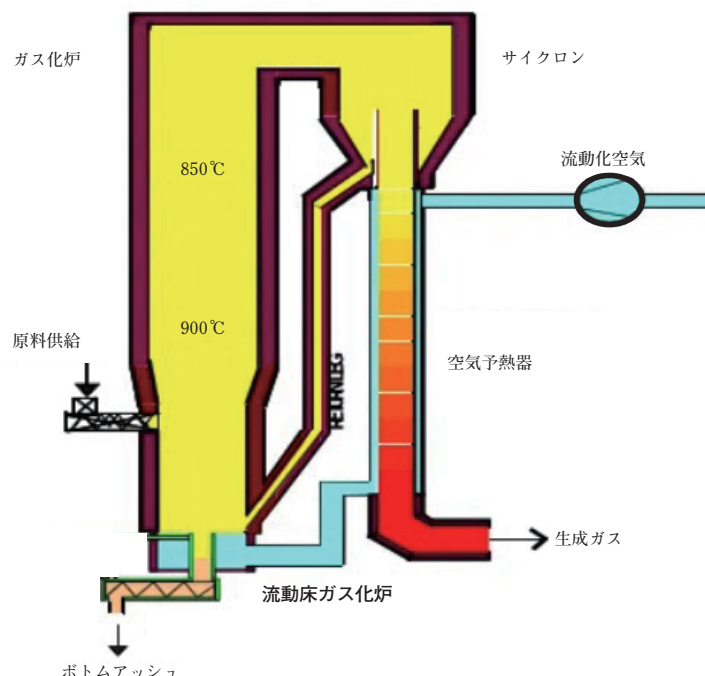


流動床ガス化炉による脱炭素と合成燃料製造

Pathways to Decarbonization and Synthetic Fuel Production Using CFB Gasification

● 渡 邊 建 聖*
Takemi WATANABE



当社は、循環流動層 (CFB) ボイラを活用したバイオマス発電設備において豊富な実績と経験を有している。このCFB技術を流動床ガス化炉に応用し、バイオマスのガス化による燃料製造など、カーボンニュートラル社会の実現に向けて取り組んでいる。特に、持続可能な航空燃料 (SAF : Sustainable Aviation Fuel) の製造に不可欠な非化石由来の炭素源などの原料をガス化技術によって供給することで、脱炭素化に大きく貢献できると考えている。当社は、こうした取り組みを通じて、持続可能なエネルギーの未来を切り開いていく。

本報では、バイオマス由来の合成ガスを利用した燃料転換によって化石燃料使用比率を低減した事例と、バイオマスからの合成燃料製造について報告する。

Sumitomo Heavy Industries, Ltd. (SHI) has extensive experience in biomass power generation using circulating fluidized bed (CFB) boilers. SHI is applying its CFB technology to gasifiers and developing biomass gasification and fuel-production technologies to help realize a carbon-neutral society. SHI aims to contribute to decarbonization by gasifying carbon-neutral feedstocks to produce sustainable aviation fuel (SAF) and other low-carbon products. Through these efforts, SHI strives to shape the future of sustainable energy. This report presents cases in which the use of biomass-derived syngas has reduced the share of conventional fossil-fuel consumption, and introduces SHI's experience in producing synthetic fuels from biomass feedstocks.

1 はじめに

近年、世界のエネルギー情勢は急速に変化している。国際エネルギー機関 (IEA) の報告によれば、再生可能エネルギーの導入は加速しているものの、依然として化石燃料が1次エネルギー供給の約80 %⁽¹⁾を占めており、脱炭素化の進展は十分とはいえない。特に新興国では経済成長に伴うエネルギー需要の増加が顕著であり、エネルギー安全保障と環境負荷低減の両立が喫緊の課題となっている。一方、日本においてはエネルギー自給率が約15.2 %⁽²⁾と低く、輸入依存度の高さが構造的なリスクを生んでいる。加えて、2050年カーボンニ

ュートラルの達成に向け、電化や再生可能エネルギーの拡大のみならず、熱利用や輸送分野における代替エネルギーの導入が不可欠である。

このような背景の下で重要なのは、S+3E (安全性の確保、エネルギー安定供給、経済効率性、環境適合性) の視点からエネルギー政策を考察することである。「安全性の確保」は言うまでもないが「エネルギー安定供給」は、地政学的リスクを回避するとともに多様な供給源の確保を意味する。「経済効率性」は、コスト競争力を維持しつつ低炭素化を進め、技術革新を促す要素である。さらに「環境適合性」は、温室効果ガス排出削減を通じて持続可能性を担保する視点となる。

