



既設ボイラのDME燃料レトロフィット技術の実証

Retrofit Application of DME Fuel for Existing Boilers

藤村 皓太郎*1
Kotaro Fujimura

一ノ瀬 利光*2
Toshimitsu Ichinose

高島 竜平*3
Ryuhei Takashima

小林 由則*4
Yoshinori Kobayashi

黒石 敏郎*5
Toshiro Kuroishi

月野 隆*6
Takashi Tsukino

DME（ジメチルエーテル）は、天然ガスや石炭・バイオマスからの製造が可能であり、クリーンな燃焼特性、良好なハンドリング性やエネルギー多様化の観点から、燃料としての普及に向けた利用技術の開発・実用化が期待されている。当社では、DMEの製造から輸送・貯蔵・利用と一連の技術開発に取り組んでいる。本稿では利用技術として、燃料需要が高い事業用ボイラへの適用技術の早期確立のために、既設ボイラへDMEを必要最低限の改造で専燃・混焼適用する技術を紹介する。

1. はじめに

既設油焚き火力や石炭焚き火力へのDME導入は、後流機器への負荷低減や灰処理量の低減などの経済性向上とCO₂排出量削減等の環境負荷改善、更に燃料多様化の観点から新燃料として注目されている。

当社では利用技術として、燃料需要が高い事業用ボイラへの早期適用のために、DMEを必要最低限の改造で専燃・混焼適用する技術を実証した。

2. DMEの特徴と利用技術

DMEは現在、世界で年間15万t（日本で年間1万t）が製造されており、主にスプレー用噴射剤として使用されている。

表1にDMEと一般的ガス燃料性状の比較を示す。

DMEは-25 または0.6 MPaで液化する特性から、運搬・貯蔵が容易であり、既存LPG（液化石油ガス）インフラが利用可能となる見込みである。

DMEの製造法には、メタノールの脱水反応により製造する間接法と、メタノール生成時の副産物として積極的に併産する方式、更にメタノールを経由しない直接製造法がある。このうち間接製造法は既に実用化されているメタノール製造技術を発展させたものであり、早期にDMEの大量製造・商業化が可能である。また、直接製造法は、石炭やバイオマスガス化ガスを起源として製造できる点から注目されている。

将来的には既存ガス燃料や軽油の代替燃料として2006年後半には年産300万tのDMEを海外で生産し国内へ輸入することが計画されており、更に2010年

表1 DMEと一般的ガス燃料性状比較

名称	DME	LPG	LNG	ボイラ燃料として予想される点
組成	CH ₃ OCH ₃	主にC ₃ H ₈	主にCH ₄	含酸素燃料であり良好な燃焼性
飽和蒸気 (MPa@25)	0.6	0.9	24.9	容易に液化
沸点 (@0.101MPa)	-25	-42	-162	
ハンドリング性	加圧液化し輸送・貯蔵	加圧液化し輸送・貯蔵	極低温で液化し輸送・貯蔵	良好
ガス比重 (kg/m ³ N)	2.05	2.019	0.800	
高位発熱量 (MJ/m ³ N)	64.97	99.04	39.73	発熱量による流量変更
理論空気量 (Nm ³ /Nm ³ F)	14.29	23.82	9.52	空気量排ガス量変化に伴う補機容量検討
自然発火温度 (°C)	350	504	632	逆火、着火性に関する検証が必要
最大燃焼速度 (cm/s)	50	43	37	

■：適用時に有利な物性面

□：適用時に検証が必要な物性面

頃には国内で1620万tの需要見込みが予想されるなど、次世代クリーン合成燃料として、発電用、輸送用、民生用等の様々な分野にて利用が検討されている。

(1) 発電分野

電力業界にとってエネルギー源の多様化は重要な課題であり、油田の枯渇に伴う未利用ガス田の有効利用の観点からDMEの利用が注目されている。

利用機器としてボイラ・ガスタービン・ディーゼルエンジン・燃料電池が挙げられ、特に燃料需要が高い事業用・産業用ボイラ・タービンへの適用技術の開発は極めて重要と考える。

