

AP用水素バーナによる アンモニア熱分解ガスの燃焼

宗像 元・田中 翔太・今田 雄司

MUNAKATA Hajime, TANAKA Shota, KONTA Yuji

日工株式会社 開発部 開発1課

概 要

日工株式会社では、アスファルトプラントからの2030年の温室効果ガス50%削減(2013年比)、2050年の実質ゼロを目指し、アンモニアおよび水素を燃料とするバーナの開発を行ってきた。アンモニアの燃料利用方法の1例として、アンモニアを直接燃焼する代わりに、アンモニアを熱分解した水素と窒素の混合ガスを燃焼するアプローチが考えられる。本稿では、大阪大学との共同研究で開発した100kW級アンモニアバーナに、水素と窒素を混合した熱分解模擬ガスの燃焼試験の結果と、市販の熱分解ガス発生装置により生成した熱分解ガスを燃料とした、東京ガス株式会社と共同開発した500kW級水素バーナの燃焼試験の結果を紹介する。

1. 緒言

日工株式会社では日工製アスファルトプラントからの2030年の温室効果ガス50%削減(2013年比)、2050年の排出量実質ゼロに向けて、水素系燃料(水素およびアンモニア)を利用するアスファルトプラント(以下APと略す)向けバーナの開発を行っている¹⁾。中でも水素バーナは、小型の試験用APにて、骨材乾燥・合材製造試験を行い、良好な結果を得ている²⁾。

水素バーナをAPに適用する場合、ガス配管による供給が可能な地域では、天然ガスを配管から供給し、利用しているプラントと同様の運用が期待できる。一方で、プラントの立地によってはガス配管による供給が、困難な場合が想定される。水素ガスを搬送により利用する場合は、液化水素をローリー車で輸送を行い、貯蔵施設を建てることになるが、水素は-253℃と沸点が低く、非常に高価になる。^{3,4)}

アンモニアは水素キャリアーとして機能する化合物であるが、常温では約0.8MPaで液化し、加温することで気化することができる。このため、アンモニアは、プロパンと同様に液体として貯蔵搬送が可能で、温和な条件で加温することで気体として取り出すことが可能であり、液化水素と比較して貯蔵と搬送は安価な機器を利用できるのでコストの観点では優位と考えられる。^{4,5)}

アンモニアをバーナの燃料として利用する場合は、直接燃焼させる方式の他に、アンモニアを分解した水素を燃焼させる方式が考えられる。水素に分解して利用するアプローチは、タンカーによる長距離輸送と水素ステーション等のハブでのアンモニアからの水素生産^{3,6)}や、冶金用の雰囲気ガスの生成方法⁷⁾として知られている。

APにおける燃料利用という観点で見ると、アンモニアを熱分解したガスを燃焼させるアプローチは、直接燃焼方式と比較

して、水素の燃焼性の高さから外乱の激しい場における広いターndダウンや急激な出力の変動といった要請に対して優位な可能性がある。

また、APのドライヤは直接加熱方式のため、火災と熱風がドライヤ内部にて、骨材の乾燥に使われるが、アンモニアを熱分解したガスに含まれる窒素は、バーナファンから供給される空気中の窒素と同様の働きを考えると考えられるため、熱分解ガスから窒素と水素を分離することなく燃料として使用できると考えられる。

従って、アンモニアをオンサイトで熱分解したガスは、水素を窒素と分離することなく、より簡素な装置構成で、アンモニアを水素キャリアーとして燃料利用をすることができる可能性がある。

本稿では、水素バーナにアンモニア熱分解ガスを燃料として適用することが可能であるかを調査するために行った、2つの試験の結果を紹介する。

1つ目の試験は、大阪大学との共同研究で使用した、100kW級の試験用アンモニアバーナを用いて模擬ガス及び水素ガスによる燃焼試験である。2つ目の試験は、東京ガス株式会社と共同開発をした500kW級の水素バーナを用いた、市販の熱分解装置により製造したアンモニア熱分解ガスの燃焼試験である。

2. 100kW級バーナによるNH₃熱分解模擬ガス燃焼試験

500kW級の水素バーナを用いた水素専焼試験では、NO_xの濃度は、約20ppm-16%O₂eqであり、純粋な水素ガスを燃料とする場合、thermal NO_xは極めて低い燃焼が可能であることが確認されている。

