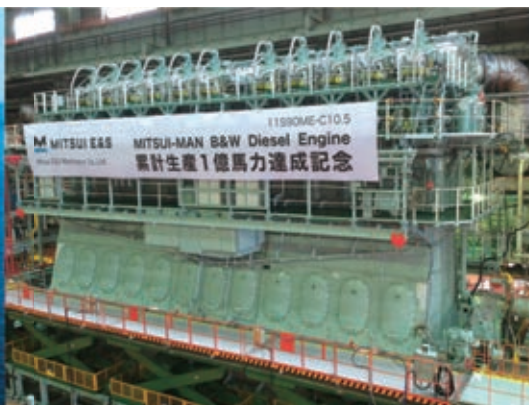


# 三井E&S技報

MITSUI E&S GROUP TECHNICAL REVIEW No.1 2018

2018年10月 ■ 創刊号





## 表紙説明

### 三井 E&S 技報

三井 E&S 技報は、三井 E&S グループの技術情報誌であり、三井 E&S ホールディングス及びその事業会社から提供される技術論文、製品・技術解説等の記事を掲載する。主要事業会社は 8 社から構成され、それらの主要製品の一部を表紙に掲載した。

- ① neoVLCC 1 番船 (三井 E&S 造船)
- ② 累計1億馬力を達成したディーゼル機関 (三井E&Sマシナリー)
- ③ 印南風力発電 (三井 E&S エンジニアリング)
- ④ ハードウェアとソフトウェアの融合 (三井E&Sシステム技研)
- ⑤ FPSO (三井海洋開発)
- ⑥ 127 MW 発電バージ  
(Burmeister & Wain Scandinavian Contractor A/S)
- ⑦ 宇宙ステーション補給機 (HTV) 用パネルと 30kl アルミセミタンクトレーラ (昭和飛行機工業)
- ⑧ ペットボトル成形用圧縮機ユニット (加地テック)

## Cover

### Mitsui E&S Group Technical Review

Mitsui E&S Group Technical Review provides products and technology explanations and technical paper and report of Mitsui E&S Holdings Co., Ltd. and it's affiliated companies. Eight pictures provided by major affiliated companies listed below are collaged on the cover.

- ① First neoVLCC by Mitsui E&S Shipbuilding Co., Ltd.
- ② Accumulated diesel engine power beyond 100 million HP by Mitsui E&S Machinery Co., Ltd.
- ③ Inami Wind Farm by Mitsui E&S Engineering Co., Ltd.
- ④ Integration of hardware and software by Mitsui E&S Systems Research Inc.
- ⑤ FPSO by MODEC, Inc.
- ⑥ 127 MW power barge by Burmeister & Wain Scandinavian Contractor A/S
- ⑦ Enclosure panel of HTV to ISS and 30kl aluminium tank semi-trailer by Showa Aircraft Industry Co., Ltd.
- ⑧ Compressor unit for the PET bottle by KAJI TECHNOLOGY CORPORATION

# 三井 E & S 技 報

2018 年（平成 30 年）10 月・創刊号

## 目 次

### 巻頭言

- 三井 E&S 技報への期待 ..... 1  
三井 E&S ホールディングス 代表取締役社長 田中 孝雄

### 創刊の辞

- 三井 E&S 技報創刊に当たって ..... 2  
三井 E&S ホールディングス 取締役 CTO（技術統括責任者）西畑 彰

### グループ会社紹介

- 三井 E&S 造船の製品・技術紹介 ..... 3  
三井 E&S マシナリーの製品・技術紹介 ..... 10  
三井 E&S エンジニアリングの製品・技術紹介 ..... 21  
三井 E&S システム技研の製品・技術紹介 ..... 27  
三井海洋開発の概要 ..... 32  
昭和飛行機工業の製品・技術紹介 ..... 35  
加地テックの製品・技術紹介 ..... 41

### 技術論文・報告

- EFD/CFD 融合技術を応用した船舶性能設計技術の開発 ..... 46  
木村 校優 松田 識史 安藤 智子 澤田 俊紀  
SFSS 用油圧駆動 LNG 高圧ポンプの開発  
－油圧駆動化による冗長部品削減と高性能化を達成－ ..... 53  
片山 秀樹 鴻巣 真 古川 将也 中谷 泰貴  
ガスリフトポンプに関する基本性能の実験検討 ..... 60  
村山 哲郎 加藤 寿仁 廣田 真宏

### 製品・技術ニュース

- 首都高速道路 5 号池袋線における RC 床版の補修・補強工事  
－（修）上部工補強工事 1-111（2）－ ..... 66

# MITSUI E&S GROUP TECHNICAL REVIEW

No. 1 October 2018

## CONTENTS

<b>Greeting</b> .....	1
<b>Corporate Profile of Affiliated Companies</b>	
Products and Technology of Mitsui E&S Shipbuilding Co., Ltd. ....	3
Products and Technology of Mitsui E&S Machinery Co., Ltd. ....	10
Products and Technology of Mitsui E&S Engineering Co., Ltd. ....	21
Products and Technology of Mitsui E&S Systems Research Inc. ....	27
Corporate Profile of MODEC, Inc. ....	32
Products and Technology of Showa Aircraft Industry Co., Ltd. ....	35
Products and Technology of Kaji Technology Corporation .....	41
<b>Technical Paper and Report</b>	
Development of Ship Design Technology using EFD/CFD Integration .....	46
<i>Koyu KIMURA, Satoshi MATSUDA, Satoko ANDO, Toshiki SAWATA</i>	
Hydraulic Driven LNG High Pressure Pump for Second Fuel Supply System .....	53
<i>Hideki KATAYAMA, Makoto KONOSU, Masaya FURUKAWA, Yasutaka NAKATANI</i>	
Experimental Study on the Characteristics of Gas Lift Pump .....	60
<i>Tetsuro MURAYAMA, Toshihito KATO, Masahiro HIROTA</i>	
<b>Products and Technology News</b> .....	66





### 三井 E&S 技報への期待

三井 E&S ホールディングス  
代表取締役社長 田中 孝雄

2017年に創立100周年を迎えた三井造船株式会社は、2018年4月1日より株式会社三井E&Sホールディングスを持株会社とするホールディングス体制に移行いたしました。ホールディングス体制での技術開発では、事業会社の自主独立による開発のスピードアップ、グループ内のリソースの有効活用、外部との協業の推進の三点を重視しております。

第一の開発のスピードアップですが、ホールディングス体制では三井造船株式会社で事業本部であった三井E&S造船、三井E&Sマシナリー、三井E&Sエンジニアリング各社が独立した事業会社となり、技術開発における完全な裁量権を得ました。これまでも事業、製品に近い技術開発は各事業本部が主体的に行ってきましたが、今後は開発テーマの取捨選択、開発計画の立案・策定、開発予算の割り当てまで、各事業会社が独自の判断で行うこととなります。また、ホールディングス体制移行に当たり、各事業会社では必要に応じて技術開発体制の整備と開発要員の強化を図りました。これらにより各社が技術開発をよりの確かつ迅速に遂行する体制が整いました。

さらに、各事業会社は独立して経営に当たる会社として、現有事業のみを考えるのではなく、中長期的にどのような持続的な会社経営を行っていくかを考え、具現化していきます。技術開発においても、将来的に必要な技術を各社が自主的に選定し、中長期的な計画のもとに持続的に開発を進めていきます。

第二にグループ内の技術リソースの有効活用です。三井E&Sグループは三井E&Sホールディングス及びその直轄会社と直轄会社が所管する多数の子会社、関連会社で構成されています。グループ各社は各々の製品・サービスに必要な技術を保有していますが、その中にはグループ内の他社の製品・サービスにも活用できる技術が多数存在します。

また、新たに導入する基幹技術についてはホールディングスが横通し機能を発揮して効率的な導入を図ります。特にIoT技術やAI技術については、グループ各社が個々に実施したスモールスタートの効果を評価し、その成果を迅速に横展開する体制を三井E&Sホールディングス技術統括部が主導して構築し、グループ全体への普及を図ります。また三井E&Sビジネスサービス技術開発部が将来の基盤技術の獲得・強化に当たります。

第三にグループ外の企業・研究機関との協業の推進です。我々は第4次産業革命とも言われる産業構造の変革の時代を迎えています。自社の強みとなるコア技術は自前でしっかりと育てる一方で、コア以外の技術は過剰な自前主義を捨て外部の技術を積極的に取り入れてく姿勢が、開発を加速するために不可欠です。特に技術の進展の早いICT分野では、自社のコア技術と社外の技術を上手に融合させてタイムリーに製品化を図っていきます。

三井E&S技報に対しては、特にグループ内の技術リソースの有効活用及びグループ外の企業・研究機関との協業の推進への貢献を期待しております。技報上でグループ各社の製品・技術を紹介することによって、グループ内外との協業のきっかけとなり、多くの先進的な研究開発成果が生み出されることを祈念して巻頭言といたします。



### 三井 E&S 技報創刊に当たって

三井 E&S ホールディングス  
取締役 CTO (技術統括責任者) 西畑 彰

株式会社三井 E&S ホールディングスはホールディングス体制への移行に伴い、これまで三井造船株式会社が発行してきた三井造船技報に替えて、新たに三井 E&S 技報を創刊いたします。

三井造船グループは 1917 年の創立以来 100 年間、船舶、艦艇、海洋構造物、鉄構造物、船用エンジン、産業機械、プラントエンジニアリングなど多岐にわたる製品を社会に提供してまいりました。三井造船技報は戦後間もない 1952 年 (昭和 27 年) 10 月に創刊され、以来 2018 年 2 月発行の 220 号まで 66 年間、三井造船の技術を広く世にご紹介する役割を果たしてまいりました。

創刊号から第 220 号までに三井造船技報に掲載された技術論文は 1 123 報、製品技術解説 332 報、製品技術ニュース 571 件に上り、技術論文や製品・技術解説の執筆者は延べ 3 258 人、製品・技術ニュース等部署名で投稿された記事は 875 件になります。

この三井造船技報を引き継ぐ三井 E&S 技報の役割の一つは、三井 E&S グループ内の多様な製品、技術をご紹介し、その上でグループ内各社が連携して提供できるソリューションをご提案することにあります。

三井造船技報においても、三井造船のみならず子会社、関連会社の技術、製品を折に触れて紹介してまいりましたが、三井 E&S 技報では三井 E&S グループ内各社の技術、製品をまんべんなく取り上げてご紹介する所存です。創刊号ではその手始めとして国内グループ会社の事業と製品及び技術の紹介記事を集めました。

三井 E&S 技報は年 1 回の発行を予定しておりますが、論文、記事は完成後速やかに三井 E&S グループホームページ上に掲載し、タイムリーな提供に努めてまいります。

三井造船の企業理念は「社会に人に信頼されるものづくり企業であり続けます」であり、この理念はそのまま三井 E&S ホールディングスに引き継がれております。言うまでもなく「ものづくり企業」の根幹は、社会に役立つ製品を作り出す技術力にあります。三井 E&S グループ各社の製品が依って立つ技術を広く世にご紹介することは、三井 E&S グループとその製品が「社会に人に信頼される」ために大いに貢献するものと期待いたしております。

さらに、自らの技術を公にして同業他社、大学、研究機関等の有識者から厳しいご評価を頂くことは、技術を磨いてゆく上で必要不可欠な行為であります。1952 年の三井造船技報の創刊号に掲げられた、「社内は勿論広く社外に対しても、吾々の技術的活動の一斑をご紹介申しあげ、御参考に資すると共に忌憚のない御批判を仰ぎ度い」との創刊の志は、三井 E&S 技報においてもなんら変わるものではありません。

今後とも三井 E&S 技報を末永くご愛読下さいますようお願い申し上げます。

# 三井 E&S 造船の製品・技術紹介

設計本部 基本設計部

## Products and Technology of Mitsui E&S Shipbuilding Co., Ltd.

Basic Design Dept., Design Div.

### 1. はじめに

当社の歴史は、第一次世界大戦中の 1917 年に遡る<sup>1)</sup>。この年、旧三井物産株式会社は造船部を創設し、岡山県児島郡日比町(現 玉野市)にて船舶の建造及び修繕を開始した。1937 年には株式会社玉造船所として分離独立し、第二次世界大戦中の 1942 年に三井造船株式会社へ改称している。

1962 年には千葉造船工場における操業を開始し、1964 年には兼ねてより技術指導を行っていた四国ドック株式会社と業務及び技術提携を開始した<sup>2)</sup>。また、1967 年には大阪の株式会社藤永田造船所と合併し、1973 年には和歌山県日高郡由良町に修繕専門の由良工場が操業を始めた<sup>3)</sup>。また、1978 年には船舶の流体力学的研究・開発拠点として、試験水槽と風洞を装備した昭島研究所が設立された<sup>4)</sup>。2003 年には株式会社新潟鐵工所の造船部門を継承し、小型船、官公庁船の建造を主とする新潟造船株式会社を設立している<sup>5)</sup>。また、由良工場は競争力強化のため 1988 年に株式会社由良三井造船となり、1999 年の社名変更を経て、2015 年より川崎重工業株式会社との合弁会社「MES-KHI 由良ドック株式会社」となり現在に至っている<sup>3)</sup>。

幾度かの危機をくぐり抜けながら船舶の高速化、大型化、省エネ化の要請に応えつつ技術力を高め、市場の要求に柔軟に対応し、2017 年に創立 100 周年を迎えるまでに同社が建造した船は 2000 隻近くに達し、船種も多岐に渡っている。

本年 2018 年 4 月より三井造船株式会社が純粋持株会社体制へ移行したことに伴い、同社の祖業を担ってきた船舶・艦艇事業本部は、三井 E&S 造船株式会社として新たなスタートを切っている。

ここでは、体制移行後初の技報刊行に当たり、主に元号が平成になってからの 30 年を振り返り、当社の主力商品である一般商船、艦艇、官公庁船を、これらを支える技術と共に紹介する。また、これらの製品を設計、建造していく上で培われた技術を応用することで製品化されてきた海洋開発機器、特機・水中機器についても述べた後、今後注力する製品・分野につき、将来の展望も交えて概説する。

### 2. 一般商船

過去約 30 年の間、商船分野で当社は、ばら積み船(レーカー、ハンディマックス、パナマックス、ケープサイズ)、油槽船(スエズマックス、アフラマックス、VLCC)、コンテナ船、液化ガス(LNG、LPG)運搬船、鉦石運搬船、オープ

ンハッチ型一般貨物運搬船、全天候型ペーパーロール運搬船など、様々な種類、大きさの船を建造してきた<sup>1)</sup>。

この節では、これらのうち比較的建造数が多いばら積み船(特に 5 つの船倉と 4 つのデッキクレーンを持つハンディマックス型)、油槽船及び液化ガス運搬船について述べる。

#### 2.1 ばら積み船、油槽船

船はその規模の大きさから受注生産品となり、各製品は一人からオーダーメイドで設計することになる傾向にある。しかしながら当社では、1980 年代前半に 42000 DWT 型のハンディサイズ BC(ばら積み船)を 20 隻余り連続的に建造したことを皮切りに、1990 年代後半にはサイズを一回りずつ大きくした 46000 DWT 型ハンディサイズ BC(46BC)を約 30 隻、2000 年代前半には、幅をパナマックスサイズとして載貨重量を大きくした 50000 DWT 型ハンディマックス BC(50BC)を約 30 隻連続建造した。その後、更に浅喫水において大きな載貨重量を持たせた 56000 DWT 型ハンディマックス BC(56BC)を開発し、2000 年代中盤の BRICs の経済成長に伴う海運市況の好況の後押しを受け、実に 170 隻以上の受注を積み上げるに至った<sup>1)</sup>。

この間、当社はハンディマックス BC の他、ケープサイズ BC、タンカー(VLCC、アフラマックス)等、幾種類かの標準船型を開発し、それらを複数の船主やプロジェクト向けにシリーズで連続建造するというスタイルを確立している。このスタイルは、同一船型の連続建造による習熟効果からコスト競争力を向上させ、海運・造船市況が厳しい時でも、艦艇・官公庁船と並行建造しながら、これら標準船型に一定の製品競争力を持たせることを可能にした。

その後、2011 年に地球温暖化防止の観点から、船舶に対して温室効果ガスである二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の排出規制が国際海事機関(IMO)において決定されたが、当社では、この規制を見越して 2008 年には CO<sub>2</sub> 排出量 30%削減船プロジェクトを立ち上げ、ばら積み船や油槽船を中心とした省エネルギー技術開発を本格的に開始した。コンセプト開発に際しては、単に特定顧客の意見を取り入れるのではなく、開発当時で既に 150 隻を超える受注実績を持つ 56BC の顧客からのフィードバック情報やモニタリング情報に加え、世界中にある 600 以上の港湾制限を徹底的に調査している。このような広範囲の調査結果を踏まえ、従来のハンディマックスバルカーとは異なった、独自の環境志向の強い新たなブランドとして「neo」シリーズを立ち上げた。

開発製品の市場投入は、まず CO<sub>2</sub> の排出規制が強制化さ



れた 2011 年に、新規市場向けとして、パナマ運河拡張を念頭に幅広・浅喫水を基調とし、電子制御エンジンを搭載した「neo66BC」から実施した(写真 1, なお、同シリーズは、2011 年に日経優秀製品・サービス賞を受賞している)。続いて 2012 年には既存市場向けに従来 56BC の環境志向型改良版である「neo56BC」を開発投入し、さらに翌 2013 年には、成長市場向けに 56BC の載貨重量を増強した「neo60BC」を開発投入した。これらのシリーズは、現在に至るまで、合計 60 隻以上の受注実績を誇っている。

その後、neo シリーズのブランドは、ケープサイズ BC や VLCC (写真 2) 等の大型船舶にも展開しており、今後は、燃料油に対する SOx 含有率制限等の環境規制が強化されることに伴い、neo シリーズの環境対応強化版を順次市場へ投入していく予定である。

## 2.2 液化ガス運搬船

1984 年に、インドネシアプロジェクト向け当社第 1 番船として MOSS 型 LNG 船「泉州丸」を、また第 2 番船として 1985 年に「若葉丸」をそれぞれ完工した<sup>1)</sup>。この船の建造に当たっては、カーゴパイプラインの低温実験及びタンク建造に関するアルミ溶接法、球形タンク建造法など、各種の技術開発が実践に即して行われた。その成果は、1989 年に第 1 船が完工した西オーストラリア・プロジェクト及び 1991 年受注のアブダビ・プロジェクトにつながり、1993 年に当社

がリードヤードとなり日本連合造船所で計 10 隻建造したカタールガス・プロジェクトで当時の集大成を果たした。

1999 年には GTT NO96 方式にて、メンブレン型 LNG 船(写真 3) 3 隻を受注し、当社は MOSS 型及びメンブレン型両方式の LNG 船が建造できる数少ない造船所となった。この時代から、LNG 船はコンピュータを駆使した統合制御の時代に入り、以降の LNG 船では統合化制御システムが採用されることになる。

さらに 2002 年のスノービットプロジェクト向け LNG 船では、寒冷地技術、全船波浪荷重・構造一体解析技術等を確立し、2004 年受注のサハリン・プロジェクト向け LNG 船(写真 4) においては、アイスクラス適用に加え、新型貨物タンク防熱方式 TIG が採用され、来るべき LNG 船の防熱性能向上要求に備えた。

## 3. 艦艇・官公庁船

### 3.1 艦艇

#### 3.1.1 護衛艦

当社においては、1953 年度計画の戦後初の国産護衛艦「いなづま」を皮切りに、1967 年度計画の「ちくご」型護衛艦の 1 番艦「ちくご」をはじめとする同型艦の 7 隻連続建造を含め、1980 年代の終わりまでに計 20 隻を建造している<sup>1)</sup>。その後、「むらさめ」型護衛艦の 2 番艦に当たる 1992 年度計画



写真 1 neo66BC “CLIPPER EXCALIBUR”



写真 3 LNG 運搬船 “PUTERI DELIMA SATU”



写真 2 neoVLCC “KIRISHIMA”



写真 4 LNG 運搬船 “GRAND MEREYA”



の護衛艦“はるさめ”を、また直近の実績として“あきづき”型護衛艦の4番艦に当たる2009年度計画の護衛艦“ふゆづき”(写真5)を建造しており、当社は、戦後より継続した護衛艦建造実績を持つ数少ない建造所の一角を担っていると言える。

2018～2021年度予算で計画されている護衛艦(新艦艇:30FFM)についても、応募各社が提出した企画提案により、建造所の一つとして当社が選定され、従来の護衛艦に掃海機能を付加した当該新艦艇を2隻建造する予定である。

### 3.1.2 補助艦

補助艦艇は特殊任務遂行のため、特定能力に特化した艦である。そのため設計・建造においても、高度な専門的技術を要求される。当社では、音響測定艦、輸送艦、掃海母艦、補給艦、海洋観測艦、潜水艦救難艦など、様々な用途の補助艦を設計・建造している<sup>1)</sup>。

音響測定艦(AOS)は1989年度及び1990年度計画の“ひびき”(写真6)、“はりま”を建造している。音響測定艦は、潜水艦の静粛性の向上、大深度化、発生音の変化等に対応するために建造された艦種であり、低速力で長期間安定航行し、各種海洋情報の収集を行うことを目的とする。この目的に鑑み、当社によって開発された半没水型双胴船型(SWATH船型)が、優れた耐航性能、広い甲板面積、少ない水中放射雑音等の性能を有することから、防衛庁(当時)に初めて採用

された。また、艦尾の曳航式ソーナー(SURTASS)の展張・揚収時に、海中での挙動を監視しながら、本艦を容易に操縦できるよう、当社の自動操船制御技術を応用した後部操艦装置を搭載するなど自動化・省力化対策が施されている。なお、当社は、今後2017年度計画の同規模艦を建造する予定である。

2000年度計画の補給艦(AOE)“ましゅう”(写真7)は、当社にて建造され2004年より就役している。最新の大型、高速補給艦として洋上補給などの艦隊支援に加えて、その優れた機動性と充実した医療設備により、国内外の災害援助などの各種支援活動にも大きく貢献している。

### 3.2 巡視船

1951年に海上保安庁向けに巡視船“おき”を納入して以来、当社ではサイズや推進システムも異なった、多種多様な巡視船艇を設計・建造している<sup>1)</sup>。写真8は、1999年に計画された高速小型巡視船で、推進装置に3基3軸のウォータージェットが採用されており、2001年から2005年にかけて計4隻建造している。

また写真9は、2014年から2015年にかけて4隻建造された1000トン型汎用大型巡視船(災害対応能力強化型)である。

### 3.3 調査船・練習船等

当社は調査船・練習船を、主に官公庁向けに建造している。近年、教育機関の練習船にも高度な調査・観測機能が装備され「調査船化」する傾向にある。これらの船種は、艦艇、巡



写真5 護衛艦“ふゆづき”



写真7 補給艦“ましゅう”



写真6 音響測定艦“ひびき”



写真8 小型巡視船“ほうおう”



写真9 大型巡視船“きい”



写真11 練習船“長崎丸”



写真10 地球深部探査船“ちきゅう”

視船と同様に艀装密度が高く、設計・建造に高度な技術的調整・統合力が必要とされる。

最新鋭の調査・観測機器が搭載される調査・練習船においては、機器の性能を十分に生かせるよう、当社独自の振動・騒音・水中放射雑音の低減に関する予測計算技術、計測評価技術、制振材施工技術及び防振艀装技術並びに低騒音プロペラ実現に向けてプロペラからのキャビテーションの発生を極力抑えるための伴流分布の均一化とプロペラ設計技術などが投入される。また、調査・観測・入出港等における位置・方位保持を容易にするために、当社が開発した自動船位保持装置(DPS)や、ジョイスティック1本で操船できるシステム操船装置を搭載することが多い。以降、主だった当社建造の調査・練習船を紹介する<sup>1)</sup>。

人類史上初のマントルへの大深度掘削を目指した最新のライザー掘削船として、地球深部探査船“ちきゅう”(写真10)が計画され、当社は船体部とDPSを担当した。2003年に当社より三菱重工業株式会社長崎造船所へ引き渡された後、同所にて掘削デリック等の艀装工事が施工され、2005年に国立研究開発法人海洋研究開発機構(JAMSTEC)へ引き渡された。

科学掘削作業は数カ月以上の長期間にわたって行われ、潮

流や風、波等の外乱に対してその位置や船首方位を精度良く制御することが要求される。当社は艦艇で実績のある自社開発のDPS技術を基に、位置や方位の偏差に基づくフィードバック制御に加え、風圧力等の外力に対するフィードフォワード制御により、安定した位置保持制御を実現した。さらに、ライザー掘削時において、ライザーパイプの上下端傾角が最小となるように位置保持制御を行う「目標点自動更新機能」を開発し、世界最高クラスの位置保持精度を実現している。なお、本船は大深度の掘削という技術の独創性、革新性、技術の完成度が評価され、シップ・オブ・ザ・イヤー2005の準賞と技術特別賞を受賞している。

2018年に竣工した長崎大学水産学部附属練習船“長崎丸(4世)”(写真11)は、静粛性向上のため電気推進を採用しているほか、最新の漁撈装置、水産資源・海洋調査機器を装備し、水産関係の実習、教育に従事する。また、船員養成の第一種養成施設としての役割も果たす。調査観測時における低速航行時の操船性を向上させるため、バウスラスタのほか、スタンスラスタを装備しており、横揺れ軽減のため、減揺タンクを搭載している。

また本年2018年、体制移行前の三井造船株式会社時代から数えて24年振りに水産庁より漁業取締船「白嶺丸代船」1隻及び同取締船「新造船」1隻(各々総トン数約870トン)を受注した。「白嶺丸代船」は、取締りに関する最新鋭の技術が盛り込まれ、現船から大型化され耐航性も向上する予定である。

#### 4. 海洋開発機器

1960年代後半より、当社は本格的に海洋開発事業分野に進出し、海洋石油開発機器である大型デリックバージ、パイプレイバージ、カーゴバージ、石油掘削リグ、船型リグ、ジャッキアップリグ、セミサブ型海洋構造物等を次々と設計・建造していき、高い設計・建造技術を世界に知らしめた<sup>1)</sup>。

2010年代には、西アフリカ、ブラジル沖ではプレソルトと呼ばれる大規模かつ大水深の油田が相次いで開発され、既存のVLCCの改造によるFPSOや新造の大型バージ型高仕様FPSOが多く投入された。これに対し、当社は三井海洋開発



より“FPSO Cidade de Caraguatatuba MV27”（写真 12）の船体部の設計・建造を受注し、2015 年 2 月に受注から引渡しまで 17 カ月という短納期で引き渡した。MV27 は、他船主より高く評価されている当社 VLCC の設計を基にして設計・建造された。全船波浪荷重・構造一体解析を適用し、20 年にわたる長期運用に耐え得る信頼性の高い FPSO 船体としている。

## 5. 水中機器

当社における水中機器開発の歴史はおよそ 40 年で、船舶の歴史に比べれば新しい技術分野であるが、日本の水中機器の歴史の上では先駆者と言える<sup>1)</sup>。遠隔無人機は ROV (Remote Operated Vehicle) と呼ばれ、1970 年代に世界で有用性が認識された。1973 年の第 1 次オイルショックによる海洋石油開発への関心の高まりとともに、海中での重作業 ROV から低価格の小型 ROV (Low Cost ROV : LCROV) と呼ばれるテレビカメラによる観察主体の小型 ROV まで一気に花開いた。当社はこの技術潮流に乗り遅れることなくほぼ同時進行で ROV 及び LCROV の製品開発を行ってきた。さらに、1990 年代に入ると自律型水中ロボット (Autonomous Underwater Vehicle : AUV) が研究用途から実用へと発展したが、これ



写真 12 “FPSO Cidade De Caraguatatuba MV27”

に対しても産学の連携を取りながら先進的な技術開発対応を行い、「AUV と言えば三井」を目標として地歩を固めてきた。写真 13 は、動力源をリチウム二次電池とした慣性航法装置による自律航走機能を有する AUV “r2D4” である。

また最近では 2008 年頃から、より広範囲な社会的ニーズに応えるべく、当社の船舶建造技術や、DPS に代表される自律航走のための自動操船制御技術を活用し、多用途な任務への対応を目指し、水上無人機 (Unmanned Surface Vehicle : USV) の開発を開始している。初めての研究試作機である USV1 号機 (写真 14) は、東日本大震災における東京電力福島第一原子力発電所の事故により、沖合に流出した放射性物質をモニタリングすることを目的に、短期間で運用機能の拡張と観測機器の追加の改造を行い、運用訓練を経て 2011 年 11 月に原子力発電所沖での無人調査を実施している。

## 6. 今後の製品・技術

ここまで、過去約 30 年の間に当社が世に送り出した製品について述べてきた。ここでは、今後注力する分野、製品及び技術等につき、将来の展望も交えて概説する。

### 6.1 中型 LNG 船

2010 年代までの LNG 船といえば、長距離大型輸送、長期固定契約が常識であった。しかし、LNG 価格が世界的に他の化石燃料と比べ相対的に低下してくると、短距離小型輸送や短期スポット契約の需要が増加する。その結果、ガス輸送船は、大規模輸送を前提とする大型船と、世界各地のハブ港を軸とする中小規模輸送を前提とした中小型船に分化していくことが予想された。また、技術面でも環境規制面でも、ガスエンジンやガス燃料船が本格的に注目を浴びるようになりつつあり、小型ガス輸送船やガス燃料供給システムの技術に対する注目度が高まった。

このトレンドの変化を捉えて、2014 年に当社は、これまで指向していた大型 LNG 船から中小型液化ガス船供給体制への指向を強め、ヨーロッパの基地及びアメリカや中国などの河川域に存在する液化ガス基地への入港、インドネシアやカリブ海のような島嶼部に存在する複数の中小規模液化ガス基地へ少量ずつ液化ガスを供給するサービスに対応す



写真 13 AUV “r2D4”



写真 14 USV1 号機

るため、2017年に前述の neo ブランドの1つとして中型液化ガス船 neo80GC を開発している<sup>1)</sup> (図1)。neo80GCは、MOSS型貨物タンクを3基搭載した浅喫水船であり、エアドラフトを低く抑えて河川に架かる橋による通行規制を満足させるため、居住区を貨物タンク前方に配置している。また、低燃費を実現するために、二元燃料低速ディーゼルエンジン ME-GI エンジンを搭載するものである。

## 6.2 液化ガス運搬船及びガス燃料船向け EPCS

また、2015年に当社はドイツのガスエンジニアリング会社「TGE Marine AG」を買収している。TGE社はドイツ連邦共和国のボンに本社を置き、中小型ガス運搬船向けに、タイプCと呼ばれる圧力式ガスタンク及びガスハンドリングシステムの設計(E)、機器調達(P)及び製造監理(CS)等の事業を行っている会社である。同社は、特にエチレン、LNGなど極低温液化ガス領域にて高い技術を有し、既に欧州、中国、韓国等にて、中小液化ガス運搬船やガス燃料船へのガスハンドリングシステム(図2)の供給実績を積み上げてきた。これら海外の事業に加えて、今後発展が期待される日本での事業拡大を目指し、当社と共に日本市場を開拓していくこととなる。また、三井E&Sマシナリーにおいては、二元燃料低速ディーゼルエンジン(ME-GI)及び燃料ガス供給システム(FGSS)用の高圧圧縮機、極低温高圧ポンプの開発・販売を推し進めており、ガス燃料船分野において、相互補完の協業関係を築いていく所存である。



図1 neo80GC 完成予想図

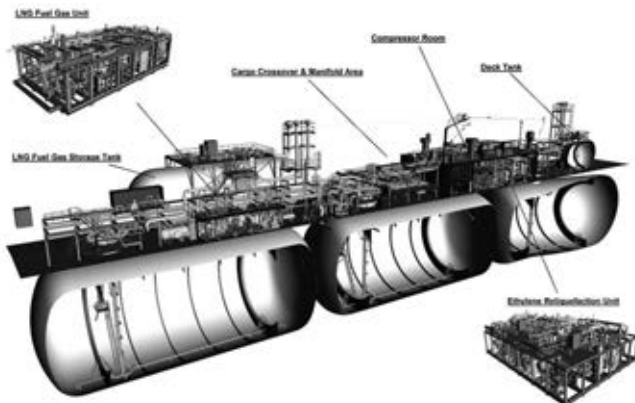


図2 ガス燃料船のガスハンドリングシステム

## 6.3 海洋エンジニアリング

海底油田は、地理的位置による環境条件の違い、原油等の性状の違いによって必要となる設備が大幅に異なるため、プロジェクトごとに専用のFPSOを計画・建造する必要があり、建造期間、コストの低減が大きな課題である。

当社のFPSO建造技術を基に、この課題を解決すべく、当社は船体に石油・ガス生産設備を合わせるのではなく、生産設備(トップサイド)に応じた船体を柔軟に計画することが可能な画期的なFPSO用船体“noah-FPSO Hull”を開発した。主な特長は以下の通りである。

- ① 改造FPSOに比べて広い甲板面積を有し、トップサイドの複雑化・大型化トレンドに対応
- ② 船体モジュール構造の組合せによりFPSOに特有の多品種少量生産、設計変更柔軟に対応
- ③ 標準設計の船首尾モジュールとプロジェクトによって変更可能な平行中央モジュールの分業建造により建造工程、船台計画の柔軟性が大幅に向上(図3)
- ④ 米国船級協会(ABS)及びフランス船級協会(BV)より基本承認(AIP: Approval In Principle)を取得

当社は、FPSOコントラクター、造船所に対して、noah-FPSO Hullの設計・建造ライセンスとエンジニアリングサービスを提供することにより“noah-FPSO Hull”を海洋エンジニアリングの柱としていく所存である。

## 6.4 船型等開発技術

燃費競争が激しい商船の、船型や船の燃費を改善するためにプロペラ周りに取り付ける省エネ付加物の開発にお



図3 noah FPSO Hull のコンセプト





写真 15 PIV 装置概観

いては、近年、従来の数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics : CFD) に加えて、粒子画像流速測定法 (Particle Image Velocimetry : PIV) が本格的に導入されている<sup>6)</sup>。PIV は、船体模型周りに微細なトレーサ粒子を流し、これにレーザを照射しカメラで撮影し、その挙動を画像解析することによって、模型周りの流場を非接触で観測する技術である。写真 15 は、昭島研究所の大水槽における PIV 装置の概観である。PIV 装置で実際の流場を直接観察することにより、省エネ付加物の効果が飛躍的に高まり、船の燃費性能において他社を凌駕することに寄与している。

## 7. おわりに

本稿では、約 100 年に渡る当社の船舶建造の歴史の中で、主に最近の約 30 年に建造した船舶、海洋開発機器及び水中機器を、これらを支える技術と共に紹介し、また今後の事業の方向性についても述べた。

ここに紹介した船舶は全て、時代に即した規則の変遷を反映させつつ、顧客要望やその背景にある時代のニーズに応えるべく、当社の持てる技術力を駆使して計画、建造されて来たものであると言える。

当社は今後も、独自かつ先進のアイデアで市場の要求に応える高品質・高性能の船舶を提供していく所存である。

## 参 考 文 献

- 1) 三井造船株式会社：三井造船株式会社 100 年史，<https://www.mes.co.jp/investor/information/100nen/>，(2017)，p.248
- 2) 四国ドック株式会社：<http://shikokudock.co.jp/>，(2018-8-30)
- 3) MES-KHI 由良ドック株式会社：<http://shikokudock.co.jp/>，(2018-8-30)
- 4) 株式会社三井造船昭島研究所：<https://www.mes.co.jp/Akiken/index-j.html>，(2018-8-30)
- 5) 新潟造船株式会社：<https://www.mes.co.jp/nsr/>，(2018-8-30)
- 6) 木村. 外，PIV 計測技術と CFD 解析を用いたプロペラ後流過場の可視化技術の開発，三井造船技報，212 (2014-7)，p.19

執筆者：設計本部 基本設計部  
岩寄 正城

〔問い合わせ先〕

三井 E&S 造船株式会社 設計本部 基本設計部  
TEL 03-3544-3501 岩寄 正城

# 三井 E&S マシナリーの製品・技術紹介

技術開発総括部

## Products and Technology of Mitsui E&S Machinery Co., Ltd.

Research & Development Center

### 1. はじめに

三井 E&S マシナリーは、2018 年 4 月持株会社体制に移行するに伴い、前身である機械・システム事業本部を母体としてスタートした。この機械部門は、1917 年に現在の岡山県玉野市に旧三井物産株式会社が創設した造船部の造機部門に由来する。現在当社は、動力エネルギー分野として船用ディーゼル機関、圧縮機やガスタービンコージェネレーションシステムなどの各種産業機械、物流システム分野における港湾コンテナクレーンを主体とする運搬機システム、橋梁をはじめとするインフラ設備とその非破壊検査、当社製品のアフタサービスなど五つの事業を展開している。機器製造のみならず製品のライフサイクル全般に関与するアフタサービスを重視し、顧客が安心して、より経済的に使用できるように、サービスの提案・提供に努めている。

当社は、急速に進むグローバル化、技術革新にも積極的に対応している。例えば、世界初のメタノールやエタンを燃料とする環境に優しい二元燃料ディーゼル機関をいち早く市場投入した。また、ビッグデータを利用したディーゼル機関の予防保全システム、コンテナクレーンの海外生産の開始、コンテナクレーンやターミナルの自動化、交通インフラ向けの最新非破壊検査、原子力発電所の廃炉作業用マニピュレータなど多くの取り組みを行っている。

本報では、当社五つの事業部門に分けて、事業の歴史を少し振り返りつつ、最近の主要製品と技術について紹介する。また、今後注力する製品・分野についてもごく簡単に述べる。

### 2. ディーゼル事業部の主要製品と技術

当社は、1926 年に B&W 社 (現 MAN Energy Solutions 社) との間にディーゼル機関製造販売実施権の契約を締結した。それ以来、三井 - MAN B&W 機関のライセンスとして単一機種エンジンを製造している。2016 年の時点で国内ディーゼル機関のシェアは 55% を占めており、2018 年 6 月には自社の持つ単一機種累計生産 1 億馬力を達成するとともに、累計製造台数は 6 500 台を超え、世界の船用ディーゼル機関のトップメーカーとして生産実績と経験を積み重ねている。シリンダ径は 260 mm ~ 980 mm、シリンダ数は 4 ~ 12、機関出力は 1 600 kW ~ 75 570 kW の広範囲にわたる製造実績がある。製品の品質向上とコストダウンに取り組み、船用市場のニーズに応じた新技術の開発にも注力している。

#### 2.1 ME (電子制御) 機関

船舶に搭載されるディーゼル機関への環境規制が 2000 年から実質的に施行されることになり、それに対処する一環として電子制御機関 (以下、ME 機関) の開発がライセンスで行われた。従来の機械制御 (MC) 機関は、燃料噴射と排気弁の駆動をカム軸により行う。ME 機関では、このカム軸を廃止して、燃料噴射の電子制御化に加えて排気弁の開閉タイミングも高圧作動油により制御しており、あらゆる負荷域での性能を最適化できるフレキシビリティが最大の特長である。当社は 2004 年に ME 機関初号機として S-ME 機関 (Super Long Stroke Engine) である 7S50ME-C を製造・出荷した。ME 機関の本格的な採用は、リーマンショック後の 2011 年から段階的に強化された NO<sub>x</sub> 排出規制、燃料価格高騰、CO<sub>2</sub> 削減の動きなどによって後押しされた。環境規制対応や低燃費化の顧客ニーズが急速に高まり、現在は製造する機関のほぼ 100% で ME 機関が採用されている。2011 年頃からのプロペラの径・低速回転化の需要に対応させるべく、ストロークをさらに伸ばした G-ME 機関 (Green Ultra Long Stroke Engine<sup>1)</sup>) が導入された。写真 1 に、2 万 TEU (TEU は 20 フィートコンテナを 1 単位としてコンテナ船の積載容量を表す単位) コンテナ船向け 11G95ME-C 機関を示す。現在は S-ME 機関及び G-ME 機関の製造が主流であり、後述の環境・ガス燃料対応技術と組み合わせて船用主機マーケットの需要に対応している。