*1 技術本部技術企画部技術戦略グループ

*2 技術本部長崎研究所火力プラント研究推進室主席

*3 技術本部長崎研究所火力プラント研究推進室

*4 原動機事業本部新エネルギー事業推進部技術グループ長

*5 原動機事業本部ボイラ技術部ボイラ開発・サービス技術課主席

*6 長崎造船所火力プラント設計部火力・サービス課長

DMEをボイラ用燃料に使用する場合、脱硫装置及び集塵機が不要となり、石炭及び石油に比べ有利である。また、燃焼設備の工夫により、脱硝装置が不要になる可能性を有している。またDMEを油専焼ボイラへ適用した場合、DME専焼により約11%のCO₂が削減され、石炭焚きボイラ適用時には約31%が削減される。更にNO_x、SO_x、ばい塵等が低減されるため、これに伴う環境装置動力低減によるCO₂削減が期待できる。

ガスタービンへの適用時もボイラと同様に排ガス特性の改善やハンドリング性に優れているといったメリットから、資源エネルギー庁補助事業にてDMEガスタービン実圧実証試験を実施中である。

(2) 輸送分野

都市部における大気汚染が深刻であることからディーゼル自動車排ガスからのNO_x、粒子状物質(PM: Particulate Matter)排出量に対する規制を強化する動きにある。これに対して、DMEはセタン価が高く、着火性が良好であるため、軽油代替燃料としてディーゼル自動車への適用が期待されている。DME自動車はSO_xの発生がなく、かつ粒子状物質の発生がないため、PM規制に対する対応が不用になるばかりでなく、NO_x規制に対してもNO_x吸蔵還元触媒等の適用が可能になり、新長期NO_x排出規制をクリア出来る見込みがある。

(3) 民生用分野

LPGは産油国からの供給量に制約があり、アジア地域における急激な需要増大が見込まれていることから、将来的には価格上昇の可能性がある。これに対して、DMEの性状はLPGと類似しているため、LPG代替としてDMEを利用すれば、需要緩和のみならず価格安定に寄与するものと考えられる。

3. 既設ボイラへのDME適用検討

DME燃料を火力発電所内で利用する際には、燃料性状の変更に対応した検証が必要である。

発熱量の差からDMEでLPG全負荷時と同じ入熱を得るためにはLPGの1.6倍の質量流量が必要となる。また、従来ガス燃料であるLPG・LNGと比較して燃焼速度が速く、自己発火温度がLNGの主成分であるメタンに比べDMEは350と低いため、バーナの予混合部での逆火に対する検証が必要である。燃料供給面では、DMEの膨潤性からパッキン等のシール適用性を評価していく必要がある。

また、DMEは常温、0.6MPa程度に加圧することで液化することから、供給方法はガス状態と液体状態での供給が想定される。前者は既にLPGやLNG焚き

ボイラとして稼働しているものに最小限の改良で適用することができる。後者は気化器設置の必要が無いため設備改造がシンプルになる。このため、両供給方式での燃焼特性検証が必要である。

バーナ開発の観点からは、バーナ単体での着火・燃焼性評価とボイラ火炉全体での性能評価が重要である。

3.1 単一バーナ炉によるDMEガス/液体燃焼試験

2t/h単一バーナ燃焼試験炉により既設ボイラバーナをDME仕様へ変更した際の燃料・空気拡散等を模擬し、DMEの燃焼特性を既存燃料と比較した。

また、燃料供給方法に関してはガス状態での供給と液体状態供給・直接燃焼方式にて比較した。

タンクローリー車で運送されたDMEは、液送ポンプで貯蔵量13tのタンクへ受け入れられる。ガス燃焼試験時には気化器を通してガス状で供給し、液体燃焼試験時には供給量2.3m³/h、最大供給圧力4.0MPaのプランジャーポンプにより燃焼炉へ液状で直接供給した。

3.1.1 ガス燃焼時のDMEとLPGの比較

試験用バーナは当社の低NO_xバーナであるガス焚きPM(Pollution Minimum)バーナをDME用に燃料ノズル噴孔径を拡大し、試験では空気噴出流速を実機条件と一致させ、発熱量ベースにて入熱量一定の条件とした。

