

発電用バイオマスの輸入について ～PKSの供給可能量に関する一考察～（前編）

利用部 資源・システムグループ 古俣 寛隆

■はじめに

2012年7月より開始された再生可能エネルギー固定価格買取制度（Feed-in Tariff, 以下FITという）も丸5年が経過しました。筆者はこれまで、蒸気タービン方式の木質バイオマス発電に関する事業採算性の検討を行ってきました¹⁻⁴⁾。発電コストで最も大きな割合を占めるのは燃料費であるため、発電事業の利益確保にとっては、供給安定性と価格安定性を持った燃料の選択が極めて重要となります。一般的に、蒸気タービン方式の発電では、発電出力が大きくなるに従って規模の経済が働き、事業の利益率は向上します。ところが、燃料の消費量も大きくなるため、発電所近くの間伐材等の国産未利用木材のみでは稼働が困難となる場合があります。そこで、大型の木質バイオマス発電所では、未利用木材よりも売電単価は安価であるものの、一度にまとまった量の調達ができる輸入バイオマスを燃料に計画する例が多くみられます。

一方、間伐材等を主原料とした稼働中の中型の発電所においても、発電出力の低下を防ぐため発熱量の高いPalm Kernel Shell（以下、PKSという）を混焼させる例がみられます。

2017年3月末時点のFIT認定済みバイオマス発電設備の発電容量と件数⁵⁾を表1に示しました。発電燃料の区分としては、一般木質・農作物残さを燃料とした設備が、発電容量、件数ともに多く、また1件あ

りの発電容量（平均発電容量）も最大であることが分かります。この区分の燃料の多くにチップ、ペレット、PKS等の輸入バイオマスが使用される可能性が指摘されており、特にPKSの需要量は、2015年5月末時点のFIT認定容量ベースで334万t⁶⁾、既存のFIT認定以外の発電所の所要量も含めると2020年以降には379万t⁷⁾にもおよぶと推定されています。

しかし、PKSの安定調達が困難となった場合には、代替燃料の確保が必要となるとともに燃料費の増加をもたらす可能性があり、発電事業に大きな影響を及ぼすことは避けられません。具体的なPKSの供給可能量について詳細な検討が必要と考えられました。

そこで、2016年9月5～9日に、インドネシアにて関連の現地調査を実施しました。スマトラ島バンドランプーンおよびその周辺ではパームオイル産業のサプライチェーンの実態調査を、ジャワ島南タンゲランではインドネシア技術評価応用庁（以下、BPPTという）を訪問し、バイオマスの利用と研究開発の動向、インドネシアのFITに関するヒアリングをおこない、ポゴールではパームプランテーションの歴史を学んできました。また、同年12月13～14日にマレーシアにてバイオマスに関する国際学会に参加する機会があったので、そこでも関連情報を収集してきました。PKSに関連する現地の状況を紹介するとともに、得られた情報からPKSの供給ポテンシャルについて考察します。

表1 FIT認定済みバイオマス発電設備（バイオマス比率考慮あり）の発電容量と件数

	未利用木質		一般木質・ 農作物残さ	建設廃材
	2,000kW 未満	2,000kW 以上		
[現在稼働中の施設]				
発電容量 (kW)	9,678	296,297	403,392	341,216
件数 (件)	11	35	30	31
平均発電容量 (kW/件)	880	8,466	13,446	11,007
[今後稼働予定の施設]				
発電容量 (kW)	69,356	132,837	11,136,651	78,150
件数 (件)	62	21	343	4
平均発電容量 (kW/件)	1,119	6,326	32,468	19,538



図1 インドネシアの国土と訪問先

表2 パームオイル生産量の上位国 (2014年)

単位 (万t)	
インドネシア	3,080
マレーシア	1,993
タイ	193
コロンビア	112
ナイジェリア	101
エクアドル	52
その他	428
計	5,959

■インドネシアとアブラヤシ

インドネシアは東西に長く、多くの島から構成されており、国土面積は日本の5倍 (図1)、人口は日本の2倍です。熱帯雨林気候に属し、雨季と乾季があります。訪問先 (バンドルランブーン、南タンゲラン、ボゴール) は、地図上では非常に距離が短く見えるものの、交通事情等から予想以上に時間を要しました。

さて、PKSはしばしばヤシ殻と称されます。ヤシと言えばココナツのココヤシをイメージする方が多いと思いますが、PKSは“アブラヤシ”というココヤシとは種類の異なるヤシが由来で、パームオイル生産に伴って生じる副産物です。当然のことながら、PKSの供給量はパームオイルの生産量と強い相関があるため、その生産動向の把握が重要になります。

