

■ 研究所紹介 / INTRODUCTION OF RESEARCH CENTER ■

中外炉工業株式会社 研究所紹介

Introduction of Research Center in Chugai Ro Co., Ltd.

池田 勇*・友澤 健一

IKEDA, Isamu* and TOMOZAWA, Kennichi

中外炉工業株式会社 〒592-8331 堺市西区築港新町 2-4

Chugai Ro Co., Ltd, 2-4 Chikko-Shinmachi Nishi-Ku Sakai 592-8331, Japan

1. 緒言

中外炉工業株式会社は 1945 年の創業以来、「熱技術を核として新しい価値を創造し、これを通じて社会に貢献する」を経営理念としてきた。この経営理念のもと長年に渡って培った「Thermal Technology」「Total Engineering」「Advanced Technology」の 3 つの基盤技術と、それに支えられた 14 のコア技術を深化・融合させることによって、鉄鋼・自動車などの基幹産業や情報・通信産業において、省エネルギーや環境負荷低減などの社会ニーズに適應した製品を提供してきた。

【14 のコア技術】

- | | | |
|----------|----------|----------|
| ・ 燃焼 | ・ 伝熱 | ・ 熱制御 |
| ・ 加熱/冷却 | ・ 加圧/真空 | ・ 雰囲気制御 |
| ・ カスタマイズ | ・ 省エネルギー | ・ 解析 |
| ・ クリーン | ・ メンテナンス | ・ コーティング |
| ・ 製造 | ・ 自動化 | |

中外炉工業では、これらのコア技術に磨きをかけて革新的な技術開発を推進するために、燃焼研究所と技術研究所の 2 か所の研究所で分野別に技術開発を実施している。

- ・ 燃焼研究所：省エネルギーや NOx 低減などの新しい燃焼技術開発や特殊な燃焼装置の開発
- ・ 技術研究所：新しい技術分野の基礎開発および熱技術に関する実用開発

本稿では燃焼研究所と技術研究所の紹介とそこで実施された燃焼関連の技術開発事例を解説する。

2. 燃焼研究所の概要

中外炉工業燃焼研究所 (図 1) は中外炉工業の主力工場である堺事業所からは少し離れた大阪府柏原市に 1977 年に設立され、以来一貫して新しい燃焼技術開発に取り組んで



図 1 燃焼研究所 外観。

きた。

2.1. 年代別燃焼技術開発の歴史

1970 年代は 2 度のオイルショックの影響もあり、予熱空気をを用いた省エネルギー型バーナ開発が活発に実施された。中外炉工業の代表的な予熱空気バーナである H-PLB 型オイルバーナ (図 2-1) や H-TMG 型ガスバーナ (図 2-2) はこのころに開発された。

1980 年代になると低 NOx 燃焼技術開発が本格的となり、鉄鋼加熱炉などを中心に二段燃焼型低 NOx バーナとして広く普及している FHC 型バーナ (図 3-1) はこのころに開発された。またラジエントチューブバーナにおいても様々な低 NOx バーナが開発された。

1990 年代になると予熱空気による省エネルギーと低 NOx 燃焼技術の両立が求められた。リジェネバーナ (図 3-2) はその両立が可能な技術としてこのころに開発が開始



図 2-1 H-PLB 型バーナ。



図 2-2 H-TMG 型バーナ。

* Corresponding author. E-mail: Isamu_Ikeda@n.chugai.co.jp

された。リジェネバーナ普及拡大には 1990 年代に実施された NEDO 事業の「高性能工業炉の開発」とそれに続く「高性能工業炉導入フィールドテスト」が大きく貢献した。この NEDO 事業には中外炉工業も燃焼機器メーカーと炉メーカーの両側面から参画した。



図 3-1 FHC 型バーナ。



図 3-2 リジェネバーナ。

2000 年代になるとリジェネバーナの普及に伴い様々なタイプのリジェネバーナ (大型、小型、セルフ型、ラジアントチューブ型) が開発された。またマイコンを用いた燃焼制御システムの先駆けである IBS (Intrigant Burner System 図 4-1) が開発されたのもこのころである。