#### 2.2 ME-GI (電子制御二元燃料) 機関

NO<sub>x</sub> 及び SO<sub>x</sub> の 1 次から 3 次まで 3 段階の排出規制強化



写真 1 2 万 TEU コンテナ船向け 11G95ME-C



が義務化され、また地球温暖化防止に向けてエネルギー効率設計指標 EEDI（トンマイル当たりの CO<sub>2</sub> 排出量）削減も義務化された。こうした環境規制強化の流れの中で、当社は ME-GI（電子制御二元燃料）機関<sup>2)</sup>を市場に投入した。当社における同機関の開発は 1980 年代初頭に遡る。1994 年に旧三井造船千葉事業所に世界初となる大型ガス焼き低速ディーゼル機関 12K80MC-GI-S（GIDE）を設置し、5 年間で累計 20 000 時間に及ぶ運転を通じてガス燃料機関の信頼性を検証するとともに同機関に関する多くの知見を得た。2011 年にはライセンスである MAN Energy Solutions 社のテスト機に、当社の GIDE 技術が組み込まれ、世界初の ME-GI 機関が誕生した。ME-GI 機関のガス燃焼方式はいわゆる拡散燃焼である。図 1 に ME-GI 機関の燃料噴射弁配置を示す。従来の重油焼き専焼に比べて 2 次燃料であるガスの噴射弁が追加されている。2 次燃料はピストン圧縮による昇温だけでは安定に着火しないため、シリンダ内の圧縮空気に少量の燃料油を噴射して火種をつくるパイロット着火方式を採用している。同機関は以下の優れた特長を有している。

- ・予混合燃焼では発生しやすいノッキング発生がない。したがって、燃料ガスの組成や大気条件に影響されず、あらゆる負荷域においてディーゼル機関と同等の熱効率及び出力率を有する。
- ・負荷変動に対する応答性に優れている。
- ・圧縮行程中にクランクケースへのガス燃料の内部漏えいがなく、安全性に優れた構造である。
- ・未燃のガスが大気へ放出されるいわゆるメタンスリップがほとんどない。
- ・ガス燃料と重油燃料の広範囲な混合比における混焼だけでなく、重油燃料による専焼も可能である。

2013 年に LNG 運搬船向け重油焼き機関を一時的に ME-GI

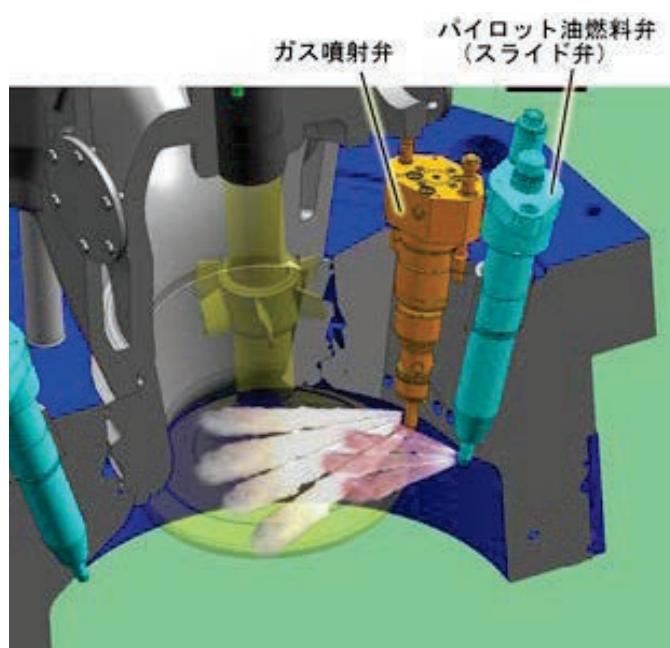


図 1 ME-GI 機関の燃料噴射弁配置

機関に改造して、国内初のガス焼き機関 6S70ME-C8.2-GI としてのデモンストレーション運転を実施した。それに先立ち、LNG を昇圧・気化させ天然ガス燃料として供給する設備を工場内に設置した。その後、2015 年から、コンテナ RORO 船向けに受注した国内初の商用機 8S70ME-C8.2-GI を計 2 台、更に LNG 運搬船向けに受注した 7G70ME-C9.2-GI を計 4 台それぞれ出荷した。2016 年には、LNG 焼き技術に応用して開発されたエタン焼き機関 ME-GIE の初号機として、7G50ME-C9.5-GIE の計 2 台の世界で初となる陸上試験運転を実施した。

### 2.3 ME-LGI（電子制御式メタノール焼き）機関

メタノールは CO<sub>2</sub> 排出量の削減が期待できることに加えて、SO<sub>x</sub> 及び PM（粒子状物質）の大幅な排出削減が可能なことから、LNG 同様に SO<sub>x</sub> 規制対応に有効である。そこでライセンスとの協業により、メタノール焼き機関 ME-LGI の開発にも取り組んだ。ライセンスがコンセプト設計を担当し、当社が同機関を開発した<sup>3)</sup>。課題はメタノール噴射弁の開発であった。ライセンスの試験により改良が重ねられた噴射弁を用い、2015 年に当社のテスト機関 4S50ME-T をメタノール焼き機関に改造して運転を行い、ME-LGI 機関の型式承認を取得した。本機関及びメタノール供給装置に関する安全性検討は国土交通省の「次世代海洋環境関連技術開発支援事業」に採択され、日本海事協会との共同研究の一環としても実施した。2015 年に、写真 2 のように、メタノール運搬船の主機として世界初となる 7S50ME-B9.3-LGIM の陸上試験を行って計 3 台を出荷した。ME-LGI 技術は低引火点の液体であるメタノール燃料にとどまらず、LPG、エタノール、ジメチルエーテルなどの液体燃料へも適用可能である。特に、LPG はその取り扱いが容易なことからも船用燃料として注目されており、LPG 焼き機関の開発も行っている。

### 2.4 NO<sub>x</sub> 規制対応機器

NO<sub>x</sub> の 3 次規制海域では 1 次規制値の 80 % 削減が求められている。当社はこの規制強化に対応するソリューションの一つとして、過給機を通過する前の高圧に維持された燃焼排気ガスを掃気に再循環させる高圧 EGR（Exhaust Gas Recirculation）<sup>4)</sup>を製造・販売している。本システムでは、



写真 2 メタノール焼き機関の世界初号機（7S50ME-B9.3-LGIM）

燃焼排気ガスが加圧されたままの状態であるため装置容積を抑えられることから、コンパクトな主機関付きの装置として機関室を拡張することなく従来と同様の搭載ができる。燃焼排気ガス中に含まれる SOx やすすを再循環前に洗浄水に吸収させて、クリーンなガスを掃気するので機関に対する悪影響を回避できる。2015 年から約 2 年の間、C 重油焚き機関に搭載して実海域での実証運転を行った。その結果、2 次規制及び 3 次規制対応の運転モードにおいて NOx 排出の規制値をそれぞれ満足した<sup>5)</sup>。さらに、2 次規制対応の運転モードでは EGR のない場合に比べて燃料消費率の改善ができることを確認した (ECO-EGR 運転モード)。また、SOx 規制に対応するためには排ガス脱硫装置を搭載するか、あるいは低硫黄燃料油を使用する必要がある。低硫黄燃料油の場合、燃焼排ガス中の SOx 及びすす濃度が低いため、排ガス洗浄設備を簡素化することができる。図 2 に示すように低硫黄燃料対応の高圧 EGR もラインナップし、試作機を当社のテスト機関に搭載して実証試験を経た後、2018 年に初号機を納入した。

NOx の 3 次規制に対する別のソリューションとして、高圧の選択触媒還元システム SCR-HP (Selective Catalytic Reduction-High Pressure) を商品化している。NOx の低減は、燃焼排気ガス系統に装備された SCR リアクタ内の触媒作用によって達成される。SCR リアクタにおいて、還元剤として尿素水を添加することにより、NOx は触媒作用によって窒素と水に還元される<sup>6)</sup>。このシステムは、ライセンサの中速 4 ストローク機関での実績を生かして開発されたもので、2017 年に当社テスト機関に搭載して共同で検証試験を完了した。高圧 SCR システムでは、排気ガスは SCR リアクタから過給機に導かれるため、本システムは機関の近くに配置される。当社のシステムは従来と比べて、SCR リアクタと尿素水を添加するシステムを一体化したユニットにすることで、図 3 のように全体的にコンパクトなシステムになっている。

2.5 油圧式廃熱回収システム THS

THS (Turbo Hydraulic System) は、船舶からの CO<sub>2</sub> 排出削減に寄与し、今後規制が強化されていく EEDI 改善の有効な環境対応製品として当社が開発した<sup>7)</sup>。三井-MAN TCA 形過給機のロータ軸に直結した油圧ポンプにより排気

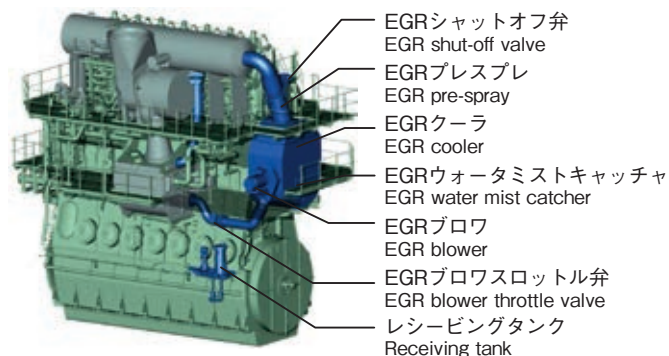


図 2 低硫黄燃料対応型高圧 EGR

ガス中の余剰エネルギーを機関の軸動力として回収するもので、2014 年の初号機出荷以降 15 機が実船に搭載され、良好な就航実績が得られている。2017 年には、ME 機関に特化した THS2 の開発を完了し、本格的な営業販売を開始した<sup>8)</sup>。THS2 は、過給機により回収した油圧エネルギーを ME 機関の油圧動力として直接供給するため、機器が簡略化されコンパクトになり、従来は採用が難しかった小型の機関にも採用が可能となる。また、THS2 はシンプルな構造のため他の廃熱回収技術と比較して安価に設置でき、また機関内で完結するシステムのため設計面で船体側へ与える影響が少ない点も特長である。さらに、既就航船の機関にも装着可能であり、新造船に限らずレトロフィットも含めた展開を進めている。

2.6 SFSS (2 次燃料供給システム)

ME-GI 機関へ 2 次燃料ガスを供給するシステム SFSS (Second Fuel Supply System) のキーハードとして、LNG 運搬船のボイルオフガスを昇圧するガス圧縮機を 2015 年にリリースした。本圧縮機は、陸上分野の石油精製・石油化学向け往復動圧縮機 1 100 台に及ぶ当社の納入実績と技術に基づき、ME-GI 用として転用・開発したものである。写真 3 に示すように、初号機は当社の ME-GI 試運転工場設備機として製造され、ME-GI 商用機への燃料供給に利用された。ME-GI 機関の負荷変動及び緊急燃料遮断試験にも良好な応答性能を示している<sup>9)</sup>。

これに加えて、2017 年には LNG 燃料船をターゲットにして SFSS 用の高圧往復動ポンプを当社と同じグループ会社である株式会社加地テックと協力して開発した。図 4 に示すように、本ポンプは従来のモータ駆動のクランク式ポンプとは異なり、駆動部分が油圧式となっておりシリンダ毎の制御が可能などところに特長がある。従来のクランク式では冗長性を持せるために、もう 1 台を予備として備える必要があった。一方、この油圧駆動を採用することで、例えば常用のシリンダを 2 本、予備を 1 本とする冗長性を確保できる<sup>10)</sup>。これ

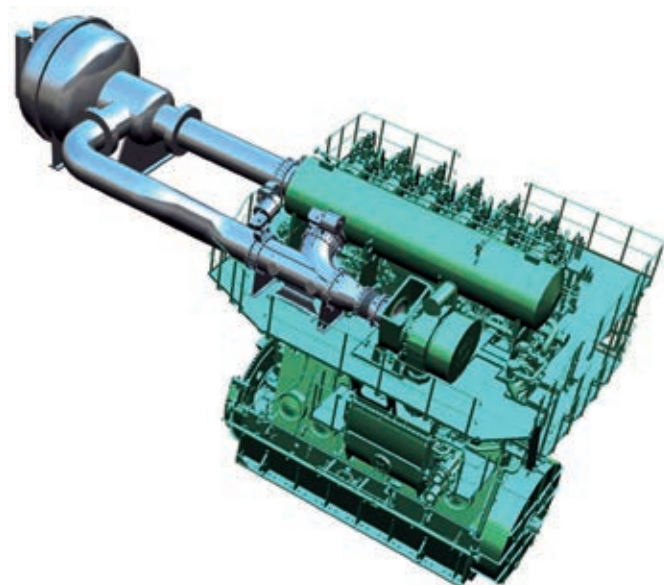


図 3 新型高圧 SCR





写真3 SFSS用高圧ガス圧縮機 (工場設備機)

により従来のモータ駆動クランク式ポンプに比べ安価な初期コストでME-GIエンジン用SFSSを供給することが可能となった。当社は、上述のガス圧縮機に加えて本ポンプをラインナップし、ME-GI機関とSFSSのキーハードをセットで試運転・供給できる体制が整った。

## 2.7 生産設備

岡山県玉野市においてディーゼル機関の製造を開始して以来、生産性の向上と省力化及び品質向上に常に取り組んできた。主機の大型化に備えて大型工作機械の導入を行い、2004年以降のディーゼル機関の急激な生産量増大に伴い、大型NCプラノミラ9台、大型NC横中ぐり盤5台体制で機械加工を行っている。自動溶接機の導入を積極的に行い、現在では多関節溶接ロボットが溶接作業の60%以上を担っている。1992年に新しく竣工した組立工場は、540トン（現在は650トン）までの大ブロックを雨天でも搬出入できる全天候型バースを持ち、当時としては画期的な組立工場であった。製造リードタイムを短縮するための努力を継続し、2008年からは年産500万馬力の生産体制を整えた。2009年には50機関専用の流れ生産ラインを有する新工場を増設した。これにより生産能力は更に100万馬力を増強して600万馬力の体制となった。

最近、世界的にあらゆる分野の製造現場において生産性を画期的に向上させる手段として、スマートファクトリ概念が注目されている。工場内の設備や機器をインターネットに接続することによって、生産工程や品質管理面で工場見える化を進めるとともに、設備の故障予知などを通じて工場の操業を最適化するものである。当社も生産性を更に向上させる取り組みの一環として、2018年から「国土交通省 海事生産性革命(i-Shipping)を推進する革新的造船技術研究開発事業」の補助対象として、「船用ディーゼルエンジンのスマートファクトリ基盤技術の開発」を実施しており、今後も製造工場の先進化に取り組む。

## 3. 運搬機システム事業部の主要製品と技術

当社は、コンテナリゼーションの幕明けとともに、1961年にコンテナクレーンのパイオニアである米国PACECO

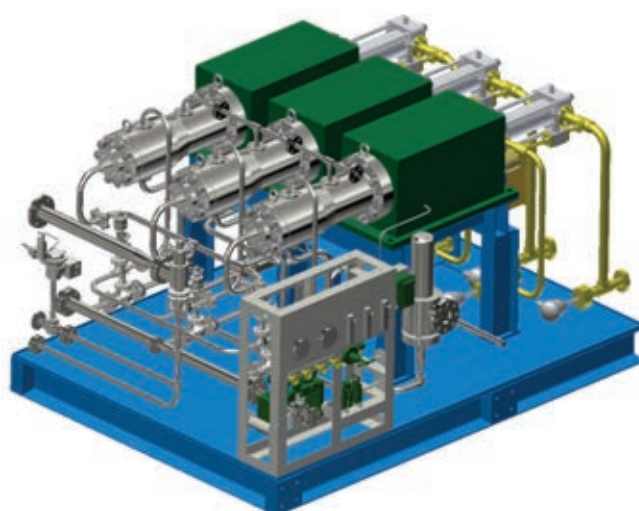


図4 SFSS用油圧駆動式高圧ポンプ

Inc.と技術提携を結んだ。日本初の岸壁ガントリークレーン及びヤード用トランスファークレーンを納入して、本格的にクレーン事業のスタートを切った。その後、1988年に同社を買収してコンテナクレーン事業を強化し、新技術開発と競合他社との差別化・高付加価値化を推進するとともに、グローバルな事業展開を図ってきた。現在、東南アジアを中心に全世界に岸壁用ガントリークレーン（商品名ポーターナ）、ヤード用トランスファークレーン（商品名トランステーナ）を納入している。また、コンテナクレーンのみならず、ターミナルにおけるコンテナ荷役効率の向上に欠かせないコンテナターミナルマネジメントシステム（以下、CTMS）も提供し、アフタサービスを含めたコンテナターミナルのトータルシステム企業として事業展開している。

### 3.1 ポーターナ（岸壁ガントリークレーン）

当社は日本で最初のコンテナ用岸壁ガントリークレーンを設計・製作し、1967年に神戸・摩耶埠頭に納入した。それ以来、世界の至るところで商品名ポーターナとして当社のガントリークレーンが採用され、2017年時点で国内外の港に340基以上の納入実績がある。また、近年のコンテナ船大型化に伴い、超大型のポストパナマックス船（8000TEU級）に対応するポーターナも60基以上納入している。

写真4にポーターナの一例を示す。2013年には2万TEU級の大型コンテナ船にも対応できるアウトリーチ67m（オンデッキ24列）、レール上揚程52m（オンデッキ10段）のポーターナをマレーシアに納入した。

最近の受注例を紹介すると、2017年にミャンマ向けにコンテナクレーン8基を受注した。その内2基のポーターナには、センサによって吊り具とコンテナの位置を検知し、吊り具がコンテナに接近する際自動的に減速・停止する機能（ソフトランディングシステム）が搭載されている。本機能により、吊り具がコンテナに着床した時の衝撃が緩和され、吊り具及びコンテナの損傷を軽減できる。また、運転室から見えづらい船倉内のコンテナのハンドリングが容易になり、運転



写真4 ポーターナ (マレーシア クラン港)



図5 総合コンテナターミナルマネジメントシステム CTMS の構成



写真5 トランステーナ

手の負担軽減が期待できる。当社ポーターナの特長を以下に示す。

- ・モノボックス構造と自走式(セミロープ式)トロリを採用することで、クレーンの操作性とメンテナンス性が向上している。
- ・遠隔地からでも不具合対応を可能にする遠隔モニタリングシステムもオプションとして提供する。
- ・高層ビルの免震装置に用いられている積層ゴムを利用した免振機能によって国の耐震要求を満たし、災害にも強い強靱な港湾ターミナルに貢献する。

### 3.2 トランステーナ (ヤード用トランスファクレーン)

当社はポーターナ初号機納入に続き、日本で最初のコンテナヤード用トランスファクレーンを設計・製作し、1968年に同じく神戸・摩耶埠頭に納入した。その後、トランステーナも顧客からの大型化及び高速化の要求に対応しながら、2017年時点で1200基以上を国内外の港に納めている。また、環境に優しく燃費性能の高い、ハイブリッド型トランステーナや電動型トランステーナの納入実績が多数ある。さらに、自動で直進走行させるためのGPS機能をはじめ、最新のセンシング技術を導入した自動化機能を取り揃えている。

写真5にトランステーナの一例を示す。最近の納入実績を紹介すると、2016年にロサンゼルス港ターミナルに世界

初の鉄道ヤード用自動化トランステーナ3基を引渡した。同ターミナルは米国西海岸で初の自動化ターミナルである。本自動化クレーン上には運転室はなく、岸壁クレーンから無人搬送車で運ばれてきたコンテナを、陸側にある鉄道ヤード内からの遠隔・自動操作によってハンドリングする。コンテナ2段積み貨車で編成された800mに及ぶ貨物列車をクレーン上のセンシングシステムによりスキャンして位置を割り出し、自動で積み込み・積み降ろしが可能な荷役機能を有する。岸壁クレーン下から鉄道ヤードまで一貫した自動化システムの構築に貢献している。

一方、CO<sub>2</sub>排出量削減に対応する省エネルギー技術として、トランステーナ運転中の負荷に応じてエンジン回転数を最適制御する機能の搭載機も投入しており、従来機より30%以上の燃料消費量削減効果を上げている。さらに、2010年からハイブリッド型トランステーナを販売開始した。最近の受注例では、2018年にフィリピンの港湾オペレーター向けにヤード用トランステーナ16基を受注した。本クレーンは、従来のエンジン駆動に加えてリチウムイオン電池を搭載している。従来は巻き下げ時にモータが発電する回生電力を抵抗器にて熱として消費していたが、回生電力をスーパーキャパシタに蓄積し、巻き上げ時にモータに供給・再利用する。これにより、従来型比で最大60%の燃料消費量削減を達成している。また、最大20dBの騒音低減を実現している。

### 3.3 CTMS (Container Terminal Management System)

当社は古くからコンテナターミナル運営のシステム化概念を提唱し、コンテナの管理と運用を支援するCTMSの開発を進めた。1972年に1号機を納入以来、国内外のターミナルに150のシステム導入実績がある。船会社や通関、陸送を担う運送会社の上位システムともリンクした情報システムを構築することを念頭に、これにクレーンを組み込んだ総合的な自動化提案を進めていく。図5にCTMSのシステム構成<sup>1)</sup>を模式的に示す。個々のサブシステム機能を以下に列記する。

- ・ヤードプランニング & コントロールシステム (YPCS) は、コンテナターミナル管理に必要な情報を一括管理するコアシステム



- ・ベッセルプランニングシステム (VP) は、本船荷役プランの作成を支援する GUI のシステム
  - ・ヤードプランニングシステム (YP) は、コンテナヤード内での蔵置状況のリアルタイムモニタリング及びヤード内のプランニング業務を高度に支援するシステム
  - ・ヤードオペレーションシステム (YO) は、荷役機器の配置管理及び荷役機器上の車載端末や無線ハンディ端末への作業指示を送受信コントロールするシステム
  - ・インテグレートドゲートシステム (IGS) は、コンテナ番号自動認識ほかを導入したブースレスゲート化により搬出入処理を効率化するシステム
  - ・コンテナターミナルシミュレーションシステム (CTSS) は、荷役機器の動きを正確に再現する最新シミュレーション技術により PC 上に仮想ターミナルを構築し、生産性の高いターミナルの設計を支援するシステム
- これらのサブシステム、モジュラー構成により顧客ニーズに合わせた最適なシステム構築が可能である。

### 3.4 アンローダ(石炭、鉄鉱石などを荷揚げするクレーン)

ポーターナの技術を応用し、国内製鉄所のアンローダ更新需要を見込み、2014 年にはモノボックス構造、4 ドラム式橋型アンローダの実用化に成功し、省メンテナンス性や荷役効率の向上を実現した。さらに、高強度軽量グラブバケットの採用により、アンローダ本体の軽量化と巻き上げ荷重の軽減により省エネルギー化を達成している。写真 6 にアンローダの例を示す。当社アンローダの特長は次のとおりである。すなわち、4 ドラム駆動システムの採用によりグラブバケット支持、開閉及びトバリ横行の三つの動作において駆動装置を兼用することができ、使用ワイヤーロープ、ロープ滑車などの部品点数を減らしてメンテナンスコストを削減できる。2016 年には、石炭荷揚げ能力が 1 時間当たり 3000 トンの世界最大級アンローダを国内製鉄所に据え付けた。

### 3.5 生産拠点

クレーンの製造は瀬戸内海に面する岡山県玉野市の玉野事業所を拠点として製作されていた。玉野事業所は東に明石海峡大橋、西に瀬戸大橋、来島海峡大橋と 3 つの長大橋に囲まれた位置にあり、クレーンの大型化に伴い一体組立したクレーンを搭載した輸送船が桁下を通過できない状況に陥りつつあった。そのため、2003 年にクレーンの製造拠点を大分県大分市へ移転し、クレーンに特化した工場を整備した。コンテナ船の大型化に対応するための新規需要、東南アジアやアフリカなど新興国における港湾整備に伴うクレーン新規需要が見込まれていた。それらに対応するため、2016 年には従来と比較して 1.5 倍の生産能力を有する設備投資が行われ、ポーターナ換算で年間 36 基、トランスターナ換算で年間 70 基にまで増強した。

さらに、インドネシアに新たな生産拠点として新会社 PT. MES Machinery Indonesia を 2017 年に設立した。インドネシア国内のみならず、将来的にはマレーシア、ベトナム、ミャンマ、フィリピン、タイなど東南アジア各国に輸出する。インドネシアで製造することで製造コストだけでなく、大分からの輸出に比べて輸送コストも削減できる見込みである。また、当社が製造・納入したコンテナクレーンのアフタサービス(改修・更新工事、部品販売)を行うことを目的に、2018 年にマレーシアのクランにサービス拠点を設立した。これらにおいては、6. に記載するテクノサービス事業部の世界拠点として、電気品更新、省エネルギー・能力アップ改造の現地工事、予備品・消耗品の供給などのアフタサービスを展開する。

## 4. 産業機械事業部の主要製品と技術

産業機械事業部は、工場の自家発電プラント、石油精製・化学プラントのプロセス、製鉄所などの産業分野において、省エネルギー化に貢献する各種機器を製造・販売している。タービンや圧縮機を取り扱う回転機部門と圧力容器を代表とするプロセス機器部門から構成されている。

### 4.1 ガスタービンコージェネレーションシステム

当社は、自社開発のガスタービン製造で培った高い技術力及び豊富な実績をベースに、米国ソーラ社の高効率ガスタービンを導入するパッケージング契約を締結した。1996 年の営業開始以降、MSC (Mitsui-Solar Cogeneration) システムは発電出力 3 ~ 15 MW 級のコージェネレーションシステムとして、2017 年時点で国内の自家発電用途に 39 台の納入実績がある。写真 7 に MSC システムの一例を示す。ガスタービン単体の発電効率はクラス最高レベルの 27 ~ 35 %、また、



写真 6 4 ドラム式橋型アンローダ



写真 7 MSC60 ガスタービンコージェネレーション

システム全体では最大で 85 % の高い総合効率を有する。希薄予混合燃焼器により低レベルの NO<sub>x</sub> 排出値 20 ppm 以下 (O<sub>2</sub> 16 % 換算) を実現している。

一方、自社開発の 1 000 kW 級小型ガスタービン SB5 を用いたコージェネレーションパッケージは、1988 年に初号機を納入して以来、工場や大型オフィスビルに約 60 基の納入実績がある。東日本大震災を契機に、分散型エネルギーの活用が着目されている。この動きに対応するため、従来の SB5 を高効率化してコージェネレーション総合効率をアップするリニューアルパッケージを開発中である。

#### 4.2 プロセス用圧縮機

自社開発の軸流圧縮機は、大風量の特性を生かし主として製鉄所の高炉送風用に用いられている。写真 8 に軸流圧縮機を示す。高炉向けでは当社は世界的なトップメーカーであり、化学プラント用も含めて 100 基の納入実績がある。高効率な 50 % 反動翼を採用し、保守が容易な水平分割型一重ケーシング構造及び静翼可変方式の採用による広範囲なターンダウンなどにより高性能と高信頼性を実現している。高度経済成長期に国内の各製鉄会社に納入された高炉用軸流圧縮機は更新時期を迎えており、今後も同圧縮機の堅調な需要が見込まれる。また、インドをはじめ新興国では、経済発展に欠かせない鉄鋼需要に応えるため、新たな製鉄所建設が計画されており、海外市場の拡大も期待できる。

当社の往復動圧縮機は、1961 年にオランダ Thomassen 社との技術提携に始まり、石油精製・石油化学などの分野において国際石油メジャーや主要産油国・国営石油会社向けも含めて 2017 年時点で国内外に 1 100 基以上の納入実績を持つ。写真 9 に往復動圧縮機を示す。本圧縮機は API 規格に適合し、メンテナンス性及び動バランスに優れる水平対向型構造の往復動圧縮機であり、最大 18 000 kW の大型までシリーズ化されている。また、水素ステーション用超高压圧縮機をはじめ、小型往復動圧縮機を製造・販売する株式会社加地テックと協業して、今後更に圧縮機事業の国内外への拡大に取り組んでいる。

#### 4.3 蒸気タービン発電設備

当社の蒸気タービンは、1966 年の初号機納入以来、50 年以上にわたり主に自家発電用及び独立系発電事業者 (IPP)

用に 300 基余りを製作・納入してきた。2017 年に、新たにドイツ MAN Energy Solutions 社と蒸気タービンのパッケージ販売に関する協定書を取り交わした。同社は 1904 年から 100 年以上の間に 2 400 基以上の蒸気タービン製作実績を誇る世界的なタービンメーカーの一つである。当社が市場に投入する蒸気タービン発電パッケージは、1.5 MW ~ 160 MW の出力レンジで、反動型高効率タービンを採用している。モジュール化された 4 タイプのモデル及び個別設計のモデルがラインナップされ、各種用途に幅広く対応できる。

#### 4.4 炉頂圧回収タービン発電設備

本発電設備は、製鉄所のエネルギー消費量削減に大きく寄与しており、高炉の製鉄過程で発生し高炉頂部から排出されるガスを利用したタービン発電設備として、当社が自社開発したものである。発電目的のために使用する燃料は一切必要なく、かつ CO<sub>2</sub> の発生もないことが特長である。高炉送風機の動力も含めた高炉付属機器の全所要動力の約 4 割に相当する電力を回収できる省エネルギー技術として、世界各地の主要製鉄所に最大出力 40 MW までの機種を累計 70 基余りを納入している。全段静翼可変方式による幅広い運転範囲、反動翼の軸流タービン、高効率円筒環状ディフューザによる軸方向排気構造、乾式ガス及び湿式ガスのいずれにも対応可能などの特長を有する。さらに、小容量の高炉にも対応できるパッケージ型の発電設備をラインナップしている。

#### 4.5 圧力容器

当社は、1938 年に化学機械製造の専用部門が設置されて以来、石油化学、石油精製、合成繊維、合成ガス、肥料、無機化学、電力など数多くの分野における主要プロセス機器である塔、槽、熱交換器、反応器などを設計・製造している。ASME 規格ほかの認定工場の資格を取得し、世界各国の法規にも対応、また特殊金属材料の加工や溶接の大型工場を設置し、高品質な製品を生産することができる体制を有している。写真 10 に圧力容器の一例を示す。特に、テレフタル酸や酢酸プラントなどの腐食性流体を扱うプロセスに対しては、多くの実績を有する。これらのプロセス環境に対応するチタン、ハステロイ、ジルコニウムなど、特殊材料を用いる機器のニーズに合わせて、国内外に 2016 年時点で 900 基以上の納入実績がある。

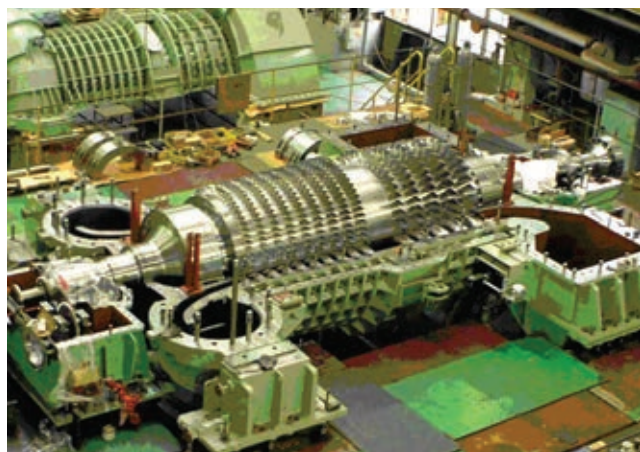


写真 8 高炉用軸流圧縮機



写真 9 往復動圧縮機





写真10 圧力容器



写真11 トンネル覆工検査車

#### 4.6 多管式回転乾燥機

当社は、熱交換器技術を応用して1960年代からポリエチレン及びテレフタル酸プラントの製品乾燥用に多管式回転乾燥機を製作しており、現在までに100基以上の納入実績がある。また、この技術に基づき、鉄鋼会社のコークス炉用石炭の水分を減らし一定に保つことで省エネルギー、生産能力の向上、コークスの品質向上などを可能にする石炭調湿設備を開発し、計5設備を納入した。これらの乾燥機は、構造的には本体内部に熱源として蒸気管を配列した間接加熱式回転乾燥機である。他の形式の乾燥機に比べて熱損失が少なく高い熱効率を実現している。伝熱管利用の間接加熱形式であるため、キャリアガス量が少なく、他の形式に比べて大型化が容易であり、連続大量処理が可能などの特長がある。

#### 5. 社会インフラ事業部の主要製品と技術

国内においては、社会インフラの新設需要だけでなく、老朽化の進む構造物の早急な保全対策が求められている。当社では、2015年にこれらの需要に対応するため社会インフラ総括部を新設し、さらに社外とも連携することで、調査・診断、補修・更新までの一貫したサービスを提供する。調査・診断は、当社と株式会社三井E&Sテクニカルリサーチが担当する。最近では、自前の探査技術に加えて社外とのアライアンスによって差別化を図っている。補修・更新は、鋼製橋梁を手掛ける株式会社三井E&S鉄構エンジニアリングと、PC橋梁を手掛けるドービー建設工業株式会社が担当する。なお、これら二つのグループ会社については次号以降で紹介する。

##### 5.1 交通インフラの非破壊検査

全国的に、トンネル、道路、橋梁など交通インフラの維持管理のための調査・点検の必要性が高まる中で、経験豊富な技術者の不足を補う面からも、センシング技術、IoTやAI技術を活用した非破壊検査の高効率化及び自動化が急務である。当社は、路面下空洞探査サービスをはじめ、橋梁床版調査、トンネル覆工検査など、電磁波レーダ技術を基本にしたインフラ非破壊検査装置を自社開発してきた<sup>12)</sup>。

新幹線トンネル内でのコンクリート塊剥落事故を契機に、従来の打音検査手法に替わり、より正確で効率的かつ精細な内部欠陥探知が可能なトンネル覆工検査車を2004年に納入

した。写真11にこの検査車を示す。コンクリート内の3次元映像化が可能なマルチパス方式レーダを組み込んだもので、3年間にわたり東日本旅客鉄道株式会社（JR東日本）との共同研究により実用化した。JR東日本の東北、上越及び長野の各新幹線並びに同社管区内の在来線に投入・運用されている。線路下空洞探査車も同社に採用され、線路盤の陥没防止対策に活躍している。

2016年から、当社の地中レーダ技術と株式会社トノックスのレーザ技術を融合して、道路内部と表面を同時計測可能な複合型の探査システムを共同開発している。これまで個別に実施してきた路面下空洞や橋梁床版損傷など道路内部の探査と、表面のクラックや損傷状況など道路表面計測を同時に実施することにより、補修優先度の把握ほか、維持管理の効率化・高度化が図れる。2018年9月より、トンネル覆工表面の状態を高速かつ高精度で撮影可能な検査車両を同社と協業して市場投入した。高精度ラインセンサカメラを採用、取得画像のカラー化、コンクリートの0.2mm幅のクラック検出能、高速道路で通行規制が不要な時速80kmでも計測が可能などの特長を有し、トンネル維持管理を支援する。

2018年7月に当社と株式会社アダコテック社は、電磁波レーダ法によるトンネル探査で得られる3次元レーダ解析画像から、覆工コンクリート内部の異常有無を自動判定する技術を実用化した。機械学習に基づく自動判定技術の実用化により、技術者の目視確認が必要であった画像量を70%以上（当社比）削減でき、高速かつ正確に異常箇所を抽出することができる。

##### 5.2 ロボティクス

当社と、原子力用マニピュレータの世界的メーカである独ヴェリッシュミラーエンジニアリング（WE）社は約30年の提携関係にあり、国内向けに機械式の遠隔操作マニピュレータを210基以上、電気-機械式では11基を納入している。2011年の東日本大震災に伴い、福島第一原子力発電所6基が廃止となった。国内の原子力発電所57基のうち、2018年5月末時点で廃止決定も含め18基で廃止措置が進められている。当社は、福島第1原子力発電所の廃炉作業向けに、世界で初めて、アームに内蔵されている位置制御用センサをなくす、センサレス制御技術を導入し、放射線に対する耐久

能力(耐放射線性)が従来の2倍以上(集積線量2MGy)となる電気-機械式マニピュレータを WE 社と共同開発した。写真 12 に開発機の外観を示す。耐放射線性は、実際に全部品に対してガンマ線を照射した後に、絶縁特性や機械強度に劣化がないことにより検証している。本マニピュレータは、マニピュレータの交換頻度が半減するため自身を含む二次廃棄物が大幅に削減される、アーム関節部に回転制限がないため動作範囲が広い、上腕、下腕及び手先がモジュール化されておりアーム長の仕様変更が可能、各モジュールの遠隔着脱が可能という優れた特長を持つ。

5.3 水理実験設備

水理実験設備は、土木・海岸用水理実験及び造船用水理実験を行うための設備である。本設備の重要な役割を担う造波

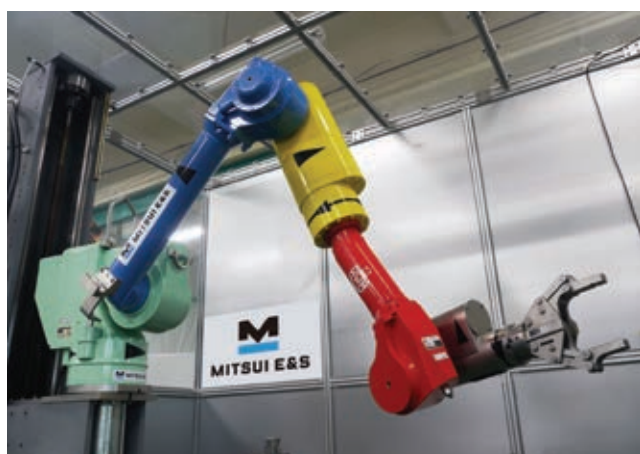


写真 12 廃炉作業用センサレス制御マニプレータ

装置として、二次元断面実験のための二次元造波装置、平面水槽実験のための多方向造波装置のほか、東日本大震災以降の津波研究ニーズに応じてポンプシステムによる長周期の津波を再現する津波発生装置の納入実績を多数有している。周辺機器として、造波・収集・解析のためのパソコンシステム、計測台車などもラインナップしている。1976 年から 2016 年までに、電力会社、研究機関、大学、建設会社、水族館などへ水理実験設備の納入実績は 220 件を超えている。

6. テクノサービス事業部の主要製品と技術

船用大型低速ディーゼル機関をはじめ、ガスタービン、軸流圧縮機、往復動圧縮機、蒸気タービン、炉頂圧タービン、陸用・船用ボイラ、ポータナ、トランスターナほか各種クレーンなどの保守、補修、改造及び部品交換が主な事業である。また、納入済みの主機関やトランスターナに省エネルギー化及び高機能化を施すレトロフィット並びに運航中の主機関に対するリモートモニタリング診断サービスを顧客に提案して、製品ライフサイクル全般に応じたサービス(Life cycle Support Services, 以下 LSS)を展開している。さらに、アフタサービス事業のより一層の質向上を目指し、IT 技術をベースにしたリモートメンテナンスシステムを提供している。

6.1 サービス拠点

現在国内サービス拠点は千葉、東京、京浜、名古屋、神戸、玉野の 6 か所である。海外の主要な拠点は図 6 のとおりで、シンガポール、香港、台湾、上海、ロンドン、2014 年に設立したカタール及びアンカラを加えた計 7 か所である。特に中近東地域では石油化学プラントのキーハードである往復動圧



図 6 テクノサービス事業部の世界拠点



縮機が数多く稼働しており、部品供給のみならず定期的な修繕工事にも取り組んでいく。今後も、国内及び東南アジアで資本参加を含めて整備・修理事業の拠点を作り、顧客直近のサービスネットワークを構築していくとともに、IT 技術を活用したサービス展開による新規市場の開拓を進めている。