DMEはバーナ近傍に青炎が目立っており、LPGに比べて火炎の輝度が低い。一般に青炎は急速燃焼時で燃料中に含まれる炭化水素が分解して炭素の粒を遊飛する時間がないときに見られる。DMEの火炎では着火部近傍に青炎が見られ、含酸素燃料であることから急速に着火・燃焼していることが考えられる。

なお、DME火炎では輝度が低いため、従来の失火検出器の使用可否を確認する必要があるため、赤外線式火炎検知器(IR-S)を使用し、全条件で火炎検出を確認した。

図1に負荷100%ベース条件にて、DMEとLPG燃焼時における排ガス特性を示す。

ガス焚きボイラでは、排気ガスを再循環させ燃焼場に吹き込むことで火炎温度を低下させ、NO_x低減を図っている。このとき、再循環排ガスを燃焼用空気と混合させて投入するものをGM(Gas Mixing)、専用のノズルより排ガスのみを炉内へ投入するものをGR(Gas Recirculation)と呼ぶ。

DMEのNO_x発生量はLPGと同程度でGM10%から35%の変化によりNO_xは22~24ppm減少した。

GM投入によりLPGはばい塵が増加するのに対し、DMEはGM率によらず発生してないことからDME

適用時には2次空気量低減やGR, GM率増加により, ばい塵の発生なく更なる低NOx化が期待できる。

3.1.2 DME液体燃焼試験

既設油焚きボイラへの適用を想定し, 実機に適用されている油焚きシングルガンPMバーナへDMEを液状供給した際の燃焼特性について, C重油及びDMEガス燃焼との比較を行った。

供給系は, 33%負荷においてもペーパーロックの発生がない安定運転を検証している。

DME液体燃焼とガス燃焼を比較すると両者のNOxは同程度であり, CO, ばい塵は液体燃焼・ガス燃焼ともに発生しないことを確認している。また, NOx排出量はC重油燃焼時の1/3程度であることを確認している。

DME液体燃焼時の燃焼状況は燃料噴霧後, 瞬時に気化・着火しており, 着火特性は噴霧蒸気の有無や噴霧圧力低下により大きな変化は見られずほぼ一定の排ガス特性を示すことを確認した。このことから, 実機

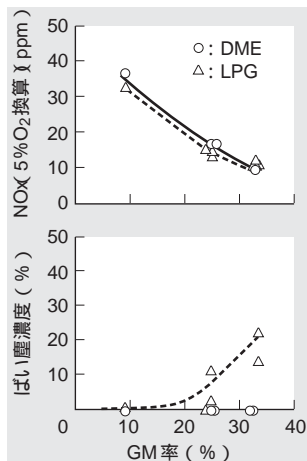


図1 GM率変化に対する排ガス特性 DMEのNOxはLPGとほぼ同等, ばい塵は発生しない。

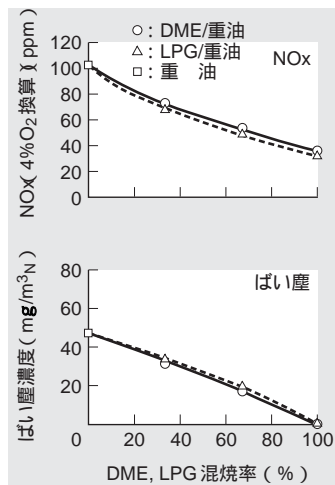


図2 C重油との混焼時の排ガス特性 C重油へのDME混焼により排ガス特性が改善される。

適用時には噴霧蒸気カット及び噴霧圧力の低減によるプラント効率の向上が期待される。

3.2 マルチバーナ炉による既存燃料混焼

火力発電所からのNOx, ばい塵排出量削減策として, 既存燃料とDMEの混焼は, 既存設備の若干の改造でDMEを導入することが可能である。

改造時の火炉全体の燃焼性を把握するため, 1.5 t/hマルチバーナ燃焼炉にてDME専焼時及び既存燃料との混焼時の燃焼特性を検証した。

3.2.1 重油との混焼

500 MWクラス油焚きボイラのバーナを油混焼用ガス焚きPMバーナへ改造することを想定し, LPG, C重油と比較した。

図2に排ガス特性に対するC重油混焼率の影響を示す。C重油との混焼時は, C重油混焼率の減少と共にNOx値, ばい塵濃度は低下する。LPGとDMEを比較すると, 専焼時の特性と同様にNOx, ばい塵ともに同等であることから, 既存燃料との混焼適用により環境性能を向上させることが可能である。

