



2023年度

次世代燃料用ボイラ向けバーナの技術開発

2024年3月

一般社団法人 日本船用工業会

## はしがき

本報告書は、BOAT RACE の交付金による日本財団の助成金を受けて、2023年度の1年計画で、一般社団法人日本船用工業会がボルカノ株式会社に委託して実施した、「次世代燃料用ボイラ向けバーナの技術開発」の成果をとりまとめたものである。

ここに、貴重な開発資金を助成いただいた日本財団、並びに関係者の皆様に厚く御礼申し上げる次第である。

2024年3月  
(一社)日本船用工業会

## 目 次

1. 事業の目的	1
2. 事業の目標	6
3. 2023年度の実施内容	7
3.1 アンモニア燃料用ボイラ向けバーナおよび炉体の設計	7
3.2 アンモニア燃料用ボイラ向けバーナおよび炉体試作および評価試験	18
(1) 設計図面および仕様に基づいたボイラ向けバーナおよび構成部品の試作	18
(2) 評価試験準備	21
(3) 排ガス分析計の選定	27
(4) 試作したボイラ向けバーナを用いての構成部品仕様の最適化	28
(5) 最適仕様のボイラ向けバーナ試作に対する評価試験結果	29
4. 目標の達成状況	35
5. 2023年度の実施内容の概要	36
6. 今後の予定	37
7. まとめ	42



## 1. 事業の目的

世界では脱炭素の動きが加速しており、NYK プロジェクト (2026 年竣工) のアンモニア燃料・輸送船を始め、多数の大型商船の具体的な検討が開始されている。大型商船においては蒸気が必須であり、蒸気も生成できる GCU 機能付きアンモニア燃料用ボイラが必要である。GCU 機能付きアンモニア燃料用ボイラでは、燃焼しにくい低温下での使用であり、未燃燃料等を排出させないことが要求されるため、新たなバーナの開発が必要となる。そこで、世界初のアンモニア燃料用 GCU 機能付きボイラ向け DF バーナを開発して、脱炭素社会の実現に貢献したい。

本事業の目的は以上の通りであるが、個別の事項について補足すると次の通りである。

### (1) 意義・必要性(社会的背景)

タグボート、小型船や陸上のアンモニアエンジンを扱うメーカーにはアンモニア蒸発ガス (Boil Off Gas : 以下 BOG) を焼却するアンモニア燃料用ガス燃焼ユニット (Gas Combustion Unit : 以下 GCU) が必要不可欠である。

一方、大型のアンモニアエンジンの開発が進められている中で、2022 年に入り、様々な建造プロジェクトが動き出した。NYK プロジェクト (NYK、J-エンジン、IHI 原動機、NSY、NK : 2026 年竣工) のアンモニア燃料・輸送船(外航船)、MOL プロジェクト (MOL、常石造船、三井 E & S : 2026 年竣工) のアンモニア燃料・液化ガス輸送船(外航船)、伊藤忠プロジェクト (伊藤忠、K-LINE、NSY、今治造船、三井 E&S、MAN・ClassNK など : 竣工 2025 年) のアンモニア燃料船などの具体的な大型アンモニア燃料船の建造計画検討が複数隻に渡り本格化している。

大型船においては蒸気が必要となる。ボイラで作られた蒸気は、アンモニア加熱(液温上昇・気化)、FO 加熱、清浄機用加熱、船内暖房、その他に使用される。アンモニアエンジンの開発と、具体的なアンモニア燃料船の建造計画が本格化していく中で、アンモニア燃料用 GCU 機能付きボイラの需要が出てきた。よって、アンモニア燃料用 GCU 機能付きボイラ向け DF バーナ (以下 アンモニア燃料用ボイラ向けバーナ) が必要となる。

水素燃料は燃えやすい特性を有しているため、アンモニア燃料と違い低温下でも持続的な燃焼が可能である。従って、2022 年度事業として開発した水素燃料用 GCU バーナをボイラ向けバーナに転用することができるため、水素燃料用 GCU 機能付きボイラ向け DF バーナの要望があった際には、対応が可能であると考ええる。

まず GCU 機能について説明を加える。燃料タンク内に充填されているアンモニアは液体の状態であるが、タンクへの侵入熱や船の動揺により、BOG が発生しタンク圧力が上昇する。ガスの大気放出によるタンク圧力調整は、緊急事態を除いて認められていない。タンク圧力調整方法として「(2) 蒸発ガスの燃焼」が謳われている (IGF コード、日本海事協会発行代替燃料船ガイドライン(第 2.0 版))。水素燃料船向けの水素燃料用 GCU についても同様である。

アンモニア燃料船、水素燃料船のいずれにおいても、以下のケースで蒸発ガス (BOG) の処理が必要となる。すなわち、

- ① アンモニア・水素タンク内の圧力調整
- ② アンモニア・水素バンカリング時の不活性ガス処理
- ③ アンモニア・水素タンクのガッシング

④ アンモニア・水素タンクのガスフリー

におけるガス処理が必要となる。①では、タンク内で発生する蒸発ガスを主機・補機エンジンなどの DF 機関で処理しきれない場合、タンク内の圧力調整のため蒸発ガスの処理が必要となる。②では、パンカリング時において、配管内の不活性ガス混じりの蒸発ガスの処理が必要である。③④では、建造時、入渠の際やタンク保守作業の際、タンク外に放出される不活性ガス混じりのガスの処理が必要である。この③④の場合には、時間経過とともに蒸発ガス内に窒素 ( $N_2$ ) などの不活性ガスが混入するため、燃料ガスとしての蒸発ガスの  $NH_3 \cdot H_2$  濃度は小さくなり、DF 機関で処理しきれない場合や DF 機関停止時には、燃焼処理が必要になる (図 1～4 参照のこと)。

図 1 にアンモニア燃料船タンク、図 2 に水素燃料船タンクのガッシングについて示す。③ガッシング時においては、空気を  $N_2$  で置換後、蒸発ガスを供給し徐々に  $N_2$  を排出させていく。 $N_2$  で満たされたタンク内に蒸発ガスが供給されるにつれて、徐々に  $NH_3 \cdot H_2$  濃度が大きくなり、やがて  $NH_3 \cdot H_2$  が 100% となりガッシング完了となる。この間、 $N_2$  混じりの混合ガス排出があるため、 $NH_3 \cdot H_2$  濃度が小さな状態の混合ガスでは、ガス単独でバーナ火炎を維持するのが困難となる。そこで、混合ガス中  $N_2$  が 100% から 0% まで変化する過程において燃焼処理を継続させるため、混合ガスと油とを同時混焼させている。

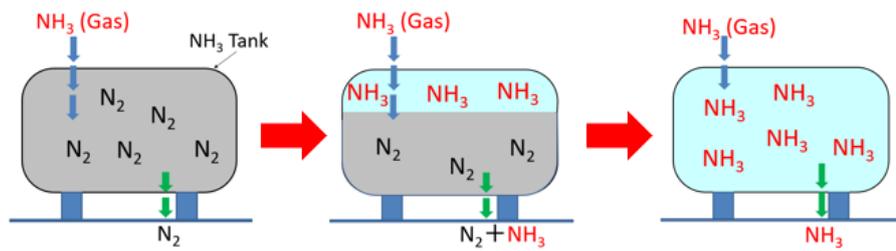


図 1 アンモニア燃料船ガッシング時の不活性ガス処理

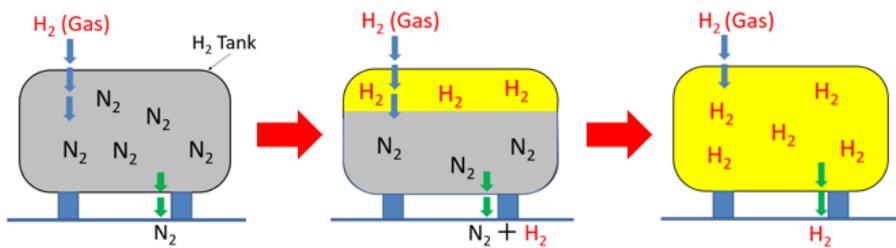


図 2 水素燃料船ガッシング時の不活性ガス処理

図 3 にアンモニアタンク、図 4 に水素タンクのガスフリーについて示す。④ガスフリーにおいては、タンク内に徐々に不活性ガスが供給され  $NH_3 \cdot H_2$  が排出されていく。タンク内ではこの間、 $NH_3 \cdot H_2$  濃度が徐々に小さくなり、やがて混合ガス単独では燃焼を維持できない濃度に達する。そのため、混合ガスと油とを同時混焼し、連続して燃焼を継続させている。このように、 $NH_3 \cdot H_2$  濃度の極めて小さな混合ガスであっても油との同時混焼燃焼をさせることによって、大気への排出を防止することが可能である。

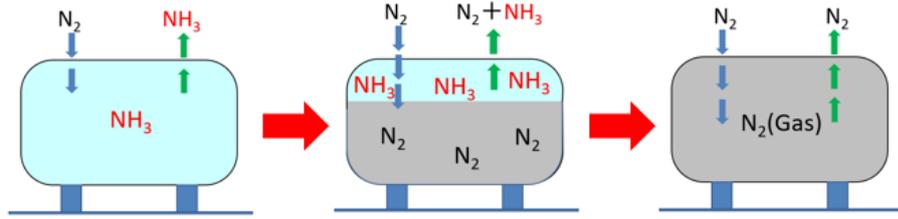


図3 アンモニアタンクのガスフリー（建造・入渠・保守）

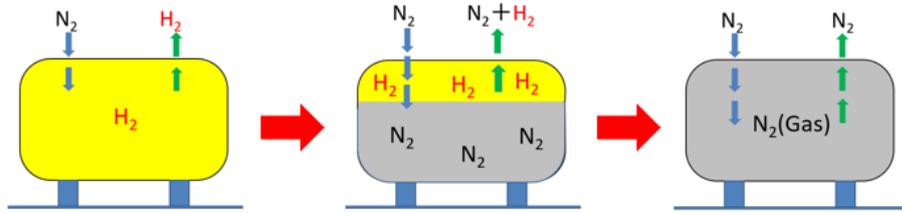


図4 水素タンクのガスフリー（建造・入渠・保守）

図5に混合ガスの処理方法において、補助ボイラまたは GCU のいずれかを用いる方式を示す。いずれの方式においても、混合ガスが不活性ガス 100%にまで変化する過程において、確実に燃焼処理が可能である。

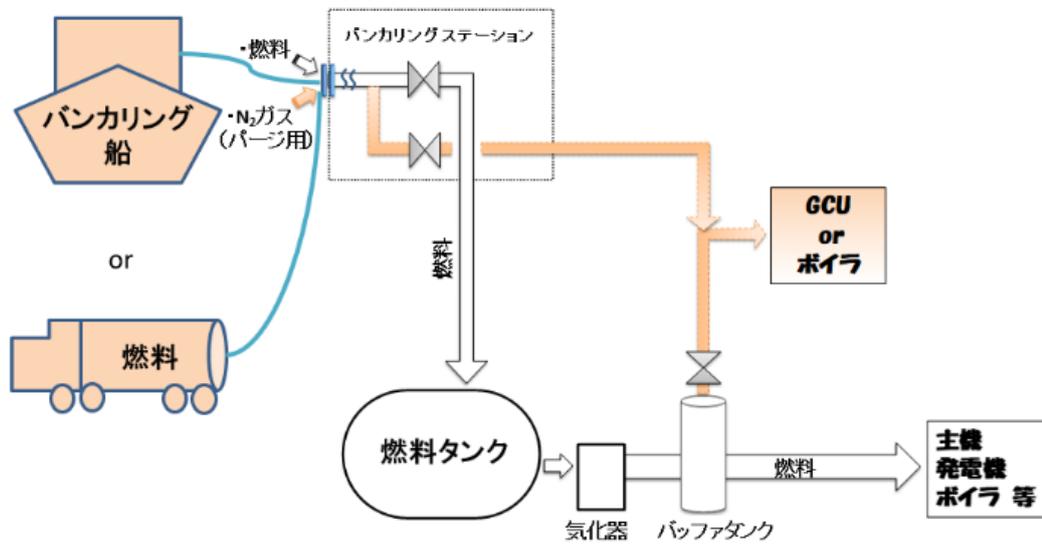


図5 補助ボイラ・GCUによるBOG燃焼処理

よって、アンモニア燃料用ボイラ向けバーナは、GCU機能と蒸気を作る機能の両者を有したボイラに用いられる。

## (2) 課題

アンモニア燃料用 GCU では焼却機能が要求される。アンモニア燃料は燃えにくい、アンモニア燃料用ボイラ向けバーナにおいては、炉体にて熱交換をするため、炉壁温度は水冷（常温～150℃～200℃）により低くなる。炉体空冷の GCU 開発と比べて、①炉体冷却のため、常に火炎は冷やされ更に燃えにくい。また、炉体空冷の GCU では、空気比は約 2.0（約 7.0：冷却空気含む）に設定しているが、GCU 機能付きボイラ向けバーナでは、②ボイラ熱効率確保・燃費向上のため空気比 $\leq 1.2$ の制限を受けて燃やしにくい。この①、②の課題が加わるため、技術難易度が上がり、本技術開発が不可欠となる。上記①、②の理由で、アンモニア（臭気・毒性）が燃焼せずにそのままスリップして排出される場合や、亜酸化窒素  $N_2O$ （温暖化係数が二酸化炭素  $CO_2$  の約 300 倍）が排出される問題を有している。以上より、表 1 に課題をまとめた。

未燃アンモニアの船上での排出については NK 船級基準により、人体への影響を考慮してアンモニア濃度を 25ppm 以下とする必要がある。また亜酸化窒素  $N_2O$  においても、厚生労働省の安全データシートの「8. ばく露防止及び保護処置」により、許容濃度が 50ppm 以下と定められているため、今回の開発でもこの数値をクリアする必要がある。

本事業計画ではその第一ステージとして、自社の研究開発センター（三田）にて独自の新たな試験用ボイラ炉体を用意して、どこのボイラメーカー様から声が掛かっても、対応できるように技術開発をしておく方針である。現時点においては営業的にできるだけ間口を広げておきたい考えである。

表 1 アンモニア燃料用ボイラ向けバーナの課題

◇燃料	アンモニア		炭化水素系(MGO・LNG)
	ボイラ	GCU	ボイラ
◇用途	1.2以下 燃やしにくい	約2.0（約7.0:冷却空気含む）	1.2以下 燃やしにくい
◇空気比制限	1.2以下 燃やしにくい	約2.0（約7.0:冷却空気含む）	1.2以下 燃やしにくい
◇炉壁構造 <外側>	水冷壁(水冷) 鉄皮	断熱壁(空冷) 鉄皮	水冷壁(水冷) 鉄皮
<燃焼室側>	水(常温～150℃～200℃) 鉄皮	キャストブル(高温)	水(常温～150℃～200℃) 鉄皮
◇排気ガス成分	更にアンモニア(スリップ)や亜酸化窒素 $N_2O$ が排出されやすい。	アンモニア(スリップ)や亜酸化窒素 $N_2O$ が排出されやすい。	環境負荷の高い $CO_2$ が排出される。 $CO$ が排出される場合もある。
◇燃焼状態			
◇燃焼性能	アンモニア燃料は燃えにくい。 水冷壁の影響で更に燃えにくい。 × 新たな技術開発が必要	アンモニア燃料は燃えにくい、炉壁の影響は少ない。 △ 技術開発が必要	水冷壁でも、従来燃料は良く燃える。 ○ これまでの実績がある

更に本事業計画にて商品化への技術開発が確立できた暁には、次の第二ステージとして、実機ボイラとのマッチングに移行したいと考えている。その場合には、先方申し入れに対し個別に対応していく予定である。

### (3) 効果

アンモニア燃料用ボイラ向けバーナの開発においては、炉体は水冷条件下となるため、常に火炎は冷やされ更に燃えにくくなる。またボイラ熱効率確保・燃費向上のため空気比 $\leq 1.2$ の制限課題を有しているため、アンモニアが上手く燃焼せず、アンモニアスリップや亜酸化窒素 $N_2O$ として排出されてしまう。今回の技術開発ではアンモニアのスリップ、 $N_2O$ 排出を如何に抑えるかが鍵であり、その排出低減を目指すことがカーボンニュートラル実現につながる。

