

## 16. バイオマスガス化技術の事業化における諸問題 ーエネルギーの地産地消の実現のためにはー

藤野 毅<sup>1\*</sup>・岩田脩平<sup>2</sup>・下郷卓也<sup>3</sup>・飯嶋光幸<sup>3</sup>・佐藤秀雄<sup>3</sup>

<sup>1</sup>埼玉大学大学院理工学研究科（〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255）

<sup>2</sup>株式会社安藤・間 札幌支店（〒059-1605 北海道勇払郡厚真町本郷273-6）

<sup>3</sup>株式会社高橋製作所（〒349-0203 埼玉県白岡市下大崎 57-1）

\* E-mail: fujino@mail.saitama-u.ac.jp

バイオマスのガス化技術が進み、ターボトラブルの無い廃棄バイオマスからの炭化－水性ガス化プラントが完成した。発電事業において2,000kW以下の小規模事業が推奨されるようになり、エネルギー供給においても地産地消社会の構築が期待されている。しかし、依然としてバイオマス利活用の課題は環境保全性に優れながらも経済効率性が低いことであり、原料の安定供給の確保が大きな課題となっている。さらに木材チップの高騰も生じており、その事業化は容易ではない。しかし、わが国は古い人工林の除去など森林の再整備が急務であり、地域創生の観点から、まず基盤となる森林整備事業を行い、その中でバイオマス利活用事業を行うスキームが望ましい。なお、生成される水性ガスは理論上水素60%であり、水素社会の構築をにらんで水素製造事業として自然資源を利用することも考えられる。可能エネルギーの導入にあたってバイオマス利活用の導入例は未だ少ないなかで、地産地消という観点から経済効率性よりも持続可能性を重視すべきである。

**Key Words :** *biomass gasification, forest management, local production for local consumption society, sustainability,*

### 1. はじめに

わが国の再生可能エネルギーの導入にあたり、太陽光発電が急速に伸びているのに対してバイオマス利活用はそれほど進んでいない。バイオマス利活用の中で進んでいるのは直接燃焼による熱供給であり、発電はそのごく一部に限られているのが現状である。わが国の木質系バイオマスの年間発生量は約3,000万トンに及び、未利用バイオマスは年間1,800万トンとの推計がある。その中で林地残材は林業の衰退などからほとんどが利用されておらず、年間約800万トンも発生していると見積もられ、これらの有効利用法が議論されてきた。政府は、2011年より再生可能エネルギー買い取り制度を開始し、林地残材由来の電力を1kwhあたり32円で買い取ることを電力会社に義務化し、林地残材の電力需要は拡大した。しかし発電規模による買取価格の制限を導入しなかったため、大型（例として5,000kW程度）の直接燃焼式による発電施設計画が多数あがったが、原料の安定供給のためには膨大な木材を投入しなければならない。その結果、無理な運営は森林破壊を招く可能性がある。そこで政府は、2015年4月より出力2,000kW以下の小型発電を奨励し、

1kwhあたり40円で買い取ると決めた。この制度改正によりバイオマス利活用におけるエネルギー供給はその地域外への売電というより、その地域で消費する「地産地消社会」の下支えという意味合いが強くなったと受け止められる。しかし、“ならば小型発電の事業は成立するのか？”という議論は始まったばかりであり、地域の実情を十分に把握する必要がある。

本題では、(1)これまで普及を困難にしたバイオマス利活用技術の問題、(2)最新の技術の紹介、および(3)今後の方策としての可能性について言及する。

### 2. バイオマス発電システムの技術的問題点

#### (1) 直接燃焼方式とガス化方式

バイオマス発電技術は大きく分けて2つある。その一つは現在多く運用されている直接燃焼方式であり、大部分は熱供給として利用され、発電はごく一部に留まる。これは用いる蒸気タービンのエネルギー変換効率が7%程度と低いためであり、得られた電力は熱供給施設での利用に留まる場合が多い。従って小規模発電事業としては不向きである。そこで、直接燃焼方式に代わってバイ

