と、14 倍になるということです。金額で言うと、2010 年でも 6 兆円規模の産業になっており、2035 年には 20 兆円産業、2050 年には 80 兆円産業になるという予測が立てられています。

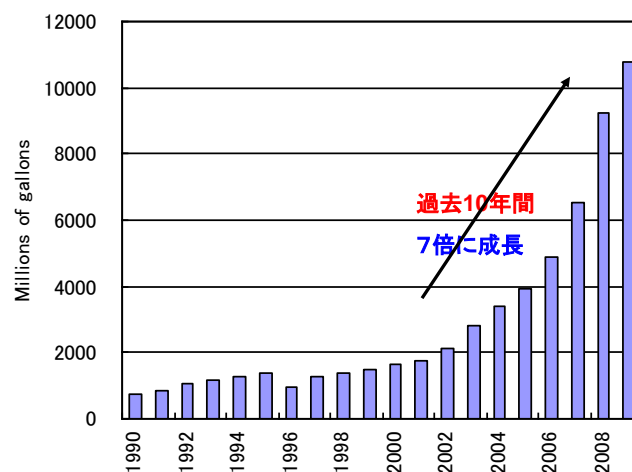
輸送用バイオ燃料の内訳は、現在はガソリン代替にエタノールを入れる、ディーゼル代替にバイオディーゼルを入れるというのが主流です。今後は、これら以外に、航空機にバイオ燃料を入れる、あるいは船舶用燃料としてバイオ燃料を一部入れる、という展開が予想されており、その部分かなりの割合を占めると予測されています。

一昨年、オイルメジャーの Shell と BP が大手を買収する、或いは、新たに合弁会社を作るといった大きな動きがありました。オイルメジャーは元々、市場規模に占める割合が 3%を超えたら本腰を入れると言われていましたが、一昨年に市場規模がちょうど 3%に達したところで、やはり本腰を入れてきました。Shell は新設会社の Raizen で 220 万 KL/年のエタノールを製造できるキャパシティを持っており、5 年後には 500 万 KL/年まで伸ばすと言われてしています。BP も 180 万 KL/年のエタノールを製造するキャパシティを持っています。穀物メジャーといわれる ABC、ADM、Bunge、Cargill など元々参入していましたが、オイルメジャーが出たことによって、ビッグプレイヤーが出揃ったと言えます。

バイオマスエネルギーの政策導入・戦略産業化

バイオマスエネルギーの成長が盛んになった背景には、エネルギー政策(ポートフォリオ)の一角としての考え、農業政策(6次産業化)といった複合産業としての考え、環境政策(CO₂削減)として有望であるとの考え、の 3つがあります。これに基づいてバイオ燃料産業を産業政策と捉え、雇用を創出させるという戦略的展開が、特に欧米において展開されています。

特に米国は、トウモロコシの食との競合の問題で賛否両論はありますが、過去 10 年でエタノール製造量は 7 倍に成長しています。2006 年にはそれまで 1 位だったブラジルを抜き、世界の 57%のシェアを占めるまでになり、急激に伸びました。数量的には 2011 年の実績で 140 億 Gallons(= 5,300 万 KL、3.2 兆円 @60 円/L)が導入されて、平均混合率も 10%になっています。なお、ブ

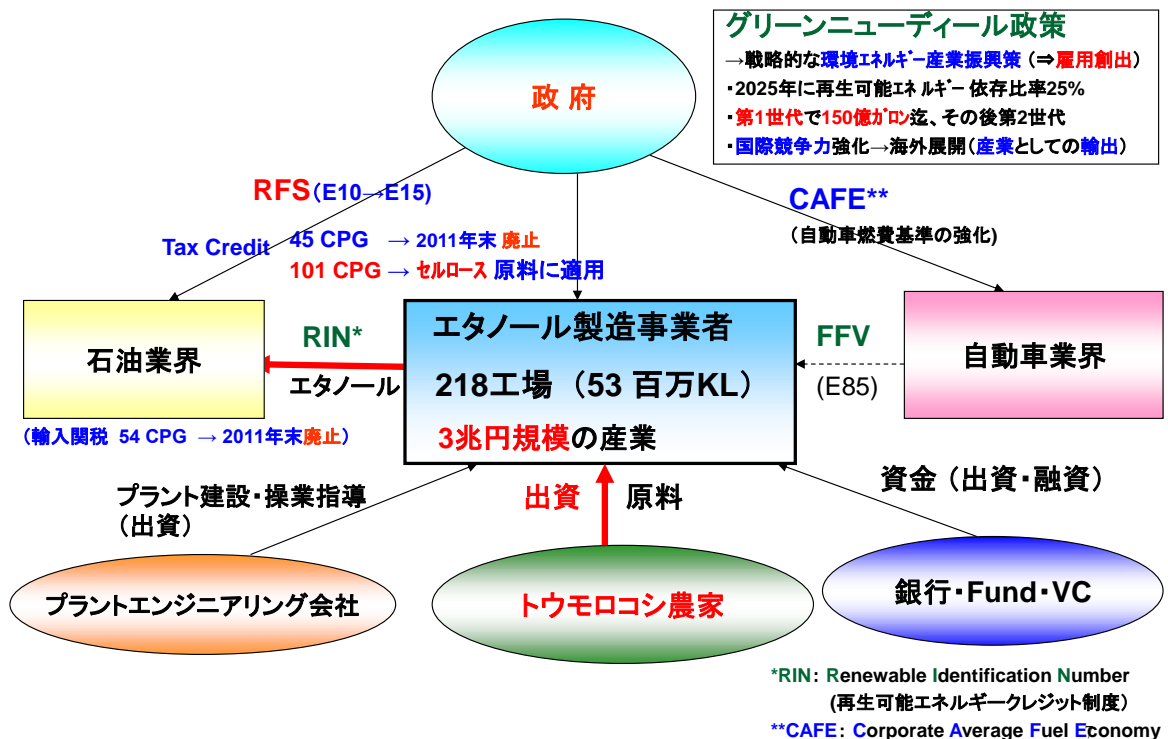


【米国エタノール製造量の変化

出典：US Energy Information Administration】

ラジルは平均混合率が 20～25%の間でガソリンが作られています。

米国でこれほど産業として発展した理由は、私が「二つのトライアングル」と呼んでいる燃料産業構造があります。一つは需要創造側のトライアングルです。これは、政府が主導して石油業界と自動車業界に対して政策誘導を行い、それに基づいてエタノールの需要を無理矢理作った背景があります。一方、供給側は、トウモロコシの農家が中心となり、技術的なバックアップがプラントエンジニア会社から、資金面のバックアップは銀行、ファンド、ベンチャーキャピタルから行われました。これにより、工場の数も 200 を超え、産業規模としては 3 兆円を超えました。



