



グリーンLPガスの社会実装に向けた取り組み

Initiatives for Social Implementation of Green LP Gas

高橋 尋子^{*1}
Hiroko Takahashi

藤川 貴志^{*2}
Takashi Fujikawa

大谷 栄介^{*2}
Eisuke Otani

福嶋 将行^{*3}
Masayuki Fukushima

〈概要〉

当社が開発した、貯蔵・輸送しやすいグリーンLPガス合成技術の2030年の社会実装を目的とし活動を進めている。本技術は他社と比較して、LPガスの選択率が高く、触媒の寿命が長いことを特徴としている。本技術を活用し2022年にとちぎ国体にグリーンLPガスを提供したほか、世界的にもいち早く技術の検証を目的としたプラントを北海道鹿追町環境保全センター内に建設中である。本稿では2030年に向けた社会実装計画と、グリーンLPガスの最新の開発進捗状況、および社会実証に向けた達成状況について紹介する。

1. はじめに

当社は、「古河電工グループ ビジョン2030」(ビジョン2030)で描くカーボンニュートラルやサーキュラー・エコノミーの実現に貢献する「環境配慮事業」の一環としてグリーンLPガス技術の研究開発に取り組んできた¹⁾。この技術を通しカーボンニュートラルの実現に貢献するためには、当社のみならず、LPガス業界、自治体など、さまざまなステークホルダーと連携し取り組む必要がある。

2022年より、NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)のグリーンイノベーション基金事業「CO₂等を用いた燃料製造技術開発事業プロジェクト 化石燃料によらないグリーンなLPガス合成技術の開発」に採択され、グリーンLPガスを年間1,000 ton製造する技術の実証を2030年に完了することを目標とし、ガス会社、自治体と連携しながら開発を加速してきた。現在、当社技術の実証を目的とした実証プラントを建設中である。

本稿では2030年に向けた社会実装計画と、グリーンLPガスの最新の開発進捗状況、および社会実証に向けた達成状況について紹介する。

2. 本技術で実現する社会実装計画

当社は1884年の創業から、エネルギー、情報、熱を伝える、繋げる、蓄えることを事業の柱とし、「メタル」、「ポリマー」、「フォトリソ」、「高周波」の4つの技術力を核として、情報通

信やエネルギーなどのインフラ分野、自動車部品分野、エレクトロニクス分野へ、多岐にわたる技術・製品・サービスを提供してきた。

日本国内において2050年のカーボンニュートラル宣言実現のため、再生可能エネルギー(再エネ)の導入拡大が進んでいるが、太陽光や風力等非同期電源の系統に占める割合が高まることで、出力変動へ対応するための調整力不足が顕在化しつつあり²⁾、第7次エネルギー基本計画原案でも、電化や非化石転換を中心としつつ、ディマンドレスポンス(DR)の促進や、エネルギー使用の合理化などの取り組み推進が掲げられている。電力ネットワークの次世代化や、空き容量を活用する取り組みが進んでいるが、高齢化による人口減少のため、すべての地域での新規インフラの導入は難しい。そこで、当社は脱炭素社会の実現に向けた多様な選択肢の一つとして、プロパン(C₃H₈)とブタン(C₄H₁₀)からなる可燃性ガスLPガスに着目した。LPガスは導管による系統供給ではなく、ボンベによる分散型供給であり、可搬性、貯蔵の容易性に利点があるエネルギーである。一方で、このLPガスが脱炭素化されない場合、2050年に国内で2,400万ton/年³⁾のCO₂を排出することになるが、現在実用化可能な技術は確立されていない。海外ではグリーンLPガスの販売が開始されているが、グリーンディーゼルの副産物として得たもので、グリーンLPガスを主生成物として生産できるプロセスは存在せず、主生成物の収率が上がった場合、副産物の生成量が減ることになる。

そこで、当社はグリーンLPガスを主生成物として生産できる、一酸化炭素と水素からグリーンLPガスを合成するプロセスの開発と実証を行う。水素が安価で提供されるまでの移行期間に入手可能な炭素源としてバイオガス^{*1}に着目し、バイオガス由来のメタンと二酸化炭素のすべてを原料として活用することで、温室効果ガスの再資源化による温室効果ガスの削減に加えて、エネルギーの地産地消が実現可能になると考えた。