新規性については、当社では既にLNG燃料用GCU機能付きボイラ向けDFバーナ(以下：LNG燃料用ボイラ向けバーナ)の実績は200隻以上ある。最近では、2022年6月に日本船舶海洋工学会「シップオブザイヤー2021」大型貨物船部門賞に選定された多度津造船株式会社建造の自動車専用船「CENTURY HIGHWAY GREEN」に、当社製LNG燃料用GCU機能付きDFボイラ向けバーナ「Vignis-W」が採用された。この「Vignis-W」は、バンカリング時に必要なGCU機能を標準搭載しており、燃料タンク内の $N_2$ 混じりのガスを油との混焼技術によって安全に燃焼させることにより、温室効果ガスであるメタンを大気放出せずに処理できる。また燃料タンク内のガスは、ボイラ燃料としても活用される。

しかしながら現在、アンモニア燃料用ボイラ向けバーナを用いたボイラは世の中にはない。

アンモニア燃料用GCUに比べてアンモニア燃料用ボイラ向けバーナでは、燃焼技術的ハードルが更に高くなるが、これまでLNG燃料用ボイラ向けバーナ等で確立してきたガス油混焼技術や2022年度に日本財団様の助成を得て取り組んだ水素・アンモニア燃料用GCU技術開発が、このアンモニア燃料用ボイラ向けバーナ開発への橋渡しにつながると考える

## 2. 事業の目標

(1) 煙突出口排気ガス中において、アンモニア濃度を 25ppm 以下とする。

※NK 船級基準により、人体への影響を考慮してアンモニア濃度を 25ppm 以下とする。

(2) 煙突出口排気ガス中において、亜酸化窒素  $N_2O$  の排出濃度を 50ppm 以下とする。

※亜酸化窒素  $N_2O$  においても、厚生労働省の安全データシート「8. ばく露防止及び保護処置」により、許容濃度が 50ppm 以下と定められている。

### 3. 2023年度の実施内容

#### 3.1 アンモニア燃料用ボイラ向けパーナおよび炉体の設計

表2のメタン・水素・アンモニアの燃料特性・燃焼特性に示す通り、アンモニア燃料は極めて燃焼速度が遅く（7cm/sec）、非常に燃やしにくい燃料である。一方、水素燃料は燃焼速度が速く（270～290cm/sec）、燃やしやすいが、逆火等がないように安全性に留意する必要がある。

自社においてこれまで使用実績が多いメタン燃料の燃焼速度（37～38cm/sec）は平均的であり、取扱い易い。

表2 メタン・水素・アンモニアの燃料特性・燃焼特性

	単位	メタン	水素	アンモニア
分子量	g/mol	16.0	2.0	17.0
低位発熱量	MJ/kg	50.1	122	18.8
燃焼速度	cm/s	37～38	270～290	7
最小点火エネルギー	mJ	0.29	0.015	170
着火温度	K	900～920	800～850	924
可燃範囲	%	5～15	4～75	16～25
可燃空気比	—	0.5～1.7	0.1～7.2	0.7～1.2

各燃料・燃焼特性が大きく異なるが、昨年実施した「2022年度水素・アンモニア燃料用小型ガス燃焼用ユニット（GCU）の技術開発」において、試作したGCUによるアンモニアおよび水素の燃焼処理の実現に成功し、燃焼に関する多くの知見を得ることができた。

更に、アンモニア燃料用GCUにおいては、2023年5月25日より「MECS-N25 ※燃焼処理量70 kg/h」の製品販売を開始した。また水素燃料用GCUにおいても、2023年11月20日より「MECS-H25 ※燃焼処理量10 kg/h」の製品販売を開始した。そのカタログ抜粋を表3に示す。

表3 製品「アンモニアガス燃焼ユニット・水素ガス燃焼ユニット」 出典：66・HAKU No.299 引用 NewYear 2024

<p>アンモニアガス燃焼ユニット 「MECS-N25」</p> <p>Type:MECS-N25 処理燃焼量：70kg/h</p> <p>「MECS-N25」の特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①アンモニアを安全に燃焼処理し無毒化</li> <li>②掃気やタンクへの燃料出し入れの際に押し出される不活性ガス(N<sub>2</sub>)混じりのアンモニアガスを燃焼</li> </ul>	<p>水素ガス燃焼ユニット 「MECS-H25」</p> <p>Type:MECS-H25 処理燃焼量:10kg/h</p> <p>「MECS-H25」の特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①タンク内の水素ガス(蒸発ガス)を安全に燃焼処理</li> <li>②掃気やタンクへの燃料出し入れの際に押し出される不活性ガス(N<sub>2</sub>)混じりの水素ガスを燃焼</li> </ul>
---	---

※「MECS-N25」、「MECS-H25」以外のサイズについてはご相談ください

今回の次世代燃料用ボイラ向けバーナの技術開発の対象燃料はアンモニアのため、ここでは「アンモニア燃料用 GCU」の設計・構造を参考に検討を加えることとした。

既に表 1 「アンモニア燃料用ボイラ向けバーナの課題」で示したように、アンモニア燃料は燃えにくく、また加えてアンモニア燃料用ボイラ向けバーナでは、ボイラ炉体にて熱交換の必要があり、炉壁温度が水冷（常温～150℃～200℃）により低くなる。

炉体空冷の GCU 開発と比べて、①炉体冷却のため、常に火炎は冷やされ更に燃えにくい。また、炉体空冷の GCU では、空気比は約 2.0（約 7.0：冷却空気含む）に設定しているが、GCU 機能付きボイラ向けバーナでは、②ボイラ熱効率確保・燃費向上のため空気比 $\leq 1.2$ の制限を受けて燃やしにくい。

この①、②の課題があり、アンモニア燃料用 GCU の設計から、さらに燃やし易い工夫の検討が必要となる。

アンモニア燃料用 GCU 設計においては、図 6 のアンモニア燃料用 GCU 試作設計の外観に示す通り、炉体は側面、フロントプレート、炉尻等で構成されている。バーナは、炉体のフロントプレートの中央に位置する。パイロットバーナおよびアンモニア燃焼処理には燃焼用ファンを用いて燃焼空気を供給した。炉内にてアンモニア燃焼処理が行われ、燃焼排ガスは冷却用ファンにて所定の温度に空冷され、排ガス出口から煙道に導かれ大気へ放出される構造としている。

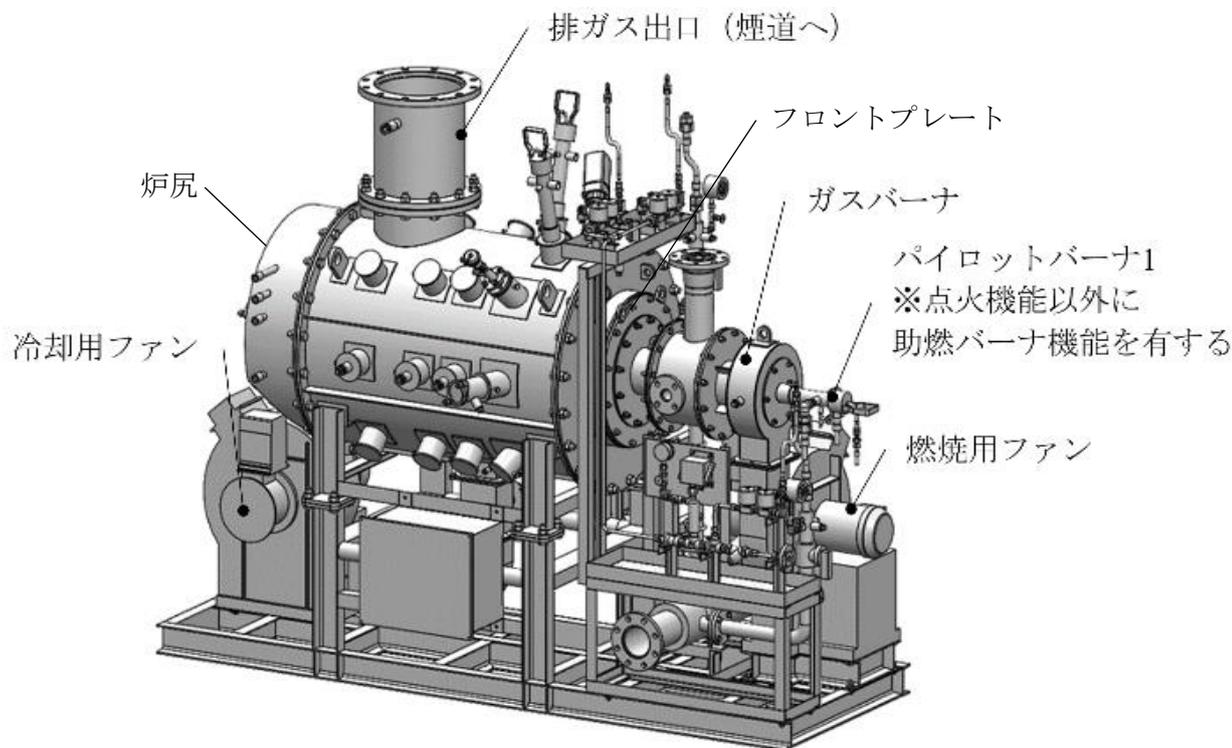


図 6 アンモニア燃料用 GCU 試作設計の外観

一方、アンモニア燃料用ボイラの概要を図7に示す。アンモニア燃料はガスバルブユニットよりバーナに送られる。また、液体燃料（軽油・バイオ燃料）は油バルブユニットよりバーナへ供給される。また空気は燃焼用ファンよりバーナへ送り込み、ボイラの燃焼室で燃焼を行う。給水を取込んだボイラには水空間を有し、燃焼室で得られた燃焼熱を熱交換し、水を蒸気に変える。燃焼熱を奪われた排ガスは外部へ導かれる。燃焼室の周りをボイラ水が取り囲んでいるため、燃焼室壁面（鉄皮）温度が低下し、難燃性燃料であるアンモニアは更に燃やりにくい環境となる。

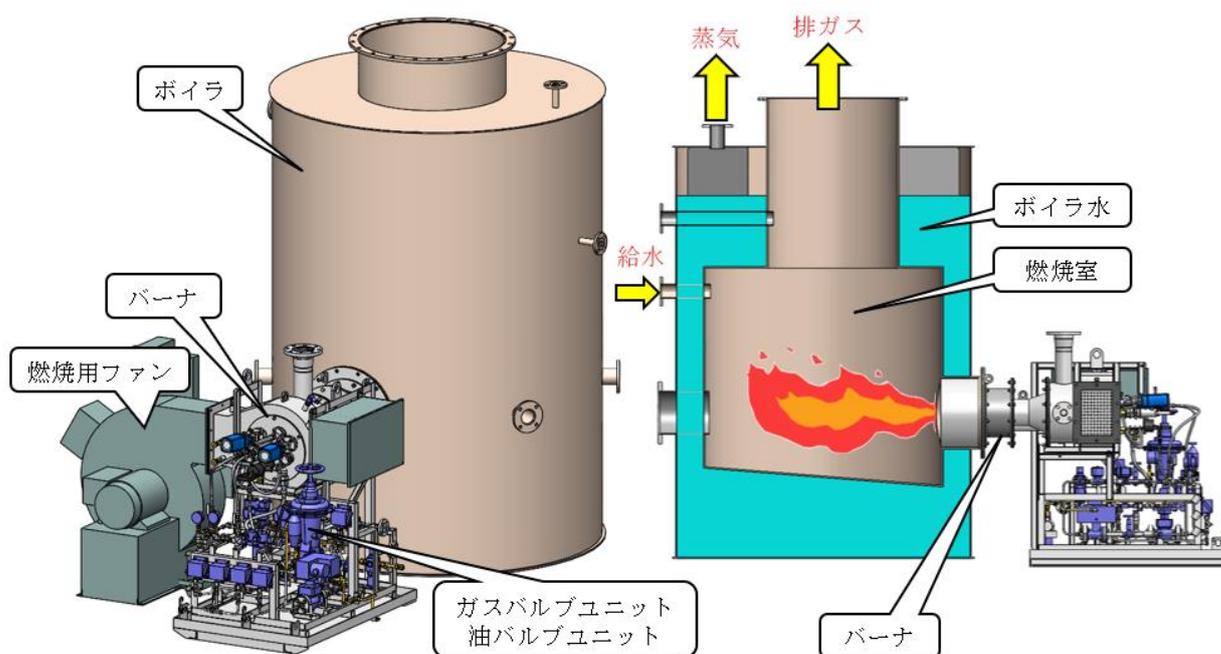


図7 アンモニア燃料用ボイラの概要

燃えにくいアンモニア燃料用ボイラ向けバーナにおいては、ボイラ自体の構造、例えば燃焼室やボイラ水空間構造などを変更することも考えられるが、本技術開発では、従来の天然ガス焚きボイラ構造は変えず、バーナの変更だけで要求性能を満たす仕様を見出し、船主の置き換えコストを最小限に抑えることを目指す。

現在必要とされているボイラの蒸気量は「約1~1.5t/h」である。ボイラで作られた蒸気は、アンモニア加熱（液温上昇・気化）、F0加熱、清浄機用加熱、船内暖房、その他に使用される。

よって、ここでは蒸気量を「1.5t/h」発生させるボイラ向けバーナを設計する。必要な熱量（インプット）は熱効率に依存する。油・天然ガス・アンモニアの熱量を合わせたとしても、一般的には火炎の輻射伝熱（発光度合）の影響が考えられるが、試作したボイラ（熱交換器）では、その影響は少ないと判断する。よって、油・天然ガスと同じ熱量のアンモニアを入れる。

現在1.5t/h用ボイラの最大インプット(MCR)は、天然ガスでは「LNG:95kg/h⇒1,320kW」のため、アンモニア換算で「1,320kW⇒255kg/h」となる。「2. 事業目標」で述べた「煙突出口排気ガス中において、①アンモニア濃度を25ppm以下、および②亜酸化窒素 $N_2O$ の排出濃度を

50ppm 以下」に対して、それぞれクリアできるアンモニア混焼率（バーナ負荷：100～30%）を最大限に向上させるアンモニア燃料用ボイラ向けバーナの設計検討を行った。

ここでまず、商品化に成功したアンモニア燃料用 GCU のバーナ構造を図 8 に示す。バーナはスワラ（保炎器）、パイロット筒（パイロットバーナ）、ガスノズル（ガス燃焼処理）およびスロート（焚口）より構成されている。

燃焼処理対象のアンモニアはガスノズルより供給される。パイロット筒に収まっているパイロットバーナの点火および助燃バーナ機能により、アンモニアは燃焼処理されながら、スロートより、燃焼室（炉内）へと導かれ、燃焼が完了して、最終的には排ガス出口より放出される。

またバーナの中央に位置するスワラの機能は、燃焼ガス流れをスワラの中心に戻す再循環領域を作り、火炎を安定・維持させる保炎器の役割を果たすことである。

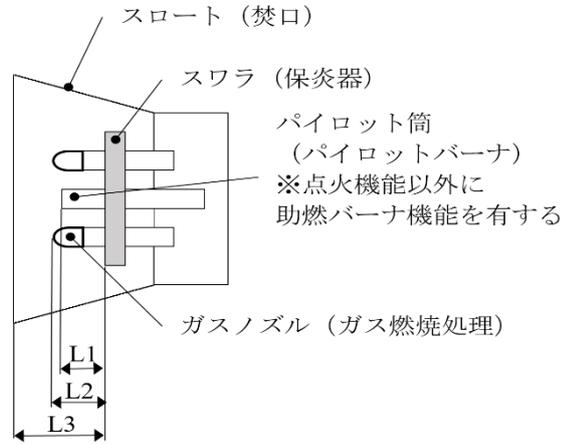


図 8 アンモニア燃料用 GCU バーナ構造

一方、アンモニア燃料用ボイラ向けバーナは図 9 および図 10 に示すような設計の検討を加えた。バーナはスワラ（保炎器）、アトマイザ（油焚き専焼用およびアンモニア助燃用）、ガスノズル（アンモニア燃焼用）、パイロットバーナ（点火機能のみ）およびスロート（焚口）より構成されている。アンモニアはガスノズルより供給される。アトマイザは燃えにくいアンモニアの助燃に用いるが、油焚き専焼時にも使うため、助燃量を比例制御できることが大きな特徴である。また、パイロットバーナは点火のみに使用する。燃焼ガスはスロートよりボイラの燃焼室へと導かれ、熱交換しながら燃焼が完了し、ボイラの排ガス出口より放出される。また、火炎監視（火が点いているかどうかの判断手段）にはフレームアイを用いている。

