

三井E&S技報

MITSUI E&S GROUP TECHNICAL REVIEW No.2 2019

2019年11月 ■ 第2号





表紙説明

Team KUROSHIO, 国際コンペティションで準優勝

三井 E&S 造船は、国内研究機関や民間企業で構成される「Team KUROSHIO」の一員として、海底探査技術を競う国際コンペティション「Shell Ocean Discovery XPRIZE」に参画し、準優勝を獲得した。

このコンペティションは、超広域・超高速海底マッピングの実現を目標とするもので、決められた制限時間の中で海中ロボット等により取得した海底地形データの面積や正確性を競うものである。調査海域におけるデータ取得は有人母船を使用せず、ロボットだけで行うことが必要といったルールが設定された。当初、世界から 32 チームの参加登録があった中で、KUROSHIO は技術提案書審査、Round1（予選）を通過し、Round2（決勝）に進出した。

KUROSHIO は、ASV（Autonomous Surface Vehicle：洋上中継器）、AUV（Autonomous Underwater Vehicle：自律型海中ロボット）を使用し取得した海底地形データの評価を受け、この成果を勝ち獲った。オイル業界などの分野で、将来、複数台の水上／水中ロボットを連携させてミッションを達成する技術の発展と実用が期待されている。

- ① AUV を曳航する ASV（Round2 競技中）
- ② Team KUROSHIO ロゴマーク
- ③ Round2 での探査を終え、港に帰還した ASV
- ④ Round2 競技後の集合写真
- ⑤ AUV 曳航フレーム

写真出典：Team KUROSHIO

Cover

Team KUROSHIO in runner-up in the international competition

Mitsui E&S Shipbuilding Co., Ltd. participated in the international competition “Shell Ocean Discovery XPRIZE” that competes in the seabed exploration technology as a member of “Team KUROSHIO” composed of domestic research institutes and private companies. KUROSHIO took the grand prize runner-up in the competition.

This competition is aimed at the realization of the ultra-wide area and high-speed seabed mapping, and competes for area size and accuracy of the bathymetric map acquired by autonomous underwater vehicles (AUV) within a predetermined time. A rule was established that data acquisition in the survey sea area must be done only by robots without using any manned mother ships. Initially, 32 teams from around the world were registered, and KUROSHIO passed the technical proposal review, Round1 technology readiness test (Qualifying), and advanced to Round2 (Final). The bathymetric map acquired by KUROSHIO’s system using Autonomous Surface Vehicle (ASV) and AUV was highly evaluated in the competition. The development and implementation of technology used and established in the mission by combination of multiple ASVs and AUVs are highly expected in the oil industry and other fields for the future.

- ① ASV towing AUV (during the competition in the final round)
- ② Team KUROSHIO logo
- ③ ASV returning to the port after finishing the survey in the final round
- ④ Group photo after competition in the final round
- ⑤ AUV towing frame

Photo credit：Team KUROSHIO

三井 E & S 技 報

2019 年（令和元年）11 月・第 2 号

目 次

グループ会社紹介

Corporate Profile of BWSC (BWSC の製品・技術紹介)	
- The Reliable Power Plant Specialists - (- 頼りになる発電所スペシャリスト -)	1
三井造船昭島研究所の技術紹介	6
三井 E&S 鉄構エンジニアリングの製品・技術紹介	12
ドーピー建設工業の製品・技術紹介	20
三井 E&S 環境エンジニアリングの製品・技術紹介	26

製品技術解説

トランスレーナ遠隔自動運転技術の開発	32
--------------------	----

技術論文・報告

メタンハイドレート揚収シミュレーション技術の開発	37
加藤 寿仁 林 健一 木下 貴博 村山 哲郎	
航空機エンジンファンケース用アルミハニカム	
- 高温多湿下での優れた耐久性を発揮 -	43
板本 貴志 盛田 孝雄 半田 誠	

製品・技術ニュース

大分自動車道 並柳橋震災復旧工事	
- 地震により被災した鋼トラス構造を有する橋梁の復旧工事 -	49
霞 4 号橋梁 (四日市・いなばポートライン) 工事完成報告	
- 壁高欄の埋設型枠使用による工期短縮 -	50
可動橋の製作・設置	
- “東予港可動橋” の竣工 -	51
PC ハイブリッド浮棧橋の製作・据付	
- “東京消防庁浮棧橋” の竣工 -	52
電動アシストキャリアカー “LUXST” (ラクスト)	
- 運び方改革をアシスト・重筋作業の負担を軽減 -	53

トピックス

海底探査技術を競う国際コンペティションで	
三井 E&S 造船が参加する日本チームが準優勝!	54

MITSUI E&S GROUP TECHNICAL REVIEW

No. 2 November 2019

CONTENTS

Corporate Profile of Affiliated Companies

Corporate Profile of BWSC – The Reliable Power Plant Specialists –	1
Technology of Akishima Laboratories (Mitsui Zosen) Inc.	6
Products and Technology of Mitsui E&S Steel Structures Engineering Co., Ltd. ...	12
Products and Technology Explanation of DPS Bridge Works Co., Ltd.	20
Products and Technology of Mitsui E&S Environment Engineering Co., Ltd.	26

Product Technical Explanation

Development of Remote and Automated Operation Technology for Transtainer® ...	32
---	----

Technical Paper and Report

Development of Software for Methane Hydrate Lifting Simulation	37
<i>Toshihito KATO, Kennichi HAYASHI, Takahiro KINOSHITA, Tetsuro MURAYAMA</i>	
Aluminum Honeycomb for Aircraft Engine Fan Case	
– The Excellent in Durability under High Temperature and Humidity Environment – ...	43
<i>Takashi ITAMOTO, Takao MORITA, Makoto HANDA</i>	

Products and Technology News	49
------------------------------------	----

Topics	54
--------------	----

Corporate Profile of BWSC

— The Reliable Power Plant Specialists —

Uzi Frank*

BWSC の製品・技術紹介

— 頼りになる発電所スペシャリスト —

ウッツィ フランク

Burmeister & Wain Scandinavian Contractor A/S (BWSC) は、発電所の建設事業において高い評価を得ている会社である。設立から約 40 年間で 54 カ国、180 以上の発電所を納入し、総設備容量は 4 000 MW に達する。当社は、発電所の建設を開発、設計、建設、運転保守 (O&M) の四つのフェーズに分け、その全てに対応している。これにより、発電所建設に伴うリスクを最小限に抑え、建設費と開発費を抑え、そして顧客と利害関係者に単一のプロジェクト契約窓口を提供することができる。

当社が建設する発電プラントには、ボイラー式発電所とエンジン式発電所の 2 種類があり、10 ~ 250 MW 級の発電所の建設を得意としている。英国に 10 の発電所を納入し、北ヨーロッパに多数のボイラー設備を納入している。英国クラムリントンに建設したバイオマス発電所は、木チップ、木の幹、廃材を燃料とし、電力と地域暖房向けの蒸気を併給する。さらに、高効率廃棄物ガス化プラントの建設も手掛けている。2021 年に稼働予定の英国フートの発電所では、年間約 24 万トンの廃棄物がガス化され、年間 200 GWh を超える電力が発電される予定である。

一方、当社は世界の多くの地域で、信頼性が高く費用対効果の高いエンジン式発電所を供給している。当社は、浮遊式 (バージ) 発電所を 18 ヶ月以内に製造し、インフラが不足している遠隔地に 60 ~ 150 MW の容量を供給できる。また、25 000 m³ の LNG 浮遊式貯蔵及び再ガス化装置 (FSRU) から天然ガスをパワーバージに供給することによって、ガス焼き発電所を提供することができる。

多くの人員や機材を投入する建設現場で、安全性と品質を犠牲にすることなく最も効率的に建設プロセスを進めるには、物流が鍵となる。当社は、発注プロセスの設計と素早いサプライチェーンの構築で大きな進歩を達成し、2018 年 6 月デンマークの産業団体よりサプライチェーン業務の改善についての表彰を受けた。

当社は発電プラントの完成後に、プラントオーナーとの O&M 契約に基づいて現地に子会社を設立し、発電所の商業運転に必要なすべてを提供することができる。当社は設計と建設過程に関与しているため、O&M スペシャリストは上流から下流まで内部の仕組みを熟知している。

当社は、今後も発電事業でターンキーソリューションを提供するとともに、O&M プログラムも合わせて提供していく。ボイラー型では、再生可能資源への需要拡大に対応して、バイオマスや廃棄物を電力に転換する技術の開発に取り組む。一方、発展途上又は広域電力網から孤立した地域への対応として、最先端の高効率エンジン型のソリューションを引き続き提供していく。



(a) ケントバイオマス発電所



(b) ブリッグバイオマス発電所

図 1 BWSC が建設したバイオマス発電所

* Technical Copywriter, BWSC

1. INTRODUCTION

Burmeister & Wain Scandinavian Contractor A/S (BWSC) has made a name for itself by building power plants worldwide. Since its start nearly four decades ago, BWSC has delivered more than 180 power plants in 54 countries. The total installed capacity has rounded 4 000 MW, which provides electricity for millions of people around the world.

2. POWER PLANTS – THE FOUR PHASES

At BWSC, we divide power plants business into four phases: development, design, build and operate.

BWSC holds a unique role in the power plant business, because the company gathers the competences and know-how needed to address all four phases. It is why BWSC is often referred to as a turnkey supplier: the company essentially takes care of details large and small, so owners simply have to ‘turn the key’ to start the facility.

By having an organization that can address these four phases, BWSC can minimize the risks involved with power plant construction; keep construction and development costs down; and provide clients and stakeholders one point of contact.

In the following article, BWSC’s ability to address these four phases as well as its products and activities are presented. Finally, the company’s goals and strategies for the coming years as well as a message from the CEO are presented.

3. DEVELOP: TURNING EMPTY LOTS INTO POWER PLANTS

Building power plants requires more than engineering expertise. There’s a great deal of work that needs to be done, before construction workers can break ground on site. A 50 MW power plant, for example, can easily cost hundreds of millions of euros. To pay for this investment, a payment scheme for end-users needs to be developed. Safety standards and environmental regulations need to be addressed as well. BWSC’s in-house development group can address this myriad of issues.

They help investors and external developers navigate the regulatory and legal landscape, so a power plant project can secure a green light from authorities. This makes it possible for BWSC to support external developers and partners in all aspects of their project. BWSC’s specialists have the expertise to determine the project’s scope and set up joint development partnerships in a so-called independent power producer (IPP) arrangement.

And because BWSC has a solid track record accumulated over the years, banks and lending institutions are interested in making long-term investments in projects with which

BWSC is associated. In addition, BWSC occasionally co-invests in power plants, further reducing risk.

4. DESIGN: CREATING SOLUTIONS WITH VALUE

With financing in place, BWSC is ready to assume the role of turnkey contractor, that is, one which is in charge of engineering, procurement and construction (EPC). In these assignments, BWSC takes responsibility for design, purchasing equipment, materials and manpower; and overseeing the construction schedule with its guaranteed completion date. The BWSC organization contains the expertise to design advanced power plants in the range of 10 to 250 MW.

BWSC also ensures testing and commissioning of the plant before hand-over, so the plant is delivered into successful commercial operation.

4.1. Boiler-based power plants

With the acquisition of Burmeister & Wain Energy, BWE, in 2017, BWSC made it possible to provide in-house, state-of-the-art boiler technology in our turnkey projects. BWSC has delivered ten boiler-based plants as turnkey contractors in the UK and numerous boiler lots in Northern Europe.

At Cramlington in Northern England, for example, BWSC designed a power plant which can receive and burn wood delivered as chips or whole tree trunks (**Photo 1**). Recycled wood is also part of the fuel mix. BWSC applied district heating principles at Cramlington, directing steam produced by the specially designed high pressure boiler to two pharmaceutical firms which can use the steam for their processes. Cramlington demonstrates that by thinking holistically from the start, efficiency is improved and benefits can be gained.

BWSC has begun construction on the Hooton Bio Power facility (**Photo 2**) as well - a high efficiency waste gasification plant. The facility will gasify some



Photo 1 BWSC Designed the Cramlington Renewable Energy Plant in the UK

Its surplus steam could be directed to two pharmaceutical firms.



Photo 2 3D Visualization of the Hooton Bio Power Facility
The facility is expected to be operational in the second half of 2021.



Photo 3 Mali Power Plant
The 90 MW power plant recently inaugurated in Mali increases the country's power capacity by about 25 percent.

240 000 tonnes of waste per year, generating in excess of 200 GWh of electricity annually - enough to power about 50 000 homes. It is the first time the UK market will realize a gasification plant of this size based on fluidized bed technology. The facility is expected to be operational in the second half of 2021.

4.2. Engine-based power plants

In many parts of the world, engine-based power plants meanwhile remain a cost-efficient way to establish reliable power supply.

In October 2018, for example, BWSC inaugurated a 90 MW power plant in Mali, where only about a third of the population has access to electricity (**Photo 3**). The new power plant is expected to be a catalyst for growth and development in the country, increasing the country's power capacity significantly.

Our engine-based expertise provides a solid foundation for our floating power barge solutions as well. In less than 18 months' time, BWSC can deliver and commission a highly efficient power barge, providing 60 - 150 MW of capacity to remote locations that lack infrastructure. For gas fired operation, BWSC is also able to offer a complete LNG-to-power solution by supplying the power barge with a specially designed 25 000 m³ LNG floating storage and

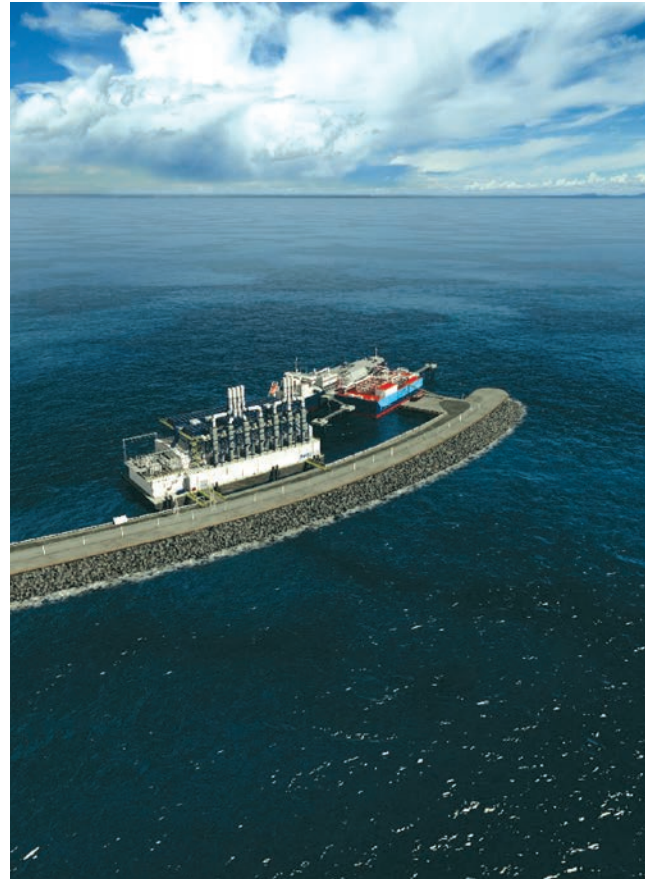


Photo 4 Power barge and FSRU
In less than 18 months' time, BWSC can deliver and commission a highly efficient power barge that provides 60-150 MW of capacity to remote locations that lack infrastructure.

regasification unit (FSRU) (**Photo 4**). The FSRU is designed by our sister company, TGE Marine Gas Engineering.

5. BUILD: LOGISTICS ARE THE KEY

During a turnkey project, there can be up to 200 - 300 construction workers on site. Having so many people and heavy lifting equipment on site is extremely costly and places high demands on BWSC's logistical talents. The goal is to secure the most efficient construction process without compromising safety and quality.

And since BWSC is often in charge of the next phase of a power plant business, operate, it makes sense to procure parts that are of the specified quality. All the while, BWSC's construction teams must meet scheduled milestones; missing a deadline is extremely costly - even on a daily basis.

To make sure the build is done efficiently as possible, BWSC project personnel have fine-trimmed the supply chain. Every nut and bolt needs to be purchased, delivered, manufactured, stored and assembled. To address the complexity significant energy has been dedicated to streamlining processes and creating systems. BWSC has made great strides in planning the procurement process,

creating an agile supply chain that can note and respond to contingencies. The efforts have paid off: in June 2018, BWSC won the Danish Award for improving supply chain operations. But the company is far from satisfied. The improvement efforts continue.

6. OPERATE: GETTING THE MAXIMUM RETURN ON A POWER PLANT

When power plants are commissioned and tested, BWSC can assume an operation and maintenance (O&M) role with the owners to make sure the plants operate safely and reliably for the agreed time period. Since BWSC is typically involved in the design and build process, our O&M specialists know the inner workings from top to bottom.

When BWSC takes on an O&M assignment, the company creates a local subsidiary that can administer personnel, legal and financial matters. BWSC provides everything needed for commercial operation, supply of spare parts and consumables. The staff is trained to handle fuel management. At biomass power plants, that could be straw, pellets or wood chips (Photo 5). Engine-based power plants meanwhile rely on liquid fuels or gas.

BWSC also recruits and manages staff for safe operation and maintenance of the plant and makes sure the facility can meet production and performance guarantees. It goes without saying, that all of these needs to be in place 24 hours a day, every day - regardless of holidays and what might be taking place outside the power plant's perimeter. Staff members' health and safety is, of course, the highest priority. We make sure our on-site staff have the best training possible, so they can address risks and solve unexpected problems. The company is able to deliver spare parts, training, full technical service agreements



Photo 5 Operation and maintenance at Snetterton Renewable Energy Plant in the UK.

BWSC's operation and maintenance staff is responsible for the daily operation and maintenance of power plants around the globe. Here, a staff member monitors the straw used as fuel.

and daily operation and maintenance scheduled and unscheduled maintenance.

BWSC currently has O&M agreements which range from 2.5 to 20 years of service.

7. MAIN TARGET FOR THE FUTURE

In the previous sections, BWSC's ability to develop, design, build and operate power plants has been presented. In the future, BWSC will continue of course to offer its holistic, turnkey solutions. The company will also continue to provide O&M programmes at power plants.

BWSC's boiler specialists will continue to develop solutions that meet the demand for renewable sources. There is also an increased focus on markets where biomass has been an overlooked resource. As the world grapples with an ever-growing garbage problem, waste-to-energy solutions are being developed as a way to dispose of garbage and also produce power. In underdeveloped or isolated areas, BWSC's engine-based solutions will continue to utilize the most advanced, high efficiency engine solutions available on the market.

8. MESSAGE FROM THE CEO

Nearly 30 years have passed since MES acquired BWSC. It's a good opportunity to reflect on the role BWSC plays in its parent company, and the impact MES has on BWSC, says CEO Nikolaj Holmer Nissen (Photo 6).

"When BWSC began, we built a number of power plants that used Mitsui's engines," says Nissen. "Since then, we've expanded our portfolio to include boiler-based solutions. Energy markets are in a state of transition. There is a need for BWSC's competences, which can deliver customized solutions in a highly competitive field."

BWSC has just completed a strategy review, adds Nissen,



Photo 6 Nikolaj Holmer Nissen, CEO

"BWSC's focus in the coming years will be on profitability. We will focus our activities on a few select markets and invest in making our solutions even more competitive."

and in the coming months, initiatives will be rolled out to realize that strategy.

“First and foremost, BWSC’s focus in the coming years will be on profitability. We will focus our activities on a few select markets and invest in making our solutions even more competitive.”

And while carmakers and other industrial manufacturers have worked on streamlining procedures for some time, it’s a somewhat new process for a company that does not have its own manufacturing facilities and relies on suppliers to deliver components.

For that reason, BWSC will continue optimizing its supply

chain to make it more efficient and responsive. The organization will likewise seek ways to digitize processes and make solutions cost-effective without sacrificing quality.

“We are convinced that successful execution of our revised strategy will lead us to new opportunities and sound profitability in the years to come,” says Nissen. “The current year begins a period of transition and the start of a journey towards a BWSC that is better fit for the future.”

〔問い合わせ先〕

Corporate Support Officer/Sales Manager, BWSC

TEL +45 48 10 58 38 内田 俊彦

三井造船昭島研究所の技術紹介

技術統括部

Technology of Akishima Laboratories (Mitsuizosen) Inc.

Technical Co-ordination Dept.

1. はじめに

三井造船昭島研究所は、1978年(昭和53年)に東京都昭島市に設立された。設立前の昭和40年代は、タンカーの急速な大型化や超高速コンテナの出現等により、新船型の開発に携わる技術者の間では本格的な試験水槽設備を自社保有することの必要性が強く認識されており、種々の検討が重ねられた結果、将来を見据えて総合的な水槽試験設備と風洞を併せ持つ研究所として建設が計画された。1977年4月に着工し、1978年6月12日に開所式を行って業務を開始した。当初は三井造船技術開発本部所属の研究所として発足し、その後1984年に船舶・海洋プロジェクト事業本部の所属となったが、造船不況期に外部向の委託研究を取り入れることによって研究者や技術を温存することを主たる目的として分社独立に踏み切り、1986年に株式会社三井造船昭島研究所として独立した。

当社のコア技術は船舶海洋工学の流体力学関連の技術であり、後述する各種の大型の試験水槽設備・風洞設備を用いた試験や、コンピュータを用いた理論計算や数値流体力学(Computational Fluid Dynamics: CFD)を駆使して、各種船舶の性能開発や、海洋構造物の波浪中動揺・係留に関するエンジニアリングなどを行っている。加えて、船用制御関係の技術やデータ処理技術を活用して、操船支援システムの制御ロジックの開発、船上データモニタリング装置などの船用機器の開発も行っている。

過去には、超高速船テクノスーパーライナーやアメリカズカップの日本艇の船型開発、地球深部探査船「ちきゅう」の自動船位保持装置(Dynamic Positioning System: DPS)総合試験なども手掛けた。

主要な顧客は、売上の約半分を占める三井E&S造船とそのグループ会社のほかに、政府・公的機関や大学、他造船所、

船用機器メーカー、船会社、海洋土木企業などの様々な企業・機関からなる。外部向け受託研究を行うことの意義は、広く外部と接することで、業界の技術開発のニーズや技術動向に関する情報を収集して視野を広げ、技術に磨きをかけるとともに、三井E&Sグループの一員として国内海事産業の発展に広く貢献することにある。当社の全景を写真1に示す。

2. 試験設備

当社では船舶や海洋構造物の性能評価を目的とした模型試験を実施するための試験設備を有している。6種の特色のある水槽設備(大水槽、小水槽、潮流水槽、2次元水槽、回流水槽、キャビテーション水槽)と風洞設備(構造物用低速風洞)により各種の性能試験に対応している。

2.1 大水槽

大型模型船(全長3~8m程度)を用いて推進性能試験(抵抗・自航試験など)や耐航性能試験(規則波・不規則波中試験など)を実施する曳航水槽であり(写真2)、当社で最も大きな水槽である。また、粒子画像流速測定法(Particle Image Velocimetry: PIV)計測装置により、模型船周りの流場をより詳細に計測することが可能である。

- ・水槽寸法：長さ220m×幅14m×深さ6.5m(水深6m)
- ・曳引車最大速度：7m/s
- ・造波性能：最大波長15m、最大波高0.3m

2.2 小水槽

大水槽と同様の曳航水槽であり、主として小型模型船(全長2~4m程度)を用いた耐航性能試験や操縦性能試験(PMM試験)を実施することができる(写真3)。また、水深を変えた浅水時(水深2.15~0.2m)の試験の実施も可能である。

- ・水槽寸法：長さ100m×幅5m×深さ2.65m



写真1 三井造船昭島研究所全景

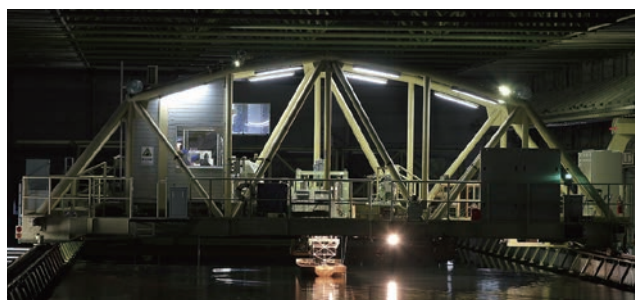


写真2 大水槽

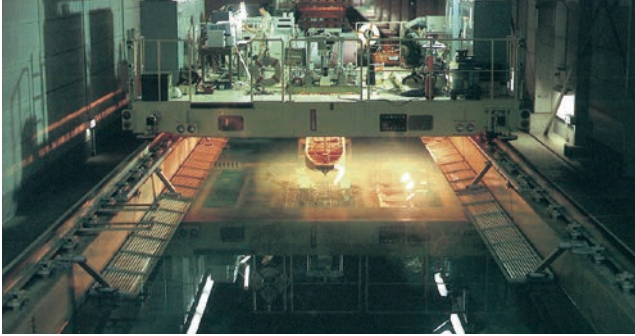


写真3 小水槽

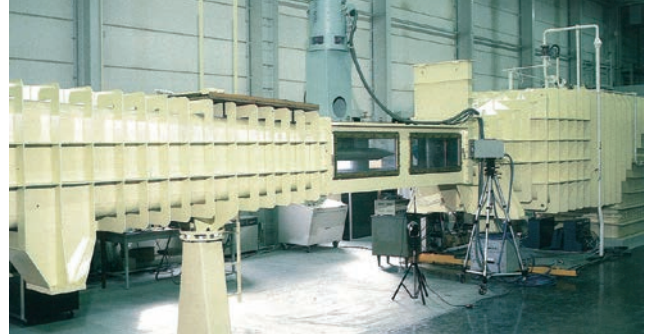


写真5 キャビテーション水槽 (第1計測胴部)



写真4 潮流水槽

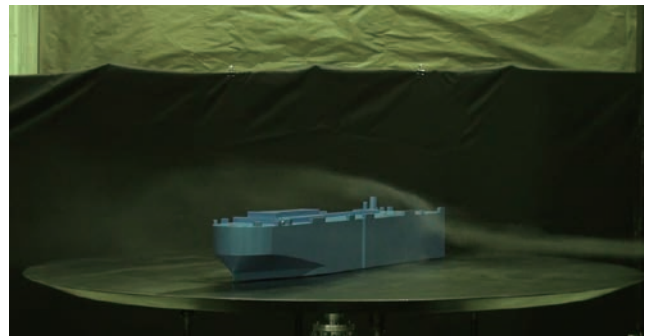


写真6 風洞 (可視化試験)

- ・曳引車最大速度：4 m/s
- ・造波性能：最大波長 25 m，最大波高 0.35 m

2.3 潮流水槽

水平回流型の水槽であり、潮流発生装置により低速の流れを発生させ、更に造波装置及び送風装置を併用して風、波、潮流の混在する海象状況を再現することが可能である(写真4)。3D画像解析の手法を用いて、実海域を想定した外乱の中での係留中の船舶や海洋構造物の運動計測を行うことが可能である。小水槽と同様に浅水時(水深2.5～0.5m)の試験にも対応できる。

- ・水槽寸法：開水路長さ55m×幅8m×深さ3m
(中央部に長さ5m×幅4m×深さ2.5mのピットを有す)
- ・最大流速：0.5 m/s
- ・最大風速：20 m/s
- ・造波性能：最大波長10m，最大波高0.45m

2.4 2次元水槽

吸収式造波機が装備された長水路であり、2次元物体の波浪中運動試験や強制動揺試験が可能である。

- ・水槽寸法：長さ25m×幅1.1m×深さ1.4m
- ・造波性能：最大波高0.15m，周期0.5～2.0 sec

2.5 回流水槽

垂直回流型の水槽であり、長時間一定の流速を発生させることが可能であるため、模型周りの流れの可視化試験に使用できる。

- ・測定部寸法：長さ5.5m×幅2m×水深1.2m

2.6 キャビテーション水槽

回流水槽と同様に垂直回流型の水槽であり、水槽内の圧力

を制御(加減圧)することによりキャビテーション現象を発生させることが可能である(写真5)。主にプロペラ性能試験に使用され、試験目的により断面の異なる2種の計測胴(第1及び第2計測胴)を選択することができる。

- ・断面寸法及び最大流速：0.6m×0.6m，14 m/s (第1)
0.85m×1.2m，5 m/s (第2)
- ・最大・最小圧力：0.2 MPa～0.01 MPa

2.7 風洞

水平回流型の構造物用低速風洞であり、船舶、海洋構造物及び橋梁などの耐風性能及び空力性能試験が可能である。また、模型の上流側から煙を発生させて模型周りの気流の可視化試験にも使用できる(写真6)。

- ・測定部寸法：長さ20m×幅2m×高さ3m
- ・最大風速：20 m/s

3. 主要技術

3.1 船型開発

船型開発では、対象とする船の機能に応じて、必要な容積や機器の配置を成立させながら、造波抵抗及び粘性抵抗を低減させ、主機が発生した馬力を効率良く船体に作用させ、かつ船尾に配置したプロペラにとってできるだけ優しい船体伴流とするように、設計・検証を繰り返しながら船型を決定する。また、実際の船舶は、波、風の中を航行し、旋回等の操船を伴うことにも配慮して開発しなくてはならない。このような開発を効率良く高度に実行するためには、船舶流体力学の専門的な知見や技術が要求される。

当社では、水槽試験を活用した研究はもちろんのこと

CFD の研究にも早くから取り組み、これらの技術を船型開発に適用させ、設計した船型の性能検証に利用してきた(図1)。2000年頃には三井造船と共同でCFDを用いた船型開発システムを構築し¹⁾、その後も開発手法の高度化と高精度化を進めるとともに、これまでに受け継がれてきた専門性の高い知見を武器に、厳しい性能要求達成を実現している。

開発された船型は、当社内で水槽試験を実施することで推定どおりの性能を確保しているかどうかを確認され、必要に応じてPIV等による流場計測等も行い、開発にフィードバックされる。船型開発にはCFDは欠かせないツールとなっているが、計算結果の妥当性の評価が重要であり、そのベンチマークとして水槽試験との比較ができることは当社の強みでもある。

