

AP用水素バーナによるアンモニア熱分解ガスを燃料とした骨材乾燥試験

AUTHORS

宗像 元 MUNAKATA Hajime
田中 翔太 TANAKA Shota

概要

ABSTRACT

日工株式会社では、アスファルトプラント(以下、APと略記する。)からの2030年の温室効果ガス50%削減(2013年度比)、2050年の実質ゼロを目指し、様々なバーナを開発している。中でも、AP用水素バーナは、小型試験用プラントにおけるアスファルト混合物の製造試験を実施しており、良好な結果を示している²⁾。一方で、水素を燃料として利用する場合、ガス配管により供給が困難な立地にあるプラントでは、水素の貯蔵と供給に課題が残る。これまで、当社では、プラントへの水素供給方法として、水素キャリアの一種であるアンモニアをオンサイトで分解し、水素バーナにて燃焼をする試験を行い、アンモニア燃料の利用可能性を探ってきた⁸⁾。本稿では、前田道路株式会社と共同で実施した、小型試験用APにて水素バーナに、アンモニアを熱分解したガスを供給し、骨材乾燥加熱とアスファルト混合物製造の試験について紹介する。

1. 緒言

わが国では、2030年の温室効果ガス46%削減、2050年の実質ゼロを目標に掲げている。APからのCO₂排出量のうち、約70%を骨材の乾燥加熱工程が占めるため、2030年以降の厳しいCO₂排出目標をクリアするためには、省エネ技術による燃料消費量の削減だけでは難しく、燃料転換を含む抜本的な対応が必要になることが予測される。日工株式会社では、このような社会課題に対応するために²⁾⁶⁾、様々な燃料に対応したバーナを開発してきた。中でも水素バーナは、小型の試験用APにて、骨材乾燥・アスファルト混合物製造試験を行い、良好な結果を得ている²⁾。

燃料として水素を利用する場合、パイプラインからの供給が可能な地域では、水素バーナをプラントで利用することが可能である。一方で、それ以外の地域では、水素を高いエネルギー密度で輸送と貯蔵をするためには、高価な設備が必要となる³⁾⁴⁾。そこで、当社では、水素キャリアの一種であるアンモニアを、オンサイトで分解し、水素に変換することで燃料利用するアプローチの検討を行った⁷⁾⁸⁾。アンモニアは、常温で圧力をかけることで液化することができ、温和な条件で加熱することができることから、LPGと近い運用が可能であり、輸送と貯蔵の面で、水素より有利と考えられる⁴⁾⁵⁾。このため、オンサイトで分解し水素を取り出すことが出来れば、水素の燃焼性のメリットとアンモニアの輸送と貯蔵のメリットの両方を享受できる可能性がある。また、アンモニアを熱分解して得られるガスは水素と窒素の混合ガスであり、少量の未分解のアンモニアが含まれる。エネルギー利用の観点からは、純粋な水素をアンモニアの分解ガスから生成するよりも、混合ガスの状態で燃焼できる方が、設備構成が簡素になるため、望ましいと考えられる。

これまでの試験から、AP用の小型水素バーナは、アンモニアを熱分解したガスを燃焼させると、保炎が可能であり、出口

排ガス中のNO_x濃度はプロパンを燃焼させたものと同程度であり、大気汚染防止法の乾燥炉の基準値を満たしていた。また、未燃のアンモニアやN₂Oは検出されなかった⁸⁾。ただし、試験は社内の燃焼炉で実施されたものであり、APでは、バーナはロータリードライヤに直結しており、直接加熱方式で利用される。そのため、実際のAPで利用するためには、ドライヤ内における骨材の加熱乾燥環境下において、保炎が可能であり、かつ、排ガス中のNO_xが基準値を満たし、未燃のアンモニアが存在しないことを確認する必要がある。同様に、製造されたアスファルト混合物の性状等に問題が起きないかの確認も必要である。

本稿では、社内でのバーナ燃焼試験の結果が良好であったことから、前田道路株式会社の協力を得て実施された、水素バーナにアンモニアの熱分解ガスを供給し、小型試験用APにて骨材の乾燥加熱・アスファルト混合物の製造試験を行った結果について紹介する。

