

特集記事：[リサイクル・バイオマス・ガス化] 三部会 (RGB) シンポジウム
ーカーボンニュートラル社会に向けた注目分野の最新動向ー

国内におけるバイオマス小規模ガス化発電の最新の動向と課題

笹内 謙一

2 MW 未満バイオマス FIT を契機に、国内における木質バイオマス小規模ガス化発電の普及はめざましいものがあり、200 kW 以下を中心に計画中也含めて約 300 基の小型ガス化発電設備の導入が予定されている。その一方で低迷する稼働率や熱利用先のない熱電併給設備などの課題も明らかになってきた。

キーワード

小規模、未利用バイオマス、ガス化発電、熱分解、FIT、熱電併給

(2022 年 8 月 22 日受理)

Latest Trends and Challenges of Small-Scale Biomass Gasification CHP in Japan

Kenichi SASAUCHI

1. はじめに

2016 年に再生可能エネルギーの固定価格買取制度 (FIT 制度) の改定があり、未利用木質バイオマスを燃料とした買取価格 40 円/kWh の 2 MW 未満の枠が新設され、小規模発電が注目を浴びてきた。中でも木質バイオマスを対象とした熱分解ガス化発電は図 1 に

示すように 2021 年 11 月現在で導入済み、導入計画を合わせて国内で累計 298 基の FIT 認定がなされ、急速に伸びている。

またその基数ベースでは 95% をガス化発電が占めている。その理由は小型でも高い発電効率が見られることにある。例えば 20 kW 程度の超小型でも発電効率は 20% 以上、200 kW 以上では 30% 程度と、2 MW の直接燃焼式蒸気タービン発電に比べても高い発電効率が見られ、さらに発電にガスエンジンを使用していることから排ガスからの熱回収も可能で、総合エネルギー効率は 75% 以上と高い。

しかし大部分の国内メーカーは 2012 年以前にガス化の分野から撤退しており、現在は欧州を中心とした海外製の装置が輸入・使用されている。

これは FIT 制度を活用した投資事業目的の事業者が、海外ですでに商用稼働実績のある装置を導入し、燃料バイオマス収集のハードルが比較的低い小型のバイオマス発電分野に参入した結果である。実際 2012 年のスタート時の FIT 制度の高い買取額で太陽光発電に参入した事業者が、太陽光の買取価格の低下と共に、40 円/kWh というバイオマス発電の買取価格に魅せ

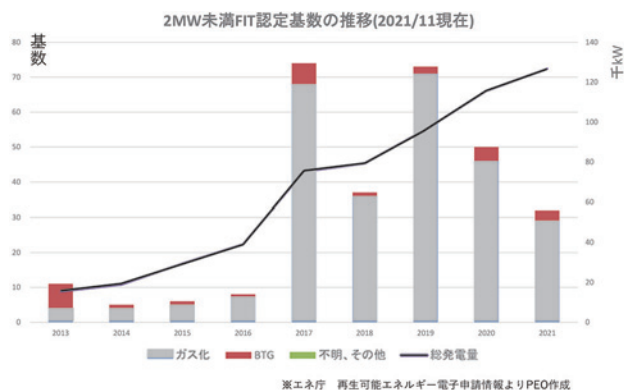


図 1 2 MW 未満未利用バイオマス発電設備の認定基数の推移

株式会社 PEO 技術士事務所
〒650-0012 神戸市中央区北長狭通 4-9-26-10A

られて、小規模バイオマス発電分野に新規参入する事例が散見される。

しかし日照時間が想定通りであれば計画の発電量が得られる太陽光発電と比べて、2 MW 未満の木質バイオマス発電で当初の目論見通りの発電収入が得られている例は少ない。

図2に最新の設備利用率を示す。エネルギーが想定した利用率 78.1%に対して 2 MW 未満の実際の平均値は 56.1%しかない。この結果には比較的稼働率が高いとされている 2 MW の直接燃焼式ボイラータービン発電も含まれているため、ガス化発電の設備利用率はさらに低いことが推定される。

基数におけるメーカー別のシェア(図3)では独の Spanner、フィンランドの Volter、独の Burkhardt の

順で、この3社で8割を占めている。これらは 40 ~ 165 kW と小さな発電規模の装置であるが、FIT40 円の上限である 2 MW 未満に近づけるために、一箇所ですく 1 基のみの導入も多い。一方発電出力別で見ると 1 基で 400 kW や 800 kW、あるいは 1990 kW などの機種もあり、Spanner 等上記3社のシェアが下がっていることが分かる。が得られる太陽光発電に比べて、2 MW 未満の木質バイオマス発電で当初の目論見通りの発電収入が得られている例は少ない。