オマスのガス化方式（ガス化エンジンの効率約35%）が主流となっている。わが国でもバイオマスのガス化技術は長年研究されているが、その実用化にあたっては海外のプラントを導入するところから始まった。しかしながら、これらはバイオマスを燃焼することに伴い発生する大量のタールが持続的な運用を妨げてきた<sup>2)</sup>。結果としてエネルギーの安定的供給という観点からタール発生問題はバイオマス利活用における最大の課題としてのしかかり、維持管理費もかさむことで採算性が得られる事業は中止に追い込まれている。

## (2) 現在のガス化発電システムで用いられる炭化温度

バイオマスのガス化技術とは、生成された炭化物が高温で水(水蒸気)と接触することで「ガス化反応」が生じ、一酸化炭素と水素に変換される。さらに一酸化炭素が水(水蒸気)と接触することで「シフト反応」が生じ、二酸化炭素と水素に変換される。バイオマスのガス化技術で求められるのは発電に利用できる「水性ガス」の割合が高いことであり、理想条件としては水素60%および一酸化炭素20%である。残りは二酸化炭素20%となる。しかし、実際には窒素が多く混入されることも多いため、「水性ガス生成量」の高効率化が求められている。

元来、木質系バイオマスを加熱すると200℃前後から熱分解が始まり、約600℃に達するまでにタールが発生する。この熱分解反応は全てのバイオマス原料において同様に生ずる。この炭化過程において実用プラントとして普及しているのがロータリー・キルン型と呼ばれるもので、その炭化製造温度は約700℃である。この場合に投入した原料に対して得られる炭素割合(炭素収率と呼ばれる)は25%以上である。通常、これ以上の高温処理では炭素収率は下がる。次に、ガス化反応には炭化過程で発生した熱が利用される。ここで、従来の方式ではタールを除去する装置が不可欠であるため、製造したエネルギーの一部はこの処理に費やされてしまう。また、700℃程度の炭化後、十分なガス化反応を生じさせるためには同程度の温度が必要である。このような状況で実用化され、データが公表されている例を示すと、ロータリー・キルン型を用いたバイオマスガス化システムによる水性ガスの内訳は、水素41.5%、CO 19.2%、CH<sub>4</sub> 3.3%でありCO<sub>2</sub>は36%である<sup>3)</sup>。さらに発生するガス中には窒素が20%含まれているため、利用できる水性ガスは発生する全ガス量の半分程度に留まる。

## 3. バイオマス 2 段ガス化方式と諸条件

筆者らが推奨するバイオマス炭化・ガス化の2段階方式では、従来にはない縦型の構造を有する炭化炉であり、

伝統的な炭の製造方法を元に1,000℃以上の環境で炭化し、その後“精錬”がなされる<sup>4)</sup>。

1,000℃以上で炭化処理されることで、発生したタールも全て燃焼されてガス状になり、タールトラブルは完全に避けられる。この条件は知られているが、これまでのガス化プラントでは炭化とガス化を一体化させていたことと、得られる炭素収率条件から700~800℃が好ましいとされてきたことから、これまでに1,000℃以上でのシステムは存在していなかった。確かに1,000℃以上での炭化処置によって炭素収率は最大でも20%程度に留まる。しかしタールトラブルが避けられることは、これまでの大きな問題であった維持管理費の大幅な削減に繋がり、さらに発電システム全体に必要な熱源としてガス化反応温度を確保すること以外にも原料の乾燥（自然の含水率が55%であるのに対してこれを15%程度にする必要がある）のための熱源として利用できる。従って、炭化およびガス化といった、個別の現象では一見不利なように見えても全体としては極力外部エネルギーを必要としないシステムが望まれており、タールの燃焼熱が有効利用できることはこれまでの弱点を強みに変えたものといえる。

