

三井 造船 技報

平成 25 年 11 月 ■ 第 210 号

MITSUI ZOSEN TECHNICAL REVIEW No. 210 2013



社会インフラの建設と維持管理への取り組み



表紙説明

社会インフラの建設と維持管理への取り組み

三井造船の社会インフラ建設事業は1930年に完成した水力発電所の水圧鉄管、ダム用いつ流門扉から始まりその歴史は古い。現在わが国では、再生可能エネルギー導入の実績が増えつつある一方、高度成長時代に建設されたインフラ設備は老朽化が進んでおり、設備の健全性診断及び補修技術が重要となっている。また、東南アジアでは、高度経済成長に伴い、社会インフラ設備の整備が進んでいる。このような社会的ニーズを背景とし、本報の製品・技術解説では、現在当社グループが特に注力して取り組んでいる社会インフラの建設と維持管理関連の製品・技術を紹介した。

- ①由良風力発電所建設工事
- ②インドネシアのタンジュン・ジャティB石炭火力発電所建設工事
- ③ベトナムのDo Len 橋架設工事
- ④香港の青馬大橋架橋工事
- ⑤夢舞大橋架設工事
- ⑥張出し施工法による望郷橋架設工事
- ⑦PC ハイブリッド製ポンツーン構造の福良港浮棧橋
- ⑧超音波法とレーダ法による検査技術
- ⑨炭素繊維プレート緊張材を用いた橋梁補強工事

Cover

Products of Infrastructure and Maintenances Technology by MES Group

Mitsui Engineering & Shipbuilding (MES) has been providing infrastructure products such as pen stock for water power station and flood gate for dam since 1930. Recently in Japan, momentum toward renewable energy is increasing. At the same time, infrastructures constructed from 1960's onward are decrepit, therefore diagnosis and repair technology has become very important. On the other hand, in many Southeast Asian countries, demands for construction of infrastructures are increasing, because of their developing economy. Under these circumstances, MES group introduces in this paper the record of construction of infrastructures, diagnosis and repair technology showing various projects the form of Products and Technology Explanation.

- ①Yura Wind Farm Construction Project
- ②Tanjung Jati B Coal Fired Power Plant Project in Indonesia
- ③Do Len Bridge Construction Project in Vietnam
- ④Tsing Ma Bridge Construction Project in Hong Kong
- ⑤YUMEMAI arch bridge building
- ⑥Erection work of BOUKEI Bridge by cantilever construction methods
- ⑦Floating Pier in HUKURA Port by PC hybrid pontoon
- ⑧Inspection method using Ultrasonic and GPR (Ground-penetrating radar)
- ⑨Reinforcement work using CFRP plate tendon

三井造船技報

2013年(平成25年)11月・第210号

目次

製品・技術解説

- 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..... 1
技術開発本部 技術総括部 皆田 龍一

技術論文・報告

- 船舶からのCO₂排出量削減を目的とした新型帆装置の開発 21
平山 明仁 羽生 一成 喜多代顕彦 内藤 誠
- 日本海域に適した波力発電技術の開発..... 29
前村 敏彦 中野 訓雄 宮島 省吾

製品・技術ニュース

- 広島高速3号線の鋼上部工事(期 観音東工区)
- 都市高速道路の設計・施工 - 35
- リチウムイオン二次電池用正極材リン酸鉄リチウムの生産を開始
- 製造能力2100トン/年のプラントが竣工 - 36
- 東北大学/カムランド - 液体窒素貯蔵設備の竣工 - 37

トピックス

- ベトナム南北鉄道橋梁の安全性向上事業 - CP1Bプロジェクトの竣工 - 38

Home Page News

- 北アイルランド向け15.8MWのバイオマス発電事業に参画 39

MITSUI ZOSEN TECHNICAL REVIEW

No. 210 NOVEMBER 2013

CONTENTS

Products and Technology Explanation	1
Technical Paper and Report	
Development of "Power Assist Sail" System to Reduce CO ₂ Emission	21
<i>Akihito HIRAYAMA, Issei HABU, Akihiko KITADAI, Makoto NAITO</i>	
Development of Wave Power Generation Technology suitable for the Japanese Sea Area.....	29
<i>Toshihiko MAEMURA, Kunio NAKANO, Shogo MIYAJIMA</i>	
Products and Technology News	35, 36, 37
Topics	38
Home Page News	39

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

技術開発本部 技術総括部 皆田 龍一

1. はじめに

社会インフラは、人々の安全で豊かな生活を支え、活力ある社会経済を持続的に発展させるために極めて重要な役割を担っており、これまでに数々の施設や構造物が建設されている。国内の社会インフラは、高度経済成長とともに着実に整備されてきたが、これらの社会インフラの老朽化が急速に進展しており、既に大量更新の時代に入っていると言われている。一方、国外では急速な経済成長を遂げている東アジアなどに代表される地域で、活発な社会インフラ整備が行われており、引き続き大きな需要が見込まれている。

このような社会情勢の中で、三井造船と当社のグループ会社である三井造船鉄構エンジニアリング、ドーピー建設工業及び三造試験センターは、総合エンジニアリング会社として培ったノウハウを活かし、製品の開発から維持管理までのトータルエンジニアリングにより、社会インフラに関連する事業を展開している。具体的には、道路構造物である橋梁、港湾設備の浮桟橋やケーソン、発電所の土木・建築工事及び風力発電設備工事などの社会インフラ建設から、建設された社会インフラを維持管理するための補修・補強工事、試験・検査などを実施している。

本報では、これらの中で代表的な実績と製品を例に挙げて、当社グループ会社における社会インフラの建設と維持管理への取り組み状況について紹介する(表1)。

2. 風力発電設備

2.1 経緯と実績

1997年のCOP21国際会議で京都議定書が締結され、地球

温暖化防止の枠組となる取り決めが行われた。それ以降、自然エネルギーの積極活用によるCO₂排出量の削減が強く謳われ始めた。この社会的要求をいち早く取り入れるべく、当社は風車建設を決定し、2004年に千葉事業所内に1.5 MW(GE社製)の風力発電設備を自社技術で建設した(写真1)。これにより、基礎構造の設計、風車本体の建設、電力系統連系、コミッショニング及び維持管理までの一連の技術習得を行った。これが当社にとっての第1フェーズである。

当時は、欧米系の設計基準をベースとした海外風車が主で、そのため、輸入風車をそのまま導入した場合、国内法である建築基準法に合致しない不適合風車が発生した時期である。特に、風車タワーは建築基準法の対象範囲であり、海外製のタワーをそのまま使用できない事態が発生した。この状況に着目して、IEC(International Electrotechnical Commission)基準と建築基準法を同時に満足させるタワーの設計・製作分野に、新たに参入した。風車タワーの設計・製作にあたっては、単に法律や基準をクリアするだけでは不十分であり、風車発電設備部分の発生振動との共振を避けることが重要で、タワーと発電設備との最適化が要求される点である(2.3.1参照)。

また、2007年6月には、建築基準法が改正(以降、新基準と呼ぶ)され、風車タワーは大臣認定の取得が義務付けられ、更に厳しい設計要求が課せられた。当社は、新基準のもとでも大臣認定を取得し、風車タワーの製作を行った(2.3.2参照)。その後、現在までに延べ約180基の受注製作実績を有するに至っている。風車タワーの設計・製作事業が第2フェーズである。

陸上風車の設置適地が少ない日本では、起伏の大きな山岳地域に建設される風車が多い。そのため、ヨーロッパの風況に比べて、厳しい風荷重条件下で運転されるケースがほとん

表1 三井造船グループの社会インフラの建設と維持管理事業

会社名	本稿執筆章・節	関連営業品目
三井造船	2. 風力発電設備 3. 海外インフラ建設 3.1 海外土木工事 3.2 海外橋梁建設	土木・建築工事全般、特殊構造物(大学・研究機関向実験施設、航空機整備設備など)、風力発電設備工事、海外橋梁など
三井造船鉄構エンジニアリング	4. 鋼製橋梁建設 6. 沿岸設備	各種鋼構造物(橋梁、水門、タンクなど)、コンクリート構造物、浮桟橋、浮防波堤、各種浮体構造物、ケーソン、その他海洋構造物など
ドーピー建設工業	5. プレストレストコンクリート橋(PC橋)建設 7. 社会インフラの維持管理 7.2 補修・補強技術	プレストレストコンクリート工事、鋼構造物工事、その他一般土木建築工事、セメント二次製品、生コンクリートなど
三造試験センター	7. 社会インフラの維持管理 7.1 超音波法とレーダ法による検査技術	レーダー調査、環境分析、環境計測、成分分析、材料特性評価、非破壊検査、計測、損傷原因調査、CAE技術、寿命評価、各種コンサルタントなど



写真1 当社千葉事業所内の風力発電設備



写真3 当社で初めて製作した風車タワー



写真2 肥前南風力発電所

どである。この影響により、羽根の回転を主軸を介して増速し、発電機へトルクを伝達するギヤボックス(増速機)の損傷事例が増加してきた。この状況を改善し、風力発電事業者のニーズに応えるため、2007年に1.5 MW ギヤボックスの補修を最初に手掛けたのを皮切りに、その後、継続的にギヤボックスの補修事業を展開した。その実績を活用して、株式会社三井三池製作所と共同で2 MW用のギヤボックスを開発し、GL(Germanischer Lloyd)設計認証を2011年に取得した。同年3月から実機に搭載して実証試験を開始し、現在に至るまで順調に稼働している(2.3.3参照)。この成果から、現在までに23基を受注した。これが、風車用ギヤボックス製造販売事業に至る第3フェーズである。

以上のように、当社は風車の建設事業からスタートし、現在ではタワー及びギヤボックスの製造販売事業へと業容の拡大を図ってきた。

2.2 今後の見通しと開発動向

近年の風力発電事業の流れは、建設された1.5～2.0 MW規模の発電能力の設備から、発電事業の効率性を高めるために大型化の方向に移行してきている。世界に目を転じれば、既に5 MW規模の風車が実用の段階を迎え、さらに10 MW規模の超大型風車の開発計画も散見されるようになった。こ

れらの風力発電設備は、陸上から洋上へと設置場所のシフトが加速しているが、ヨーロッパでは遠浅であるため、海底に固定基礎を持つ着床式と呼ばれるタイプがほとんどである。

日本国内においても、この傾向は同様であるが、一部異なる点は、日本では遠浅の海岸線が少ないため、着床式と浮体基礎を有する浮体式とが共存することが予想されている。

2.2.1 着床式洋上風力発電設備

2009年に茨城県神栖の海岸線沿いに建設された日本で初めてのモノパイル着床式洋上風力設備(2 MW×7基)へ、タワー及びパイルの供給を行った(2.3.4参照)。これらの経験を活かして、5 MW規模の着床式洋上風力発電設備への対応力を強化している。

2.2.2 浮体式洋上風力発電設備

当社は、2011年度から福島県の沖合における浮体式洋上風力発電設備(2 MW)の実証プロジェクトに参画しており、2013年度に実証実験が開始予定である(2.3.5参照)。これらの実証試験を通して、将来の搭載風車の大型化(5 MW超)を想定した浮体構造の高度化や浮体構造と風車の連成問題対応策などの開発を目指している。

2.3 工事例

2.3.1 肥前南風力発電所建設工事

発注者：肥前風力発電株式会社
 工事場所：佐賀県唐津市肥前町(写真2)
 工期：2006年4月～2007年12月
 風車基数：1.5 MW(GE社製)×12基
 主な特長を以下に示す。

- ・旧建築基準法適用の風車で、当社で初めて製作したタワーを使用した風力発電所である(写真3)。
- ・風車のロータ回転周期とタワーの固有振動数を外し、共振しないようにタワーを設計した。

2.3.2 由良風力発電所建設工事

発注者：由良風力開発株式会社
 工事場所：和歌山県日高郡由良町(写真4)
 工期：2010年4月～2011年8月
 風車基数：2.0 MW(日立製作所製)×5基
 主な特長を以下に示す。



写真4 由良風力発電所



写真7 神栖風力発電設備



写真5 1.5MW ギヤボックスの補修状況



写真8 洋上風力発電設備の実証試験イメージ図
(2MW 風車搭載)



写真6 開発した2 MW ギヤボックス



写真9 実証試験用浮体の製作状況

- ・国土交通省の大臣認定を取得したタワーを製作した。
- ・山岳地形の吹上風に適合したダウンウインドタイプの風車を採用し、発電量の増加を図った。

2.3.3 ギヤボックス補修工事及び実証試験工事

(1)補修工事

補修ギア：1.5 MW タイプギヤボックス(写真5)

工期：2007年11月～2008年3月

主な実施内容を以下に示す。

- ・ギヤボックスの分解点検で損傷個所の特定
- ・損傷個所のリニューアル(軸受 / 歯面)
- ・風車本体へリニューアル品の再搭載
- ・風車ギヤボックスの知見を獲得

(2)実証試験

実証対象：2 MW ギヤボックスの開発(写真6)

認証機関：GL (Germanischer Lloyd)

開発期間：2009年～2012年

共同開発者：株式会社三井三池製作所

主な特長を以下に示す。

- ・国内最大クラス(2 MW)ギヤボックスの開発に成功
- ・2年間の実証期間中に故障・不具合発生が皆無
- ・高信頼性の確認(現在も運転継続中)

2.3.4 神栖風力発電所設備工事(着床式洋上風力発電)

発注者：東光電気工事株式会社

工事場所：茨城県神栖市(写真7)

納期：2009年

工事範囲：洋上用風車タワー製作

洋上基礎用モノパイル製作

主な特長を以下に示す。

- ・本格的な日本初2 MWクラス洋上風力発電設備のタワー(モノパイル)を供給

2.3.5 福高沖浮体式洋上風力発電設備実証試験工事

本実証試験工事は経済産業省からの委託事業であり、以下に実施概要を示す。

- ・日本初の本格的浮体式洋上風力発電設備実証試験(写真8)
- ・セミサブ(Semisubmersible)タイプ浮体の開発(写真9)
- ・浮体/風車間の波浪及び風荷重による連成問題の解決
- ・係留技術の習得
- ・系統連系問題の把握等

〔問い合わせ先〕

エンジニアリング事業本部

環境エネルギー・インフラ営業部

TEL 043-351-9262 春日井 清秀

3. 海外インフラ建設

3.1 海外土木工事

3.1.1 沿革

当社における海外インフラ工事は、1983～1984年にインドネシアのスマトラ島において実施した、フルターンキーベースのドュマイ製油所棧橋建設工事が最初である(写真10)。以降、東南アジア、特にインドネシアにおいて、スラバヤ港コンテナバース、パイトン石炭火力発電所棧橋など数々の棧

橋・港湾建設工事を継続的に受注し、着実にマリコンストラクターとして建設工事実績やノウハウを積み上げてきた。

一方、インドネシアだけではなく、1997～1999年にグアムにおいてディーゼル発電所建設工事を行うなど、海外において棧橋工事だけではなく、陸上土木工事や発電所建設工事のノウハウも蓄積してきた。

当社が大型石炭火力発電所建設工事において、陸上土木工事を含めた土木・建築一式工事を行うようになったのは、1993年に住友商事株式会社より受注したタンジュン・ジャティB石炭火力発電所1&2号機(2×660 MW)建設工事からである(写真11)。

インドネシアの経済危機の影響を受けて5年間のプロジェクト中断を余儀なくされたが、2003年に工事が再開され、2006年に無事完工することができた。2008年に同プロジェクトの拡張工事(3&4号機)を土木・建築一式工事で受注し、契約工期が同規模の他プロジェクトと比べ非常に短いにも関わらず、機電据付工事を含めたプロジェクト全体工程を、計画工程より3ヶ月も前倒しで完成させた。

3.1.2 今後の展望

著しい経済発展を遂げている東南アジア諸国では、電力不足が深刻な問題となっている。基幹となる電力では、比較的初期投資が少ない石炭火力発電所の建設が活発であり、今後もその傾向は続いていくと考えられる。当社においても、東南アジア地域の電力不足を解消し、経済発展の一翼を担うため、積極的に同地域の石炭火力発電所建設プロジェクトに参加していく予定である。

3.1.3 施工事例

(1) 棧橋工事

棧橋工事施工事例から、2件の棧橋工事を紹介する。

a ドュマイ製油所棧橋建設工事

ドュマイ港は、東南アジア最大の油田であるミナス油田の重要な石油積み出し港として機能している。

工事概要を以下に示す。

施主：National Mining Gas and Oil Public Corporation
建設場所：インドネシア、ドュマイ(写真10)

工期：1988年2月～1990年12月



写真10 ドュマイ製油所棧橋建設工事



写真11 タンジュン・ジャティB石炭火力発電所1&2号機建設工事

棧橋概要

対象船舶(バース): 石油 35 000 DWT × 2
 石炭 25 000 DWT × 1
 LPG 3 000 DWT × 1

主な特長を以下に示す。

- ・石油(液体), 石炭(固体), LPG(気体)と3種類の物質をハンドリングする複合棧橋である。
- ・マルチアングルに対応した杭打ち船を採用し, 省力化に努めた。
- ・プレハブ化を採用した。

b スラバヤ港棧橋工事

スラバヤ港はインドネシア東部の物流拠点の港湾であり, かつ, アジア近隣諸国の物流拠点として, インドネシア政府より国際ハブ港湾に指定されている。

工事概要を以下に示す。

施主: Government of Indonesia
 建設場所: インドネシア, スラバヤ(写真12)
 工期: 1988年2月~1990年12月

棧橋概要

・コンテナバース : 500 m(L) × 50 m(W)
 ・アクセスブリッジ : 1 540 m(L) × 14 m(W)

主な特長を以下に示す。

- ・遠浅の海岸にありながら, 水深確保のために, 長大なアクセスブリッジを有する。
- ・デュマイ棧橋以上にプレハブ化を行い, 約70%の部材をプレハブ化し, 工期短縮に貢献した。
- ・当時, 東南アジアではまだ珍しいレーダ測距とポケットコンピュータによる現場での計測管理を採用し, 施工精度向上に貢献した。

(2) 石炭火力発電所建設工事

石炭火力発電所建設工事を遂行するためには, 土質工学, 水理学, 構造力学はもとより, 多岐に渡る土木工学のほぼ全ての分野の知識が必要となる。また, 設計・施工の両段階で機電側とのきめ細かな調整が必要となることから, 機械・電気工学についても一般的な知識が要求される。以下に当社が土木・建築工事一式を行ったタンジュン・ジャティ B 石炭火力発電所建設工事の主な工事概要を示す。

a タンジュン・ジャティ B 石炭火力発電所建設工事(1&2号機)



写真12 スラバヤ港棧橋工事

施主: 住友商事株式会社

建設場所: インドネシア, ジェバラ(写真11, 写真13)

工期: 1997年4月~1998年5月
 2003年7月~2006年11月

工事概要を以下に示す。

石炭用棧橋

・バース : 273 m(L) × 27 m(W)
 ・アクセスブリッジ : 1 356 m(L) × 12 m(W)

石灰用棧橋

・バース : 80 m(L) × 15 m(W)
 ・アクセスブリッジ : 190 m(L) × 7.25 m(W)

深層海水取水設備

・600 m(L) × 2条

浚渫工 : 2 500 000 m³

煙突基礎

タービン建屋(鉄骨造)

・40 m(W) × 170 m(L) × 29 m(H)

中央制御棟(鉄骨造)

・30 m(W) × 56 m(L) × 17 m(H)

管理棟(RC造)

その他建屋

貯炭場 : 100 000 m²

灰捨場 : 180 000 m²

護岸 : 650 m

b タンジュン・ジャティ B 石炭火力発電所建設工事(3&4号機)

施主: 住友商事株式会社

建設場所: インドネシア, ジェバラ

工期: 2008年7月~2012年1月

工事概要を以下に示す。

石炭用棧橋

・バース : 280 m(L) × 27 m(W)
 ・アクセスブリッジ : 502 m(L) × 12 m(W)
 ・コンベヤ架台 : 1 152 m(L) × 7 m(W)

石灰用棧橋(既設拡幅)

・バース : 80 m(L) × 9 m(W)
 ・コンベヤ架台 : 190 m(L) × 3.5 m(W)

深層海水取水設備

・1 000 m(L) × 2条



写真13 タンジュン・ジャティ B 石炭火力発電所建設工事

浚渫工：1 000 000 m³
 煙突：高さ 240 m
 タービン建屋(鉄骨造)
 ・40 m(W)×178 m(L)×31 m(H)
 中央制御棟(鉄骨造)
 ・30 m(W)×56 m(L)×17 m(H)
 管理棟(RC造)
 その他建屋
 貯炭場：100 000 m²
 護岸：1 000 m

〔問い合わせ先〕

エンジニアリング事業本部 第二設計部
 TEL 043 - 351 - 9265 高崎 哲也

3.2 海外橋梁建設

3.2.1 沿革

当社は、北海向け石油掘削リグの製造や本州四国連絡橋などの長大橋の建設で養った技術を背景に、海外の橋梁建設工事にも事業展開してきた。本格的な海外進出を果たしたのは、英国企業との共同企業体で 1992 年に受注した香港の青馬大橋で、中央支間長 1 377 m は道路鉄道併用吊橋としては未だに世界最長である。1997 年に、ベトナム社会主義共和国の首都ハノイの郊外に三井タンロンスチールコンストラクション(MTSC)社を設立し、ハノイ・ホーチミン間南北鉄道橋架け替え工事を皮切りに、ドイモイ(刷新)政策導入以降、日本からの ODA を中心にインフラ整備が旺盛なベトナムにおける橋梁を中心とした鋼構造物の社会インフラ整備に積極的に参画している。

