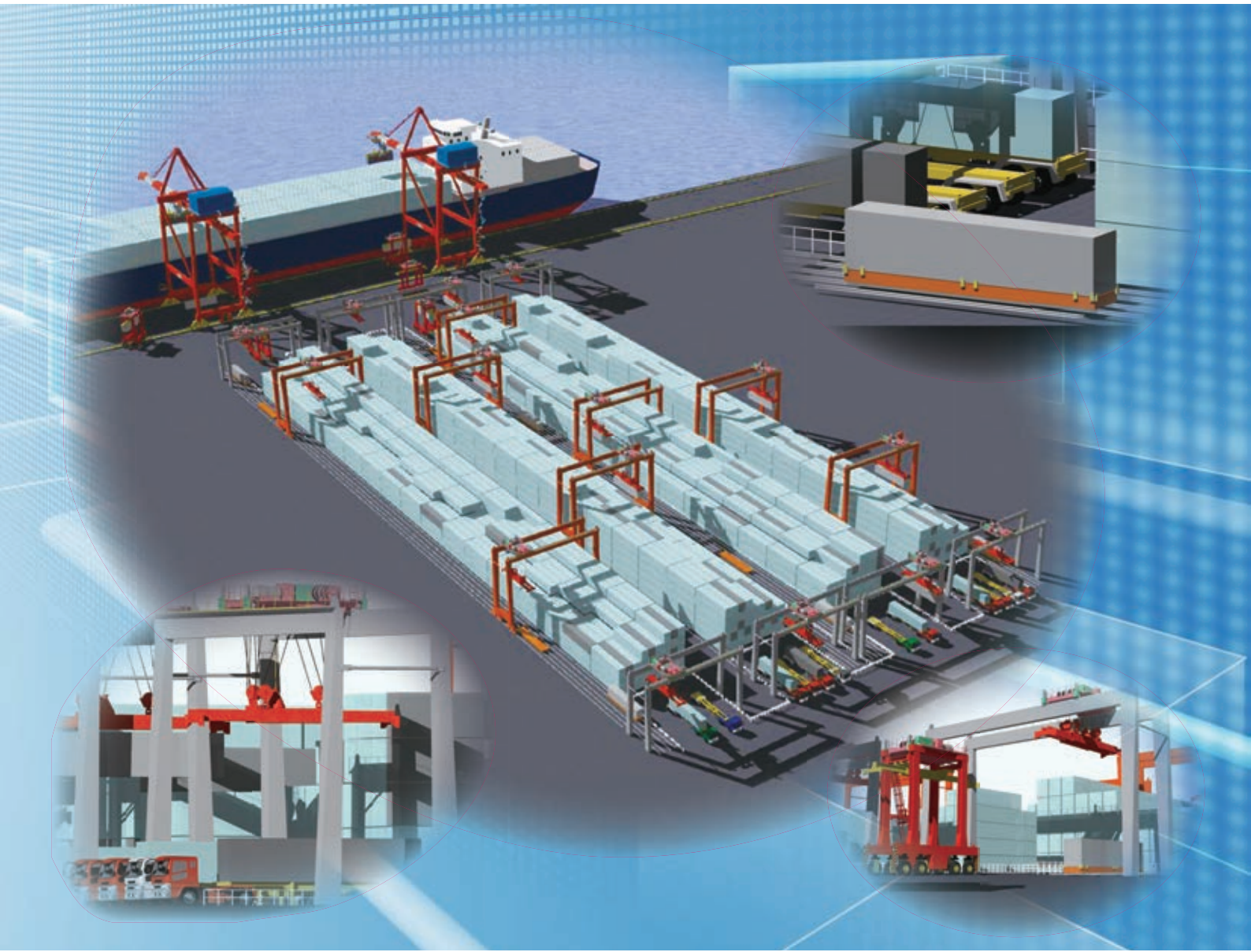


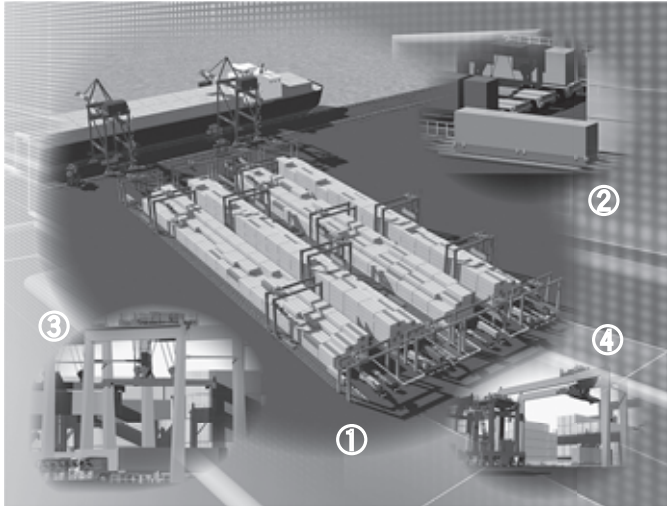
三井 造船 技報

平成 25 年 7 月 ■ 第 209 号

MITSUI ZOSEN TECHNICAL REVIEW No. 209 2013



次世代型高効率自動化コンテナターミナル



表紙説明

次世代型高能率自動化コンテナターミナル

三井造船は、コンテナ用岸壁クレーン（ポーテナー）及びコンテナ用ヤードクレーン（トランステーナ）等の港湾荷役機器とともにコンテナターミナルマネジメントシステム（CTMS）を提供し、コンテナターミナルの円滑な運営の実現に取り組んでいる。近年では、港湾荷役においてもCO₂削減が強く求められていることから、ハイブリッドトランステーナ、電動トランステーナを開発し、業界トップクラスとなる環境対応の港湾荷役システムを構築した。今回新たに開発したシステムは、これまでの港湾荷役システムを更に進化させ、既存の自動化ターミナル方式の課題とされている、コンテナ荷役能率の向上とエネルギー消費量の削減を同時に達成した、次世代型の高能率自動化コンテナターミナルシステムである。新しく開発したコンテナターミナルシステムは、従来の方式がクレーン自らコンテナを吊ってブロック内を搬送するのに対して、レールカートとクレーンが分担してコンテナを搬送するように改善を図ったところに特長がある。

- ①コンテナターミナル鳥瞰図
- ②コンテナ積載状態のレールカート
- ③陸側ゲート
- ④海側ゲート

Cover

Automated Container Terminal for Next Generation

Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd. (MES) has been providing the Ship to Shore Cranes (Portainer[®]) and Yard Cranes (Transtainer[®]) for container handling operation together with the Container Terminal Management System (CTMS) contributing to a smooth operation of the container terminals. Nowadays, based on the rising demand for CO₂ reduction from many ports of the world, MES has developed the hybrid Transtainer[®] and electronic Transtainer[®] establishing one of the most environmentally friendly container handling systems.

The high performance automated container terminal system of the next generation, incorporating these developed systems, achieves both the improvement of container handling efficiency and the reduction of energy consumption at the same time, which represent the major issues for the existing automated container terminals. The new system has the distinctive features in improving the container handling so that a railcart and a crane share the roles in transferring a container in the yard block, while the crane carries the container by itself in the existing system.

- ①Bird's eye view of the container terminal
- ②Railcart where a container is loaded
- ③Yard block view from the landside
- ④Yard block view from shoreside

三井造船技報

2013年(平成25年)7月・第209号

目次

製品・技術解説

高効率ガスタービンコージェネレーションシステム.....	1
エンジニアリング事業本部 西江 俊介	
組み込み系システム機器の技術	
- セキュリティゲート, 遠隔監視システムなどに搭載 -	6
三井造船システム技研株式会社 青山 直裕	

技術論文・報告

次世代型高能率自動化コンテナターミナルの開発.....	12
栢菅 信哉 深澤 紀博	
バイオマス由来 C5 糖の有効利用法の開発	19
大野 克博 牛越淳太郎 高岡 一栄	
バイオエタノール生産のための合成ガス資化性菌に関する基盤的技術の開発.....	26
酒井 伸介 高岡 一栄 喜多 晃久	
村上 克治 中島田 豊	

製品・技術ニュース

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CO ₂ 排出量削減装置 -	31
釜石港湾口防波堤用ケーソンを完成 - 大型ハイブリッドケーソンの製作 -	32
アウトプレート工法で鋼橋補強工事を実施	
- 炭素繊維プレート緊張材を用いて新湊川橋に適用 -	33

Home Page News

汚泥再生処理施設等建設工事, 受注	34
マルタ向けディーゼル発電設備を納入.....	34
船舶用電子制御式ガスインジェクションディーゼル機関(ME-GI)の デモンストレーション運転実施について.....	35

MITSUI ZOSEN TECHNICAL REVIEW

No. 209 JULY 2013

CONTENTS

Products and Technology Explanation	1, 6
Technical Paper and Report	
Development of Automated Container Terminal for Next Generation	12
<i>Nobuya KAYASUGA, Norihiro FUKAZAWA</i>	
Effective Utilization of C5 Sugars from Ligno-Cellulose Biomass	19
<i>Katsuhiko ONO, Juntaro USHIKOSHI, Kazue TAKAOKA</i>	
Development of the Basic Technologies in Synthesis Gas Utilizing Bacteria for Bioethanol Production	26
<i>Shinsuke SAKAI, Kazue TAKAOKA, Akihisa KITA, Katsuji MURAKAMI, Yutaka NAKASHIMADA</i>	
Products and Technology News	31, 32, 33
Home Page News	34, 35

高効率ガスタービンコージェネレーションシステム

エンジニアリング事業本部 西江俊介

1. はじめに

1.1 ガスタービンエンジン開発の歴史

第二次大戦以降、航空機用ジェットエンジンの進歩により、造船業界でもガスタービンの船用主機への利用について議論が交わされるようになった。1948年頃になると、大手造船所において船用ガスタービンの研究開発の機運が高まった。三井造船でも1950年から研究開発を始め、2000馬力開放型船用ガスタービンの設計に着手し、6年余りにわたり、試作・運転を行って耐久性を確認した。また、1953年には、密閉サイクルガスタービンのパイオニアであったエッシャー・ウィス社と技術提携契約を行い、1954年から防衛庁向け船用1万馬力密閉サイクルガスタービンの要素試験を開始し、1962年に総合耐久試験を完了した。

ガスタービンの開発に着手して以来、一時期、エッシャー・ウィス社からの技術導入やゼネラルエレクトリック社との製造契約を行ったが、当社は一貫して自社技術による開発・商品化を推し進めてきた。産業用ガスタービンとして日本最初の本格的な国家プロジェクト「ムーンライト計画/高効率ガスタービンの研究開発」(1978年～1987年)には、主要メンバーとして参画し、日本におけるガスタービン先進技術の研究開発に寄与し、当社のガスタービンの開発に対して日本機械学会賞等が授与された。

この長期にわたる試作期間中において、船用ディーゼル機関は高速・高過給化がめざましく進展したため、密閉サイクルガスタービンはその製造費、燃費等で船用主機としての競争力を失ってしまった。しかしながら密閉サイクルガスタービンは、燃費向上の目的から再熱、再生、中間冷却等を伴う

複雑なサイクル構成になっているため、その要素研究、試験と試作機の工場運転を通して、要素性能と高温部の構造設計上の貴重なデータが取得できた。

その後、二度のオイルショックでエネルギー消費型企業では、国の環境政策の強化もあって、エネルギーの総合利用の検討が求められるようになった。当社でもこれに呼応して、1985年に、電力と蒸気等の熱エネルギーを併用する石油化学会社に、大型ガスタービンコージェネレーションを納入し、国内のコージェネレーションの導入促進に火をつけた。また、同じ時期、大都市近郊の軽工業や大型オフィスビルでのコージェネレーション需要の高まりに呼応して、1988年にこれまでの受注生産型の体制を一変する量産可能な小型機種SB5型(1000kW)を誕生させた。当社のガスタービン事業の沿革と納入実績を図1に示す。

1.2 ガスタービンエンジンからコージェネレーションへの転換

欧米におけるガスタービンは、1960年代には実用期に入り、主として電力のピーク負荷や中近東油田における発電用として需要は増大しつつあった。その主流は、ガスタービンの特長である小型・軽量を生かす単純サイクル形式を採用したもので、材料の進歩に伴って、タービン入口温度も600から800クラスへと上昇しつつあった。一方、当社では、圧縮機やタービンの空力翼列性能の研究を進め、ガスタービンの開発能力が培われてきた。

この状況下で、当社の産業用ガスタービン/SBシリーズの原型となるSB15型ガスタービン(1500kW)を、1962年～1965年にかけて開発した。SB15型原型機の完成後まもなく8000kW発電設備を受注し、SB90型ガスタービン2台を1968年に納入した。SB90型について、そのスケールダウン型のSB30型を1973年～1976年に試作開発した。基本構

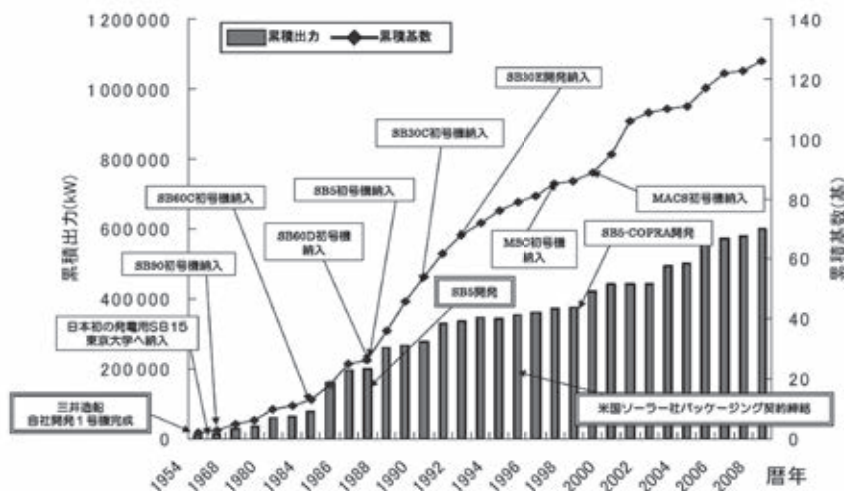


図1 ガスタービン事業の沿革と納入実績

造はSB15型と相似であるが、より進んだ耐熱材料の採用と高温部の冷却の強化により、タービン入口温度を930に昇温し出力増を達成した。本機種は、1980年～1986年にかけて海外市場に投入された。

その後、SB15型についても、SB30型の経験を基に出力増を図り、1987年までにタービン入口温度を1000まで上げ、軸流圧縮機の後部に遠心圧縮機を追加して圧力比を増加させ、性能改善を達成した。

オイルショックを境に、ガスタービンの高温・高効率化が加速される機運にあり、熱の総合利用の観点から、コージェネレーションプラントや複合サイクル発電プラントでの採用の兆しが現われてきた。

そこで、SB30型で開発した冷却技術の成果を活かして、発電用と共に機械駆動用にも適用可能なSB60型2軸型ガスタービンを1976年から開発した。本機は、熱効率30%以上を目標に、タービン入口温度1000とし、将来の高温化、高圧力化を考慮して、高温部の構造改良と圧縮機の段数増加が図られ、1986年には国内最大の都市ガス焼きコージェネレーションプラントとして納入した。

その後、「ムーンライト計画/高効率ガスタービンの研究開発」の成果を取り入れて、タービン入口温度を1100に上げ、発電により適した1軸機に発展させ、1988年にコンバインド型コージェネレーションプラントとして納入した。また、SB60型のスケールアップ機として、SBシリーズ最大機種のSB120型を1986年に開発し、オフガス燃料用のコージェネレーションプラントとして納入した。

従来は電力や熱(蒸気)の使用量が比較的少なかったため、自家発電設備を必要としなかった都市圏近郊の工場、あるいは大型化するオフィスビルにおけるコージェネレーション需要の高まりを背景に、これらの市場をターゲットとした1000kW小型ガスタービンSB5型の開発が、1985年～1988年に東京ガス株式会社、大阪ガス株式会社及び東邦ガス株式会社のガス3社との共同で行われた。本機は、タービン入口温度1000、発電効率25%で、廃熱ボイラと燃料ガス圧縮機を含むコージェネレーションシステムとして標準化が図られ、日本における先駆的なコージェネレーションの導入促進が評価されて、ガスタービン学会賞等を受賞した。

1.3 環境保全への対応

ガスタービンの高効率化、高性能化に対するプロジェクト

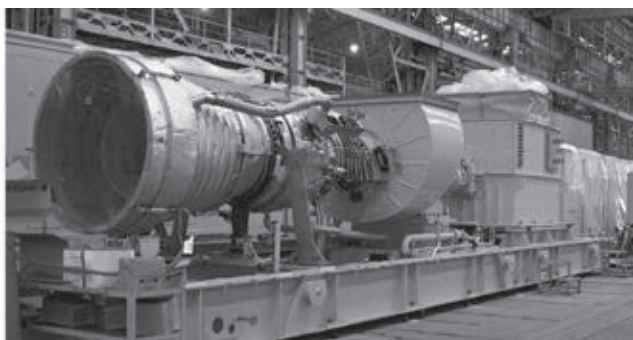


写真1 ガスタービン発電パッケージの外観
(エンクロージャを取外した状態)

に、当社も積極的に参画して、技術開発に取り組んできた。さらに、ガスタービン排気ガス中におけるNOx排出量の低減が、地球環境保全の観点から、厳しい社会要求として課せられるようになった。1980年代半ば、国内市場への設置が増加したと相まって、燃焼器の研究は低NOx燃焼技術の開発に集中した。こうして、希薄拡散燃焼器と蒸気又は水噴射の組合せは、1985年以降に国内に設置されたすべての発電設備に適用された。しかし、蒸気又は水の使用は総合熱効率を低下させるため、この方式に代わる低NOxの燃焼器の開発が求められていた。当社は1989年～1992年にかけて予混合燃焼方式による低NOx燃焼器の開発を進め、LNGガスを燃料に用いたSB5型ガスタービンの実機試験で、NOx排出量25ppm(O₂濃度16%)を達成した。

さらに、温室効果ガス排出削減の観点から、クリーン燃料を用いた高効率のコージェネレーション用ガスタービンのラインアップを強化すべく、1996年に中型産業用ガスタービンの世界トップメーカーである米国ソーラータービンス社(以下、Solar社)とパッケージング契約を締結し、三井・ソーラータービンコージェネレーションシステムのMSC(Mitsui Solar Cogeneration)シリーズをラインアップに追加した。

写真1は、ガスタービン発電パッケージの外観(エンクロージャを取外した状態)である。MSCシリーズは、ガスタービン自社開発のパイオニアである当社のエンジニアリング技術とSolar社の高効率ガスタービン技術を融合させたものであり、省エネルギー化及び地球の環境保全を推進する最近の市場ニーズに適合した発電設備である。写真2に、MSC70コージェネレーション設備全景を示す。本報では、主にMSCシリーズについて以下に紹介する。

2. 製品ラインアップ

2.1 MSCシリーズの紹介

MSCシリーズは、Solar社製のガスタービンを採用したコージェネレーションシステムである。その発電出力としては3MWクラスから13MWクラスまで幅広い範囲のラインアップがあり、表1にMSCシリーズの標準性能を示す。