### 6.2 省エネルギー化及び高機能化のレトロフィット

2011 年の原油価格高騰を背景に、燃料消費を抑え環境負荷を低減するため、ディーゼル機関出力を抑えた減速運転が広く行われていた。当社は、就航中の大型コンテナ船において、主機と過給機の改造により定格出力を減速運転に適した値に変更するディーレーティング工事を実施した。燃料費を削減したい顧客ニーズに対応したものである。また、主機のシリンダ注油を従来の機械式から電子制御式に換装する商品名アルファ注油システムを販売した。従来に比べて 30%～40% のシリンダ注油量を削減できる省エネルギー化を達成し、2016 年時点でレトロフィット累計 530 隻以上に上る。

2014 年にはタイ国に設置されているトランスレータに対して、ハイブリット化の改造工事を短期間で行い、燃費に関して 50% の省エネルギー化を達成するとともに、発電機とバッテリーのエネルギー分担を最適化した。これにより、バッテリーからの供給電力量が抑制されバッテリー容量の最適化が図れた。

往復動圧縮機では、吐出流量を任意に調整できる機構を追加搭載並びに高品質・高機能な圧縮機弁への交換など多くの改造工事を実施している。

### 6.3 リモートモニタリング診断サービス

LSS 事業の一環として、三井 - MAN B&W 主機関の遠隔診断サービス e-GICS (electronic Global Internet Customer

Support) システムを開発し 2004 年からサービスを開始した。このシステムでは、主機の性能診断、部品余寿命診断、技術指導などのサービスをインターネット回線を経由して受けることができる。顧客からは故障の予防、適切な管理、多情報の一元化による省力化などの面で好評を得ており、本サービスは累計約 3 900 隻の会員に利用されている。2017 年からは、IoT を導入してバージョンアップした e-GICS advance の提供を開始した。また、2014 年から IoT/M2M 技術及びビッグデータ解析技術を取り入れた主機の予防保全システム CMAXS e-GICSX を日本海事協会と共同開発し、2016 年からサービスを開始した<sup>13)</sup>。図 7 にこのシステムの構成を模式的に示す。このシステムでは、主機に設置された複数のセンサデータはもちろん、気象・海象などの航海データをも包含するビッグデータを高度なアルゴリズムを用いて船内で解析することによって、的確な異常診断と異常部位の把握が早期に行える。この解析結果は陸上データセンタへ送られ、機関出荷時性能との比較及びシリンダ内の圧力監視から異常燃焼の有無を判断するなど性能診断が行われる。これら 2 段階のエンジン状態診断を通じて、早期に交換を要する部品の特定と異常原因の絞り込みを可能にしており、主機の予防保全を支援している。

## 7. 今後注力する製品・分野

当社は、三井 E&S グループの長期方向性を示す「MES Group 2025 Vision」に基づき、環境・エネルギー、海上物流・輸送及び社会・産業インフラの三つの事業領域全てに関与し、市場ニーズや社会的課題にソリューションを提供していく。環境規制の強化に伴って、船用主機の燃料も LNG, エタン、

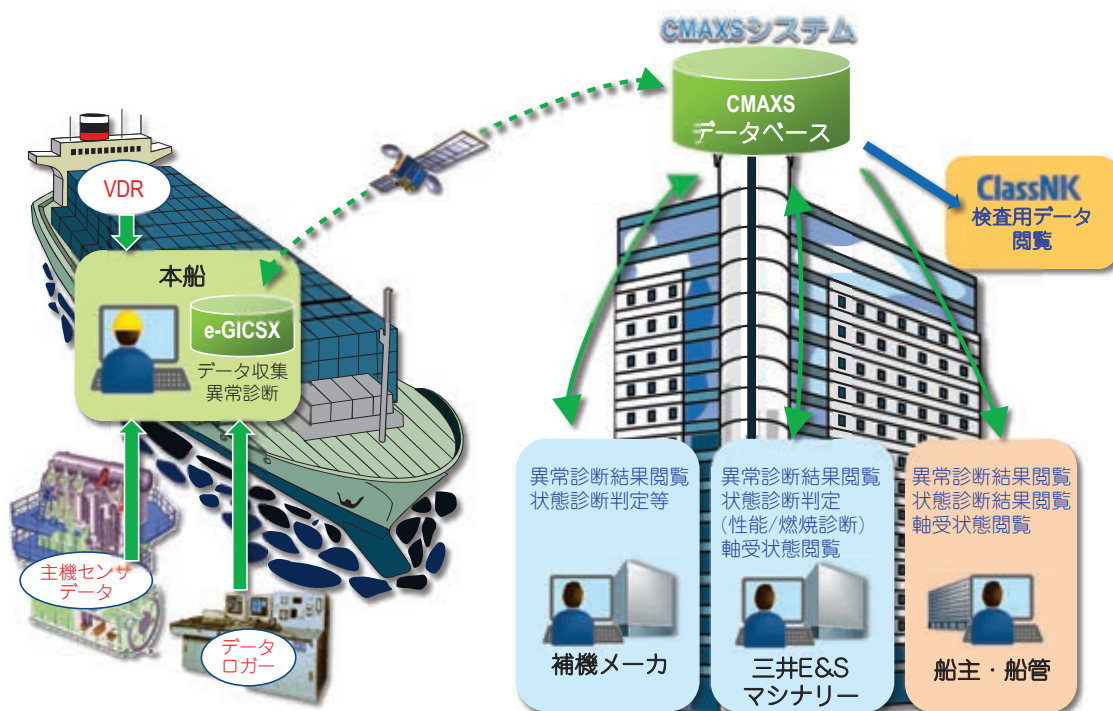


図 7 日本海事協会 CMAXS e-GICSX システムのイメージ



メタノール、LPG などへ多様化する。今後も新しい燃料へ対応すべく、二元燃料機関の技術開発に取組み、顧客のニーズに対応していく。直近では LPG 焚き主機 ME-LGIP に注力するとともに、NO<sub>x</sub> の 3 次規制に対応する EGR の拡販を推進する。また、CO<sub>2</sub> 削減に貢献する環境対応製品について、新造船への対応のみならず、就航船へのレトロフィットにも注力する。一方、船舶のデジタイゼーションに対する取り組みの一つとして、船舶の運航に関わるビッグデータを国内船用業界で共有・活用するために、データ共有の基盤となる IoS オープンプラットフォーム<sup>14)</sup>に 2018 年の設立当初から参画している。これまで当社が提供している主機の遠隔診断サービスや予防保全サービスに加えて、ビッグデータ共有・利活用の環境整備にも積極的に取り組む。

港湾コンテナクレーンはアジアを中心に今後も需要が旺盛である。当社は、港湾コンテナターミナル向けのハードとソフト両面のサプライヤとして、AI 技術の活用にも取り組み、自動化コンテナターミナルの運営を支援するシステムの提供を通じて、世界の港湾物流サービスの向上に寄与していく。

老朽化が進む社会インフラ分野に対しては、AI をはじめ、最新技術を導入した高度な検査・保全サービスを提供していく。また、これから原子力発電所の廃止措置が順次実施される中で、廃炉作業を安全にかつ効率的に行うロボテックス分野を強化する。

## 8. おわりに

当社は、旧三井造船時代の機械事業部門から継承した特色のある種々の製品群を有しており、長年培ったものづくりの DNA とともに、製品ライフサイクルを通じたサービスを世界中に展開している。これからも「顧客の立場で考え、スピードを持って行動する」をモットーに、より信頼性・経済性の高い、そして環境に優しい製品やサービスを提供していく所存である。

## 参 考 文 献

- 1) MAN Diesel & Turbo ; G-Type Engine - Revolutionary Ultra-Long-Stroke, [https://marine.mandieselturbo.com/docs/librariesprovider6/technical-papers/5510-0104-01pp\\_low.pdf?sfvrsn=12](https://marine.mandieselturbo.com/docs/librariesprovider6/technical-papers/5510-0104-01pp_low.pdf?sfvrsn=12), (2018-9-27)
- 2) MAN Diesel & Turbo ; ME-GI Dual Fuel MAN B&W Engines, <https://marine.mandieselturbo.com/docs/>

<librariesprovider6/technical-papers/me-gi-dual-fuel-man-b-amp-w-engines433833f0bf5969569b45ff0400499204.pdf?sfvrsn=34>, (2018-10-2)

- 3) 村上。外：世界初のメタノール焚き ME-LGI 機関の完成，三井造船技報，218 (2017-1)，p.1
- 4) 田中：ディーゼルエンジン－環境対応関連の技術開発－，三井造船技報，200 (2010-6)，p.35
- 5) 宮地。外：NO<sub>x</sub> 三次規制対応技術 EGR の就航船試験，三井造船技報，220 (2018-2)，p.1
- 6) MAN Diesel & Turbo ; MAN Diesel & Turbo Presents New High-Pressure SCR for Two-Stroke Engines, [http://dieselturbo.man.eu/docs/default-source/press-releases/pr\\_man-scr-hp\(2\).pdf?sfvrsn=0&download=true](http://dieselturbo.man.eu/docs/default-source/press-releases/pr_man-scr-hp(2).pdf?sfvrsn=0&download=true), (2018-10-2)
- 7) 大田。外：船用低速ディーゼルエンジン用油圧式排熱回収システム (THS) の開発 (第 1 報)－構成と基本性能－，三井造船技報，205 (2012-3)，p.1
- 8) 三井造船：次世代型油圧式廃熱回収システム (THS2) の開発，<https://www.mes.co.jp/archive-news/press/2017/20170516.html>, (2017-5-16)
- 9) 和田。外：燃料ガス供給システム用高圧ガス圧縮機の開発，三井造船技報，217 (2016-9)，p.9
- 10) 片山。外：SFSS 用油圧駆動 LNG 高圧ポンプの開発，三井 E&S 技報，1 (2018-10)，p.53
- 11) 市村。外：重量物運搬機械及び物流システム製品，三井造船技報，212 (2014-7)，p.1
- 12) 木村。外：電磁波によるトンネル覆工厚と空洞検査技術の開発，三井造船技報，141 (1990-10)，p.11
- 13) 三宅：次世代船舶保守管理システム“CMAXSe-GICSX”，三井造船技報，218 (2017-1)，p.6
- 14) 日本経済新聞：日本海事協会，IoS オープンプラットフォームおよび IoS-Op コンソーシアムを発足，[https://www.nikkei.com/article/DGXLRS481276\\_R30C18A5000000/](https://www.nikkei.com/article/DGXLRS481276_R30C18A5000000/), (2018-5-31)

執筆者：技術開発総括部 難波 浩一

〔問い合わせ先〕

株式会社三井 E&S マシナリー 技術開発総括部  
TEL 0863-23-2360 難波 浩一

# 三井 E&S エンジニアリングの製品・技術紹介

経営企画本部 事業開発室

## Products and Technology of Mitsui E&S Engineering Co., Ltd.

Business Development Dept. Corporate Planning Div.

### 1. はじめに

株式会社三井 E&S エンジニアリングは、2018 年 4 月 1 日、三井 E&S ホールディングス（旧三井造船株式会社）の 100% 持株子会社として設立された。本社は、幕張メッセに程近い千葉県の実業団地にある。旧三井造船時代から 80 年にわたり国内外で EPC（設計・調達・工事）をスコープとする各種エンジニアリング事業を推進している。

当社の事業は、分野ごとに三つの事業部から提供される。まず一つ目は、バイオマス・風力・太陽光などの再生可能エネルギーを中心とした環境・エネルギー事業であり、二つ目は、海外発電設備の土木・建築工事を中心としたインフラ事業、そして三つ目が石油化学・無機化学プラントを中心としたプラント事業である。本報では、これらの主要製品及び技術を紹介する。

なお、当社は表 1 に示す 8 社を主要子会社として傘下に

表 1 三井 E & S エンジニアリング傘下の子会社及び主要業務

	会社名称	主要業務
1	三井 E&S プラントエンジニアリング株式会社	各種プラント及び機器の見積、計画、設計、調達、建設工事、メンテナンス、設備診断
2	三井 E&S 環境エンジニアリング株式会社	各種環境施設における設計・調達・建設、運転管理・メンテナンス
3	三造有機リサイクル株式会社	一般廃棄物中間処理及び処分業、飼料化設備及び水処理設備のコンサルタント及び設計、嫌気性消化発電事業（バイオガス発電）
4	浜松グリーンウェーブ株式会社	清掃工場及び水泳場の運営・維持管理
5	市原グリーン電力株式会社	バイオマス発電設備の電力供給
6	別海バイオガス発電株式会社	家畜排せつ物を主原料としたバイオガス発電及び肥料・再生敷料の製造・販売
7	DASH Engineering Philippines, Inc.	化学プラント、船舶、ディーゼルエンジン、クレーン、回転機的设计
8	Engineers and Constructors International, Inc.	化学プラントのエンジニアリング、資機材調達、建設

収めている。これらの会社の製品及び技術については、次号以降で紹介する予定である。

### 2. 主要製品及び技術

#### 2.1 環境・エネルギー事業

2018 年 7 月、第 5 次エネルギー基本計画が新たに閣議決定され、再生可能エネルギーを「主力電源化」する方針が打ち出された<sup>1)</sup>。ここでは、再生可能エネルギーの電源構成比率を 2010 年度の 10% から 2030 年度は 22~24% に増加させるエネルギーミックスが示されており、その確実な実現に向け取り組みが加速されていくことになる。

そのような背景は当社の環境・エネルギー事業にとっても大きな追い風となっており、鍵となる事業に位置づけている。

##### 2.1.1 風力発電

1997 年に COP3 で京都議定書が採択され、国際的にも地球温暖化防止対策の重要性が認識され始めた。その流れを受けて、自然エネルギー由来の発電としての風力発電の有効性に着目した風力発電関連の事業を 2002 年から開始した。

##### (1) 風力発電所建設事業

2004 年に、当社初の 1.5 MW 風車 1 基を当社千葉事業所に納入した。発電所名「MJ ウィンドパワー市原」として事業主体として 10% の出資も行き、風車事業に対する技術的な知見を獲得した。

この最初のモデルケースを足掛かりとして、多くの風車の建設実績を積み重ねてきた（表 2）。再生エネルギー買取制度の価格見直しが行われている期間は一時停滞したが、建設した風車の総数は 84 基であり、総発電容量は約

表 2 風力発電所建設実績

	名称	風車出力 (MW)	基数	納入年 (西暦)
1	MJ ウィンドパワー市原	1.5	1	2004 年
2	渥美風力発電所	1.5	7	2006 年
3	鴨川発電所	1.5	1	2007 年
4	肥前南風力発電所	1.5	12	2007 年
5	由良風力発電所	2	5	2011 年
6	胎内風力発電所	2	10	2014 年
7	たはらソーラーウィンド	2	3	2014 年
8	ウィンドパワー浜田	1.67	29	2016 年
9	向浜風力発電所	2.5	3	2018 年
10	印南風力発電所	2	13	2018 年

150 MW に上っている。また、風車の設置場所は 10 か所であり、沿岸部(写真 1)から丘陵地帯まで、顧客のニーズに幅広く対応している。今後は洋上風力等の新たな市場にも積極的に参入し、更なる事業の拡大と持続的な利益の確保を図っていく。

## (2) 風車メインコンポーネンツ製造事業

再生可能エネルギーの導入に関心が集まり始めた 2000 年頃は、まだ海外風車を活用した発電所の建設が主体であった。このころは、1995 年に発生した阪神・淡路大震災を受けて建築基準法が改正された時期に当たり、そのまま海外製の風車を導入した場合には、基準を満たさないということが頻発していた。その状況を改善するため、MJ ウィンドパワー市原をモデルケースとして風車の主要構造であるタワーの設計・製造技術を習得し、風車メーカーと組んで 2005 年から事業に参入した。

一般的な風車の構造を、図 1 を例に取り説明する。風車は、3 枚の翼(ブレード)とハブで構成される「ローター」、ローターの回転を電気エネルギーに変えるために必要な機械類が収納された「ナセル」、ローターとナセルを支えるための「タワー」及び基礎部分から構成される。

本事業の主たるものは「タワー」である。2018 年までに総本数 171 基のタワーの製作を完了している。

また、風車部品のうち比較的問題が発生しやすい増速機も日本固有の気象条件を考慮した研究開発を行い、2013 年に風車メーカーに供給した。それ以外にもナセル内フレームも設計・製造にも関与し、風車メーカーの下支えとなる技術供与を行ってきている。

### 2.1.2 カミオカンデ等の研究設備

1996 年に、5 万トンの超純水を地下 1 000 m に貯留し約 12 000 個の光センサーでニュートリノを観測する設備「スーパーカミオカンデ<sup>3)</sup>」を納入した(写真 2)。この設備を利用して、1998 年と 2001 年に世界で初めてニュートリノの振動が実証された。この研究で、2015 年に東京大学教授の梶田隆章氏がノーベル物理学賞を受賞したのは有名である。

なお、2001 年 11 月には本施設において、水深 40 m に設置された光センサー 1 個の爆縮が起因となり、約 7 600 個が連鎖破壊する事故が発生した。当初は実験継続が不可能と思われた設備を、東京大学から事故原因究明と復旧を託され、2006 年には完全再建を行った。

また、2000 年から 2005 年にかけて、宇宙線が地球大気と衝突した際に発生する大気(素粒子)シャワーを観測し、5 700 京電子ボルト ( $5.7 \times 10^{19}$  eV) に達する超高エネルギー素粒子を検出する設備として、日本では山梨県北杜市明野に大気蛍光望遠鏡として 2 台、兵庫県に 1 台、またアメリカのユ



写真 1 たはらソーラーウィンド

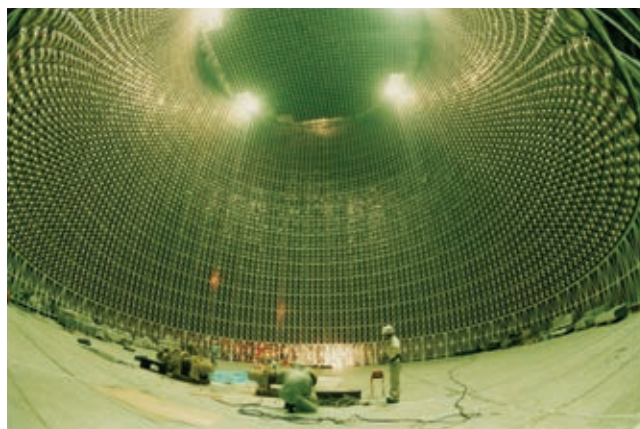


写真 2 スーパーカミオカンデ 建設風景

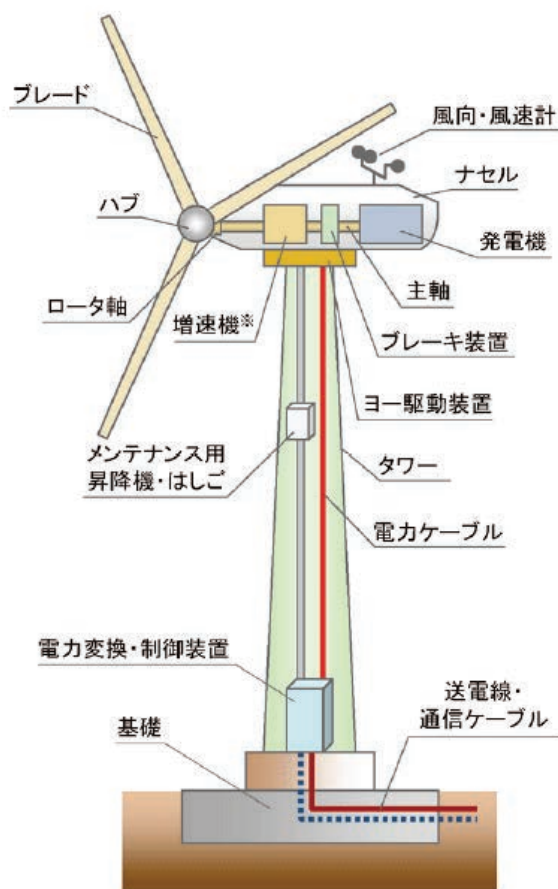


図 1 風力発電システムの構成例<sup>2)</sup>

出典：新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)  
NEDO 再生可能エネルギー技術白書 第 2 版 (2014)



九州砂漠地帯に2カ所の大気蛍光望遠鏡基地を納入している。

### 2.1.3 バイオマスプラント

本項で紹介するバイオマスプラントは、建設廃材等のバイオマスを原料として燃焼させ、ボイラで発生させた蒸気により発電する方式を採用した、バイオマス発電設備である。本設備は当社が設計・製作を行ったが、設備の運営のために特別目的会社（SPC）を設立し、関係会社の協力を得て、SPCが運転保守を行うことを特長としている。

市原グリーン電力株式会社はこのSPCであり、2004年4月に三井造船が三井物産株式会社と鹿島建設株式会社で共同出資し設立した法人である。当時の三井造船千葉事業所内にバイオマス発電設備を建設し、2008年2月より設備を稼働させ、売電事業を開始した。当初は建設廃材を燃料とし、発電能力が49.9 MWのバイオマス発電設備としては当時日本最大規模であった。この設備は、バイオマス専焼という、技術的に極めて画期的でチャレンジングな設備である。また、当初より組合形式の燃料調達方式を導入した。さらに、輸入のバイオマスや国内の間伐材などの木質チップを積極的に取り入れるなど、ユニークな取組みにも挑戦してきた。その後、我が国に導入された固定買取制（Feed-In Tariff：FIT）にバイオマス発電が加わったことに伴い、2013年からFITによる売電を開始した。稼働当初は初期トラブルもあったものの、現在は安定的な運転を継続している。

さらに、2017年9月に、当社は伊藤忠商事株式会社（以下「伊藤忠商事」）及び大阪ガス株式会社（以下「大阪ガス」）との共同出資による事業運営会社「市原バイオマス発電株式会社」を設立した。千葉県市原市の三井E&Sホールディングス千葉エリア内の敷地にバイオマス発電所（発電容量49.9 MW）を建設することを決定し、2020年10月の操業を予定している。本事業では、当社が施工及び運転・保守、伊藤忠商事がバイオマス燃料の供給を行い、大阪ガスの発電所運営の知見を組み合わせることで、各社の強みを生かした安定的な事業運営を行う。

### 2.1.4 バイオガスプラント

バイオガスプラント（BGP）は、家畜糞尿、生ごみ、汚泥（し尿を含む）、食品廃棄物などの有機物を原料として発酵させ、発生するメタンガスを燃料として発電を行うものである。

当社のBGP開発は2001年（平成13年）11月、帯広畜産大学に納入した実証試験設備から始まった。ここで採用したプロセスは、当社グループのデンマーク子会社 Burmeister & Wain Scandinavian Contractor A/S（BWSC）が開発した高温発酵方式（55℃）であり、原料を乳牛糞尿とするメタンガス発生能力が4 m<sup>3</sup>/dのBGPである。

高温発酵方式は発酵期間が約15日と短く、発酵槽も小型化でき、畜産系廃棄物処理に適している。2004年3月には乳牛糞尿BGPを北海道の3牧場に納入している。また、2004年4月には、三井鉱山グループの水環境事業部門からの中温発酵方式（37℃）が加わった。中温発酵方式では、発酵期間は約30日と長く、発酵槽も比較的大型となるが、加温に必要なエネルギーが少なく済み、アンモニアによる発酵阻害も少なく生ごみ等の複合有機物の処理に適している。

高温発酵に中温発酵が加わり、家畜糞尿、生ごみ、汚泥（し尿を含む）、食品廃棄物など多くの廃棄有機物に対応できる技術が整った。国内では、全国で16設備を建設している。

有機物から発酵したメタンガスはボイラや発電機で熱回収・電気回収され、ガス発生後の消化液は液肥として農業飼料に還元されている。

また、最近では、単に設備を建設するだけでなく、「別海バイオガス発電株式会社（出資者 旧三井造船：70%、別海町：15%、JA中春別：11.4%、JA道東あさひ：3.6%）」のように（写真3）、運営会社を立ち上げるSPC方式も採用し、FITによる売電事業を行っている。

## 2.2 インフラ事業

当社は、旧三井造船時代から、社名のおおりに、得意とする「海」回りから、マリンコントラクターの流れで、海外での港湾橋、コンテナバース、造船所を手がけ、そこから「陸」へ上がり、土木・建築工事へと進展し、様々な事業を深化・拡大してきた。現在の事業は、東南アジアでの発電所土木建築工事案件がメインである。

### 2.2.1 橋樑・港湾設備建設工事

1983年竣工のインドネシア・デュマイ橋樑建設工事では、石油製品及びLPGの積み出し、石炭の積み下ろしを同時に行う複合型橋樑、1990年竣工の同国スラバヤC3工事では、全長1.6 kmにも及ぶ連絡橋を持つコンテナ専用橋樑を建設するなど、顧客ニーズに合わせた橋樑・港湾設備の建設を行ってきた。

また、現地工事の煩雑さを避け、高品質を保つため、プレキャスト工法を最大限に生かす建設手法を確立し、短納期への対応も実現した。

技術的にも、ポリウレタン被覆による重防食鋼管杭の採用やフライアッシュセメントの本格的導入（インドネシア・スラバヤC3工事）やエポキシ鉄筋の導入（パイトン石炭火力発電所橋樑工事）など、インドネシアにおける土木技術の先駆的な役割も果たした。

### 2.2.2 建築・設備工事

インドネシアでの橋樑・港湾設備建設工事での実績を重ねながら、日本国内で培った建築技術、鋼構造物製造技術を



写真3 別海バイオガス発電株式会社 全景

加え、工場設備、駅舎等の建設へも進出した。1987年には、PT.BBI パスルワン工場建設工事、1992年には、インドネシア最大規模となる、PT.PAL 造船所設備工事、1993年には、同じくインドネシア最大のスラバヤ工科大学水理実験設備建設工事、1994年には、ジャボタベック駅舎工事と栈橋建設以外の社会インフラ工事へも業容を拡大していった。

### 2.2.3 発電所土木建築工事

石炭火力発電所の土木建築工事は、当社が培ってきた技術の集大成のような仕事である。土木分野は、2.2.2に示したとおり栈橋工事で実績を出しながら評価を勝ち取ってきた。建築分野は鉄骨製作で長い歴史があるほか、インドネシアでは駅舎や工場の建築で現地での建て方を経験した。タービンやボイラなどの機械設備や配管、電気など機電関係の技術者も社内には多数おり、たとえ顧客が指定する他社製の機械設備が選ばれても、技術に関する本質的な理解があった上で基本設計に取り組むことができるのは当社の強みである。

インドネシアの首都ジャカルタから東へ400 km余りに位置するジャワ島中部の半島沿岸部に、同島でも有数の規模を誇るタンジュン・ジャティ B 石炭火力発電所がある。既設の1～4号基合計の総発電容量は2640 MWに及び、この4基だけで東側のバリ島も含めた電力系統の約1割を担う(建設当時)。当社がインドネシアの地に長年根を下ろし続けて、約30年前によく結実した大型案件であった。

タンジュン・ジャティ B Unit 1&2 石炭火力発電所 (TJB 1&2号基) (2006年竣工、写真4)は、1997年4月に着工し、4年後の稼働開始が目指された。しかしながら、この時期のインドネシア国内はアジア通貨危機等の影響による工事中断が相次ぎ、発電所建設プロジェクトだけでも30件近い数の工事が中断に追い込まれた。その後無事に工事を再開したのは当社のTJB 1&2号基を含めた数件に留まり、2006年10月に1号基、翌11月に2号基の完工にこぎ着けた。

これが順調に稼働を開始したことからインドネシア政府から高い評価が寄せられ、タンジュン・ジャティ B 石炭火力発電所工事 Unit 3&4 (TJB 3&4号基)でも当社はサブコントラクタとしての指名を受けることができた。

TJB 3&4号基を受注した頃、インドネシアでは電力消費量が年8%ほどのペースで伸び続けており、電力需給が逼迫した状況だった。このためTJB 3&4号基は早期の運転開始が至上命題となった。当社はTJB 1&2号基の経験を生かして工期短縮に努めたが、その中でも特に貢献したのが煙突の建設工法として取り入れたスリップフォーム工法である(写真5)。TJB 1&2号基で煙突の建設は当社の所掌外だったため、TJBではTJB 3&4号基が初めての施工になった。

この工法は、成型装置に型枠を取り付け、型枠を上方へスライドさせて連続的にコンクリートを打設しながら作業を進める工法で、一般的には防護柵や立壁等に使用されるが、当社はこれを煙突に応用した。TJB 3&4号基の煙突は高さ240 mあり、通常なら45～60日が標準的な工期となる規模であるが、当社は同工法を滞りなく活用することにより30日で完成させた。その他の工期短縮の取組みも合わせて全体工期の3カ月前倒しに貢献することになり、3号基は2011年11月、4号基は2013年1月に完工した。

そして現在は、更なる拡張工事としてTJB 5&6号基の建設プロジェクトが進み始めている。既設の4基よりも発電能力を上げ、2基で2000 MWの規模となる。

そのほかの発電事業としては、機械事業本部(現三井E&Sマシナリー)との協業で、スリランカ電力庁向けバージ搭載型ディーゼルエンジン発電設備の現地据え付け工事や、グアム電力庁向けディーゼルエンジン発電設備の現地建設工事も手掛けている。

### 2.3 プラント事業

当社の化学プラント事業は、「石油化学プラント」、「無機化学プラント」の2分野を主とし、経験と最新の技術に基づくエンジニアリングを客先に提供している。

1926年から始まり、世界40カ国以上で1300以上の案件を手がけてきた当社のプラント事業は、2013年にはアジア拠点をシンガポールに設立するなど、グローバル体制を整えた。2017年には、そのシンガポールで世界的な石油化学会社を顧客とした二つのプラントを同時に建設した。二つとも、同社の事業戦略において重要な位置にある二つの高付加価値



写真4 タンジュン・ジャティ B Unit1&2 石炭火力発電所 全景



写真5 スリップフォーム工法



製品を産み出すプラントであった。

このように、重要なプラント建設工事を当社が任される理由は、顧客の厳しい安全基準にも対応できる「安全性」と、エンジニアリング力であると考えます。例えば、シンガポールの工事では、危険な高所作業を減らすため、100メートル近い高さの構造物を寝かせたまま配管やプラットフォームの取り付けまで仕上げ、最後にクレーンで吊り上げて設置することを行った(写真6)。地面に対して垂直に立つ構造物を横にした状態の工事は、吊り上げ時に干渉しない配管の配置や性能確認試験の方法等、あらゆるところに工夫が必要であり、全て設計段階で綿密に想定して作り上げられる。様々なエンジニアリングツールのなかでも3Dモデルの有用性に注目して、積極的に活用している。

続いて、2分野の化学プラント事業の製品について紹介する。

### 2.3.1 石油化学プラント

石油化学分野における、当社の主要対象プラントは、エチレンプラント、エチレングリコールプラント、汎用ポリオレフィンプラント(ポリエチレン・ポリプロピレン)、テレフタル酸プラント等が挙げられる。

#### (1) エチレンプラント

当社のエチレンプラントの歴史は1950年代後半の海外ライセンス技術を適用した年産2万トン規模プラントで開始される。1970年代には国内顧客向け最大規模である年産45万

トンプラントを浮島石油化学株式会社向けに完成させ、国内エチレン生産最盛期には国内のエチレン生産能力の約3分の1が当社関連のプラント生産物であるほどであった。1990年以降には、このエチレンプラント建設に関する経験を十分に反映し、サウジアラビア向けの年産50万トン及び80万トンの大型プラント建設や、2度にわたるトルコ向けの増強工事を成し遂げている。

また、エチレン分解炉を仏ハーティベトロケム社と共同で、シンガポールに2011年、米国テキサス州に2017年に納入した実績がある。なおシンガポール向けはタイで完全モジュール化したエチレン分解炉(1炉あたり高さ50m、重量2000トン超)をシンガポールに海上輸送し据付を行った(写真7, 8)。

#### (2) エチレングリコールプラント

エチレングリコールプラントは1953年にSD社ライセンスにて三井化学株式会社向けに年産4800トン納入したことに始まる。その後Shell社との関係を深め、デザインパッケージ作成を協業するエンジニアリング会社として認められている。Shell社ライセンスにて国内、韓国、シンガポール、トルコ、中国向けプラントを多数納入し、2008年には当時最大規模の年産60万トンのプラントをサウジアラビアに納入した。

#### (3) 汎用ポリオレフィンプラント

低密度ポリエチレンプラントは1960年代にデュポン社の

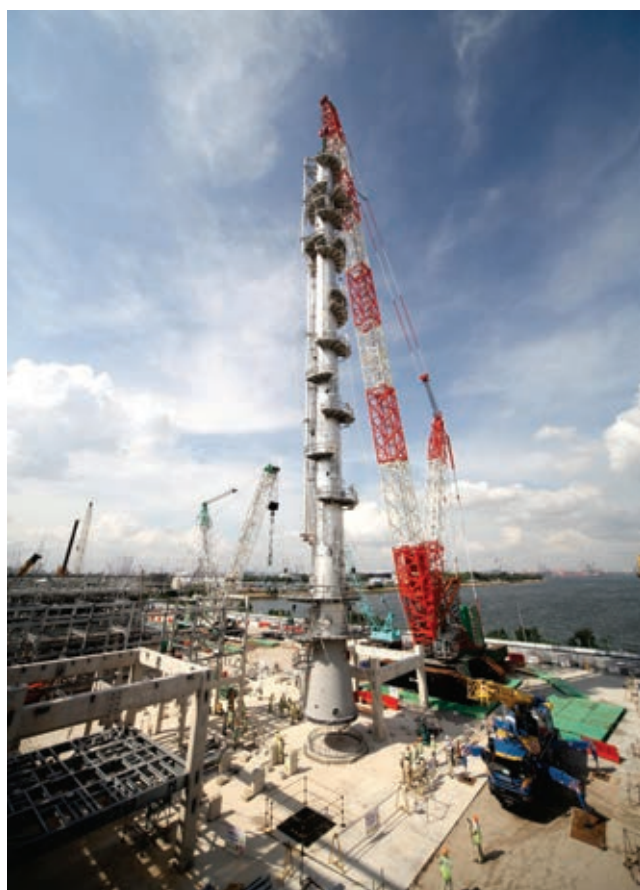


写真6 シンガポール・現地工事の様子



写真7 エチレン分解炉のモジュール





写真 8 エチレン分解炉モジュール・海上輸送の様子

ライセンスにより、国内顧客向けに提供した。その後 1990 年代から世界的な石油化学会社のライセンス提供を受け、2005 年には南アフリカ向けの年産 22 万トンのプラント設計を完遂した。その後、同社から当技術の認定設計会社として評価され、現在アメリカ向け年産 40 万トンクラスのプラント設計・機材調達を遂行中である。

高密度ポリエチレンプラントは 1970 年の日産化学工業株式会社向け年産 3 万トンのプラント納入を皮切りにして、その後は三井化学株式会社のライセンスを適用したプラントの建設を国内及び東欧、中国、タイ、アメリカ等の海外にて遂行し、現在では年産 50 万トン規模のプラントに対応している。

ポリプロピレンプラントは 1969 年の三井化学株式会社向け年産 3 万トンプラント納入を皮切りに、その後は高密度ポリエチレンプラント同様に三井化学株式会社のライセンスを適用したプラントを東欧、中国、アメリカ、メキシコ等の海外顧客向けに提供した。その後シンガポール向けのプラントを 2000 年に 1 系列、更に 2010 年に 2 系列納入している。

さらに、1990 年代以降これら汎用ポリマープラントの経験を生かして三井化学株式会社、株式会社クラレ及び海外企業向けのエラストマープラントや、日本ゼオン株式会社向けのラバープラントを納入している。

#### (4) テレフタル酸プラント

1958 年に SD 社ライセンスにより三井化学株式会社向け年産 1.2 万トンプラントに始まり、1984 年には三井化学株式会社のライセンスで年産 22.5 万トンプラントを中国に納入した。1996 年から 2005 年にはサイアムミツイ PTA 社向けに連続 3 系列を納入し、その時点での一生産拠点での生産量記録である年産 144 万トン達成に寄与した。

#### 2.3.2 無機化学プラント

当社の無機化学プラント技術は硫酸、リン酸、肥料プラントなどを代表とするものである。

硫酸プラントはモンサント社のライセンスにて 1952 年に東洋高压工業株式会社向け日産 90 トンプラントの納入を皮切りにして、その後数十プラントの納入を果たしている。最大規模は 1988 年納入のモロッコ向けであり、日産 2300 トン×6 系列である。その後は改造、増強等の案件を継続していたが、2016 年にはトルクメニスタン向けの日産 1500 トンプラント納入を完遂している。

### 3. おわりに

2045 年、世界の人口は 90 億人を超え、その 8 割をアジアやアフリカを中心とした新興国の人々が占める。これら新興国の経済発展に伴い、エネルギー消費量、インフラ需要が増加、環境破壊は一段と深刻さを増すであろう。高齢化や労働人材不足のような社会的課題においては、ロボットや AI (人工知能) などのデジタル技術の進歩により、かつてない変革が起ころうとしている。また、国連での「持続可能な開発目標 (SDGs)」採択や投資市場における ESG (環境・社会・ガバナンス) 投資への関心の高まりなど、企業のサステナビリティに対する取り組みへの期待は急速に高まっている。

そのような複雑な状況の中で、当社は何ができるか。社会的課題の解決に事業活動で貢献すれば、その結果、企業としての持続的成長につながる。まずは、再生可能エネルギーを活用した事業を積極的に推進して、三井 E&S グループの 2025 ビジョンの実現に向けた活動を加速し、「社会的価値」と「経済的価値」の両方を生み出すことで、当社の存在意義を高めていきたい。

### 参 考 文 献

- 1) 経済産業省：エネルギー基本計画について、[http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic\\_plan/#head](http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/#head), (2018-10-4)
- 2) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構編：NEDO 再生可能エネルギー技術白書 第 2 版, (2014), p.133, 森北出版株式会社
- 3) 東京大学宇宙線研究所：世界最大の地下ニュートリノ観測装置 Super-Kamiokande, <http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/>, (2018-10-3)

執筆者：経営企画本部 事業開発室  
遠山 朋子, 高岡 一栄

〔問い合わせ先〕

株式会社三井 E&S エンジニアリング  
経営企画本部 事業開発室  
TEL 043-351-9173 高岡 一栄

# 三井 E&S システム技研の製品・技術紹介

企画管理本部 経営企画部

## Products and Technology of Mitsui E&S Systems Research Inc.

Planning and Administration Headquarters Corporate Planning Department

### 1. はじめに

三井 E&S システム技研株式会社 (MSR) は、1986 年 (昭和 61 年) 4 月 1 日に旧三井造船株式会社 システム事業本部と船舶海洋プロジェクト事業本部 ソフトエンジニアリング事業室を統合し、三井造船の 100% 出資子会社 “三井造船システム技研株式会社” として設立され、2018 年 (平成 30 年) 4 月 1 日より社名を “三井 E&S システム技研株式会社” に変更した。

設立時の事業内容は、システムエンジニアリング事業並びに事業に関連する製品の開発、製作及び販売であり、営業品目は表 1 に示すとおり、三井造船において培われ成長した製品及び技術を基盤にしたものである。

現在は千葉県千葉市の本社をはじめ、東京、豊田、大阪、岡山、福岡、大分など全国に 11 拠点を構え、従業員数は 2018 年 6 月時点で 645 名を数える。

### 2. 主要営業品目と販売体制

当社の組織構成は図 1 に示すとおりである。製造事業本部、ビジネス事業本部の二つの事業本部と基盤サービス事業部を加えた 2 事業本部 1 事業部の体制となっている。当社の取り扱う製品とその販売対象を表 2 に示す。

製造事業本部では主に製造業向けソフトウェア開発ソ

リューションと電子機器製品提供に加えソフトウェア/ハードウェアの融合によるソリューションを提案している。

製造ソリューション事業部は製造業のお客様を中心に、グローバル競争の激化やライフサイクルの短縮化、多品種少量生産への移行など、事業環境の変化に伴う多様な課題にお客様視点の IT ソリューションを提供する。

電子ソリューション事業部では、船用電子制御機器や組み込み情報電子機器の開発・製造・アフターサービスなどで培ったノウハウで、お客様のニーズに沿った課題解決型の製品を提案する事業を展開している。