2010 年代になるとバーナ単体の開発に加えて、火炎内の高温特性を活用した火炎内処理技術の開発が進められた (図 4-2)。また 2010 年代後半になると地球温暖化防止の気運の高まりとともに水素やアンモニアなどの脱炭素燃料の燃焼技術開発に着手した。



図 4-1 IBS。



図 4-2 火炎内処理設備。

2.2. 燃焼研究所の試験設備

燃焼研究所では 7 基の試験炉と 2 基の火炎内処理設備を備えていて、種々のガス燃料および油燃料を用いて燃焼技術開発が行われている。

- ・大型試験炉 (最大燃焼量 1,400 kW) : 1 基
- ・中型試験炉 (最大燃焼量 700 kW) : 2 基
- ・小型試験炉 (最大燃焼量 300 kW) : 2 基
- ・ラジアントチューブバーナ試験炉 : 2 基
- ・火炎内処理設備 (サンプル試作用) : 2 基
- ・予熱空気発生機 (最高 500 °C) : 2 基
- ・対応燃料 : 13A 都市ガス, LPG, 各種混合ガス, 水素, 灯油, 軽油, 重油,

3. 燃焼研究所の開発事例

中外炉工業燃焼研究所では 1977 年の開設以来 44 年間にわたり数多くの燃焼技術開発を実施してきた。その中から代表的な 3 件の事例を解説する。

3.1. セルフリジェネバーナの開発事例

リジェネバーナは 1990 年代に実用化され、今日では省エネルギー効果が最も高い工業用バーナとして様々な工業炉に採用されている。その中からここではセルフリジェネバーナ (図 5) を解説する [1]。



図 5 RCB-ES 型セルフリジェネバーナ外観 [1]。

通常のリジェネバーナシステムは図 6 に示すように 2 台 1 組のバーナ本体 (=バーナノズル)、蓄熱器 (=ボール) および切換弁で構成されるが、セルフリジェネバーナはそれらの要素を 1 台のバーナに集約したものである。これによりリジェネバーナの弱点である大きな設置スペースの問題を解決した。

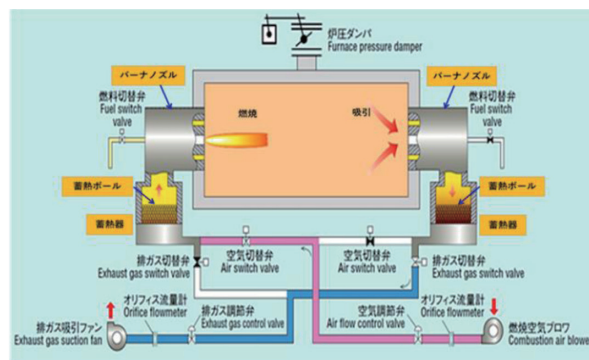


図 6 リジェネバーナシステム作動原理。

開発における技術的課題は、炉温 1300 °C における耐久性、低 NO_x 性、コンパクトサイズの両立であった。開発初期段階はコンパクトサイズを優先するあまり耐火物厚みが足りないなどのトラブルもあったが最終的にはこれらの課題を全て解決したバーナが完成した。図 7 に燃焼量 290 kW のセルフリジェネバーナの構造図を示す。バーナ 2 台分の切換弁、蓄熱ボール、バーナタイルの機能をコンパクトに収納することができた。

図 8 にセルフリジェネバーナの燃焼火炎写真を示す。四角いバーナタイトルの左側の上下 2 つの穴は排ガス吸引ノズルとなり、バーナタイトル右側の上下 2 つの穴は燃焼空気ノズルとなる。この左右のノズルは 30 秒毎に燃焼空気ノズルと排ガス吸引ノズルの役割を交代する。左右の穴の中央には燃料ノズルが配置され、燃料が連続的に供給される。また燃料ノズル周囲に供給する 1 次空気量を調整することで火炎長さを調整することができる。燃焼量 290 kW のバーナでは火炎長さを 1500-2000 mm の間で調整することが可能となる。