筆者は 2002 年から 10 年以上の間、国産のバイオマスガス化発電装置の開発と普及に携わってきた³⁾。

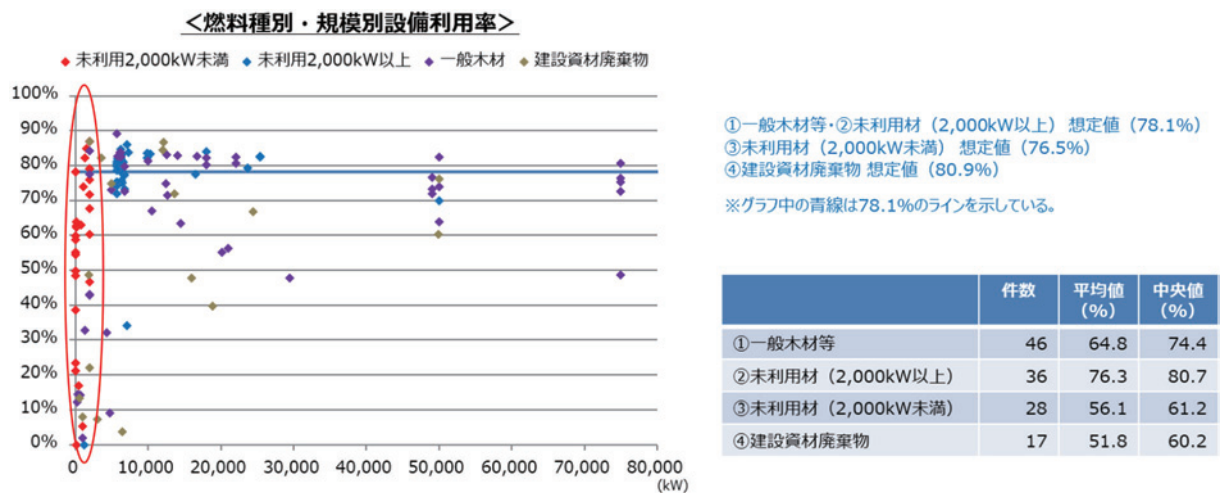


図2 バイオマス発電設備の利用率(2 MW 未満を○印で示す)²⁾

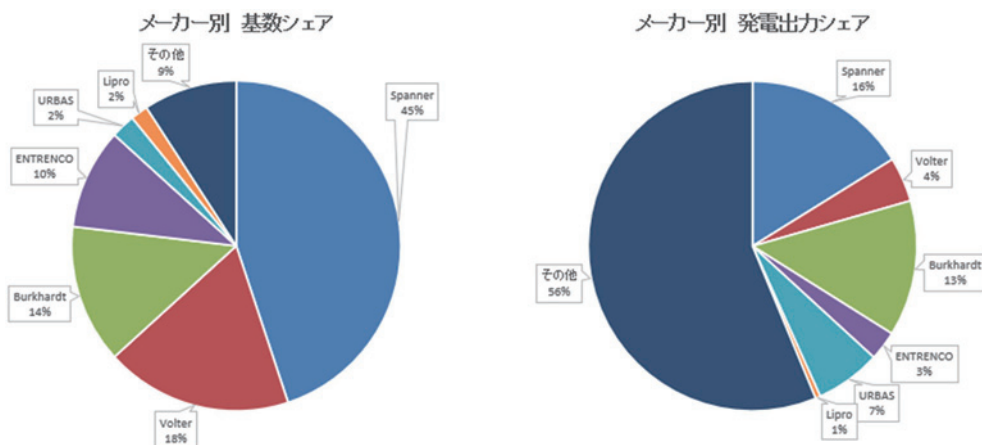


図3 国内ガス化発電装置のメーカー別シェア¹⁾

その後もバイオマスガス化発電技術の動向をウォッチすると共に、海外での視察や調査を行い、現在は中立の技術士事務所として事業者や金融機関からの依頼でガス化発電技術の技術鑑定や技術サポートを行っている。ここでは最新のガス化発電技術の動向について述べると共に、その課題と対策について報告する。