コージェネレーションシステムとは、ガスタービンなどの原動機で発電機を駆動して電力を得ると同時に、原動機排気ガスの持つ熱エネルギーを蒸気または温水として取り出すエ



写真2 MSC70 コージェネレーション設備全景

表1 MSCシリーズの標準性能

システム名称	MSC40	MSC50	MSC60	MSC70	MSC90	MSC100	MSC130
ガスタービン	セントール 40	セントール 50	トーラス 60	トーラス 70	マーズ 90	マーズ 100	タイタン 130
燃料	都市ガス	都市ガス	都市ガス	都市ガス	都市ガス	都市ガス	都市ガス
NOx 対策	SoLoNOx	SoLoNOx	SoLoNOx	SoLoNOx	SoLoNOx	SoLoNOx	SoLoNOx
発電端出力(kW)	3 370	4 440	5 480	7 710	9 110	10 980	14 530
プロセス送気蒸気量(kg/h)	8 860	11 400	13 060	15 990	20 370	23 210	28 560
発電端効率(%)	27.1	28.6	30.8	33.6	31.1	32.2	34.5
蒸気回収率(%)	49.8	51.4	51.3	48.7	48.6	47.7	47.4
総合効率(%)	76.9	80.0	82.1	82.3	79.7	79.9	81.9

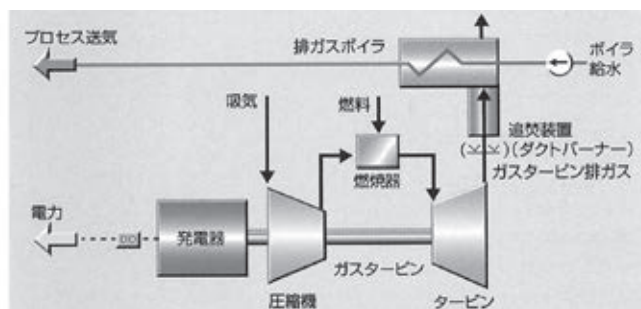


図2 MSCシリーズのシステムフロー

エネルギーシステムである。製紙工場やタイヤ製造工場などの産業用の場合、ガスタービンの高温排気ガスを熱源として発生させた蒸気は、工場のプロセス送気として利用するのが一般的である。ホテルや病院などの民生用の場合は、蒸気または温水として熱回収を行い、給湯や暖房、その他に吸収式冷凍機を介して冷房に利用することがある。図2に、MSCシリーズのシステムフローを示す。

MSCシリーズは、ガスタービン本体をSolar社から輸入し、その他の機器を全て当社にて設計・製作・組立を行い、発電パッケージとして販売している。

以下に、MSCシリーズの特長を示す。

(1) 発電パッケージの構成

- ・ガスタービン本体及び発電機は鋼製台板上に設置され、エンクロージャに納められる。
- ・ガスタービンは回転機械であるため、振動に対して十分注意を払う必要がある。図3に鋼製台板の有限要素法(FEM)解析結果を示す。この結果は、ある固有振動数における鋼製台板の振動モードを示したものである。このような解析結果をもとに、振動の高い場所にはリブを追加したり、場合によっては構造を変更するなどの対応を行い、振動の少ない最適な設計を実現している。
- ・燃料制御ユニット、潤滑油ユニットなどの周辺機器も全て鋼製台板上に設置されており、コンパクトなパッケージとしている。
- ・エンクロージャの防音性能は機側1mにおいて85dB(A)を標準仕様としているが、設置箇所に合わせて更なる騒音の低減が可能である。

(2) 周辺機器

- ・燃料系統、潤滑油系統や排ガスボイラを含む吸排気系統は当社にて設計・製作を行い、操作性を考慮しつつコンパクト化を狙った設計とすると共に標準化を図ることで

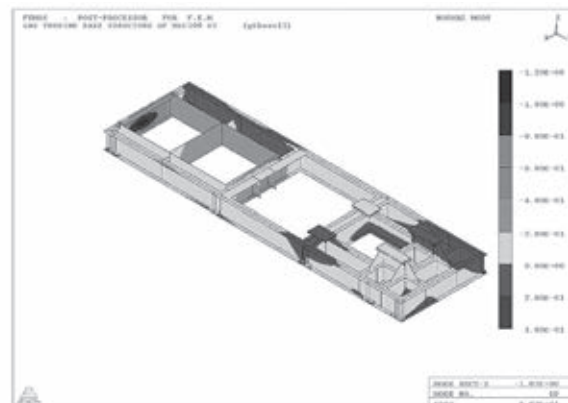


図3 鋼製台板のFEM解析結果(振動モード)

高い信頼性を実現している。

(3) 燃料システム

- ・燃焼器インジェクタを選択することにより、ガス燃料と液体燃料のどちらでも使用できる。
- ・デュアルフューエルインジェクタを使用することにより、ガス燃料と液体燃料を運転中に切り替えることができる。

(4) 制御システム

- ・ガスタービンの自社開発で培ったノウハウを適用した当社独自の制御システムを採用し、低NOx燃焼(希薄予混合燃焼)の短所であるガスタービンの負荷変動時の失火を防止している。
- ・系統連系や自立運転など顧客のニーズに合わせた運転モードに設定できる。

(5) メンテナンス

- ・運転制御室に設置される制御パネルには、液晶タッチパネル方式を採用しており、日常の運転状態の監視を容易にしている。
- ・ガスタービン本体については、全ての機種でエンジン交換方式によるオーバーホールサービスを行い、ガスタービンのオーバーホール時にあらかじめ用意された新品同様に整備されたガスタービンと交換を行う。これにより、従来の現地開放検査時に1ヶ月近く必要であった設備の停止時間を約1週間にまで短縮できる。
- ・インターネットと電話回線を利用した運転状況の遠隔監視システムを標準装備しており、ユーザが日常の運転保守管理を効率よく行えるように、消耗品交換時期の連絡や予備品購入の推奨などタイムリーなメンテナンスサポートを提供する。

(6) オプション

・排ガスボイラに追焚きバーナを設置することにより、更に多くの蒸気を回収できる。

また、発電パッケージにガス燃料を供給するガス燃料圧縮機ユニットも当社にて設計・製作を行っている。このため、発電パッケージだけでなく、ガス燃料圧縮機ユニットや排ガスボイラなどの排熱回収設備などに対しても長年の経験に裏付けられた高水準の包括的メンテナンス体制を整えている。

2.2 コンバインド型コージェネレーションシステムの紹介

当社は、高い総合効率が得られるシンプルなコージェネレーションタイプの MSC シリーズの他に、蒸気タービンを組み合わせた熱電可変型の高効率コンバインド型コージェネレーションシステムもラインアップしている。本システムは、蒸気タービンメーカーでもある当社の回転機械技術ならびに熱回収システム技術を高度に融合させた先進のコージェネレーションシステムである。熱電可変型とは、ガスタービン排気ガスを熱源として、排熱回収ボイラで発生させた蒸気をプロセス送気と蒸気タービン発電用蒸気に任意の割合で振り分けることによって発電量の調整ができるシステムである。コンバインド型コージェネレーションシステムの特長を以下に示す。

- ・電力最大運転にて、全機種で 40% 以上の発電効率を達成できる。
- ・蒸気タービンはクラッチシステムと両軸駆動発電機の採用によりタンデム配置とし、省スペース化を実現した。
- ・高温排気ガスを利用して発生させた蒸気をガスタービン内に注入して出力増加を図る蒸気注入型と異なり、ガスタービン本体は常にドライに保たれガスタービンの高温部品への影響がない。

表 2 に、コンバインド型コージェネレーションシステムの標準性能を示す。

3. ガスタービンの燃焼技術

地球環境保護のために低炭素社会を目指している中、ガスタービンの排ガスについて特に問題視されるのは NOx であり、NOx 発生量を低減させるための燃焼技術の改良は、重要な課題である。以下、Solar 社の燃焼技術について紹介する。

3.1 SoLoNOx システム

NOx には、主に以下の二種類が存在する¹⁾。

(1) フューエル NOx: 燃料中の窒素から発生する NOx

(2) サーマル NOx : 燃焼時の高温による空気中の窒素の酸化により生成される NOx

フューエル NOx は、通常使用されている都市ガス中には窒素が含まれていないため発生することはない。サーマル NOx の低減には燃焼温度を下げる必要がある。しかしながら、この方式では NOx 発生量が低減する代わりに CO 発生量が増加し、また燃焼が不安定となる。図 4 に、空燃比と NOx 発生量及び CO 発生量の関係を示す。

Solar 社のガスタービンには、水噴射や蒸気噴射を行うことなく、排出 NOx 濃度を極めて低いレベルに抑えることができるドライ型希薄予混合燃焼システム(以下、SoLoNOx システム)を採用している。従来の燃焼システムと SoLoNOx システムの概念を図 5 に示す。従来の燃焼システムは、圧縮機にて圧縮された高温高压の空気の中に燃料ガスを直接噴射して燃焼させる方式である。この方式では、燃料ガス濃度の濃淡ができ、局所的な高温領域が発生し NOx 発生量が増加する。これに対して、SoLoNOx システムは燃料ガスと空気を予め混合させて燃料ガス濃度の濃淡をなくした希薄混合気体とすることで、局所的な高温領域を発生させず、NOx 発生量を低減させるシステムである。Solar 社は、1990 年代初めにこの SoLoNOx システムを採用したガスタービンをリリースし、排出 NOx 濃度 42 ppm (O₂ 濃度 16% 換算値、以下の数値は本換算で示す)を達成した。その後更なる改良を行い、1990 年代半ばには排出 NOx 濃度を 25 ppm にまで下げること成功し、燃焼器ライナの開発により希薄予混合燃焼の欠点である不安定燃焼を発生させずに、現在では排出 NOx 濃度 15 ppm で安定燃焼するガスタービンを開発している。

3.2 今後の展開

NOx 規制が年々厳しくなっている中、Solar 社では更なる低 NOx 技術開発を他社と共同で進めており、その中の一部を以下に示す。

- (1) 触媒燃焼²⁾: Precision Combustion 社が開発した触媒燃焼バーナの適用
- (2) 表面燃焼バーナ³⁾: Alteza 社が開発した nanoSTAR と呼ばれる表面燃焼バーナの適用(写真 3)
- (3) 低旋回インジェクタ: Lawrence Berkeley 国立研究所が開発した低旋回インジェクタの適用(写真 4)
手法は異なるが、いずれも希薄予混合燃焼時の燃焼の不

表 2 コンバインド型コージェネレーションシステムの標準性能

システム名称	MACS60		MACS70		MACS90		MACS100		MACS130	
ガスタービン	トーラス 60		トーラス 70		マーズ 90		マーズ 100		タイタン 130	
燃料	都市ガス		都市ガス		都市ガス		都市ガス		都市ガス	
NOx 対策	SoLoNOx		SoLoNOx		SoLoNOx		SoLoNOx		SoLoNOx	
運転モード	電力最大	プロセス送気最大	電力最大	プロセス送気最大	電力最大	プロセス送気最大	電力最大	プロセス送気最大	電力最大	プロセス送気最大
発電端出力 (kW)	7 530	5 480	10 220	7 710	12 230	9 110	14 550	10 980	19 020	14 530
プロセス送気蒸気量 (kg/h)	0	12 140	0	14 840	0	18 460	0	21 240	0	26 330
発電端効率 (%)	42.3	30.8	44.5	33.6	41.7	31.1	42.7	32.2	45.1	34.5
蒸気回収率 (%)	0.0	48.2	0.0	45.7	0	44.5	0.0	44.1	0.0	44.2
総合効率 (%)	42.3	79.0	44.5	79.2	41.7	75.6	42.7	76.3	45.1	78.7

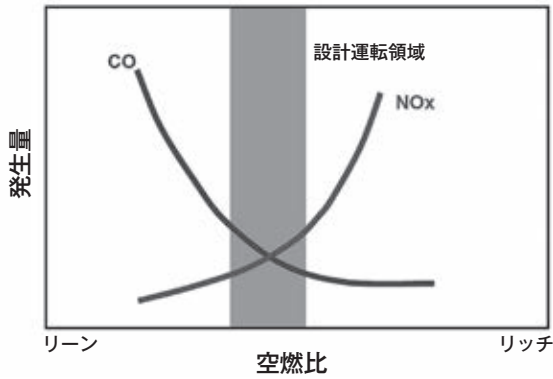


図4 空燃比とNOx発生量及びCO発生量の関係

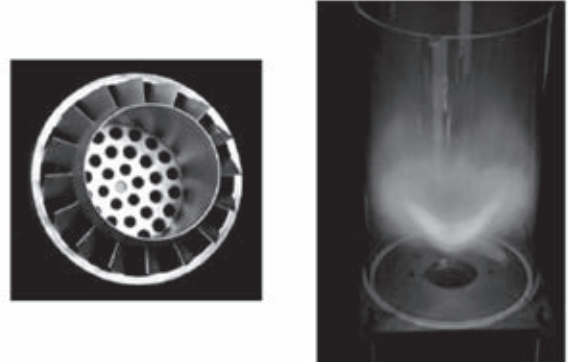


写真4 低回転インジェクタ

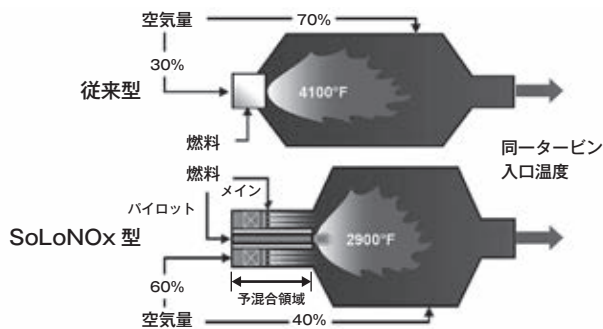


図5 SoLoNOx システムの概念

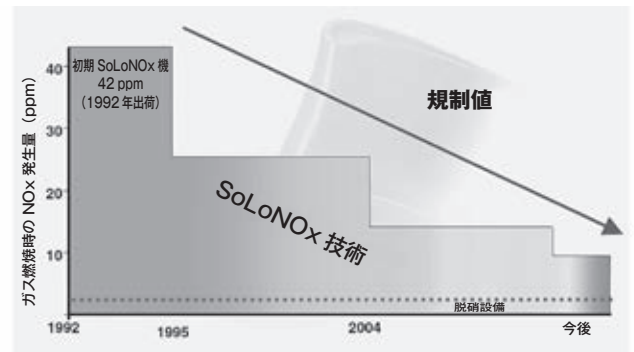


図6 SoLoNOx システムにおけるNOx低減化の推移

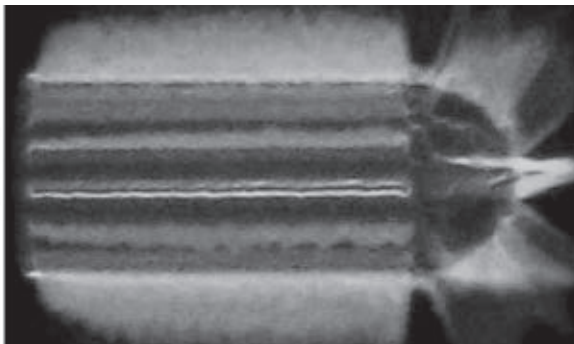


写真3 表面燃焼バーナ

安定(燃焼振動)を防止するために、安定した燃焼による低NOx化を目的とした技術である。これらの技術は開発段階であるが、テスト機でNOx排出濃度3ppm未滿を達成している。今後、市場に投入するにあたり、燃焼振動、閉塞、燃料中の不純物の影響等の懸念事項を確認するために長期間の運転テストを計画中である。図6に、Solar社のSoLoNOxシステムにおけるNOx低減化の推移を示す。

4. おわりに

本報では、高効率ガスタービン発電設備としての三井・ソーラーガスタービンコージェネレーションシステム/ MSCシリーズについて紹介した。2011年の東日本大震災以降、安定電源の確保に向けた活発な動きがあり、分散型発電の要求が高まる中、工場等の自家発電設備として当社の製品ラインアップの出力範囲は、これらのニーズに合致している。また、当社は非常用電源としてのガスタービン発電設備の納入実績もあ

り、停電時の常用電源が使用できない状況でも空気による起動が可能なエアモータ装備機など、様々なニーズに対応が可能である。当社の一番の強みはガスタービンの自社開発によって得たエンジニアリング技術であり、このエンジニアリング技術と高効率・低NOx型のSolar社のガスタービンを融合した三井・ソーラーガスタービンコージェネレーションシステム/ MSCシリーズにて今後も顧客のニーズに沿い、かつ環境に配慮したガスタービン発電設備を提供していくことで社会に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 三輪：ガスタービンの基礎と実際，(1996)，p. 110，成山堂書店
- 2) Hansan K., et al. : Advanced catalytic pilot for low NOx Industrial gas turbine, ASME GT2002-30083,(2002)
- 3) Steven J. G. , et al. : Surface-stabilized fuel injectors with sub-three ppm NOx emissions for a 5.5 MW gas turbine engine, ASME GT2003-38489,(2003)

共同執筆者：八幡清正 楠 房雄

〔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 桑川 滋

組み込み系システム機器の技術

- セキュリティゲート，遠隔監視システムなどに搭載 -

三井造船システム技研株式会社 青山直裕

1. はじめに

三井造船システム技研の電子ソリューション事業部では，組み込み系システムを軸に多分野にわたる顧客に対して，ニーズに合わせた製品の開発，製造，据付，保守サービスまでを一貫したサービスとして提供している．本報では，電子ソリューション事業部の組み込み系システムにおける開発実績について，分野別に代表的な製品を例に挙げて紹介する．

2. 組み込み系システム機器の開発動向

2.1 分野別開発動向

2.1.1 セキュリティ分野

ここ数年来，情報の流出による社会的責任の重大さからクローズアップされているセキュリティ分野において，入室管理による情報の流出防止，安全管理，不審者の入室防止などの必要性が高まっている．これらのニーズに対応するため，電波による個体識別(Radio Frequency Identification: RFID)技術を利用した非接触 IC カード認証により，人管理と扉の施錠管理を実現した．また，工事現場などの入退場時に両手で荷物を持つことで IC カードをかざすことができない場面を想定して，ハンズフリー通行による認証システムにも取り組み，ハンズフリーセキュリティゲートを製品化した．

2.1.2 通信分野

当社は，通信分野において，株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモの FOMA 通信アダプタ(FOMA ユビキタスマジュール)によるダイヤルアップ接続環境で使用できるオンラインモニタソフト(PPP Packet Viewer， /HW)の開発及び自社ブランドでの販売を行っている．また，水質計などのセンサ情報を監視し，FOMA 網を経由してデータを配信するテレメリング(遠隔地にある計測器などのデータを通信回線を使って収集するシステム)端末(Data Transfer Unit: DTU)をエヌ・ティ・ティ アイティ株式会社向けに開発し，さらに量産化中(OEM 供給)である．

2.1.3 自動販売機分野

自動販売機分野では，商品の購入方法として，Suica や楽天 Edy に代表される IC カードで購入できる自動販売機が増えてきている．当社では，社員証(IC カード)により識別できる人を対象に，社員証で商品を購入でき，商品代は後日給与控除する決済機能を持った自動販売機カードリーダーユニットを製品化し，販売中である．

2.1.4 クリーンエネルギー分野

クリーンエネルギー分野では，太陽熱発電システムに使用されるヘリオスタットに使用するモータ制御装置を開発した．ヘリオスタットとは，太陽を自動追尾し，光を鏡で反射させて決められた的(レシーバ)に集光させるための装置である．このほか，独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)プロジェクトの「港湾設備を中心とした産業用機械の EV/HEV を実現する大型蓄電池の実用化開発」に三井造船と共に参画し，リチウムイオン電池のモジュール化についての研究開発を実施中である．

2.1.5 船用分野

船用分野では，船用ディーゼルエンジン用制御装置，各種操船装置などに対応した制御システムの開発，製造，保守サービスまで一貫したサービスを展開している．

2.2 要素技術から見た開発実績

2.1 で紹介した各分野への取り組みを下支えしている要素技術について紹介する．

2.2.1 組み込み系機器におけるハードウェアへの対応

組み込み系機器の基本的なハードウェア構成を図 1 に示す．CPU，メインメモリ，プログラム格納メモリ，周辺デバイスより構成される．この構成は，パーソナルコンピュータ(PC)についても同様であるが，不特定多数のユーザを対

