

バイオマスガス化メタノール製造システムの開発

Development of Biomass Gasification Methanol Synthesis

原動機事業本部 小林 由 則*¹ 加 幡 達 雄*²
 長崎造船所 前 田 隆 之*³
 技 術 本 部 一ノ瀬 利 光*⁴ 竹 内 善 幸*⁵

バイオマスは太陽エネルギーにより大気中の二酸化炭素 (CO₂) が固定化されたもので、エネルギー源として資源量が多く、利用しても大気中の CO₂ が増加しない究極の CO₂ 対策として注目されている。しかし、そのままではバイオマスの分布密度は低く、容積が大きく燃料として使い難い。当社では、石炭ガス化等の技術を適用したバイオマスを液体燃料であるメタノールに転換するシステムを開発し、パイロットプラントでバイオマスメタノールの合成に成功した。バイオマスメタノールは自動車燃料等の移動用分野も含めた再生可能エネルギー化を可能とするものである。

Biomass is derived from carbon dioxide (CO₂) in the atmosphere, fixed by solar energy. Biomass energy use does not increase CO₂ in the atmosphere, potentially providing the ultimate in CO₂ emission reduction, but biomass as such is not convenient to use as fuel due to its low density. We developed fuel conversion from biomass to methanol, or liquid fuel, applying proprietary gasifier and other equipment technology. We executed pilot plant tests, and derived methanol successfully from biomass. This makes it possible to use renewable energy in the mobile and transportation fields.

1. バイオマスエネルギーの特徴

バイオマスは生物資源といわれる。太陽エネルギーが光合成により植物体に姿を変え、植物体として蓄えられたものをエネルギー源として利用するのがバイオマスエネルギーである。人類が太古から利用してきた薪(まき)などは、バイオマスエネルギーの代表的なものである。

バイオマスエネルギーの特徴として、以下の項目が挙げられる。

(1) CO₂排出ゼロ

バイオマスエネルギーの利用過程では二酸化炭素 (CO₂) が排出されるが、その CO₂ をバイオマスが取込んで成長するため、炭素はバイオマスと大気の間を循環するだけである。したがって、成長した分のバイオマスを利用している限り大気中の CO₂ を増加させることはない(図1参照)。

一方、バイオマスは積極的にエネルギー利用しなくてもいずれは枯れて分解され CO₂ を大気中に再放出することから、バイオマスエネルギーの利用は自然の炭素循環を乱すものではない。

(2) エネルギーセキュリティに寄与すること

バイオマスは広範に賦存する。日本国内にも十分な資源量があり、輸入の必要がない。地域単位でのエネルギー自給も可能となってくる。現状は廃棄物として処分されている間伐材等も燃料として活用できる。