【米国のエタノール燃料産業構造 出典：澤氏当日資料】

米国では、1工場当たりの規模も非常に大きく、平均で年産 20～30 万 KL になります。これは、日本の 20～30 倍の規模です。このように米国では燃料用エタノールが産業として育ち、石油業界に対し大量のエタノールを安定供給され、更にその供給を上回る需要が創造されているのが米国の現状です。また、昨年末迄は 45 セント/ガロンの税金が免除されるといったインセンティブもありました。これは、ある程度定着したので昨年末に廃止されていますが、廃止による影響は、今のところそれほど大きく出ていません。

米国のエタノール導入誘導政策である RFS(Renewable Fuel Standard)は、エタノールを混合、もしくはディーゼルに対してバイオディーゼルを混合することについて、数値目標を定めて義務的な導入を図るという制度です。元々の方向性は、この制度に基づいて、先進的なバイオ燃料のカテゴリーを飛躍的に伸ばそうというものでした。先進バイオ燃料とは、バイオディーゼルと、セルロース系原料と、サトウキビベースの、トウモロコシベースではないエタノールです。バイオ燃料として導入されているもののほとんどがトウモ

ロコシベースのバイオ燃料に該当しますが、この上限を 150 億ガロンに設定し、トウモロコシベースが 150 億ガロンに達したら、他のものを伸ばそうという考えです。これは、2007 年に打ち出された方針ですが、トウモロコシベースのバイオ燃料はすでに 140 億ガロンに達していますので、45 セント/ガロンの免税措置は廃止されました。

2015 年以降はトウモロコシベース 150 億ガロン以上増やさず、代わりにセルロースでの展開を図ろうとしています。セルロースは、トウモロコシでいえば茎や芯、サトウキビではバガスと呼ばれる搾りかすが原料になります。トウモロコシを使うことによる食との競合問題があり、数量目標の見直し論もありましたが、現状では見直しはされていません。このままの予想では、2022 年に 360 億ガロン (=1.3 億 KL、8 兆円産業) を目指すというのが米国の方針です。この時点での混合率は、ブラジルと同じく 25%相当を目標としています。

バイオマスエネルギーに対する欧米と日本の取組みの違い

エネルギー政策の視点でみると、欧米では、エネルギーの安全保障政策としての位置づけが非常に大きくなっています。また、エネルギーポートフォリオ、つまり、エネルギーの一角をバイオ燃料が占める形で数値目標が設定されております。これは、米国、ブラジルにおけるバイオエタノール、ヨーロッパにおけるバイオディーゼルでも同じ様な展開です。

一方、日本では、3.11 以降、特に電力分野において、再生可能エネルギーに太陽光・風力・地熱と色々な選択肢が出てきました。日本ではなかなかバイオ燃料が注目されませんが、欧米では、再生可能エネルギーのマジョリティはバイオ燃料というのが通例です。この辺りの認識に若干のズレがあります。さらに、導入目標も欧米ではかなり大規模に掲げており、1 件当たりの製造キャパシティも先ほどの米国の例の通り非常に大きく、日本の 20~30 倍になります。

農業政策の面では、農産物の新たな利用用途(出口)として展開が図られています。また、6 次産業として新産業の創出が図られ、農家の収入がかなり上がりました。米国ではトウモロコシに関する補助金が元々ありましたが、エタノールの導入によって、補助金が無くなっても成り立つようになりました。確かにトウモロコシの価格が上がったということが槍玉に上げられていますが、農業サイドは潤いました。

環境政策の面では、欧米では CO₂ 削減の手段として最も確実で効果的と言われております。一方で、日本では農業政策というわけでもないですし、環境政策として CO₂ 削減に有効であるとも言われておらず、欧米との意識の差はかなりあると思います。

産業政策の面では、戦略産業としての意味合いが欧米では強いですが、日本ではその意識がまだまだありません。また、米国では導入政策として義務化や市場価格転化が適用されていますが、日本ではまだ難しいと思います。

	欧米	日本
エネルギー政策	<ul style="list-style-type: none"> ●エネルギー安全保障政策として推進 ●エネルギーポートフォリオの一角 ●再生可能エネルギーの切り札(マジョリティー) ●革新的導入目標 ⇒ 産業レベルの大規模市場 ●大規模導入による展開 	<ul style="list-style-type: none"> ●再生可能エネルギーの中の劣等性的存在 ●限定的な導入目標 ⇒ 市場規模が小さい ●小規模導入による展開
農業政策	<ul style="list-style-type: none"> ●農作物の新たな利用用途 ⇒ 市場の拡大 ●新産業創出(6次産業化) ●農家の収入アップ、農業補助金の削減 	<ul style="list-style-type: none"> ●プラントメーカー等による技術開発案件 ●自治体等による技術実証事業
環境政策	<ul style="list-style-type: none"> ●最も確実で効果的な大規模CO2削減手段 	<ul style="list-style-type: none"> ●CO2の削減手段として位置付けられていない ●「食との競合」や「生物多様性」等の負の側面が強調されている
産業政策	<ul style="list-style-type: none"> ●戦略産業として積極的に推進 ●新たな雇用機会の創出 ●持続可能性基準の設定 ⇒ 国際競争力強化策 ●補助金・税制優遇 ⇒ 義務化・市場価格転化 	<ul style="list-style-type: none"> ●国内で補助事業として推進 (技術開発や小規模実証が主流)

