

# カーボンニュートラル達成に向けた燃料アンモニアの 安全な運用を実現するアンモニア除害設備の開発設計

Development Design for Ammonia Removal Device for Safe Operation Applying for  
Ammonia Fuel to forward Carbon Neutrality



佐々木 良三\*1  
Ryozo Sasaki

文 亮太\*2  
Ryota Bun

火力発電分野におけるアンモニア混焼実証の開始や、船舶分野におけるアンモニア燃料エンジンの開発に代表される動向により、燃料アンモニアの利用拡大が進むことが予想される。需要拡大に向けた課題の一面として挙げられるのが、毒性のあるアンモニアを運用するための安全性、化石燃料の代替となり得るための経済性、新たに GHG (Greenhouse Gas) や環境破壊に繋がる副生物の発生を伴わない環境保全性であると考えられる。三菱重工工業株式会社(以下、当社)が提案するアンモニア除害設備は自社の触媒技術を用いており、それらの課題を解決する一助となるが、その運用条件や要求仕様は明確化されていないのが実態である。本報では、課題を解決する設備の概要、仕様と特徴を説明する。アンモニア分解後の排ガス中の副生 NO<sub>x</sub> 低減が求められる案件においても装置サイズを抑制でき、モジュール化させた可搬式設備の開発設計を実施した。本報の紹介により、燃料アンモニア利用を検討中のお客様に対する提案となり、具体的なアンモニアガスや排水を無害化する運用条件や設備仕様の決定に繋がることを期待している。

## 1. はじめに

わが国では、2050 年カーボンニュートラル達成に向けて、燃料アンモニア利用拡大の実証や検討が進んでいる。経済産業省が取り纏めている燃料アンモニアの国内導入量の目標は、火力混焼と船舶燃焼をあわせて、2030 年に年間 300 万トン、2050 年にはその 10 倍の年間 3000 万トンが掲げられている(図1)<sup>(1)</sup>。

アンモニアガスは毒性があるため、安全な運用やメンテナンスを行うには、アンモニアを無害化する除害設備が必要となる。また、低コストで環境に配慮された設備であることも求められる。

アンモニア除害技術の代表的な方法として、水吸収、生物処理、ガス燃焼、そして触媒分解が挙げられる(表1)。水吸収では、吸収熱に伴う再放散を抑えるため大量の水が必要となり、吸収した後の排水処理や産廃処理費用が課題と考えられる。生物処理方式は、広大な敷地面積を必要とし、コストがかかることも含めて簡便に導入することが難しいと考えられる。ガス燃焼方式では、燃焼用のパイロット燃料が必要となり、GHG を含む副生ガスが生じる課題がある。また、低濃度のアンモニアを燃焼しきることが課題であると考えられる。

当社では低濃度まで分解が可能であり、副生ガスや排水が発生しない、触媒分解を採用している。緊急時には、即応性の高い水吸収を行うことを想定し、水吸収によって発生したアンモニアを含む排水を処理することが可能な設備を計画している。