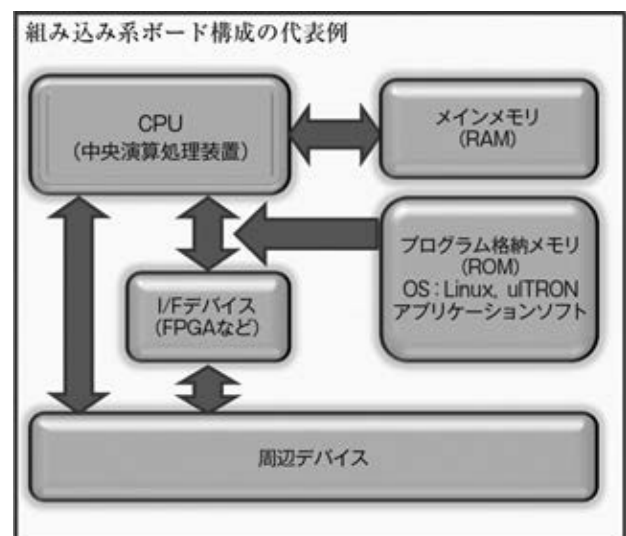


図 1 組み込み系機器の基本的な構成

象に幅広い用途に使用されることを前提とした PC は、ハイスペックで高価な部品より構成されるため、組み込み機器用途に用いる場合には、オーバースペックになりがちで、消費電力の大きさも問題となる場合が多い。このため、組み込み系機器については、特定の用途に限定し、搭載する部品の最適な選定及び必要機能のみの搭載により、小型、低価格、低消費電力を追求した専用装置として開発する。組み込み系システムに使用する CPU は、ARM 系、PowerPC 系、ルネサスエレクトロニクス株式会社製の SH シリーズ、V シリーズなどが代表的であり、PC 向け CPU と比較して動作周波数、消費電力及びサイズを抑え、低コストである。また、OS として PC と同じ Windows を搭載する場合には、x86 系 CPU を選択する必要があるが、冷却用ファン無しでの動作が可能な Advaced Micro Devices,Inc. 製の Geode、Intel Corp. 製の Atom などを採用する。なお、最近の CPU はメインメモリ、プログラム格納メモリ、周辺デバイスを内蔵した 1 チップマイコンも多く、小型でありながら、豊富な周辺デバイスを持つ多機能な製品も増えてきており、用途によって使い分けている。表 1 に、主な CPU の採用実績について示す。

2.2.2 少量多品種の組み込み機器への対応

図 1 に示すように、CPU と周辺デバイスの接続に使用している部品に FPGA (Field Programmable Gate Array) がある。FPGA はハードウェア記述言語による回路設計が可能な部品であるため、CPU と周辺デバイスを接続するための論理的な信号変換機能の実現と独自機能を持つ電子部品を開発することができる。このため、IC を組み合わせることで機能実現することに比較して、機器の小型化に貢献できる。さらに、プリント基板への部品実装後に回路構成の書き換えができるため、柔軟な機器開発を可能にする特長を持っている。また、FPGA 内部に CPU コアを含む製品もあり、CPU 及び周辺回路を集約した SoC (System on Chip) を実現することも可能となる。

2.2.3 ハードウェアへ組み込むソフトウェアへの対応

近年、組み込み系システムにおいてもアプリケーションの複雑さに伴い、ハードウェア資源の管理、マルチタスク実行の管理、タスク間通信の管理が効率良く行える OS を搭載することが多くなってきている。組み込み系システムに使用する OS はリアルタイム OS、組み込み Linux、Windows CE といった OS が代表的であり、装置の目的に応じて最適な OS を選定することが重要となる。制御系システムにおいては、スループットの向上が第一優先に求められることが多いため、リアルタイム OS を採用する。リアルタイム OS の採用により複雑な処理の優先度をスケジューリングし、マルチタスク実行により、外部イベントに対する応答速度の向上を

実現している。業務系あるいはリアルタイム性が低いシステムについては、周辺デバイスへの柔軟な対応が可能な組み込み Linux を搭載する。また、表示系を重視する Windows 系のアプリケーションを利用する場合は Windows CE を採用する。これらの組み込み系 OS は、必要な機能のみに最適化することが可能であり、プログラム格納メモリを PC に比較して極端に小さくできるため、オンボード上に構成できるコンパクトなフラッシュメモリに格納することができ、機器の小型化、低価格化にも貢献する。

2.2.4 周辺デバイスへの対応

セキュリティ分野、自動販売機分野においては、RFID 技術を採用し、非接触型の個人認証を実現している。具体的には、IC カードをかざす近距離通信には HF 帯 (13.56 MHz) を利用する NFC (Near Field Communication) リーダモジュールを採用し、IC カードとして多くのシェアを持っている FeliCa、MIFARE 両方のカードに対応した製品を開発した。また、数メートル程度の通信距離が必要な認証システムには UHF 帯タグを採用し、対応できる認証システムの適用範囲を拡大している。通信分野においては、株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモが開展している FOMA コピキタスモジュールのハンドリング技術をベースに、FOMA 網へのアクセスに対応した装置を開発した実績がある。3. ではここに紹介した組み込み系の要素技術を使用して開発した代表的な製品を紹介する。

3. 製品の紹介

3.1 ハンズフリーセキュリティゲート(舷門管理装置)

3.1.1 開発の背景

様々な現場において、セキュリティ及び安全管理の必要性から 認証ゲートを設置する機会が増加してきている。しかし、作業現場においては、荷物や工具の運搬、作業現場での安全性などの面で、従来のカードをかざす運用には問題があった。このような背景より、通過者をハンズフリーで認証し、フラッ

表 1 CPU 採用実績の一例

アーキテクチャ	コア			
ARM 系	ARM9	ARM11	Cortex-M3	
SH 系	SH3	SH4	SH2A	SH4A
X86 系	Geode			



写真 1 ハンズフリーセキュリティゲートの外観

パーゲートによる高いセキュリティ機能を実現するハンズフリーセキュリティゲート装置を開発し、2012年8月から三井造船玉野事業所にて1号機の運用を開始した(写真1)。

3.1.2 セキュリティゲートの概要

セキュリティゲートは以下の機能により、ハンズフリー通行が可能で、高いセキュリティ機能を実現している。

ヘルメットにUHF帯タグを装着し、セキュリティゲート通過時に自動で読み取る。

セキュリティゲート内部の人感センサとフラッパーゲートでUHF帯タグを持たない不法侵入者、共連れ通行の検出を行う。

UHFリーダアンテナでUHF帯タグの移動検出を行い、1台のゲートによる両方向の通行管理が可能である。

3.1.3 セキュリティゲートの特長

セキュリティゲートの仕様を表2に示す。艦船の岸壁接岸状態での乗下船チェックなどにも対応するため、移設性、塩害・砂塵などの耐環境性を考慮した設計となっている。

また、本セキュリティゲートは、当社の入退セキュリティシステム“MSSX”と組み合わせることにより、以下のように門、建屋、部屋の出入りに合わせた統合的なセキュリティと安全管理が可能である。

作業者の作業現場への入退場を遠隔地からリアルタイムに把握でき、セキュリティの向上と安全面の管理が可能である。

作業現場出入口へ容易に設置、導入が可能である。

ヘルメット内部のUHFタグによりゲートを通すだけで、入退時記録収集が可能である。

不正通行検出時、警告灯、ブザーで警報出力し、管理者へ即時通知することができる。

監視カメラとの組合せにより、不正入場のチェックが可能である。

火災などの事故発生時、避難の妨げにならないように手動操作によるゲート開放が可能であり、また、安否確認を目的とした残留人数の確認も可能である。

3.2 FOMA 通信対応遠隔監視端末“DTU”

3.2.1 開発の背景

各地で稼働しているテレメトリングシステムは、専用/公衆電話回線を利用して遠隔地の計測器よりデータ収集を行っているが、機器、通信回線の老朽化に伴う通信品質の低下、メンテナンス費用の増大という課題が出てきている。そこで、公衆無線通信網「DoPa パケット通信」が全国的に整備されたことから、2002年に無線テレメトリング装置“DTU”をエヌ・ティ・ティ アイティ株式会社向けに開発し、OEM供給を行ってきた。現在は、通信網の進化に併せ、FOMA パケット通信に対応した“DTU”を開発し、OEM供給を行っている。

3.2.2 “DTU”の概要と特長

“DTU”を使用したシステム構成を図2に示す。また、“DTU”の仕様を表3に示し、以下にその特長を記す。

(1)データ通信機能

FOMA パケット通信に対応した「FOMA コピキタスモジュール」内蔵により、外付けの無線通信機器が不要である。

(2)プロトコル変換(モデムエミュレーション)機能

無手順通信、モデム通信プロトコルをTCP/IPプロトコルに変換する機能を装備しており、有線(専用線、公衆電話回線など)通信機器(DTE)を容易にかつ短期間で無線通信へ移行させることが可能である。

(3)データロギング機能

コンパクトフラッシュ用スロットを装備し、監視情報の保存が可能である。

表2 ハンズフリーセキュリティゲートの仕様

標準機器構成	人感センサ UHF アンテナ 表示灯(緑, 黄, 赤) 警告回転灯, ボイススピーカ
オプション機器	フラッパーゲート 監視カメラ IP インターフォン 無線 LAN センサライト 夜間施錠扉
検出精度	99% 以上(標準的な通行の場合)
ログ件数	10 000 件(セキュリティゲート内部)
ゲートサイズ	約 1 350(W)×1 500(D)×2 350(H)mm
通路幅	約 1 000 mm フラッパーゲート最狭部: 約 850 mm
重量	約 700 kg(オプション機器含む)
耐環境性	塩害塗装 直接風雨にさらされる機器: IP55 ゲート装置内部の機器: IP43
使用環境	屋外仕様 動作温度: 0 ~ 50
電源	AC100 V/1 kW 以内
移設性	クレーン搬送(アイボルト装備)

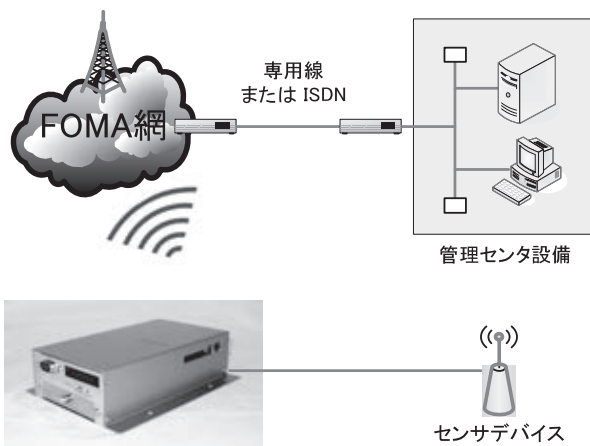


図2 “DTU”を使用したシステム構成図

(4)高い拡張性とカスタマイズ機能

遠隔地からプログラム / データのダウンロードや設定を行うことが可能である。また、外部センサ機器からの接点出力、アナログ入力を取り込むためのオプションボードを用意しており、高い拡張性とカスタマイズ性を備えている。なお、オプション基板のカスタム対応により、様々なセンサ類の無線化が実現可能である。

(5)停電検出、スタンバイ機能(省電力設計)

主電源停電検出機能により、データのバックアップ、センターサーバへの異常通知、シャットダウン処理を行うことが可能である。停電中は内蔵のニッカドバッテリーにより駆動する。また、太陽電池駆動にも対応している。スタンバイ機能により“DTU”をスリープさせることで、約 10 mA の低消費電力を実現し、太陽電池などの消費を軽減している。

3.2.3 開発した装置と導入事例

(1)自動水質テレメータ装置

各地の給水栓に設置された自動水質計器より計測データを定期的に取得し、取得データ(濁度、色度、残留塩素、pH、電気伝導率、水温、水圧)をセンターサーバへ送信し、水道水の安全性チェックに役立てられている。

関東地区に約 210 カ所設置し、稼働中である。

(2)配水本管テレメータ装置

給水所から配水区域に水を配るために布設された配水本管各所の水圧値、流量値をセンサより定期的に読み取り、センターサーバに送信する。配水管の水圧を均一に保ち、安定した配水を行うための一役を担っている。

関東地区に約 300 カ所設置し、稼働中である。

表3 “DTU”の仕様

外形寸法(mm)	200(W)×110(H)×53(D)(突起物を除く)
重量	1.3 kg
使用温度範囲	- 15 ~ 60
主電源	DC12 V / AC100 V(専用 AC アダプタ)
バックアップ電源	ニッカドバッテリーにより最大 10 分間駆動
消費電力	DC12 V 利用時: Max 12 W AC100 V 利用時: Max 15 W
OS	Linux Kernel 2.4
CPU	SH3(SH7709A)
メモリ	SDRAM : 16 MB, FLASH ROM : 8 MB
通信対応機器	FOMA : FOMA コピキタスモジュール (専用スロット内蔵)
インターフェース	Ethernet (RJ45, 10Base-T) RS-232C(標準)×1 保守用 RS-232C 端子 ×1 オプション基板により、アナログ(電流、電圧)入力、デジタル入出力対応
リムーバブルメディア	CF Type スロット ×2 (1スロットは活線挿抜不可、同時利用可能)
ネットワークプロトコル	PPP, PPPoE, ICMP, TCP/IP

3.3 自動販売機カードリーダーユニット

3.3.1 開発の背景

Suica や楽天 Edy などの汎用的なプリペイドシステムを利用した自動販売機キャッシュレスシステムは、既に一般化しているが、その多くは、公衆通信網による課金情報の収集及びオンライン決済サービスを利用するものであり、公衆通信網の利用が必須となる。一方、セキュリティを重視する企業の工場においては、公衆通信網の利用は制限されるため、オフラインで決済したいというニーズがある。また、企業内での運用として、既存の社員証(ICカード)を活用することによる決済システムを構築し、給与控除への対応、さらには食堂や売店システムのキャッシュレス化といった、決済サービスの一元化を図りたいというニーズもある。これらのニーズに対応するため、自動販売機カードリーダーユニットを開発した。なお、開発コンセプトとして、便利さ(プリペイドなどの入金が必要)、導入の手軽さ(既存の社員証を使用)を追求した。

3.3.2 自動販売機カードリーダーユニットの運用

自動販売機へのカードリーダーユニットの装着状況を写真2に示す。

自動販売機内部においては、自動販売機コントローラと自動販売機の専用制御インターフェースである、JVMA(一般社団法人 日本自動販売機工業会)の定める通信規格により接続する。購入者は、商品を選択し本ユニットへ非接触 IC カードをかざすことで、商品を購入できる。その際、本ユニットはカード情報と選択した商品の情報(販売データ)を読み取り、内部のメモリへ蓄積する。蓄積された販売データは、自動販売機へ商品を補充する作業員により、本ユニットへ USB メモリを差し込むことで、自動的に収集される。収集された販売データをベンダーにて集計の上、購入者へ課金することにより、オフライン決済の仕組みを実現している。

3.3.3 特長

自動販売機カードリーダーユニットの仕様を表4に示す。本ユニットは、自動販売機という独自仕様を持つ装置の内



写真2 自動販売機へのカードリーダーユニットの装着状況

表4 自動販売機カードリーダーユニットの仕様

外形寸法(mm)	制御部：99(W)×224(H)×40(D) 接客面：84(W)×86(H)×43(D) (いずれも突起部を除く)
重量	約 1.1 kg
使用環境	0 ~ 40 , 20 ~ 90%RH
電源	AC100 V , 9.5 W/Max.
CPU	ARM 系
メモリ	SDRAM : 32 MB , FLASH ROM : 8 MB
対応カード	TN2(非接触 IC カード)
蓄積ログ	販売データ：5 万件分(停電時保障付) 蓄積データ保持は、別系統のメモリによる 2 重化対応(故障、緊急時)
販売許可設定	カード使用可能パラメータによる判定 ネガデータによる販売制限
インターフェース	表示 8 色 LED×3 , ブザー ×1 制御 USB×1(販売データ収集) 2 色 LED×1(制御確認) RS-232×1(メンテナンス用) 自販機制御 モバイルベンディングシステム (商品先選択方式)JVMA Ver.1.0.0 準拠

部において、販売データという完全性が要求される情報を取り扱う装置であるため、自動販売機独自の仕様への対応、並びに販売データの紛失・改ざんというリスクへの対応を以下により実現している。

(1) 自動販売機独自仕様への対応

自動販売機独自の制御仕様である JVMA モバイルベンディング仕様で規定された起動時間 応答速度を満たすため、通信処理とデータ収集処理を分離したシステム構成としている。また、メンテナンス性の良い構造を自動販売機の紙幣識別装置寸法制約の中で実現している。

(2) 販売データの完全性を確保する仕組み

人手を介して販売データを運ぶことによる販売データの紛失・改ざん及びユニットの故障や停電などによる販売データ消失のリスクに対応するため、過去の販売データの保持、販売データのパスワード付圧縮ファイルによる保存、メモリへのバックアップ電源の採用及びメモリの2重化を行っている。

3.4 ヘリオスタット制御装置

3.4.1 開発の背景

太陽熱発電システムなどに使用されるヘリオスタットへの適用を想定したモータ制御装置を開発した。

3.4.2 製品概要

ヘリオスタット制御装置とは、太陽の移動に合わせて鏡の方向、角度を追従させるための装置である。鏡を支えるモータを制御することによって、この動作を実現している。

表5 ヘリオスタット制御装置の仕様

外形寸法(mm)	300(W)×300(H)×120(D)
重量	約 9 kg
使用環境	- 5 ~ 50 , 30 ~ 90%RH
電源モジュール	AC85 ~ 264 V 100 W
CPU	ARM 系
ミラー駆動	モータ制御
通信機能	RS-232 , RS-485

表6 環境試験項目

ノイズ耐性	電源変動試験
	雷サージ試験
	静電気試験
温湿度耐性	FTB 試験
	高温、高湿、結露試験
防塵耐性	砂塵試験

3.4.3 特長

ヘリオスタット制御装置の仕様を表5に示し、以下にその特長を示す。

独立したモータ制御が可能である。

通信機能により、コントロール PC からの指示及び監視が可能である。

台形制御と呼ばれる加速度的に回転速度を変化させる制御を PWM (Pulse Width Modulation) によるソフト制御にて行い、安価な制御装置を実現した。

劣悪な環境(砂漠など)での運転を考慮し、動作温度のほか、防塵などの表6に示す項目について試験条件を満足させることにより、優れた耐環境性能を確保した。

3.5 船用システム対応汎用制御装置(コアユニット)

3.5.1 開発の背景

少量・多品種の製品開発を実施する場合、個別の装置に対して要求を最大限満たし、コストを最小化することが望まれる。しかし、個別に最適化された製品開発においては、開発のためのコスト、開発期間が必要となり、また保守についても在庫品管理など多大な労力と費用を必要とする。これらの問題を解決するため、特に個別装置毎に船級承認が必要となる船用制御機器をターゲットとし、コアユニットの開発を行った。コアユニットは、機能別にモジュール化を行い、モジュールの組み合わせによりシステム構築が可能な汎用的ハードウェアとして開発し、様々なシステムへの適用を目指している。コアユニットの採用により、専用ハードウェアの開発が不要となり、システム開発費の削減と開発期間の短縮が可能となる。

3.5.2 コアユニットの概要

電源モジュール、CPU モジュール、アナログ入力モジュール、アナログ出力モジュール、デジタル入力モジュール、デジタル出力モジュール、シリアル通信モジュール、LAN(100BASE-T)モジュール、測温抵抗体入力モジュールなどを標準的なモ

