

# LNG燃料曳船に関する研究開発

日本郵船株式会社  
2016年4月

*Bringing value to life.*

# 1. 開発目的

## 1-1 背景

- 環境問題に対する意識が高まる中で、船舶についても環境負荷の低減に向けた取り組みが世界的に進められている。
- その対策として、燃料を重油からより環境に優しい天然ガス(LNG)に転換することが注目されている。

# 1. 開発目的

## 1-2 開発目標

- NK「ガス燃料船ガイドライン」を基に国内初となるLNG燃料船を建造し、環境負荷低減が可能なことを実証。
- 削減目標（対最新鋭従来型重油焚き曳船）
  - エネルギー消費削減率：1.8%
  - CO<sub>2</sub>排出削減率：29.1%

# 1. 開発目的

## 1-3 LNG燃料曳船「魁」の特徴

- 主機にDF (Dual Fuel) エンジンを採用することによる高い冗長性
- 安全を確保しつつ、必要機器の限られた船内スペースへの配置
- 曳船作業での急激な負荷変動にも耐え得るガス供給システム



Bringing value to life.

# 2.開発体制

- 事業主体者：日本郵船株式会社
- 共同研究者：一般財団法人日本海事協会
- 外部協力者：

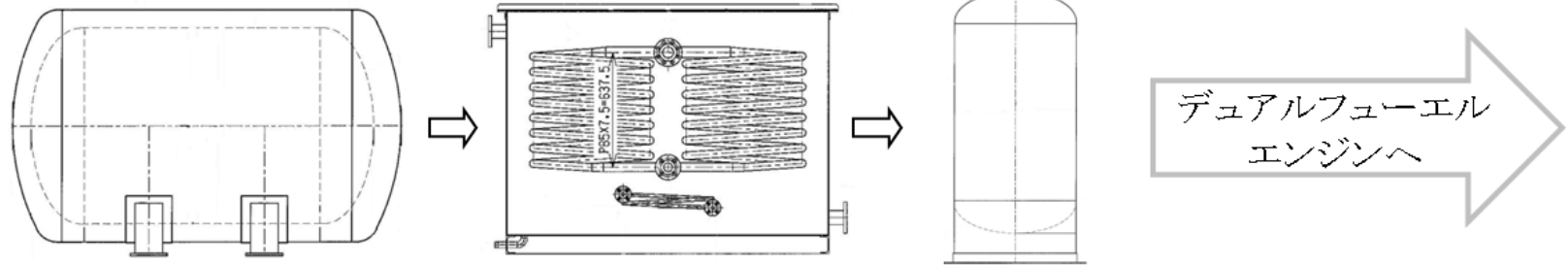
協力者	協力内容
京浜ドック株式会社	LNG燃料曳船の建造 LNGプラント設計・施工
株式会社ウイングマリタイムサービス	LNG燃料曳船の設計・製造に関する助言・支援 竣工・就航後の運航・船舶管理・乗組員配乗
エア・ウォーター・プラント・エンジニアリング株式会社	船用LNG燃料タンクの設計・製造 付属システム機器の開発・製造
新潟原動機株式会社	主機及びその関連備品等の開発・納入
株式会社日本海洋科学	船用LNG燃料に係る海技・法令情報の収集・調査

Bringing value to life.

## 2. 開発内容

# 2-1 ガス供給プラント

- NKガイドラインの規定を順守しつつ、小型のLNG燃料曳船にも搭載可能なガス供給プラントを開発



LNGタンク

- ガスを $-162^{\circ}\text{C}$ 以下で液状貯蔵。

気化器

- 液状のガスを気体にする

バッファータンク

- ガスの流れが増えた際のクッション

Bringing value to life.

## 2. 開発内容

# 2-2 ガス供給プラント:LNGタンク

- 課題

- 曳船作業への従事のため、甲板上への設置は不可
- 小型船のため、船内スペースは限定的
- 船内設置の場合、閉囲区画内への設置が必要

- 開発内容

- LNG用かつ船用で、船内設置可能な真空断熱式TypeCタンクを開発

Bringing value to life.

