

令和6年5月17日

高安全性アンモニア混焼エンジンシステムを開発

研究の背景と本研究の特徴

炭素成分（C）を多量に含む化石燃料の燃焼が地球温暖化を促進しているとの観点から、炭素成分を含まない燃料としてアンモニアが注目されています。しかし、アンモニアをそのまま利用する場合、貯蔵に際して高圧液化（約 20 気圧）または低温液化（大気圧化においてマイナス 33.4℃以下）という厳しい課題を克服する必要があります。

本システムは、アンモニアが水に溶解しやすいという特性を利用して、水産大学校が開発した“水混合燃料生成装置”を活用し、流体混合器によりアンモニア水を数μm以下の粒径まで微粒化して燃料油中に均一化させ、添加剤無しでアンモニア水混合燃料を生成して燃焼室に噴射することにより、ディーゼルエンジンから排出される CO₂（二酸化炭素）、NO_x（窒素酸化物）、PM（粒子状物質）の同時低減を可能とした上、前述の貯蔵に関する課題に対応可能です。

また、本システムは燃料タンクと燃料噴射装置との間に後付け可能な構造（レトロフィット対応）を有しており、すぐに実装可能となります。

将来的には、アンモニアとその助燃剤的な役割を果たす化石燃料を燃料とするシステム、アンモニアのみを燃料とするシステムにも対応可能です。

ポイント

- アンモニアを液化して貯蔵するには、“約マイナス 34.4℃以下に冷却”または、“約 20 気圧以上に加圧”という条件を満足する必要があります。本システムでは、アンモニアが水に溶けやすいという特性を活用することにより、常温・常圧において液体状態を保持した状態でアンモニアを燃焼室に噴射することが可能になります。
- アンモニアは毒性を有するため、アンモニアがエンジンから漏洩した場合、エンジンの設置スペースだけでなく室内空間に至るため、安全性が確保されなければこれを燃料として用いることは困難ですが、アンモニアを水に溶解させた状態で使用することにより安全管理が容易になります。
- 化石燃料に、市販の“25%アンモニア水”を 40%混合することにより、CO₂、NO_x、PM のトリプル低減が可能になるとともに、アンモニアの発熱量ベースの利用割合は約 6 %となり、IMO（国際海事機関）の MEPC80（第 80 回海洋環境保護委員会）の目標値（ゼロエミッション燃料等の使用割合）に対応しています。
- 5 月 24 日、“パシフィコ横浜”で開催の（公社）自動車技術会 2024 年春季大会学術講演会で講演します。

※ 参考 URL <https://www.jsae.or.jp/taikai/2024haru/>

※ この研究成果は、物流における GHG の削減だけでなく、ディーゼルエンジンを搭載する全ての車両・機器や、現在 IMO（国際海事機関）において検討されている海上輸送における IMO の規制対応にも貢献可能です。

全てのディーゼルエンジンにレトロフィット対応可能なアンモニアの混焼システム

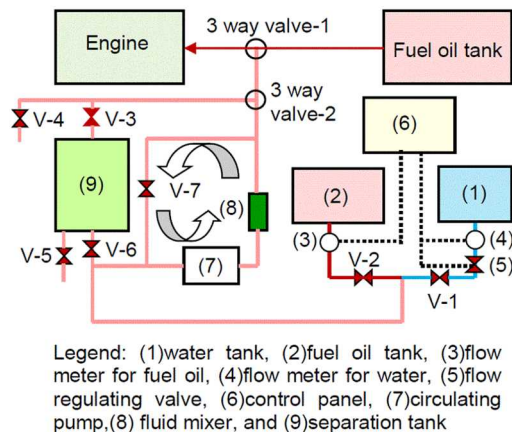


図1 “アンモニア水混合燃料生成装置の概要
—特許第 5941224 号—

図1に、ディーゼルエンジン用アンモニアの混焼システムに用いられる“アンモニア水混合燃料生成装置”の概要を示します。この装置は、アンモニア水タンク(1)、化石燃料タンク(2)、化石燃料用流量計(3)、アンモニア水用流量計(4)、アンモニア水用流量調整弁(5)、アンモニア水の混合割合を任意に設定可能なコントロールユニット(6)、循環ポンプ(7)、流体混合器(8)から構成されており、既設の燃料（化石燃料）供給ラインに接続することにより、任意の混合割合に設定されたアンモニア水混合燃料がエンジンに供給できます。

本装置の特徴は、化石燃料とアンモニア水が分離する前に噴射することにより添加剤を必要とせず、アンモニア水の供給を止めることによりリアルタイムで化石燃料のみの運転が可能になることです。