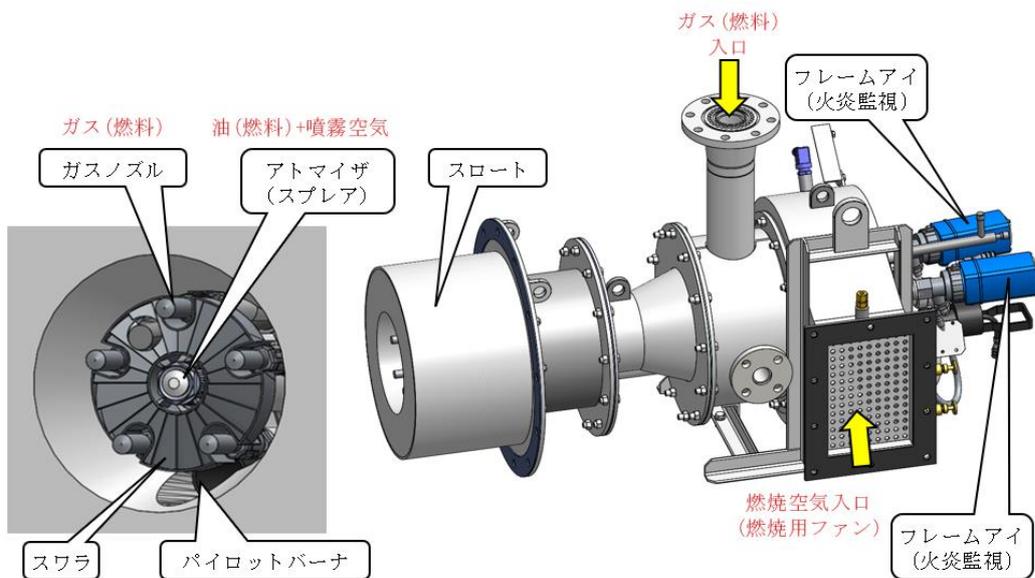


図 9 アンモニア燃料用ボイラ向けバーナ設計（焚口方向より）

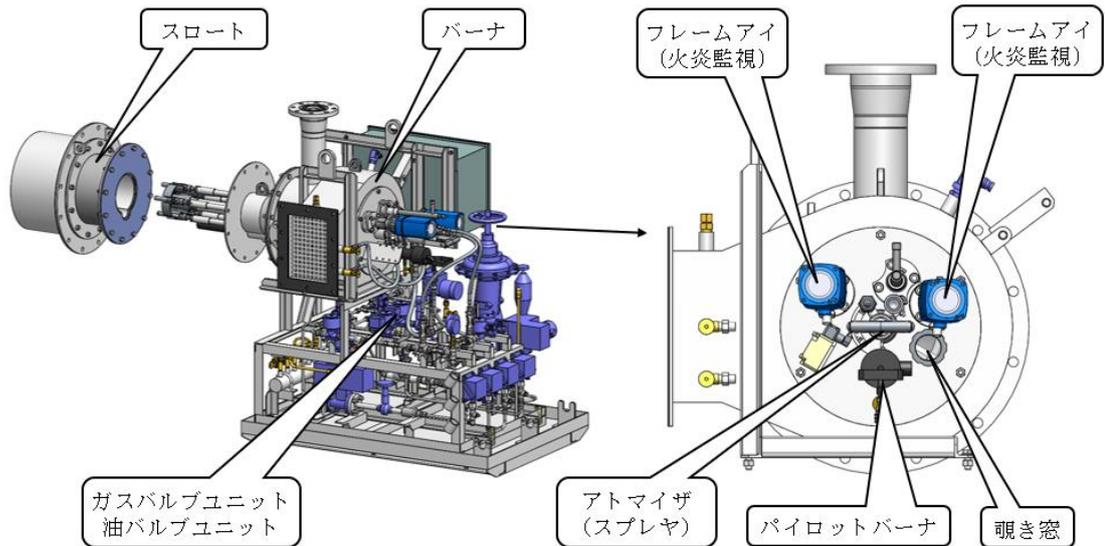


図10 アンモニア燃料用ボイラ向けバーナ設計 (後方側より)

検討を重ねた結果、本技術開発における具体的な設計検討箇所は以下に示す3部品①②③とした。

① アトマイザ (図12)

アンモニア燃料用ボイラ向けバーナとアンモニア燃料用GCUとの最も大きな違いは、アトマイザを変更したことである。その詳細を次の図11、12を用いて述べる。

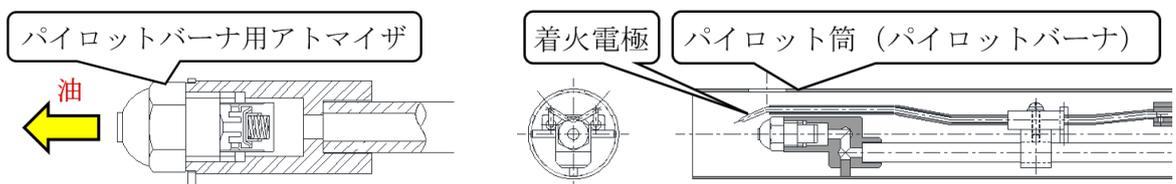


図11 アンモニア燃料用GCUアトマイザ (パイロットバーナ)

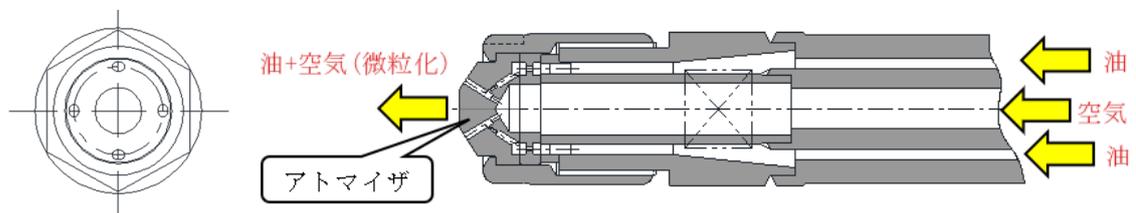


図12 アンモニア燃料用ボイラ向けバーナアトマイザ (油焼き用およびアンモニア助燃用)

「圧力噴射弁」と呼ばれるアンモニア燃料用GCUアトマイザは、図11に示すようにパイロット筒にパイロットバーナが収まっている。油を燃やすためにアトマイザを用いて微粒化するが、シンプルな油圧噴霧式のため、油量の比例制御ができない。油圧を下げると微粒化が悪くなり、燃焼性も悪化するためである。今回は、点火機能のみに使用した。

一方、図12に示すアンモニア燃料用ボイラ向けバーナアトマイザは「2流体噴射弁」と呼ばれる。アトマイザに空気を送り込み、内部空気の剪断力で油を微粒化するため、油圧を下げても微粒化が維持でき、油量の比例制御が可能になる。よって、油量や空気量および、孔数、噴射条件(噴射角度など)を設計した。

また、油と空気が混合された状態でアトマイザから燃料が噴射されるため、燃やし易くアンモニアの助燃の効果も大きいことが期待できる。更にアトマイザの孔数も任意に設定できるため、孔数に応じて油火炎を分割できる。参考として、表4に3個孔仕様の「2流体噴射弁を用いた油焚きおよびガス油同時混焼の実例写真(自社で過去に撮影)」を示す。ここでは、油を軽油(MGO)、灯油、バイオ燃料(B100)、およびメタノールを本アトマイザで燃やした場合と、更に天然ガス(都市ガス)をガスノズルで燃やした「同時混焼」の実例写真である。

表4 2流体噴射弁を用いた油焚きおよびガス油同時混焼火炎の実例写真

	油焚き		ガス油 同時混焼	
軽油 (MGO)				
灯油				
バイオ燃料 B100				
メタノール				

本アトマイザである「2流体噴射弁」の設計により、油火炎の制御が容易となるため、アンモニア火炎への効率的な助燃を図ることが可能となる。その結果、油助燃量を最小限に抑えることも期待できる。

## ② ガスノズル (図13)

燃焼対象のアンモニア燃料を燃焼室へノズルで噴射し、アトマイザから噴霧された油と共に燃焼させる。ガス燃料量、ガス燃料噴射角度などを調整する必要がある。アンモニアを供給するこのガスノズルについては、前述の助燃用の油火炎とのマッチングが重要となる。助燃のため複数に分割された油火炎に、アンモニア火炎を挟み込み、アンモニア火炎を加熱するようなガスノズルの孔数・方向性等に関する設計検討を行った。

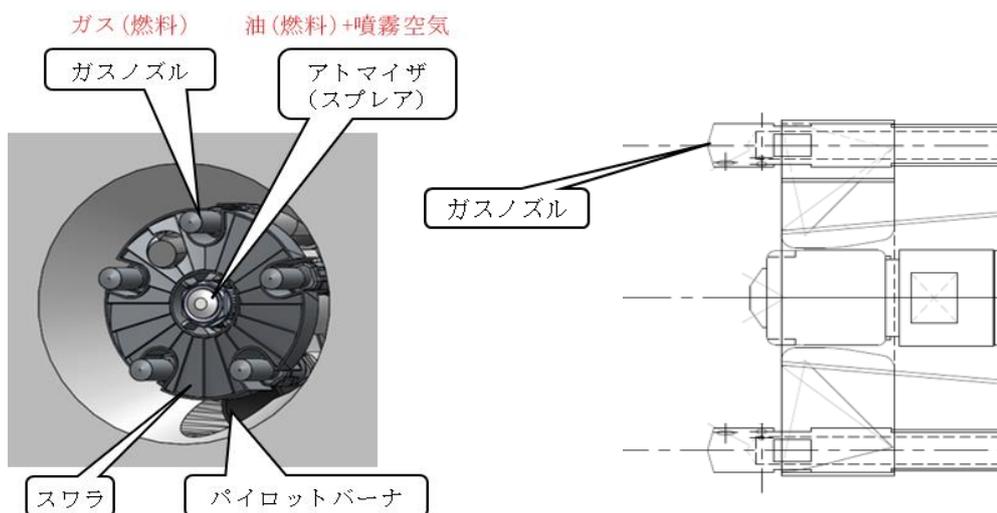


図13 アンモニア燃料用ガスノズル

## ③ スロート (図14)

またスロートもバーナの一部であり、燃焼室入口の断面形状が緩やかに変化する領域である。スロート形状(長さや角度)を変更することで燃焼火炎形状が変化するため、設計検討を加えた。

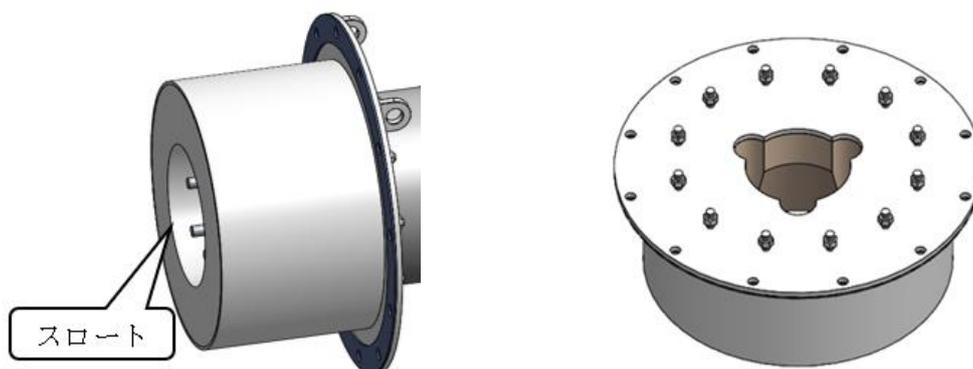
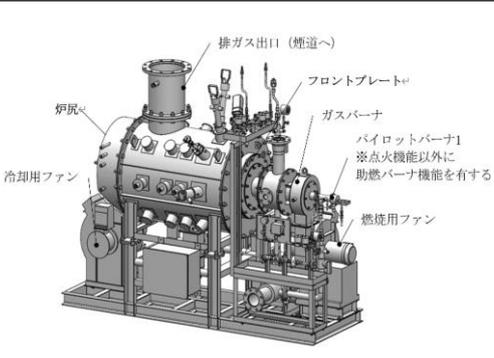
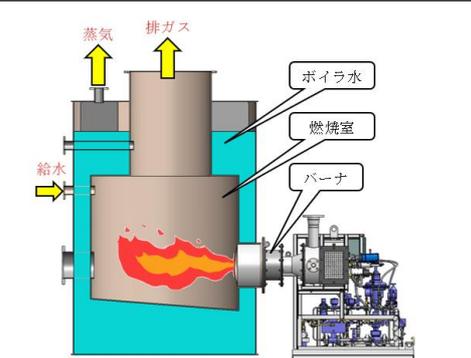
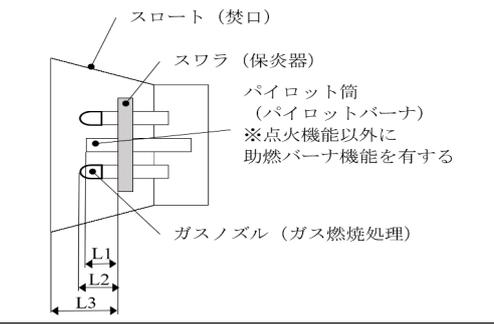
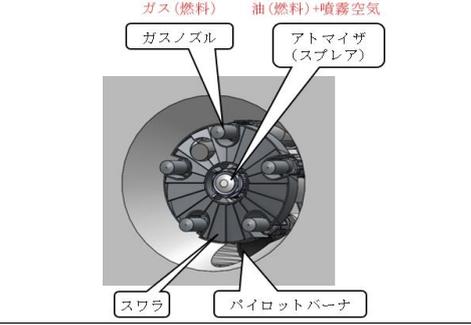
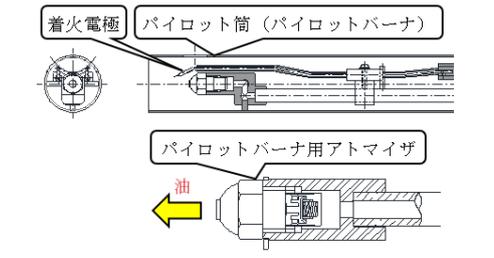
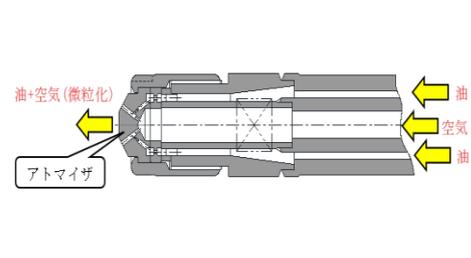
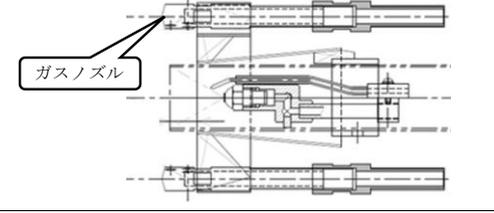
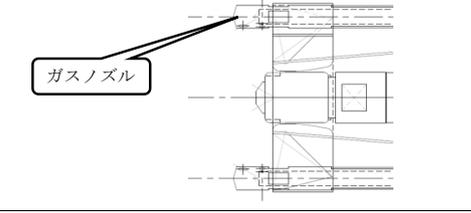
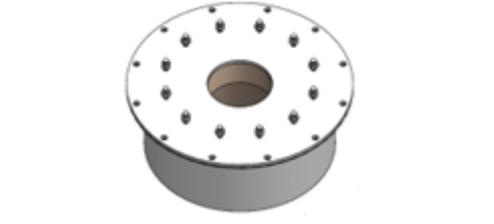
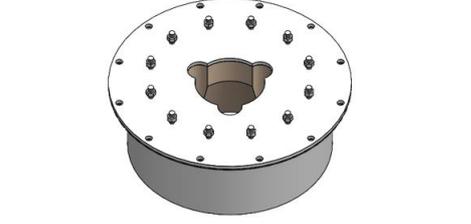