【バイオマスエネルギーに対する欧米と日本の取組みの違い 出典：澤氏当日資料】

日本のエネルギー安全保障を脅かすリスク

『2010年版エネルギー白書』には、エネルギー安全保障の面から量と価格が確保できることが大前提であると書いてあります。化石燃料の分野においては、中国の資源ナショナリズムを筆頭とした台頭で資源獲得競争が起きていますので、量や価格の確保が難しくなっています。色々なリスクが顕在化していますので、改善できる要因として、再生可能エネルギーが注目されている現状下、バイオマスエネルギーが着目されてもよいのではないかと思います。

日本の固有の問題として、3つの問題があります。まず、エネルギー自給率が著しく低く、4%程度しかありません。原子力が今までのエネルギー政策に入っていますが、原子力を入れても18%という実態です。二つ目に中東依存度が9割近いこと、三つ目としてエネルギー起源のCO₂が9割近いことです。こういった背景から、再生可能エネルギーの導入は必要ですし、その中でもバイオマスエネルギーが占める割合を高くすべきだと思います。

日本政府のバイオマスエネルギーに関連する政策

日本でも、ここ2年ほどで非常に大きな動きがあり、バイオマスエネルギーに関連する政策もいくつか導入されています。

まず、日本再生戦略です。もともと新成長戦略が2010年にあり、その延長としてグリーン成長戦略が打ち出され、再生可能エネルギーの導入が図られています。また、農林漁業再生戦略に基づいてバイオマスが見直されつつあります。

日本再生戦略は、本年7月31日に閣議決定されましたが、あくまでも基本戦略です。本来であれば、これに基づいた革新的環境エネルギー戦略というのが9月14日に閣議決定される予定だったのですが、様々な議論があり閣議決定には至っていません。現在の政

治状況でどうなるかということはありませんが、これに基づいて本年末までに革新的環境エネルギー戦略の大綱が発表されるという予定になっています。

再生可能エネルギーの普及拡大の数値目標ですが、発電については、水力を除いたものが2010年で250億kWhだったのを2030年に1,900億kWh(8倍)にするという数値目標が立てられています。これが達成できれば、今言われている20%弱が達成できるのですが、太陽光、風力が中心ではかなり難しいと思われまますので、この中でのバイオマスの位置づけについて議論されるべきではないかと思えます。また、食と農林漁業の再生についても挙げられています。バイオマス利用技術の開発・確立もしくは地域のバイオマスを活用した産業の創出と街づくりの推進について記載があります。

二つ目として、新・エネルギー基本計画があります。2010年6月に閣議決定されており、本来であれば見直しが必要とされていますが、色々な議論があり先延ばしになっています。この計画によって、再生可能エネルギーの比率や2030年のエネルギー自給率目標、ゼロエミッション電源(原子力込)の増加、バイオ燃料の導入に関する数値目標が出されています。

当計画も、これから議論になる可能性はありますが、2030年代に原発依存度をゼロにするという前提で見直される予定になっています。現状では、原発依存度を0%、15%、25%にするという3つのシナリオがあり、まだ結論までは至っておりませんが、2030年代に原発依存度をゼロにしていく方向性です。

2030年までに、再生可能エネルギーの目標である20~35%を達成しなくてはならないということで、2010年に導入を予定していたものよりさらに拡大しなくてはならないという方向性になっています。元々、2020年に1次エネルギーの1割程度を再生可能エネルギーにする目標があります。欧州では2020年に20%、米国では2025年に25%としていますので、欧米と比べてかなり低いです。これをどこまで上げないといけないかについて、今後議論があると思えます。

電力についても、元々1%弱だったものを6%もしくは8%にしないといけないというところですが、ガソリンや軽油の代替品、特にガソリン代替のエタノールといったバイオ燃料は、2020年に3%以上にする目標がありますので、今後どのように導入するか具体的に議論が行われる見通しです。電力の目標は、21%だったものを25~35%に上げるのですが、具体的には、バイオマスの混焼を増やすことが今後の話として重要になると思えます。

三つ目として、エネルギー供給構造高度化法があります。これによって、エタノールの導入が義務化されました。持続可能性という基準が定められ、それに基づいて導入目標量の達成を図ることになっています。この法律によって、石油会社は2017年までの毎年の目標が設定され、導入していかなければいけないことになりました。2011年4月から2017年までのエタノール導入義務量を次に示します。

表の上の数字が石油換算量、これをエタノールに換算したものが下の数字となります。

2017年には、エタノールの導入量を83万KLと設定しています。この時点でのガソリンがどれくらいになるかは分かりませんが、仮に5,000万KL採れたとすると、1%しかありません。2020年に3%にするというすごい飛躍になりますが、このような議論も今後

出てくると思います。

単位 万KL	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
原油換算量	21	21	26	32	38	44	50
エタノール換算(参考)	(35)	(35)	(43)	(53)	(63)	(73)	(83)

【バイオエタノールの利用目標量（原油換算量） 出典：澤氏当日資料】

エネルギー供給構造高度化法の運用の判断基準として、CSRにも通ずるところですが、どのようなルールに則れば持続可能かという、持続可能性基準というものがあります。一つは、CO₂を出口だけで減らすのではなく、LCA(ライフサイクルアセスメント)として減らす考え方で、50%以上減らすことが目標とされています。また、国産・準国産(アジア等からの開発輸入)の比率を半分以上にすること、食料競合や生物多様性について国がモニタリング・評価することという基準が設定されています。

このような基準設定は、経済産業省資源エネルギー庁と農林水産省による委員会で議論され、かなり厳しい基準が策定されました。即ち、この基準は、欧米の基準を基にしていますが、その基準よりも厳しくしています。具体的には、CO₂削減の水準をLCAで50%以上削減すると設定していますが、欧米の基準としては、EUで35%以上、イギリスで40%以上、アメリカで20%以上に設定されています。さらに、次世代の原料、例えばセルロース系のものにした場合、EU、イギリス、米国でも50%以上としています。これはあくまでも技術開発絡みになりますので、この数字を省くと、今現在では日本が1番厳しい設定をしていることとなります。