なお、2段階方式の優位性を示すためには、より高温で炭化されたことによる比表面積の増大がガス化反応の効率にどの程度影響を与えているかを確かめる必要がある。炭素収率が劣っていても単位時間当たりのガス化反応速度が高められれば炭化温度の問題はカバーできる。また、炭の精錬により炭化物の炭素含有率は85%を保持できることから、生成される水性ガスの不純物は極めて少ない。2015年3月現在、生成された水性ガスの内訳は、水素58.0%、CO 16.7%、CH<sub>4</sub> 0.43%であり、CO<sub>2</sub>は18.8%である。既存の例と比較するとCO<sub>2</sub>の外気に戻される割合も半減した。これ以外にも、含まれる窒素は5.6%である。

## 4. バイオマス利活用の事業化における問題

バイオマス利活用技術について、2つの方式と最新の方式の概略を説明したが、事業化においてはどれも次の3つの条件をクリアする必要がある。1つ目は材料の供給安定性と供給先の需要、2つ目はどれだけCO<sub>2</sub>を削減できるかといった環境保全性、3つ目は経済効率性である。バイオマスを活用するということから2番目は他の方式と比較して優位であるが、林地残材が多く存在するといってもこれを効率的に取り出し、運搬する方法はないために小規模であっても経済効率性は低い。そこで、エネルギーの地産地消という観点からの導入の意義について議論する。

## (1) バイオマス事業の市場評価の在り方

事業化のポテンシャル評価、いわゆるマーケティング・ミックスとしてマッカーシーの「4 P」が提唱されている<sup>5)</sup>。「4 P」は、製品(Product)、価格(Price)、流通(Place)、販売促進(Promotion)の英語の頭文字をとり、いずれも販売する側の戦略論を説明するものである。本題のバイオマス事業は、他のエネルギー供給システムと比較すれば経済効率性が低いことから、これらの販売戦略は立て難いことが明白である。しかし、この小規模事業を「エネルギーの地産地消」と捉えるならば、経済効率性よりも持続可能性が重要である。さらに、持続可能であることの鍵は地域または利用者側の姿勢に強く依存すると考えられる。このようなロジックから、顧客の視点での評価、すなわちローターボーンの「4 C」について触れておく。「4 C」とは、顧客価値(Customer Value)、顧客費用(Customer Cost)、利便性(Customer Convenience)、およびコミュニケーション(Customer Communication)の頭文字をとったものである。このような考え方から4 Pに照らし合わせると以下ようになる。

①Product：製品(Product)が消費する地元の人々にどれだけの価値(Customer Value)をもたらすのかについて、発電と熱利用、あるいは後述する水素製造の両面とも、木質バイオマスを中心とする場合は地域資源である森林を管理し、守る義務を果たすことにより持続可能社会の基盤を担うことが理解されれば、それは資源の乏しいわが国にとって地域の誇りであり、普遍的な価値として認識されよう。

②Price：例えば、本提案技術では製品の価格(Price)は現在1ユニット3～10億円(木くず投入量200～2,000 kg/h、発電量120～1,200 kW/h)を想定しているが、買い取り価格が40円に値上がりしたことにより早く(3～5年)回収できると見込んでいる。しかし、問題は原料の木材チップ価格の高騰である。この問題さえ解決できれば消費する地元の人々にかかるコスト(Customer Cost)としては地産地消であるため極力安くなければならない。

③Place：本製品の流通(Place)を利便性(Convenience)とする。後述するが事業目的を発電ではなく水素製造で考えた場合、地元の水素を使用する工場(マーガリン製造や研磨剤の製造など)があれば固定客となり、その利便性は極めて高い。このような特性を活かして小規模の産業を誘致できる。

④Promotion：本製品の販売促進(Promotion)をコミュニケーション(Customer Communication)と捉える。すなわ

ち地産地消型エネルギー供給をいかに「コミュニティビジネス」として成立させるかが肝要である。木質バイオマスを利用する限り、「自然との共生」および「生産者と消費者の共生」が暗黙のコンプライアンスである。すなわち、生産者も消費者も森林資源を管理し、守る義務を負うことで持続的社会を形成することが可能になる。