ビジネス事業本部では、主にユーザ系 SI ベンダーとして培ってきた技術やパッケージとオーダーメイドシステムを組み合わせることで、お客様のビジネス環境に最適なソリューションを提供している。

ビジネスソリューション事業部では、システム構築技術、利用・応用技術とそのノウハウ及び業務知識をベースに、顧客ニーズに応えるビジネス系ソリューションを提供している。

パッケージソリューション事業部では、オリジナルパッケージの出退勤管理システム (TIME-3X / タイムスリーテン)、医薬品安全性試験システム (MiTOX / ミトックス) とその周辺業務システムをコアにコンサルティングから運用サービスまでを提案する事業を展開している。

表 1 設立時営業品目

1	工場自動化・水理応用・コンテナヤード・安全性試験及び病院情報システムなどに関するシステムエンジニアリング事業
2	ビジネス分野及びエンジニアリング分野のソフトウェアの開発並びに販売に関わるソフトウェアエンジニアリング事業
3	コンピュータシステム及び通信システムに関わる運営管理サービス事業並びに各種受託計算に関わる情報処理サービス事業
4	CAD / CAM 及びマッピング関連の製品の設計・製作・販売
5	制御機器、メカトロ製品など電子機器の設計・製造・販売
6	各種コンピュータ及び各種関連機器の代理店販売
7	各種コンピュータシステムに関わるコンサルティング及び教育・指導

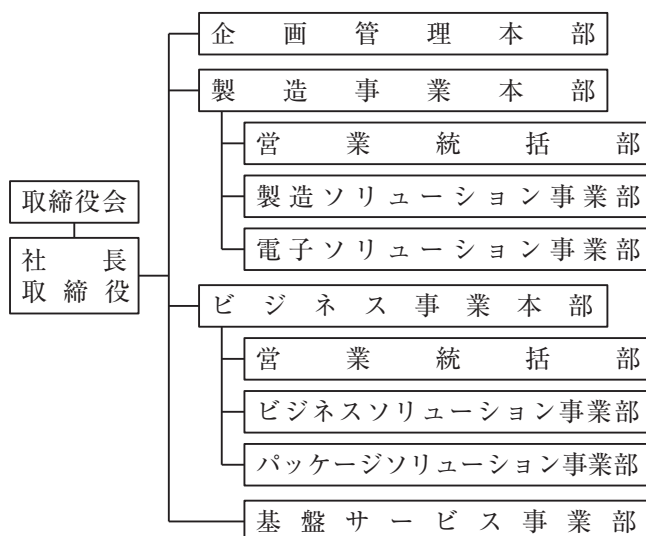


図 1 現在の事業体制



表 2 提供する主要な製品とその用途

製品名称	分野	ユーザ	主な用途
MetrologX4 (メトロログエック クスフォー)	オンライン計 測, 測定器制御, 測定結果評価	設計部門, 品質保証部 門	製品検査・ 点検
SilmaX4 (シルマエック スフォー)	オフライン計測 シミュレーショ ン	設計部門, 品質保証部 門	製品検査・ 点検
MiEVAH7700 (マイエヴァナナ センナナヒャク)	非接触型 IC リ ーダ	人事・労務 管理部門, セキュリテ ィ部門	勤怠打刻, 入退場記録 管理
ZENMU for PC <sup>1)</sup> (ゼンムフォーピ ーシー)	情報漏洩対策	セキュリテ ィ部門, 情 報システム 部門	PC 内デー タの漏洩防 止
MapInfo <sup>2)</sup> (マップインフォ)	地理情報システ ム	営業・マー ケティング 部門, 流通 業, 行政	分布図, ル ート検索, ハザードマ ップ等々
TIME-3X (タイムスリーテ ン)	労務管理システ ム	人事・労務 管理部門	勤務状況管 理
Dr. セルフチェッ ク <sup>3)</sup>	健康改善提案シ ステム	人事・労務 管理部門	健康管理
MSSX (エムエスエス エックス)	入退セキュリテ ィシステム	セキュリテ ィ部門	入退室制御
MiTOX (ミトックス)	安全性試験管理 システム	製薬業	製薬業向け 安全性試験 管理

基盤サービス事業部は、製造事業本部とビジネス事業本部双方のお客様の IT 戦略に沿ったインフラ基盤の事前検証から設計、構築、導入後の運用サービスまでを一貫して提供する事業を展開している。

### 3. 提供するソリューション

以下に、各事業における主要製品を用いて提供する具体的なソリューションについて紹介する。

#### 3.1 三次元計測分野

三次元 CAD データを利用した測定を実現する三次元測定機 (CMM) 用アプリケーションである MetrologX4 は、各種測定機 (CNC 三次元測定機, マニュアル三次元測定機, ポータブル測定器, Laser Tracker, 各種非接触プローブ) に対応している。複数の測定機を保有の場合は、操作画面の統一及び測定データの共有化も実現可能である (図 2)。

また、MetrologX4 には、リアルタイムで測定結果を CAD データと照合でき、解析・レポート作成機能ではお客様の業務に合わせた帳票を簡単に作成する機能がある。さらに、オフラインティーチングシステムの SilmaX4 (図 3) と連携させることにより、測定業務の平準化や効率化が促進され、結

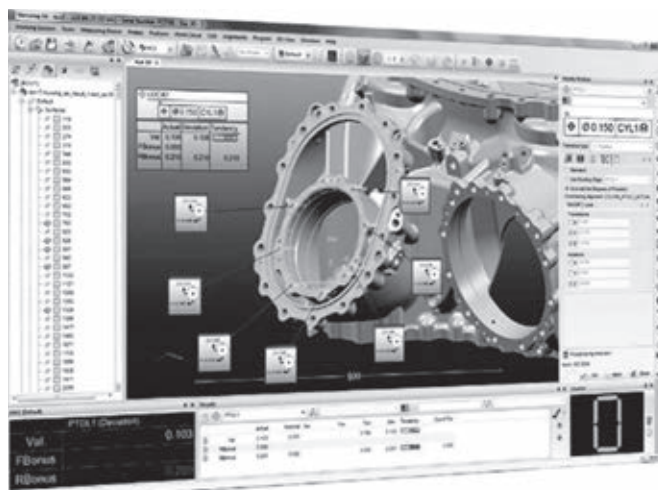


図 2 MetrologX4 操作画面

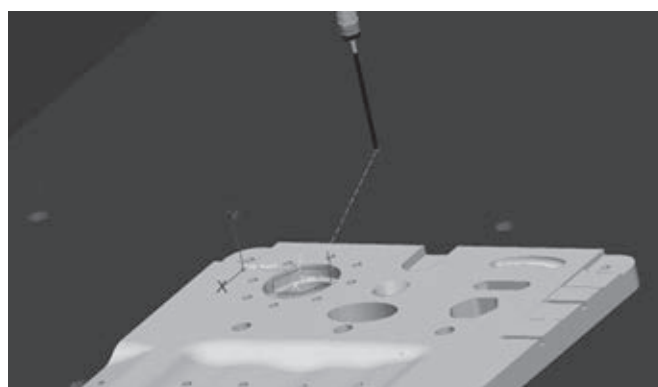


図 3 SilmaX4 操作画面

果として品質向上にも大きく貢献する。

さらに、MetrologX4V5 / SilmaX4V5 は、CATIA<sup>4)</sup> V5 ベース上で動作し、測定工程での“図面レス”を可能にする強力なソフトウェアである。

CATIA V5 の CAD データを変換なしで取り込めるので、CAD データに記入された製品製造情報の公差情報 FTA (GD&T) から測定箇所を自動的に認識し、自動測定や測定プログラムの作成が行える。

#### 3.2 エレクトロニクス分野

電子装置 (Electronics Device)、制御システム (Control System) 関連技術を核とし、組込みシステムに特化した電子ソリューションを提供する。

長年の実績を持つ船用制御機器をはじめ、高品質・高信頼性の制御機器・制御ソフトの開発、製造受託を行い、試作・量産・アフターサービス及びメンテナンスまでトータルでサポートする。

提供する主要なソリューションは以下のとおり。

- ・各種制御機器、制御ソフトの開発、製造
- ・電子制御装置用多目的コントローラ (MPC) のライセンス生産

- ・ 物流管理システム用情報電子機器
- ・ 船舶への入出場を管理するハンズフリー型出入管理ゲート
- ・ FOMA® 対応通信アダプタ
- ・ FOMA® 対応プロトコルモニタ
- ・ 自販機向け非接触 IC カードリーダー
- ・ DRP 開発支援

### 3.3 非接触型 IC リーダ

MiEVAH7700 は出退勤管理システム、セキュリティシステム、工数管理システムなど幅広い用途に利用可能な非接触型 IC カードリーダー MiEVAH7000 の後継機種として登場した。

MiEVAH7700 は無線 LAN 技術を内蔵しているため、LAN の配線工事が不要になり、工事現場やイベント会場など、場所を問わず柔軟な設置、増設が可能である。

スマートフォンによる個人向け情報の取得、カラー画像配信によるデジタルサイネージといった新しい機能の数々は、MiEVAH シリーズの双方向性を拡張し、カードリーダーを人と企業をつなぐコミュニケーション・ハブへと進化させる。

### 3.4 情報漏洩対策

ZENMU for PC<sup>1)</sup> は、データを無意味化して PC の内蔵ディスクと外部ストレージに分散保管する。二つの分散片がそろわないと情報を読み取ることができないため、情報漏えいリスクの一掃が可能となる。

主な特長は以下のとおり。

- ・ ZENMU for PC は、データの一片を PC の内蔵ディスクに、もう一片を USB やスマートフォン、クラウド上などの外部ストレージに分散保管。二片をそろえてのみデータを復元可能。
- ・ 煩雑な設定無しに、PC に外部ストレージを接続するだけで、仮想ドライブ上にデータが復元。
- ・ ファイルを仮想ドライブに保存。外部ストレージを切り離せば、仮想ドライブが消え、データを使用することが不可能。
- ・ Microsoft Office を始めとしたアプリケーションファイル、動画やプログラムファイルなど、あらゆるファイルが保管でき、Windows の通常のドライブと同様に違和感なく使用可能。

### 3.5 地理情報システム

MapInfo<sup>2)</sup> とは意志決定とデータ分析を支援する、ロケーション・インテリジェンス・ソフトウェアであり、現在数多く存在する PC ベースのマッピングシステムの先駆けとして 1992 年より日本国内で販売を開始した。

商品販売だけでなく、商圏分析や物件管理、更には配送計画など、お客様のご要望に応え、地図を中心としたあらゆるニーズに対応する製品群&コンサルテーションを行い、ベストソリューションを提案する。

### 3.6 労務管理システム

TIME-3X は、40 年以上この分野で積み上げてきたノウハウと、最新の設計思想で開発した。特に最新版 TIME-3X では、労務管理に必要な自らが気付くことをサポートする機能としてマイページを用意した。毎日の勤務状況、時間外労働に関する 36 協定の協定値との対比や休暇取得状況など、勤務状況の把握を本人だけでなく上司も一目で把握出来るようになっている。

さらに、昨今注目されているスマートフォン、タブレットなどのマルチデバイスにも対応し、いつでもどこでも必要な時に労務管理情報へアクセスできる環境を提供することが可能である。

主な特長は以下のとおり。

- ・ ポータルページに勤務状況などをコンパクトにまとめ、気付きを与える設計。
- ・ レスポンシブ Web デザインを採用し、利用者のデバイスに合わせて最適表示。
- ・ カードリーダーはもちろん、Web 打刻や入退場記録など様々なデータを連携可能。
- ・ 勤務形態に応じたシフトを容易に設定、急な勤務形態の設定変更にも柔軟に対応。
- ・ 組織と役職(役割)に基づき申請フローを定義、定期異動時のメンテナンスも容易。
- ・ 負荷バランスの確認・比較が行える画面を用意し、作業負荷の平準化を効率化。
- ・ フロントサイドを HTML5 に対応、システム環境の変化に柔軟に対応可能。
- ・ 関連製品の健康改善提案システム (Dr.セルフチェック) と連携し、総合的なサポート体制を構築。

### 3.7 健康改善提案システム

Dr.セルフチェック<sup>3)</sup> は、金城 実医学博士の監修による予防医学に基づいた問診のほか、健康診断等で得た血液数値を入力することで社員の健康上の問題点を見つけ、アドバイスする。

問題点の抽出やアドバイスは金城実医学博士が開発した【予防医学人工頭脳】を用いて導き出される。

このシステムで一歩進んだ健康管理を行うことにより、社員の健康維持増進を図ることで企業の成長を促すものである。

主な特長は以下のとおり。

- ・ インターネット環境のもと、PC やスマホからいつでもど



図 4 TIME-3X 操作画面





図5 Dr.セルフチェック操作画面

こでも利用可能。クラウドサービスなので、低コストでの導入・運用を実現。

- ・ オプション機能であるメンタル機能は、労働安全衛生法内での「ストレスチェック制度」にも対応。
- ・ Dr.セルフチェックの最大の特長である「アドバイスで生活習慣を変えていく」をコンセプトに、具体的で実用的なアドバイスを提供する。また、現在の生活習慣を続けた場合の3年後の健康状態を知ることが可能。
- ・ インターネット環境のない職場でもストレスチェックを実施可能。マークシートで回答した結果をシステムへ取込むことで結果を自動的に保存。

### 3.8 入退セキュリティシステム

MSSXは、物理セキュリティ分野の製品で、管理対象エリアにおける人の入退を制限するセキュリティ端末と、個人情報や入退履歴等を管理するソフトウェアから構成される。セキュリティ端末は、オフィスビル、工場、研究所等の施設における電気錠、車両ゲート等の機器を制御し、個人認証として、非接触ICカード、生体認証などの多様な方式に対応している。

主な特長は以下のとおり。

- ・ カレンダー・時間帯入退許可設定、アンチパスバック設定、ツーパーソン設定、ルートトラップ設定など、細かな入退許可レベルの設定が可能。
- ・ 監視対象エリア毎に入退許可を設定。エリア間の親子関係を定義し通過順番と通過できるルートも管理。
- ・ 対象エリア入退、来訪者入退、在所者、最早/最遅者、異常入退者など豊富な入退データの履歴を管理し、迅速な検索が可能。
- ・ 来訪者の登録や、カード貸し出し/返却の管理、未返却の検索や、履歴検索が可能。
- ・ 本社、営業所、工場、研究所など、異なる事業拠点を一括集中管理。

- ・ 多様な認証方式に対応、認証装置の異なるエリアを一元管理(非接触ICカードリーダー、UHFリーダー、生体認証装置、フラッパーゲートなど)。
- ・ 労務管理システム(TIME-3X)と連携することにより、勤怠と入退室のかい離時間の把握など一歩先の労務管理・就業管理に有効。

### 3.9 三井安全性試験システム

MiTOXは動物実験におけるデータの管理、運用業務をGLP<sup>5)</sup>やFDA21CFR Part11<sup>6)</sup>及びER/ES<sup>7)</sup>に準拠しながら、大幅なコストダウン及び合理化を達成する国内導入実績No.1の安全性試験システムである。

安全性試験に関する計画から実施、記録、報告までの全過程を一括管理することで、研究における総合的な作業の効率化とデータ管理品質の向上を実現する。試験種は、一般毒性試験(単回投与、反復投与、癌原性試験)、生殖毒性試験(ICH-I, II, III, I+II, ICH-I・I+II(並行試験))が可能である。

### 3.10 ホワイトボックス(サーバ/ネットワーク機器)製品

ホワイトボックス製品とは、大手メーカーから生産委託を受けている生産工場(ホワイトボックスメーカー)が、メーカーのノウハウを生かして独自に開発し生産したサーバ/ネットワーク機器のことで、高性能かつ安価であることが特長である。

ホワイトボックスメーカーは、大手メーカーからサーバ/ネットワーク機器の製造を依頼された多くの実績がある。その中で培ってきたノウハウを生かして、独自ブランドとしてホワイトボックス製品を製造するため、研究開発費が大幅に削減でき、安価に提供できる。

当社が取り扱うホワイトボックスメーカーは、データセンタを構築するために必要なすべてのハードウェアを製造しているため、同じメーカーで統一することも可能。様々なメーカーを組み合わせる構築している異機種混在環境と比べると、トラブルが少ないのが特長である。

ホワイトボックスメーカーは、大手の有名メーカーと協業してきた経験を生かすことで、信頼のおけるハードウェアを設計している。

## 4. おわりに

三井造船株式会社は2017年11月に創立100周年を迎え、新たな100年に向けた変革のスタートとして、2018年4月1日より、商号を株式会社三井E&Sホールディングスとし、持株会社体制へ移行した。

それに伴い、当社商号も2018年4月1日に三井造船システム技研株式会社から三井E&Sシステム技研株式会社に変更した。今回の商号変更を機に、現在、進めている「自前主義からの脱却」への取組みを加速させていきたいと考えている。

三井E&Sグループの一員として、これまで以上に皆様のご期待に沿うよう社員一同全力を挙げて社業に努める所存である。

本年は2017年中期経営計画(17中計)の2年目を迎えた。17中計では当社のありたい姿を描いた2020ビジョン実現に向け、さらなる事実の拡大を目指し、以下3点をポイントとして引き続き取り組んでいく。



一点目は「お客様視点」である。近年、IT はこれまで以上のスピードで画期的に進化し続け、企業を取り巻くビジネスシーンは劇的に変わってきた。お客様の IT に対する期待も「ビジネスを支える IT」から「ビジネスを革新する IT」に変わっている。ユーザ（製造業）系 SI ベンダーとして培った実績を生かして、自らが現場に出てより一層のお客様視点で、お客様の多様化するニーズを捉え、お客様の課題／解決に役立つソリューションを提供する。

二点目は「ハードウェアとソフトウェアの融合…新しい IT への積極的な取り組み」である。当社には、電子機器の開発、製造及び監視／制御システムを構築するハードウェア開発部門と勤務管理、販売管理、生産管理等の業務システムを構築するソフトウェア開発部門がある。お客様の多様化するニーズにお応えするため、新しい IT に積極的に取り組むとともに、必要によりハードウェアとソフトウェアを融合させて、よりお客様に合ったソリューションを提供していく。

三点目は「お客様と共に成長」である。お客さまの成長を IT を駆使して継続的に支援していく、IT パートナーを目指す。そのためには、当社自身もお客様のニーズの変化に合わせて成長していく必要がある。成長を支えているのは人であり、組織である。計画的に人材育成を行い、その人材を生かせる組織作りを行っていく。

以上三点に加え、コンプライアンス遵守、情報管理の徹底に努め、「お客様からより信頼されるパートナー」を目指して、より一層の努力をしていく所存である。

なお、本報に記載されている会社名及び商品名は各社の商標又は登録商標である。

## 参 考 文 献

- 1) 株式会社 ZenmuTech : ZENMU for PC, <https://www.zenmutech.com/products/zenmu-for-pc>, (2018-9-13)
- 2) ピツニーボウズジャパン株式会社 : MapInfo Pro, <http://www.mapinfo.jp/location/integration.html>, (2018-9-13)
- 3) 株式会社 MD ジャパン : Dr. セルフチェック, <http://www.doctorcheck.jp/>, (2018-9-13)
- 4) ダッソー・システムズ株式会社 : CATIA V5, <https://www.3ds.com/ja/products-services/catia/>, (2018-9-13)
- 5) 公益財団法人日本適合性認定協会 : 食品衛生検査における登録検査機関, <https://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/kentoukai/dl/annai3c.pdf>, (2018-9-13)
- 6) U.S. FOOD & DRUG ADMINISTRATION : CFR - Code of Federal Regulations Title 21, <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?CFRPart=11>, (2018-9-13)
- 7) 一般社団法人日本 CRO 協会 : ER/ES 指針の解説, <http://www.jcroa.or.jp/outline/document/ER-ES01.pdf>, (2018-9-13)

執筆者：企画管理本部 経営企画部  
村田 誠

〔問い合わせ先〕

三井 E&S システム技研株式会社  
企画管理本部 経営企画部  
TEL 043-274-6173 片山 和郎

# 三井海洋開発の概要

## Corporate Profile of MODEC, Inc.

### 1. はじめに

三井海洋開発株式会社は、FPSO (Floating Production, Storage & Offloading system: 浮体式海洋石油・ガス生産貯蔵積出設備)、FSO (Floating Storage & Offloading system: 浮体式海洋石油・ガス貯蔵積出設備) 及び TLP (Tension Leg Platform: 緊張係留式プラットフォーム) など浮体式の海洋石油・ガス生産設備の設計・建造・据付に加え、自ら設備の保有並びに操業(運転・保守)を行なうことにより、顧客である石油会社に石油・ガスの生産サービスを一貫して提供する、日本で唯一の企業である。この業界における世界の二強に数えられ、これまでに46件を超える浮体式洋上生産設備の建造実績を有し、延べ200年を超える設備操業経験の蓄積を強みとしている。

当社は、1968年12月に三井造船株式会社(現 株式会社三井E&Sホールディングス)及び三井物産株式会社の出資により設立され、1989年1月に解散した三井海洋開発株式会社(以下「旧三井海洋開発株式会社」)を前身としている。

旧三井海洋開発株式会社は、海洋開発の総合エンジニアリング会社として設立され、海洋石油開発関連の船舶・機器やジャッキアップ型掘削リグ(写真1)、各種作業船などの設計・建造を主に手掛けていた。旧三井海洋開発株式会社設立の1968年12月から1988年12月までの20年間における総売上高は、3,500億円超であった。中でも、ジャッキアップ型掘削リグ建造の最盛期だった1981年度の売上高は550億円に上った。もちろん、この数字は当時何社もあった日本の海洋開発専門会社の中でトップにランクされるものだった。しかし、その後の原油安と円高の影響で業績の悪化を余儀なくされ、大幅なリストラチャリングが必要な状況に至った。このため、主要商権と技術資産を新会社(株式会社モデック)に継承し、事業を海洋石油生産設備(FPSO)に特化することを決定した。1989年1月に旧三井海洋開発株式会社は解散し、20年間にわたって展開してきた活動に幕を閉じたのである。

株式会社モデックは、その後、2003年1月、再び「三井海洋開発株式会社」と社名を変更し、2003年7月2日、安定した業績と将来性、親会社からの独立性などが評価され、東京証券取引所市場第二部上場を果たす。さらに2004年6月1日に、上場から11ヶ月という異例の速さで東京証券取引所市場第一部銘柄指定を受けたのである。

### 2. 浮体式海洋石油・ガス生産設備「FPSO」事業

#### 2.1 参入の経緯

海洋石油開発は、基本的に原油価格の動向に左右される事業である。二度のオイルショックによって急上昇した原油価格は、1981年に平均輸入価格が1バレル当たり35ドルに達した。しかし、5年後の1986年には15ドルにまで下落、そのあおりを受け、1980年代初めには当時の主力事業であったジャッキアップ型掘削リグの建造が、1984年にはゼロとなってしまった。そこで旧三井海洋開発株式会社は、原油価格の変動等によるリスクの大きい「掘削」から安定性の高い「生産」へと事業の重点をシフトしていった。その柱に据えたのが、Early Production System (EPS)として開発され、後に実用化されたFPSOであった。旧社は市場調査チームを海外に派遣するなど、FPSO事業参入の糸口を探った。そして、1984年1月、米国の石油会社Marathon Oil社がインドネシア沖での油田開発用FPSOの競争入札を実施するとの情報をキャッチする。そこで、営業・技術両部門が奔走し、1985年5月に落札。FPSO事業最初の受注獲得に成功したのである。その後も受注活動を積極的に行い、1988年9月には三井物産株式会社と共同で、当社FPSO第2号案件となる「FPSO Anoa Natuna」の受注を米石油会社シェブロンから獲得した。なお、記念べき当社FPSO第1号基「FPSO Kakap Natuna」(写真2)は、1986年4月に原油生産を開始して以来、30年以上経過した今でも同じ海域で順調に操業を続けている。



写真1 旧三井海洋開発株式会社が設計・建造したジャッキアップ型掘削リグ





写真2 FPSO 第1号案件 FPSO Kakap Natuna



写真4 初の本格的チャーター案件, FPSO MODEC Venture 1

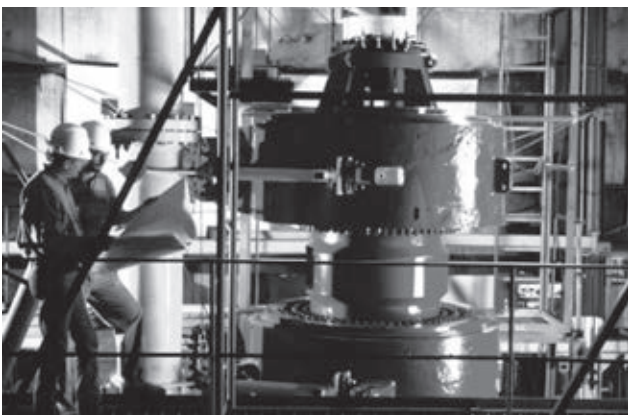


写真3 インターナル・タレット係留装置の内部

## 2.2 FPSO/FSO 設計・建造コントラクターとしての実績

旧三井海洋開発株式会社が解散したのは、「FPSO Anoa Natuna」を受注した直後の1989年1月だった。

事業を継承した株式会社モデックは、旧三井海洋開発株式会社の約10分の1のわずか27名の社員で再出発し、FPSO関連事業に集中した。石油・ガスの開発が、陸上から海洋へ、そしてより深い海域へと移行していく中、浮体式海洋石油・ガス生産設備のプロジェクトを次々と受注し、解散から14年後再び「三井海洋開発株式会社」として基盤を築いていった。

海洋開発プロジェクトの大規模化、大水深海域への移行に伴い、FPSOをはじめとする洋上生産設備の大型化・複雑化が進み、この進化と共に歩んだ当社は、多種多様な仕様の設備を設計・建造し、着実に実績を重ねていった。

## 2.3 重要な要素技術である係留技術

大型タンカー時代の到来を告げる1980年代初頭、タンカーは水深の大きい港の沖合に設けられたシーバース（係留施設）に接岸され、海底パイプラインを通じて原油を陸上の貯蔵施設に送り込むのが一般的だった。しかし、シーバースの建設には多額の費用と長い工期を要するという欠点があった。そこで注目されたのが、一点係留ブイであった。一点係留ブイは、ブイを中心にして波や風、潮の流れに応じてタンカーが風見鶏のように振れ回るようになっており、接岸可能な大型のシーバースに比べて建設コストが極めて低いという

メリットがある。以来、一点係留ブイが係留設備の主流となり、FPSO/FSO事業のキーテクノロジーともなっていた。FPSO/FSOはタレット（係留装置）を中心に自由に回転するため、天候に左右されず生産活動が可能となる。一般に、タレット（写真3）を船外に設置したエクスターナル・タレットが用いられることが多いが、海気象条件の厳しい海域ではタレットを船体内部に取り付けたインターナル・タレットを用い、一定条件を超えた台風やハリケーンなどが襲来した際にはFPSOを係留装置から切り離して避難させるディスクネクタブル・タレットが採用されている。後に海象・海底条件の厳しいブラジルや西アフリカへの進出を可能にしたのも、係留技術の進化があったからにほかならない。

当社が設計・建造するFPSO/FSOが採用する係留技術には、この分野のリーディングカンパニーであり当社の米国子会社でもあるSOFEC, Inc.社のノウハウが生かされている。同社とは、旧三井海洋開発株式会社時代の1981年に一点係留ブイ・システムに関する技術導入契約を、1984年に同システムの販売協力契約を結ぶなど、協業の歴史は長い。

## 2.4 FPSO/FSO チャーター事業への本格参入

1998年8月、「FPSO MODEC Venture 1」（写真4）の稼働開始により、当社は、FPSO/FSOの本格的なチャーター事業にも参入した。FPSO/FSOを設計・建造するだけでなく自社グループで所有し、操業を含むチャーターサービスを顧客である石油開発会社に提供することで、収益を平準化することができるようになり、事業の更なる安定化が進んだ。その後の当社プロジェクトの多くが同様のモデルで進められ、現在の当社のビジネスモデルの基礎が固まっていた。この頃には当社は、石油・ガス生産設備の分野で世界二強の1社に数えられるようになり、海洋石油開発業界にとって欠かすことのできない存在にまで成長した。

## 2.5 新たな重要市場、ブラジル・西アフリカへの参入

アジア・オセアニア地域の海洋鉅区向けFPSO/FSOを中心に着実に実績を積んできた当社であったが、2000年代に入った頃、現在の重要市場であるブラジル・西アフリカ地域への参入を果たしている。現在も当社が操業サービスを提供している当社初のブラジル沖向けFPSO「Fluminense」（写真5）を2001年に受注、2003年に完工しており、同じ



写真5 当社初のブラジル沖向け FPSO, FPSO Fluminense



写真6 ガス発電・淡水化コンセプト FSRWP®

く最長 2038 年までの操業サービス提供が見込まれる西アフリカ向け初の大型チャーター案件である FPSO 「Baobab Ivoirian MV10」を受注したのも 2003 年であった。設備の規模や設置海域の水深の深さなど、それまでとは全く違う高いレベルの技術が求められることになったが、これらのプロジェクトの成功が現在の当社の業界での地位を築く大きな端緒となった。

### 2.6 「アセット・インテグリティ」強化の継続

現在、当社が建造した浮体式生産設備は 46 基を超え、浮体式生産設備の操業実績は通算 200 年を超えるまでになった。当社グループは、現在、13 基の FPSO 及び 3 基の FSO を所有しており、他社所有の設備向けも含め世界の海洋油・ガス田で同時に稼働する計 19 基の設備への操業サービス提供をしている。豊富な操業サービス提供実績を通じて得た貴重な経験やデータを、設計・建造領域にフィードバックし、それらを十分に生かして技術力のさらなる向上に結び付ける取り組みを 2011 年頃から加速させており、顧客満足度向上の面でも成果が出始めている。

### 3. 独自のガス発電・淡水化コンセプト FSRWP®

当社が浮体式海洋石油・ガス生産設備の設計技術並びにそれらの操業で培った実証済み技術を生かし、2016 年に、FSRWP® (Floating Storage, Regasification, Water-Desalination & Power-Generation: 浮体式 LNG 貯蔵再ガス化発電淡水化設備) (写真 6) を開発した。

LNG (液化天然ガス) の再ガス化に加え、ガスでの発電や海水の淡水化も可能な洋上複合ガス設備である FSRWP® は、電力や生活・工業・農業用水に対する世界的な需要の高まりに対応する当社独自のコンセプトとして開発された。FSRWP® は、活発化する LNG の大陸間取引を受け需要が高まる浮体式 LNG 受け入れ基地である FSRU (Floating Storage & Regasification Unit: 浮体式 LNG 貯蔵・再ガス化設備) の機能を拡充したコンセプトとも言え、本土からの送

電線網が整備されていない島嶼(とうしょ)部を多く有する国や、電力需要が高く耕作地向けの水が必要な開発途上国などでの需要が見込まれ、当社がガスマーケットへの本格参入を果たす上での重要な役割を果たすと期待されている。

FSRWP® は、FPSO/FSO で当社が実証済みのガス発電技術及び海水淡水化技術で構成される。常に揺動する環境下で長期間にわたり操業し続ける FPSO/FSO は、その条件に対して最適化された発電設備及び造水設備を搭載しており、当社はこれまでの数多くのプロジェクトから膨大な発電・淡水化のノウハウを蓄積している。FSRWP® は、他社の同様のコンセプトに比し優位性・信頼性を備えたコンセプトであると言える。

### 4. おわりに

世界のエネルギー需要は、今後も原油需要は底堅く推移する一方、天然ガスに大きく伸びが見られ、総エネルギー需要全体では一定の増大を続けると予想されている。当社は、特に天然ガスの需要の伸びに新たなビジネスチャンスがあると考えている。

上記の事業環境認識に基づき、当社では、主要事業である FPSO/FSO の設計・建造並びに 20 年にも及ぶ操業サービスにおけるライフサイクル・バリューの最大化を図り、「アセット・インテグリティの進化」及び「デジタルイノベーションの推進」を主要な戦略としている。また、将来に向けた新領域を開発し中長期的な事業ポートフォリオの最適化を図るため、「ガスマーケットへの本格参入」及び「R&D 投資の継続」を進め、更なる企業価値の向上を目指している。

〔問い合わせ先〕

三井海洋開発株式会社 総務部  
TEL 03-5290-1200 関口 竜史



# 昭和飛行機工業の製品・技術紹介

開発推進部 技術開発室

## Products and Technology of Showa Aircraft Industry Co., Ltd.

Business Development & Innovation Promoting Division  
Research & Development Sect.

### 1. はじめに

昭和飛行機工業株式会社は、1937年（昭和12年）6月5日に飛行機及び航空機発動機の製造販売を目的として設立された。所在地は現在の東京都昭島市で、三井合名会社の前理事牧田環を社長とした。

当社の設立から現在までの事業展開の歴史を図1に示す。

第二次世界大戦終了までにダグラス DC-3 型輸送機などの航空機を800機余り製造した。戦後になるとアメリカ合衆国空軍の特殊車両や航空機等輸送機器の修理・整備事業を行っていたが、昭和30年代が民需事業の転換点となり、現製品分野へつながる様々な事業への取り組みがなされた。

1957年に民需転換事業の支柱として小型トラック組立生産を開始した。さらに、1960年には日野自動車工業株式会社向け汎用エンジン組立や大型トラックシャシ組立、キャブ生産を開始した。この事業に2003年まで取組み、車両事業分野の原形となった。

また、トラックの受託生産以外に当社独自の製品の販路を広げるために、これまで習熟してきた合衆国軍特殊車両に関する技術を生かし、1958年に給油車等の特殊車両の製造が開始されたのが特装事業分野の原形と言える。

戦後の我が国の航空機産業は、1962年の飛行試作機1号（後のYS-11）ロールアウトに始まる。当社もDC-3型輸送機の製造技術や米軍航空機の修理による軽量板金加工技術、打錠技術を生かし、当機の操縦席と主翼前縁を担当したことが、航空機装・特機事業分野への第一歩と言える。

また、1957年に欧米の航空機メーカーの視察調査をきっかけに航空機動翼に使用されるハニカムコアに着目し、事業拡大のため米国へキセル社と技術提携を1960年に締結して、金属ハニカム及びFRPハニカムの製造事業に着手した。

2007年には非接触給電関連の開発、2013年には野菜・植物生産事業等の新分野への取組みを開始した。

現在は三井E&Sグループの一員となり、①飛行機製造で培った技術と経験を生かした輸送機器関連の製造事業、②昭島市の「昭和の森」に展開する商業施設、ビル施設、流通施設等の不動産開発・賃貸事業、③ホテル、スポーツ・フィットネス、介護等のサービス事業、④事業用サウナ等の温浴設備をはじめとする物販事業の4つのセグメントから構成されている。各セグメントの製品・サービス分野の構成を表1に示す。

本報では、輸送機器関連の製造事業に関する主要製品とその技術について紹介する。

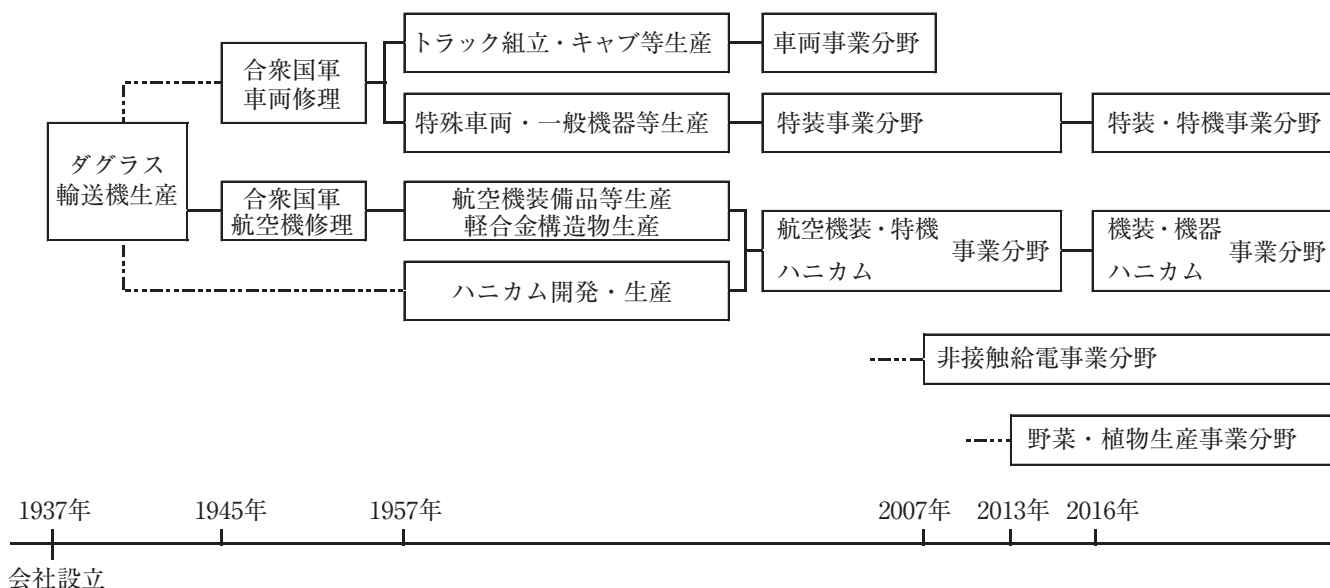


図1 製造事業分野

表1 現在の事業構成

セグメント	製品・サービス分野
輸送機器製造事業	特殊車両 関連
	特機 関連
	機装機器 関連
	ハニカム 関連
	複合材 関連
	福祉施設装置 関連
	非接触給電 関連
不動産開発 賃貸事業	野菜・植物生産 関連
	商業施設ゾーン
	オフィスビル
サービス事業	オフィス・生産・流通ゾーン
	ホテル
	スポーツ・フィットネス施設
物販事業	介護サービス
	輸入二輪車
	暖炉・サウナ・介護浴槽等

表2 タンクローリー・トレーラの用途

タンク主要材質	容量 (kl)	積載物
アルミニウム	16 ~ 30	ガソリン, 灯油, 軽油など
ステンレス鋼	10 ~ 17	飲料水, 油脂, 液糖など

表3 バルクの用途

形式	容量 (m <sup>3</sup> )	積載物
ダンプ式バルク車	21 ~ 29.7	小麦粉など
ダンプ式バルクトレーラ	22	グラニュー糖など



写真1 30klトレーラ



写真2 小麦粉バルク車

## 2. 主要製品とそれを支える技術

### 2.1 特殊車両関連

アルミ製品の加工技術、飛行機製造及び米空軍の特殊車両の修理技術を生かした軽量・高剛性のタンク車両のほかに、飛行機へ燃料を給油するレフューラ・サービサーなどを製造している。

#### 2.1.1 タンクローリー・トレーラ

ガソリン、灯油、軽油などの危険物を運搬するアルミタンクローリー及びアルミタンクセミトレーラを製造し、その他液状の化成品、食品用途のステンレスタンクローリーもラインナップしている。

輸送の合理化により、積載量を大きくできる軽量のアルミタンクが主流になっている。また、ガソリンスタンドの大型化により、タンク容量は大きく、その反面車両全長が短いローリーの要求が強い。これらのニーズに対応する車両の開発を続けてきた。30klタンクセミトレーラ(写真1)は国内最大である。タンクローリー・トレーラの用途を表2に示す。

#### 2.1.2 バルク車

顧客の用途に応じた粉粒体運搬用の大型のバルク車及びトレーラを製造し提供している。これらの用途を表3に示す。

小麦粉のバルク車(写真2)は業界トップの地位を築き、小麦粉の大量バラ積み輸送を可能にしている。荷卸し時には、タンクをダンプさせ、圧縮空気により小麦粉を流動化させて地上サイロに排出する構造である。また、技術提携先の独SPITZER社の構造を基に、30年以上にわたり日本の顧客ニーズに対応した機能開発を実施してきた。

