

[寄稿]

バイオマスエネルギー産業の現状と将来展望

澤 一 誠 (三菱商事(株) 地球環境・インフラ事業グループ
CEO オフィス 環境エネルギー政策担当)



1. はじめに

欧米起点の戦略産業として既に7兆円規模のグローバル市場が形成されたバイオマスエネルギー産業に対する日本の取組みは極めて限定的で注目度も低い。本稿では、今後日本が取るべき政策の方向性として、アジア・大洋州地域で開発輸入＋地産地消型のバイオマス・リファイナリー産業を官民連携で展開することについて提唱する。

2. 世界のバイオマスエネルギーの動向

まず、国際エネルギー機関(IEA)“World Energy Outlook 2012”から輸送用バイオ燃料の実績・将来予測を引用する。道路輸送用燃料の2010年実績は18.5億toe(石油換算トン)。これが2035年には1.3倍の24.5億toe。一方、バ

イオ燃料の2010年実績は5900万toe。これが2035年には3.5倍の2億400万toeになる。また、アジアの2010年実績は300万toeだが、2035年には12倍の3600万toeとなり世界の18%を占めるまで成長すると予想されている。なお、この数字は、米国シェールガス・オイル革命の要素も織り込んだ予測なので、2011年版よりも若干下方修正されたが、その影響は限定的である。さらに、2011年4月20日発表のIEA「輸送用バイオ燃料ロードマップ」(Technology Roadmaps - biofuels for Transport)によれば2050年には2010年比12.7倍の7.5億toeに達する。この数字と“Outlook 2012”の2010年、2035年の数字を一覧表にしたのが表1だが、市場規模を金額イメージで示すと2010年には既に7兆円産業になっており、これが2035年には24兆円、さらに2050年には80兆円規模の産業になることになる。2050年の内訳は、

表1 世界の輸送用バイオ燃料の需要予測

年	2010	2035	2050
石油換算量	5,900万toe	2億400万toe (3.5倍)	7億5,000万toe (12.7倍)
平均混合率	3%相当	8%相当	27%相当
金額イメージ	7兆円	24兆円	80兆円

(出所：2050年分は「IEA 輸送用バイオ燃料ロードマップ」, 2011.4.20)
2010年、2035年分は“IEA World Energy Outlook 2012”)

表2 2050年の輸送用バイオ燃料の内訳

乗用車用(ガソリン代替)：エタノール	2億7,000万toe (37%)
トラック・重機用(ディーゼル代替)：BDF	2億toe (26%)
航空機用(ケロシン代替)：Bio SPK	2億toe (26%)
船舶用(重油代替)：BDF	8,000万toe (11%)
合計	7億5,000万toe

(出所：「IEA 輸送用バイオ燃料ロードマップ」, 2011.4.20)

表2に示すように、エタノール 2.7 億 toe（全体の 37%）、BDF 2 億 toe（同 26%）に加え、現時点で未導入の航空機用 2 億 toe（同 26%）、船舶用 8,000 万 toe（同 11%）が導入されると予想されている。

2010 年にバイオ燃料の平均混合率は 3% を超えた。Shell 社、BP 社等オイルメジャーは、かねてから 3% を超えたらエネルギーポートフォリオの一角と見なすという見解を示していたので、これを機にブラジルで大型投資を実行した。Shell 社はエタノール最大手 COSAN 社と合弁会社 Raizen 社を設立し 220 万 kl / 年の製造会社を傘下に収め、5 年後 500 万 kl / 年まで拡大する旨を発表。一方、BP 社は 180 万 kl / 年のエタノール製造会社 CNAA 社を買収した。また、既に米国で先行する ADM 社、Bunge 社等穀物メジャーもブラジルに進出し、正に世界のビッグプレイヤーが出揃った。

この成長の原動力は、政策的に導入され、国の支援に基づき戦略産業として育成されるバイ

オマスエネルギーの特性である。すなわち、図 1 に示すように、バイオマスエネルギー導入の背景は 3 つあるが、まず「エネルギー政策」ではエネルギー源多様化の観点からエネルギーポートフォリオの一角を占める存在に位置付けられ、次に「農業政策」では農業を起点とした複合産業の創造という意味で 6 次産業化を実践しており、さらに「環境政策」では二酸化炭素 (CO₂) を削減するために確実かつ有効な手段として位置付けられているからである。

バイオマスエネルギーはこの 3 つの政策に基づき導入され、さらに産業政策として雇用創出を目的に推進が図られ、欧米起点の新たな戦略的グローバル産業として世界中に普及している。

3. 米国のエタノール燃料産業

図 2 に示すように、米国は 2006 年以降ブラジルを抜き世界一となり、2011 年には 140 億

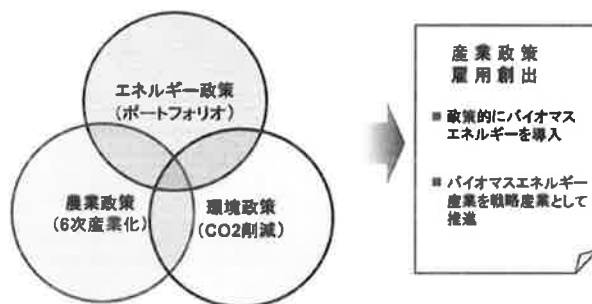


図1 バイオマスエネルギーの政策導入・戦略産業化

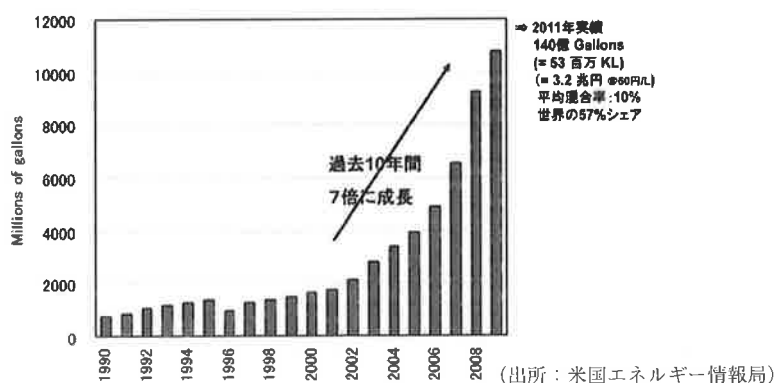


図2 米国のエタノール製造量の推移

ガロン (= 5,300 万kl) と世界の 57% のシェアを占め、平均混合率は 10% に達した。米国のエタノールは過去 10 年間で 7 倍に成長したが、この推進役は米環境保護庁 (EPA) で、2004 年に大気汚染対策として RFS (Renewable Fuel Standard) を法制化、2007 年に改訂版 RFS2 で非常に意欲的なバイオ燃料使用義務量を設定。これによってエタノールの導入は飛躍的な伸びを示した。