アンモニアを熱分解したガスは、水素75mol%と窒素25mol%の混合ガスであるが、分解や処理の条件により数1000ppm-数100ppm程度の未反応のアンモニアが含まれると予想される。³⁾

この熱分解ガス中に含まれるアンモニアはfuel NO_xの原因となると考えられるが、燃料利用を主眼とする際に、NO_xの生成が無視できる許容可能なNH₃の濃度については知見が無かった。

そこで燃料組成に対するNO_xの生成量や燃焼性の違いや傾向を確認するため、100kW級の試験バーナを用いて、水素および水素と窒素を3:1の組成で混合した熱分解模擬ガスに、アンモニアを混合したガスを燃焼させる試験を行った。

2.1 試験方法

図1は試験に用いた100kW級のバーナである。試験は、大阪大学吹田キャンパスの中央機械棟にて実施した。水素およびアンモニアの流量は、azbil製マスフローにて測定し調整を行った。窒素の流量はキーエンス製超音波流量計にて測定し調整を行った。これらのガスはバーナノズルに至る前に合流しライン混合を行って燃焼させた。排ガスの分析には、ホダカ製のポータブル燃焼排ガス分析計とヤナコ製窒素酸化物自動計測機、CO/CO₂/O₂自動計測機、および堀場製作所製排ガス測定装置MEXAを用いた。



図1 試験に用いた100kW級バーナ

試験フローや機器等は、アンモニアの試験と同様のため、詳細については既報を参照のこと⁸⁾。

2.2 試験結果

図2および図3は、水素ガスおよび水素と窒素を3:1の組成で混合したガスおよび、これらのガスに、熱量ベースで0.5%および5%のアンモニアを混合したガスの、100kWの燃焼火災の画像である。ここで混焼率0.5%および5%は、アンモニア濃度としてそれぞれ0.28%および2.9%に相当する。図から、純粋な水素、およびアンモニアを加えていない水素と窒素の混合ガスでは、燃焼火炎は無色であり、アンモニアが加わることで白っぽい色がつくことが分かる。また、火炎形状から窒素混合ガスの火炎は、水素ガスの火炎と比較すると、窒素が含まれている分だけ流量が増え、前方へ突出した火炎になっていることが分かる。

また、排ガス分析の結果からは10%以下のアンモニアの混焼率であれば、一般的なAPの排ガス基準値である230ppm-16%O₂eqを満たしていることが確認された。

従ってアンモニアの熱分解ガスに数1000ppm-数100ppm程度の未反応アンモニアが含まれているとしても、燃料利用時にfuel-NO_xは問題にならない可能性が高いと考えられる。

また、アンモニアを加えていない水素ガスと水素と窒素の混合ガスを比較するとNO_xの濃度は、後者の方が低かった。これは水素が窒素によって希釈されているために、燃焼が緩慢になり、局所的なガス温度が低くthermal-NO_xの生成が起こりにくかったからと考えられる。このことは、熱分解ガス中のアンモニア濃度によっては、水素専焼よりも低いNO_x濃度になることも期待できると考えられる。

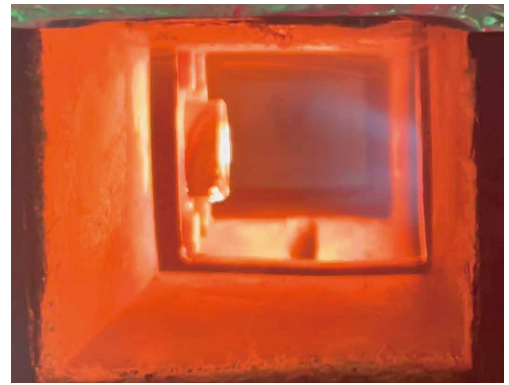


図2 水素アンモニア混合ガスの火災
(アンモニア混焼率: 上0%、中0.5%、下5%)

