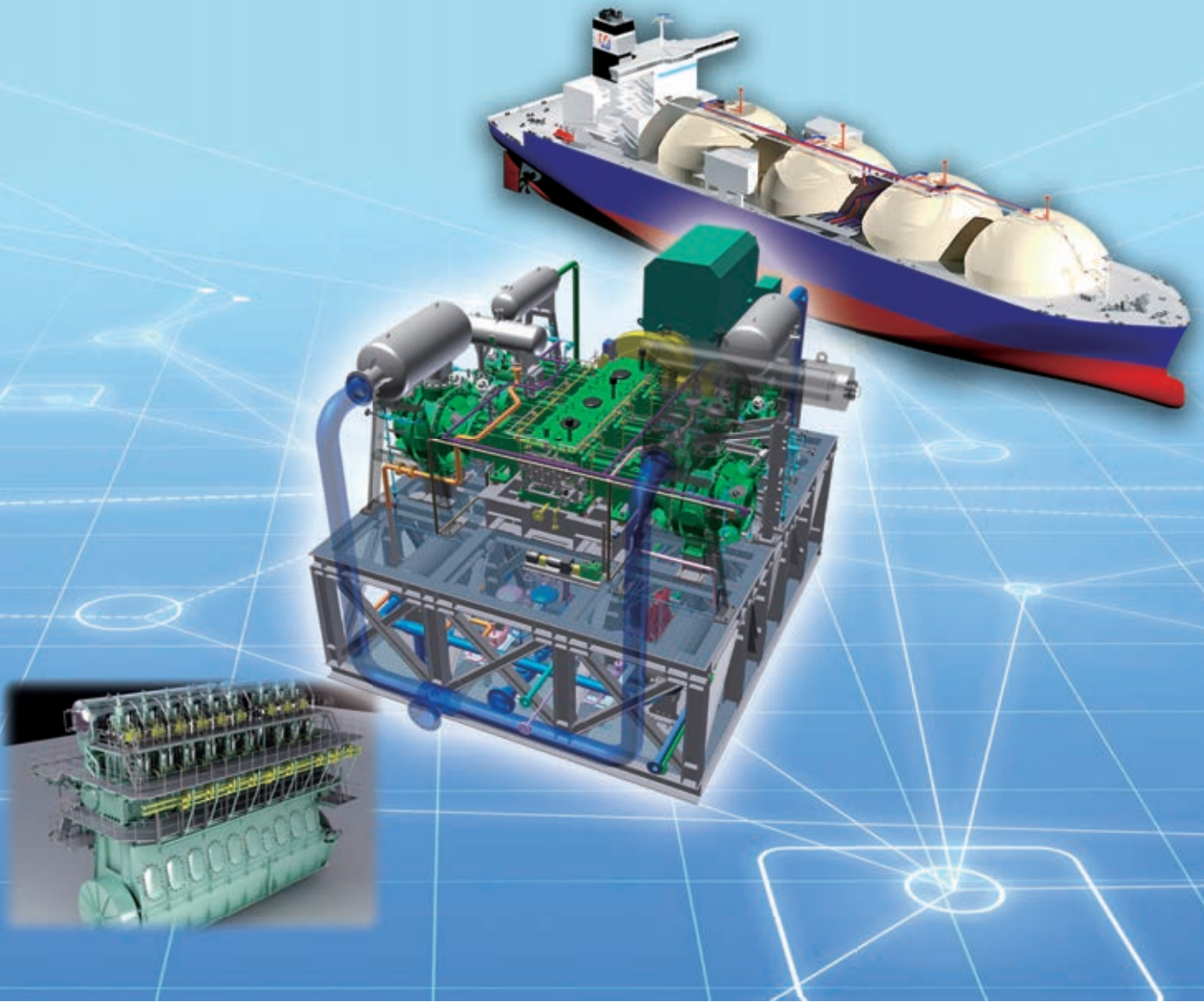


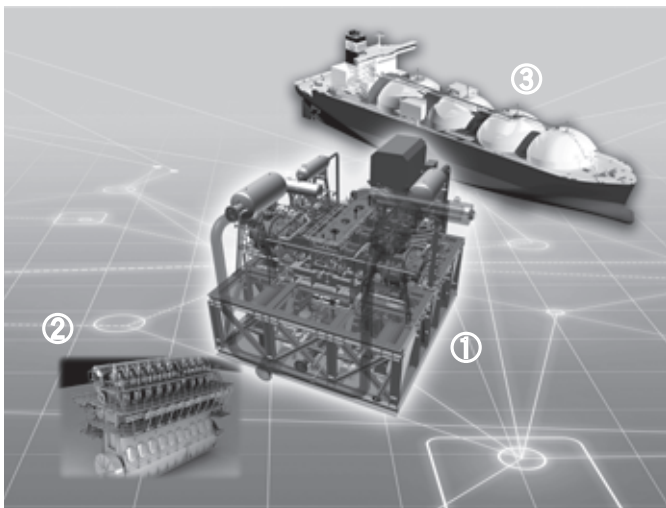
# 三井 造船 技報

平成 28 年 2 月 ■ 第 216 号

MITSUI ZOSEN TECHNICAL REVIEW No. 216 2016



高圧圧縮機による世界初の ME-GI 試運転設備



## 表紙説明

### 高圧圧縮機による世界初の ME-GI 試運転設備

三井造船株式会社は、電子制御式ガスインジェクションディーゼルエンジン（ME-GI エンジン）の陸上試運転において、燃料ガス供給システム（Fuel Gas Supply System：FGSS）用の高圧圧縮機（FGSS 圧縮機）を使用することが可能となった。

当社では既に高圧ポンプによる陸上 FGSS を 2013 年から稼働させていたが、このポンプと本圧縮機とを組み合わせた FGSS がハイブリッドシステムとして完成した。このシステムは、両者から同時に燃料の供給ができるため十分な燃料供給が可能となり、ME-GI 受注機の陸上試験としてだけでなく、LNG 運搬船向け FGSS の実証設備としての運用も予定している。

- ①FGSS 圧縮機ユニット
- ②ME-GI エンジン
- ③LNG 運搬船 “Double Eco Max”

## Cover

### The World's First ME-GI Shop Test Facility using High Pressure Gas Compressor

Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd.(MES) started to use high pressure gas compressor for the fuel gas supply system (Fuel Gas Supply System:FGSS) in the engine shop test facility for the electronic control gas injection diesel engine (ME-GI Engine) at the Tamano Works.

MES, since 2013, has already operated FGSS which is a hybrid system enabling operation of the high pressure pump and the high pressure gas compressor at the same time. This FGSS is used not only for the ME-GI Engine trial test but also for the feasibility study for the LNG carrier as such FGSS has enough capability to supply fuel gas to ME-GI Engine.

- ① FGSS compressor unit
- ② ME-GI engine
- ③ LNG carrier "Double Eco Max"

# 三井造船技報

2016年(平成28年)2月・第216号

## 目次

### 製品・技術解説

- IoT/M2M ビジネスに向けた三井造船システム技研の取組み ..... 1  
三井造船システム技研株式会社 松井 功二

### 技術論文・報告

- ハイブリッド LNG 供給システムの開発 ..... 7  
柴田 繁志 渡邊 貴士 高橋 洋一 田淵 隆平  
難波 浩一 熊代 敬示 岸本 隆
- レーザー・アークハイブリッド溶接の海上保安庁向け大型巡視船への適用..... 13  
木村 陵介 落合彦太郎 中島 義晴  
小野 昇造 小野 直洋

### 製品・技術ニュース

- 太陽光発電設備の施工  
- 大分県大分市“今井メガソーラー大分細発電所”の竣工 - ..... 20
- 燃料ガス供給システム用高圧ガス圧縮機  
- 商用 ME-GI エンジン陸上試運転用にハイブリッド型燃料供給システムが稼働開始 - ... 21

# MITSUI ZOSEN TECHNICAL REVIEW

No. 216 February 2016

## CONTENTS

### Products and Technology Explanation

- Approach for IoT/M2M Business by Mitsui Zosen Systems Research Inc. .... 1  
*Mitsui Zosen Systems Research Inc. Koji MATSUI*

### Technical Paper and Report

- Development of Hybrid LNG Fuel Gas Supply System ..... 7  
*Shigeyuki SHIBATA, Takashi WATANABE, Yoichi TAKAHASHI, Takahira TABUCHI,  
Kouichi NAMBA, Keiji KUMASHIRO, Takashi KISHIMOTO,*

- Application of Laser-Arc Hybrid Welding  
to Japan Coast Guard Patrol Vessel Large..... 13  
*Ryosuke KIMURA, Hikotaro OCHIAI, Yoshiharu NAKASHIMA  
Shozo ONO, Naohiro ONO*

- Products and Technology News ..... 20, 21

# IoT/M2M ビジネスに向けた三井造船システム技研の取組み

三井造船システム技研株式会社 松井 功二

## Approach for IoT/M2M Business by Mitsui Zosen Systems Research Inc.

Mitsui Zosen Systems Research Inc. Koji MATSUI

### 1. はじめに

三井造船システム技研株式会社(MSR)は、2016年度に創立30周年を迎える三井造船グループのIT専門企業である。この間、ソフトウェア・ソリューション部門は、製造から流通、金融、公共サービス、情報インフラにわたる幅広い分野において数多くの課題を解決した実績がある。また、医薬品安全性試験システム(MiTOX)<sup>1)</sup>や出退勤管理システム(TIME-3)<sup>2)</sup>などのパッケージ商品を販売している。一方、電子ソリューション(ハードウェア)部門は、船用リモコン装置を始めとして、電子制御エンジン向けの電子制御装置用多目的コントローラ<sup>3)</sup>や、非接触型ICカードリーダーを利用した勤怠管理端末(MiEVAH)<sup>4)</sup>などの、多様な電子制御機器を開発している。このように、MSRはソフトウェア部門とハードウェア部門を有しており、その特性を生かし、これらの技術を融合させたIoT/M2Mソリューションの提供に取り組んでいる。

“IoT”とは“Internet of Things”の略称であり、「もののインターネット」、すなわち、モノとモノ、あるいは人とモノとが情報交換を行ない、自律的に制御を行なうことにより、社会全体を大きく革新させることを目指すものである。

一方、“M2M”は、“Machine to Machine”の略であり、モノ(機械)とモノ(機械)があらゆる通信手段(ネットワーク)を用いて相互接続、連携する仕組みや、その通信形態を意味する。具体的に言うとパーソナルコンピュータ(PC)やサーバなどの情報機器だけではなく、電化製品や自動車、センサなど、ありとあらゆるモノがネットワークにつながって自律的に通信する機能を持ち、互いにつながれたモノ同士が、人を介さずに情報交換を行い、自動的に制御を行う仕組みのことである。

従来のインターネットでは、Eメールやワールド・ワイド・ウェブ(WWW)、ソーシャル・ネットワーキング・サービス(SNS)、オンラインゲームなど、人と人とが(あるいは人とサーバなどが)ネットワークでつながり合い、情報交換を行ってきた。今後はM2Mによって自動車や電化製品など、現実世界のありとあらゆるモノがネットワークに接続される。これがすなわちIoT/M2Mが意味するところである。

### 2. IoT/M2Mの現状

#### 2.1 IoT/M2Mの動向

近年、M2Mによって実現されるIoTが具体化され始めており、次の三つの理由でM2Mの本格導入が加速している。

一つ目は、通信機器の小型化と低価格化である。今まで搭載が不可能と考えられた装置(デバイス)に通信機能が簡単に組み込めるようになった。PCや大型の機械だけではなく、時計や体温計などの小型の電子機器が相互に通信可能になったことである。

二つ目は、ネットワーク環境の発達である。現在では国内のほぼ全域で3G/4G回線やブロードバンド回線が利用可能となっている。このような無線通信のエリア拡大により、国内に存在する多くのデバイスがM2Mの対象となる。また、通信料金の低価格化もM2Mビジネス拡大の一要因となっている。

三つ目は、クラウド型サービス、ビッグデータ解析などデバイスから送信される大量データを効率的に扱う技術とプラットフォームが整備されたことである。

当初、企業内の業務効率化を目指して発展してきたM2Mだが、この1~2年で、各企業や業界で新たなビジネスモデルが創出され始めている。具体的には、機器をネットワークに接続して初めて生み出せる価値及びその価値を生み出すためにかかるM2Mのコストの回収へと方向性が変化し、2015年には世界市場規模は約2兆円、2020年には約4兆円の規模に拡大していくと予想されている<sup>5)</sup>。また、インターネットに接続されるデバイス数と1人当たりのデバイス数は、2015年でそれぞれ250億台と3.5台、2020年では500億台と6.5台とほぼ倍となって社会基盤として確立しているとされ<sup>6)</sup>、さらにその先には、M2Mプラットフォームに関わる各種要素技術の標準化が進み、企業、業界の枠を越え、あらゆるモノが相互接続し連携することで新たな価値を創出する本当の意味でのIoT社会へ発展すると予想されている。

#### 2.2 IoT/M2Mの現状課題と対応

MSRは、M2M市場の拡大を背景として、現場や工場での製造業務をフロントオフィス、事務所での事務・管理など支援業務をバックオフィスと位置付け、フロントオフィスで収集したデータを基に、バックオフィスでの価値あるデータ活用をテーマとしたソリューションの提供に積極的に取り組んでいる。これを事業化するに当たり、他社との差別化を図るため、機器の接続性と長期間の製品保証の二つの課題解決を目標に掲げた。

前者は、ネットワークに接続できるデバイス、機器が増加する一方で、それらの接続方法が統一されていないため、必要に合わせて柔軟に対応できることが求められるためである。

後者は、市販の機器は予告なしの製造中止、販売メーカーの都合による製品仕様の変更など、製品保証上の問題があり、

長期間の使用に耐え得る保証をすることにより、MSR が提供する製品の価値を向上させることが可能となるためである。

MSR は、これらの二つの課題を解決し、M2M 統合開発基盤(M2M プラットフォーム)として提供している。M2M プラットフォームの概念は図1に示すとおりであり、以下ではこれについて解説する。

### 3. MSR 製 M2M プラットフォーム

M2M プラットフォームは、ゲートウェイ装置であるデータ収集装置と、この中に収納するゲートウェイ・ソフトウェアから成るアプリケーション群(以下、M2M アプリ基盤)により構成される。

#### 3.1 データ収集装置

MSR のハードウェア部門である電子ソリューション事業部が多様な電子制御機器の開発経験により培った技術を基に、IoT/M2M 分野での利用を想定したデータ収集装置を開発した。データ収集装置は、アプリケーションに依存せず汎用的な利用を想定した設計となっている。その最初の事例として、後に紹介する“Fleet Monitor<sup>7)</sup>”、“CMAXS e-GICSX<sup>8)9)</sup>”での適用が進められている。

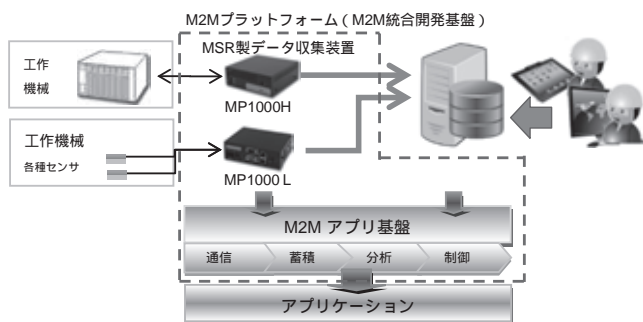


図1 M2M プラットフォーム

#### 3.1.1 データ収集装置の特長

データ収集装置は、表1に示すとおりスタンダード版“MP1000L”とハイエンド版“MP1000H”の二つがラインナップされており、利用用途に応じた選択が可能である。これらのデータ収集装置の使用用途の概念は図2に示すとおりであり、その特長を以下に示す。

##### スタンダード版“MP1000L”

データ収集に特化した機能を有し、低価格での提供を実現している。動作温度が -20 ~ 70 までと広範囲であり、振動がある場合や高温等の環境下での利用が可能で、耐環境性能が高い。また、M2M で必要とされる各種無線通信規格にはオプションで対応可能であり、複数センサからのデータ収集には、必要に応じて入出力(I/O)拡張ユニットを追加することができる。