## 2. 開発内容

# 2-3 ガス供給プラント: 気化器

- 課題
  - 空冷式は装置が大規模で船内への設置は不可
  - 温水式には熱源が必要
- 開発内容
  - 主機冷却清水クーラーの廃熱を利用した温水式気化器を開発



## 2. 開発内容

# 2-4 ガス供給プラント:DFエンジン①

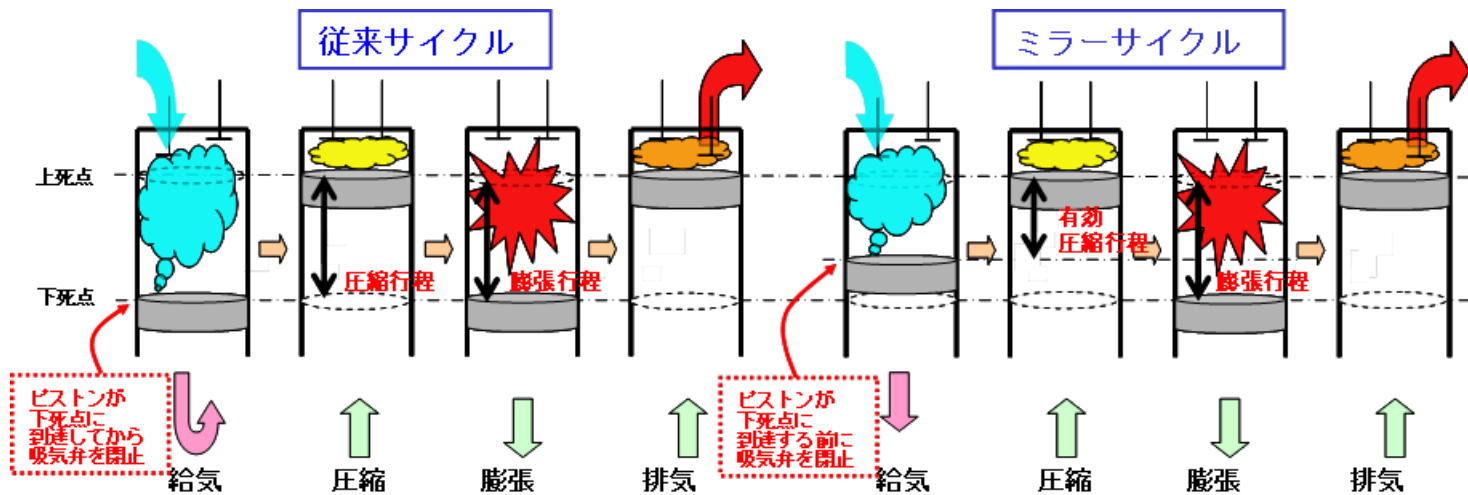
- 課題
  - ディーゼルモードとガスモードで異なる燃料圧縮比
  - ディーゼルモードの燃費性能とガスモードのノッキング回避の両立
- 開発内容
  - 船用エンジンへのミラーサイクルの開発
  - コモンレール電子式燃料噴射系の開発
  - 主機負荷に応じた可変翼過給機の開発

Bringing value to life.

## 2. 開発内容

# 2-4 ガス供給プラント:DFエンジン②

- ミラーサイクル技術の開発
  - 吸気弁の閉止タイミングの最適化
  - エネルギー損失低減による燃費低減を実現

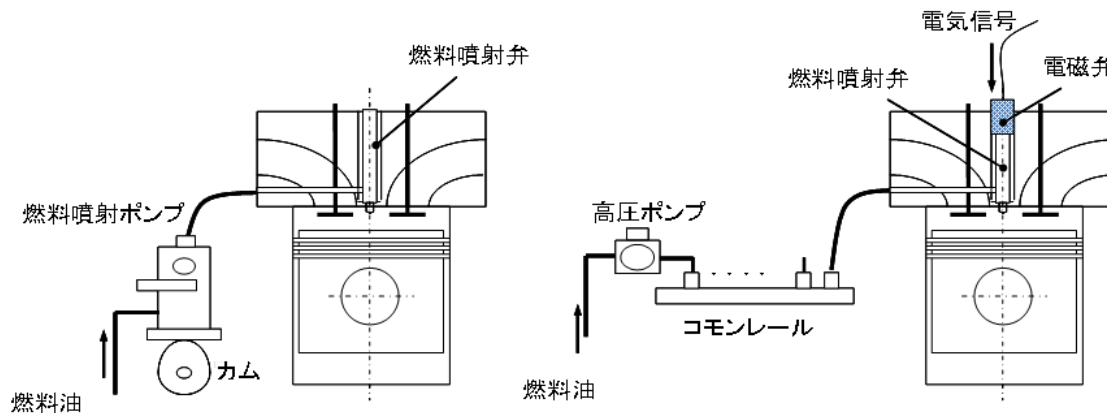


Bringing value to life.

