

バイオジェット燃料製造技術の開発

Development of Bio Jet Fuel Production System



藤井 篤^{*1}
Atsushi Fujii

稲田 皓介^{*2}
kosuke Inada

高橋 寿明^{*3}
Hideaki Takahashi

篠田 克彦^{*4}
Katsuhiko Shinoda

脱炭素化に向けて、カーボンニュートラルなバイオマスエネルギーの利用はますます注目を集めている。航空業界でも、航空機燃料起源の温室効果ガス低減対策として、バイオジェット燃料の導入が不可欠とされている。そのような背景の中、三菱パワー株式会社(以下、当社)は、本研究開発にて、噴流床型バイオマスガス化炉とFT合成を組み合わせた一貫製造プロセスにて、木質バイオマスよりジェット燃料を安定的に製造することに成功し、本システムの有用性を検証することができた。

1. はじめに

航空業界では、今後拡大が予想される航空需要を背景に、二酸化炭素排出量削減による地球温暖化抑止対策が喫緊の課題となっており、国際民間航空機関(ICA O: International Civil Aviation Organization)が、長期的な二酸化炭素排出抑制目標(2021年以降の総排出量を増加させない)を策定し、その目標達成のためにバイオジェット燃料の普及促進は不可欠としている。我が国でも、脱炭素社会の実現に向けた“グリーン成長戦略”において14の重点分野の中で代替航空燃料が取り挙げられており、バイオジェット燃料の普及を目指すことが示されている。

2. バイオジェット燃料製造プロセスの開発

バイオジェット燃料は、生物系油脂を改質して製造するものが一部実用化されているが、藻類を起源としたものやガス化・FT(Fischer-Tropsch)合成によるものなどが開発中である。

その中で、ガス化・FT合成技術を適用したジェット燃料製造は、スケールアップが容易であり、需要増加に対応した大量供給が可能な製造技術として有望視されている。図1にガス化・FT合成のイメージを示す。

ガス化・FT合成によるバイオジェット燃料製造プロセスを図2に示す。木質バイオマスは、粉碎後ガス化炉に投入され、FT合成の原料となる水素(H₂)と一酸化炭素(CO)を主成分とする合成ガスが生成される。それら合成ガスは、FT合成反応を迅速に進行させるため、ガスの分圧が高くなるように、圧縮機で常圧から昇圧され、次に、FT合成触媒への被毒成分を除去する。その後、FT合成工程へ供給され、生成された炭化水素に水素を添加し、適当な炭素数の炭化水素に転換し、蒸留工程を経て、ジェット燃料、軽油やナフサ等の軽質油を製造する。

*1 三菱重工業株式会社 総合研究所 伝熱研究部

*2 三菱パワー株式会社 エンジニアリング本部 ボイラ技術統括部 ボイラ技術部

*3 三菱パワー株式会社 エンジニアリング本部 プロジェクト統括部 電力計画部

*4 三菱パワー株式会社 エンジニアリング本部 ボイラ技術統括部 ボイラ技術部 主幹技師 技術士(機械部門)

