

PS-13 船用ディーゼルエンジンとガスエンジンを組み合わせた コンバインド EGR システムの排出特性

環境・動力系 *新田 好古 西尾 澄人 市川 泰久 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(GHG)、窒素酸化物(NO_x)及び硫黄酸化物(SO_x)に関する規制が年々強化され、クリーンな排ガスが得られる天然ガスを使用するガスエンジンを船舶に搭載することが着目されている¹⁾。これまで NO_x 低減を目的とし、主機は拡散燃焼を用いたエンジン、補機は予混合燃焼を用いたガスエンジンで主機の EGR 用に補機排ガスを活用するシステムを提案し、その排ガス特性に関する研究をこれまで行ってきた²⁾。一方、予混合燃焼方式のガスエンジンに対しては GHG の一つであるメタンが未燃のまま排出されるメタンスリップの懸念があり、GHG 排出抑制及び燃費改善の観点から対策が望まれる。しかし、これまでに本 EGR システムにおけるガスエンジンからのメタンスリップに関して詳細な検討は行われていない。

本研究では、ディーゼルエンジンの NO_x とガスエンジン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、ガスエンジン排ガスをディーゼルエンジンに供給するコンバインド EGR システム(C-EGR システム)における、ディーゼルエンジン排ガスの特性を調査した。

2. 実験方法

本研究で使用したガスエンジン(6気筒, 過給機付き, 最大出力 434kW/1800rpm, ボア×ストローク: 155mm×180mm, ヤンマー製)及び船用中速4ストロークディーゼルエンジン(3気筒, 過給機付き, 最大出力 257.4kW/420rpm, ボア×ストローク: 230mm×380mm, 松井鉄工所製)を用いた C-EGR システムの概略図を図1に示す。ガスエンジン排ガスをディーゼルエンジンに供給するため、ガスエンジンの排気管からディーゼルエンジンの吸気部までバイパス管を設置し、その途中に水冷却器及びプロアを配置した。各エンジンの燃料は、都市ガス13A及びA重油を使用した。ガス分析は、各エンジンの排気管内、ディーゼルエンジン吸気マニフォールド内、各エンジンの排気管合流部後方にて測定した。

実験は、ガスエンジンの負荷率を一定(発電特性 25%)とし、ディーゼルエンジンの負荷率を船用特性で 25%、

50%、75%に設定し、各負荷率においてバイパス管に設置したプロアの電圧を段階的に変化することで、ディーゼルエンジンに供給するガスエンジン排ガス流量を調節した。表1に各エンジンの負荷率ごとの回転数及び軸出力をまとめて示す。実験中のプロア出口温度は 40-45°C で安定しており、吸気温度変化が燃焼及び排ガス特性に与える影響は小さいものとする。本実験では、メタンスリップが比較的多く排出される条件でガスエンジンの運転を行った。

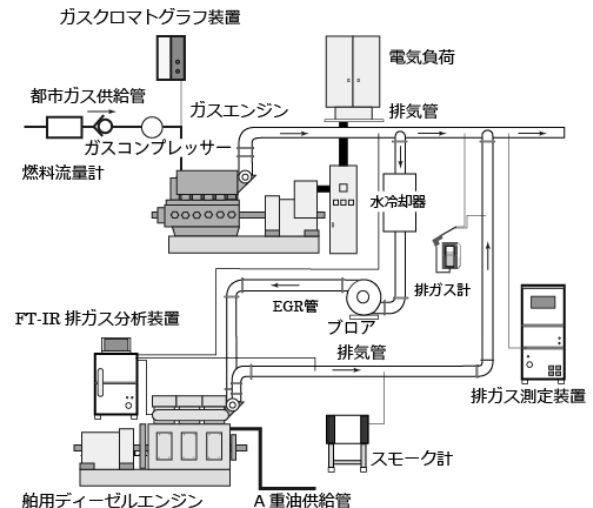


図1 実験装置概略図

表1 各エンジンの運転条件

	負荷率 [%]	軸出力 [kW]	回転速度 [min ⁻¹]
ディーゼル エンジン	25	64	265
	50	129	333
	75	193	382
ガスエンジン	25	100	1800

3. 実験結果と考察

本研究では、ディーゼルエンジン吸気マニフォールド中の二酸化炭素(CO₂)濃度 $C_{CO_2_m}$ 及びガスエンジン排ガス中の CO₂ 濃度 $C_{CO_2_G}$ を用いて、EGR 率を次式で定義した。

$$EGR \text{ 率} = \frac{C_{CO_2_m}}{C_{CO_2_G}} \quad (1)$$

図2はEGR率を変化させたときの、ディーゼルエンジンから排出されるNOx及び一酸化炭素(CO)の排出率並びにスートによる汚染度(FSN)を示す。EGR率が高くなるに伴いNOx排出率が低下し、特に負荷率25%において最も排出率が小さくなった。一方、EGR率が増加するにつれ、スート及びCOの発生が増加する。この結果から、NOx減少とCO及びスート発生はトレードオフの関係にあると考えられる。また、本実験では、吸気マニフォールド中のCO₂濃度が最大2vol.%程度まで増加した³⁾。このことから、同図の結果は、ディーゼルエンジン自身の排ガスを用いるEGRと同様に、吸気中O₂濃度の低下及びCO₂濃度上昇に伴う筒内温度及び圧力の低下により、NOx抑制及び燃焼状態の悪化に起因するCO及びスートの発生と考えられる。

