

工業炉と関連機器

工業炉における燃料転換の取り組み

中外炉工業 商品開発部 服部 成真

脱炭素社会への技術開発進む

工業炉における高温加熱プロセスは、あらゆる産業の製造現場において必要不可欠なプロセスである一方、大量の化石燃料を消費している。日本における二酸化炭素総排出量のうち、工業炉起源が17%を占める。2023年4月には省エネ法が改正され、50年カーボンニュートラル（温室効果ガス排出量実質ゼロ）目標に向けて非化石エネルギーの導入拡大が必要とされる中、工業炉分野でも、化石燃料から水素・アンモニアなどの転換ニーズが高まりつつある。

水素

表1に一般的な工業用燃料である都市ガス13Aの成分であるメタンおよびプロパンと、水素、アンモニアの物性を示す。化石燃料と比較して、水素は燃焼速度が速く、火炎温度が高く、火炎温度が低いことから、非常に燃えやすい燃料であり、アンモニアは燃焼速度が遅く、火炎温度が低い

表1 化石燃料と水素、アンモニアの物性値比較

燃料種	アンモニア NH ₃	プロパン C ₃ H ₈	メタン CH ₄	水素 H ₂
大気圧における沸点 (°C)	-33.3	-42.1	-161.6	-252.9
20°Cにおける液化圧力 (atm)	8.5	8.5	常に気体	常に気体
低発熱量 (MJ/kg)	18.6	46.6	50.2	120.4
可燃当量比範囲 (-)	0.63 ~ 1.40	0.51 ~ 2.51	0.50 ~ 1.69	0.10 ~ 7.17
最大燃焼速度 (m/s)	0.07	0.43	0.37	2.91
最低自着火温度 (°C)	651	432	537	500
最高断熱火炎温度 (°C)	1750	2020	1970	2120

出典：小林秀昭, 早川晃弘, 日本燃焼学会誌, 58, (183), 41 (2016)

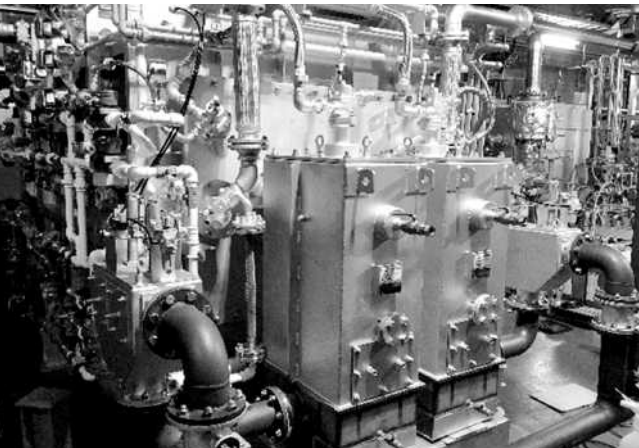
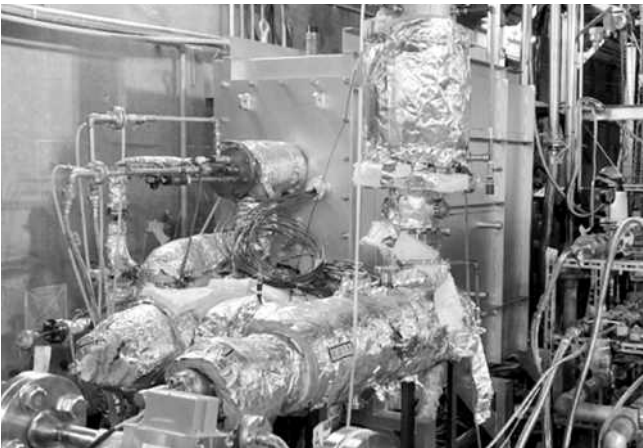
アンモニアの物性を示す。化石燃料と比較して、水素は燃焼速度が速く、火炎温度が高く、火炎温度が低いことから、非常に燃えやすい燃料であり、アンモニアは燃焼速度が遅く、火炎温度が低い