##### ハイエンド版“MP1000H”

高性能CPU、大容量ディスクを搭載することで、PC と同等以上の機能を有し、データの収集のみならず、データの

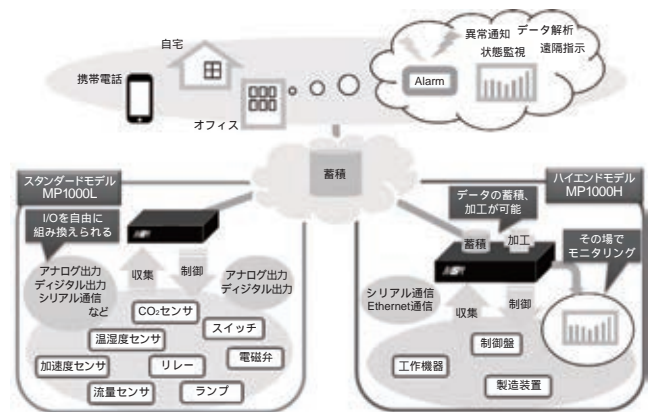




図2 データ収集装置の使用概念

表1 データ収集装置主要諸元

スタンダード版【MP1000L】	ハイエンド版【MP1000H】
 <p>・外形寸法：152 x 125 x 45 mm ・重量：約 0.9 kg</p>	 <p>・外形寸法：180 x 175 x 57 mm ・重量：約 1.9 kg</p>
<p>基本仕様</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・CPU：ARM11</li> <li>・メモリ：RAM 128MB / ROM 128MB / SRAM 2MB ( バッテリバックアップ )</li> <li>・表示制御：最大解像度 QVGA ( 800 x 600 ) / 表示色 6.4 万色</li> <li>・補助記憶装置：micro SD Card x1 ( 最大 16GB )</li> <li>・外部インタフェース：VGA x1, LAN x2, RS-232C x1, USB 2.0 x1</li> <li>・内蔵 デジタル・アナログ I/O：DI x2, DO x2, AI x2, AO x2</li> <li>・供給電源：AC アダプタ入力 ( AC100V,50/60Hz )</li> <li>・対応 OS：Linux ( kernel 2.6.31 )</li> <li>・動作周囲温度：-20 ~ +70</li> <li>・動作周囲湿度：10 % ~ 90 %</li> </ul> <p>無線通信インタフェース ( オプション )</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・無線 LAN / 3G / ZigBee / 2.4GHz 独自通信 / 900MHz 独自通信 / Bluetooth</li> </ul> <p>I/O 拡張モジュール ( オプション )</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・アナログ入力 / アナログ出力 /</li> <li>・デジタル入力 / デジタル出力 /</li> <li>・シリアル通信 / Ethernet 通信</li> </ul>	<p>CPU やストレージなどの異なる 2 機種を用意</p> <p>MP1000H-F</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・CPU：インテル®Celeron® プロセッサ 2000E ( 4th-Haswell ) , 2.2GHz</li> <li>・補助記憶装置：CFast x1,SSD x1</li> <li>・外部インタフェース：VGA x1,LAN x2,RS-232C x1,USB 2.0 x4</li> </ul> <p>MP1000H-G</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・CPU：インテル®Core™ i7-4700EQ プロセッサ ( 4th-Haswell ) , 最大 3.4GHz</li> <li>・補助記憶装置：CFast x2,SSD x1</li> <li>・外部インタフェース：VGA x1,LAN x3,RS-232C x1,USB 2.0 x4</li> </ul> <p>共通仕様</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・メモリ：2 ~ 32GB ( DDR3 SO-DIMM x2 )</li> <li>・表示制御：最大解像度 WUXGA ( 1,920 x 1,200 ) / 表示色 1,677 万色</li> <li>・供給電源：AC アダプタ入力 ( AC100/240V,50/60Hz )</li> <li>・対応 OS：Windows Embedded Standard 7</li> <li>・動作周囲温度：0 ~ 50</li> <li>・動作周囲湿度：10 % ~ 90 %</li> </ul>

蓄積や解析が可能である。ユーザー要件に応じて、低価格帯、高価格帯のCPUが選択可能である。また、メインユニットを多重化し、信頼性を高めることもできる。スタンダード版に比べると最高動作温度が20℃低い、十分な耐環境性能を実現している。

### 3.1.2 利用シーン

データ収集装置の大きな特長である耐環境性や長期安定稼働性という観点から利用シーンを述べると、耐環境性では、MSRが得意とする船用分野だけでなく、乗用車やトラックなどの自動車関連分野などでの使用に適している。一方、長期安定稼働性という観点からは、高温や粉塵など過酷な環境での様々な機器との接続が想定される製造現場で高い性能が発揮される。またハイエンド版では、分析や解析などの高度なデータ処理が実現可能であり、リアルタイム性が要求される防災分野や、プラント関連設備の監視などにも有効である。

## 3.2 M2M アプリ基盤

IoT/M2M ソリューションを、製造から保守まで一貫してサポートできる環境をお客様に提供するために、データ収集を行う一連のソフトウェアをM2M アプリ基盤として開発した。M2M アプリ基盤は、後述する Fleet Monitor、CMAXS e-GICSX の開発経験を活かした設計が行われている。具体的には、Fleet Monitor での多点センサ対応やカスタマイズ技術、また、CMAXS e-GICSX でのデータ解析インターフェース(I/F)技術をM2M アプリ基盤の機能として搭載した。M2M アプリ基盤の機能構成を図3に示す。ここに示した機能は、データ収集装置上に独自アプリとして構築されており、各種通信、データ蓄積など機能が共通化されている。

### 3.2.1 M2M アプリ基盤の特長

M2M アプリ基盤は、開発言語としてJavaを採用し開発を行った。IoT/M2M ソリューションで必須となる通信のインターフェースを標準で搭載するとともに、収集したデータを蓄積するための機能を有している。また収集・蓄積されたデータを解析するためのデータ解析用インターフェースを持っている。

マルチプラットフォーム対応

開発言語としてJavaを採用しており、WindowsやLinuxなどの主要なOSだけでなく、Java言語の動作が保証されている各種OS上で動作可能である。

多点センサ対応

複数のセンサからのデータ収集を想定しており、同時に大量のデータ収集が可能である。処理能力は基本的にハードウェアの能力に依存するが、MP1000Lではセンサ数10程度で200ms周期での使用を想定している。

各種通信プロトコルに対応

一般に利用頻度の高い、TCP/IPやUDPなどの通信プロトコルを利用したデータ収集に標準で対応している。また製造装置などで多く採用されているシリアル通信や、IoT/M2M分野での利用が拡大している通信プロトコルMQTT<sup>10)</sup>や通信規格BLE<sup>11)</sup>などにも対応している。

柔軟なカスタマイズ性

M2Mソリューションに必要なデータ収集や蓄積機能を標準で備えている一方、M2Mソリューションごとの特有な処理や機能をカスタマイズし、当M2Mアプリ基盤に容易に追加可能である。これにより、様々な用途に合わせたソリューションを短期間に低価格で提供することが可能となっている。例えば、TCP/IPの通信機能を使用するセンサ用にカスタマイズしたり、データ蓄積機能を用途に合った格納先へ変更する等ができる。

データ解析用インターフェース

蓄積したデータに対する解析のためのインターフェースを備えており、それに合わせて解析処理システムを製作することで、解析機能の追加や切替を容易にしている。当社では機械学習可能なデータ解析フレームワークの“Jubatus<sup>12)</sup>”との接続実績があり、異常検知等の様々な分析手法による解析が可能である。

### 3.2.2 利用シーン

多点センサ対応のため、製造現場における製造装置や自動車など、多種大量のデータを収集する場面での適用が想定される。また、Windows搭載のタブレットやLinux搭載の小型電子基板にも適用できることから、ポータブル端末での運用も可能である。

## 4. M2M 開発事例

本章では、MSRで開発した船用関連分野の二つの事例を紹介する。

### 4.1 Fleet Monitor

#### 4.1.1 サービス概要

三井造船では、“Fleet Monitor(船舶運航モニタリング)”、“Fleet Cal(就航解析)”、“Fleet Navi(最適航路探索)”の三つのシステムからなる船舶運航支援サービスを展開している。Fleet Monitorは、船舶の運航における航海データや、エンジンなどの主機関のデータを収集・監視する中核のサービスとなっている。

Fleet MonitorにMSR製のデータ収集装置が採用された理由は、既存の製品では耐環境面の信頼性が十分でなかったことと長期保証が困難であったことであったが、三井造船が

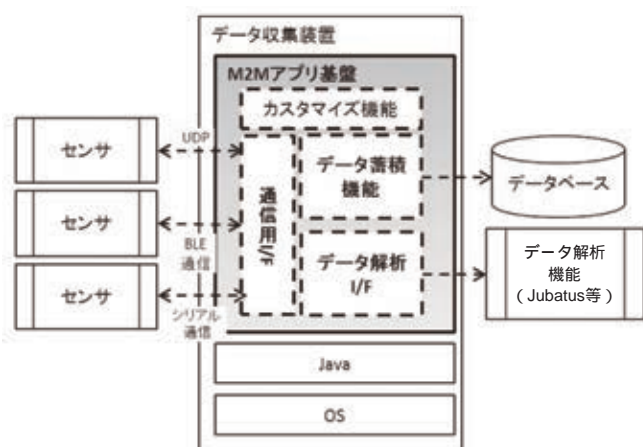


図3 M2M アプリ基盤機能構成

ループのMSRが製造する製品を採用することで、耐環境性の確保、長期保証が可能となり、使用されている機器の保守終了に伴うシステム変更の負担とリスクを大幅に軽減できることが挙げられる。

4.1.2 システム概要

Fleet Monitor は、航海する船舶にて舶用機器からデータの収集を行う船内用 Fleet Monitor と、オフィスに勤務する運航オペレーターが、船内 Fleet Monitor で収集されたデータをもとにした運行状況を確認できる陸上用 Fleet Monitor の二つから構成される。

船内 Fleet Monitor は、船舶内に張り巡らされたネットワークを介して、船舶の航海情報を記録する“ Voyage Data Recorder (VDR)”と、エンジンや発電機などの機関情報を記録する“ 機関データロガー”からデータを収集している。船舶内でのデータ収集は常時行われており、通常2時間おきに衛星回線を通じて、陸上のデータセンターにメールにてデータが送信され蓄積される。サービス利用者である船舶運航管理会社のオペレーターは、陸上 Fleet Monitor で提供される画面にて、船舶内で収集されたデータの参照が可能である(図4)。

4.1.3 システム構築・運用課題と対策

Fleet Monitor をシステムとして構築・運用するに当たり、表2に示すとおり、三つの課題を想定し、それぞれに対策を取った。

これらのうち、課題1の通信対象となる機器の多様性や、課題2の通信インフラの制約などは、3.2で示したM2Mアプリ基盤の各種通信プロトコル機能の実現に反映されている。

4.2 CMAXS e-GICSX

4.2.1 開発の背景

三井造船と三造テクノサービス株式会社は、三井造船製のMAN Diesel & Turboディーゼルエンジンをターゲットとし、エンジンの性能診断や予防保全を目的としたe-GICSと呼ばれるサービスを2004年より提供してきている。サービス開始以来3000隻を超える導入実績があり、多くの船舶の安全航行に寄与してきた。

新しく開発されるCMAXS e-GICSXは、日本海事協会(NK)との共同研究により、e-GICSでの解析技術、先に事例紹介したFleet Monitorによるデータ収集技術のみならず、NKが提供している“ClassNK CMAXS”のビッグデータ解析技術を組み合わせ、より付加価値の高い機関状態監視システムであり、2016年4月からサービスの開始を予定している。なお、本サービスは、NKの小会社である株式会社ClassNKコンサルティングサービスが“ClassNK CMAXS e-GICSX”として販売する予定である。

MSR製のデータ収集装置を使用した運用試験は既に開始されており、ソフトウェア・ハードウェアを含めた長期的な運用・保守のサポート体制を構築している。

4.2.2 システム概要

CMAXS e-GICSXは、既存のデータ収集、異常検知、性能診断を行う各種システムを有機的に結合し、リアルタイムでデータ収集から性能診断までが可能な仕組みとなっている。

データ収集には、先に事例として挙げたFleet Monitorに採用されているデータ収集装置に加えてMAN Diesel & Turbo社開発の“Engine Management System (EMS)”, “Pressure Measuring Instrument (PMI)”を利用している。

表2 Fleet Monitor 課題と対策

課題1	「VDR」「機関データロガー」の通信方式が、機器製造メーカーや機種ごとに異なる
対策	図5に示すように機器からデータ取得する通信機能に対して、機器ごとに「データ収集ドライバ」と呼ぶI/Oを共通化した専用プログラムを準備した。データ収集後のデータの変換から蓄積までの一連の処理の共通化を行った。
課題2	船陸間通信における衛星回線の通信速度は低速であり、通信コストが高い
対策	陸上へのデータ連携の確実性を高めるため、通信方式としてメールを採用し、メールが届いていない場合に再送することで、確実に届く仕組みとした。また通信量を抑制するために、船舶内で収集されたデータをすべて連携するのではなく、一定間隔のデータに間引いて、データ連携する仕組みとした。
課題3	船舶に取り付けられているセンサが船舶ごとに異なり、取得が必要なデータが多様である。
対策	収集データをデータ蓄積フォーマットに合うように変換することにより、船舶ごとの差異を吸収した。

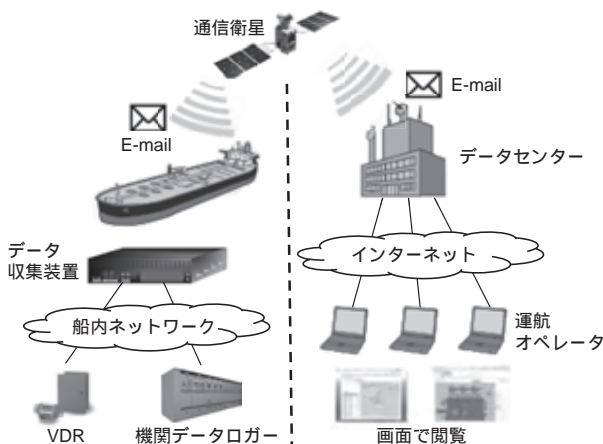


図4 Fleet Monitor システム概念図

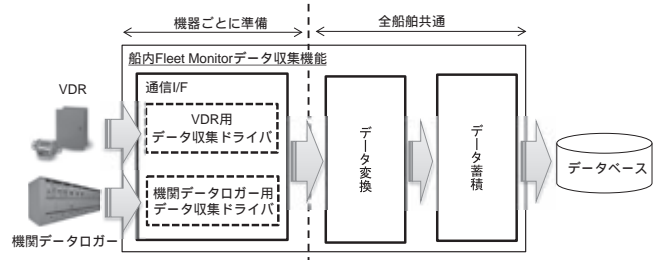


図5 データ収集機能概念図



EMSは、エンジンにおけるさまざまな制御を行うためのコンピュータと、制御に必要な情報を取得する各種のセンサを組み合わせた制御系システムである。PMIは、エンジンシリンダ等の圧力を測定するための計測機器類である。従来“ClassNK CMAXS”により提供されてきたデータ解析技術を監視機能として利用し、収集したデータに基づき船内で異常検知を行う。異常検知時には、陸上にて稼働する就航船システムにより性能診断・燃焼診断が行われ、診断結果が本船へ自動的に送信され、船舶と陸上の間で情報が共有される(図6)。

#### 4.2.3 システム構築技術

CMAXS e-GICSXの課題は、データ収集から性能診断までの一連の処理をリアルタイムに行うことであった。

この対策として、それぞれ個別に実現されていた異常監視や性能診断の機能に関し、CMAXS e-GICSXを構成するデータ収集装置上で異常診断、性能診断の分析を実現することにより、リアルタイムに性能診断が可能となった。この結果、M2Mアプリ基盤にデータ解析用インターフェースと分析機能が連携して機能する仕組みを実現できた。

### 5. 今後の取組

Fleet Monitor, CMAXS e-GICSXでの経験からM2Mプラットフォームに、製品の稼働監視だけでなく、データ収集から分析まで行う機能を付け加えた。今後は、このM2Mプラットフォームを拡張し、生産現場の改善に貢献する“スマート工場”へ展開することを計画している。

#### 5.1 M2Mプラットフォームの拡張

現在のMSRのM2Mプラットフォームは、デバイスからゲートウェイを経由しデータ収集から分析までの範囲をカバーしている。生産現場へM2Mプラットフォームを適用する場合、収集したデータを分析した結果から自動的にあらゆるデバイスを制御することが求められる。