\*1 エナジードメイン AQCS 事業部環境プラント技術部 主席技師

\*2 総合研究所 化学研究部

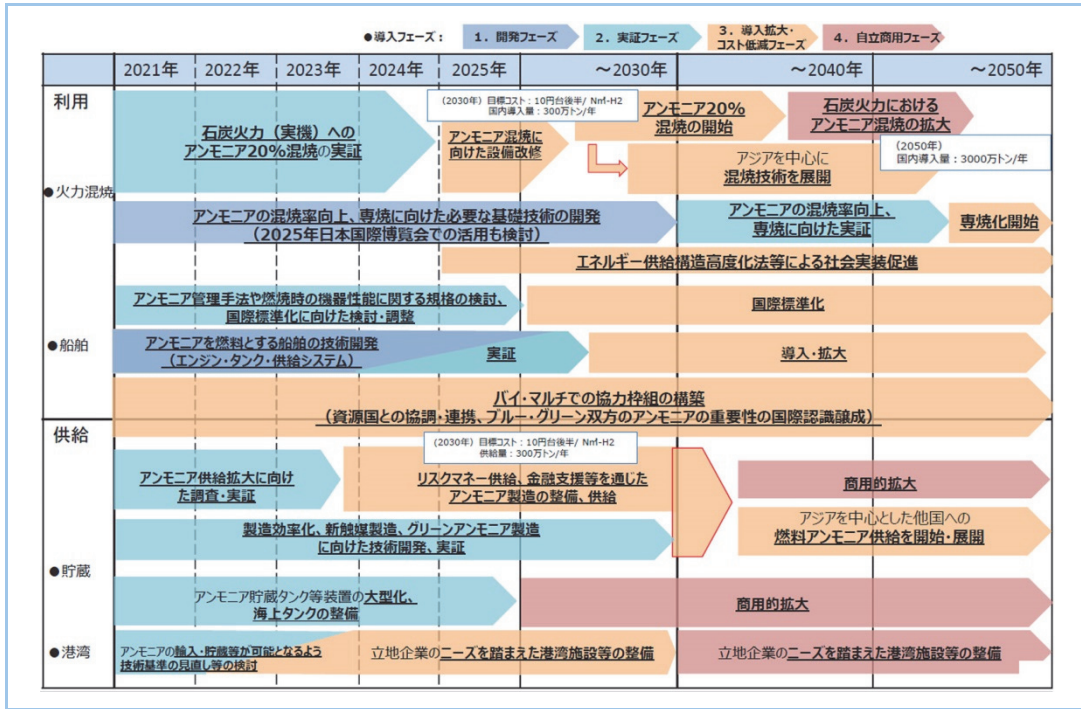


図1 燃料アンモニア導入・拡大のロードマップ(資源エネルギー庁)<sup>(1)</sup>

表1 アンモニア除害技術の比較

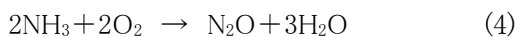
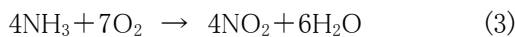
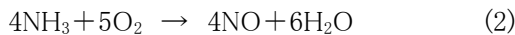
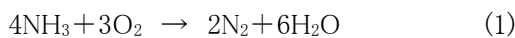
方法	概要	メリット	デメリット
水吸収	水もしくは酸をスプレで散布しアンモニアガスをアンモニア水として吸収。	・ 高い即応性。	・ 高濃度処理に大量の水が必要。 ・ 排水の回収や二次処理が必要。
生物処理	水中のN分を微生物により硝化・脱窒して汚泥として処理。	・ 火力発電所の排水中N分処理として一般的。	・ 滞留時間が必要で他方式より敷地面積が必要。
ガス燃焼	アンモニアガスをバーナ中で燃焼分解。	・ 装置本体はコンパクトかつ安価。 ・ 排水なし。	・ アンモニアを低濃度まで分解できるか検証段階。 ・ 燃焼用ガス(LNG等)が必要。 ・ 副生ガス(NOx他)が生成。
触媒分解	アンモニアガスを触媒を用いて分解。	・ 低濃度まで分解可能。 ・ 排水や副生ガスが出ず、二次処理が不要。 ・ 発電所・工場向け実績有。	・ 触媒は消耗品のため数年サイクルでの交換が必要。

後述するとおり、当社はこれまで本設備の納入実績を有している。しかし、火力発電所のアンモニア混焼設備や船舶向けの実績はないため、設備のスケールアップ、設置場所や使用用途に応じた仕様変更が必要であり、設備一式を更新する開発設計を実施した。さらに、環境負荷低減を考慮し触媒の改良も実施している。

## 2. アンモニア分解触媒の特徴

当社では、発電プラントや産業プラント向けの脱硝触媒をはじめとして、各種触媒製品を取り扱っているが、本アンモニア除害装置においても自社の触媒技術が大きな特徴となっている。

触媒を用いたアンモニア分解の原理は、以下の化学反応によりアンモニアを含むガスを触媒上で酸化分解するというものである。

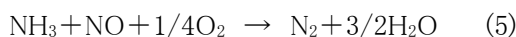


白金などの酸化成分を含む一般的な酸化触媒を用いた場合、アンモニア分解時には(1)式に示す窒素だけでなく、(2)、(3)、(4)式に示すNO<sub>x</sub>やN<sub>2</sub>Oといった副生成物が生成してしまう。分解対象のアンモニア量が多いほど副生成物の量も多くなり、酸化触媒を用いて大量のアンモニアを

分解する場合には、NO<sub>x</sub> や N<sub>2</sub>O といった副成分を含む排ガスの浄化手段を酸化触媒の後段に追加する必要が出てくる。その結果、設備サイズの大型化や消費電力の増大という問題を抱えることとなる。