2. バイオマスガス化発電の最新動向

図4に現在国内で導入済み・導入予定のガス化技術の種類とその導入元（導入国）を示す。技術導入元ではドイツを中心とした欧州が93%を占め、ガス化炉形式では固体一ガス並流移動層方式（ダウンドラフト式）

およびその変形タイプ) が 88%を占めている。

燃料種別では木質チップが8割を占め、残りの2割が木質ペレットを使用している。国産技術も7%、基数にして17基あるが、市場で現在主役のダウンドラフト式ではなく、ロータリーキルン式や2段階ガス化、噴流層などの少数派技術である。メーカーの入れ替わりも激しく、今では倒産した欧州の会社や日本の販社、撤退した日本の会社もあるため、2018年以降に稼働を開始したものとプレスリリースなどで明らかになっている今後の導入予定のマップを図5に、各メーカーを出力別にマッピングしたものを図6に示す。

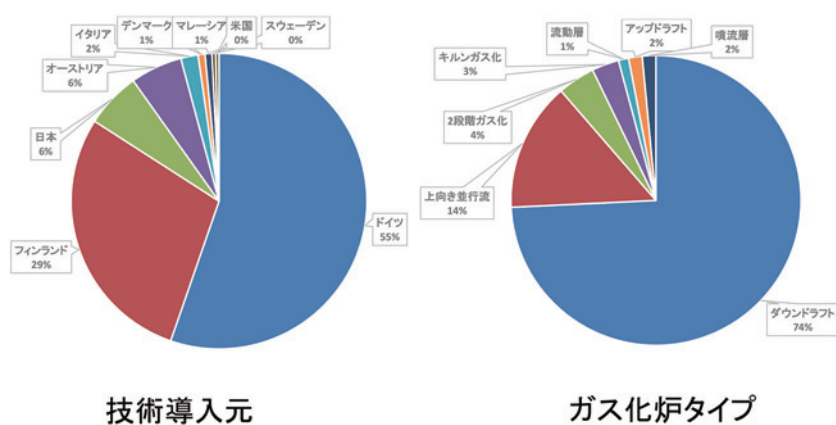


図4 国内導入（含予定）されているガス化炉の内訳¹⁾

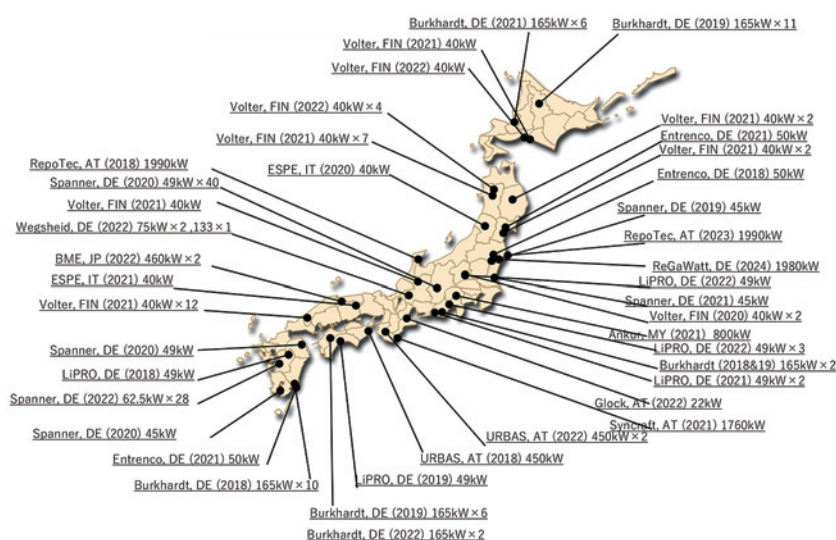


図5 2018年以降に国内に導入されたガス化発電設備¹⁾

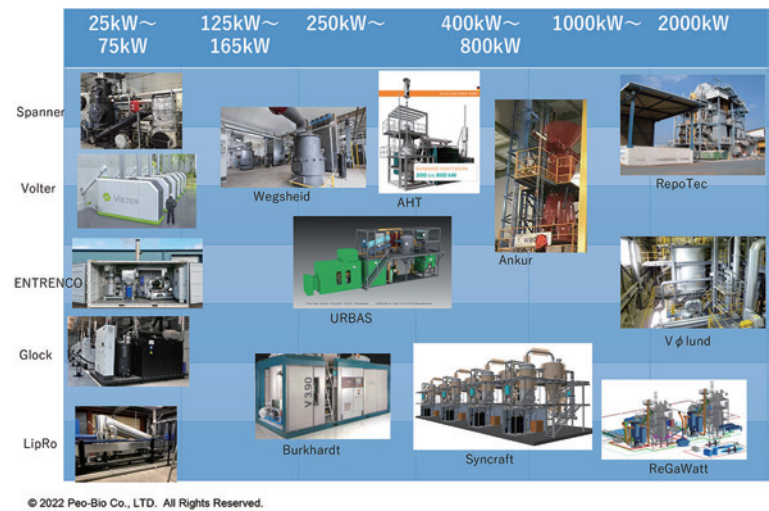


図6 ガス化発電装置の規模別マップ

3. 各メーカーの技術の特徴

国内で販売、開発中の主なバイオマスガス化技術を表1に示す。

ガス化は大きく分けて空気をガス化剤として使用する直接ガス化と、水蒸気をガス化剤として使用する間接ガス化に大別される。それぞれ一長一短があるが、直接式は空気中の窒素が生成ガスに入るため、単位容積当たりのガス発熱量が小さく、間接式はそれがないために発熱量は高い。しかし最近はガスエンジンの

チューニング技術が向上し、発熱量が低いからと言って発電効率が低いわけではない。一方燃料バイオマスをどれだけ可燃ガス化できるかという冷ガス効率の点では間接式は構造が複雑となる分、熱損失が大きく不利となる。しかし水蒸気をガス化剤として使用することから水素成分の多いガスが得られ、特にガス化ガスから液体燃料化を目的としたBTLで水素を得たい場合は有効な技術と言える。

ここではメーカーのシェア別に主な技術を紹介する。

表1 ガス化技術の比較

ガス化方式	直接式			間接式		