表7 コアユニットの仕様

外形寸法(mm)	31.5(W)×145(H)×92(D)
重量	各モジュール約200g
使用環境	0 ~ 60 , 20 ~ 90%RH
電源モジュール	DC24V 入力, 5V 出力, 12V 出力
CPU モジュール	CPU : SH シリーズ SDRAM : 64 MB, FLASH ROM : 32 MB LAN(100BASE-T, 10BASE-T) ×1
アナログ入力モジュール	チャンネル数: 6ch(絶縁入力) 分解能: 16 bit, 入力レンジ: ±10V, ±5V, 0-10V, 0-5V, 4-20 mA に対応
アナログ出力モジュール	チャンネル数: 6ch(絶縁) 分解能: 16 bit 出力レンジ: ±10V, ±5V, 0-10V, 0-5V, 4-20 mA に対応
デジタル入力モジュール	チャンネル数: 32ch(絶縁) ただし4ch 単位での共通コモン
デジタル出力モジュール	チャンネル数: 32ch(絶縁) ただし, 4ch 単位での共通コモン
シリアル通信モジュール	チャンネル数: 6ch(絶縁) RS232C/485/422 通信が可能(切り替え式)
LAN モジュール	100BASE-T, 10BASE-T ×2
測温抵抗体入力モジュール	チャンネル数: 6ch(絶縁) ただし白金測温抵抗体(Pt100)接続用
拡張モジュール	モジュールの増設用
船級規格	NK 取得(ABS ほか取得予定)

ジュールとしてラインナップし、機能別にモジュール化した。システム構築する場合、モジュール化した必要な機能を組み合わせることで柔軟なシステム対応を可能にしている。

3.5.3 コアユニットの特長

コアユニットの仕様を表7に示し、以下にその特長を示す。モジュールの組み合わせにより、柔軟なシステム構築が可能である。

各モジュール間は専用バスにて接続することで高速化を実現した。

OSにはリアルタイムOSのμITRONを採用し、制御装置に必要なリアルタイム性を重視した。アプリケーションソフトの開発は、一般的なC言語での開発が可能である。

4. 今後の動向

組み込み機器においては、従来のPCに代わってタブレット端末やスマートフォンに代表される高機能・低価格モバイル端末が普及し、BYOD(Bring Your Own Device、個人が私物のスマートデバイスやPCを持ち込み業務に使用)の動きが活発化している。また、M2M(Machine to Machine)時代の到来によるマーケットは、さらに高機能かつ低価格な組み込み機器が求められる方向に向かうであろうと予想できる。このような状況を踏まえ、市況の変化、最新技術の動向を注視し、他社製品との差別化を図った製品の展開に取り組んでいくことが重要である。

5. おわりに

当社の電子ソリューション事業部が取り組んでいる組み込み系システム機器の開発について紹介した。当事業部は船用ディーゼルエンジンの制御装置を軸に、長年の制御機器開発から製造、アフターサービスを行ってきた実績を有している。この強みを活かし、社内外との連携を強化しながら、今後もお客様のニーズに合ったより良い製品を開発し、事業分野の拡大に取り組んでいきたい。

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

共同執筆者：三村和也 野口知史
桐野 睦

〔問い合わせ先〕

三井造船システム技研株式会社
電子ソリューション事業部 設計部
TEL 0863 - 23 - 3480 青山 直裕

次世代型高能率自動化コンテナターミナルの開発

栢 菅 信 哉* 深 澤 紀 博**

Development of Automated Container Terminal for Next Generation

Nobuya KAYASUGA, Norihiro FUKAZAWA

The ASC (Automated Stacking Crane) System is widely used for Automated Container Terminals over 20 years. Since the ASC carries a container with its gantry traveling motion, its handling productivity is low while its energy consumption is extremely high.

The RailCart System introduced in this paper has the features to achieve minimum lag time between transportation modes. Compared with the ASC System, the RailCart System has a better handling productivity, and its electric power consumption is 1/2 of the ASC System (Low Operational Cost) With the arrival of a low-carbon society, the RailCart System will be the best solution for the Automated Container Terminal of the next generation.

自動化コンテナターミナルは20年近くASC (Automated Stacking Crane)方式が定着しているが、この方式は大型クレーンが自らコンテナを抱えて走行するため、電力消費が大きく、荷役能率の割にはエネルギー効率が低いとは言えないのが実情である。

本報で紹介するレールカート方式は、大型クレーンの代わりに小型のレールカートがコンテナを搬送する方式で、各荷役モード間でのコンテナ受け渡しとコンテナの搬送をそれぞれクレーンとレールカートが分担して行う。そのため、本方式はASC方式と比較して、ターミナル全体の取扱い能力は30%以上勝り、コンテナ搬送に費やす電力使用量、即ちエネルギー消費も約1/2程度と極めて小さくなる。

レールカート方式は、次世代の自動化ターミナルとして経済的かつ高能率な方式であり、その省エネルギー効果は港湾における低炭素化の実現に大きく寄与するものである。

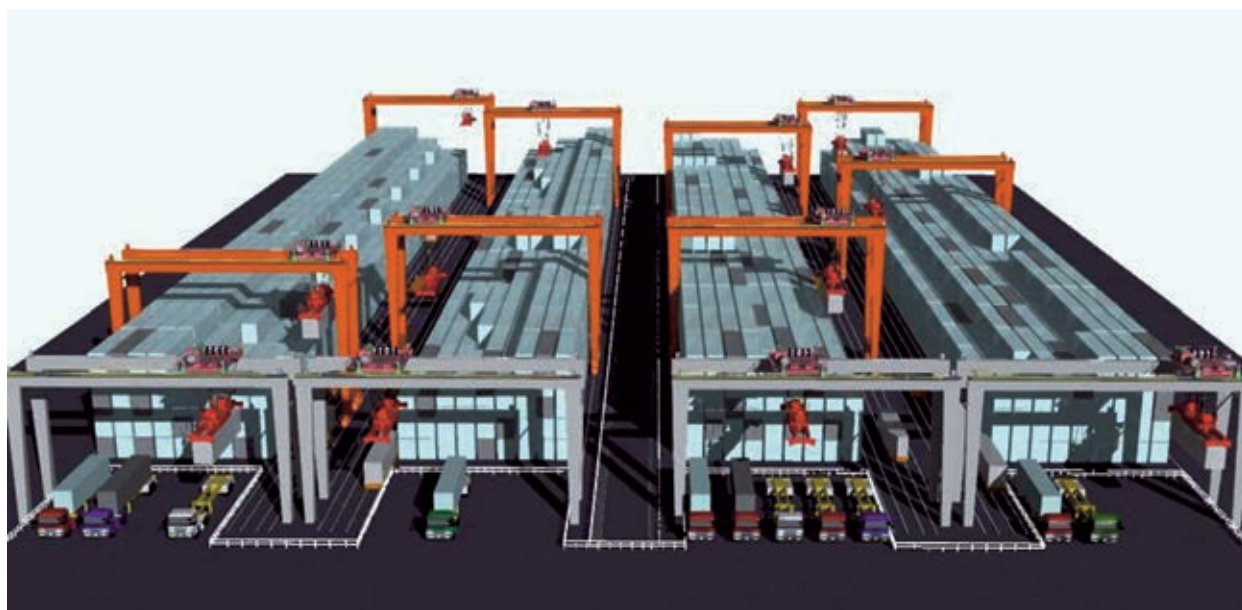


図1 次世代型高能率自動化コンテナターミナル
Automated Container Terminal for Next Generation

* 機械・システム事業本部 運搬機工場 運搬機設計部

** 機械・システム事業本部 運搬機システム営業部

1. はじめに

コンテナターミナル(以下、ターミナルと略す)は、これまで荷役能率やハンドリングコスト低減が最優先とされてきた。ハンドリングコスト低減の実現手段は自動化ターミナルで、その代表的なものが自動スタッククレーン(Automated Stacking Crane: ASC)方式である。この方式は世界的に約20年間近く定着しているが、荷役能率の割には電力消費が大きく、省エネルギー効率が高いとは言えず、またメンテナンス費用も大きい。

三井造船は、この課題を解決するために、荷役動線の中での積み替え時(本船荷役における岸壁クレーン、シャーシ、ヤードクレーン間の積み替え)に、コンテナの受け渡し待ち時間が少ない方式(シームレス搬送)を採用するとともに、搬送マシンを軽量化している。これまでのターミナルは、タイヤ式トランスファークレーン(Rubber Tired Gantry Crane: RTG)を用いた荷役方式であった。当社は、これをレールカートとレール式トランスファークレーン(Rail Mounted Gantry Crane: RMG)を組み合わせることで運用することにより、高い能率を有するシステムを構築した。これにより、荷役の省エネルギー化が図られ、その結果としてターミナルオペレーションの低炭素化が実現される。

本報では、コンテナ貯蔵ヤードに使用される理想的な次世代システムとして、ASC方式の持つ課題を克服する、**図1**及び**図2**に示す新たなコンセプトであるレールカート方式に基づく荷役方式を紹介する。

2. 従来の自動化ターミナルの限界と課題

2.1 自動化ターミナルの変遷

世界初の自動化ターミナルは、1993年にECT(Europe Container Terminals)/ロッテルダム(オランダ)に開設された。これは岸壁と貯蔵ヤード間を自動搬送車(Automated Guided Vehicle: AGV)がコンテナを搬送し、ヤード内を自動式ヤードクレーンであるASCが自らコンテナを抱えて搬送する方式であり、岸壁と陸側でコンテナを無人搬送する画期的なシステムであった。これはランダムアクセス性を重視し、コンテナの荷役能率(1時間当たりの荷役個数)を高めるコンセプトで、コ

ンテナ配置は1段6列、ASCは1オーバー(1段積み2段クリア)仕様であった。

その後、自動化ターミナルはハンブルグ(ドイツ)、アルゲシラス(スペイン)、バージニア(米国)等で建設された。これらターミナルでは蔵置密度を増やすニーズから、1段、3段、5段と積み段数を高くした。これによりランダムアクセス性は犠牲となり、当初の設計コンセプトからはかい離していった。ASCは段積み高さをクリアするために大型化し、これによる荷役能率低下を挽回するために巻き上げ、走行速度を高速化せざるを得なくなった。また、同一ブロックでASC台数を1台から2台にしたことから、海側/陸側のASC間でコンテナの受け渡し(バケツリレー)が行われ、これが更なる荷役能率低下の原因となった。

図3に、自動化ターミナル向けのヤードクレーンと従来ターミナルに使用されているクレーンについて、走行速度と段積み高さの関係を示す。段積み高さが高くなると蔵置密度も高くなり、走行速度が早くなるとクレーンのエネルギー消費量が大きくなると言える。また、ASCは通常のヤードクレーンに比べて走行速度が極めて早いことが分かる。

ASC方式で最新のターミナルは**写真1**に示す米国バージニア州のAPMTターミナルで、ASCの自重は約170トン、走行速度は300m/分と、大型超高速走行クレーンである。

2.2 ASC方式自動化ターミナル

従来型のASC方式自動化ターミナルでは、ASCの走行がコンテナ荷役のサイクルタイムに含まれる。したがって、その走行距離を短縮するため、搬入時近場に仮置きして搬出容易なレイアウトにするためのマーシャリングシフトや、搬入と搬出作業を連続サイクルで行うデュアルサイクル荷役を多用するヤードプランニングが必要となる。このため、ヤードプランニングシステムは複雑になり、また本来のコンテナの動きとは関係のない余分なコンテナ移動が発生することになり、エネルギーを浪費する結果となる。

また、ASCの走行運転は過酷である。クレーン自重は約170トン、コンテナを吊って240~300m/分で走行し、コ

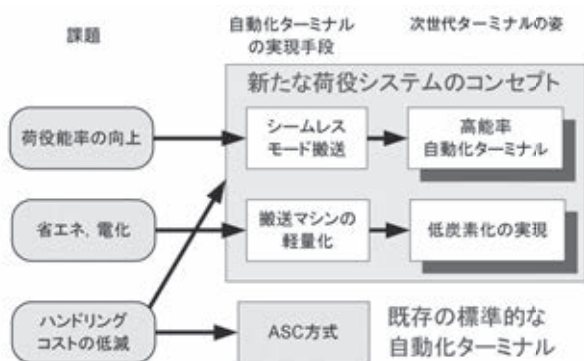


図2 次世代コンテナターミナルの要素
Factors Composing Future Container Terminal

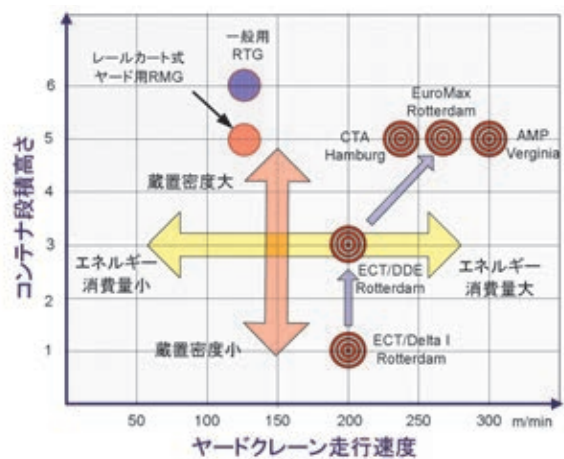


図3 ヤードクレーンの比較
Comparison of Yard Crane Features



写真1 ASC方式の自動化コンテナターミナル(米国バージニアのAPMTターミナル)
Automated Container Terminal Operated with ASCs

ンテナ段積み高さを均一化するため、常時シャフリング作業を行う。ASCの年間走行距離は16000kmにも達し、これは一般の乗用車にも匹敵する。このためASCのメンテナンスには通常クレーンをはるかに超える費用がかかる。

このように、ASC方式は高密度を追求するがゆえにエネルギー効率を犠牲にしており、低炭素化からかけ離れていると言わざるを得ない。

2.3 サイドロード型とエンドロード型ターミナル

既存のRTG/RMG方式のコンテナターミナルでは、蔵置ブロックの長手方向に沿ってコンテナの受け渡しを行う。この形式のターミナル(サイドロード型)では、ブロック内に配置された1台(或いは複数台)のRTG/RMGがコンテナの蔵置位置の横で、本船及び外来シャーシとのコンテナ受け渡しを行う。本船荷役では、コンテナは通常10個前後のまとまった単位で同じ場所(ベイ)から荷役されるため、これにクレーン勢力が偏ると外来シャーシ向けサービスが低下する。このため、ターミナル内で外来シャーシの荷役待ちが発生し、入場シャーシの混乱やゲート待ち渋滞等を引き起こす。

これに対して、蔵置ブロックの縦位置の終端でコンテナの受け渡しを行うターミナル(エンドロード型)では、ASCまたはゲートクレーンによる外来シャーシ向け荷役と本船荷役用機器とは完全に分離独立しているため、本船荷役のピーク時に外来シャーシへの搬出/搬入作業が滞ることはなく、海側、陸側のバランスがとれたオペレーションが行える。しかしながら、作業が蔵置ブロック内に多数発生しても、別のクレーンを投入することができないため、システムの総合的な荷役能率は低い。

3. レールカート方式の自動化ターミナル

3.1 レールカートを用いたシャトル搬送

レールカートは、表1に示す仕様を持ち専用レール上を往復走行(シャトル)する電動自動走行台車であり、その構造を図4に示す。レールカートは、20フィートコンテナを2個同時に積載し搬送することができる。当社が提案するコンセプトは、図5に示す蔵置ブロック内でのコンテナ搬送にこのレールカートを用いる方法である。

表1 レールカートの仕様
Specifications of Railcart

積載荷重	60 ton(UK)
走行速度	300 m/min
自重	約 20 t
制御方式	AC インバータ制御
通信方式	上位とカート間は無線通信(漏洩ケーブル方式)
電源	外部給電,または車載バッテリー電源(オプション)
センサ	位置検出, 障害物検知, コンテナ積載確認他

従来のASC方式は、コンテナの掴み(受け渡し)、巻き上げ、横持ち(走行動作)、段積み等、複合された荷役モードを1台のクレーンで行うため、サイクルパスが長く荷役能率は低い。また、クレーン横持ち(走行)時にコンテナ衝突回避のため、常に上端まで巻き上げ走行するなど無駄な動作があり、サイクルタイムとエネルギー効率を犠牲にしている。

これに対してレールカート方式は、コンテナの横持ちの機能のみを専用マシンに機能分担(モードの分割)させたものである。レールカート方式は、サイクルパス(水平シャトル動作)が短く、同時に複数コンテナを搬送できる。さらに、ゲートクレーンによる搬入/搬出作業とは連動せずにコンテナ搬送が行えるため、荷役能率は優れている。レールカートはレール台車式のコンテナ搬送マシンで、蔵置ブロックのベイ沿いに設置されたレール上にて、ゲートクレーン位置(基準点)から蔵置ベイ位置へコンテナを搬送し、空になったレールカートは基準点に戻るシャトル動作を行う。

3.2 レールカート方式のヤードレイアウト

レールカート方式のコンテナ配列は、岸壁線に対して直角方向蔵置であり、ASC方式と同じである。ヤードブロックの構成は、コンテナ蔵置ブロックの海側と陸側端にゲートクレーン、ブロック内には複数台のRMGを配置し、RMGの脚間にはブロックに沿った2列のレールカート用レールがある。

図6にレールカートシステムの主要設備の配置を示す。本船荷役には小型のストラドルキャリアであるシャトルキャリア等が使用され、陸側端ではゲートクレーンにより外来シャーシ

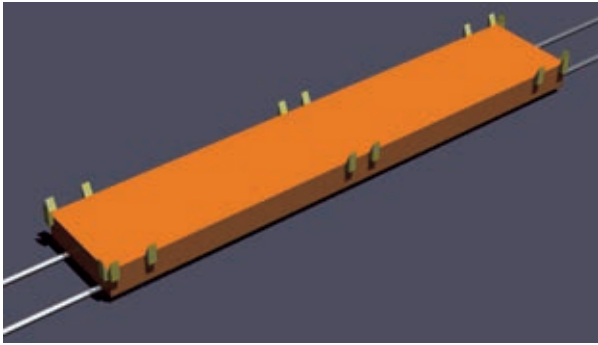


図4 レールカート
General View of RailCart

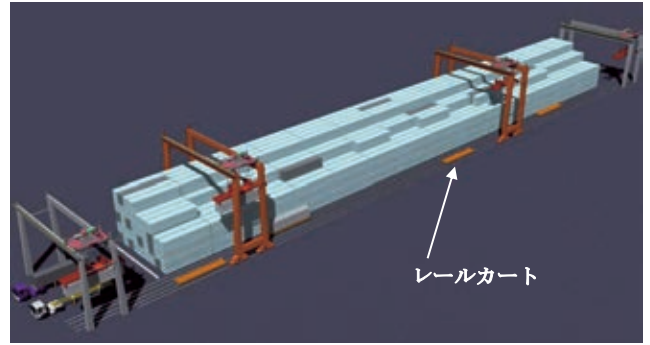


図5 レールカートによる蔵置ブロック内のコンテナ搬送
Transportation by RailCart in Container Stacking Block

