

低圧ガス噴射式2ストローク・ デュアルフューエルエンジンの開発

株式会社ディーゼルユナイテッド

船舶海洋技術セミナー
Ship and Marine Technology Seminar

低圧ガス噴射式2ストローク
デュアルフューエルエンジン技術の開発
Development of Low-Pressure Gas Injection
2-stroke Dual-Fuel Engine Technology

株式会社ディーゼルユナイテッド
DIESEL UNITED, LTD.

目次

Contents

1. 背景および目的
Background and target
2. 低圧ガス噴射式2ストロークDF機関
Concept of low pressure gas injection 2 stroke dual fuel engine
3. 開発経緯
History
4. テスト機関 W6X72DF概要
Test engine W6X72DF
5. DFエンジン技術の開発
Development of dual fuel engine technology
6. まとめ
Conclusion

目次

Contents

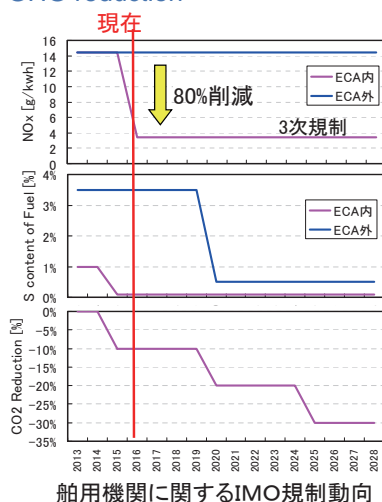
1. 背景および目的
Background and target
2. 2ストローク低圧DF機関
Concept of low pressure gas injection 2 stroke dual fuel engine
3. 開発経緯
History
4. テスト機関 W6X72DF概要
Test engine W6X72DF
5. DFエンジン技術の開発
Development of dual fuel engine technology
6. まとめ
Conclusion

背景

1. 環境規制

Emission regulations

- **NO_x**低減 (IMO NO_x 3次規制)
NO_x reduction (IMO NO_x Tier III)
- **SO_x**低減 (燃料油中のS分規制)
SO_x reduction (Sulfur in Fuel)
- **GHG**(温室効果ガス)低減
GHG reduction



2. 燃料転換

Fuel conversion

船舶燃料の価格動向

Price trend for marine fuel oil



出典 (財)日本エネルギー経済研究所
Reference: The Institute of Energy Economics, Japan

ガスエンジンは重油焼きディーゼルエンジンに比べ容易に、これらのニーズへ対応可能
Gas engine can easily achieve low emission and fuel conversion in contrast with diesel engine

DF機関(ガス運転, ディーゼル運転の切替え可能な機関)の開発が必要
Development of DF engine (both operation of gas and diesel) is required

低圧ガス噴射式2ストローク・ガスエンジンの必要性

Expectation for low pressure gas injection 2 stroke gas engine

IHI GROUP
Realize your dreams

ガスエンジンの現状

Current status of gas engine

- ・大部分が4ストローク
4 stroke gas engine is major

➤ 大出力, 高効率化が困難
High power and high efficiency are difficult

- ・2ストロークでは拡散燃焼方式がすでに実用化
2 stroke gas engine with diffusion combustion was already realized

➤ 高圧ガス供給 ⇒ 安全上の懸念
High pressure gas supply ⇒ Safety concerns

➤ 再液化装置が必要
Re-liquefying unit is required

➤ エンジン単体でNO_x3次規制クリアできない
Cannot comply with IMO NO_x Tier III
without after treatment system

ガスエンジンへの要求

Requirements to gas engine

- ・2ストローク (信頼性, 大出力の観点から)
2 stroke (reliability and high power)
- ・低圧ガス噴射 (簡便な燃料供給装置)
Low pressure gas injection (Simple gas supply system)
- ・予混合燃焼方式 (NO_x3次規制クリア)
Pre-mixed combustion type (Comply with IMO NO_x Tier III)

低圧ガス噴射による予混合燃焼方式2ストローク・ガスエンジン
Premixed combustion 2 stroke gas engine with low pressure gas injection

Copyright © 2013 DIESEL UNITED, LTD. All Rights Reserved.

5

DIESEL UNITED, LTD.