図 3 に示すように、米国のエタノールは一大産業で 2011 年には 218 工場で 5,300 万kl を製造し 3 兆円を超える規模の産業に発展した。この産業構造として 2 つのトライアングルが有機的に機能したと考える。まず需要サイドでは「政府」主導で、「石油業界」に RFS、「自動車業界」に CAFE (自動車燃費基準) を適用し、政策誘導により強制的にエタノール燃

料の市場を作った。一方、供給サイドは「トウモロコシ農家」が主体で、「プラントエンジニアリング会社」が技術面を、「銀行・Fund・VC」が資金面を担い、正に 6 次産業的にエタノール製造事業者として新規参入を図った。需要側の石油会社は RFS2 義務量達成のため再生可能エネルギークレジット制度 (RIN) に基づき製造事業者からエタノールを購入。係るスキームが有効に作用し需要見合いで供給体制整備が行われ新産業として急成長した。

RFS2 バイオ燃料使用義務量ではトウモロコシ由来のエタノール使用上限を 150 億ガロン (5,700 万kl) と定め、それを超える義務量はセルロース由来エタノール等先進バイオ燃料の導入で賄おうとしている。図 4 に示すように、2015 年にはトウモロコシエタノール上限の 150 億ガロンに到達し、先進バイオ燃

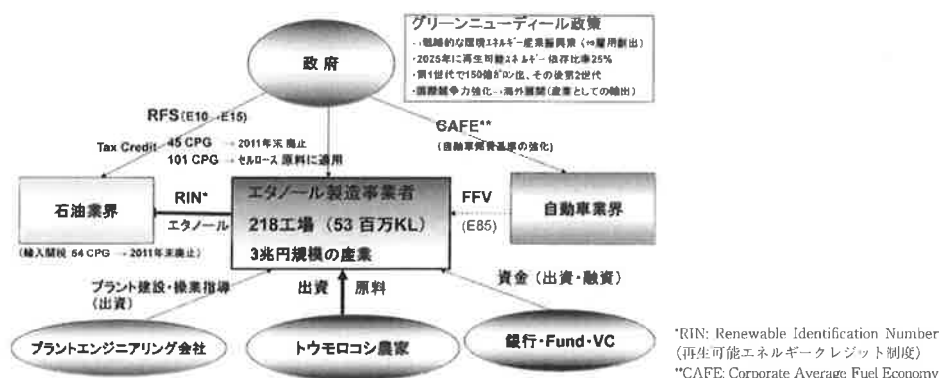


図 3 米国のエタノール燃料産業構造

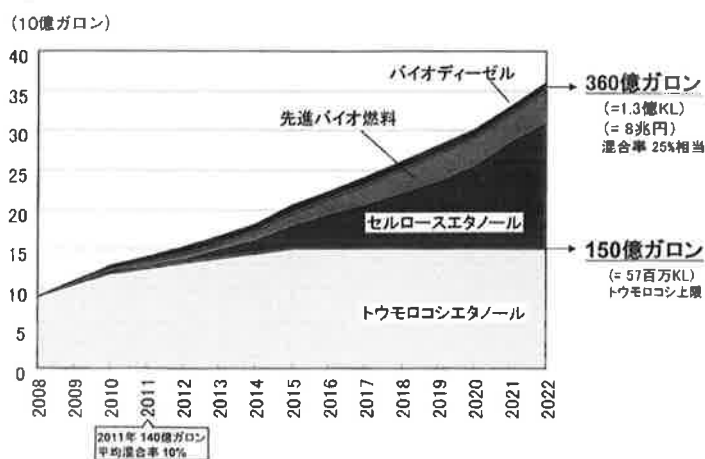


図 4 米国 RFS2 バイオ燃料導入計画 (使用義務量)

料 55 億ガロンと併せ 205 億ガロンとする計画で、さらに 2022 年には先進バイオ燃料導入を 210 億ガロンまで拡大し、全体で 360 億ガロンの導入を図る計画となっている。なお、先進バイオ燃料は LCA ベースで 50% 以上 CO₂ 削減可能なものと定義され、サトウキビ由来エタノールや BDF (Bio Diesel Fuel) も含めることとなっている。セルロースエタノールは未だ商業生産技術が確立されておらず、2010 年以降設定の当該使用義務量は未達の状況だが、EPA は 2013 年分までは総使用義務量の見直しは行わずに、一応総使用義務量は達成したという体裁を整えるために辻褃合わせ的な運用を行っている。具体的には、2011 年はセルロースエタノール使用義務量 2.5 億ガロン分をトウモロコシエタノール増産分で補ない、総使用量目標 139.5 億ガロンを上回る 140 億ガロンの実績を計上した。2012 年は、干ばつによるトウモロコシの不作と、2012 年からガソリン税免除 45 セント/ガロンと輸入関税免除 54 セント/ガロンのインセンティブ制度廃止による影響から、エタノールの生産量は初めて前年比割れの 133 億ガロン（義務量は 132 億ガロン）となったが、セルロース分 5 億ガロンは BDF 追加導入と RIN 繰越し分充当で賄うことで 152 億ガロンの総使用義務量を達成した。2013 年は、EPA が昨年 8 月 7 日に声明を出してセルロース分の使用義務量 10 億ガロンを 600 万ガロンに下方修正したが、165.5 億ガロンの総使用義務量は据え置く

旨を発表。BDF と RIN に加えて 2013 年分の適用期間を 2014 年 6 月 30 日まで延長して達成を図る予定。なお、2014 年分の RFS2 使用義務量は 2014 年 6 月 30 日までに見直すことを同時に発表した。

4. 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

日本は、バイオマスエネルギー分野において現時点では欧米に比べて後発ポジションにある。その欧米と日本の比較を表 3 に示す。まず、エネルギー政策では、欧米はエネルギー安全保障の意味合いが強く、バイオマスエネルギーは再生可能エネルギーの中でメジャーな存在で、エネルギーポートフォリオの一角を占める形で大規模な導入目標が設定され産業規模の市場が形成されている。一方、日本でも 3.11 以降電力分野で再生可能エネルギーに注目は集まっているが、バイオマスエネルギーへの注目度は極めて低くマイナーな存在である。次に、農業政策では、欧米では農産物の新たな利用用途として市場拡大を図る志向が強く、農業事業者のエネルギー産業への異業種参入による新産業創出という 6 次産業化が実現した。特に米国ではトウモロコシ農家の収入アップと政府補助金の大幅削減が結果として達成された。それに比べて、日本ではプラントメーカー等による技術開発や実証事業の域を出ない取組みである。また、環境