##### 5.1.1 ビッグデータ分析と合意協調制御

M2Mを適用する環境は、各種センサからリアルタイムに大量のデータが流入する世界である。別の見方としては、実世界を様々な観点から捉えた情報を利用することができる。これを用いて今の状況を正確に把握するとともに、将来を高精度で予測する、これがM2Mの価値である。

今までの分析・制御は、管理サーバが他の機械・センサ・

デバイスの情報を収集し、判断・指示する集中制御が主流である。CMAXS e-GICSX等のソフトウェアに適用して開発した現在のM2Mプラットフォームの分析機能も集中制御のみに対応となっている。M2Mが拡大する今後は、各センサや機械、ネットワークにつながるあらゆるものが自律・連携しながら制御を行う合意協調制御の実現が重要となってくる。特に生産現場改善を狙うMSRのM2Mプラットフォームにおいて、合意協調制御に適したインターフェースとして提供するためには分析・制御技術の開発が不可欠である。

##### 5.1.2 標準化、セキュリティ

IoT/M2Mの理想は、あらゆる機器が簡単にネットワークにつながることである。例えば工場に新しい機械を導入し、そこから情報を得て制御を行う場合に、現状では、機械やネットワーク、システムに合わせ、通信手段や方法、データ形式、制御のプログラムなどを作り込む必要があり、これには多くの労力と費用がかかる。このため、電気器具のプラグを電源コンセントに差し込めば利用できるように、ネットワークにつなげばM2Mデバイスとしてシステム上で利用できるようにするための標準化が期待されている。しかしながら、成長分野であるM2Mビジネスは、今まさに激しい競争にさらされており、様々な規格が提案されている状況のため、当面は標準化は難しいと予想される。

一方、セキュリティ面では、デバイス自体の改変などの脅威をいかに防ぐかが課題となっている。さらに、デバイスは一度設置すれば長期間メンテナンスが行われにくいケースも多い。このため、新たな脅威が発生しても、容易にセキュリティ機能をアップデートできないのが現状である。また、セキュリティの標準化についても同様である。現在、M2Mアプリ基盤は、各種デバイスの通信方法や仕様に個別に対応するための共通インターフェースを提供しているが、改変等に対する強固なセキュリティ機構を必要としている。今後、M2M規格やセキュリティの標準化が進んでいく中で、システムから見た現状のインターフェースを維持しつつ、M2M規格の標準化を注視し、その標準に準拠することで、開発したシステムを将来無駄にすることなく利用できる長期保証の特色を持つプラットフォームとすることを目指している。

#### 5.2 スマート工場の実現に向けて

人と機械が協調して働く“スマート工場”の実現に向けた動きが本格化している。これまでドイツ政府が推進する“インダストリ4.0<sup>13)</sup>”に代表される海外の取組みが目立っていたが、日本でも産官学が連携した日本版インダストリ4.0ともいえる取組みが活発化している<sup>14)</sup>。

##### 5.2.1 インダストリ4.0

MSRは、センサネットワークなどにより得られる情報と、高いコンピューティング能力を有するサイバー空間を密接に連携させ、コンピュータの力を有効活用することで現実世界をより良くすることが、インダストリアル4.0であると捉えている。モノづくりでは、設計や開発、生産に関連するあらゆるデータは、センシングなどを通して蓄積され、それを分析・制御することで、自律的に動作するようなインテリジェントな生産システムが想定されている。このような工場はス

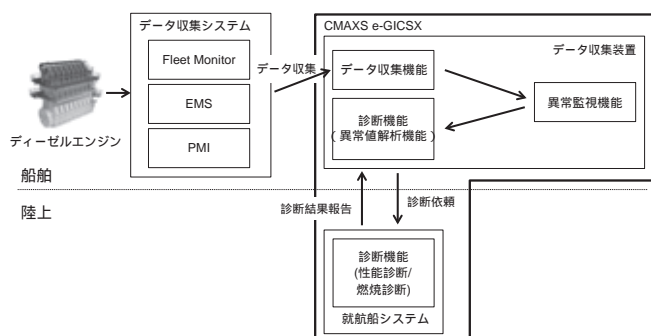


図6 CMAXS e-GICSX システム概念図

表3 インダストリ 4.0 方向説明

垂直方向	工場全体の現場の情報を ICT システムに取り込み、蓄積・分析し現場にフィードバックすることで生産性向上を目指す
水平方向	サプライチェーン及びバリューチェーン(企業間)の情報連結と管理による効率化を目指す

マートファクトリーと呼ばれ、垂直方向と水平方向への成長が期待されている。(表3)

MSR では M2M プラットフォームに、第1に垂直方向である工場自体の生産性向上のためのソリューションを、次に水平方向の工場間連携のためのソリューションを加え、IoT/M2M 製品として順次リリースする予定である。

## 6. おわりに

本報では、三井造船システム技研株式会社(MSR)が開発した IoT/M2M の中核となる“M2M プラットフォーム”について解説した。今回開発したデータ収集装置は、様々な OS や通信プロトコルに対応しており、極めて汎用性が高いものである。収集するデータは、センサ等に一般的に用いられる様々な通信プロトコルに対応しているため、センサ等の機種が変更されてもデータ収集装置は変更せずに長期間の使用が可能となる。また、データ収集装置用に開発した“M2M アプリ基盤”は“FleetMonitor™, CMAXS e-GICSX”への適用をベンチマークとする過程で、カスタマイズが容易なように設計したため、使用される環境が異なっても低価格、短期間での導入が可能な M2M プラットフォームになっていると考えている。

さらに、多点センサ対応やデータ解析機能を特長とする M2M アプリ基盤を用いると、今まで手入力に頼っていた工場やその設備からの情報を、正確に素早く捉えることが可能となり、その結果を現場にリアルタイムでフィードバックできるため、生産効率の向上、無駄の排除などの新しい価値を提供できるものと考えられる。

MSR の提供するソリューションは幅広く、本報で紹介したソフトウェア部門、ハードウェア部門のほかに、システム構築・保守からコンサルティングまで展開している。IoT/M2M ビジネスを展開するに当たり、顧客要望に沿うスマート工場化に向けた製品・サービスの提供を目標に、IT 専門企業としての総合力を活かして、今後も製品開発を進めていく所存である。

## 参 考 文 献

- 1) 三井造船システム技研株式会社: MiTOX, <http://www.msr.co.jp/solution/business/glp/mitox.html>, (2015-12-12)
- 2) 三井造船システム技研株式会社: TIME-3, <http://www.msr.co.jp/solution/hcm/time3/index.html>, (2015-12-12)
- 3) 三井造船システム技研株式会社: 電子制御エンジン用

電子制御装置用多目的コントローラー, <http://www.msr.co.jp/solution/electronic/mpc/index.html>, (2015-12-12)

- 4) 三井造船システム技研株式会社: 勤怠管理端末(MiEVAH), <http://www.msr.co.jp/solution/electronic/mievah/index.html>, (2015-12-12)
- 5) 株式会社矢野経済研究所: M2M 世界市場に関する調査結果 2014, <http://www.yano.co.jp/press/pdf/1229.pdf>, (2015-12-12)
- 6) シスコシステムズ合同会社: いよいよ本格化する Internet of Things, [http://cisco-inspire.jp/issues/0010/cover\\_story.html](http://cisco-inspire.jp/issues/0010/cover_story.html) (2015-12-12)
- 7) 村上. 外: 船体性能解析サービスの開発. 三井造船技報, 195(2008-10), p.28
- 8) 三井造船株式会社: e-GICS, [http://www.mes.co.jp/business/it/it\\_05.html](http://www.mes.co.jp/business/it/it_05.html), (2015-12-12)
- 9) 日本海事協会: ClassNK CMAXS, <http://www.classnkcs.co.jp/cmaks/index.html>, (2015-12-12)
- 10) International Business Machines Corporation 外: MQTT V3.1 プロトコル仕様, [https://www.ibm.com/developerworks/jp/websphere/library/wmq/mqtt31\\_spec/](https://www.ibm.com/developerworks/jp/websphere/library/wmq/mqtt31_spec/), (2015-12-12)
- 11) Bluetooth SIG, Inc.: Core version 4.2, <https://www.bluetooth.com/specifications/adopted-specifications/>, (2016-2-26)
- 12) 株式会社プリファードインフラストラクチャー 外: Jubatus: オンライン機械学習向け分散処理フレームワーク, <http://jubat.us/ja/>, (2015-12-12)
- 13) ドイツ工学アカデミー(acatech): Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0, [http://www.acatech.de/fileadmin/user\\_upload/Baumstruktur\\_nach\\_Website/Acatech/root/de/Material\\_fuer\\_Sonderseiten/Industrie\\_4.0/Final\\_report\\_Industrie\\_4.0\\_accessible.pdf](http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report_Industrie_4.0_accessible.pdf), (2015-12-12)
- 14) 経済産業省: ものづくりの大変革を必要とする時代背景, [http://www.meti.go.jp/publication/data/newmeti\\_j/meti\\_15\\_04\\_05/book201/book.pdf](http://www.meti.go.jp/publication/data/newmeti_j/meti_15_04_05/book201/book.pdf), (2015-12-12)

本報に記載した会社名、製品名は、各社の商標又は、登録商標です。また、本報に記載の製品仕様について、予告なく変更する場合があります。

共同執筆者: 製造ソリューション事業部 第四システム部  
小林 勉

〔問い合わせ先〕

三井造船システム技研株式会社  
製造ソリューション事業部 第二システム部  
TEL 0565 - 35 - 3782 松井 功二

# ハイブリッド LNG 供給システムの開発

柴田 繁志<sup>\*1</sup> 渡邊 貴士<sup>\*2</sup> 高橋 洋一<sup>\*3</sup> 田淵 隆平<sup>\*4</sup>  
難波 浩一<sup>\*5</sup> 熊代 敬示<sup>\*6</sup> 岸本 隆<sup>\*7</sup>

## Development of Hybrid LNG Fuel Gas Supply System

*Shigeyuki SHIBATA, Takashi WATANABE, Yoichi TAKAHASHI, Takahira TABUCHI,  
Kouichi NAMBA, Keiji KUMASHIRO, Takashi KISHIMOTO*

In July 2011, Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd. [MES] completed the development of new type of LNG carrier [Double Eco MAX], in which a gas burning slow speed diesel engine [ME-GI] is adopted as a propulsion system. The new type LNG carrier with ME-GI engine successfully reduced fuel consumption and exhaust quantity of CO<sub>2</sub> by 30%. MES has prepared a line-up of new type carriers, such as 147 000 m<sup>3</sup> type, 155 000 m<sup>3</sup> type and 180 000 m<sup>3</sup> type and started its sales proposal of these ships to its clients.

Furthermore, in order to enhance the efficiency of the Double Eco MAX, MES developed a hybrid supply type LNG fuel gas supply system before 2014. The system consists of fuel gas compressors and liquid fuel pumps to enable the selection of the most economical fuel supply depending on the operation condition of the LNG carrier.

The system includes a newly developed boil off gas [BOG] recovery device. The device can make not only the recovery of the amount of natural boil off LNG from cargo tanks, but also can minimize the surplus boil off gas in the partial load operation of high efficiency ME-GI engine.

For the confirmation of the control system, MES also developed a system simulator incorporating the test results and has confirmed that the fuel supply system can adequately provide fuel for each demand in double ME-GI engines at all times in all expected operating conditions of the LNG carrier.

2011年7月三井造船は、推進システムにガス焼き低速ディーゼルエンジン“ME-GI”を採用し、燃料費・CO<sub>2</sub>の排出量を30%削減した新型LNG船“Double Eco MAX(ダブル・エコマックス)”の開発を完了させ、147 000 m<sup>3</sup>型、155 000 m<sup>3</sup>型及び180 000 m<sup>3</sup>型のラインナップをそろえて顧客への提案活動を開始した。その後さらに2014年までに、本船に搭載するガス燃料供給システムの高度化に取り組み、ガス燃料をガス状態で送り出すガスコンプレッサと液状態で送り出す液ポンプをLNG船の運航形態に合わせて使い分けるハイブリッドシステムを新規考案した。また、このシステム向けに、燃費の良い“ME-GI”のメリットを最大限に生かすため、自然蒸発ガス回収装置(BOGリカバリ装置)を新規開発した。この装置により、カーゴロスの最小化と低燃料消費時の余剰ガス対策が実現した。また、一つのガス燃料供給システムから2機2軸の各軸各機関に必要なガス燃料を適切に供給できる制御システムについては、本船の全てのオペレーションモードにおいて、独自にシミュレータを開発し陸上試験結果も参照して検証した。



写真1 “Double Eco MAX(ダブル・エコマックス)”LNG船  
LNG Carrier“Double Eco MAX”

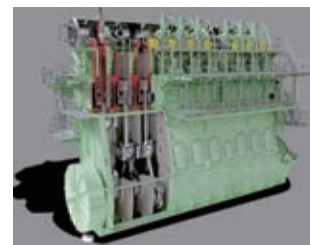


写真2 ガス焼き低速ディーゼルエンジン“ME-GI”  
Gas Injection Diesel Engine“ME-GI”

<sup>\*1</sup> 船舶・艦艇事業本部 千葉造船工場 船舶設計部

<sup>\*2</sup> 船舶・艦艇事業本部 基本設計部

<sup>\*3</sup> 技術開発本部 技術開発センター

<sup>\*4</sup> 機械・システム事業本部 機械工場 ディーゼル設計部

<sup>\*5</sup> 機械・システム事業本部 機械工場 技術開発部

<sup>\*6</sup> 機械・システム事業本部 機械工場 産業機械設計部

<sup>\*7</sup> 株式会社昭島研究所 事業統括部 技術開発部

1. まえがき

船舶のCO<sub>2</sub>排出量削減(省エネ性能向上)への要求が高まり、また国際海事機関(IMO)の主導によるCO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>及びSO<sub>x</sub>排出量規制の強化が段階的に進められ、船舶の省エネ性能・環境性能向上は緊急の課題となっている。2011年7月三井造船 船舶部門は、推進システムにガス焼き低速ディーゼルエンジン“ME-GI”を採用し、従来のLNG船に比べて燃料消費・CO<sub>2</sub>の排出量を30%削減した新型LNG船“Double Eco MAX(ダブル・エコマックス)”の開発を完了させ、147 000 m<sup>3</sup>型、155 000 m<sup>3</sup>型、180 000 m<sup>3</sup>型のラインナップをそろえて、顧客への提案活動を開始した<sup>1)</sup>。

Double Eco MAXの最大の特長は、燃料消費とCO<sub>2</sub>排出量の30%削減を達成したME-GIエンジンの搭載である。このエンジンは、熱効率の高い2ストロークサイクル低速ディーゼルエンジンでありながら、使用燃料の燃焼形態としてガス専焼、重油専焼又はガスと重油の混焼が可能である。これにより、二元燃料焼き(Dual Fuel: DF)エンジンのプロペラ直結推進システムを実現させ、最大限に燃料消費及びCO<sub>2</sub>排出量の削減を図って環境負荷低減(“Ecology MAX”)を達成することが可能である。さらに、このエンジンのDF推進システムは、変化する燃料価格の情勢に応じて、その時々で最も経済的な燃料を選択することで、運航上の経済的なメリット(“Economy MAX”)を創出することが可能である。

当社は、世界で初めてガス焼き低速ディーゼルエンジン(Gas Injection Diesel Engine: GIDE)を開発し、当社千葉事業所に建設した発電プラントにおいて2万時間にも及ぶ実証運転を行った。ME-GIエンジンはこの時の技術をベースに開発したものである<sup>2)</sup>。

ME-GIエンジンは、GIDEのガス焼き機能を継承しつつ、最新の電子制御エンジンと組み合わせることにより、運転領域全域にわたりガス焼きを可能とし、更に環境性能や効率を向上させている。ME-GIエンジンは新型式エンジンであることから、ライセンサのMAN DIESEL & TURBO社、DNV・ABS(船級)などによるリスクアセスメントが実施さ