炉型	アップドラフト	ダウンドラフト	2段階ガス化	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	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	50 mm まで OK	大きなものは不可
ガス (kcal/m3N)	CO 主体 1000 ～ 1200			H ₂ 主体 2000 ～ 2500		
発電規模 (kW)	30 ～ 2000	20 ～ 800	50 ～ 500	50 ～ 450	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	炉内で改質 +スクラパー または乾式除じん	改質炉	炉内で水蒸気改質 +スクラパー	炉外で酸素改質 +スクラパー	油洗浄スクラパー
排出物	チャーアッシュ・ 廃水(多)	チャーアッシュ・ 廃水(少)	チャーアッシュ・ 廃水(少)	灰・廃水(多)	灰	灰 廃水?
メーカー	Vølund ReGaWatt	Burkhardt AHT Spanner Volter ENTRENCO Glock 他	DTU LipRo Syncraft 他	バイオマスエナ ジー	ユア・アネルギー 開発 鉄建建設 マイクロエナジー CORTUS	GRE (エジソン) Repotec (トーヨーエネ ルギー)

3.1 ダウンドラフト式ガス化

ダウンドラフト式ガス化(図7)は、数の上で現在日本の木質バイオマスガス化発電の3/4を占めるまでに普及している。数十kWクラスから始まる小型に向いていることから、導入のハードルが低いことがわかる。

ダウンドラフト式は以下の特徴を持つ⁴⁾。

長所:

- ①タールが炉内の酸化還元ゾーン(高温帯)で分解されるため、後段に設けるタール除去装置の容量が小さくて済む
- ②ガス化→冷却→除じんという簡単・小規模なプロセスで発電用の熱分解ガスを安価に得ることが可能

短所:

- ①炉内のガス流れに直交する炉断面内での層の通気性分布を均一にしないと反応帯の制御が困難となり生成ガス組成が安定しない。しかし燃料の粒度等により不均一性は容易に発生する
- ②炉断面内での通気性の不均一分布により炉内ガス流速が乱れ、特にガス流速が速くなった箇所では十分な滞留時間が得られなくなり、タールの分解が不十分なガスが生じる
- ③湿ったチップを使用すると炉内乾燥で生じた水蒸気で酸化ゾーンの温度が下がりタールが分解できなくなる
- ④燃料のサイズや形状を適正に管理しないと上記ガ