制度 (発効)	EU指令 (2009年6月)	英国 RTFO (2008年4月)	米国 RFS2 (2010年2月)	日本 エネルギー高度化法 (2011年4月)
機関	欧州委員会	RFA	EPA	経産省
適用開始	2013年4月	2011年4月	2011年1月	2011年4月
削減水準	35%以上 (2017年50%, 2018年 60%以上)	40%以上 (2017年50%以上)	20%以上 (次世代50%, セル ロース60%以上)	50%以上
土地利用変化	直接 (2007年12月末時点)	直接 (2005年11月時点)	間接 (2010年2月時点)	直接 (2012年4月1日時点)

【バイオ燃料導入義務化制度に伴う各国の基準 出典：澤氏当日資料】

また、土地利用変化もあります。バイオ燃料用の作物を植えると、その土地で農業用に植えたものと取り合いになりますので、土地利用変化を考える必要があります。土地利用変化には、直接的に影響するものと間接的に影響するものがあります。アメリカやEUも同様ですが、例えば、ブラジルはサトウキビを植えていた畑を拡大するといったときに、大豆畑をサトウキビ畑に転用し、大豆畑を森林を切り開くことによって新しく作るという

ことになります。この場合、切り開いた部分の森林を破壊したとみなして、間接的な土地利用変化が起きるという考え方が出てきています。このような考えではかなり制約を受けるわけですが、本来のバイオマス燃料における CO₂削減の姿だと思いますし、世界はこのような方向で動いています。

LCA の算定方法として 3 つのポイントがあります。一つは、どこからどこまでを考えたかという算定範囲(バウンダリ)です。これは先ほどの土地利用の変化を入れるか否か? 燃料を使用したところまで入れるのか、製造のところまでか? 副産物をどのようにするかといった様な前提のことを考えます。この副産物をどの様に算定するかという方法論もあります。又、比較対象は化石燃料の LCA で、81.7 g CO₂eq/MJ と、もともと低めに設定されていますので、50%削減はかなり高いハードルですが、これが算定の基準とされています。二つ目に、土地利用変化では、元々が既存の農地なのか、森林なのか、牧草地なのかという観点で算定します。地中にストックされている炭素が放出されるのを勘案する必要がありますが、これを 20 年で均等按分して計上します。三つ目として、副産物をどのような形で計上するかというやり方です。熱量按分、価値按分、代替法があります。

LCA のキーポイントの 1 つとして、GHG 排出量基準値 (デフォルト値) というものがあります。CO₂ 排出のロケーション毎の個々の基準をデフォルト値と呼んでいます。原料別・国別・工程別に主要なものを対象に設定することによって算出する方式になっています。欧米では既にデフォルト値の設定をしていますが、アジアでは日本を含め、まだ完全に設定されていません。

さらに、GBEP(グローバルエナジーパートナーシップ)のバイオ燃料持続可能性指標という指標があります。クライテリアとしては 24 項目あり、環境側面、社会性、経済性のインディケータがそれぞれ 8 項目ずつ設定されています。オランダやイギリスなどヨーロッパが主導しており、日本もこれに基づいて基準を設定する動きにあります。これはグローバルスタンダード的にこれから動いていくと思われれます。

四つ目の政策として、再生可能エネルギー固定価格買取制度を説明します。固定価格で一般電気事業者(電力会社)が電力を買い取るという制度で、今年度の一番の目玉でもあります。もともとはヨーロッパ、とくにドイツの太陽光の普及に使われた制度です。これに基づいて日本でも太陽光が若干先行しましたが、2012 年 7 月 1 日から太陽光以外のものも買取制度ができることになりました。太陽光以外ということで風力や地熱がありますが、バイオマスについてもあります。

バイオマスについては 5 項目あり、そのうち 1 項目がガスです。ガス化についてはメタンガスで発電することを前提にしています。バイオガスで発電した場合には、税抜きで 1kWh 当たり 39 円という非常に優遇された買取価格が設定されています。そのほか 4 項目は、木質系・廃棄物系のものを中心としたものです。この中で木質の原料に基づいて固形燃料化を図ると、未利用木材は 1kWh 当たり 32 円、一般木材(輸入木材やパームヤシの殻を含む)は 1kWh 当たり 24 円となっています。そのほか廃棄物系は、1kWh 当たり 17 円、木質系の建設廃材・リサイクル木材が 1kWh 当たり 13 円という価格になっています。いずれも毎年見直しされることになっていますが、3 年間はある程度優遇措置をと

るということになっていますので、バイオマスの場合はこのまま3年間は維持されるということだと思います。

五つ目として、バイオマス活用推進基本計画があります。バイオマス産業を活性化し、6次産業化させることが主な狙いです。農林水産省を中心とした7府省の横断組織「バイオマス活用推進会議」の下部組織として、「バイオマス事業化戦略検討チーム」という委員会が設置されています。ここで議論された結果として、バイオマス事業化戦略が9月に発表されました。主な骨子として、多種多様なバイオマス利用技術の到達レベルの評価と実用化見通しを整理した「技術ロードマップ」の策定、技術ロードマップに基づいた技術とバイオマスの選択と集中による事業化の推進、地域の産業化を目指す「バイオマス産業都市構想」の提示があります。「バイオマス産業都市構想」は、原料調達の入り口から販路確保の出口までを考えてバイオマス産業の普及を図ります。全国20か所を対象に立てられており、来年度から農林水産省の事業として推進されます。

関連政策の目標を達成するために、今後検討すべきことがあります。2020年に一次エネルギーに占める再生可能エネルギーの比率を10%にする為に、そのブレイクダウンをどのようにするのかという話が今後出てくると思います。その中で特に輸送用のバイオ燃料とバイオマスの混焼発電が一番量が稼げる場所ですので、どう展開するかが大きなカギとなってきます。発電については、今後、電力会社のPCボイラーでのペレット混焼の促進が量を稼げると思いますし、新たな発電事業者が固定買取制度で出てきますので、どう後押しするかということになります。2020年までにガソリンの3%以上をエタノールにするということは今後議論の対象になると思います。バイオマスの産業については、一般的に言われている新産業でのリスクとリターンが見合わないことがありますので、どのように補助していくのか、支援していくのかという点が、今後の事業展開において重要な部分だと思います。