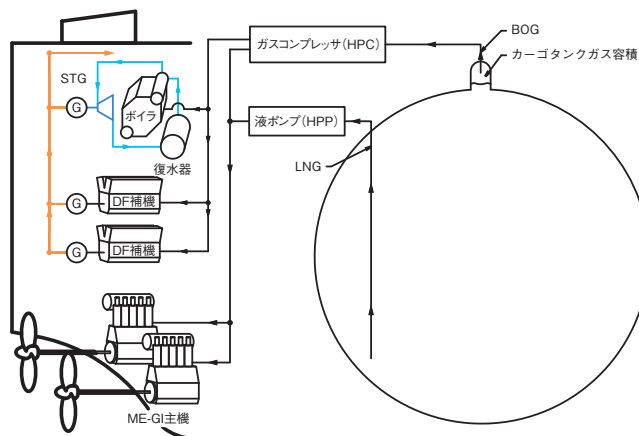


図1 ハイブリッドLNG供給システム概念図  
Concept of Hybrid LNG Fuel Supply System

れ、エンジンの高度な安全性が立証されている。ME-GIエンジンの実生産に向けての開発は、当社玉野事業所機械工場 で実施した。

その後、さらに2014年にかけて、当社が船舶及び船用推進機関のトップメーカーとして社会に貢献するために、全社的な枠組みで本船に搭載するガス燃料供給システムの高度化に取り組んだ<sup>3)4)</sup>。本報では、今回新たに開発したLNG運搬船の自然蒸発ガス(Boil off gas: BOG)を活用するハイブリッドタイプのガス燃料供給システムの詳細について紹介する。

2. システム概要

2.1 ハイブリッドシステム

ハイブリッドシステム の概念図を図1に示す。本システムは、大型低速ディーゼル機関に高圧で燃料を供給するための高圧ガスコンプレッサ(High Pressure Gas Compressor: HPC)と高圧液ポンプ(High Pressure Pump: HPP)の二つの手段を持つ。表1に、LNG船の運行形態における機器の使い分けを示す。

LNG船のカーゴタンクからBOGが十分に得られる状態の満載積荷状態(Full load)であれば、BOGの再液化に多大なエネルギーを消費するより、そのまま燃料ガスとして推進機関で使用の方が有利である。この場合は、表1の記号FLLで表す状態に該当し、BOGをHPCで圧縮し、ME-GIエン

表1 LNG運搬船の載荷状態と燃料供給設備の使用状況の関係  
Relation between LNG Ship Load and Fuel Supply System Operation Mode

載荷状態	満載(Full load)		バラスト(Ballast)	
	低負荷	高負荷	スプレー有り	スプレー無し
モード	FLL	FHL	BwS	Bw/oS
使用状態				
高圧ガス圧縮機				×
高圧液ポンプ	×		×	
備考	LNG船のカーゴタンクからBOGが十分に得られる状態	満載状態の高船速で運航する状態	カーゴタンクの冷却のため実施されるスプレーオペレーション状態	カーゴタンクに運航に必要な最低限のLNG液を積載するバラスト状態

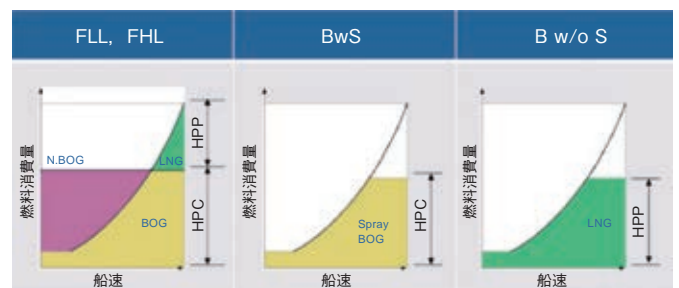


図2 LNG運搬船の載荷状態と使用燃料の関係  
Relation between LNG Ship Load and Consumed Fuel

ジンに供給する。一方、カーゴタンクに運航に必要な最低限の LNG 液を積載するバラスト状態 (Ballast) では、カーゴタンクの冷却を目的として実施されるスプレーオペレーション (BwS) とスプレー無しオペレーション (Bw/oS) がある。この場合、BwS では発生した BOG を HPC を使用して、Bw/oS では燃料を液のまま HPP を使用して ME-GI エンジンに供給する方式が高効率である。このように、カーゴの状態により HPC と HPP を使い分けることが本システムの特長であり、非常にシンプルなオペレーションとなっている。つまり、ガスがあるときにはガスコンプレッサを利用し、ガスがなく液があるときには液ポンプを利用するという思想である。

さらに、満載状態の高船速で運航する場合は FHL に該当し、主機が高負荷になれば BOG だけでは ME-GI エンジンの燃料を賄えなくなるが、その際には HPC と HPP を並列で運転する。なお、スプレーオペレーション中である BwS のケースでは、HPC での主機運転により、蒸発ガスの発生によるカーゴタンク内の圧力上昇防止対策も兼ねている。

図 2 は、本システムの運転モードと燃料供給状態の関係を示したものである。図の横軸は船速、縦軸は燃料消費量を示し、船速毎の燃料消費量を右上がりの曲線で示している。各船速における BOG (ガス) 及び LNG (液) で充当される燃料消費量をそれぞれ黄色及び緑色で示し、燃料消費量より BOG が多い余剰部分を紫色で示している。

本ハイブリッドシステムの開発では、次に示す課題を掲げ解決した。

- ・ 満載及びバラスト状態それぞれの目標効率達成による実オペレーションでの総合効率のアップ
- ・ HPC のサイズダウンによる保守性の向上
- ・ 既存の HPC・HPP の本船適用

最後の課題解決には、ハイブリッドシステム適用による機器の運転時間低減による効果が大きく寄与している。なお、更なる機器単体での保守間隔延長についても現在取組中である。

また、HPC の平面配置を図 3 に示す。HPC はモス型タンク間に設置される左舷貨物機器室に搭載されている。同貨物

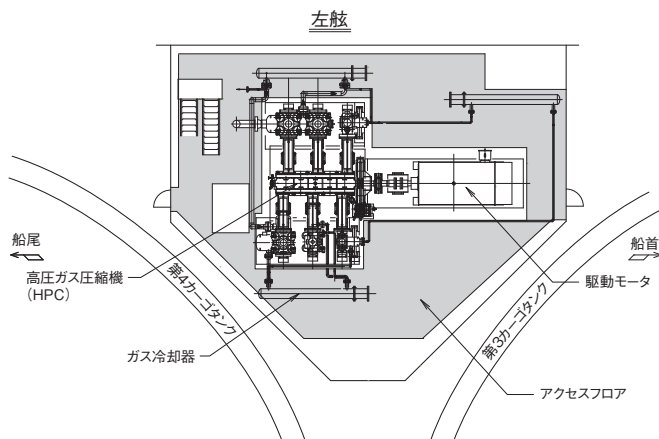


図 3 ガスコンプレッサ配置平面図  
Plan View of Gas Compressors Layout

機器室は 2 階建て構造で、各階に 1 台ずつ合計 2 台の HPC を配置している。

## 2.2 BOG リカバリ装置

BOG リカバリ装置は、多段圧縮機である HPC の高圧段より抽気したガスを、LNG カーゴタンクからの BOG を冷熱源として冷却した後に、膨張弁の下流側で断熱膨張の原理を使用して更に冷却することにより、BOG の一部を液化して回収する機能を有する。

また、LNG 船の主機として ME-GI エンジンのように燃費の良いエンジンを採用すると、BOG 発生量と主機の燃料ガス消費量がバランスする運転条件よりも低い主機負荷の場合、BOG の全量を燃料として活用できず BOG が余る傾向になる。本装置は、再液化装置と組み合わせて余剰ガスを回収することにより、低燃費エンジンの経済性を最大限に発揮させることができる。この効果については図 4 に示す。BOG リカバリ装置により、図中の水平の線で示されている BOG 量は矢印のように抑制できるため、運航速度に合わせて余剰 BOG を調整できることが分かる。

BOG リカバリ装置の性能は、当社玉野事業所に設置した ME-GI エンジン試験用燃料ガス供給システムの一部を利用した試験で確認し、約 20 % の回収を達成できる見通しを得た。

## 2.3 制御システムと独自シミュレータ

Double Eco MAX LNG 船は 2 機 2 軸船であるため、一つの LNG 供給システムから各軸各機関に必要なガス燃料を LNG 船のすべてのオペレーションモードにおいて適切に供給できる制御システムが必須であり、事前に十分な制御性を有していることを検証しておく必要がある。今回、設計した制御ロジックを自社開発のシミュレータを使って検証した。また、このシミュレータは、当社玉野事業所に ME-GI エンジンの出荷前陸上試運転用設備として、2013 年 4 月に設置した液ポンプ式のガス燃料供給装置及び 2015 年 10 月に増設したガスコンプレッサのデモンストレーション運転並びに ME-GI エンジンの陸上試運転の事前検討や調整においても使用され、実績を重ねている。

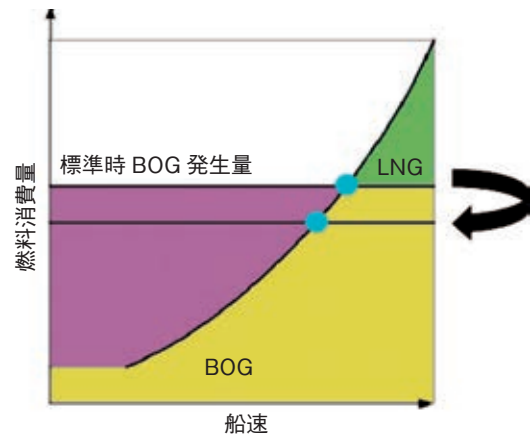


図 4 BOG リカバリ装置の効果  
Explanation of Advantage of BOG Recovery

### 3. 開発技術の紹介

#### 3.1 システム系統図

図5に今回開発したハイブリッドLNG供給システムの系統図を示す。前述のとおりHPPとHPCのハイブリッド供給構成及びBOGリカバリ装置の装備が主要な特長であり、図中の青い線は液状態のLNGを、オレンジ色の線は液ではない状態を表し、左下のカーゴタンクのLNG及びBOGを右側に示したDF機器へも供給している。BOGリカバリ装置に供給する圧縮ガスは、5段で圧縮するコンプレッサの4段目から抽気する。1段目から4段目までは無給油式の圧縮機を採用し、カーゴタンクへの潤滑油混入を防止した。船舶ではLNGをカーゴとしてタンクに回収するに当たり、BOGをガスコンプレッサで圧縮する際にシリンダ内に給油した油の混在リスクを避けることはBOG回収装置の設計において絶対条件である。高圧の4段目までオイルレス構造である当社製ガスコンプレッサの採用が、20%の回収率達成に大きく寄与した。また、ME-GIエンジンの上流に装備の圧力変動吸収用のバッファタンクの可否を検討の上、容量について最適化を図った。

#### 3.2 BOGリカバリ装置

BOGリカバリ装置の性能を確認するに当たり、最も懸念していたものは膨張弁の膨張ロスであった。膨張弁は圧縮ガスをBOGの冷熱を利用して冷却する熱交換器の下流に設置される。圧縮ガスが膨張弁を通過する際に膨張時のエネルギーロス(膨張ロス)が発生する。この現象を評価するためには、膨張弁を使用する圧力範囲での効率を実測する必要がある。今回、陸上試験設備を用いた社内試験にて膨張弁の膨張ロスを確認したので紹介する。

図6はBOGリカバリ装置における膨張過程と回収LNG

への影響を模式的に表したものである。図中の  $H_{calc}$  と  $H_{real}$  は、それぞれ膨張後の圧力における飽和液線上のエンタルピと理想的な膨張過程又は実際の膨張過程におけるエンタルピの差と定義すると、 $H_{calc}$  を  $H_{real}$  で除したエンタルピ比が小さいほどロスが大きいことになり、気液分離器で液体として回収できる量は少なくなる。

社内試験で確認したエンタルピ比を図7に示す。設計目標とした20%の回収量に相当するエンタルピ比は80%弱である。回収量を算出するための流量を算定するに当たり、膨張弁の出口流量、膨張弁の入口流量、膨張弁の弁  $C_v$  値から算出した流量に基づきエンタルピ比を算出した。試験は、膨張弁出口圧力を2点変化させ、それぞれ2回実施した。試験の結果、エンタルピ損失は膨張弁出口圧力が低くなると小さくなる傾向があるが、95%程度であり当初懸念した膨張ロスは問題ないレベルであることが確認できた。

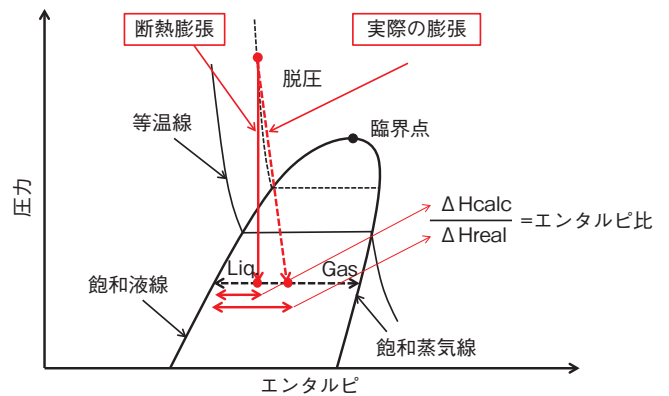


図6 BOG圧力-エンタルピ線図(P-H線図)の模式図  
Schematic of BOG Pressure - Enthalpy Diagram

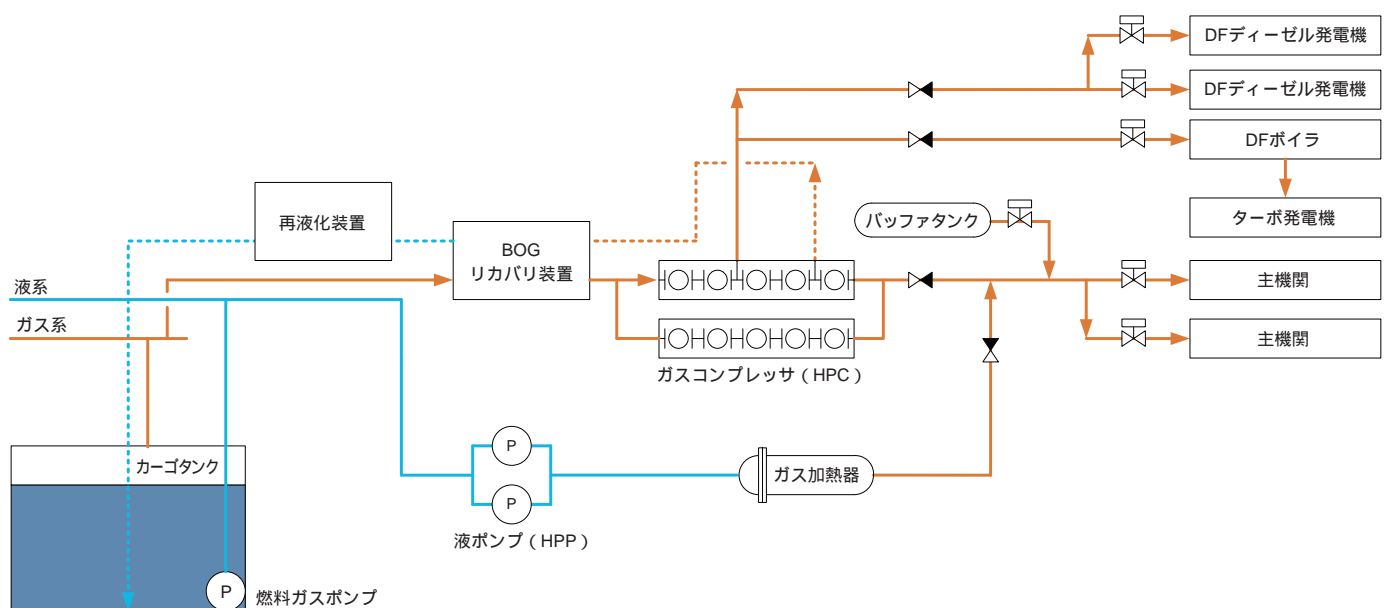


図5 ハイブリッドLNG供給システム系統図  
Process Flow Diagram of Hybrid LNG Fuel Supply System

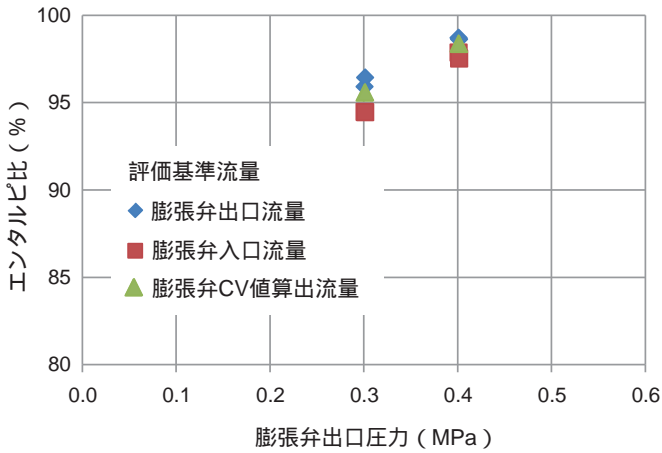


図7 エンタルピー比の実測値  
Experimental Results of Enthalpy Ratio

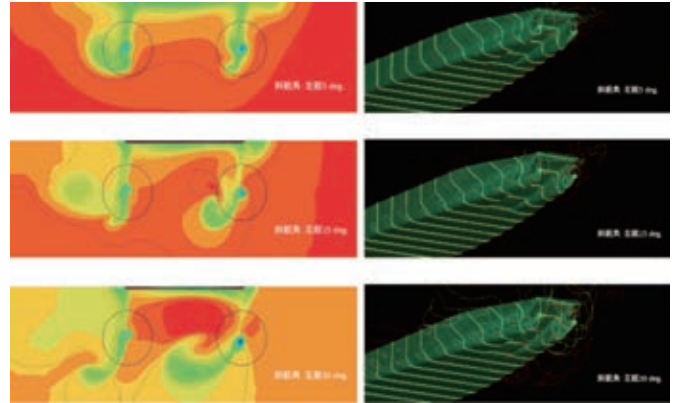


図8 ツインスケグの船尾付近の流場(CFD 計算例)  
Example of CFD Calculation for Aft Field



写真3 膨張弁解放検査の様子  
Overhauling Inspection inside of Expansion Valve

なお、膨張弁内部では大きな圧力差が生じていること、膨張により膨張弁内で気体の一部が液化することから、膨張と液化による膨張弁内部のエロージョンが懸念されたため、試験後に開放検査を実施したが異常は確認されなかった(写真3)。