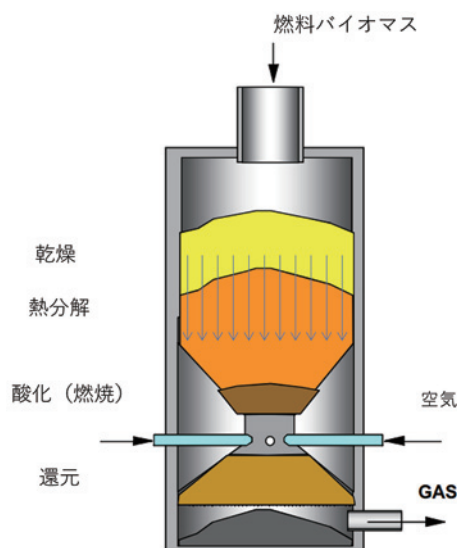


図7 ダウンドラフト炉の断面

ス流れはもちろん、層の懸垂(ブリッジ、チャンネルリング)、ガス化炉後段配管中の詰まりなどをもたらす

- ⑤上記理由でタールの分解が不十分な場合タール除去装置の容量を超えるタールが生成し、後段のガスエンジンにダメージを与える。

現在国内バイオマス発電で最大のシェアを持つドイツのSpannerRe2(図8)は2007年に販売を開始し、その後900基を超えるガス化発電装置を欧州を中心とした世界各地に納入している商用ガス化発電のパイオニアであり、日本には45, 49, 66 kWの3機種が導入されている。

Spannerに続いて国内展開しているフィンランドのVolter, イタリアのESPE, ドイツのENTRENCO, オーストリアのGlockなどはすべてこのSpannerをモデルとした後発の機種である。ただし後発といってもコピー品ではなく、独自の工夫を加味したメーカーも存在する。

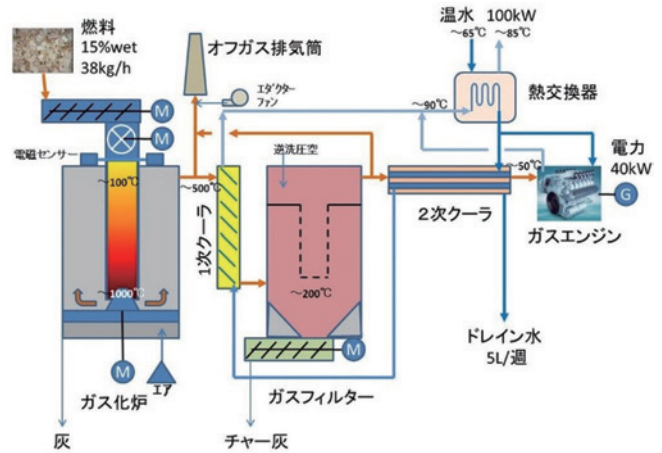
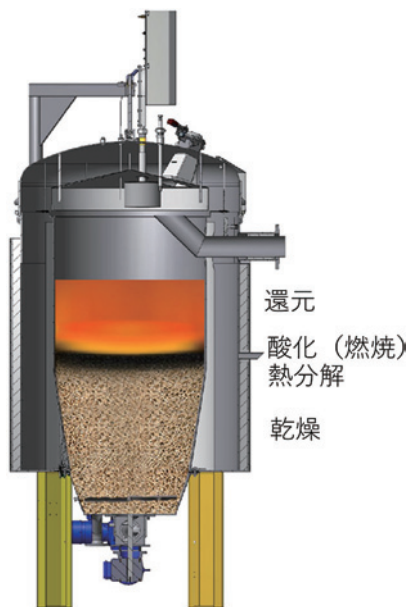
日本ではSpanner, Volterの2社で2/3(基数ベース)のシェアを占めている。VolterはSpannerに遅れること7年後の2014年に創業したフィンランドの会社であるが、40 kW出力のシステムを美しいパッケージ内に一体化したことで世界で200基を超える大ヒット商品になった。Volter40の写真とシステムを図9に示す。ガス化システムを評価するときはガス化炉のみならず、燃料の前処理、ガス化、ガス精製、ガスエンジンを総合的に評価する必要があることは言うまでもないが、それらがバランス良く配置されている。特に近年の日本市場における成長は著しいものがある。