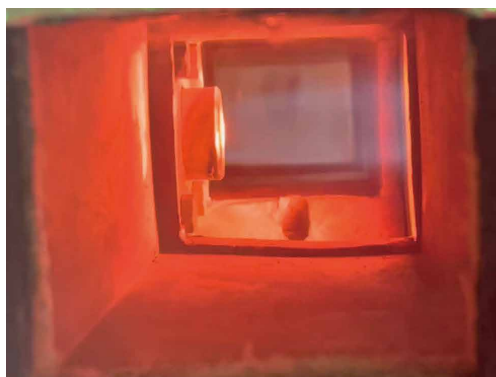


図3 水素窒素アンモニア混合ガスの火炎
(水素:窒素=3:1、アンモニア混焼率:上0%、
中0.5%、下5%)

3. 500kW級バーナによるNH₃熱分解模擬ガス燃焼試験

100kWバーナによるアンモニア分解模擬ガスの燃焼試験により、微量の未反応アンモニアが含まれる分解ガスでも、NO_xの観点からは、アンモニア除去装置を使用せずに、水素ガスと同様にバーナの燃料として利用可能である見込みがあることが分かった。そこで、市販の熱分解装置を用いてアンモニアガスを熱分解し、500kWバーナを用いて分解ガスの燃焼試験を実施し、プロパンガスの場合と比較した。

3.1 試験方法

燃焼試験は、日工社内の試験用燃焼炉に500kW水素バーナを接続し、熱分解ガスの燃焼を実施した。アンモニア熱分解ガスは市販の熱分解装置を用いて製造した。燃料として用いたプロパンの流量はキーエンス製超音波流量計により測定し、既定の流量になるように調整を行った。アンモニア熱分解ガス

については、熱分解装置に供給する前に、アンモニアの流量をプロパンと同様の方法で調整することで、流量調整を行った。熱分解ガス中の未反応アンモニアおよび燃焼排ガス中の未燃のアンモニアとNO、N₂O、NO₂は配管のサンプリングポートからアルミバックに採取し、MEXAを用いて分析を行った。排ガス中のO₂、CO、NO_x濃度は炉出口のサンプリングポートから採取したものを、ホダカ製のポータブル燃焼排ガス分析計を用いて測定を行った。

3.2 試験結果

図5は500kW級水素バーナを用いて燃焼させた出力約500kWのプロパン及び熱分解ガスの専焼火炎である。熱分解ガスの火炎はオレンジ色であるのが分かる。以前の試験で、水素を燃焼させた際にはこのような色は確認されておらず、微量の未反応アンモニアに起因している可能性がある。

ガス分析の結果から、熱分解ガス中のアンモニア濃度は200ppm以下であった。また、プロパン専焼及び熱分解ガス専焼時のNO_x濃度は、ほとんど変わらず、どちらも20ppm-16%O₂eq.以下であった。また、N₂Oやアンモニアは、未検出であった。以上から、アンモニア熱分解ガスは、水素や天然ガス、プロパン等と同様に、燃料利用可能なことが期待できると考えられる。

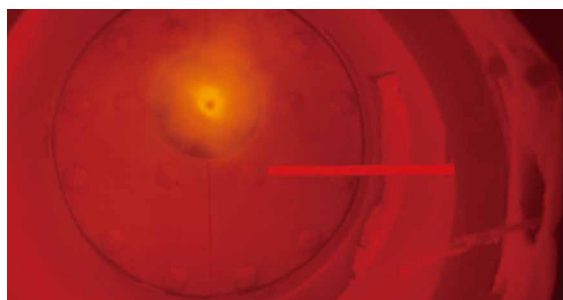
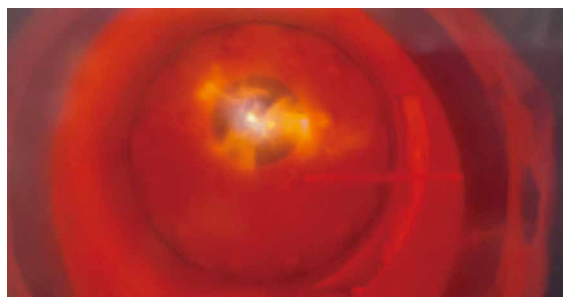


図4 500kW水素バーナによるプロパン専焼
および熱分解ガス専焼時の火炎写真
(出力 約500kW、空気比約2、
上:プロパン専焼、下:熱分解ガス専焼)

4. AP導入に向けた今後の課題と将来展望

東京ガス株式会社と共同開発を行った500kW水素バーナは、炉内燃焼においては、熱分解ガスが燃焼できること、および、分解ガス中の微量なアンモニアの存在は、NO_x生成に問題を及ぼさないことが、確認された。