### 3.3 シミュレータ検証結果

今回開発したシミュレータによる検証結果の一例を紹介する。シミュレータでは、急旋回、片舷主機ガスシャットダウン、荒天時負荷変動等のダブルエコマックス LNG 船で想定される多様な事象に対して、事象発生後の推進機関の負荷、供給ガス圧力、カーゴタンク内圧、燃料系統各部の質量流量等の時間変化を求めた。その結果、問題となる挙動があれば原因分析後にシステムを調整してシミュレーションを行い、システムの健全性・制御性を検証した。

急旋回時や荒天時には、波浪等の外的要因による負荷変動を伴うため、この現象を正確に評価することがシミュレーションには必要である。三井造船昭島研究所では、CFD 等

の技術を利用して、種々の船型に対して負荷変動等の予測計算が可能である。急旋回時の負荷変動の評価に用いた船体周りの流速分布評価結果を図8に示す。

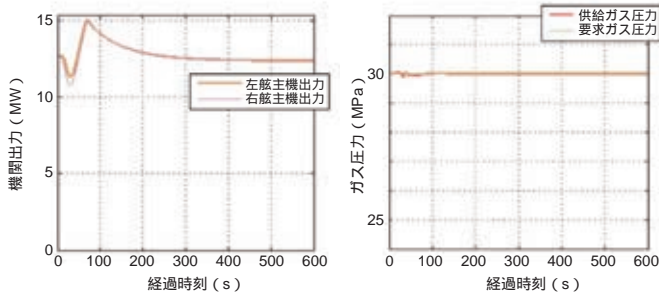
図9は急旋回(舵角35度)時のシミュレーション結果であり、推進機関の負荷、供給ガス圧力、カーゴタンク内圧、各部の質量流量の時間変化を示している。急旋回による左右舷の負荷の差は問題にならず、LNG供給システムは良好に追従していることが分かる。

荒天時のシミュレーション結果を図10と図11に示す。これらは共に、HPCとHPPの並列運転下で海象による周期的な負荷変動を適用し、供給ガス圧(赤ライン)とエンジンが要求するガス圧力(緑ライン)を求めたものである。ここで、図10は要求ガス圧力を一定(高負荷側85%)とした場合の結果であり、図11は推進機関の負荷変動に応じ要求ガス圧力を変更(低負荷側75%)させた場合の結果を表している。負荷変動に対応して機関出力は対応しているが、図11に示すとおり、機関が要求するガス圧力に対して供給ガス圧力が追従しない状態が現われた。この問題はガスエンジンの特性によるものと分ったが、対策を施した結果、燃料供給システムは問題なく動作することを確認した。このように、シミュレータにより事前に制御上の課題の特定や調整対策を施すことにより、システムの健全性や制御性の検証を行っている。

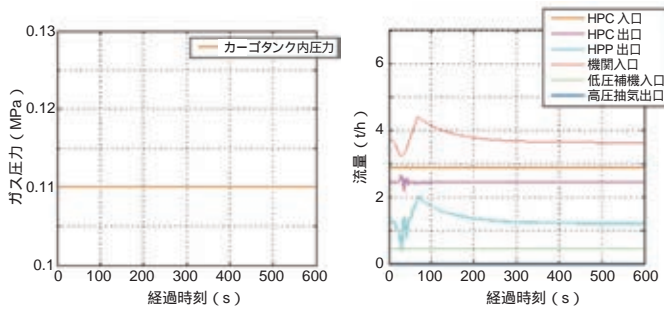
本システムについては開発を完了したが、2015年10月に当社玉野事業所に完成したME-GIエンジン用の陸上試運転設備を用いて本シミュレータと実機との検証とマッチングを進めて、更なる精度向上に努めている。本設備はハイブリッドLNG供給システムとほぼ同様の構成となっている。

## 4. あとがき

当社は、低速ガスインジェクションディーゼルエンジン(GIDE)発電設備の経験を基に、ME-GIエンジンを推進機関に搭載したダブルエコマックスLNG船を開発した。これに引き続き、船舶用電子制御式ガスインジェクションディーゼルエンジン(ME-GI)を開発した。

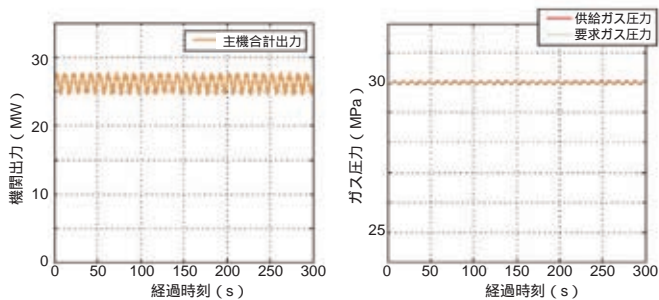


(a) 推進機関負荷の時刻応答 (b) 供給ガス圧力の時刻応答



(c) カーゴタンク内圧力の時刻応答 (d) ガス質量流量の時刻応答

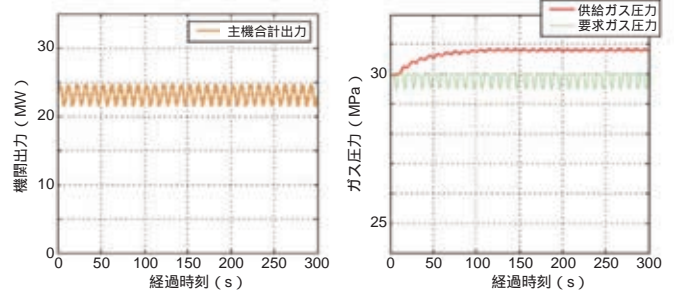
図9 急旋回時の制御性  
Controllability during Steep Turning



(a) 推進機関負荷の時刻応答 (b) 供給ガス圧力の時刻応答

図10 荒天時の制御性  
(満載状態 85% 負荷 / HPC, HPP 並列運転時)  
Controllability in Rough Sea  
(Gas Compressor use, Fully Laden, 85% Propulsion Load)

ハイブリッド LNG 供給システムは、ガス燃料をガス状態で送り出すガスコンプレッサ(HPC)と液状態で送り出す液ポンプ(HPP)を LNG 船の運航形態に合わせて使い分けることができるシステムである。本報では、ダブルエコマックス LNG 船で想定される多様な条件におけるシミュレーション結果の一例を示した。種々のシミュレーションにより、本システムは十分な健全性と制御性を有することを確認している。



(a) 推進機関負荷の時刻応答 (b) 供給ガス圧力の時刻応答

図11 荒天時の制御性  
(満載状態 75% 負荷 / HPC, HPP 並列運転時)  
Controllability in Rough Sea  
(Gas Compressor and Pump use, Fully Laden, 75% Propulsion Load)

参考文献

- 1) 三井造船：燃料費・CO<sub>2</sub>の排出を30%削減した LNG 船“Double Eco MAX”を市場投入，<https://www.mes.co.jp/press/2011/20110712.html>，(2011-7-12)
- 2) 三井造船：船舶用電子制御式ガスインジェクションディーゼル機関(ME-GI)のデモンストレーション運転実施について，<https://www.mes.co.jp/press/2013/20130417.html>，(2013-4-17)
- 3) 三井造船：LNG 運搬船向け燃料供給システム用高圧圧縮機の開発・販売開始，<http://www.mes.co.jp/press/2015/20150409.html>，(2015-4-9)
- 4) 三井造船：LNG 燃料船向け ME-GI (天然ガスを燃料とした船用低速ディーゼル機関)の国内商用初号機を完成，<http://www.mes.co.jp/press/2015/20151001b.html>，(2015-10-1)

〔問い合わせ先〕

船舶・艦艇事業本部 千葉造船工場 船舶設計部  
TEL 0436 - 41 - 1132 柴田 繁志



柴田 繁志 渡邊 貴士 高橋 洋一 田淵 隆平



難波 浩一 熊代 敬示 岸本 隆



# レーザ・アークハイブリッド溶接の海上保安庁向け 大型巡視船への適用

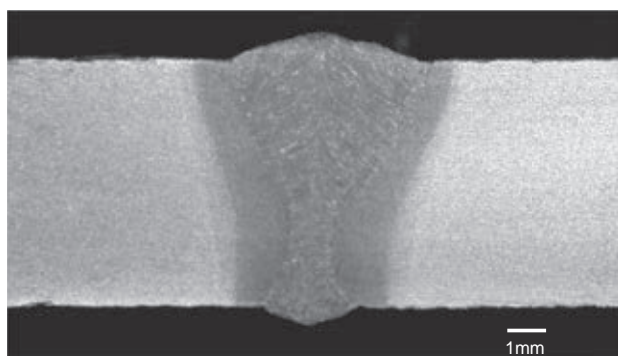
木村 陵介\* 落合 彦太郎\* 中島 義晴\*  
小野 昇造\* 小野 直洋\*\*

## Application of Laser-Arc Hybrid Welding to Japan Coast Guard Patrol Vessel Large

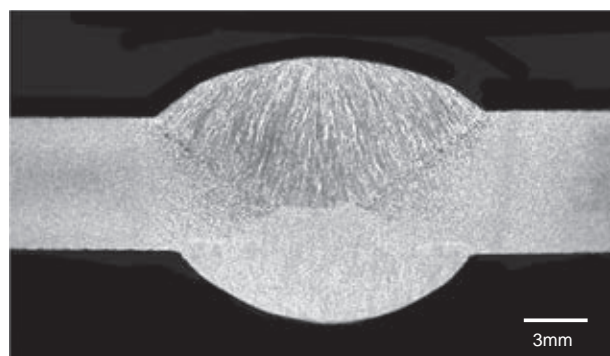
Ryosuke KIMURA, Hikotaro OCHIAI, Yoshiharu NAKASHIMA, Shozo ONO, Naohiro ONO

Laser-Arc Hybrid Welding (LAHW) is a high-efficient, high-quality, and high-accuracy welding process that can provide higher welding speed and lower welding distortion. However, LAHW requires high groove accuracy and is difficult to maintain the welding quality compared to arc welding process which is widely used in the shipbuilding industry. Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd. developed a new LAHW process that can sufficiently ensure welding quality for the groove accuracy (groove gap and misalignment) in the manufacturing site. In addition, a welding carriage equipped with welding line profile control device was developed in order to carry out stable welding for application to butt welding process. We have acquired welding procedure approval of flat butt welding from Nippon Kaiji Kyokai (NK) and Japanese Government (JG), received permission from Japan Coast Guard, and applied the LAHW process to deck of Japan Coast Guard patrol vessel large. Thus, this new LAHW process has achieved three times the higher welding speed and 1/10 lower heat input compared to conventional arc welding process. We have also confirmed that the welding distortion is extremely low.

レーザ・アークハイブリッド溶接(LAHW)は、溶接速度が速いことに加え、ひずみを抑えることができる高効率・高品質、高精度の溶接技術である一方、船舶建造に広く用いられるアーク溶接と比較して、要求される開先精度が厳しく、溶接品質の維持が難しい。三井造船では、建造現場の板継ぎ工程において要求されるギャップや目違いなどの開先精度に対応したLAHW技術を開発した。また、板継ぎ工程への適用に向け、10 m以上の溶接長を安定的に溶接可能な自動開先做い制御装置を搭載した溶接台車を開発した。本溶接台車を用い、日本海事協会(NK)や国土交通省から下向き突合せ溶接の溶接施工法承認を取得するとともに、海上保安庁から施工許可を受け、大型巡視船の甲板にLAHWを適用した。その結果、従来溶接法と比べて、溶接速度3倍、入熱量1/10を達成し、溶接後のひずみ(角変形)が極めて小さいことを確認した。



(a)レーザ・アークハイブリッド溶接(LAHW)



(b)両面サブマージアーク溶接(従来溶接法)

写真1 突合せ溶接継手の断面マクロ(板厚6mm)  
Macrostructure of Cross-section of Butt Welded Joints

\* 技術開発本部 技術開発センター

\*\* 船舶・艦艇事業本部 玉野艦船工場 艦艇部

## 1. はじめに

船舶建造法として一般的なブロック建造方式では、工場建屋内で高精度なブロック製造を行うことで、建造期間の短縮や作業の効率化を実現している。しかし、船舶建造に広く用いられているアーク溶接は、接合部材間のすき間(ギャップ)や段差(目違い)などの開先裕度が大きい溶接法である一方、入熱量が大きく、ひずみ(変形)が大きいため、特に薄板のブロック建造では溶接後のひずみ取りが必須工程となっており、建造工数増大の一因となっている。このような中、小入熱量でひずみが小さく、高速溶接、深溶込みなどの優れた特長を持つ半面、開先ギャップをほぼゼロに保つ必要があるレーザ溶接と、耐ギャップ性に優れた炭酸ガスアーク溶接を組み合わせたレーザ・アークハイブリッド溶接(Laser-Arc Hybrid Welding: LAHW)は、入熱量が小さく、ひずみを抑えることができる高精度・高品質の溶接技術であり<sup>1)</sup>、高精度なブロック建造による生産性及び品質の向上につながる技術として期待されている。

当社では、2011年度にLAHW装置を導入するとともに、2012年度より大阪大学に開設した三井造船(高品位溶接・接合プロセス工学)共同研究講座で得られた成果を活用しながら、LAHW技術の開発を進めてきた。今回、建造ブロックの高精度化に向けた取り組みの第一段として、船舶建造で中板から薄板の板継ぎ施工に採用している両面サブマージアーク溶接の代替としてLAHWの適用を目指した。両面サブマージアーク溶接は表面と裏面の両面から溶接する必要があるのに対して、LAHWは裏当て材を使わず片面溶接が可能である(写真1)。LAHWの適用に向けては、主に以下の課題解決に取り組んだ。