わが国の並行して生じしている大きな社会問題は放置された森林の再整備と管理である。バイオマス事業を成功させるためには同時に森林整備を行う必要がある。例えば、古く放置された人工林(スギ林)から自然林への変換が可能になれば、原料の調達とともに、よりCO<sub>2</sub>の吸収速度が高い若年の森林に生まれ変わる。同時に林道の整備が進めば持続的な原料の調達も可能になるであろう。森林整備は現在問題が深刻化する野生動物の管理問題の解決にも結びつくことから、国の施策として積極的に推進されることを望む。

## (2) 水素社会の構築に向けた投資

本題で提案する技術では生成される水性ガスの中でも水素60%を含む。そのため、これを発電からPSA(水素精製装置)に変えることで水素製造事業も可能になる。水素製造の他の手法として、化石燃料からの精製や水の電気分解が挙げられる。いずれも大規模事業においてはこれらの方法が海外を中心に行われ、水素は輸入する形になるかもしれない。これらは環境保全性に優れておらず水素社会を構築する意義を考慮するとやや矛盾している。しかし、小規模の地産地消であれば、バイオマス利活用は環境保全性により優れることから推奨すべき手法である。水素製造事業においても原料の価格が問題になるが、現在のところ本記載技術の水素製造に要する価格は70円/m<sup>3</sup>程度であり、NEDOが推奨する標準販売価格100円/m<sup>3</sup>も可能である<sup>6)</sup>。特に首都圏は水素社会の構築を本格化させており、バイオマス利活用法として一つの方策となり得る。

## 5. おわりに

国産バイオマスガス化技術の実用化例はまだごくわずかであり、解決すべき技術的課題と自然・社会的背景、およびコミュニティビジネスとして成立させることの重要性について言及した。元来、バイオマス利活用は経済効率性が低いものの環境保全性に優れていることから、これを単体の事業として捉えるのではなく、現在直面している健全な森林の整備があり、その中の一つの活用として組み込み、持続可能性を保証するシステムの構築が望まれる。そこには地域社会の在り方が問われている。

なお水素製造事業については、地域全体のインフラ整備を待つことになるが、需要が高まれば事業は見込まれ、エネルギーを輸入に頼るわが国にとって地産地消の考え方はより重要になるであろう。

**謝辞：**本研究の実施にあたり、丸山隆之氏（株式会社エコネット・エンジニアリング）には様々ご協力を頂きました。

本研究は、平成26年度「埼玉大学・民間企業との共同研究」（第87号）の一部であり、また現在、平成27年度「新エネルギーベンチャー技術革新事業」（フェーズB）“バイオマス2段ガス化設備の自動制御による高品質水性ガスの高効率生成と長期安定供給”の支援を受けて実施している。

## 参考文献

- 1) 産業環境管理協会：バイオマス利用の現状と展望，木質系バイオマス発電の展望，環境管理，第50巻，第11号，pp.4-7，2014.
- 2) 産業環境管理協会：バイオマス利用技術の展望と課題，環境管理，第48巻，第11号，pp.4-8，2012.
- 3) Taniguchi et al.: J. of the Japan Institute of Energy, 91, 1024-1029, 2012.
- 4) 飯嶋光幸・高橋君典・佐藤秀雄・藤野 毅：TSハイブリッドバイオマス発電設備の開発と再生可能エネルギーとしての導入の意義，土木学会地球環境委員会，第22回地球環境シンポジウム講演集，pp.39-43，2014.
- 5) 肥田日出生：マーケティングミックスの論理，中央経済社，145p，2007.
- 6) NEDO監修：トコトンやさしい水素の本，第3章水素の製造法，日刊工業新聞社，159p，2005.