表 3 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

	欧米	日本
エネルギー政策	●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中のメジャーな存在 ●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	●再生可能エネルギーの中の劣等的存在 ●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	●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	●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	●最も確実で効果的な大規模 CO₂ 削減手段	●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	●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 ⇒ 競争力・市場価格転化	●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)

政策では、欧米では効果的な CO₂ 削減手段とされているが、日本ではその意識は低く、食との競合や生物多様性等負の側面が必要以上に強調されるきらいがある。産業政策面では、欧米では戦略産業と位置付けられているので日本とは考え方に根本的な違いがある。日本でも今後意識転換が図られ、新産業創造や雇用創出の視点での戦略的アプローチが行われることが望まれる。

5. 日本のエネルギー事情と日本政府のバイオマスエネルギー関連政策

2012 年度版エネルギー白書（2010 年度統計ベース）によれば、日本はエネルギー自給率が 4.4% と極端に低く、一次エネルギーにおける化石燃料依存度が 81%、石油依存度が 41%、石油の中東依存度が 87% と極端に高く、さらにはエネルギー起源の CO₂ が 90% 弱と高い（世界平均は 62%）という我が国固有の問題を抱えている。また、世界的な資源ナショナリズムの台頭と中国等消費国間の資源獲得競争の激化によって深刻化するエネルギー安全保障上の問題、さらには 3.11 以降原子力発電代替の LNG 等火力発電用燃料輸入急増の問題から、これを少しでも改善する対策として、再生可能エネルギー、とりわけバイオマスエネルギーを加速度的に導入する必要がある。

次に、日本政府のバイオマスエネルギーに関連する象徴的な 3 つの政策を以下に列举する。

（1）エネルギー供給構造高度化法（2011 年 4 月施行、経産省）

エネルギー供給構造高度化法（以下「高度化法」）によってエタノール導入が義務化された。2011～17 年度の導入義務量は表 4 の通

りで、上が石油換算義務量、下がエタノール換算量である。

米国、ブラジル等諸外国ではエタノールをガソリンに直接混合する形式（E10、E15、E25、E85 等）だが、日本では、石油会社指導に基づき ETBE（ガソリンのオクタン価向上剤 MTBE の代替品。メタノールの代りにエタノールを、イソブテンと約 4：6 の比率で混合した添加剤）をガソリンに混入する形式を取っており、これがバイオガソリンの名称で販売されている。2013 年度は、全ガソリンの 1 割強の 600 万 kℓ にエタノールを 35 万 kℓ（ETBE 84 万 kℓ）混入したバイオガソリンが販売され、義務量が達成された。なお、2010 年版エネルギー基本計画では 2020 年のエタノール導入目標をガソリンの 3% 以上と定めたが、高度化法の 2017 年度義務量 50 万 kℓ は、ガソリンが現在の 4 分の 3 の 4,000 万 kℓ に減ったと仮定しても、導入比率は 1.25% 相当にしかない。

高度化法運用上の判断基準として設定された持続可能性基準では、CO₂ 削減量を LCA ベースで 50% 以上減らすことが条件とされている。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目標や、食料競合や生物多様性について国がモニタリング・評価することが規定された（この検討委員会には筆者も参加した）。

なお、エタノールの調達には石油会社 8 社共同出資の一元的調達窓口 JBSL（バイオマス燃料供給有限責任事業組合）が行なっている。国内のエタノール製造事業者は、図 5 に示すように、北海道の北海道バイオエタノール（三菱商事出資先）とオエノンホールディングス、新潟県の JA 全農の 3 社で何れも農水省補助事業として実施しているが、国内原料調達の制約から生産能力は合計でも年間 3.1 万 kℓ に

表 4 エネルギー供給構造高度化法におけるバイオエタノールの導入義務量

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

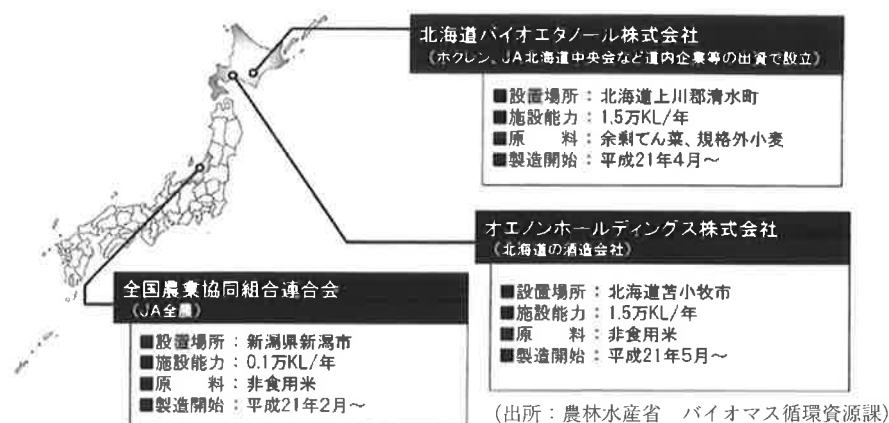


図5 日本のバイオエタノール製造の取組み（農水省実証事業）

とどまる。従い、JBSLはエタノールの大半をブラジルから輸入しており、ETBE転換も国内製造設備で賄えない分は米国で転換した上でETBEとして輸入している。

(2) バイオマス活用推進基本計画（2010年12月閣議決定、農水省）

農水省は2020年に5,000億円規模のバイオマス産業創出を掲げた「バイオマス活用推進基本計画」を2010年12月閣議決定。2012年度、7府省横断組織「バイオマス活用推進会議」付属委員会「バイオマス事業化戦略検討チーム」（筆者も参加）で議論した結果を「バイオマス事業化戦略」として2012年9月に発表し、バイオマス利用技術ロードマップで事業化推進分野・スケジュールを特定し、その事業化推進策として「バイオマス産業都市構想」が提示した。

(3) 再生可能エネルギー固定価格買取制度（以下「FIT」）（2012年7月1日、経産省）

経産省資源エネルギー庁（以下「エネ庁」）は3.11以降の再生可能エネルギーの導入促進を目的にドイツ等欧州先行事例を参考に制度設計したFITを2012年7月1日導入した。この制度は、電力会社がエネ庁認定の再エネ発電事業者からFIT買取価格で電気を20年間固定で買取るものである。買取価格は事業者が事業採算を確保できるレベルで算定されており、導入実績に基づき毎年見直されるが、当初3年間は特別導入促進期間として優遇措置がとられる方針である。