## 2. 開発内容

# 2-4 ガス供給プラント:DFエンジン③

- コモンレール電子式燃料噴射系の開発
  - ガスモード運転時の点火源としてパイロット燃料の使用
  - 電磁弁による主機負荷に応じた最適な燃料噴射
  - ノッキング発生的大幅な低減
  - 更なる圧縮比の引き上げによる燃費低減



機械式燃料噴射系

コモンレール電子式燃料噴射系

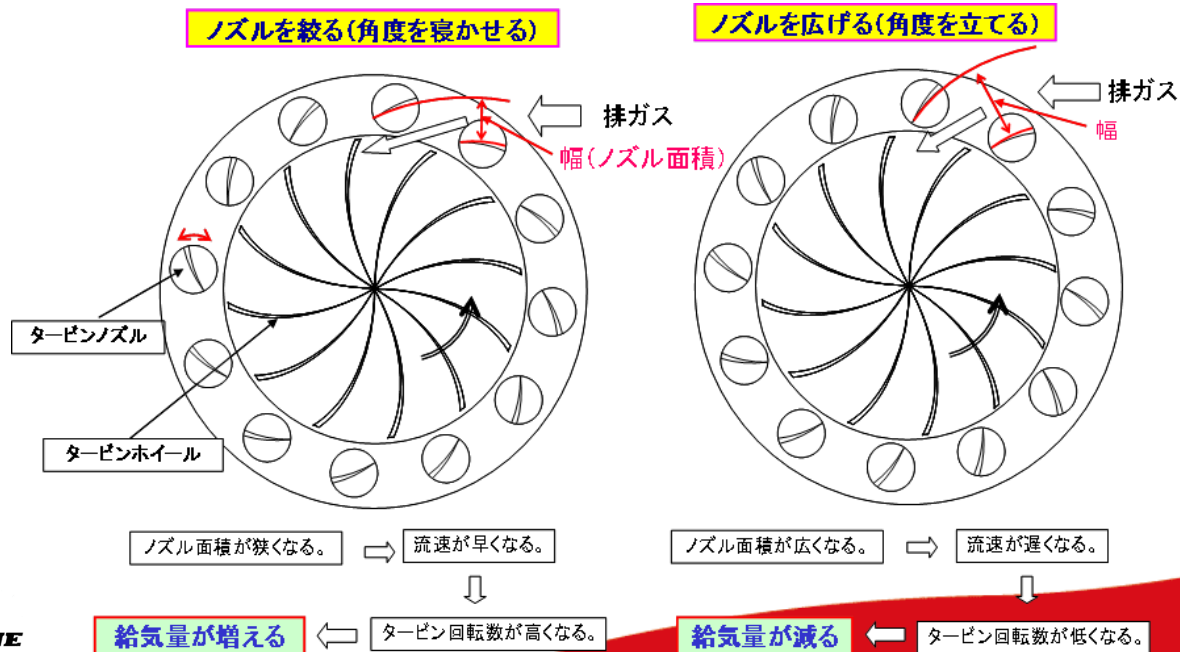
Bringing value to life.

## 2. 開発内容

# 2-4 ガス供給プラント:DFエンジン④

### 可変翼過給機

- 運転中に絞り加減を調整可能な可変翼過給機の開発
- 低負荷時の空気量の確保と、高負荷時の低燃費の両立を実現



Bringing value to life.

### 3. NK「ガス燃料船ガイドライン」への対応

- NKガイドラインは大型船への適用を想定
- 小型のLNG燃料曳船では、対応が困難な点が多々あり
- NKガイドラインへの対応が困難な点について、検討の上、安全対策を実施

Bringing value to life.

# 3. NK「ガス燃料船ガイドライン」への対応

## 3-1 防爆エリア①

- 課題

- 排ガス管は、未燃ガス燃料が蓄積しないような設計とすることが必要
  - 未燃ガス燃料の滞留を防ぐため、垂直配管とする必要あり
  - または、安全対策を講じることにより水平配管を採用することも可能
- 安全弁やメタンパーージ配管と繋がる大気放出配管を排ガス管から3m離す必要あり

# 3. NK「ガス燃料船ガイドライン」への対応

## 3-1 防爆エリア②

### • 対策

- 大気放出配管を船尾に配置
  - クーラー室外機の動力系統へのガス検知器の組み込み
  - 居住区ドアのガス密化
  - 居住区ドア内側へのガス検知器の設置
- 推進器室への換気孔位置の変更と、水密性を確保するためのバルブの設置
- 空気取り入れ口的位置・高さの変更

