

PS-24 ガス燃料の組成変化が機関性能に与える影響

環境・動力系 *市川 泰久、ボンダレンコ、関口 秀紀、柳 東勲、平田 宏一

1. はじめに

近年、排ガス中の環境負荷物質の排出量が少ないガス燃料船が注目されている。一方、ガス燃料船で用いられる LNG 燃料の組成は、産出地、貯蔵タンク内での経時分離・濃縮、ガス配管中の滞留等の要因により変化することが知られている¹⁾。ガス燃料船を安全かつ環境負荷が少なく、効率的に運航するためには、このようなガス燃料組成変化が、ガス機関の運転状態や燃焼特性に及ぼす影響を調査する必要がある。そこで、本研究では、ガス燃料組成変化が機関運転状態や排ガス成分、ノッキング発生特性に与える影響について調査・検討を行っている。本稿では本研究で行った一部の試験結果について報告する。

2. 験装置及び試験方法

表 1 に本研究で用いたガス機関の諸元と試験運転条件を、図 1 に実験・計測システムの構成を示す。本機関は副室着火方式・希薄予混合燃焼のガス専焼火花点火機関である。なお、第 6 気筒には筒内圧力センサを設置している。

本研究ではガス燃料組成変化が機関運転状態と排ガス成分に与える影響を調査するため、都市ガス（メタン約 90 Vol.%）にプロパン主成分の LPG（プロパン 98 Vol.%）を混合させて、ガス機関に供給する燃料組成を変化させた。この際、混合ガスに対する LPG の体積流量割合は最大 38 Vol.%とし、LPG 混合前後の燃料組成はガスクロマトグラフを用いて分析を行った。またガス燃料組成とノッキングの関係を調査するため、燃焼圧力を計測している第 6 気筒のみ点火時期を -15° TDC としノッキングが発生しやすい条件とした。

3. 試験結果

本試験では、LPG 混合割合を 38 Vol.%まで増加させた場合でも、回転数のハンチングや機関性能に影響を及ぼす排ガス温度の上昇は見られなかった。一方、排ガス成分やノッキングの発生については明らかな変化が現れたため、以下、その結果について述べる。

3.1 排ガス中の NOx, CO, THC 排出率に与える影響

図 2 に、プロパン主成分 LPG を 38 Vol.%まで混合した場合の NOx、CO、全炭化水素(THC)の排出率の変化を示す。この際、THC 排出率の算出には、水素炎イオン化検出器(FID)で分析したメタン換算の THC 濃度と燃料の平均分子量を用いた。同図から、NOx 排出率は、LPG の混合割合の増加に伴い増大する傾向がある。この NOx 排出率の増加は、火炎温度の上昇に起因すると考えられる。また、CO 排出率も LPG の混合割合の増加

表1 ガス機関の諸元と試験運転条件

Engine	AYG20L-SE (Yanmar co., Ltd.)	Speed	1500 min ⁻¹
Type	Lean Burn / S.I. / Prechamber	Power	320 kWe
Bore	155 mm	BMEP	1.35 Mpa
Stroke	180 mm	λ	1.85
Cylinder	6	Ignition	Cyl.1-5 : -8° TDC Cyl.6 : -15° TDC
		Timing	
		Intake Temp	14 $^{\circ}$ C

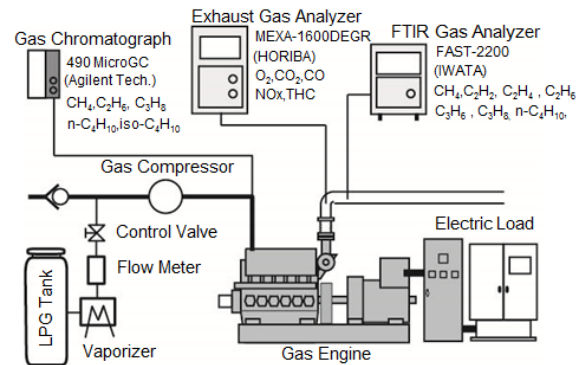


図1 実験・計測システムの概要

に伴い増大しており、この CO の増加は、CO の発生源となる燃料中の炭素の含有量が、LPG の混合により増大したことが一つの原因と考えられる。

一方、THC 排出率は LPG の混合割合の増加に伴い減少する傾向にある。排ガス中の HC の詳細な排出特性を調べるため、フーリエ変換赤外分光光度計 (FTIR) を用いてその組成を分析した。図 3 は LPG を混合しない場合と 38 Vol.%混合させた場合の、燃料消費率と HC 排出率を示す。なお、同図中には主な成分の質量分率も示した。同図から、ガス燃料組成は LPG 混合の有無により大きく異なるが、燃料消費率の差は小さい。これは LPG 混合の有無による熱効率の変化が少なく、各燃料成分の単位質量あたりの発熱量の差が小さいためであると考えられる。一方、図 3(b) から、HC 排出率は、LPG を 38 Vol.%混合した時の方が減少している。これは、LPG 混合時は未燃燃料に起因する損失が減少したことを示す。また、LPG を混合しない場合の HC 排出率中の組成はその燃料組成と類似していることが分かる。一方、LPG を 38 Vol.%混合した場合の HC 排出率中の組成はその燃料組成と異なり、HC 組成内のプロパンに対するメタンの割合が大きくなっている。メタンはプロパンに比べて着火温度が 100° C 程度高く、反応しにくいために、未燃状態で排出されやすい特性があると考えられる。温室効果ガスの一つであるメタンは、ガス機関からの排出量低減が求められるため、その評価には燃料組成に加えて排ガス中 HC 組成を把握することが重要となる。