表 1 流動床ガス化炉納入実績
Delivery record of Fluidized Bed Gasifier

	運開年	納入先	国名	熱容量(MW)	主原料	適用
11	2009	NSE Biofuels	フィンランド	12	バイオマス	FT バイオディーゼル
10	2002	Electrabel	ベルギー	50	バイオマス	PC ボイラ *1 燃料ガス
9	2000	Corenso United	フィンランド	50	廃プラ	リサイクル&蒸気供給
8	1997	Lahti Energia	フィンランド	50	バイオマス・廃棄物	PC ボイラ燃料ガス
7	1993	Sydkraft	スウェーデン	18	バイオマス	バイオ専焼 IGCC *2
6	1986	Kemira	フィンランド	4	石炭・泥炭	試験機
5	1985	Portucel	ポルトガル	15	バイオマス	石灰焼成キルン
4	1984	ASSI Karlborg	スウェーデン	27	バイオマス	石灰焼成キルン
3	1984	Norrundet Bruks	スウェーデン	25	バイオマス	石灰焼成キルン
2	1983	Oy W. Schauman	フィンランド	35	バイオマス	石灰焼成キルン
1	1981	Alhstrom Lab	フィンランド	3	化石原料・バイオ・廃棄物	試験機

* 1 微粉炭ボイラ * 2 ガス化複合発電

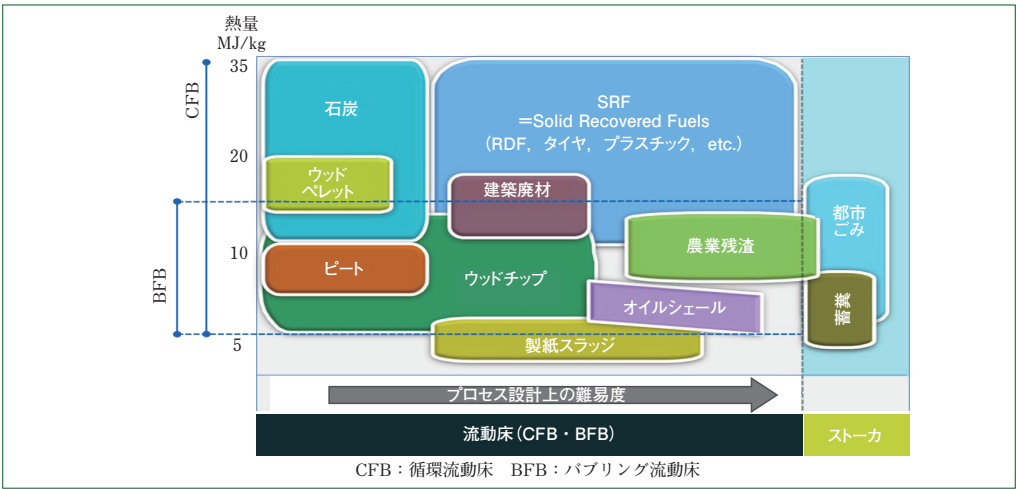


図 1 流動床ガス化炉で利用できる原料
Feedstocks that can be used in Fluidized Bed Gasifier

これらS+3Eの4要素を総合的に満たすには、さまざまな方策が考えられるが、なかでもバイオマス利用の拡大と廃プラスチックの活用は、その有力な選択肢である。バイオマスはカーボンニュートラルの特性を有し、地域資源の活用によるエネルギー自給率向上に寄与する。特に、木質バイオマス燃料を使用することは再生可能エネルギーの利用拡大に大きく貢献できる。木質バイオマス燃料は我が国の貴重な森林資源も活用できることから、林業の活性化を担う地域分散型かつ地産地消型のエネルギー源としても期待されている。一方、廃プラスチックは化石資源由来であるものの、ガス化や熱分解によるリサイクル燃料化により、廃棄物削減と資源循環の両立を可能にする。こうした技術は既存の産業インフラとの親和性が高く、輸送・発電・化学原料など多用途での利用が期待される。さらに、バイオマスと廃プラスチックの活用は、再生可能エネルギーの変動性を補完し、安定供給を確保する点でS+3Eの要件を満たす。

