



# 船舶推進用デュアルフューエル機関の紹介

Introduction of NIIGATA dual-fuel engine for marine propulsion

～ガス燃料船への適用～

～Gas fuelled engine for marine vessel application.～

新潟原動機株式会社

Niigata Power Systems Co., Ltd.

### 1. 背景と目的

Background and development target

### 2. ガス燃料機関について

About gas fuelled engine

### 3. デュアルフューエル機関の要素開発

Development of dual fuel engine

### 4. デュアルフューエル機関商用機

#### 6L28AHX-DFの紹介

Introduction of commercial dual fuel engine, 6L28AHX-DF

### 5. 実船への搭載に向けて

Aim for installation into actual ship

### 6. まとめ

Conclusion

### 1. 背景と目的

Background and development target

### 2. ガス燃料機関について

About gas fuelled engine

### 3. デュアルフューエル機関の要素開発

Development of dual fuel engine

### 4. デュアルフューエル機関商用機

#### 6L28AHX-DFの紹介

Introduction of commercial dual fuel engine, 6L28AHX-DF

### 5. 実船への搭載に向けて

Aim for installation into actual ship

### 6. まとめ

Conclusion

# 背景

## Background

- 海運においては、機関からの排出ガスの規制が年々厳しくなっており、ディーゼル機関では**単体での規制満足が難しい**

Nowadays, regulation of exhaust emission from engines is becoming more strict year by year in the marine field, and it is difficult to fulfill the regulation by diesel engine itself.

- そこで、脱硝装置等の付加装置による排出ガス清浄化を検討しているが、**設置スペース等、種々の課題がある**

Purification of exhaust emission by adding SCR systems and such is being considered, but there are problems such as installation space and so on.

- これに対し、ガス燃料機関は、NO<sub>x</sub>等の排出量が少なく、**単体での規制満足が可能である**

On the other hand, gas fuelled engines emit low NO<sub>x</sub>, therefore it is possible to satisfy the regulation by the engine itself.

- しかし、ガス燃料機関は、**動特性・燃料積載量等の制約がある**ことから、現在の船舶推進用機関としてはディーゼル機関が主流である

However, gas fuelled engines have restriction of transient performance and on-board fuel quantity, thus diesel engines are mainly used for marine propulsion engine.

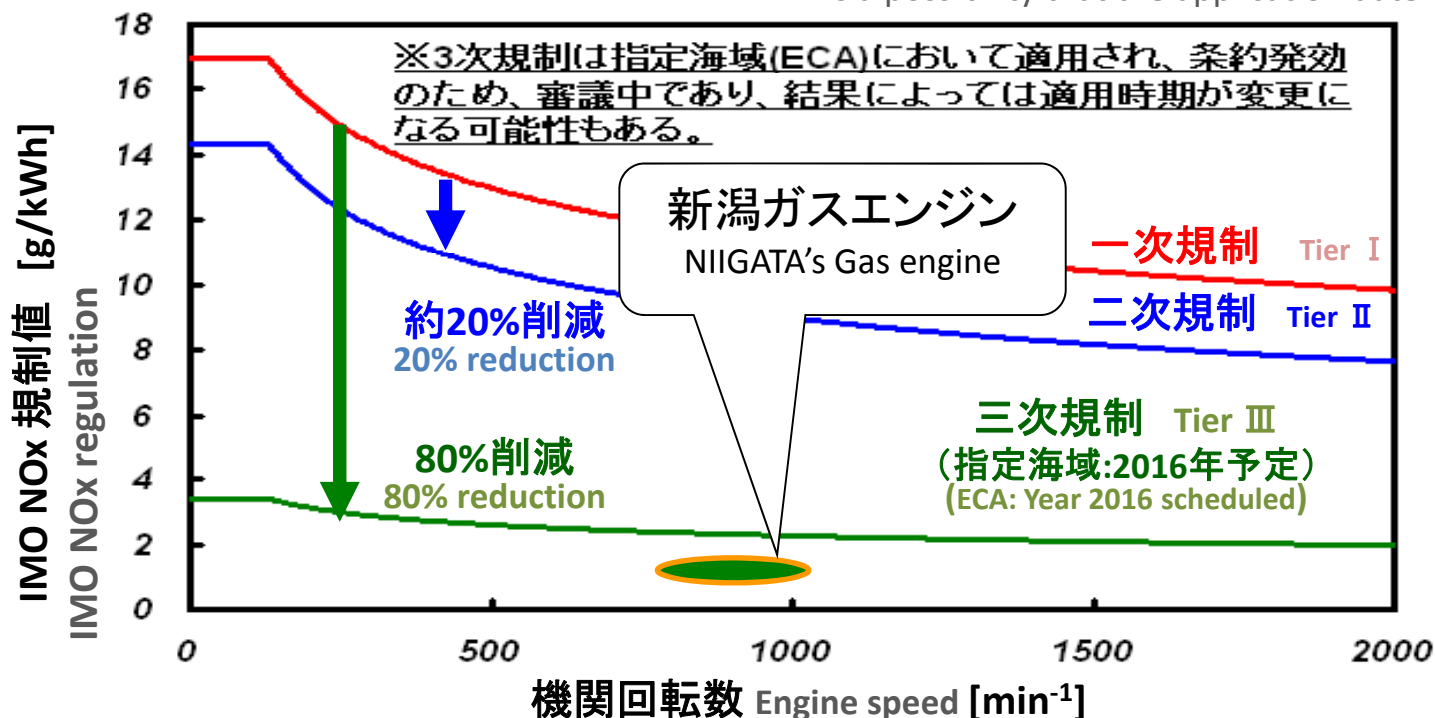
# 目的

## Development target

機関からの排出ガスの規制を満足し、地球環境保護に貢献することを目的として、船舶推進用ガス燃料機関を開発しこれを船舶に搭載する

Our goal is to fulfill the restriction of exhaust emission from engines, and make a contribution to the preservation of global environment. To achieve this goal, NIIGATA developed gas engine for marine propulsion.

Application date of Tier III is under discussion, and there is a possibility that the application date may change.



