解説・講義

脱炭素時代における天然ガス自動車の可能性

―バイオメタン・e-methane対応に向けた取り組み―

Potential of Natural Gas Vehicles for Decarbonization
– Approaches Toward Biomethane and e-methane Utilization –

児玉　裕*　Yutaka Kodama
植田　嘉久*　Yoshihisa Ueda
原　裕一*　Yuuichi Hara
長島　義文**　Yoshifumi Nagashima

要　旨

脱炭素化がマルチパスウェイで進む中、バイオメタン及びe-methaneといったカーボンニュートラル燃料の活用が期待されている。天然ガス自動車は、これらの燃料の活用先の一つとして期待できる。本稿では、技術面、社会実装面及び燃料供給面の適用性を整理し、天然ガス自動車への適用可能性について考察した。

Abstract

As decarbonization advances through a multi-pathway approach, carbon-neutral fuels such as biomethane and e-methane are attracting increasing attention. Natural gas vehicles are expected to be one of the applications for these fuels. This paper reviews the technical, social implementation, and fuel supply potential of natural gas vehicles, and discusses their applicability to biomethane and e-methane utilization.

1　はじめに

近年、カーボンニュートラル実現に向けた取り組みが加速しており、商用車分野においてもCO_2排出量低減への対応が求められている。一方で、商用車は航続距離、積載量及びエネルギー補給時間に対する要求が厳しく、単一の技術だけで全ての輸送ニーズを満たすことは容易ではない。このため、BEV(バッテリ電気自動車：Battery Electric Vehicle)、FCV(燃料電池自動車：Fuel Cell Vehicle)及びカーボンニュートラル燃料を利用する内燃機関など、それぞれの特徴を活かしたマルチパスウェイによるカーボンニュートラル化が現実的なアプローチとして認識されつつある。

マルチパスウェイを構成するカーボンニュートラル燃料の一つとして、バイオメタン及びe-methane(合成メタン)への期待が高まっている。バイオメタンは生ごみ、下水汚泥及び家畜糞尿を原料として製造される燃料であり、e-methaneは再生可能エネルギー由来の水素とCO_2から製造される燃料である。これらは、いずれもメタンを主成分とし、天然ガス利用技術との親和性が高いことから、都市ガス(13A)と同様の利用形態が期待されている。

このような燃料の活用先の一つとして、NGV(天然ガス自動車：Natural Gas Vehicle)が挙げられる。これらの燃料を活用することで、ライフサイクル全体でのCO_2排出量低減に貢献できる可能性がある。国内で使用される都市ガス(13A)は、メタンを主成分としながらもエタン及びプロパンなどを含む比較的発熱量の高い燃料である。一方、バイオメタン及びe-methaneは製造方法及び精製条件によってメタン濃度や不活性成分(CO_2、N_2など)の割合が異なる場合がある。このため、既存のNGVへ適用する際には、燃料性状の違いがエンジン性能及び排出ガス特性に与える影響を把握することが重要となる。

本稿では、バイオメタン及びe-methaneの活用を想定し、燃料性状の違いが天然ガスエンジンの性能へ与える影響を整理するとともに、燃料多様化に対する技術的適用性、各種実証事業で得られた知見及び将来の可能性について考察する。

*マルチ燃料エンジン企画・設計部　　**PT実験第三部

Copyright© 2026 ISUZU MOTORS LIMITED.
All Rights Reserved. 無断転載・複製・配布禁止

2　燃料多様化への技術的適用性

2.1 バイオメタン・e-methane利用課題

バイオメタン・e-methaneは、製造方法及び精製条件によって、メタン濃度及び不活性成分(CO_2、N_2など)の割合が変化する。

メタン濃度が低下し、不活性成分が増加すると、単位体積当たりの発熱量が低下する。この結果、同一体積の燃料を供給した場合でも、エンジンへ供給される可燃成分量が減少し、出力性能と燃費性能へ影響を与える可能性がある。