三菱商事のバイオ燃料事業への取組み（国内）

CSRという観点ではサングの保全・植林事業等に取り組んでおりますが、バイオ燃料については二つの取組みを行っています。一つは北海道で余剰甜菜、規格外小麦、余剰米といった、食と競合しないものからエタノールを作る事業です。2007年から開始し、農林水産省の補助事業として2009年からプラントが稼働し、5年が経ちました。規模としては15,000KL/年と小さいですが、一か所に集まる規模としては国内では最大です。このほか北海道では米をベースにエタノールを作っている会社があります。新潟でも行っており、この3つの事業で計31,000KL/年という生産量が示されています。

一方、固形燃料については、杉・檜のバーク（樹皮）を原料として宮崎県東臼杵郡門川町でバイオペレット製造事業を行っています。季節によって原料の水分が大幅に変動する等の原因によってなかなかうまく製造ができなかったのですが、現状では年間16,000トン以上を製造しています。実証事業という位置づけですので、生産規模では商業ベースには程遠い部分がありますが、サプライチェーンとしては本来のバイオ燃料の事業と全く変わりませんので、こういった経験を踏まえて、事業環境を整えば海外展開していこうとい

うのが今後の方向性としてあります。

エネルギー源としての7つの評価軸と2つの視点

マスコミの論調の中では、バイオ燃料事業を本当にやるべきかという議論があります。これについてしかるべき評価軸があって議論すべきだと思います。私が評価軸として掲げているのが、エネルギーについての7つの評価軸と、プラスアルファとして、それをサポートする技術の成熟度と原料の供給余力という2つの視点を加味して多面的に総合評価すべきだと思います。

- | | | |
|----------|---|-----------------|
| 1. 効率性 | ➔ | EPR、エネルギー密度 |
| 2. 利便性 | ➔ | 貯蔵、輸送・移送、物流 |
| 3. 供給安定性 | ➔ | 供給量・価格変動リスク |
| 4. 安全性 | ➔ | 操業リスクと対策、危険物 |
| 5. 経済性 | ➔ | LCC、波及効果(一次・二次) |
| 6. 環境性 | ➔ | GHG削減、副産物・廃棄物処理 |
| 7. 社会性 | ➔ | 雇用創出、インパクト |

プラス技術成熟度と供給余力の2つの視点を加味した多面的総合評価

【エネルギー源としての7つの評価軸と2つの視点
出典：澤氏当日資料】

一つ目として、効率性があります。EPR(Energy Profit Ratio)という、投入エネルギーと出力エネルギーの比率については、全てのエネルギーについて言えることですが、特に重要だと思います。エネルギー密度の高い物としては、化石燃料に優位性がありますが、再生可能エネルギーにおいて比較検討する必要性があります。

二つ目として、利便性です。石油由来の燃料は貯蔵・輸送・移送の利便性があります。再生可能エネルギーにおいても、その中での比較から利便性を考える視点が必要だと思います。

三つ目としては供給安定性です。原料の供給量の問題、価格変動リスクの視点も必要かと考えます。

四つ目として、安全性です。原子力が最たるものですが、操業のリスク・対策、危険性については大きな要素として考える必要があります。

五つ目に経済性です。LCC(ライフサイクルコスト)ベースで、燃料だけではないトータルコストで考える必要があります。又、更に波及効果のコストを含めた経済効果を考える必要があります。

六つ目として、環境性です。LCA(ライフサイクルアセスメント)ベースの、GHG(CO₂)の削減、副産物や廃棄物の処理の問題を含めて考える必要があります。

最後に社会性として、雇用創出や既存の産業に与えるインパクトですが、例えばバイオ燃料であれば農業に与えるインパクトといったものを考える必要があります。

こういった7つの要素と技術の成熟度や原料供給余力といった指標による総合評価での評価軸を定めるべきです。具体的な例として、輸送用の燃料のポートフォリオを考えた場合、ガソリン代替であればエタノールやブタノールなどがありますが、エタノールがスタンダードになります。もちろん電気自動車もありますが、走行距離の問題や普及の問題等からポートフォリオを考えると、世界的にみてもエタノールが多いと思います。ディーゼ

ル代替に関しては、日本ではあまり導入されていませんが、バイオディーゼルが主流です。ジェット燃料は電化が絶対できないという前提がありますので、バイオ燃料がこれからのCO₂対策の主流になると思います。ケロシン代替で言うと、将来的には、熱分解をする方式や Micro Algae(微細藻類)原料の活用が考えられますが、当面は既存の油脂原料で Bio SPK を製造するのが主流かと思います。

電源の分野でいうと、化石燃料は石油・石炭・LNG の 3 つがあります。また、原子力以外の再生可能エネルギー、水力、太陽光・太陽熱、風力はどんどん増やしていくべきだと思います。太陽光や風力は立地の問題がありますし、地熱も地理的な問題がありますので、バイオマスが今後の選択肢として有望だと思っています。

その中でもバイオガス発電、バイオマスの専焼発電はどんどん増やすべきだと思いますが、新たに設備導入しなくてはいけないという問題があります。そのため、コスト面で混焼発電の方が優位なので、バイオマス発電設備を新設することなく、既存の設備を利用して、ペレットやチップ等を石炭と混焼する方法が非常に有効かと思っています。

経済産業省傘下の(独)産業技術総合研究所が開発した、バイオマス利活用事業の多面的評価システムがあります。経済性評価における一次波及効果では、例えば、地域全体で合算してどれだけの産業が創成されるかを評価します。派生的な産業である原料、副資材、副産物、運送等の分野でどのくらい付加価値が創出されたかを評価する手法です。また、二次波及効果として、産業連関表に基づく更なる波及効果について評価する方法があります。