図14 アンモニア燃料用スロート

以上、本技術開発における具体的な設計検討箇所は3部品①②③となる。各設計パラメータの最適化など、最良仕様が見出せるように、各試作部品をそれぞれ3～5種類設計した。

その設計検討結果を表5に示す。従来技術である「アンモニア燃料用GCU」と本技術開発である「アンモニア燃料用ボイラ向けバーナ」の試作設計を比較して整理を行っている。

表5 従来技術と本技術開発との試作設計比較

	従来技術 (アンモニア燃料用GCU)	本技術開発 (アンモニア燃料用ボイラ向けバーナ)
機能	GCU	GCU付ボイラ向けバーナ
燃料・燃焼特性	燃えにくい (難燃性)	
空気比制限	制限なし：燃やしやすい	1.2以下：燃やしにくい
燃焼室	断熱壁であれば燃やしやすい	水冷壁 (熱交換) のため燃やしにくい
機器全体構造		
<p>■バーナ仕様 ◇火炎が水冷壁に接触しないよう下記3部品で制御する</p>		
<p>①アトマイザ (油助燃) 試作設計：5種類 ◇アンモニア火炎が冷えないよう油火炎で調整する</p>		
<p>②ガスノズル 試作設計：5種類 ◇油火炎とのアンモニア火炎のマッチングを調整する</p>		
<p>③スロート 試作設計：3種類 ◇燃焼室に導く火炎形状を調整する</p>		

本開発事業では、表5で示した①アトマイザ、②ガスノズル、③スロートの3部品を入れ替えやすい試作設計とした。また、試作品試験は次の手順1～3の流れで計画をした。

手順1：本試作設計通り、アンモニア燃料用ボイラ向けバーナ試作品を完成させる。

手順2：アンモニア混焼率の向上を図るため、各部品試作の試験を繰り返しながら、最適な仕様を見出し決定する。

手順3：最適仕様の試作品にて評価試験を行う。

手順3の評価試験においては、表6に示すように蒸気量 1.5t/h 用ボイラの最大インプット (MCR) は、天然ガスでは「LNG:95kg/h⇒1, 320kW」のため、アンモニア換算で「1, 320kW⇒255kg/h」となる。ここでは、アンモニア燃焼量と液体燃料（軽油・バイオ燃料）助燃量を加えたトータル燃焼量をインプットとしたバーナ負荷 100%(1, 320kW)～30%(396kW)において、「2. 事業目標」で述べた「煙突出口排気ガス中において、①アンモニア濃度を 25ppm 以下、および②亜酸化窒素 N<sub>2</sub>O の排出濃度を 50ppm 以下」に対して、それぞれクリアできるアンモニア混焼率（バーナ負荷：100～30%）の限界（上限）を求めることである。軽油とバイオ燃料の性能差は少ないため、軽油で代表する。この表が埋まれば窒素混合も問題ないため、商品化時に確認する。

表6 アンモニア燃料用ボイラ向けバーナの設計計画 ※水色マーキングを計測する予定

インプット		事業の目標 (煙突出口排気ガス中)	アンモニア混焼率 (%)																アンモニア混焼率 限界 (%)
バーナ 負荷 (%)	(kW)		10		20		30		40		50		60		70		80		
			(kW)	(kg/h)	(kW)	(kg/h)	(kW)	(kg/h)	(kW)	(kg/h)	(kW)	(kg/h)	(kW)	(kg/h)	(kW)	(kg/h)	(kW)	(kg/h)	
100	1,320	アンモニア (NH <sub>3</sub> ) 流量	132.0	25.5	264.0	255.4	396.0	76.6	528.0	102.2	660.0	127.7	792.0	153.3	924.0	178.8	1056.0	204.3	
		軽油流量(助燃量)	1188.0	98.5	1056.0	87.5	924.0	76.6	792.0	65.7	660.0	54.7	528.0	43.8	396.0	32.8	264.0	21.9	
		O <sub>2</sub> 濃度 ≤ 3.5 (%)																	
		空気比 ≤ 1.2 (換算値)																	
		N <sub>2</sub> O濃度 ≤ 50 (ppm)																	
		NH <sub>3</sub> 濃度 ≤ 25 (ppm)																	
		判定基準：○×評価																	
80	1056	アンモニア (NH <sub>3</sub> ) 流量	105.6	20.4	211.2	42.2	316.8	61.3	422.4	81.7	528.0	102.2	633.6	122.6	739.2	143.0	844.8	163.5	
		軽油流量(助燃量)	950.4	78.8	844.8	70.0	739.2	61.3	633.6	52.6	528.0	43.8	422.4	35.0	316.8	26.3	211.2	17.5	
		O <sub>2</sub> 濃度 ≤ 3.5 (%)																	
		空気比 ≤ 1.2 (換算値)																	
		N <sub>2</sub> O濃度 ≤ 50 (ppm)																	
		NH <sub>3</sub> 濃度 ≤ 25 (ppm)																	
		判定基準：○×評価																	
50	660	アンモニア (NH <sub>3</sub> ) 流量	66.0	12.8	132.0	25.5	198.0	38.3	264.0	51.1	330.0	63.9	396.0	76.6	462.0	89.4	528.0	102.2	
		軽油流量(助燃量)	594.0	49.2	528.0	43.8	462.0	38.3	396.0	32.9	330.0	27.4	264.0	21.9	198.0	16.4	132.0	10.9	
		O <sub>2</sub> 濃度 ≤ 3.5 (%)																	
		空気比 ≤ 1.2 (換算値)																	
		N <sub>2</sub> O濃度 ≤ 50 (ppm)																	
		NH <sub>3</sub> 濃度 ≤ 25 (ppm)																	
		判定基準：○×評価																	
30	396	アンモニア (NH <sub>3</sub> ) 流量	39.6	7.7	79.2	15.3	118.8	23.0	158.4	30.7	198.0	38.3	237.6	46.0	277.2	53.6	316.8	61.3	
		軽油流量(助燃量)	356.4	29.5	316.8	26.3	277.2	23.0	237.6	19.7	198.0	16.4	158.4	13.1	118.8	9.8	79.2	6.6	
		O <sub>2</sub> 濃度 ≤ 3.5 (%)																	
		空気比 ≤ 1.2 (換算値)																	
		N <sub>2</sub> O濃度 ≤ 50 (ppm)																	
		NH <sub>3</sub> 濃度 ≤ 25 (ppm)																	
		判定基準：○×評価																	

更に本開発事業の手順1～3を進めるためには、これまで述べてきたアンモニア燃料用ボイラ向けバーナ試作設計以外に、バーナ組立試作設計、ボイラ炉体試作設計、制御盤試作設計等が必要となる。

■バーナ組立試作設計（図15および図16）

ボイラ炉体試作に組み込むためのバーナ組立の試作設計の概略図を、図15、図16に示す。バーナはスワラ、アトマイザ、ガスノズル、パイロットバーナ（点火機能のみ）およびスロートから構成されるバーナ組立の設計を行った。

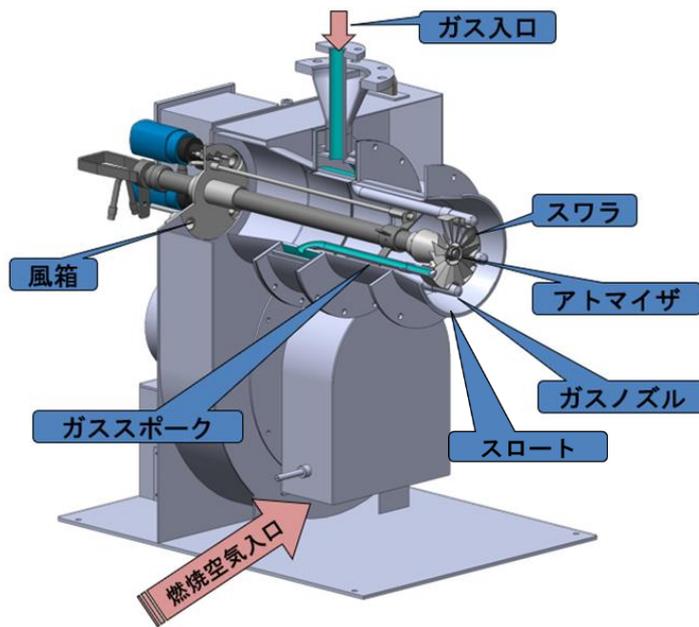


図15 バーナ組立の試作設計（焚口側より）

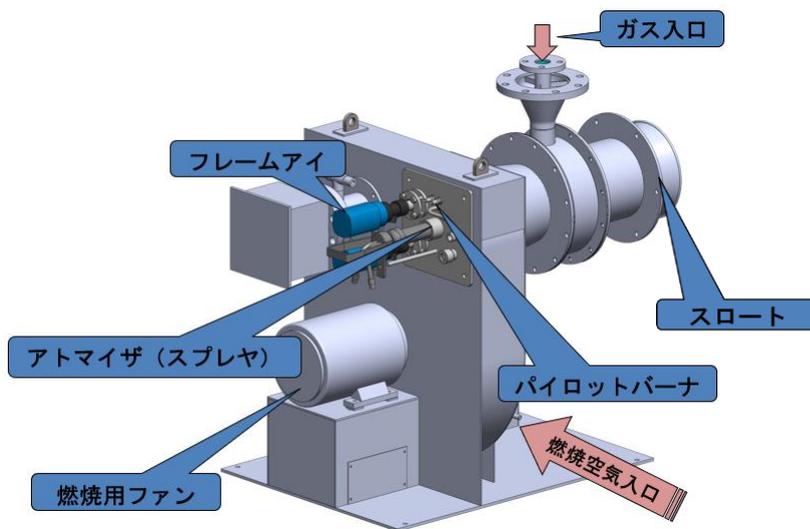


図16 バーナ組立の試作設計（後方側より）

### ■ボイラ炉体試作設計

蒸気量 1.5t/h 用ボイラ炉体試作については、一般的な天然ガス燃料用ボイラ炉体を参考に設計した。その概略図を図 1 7 に示す。

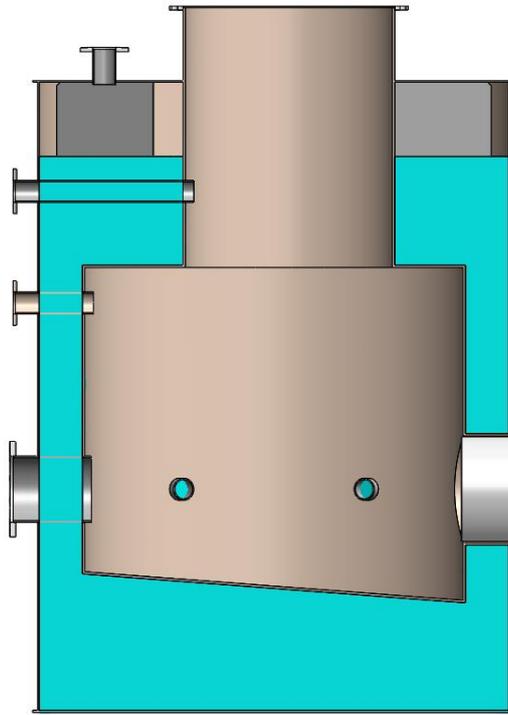


図 1 7 蒸気量 1.5t/h 用ボイラ炉体試作設計

### ■制御盤試作設計

また図 1 8 に示す通り、アンモニア燃料用ボイラ向けバーナの制御盤試作を設計した。

バーナに構成される燃焼用ファンの空気量、アトマイザ（油焚き専焼用およびアンモニア助燃用）の油量、ガスノズル（アンモニア燃焼用）のガス量、パイロットバーナ（点火機能のみ）の制御を行う。また、火が点いているかどうかの判断手段として用いているフレイムアイ信号も取り込み、火炎監視を行った。

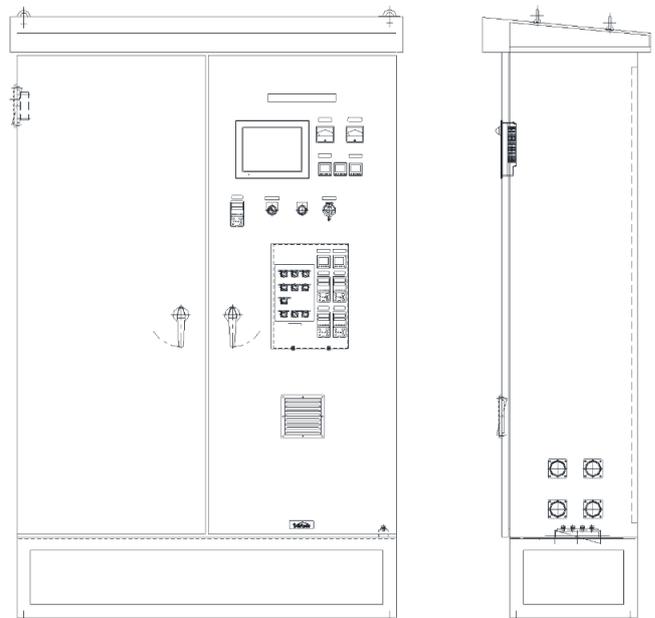


図 1 8 制御盤試作設計

### 3.2 アンモニア燃料用ボイラ向けバーナおよび炉体試作および評価試験

#### (1) 設計図面および仕様に基づいたボイラ向けバーナおよび構成部品の試作

ここでは、設計図面に基づき準備したアンモニア燃料用ボイラ向けバーナおよび構成部品の試作について述べる。

まず、アンモニア燃料用ボイラ向けバーナ試作を設置した評価試験場の概要を写真1に示す。



写真1 アンモニア燃料用ボイラ向けバーナ試作を設置した評価試験場

写真2にバーナ、試験用ボイラ炉体、ガスバルブユニット・油バルブユニット、煙道、制御盤の各試作品を示す。



写真2 バーナ、炉体、ガスバルブユニット・油バルブユニット、煙道、制御盤の各試作

写真3 にバーナおよび試験用ボイラ炉体の各試作を示す。

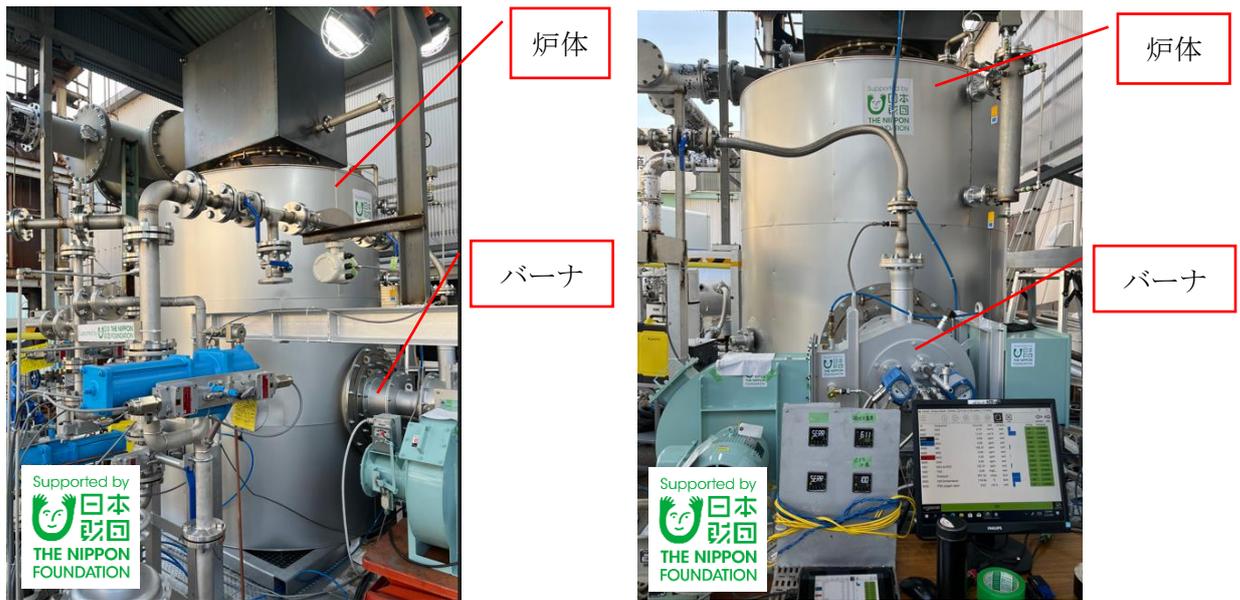


写真3 バーナおよび炉体

写真4 に示す通り、試験用ボイラ炉体の周囲には火炎観察をするための「覗き窓」を複数個所に設けた。



写真4 試験用ボイラ炉体に設けた覗き窓

アンモニア燃料用ボイラ向けバーナ試作における事業の目標である「煙突出口排気ガス中において、①アンモニア濃度を 25ppm 以下、および②亜酸化窒素  $N_2O$  の排出濃度を 50ppm 以下」を確認するための煙道および排ガスサンプリング位置を写真 5 に示す。