中外炉工業では、16年にトヨタ

自動車と「工業用直火式水素専焼バーナー（HSGB型ハイスピードガスバーナー）」の共同開発を開始した。水素は広い可燃範囲を

アンモニア

当社では19年、大阪大学・赤松史光教授らの研究グループとともに、工業炉におけるアンモニア専焼技術開発に着手した。アンモニアは約100年前にドイツで発明されたハーバー・ボッシュ法による大量製造技術に加え、大量輸送および貯蔵技術が確立されている。単位体積当たりの水素貯蔵能力が高いことから、水素を運搬する際の有望なエネルギーキ



- ⑤アンモニア燃焼式ラジアントチューブバーナー試験炉 (21年度)
- ⑥アンモニア燃焼式リジエネバーナー試験炉 (22年度)

NO_x、都市ガスと同レベル

せ、積極的に混合できる構造となっている。しかし、水素燃焼においては、混合が過剰に促進され、急激な燃焼とそれに伴う火炎温度上昇により、NO_xの発生量の増加や部品の焼損が起

用バーナーに対して水素化を進めている。汎用性が高く、あらゆる炉に適用可能な「HSGB型ハイスピードガスバーナー」のほかに、自動車用塗装乾燥炉に多くの実績のある低温オーブン向けの多段燃焼バーナーである「DGB型ダブルコーンバーナー」、燃焼管を加熱し、放射熱を利用して炉内を加熱する「CRB型コンセントリックラジアントチューブバーナー（間接加熱式バーナー）」などの水素化を完了している。

そこで水素と空気を緩慢に混合できる構造に改良することによって、急激な燃焼反応を抑制し、火炎温度のピークを下げることで、NO_x発生量を都市ガス13A燃焼時と同等レベルにまで低減させるとともに、バーナー部品の焼損も解消した。当社では水素バーナーの工業分野への普及に向けて、さまざまな用途の工業

ヤリアとして注目されていた。また、水素同様、燃焼時に二酸化炭素を排出しないことから、燃料としてのアンモニア利用技術開発に対する関心が高まっている。

また、22年4月から当社堺事業所（堺市）構内にCRB型よりも容量の大きなW型およびU型のラジアントチューブバーナーを搭載した水素燃焼デモ試験機を展示しており、随時見学可能である。

アンモニアは既存の化石燃料と比較して、非常に燃やしやすい燃料である。したがって安定燃焼させるには、水素とは真逆の発想、すなわち燃料であるアンモニアと空気を積極的に混合させる燃焼法の検討が必要となる。また、燃料中に窒素を含むため、燃焼時にサ

ガスの燃焼技術を応用した。燃焼空気またはアンモニアに旋回をかけることで、空気とアンモニアの混合を促進させ、課題である燃えにくさを克服した。さらに低NO_x燃焼を実現させるために二段燃焼法などを応用した。その結果、アンモニア専焼により、常温での直接点火が可能（パイロットバーナー不要）、実炉稼働温度である1200°Cまで昇温が可能、都市ガス13Aと同等レベルの低NO_x燃焼が可能、といった成果を得ている。

製鉄所の燃焼技術応用

当社におけるアンモニア燃焼技術開発は、「NEDO先導研究プログラム／革新的アンモニア燃焼による脱炭素工業炉の開発」（21―22年度Ⅱ写真）を経て、23年度以降も研究開発を継続しており、早期の社会実装を目指す。

さらに、臭気が強く、悪臭防止法に基づく特定悪臭物質の一つとして、大気への放出は厳しく規制されていることから、燃焼排ガス中の残留アンモニア（燃え残った微量のアンモニア）除去が必要となる。アンモニア火災および残留アンモニアによる炉構成部材および製品への影響調査も必要である。

アンモニア専焼バーナーの開発には、製鉄所などで発生する発熱量の低い副生