また、燃焼速度及び燃焼安定性にも影響を与えるため、排出ガス特性への影響も含めて考慮する必要がある。更に、商用車用途では、単に走行可能であるだけでなく、排出ガス規制への適合及び実運用に耐えうる性能が求められる。

このため、燃料多様化への対応においては、出力性能と燃費性能だけでなく、排出ガス特性と燃焼安定性まで含めて評価する必要がある。

2.2 燃料性状がエンジン特性へ与える影響

メタン濃度及び不活性成分濃度を変化させた複数の模擬燃料を用い、排出ガス特性、出力性能、燃費性能及び燃焼安定性への影響を確認した。

試験用エンジンには国内向け大型NGV用エンジンを使用した(**表1**)。

試験には都市ガス(13A)を基準燃料として用いた。また、燃料性状差の影響を評価するため、メタン濃度99%及び82%の模擬燃料を使用した(**表2**)。

表1　6UV1型エンジン主要諸元

	6UV1-TCN
総排気量 (L)	9.839
内径×工程 (mm)	120×145
最高出力 (kW/rpm)	243/1,800
最大トルク (Nm/rpm)	1,390/1,200-1,400
使用燃料	CNG*(13A)
過給システム	ウェイストゲート式ターボ
排出ガス後処理装置	三元触媒

*CNG (圧縮天然ガス : Compressed Natural Gas)

表2　評価用模擬燃料の仕様

	メタン99 %燃料	メタン82 %燃料
メタン濃度 [vol %]	99	82
不活性ガス濃度 [vol %]	1	18
位置づけ	高品質燃料	精製簡略化燃料

図1に全負荷運転時における性能比較結果を示す。メタン濃度99%燃料においても出力及びトルクの低下が認められたものの、その影響は小さく、メタン濃度82%燃料ではより大きな低下が確認された。特に高回転域では、都市ガス(13A)に対して全負荷出力が最大約7%低下した。

これは、不活性ガスの増加によって単位体積当たりの発熱量が低下するためである。エンジンは目標空燃比を維持するため燃料噴射量を増加させるが、その結果として吸入可能な新気量が減少する。更に、燃料組成の変化が想定範囲を超える場合には、空燃比制御の補正量が不足し、燃焼が希薄側へ移行することで出力低下が生じると考えられる。

燃費については、発熱量低下を補うため燃料噴射量が増加することから、正味燃料消費率が最大約37%悪化した。一方、正味熱効率は燃料種による差が小さく、燃料組成差が熱効率そのものへ与える影響は限定的であることが確認された。

また、燃焼速度の指標である10～90%燃焼期間も増加しており、燃焼の進行が遅くなる傾向が確認された。

燃焼安定性及び燃焼速度の詳細な評価結果を**図2**に示す。

不活性ガスの増加に伴い、10～90%燃焼期間は増加する傾向を示した。メタン濃度99%燃料では都市ガス(13A)に対して約5%、メタン濃度82%燃料では約9%増加しており、燃焼速度が低下することが確認された。これは、不活性ガスによる燃焼反応の希釈効果により火炎伝播速度が低下したためと考えられる。

また、燃焼変動率についても同様に増加傾向を示した。メタン濃度99%燃料では約12%、メタン濃度82%燃料では約22%増加しており、燃焼速度低下に伴う燃焼安定性の悪化が確認された。ただし、実用上大きな問題となるレベルには達しておらず、燃焼安定性への影響は限定的であることが確認された。