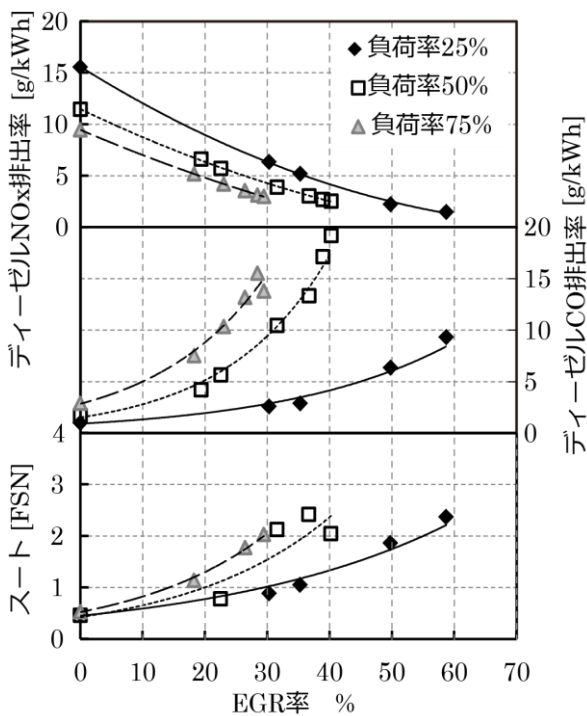


図2 NOx, CO 排出率及びスート

図3は、ディーゼルエンジンの各負荷率において、EGR率を変化させたときに吸入されたガスエンジン排ガス中メタンの削減率を示したものである。負荷率25%においては、メタン削減率は90%以上を示したが、負荷率75%においては、メタン削減率は75%程度まで低下した。また、メタン削減率はEGR率の変化に対して影響が少ないことが確認された。この理由は、船用特性においてディーゼルエンジンの負荷率が高くなるほど、過給機の回転速度が高くなり、バルブオーバーラップ時の吹抜け量が増加することが原因であると考

えられる。

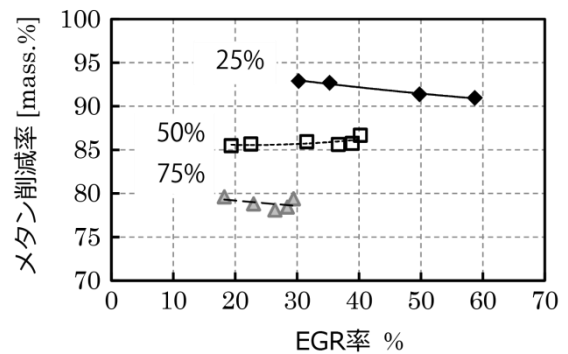


図3 EGR率とメタン削減率

これらの結果は、NOx減少とCO及びスート発生のトレードオフを考慮してEGR率を決定することで、メタン削減効果は変化させずにNOx低減効果が得られる可能性があることを示していると考えられる。なお、本実験中、ディーゼルエンジンは安定した運転状態が維持されており、C-EGRシステムによる運転への悪影響は確認されなかった。

4. まとめ

本研究の結果、ガスエンジン排ガスをディーゼルエンジンに供給するC-EGRシステムに対する排ガス特性に関して以下の知見を得た。

- (1) ディーゼルエンジンのNOx及びガスエンジンからのメタンスリップの同時削減が可能であることを示した。
- (2) ディーゼルエンジンにおけるNOx減少とCO及びスート発生のトレードオフを考慮してEGR率を決定することで、メタン削減効果を変化させずに、NOx低減運転が可能である。
- (3) ディーゼルエンジンにおける、ガスエンジン排ガス中のメタン削減率は、負荷率が低い場合に高く、負荷率が高い場合に低くなる傾向が示され、ディーゼルエンジンの負荷率25-75%におけるメタン削減率は、75-90%程度となる。

【謝辞】

本研究の実施にあたり、元海上技術安全研究所 柳東勲氏から多大な協力をいただいた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) S. Brynolfa ほか 2 名, Transportation Research Part D, 28, pp.6-18, 2014.
- 2) 柳ほか 2 名, 日本マリンエンジニアリング学会, 44-1, 145-149, 2009.
- 3) 新田ほか 4 名, 第 85 回日本マリンエンジニアリング講演会, 17-18, 2015.