

化石燃料に代替するアンモニア利用技術の開発： 中規模・分散型 蒸気/排ガス加熱方式 アンモニア分解・水素製造技術 -HyMACS®-

Development of Ammonia Utilization Technologies as Alternatives to Fossil Fuels:
Middle-Scale, Decentralized HyMACS® (Hydrogen Mitsubishi Ammonia Cracking System)



松澤 雅登*¹
Masato Matsuzawa

志村 良太*³
Ryota Shimura

吉徳 光一朗*²
Koichiro Yoshitoku

桜井 幹也*⁴
Mikiya Sakurai

鈴木 孝允*²
Koin Suzuki

秋元 聡*⁵
So Akimoto

石炭・アンモニア混焼発電への利用に代表される大規模なアンモニアサプライチェーンが構築されると、その周辺地域では多岐にわたる水素需要の増加が見込まれる。水素サプライチェーン構築の初期段階では化学工業等の各種産業の内、化学プラントの燃料用途などの中小口需要が立ち上がると予想される。三菱重工業株式会社は、中規模・分散型のアンモニア分解水素製造の需要を第一ターゲットとすることにより、多岐にわたる水素需要、潜在需要への対応を狙う。本報では、貴金属を使用しない低温高活性のアンモニア分解触媒を適用し、蒸気/排ガスを熱源とした熱効率の高いアンモニア分解・水素製造技術 Hydrogen Mitsubishi Ammonia Cracking System の開発の進捗について報告する。

1. はじめに

日本及び国際社会におけるエネルギー全体のカーボンニュートラルの実現を目指す成長戦略において、アンモニアは有力な水素キャリアとして注目されている。アンモニアは液化・輸送のインフラが既に存在し、高い水素密度を有することから、海外で生産された低炭素水素を液体アンモニアに転換して輸入するスキームがコスト面・実装性の両面で有利とされる。図 1 に水素キャリアとしての液体アンモニアの優位性を示す。

キャリア	液化水素	メチルシクロヘキサン	液体アンモニア	メタネーション
体積 (対常圧水素)	約1/800	約1/500	約1/1300	約1/600
液体となる 条件、毒性	-253℃、常圧 毒性無	常温常圧 トルエンは毒性有	-33℃、常圧等 毒性、腐食性有	-162℃、常圧 毒性無
直接利用の可否	N/A (化学特性変化無)	現状不可	可 (石炭火力混焼等)	可 (都市ガス代替)
高純度化の為の 追加設備	不要	必要 (脱水素)	必要 (脱水素)	必要 (脱水素)
既存インフラ活用、 活用可否	国際輸送は不可 (要新設) 国内配送は可	可 (ケミカルタンカー等)	可 (ケミカルタンカー等)	可 (LNGタンカー、 都市ガス等)
技術的課題等	大型海上輸送技術 (大型液化器、運搬船等) の開発	エネルギーロスの 更なる削減	直接利用先拡大のための 技術開発、脱水素設備の 技術開発	製造地における競争的な 再エネ由来水素、 CO ₂ 供給が不可欠

出典：経済産業省“水素・アンモニアを取り巻く現状と今後の検討の方向性”(青枠は三菱重工が付記)

図1 水素キャリアとしてのアンモニアの優位性

*1 総合研究所 化学研究部 主席研究員

*2 総合研究所 化学研究部

*3 GX セグメント プロセスエンジニアリング部 部長 技術士(化学工学部門)

*4 GX セグメント プロセスエンジニアリング部 次長

*5 GX セグメント プロセスエンジニアリング部

これまで大規模・集中型のアンモニア分解技術の開発が主流であったが、クリーン水素導入の初期段階ではアンモニア受入れ基地の近隣で中規模・分散型のアンモニア分解装置の需要が見込まれる。輸送効率の高い液体アンモニアを水素需要地に配分することで、製造された水素ガスを供給するためのパイプライン(大規模なインフラ整備)が不要となる。

三菱重工業株式会社(以下、当社)では、既存設備との親和性が高い蒸気/排ガス加熱方式と、貴金属を用いないことで供給安定性を確保した低温高活性触媒を組み合わせることで、コンパクト化、運転コスト低減、金属材料の窒化リスク^{*}低減を実現したアンモニア分解装置を開発し、脱炭素技術の早期確立・社会実装を図る。

^{*}アンモニアガスを含む高温環境で金属材料表面に硬い窒化層が生成して脆くなる現象

2. アンモニア分解技術のコンセプト

石炭・アンモニア混焼発電の普及や化学品プラントの燃料転換等に伴い、中小口の水素需要が先行して増加すると予想される。需要地の近接で設置が可能な中規模・分散型装置(処理能力 0.25~2.5 ton/day クラス)を導入することで、初期投資を抑制し幅広い需要に対応できる。将来的な水素需要の拡大が見込まれれば、水素発電・水素製鉄等の大口需要に対する大型機の導入も検討していく。図 2 に、当社が開発したアンモニア分解・水素製造技術 Hydrogen Mitsubishi Ammonia Cracking System (以下、HyMACS[®])の導入イメージを示す。

