

9. 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

飯嶋 光幸¹・高橋 君典¹・佐藤 秀雄¹・藤野 毅^{2*}

¹株式会社高橋製作所（〒349-0203 埼玉県白岡市下大崎 57-1）

²埼玉大学大学院理工学研究科 環境科学領域（〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255）

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

近年、バイオマス（廃木材等有機廃棄物）を炭化および熱分解することにより水素等のエネルギー用のガスを製造する技術が注目されているが、原料由来である炭に含まれるタールによるトラブルが長年の課題であった。本システムは 2段階ガス化方式を採用することでタール発生の問題を解決し、自燃式であるためシステムの初期稼働以外には外部からの電力供給を不要のものとしている。従って、再生可能エネルギーの導入にあたってバイオマス発電導入量は少ないものの、今後は大きな役割を果たすことが期待される。本報告では、システムの概略を紹介するとともに課題と期待される効果について言及する。

Key Words : biomass gasification, self-heat combustion, two-step gasification systems

1. はじめに

1990年代に入って化石燃料の消費が地球温暖化を引き起こすことが明らかになったことに加え、2011年3月11日の東日本大震災により原子力に代わる代替エネルギー変換手法として、バイオマスや廃棄物から熱化学的手法によってエネルギーを回収する方法がカーボンニュートラルであることから注目されている。これは、原料を炭化する装置と炭化物を熱で分解させる装置により最終的に生成されるガスを燃料ガスとして発電するという仕組みである。

バイオマスや廃棄物の燃料利用の社会的メリットとして、①エネルギー供給の分散化、特に地産地消によるエネルギー分配が供給システム構築の低コスト化。②廃棄物処理施設に対する忌避感情の緩和および既存の処理施設の負荷低減化。③燃料電池システムへの利用。など、再生可能エネルギーへの転換に係る諸問題としてだけではなく、並行して抱える我が国の社会インフラのあり方についてもその解決に寄与するものである。

しかしながら、特に木質バイオマスの液化、ガス化においては、生成するタールを含んでしまうことで発電で利用するガスエンジンにトラブルを引き起こし、長年その処理方法の模索が続いていた。近年になって、タール

の完全抑制手法として2段階ガス化方式¹⁾が提案され、その第一段階である原料の炭化が充分であれば、タールや副生成物の発生を抑制することが明らかとなった。

筆者らは長年、炭化炉および熱分解炉の製造に従事し、2013年にバイオマス発電のシステム化（名称：TSハイブリッドバイオマス発電設備）に成功した。そこで独自に開発した縦型流下式連続高速炭化炉を中心にシステムの緒言および今後の課題について記述する。

2. 炭化炉の構成比較

(1) 従来の炭化炉の概要²⁾

通常、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、600℃に達するまでにタールが生成される。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じ、従来の炭化物にはタールが含まれている。現在多く用いられている炭化装置は、炉の熱効率が高い方式として連続・回転式（ロータリー式、もしくは横型キルン型）と呼ばれるもので、原料を約1時間ほど滞留し、その間450℃程度で加熱され炭として排出される。通常は精錬層部を持たないため、炭化物の炭素含有量（硬度）が低く、比表面積も小さい。これまで我が国は炭の製造目的として各種浄化材への利用を主眼に置いて

いたことから、炭の比表面積を増やす賦活装置が付いたものも普及している²⁾。なお、動力に電気と燃料として化石燃料を使用する場合がほとんどである。

(2) 縦型流下式連続高速炭化炉

伝統的な炭の製造方法として炭窯式がある。これは製造温度により収炭率が異なる黒炭窯と白炭窯に分けられ、備長炭は白炭窯で作成される。これは炭化のみならず1,000℃の環境下で“精錬”される。作成した白炭同士をぶつけると金属音を発するが、炭素密度がより高く“締まった炭”であることの証である。

