

バイオマス小規模熱電併給設備の現状と展望



特集 2

中外炉工業株式会社 環境・バイオマスグループ
理事 笹内 謙一 氏

1. はじめに

再生可能エネルギーの電力固定価格買取制度（以下 FIT 制度と呼ぶ）導入から5年が経過し、予想以上のペースで太陽光発電が普及した結果、年々その固定買取価格は低下しており、制度スタート時42円/kWh（税別/以下同じ）であったものが、メガソーラーについては昨年度からは入札制度に移行した。

50倍にも増加し、インドネシアではもはや日本向けバイオマス燃料バブルという様相を呈している。

我が国は国土の約7割が森林で占められている木質バイオマス大国である。にもかかわらずバイオマス燃料の9割以上を輸入に頼るという異常な状況である。

国産バイオマスの利用を促進するために、FIT制



図1 PKF 輸入量と価格の推移 ※1

風力発電も55円/kWhの20kW未満の小規模枠は今年度からなくなり、20円/kWhに一本化された。

一方バイオマス発電では、昨年大型の2万kW以上の発電所を対象とした買取価格が24円/kWhから21円/kWhに引き下げられ、今年度からは1万kW以上が入札制度に移行したが、図2のようにそれに伴う引下げ前の駆込みで新規認定件数は急増した。

バイオマスはその安定確保に難点があるが、規模が大きいほど事業採算性は良くなることから大型発電所の計画が急増し、その結果、比較的容易に入手できるPKF（やし殻）などの海外バイオマスの需要が増えている。図1で示すようにこの5年間でPKFの主要産出国である東南アジアからの輸入量は約



講師 笹内 謙一 氏



図2 バイオマス種別、発電設備認定量の推移と内訳 ※2

度発足当初から国内の未利用木質バイオマスを使用する場合は32円/kWhという高い買取枠が設定されている。しかし未利用材の安定量の確保が足かせとなり、図2に示すように未利用材発電所は2017年度ですべてを合わせてもその全認定量の1/30でしかない。

未利用材FIT制定時のモデルとなった一番小さな5000kW級の発電所でも年間6万~9万トンの木質チップが必要という状況は、林業従事者の減少、林道の未整備、高性能林業機械の普及の遅れといった我が国固有の未熟な林業インフラがネックとなり、普及のハードルを上げている。それでもこのモデルプラントと同様の設備が各地に建設されたが、一部の地域ではすでに燃料の確保に苦慮している例もあると聞く。

平成27年度から未利用バイオマス材のハードルを更に下げるべく、2000kW未満の小規模出力の発電所に対して、40円/kWhという破格の買取価格が追加設定された。

モデルとなったのは既設の発電規模1500kWのボイラー蒸気タービン式(以下BTG)の発電所である(図3-①)しかしそこは建築廃材と未利用材を混焼している発電所であり、バイオマスの想定水分率が低いこと、規模が小さくなると設備単価が上がる等で、5000kWのケースとは異なり、このモデルプラントと同じBTGプラントは今のところ建設されていない。

2. 小規模バイオマス発電の現状

1) 2000kW未満の発電所のメリットとデメリット

- 未利用材に限定した制度であるが、小規模なので発電に必要なバイオマスは少なく済む
- 2000kW未満は系統連系が一般高圧の6600Vで可能なため、連系費用を安く抑えることもできる
- そのため特別高圧の鉄塔の近くに発電所を設置する必要がなく、自由度が増す
- 発電規模が50kW未満であれば、一般家庭用の低圧に連系することが可能で、連系費用がより安価になる
- 発電規模が小さいため、既に太陽光で埋まっている系統でも比較的空きを得やすい
- 小規模でも高効率なガス化発電の技術が適用できる

反面、デメリットとしては以下があげられる

- BTGは上限値の2MW未満ギリギリでないと事業性が成り立たない
- 発電所のkW当り建設費が中規模や大規模発電所と比較して2倍以上
- ガス化は小規模に適した技術であるが、燃料の水分率、サイズ等の制約が厳しく、燃料費が高つく
- ガス化は事業設備として使うにはター