図2～図4に、214kW/3101min⁻¹のエンジンを用いた実験結果を示します。

図2に、アンモニアの混焼によるCO₂の低減効果を示します。NH₃/Fuelの増加とともにGO（軽油）の消費量が減少しています。これは、熱効率が一定の場合、アンモニアの燃焼エネルギー（供給熱量）の増加により軽油の燃焼エネルギー分担が減少するためです。

図3に、アンモニアの混焼によるNO_xの低減効果を示します。アンモニア燃焼量の増加とともにFuel NO_xの生成量が増加するため、NH₃/Fuelの増加とともにNO_xの減少割合が小さくなっています。

図4に、NH₃/Fuelの値が6%時における、アンモニアの混焼によるPMの低減効果を示します。

図2～4により、アンモニア水混合燃料を用いることにより、既存のエンジンでもアンモニアを混焼することにより、CO₂、NO_x、PMのトリプル低減が可能です。なお、本実験範囲における排ガス中におけるアンモニア濃度は100ppm以下で、NH₃/Fuelの値が14%時における発熱量ベースのゼロエミッション燃料の使用割合は約6%となるため、MEPC 80の2030年目標値（ゼロエミッション燃料等の使用割合）に対応しています。

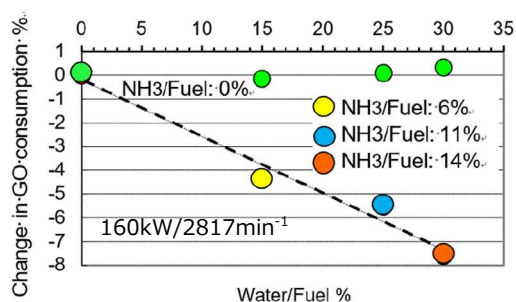


図2 アンモニアの混焼によるCO₂の低減効果

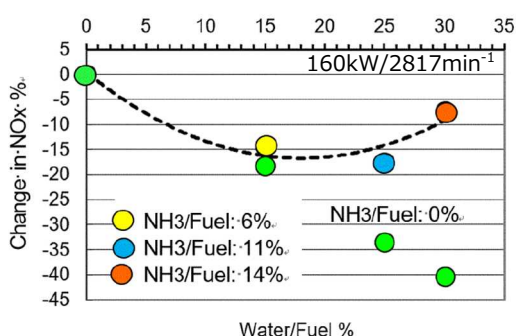


図3 アンモニアの混焼によるNO_xの低減効果

出典：図2～4（公社）自動車技術会 2024 年春季
学術講演会予稿

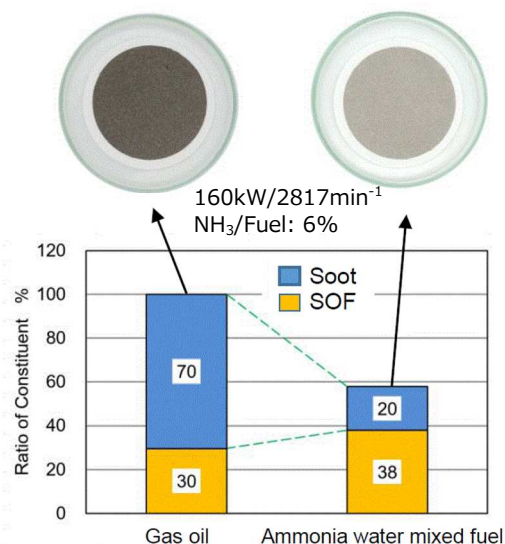


図4 アンモニアの混焼によるPMの低減効果

アンモニア混焼ディーゼルエンジンの課題と展望

ディーゼルエンジンにアンモニアを混焼させる場合、図 2、図 3、図 4 に示すように、比較的高負荷域においては混焼するアンモニアの量に比例して軽油の消費量が減少するとともに、NOx と PM (Soot) が低減するという結果が得られました。しかし、アンモニアは化石燃料に比べ、着火性が悪い、燃焼速度が遅いなどの燃焼に関し解決すべき課題を持つため、特に起動時や低負荷運転時には、着火性が悪く燃焼速度が遅いというアンモニアの特性により、着火及び燃焼が困難になる可能性があります。また、アンモニアを貯蔵するためには、大気圧下においてはアンモニアの温度をマイナス 33.4℃以下か、約 20 気圧以上の状態を保持する必要があるとともに、アンモニアの燃焼量の増加とともに Fuel NOx が生成するため、これらの課題にも対応する必要があります。