開発目標

Target of Development

IHI GROUP
Realize your dreams

市場から求められる低圧ガス噴射による予混合燃焼方式2ストロークDFエンジン実現のための技術開発

Development of the premixed combustion 2 stroke dual fuel engine technology with low pressure gas injection requested by a market

要件

Requirement

- ① : エンジン単体でIMOのNO_x3次規制クリア
Comply with IMO NO_x Tier III without after treatment system
- ② : 排ガス中の未燃ガス濃度 (THC) 低減
Reduction of unburned gas emission (THC)
4ストローク・ガスエンジンと同等以下
Even or below the level of 4 stroke gas engine
- ③ : 安定燃焼実現
Stable combustion
 - ・過早着火, ノッキングなし
No pre-ignition, No knocking
 - ・4ストローク・ガスエンジンと同等以下のサイクル変動
⇒ IMEPのCOV < 5%
Even or better cycle fluctuation of 4 stroke gas engine
⇒ COV of IMEP < 5%

$$COV = \frac{\sigma}{|\text{Ave}|}$$

σ : IMEPの標準偏差 (Standard deviation of IMEP)

Ave : IMEPの平均値 (Average value of IMEP)

6

Copyright © 2013 DIESEL UNITED, LTD. All Rights Reserved.

DIESEL UNITED, LTD.

目次

Contents

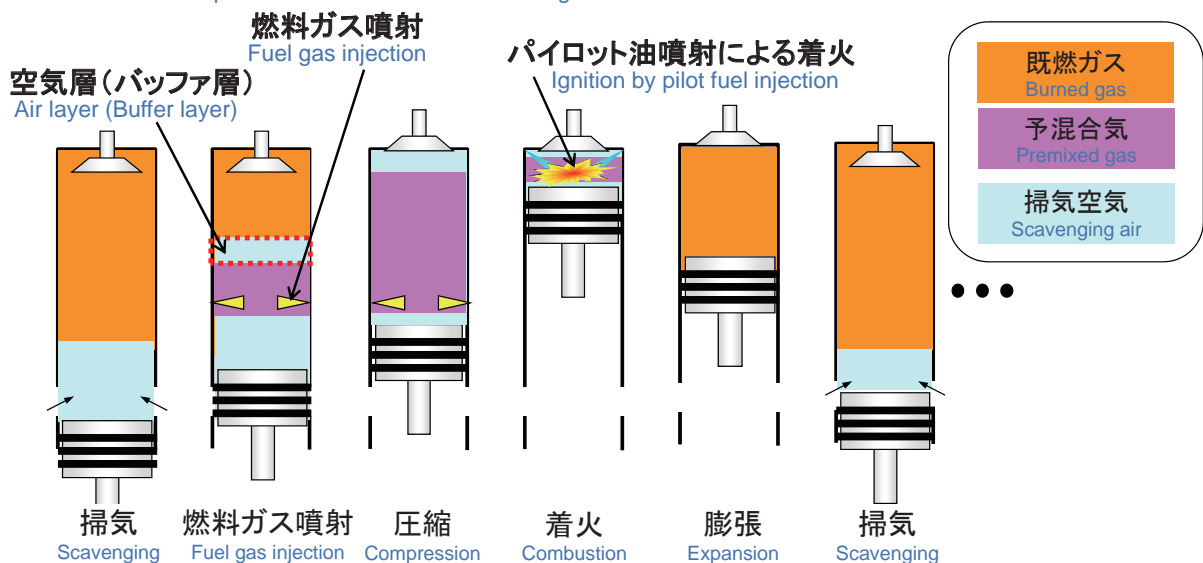
1. 背景および目的
Background and target
2. 2ストローク低圧DF機関
Concept of low pressure gas injection 2 stroke dual fuel engine
3. 開発経緯
History
4. テスト機関 W6X72DF概要
Test engine W6X72DF
5. DFエンジン技術の開発
Development of dual fuel engine technology
6. まとめ
Conclusion