^{*1} 研究開発本部 地産地承エネルギープロジェクトチーム 戦略室

^{*2} 研究開発本部 地産地承エネルギープロジェクトチーム 開発部

^{*3} 研究開発本部 地産地承エネルギープロジェクトチーム
サステナブルテクノロジー研究所 新領域育成部

※1 バイオガスとは有機系廃棄物(家畜ふん尿、紙ごみ、食品残渣など)をメタン発酵することで得られるメタン(CH_4)と二酸化炭素の混合ガス(CH_4 約60%、 CO_2 約40%)のこと。成分中の CH_4 を発電の燃料とすることができるため、再生可能エネルギーの1つとして位置付けられている。また、バイオガス中の CO_2 は不燃性ガスであるため有効活用されておらず、大気に放出されている。

3. グリーンLPガス触媒技術の最新の開発進捗状況

前述の通り、当社ではグリーンLPガスの原料として、家畜ふん尿などの有機廃棄物のメタン発酵処理から得られるバイオガス※1に着目し、ドライリフォーミング反応(Dry Reforming反応、 DRM 反応 $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 \rightarrow 2\text{CO} + 2\text{H}_2$)などの改質反応により H_2 と CO を主成分とする合成ガスを作り、そこからLPガス合成反応を実施する2段階プロセスの開発を進めている(図1)。当社はこれらの2段階プロセスにおいて、触媒開発により既存の触媒にある技術課題を解決した。

バイオガスを利用するために必要なドライリフォーミング反応においては、触媒が劣化しやすいという技術課題を解決する必要があった。既報⁴⁾の通り、金属粒子を多孔質材料の中に包接することでラムネ触媒®は優れた耐シントラリング性と耐コーキング性を有し、これにより良好な触媒活性と長寿命を両立していることを確認している。更に反応条件を改良することで図2の通り100日以上安定した活性を維持し、平衡転化率(理論限界)を維持することが可能となった。本稿では、二段目の反応であるLPガス合成反応により、高い選択率でプロパンを合成できた結果について記す。

2段階目の反応では、ドライリフォーミング反応の合成ガスである水素と CO を原料として、主生成物プロパン(C_3H_8)を合成する。このLPガス合成反応は当社開発の触媒を使用しているが、初期特性では良好なLPガス収率を示すものの短期間で触媒劣化が発生しやすい、という課題があった。その原因を追及するために、劣化後の触媒と反応前の触媒をSEM(SU8020、日立ハイテクノロジーズ社製)を用いて観察比較した。図3に結果の概略図を示す。LPガス合成触媒ではラムネ触媒の技術を活用し複数の触媒を組み合わせ使用しているが、反応後にそのうち1種の触媒の粒子サイズが肥大化していた(図3、b)ことから、触媒の肥大化(シントラリング)により、表面積が小さくなり活性が低下したと考えた。

シントラリングは一般的に、高い反応温度が原因で進行するが、ほとんど起きないとされる温度まで反応温度を下げて実験を行った場合でも、1週間程度でLPガス収率が低下した(図4、A)。このことから、温度以外の原因で発生している可能性があるかと推定し実験による検証を行った結果、混合比を最適化することによりLPガス合成反応の効率を上げられることが分かった。図4、Bに示す通り、LPガス収率※230%以上を140日後でも維持し、さらに図5の通り、プロパン選択率※375%以上を達成した。

※2 LPガス収率=生成ガスに含まれるプロパン(C_3H_8)とブタン(C_4H_{10})量の合計割合(C-mol%)

※3 プロパン選択率=プロパンとブタンの生成量合計に対するプロパンの割合(vol%)

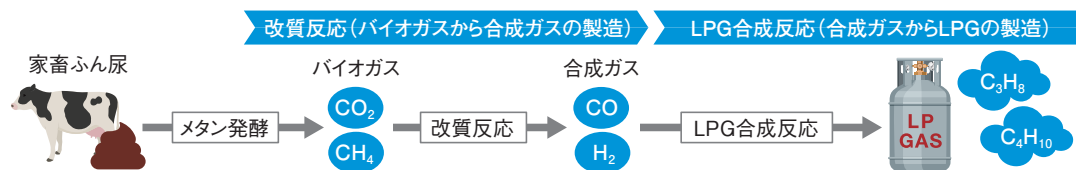


図1 家畜ふん尿からグリーンLPガスを製造するプロセス(概要)
Green LPgas production from livestock manure (outline).