# 3. NK「ガス燃料船ガイドライン」への対応

## 3-2 LNG加圧ポンプ

- 課題
  - LNGバンカリング時、LNGローリータンクと本船燃料タンクの内圧が均衡した場合、差圧によるLNG供給が困難
- 対策
  - 本船上のバンカーラインにLNG加圧ポンプを設置



### 3. NK「ガス燃料船ガイドライン」への対応

## 3-3 タンクコネクションスペースのドア設置

#### • 課題

- NKガイドラインでは、タンクコネクションスペースが開放甲板上から直接の独立した交通手段を持たない場合、ボルト締めハッチの設置を要求
- LNGバンカリングで使用する機器操作のため、タンクコネクションスペースへのアクセスが必要

#### • 対策

- コネクションスペース内でのLNG漏洩シミュレーションにより、安全性を確認し、ヒンジ式ハッチを採用

Bringing value to life.

# 3. NK「ガス燃料船ガイドライン」への対応

## 3-4 主機排気管安全弁

- 課題
  - NKガイドラインでは、未燃ガスへ着火した際の爆発圧力を防ぐため、主機排気管に十分な容量の圧力逃し装置の設置を要求
- 対策
  - 安全性やメンテナンス性を勘案し、機械式排気管安全弁を設置

# 3. NK「ガス燃料船ガイドライン」への対応

## 3-5 ガス配管の外板からの距離

- 課題

- 関連規則やIACSでの議論では、ガス配管を外板から垂直に760mm以上離すことを規定
- プラントルーム内では600mm以上の安全通路を確保することを規定
- 小型船では、空間アレンジの自由度が低い

- 対策

- 規定を順守可能なよう設計を変更し、要件を順守

Bringing value to life.

### 3. NK「ガス燃料船ガイドライン」への対応

## 3-6 バンカーマニホールドの固定式消火装置

- 課題

- NKガイドラインでは、燃料補給ステーションの燃料漏洩の可能性のあるすべての箇所に、恒久的に設置されたドライケミカル粉末消火剤の設置を要求
- 船内スペース上、ドライケミカル粉末消火剤タンクがCO<sub>2</sub>ボトルルームと干渉

- 対策

- マニホールドフランジからの燃料漏洩量を推算し、持ち運び式消火器で対応可能なことを確認

Bringing value to life.

# 3. NK「ガス燃料船ガイドライン」への対応

## 3-7 LNG燃料タンク内の定期検査

- 課題

- LNG燃料タンクの健全性確認のため、タンク内容接部の点検の必要性を懸念（NKガイドラインに規定なし）
- 点検用マンホールの設置は、入熱増大により、BORを促進

- 対策

- LNGローリーの運用方法を参考
- コールドスポット等、目視の確認により代替

Bringing value to life.

# 3. NK「ガス燃料船ガイドライン」への対応

## 3-8 熱交換器脱気器

- 課題

- LNG燃料タンクの健全性確認のため、タンク内容接部の点検の必要性を懸念（NKガイドラインに規定なし）
- 点検用マンホールの設置は、入熱増大により、BORを促進

- 対策

- LNGローリーの運用を参考
- コールドスポット等、目視の確認により代替

Bringing value to life.

# 4. エネルギー消費及びCO<sub>2</sub>消費削減に係る検証

## 4-1 検証の方法

1. 比較対象船の選定
2. 削減率算出方法の確定
3. 工場公試データの計測・分析
4. 曳船作業データの計測・分析

削減目標(対最新鋭従来型重油焚き曳船)


エネルギー消費削減率: **1.8%**

CO<sub>2</sub>排出削減率: **29.1%**

Bringing value to life.

# 4. エネルギー消費及びCO<sub>2</sub>消費削減に係る検証

## 4-2 比較対象船の選定①

- 選定のポイント
    - 同様の船型仕様であること
    - NOx第2次規制に適合していること
    - 同じ造船所で建造されたこと
    - 同じメーカーが主機を製造・納品したこと
- 
- 「神奈川丸」を選定

Bringing value to life.



## 4. エネルギー消費及びCO<sub>2</sub>消費削減に係る検証

### 4-2 比較対象船の選定②

- 「神奈川丸」の選定理由
  - 「神奈川丸」に搭載されている主機「6L28HX」は、他社の同等機関に比べて環境性能の高く、かつ、低燃費であること
  - 主機「6L28HX」は、低負荷から高負荷まで全範囲にわたって良好な燃焼となるよう、燃料噴射系、吸排気系、燃焼室形状などで建造当時の最新技術が駆使されていること
  - 国内外を問わず、曳船、サプライ船、漁船などの主機・補機として1,700台以上の搭載実績を有すること

Bringing value to life.