### 1. 背景と目的

Background and development target

### 2. ガス燃料機関について

About gas fuelled engine

### 3. デュアルフューエル機関の要素開発

Development of dual fuel engine

### 4. デュアルフューエル機関商用機

#### 6L28AHX-DFの紹介

Introduction of commercial dual fuel engine, 6L28AHX-DF

### 5. 実船への搭載に向けて

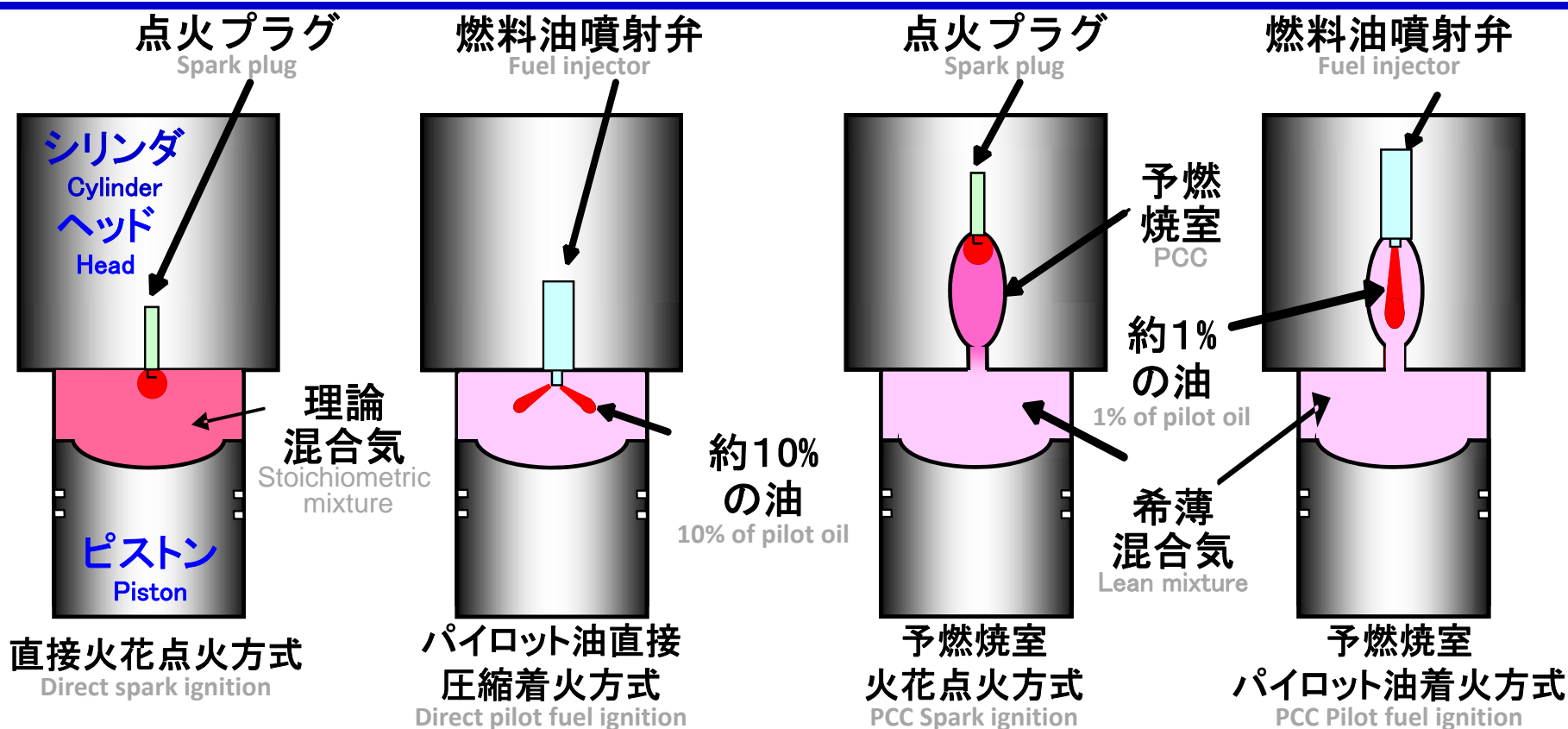
Aim for installation into actual ship

### 6. まとめ

Conclusion

# ガス燃料機関の燃焼方式

## Ignition method of gas fuelled engine



### 機関の用途及びサイズに応じて適切な方式を選択

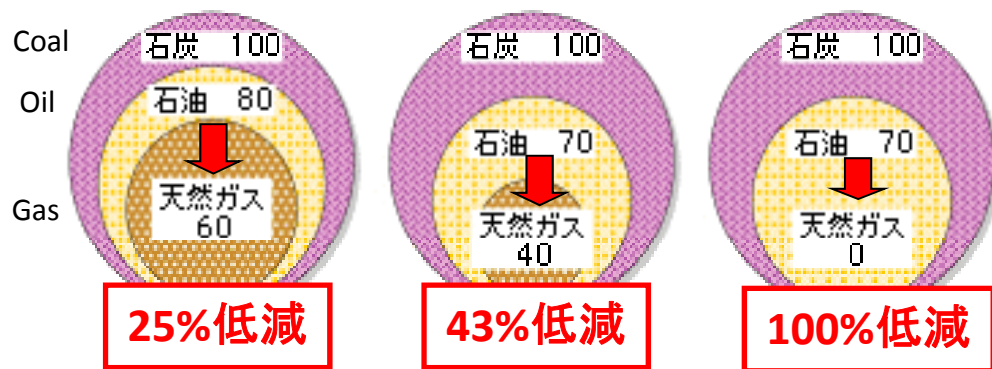
Proper method should be selected

# ガス燃料機関の環境優位性

Environmental superiority of gas fuelled engines

ガス燃料機関はディーゼル機関と比べ、**燃料の違い、燃焼形態の違い**によりNO<sub>x</sub>等の排出量を低減出来る

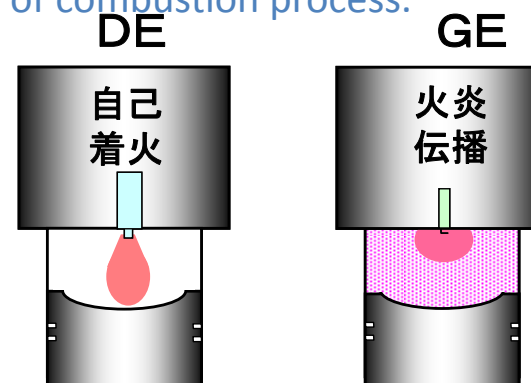
Gas fuelled engines can reduce emission such as NO<sub>x</sub> compared to diesel engines, because of the difference of fuel and the difference of combustion process.



二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>)      窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>)      硫黄酸化物 (SO<sub>x</sub>)

出典:IEA「Natural Gas Prospects to 2010」(1986)