バイオマスの買取価格は、表5の通り5種類で、内訳は直接燃焼発電4種類とガス化発電に分かれる。ガス化発電はメタン発酵発電のみが対象で39円/kWh（税抜き）。その他

表5 バイオマス発電のFIT買取価格

電源		バイオマス						
買取区分		ガス化 (下水汚泥)	ガス化 (家畜糞尿)	固形燃料燃焼 (未利用木材)	固形燃料燃焼 (一般木材)	固形燃料燃焼 (一般廃棄物)	固形燃料燃焼 (下水汚泥)	固形燃料燃焼 (リサイクル木材)
費用	建設費	392万円/kW	41万円/kW	41万円/kW	31万円/kW			35万円/kW
	運転維持費 (1年当り)	18.4万円/kW	2.7万円/kW	2.7万円/kW	2.2万円/kW			2.7万円/kW
IRR		税前1%	税前8%	税前4%	税前4%			税前4%
買取価格 (kWh当り)	区分	【メタン発酵ガス化 バイオマス】	【未利用木材】	【一般木材(含 パルプ製紙)】	【廃棄物系(木質以外) バイオマス】			【リサイクル木材】
	税込	40.95円	33.60円	25.20円	17.85円			13.65円
	税抜	39円	32円	24円	17円			13円
買取期間		20年						

4 種類中木質系燃料の 3 種類は未利用木材 32 円 /kWh (同), 一般木材 (輸入木材やパーム種子の殻 PKS 等も含む) 24 円 /kWh (同), 建設廃材等リサイクル木材 13 円 /kWh (同)。廃棄物系は 17 円 /kWh (同) である。

6. FIT によるバイオマス発電の状況

FIT による再生可能エネルギー導入目標値の正式公表はないので、2012 年 9 月 14 日公表の「革新的エネルギー・環境計画」と「再生可能エネルギー導入 15 シナリオ」から引用した数字に基づく 2030 年度導入目標と 2010 年度実績を比較したものを表 6 に示す。2010 年度総発電量 1.1 兆 kWh を 2030 年度に 1 割減の 1 兆 kWh にする前提。水力を除く再生可能エネルギー総電力量の 2010 年度実績 250 億 kWh を 2030 年に 8 倍の 1,900 億 kWh にするという目標で、これに水力を加えて 3,000 億 kWh とし

再生可能エネルギー発電比率を 30% とする目標である。これは民主党政権時の計画であって見直される可能性はあるが、原発比率に拘わらず「再生可能エネルギーの最大限の導入を図る」という政府方針に変わりはないので、これを前提に考えることとする。この内訳は、太陽光を 17.5 倍 (666 億 kWh) に、風力を 15.4 倍 (663 億 kWh) にするという可也難しい計画となっており、この 2 つで 7 割を賄う予定だが、これに比べバイオマスは控えめで 2.3 倍の 328 億 kWh とする計画で貢献度は 17% である。また、設備利用率で見ると、太陽光が 12%, 風力が 20%, バイオマスが 80% にて、設備導入容量見合いの発電電力量が低くなる特徴がある。係る状況から、太陽光、風力を最大限導入するべきではあるが、現在あまり注目されていないバイオマスの導入促進を積極的に図り電力量を稼ぐ政策が今後検討されるべきと考える。

表 7 は昨年 10 月末時点の再生可能エネルギー

表 6 電源別の再生可能エネルギーの導入目標

	2010年	2030年	倍率
① 総合発電電力量	11,000億kWh	10,000億kWh	▲10%
水力を除く再生可能エネルギー総電力量	250億kWh[2.3%] (900万kW)	1,900億kWh[19%] (10,800万kW)	8倍 (12倍)
② 内訳			
太陽光[設備利用率:12%]	38億kWh (400万kW)	666億kWh[35%] (6,000万kW)	17.5倍
風力[設備利用率:20%]	43億kWh (250万kW)	663億kWh[35%] (4,000万kW)	15.4倍
バイオマス[設備利用率:80%]	141億kWh (210万kW)	328億kWh[17%] (500万kW)	2.3倍
その他[設備利用率:80%]	28億kWh (40万kW)	243億kWh[13%] (300万kW)	8.7倍

(出所: ①総量:『革新的エネルギー・環境戦略』, エネルギー・環境会議, 平成 24 年 9 月 14 日)
②内訳:『再生可能エネルギー導入 15 シナリオ』他

表 7 再生可能エネルギー発電設備導入・FIT 認定状況 (平成 25 年 10 月末)

(単位:万kW)									設備認定容量 (平成24年7月～ 平成25年7月末)
設備導入量(運転を開始したもの)									
	固定価格買取制度導入前 平成24年6月末までの 累積導入量	平成24年度 (7～3月末)	固定価格買取制度導入後 平成25年度(4～10月末)						
			4～7月末	8月分	9月分	10月分			
太陽光(住宅)	約470	96.9	87.0	55.2	13.0	10.0	8.7	204.2	
太陽光(非住宅)	約90	70.4	312.3	169.1	44.5	41.9	56.8	2,249.0	
風力	約260	6.3	0.7	0.3	0	0.4	0	83.7	
中小水力	約960	0.2	0.3	0.1	0	0.1	0.1	12.6	
バイオマス	約230	3.0	8.2	7.1	0.5	0	0.6	71.0	
地熱	約50	0.1	0	0	0	0	0	0.5	
合 計	約2,060	176.9	408.3	231.7	58.0	52.4	66.2	52.4	
		585.2						2,621.1	

表8 2030年目標対比 FIT 発電量達成状況（平成25年10月末）

	2030年の目標	FIT導入以前 (2012.7時点)	FIT導入後の 発電量目標	FIT発電量 〔設備認定〕	構成比 〔認定〕	達成率 〔認定〕
太陽光 (利用率:12%)	666億kWh (6,000万kW)	62億kWh (560万kW)	604億kWh (5,440万kW)	54.4億kWh (566.6万kW) 〔237.5億kWh (2,153.2万kW)〕	86% (97%) 〔78% (94%)〕	9% 〔39%〕
風力 (利用率:20%)	663億kWh (4,000万kW)	43億kWh (260万kW)	620億kWh (3,740万kW)	1.1億kWh (7.0万kW) 〔13.4億kWh (83.7万kW)〕	2% (1%) 〔4% (3%)〕	0.2% 〔2%〕
バイオマス (利用率:80%)	328億kWh (500万kW)	151億kWh (230万kW)	177億kWh (270万kW)	7.2億kWh (11.2万kW) 〔45.4億kWh (71万kW)〕	11% (2%) 〔15% (3%)〕	4% 〔24%〕
地熱/小水力 (利用率:80%)	243億kWh (300万kW)	57億kWh (70万kW)	186億kWh (230万kW)	0.3億kWh (0.5万kW) 〔8億kWh (12.6万kW)〕	1% 〔3%〕	0.2% 〔4%〕
再生可能エネ ルギー合計 (除く、水力)	1,900億kWh (1億800万kW)	313億kWh (1,120万kW)	1,587億kWh (9,680万kW)	63億kWh (585.3万kW) 〔302.3億kWh (2,620.5万kW)〕	100% 〔19%〕	4.0% 〔19%〕