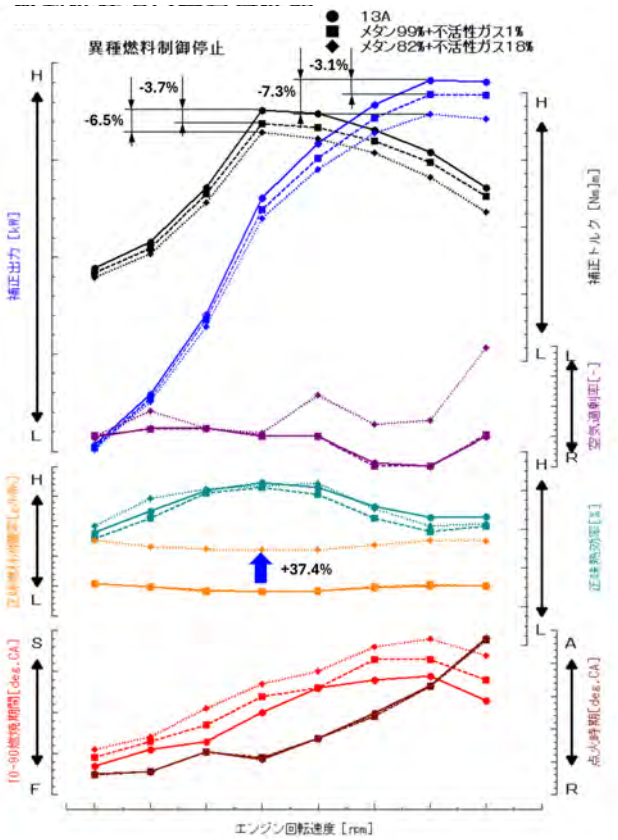
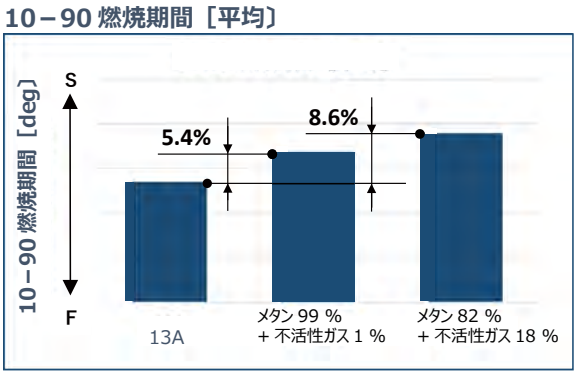


図1　燃料性状差が全負荷性能に与える影響



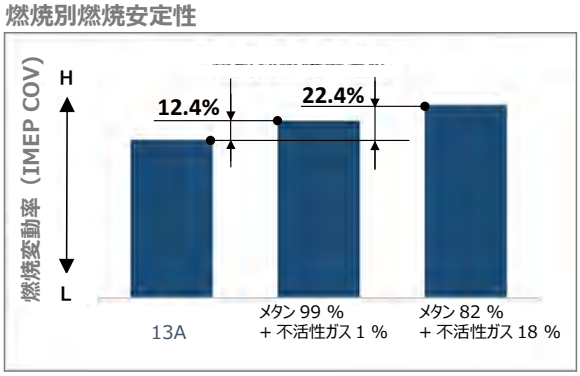


図2　燃料性状差による燃焼特性への影響

排出ガスについては、テールパイプNOx排出量への影響が確認された(**図3**)。

都市ガス(13A)及びメタン濃度99%燃料では排出ガス規制を満足したのに対し、メタン濃度82%燃料ではテールパイプNOx排出量が約10g/kWhまで増加し、規制値を超過した。

天然ガスエンジンでは、三元触媒によってNOxを浄化するため、理論空燃比付近での空燃比制御が重要となる。**図4**に示すように、不活性ガス含有量の増加に伴い、目標空燃比を維持するために必要な平均燃料補正率は増加する。

必要な平均燃料補正率が制御可能範囲内であれば、空燃比を適切に制御できるため、三元触媒の浄化性能を十分に発揮できる。一方、燃料組成が想定範囲を超えて変化した場合に、過渡時NOx抑制のための燃料補正量が上限に達し、燃料組成変化に十分追従できなくなる。その結果、空燃比を理論空燃比付近に維持できず、三元触媒の浄化性能が低下することで、**図3**に示したようにテールパイプNOx排出量が増加したものと考えられる。