図3に各混焼条件における伝熱特性変化を示す。

DME燃焼時の火炉出口ガス温度はC重油やLPGよりも若干高い。これは火炎輝度が低く, 火炉壁への吸熱量が減少したためである。専焼時のピークにおける到達熱流束を比較すると, DMEはC重油やLPGに比べて低い傾向にある。これは火炎輝度が低く火炎放射熱量の減少に起因するもので, ボイラ運転条件により対応できる範囲であると考えられる。

3.2.2 石炭との混焼

石炭焚きボイラのNOx対策として図4に示すようにOFA (Over Fire Air) により炉内脱硝を行うOFAシステムと更にAA (Additional Air) を用いるAAシステムの2種がある。各システムに対応しDME投入箇所を起動用油バーナ部や主バーナ燃焼ゾーンの上部のOFA部及びUB (Upper Burner) と変化させ, 石

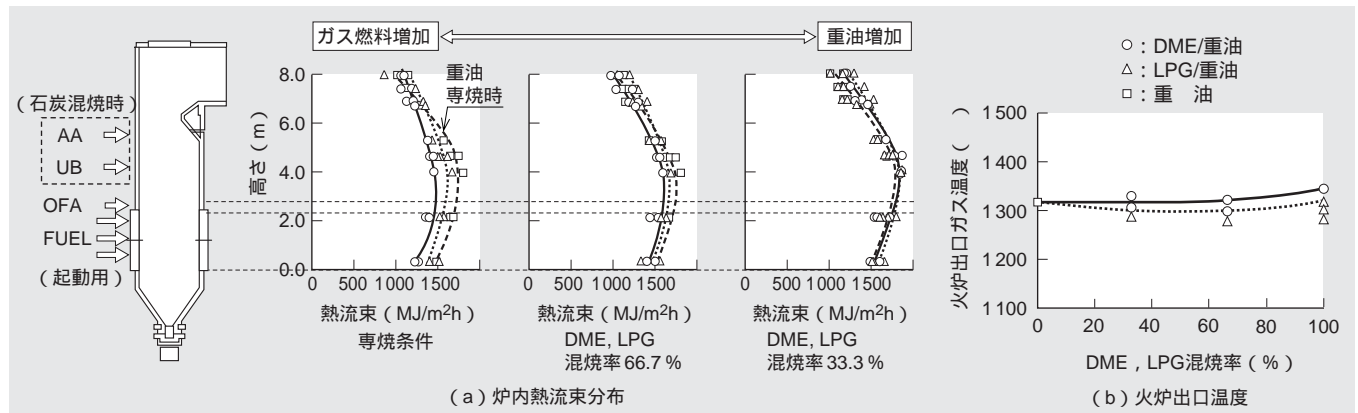


図3 C重油との混焼時の伝熱特性 C重油やLPGに較べて, DMEでは火炎輝度が低いいため, 炉壁部での熱流束が減少し, 吸熱量が減少する分, 火炉出口ガス温度が増加する (1.5 t/hマルチバーナ燃焼炉)。