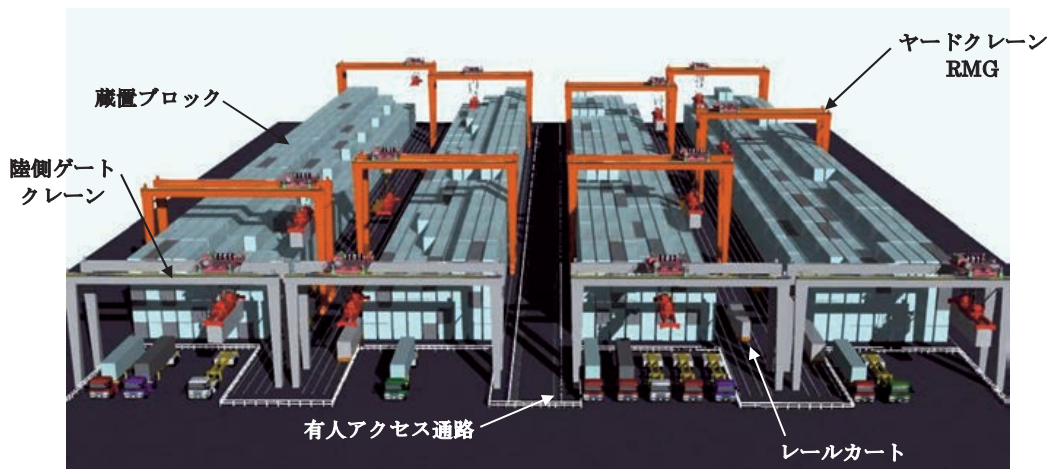


図6 レールカート方式の自動化コンテナターミナルの主要設備配置
Characteristic Layout of Automated Container Terminal Operated with RailCart System

へのコンテナ受け渡しサービスが行われる。

3.3 コンテナ動線とレールカートの動き

シャトルキャリア等によって岸壁から運ばれて、海側ゲートに達した輸入コンテナは、ゲートクレーンによりレールカートに積み込まれ、蔵置ヤードの目標ベイまで搬送され、RMGにより目標位置に段積みされる。荷役終了後に、空になったレールカートは元の海側ゲートクレーン位置(海側基準点)まで走行して待機する。ただし、基準点に戻る前に他の作業指示が発生した場合は、その指示を優先する。

輸入コンテナの外来シャーシへの受け渡しは、レールカートがRMG下まで走行し、目標コンテナが積み込まれる。その後レールカートは陸側ゲートクレーン下(陸側基準点)まで移動し、コンテナはゲートクレーンによりトラックに積み込まれる。空になったレールカートは次の作業指示がでるまでその場所で待機する。なお、輸出コンテナはこれの逆サイクルである。

図7にコンテナの動線とレールカートの動きを示す。

3.4 自動RMG

図8に示すRMGは、レールカートにより搬送されたコンテナを段積みする自動クレーンである。このRMGとASCの違いは、ASCが常にコンテナを吊り高速走行するのに対して、RMGは目標ベイにて走行停留した状態でコンテナを段

表2 自動RMGの仕様
Specifications of Auto RMG

定格荷重	40 ton(UK)
スパン	37.4 m
揚程	18.1 m(1 オーバ5)
巻き上げ速度	45 ~ 90 m/min
横行速度	75 m/min
走行速度	135 m/min
速度制御	インバータ制御
給電方式	ケーブルリール給電
スプレッド	ISO20-45 テレスコピック
特長	自動運転 / 遠隔運転 走行位置検出及び自動停止 段積み高さ検出システム 走行衝突防止システム 対レールカートドッキングシステム

積み荷役することで、これは通常の自動化されていないターミナルで使用されているヤードクレーンと同じ荷役作業の形態である。このため、RMGの性能は通常のヤードクレーンと同様とし、これに自動運転を行うための各種センサを備えたものとしている。自動RMGの仕様を表2に示す。

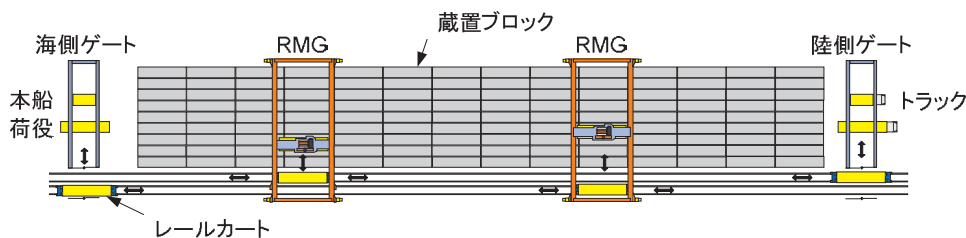


図7 レールカート方式のコンテナの動線
Container Flow of RailCart System

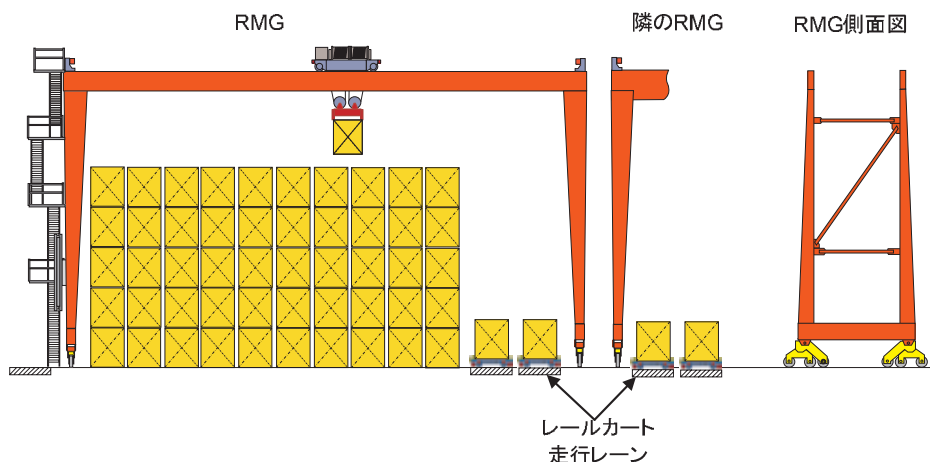


図8 自動RMG
Automated RMG(Rail Mounted Gantry Crane)

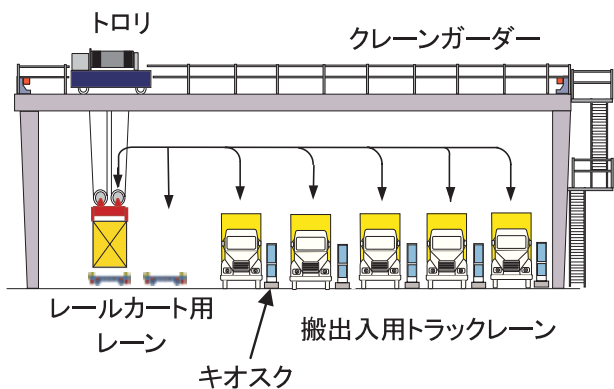


図9 ゲートクレーン(陸側)
Gate Crane at Landside End

表3 ゲートクレーンの仕様
Specifications of Gate Crane

定格荷重	陸側：40 ton(UK)，海側：60 ton(UK)
揚程(海側)	11.6 m(シャトルキャリアの場合)
揚程(陸側)	8.5 m(外来トラック用)
巻き上げ速度	45 ~ 90 m/min
横行速度	75 m/min
速度制御	インバータ制御
給電方式	ケーブルキャリア給電
スプレッド	ISO20-45 テレスコピック(海側はツイン 20 ft 式)
特長	無人自動運転システム(常時) 遠隔運転監視 遠隔自動操縦システム(陸側は常時，海側は非常時運転用) コンテナ / シャーシ位置検出システム コンテナ高さ検出システム 横行自動停止システム 対カートドッキングシステム

3.5 ゲートクレーン

蔵置ブロックの陸側と海側端には、それぞれゲートクレーンが設置されている。図9にゲートクレーンの運用方法を示す。各蔵置ブロックには、陸側外来シャーシレーン5台分のスペースがある。各シャーシレーン脇には歩道とキオスクがあり、到着したシャーシ運転手は下車してキオスク内に入る。ここで運転手がコンテナ受け渡し要求のスイッチを入れると、搬入作業の場合は遠隔操縦によるゲートクレーン荷役運転が開始され、搬出作業の場合はRMGによる自動運転とレールカートの移動が開始される。海側のゲートクレーンは、対本船荷役用シャトルキャリア等とレールカート間で、コン

テナの積み替えを自動運転で行う。表3にゲートクレーンの仕様を示す。

4. 蔵置密度

バース当たりのターミナル諸元を表4に示す。単位モジュールとして、岸壁1バース分(幅約340m、奥行き約

570 m)に収容可能な自動化ヤードを想定する。

レールカート方式は、バース当たり8ブロックで、ブロック内の配列は10列5段、蔵置スロット数4080TEU (Twenty feet Equivalent Unit)、蔵置密度は100 m² 当たり2.11TEUである。一方ASC方式では、バース当たり11ブロックで、ブロック内の配列は8列5段、蔵置スロット数は4576TEU、蔵置密度は100 m² 当たり2.36TEUである。

バース当たりの荷役機器の台数は、レールカート方式ではRMGが16台(2台/ブロック)ゲートクレーン16台(2台/ブロック)、レールカート32台(4台/ブロック)、外来トラック用ゲートは40スロットとなる。一方、ASC方式ではASCは22台(2台/ブロック)、外来トラック用ゲートは55スロットになる。

ASC方式でブロック内の配列を8列と少なくする理由は、陸側ゲートでのトラックサービスの荷役効率が劣るため、これを補完する目的で、ブロック数をより多く配置する必要があるためである。

表4 バース当たりのターミナル諸元

Comparison of Automated Container Terminal per Berth

方式	レールカート	ASC
ターミナルの諸元		
コンテナ列 / ブロック	10	8
段積高さ(段)	5	5
ブロック数	8	11
蔵置スロット(TEU)	4080	4576
蔵置密度(TEU/100 m ²)	2.11	2.36
荷役機器の台数		
ASC 台数	-	22
RMG 台数	16	-
ゲートクレーン台数	16	-
レールカート台数	32	-
トラックゲート数	40	55

5. 荷役能率シミュレーション

コンテナ蔵置ヤードにおいて基準となる荷役パターンに基づくモデルを作成し、シミュレーションにより異なる2方式の荷役能率を求めた。

当社は、従来このようなコンテナターミナルのコンピュータシミュレーションには、CimStationをベースに自社開発したCTSS (Container Terminal Simulation System)を利用してきた。これは待ち行列理論や確率論に基づく既存のシミュレータとは異なり、各荷役機器の機能、性能、運転ロジック、挙動を忠実に反映した3次元グラフィックスの高度なシミュレーションが行えるソフトである。しかしながら今回は、ASC、レールカート、シャトルキャリア等、機器モデルやオペレーションルール等、新たに開発する部分が多いため、CTSSに近い機能を持ちながらモデル開発が比較的容易なシミュレーションツール(Applied Material社製 AutoMod)を利用した。AutoModによるシミュレーション画面を図10に示す。

シミュレーションでは、まずブロック単位のコンテナ搬出入、揚げ積み処理能力の最大値を求め、それを元にブロック数を乗じたバース当たりの荷役能率を算出した(表5)。これより、海側ゲート(本船荷役)では、ASC方式は201個/時に対し、レールカート方式では253個/時となり、荷役能率は25%向上する。また陸側ゲートでは、ASC方式は174個/時に対し、レールカート方式では228個/時と31%向上する結果となった。

また、1ブロック当たりの本船荷役の荷役能率を比較すると、ASC方式は18.3個/時に対し、レールカート方式では31.6個/時と2倍近い違いがある。岸壁クレーンの荷役能率を30~35個/時と仮定すると、レールカート方式では岸壁クレーン1台がおよそ1ブロックで対応できるのに対し、ASC方式では2ブロック以上で対応せざるを得ない結果となった。したがって、本船荷役を5機の岸壁クレーンで対応する場合は、ASC方式のターミナルモデルでは1船当た

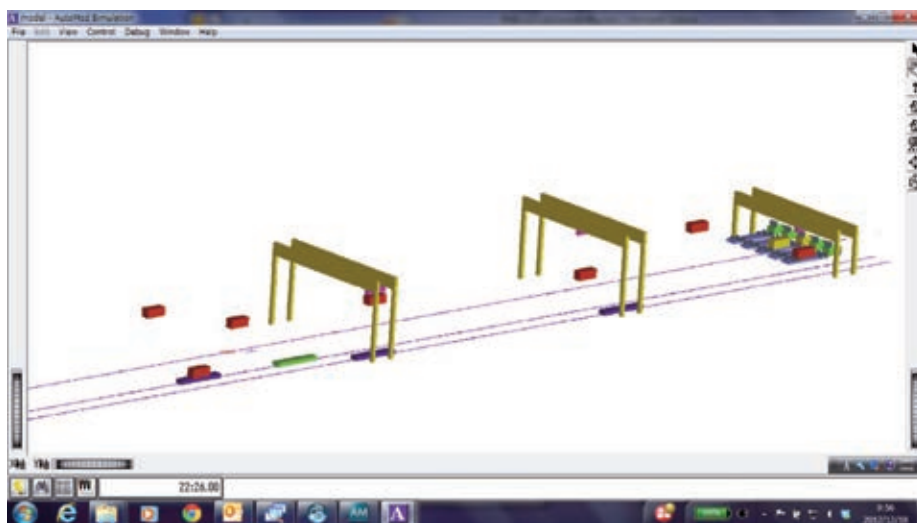


図10 レールカート方式のシミュレーション例
Example of RailCart System Simulation

表5 海側と陸側ゲートの荷役能率
Comparison of Productivity at Seaside and Landside Ends

方式	レールカート	ASC	比率
ブロック数 / バース	8	11	0.73
海側ゲート(単位:個/時)			
ブロック毎の荷役能率	31.6	18.3	1.73
バース当たりの荷役能率	253	201	1.25
陸側ゲート(単位:個/時)			
ブロック毎の荷役能率	28.5	15.8	1.80
バース当たりの荷役能率	228	174	1.31
バース当たりの年間取扱い能力(外来トラックサービス)			
コンテナ個数 / 年	50万個	38万個	1.32

表6 ターミナル方式の比較
Comparison of the Terminal Operation Method

方式	レールカート	ASC
荷役能率 (バース当たり)	陸側ゲート	1.31
	海側ゲート	1.25
エネルギー消費量	0.5	1.0
年間取扱い能力	1.32	1.0
メンテナンス費用	通常	高い

に比べて、レールカート方式(3.5 kWh)は約 1/2 程度と極めて小さい、このことからレールカート方式は環境負荷が少なく、エコロジーな自動化ターミナルの方式であると言える。

7. おわりに

世界で広く普及している ASC 方式の自動化ターミナルと、新たなレールカート方式による自動化ターミナルとを比較した。表6に示すように、バース当たりの荷役能率については、レールカート方式は ASC 方式に対して、陸側ゲートでは 31%、海側ゲートでは 25% 高い。また、レールカート方式では 1 台の岸壁クレーンとヤード側 1 ブロックの荷役能率がほぼ相応し、これにより単純な荷役動線となることから、高度な自動化が可能となる。

ヤード内のコンテナ搬送にかかる電力使用量については、レールカート方式は ASC 方式に比べて 1/2 程度であり、エネルギー消費量が小さい、すなわちオペレーションコストが低い方式である。

これらから、レールカート方式は、次世代の自動化ターミナルとして経済的かつ高能率な方式であり、この省エネルギー効果は、港湾における低炭素化実現に大きく寄与するものであると言える。

参考文献

- 1)川島．外：日常業務支援のためのコンテナターミナルシミュレーションシステムの開発，三井造船技報，178(2003-2)，p. 81
- 2)竹原：低炭素化時代における自動化コンテナターミナル，港湾荷役，56，1(2011-1)，p. 108

〔問い合わせ先〕

機械・システム事業本部 運搬機工場 運搬機設計部
TEL 090 - 593 - 3135 栢菅 信哉

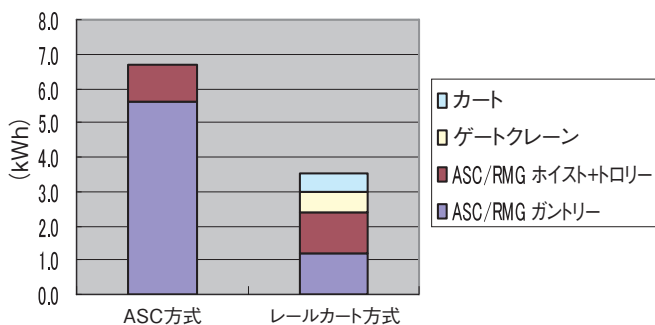


図11 電力消費量の比較(コンテナ1本当たり)
Comparison of Power Consumption per Container Move

りに異なる 10 ブロック程度を常に割り当てておく必要がある。これはヤード運用上極めて非効率であり、岸壁クレーンにヤード側荷役が追いつかない状況を示している。

表5に示すバース当たりの年間取扱い能力(外来トラックへのサービス個数，1日8時間ゲートオープン)を比較すると、ASC方式は38万個/年に対し、レールカート方式では50万個/年と32%優れているという結果となった

6. 電力消費量

5. で述べたシミュレータを用いて、コンテナの動線に沿った実移動距離に合わせた電力量計算を行った。これにより得られた結果から、レールカート方式とASC方式とのエネルギー使用量の比較を行った。

ASCはサイクルタイムを最小にするために急加減速・高速運転(走行速度300m/分)する。さらに、高精度の停止位置決め制御のために高剛性としており、自重は170トンになる。そのため走行電動機は400kWを超え、非常にパワフルなクレーンとなっている。荷重の巻き上げ下げ動作では、巻き下げ時には回生エネルギーとして70%近く電力回収できるが、走行動作のエネルギー回収がされにくい(風、走行抵抗、傾斜等により失われる)。ASCの走行運転で消費される電力の多くは回収されない。これがASC方式の消費電力を大きくしている主要因である。

図11に、ASC方式とレールカート方式によるコンテナ1本当たりの消費電力量の比較を示す。ASC方式(6.8 kWh)



栢菅 信哉



深澤 紀博

バイオマス由来 C5 糖の有効利用法の開発

大野克博* 牛越淳太郎* 高岡一栄**

Effective Utilization of C5 Sugars from Ligno-Cellulose Biomass

Katsuhiro ONO, Juntaro USHIKOSHI, Kazue TAKAOKA

In terms of growing concern over environmental issues, development of renewable fuel should be promoted as one of their countermeasures. The production of bioethanol has generally been made using ligno cellulose biomass as its carbon sources in many parts of the world until today.

Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd. (MES) has been developing the bioethanol production process from Empty Fruit Bunches (EFB). EFB is a ligno-cellulose biomass that is discarded in large amount in palm oil mill. MES has been specializing in the study of hydrothermal treatment and saccharification process.

Thus, MES has established a new hydrothermal treatment process to recover holocellulose much more than before and has also established the C6 and C5 sugars utilization process. This process is consisted of dilute alkaline hydrothermal treatment and beating treatment and can achieve 1.9 times the saccharification yield than before.