そのほか、環境性評価では、先ほどの LCA での GHG 削減効果を評価します。その際、バウンダリは経済性評価と同様の範囲で行うような方法があります。

そして、社会性評価では雇用創出効果(人)と農業へのインパクトの評価指標があります。雇用創出効果は、直接的、間接的な雇用をどれだけ生んだかを評価する方法です。これはアメリカなどではよく使われており、何人の雇用が生まれるかを評価しています。農業へのインパクトについては、余剰農産物を考えています。例えばバイオ燃料用に余剰農産物がどのくらい活用できるのかという波及効果も診断するような指標があります。

こういった総合評価により産業としての価値を判断することが必要かと思います。CSR の部分でもそうですが、何らかの指標を持つという意味では参考になるかと思います。

バイオ燃料産業のサプライチェーン

販売をするということは市場創造があるということです。人為的に市場を作ることが欧米では一般的ですし、日本でもやっとエタノールについてはそのような格好になりました。最初に市場を作るところから始まります。その次に、市場を満たすために原料確保が必要になります。技術的な面でいえば、栽培技術や集荷技術で原料をいかに確保するかということになります。これらがあった上での製造事業になります。

製造部分は民間ができますが、いわゆる市場創造や原料確保に関しては、なかなか民間だけではできません。ここについては政府系機関の何らかの関与が必要になってきます。リスクで見ると、市場ができてても需要の変動リスクがありますし、市場価格の変動リスク

もあります。これがあまりにも大きい場合には、なかなか民間では吸収しきれませんので、義務化導入によって、ある一定数量を確保する。価格についてもインセンティブを付けることによってある程度市場価格を安定させるなど、第一段階は人為的な導入を図ることが必要になるかと思います。

また、食との競合、他の産業との競合というリスクを回避するため、一定のルールを決める必要があります。ある一定の地域ではバイオ燃料用の作物を作る。ある一定の余剰分を充てる。技術開発がある程度進めば残渣もしくは未利用部分で行うといった展開がこれから望まれるところかと思います。

価格構造については、原料が6~8割を占めます。又、製造にかかるコストは2~4割を占めます。従って、原料をいかに確保するかが一番問われていることです。尚、製造技術は、原料の多様化において、セルロースで展開する。或いは、廃棄物で展開する等が望まれますが未だに商業化には至っていません。

食との競合、食料の価格が上がることや土地の取り合い等は避けるべきですが、第1世代と言われている穀物系燃料も、ルール化することである一定量まで導入し、その延長線上で、第1世代で使ったトウモロコシやサトウキビの残渣を使って、第2世代へ移行していくのが現実的な路線だと思います。なおかつ、技術開発の要素も含めて、時系列的にロードマップを作った上で徐々に導入する必要があります。例えば、藻を使ったバイオ燃料は2020~2030年頃になるかと思いますが、実用化されるまでの間は違うものでまかなうといったことが必要かと思います。

バイオエタノールの製造プロセス

お酒を造ることとバイオエタノール製造の違いは、美味しくなくていいので大量生産できることと、脱水してアルコール濃度を99.5%にすることです。原料をいわゆる穀物系ではなくセルロースにすると、前処理をしないと通常のデンプンを分解する糖化酵素が働きません。サトウキビやテンサイは絞ると糖液になるので、そのまま糖液を発酵させる手法ですが、トウモロコシ、麦、米、キャッサバ等デンプン系原料は発酵の前にデンプンを酵素で糖に変換する工程が加わります。農業残渣や木質原料・資源作物等セルロース原料は、そのままでは酵素糖化出来ないもので、前処理することによって、酵素が働く様にして糖に変換します。この糖に変換したものを遺伝子組換えの菌（GMO菌）を使って発酵させてエタノールを作ります。これによってできたものはアルコールの濃度が薄いので（通常12.5%なのに対して3~5%）、蒸留のところで大きなエネルギーを使うことでコストがかかる等の課題もあり、まだまだ商業生産は難しい状況です。

このような技術的な課題を克服するべく、日本ではJX、トヨタ、三菱重工等6社連合が研究組合を作って取り組んでいます。近畿地方では神戸大学が酵母にC6糖のみならずC5糖も一緒に発酵出来る様に遺伝子組み換えを行い、アーミング酵母（通常の酵母の表層にC5を分解する酵素を手の様につけたもの）を作りました。前処理はトヨタ、糖化は月桂冠、発酵はサントリーがやっています。産総研でもやっています、王子製紙が木質系原料を使ったエタノール製造技術開発を広島で行っていますが、木質原料なので草本系

のセルロース原料より更に難しいプロセス開発に取り組んでいます。そのほかにもいくつか取組みがありますが、どの取組みも商業化迄にはまだ道のりは遠い状況です。

日本よりは少し進んでいる米国でのセルロースエタノール実証プロジェクトとして、バイオエタノール製造事業者最大手の POET は、トウモロコシ原料からのエタノール製造工場を持っていて、既存の設備に追加設置する形で開発を進めています。その他にも、Chemtex というポリエステル等の製造プラントエンジニアリング会社や世界最大の化学品会社 DuPont でも開発を進めています。これらはいい線までいっている模様ですが、まだ開発課題は未だに残っているようです。「立ち上げ間近」と言われているセルロース系バイオ燃料事業ですが、世界でも、商業生産技術の確立は、まだまだではないかと思えます。

セルロース原料の調達に関しては、農業系の既存のエタノール原料であるトウモロコシ、サトウキビ、麦、米、キャッサバや、アジア特有のパームの残渣等、集荷が比較的容易なものが良いと思われれます。

バイオジェット燃料(Bio SPK) の製造方法

現在、ジェット燃料は世界で約 3 億 KL 使われています。今年から EU が EU-ETS (Emission Trading System) で、EU に乗り入れるジェット機は一律 15%以上の CO₂削減をしないといけないという規制が出されました。最近この見直し議論も出てきたようですが、ヨーロッパもしくはアメリカの航空会社はバイオジェットを導入しないといけないという機運になっています。