ギー発電設備導入量（FIT 前・後）と設備認定容量のエネ庁発表で、表8はこれを発電電力量に換算して表6の2030年度目標と対比したものである。これで明らかなのは、設備導入容量の97%、認定ベースでも94%が太陽光に偏っていることである。しかしながら、これでも太陽光の達成率は9%で、認定ベースでは39%ではあるが設備認定のみ受けて着工しない事業者が多く認定取り消しが検討されている状況である。設備利用率の低い太陽光偏重の図式から全体の達成率は4%にとどまり、2030年度の目標達成のためには発電電力量をさらに1,524億kWh（＝1,587－63億kWh）を上積みする必要がある。一方、バイオマスについては達成率がまだ4%、認定ベースで24%となっている状況だが、これらは全てバイオマスの専焼発電である。今後発電量が稼げる石炭火力発電所でのバイオマス混焼を積極的に推進して発電電力量を稼ぐ方策が有効と考えられ、これも加味すればバイオマス発電の目標数字を上方修正することは可能と考える。

7. バイオマス発電、とりわけ混焼発電の推進について

（1）バイオマス発電のメリットと課題

バイオマス発電のメリットは、まず設備利用率の高い安定電源であること。また、火力

発電同様、発電量を主体的にコントロールできるので、太陽光、風力発電のバックアップ電源にもなり得る。さらに、太陽光、風力と違い、燃料が輸送できるので、必ずしも原料立地で発電を行う必要はない。一方、課題は、バイオマスの国内調達には限りがあり容易でないことである。

（2）バイオマス混焼発電のメリットと課題

次にバイオマス混焼発電のメリットは、バイオマス専焼発電ではバイオマス100%で発電可能な流動床ボイラー等の新規設置が必要だが、混焼発電は既設の微粉炭ボイラーで石炭を一部バイオマスで代替する燃料転換だけで良く、原則新規設備投資は不要である。この微粉炭ボイラーは発電効率が40～45%にて、流動床ボイラーの25～30%より15%程度高い。ただし、以下2つの課題があるので、これらを解決しない限り普及は限定的なものとなる。

① 既設ボイラーの場合、石炭と混焼したバイオマス分のみFIT買取価格で売電できない。

電気事業法の「1事業所1受電点」規制によって受給契約単位は1需要場所につき1契約種別にて、引き込み線・計量装置は1回線しか認められない。このためバイオマス分のみをFIT買取価格で売電することができず（売電価格はバイオマスと石炭の平均値となり）、自家発電

用に微粉炭ボイラーを保有する工場はFITによる売電事業に進出することができない。ボイラーを新設する事業者には特例措置として回線の追加が認められているが、既設ボイラーを活用する場合には認められていないので、「1事業所1受電点」規制の緩和が行われるか、RPS法の運用のようにバイオマス比率を規定して当該分をFIT適用によって売電することを認める方向での制度改革が必要である。

② 木質チップ・ペレットの微粉炭ボイラーでの石炭との混焼率上限はカロリー比3%。

これは粉化しづらい木質チップ・ペレットを微粉炭ボイラーのミルで石炭と混合粉碎可能な上限として規定された基準である。欧州のようにバイオマス混焼を前提にバイオマス専用ミルを備えた微粉炭ボイラーを導入すれば5～10%程度の混焼は可能だが、カロリー低下によるボイラー効率低下を招き10%以上の混焼は現実的ではない。そこでこの混焼率大幅アップのために後述するTorrefaction技術の開発が行われており、この早期商業化への期待は大きい。

8. 政策面の今後の検討課題と方向性

2010年版エネルギー基本計画では一次エネルギーに占める再生可能エネルギーの割合を2020年10%、2030年13%にする目標が掲げられている。これは欧州連合(EU)の2020年20%、米国の2025年25%の目標と比べれば低い目標だが、少なくともこの目標は達成する必要があると思う。

目標達成のための方法論としては、上述のFITによる電力部門での再生可能エネルギー電力導入をバイオマスも含めた形でさらに積極推進することが急務だが、再生可能エネルギー導入総量を大幅に増やす方策として輸送用バイオ燃料の導入促進が極めて有効と考える。今後、エタノールやBDFの本格的な導入促進、さらにバイオジェットの導入検討が必要と考えるが、そのためにはFITのように参入事業者の

リスク・リターンが見合う事業環境の整備と仕組み作りが不可欠と考える。

9. プロジェクトの適正評価手法について

バイオ燃料事業の推進可否につき様々な議論があるが、これには然るべき評価軸に基づき議論すべきと考える。その評価軸として、以下の通りエネルギー源としての7つの評価軸と、当該技術の成熟度と原料の供給余力の2つの視点を加味した多面的な総合評価を行うべきと考える。

- (1) 効率性：EPR (Energy Profit Ratio=投入エネルギーと出力の比率)、エネルギー密度
- (2) 利便性：貯蔵、輸送・移送、物流の利便性
- (3) 供給安定性：原料供給量、価格変動リスク
- (4) 安全性：操業リスク、危険物等
- (5) 経済性：LCC (ライフサイクルコスト) ベース、波及効果 (一次・二次) を含む経済効果
- (6) 環境性：LCA ベースでのCO₂削減、副産物や廃棄物の処理
- (7) 社会性：新規雇用創出効果、既存産業 (農業、林業等) に与えるインパクト

10. バイオ燃料産業のサプライチェーン

産業として考えるためには、図6に示す通りサプライチェーン全体を考慮する必要がある。

まず「販売」なくして「製造」はないので、「販売」が担保された上で「原料」調達を、最後に「製造」という順序でサプライチェーンを完備することが肝要である。「販売」するには市場があることが前提で、まずは規模感のある安定市場を作るところから始めるべきである。その次に、市場に見合った「原料」を必要な量・価格で安定調達できる環境が整った上で製造事業の立ち上げを検討するという順序である。製造事業は民間企業の範疇だが、安定的な市場創造や原料確保に関しては政府系機関の関与が必要と考える。即ち、市場ができて需要変動や市場価格変動のリスクがあまりにも大きいと民間では吸収しきれない