3.2 上向き並行上昇流ガス化

BurkhardtはEN PlusA1規格のペレット燃料に特化したドイツのガス化炉メーカーである(図10)。創業



図8 Spanner社の小型ガス化発電装置⁵⁾

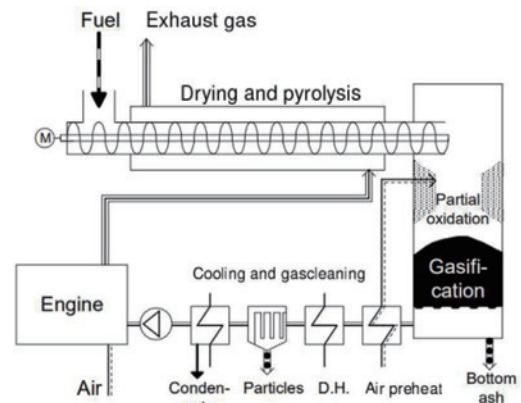
図9 Volter40 とそのシステムフロー⁶⁾図10 Burkhardt のガス化炉⁷⁾

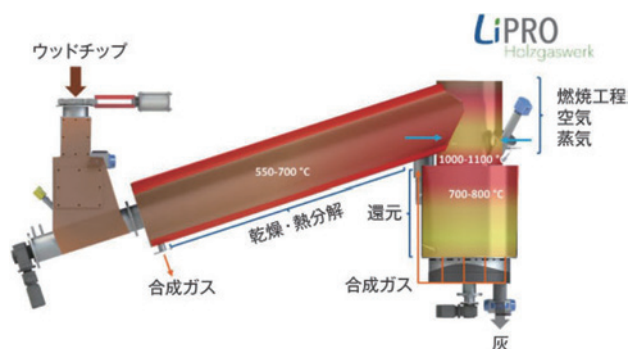
は 2010 年で、ペレットに特化することでダウンドラフト炉の欠点である燃料水分率やチップサイズの課題を克服し、燃料に左右されない安定した稼働が行えるとされている。

日本では CPM ペレタイザーの代理店である三洋貿易が木質ペレットの活用先として 2015 年から販売を開始し、現在約 40 基を国内で納入している。上向き並行上昇流という特異な炉形であるが、アップドラフト式ではなく、その構造はダウンドラフトを上下逆にした形になっており、原理的にはダウンドラフトとあまり変わらない。

3.3 2段階ガス化(図 11, 12)

2段階ガス化とは、バイオマスを熱分解して揮発分と固定炭素分に分ける熱分解炉と、タールを除去しガスを改質する改質炉に役割を分離した炉形であり古くは 1980 年代から研究されていたデンマーク工科大学 (DTU) のバイキング炉が有名である。

図11 バイキング炉のフローと写真⁸⁾

図 12 独 LiPRO の2段階ガス化⁹⁾

DTU では1段目の熱分解炉の熱源に、改質炉の廃熱を利用しているが、電熱ヒーターを使用するものや固定炭素（チャー）を燃焼するもの、エンジン排ガスを利用するものなどがある。いずれも1段目の熱分解炉にロータリーキルン炉を採用することで燃料チップの受け入れ範囲が広く取れるというメリットがあり、ダウンドラフト炉では不可能なパークや枝葉を燃料として利用できるとされていることがメリットである。

日本では中外炉工業が2007年にNEDOの要素技術開発で25 kWe規模のものに取り組んでいた¹⁰⁾。近年ではドイツのLiPRO社の50 kWeのものが国内5ヶ所に商用機として導入されている。

オーストリアのSyncraft社は改質炉を噴流層炉としているが、同様の2段階ガス化方式に該当し、こちらは大型の400 kWeのものが4基、2021年に和歌山県内に導入された。

3.4 その他のガス化

その他、アップドラフト炉、噴流層炉、循環流動層炉などのガス化炉が国内で商用機として導入、稼働しているが、現状では少数派でありここでは紙面の関係

で説明は割愛する。

4. 国内の小規模ガス化発電の課題

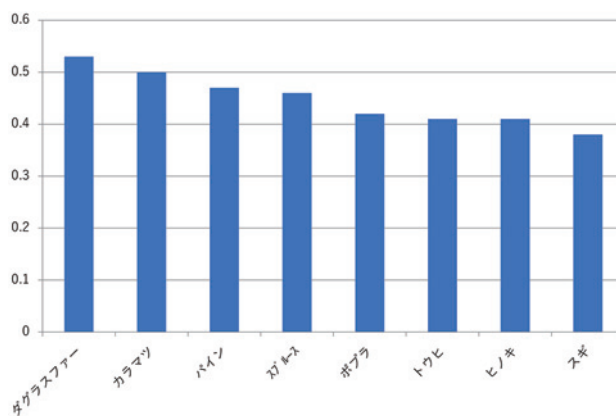
4.1 設備利用率（稼働率）の低迷

以上のように活況を呈している国内の小規模ガス化発電であるが、その実際の稼働率は図2に示したように他のバイオマス発電設備と比較して低迷している。小規模ガス化発電は小規模であるがゆえに事業採算性は厳しく、稼働率の低迷は致命的となる。