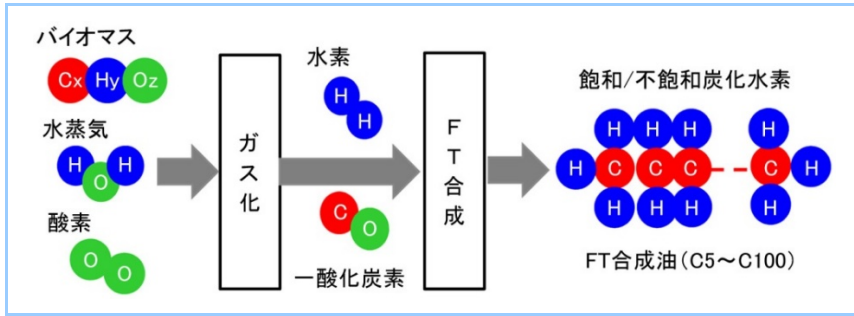


図1 ガス化・FT 合成のイメージ

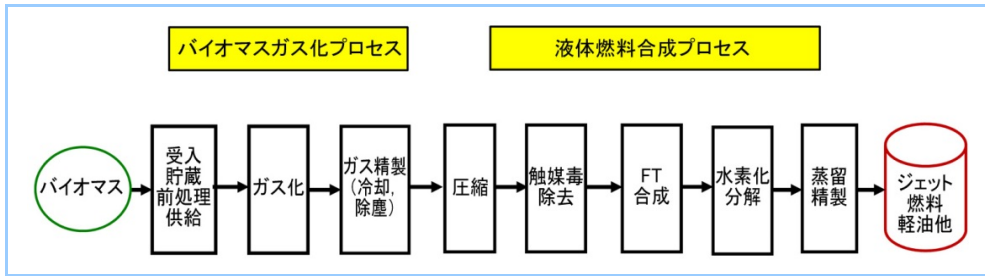


図2 バイオジェット燃料製造プロセス

2.1 バイオマスガス化炉の開発

当社では、早くから温室効果ガス排出量低減のため環境に優しくクリーンなバイオマスエネルギーに注目しており、1990 年代末頃より、バイオマスの熱化学変換プロセスの要となるガス化技術の開発に取り組んできた。

ガス化プロセスには、噴流床型ガス化炉を適用した。噴流床型ガス化炉は、高温でのガス化によりタール発生量を低減可能であることや短時間にガス化を行うため比較的コンパクトであり大容量化が容易であることが、バイオ燃料合成に適しているからである。

従来の噴流床型ガス化炉は、バイオマスを細かく均一に粉砕して供給する必要があったが、バイオマスを細かく粉砕するには、大きな粉砕動力が必要であった。そこでこの課題を解決するため、ガス化炉を図3に示すように、ガス化炉下部から上部に向けて形状を段階的に変化させることにより、ガス化炉内のガス上昇流速(空塔速度)が化炉下部で大きく、化炉上部では小さくする構造とした。

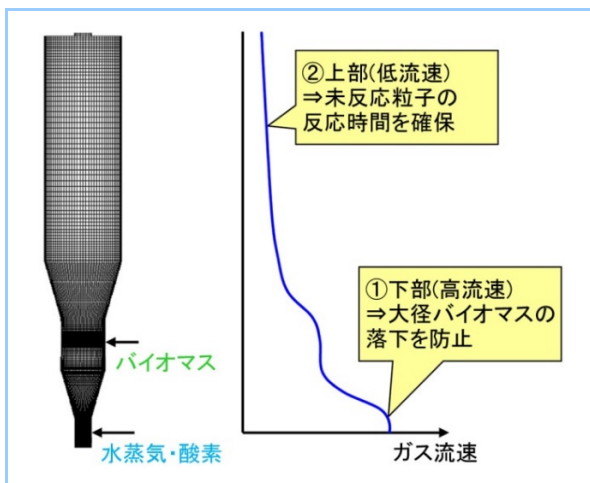


図3 噴流床型ガス化炉の構造イメージ

図4の数値流体解析で示されるように、ガス化炉下部はガス流速が大きいため、大径粒子の炉底への落下が防止され、上部はガス流速が遅いため、小粒子のみが気流に随伴される特性を持たせている。すなわち、反応に時間を要する大粒子等の原料は反応が完結するまでガス化炉内

で循環して滞留し、十分小さな粒子となってから排出されるため、様々な性状を持つバイオマス原料に対して高い炭素転換率を得ることができる。このため、噴流床型でも大粒径を含む広い粒度分布のバイオマスにも対応可能となり、多様なバイオマスへの適用性を高めることが可能となる。

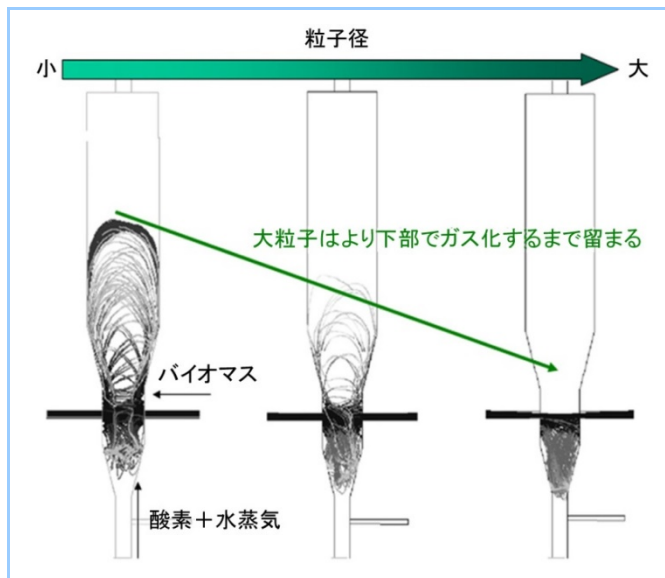


図4 ガス化炉内のバイオマス粒子挙動

2.2 ラボスケールのバイオマスガス化-FT 合成一貫製造試験

前項のガス化炉コンセプトを実証するとともにガス化と FT 合成を組み合わせた液体燃料の製造を検証することを目的として、ラボスケールのバイオマスガス化-FT 合成一貫試験を実施した。