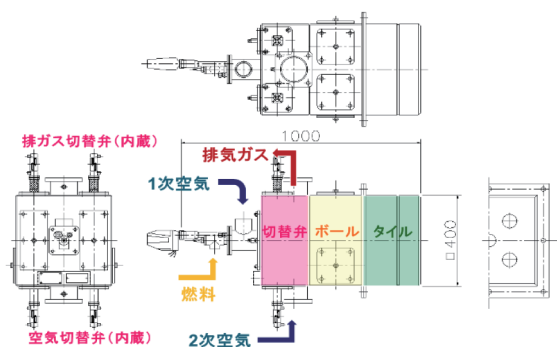


図 7 290 kW セルフリジェネバーナ構造図。

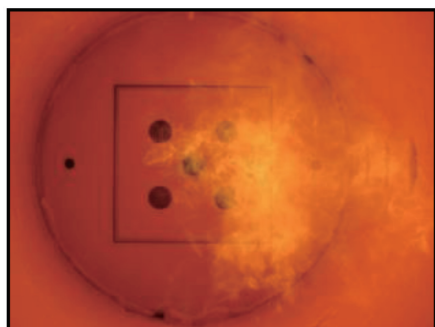


図 8 セルフリジェネバーナ 燃焼火炎。

図 9 に炉温 1300 °C における NOx 特性を示す。燃焼空気吐出速度を高めて炉内排ガス自己循環を促進することでリジェネバーナ特有の高温空気燃焼にも関わらず 13A 都市ガスにおいて NOx = 60 ppm (O₂ = 11 %) 以下の低 NOx 性能を達成した。

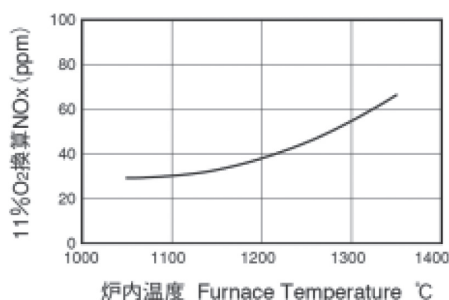


図 9 セルフリジェネバーナ NOx 特性。

3.2. 工業利用の汎用水素バーナの開発事例

中外炉工業とトヨタ自動車株式会社は 2018 年に世界で初めて工業利用を目的とした汎用水素燃焼バーナを開発した[2]。

水素バーナ実用化のためには、水素の桁違いに早い燃焼速度(メタンの約 8 倍の速度)に起因するバーナ燃焼筒内部での異常燃焼を防止し、最高断熱火炎温度上昇(メタンより 150 °C 上昇)に伴い増加する NOx 生成量を低減する必要があった。図 10 は従来型バーナで燃料のみ水素に転換して燃焼した時の写真である。バーナ燃焼筒内部での異常燃焼によりバーナ燃焼筒が赤熱している。図 11 は従来型バーナで 13A 都市ガスを燃焼した時の写真である[3]。

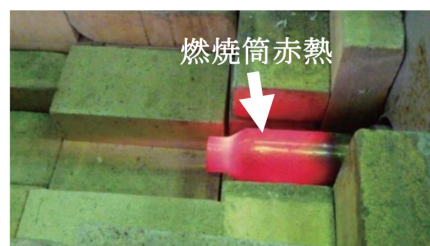


図 10 従来型バーナでの水素燃焼[3]。



図 11 従来型バーナでの 13A 都市ガス燃焼[3]。

上記の課題解決のために、バーナ燃焼筒内部での水素と燃焼空気の混合状態の最適化を進めた結果、バーナ燃焼筒内部での異常燃焼を防止しかつ NOx 生成量を低減できるバーナ構造を確立した。図 12 にバーナ構造の模式図を示す。技術的なポイントは以下の 3 点である。