その理由として3.1で述べたダウンドラフト炉の欠点、すなわち燃料チップ粒度や形状の不均一、湿ったチップに原因があると考えられている。さらに樹種の違い、特に日本で一般的に利用されているスギが、欧米のマツやスプリースに比べてかさ比重が低いことなどが指摘されている（図13、14）⁴⁾。

しかし、2019年にそれらの要素の影響がまったくないはずのペレットを燃料としたガス化炉で稼働率が大きく低下する問題が発生し、説明がつかない事態に遭遇した。

我々は日本各地のスギ、ヒノキ、マツの分析や欧州の

図 13 樹種による気乾比重の違い⁴⁾

メーカー	① Volter Finland	② ESPE Italy	③ Wegscheid German	④ URBAS Austria
発電出力	40kWe	49kWe	125 kWe	125 kWe
熱出力	100kWt	110kWt	230 kWt	265kWt
燃料木チップ				
水分率	15%以下	10%以下	10%以下	15%以下
チップサイズ	EN P63	EN P50	EN 記載規格なし	EN 記載規格なし
	3.15mm以下 1%以下	1mm以下 5%以下		20mm以下 5%以下
	3.15~8mm 10%以下	3.15~50mm 80%以上	30~70mm	20~60mm 20%以下
	8~30mm 80%以上	50mm以上 1%以下	システム内	60~110mm 60~100%
	30~50mm 10%以下		で自動篩分け	110~150mm 40%以下
	50mm以上 1%以下			150mm以上 不可
絶対かさ比重	170kg/m3	記載なし	150kg/m3	記載なし
灰分	記載なし	5%以下	記載なし	記載なし

図 14 ガス化炉メーカーのチップ仕様⁴⁾

図 15 ガス化炉内に形成されたクリンカ¹¹⁾

ペレットの分析を行い、特に日本のスギ、ヒノキにおいて灰分中の K_2O の量が多いこと、また酸化雰囲気ではなく、ガス化のような還元雰囲気下でその灰軟化点が 700°C 台まで低下すること、さらにこの軟化点の低下は灰分中の K_2O の量に比例することを突き止めた¹¹⁾。

結果、燃料中の灰は炉内でクリンカ(図 15)を形成し、ガスの流れの均一化を阻害し、タールの生成が生じさせることが判明した。

その後の研究で、ペレット製造時にアルミナ系添加剤を微量添加することでこの問題は解決できることがわかったが、チップ燃料でも同様の問題が生じていることも想像できる。しかしながらペレットとは異なり、同じ対策は打てない。

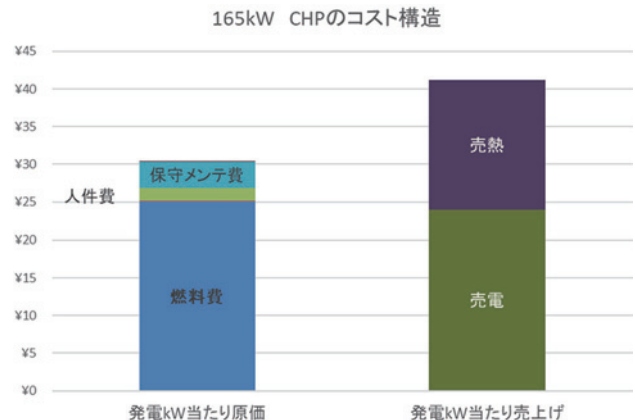
現状では破碎後のチップに微粉が多いとチャー灰の比表面積が増し、灰同士が付着しやすくなることから、極力微粉を取り除くことで対応するしかない。ガス化炉側と燃料側双方で新たな技術的なアプローチが必要である。

4.2 熱利用率の低迷

小規模ガス化発電装置は発電と同時にその 1.5 ～ 2 倍程度の熱供給が可能な熱電併給設備である。しかしながらほとんどは自ら使用するチップ乾燥に熱利用しているのみであり、売熱している例はあまりない。一部に温泉や、農業ハウス等に利用している事例があるが、夏場など季節変動の要因で熱利用率は必ずしも高くない。