これに対して、当社では、アンモニア酸化分解作用に加えて NO<sub>x</sub> 除去(脱硝)作用を両立させた触媒(以下、多元機能触媒と記載)を開発・製品化している。多元機能触媒は、もともと排ガス中の CO 濃度が高い米国 HRSG(Heat Recovery Steam Generator) 案件などを対象として開発した CO 酸化性能と脱硝性能を両立させる触媒をベースとして、アンモニア分解にも適用できるように改良した経緯を持つ。

当社製多元機能触媒のアンモニア分解反応モデルを図2に示す。触媒内部の細孔には脱硝作用を持つ第1成分が含まれており、その所々にアンモニアの酸化分解作用を有する第2成分が存在する構造になっている。このような構造の触媒内にアンモニアが侵入すると一部は細孔入口の第1成分に吸着され、一部は細孔内に侵入して第2成分上で分解され(2)式のように NO となる。生成した NO は触媒の外へと拡散していく過程で吸着されたアンモニアと衝突して(5)式のように N<sub>2</sub> に還元・無害化されていく。



以上の機構により、当社製多元機能触媒上では NO<sub>x</sub> を生成することなくアンモニアを N<sub>2</sub> に分解することができる。また上記の反応によりアンモニアが N<sub>2</sub> に酸化されるため、(4)式に示すようなアンモニアの中間生成物である N<sub>2</sub>O が副生しにくいという利点も有する。

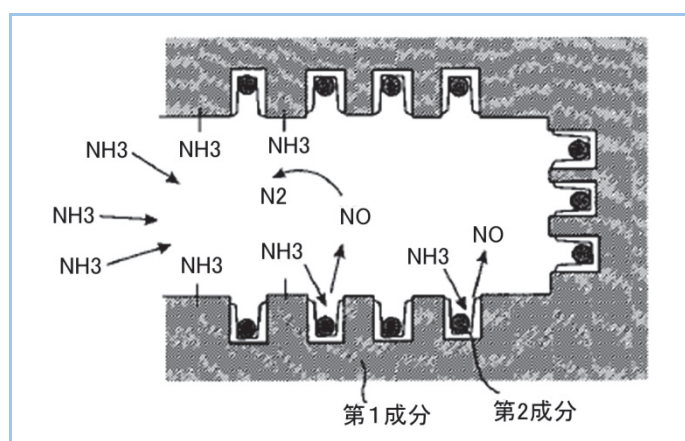


図2 当社製多元機能触媒の反応モデル<sup>(2)</sup>

当社製多元機能触媒と一般的な酸化触媒を比較した結果を図3に示す。当社製多元機能触媒では酸化触媒と同等の高いアンモニア分解率を維持しつつ、NO<sub>x</sub> 及び N<sub>2</sub>O の副生率を抑制できていることが明確である。

こうした触媒の特徴によって、アンモニア分解後の排ガス中副生 NO<sub>x</sub> 低減が求められる案件においても装置サイズを抑制でき、後の章で記載する可搬型装置の製品化も実現している。

今後、燃料アンモニアの社会導入が推進されるに伴い、処理対象となるアンモニアの量が多くなると想定される。前述したようにアンモニアの処理量と副生物の生成量は相関を持つことから、アンモニア、副成分ともに低濃度を維持し続けるためにはより安定した性能が要求される。当社の触媒は、アンモニア分解性能、脱硝作用ともに既に高い性能を達成しているが、これに加えて、近年では副生する微量の N<sub>2</sub>O に対しても分解作用を持つ触媒の開発・知財化に取り組んでいる。N<sub>2</sub>O は温暖化係数が CO<sub>2</sub> と比較して約 300 倍と極めて高く、NH<sub>3</sub> 燃料船や輸送船といったエンジン排ガス分野でも対策が重要視されており、今後のさらなる環境保全、社会貢献に向けて、当社の触媒技術開発を加速していく所存である。