低圧ガス噴射式予混合2ストロークガスエンジン

Premixed combustion 2 stroke gas engine with low pressure gas injection

DU/IHI方式の予混合燃焼方式DFエンジン作動概念図

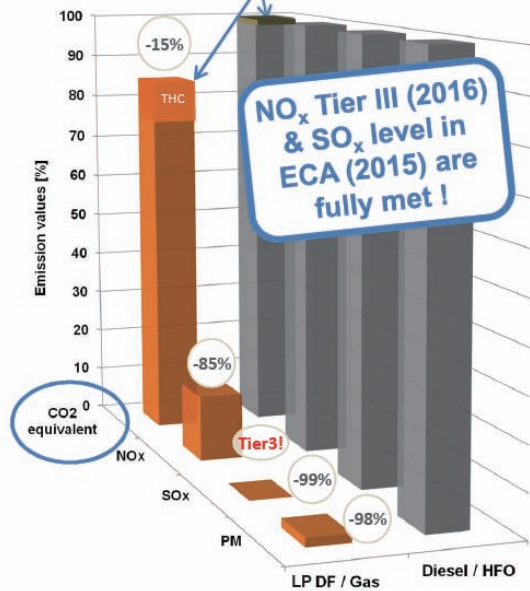
DU/IHI method of premixed combustion dual fuel engine



予混合燃焼 & オットーサイクル
Premixed combustion & Ott cycle

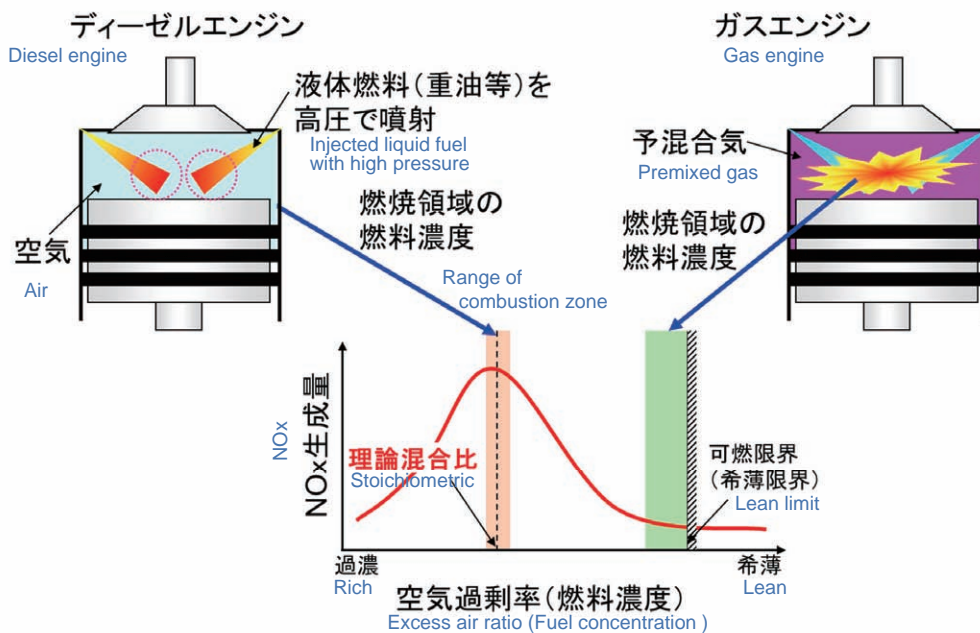
予混合燃焼時の排気ガス性状 Exhaust gas emission of premixed combustion

メタンスリップを考慮した温室効果ガス削減量
Contribution to CO2 reduction including the methane slip



- ▶メタンスリップ [THC emissions (Total unburned Hydrocarbons)]が存在
Possibility of Methane slip [THC (Total unburned hydrocarbons)]
- ▶メタンはCO₂に比べ温室効果が20~25倍
The greenhouse effect of Methane is 20-25 times bigger than CO₂
- ▶しかしメタンスリップを考慮しても、2ストローク低圧DFでは約15%の温室効果ガス削減効果あり
Premixed combustion 2 stroke dual fuel engine can achieve 15% reduction of the greenhouse gas including the methane slip
- ▶メタンスリップ低減の研究を進めている
We are continuing the research work for Methane slip reduction

予混合燃焼方式ガスエンジンが低NOxな理由 Reason why premixed combustion gas engine can reduce NOx



予混合燃焼方式ガスエンジンは希薄な状態で燃焼可能 → 低NOx化が可能
Premixed combustion gas engine can burn the lean pre-mixture → Low NOx