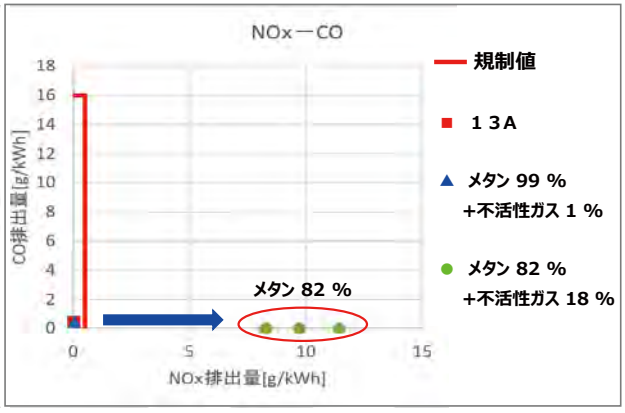


図3　燃料性状差による排出ガス特性比較

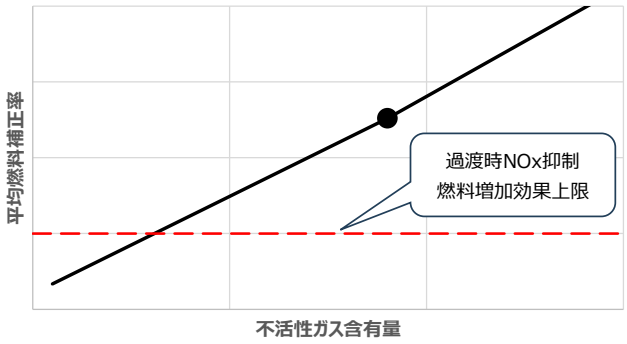


図4　不活性ガス含有量と平均燃料補正の関係

2.3 国内向け制御と異種燃料制御

日本国内のNGVでは、都市ガス組成が比較的安定しているため、一定の燃料組成を前提とした燃料噴射量制御を適用している。一方、海外市場では地域によって天然ガス組成が異なる場合があるため、燃料組成が想定から大きく外れると、前節で示したように空燃比制御が適切に機能せず、理論空燃比を維持できなくなる。その結果、三元触媒の浄化性能が十分に発揮されず、NOx排出量が増加する。このため、燃料性状のばらつきに対応し、燃料組成が変化した場合でも理論空燃比付近を維持できる制御技術が必要となる。

このような背景から、いすゞでは海外向け車両に、燃料組成差へ対応するための異種燃料制御の検討・適用を進めてきた。異種燃料制御では、燃料充填後の燃料組成変化に伴う空燃比偏差を検知し、燃料性状の違いを学習する。その学習結果を燃料噴射量のフィードフォワード制御値へ反映することで、燃料組成が変化した場合でも適切な空燃比制御を維持し、従来制御では対応が困難であった燃料組成差への適応を可能にしている。

異種燃料制御を適用した結果、メタン濃度82%燃料においても排出ガス規制適合性を維持できることが確認された。(**図5**)また、出力低下についても国内向け制御と比較して改善が見られた。(**図6**)これにより、燃料性状の違いによる影響をエンジン制御によって吸収できる可能性が示された。