# 4. エネルギー消費及びCO<sub>2</sub>消費削減に係る検証

## 4-2 比較対象船の選定③

- 船型仕様の比較

	補助事業建造船「魁」	比較対象船「神奈川丸」
全長	37.20 m	37.20 m
幅	10.20 m	9.80 m
深さ	4.40 m	4.40 m
総トン数	272 GT	251 GT
主機	ニイガタ DF 6L28AHX-DF×2基	ニイガタ ディーゼル 6L28HX×2基
使用燃料	LNG/A重油	A重油
主機馬力	4,400 PS	4,400 PS
計画速力	15.0 kt	15.0 kt
建造操船所	京浜ドック(株)	京浜ドック(株)
就航	平成27年8月31日	平成24年4月26日

Bringing value to life.

# 4. エネルギー消費及びCO<sub>2</sub>消費削減に係る検証

## 4-3 削減率算出方法の確定

### エネルギー消費削減率の算出方法

- ① 燃料油密度補正
- ② 燃料油使用量算出
- ③ 燃料油エネルギー消費量算出
- ④ 燃料ガス密度補正
- ⑤ 燃料ガスエネルギー消費量算出
- ⑥ 総エネルギー消費量算出
- ⑦ エネルギー消費率算出
- ⑧ エネルギー消費削減率算出

### CO<sub>2</sub>排出削減率の算出方法

- ① 燃料油エネルギー換算係数相当の燃料使用量算出
- ② 燃料ガスエネルギー換算係数相当の燃料ガス消費量算出
- ③ CO<sub>2</sub>排出量算出
- ④ 総CO<sub>2</sub>排出量算出
- ⑤ CO<sub>2</sub>排出率算出
- ⑥ CO<sub>2</sub>削減率算出

### エネルギー換算係数及びCO<sub>2</sub>換算係数

	LNG	A重油
エネルギー換算係数	54.6 GJ/ton	39.1 GJ/ton
CO <sub>2</sub> 換算係数	2.70 ton-CO <sub>2</sub> /ton	2.71 ton-CO <sub>2</sub> /kl

Bringing value to life.

# 4. エネルギー消費及びCO<sub>2</sub>消費削減に係る検証

## 4-4 工場公試データの計測・分析

- 計測時期

- 魁：平成26年12月9日
- 神奈川丸：平成24年1月17日



- 実施方法

- 負荷を25%一定に設定し、運転中のデータを計測

- 分析結果

- 「魁」の主機(6L28AHX-DF)は「神奈川丸」の主機(6L28HX)に対して、**エネルギー削減率で7.0%、CO<sub>2</sub>削減率で31.7%**を実現

**削減目標を達成**

Bringing value to life.