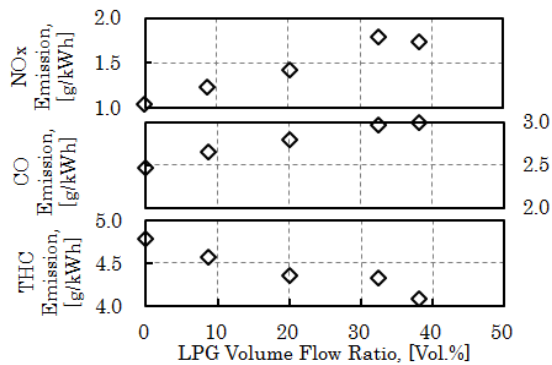
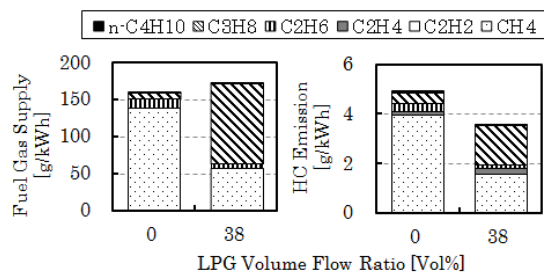


図2 排出率へのLPG混合の影響



(a) Fuel Gas (b) HC Emission

図3 組成別の燃料消費率とHC排出率の比較

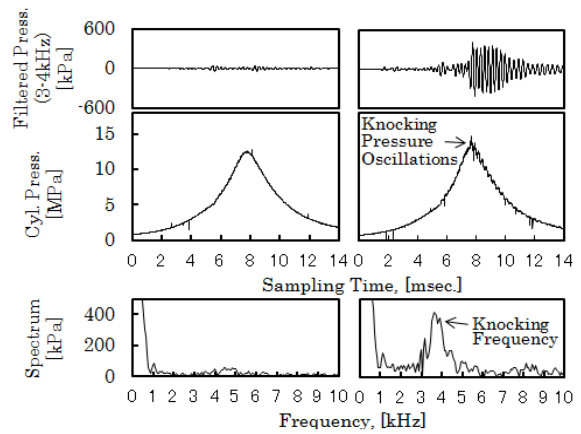
3. 2 ノッキング発生特性に与える影響

ノッキングとは、点火後の火炎伝搬による圧力上昇によってシリンダ内部の未燃混合気が断熱圧縮され着火に至り、これに伴う急激な圧力の上昇により気筒内部に圧力振動が発生する現象である。ガス機関における強いノッキングは、燃焼室壁面の過熱による焼損の危険があり、運用上、特に注意を要する²⁾。

図4に、本機関におけるノッキング発生状況の一例として、ノッキング未発生時と発生時の燃焼圧力波形とその周波数解析結果を示す。ノッキングが発生すると最大筒内圧力以後で振動が見られ、この振動は特有の周波数(ノッキング周波数)を有することが知られている²⁾。本機関のノッキング周波数は、図4の周波数解析結果から3.7kHz付近であることが分かる。

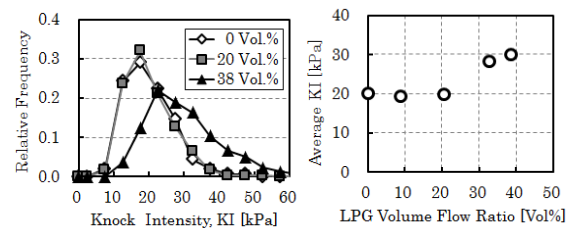
ノッキングの強さを表すKI(Knock Intensity)値にはいくつかの算出方法があるが^{2), 3)}、本研究では、“筒内圧力波形に3-4 kHzのバンドパスフィルタを掛け、得られた波形の絶対値に対する積分値を積分時間で割った値”として算出し、燃料組成変化に伴うKI値を評価した。

図5(a)はLPGを混合した際の計300サイクルに対するKI値の相対度数分布を示す。LPGの混合割合が38 Vol.%のとき、高いKI値の相対度数が増大していることが確認できる。図5(b)にLPG混合割合と平均KI値の関係を示す。同図から、LPG混合割合20 Vol.%以下では平均KI値の変化は見られないが、20 Vol.%以上では平均KI値が増大していることが確認できる。この結



(a) Knock Free Cycle. (b) Knock Cycle

図4 ノッキング圧力波形と周波数解析結果



(a) Relative Frequency Distribution. (b) Average KI

図5 LPG混合によるノッキング強度の変化

果から、平均KI値はある条件に達した場合に増大し始めると考えられる。平均KI値の増大は、強いノッキングが高頻度に発生していることを表し、ガス機関を損傷させる可能性が増していることを示す。以上の結果から、ガス燃料組成とKI値の関係を明らかにし、ガス機関に対して船用ガス燃料の耐ノッキング性状を管理することが重要になると考える。

4. まとめ

本研究におけるガス燃料の組成変化が機関性能に与える影響について調査・検討を行った結果をまとめる。ガス燃料中のプロパン成分の増加に伴い、NOxおよびCO排出率は増大し、THC排出率は減少し、平均KI値は増大した。詳細な解析・検討は必要であるが、この排ガス特性の変化および強いノッキングの高頻度発生は、燃料中のプロパンの増加によって、炭素含有量の増加、火炎温度の上昇、未燃燃料量の低減等の効果があったためであると考えられる。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 26820386 の助成を受けたものです。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 宇井、第83回マリンエンジニアリング学会学術講演会論文集(2013)、205-208
- 2) 後藤ら、日本機械学会論文集 B 編 63 巻 607 号(1997)、309-314
- 3) Federico MILLO ら、CIMAC Congress 2010、Paper 212