脱炭素化の加速と資源循環型燃料の活用は単なる環境対策にとどまらず、世界と日本のエネルギー転換においてエネルギー安全保障と経済効率を両立する戦略的選択である。

本報では、流動床ガス化炉が燃料利用を支える技術としてどのように貢献できるかを詳述する。

2 流動床ガス化炉について

流動床ガス化炉は、原料の微粉化や水分調整といった大規模な前処理を必要とせず、粗破碎した原料をそのまま炉内に供給できる点に大きな特長がある。炉内には珪砂、石灰石、原料灰分から構成される大量の循環材が保持されており、原料とこの循環材が強い攪拌状態で混合されながら反応し、ガス化反応が効率的に進行する。

炉下部で循環材と混合された原料は反応を続け、その後サイクロンによりガスと固形分(チャーおよび循環材)に分離される。分離された固形分は再び炉下部へ戻され、原料と循環材が連続的に循環するループを形成する。この循環により、原料および生成チャーはガス化に適した温度帯で十分な滞留時間を確保でき、原料の化学的エネルギーを最大限に取り出すことが可能となる。

また、循環材は大きな熱容量を持つことから、水分を多く含むバイオマス原料をそのまま使用しても炉内温度や生成ガス組成に悪影響を与えにくい。さらに、炉内に供給する石灰石などによるタールクラッキング効果も知られており、流動床ガス化炉はバイオマスをはじめとする固体原料のガス化に適した方式といえる。

表 1 に、流動床ガス化炉納入実績を示す。

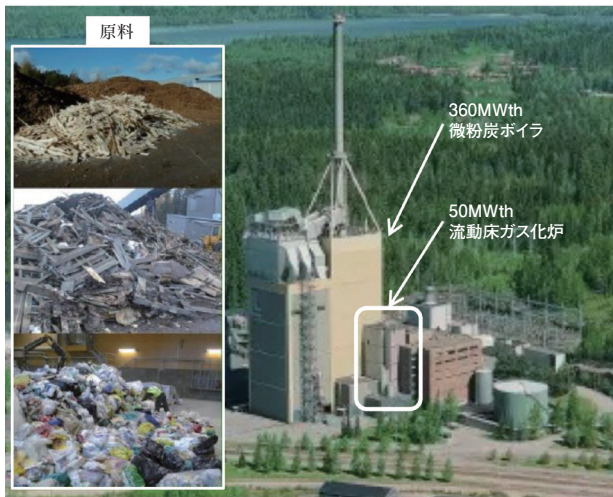


図2 Lahti Energia社の空気式流動床ガス化炉
Air fluidized Bed Gasifier of Lahti Energia (Finland)



図4 Stora Enso社の酸素-蒸気式流動床ガス化炉
Oxy-steam Fluidized Bed Gasifier of Stora Enso (Finland)