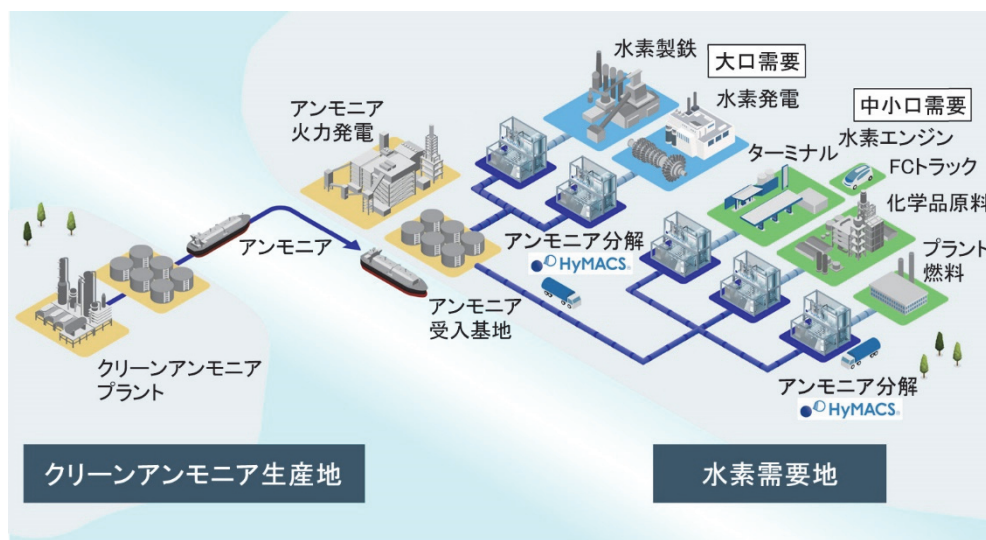


図2 HyMACS[®]の導入イメージ

本システムには、液化アンモニアを昇圧・気化し、アンモニア分解触媒により熱分解(吸熱反応)を行うプロセスを採用している。本プロセスの特徴としては、

第一に、蒸気/排ガス加熱方式を採用し、外部燃料を使用するファーネス方式に比べて熱効率と運転コストにおいて優位であること、

第二に、低温高活性のアンモニア分解触媒を適用する事により、反応に必要な熱源の温度レベルを 500℃以下へ低減することで、ファーネス方式に比べて、反応器を含むシステム全体のコンパクト化と窒化リスクの低減が可能になること、(図 3 にプロセス方式の比較を示す)

第三に、分解ガスの未分解のアンモニアはアンモニア回収ユニットにて除去・再利用、窒素は水素精製ユニットにて分離除去して高純度の水素を精製可能なことである。

蒸気/排ガス加熱方式と、低温高活性触媒を組み合わせることで採用することにより、コンパクトなコンテナサイズ・スキッドモジュール化が可能となり、現地工事の最小化と迅速な設備の導入を実現することが可能となる。

	蒸気／排ガス 加熱方式	ファーネス方式 (※2)	オートサーマル方式 (※3)
反応熱	外部受入	自給	自給
反応温度	450～500℃	～700℃	～700℃
運転コスト	1.0	～1.2 (※1)	～1.2 (※1)
技術成熟度	中	高	低
窒化リスク	低	高	低
水分に対する 触媒耐久性	対策済	-	対策要
プロットサイズ	小～中	大	大
合理的な 装置規模	0.25～2.5 ton/day	> 10 ton/day	> 25 ton/day

当社開発中
● HyMACS

(※1) 当社試算
(※2) 必要な熱を、反応器周囲で燃料を燃焼させることで獲得する方式
(※3) 必要な熱を、反応器内部のアンモニアを燃料として一部燃焼させることで獲得する方式

図3 プロセス方式の比較

3. 実証試験設備と試験計画

3.1 ラボ試験(ベンチスケール)

パイロットプラントに先立ち、当社総合研究所長崎地区内に設置したベンチ試験装置にて、アンモニア分解触媒の基礎性能を把握した。パイロットプラントで使用する触媒の還元・酸化挙動、分解反応・伝熱データを取得し、触媒層におけるアンモニア分解挙動を予測する手法を確立することで、パイロットプラントの設計に展開した。

3.2 パイロットプラントの装置概要とアンモニア分解/水素精製の試験

ベンチ試験で得られた要素技術の検証をもとに、実機長さの反応管を切り出したパイロットプラントを同長崎地区内に設置し、アンモニアの分解・吸収・水素精製の一連のシステム全体の成立性を検証する。