(3) 永久エネルギーであること

化石燃料は長期的には枯渇する運命を免れないが、バイオマスは太陽エネルギーが変換されたものであるから、太陽がある限り供給可能である。

さらに、バイオマスをメタノールに転換することにより以下のようなメリットが得られる。

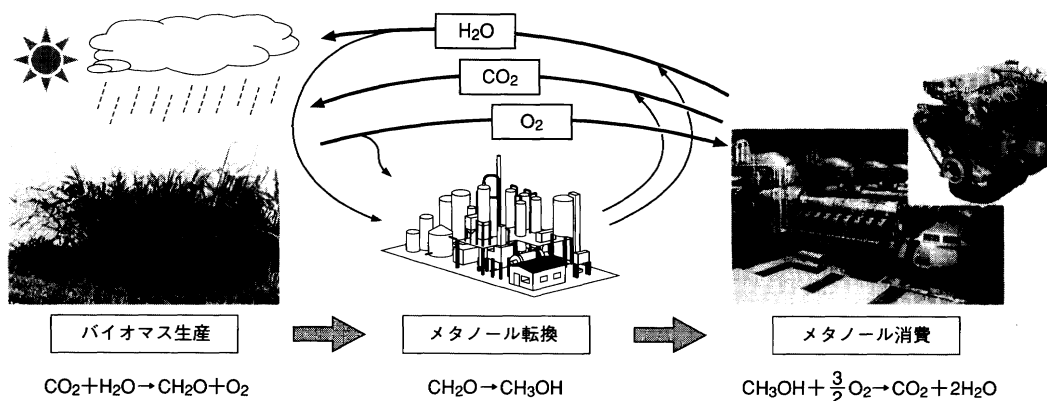


図1 バイオマスエネルギーの利用と CO₂ の循環
 Biomass energy use and material recirculation

*¹ ボイラ技術部ボイラ開発・サービス技術課長
 *² ボイラ技術部ボイラ開発・サービス技術課
 *³ 火力プラント設計部エネルギー・環境技術課長

*⁴ 長崎研究所火力プラント研究推進室長
 *⁵ 広島研究所化学プラント研究推進室主席

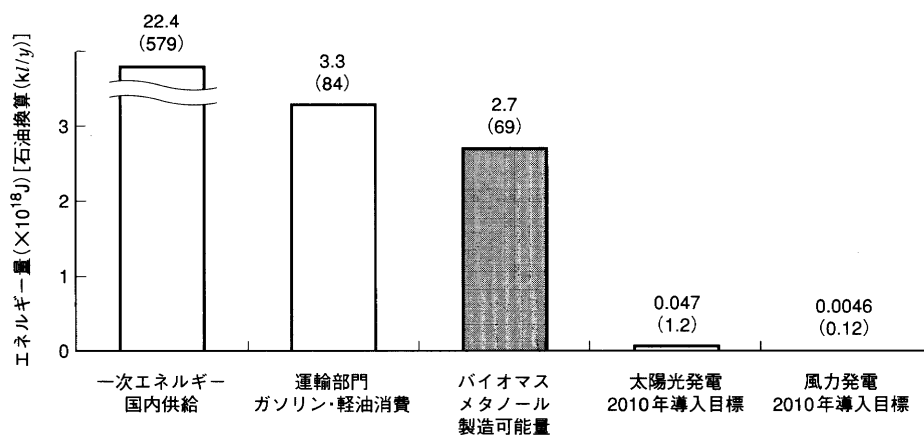


図2 日本のエネルギー消費量と再生可能エネルギー利用可能量
Energy consumption and potential of renewable energy use in Japan

(1) 高効率のエネルギー変換

バイオマスからメタノールへの転換効率は、発熱量ベースで40～50%となる。当社のバイオマスガス化メタノール製造システムは微粉化したバイオマスを高温下でのガス化反応により、水素 (H_2)、一酸化炭素 (CO) などのガスに転換した後、メタノールを合成する。このため、原料バイオマスの分子構造によらず草や木等のあらゆる部分（茎・葉・実などすべて）を利用することができる。

(2) 豊富な資源量

国内のバイオマス生産可能量について、森林からの間伐材や食糧生産と競合しない遊休地・休耕地での栽培により乾燥重量183百万t/yのバイオマスが供給可能であると推算している。このバイオマス原料から重量92百万t/y、熱量2.1 EJ/y (石油換算54百万kl/y、1 EJ=10¹⁸J) のメタノールを製造できる。加えて、廃棄物として処分されている稲わら、サトウキビの搾りかす (バガス)、木工所の木くず、建築廃材などを原料として、重量26百万t/y、熱量0.6 EJ/y (石油換算15百万kl/y) のメタノール製造が可能である。これらを合せてバイオマス起源のメタノールの導入可能量は2.7 EJ/y (石油換算69百万kl/y) と推算している。資源エネルギー庁“長期エネルギー需給見通し”⁽¹⁾によると2010年導入目標が、太陽光発電が5000 MW (石油換算1.2百万kl/y)、風力発電が300 MW (石油換算0.1百万kl/y) となっているが、これらの導入目標に比べてバイオマスメタノールの生産可能量は十分に大きく、今後の自然エネルギー利用の主役となることが期待される (図2参照)。

資源エネルギー庁“総合エネルギー統計”⁽²⁾によると、1997年の一次エネルギー国内供給総量は22.4 EJ/y (石油換算579百万kl/y)、このうち、ほとんどが自動車燃料と考えられる運輸部門ガソリン・軽油消費量は3.3 EJ/y (石油換算84百万kl/y) となっている。前述のバイオマスメタノールのポテンシャルは、一次エネルギー国内供給総量に対して12%、運輸部門ガソリン・軽油消費量に対して85%となり、有望な石油代替燃料となり得る。