#### 2.1.3 レフューラ・サービサー

大型飛行機への給油作業をおこなう車両で、この分野では国内トップシェアを誇り、各地の空港で活躍している。

レフューラ(写真3)は航空燃料貯蔵用のタンク、給油作業のためのポンプ、流量計及び圧力制御装置と、昇降型の油圧作業台、燃料ろ過装置と各種安全装置を装備し、ほぼ全国の空港で使用されている。

サービサー(写真4)はハイドラントシステムと呼ばれる飛行機の真下まで地下パイプラインにより圧送された燃料を飛行機に中継する車両で、レフューラからタンク及びポンプを取除いた構造になっている。主に東京国際空港、成田国際空港等の主要空港で使用されている。





写真3 レフェューラ



写真4 サービサー

表4 シェルタの仕様

形式	外寸:巾×奥行×高さ (m)	積載物
固定式 シェルタ	2×3.5×2	大型トラック, 中型トラック, 高機動車に搭載
拡大式 シェルタ	展開前: 2×3.5×2 片側式(展開後): 3.5×3.5×2 両側式(展開後): 5.6×3.5×2	可能で拡大シェルタについては片側及び両側展開式, 片側及び両側引出式があり, 可搬性と最大室内面積を確保する
	連結式 シェルタ	設置面積: 23 m <sup>2</sup>



写真5 拡大式シェルタ

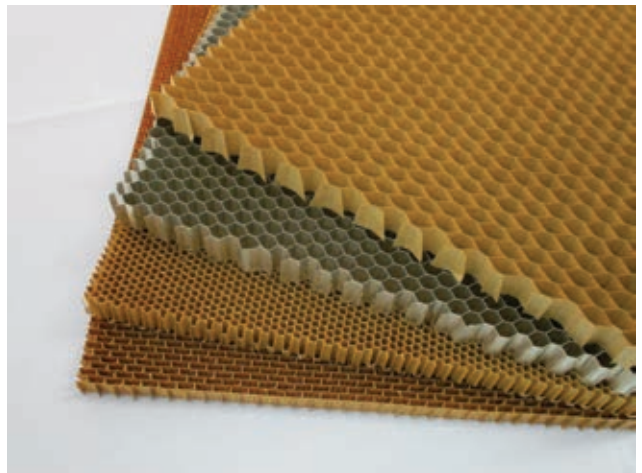


写真6 ハニカム

## 2.2 特機関連

主に防衛省向け特殊製品として、ハニカム構造パネルを用いたシェルタやアルミを主体とした構造物等、顧客の要望に応じた製品を製造している。

### 2.2.1 シェルタ

シェルタの製品ラインナップには、固定式、拡大式、連結式がある。これらシェルタの仕様を表4に示す。

当社のシェルタは、軽量・堅剛性を特長とし、可搬式で機動性に優れ、厳しい屋外環境下においても室内で作戦指揮、航空管制、レーダ監視等のオペレーション業務を可能としている。また、シェルタは機密性に優れ、電磁シールド性能を持たせることも可能である。さらに手動/自動によりシェルタを昇降させる脚等のシェルタ周辺器材も製造している。

拡大式シェルタ(写真5)は、その拡大方式により非拡幅時の約1.5~3倍の空間面積を有し、器材をシェルタ内に設置した状態で拡大可能であり、広い空間を有効に活用することができる。

### 2.3 ハニカム・複合材関連

ハニカム(写真6)は無数の六角形が蜂の巣状に集まった構造体で、航空宇宙分野から建材・鉄道車両等の一般産業分野に対応するため、ペーパー、アルミ、アラミド等の材料の製品がある。当社のハニカムの主な仕様を表5に示す。

ハニカム及びサンドイッチパネルには、軽量・高剛性、平滑性、衝撃吸収性、整流性、電波透過性、音響減衰性、散光性・意匠性、大比表面積、曲面成形性などの特性がある。

また複合材として、当社製ハニカム積層板部品を使用し、軽量・高剛性の特性を生かした製品を製造している。

#### 2.3.1 ペーパーハニカム

ハニカムの軽量・高剛性、平滑性を生かした建材、紙器と

表5 ハニカムの主な仕様

コア種類	セル寸法	L, W 寸法	用途	特長
ペーパーハニカム	9, 12, 19, 25, 38 (mm)	セル寸法 9 mm の場合 L: 0.9 m W: 1.8 m	建築材用芯材, 家具材用中芯, 車両材用中芯など	軽量で取り扱いが簡単, レジン含浸による強度及び耐湿性の向上, 難燃処理
アルミハニカム	1/8, 3/16, 1/4, 3/8, 3/4 (in.)	L: 0.6 m W: 2.4 m	サンドイッチパネルの芯材 (衛星きょう体, 建築材, インテリア), 整流用, 緩衝用, フレキシブルハニカムコアなど	優れた耐食性, パネル芯材として使用すると, 高剛性, 平滑性, 軽量化の特性を発揮, ハニカム単体としては, 整流性, 散光性, 衝撃吸収性などの特性を発揮
アラミドハニカム	1/8, 3/16, 1/4 (in.)	L: 1.1 m W: 2.4 m	航空機分野, 輸送用機器, レジャー・スポーツ用品など	耐食性, 耐炎性に優れる, プリブレグなどの複合材料を含む多種多様な表面材と接着可能

して製造を開始し, シェルタのきょう体, 車両材用中芯等に使用されている。

### 2.3.2 アルミハニカム

軽量・高剛性を生かして飛行機や宇宙・衛星用の複合材部品, 飛行機内装材等に使用されている。そのアルミハニカムパネルは「はやぶさ」のきょう体にも使用された。

所定の厚みにスライスし展張したハニカムコアに表面板を貼り付けることにより, 機械加工と同等な平滑性を持つパネルができるため, レーザー加工機用テーブル, 浮上・吸着パネル, パラボラアンテナなどに使用されている。

ハニカム強度以上の圧縮力が加わるとセル壁が折りたたまれるように座屈し, 一定のエネルギーを吸収できる。この特性を利用して, 各国の自動車衝突基準に準拠した自動車剛性を模擬したバリア (写真7) として, 実車衝突させる安全試験に使用されている。

優れた整流性を利用して, 冷蔵ショーケース吹出し口, 風洞実験装置の整流板に使用されている。ハニカムセルサイズの約 10 倍程度の厚みのハニカムを使用することで, 圧力損失が少なく, 十分な整流効果が得られる。

散光性・意匠性としては, ハニカムコアに明かりを当てると, セル内にて乱反射し, 柔らかい感覚の照明が得られるため, 照明用ルーバに使用されている。また, ハニカムコアは厚さ方向からのみ可視になることを利用して, ビル外装材としても使用されている。



写真7 バリア

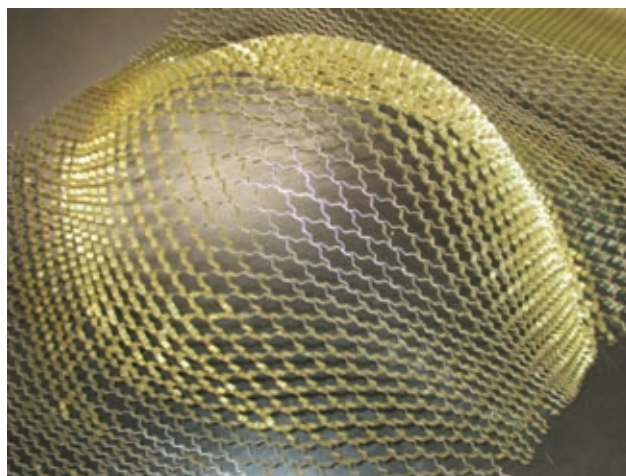


写真8 ダブルフレハニカムコアによる3次曲面成形

大比表面積の特性を利用して, 排気ガス用触媒担体で使用されている。酸化触媒 (Pt, Pd 微細粒子) を大表面積の金属メタルハニカム上に分散担持させることで, 従来の触媒と比較して触媒効率が良く, 強度の高い担体が得られる。

フレキシブルハニカムコア・ダブルフレキシブルコア (ダブルフレ) はアルミ材料を使用し曲面に対応ができるハニカムコアであり, 国内で唯一当社でのみ製造販売している。取扱いが容易で軽量・高剛性, 2次曲面及び3次曲面までの優れた曲面成形性 (写真8) を持ち備えており, 高密度アルミハニカムコア (写真9) と共に航空機エンジンのファンケース用部品として使用されている。

### 2.3.3 アラミドハニカム

軽量・高剛性の特性を生かし, 飛行機用複合材部品に使用されている。ボーイング社の認定を取得し, 当社製品のカートやギャレーのきょう体に使用されている。

### 2.3.4 複合材

アルミハニカムの積層板部品では, B737 型機のフラップを製造しており, CFRP (炭素繊維強化プラスチック) の積層板部品として B787 型機の主翼部品等に使用されている。

また, 2018 年 2 月に航空機用の床板パネル (写真10) としてボーイング社の BMS (Boeing material specification) の認証を取得している。



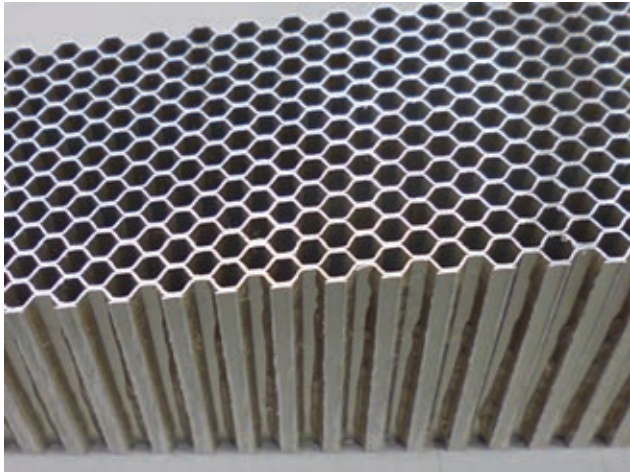


写真9 高密度アルミハニカムコア

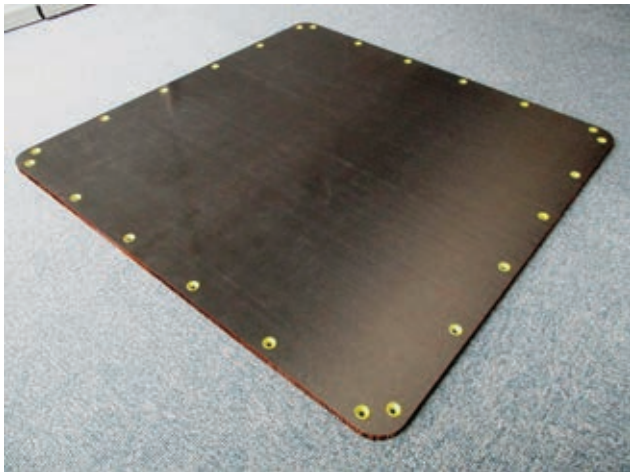


写真10 航空機用床板パネル

## 2.4 機装・機器関連

軽量化技術とハニカム材料を利用して、様々な航空機関連商品の開発に取り組んでいる。当社のハニカムを使用した製品を表6に示す。また、介護用入浴装置の開発製造も行っている。

### 2.4.1 ギャレー・コンテナ

ボーイング社のB747-8F及びB777-200F型機等の貨物機に搭載されるギャレー（厨房）（写真11）のTier 1 Supplierとして独占契約を結んでいる。また、精密機械搬送用コンテナや温度管理機能を装備した特殊コンテナを開発製造している。

### 2.4.2 介護用浴槽

介護用入浴装置として椅子昇降式浴槽の「個粋（こいき）シリーズ」（写真12）を開発製造している。高齢者施設・障害者施設だけでなく、在宅やホテル・旅館にも適した浴槽になっている。

## 2.5 非接触給電関連

電磁誘導方式による非接触式の電力伝送システムを製品化している。非接触給電システムを図2に示す。また、当社の非接触給電システムは大型と中型の二つのシステムがあり、表7に示す様々な用途に使用することができる。

表6 ハニカム使用製品

製品	コア種類	使用部分
ギャレー	アラミドハニカム	ボーイング社製 貨物専用機 (B777F, B747-8F) に搭載されるギャレーの主構造体として使用
可動柵 (ホームドア)	アルミハニカム	JR、私鉄の駅ホームに設置される可動柵のパネル用芯材として使用



写真11 ギャレー



写真12 個粋シリーズ

当社のシステムは、AGV（無人搬送台車）のバッテリー充電に使用されており、従来の交換のための予備バッテリーの不要化と、その交換作業からの解放による省人化、接触式充電器に生じる接点の接続不良の防止、感電等の安全対策にも効果があり、自動車関係の顧客を中心に導入されている（写真13）。

## 2.6 野菜・植物生産関連

閉鎖型の野菜工場を工場（昭島）内に建設し（写真14）、室内水耕による低カリウムレタス等の生産販売をしている。

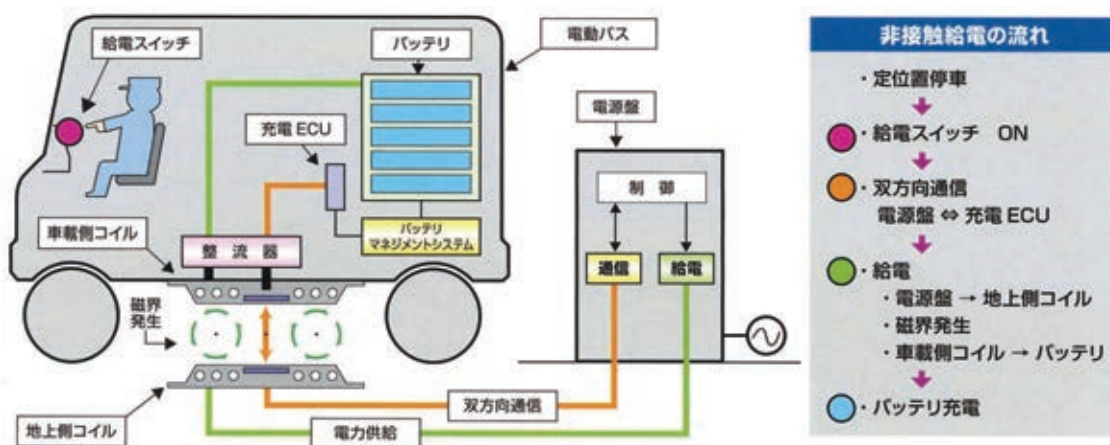


図 2 非接触給電システムの概念

表 7 非接触給電システムの用途

種類	能力 (kW)	用途
中型システム	1 ~ 7	無人搬送車、無人潜水機、小型自動車など
大型システム	30 ~ 150	バス、トラック、路面電車など



写真 14 野菜工場

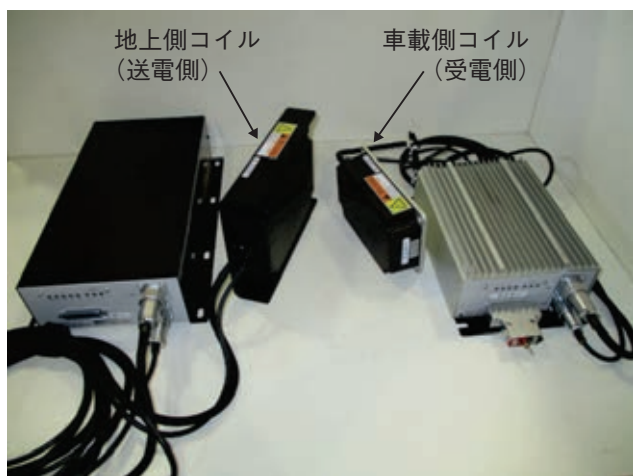


写真 13 非接触給電装置 (AGV 1kW 用)

完全空調・照明，二酸化炭素濃度や養液 pH 及び EC（電気伝導率）を自動制御した環境で栽培を行っている。美しさや栄養素を損なうことなく，カリウム含有量を少なくした野菜を生産することができる。これらは，カリウム摂取制限がある人工透析が必要な方々や，腎臓に疾患がある方々が安心して食べることができる野菜として提供している。

### 3. おわりに

2017 年には会社設立 80 周年に当たり、「昭和飛行機グループ 2025 ビジョン」を策定した。本ビジョンに基づき，製造・不動産，サービスの 3 分野で社会に役立つ価値を創造し，持続的成長を実現するため，当社全グループ社員がそのビジョンに共感し，共に力を合わせて事業推進を図って参ります。

執筆者：開発推進部 技術開発室  
渡邊 浩史

〔問い合わせ先〕

昭和飛行機工業株式会社 開発推進部 技術開発室  
TEL 042-546-6166 須藤 栄一



# 加地テックの製品・技術紹介

設計部

## Products and Technology of Kaji Technology Corporation

Engineering Dept.

### 1. はじめに

加地テックは、1905年(明治38年)5月に繊維機械の製造を目的に加地鉄工所(当時大阪市南区難波桜川町)として創立してから、100年を超える歴史を持つものづくり企業である。100年の歴史の中で、本社・工場は大阪市桜川町から堺市三宝町、さらに現在の堺市美原区へと移転した。その間、主力製品も繊維機械から圧縮機へと変わっていった。

1962年には大阪証券取引所第二部に上場、1963年にはタイヤコード直燃機国産第1号機を完成、1964年には美原工場の完成に伴い本社を移転し、本格的に圧縮機事業に参入した。1970年には1000 kg/cm<sup>2</sup>超高压空気圧縮機を開発、1973年には110 kg/cm<sup>2</sup>高压オイルフリー圧縮機をシリーズ化するなど、この頃から圧縮機事業が軌道に乗り始めた。その後、原子力発電所向け圧縮機の納入などを経て、1991年に社名を「株式会社加地鉄工所」から現在の「株式会社加地テック」に変更した。1999年には圧縮機事業の拡大を図り圧縮天然ガス(Compressed Natural Gas: CNG)空冷オイルレス圧縮機を開発、全国の天然ガススタンドに納入され、CNG圧縮機において国内トップメーカーとなった。2004年には110 MPa超高压水素ガス空冷オイルレス圧縮機を開発、2007年には大阪府庁前水素ステーション向けに40 MPa水素ガス超高压圧縮機を納入し、水素自動車産業への取り組みを開始した。2015年に三井造船株式会社(現:株式会社三井E&Sホールディングス)との資本業務提携を締結、2017年にTOBにより同社の連結子会社となった。

### 2. 主要製品について

当社は主に中小型の往復動圧縮機の製造、販売を行っている。主要製品にオイルフリー圧縮機、水素ステーション等に用いられる水素圧縮機、ペットボトル成形用の空気圧縮機、及び発電所や変電所で用いられるアーク消滅用の空気圧縮機や絶縁ガス回収用のガス圧縮機がある。以下にそれぞれの製品説明を示す。

#### 2.1 オイルフリー圧縮機

オイルフリー圧縮機は、シリンダ内部に潤滑油を使用しないため吐出ガス中にオイルが混入しない特徴があり、PETボトル成形用、石油化学工業用、環境関連バイオガス用、新エネルギー産業用、発電設備用等、様々な分野で使用されている。

当社は、圧縮機本体だけではなく、その周辺機器(脈動抑制機器、熱交換器、オイルポンプ、計装品、制御盤等)を含めたパッケージ製品を提供している。

ユーザの要望に応じたカスタム設計も行っており、各種解析技術(流体解析、熱流体解析、強度解析、脈動解析等)に基づいた最適なパッケージ設計に取り組んでいる。

また、他社のターボ圧縮機やスクリー圧縮機と当社の往復動圧縮機との組合せ運転や、インバータ制御、運転台数制御等による高効率化(省エネ化)の提案、消耗部品の長寿命化(従来比2倍)を実現し、イニシャルコストだけではなく、ランニングコスト低減も考慮した提案をユーザへ積極的に行っている。

#### 2.1.1 当社製オイルフリー圧縮機の特長

##### (1) 信頼性が高い

圧縮機構を構成する主要消耗部品(圧縮機弁、ピストン/ライダリング、グランドシール)を自社で設計しており、耐摩耗性、耐久性を検証した上で、様々な仕様条件に応じた最適な選定を行い、長期間の安定した運転継続を可能にしている。

また、自社設計しているため、圧縮機納入後の仕様変更についても柔軟な対応が可能である。

##### (2) 運転、保守がしやすいパッケージ設計

圧縮機本体及び周辺機器を標準的にパッケージで提供しており、圧縮機の運転・保守を考慮した設計を行っている。圧縮機の型式は、V型、YD型、WT型、XQ型、HS型、HD型(型式は圧縮機の形状を表している)の6機種あり、ユーザの設置スペースや要求仕様に応じて、最適な圧縮機の選定が可能である(写真1)。

##### (3) ブロックビルド生産方式の経済設計

シリンダ、ピストン、圧縮機弁等の標準部品を組合せるブロックビルド生産方式を採用しており、圧力、吐出量、使用条件等に応じたカスタムメイドで信頼性の高い圧縮機を経済的にかつ短納期で提供している。

##### (4) あらゆるガスに適用

当社では、空気を始めとして水素や酸素などの可燃性ガス、支燃性ガス、不活性ガス、毒性ガス、腐食性ガスなどあらゆるガス圧縮機の納入実績が豊富にあり、ガスの種類によって適切なシール選定、材料選定、耐腐食対応を行うことができる。

##### (5) 共通部品の多い経済設計

当社のオイルフリー圧縮機の定格動力は、3.7 kW から730 kWまで広範囲をラインナップしており、多くの構

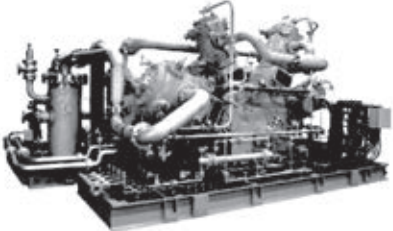
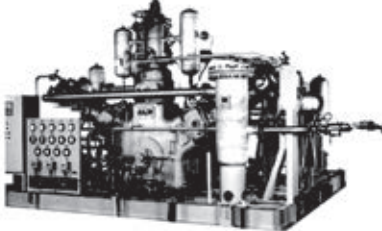
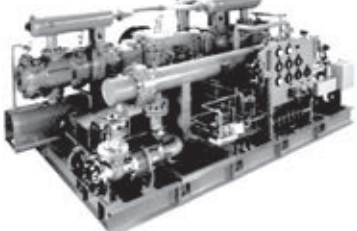
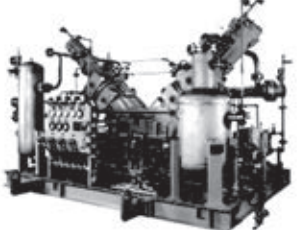
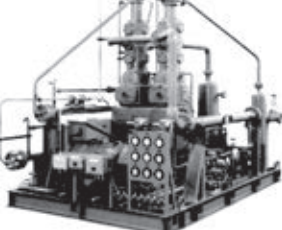

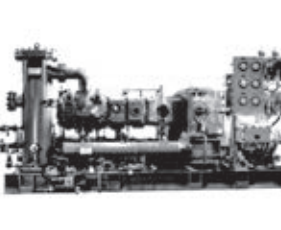
XQ(800 kW まで) X型 ピストンロッド数:4	WT(500 kW まで) W型 ピストンロッド数:3	HDB(500 kW まで) 水平対向型 ピストンロッド数:2	
			
YD(350 kW まで) Y型 ピストンロッド数:2	VD(150 kW まで) 垂直型 ピストンロッド数:2	VS(132 kW まで) 垂直型 ピストンロッド数:1	HS(110 kW まで) 水平型 ピストンロッド数:1
			

写真1 代表的な型式

成部品を共通にして互換性を持たせることで、補修部品の管理を容易にし、かつ安価に提供している。

## 2.2 水素圧縮機

### 2.2.1 水素圧縮機の需要拡大

水素は数年前から、燃料電池自動車の商用化とともに、次世代エネルギーの一つとして注目されている。風力、水力、太陽光などの再生可能エネルギー（以降、再エネと記述）を用いて電気を水素に転換することも注目されている。

現在も各分野で研究が進められており、2017年12月には、国家戦略として水素社会の実現に向けた「水素基本戦略」が打ち出された。この中で水素を再エネと並ぶ、新しいエネルギーの選択肢として示している。再エネを使って水素を作ることができれば、製造から使用までCO<sub>2</sub>を排出しないエネルギーにすることが可能となる。

また、水素は、水の電気分解、石油や天然ガスなどの化石燃料、下水汚泥など様々な資源から作ることができる。製鉄所や化学工場などでは、プロセスの中で副次的に水素が発生する。安価に水素を作りエネルギーとして利用する分野で、水素圧縮機の需要が近年非常に高まっている。当社は、水素ステーション用圧縮機はもちろんのこと、今までに培った水素圧縮技術を生かし、水素社会に貢献する。

### 2.2.2 燃料電池自動車の普及に向けた水素ステーション用水素圧縮機

水素ステーション用水素圧縮機は、燃料電池自動車(Fuel Cell Vehicle:FCV)に燃料となる水素ガスを供給する水素ステーションの基幹設備である。FCVに充填する水素ガスは、燃料電池に影響が出ないよう燃料電池自動車の燃料品質国際規格ISO-14687-2を満足する必要がある、ガス中に許容される不純物の量は極めて少ない。圧縮機は0.6MPaで受け

入れた水素ガスを82MPaまで昇圧、蓄圧ボンベ、充填ディスプレイを介して、FCVの車両タンクに最高70MPaで充填される。

#### (1) 歴史

- ・2001年 FCV用水素ガス圧縮機の開発に着手。大阪市の水素ステーションにオイルフリー圧縮機を納入。
- ・2003年 オイルレス圧縮機で40MPaの昇圧に成功。
- ・2003年 110MPa昇圧のオイルレス圧縮機開発についてプレス発表を行う。
- ・2004年 「空冷・レシプロ・全段ピストン・オイルレス式」としては、世界で初めて110MPaまで圧縮可能な超高压水素ガス圧縮機の開発に成功。  
吐出力200Nm<sup>3</sup>/hrを実現し、水素ガス供給ステーション向けとして商品化に成功。
- ・2004年 茨城県つくば市の法人に110MPaオイルレス圧縮機を納入。
- ・2010年 東京都の水素ステーション向けに40MPaオイルレス圧縮機を納入。
- ・2013年 愛知県の水素ステーションに40MPaノンリーク型オイルフリー圧縮機を納入。
- ・2014年 82MPa仕様のノンリーク型オイルフリー圧縮機【HyKom340】の開発に成功。
- ・～2018年7月 全国19箇所の水素ステーションに【HyKom340】を納入。

ここで、オイルフリー圧縮機は、取扱ガスに油分混入がない圧縮機であるが、クランク軸周りは潤滑油を使用する機種を言う。一方、オイルレス圧縮機は、取扱ガスに油分混入がない圧縮機であり、クランク軸周りにも潤滑油は使用しない機種を言う。



## (2) 圧縮機の特徴

圧縮ガス中に許容される不純物の量が極めて少ないため、超高圧圧縮機でありながら、給油式圧縮機は選定できない。そのため、無給油式のオイルレス又はオイルフリー圧縮機にする必要がある。ピストンリングは自己潤滑性を有する特殊樹脂材料を採用する。

水素ステーションは街中に建設される。その立地条件から、リークする水素ガスを工業用の圧縮機のように常時フレア設備へ流したりハイベント処理したりする方法は認められない。従って、水素ステーション用圧縮機には、外部リークが無いノンリーク仕様が求められる。2010年まではオイルレス圧縮機を採用していたが、更なる大型化のため、オイルフリー圧縮機の方針を変更、ノンリーク型オイルフリー圧縮機を採用している。

## (3) 超高圧水素に関する技術

高圧段のピストンリングは本数が多いため差圧が均等になりにくい。一部だけが摩耗して破損しやすく、他のピストンリングに悪影響が出る。そのため、ピストンを工夫し差圧分布を制御している。

加えて、超高圧段はシリンダ内ピストンリングの減圧を積極的にコントロールしている。また、形状の違うピストンリングを用途によって使い分けている。

高圧水素は金属材料の水素脆性を起こす。そのため高圧ガス保安法では水素ステーション向けの材料規制がある（一般則第7条3項）。当社は2014年販売の【HyKom340】（写真2）において、耐水素脆性材料（強度と耐水素脆性特性を備えた特殊オーステナイト系ステンレス鋼）を採用して、自社設計・製作の圧力容器、熱交換器、溶接継手を開発、材料使用と溶接接合について高圧ガス保安協会（KHK）の事前評価を受検し合格した。82 MPaの超高圧水素に使用できる溶接技術は、競合他社との差別化を実現している。

### HyKom340

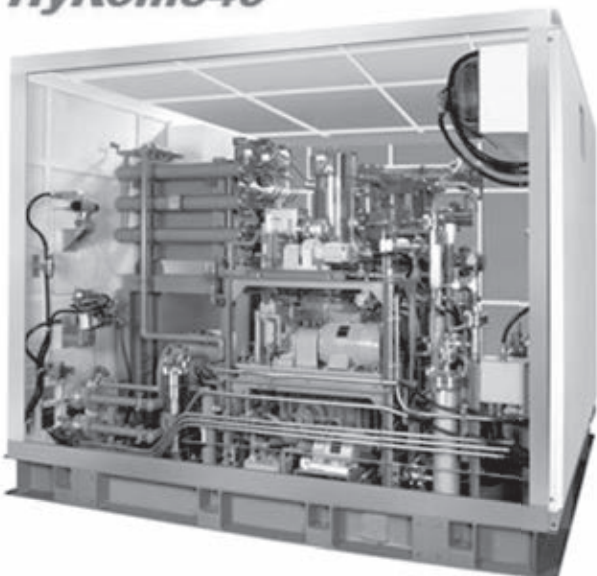


写真2 HyKom340

## 2.3 ペットボトル成形用オイルフリー圧縮機

ペットボトルは、炭酸飲料などの容器として広く用いられている。このペットボトルを製造する際に高圧の空気が用いられ、空気源として当社の圧縮機（写真3）が使用されている。当社が納入したペットボトル成形用オイルフリー圧縮機は、470ユニットを越え、その総動力は100 MW 以上になる。

ペットボトルは、熱可塑性の合成樹脂（プラスチック）の一種であるポリエチレンテレフタレート（PET）を材料とし、まずは試験管状のプリフォーム（パリソン）に成形される。このプリフォームを加熱し、金型の中で高圧空気を吹き込んで（ブロー成形と言う）所定の形状のボトルに成形する。

1977年に日本でペットボトルの製造が始まった当初から、高圧オイルフリー圧縮機の技術が評価されて当社のペットボトル成形用オイルフリー圧縮機が採用されている。

当初は、150 kW 程度の一括昇圧の圧縮機が使用されていたが、ペットボトルの生産量の増加に伴い圧縮機も大型化していき、1989年には400～500 kW、1995年には600～700 kWの一括昇圧のペットボトル成形用オイルフリー圧縮機を開発し、納入するようになった。

ペットボトル成形用オイルフリー圧縮機の大容量化の要求は更に大きくなり、前段の低圧部をターボ圧縮機で昇圧した後に高圧部を当社の圧縮機で昇圧する方式を1997年に開発し、納入するようになった。

当初の納入機ではターボ圧縮機と合わせた総動力は1000 kW 程度だったが、2003年には総動力2000 kW を越えるまで大型化した。

一方で、2000年頃からペットボトルのマーケットに変化が生じ始める。

これまで、ビンや缶の容器をペットボトルに置き換えることでペットボトルのマーケットは成長してきたが、それが飽和してくると、生産コスト削減のため、これまで専業メーカーで製造され、各飲料メーカー等に納入されていたペットボトルを、飲料メーカーが飲料工場内で飲料の生産量に合わせて自ら生産するようになっていった。

飲料メーカーの自主生産に伴い、ペットボトル成形用オイルフリー圧縮機に求められる仕様もそれまでの大型機から150～500 kW 程度に小型化し、生産量に合わせた容量制御が可

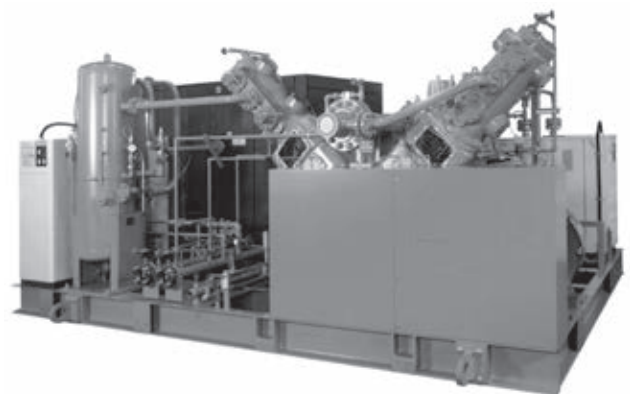


写真3 スクリュー&ブラスター方式のペットボトル成形用圧縮機ユニット

能で、ランニングコストの低い高効率機へと変化していった。

また、規制緩和や円高の影響より、海外メーカの参入が増加し、厳しいコスト競争にもさらされるようになった。

当初の一括昇圧の圧縮機は、容量制御は可能なものの高効率化のユーザ要求があり、また、ターボ圧縮機は高効率ではあるものの大容量で容量制御には不向きであるなどの問題があった。

新しいマーケットの要求仕様に対応するため、高効率で容量制御が可能で、かつ、安価な市販のスクリー圧縮機を前段に採用した方式を開発し、海外メーカに対抗した。

さらに、通常の容量制御方式であるロード/アンロード方式に加え、インバータ方式のスクリー圧縮機と組み合わせて無段階容量制御により生産量にフレキシブルに対応でき、かつ、高効率を維持できる方式を開発し、マーケットの要求に対応し続けている。

## 2.4 電力市場

### 2.4.1 遮断器

発電所や変電所、又は変電設備等の電力設備で電流の開閉を行う機器を遮断器(サーキットブレーカ)と言う。

この遮断器を作動させた時に発生するアークを消滅(消弧)するために圧縮空気を使用するものを空気遮断器と言い、その圧縮空気を発生させるための圧縮機を過去数十年にわたり、各電力会社、重電メーカへ納入している。当社ではこの圧縮機を「遮断機」と呼んでいる。

遮断機ユニットはコンパクトに設計されており、吐出圧力: 2.94 MPa、吐出量: 0.1 ~ 1 m<sup>3</sup>/min、動力: 0.75 ~ 22 kW で数機種ある。空冷給油式のトランクピストンタイプで、空冷クーラ、ドレン分離器、ドレン自動排出装置を装備しており、ドレン自動排出装置にはガバナー機構を採用し、他から計装空気の供給無しに作動可能になっている。

「遮断機」は、各電力会社、重電メーカより型式認定を得ており、構造、SPEC等は基本的に変更できない。(変更する場合は、十分な検証を行い、各電力会社、重電メーカへ変更申請書を提出し、許可(再認可)を得なくてはならない。)現在でも、昭和50年代当時と変わらないものを製作、納入し、その完成度の高さを証明している。

### 2.4.2 SF6ガス回収装置

一方、遮断器(サーキットブレーカ)を絶縁ガスを封入した容器に設置しているものをGCB(ガス遮断器)、遮断器(サーキットブレーカ)及び変圧器等の機器類も絶縁ガスを封入した容器に設置したものをGIS(ガス絶縁開閉機器)と言う。

これらは、絶縁ガス内で遮断器(サーキットブレーカ)を作動させるため、アークが発生することがない。絶縁ガスに使用されるガスは六フッ化硫黄ガス(SF<sub>6</sub> 分子量146)で、絶縁性能は非常に高く、安定した不活性ガスである。ただし、温暖化係数はCO<sub>2</sub>の23900倍あり、大気へ放出することはできない。また、非常に高価である。

このため、GCB、GISの保守を行う際、SF<sub>6</sub>ガスを大気放出することなく、別容器へ回収(貯蔵)し、保守後、再度、GCB、GISへ充填するユニットが「SF<sub>6</sub>ガス回収装置」である。

ユニットの構成は、基本的に圧縮機と真空ポンプから成る。GCB、GISに封入されたSF<sub>6</sub>ガスは、内部への空気混入防止も兼ね、0.5 ~ 0.7 MPaで封入される。圧力が高いとき(回収始め)は、圧縮機のみで回収する。GCB、GIS側の圧力が大気圧以下になると、真空ポンプも起動し、回収を継続する。GCB、GIS側の圧力が133 Pa・abs(≒1 Torr)になるまで回収を行う。

回収されたガスの貯蔵方式で区分され、気体で貯蔵する場合は「気体回収装置(写真4)」、液化させ液体で貯蔵する場合は「液化回収装置(写真5)」と言う。液化させる場合は、圧縮機、真空ポンプ以外に液化させるための冷凍機や凝縮器も搭載する。

また、圧力は1 MPa以上となるため、国内においては高圧ガス保安法の適用となる。

「SF<sub>6</sub>ガス回収装置」に型式認定はないが、各電力会社(GCB、GISのユーザ)や各重電メーカ(GCB、GISの製作者)に多数の納入実績を誇る。

## 3. 注力している新規製品・事業

### 3.1 海外事業展開

当社は1905年に繊維機械メーカとして創業し、1934年に第1号の空冷給油式空気圧縮機で圧縮機事業を開始した。以降、1958年には無給油式圧縮機を開発し、1964年に美原工場へ本社を移して、本格的に圧縮機事業に参入、1974年にガス圧縮機へと製品を拡大してきた。

1970年代に入り日本のプラント・エンジニアリング産業の本格的な海外進出に合わせ、当社圧縮機事業の海外事業展

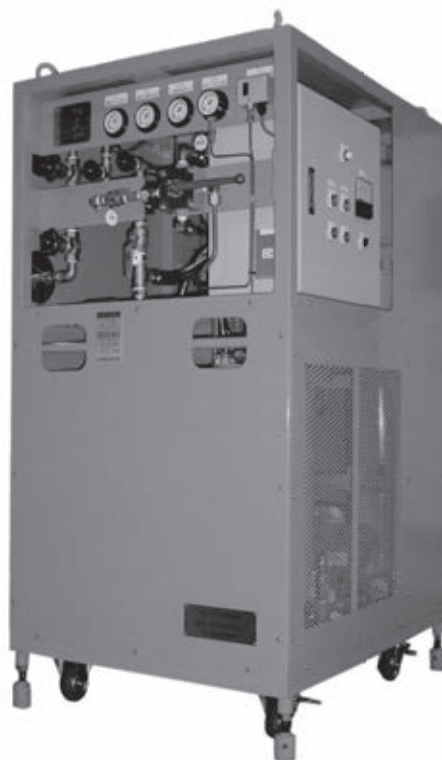


写真4 SF<sub>6</sub>ガス回収装置(気体回収・移動式)





写真5 SF6ガス回収装置(液化回収・移動式)

開も始まった。当初は電力プラント向け空気圧縮機を中心とし、1980年代に入り徐々に化学プラント向けガス圧縮機を増やしていった。1990年代に入ると韓国でのエチレンプラント建設ラッシュに合わせ、ソウル事務所を開設し、韓国のエンジニアリング会社から多くの圧縮機を受注した。

当社では特定市場のニーズに合わせ独自開発したスタンダード圧縮機(前述の水素圧縮機、ペットボトル成形用圧縮機、SF6ガス回収装置など)を多く有するが、国内市場向けである。プラント・エンジニアリング産業の市場が海外へ移る中で、海外事業展開は長らく苦戦が続いた。

2015年、三井造船株式会社(現:株式会社三井E&Sホールディングス)との資本業務提携を契機に、同社の手法に倣って、海外プラント事業に特化し、見積対応及び受注後のコーディネーションを行う組織の検討に着手し、2016年に当該組織を発足させた。

一方で事業主へのマスターベンダーリストへの登録作業を開始し、世界最大の石油会社であるサウジアラムコへの登録を完了するなど、現在も活動を継続している。ターゲット市場を従来の日本・韓国・中国に加え、タイ・台湾・インドや欧米のエンジニアリング会社に広げた。

2017年度には、海外プラント事業における受注額は倍増し当初の受注計画を前倒しで達成する一方で、契約後の採算悪化も劇的に減少させることに成功した。引き続き社内外の体制強化及び受注拡大と利益追求にまい進する。

### 3.2 アフターサービス事業展開

当社の年間受注、売上金額の50%以上をアフターサービス(AS)事業(納入機の保守と部品販売)が担っている。当社圧縮機(オイルフリー圧縮機を含む全製品)の製作レンジ

は定格動力0.75kW～730kWと広範囲をカバーしており、それぞれ毎年着実に納入実績を積み上げることで、AS事業件数もそれに比例して多くなっている。

このため、2018年7月より以下の営業部組織改編を行い、AS事業に特化した営業活動を開始している。

変更前:専任顧客に営業員を割り当て圧縮機本体、保守・部品など全ての営業を担当

変更後:営業員を圧縮機本体担当と保守・部品担当に分け、それぞれが専任

AS実績の分析精度を上げて、市場、顧客の絞り込みを行い、従来よりも強化した提案型の営業を行って、更なる受注、売上拡大を目指す。

当社のAS拠点は本社(大阪府堺市)とサービスセンター(千葉県習志野市)の2箇所、認定サービス会社が国内33箇所、海外3箇所(中国、タイ)ある。しかし、海外サービス認定工場が少なくこれをカバーするため、三井E&Sグループとしてのシナジー創出を目指す。

## 4. おわりに

当社は、社是「心 誠実にして高潔な心と情熱を持ち」、「技術ゆまぬ技術革新と技術力の向上に努め」、「体 健全で公開正大な企業体と企業文化を醸成する」と、企業理念「技術に立脚し社会が求める優れた製品及びサービスを提供することにより、全てのステークホルダーの繁栄並びに経済・社会の発展に貢献する。常に技術の研究開発に努め、グローバル化の時代に即した国際競争力のある企業体質を涵養し、世界の企業として発展する」を掲げている。

三井E&Sグループの一員として、グループ全体への貢献や運営最適化も念頭に、資本業務提携の更なる深化を図りつつ、当社の市場拡大と新製品の開発に向けて、これまで以上にグループ内の人的、物的経営資源を活用して当社の企業価値向上を追求する。

当社は究極の無公害自動車である燃料電池車の水素ステーション向け超高压圧縮機を始め環境改善に役立つ製品を数多く社会に提供しており、これらの企業活動が、地球環境の保全も含め社会に貢献していることを誇りに持ち、時代の最先端に挑む。

執筆者:設計部

武田 茂幹

[問い合わせ先]

株式会社加地テック 設計部

TEL 072-361-9510 武田 茂幹

# EFD/CFD 融合技術を応用した船舶性能設計技術の開発

木村 校優\* 松田 識史\* 安藤 智子\* 澤田 俊紀\*\*

## Development of Ship Design Technology using EFD/CFD Integration

Koyu KIMURA, Satoshi MATSUDA, Satoko ANDO, Toshiki SAWATA

Due to global warming and exhaustion of fossil fuels, measures in the maritime industry to reduce greenhouse gas (CO<sub>2</sub>) and to cope with fuel consumption regulations are becoming important issues. In addition, as a result of the Noise Code being forced by the International Maritime Organization (IMO) to improve working condition on ships, the demand for reduction of hull vibration and noise on board ships has been increasing. Furthermore, it is pointed out from European countries that the underwater radiated noise due to propeller etc. may adversely affect creatures in the sea. Depending on the progress of international discussions in the future, there is a possibility that the underwater radiated noise may be regulated. As the problem consciousness is thus fostered globally with regard to the work environment of ships and the impact of ships on the natural environment, it is considered to be an important factor for determining the product value of ships to achieve the reduction of fuel consumption, vibration, noise, and underwater radiated noise.