写真 5 煙道および排ガスサンプリング位置

また本事業の目標である「煙突出口排気ガス中において、①アンモニア濃度を 25ppm 以下、および②亜酸化窒素  $N_2O$  の排出濃度を 50ppm 以下」を測定するための計測器について写真 6 に示す。



写真 6 排ガス測定するための計測器

## (2) 評価試験準備

アンモニアは劇物である。日本産業衛生学会（2020 年度）により、アンモニア許容濃度 = 25ppm と定められている。参考にアンモニア濃度と作用について表 7 に示す。

表 7 アンモニア濃度と作用（人体への影響）

濃 度 [ppm]	作 用
5～10	明らかに臭気を感じる
25	不快感が起こる
200	刺激により呼吸が妨げられる
2500～4500	短時間(30分)で生命危険となる

今回の事業の目標にしている「煙突出口排気ガス中において、①アンモニア濃度を 25ppm 以下とする。」については、NK 船級基準に設けられている「人体への影響を考慮したアンモニア濃度 ≤ 25ppm を満足すること」の根拠になっている。また、「煙突出口排気ガス中において、②亜酸化窒素  $N_2O$  の排出濃度を 50ppm 以下とする。」の亜酸化窒素  $N_2O$  においても、厚生労働省の安全データシート「8. ばく露防止及び保護処置」により、許容濃度が 50ppm 以下と定められている。

従って、本評価試験においても人体に影響が出ないように安全衛生上、写真 7 に示すアンモニアセンサおよび保護具を用いることとした。



写真 7 アンモニアセンサおよび保護具

また、評価試験を行う場合、表8に示す通り、工場その他の事業場の敷地の境界線の地表における規制基準（条例）を遵守する必要がある。表8の赤枠に示す通り、一般地域での規制基準は1ppmと定められていることを再確認した。

表8 工場その他の事業場の敷地の境界線の地表における規制基準

ア 工場その他の事業場の敷地の境界線の地表における規制基準

敷地の境界線の地表における規制基準は、特定悪臭物質22項目について定められており、順応地域については臭気強度3.5に対応する濃度、一般地域については臭気強度2.5に対応する濃度が基準値となっています。

物質名	順 応 地 域	一 般 地 域
アンモニア	5 ppm	1 ppm

アンモニアの臭気強度別濃度についても、参考として表9に示す。アンモニア濃度が1ppmの場合は、赤枠の通り、臭気強度は2.5となる。

表9 アンモニアにおける臭気強度別濃度（ppm）

悪臭物質別臭気強度別濃度

		(単位：ppm)						
臭気強度	物質名	1	2	2.5	3.0	3.5	4	5
	アンモニア	0.1	0.6	1	2	5	10	40

- 臭気強度 1 : やつと感知できるにおい
- 2 : 何のにおいであるかわかる弱いにおい
- 2.5 : 一般地域の規制基準**
- 3 : らくに感知できるにおい
- 3.5 : 順応地域の規制基準
- 4 : 強いにおい
- 5 : 強烈なにおい

表 8 の規制基準を守るため、図 1 9 に示すようにアンモニア燃料用ボイラ試作の排気出口に除害設備を設けた。

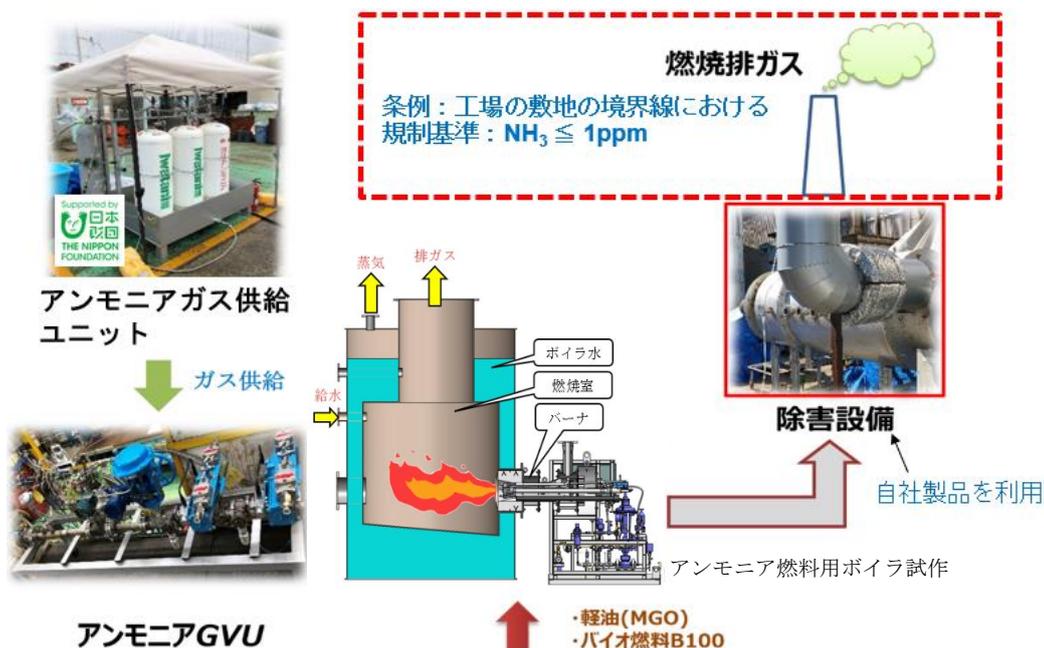


図 1 9 アンモニア燃料用ボイラ向けバーナ試作の排気出口に設置した除害設備

また、参考にアンモニア燃料用ボイラ試作の評価を行う試験場のレイアウトについて、図 2 0 に示す。

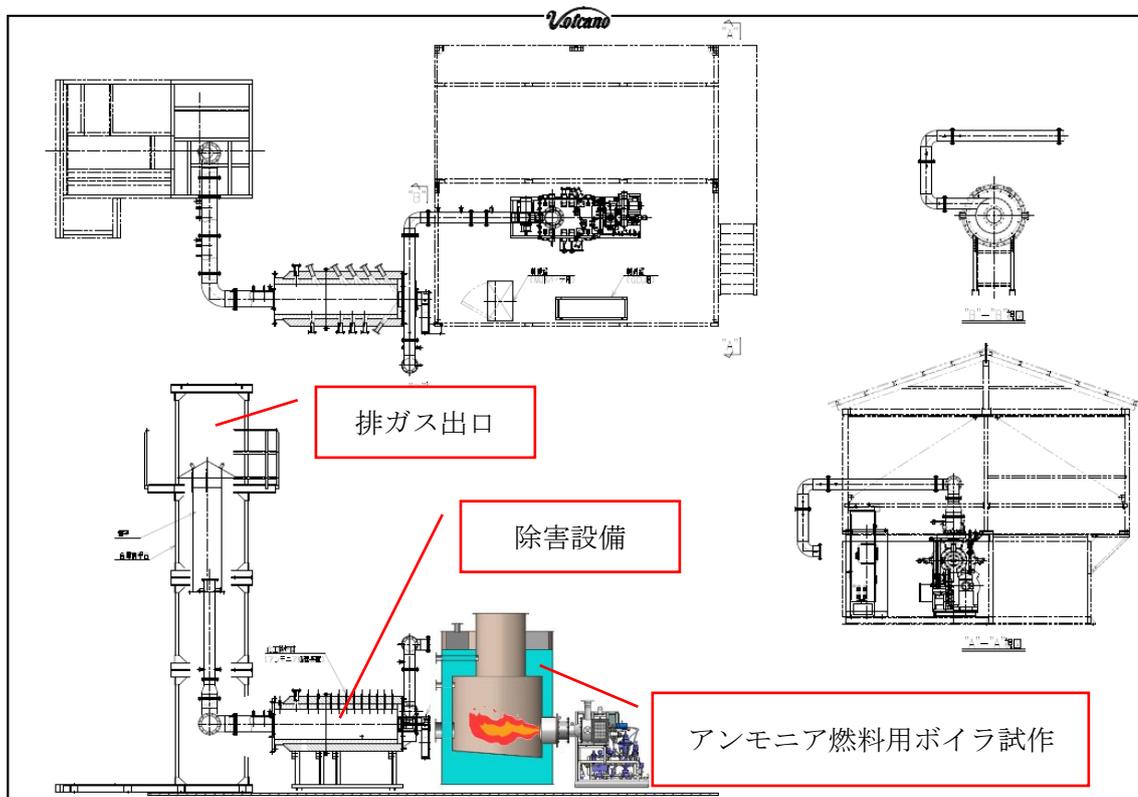


図 2 0 アンモニア燃料用ボイラ試作の評価を行う試験場のレイアウト

図20に示したレイアウトにおいて、アンモニア燃料用ボイラ試作の煙道排ガス下流側に設けた除害設備および排ガス出口については、写真8および写真9に示す。



写真8 除害設備および排ガス出口（正面より）



写真9 除害設備および排ガス出口（斜め右方向より）

本事業においては、アンモニア供給量を 60kg/h(300kW) ⇒100kg/h (500kW) 以上確保するために用意したアンモニア気化器を、写真10および写真11に示す。



アンモニア気化器

アンモニア気化器

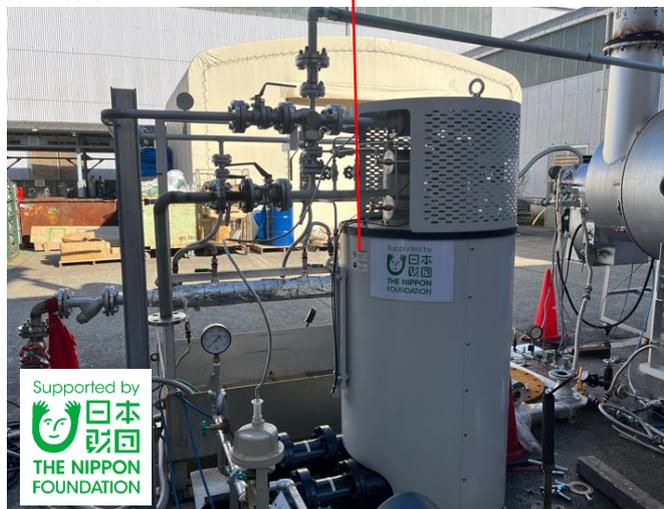


写真10 気化器（正面より）

写真11 気化器（斜め後ろより）

アンモニア燃料については、下記の取扱いとした。

- ・アンモニア自体は難燃性ということで、離隔距離（8m）も除外される。
- ・また貯蔵量においては、「200kg 未満」の範囲でアンモニアポンペを設置する分には届出の必要はない。

本評価試験においても、写真12に示す通り、アンモニアポンペを200kg 未満（50kg×3本まで）で留めることとした。



写真12 アンモニアポンペ（50kg×3本まで）

参考に高圧ガス保安法および消防法関連法規について、図 2 1 に示す。

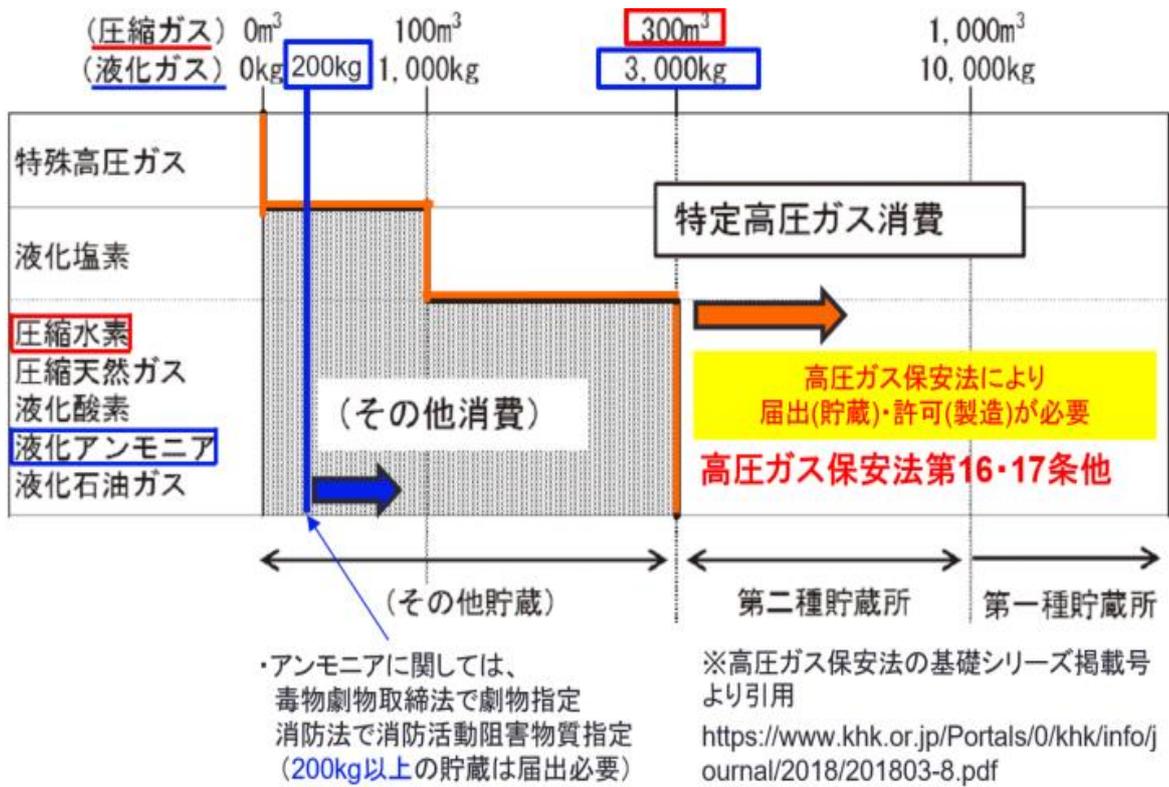


図 2 1 高圧ガス保安法および消防法関連法規

### (3) 排ガス分析計の選定

事業の目標であるアンモニア燃料用ボイラ向けバーナ試作に関して、「煙突出口排気ガス中において、①アンモニア濃度を 25ppm 以下とする。②亜酸化窒素  $\text{N}_2\text{O}$  の排出濃度を 50ppm 以下とする。」を確認するための計測器選定の検討を行った。

使い勝手等を考慮して、図 2 2 に示す「Gaset 社製 FTIR 方式ポータブル型ガス分析計型式：DX-4000」を対象にした。



図 2 2 アンモニア濃度計測器の概要 出典：Gaset 社製カタログ引用

調査の結果、アンモニア濃度計測器「Gaset 社製 FTIR 方式ポータブル型ガス分析計型式：DX-4000」の後継機種「GT-6000」が新たに販売されていることが分かった。

「Gaset 社製 FTIR 方式ポータブル型ガス分析計型式：DX-4000」とその後継機種「GT-6000」との比較を表 1 0 に示す。殆ど仕様に差がないため決定し、本評価試験に用いることとした。