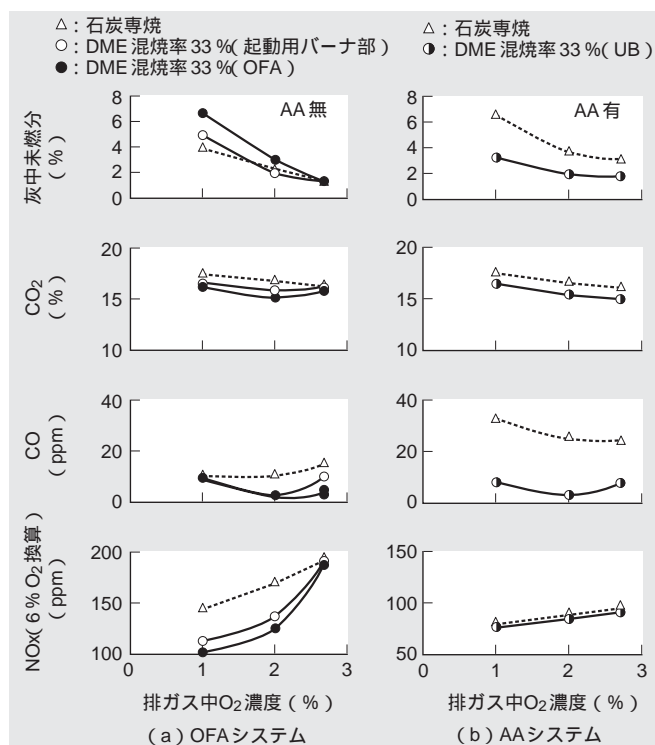


図4 石炭/DME混焼時の排ガス特性 DME混焼時は灰中未燃分が一定となるレベルで排ガスO₂を削除することにより、大幅なNO_x低減効果が得られる。

炭との混焼時の特性を検証した。

500 MWクラス石炭焚きボイラ向けバーナを試験炉用に製作し、供試炭は発電所で使用されているハンターバレー炭（豪州）とした。

図4にDME混焼率33%における排ガス中O₂変化に対する排ガス特性を示す。

(1) OFAシステム適用時

全条件で排ガス中O₂低減とともにNO_xは減少し灰中未燃分は増加する傾向にある。OFA部よりDMEを投入した場合は、NO_x、CO₂は低減するが灰中未燃分は増加する傾向にある。一方、DMEを起動バーナより投入した場合、灰中未燃分は排ガス中O₂濃度が2%以上では石炭専焼時と同レベルにある。排ガスO₂が1%では急増する傾向にある。これは主バーナ部の酸素を燃焼性が高いDMEが消費することにより、石炭の燃焼時間が十分に取れなくなることで未燃分が増加するためと考える。

以上より、OFAシステムへDMEを混焼する場合、起動バーナ部からのDME投入により灰中未燃分を増加させることなくNO_x、CO、CO₂を低減させることが可能である。ただし、排ガスO₂濃度の低減時には石炭専焼時と同様に灰中未燃分が増加する可能性があると考えられる。

(2) AAシステム適用時

AAシステムへのDME混焼適用時はDMEをUBまたはOFA部より投入し、脱硝効果の向上を図った。排ガス中O₂濃度2.7%の条件でNO_xは石炭専焼時93 ppmに対しDME混焼率33%にてUBからの投入時には88 ppmまで低減されている。また、DME混焼時灰中未燃分は大幅に低い。

この特性から排ガスO₂濃度を1.0%まで低減させることで灰中未燃分を石炭専焼ベース条件（排ガスO₂濃度=2.7%）と同等とし、NO_xを75 ppmまで低減できる。低減率は20%となっている。

以上より、AAシステムではUBからのDME混焼運用と排ガスO₂濃度低減により排ガス特性を大幅に向上させることが可能であり極めて有効である。

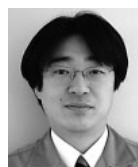
したがって、既設ボイラ仕様と目的に応じた最適投入法があり、OFAシステムには起動バーナからの投入が低コストで導入できる点から最適であり、AAシステムにはUB追設による脱硝率向上を図る手法が効果的であると考えられる。

4. ま と め

DMEのボイラ燃料としての優れた燃焼特性を確認するとともに、重油、ガス、石炭とあらゆる燃料に対応したボイラ適用技術を確認し、DME燃料の普及に向けて大きな技術的進展が得られた。

今後は実用化に向け、適用を検討する具体的プラントでの蒸気・補機・敷地条件等を含めた詳細検討へ展開していく。

DMEのレトロフィット技術の実証研究に共同研究者として御援助、御指導を賜った石油公団（現（独）石油天然ガス・金属鉱物資源機構）の各位に対して、深く感謝の意を表する。



藤村 皓太郎



一ノ瀬 利光



高島 竜平



小林 由則



黒石 敏郎



月野 隆