パイロットプラントは主に以下の機器で構成される。液化アンモニア貯槽、アンモニア昇圧・気化設備、アンモニア分解反応器(低温高活性触媒を充填)、アンモニア除去用のアンモニア吸収塔及び回収塔(アンモニア回収ユニット)、水素精製ユニット、ユーティリティ、並びに安全監視・非常時排ガス処理装置である。反応器は蒸気を熱源とし、温度管理、アンモニア濃度管理、材料選定による材料窒化抑制策を実装している。パイロットプラントは実機へのスケールアップを見据え、触媒性能、システムの妥当性検証、水素精製性能、運転安全性、触媒の酸化還元のデータを取得できる構成とした。図4にパイロットプラントの外観を示す。

本パイロットプラントにおいて、蒸気を加熱源として利用して原料のアンモニアを分解し、純度99.97%の水素製造を確認した。



図4 パイロットプラントの外観

3.3 NEDO 助成及び支援

今後、本開発は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術開発機構（以下、NEDO）の“競争的な水素サプライチェーン構築に向けた技術開発事業”のプロジェクトの一環として実施していく計画である。当社にて Front End Engineering Design（以下、FEED）及び装置設計を行い、製品化に必要な技術課題の解決を目標に 2026 年度までに実証プラントの仕様を固める。また、触媒については、これまで自社研究にて基礎データを蓄積してきたが、引き続き NEDO 助成の下、製品化のために必要な技術課題の解決、触媒の耐久性検証と更なる低温高活性化を目指す。

3.4 実証試験計画について

試験計画は図 5 のロードマップに沿って段階的に進めている。ラボ試験で得られた触媒特性を基に設計したパイロットプラントにおいて、システム全体の機能妥当性を検証中である。今後の実証試験では、触媒の耐久性や窒化挙動の評価などを実施する予定としており、実証プラントの建設と長期耐久試験を 2028 年度以降に計画している。最終的には、2030 年代前半に商用初号機を納入することを目標としている。

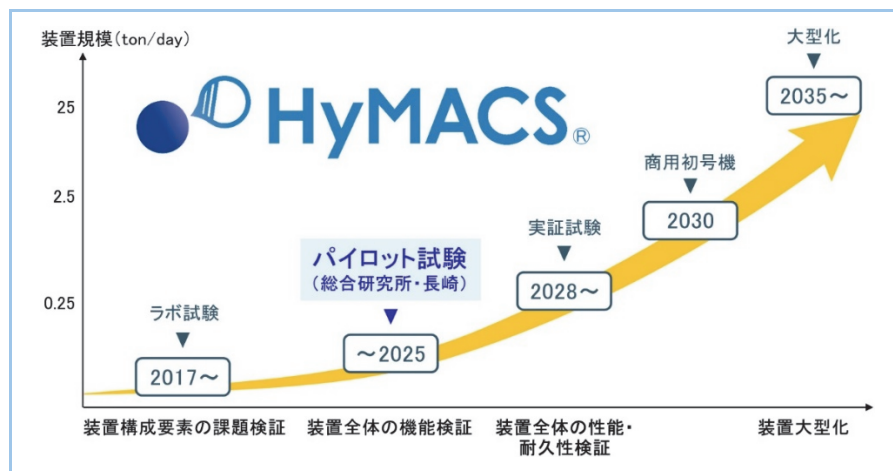


図5 アンモニア分解・水素製造技術の開発ロードマップ

4. まとめ

本報では、中規模・分散型・排熱利用型アンモニア分解システムの開発方針と実証試験の計画を示した。低温高活性の非貴金属触媒と蒸気/排ガス加熱方式を組み合わせることで、運転コストの低減、装置小型化及び窒化リスクの抑制が期待できる。パイロット試験により触媒反応特性、反応器材質の窒化挙動を検証し、FEED を経て実証機による長期試験へと移行する計画である。今後の課題としては、触媒の長期耐久性（特に含水アンモニア条件下）、反応器材料の窒化対策の最適化、排熱源の変動に対する運転安定化、及び経済性評価が挙げられる。これらを解決することで、水素需要地に密着した、柔軟で競争力ある水素供給インフラの構築へ寄与できると考える。

HyMACS®は、三菱重工業株式会社の日本等での登録商標です。

参考文献

- (1) 三菱重工業株式会社プレスリリース、三菱重工と日本触媒、アンモニア分解システムの商用化に向け NEDO“競争的な水素サプライチェーン構築に向けた技術開発事業”に採択 (2025)
<https://www.mhi.com/jp/news/25103003.html>
- (2) 三菱重工業株式会社プレスリリース、三菱重工と日本触媒、水素利用拡大に向けアンモニア分解システムの共同開発契約を締結 (2023)
<https://www.mhi.com/jp/news/23082101.html>
- (3) INCHEM 講演タイトル“クリーン水素サプライチェーン構築に向けたアンモニア分解水素製造装置 (HyMACS®) の紹介” (2025)