特に熱心なのがボーイング社です。航空機を製造しているボーイングが 2015 年には 230 万 KL (約 1%弱) のバイオジェット燃料を導入することを目標にしています。アメリカには ASTM という品質規格がありますが、バイオジェット燃料の品質規格もボーイングが主導し、50%まで混合する為の規格まで作っています。

これに基づいてバイオジェット燃料を導入するために、アメリカの海軍や空軍、ヨーロッパの航空会社、JAL や ANA でデモフライトが行われています。ルフトハンザはドイツ国内で商業フライトで飛んでいます。

ただバイオジェット燃料を作る原料がなかなかありません。今の技術では、ケロシンを作る技術として水素化をして異性化をして精製するという技術がありますが、これに当てはまる原料がいわゆる油脂系でないといけません。油脂系の原料には、菜種油や大豆油、パーム油がありますが、これらはすでにバイオディーゼルに使われているので、これが行き過ぎると食料との競合が起こってしまいます。油脂原料というのはもともと世界で 1 億トンくらいしかありません。それに対して、軽油は大変大きな市場があり、日本だけでも約 4,000 万 KL の市場があります。このようなミスマッチがあるので、農業系の油脂原料を使用するには無理があります。ヨーロッパでは菜種油から、アメリカやブラジルでは大豆から作っていますが、行き過ぎると食料との競合が起こりますので、バイオディーゼルの同様に大量には使えないということになります。

その代わりとして、土地の取り合いをしないという前提で、資源作物といわれているカメリナ(Camelina Sativa)という菜種の一種やカリナタ(Brassica Carinata)がこれから出

てくる可能性が高いです。将来的には微細藻類が原料になる可能性もあるとは思いますが、これには技術開発が必要となりますので、20年ほどかかると思われます。

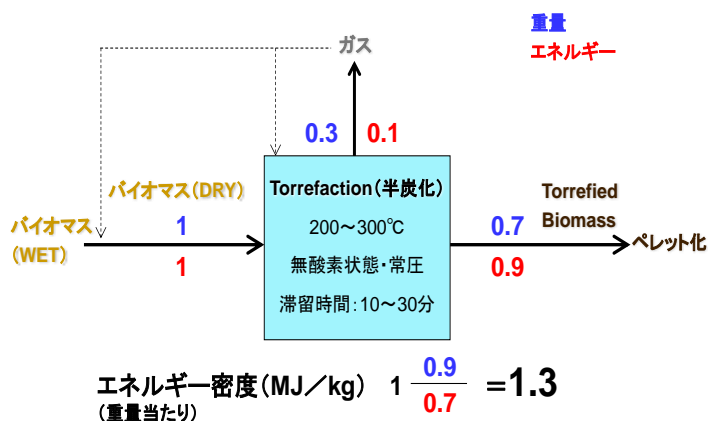
もう一つの方法として、熱分解の技術、あるいはガス化して液状化するという技術が商業的に成り立つのであれば、例えばセルロースの原料や廃棄物の原料で作るということも将来出てくると思われます。

Torrefaction (半炭化)とは?

固体のバイオ燃料で有望とされているもののひとつに、Torrefaction (半炭化) というものがあります。Torrefaction とは、通常のペレットを作る前処理技術として考えられている技術です。例えば、バイオマスを重量当たりで1のものを入れて、炭のような形で無酸素状態にし、300℃以下で半炭化します。そうすると、重量として約3割減ります。炭になると逆に7割減って3割くらいの重量になりますが、その手前で寸止めして、これくらいの減容率に抑えます。一方、エネルギーは1割ほどしか減りませんので、エネルギー密度は約1.3倍になるという技術です。なおかつ、オフガスを回すことによって自分のエネルギーを使ってTorrefaction反応を進めるとというのが基本になります。

まだ商業化までは至っておりませんが、商業化されると、様々な原料を使うことができ、Torrefaction したことによって得られた原料からペレットを作ることでもできるようになります。通常のペレットは水に浸すとふやけてしましますが、Torrefaction したペレットは、水に浸してもふやけないので、耐水性が担保されることが魅力の1つです。重量当たりのエネルギー密度としては、通常のペレットに比べて3割ほど大きく、かさ比重を考慮すると、体積当たりの密度が1.5倍になります。従って、輸送効率も1.5倍になります。ハンドリング性のみならず粉砕性

も良くなりますので、通常のペレットもチップも粉砕性を考えると石炭火力で混焼する時にはカロリー比で2~3%までが最大ですが、理論的には石炭と一緒にですから、100%でも大丈夫だとも言われています。将来的には林業の残渣のみならず農業残渣も含めて原料にすることができるとい技術です。



【Torrefaction (半炭化)とは? 出典：澤氏当日資料】

「緑と水の環境技術革命プロジェクト事業」という農林水産省の補助事業で、フィージビリティスタディの為の様々な調査を行いました。プロジェクトのコンセプトとしては、森林資源においては、通常は紙を作るのが当たり前ですが、紙以外の物では通常のペレットを作り、残渣でTorrefactionしたペレットを作ります。一方、デンプン系や糖分でエタノールを作りますし、油でバイオディーゼルを作りますが、それ以外の残渣部分で

Torrefaction のペレットを作ります。また、セルロースのエタノールや BTL(バイオマス・ツー・リキッド)は将来的な技術なので、ここで原料を確保して次の技術につなげていく、というコンセプトが考えられると思います。

セルロースの原料についても、これからは、かなり取り合いになる可能性があると思います。そのため、とりあえずアジアにおいても、こういった原料を押さえておいて、それに基づいて将来展開を図るということが必要かと思えます。

製造拠点と安定消費市場形成

原料については、一般的な資源作物あるいは穀物が、どのくらいの範囲で集荷できるかという問題があります。アメリカやブラジルは半径 50 マイルと言われており、約 80km 圏内くらいでは集荷できます。これがアジア、ヨーロッパでは 50km 圏内ほどになり、残念ながら日本は 20km 圏内ほどしか集荷できないというのが実情です。バイオマスの集荷範囲とコストとの関係ですが、これによってコストが大きく違ってくることがありますので、この集荷のし易さ等を考えた上で製造拠点のロケーションを考えることが必要かと思えます。