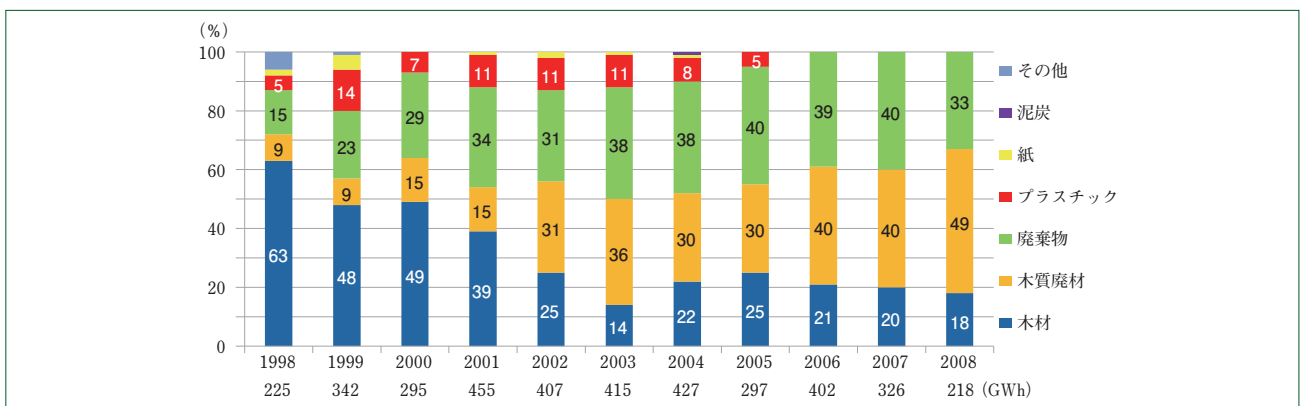


図3 Lahti Energia社のガス化原料の混合比率の推移
Yearly mixing ratios of gasification feedstocks

3 原料の多様性

流動床ガス化技術の特長は、多様な原料に対応可能であり、各種バイオマスや廃棄物を幅広く取り扱うことができることにある。原料の柔軟性は、ガス化炉の連続かつ安定した運転を確保するうえで極めて重要な要素となる。柔軟性が高いということは、事業者が入手可能な原料やコストメリットのある原料を組み合わせ使用できることを意味する。地域ごとに入手しやすい原料を活用し、安定した連続操業を実現できる。

また、上述のとおり、大規模な原料の前処理も不要である。さらに、バイオマス由来のカーボンニュートラルなガスを利用できることから脱炭素化にも寄与する。このように、流動床ガス化炉は幅広い原料に対応し、経済性と持続可能性を両立できるガス化技術である。

図1に、一般的に流動床ガス化炉で対応可能な原料を示す。

4 流動床ガス化炉の事例

4.1 空気式流動床ガス化炉による脱炭素エネルギー利用

フィンランドのLahti Energia社では、1985年に導入した計画入熱容量50MWの空気式流動床ガス化炉(図2)において、木くずや木質系廃材、プラスチックなど多様な原料を利用し

た生成ガスの一部を既設の微粉炭ボイラの燃料として供給した。その結果、石炭供給量の約15%を代替し、化石燃料の削減に大きく貢献した。

図3に、同社の各年のガス化原料の混合比率の変遷を示す。1998年当初は木材が63%を占めていたが、年々その比率は低下し、代わって木質廃材や廃棄物の利用が増加した。2008年には木質廃材が49%、廃棄物が33%を占め、原料構成は大きく変化している。また2000年代前半になると、プラスチックが最大11%まで利用されるなど、入手可能な原料を柔軟に組み合わせる運用が行われてきた。こうした変遷は、流動床ガス化炉が多様な原料に対応できる技術であることを表す好例である。

さらに、運用面では次の特性が挙げられる。第1に、収集可能な原料種を適時混合し、原料を柔軟に組み合わせた運用ができること。第2に、炉内循環材が大きな熱容量を持つので、原料変化に対しても安定した運転ができることである。同社はこれらの事例から、原料供給の多様化と運転信頼性の両立を達成した。