表 1 0 「Gaset 社製 FTIR 方式ポータブル型ガス分析計型式：DX-4000」・「GT-6000」比較

### DX4000 vs. GT6000 Mobilis 出典：Gaset 社カタログ引用

	DX4000	GT6000 Mobilis
Measurement technology	FTIR	FTIR
Temperature	180 °C	180 °C
IP rating	-	IP42
Operating software	Calcmeter 12	Calcmeter 14
Weight	13,9 kg	11,2 kg
Operating temperature	Long term 5 to 30 °C, short term 0 to 40 °C	Long term -5 to 40 °C, short term -10 to 50 °C
Data connection	Serial cable	USB (HID), Ethernet, Bluetooth, WiFi Access Point and WiFi Station
Sample cell volume	0,4 l	0,5 l
Path length	5 m	5 m
Tablet available	No	Yes

#### (4) 試作したボイラ向けバーナを用いての構成部品仕様の最適化

ここでは、アンモニア燃焼量と液体燃料（軽油）助燃量を加えたトータル燃焼量をインプットとしたバーナ負荷 100%(1,320kW)～30%(396kW)において、対象試作部品「①アトマイザ、②ガスノズル、③スロート」をそれぞれ3～5種類を交換・確認し、「2. 事業目標」で述べた「煙突出口排気ガス中において、①アンモニア濃度を 25ppm 以下、および②亜酸化窒素  $N_2O$  の排出濃度を 50ppm 以下」に対して、クリアできるアンモニア混焼率（バーナ負荷：100～30%）が比較的高い仕様をそれぞれ抽出した。その結果について、対象試作部品毎に概要を述べる。

##### ① アトマイザ

- ・油量の比例制御が可能のため、助燃油量の調整がし易いことを確認できた。
- ・アンモニア火炎がボイラ炉体水冷壁で冷やされないように、油火炎で保護できる仕様を探った。
- ・アトマイザ孔数は4個程度、つまり油火炎を4分割程度にすることが良好な結果であった。
- ・アトマイザ噴射角度は、狭過ぎず、広過ぎずの最適な角度が存在することが確認できた。

##### ② ガスノズル

- ・アトマイザと同様、アンモニア火炎がボイラ炉体水冷壁で冷やされないよう「アンモニア火炎と油火炎とのマッチング」について、混焼を前提に検討を加えた。
- ・ガスノズル孔数（マルチスポーク毎）は4個程度が良い。
- ・ガスノズルは角度的には内側方向、外側方向への適切な流量配分が存在する。
- ・アトマイザとガスノズルの複合効果で、助燃のため分割して設けた油火炎により、アンモニア火炎を挟み込み（包み込み）、アンモニア火炎を水冷壁から保護しながら、効率的に油火炎によりアンモニア火炎を加熱するようなガスノズル仕様を見出すことが重要となる。

##### ③ スロート

今回の試作では、従来のスロート形状（長さや角度）が比較的良好であった。

以上、今回検討を加えた対象試作部品「①アトマイザ、②ガスノズル、③スロート」において、比較的良好な結果となった仕様を組合せた「最適仕様のアンモニア燃料用ボイラ向けバーナ試作」に対する評価試験を加えることとする。

## (5)最適仕様のボイラ向けバーナ試作に対する評価試験結果

ここでは、前記(4)の検討結果をもとに実施した「最適仕様のアンモニア燃料用ボイラ向けバーナ試作に対する評価試験結果」について述べる。

アンモニア燃焼量と液体燃料（軽油）助燃量を加えたトータル燃焼量をインプットとしたバーナ負荷 100%(1,320kW)～30%(396kW)において、「2. 事業目標」で述べた「煙突出口排気ガス中において、①アンモニア濃度を 25ppm 以下、および②亜酸化窒素 N<sub>2</sub>O の排出濃度を 50ppm 以下」に対して、それぞれクリアできるアンモニア混焼率限界をそれぞれ求めた。

バーナ負荷(%)=トータル燃焼量 (kW) / 蒸気量 1.5t/hに必要な燃焼量 (1,320kW) ×100

### ■試験結果

下記の条件①～④において、事業の目標である「煙突出口排気ガス中において、アンモニア濃度を 25ppm 以下とすることができた。また煙突出口排気ガス中において、亜酸化窒素 N<sub>2</sub>O の排出濃度を 50ppm 以下とする。」を達成することができた。

- ① バーナ負荷 100%では、アンモニア混焼率限界（達成条件）は 60%である。  
➡その時の煙突出口排気ガス中の N<sub>2</sub>O 濃度は 0ppm、NH<sub>3</sub> 濃度は 0ppm である。
- ② バーナ負荷 80%では、アンモニア混焼率限界（達成条件）は 60%である。  
➡その時の煙突出口排気ガス中の N<sub>2</sub>O 濃度は 2.3ppm、NH<sub>3</sub> 濃度は 5.1ppm である。
- ③ バーナ負荷 50%では、アンモニア混焼率限界（達成条件）は 50%である。  
➡その時の煙突出口排気ガス中の N<sub>2</sub>O 濃度は 26.0ppm、NH<sub>3</sub> 濃度は 3.4ppm である。
- ④ バーナ負荷 30%では、アンモニア混焼率限界（達成条件）は 20%である。  
➡その時の煙突出口排気ガス中の N<sub>2</sub>O 濃度は 38.3ppm、NH<sub>3</sub> 濃度は 0.8ppm である。  
・全体的にアンモニアスリップより、N<sub>2</sub>O が出易い傾向にある。

※「表 1 1 アンモニア燃料用ボイラ向けバーナ試作での評価試験結果一覧表」、「表 1 2 アンモニア燃料用ボイラ向けバーナ試作でのアンモニア混焼率限界（表）」、および「図 2 3 アンモニア燃料用ボイラ向けバーナ試作でのアンモニア混焼率限界（グラフ）」を参照のこと。

表 1 1 アンモニア燃料用ボイラ向けバーナ試作での評価試験結果一覧

インプット		事業の目標 (煙突出口排気ガス中)		アンモニア混焼率 (%)												アンモニア混焼 率限界 (%)		
バーナ 負荷(%)	(kW)			10		20		30		40		50		60			70	
				(kW)	(kg/h)	(kW)	(kg/h)	(kW)	(kg/h)	(kW)	(kg/h)	(kW)	(kg/h)	(kW)	(kg/h)		(kW)	(kg/h)
100	1,320	アンモニア (NH <sub>3</sub> ) 流量	132.0	25.5	264.0	51.1	396.0	76.6	528.0	102.2	660.0	127.7	792.0	153.3	924.0	178.8	60	
		軽油流量(助燃量)	1188.0	98.5	1056.0	87.5	924.0	76.6	792.0	65.7	660.0	54.7	528.0	43.8	396.0	32.8		
		O <sub>2</sub> 濃度≦3.5 (%)	2.8		2.9		3.3		3.3		2.8		2.7		2.7			
		空気比≦1.2 (換算値)	1.15		1.16		1.19		1.19		1.15		1.15		1.15			
		N <sub>2</sub> O濃度≦50 (ppm)	2.9		7.6		11.2		9.3		0.0		0.0		60.0			
		NH <sub>3</sub> 濃度≦25 (ppm)	0.3		0.4		0.7		0.0		0.8		0.0		54.0			
		判定基準 : O×評価	O		O		O		O		O		O		x			
80	1056	アンモニア (NH <sub>3</sub> ) 流量	105.6	20.4	211.2	40.9	316.8	61.3	422.4	81.7	528.0	102.2	633.6	122.6	739.2	143.0	60	
		軽油流量(助燃量)	950.4	78.8	844.8	70.0	739.2	61.3	633.6	52.5	528.0	43.8	422.4	35.0	316.8	26.3		
		O <sub>2</sub> 濃度≦3.5 (%)	3.3		3.5		3.5		3.5		3.5		2.5		2.5			
		空気比≦1.2 (換算値)	1.19		1.20		1.20		1.20		1.20		1.14		1.14			
		N <sub>2</sub> O濃度≦50 (ppm)	6.9		13.9		16.9		19.3		27.8		2.3		72.0			
		NH <sub>3</sub> 濃度≦25 (ppm)	2.4		1.1		0.7		0.2		0.0		5.1		65.0			
		判定基準 : O×評価	O		O		O		O		O		O		x			
50	660	アンモニア (NH <sub>3</sub> ) 流量	66.0	12.8	132.0	25.5	198.0	38.3	264.0	51.1	330.0	63.9	396.0	76.6	462.0	89.4	50	
		軽油流量(助燃量)	594.0	49.2	528.0	43.8	462.0	38.3	396.0	32.8	330.0	27.4	264.0	21.9	198.0	16.4		
		O <sub>2</sub> 濃度≦3.5 (%)	3.5		3.5		3.5		3.5		2.3		2.7		—			
		空気比≦1.2 (換算値)	1.20		1.20		1.20		1.20		1.12		1.15		—			
		N <sub>2</sub> O濃度≦50 (ppm)	14.1		42.1		14.6		15.0		26.0		81.3		—			
		NH <sub>3</sub> 濃度≦25 (ppm)	0.3		2.2		0.4		1.2		3.4		78.4		—			
		判定基準 : O×評価	O		O		O		O		O		x		x			
30	396	アンモニア (NH <sub>3</sub> ) 流量	39.6	7.7	79.2	15.3	118.8	23.0	158.4	30.7	198.0	38.3	237.6	46.0	277.2	53.6	20	
		軽油流量(助燃量)	356.4	29.5	316.8	26.3	277.2	23.0	237.6	19.7	198.0	16.4	158.4	13.1	118.8	9.8		
		O <sub>2</sub> 濃度≦3.5 (%)	2.7		3.3		4.1		5.8		6.2		—		—			
		空気比≦1.2 (換算値)	1.15		1.19		1.24		1.38		1.42		—		—			
		N <sub>2</sub> O濃度≦50 (ppm)	25.2		38.3		94.0		220.8		275.2		—		—			
		NH <sub>3</sub> 濃度≦25 (ppm)	1.7		0.8		7.4		39.8		386.4		—		—			
		判定基準 : O×評価	O		O		x		x		x		x		x			

表 1 2 アンモニア燃料用ボイラ向けバーナ試作でのアンモニア混焼率限界 (表)

インプット		事業の目標 (煙突出口排気ガス中)	アンモニア燃料用ボイラ向けバーナ：アンモニア混焼率 (%)							アンモニア 混焼率限界 (%)
バーナ 負荷 (%)	(kW)		10	20	30	40	50	60	70	
100	1,320	判定基準：○×評価	○	○	○	○	○	○	×	60
80	1056	判定基準：○×評価	○	○	○	○	○	○	×	60
50	660	判定基準：○×評価	○	○	○	○	○	×	×	50
30	396	判定基準：○×評価	○	○	×	×	×	×	×	20

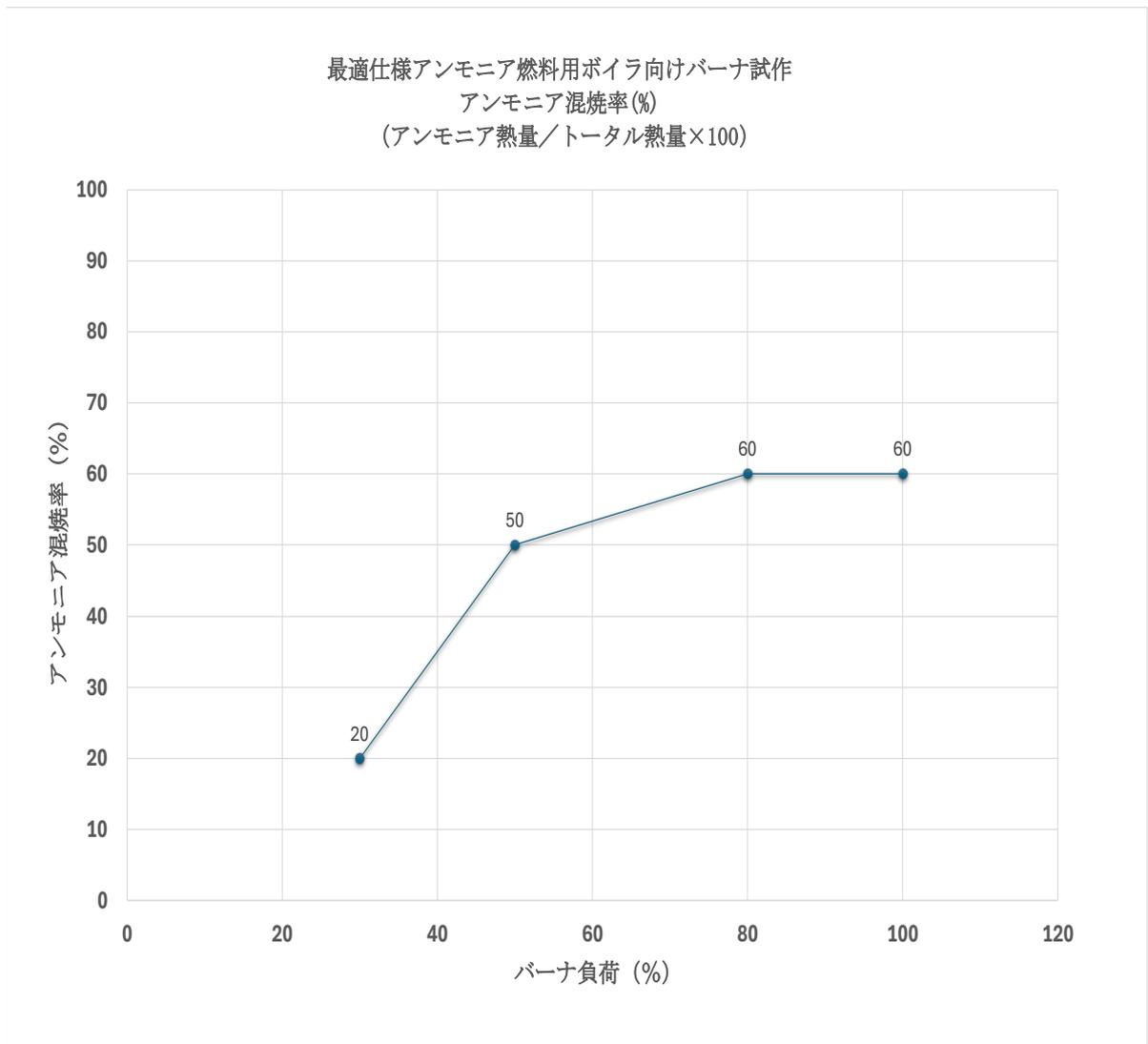


図 2 3 アンモニア燃料用ボイラ向けバーナ試作でのアンモニア混焼率限界 (グラフ)

■ 考察

・評価試験開始当初は、アンモニア混焼率の限界は約 30%程度であったが、計画的に社内議論を加えながら、トライ&エラーを繰り返すことにより、アンモニア混焼率は約 50~60% (バーナ負荷 $\geq$ 50%) まで到達することができた。表 1 1 (P. 30)、表 1 2 (P. 31) および図 2 3 (P. 31) を参照のこと。

・表 1 3 に示す通り、軽油:MG0 (重油:HF0) の CO<sub>2</sub> 発生量を 1 とした場合の「同じ発熱量当たり」の CO<sub>2</sub> 削減率は、LPG :  $\Delta$ 14% (16%)、LNG :  $\Delta$ 24% (26%)、メタノール :  $\Delta$ 8% (10%) である。今回のアンモニア燃料用ボイラ向けバーナ試作 (バーナ負荷 $\geq$ 50%) における CO<sub>2</sub> 削減率は軽油 (重油) に対して、「約 50%~60%」と半減レベルとなった。

表 1 3 軽油 (MG0) および重油 (HF0) の CO<sub>2</sub> 発生量を 1 とした場合の各燃料での CO<sub>2</sub> 発生比率

Type of fuel	Reference	Lower calorific value (kJ/kg)	Carbon content	C <sub>F</sub> (t-CO <sub>2</sub> /t-Fuel)	MG0	HF0
1 Diesel/Gas Oil	ISO 8217 Grades DMX through DMB	42,700	0.8744	3.206	を1として	を1として
<b>Sulfur-free fuels: LPG・LNG・メタノール燃料による EEDI 値のカウント</b>						
4 Liquefied Petroleum Gas (LPG)	Propane	46,300	0.8182	3.000	0.86	0.84
	Butane	45,700	0.8264	3.030		
5 Liquefied Natural Gas (LNG)		48,000	0.7500	2.750	0.76	0.74
6 Methanol		19,900	0.3750	1.375	0.92	0.90