地球温暖化問題への関心が高まり、その対応策の一つとして再生可能燃料の開発が急務となっている。これまで、草本類や木質類などの非可食性リグノセルロース系バイオマス資源を原料としたエタノール製造技術開発が、世界各地で取り組まれてきている。

三井造船では従来より、非可食性リグノセルロース系バイオマスであるアブラヤシの空果房(EFB)を原料としたバイオエタノール製造技術の研究開発に取り組んできた。この研究開発においては、前処理工程及び糖化工程に関して特に注力して検討を行ってきた。その結果、EFBに含まれるセルロース及びヘミセルロースを資化可能なC6糖及びC5糖として効率的に回収・利用することができるアルカリ水熱こう解処理プロセスを考案し、従来の水熱処理プロセスの約1.9倍の糖化率となることを確認した。

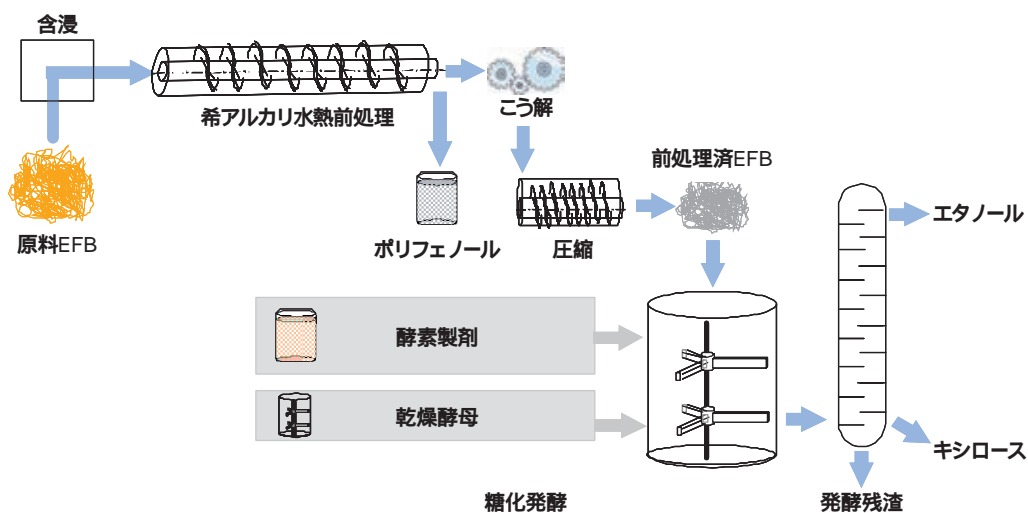


図1 アルカリ水熱こう解プロセスの概要
Composition of Diluted Alkaline Hydrothermal Treatment Process

* 技術開発本部 千葉技術開発センター

** 技術開発本部 技術総括部

1. はじめに

1.1 リグノセルロース系バイオマスの利活用

地球温暖化対策の問題に関心が高まる中、再生可能燃料の開発が急務となっている。中でも大気中の二酸化炭素を固定した植物を原料として製造されるバイオエタノールは、大気中の二酸化炭素の絶対量を増やさないカーボンニュートラルな燃料として注目されており、その開発が世界中で試みられている。しかしながら、サトウキビ、トウモロコシなどの糖やデンプンを原料としたバイオエタノール製造は、食料との競合の問題を引き起こしていると指摘されている。

このため、近年では、草本類や木質廃棄物などリグノセルロース系バイオマス資源を原料としたエタノール製造技術の開発が望まれている。三井造船では従来より、アブラヤシの空果房(Empty Fruit Bunches: EFB, 写真1)を原料としたバイオエタノールの製造技術の開発に取り組んできた¹⁾。

1.2 アブラヤシの空果房(EFB)

EFBは、パームオイルを製造する搾油工場から排出されるパーム油の搾りかすで、その発生量は年間4000万トンに達していると言われている。しかし、EFBの用途開発は進んでおらず、その有効利活用については長年課題とされてきた。

一般的に、バイオマス資源は広く薄く分布し、収集、運搬の費用等が発生するため、利用しにくい資源と言われている。しかしながら、EFBは搾油工場ヤード内に常時集積されており、収穫、運搬の必要がない。このようなバイオマスを原料とし、その中に含まれる資化可能な成分を有効利活用することで、上記課題を解決するとともに、地球温暖化問題にも貢献できる。

1.3 リグノセルロース系バイオエタノールの製造技術

リグノセルロース系バイオマス原料からのバイオエタノール生産は、ガス化工程を経るプロセス以外では、バイオマスを糖化し、その糖を酵母によりエタノール発酵した後、蒸留、精製するというプロセスで行われる。リグノセルロース系バイオマスは、セルロース、ヘミセルロース、リグニンの三つ

の主要な成分により高次構造が保たれており、特に糖化及び前処理技術に工夫が必要となる。

1.3.1 前処理技術

リグノセルロース系バイオマスでは、通常セルロースは結晶構造をとり、更にヘミセルロースとリグニンがセルロースを取り囲むような構造になっている。このために、リグノセルロース系バイオマスをそのまま糖化することは非常に困難で、糖化工程の前に何らかの前処理を施すことが必要となる。前処理としては、物理的(粉碎、すりつぶしなど)、化学的(酸、アルカリ、酸化剤、有機溶剤など)、物理化学的(蒸気爆砕、自己加水分解など)、生物的(腐朽菌など)、あるいはこれらを組み合わせたさまざまな方法が開発されている。

これまでに世界各所でさまざまな実証試験が行われており、最近では実用化に目処を付けた商用規模プラントの建設や稼働に関する報告も多くなってきている。

1.3.2 酵素糖化技術

現在では、薬品やエネルギーを使用しない酵素糖化法が主流である。糖化工程における主役の糖化酵素については、コスト削減や活性増強に関する研究開発が世界中で推し進められており、キシラナーゼ活性を高めたとされる商用酵素製剤の市場投入が2010年頃より開始されている。

2. 開発技術

2.1 当社のリグノセルロース系バイオエタノール製造技術

当社では平成17年度から平成20年度までの4年間、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)との共同事業「木質系バイオマスを主原料とするエタノール製造技術実証試験事業」として、針葉樹端材の木チップを主原料としたバイオエタノール製造技術の実証試験を行った経緯がある²⁾。本技術は希硫酸前処理を主体とし、リグノセルロース中のセルロース及びヘミセルロースの単糖化を行った後、これらの糖をエタノールに転換させるプロセスである。

草本系バイオマスであるEFBを原料とする場合には、希硫酸を用いる必然性がなくなる一方で、EFB中に含まれる資化糖成分を有効活用するための新たな前処理工程の開発を行う必要性が求められた。

2.2 EFB由来C6糖及びC5糖の利活用法

リグノセルロース系バイオマスから得ることができる糖化物には主にセルロースから生成されるグルコース、ガラクトース、マンノースなどのC6糖と主にヘミセルロースから生成されるキシロース、アラビノースなどのC5糖がある。このうち、C6糖は酵母などを用いてエタノールなどに比較的容易に変換できるが、C5糖は遺伝子組み換え酵母などを用いなければ変換が難しいことが知られている。

一方で、バイオマスの種類によってはC5糖成分組成比率が高いものもあり、本報で報告するEFBは乾燥重量当たり、セルロースが39.1%、キシランが28.2%含まれていた。キシランを構成するC5糖を利用することができれば、EFB乾燥重量の約7割をエタノールなどに転換することが可能になる。

そこで、本報では、EFBに含まれるセルロース及びヘミセルロースからC5糖とC6糖を可能な限り回収し、従来プ



写真1 アブラヤシの空果房
EFB

口セスに比べて約 1.9 倍の糖化率を得ることができる前処理技術について報告する(図 1)。

3. 試験結果及び考察

3.1 水熱処理条件

3.1.1 水熱処理条件のシミュレーション

一般的に、セルロース、ヘミセルロース、リグニンの分解温度はそれぞれ異なっており、ヘミセルロースは 180℃、セルロースは 240℃、リグニンは 420℃ とされている。

水熱処理反応においては、ヘミセルロースの分解挙動に大きな変化が起こると推測されることから、文献³⁾の反応速度定数を用いて、水熱処理温度と処理時間をパラメータとして反応のシミュレーションを行った。図 2 及び図 3 は、水熱処理温度 170℃ 及び 200℃ におけるキシラン分解挙動のシミュレーション結果を示したものである。

その結果、ヘミセルロースを可能な限り回収するためには、最適な水熱処理温度があると判断し、水熱処理温度について検討した。

3.1.2 水熱処理温度の検討

シミュレーション結果に基づけば、処理時間よりもむしろ

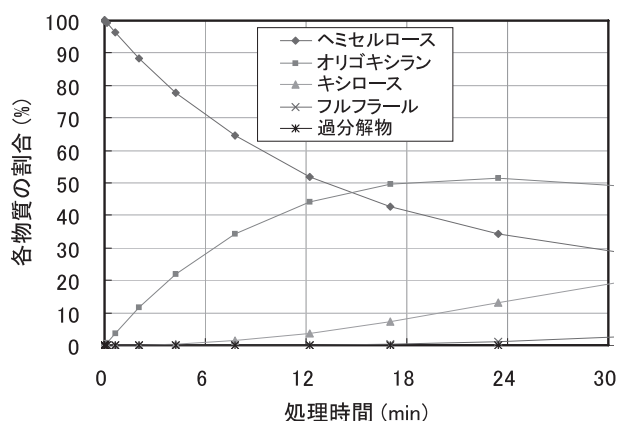


図 2 170℃ におけるキシラン分解挙動シミュレーション
The Simulated Result of Degradation about Xylan at 170

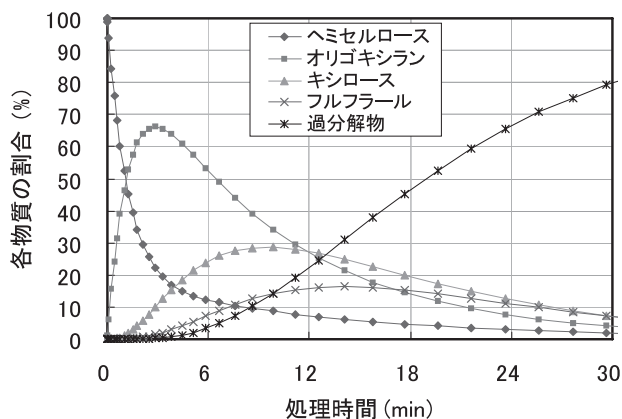


図 3 200℃ におけるキシラン分解挙動シミュレーション
The Simulated Result of Degradation about Xylan at 200

水熱処理温度に上限値があると推察された。

そこで、処理時間は 12 分間に固定し、バッチ式水熱処理装置において処理温度をパラメータとした試験を行い、水熱処理温度が EFB 中のヘミセルロースに与える影響を検討した。図 4 は、水熱処理後のヘミセルロースの残存率を示したものである。

図 4 より、水熱処理温度が 170℃ を超えると、ヘミセルロースの残存率が急激に低くなっており、過分解が顕著に起こることが分かる。このため、水熱処理温度を 170℃ に固定し、得られた水熱処理 EFB の糖化試験を行ったが、その糖化率は十数%程度と極めて低いことが明らかとなった。これは、水熱処理温度が低いことにより、セルロース繊維構造の崩壊が十分に行われていないことに起因するものと考えられる。

3.1.3 こう解処理に関する検証及び考察

セルロースの糖化率を向上させることを目的として、170℃ 水熱処理 EFB に対してこう解処理を施した。こう解処理とは製紙パルプ業界における工程の一つで、パルプを水で膨潤させてセルロース繊維を機械的にたたきほぐす処理である。この処理により繊維の比表面積を増やし、酵素の接触性が向上することによる糖化率の向上を期待した。

そこで、こう解処理の効果を確認することとその作用機構を明らかにすることを目的として、以下の検証を行った。

まず、こう解処理を施した EFB と未処理のものにセルラーゼを添加し、その吸着量を測定した。EFB に吸着したセルラーゼ蛋白質量はウシ血清アルブミン検量線による換算を用いて算出した。その結果、図 5 に示すように、こう解処理を施した EFB には、より多くのセルラーゼが吸着されることが明らかとなった。このことより、こう解により EFB 繊維束がフィブリル化され、セルロース比表面積が増加しているものと考えられる。

写真 2 及び写真 3 の比較より、こう解処理を施した EFB (写真 3) では繊維束が崩壊し、フィブリル化が起きていることが視覚的にも認められた。

次に、こう解処理が糖化反応に及ぼす効果を確認すること

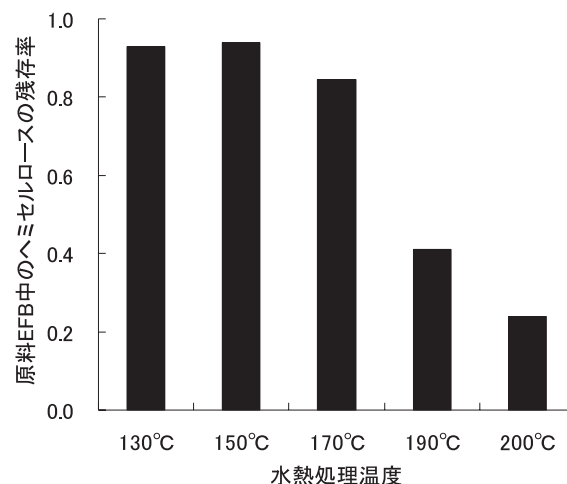


図 4 水熱処理温度に対する EFB 中のヘミセルロースの残存率
The Ratio of Remained Hemicellulose on Various Temperature

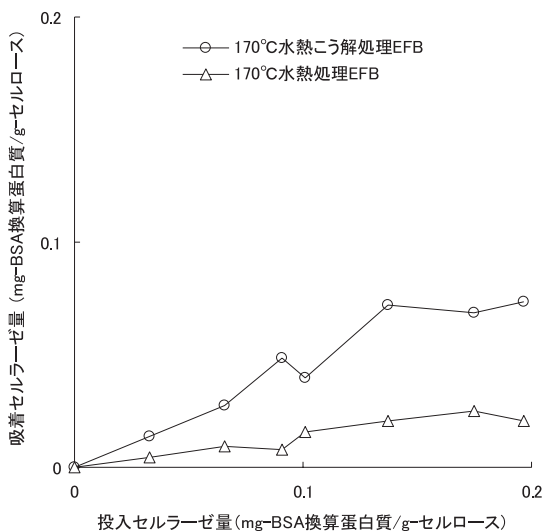


図5 各前処理 EFB に対するセルラーゼ吸着量
The Adsorption Value of Cellulase on Each Pretreated EFB

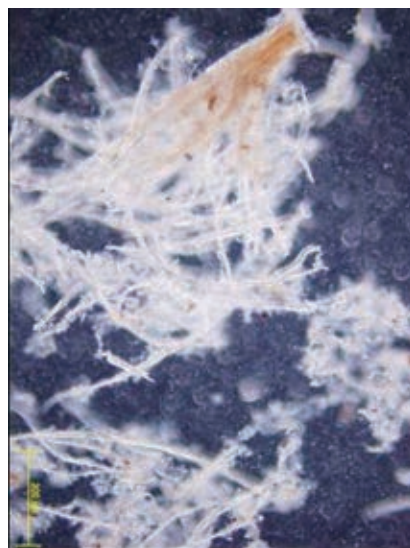


写真3 170 水熱こう解処理 EFB
Hydrothermal Treated and Beaten EFB

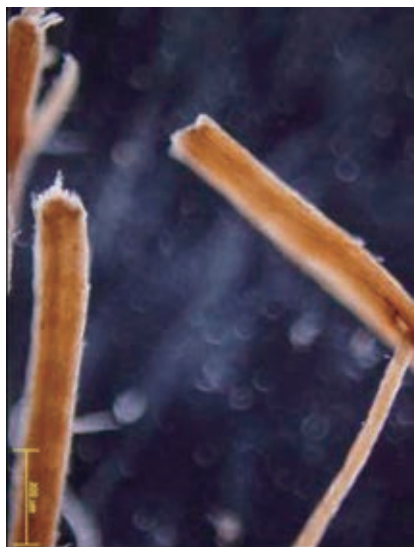


写真2 170 水熱処理 EFB
Hydrothermal Treated EFB

を目的として、こう解処理 EFB とこう解未処理 EFB の酵素糖化を行い比較した。市販のセルラーゼ製剤とキシラナーゼ製剤を用いて、セルロース糖化とキシラン糖化を個別に行った結果を図6及び図7示す。こう解処理を施した水熱処理 EFB は施していないものに比べて、セルロースの糖化速度は約 1.7 倍、キシランの糖化速度は 1.3 倍程度向上していることが明らかとなり、最終の全糖化率は 20% 程度向上することが確認できた。

3.1.4 脱リグニン処理の検討

こう解処理により糖化速度が向上することは確認されたものの、依然として最終糖化率は低いことが明らかになった。

リグノセルロース系バイオマスの酵素糖化反応において、リグニンが反応に障害を与えることは良く知られている⁴⁾。リグニンとは、植物の生育に伴ってセルロースマイクロフィブ

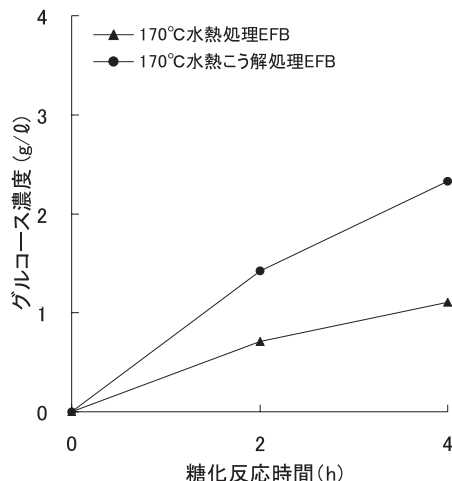


図6 セルロース糖化反応へのこう解処理の効果
The Effect of Beating for the Saccharification of Cellulose

リルに付着していく高分子フェノール性化合物であり、植物自身が腐朽や食害に抵抗性を有するための必須成分である。逆にいえば、このような化合物は効率的な糖化を行うことを妨げる因子となっている。

そこで、製紙工程の汎用的な脱リグニン方法を参考にして、水熱こう解処理 EFB を 1%NaOH 溶液に浸漬し、NaOH 中にリグニンを溶解することで簡易的に脱リグニン処理を施し、酵素糖化反応に及ぼすリグニンの影響に関する検証を行った。

検証過程で得られた NaOH 溶解物は、簡易分析を行った結果、フェノール性化合物であることが確認され、これらはリグニン由来のフェノール性化合物であると結論付けた。また、表1に示すように、脱リグニン処理前後での EFB の成分組成において、脱リグニン処理によりリグニン成分が減少していることが認められた。

次に、脱リグニン処理を施した水熱こう解処理 EFB を基質とした酵素糖化反応系に、回収されたリグニンを一定量ず

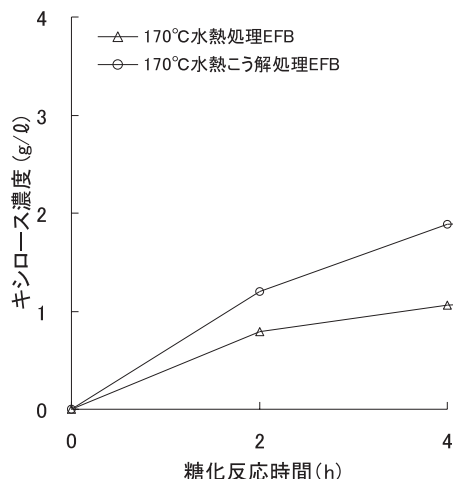


図7 キシラン糖化反応へのこう解処理の効果
The Effect of Beating for the Saccharification of Xylan

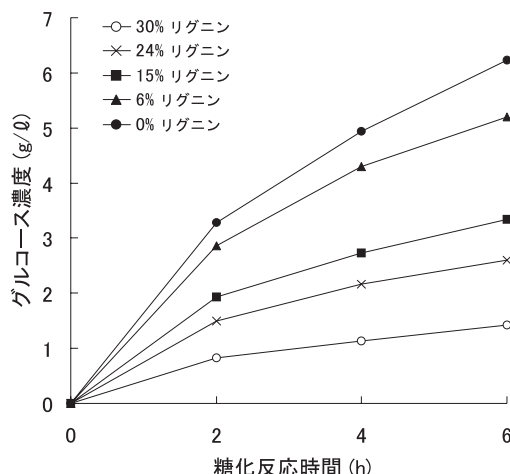


図8 糖化反応に対するリグニンの影響
The Influence of Lignin to the Saccharification

表1 脱リグニン処理前後の EFB 組成
The Composition of EFB before and after Delignification

	セルロース	ヘミセルロース	リグニン及び その他
水熱こう解処理 EFB (脱リグニン前)	45%	25%	30%
水熱こう解処理 EFB (脱リグニン後)	60%	19%	21%