目次

Contents

1. 背景および目的
Background and target
2. 2ストローク低圧DF機関
Concept of low pressure gas injection 2 stroke dual fuel engine
3. 開発経緯
History
4. テスト機関 W6X72DF概要
Test engine W6X72DF
5. DFエンジン技術の開発
Development of dual fuel engine technology
6. まとめ
Conclusion

開発経緯

History of development

年度 Year	実施項目 Items	備考 Remarks
2010	FS実施 Feasibility study	
2011	DF技術開発試験(50cmボア, 1cylのみ) DF technological development test (50 cm bore, only 1 cylinder)	実用機関初の2ストローク機関予混合燃焼 The first successful running of premixed combustion 2 stroke engine ☆1
2012	DF技術開発試験(50cmボア, 1cylのみ) DF technological development test (50 cm bore, only 1 cylinder)	☆1
2013	要素試験による課題解決 Resolving of subject by fundamental test	実用化への開発開始 Start of development for practical application ☆2
2014	要素試験による課題解決 Resolving of subject by fundamental test	☆2
2015	供試機関(ボア72cmのフルスケールエンジン)による実証試験 Verification test by test engine (72 cm bore real scale size engine)	☆2

☆1: 高効率船舶等技術研究開発補助金

"Support for Technology Development from Marine Vessels for Curtailing CO2" by MLIT

☆2: 船舶から排出される二酸化炭素(CO2)削減のための技術開発支援事業

"Support for technology development from marine vessels for curtailing CO2" by MLIT

目次

Contents

1. 背景および目的
Background and target
2. 2ストローク低圧DF機関
Concept of low pressure gas injection 2 stroke dual fuel engine
3. 開発経緯
History
4. 実証機関 W6X72DF概要
Test engine W6X72DF
5. DF機関エンジン技術の開発
Development of dual fuel engine technology
6. まとめ
Conclusion

供試機関の概要

Configuration of test engine

実機フルスケール試験機を使用しこれまでの開発技術を実証
Verification test of developed technology was done by real scale size test engine



試験機外観 (W6X72DF)
Overview of test engine

Item	Value
Base Engine	W6X72DF
Number of Cylinder	6
Bore x Stroke	Φ720 x 3086 mm
Rated Power	19,350 kW (R1)
Rated Speed	89 rpm (R1)
BMEP	1.73 MPa
Gas Inj. Method	Liner Inj. / Scv. Inj.
Gas Inj. Pressure	< 1.0 MPa (LNG supply press. <1.6MPa)
Ignition Method	Pilot Inj. + PCC

PCC: Pre-combustion Chamber

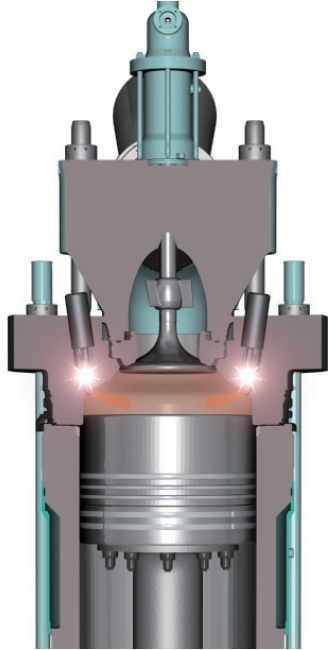
供試機関の特徴

Features of test engine

IHI GROUP
Realize your dreams

パイロット噴射方式

Pilot injection method



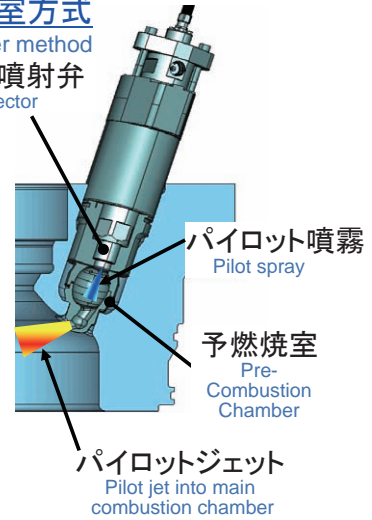
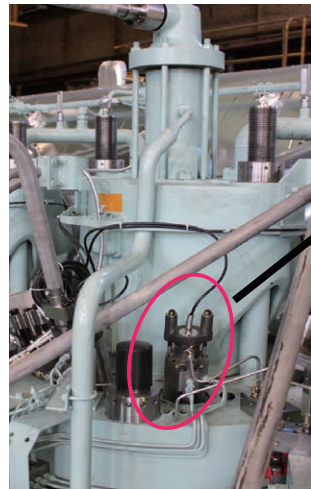
予燃焼室方式

