

PS-12 ガスエンジン排ガスを吸入する船用ディーゼルエンジンにおける吸気ガス組成が排気に与える影響

環境・動力系 * 新田 好古、仁木 洋一、平田 宏一

1. はじめに

海洋環境保全の観点から、船舶から排出される温室効果ガス、窒素酸化物(NOx)及び硫黄酸化物に関する規制が年々強化されている。このような環境規制強化に対応するため、近年、クリーンな排ガスが得られる天然ガスを使用するリーンバーンガスエンジン(ガスエンジン)が、新しい船舶の動力システムとして注目されている。一方で、ガスエンジンは温室効果ガスであるメタン(CH₄)の排出(メタンスリップ)の懸念があるため、その対策技術の確立が望ましい。著者らは、船用ディーゼルエンジンのNOx排出とガスエンジンからのメタンスリップを同時に削減する対策技術の開発を目的とし、ガスエンジンの排ガスをディーゼルエンジンに供給するCombined-EGR(C-EGR)システムを提案し、その有効性について研究を行ってきた¹⁾。

本研究では、C-EGRシステムのさらなるCH₄及びNOx低減効果の向上を目的に、ディーゼルエンジン吸気中のCH₄、CO₂及びO₂濃度が、排ガス組成に与える影響を調査するため、ボンベガスを用いた模擬ガスを単気筒ディーゼルエンジンに吸入させ、CH₄及びNOx排出に与える影響を実験的に調査した結果を報告する。

2. 実験方法

図1は、本研究で使用した実験装置の概略を、表1は、実験に用いた自然吸気の単気筒ディーゼルエンジンの緒元を示している。本実験装置は、ディーゼルエンジンの回転数、出力及び排ガス温度などの基本データ及び筒内圧データの測定が可能である。ガス計測は、吸気管及び排気管において、Fourier Transform Infrared Spectrometry(FT-IR)排ガス分析装置(岩田電業、FAST-2200)及びO₂濃度計測のため排ガス計(テスト、testo 350)を用いて行った。

表2は、本実験で使用したディーゼルエンジンの運転条件及び吸気組成条件を示している。ディーゼルエンジンの運転条件は、船用特性を想定したトルク及び回転数を設定し、燃料油には軽油を用いた。また、吸気組成条件は、過去に行ったC-EGRシステムの実験におけるディーゼルエンジンの吸気組成条件⁽¹⁾を模擬するため、ガスエンジン排ガスの主要な組成としてCH₄、CO₂及びO₂を想定した模擬ガスを用いて、各ガスの濃度範囲が含まれるように流量を調整した。このとき、CH₄及びCO₂は、ガスボンベからディーゼルエンジンの吸気管に設置したバッファタンク内に供給し、空気と混合させることで行った。また、O₂濃度の調整は、N₂を同バッ

ファタンク内に供給することによりおこなった。この時、N₂の流量調整は吸気におけるO₂濃度を確認しながら、レギュレータノズルを調整することにより行った。

なお、模擬ガス供給時は、所定の回転数とトルクが得られるように燃料の軽油噴射量を適宜調整した。本研究で吸入したCH₄の発熱量がCH₄及び軽油の発熱量の合計に占める割合は、負荷率75%で最大13%程度、負荷率25%で最大25%程度であった。

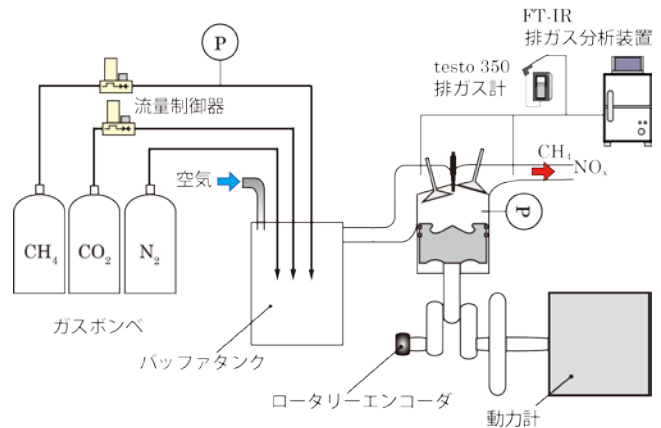


図1 供試エンジンの概要

表1 ディーゼルエンジンの緒元

エンジン形式		4 ストローク
シリンダー数	[-]	1
ボア / ストローク	[mm]	112 / 110
行程容積	[cm ³]	1083
圧縮比	[-]	18.5
回転数	[min ⁻¹]	1500
定格出力	[kW]	7.7