**燃料由来**  
Characteristics of fuels



圧縮比: DE > GE

Compression ratio

燃焼温度: DE > GE

Combustion temperature

サーマルNO<sub>x</sub>: DE > GE

Thermal NO<sub>x</sub>

**燃焼形態**

Combustion process

ガス燃料機関は**高い環境適合性を有する**

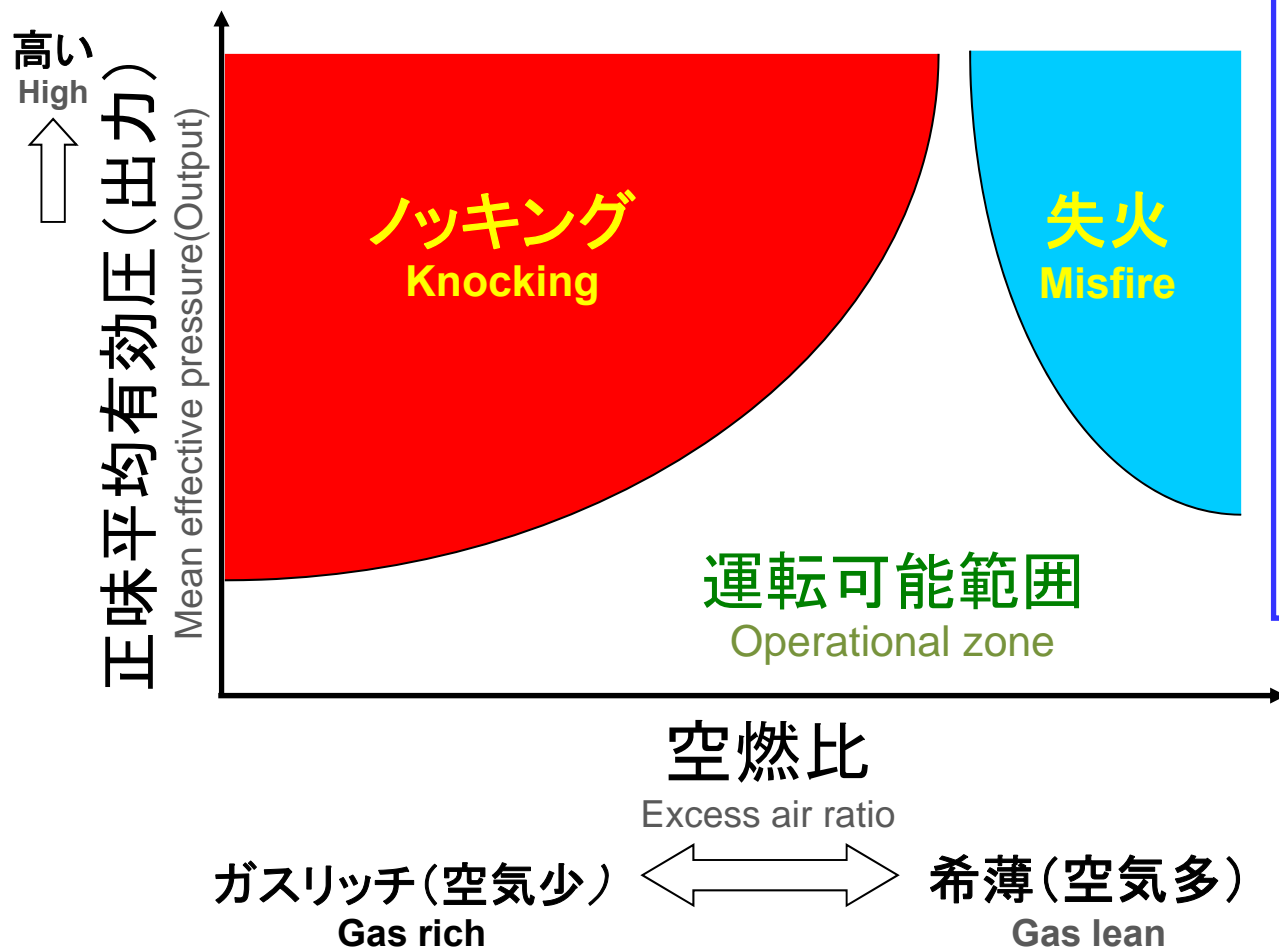
Gas engines have good environmental adaptivity.

DE: ディーゼル機関  
GE: LNG機関



# ガス燃料の燃焼範囲

## Combustion zones of gas fuel



燃料ガス量に対して、  
 空気量が多過ぎてても少  
 な過ぎてても、**運転可能  
 範囲を外れる。**  
 また、出力が高いほど  
**運転可能範囲が狭い。**  
 Too less or too much air drives  
 operation point out of the  
 operational zone.  
 And higher the output, smaller  
 the operational zone becomes.