Pre-combustion chamber method

予燃焼室方式

パイロット油噴射弁

Pilot fuel injector



パイロット噴射+予燃焼室方式のメリット

Advantages of pilot injection + pre-combustion chamber

Advantages of pilot injection + pre-combustion chamber

- ・パイロット噴射量低減 → 低NO_x
Reduction of pilot fuel consumption → NO_x reduction
- ・少量噴射でも強力な着火力を維持 → 安定着火
Strong ignition energy can be achieved under the small quantity of the pilot injection → Stable combustion

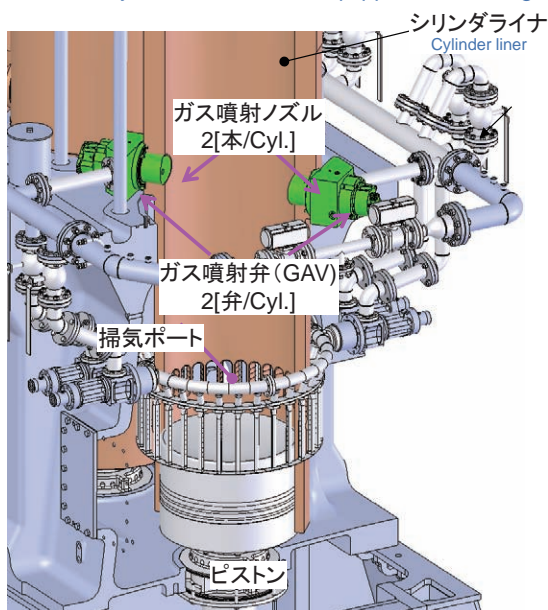
Copyright © 2013 DIESEL UNITED, LTD. All Rights Reserv

ガス噴射方式

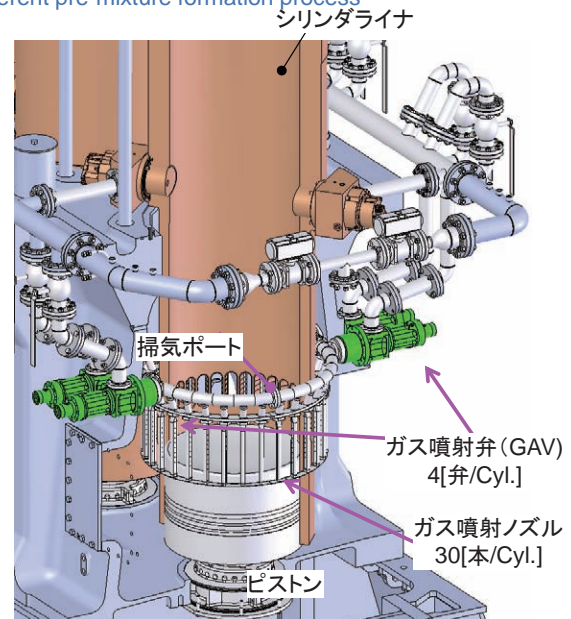
Gas injection method

IHI GROUP
Realize your dreams

供試機関には、異なる予混合気形成過程を再現可能な二種類の噴射装置を装備
2 kinds of injection devices are equipped on test engine for different pre-mixture formation process



ライナガス噴射方式
Liner gas injection



掃気ポートガス噴射方式
Scavenging port gas injection

Copyright © 2013 DIESEL UNITED, LTD. All Rights Reserved.

16

DIESEL UNITED, LTD.