表2 実験条件

負荷率	[%]	75	25
軸出力	[kW]	5.7	2.0
回転数	[min ⁻¹]	1362	945
CH ₄ 流量	[L/min]	0, 2.6, 4.2	
O ₂ 濃度	[Vol. %]	21, 19, 15	
CO ₂ 濃度	[Vol. %]	0.0, 1.7, 3.3	

3. 実験結果と考察

ディーゼルエンジンの吸入ガス中のCH₄、CO₂及びO₂濃度が変化した場合、筒内の燃焼に影響を与え、CH₄及びNOx

排出が変化すると考えられる。この影響を調査するため、バッファタンクに供給する CH₄、CO₂ 及び N₂ の流量を変化させる実験を行った。結果を図 2 に示す。なお、同図中の Base は、吸気中の CO₂ 及び O₂ 濃度を変化させずに CH₄ 流量を変化させた条件であることを示している。

(1) CH₄ が与える影響

同図から、Base 条件において、CH₄ 流量を増加させた場合、どちらの負荷率においても、排気中の NO_x 濃度が低下し、CH₄ 濃度が増加するトレードオフが確認された。この時、CH₄ 流量の増加とともに最高筒内圧の低下が確認されたことから、CH₄ 混合により熱容量が増大し、筒内温度が低下した可能性が考えられた。このため、筒内圧の履歴から熱発生率を求め、さらに筒内のガスを理想気体と仮定して筒内温度²⁾を算出したところ、CH₄ 流量の増加とともに比熱比が低下し、熱容量が増加し、筒内最高温度が低下することが確認された。このことから、筒内最高温度の低下が NO_x 排出低下の一因と考えられる。一方で、CH₄ 流量増加により、オーバーラップ時の吹抜けやクレビス部に侵入する CH₄ が増えたことが、排気中 CH₄ 濃度の増加につながったと考えられる。³⁾

(2) CO₂ 濃度が与える影響

同図から、吸気中の CO₂ 濃度を増加させた場合、どちらの負荷率においても、排気中の NO_x 濃度が低下するが、CH₄ 濃度の変化は確認できなかった。同様に、筒内温度を算出したところ、CO₂ 濃度が増加による熱容量の増加及び筒内温度の低下が確認されなかった。このため、CO₂ 混合が、排気中の CH₄ 濃度に与える影響が小さかったと考えられる。また、NO_x 濃度の低下は、CO₂ 混合による O₂ 濃度の低下が影響したためと考えられる。

(3) O₂ 濃度が与える影響

同図から、O₂ 濃度を低下させた場合、高負荷時及び低負荷時ともに、排気中の NO_x 濃度が低下するものの、CH₄ 濃度が増加することが確認された。また、高負荷率時に比べ低負荷率時の CH₄ 濃度増加が顕著になることが確認された。これは、CH₄ 流量の増加にあわせて、所定の回転数とトルクが得られるように燃料の軽油噴射量を調整したため、高負荷時よりも回転数と出力が小さい低負荷率時のほうが、軽油噴射量が小さく、燃料噴霧に巻き込まれる酸素量及び CH₄ 量が低下し、燃焼が悪化したことが一つの要因であると推測される。この場合、燃料の噴射条件の改善することにより、低負荷時の CH₄ 濃度増加を抑えられる可能性があると考えられる。