出典：「IMO GHG 削減目標に向けての新燃焼と推進システム

／九州大学 名誉教授 高碕 講二氏」, 第 90 回マリンエンジニアリング学会「学術講演会」

・昨年実施した「2022年度水素・アンモニア燃料用小型ガス燃焼用ユニット (GCU) の技術開発」より商品化に成功したアンモニア燃料用 GCU 評価試験結果との比較を行った。「表 1 4 アンモニア燃料用 GCU 試作でのアンモニア混焼限界 (P. 33)」および「図 2 4 アンモニア燃料用ボイラ向けバーナとアンモニア燃料用 GCU との比較」(P. 33)」に示す通り、バーナ負荷に対するアンモニア混焼率限界は同傾向であった。バーナ負荷の小さい領域では燃焼室 (炉内) 温度が低く、油助燃量を増やす必要があり、アンモニア混焼率が低い結果になっている。「表 1 5 【参考】アンモニア燃料用 GCU 試作での評価試験結果一覧 (P. 34)」を参照。

・アンモニア燃料用ボイラ向けバーナにおいては、予想通り燃焼室 (炉体) 水冷壁の影響が大きく、特に中間生成物である N<sub>2</sub>O 濃度がアンモニア濃度より高くなる傾向があった。アンモニア燃料用 GCU では、逆にアンモニア濃度が N<sub>2</sub>O 濃度より高くなる傾向にあった。

・アンモニア燃料用ボイラ向けバーナのバーナ負荷 50%以上においては、油助燃を発熱量ベースで「40%~50%」導入して混焼することで、事業の目標である「煙突出口排気ガス中において、アンモニア濃度を 25ppm 以下、亜酸化窒素 N<sub>2</sub>O の排出濃度を 50ppm 以下」をクリアした。

・引続き、アンモニア GCU で実現できている「アンモニア混焼率 $\geq$ 80% (バーナ負荷 $\geq$ 80%)」を目指し、改良を加えて行く。

表 1 4 アンモニア燃料用 GCU 試作でのアンモニア混焼率限界 (表)

インプット		アンモニア燃料用GCU：事業の目標 (煙突出口排気ガス中)	アンモニア混焼率 (%)
バーナ 負荷 (%)	(kW)		
100	350	判定基準：○評価	84
86	310	判定基準：○評価	82
71	258	判定基準：○評価	80
57	207	判定基準：○評価	76
43	155	判定基準：○評価	70
29	103	判定基準：○評価	61
14	52	判定基準：○評価	21

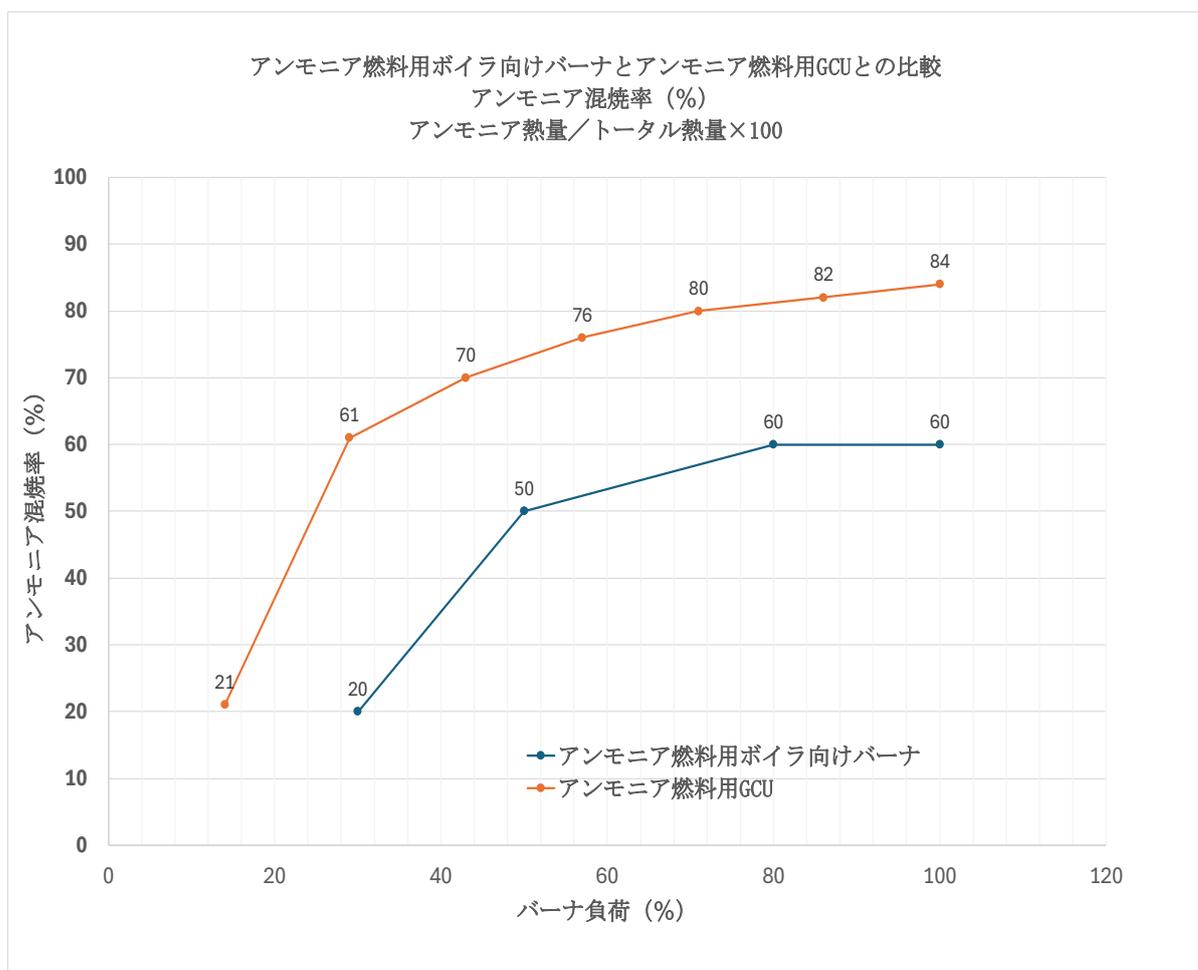


図 2 4 アンモニア燃料用ボイラ向けバーナとアンモニア燃料用 GCU との比較 (グラフ)

表 1 5 【参考】アンモニア燃料用 GCU 試作での評価試験結果一覧

アンモニア燃焼処理量		排ガス濃度 (煙突出口排気ガス中)	パイロットバーナ本数 (ノズル : 1.5ガロン)		
(kg/h)	(kW)		1本 (1)	2本 (1&2)	3本 (1&2&3)
10	52	O <sub>2</sub> 濃度 (%) ※参考値	/	16.8	16.0
		N <sub>2</sub> O濃度 (p p m) ※参考値		13.4	11.2
		NH <sub>3</sub> 濃度 (p p m)		151.3	20.0
		目標値 : NH <sub>3</sub> 濃度 ≤ 25ppm		×	○
20	103	O <sub>2</sub> 濃度 (%) ※参考値	14.3	12.8	15.3
		N <sub>2</sub> O濃度 (p p m) ※参考値	4.7	6.7	8.0
		NH <sub>3</sub> 濃度 (p p m)	18.2	13.5	9.3
		目標値 : NH <sub>3</sub> 濃度 ≤ 25ppm	○	○	○
30	155	O <sub>2</sub> 濃度 (%) ※参考値	13.1	14.3	14.4
		N <sub>2</sub> O濃度 (p p m) ※参考値	0.0	9.9	4.9
		NH <sub>3</sub> 濃度 (p p m)	5.7	27.9	11.3
		目標値 : NH <sub>3</sub> 濃度 ≤ 25ppm	○	×	○
40	206	O <sub>2</sub> 濃度 (%) ※参考値	16.6	/	/
		N <sub>2</sub> O濃度 (p p m) ※参考値	19.0		
		NH <sub>3</sub> 濃度 (p p m)	7.3		
		目標値 : NH <sub>3</sub> 濃度 ≤ 25ppm	○		
50	258	O <sub>2</sub> 濃度 (%) ※参考値	15.8	/	/
		N <sub>2</sub> O濃度 (p p m) ※参考値	3.2		
		NH <sub>3</sub> 濃度 (p p m)	3.2		
		目標値 : NH <sub>3</sub> 濃度 ≤ 25ppm	○		
60	309	O <sub>2</sub> 濃度 (%) ※参考値	15.1	/	/
		N <sub>2</sub> O濃度 (p p m) ※参考値	4.6		
		NH <sub>3</sub> 濃度 (p p m)	4.6		
		目標値 : NH <sub>3</sub> 濃度 ≤ 25ppm	○		

#### 4. 目標の達成状況

事業の目標である「煙突出口排気ガス中において、アンモニア濃度を 25ppm 以下とする。」および「煙突出口排気ガス中において、亜酸化窒素  $\text{N}_2\text{O}$  の排出濃度を 50ppm 以下とする。」を達成することができた。

その達成の条件は次の通りである。

- ・バーナ負荷 100%では、アンモニア混焼率限界（達成条件）は 60%である。  
➡その時の煙突出口排気ガス中の  $\text{N}_2\text{O}$  濃度は 0ppm、 $\text{NH}_3$  濃度は 0ppm である。
- ・バーナ負荷 80%では、アンモニア混焼率限界（達成条件）は 60%である。  
➡その時の煙突出口排気ガス中の  $\text{N}_2\text{O}$  濃度は 2.3ppm、 $\text{NH}_3$  濃度は 5.1ppm である。
- ・バーナ負荷 50%では、アンモニア混焼率限界（達成条件）は 50%である。  
➡その時の煙突出口排気ガス中の  $\text{N}_2\text{O}$  濃度は 26.0ppm、 $\text{NH}_3$  濃度は 3.4ppm である。
- ・バーナ負荷 30%では、アンモニア混焼率限界（達成条件）は 20%である。  
➡その時の煙突出口排気ガス中の  $\text{N}_2\text{O}$  濃度は 38.3ppm、 $\text{NH}_3$  濃度は 0.8ppm である。

## 5. 2023年度の実施内容の概要

### 5.1 アンモニア燃料用ボイラ向けバーナおよび炉体の設計

アンモニア燃料は燃えにくく、また加えてアンモニア燃料用ボイラ向けバーナでは、ボイラ炉体にて熱交換の必要があり、炉壁温度が水冷（常温～150℃～200℃）により低くなる。

炉体空冷のGCU開発と比べて、①炉体冷却のため、常に火炎は冷やされ更に燃えにくい。また炉体空冷のGCUでは、空気比は約2.0（約7.0：冷却空気含む）に設定しているが、GCU機能付きボイラ向けバーナでは、②ボイラ熱効率確保・燃費向上のため空気比 $\leq 1.2$ の制限を受けて燃やしにくい。

この①、②の課題があり、アンモニア燃料用GCUの設計から、さらに燃やし易い工夫の検討が必要となる。

その結果、具体的な設計検討箇所「①アトマイザ、②ガスノズル、③スロート」の3部品を対象試作部品に挙げた。各設計パラメータの最適化など、最良仕様が見出せるように、各試作部品をそれぞれ3～5種類設計した。

### 5.2 アンモニア燃料用ボイラ向けバーナおよび炉体試作および評価試験

下記手順1～3にて「アンモニア燃料用ボイラ向けバーナおよび炉体試作および評価試験」を実施した。

- ・手順1：本試作設計通り、アンモニア燃料用ボイラ向けバーナ試作を完成させる。
- ・手順2：アンモニア混焼率の向上を図るため、各部品試作の試験を繰り返しながら、最適な仕様を見出し決定する。
- ・手順3：最適仕様の試作品の組合せにて評価試験を行う。

手順2においては、アンモニア燃焼量と液体燃料（軽油）助燃量を加えたトータル燃焼量をインプットとしたバーナ負荷100%(1,320kW)～30%(396kW)において、対象試作部品「①アトマイザ、②ガスノズル、③スロート」をそれぞれ3～5種類を交換・確認し、「2. 事業目標」で述べた「煙突出口排気ガス中において、①アンモニア濃度を25ppm以下および②亜酸化窒素 $N_2O$ の排出濃度を50ppm以下」をクリアでき、なおかつアンモニア混焼率（バーナ負荷：100～30%）が比較的高い部品仕様をそれぞれ抽出することにした。

最後の手順3の評価試験においては、アンモニア燃焼量と油（軽油）助燃量を加えたトータル燃焼量をインプットとしたバーナ負荷100%(1,320kW)～30%(396kW)において、「2. 事業目標」で述べた「煙突出口排気ガス中において、①アンモニア濃度を25ppm以下、および②亜酸化窒素 $N_2O$ の排出濃度を50ppm以下」に対して、それぞれクリアできるアンモニア混焼率（バーナ負荷：100～30%）の限界（上限）を求めた。

その結果、下記の条件において、事業の目標を達成することができた。

- ・バーナ負荷100%では、アンモニア混焼率限界（達成条件）は60%である。
- ・バーナ負荷80%では、アンモニア混焼率限界（達成条件）は60%である。
- ・バーナ負荷50%では、アンモニア混焼率限界（達成条件）は50%である。
- ・バーナ負荷30%では、アンモニア混焼率限界（達成条件）は20%である。

## 6. 今後の予定

アンモニア燃料用ボイラ向けバーナ試作および評価試験においては、バーナロード $\geq 50\%$ の条件下、アンモニア混焼率は50~60%に留まった。最大限にCO<sub>2</sub>を低減するため、引き続き、アンモニアGCUで実現できている「アンモニア混焼率 $\geq 80\%$  (バーナロード $\geq 80\%$ )」を目指し、改良を加えて行く予定である。

アンモニア燃焼においては、エンジン開発も含めNH<sub>3</sub>スリップ・N<sub>2</sub>O・NO<sub>x</sub>の更なる低減が技術的課題として残る。「化学反応メカニズム」の観点よりどう対応すべきかを示唆した公開論文(図25)を今後の参考にしていく。

### Effects of ammonia addition on PAH formation in laminar premixed ethylene flames based on laser-induced fluorescence measurement

Energy 213 (2020) 118868

Youping Li, Yiran Zhang\*, Reggie Zhan, Zhen Huang, He Lin

Key Laboratory for Power Machinery and Engineering of Ministry of Education, School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, 200240, China

The hydrocarbon/PAHs mechanism adopted the updated KAUST PAH model, which has been widely validated [54,55]. The NH<sub>3</sub> sub-mechanism is from Okafor et al. [32], referred to as Okafor Mech.

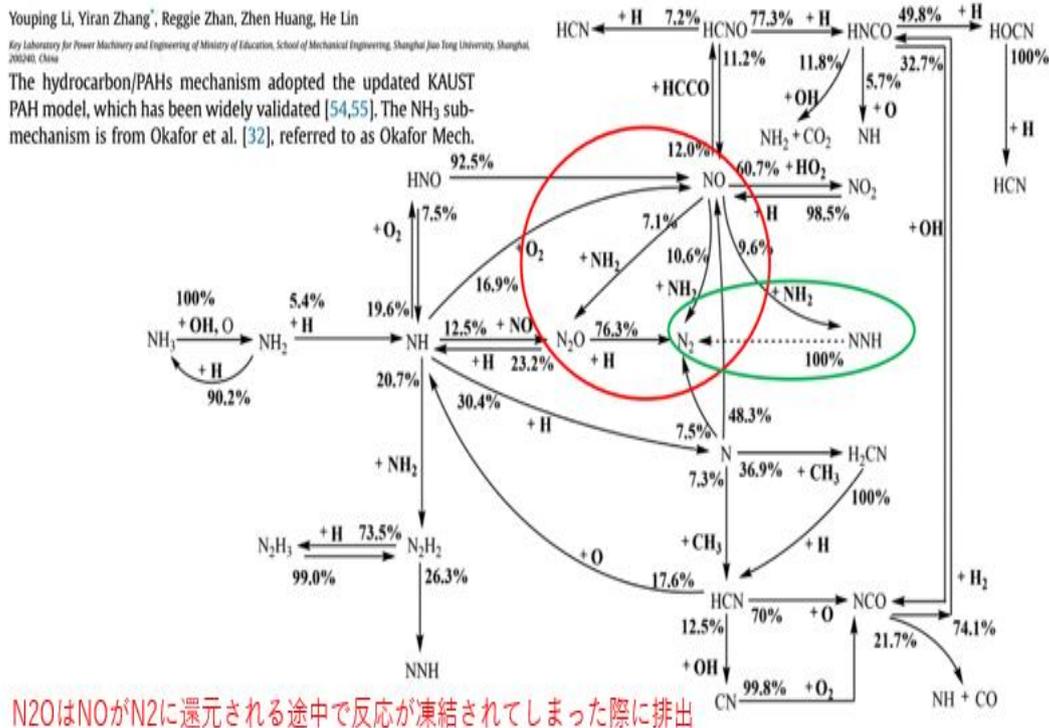


Fig. 8. Reaction pathways analysis of NH<sub>3</sub> decomposition of X<sub>NH3</sub> = 0.1.