- ・水素と燃焼空気を平行に吐出する
- ・水素と燃焼空気の吐出口の距離を離す
- ・水素の吐出速度を高める

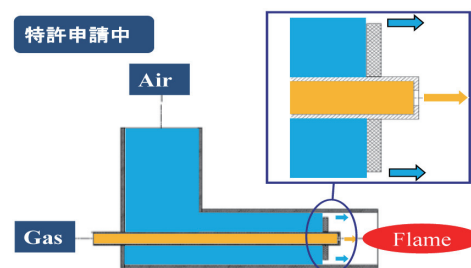


図 12 汎用水素バーナの構造。

このバーナ構造を採用することで水素と燃焼空気の混合が緩慢になり局所的な火炎温度上昇を抑制することができた。その結果バーナ燃焼筒の赤熱も無くなり(図 13), NO_x 生成量も 13A 都市ガスを燃焼した場合と同等以下にまで低減できた。(図 14: 燃焼量 100 % で 13A 都市ガス 29 ppm O₂ = 11 % 換算, 水素 19 ppm O₂ = 11 % 換算)

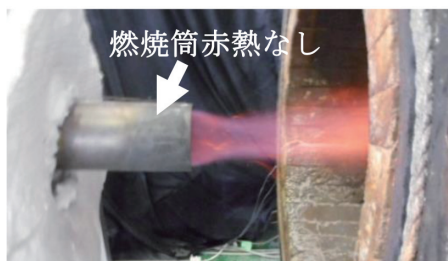


図 13 汎用水素バーナの火炎。

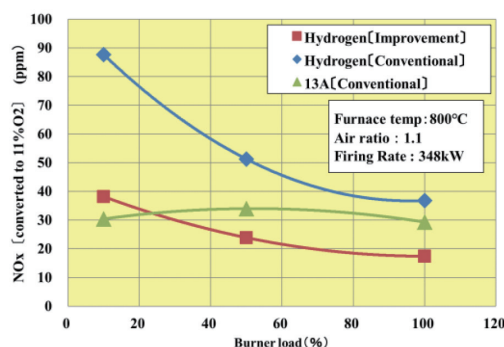


図 14 汎用水素バーナの NO_x 特性。

水素を汎用バーナで燃焼させるためのバーナ構造は確立できたが、工業炉で水素を安全に使用するためには既存燃料とは異なる配慮が必要になる。特にバーナの点火・消火時の逆火対策は必須である。現時点では点火・消火時毎に水素配管を窒素パージしているが、水素を工業炉の燃料として普及させるためにはより簡便な逆火対策が必要になる。

3.3. 火炎内処理技術の開発事例[4]

火炎内処理技術は主に高機能粉体材料を製造するためのプロセス技術である。この技術では火炎を従来の加熱源としてではなく、溶融・球状化や焼成等のプロセス領域として粉体処理プロセスに直接作用させている。図 15 に溶融・球状化の模式図を、図 16 にシリカ原料と火炎内処理による球状化の写真を示す。



図 15 火炎による溶融・球状化の模式図[4]。

る球状化の写真を示す。

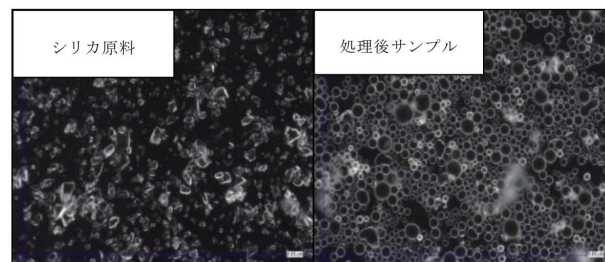


図 16 シリカ原料と火炎内処理による球状化[4]。

火炎内処理技術による粉体処理プロセスは、図 17 に示す「粉体供給装置」「溶融炉」「粉体回収装置」の 3 つのシステム要素で構成されている。特に「溶融炉」の性能は大変重要で、以下の技術課題を満足することが求められる。

- 1) 材料が溶融する高温火炎 → 酸素燃焼で実現
- 2) 材料の火炎内滞留時間の制御
→ 燃料と酸素の最適混合制御
- 3) 火炎安定性 → 燃料と酸素の最適混合制御
- 4) 均一火炎内温度分布 → 燃料と酸素の最適混合制御
- 5) 小粒径粉体対応 → 分散ガス投入で粒子凝集防止
- 6) 大量生産と製品品質向上の両立 → マルチノズル化