(3) 貯蔵・輸送が容易

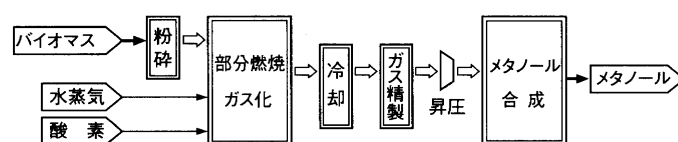


図3 バイオマスガス化メタノール製造システムの構成
Schematic diagram of biomass gasification methanol synthesis system

メタノールは常温・常圧で液体である。高位発熱量は22.6 MJ/kg (5420 kcal/kg) で石油の1/2程度であり、腐食性に対する配慮は必要であるものの、ガソリンのような石油系燃料と同様の取扱いができる。また、液体燃料としていったん貯蔵することで、需要に応じた発電も可能となる。

2. バイオマスガス化メタノール製造システム

2.1 原理

バイオマスガス化メタノール製造システムの構成を図3に示す。天日などで乾燥されたバイオマスは、1 mm以下に粉碎されて常圧のガス化炉に送られる。ここで酸素、水蒸気をガス化剤としてガス化反応が起り、ガス化剤の酸素で原料バイオマスの一部を燃焼し、800～1000℃の高温の場とガス化反応に必要な熱を発生し、残りのバイオマスを水蒸気でガス化し、 H_2 、 CO を主成分とする生成ガスを得る。この生成ガスを冷却する際、熱回収によりガス化剤水蒸気を発生させるので、蒸気発生のために外から熱を供給する必要はない。生成ガスから灰分、余剰の水蒸気などをガス精製で取除いた後に6～10 MPaに昇圧し、200～300℃の温度で、銅-亜鉛系触媒にてメタノールを合成する。

2.2 バイオマス原料例

バイオマス原料の例として、日本で栽培されている牧草の一種であるイタリアンライグラスの性状を表1に示す。天日乾燥後のイタリアンライグラスは容易に1 mm以下に粉碎することができる。粉碎後の全水分は8.7 wt%、灰分は9.4 wt%である。

2.3 パイロットプラント試験

当社は、長崎研究所にバイオマス処理量50 kg/dのパイロ

表1 イタリアンライグラスの性状
Characteristics of italian rye grass

原料名	イタリアンライグラス
高位発熱量	16.0 kJ/kg (3 810 kcal/kg)
組成 $C_mH_nO_p$	$C_{1.12}H_2O_{0.94}$
水分	8.7 wt %
灰分	9.4 wt %

表2 バイオマスメタノールの性状
Characteristics of methanol derived from biomass

燃料名	バイオマスメタノール
高位発熱量	24.3 MJ/kg (5 800 kcal/kg)
メタノール	87 wt %
水分	1 wt %
その他 (炭化水素等)	12 wt %

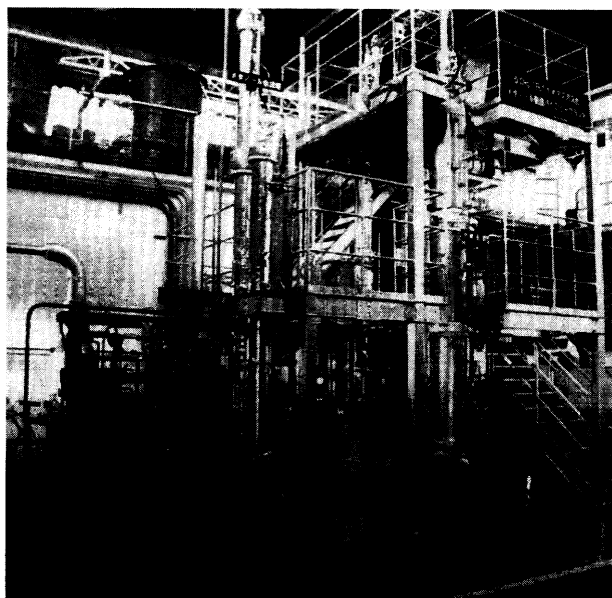


図4 バイオマスガス化メタノール製造パイロットプラント
外観
Appearance of biomass gasification methanol synthesis
pilot plant