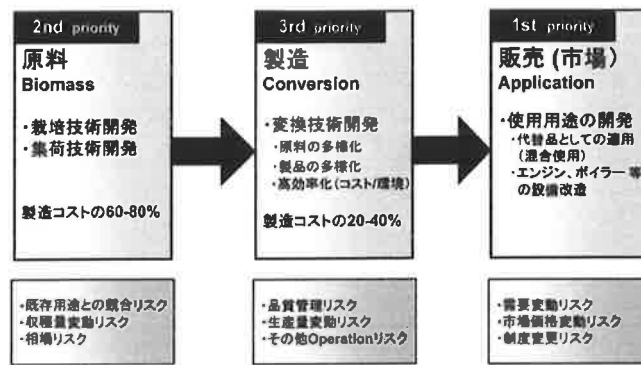


図6 バイオ燃料産業のサプライチェーン

ので、義務化導入による数量の確保とインセンティブを付与による市場価格安定化を図り、安定市場を確立する必要がある。

また、原料では、食との競合に代表される既存用途との競合リスクの回避が極めて重要で国や第三者機関による認証制度の導入等の対策が有効と考える。さらに、製品と原料の量的ミスマッチや相場の非連動性による事業採算変動リスクに対してリスク・リターンを見合う事業環境を整えるための仕組み作りが必要である。これらのリスク回避策が講じられグラウンド整備ができた段階で、民間企業がバイオ燃料製造事業に参入するという順序で取進めるべきである。技術開発では、バイオ燃料は現行技術で原料コストが製造コストの6～8割を占めるので、原料のコスト削減に繋がる栽培技術や集荷技術開発が重要な要素を占める。また、製造技術では原料の多様化に繋がる技術開発が重要である。なお、第1世代と第2世代の液体バイオ燃料に関しては、食との競合や土地の取り合い等の問題は当然避けるべきだが、第1世代の穀物系燃料も、

ルール化することで一定量まで導入し、その延長線上で、第1世代原料の残渣を使って第2世代へ移行していくのが現実的な選択肢と考える。図7に示すように、第2世代技術の商業化タイムフレームを正しく把握した上で、第1世代と第2世代バイオ燃料に並行的に取組み、カスケード利用による共生を図り、技術開発の時間軸を念頭において第2世代バイオ燃料の導入量を徐々に増やしていくというアプローチが必要と考える。

11. セルロースエタノール

図8にバイオエタノールの製造プロセスを示す。お酒とバイオエタノール製造の違いは、味を気にせず大量生産し、脱水してアルコール濃度を99.5%まで上げることである。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方法だが、トウモロコシ、麦、米、キャッサバ等デンプン系原料は発酵前にデンプンを酵素で糖に変換する糖化工程が加わる。農業残渣や木質原料・

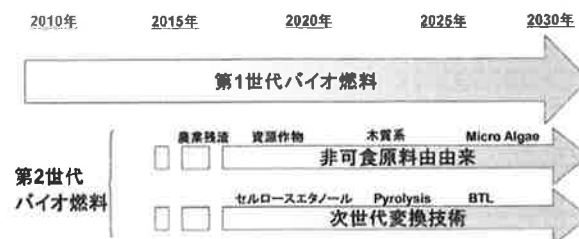


図7 第1世代と第2世代バイオ燃料の共生

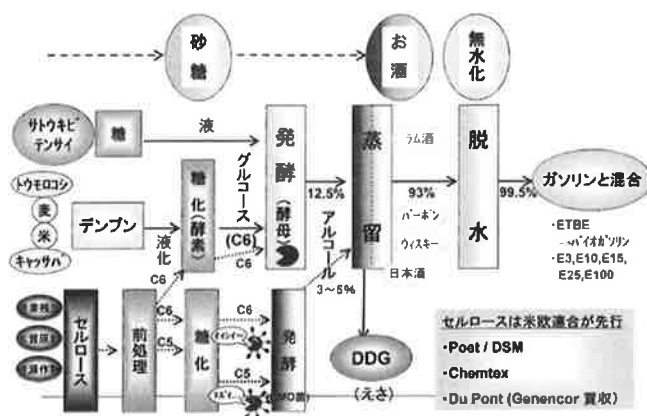


図8 バイオエタノール製造プロセス（セルロース併設）

資源作物等セルロース原料は、そのままでは酵素糖化できぬため、前処理することで酵素が働く環境を整えて糖化する。この糖化液を遺伝子組換え菌（GMO 菌）を使って発酵させてエタノールを作る。これでできたアルコールは濃度が薄いので（通常 12.5% に対し 3～5%）、蒸留・脱水工程でのエネルギー消費が大きくコストがかかる等の課題もある。

日本では経産省、農水省等の補助事業で、多数のグループがセルロースエタノールのプロセス開発に取り組んでいる。JX 等 6 社のバイオエタノール革新技术研究組合、王子製紙・新日鉄エンジニアリンググループ、神戸大学グループ等の取り組みが有名だが、どの取り組みもまだ商業化への道のりは遠い。一方、米国は日本より先行しており近々年産 10 万 kℓ 規模の商業生産プラントが稼働すると再三報道されるが生産は未だ確認されていない。エタノール最大手の POET 社は全米 26 カ所の工場で年産 400 万 kℓ 以上トウモロコシエタノールを製造しているが、その残渣を原料とした製造技術確立して既存設備に追加設置（レトロフィット）するコンセプトで展開を目指している。また、プラントエンジニアリング会社の Chemtex や世界最大の化学品会社 DuPont も開発を進めており、これらは商業化が近いと言われているが、開発課題は未だに残っている模様である。

エネ庁は 2013 年 3～7 月「第 2 世代バイオ燃料の戦略検討会」（筆者も参加）を開催して

平成 26 年度以降の取組み方針を議論した。技術開発動向が不明確な現状下、明確な戦略策定には至らなかったが、今後米国等とのベンチマークを正しく把握した上で、日本が商業展開を図るにあたって妥当なビジネスモデル（生産量、原料、製造場所、製造コスト、時期等）を想定して、日米協調の可能性も視野に入れて、製造プロセス開発戦略を策定するという方向性を確認した。