4.2 酸素-蒸気式ガス化炉によるバイオディーゼルの製造

ガス化剤として酸素と蒸気でガス化(酸素-蒸気式ガス化)した事例を紹介する。

2000年代初頭、欧州では輸送用燃料を再生可能燃料へと

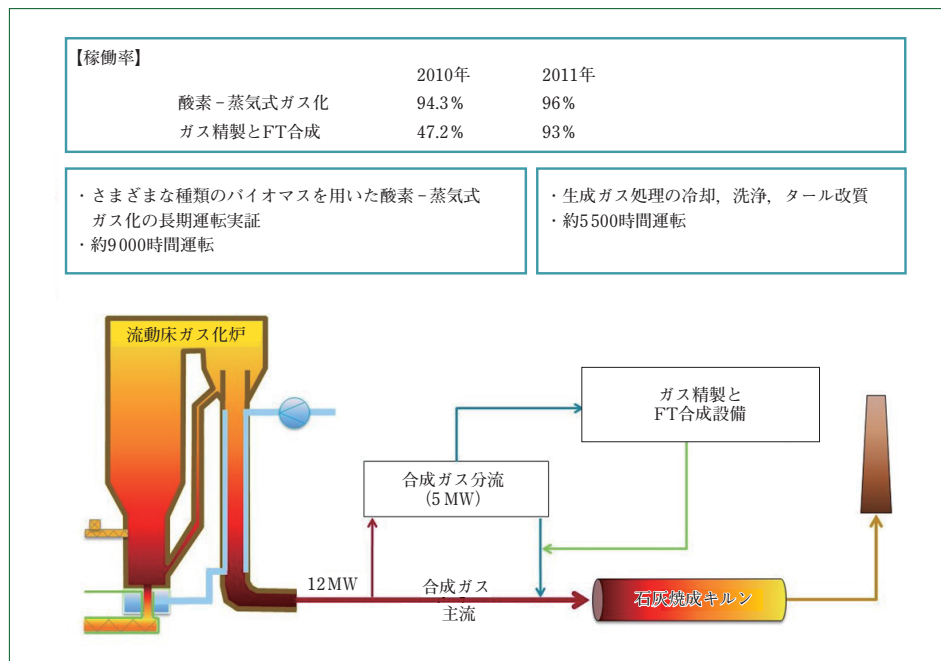


図5 酸素-蒸気式流動床ガス化炉を用いた生成ガスの改質とFT合成実証試験
Overall schematic of syngas reforming and Fischer-Tropsch synthesis demonstration test with Oxy-steam Fluidized Bed Gasifier

転換・推進する政策の下でバイオマスガス化技術への関心が高まりつつあった。Sumitomo SHI FW 社 (当時 Foster Wheeler社) は、Neste Oil社 (現 Neste社)、Stora Enso社、フィンランド技術研究センター (VTT) と連携し、バイオマスからクリーンかつ多用途な合成ガスを製造するという高度なプロセス開発に取り組んだ。この取組みは「Ultra Clean Gas (UCG)」プロジェクトとして2004年に開始された。

このプロジェクトで開発されたプロセスは、酸素-蒸気式流動床ガス化炉と、革新的な触媒ガス改質技術を組み合わせるというもので、2008年よりフィンランドにあるStora Enso社のVarkaus工場(図4)にて長期の実証試験が行われた。

実証試験は、計画入熱容量12MW規模の酸素-蒸気式流動床ガス化炉を中心に行われ、同ガス化炉で生成されたガスは、石灰焼成キルン工程の重油代替燃料として利用された。

流動床ガス化炉では木質バイオマス、泥炭、わら、農業残渣、さらには廃棄物由来原料など幅広い原料を用いた。ガス化剤として酸素と水蒸気を用い、原料を部分燃焼させることで、ガス化反応に必要な熱を供給する。さらに、ガス化剤に空気をを用いないことで、生成ガス組成の窒素による希釈を回避し、高品質な合成ガスを得ることができる。

ここで生成ガスの一部(熱量ベースで5 MW) は分岐され、冷却・ろ過・触媒改質を経て精製された(図5)。改質工程では、タールや重質炭化水素が水蒸気と反応し H_2 、 CO 、 CO_2 などの軽質ガスに転換される。この改質により生成ガス中の H_2/CO 比の調整が可能となり、フィッシャー・トロプシュ(FT)合成やメタノール、SNG、水素製造など多様な用途に適するガスが得られるようになった。

Oxy-steamガス化炉を用いたこの実証試験は9000時間にわたって実施され、液体バイオ燃料の製造における技術的な実現可能性を成功裏に実証した。

5 むすび

- (1) 流動床ガス化炉技術は、高効率・低環境負荷で多様な原料種を利用できるガス化プロセスである。
- (2) Lahti Energia社の空気式流動床ガス化炉では、既設微粉ボイラの燃料転換に貢献し、石炭消費量15%の削減に寄与した。
- (3) Stora Enso社の酸素-蒸気式流動床ガス化炉においては、多様なバイオマス原料を用いて酸素-蒸気式流動床ガス化炉の長期運用実証を行った。約9000時間の安定運転を通じて、高品質合成ガスによる液体バイオ燃料製造が可能であることを実証した。
- (4) 流動床ガス化技術は、バイオマスや廃棄物由来の合成燃料製造に有効な手段である。特に、持続可能な航空燃料(SAF)を含む低炭素型合成燃料の供給基盤として、カーボンニュートラル社会実現に貢献する。
- (5) 今後、さらなるスケールアップやプロセス最適化を進め、SAFやメタノール製造などで商業化への取り組みをさらに加速していく。

(参考文献)

- (1) 国際エネルギー機関(IEA), World Energy Outlook 2024 (2024), p.24, International Energy Agency.
- (2) 経済産業省, 令和5年度(2023年度)エネルギー需給実績(速報). 経済産業省ウェブサイト, 2024年11月22日, <https://www.meti.go.jp/press/2024/11/20241122001/20241122001.html>
- (3) Yasuo, O., Fumiko, Y., Phoumin, H., Study on the Biomass and Coal Co-Combustion in the ASEAN Region (2019), p. 40, Economic Research Institute for ASEAN and East Asia.