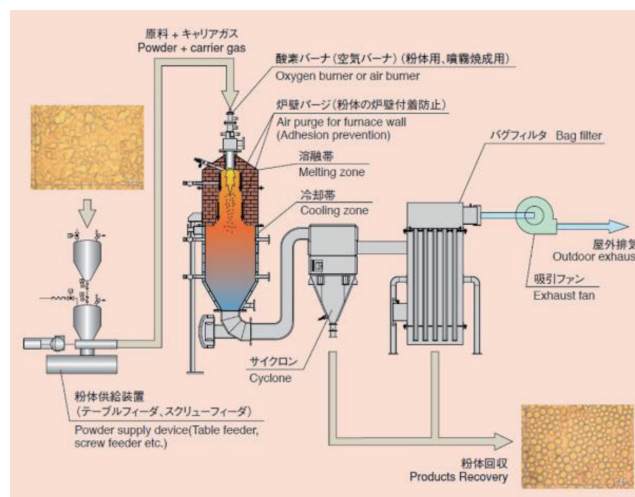


図 17 火炎内処理技術による粉体処理プロセス[4]。

火炎内処理技術を応用した新たな技術開発にも取り組んでいる。金属酸化物の気相合成技術は、火炎中で気化した金属粒子と酸素を反応させて金属酸化物を生成する技術である。この技術を用いて平均粒径 26.18 μm の金属シリコンから平均粒径 0.62 μm のナノサイズシリカ粒子の生成に成功した。また機能性材料の焼成技術としては、水酸化アルミニウムから α アルミナへの火炎内焼成にも成功した。また脱炭素燃焼技術開発の一環として水素を燃料とする試験を実施し、水素が火炎内シリカ球状化の燃料として適用

可能であることを確認した。

火炎内処理技術は火炎内の高温で化学的活性が高い特殊な環境を積極的に活用する技術であり、その特徴から新しい高機能材料を効率的に製造できる可能性を秘めた技術として注目されている。

4. 技術研究所の概要と技術開発事例

中外炉工業技術研究所(図 18)は我々の主力工場である堺事業所内に 1975 年に設立され、新しい技術分野の基礎開発とともに主に熱技術に関する実用開発に取り組んできた。設立当初は、自動車部品関連の金属熱処理技術の開発が主であったが、1983 年に第 2 研究棟を増設し、それまでの研究棟は熱処理関係、第 2 研究棟はそれ以外との位置づけで技術開発機能の充実を図った。



図 18 堺事業所内 技術研究所。

1980 年代になると高機能材料の熱処理・製造に対応する技術開発が活発となり、1986 年には第 2 研究棟にクリーンルームを新設し、インラインスパッタリング装置、イオン注入装置による真空応用技術の開発に着手した。

1990 年代になると世の中の環境保全に対する関心の高まりに対応すべく、下水汚泥を原料としたレンガ焼成設備(ハイロック)や循環流動焼却設備、回転溶融テスト設備などを建設し、新製品開発に努めた。

2000 年代以降は金属熱処理および高機能材料熱処理設備の技術開発に対して、顧客ニーズへの迅速な対応を可能とすべく、マッフル炉や真空浸炭設備などのサンプル試験設備のラインナップ充実を図った。また、リチウムイオン電池関連の素材開発が活発化する中で、電池素材向けの熱処理技術開発に向けた試験設備も相次いで建設し、顧客より受領した材料でのサンプル試験を積極的に実施し、顧客との共同技術開発に注力している。

4.1. 技術研究所の試験設備

技術研究所では金属熱処理、粉体熱処理、洗浄の分野で合計 20 基の試験設備を備えている。2600 °C もの高温対応や、真空～0.98 MPa の圧力対応、各種雰囲気ガス対応も可