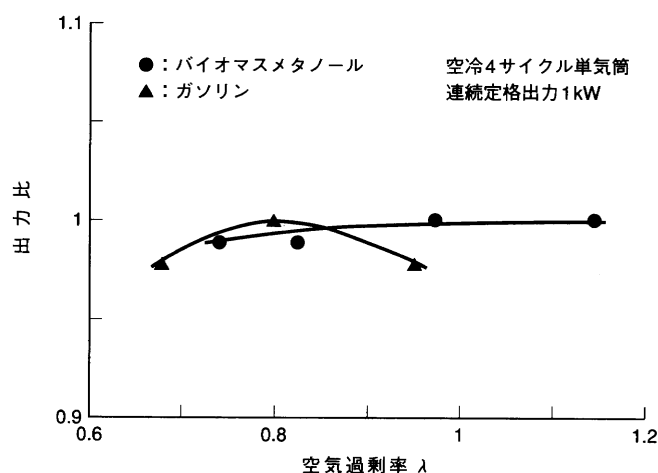


図6 バイオマスメタノールのエンジン出力特性
Characteristics of Otto cycle engine with methanol derived from
biomass

2.4 バイオマスメタノール利用

このバイオマスメタノールで当社製 1 kW オットーサイクルエンジンを運転し、ガソリン燃料の場合と同等の出力特性を得た (図6 参照)。また、ディーゼルエンジンでは、メタノールの着火性が低いことから、当社製軽油燃料仕様 38 kW エンジンの燃料噴射系と着火系を改造し、運転試験中である。

2.5 バイオマスエネルギー利用技術の比較

バイオマス起源の燃料製造の代表的な例を表3に示す。

米国では、トウモロコシの実を原料とした発酵エタノール製造が盛んに行われている。発酵法はバイオマス中の炭水化物、糖質のみを原料とするため、バイオマス全体からの転換効率は低い。また生化学的反応であるために反応速度が遅く、製造設備の大容量化には適さないと考えられる。また、発酵原料の糖質は食糧であり、燃料生産手段として大規模に展開する場合には、食糧生産との競争を避けなければならない。

発酵メタン製造は、国内でも畜産廃棄物等を原料として既に試行されているが、転換された燃料はガス状のメタンで、液体燃料に比べて輸送・貯蔵性に課題があり、その場で電力・熱などに再転換する使い方が適している。

他のバイオマス起源燃料の利用技術に比べ、ガス化メタノール製造は転換効率、反応速度が高いため大規模化プラントを小さなスペースで作ることができる。

また、このシステムではメタノールと同様に、新燃料として注目されているジメチルエーテル (DME) も製造可能である。

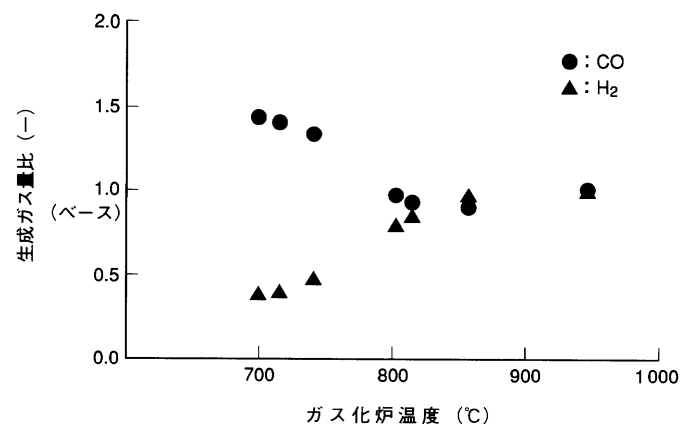


図5 パイロットプラント試験での生成ガス性状
Syngas composition acquired in pilot plant tests

ットプラントを製作した (図4 参照)。このパイロットプラントにおいて、イタリアンライグラス、稲わらなどの様々なバイオマスからメタノールの合成に成功した。

パイロットプラントでは図5に示すような生成ガスが得られ、表2に示す純度 87 wt % のバイオマスメタノールが得られている。プロセスの最適化により更にメタノールの高純度化が可能である。

表3 バイオマスエネルギー利用技術の比較
Comparison of biomass energy utilization system

項 目	ガス化 メタノール製造	発酵 エタノール製造	発酵 メタン製造	直接燃焼
原 料	草木すべて	穀類 (実)	たい肥・汚泥など	草木すべて
製 品	メタノール (液体燃料)	エタノール (液体燃料)	メタン (ガス燃料)	電力・蒸気
転換効率	40~50 %	30 %	小	15~20 % (電力) 80 % (蒸気)
開発状況	開発中	実用	小規模で実用	実用
大規模化	適	不適	不適	適
所要面積*	ベース	ベース×10	ベース×1 000	—
備考		食糧生産と競合	定置利用向け	定置利用向け