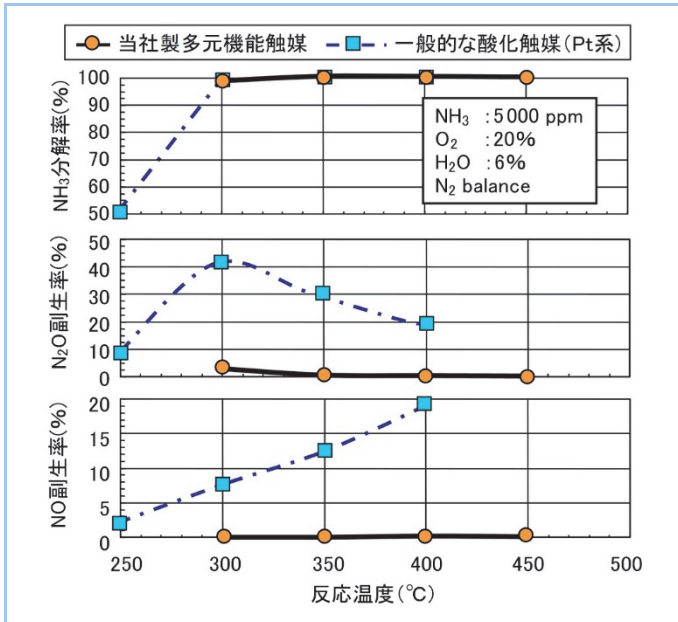


図3 当社製多元機能触媒と一般的な酸化触媒の比較

### 3. 設備概要と用途

設備の構成と処理フローを説明する(図4)。アンモニアの分解反応を進めるためには、反応器(触媒塔)内は昇温された状態とする必要があるため、設備の起動前に加熱器を稼働させ、系内を昇温させる。無害化する必要があるアンモニアガスを導入した後、アンモニア分解による発熱を熱交換器によって回収し、反応器入口ガスを加熱することで、加熱器を稼働せずに反応を継続することが可能となる。従って、通常運転時は空気ファンの動力以外ほぼ使う必要がなく、省エネルギー運用が可能となる。一方、過剰な濃度のアンモニアを反応器へ導入してしまうと、その反応熱による昇温も過剰となり、触媒の熱劣化を引き起こす。そのため、反応器入口におけるアンモニア濃度は、適正な濃度に制御する必要があるため、空気ファンによって希釈空気を導入し、反応器入口のアンモニア濃度を制御する。また、系内のアンモニア濃度を爆発限界濃度以下に保つことにも繋がり、安全かつ長期的にも安定した運転が可能となる。

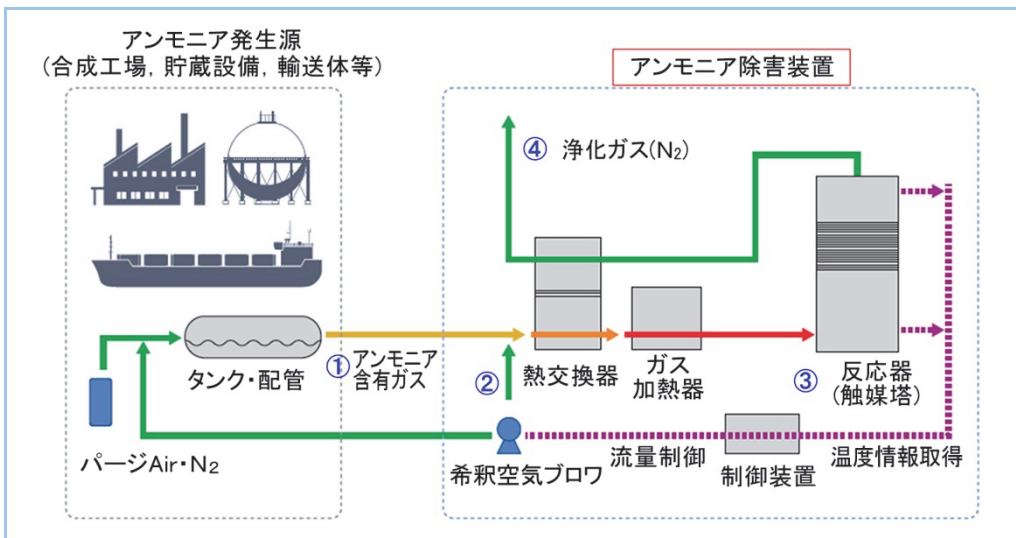


図4 アンモニア除害装置の構成・処理フロー

次に、設備の用途について説明する(図5)。本設備を運用するシーンは、アンモニア混焼・専焼を進める火力発電所、アンモニア貯蔵設備やアンモニア燃料エンジンを搭載した船舶等を想定している。例えば、アンモニア貯蔵タンクの定期検査を行う際、安全にアンモニアガスをパージ

し、無害化する必要がある。エンジン排ガスからのスリップアンモニア処理や、BOG (Boil Off Gas) 処理として、アンモニアを無害化する必要がある。船舶向けでは、設備を船上に搭載して運用することも想定している。