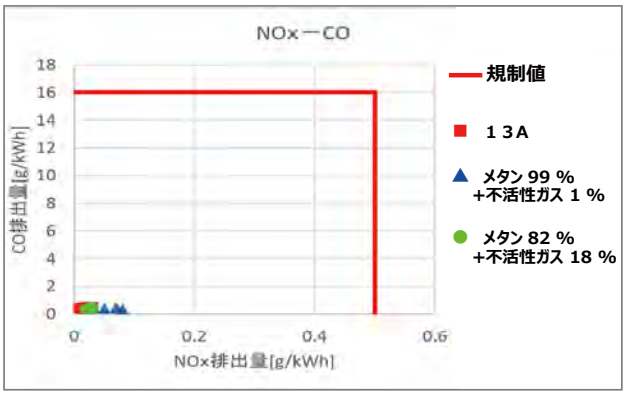


図5　異種燃料制御適用時の排出ガス特性比較

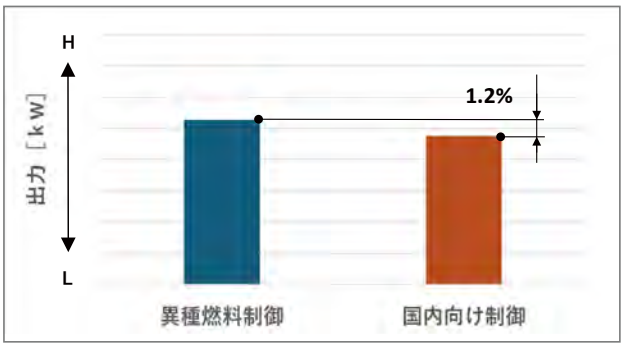


図6　異種燃料制御による出力改善効果

2.4 技術的適用性の整理

これらの試験結果から、天然ガスエンジンは、燃料組成差によって出力性能、燃費性能、排出ガス性能及び燃焼特性に影響を受けるものの、一定の条件下では既存の国内向け制御においても運転可能であることが確認された。更に、異種燃料制御を適用することで、燃料性状の違いを吸収しながら排出ガス性能を維持できる可能性が示された。一方で、商品力向上の観点では、燃焼性能及び出力性能についてなお改善余地が残されており、継続的な技術検討が重要である。

今後の社会実装に向けては、燃料品質を踏まえ、性能・環境性・商品性のバランスを考慮した最適化を進める必要がある。

3　バイオメタン・e-methaneでの実証

3.1 生ごみ由来バイオメタンNGV利用実証 (岡山県真庭市)

いすゞは、家庭から分別回収した生ごみを原料とするバイオメタンの車両利用実証に参画した。本実証では、生ごみから製造したバイオメタンを燃料として利用し、地域で発生する未利用資源を地域内の輸送エネルギーとして活用する地域循環型エネルギーシステムの実現可能性を検証した(**図7**)[(1)]。

真庭市のメタン発酵施設では、メタン濃度約60vol%のバイオガスをPSA(圧力変動吸着法：Pressure Swing Adsorption)及びCO_2分離膜を組み合わせたハイブリッド精製技術により95 vol%以上まで精製し、メタン回収率99%以上を達成した。精製ガスは都市ガス13A相当に調整した後、燃料として既存のNGVに供給され、100回以上の走行実証を実施し、燃料として問題なく利用できることが確認された。これにより、地域資源を活用した地域循環型エネルギーシステムの実現可能性を示した。

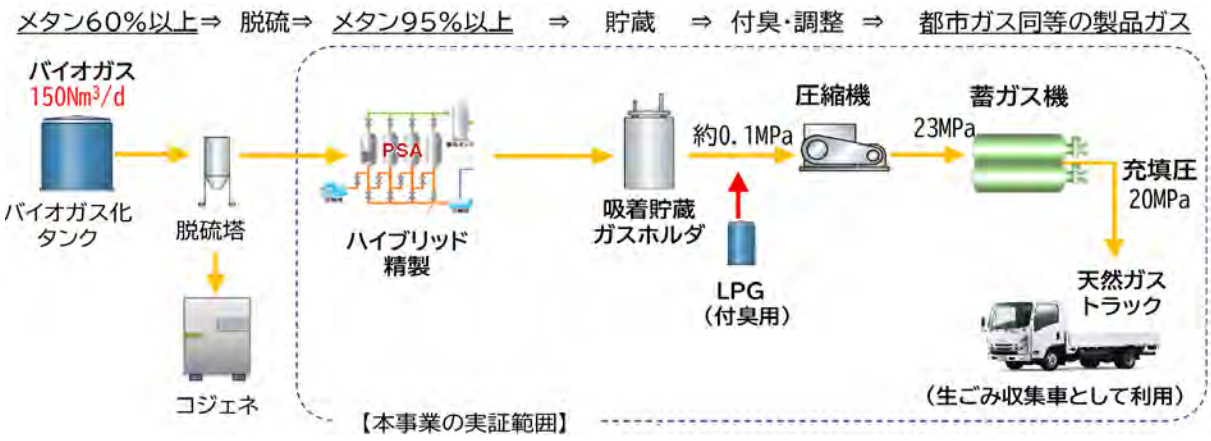


図7　地域循環型バイオメタン利用モデル

3.2 家畜糞尿由来液化バイオメタン(LBM)のLNG車両利用実証(北海道十勝地域)