図25 アンモニアと炭化水素の干渉のある反応経路

出典: 「Effects of ammonia addition on PAH formation in laminar premixed ethylene flames based on laser-induced fluorescence measurement / Youping Li, Yiran Zhang\*, Reggie Zhan, Zhen Huang, He Lin, Energy 213 (2020) 118868

C系のエチレン(多環芳香族炭化水素)にN系のアンモニアを混焼させた時、どのような反応経路によって、どのような生成物が生まれるのかを層流予混合火炎で検証している「上海交通大学」の論文である。

石油マネーで作られ燃焼研究者のユートピアと呼ばれている「サウジアラビア研究機関：KAUST」が発表した「多環芳香族炭化水素の生成メカニズム」と、東北大学の小林研究室で、SIP 成果として出された Okafor 氏の「アンモニア系の反応メカニズム」をうまく統合したメカニズムが使われている。

どのような反応メカニズムをベースにしているかが重要であるが、大きくは2つに分けられる。

アンモニアから熱分解による水素引き抜き反応(ワンパス)で NH に至る。単純に  $N_2$  と  $H_2O$  にならず、そこに  $NO_x$  生成が入っているのが厄介である。NH が  $N_2O$  になるパスに +NO と示されているが、NH が NO を還元して  $N_2O$  になっていることを意味している。 $N_2O$  は 76.3%(3/4) の割合で  $N_2$  に還元される。よってこの温暖化係数の高い  $N_2O$  は悪者ではなく、 $N_2O$  を残存しないように処理すれば良い。NH<sub>2</sub> という化学種をうまく分布させ、適した温度を与えるようなバーナ・炉体設計(炉内脱硝)ができれば、最終的には  $N_2$  になり、 $NO_x$  が出ないシナリオが描ける。

次に右下の N という状態に、メチルラジカル+ $CH_3$  との反応による干渉で、シアン化系 HCN、CN ラジカルを介して NH や CO になる。もしくは、OH で酸化されると、右上の HNCH などの化学種を介して、NH<sub>2</sub> と  $CO_2$  になる。結果として、ここからも炉内脱硝のための NH<sub>2</sub> が出てくることになる。

①  $N_2O$  から  $N_2$  へ如何に変換させるか？

➡赤松研究室： $N_2O$  から  $N_2$  へは温度依存性が強い。炉内温度が低い場合には出るが、ある温度域以上で、速く  $N_2O$  から  $N_2$  になる計測結果が得られている。

② C が含まれている下のメカニズムはプロンプト NO に似ているのではないか？

➡赤松研究室：まさに同じメカニズムと捉えている。プロンプト NO とフューエル NO が混載することになるが、+NH<sub>2</sub> で同時に脱硝を図るべきと考える。

③ 層流燃焼速度の件において、空気予熱は有効であるか？

➡赤松研究室：炭化水素系燃料との混焼の場合は、炭化水素系から先に熱発生する。その熱によりアンモニア燃焼速度を上げれば、予熱の必要はなくなる。アンモニア専焼の場合には、空気予熱は有効であると考え。

④ アンモニアと空気、どちらの予熱の方が効くか？

➡赤松研究室：量的に多い空気の方が効く。同じ熱量を与えた場合、どちらが効くかは、研究者としては興味深い。

貴重な本文献をご教示いただいた「大阪大学赤松研究室」については、「アンモニアガス、水素ガスの燃焼処理技術開発を完了」のプレスリリース記事として、参考に表 1 6 にて紹介する。

表16 プレスリリース「アンモニアガス、水素ガスの燃焼処理技術開発を完了」



Press Information

2023年5月19日

## アンモニアガス、水素ガスの燃焼処理技術開発を完了

ボルカノ株式会社（以下 ボルカノ）は、ガス燃焼ユニット（Gas Combustion Unit、以下 GCU）によるアンモニアガス、水素ガスの燃焼処理技術の開発を2023年4月30日に完了しました。アンモニア<sup>※1</sup>、水素など船舶の次世代燃料を安全にかつ環境に優しく使用するためには、燃料タンク内ガスによるタンク圧上昇の調整、毒性のあるアンモニア燃料の無毒化などの課題があります。ガス燃焼ユニット（GCU）はそれらの課題を解決する方法の一つに挙げられている機器です。また、船舶整備のために燃料タンクを空（から）にする際や、燃料タンク充填の際に、タンク内から押し出されてくる混合ガス（燃料ガスと不活性ガスの混合物）を周囲や大気に放出せず安全に処理する方法の一つとしてもガス燃焼装置は有効です。

ボルカノでは、燃えにくい特性を持つアンモニアをガス燃焼ユニット（GCU）で燃焼処理する基礎研究として「アンモニア混焼（油）に関する研究」を大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻燃焼工学領域赤松研究室<sup>※2</sup>と共同ですすめてきました。また、ボルカノが陸上で実績を持つ水素燃焼技術を応用して、燃えやすい特性を持つ水素をガス燃焼ユニット（GCU）を用いて安全に燃焼処理する基礎研究にも独自で取り組みました。その結果、両GCUの基礎技術を確立できたため、公益財団法人 日本財団<sup>※3</sup>の助成を得て実施した新製品開発助成事業において、試作したガス燃焼ユニット（GCU）によるアンモニアおよび水素の燃焼処理の実現に成功しました。

この新製品開発助成事業の完了により、次世代燃料用ガス燃焼ユニット（GCU）の市場投入のめどが立ちました。ボルカノは今後、国内で計画が進んでいるアンモニア燃料船の動向、船舶での水素燃料利用、に関するお客様ニーズや販売予想規模を見定めた上で、環境負荷軽減に貢献する製品を送り出していきたいと考えています。

Supported by  日本 THE NIPPON 財団 FOUNDATION



Press Information

※2 大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻燃焼工学領域赤松研究室

<http://www-combu.mech.eng.osaka-u.ac.jp/>

赤松史光先生：大阪大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 燃焼工学領域 教授 / 博士（工学）

中塚記章先生：大阪大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 燃焼工学領域 特任研究員 / 博士（工学）

※3 公益財団法人 日本財団

<https://www.nippon-foundation.or.jp/>

Supported by  日本 THE NIPPON 財団 FOUNDATION

以上

2050年カーボンニュートラル達成が「世界共通目標」であるが、難燃性のアンモニアについては、性能的にいきなり油助燃ゼロ（アンモニア混焼率100%=専焼）にはならない。アンモニアはコスト面を含め、次世代燃料として期待されている燃料であるが、燃えにくいいため現時点では油助燃が必要な状況である。

参考に図26、図27にIMOおよびNK船級が設定した「GHG削減目標」を示す。2030年時点で、それぞれゼロエミッション燃料使用割合「5~10%」および「25%」を目標にしている。

アンモニア燃料用ボイラ向けバーナのアンモニア混焼率100%（専焼）への道のりは長いが、アンモニア混焼率（バーナ負荷100%時）を「60%（現時点）→70%→80%（次の目標）→90%→100%（助燃バイオ燃料使用含む）」へ一歩一歩、技術改良を加えながら、その都度、お客様（船主・造船会社・ボイラメカ）にヒアリングし、オペレーションも考慮した「商品化」を提案していく予定である。

本技術開発の完了したGCU機能付き「アンモニア燃料用ボイラ向けバーナ」は、まだ、性能的・商品的には100点とは言えないが、従来の油燃料用や天然ガス燃料用のボイラ向けバーナに比べて、大幅なCO<sub>2</sub>削減（油燃料に比べて半減）を達成しているため、いち早く商品化を目指していく。

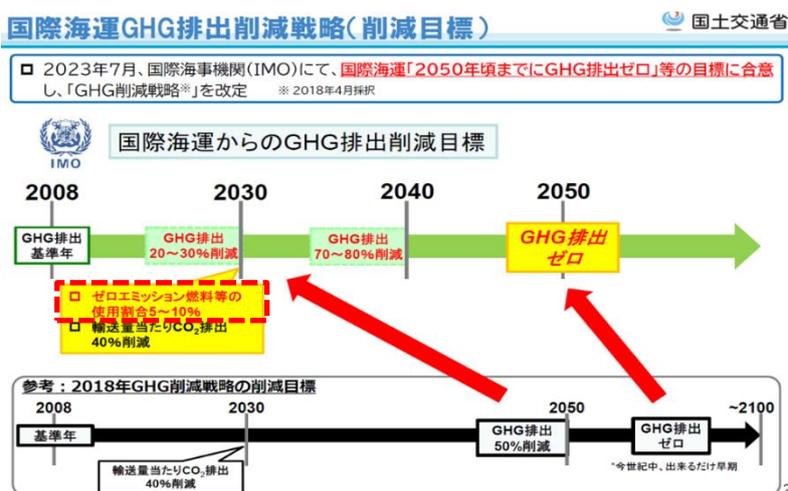


図26 IMO GHG削減目標 出典：国交省HP

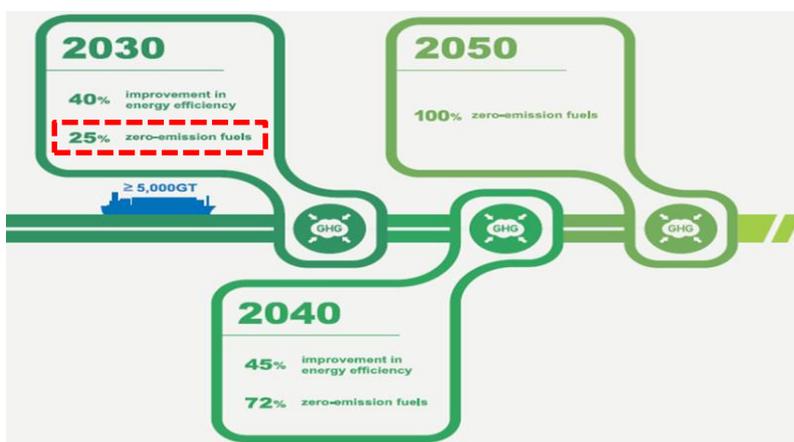


図27 NK船級 GHG削減目標 出典：NK船級HP

アンモニア燃料船については、IEA 等の公的機関発表の通り、2030 年代に一定の市場規模が期待できる。段階的に CO<sub>2</sub> を減らしていくような本商品計画が可能な場合の 2030 年および 2035 年の自社販売予定台数を参考に示すこととする。

## (1) 市場規模（対象船舶の船種、隻数等）

世界で船舶は建造されているが、日中韓の 3 ヶ国で約 95% を占めている。表 1 7 に 2015 から 2021 年(7 年間)の日中韓 3 ヶ国における年度別竣工隻数を示す。この表から 7 年間の日中韓 3 ヶ国の年間平均年間建造数は 2,437 隻となる。

表 1 7 2015 年から 2021 年の年度別竣工隻数

出典：日本造船工業会、2022 年 3 月公表値/100 総トン以上の船舶

日中韓 国別建造数予測		根拠（年別竣工隻数）///日本造船工業会 2022年3月 公表値 100総トン以上の船舶						
国名	右記平均による 年間建造規模	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
日本	482	520	514	493	458	493	488	410
韓国	1,462	2,332	578	1,850	2,311	1,737	1,189	237
中国	493	740	277	420	426	421	323	845
3ヶ国合計	<b>2,437</b>	<b>3,592</b>	<b>1,369</b>	<b>2,763</b>	<b>3,195</b>	<b>2,651</b>	<b>2,000</b>	<b>1,492</b>

その中で対象船舶の船種は、「バルクキャリア、タンカー、コンテナ船」である。市場実績として、この対象船種は船舶全体の 84% (52.9%+14.8%+15.8%) (表 1 8 参照) を占めるため、ここでは 2,047 隻 (2,437 隻×84%) を市場規模とする。

表 1 8 2015 年から 2021 年の日本国内竣工隻数における

「バルクキャリア、タンカー、コンテナ船」の隻数と割合

出典：日本造船工業会、2022 年 3 月公表値/100 総トン以上の船舶

	Bulk Carrier	Tanker	Fully Cellular Container
隻数	208	58	62
構成比	<b>52.9%</b>	<b>14.8%</b>	<b>15.8%</b>

## (2) 販売予定台数および販売予定価格

国際エネルギー機関 IEA が 2021 年 5 月に発表した船舶燃料の水素、アンモニア、バイオエネルギー比率(公表値)を表 1 9 に示す。

表 1 9 船舶燃料の構成比予測 出典：国際エネルギー機関 IEA、2021 年 5 月公表

船用燃料/構成比	2020年	2030年	2035年	2040年	2050年
アンモニア	0%	<b>8%</b>	<b>16%</b>	36%	<b>46%</b>
水素	0%	<b>2%</b>	4%	12%	<b>17%</b>
バイオエネルギー	0%	<b>7%</b>	14%	16%	<b>21%</b>

市場規模の 2,047 隻にて、前記の水素、アンモニア、バイオエネルギー比率より隻数換算すると表 20 のようになる。

表 20 日中韓 3 国竣工隻数予測

市場規模/隻数	2020年	2030年	2035年	2040年	2050年
アンモニア	0	164	328	737	942
水素	0	41	82	246	348
バイオエネルギー	0	143	287	328	430

ただし対象市場規模(本隻数)は、アンモニア燃料用 GCU とアンモニア燃料用ボイラ向けバーナの総数である。LNG 燃料船での実績では、GCU : ボイラ向けバーナ=約 1 : 9 であるが、アンモニア燃料が「劇物・毒物」のため、人体への安全性を考慮して、安全装置としての併載があると想定し、ここでは 3 : 7 とする。今後の実プロジェクトの様子を見て改訂していく予定である。

3ヶ国での自社シェアを 30%として、アンモニア燃料用ボイラ向けバーナに限定した場合の販売台数を示す。

□対象製品：アンモニア燃料用ボイラ向けバーナ

日中韓建造向け販売台数 ※3ヶ国での自社シェア：30%

2030年：34台(164×0.3×0.7) 2035年：69台(328×0.3×0.7)

注：アンモニア燃料船、水素燃料船とも、政府・国際機関・資源関連企業・造船所・エンジンライセンサーからの現時点、計画数発表がないため、上記予測台数に裏付けはない。今後発表されていくロードマップ、関連各社の計画台数により更新していく。

## 7. まとめ

日本財団様より、本助成事業委託開発の機会を得ることができた。

また、日本郵船株式会社(NYK)様および日本シッパード株式会社(NSY)様には、本開発事業の指導者として、アンモニア燃料用ボイラ向けバーナの搭載ルール・適用条件などの情報提供、製品の要求仕様の提供をいただいた。

その結果、限定されたアンモニア混焼率の条件ではあるが、アンモニア燃料用ボイラ向けバーナ技術開発を完了した。更に、商品化に向けての設計仕様や今後の課題を明らかにすることができた。

ここに感謝の意を示す。

「この報告書は BOAT RACE の交付金による日本財団の助成金を受けて作成しました」

(一社)日本船用工業会

〒105-0001

東京都港区虎ノ門一丁目13番3号 (虎ノ門東洋共同ビル)

電話 : 03-3502-2041      FAX:03-3591-2206

<https://www.jsmea.or.jp>