以下に主だったプロジェクトとして、世界最大の道路鉄道併用吊橋の青馬大橋、日本の無償資金協力で建設された複合エクストラード橋の日本・パラオ友好橋及び円借款事業として第三期工事が進められている南北ベトナム鉄道橋架け替え工事を紹介する。

3.2.2 建設事例

(1) 青馬大橋(香港)

本橋は 1998 年に開港した香港のチェクラブコク新空港へ



写真 14 青馬大橋

のアクセスルート上にあり、九龍地区と空港のあるランタウ島間の海峡上に位置する橋長 2 160 m の道路鉄道併用形式の吊橋である。中央支間長は 1 377 m であり、この形式の橋梁としては世界最大の吊橋である(写真 14)。

特長として、二層構造の補剛トラス桁を有する吊橋で、上層は片側 3 車線の高速自動車道、下層は複線の高速鉄道とその左右に片側 1 車線の非常用道路から成り、補剛トラスの上下弦材と鋼床版を一体化させた合理的な構造になっている。

耐風対策として、トラス側面の上下弦材間にフェアリングプレートを設置するとともに、補剛桁への風圧を減ずるために、フェアリング先端部に三角形のスプリッタービームを設置している。また、フラッター防止のために、補剛桁中央部には上下に開口部を設けている。

57 000 トンの補剛桁は、日本と英国の橋梁製作工場パネル状に製造した部材を中国広東省の川沿いに造成された広さ 48 万 m² の地組立ヤードで組み立て、10 000 トン台船に搭載して香港の架橋現地まで輸送した。

施工では、補剛桁の架設に大ブロック直下吊り工法を採用し、大幅な工期短縮を図っている(写真 15)。

主要目を以下に示す。

形式・種別：8 径間連続補剛桁吊橋、道路鉄道併用橋

ケーブル支間：455 m+1 377 m+300 m

補剛桁支間：63 m+76.5 m+355.5 m+1 377 m+4@72 m

アンカレッジ：RC 製重力式

主塔：RC 製 4 層ラーメン

(2) 日本・パラオ友好橋

本橋は、パラオ共和国の建設当時首都のあったコロール島と空港等の重要施設の多いバベルダオブ島を結ぶ橋梁で、2002 年に日本の無償資金協力により建設された 3 径間連続鋼コンクリート複合エクストラード橋である。当社は元請業者の鹿島建設株式会社より、鋼桁の製作、輸送及び架設工事を受注した。

鋼桁の製作は、ベトナムの MTSC 社でパネル製作、中国広州市の造船所で大組立を行い、現地パラオまでは 7 000 トン台船により海上輸送を行った。

鋼桁部の外面防錆は、亜鉛・アルミニウム疑似合金溶射上にフッ素樹脂塗装の重防食仕様とした。

補剛桁の架設は、海峡部という地形条件を利用し、台船上からの直下吊り工法とした。4 m の接合ブロックを PC 桁上に設置したエレクションノーズを用いて架設し、PC 桁部と剛結した後、再度エレクションノーズを盛りかえ 77 m の併合ブロックを架設した(写真 16)。

鋼桁の現場継手には、鋼床版及びウリブが現場溶接、ウェブ、下フランジは高力ボルトによる摩擦接合とした。

桁断面形状は、PC 桁部に外形寸法を合わせているため幅員に対して桁高が高い、いわゆる鈍い断面(Bluff Body)であることから、架設時の耐風安定性と制振対策を検討するために風洞実験を行い、その結果を基に架設時の耐風対策を実施した。

主要目を以下に示す。

形式：3 径間連続複合エクストラード橋

橋長：412.7 m



写真 15 青馬大橋の架設状況



写真 18 MTSC 社における仮組立状況



写真 16 日本・パラオ友好橋の架設状況



写真 19 Do Len 橋の架設状況(第三期工事の1B工区)



写真 17 第一期工事の Truong Xuan 橋



写真 20 Ke Net 橋の横取り架設状況(第三期工事の1C工区)

支間割：82 m+247 m+82 m

鋼桁長：中央支間 247 m の内 85 m

(3)ベトナム南北鉄道橋の架け替え工事

ハノイとホーチミン間はフランス植民地時代に造られた 1730 km の全線非電化、軌間 1000 mm の狭軌道の単線鉄道で、途中数多くの河川を渡る橋梁が存在している。長らく戦禍にさらされ荒廃した橋梁は、その多くが応急復旧状態で運用されており老朽化も著しく、安全性向上と運行時間短縮を目的として日本の円借款事業での改修工事が実施されてい

る。1995～2000年に第一期工事として最も緊急を要する9橋、2001～2003年に第二期として10橋の改修工事が実施された。2009年からは第三期の44橋の改修が順次進められ、当社は第一期・第二工区の7橋の改修工事に参画したのを皮切りに、現在は第三期の1A、1B、1C及び4工区の計11橋の改修工事に参画している。

第一期工事は、現在の軌道位置で、下部工は旧橋台・橋脚

を補強し、上部工は旧橋桁の長さに合わせて新しく設計された(写真17)。形式は下路式の単純ワーレントラスで、ハノイ郊外のMTSC社で製作した(写真18)。支間長は44.9～61.3mまでの5種類で、橋の架け替えは上部工1スパン毎に列車間合い(約5時間)内に架け替えた。新設桁は旧橋の下流側に構築したベント上に架設し、列車間合いに横取り工法にて所定の位置に据え付けたが、一部の橋梁では台船架設工法も併用した。

現在施工中の第三期工事は、現在の軌道位置に架け替える橋梁と旧橋の上流側か下流側に位置を変えて別軌道の位置に架け替える橋梁が混在している(写真19, 写真20)。第二期工事以降は上部工、下部工共に新設構造の設計となっている。大部分の橋梁は支間長が43～66.4mの下路式ワーレントラスであるが、都市部の橋梁では、地元市当局からの要請により、景観上の配慮からタイドアーチ橋が採用されており、2015年の完成を目指して鋭意工事を進めている。

〔問い合わせ先〕

エンジニアリング事業本部 第二設計部

TEL 043-351-9266 釜井 英行

4. 鋼製橋梁建設

4.1 沿革と開発動向

当社の鋼橋建設事業は60年以上にわたる歴史があり、一般的な形式であるプレートガーダを始め、トラス・アーチ、斜張橋、吊橋などの全ての橋梁形式に及び実績を保有している。1970年代の本州四国連絡橋建設では、長大橋の構造解析技術、風洞試験による耐風制振技術、設計・製作・架設技術の開発が行われた¹⁾。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なども建設している。

社会基盤整備の一つである橋梁事業について、発注者である国民(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(以下、LCC)概念の導入、仕様規定から性能規定への基準変更などの市場変化に対応する技術力が求められている。

一方、我が国の橋梁は1965～1975年の間に集中的に建設

され、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。長寿命化による維持管理コストの低減や平準化のため、LCC関連及び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。

公共工事における品質確保のために、価格のみでなく技術提案力の評価への市場変化に対応するため、技術開発や製品開発の要求はますます増大していく。

ここでは技術紹介を中心として、鋼とコンクリートの複合構造物の最近の技術開発及び大規模改修工事に関する保全施工技術について示す²⁾。

4.2 製品紹介

当社の吊橋系の長大橋梁である本州四国連絡橋の吊橋では大鳴門橋、下津井瀬戸大橋(写真21)、来島大橋、明石大橋の主塔や補剛桁工事があり、香港の青馬大橋工事も施工している。下部工工事中では南北備讃大橋の4A橋台や明石大橋の塔ケーソン工事を施工した。斜張橋では安治川橋梁、淀川橋梁、さめき府中湖橋、名港西大橋、幸魂橋などがある。

アーチ系では泉大津大橋、新木津川大橋、夢舞大橋(写真22)などを施工した。また、都市内高架橋、鋼製橋脚、高速道路高架橋では多層のラーメン構造などを構築している。

阪神・淡路大震災では被災した橋梁群の再建の一翼を担い、その後の耐震性向上工事にも参画している。また、最近の大規模保全工事では新宿高架橋や駒留陸橋など、厳しい施工条件の中、安全に架け替えを完了した。

4.3 技術紹介

LCC概念から高耐久性が評価される鋼・コンクリート複合構造の技術開発、及び都市内における厳しい施工条件での大規模架替工事の保全施工技術について示す。

4.3.1 耐久性の高い鋼・コンクリートの複合橋梁構造の技術開発

(1) 鋼・コンクリート合成床版“MESLAB”

鋼橋における鉄筋コンクリート床版は、1965年頃に交通量の増大等により損傷が発生した。その対応として、設計・施工法の見直しや、高耐久性床版を有する橋梁形式の採用が



写真21 下津井瀬戸大橋



写真22 夢舞大橋

進み、床版の長支間化が可能となった。

このような状況下、開発した鋼・コンクリート合成床版“MESLAB”の特長は、長支間床版の実現、床版厚の低減による死荷重の減少、斜橋や曲線桁への対応、工事安全性の確保、省力化による工期短縮、さらに、維持管理面ではLCCの低減やコンクリート剥落の第三者被害対策などである。図1に示す“MESLAB”は、型枠補剛材にCT形鋼を用い、ずれ止めにL形鋼ジベルを採用している。技術開発としては床版の疲労耐久性の確認を中心に、連続合成桁における適用性、構造の更なる合理化などを進めた。

輪荷重走行試験による構造全体として包括的な疲労耐久性の確認を実施し、市場への早期導入に注力した³⁾。疲労設計や構造の改良に向けては、部材の疲労強度を明確にし、着目部に発生する応力度などの情報から疲労照査の検討を進めている。現在22橋、63,000m²の実績がある。

(2) 低コスト・低桁高の中小支間複合橋梁“MDブリッジ”

支間長が40m程度以下の中小支間橋梁で、河川改修における橋梁の架け替えや新規架設または市街地の高架橋などでは、桁高制限を受けることが多く、低桁高の橋梁形式が用いられている。しかしながら、これまでの低桁高の橋梁形式は、特別な製作方法や材料を用いたものが多く、一般的なプレストレストコンクリート橋や鋼橋と比較してコストが高くなるという課題があった。

そこで、当社は鋼とコンクリートのそれぞれの材料及び部材の利点を活かした桁断面を考案し、低桁高で経済的な

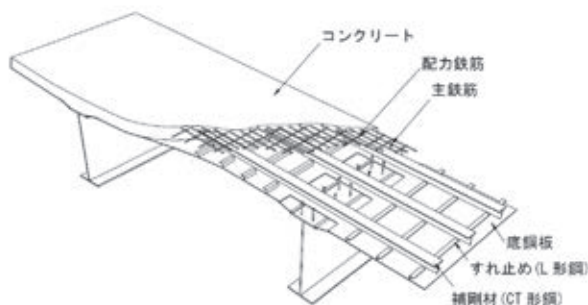


図1 “MESLAB”の概要



写真23 町田橋

複合橋梁“MDブリッジ”をドーピー建設工業と共同開発した。開発に当たっては、各種の性能確認試験や有限要素解析(FEA)を行って、安全性、使用性及び耐久性の確認や設計方法の妥当性を検証した⁴⁾。

現在、2010年に竣工した町田橋(写真23)を含めて4橋の施工実績を有している。また、“MDブリッジ”はNETIS(国土交通省新技術情報提供システム)に登録されている(登録番号:KT-070099-A)。

(3) コンクリート合成鋼床版桁橋

都市高速や湾岸地域などの重交通路線において、鋼床版桁橋の疲労損傷が顕在化している。鋼床版のデッキプレートを補剛している縦リブと横リブの交差部などにおいて疲労き裂が生じている。また最近では、デッキプレートを貫通するき裂も一部で生じており、疲労耐久性の高い新しい橋梁形式の実現が望まれている。

この目的を達成できる構造として、デッキプレート上面に縦リブを配し、鉄筋コンクリートと合成させた“コンクリート合成鋼床版桁橋”を開発した(図2)。この縦リブには孔あき鋼板ジベルを採用しており、コンクリート打込み時の補剛材であるとともに、硬化後の鋼とコンクリートのずれ止めの役割を果たしている。縦リブと横リブをデッキプレート上下面に分離することは、交差溶接部の疲労の問題を解消するだけではなく、製作を大幅に簡素化できる構造となる。この構造を実現させるために、性能確認試験と数値解析による検討を行った⁵⁾。

本形式について、当社は特許の共同出願人である首都高速道路株式会社と技術情報の共有を進めている。

4.3.2 保全施工技術

当社では、新設橋梁のみならず、近年重要性が高まっている各種橋梁保全工事にも積極的に取り組んでいる。保全工事には、旧来の性能を回復させる補修工事、旧来以上の性能を持たせる補強工事及び橋梁全体の架替工事がある。ここでは、当社で実施した大規模な架替工事である新宿高架橋と駒留陸橋(東京)の事例について紹介する。保全事業では施工技術を中心とした総合力が必要になる。

(1) 新宿高架橋の現状調査設計と安全対策の例⁶⁾

分割施工をする場合、一時的に構造系が変化するため3次

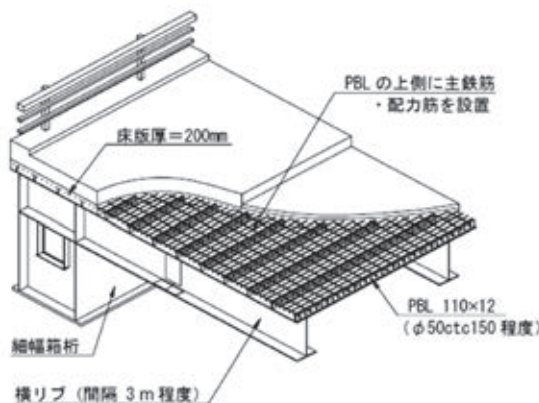


図2 コンクリート合成鋼床版桁橋の概要



写真 24 ベントを使用した防護構造



(a)門型クレーン

元骨組み解析，FEAなどで構造計算を実施する．しかし古い土木構造物は，設計計算書，図面，補修履歴が残っていないことが多く，また現状も劣化が進行し現状の状態把握が必須である．そこで現況を入念に調査し，結果を解析時の入力条件に反映した．

一方，構造物崩壊による第三者への被害を防止するため，フェールセーフとしての支持機構，防護構造を設置する必要があった．当社の都市部工事での実績を基に，自社機材を使用して，安全で快適な作業空間を構築した(写真 24)．

(2) 駒留陸橋(東京)の架設機材の例

都市部の工事においては作業ヤードが制限されるため，大型重機を使用できない．安全性，効率性を考慮してこれに替わる架設機材を工事条件毎に設計した．この一例を写真 25 に示す．

また，交通渋滞，騒音対策として，交通量調査に基づいた作業工程の調整，昼夜間作業の選定などを実施した．

〔問い合わせ先〕

三井造船鉄構エンジニアリング株式会社
 技術本部 技術開発部
 TEL 043 - 351 - 9217 小林 潔

5. プレストレストコンクリート橋(PC 橋)建設

5.1 PC 橋の動向

プレストレストコンクリートとは，鋼材を緊張して，その応力をコンクリートに与え，圧縮力を導入する考えであるが，1900 年代初頭の技術では，引張り強度が 350 N/mm² 程度の鋼材しかなく，さらにコンクリートのクリープ・乾燥収縮等の性状も解明されていなかった．そのため，緊張力を与えたとしても，プレストレス力は減少し一定に保持することができなかった．

フレシネー (Eugène Freyssinet) らは，これらの諸問題を解明し高張力の鋼材や高強度コンクリートを PC 橋に用いるための技術を総合的に研究し，PC 技術を確立させた．

PC 橋は，フレシネーらの原理により，1936 年に世界初のアウエ橋が施工され，日本では，1951 年に長生橋が施工さ



(b)架設桁

写真 25 駒留陸橋の架設桁機材

れた．

PC 橋の構造形式及び架設工法について積極的に技術開発が進められ，コスト縮減，省力化，耐久性の向上，耐震性の向上などの近年 PC 橋に対するニーズは多様性をもたらし，選択の幅を広げており，以下に示す構造などは，めざましい発展を遂げている．

- 多径間連続構造
- 複合構造
- プレキャストセグメント構造
- PRC 構造
- 外ケーブル構造
- エクストラードロード橋

このような状況の中，ドーピー建設工業が近年施工を行った多径間連続構造，複合構造及びプレキャストセグメント構造の PC 橋を紹介する．

5.2 多径間連続 PC 橋(片持ち架設工法)

5.2.1 特長

多径間連続桁橋は，長支間を有する PC 橋に採用される形式であるが，ゴム支承を用いた反力分散方式等により耐震性を向上させることができ，伸縮装置が少ないために走行性が良く維持管理も容易となる．

片持ち架設工法は，長大橋を桁下空間に左右されることなく架設するとき有利な工法であり，連続箱桁橋や連続ラーメン橋などに多く採用されている．

5.2.2 望郷橋

望郷橋は、北海道石狩郡当別町青山に当別ダム事業に伴う道道当別浜益港線の付替工事において、ダム湖を横断する橋梁として計画された橋長 490 m の PC6 径間連続箱桁橋である(写真 26, 写真 27)⁷⁾。

橋梁概要を以下に示す。

構造形式：PC6 径間連続箱桁橋

橋 長：490.000 m

支 間 長：54.000 m+4@95.000 m+54.000 m

有効幅員：10.500 m(車道 8.000 m+ 歩道 2.500 m)

5.3 波形鋼板ウェブ PC 橋

5.3.1 特長

波形鋼板ウェブ PC 橋とは、図 3 に示すように、上床版と下床版にコンクリートを、ウェブ部材に波形鋼板を用いた合成構造である。本橋梁形式は、一般的な PC 橋に比べて自重を 25% 程度軽減できるだけでなく、プレストレス導入効果についても優れており、PC 構造として合理的な合成構造と言える。波形鋼板の特長は、直交する 2 方向への力の伝達特性が全く異なる点にある。すなわち、面外方向の荷重に対しては、直交異方性板として十分な抵抗能力がある(凸面となるため剛性が高くなる)。一方、板の面内に作用する鉛直せん断力に対しては十分な伝達特性があるが、橋軸方向の軸方向力あるいは曲げに対しては工学的に無視できる程度の抵抗

しかないのが特長である。

5.3.2 谷津川橋

谷津川橋は、新東名高速道路の沼津 SA ~ 御殿場 JCT 間に位置し、静岡県裾野市千福地内に建設された橋梁である⁸⁾。橋梁形式は、上り線が橋長 383.5 m、最大支間 135.0 m の 5 径間連続波形鋼板ウェブ箱桁橋(ストラット付き床版)、下り線が橋長 406.0 m、最大支間 131.5 m の 5 径間連続波形鋼板ウェブ箱桁橋(ストラット付き床版)である。なお、中央支間長 135.0 m は、連続桁形式での波形鋼板ウェブ橋としては現時点での世界最長の支間長となる(写真 28)。

橋梁概要を以下に示す。

橋梁形式：PC5 径間連続波形鋼板ウェブ箱桁橋

橋 長：383.500 m(上り線), 406.000 m(下り線)

支 間 長：43.800+91.000+135.000+74.000+37.300 m(上り線)

34.800+81.000+131.500+95.500+60.800 m(下り線)

有効幅員：16.500 m, 平面線形：R=4000 m

最大脚高：44.500 m(上り線), 44.000 m(下り線)

5.4 プレキャストセグメント橋

5.4.1 特長

プレキャストセグメント工法とは、あらかじめ工場や現場ヤードで分割して製作したプレキャスト部材(セグメント)を架橋地点で接合し、プレストレスを与えて一体化する工法である。プレキャストセグメント工法による箱桁橋は、工事の大規模化、現場作業の工期短縮が要求される場合などに採



写真 26 望郷橋の張出し施工状況

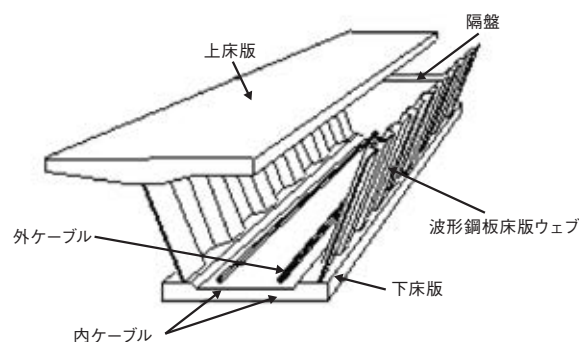


図 3 波形鋼板ウェブ PC 橋の概要



写真 27 望郷橋



写真 28 谷津川橋

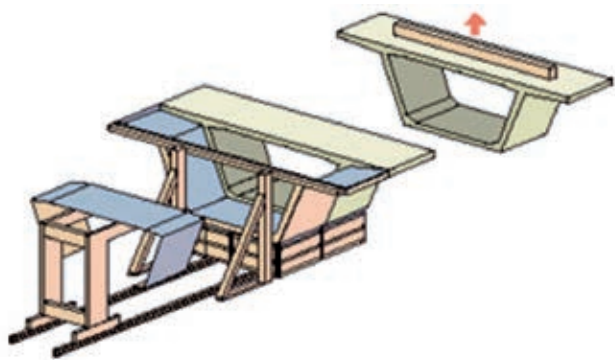


図4 ショートライン方式

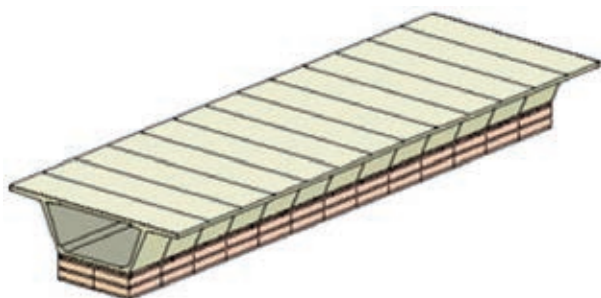


図5 ロングライン方式

用される。

セグメントの製作方法は、ショートライン方式とロングライン方式に大別される。ショートライン方式とは、1セグメント分の底型枠を敷設してセグメントを一つずつ製作する方法である(図4)。一般的には、すでに製作されたセグメントのコンクリート端面を型枠として、隣接したセグメントを製作するマッチキャスト方式と組み合わせられて製作される。一方、ロングライン方式とは、1径間分または2分の1径間分の固定式製作台を用意し、型枠を移動しながらすべてのセグメントを連続的に製作する方法である(図5)。