世界のパームオイルの約9割はインドネシアとマレーシアで生産されています。インドネシアは2009年にマレーシアを抜いてパームオイルの世界最大の生産国となり⁸⁾ (表2)、生産量は増え続けています。インドネシアのパームオイルの8割は輸出されており、その輸出額は石炭、ガスに次いで多く、非常に重要な生産品目になっています。

インドネシアにおけるアブラヤシの栽培面積は1,075万ha (日本の人工林面積とほぼ同じ)、その63%がスマトラ島地域に、32%がカリマンタン島地域にある⁸⁾ (図1参照)。単純に気象・土壌条件が適合する面積だけでいえば、インドネシアには2,300万haの栽培ポテンシャルがあるといわれています⁹⁾。

アブラヤシ果実の模式図を図2に示しました (注: 図は文献¹⁰⁾の一部を引用して筆者が作成)。アブラヤシの果実はブドウのような房状で、この房はFresh Fruit Bunch (以下、FFBといいます) と呼ばれます。中果皮 (Mesocarp) からはパームオイル (以下、総

称としてのパームオイルと区別してPalm Oilといいます)、核からはパーム核油 (以下、同様にPalm Kernel Oilといいます) という性状の異なる2種類のオイルが得られます。日本では、Palm Oilはポテトチップ等の揚げ油、マーガリンなどの添加料、Palm Kernel Oilは石鹼等非食用の工業原料として使われています。そのため、スーパーなどで直接見かける機会はほとんどありませんが、2015年におけるPalm Oil (品名: パーム油及びその分別物 (化学的な変性加工をしてないものに限るものとし、精製してあるかないかを問わない)) およびPalm Kernel Oil (品名: パーム核油及びその分別物) の輸入量はそれぞれ62万t (輸入額は535億円)、8万t (輸入額は100億円) にも上ります¹¹⁾。

PKSは、核 (Kernel) を包む内果皮 (Endocarp)、いわゆる種の殻 (図2) であり、Palm Kernel Oil製造の副産物として発生します。直径は2~3cm前後で、核を取り出す工程を経るため半分程度に砕けているものがほとんどです。

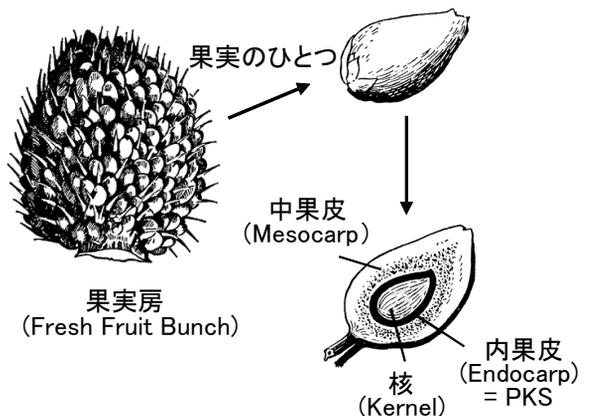


図2 アブラヤシ果実の模式図

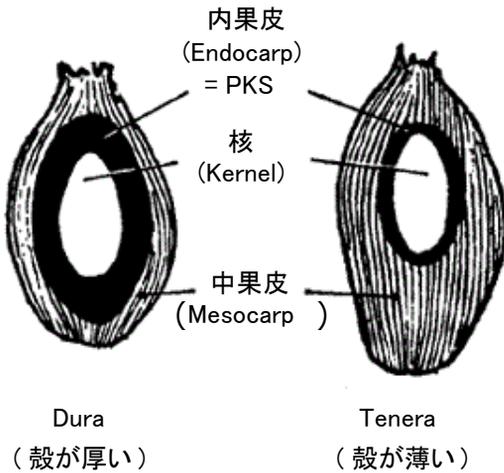


図3 アブラヤシの品種とその果実構造

商用栽培されるアブラヤシはDura, Teneraという大きく分けて2つの品種があり、両者の果実構造は異なります。果実構造を図3に示しました（注：図は文献¹⁰⁾の一部を引用して筆者が作成）。単位FFB質量あたりの油収量が大きくなるように品種改良されたTeneraは中果皮の割合がDuraよりも大きく、一方で、内果皮は薄いため副産物としてのPKSの収量は低いという特徴があります。

切り落とされます。写真のアブラヤシで10年くらいと言っていたので、20年を超えると樹高はかなりの高さになるはずで、収穫にはかなりの労力を要するのではないかと思います。