目次

Contents

1. 背景および目的
Background and target
2. 2ストローク低圧DF機関
Concept of low pressure gas injection 2 stroke dual fuel engine
3. 開発経緯
History
4. テスト機関 W6X72DF概要
Test engine W6X72DF
5. DFエンジン技術の開発
Development of dual fuel engine technology
6. まとめ
Conclusion

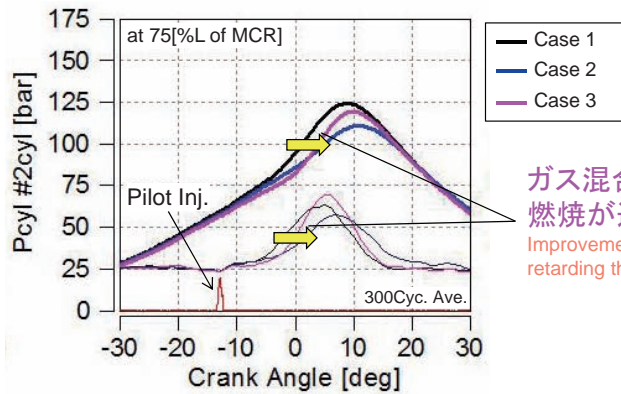
開発目標と成果

Development target and achievement

開発目標 Target of Development	目標値 Target figure	成果 Achievement	
		従来式ガス噴射による 混合気形成 Gas mixing by conventional gas injection	本開発技術式ガス 噴射による混合気形成 Gas mixing by this technology development
ガス混合促進と安定ガス噴射実現 Improvement of gas mixing and stable gas injection	エンジン単体でIMO NOx 3次規制クリア Comply with IMO NOx Tier III without after treatment system	○	○
	過早着火: なし No Pre-ignition	△	○
	ノッキング: なし No Knocking	○	○
THCの低減 THC reduction	4st-GE相当 Comparable to 4st-GE	○	○
安定燃焼 Stable combustion	4st-GE相当 (IMEPのCOV<5%) Comparable to 4st-GE (IMEP COV <0.5%)	○ (2%以下) (less than 2%)	○ (2%以下) (less than 2%)

予混合気形成が主燃焼に与える影響

Effect of gas mixing performance to the combustion behavior



ガス混合を促進し希薄化すると燃焼が遅くなる
Improvement of gas mixing causes the retarding the ignition



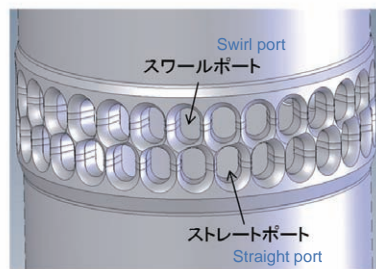
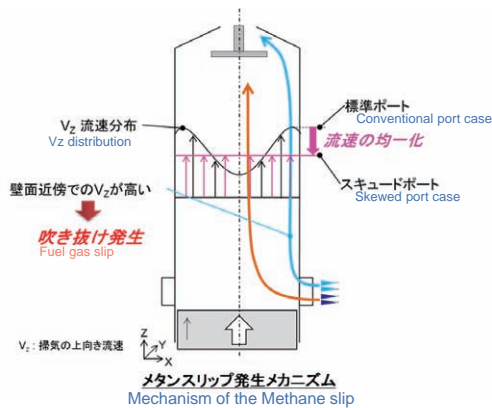
・異常燃焼(過早着火,ノッキング等)抑制

Abnormal combustion (pre-ignition, knocking) can be reduced

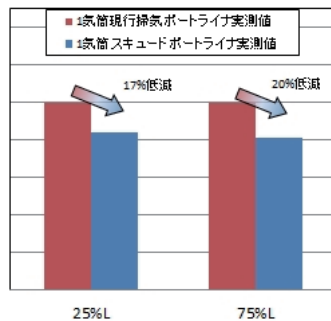
希薄な予混合気形成が安定燃焼へのキーであり、ガス噴射位置、噴射方向、噴射圧力、噴射タイミング等が重要
Lean pre-mixture is a key point for stable combustion and gas injection valve position, injection direction, injection pressure, injection timing etc. are important parameter to make the lean pre-mixture.