5.4.2 東北縦貫線

東北縦貫線は、東海道本線東京駅～宇都宮・高崎・常磐線上野駅間を複線軌道で結び、相互直通運転を可能とするものである。この東北縦貫線工事のうち、神田駅付近に架設される17径間、延長約500mのPC桁をロングライン・マッチキャスト工法により工場製作を行った(写真29、写真30¹⁾)。なお、端部セグメントは橋軸直角方向に2分割している。

工事概要を以下に示す。

- 発注者：東日本旅客鉄道株式会社 東京工事事務所
- 構造形式：複線内外ケーブル併用 PC一室箱形断面単純桁
- 製作場所：群馬県安中市
- 運搬場所：東京都中央区
- 工事内容：PC桁の製作及び運搬
(セグメント製作数 17橋 249BL)

〔問い合わせ先〕

- ドーピー建設工業株式会社 技術部
- TEL 03-3918-6176 立神 久雄



写真29 端部セグメントの仮置き状況



写真30 標準セグメントの仮置き状況

6. 沿岸設備

6.1 PCハイブリッド製ポンツーン(浮棧橋・浮消波堤)

6.1.1 製品の構造と沿革

沿岸設備として、三井造船鉄構エンジニアリングの主力製品である、PCハイブリッド製ポンツーン(浮棧橋・浮消波堤)の構造と沿革について示す。

PCハイブリッドとは、内部材に高強度な鋼材で骨組を構築し、外郭に耐食性に優れたPC(プレストレストコンクリート)を複合することにより、強靱で軽量かつ耐久性に富み長大化へも対応できる構造形式であり、国内では三井造船がポンツーンとして製品化を実現した(図6)。

1974年に、プラントバージ等の大型浮体を目的にコンクリート製浮体の開発に着手し、実験バージ建造を経て1979年に海上保安庁へ第1号の浮棧橋を納入した。

1981年にポンツーン型浮消波堤の開発に着手し、三井造船昭島研究所での水槽実験を実施し、1983年に運輸省へ初の浮消波堤を納入し、その後ODAによる海外での初実績や漁港事業で初めての浮防波堤を受注した。

1990年代に入ると、船舶への安全な乗り降りや荷物の容易な荷降ろしなど利便性の高さから、特に漁港において浮棧橋の採用が全国的に広がり、長さ100mを超えるものや日

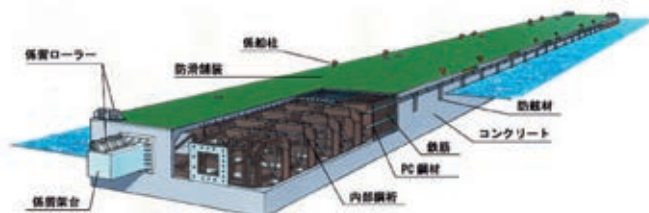


図6 PCハイブリッド製ポンツーンの構造

本初の浮体式道路，上屋を搭載しバリアフリーに対応した機能など，大型化・高付加価値を有する浮棧橋の受注も増えた。

2000年以降では，国土交通省向けに災害時の海上支援に使用される浮体式防災基地や，海上保安庁向けに12基同時に製作した防災型浮棧橋など，現在800基を超える多彩な実績を持ち，製作実績数において日本一のシェアを誇っている。

6.1.2 今後の取り組み

これまでに蓄積した技術や経験を活かして，リニューアル技術のメニュー拡充にも対応し，既存浮棧橋の劣化診断から機能改善や延命化の方法，バリューアップによる設備の高度化提案なども行い，市場の拡大につなげていく。

さらに，地震に強い浮体構造の特性から，避難フロートとして活用する提案や，東日本大震災で津波を受けたポンツーンの状態を調査し，数値解析や水槽実験による荷重や挙動を比較検証し，より高機能を有するポンツーンの技術開発も進めている。

6.1.3 アンカーチェーン係留方式の事例

工事名称：福良港浮棧橋製作工事
 発注者：兵庫県淡路県民局
 工事場所：兵庫県南あわじ市福良(写真31)
 工期：2011年3月～2012年3月
 長さ×幅×高さ：L60×W20×H2.9m

主な特長を以下に示す。

- ・本浮棧橋は利用荷重や波高など本来の設計条件に加え，津波水位や流速を考慮して設計した。
- ・浮体内部には，倉庫として利用するためのハッチや階段，通風筒を配備しており，災害時の緊急物資等の格納庫として使用する。
- ・津波来襲時に外壁コンクリートが損傷・浸水しても安定性能を満足する区画割り二重隔壁構造になっている。

6.1.4 杭係留方式の事例

工事名称：平成22年度広域第1-2号佐賀関漁港広域漁港整備工事
 発注者：大分県(漁港漁村整備課)
 工事場所：大分県佐賀関町佐賀関漁港(写真32)



写真31 福良港浮棧橋

工期：2010年12月～2012年3月
 長さ×幅×高さ：L55×B8×W3.0m×2函

主な特長を以下に示す。

- ・関アジ・関サバを入れるために，5m四方の生け簀9基/函が浮体と一体となった構造になっている。生け簀から揚げた魚は浮体上で血抜きした後，陸上の荷崩き所へ直ぐ搬送することが可能である。
- ・浮体上で発生した汚水が海上へ流れ出ないように浮体デッキ面の長手方向に排水溝を設置し，各浮体内部に設置された排水槽に溜め，ポンプで陸上の汚水浄化施設へ送られる仕組みになっている。
- ・浮体に作用する外力が大きいため，係留装置にはフェリー接岸用岸壁などで使用される受衝版付防舷材を採用している。
- ・品質保持のため，直射日光を避ける上屋を設置している。
- ・荒天時には連絡橋を吊り上げて，浮体と縁を切るための調整塔を設置している。

6.2 海洋構造物

ポンツーン以外の沿岸設備として，ハイブリッドケーソンとジャケットについて紹介する。

ハイブリッドケーソンは鉄筋コンクリートと鋼材の合成構造で，護岸や防波堤の構造物として採用され，耐久性の向上や工費縮減を図ることができる。

ジャケットは鋼管トラスを鋼管杭で海底に固定した構造形式であり，防波堤以外に護岸や棧橋，橋梁基礎などにも用いられ，軟弱地盤や大水深域での築造に適し，耐震性にも優れている。

三井造船が保有する工場敷地やドック，多様な屋内外設備の活用と鋼材加工や溶接・組立に対する高い技術力と生産能力を活かし，これらの海洋構造物にも取り組んでいる。

6.2.1 ハイブリッドケーソン(護岸)の事例

工事名称：浮島2期廃棄物埋立B護岸ケーソンその3工事
 発注者：川崎市港湾局
 工事場所：神奈川県川崎市川崎港浮島地区



写真32 佐賀関漁港浮棧橋(2函の浮棧橋を岸壁に並行配置)

工事範囲 : B 護岸ケーソン 5 函の製作(写真 33)
 工期 : 2009 年 7 月 ~ 2010 年 7 月
 長さ × 幅 × 高さ : L20 × W6 × H15 m × 5 函
 ケーソン重量 : 1 444 トン, 鋼殻重量 : 62 トン(1 函当たり)

主な特長を以下に示す .

- ・ケーソンを海上に並べて囲いをつくり, 囲いの中に一般廃棄物や建設発生土などを受け入れる最終処分地として



写真 33 浮島向けケーソン

使用する .

- ・従来の鉄筋コンクリート製に比べ軽量化を実現した .

6.2.2 ハイブリッドケーソン(防波堤)の事例

工事名称 : 釜石港湾口防波堤(災害復旧)本体工事
 発注者 : 東北地方整備局釜石港湾事務所
 工事場所 : 岩手県釜石市釜石港湾口地区
 工事範囲 : ハイブリッドケーソン 2 函の製作
 (写真 34, 写真 35)

工期 : 2012 年 3 月 ~ 2013 年 4 月

長さ × 幅 × 高さ : L50 × W20.3 × H19.5 m × 2 函

ケーソン重量 : 7 603 トン, 鋼殻重量 : 835 トン(1 函当たり)

主な特長を以下に示す .

- ・東日本大震災で被害を受けた防波堤復旧工事の一部として, 短工期での製作対応かつ長大化を実現した .
- ・コンクリート打設量が多いことから, 発熱による温度ひび割れ抑止のため, 温度ひび割れ解析やコンクリート配合を工夫し, 自社開発の養生マットを使用した .

6.2.3 鋼製ジャケット(防波堤)の事例

工事名称 : 重要港湾尾道糸崎港 港湾修築工事
 (松浜地区 2 工区)

発注者 : 広島県東部建設事務所三原支所

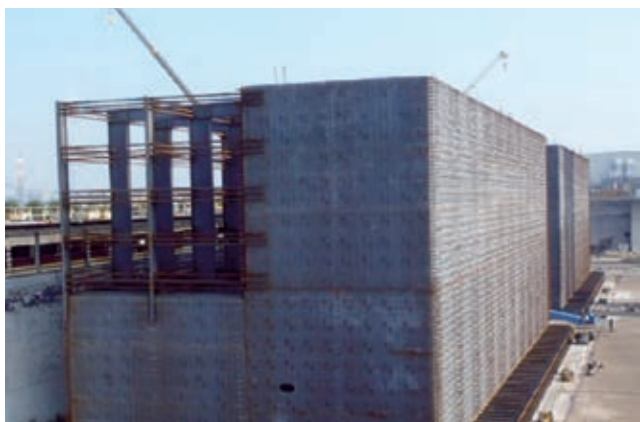


写真 34 釜石港向けケーソン(鋼殻製作完成)



写真 36 尾道糸崎港向けジャケット(台船に搭載している状況)



写真 35 釜石港向けケーソン



写真 37 羽田空港向けジャケット上部(ブロック製作状況)

工事場所 : 広島県尾道市系崎港松浜地区
 工事範囲 : J2 ~ J4 ジャケット 3 基の製作
 (写真 36)
 工期 : 2011 年 9 月 ~ 2012 年 3 月
 長さ × 幅 × 高さ : L23.5 × W15.45 × H22.4 m × 3 基
 製作鋼重 : 98 トン(1 基当たり)

主な特長を以下に示す。

- ・鋼管接合部は曲面形状のため、パイプコースターによる切断精度確保や溶接部の施工方法と管理面で工夫した。
- ・ジャケット前面に防波版が取り付けられ、海中部に打設された鋼管杭と結合し、防波堤として使用する。

6.2.4 鋼製ジャケット(栈橋)の事例

工事名称 : 東京国際空港 D 滑走路栈橋
 上部ジャケット製作工事
 発注者 : 新日鉄エンジニアリング株式会社
 工事場所 : 東京都大田区羽田空港 D 滑走路
 工事範囲 : 上部ブロック 10 基の製作(写真 37)
 工期 : 2007 年 12 月 ~ 2009 年 5 月
 長さ × 幅 × 高さ : L63 × W45 × H2 ~ 2.5 m × 10 基
 製作鋼重 : 8 054 トン(10 基合計)

主な特長を以下に示す。

- ・羽田空港 D 滑走路の上部栈橋として使用し、100 年の設計供用期間を想定した疲労耐久性に対して、高水準の施工管理と品質管理を実施した。
- ・腐食条件の厳しい飛沫滞の鋼管部には、耐海水性に優れたステンレス鋼を巻きつける特殊な防食工法を採用した。

[問い合わせ先]

三井造船鉄構エンジニアリング株式会社 営業本部
 TEL 043 - 351 - 9215 篠永 卓也

7. 社会インフラの維持管理

7.1 超音波法とレーダ法による検査技術

三造試験センターは、三井造船グループ会社の各種試験・検査を担う機能分担会社であり、非破壊検査や計測業務、金

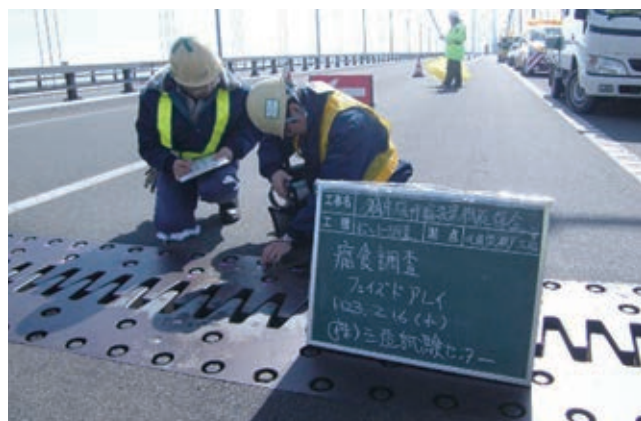


写真 38 PA-UT 法による鋼床版伸縮装置セットボルトの腐食調査

属組織試験と化学試験をそろえて 総合試験・検査業務を行っている。非破壊検査業務を取り巻く環境として、社会インフラの老朽化問題への関心の高まりが挙げられる。インフラの老朽化対策の必要性が求められている中で、国土交通省は平成 24 年度から 28 年度までの第 3 次社会資本整備重点計画を策定し、「社会資本の的確な維持管理・更新」の重点目標を設定した。当社においてもこの施策に適切に対応すべく、超音波法とレーダ法による検査技術の提案を進めており、また、その技術を用いて道路、橋梁、トンネルなどの社会インフラ設備の試験及び検査に積極的に取り組んでいる。

超音波法とレーダ法に関する検査技術を以下に紹介する。

7.1.1 超音波法による検査技術

超音波法は、試験体の表面に探触子を当てて超音波パルスを入射させ、試験体の底面やキズなどにより反射した超音波パルスを受信し、その伝播時間から反射源の位置を求め、試験体の内部状況を非破壊的に検査するものである。

超音波法の原理を用いて、鋼部材の腐食状況を調査することを目的とした検査手法について示す。

(1) ボルトの腐食調査

供用後 24 年以上が経過した瀬戸大橋のつり橋 3 橋の鋼床版伸縮装置において、セットボルト部廻りの腐食等が報告されるようになった。これに対し、開放調査を実施することなく、短時間に非破壊でボルトの腐食状況を確認するため、フェイズドアレイ (PA-UT) 法を用いた超音波探傷試験を実施した。これは、微小な超音波振動子を多数配列したアレイ探触子からタイミングを変えて発信した超音波を合成した主ビームにより特定の方向に送信し、所定の深さに集束させ内部の状況を画像として出力する手法である。現在、本州四国連絡橋で多くの実績を蓄積している(写真 38)。

検査技術の特長を以下に示す。

- ・医療用のエコー検査のように、検査対象物の内部を映像化し、欠陥検出を行うことが可能である。
- ・従来型の超音波探傷器で広い角度を検査する場合には、探触子を角度ごとに用意する必要があるが、PA-UT 法では一つのフェイズドアレイ用探触子で広い視野角を検査することが可能である。
- ・複雑な形状の検査にも柔軟に対応することが可能である。
- ・フェイズドアレイ出力画像より、およその欠陥の位置や高さの計測が可能である。

(2) 金属柱等の地際部の腐食調査

照明柱などの金属柱等の地際部の腐食や破断事故が報告されているが、この調査に対し、超音波探傷試験の表面 SH (Shear Horizontal Wave) 波法を用いた。表面 SH 波は、振動子は横方向に振動し、鋼材中に入射してからも伝播方向に対して直角の振動であり、探傷面に対して平行に振動する超音波である(図 7)。

検査技術の特長を以下に示す。

- ・表面近傍の割れ・腐食などの検出が可能である。
- ・反射の時にモード変換が発生しないため、波形読取りの誤認が避けられる。
- ・調査対象の範囲は約 1m まで可能である。

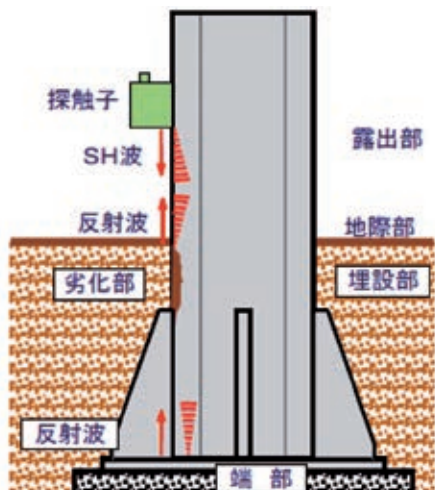


図7 表面SH波法による地際部の腐食調査(メーカー資料より引用)

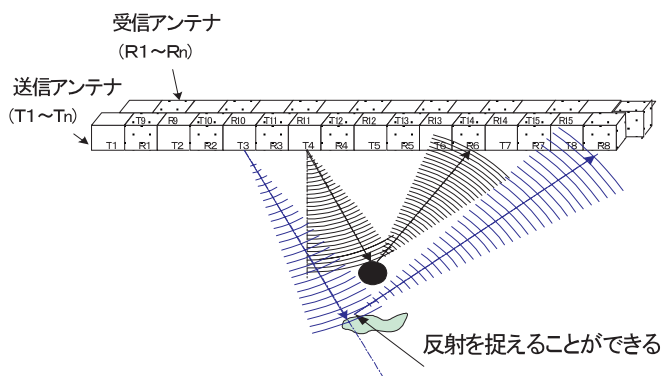


図8 マルチパッシブアレイレーダ装置の測定概念

7.1.2 レーダ法による検査技術

電磁波を用いたレーダ法は、各種の周波数帯域の電磁波を利用することにより、地下埋設物探査及び地下水位の探知などに実績を上げている。その原理は、電磁波をアンテナから探査対象物に発信すると、電気的性質の異なる物質、例えば鉄筋や空洞等との境界面で反射され、再び対象物表面に出て受信アンテナに受信されるが、その送受信に至るまでの時間から、反射物体の位置その他の情報を得るものである。

三井造船が開発したマルチパッシブアレイレーダ装置は、アレイ状に配列された多数個のアンテナから電磁波をコンクリート内部に透過させ、コンクリートと電気的性質の違う物体からの反射波を捉え、これを解析することで、コンクリート中の鉄筋等、その他の物質を3次元画像で表示することができる装置である。

マルチパッシブアレイレーダ装置の測定概念を図8に示す。多数の送信アンテナエレメントから発信された電波は、電気的性質の違う面で反射され、さらにいくつものパスを通り受信アンテナエレメントで受信される。この信号を解析することにより、反射物の位置関係を特定でき、3次元的な画像を得ることが可能となる。

次に、マルチパッシブアレイレーダ装置を用いて、社会



写真39 マルチパッシブアレイレーダ装置による調査状況

インフラの各種設備に対し、当社が実施している調査内容について紹介する。このうち、PC橋床版内ケーブルのグラウト充填調査及びトンネル覆工調査は、三井造船との連携で調査サービスを提供している。

(1) 配筋探査

配筋探査の主要な目的は以下の2点である。

鉄筋コンクリート構造物などで鉄筋が図面どおり配筋されていることを確認する。

コンクリート構造物に対しコア抜き等の工事を施す場合、鉄筋の切断防止のために、配筋状態を非破壊で認識する。

コンクリート構造物の内部状況について3次元可視化調査を実施し、従来レーダでは検知できなかった鉄筋コンクリート中のジャンカ、空洞、ひび割れや二重配筋の状況も探査可能とした(写真39)。

検査技術の特長を以下に示す。

- ・1回の計測で複数測線データを得ることができる。
- ・計測結果は3次元立体画像で得られるため、損傷の把握が容易である。
- ・分解能が優れており、従来のレーダでは得られなかった小さな損傷の検知も可能である。

(2) PC橋のシース管内のグラウト充填調査

PC橋のシース内のグラウトが未充填である場合、腐食等の原因でPC鋼材の耐久性に問題が生じ、構造物の耐荷力が低下する恐れがある。このため、グラウトの充填状況を正確に把握するため、格子状に配筋された鉄筋の下側に位置する対象物も3次元立体画像で得ることが可能なマルチパッシブアレイレーダ装置を用い、調査を実施している(写真40)。

検査技術の特長を以下に示す。

- ・鉄筋の下側に位置するグラウト位置を3次元立体画像で表示できる。
- ・1回の横断計測で、縦断方向のグラウト全数の調査ができる。
- ・グラウト充填の状態を可視化して容易に判断できる。

(3) トンネル覆工調査

近年、コンクリート構造物の剥落、崩壊事故が問題となっていることを契機に、トンネルコンクリート覆工体でも抜本的な健全性評価法の見直しがなされた。当社でもこれに対応するため、マルチパッシブアレイレーダ技術を用いて検査