本研究では、富山大学との共同研究にて三菱重工業総合研究所(長崎地区)に、上述のコンセプトで設計されたバイオマスガス化試験設備に FT 合成装置を設置した一貫試験設備(図5)を使用し、主として木質バイオマスを使用して、計4回の一貫製造試験を実施した。

その結果、原料の種類やガス化炉の運転条件(O_2/C)に関わらず、95%以上の高い炭素転換率を実現することができた。これは上述のガス化炉構造により、適切な滞留時間(反応時間)が確保されたことによるものと考えられる。また、約100時間の実ガスによるガス化-FT 合成一貫運転を実施し、実際にバイオマスから FT 原油の製造を実証することができた。

本研究の成果は、2012~2015 年度に実施した国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託事業(JPNP14025)において得られたものである。



図5 バイオマスガス化-FT 合成一貫試験設備

2.3 パイロットスケールのバイオマスガス化-FT 合成一貫製造試験

近年になって、バイオジェット燃料の市場形成及び導入拡大に対する期待が世界的に高まる中、バイオジェット燃料市場形成へ向けて、ライフサイクルアセスメント(製造に係る化石エネルギー収支)や二酸化炭素排出量削減率等の評価基準をクリアし、かつ低コスト製造技術の開発が

必須となっている。

このような状況を背景として、2030年頃のバイオジェット燃料の商用化に向けて、2017～2020年度に、当社、株式会社 JERA、東洋エンジニアリング株式会社及び国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構の4法人による共同研究としてバイオジェット燃料一貫製造プロセスのパイロットスケール試験を実施した。

本試験では、スケールアップに適した部分酸化式噴流床ガス化技術と、反応器容積を大幅にコンパクト化できるマイクロチャンネル FT 合成技術を組み合わせたパイロットスケール一貫製造設備(バイオマス原料処理 0.7t/日、純バイオジェット燃料製造 20 リットル/日程度)を建設し、検証運転により製造技術の検証を行うとともに、得られた燃料を実エンジン燃焼試験に供し燃料性能を評価した。

- (1) パイロットプラントでは、ガス化炉の処理容量は 0.7ton/日、生成ガス量は、約 1000Nm³/日である。上述のラボスケール試験に対し、スケールアップの検証と長時間の運転検証を目的とした。バイオマス原料は、木くず(木質ペレット成型前の粉碎済みバイオマス)を使用した。また、FT 合成で製造されるジェット燃料は、蒸留後で計画 27 リットル/日であり、副生物として軽油やナフサが製造される。
- (2) パイロットプラントは、名古屋市内の JERA 新名古屋火力発電所内に建設した。2018年12月に土工事を開始し、翌2019年4月より、設備の据付工事に着手した。その後、同年9月からの試運転を経て、2020年11月に検証運転を終了し、2021年3月の段階で、設備の解体・撤去を完了した。図6に竣工時のパイロットプラントの状況を、図7にバイオマスガス化設備の状況を示す。