工場の能力は、1時間あたりのFFB消費量で40 t/hです。インドネシアの平均的な工場規模は30～45 t/h¹²⁾であり、ptpn7の工場は一般的な規模であると考えられます。工場の責任者によると、ここでは採算ラインにのせるために、30 t/h以上のFFBを消費する必要があるとのこと。アブラヤシの果実は収穫後すぐに酵素による油の自己分解が始まるため、なるべく早く（おおむね24時間以内に）搾油工場に運ばなくてはならないそうです。従って、パームオイル工場はプランテーションの中央に立地していることが多いとのこと。

インドネシアでは、国営企業や大きな民間企業のプランテーションでTeneraが栽培され、Duraは小規模農家の一部で栽培されるそうです。同工場ではTeneraをメインに消費しています。

収穫されたFFBは6～8 t積みのトラックで工場へ運ばれます（写真2）。FFBは年間を通して収穫されるものの変動はあるらしく、繁忙期は1日に24時間稼働ですが、閑散期には12 時間稼働あるいは未稼働の日も

■バンダルランブーンでの調査

●パームプランテーションおよびパームオイル工場

インドネシアの国営企業ptpn7が運営するパームオイル工場およびその近隣のパームプランテーションを訪問しました。ptpn7はバンダルランブーンを拠点に、スマトラ島で農業関連事業をおこなっています。アブラヤシの他にも、ゴム、サトウキビ、紅茶の部門を持っており、これらの栽培から製品製造までをおこなっています。パームオイル部門については自社プランテーションでFFBを年間38万t生産しています。工場ではさらに、自社以外から40万tのFFBを調達してCrude Palm Oil（精製前のPalm Oil）およびPalm Kernel Oilをそれぞれ年間23.0万t、1.4万t製造しています。FFBの平均収穫量は20 t/ha・年、Crude Palm Oilの平均収量は4 t/ha・年ですが、土壌の肥料特性やその年の雨量（干ばつは生産量を落とす要因）などによって収穫量は異なるそうです。アブラヤシの経済的生産寿命は25年程度です。アブラヤシの収穫は機械化されていません。写真1のようにFFBは幹の上端部の茎葉の付け根に形成されるため、柄の長い鎌のようなもので人力により茎葉とともに



写真1 アブラヤシ (Tenera)



写真2 FFBを満載してパームオイル工場へ向かうトラック



写真3 蒸煮工程の様子（レール上にFFBを積載した連結トロッコ，奥が蒸煮用オートクレーブ）

あるとのこと。FFBは工場に入るとトロッコのようなものに乗せられ、油の分解酵素を失活させるため、また、房から果実を取りやすくするために蒸煮（蒸気で加熱する処理）がおこなわれます（写真3）。

聞き取ったptpn7のパームオイル工場におけるマテリアルバランスを図4に示しました。1000 kgのFFBから製造される主製品はCrude Palm Oil, Palm Kernel OilおよびPalm Kernel Cake（Kernelの搾油残渣で家畜飼料用）を合わせても220 kg程度で、それ以外は全て副製品となります。

副製品の中で最も量が多いものはPOME（Palm Oil Mill Effluent）である。POMEは油分や有機物を含むパームオイルの洗浄および蒸煮廃液で、一般的にため池で生物化学的な処理がおこなわれるのみで、ほとんど利用されていないとのこと。次に多いものは、EFB（Empty Fruit Bunch）です。EFBはFFBから果実を取り外した後の花房（空花房）です。BPPTによればEFBは高含水率で塩素、カリウムが多く含まれ、管の腐食や閉塞などのボイラートラブルの原因となるため通常はボイラー燃料に適さないそうです。