能であり、多様な顧客ニーズに対応可能な体制をとっている。

- ・金属熱処理試験設備：13 基
- ・粉体熱処理試験設備：5 基
- ・洗浄試験設備：2 基

4.2. 技術研究所の開発事例

ー 水素・酸素燃焼による過熱水蒸気発生装置 ー

技術研究所では燃焼研究所で確立した水素燃焼技術を応用して水素+酸素(一部酸素富加空気)+水蒸気による脱炭素型過熱水蒸気発生装置を開発した。

過熱水蒸気とは 100 °C で蒸発した飽和水蒸気を常圧のままさらに高温加熱した無色透明の気体であり、低温度域での水蒸気の凝縮熱や、高温度域での高い放射伝熱により、一般的な高温加熱した空気による加熱と比較して高い伝熱特性を有する。過熱水蒸気と言えばスチームオープンによる食品加熱は有名だが、近年は工業用途でも過熱水蒸気を利用した急速かつ高効率の加熱プロセス開発が進んでいる。

脱炭素型過熱水蒸気発生装置の原理はシンプルで、水素と酸素または酸素富化空気の燃焼により発生する高温燃焼ガスに水を噴霧し、燃焼ガス温度(=過熱水蒸気温度)をコントロールするものである。概念図を図 19 に示す。

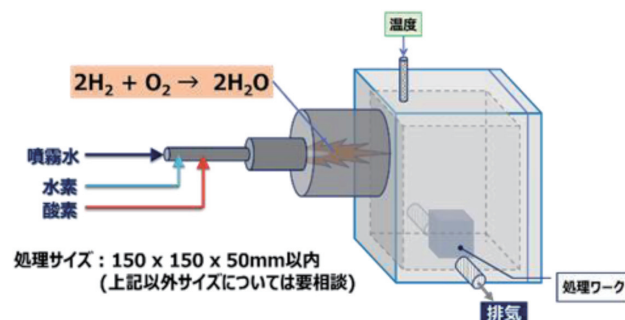


図 19 燃焼式過熱水蒸気発生装置概念図。

水素燃焼方式の脱炭素型過熱水蒸気発生装置は、燃焼当量比の調整や燃料水素や酸素の濃度選択により、過熱水蒸気の純度や、酸化/還元雰囲気制御が可能であるといったメリットがある(図 20)。

また、水素-酸素燃焼反応熱を利用することで、これまで

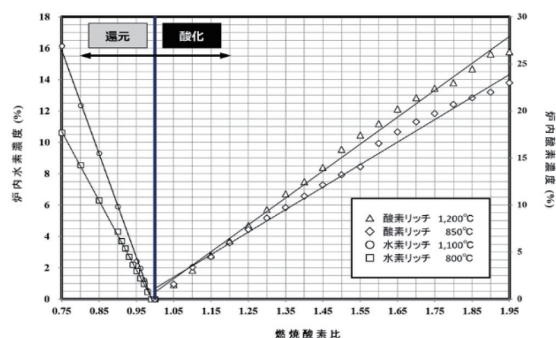


図 20 燃焼当量比と過熱水蒸気雰囲気の関係。

電熱式では 1,000 °C が最高であった過熱水蒸気温度を 1,600 °C まで対応することが可能となり、脱脂、乾燥プロセスのみならず、近年市場成長の著しい高性能セラミックス素材の焼成プロセスへの展開も期待できる (図 21)。

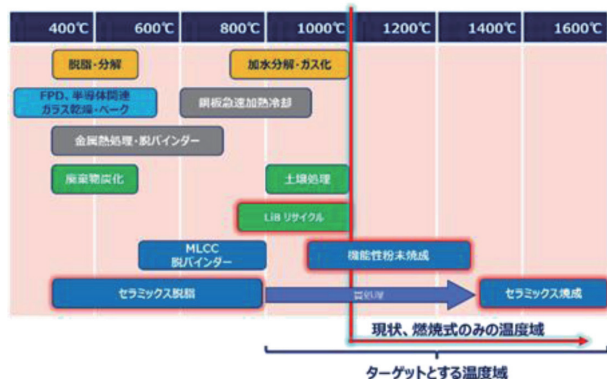


図 21 過熱水蒸気式加熱技術の用途展開。

NEDO 事業では、中外炉工業と大阪大学に加えて東京大学鈴木雄二教授らの研究グループにも参画いただき上記の実験的成果の理論的メカニズム解明とアンモニア燃焼を実際の工業炉へ適用した場合の課題 (金属材料や耐火物への影響など) を検証する。