の問題など技術がまだ未成熟と一般的に思われている

以上のメリット・デメリットを認識した上で、2000kW未満の小規模発電の日本における現状について述べたい。

2) BTG 発電

BTG 発電は使用する蒸気タービンの特性上、発電規模が小さくなるとその効率は急速に低下する。

事業として採算を得るためには、少なくとも40円FIT上限値の発電規模2000kW未満に極力近づけることであり、40円のFIT制度が施行以降に1990kWというBTG発電所が3箇所建設され最近稼働を開始している。さらに現在建設中のものが2箇所ある。それでも必要な生チップの量は年間3万トン以上であり、決して小規模とは呼べない。

図3に納入場所、BTGメーカー、稼働開始時期(予定も含む)を示す。

BTGは完成された技術であり、バイオマスさえ計画通りに収集できれば所定の事業展開が可能となる。しかしながら事業採算性を確保するためにはこれ以上小型にすることは難しく、2000kWでも年間3万トンという大量の未利用材が必要である。そのため40円FIT制度の下であっても今後の更なる普及は厳しいと筆者は考えている。

3) ORC 発電

ORCとはOrganic Rankine Cycleの頭文字をとったもので、発電方法がRankine Cycleという点ではBTGと同じである。ただBTGは水を蒸気に変えて蒸気タービンを廻して発電するのに対し、ORCはOrganicすなわち有機オイルを蒸発させてタービンを廻す。欧州では熱電併給型のバイオマス発電設備として急速に普及し、今では300基を超えるバイオマスORC発電設備が稼働している。イタリアのターボデン社のORC発電機を使用したものが有名であり、有機シリコンオイルを使用している。この有機シリコンオイルは分子量が水の約10倍と大きく、運動エネルギーが大きいことからタービンが2段で済み、かつ300kWから2000kWまでのタービンの発電効率は約20%と一定である。1000kWを割る発電効率は10%以下に低下するBTGに比べ低出力域での効率が優れている。

しかし欧州でORCが急速に普及した背景は発電効率が高いということもさることながら、タービン後の有機シリコンオイルが液体に凝縮する凝縮機、いわゆるBTGにおける復水器から約80℃の温水が得られることであり、このエネルギー量は発電量の4倍に上る。この温水を使用することで、熱電併給の総合効率は80%を超える。

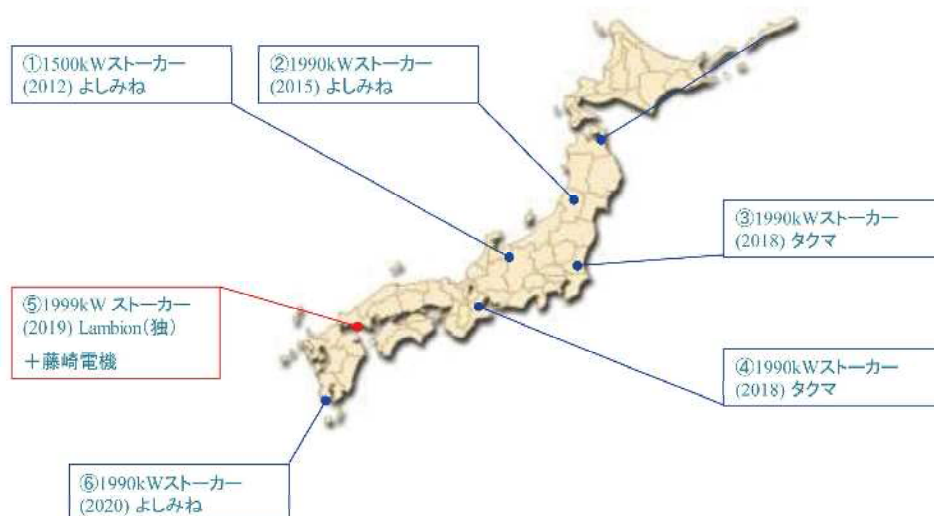


図3 40円FIT対象のBTG発電所一覧 (On-Siteレポートから抜粋し筆者作成)