従来の両面サブマージアーク溶接と同程度の開先精度(ギャップ・目違い)に対して、十分な溶接品質を確保できる溶接技術の開発

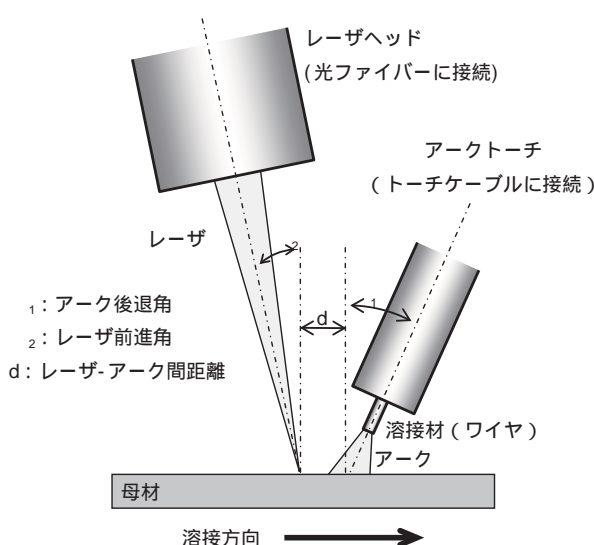


図1 レーザとアークトーチの配置  
Arrangement of Laser and Arc Torch in LAHW

10 m以上の溶接長を安定的に溶接するための高精度な自動溶接線(開先)做い制御装置と、それを搭載した溶接台車の開発

LAHW技術や溶接台車の開発を経て、溶接によるひずみが大きい薄板(公称板厚5.5~8.0 mm)の軟鋼KA及び降伏点32 kgf/mm<sup>2</sup>級高張力鋼KA32の下向き突合せ溶接について、日本海事協会(NK)船級の溶接施工法承認<sup>2)</sup>を取得した。本承認を受け、商船の上部構造へLAHWを適用した後、国土交通省からも溶接施工法承認を取得し、より厳しい品質管理が求められる海上保安庁からの施工許可を受け、大型巡視船の甲板の一部にLAHWの適用を果たした。その結果、溶接線全長にわたり、安定した溶接品質を確保でき、溶接後のひずみが極めて小さい板継ぎパネルを製作できることを確認した。

## 2. レーザ・アークハイブリッド溶接技術及び溶接台車の開発

### 2.1 条件裕度の高い溶接技術の開発

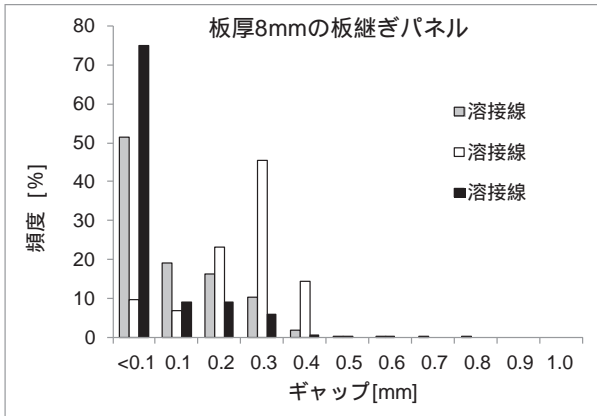
LAHWのレーザとアークトーチの配置を図1に示す。溶接方向に対して炭酸ガスアーク溶接を先行させ、溶着金属を供給することで、ギャップ裕度が小さいレーザ溶接の欠点を補完する。また、後行する高エネルギー密度のディスクレーザ(最大出力5.3 kW、波長1030 nm)により、深溶込みが得られるキーホールを形成し、板厚貫通時に裏面ビードを形成する。しかし、アーク溶接と比較して、開先精度(ギャップ・目違い)やレーザの狙い位置ずれに対する裕度が小さく、溶接品質上、表面ビードのアンダーフィル(肉盛不足)や裏面ビードの溶落ちなどの表面欠陥、ブローホールや融合不良などの内部欠陥が発生しやすい。そのため、開先面の機械加工により、開先精度を管理する方法<sup>3)</sup>も採られている。

当社では、従来の両面サブマージアーク溶接による板継ぎ工程を可能な限り踏襲し、レーザ切断後のI形開先加工のままで、ギャップや目違いのばらつきに対して、安定した溶接品質を確保できるLAHW技術の開発に取り組んだ。

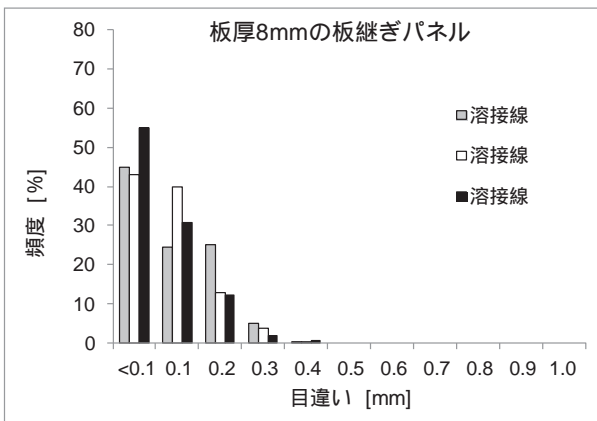
#### 2.1.1 開先精度に対する裕度

初めに、建造現場の板継ぎ工程における溶接時の開先精度を調査した。図2は、ギャップと目違いの頻度分布である。板継ぎ溶接の前にギャップや目違いを修正しながら仮付け溶接を行うため、ギャップは0.1 mm以下の割合が最も多く、0.5 mmまでの範囲にほぼ収まっている。目違いもギャップと同様、概ね0.5 mm以内であるため、LAHWではギャップ・目違いともに少なくとも0.5 mmの裕度に対応する必要があることが分かった。

図3は、板厚6 mmにおいてギャップと溶接速度がビード外観に及ぼす影響を整理した図である。溶接速度が遅い場合、ギャップ裕度は大きいですが、ギャップ1 mm程度で溶着金属が溶け落ちてしまい、表面ビード中央部がくぼんだアンダーフィルが発生する。一方、溶接速度が速い場合は、ギャップを埋めるワイヤ供給量が不足し、表面ビードがアンダーフィルになる傾向が見られる。これらの結果より、適切な溶接速度を選択することで、施工中のギャップの変動に応じた溶接条件の適応制御を採用することなく、船級要求を満足する



(a) ギャップ



(b) 目違い

図2 ギャップ及び目違いの頻度分布  
Frequency Distribution of Groove Gap and Misalignment

溶接条件を取得できると考えた。最終的に、表1に示す溶接条件により、板厚6～8mmでそれぞれギャップ裕度0～0.7mm、目違い裕度0～0.8mmを確保し、表面ビードのアンダーフィルや裏面ビードの溶落ち、ブローホールなどの内部欠陥がない良好なビードを形成できた(写真2)。

取得した溶接条件は、表2に示す両面サブマージアーク溶接の条件と比べて、溶接速度が3倍程度速く、入熱量を1/10以下に抑えた条件になっている。また、各板厚でレーザ焦点位置やレーザアーク間距離などの幾何学的な位置条件を同一とし、建造現場では施工する板厚に応じて、レーザ出力やアーク電流・電圧、溶接速度の設定を変更するだけでよいことを確認した。

なお、レーザ切断面(開先面)に付着している酸化被膜は除去することとした。酸化被膜を未除去の場合、裏面ビードのハンピングやブローホールなどの溶接欠陥を引き起こす原因となることが分かった(写真3)。溶接品質の安定性を確保するためには、開先面の酸化被膜を除去することが必要となる。

### 2.1.2 レーザの狙い位置ずれに対する裕度

写真1にLAHWと両面サブマージアーク溶接の断面マクロを示す。LAHWの溶融領域は両面サブマージアーク溶接の1/5以下と小さく、溶融領域の下側はレーザによる溶融が支配

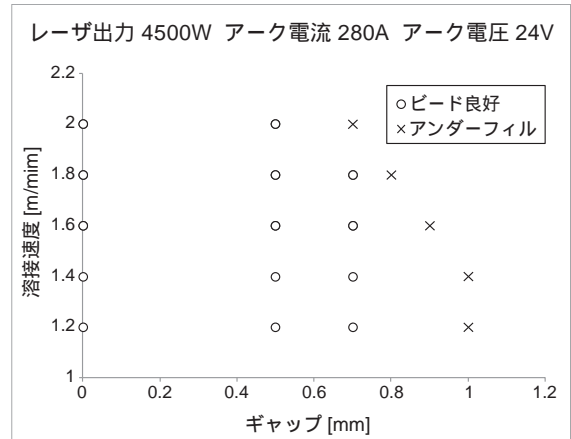


図3 ビード外観に及ぼすギャップと溶接速度の影響  
Effect of Groove Gap and Welding Speed on Bead Appearance

表1 LAHWの溶接条件  
Welding Conditions of LAHW Process

	板厚 6 mm	板厚 8 mm
レーザ出力	4 500 W	5 300 W
アーク電流	275 ~ 295 A	290 ~ 310 A
アーク電圧	24 ~ 27 V	26 ~ 28 V
溶接速度	1.6 m/min	1.5 m/min
総入熱量	416 ~ 467 J/mm	514 ~ 559 J/mm

的であり、溶融幅が約1mmである。そのため、レーザの狙い位置が溶接線直交方向(横方向)に0.3～0.5mm程度ずれると、レーザによる溶融部が開先面から外れてしまい、開先の融合不良やブローホールが発生する。写真4に板厚6mmの板継ぎで狙い位置が0.5mmずれた場合の一例を示す。

内部欠陥のない溶接施工を安定的に行うためには、レーザの横方向の狙い位置ずれを $\pm 0.3$ mm以内に抑えることが必要となる。

### 2.2 開先食い制御装置を搭載した溶接台車の開発

前述のLAHWが要求する狙い位置精度を持つ自動開先食い装置と、それを搭載した自走式の溶接台車を開発した。図4は、溶接台車の模式図である。溶接台車は、レーザヘッド、アークトーチ、ワイヤ送給装置、開先検出用レーザセンサ、検出した開先位置に基づきレーザヘッドとアークトーチの位置を移動させる駆動装置、制御用コントローラ類からなり、溶接線と平行に設置したレールに沿って走行する。

#### 2.2.1 レーザの狙い位置精度

開発した溶接台車の特長として、レーザの狙い位置精度の高さが挙げられる。レーザ切断は切断面品質が高く、ギャップや目違いがほぼ0mmの箇所では、開先位置が目視でも認識しづらく、汎用のレーザセンサでは僅かに開先を検出できる程度である。そこで、検出位置の確度を上げるための対策として、1点のみの開先検出位置データを用いるのではなく、開先検出センサから溶接加工点までの全ての検出位置データを用いることによって、その中の異常検出位置データを判定後除外し、信頼性の高い残りのデータのみを用い平均化を行うこととした。測定結果の一例を図5に示す。

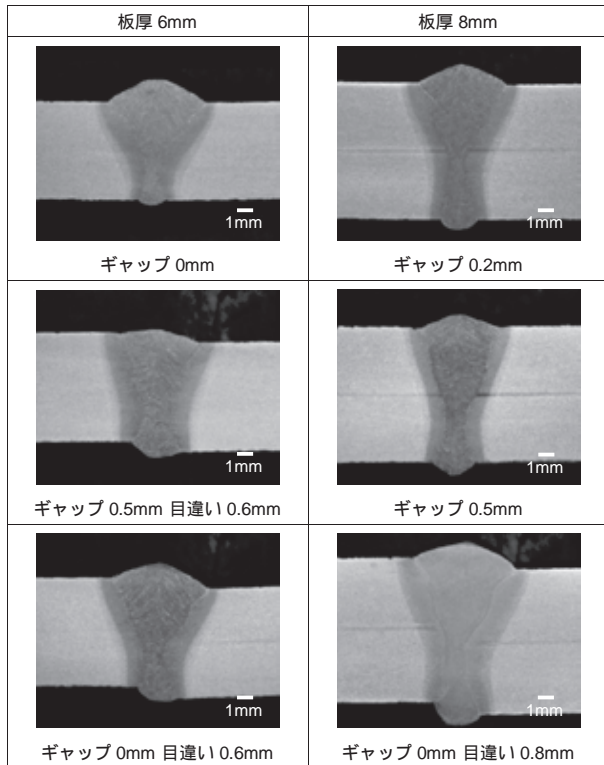


写真2 ギャップ裕度及び目違い裕度  
Groove Gap Tolerance and Misalignment Tolerance

表2 両面サブマージアーク溶接の溶接条件  
Welding Conditions of Double-sided Submerged Arc Welding Process

	板厚 6 mm	板厚 8 mm
溶接速度	0.55 ~ 0.6 m/min	0.5 ~ 0.55 m/min
総入熱量	4 380 ~ 5 210 J/mm	5 880 ~ 6 940 J/mm

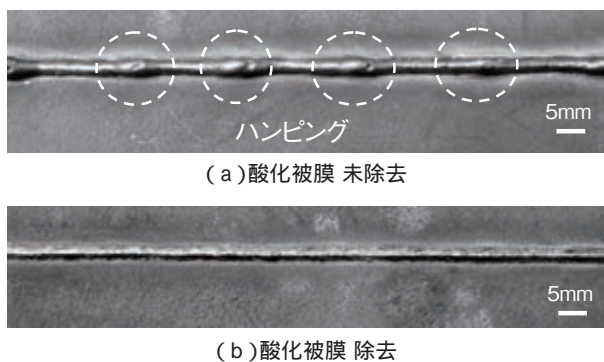


写真3 裏面ビード外観に及ぼす開先面酸化被膜の影響  
Influence of Oxide Film on Groove Face on Bead Appearance of Bottom Surface

取得した開先検出位置データを基に、レーザヘッド及びアークトーチの位置を制御することで、溶接線 10 m 以上の溶接施工においても、融合不良などの欠陥がなく、安定した溶接品質が得られた。これにより、LAHW に要求される狙い位置精度を満足していると判断した。

2.2.2 レーザ光に対する安全性

LAHW で使用するレーザ発振器は日本工業規格で定める

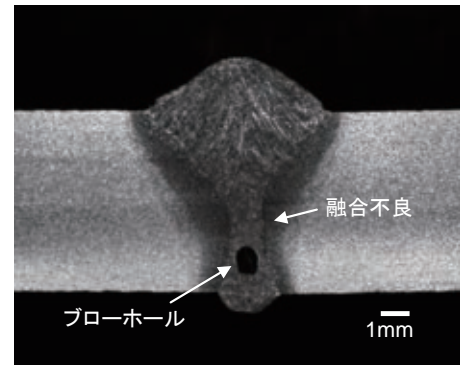


写真4 溶接線直交方向の狙い位置ずれの影響  
Influence of Target Position Deviation in the Direction Orthogonal to the Welding Line

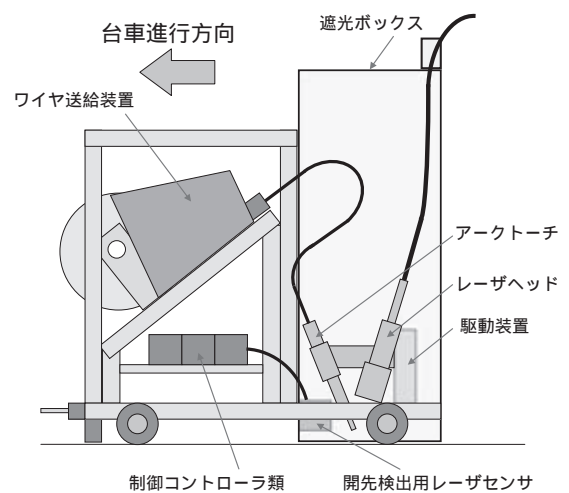


図4 溶接台車の模式図  
Schematic Diagram of Welding Carriage

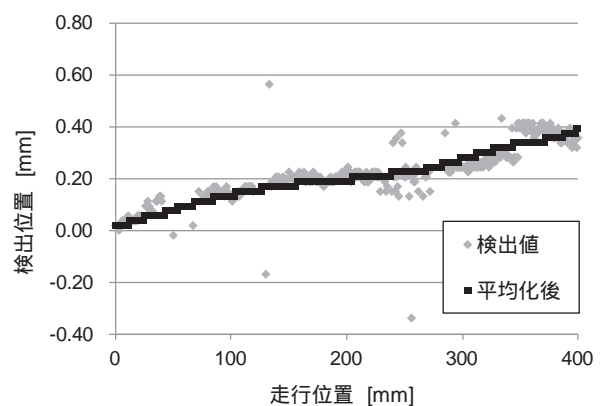


図5 検出位置データの平均化処理結果  
Results of Averaging of Detecting Position Data

クラス4に該当する高出力のものである<sup>4)</sup>。このため、溶接台車外部へのレーザ光の漏洩を防ぐ安全対策が必要となる。高出力のレーザ光は、その直射光はもとより、加工点からの反射光や散乱光も眼や皮膚などの人体に有害な影響を与える可能性がある。そのため、レーザ照射位置を台車内部に配置し、台車上面及び側面を遮光板で囲うことにより、散乱光等