写真 40 グラウト充填確認調査状況



写真 41 トンネル覆工調査

を実施している。本技術は、高い検知精度を持ち、欠陥部の3次元映像により欠陥状況を正確に認識できる非破壊検査法である(写真41)。

検査技術の特長を以下に示す。

- ・トンネル内面の曲率に合わせたアンテナ形状から、複数測線データを得ることができる。
- ・高精度の探査性能から、空洞・ジャンカの検出が3次元立体画像で表示できる。
- ・ノイズなどの防止措置と耐防水性・耐久性の向上により、適用可能な対象は多くなる。

(4) 路面下空洞調査

道路の陥没は、異常気象等による道路の冠水からの路床の流出や、都市部を中心とした上下水道等の地下埋設物の老朽化・劣化等に伴う路盤、路床の吸い込みなどにより、路面下に空洞が生じることが原因となって発生する。路面下空洞調査は、路面下に発生した空洞を早期に発見することにより道路陥没事故を未然に防ぎ、安全で円滑な交通の確保に寄与することを目的としている。

三造試験センターの路面下空洞調査では、高速地中可視化技術を提供している。これは、空洞探査車で時速50kmで

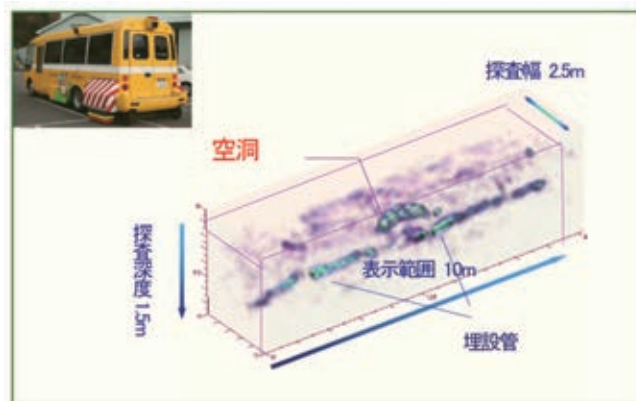


図9 空洞探査車と高速地中可視化技術による測定事例

走行しながら、地中の状況を3次元映像化する機能を付加したものであり(図9)、地方自治体からの受注など、多くの空洞調査実績を有している。

検査技術の特長を以下に示す。

- ・FMCW(周波数変調連続波: Frequency Modulated Continuous Wave)方式のシングルパスリニアアレイレーダ装置を車載することで、高速走行(時速50km)で連続した調査が可能である。
- ・1回の走行で、探査幅2.5m、探査深度1.5m、15測線の地中内部を調査することができ、作業効率が向上する。
- ・地中の空洞や埋設管をリアルにイメージ表示(3次元映像化)する機能を付加したことで、地中の状況判読が容易である。
- ・位置情報を、路面状況と左右・後方のカメラ映像及びDifferential GPS信号と同期した電子情報として記録したことにより、空洞位置の特定精度が向上している。

〔問い合わせ先〕

株式会社三造試験センター 新事業推進部

TEL 0863 - 23 - 2364 井上 勝美

7.2 補修・補強技術

高度経済成長期に作られた多くのコンクリート構造物は、建造後50年が経過し耐用年数を迎つつある。また、これら社会資本の管理手法は、財政的な制約から従来の「スクラップ&ビルド」から「維持管理・長寿命化」へと移行しつつある。高齢化したコンクリート構造物には、コンクリートのひび割れ、鉄筋腐食などの種々の劣化現象が見られ、耐久性及び耐荷力が低下しているものが多い。

補修工法には様々な種類があるが、現在一般的には断面修復工法が用いられる。断面修復工法とは、コンクリート構造物が劣化により元の断面が欠損した場合や、劣化因子を含む表面コンクリートを撤去した場合の断面修復を目的とした工法である。

また、橋梁における耐荷力の向上のための曲げ補強方法は、コンクリート部材の引張縁に鋼板や炭素繊維連続シート等の補強材を配置するか、外ケーブルによるプレストレスで補強

している例が多い。

このような状況の中で、ドーピー建設工業では、チクソトロピー性を付与した断面修復材¹⁰⁾を開発するとともに、構造物の補強用として、耐腐食抵抗性の高い炭素繊維プレート¹¹⁾を緊張材として用いるプレストレス導入法¹¹⁾を開発した。

近年施工が行なわれた事例を以下に示す。

7.2.1 炭素繊維プレート緊張材を用いた補強工法 (アウトプレート工法)

(1) 特長

アウトプレート工法は、炭素繊維プレートの両端に定着体を工場で作成した緊張材(アウトプレート)を緊張して、部材に定着ならびに接着し、コンクリート及び鋼構造物を補強する工法である¹²⁾。

炭素繊維シートをエポキシ樹脂などでコンクリート構造物に接着する補強工法は、施工性に優れた補強工法として近年多く採用されているが、炭素繊維接着工法の場合、補強後の作用荷重が対象であり、補強前に発生しているコンクリートの引張応力やひび割れは制御できない。

本工法は、炭素繊維の高強度な材料を活用し、引き抜き成形された炭素繊維プレートを直接緊張することにより各部材にプレストレスを導入する方法である(図10)。

(2) 上野跨線橋

本工事は、三重県伊賀市四十九町に位置する、一般国道25号上野跨線橋の拡幅工事と拡幅に伴う補強工事である¹³⁾。既設橋梁は、1964年に建設された橋梁であり、橋長39.680m、支間長15.600m、13.500m及び10.500m、幅員10.700mである。橋梁形式は、A1～P1及びP2～A2が単純プレテンション方式T桁橋で、P1～P2が単純プレテンション方式I桁橋である。今回の改良では、縦目地を設けて車道幅員を3.500m拡幅することが計画され、拡幅に伴う荷重増加と活荷重のTL-20荷重からB活荷重の変更により既設橋を炭素繊維プレート緊張材等で補強を行った(写真42)。また、新設される拡幅橋は、橋長41.000m、支間長11.570m+12.600m+14.570mで、橋梁形式は3径間連結プレテンション方式床版橋である。

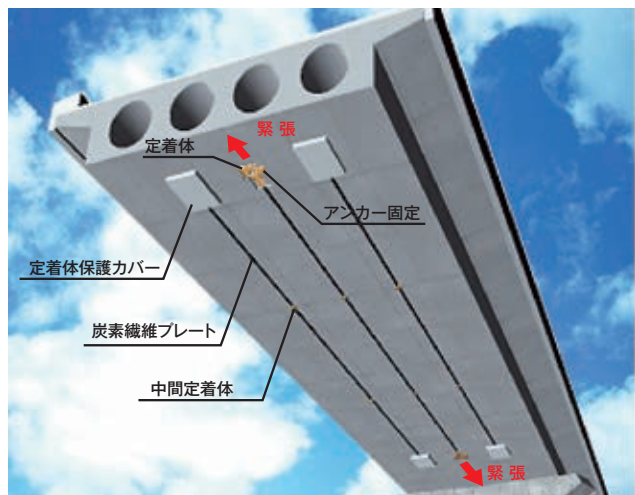


図10 アウトプレート工法概念

橋梁概要を以下に示す。

橋梁形式：既設橋

A1～P1 P2～A2単純プレテンション方式T桁橋、

P1～P2単純プレテンション方式I桁橋

拡幅橋

3径間連結プレテンション方式床版橋

橋長：既設橋 39.680m、拡幅橋 41.000m

支間長：既設橋 15.000m、13.000m、10.000m

拡幅橋 11.570m+12.600m+14.570m

有効幅員：13.000m(拡幅後) 9.500m(拡幅前)

(3) 新湊川橋

本工事は、1969年に架橋された新湊川橋(西行き)の耐震補強工事とB活荷重に対応させるための補強工事である¹⁴⁾。本橋は、橋長28.400m、支間27.660m、全幅員23.210mで、構造形式は単純鋼合成鉄桁橋である。B活荷重に対応させるための補強には、フランジ増設補強工法、外ケーブル補強工法及び炭素繊維プレート緊張材補強工法の比較が行われ、経済性及び桁下空間に及ぼす影響の小ささから、炭素繊維プレート緊張材補強工法が採用された。鋼主桁の補強には、全主桁7本に、容量360kNの炭素繊維プレート緊張材を2層設置して補強が行われた(写真43)。

橋梁概要を以下に示す。

橋梁形式：単純鋼合成鉄桁橋

橋長：28.400m

支間長：27.660m

有効幅員：17.900m+4.450m

7.2.2 高チクソトロピー性を有する断面修復材(なおしタル)

(1) 特長

“なおしタル”とは、付着性に優れ、ひび割れの発生が無く、作業性及び厚塗り性に優れるという条件を同時に備えた断面修復材である。“なおしタル”は、これらの条件を満足させるために、チクソトロピー性を付与させている。チクソトロピー性とは「硬く見えるが、ある力を加えると動き出す性質」で、マヨネーズもこの一種である。このチクソトロピー性を断面修復材に付与することにより、小手塗り時には、小手による圧力を受けることで断面修復材の粘度が低下し、小手塗



写真42 アウトプレート補強完了後のP2～A2径間状況

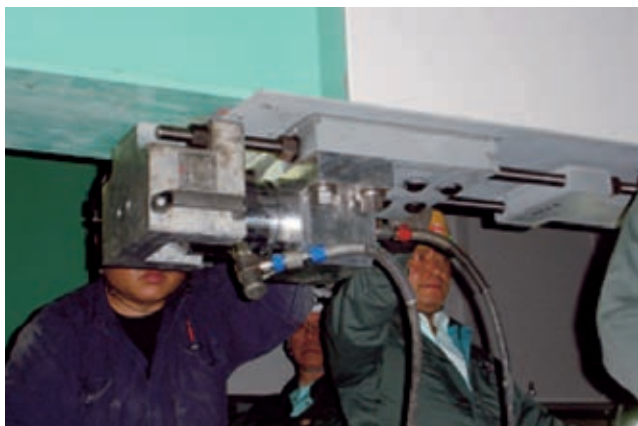


写真 43 緊張作業状況



写真 45 吹き付け工法



写真 44 小手塗り工法



写真 46 “なおしタルG”の充填状況

り作業性が向上する。また、ポンプ圧送時にも粘度の低下により流動性が向上するため、ポンプ圧送性が良好となる。一方で、非加圧時では、粘性が回復し、材料の跳ね返りが防止されるため、材料のロスが低減される。また、だれの発生がなくなるため、厚塗りが可能となる。

“なおしタル”には、用途別に以下に示すタイプがある。

“なおしタルN”

- ・厚塗り施工ができ工期短縮につながる。
- ・小手塗り工法(写真44)、吹き付け工法(写真45)が可能である。
- ・ポリマーエマルジョンを使用していないため、高強度性能($f_{28} = 40 \text{ N/mm}^2$ 以上)、耐火性に優れる。
- ・高い無収縮性能を有する。

“なおしタルH”

“なおしタルN”の特長に加え、

- ・高強度性能($f_{28} = 60 \text{ N/mm}^2$ 以上)を有する。

“なおしタルNF”

“なおしタルN”の特長に加え、

- ・高強度性能($f_{28} = 50 \text{ N/mm}^2$ 以上)を有する。
- ・寒冷地における凍結融解抵抗性等の耐久性に優れる。

“なおしタルG”

- ・高いチクソトロピー性により、従来の無収縮モルタルではできなかった上下に広がる空洞等の充填が可能である。

一般市販ポリマーセメントモルタルを用いた湿式吹き付け工法の場合、垂直面施工厚さは50 mm程度であるが、“なおしタル”の場合は150 mm程度まで吹付けが可能である。表2に“なおしタル”の最大施工厚さを示す。

(2)北今市橋

本工事は、1984年に架橋された北今市橋の拡幅工事と、これに伴う橋面舗装厚の増加及びB活荷重に対応させるための補強工事である¹⁵⁾。既設橋は「1975年制定 建設省標準プレテンション方式PC単純中空けた」による主桁断面が採用されており、主桁間の間詰めコンクリートは床版部のみが充填されている構造であった。

補強方法は、主桁下面に設置した炭素繊維プレート緊張材を用いたプレストレス補強であり、アンカーボルトを設置する必要があったが、主桁間の間詰めコンクリートは床版部のみが充填されている構造であったので、桁下側の部分も間詰めする必要があった。この間詰め材として、橋梁下面からでも施工可能で充填性に優れた高チクソトロピー性モルタル“なおしタルG”を使用して充填を行った(写真46)。

橋梁概要を以下に示す。

構造形式：プレテンション方式単純中空床版橋

橋 長：16.800 m

支 間 長：16.100 m

全 幅 員：7.240 m

表2 “なおしタル”の最大施工厚さ

	小手塗り工法		湿式吹き付け工法	
	(1回または同一日に1~3回施工での最大値)		(1回での最大値)	
	垂直面	天井面	垂直面	天井面
なおしタルN	60 mm	30 mm	150 mm	100 mm
なおしタルH	40 mm	20 mm	150 mm	30 mm
なおしタルNF	60 mm	30 mm	150 mm	80 mm

〔問い合わせ先〕

ドーピー建設工業株式会社 営業企画部
TEL 03 - 3918 - 9174 塘 和寿

8. おわりに

内閣府による試算によれば、国内社会インフラの粗ストック額は2009年度で786兆円となっており、これら膨大な社会インフラをどのように適切に維持管理していかは、厳しい財政状況の下で種々の課題を抱えている。米国では、既に1980年代に道路構造物の老朽化を迎え、「荒廃するアメリカ」として知られる道路の荒廃を招いた実例もある中、国内においても道路構造物の老朽化に伴った重大事故が発生しており、社会インフラの維持管理に関する課題をあらためて浮き彫りにした。さらに、2011年に発生した東日本大震災による地震・津波被害からの復興、今後発生が懸念されている南海トラフ巨大地震による津波対策及びエネルギーを含めたライフラインの確保など社会インフラの課題は数多くあり、技術力を高めてこれらの課題解決を図る必要がある。

一方、急速に社会インフラ整備が進む海外においては、アジア開発銀行研究所の試算によれば、アジア地域は2010~2020年で約8兆ドル超(年間7500億ドル超)という膨大なインフラ需要が存在している。また、電力不足解消のための発電所建設、交通インフラの新設や老朽化による更新など様々なニーズがあり、事業拡大の可能性が高い。これからも当社グループでは、社会インフラ整備に貢献できるように、総合エンジニアリング会社としてのメリットを活かし、横断的な技術開発を進めていき、社会インフラの建設と維持管理事業を展開していく所存である。

本報は、当社グループ会社が手掛ける社会インフラの建設と維持管理事業の概要紹介となっている。詳細については、参考文献や各社ホームページを参照いただくか、各章節末に記載の問い合わせ先に連絡いただければ幸いです。

参 考 文 献

- 1) 西山：橋梁における技術開発，三井造船技報，178(2003-2)，p. 11
- 2) 小林：ライフサイクルコストを考えた橋梁構造の合理化と技術開発，三井造船技報，200(2010-6)，p. 16
- 3) 深沢．外：鋼・コンクリート合成床版橋 MESLAB の

疲労耐久性と連続合成桁への適用性について，三井造船技報，176(2002-6)，p. 8

- 4) 皆田．外：低桁高・低コストの中小支間複合橋梁“MDブリッジ”の開発，三井造船技報，193(2008-2)，p. 1
- 5) 浅野．外：疲労耐久性に優れるコンクリート合成鋼床版橋の開発，三井造船技報，199(2010-2)，p. 42
- 6) 浅野：国道20号新宿高架橋架替工事，三井造船技報，208(2013-2)，p. 25
- 7) 山崎．外：望郷橋(上部工)の施工，第20回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，プレストレストコンクリート技術協会，(2011) p. 251
- 8) 今井．外：谷津川橋(上り線，下り線)の設計・施工，プレストレストコンクリート，53，5(2011)，p. 20
- 9) 加藤．外：ロングライン・マッチキャスト工法によるPC桁の製作，プレストレストコンクリート，55，1(2013)，p. 17
- 10) 青木．外：コンクリート構造物における高チクソトロピー性無収縮断面修復材“なおしタル”の開発，三井造船技報，201(2010-10)，p. 41
- 11) 立神．外：炭素繊維プレート緊張材を用いた構造物の補強工法(アウトプレート工法)の施工，三井造船技報，201(2010-10)，p. 35
- 12) アウトプレート工法研究会：アウトプレート工法 設計・施工マニュアル(案)改訂版，(2012-4)
- 13) 太田．外：国道25号線 上野跨線橋(上り線)の補強工事，第20回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，プレストレストコンクリート技術協会，(2011)，p. 497
- 14) 室井．外：炭素繊維プレート緊張材を用いた鋼橋の補強，第23回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，プレストレストコンクリート技術協会，(2013)，投稿中
- 15) 長谷川．外：炭素繊維プレート緊張材を用いた北今市橋(旧建設省ホロー桁)の施工，第21回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，プレストレストコンクリート技術協会，(2011)，p. 275

執筆者及び担当章・節：

- | | | |
|----------------|-------|---------------|
| 技術開発本部 | 技術総括部 | 皆田龍一：(1, 8) |
| エンジニアリング事業本部 | 第二設計部 | 山口為久：(2) |
| エンジニアリング事業本部 | 第二設計部 | 高崎哲也：(3.1) |
| エンジニアリング事業本部 | 第二設計部 | 釜井英行：(3.2) |
| 三井造船鉄構エンジニアリング | | 小林 潔：(4) |
| ドーピー建設工業 | | 立神久雄：(5, 7.2) |
| 三井造船鉄構エンジニアリング | | 西 和宏：(6) |
| 三造試験センター | | 井上 勝美(7.1) |

船舶からのCO₂排出量削減を目的とした 新型帆装置の開発

平山明仁* 羽生一成** 喜多代顕彦** 内藤 誠***

Development of " Power Assist Sail " System to Reduce CO₂ Emission

Akihito HIRAYAMA, Issei HABU, Akihiko KITADAI, Makoto NAITO

As the global efforts have been made to prevent global warming, Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd (MES) group has been developing technologies to reduce CO₂ emission from ocean going vessel. Large CO₂ reduction of VLCC was achieved under the project. We are promoting further R&D to respond to a possible demand for greater reductions of CO₂ emission in the future. We adopted a sail as one of key technologies which uses natural power resources. Some of results of R&D sail system are published on Mitsui Zosen Technical Review (No.206 in 2012).

In June 2012, MES, Mitsui O.S.K. Lines, Ltd., and classification society Nippon Kaiji Kyokai started a joint study of the Power Assist Sail. In 2013, we produced the prototype for the demonstration test, which is large enough to use on an actual vessel. The demonstration test has been carried out in Ooita Works of MES.

In this paper, we introduce the topics of R&D and the demonstration test of the prototype.