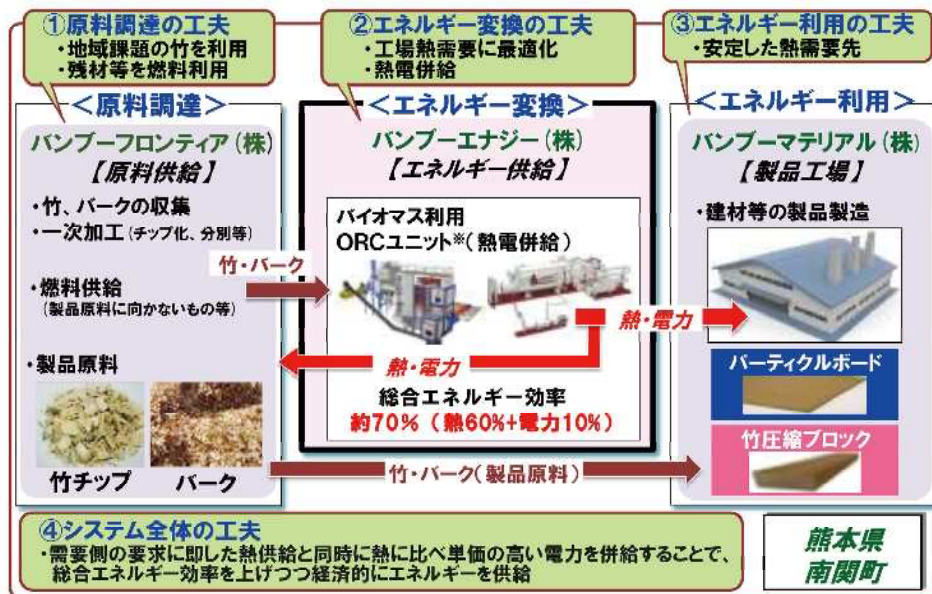


図4 熊本県南関町のバイオマス ORC 熱電併給システムの概要 ※3

温水による熱利用が盛んで、かつ熱電併給がFITによる電力買取の条件となっている欧州では、地域熱供給目的を中心に瞬く間に広がり、バイオマス ORC プラントはバイオマス発電の中心的プラントとなっている。しかしながら日本では ORC に適した熱供給先がないことから、これまでのバイオマスでの導入例はない。現在筆者らは ORC バイオマス発電所の国内 1 号機として、熊本県南関町で 1000kW の ORC 発電設備を建設中であり来年には稼働を開始する。図 4 に示すように熱は大型の製材所に隣接し、その乾燥熱源として使用する計画である。

4) 熱分解ガス化発電 (ガス化 CHP)

バイオマスを蒸し焼きにして可燃ガス化し、このガスでガスエンジン発電を行う技術である。蒸気タービンとは異なり、効率の高いガスエンジンが使用できることから小規模のバイオマス発電には一番適しているとされ、ここ数年、欧州を中心とした多くのガス化炉メーカーが日本市場に参入している。さらにガスエンジンの廃熱から発電量の倍近い熱が得られることから、コージェネとして使えば総合効率の高いエネルギー化装置といえる。各種ガス化炉の種類を表 1 に示す。日本ではダウンドラフト式が主流となっている。

ガス化の技術は決して新しいものではなく、日本では 15 年前の第 1 次バイオマスブームの際に環境プラントを手がける大手企業がこぞってこの分野に参入し、開発にしのぎを削った時代があった。FIT 制度のなかった当時は、売電による収益事業というより、熱も含めたバイオマスの総合利活用とエネルギーの地産地消という公益性の観点からの実証を中心とした取り組みであり、発電のみならず、バイオマスから液体燃料を作る BTL (Biomass To Liquid) や水素製造など、先端技術に重点を置いた開発例が多数見られた。しかしながら技術のハードルが高いことと、FIT で事業性重視に焦点が移ったことなどから大部分のメーカーはこの分野から撤退している。代わって参入してきたのが、欧米の規格チップを使用してパッケージ化した汎用のガス化 CHP (Combined Heat & Power 熱電併給) である。最新の日本のガス化 CHP の導入マップを図 5 に、その詳細を表 2 に示す。

表1 バイオマス熱分解ガス化炉の種類

ガス化方式	直接式			間接式		
	アップドラフト	ダウンドラフト	加圧循環流動層	噴流層	ロータリーキルン	循環流動層
炉型	アップドラフト	ダウンドラフト	加圧循環流動層	噴流層	ロータリーキルン	循環流動層
原料	湿チップ定形	乾チップ定形	乾チップ定形	粉体(乾)	乾~湿チップ定形~不定形	乾チップ定形
異物	大きなものは不可			不可	50mmまでOK	大きなものは不可
ガス(kcal/m ³ N)	CO主体 1000~1200			H ₂ 主体 2000~2500		
発電規模(kW)	30~2500	30~400	150~	50~400	50~1000	35~2000
設備構成	単純	単純	複雑	複雑	複雑	複雑
タール除去方式	湿式除じん機 触媒改質(西島)	炉内で改質+ スクラバー	無関係	炉内で水蒸気改質+ スクラバー	炉外で酸素改質+ スクラバー	炉内で水蒸気改質
排出物	チャーアッシュ・ シユ・廃水(多)	チャーアッシュ・ シユ・廃水(小)	灰	炭・灰・廃水(多)	灰	灰 廃水?
メーカー	フェレント社 RM	ブルクハルト Volter CPC Holzenergie 他多数	川重	バイオマスエナジー社 Syncraft	中外炉 ユア・エネルギー 開発 白磁社	GRE(エジソンP) Repotec(トヨー エネルギー)