2. 骨材加熱乾燥試験

アンモニア熱分解ガスのAPにおける適合性を評価するために、試験用の小型APにて骨材の加熱乾燥およびアスファルト混合物の製造試験を行った。

2.1 試験方法

2.1.1 燃料と使用したバーナ

バーナの燃料には、APで使用される標準的な燃料であるA重油、CNG(13A)、および、アンモニア熱分解ガスの比較のために、水素、水素窒素混合ガス(ライン混合、体積比3:1)、アンモニア熱分解ガスを燃料として試験を行った。CNG、水素、水素窒素混合ガス、アンモニア熱分解ガスは、500kW級水素バーナ(写真1)にて燃焼を行った。また、A重油は500kW級の小型重油バーナにて燃焼を行った。

2.1.2 試験プラントと装置フロー

試験は、前田道路株式会社技術研究所試験場内にある試験用小型AP(写真2)にて行った。プラントの詳細は、既報を参照のこと。アンモニアの熱分解は、市販の電気炉型熱分解装置を用いた。

図1に燃料ガスの供給ラインのフロー図を示す。アンモニアはポンベより供給され、熱分解装置にてアンモニア分解ガス(少量の未反応アンモニアが含まれる窒素水素混合ガス)へと変換され、バーナへと供給される。CNG、水素は、カードルにより供給され、それぞれ独立した供給配管を通り、それぞれの配管は、バーナの直前で合流する。アンモニアの流量は超音波流量計、水素はマスフロー、CNGは質量流量計で流量を測定し、規定の流量に調整した。また、アンモニアと水素の配管は、配管のバージ用に窒素の供給ラインを設けており、バージ時は、除害炉へと供給ラインを変更し配管中の残留ガスを燃焼させ系外へと排気した。

2.1.2 試験測定項目

試験にて測定した項目は、次の通りである。骨材温度(投入骨材、排出骨材)、骨材含水比(試験前後の骨材含水比)、熱分解ガス(NH₃)、排ガス成分(NO_x、O₂、CO、CO₂、SO_x、H₂O、煤塵、水分量、アンモニア、NO、N₂O、NO₂)

それぞれの測定個所と、測定方法の詳細は表1の通りである。

表1 排ガス測定方法

測定項目	測定法
水分量	吸湿管法
ガス組成分析	オルザット法
煤塵測定	円形ろ紙法
硫黄酸化物	イオンクロマトグラフ法
窒素酸化物	イオンクロマトグラフ法
CO	FT-IR法
NO、N ₂ O、NO ₂ 、NH ₃	FT-IR法

2.1.3 アスファルト混合物評価項目

アスファルト混合物の製造と施工および評価は前田道路株式会社によって実施された。主要な評価項目は、混合物の性状(混合状態、マーシャル試験)および施工性(作業性と仕上がりに)である⁹⁾。

2.1.4 試験条件

骨材の設定供給量は5t/hである。使用した骨材と組成は、密粒度アスファルト混合物(13)用のものである。バーナの出力は、骨材の加熱温度が約200℃になるように調整をした。また、バーナの設定空気は1.2である。重油およびCNGは、ドライヤの昇温時からこれらの燃料を使用し、骨材の加熱乾燥を行った。一方で、水素、水素窒素混合ガス、アンモニア熱分解ガスは、昇温はCNGを用い、ドライヤの温度安定後に燃料ガスを切り替え、温度安定後にガス測定等を実施した。