筆者らが開発した炭化炉はこうした伝統的手法に基づいて設計された(図-1)。直径が1m、高さ2.5mのステンレス製円筒形の本体を備え、上部から、本体内部の上部空間をバイオマスおよび廃棄物から発生する可燃性ガスを燃焼させる燃焼ゾーン、その下方に本体の内径よりも小さな円筒体(蓄熱体)を配置し、円筒体の上部分と本体の側壁とによって構成される空間にてバイオマスおよび廃棄物を燃焼させる燃焼炭化ゾーン、その燃焼熱によりさらなる高温化で炭化させる精錬ゾーン、および不燃状態を作り出して炭化物を消火させる不燃ゾーンで構成し、かつ、円筒体から燃焼炭化ゾーンに空気を供給することを特徴とする。円筒体は、内壁と空気供給口を備えた外壁を有する二重壁構造であり、間に形成された予備加熱室を介して空気を炭化部に供給する。これにより燃焼温度を均一にでき、精錬時間を調節することで炭品質を向上させることができる。さらに精錬・消化ゾーンでは下部に置かれたテーブルの回転により炭化物が適度に粉砕され、粒度の調整ができる。

なお、材料を連続的に投下することで自動に燃焼熱が得られるため、運転初期の灯油投入とテーブル回転のための電源以外は不要である。炭化装置の上部が1,000℃に達するため、タール成分はすべて燃焼(ガス化)する。

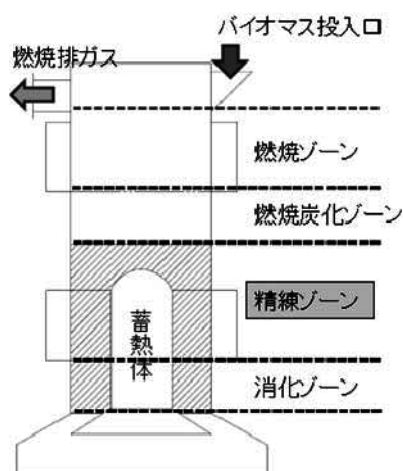


図-1 縦型流下式連続高速炭化炉の概略図

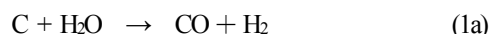
(3) 縦型炭化炉の性能評価例

含水率20%の廃木材を炭化炉に投入して炭化させた結果25~27%の収率で純度の高い炭化物が得られることを確認した。同木材の理論炭化物収率は29.6%であり、本装置により88%の収率であった⁴⁾。本例における炭化効率の尺度となる廃木材の処理速度は1,000 kg/hrである。その他、結果の一部を付録(表-2)に掲載する。

3. 熱分解炉(ガス化炉)

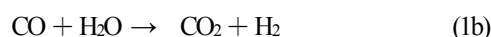
木質系材料を熱分解ガス化するには、原料となる木質バイオマスを低酸素状態においてガス(CO, H₂, CH₄, CO₂, H₂O)、炭化物、炭化水素に分解し、熱分解生成物を酸素又は空気を制限下供給して燃焼し、次に前記炭化物を高温加熱してガス化して水性ガスを生成する¹⁾。

熱分解炉(ガス化炉)内では周りの熱を吸収して、その熱を反応に使う第1段階の反応(吸熱反応)として、



が生じる。

さらに、高温状態であるためシフト反応として、



が生じる。

本システムでは、前出の熱分解炉において燃焼ガスと水性ガス反応管が異なるため微量のタールが発生しても混ざらない構造とし、水蒸気をガス化剤として固定炭素から水素を得る。従って、原則としてどのような材料でも揮発分・重質油分を飛ばした炭化後の炭であればタール分を含まない良質なガスを得ることができる。