三井造船は、VLCCをはじめとした複数の船型においてCO₂排出量の大幅な削減を実現しているが、更に将来のより高いCO₂削減要求にも応えられる技術の一つとして、自然エネルギーである風力を利用する帆に着目した新型帆装置の開発を進めている。この研究開発の成果の一部は、当社技報にて報告済みであるが、その後も新型帆装置に関する研究開発を継続的に進めてきている。

2012年6月より、日本海事協会の「業界要望による共同研究」のスキームによる研究支援を受け、日本海事協会、株式会社商船三井及び株式会社三井造船昭島研究所との共同研究を開始している。2013年からは研究の段階を更に進め、実船搭載可能な実機スケールの補助帆“Power Assist Sail”のプロトタイプを製作し、当社の大分事業所内にて2013年6月から実証試験を開始した。本報では、本プロトタイプ開発の概要と陸上試験について紹介する。



写真1 補助帆 Power Assist Sail のプロトタイプ
Prototype of Power Assist Sail



写真2 格納動作中のプロトタイプ
Scene of Folding of Power Assist Sail

* 技術開発本部 技術総括部
** 株式会社三井造船昭島研究所

*** 船舶・艦艇事業本部 事業開発部

1. 緒言

地球温暖化防止の世界的な努力が続けられている中、三井造船グループは、船舶から排出される CO₂ 削減に積極的かつ継続的に取り組んでいる¹⁾²⁾。これまでに VLCC、バルクキャリアなどの複数の船型において、CO₂ 排出量の大幅な削減を実現している^{3)~5)}。これらの開発により当面の CO₂ 削減要求に対応可能となったが、当社では更に将来のより高い CO₂ 削減要求にも応えられるように、帆を利用した船舶や装置についても研究開発を進めている。

帆を装備した貨物船は、1980 年代に、内航タンカー“新愛徳丸”⁶⁾や外航ばら積み船“ウスキバイオニア”⁷⁾など十数隻が建造されている。当社では、大きな CO₂ 削減効果を持つことが確認されているにもかかわらず、現状では一般商船への搭載がほとんど見られない帆に関して、広く商船へ搭載されることを目指して、補助帆 Power Assist Sail の研究開発を進めてきた。この研究開発の中で、風洞試験、水槽試験、機帆走シミュレーションなどを含む様々な評価検討作業を行い、技術的には十分に実現可能であることが確認できた。その内容の一部については、報告済みである⁸⁾。

2013 年度は、研究開発の段階を更に進め、補助帆 Power Assist Sail 実機の実証と問題点の抽出を行うために、実際の船舶に搭載可能な実機スケールのプロトタイプ(写真 1 及び写真 2)を開発し、陸上試験を開始した⁹⁾。本報では、補助帆 Power Assist Sail プロトタイプ開発の概要を紹介する。

2. コンセプトの決定

補助帆 Power Assist Sail のコンセプトを決定するに当たっては、普及の障害となっている問題の解決を最重要課題として考慮した。どのような優れた CO₂ 削減効果がある手段であっても、普及しないことには実際の CO₂ 削減に貢献できないとの考えからである。

このことを踏まえ、新たに開発する補助帆 Power Assist Sail のコンセプトでは、次の 2 点を最重要な項目とした。

既存の一般商船の運航方法や設計を大幅に変更することなく搭載可能な帆とする。

輻輳海域での航行時及び強風下での操船や停船・係船時に及ぼす影響が極力小さな帆とする。

1980 年代に帆装商船が多数存在したにもかかわらず、現在、帆装商船がほとんど消滅してしまったのは、この 2 項目が実現できていなかったことが原因と考えられる。

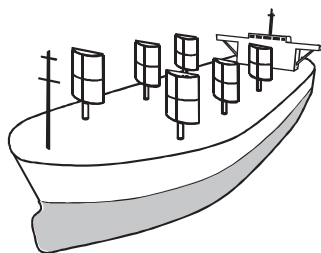


図 1 補助帆 Power Assist Sail の搭載イメージ
Image of Power Assist Sail

当時の帆装商船は帆の面積がかなり大きく、風圧下での操船や停泊が風の影響を強く受け、船舶によっては帆による推力変化に対応するために可変ピッチプロペラを採用するなど、各種の設計変更や改造が必要であった。また、当時の帆装商船では、荒天時、停泊・係船時などの帆が障害となるような状況でも、帆を格納することができなかったため、その運用には様々な障害を伴ったと考えられる。

この問題点を解決するために、補助帆 Power Assist Sail は、「小型で格納可能な帆装置」とすることとした。小型で格納可能なものとすることによって次の利点が得られる。

サイズが小さなことと、発生する力が小さなことから、帆の配置箇所の自由度が高くなる。

帆の推力への依存度が小さいことから、既存船と同様に主機のみでの航行も可能で、定時制の確保が容易となる。帆の発生する推力が小さく抑えられるため、プロペラが必要な推力の変動が小さく、可変ピッチプロペラ等を装備する必要がなくなる。

格納すれば、既存船と同等の操縦性能とブリッジからの視界を確保できる。

このような小型の帆を採用することで、大型の帆を搭載する困難から逃れられ、帆装商船導入のハードルを大きく下げることが可能となる。当社が開発している帆装置を補助帆 Power Assist Sail と呼んでいる理由も、小さな面積の帆が発生する風圧力を推進の補助に用いることに由来しており、補助帆 Power Assist Sail は、推進装置というよりは、省エネ付加物に近い装置である。

様々なサイズの船舶及び船種への対応も重要である。船の寸法や種類毎に、帆の寸法や形状を変更するという方法も考えられるが、補助帆 Power Assist Sail では、同じ寸法と形状のままに搭載数を変更することによって実現することとした。その都度、新たな設計を行ったり、事前に幾つかのシリーズ製品を用意する必要がなくなるため、量産効果が期待でき、生産コストを抑えることが可能となる。補助帆 Power Assist Sail の搭載イメージを図 1 に示す。

3. プロトタイプの開発

実際の船舶への搭載に先立ち、補助帆 Power Assist Sail 実機の問題点の抽出と実用性実証のために、プロトタイプを開発・製造し、陸上試験を行うこととした。補助帆 Power Assist Sail プロトタイプの主要目を表 1 に示す。開発・製造したプロトタイプは、実際の船舶に搭載可能な機構及び構造を持つもので、実機と同スケールの大型のものである。

表 1 補助帆 Power Assist Sail プロトタイプの主要目
Major Property of Power Assist Sail

全高	27.5 m
帆高	20.0 m
帆幅	10.0 m
帆面積	200 m ²
総重量	約 60 t
駆動方式	油圧式

3.1 開発方針

開発・製造に当たり 2. で述べた「小型で格納可能な帆装置」を、短期間に信頼性の高い実用的な装置として実現することを開発方針とした。

この開発方針を実現するために、油圧式のホースハンドリング・クレーンをベースとして、補助帆 Power Assist Sail のプロトタイプを開発を行うこととした。VLCC 等に搭載されるホースハンドリング・クレーンは、帆で想定される基本的な動作である旋回、展帆及び格納を行う機構を既に持っており、荷役時にクレーンのジブ部分に加わる荷重が帆に作用する風圧力とほぼ同等であると言う利点と、補助帆 Power Assist Sail の搭載候補として有望なタンカー類に多数搭載されている実績から、補助帆 Power Assist Sail 開発のベースとして極めて優れている。

また、開発開始に当たって補助帆 Power Assist Sail が船舶に搭載された際の状況を考え、プロトタイプの基本仕様を次のように定めた。

強度要件

- ・運用状況を考慮した最大風圧力に耐えること。
- ・船の動揺を考慮した条件(最大傾斜角 10°, 加速度 1.2 G の動揺)に耐えること。
- ・日本海事協会の揚荷役設備規則に準拠した強度要件を満たすこと。

回転速度

- ・載貨重量 4 万トン以上の肥大船に搭載することを想定して、4 万トンクラスの肥大船の一般的な変針操船時の回頭角速度に追従できるように、1.0 1/s とすること。

格納・展帆速度

- ・緊急時に素早く格納できることを考え、180 s で展帆状態から水平状態にできること。
- ・風を利用できる機会をなるべく逃がさないようにするために、300 s で水平状態から展帆状態にできること。

帆の倒れ防止

- ・油圧シリンダ油の漏れや船体動揺による帆の倒れ防止のために、ロックシリンダ等の機構を設けること。

緊急時格納

- ・緊急時の格納方法は、視界確保のために、まず水平から約 30° の位置まで帆を倒し、その後格納位置まで回転させてジブレスト上に倒すという格納動作とすること。

油圧系統故障時の格納

- ・油圧系統への電力供給ができなくなった場合にも、手動で帆を格納できるように、油圧系統の油圧をリリースして自重により格納できること。

油圧上昇対策

- ・故障防止や冷却装置の観点から、長時間運転時の油温上昇を防ぐために、帆の駆動に可変吐出ポンプを用い、かつ十分な容量の油圧ポンプを用いること。

さらに、単にホースハンドリング・クレーンをベースに帆装置を作るだけに留まらず、実際に船舶に搭載することを想定して、プロトタイプ風の洞試験、プロトタイプ搭載によるCO₂削減効果の試算、プロトタイプ搭載時の操縦性能の確認、プロトタイプの構造解析などの各種検討を実施し、十分な性能と信頼性を持つことを確認することとした。

3.2 空力特性の把握

プロトタイプの空力特性を把握するために、当社昭島研究センターの風洞を用いて風洞試験を実施した。本風洞の測定部寸法及び送風装置仕様を表 2 に示す。

試験状況を写真 3 に示す。風洞試験では、測定部の一部を開放して地面板を設置し、6 分力計を介して地面板上に供試模型を設置して、試験計測を実施した。

3.2.1 供試模型

供試模型を写真 4 に示す。供試模型は、強度、材料そして機構面の関係でやむを得ない部分を除き、可能な限り実機と相似形状とした。また、プロトタイプ形状の相似模型のみでなく、帆の上下端に翼端板を、帆の左右端に固定式スラットを取り付けた模型についても計測を行った。

3.2.2 計測条件及び計測結果

風洞試験では、図 2 に示すように、一様流中に帆模型を設置し、迎角を変化させた時の揚力 L 及び抗力 D を計測した。風速 7.0 m/s 及び 10.0 m/s において、迎角を -45° ~ 90° の範囲について試験を行った。

風洞試験で計測された結果を図 3 に示す。計測結果は式 (1) に示す無次元化を行った。

$$C_L = L / (1/2 \rho U^2 \cdot S)$$

$$C_D = D / (1/2 \rho U^2 \cdot S) \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 C_L :揚力係数、 C_D :抗力係数、 ρ :空気密度、 U :流入風速度、 S :帆面積、 L :揚力、 D :抗力である。なお、

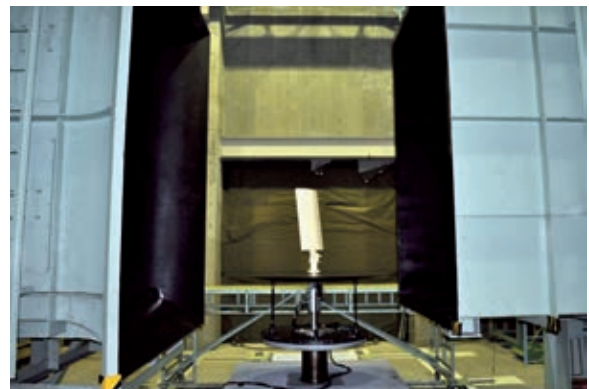


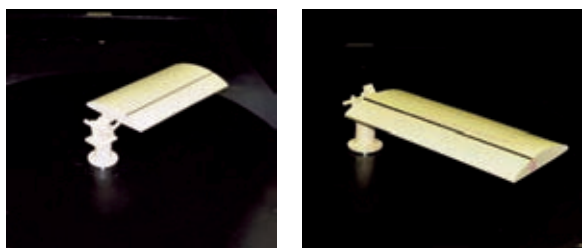
写真 3 風洞試験状況
Setting of Wind Tunnel Test

表 2 風洞の主要目
Major Property of Wind Tunnel

測定部寸法	長さ 20 m × 幅 2 m × 高さ 3 m
送風装置仕様	直流電動機駆動 最大出力 125 kW
最高風速	20 m/s(閉鎖型風路) 30 m/s(開放型風路)



(a)展帆状態



(b)格納状態

写真4 供試模型
Sail Model for Wind Tunnel Test

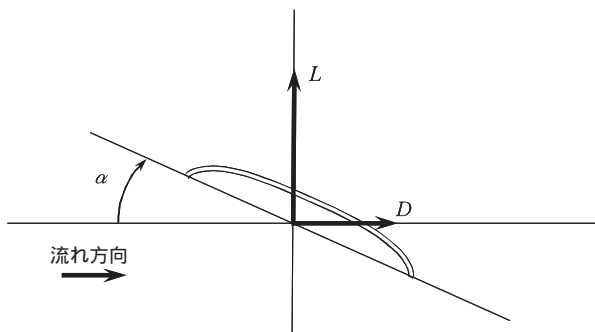


図2 揚力及び抗力の定義
Definition of Lift and Drag

帆面積は帆の部分のみの投影面積を用いた。

プロトタイプに、帆の上下端に翼端板を、左右端にスラットを取り付けた場合、図3に示したように、揚力と抗力の最大値が大きくなることが確認できた。相対風向が横風となる場合には揚力が高いほど、相対風向が追風となる場合には抗力が高いほど、より大きな推力を得ることができる。翼端板とスラットの取り付けは、帆の性能改善に非常に有用であることが分かる。帆の設置場所の制約により、小さな帆面積の帆のみ搭載可能な場合でも、これらの高揚力装置を取り付けることによって、より大きな推力を得ることが可能になるため、搭載上の選択肢が大きく広がる。

3.3 構造強度の確保

プロトタイプは日本海事協会の揚荷設備規則に準拠した強

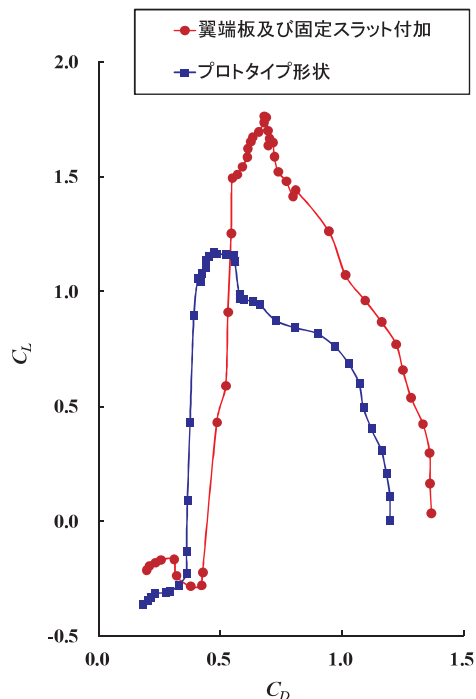


図3 供試模型の空力特性
Aerodynamic Characteristics of Sail Model

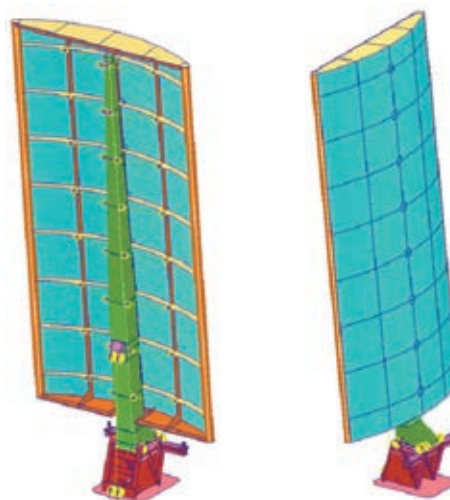


図4 FEM 解析モデル
Sail Model for FEM Analysis

度検討を行い、十分な強度とその信頼性の確保に努めたが、より詳細な強度上の確認を行うために、有限要素法(以下、FEM)解析も併せて実施した。

FEM 解析では、補助帆 Power Assist Sail の旋回フレームより上方の部分である帆、ジブ、タワー及び旋回フレームをモデル化した。プレート及びパイプは主にシェル要素、ボスはソリッド要素でモデル化し、シリンダ、プレース、シャフト、キーなどはバー要素でモデル化した。解析モデルを図4に示す。

旋回フレーム下部は、完全拘束とした。荷重条件は風速 25 m/s とし、予想される最大の船体動揺に耐えるものとし

た．荷重は集中荷重ではなく，実際の帆面上に発生する空力的圧力分布を想定して作用させた．

解析の結果より，補助帆 Power Assist Sail は，陸上試験を行うには，十分な強度を有することが確認できた．ただし，強度上大きな余裕を持つ部位と，逆に余裕が比較的少ない部位があり，強度上アンバランスな構造となっていることが分った．実船搭載に当たっては，より軽量かつ十分な強度を有する補助帆 Power Assist Sail とするため，各部形状及び寸法の見直しを行う．

3.4 CO₂ 削減効果の試算

プロトタイプを船舶に搭載した際の省エネ効果の試算を行った．CO₂ 削減効果の試算は，補助帆 Power Assist Sail プロトタイプを 1 基搭載するのに最適な船体規模を持つ載荷重量 45 千トン級プロダクトキャリア(以下，45PC)について行った．航路は日本近海～シアトル及び日本近海～プリズペーンの 2 航路とした．

CO₂ 削減効果の試算は，操縦運動シミュレーションでよく用いられる数学モデルをベースとしたプログラム¹⁰⁾で行った．航路上の各点において，船に作用する力とその釣り合い状況を計算し，各点での主機回転数や必要馬力等を計算して CO₂ 削減効果を求めた．

船体の操縦運動の座標系は，図 6 に示すように，船体固定座標系 *o-xy* を用いた．操縦運動方程式は，各速度成分を *u*，*v*，*r* とすると，式(2)で表すことができる．

$$\left. \begin{aligned} m(\dot{u} - vr) &= X_H + X_P + X_R + X_W + X_S \\ m(\dot{v} + ur) &= Y_H + Y_R + Y_W + Y_S \\ I_{zz}\dot{r} &= N_H + N_R + N_W + N_S \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

ここで，*m*：船の質量，*I_{zz}*：*z* 軸回り船の慣性モーメントである．*X*，*Y* は力を，*N* はモーメントを示しており，添え字 *H*，*P*，*R*，*W*，*S* は，それぞれ主船体，プロペラ，舵，上部構造物風圧力，帆の風圧力を表す．

帆が発生する流体力は，式(3)で表すことができる．

$$\left. \begin{aligned} X_S &= (C_L \sin \alpha - C_D \cos \alpha) \cdot A_S \cdot 1/2 \cdot U_{REL}^2 \\ Y_S &= (C_L \cos \alpha - C_D \sin \alpha) \cdot A_S \cdot 1/2 \cdot U_{REL}^2 \\ N_S &= Y_S \cdot L_{Sx} + C_M \cdot A_S \cdot c \cdot 1/2 \cdot U_{REL}^2 - X_S \cdot L_{Sy} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

ここで，*C_M*：ヨーモーメント係数， α ：相対風向，*A_S*：帆面積，*U_{REL}*：相対風速，*L_{Sx}*：船体中央からの帆取り付け位置までの前後方向の距離，*L_{Sy}*：船体中心線からの帆取り付け位置までの左右方向の距離，*c*：翼弦長である．

帆の迎角は，船首方向の帆全体の推進力 *X_S* が最大となる角度が常に保たれるとして計算した．

主機回転数については，目標船速を保つように回転数を増減させた．この時，回転数が変化することにより，プロペラ作用点が変わり，プロペラ効率も変化する．そこで，航路上各点での制動馬力の算出には，回転数変化による主機馬力の変化だけではなく，プロペラ効率の変化も加味して行った．

舵角は，水平面内の移動方向を目標の針路と一致させるように当て舵量を計算しており，当て舵による抵抗増加も考慮した．

計算対象とした航路は，当社開発のウェザールーティングシステム¹¹⁾を用いて，帆装置を装備していない 45PC が，ある特定の 1 年間，毎日出港し，航海時間が最短となるように航海した場合の航路である．この最適航路上の各点の風向と風速は，公表されている気象情報から求めた．主機出力は，近年，省エネ及び CO₂ 削減を目的として減速運転が広く行われていることを想定して，50% 最大連続負荷(Maximum

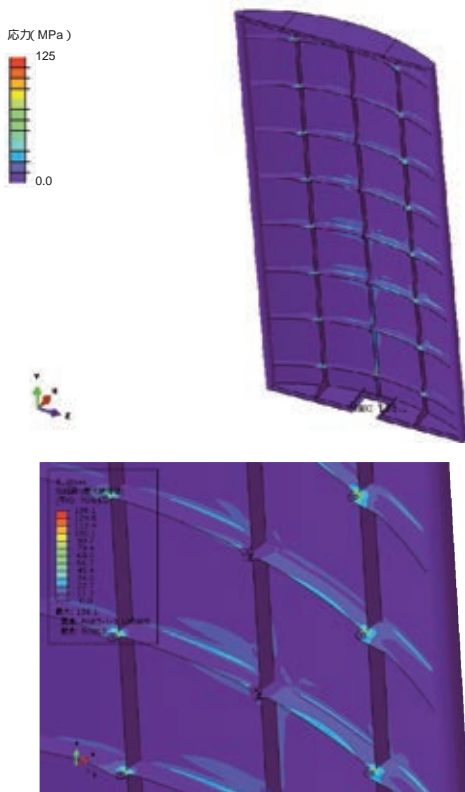


図 5 FEM 解析結果の例
Example of Results by FEM Analysis

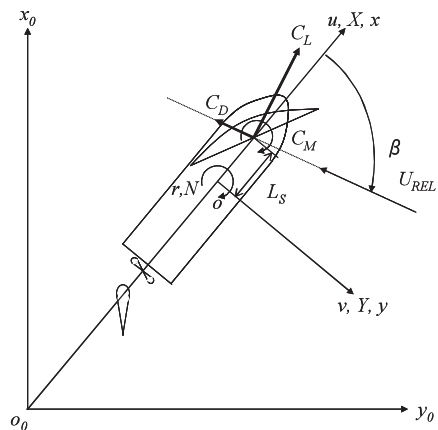


図 6 CO₂ 削減効果推定プログラムの座標系
Coordinate System of Estimating Program for CO₂ Emission Reduction

Continuous Rate : MCR)を採用した．求められた最適航路の例を図7及び図8に示す．

帆は，プロトタイプと同じ寸法のものを搭載したとして計算を行った．帆の空力特性は，プロトタイプに高揚力装置を取り付けたものを用いた．

プロトタイプを45PCに搭載し，50%MCRで航海した場合について，各相対風向での馬力利得を求めた結果を図9に示す．

馬力利得は式(4)により求めた．

$$Gain = (BHP_{W/O} - BHP_{with}) / BHP_{W/O} \dots\dots\dots(4)$$

ここで，Gain：馬力利得， $BHP_{W/O}$ ：帆を装備しない状態での必要馬力， BHP_{with} ：帆を装備した状態での必要馬力である．馬力利得は厳密にはCO₂削減効果を示さないが，主機の作動点が大きく変わらない場合，燃費率の変化は小さいため，馬力利得をCO₂削減効果と考えて差支えない．

馬力利得が最も大きくなるのは，相対風向90°～100°及び260°～270°であり，真横から若干船尾よりの風の時である．

図10及び図11に，航路毎の各月の馬力利得の計算結果を示す．

これらの図より，50%MCRで航海した場合には，年間の平均馬力利得は日本近海～シアトルで約4%，日本近海～プリズペーンで約1%であり，プロトタイプで有意なCO₂削減効果を得ることができることが確認できた．スラット及び端板を帆に付加すれば，更に大きなCO₂削減効果を得ることができる．