一方で、火災等のトラブル起因で発生する緊急漏洩時は、迅速かつ大量にアンモニアガスを処理する必要があり、起動前に昇温準備が必要となる触媒方式では突発的な処理に対応しきれない懸念がある。突発的な処理には水吸収方式が用いられるケースが多いが、アンモニアを吸収した後の排水処理の手間とコストが課題となる。当社の設備では、アンモニアガスを無害化する反応器系の前段に放散塔系を設置することで、アンモニアガスの処理に加えてアンモニアを含む排水処理を実施することができる構成としている。

処理容量が大きい場合は設備サイズも大きくなり、通常の設定式設備として提供する。設備の処理容量によっては可搬式設備の計画も行っており、用途により常時稼働する必要がない場合は、可搬式設備を必要なタイミングで必要な場所で運用することができる。これらの実績について、後の章で紹介する。

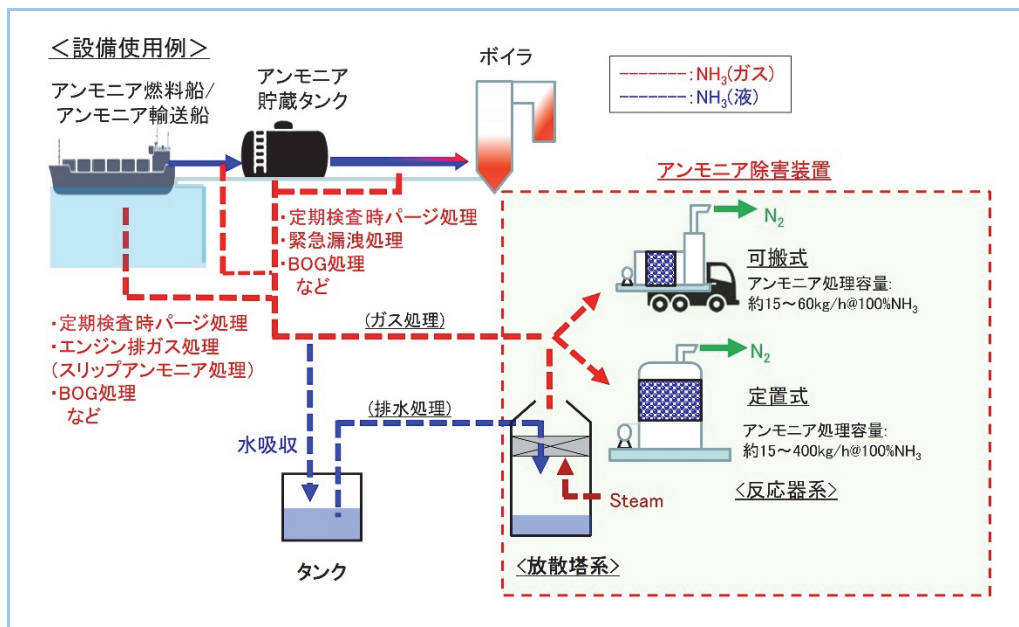


図5 アンモニア燃料プラントへの適用イメージ

#### 4. 設備の仕様と特徴

火力発電分野におけるアンモニア混焼実証の開始、船舶分野におけるアンモニア燃料エンジンの開発は、2023 年度現在、進行中であり、付帯すべきアンモニア除害設備の要件についてはまだ明確となっていない部分が多い。

当社では、現時点での設備仕様を仮定して開発設計を進めている。今後、法規制の整備やお客様の要求仕様が固まってきた時点で臨機応変に対応することを考えているが、表2に示す仕様(ターゲット)は参考値として紹介する。

表2 アンモニア除害設備の基本仕様一覧(参考)

項目	基本仕様	備考
アンモニア処理量	15~60kg/h (100%アンモニア/可搬式) 15~400kg/h (100%アンモニア/定置式)	
(放散塔入口)排水中アンモニア濃度	30 000 mg/L	
(放散塔出口)処理水中アンモニア濃度	< 125 mg/L as N-NH <sub>4</sub>	国交省(下水処理場へ流す場合)基準値 <sup>(3)</sup>
(反応器入口)ガス中アンモニア濃度	30 000 ppm	
(反応器出口)ガス中アンモニア濃度	< 25ppm	ABS, NK ガイドライン <sup>(4)(5)</sup>
(反応器出口)ガス中 NO <sub>x</sub> 濃度	< 10ppm	

処理量の規模に応じて、可搬式設備と定置式設備を計画している。それぞれのアンモニア処理量は、可搬式設備で約 15～60kg/h(100%アンモニア)、定置式設備で約 15～400kg/h(100%アンモニア)を計画している。可搬式設備は、一体化したユニットをトラック等で一括移送する計画である。