また、船型開発の対象は多岐にわたり、商船の船型や省エネ装置を中心に、静粛性が要求される調査船等政府・公的機関や大学向けの船型及び漁船にまで及んでいる。最近では、当グループ以外の造船所や船会社向けの開発案件にも取り組んでいる。

3.2 推進器設計

船用プロペラ開発において、燃費性能に影響を与えるプロペラ効率はもちろんのこと、キャビテーション性能にも

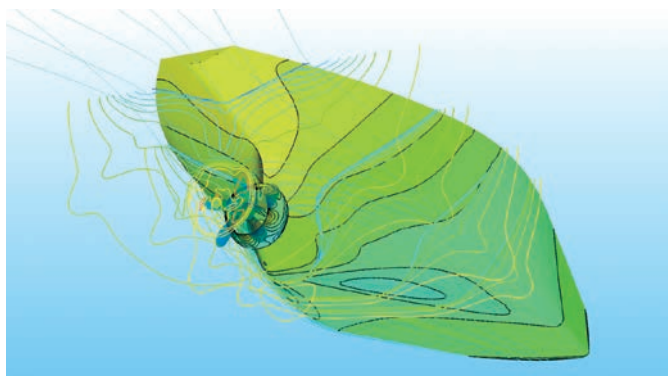


図1 CFDによる船体周り流場解析結果例

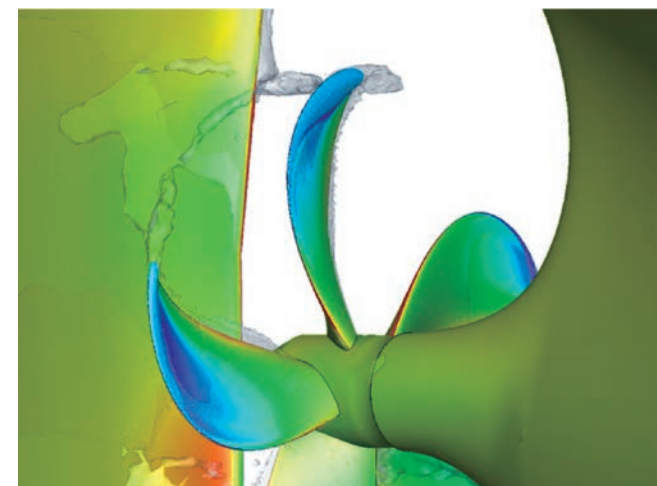


図2 CFDによるキャビテーション解析結果例

注意を払わなければならない。船用プロペラにおけるキャビテーションの発生は、推進効率の低下ばかりではなく振動、騒音、エロージョンなどのさまざまな問題の要因となるため、有害なものが発生しないよう、設計において十分に考慮する必要がある。そのため、最近のプロペラ開発は設計チャートや理論解析法に基づく設計手法から、CFDに基づく、より緻密なプロペラの開発が求められている。当社では、水槽試験、実船試験から得られるデータを基に高精度化したCFDを用いて低起振力高効率プロペラの設計手法を構築し²⁾、最近では海洋生物への放射雑音影響も考慮した環境負荷低減型プロペラの研究開発を行い実船への適用を目指している(図2)。

3.3 操縦性能関連技術

船舶の性能設計において、旋回・保針・停止性能に代表されるような操縦性能は、運航時の安全性を確保する上でも重要な設計要素である。当社では、同性能を左右する操縦流体力(主船体・プロペラ・舵)に関する計測・推定技術を活用しながら操縦シミュレーション計算を用いた実船性能の予測や、長年にわたって蓄積された制御技術や運動計測技術を活用しながら小型模型を用いた自由航走試験(写真7)を行うことによって、計画船の操縦性能を事前に把握することに注力している。また、このような模型試験をベースとした検討を進める一方で、本分野の大きな課題である尺度影響(模型～実船の流体力・運動特性の違い)の解明に向けて、CFDを導入した研究を行っており³⁾、実船性能の予測精度向上を追求しながら、推進性能と両立する限界設計の実現を目指している。また、最近では実海域性能の向上に関する研究の気運も高まっていることから、風・波・潮流といった環境外乱下における船の操縦性能が燃費性能に及ぼす研究も精力的に進めている。

3.4 実海域性能評価

就航前に行う実海域性能評価では、従来から行われてきた波浪中での動揺・安全性のみでなく、CO₂排出規制強化の流れから、波や風を受けた状態での燃費性能を正確に評価する要求が高まっている。

当社で開発した実海域性能評価システムでは、数値計算や水槽試験で得た成分となる力の係数と、刻々と変化する

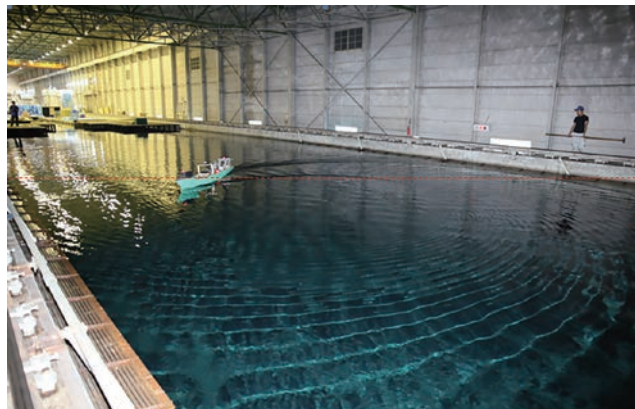


写真7 大水槽における旋回試験の状況

風・波の情報を与えることで、実海域においてどのような性能の船なのかを就航前に正確に把握することが可能である(図3)。

正確な予測のためには、高精度な力の成分推定が必須となる。より正確な波による力の把握のため、大型模型としては世界初となる多点同時計測による変動圧力計測水槽試験(写真8)を行うなど、高精度に実海域性能評価を行うための技術開発を行っている。

3.5 海洋開発関連技術

設立当初より、海洋構造物に対する動揺・係留解析を実施しており、その当時、三井造船により設計されたセミサブ型海洋構造物等の開発をサポートした。その後、我が国の海洋開発ビジネスが衰退していく中においても、メガフロートプロジェクトへの参画、石油公団石油開発技術センター(研究当時)とのテンションレグプラットフォームや一点係留システムの共同研究等を通じて、その技術力を高めた。また、海洋構造物で培った流体力学や運動力学を取り入れた係船状態解析システムMOSQ2を開発、販売し、港湾開発に携わるマリコン、港湾コンサル、防舷材メーカー等との良好な協力関係を構築しながら、技術力の維持、向上に努めてきた。その結果、現在では、確固たる技術力を保有する数少ない国内海洋開発関連の研究企業として、その地位を確立している。今後も、その技術力を向上させ、海洋再生可能エネルギー利用である洋上風力発電⁴⁾や波力発電の開発⁵⁾、海底鉱物資源開発等において、当グループへの貢献はもちろん、国内海産業の発展にも貢献していく(写真9)。

3.6 舶用制御関連技術と製品

当社では三井E&S造船の艦船・特機設計部 特機・水中機器設計課とともに、DPS、ジョイスティック操船装置(Mitsui Maneuver control System : MMS)という船舶制御製品事業を展開しており、操船コンソールに組み込む制御部を供給している。DPSとは、風、波、潮流という外乱環境下で、船舶をある一点に自動的に保持するための制御システムであり、例えばJAMSTEC「ちきゅう」のように海底を掘削する船や艦艇等に納入している⁶⁾。

DPトラッキングモード、遠隔無人機(Remote Operated Vehicle : ROV) フォローモードなど、個船ごとに新たに操船制御機能が追加される場合が多く、要求される制御機能を開発することにより、制御技術を高めてきた。

東京消防庁殿向けの大型化学消防艇「みやこどり」向け

システムにおいては、推進器がウォータージェットである(写真10)。ウォータージェットで細かなDP制御を実現するという技術的課題をクリアしただけでなく、放水時の大きな反力を考慮して船を定点に留めおくシステムとなっており、大きな評価を得ている(写真11)。制御技術開発のバックグラウンドには、当社が長年蓄積した操縦性理論と、水槽試験、数々の実船試験で収集されたデータと経験がある。また、運航者の目線で操船制御方法を提案できるだけの運航に対する知見があることも強みとなっている。今後も艦船・特機設計部と協調して、質の高い制御システムを供給していきたい。

3.7 モニタリング技術と就航船解析

当グループでは、船舶に取り付けた各種センサー情報を衛星回線経由でサーバー上に送付し、航行中船舶の状態監視を行うためサービスであるフリートモニター(図4、写真12)の事業を展開してきた。ホールディングス化に伴い、同事業は2018年4月以降当社へ委託されている。同時に、同業他社に先行して、船からの情報更新間隔をこれまでの1時間から1分間に、センサー対応チャンネル数を1万以上と飛躍的に能力を強化した「フリートトランスファー」を導入している。

船舶の燃料消費量報告義務化に伴い、これまでも増して就航時性能への注目が高まっている。船舶が遭遇した気象・海象や、船速、燃料消費量などの諸情報を収集することにより、就航船の実態としての実海域性能解析を行うことが可能

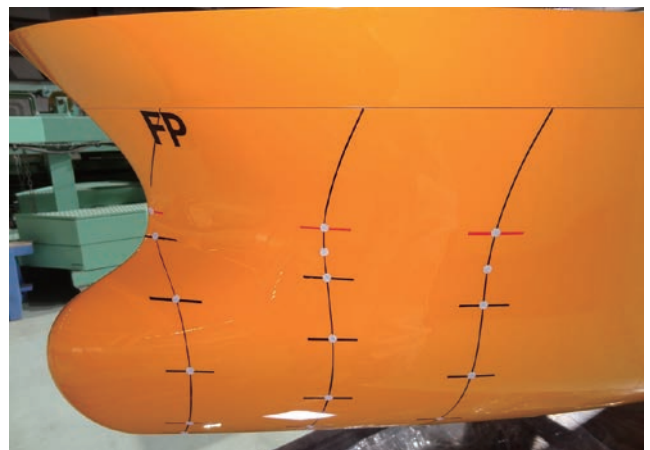


写真8 模型船舶首部(白い点が圧力計)

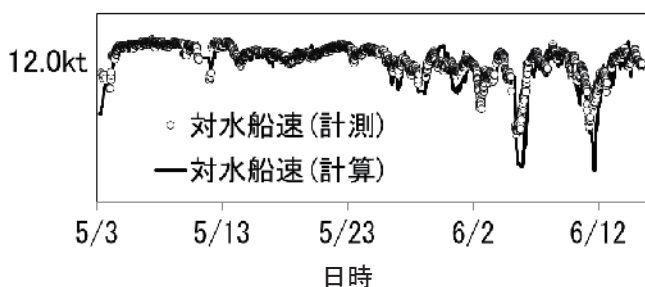


図3 実海域性能評価システムの推定結果の比較



写真9 浮体式洋上風力の係留試験



写真10 「みやこどり」ウォータージェット



写真11 「みやこどり」放水の様子

だが、当社では、これまで培ってきた船舶の性能推定技術に加え、フリートトランスファーで高密度に諸情報を取得可能であるため、大部分を統計的手法に依存する手法と比較して、早い段階から解析を行うことが可能である⁷⁾。これからもモニタリング技術と就航船解析をとおして、社会的に高まる実海域性能把握への要望に応えていきたい。

4. 最近のトピックス

4.1 CFD/EFD/ 実船計測の融合技術

造船海運業界において、地球温暖化、化石燃料の枯渇問題により、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。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。

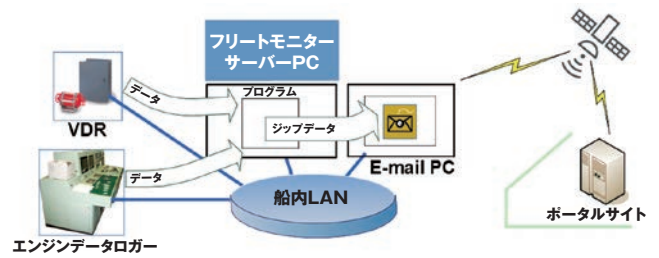


図4 フリートモニターのシステム構成



写真12 フリートモニター用PC

一方、当社では船型及びプロペラ開発や海洋構造物に対してCFDを応用した設計システムの開発を進め、船体や海洋構造物周りの複雑な流体現象を容易に再現・可視化することで船型・プロペラ・省エネデバイス及び海洋構造物などの開発ステージにおいて有効活用され、製品の性能改善などに成果が得られている。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開発や海洋構造物など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しながら水槽試験だけでなく実機試験を再現できる新しい設計システムの開発が重要課題となる。また、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 (Internet of Ships : IoS、例えば、フリートトランスファー) を利用することにより、確実性の高いシステムを構築することが期待できる。そこで、実機の流体現象を把握するための実験技術やIoSによるモニタリングと実機の現象を再現する実験流体力学 (Experimental Fluid Dynamics : EFD) 及びCFDを融合した性能評価技術の構築を目指している⁷⁾ (図5)。

4.2 自律化船

近年のIoTや人工知能 (AI) などの情報通信技術・処理制御技術の急速な発展に伴い、海事産業においても船舶の自動化・自律化に関する技術開発が進展しており、国内外で実用化に向けた各種の取り組みが活発化している。特に内航海運では、船員数の不足と高齢化が急速に進んでおり、このような先進技術を利用して乗組員の労務負荷を軽減し、ヒュー

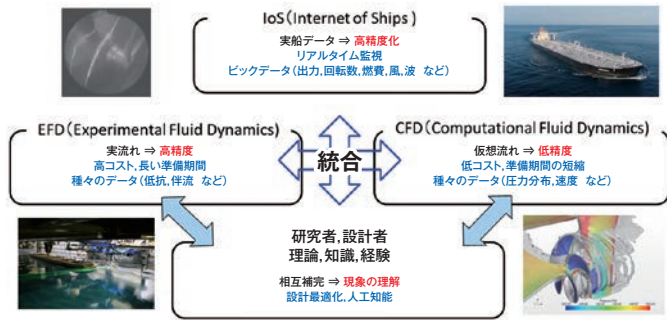


図5 IoS, EFD, CFD を融合した性能評価

マンエラーによる海難事故のリスクを低減することが急務となっている。自動化の対象となる船舶のオペレーションには機関運転、貨物管理など様々なものがあるが、特に船員に対する負荷の高い操船の自動化は重要な課題の一つである。このような状況の中、当グループは、2021年に自律操船システム装置の製品リリースを目指して、製品開発を進めている。

当グループは、船舶の自律化に取り組む以前から、船舶の自動化に寄与する製品を提供している。その一つが、統合操船システム MMS である。この操船システムは、自動定点保持、自動トラッキングやジョイスティック操船などを可能とするもので、1980年代の製品リリース以降およそ100セットの受注実績を有し、主要船級の認証にも対応している。開発中の自律操船システムは、この実績と信頼性の高い統合操船システム MMS をベースとして、これにヒューマンマシンインターフェース (HMI) と自律操船制御モジュールを付け加えることで、早期に信頼性の高いシステムの実現を目指している。

当社は、この自律操船システムの製品開発において、自律操船制御モジュールの技術開発を中心に担っており、「自動離着棧制御アルゴリズム」と「自動避航制御アルゴリズム」の開発に特に注力している(図6)。船舶の各種運航モードのうち、出入港や離着棧を含む港内操船は、港湾内の地形、水深、岸壁形状、大小様々な他船の動向、風、波等の外乱の影響などを総合的に考慮し、低速下で位置と船首方位を正確に制御する必要がある。しかし、この操作は技術的にも難しく、精神的にも肉体的にも乗組員の負担が非常に大きい。したがって、港内操船に関する実用的なアルゴリズムの実現は、乗組員の労働負荷低減と運航の安全性向上に大きく寄与するものと考えている。

当社は、自律制御アルゴリズムの開発のみでなく、自律操船システム実用化に向けて実船を用いた実証試験にも取り組んでいる。その一つが、国土交通省の「自動離着棧機能の安全性に係る実証事業」への参画である。この事業は、2018年からの3ヶ年計画で、三井 E&S 造船株式会社、株式会社商船三井及び東京海洋大学と共同して、練習船や大型カーフェリーを用いて、自動離着棧の実証試験を行う。

5. おわりに

三井造船昭島研究所は、三井 E&S 造船の技術拠点として

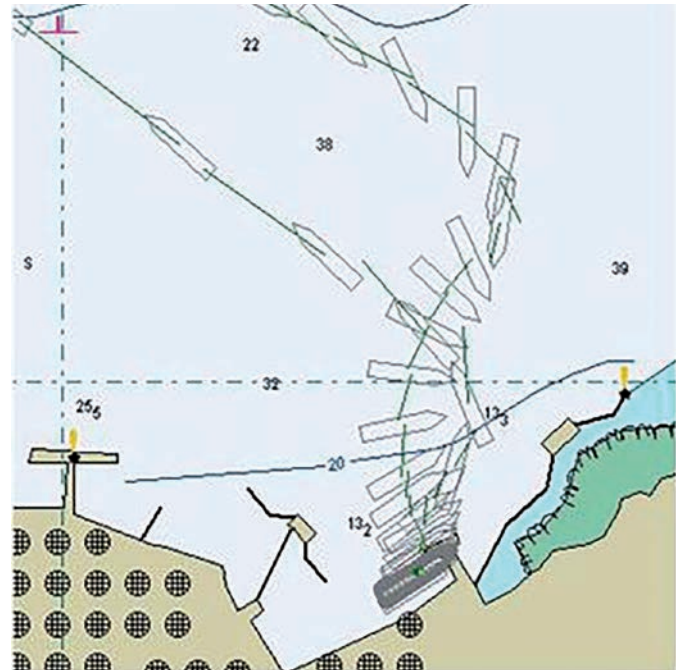


図6 アプローチ操船制御例(航跡図)

その製品の競争力向上に貢献するとともに、冒頭で述べたように国内海事産業の発展に広く貢献することをミッションとしている。

近年は、自律化船に代表されるデジタルイノベーションへの対応や、IMO の GHG 削減目標に対応するための革新的な省エネ技術の開発などが重要な技術開発テーマとなっている。これらの課題に対して、三井 E&S 造船及び国内の関係機関・企業とも連携しながら、海事産業のイノベーションの先頭に立って技術開発を進めていきたい。

参考文献

- 1) 藤井, 外: CFD を用いた船型開発システム(第2報), 三井造船技報, 190 (2007-3), p.8
- 2) 木村, 外: 低起振力型高効率プロペラ開発システムの構築, 三井造船技報, 189 (2006-10), p.25
- 3) 木村, 外: EFD/CFD 融合技術を応用した船舶性能設計技術の開発, 三井 E&S 技報, 1 (2018-10), p.46
- 4) 鈴木, 外: 洋上風力発電用 TLP 型浮体の開発, 三井造船技報, 198 (2009-10), p.19
- 5) 中野, 外: 沿岸型波力発電装置の開発(第2報), 三井造船技報, 217 (2016-9), p.22
- 6) 村田, 外: 地球深部探査船「ちきゅう」の自動船位保持装置の開発, 三井造船技報, 186 (2005-10), p.18
- 7) 村上, 外: 船舶運航支援サービス「Fleet Monitor」について, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 54, 2 (2019-3), p.129

〔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

三井 E&S 鉄構エンジニアリングの製品・技術紹介

企画本部

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

Planning Div.

1. はじめに

三井 E&S グループの主要な事業領域の一つに、「社会・産業インフラ」事業がある。株式会社三井 E&S 鉄構エンジニアリングは、その事業領域の主力製品である橋梁事業と沿岸事業を主に担当する会社であり、鋼構造物や鋼・コンクリート複合構造物を建設するための一連の設計・工場製作・現地施工・保全工事に携わっている。旧三井造船株式会社における鉄構部門関連の歴史や組織の変遷等については、文献¹⁾を参照されたい。

橋梁事業は 1974 年 2 月に播磨工業株式会社から工事部門を分離独立し、播磨工事株式会社として設立されたことから始まる。本州四国連絡橋プロジェクトへの対応が着々と進み、1978 年 9 月に社名を三井造船鉄構工事株式会社に変更した。この間、桁橋、トラス橋、アーチ橋、斜張橋、吊橋等の各種橋梁の建設を積み重ねてきた。

沿岸事業は、1973 年から三井造船の船舶事業で技術開発してきたプレストレストコンクリートと鋼のハイブリッド (PCH) 製浮体構造技術が、1977 年に鉄構土木事業部に移管され、浮体事業に本格的に進出したことに始まる。1979 年に第六管区海上保安本部向けの浮桟橋として 1 号基を納入後、年々受注量を増やし継続的に受注ができる事業に発展した。1991 年 4 月には沿岸開発事業部として独立した組織となったが、1994 年 2 月再度、鉄構建設事業部に編入された。さらに、1997 年 4 月に沿岸製品の一部は三造沿岸開発株式会社として独立した。

2000 年 1 月三井造船鉄構工事と三造沿岸開発が合併し、2002 年 1 月には、業界としてはいち早く橋梁保全事業に取り組んできた三造リフレ株式会社とも合併して、新生三井造船鉄構工事株式会社となった。

その後、2012 年 7 月に三井造船の国内鋼製橋梁事業と沿岸製品事業を吸収分割により承継し、製造部門を有する三井造船鉄構エンジニアリング株式会社として再出発した。さらに、2018 年 4 月より三井造船が持株会社体制へ移行したことに伴い、社名を株式会社三井 E&S 鉄構エンジニアリングに変更した。千葉、玉野、坂出、大分に製作工場を有し、設計部は千葉、大阪、玉野にあり、現地工事では国内はもとより、海外にも進出している。

橋梁事業と沿岸事業に関する製品・技術については、三井造船 100 年史特集²⁾³⁾に概要が記載されている。本報文では、主に 2000 年以降の製品・技術を抽出して記述する。

2. 橋梁事業の主要製品と技術

当社の橋梁事業はまもなく 50 年にわたる歴史となり、一般的な形式であるプレートガーダ (桁橋) を始め、トラス橋、アーチ橋、斜張橋、吊橋等の全ての橋梁形式について実績を保有している。これらのうち、写真 1 に斜張橋の幸魂大橋を示す。本橋は、1991 年 3 月に新設工事が、2012 年 3 月に耐震補強工事が竣工した。

1970 年代の本州四国連絡橋建設では、三井造船と協働して、長大橋の構造解析技術や風洞試験による耐風制振技術とともに、設計・製作・架設に関する技術開発が行われた。その後、高速道路高架橋における鋼とコンクリートの複合構造や少数主桁等の「合理化橋梁」も建設している。

社会資本整備の一つである橋梁事業において、利用者 (納税者) への説明責任の要請から、建設コスト縮減、ライフサイクルコスト概念の導入、仕様規定から性能規定への基準変更等を求める市場変化がある。これに対応した複合材料を用いた構造の技術開発としては、鋼・コンクリート合成床版 “MESLAB”，コンクリート合成鋼床版桁橋、低コスト・低桁高の中小支間複合橋梁 “MD ブリッジ” 等があげられる⁴⁾。

一方、1965 ～ 1975 年の間に集中的に建設された我が国の橋梁は、供用年数が 50 年を超える橋梁が急増している。交通ネットワークの基点を形成する橋梁群について、その機能を要求水準以上に維持しながら、次世代に引き継ぐことが求められている。つまり、橋梁の新設技術のみならず、保全技



写真 1 幸魂大橋

術が重要となり、長寿命化による維持管理コストの低減や平準化のため、その基本となる個別要素技術の更なる開発が必須である。

また、公共工事における品質確保のために、価格のみではなく技術提案力の評価への市場変化に対応するため、新しい技術や製品に関する開発の要求はますます増大していく。

ここでは最近の製品紹介として、新設工事と保全工事について、それぞれ2例を取り上げる。

2.1 大分県 石山天空橋

大分県の主要地方道大田杵築線（県道 49 号線）では幅員狭小、線形不良、急勾配により交通の安全性等に課題があり、地域間交流の障害となる部分があった。これらを解消し、県北地域の活性化を図るための道路改良バイパス工事の一環として、農業用水ダム上に架橋するバスケットハンドル型ニールセンローゼ桁橋 石山天空橋（写真2）の製作・架設工事が大分県別府土木事務所から発注された。

当社は三井・川田特定建設工事共同企業体の代表者として施工に当たり、2017年3月に竣工した。全工事期間の2/3を費やした現地工事のうち、ケーブルクレーン斜吊工法による架設と斜材ケーブルの張力調整について記述する。

ローゼ橋とはアーチ部分（アーチリブと呼ぶ）と桁部分（補剛桁と呼ぶ）の双方で荷重（軸方向力と曲げモーメント）に抵抗するアーチ系の橋梁であり、アーチリブと補剛桁の吊材を斜めに張った「斜材ケーブル」形式をニールセン・ローゼ橋と称する。本橋は橋梁上部を橋軸直角方向に絞り込み、アーチリブが11°傾いたバスケットハンドル型ニールセン・ローゼ橋であり、ランドマークとして景観に優れている。一方、最終路面高確保のための形状管理に十分な架設検討が必要であった。橋梁諸元を表1に示す。

本工事では施工ヤードの制約から架設用鉄塔とアンカーブロックを用いたケーブルクレーン斜吊工法を採用した。アーチリブ架設（写真3）後に、先行して斜材ケーブル全数をアーチリブに設置して補剛桁の架設を行った。

A1, A2 橋台とも施工ヤードが狭く、場所の確保に注力した（写真2で、左下外に A1 橋台、左下が P1 橋脚、右上が

A2 橋台である）。A1 橋台を利用して作業構台を構築してグラウンドアンカーを施工し、A2 橋台では前面下方にアーチリブ、補剛桁の地組立を行う作業構台を構築した。

ケーブルクレーン斜吊工法において、上から部材を落とし込む架設方法では斜吊索、アーチリブに干渉するため、A2 橋台側の作業構台で地組立した部材を下から上にすくい込む架設方法を採用した。アーチリブはバスケットハンドル型で吊点が部材毎に変化するため、吊天びんを使用して対応した。補剛桁架設は P1, A2 両岸から斜材ケーブルを連結しながら中央径間に向かってバランスを考慮して架設を行った。

斜材ケーブルの張力管理は、ケーブルの固有振動数測定から理論算定式によって導入張力を算定する、「振動法」を採用した。架設完了後、床版設置後、高欄設置後の3回の張力調整を予定していたが、架設完了後のみで調整を完了することができた。同時に補剛桁の出来形形状（死荷重による変位量、キャンバーと呼ぶ）を測定管理したが、ケーブル張力調整による動きも微量で、通常課題となるケーブル調整がキャンバーに与える影響は微小であった。本橋の製作・架設精度を実現する技術力が十分に確保されたことが実証された。これらの安全施工と品質確保により、工事評価点は92点という稀にみる高得点であった。

2.2 関東地整 本牧地区7・8号橋

東京湾岸道路は、東京湾周辺の諸都市を連結する延長約160 kmの幹線道路であり、内陸部の交通混雑の緩和を図る

表1 石山天空橋の主要諸元

橋梁形式	鋼単純ニールセン・ローゼ桁橋
橋長	172.5 m
支間長	170.5 m
ライズ	26.0 m
有効幅員	9.5 m (車道 7.0 m 歩道 2.5 m)
鋼重	1 266 t
斜材ケーブル	F310PH (PC 鋼より線)
床版形式	鉄筋コンクリート床版
架設工法	ケーブルクレーン斜吊工法



写真2 石山天空橋



写真3 アーチリブ架設

とともに、湾岸に立地する諸都市、諸施設の機能の効率化に資することを目的とした道路で、自動車専用道路と一般道路で構成されている。

本牧地区7・8号橋(写真4)工事はその建設工事の一環であり、横浜ベイブリッジの本牧ふ頭側のアプローチ部に位置する。「湾岸道路本牧地区7・8号橋工事」として、国土交通省関東地方整備局から発注され、2016年3月に竣工した。ここでは、表2に示す橋梁緒元を持つ7号橋について記述する。

本工事は、現在供用中の首都高速湾岸線を上層デッキとした2層構造になる下層デッキを建設する工事で、上層に橋桁が存在し、かつ、湾岸道路が交差している径間が存在した。上空制限条件下における大規模橋梁の施工のため、隣接構造物に対する安全を考慮した計画・施工が求められた。

施工条件を考慮した架設方法は、ほぼ径間ごとに、トラッククレーンベント工法、一括吊上げ架設、多軸台車による一括架設の3種類となった。桁下空間が6.5mしかないため、クレーンによる主桁・鋼床版の架設においては天びん自体を直接吊り上げる特殊天びんを用いた。

トラッククレーンベント架設では上層の首都高速高架橋との接触を防ぎ、桁下1.1mの離隔を確保するため、特殊天びんの使用とクレーンブーム起し作業に配慮し、クレーンは2種類に限定した。

架設位置が首都高速ON・OFFランプ間の更に狭隘な環境では、一括吊上げ架設工法を採用した。両端のアンカー桁架設後、吊上げ桁8ブロックを地組立して一括で吊上げた。

湾岸道路が交差している径間では、当初計画は交差点上にベントを設置し道路切回しによるトラッククレーンベント架設であったが、既設車線確保と見通しできる直線道路線形が条件となり、協議により不採用となった。そのため、架設方法は作業ヤード内にて地組立したブロックを多軸式特殊台車に搭載し、交差点を夜間一時的に通行止めして架設地点まで運搬し(写真5)、所定の位置までリフトアップ(1.7m)する一括架設を採用した。架設重量は仮設備を含め、最大約630tであった。

以上のように、首都高速道路と離隔を確保しながらの架設で架設工法も多種にわたる工事であった。また、他業者からの架設ヤードの引き渡し調整で、労務・重機の確保に労力を費やした。工期短縮案として足場工・本締め工を夜間とし、2交代制で現場作業を進め、吊上げ架設・多軸式特殊台車による一括架設のイベントも遅延することなく、無事故無災害で全工事を完了させた。