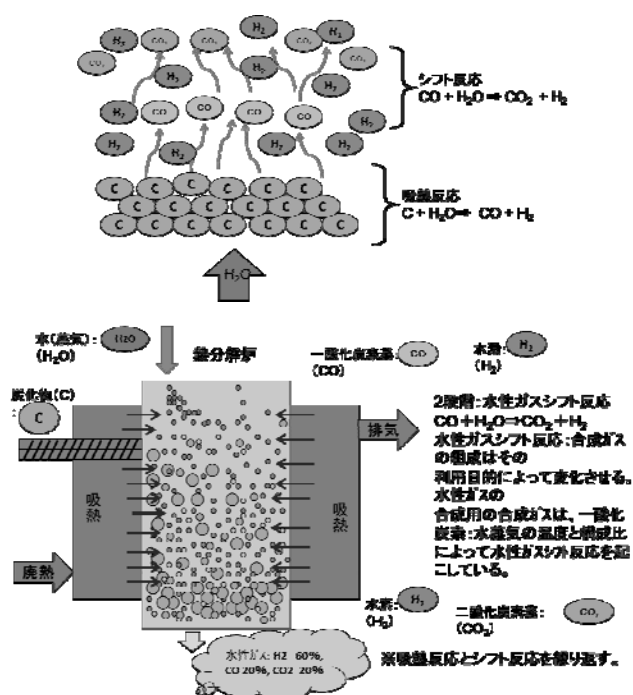


図-2 熱分解炉の中での反応プロセスの概略図

4. システム全体の構成

2つの装置を中心とした原材料の投入からガス製造までのフローを図-2に示す。利用条件の例として、原料として木材チップ（乾燥原料：含水率＝15%）を1,000 kg/hrで投入した場合、水性ガスの生成量として434 Nm³/hrと試算（H₂: 60 %; CO: 20 %; CO₂: 20 %）され、発電量としては500 kw hr以上（最大1,000 kw hr）である。

5. 本システムの再生可能エネルギーとしての導入の意義と課題および今後の展開

(1) 縦型炭化炉の優位点と課題

2段階ガス化技術において 解決すべき課題と方法を表-1に示す。ここまで主に木質系バイオマス为例に記述したが、木炭や竹炭は樹種およびその炭化条件（温度条件として400℃から1,000℃）によって炭化収率・揮発分・灰分・固定炭素割合および精錬度が異なる⁹⁾。従来の知見では炭化温度を高くするほど炭化収率が下がり灰分が高くなる傾向にある。一方、温度の高い処理では揮発分が減り、固定炭素割合は高くなる。本システムでガス化利用として適切なのは炭素収率としては高く、揮発分および灰分は低い方がよいとされるが、今後、各種条件でガス成分の構成を検証する必要がある。

次に、家庭や産業分野から排出される有機廃棄物の処理して炭として再利用する方法も期待できる。有機廃棄物の例には、食品廃棄物、建設廃材、シュレッダーダスト、畜産廃棄物、間伐材、剪定枝、製材のくず、竹、刈り草のような樹木製の廃材、汚泥、イナワラのようなソフトバイオマス、家庭から排出される一般廃棄物など様々あり、多様な組成を持つバイオマスへの対応として木質系バイオマスと同様に出力のガス成分の検証が必要である。なお、本システムによる炭化炉の処理温度は1,000℃であり、種々の不純物の処理および毒性物質の無害化（例としてアスベストの無害化）を行ってきており、農業系バイオマス（稲わら、もみ殻）はもちろんのこと、畜産系バイオマス（ブロイラー鶏糞、採卵鶏糞、豚糞など）も無臭で有効活用することができる。

(2) 海外展開に向けて

わが国の再生可能エネルギー導入拡大の意義は、まず1)低炭素社会構築への貢献であり、バイオマス発電設備は太陽光・風力・中小水力・地熱と並んで取り上げられている。しかし、現在までその9割以上が太陽光で占めており、他のエネルギーの導入が遅れている。次に、2)途上国を含む世界の低炭素電力システム普及の寄与が挙げられる。このような背景から、本ガス化システムは我

が国におけるエネルギー問題の解決に寄与するだけでなく、バイオマス資源の豊富なアジア地域（例えば、ミャンマー共和国等）や、大規模な発電システムが不要な島嶼部（例えば、インドネシア諸島）への率先導入がより効果的であり、これが実現すれば各地域の生活文化や自然環境を破壊することなくエネルギー供給を可能にすることができる。今後のデータの蓄積とともに地球環境問題の解決に向けて大きな期待が持たれている⁹⁾。

表-1 解決すべき課題と方法

高含水率バイオマスへの対応	炭化炉の廃熱を利用した乾燥機による水分の制御
多様な組成(C, H, O, N, P, K, Si, Ca等)を持つバイオマスへの対応	諸条件下（反応温度等）において生成される水性ガスの特性把握⇒制御要因の把握
炭化物の収率最適化	炭化炉内温度の調整
反応速度が異なる炭化炉とガス化炉の間で熱の授受	・ガス化炉内温度の制御 ⇒加熱水蒸気（ガス化剤）の温度制御
トータルシステムでの検証※	各種条件設定ごとの反応プロセスの解析と制御の検討