設備の経済的な評価を試算している。アンモニアを含む排水の産廃処理費用に対して、本設備を導入した場合の初期費用・運転費・メンテナンス費を比較した。設備規模と排水量によって評価が変動するが、凡そ3年未満での投資回収は可能であり、排水量が増えていくようになれば、さらに短期間での投資回収が可能となる見通しを得た。お客様の設備情報を含むため、本報での詳細な説明は割愛するが、問い合わせに応じた試算を行うこともできる。

## 5. 設備の実績紹介

最後に、納入実績について紹介する。これまでの実績は、脱硝用アンモニアタンク定期検査ページ向け、半導体工場や排水処理設備向けに収めた実績が 26 基ある。そのうち、2件の実績について紹介する。

### 5.1 納入実績①:国内発電所向け

- 脱硝用アンモニアタンク内ガスパーズ用途で発電所に納入した可搬式設備
- 処理ガス量:670Nm<sup>3</sup>/h(100%アンモニア:20Nm<sup>3</sup>/h 相当)
- 処理ガス実績:アンモニア<5ppm, NO<sub>x</sub><10ppm

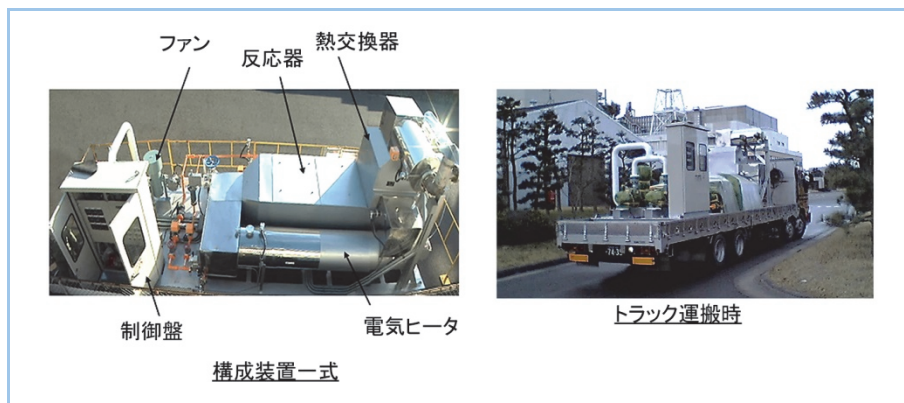


図6 納入実績①

### 5.2 納入実績②:汚泥排水処理コンポストセンター向け

- 排水処理のため放散塔系と反応器系を備えた定置式設備
- 処理ガス量:850Nm<sup>3</sup>/h(100%アンモニア:4Nm<sup>3</sup>/h 相当)
- 半導体工場向けに処理ガス量として 5000Nm<sup>3</sup>/h 以上の実績も有する



図7 納入実績②

## 6. まとめ

カーボンニュートラル達成に向け、燃料アンモニアの需要拡大への対応として、当社のアンモニア除害設備を提案する。設備への課題を3点挙げ、それぞれの対応を解説した。安全性については、触媒の特徴として低濃度のガス分解まで可能となる中、系内を一定濃度以下に保つことで爆発限界以下に抑えている。経済性として、通常運転時は空気ファン以外の動力はほぼ必要とせず、産廃処理や生物処理等、他の方法と比べて経済性に優れることを確認した。また、環境保全性として、副生物の抑制が可能となる触媒開発を行っていることを解説した。

今後も市場環境が大きく変わっていくことが想定されるが、当社は引き続きエネルギーと環境という地球規模の課題解決に貢献していきたいと考える。

## 参考文献

- (1) 経済産業省エネルギー白書 2021 第3部第8章第4節,  
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2021/html/3-8-4.html>
- (2) 吉川博文ら(旧バブコック日立, 現三菱重工), タンク内に残留する液体アンモニアの処理方法および装置, 特開 2004-216300, 公開日 2004.8.5
- (3) 国土交通省水質規制の基準  
[https://www.mlit.go.jp/pubcom/01/pubcom23/pubcomt23-2\\_.html](https://www.mlit.go.jp/pubcom/01/pubcom23/pubcomt23-2_.html)
- (4) American Bureau of Shipping(ABS):Guide for Ammonia Fueled Vessels. (Sep.2021)
- (5) Class NK:代替燃焼線ガイドライン(メタノール/エタノール/LPG/アンモニア) (Aug.2021)