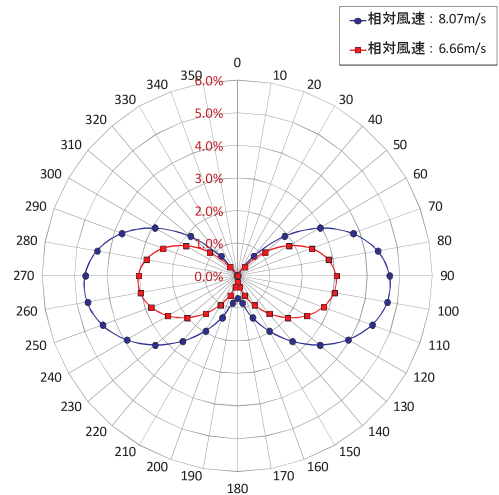


図9 相対風向と馬力利得の関係
Ratio of Sail thrust vs. Resistance



図7 計算航路例(日本近海～シアトル，1月～3月)
Example of Navigation Route between JAPAN and SEATTLE from January to March

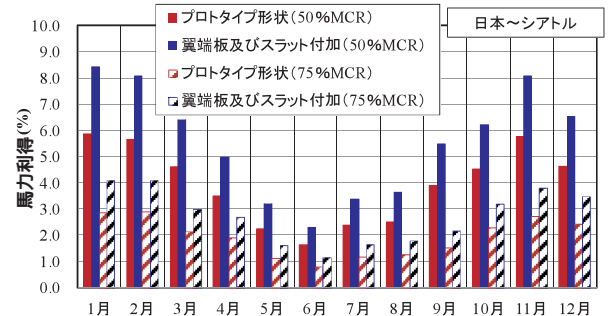


図10 日本近海～シアトルを航行した場合の月別のCO₂削減効果(45PC)
Result of CO₂ Emission Reduction of 45PC between JAPAN and SEATTLE

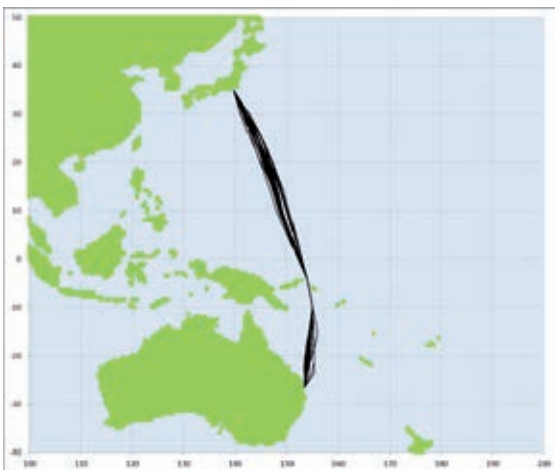


図8 計算航路例(日本近海～プリズペーン，1月～3月)
Example of Navigation Route between JAPAN and BRISBANE from January to March

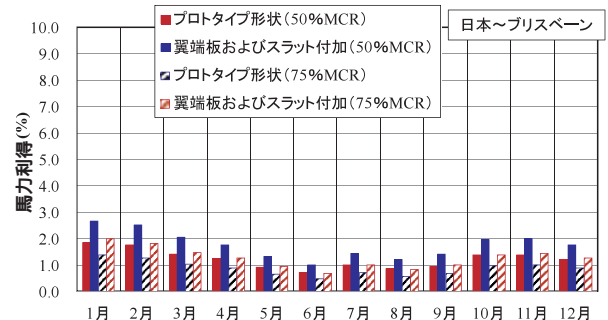


図11 日本近海～プリズペーンを航行した場合の月別のCO₂削減効果(45PC)
Result of CO₂ Emission Reduction of 45PC between JAPAN and BRISBANE

航路や季節により馬力利得が大きく変化しているが、各航路での風の強さと相対風向の出現頻度に依存している。各航路における各月の風向毎の平均風速とその出現頻度を図12及び図13に示す。前方とは0°～60°及び300°～360°からの風を、横方向とは60°～120°及び240°～300°からの風を、後方とは120°～180°及び180°～240°からの風を示している。図9～図13を見て分かるように、馬力利得が大きくなるのは、横方向からの風の出現頻度が高く、その平均風速が高い航路や季節となっている。

本報では2つの航路の試算のみを示したが、実際に帆を搭載した際の馬力利得、すなわちCO₂削減効果は、運航される航路毎にここで示したような計算を行い、把握することになる。

4. 陸上試験

補助帆 Power Assist Sail 実機の実証と問題点の抽出を行うために、実際の船舶に搭載可能な実機スケールのプロトタイプ(写真1及び写真2)を開発し、陸上試験を開始した。

陸上試験では、次の試験を実施している。

- 動作確認試験
- 空力特性確認試験
- 自動運転試験

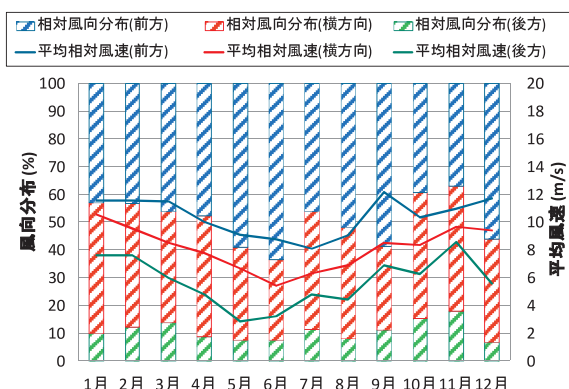


図12 日本近海～シアトルの風況
Wind Condition of Navigation Route between JAPAN and SEATTLE

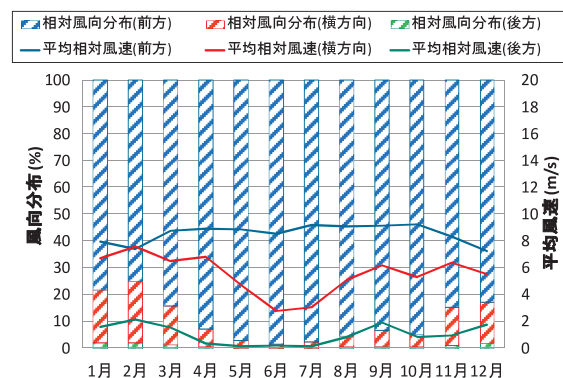


図13 日本近海～ブリスベンの風況
Wind Condition of Navigation Route between JAPAN and BRISBANE

航海想定試験

4.1 空力特性確認試験

プロトタイプ相似模型を用いた風洞試験を行ったが、模型はスケール模型であり、プロトタイプとは寸法が異なる。このため、レイノルズ数が異なり、剥離点がずれる可能性があるため、本試験を実施した。試験では地上風とプロトタイプの相対風向を変化させながら、ジブ基部に貼り付けた歪ゲージにより歪を計測した。その計測結果を風洞試験での帆に働く直圧力と比較した。図14にその比較結果を示す。横軸が帆に対する風の迎角、縦軸に歪計測値と直圧力係数 C_N を取っている。縦軸は、副尺を用いて歪計測結果と風洞試験結果が比較し易いように調整している。直圧力係数 C_N の定義を式(5)に示す。

$$C_N = N / (1/2 \rho U^2 \cdot S) \dots\dots\dots(5)$$

ここで、 C_N :直圧力係数、 ρ :空気密度、 U :流入風速度、 S :帆面積、 N :直圧力である。

帆に働く直圧力が大きくなると、歪ゲージを貼り付けた部分は圧縮される方向に変形するため、歪計測値は小さくなる。帆が凹面となっている側から見て、迎角0°では左方から、迎角90°では凸面方向から、180°では右方から、それぞれ風が流入する状況になる。これまでの陸上試験期間は強風に恵まれず、ほとんどの計測点が4 m/s以下のもので歪計測結果のばらつきが大きくなっている。図14の比較結果の迎角25°前後及び155°前後の値をみると、プロトタイプ実機は30°付近と150°付近で急激に歪の値が変化しており、この部分で失速が起きていると思われるが、風洞試験結果では失速は21°及び158°付近で確認されており、プロトタイプ実機は模型に比べて失速が起きにくくなっているようである。これはプロトタイプ実機が発生する揚力の最大値が、風洞試験で計測された値より若干大きくなることが期待できることを意味している。また、風洞試験結果の揚力最大値となるようにプロトタイプ実機を制御した場合には、失速が発生する角度に対して十分な余裕を持って制御ができることになり、急激な風向変化などによる推力の急減を避けることも確認でき

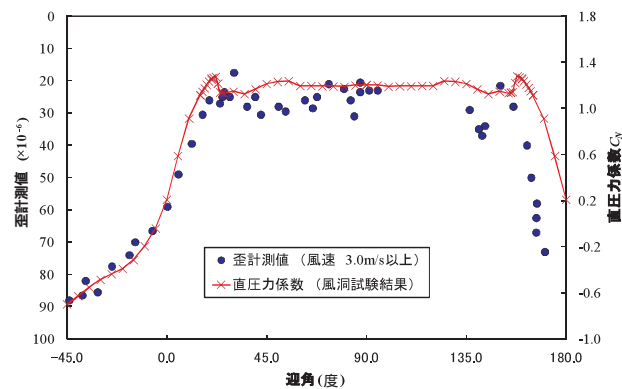


図14 風洞試験結果と歪計測結果の比較
Comparison of Results between Wind Tunnel Test and Measured Data

た。今後、より強風下での試験を行い、失速角度をより正確に把握する予定である。

4.2 自動運転試験

自動運転モードでは、帆が発生する風圧力の船首方向成分が最も大きくなるように自動的に制御される。自動運転試験はこの運転モードで行い、制御の妥当性の検証もさることながら、このモードでの長期間の運転を行うことにより耐久性と信頼性を確認する。2013年6月27日以降、他の試験の実施、プロトタイプの改造及びメンテナンス上のやむを得ない状況を除き、試験可能な日は全て自動運転モードで試験を行っている。本試験は2013年12月まで実施予定である。

4.3 航海想定試験

航海想定試験は、ある航路上を航海した時の帆の動作を再現して、帆を動かし続ける試験である。本試験で実航海と全く同じ制御を行うと長時間の試験となるため、帆の角度を保持する時間を15秒と極端に短縮した一種の加速試験を行った。航路は、日本近海～シアトルと日本近海～プリズペーンの2航路である。

現在までに、それぞれ8航海分の試験を実施したが、問題なく動作することが確認できている。なお、本試験は実際の航海で考えられる動作に比べて頻繁に帆を動作させるため、アクチュエータ関係の油温が極端に上昇するが、大きな問題は発生していない。

5. 結言

帆装商船や帆装置の実用化を目指して当社が進めている研究開発において、2012年度までに、風洞試験、水槽試験、機帆走シミュレーションなどを含む様々な評価検討作業を行い、技術的には十分に実現可能であることが確認できている。

2013年度は、研究開発の段階を更に進め、補助帆 Power Assist Sail 実機の実証と問題点の抽出を行うために、実際の船舶に搭載可能な実機スケールのプロトタイプを開発し、陸上試験を開始した。

プロトタイプの開発に際して行った様々な検討や、製作されたプロトタイプによる陸上試験により、補助帆 Power Assist Sail が実船での実用に耐えられるレベルにかなり近い所まで到達していることが確認できた。しかし、様々な船舶に安心して搭載できるようになるためには、実船に補助帆 Power Assist Sail を搭載して海上試験を行うことが必要であり、実船試験の実現に向けて努力をしていきたい。なお、FEM解析等で分かった改良の余地がある点については、今後実船搭載に向けて、更に改良を進める予定である。

本研究開発は、日本海事協会、株式会社商船三井及び株式会社三井造船昭島研究所との共同研究として実施しているものであり、日本海事協会の「業界要望による共同研究」のス

キームによる研究支援を受けていることを付記し、謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 藤井・外：CFDを用いた船型開発システム，三井造船技報，177(2002-10)，p. 1
- 2) 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.
- 3) 藤井・外：CO₂排出量大幅削減船の開発，三井造船技報，203(2011-7)，p. 37
- 4) 松村・外：近年の船型開発における最新省エネ技術 - CO₂排出量30%削減を目指して - ，三井造船技報，201(2010-10)，p. 1
- 5) 田中・外：CO₂削減を目指した船舶ディーゼルエンジン主機の新制御システムの開発，三井造船技報，203(2011-7)，p. 44
- 6) Japan Marine Machinery Development Association : Sailing Tanker "Shin Aitoku Maru"(1983) Japan Marine Machinery Development Association
- 7) 船の科学編集部：D/W 26,000T 型近代帆装貨物船“ウスキパイオニア”の第一次航海結果報告，船の科学，38，7(1985)，p. 79
- 8) 松田・外：CO₂削減を目的とした新型帆装船舶の性能評価技術の開発，三井造船技報，206(2012-7)，p. 1
- 9) 新型帆装置(Power Assist Sail)の陸上実証試験を開始 - 帆を用いた船舶のCO₂排出量削減装置 - ，三井造船技報，209(2013-7)，p. 31
- 10) 平野・外：船舶の操縦運動計算システムの開発，三井造船技報，122(1984-6)，p. 1
- 11) 村上・外：船体性能解析サービスの開発，三井造船技報，195(2008-10)，p. 28

〔問い合わせ先〕

技術開発本部 技術総括部

TEL 03 - 3544 - 3245 平山 明仁



平山 明仁



羽生 一成



喜多代 顕彦



内藤 誠

日本海域に適した波力発電技術の開発

前村 敏彦* 中野 訓雄* 宮島 省吾**

Development of Wave Power Generation Technology suitable for the Japanese Sea Area

Toshihiko MAEMURA, Kunio NAKANO, Shogo MIYAJIMA

The Great East Japan Earthquake has forced Japan a nationwide review of the energy scheme strongly urging a further use of renewable energy. Meanwhile, suitable places on land for construction of wind power generation or photovoltaic power generation etc. are limited in Japan from the viewpoint of environmental protection, and the chances for utilizing ocean energy are now increasing rapidly. Mitsui Engineering & Shipbuilding (MES) was awarded "Demonstration project of ocean energy generation system" by New Energy and Industry Technology Development Organization (NEDO) in fiscal year 2011. And MES has been developing the new generation wave-power device in order to perform a real-sea demonstration test in fiscal year 2015. The new generation wave-power device will be able to overcome the hydrographic difficulties which are peculiar to Japan. In this report, the development result of the improvement of the wave energy conversion efficiency, the mooring system at the stormy condition as well as the market strategy of the new generation wave-power device, which MES and the University of Tokyo are implementing jointly as the NEDO project, are reported.

東日本大震災以降、わが国のエネルギー計画の見直しの中で、再生可能エネルギーの利用促進が強く求められているが、陸上では環境保全等の観点から建設適地が限られているため、急速に海洋エネルギー利用の機運が高まって来た。三井造船は、2011年度に独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)から海洋エネルギー発電システム実証研究を受託し、2015年度における新世代の波力発電装置による実海域実証試験を目指して開発を進めている。

本報では、NEDO事業として当社と東京大学が共同で開発している、日本海域における特有の課題を克服する新世代の波力発電装置に関し、波力エネルギー変換効率の向上方法、荒天時の係留方法及び普及戦略について報告する。

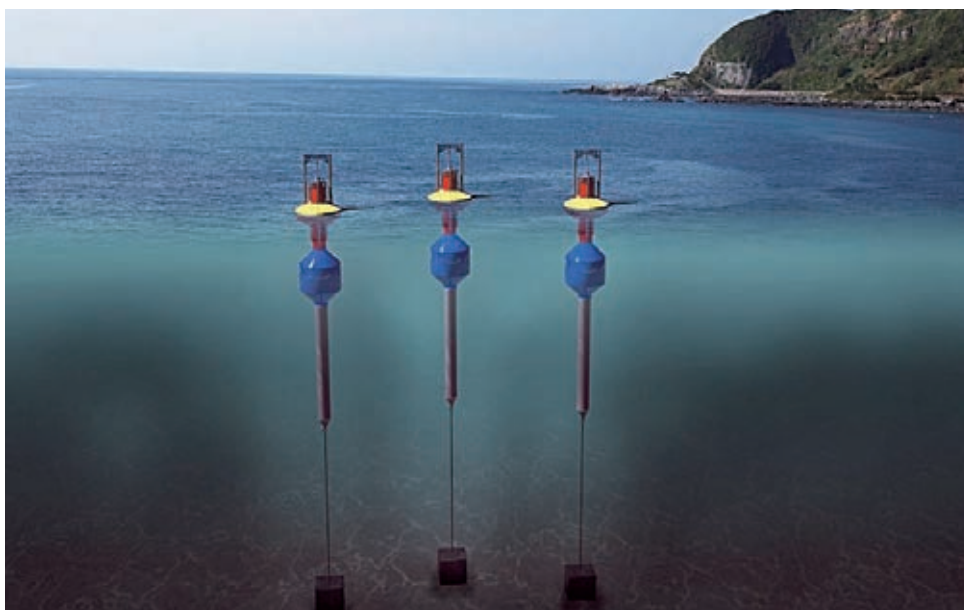


図1 離島向け波力発電ファームのイメージ
Image of the Wave Power Generation Farm for Isolated Islands

* 技術開発本部 技術総括部

** 株式会社三井造船昭島研究所

1. はじめに

2013年4月26日に、海洋基本計画が閣議決定された。海洋基本計画はおおよそ5年毎に見直され、2008年度版と2013年度版を比較すると、海洋再生可能エネルギーに関する記述が大幅に増えている。特に、波力については、2008年度版では「その他の資源の研究開発等」の項で数行の記載だけだったが、2013年度版では「波力等の海洋エネルギー」と波力の項目が新たに設けられ、記述も大幅に増えた。

また、2013年3月12日に、内閣官房総合海洋政策本部事務局から、海洋再生可能エネルギー実証フィールドの公募が行われた。東日本大震災以降、わが国のエネルギー計画の見直しの中で、再生可能エネルギーの利用促進が強く求められているが、陸上では環境保全等の観点から建設適地が限られているため、急速に海洋における再生可能エネルギー利用の機運が高まって来た。

三井造船は、かつて防波堤組込式振動水柱型波力発電装置の先駆者として、1980～1990年代にかけて多くの実証試験を手掛けたが、この時は、国のプロジェクト消滅とともに開発も終了している。

このような社会環境の変化と波力発電に対する技術力を背景に、当社は、2010年度に環境省が東京大学生産技術研究所に業務委託した、地球温暖化対策技術開発事業(波力エネルギーの地域特性評価と係留システムの研究)の中で、浮体式波力発電装置の日本型係留システムの開発を担当した。2011年度からは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)から風力等自然エネルギー技術研究開発/海洋エネルギー技術研究開発/海洋エネルギー発電システム実証研究を受託し、2015年度の新世代の波力発電装置による実海域実証試験を目指して開発を進めている(図1)。

波力発電を事業化するためには、波力発電が電力固定買取制度の対象となることが必須条件である。現在、当社を含めて複数の企業グループが、上記のNEDO事業により、実海域実証試験を計画している。その成果として、実用化の見通しが立ち、発電コストの検証が可能であると評価され、現在の海洋エネルギー利用の機運の高まりから国民の理解が得られるならば、波力発電も新エネルギーと認知され、電力固定買取制度の対象になるものと期待している。

本報では、NEDO事業として当社と東京大学が共同で実施している新世代の波力発電の開発状況について報告する。

2. 波力発電装置の開発及び普及戦略

現在の社会情勢に合わせて、早期に事業化することを念頭に開発を進めている。

2.1 波力発電装置の開発

2.1.1 装置の選定

当社は、波力発電装置に対する最近10年間の海外勢の長足の進歩を踏まえて、早期に事業化することを目指して海外勢との共同開発を念頭に置いてきた。欧米の波力発電装置を調査し、日本の波況、海底地形、占有する海域面積、装置の耐久性等を比較・検討した結果、OPT社(Ocean Power

Technologies, Inc.)の波力発電装置パワーブイ(PowerBuoy)を選択し、これをベースに日本海域に適した波力発電装置を開発することにした。

波力発電の基礎になっている波力エネルギー利用技術は、大きくは振動水柱型、可動物体型及び越波型の3種類に分類されることが多い。パワーブイは、可動物体型に分類され、特にポイント・アブソーバー式と呼ばれる。

可動物体型は、波力エネルギーを可動物体を介して機械的な運動エネルギーに変換し、それを動力源として油圧モータ等により更に回転運動に変換、発電機を駆動している。ポイント・アブソーバー式は、可動物体として波長に比べて小型のフロートを採用している。ポイント・アブソーバー式の構成を図2に示す。

2.1.2 日本特有の課題

日本の海の主な特徴として以下の2点が挙げられる。

波力エネルギーは欧米程大きくないが、台風等の荒天時の波況は欧米並み。

海底の地質は、れきや岩が多く、その傾斜も大きい。

当社がベースとするパワーブイは、1997年からの米国ニュージャージー州沖での実証試験から始まり、米国ハワイ州、スペインと実証試験を積み重ね、2011年のスコットランド沖で実用機サイズの実証試験を行っている。その結果から、性能、耐久性、安全性等の基本的な性能は、ほぼ実用機レベルに到達していると判断し、日本特有の課題解決に焦点を当てて開発を行っている。すなわち、開発のキーポイントは、パワーブイの発電効率の向上と係留方法の改良である。

2.1.3 課題の克服

図3に波力発電装置を示す。波に合わせてフロート(黄色)が上下し、その運動をラック(緑色)に伝えてピニオン及び発電機(灰色)を駆動して発電する。

発電効率を向上させるためには、フロート上下動の固有周期を、目標とする波の周期に一致させて同調現象を発生させればよいことが知られている²⁾。当社は、試験水槽用の造波・消波技術を応用して、新たな同調制御方法を開発した。開発した同調制御では、フロート上下動の固有周期と大きく離れた周期の波においても、フロートを同調状態で上下させることができ、その状態で波力エネルギーを効率的に吸収することにより、従来型の負荷制御発電に比べて、最大2倍近い発電効率を達成できた。