の台車外部への漏洩を極力抑える設計とした。台車下部のすき間から外部に漏洩する散乱光等について、その露光量を計測した結果、図6に示すとおり、保護メガネなどの保護具の着用が必要となる領域は溶接台車から1m以内の狭い範囲になることを確認した。

また、溶接台車における安全対策に加えて、厚生労働省の定める要綱<sup>5)</sup>に従い、遮光壁で囲んだレーザ管理区域を設けるなどの安全対策を施した。さらに、溶接施工時に作業者が管理区域外へ退避し、遠隔操作で溶接を行うことにより、作業者がレーザ光に暴露される危険性を排除した運用方法を採用した。

### 3. 海上保安庁向け大型巡視船への適用

#### 3.1 溶接施工法の承認取得

海上保安庁向け大型巡視船への適用に先立ち、国内での適用事例<sup>6)</sup>があり、NK船級のガイドライン<sup>2)</sup>が整備されている一般商船の上部構造にLAHWを適用した。一般商船に新しい溶接法を適用する場合、NKなどの船級協会から承認を得る必要がある。そのため、NK船級のガイドラインに規定された溶接施工法承認試験を実施し、表3に示す範囲

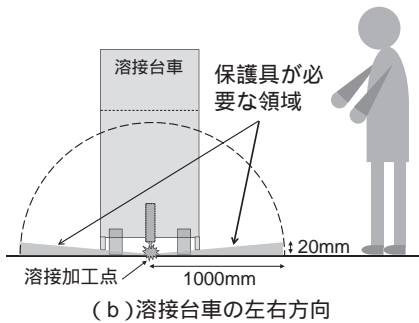
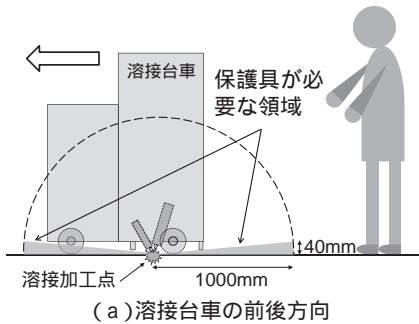


図6 反射光及び散乱光の漏洩領域  
Leakage Area of Reflected or Scattered Laser

表3 溶接施工法の承認範囲  
Scope of Approval of the Welding Procedure

溶接方法	レーザ・アークハイブリッド溶接
継手種類	突合せ継手
適用鋼種	KA, KA32
適用板厚	5.5 ~ 8.0 mm
開先形状	I形開先
溶接姿勢	下向き
溶接材料	YGW11, 1.2 mm

でNK船級の溶接施工法承認を取得した。

溶接施工法承認試験では表4に示す試験要件に加えて、溶接中断・再開箇所の健全性評価やサイドノッチ付シャルピー衝撃試験、疲労試験も実施した。

#### 3.1.1 溶接の中断・再開

本承認試験の実施は、ガイドラインの改訂第2版<sup>7)</sup>が発行される前であったが、改訂第2版から新たに試験要件に加わった溶接途中での中断・再開を行い、その中断・再開箇所において、非破壊検査やマクロ試験、硬さ試験を実施し、判定基準を満たすことを確認した。写真5に、溶接中断・再開箇所のビード外観及び放射線透過試験結果を示す。溶接再

表4 溶接施工法承認試験の試験要件  
Welding Procedure Qualification Test Requirements

検査・試験項目	判定基準	
非破壊検査	外観検査	有害と認められる欠陥がないこと
	浸透探傷試験	ISO5817 Level Bを満足すること (ただし、余盛及び裏波の形成はISO5817 Level Cの判定基準を用いてよい)
	放射線透過試験	ISO5817 Level Bを満足すること
機械試験	引張試験	母材の規定最小引張強さ以上
	表曲げ及び裏曲げ試験	3 mm以上の割れその他欠陥がないこと
	シャルピー衝撃試験	最小平均吸収エネルギー値 23J (サブサイズ試験片の幅5mm)
	マクロ試験	割れ、溶込み不良、融合不良、その他有害と認められる欠陥がないこと
硬さ試験	ピッカース硬さ 380HV10	

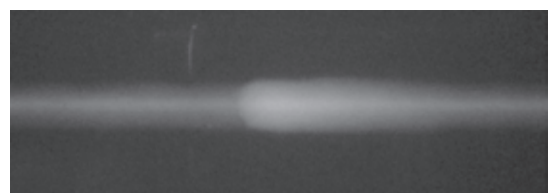
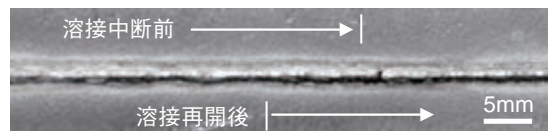
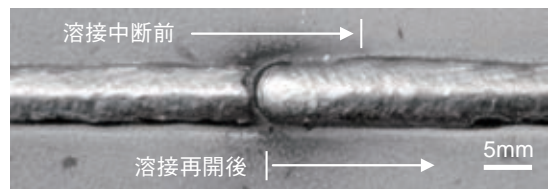


写真5 中断・再開箇所のビード外観と放射線透過試験結果  
Bead Appearance and Results of Radiographic Testing in Stop and Restart Positions

開位置を調整することで、裏面ビードの溶落ちや内部欠陥の抑制に成功した。これにより、溶接中断後にガウジングなどによる手直しを必要とせず、そのまま溶接を再開可能であることが確認された。

3.1.2 サイドノッチ付シャルピー衝撃試験

溶接金属部のシャルピー衝撃試験において、破断経路が母材側に湾曲する FPD (Fracture Path Deviation) 現象が認められた(写真6)。FPD を起こすと破断時の吸収エネルギーが高い値を示すため、正確な溶接金属の靱性を評価することができなくなる<sup>8)</sup>。そこで FPD の発生を抑制し溶接金属部 (WM) の吸収エネルギーがガイドラインの要求値を満足することを確認する目的で、サイドノッチ付シャルピー衝撃試験を追加実施した。なお、シャルピー衝撃試験の標準試験片にサイドノッチを設けることで衝撃評価部の断面積が減少し、吸収エネルギーが低下するため、そのままガイドラインの要求値と比較評価できない。そこで、母材の圧延方向 (BM (L)) 及び圧延方向に垂直な方向 (BM (T)) 並びに境界部 (FL) 及び熱影響部 (HAZ2mm) から採取した試験片についても同様にサイドノッチ付シャルピー衝撃試験を行い、それらの吸収エネルギー値と比較評価した。図7に示す試験結果より、サイドノッチ付試験片の吸収エネルギー値は、BM (L) に次いで WM が高い値を示している。また、WM を除き FPD が発生していない標準試験片とサイドノッチ付試験片の吸収エネルギー値の

大小関係は同じである。これらの結果を受け、FPD が発生しなくても溶接金属の吸収エネルギーは要求値を満足し、靱性に問題はないと判断した。

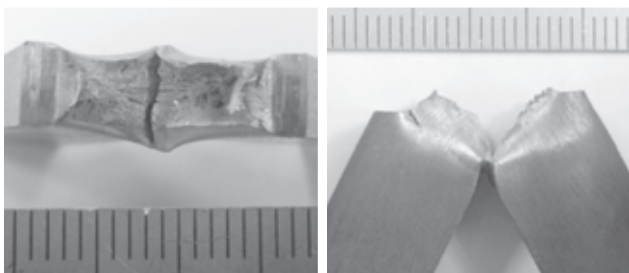
3.1.3 疲労試験

ギャップ及び目違いのばらつきを考慮した試験片を製作し、疲労試験を実施した。試験の結果、全ての試験片が U.K. HSE の設計疲労曲線<sup>9)</sup>を満たし、突合せ溶接継手として十分な疲労強度を有することを確認した(図8)。

3.2 海上保安庁の施工許可

一般商船への適用実績を基に、大型巡視船への LAHW 適用に必要な溶接施工法承認を国土交通省から取得するとともに、より厳しい品質管理が求められる海上保安庁から施工許可を受けた。

また、LAHW の施工に際して、事前確認項目を明確にした品質管理基準を策定し、開先加工や仮付け後の取付け状況などに問題がないことを確認するとともに、製品確認検査と



(a) 試験片破断面 (b) 試験片側面

写真6 FPD が発生したシャルピー衝撃試験片  
Fracture Pass Deviation in Charpy Impact Test Specimen

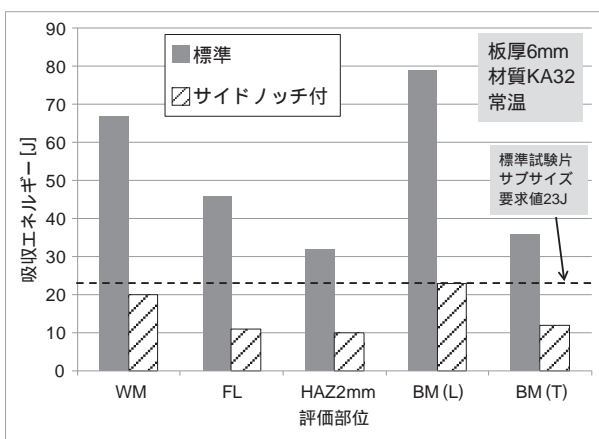


図7 サイドノッチ付シャルピー衝撃試験結果  
Results of Side Notched Charpy Impact Test

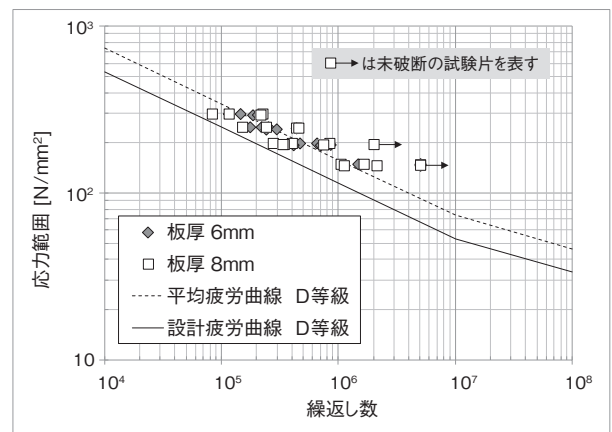


図8 疲労試験結果  
Results of Fatigue Test



写真7 開先做い制御装置を搭載した溶接台車  
Welding Carriage Equipped with Welding Line Profile Control Device



(a) LAHW



(b) 両面サブマージアーク溶接

写真 8 溶接後の板継ぎパネル外観  
Appearance of Butt Welded Plate

して非破壊検査(外観検査,浸透探傷試験,放射線透過試験)及び機械試験(引張試験,曲げ試験,シャルピー衝撃試験)を実施し,品質管理を徹底した。

### 3.3 大型巡視船の甲板への適用

海上保安庁立会いの下,開発した溶接台車を用いて,大型巡視船の甲板の板継ぎ工程に LAHW を適用した(写真 7)。板継ぎ施工の結果,表面・裏面ともに良好なビードが形成され,安定した溶接品質が得られた。また,従来の両面サブマージアーク溶接と比べて,溶接速度は 3 倍程度速く,入熱量を 1/10 以下に抑えた結果,溶接後のひずみが極めて小さいことを確認した(写真 8)。

## 4. おわりに

船舶建造の板継ぎ工程への適用を目指し,従来溶接法で用いる開先精度を変えることなく,十分な溶接品質を確保できるレーザー・アークハイブリッド溶接(LAHW)技術を開発するとともに,LAHW に要求されるレーザーの狙い位置精度を満足し,安定した溶接品質が得られる溶接台車を開発した。

開発した溶接台車を用いて,一般商船における上部構造や海上保安庁向け大型巡視船における甲板の板継ぎ工程に,LAHW の適用を果たし,溶接後のひずみが極めて小さい板継ぎパネルを製作した。

なお,従来溶接法による板継ぎラインの代替として,LAHW を本格導入する際には,板厚差(最大 3 mm)のある母材同士の施工や厚板の裕度拡大<sup>10)</sup>など,課題が残っている。また,溶接後のひずみ取り作業の省力化には,板継ぎ溶接の低ひずみ化に加えて,すみ肉溶接の低ひずみ化も重要となる。今後も,船舶建造の生産性及び品質の向上を目指して開発を進めていく予定である。

## 参 考 文 献

- 1) 日本船舶技術研究協会: 船舶建造高品質化・効率化技術の調査研究(プロジェクトの運営・管理等) 2013 年度 成果概要報告書(2014)
- 2) 日本海事協会: レーザーアークハイブリッド溶接ガイドライン(2009)
- 3) F. Roland, et al.: Laser Welding in Shipbuilding - an Overview of the Activities at Meyer Werft, Welding in the World, 46, Special Issue (2002), p.39
- 4) 日本工業規格: JIS C 6802 レーザ製品の安全基準(2014)
- 5) 厚生労働省: レーザー光線による障害の防止対策について, <http://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei/050325-1.html>, (2015-12-24)
- 6) 坪田・外: レーザ・アークハイブリッド溶接の造船工作への適用, 溶接学会誌, 79, 7(2010), p.633
- 7) 日本海事協会: レーザ・アークハイブリッド溶接ガイドライン<第2版>(2015)
- 8) 萩原・外: サイドノッチ付シャルピー試験による靱性評価法, 鉄と鋼, 90, 7(2004), p.526
- 9) International Association of Classification Societies: Rec. No.56 Fatigue Assessment of Ship Structures (1999)
- 10) 落合・外: 多電極アークを用いた厚鋼板のレーザー・アークハイブリッド溶接, 第 84 回レーザー加工学会講演論文集(2016), p.117

### [ 問い合わせ先 ]

技術開発本部 技術開発センター  
TEL 0863 - 23 - 3021 木村 陵介



木村 陵介



落合彦太郎



中島 義晴



小野 昇造



小野 直洋

太陽光発電設備の施工  
- 大分県大分市“今井メガソーラー大分細発電所”の竣工 -

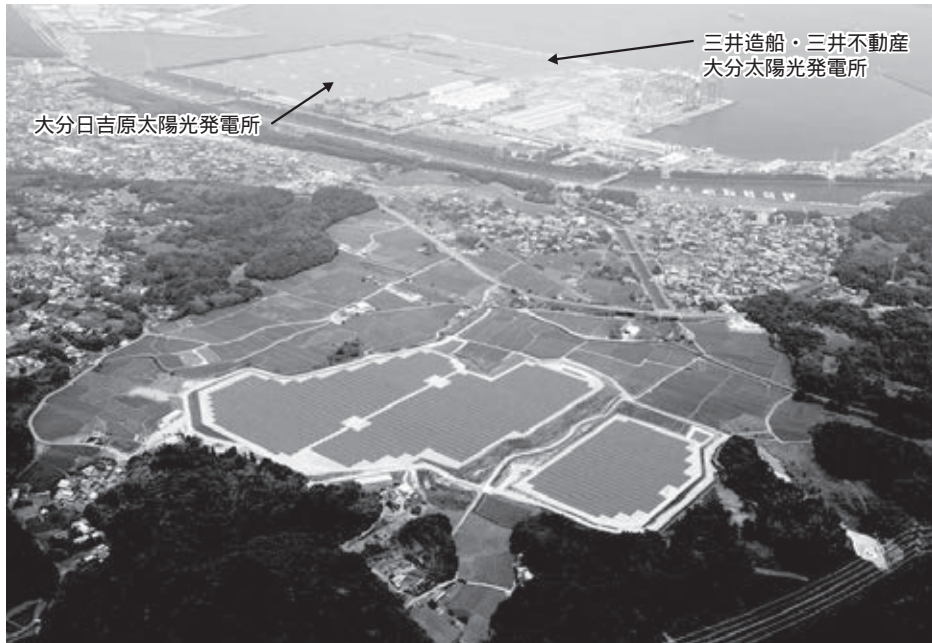


写真1 今井メガソーラー大分細発電所(手前側)と大分事業所内発電所(奥側)

三井造船は、合同会社今井メガソーラー大分細発電所より受注していた太陽光発電設備の建設工事を完了し、2015年8月に引き渡した。当社は本工事で、発電設備の設計から調達、現地工事まで一括で請け負った。

今井メガソーラー大分細発電所は、当社大分事業所の南東約2kmに位置する当社の遊休地内に建設され、発電所のパワーコンディショナ(PCS)の合計出力は8580kWである。また、年間の発電量は1065万kWhを予定しており、これは一般家庭の約2900世帯が1年間に消費する電力に相当する。