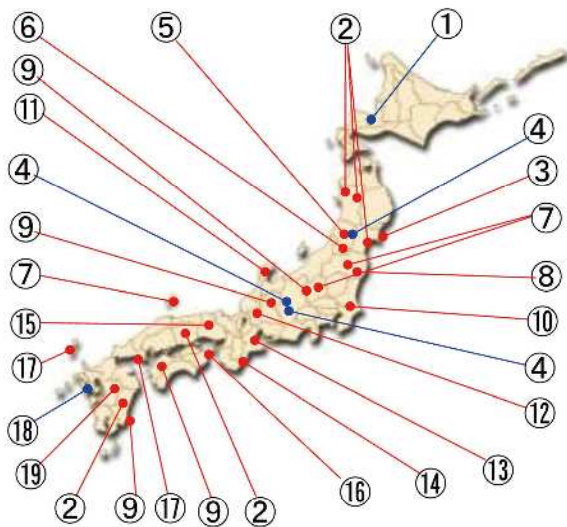


図5 国内で稼働中または計画中のバイオマスガス

表2 ガス化 CHP のメーカーと種類 ※4

No	商品名・技術名など	技術出所	供給サイド	ガス化炉形式	発電出力 (kW _e)	国内サイト	基数	海外実績	備考
1	テスナエナジー	国産	エネサイクル	高速炭化炉+熱分解炉の2段階ガス化	1,200	石狩	1	-	石狩市(北海道)で1号機施工も一部トラブル。バイオマスを炭化し後流でタール析出避けるが発電効率低い。事業採算性設定によっては今後期待 宮城県下で2号機計画
2	AHT(旧・シュネルSCHINELL)	ドイツ	気仙沼地域エネ開発	アップとダウンの中間タイプ	400×2	気仙沼	1	?	気仙沼市(宮城県)で2015年稼働。現在稼働率90%超で順調稼働との情報
3	ボルター(Volter)	フィンランド	ボルタージャパン(VJ)、Fエナジー	ダウンドラフト	40	北秋田 仙台 他多数	20	50	北秋田市にVJ社自社工場、道の駅他二十余件受注。ボルタージャパンが国内販売代理店で打ち上げも、2018年5月フォレストエナジーも販売参入
4	ZE	国産	ZEエナジー	ダウンドラフト	350&500	飯田 最上	2	-	かぶちやん(長野県)2015年、エアウォーター安曇野(同県)で16年竣工も双方不調。安曇野は2017年廃止 山形県最上で自社グループ会社が発電所を運営、稼働中
5	JFE-フェルト	デンマーク	JFEE	アップドラフト	2,000	村山 石川 可児	3	1	やまがたGP(山形県)、いしかわGP(石川県)、大平製紙可児(岐阜県)で実機稼働。EPCのJFEEはその後撤退。同機技術で三機工業がNKCながいグリーンパワー(山形県)で施工、2017年7月稼働。
6	日本バイオマス開発-フェルト	デンマーク	三機工業	アップドラフト	2,000	長井	1	1	三機工業EPC。2017年7月からNKCながいグリーンパワー(山形県)稼働。JFE-フェルトと同機技術。日バ開発は、やまがたGP・いしかわGP事業主
7	スパンナー(SPANNER)	ドイツ	スパンナージャパン	ダウンドラフト	45&70	郡山 川場村 鹿取の島	3	700以上	湖南町(福島県)で稼働。川場村(群馬県)も45kW機。ドイツでは200基受注。スパンナーとTKOが17年初頭まで扱いTKO撤退。2018年1社70kW×25基受注中。
8	エントラード(ENTRADE)	ドイツ	藤田建設工業	ダウンドラフト	25,50	郡山	2	?	ベレット専用の小規模ガス化でコンテナ体型、トモエテクノが国内販社として追加
9	ブルクハルト(BURKHARDT)	ドイツ	三洋貿易、シンエナジー(旧太陽電機)	独自の向上気流噴流タイプ	165&180	上野村 高山 串間 内子	18	200	上野村(群馬県)で2015年1号機。16年宮崎・串間で10基受注・竣工。愛媛で6基、北海道で11基と複数受注も不調。燃料はA1 plusベレットが必須
10	Oussing高速内部循環流動層(FICFB)	オーストリア	エジソンパワー	循環流動層	1,100	太子町	1	1	GRE(Gussing Renewable Energy)からエジソンPがライセンス取得。太子町(茨城県)で自社機設置計画。エジソンPはベレット製版にも進出