2.3 東京都 清洲橋の長寿命化

最近、施工した特に大規模な保全工事としては、東京都・駒留陸橋補修工事と関東地整・国道20号新宿高架橋架替工事があり、熊本地震対応としての西日本高速道路株式会社・大分自動車道・並柳橋震災復旧工事⁵⁾もその一つである。保全工事の一例として、本節で清洲橋の長寿命化工事、次節で追分橋の耐震補強について記述する。

清洲橋(写真6)は関東大震災の震災復興事業の一環として1928年3月に建設された、橋長186.2m(中央径間91.4m、側径間45.7m)の鋼3径間連続自旋式補剛吊橋である。当時ドイツ・ケルン市にあった吊橋をモデルにした優美なデザインは、2000年に土木学会の「第一回土木学会選奨土木遺産」に選定され、2007年には勝鬃橋及び永代橋と共に国の重要文化財に指定された。

厳しい交通環境や幾多の災害に耐えてきた本橋の更なる長寿命化を図るために、文化財としての価値を損なわないことを制約条件とした現行基準への対策が検討された。その結果、外観を保持しながら地震に対する補強工事等を行う「清洲橋長寿命化工事」が東京都・第一建設事務所より発注され、2015年3月に竣工した。

長寿命化検討に当たっては現況の健全性の点検・調査に基

表2 本牧地区7号橋の主要諸元

形式	鋼3径間連続鋼床版箱桁橋
橋長	286.0 m
支間長	80.2+110.0+94.5 m
幅員	18.8 m
鋼重	2 750 t



写真4 本牧地区7・8号橋



写真5 多軸台車による鋼桁運搬



写真6 清洲橋



写真7 ダンパー設置後の状況

びき、構造的健全性として耐荷性能、耐震性能、疲労性能について現行基準との適合性が評価された。この結果、耐震基準⁹⁾のレベル2地震動（橋の供用期間中発生する確率は少ないが、大きな強度を持つ地震動）に対する対策が必要なが判明した。

本工事は耐震対策としてのA1、A2橋台にダンパー、変位制限構造を設置し、P1橋脚に桁受支承補強の実施であり、劣化部の補修も含まれていた（写真6で奥がA1橋台、塔位置がP1、P2橋脚、右手前がA2橋台である）。

本橋はP1のみ固定支承であり、A1、A2、P2は可動支承となっているため、橋軸方向地震時には固定橋脚P1の負担を減らす必要があった。そのため、A1、A2橋台にダンパーを設置することで地震力を分散させ、橋軸方向の揺れエネルギーを減衰させる補強工事が計画された。橋台A1とA2にそれぞれダンパー8基が設置され、1基あたりの性能は1500kNであるため、1橋台当たりで換算すると12000kN（約1200tonf）までの水平力に対応できる構造となっている。ダンパーは現場での遊間調整ができない構造のため事前調整を行う必要性があり、ブラケット設置後に遊間を計測し、ダンパー設置時の気温を想定した遊間に修正してダンパー長を決めた（写真7）。

橋軸直角方向の地震動の対策としては、桁受支承補強工としてP1の桁受け支承部にせん断補強の部材の追加し、変位制限構造としてA1、A2橋台の端支点上横桁にせん断耐力を負担する緩衝ピン（φ160、32本、緩衝層を含めφ240）を設置した。

上記工事には、橋台側、桁側に反力を伝えるブラケット構造の設置工程があった。橋台側ではφ90、2160mmのアンカーボルト40本、計8カ所の設置、桁側ではブラケットと控え材補強、端横桁の孔あけが必要で、狭隘な空間に高精度な設置が求められた。

近隣住民を含め広く社会に慣れ親しんでいる構造物であることを考慮し、安全性を保持しつつ外観変化を最小規模化するという重要文化財ならではの施工方法の配慮が必要であったが、工程遅延もなく、無事故・無災害で完成させることができた。なお、同じく重要文化財である永代橋（タイド

アーチ橋、橋長184.7m、中央径間100.6m、側径間41.1m）の長寿命化工事（アーチリブ補強）も受注し、2017年2月に竣工した。

2.4 西日本高速道路株式会社 追分橋の耐震補強

追分橋は、我が国初の高速道路である名神高速道路の一部として1962年に建設、1963年に供用開始された鋼3径間連続非合成箱桁橋である。架橋位置は滋賀県大津市西部で、国道1号及び京阪電鉄京津線と立体交差している。

名神高速道路と国道1号は、関西地区と中部地区を結ぶ緊急輸送道路ネットワークを構成する最重要道路であることから、本橋は大規模地震による被害を最小限に抑えることが求められていた。

地震対策前の本橋の特徴と施工上の制約条件を列挙する。

- ① 中間橋脚P1、P2は橋脚単独では自立できないロッキング橋脚で、鉛直荷重のみを支持し、水平荷重は支持できない構造である。
- ② 橋軸方向水平荷重は橋梁端部のA1橋台のみで支持し、橋軸直角方向水平荷重はA1及びA2橋台で支持する。
- ③ 斜角はA1橋台で約36度、A2橋台で約26度の極端な斜橋である。
- ④ P1橋脚は国道1号とその側道の分離帯に位置し、P2橋脚は京阪電鉄と国道1号に隣接した狭隘な用地内に位置するため、施工ヤードが極端に狭い。
- ⑤ 基礎構造及び下部構造の補強工事は名神高速道路直下での施工となるため、上方空間制限を受ける。
- ⑥ 名神高速道路、国道1号及び京阪電鉄を供用させながら施工を行う必要がある。

本工事では大規模地震対策として、ロッキング橋脚を水平力が負担できる新設の鋼コンクリート複合構造橋脚に改築し、既存支承を免震支承に取替え、上部構造の慣性力を各下部構造に分散させるとともに、長周期化とエネルギー吸収による減衰の向上により、大規模地震に対応できる免震構造に改良した。本工事は西日本高速道路株式会社から発注され、2016年7月に竣工した。

その結果、大規模地震動に対しての本橋の耐震性能は、「道路橋示方書・同解説V耐震設計編 平成24年3月」⁹⁾に準じ

て、地震による損傷が限定的なものに留まり、橋としての機能の回復が速やかに行い得る性能を確保することができた。

工事前の状況を写真 8 に、工事後の状況を写真 9 に示す。

本工事では以下の理由により、下部構造施工中の上部構造の支持は、ベント等の仮設構造物を用いず、既設の橋脚での支持状態から完成後の新設橋脚に反力を盛替えた。

- ① 施工ヤードが低空間かつ狭隘である。
- ② 供用中の高速道路での橋脚取替であり、国道 1 号及び京阪電鉄との隣接施工となることから、より安全性の高い工法が求められた。

既設のロッキング橋脚で上部構造を支持した状態で新設橋脚を建設するため、新設橋脚の鋼製梁部材は暫定的にロッキング橋脚の柱が貫通する構造とした。貫通部は、ロッキング橋脚の撤去後に、梁の上フランジ側は支承台座で、下フランジ側はカバープレートにて閉塞した。

上記の橋脚更新に関する新工法は、西日本高速道路株式会社と当社と共同で特許を取得している（特許第 6028984 号）。

詳細な報告は、文献⁷⁾⁸⁾を参照されたい。

なお、本工事は設計と施工に関する技術力が評価され、平成 29 年度土木学会田中賞作品部門を受賞した。



写真 8 地震対策前の追分橋



写真 9 地震対策後の追分橋

3. 沿岸事業の主要製品と技術

沿岸事業の主要製品は、浮棧橋、浮防波堤に代表される浮体製品と、ハイブリッドケーソン、鋼製ジャケット等に代表される港湾関連製品に分けられる。ここでは主に 2000 年以降に竣工した主要製品について説明する。

3.1 浮体製品 (PC ハイブリッド製浮棧橋ほか)

3.1.1 多機能型浮棧橋：佐賀関漁港浮棧橋

(大分県：2011 年)

関サバ、関アジで有名な佐賀関漁港では、漁獲物の衛生管理型の漁港施設の整備事業として本浮棧橋が計画された。浮棧橋（長さ 55 m × 幅 8 m × 高さ 3.0 m、乾舷 0.6 m）2 基は岸壁に沿って直列に配置され（写真 10）、全長 110 m の側面に 5 m 四方のイケス 18 基、ベルトコンベアが備えられている。漁業者が釣り上げた関サバ、関アジを中心とした活魚をしばらくの間イケスに入れておくことにより出荷調整が行え、イケスから揚げた魚に血抜き処理した後、ベルトコンベアに乗せ陸上にある荷捌き所へ送ることができる。

衛生管理の面でも工夫されており、浮体上での魚の処理作業等で発生した汚水（血、内臓、鱗等が混じったもの）が海上に流出しないように、浮体床面には排水溝が設けられている。汚水は浮体内部に設置された排水槽に集められ、ポンプにより陸上に建設された汚水処理施設に送られる。また、浮体全体を覆う膜屋根は鮮魚の品質保持のため直射日光を避ける目的がある。

この漁港は有義波高 (H1/3) 1.9 m と比較的波浪条件が厳しいが、浮体重量が大きいことから出荷作業に十分な安定性能が確保されている。反面、係留反力が大きいことから、一般的な浮体係留装置では対応が難しいため、貨物船の着棧設備等でみられる受衝板付き防舷材を使用した係留装置が採用されている。

本型式の浮棧橋は多機能型浮棧橋と称し、最終使用者の多様なニーズに対応するもので、ほかの主要なものとしては、1995 年に佐賀県名護屋漁港に道路兼用浮棧橋、2000 年に旧運輸省第四港湾建設局向けに居住施設を有する浮棧橋、2002 年には海上保安庁向けに移動機能を有する防災型浮棧橋等がある。



写真 10 佐賀関漁港浮棧橋

3.1.2 長大浮棧橋：博多港浮棧橋（福岡県：2004 年）

博多港のほぼ中央に浮かぶ博多港浮棧橋は、玄界灘に浮かぶ島々へのフェリー乗降施設であり、近年クルーズ船の発着も行われている（写真 11）。過去には、長さ 20 m 程度の小型の浮棧橋 5、6 函が渡橋で繋がれた状態で配置され、旅客船が入出する際の航跡波により浮棧橋が大きく揺れる等安全上の問題があった。また、離島に運ぶ物資の積込においても、軽トラックの進入が困難なため一輪車を使って運搬する等使い勝手が非常に悪い状態であった。福岡市港湾局はこうした状態を改善すべく、長さ 120 m（幅 10 m × 高さ 3.0 m、乾舷 1.0 m、重量 2 400 t）の浮棧橋を計画した。

浮棧橋を長大化することにより、安定性能が飛躍的に改善され、2 t トラックの進入も可能となり旅客船のすぐ横で物資の積込が可能となる等、利便性も大きく改善された。

浮棧橋の長大化については、二つの手法において課題がある。一つにはコンクリートに発生するひび割れの問題である。コンクリートは初期の硬化段階で乾燥収縮と呼ばれる収縮歪によりひび割れを発生する。コンクリート部材が長いほど収縮歪の絶対量が大きくなるため、長大なコンクリート構造になるほどひび割れ発生リスクが大きくなる。本浮棧橋のように 120 m の長さで一体化した状態での浮棧橋の製作事例は少なく、当社の施工技術は高く評価されている。

長大化へのもう一つの方法としては、洋上接合技術による方法が考えられる。クレーンでの進水が可能な比較的小型の浮棧橋を製作し洋上で接合することにより一体化する技術である。当社は過去に洋上接合実験を行っており、2001 年に完成した荷川取漁港浮棧橋（沖縄県）では長さ 50 m の浮体ではあるが、当時沖縄県内にあるクレーン能力で進水可能な 10 m × 幅 9 m の浮函 5 体を陸上で製作し洋上接合した実績がある。

長大浮棧橋として主要なものとしては 1991 年に香川県高松港浮棧橋（長さ 110 m）、1996 年に愛媛県宮浦港浮棧橋（長さ 120 m）、2002 年には兵庫県坊勢漁港浮棧橋（長さ 130 m）、また、大型の浮消波堤として 2011 年大分県保戸島浮消波堤（長さ 60 m × 幅 17.5 m × 高さ 5.2 m：重量 3 800 t）を製作した。これらの浮棧橋は玉野工場のドック海洋（ドライドック）にて建造し浮上進水させた。



写真 11 博多港浮棧橋

3.1.3 震災、津波への対応：福良港津波対応型浮棧橋（兵庫県：2012 年）

東日本大震災とそれとともなって発生した津波によって、東北地方各地に甚大な被害が発生した。当時、当社は宮城県内に 14 基の浮棧橋、浮防波堤を納入していたが 14 基の内、3 基が流出したものの、半数以上の 11 基は損傷を受けたが残存した。特に、1990 年に塩釜港に設置した 4 基の浮棧橋は残存し、そこに係留していた船舶が無傷で残ったことから、浮棧橋は津波に強いとの評価を得ている。これら津波を受けた浮棧橋の各種調査、補修工事経験及びその後の研究開発により、津波対応型浮棧橋を開発した。その成果により、2012 年に兵庫県淡路島の福良港に長さ 60 m（幅 20 m × 高さ 3.0 m、乾舷 1.6 m）の津波対応型浮棧橋を納入した（写真 12）。

近年、各地方自治体において津波被害の推定結果が示されており、浮棧橋においてもこれに対応した設計事例が増えている。

3.1.4 河川用浮棧橋：墨田区吾妻橋浮棧橋（東京都：2013 年）

1989 年から当社 PC ハイブリッド製浮棧橋は水上バス用係留施設として隅田川、荒川といった東京都の河川に多数採用されている。これらの浮棧橋は自沈装置を内装しており、洪水時に河川水位がある限度高さ以上となった場合に浮棧橋の流失を防止するため、浮棧橋底面に取付られた自沈装置の弁が開き、浮体内部に水を取り込むことにより自沈する仕組みになっている。なお、本浮棧橋は地震災害があった際の輸送路となる防災浮棧橋としての機能を併用している。

2005 年までに、隅田川に 8 基、旧江戸川に 5 基のほか、荒川、新河岸川、利根川を含め計 19 基を納入している。写真 13 は、長さ 40 m（幅 6 m × 高さ 2.3 m、乾舷 1.0 m）の墨田区吾妻橋浮棧橋である。

3.2 港湾関連製品（ハイブリッドケーソン、鋼製ジャケットほか）

3.2.1 釜石港防波堤ケーソン（岩手県：2013 年）

2013 年東日本大震災の震災復旧工事として、釜石港防波堤向け長さ 50 m（幅 20.3 m × 高さ 19.5 m：重量 7 596 t/ 函）



写真 12 福良港津波対応型浮棧橋



写真13 墨田区吾妻橋浮棧橋



写真15 尾道糸崎港防波堤用ジャケッ



写真14 釜石港防波堤ハイブリッドケーソン

のハイブリッドケーソン2函を製作した(写真14)。ハイブリッドケーソン構造は設備の整った工場で作成でき、製作期間、据付期間を短縮することができることから復旧工事を急速に進めるため、この構造が採用された。2016年にも本ケーソンと同型の防波堤ケーソン2函を納入している。

ハイブリッドケーソンとは鋼・コンクリート合成版SRC部材あるいは鋼部材を組み合わせて使用した着底式ケーソンの総称で、港の岸壁、護岸、防波堤等に使用される。

ハイブリッドケーソンは内部が鋼殻でできていることから大型化が可能であり、波力の平滑化も図れることから、防波堤として合理的な構造と言える。

近年、埋め立て処分場等の設置場所は沖合に進行しており、大水深への対応、大型化は避けて通れない。製鉄会社から排出される高炉スラグ等の処分場、生活ごみ、産業廃棄物の処分場はタイムリーに整備する必要がある、ハイブリッドケーソンに対する期待は今後も大きい。

近年では、ハイブリッドケーソンの内部空間に投入する中詰砂の代わりに、処分土を詰める等の発想により、処分量を増やす等の試みも提案されている。

主要なものとしては2008年に愛知県衣浦港3号廃棄物処分場用護岸ケーソンの内部鋼殻(4函)、2010年、2011年、2013年に川崎市浮島2期廃棄物処分場用護岸ケーソン(17函)、2016年に常陸那珂ケーソン(3函)を製作した。

3.2.2 尾道糸崎港防波堤用ジャケッ(広島県:2012年)

鋼製ジャケッは防波堤や棧橋、護岸として使用され、主要なものとしては2004年～2006年に香川県直島港棧橋用ジャケッ3基、2009年那覇港棧橋アクセス用ジャケッ5基、2012年広島県尾道糸崎港防波堤用ジャケッ3基を納入している(写真15)。

ジャケッ工法は、打設された鋼管杭(内管)に対し、径の大きな鋼管(外管)を用いて工場製作された構造物を被せ、内管と外管の隙間にセメントグラウトを注入し一体化する工法である。2017年に納入した伊吹島フェリー用浮棧橋では、このジャケッ工法を用いて係留杭を施工している。鋼管杭の場合、干満帯での腐食は激しいが、水中部は犠牲陽極等の防食対策が施されていることから腐食は小さい。したがって、水中部の鋼管杭には十分な構造強度を有している場合が多く既設流用の可能性は高いことから、今後発生するであろう既設係留杭の補修工事においてもジャケッ工法の応用が期待される。

3.2.3 桜島可動橋(鹿児島県:2017年)

桜島フェリーは桜島地域と鹿児島市街地のみならず、薩摩・大隅両半島を結ぶ海上交通機関として重要な役割を担っている。年間輸送旅客数は約520万人、輸送車両数は約150万台と世界有数の輸送量を誇り、日中は10～15分おきに運行され24時間稼働している。

2016年に一期工事を竣工(写真16)、現在、二期工事を行っている。可動橋単体の改修工事ではなく、フェリーターミナルの老朽化に伴う刷新工事の一部で、工事所掌範囲としては下部工、擁壁工、可動橋製作工、架設工、撤去工、鉄骨工、油圧設備製作・設置工、電気設備工と多工種にまたがる工事であった。また、桜島フェリーが24時間運航のため、運航を妨げない施工が必要であった。

溶岩層が厚く分布しており、空洞が多くあったことからレ



写真 16 桜島可動橋（一期工事）



写真 17 東京港臨港道路南北線沈埋函の出渠

ゾフォンピア工法を用いて場所打ち杭を施工した。人道可動橋は電動シリンダ，車道可動橋は油圧シリンダによる可動方式である。

フェリー用可動橋はフェリー航路の減少により新規製作が途絶えていたが，既設可動橋の老朽化に伴う代替時期を迎えていること，長距離ドライバーにとっては休息をとることができるフェリー輸送が見直される等の社会的背景により，新規設備工事及び，順次取替工事が見込める状況にある。

2013年の東京港10号地フェリー可動橋を皮切りに，2015年北九州港新門司地区可動橋，2018年東予港中央地区岸壁（-7.5m）可動橋製作・設置等工事を施工している。

3.2.4 東京港臨港道路南北線沈埋函（東京都：2018）

本沈埋函は，東京港10号地と中央防波堤外側地区を結ぶ東京港臨港道路南北線のうち，延長約936mの沈埋トンネル区間に用いられ，長さ約134m/函の沈埋函7函が沈設される。

沈埋函とは，鋼製の殻とコンクリート等でできた巨大な函体で，海上に浮かせて設置位置まで曳航し，海に沈めて函体同志をつなぎ合わせることで海底トンネルが作られる。構造形式は鋼コンクリートサンドイッチ構造であり，幅約28m，高さ約8.5m，鋼材重量約3700t/函となる。

当社は全7函のうちの4函の鋼殻を三井E&S造船株式会社の千葉工場内のドックで建造し進水後発注者に納入した（写真17）。現在，2020年の完成に向けて工事業者により沈設作業中である。

4. おわりに

社会資本整備の重要な要素である橋梁事業と沿岸事業について，新設工事と保全工事に関して当社が最近施工した数例を紹介した。

事業環境は新設から保全の時代が変わっていく状況である。一方，当社では技術提案を重視した発注形態の変化等にも対応し新設工事の受注も堅調で，技術の蓄積とその伝承に注力している。

保全工事では事業性の見分けと採算性の確保が課題である。大規模化の傾向は追い風となっているが，個別対応の小

規模工事もある。若手技術者には現物を直接体験でき，対象構造の長所と短所を知る良い教材でもある。

各製品における新設，保全両事業ともその基本は技術力であることは不変であり，社是の「共存共栄・自存自栄・技術立栄」の下，事業環境に合った技術力とは何かを求めていきたい。

参 考 文 献

- 1) 三井造船株式会社：三井造船株式会社100年史（2017-11）
- 2) 三井造船株式会社：三井造船株式会社100年史特集，（2017-11），p.141
- 3) 三井造船株式会社：三井造船株式会社100年史特集，（2017-11），p.147
- 4) 皆田，外：三井造船グループの社会インフラの建設と維持管理への取り組み，三井造船技報，210（2013-11），p.1
- 5) 飯島：大分自動車道 並柳橋震災復旧工事，三井E&S技報，2（2019-11），p.49
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編平成24年3月，（2012-3）
- 7) 六車，外：ロッキング橋脚を有する特殊橋梁の大規模地震対策（追分橋耐震補強工事），橋梁と基礎，51，3（2017-3），p.14
- 8) 高田，外：追分橋耐震補強工事が完工，三井造船技報，219（2017-7），p.17

執筆者：企画本部 総務部 小林 潔
 技術本部 西部橋梁設計部 金光 宏司
 沿岸事業部 沿岸設計部 光守 幹章

〔問い合わせ先〕

株式会社 三井 E&S 鉄構エンジニアリング
 企画本部 総務部
 TEL 043-351-9217 小林 潔

ドーピー建設工業の製品・技術紹介

生産統括部

Products and Technology Explanation of DPS Bridge Works Co., Ltd.

Production Management Dept.

1. はじめに

ドーピー建設工業株式会社は、1956年(昭和31年)に北海道開発公庫の投資対象事業第1号として、北の大地に「北海道ピー・エス・コンクリート株式会社」の社名で誕生した。プレストレストコンクリート(以下PC)及びセメント二次製品の製造並びに販売と、橋梁建設を主目的として、本社：東京都中央区、営業所：札幌市、工場：北海道幌別郡幌別町(現 登別市)を拠点として創業、スタートした。

当社は、1956年に幌別工場が完成して北海道を中心に活動を展開し始めたが、1960年に掛川工場(静岡県掛川市)完成に伴い本格的に本州に進出し、1965年には福岡事務所を開設した。1968年に美唄工場(北海道美唄市)、1977年に関東工場(群馬県北橋村)が完成して主要4工場体制となり、1983年には、商号を「ドーピー建設工業株式会社」に改め、全国企業への道をたどってきた。1970年代から1990年代は、公共投資が拡大し、建設業界においては追い風が吹く中で、売上げも順調に推移していったが、2000年代になって社会資本整備の見直しから大幅な公共事業予算の減少が続く中、厳しい受注環境へと変化していった。事業計画の見直しが迫られる中で、2004年に筆頭株主が太平洋セメント株式会社から三井造船株式会社に代わり、連結子会社となって再建が図られた。近年は、株式会社三井E&Sマシナリー社会インフラ事業部の一員としてPC製品の製造、PC橋の施工、維持補修工事の施工を3本柱として事業を展開している。

当社の組織構成を図1に示す。PC製品の製造は幌別工場

(写真1)と掛川工場(写真2)の工場部門が所掌する。PC橋の施工と維持補修工事は生産統括部が所掌する。これらの受注活動は営業統括部が所掌し、生産統括部と連携を取り、マーケットの分析や顧客の要望に対応している。

2. 工場部門

工場生産については、パイル製品(PC杭)の需要増で美唄工場が操業し、上越・北陸新幹線の軌道スラブ生産を主目的として関東工場が操業して4工場体制を展開していたが、高度経済成長期の終えんと公共事業削減の中で、現在の2工場体制となった。



写真1 現在の幌別工場



写真2 現在の掛川工場

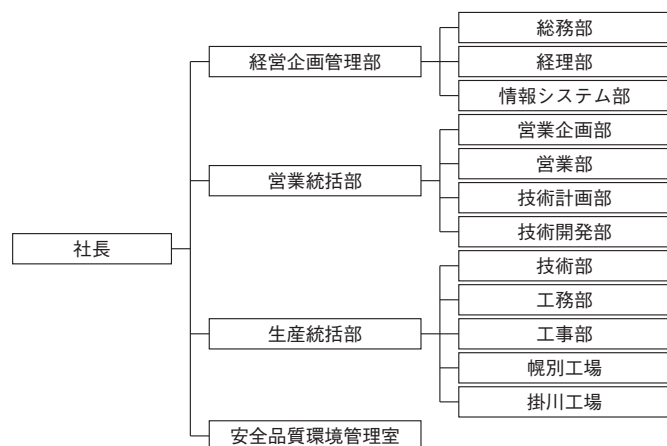


図1 組織図

現在の工場主力製品は、プレテンション桁(写真3)、ポストテンションセグメント桁(写真4)、プレキャストPC床版(写真5)、プレキャスト壁高欄(写真6)等である。

プレテンション桁は、PC工場の反力台(緊張アバット)を利用した製品の中で最もポピュラーな製品であり、支間長25m程度以下の小規模橋梁には圧倒的に採用されているが、ピーク時より生産量は大幅に減っており、他の製品に対しての生産比率は低くなっている。

従来、工事現場にて製作することが多かったポストテンション桁は、需要こそ減ったものの、品質管理の行き届いた工場での製造、現場の担い手不足によるプレキャスト化の推進等の観点から工場製作によるセグメント化が増えており、今後は道路橋ばかりではなく、新幹線のPC桁等にも多く採用されることが期待されている。

プレキャストPC床版、プレキャスト壁高欄は、高速道路のリニューアルプロジェクト(大規模更新、大規模修繕)の柱となる床版取替においては、耐久性の向上と通行規制による社会的影響の軽減を主目的として、また、新設鋼橋においては耐久性向上と工期短縮、担い手不足対策の観点から床版プレキャスト化がクローズアップされ、需要が大きく伸びてきている。

幌別工場は、温泉地で有名な登別市に位置し、敷地面積は約84,000m²である。創業時よりポール(電柱)、PC枕木の安定生産を続けてきたが、近年の大幅需要減により、これらにとって代わり、主力製品のほかにPC板、プレキャストタンク部材等も手掛けている。

掛川工場は、緑茶の栽培や楽器工場があることで有名な掛川市に位置し、敷地面積は約40,000m²である。高速道路の大規模更新やリニア新幹線の建設等、これからの需要に対して立地条件に恵まれているため、生産体制を高めるべく2018年に工場棟の改築を実施した。これにより生産能力は約3倍となり、PC床版の大量生産、大型化するプレキャスト製品等、今後の多様なニーズに対応可能な工場となって生産を進めているところである。

3. 現地工事部門

3.1 PC橋

当社竣工第1号の橋は、マニエル工法で実施し、1957年に完成した稚内開発建設部発注による増幌橋(北海道稚内市)(写真7)である。施工場所は、北の果て宗谷岬の近くで、厳しい気象条件の中、当時の技術を結集し、現場従事者たちの並々ならぬ努力のもと事故もなく、11月には完成にこぎつけた。



写真3 プレテンション桁



写真5 プレキャストPC床版



写真4 ポストテンションセグメント桁



写真6 プレキャスト壁高欄

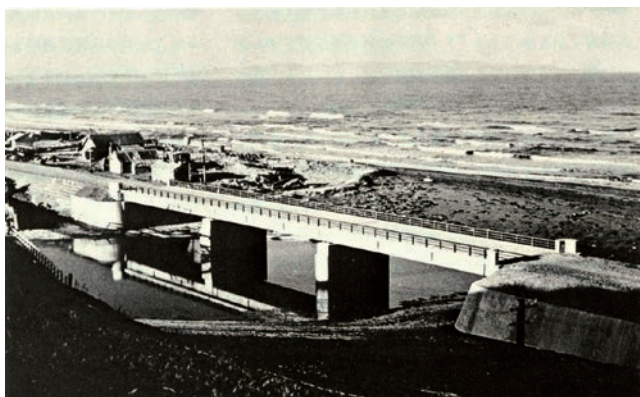


写真7 増幌橋



写真10 尾根内大橋他



写真8 保津高架橋



写真11 谷津川橋



写真9 城山大橋

1958年、当社としてB.B.R.V工法第一号、本州施工第一号の谷川橋（群馬県水上市）、1959年、同工法の連続桁橋として国内でも先駆的役割を果たした両神橋（北海道旭川市）をはじめ、現在に至るまで北海道から沖縄まで大小多数のPC橋を手掛けている。

3.1.1 プレキャスト桁架設工法

ポストテンション桁、プレテンション桁を通じて、最も一般的な施工形態であるプレキャスト桁は、かつては単純構造が主流であったが、近年は、品質及び耐久性の向上、走行性重視、ライフサイクルコスト低減の観点から、連続・連結構

造のPCコンポ橋等が多くなっている。代表的な橋として、保津高架橋（奈良県田原本町）（写真8）、城山大橋（群馬県富岡市）（写真9）などがある。

3.1.2 張り出し架設工法

張り出し架設工法とは、場所打ち桁を製作する工法の中で、移動作業台車や移動式架設桁を用いて橋梁下の制約条件に関係なく架設可能な工法で、支保工での施工が不可能であった渓谷・河川上などへの架橋が容易にできることとなる。このように、張り出し架設工法はPC橋を施工していく会社が発展していく上で必要な工法であった。早くからディビダーク工法（かつては張り出し架設工法の代名詞のように呼称していた）を手掛けていた大手ゼネコンの技術指導や同業専門家との共同企業体で技術を習得しながら、1980年代後半からは、自社メイン（JVメイン又は単独施工）の工事を受注するようになり、現在に至っている。

橋を架けるには厳しい地形や気象条件のもとで架設した尾根内大橋ほかのPC橋梁群（北海道神恵内村）（写真10）や、波形鋼板ウェブとRC（鉄筋コンクリート）ストラットを採用して、ウェブの少数化、下部工の負担軽減を図った谷津川橋（静岡県裾野市）（写真11）などが張り出し施工の代表例である。