いすゞは、酪農由来の家畜糞尿を原料とするLBM(液化バイオメタン：Liquefied Bio Methane)の利用実証に参画した。本実証では、家畜糞尿から製造したバイオメタンを液化し、LNG(液化天然ガス：Liquefied Natural Gas)車両用燃料として利用することで、再生可能ガス燃料の商用車分野への適用可能性を検証した。

バイオガス中のメタンを精製して純度99%以上のバイオメタンを製造し、更に約−160℃で液化することでLBM化した。実証設備は年間約360tのLBM製造能力を有し、既存LNGインフラを活用した供給を可能とした。事業全体では年間約7,740t-CO_2の排出削減効果及び60%以上の温室効果ガス削減効果が見込まれる。本実証を通じて、LBMが商用車用燃料として活用可能であることを確認した。これにより、既存LNGインフラを活用したLBM利用モデルの実現可能性を示した。

3.3 清掃工場由来CO_2を原料としたe-methane利用実証

いすゞは、清掃工場排出ガスから回収したCO_2と再生可能エネルギー由来水素を原料として製造したe-methaneの利用評価に参画した(**図8**)[(2)]。

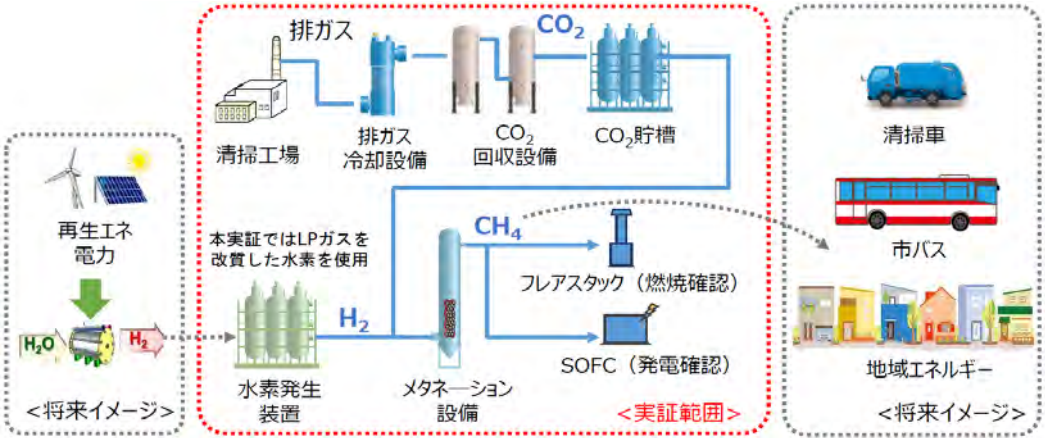


図8　カーボンリサイクル型e-methane利用モデル

本実証では、従来は大気中へ排出されていたCO_2を資源として回収し、燃料として再利用するカーボンリサイクルの可能性について検討した。

e-methaneは既存の天然ガスインフラ及び天然ガス利用機器との親和性が高く、新たなエネルギー供給インフラを必要とせずに導入できる可能性を有している。また、清掃工場(300t/日規模)への導入モデルでは、年間約8.1万tCO_2回収及び約4,100万Nm^3のe-methane製造可能量が示された。

本実証を通じて、既存のガスインフラ及びNGVを活用しながら、輸送分野におけるカーボンリサイクル型e-methane利用モデルを実現できる可能性が示された。

3.4 実証事業から得られた知見

生ごみ及び家畜糞尿を原料とするバイオメタン及び清掃工場排出CO_2を原料とするe-methaneについて、商用車用燃料としての利用可能性が示された。また、これらの実証を通じて、NGVが低炭素ガス燃料を活用するプラットフォームとなり得ることが確認された。更に、それぞれの実証では、地域で発生する未利用資源を活用した地域循環型エネルギーモデル、既存インフラを活用した再生可能ガス供給モデル及びCO_2を再資源化するカーボンリサイクルモデルの可能性が示された。