7. まとめ

本研究では、C-EGR システムのさらなる CH₄ 及び NO_x 低減効果の向上を目的に、ディーゼルエンジン吸気中の CH₄、CO₂ 及び O₂ 濃度が、排ガス組成に与える影響を調査した。CH₄ の吸入により排気中の NO_x 濃度が低下するが、CH₄ 濃度が増加するトレードオフがあることが示された。また、その効果は、低負荷時に酸素濃度が低下した場合に顕著になることが明らかとなった。

参考文献

- 1) Y. Nitta et.al, Proc. of the ASME 2016 Internal Combustion Engine Division Fall Technical Conference, ICEF 2016-9350, 2016.
- 2) 石山, 機械の研究, 54 (7), pp.717-725, 2002.
- 3) CIMAC WG 17, CIMAC Position Paper, 2014.

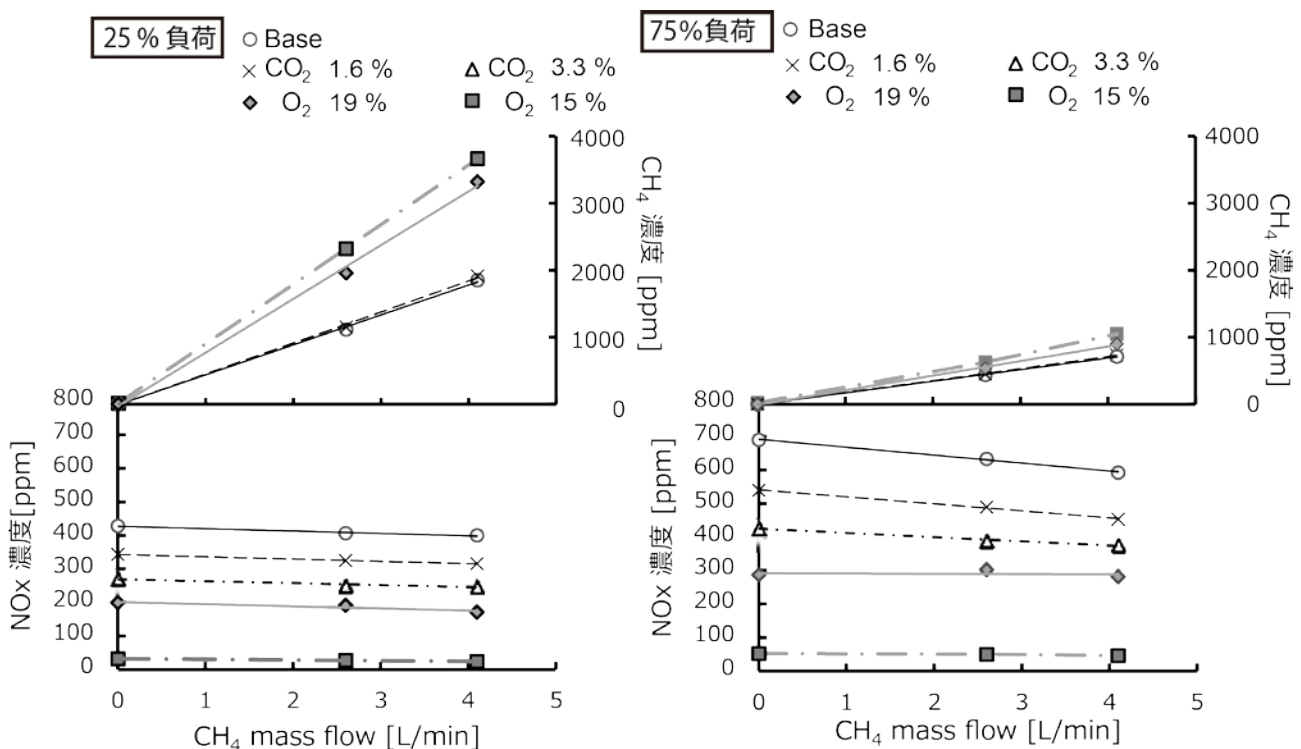


図 2 吸気中 CH₄、CO₂ 及び O₂ 濃度が排気中 NO_x 及び CH₄ 濃度に与える影響