3.1.3 押し出し架設工法

石狩川を跨ぎ、7径間連続箱桁橋である江神橋（北海道旭川市）（写真12）は、冬季中断をはさみながら5年の歳月を



写真12 江神橋



写真14 荒巻本沢大橋



写真13 銀山御幸橋



写真15 滝見橋

かけて押し出し架設工法にて施工した。押し出し工法としては分散方式のSSY工法を採用、各支点に油圧ポンプユニット、鉛直ジャッキを配置し、支承は押し出し施工時の滑り装置を本支承と兼用できるKS沓を採用するに至った。施工に当たり、押し出し架設機械等の操作特性については実際の施工の中で理解するしかなく、架設時の各ジャッキ配置における荷重分配と誤差確認は、構造体そのものの品質、安全施工に影響することから特に配慮した。

銀山御幸橋（秋田県雄勝町）（写真13）は、我が国初の押し出し工法により施工された波形鋼板ウェブ橋である。松の木峠の急溪流な片斜面上を通過すること、豪雪地域で雪崩が頻発すること等から架設工法は押し出し工法となり、下部構造の小型化と省力的な架設、主桁の軽量化を図るため、合成構造である波形鋼板ウェブPC箱桁橋が採用され、押し出しにはピロン柱を用いて手延べ桁を斜吊りして施工を行った。また、気象条件の極めて厳しい山岳橋梁の維持管理の効率化を考慮して、波形鋼板ウェブに世界で初めて耐候性鋼板材を使用した。

3.1.4 その他橋梁

道路交差部の建築限界制限により、箱桁断面としては極めて低い桁高1.35mとなっている荒巻本沢大橋（仙台市青葉区）（写真14）は、桁断面に波形鋼板ウェブ構造を採用した国内外初の一面吊りエクストラドーズド橋である。工事に際しては、交通量の多い道路を交差し、住宅近接地域であった

ことから周辺環境、第三者災害に配慮した綿密な計画のもと、施工を行った。

世界文化遺産の構成資産として登録されている「白糸の滝」の周辺整備計画により建設されたのが滝見橋（静岡県富士宮市）（写真15）である。白糸の滝から霧状の水滴が飛来する多湿環境下にある滝見橋は、維持管理コストの低減による長寿命化と周辺環境に配慮したコンパクトな橋体として、PCバランスド扁平アーチ構造が採用された。

3.2 橋梁以外の製品、工事

橋梁以外のPC構造物としては、防災を目的としたスノーシェルター（写真16）、ロックシェッド、ハイブリッドポンツーン（浮棧橋）、カーテンウォール（写真17）や、容器構造物であるスラリートank（写真18）等を手掛けている。

スノーシェルターは、地吹雪や吹きだまりによる交通遮断や事故から、ドライバーの安全を確保するものである。品質管理の行き届いた工場で作られた部材を組み合わせることで、耐久性に優れ、施工に際しては交通量の阻害が少なく、工期短縮にも寄与する防災構造物である。

カーテンウォールは、高潮や津波対策用の防潮水門であり、北海道南西沖地震や東日本大震災の津波災害を受けた地方を中心に建設されており、当社はプレキャスト製品をPC鋼材でつなぐタイプを手掛けている。

スラリートankは、主に北海道東部の乳用牛酪農において、環境保全型農業を目的とした家畜排せつ物処理のため



写真 16 スノーシェルター



写真 18 スラリートタンク



写真 17 カーテンウォール



写真 19 大野橋床版取替工事

の配水調整槽である。耐震性能を有しており、プレキャスト部材を組み合わせることで経済性（ライフサイクルコスト）や耐久性にも優れており、安定した牛乳の供給にも一役買っている。

3.3 補修・補強工事

補修・補強工事は、災害による復旧のための工事と維持管理を目的とした工事に分かれる。当社の工事売上げにおいても、およそ30%が補修・補強工事となっており、今後比率は高まっていくことが予想される。

近年の予期せぬ自然災害により損傷を受けた橋梁の災害復旧工事として、十勝河口橋（北海道豊頃町 2003年十勝沖地震）、笠石高架橋（福島県鏡石町 2011年東日本大震災）等、補修・補強工事を行っている。両工事とも大きな地震力により横方向にズレが生じてしまった橋桁のジャッキアップによる修復と、損傷を受けた支承や伸縮装置等を取り替える復旧工事であった。

維持管理を目的とした補修・補強工事は、PC橋上部工ばかりでなく、鋼橋床版や橋梁下部工等コンクリート構造物における老朽化対策は、待ったなしで進められている。中でも高速道路における大規模更新（主に鋼橋の床版コンクリートをプレキャスト化して更新）は、大きなマーケットとしてクローズアップされている。

大野橋床版取替工事（北海道小樽市）（写真19）は、高速道路リニューアルプロジェクトとしてはNEXCO北海道支

社で最初の床版取替工事である。供用開始から50年近く、経過し、積雪寒冷地における凍結防止剤散布など厳しい使用環境の中、鉄筋コンクリート床版の老朽化が進行し、耐久性の高いPCプレキャスト床版への取替えとなった。

4. 注力している事業

補修・補強工事のうち、当社が注力している補強工法としてアウトプレート工法（図2、写真20）がある。この工法は、両端に定着体を有するCFRP（炭素繊維強化プラスチック）プレートを緊張して、既設構造物躯体に固定、接着する工法で、従来の連続繊維シート接着工法に比べ、少ない補強材料で大きな補強効果を得ることができる。緊張材として薄いCFRPプレートを使用しているため補強後の外観形状、断面変化がほとんどなく、RC、PCのホロスラブ・T桁や鋼橋等多くの橋梁に適用可能となっており、需要も年々増加傾向にある。

5. おわりに

国内の公共事業において、老朽化した社会資本の保全事業、高速道路や鉄道の大規模修繕、大規模更新、また、新幹線整備やリニア事業の鉄道建設等少子高齢化が加速する中で、社会インフラ整備は今後ますます重要となってくる。株式会社三井E&Sマシナリー 社会インフラ事業部に属している当社は、これまで専門家として培ってきたプレストレストコンク

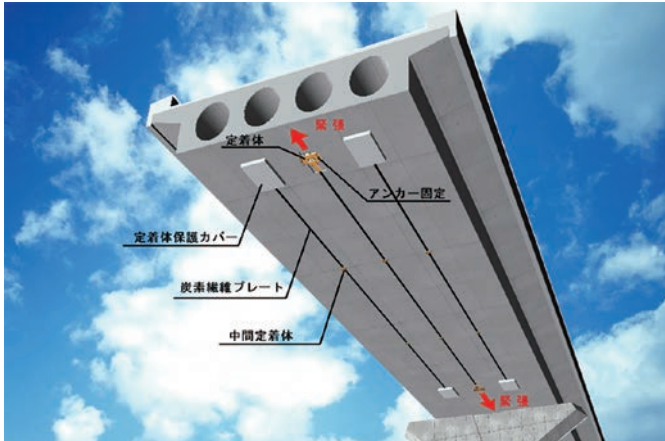


図2 アウトプレート工法概念図

リートを主体とする技術を結集して、多様化するニーズに応じていかなければならない。社是である「和衷協同」「熟慮断行」を基本理念として社員一同信頼と実績を積み重ね、しっかりと役割を果たすべく、社会インフラ整備事業の中で技術的な独自性も発揮しながら、グループの一員として社会の発展に貢献し続けていく所存である。



写真20 アウトプレート工法

執筆者：生産統括部 奥田 修也

〔問い合わせ先〕

ドーピー建設工業株式会社

生産統括部

TEL 011-221-1546 奥田 修也

技術開発部

TEL 03-5806-5414 立神 久雄

三井 E&S 環境エンジニアリングの製品・技術紹介

経営企画部

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

Corporate Planning Dept.

1. はじめに

三井 E&S 環境エンジニアリング株式会社の前身は、1985 年 10 月 16 日、三井造船環境事業本部（現三井 E&S エンジニアリング）の 100% 子会社として設立された。当初は当環境事業本部が建設した都市ごみ処理施設や下水道処理施設などの環境保全施設の運転管理・メンテナンス（O&M）事業を専門に行っていたが、当環境事業本部の設計・調達・建設（EPC）事業を順次移管し、現在は環境分野に関する EPC から O&M までの一貫した事業を展開している。

当社の事業は、環境エンジニアリングと O&M から構成される。環境エンジニアリングとしては、ごみ焼却施設、バイオマス利活用施設、汚泥再生（し尿）処理施設を中心とする環境プラント及び環境製品を提供しており、これを支える技術開発を行っている。環境プラント関連では、新設のプラント以外に、施設の老朽化に伴う延命化、効率化などの改造や建て替工事にも注力している。これに合わせて、顧客のニーズを取り込み新しいプロセスの開発にも取り組み^{1)~3)}、その過程で開発した機器類を、水分自動調整型高効率脱水機スマートプレス等の環境製品として提供している⁴⁾。

本報では、当社の主要製品とその歴史及び関連技術を紹介する。

2. 主要製品及び主要技術

1967 年に制定された公害対策基本法の後に、大気汚染防止法等の各種公害対策法が施行された。また、1979 年に制定された日本の省エネ政策の根幹となる省エネ法（正式名：エネルギーの使用の合理化に関する法律）とその後の改正や、1991 年の資源の有効な利用の促進に関する法律（通称：リサイクル法又は再生資源利用促進法）の制定にも関わらず、オゾン層破壊、地球温暖化、酸性雨、異常気象などが地球規模の環境問題として対応が迫られている。

特に CO₂ 等の温室効果ガス排出による地球温暖化の抑制対策が大きな課題であり、再生可能エネルギー利用や循環型社会形成を推進する活動が活発化している。

当社もこのような社会的要求に呼応して、排ガス脱硫・脱硝技術による大気汚染防止、微生物による水処理設備から始まり、燃焼技術向上による流動床式焼却炉やキルン式ガス化溶融炉の開発、小型ストーカ式焼却炉市場への進出、地球温暖化抑制を目指した廃棄物資源化分野や施設延命化への取り組み等の環境事業を展開してきた。

2.1 水処理、排ガス、バイオマス利活用分野への取り組み

2.1.1 水処理（下水、下水汚泥焼却）、排ガス処理分野

下水道分野への本格進出は、1987 年、児島湖流域下水道浄化センター受注に始まった（写真 1）。その後、大分市、阿智村（長野県）、紀ノ川流域（和歌山県）、武芸川（岐阜県）、美浜町（福井県）等多くの施設を納入する一方で、市場変化に対応して、小規模の農業集落排水処理施設の取り込みやし尿処理分野進出へと事業展開している。

なお、下水汚泥焼却分野は、東京都砂町下水処理場（1973 年）向けの大型多段式汚泥焼却炉建設が本格参入であり、市原市（1993 年）には流動床式汚泥焼却炉を引き渡している。

一方、排ガス処理技術（脱硫、脱硝、脱臭）は日本鉱業株式会社（1990 年：ガスタービン）、昭和四日市石油株式会社（1996 年：ガスタービン）、コスモ石油株式会社（2009 年：石油加熱炉）などの民需を中心に展開してきたが、官需の水処理施設での活性炭吸着設備や後述のバイオガスプラントでの脱硫設備としても生かされている。

2.1.2 水処理（し尿処理・汚泥再生処理）分野

1970 年代以降のし尿処理技術は、(a) 標準脱窒素処理、(b) 高負荷脱窒素処理、(c) 膜分離高負荷処理と技術が開発されている。汚泥再生処理等の主要処理方式とその概要を表 1 に示す。各処理では、計量調整、硝化・脱窒素、固液分離、凝集分離などの設備を組み合わせ、目的とする処理性能を達成する⁵⁾。当社の技術もこの進展に合わせて蓄積されてきた。

水処理で開発した活性汚泥プロセス、凝集沈殿、曝気等の技術を基に、し尿処理分野に進出したのは 1988 年に納入した秋田県五城目町が最初であった。膜分離技術については、



写真 1 児島湖流域下水道浄化センター

表1 汚泥再生処理等の主要処理方式とその概要

処理方式の名称	概要
標準脱窒素処理方式	受入・貯留設備から供給されるし尿等を5～10倍程度に希釈後、生物学的脱窒素法で処理し、生物化学的酸素要求量(Biochemical Oxygen Demand：BOD)の原因物質と窒素を同時に除去する
高負荷脱窒素処理方式	受入・貯留設備から供給されるし尿等を、プロセス用水以外の希釈用の水を用いることなく高容積負荷で処理を行う生物学的脱窒素法と凝集分離法の組み合わせで処理し、BODと窒素を同時に除去する
膜分離高負荷脱窒素処理方式	高負荷脱窒素処理方式において固液分離に膜分離設備を導入した処理方式
浄化槽汚泥の混入比率の高い脱窒素処理方式	高負荷脱窒素処理方式、膜分離高負荷脱窒素処理方式等を、浄化槽汚泥の特性に合わせ、改良した処理方式

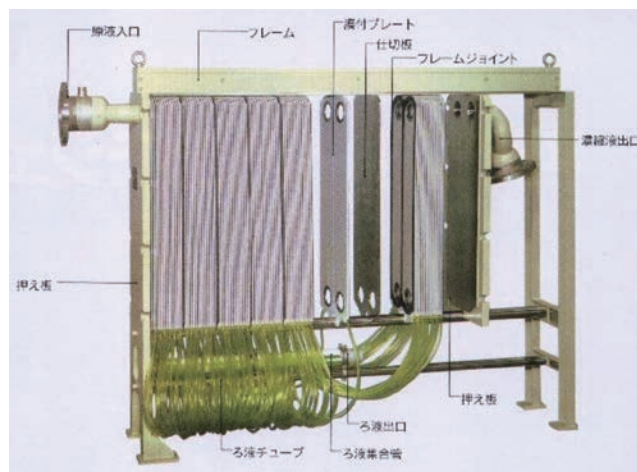


写真2 UF膜 (限外ろ過膜)

表2 汚泥再生処理センター、し尿処理施設等実績表 (過去5年)

No	納入年月日	納入先		1日当たりの処理量及び種類			主処理方式	資源化設備	備考	
				し尿	浄化槽汚泥	生ごみ等				種類
1	2019年	町田市	東京都	し尿	5.3	41.5	kl	固液分離	助燃剤化設備	希釈後 下水道放流
2	2018年	みやま市	福岡県	生ごみ等	9.9	130	t	膜分離高負荷 脱窒素処理 + 高度処理	メタン発酵設備	液肥利用
3	2017年	舞鶴市	京都府	し尿	28	49	kl	前濃縮設備 + 高負荷脱窒素処理	なし	下水道放流
4	2017年	天草市	熊本県	し尿	26	92	kl	浄化槽汚泥対応型 脱窒素処理	助燃剤化設備	下水道放流
5	2017年	和歌山市	和歌山県	し尿	53	484	kl	浄化槽汚泥対応型 脱窒素処理 + 高度処理	助燃剤化設備	
6	2015年	西之表市	鹿児島県	し尿	13	30	kl	標準脱窒素処理 + 高度処理	堆肥化設備	
7	2015年	宇和島地区 広域事務 組合	愛媛県	し尿	130	220	kl	膜分離高負荷 脱窒素処理 + 高度処理	リン回収	

五城目町施設において限外ろ過 (Ultra Filtration：UF) 膜を採用した。UF膜は従来の精密ろ過 (Micro Filtration：MF) 膜の1/1000に当たる数nmレベルの高分子有機物までろ過が可能である (写真2)。

一方、2004年4月に三井鉱山グループの水環境事業部門を譲り受けた頃からは、資源化方式を附帯した様々な施設を手掛けるようになった。その方式は、(a)し尿 (浄化槽汚泥も含む) と生ごみ等を一緒に処理し、メタン発酵での電力・熱回収、(b)カルシウム (またはマグネシウム) 添加によるリン回収、(c)好気性条件下での安定した堆肥化、(d)脱水汚泥の含水率を70%以下まで落とす助燃剤化等である。

当社の汚泥再生処理センター、し尿処理施設等の納入実績は70余りであり、最近5年間の納入実績を表2に示す。また、リンを回収する資源化設備を設置した施設の処理フローを一例として図1に示す。本施設に資源化設備が設置されるようになったのは1999年以降であり、近年は助燃剤や堆肥化、メタンガスなどで資源が有効活用されている。また、本施設の近隣に下水処理施設がある場合は処理液を下水道に放流する場合がある。処理液を河川等に放流する場合は、厳しい環境基準を満足するように、高度処理を施している。

我が国の下水処理人口普及率は約80%であり⁶⁾、約2千万人もの住民が本施設の利用者となる。全国のし尿・汚泥再生処理施設は約1000施設であり、一般財団法人日本環境

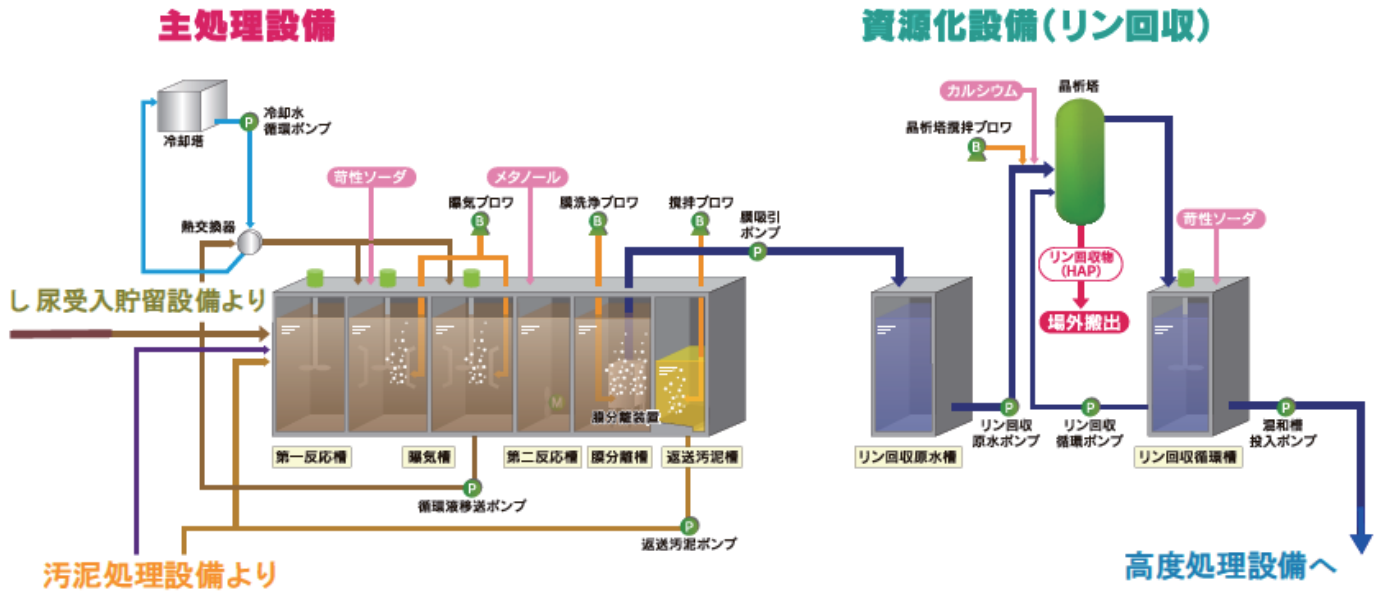


図1 宇和島地区広域事務組合向け汚泥再生処理センター フローシート

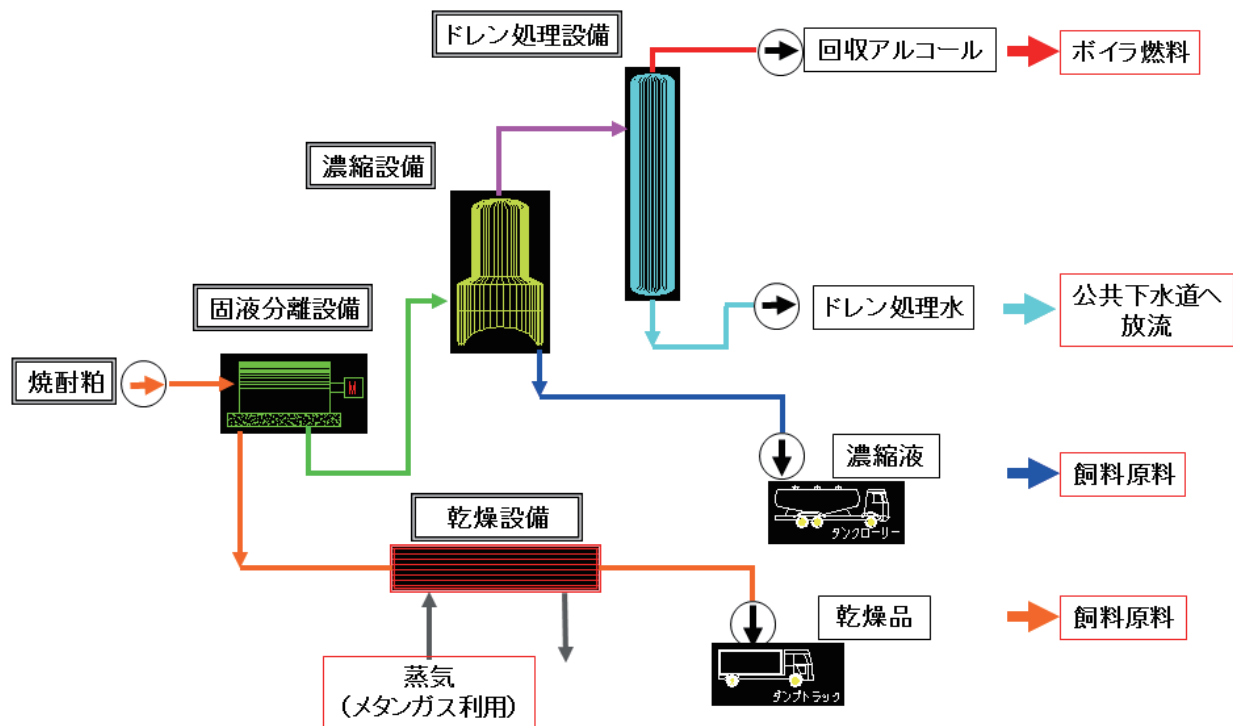


図2 三和酒類株式会社向け焼酎粕飼料化設備 フローシート

センターが平成28年度に実施したアンケートに回答があった約60%の施設のうち、経過年数が40年以上は約8%、30年以上は31%となっており⁷⁾、今後も老朽化した施設の立替需要が期待できると考えている。

2.1.3 バイオマス利活用分野

(1) 焼酎粕飼料化設備

ロンドン条約(廃棄物等の投棄による海洋汚染防止条約)で、焼酎粕の海洋投棄禁止が施行されたのは2001年4月である。焼酎粕には有機酸類やビタミンが含まれて

おり、これらを有効利用するのが当社の焼酎粕飼料化システムである⁸⁾。

本システムの特長は、麦、芋、米と異なる原料にも、ほぼ同一の基本プロセスで対応できるという点である。本設備の基本プロセスを図2に示す。本プロセスでは、顧客の要望に応えるため、焼酎粕の分離液からのアルコール回収プロセスを自社開発した。

1号機は1997年に納入した三和酒類株式会社向けの焼酎粕(麦)飼料化設備である。その後、九州の焼酎酒造

組合や焼酎メーカーに10件の設備を納入している。なお、乾燥工程で使用する蒸気を、焼酎製造工程で発生する焼酎粕の一部を利用したメタンガスを燃料として製造するプロセスは⁹⁾、省エネ及びCO₂排出削減にも寄与している。なお、このプロセスから発生する濃縮液は、鹿児島大学との連携により開発したプロセスで、ペレット化した上で養魚場の飼料として使用された例もあり、更なる資源の有効活用の可能性がある。

(2) バイオガスプラント (BGP)

当社のバイオガスプラント (BGP) 開発は2001年帯広畜産大学に納入した実証試験設備から始まった。本設備は帯広畜産大学との共同研究で、三井E&Sホールディングスのグループ会社であるBurmeister & Wain Scandinavian Contractor A/S (BWSC社)が開発した高温発酵方式(55℃)を採用した4m³/日の乳牛糞尿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。

また、2004年には、三井鉱山グループの水環境事業部門からの中温発酵技術(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。

BGP施設はこれまでに、福岡県みやま市(2018年中温発酵：し尿+生ごみ+汚泥 写真3)など17施設(三井鉱山時代を含む)を建設し、有機物から発酵したメタンガスはボイラーや発電機で熱回収・電気回収され、ガス発生後の消化液は液肥として農業肥料に還元されている。

2.2 ごみ処理(焼却, 不燃ごみ処理, リサイクルプラザ)

2.2.1 流動床式焼却炉

1970年代までの機械炉(ストーカ炉)中心から、施設のコンパクト化を目指した流動床炉が加わるが、当社にはこれに

応するために、1976年西独ラシュカ社から流動床式焼却炉の技術導入を行った。ラシュカ社の技術は汚泥専焼用であったが、都市ごみに改良・開発し、1980年に七尾鹿島広域圏事務組合から1号機(40t/日×2基)を受注して以来、2000年の西尾幡豆広域圏事務組合(65t/日×3基 写真4)への引渡しまで23件(海外1件：韓国)の実績がある。

2.2.2 キルン式ガス化溶融炉(三井リサイクリング21)

1996年から1997年にかけて実施されたダイオキシン類排出実態調査を受けて、新ガイドラインが制定され、ごみ焼却施設は厳しい水準の環境負荷低減が要求される社会的情勢となった。

この社会的要請に応えるために、1991年に独シーメンス社から大規模ごみ焼却に適した次世代熱分解溶融炉の基礎技術を導入、これに大幅な改良を加え、高いダイオキシン類発生抑制、高エネルギー回収率及び高有価物回収率などの特長を有するキルン式ガス化溶融炉(三井リサイクリング21)を完成させた。

1997年に三井リサイクリング21の商用1号機であり、また国内初の都市ごみ熱分解溶融施設である福岡県八女西部クリーンセンター(220t/日)を受注し、これまでに国内外に8施設を納入している¹⁰⁾¹¹⁾。

2.2.3 ストーカ式焼却炉

ストーカ式焼却炉は国内では最も歴史があり実績も多い焼却方式である。当社は内海プラント社より技術導入を行い、2018年にストーカ式ごみ焼却炉(8t/日)の初号機を標茶町(北海道)に納入した(写真5)。本施設の建設には循環型社会形成推進交付金が活用され、焼却の際に発生する熱エネルギーを回収して給湯や暖房、ロードヒーティングなどに再利用するとともに、排ガス処理に自社開発した触媒ろ布を採用し、公害防止に細心の注意を払っている。

2.2.4 不燃ごみ処理

不燃ごみは、1960年代後半以降、単なる埋立て処分に代わり、減容化・資源回収の形で処分されるようになり、破碎・選別処理施設の建設が各地で進んだ。

当社では、1973年に米国ウィリアムズ社から横型回転衝



写真3 みやま市バイオマスセンター



写真4 西尾市クリーンセンター(流動床炉)

撃式破砕機を技術導入して国産化を行い 1974 年の芦屋町ほか 3 カ町環境衛生施設組合 (50 t / 日) が 1 号機である。その後、東京都 (1986 年) への当時国内最大の施設 (1 250 t / 日) 納入を含め、現在までに 19 件の納入実績がある。

2.2.5 リサイクルプラザ

容器包装リサイクル法が 1995 年に制定、1997 年一部実施、2000 年に完全実施された。この容器包装リサイクル法の完全実施により、資源ごみの品目がビン、缶程度からペットボトル、廃プラスチック全般、紙類と量的、質的に増えた。これにより破砕・選別設備 (処理量：5 t / 日以上) に、住民に資源ごみのリサイクルの大事さを啓発する機能を併設する施設 (リサイクルプラザ) が必要となった。当社では、1999

年の坂出市 (26 t / 日) から 2006 年の国頭地区行政事務組合 (5 t / 日) まで 7 件のリサイクルプラザを建設した。

2.2.6 施設延命化

ごみ焼却施設では、建物の耐用年数は約 50 年にに対し、設備の老朽化を理由に 15 ~ 25 年の周期で立替えを行う施設が多かった。

しかしながら、2010 年頃から、国、自治体の厳しい財政状況及び新施設建設に掛かる負担増 (反対運動、建設用地の取得難) を背景として、施設が劣化したら「建替える」から「ストックマネジメント」により、長寿命化を図ることで供用年数を延ばす指導が始まった。

さらに、施設延命化工事では、供用年数を延ばすだけでなく「ライフサイクルコスト」の低減と環境保全 CO₂ 発生抑制にも寄与する施設としての改善が求められている。この社会的要請に応えるために、当社では既存ごみ焼却施設の延命化及び施設から排出される CO₂ 排出量削減を交付要件とした「ごみ焼却施設の基幹的設備改良工事」を、2014 年度に 2 件 (唐津市清掃センター、大和郡山市清掃センター) 受注した。

この 2 件の工事は、従来より“CO₂ の 20 % 以上削減”を目指した対策が加えられており、老朽化した機能を復活させるべく、効率アップした機器への更新を行っている。このほかに、従来なかった発電設備を新たに設置することで、ごみ焼却で発生する熱エネルギーの有効利用を行っている。特に、唐津市清掃センターでは、新しく開発した“バッチ式・准連式ごみ焼却施設でも採用可能な発電システム (貫流式ボイラー + 小型スチームタービン)”を採用することで、環境省の二酸化炭素排出抑制対策事業費交付金 (先進的設備導入推進事業) の事業採択を受けることができた (図 3)¹²⁾。



写真 5 標茶町 (ストーカ炉)