製造拠点といった観点で考えたとき、日本国内で出来る限り作るということは必要かと思えますが、拠点を一部アジアに置くという視点も必要かと思えます。サステナビリティを加味しながら全体のサプライチェーンを作り、かつリスクとリターンが見合わないとは商業的に成り立ちませんので、その辺が見合うモデルを考えなくてはなりません。マーケットについては、まずは産業規模の安定消費市場を日本で作る必要があります。日本で作った市場に合う方法で日本で製造し、足りない部分はアジアで作り開発輸入をする。また、アジアで作ったのであれば、アジア市場でも地産地消、もしくは第三国への輸出も視野に入れると良いかと思えます。

この時に重要なのは、数量と価格をどのようにするかということです。例えば、数量であれば長期の契約をする、価格は原料にリンクする、といった前提条件を作る形での政策誘導が必要かと思えます。安定的な製品販売の市場を作った上で、原料確保の段階でバイオマスを拠点にしたプランテーションを作ります。もちろん出口をすべてバイオ燃料だけにすることはすべきではないと思いますので、食料は勿論のこと飼料・肥料等の用途、バイオ燃料、バイオケミカルなどの多面的な出口を用意した格好で農業増産プロジェクトを進めることが良いと思います。

日本は、もともとアジアを中心に ODA を使って農業増産プロジェクトを進めてきましたので、その延長線上で、多面的な用途に適用した次世代農業、もしくは次世代林業という考え方で、農業や林業の供給力を高めることが必要かと思えます。その上で契約栽培を現地の企業と組んだ形で展開をして、そこで出来た農業資源をカスケード的に残渣を含めて利用していくというのが必要かと思えます。

ここは民間の出番ですが、それをもとにバイオマス複合産業というコンセプトで、エタノールだけではなく、例えば、ペレットを作る、あるいはバイオケミカルを作る、肥料や飼料を作る、発電をする、バイオジェット燃料を作る、といったことを含めて、同じ場所

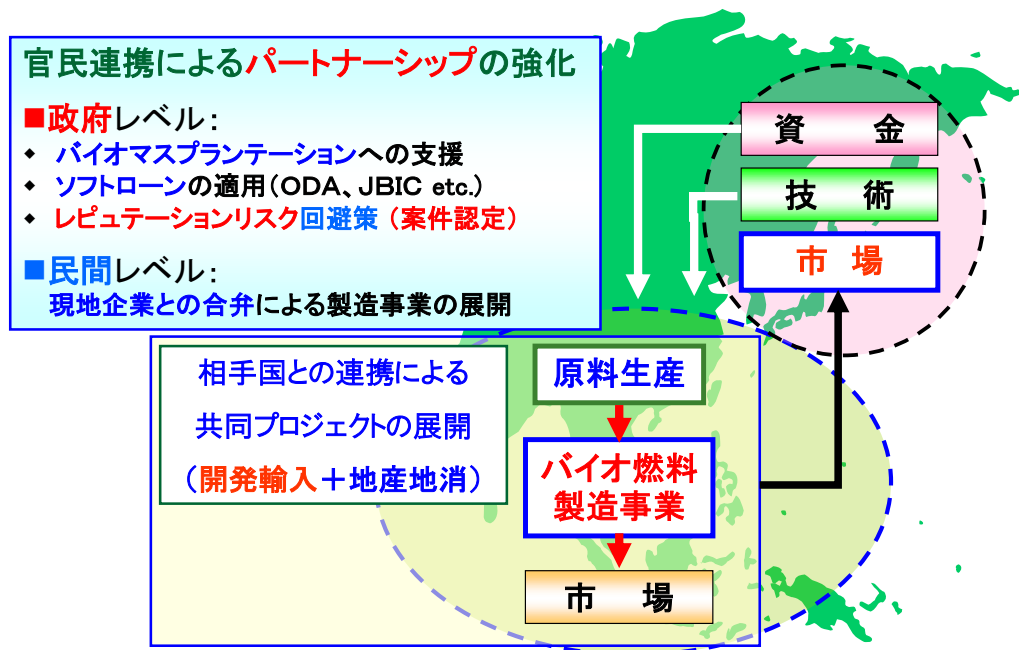
で複合的な産業を起こしていくことが考えられていくことになると思います。今後、技術がある程度商業化すれば、エタノールはセルロースエタノールへ、ペレットは Torrefaction したペレットに転換していくことが必要かと思います。

バイオマス産業でのアジア・大洋州との連携

“Asia-Pacific Biomass Community” の形成を官民が協力して進める格好で、現地との win-win の関係を構築するべく、その方向性を打ち出すというのが必要ではないかということをご提案しております。総論的には皆さん賛成するのですが、なかなか具体的にプロジェクトが進まないというのが現実なので、具現化するために、今後政府の政策を引き出す必要があると思います。

この時に、食料との競合問題あるいは生物多様性で現地の農地に影響が出るということは当然回避しなくてはなりません。これについては政府が案件を認定してレピュテーションリスクを回避するような策が必要だと思っております。せっかく持続可能性基準のルールメイキングをしたのですから、それを利用すべきだということで関係機関と話し合っています。それに基づいて適正に日本政府の支援に基づいてバイオマスプランテーションを展開する、又、製造のところでも、ある一定の財政的な支援を政府が行うことが望まれます。こういった形で民間の事業を政府が後押しすることが必要かと思っております。

もちろん相手国との連携は重要ですので、win-win の形で製造事業を展開し、作った物を日本向けと現地で販売する。日本からは技術と資金を供与し、現地の原料を使い現地で産業を興して、新たな環境産業としての発展を遂げていくという、まさに CSR に配慮した形での展開をすることが望まれているところだと思っております。



【バイオマス産業でのアジア・大洋州との連携 出典：澤氏当日資料】

(この記録は、事務局が作成し、澤氏にご加筆・ご修正いただいたものです。)