つ添加し、その影響について検討を行った。その結果、図8に示すように、リグニンの添加量が増えると糖化速度及び糖化収率が低下することが認められた。

3.1.5 脱リグニン処理の効果に関する検証及び考察

脱リグニン処理が糖化反応に対してどのような効果を与えるかを明らかにすることを目的として、その検証及び考察を行った。

まず、酵素反応に対するリグニンの阻害形式を簡易的に明らかにすることを目的として、酵素反応学分野で用いられるミカエリス-メンテンプロットを作成し、検証を行った。

検証は市販のセルラーゼ製剤とキシラナーゼ製剤を用いて、セルロース糖化とキシラン糖化を個別に行ったが、後者に関しては際立った差異が特に認められなかったため、図9及び図10にはセルロース糖化に関する結果を示した。脱リグニン処理物における酵素反応最大速度(V_{max})は2.7 g/hで水熱こう解処理 EFB における1.3 g/hの約2倍、見かけの親和性定数(K_{mapp})は共に約0.5%セルロース濃度でほぼ同じ値である。

この結果から、リグニンのセルラーゼ酵素に対する阻害形式は非拮抗型阻害形式であると考えられる。この阻害形式は、阻害物質が酵素の活性部位以外の部位に結合し、基質と阻害物質に競合関係はなく、酵素と基質の K_{mapp} に変化が生じないことを特徴とする阻害形式である。

酵素反応は阻害因子の影響が低い環境においては、化学反応と同様に、その反応初速度は酵素濃度や基質濃度に比例して化学量論的な挙動をとるとされている。

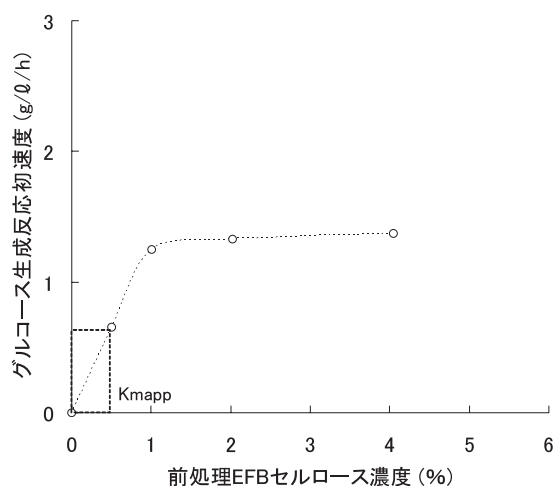


図9 水熱こう解処理 EFB を基質とした場合のミカエリス-メンテンプロット
The Michaelis-Menten Plot about the Hydrothermal Treated and Beaten EFB used as the Substrate

そこで次に、この挙動を調べるために水熱こう解処理 EFB 及びその脱リグニン処理物をそれぞれ基質とした場合における酵素反応初速度と酵素濃度及び基質濃度との関係について検証を行った。図11にその結果を示す。

脱リグニン処理物(: 酵素量 0.03 m /g-セルロース, : 酵素量 0.1 m /g-セルロース, : 酵素量 0.2 m /g-セルロース, : 酵素量 0.4 m /g-セルロース)においては、化学量論的な関係性、すなわち反応初速度と酵素濃度及び基質濃度との間に良好な比例関係が認められる。一方、水熱こう解処理 EFB (: 酵素量 0.03 m /g-セルロース, : 酵素量 0.1 m /g-セルロース, : 酵素量 0.2 m /g-セルロース, : 酵素量 0.4 m /g-セルロース)においては、反応初速度と酵素濃度との間には比例関係が認められるが、反応初速度と基質濃度との間には関係が認められない。この結果から、酵素量を一定とした場合、水熱こう解処理 EFB では基質濃度が増加すると単位酵素当たりのリグニン量が増加し、結果として酵素反応が阻害されていると考えられる。

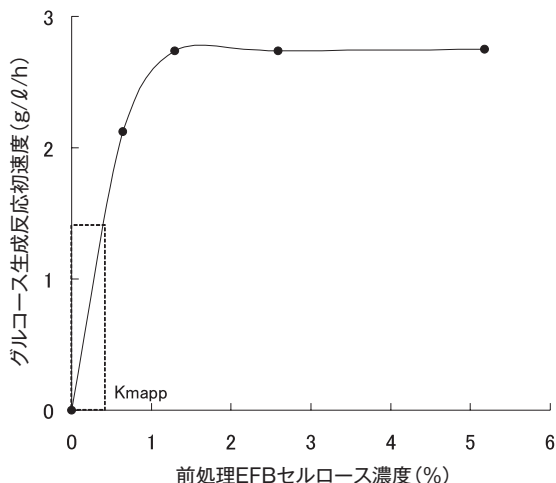


図10 脱リグニン水熱こう解 EFB を基質とした場合のミカエリス - メンテンプロット

The Michaelis-Menten Plot about the delignified Hydrothermal Treated and Beaten EFB used as the Substrate

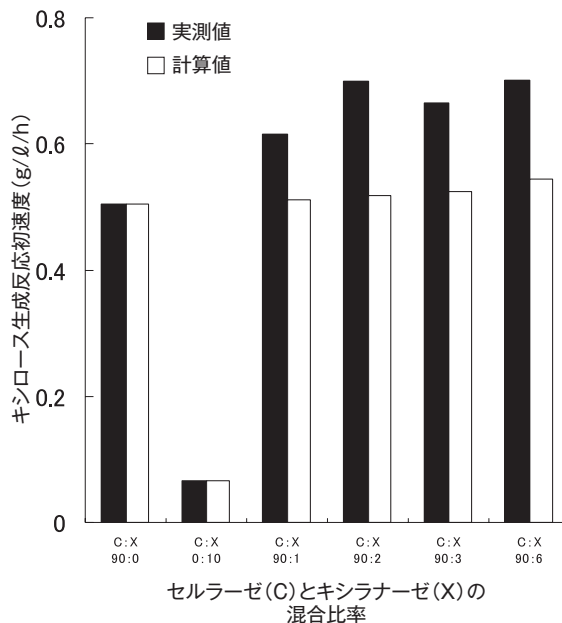


図12 セルラーゼ活性への酵素相乗効果
The Synergy Effect to the Cellulase Activity

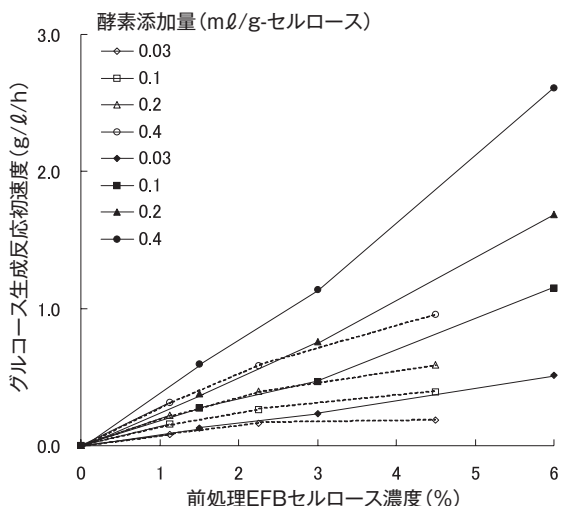


図11 基質量及び酵素量の酵素反応速度との関係性
The Relation between the Reaction Rate and Substrate or Enzyme Concentration

以上の検証結果より、バイオマス由来のリグニンが酵素反応を阻害し、糖化反応速度及び糖化率の低下を引き起こしていることが確認された。

3.2 酵素の相乗効果に関する検証

文献によると、セルラーゼ及びキシラナーゼが同一系中に共存することで、それぞれの酵素活性が他の活性にもたらす効果(相乗効果)があることが報告されている。そこで、3.3で同一系中にセルラーゼとキシラナーゼを添加した全糖化試験を行う前に、この相乗効果がどの程度の影響を及ぼしているかを確認した。

脱リグニン処理を施した水熱こう解処理 EFB を基質とし、セルラーゼとキシラナーゼの混合比率を変えながら、グルコースとキシロースの生成反応初速度を実測した。一方、0.9倍希釈セルラーゼ酵素溶液(C:X = 90:0)と0.1倍希

釈キシラナーゼ酵素溶液(C:X = 0:10)を用いた場合に得られるセルロースとキシロースの生成速度を用いて、両酵素溶液の比率から糖化速度を計算した。結果を図12及び図13に示す。実測値と計算値の比較から明らかなように、いずれの場合においても実測された糖化速度の方が計算値より高くなることが認められ、相乗効果があるものと推察される。

3.3 前処理工程の構築

3.3.1 アルカリ水熱処理に関する条件検討

3.1及び3.2のラボ試験の検討結果に基づき、前処理工程のフロー構築について検討を行った。まず、EFBに対して水熱処理、こう解処理、アルカリ洗浄処理、中和処理から成る前処理工程は、工程数が多く、実機フローには不向きであると考えられる。そこで、脱リグニン処理として、アルカリ洗浄処理を付加するのではなく、水熱処理そのものをアルカリ条件下で行う前処理方法の検討及び考察を行った。

その結果、アルカリ水熱処理では EFB に含まれる酢酸などの有機酸が中和され、pH に依存して液中にリグニンの溶出が認められたことから、本法でも脱リグニンの効果があると判断した。

種々の前処理条件における糖化率測定結果を図14に示す。アルカリ水熱処理 EFB (b) をセルロース及びキシラン分解活性を含む酵素溶液で糖化反応した場合、水熱処理 EFB (d) に比べて総糖化収率が約1.5倍となることが明らかになった。これは、アルカリ水熱処理により脱リグニンが行われ、その結果として総糖化収率が飛躍的に向上したのと考えられる。

3.3.2 アルカリ水熱こう解処理の試験結果及び考察

更なる総糖化収率の向上を目的として、3.3.1の結果を参考にして、アルカリ水熱処理物にこう解処理を施す前処理工程について検討を行った。図14に示す各種前処理条件(a)~(d)で作成した EFB を一律の条件下で糖化反応させ、総

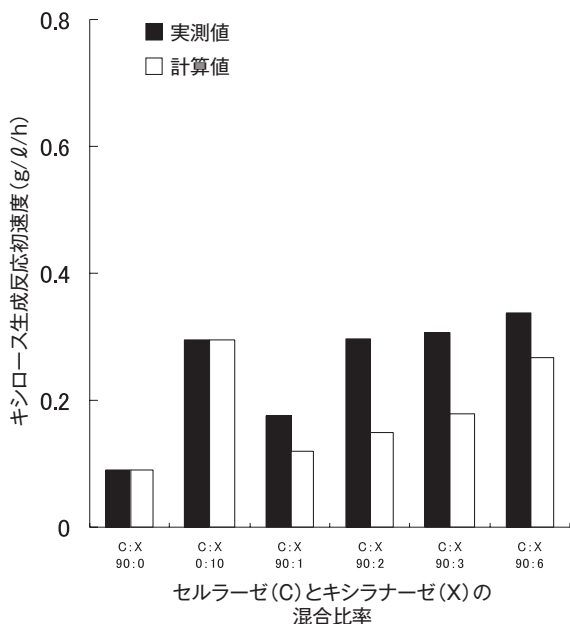


図 13 キシラナーゼ活性への酵素相乗効果
The Synergy Effect to the Xylanase Activity

糖化収率を比較した。その結果 総糖化収率は(a)>(b)>(c)>(d)の順となった。アルカリ水熱処理物にこう解処理を施した EFB (a) では総糖化収率が更に向上し、水熱処理 EFB (d) に比べて約 1.9 倍となることが明らかとなった。

このように、各種検討試験及び検証試験において得られた結果を反映させることで、EFB からセルロース及びヘミセルロースを可能な限り資化成分として回収し、資化可能糖にまで変換する技術を開発できた。

4. おわりに

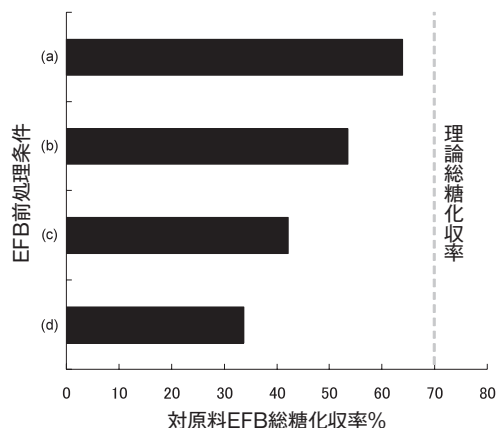
4.1 EFB 乾燥重量当たりの利用可能糖量

本報で報告した EFB は、乾燥重量当たりセルロースが 39.1%、キシランが 28.2% 含まれていた。C6 糖のみを利用するプロセスであれば、最大 39.1% の利活用にとどまるが、今回考案し、検証を行った図 1 のアルカリ水熱こう解プロセスを適用すれば、C5 糖も回収し利用することが可能となり、EFB の約 60% を利用できることを明らかにした。

4.2 エタノール発酵及び C5 糖副生産

EFB に対してアルカリ水熱こう解プロセスを適用することで、C6 糖及び C5 糖を利活用可能であることが明らかとなった。その利活用方法の一つとして、同プロセスにおいて糖化工程までを完了した EFB 加水分解液に対して、通常酵母を添加し C6 糖を発酵させることで、最終的にエタノールとキシロースを多く含む発酵液を容易に生成可能なことを確認した。

この発酵液を蒸留・精製して得られるエタノールは再生可能燃料や化学原料としての利用が期待できる。またキシロー



(a) 170℃アルカリ水熱こう解処理 EFB: アルカリ水熱 EFB に対して、こう解処理を施したもの
(b) 170℃アルカリ水熱処理 EFB: 1%NaOH 雰囲気下で 170℃-12 min の水熱処理を施したもの
(c) 170℃水熱こう解処理 EFB: 水熱 EFB に対して、こう解処理を施したもの
(d) 170℃水熱処理 EFB: 170℃-12 min の水熱処理を施したもの

図 14 各種前処理 EFB の総糖化収率

The Total Sugar Yield about Various Treated EFB Used as the Substrate

スに関しては天然甘味料の一種であるキシリトール生産における粗原料などへの適用が期待できる。

一方、今後のバイオマスリファイナリーの動向によっては、C6 糖及び C5 糖を全て同一の生産物に変換可能な遺伝子組み換え微生物による発酵工程を積極的に用いることで、より効率的なバイオマスリファイナリー生産プロセスを構築することも期待できる。

参考文献

- 1) 三井造船：マレーシアでバイオエタノール製造の実証試験を実施，三井造船技報，207(2012-10)，p. 20
- 2) 木本：木質系原料からのバイオエタノール製造プロセス，三井造船技報，201(2010-10)，p. 24
- 3) Anthony H, et al.: Kinetic Modeling of Hardwood Prehydrolysis, WOOD AND FIBER SCI., 18(1986)p. 248
- 4) Eduardo Ximenes, et al.: Inhibition of Cellulases by Phenols, ENZYME MICROB TECHNOL., 46(2010)p. 170

〔問い合わせ先〕

技術開発本部 千葉技術開発センター
TEL 0436 - 41 - 1102 大野 克博



大野 克博



牛越 淳太郎



高岡 一栄

バイオエタノール生産のための合成ガス資化性菌に関する 基盤的技術の開発

酒井伸介* 高岡一栄** 喜多晃久***
村上克治*** 中島田 豊****

Development of the Basic Technologies in Synthesis Gas Utilizing Bacteria for Bioethanol Production

Shinsuke SAKAI, Kazue TAKAOKA, Akihisa KITA, Katsuji MURAKAMI, Yutaka NAKASHIMADA

As a method of effective utilization of unused biomass or organic refuse, gasification and C1 synthetic reaction system have been studied for a long time all over the world. As one of such systems, application of synthesis gas utilizing bacteria for catalytic C1 synthetic reaction has been widely tried. However, to reach the practical level, a host-vector system is normally required. But the bacteria in this system show a nature difficulty of recombination of DNA.

Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd., in collaboration with the Hiroshima University and the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, successfully developed a genetic transformation system by *Moorella thermoacetica* ATCC 39073 used as a model strain of a synthesis gas utilizing thermophilic bacterium. Furthermore the genetic transformation efficiency was increased by using of the plasmid artificial modification method. To test heterologous gene expression, a gene from other bacterium was transfected to *Moorella* by our genetic transformation system. As a result, heterologous gene expression was observed in the transformant. It is expected that our new genetic transformation system will be available for genetic engineering for synthesis gas utilizing bacteria for catalytic C1 synthetic reaction.

三井造船は、未利用バイオマス等の有効利用を目的に、ガス化技術と微生物発酵を組み合わせたプロセスの開発を目指している。しかし、実用レベルのシステムとするには、合成ガス資化性菌のエタノール生産能を改良する技術開発が必要となる。

当社は、広島大学及び独立行政法人産業技術総合研究所と共同で、モデル株として *Moorella thermoacetica* ATCC39073 株を用い、菌の代謝改変を可能とする遺伝子組換え技術の構築に成功した。また、プラスミド人工修飾法(PAM法)を用いることによって、遺伝子組換え効率を向上させることを可能にした。さらに、組換えた遺伝子由来のタンパク質が *Moorella* 属細菌内で発現し機能するかを確認するため、別種の細菌由来の遺伝子を同様の方法により組換えた結果、別種の細菌由来のタンパク質は *Moorella* 属細菌内で発現し機能することを確認した。本報では、この遺伝子組換え方法の有用性を示す。

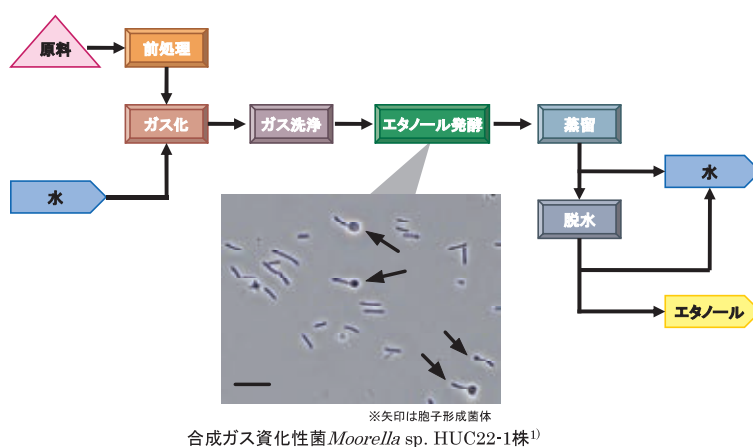


図1 合成ガスを原料とするエタノール発酵プロセスの概要
Composition of Ethanol Fermentation Process from Synthesis Gas

* 技術開発本部 千葉技術開発センター

** 技術開発本部 技術総括部

*** 独立行政法人 産業技術総合研究所 バイオマスリファイナリー研究センター

**** 広島大学大学院 先端物質科学研究科

1. 開発の背景

近年、持続可能な社会の構築を目指し、化石資源由来の工業原料やエネルギーを再生可能資源由来へとシフトする試みが行われている。中でもバイオマスを原料とするエタノールは、ガソリンへの添加、エチレンやプロピレン製造などの原料としての利用が可能であることから、その生産の試みが活発に行われているものの一つである。現在、エタノールの製造は、酵母を利用する方法が主流であるため、バイオマス原料を微生物が利用できる糖に変換する糖化という工程を経る必要がある。三井造船においても、多収穫イネのデンプン原料、パームヤシ空果房のセルロース原料などを糖化し、得られた糖を酵母によって発酵させるプロセスの開発を進めており、その構築に目処が得られている。

一方で、糖化が難しいバイオマス原料の利用はあまり進んでいない。そこで当社は、ガス化したバイオマスから微生物を用いてエタノールを合成する技術開発を、広島大学及び独立行政法人産業技術総合研究所と共同で開始した。これは、糖化が難しい原料を含めた幅広いバイオマス原料に対応できる次世代プロセスとして期待されており、製造した合成ガス中の水素、一酸化炭素及び二酸化炭素を微生物によってエタノールに変換するものである(図1)。