当社は、大分事業所内で三井不動産株式会社と共同で出力約22MWの太陽光発電所を運営しており、本工事はそれに続くフルターンキーの太陽光発電所建設工事である。更に当社は、大分事業所内に、伊藤忠株式会社及び株式会社九電工と共同で設立した事業会社である大分日吉原ソーラー株式会社が運営する出力約45MWの発電所を建設中である。

特長

- (1) 発電所の敷地のほとんどが山林・雑種地であったため、造成工事の計画・許可手続きに時間を要し、全体工程に影響を与えることが懸念された。この問題に対しては、造成工事を請け負った当社グループ会社とともに事前検討を念入りに行い、工事への影響が出ないように対応した。
- (2) 本工事では、近隣地区住民への配慮を最も重視した。従来からの生活環境を考慮し、資機材搬入については、近隣地区住民の生活道路を通行することなく、幹線道路か

ら直接現場へ出入できるように、河川に仮設の橋を設置するなどして、現場専用進入路を整備した。

- (3) 発電所の敷地の付近を流れる川には、ホタルなどの希少生物が生息しているため、工事中にも雨水排水の水質調査を実施するとともに、工事前後で環境調査を行い、生態系に問題がないことを確認し、2015年も例年通りのホタルが観察された。

当社は、今後も地域への配慮に重点を置いた工事を行っていく所存である。

主要目

敷地面積	: 約 15 ha
太陽光モジュール	: 255 W / モジュール(多結晶シリコン)
モジュール出力	: 11 395 kW
PCS 出力	: 8 580 kW
工事範囲	: 設計・調達・輸送・基礎工事・据付工事・電気工事・試運転調整
工期	: 平成 25 年 12 月 ~ 平成 27 年 7 月 (造成工事期間含む)

(エンジニアリング事業本部)

〔問い合わせ先〕

環境エネルギー営業部  
TEL 043 - 351 - 9262 春日井 清秀



## 燃料ガス供給システム用高圧ガス圧縮機

- 商用 ME-GI エンジン陸上試運転用にハイブリッド型燃料供給システムが稼働開始 -

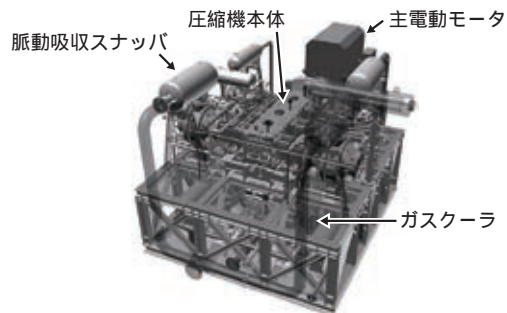


図1 高圧ガス圧縮機ユニット

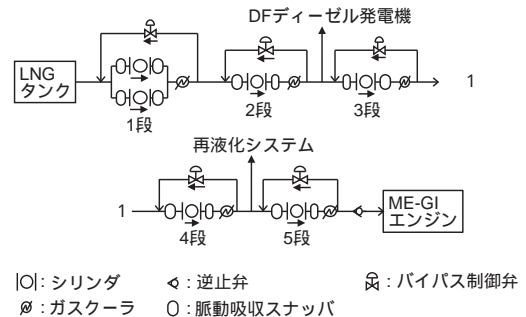


図2 高圧ガス圧縮機ユニット系統構成

国際海事機関 IMO による船舶からの大気汚染防止に関する国際的な環境規制が強化され、船用エンジンに対しても排気ガスのクリーンな天然ガス燃料の利用に注目が集まっている。また、米国のシェールガス革命を背景に、天然ガストレードが活況を呈しており、LNG 運搬船の需要は今後も高まることが予想される。

三井造船では、天然ガスおよび重油の両方を燃料として使用できるデュアルフュエル(DF)対応の ME-GI エンジン を市場投入した。それに引き続き、LNG 運搬船に搭載する ME-GI エンジン用の燃料ガス供給システムのキーハードとなる高圧ガス圧縮機を開発して営業活動を開始した。LNG 運搬船のカーゴタンクから自然発生するボイルオフガス (BOG) を昇圧しエンジンに供給するもので、BOG をボイラの燃料として用い、蒸気タービンを駆動する従来方式に比べ熱効率がよく輸送コストが低減できる。

本圧縮機の 1 番機を ME-GI エンジン陸上試運転用燃料ガス供給システムの社内設備に導入し、2015 年 7 月から商用機の試運転用ハイブリッド型燃料供給システムとして稼働を開始した。エンジンの重油と天然ガスとのスムーズな燃料切替え運転、また天然ガス運転中の緊急燃料遮断に対する急速かつ安全な過渡応答性能を実証した。さらに、既設の高圧ポンプシステムとの安定な並列運転も実現した。

将来的には、ME-GI エンジンと高圧ガス圧縮機の各商用機をセットにして、本船搭載前に組合せ試運転が可能な工場出荷設備を構築する予定である。

### 特長

本圧縮機は、当社が陸上の石油精製、石油化学向けのプロセス用に 1 100 台以上の納入実績を有する往復動圧縮機を船用に転用したものである。

- (1) ヤードでの艀装を容易にするため、圧縮機本体、ドライブである電動モータ、補機類をスキッド上にすべて搭載したコンパクトな配置としている(図 1)。
- (2) 本圧縮機は水平対向式往復動圧縮機(Mitsui Balanced

Compressor Long Type : MBL) で、5 段構成の計 6 シリンダからなる 6MBL である(図 2)。水平対向式の有利な点としては、段ごとのメンテナンスが容易なこと、往復動のバランスとりが容易なことが挙げられる。-160 の低温ガスを昇圧して ME-GI エンジンに最大流量 4 000 kg/h、最高圧力 33.5 MPa の高圧燃料ガスを供給する。

- (3) ME-GI エンジンからのデマンドに対して、十分な応答性能を実現するために、吐出温度を制御するガスクーラおよび吐出流量を制御するバイパス制御弁を全段に装備している。さらに、シリンダに搭載した吸込弁アンローダと組合せて、0% から 100% の広範囲かつ正確な供給流量の調整が可能である。
- (4) 2 段目下流からの抽気を船内補機動力用の DF ディーゼル発電機へ供給すること、また余剰な BOG を再液化して回収するために 4 段下流からの抽気を利用することにも対応している。

### 主要目

圧縮機型式	: 6MBL
シリンダ数	: 6
段数	: 5
圧縮機吸入圧力	: 0.103 MPaA
最低吸入温度	: -160
吐出流量	: 3 500 ~ 4 000 kg/h
最終段吐出圧力	: 24 ~ 33.5 MPaA
圧縮機所要動力	: 1 000 ~ 1 100 kW
駆動機定格動力	: 1 250 kW
圧縮機回転数	: 590 rpm

(機械・システム事業本部)

### 【問い合わせ先】

産業機械営業部  
TEL 03 - 3544 - 3951 中野 均

# 三井造船株式会社

<http://www.mes.co.jp/>

本 社	〒104-8439	東京都中央区築地5丁目6番4号	TEL 03-3544-3147
幕張センター	〒261-7128	千葉県千葉市美浜区中瀬2丁目6番1	TEL 043-351-8000
北海道支社	〒060-0807	札幌市北区北七条西4丁目5番地1(伊藤110ビル)	TEL 011-736-0036
東北支社	〒980-0811	仙台市青葉区一番町2丁目7番17号(朝日生命仙台一番町ビル)	TEL 022-262-3481
中部支社	〒450-0003	名古屋市中村区名駅南1丁目24番30号(名古屋三井ビル)	TEL 052-582-0145
関西支社	〒550-0004	大阪市西区靱本町1丁目11番7号(信濃橋三井ビル)	TEL 06-6447-2001
中国支社	〒730-0051	広島市中区大手町2丁目7番10号(広島三井ビル)	TEL 082-248-0311
呉営業所	〒737-0045	広島県呉市本通3丁目5番18号(メゾンロイヤル)	TEL 0823-25-7837
九州支社	〒812-0011	福岡市博多区博多駅前1丁目1番1号(博多新三井ビル)	TEL 092-411-8111
東九州支店	〒870-0027	大分県大分市末広町1丁目1番18号(ニッセイ大分駅前ビル)	TEL 097-537-9260
沖縄支店	〒900-0033	沖縄県那覇市久米2丁目4番16号(三井生命那覇ビル)	TEL 098-869-3135
玉野事業所	〒706-8651	岡山県玉野市玉3丁目1番1号	TEL 0863-23-2010
千葉事業所	〒290-8531	千葉県市原市八幡海岸通1番地	TEL 0436-41-1112
大分事業所	〒870-0395	大分県大分市日吉原3番地	TEL 097-593-3111

## 技術開発本部

技術開発センター	〒706-0014	岡山県玉野市玉原3丁目16番1号	TEL 0863-23-3001
昭島研究センター	〒196-0012	東京都昭島市つつじが丘1丁目1番50号	TEL 042-545-3111

海外事務所	北京, ジャカルタ, ハノイ, クアラルンプール
海外現地法人	三井造船ヨーロッパ株式会社(ロンドン) 三井造船(U.S.A.)株式会社 三井造船(上海)商貿有限公司 三井造船アジア株式会社(シンガポール)

## 三井造船技報編集委員会

委員長	中谷 龍 男
委員	木澤 厚 夫
	神 永 肇
	鎌田 勤 也
	速水 礼
	佐野 健 一
	稲見 昭 一
	穴倉 進
	兼本 浩

## 三井造船技報

第216号

2016年(平成28年)2月29日発行

発行人	土井 宣 男
発行所	三井造船株式会社 技術開発本部 〒104-8439 東京都中央区築地5丁目6番4号 TEL 03-3544-3266 <a href="http://www.mes.co.jp">http://www.mes.co.jp</a>
印刷	株式会社 三造ビジネスクリエイティブ 〒261-7128 千葉県千葉市美浜区中瀬2-6-1

三井造船技報に関するお問い合わせは、e-mail: [gihojim@mes.co.jp](mailto:gihojim@mes.co.jp) まで。

万一、落丁・乱丁がありました節は、お取り替えします。

(非売品、無断転載を禁ず)

# 三井造船技報 第 216 号の発行に当たって

「三井造船技報」をご高覧いただき、ありがとうございます。

本誌は、当社が平素ご指導いただいている方々へ、最近の当社の新製品や、それを支える技術についてご紹介するものです。本誌の内容につきましては、更に充実を図る所存ですので、忌憚のない御意見を賜りましたら、大変幸甚です。

送付先の貴組織名、ご担当部署、所在地などにつきましては正確を期しておりますが、変更などがございましたら、以下にご記入の上、FAX または e-mail でお知らせ頂きたくお願い申し上げます。

敬具

キ リ ト リ 線

FAX : 03 - 3544 - 3086

e-mail : gihojim@mes.co.jp

三井造船株式会社 技報編集委員会 事務局 行(TEL. 03 - 3544 - 3266)

## 三井造船技報 送付先の確認と第 216 号へのご意見等について

1. 送 付 先 : 従来通り 変更 削除 (いずれかに V を付けてください)

a) 旧送付先

所在地 〒 \_\_\_\_\_

組織名称 \_\_\_\_\_

担当部署 \_\_\_\_\_

旧送付先は、現在の宛先ラベルのコピーをここに貼付して頂いても構いません。

b) 新送付先

所在地 〒 \_\_\_\_\_

組織名称 \_\_\_\_\_

担当部署 \_\_\_\_\_

ご担当者 \_\_\_\_\_

TEL No. \_\_\_\_\_

FAX No. \_\_\_\_\_

2. 今後の編集に反映させていただくため、下記アンケートにご協力をお願いします。

(1) 本号で興味のある記事をお知らせください。(最初のページ No. で可。複数回答可)

技術論文・報告では .....

製品・技術ニュースでは .....

その他の記事では .....

(2) その他、ご意見・ご要望あれば、お聞かせください。

キ  
リ  
ト  
リ  
線

# 主要営業品目

## 船舶・艦艇事業本部 TEL 03-3544-3318 FAX 03-3544-3031

液化天然ガス（LNG）運搬船，液化石油ガス（LPG）運搬船，原油輸送船，石油精製品運搬船，ばら積貨物船，オープンハッチ型貨物船，鉱石運搬船，石炭運搬船，コンテナ船，自動車運搬船，FSO，FPSO，超高速貨物船，超高速カーフェリー，各種特殊船  
修繕船，各種改造船工事，M & R エンジニアリング  
護衛艦（DD），潜水艦救難母艦（AS），潜水艦救難艦（ASR），音響測定艦（AOS），輸送艦（LST），補給艦（AOE），掃海母艦（MST），海洋観測艦（AGS），巡視船，練習船，海洋気象観測船，漁業調査船，漁業取締船，海洋調査船，研究調査船，物理探査船，環境整備船，視察船，測量船，交通艇，消防艇，高速旅客船，深海探査ロボット（AUV，ROV），小型水中ロボット，水道管点検ロボット  
自動艦位保持装置（DPS），システム操船装置，艦橋情報表示装置（ABS / IBS），舵減揺装置，船体運動状態表示装置（SMACS），航海情報表示装置，フィンスタビライザー，中折式デッキクレーン，赤外線低減装置，弾薬搭載機材，補機制御表示装置，機関操縦装置，水中放射雑音シミュレータ，防火防水実習場，各種訓練水槽，操船シミュレータ  
船舶運航支援のポータルサービス

## 機械・システム事業本部 TEL 03-3544-3950 FAX 03-3544-3055

船用ディーゼル機関  
往復動圧縮機，バイナリー発電設備，蒸気タービン，炉頂圧回収タービン，軸流・遠心式圧縮機，ガスタービン，ガスエンジン  
鍛造前誘導加熱装置（ピレットヒータ，パーヒータ，ピンヒータ 他），鉄鋼・非鉄分野誘導加熱装置（薄板加熱装置，銅管焼鈍装置，線材加熱装置），高周波電源装置（PWM インバータ，サイリスタインバータ，トランジスタインバータ，ゾーンコントロール用電源）  
遠隔操作マニピュレータおよびその周辺機器，センシング機器（地中埋設物・建築物探査レーダ，複合材剥離検査器），レーダ探査サービス，水理実験設備，塔，槽，熱交換器，回転式乾燥機  
岸壁用コンテナクレーン，ヤード用コンテナクレーン，船用ガントリークレーン，ローダー，アンローダー（連続式，グラブバケット式），ジブクレーン，天井クレーン，コンテナターミナルマネジメントシステム  
橋梁，ハイブリッド構造物（浮防波堤，浮消波堤，浮棧橋，浮体式係船岸，ケーソン），海洋構造物（シーバース，ケーソン，沈埋函，ジャケツト），浮体式海洋設備  
LSS（ライフサイクルソリューションサービス：上記設備・機器の保守，改造用部品・機器の供給，性能改善・改造工事・延命工事などのエンジニアリング・サービスと施工），IT を活用した各種設備・機器のリモートモニタリングサービス・診断サービス・情報サービス，各種設備・機器の包括／一括メンテナンスサービス，各種技術サービス（運転及びメンテナンスにかかわる技術指導・工事指導・工事施工）

## エンジニアリング事業本部 TEL 043-351-8000 FAX 043-351-8111

プラントのエンジニアリング及び建設工事（石油化学，化学繊維，合成樹脂，石油精製，ガス製造・精製，無機化学，化学肥料，石炭化学，発酵関連，ファインケミカル，代替エネルギー関連），プラント要素技術（加熱炉，分解炉，分解ガスクエンチャー，高粘度流体脱揮装置），エンジニアリング支援システム，フィージビリティスタディ，プラントメンテナンス，SDM 工事  
海外土木・建築工事全般，特殊構造物，風力発電設備工事  
ディーゼルエンジン発電設備，太陽熱発電設備，バイオマス発電設備，各種コージェネレーションプラント，バイオエタノール設備  
三井リサイクリング 21（キルン式ガス化溶融システム），廃棄物処理関連（流動床式焼却炉，粗大ごみ処理施設，リサイクルセンター，加熱脱塩素化装置，ダイオキシン分解触媒，炭化炉，PCB 処理），ガス処理関連（脱塩，集塵）  
水処理関連（産業排水，汚泥），ガス処理関連（排煙脱硫，排煙脱硝，脱臭），廃棄物再資源化システム（焼酎廃液，有機性廃棄物からのメタン発酵，コンポスト及び乾燥装置），バイオガスプラント（生ごみ・汚泥バイオガスプラント，油温減圧乾燥式食品廃棄物再資源化システム，家畜糞尿再資源化システム）