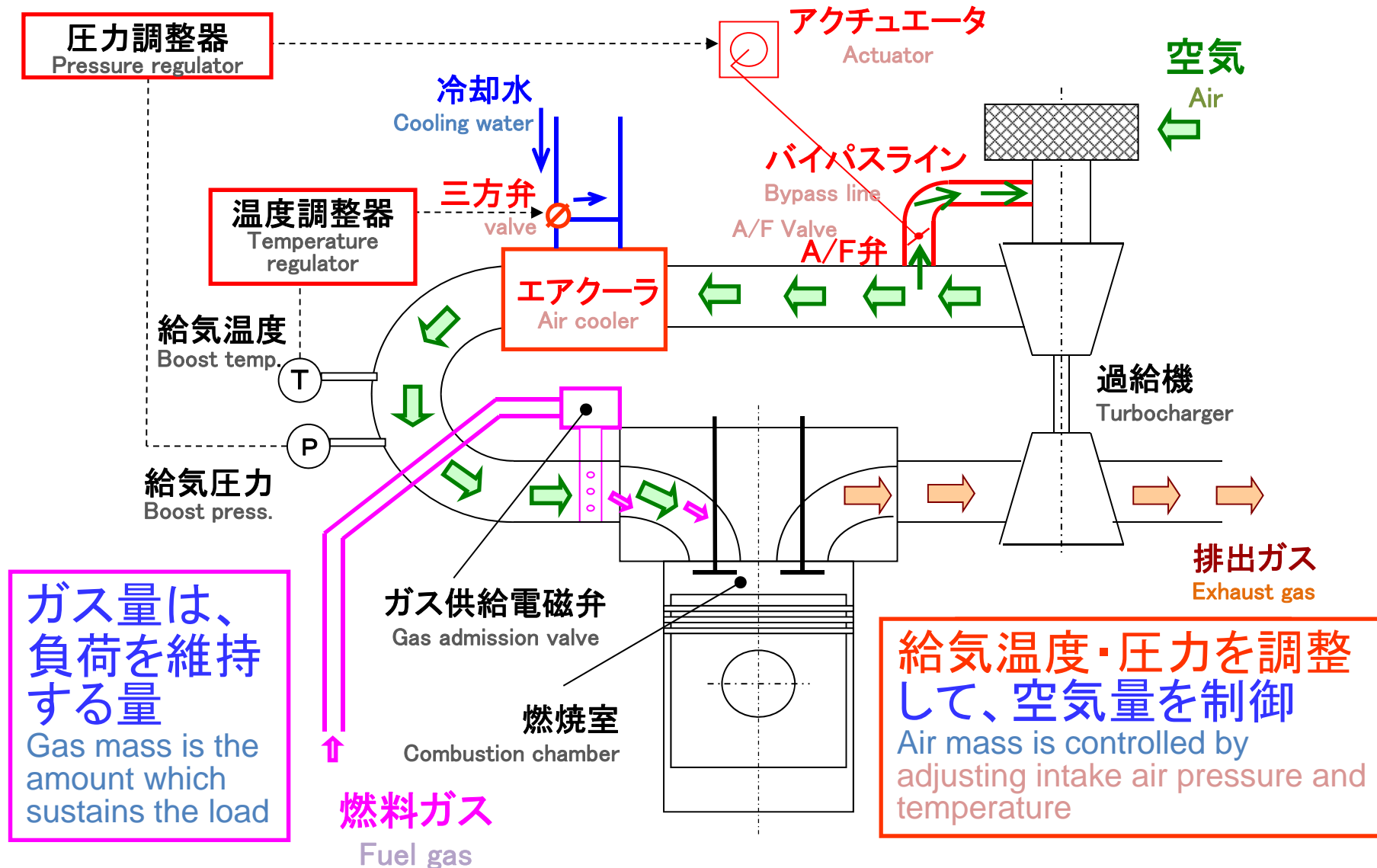


**空燃比の  
 調整が必要**  
 Adjustment of **excess  
 air ratio** is necessary.

空燃比: 吸入空気量と燃料ガス量の比  
 Excess air ratio: Ratio between intake gas and fuel gas

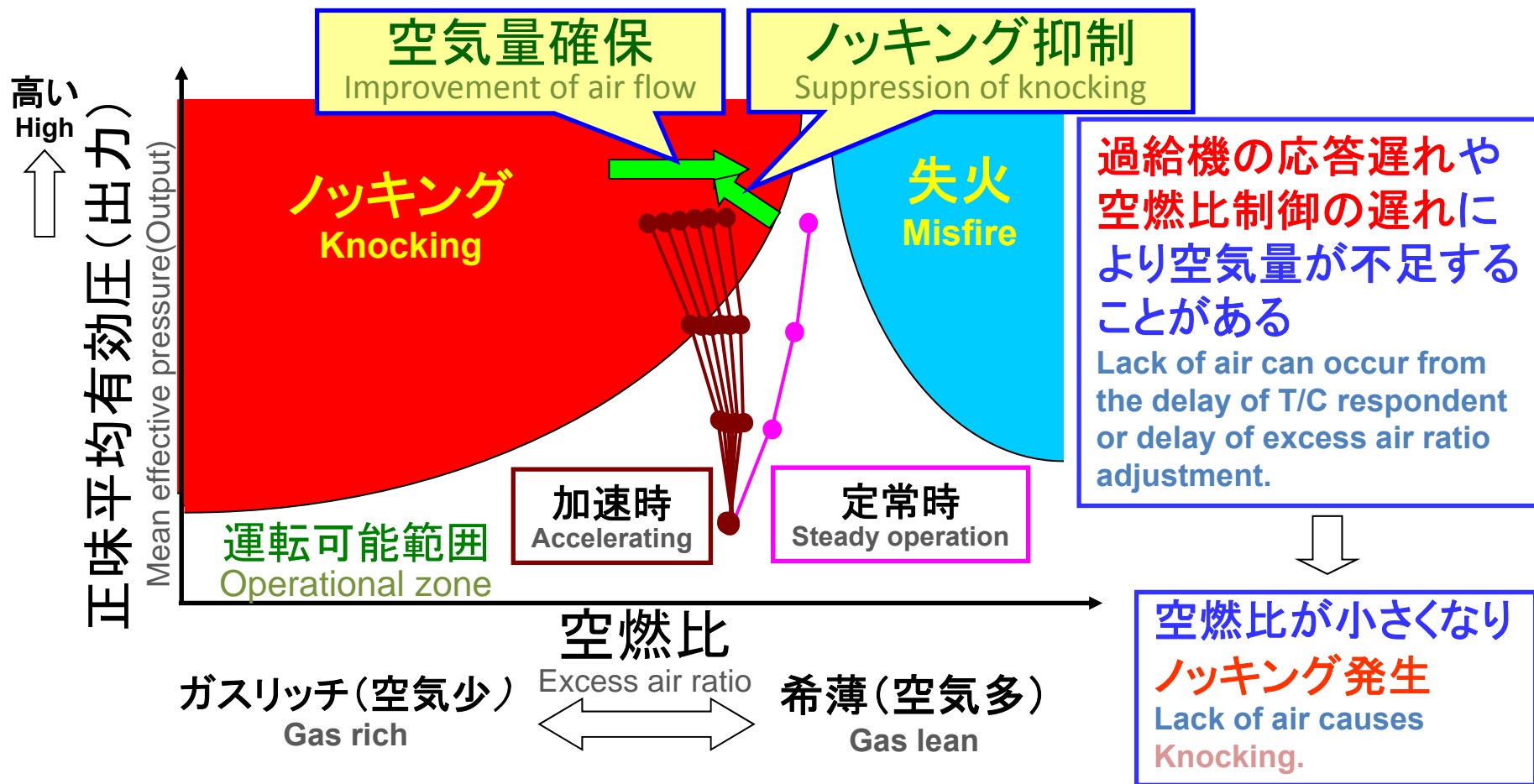
# 空燃比制御

## Adjustment of excess air ratio



# 動特性(加速時の空燃比)

Transient performance (Excess air ratio during acceleration)



動特性を改善するためには、  
**空気量確保**や**ノッキング抑制**が必要

To improve transient performance,  
 secure of sufficient air flow and suppression of knocking is necessary

## 課題1: 冗長性(故障時の対応)

Challenge1: Redundancy (handling of failure)

ガス燃料機関は、電子式制御を多用しており、船級ルール上は、これらに対して、**2重化・機械式**によるバックアップが求められる

Gas engines use electrical control, which is demanded to have **duplex control or a mechanical system backup** by ship classifications.

しかし、ガス燃料機関の制御をすべて**2重化・機械式**とすることは一般的に難しい

However it is difficult to have duplex control or mechanical control system on gas engines.

**デュアルフューエル機関**をベースに開発することで冗長性を図る  
 なお、従来のデュアルフューエル機関は燃料油の噴射量が多く有害ガス排出量低減効果が少ない

Redundancy is maintained by applying dual fuel engine, which also can be operated in diesel mode. Conventional dual fuel engine uses large quantity of pilot fuel, therefore effect of reducing harmful emission is less.

## 課題2: 動特性

Challenge2: Transient operation

これまでのガス燃料機関の通常用途は陸上発電用である

Conventional gas fuelled engines were for land use operation.

ディーゼル機関に対して動特性が劣るため、負荷率  
0→100%の操作に10分程度を要している

These engines takes 10 minutes from idle to 100% load, and are inferior to diesel engines in transient operation.

一方、船舶では数十秒での操作が要求される

On the other hand, marine application engines are required to put on load from idle to 100% within less than half a minute.