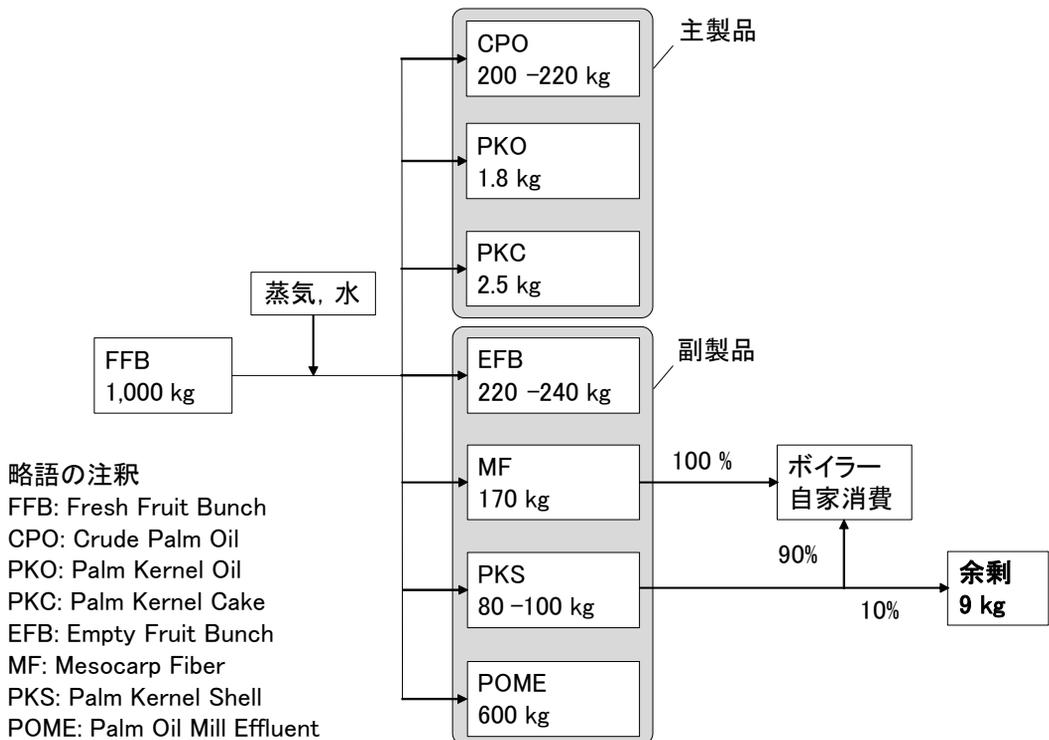


図4 ptpn7のパームオイル工場におけるマテリアルバランス

ptpn7では土壌改良材およびマルチング材などとしてプランテーションに散布しているとのことでした。ただし、マレーシアではEFBを燃料とする2箇所の1万kWの発電所が稼働していることから、対策をおこなえば、EFBも燃料として十分利用できると思われます。

次いで多いものはメソカープファイバー (Mesocarp Fiber, 以下MFという) です。MFはその名のとおり中果皮 (Mesocarp) に含まれており (写真4)、搾油時の残渣です。湿量基準含水率は40%程度で、そのまま燃やすことができます。工場には蒸発量35 t/hのバイオマスボイラーが設置され、コジェネレーションにより工場で用いる全ての蒸気と電力を製造しています。電力を製造している理由は、電力会社の送電網の外に工場が建設されているため、インドネシアではパームオイル工場の多くは送電網の外に立地しているとのことです。同工場ではMFとPKSは質量比7:3で混合され、バイオマスボイラーで自家消費していました (写真5, 6)。プロセスから発生するMFの100%はバイオマスボイラーで燃やしていました。なお、MFについては、マレーシアではインシュレーションボード用の原料として利用されている例もあるとのことです。

PKSはFFBに対して10%弱発生しますが、その9割はバイオマスボイラーで自家消費しているとのことでした (図4)。すなわち、同工場におけるPKSの余剰量は、プロセスから発生する全PKSのわずか1割です。

●輸出港, その他

バンドラランブーンのパンジャン港と港の管理・運営をおこなっている国営企業IPCを訪問しました。同港の主な取扱い品目は、農産物および関連商品であり、今後20年間で港の拡張計画があるそうです

(写真7)。

パンジャン港における2015年のPKSの取扱量は約5万tです。バルク船へPKSを積み込む方法はいくつかのやり方があるが、1万DWT (Deadweight tonnage, 載貨重量トン数) クラスのバルク船に積み込む場合



写真5 バイオマスボイラー



写真6 ボイラー燃料のMFとPKSの混合物



写真4 中果皮に含まれる繊維 (MF)



写真7 パンジャン港の様子

は約3日を要するそうです。PKSは積み込みの前に港近くのストックパイルと呼ばれるヤードに一時保管されます。ストックパイルはパンジャン港から5 km離れたところにあり、2.5 haに6万tのPKSが保管可能だそうです。不純物（MFやダストなど）はストックパイルにて重機によりふるいにかけて取り除かれます。PKSは吸水性が低いため、屋外でも雨水による含水率上昇の懸念はないそうです。残念ながら、現地で輸出相手国に関する具体的な情報を得ることはできませんでしたが、文献¹³⁾によると、2013年のインドネシアのPKSの輸出量は73万t、相手国は、輸出量の大きい方からポーランド、タイ、日本、イタリア、シンガポール、中国でした。日本への輸出量は7万tで、全体の10分の1程度に過ぎませんでした。ところが、2015年には、インドネシアおよびマレーシアから日本に46万tのPKSが輸出され（うちインドネシアは26万t¹⁴⁾、2013年と比較すると3倍以上となりました。2016年に日本へは76万tのPKSが輸入されており、2017年は129万tの輸入が予想されています¹⁵⁾。