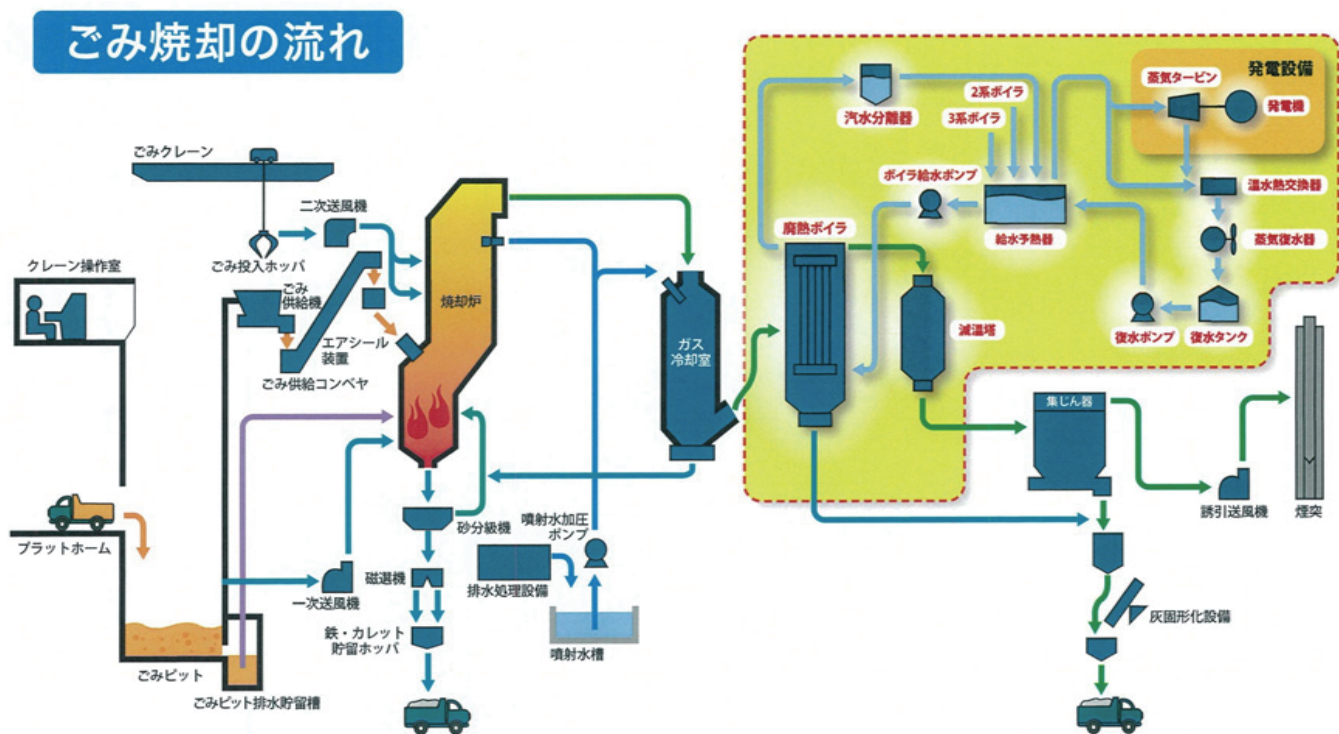


図 3 唐津市清掃センターごみ焼却施設 フローシート (延命化工事後)

3. おわりに

京都議定書（1997年12月COP3で採択）で示された地球温暖化防止策は2015年12月のパリ協定（COP21）に引き継がれ、温室効果ガス排出抑制はますます強まり、地球規模での対策が求められている。

また、国連では「持続可能な開発目標（SDGs）」が採択され、企業のサステナビリティに対する取り組みへの期待が急速に高まっている。我が国でも、省エネルギー、資源のリサイクル、バイオマスの利活用、大気や水や土壌の浄化などに官民一体の努力が続けられている。環境プラントについては、し尿処理・汚泥再生処理施設の老朽化施設更新が多数見込まれ、ごみ焼却炉の分野では同様の更新に加え、延命対策や更新工事が見込まれる。また、未利用資源の有効活用としての、バイオガスプラントへの期待は高い。

三井E&S環境エンジニアリングとしては、これまでに培ってきた廃棄物資源化や再生エネルギー活用の技術をより高度化するとともに、産学連携など外部機関との協力もより積極的に活用することにより、循環型社会の構築と、持続可能な社会の実現に今後も貢献していきたい。

参 考 文 献

- 1) 富山. 外：資源循環型汚泥炭化処理装置の開発，三井造船技報，190 (2007-3), p.39
- 2) 高橋. 外：高性能バイオガスシステム，三井造船技報，198 (2009-10), p.27
- 3) 中嶋. 外：事業系食品残さを原料とした飼料化バイオ

- ガスプロセスの開発，三井造船技報，214 (2015-3), p.19
- 4) 三井E&S環境エンジニアリング：環境製品，https://www.mes.co.jp/mke/business/env_engineering/product/, (2019-10-16)
- 5) 環境省：廃棄物処理施設整備国庫補助事業に係る汚泥再生処理センター等の性能に関する指針について，<https://www.env.go.jp/hourei/11/000369.html>, (2018-10-16)
- 6) 公益社団法人日本下水道協会：都道府県別の下水処理人口普及率，<https://www.jswa.jp/sewage/qa/rate/>, (2019-10-16)
- 7) 小尾. 外：し尿・汚泥再生処理施設における維持管理形態と維持管理費について，https://www.jesc.or.jp/Portals/0/center/library/jesc_zts4.pdf, (2019-10-16)
- 8) 三井造船：焼酎粕処理システム，三井造船技報，172 (2001-3), p.126
- 9) 宮崎. 外：省エネ・高付加価値型焼酎粕飼料化システムの構築，三井造船技報，193 (2008-2), p.30
- 10) 藤田. 外：三井リサイクリング 21 (R21) の実機性能，三井造船技報，172 (2001-3), p.6
- 11) 杉本：次世代型都市ごみ熱分解溶解融炉と技術，三井造船技報，178 (2003-2), p.36
- 12) 奥村. 外：中小規模都市ごみ焼却炉用発電システムの開発，三井造船技報，220 (2018-2), p.7

[問い合わせ先]

三井 E&S 環境エンジニアリング株式会社 経営企画部
TEL 043-351-9164 西村 健次

トランステーナ遠隔自動運転技術の開発

三井 E&S マシナリー 運搬機システム事業部 物流エンジニアリング部 星島 一輝

Development of Remote and Automated Operation Technology for Transtainer[®]

Kazuteru HOSHISHIMA

1. はじめに

三井 E&S マシナリーでは、コンテナ荷役を行うガントリークレーン(商品名:ポーターナ)やトランスファークレーン(商品名:トランステーナ)など、大型の港湾荷役機械を数多く製造し、市場に送り出してきた。また、これら港湾荷役機械の高機能化に向けた開発に継続して取り組んでいる。

近年、日本において労働力人口は微増しているものの、今後減少していくと試算されている。さらに、労働者の高齢化が進んできており、若い労働力の割合が低下してきている。港湾労働者も同様な状況が見込まれ、若い労働力(特にクレーンオペレータ)の不足が深刻化することが懸念されている。このようにクレーンオペレータが不足してくる中、安全を確保しつつ効率を落とさない運用が課題となってきている。この課題への対応の一環として、ターミナルの荷役能力最大化、オペレータの労働環境の改善、技能によらない安定したオペレーション及び事故抑制への対応が望まれている。

これらの課題等に対応するため、当社はトランステーナ(Transtainer[®]: TT)に対して、遠隔自動化によりこの課題解決に対応する方針である。遠隔自動化を進める上での基本的考え方を図1に示す。TTの遠隔自動化を検討する際に、我が国における港湾施設への対応も考慮する必要がある。この場合、コンテナヤードの既存の設備を活用し、最小限の改造で実現することが望ましいと考えている。当社の港湾荷役機械には、既に数々の自動制御機構が搭載されており、自動化に対する下地が形成されている。これをベースにして遠隔自動化を実現するため、社内において現在遠隔自動化の開発

を進めている。

本報では、既存 TT で遠隔自動運転を可能にする技術について紹介する。

2. 遠隔自動 TT の開発目標

2.1 港湾荷役機械の自動運転レベル

港湾荷役機器の自動運転は、搭載機能によって運転レベル分けされる。また、ヤードの自動化への段階によって、そこで適用されるレベルが異なる。機能によるレベル分けを表1に、ヤード自動化レベルによるレベル分けを図2に示す。

当社が TT を市場に送り出した 1968 年時点では、すべて

表1 運転レベルと機能

項目	運転アシスト	有人自動走行	完全遠隔運転	遠隔自動運転	完全自動運転
直進走行制御	○	○	○	○	○
TOSと通信	×	○	○	○	○
停止位置制御	×	○	○	○	○
停止姿勢制御	×	○	○	○	○
自動巻上下・横行	×	×	×	○	○
ターゲット認識装置	×	×	×	○	○
シャーシ認識装置	×	×	×	○	○
自動着床制御	×	×	×	○	○
シャーシ自動着床	×	×	×	×	○
遠隔操作	×	×	○	○	○*

*不測の事態への対応で使用

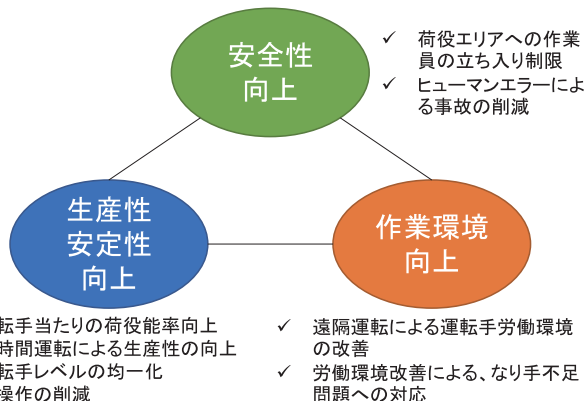


図1 トランステーナ遠隔自動化に対する考え方

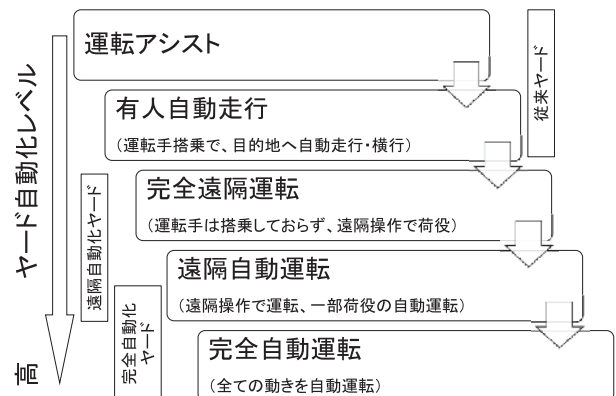


図2 ヤード自動化レベルと運転レベル

の操作をオペレータによる手動操作で行っていた。その後、オペレータの疲労軽減や、TTの効率的な運用の要望に対応し、自動運転レベルを向上させてきた。

2.2 TTの自動運転への取り組み

TTの自動化は、直進走行制御を搭載したTTを市場に送り出したことに始まる。この機能は、ベイを移動するときにまっすぐ走行させるためのものであり、オペレータの疲労軽減を目的として開発したものである。これが『運転アシストレベル』となる。国内の既存のTTの多くはこのレベルになる¹⁾。

既存TTでは車載端末にターミナルオペレーションシステム(Terminal Operation System:TOS)から荷役情報を送っているが、この情報をクレーン制御システムに送ることにより、作業を行う目的地へ自動走行・横行できるようになる。このTTが『有人自動走行レベル』となる。このレベルまでが従来ヤードで使用される運転レベルとなる。

事務所に運転室を設けて、クレーンからの映像は事務所運転室のモニターに伝送し、事務所運転室の操作情報はクレーン制御システムに伝送することにより、TTに搭乗することなく事務所から手動操作するTTが『完全遠隔運転レベル』となる。この場合、オペレータはTT運転室での下をのぞき込む運転姿勢から、事務所運転室の正面のモニターに映し出される映像を見ながら操作できるようになるため、作業環境が改善される。

しかし、この状態ではTTとオペレータが1対1となるため、オペレータ当たりの荷役効率は変わらない。そこで、効率化のために一部荷役を自動化し、あるTTが自動運転している間にほかのTTを遠隔手動運転することにより、TTとオペレータを多対1としたTTが『遠隔自動運転レベル』となり、オペレータ当たりの荷役効率が向上する。このレベルが遠隔自動化ヤードで使用されるレベルとなり、先進的なヤードのレベルとなる。

最後のレベルに全てを自動化した『完全自動運転レベル』がある。非常時には遠隔操作を行うが、通常の荷役時にはオペレータは操作を行わず監視のみを行う。このレベルが最終形態として目指すレベルとなる。

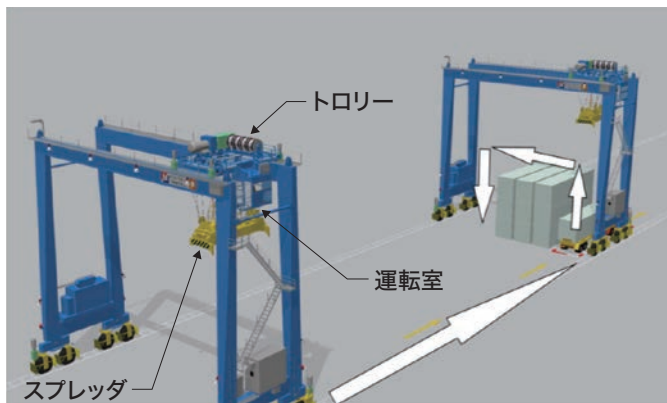


図3 コンテナ荷役例

3. 遠隔自動TTの性能

3.1 遠隔自動TTの機能

2.で示したように、既存TTでは、TOSに登録されている荷役情報を車載端末へ送信後、事務所からの無線によるオペレータとのコミュニケーションにより荷役作業を進めている。目標ベイ(走行方向のコンテナ積み付け場所)まで走行した後にシャーシから蔵置エリア内にコンテナを移動させる搬入荷役の場合は、図3に示すような作業の流れになる。

遠隔自動TTでは、オペレータが行っていた荷役作業の一部を除いて、TOSから遠隔自動TTまで自動的に情報交換を行い、自動的に目的地まで移動して、コンテナを自動で荷役する。唯一、有人機器へのアクセス(有人シャーシに対するコンテナの積み下ろし)は安全を考慮して手動運転で行う必要があり、カメラなどの情報を用いて事務所運転室よりオペレータがモニターを通して操作を行う。自動運転の領域を、図4ハッチングで示す。

3.2 システム構成

既存TTでの遠隔自動運転は、各種機器を追加することで可能となる。追加機器を図5~8に白抜き文字で示す。また、遠隔自動運転に係わる用語を表2に示す。これら追加機器を用いて、どのように遠隔自動TTが遠隔自動運転を実現しているかについて、図3に示す搬入荷役を例に説明する。

3.3 自動運転の流れ

3.3.1 荷役指示

TOSより荷役指示が自動化機器統括管理システム(Automated Equipment Control System:AECS)に送信され、AECSで作業を行う遠隔自動TTを決定し、AECSより荷役指示を漏洩同軸ケーブル(Leaky Coaxial Cable:LCX)無線LANを通して送信する。

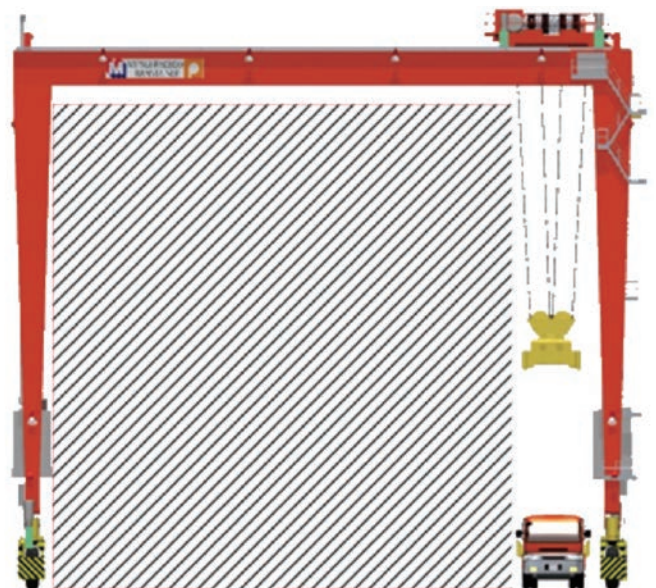


図4 自動運転エリア

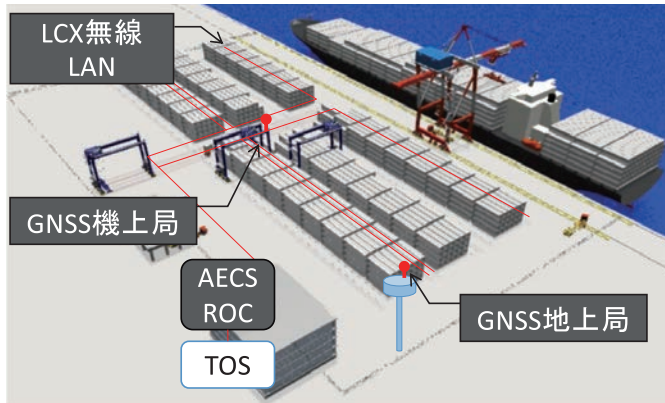


図5 コンテナヤード追加機器

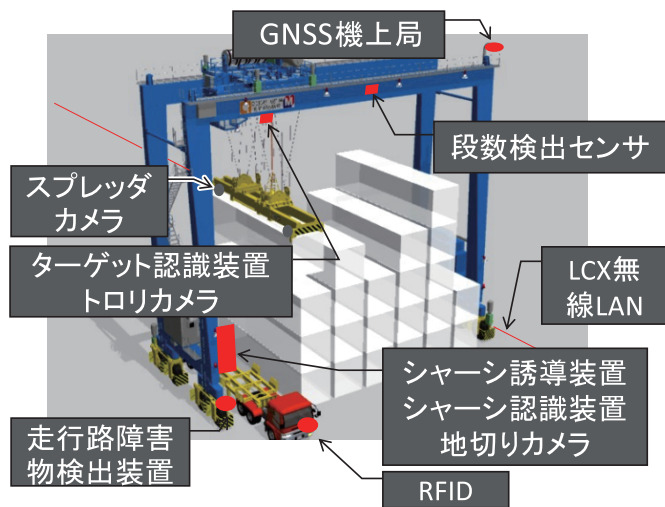


図6 トランスポーナ追加機器

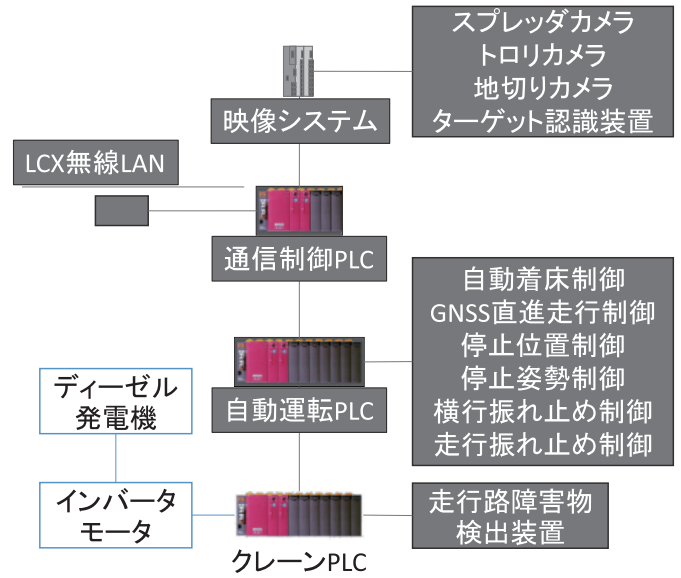


図7 制御システム追加機器

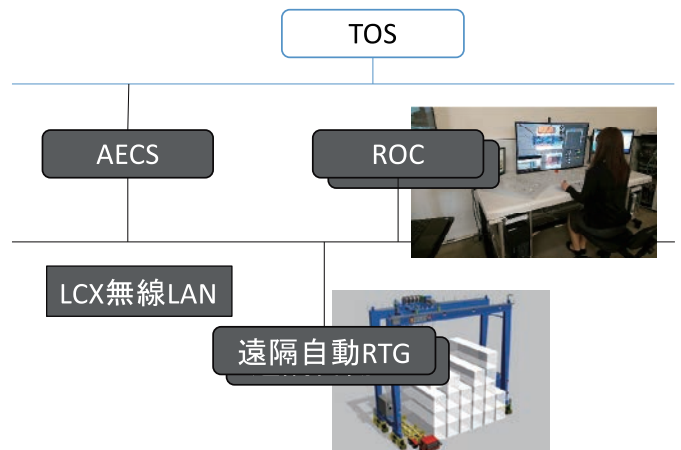


図8 管理棟追加機器

3.3.2 レーン内走行

ヤード内における走行レーンは、全球測位衛星システム (Global Navigation Satellite System : GNSS)²⁾ による座標で仮想的な走行線として設定する。遠隔自動 TT の自己位置検出は、GNSS 地上局からの補正信号を用いて、RTK-GNSS²⁾ による測位を使用しており、走行線と測位結果を用いて GNSS 自動直進走行制御、走行振れ止め制御で目標ベイまで走行振れを抑制しながら直進走行し、停止位置制御及び停止姿勢制御で目標ベイの中心に垂直に停止する。これらの動作はプログラマブルロジックコントローラ (Programmable Logic Controller : PLC) により制御する。

走行中に走行方向脚前方に障害物が存在する場合は、走行路障害物検出装置により障害物までの距離を検出し、その距離に応じて減速・停止を行うことにより安全を確保する。

3.3.3 シャーシ位置合わせ

目標ベイにシャーシが到着後、シャーシ認識装置でシャーシのオールエフアイディー (Radio Frequency Identification : RFID) を読み取り、作業対象のシャーシであることを確認する。その後、シャーシ誘導装置によりシャーシに前後移動を指示して適切な位置にシャーシを停止させる。

3.3.4 遠隔手動運転によるシャーシ荷役

シャーシ上方の自動手動切り替え高さまでスプレッドが移動し、遠隔自動 TT から AECS に遠隔手動要求信号を送信する。AECS はこれを受け、作業待ちの遠隔操作卓 (Remote Operation Console : ROC) に対して接続要求信号を送信する。オペレータが接続承認を行うと ROC と遠隔自動 TT が接続され、オペレータによる遠隔手動操作が可能になる。このとき、スプレッドカメラ、トロリカメラ、地切りカメラからの映像は LCX 無線 LAN を通じて ROC に伝送され、スプレッドの運動状態を示す補助情報と共にコンソール画面に表示され、オペレータはこれらを参照しながら荷役作業を行う。

3.3.5 横行荷役

オペレータが巻き上げて安全高さを超えたら自動運転に切り替わり、目標ロー (トロリー横行方向のコンテナ積み付け場所) まで自動荷役を開始する。段数検出センサにより移動経路中に蔵置されている積み重ねたコンテナの一番高いものを認識し、これを超える高さの荷役経路を設定する。横行中は横行振れ止め制御により目標ローに到達したときに吊り荷

トランステーナ遠隔自動運転技術の開発

表2 遠隔自動運転技術に関する用語とその説明

用語	内容
A ECS	Automated Equipment Control System の頭文字を取った略号 .TOS からの荷役指示を受け, 作業を行う遠隔自動 TT を決定して荷役指示を送信するとともに, 手動運転が必要になると作業待ち ROC と遠隔自動 TT の接続等をするシステム.
CTMS	Container Terminal Management System の頭文字を取った略号 .三井 E&S マシナリー製の TOS. Web ベースのシステムで, 本船/ヤード/列車プランの簡単な作成, 正確なコンテナ位置のリアルタイムな把握, ヤード内の荷役機器を効率的かつ安全に稼働等の各種機能を提供する. また, RFID, 無線 LAN, 動態管理, OCR などの先端技術に対応.
GNSS 機上局, 地上局	地上局から補正信号を送信し, 機上局の測位を補正する RTK-GNSS を構成. 機上局単独での測位精度は数 m ~数十 m であるが, RTK-GNSS にすることにより, 測位精度 20 mm が可能となる.
GNSS 直進走行制御	TT 上部に取り付けた GNSS アンテナによる測位情報を用いて, ヤードに設定した仮想の走行線に倣って走行する制御.
LIDAR	Light Detection And Ranging の頭文字を取った略号 .測距レーザを走査することにより, 2次元もしくは3次元の距離情報を取得する装置. ミラーなどの回転体で走査するメカ式が一般的だが, 半導体技術を使った駆動部を持たないソリッドステート式が増加している.
TOS	Terminal Operation System の頭文字を取った略号 .ゲートでのコンテナ入出処理, ヤード内のコンテナ位置管理, 荷役機器への指示など, ターミナルオペレータの作業を補助するシステム.
ROC	Remote Operation Console の頭文字を取った略号 .クレーンオペレータに, 遠隔自動 TT からのカメラ映像と補助情報を提示するとともに, 操作情報を遠隔自動 TT に送るための装置を含む遠隔操作卓.
横行振れ止め制御	トロリー横行時に, 吊り具の振れを抑制する制御. この制御により, 数 m の低揚程においても, 横行停止したときの荷振れを抑制することができる.
段数検出センサ	積み重ねたコンテナの段数を取得するセンサ.
地切りカメラ	シャーシとのコンテナ地切り, 着床を確認するカメラ.
自動着床制御	着床先とスプレッドの相対ずれを調整し, 着床させるための制御.
シャーシ認識装置	クレーンからシャーシに搭載した RFID を検出し, 荷役対象のシャーシ個体を認識する装置.
シャーシ誘導装置	シャーシを, 遠隔自動 TT に対して適切な停止位置に誘導する装置.
スプレッドカメラ	遠隔手動運転で着床を行う場合の, ターゲットとの位置ずれをわかりやすく表示するためのカメラ.
走行振れ止め制御	走行停止時に, 躯体の振れを抑制する制御. GNSS 測位している場合, 停止時の躯体振れが抑制されるため, 停止位置を素早く測位することができる.
走行路障害物検出装置	左右脚の走行路上の障害物を検出し, 障害物までの距離に応じて減速停止することにより安全を確保する装置.
ターゲット認識装置	着床先とスプレッドを認識し, 相対位置を測定する装置. これにより, 着床前の下のコンテナの状態が確認でき, 位置の微調整による自動着床の可否が判断ができる.
停止位置制御	GNSS 測位情報を用いて, 目標位置で停止するための制御.
停止姿勢制御	目標位置で停止したときに, ペイのコンテナ積み付け方向とトロリー横行方向が平行になるように姿勢を制御する. 停止位置制御と連携することにより, 横行時のスプレッドが常にコンテナ上にあり, 走行してスプレッドの位置を調整する必要がなくなる.
トロリカメラ	荷役状況を俯瞰するカメラ. この映像で荷役場所周辺の安全確認も行う.
漏洩同軸ケーブル無線 LAN	同軸ケーブルの外部導体に一定間隔でスリットを設け, 漏洩した電波を用いて通信する無線 LAN.

表3 遠隔自動運転導入による手動操作削減効果

	自動運転導入前の操作時間	自動運転導入後の操作時間	削減時間
4 ベイ 走行	35s	0s	35s
搬入	130s	50s	80s
合計	165s	50s	115s

の振れが抑えられた状態にする。

目標ローの手前よりターゲット認識装置で目標位置とスプレッドの相対位置を測定し, 位置合わせを行った後にコンテナを巻き下ろす. 自動着床制御により蔵置し, その後安全高さまで巻き上げて待機する. 同一ベイの作業がなければ, ス

プレッドはホームポジションに戻り次の作業指示を待つ。

3.4 自動運転の効果

この遠隔自動 TT が蔵置エリアへ搬入 (4 ベイ 走行後, シャーシ上のコンテナの搬入を仮定) した場合, 表3 に示す作業時間がおおよそかかり, 作業時間の約7割を自動で行うことが可能となる. これにより, ヒューマンエラーの削減, 安定した荷役効率, オペレータの労力削減を実現する. なお, 遠隔自動運転における搬入時の手動操作時間は, 当社の実績をもとに 50 s と仮定した値である.

4. 遠隔自動運転試験

当社では, 遠隔・自動運転開発用トランステーナ (開発機) を用いて遠隔自動運転の技術開発を進めている (写真1).