※炭化物の生産と熱分解炉の温度維持と発電量の3点の調節を同時にスムーズに実施することが重要である。

謝辞：本研究を実施にあたり、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。本研究の一部は、H25・H26年度の埼玉大学・民間企業との共同研究（第32-87号）として行われた。

付録：炭化炉、熱分解炉の写真及び試験結果の一部を次頁に載せた。

参考文献

- 1) 小島康夫：木質系廃棄物利用による気体燃料生産，ケミカル・エンジニアリング，pp.135-139,2008.
- 2) 渡辺孫也他：廃棄物再生炭化物による水中リン除去機構に関する研究，水環境学会誌，第26巻，第1号，pp.47-52,2003.
- 3) 岩崎 訓：木炭・竹炭の製造条件と特性，炭の製造と利用技術（NTS）第3編・第1章，pp.113-132,2009.
- 4) 佐野 寛，本庄孝子：バイオマス半炭化の原理と効用，高温学会誌，Vol.37，No.2，pp.43-49,2011.
- 5) 吉田弘之監修：多孔質吸着材ハンドブック，フジテクノシステム,2005.
- 6) Iijima Y., Takakura A., Aung N., and Fujino T.: Self-heat combustion systems for biomass gasification power generation, 1st International Conference on Energy, Environment and Human Engineering (Yangon, Myanmar), p.129,2013.