一方、国際的な需要の増加に伴って現地流通価格は2006年の24～25 USD/tから2011年50～60 USD/tに上昇しました¹⁶⁾。近年では、日本企業がFOB (Free On Board, 船積み込みまでの価格) 70～90 USD/tで調達を試みているとの情報があります¹⁷⁾。日本への港着価格CIF (Cost, Insurance and Freight, FOB + 保険料 + 海上運賃) はおよそ1.1～1.2万円/tです¹⁵⁾。

その他に加算される費用として、インドネシア政府は輸出税および及びパーム産業育成目的基金としてPKS 1トンあたりそれぞれ3 USD, 7 USD, 合計10 USDが課されます。輸出税については、今後段階的に引き上げ、2017年の3月から5 USD/t, 2018年から10 USD/tにする計画が発表されています¹⁸⁾。最終的な発電所着価格では13,747円/tとの報告があります¹⁹⁾。

案内をしてくれた現地サプライヤーによると、PKSの輸出は15年くらい前から始めたそうです。それまで、PKSの余剰はプランテーション内の道に路盤材として散布していたらしく、PKSを巡る状況の変化が良く理解できる逸話でした。

<後編に続く>

■文献

- 1) 北海道立総合研究機構森林研究本部林産試験場：木質バイオマス発電・熱電併給事業評価シミュレーターVer.2 (2016) <<https://www.hro.or.jp/list/forest/research/fpri/manual/biomass10/biomass.htm>>
- 2) 古俣寛隆ほか：第10回バイオマス科学会議講演要旨集，新潟，15-16 (2016)
- 3) 古俣寛隆ほか：2016年林業経済学会秋季大会講演要旨集，島根，D2 (2016)
- 4) Hirotaka Komata et al. : The 4th Asian Conference on Biomass Science, Penang, PB4 (2016)
- 5) 経済産業省資源エネルギー庁：なっとく再生可能エネルギーHP，固定価格買取制度情報公表用ウェブサイト <http://www.fit.go.jp/statistics/public_sp.html>
- 6) 三菱UFJリサーチ&コンサルティング：持続可能なバイオマス発電のあり方に係る調査報告書 (2016)
- 7) オンサイト・レポート249号 (2016/10/19)
- 8) BPS-Statistics Indonesia: Indonesian Oil Palm Statistics, p.18, 68 (2015)
- 9) Indonesia Palm Oil Advocacy Team-Indonesian Palm Oil Board: Facts of Indonesian Oil Palm, p.11 (2010)
- 10) FAO: the oil palm <<http://www.fao.org/docrep/006/t0309e/T0309E01.htm#ch1>>
- 11) 財務省：貿易統計 <<http://www.customs.go.jp/toukei/info/index.htm>>
- 12) Ministry of Energy and Mineral Resources: INVESTMENT GUIDELINES BIOENERGY IN INDONESIA, p.25 (2016)
- 13) 滝沢 渉：バイオマス産業社会ネットワーク第44回研究会資料「バイオマス発電等で使用されるアブラヤシ核殻 (PKS) の最新動向」
- 14) 滝沢 渉：バイオマス産業社会ネットワーク第57回研究会資料「PKSビッグバンーバイオマス発電でひっぱりだこのPKSマーケットとプレイヤーたちの最新動向」
- 15) オンサイト・レポート290号 (2016/9/6)
- 16) GIZ: Biomass Potential Indonesian Agroindustry, p.27 (2014)
- 17) NIKKEI ASIAN REVIEW: <<http://asia.nikkei.com/Business/Companies/Japan-s-Shodensya-to-import-palm-kernel-shells-from-Indonesia>>
- 18) GLOBAL TRADE ALERT: <<http://www.globaltradealert.org/measure/indonesia-temporary-reduction-export-tax-palm-kernel-shell>>
- 19) 調達価格等算定委員会：資料3 平成28年度調達価格及び調達期間に関する意見（案）(2016年2月22日)