今後の課題としては、ドライヤ内での燃焼においても排ガス中のNO_xやアンモニアが基準値を満たすかどうか、および、合材の品質に問題が無いかを確認することである。また、実機プラントに導入する際には、アンモニアの熱分解のための反応装置が必要になるが、APに特徴的な間欠運転や、運転中の激しい出力変動に対応しており、反応装置の熱マネジメントと排熱利用等が可能なのが求められる。今回は500kW級のバーナによる試験を実施したが、APで使用するバーナの出力は5-12MW程度が主流であるため、日本国内での、カーボンフリーアンモニアの供給体制整備に歩調を合わせて、よりスケールの大きなバーナ及びプラントシステムの開発を進めていく予定である。

5. 総括

アンモニアを燃料利用する方法として、アンモニアを直接燃焼する代わりに、熱分解ガスへと変換して燃焼するアプローチが考えられる。このような方法がAP向けのバーナに有効であるかを検討するために100kWバーナを用いて水素と窒素およびアンモニアを混合した熱分解模擬ガスの燃焼試験と500kW級水素バーナを用いたプロパン専焼と熱分解ガス専焼の比較試験を行った。

熱分解ガスは水素ガスと同様に水素バーナで燃焼することができ、熱分解ガス中のアンモニアの濃度が200ppm以下時は、NO_xの濃度も水素を燃料とする時と同等の水準であることが確認できた。

今後は、カーボンフリーアンモニアの普及に合わせて、より出力の大きなバーナへの適用、合材の製造試験によるプラントへの適合性と合材の性能確認、プラントシステムの開発等を進めていく予定である。

謝辞

100kWバーナの試験は大阪大学赤松研究室との共同研究として実施された。また、試験で使用された500kW水素バーナは日工株式会社と東京ガス株式会社の共同開発で作成されたものである。燃焼試験の排ガスと熱分解ガスの分析には、大阪大学赤松研究室の協力を得て実施された。ここに厚くお礼を申し上げます。

References

- 1) 日工株式会社 :Nikko Corporate Report 2023
- 2) 長谷川修磨, 北野裕樹, 今田雄司 :水素バーナの開発～Phase2 アスファルト混合物製造試験～, NIKKO TECHNICAL REPORT, No.005, pp.45-50, 2024.
- 3) 小島由継 :アンモニアによる水素貯蔵と運搬, 表面化学,

- 4) Vol.36, No.11, pp.583-588, 2015.

Nadia Mohd Adli, Hao Zhang, Shreya Mukherjee and Gang Wu :Review—Ammonia Oxidation Electrocatalysis for Hydrogen Generation and Fuel Cells, Journal of The Electrochemical Society,

- 5) Vol.165, J3130-J3147, 2018.

A. Valera-Medina, F. Amer-Hatem, A. K. Azad, I. C. Dedoussi, M. de Joannon, R. X. Fernandes, P. Glarborg, H. Hashemi, X. He, S. Mashruk, J. McGowan, C. Mounaim-Rouselle, A. Ortiz-Prado, A. Ortiz-Valera, I. Rossetti, B. Shu, M. Yehia, H. Xiao, M. Costa :Review on Ammonia as a Potential Fuel: From Synthesis to Economics, Energy Fuels,

- 6) Vol.35, pp. 6964–7029, 2021.

Elvira Spatolisano, Laura A. Pellegrini, Alberto R. de Angelis, Simone Cattaneo, Ernesto Roccaro :Ammonia as a Carbon-Free Energy Carrier: NH₃ Cracking to H₂, Industrial & Engineering Chemistry

- 7) Research, Vol.62, pp.10813-10827, 2023.

田輝一 :熱処理雰囲気, ぷらすとす(日本塑性加工学会

- 8) 会報誌), Vol.4, No.38, pp.75-89, 2021.

田中翔太, 宗像元, 今田雄司 :アスファルトプラントにおける二酸化炭素削減と日工におけるアンモニアバーナ開発

筆者紹介



MUNAKATA Hajime
宗像 元
2019年入社
開発部
開発1課



TANAKA Shota
田中 翔太
2015年入社
開発部
開発1課



KONTA Yuji
今田 雄司
2002年入社
開発部
開発1課