これらの取り組みを通じて、低炭素ガス燃料の活用においては、車両技術だけでなく、燃料製造、供給、利用を含めたシステム全体での検討が重要であることが確認された。また、既存のガスインフラと天然ガス利用技術を活用できることは、社会実装を進める上での有効な選択肢の一つになり得ると考えられる。

4　ガス業界動向とNGVの将来可能性

4.1 バイオメタン・e-methane動向

近年、世界のガス業界ではカーボンニュートラルの実現に向け、天然ガスから再生可能ガスへの転換が加速している(**図9**)。

欧州ではエネルギー安全保障と脱炭素化を両立する手段としてバイオメタン及びe-methaneの導入が推進されており、2024年のバイオメタン生産量は約52億Nm^3(5.2bcm)に達した。2030年までに350億Nm^3(35bcm)の生産を目標としており、再生可能ガスを天然ガス代替の重要エネルギーとして位置付けている。更に2030年代以降は、再生可能電力由来の水素とCO_2を利用したe-methaneの大規模導入が計画されている。

日本においても、都市ガス業界は2030年度までに都市ガス供給量の1%相当をe-methaneまたはバイオメタンへ転換する目標を掲げている。また、2050年にはガス供給全体の50～90%程度をe-methane及びバイオメタンで置き換える方向性が示されている。これらの取り組みは、既存のガス導管網とLNGインフラを活用しながら段階的な脱炭素化を実現することを目的としている。

図9　ガス燃料の脱炭素化変遷イメージ

4.2 脱炭素化時代におけるNGVの可能性

国内外でバイオメタン・e-methaneなどの再生可能ガスの導入拡大に向けた取り組みが進められている。これらの再生可能ガスは既存の天然ガスインフラとの親和性が高く、輸送分野においても活用が期待されている。今後、再生可能ガスの供給拡大が進むことで、NGVの役割も変化していく可能性がある。

特に大型商用車分野では、電動化、水素、再生可能ガスを組み合わせたマルチパスウェイ戦略が現実的な脱炭素アプローチとして検討されている。NGVはその中で、既存資産を活用しながら段階的な脱炭素化を実現できる選択肢として位置付けることができる。

これらの結果より、バイオメタン及びe-methaneの普及はNGVの価値を「天然ガス車」から「脱炭素ガス車」へと変化させる可能性がある。特に、既存車両及び燃料供給インフラを活用しながらCO_2削減を実現できる点は大きな優位性である。今後の再生

可能ガス供給拡大の動向次第では、NGVは大型商用車分野におけるマルチパスウェイ戦略を構成する有力な脱炭素ソリューションとして位置付けることができる。

5　NGVの可能性

以上のように、**第2章**では燃料組成差に対する技術的適用性、**第3章**では実証事業を通じた適用可能性、**第4章**では再生可能ガスの供給拡大の可能性を示した。これらを総合すると、NGVはバイオメタン及びe-methaneを活用するための有効なプラットフォームとしての可能性を有していると考えられる。

6　おわりに

今後、再生可能ガスの普及が進むことで、NGVは商用車分野におけるマルチパスウェイの一つの選択肢として、その役割を広げていくことが期待される。

最後に、本稿で紹介した技術検討及び各種実証事業の実施に当たり、ご協力いただいた関係各位に深く感謝の意を表する。

参考文献

(1) 環境省，令和6年度脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業(バイオガスのハイブリッド精製と真庭市地域の生ごみ収集車両への利用実証)委託業務成果報告書，
https://www.env.go.jp/content/000305617.pdf
(参照日：2026.06.22)

(2) 環境省，清掃工場から回収したCO_2を用いたメタン製造，
https://www.env.go.jp/content/000167953.pdf
(参照日：2026.06.22)

(3) 環境省，未利用バイオガスを活用した液化バイオメタン地域サプライチェーンモデルの実証事業，
https://www.env.go.jp/earth/ondanka/cpttv_funds/pdf/db/306.pdf
(参照日：2026.06.22)