メタンスリップ低減手法

Methane slip reduction



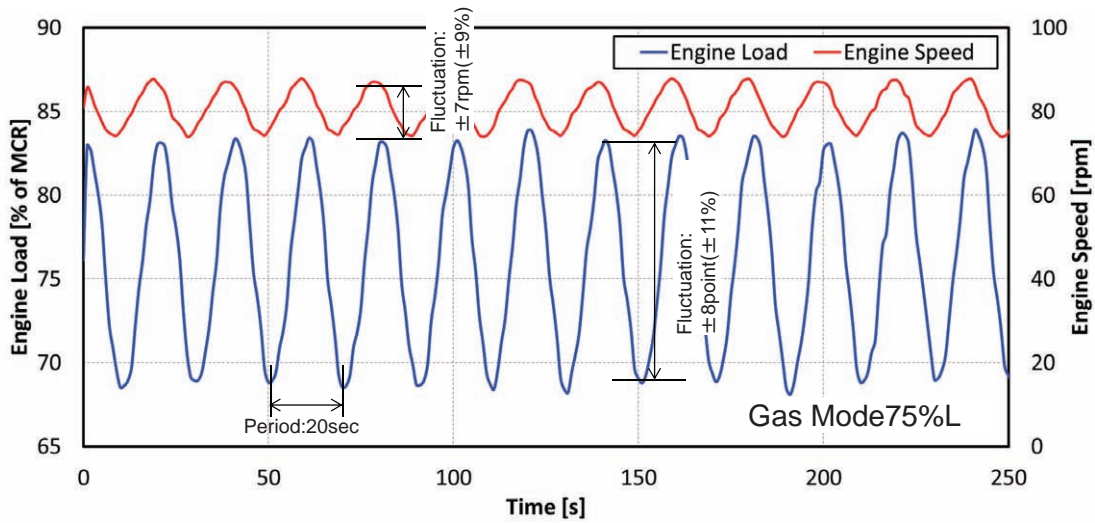
スキュードポート形状(3Dモデル)
Skewed port geometry (3D model)



スキュードポートライナとガス噴射条件最適化により、メタンスリップ低減が可能

Methane slip reduction is available by optimization of skewed port liner and gas injection condition

船用エンジン主機としての要件の一つ、負荷変動などによる空燃比変動時の安定燃焼可否を確認
For marine applications, engine must be able to operate in rough sea condition where air/fuel ratio is fluctuated.



失火, ノッキングの発生なし

NO misfiring, No knocking

負荷変動が存在する状態でもガス運転を継続可能

Engine can operate in gas mode continuously under load fluctuation condition

目次

Contents

1. 背景および目的
Background and target
2. 2ストローク低圧DF機関
Concept of low pressure gas injection 2 stroke dual fuel engine
3. 開発経緯
History
4. テスト機関 W6X72DF概要
Test engine W6X72DF
5. DFエンジン技術の開発
Development of dual fuel engine technology
6. まとめ
Conclusion

Conclusion

1. 2ストローク予混合燃焼方式DFエンジンが、今回開発された技術により十分実現できることを実機供試エンジン試験によって確認した
It is confirmed that 2 stroke dual fuel engine with pre-mixed combustion can be realized by verification test on real scale engine test.
2. エンジン単体でIMO NOx 3次規制を十分クリアする
This DF engine can meet with IMO NOx Tier III regulation without after treatment.
3. 十分に希薄な予混合気を形成すれば、予混合燃焼機関で懸念される異常燃焼を実用上問題のない範囲に抑制可能
Lean pre-mixture can reduce the abnormal combustion of pre-mixed combustion DF engine with enough capability of engine control under practical using.
4. 予混合燃焼において、既存の中速ガスエンジン並みのサイクル変動(安定燃焼)を実現した
Premixed combustion 2 stroke DF engine achieved low cycle fluctuation which is comparable to 4 stroke DF engine with pre-mixed combustion.

Acknowledgment

今回紹介した、低圧ガス噴射式2ストローク・デュアルフューエルエンジン技術の開発は、国土交通省殿の「船舶から排出される二酸化炭素(CO₂)削減のための技術開発支援事業」の対象事業および一般財団法人日本海事協会殿の研究テーマとして採択され、実施しております。ここに記して心から謝意を表します。

The Development of 2-stroke Low-Pressure gas injection Dual-Fuel Engine technology introduced today is supported as one of projects of "Support for technology development from marine vessels for curtailing CO₂" by Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism and selected as a research project by Nippon Kaiji Kyokai (ClassNK).

Diesel United expresses sincere appreciation to these associations.

Thank you for your cooperation

IHI GROUP
Realize your dreams