写真1 遠隔・自動運転開発用トランスターナ

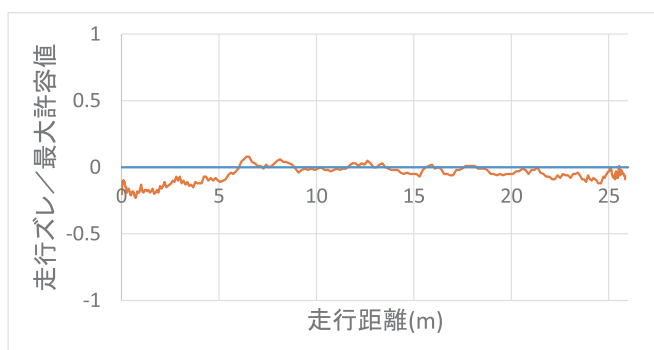


図9 目標ベイまでの走行軌跡

この開発機により、目標ベイまで走行して搬入動作を行った試験結果を図9、10に示す。本試験においては、安全を考慮して最大コンテナ高さを超える矩形運転を行っている。

図9は自動走行の軌跡を示している。縦軸は、走行ずれ量を最大許容ずれ量で割った無次元量となっている。横方向のずれが存在する状態でスタートしているが、5mを超えたあたりから走行線に沿っていることが見て取れる。

図10に荷役軌跡を示している。走行中のスプレッドは図10右上のホームポジションに位置しており、そこから自動的にシャーシ上方に移動。ROCによる遠隔操作でシャーシ上のコンテナを掴み、自動手動切り替え高さまで巻き上げたところで自動運転に切り替わり、コンテナを蔵置エリアに着床させた後にホームポジションに移動している。コンテナ3段をクリアする高さでトロリーが横行しているが、大きな荷振れが発生することなく蔵置できていることが見て取れる。

5. おわりに

当社では、様々な機器を追加することによる遠隔自動運転トランスターナを開発している。今後も、開発機を用いて、新ローピングによるスプレッドの振れ止め、吊り荷走行制御、

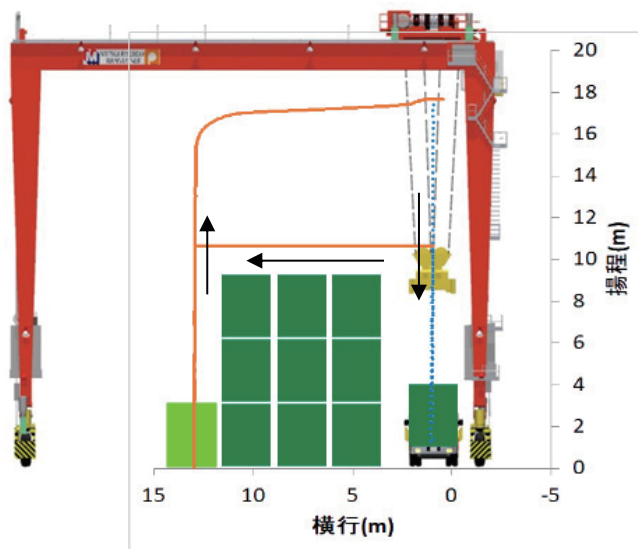


図10 搬入時のスプレッド移動軌跡
実線は自動運転、破線は手動運転

マイクロシフト機構、カメラ・ライダー (Light Detection And Ranging : LIDAR) によるターゲット検出などの技術開発、5Gによる通信などの新技術導入や既にある技術の更なる機能改善などを行うとともに、再現性の確認のほかに安全性まで考慮した上で、市場に本システムを提供していく。

また、上位システムであるCTMS (TOS)¹⁾を提供しており、自動化ターミナルに向けた「RTG自動配置ロジック」、「揚げ座標自動決定ロジック」、「搬入コンテナ自動配置ロジック」、「自動積み付けロジック」などのターミナルオペレーション自動化に向けた開発を進めている。

当社はコンテナターミナル荷役機器のポーターナ、横持機器などの自動化に向けた技術開発・製品開発も進めており、自動化ターミナル実現に向けてハード、ソフトの両面より課題解決に貢献していく。

参考文献

- 1) 市村：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
- 2) 国土地理院：GNSSを使用した測量のいろいろ、http://terras.gsi.go.jp/geo_info/GNSS_iroiro.html, (2019.7.23)

共同執筆者：栢菅 信哉，宮田 淳也

〔問い合わせ先〕

株式会社三井 E&S マシナリー 運搬機システム事業本部
物流エンジニアリング部
TEL 097-593-3154 星島 一輝

メタンハイドレート揚収シミュレーション技術の開発

加藤 寿仁* 林 健一** 木下 貴博** 村山 哲郎**

Development of Software for Methane Hydrate Lifting Simulation

Toshihito KATO, Kennichi HAYASHI, Takahiro KINOSHITA, Tetsuro MURAYAMA

In the Japan Sea and off coast of Hokkaido surrounding Japan, shallow type gas hydrate as is also called methane hydrate (MH) is present under the seabed. As the shallow MH is just like a massive ice under sea-bottom deposit, the most important issue is how to lift the MH to the surface of the sea after seabed mining. Mitsui E&S Group has suggested slurry transportation through the rigid riser pipe from the seabed: hydrate should be mixed in mud water slurry after crushing by seabed drilling. One of the lifting methods is a gas injection into the riser pipe, so-called gas-lift method, in which injected gas makes rising current by its low density. In this method, gas-liquid mixture ratio will be increased along flow direction which has an effect on gas lift performance, because of gas injection into the riser pipe and also some of hydrate dissolved and gasified in the riser pipe, as shown in Figure 1. We consider that Flow Assurance for a riser pipe is essential to lift up shallow MH, so we has started development of a simulation code for MH lifting simulation in 2015. The part of the development is introduced as follows :

我が国の日本海側や北海道沖の海底直下には、表層型と呼ばれるメタンハイドレート (MH) が存在する。表層型 MH は海底直下に塊状で賦存しているため、海底から掘り出した後どのようにして海上に揚収するかが課題となっている。当社は MH を掘削機で粉碎し、泥を含む海水と共に海底から海上まで達する揚収管で回収する方法を検討している。MH の揚収方法としては、揚収管の中にガスを吹き込み、管内に上昇流を発生させて揚収する方式、いわゆるガスリフト法が考えられる。MH の揚収にガスリフト法を用いると、揚収管に吹き込んだガスに加えて、管内で分解したハイドレートから発生するガスもガスリフト効果を発揮するが、管内におけるガスと海水の体積割合を大きく変化させ、ガスリフト性能に影響を与える。そこで当社は、揚収管内の流れの安定化を図る技術、いわゆるフローアシュアランス (FA) が不可欠と考えて、2015 年度から MH 揚収管内の流れをシミュレートするソフトの開発に着手した。その開発の一端を紹介する。

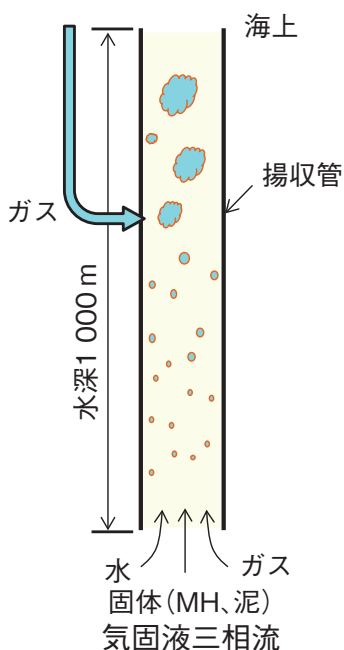


図1 シミュレーションのモデル
Simulation Model

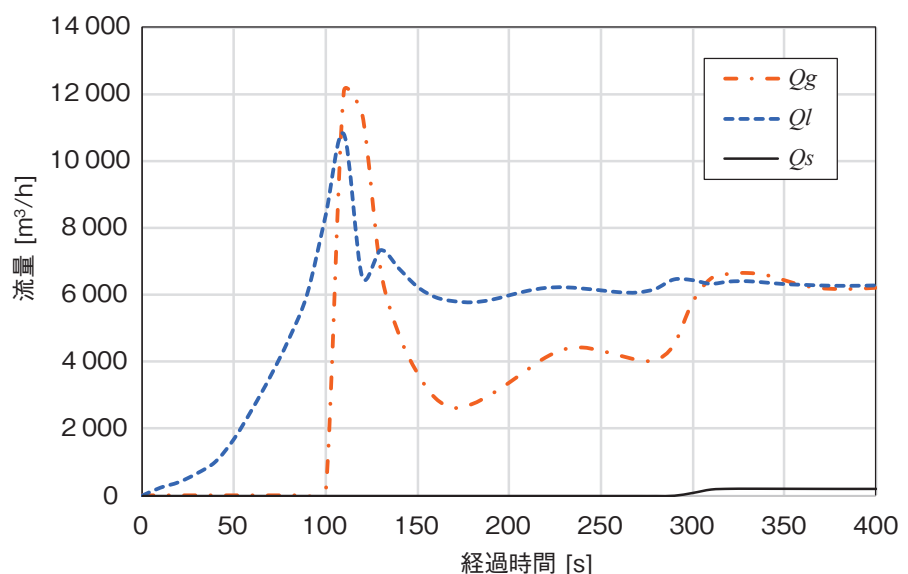


図2 揚収管上端のガス流量 (Q_g)、海水流量 (Q_l)、MH 流量 (Q_s)
Flow Rate of Q_g , Q_l , Q_s Near the Upper End of the Riser Pipe

1. はじめに

1.1 国による資源調査

日本は資源の少ない国と思われているが、海底に目を移すと様子が変わってくる。日本近海の海底には多量のメタンハイドレートが眠っていることが国の調査により分ってきた¹⁾²⁾。

メタンハイドレートには主に日本の太平洋側の海底数 100 m に存在する砂層型と日本海側や北海道沖の海底直下に存在する表層型の 2 種類がある。砂層型メタンハイドレートの開発は、2001 年度に経済産業省のメタンハイドレート開発促進事業が開始され、現在までに 2 回の海洋産出試験が実施された。一方で表層型メタンハイドレートの開発は、2013 年度から 2015 年度に日本海を中心とした海域で国による資源量調査が行われ、2016 年度からは資源回収方法に関する調査研究が開始された。

1.2 表層型メタンハイドレート (MH) とは

メタンハイドレート (Methane Hydrate: MH) とは低温高圧下で水分子とメタン分子がカゴ状の結晶構造を作って固体となった物質である (図 3)。1 m³ の MH 中には 160 ~ 170 m³ のメタンガスが包蔵されている。

自然界において海底下や地底下の深いところでメタンを主成分とする天然ガスが生成する場所がある。天然ガスは長い年月の中で地中を上昇して拡散、霧消することが多いが、海底付近まで上昇してきたところで MH が生成する温度、圧力条件が整った場合には、メタンガスと水から MH が生成する。MH の比重は海水より小さく氷と同程度であるが、MH が海底下で生成して海底の土砂等に固定されると、海面へと浮上せず海底下に蓄積することがある。これが表層型 MH である。図 4 に表層型 MH が生成する模式図を示す。

なお天然ガスは一般にメタン以外にもエタンやプロパンなど多様な炭化水素ガスを含んでおり、これらも混合ガスハイドレートを形成するが、総称してガスハイドレートと呼ばれている。しかしこれまでに日本近海で見つかっているガスハイドレートに包蔵されているガスはメタンガスが主成分であるため、単に MH と呼ばれることが多く、本報でも単に

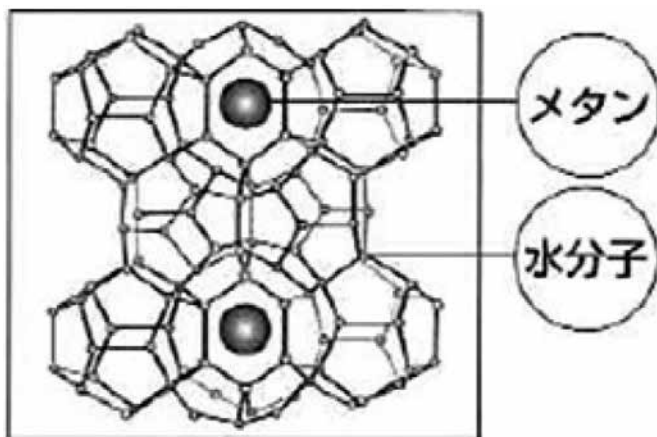


図 3 メタンハイドレートの結晶構造
Crystalline Structure of Methane Hydrate

MH と呼ぶこととする。

1.3 国の取り組み

2007 年に海洋基本法が成立し、海洋の開発及び利用、海洋産業の健全な発展、海洋の総合管理などの大方針が示された。さらに、2008 年 4 月に第 1 期、2013 年 4 月に第 2 期の海洋基本計画が閣議決定された。表層型 MH に関しては第 2 期海洋基本計画の中で 2013 年度から 3 年間程度で資源量を集中的に調査することが明記され、経済産業省の MH 開発促進事業の枠組みにおいて産業技術総合研究所及び明治大学を中心としたチームによって日本海や北海道周辺の海底調査が実施された。この調査の結果、表層型 MH の存在の可能性がある特異な構造 (ガスチムニー構造) が 1742 個発見され³⁾⁴⁾、その中の一つである海鷹海脚のガスチムニー内のメタンガス量 (原始資源量に相当) が約 6 億 m³ と推定された²⁾。

この調査結果を受けて、経済産業省資源エネルギー庁から産業技術総合研究所に委託される形で「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」が 2016 年度にスタートした。三井 E&S ホールディングスは 2016 年 11 月に産業技術総合研究所からの委託研究公募⁵⁾を受託して同調査研究に参画し、2017 年度、2018 年度も同じく受託して調査を継続している。

2. 表層型 MH 回収技術

2.1 従来技術との違い

在来型の油ガス田は地下あるいは海底下の深い場所に貯留層が存在するため、油やガスに高い圧力が作用している。したがって貯留層まで抗井 (井戸) を掘削すれば、油やガスは

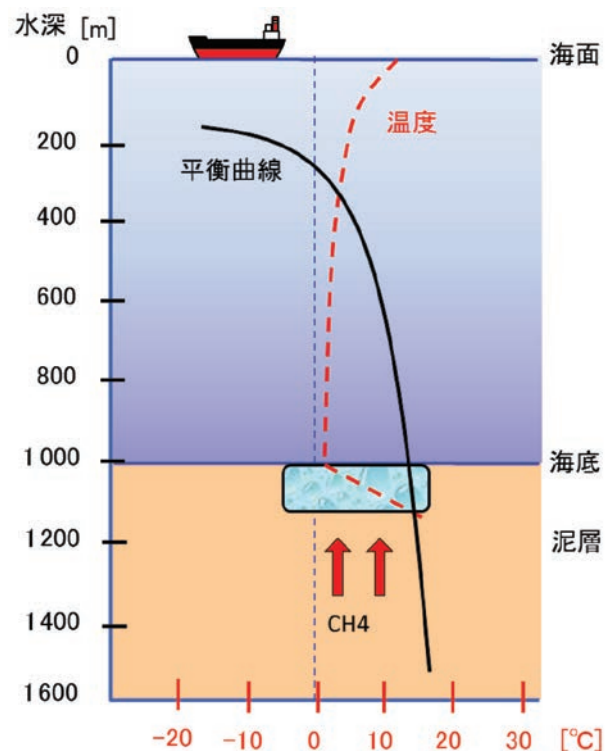


図 4 表層型メタンハイドレートの生成
Formation of Shallow Methane Hydrate

抗井を通して地上や海上まで自噴する。しかし、表層型 MH は海底下に固体として存在しているため、井戸を掘っても自噴しない。

そこで、MH を海底で分解してメタンガスに変換し、ガスを浮上させて回収する方法が考えられる。しかし、現に MH が生成している低温高圧の海底で MH を分解するためには、海底に特別な設備の設置や大きなエネルギーの消費が必要であるため、この方法は現実的とは言えない。例えば、図 4 に示す水深 1000 m の海底に存在する 1℃、10 MPa の MH を分解するためには、温度をおおよそ 15℃ 以上にするか圧力を 3 MPa 以下にする必要がある。そこで当社は、海底から掘削した MH をガスリフト法で海面まで揚収した後、船上で分解する方式を検討している。この方法によると海底での大きな操作が不要である。

海底から MH を揚収する場合、MH と泥を海底で分離する案が考えられる。しかし海底油ガス田で利用されている最新技術を調査した結果、泥と MH を海底で分離することは現状では不可能と判断し、MH と泥を分離せずに海上に揚収する方式を採用した。ただし、本方式の場合、MH 貯留層内で MH と泥の分布は均一ではないため^{2) 4)}、揚収管の下端から吸い込まれる海水、MH、泥等の総量と比率は、経時的に変化する。

揚収管内では水深が浅くなるにしたがって圧力が低下し、更に揚収管周囲の海水からの入熱により温度が上昇するため、MH の一部が分解して揚収管内にメタンガスが発生する。また、海水へのメタンガスの溶解や水圧減少に伴うメタンガスの体積膨張なども発生するため、揚収の過程で液相と気相の比率が大きく変化し、揚収管内の流動様式も変化する。図 5 に気液二相流の場合の流動様式を示す。本方式を実現するには、このような現象を十分に考慮してシステムを構築する必要がある。

2.2 フローアシュアランス

本方式において、揚収管の途中で液相と気相の比率が複雑に変化する場合でも MH 等を安定して揚収するためには、油ガス田開発の分野で多く用いられているフローアシュアランス (Flow Assurance : FA)、すなわち管内の流れを安定化させるための解析技術が重要になる。石油ガスの開発においては FA が大変重視されており、複数の解析ソフトが販売

されているが、表層型 MH の揚収管に適用できる解析ソフトは存在しない。そこで当社は表層型 MH の開発を検討し始めた 2015 年中頃から FA のための MH 揚収シミュレーションソフトの開発に着手した。

3. FA シミュレーションの概要

3.1 開発方針

当社が必要としている揚収管内の相変化を考慮した三相の流量を求めるため、管内の断面二次流れを数式内に織り込んだ上で、管長方向の圧力分布や流量の時間変化について解析することとした。

ただし、本解析では例えば管長約 1000 m の揚収管を対象とするため、水深による圧力の変化が大きいこと、MH の分解によるガス発生など MH 特有の現象を考慮する必要があることから、管内を混合流として解くのではなく、固気液の各相の基礎方程式を立てて解くこととした。このような先行研究として「ガスリフト方式による海底資源メタンハイドレート回収システムの開発に関する流体力学的研究」⁶⁾を参考にした。

3.2 解析対象モデル

海底から揚収する物質のうち、MH は海水よりも密度が小さい球体としてモデル化した。泥は、平均粒子径が非常に小さく、揚収管内で海水中にほぼ一様に分散すると考えられるため、海水の密度や粘性を調整してシミュレーションに組み込んだ。その他、礫などの固体は、MH や泥に比べて海底に存在する量が少ないため、現在のところシミュレーション内で考慮していない。今後、解析結果の評価を行い必要性が生じた際には MH と同様にモデル化する予定である。

メタンガスは、海底から湧出するもの、揚収の途中で MH が分解して発生するもの、海水のメタン溶解度の低下に伴って発生するものに加えて、ガスリフト法で揚収管に供給するものをモデル化した。解析対象モデルを図 6 に示す。

3.3 基礎方程式

揚収管を管長方向に微小区間に分割し、各区間内の三相の物質収支、運動量収支、エネルギー収支を次に示す基礎方程式⁶⁾で記述した。

$$\frac{\partial(\alpha_g \rho_g)}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha_g \rho_g u_g)}{\partial z} = \sum_{j=\ell, s, inj} \Gamma_{g,j} \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial(\alpha_\ell \rho_\ell)}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha_\ell \rho_\ell u_\ell)}{\partial z} = \sum_{j=g, s, inj} \Gamma_{\ell,j} \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{\partial(\alpha_s \rho_s)}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha_s \rho_s u_s)}{\partial z} = \sum_{j=g, \ell, inj} \Gamma_{s,j} \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{\partial(\alpha_g \rho_g u_g)}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha_g \rho_g u_g^2)}{\partial z} + \alpha_g \frac{\partial(p)}{\partial z} + F_{wall,g} u_g + F_{grad,g} + \sum_{j=\ell, s} \Gamma_{g,j} = \sum_{j=\ell, s, inj} \Gamma_{g,j} u_g \dots\dots (4)$$

$$\frac{\partial(\alpha_\ell \rho_\ell u_\ell)}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha_\ell \rho_\ell u_\ell^2)}{\partial z} + \alpha_\ell \frac{\partial(p)}{\partial z} + F_{wall,\ell} u_\ell + F_{grad,\ell} + \sum_{j=g, s} \Gamma_{\ell,j} = \sum_{j=g, s, inj} \Gamma_{\ell,j} u_\ell \dots\dots (5)$$

$$\frac{\partial(\alpha_s \rho_s u_s)}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha_s \rho_s u_s^2)}{\partial z} + \alpha_s \frac{\partial(p)}{\partial z} + F_{grad,s} + \sum_{j=g, \ell} \Gamma_{s,j} = \sum_{j=g, \ell, inj} \Gamma_{s,j} u_s \dots\dots\dots (6)$$

$$\rho_\ell C_{p,\ell} \left(\frac{\partial T_\ell}{\partial t} + u_\ell \frac{\partial T_\ell}{\partial z} \right) = q_{\ell,wall} + q_{\ell,s} \dots\dots\dots (7)$$

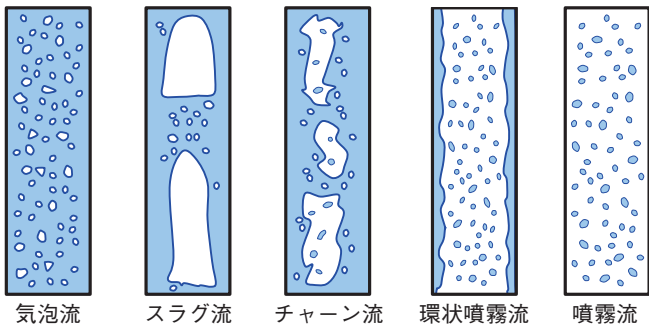


図 5 気液二相流の流動様式
Flow Pattern Map of Gas-Liquid Two-Phase Flow

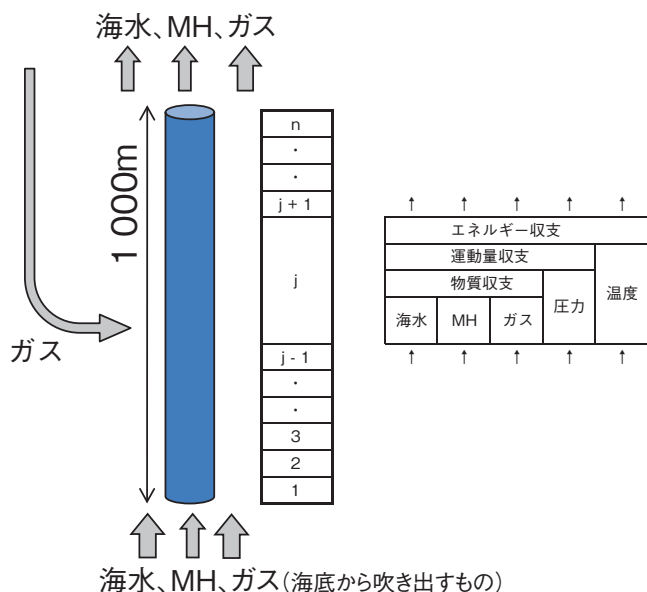


図6 解析対象モデル
Analysis Object Model

ここで、

- $\alpha_g, \alpha_\ell, \alpha_s$ 気相, 液相, 固相の体積比率
- $\rho_g, \rho_\ell, \rho_s$ 気相, 液相, 固相の密度
- u_g, u_ℓ, u_s 気相, 液相, 固相の速度
- $\Gamma_g, \Gamma_\ell, \Gamma_s$ 気相, 液相, 固相の質量変化率
- P 圧力
- $F_{wall,g}, F_{wall,\ell}$ 気相, 液相が壁面から受ける力
- $F_{grd,g}, F_{grd,\ell}, F_{grd,s}$ 気相, 液相, 固相が重力から受ける力
- $F_{g,\ell}, F_{g,s}$ 気相が液相, 固相から受ける力
- $F_{\ell,g}, F_{\ell,s}$ 液相が気相, 固相から受ける力
- $F_{s,g}, F_{s,\ell}$ 固相が気相, 液相から受ける力
- $C_{p,\ell}$ 液相の定圧比熱
- T_ℓ 液相の温度
- $q_{\ell,wall}$ 管壁からの熱輸送量
- $q_{\ell,s}$ 液相-固相間の熱輸送量

物質収支に関しては、揚収途中の MH の分解や、海水に対するメタンガスの溶解度の変化を考慮した。さらに、ガスリフト法を想定して揚収管の任意の水深でメタンガスを供給することも考慮した。MH の分解速度は圧力や周囲海水の温度の他にレイノルズ数等に代表される MH 周りの流れや海水中的メタン溶解度などの影響を受ける。しかし、解析モデルに組み込むデータが十分でなかったため、高圧力下の流水中における MH の分解試験を実施し、分解速度に対する圧力や流速等の影響を把握した。

運動量収支に関しては、壁面から受ける力(壁面摩擦力)、重力から受ける力(体積力)、気液及び固液相間に働く力(相間摩擦力)を考慮した。相間摩擦力は、図4に示した流動様式によって大きく変化するが、流動様式は気液の体積割合以外に圧力、海水の粘性、塩分濃度等の影響も受ける。そこで社内に高さ 10 m の揚収試験設備を製作して、固気液混相流

の試験を行い、FA シミュレーションの精度向上に必要な流動特性や流動様式などのデータ取得、解析を行った⁷⁾。

エネルギー収支に関しては、MH の分解熱、揚収管壁を通じた外部海水からの入熱を考慮した。

3.4 FA シミュレーションの活用

揚収管の下端から吸い込まれた海水や MH は船上まで揚収される。現在想定している船上プロセスの一例を図7に示す。船上に揚収された MH を、大気から隔離されたタンク内で加熱・分解してメタンガスを得る。タンク上部からメタンガスを抜き出して、ガス処理プロセスにて必要な除湿や加圧を行い、後段のプロセスにメタンガスを送る。タンク内に残った海水と泥は海中または海底に戻す。

このような船上プロセスの検討やプロセス構成機器の仕様を的確に設定するためには、FA シミュレーションを用いて、次のような検討をする必要がある。

【定常解析】 表層型 MH の賦存状況(貯留層内の MH と泥の体積割合等)、同時に揚収する海水量、揚収管の仕様(長さ、管径、断熱材等)、リフト用ガス注入量など、時間で一定の入力条件を設定して FA シミュレーションを行うことにより、MH やガスが揚収管の上端、すなわち船上に達した時、定常的にどのような状態になっているかを解析することができる。この解析結果を用いて、船上プロセスを構成する各種機器の基本仕様を設定することができる。

【非定常解析】 実際には、表層型 MH の賦存状況は掘削する場所や深度によって一定ではないと考えられるため、揚収管の下端から吸い上げられる揚収物の量と比率は時間とともに変化する。したがって、シミュレーションを行うことにより、揚収管内の任意の深さにおける圧力、温度、固気液各相の流量や比率の変化、船上に揚収される MH や海水などの流量と比率の時間変化を検討する。その結果、過渡的な現象として、定常解析で得られた最大流量以上の MH などが一時的に揚収されることが想定される場合には、船上プロセス機器の大容量化を検討する必要がある。

3.5 FA シミュレーション結果の例

海底の泥中に賦存する表層型 MH を大型ドリルで掘削・破碎し、泥海水スラリーとして海面まで揚収することを想定して、揚収管内の FA シミュレーションを行った。

解析条件を表1に示す。本解析では、ガスを吹き込み始めてから海水等の揚収量がほぼ一定値に達するまでの非定常解析を行った。ここで、ガス吹き込み量は一定とし、揚収管下端から吸い込まれる海水中には、一定の体積比率で MH と泥が含まれていると仮定した。

シミュレーションの結果得られた管長方向の MH の体積比率 a_s [-] を図8に示す。凡例は揚収開始(ガス吹き込み開始)からの経過時間を示す。揚収開始後 150 秒時点では、MH はまだ水深 600 m 付近までしか揚収されていない。揚収開始後 400 秒時点で、MH は海面まで揚収される。水深 300 m 以浅で a_s が減少傾向を示すが、これは管内に吹き込まれたガスの体積が増大することに加えて、MH の分解が進むためである。

揚収開始後 0 秒から 400 秒までの、揚収管上端(海面)の

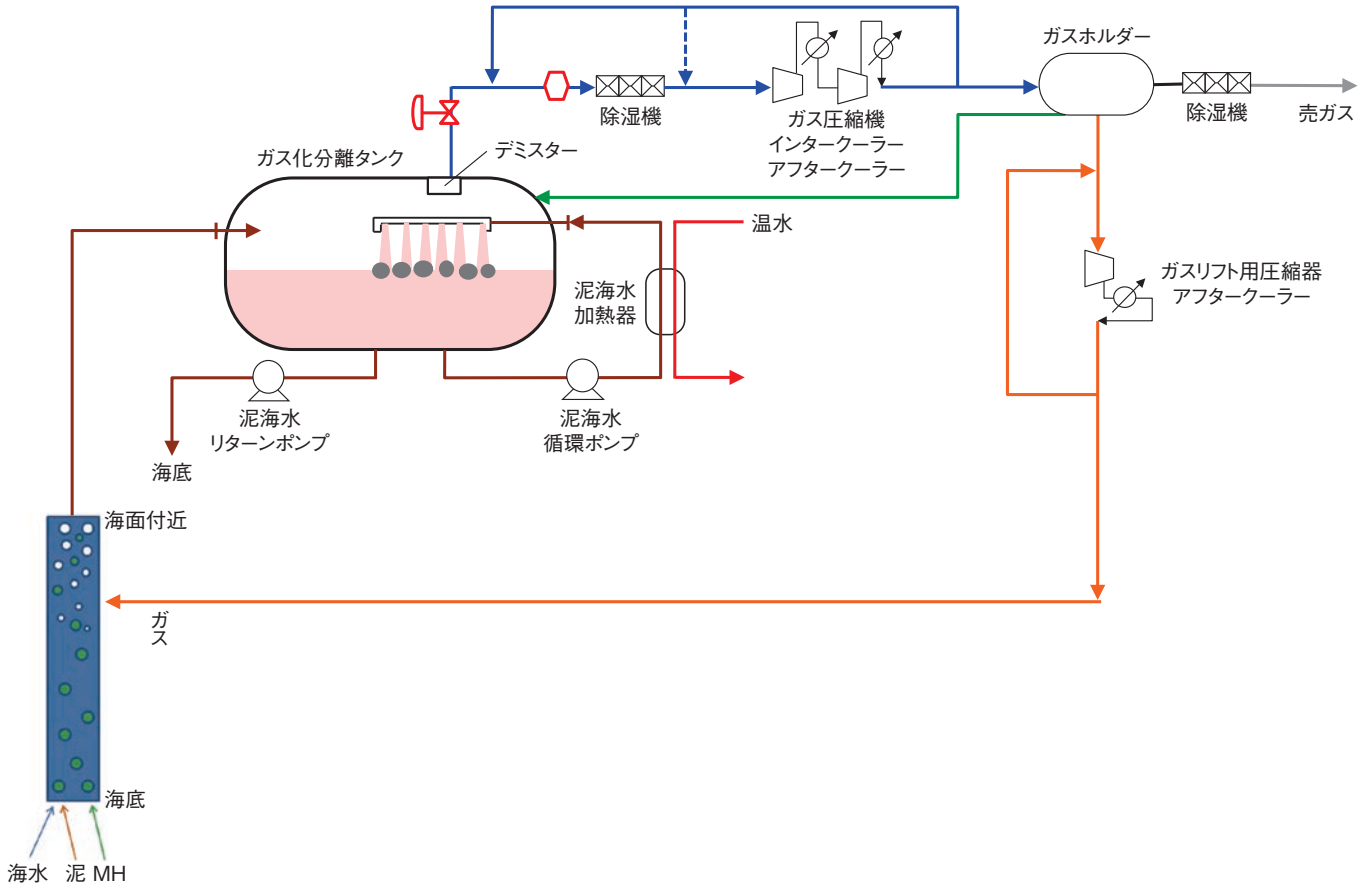


図7 表層型メタンハイドレート船上処理プロセスフロー
Gas Harvesting Process Flow Diagram for Shallow Methane Hydrate