写真1 500kW級水素バーナ



写真2 試験プラント

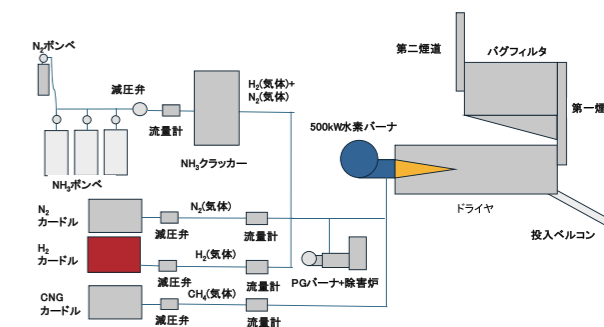


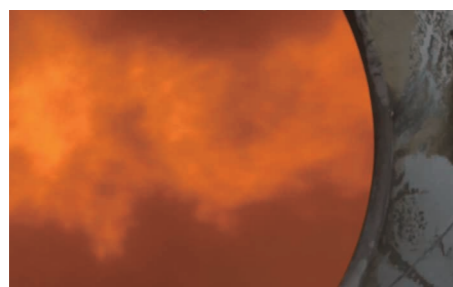
図1 フロー図

NIKKO TECHNICAL REPORT

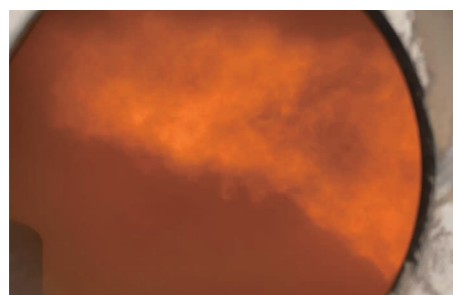
2.2 試験結果

2.2.1 火炎の出力応答と保炎性

写真3a-dに各燃料でのドライヤ内での燃焼火炎を示す。アンモニアの熱分解ガスを燃料とした場合も、重油や水素と同様に、ドライヤ内の骨材乾燥加熱下での燃焼と保炎、および出力応答が可能であることが確認された。



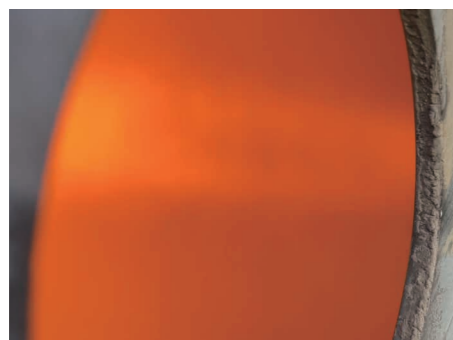
a.CNG専焼420kW 空気比1.2



b.水素専焼 400kW 空気比1.2



c.水素+窒素 400kW 空気比1.2



d.熱分解ガス専焼450kW 空気比1.2

写真3 各種燃料によるドライヤ内火炎

2.2.2 骨材の乾燥加熱

アンモニア熱分解ガスは、骨材205~210℃まで加熱することが可能であり、骨材の含水比も加熱前5.4%が加熱後0.06%となり、重油や水素の加熱前4.5%、5.1%が加熱後0.08%、0.05%とほぼ同等の加熱性能を示した。

2.2.3 排ガスの組成

表2に各燃料による排ガス組成を示す。

NO_xは、重油とCNGが16%O₂換算値で、16.7ppm、7.1ppmであるのに対し、水素、水素窒素混合ガス、アンモニア熱分解ガスでは、22.9ppm、11.3ppm、20.9ppmであった。アンモニアの熱分解ガスは、水素専焼とほぼ同等のNO_x値であり、水素と窒素の混合ガスは、それよりもさらに低いNO_x濃度であった。これは、水素が窒素によって希釈されたためにサーマルNO_xの生成が抑制されたためと考えられ、アンモニア熱分解ガスでは、微量の未反応NH₃が含まれていることから、これがNO_x源となり、結果的に水素と同等の水準となっていると考えられる。

重油やCNGのNO_x濃度が低いのは、燃焼時に1000ppm前後のCOが生成しており、これがNO_xの生成を抑制していると考えられる。

燃焼前のアンモニアの熱分解ガス中の未反応アンモニアは数100ppm程度存在したが、排気ダクトでサンプリングしたガス中からは検出されなかった。また乾燥骨材や、試験後に確認したドライヤ内および排気ダクトからは、アンモニア臭は確認されなかったことから、熱分解ガス中に含まれていた微量の未反応アンモニアは、バーナ火炎により燃焼したと考えられる。

CO₂濃度は、重油とCNGが約3%検出されているのに対し、水素、窒素水素混合ガス、アンモニア熱分解ガスでは、0.6-0.2%のCO₂が検出された。後者の燃料のCO₂は、水素及びアンモニア由来ではなく、配管中に残留している昇温時のCNGに由来していると考えられる。