空気量確保、ノッキング抑制により、  
動特性の改善を図る

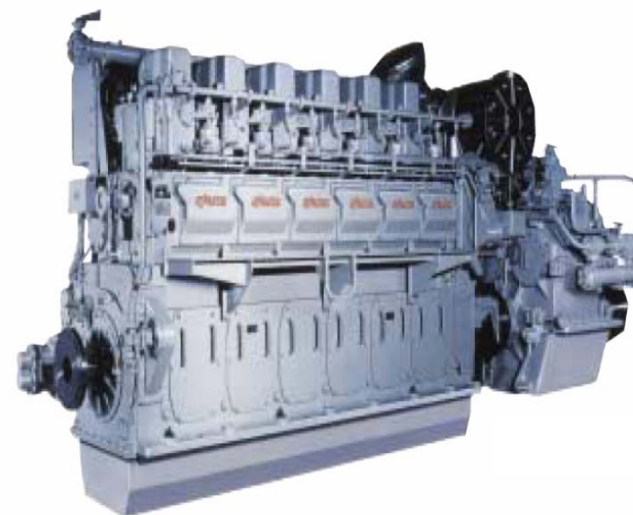
Improvement of transient operation is required  
⇒ Transient operation is improved by secure of sufficient air flow  
and suppression of knocking

1. 背景と目的  
Background and development target
2. ガス燃料機関について  
About gas fuelled engine
- 3. デュアルフューエル機関の要素開発**  
Development of dual fuel engine
4. デュアルフューエル機関商用機  
6L28AHX-DFの紹介  
Introduction of commercial dual fuel engine, 6L28AHX-DF
5. 実船への搭載に向けて  
Aim for installation into actual ship
6. まとめ  
Conclusion

# 試験機関仕様

## Specification of test engine

項目 Items	仕様 Specs
試験機関 Test engine	開発用 2MWクラス 2MW size dual fuel engine デュアルフューエル機関 for research development
燃焼方式 Ignition method (ガスモード) (gas mode)	予燃焼室式 Pre-combustion chamber マイクロパイロット油 着火方式 micro pilot ignition
燃料ガス Fuel gas	LNG 気化ガス LNG (gas phase)
液体燃料 Fuel oil	A重油 MDO



# 燃焼方式の検討

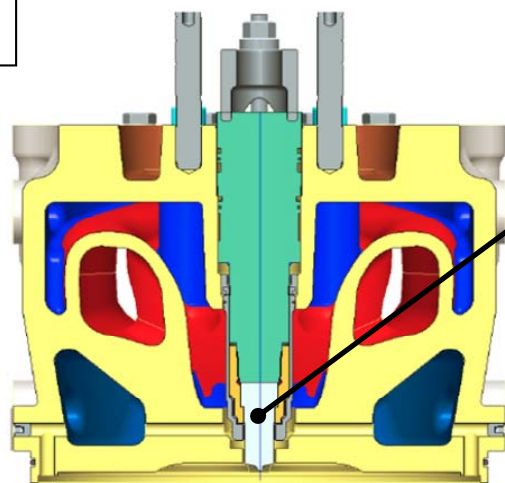
## Study of ignition method

従来のデュアルフューエル機関では、燃料噴射弁がディーゼルモードとガスモードで共通であり、少量噴射が困難なため、NO<sub>x</sub>排出量低減効果が小さかった。

In conventional dual fuel engines, fuel injector was shared both in diesel mode and gas mode, thus it was difficult to inject small quantity of fuel oil in gas mode. This made the effect of NO<sub>x</sub> reduction small.

従来方式

Conventional



ディーゼル・ガス共用  
燃料噴射弁

Fuel injector

Shared in Diesel mode and gas mode



# 燃焼方式の検討

## Study of ignition method

開発方式では、ガスモード用の燃料噴射弁を設け、  
更に予燃焼室を設けることにより、少量噴射・NOx排出量  
低減を実現

In conventional dual fuel engines, injector for gas mode and PCC(Pre-Combustion-Chamber) was newly installed into test engine. This made the injection of small quantity of fuel possible, and reduced NOx emission.

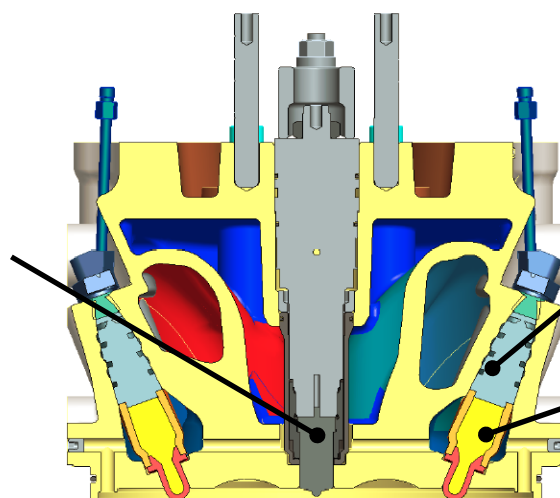
(「船舶からのCO2削減技術開発支援事業」における開発の成果)

(Achievement from "Financed aid project of engineering development for CO2 reduction from marine vessels")