表1 解析条件
Analysis Conditions

揚収管長さ(水深)	1 000 m
揚収管内径	700 mm
計算領域の格子分割数	1 000
計算領域の格子幅	1.0 m
計算時間の刻み幅	0.001 sec
揚収管周囲の温度条件	日本海を参考に設定
吹き込みガス	メタン
ガス吹き込み量	1.68 Nm ³ /s
ガスの吹き込み位置(水深)	300 m
揚収固体	MH, 泥
MHの直径	50 mm
揚収管下端のMH比率	海水の5 vol %
揚収管下端の海水温度	4 °C

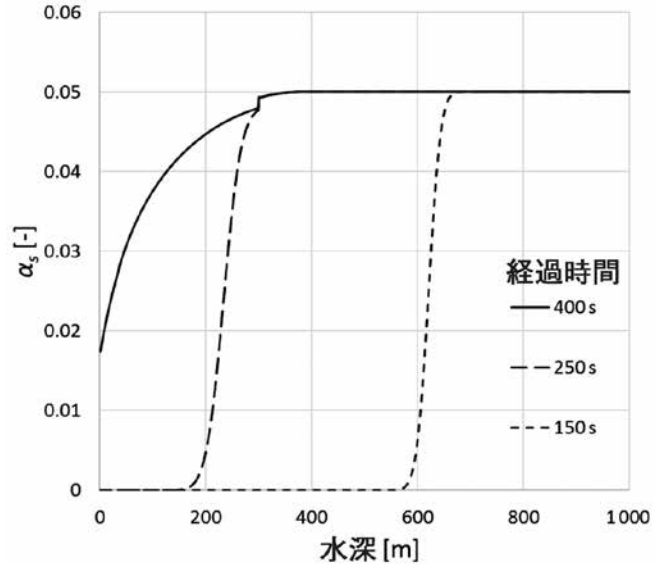


図8 揚収固体の体積比率
Volume Proportion of Solids in the Riser Pipe

ガス流量 Q_g , 海水流量 Q_l , MH 流量 Q_s [m³/h] の変化を図2に示す。本図が示すように、ガスリフト法においては、揚収管に一定量でガス供給を開始すると、 Q_l 、すなわち海水が揚収管内を上昇する流速が徐々に増加する。ガス供給開始直後は Q_l が小さいため、ガスを供給する位置(水深300 m)ではガスの体積比率が高くなる。したがって平均密度が小さくなり、管内に上昇力を発生させる。今回の解析条

件では、この平均密度が小さい気液が揚収管上端に達する時期(図2で100秒当たり)に Q_l が最大値を示した。また Q_l の最大値は定常状態の約1.7倍に達し、ガス供給開始から定常状態に至るまでに約350秒を要した。

このようにガスリフト法では、揚収開始から定常状態に達するまでの間に船上に揚収される海水、ガス、MHの流量や比率などが複雑な挙動を示す。しかしFAシミュレーションにより、揚収される海水流量等を事前に把握することで、揚収に関わる各種の船上機器の設計が可能となる。

4. おわりに

表層型MHの回収を目的に当社で検討している、ガスリフト法を用いた揚収方式のFAシミュレーションを開発した。本シミュレーションにより、揚収管や船上プロセスの最適設計を支援することが可能となった。今後は解析精度を向上するために実験的考察を重ねていきたい。

また船上プロセスの運転支援シミュレーターを将来導入した場合には、これにFAシミュレーションを接続して一体運用することを考えている。海底掘削、揚収、船上ガス処理プロセスの全てを俯瞰した運転支援シミュレーションを実現することで、表層型MH資源回収システムの経済性向上に寄与していく。

最後に、本研究を進めるに当たり、多大なるご指導と全般に亘る有益なご助言を頂いた福岡大学工学部化学システム工学科の松隈洋介教授に深く感謝の意を表す。同研究室とはガスリフト法による表層型メタンハイドレートの揚収シミュレーション開発に関して2016年4月に共同研究を開始し、現在に至っている。

参 考 文 献

- 1) 成田：メタンハイドレート資源開発，化学工学，78 (1), p.17 (2014)

- 2) 経済産業省ニュースリリース (2016年9月16日)：表層型メタンハイドレートの資源量の試算とその結果の検証を行いました
- 3) 経済産業省ニュースリリース (2014年12月25日)：表層型メタンハイドレートの資源量把握に向けた調査を行いました～掘削調査により表層型メタンハイドレートを含む地質サンプルを取得～
- 4) 経済産業省ニュースリリース (2016年1月22日)：表層メタンハイドレートの資源把握に向けた調査を行いました～掘削調査により地質サンプルを取得～
- 5) 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-20160926-2.html>, (2019-3-7)
- 6) 濱口：ガスリフト方式による海底資源メタンハイドレート回収システムの開発に関する流体力学的研究，九州大学博士論文，(2006-2)
- 7) 村山，外：ガスリフトポンプに関する基本性能の実験検討，三井E&S技報，1 (2018-10), p. 60

〔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 海洋事業推進室
TEL 03-3544-3280 加藤 寿仁



加藤 寿仁 林 健一 木下 貴博 村山 哲郎

航空機エンジンファンケース用アルミハニカム

— 高温多湿下での優れた耐久性を発揮 —

板本 貴志* 盛田 孝雄** 半田 誠***

Aluminum Honeycomb for Aircraft Engine Fan Case

— The Excellent in Durability under High Temperature and Humidity Environment —

Takashi ITAMOTO, Takao MORITA, Makoto HANDA

For the aircraft engine fan case, honeycomb sandwich panel with sound absorption characteristic, is applied for its inner side in order to reduce the weight and engine noise.

As the inner side of the fan case is required to be three-dimensional shape, heat formed hexagonal honeycombs has been applied, but recently, unique cell shape “double flexible” honeycomb core that does not require heat forming, is getting to be used. For the area where strength is required, a high density aluminum honeycomb of a thick foil thickness is applied.

Until now, only one manufacturer in the United States was able to supply both of these aluminum honeycombs in the market.

This manufacturer is using chromic acid for corrosion resistant treatment of aluminum honeycombs, but engine manufacturers are demanding further improvement in corrosion resistance property.

Showa Aircraft Industry Co., Ltd. has developed and started mass-production for aluminum double flexible honeycomb and high density aluminum honeycomb by using aluminum foil treated with phosphoric acid anodizing which has more beneficial effect in adhesion durability and corrosion resistance under high temperature and humidity environment than the chromic acid treatment.

航空機エンジンファンケースは、軽量化及び騒音対策が求められるため、内面側に吸音特性を有したハニカムサンドイッチパネルが適用されている。ファンケース内面は3次曲面のため、一般的に六角形状のハニカムを使用し加熱成形による3次曲面成形を行っていた。この加熱成形を不要とするハニカムとして、特殊なセル形状を持つアルミダブルフレキシブルハニカムが採用され始めている。また、パネル強度を必要とする部分には、箔厚の厚い高密度アルミハニカムが適用されている。従来、この2種類のアルミハニカムを同時に提供できるメーカーはアメリカの1社に限られており、このアルミハニカムは、耐食処理としてクロム酸処理が用いられている。昭和飛行機工業株式会社では、クロム酸処理よりも高温多湿の環境下における接着耐久性と耐食性に優れたリン酸陽極処理を施したアルミ箔を原材料とするアルミダブルフレキシブルハニカム及び高密度アルミハニカムを開発し、量産化した。

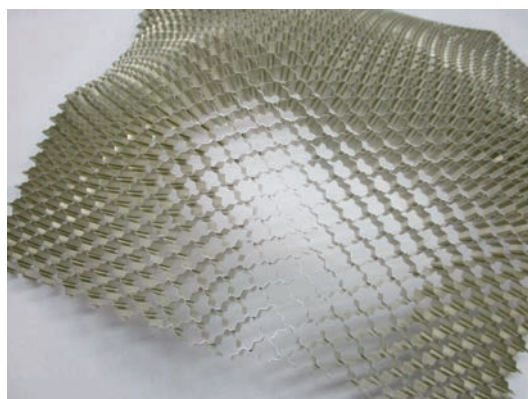


写真1 アルミダブルフレキシブルハニカム
Aluminum Double Flexible Honeycomb

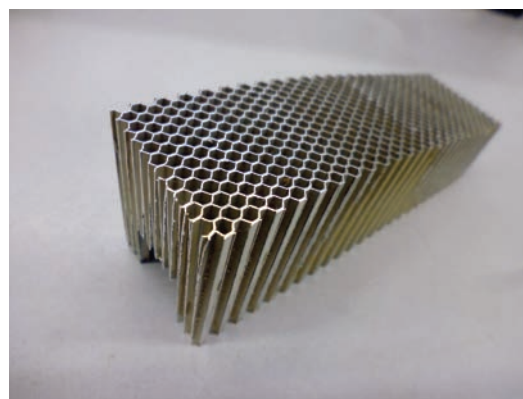


写真2 高密度アルミハニカム
High Density Aluminum Honeycomb

* 昭和飛行機工業 輸送・機器事業部 設計技術部
*** 昭和飛行機工業 輸送・機器事業部 生産企画部

** 昭和飛行機工業 輸送・機器事業部 製造部

1. はじめに

昭和飛行機工業株式会社は、1960年より米国ヘキセル社と技術提携を行い、現在まで構造用途のサンドイッチパネル芯材であるハニカムコアの開発・製造を行っている。航空機分野においては、各航空機機体メーカー及び航空機エンジンメーカーに各種ハニカムコア及びハニカムサンドイッチパネル部品を供給してきた長年の実績があるハニカムコア材料のリーディングメーカーである。

蜂の巣を意味するハニカムは、図1に示す構造である。材料にアルミニウム合金を用いるアルミハニカムは、アルミニウム合金の箔を表面処理した後、接着剤で接合して製造する。今回、製品の耐環境性を向上させるため、表面処理にリン酸陽極処理を適用し、様々な試験を行ないその性能を評価した。その結果、従来の製造方法より優れた性能が発揮できることが確認できたため、航空機エンジンファンケース用材料として、製品化した。

航空機エンジンファンケースには、軽量化及び騒音対策のため、ハニカムコアを芯材とした、吸音特性を有したハニカムサンドイッチパネルが適用されている。ジェット旅客機や大型輸送機に使用されているターボファン・エンジンは、ターボジェット・エンジンの入口にファンを取り付けたもので、ファンケースはこの部分を覆う外筒の前方部分に当たる。

ファンケース内面は3次曲面のため、従来のアルミハニカムでは加熱成形を行い、曲面に合わせた形状でサンドイッチパネルを製作する。近年この加熱成形を不要とするアメリカ製のアルミダブルフレキシブルハニカムが採用され始めている。また、ファンケースと他の部品を結合する部位には、部分的に六角形状の高密度アルミハニカムを適用することで、他の部位よりも剛性を高めている。

これまで、アルミダブルフレキシブルハニカム及び高密度アルミハニカムの2種類を製造できるメーカーはアメリカに1社しかなく、このメーカーでは、クロム酸処理によって耐食性も高めている。これに対して当社は、クロム酸処理より接着耐久性と耐食性が優れているとされるリン酸陽極処理を用いることとした。

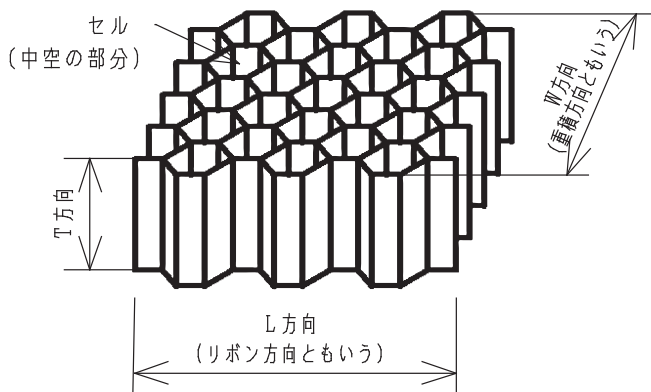


図1 ハニカム各部の名称
Name of Each Part of Honeycomb

製造したハニカムを試験した結果、リン酸陽極処理を用いたアルミハニカムは、クロム酸陽極処理を用いたアルミハニカムに比べ、接着耐久性及び腐食耐久性に優れ、機械的強度も良好な結果を示したので、当社は、航空機エンジンファンケース用としてアルミダブルフレキシブルハニカム (写真1) 及び高密度アルミハニカム (写真2) の2種類を製品化した。

2. リン酸陽極処理 (PAA)

2.1 施工方法

PAAとは、リン酸浴中で被処理物となるアルミ箔を陽極にして通電することにより、アルミ箔表面に強制的に酸化被膜を形成させる表面処理である。

アルミ箔は冷間圧延にて製造され、鉱物油が潤滑剤として適用されているため、アルカリ脱脂剤を用いて鉱物油の除去及び表面のエッチングを行う。次にエッチングによりアルミニウム中に含まれる、銅、鉄、ケイ素などの不純物 (スマット) が箔表面に残るため、中和処理として酸性の液体に浸漬してスマットの除去 (デスマット) を行う。その後、リン酸浴中で規定された条件 (電流・電圧・リン酸温度・リン酸濃度・処理時間等) にて電界処理を行い、アルミ箔表面に多孔質の酸化皮膜が形成される。これらの処理後には、水洗を実施してから次工程であるプライマー処理を施す。

アルカリ脱脂からリン酸陽極処理までを行う表面処理の模式図を図2に示す。

PAAを施したハニカムの断面構造を図3に示す。アルミ合金の母材は薄膜の酸化膜で被覆され、この面に垂直方向に伸びた厚さ約0.3μmの多孔質の酸化膜が形成されており、PAAが適切に施工されていることが分かる。

さらに、多孔質の酸化皮膜の封孔処理及び接着性の向上のため、リン酸陽極処理が施されたアルミ箔の表面に、接着プライマーを塗布する。

2.2 接着後の耐久性評価

高温多湿の環境下における接着耐久性については、いくつかの評価方法があるが、一例としてフォイルウェッジクラック試験 (亀裂進行試験) について紹介する。

フォイルウェッジクラック試験は、耐食処理を施したアルミ箔と3.2mmのアルミ板をフィルム接着剤にてサンドイッチにし、端部よりクサビを打ち込む。

図4に、フォイルウェッジクラック試験片を示す。

これにより、アルミ板がわたり、接着部にストレスが加わることで亀裂が発生する。その際の亀裂の長さを測定し、更

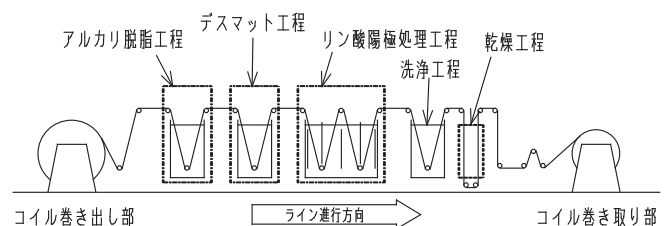


図2 リン酸陽極処理ラインの模式図
Pattern Diagram of Phosphoric Acid Anodize Line

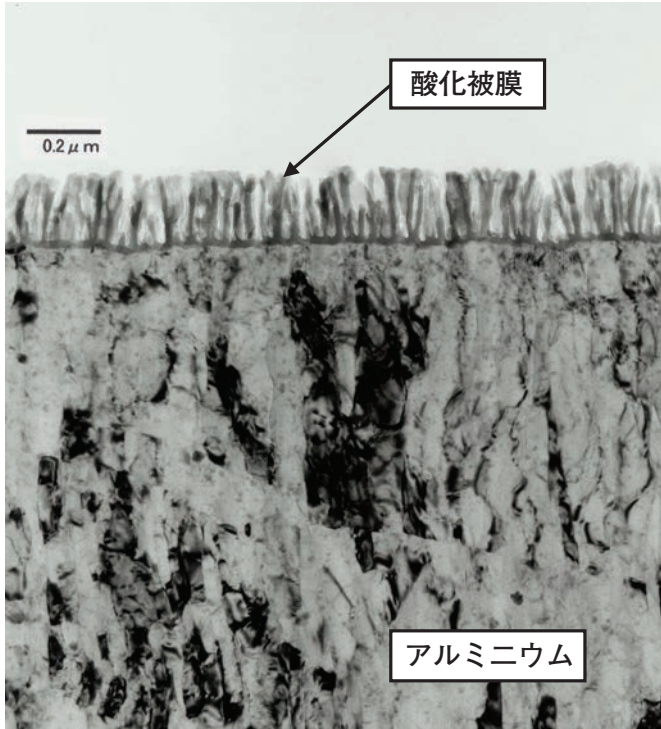


図3 リン酸陽極処理箔の断面構造
Cross Section Structure of Phosphoric Acid Anodize Foil

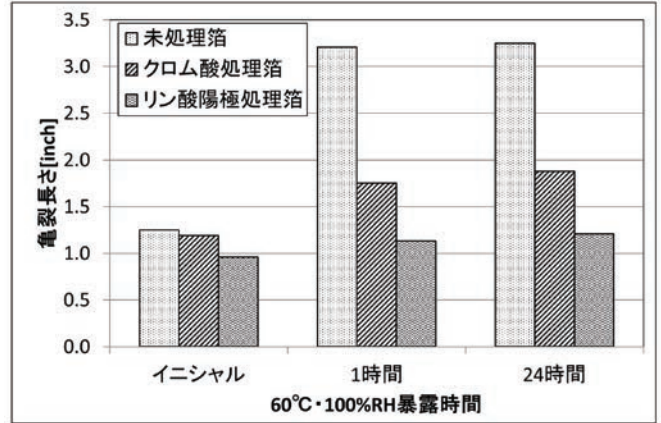


図5 フォイルウェッジクラック試験結果
Foil Wedge Crack Test Result

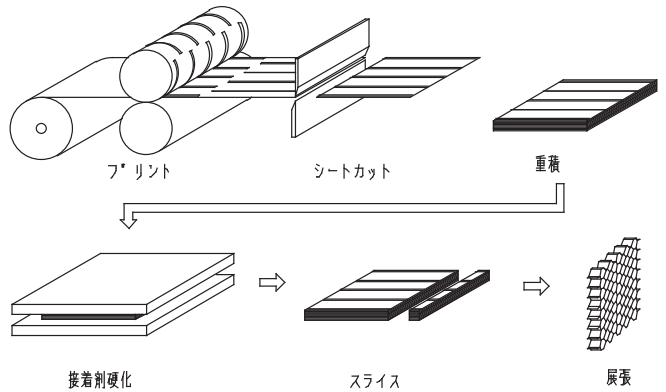


図6 ハニカムの製造方法(展張方式)
Manufacturing Method of Honeycomb (Expanding)

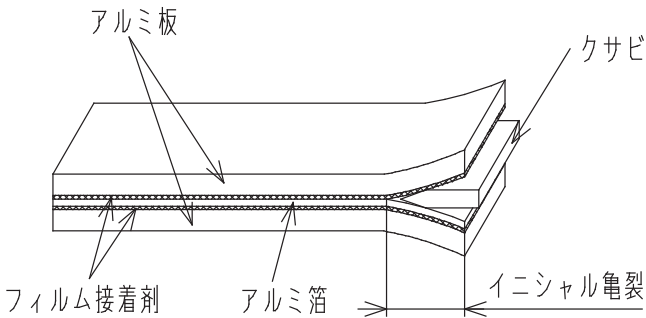


図4 フォイルウェッジクラック試験片
Foil Wedge Crack Specimen

にストレスを加えた状態で高温多湿の環境下にて暴露し、亀裂の進行した長さを測定することで、接着耐久性を評価する。

図5に、フォイルウェッジクラック試験の結果を示す。イニシャルでは、未処理箔、クロム酸処理箔、リン酸陽極処理箔において、亀裂に大きな差異はなく、ほぼ同等な性能を示す。

未処理箔は、高温多湿の環境下で暴露することにより、亀裂が大きく進行する。その際の接着部の破壊モードは、未処理箔とフィルム接着剤の界面にて破壊する。

クロム酸処理箔は、高温多湿の環境下で暴露によって、未処理箔に比べて亀裂の進行度合いは少ないものの、フィルム接着剤の凝集破壊と耐食処理箔での界面破壊の混合破壊により、亀裂が進行する。

リン酸陽極処理箔は、高温多湿の環境下で暴露しても、亀裂はほとんど進行せず、進行した亀裂もフィルム接着剤の凝集破壊であり、接着耐久性に優れていることが分かる。

3. アルミハニカムの製造方法

3.1 一般的な製造方法

アルミハニカムの製造方法は、大別すると、展張方式とコルゲート方式の二つがある。

展張方式は箔厚が薄いアルミ箔を用いたハニカムを製造する場合に用いられる。

コルゲート方式は、特殊形状のハニカム及びアルミ箔の箔厚が厚く、条線接着後に展張することによりハニカム化することが困難なハニカムコアを製造する場合に用いられる。

3.1.1 展張方式

シート状の素材に接着剤を等間隔で条線状に塗布した後、シートを所定の寸法に切断し、条線状接着剤の位置を半ピッチずらして積み重ねて接着してブロックにする。その後、ブロックを必要な厚さに切断し、W方向(展張方向)に展張すると六角形のセル形状を持つハニカムとなる。

図6に展張方式によるハニカム製造概要を示す。

3.1.2 コルゲート方式

コルゲートギヤを用いて、シート状の素材をコルゲート(波型)シートにする。コルゲートシートに接着剤を塗布し、コルゲートシートが六角形のセル形状となるように積み重ねて

接着してセル形状を有するブロックにする。

コルゲート方式では、完成したセル形状を持つブロックを必要な厚さに切断する。

図7にコルゲート方式によるハニカム製造概要を示す。

3.2 アルミダブルフレキシブルハニカムの製造方法

アルミダブルフレキシブルハニカムは、その特徴的なセル形状を形成するために、コルゲート方式が最適と思われるが、使用するアルミ箔の箔厚が薄いため、コルゲート方式では、接合部に接着に必要な圧力を十分に加えることができない。そこで、コルゲート方式と展張方式を組み合わせた工法を用いて製造する。

アルミ箔を波板形状にコルゲート成形し、条線ピッチを4山間隔として接着剤を塗布する。次に、条線ピッチを半ピッチずらして積み重ねて接着してブロックにする。その後、ブロックを必要な厚さに切断し、W方向に展張すると、アルミダブルフレキシブルハニカムのセル形状となる。

図8にアルミダブルフレキシブルハニカムの展張工程概略図を示す。

アルミダブルフレキシブルハニカムの接着工程では、波板形状を維持し、接着剤と塗布されている山の頂点に均一に圧力をかけることが重要で、積み重ねられたシートの上下に波板形状に合わせた型材を入れて加圧する。

3.3 高密度アルミハニカム

高密度アルミハニカムは、使用するアルミ箔の箔厚が厚いため、コルゲート方式にて製造される。

コルゲートシート同士が適切な接着力を得るには、接着剤を硬化させる際にセル形状を維持しながら接合部に適切な圧力を加える必要がある。この圧力が弱いと接着不良が発生し、強すぎるとコルゲートシートが潰れてしまう。このため、適切な圧力を設定するために、常温と接着温度にて、ハニカムを模擬した試験片の圧縮試験を行い、1セル当たりの潰れ量と圧力の関係を取得した。取得したデータを図9に示す。

図9において、常温と接着温度のどちらも、1セル当たりの潰れ量がおおよそ同じ値を境にして、グラフの傾きが変化した。このことから、1セル当たりの潰れ量がこの値を超え

ると、セルが潰れ易くなり、L方向に伸びながら潰れていくことが分かった。そこで、接着温度での1セル当たりの潰れ量がこの値となる圧力を上限値として、接着圧力を設定した。

加圧方法は、治具に組み込んだ耐熱バネの力で加圧し、加圧治具ごとオープンに投入して加熱することにした。

バネによる加圧の場合、昇温とともにハニカムを構成する素材が柔らかくなり、製品がW方向に潰れるため、バネが伸びて荷重が減少していく。この荷重変化を考慮して初期の圧力を決定する必要がある。

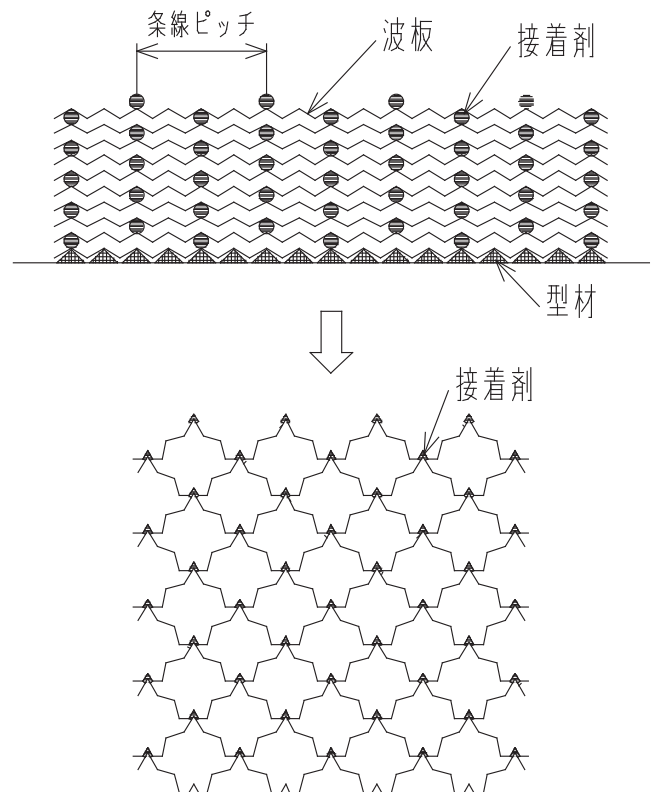


図8 アルミダブルフレキシブルハニカムの展張模式図
Pattern Diagram of Expanding for Aluminum Double Flexible Honeycomb

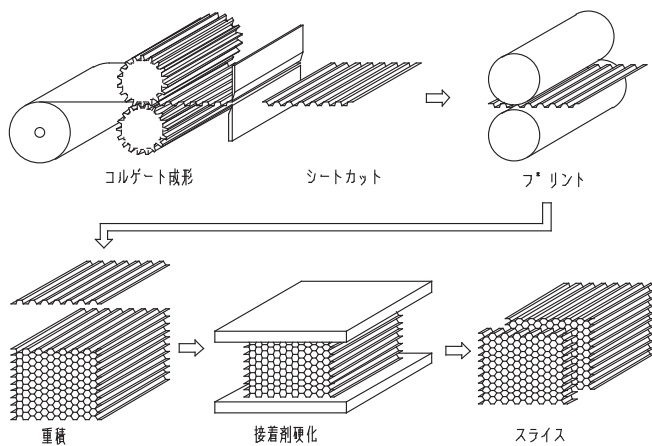


図7 ハニカムの製造方法 (コルゲート方式)
Manufacturing Method of Honeycomb (Corrugating)

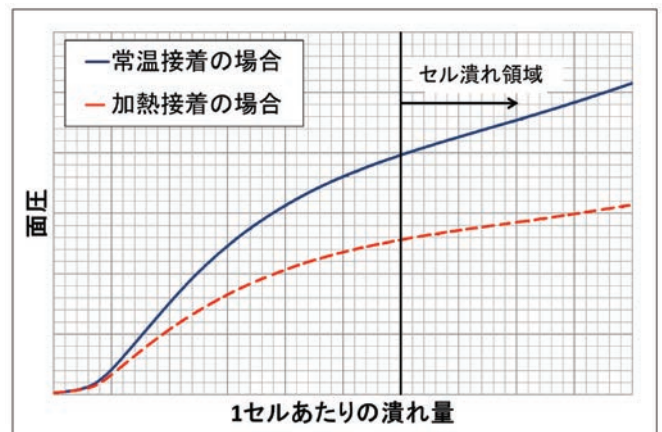


図9 1セルあたりの潰れ量と面圧の関係
Relationship between Deformation per a Cell and Pressure

図9に、荷重変化の測定結果を示す。この荷重変化を当てはめることで、常温時の初期圧力を決定した。

荷重変化を当てはめた接着圧力のデータを図10に示す。

4. 海外製品との比較

アルミダブルフレキシブルハニカム及び高密度アルミハニカムは、アルミハニカムの一般的な公共規格である AMS-C-7438¹⁾ に規定されていないため、性能の基準値が存在しなかった。

そこで、試験方法は AMS-C-7438 に準拠し、性能については海外製品と同等であることを目標として開発を行った。

4.1 耐食性試験

アメリカ製及び当社製アルミダブルフレキシブルハニカムについて、ASTM B-117²⁾ に準拠した30日間の塩水噴霧を行った後の重量減少を確認した。

試験結果は表1のとおりである。

当社製ハニカムはアメリカ製と比べて、おおよそ1/3の重量減少であり、耐食性に優れていることが確認できた。

4.2 強度試験

アメリカ製ハニカムと当社製ハニカムについて、AMS-STD-401³⁾ に準拠した強度試験を実施した。

4.2.1 圧縮試験

圧縮試験の荷重速度は0.5 mm/minとした。

圧縮試験の様子を図11に示す。

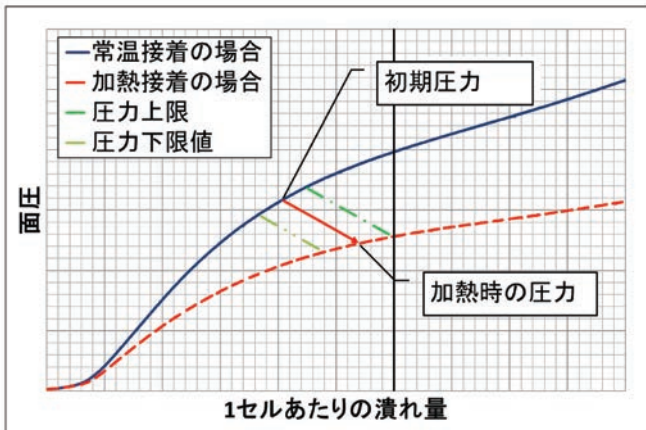


図10 バネ加圧による圧力低下
Pressure Drop due to Spring Pressurization

表1 塩水噴霧試験結果
Results of the Salt Spray Tests

供試体	No.	塩水噴霧 前重量 [g]	塩水噴霧 後重量 [g]	減少量 [mg/ft ²]	
				個別	平均値
米国製 ハニカム	1	22.735	22.711	18.5	18.48
	2	23.576	23.552	20.8	
	3	22.235	22.241	16.2	
当社製 ハニカム	1	22.284	22.283	0.8	5.13
	2	22.010	21.999	8.5	
	3	22.426	22.418	6.2	