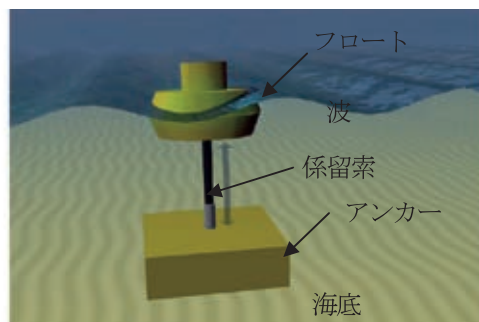


図2 ポイント・アブソーバー式の構成¹⁾
Composition of Point Absorber Type

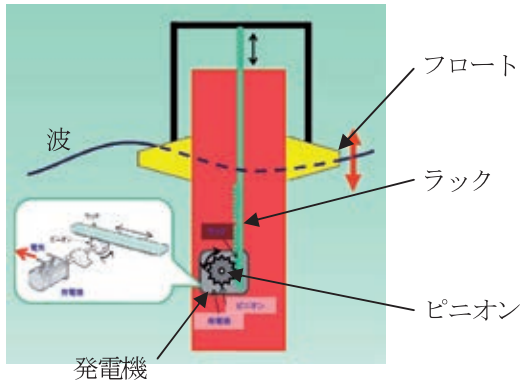


図3 波力発電装置
Device for Power Generation

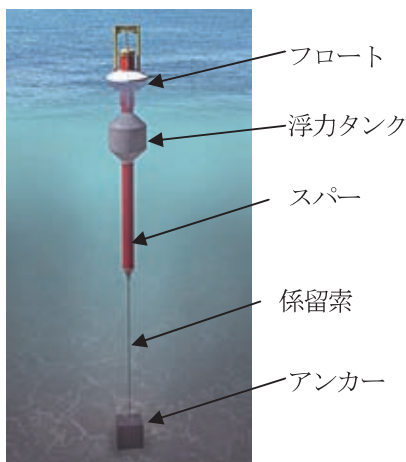


図4 日本型パワーブイ(PB-MES)
Japanese Model of PowerBuoy(PB-MES)

波力発電装置のフロート上下動の運動方程式を次式に示す。

$$\text{質量項} + \text{減衰項} + \text{ばね項} = \text{波浪強制力}$$

同調現象を発生させる条件は、質量項 + ばね項 = 0 である。

日本特有の海底の傾斜に対応するためと、装置の傾斜を小さくして発電効率の向上を図るために、オリジナルのパワーブイのスパー長を伸ばし、浮力タンクを付けて緊張係留式プラットフォーム(Tension Leg Platform: TLP)係留とした。また、れきや岩が多い海底に対応するために、重力式アンカーを用いた。さらに、荒天になることが予想される場合には、事前に浮力タンク内に海水を注し TLP 係留の定常張力を減少させ、荒天時に係留索に働く最大張力を低減させるシステムを採用した。この TLP 係留及び荒天時対策により、海面の占有面積を小さくでき、かつアンカー等の係留設備が過大なることを防ぐことができる。さらに、TLP 係留でスパーの揺れを少なくすることにより、発電効率の向上が図られる。

2.1.4 日本型パワーブイ

NEDO 事業では、発電単価 40 円 / kWh 以下を必達目標として開発している。コスト削減も含めて、これまでの開発成果を取り入れた日本型パワーブイ(以下、PB-MES)を図4に示す。PB-MES の主な仕様を表1に示す。

図5に平均周期別(5 ~ 12 秒)のパワーカーブを示す。パ

表1 PB-MES の主な仕様
Major Property of PB-MES

項目	仕様
定格出力	80 kW
全高	約 50 m
海面上	約 10 m
フロート直径	約 10 m

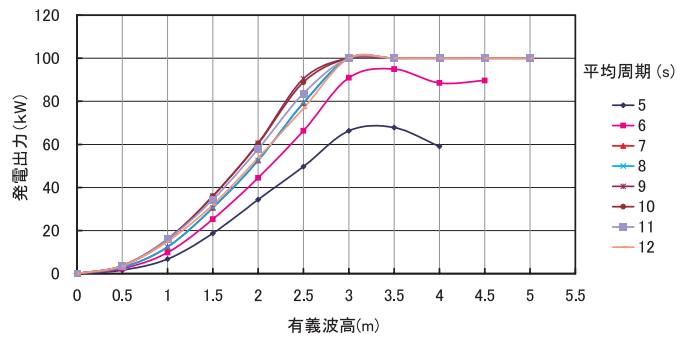


図5 PB-MES のパワーカーブ
Power Curve of PB-MES

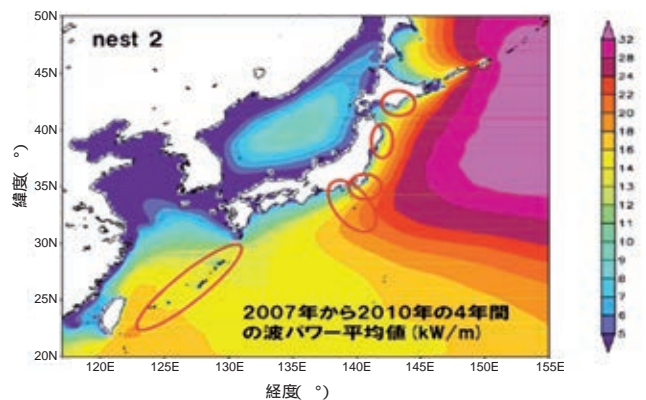


図6 波力発電の候補海域³⁾
Candidate Sea Area of Wave Power Generation

ワーカーブは、波の条件(波高と周期)と発電出力の関係を示している。

2.2 普及戦略

PB-MES に適している海域は、水深 100 m 以浅で、年間を通して安定した比較的大きな波パワーが存在する海域であり、この条件を満足する海域を図6に示す。伊豆小笠原諸島と琉球諸島の島しょ海域と、北海道襟裳岬沖、三陸海岸沖、房総半島沖の本土海域(赤丸で囲んだ海域)が、PB-MES を使った波力発電ファームの有望海域であり、波力発電の当初の市場は、離島発電であると考えている。

離島の発電コストは、燃料の輸送距離に比例すると言われており、東京電力と沖縄電力管内の島しょ地域の燃料輸送距離は、他電力管内の島しょ地域より長く、平均の発電単価は 40 円 / kWh 前後であるとの調査結果がある。

また、島しょ地域の主要な産業は農業、漁業、観光業で、自然エネルギー導入への関心は高く、面積の少ない陸地に建

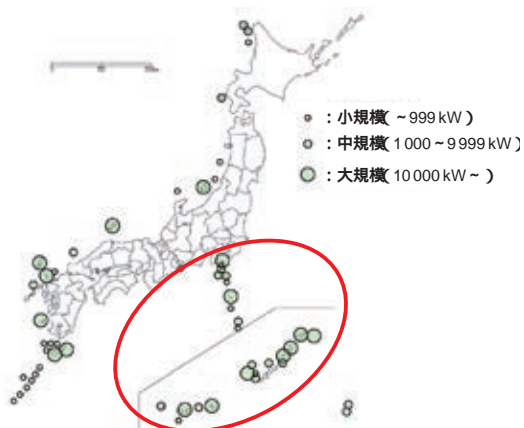


図7 離島発電の設備容量分布⁴⁾
Distribution of Power Generation at Isolated Islands

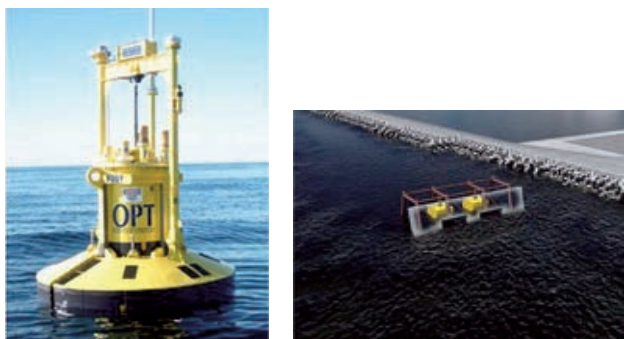


写真1 波力発電関連の応用製品
左：洋上の独立電源⁵⁾ 右：港湾等向け電源
Applied Products for Wave Power Generation
Left : Independent Power Supply at Ocean
Right : Emergency Power Supply in Harbor Area

設する太陽電池や風力発電のみならず、海上に設置する波力発電の導入が期待されている。

離島が有する発電機の設備容量を図7に示す。赤丸で囲んだように、東京電力と沖縄電力管内に相当の需要が見込める。まずは、離島発電から参入し、一定の生産規模に達した後に本土地域の発電に参入することを計画している。

波力発電には、日本の排他的経済水域(Exclusive Economic Zone: EEZ)を開発、監視するための各種の洋上設備の電源や、港湾地域向けの非常時・災害時の電源としての利用も考えられている。写真1に開発中の波力発電関連の応用製品例を示す。

3. 課題克服の検証結果

発電効率の向上は、水槽試験と数値シミュレーションの両面から検証を行った。荒天時対策を行った係留力は、水槽試験により検証した。

3.1 発電効率の向上

3.1.1 水槽試験結果

同調制御について2次元水槽を用いて検証した。写真2に着底式実験装置を示す。

模型サイズは実機の16分の1である。有義波高80mm(実

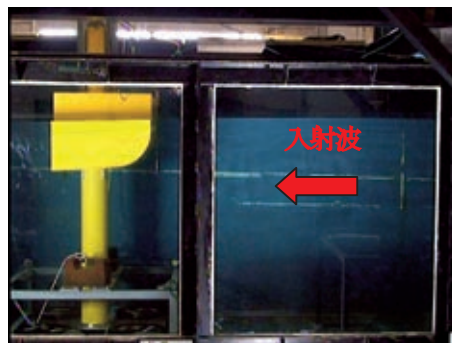


写真2 同調制御の実験装置(2次元水槽)
Experimental Device of Resonance Control
(Two Dimensional Water Tank)

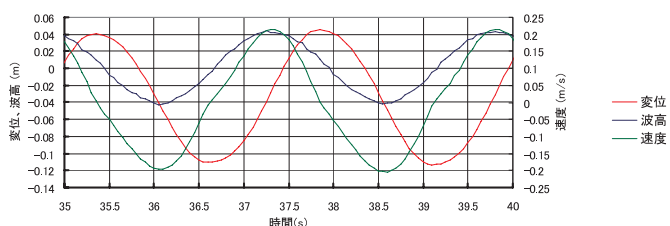


図8 同調制御の実証試験結果
Verification Test Result of Resonance Control

機換算1.28m)、周期2.5秒(実機換算10秒)の規則波に対して、同調制御を行った場合のフロートの変位(赤色)、入射波の波高(青色)及びフロートの速度(緑色)を図8に示す。

本試験結果より、入射波の波高とフロート速度が同位相で運動しており、フロートの変位が入射波の波高よりはるかに大きいことから、当社が開発した同調制御方法により同調現象が発生していることが分かる。

次に、有義波高125mm(実機換算2.0m)、周期1.5秒(実機換算6秒)、2秒(同8秒)及び2.5秒(同10秒)の不規則波に対して、TLP係留した浮体式発電装置模型に同調制御を用いた場合の発電効率を潮流水槽により確認した。写真3に実験装置を示し、図9に試験結果を示す。

1次変換効率(波エネルギーを機械エネルギーに変換する効率)は、不規則波中でも40~50%超を示した。従来の負荷制御を行った場合の1次変換効率は30%程度であるため、同調制御は発電効率向上に非常に有効な手段であることが確認できた。

3.1.2 数値シミュレーション結果

同調制御におけるフロートの運動や1次変換パワーは、数値シミュレーションで推定可能である。この数値シミュレーションは、東京大学の荒川教授に開発を委託した。以下では、動的シミュレーションと言う。

動的シミュレーションでは、スパー周りに上下するフロートの流体力係数(付加質量、造波減衰、波浪強制力振幅)をスパーの影響を考慮して解析し、フロートの制御に用いる力及びスパー内の発電機による負荷ダンピングの影響を加えて、フロートの運動方程式を時間領域で解析することにより、不規則波中でのフロートの運動や1次変換パワーなどを計算



写真3 同調制御の実験装置(潮流水槽)
Experimental Device of Resonance Control(Current Water Tank)

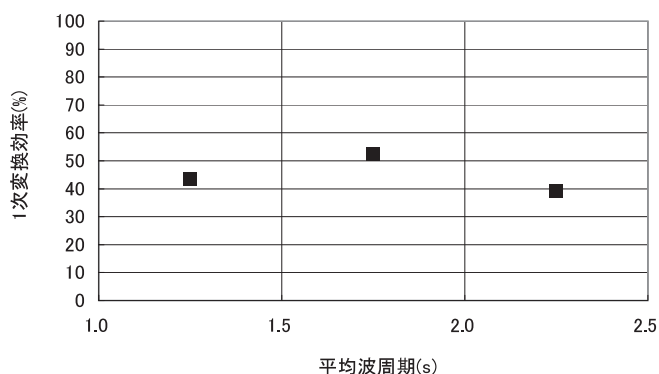


図9 同調制御を使った場合の1次変換効率
Primary Conversion Efficiency with Resonance Control

した。また、フロートに入射する波時系列より、フロートに作用する波強制力の時系列を作成しているため、計測された波データに対応した数値シミュレーションが可能である。

図10に発電模型計算に用いた解析モデルを示す。中心のスパーの影響を考慮して、フロートの流体力を解析した。

図11に平均波周期2.25秒(実機換算9秒)、有義波高63mm(実機換算1m)の不規則波の場合の解析結果と試験結果の比較を示す。1次変換パワーが、ほぼ一致していることが分かる。

動的シミュレーションの結果と水槽試験結果を比較することにより、動的シミュレーションの有用性が検証できた。

したがって、発電装置を設置する予定海域の波浪時系列データ、発電装置のフロートの形状や質量、発電機特性などが与えられれば、動的シミュレーションを用いて、設置海域における発電装置のフロートの運動や発電出力が推定可能である。

3.2 荒天時の係留

3.2.1 対策

荒天時に係留索に作用する最大係留力を小さくするために、スパーを長くして揺れを小さくし、荒天が予想される場合には事前に浮力タンクに海水を注水して係留索に作用する定常張力を小さくする方法を採用した。

写真4に荒天時対策を施した実験模型を示す。

3.2.2 水槽試験結果

2015年度に実施予定の実海域実証試験第一候補海域は、伊豆七島の神津島である。再現期間は50年が妥当である



図10 数値シミュレーションに用いた解析モデル
Analysis Model for Numerical Simulation

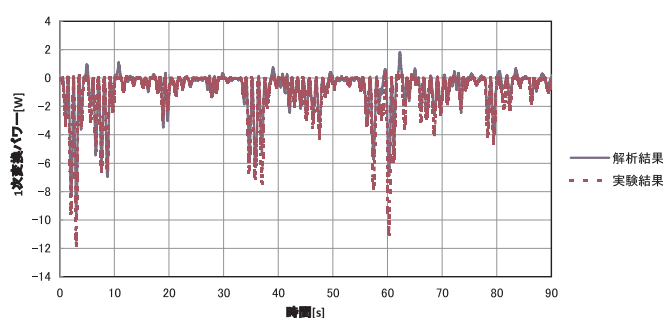


図11 不規則波の場合の解析結果と試験結果の比較例
Example of Comparison Between Analysis Result and Test Result in Case of Irregular Wave

と判断して、この海域の荒天時の波況を有義波高($H_{1/3}$)=11m、有義波周期($TH_{1/3}$)=14秒と設定した。

荒天時の試験は、実機の40分の1の模型を三井造船昭島研究所の潮流水槽に設置して実施した。荒天時の対策により、最大係留力を4MN以内に、ピッチ角の振れ幅を40度以内に減少することができた。写真5に荒天時の実験風景を示す。

図12に係留力の計測結果の1例を実機スケールに直して示す。

本荒天時対策による係留装置及び現場設置のコスト低減で、発電単価40円/kWhを実現するレベルまで下げることができる見通しが立った。

4. おわりに

日本の波力エネルギー開発において、事業化まで成功した事例として益田式航路標識ブイがある。世界で最初に実用化された振動水柱型波力発電装置であり、1965年に海上保安庁で採用され、現在も世界で広く使用されている。当社も含め、その後に日本が取り組んだ多くの波力発電技術開発は、実用化されていない。その原因は、大きく分けると次の2つと考えられる。

第一は波力エネルギーの変換効率が低いこと、第二は荒天時対策(係留施設)に費用がかかり過ぎることである。この両者が原因で、発電コストが高価になっていると考えられる。

先行して新エネルギーに認定された風力発電を例に、変換特性や荒天時の対策を見てみると、風力発電では、風車後方

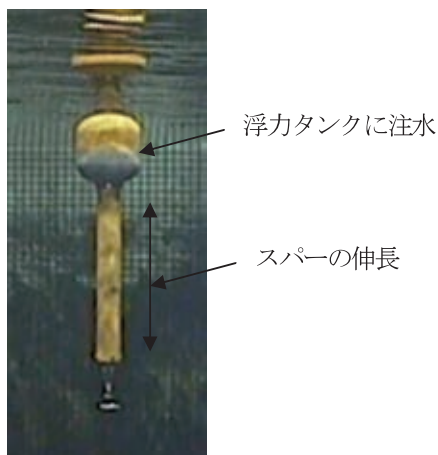


写真4 荒天時対策を施した実験模型
Experimental Model in Survival Condition



写真5 荒天時のPB-MESの挙動
Behavior of PB-MES in Survival Condition

の風が弱まり、風パワーを電力に変換していることが実感できる。また、強風時には風車の羽根をフェザリングして、過回転を防ぎ風パワーを逃がしている。ただし、日本の場合は海外に比べて突風の発生頻度が多く、羽根が折れたり支柱ごと転倒する事故も起きている。

一方、小型の浮体式波力発電装置では、波との同調現象をうまく利用することができず(可動部の固有周期が調整できない、発電装置を支える浮体が運動し過ぎるなど)、大幅な変換効率向上が実現できずにいた。この課題に対し、当社は、試験水槽で実績のある造波装置の造波・消波技術を応用した同調制御式波力発電装置を開発している。

次に、荒天時対策について考える。例えば、伊豆諸島周辺で有義波高5mを超える波は、年間発現頻度を調べると数%程度である。有義波高5m程度で発電を停止し、フロートを固定させるとすると、発電装置のストロークを小さくできる。また、この数%の発現頻度の波のために大きな係留装置を設置するのは、コスト増につながることから、これを避けるため、当社では荒天時の安全な退避方法を開発することにより、係留装置の巨大化を防止しコスト低減を図っている。

1970年代の“海明”、1980年代の“海陽”及び沿岸固定式発電装置、1990年代の“マイティーホーエル”及び防波堤組込式発電装置と10年毎に波力発電開発が盛んになり、当社も開発に関わってきた。2000年代の空白の10年の後に、今またNEDOの実証試験事業が再開された。

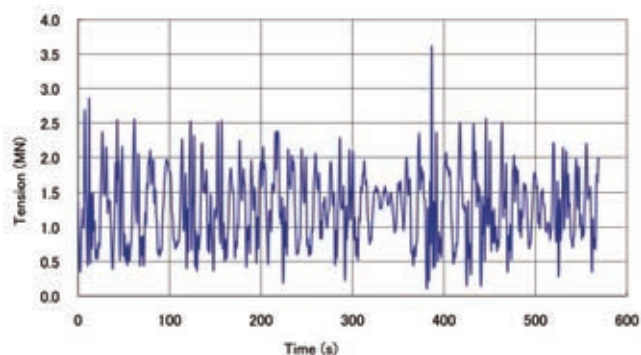


図12 荒天時のPB-MESの係留力
Mooring Force of PB-MES in Survival Condition

波力発電に利用可能な周辺技術の大きな進歩は、波で発電できることを証明しようとした2000年以前の研究プロジェクトから、低発電単価の装置であることを実証するプロジェクトへと大きく飛躍させ、波力発電に寄せられる期待が再び高まっている。このチャンスを活かし、その期待に応えて日本に新しい産業を創生できることを確信し、当社は波力発電の開発に取り組んでいる。

本技術開発は、NEDOの海洋エネルギー発電システム実証研究(機械式波力発電)の補助金を受けて実施しており、東京大学 荒川忠一教授及び早稲田卓爾准教授のご指導を受けている。ここに感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1)NEDO：再生可能エネルギー技術白書、(2010-7)
- 2)木下・外：反射吸収型造波装置の動作原理と性能、第2回波浪エネルギー利用シンポジウム、海洋科学技術センター、(1987-6)
- 3)東京大学生産技術研究所・外：2010年度環境省地球温暖化対策技術開発事業成果報告書「波力エネルギーの地域特性評価と係留システムの研究」、(2011-3)
- 4)NEDO：離島等独立系統における新エネルギー活用型電力供給システム安定化対策実用化可能性調査(2006)
- 5) Ocean Power Technologies, Inc. : <http://www.oceanpowertechologies.com>