【自動車用アンモニア混焼エンジンシステム】

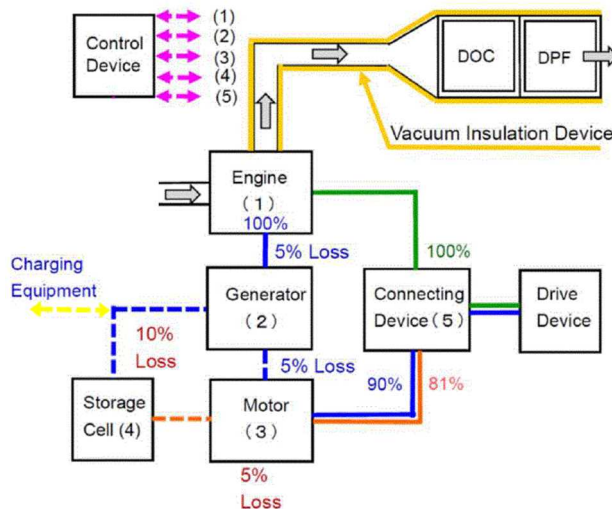
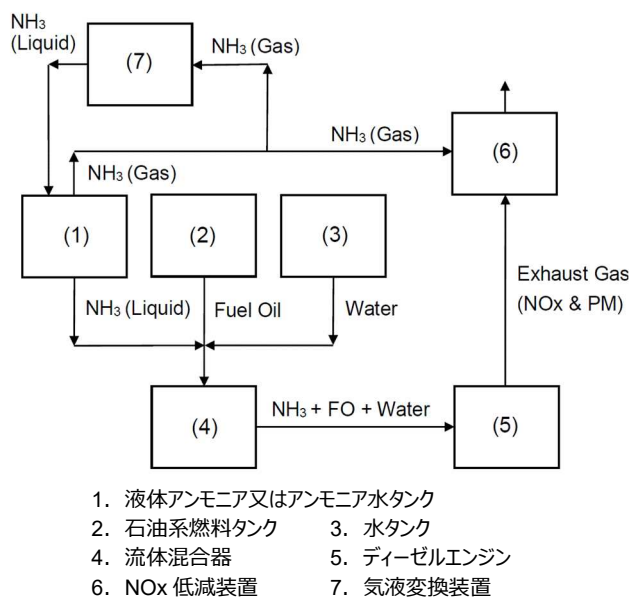


図 5 自動車用アンモニア混焼エンジンシステム
出典：(公社)自動車技術会 2024 年春季
学術講演会予稿

図 5 に、“自動車用アンモニア混焼エンジンシステム (ハイブリッドシステム)”を示します。図において、比較的高負荷域における走行状態においては、駆動装置とエンジンを直結することにより、エンジンの出力を最も有効に活用することが可能となります。また、比較的低負荷域における走行状態においては、エンジンを比較的高負荷状態で運転して蓄電池に充電しながら走行、または蓄電池に充電された電力を用いてモーターによる走行を行うことが可能になります。

このように、燃料消費量が多い高負荷状態においてアンモニアの混焼により GHG を低減した状態でエンジン直結走行を行うことにより、送電ロス、バッテリーの充放電ロス、電気エネルギーから機械的エネルギーへの変換に伴うエネルギー変換ロスが発生する EV よりも GHG 削減に貢献することが可能になります。

【船舶用アンモニアの燃焼システム】



1. 液体アンモニア又はアンモニア水タンク
2. 石油系燃料タンク
3. 水タンク
4. 流体混合器
5. ディーゼルエンジン
6. NOx 低減装置
7. 気液変換装置

図 6 船舶用アンモニアの燃焼システム

－ 特許第 7264386 号 －

図 6 に、図 1 に示す“アンモニア水混合燃料生成装置”を含む“アンモニアの燃焼システム”を示します。このシステムは、アンモニアタンク、石油系燃料タンク、水タンク、流体混合器、排ガスの後処理装置 (NOx 低減装置) 及び気液変換装置 (圧縮機と凝縮器) から構成され、流体混合気を用いて液体アンモニアを石油系燃料と微粒化・混合して噴射することにより、石油系燃料が有する優れた着火・燃焼特性を用いて、アンモニアを効果的・効率的に燃焼させることが可能です。また、液体アンモニアに水を加えることにより燃焼時に生成される窒素酸化物を低減でき、アンモニアの気化熱を用いてアンモニアタンクを冷却するとともにこれを排ガスの後処理装置 (SCR) の還元剤とすることにより、排ガス中の窒素酸化物を低減できます。このシステムは、アンモニアの助燃源として電気を用いることにより IMO の 2050 年目標値にも適用可能です。