# 4. エネルギー消費及びCO<sub>2</sub>消費削減に係る検証

## 4-5 曳船作業データの計測・分析①

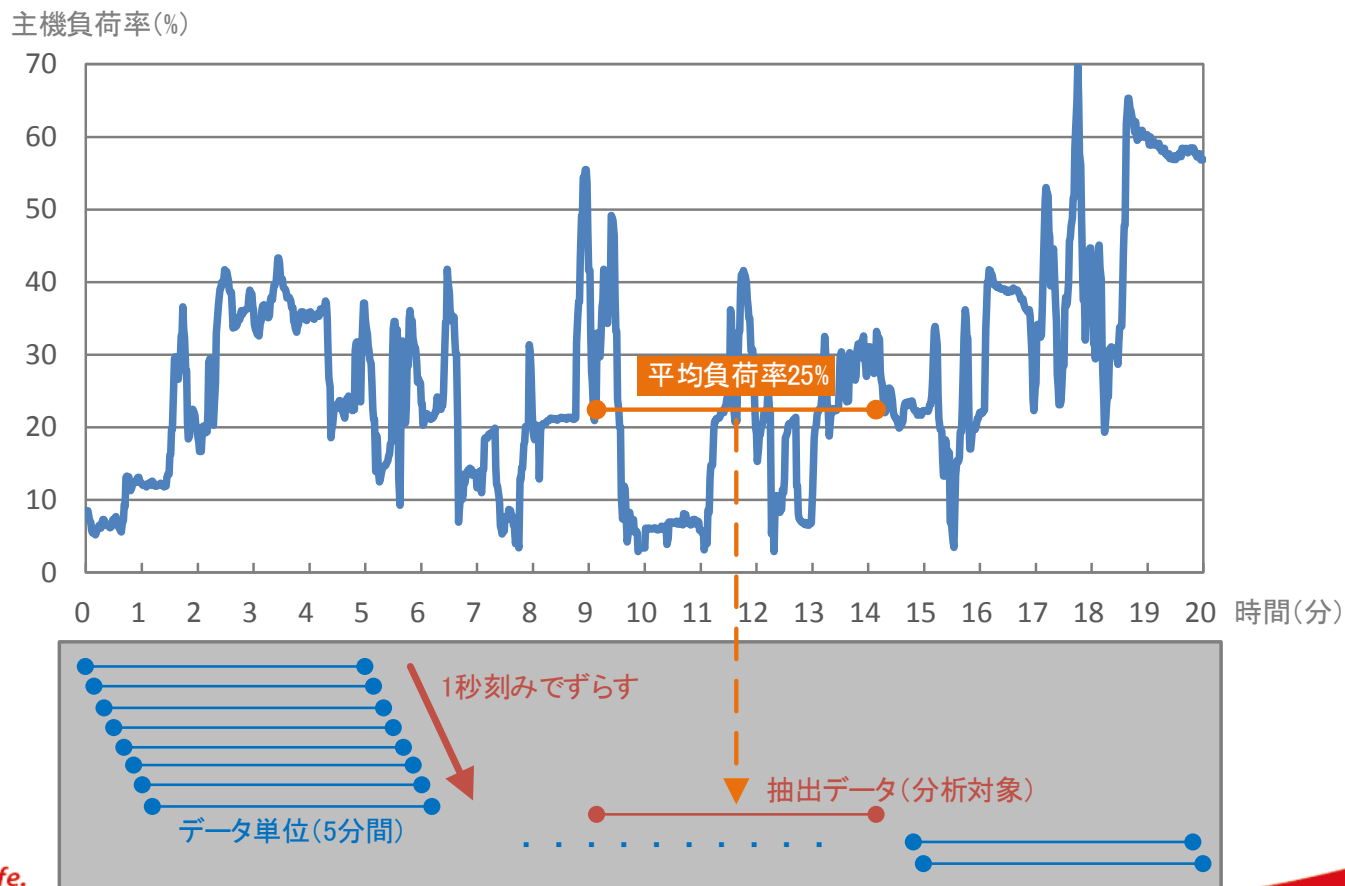
- 計測時期
  - 平成27年9月1日～11月30日(3ヶ月間)
- データの分析方法
  - 5分間のデータ「単位」を1秒刻みでずらし、5分間の平均負荷率が25±1%となるデータ「単位」を機械的に抽出(次頁参照)
  - 理由: 曳船作業中は、常に主機制御を行うため、計測データは負荷が常に変動するため

Bringing value to life.

# 4. エネルギー消費及びCO<sub>2</sub>消費削減に係る検証

## 4-5 曳船作業データの計測・分析②

- データ抽出方法のイメージ



Bringing value to life.

# 4. エネルギー消費及びCO<sub>2</sub>消費削減に係る検証

## 4-5 曳船作業データの計測・分析③

- 分析結果

- 「魁」の主機(6L28AHX-DF)は「神奈川丸」の主機(6L28HX)に対して、**エネルギー削減率で9.3%、CO<sub>2</sub>削減率で30.4%**を実現

**削減目標を達成**

Bringing value to life.

## 5. まとめ

1. 種々検討を経て、LNG燃料システムの開発の外、船上の防爆エリアの設定、タンクコネクションスペースの設計、主機排気管安全弁の設計やガス配管の外板からの距離などが、最終的な仕様に至った。
2. 環境負荷低減の検証については、5分間のデータ「単位」を1秒刻みでずらし、「平均負荷率が $25 \pm 1\%$ になるデータ」を機械的に抽出し、その上で、抽出されたそれらの「5分間で主機負荷が $25 \pm 1\%$ となるデータ」を分析した。
3. その結果、2015年9月～11月(3ヶ月間)の曳船作業中における、連続する5分間の主機平均負荷率が $25\%$ となるデータを分析し、平均してエネルギー消費で $9.3\%$ 、 $\text{CO}_2$ 削減率で $30.4\%$ を実現していることと、当初目標を達成していることを確認した。

Bringing value to life.