〔問い合わせ先〕

技術開発本部 技術総括部
TEL 03 - 3544 - 3025 前村 敏彦



前村 敏彦



中野 訓雄



宮島 省吾

広島高速3号線の鋼上部工事(期 観音東工区) - 都市高速道路の設計・施工 -



写真1 架橋後の全景



写真2 “MESLAB”の施工状況

広島高速3号線(広島南道路)は、広島市南区仁保沖町から広島市西区観音新町四丁目に至る延長約7.7kmの都市高速道路である。

本路線は、広島呉道路や海田大橋から市中心部への交通の高速性や定時性の向上、周辺道路の慢性的な渋滞緩和、また広島港臨海部の開発計画の推進への寄与が期待されており、現在、平成25年度末の全線供用開始を目指して整備が進められている。

本橋梁の床版には、鉄筋コンクリート床版と比べて床版支持間隔を大きくすることができる鋼・コンクリート合成床版が採用された。本工事は上記路線の観音新町四丁目に位置し、鋼桁橋2連の詳細設計から施工までを行った(写真1)。

特長

本工事の主な特長を以下に示す。

(1) 鋼・コンクリート合成床版

- ・鋼・コンクリート合成床版は、底鋼板とコンクリートとをズレ止め一体化させた床版であり、鋼部材が型枠と仕保工の役割を果たすため、現地施工の安全性の確保とともに、工期短縮が図れる。
- ・鋼橋2連のうち、1連の鋼・コンクリート合成床版には、当社製品である“MESLAB”(エムイースラブ)を採用した(写真2)。

(2) 架設工法

- ・架設工法にはトラッククレーンベント工法を採用した。
- ・本橋梁は料金所を有するため、一部区間において総幅員

が31.5mと広く、また作業ヤードが限定されていることもあり、その区間においては横取り工法を併用した。

主要目

工事名：高速3号線 期 鋼上部工事(観音東工区)

工事場所：広島市西区観音新町四丁目

発注者：広島高速道路公社

請負者：三井造船鉄構エンジニアリング・日鉄トピーブリッジ建設工事共同企業体

工期：平成22年11月5日～平成25年7月31日

工事範囲：鋼橋上部工

鋼3径間連続非合成少数鈹桁橋

鋼5径間連続非合成少数鈹桁橋

工事延長：385.5m

鋼重：約2000t

床版面積：約7970m²

付帯工

水道管添架工

補償工

二重締切撤去工

護岸復旧工

(三井造船鉄構エンジニアリング株式会社)

〔問い合わせ先〕

技術本部 橋梁設計部

TEL 0436-43-1853 志熊 隆

リチウムイオン二次電池用正極材リン酸鉄リチウムの生産を開始
- 製造能力 2 100 トン / 年のプラントが竣工 -



写真1 市原工場

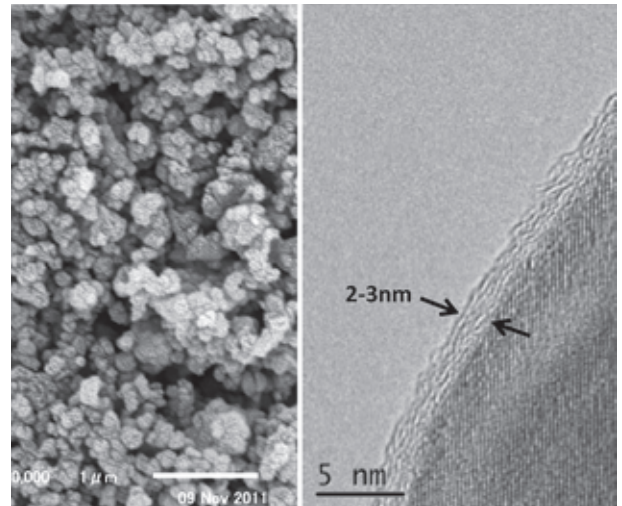


写真2 製品のマイクロ構造

2012年5月に建設を開始したM&Tオリピン株式会社(MTO)市原工場のリン酸鉄リチウム(LFP)製造プラント(製造能力:2100トン/年)が完成し、商用生産を開始した(写真1)。

三井造船は、リチウムイオン二次電池用正極材料の一つであるLFPの開発を2000年に開始し、ラボレベルからベンチレベルの開発を経て、2007年にパイロットプラント(製造能力:1トン/月)が稼働、2009年にはセミコマーシャルプラント(同:3トン/月)を建設し、サンプル製造とサンプルワークを行ってきた。

2011年に、戸田工業株式会社との協業によりLFPの製造・販売会社であるMTOを設立し、市原工場の完成によりLFP製造・販売事業を開始した。

リン酸鉄リチウム自体は極めて安全で、充放電のサイクル寿命が長く、急速充放電が可能で、安定した価格での提供が可能である。

MTOが提供するLFPは、電気容量及び電極密度が大きく、厚塗りも薄塗りも可能で、小粒径でブレンド・コーティング用途にも対応可能などの特長を有する(写真2)。また、特許への配慮も万全で、MTOは本LFPをワールドワイドに製造・販売することが可能であり、LFPを購入して製造した二次電池についても特許上の問題は生じない。

LFPの用途として、電気自動車、ハイブリッド自動車、ハイブリッドクレーン、電動船、スマートグリッド向けの中大型蓄電設備などがあり、幅広い分野での適用が期待されている。

当社は、LFPに続く新規正極材料として、リン酸マンガンリチウム(LMP, LMFP)の開発にも着手しており、MTOのLFP製造・販売事業を技術的に支援するとともに、MTOの将来事業に対するシーズを提供することでも支援を行っている。

主要目

製造プラント

製造能力	: 2 100 トン / 年
設備構成	: 1 050 トン / 年製造ライン × 2 系列
LFPの製法	: 固相法(乾式プロセス)
稼働	: 2013年4月
所在地	: 当社千葉事業所内

製品(標準品)の諸元

一次粒子径	: 100 ~ 200 nm
比表面積	: 10 ~ 18 m ² /g
中心粒径(D ₅₀)	: 1.5 ~ 2.5 μm
最大粒子径(D ₁₀₀)	: 27 μm 以下
炭素添加量	: 2.2 ~ 2.6 wt%
炭素層の厚み	: 2 ~ 3 nm
含水量	: 500 ppm 以下

(機械・システム事業本部)

〔問い合わせ先〕

M&Tオリピン株式会社 東京営業所
TEL 03 - 3544 - 3887 中野 均

東北大学 / カムランド
- 液体窒素貯蔵設備の竣工 -



写真1 液体窒素貯蔵設備



写真2 貯槽本体(二重殻タンク)

東北大学大学院理学研究科附属ニュートリノ科学研究センターの研究設備であるカムランドでは、 1200 m^3 の液体シンチレータ放射線検出器を用い、原子炉からの反ニュートリノ、地球内部からの反ニュートリノ、太陽からのニュートリノ及びキセノン原子核のニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊の検出が行われている。

納入した液体窒素貯蔵設備(写真1)は、これらの検出のために、下記を目的として高純度窒素ガスを供給する。

酸素雰囲気を嫌う液体シンチレータのパーージ
液体シンチレータの精製(ラドン等の放射性物質除去)

三井造船は、過去に極低ラドン濃度超高純度窒素ガス製造装置を同研究設備に納入している。しかし、窒素使用量の変更等の設備運用形態に変更が生じたため、設備効率の向上と迅速な供給体制を構築する必要性から、液体窒素貯蔵設備を地下坑内へ設置することとなった。

貯槽本体は円筒二重殻タンクであり、地下坑内の狭隘空間への搬入と据付けを行うに当たり、一般的には縦置きとするタンクを横置きとして設計した(写真2)。また、予め引き込み設置用のアンカーを打設しておくなど、仮設を工夫することにより確実な搬入と正確な設置固定を行った。

今後の運用により、ニュートリノ観測に寄与するものと期待される。

主要目

(1)貯槽本体

- ・形式：パーライト真空断熱式
- ・内容積：4942
- ・寸法：外形1712×奥行き4552×高さ1856(mm)
- ・材質：内槽SUS304、外槽SS400

(2)蒸発器本体

- ・形式：大気熱交換式
- ・能力： $40\text{ Nm}^3/\text{h}$ (連続供給値)
- ・寸法：幅1700×奥行き810×高さ2543(mm)
- ・材質：アルミニウム合金

(3)付帯設備

- ・強制排気装置
- ・警報システム等の安全設備

(4)その他

- ・工事範囲：設計、製作、輸送、据付、試運転調整
- ・工期：2012年8月～2013年6月

(エンジニアリング事業本部)

〔問い合わせ先〕

第二設計部

TEL 043 - 351 - 9266 山崎 太寛

ベトナム南北鉄道橋梁の安全性向上事業 - CP1B プロジェクトの竣工 -



写真1 Do Len 橋



写真2 記念モニュメント

本プロジェクトは三井造船が受注をしているベトナム南北鉄道橋梁の第三期近代化工事 4 工区のうち、当社として初めて竣工したものである。

工事範囲は、ベトナムの首都ハノイより南へ約 150 km、Do Len 河を渡る橋長約 160 m の鋼トラス橋梁(写真1)とその橋梁を含む約 2km の軌道更新工事及び近接する国道 1 号線の立体交差 PC 橋梁の新設が主である。

既設路線の改良工事であることから、活線工事となるため、橋梁の架設には横取工法を採用した。さらに、同国では珍しい踏切シグナルの電子化なども工事範囲に含まれており、ODA の STEP 案件としての特色も多くあった。

本年は日本とベトナムが外交関係を樹立して 40 年目に当たることから、日越友好年として各種行事が行われている。本工事の竣工式もその一つとして扱われ、竣工式典はベトナム国運輸大臣の臨席を賜り盛大に行われ、架橋地点にはこれを祝う記念モニュメント(写真2)も建てられた。

ベトナムは、周知のように南北に長い国土を持ち、東西を横切る河川が多い特徴を有するため、渡河を必要とするインフラが多い。今後も同様の工事が計画されており、我が国からの ODA 援助の有望な市場である。ベトナム国内に、鉄骨加工と橋梁工場である当社関連会社の MTSC 社(Mitsui Thanglong Steel Construction Company Ltd.)がある利点を活かし、引き続き工事に参画していくことで、両国の友好関係の一助となるように努力していく所存である。

なお、既に受注済みの他 3 工区のプロジェクトも順調に進捗しており、更に安全作業に留意して工期限内に完工させるべく、鋭意実施中である。

主要目

工事区間：

約 2.3 Km (KM152+630.00 ~ KM154+925.00)

工事範囲：

- ・鉄道橋上部工(単純鋼トラス橋(3径間)162.4m)の製作・架設と旧橋解体
- ・鉄道橋下部工(鋼トラス橋範囲の橋脚、橋台)の新設
- ・軌道の新設及び敷換(50N レールへの敷換)
- ・同上軌道部の踏切(2箇所)及び地下交差(1箇所)設置工事
- ・近接する国道 1 号線の立体交差化工事(単純 PC 桁(12径間)360.675 m の製作・架設)

工 期：2011 年 4 月 ~ 2013 年 7 月

(エンジニアリング事業本部)

〔問い合わせ先〕

第二設計部

TEL 043 - 351 - 9266 林 利昌

北アイルランド向け 15.8 MW のバイオマス発電事業に参画



三井造船株式会社の100%子会社であるBWSC社(Burmeister & Wain Scandinavian Contractor A/S, デンマーク)は、北アイルランドのIPP(独立系発電事業者)会社 Evermore Developments Limited (EDL)からバイオマス熱電供給設備(Combined Heat Power: CHP)を受注しました。BWSC社は、プラント建設の他、現地持株会社を通じてEDL社への出資(17.2%)を行うとともに、プロジェクト期間の運転・保守業務も併せて請け負います。

CHPは、北アイルランドのロンドンデリー市に建設されます。送電出力は15,800 kW、最大6,100 kWの熱を供給することも可能で、全体のエネルギー効率は40%を超えます。プロジェクトには英国の再生可能エネルギー補助制度が適用されます。燃料は建設廃材で、埋め立て処理をする場合と比較して、二酸化炭素排出量を今後20年間で約370万トン削減することが可能です。BWSC社はエンジニアリング、機器調達・据付・建設、試運転までを一括で請負、2015年の夏に引き渡し予定です。

BWSC社は、ディーゼル発電施設のエンジニアリング、建設、運転管理まで一貫した事業を世界の各地で展開しており、創業以来52カ国、170件以上の発電施設の納入実績があります。また、近年は環境問題の高まりを背景に、バイオマスボイラやバイオガスディーゼル発電にも進出し実績をあげています。

[問い合わせ先] 経営企画部 広報室 乾(いぬい) 電話: 03-3544-3147

三井造船技報編集委員会

委員長 中谷 龍 男
委員 木澤 厚 夫
神 永 肇
倉山 潔
速水 礼
須田 和 義
穴倉 進
鎌田 勤 也
佐野 健 一
兼本 浩

三 井 造 船 技 報

第210号

2013年(平成25年)11月11日発行
(年3回発行)

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

三井造船株式会社

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

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

技術開発本部

玉野技術開発センター	〒706-0014	岡山県玉野市玉原3丁目16番1号	TEL 0863-23-3001
千葉技術開発センター	〒290-8531	千葉県市原市八幡海岸通1番地	TEL 0436-41-1110
基盤技術センター	〒706-0014	岡山県玉野市玉原3丁目16番1号	TEL 0863-23-3101
昭島研究センター	〒196-0012	東京都昭島市つつじが丘1丁目1番50号	TEL 042-545-3111
つくば研究センター	〒104-8439	東京都中央区築地5丁目6番4号	TEL 03-3544-3266

海外事務所 北京, ジャカルタ, ハノイ, クアラルンプール

海外現地法人 三井造船ヨーロッパ株式会社(ロンドン)

三井造船(U.S.A.)株式会社

三井造船(上海)商貿有限公司

三井造船アジア株式会社(シンガポール)

三井造船技報 第 210 号の発行に当たって

「三井造船技報」をご高覧いただき、ありがとうございます。

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

送付先の貴組織名、ご担当部署、所在地などにつきましては正確を期しておりますが、変更などがございましたら、以下にご記入の上、FAX 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 - 3125

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

三井造船技報 送付先の確認と第 210 号へのご意見等について

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

a) 旧送付先

所在地 〒 _____

組織名称 _____

担当部署 _____

旧送付先は、現在の宛先ラベルのコピーをここに貼付して
頂いても構いません。

b) 新送付先

所在地 〒 _____

組織名称 _____

担当部署 _____

ご担当者 _____

TEL No. _____

FAX No. _____

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

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

技術論文・報告では

製品・技術ニュースでは

その他の記事では

(2) その他、ご意見・ご要望あれば、お聞かせください。

キ
リ
ト
リ
線

主要営業品目

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

液化天然ガス（LNG）運搬船，液化石油ガス（LPG）運搬船，原油輸送船，石油精製品運搬船，ばら積貨物船，オープンハッチ型貨物船，鉱石運搬船，石炭運搬船，コンテナ船，自動車運搬船，FSO，FPSO，超高速貨物船，超高速カーフェリー，各種特殊船

修繕船，各種改造船工事，M & Rエンジニアリング

護衛艦（DD），潜水艦救難母艦（AS），潜水艦救難艦（ASR），音響測定艦（AOS），輸送艦（LST），補給艦（AOE），掃海母艦（MST），海洋観測艦（AGS），巡視船，練習船，海洋気象観測船，漁業調査船，漁業取締船，海洋調査船，研究調査船，物理探査船，環境整備船，視察船，測量船，交通艇，消防艇，高速旅客船，深海探査ロボット（AUV，ROV），小型水中ロボット，水道管点検ロボット

自動艦位保持装置（DPS），システム操船装置，艦橋情報表示装置（ABS / IBS），舵減揺装置，船体運動状態表示装置（SMACS），航海情報表示装置，フィンスタビライザー，中折式デッキクレーン，赤外線低減装置，弾薬搭載機材，補機制御表示装置，機関操縦装置，水中放射雑音シミュレータ，防火防水実習場，各種訓練水槽，操船シミュレータ

橋梁，ハイブリッド構造物（浮防波堤，浮消波堤，浮棧橋，浮体式係船岸，ケーソン），海洋構造物（シーパース，ケーソン，沈埋函，ジャケット），浮体式海洋設備

船舶運航支援のポータルサービス

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

船用ディーゼル機関

往復動圧縮機，バイナリー発電設備，蒸気タービン，炉頂圧回収タービン，軸流・遠心式圧縮機

鍛造前誘導加熱装置（ピレットヒータ，バーヒータ，ピンヒータ他），鉄鋼・非鉄分野向誘導加熱装置（薄板加熱装置，銅管焼鈍装置，線材加熱装置），高周波電源装置（PWM インバータ，サイリスタインバータ，トランジスタインバータ，ゾーンコントロール用電源）

遠隔操作マニピュレータおよびその周辺機器，センシング機器（地中埋設物・建築物探査レーダ，太陽追尾探光システム，複合材剥離検査器），レーダ探査サービス，水理実験設備，塔，槽，熱交換器，回転式乾燥機

IT を活用した各種設備・機器のリモートモニタリングサービス・診断サービス・情報サービス，各種設備・機器の包括／一括メンテナンスサービス，各種技術サービス（運転及びメンテナンスにかかわる技術指導・工事指導・工事施工），LSS（ライフサイクルソリューションサービス：陸・船用ディーゼルエンジン，ガスタービン，各種ボイラ，プロセス用圧縮機，蒸気タービン発電設備，炉頂圧タービン発電設備，プロセス機器，誘導加熱装置，各種クレーンの保守，改造用部品・機器の供給，性能改善・改造工事・延命工事などのエンジニアリング・サービスと施工）SiC ウェハ，CVD-SiC コーティング，SiC 製半導体装置用部品

岸壁用コンテナクレーン，ヤード用コンテナクレーン，船用ガントリークレーン，ローダー，アンローダー（連続式，グラブバケット式），ジブクレーン，天井クレーン，コンテナターミナルマネジメントシステム

次世代リチウムイオン電池正極材

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

プラントのエンジニアリング及び建設工事（石油化学，化学繊維，合成樹脂，石油精製，ガス製造・精製，無機化学，化学肥料，石炭化学，発酵関連，ファインケミカル，代替エネルギー関連），プラント要素技術（加熱炉，分解炉，分解ガスクエンチャー，高粘度流体脱揮装置），エンジニアリング支援システム，フィージビリティスタディ，プラントメンテナンス，SDM 工事

海外土木・建築工事全般，特殊構造物，風力発電設備工事，海外橋梁

ガスタービン発電設備，ガスエンジン発電設備，ディーゼルエンジン発電設備，太陽熱発電設備，バイオマス発電設備，各種コージェネレーションプラント，バイオエタノール設備

三井リサイクリング 21（キルン式ガス化溶融システム），廃棄物処理関連（流動床式焼却炉，粗大ごみ処理施設，リサイクルセンター，加熱脱塩素化装置，ダイオキシン分解触媒，炭化炉，PCB 処理），ガス処理関連（脱塩，集塵）

水処理関連（産業排水，汚泥），ガス処理関連（排煙脱硫，排煙脱硝，脱臭），廃棄物再資源化システム（焼酎廃液，有機性廃棄物からのメタン発酵，コンポスト及び乾燥装置），バイオガスプラント（生ごみ・汚泥バイオガスプラント，油温減圧乾燥式食品廃棄物再資源化システム，家畜糞尿再資源化システム）

いざ！世界へ

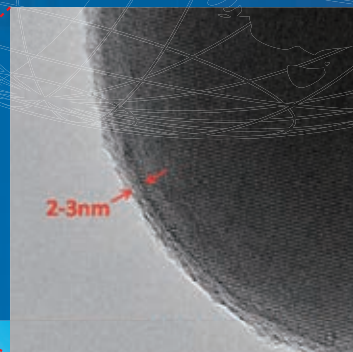
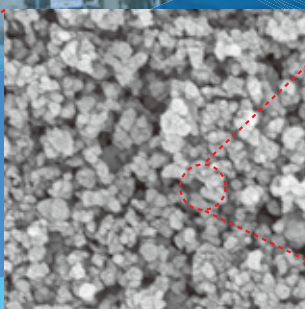
リン酸鉄リチウムの製造工場が本格稼働 (リチウムイオン二次電池用正極材料)

2013年3月の工場完成後、試運転を経てこのたび本格的に稼働を開始しました。

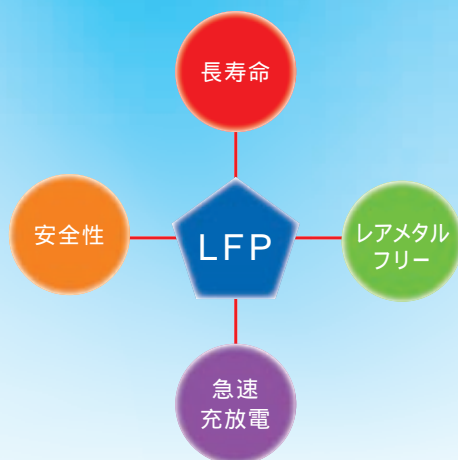
リチウムイオン電池の正極材料である『リン酸鉄リチウム(LFP)』を年産2,100トン製造する能力を持つこの施設。
当社の正極材料を使用したリチウムイオン電池が、いよいよ世界中に広がっていきます。

M&Tオリビン株式会社

リン酸鉄リチウム



拡大



リン酸鉄リチウム(LFP)の特長

熱力学的に安定しているため、極めて安全性が高い

充放電のサイクル寿命が長い

超微粒子、強固な結晶構造により、繰り返しの急速充放電が可能

レアメタルフリーのため資源的な制約を受けにくく、他の正極材料よりも価格が安定している

当社では、徹底した管理による高品質なLFPをお客様に提供します。