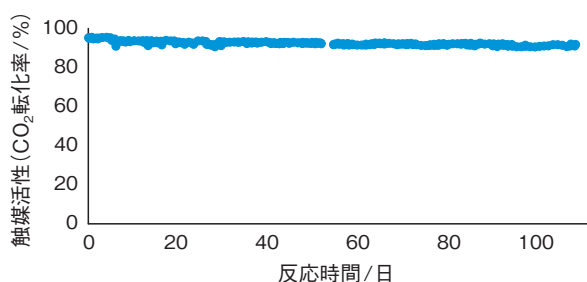


図2 ラムネ触媒のドライリフォーミング反応試験結果
Dry reforming performance of Ramune Catalyst.

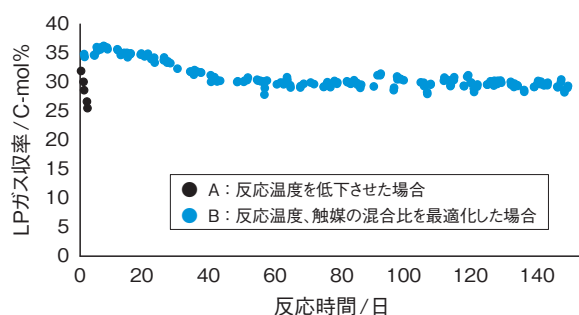


図4 LPガス収率(C-mol%)
LPgas Yield (C-mol%) vs lifespan.

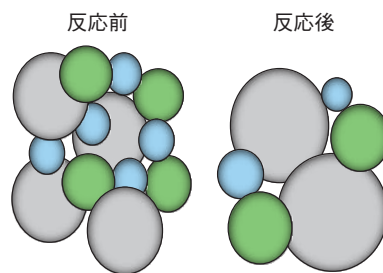


図3 LPガス合成触媒のSEM観察像イメージ図
(a) 反応前, (b) 反応後
SEM observation image of LPgas synthesis catalysts.
(a) before reaction, (b) after reaction

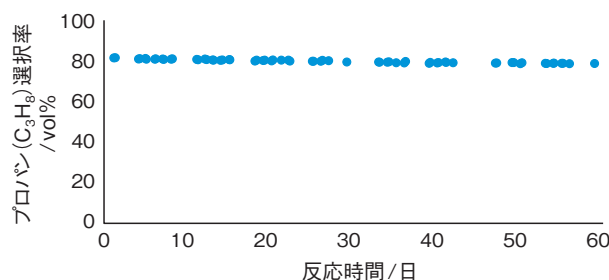


図5 プロパン選択率(vol%)
Propane selectivity vs lifespan.

表1 他社技術との比較表
Comparison with other companies' technologies.

プレイヤー	原料調達	製造プロセス	強み
古河電工	家畜ふん尿 → メタン発酵 → バイオガス (CO ₂ , CH ₄)	改質反応 → 合成ガス (CO, H ₂) → LPG合成反応 → LP GAS (C ₃ H ₈ , C ₄ H ₁₀)	高LPG収率 (50%) 高プロパン選択率 (80%) → 世界トップ
GTI Energy	家畜ふん尿 → メタン発酵 → バイオガス (CO ₂ , CH ₄)	リアクタ → 合成ガス (CO, H ₂) → リアクタ → LP GAS	高LPG収率 (39%) (ブタンリッチ)
A社	稲わら等 → セルロース → 分解 → C ₆ H ₁₂ O ₆	リアクタ → リアクタ → LP GAS	H ₂ 不要
B社	空気 → CO, H ₂	リアクタ → LP GAS	CO ₂ /H ₂ の 賦存量が多いので 大量生産向き
C社	空気 → CO, H ₂	リアクタ → 合成ガス (CO, H ₂) → リアクタ → LP GAS	
SHV Energy	都市ごみ → ガス化 → CO, H ₂	リアクタ → DME → 化石資源 LPG と混合	技術は成熟

当社と他社技術の比較を表1に示す。

当社技術は他社技術と比較して、バイオガスを原料として50%以上のLPガス収率と図4に示す高いプロパン選択率(初期特性80%以上)を特徴とする。

なお、我々は図4の触媒反応条件から更に触媒の反応条件、温度と合成ガスを工夫することで、このプロパン収率をさらに向上させることに成功した。特に、反応時の合成ガスの割合を調節することで、プロセス内のガスを更に高効率で反応に活用できる可能性がある。本稿では特許権利化途中のため詳細は省略するが、今回のこの開発を建設予定の実証プラントに実装できれば、非常に高効率なLPガス合成の実現可能性が見えてくる。今後もラムネ触媒の開発で培った触媒への知見を活用、技術の研鑽に励む。