図 22 100 kW アンモニア燃焼試験設備。

5. 共同研究開発

中外炉工業は上述のような独自の技術開発を推進すると同時に、他の企業や研究機関、大学などとの共同研究開発にも積極的に参画している。例えば 2021 年から 4 件の NEDO 事業 (省エネルギー関連 2 件、アンモニア燃焼関連 2 件) に参画し、多くの企業・研究機関・大学と共同研究開発を推進している。まず基礎研究分野では「エネルギー・環境新技術先導研究プログラム」において 3 件の研究開発を実施している[5]。

【革新的酸素富化 TSA による低環境負荷燃焼技術】

中外炉工業の役割は、革新的酸素富化 TSA と工業用燃焼装置 (リジェネレータ) のシステム化・一体化における課題の明確化である。

【表面・構造機能化による新コンセプト熱物質交換器開発】

中外炉工業の役割は、高温領域 (約 1000 °C) で使用するラジエントチューブバーナ用新コンセプト熱交換器の性能評価試験により実用化に求められる課題の抽出である。

【革新的アンモニア燃焼による脱炭素工業炉の開発】

中外炉工業は 2019 年から大阪大学赤松光史教授らの研究グループと共同でアンモニア燃焼技術開発 (図 22) に取り組み、以下の成果を上げた。

- ・アンモニア単体と常温空気をスパークプラグでダイレクト点火することに成功。
- ・点火直後の低炉温状態でも安定燃焼を継続し 1200 °C までの昇温に成功。
- ・炉温 1200 °C における NO_x 排出量を 13A 都市ガスと同水準に抑制することに成功。

実証事業分野では「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業」において 1 件の研究開発を実施している。

【CO₂ フリーアンモニア燃料 火力発電所での利用拡大に向けた研究開発】[6]

中外炉工業は電源開発株式会社、電力中央研究所、大阪大学、産業総合研究所と共同で、工業炉向けに開発されたアンモニアバーナの大容量化を図り、既設石炭ボイラでのアンモニア混焼に向けた技術開発を行う。

6. おわりに

中外炉工業は長年に渡り燃焼研究所および技術研究所での研究開発成果を熱技術として工業用設備に反映することで省エネルギーや環境負荷低減 (NO_x 低減、煤塵低減など) に貢献してきた。

近年はそれに加えて脱炭素燃料による温室効果ガス排出削減のニーズが急速に高まっている。工業利用の汎用水素バーナについては既報の通りすでに実用化できたが、もう一つの脱炭素燃料であるアンモニアを燃料としたバーナについては研究開発を継続中である。工業炉の脱炭素を推進するためには水素やアンモニアの利用が重要な選択肢になると考える。2050 年の温室効果ガス実質排出ゼロに向けて、関係技術の研究開発を加速して行く所存である。

References

1. 中外炉工業 RCB 型低 NO_x リジェネレーティブバーナカタログ 14-15:
<https://chugai.co.jp/wp/wp-content/uploads/2016/07/cb-250->

02m.pdf (参照 2021 年 8 月 12 日)

2. トヨタ自動車株式会社ニュースリリース
<https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/25255692.html>, 2018 年 11 月 8 日
3. 中外炉サーモテックニュース Vol. 03 (2020 年 3 月)
https://chugai.co.jp/wp/wp-content/uploads/2019/12/CRTTN_03.pdf
4. 丁 驍騰, 林 佑樹, 友澤健一, 谷山公勇, 火炎内処理技術による微粉体材料の熱処理プロセス, 日本燃焼学会誌 205 号
5. NEDO 実施者募集 (公募) 2020 年度「NEDO 先導研究プログラム / 新技術先導研究プログラム」追加公募に係わる実施体制の決定について 2021 年 3 月 24 日
<https://www.nedo.go.jp/content/100929576.pdf>
6. 中外炉工業ニュース, NEOD「アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業」を受託しました, <https://chugai.co.jp/wp/wp-content/uploads/2021/05/210524.pdf>, 2021 年 5 月 24 日