4.2.2 プレートせん断試験

せん断試験は、ハニカムの密度によって、プレートせん断試験と曲げせん断試験の2つが規定されている。密度が10 lb/ft³未満のハニカムにはプレートせん断試験が適用され、10 lb/ft³以上のハニカムには曲げせん断試験が適用される。

アルミダブルフレキシブルハニカムは密度が10 lb/ft³未満のため、プレートせん断試験を行った。

プレートせん断試験の荷重速度は0.5 mm/minとした。

プレートせん断試験の様子を図12に示す。

4.2.3 曲げせん断試験

高密度アルミハニカムは密度が10 lb/ft³以上のため、曲げせん断試験を行った。

曲げせん断試験の荷重速度は1.0 mm/minとした。

曲げせん断試験の様子を図13に示す。

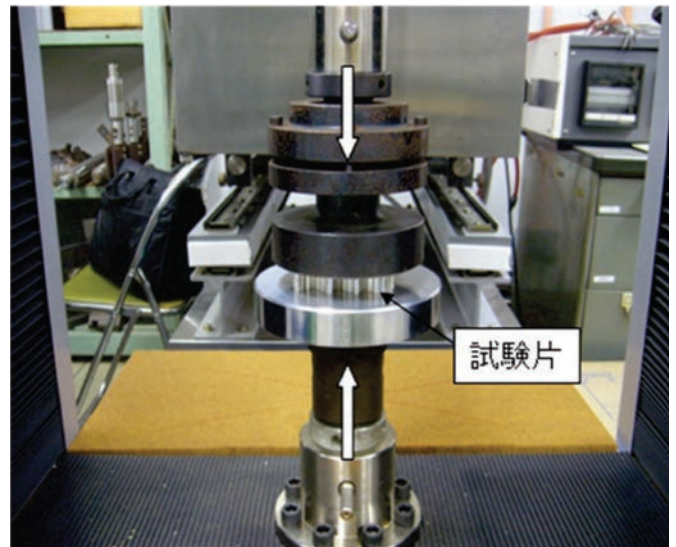


図11 圧縮試験の様子
Compression Test

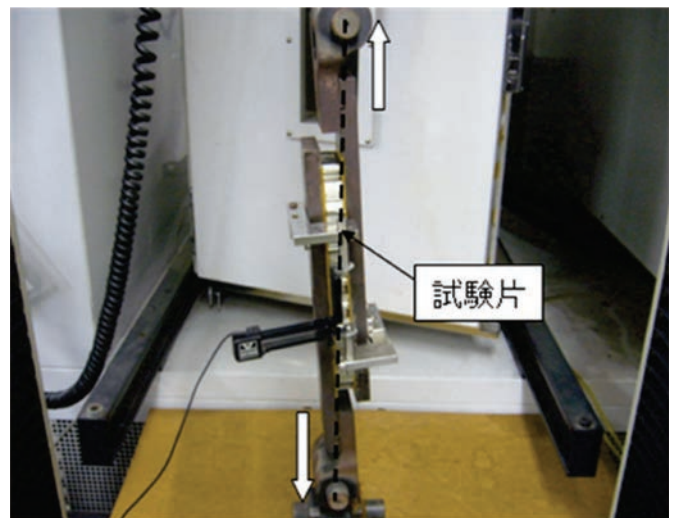


図12 プレートせん断試験の様子
Plate Shear Test

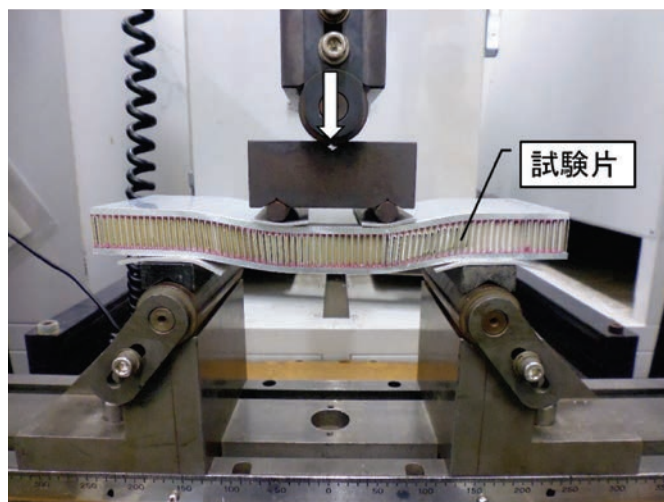


図 13 曲げせん断試験の様子
Flexural Shear Test

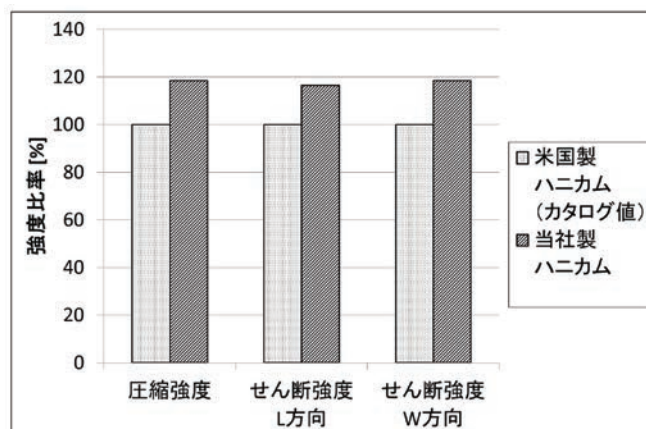


図 15 高密度アルミハニカム強度比較
(セルサイズ：1/8", 密度：22.1 lb/ft³)
Strength Comparison of High Density Aluminum Honeycomb

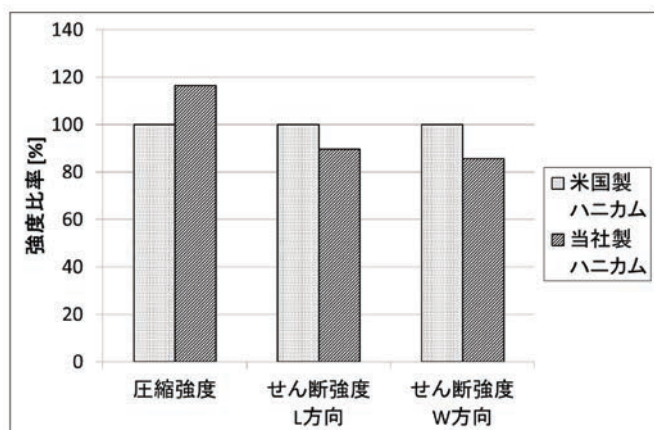


図 14 アルミダブルフレキシブルハニカム強度比較
(密度：4.8 lb/ft³, 箔厚：0.0047")
Strength Comparison of Aluminum Double Flexible Honeycomb

4.2.4 試験結果

アルミダブルフレキシブルハニカムの試験結果を図 14 に、高密度アルミハニカムの試験結果を図 15 に示す。

データはアメリカ製ハニカムの強度を 100 とした時の当社製ハニカムの強度比率を示している。

当社製ハニカムは、アメリカ製ハニカムと同等の強度を示した。

5. おわりに

昭和飛行機工業は、60 年余りの経験で培ったハニカムの製造技術をもとにして、リン酸陽極処理 (PAA) を新たに適用したアルミダブルフレキシブルハニカムと高密度ハニカムを開発した。これらのハニカムは、従来のクロム酸処理で製造したハニカムに比べ、接合強度と耐食性が優れており、耐

久性が向上することを示すことができた。

当社では、2014 年にアルミダブルフレキシブルハニカムの量産を開始し、2018 年に量産設備の増強を行った。高密度アルミハニカムについては、2018 年に量産を開始した。

航空機エンジンファンケースのコア材として使用されるアルミダブルフレキシブルハニカムと高密度アルミハニカムの 2 種類をラインアップしたことにより、今後の売り上げへの寄与が期待される。

また、当社製のハニカムを使用することで、ファンケースのライフサイクルが伸び、環境負荷の低減が期待される。

参 考 文 献

- 1) SAE AMS-C-7438A (2014). Core Material, Aluminum, for Sandwich Construction
- 2) SAE ASTM B-117-18 (2018). Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus
- 3) SAE AMS-STD-401 (1999). Sandwich Constructions and Core Materials; General Test Methods

〔問い合わせ先〕

昭和飛行機工業株式会社 輸送・機器事業部 設計技術部
TEL 042-541-2143 板本 貴志



板本 貴志



盛田 孝雄



半田 誠

大分自動車道 並柳橋震災復旧工事

— 地震により被災した鋼トラス構造を有する橋梁の復旧工事 —



写真1 鋼部材及び床版の取替（下り線施工時）



写真2 集合写真

本工事は、平成28年4月に発生した「平成28年熊本地震」により大きな損傷を受けた並柳橋の本復旧・耐震補強工事として、平成28年11月に着工し、本年1月に竣工した。

本復旧・耐震補強は、動的解析を行いながら弱点を探し、地震により被災した部材を取替えるとともに、レベル2地震動に対する所定の耐震性能を確保すべく補強を行った。具体的には損傷した桁端部付近の鋼部材及び床版の取替を行うとともに、耐震対策として全支承の免震支承への取替、橋脚の炭素繊維シートによる補強、制震ダンパーの設置、段差防止の設置、加えて今後の維持管理性向上を目的にアルミ製検査路を設置した。

現地施工では、交通混雑期を避けた施工期間に限定されることに加え、降雪期に対面通行規制を伴うなど困難を極めたが、架設用重機を6台、部材運搬トレーラ2台を橋面上に配置（写真1）、上り線・下り線のそれぞれについて4ヶ所同時に鋼部材及び床版の取替を実施し、平成30年4月には上下線の4車線供用を可能にした。

橋面上での作業と同時に桁下での耐震対策工事も実施し、多い時には1日に200人を超える作業員が従事し、現地着工から延べ実労働時間数は30万時間に達した（写真2）。

本工事の設計・施工にあたり、終始ご指導頂いた西日本高速道路株式会社九州支社、同社大分高速道路事務所の関係各位をはじめ、本工事に関係して頂いたすべての方に心から感謝したい。

主要目

工事場所：大分県由布市湯布院町大字川上

発注者：西日本高速道路株式会社九州支社
大分高速道路事務所

形式：鋼4径間連続非合成鋼桁橋＋
鋼4径間連続上路式トラス橋

橋長：422.400m（道路中心線）

桁長：鋼桁160.800m，トラス261.100m

工事範囲：

- ・鋼部材取替工 272 t
- ・プレキャストPC床版工 48 枚
- ・支承取替工 60 基
- ・炭素繊維巻立て工 4,070 m²
- ・制振装置工 1,500 kN × 8 基，750 kN × 8 基
- ・段差防止工 24 箇所
- ・アルミ製検査路工 2,400 m

工期：平成28年11月～平成31年1月

（株式会社三井 E&S 鉄構エンジニアリング）

〔問い合わせ先〕

建設本部東部工事部

TEL 0436-43-1853 飯島 良太

霞 4 号橋梁（四日市・いなばポートライン）工事完成報告

－ 壁高欄の埋設型枠使用による工期短縮 －



写真1 壁高欄施工状況（埋設型枠設置）



写真2 霞 4 号橋梁（工事完成時）

本工事は、国土交通省中部地方整備局四日市港湾事務所より受注した橋梁上部工工事である。今回の施工は、四日市・いなばポートラインの一部である。四日市・いなばポートラインは、伊勢自動車道のみえ川越IC～四日市コンテナターミナルを結ぶ延長約 4.1 km の道路であり、平成 30 年 4 月 1 日に開通した。四日市・いなばポートラインは、伊勢自動車道による国道 23 号線などの周辺道路への負荷低減等を目的に建設された。

霞 4 号橋梁は、三重県北部を流域とする朝明川の河口部付近に架かる 6 径間連続鋼床版箱桁橋である。本橋梁は、工事開始時に 5 径間は既に施工完了しており、残り 1 径間 (78.85 m) の桁架設及び 3 径間分の壁高欄施工が主な工事内容である。

工事概要

- ・ 本工事の特徴は、既に架設が完了している 5 径間の桁に対して 1 径間の桁を剛結する必要があるため、既架設桁のキャンバーダウンによる現場継ぎ手部の回転変位を考慮し、上げ越しキャンバーで架設を行った後にジャッキダウンをすることで所定の形状を確保した。
- ・ 路線開通までの期間が短かったため、壁高欄の施工において埋設型枠を使用し、型枠解体の期間を短縮する対策を取った (写真 1)。

- ・ 埋設型枠については工期短縮に寄与しただけではなく、最終的な美観に対しても効果があり (写真 2)、今後も施工条件により埋設型枠の使用を検討していきたいと考えている。

主要目

- 工 事 名：平成 29 年度四日市港霞ヶ浦北ふ頭地区道路（霞 4 号幹線）橋梁 (P30-P31) 上部工事
- 工事箇所：三重県三重郡川越町亀崎新田地先
- 工 期：平成 29 年 4 月 5 日から平成 30 年 5 月 31 日まで
- 橋梁形式：6 径間連続鋼床版箱桁橋
(本工事では側径間 1 径間のみ施工)
- 支 間 長：59.00 m+3@110.00 m+105.00 m+78.85 m
- 幅 員：9.5 m ～ 10.5 m
- 鋼 重：497.4 t
- 工 法：クローラクレーン・ベント工法
- 工事内容：鋼桁の製作・輸送・架設・塗装
橋梁付属物工，壁高欄工，公園緑地工
(株式会社三井 E&S 鉄構エンジニアリング)

〔問い合わせ先〕

建設本部西部工事部
TEL 06-6446-3101 笹本 英樹

可動橋の製作・設置 — “東予港可動橋” の竣工 —



写真1 “東予港可動橋” の完成写真

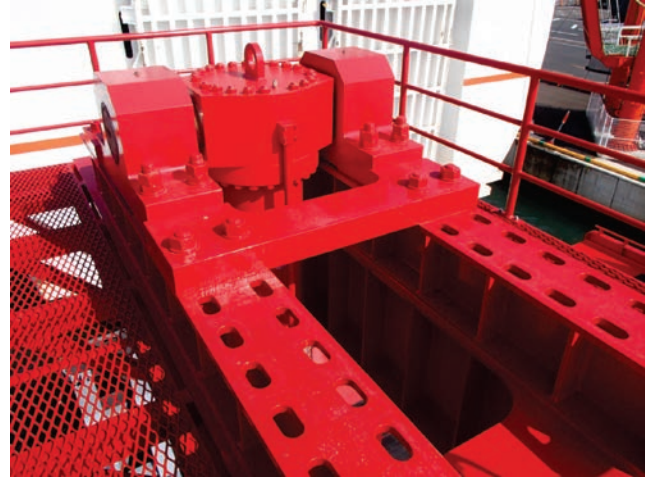


写真2 “東予港可動橋” の油圧シリンダ取付け架台

本可動橋は、大阪港と東予港を結ぶ旅客フェリーの大型化及び大規模地震発生時の緊急物資輸送拠点を確認するために計画された。2017年7月に四国地方整備局松山港湾・空港整備事務所より受注し、可動橋基礎工事、可動橋製作・設置工事、可動橋設備工事、機械室建屋工事等を行い、2018年7月に竣工した(写真1)。

特長

- (1) 本可動橋の形式は、鋼橋式ランプウェイであり、可動橋全体の荷重を支える主桁は、鋼板を溶接にて接合した板桁、車両が通る床版はグレーチング、グレーチングを支持する横桁と縦桁はH形鋼で構成されている。
- (2) 可動橋は、潮位変動や接岸するフェリーの乗降レベルに合わせて、高さや角度を変化できる機構を備えている。可動橋を吊り上げるために鋼板で構成されたボックス形状の吊り桁は、横桁と平行に配置され主桁を貫通している。可動橋本体は、左右に設置された門構の架台に取り付けた油圧シリンダの伸縮により上昇・下降ができる。
- (3) 左右独立したシリンダの伸縮量は、油圧ユニット内の左右シリンダの流量調整バルブと、主桁の傾斜を計る傾斜計を用いて調整することで、可動橋本体のねじれを防いでいる。
- (4) 大規模地震発生時には緊急物資輸送の拠点であることから以下のような機能がある。
 - ① 指定航路の旅客フェリー以外のフェリーが着岸しても、緊急物資を載せた車両が乗り降りできるように橋長及び有効幅を有している。
 - ② 地震後に門構が傾いた場合に備えて、門構の油圧シリンダ

ンダ取付け架台は、油圧シリンダの取付け位置が橋長方向で調整できる機構を備えている(写真2)。

- ③ 機械室建屋内の自家発電設備により、停電時でも可動橋を動かすことができる。

主要目

- 形 式：鋼橋式ランプウェイ
 橋体設計荷重：橋体自重 + シップランプ自重
 B 活荷重
 門構高さ：8.000 m
 有効幅員：15.300 m
 橋 長：25.000 m (橋台より橋体先端まで)
 揚 程：5.13 m (橋体先端部)
 駆動方式：油圧シリンダ昇降式
 昇降速度：1.00 m/min
 主要材料：SM490Y, SM400, SS400
 対象船舶：おれんじえひめ, おれんじおおさか,
 おれんじ四国, 旭洋丸, フェリーはやとも2,
 おれんじぐれいす, あかつき丸等
 工事範囲：裏込・裏埋工, 土工, 可動橋基礎工, 可動
 橋製作工, 可動橋設置工, 可動橋設備工,
 機械室建屋工, 照明灯工
 工 期：平成 29 年 7 月～平成 30 年 7 月
 (株式会社三井 E&S 鉄構エンジニアリング)

〔問い合わせ先〕

沿岸事業部沿岸設計部
 TEL 0863-83-9800 塚原 靖男

PCハイブリッド浮棧橋の製作・据付
— “東京消防庁浮棧橋” の竣工 —



写真1 1号基完成写真



写真3 3号基完成写真



写真2 2号基完成写真

本浮棧橋は、プレストレストコンクリートと内部骨組みを鉄骨とした複合構造（以下、PCハイブリッド）の浮棧橋であり、東京消防庁臨港消防署の新築工事に合わせて、消防艇を係船するために計画された。2018年7月に東京消防庁より受注し、浮棧橋3函の製作、進水、曳航、据付、連絡橋3基の製作、輸送、架設等を行い、2019年5月に竣工した（写真1、写真2、写真3）。浮棧橋は、晴海の朝潮運河に設置されており、晴海ふ頭公園側から1号基、2号基、3号基と配置されている。

特長

- (1) 浮棧橋であるため、潮位差に係わらず常に乾舷が一定であり、乗り降りがしやすい。
- (2) 杭係留方式の浮棧橋であるため、チェーン係留方式の浮棧橋に比べ動揺が少なく、利便性が良い。
- (3) PCハイブリッド浮棧橋は、外壁をプレストレストコンクリートで覆われているため、耐久性が高い。また、プレス

トレストコンクリートと鉄骨の複合構造であるため、プレストレストコンクリート製よりも軽量となり、浮棧橋の四隅に設置してある係留杭等の係留装置の規模が小さくできる。

- (4) 1号基には浮棧橋では稀な塔屋があり、階段により内部へ入ることが可能である。また、2、3号基は、浮棧橋内に荷物の吊り降ろしができるように定格荷重0.49tのジブクレーンが設置してある。

主要目

形式：PCハイブリッド浮棧橋

設計荷重：群集荷重 5.0 kN/m²

車両荷重 T-7.9 kN

浮棧橋諸元

1号基：L 43.0 m × B 10.0 m × H 3.0 m (f=0.8 m)

2号基：L 43.5 m × B 10.0 m × H 3.0 m (f=1.2 m)

3号基：L 60.0 m × B 10.0 m × H 3.5 m (f=1.7 m)

連絡橋諸元

1号基：L 17.5 m × B 2.0 m

2号基：L 15.5 m × B 2.0 m

3号基：L 15.0 m × B 2.0 m

対象船舶：みやこどり、すみだ、はるみ、しぶき、はやて、おおえど、水上オートバイ

工期：平成30年7月～令和元年5月

(株式会社三井 E&S 鉄構エンジニアリング)

〔問い合わせ先〕

沿岸事業部沿岸設計部

TEL 0863-83-9800 塚原 靖男

電動アシストキャリアカー“LUXST”（ラクスト）
— 運び方改革をアシスト・重筋作業の負担を軽減 —



写真1 “LUXST-1000”本体



写真2 展示会展展の様子

昭和飛行機工業(株)では、電動アシスト技術を物流機器に応用した電動アシストキャリアカー“LUXST”（最大積載量600 kg）及び“LUXST-1000”（同1000 kg）の2機種を2018年10月に販売開始した。

本製品は、モータのアシスト機構により重量物を運搬する搬送台車として、「楽・簡・安（らく・かん・あん）」というコンセプトのもと開発した。（写真1）

近年は作業者の労働負担軽減、省人化、女性や高齢者の活躍などが求められているが、運搬業務の完全自動化には多額の投資や大幅な設備改修が必要とされる。

本製品は、重量物の運搬作業現場において、導入したその日から作業の効率化や作業者の安全に寄与し、坂道やスロープでの重量物運搬に苦勞している現場においても活躍が期待できる。

特長

- (1) ハンドルに内蔵された歪みセンサが人の操作を感知。進みたい方向に進みたい強さ（速さ）で押す又は引くことで生じる僅かな歪みをセンサが信号に変換し、モータを駆動。
- (2) ハンドル部のブレーキ解除レバーを握っている間のみ電磁ブレーキが解除され、停車時や緊急時には手を放すだけで自動的にブレーキが作動するフェイルセーフ機構。
- (3) 運転開始に必要な操作は以下の3ステップ。
 - ① 主電源（電源キー）を回す
 - ② 電源ボタンを押しアシスト機能を起動
 - ③ ブレーキ解除レバーを握り、進みたい方向へ進む
- (4) 免許・資格は不要、作業者の特別な教育も必要とせず誰でもすぐに運用が可能。
- (5) 前・後進の切り替えスイッチや速度調整などの装置類を排除。人の感覚的操作にこだわり誤操作・誤発進による

事故を抑制。

- (6) 細かな操作や速度調整が容易なため、通路の狭い現場や複雑な動線でのハンドリングも安全に運用。

主要目

LUXST

- 車体寸法：全長1100 × 幅640 × 高さ960（mm）
- 荷台寸法：全長910 × 幅600 × 高さ300（mm）
- 車両重量：90 kg
- 最大積載量：600 kg
- 登坂角度：10°
- 操作速度：0～5 km/h
- バッテリー：24 V × 1 個
- モータ：240 W × 1 個

LUXST-1000

- 車体寸法：全長1400 × 幅800 × 高さ960（mm）
- 荷台寸法：全長1220 × 幅770 × 高さ300（mm）
- 車両重量：130 kg
- 最大積載量：1000 kg
- 登坂角度：10°
- 操作速度：0～5 km/h
- バッテリー：24 V × 2 個
- モータ：240 W × 2 個

〔問い合わせ先〕

昭和飛行機工業株式会社
開発推進部 事業開発室
TEL 042-808-3248 矢澤 隆

海底探査技術を競う国際コンペティションで 三井 E&S 造船が参加する日本チームが準優勝！



写真1 授賞式の様子



写真2 ASV (洋上中継器)

およそ3年間にわたって開催された海底探査技術を競う国際コンペティション「Shell Ocean Discovery XPRIZE」の結果が発表され、三井 E&S 造船を含む8機関で構成される日本チーム「Team KUROSHIO」が準優勝を獲得した。

このコンペティションは、超広域・超高速海底マッピングの実現を目標とするもので、決められた制限時間の中で海中ロボット等により取得した海底地形データの面積や正確性を競う。調査海域におけるデータ取得は有人母船を使用せず、ロボットだけで行うことが必要といったルールが設けられている。当初、世界から32チームの参加登録があった中で、KUROSHIOは技術提案書審査、Round1(予選)を通過し、Round2(決勝)に進出した。決勝に進出したのは9チームで、アジアからはKUROSHIOのみが進出した。

Round2(決勝)は2018年11～12月にギリシャ共和国カラマタ沖にて開催され、KUROSHIOが使用する洋上中継器(Autonomous Surface Vehicle: ASV)、自律型海中ロボット(Autonomous Underwater Vehicle: AUV)はおよそ23時間に及ぶ無人調査を達成。取得したデータを解析し、マッピングデータを作成して、提出した。

結果発表のセレモニーが、2019年5月31日(現地時間)モナコ海洋博物館にて開催され、KUROSHIOは準優勝(賞金100万USドル)を獲得した。

三井 E&S 造船は、KUROSHIOにおいて使用したASVの開発・運用を担当した。ASVは、岸壁から複数機のAUVを曳航して航行し、調査海域においてAUVを展開・回収す

るほか、陸上の基地局と海中を航行するAUVの間を、衛星通信・水中音響通信により中継する役割を果たすことが求められた。

ASVはRound2(決勝)において、離岸・出港から入港・着岸まで全て無人運用を達成した。調査海域までの移動時間を含め総航行時間はおよそ32時間、総航行距離はおよそ97NMを記録した。

ASV 主要目

主 寸 法：5.3 m × 2.2 m × 2.9 m

重 量：1.8 t (満載時)

最大速力：20 kt

航続時間：24 h 以上

主要装備：GPS コンパス、自動操舵装置

周辺監視用カメラ、レーザーレーダ

無線 LAN / 衛星通信装置

音響測位 / 通信装置

AUV 曳航フレーム

主要機能：遠隔操縦 / 自律航行機能

AUV 監視、追従機能

(三井 E&S 造船株式会社)

〔問い合わせ先〕

艦船・官公庁船・特機営業部

TEL 03-3544-3530 石田 毅

三井 E&S 技報 第 2 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 送付先の確認と第 2 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

I. 三井 E&S 技報第 2 号 公開履歴

1. グループ会社紹介

① 2019 年 6 月 28 日

・ Corporate Profile of Burmeister & Wain Scandinavian Contractor A/S

② 2019 年 10 月 24 日

・ 三井造船昭島研究所の技術紹介
 ・ 三井 E&S 鉄構エンジニアリング会社紹介
 ・ ドーピー建設工業会社紹介
 ・ 三井 E&S 環境エンジニアリング会社紹介

2. 製品・技術解説

① 2019 年 10 月 24 日

・ 星島. 外 1 名: TT 遠隔自動運転技術の開発

3. 技術論文・報告

① 2019 年 3 月 22 日

・ 加藤. 外 3 名: メタンハイドレート揚収シミュレーション技術の開発

・ 板本. 外 2 名: 航空機エンジンファンケース用アルミハニカム

4. 製品・技術ニュース

① 2019 年 3 月 22 日

・ 大分自動車道 並柳橋震災復旧工事
 ・ 霞 4 号橋梁 (四日市・いなばボートライン) 工事完成報告
 ・ 可動橋の製作・設置

② 2019 年 6 月 28 日

・ 佐世保米軍浮棧橋新設土木工事
 ・ 電動アシストキャリアカー “LUXST”

③ 2019 年 10 月 24 日

・ 東京港臨港道路南北線事業 沈埋函鋼殻製作工事

5. トピックス

① 2019 年 10 月 24 日

・ 海底探査技術を競う国際コンペティションで三井 E&S 造船が参加する日本チームが準優勝!

II. 三井 E&S 技報第 2 号 修正履歴

当社ホームページに公表した三井 E&S 技報の各記事を公表後に修正した内容を以下にまとめた。

No.	訂正年月日	名称	ページ	修正内容
1	2019 年 4 月 5 日	メタンハイドレート揚収シミュレーション技術の開発	p.40 左 7 行	誤: $F_{wall,g}, F_{wall,\ell}$ 気相, 液相, 固相が壁面から受ける力 正: $F_{wall,g}, F_{wall,\ell}$ 気相, 液相が壁面から受ける力
2	2019 年 11 月 14 日	三井 E&S 鉄構エンジニアリングの製品・技術紹介	p.19 右 16 行	誤: 4) 皆田. 外: 三井造船グループの社会インフラの建設と 正: 4) 皆田. 外: 三井造船グループの社会インフラの建設と
3	2019 年 11 月 14 日	三井 E&S 鉄構エンジニアリングの製品・技術紹介	p.19 右 19, 20 行	前: 5) 「掲載予定」飯島: 大分自動車道 並柳橋震災復旧工事, 三井 E&S 技報, 2 (2019-3-22 ホームページ先行公開) 後: 5) 飯島: 大分自動車道 並柳橋震災復旧工事, 三井 E&S 技報, 2 (2019-11), p.49
4	2019 年 11 月 14 日	メタンハイドレート揚収シミュレーション技術の開発	p.37 執筆者英語名	誤: Toshihito KATO, Kennichi HAYASHI, Takahiro KINOSHITA, Tetsurou MURAYAMA 正: Toshihito KATO, Kennichi HAYASHI, Takahiro KINOSHITA, Tetsuro MURAYAMA

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
 酒井 伸介
 村田 誠
 須藤 栄一
 武田 茂幹
 穴倉 進
 村田 和俊

三井 E & S 技報

第 2 号

2019 年 (令和元年) 11 月 14 日発行

発行人 鎌田 勤也

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 E&S 技報に関するお問い合わせは、e-mail: 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)



株式会社三井E&Sホールディングス

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