11	Oussing高速内部循環流動層(FICFB)	オーストリア	トーヨーグループ	循環流動層	2,000	輪島	1	1	輪島(石川県)で稼働中。その後、福島でも受注。オーストリアで実機エンジンはレボテック社。2017年1月までTKOが供給。現在トーヨーエネソリ
12	ホルツエネルギー(Holzenergie Wegscheid)	ドイツ	PEO(バイオマス利活用技術会)	ダウンドラフト	65&125	岐阜県内	3	140	ガス化CHPを産業のドイツ企業。定格出力と年間7,500時間の設備稼働時間を5年間保証で欧州で急速にシェアを拡大
13	CPC(BioMax)	アメリカ	シンテックジャパン	ダウンドラフト	145	松阪	1	16	米技術。松阪市(三重県)で2017年11月、自社実証機稼働。1,680生/リ利用。同年12月下旬ほぼ安定稼働中。2018年1月15~30日見学会を実施
14	シンクラフト(SYNCRRAFT)	オーストリア	フォレストエナジー	2段階ガス化噴流層	200~400	新宮	1	4	オーストリア、2017年5月長野県「国際ウッドフェア」出展。同年7月にフォレストエナジーが国内サポート。新宮(和歌山)で1,600kW施工へ
15	エスベ(ESPE)	イタリア	アンフィニ	ダウンドラフト	49	西脇	1	?	2016年内、西脇市(兵庫県)に代理店のアンフィニが自社設備建設
16	ウルバス(URBAS)	オーストリア	コーレンス、新宮エネルギーほか	ダウンドラフト	150~250	小松島	1	20	新宮エネルギーが徳島・ゲンボクに国内1号機(250kW機)納入。2018年6月本格稼働開始。オーストリアのダウンドラフト機。イタリアの製材所などで稼働
17	RMグループ	イタリア	リライト(Rewrite)	アップドラフト	50&250	岩手 対馬	2	?	山口県案件50kWが2018年3月、長崎県案件同年7月稼働予定
18	バイオマスエナジー(BME)	国産	バイオマスエナジー(株)	噴流層	120~160	諫早	2	1	農林バイオマス3号ベースにBME社がユーザー協力を得て改良。中央環境省ほか海外含む複数箇所、内外で引合い多く、今後有望視されるが慎重営業
19	リプロ(Lipro)	ドイツ	(同)バイオ燃料(株)サナース	2段階ガス化ダウンドラフト	30&50	南小国町	1	2	(2018年6月より熊本県南小国町で50kWが稼働を開始

国内サイトは建設中のものも含む

一部に日本メーカーのものもあるが、大半が欧州からの設備導入である。バイオマス先進地域の欧州では小型ガス化CHPは事業用として多くの実績を挙げており、それに裏付けられた信頼性があること、また日本のユーザー、特にこれまでバイオマスに縁がなかった太陽光発電事業からの乗換え組

みが、40円という高い買取価格に魅せられて新たな事業者として現れた結果、大量の導入に繋がっている。しかしながら、パネルさえ設置すれば収益が得られる太陽光発電事業と同じように成功するかどうかは、今後の結果を見ないとわからない。

5) 汎用ガス化 CHP の留意点

汎用のガス化 CHP 導入に当っては特に以下の点に留意する必要がある

①燃料チップあるいはペレットの確保および製造方法 (Quantity & Quality)