4. 社会実装に向けた達成状況

次に、触媒開発と併せて、2030年にグリーンLPガスを年間1,000 ton製造する技術の実証を完了することを目標に、グリーンLPガスの一連のプロセス実証に向け行った取り組みについて紹介する。

4.1 とちぎ国体でのグリーンLPガス提供

2022年に、グリーンLPガスを「環境配慮かつ地産地消の燃料」として「いちご一会とちぎ国体・とちぎ大会」の炬火用のガスとして提供した。炬火はオリンピックでいう聖火であり、図6の通り開会式炬火燃料の一部として使用された。

我々は図1に示すプロセスでグリーンLPガスの製造を目指していたが、本件でグリーンLPガスを提供するまで、実験室レベルでの触媒試験のみを行っており、2つの反応、DRM反応とLPガス合成反応を別々に評価していた。そこで、炬火用



図6 いちご一会とちぎ国体炬火写真
Photo of Ichigo Ichie, Tohigi-Kokutai torch.

のガスとしてLPガスの製造を検討するため、実験室レベルの装置をスケールアップし、連続してDRM反応とLPガス合成反応を行う事でLPガスの回収を試みた。

実際に検討を始めると、スケールアップに伴ういくつかの課題が発生したため、下記のように対応し課題を解決した。本稿では課題のうちの二つ、バイオガス主成分(CH₄, CO₂)以外の成分と、ドライリフォーミング反応におけるコーキングと温度のばらつきについて紹介する。

(1) バイオガス成分

バイオガスを収集し分析したところ、成分の季節変動があること、また水分と酸素がバイオガス中に含まれることが判明した。酸素、水分はともに触媒に悪影響を生じる可能性が高いことから、DRM反応リアクタの前段に酸素・水分除去装置を導入した。

(2) ドライリフォーミング反応におけるコーキングと温度のばらつき

初期検討として、実験室の実験系をスケールアップしたDRM反応リアクタを設計し、成形したラムネ触媒を充填し試運転を行ったが、リアクタ内部に大量のコークが析出し、リアクタ内部が閉塞してしまうことが確認された。コーキングは触媒上で炭素が析出する現象で、炭化水素が触媒上で重合することで炭素の塊が形成すると考えている。調査の結果、反応管成分に含まれる微量成分がコーク発生を誘発したと推察され、リアクタ内部の材質を変更することで、リアクタ内部のコーキング生成を抑制することができた。次に、触媒充填層の中心部分の温度を測定したところ、DRM反応の目標温度に対して中心部分は十分加熱できていないことが分かった。この傾向は触媒充填層の上部になるほど顕著に表れ、最上部のモニタリング温度は目標温度より低い温度であった。この原因は、前述のDRM反応は式(1)の通りの急激な吸熱反応であるため、最も反応が進行する触媒層上部で吸熱反応が進行し、温度が低下したためと考えた。



反応温度が目標温度を下回るとコーキングや酸化による触媒劣化やリアクタの閉塞が起こる可能性があるため、中心部まで均一に加熱できる仕様の装置が必要となる。そこで、均一な加熱ができる様、リアクタの形状、内径および温度制御方法を変更することで、リアクタ内部の温度低下を低減させ、コーキングの生成とDRM反応の温度低下を抑制することに成功した。

以上の検討により、我々が考案した二段階のプロセスを連続的に行うことで、バイオガスを原料として、実際にLPガスを作れることを確認することができた。また、実験室で検討していた反応を実際のバイオガスを用い、スケールアップした条件で行うことで、バイオガス中に混入する酸素、水の影響や、DRM反応のリアクタについて、スケールアップした際に生じる課題に実証プラントに先んじて対応し解決することが出来た。

さらに、このグリーンLPガスは栃木県畜産酪農研究センターで回収した家畜ふん尿を原料として生成した実際のバイオガスを使用していることから、栃木県内でのエネルギーの地産地消を実現することが実証できた。

4.2 グリーンLPガス実証プラント起工式を実施

NEDOグリーンイノベーション基金事業での取り組みの一環として、北海道鹿追町でグリーンLPガス合成プラントを建設中であり、2024年8月に実証プラントの起工式を開催した。起工式には喜井知巳町長ならびに関係者の皆様にご列席いただき、建設工事の安全を祈願した(図7)。

2022年に包括連携協定を締結した、北海道鹿追町とは実証プラントの立上げに向けた検討を進めてきており、世界的にもいち早く当社技術の実証を目的としたプラントを建設中である。2026年度から鹿追町環境保全センターで家畜ふん尿から製造されたバイオガスを原料に、年間100～200 tonのグリーンLPガス製造を開始する計画である。



図7 実証プラント起工式の様子
Photo of groundbreaking ceremony.