*：製品燃料発熱量当りプラント所要面積

3. バイオマスガス化メタノール製造システムの適用

バイオマスガス化メタノール製造システムの実用規模は、100 t/d 程度の分散システムとなると考えられる。年間 330 日の稼働とすれば、原料バイオマスの処理量は、33 000 t/y となる。

バイオマス原料を牧草等の栽培で賄う場合を考える。成長の速い牧草の温帯地域での成長速度は、乾燥重量で 50~80 t/(ha・y) に達する⁽³⁾。50 t/(ha・y) で 100 t/d の原料バイオマス栽培必要面積は 660 ha となり、市町村単位で実現可能な面積である。このプラントでは 16 500 t/y のメタノールの製造が可能である。このメタノールを発電に使用すれば 4 600 kW 分に相当し、11 000 kl/y の石油の代替となる。

従来は廃棄物として処理されているものを原料とする例として、街路樹等のせん定枝葉や建築廃材など分別されて処分場に持込まれているものの利用が考えられる。人口 100 万人規模の大都市では年間 28 000~39 000 t の分別されたバイオマスが持込まれているという調査があり⁽⁴⁾、100 t/d 規模のバイオマスガス化メタノール製造プラントに相当する原料供給量である。

バイオマスガス化メタノール製造プラント実用機のイメージを図7に示す。100 t/d 規模のプラントの敷地は約 70×40 m となる。

4. む す び

CO₂による地球温暖化以前の問題として、化石燃料は有限の資源であり、再生可能エネルギーの大規模利用は遠くない将来に必須のものと思われる。その中でも、バイオマスガス化メタノール製造システムは、自動車などの移動用燃料に再生可能エネルギーを導入できる極めて有効な具体的な手段の一つであると考えられる。

メタノールは、容易に石油に代替できる燃料の一つである。内燃機関の燃料としては、すす・NOx の排出の少ないクリーンな燃料として既に一部で実用されている。また、燃料電池自動車用の燃料としても有力視されている。

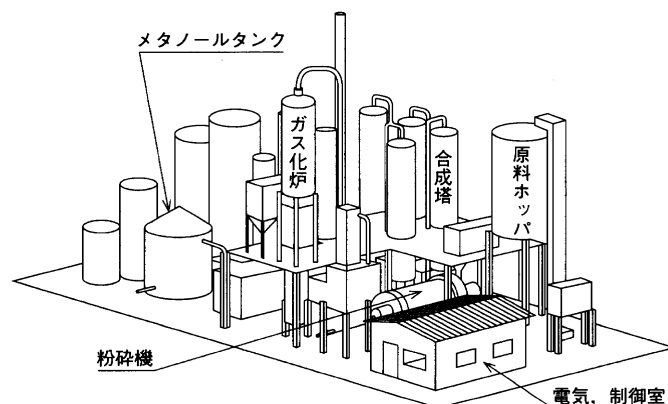


図7 バイオマスガス化メタノール製造プラント実用機イメージ
Perspective of biomass gasification methanol synthesis plant

当社では、バイオマスガス化メタノール製造システムのパイロットプラント試験を実施し、技術的課題はほぼ解決できたと考えている。今後、このシステムを実用化・普及させていくためには、製品メタノールの流通・利用及び原料バイオマスの供給・収集のインフラ整備が不可欠であり、インフラの整備と合せて、機器の改良を進め、実用につなげていきたい。

化石燃料を大量消費する機器の製造に携わるものとして、その技術を応用することで再生可能エネルギーの実用化に貢献していくことも、また我々の責務であると考えている。

参 考 文 献

- (1) 資源エネルギー庁、長期エネルギー需給見通し (1998-6)
- (2) 総務庁統計局、日本統計年鑑 (2000)、資源エネルギー庁、総合エネルギー統計 (1997 年度)
- (3) 坂井正康、バイオマスが拓く 21 世紀エネルギー、森北出版 (1998)
- (4) 芝原幸夫、バイオマス・メタノール生産を核とした農山村のゼロエミッション計画、学術振興会研究会資料 (2009-7)