安定した量 (Quantity) の確保はもちろんだが、燃料品質 (Quality) の確保も重要である。汎用のガス化装置は、ダウンドラフト炉を中心に欧州の豊富な製材残材を中心とした規格チップを燃料の対象としている。しかしながら、日本では 40 円 FIT に適応するために未利用木材、すなわち生の丸太からこれを作らないといけない。チップの選定、チップの乾燥とサイズの選別などを誤るとガス化装置が動かないばかりか、故障にも繋がる。海外で実績のあるガス化装置を買っても、それに適した燃料チップが供給できないと装置が動かない。しかしながら輸入品を据えつけただけで、燃料チップの性状まで管理する海外のガス化炉メーカーはなく、日本でそれに対応する知見もないため、設備を据えつけただけで運転に入れず頓挫しているケースもある。したがって燃料の収集のみならず、ガス化装置に適した燃料チップの品質を確保する必要がある。

②ファイナンス (Finance)

小規模発電といえども自己資金ですべての事業費を賄うケースは少なく、ほとんどの場合なんらかの外部資金調達が必要となる。太陽光発電の場合は設置さえすればほぼ 20 年間の予想利回りは保証される。一方バイオマス発電の場合、燃料バイオマスの 20 年間に渡る調達リスクがあることはよく知られているが、技術的に BTG より難易度が高い汎用ガス化 CHP の場合は、稼働リスクがこれに加わる。BTG では 90% 以上の稼働率は当たり前の世界であるが、ガス化 CHP でも少なくとも年間 7500 時間以上、85% 以上の稼働率を確保しないと事業採算性は苦しくなる。したがってファイナンスをつけるためには

このリスクの低減を考える必要がある。

設備の信頼性はもちろんのこと、メンテナンス体制をきちんと構築して計画した稼働率を確保しなければならない。ガス化 CHP はガスエンジンなど定期メンテナンスが前提の機器を多く備えた装置であり、国内調達機器があまりない現状では、国内のメンテナンス体制が重要である。稼働率維持向上のための予防メンテは言うまでもなく、トラブルが起こった際の即時対応が求められる。最近この点に着目した稼働保証保険を附帯するガス化 CHP も登場してきており、こういった仕組みがあればファイナンスは得やすい。

③系統連系 (Grid)

小型だから事業参入が容易だと思われがちであるが実態はそうでもない。発電規模が小さいため、系統に空きがあるかというところ太陽光がすでに抑えているケースが多く、特に九州地区では系統の空きは皆無に近い状況である。系統の空きのチェックは電力会社に問い合わせればすぐにはできるため、まず空きがあることが事業化の大前提となる。バイオマス発電は燃料の供給が容易な中山間部に設置されることが多いが、一般高圧連系の場合、中山間部は電力需要が小さく、一般高圧から特別高圧への逆潮流が生じる可能性がある場合は電力会社への改造負担金が必要となる。規模にもよるがこの負担金が 1 億円を下らないという話もあり、総事業費の小さな小規模発電では事業化が難しくなる。

以上は筆者が GFQ と呼んでいる小規模バイオマス発電導入の 3 原則である。

実際、筆者のところに相談に来るケースでは、この 3 つが初めから揃っていることはほとんどない。例えば①では、製紙用の切削チップがあるからとスクリーンをかけてみたら、ガス化に使えるサイズは半分もなかったケース、②では、燃料も確保でき事業性抜群と銀行に交渉したら、ガス化 CHP の信頼性が保証できず融資がはねられたケース、③が

最後に明らかになると悲惨である。①も②も大丈夫、電柱は目の前にあるからと電力会社に申請に行ったら系統の空きは皆無でこれまでの検討がすべて水泡に帰したなど。GFQ がそろっていること、これがガス化 CHP 導入のための必要条件である。

6) 熱電併給は必須

BTG にないガス化 CHP のメリット、それは熱電併給である。図6のヒートバランスに示すように発電と同時にガスエンジンなどの廃熱から発電量の1.5倍～2倍の熱を得ることができる。この熱が売れば事業性は向上する。そもそも発電量当りの設備単価や維持費の高いガス化 CHP では、熱電併給の名のとおりに熱が売れることは必須条件である。ところが、熱は運ぶことができないため、地産池消しか選択肢はない。ここで初めて小規模であるガス化 CHP の真価が発揮されることになる。大量の熱の消費先はなかなかないが、100kW クラスなら適用先も見つけやすい。



図6 一般的なガス化 CHP のヒートバランス ※5

熱というと温室、温泉といったところをイメージするが、こういった熱利用には季節変動がある。CHP の熱は使わなければ大半は捨てるのが可能なので設備の稼働率に影響を与えることはないが、売熱率は即事業採算性に影響する。