5. おわりに

当社が開発しているグリーンLPガスは、「植物などが大気中から固定した炭素を利用し、カーボンニュートラル水素やカーボンニュートラルなエネルギーを用いて合成した、もしくは、他のカーボンニュートラルエネルギーを製造する際に副生したプロパン、ブタン⁵⁾」を指す。前述の通り、バイオガスを原料として使用した場合は、家畜ふん尿由来の植物が大気中から固定した炭素を原料としているため、100%カーボンニュートラルなプロパン/ブタンとして取り扱うことができ、燃焼する際に発生するCO₂をすべて削減可能となる。

グリーンLPガス推進官民連携協議会での議論⁶⁾では、2050年までにカーボンニュートラル実現を達成するため、その移行期間として2035年には想定需要の16%、200万tonのLPガスをカーボンニュートラル化することを目標としている。その方策のなかには、当社が前述の実証プラントにて取り組みを開始するグリーンLPガスの輸入および国内生産も数値目標として組み込まれており、当社技術を活用してグリーンLPガスを製造することに期待が込められている。

当社は2022年9月にマーケティング・営業・研究開発・モノづくりが一体となり、グリーンLPガスの実用化を推進する組織を発足させ設備部、営業統括本部と横断して、グリーンLPガスの生産、提供を目指している。加えて、当社にとって新たな取り組みとなるLPガスの取り扱い、特にグリーンLPガスの流通にあたっては、既存のLPガスと比較して安全性に問題が無く、同一の方法で取り扱いが可能であることを保証し、国内でグリーンLPガスを認証する標準や制度を制定する必要がある。そこで国内ガス会社のアストモスエネルギー株式会社、岩谷産業株式会社といったガス会社をパートナーとしてサプライチェーン構築について着手した。既存のLPガス流通網を活用し効果的な国内での生産・流通体制を構築していく。

さらに、国内流通するすべてのLPガスをカーボンニュートラル化することを目指す場合、国内のバイオマス原料の賦存量を考慮すると海外での生産も視野に入れる必要がある。当社は2022年、海外でのグリーンLPガス開発の製造・供給パートナーとしてSHV エナジーグループのFutura FuelsとMOU^{*5}を締結している。当社技術にアストモスエネルギーやSHV エナジーグループの持つ商業化のノウハウや、国際的なLPガスの供給

網を活用し、バイオガスをはじめとする様々な合成ガス原料から年間数百万 ton のグリーンLPガスを製造・供給する体制を確立するため協業を加速する。

※5 MOU：Memorandum of Understandingの略。

当社は2035年までに大規模実証プラントとして年間1,000 ton のグリーンLPガスを合成することで、国内需要のLPガスのグリーン化に貢献していく。また、グリーンLPガスの社会実装を通して、脱炭素社会への貢献に加え、エネルギーの地産地承を促進していく。

謝辞

本研究は、NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）のグリーンイノベーション基金事業「CO₂等を用いた燃料製造技術開発事業プロジェクト 化石燃料によらないグリーンなLPガス合成技術の開発」事業として実施しております。加えて、貴重な機会の提供くださった栃木県庁および栃木県畜産酪農研究センターの皆様にも深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 古河電工：古河電工グループ統合報告書2024（2024）.
https://furukawaelectric.disclosure.site/pdf/library/175/ja/FurukawaReport2024_jp_A3.pdf?241112（参照日 2024年12月13日）
- 2) 資源エネルギー庁：電力ネットワークの次世代化について（2021.12.27）.
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/pdf/043_04_00.pdf（参照日 2024年12月13日）
- 3) 日本LPガス協会：検討会設置の経緯や今後の取り組み課題等について（2022年7月26日）
https://www.j-lpgas.gr.jp/news/NewsRelease_20220801.pdf（参照日 2024年12月13日）
- 4) 馬場祐一郎，平野潤也，佐々木宏和，福島将行，増田隆夫：“ラムネ触媒®によるグリーンLPガス創出技術”，古河電工時報，141（2022），2.
- 5) 野村総合研究所：グリーンLPGの社会実装を見据えた国内外の動向調査（2023.3.24）.
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2022FY/000289.pdf（参照日 2024年12月13日）
- 6) 日本LPガス協会：第6回 グリーンLPガス推進官民検討会 議事要旨（2024.3.13）.
https://www.j-lpgas.gr.jp/gas_news/NewsRelease_20240315.pdf（参照日 2024年12月13日）