### 開発方式

Developed

ディーゼル用  
燃料噴射弁  
Fuel injector  
for diesel mode



ガス専用  
燃料噴射弁  
Fuel injector dedicated  
for gas mode

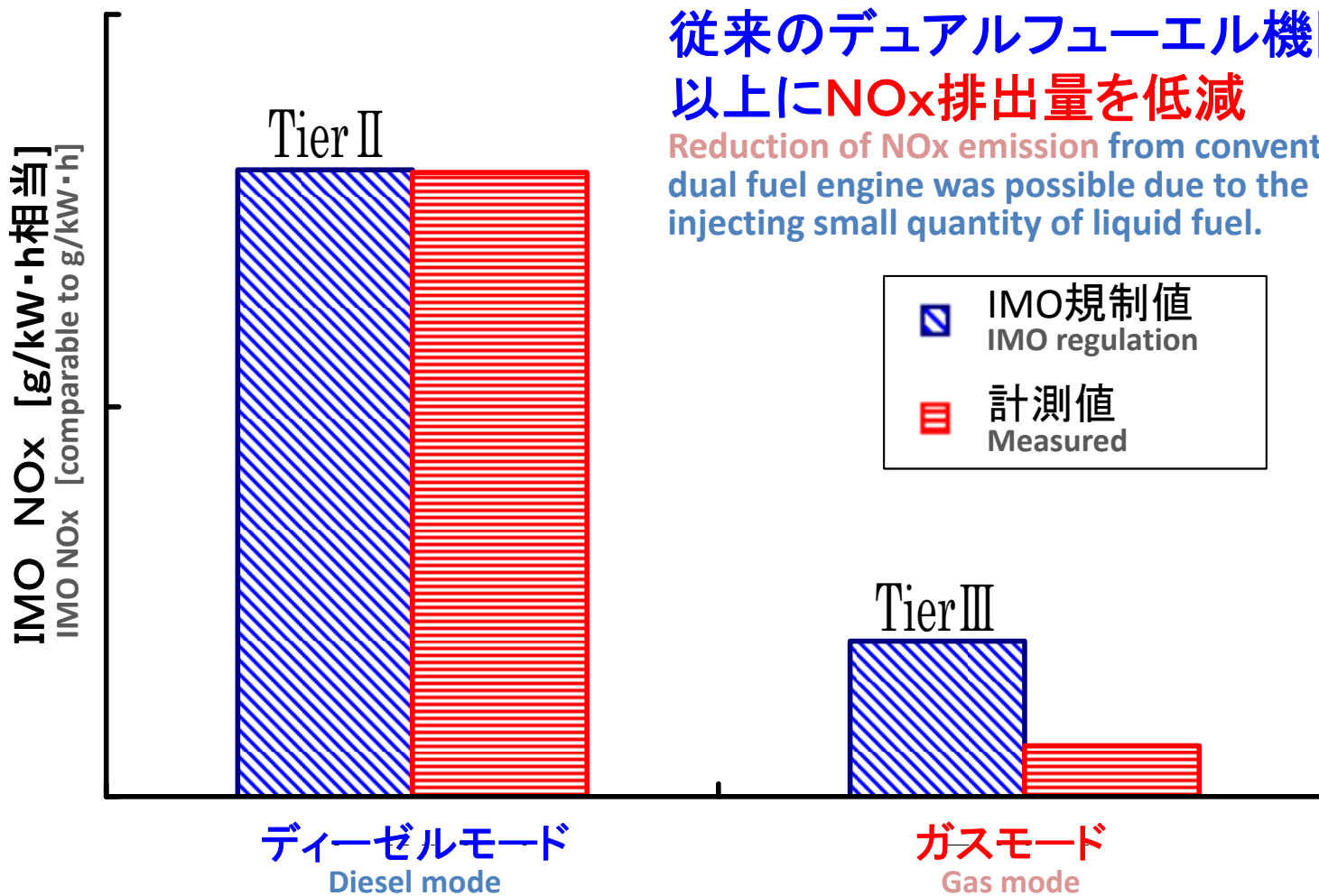
予燃焼室  
PCC

# NOx排出量

NOx emission

パイロット油の少量噴射により、  
従来のデュアルフューエル機関  
以上に**NOx排出量を低減**

Reduction of NOx emission from conventional dual fuel engine was possible due to the ability of injecting small quantity of liquid fuel.



1. 背景と目的  
Background and development target
2. ガス燃料機関について  
About gas fuelled engine
3. デュアルフューエル機関の要素開発  
Development of dual fuel engine
4. デュアルフューエル機関商用機  
6L28AHX-DFの紹介  
Introduction of commercial dual fuel engine, 6L28AHX-DF
5. 実船への搭載に向けて  
Aim for installation into actual ship
6. まとめ  
Conclusion

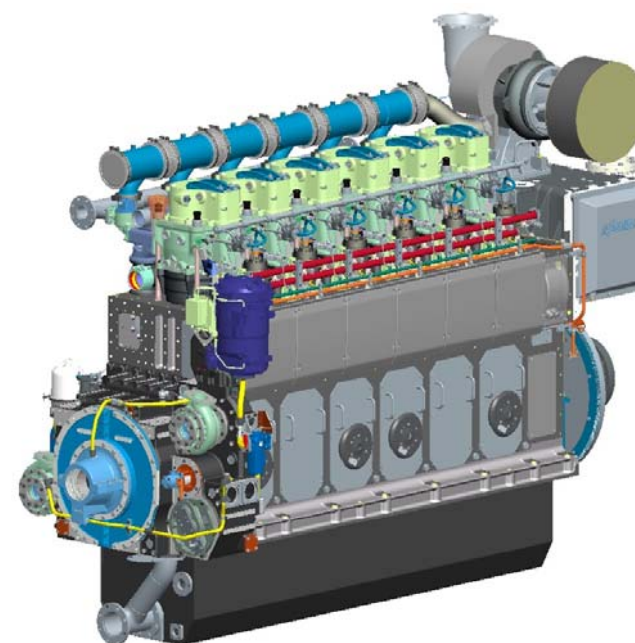
# 開発機関仕様

## Specification of developed engine

要素開発をもとに、商用機の開発を実施

Based on the study, commercial engine is on development.

項目 Items	仕様 Specs
開発機関 Developed engine	6L28AHX-DF デュアルフューエル機関 dual fuel engine
燃焼方式 Ignition method (ガスモード) (gas mode)	直噴式 Direct injection マイクロパイロット油 着火方式 micro pilot ignition
出力／回転数 Power/Speed	1920kW／800min-1
燃料ガス Fuel gas	LNG 気化ガス LNG (gas phase)
液体燃料 Fuel oil	A重油 MDO



- 船舶推進用高効率ディーゼル機関をベースとし、要素開発を行ったデュアルフューエル機関の燃焼方式のコンセプトを反映して開発を行う

Base engine is a high efficiency diesel engine for marine propulsion, and combustion concept from test engine is utilized in the development.

- ガスモード用のパイロット油噴射弁を1つとし、更に予燃焼室を無くすことにより、部品点数を減らし、コスト低減を図る

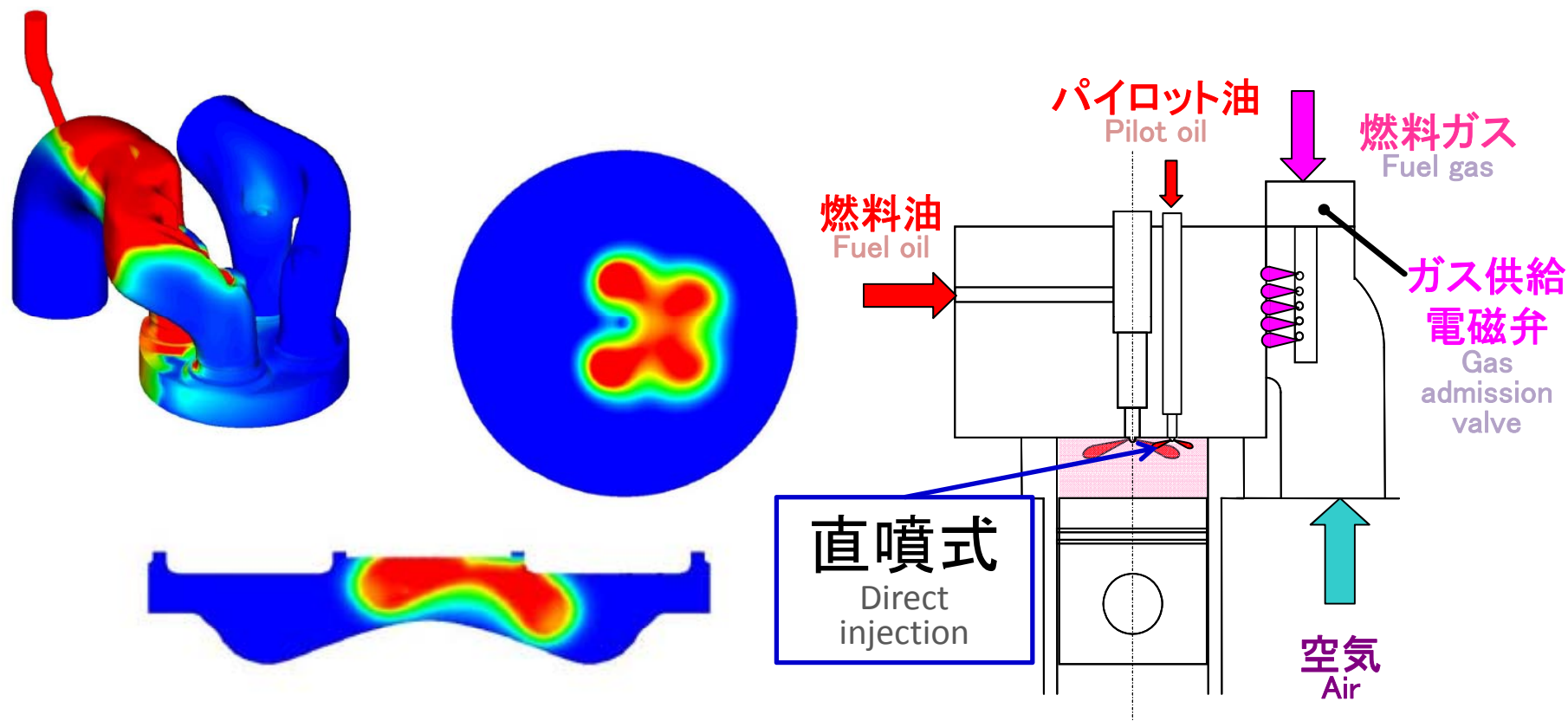
For the commercial engine, the number of micro pilot injector is reduced to one, and PCC is not applied to so as to reduce parts number and cut down engine cost.