12. バイオジェット

ジェット燃料は電化できない分野なのでバイオ燃料が今後 CO₂ 対策の主流になると思われる。現在ジェット燃料は世界で約 3 億 kℓ 使われ、内民生用は約 2.3 億 kℓ だが、この 1% の 230 万 kℓ をバイオジェットで代替することをボーイング社が提唱している。2012 年に EU が域内排出量取引制度（EU-ETS：Emission Trading System）で、EU に乗り入れるジェット機は一律 15% 以上 CO₂ 削減という規制を発表。その後中国等の反対や EU 経済状況悪化もあり見直しはされたが、航空業界ではバイオジェット導入機運が高まっている。ボーイング社は航空機の CO₂ 削減手段としてバイオジェットが最も有効との見解を示し熱心に取り組んでおり、バイオジェット燃料の米国 ASTM 品質規格作りを主導したり、航空会社に呼びかける等先導役を果たしている。パイ

オジェット燃料導入の検討のため、米国の海軍や空軍、ルフトハンザ等欧州航空会社、米国ユナイテッド航空（UA）、日本も日本航空（JAL）、全日本空輸（ANA）がデモフライトを実施。一部商業フライトでも使用された。このように需要先行型のバイオジェット燃料ではあるが、現時点では供給量と価格レベルに見合う原料調達が困難という問題から未だ商業化には至っていない。図9にバイオジェット燃料の製造方法を示す。元々のジェット燃料ケロシン製造技術の水素化・異性化・精製技術で植物油原料から製造することは技術的に可能である。植物油原料には、菜種油、大豆油、パーム油があり、これらは既にBDFに使用されているが食料との競合の危険性がある。その代りとして、カメリナ（菜種の一つ）、カリナタ（マスタード）、ジャトロファ（南洋アブラギリ）等の油が使える可能性があると思うが、これらは未だ商業栽培されていないので、バイオジェットの導入数量、価格、時期見合いに栽培を行う形を取る必要がある。将来的にはMicro Algae（微細藻類）原料の

活用も有り得るかもしれぬが、これには相当長い期間技術開発が必要と認識している。また、将来熱分解（Pyrolysis）やBTL（Biomass To Liquid = バイオマスのガス化・液化）の技術が商業的に成立つようになれば、セルロース系や廃棄物系バイオマスから作ることも有り得ると思う。何れにせよ、当面は植物油原料から数量を限定して製造する形で徐々に導入を図るのが現実的と思うが、その際に導入価格に関しては何らかのインセンティブ適用が必要である。

13. Torrefaction（半炭化）

固体バイオ燃料では、いわば次世代ペレット製造技術としてTorrefaction（半炭化）がある。図10に示すように、Torrefactionは通常のペレット製造工程の前処理技術で、バイオマス1を投入して、コーヒーの焙煎のように、無酸素状態、300℃以下で30分弱蒸し焼きにすると重量が約3割減の0.7となる。一方、エネルギーは1割減の0.9になるので、

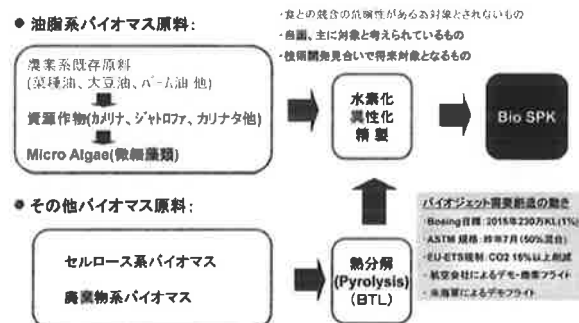


図9 バイオジェット燃料（Bio SPK）の製造方法

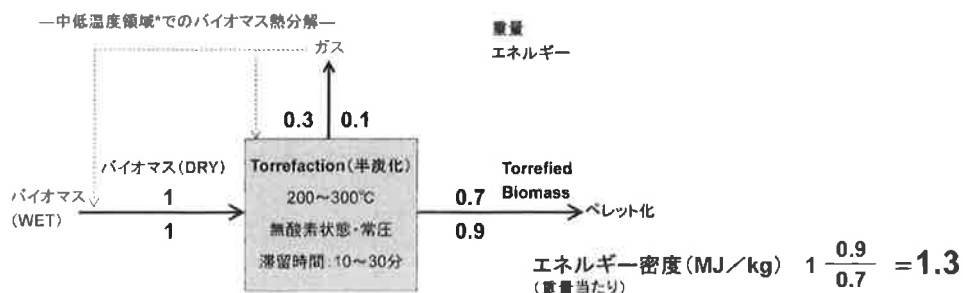


図10 Torrefaction（半炭化）とは？

エネルギー密度が約 1.3 倍に上がるという技術。また、このプロセスではオフガスを回すことで外部投入エネルギーをできるだけ使わずに Torrefaction 反応を進めるのが基本である。未だ商業生産には至っていないが、既に Torrefaction 後ペレット化した Torrefaction Pellet（以下「TP」）を 1 トン /h 連続生産できる Demo Plant の稼働を確認しているので、商業化は近いと考えられる。図 11 の通り、通常のペレット（左側）は水に浸すと膨潤するが TP は耐水性が担保される。表 9 に木質チップ、ペレットと TP との組成比較を、表 10 に TP のメリットを示す。通常ペレットに比べて重量当りエネルギー密度は 1.3 倍だが、かさ比重を考慮すると体積当りでは 1.5 倍になり、輸送・貯蔵効率は 1.5 倍となる。また、粉碎性が良好にて、通常カロリー比 3% が上限の微粉炭ボイラーでの混焼率が 30% 以上になることが実機試験で確認されており、理論的には 100% でも問題ないと言われている。

また、将来的には林業残渣のみならず、農業残渣も含めた原料の多様化の可能性もある。

なお、三菱商事は平成 22 年度の農水省「緑と水の環境技術革命プロジェクト事業」でサンプル製造を含めフィージビリティスタディのための様々な調査を行なった経緯がある。

図 12 に示すように、この TP 製造による複合プロジェクト展開のコンセプトとしては、森林資源ではチップから通常のペレットを作り、その残渣で TP を作る。一方、農業資源の糖・デンプンからはエタノールを作り、植物油で BDF を作るが、その残渣部分を活用して TP を作る。また、セルロースエタノールや BTL は将来的な技術なので、TP で原料確保を行ない、将来的に原料をシフトすることも考えられる。セルロース原料も将来取り合いになる可能性が想定されるので、まずアジアで TP 製造を行ない、原料を確保し、それに基づき展開を図る図式が考えられる。