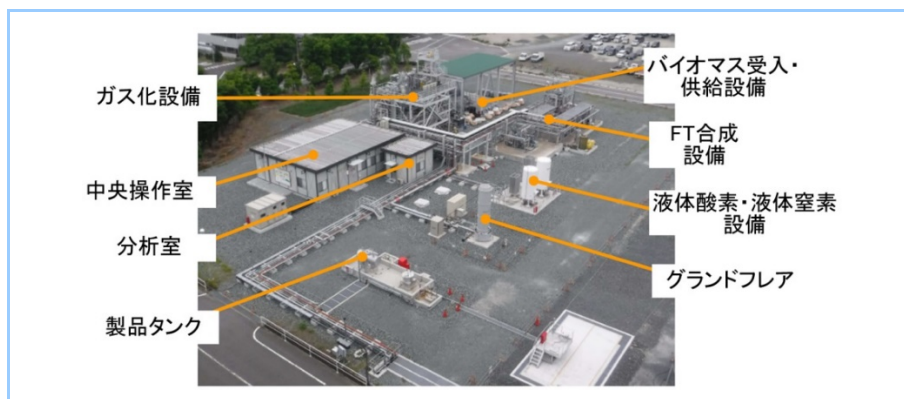


図6 パイロットプラント全景

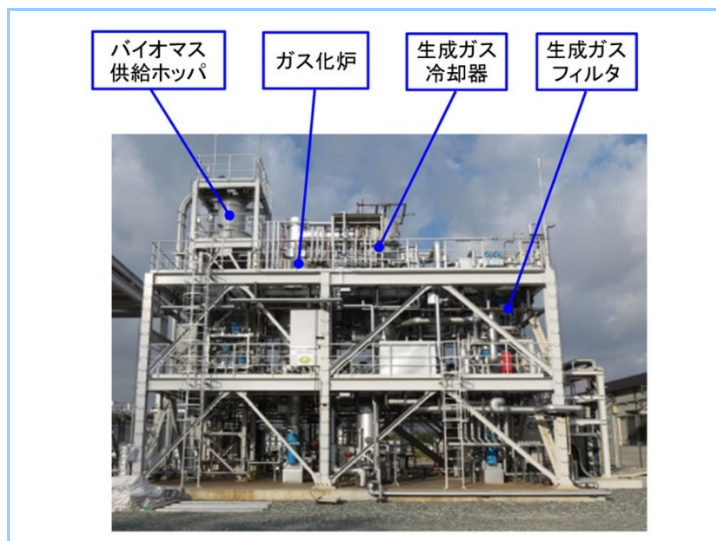


図7 バイオマスガス化設備

- (3) 先行して据付を完了したガス化設備から試運転を開始し、2019年11月に初のバイオマス投入及びガス化運転を行った。2020年度に入り、ガス化設備とFT合成設備を連携させた総合試運転を行い、2020年6月に初の改質油を製造した。その改質油から蒸留によるジェット留分の抽出、ASTMに基づく分析を実施し、規定される全ての品質項目に適合していることを確認し、純バイオジェット燃料の生産に成功した。その後2020年7月より検証運転を開始し、同年11月の検証運転終了までに、ガス化設備は、約33日の連続運転を含み、累計3079時間、FT合成設備は、約30日の連続運転を含み、累計1543時間の運転を達成した。また、純バイオジェット燃料は、目標を大きく上回る2366リットルを製造することができた(図8)。
- (4) 供試バイオマス原料として近隣より調達した3銘柄4種類の木くずを使用した(図9)。元素分析結果では、主成分は一般的な木質バイオマスとほぼ変わりはないが、形状や粒度分布の影響による流動性や搬送性に違いが見られた。



図8 純バイオジェット燃料

おが粉原料 (産地)	杉・松・桧 (岐阜県)	松 (北海道・ロシア)	杉 (石川県)
外観			

図9 供試バイオマス

- (5) 本試験で得られた成果を以下の通りまとめた。
- ・バイオマスガス化とFT合成の組合せによるジェット燃料製造プロセスの実現性、有用性を実証することができた。
 - ・ガス化性能については、冷ガス効率及び炭素転換率ともに計画通りであることを確認し、設備設計の妥当性を検証した。また、生成ガス組成は、運転パラメータの調整により、FT合成に好適なH₂/COモル比を安定的に調整・維持可能であることを確認し、噴流床型ガス化炉の優位性を確認した。
 - ・FT合成性能についても、計画通りあるいはそれを上回ることを確認した。また、蒸留後のジェット留分は全ての製造バッチにおいて、ASTM D7566に準拠していることを確認した。
 - ・ガス化FT合成の一貫運転では、30日の連続運転を含む1500時間以上の運転実績が得られ、それら運転経験を通じて、将来の実用化に向けて極めて貴重な知見を得ることができた。

本研究成果は、2017～2020 年度に実施した国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務(JPNP17005)において得られたものである。

3. まとめ

冒頭に述べた状況を背景として、2030 年頃のバイオジェット燃料の商用化に向けて、その生産技術について、より高効率な工業化を実現するための課題抽出及びその対策を盛り込んだ一貫製造プロセスのパイロットスケール試験を行い、安定的な長期連続運転及び製造コストの低減などの実現可能性を検証した。

本技術開発の成果が、我が国のバイオジェット燃料導入並びにバイオマス資源の有効利用を促進し、温室効果ガスの削減に貢献することを期待する。

参考文献

- (1) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, 2020 年度成果報告会資料 (2020)
https://www.nedo.go.jp/library/database_index.html
- (2) 山元 崇ほか, 木質バイオマスからのジェット燃料製造技術の開発, 三菱重工技報 Vol.53 No.4 (2016) p.129～132
- (3) 菱田 正志ほか, バイオマスガス化による液体燃料などの化成品原料ガス製造技術, 三菱重工技報 Vol.48 No.3 (2011) p.41～45