- 動特性において、空気確保技術に加え、ノッキング抑制技術を行うことにより、更なる動特性向上を図る

Farther improvement of transient performance is aimed with technique of securing sufficient air and knock reduction.

シミュレーションによる、インジェクタ仕様、燃焼室形状の適正化により、**直噴式**マイクロパイロット油着火方式を実現

Direct injection micro pilot combustion was achieved with the utilization of simulation, designing appropriate injector specification and combustion chamber.

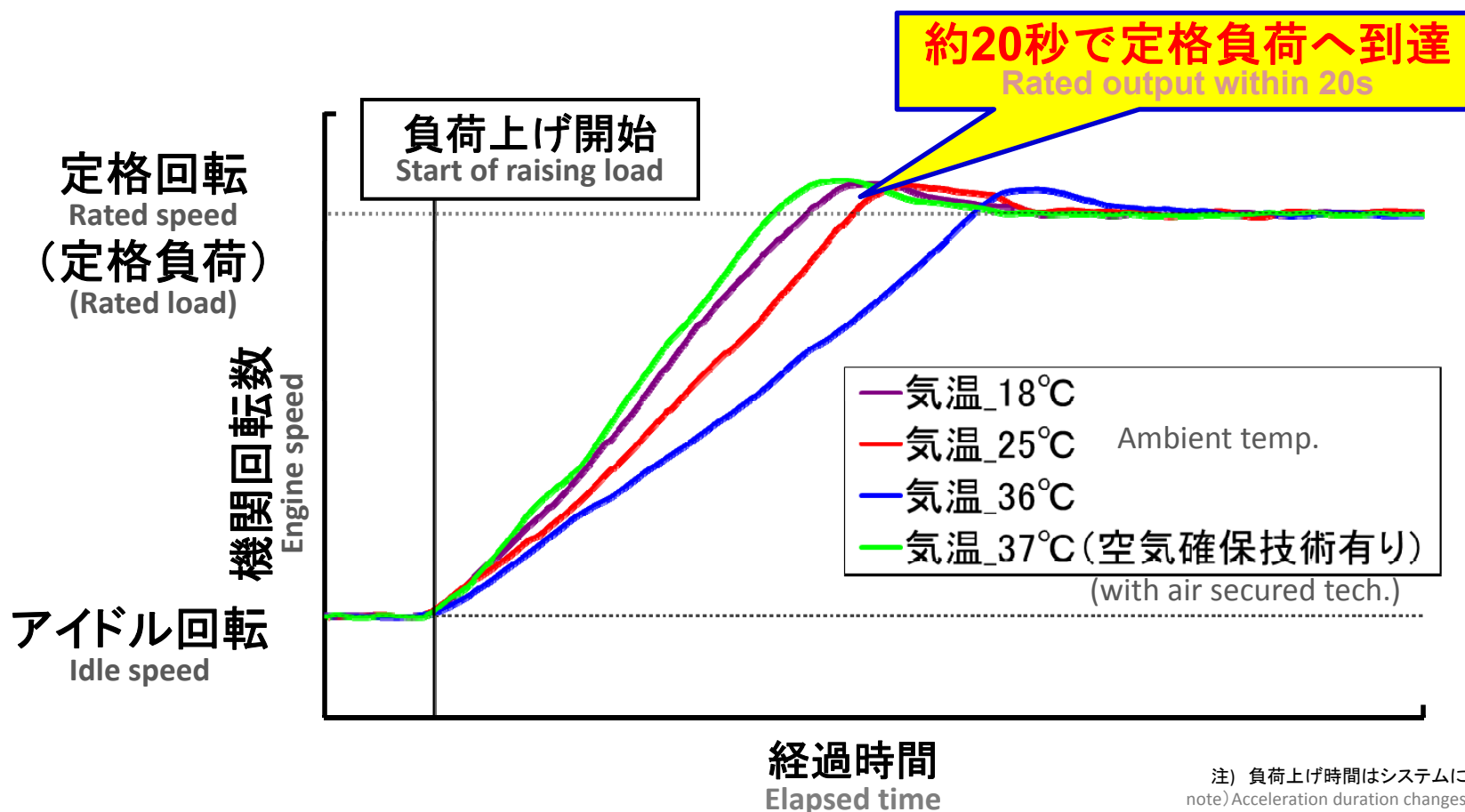


# 負荷上げ時間

## Acceleration duration

気温にもよるが、ノッキング抑制技術により、約20秒の負荷上げを実現  
 Acceleration from idle to 100% load is achieved within 20 seconds with knocking reduction technique.

高い気温でも、空気確保技術との組み合わせにより15秒の負荷上げを実現  
 Even in high ambient temperature, acceleration was finished in 15 seconds with securement of sufficient air.



1. 背景と目的  
Background and development target
2. ガス燃料機関について  
About gas fuelled engine
3. デュアルフューエル機関の要素開発  
Development of dual fuel engine
4. デュアルフューエル機関商用機  
6L28AHX-DFの紹介  
Introduction of commercial dual fuel engine, 6L28AHX-DF
5. 実船への搭載に向けて  
Aim for installation into actual ship
6. まとめ  
Conclusion



# 天然ガス(LNG)焚きタグボートに係る調査

## Investigations about LNG fuelled tug boat

実船への搭載に向けて、下記調査(※1)を行った

Following investigations(※1) were conducted for the application to actual ship

- **推進システムの検討**  
Consideration of propulsion system
- **LNG燃料バンカリングや運用に係る検討**  
Consideration of LNG bunkering and operation
- **安全性、操船性**  
Safety and maneuverability
- **経済性試算**  
Estimation of economic potential
- **省エネ、省CO2効果試算**  
Estimation of fuel efficiency, reduction of CO2



バンカリング検討  
Consideration of bunkering



港湾の環境負荷低減  
Reduction of the effect on the environment to a port

調査の結果、実現のためには解決すべきいくつかの課題はあるものの、天然ガス(LNG)焚きタグボートは技術的な面では実現可能であると結論付けた

As a result of investigation, it was concluded that LNG fuelled tug boat is possible in a technological aspect, although there are some problems which needs to be solved before application of gas fuelled engine into tugs.