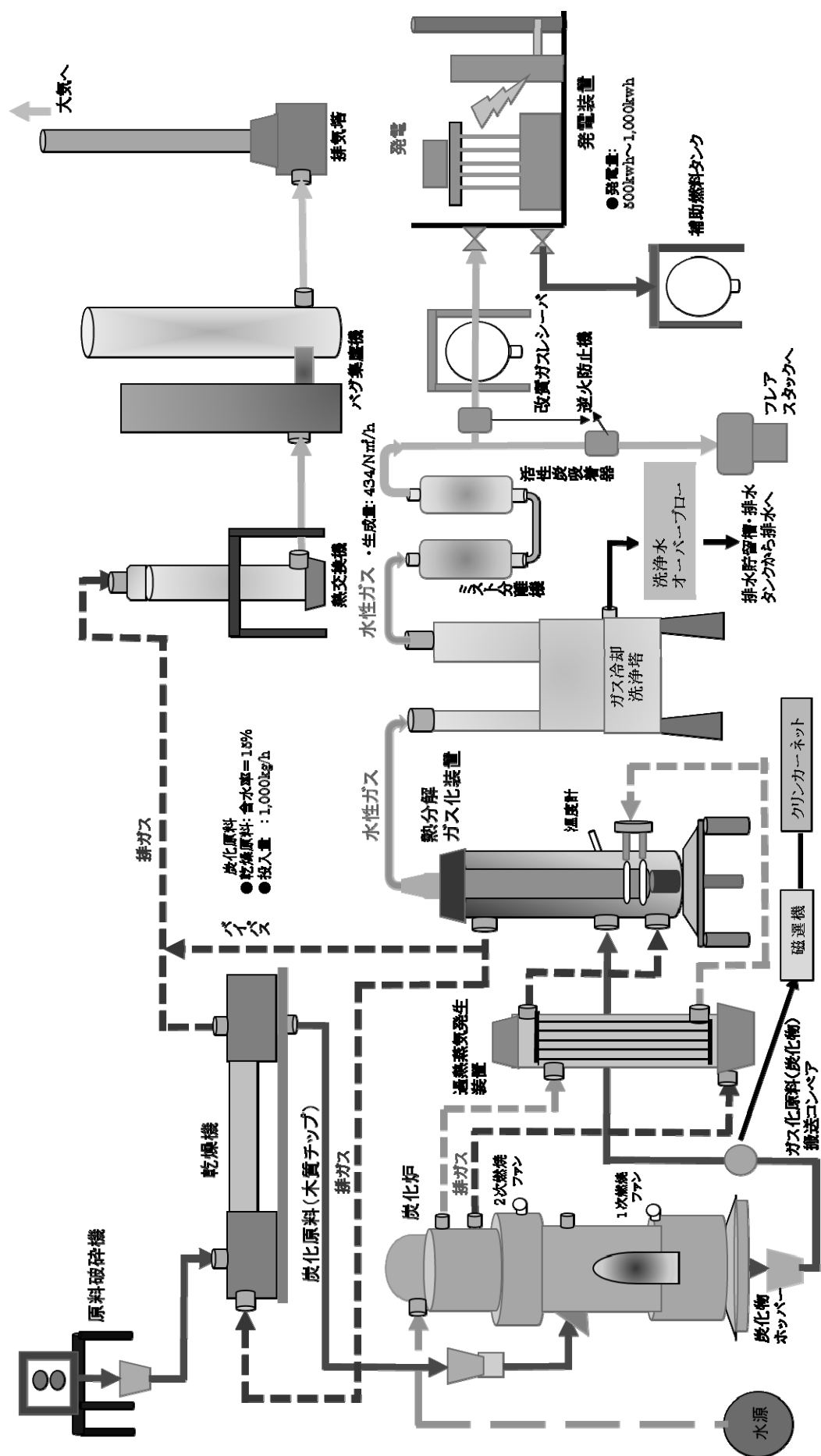


図-2 TSハイブリッドバイオマス発電設備フロー



写真-1 縦型流下式連続高速炭化炉

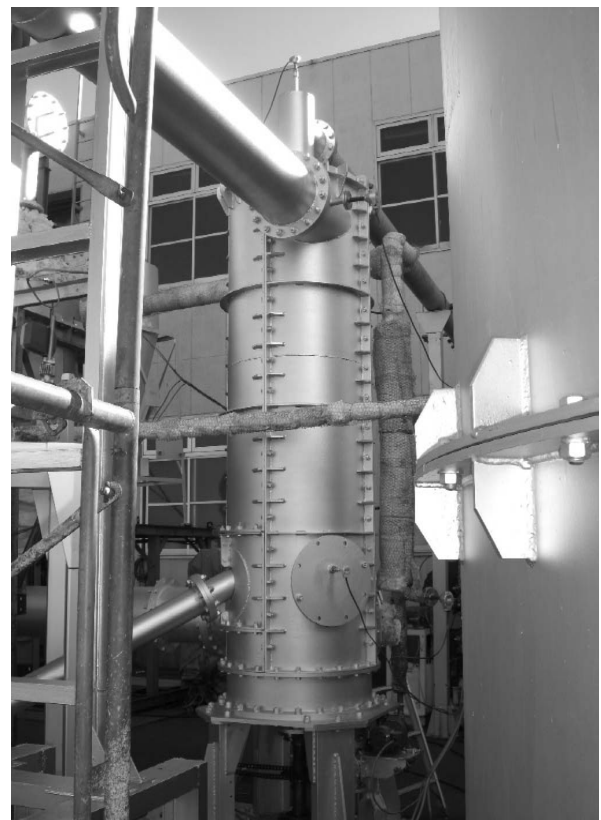


写真-2 熱分解炉（ガス化炉）



写真-3 炭化前の木材チップ（左）および炭化後（右）

表-2 木材チップ及び各種炭化物の元素分析結果例

	C (%)	H (%)	N (%)	灰分 (%)	合計 (%)	酸素 (%)
広葉樹チップ	45.9	5.6	0.1	1.5	53.1	46.9
針葉樹チップ	47.9	5.9	0	0.2	54	46
針葉樹炭(900~1000℃)	86.7	1.1	0.6	3.6	92	
広葉樹炭(900~1000℃)	85.4	0.1	0.6	7.1	93.2	
広葉樹炭(800~1000℃)	81	0.5	0.6	8.3	90.4	
広葉樹炭(650~700℃)	77.2	0	0.5	3.9	81.6	
建築廃材炭(650~700℃)	53.4	0.3	0.5	38.4	92.6	

※ 括弧内の温度は炭化炉の処理温度