In order to further improve the resistance performance of hulls and the propulsion performance of vessels including propellers, which are directly linked to those reductions, the authors have been conducting research and development on ship performance design technology applying EFD / CFD integration after development of EFD database (DB) with model tank results and of high-precision CFD analysis technology based on the DB. This report describes the outline of the development.

地球温暖化と化石燃料の枯渇問題により、海事業界において、温室効果ガス (GHG) 削減、燃費規制への対応が重要課題となっている。また、船上における労働環境改善のため、国際海事機関 (IMO) により船内騒音コードが強化されたことを契機に、船体振動・船内騒音低減への要求は、より高まりを見せている。さらに、欧州諸国より船舶のプロペラ等による水中放射音が海洋生物へ悪影響及ぼす可能性が指摘され、今後の国際的な議論の進展如何によっては、水中放射音が規制の対象とされる可能性もある。このように、船舶における労働環境や船舶が自然環境へ与える影響について、問題意識が世界的に醸成される中、燃費、振動、騒音及び水中放射音を低減していくことは、今後の船舶の商品価値を決める重要な要素となると考えられる。

筆者らは、これらの低減に直結する船舶の抵抗性能及びプロペラを含めた船舶の推進性能の更なる向上を目的とし、水槽試験による EFD データベース構築とそれに基づいた CFD 解析技術の高精度化を実施し、EFD/CFD 融合技術を応用した性能設計技術について研究開発を進めている。本報ではその概要を報告する。

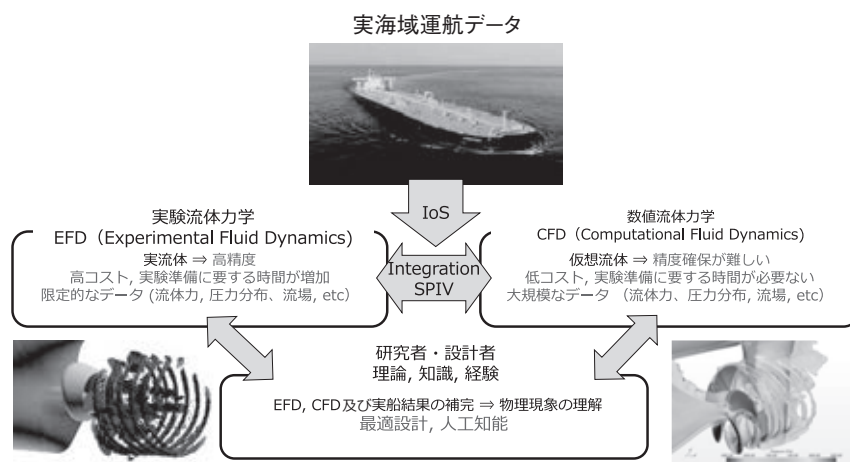


図 1 CFD/EFD 融合技術を応用した環境調和型エコシップ開発の概念図  
Development of Eco-Friendly Ship Design Technology using EFD/CFD Integration



## 1. 緒言

地球温暖化、化石燃料の枯渇問題により、造船海運業界において、温室効果ガス (GHG) 削減、燃費規制への対応が重要課題となっている。2018 年 4 月に開催された第 72 回海洋環境保護委員会 (MEPC72) において、船舶の GHG 削減に向けた取組みに関する IMO 戦略計画が議論され“今世紀中のできる限り早い時期に国際海運からの GHG ゼロ排出を目指す”というビジョンが採択された<sup>1)</sup>。船舶のエネルギー効率設計指標 (Energy Efficiency Design Index : EEDI) 規制の見直しなど GHG の削減に向けた推進性能と燃費の規制が強化されると同時に、振動・騒音・水中放射音の低減による船員や海洋生物への負荷を低減するための船舶の静粛性など、多様な環境負荷低減の実現に向けた要求を満足することが船舶の商品価値を決める重要な要素となる可能性がある。このような環境調和型エコシップに対する性能要求を満足させるためには、多種多様な検討項目を迅速かつ高精度に処理し、実際の設計に応用できる技術の実現が求められている。

船舶と同様、物体周りの流体力学が重要となる航空・宇宙分野では、風洞試験などの実験計測技術 (Experimental Fluid Dynamics : EFD) と数値計算技術 (Computational Fluid Dynamics : CFD) のそれぞれの技術レベル向上と実機の性能推算を精度良く行うことを目指している。米国航空宇宙局 (NASA) のラングレー研究所の 3 次元仮想実験診断システム (Virtual Diagnostics Interface System : ViDI) では、風洞実験実施のための事前検討で 3 次元 CAD を用いることで実験の最適化及び効率化を図ることができる。また、事前に実施した CFD の計算結果と風洞試験結果を実験中にリアルタイムで厳密に比較・可視化することができる Live View 3D が搭載されている<sup>2)</sup>。国内では、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA) がデジタル/アナログ・ハイブリッド風洞 (Digital/Analog-Hybrid WINd tunnel : DAHWIN) を 2012 年に完成させ、風洞と CFD を強く連携させ準リアルタイムに EFD データと事前 CFD データとの統合可視化・比較処理を適用することで性能評価を可能にしている。また、主要な EFD データを随時 CFD へ戻し EFD の条件での CFD 解析を再実施することで、最も確からしい結果を得ると同時に、それらの EFD/CFD データベースを基に、より高度なデータ同化技術の開発が行われ設計開発に活用され、実機の多種多様な性能推算の精度向上を図っている<sup>3)</sup>。

一方、三井 E&S 造船では船型及びプロペラ開発に対して CFD を応用した設計システムの開発を進め、船体周りの複雑な流体现象を容易に再現・可視化し、船型・プロペラ・省エネデバイスなどの開発ステージで有効活用し、CO<sub>2</sub> 大幅削減船などの成果を得ている<sup>4)</sup>。ただし、多種多様な性能要求を満足できる環境調和型のエコシップを開発するためには、これまで以上に複雑な流動現象を高精度に解明できる新しい設計システムの開発が重要課題となる。一般的な船舶設計では、ランニングコストや使用可能日程の制限を考慮しながら、性能設計として重要性の高い形状に対する水槽試験を限定的に実施することがほとんどであり、実際の流体现象と CFD

推算との妥当性に対する検証が十分に行われることは稀である。そのため、CFD に内在する不確かさを低減するための効率的な EFD と CFD を融合したデータ同化技術の開発が求められた。

そこで筆者らは、高性能な環境調和型エコシップの性能設計を実現する新しい設計システムの開発を目指し、粒子画像流速計測法 (Particle image velocimetry : PIV) による EFD データベースを基にした EFD/CFD データ同化技術の研究開発 (図 1 参照) を推進してきた。このシステムはステレオ PIV (SPIV) 技術<sup>5)</sup> を利用して EFD/CFD 双方を融合させ評価するものである。実海域における船舶の運航データを“もののインターネット (IoT)”により収集・活用する技術 (IoS) を利用することにより、現実性の高いシステムを構築することを目指している。

## 2. EFD データベース構築

EFD と CFD を融合したデータ同化技術の開発において、EFD データベースを構築することが重要な課題である。そのため、三井 E&S 造船では SPIV システムを導入すると同時に、計測をルーティン化させることで、効率的な性能評価を実現するため推進・操縦・プロペラなどの主要な技術要素に対する EFD データベースの構築を図っている<sup>6)</sup>。

### 2.1 推進性能

船型の推進性能を精度良く推算することは重要な技術要素であり、船型開発スパイラルにおける性能評価に CFD が広く活用されている。

従来の船型開発における推進性能に対する主な評価法は抵抗・自航要素などの積分量による評価が主体であったが、より高性能なエコシップ開発を行うためには省エネ付加物等の実船状態を想定した設計が重要な課題となっている。そのため、抵抗・自航要素などの積分量だけでなく、プロペラが作動している船尾の複雑な流場現象をより精度良く直接的に評価できる CFD 技術の開発が必要となる。

そのため、三井 E&S 造船では SPIV による計測を多種多様な船型に対して行い、CFD の妥当性を相互補完するため、50 隻以上の EFD データベースを蓄積している。

本節では、実船におけるプロペラや省エネ付加物の性能最適化を実現する上で重要な課題である船尾流場の尺度影響を把握するために実施した直進曳航状態での SPIV 計測について紹介する。

#### ① 供試船型

供試船型は CFD Workshop 2015 Tokyo<sup>7)</sup> で公開されている Japan Bulk Carrier (JBC) を用いた。省エネ付加物が装備された状態の船尾流場に対する尺度影響を把握するために、大きさの異なる 3 種類の模型船 (LJBC : 7 m, MJBC : 4.13 m, SJBC : 2.75 m) を製作した。主要目を表 1 に、模型船 LJBC を写真 1 に示す。ここで  $L_{pp}$  は垂線間長、 $L_{Dwl}$  は水線長、 $B$  は船幅、 $D$  は深さ、 $d$  は喫水、 $C_b$  は方形係数である。LJBC はパラフィン製、MJBC 及び SJBC はウレタン製であり、PIV 計測時のレーザの反射を抑えるために船尾周辺は艶消黒塗装としている。

表1 JBC 主要目  
Principle Particulars of JBC

JCB 名称	供試船型	模型船		
		LJBC	MJBC	SJBC
$L_{pp}$ (m)	280.00	7.0000	4.1379	2.7500
$L_{Dwl}$ (m)	285.00	7.1250	4.2118	2.7991
B (m)	45.00	1.1250	0.6650	0.4420
D (m)	25.00	0.6250	0.3695	0.2455
d (m)	16.50	0.4125	0.2438	0.1621
$C_b$	0.8580			

表2 PIV システム概要  
Overview of PIV System.

カメラ	Imager pro SX 5M (2448×2050), 12bit
レンズ	CANON EF 28 mm f/1.8USM
撮影距離	約 1100 (mm)
鏡角度	60 (°) and 135 (°)
観察領域	約 W300 (mm)×H300 (mm)
レーザー	Quantel Evergreen 200 (200 mJ)
プログラマブル・タイミングユニット	MODEL PTU9-n° trg
トレーサ	銀被覆中空ガラス 平均直径 14 (μm) 平均密度 1.7 (g/cc)
解析ソフトウェア	LaVision FlowMaster DaVis8.14

表3 試験条件  
Test Conditions

模型船名	LJBC	MJBC	SJBC
$L_{pp}$ (m)	7.0000	4.1379	2.7500
$F_n$	0.142	0.142	0.142
$V_m$ (m/s)	1.179	0.906	0.737
T (°C)	18.1	17.6	19.6
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	998.6	998.7	998.3
$\nu \times 10^{-6}$ (m <sup>2</sup> /s)	1.0520	1.0653	1.0138
$R_n \times 10^6$	7.845	3.521	1.999



写真1 模型船 LJBC (船尾)  
Model Ship of LJBC (Aft)



図2 PIV システム構成図  
Experimental Set Up of PIV System



写真2 大水槽における PIV 計測状況  
PIV Measurement at Large Towing Tank

② SPIV 計測方法及び結果

水槽試験は、(株)三井造船昭島研究所の大水槽(長さ 220 m×幅 14 m×深さ 6.5 m(水深 6.0 m))及び小水槽(長さ 100 m×幅 5 m×深さ 2.65 m(水深 2.0 m))で実施した。

PIV 計測システムは速度 3 成分を計測できる SPIV システムで、図 2 に示すように右舷側から流場を計測するように設置されており、装置諸元を表 2 に示す。PIV 計測は、船首前方よりトレーサ粒子を散布しながら、所定の計測断面を 200 mJ の Nd:YAG ダブルパルスレーザーで照射することにより計測している。

表 3 に各模型船の実験条件を示す。ここで、 $F_n$  はフルード数、 $V_m$  は速度、T は水温、 $\rho$  は密度、 $\nu$  は動粘性係数、 $R_n$  はレイノルズ数である。全ての状態で  $F_n=0.142$  で実

験を行っているため、 $L_{pp}$  及び流速  $V_m$  の違いによりレイノルズ数  $R_n$  が異なっている。また、計測断面は LJBC でプロペラ配置位置付近の船尾垂線(A.P.)から 110 mm 船首方向の位置とした。LJBC の大水槽での PIV 計測状況を写真 2 に示す。

それぞれの模型船のプロペラ位置に対する SPIV で得られた流速分布を対地速度  $V_m$  により無次元化した結果を図 3 に示す。これらの結果は、LJBC では 500 枚、MJBC 及び SJBC では 200 枚の画像解析結果を平均したものである。図中の円は、プロペラ直径を示している。また、図中中心部のボス付近から左舷側にかけて無次元流速 0 の部分があるのは、模型船のアイドルボスに対して右舷側から Nd:YAG レーザを照射しているため影となり、



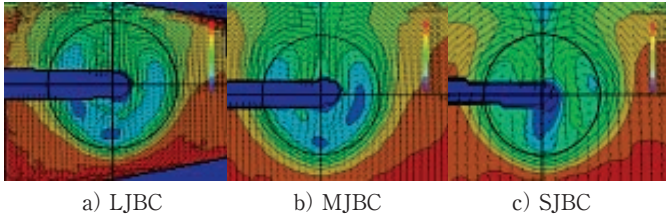


図3 PIVにて計測された速度分布の尺度影響比較  
Comparison of Velocity Distribution Obtained by PIV Regarding Scale Effect.

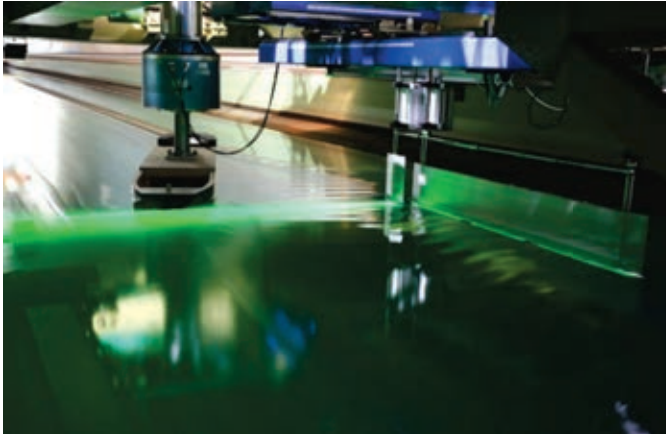


写真3 小水槽での斜航試験状況  
Oblique Test at Small Towing Tank.

解析できない領域が存在するためである。縮尺の違いによる伴流の広がりや船尾縦渦の発達状況に違いを確認することができ、CFDで実船伴流を推定するための基礎的なEFDデータを得ることができた。

## 2.2 操縦性能

推進性能と同様に重要な性能要素である操縦性能は船舶の運航を担う上で重要であり安全な操船を行うためにはかかせない技術要素である。ただし、推進性能と操縦性能は二律背反の関係にあることが多く、性能設計の初期段階で推進性能と操縦性能を両立させた船型と舵形状を求めることは、船舶の総合的な性能バランスを実現するにあたり重要であり、CFDでの高精度な性能評価が要求される。本節では、操縦性能を評価するために重要な斜航時の船尾流場についてのEFDデータベース構築を目的としたPIV計測について紹介する。

### ① 供試模型

斜航時の船尾流場計測において使用した供試模型は、2.1の直進曳航状態のPIVで使用した模型船を用いた。直進曳航状態と同様に尺度影響の検討ができるよう、縮尺の異なる3種類の模型船について計測を実施した。

### ② PIV計測方法及び結果

PIV計測は、(株)三井造船昭島研究所の大水槽及び小水槽で実施した。PIV計測は、写真3に示すように船体右舷後方にPIVシステムを配置し、船体を所定の斜航角に斜航させ船尾流場の計測を行った。

また、PIV計測システムは、直進曳航状態における尺度影響を評価するために行った表2に示すPIV計測と同

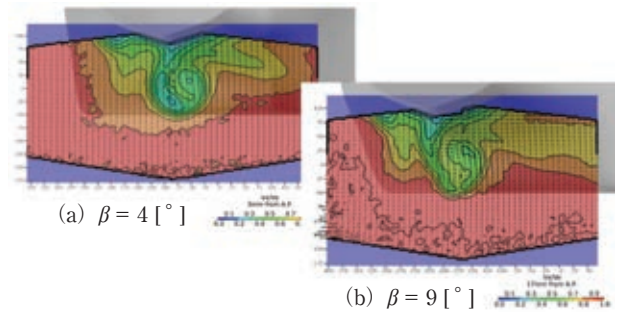


図4 斜航状態でのPIV計測結果  
Results of PIV at Oblique Condition.

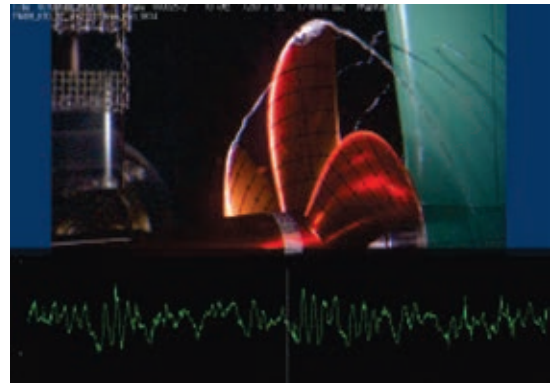


図5 プロペラキャビテーション観察及び変動圧力計測状況  
Propeller Cavitation Observation and Pressure Fluctuation.

様なシステムを使用し、計測方法も基本的には同様な手法を適用した。図4に斜航角 $\beta=4, 9$ 度におけるPIV計測結果を示す。なお、図の右上の薄墨部分は船体を表している。

## 2.3 プロペラ

環境負荷低減を目的としたエコシップ開発において、船型・省エネ付加物だけではなく低起振力高效率プロペラの開発が不可欠であり、最近では海洋生物に対する放射雑音の低減も重要な技術課題となっている。このような状況において、設計段階でのプロペラ効率、キャビテーション性能及び放射雑音性能を精度良く評価し最適なバランスを実現するためにはプロペラ作動時におけるプロペラ周りの流場現象を正確に把握し、船体・舵及び省エネ付加物などとの干渉影響を精度良く推算できるCFD技術が必要となる。本節では、キャビテーション現象とプロペラと舵との干渉影響についてのEFDデータベース構築の例を示す。

### ① キャビテーション現象

プロペラキャビテーション現象は、船体の振動・騒音及び水中放射雑音の主要因であり、エロージョンなどのプロペラ損傷においても重要な課題である。特に船尾伴流中で作動するプロペラキャビテーション現象は非定常性が強く、高速度ビデオによるキャビテーションの可視化と圧力変動波形計測とを同期することが現象を把握する上で重要となる。図5に示すように、目視では確認できないキャビテーション現象情報を取得することで、キャ

ビテーションのバースティング現象などより高次の物理現象と圧力変動との相関を取ることができ EFD データベースを構築している。

② プロペラと舵との干渉影響

プロペラ後流中にある舵周りの流場を計測するために(株)三井造船昭島研究所のキャビテーション水槽第1計測胴にて SPIV 計測を実施した。

図6に示すように2台の CCD カメラを計測胴の左右に配置し、出力 200 mJ のダブルパルス Nd : YAG レーザをレーザー光源として水槽下に配置し、約 W300 mm × H300 mm の範囲の計測を舵有り無し条件にて計測した。

図7にプロペラと舵との干渉影響を把握するための SPIV での計測結果の一例を示す。プロペラの後流の旋回流中に舵が配置されていることから旋回流と舵との干渉影響により舵前後位置における流場変化について3次元の流場情報を取得することができ省エネ付加物の開発などに応用可能な EFD データベースを構築している。

3. CFD のデータ同化技術

本章では SPIV によって得られる CFD と同程度の高解像度の流場情報及び高速度ビデオによる非定常なキャビテー

ション現象の可視化などを用いた EFD データベースを基に CFD の不確かさ低減と妥当性を確保するためのデータ同化技術について例を示しながら記述する。

3.1 推進性能

直進曳航状態での PIV 計測結果と CFD 解析を比較検討し、CFD 解析として妥当な結果が得られるよう、計算格子や乱流モデルについての検討を行いながら、PIV 結果に対するデータ同化を図っている。図8に縮尺の異なる3船型(LJBC, MJBC, SJBC)に対する PIV 結果と CFD 結果との比較を示す。

CFD 解析は、汎用ソルバー STAR-CCM+ver9.04 で行われ、乱流モデルは k- $\omega$  SST を用いた。計算メッシュは、長さ  $2.5 L_{pp}$  × 幅  $2.5 L_{pp}$  × 深さ  $1.5 L_{pp}$  の片舷の領域を用いているが、計算メッシュを生成した上で反転コピーし、計算は両舷で実施している。計算領域は LJBC 模型船サイズの格子をトリムメッシュで分割し、水の密度及び動粘度を変更することによって MJBC 及び SJBC の模型船スケールのレイノルズ数を再現した。PIV 結果とのデータ同化を図るため、図9に示すような船尾付近の計算格子分割方法やプロペラ断面の計算メッシュ生成手法を改良することで、PIV 結果で得られている伴流の拡がりや船尾縦渦強さの尺度影響の傾向を捉えられる CFD 解析手法の構築を図っている。このように、船尾の複雑な流れに対する尺度影響を捉えることのできる

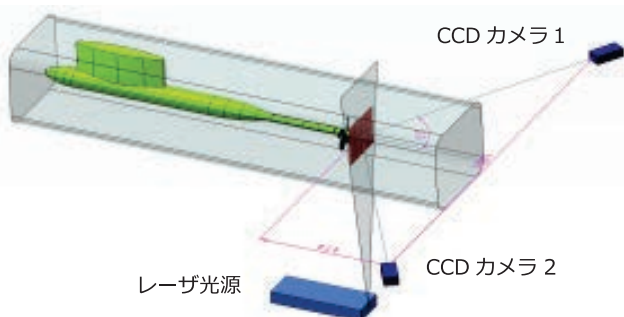


図6 キャビテーション水槽での PIV 計測概念図  
Experimental Arrangement of Stereo PIV System

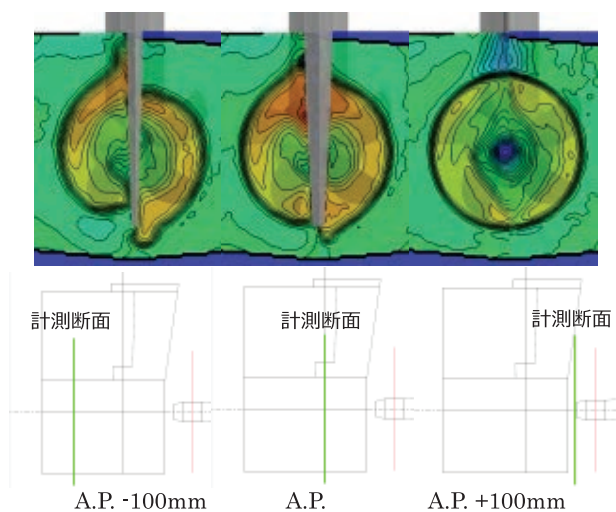
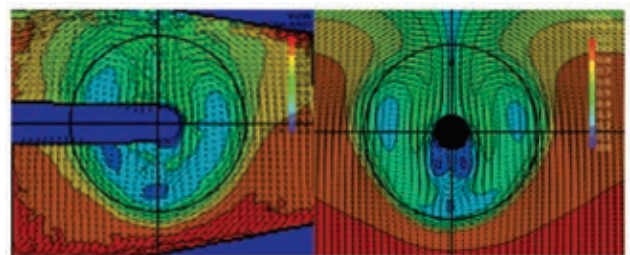
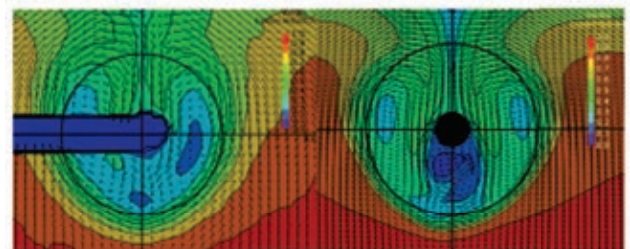


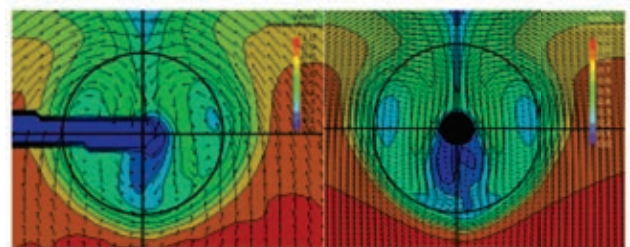
図7 プロペラと舵との干渉影響に関する PIV 計測結果  
PIV Results of Propeller Interaction with Rudder.



a) LJBC (左 : PIV, 右 : CFD)



b) MJBC (左 : PIV, 右 : CFD)



c) SJBC (左 : PIV, 右 : CFD)

図8 EFD と CFD の速度分布比較  
Comparison of Velocity Distribution between EFD and CFD



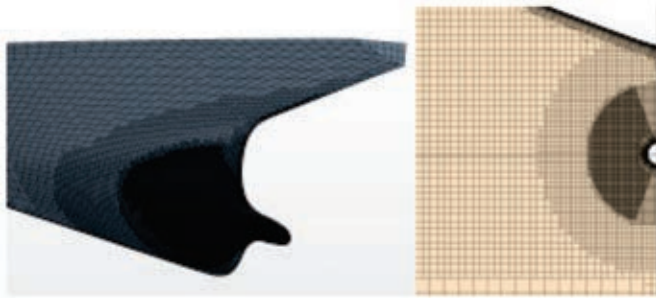


図9 船尾周辺のCFD格子  
CFD Mesh around Aft Body



図10 斜航状態でのCFD格子  
CFD Mesh for Oblique Calculation.

CFD解析手法が開発されることによって、実船における伴流分布の推算に対して妥当な結果が得られ、実船での省エネ付加物の最適化と効率改善効果の評価を精度良く求めることができるようになる。また、この結果はプロペラキャビテーション推定のための伴流分布としても有効なデータとなる。

### 3.2 操縦性能

斜航状態でのPIV計測結果とCFD解析とのデータ同化を図ることによって、斜航状態でのCFD解析に適した計算空間や格子密度の改良を実施している。CFD解析ソルバーとしてはStarR-CCM+ver11.02で適用し、乱流モデルはk- $\omega$  SSTを用いた。計算メッシュは、直進状態計算とは異なり両舷計算を再現するため長さ $5.0 L_{pp}$  × 幅 $5.0 L_{pp}$  × 深さ $0.625 L_{pp}$ の領域を用い、船体近傍のメッシュを細かく分割した。図10に計算メッシュ全体と船尾付近の計算メッシュを示す。大きく剥離する船尾流場を捉えるため船体付近のメッシュとその後流を細かく分割し、総格子数は約2000万としている。

図11及び図12に示すように斜航角の違いによるPIV計測結果とCFD解析結果の船尾流場の傾向は一致しており、A.P.位置での伴流分布の左右非対称性及び左舷側の船尾縦渦中心の遅い流れが消滅し、船体から大きく剥離する流れが支配的になっていく様子が捉えられていることが分かる。このように流場情報をPIVとCFDで直接的に比較しデータ同化することで、斜航時の複雑な船尾の流れを捉えることができるCFD解析技術を構築することにより舵形状や省エネ付加物及び船型の最適化を図ることが可能となる。

### 3.3 プロペラ

プロペラに関しては、キャビテーション現象と舵との干渉影響について検討を進めている。

キャビテーション現象については、高速度ビデオによる可

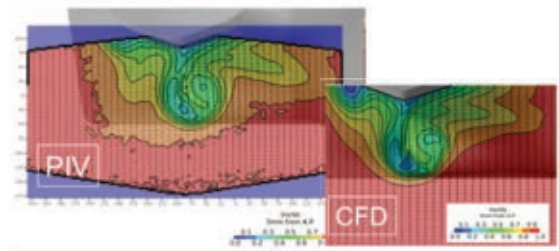


図11  $\beta=4 [^\circ]$ でのEFDとCFDとの伴流比較  
Comparison of Wake Distribution between PIV and CFD at Oblique 4deg.

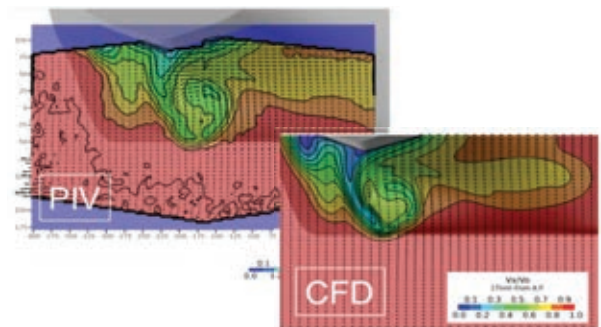


図12  $\beta=9 [^\circ]$ でのEFDとCFDとの伴流比較  
Comparison of Wake Distribution between PIV and CFD at Oblique 9deg.

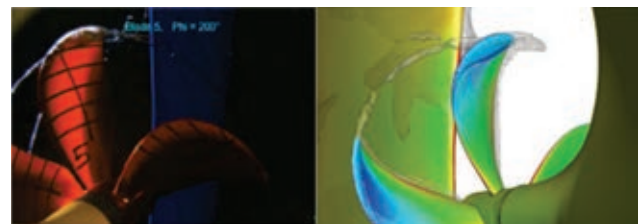


図13 プロペラキャビテーション現象のEFDとCFDとの比較  
Comparison of Cavitation Behavior between EFD and CFD  
(左：EFD, 右：CFD)

視化と圧力変動について、プロペラに流入する流場をPIV計測することでCFDのデータ同化を行い、CFD解析の不確かさの低減を図っている。図13にキャビテーションの可視化結果とCFD解析との比較を示す。CFD解析は汎用ソルバーFLUENTver.17.2を適用し、乱流モデルはk- $\omega$  SST乱流モデルを使用している。プロペラ翼面上のシートキャビテーションやチップボルトテックスキャビテーションの発生状況について、計算格子や解析スキーム及び可視化手法を改良することでEFDとCFDのデータ同化を行い、妥当な結果が得られるところまで到達している。

推進性能及び操縦性能を精度良く評価するためには、プロペラと舵との干渉影響について妥当な結果が得られるCFD技術の構築が必要となる。そのためPIV計測結果を用いたCFDのデータ同化を行うことでCFDの不確かさの低減を図った。CFD解析は水槽環境をできるだけ再現するように格子生成を行い、実用的な計算時間を考慮して重合格子手法を適用した。図14に水槽試験のセッティング状況と計算格

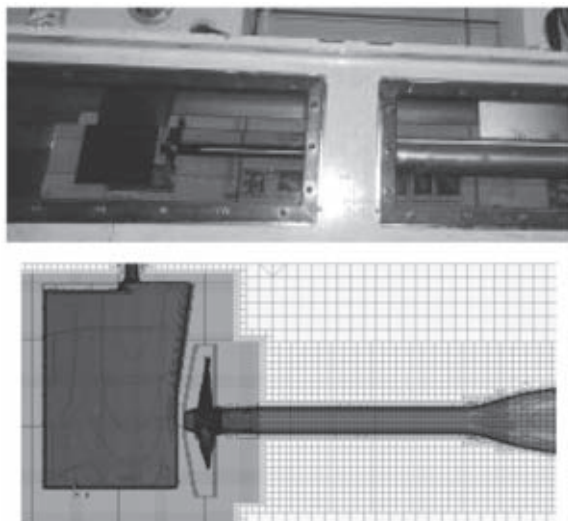


図 14 プロペラと舵周りの CFD 格子  
CFD Mesh around Propeller and Rudder

子との比較を示す。計算空間の定義と格子生成の改良により PIV 結果と同様な傾向の結果が取得できる CFD 解析技術を構築している。

図 15 に PIV 結果と CFD 結果との比較を示す。プロペラ後流中における舵周りの流場現象を PIV の高解像度な流場情報と直接比較することでデータ同化を行い CFD の不確かさ低減を図っている。

#### 4. 結言

本報では、船舶性能設計において主要な技術要素である推進・操縦・プロペラについての PIV や高速度ビデオによる EFD データベース構築と CFD とのデータ同化技術に対する取り組みについて事例を示しながら、多様な設計要件を満足できる高付加価値な環境調和型エコシップの性能設計を実現する新しい設計システムとしての EFD/CFD 融合技術開発の概要について報告した。

今後は、船舶 IoT/IoS 等から得られる実船モニタリングデータや実船における圧力・流場などの計測データを蓄積することで、水槽試験データだけでなく実船レベルでの CFD データ同化技術の開発を行い、実船をターゲットにした信頼性の高い EFD/CFD 融合技術を応用した船舶性能設計技術を構築し、より高性能な環境調和型のエコシップ開発を実現していきたいと考えている。

#### 参 考 文 献

- 1) 国土交通省：国際海運、世界で初めて「今世紀中の温室効果ガス (GHG) 排出ゼロ」に合意，[http://www.mlit.go.jp/report/press/kaiji07\\_hh\\_000104.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/kaiji07_hh_000104.html), (2018-10-19)
- 2) R. J. Schwartzs, et al. : Real Time Comparison of Experimental Data and CFD Predictions for a

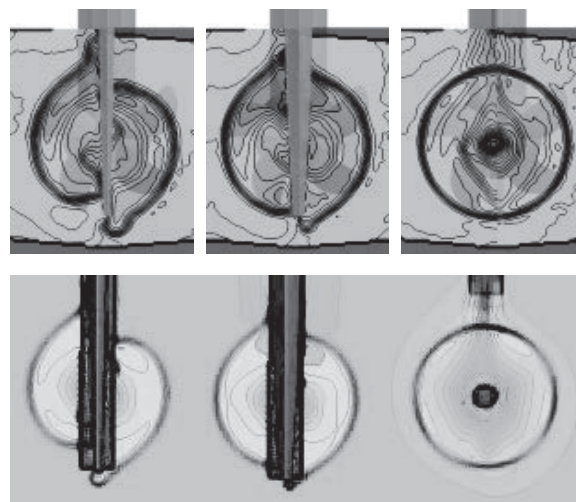


図 15 舵周りの PIV と CFD との速度分布比較  
Comparison of Velocity Contour between PIV and CFD Calculations around Rudder (上：PIV, 下：CFD)

NASA Ares I-Like Vehicle, 22nd International Congress on Instrumentation in Aerospace Simulation Facilities (ICIASF), (2007), p.1.

- 3) S. Watanabe, et al. : Prototype System towards EFD/CFD Integration : Digital/Analog Hybrid Wind Tunnel, Proceedings of 27th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, (2010)
- 4) 藤井. 外:CO<sub>2</sub>排出量大幅削減船の開発, 三井造船技報, 203 (2011-7), p.37
- 5) 日本カノマックス株式会社: FlowMaster 3D PIV ステレオ PIV システム, [http://www.kanomax.co.jp/product/index\\_0076.html](http://www.kanomax.co.jp/product/index_0076.html), (2018-10-11)
- 6) 木村. 外: PIV 計測技術と CFD 解析を用いたプロペラ後流渦場の可視化技術の開発, 三井造船技報, 212 (2014-7), p.19
- 7) 海上技術安全研究所: Tokyo 2015 A Workshop on CFD in Ship Hydrodynamics, [http://www.nmri.go.jp/institutes/fluid\\_performance\\_evaluation/cfd\\_rd/cfdws15\\_discarded/Instructions\\_KCS/index.html](http://www.nmri.go.jp/institutes/fluid_performance_evaluation/cfd_rd/cfdws15_discarded/Instructions_KCS/index.html), (2018-10-11)

〔問い合わせ先〕

株式会社三井造船昭島研究所 技術統括部  
TEL 042-545-3121 木村 校優



木村 校優 松田 識史 安藤 智子 澤田 俊紀



# SFSS 用油圧駆動 LNG 高圧ポンプの開発

## —油圧駆動化による冗長部品削減と高性能化を達成—

片山 秀樹\* 鴻 巢 真\* 古川 将也\*\* 中谷 泰貴\*\*\*

## Hydraulic Driven LNG High Pressure Pump for Second Fuel Supply System

Hideki KATAYAMA, Makoto KONOSU, Masaya FURUKAWA, Yasutaka NAKATANI

Mitsui E&S Machinery Co., Ltd.(MES-M) launched a high pressure pump for Second Fuel Supply System (SFSS) feeding pressurized LNG to ME-GI engine for LNG-fuelled ships. This pump is reciprocating type using a hydraulic cylinder as drive source. A pair of hydraulic cylinder and pump cylinder is modularized. This module makes it possible to control multiple pump cylinders independently. Therefore, the pump enables reduction of redundant equipment and low pressure pulsation with constant flow rate control.