排気ダクト中の水分量は、重油とCNGは、12.2%と13.7%であるのに対し、水素、水素窒素混合ガス、アンモニア分解ガスは、17.4%、19.7%、19.3%であった。これは、炭化水素系の燃料と比べて、水素はカロリー当たりの水分生成量が多いためと考えられる。今回、試験後に確認した排気ダクト内で、水の凝縮やダストの顕著な付着は確認されなかったが、長期的な影響に関しては、将来的に確認が必要と考えられる。

2.2.4 アスファルト混合物製造・舗装試験

アスファルト混合物の製造および舗装試験は、前田道路株式会社にて実施された。アンモニアの熱分解ガス燃焼により製造された、アスファルト混合物は、重油と同等であり、基準値を満たした。また、舗装試験の結果、アスファルト混合物の施工性はA重油と変わらず、正常に施工できることが確認された。⁹⁾

表2 排ガス測定の結果

骨材送り量(目標)	5t/h	5t/h	5t/h	5t/h	5t/h
燃料	A重油	CNG	H ₂	N ₂ +H ₂ (N ₂ :H ₂ =1:3)	NH ₃ 分解ガス
骨材温度安定時における燃料出力	400kW	約430kW	410kW	約400kW	約450kW
バーナエア空気比	2.5	約1.25	約1.2	約1.2	約1.2
O ₂ (%)	17.7	16.8	17.5	17	16.7
CO ₂ (%)	3.2	3	0.6	0.2	0.4
CO(ppm)	805	1216	5	4	6
NO _x (ppm)	11	6	16	9	18
NO _x (ppm_16%O ₂)	16.7	7.1	22.9	11.3	20.9
ダスト濃度(g/m ³)	0.006	0.006	-	0.002	0.004
臭気指数(-)	27	17	16	26	26
湿りガス量(m ³ /h)	3000	2710	2320	2230	2020
乾きガス量(m ³ /h)	2600	2340	1820	1790	1630
排ガス温度(℃)	53	59	65	73	66
水分量(%)	12.2	13.7	17.4	19.7	19.3

3.AP導入に向けた今後の課題と将来展望

小型試験用APにおける骨材の乾燥加熱・アスファルト混合物の製造試験の結果から、アンモニアをオンサイトで分解し、未精製の熱分解ガスを燃料として利用した際も、排ガスはNO_x基準値を満足し、未燃のアンモニアは検出されなかった。また、アスファルト混合物の性状についても、重油や天然ガス等の従来の燃料を利用して製造されたものと、同等であり、施工時のハンドリング性にも問題ないことが確認された。今後の課題としては、実機で使用される5MW-12MWクラスのバーナでも、今回試験で使用された500kWクラスの水素バーナと同様に、低NO_xで未燃のアンモニアが存在しないこと、出力応答特性等に問題がないかを確認すること、より大型でAPでのエネルギー利用に適したアンモニア熱分解装置を開発することである。

4.総括

AP向け水素バーナにアンモニア熱分解ガスを燃料として、小型試験用APにて骨材乾燥・アスファルト混合物の製造試験を行い、重油、天然ガス、水素、水素・窒素混合ガスを燃料とした場合と比較を行った。

アンモニア熱分解ガスを燃料とした場合も、ドライヤ内で保炎が可能であり、排ガス中のNO_xの濃度は水素専焼の場合とほぼ同等であることが確認できた。また、未燃のアンモニアは検出されなかった。アスファルト混合物の性状も、規格値を満たし、施工性もA重油によるものと違いはないことが確認された。水素・窒素混合ガスを燃料とした場合、NO_x値が水素専焼および熱分解ガスよりも低かったことから、熱分解後の工程でアンモニアを除去することで、燃料に純粋な水素を用いるよりもNO_x濃度が下げられることが示唆された。

今後は、国内のカーボンフリーアンモニアの普及に歩調を合わせて、より大きなスケールのバーナへのアンモニア熱分解ガ

スの適合確認、および、APに適した熱分解装置の開発を進める予定である。

謝辞

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研究で作成されたものである。骨材加熱乾燥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。