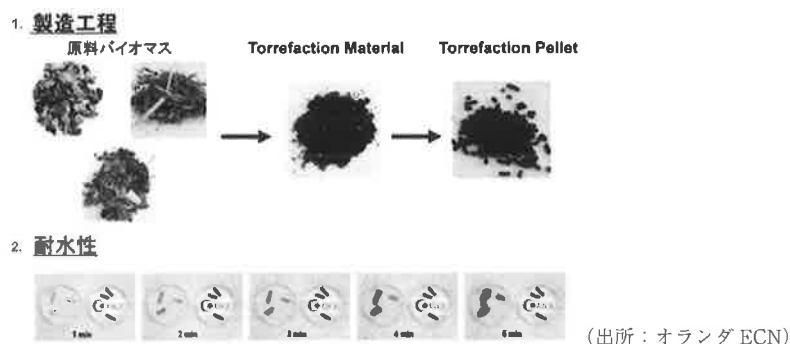


図 11 Torrefaction Pellet とは？

項目(単位)	木質チップ	木質ペレット	Torrefaction Pellet
含水率(%)	35%	10%	3%
重量当たりのエネルギー密度 LHV (MJ/kg)	10.5 (67%)	15.6 (100%)	19.9 (128%)
かさ比重(kg/m ³)	475	650	750
体積当たりのエネルギー かさ密度 (GJ/m ³)	5.0	10.1	14.9
輸送効率(比率%)	△ (50%)	○ (100%)	◎ (150%)
貯蔵・ハンドリング性	○	△	◎
粉碎性	△	○	◎

(出所：オランダ ECN)

表 9 Torrefaction Pellet の組成
(木質チップ、木質ペレットとの比較)

1. 良好な粉碎性	➡ 石炭混焼率大幅UP (3% ⇒ 30%以上)
2. 高エネルギー密度 (20MJ/kg, 15GJ/m ³)	➡ 輸送・貯蔵効率の向上 (木質チップの3倍、木質ペレットの1.5倍の効率)
3. 疎水性、非発酵性	➡ 耐水性、自然発火防止 石炭に準ずるハンドリング性 (新たな貯蔵設備への投資は原則不要)
4. 原料の多様化	➡ 林業残渣、農業残渣等未利用資源 混合バイオマス原料の使用 生産量拡大、コストダウン

表 10 Torrefaction Pellet のメリット

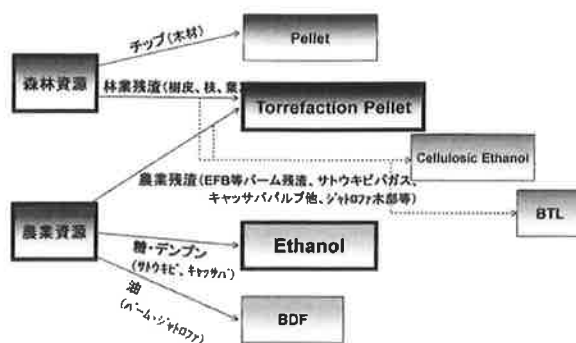


図 12 Torrefaction Pellet 製造における複合プロジェクトの展開

14. Asia-Pacific Biomass Community の構築に向けて

最後にバイオマスエネルギー産業を日本のイニシアティブでアジア・大洋州にて展開することを図 13、図 14 に示す通り提案する。国内で最大限製造するべきではあるが、製造拠点を一部アジアに置く視点も必要と考え

る。サステナビリティを考慮してサプライチェーン全体を作り、かつリスク・リターンが見合うモデルを構築することが肝要である。マーケットは、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、国内製造で不足する部分をアジアで製造して開発輸入を行なう。また、製造したものの半分程度は現地消費に充当して、「開発輸入 + 地産地消」型モデ



図 13 持続可能なバイオマス複合産業の展開

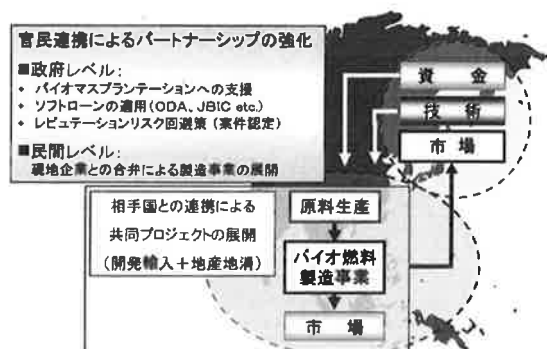


図 14 バイオマス産業でのアジア・大洋州との連携 (Asia-Pacific Biomass Community の形成)

ルでの展開を図る。マーケットの前提条件として数量と価格の安定があるが、安定販売を可能にするため、数量は長期契約、価格は原料リンク（コスト＋フィー）といった条件を整えることが必要でFIT的なコンセプトでの政策運用が望ましい。安定市場が存在すれば、次に原料確保のためにバイオマスプランテーション的な展開を図ることも必要と考える。この出口はバイオ燃料だけではなく、食料用途は勿論、飼料・肥料等の用途、バイオマス発電用途、バイオケミカル製造用途等多面的な出口を用意して農業増産プロジェクトを進めるのが良い。日本は、元々アジアを中心に政府開発援助（ODA）で農業増産プロジェクトを推進してきたので、その延長線上で多面的な用途に適応した次世代農業・林業の考え方で供給力を高めることが必要と考える。これを契約栽培として現地企業と展開し、できた農業資源をカスケード的に残渣を含めて利用する枠組みを作ることが重要である。これら出口と入口が整えば、後は民間企業がバイオマスリファイナー（バイオマスエネルギー／ケミカル／マテリアル製造複合産業）のコンセプトで、エタノール、ペレット、バイオケミカル・マテリアル、肥料・飼料、バイオマス発電、バイオジェット、BDFの製造を同一拠点で行ない複合的産業を起こしていく。そして技術開発状況見合いで、エタノールはセルロースへ、ペレットはTPに転換していくことが考えられる。

バイオマス産業でアジア・大洋州との連携を図るため“Asia-Pacific Biomass Community”の形成を官民連携の下で構築するべきと考える。日本からは技術と資金を供与し、現地の原料を使って現地企業との合弁でバイオ燃料製造事業を展開し、作った物は日本向けと現地で販売するという現地とのwin-winの関係を構築することを提案する。その際に、食料との競合や生物多様性の問題は当然回避しなくてはならないので、これは政府が案件を認定してレピュテーションリス

ク回避策を講ずるべきで、その方法としては原料栽培のバイオマスプランテーションを日本のODAで行ない、さらに製造事業にJBICソフトローン等を適用することで政府が案件を認定するシステムを作れば良いと思う。