MES-M installed a high pressure pump test facility using LNG in Tamano factory. The prototype pump was tested for confirming the performance using the facility. The prototype pump demonstrated to fully cover an ME-GI demand range of supply pressures and flow rates. The LNG pressure pulsation at the outlet of the prototype pump during steady operation was suppressed and within the required range of ME-GI with accurate hydraulic controlling. On tests assuming ME-GI operations in stormy weather, the prototype pump demonstrated excellent transient response in quick and cyclic changing of LNG discharge flow rates while stably keeping the LNG discharge pressure constant.

三井 E&S マシナリーは、LNG 燃料船向けの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) に、LNG を供給する 2 次燃料供給装置 (SFSS) 向け高圧ポンプを製品化した。本ポンプの特長は、油圧シリンダを駆動源とした往復動式であること、ポンプシリンダと油圧シリンダを 1 対のモジュールとしていることにある。このモジュール化により、複数シリンダを独立に制御することが可能となり、予備 (冗長) 機器の削減、吐出流量の一定化による圧力脈動の低減が可能となる。高圧ポンププロト機を製作して、LNG を使用した実ガス条件における性能試験を実施した。その結果、エンジンが要求する圧力、流量範囲をカバーできることを実証した。また、正確な油圧シリンダ駆動制御により吐出圧力脈動範囲がエンジン要求値を満たし、荒天時に発生するようなエンジンガス消費量の変動に対する過渡応答特性も良好であることを確認した。

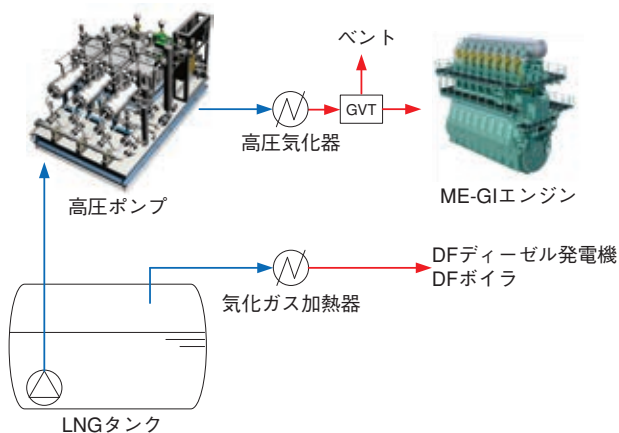


図 1 LNG 燃料船の SFSS 例  
Schematic Example of SFSS for ME-GI Powered LNG-Fueled Ship



写真 1 高圧ポンププロト機  
Prototype of High Pressure Pump

\* 三井 E&S マシナリー 技術開発総括部  
\*\*\* 加地テック 設計部

\*\* 三井 E&S マシナリー 産業機械事業部 設計部

## 1. はじめに

近年、地球規模での温室効果ガス (Green House Gas : GHG) や硫黄酸化物 (SO<sub>x</sub>)・窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>) 等の抑制が急務となっており、船舶から排出される大気汚染物の規制も国際海事機関 (IMO) によって制定され、厳しい規制が始まっている<sup>1)</sup>。そのソリューションの一つとして、クリーンな排気ガスの天然ガス燃料が、次世代の船舶燃料として注目を集めている。日本においても、天然ガスを燃料とする自動車運搬船による実船技術検証<sup>2)</sup>が計画されており、天然ガスを主機燃料とする船舶の需要は、着実に高まることが予想されている。一方で、規制対応機器の増加はそのまま船価に反映されるため、コスト抑制は市場命題となっている。使用燃料として天然ガス及び重油の両方を使用できる二元燃料 (Dual Fuel : DF) 機関である ME-GI エンジン<sup>3)</sup> 向けの 2 次燃料供給システム (Second Fuel Supply System : SFSS) においても例外ではない。ME-GI エンジンを搭載する LNG 燃料船においては、特に主要機器である高圧ポンプの高品質及び低コストへの要求は大きくなっている。

当社は 2015 年に ME-GI エンジンの日本国内商用初号機を出荷以来、今後 ME-GI エンジンの需要が見込まれることから燃料供給機器の開発を進め、同年、液化天然ガス (LNG) 運搬船向け SFSS 主要機器である高圧ガス圧縮機の製品化を完了<sup>4)</sup>させた。さらに、2017 年 4 月に油圧駆動式高圧ポンプを製品ラインナップに加え、ME-GI エンジンと SFSS 機器一括受注体制が整った。

本報では、低価格と冗長性に配慮した油圧駆動式高圧ポンプの概要と LNG を使用した昇圧試験で得た良好な運転特性について報告する。

## 2. 油圧駆動式高圧ポンプの概要

### 2.1 高圧ポンプユニット

本ポンプは、ME-GI エンジン用 SFSS のキーハードとして、図 1 に示す LNG 燃料船向けに経済性に優れた高圧ポンプとして開発された。製品開発のコンセプトは、冗長部品のミニマム化による初期コスト削減である。従来の SFSS 用高圧ポンプには、往復動クランク駆動式ポンプが使用されている。

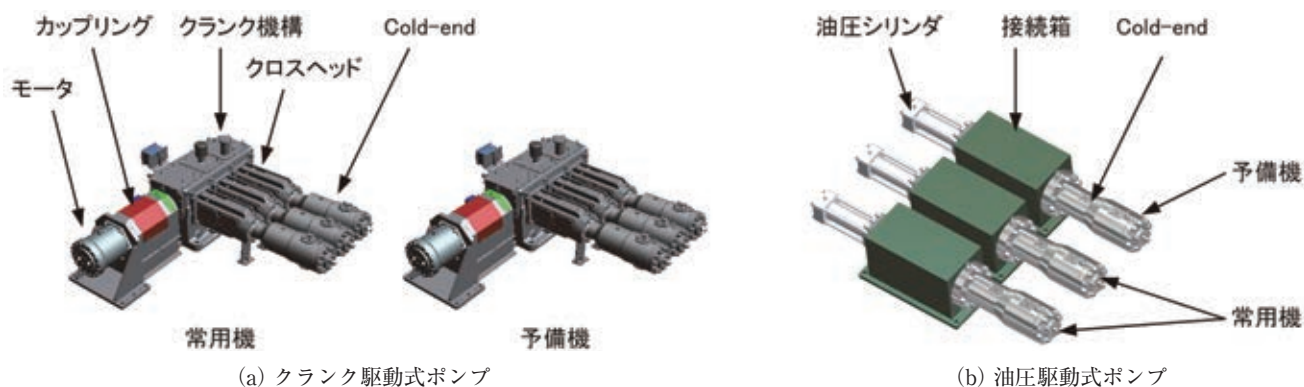


図 2 LNG 燃料船向け高圧ポンプの SFSS 例  
Example of SFSS for High Pressure Pump for LNG Fueled Ship

クランク駆動高圧ポンプは、クランク機構で駆動されるポンプシリンダ (以下、Cold-end) 2 本以上と補機・計装類で構成されている。トラブル発生時の冗長性を確保するためには、図 2 に示すように同装置 2 台を船内に搭載しなければならないため、初期コストが増加する要因となっている。

一方、本ポンプでは、Cold-end 1 本とそれを駆動する油圧シリンダ 1 本をモジュールとし、冗長性を確保したポンプ最少構成では、常用モジュール 2 式と予備モジュール 1 式並びに補機・計装類で構成され、予備部品点数の最少化を図った。

### 2.2 油圧駆動ユニット

本ポンプでは Cold-end 毎に油圧シリンダで独立駆動させる。このとき、図 3 の (a) ピストン速度パターンに示すように 2 本の Cold-end のピストン速度を非対称の台形状に変化するように制御する。これは、クランク式ポンプを 2 式の Cold-end で構成した場合に理論上発生する 57% の流量変動をゼロとし、吐出ラインでの圧力脈動を最小化<sup>5)</sup>するためである。Cold-end のピストン位置は、吐出端での残留 LNG 量を最小にする必要があるため、精密制御しなければならない。そこで、図 3 の (b) ピストン位置パターンとなるように制御することで、結果としてピストン速度を台形状に変化させている。さらに、この動作を達成するために必要な消費動力を最小にする必要がある。

これらをまとめると、SFSS 用高圧ポンプの油圧駆動装置に要求される条件は以下ようになる。

- a) 高精度なピストン位置制御 (吐出量一定)
- b) 高ポンプ効率 (消費動力削減)

油圧を用いた高精度な制御方法としては、一定油圧圧力源及びサーボ弁を用いた方式が一般的である。しかし、この方式は必ずしも高効率システムではないことは既知の事実である。この理由は、必要推力を発生する油圧圧力に加え、制御性確保のため約 20 ~ 30% のブースト圧力が必要となるため、このブースト分は損失となるためである<sup>6)</sup>。

この問題を踏まえて、a) b) の要件を満足するために本ポンプで採用した油圧駆動システム原理を図 4 に示す。本システムでは、油圧シリンダを慣性モーメントの小さいサーボモータ (以下、モータ) で両方向吐出可能な両回転油圧ポンプ (以下、油圧ポンプ) の回転数及び回転方向を制御してい



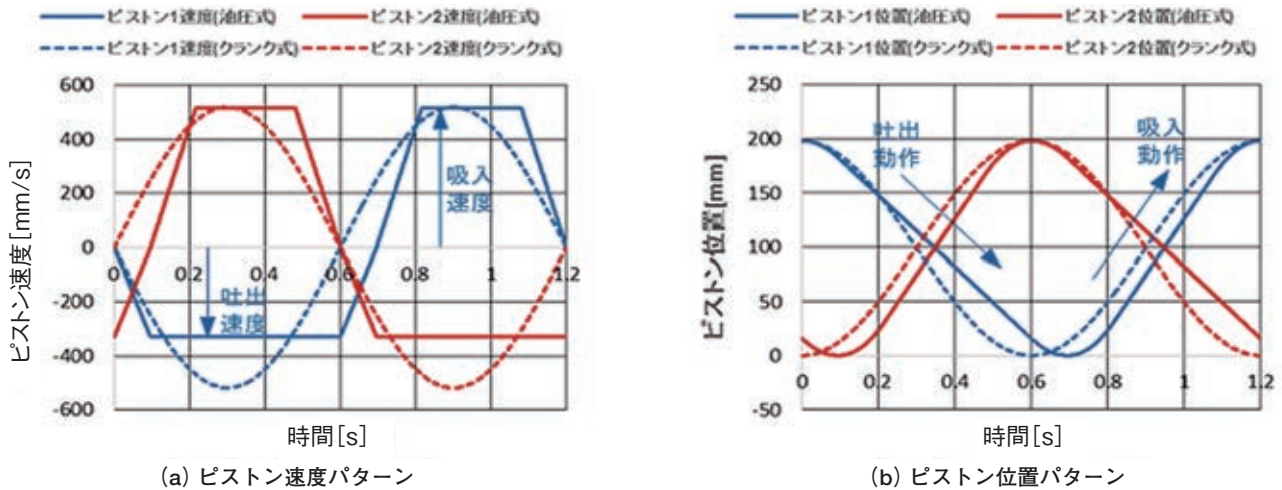


図3 ピストン速度制御による吐出量一定化  
Constant Flow Rate by Piston Speed Control

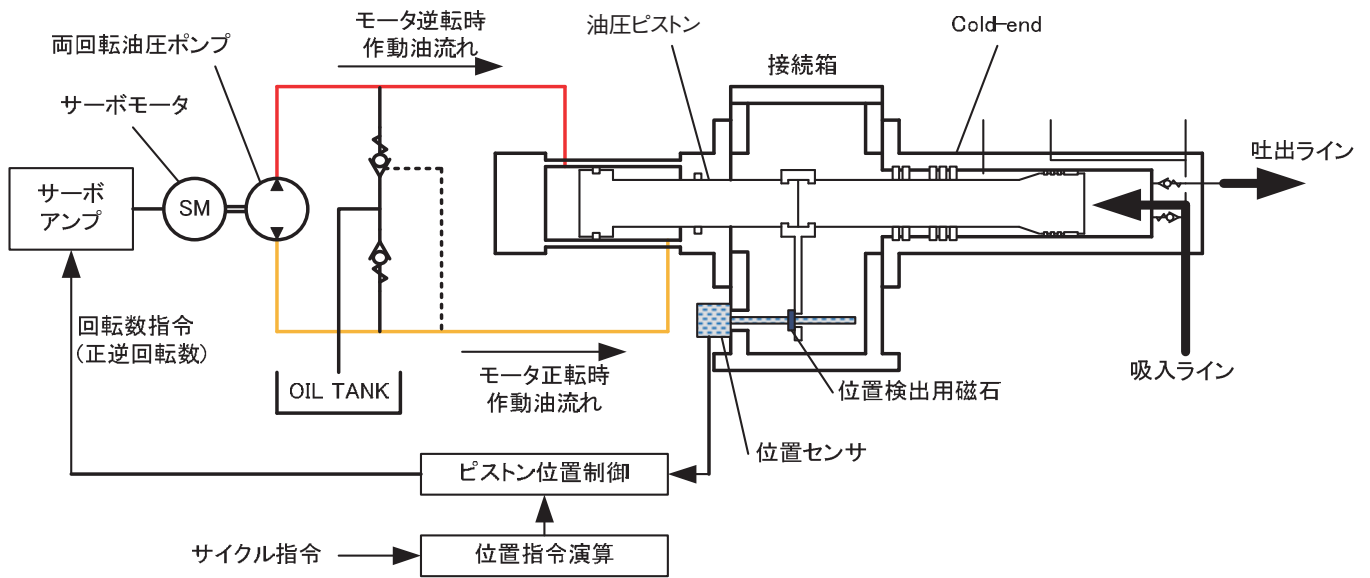


図4 油圧駆動システム概略図  
Schematic Diagram of Hydraulic Driving System

る。以下に動作原理を説明する。すなわち、油圧ポンプを正回転させると作動油は図の黄線の方向に吐出され、油圧ピストンは図の左方向に移動する。このとき、Cold-endは吸入動作を行う。一方、油圧ポンプを逆回転させると作動油は赤線の方向に吐出され、油圧ピストンが図の右方向に移動し、Cold-endは吐出動作を行う。また、油圧ポンプの回転速度を変更することにより、作動油の吐出量を変更できるので、油圧ピストンの速度を変更することが可能となる。これらの動作において、油圧ポンプは必要圧力・流量のみ供給するため、最小の消費動力でピストン位置の制御が可能となる。

### 3. 油圧駆動式高压ポンプの試験運転

#### 3.1 高压ポンププロト機仕様

製作した高压ポンププロト機は写真1に示すとおりであり、その仕様を表1に示す。本プロト機は2.で述べた機能

検証するため、100% SMCRが12 MWのME-GIエンジンを想定した。ここで、SMCRはエンジンの特定最大連続定格 (Service Maximum Continuous Rate) である。株式会社加地テックと共同で設計、製作した。また、油圧駆動ユニットの制御システムは、写真2に示す三井E&Sシステム技研株式会社製船用システム対応汎用制御装置 (コアユニット)<sup>7)</sup>を採用している。以下に、本プロト機による試験結果を示す。

#### 3.2 SFSS 実証設備

当社は、2013年高压ポンプと気化器を用いたSFSSを当社玉野事業所のME-GIエンジン陸上試運転設備用として設置した。その後、2015年にSFSS用ガス圧縮機を追加し、世界で初めて商用ME-GIエンジンに対して高压ガス圧縮機と高压ポンプから同時に供給可能なハイブリッド型のSFSSを実現した。さらに、2017年には高压ポンププロト機と吐出側制御弁からフラッシュドラム (FD) を介して貯槽タンク

表 1 高圧ポンププロト機主要目  
General Specification of Prototype Pump

項目	要目	
ME-GI エンジン出力*1	MW	12
使用流体	LNG (都市ガス 13 A)	
定格吐出圧力	MPaG	33
定格体積流量	L/min	70
定格質量流量*2	kg/h	1932
Cold-end 本数	本	常用 2 予備 1
Cold-end 内径	mm	75
Cold-end ストローク	mm	198
最大運転サイクル	1/min	50
最大シリンダ速度	mm/s	330

\*1 100% SMCR 値 (ME-GI エンジン燃費 145 g/kWh)

\*2 LNG 密度：460 kg/m<sup>3</sup>



写真 2 油圧制御装置  
Hydraulic Controller

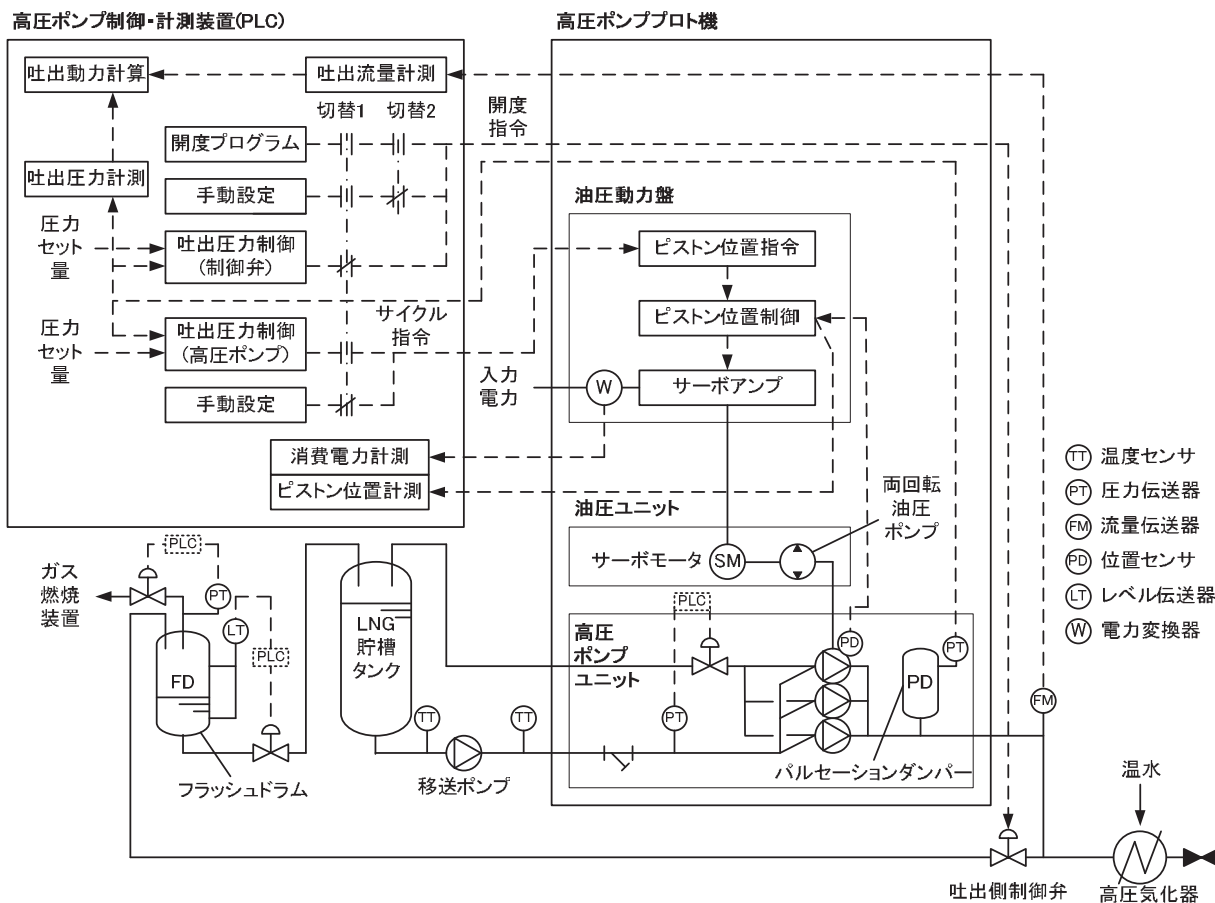


図 5 高圧ポンプ試験設備システム構成  
Test Facility for High Pressure Pump

へ LNG を戻す循環試験ライン及び高圧気化器を追加設置した。図 5 に高圧ポンプ試験設備のシステム構成を示す。これにより LNG を用いた高圧ポンプ単独の陸上試験が可能となった。

3.3 高圧ポンプ性能試験

本節では、高圧ポンプの基本性能計測結果を示す。図表等に特別な記載がない場合、試験は表 2 の条件で行っている。

3.3.1 性能曲線

図 6 に、実測したポンプ性能曲線を示す。曲線は、図 5 の吐出側制御弁により定格圧力 33 MPaG (以下、ゲージ圧を MPa で示す) に保ち、運転サイクル数を可変させた場合の吐出流量、ポンプシステム消費電力 (以下、消費電力) 及び総合効率を示す。ここで、定格吐出流量での総合効率は消費電力に対するポンプ理論所要動力の割合で 64.5% である。また、



表 2 LNG 高压ポンプ試験条件  
Test Conditions of Prototype Pump

項目	要目
使用流体	LNG (都市ガス 13 A)
貯槽タンク圧力	MPa ~ 0.3
吸入圧力	MPa 0.5
吸入流量	L/min 80 ~ 90
バルセーションダンパー容量	L 5
高压気化器ガス容量	L 7.5
油圧配管長	m 10

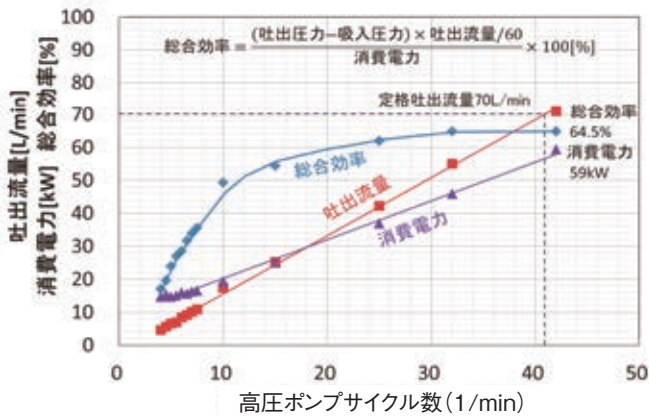


図 6 高压ポンプ性能曲線  
Performance Curve of Prototype Pump

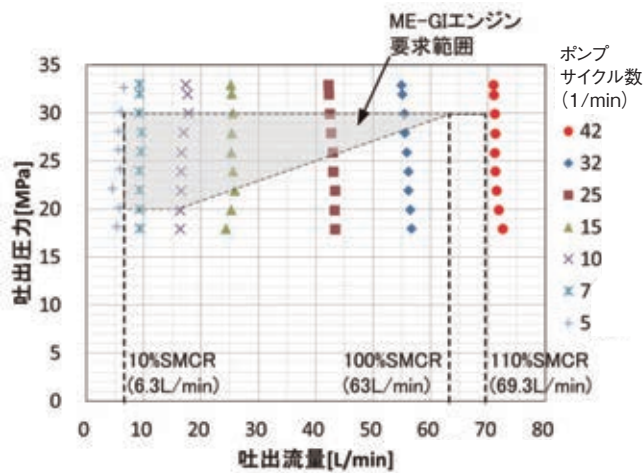


図 7 ME-GI 用高压ポンプ運転範囲  
Operating Range of Prototype Pump for ME-GI

ME-GI エンジン出力に対する消費電力の割合は 0.5 % 以下となり高効率なシステムであることが分かる。

### 3.3.2 ポンプ運転範囲

ポンプ運転範囲の試験結果として、SMCR を基準としたポンプ運転サイクル数を固定し吐出側制御弁により圧力を変化させた場合の吐出流量を図 7 に示す。これより、100 % SMCR 12 MW の ME-GI エンジンが要求する運転範囲 (10 ~ 110 % SMCR) をカバーできていることが分かる。

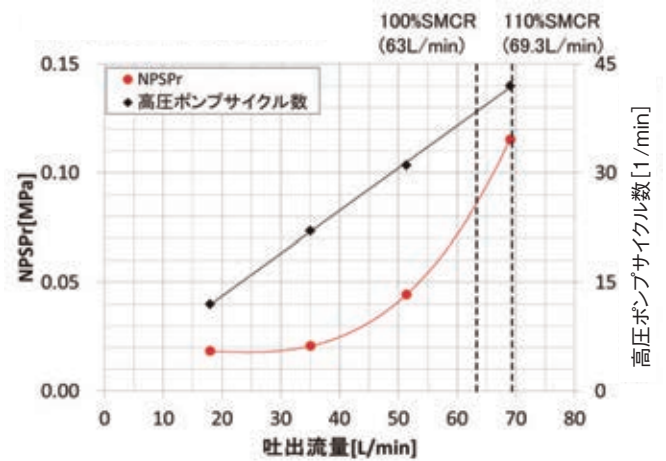


図 8 必要有効吸込み圧力  
NPSPr of Prototype Pump

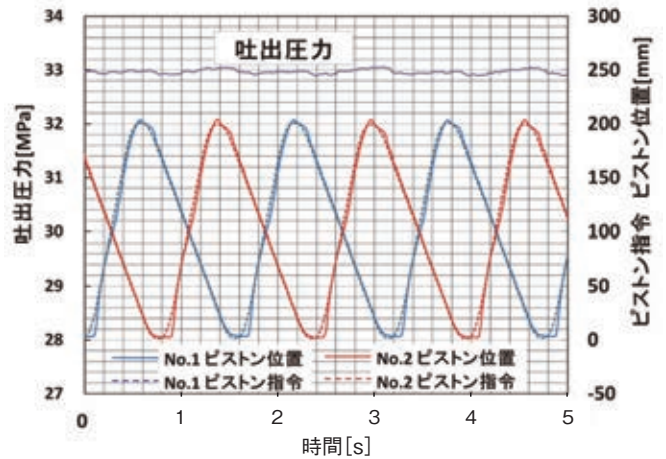


図 9 定常負荷時吐出圧力脈動  
Pressure Pulsation at Stable Load State

### 3.3.3 必要有効吸込み圧力

必要有効吸込み圧力 (required Net Positive Suction Pressure : NPSPr) の試験結果を図 8 に示す。試験方法は、ANSI/HI.6.6 Reciprocating Pump Tests に準拠した。ただし、試験には水ではなく LNG を使用した。これより ME-GI エンジンが 110 % SMCR 運転時の NPSPr は 0.12 MPa であり、燃料タンク内に設置するサブマージポンプにより昇圧された燃料が直接高压ポンプに供給される場合には、この値はサブマージポンプの昇圧値に比べ充分小さいと言える。

### 3.4 高压ポンプ動特性

本節では、2.2 で示した油圧駆動方式の有効性を確認するため、定常負荷及び変動負荷時における吐出圧力脈動の計測結果を示す。

#### 3.4.1 定常負荷時の圧力脈動

図 9 に、定常負荷時のポンプ動特性としてピストン吐出圧力及び流量が定格時における吐出圧力脈動及び Cold-End ピストン位置の計測結果を示す。圧力脈動範囲は ±0.1 MPa 以下であり、ME-GI の要求条件である ±0.2 MPa 以下であ

ることを確認した。これは、ピストン位置が指令に対して正確に制御された結果、ピストン速度が台形波状に変化し吐出量が一定であることを示している。本試験により、採用した油圧駆動ユニットが、コントローラを含めて 2.2 で示した制御機能を有していることを確認した。

3.4.2 変動負荷時の圧力脈動

荒天時を模擬した ME-GI エンジンの仕様として、10 秒周期で流量（ガス消費量）が変化した場合の吐出圧力の脈動範囲が ±1 MPa 以下であることが要求されている。そこで、定常運転条件の吐出圧力 30 MPa、流量 52 L/min において負荷変動 ±10 L/min を与えたときの吐出圧力計測結果を図 10 に示す。圧力脈動範囲は ±0.7 MPa であり、ME-GI エンジンの要求条件を満足していることが分かる。

なお、負荷（流量）変動は図 5 の試験回路において吐出側制御弁の開度を変動させることにより発生させた。また、吐出圧力制御は、計装用プログラマブルロジックコントローラ (PLC) の PID 制御ファンクションブロック<sup>8)</sup> で実現して

いる。すなわち、制御性能は、圧力セット量及び吐出圧力を PID 制御ファンクションブロックに入力し演算結果をサイクル数指令として、油圧駆動ユニットの制御システムに与えたシンプルな構成で達成できた。これは、クランク式に比べ 2 次慣性モーメントが小さい油圧駆動方式を採用したことにより、本システムが機械的に高応答なためと考えられる。

4. おわりに

今回、ME-GI エンジン向け SFSS 用高圧ポンプとして、LNG 燃料船市場の要求に応えるため油圧駆動式高圧ポンプを試作した。その性能及び動特性において ME-GI エンジンの運転条件を満たし、さらに冗長性を確保しつつ設備を最小化できることを確認した。当社では本試験結果をもとに、表 3 に示すように ME-GI エンジン出力 42.2 MW まで対応する高圧ポンプをラインナップしている。プロト機に相当する型式は、本表の MHP-3 である。

今後は、ME-GI エンジンと SFSS のキーハードである高

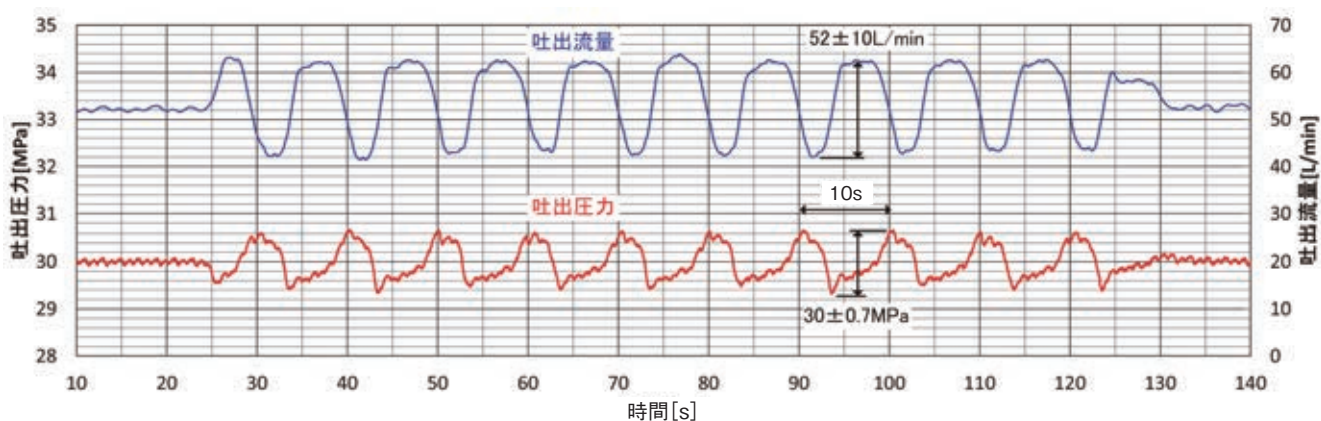


図 10 変動負荷時吐出圧力脈動  
Pressure Pulsation at the Variation Load State

表 3 LNG 用高圧ポンプのラインナップ  
Product Series of LNG High Pressure Pump

型式*1	MHPs-3	MHP-3	MHP-4	MHP-5	MHP-6
エンジン出力 [MW] *2	~ 6.4	6.5 ~ 16.8	16.9 ~ 25.3	25.4 ~ 33.7	33.8 ~ 42.2
モジュール数	3	3	4	5	6
定格体積流量 [L/min]	~ 37.5	37.5 ~ 97.6	97.6 ~ 146.4	146.4 ~ 195.3	195.3 ~ 244.1
定格質量流量 [kg/h] *3	~ 1 036	1 037 ~ 2 695	2 696 ~ 4 042	4 043 ~ 5 389	5 390 ~ 6 737
定格時消費電力 [kW] *4	~ 38	38 ~ 101	113 ~ 162	162 ~ 203	216 ~ 265
冷却水量 [L/min]	40	60	105	120	165
エアー [NL/min]	15	15	15	30	30
N <sub>2</sub> [NL/min]	30	30	40	50	60
サイズ [Lm×Wm×Hm] (メンテナンス含)	2.8m×2m×2m (4.8m×3.6m×2.3m)	3m×2m×2m (5m×3.6m×2.3m)	3m×2.6m×2m (5m×4.2m×2.3m)	3m×4.3m×2m (5m×5.9m×2.3m)	3m×4.5m×2m (5m×6.3m×2.3m)
概算重量 [tons]	7	7	9	13	14

\*1 型式 MHP□-□ ← シリンダ本数  
 S : ショートストローク  
 無 : 通常ストローク

\*2 100 % SMCR 値 (ME-GI エンジン燃費 145 g/kWh) \*3 LNG 密度 : 460 kg/m<sup>3</sup> \*4 油圧配管長 10 m 時



圧ガス圧縮機及び高压ポンプを組み合わせた統合試験ができる世界で唯一のメーカーとして、本プロト機を ME-GI エンジンの陸上試運転用設備として運用するとともに、運転データの取得を通じて長期信頼性を検証する予定である。また、さらに、消費動力の削減を図るべく動作最適化や部品の消耗による状態変化の解析を進め、メンテナンス時期を最適化する高度なアフターサービスの提供を進めていく所存である。

### 参 考 文 献

- 1) IMO : Revised MARPOL Annex VI - Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships 2008, (2009)
- 2) 国土交通省 HP : 海運のクリーン化に向けて「LNG 燃料船」の技術を検証, [http://www.mlit.go.jp/report/press/kaiji07\\_hh\\_000108.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/kaiji07_hh_000108.html), (2018-10-19)
- 3) MAN Energy Solutions : ME-GI Applications, <https://marine.man-es.com/two-stroke/2-stroke-engines/me-gi-engines>, (2018-10-19)
- 4) K.Namba, et al. :Development of Mitsui High-Pressure Compressor for Fuel Gas Supply System of

ME-GI engine, CIMAC Congress 2016, Helsinki, 168 (2016-6)

- 5) 流体機械ハンドブック, 朝倉書店, (1998), p.164
- 6) 日本ムーグ株式会社 : サーボ弁の選定ガイド, [http://www.moog.co.jp/literature/ICD/servo\\_valve\\_selection\\_guide-ja.pdf](http://www.moog.co.jp/literature/ICD/servo_valve_selection_guide-ja.pdf), (2018-10-19)
- 7) 青山 : 組み込み系システム機器の技術, 三井造船技報, 209 (2013-7), p.6
- 8) 三菱電機株式会社 : PX Developer Version1 プログラミングマニュアル, (2016-10), p.9

〔問い合わせ先〕

株式会社三井 E&S マシナリー ディーゼル事業部 営業部  
TEL 03-3544-3142 咲本 裕介



片山 秀樹 鴻巣 真 古川 将也 中谷 泰貴

# ガスリフトポンプに関する基本性能の実験検討

村山 哲郎\* 加藤 寿仁\*\* 廣田 真宏\*\*\*

## Experimental Study on the Characteristics of Gas Lift Pump

Tetsuro MURAYAMA, Toshihito KATO, Masahiro HIROTA

Shallow gas-hydrate has been surveyed in the seas around Japan, and it is attracting attention as one of the unconventional marine resources. As a result, entrusted research for investigation of production methods has been advertised, and we have proposed a production method using a gas-lift pump. For the purpose of obtaining the lift performance of gas-lift pump, it is practical to show the head curve same as the performance of general pump. In addition, the gas-lift pump is assumed to operate in a wide flow change from start up to overflow point due to the condition of the lifting fluid. Therefore, it is important to evaluate the lift curve for a wide flow range in order to predict performance. Conventional studies have determined the flow rate and pump efficiency as parameters of injected gas volume. However, if the flow rate of the water supply system cannot be adjusted, only the pump properties on a resistance curve are evaluated, and a wide range of head curves cannot be obtained. In this paper, a model test, targeting a vertical tube with an inner diameter of 106 mm and a length of 12.5 m, was carried out for relationship between pump efficiency and void fraction as the parameters of gas-liquid flow. The relation obtained here was arranged in dimensionless number consisting of flow rate coefficient, head coefficient, and specific speed, and the performance in a wide range of gas-lift pumps was shown.