これを踏まえ、次に紹介する日本郵船殿が計画しているLNG燃料タグボートへ採用いただくよう取組みを行っています

Based on this conclusion, NIIGATA is working on the dual fuel engine to be adopted into LNG fuelled tug boat planned by Nippon Yusen Kaisha Line, which is introduced in the next slides.

### (※1) 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構殿からの委託調査

Achievement of commissioned investigation from Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency,

調査参加協力者：一般財団法人日本海事協会殿、京浜ドック株式会社殿、ジャパン マリンユナイテッド株式会社殿、日本海洋科学殿

Investigation cooperators:

Nippon Kaiji Kyokai, Ltd.

Keihin Dock Co., Ltd.

Japan Marine United Corporation,

Japan Marine Science Inc.

協力者：日本郵船株式会社殿、東京ガス株式会社殿

Cooperator: Nippon Yusen Kaisha Line,

Tokyo Gas Co., Ltd.

○ 経済産業省殿および国土交通省殿による補助(※2)対象事業

Selected as a supported project by Ministry of Economy, Trade and Industry Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

(※2) 平成25年度「省エネ型ロジスティクス等推進事業費補助金」

● 竣工時期: 2015年 夏 (予定)

Finish of construction: Year 2015 summer (Planned)

● 主機: デュアル燃料機関 (A重油 + LNG)

Main engine: Dual fuel engine (MDO + LNG)

● LNG供給方式 LNG supply method :

陸上タンクローリーからのTruck to Ship方式(予定)

Truck to Ship(planned)

● 運航地域: 横浜・川崎 (予定)

Operation area: Yokohama・Kawasaki (Planned)

● 推進体制 Project group :

◆ 京浜ドック (船体建造)

Keihin Dock Co.,Ltd.(Ship body)

◆ 東京ガス (LNG燃料供給)

Tokyo Gas Co.,Ltd. (LNG supply)

◆ ウィングマリタイムサービス(運航)

Wing Maritime Service Corporation (Operation)

◆ エア・ウォーター・プラントエンジニアリング (LNGタンク, ガス供給設備)

Air Water Plant & Engineering INC. (LNG tank, gas supply equipment)

◆ 日本海事協会 (船級)

Nippon Kaiji Kyoukai(Class NK) (Classification)

◆ 日本郵船 (船主・事業主)

Nippon Yusen Kaisha Line(Ship owner)



☆ 日本初のLNG燃料船

First Japanese LNG fuelled ship

本ページ提供: 日本郵船殿

This page is provided by NIPPON Yusen Kaisha Line

### <外部環境> <surrounding environment>

- 海運業界においても、CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>といった環境負荷物質の削減が急務となっている

In the shipping industry, it is urgent to reduce environmentally harmful emission such as CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> and so on.

⇒ 当該船舶でLNGを使用した場合、従来のA重油使用時と比較して、**CO<sub>2</sub>: 約30%、NO<sub>x</sub>: 約80%、SO<sub>x</sub>: 100%**の削減が可能となる

⇒ If LNG fuel is used in such ship, compared to conventional ones, **CO<sub>2</sub>: 30%、NO<sub>x</sub>: 80%、SO<sub>x</sub>: 100%** reduction is possible.

### <船舶の概要> <brief overview of the ship>

- 重油とLNGの双方を使用可能なデュアルフューエル機関を搭載、冗長性も確保

Dual fuel engine which can operate with both MDO and LNG is installed, redundancy is also secured.

- LNGの気化装置を船体内に格納

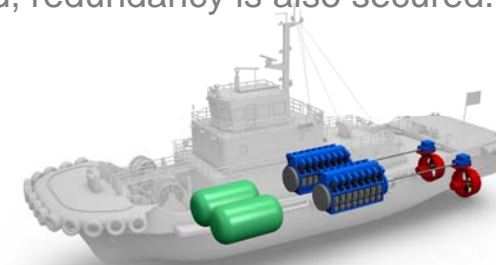
LNG vaporization equipment is installed inside the ship.

- 船体サイズは従来型とほぼ同等

Size of the ship is about the same as the conventional tug boats.

⇒ **LNG燃料システム**

⇒ **LNG fuelling system**



本ページ提供: 日本郵船殿

This page is provided by NIPPON Yusen Kaisha Line

### 1. 背景と目的

Background and development target

### 2. ガス燃料機関について

About gas fuelled engine

### 3. デュアルフューエル機関の要素開発

Development of dual fuel engine

### 4. デュアルフューエル機関商用機

#### 6L28AHX-DFの紹介

Introduction of commercial dual fuel engine, 6L28AHX-DF

### 5. 実船への搭載に向けて

Aim for installation into actual ship

### 6. まとめ

Conclusion

- 要素開発として、船舶推進用デュアルフューエル機関の燃焼方式を検討し、ガスモードにおける少量噴射を実現し、NO<sub>x</sub>排出量の低減を実現した

As an initial development, combustion method for marine propulsion dual fuel engine was reviewed, then small quantity injection of fuel oil was achieved in gas mode, finally NO<sub>x</sub> emission was reduced.

- 空気確保技術・ノッキング抑制技術等により、ガス燃料機関において、ディーゼル機関なみの動特性を実現した

Transient performance comparable to diesel engine was achieved in gas mode of the developed engine with technique of air securement and knock reduction.

- 開発したデュアルフューエル機関を搭載した、日本初のLNG燃料船が計画されている  
なお、FPP直結のLNG燃料船は世界初

Japan's first LNG fuelled ship is planned with dual fuel engine newly developed by NIIGATA.

Also, this is the world's first built FPP marine gear driven LNG fuelled ship.

# 謝辞

## Acknowledgement

---

今回紹介した、船用デュアルフューエル機関6L28AHX-DFには、国土交通省殿の「船舶からのCO2削減技術開発支援事業」の補助対象事業、一般財団法人日本海事協会殿および日本財団殿の助成事業として一般財団法人日本船舶技術研究協会殿との共同研究として、支援を受けて開発された要素技術の一部を使用しております  
ここに記して心から謝意を表します

The Dual Fuel marine propulsion engine 6L28AHX-DF introduced today uses part of technology from the research development which was selected as a supported project of “Research project of CO2 reduction from marine vessels” by Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, selected as a supported project by Nippon Kaiji Kyokai(Class NK), selected as a joint research with Japan Ship Technology research association and financially supported by the NIPPON Foundation.

NIIGATA expresses sincere appreciation to these associations and foundation.

ご清聴ありがとうございました。  
*Thank you very much for your attention.*