熱を使用する別の事業の傍で発電する、あるいは熱を利用するためにボイラーではなくガス化 CHP を導入するなど、40円/kWh を前

提にするのではなく、ポスト FIT 時代を視野に入れた取り組みを考える必要がある。

しかし実態は GFQ の Quality を確保するため、乾燥に CHP の熱を利用しているケースが多い。これは自己熱消費であり、厳密には熱利用とは言えない。もちろん Quality は非常に大切な要素であるため、そのことが駄目とは言えないが、その場合でも半分以上の熱は外部に供給できる事業スキームが望ましい。

7) おわりに

電源の中で、小規模という枕言葉がくれば分散と答えるという筆者の常識を覆す事例が最近増えている。図7のように50kW や100kW といった小さなものをずらりと並べて、2000kW に限りなく近づけようというものである。

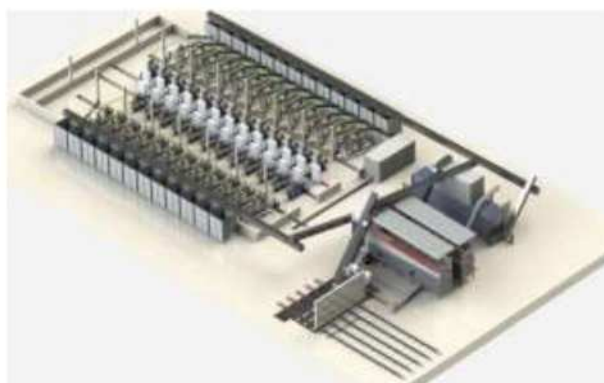


図7 Spanner 社が国内某所に建設予定の75kW × 25基からなるバイオマス発電所 ※6

ここでは小規模集中型バイオマス発電と呼ぶことにする。ある意味2MW 未満FIT40円の制度が生んだ功罪とも言える。

2000kW の発電をやりたいのならば2000kW の設備を1基導入すればよいと思うがそうは行かないらしい。曰く、2000kW クラスの適切な装置がない、小型だとトラブルを起こしてもその機器だけ止めればいいので稼働率への影響が少ない、一つだと高いがたくさん買えば安くなるなどの利点があるという。電力の買取価格が優遇されていたイタリアやバルト3国でも同様の事例があるというから、政策制度というのは、つくづくビジネスモデ

ルに影響を与えるものだと実感している。ここでも注意しないといけないことはやはり3原則の Quality であろう。間違った燃料を食べさせたらそれこそ集団食中毒になってしまう。その昔、筆者はなんでもガス化できるガス化炉の開発に命をかけていたことがあった。そこでわかったことは何でもできるは何もできないということと同義だということである。ある意味、今の海外の汎用ガス化 CHP は美食家であり、美食さえ食わせれば本当に機嫌よく仕事をする。実証ではなく発電事業なので、導入後すぐに立ち上がらないといけない。課題は美食を安定して用意できるかであり、筆者はガス化発電事業の成否はひとえに GFQ の Quality にかかっていると考えている。雑食でいつお腹を壊すかわからないガス化 CHP を開発するよりはるかにアプローチは簡単である。問題は今まで洋食しか食べていなかった人にいかに安価な和食を用意できるかであろう。洋食と和食の違いのように、バイオマスにも欧州と日本ではその品質特性が異なるということを理解している人は少ない。今日本で導入されているガス化発電装置はほとんどが海外製であることから、日本でどんなバイオマスを食べさせるのかという観点を加味したシステムが必須である。

引用文献

- ※ 1 滝沢渉 財務省貿易統計から『On-site Report』作成
- ※ 2 経済産業省
「調達価格算定委員会平成30年度以降の調達価格等に関する意見」
<http://www.meti.go.jp/report/whitepaper/data/20180207001.html>
- ※ 3 NEDO 新エネルギー部
バイオマスエネルギー地域自立システム化実証事業説明資料
- ※ 4 滝沢渉「On-site Report 第331号」
2018.07.18
版元の許可をもらって筆者が一部加筆
- ※ 5 笹内謙一 バイオマスエキスポフォーラム
2018 資料 2018.05.31
- ※ 6 独 Spanner プレスリリース 2018.03.28
<https://www.holz-kraft.com/en/news/actual/647-28-03-18-re-realizes-large-scale-project-in-japan.html#null>