その結果ほとんどの小規模ガス化事業は FIT 売電の収入のみであり、熱利用がなければ FIT 期間が終わる 20 年後にはほとんどの施設は運休せざるを得ない(図 16)¹²⁾。

熱利用低迷の理由の一つとして、欧州製がほとんど

図 16 小型 CHP のコスト構造¹²⁾

のガス化熱電併給設備では標準附属の熱供給は温水のみであり、日本の工業熱利用の多数を占めている蒸気ではないということにある。しかし、ガスエンジンの排ガスは $400 \sim 500^\circ\text{C}$ あり、ここから貫流ボイラーによって蒸気を得ることは容易である。

既製品である欧州製を使うこととのミスマッチがここでも生じている。FIT で取りあえず売電、という呪縛から開放される必要がある。また熱利用率向上のため 22 年度 FIT から採用されている「小規模バイオマス発電の地域活用案件における熱利用義務」の厳格運用化も望まれる。

4.3 その他の課題

前述したように、小規模バイオマス発電は太陽光事業者が新規参入する例が多い。太陽光発電の FIT 買取価格はかつての 1/4 ほどに低下し、40 円/kWh と高額な小規模バイオマス発電は魅力的である。しかし装置を買って設置するだけで事業ができる太陽光とは異なり、バイオマス発電では導入のハードルが大きく上がる。燃料調達は当然計画していたとしても、稼働後の維持管理の手間は太陽光の比ではない。

この点、販売する側の代理店のアフター体制も脆弱で、売りっぱなしの会社があることは否めない。また欧州メーカーや代理店も含めて経営基盤の脆弱な中小企業が多いため倒産リスクもある。特に欧州の会社の与信調査は十分ではない例が散見する。倒産により保守部品が手に入らなくなれば、20 年間の FIT 事業継続すらおぼつかない。

導入設備の性能や価格はもちろん重要であるが、設備のみならずその保守管理は事業の両輪であるという認識が事業者には希薄であり、十分なリスク管理が必要である。

5. 最後に

現状の小規模ガス化発電はバブル状態であり、FIT の呪縛から逃れ、熱電併給装置が本来備えている熱も含めた高い総合効率を生かした事業とその継続なくして、これが我が国の脱炭素に貢献することは難しい。

国産技術が少ないからだとの声も聞かすが、筆者は日本に先行した欧州の経験と知識には素晴らしいものもあり、それを活かさず国産にこだわる意味はないと考えている。ただし対象にするのは日本のバイオマスであるため、欧州との差違を明確に認識し、海外メーカーに対して言うべき改善点ははっきりと主張し、受け入れられない場合は導入を断念する勇気も必要であろう。

輸入バイオマスに頼らざるを得ない大規模直接燃焼式発電とは違い、小規模バイオマス発電は国産資源を地産地消で活用できる唯一の再エネ手段であるという利点と、小規模分散はこれからの SDGs のキーワードでもあるということを念頭に、筆者も含めた関係者の努力が望まれる。

文 献

- 1) エネ庁, 再生可能エネルギー固定価格設備認定情報 22/1/31 付けより PEO 作成
- 2) 経産省, 調達価格算定委員会 令和4年度以降の調達価格等に関する意見
- 3) NEDO 実用化ドキュメント, CO₂ 排出量削減と地域活性化に貢献するバイオマスガス化発電システム, 2013
- 4) 笹内, 堀尾, 第 14 回バイオマス科学会議論文集, 1-3, 2019
- 5) Spanner ホームページ, <https://www.holz-kraft.com/de/holzvergaser/holz-kraft-anlage.html>
- 6) 福士, 渡邊, 第 12 回バイオマス科学会議論文集, O-1, 2017
- 7) 佐藤, 二宮ら, 第 15 回バイオマス科学会議発表資料, O-16, 2020
- 8) Bentzen ら, Low tar and high efficient gasification concept, DTU 2000
- 9) (株) サナース, LiPRO 社カタログ
- 10) NEDO, 平成 17 ~ 19 年度 バイオマスエネルギー転換要素技術開発/小型ガス化発電システムの開発成果報告書
- 11) シンエナジー, 中部大学, PEO 技術士事務所, 2019 年度林野庁地域内エコシステム成果報告会資料
- 12) 笹内, 堀尾, 第 15 回バイオマス科学会議論文集, O-5, 2020