表層型メタンハイドレートは、日本近海での賦存量調査が行われ、非在来型の海洋資源の一つとして注目されている。その成果を受け生産手法の調査を目的とした委託研究が公募され、三井 E&S ホールディングスはこれにガスリフトポンプを利用した生産手法を提案している。ガスリフトポンプの揚取性能を得る場合、一般的なポンプの性能と同様に揚程曲線で示すことが実用上便利である。また、ガスリフトポンプは揚取流体の状態により起動から過大流量点までの広い流量範囲での運転が想定されるので、性能予測のためには、広い流量変化に対する揚程曲線の評価が重要である。しかしながら、従来の研究では吹込ガス量をパラメータとして流量、ポンプ効率を求めており、送水設備の流量調整ができなければ、ある抵抗曲線上のポンプ特性のみが評価対象となり、広範囲の揚程曲線は得られない。本報では内径 106 mm、長さ 12.5 m の鉛直管を対象として、気液流量をパラメータにポンプ効率、ボイド率の関係について模型実験を行い、その特性を流量係数、揚程係数、比速度からなる無次元数で整理し、ガスリフトポンプの広範囲の揚取性能を示した。

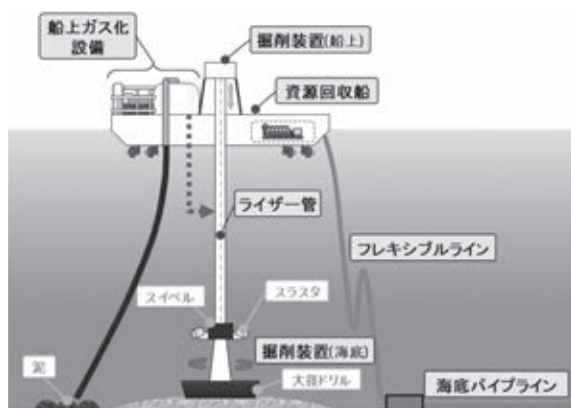


図1 生産システム全体イメージ

Schematic Illustration of Shallow Methane Gas-Hydrate Production System

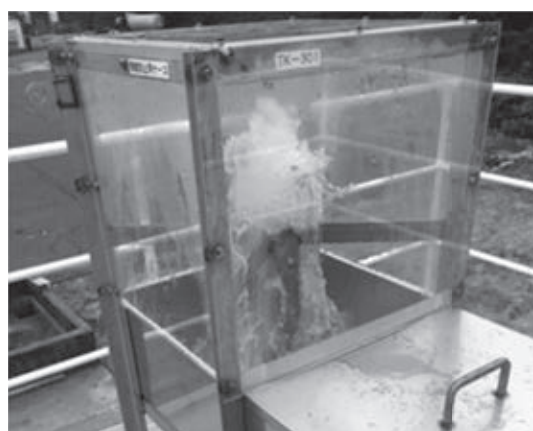


写真1 ガスリフトポンプによる揚水状況

Experimental Situation of Gas-Lift Pump Outlet

\* 三井 E&S ビジネスサービス 技術開発部  
\*\*\* 三井 E&S ビジネスサービス 技術開発部

\*\* 三井 E&S ホールディングス 技術統括部



1. はじめに

表層型メタンハイドレートは水深1000 m程度の海底直下に存在している<sup>1)2)</sup>。これを回収し資源化する生産手法として、海底を掘削しメタンハイドレートを適当なサイズに破碎した後、ガスリフトポンプでメタンハイドレート、海底の泥・れき、海水をメタンガスと共に洋上に輸送する方法等が提案されている<sup>3)</sup>。ガスリフトポンプは、吹込ガス圧縮機以外に運動する部分がなく、構造が単純で流路に障害物がないため、固体を含む流体の輸送に適している<sup>4)</sup>。ガスリフトポンプを使用するメタンハイドレート生産システムの概念を図1に示す。

ガスリフトポンプ内の流体は固気液混相流であるため、実際の運転条件における性能を予測するためには、ポンプ内の固体濃度やボイド率等の知見が必要になる。しかし、固気液混相流の流動状態を解析的に求めることは困難である。そこで、模型実験を行い実際の運転条件を想定した混相流におけるポンプ特性を得ることを考えた。模型実験の結果から実際のガスリフトポンプの性能を推定するためには、模型と実機が幾何学的相似であるだけでは不十分であり、力学的にも相似でなければならない。つまり、相似条件を求めるためには、ガスリフトポンプに係る力学的な関係を考慮して物理量を選択し、無次元数を求めなければならない。

相似則の誘導には微分方程式による方法、次元解析<sup>5)</sup>による方法がよく知られている。しかし、本報では現象を支配する物理現象を見極め、これらの関係を代表値で示し無次元数を誘導する方法<sup>6)</sup>を用いた。この手法は現象の物理的解釈の観点から相似則を理解できる点で優れている。

小型ポンプの性能から相似形の大型ポンプの性能を予測する手法は古くから研究され、規格化もこの観点から整備されている<sup>7)</sup>。ガスリフトポンプにおいても、相似条件を見出すことができれば、小型装置から実機性能を換算することで、予測することが可能になるはずである。

本報では、一般的なポンプにおける流量係数、揚程係数、比速度に相当する無次元数を、ガスリフトポンプについて提案する。次に、気液二相流の模型実験でポンプの主要寸法である吹込深度を変えた実験を行い、広い流量範囲での揚程曲線を取得し、選定した無次元数の有効性を示す。

2. ガスリフトポンプの相似則

まず、ガスリフトポンプの原理を図2を用いて説明する。

ガスリフトポンプでは、海底と洋上の間に鉛直に保持された管内に、ガスを鉛直方向に沿った適当な深度(吹込深度)から吹込むことにより、海底の海水を洋上に汲み上げることができる。吹込深度より上部(駆動部)の管内流体は、吹込まれたガスと海水の混相流となり、その平均密度が吹込深度より下方の海水の密度より低下する。これにより管全体では鉛直上向きの浮力が発生し、底部の海水が揚取される。通常のポンプでは羽根車の回転力により流体が運動エネルギーを得るが、ガスリフトポンプの場合には吹込深度に相当する圧力で吹き込まれたガスが、洋上に相当する圧力(大気圧)ま

で膨張することでエネルギーを得る。この効果により、底部より空塔速度 $u_l$ で液体を上昇させることができる。

駆動部内の混相流の運動は時間当たりの液量(重力) $F_{gl}$ 、時間当たりのガス量(浮力) $F_{gg}$ 、液の揚程 $F_{pl}$ 、ガスが持ち込む膨張力 $F_{pg}$ に影響を受ける。ここで、 $\rho_l$ を液密度、 $\rho_{g0}$ を垂直円管出口ガス密度、 $Q_{g0}$ を同ガス量、 $g$ を重力加速度、 $D^2$ を垂直円管断面積、 $\Delta p_l$ を液単相による管内壁との摩擦損失及び位置ヘッドを含む駆動部の差圧、 $p_s$ を吹込圧力、 $t$ を時間とし、代表値で表すと次のようになる。

$$F_{gl} = \rho_l g D^2 u_l t \dots\dots\dots (1)$$

$$F_{gg} = \rho_{g0} g Q_{g0} t \dots\dots\dots (2)$$

$$F_{pl} = \Delta p_l D^2 \dots\dots\dots (3)$$

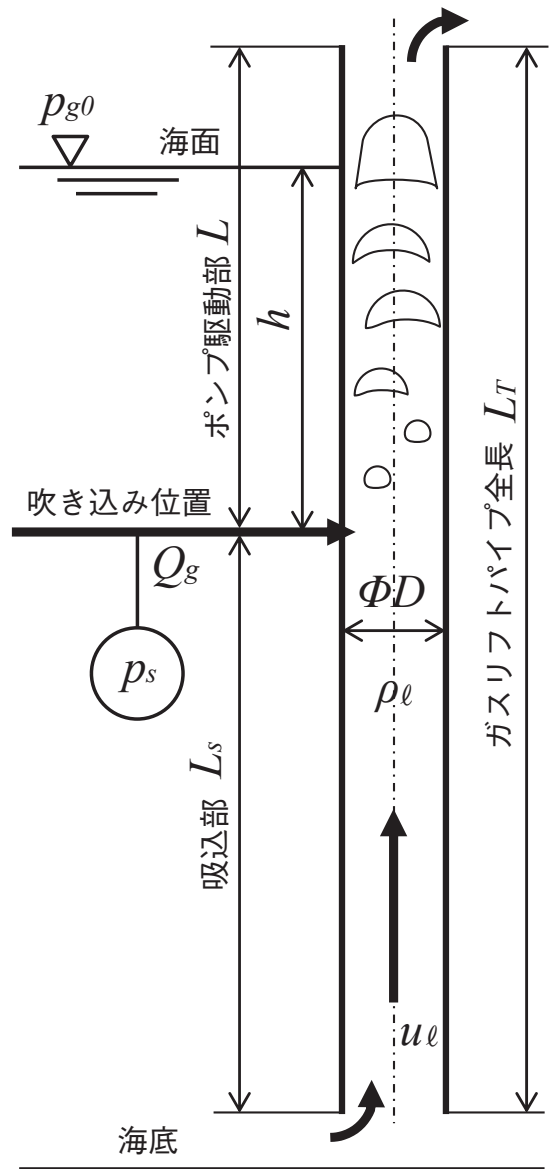


図2 ガスリフトポンプ記号  
Explanation of Symbol of Gas-Lift Pump

$$F_{pg} = p_s D^2 \dots\dots\dots (4)$$

これらの力  $F_{g\ell}$ ,  $F_{gg}$ ,  $F_{p\ell}$ ,  $F_{pg}$  の組合せから以下のように流量係数  $\phi$ , 揚程係数  $\psi$ , 比速度  $N_s$  を無次元数として得ることができる。

$$\phi = \frac{F_{g\ell}}{F_{gg}} = \frac{\rho_\ell D^2 u_\ell}{\rho_{g0} Q_{g0}} \dots\dots\dots (5)$$

$$\psi = \frac{F_{p\ell}}{F_{pg}} = \frac{\Delta p_\ell}{p_s} \dots\dots\dots (6)$$

$$N_s = \frac{\phi}{\psi} = \frac{D^2 u_\ell p_s}{Q_{g0} \Delta p_\ell} \dots\dots\dots (7)$$

ここで  $\phi$  は、式 (5) で示されるが、 $\rho_\ell / \rho_{g0}$  の関係は実機と模型で変わらないため、式 (8) とした。

$$\phi = \frac{D^2 u_\ell}{Q_{g0}} \dots\dots\dots (8)$$

また、ポンプの水動力  $E_\ell$  は水の流量を  $Q_\ell$  とすると式 (9) で表される。

$$E_\ell = \rho_m g H Q_\ell \dots\dots\dots (9)$$

ここで、 $\rho_m$  は駆動部の混相流の平均密度、 $H$  は全揚程であるが、駆動部全体にわたる平均密度の測定は困難である。そこで、予め駆動部に水を流して測定した吹込部の圧力  $\Delta p_\ell$  とガス吹込により低下した圧力  $p_s$  から

$$H = \frac{\Delta p_\ell - p_s}{\rho_\ell g} \dots\dots\dots (10)$$

として求めた。したがって  $E_\ell$  は式 (11) とした。

$$E_\ell = \rho_\ell g H Q_\ell \dots\dots\dots (11)$$

次に、ガス動力  $E_g$  については、駆動部での液体の熱容量がガスに比べて十分大きいので、ガスの膨張による仕事を等温膨張と仮定し、

$$E_g = p_{g0} Q_{g0} \ln(p_s / p_{g0}) \dots\dots\dots (12)$$

とした。

従って、ポンプ効率  $\eta$  は式 (13) となる。

$$\eta = \frac{E_\ell}{E_g} = \frac{\rho_\ell g H Q_\ell}{p_{g0} Q_{g0} \ln(p_s / p_{g0})} \dots\dots\dots (13)$$

### 3. 実験装置と実験結果

#### 3.1 実験装置

図 3 は一般的なポンプの性能曲線である。ポンプの運転

点はポンプの接続された送水設備の抵抗曲線とポンプ性能を示す揚程曲線の交点になる。ポンプの揚程曲線を得るためには、送水設備の抵抗曲線を管路に設けた弁の開度を調整することにより  $R_1$  から  $R_2$  に変化させる。その交点であるポンプ運転点は A から B に移動し、その点を結んだものが揚程曲線として得られる。

一方、ガスリフトポンプの従来の実験では、実機を模して図 2 のような実験系を用いることが多く、送水設備に当たる吸込部の長さを変えることが難しい。つまり、抵抗曲線を変えられないため、ポンプの運転点は抵抗曲線上を移動することとなり、揚程曲線を求めることはできない。この対策として本報では、ポンプ性能を広範囲で取得するため、図 4 に示す実験系の装置を製作し実験を行った。この実験系では流量制御ポンプとガスリフトポンプを直列運転し、流量制御ポンプでガスリフトポンプの流量を制限することにより、ガスリフトポンプに対する抵抗曲線を広範囲に変えることが可能となる。この方法の利点として

- ・ 揚程曲線上 (吹込ガス量一定) で揚水量と全揚程の関係を得ることが可能。
  - ・ 吹込深度を変えて揚程曲線を得ることが可能。
  - ・ 固気液混相流でのポンプ性能取得も可能。
- などがある。

水槽の液体は流量制御ポンプによって下端を閉止した垂直円管の下部に送液される。一方、ガス圧縮機で圧縮した空気は、流量、吹込圧力を測定した後、垂直円管途中から液中に吹き込まれ気泡となる。気泡と下部から供給される液体は、混相流となり垂直円管出口から流出する。混相流は水槽までの流路で気液分離され、このうち液体は水槽に戻り再び循環する機器配置とした。流量制御ポンプ出口には気液分離状態を目視確認するため、透明アクリル管を使用し液体への気泡

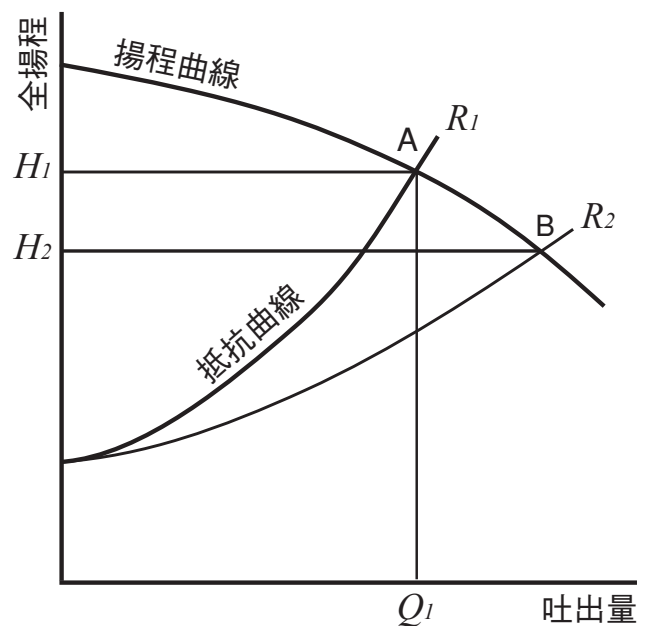


図 3 揚程曲線と抵抗曲線の関係  
Pump Characteristics



巻き込みの有無を確認した。垂直円管は内径 106 mm, 全長 12.5 m のステンレス管を使用し, 管内の流動状態を観察するために出口付近に透明アクリル管を用いた。ガスの吹込深度は垂直円管上端から 4.5 m ( $L_1$ ), 10.5 m ( $L_3$ ) にあり実験条件により切り替えて使用した。垂直円管には高さ毎に水没式圧力伝送器 (共和電業社製 BPR-A) を設置し水圧を測定している。ガス吹込部は内径 26 mm の単孔とし, 水平方向から圧縮ガスを吹込んだ。垂直円管内のボイド率は, 管出口に設置したガンマ線式密度計 (ナノグレイ社製 PH-1050) で連続的に測定した。実験時の状況を写真 1 に示す。

3.2 実験結果

実験では液流量をおおよそ一定に制御し, 吹込ガス流量の段階的な変化に伴い吹込圧力, ボイド率  $\alpha$  がどのように変化するかを測定した。これを液流量及び吹込深度 ( $L_1, L_3$ ) 毎に行った。図 4 の垂直円管に対し, 測定した結果を次に示す。

図 5 は吹込深度  $L_1$  及び  $L_3$  における液空塔速度  $u_l$  とボイド率の関係を吹込ガス空塔速度  $u_g$  をパラメータとして示している。ここで,  $u_g$  は垂直円管出口での空塔速度である。

$u_l$  が低い範囲で  $\alpha$  は高いが,  $u_l$  の増加に伴い  $\alpha$  は低下する。特に  $u_g = 0.6 \text{ m/s}$  では,  $u_l$  の増加に伴い  $\alpha$  は急激に低下する。

同様にポンプ揚程  $\rho_l g H$  と  $u_l$  の関係が図 6 である。ここで,  $H$  は式 (10) による。  $u_g$  の増加により  $H$  は増加する。

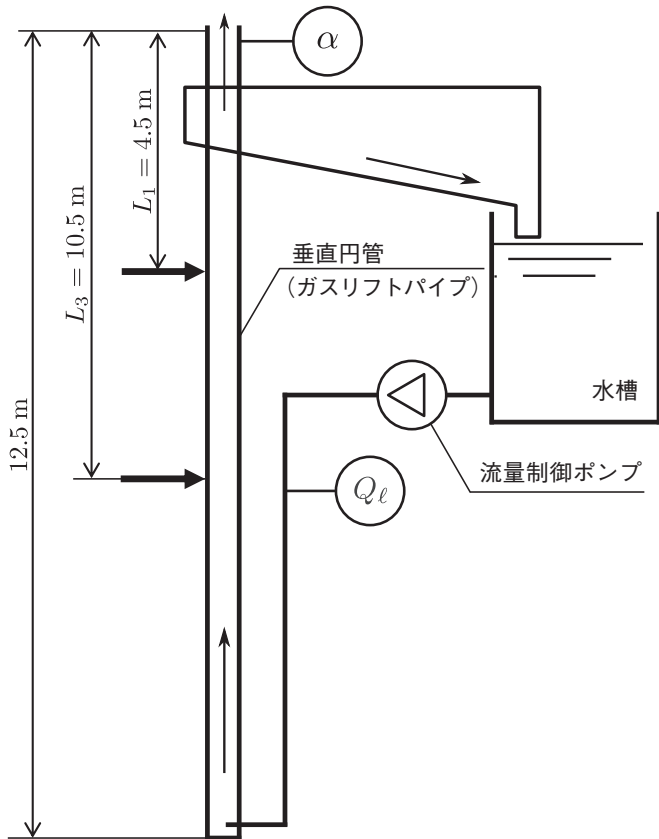


図 4 実験装置  
Schematic Diagram of Experimental Apparatus

同一の  $u_g$  で  $L_1$  と  $L_3$  を比較した場合, 吹込深度が浅い  $L_1$  に比べ, 吹込深度が深い  $L_3$  の  $H$  は大きく,  $u_g$  の変化に対する  $H$  の変化幅が大きい。一方,  $L_1$  の  $u_g=1.8$  及び  $2.5 \text{ m/s}$  は揚程の差がない。また, 吹込深度の浅い  $L_1$  では  $u_l \approx 3 \text{ m/s}$  で揚水能力を持たない。以上より, 吹込深度が深いほど揚水性能が高いことが分かる。

3.3 ポンプ効率

ポンプ効率  $\eta$  を図 7 に示す。  $L_1$  と  $L_3$  を比較すると  $L_1$  では  $u_g$  に対して  $\eta$  の極大値の変化が大きいが,  $L_3$  では  $\eta$  の極大値に変化が少ない。  $L_1, u_g=0.6 \text{ m/s}, u_l=1.2 \text{ m/s}$  で  $\eta$  は 60% だが, 揚程は 9 kPa であり高くない。  $L_3$  では  $u_l \leq 1 \text{ m/s}$  で  $u_g$  に関わらず同一線上に乗るが,  $u_l$  が増加すると  $u_g$  の高い順に  $\eta$  は低下する傾向になる。  $u_g$  が同じであっても吹込深度の違いにより  $\eta$  の傾向が異なることが確認できる。

$u_g$  に関わらず  $u_l$  が増加すると, 一旦  $\eta$  は上昇するが  $u_l \geq 1 \text{ m/s}$  で低下する。ガスの膨張エネルギーは液側に伝わる時, 気液間の加速損失や管内壁との摩擦損失を生じる。

これら損失が小さいほど  $\eta$  は大きくなる。従って  $\eta$  の上昇は, 気液間の相対速度が徐々に低下することで, 気液間の加速損失が低下することによる。また,  $\eta$  の低下は  $u_l$  の増加により管内壁との摩擦損失の影響が大きくなるためである。

4. 性能の無次元表示の効果

ポンプ特性及びボイド率を無次元表示でまとめた。ポンプ特性は図 8 に示すとおりであり, 比速度を横軸として, 流量係数, 揚程係数, ポンプ効率を縦軸に取ってポンプ特性を示している。ボイド率は図 9 に示すとおりであり, 図 8 と同様に比速度を横軸とし, ボイド率を縦軸に取って示している。

無次元数でない場合の図 6, 図 7 では, 当然ながら吹込深

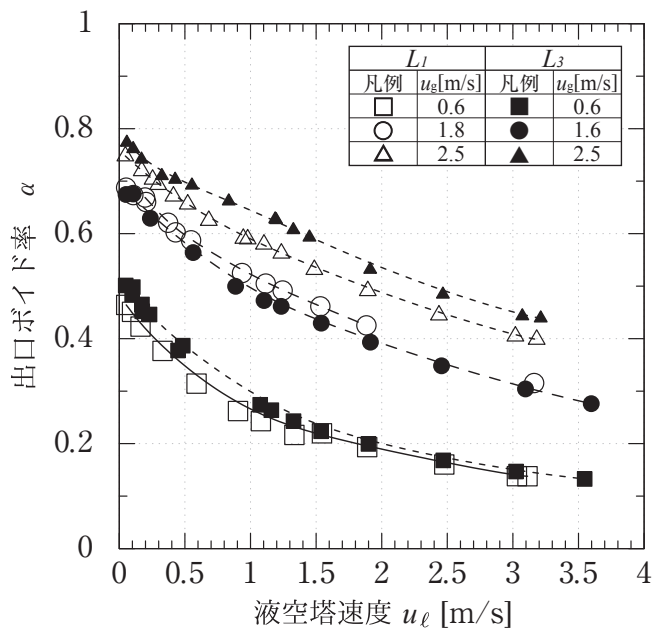


図 5 ボイド率  $\alpha$  と液空塔速度  $u_l$  の関係  
The Relation of  $\alpha$  to  $u_l$  for Gas-Liquid Two Phase Flow

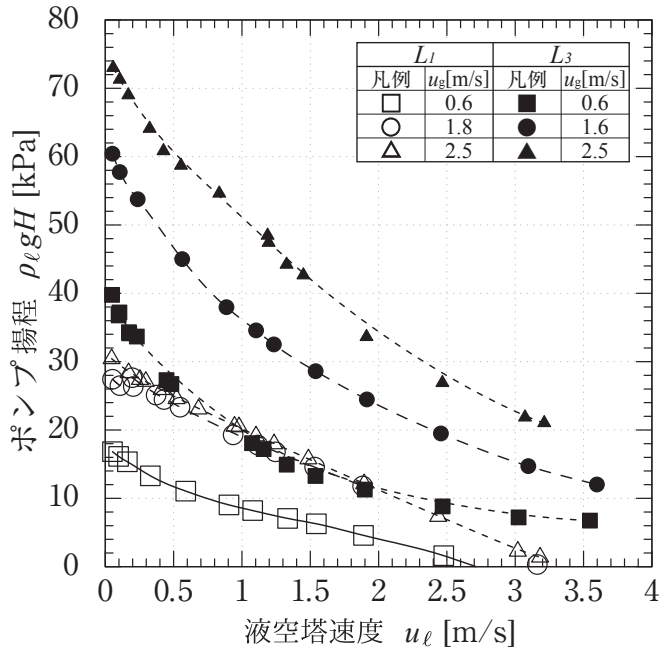


図6 ポンプ揚程  $\rho_e g H$  と液空塔速度  $u_\ell$  の関係  
The Relation of Pump Head to  $u_\ell$  for Gas-Liquid Two Phase Flow

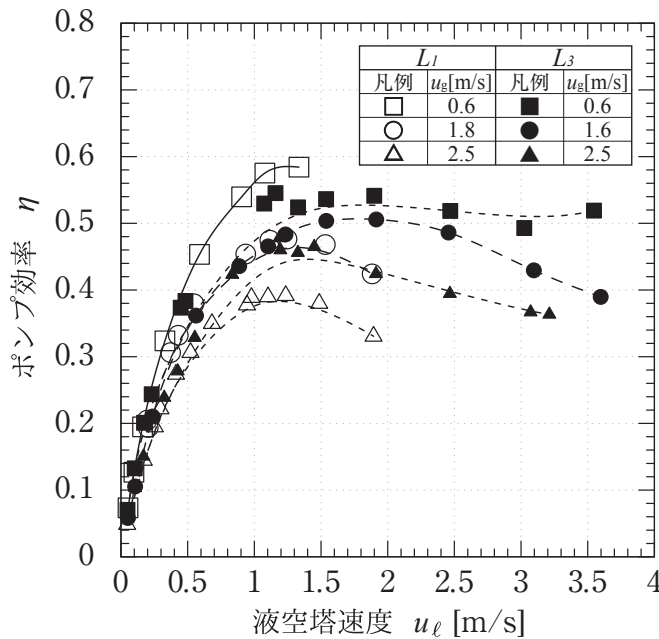


図7 ポンプ効率  $\eta$  と液空塔速度  $u_\ell$  の関係  
The Relation of Pump Efficiency to  $u_\ell$  for Gas-Liquid Two Phase Flow

度により特性が分かれるが、比速度で表すと吹込深度に関わらず、吹込流量毎にほぼ同一線上に乗って表示される。このことは、設計条件における比速度からポンプ効率や揚程曲線を定めることができるため、高効率なガスリフトポンプを設計しようとする観点で有効である。

しかしながら、 $N_s \approx 0.8$  で揚程係数が異なることに関しては今後の課題である。

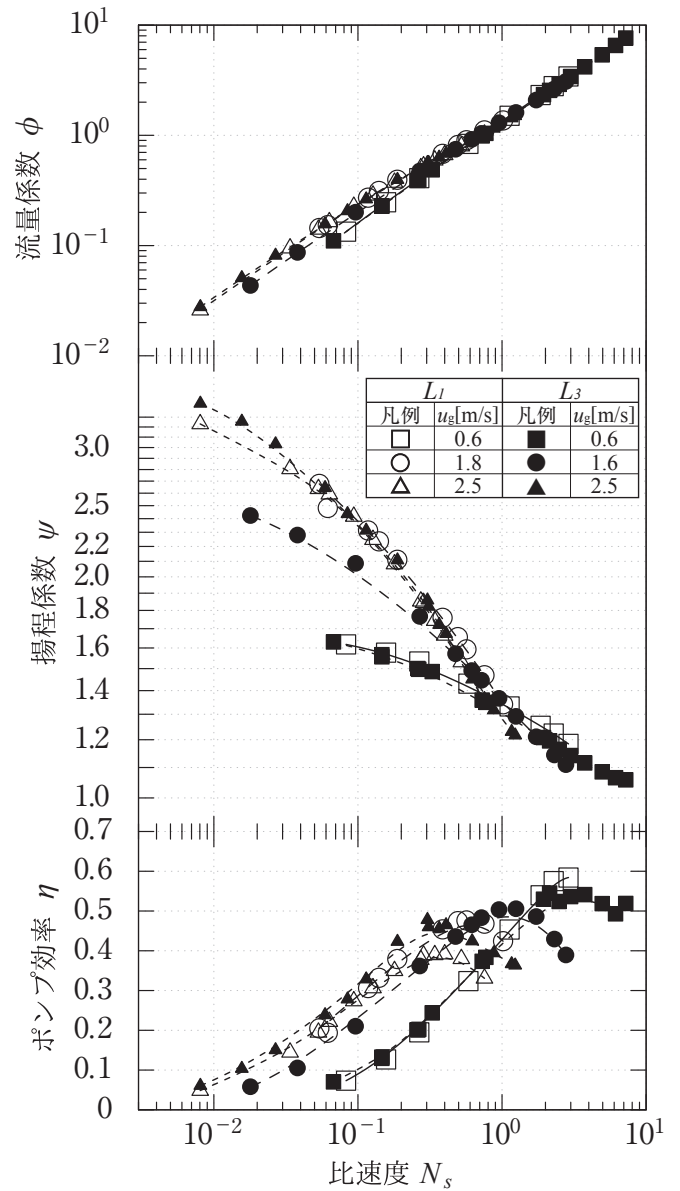


図8 ポンプ特性と比速度  $N_s$  の関係  
The Relation of  $\phi, \psi, \eta$  to Type Number  $N_s$  for Gas-Liquid Two Phase Flow

### 5. おわりに

ガスリフトポンプの流量係数、揚程係数、比速度からなる無次元数を提案し、模型実験から取得したポンプ特性に適用した。その結果、吹込深度が異なるポンプ性能が同一線上で示されることを確認し、比速度のガスリフトポンプ設計への有効性を示した。

表層型メタンハイドレート生産におけるガスリフトポンプ揚収性能を得るためには、模型実験により実機で予測される運転条件を含むより広範囲な実験条件で、その影響を精度良く測定することが必要となる。そのため筆者らは下記の項目について検証を進めている。

- ① 泥スラリーや固気液混相流条件の影響
- ② 気泡径の微細化による影響
- ③ スケールアップに関する管径方向の影響



参考文献

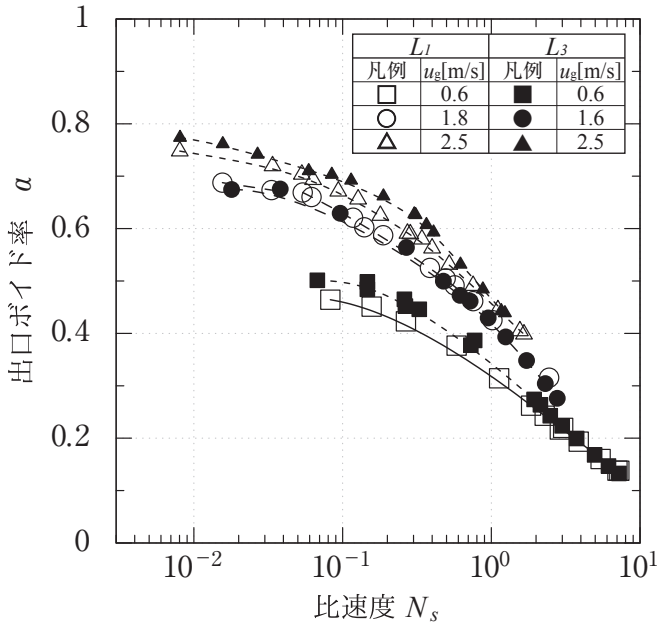


図9 ボイド率  $\alpha$  と比速度  $N_s$  の関係

The Relation of Void Fraction  $\alpha$  to Type Number  $N_s$  for Gas-Liquid Two Phase Flow

ここでスケールアップの観点では、ガスリフト管径拡大に伴うポンプ効率の確認が必要である。管径が大きくなると、相対的に粘性の影響は弱まり壁面摩擦損失が低下するため、ポンプ効率は上昇することが報告<sup>8)</sup>されているが、泥スラリの場合は粘性、密度が水と異なることから実験的な検証をすべきである。また、気泡径の微細化の観点では、海水及び高圧条件による気泡の微細化の影響があり、特に実機の吹込深度での吹込圧力は数MPaに及び、吹き込まれたガスの気泡径は大気圧下での模型実験の気泡径と大きく異なる。しかしながら、模型実験では大気圧下での実験を原則としているため、別途高圧条件での流動特性を取得することで、比速度等の適用範囲の確認を進めている。

- 1) 松本：総説 メタンハイドレート，地質学雑誌，181，1 (2009)，p.7
- 2) 森田：経産省による日本海表層型メタンハイドレート広域調査の概要，日本地質学会学術大会講演要旨，(2015)，p.194
- 3) 国立研究開発法人産業技術総合研究所：表層型メタンハイドレート回収技術開発に関わる調査研究，<https://unit.aist.go.jp/cpiad/ja/itaku/info/itaku-20170602.html>，(2018-10-17)
- 4) 吉川．外：2-3．深海底資源メタンハイドレートの回収に関する流体力学基礎研究（(1)メタンハイドレート i,session2 天然ガス・メタンハイドレート等），日本エネルギー学会大会講演要旨集，80 (2002)，p.84
- 5) 桑名．外：次元解析と火災研究，日本火災学会論文集，57，2 (2007)，p.39
- 6) 江守．外：模型実験の理論と応用 第3版，(2000)，技報堂出版
- 7) 日本規格協会：JIS B 8327 模型によるポンプ性能試験方法，(2013)
- 8) 村上．外：浸漬型エアリフトカラムのポンプ効率の向上に関する研究．水質汚濁研究，14，8 (1991)，p.556

〔問い合わせ先〕

株式会社三井 E&S ホールディングス 技術統括部  
TEL 03-3544-3280 加藤 寿仁



村山 哲郎



加藤 寿仁



廣田 真宏

首都高速道路5号池袋線におけるRC床版の補修・補強工事  
 — (修) 上部工補強工事 1-111 (2) —



写真1 樹脂注入状況



写真2 炭素繊維シート貼付状況

首都高速道路が供用を開始してから約50年が経過し、橋梁自体が傷んできている。そのため、高速道路の長寿命化や安全性向上を図るため補修・補強工事を行っている状況である。そのような中、工事を受注し、断面修復工若しくはひび割れ注入工及び補強工事を行った。

施工ステップ

RC床の補修・強工の施工フローチャートを図1に示す。事前調査後、損傷図及び施工図を作成し、断面補修部がある場合は断面修復工を施工し、ひび割れがある場合はひび割れ注入工を施工した(写真1)。その後、炭素繊維シートを床版の裏側に貼り付けて、床版に加わる荷重を軽減させる床版補強工の施工を行った(写真2)。

補修工事

補修工事としては、断面修復工及びひび割れ注入工のほかに、コンクリート片剥落防止工、塗替塗装工(桁部)、塗替塗装工(脚部)及び裏面吸音板補修工を実施した。

補強工事

床版補強工の施工図を図2に示す。補強に用いた炭素繊維シートは、1層目を橋軸直角方向に、2層目を橋軸方向に貼付けた。含浸接着材(下塗り)を塗布した後、炭素繊維シートを貼り付け、脱泡ローラーを使用して残留空気を除去しながら、折れ・よれがないように入念に炭素繊維シートを押さえ、含浸接着材(上塗り)を塗布し表面を平坦に仕上げた。

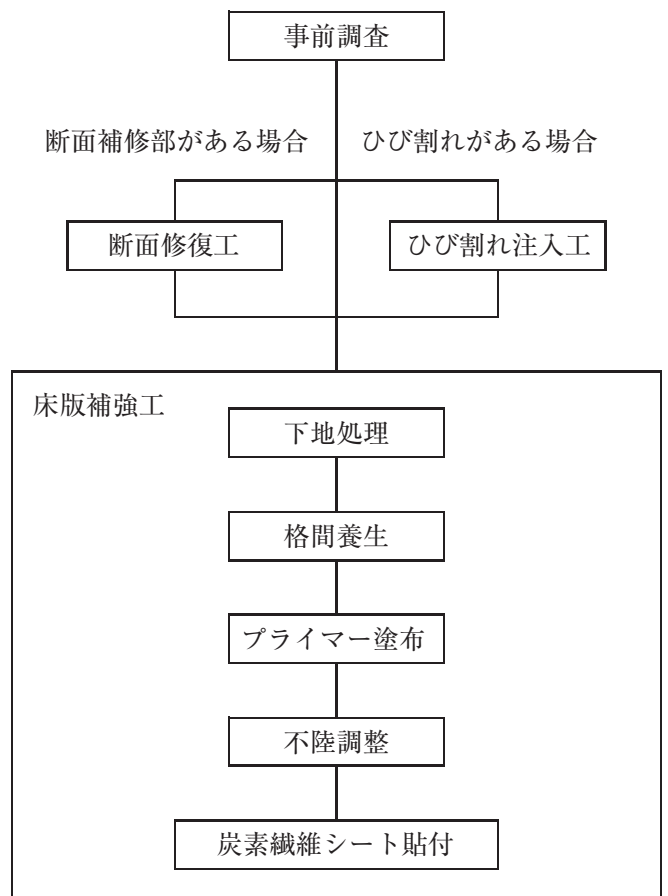


図1 補修・強工の施工フローチャート



**主要目**

工 事 名：(修) 上部工補強工事 1-111 (2)

工事場所：東京都豊島区池袋四丁目他

発 注 者：首都高速道路株式会社

工 期：自) 平成 26 年 7 月 31 日

工 期：至) 平成 30 年 3 月 21 日

工事数量

床 版 補 強 工：16 200 m<sup>2</sup>

コンクリート片剥落防止工：1 760 m<sup>2</sup>

塗替塗装工 (桁部)：7 390 m<sup>2</sup>

塗替塗装工 (脚部)：7 430 m<sup>2</sup>

裏面吸音板補修工：7 360 m<sup>2</sup>

ひび割れ注入工：21 700 m<sup>2</sup>

仮設工 (足場工)：22 600 m<sup>2</sup>

(ドーピー建設工業株式会社)

[問い合わせ先]

生産統括部 工事部

TEL 03-5806-5417 下假 一幸

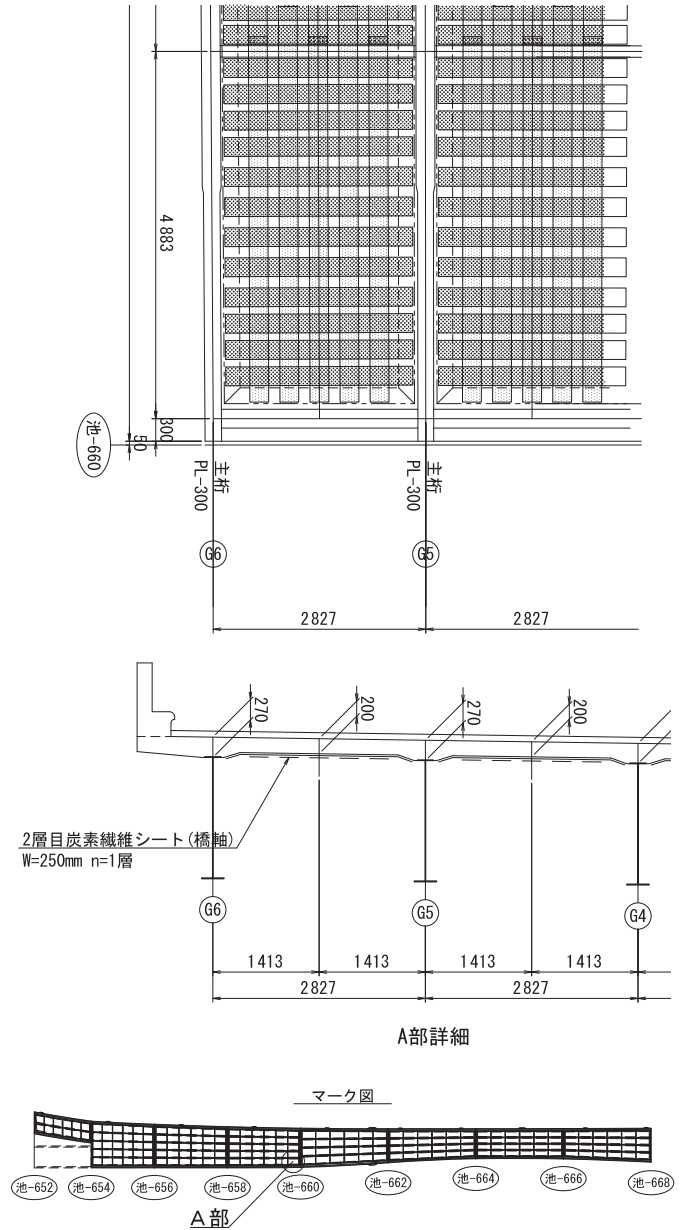


図 2 床版補強工施工図

## 三井 E&S 技報編集委員会

委員長 木戸口 晃  
委員 高岡 正 宏  
田 中 茂  
難波 浩 一  
高岡 一 栄  
村 田 誠  
須藤 栄 一  
武田 茂 幹  
穴倉 進  
村 田 和 俊

## 三 井 E & S 技 報

### 創刊号

2018 年 (平成 30 年) 10 月 31 日発行

発行人 西 畑 彰

発行所 株式会社三井 E&S ホールディングス 技術統括部  
〒104-8439 東京都中央区築地 5 丁目 6 番 4 号  
TEL 03-3544-3266  
<https://www.mes.co.jp>

印刷 株式会社 MES ファシリティーズ  
〒104-8439 東京都中央区築地 5 丁目 6 番 4 号

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、お取り替えます。

(非売品、無断転載を禁ず)

# 三井 E&S 技報 創刊号の発行に当たって

三井 E&S グループの技術情報誌「三井 E&S 技報」をご高覧いただき、ありがとうございます。

本誌は、当グループ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 E&S 技報編集委員会 事務局 行 (TEL. 03 - 3544 - 3266)

## 三井 E&S 技報 送付先の確認と創刊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✓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)

グループ会社紹介では ……

技術論文・報告では ……

製品・技術ニュースでは ……

(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





三井 E & S グループ  
<https://www.mes.co.jp/>

株式会社三井 E&S ホールディングス	〒 104-8439 東京都中央区築地 5-6-4 <a href="https://www.mes.co.jp/">https://www.mes.co.jp/</a>	Tel : 03-3544-3147
三井 E&S 造船株式会社	〒 104-8439 東京都中央区築地 5-6-4 <a href="https://www.mes.co.jp/company/group/mes_shipbuilding.html">https://www.mes.co.jp/company/group/mes_shipbuilding.html</a>	Tel : 03-3544-3318
株式会社三井 E&S マシナリー	〒 104-8439 東京都中央区築地 5-6-4 <a href="https://www.mes.co.jp/company/group/mes_machinery.html">https://www.mes.co.jp/company/group/mes_machinery.html</a>	Tel : 03-3544-3950
株式会社三井 E&S エンジニアリング	〒 261-7128 千葉県千葉市美浜区中瀬 2 丁目 6 番地 1 <a href="https://www.mes.co.jp/company/group/mes_engineering.html">https://www.mes.co.jp/company/group/mes_engineering.html</a>	Tel : 043-351-9020
株式会社三井 E&S ビジネスサービス	〒 104-8439 東京都中央区築地 5-6-4 <a href="https://www.mes.co.jp/company/group/mes_businessservice.html">https://www.mes.co.jp/company/group/mes_businessservice.html</a>	Tel : 03-3544-3133
三井 E&S システム技研株式会社	〒 261-8501 千葉県千葉市美浜区中瀬 1-3-D9 <a href="https://www.msr.co.jp/">https://www.msr.co.jp/</a>	Tel : 043-274-6162
株式会社 MES ファシリティーズ	〒 290-8531 千葉県市原市八幡海岸通 1 番地 <a href="http://www.mesf.co.jp/">http://www.mesf.co.jp/</a>	Tel : 0436-41-2150
三井海洋開発株式会社	〒 103-0027 東京都中央区日本橋 2-3-10 <a href="http://www.modec.com/jp/">http://www.modec.com/jp/</a>	Tel : 03-5290-1200
Burmeister & Wain Scandinavian Contractor A/S	Gydevang 35, DK-3450 Allerod, Denmark <a href="http://www.bwsc.com/">http://www.bwsc.com/</a>	Tel : +45-48-140022
昭和飛行機工業株式会社	〒 196-8522 東京都昭島市田中町 600 番地 <a href="http://www.showa-aircraft.co.jp/">http://www.showa-aircraft.co.jp/</a>	Tel : 042-541-2111
株式会社加地テック	〒 587-0064 大阪府堺市美原区菩提 6 番地 <a href="http://www.kajitech.com/">http://www.kajitech.com/</a>	Tel : 072-361-0881



株式会社三井E&Sホールディングス

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