本報では、特にプロセスの後段である合成ガスからエタノールを製造するプロセスにおいて使用する合成ガス資化性菌の開発にフォーカスして、構築した遺伝子組換え技術の有効性を報告する。

2. 合成ガス資化性菌の特性と遺伝子操作系の確立

合成ガスからエタノールを生物的に生産するためには、合成ガス資化能とエタノール発酵能を持つ菌を用いる。そのためには、図2に示すように、自然界から合成ガス資化能とエタノール発酵能を有する菌を見つけ出し、遺伝子操作により工業生産に必要な特性を付与する必要がある。そして、使用する菌に遺伝子操作をするための操作系がなければ、それを確立する必要がある。今回、世界で初めて、エタノール合成能を有する *Moorella* 属細菌に関する遺伝子操作系を確立することに目途をつけることができた²⁾。

2.1 合成ガス資化性菌の特性

Moorella 属細菌は一般に合成ガス資化能を有する。このような *Moorella* 属細菌に関して広島大学では、図1に示す新たな菌株 *Moorella* sp. HUC22-1 株を地下水採取口土壌から分離した¹⁾。この菌株は、55 ~ 60 の嫌気条件下で生育し、

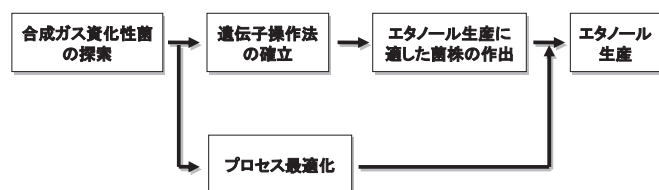


図2 工業的エタノール生産のための細菌に関する開発フロー
Flow Diagram of Bacteria Development for Industrial Ethanol Production

合成ガスから酢酸とエタノールを生産できる。この菌の合成ガスを基質とする酢酸とエタノールに関する生産能の比較を表1に示す。表1に示されるように、本菌は、高濃度の酢酸を生産できるため物質生産能は高く、合成ガスからの物質生産における宿主として有望である。しかし、エタノール生産能が低いため、工業的なエタノール生産に使用するためには、本菌の有するエタノール生産能を遺伝子操作で向上させる必要がある。

2.2 工業的に利用するための遺伝子組換え技術の開発

2.1で示したように、*Moorella* 属細菌を用いて合成ガスからのエタノール生産を工業的に実用化するためには、合成ガス資化性菌のエタノール生産能を遺伝子操作技術により向上させることが必要である。

一般的に形質転換などの遺伝子操作においては、目的細菌に適合するように構築されたシャトルベクター系の利用が考えられるが、*Moorella* 属細菌で機能するものに関する報告例はない。そこで、本報では、固体培地の上で遺伝子の組換えの成否が一目で分かるような宿主菌とベクター系について作出を試みた。この宿主ベクター系は、*Moorella* 属細菌を遺伝子破壊により栄養要求性を变化させた宿主と栄養要求性の回復に関する遺伝子を有するベクターであり、この系を用いれば、ウラシルというRNAの原料となる核酸塩基の培地中での有無をもとに、遺伝子組換えの成否を一目で判断できるようになる。このような遺伝子操作系を構築するに当たり、宿主作製の対象となる細菌のゲノム情報が分かっている必要があることから、*Moorella* 属細菌の標準株として既にゲノム情報が公開されている *M. thermoacetica* ATCC39073 株(ATCC39073株)⁴⁾をモデル株として用いた。

2.2.1 遺伝子組換え用宿主 *pyrF* 破壊株 (*dpyrF* 株)の構築

ウラシルの原料となるピリミジン合成経路において、オロチジンモノリン酸を脱炭酸してウリジルモノリン酸に変換する反応を触媒する酵素オロチジン-5'-リン酸デカルボキシラーゼをコードする遺伝子 *pyrF* を遺伝子破壊のターゲットとした(図3)。*pyrF* 破壊株は、5-fluoro-orotic acid (5-FOA)を用いたポジティブセレクションによる取得が可能である。すなわち、5-FOAを培地に添加することにより、遺伝子を破壊されていない野生株では菌体は死滅するが *pyrF* 破壊株では、5-FOAは代謝されることがないために菌体は生存できる。

まず、ATCC39073株のTotal DNAを鋳型にPCRで増幅

表1 HUC22-1株による合成ガスからの酢酸とエタノール生産能
Acetate and Ethanol Production from Synthesis Gas by the Strain HUC22-1

培養条件	最終酢酸濃度 (g/L)	最終エタノール濃度 (g/L)
培養液 pH6.2 一定制御, 反復回分培養(420時間)	50.4	0.21
培養液 pH5.8 一定制御, 反復回分培養(430時間)	40.5	0.71

リアクターの容積当たりに換算

基質は、水素 80%、二酸化炭素 20% の純ガス混合物を使用
参考文献3)より転記

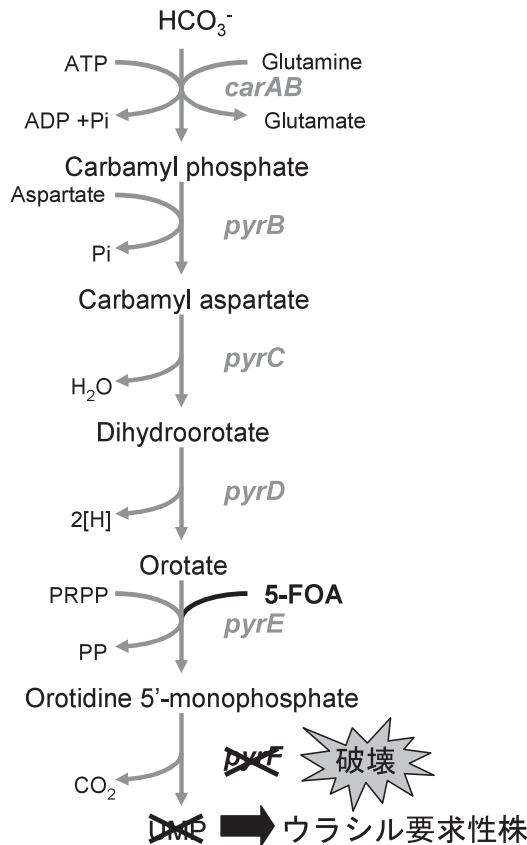


図3 ピリミジン合成経路
Pyrimidine Synthetic Pathway

した *pyrF* の上流側の約 1000 bp 及び下流側の約 1000 bp の二つの領域を同時に pK18mob プラスミドに挿入し、*pyrF* 破壊ベクター pK18-d*pyrF* を構築した。二つの相同領域を持つことから、ダブルクロスオーバーの相同組換えを細胞内で起こすことができる(図4)。

次に、エレクトロポレーションを用いて pK18-d*pyrF* を ATCC39073 株に導入し、ウラシル及び 5-FOA の存在下でポジティブセレクションを行って、5-FOA 耐性株を得た。この株は、増殖にウラシルを要求すること及び PCR と電気泳動の結果から *pyrF* 周辺領域の欠失を確認したことから、目的の *pyrF* 破壊株が取得できたと判断し、d*pyrF* 株とした。

2.2.2 *pyrF* 導入によるウラシル要求性の回復の確認

d*pyrF* 株に元来有していた *pyrF* を導入し、ウラシル要求性の回復が確認できれば、*pyrF* を遺伝子組換えの相補マーカーとして用いた遺伝子組換え技術の構築が完了したことになる。そこで、d*pyrF* 株への元来有していた *pyrF* 導入試験を実施した。まず、染色体上の *pyrF* 領域へのダブルクロスオーバーによる相同組換えを行うために、pK18-d*pyrF* をベースのプラスミドとして用い、二つの相同領域の間に *pyrF* を挿入した pK18*pyz* を構築した(図5)。また、pK18*pyz* には、染色体に導入されたかどうかを確認しやすくするために、*pyrF* の 3' 側に外来の DNA タグとして好熱性嫌気性菌 *Thermoanaerobacter pseudethanolicus* ATCC 33223 株由来の *lacZ* の遺伝子断片(約 500 bp)を挿入した。

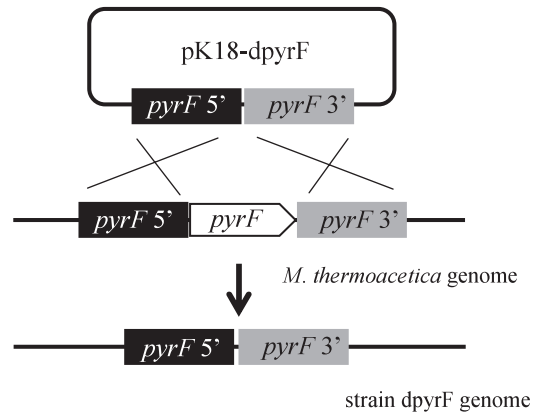


図4 相同組換えによる *pyrF* 破壊株の構築
Construction of the *pyrF* Deletion Transformant by Homologous Recombination

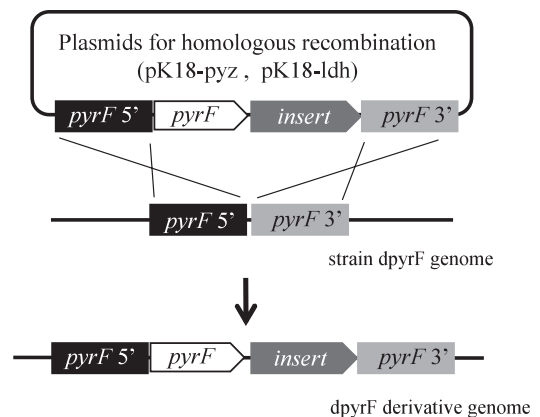


図5 相同組換えによる外来遺伝子導入の概要
Insertion of Exogenous Genes into the *pyrF* Deletion Mutant by Homologous Recombination

pK18*pyz* をエレクトロポレーションによって d*pyrF* 株に導入し、相同組換えによって染色体に組み込んだ pK18*pyz* 導入株が得られた。得られた株において、外来の DNA タグとして用いた *LacZ* 遺伝子が染色体に導入されていることが確認された。さらに、本株はウラシル無添加の条件でも生育でき、ウラシル生合成が回復したことが確認できた。

この結果から、d*pyrF* 株が *Moorella* 属細菌の遺伝子操作系のための宿主として確立できたことが確認された。d*pyrF* 株による *Moorella* 属細菌の遺伝子操作の流れを図6に示す。

3. *Moorella* 属の遺伝子操作系による外来遺伝子導入株作製の実施例

3.1 乳酸生産株の作製

Moorella 属細菌の遺伝子操作系により、実際に外来遺伝子を導入して、導入遺伝子が細胞内で機能するかの検証を実施した。導入する外来遺伝子としては、ATCC 39073 株が元々生産する酢酸以外の物質を一つの遺伝子を導入するだけで生産できれば、確認が容易である。さらには、細菌への負の影響

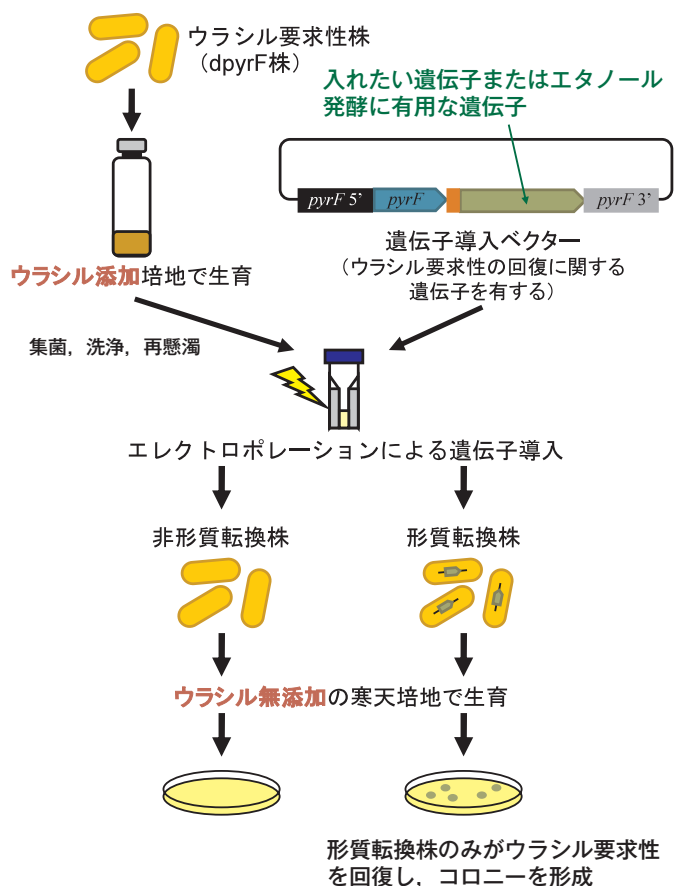


図6 dpyrF株を用いた *Moorella* 属細菌の遺伝子操作の流れ
Flow Diagram of Genetic Transformation in the *Moorella* Species by Using of the Strain dpyrF

響が小さいことが望ましい。

そこで, ATCC 39073株は乳酸を生産しないが, 乳酸の前駆物質であるピルビン酸を中間代謝産物として菌体内で生産することから, ピルビン酸を乳酸に変換する乳酸デヒドロゲナーゼ(LDH)をコードする *ldh* を選択した(図7)。*ldh* として, ATCC 39073株と同様の好熱性嫌気性細菌である *T. pseudethanolicus* ATCC 33223株由来の *T-ldh* を用いた。また, 外来遺伝子を異種発現させるために, ATCC39073株由来の *glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase* 遺伝子プロモータ(*G3PD* プロモータ)を使用した。形質転換操作は2.2で述べた宿主ベクター系を用い, 操作も同様に行った。

3.2 C31株における乳酸生産

得られた *T-ldh* 形質転換体である C31株における乳酸生産のデータを図8に示す。*dpyrF*株及びC31株について60mMの果糖を炭素源とし, バイアルピンを用いた回分培養を行った。その結果, C31株では, 酢酸生産と共に乳酸生産が確認され, 72時間後に最大で6.8mM(0.7g/L)の乳酸を生産した。一方, *dpyrF*株では乳酸生産は確認されなかった。

4. *Moorella* 属細菌の遺伝子操作系に関するトピックス

本報では, ATCC39073株のメチル化酵素をコードする遺伝子を発現させた大腸菌を用いて, 形質転換用ベクターを

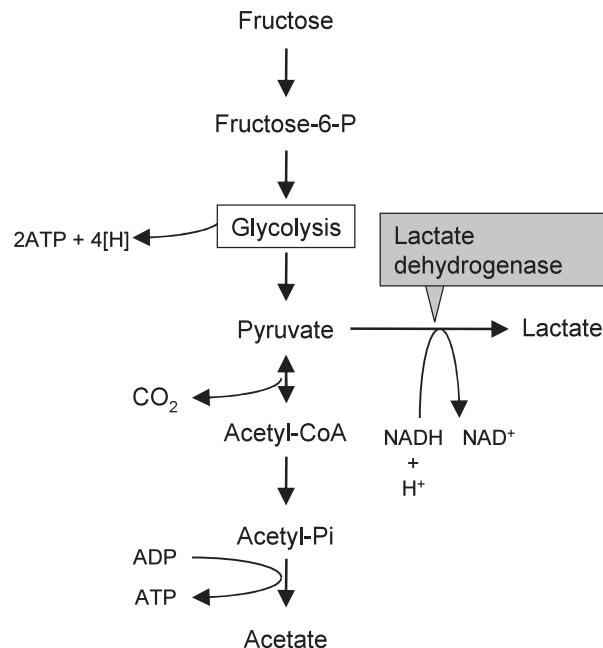
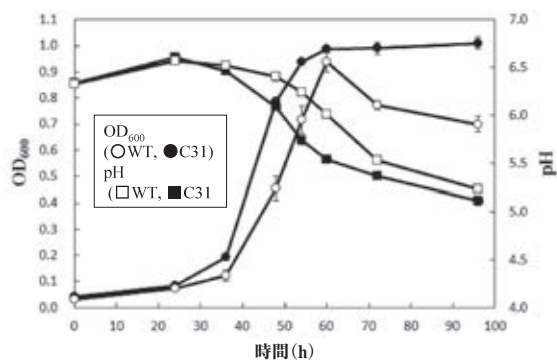
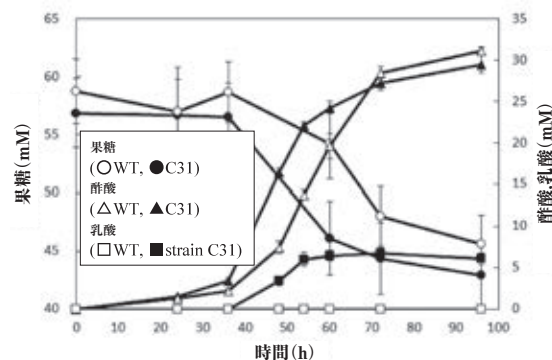


図7 *T-ldh* 導入形質転換株の代謝経路
Metabolic Pathway of the *T-ldh* Expressing Transformant



(a)培養液のOD600値とpHの時間的变化



(b)果糖, 乳酸と酢酸生産の時間的变化

図8 C31株を用いた乳酸生産結果
Result of Lactate Production by the Strain C31

調製した。これは, プラスミド人工修飾法(PAM system)⁵⁾と呼ばれ, ATCC39073株において, 細胞内に導入された外来遺伝子を分解する制限酵素が強力に発現していることに対応するための方法である(図9)。具体的には, ATCC39073

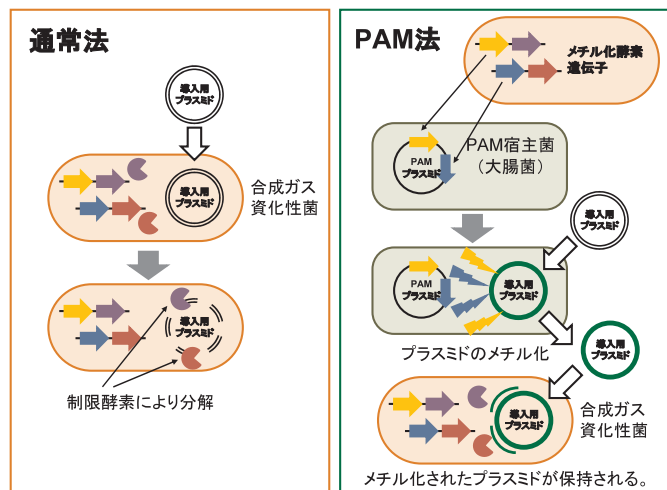


図9 プラスミド人工修飾法の概念
Concept of the Plasmid Artificial Modification System

株に由来する特定のDNAメチル化酵素遺伝子を大腸菌内で発現させ、その大腸菌を用いて形質転換用ベクターを調製する。その際、形質転換用ベクターがメチル化され、制限酵素による分解を防ぐことが可能となる。

本報では、メチル化酵素遺伝子利用による形質転換効率の向上効果を検証した。メチル化処理なしのpK18pyzをdpyrF株に形質転換した場合、形質転換効率は $(8.1 \pm 6.1) \times 10^0$ CFU/ μ g DNAであった(表2)。これに対して、大腸菌宿主pBAD-M12、またはpBAD-M81を用いてメチル化したpK18pyzを形質転換した場合、10倍以上の形質転換効率の向上が見られた。さらに、pBAD-M1281を用いてメチル化したpK18pyzを用いた場合、20倍以上の形質転換効率の向上が見られた。これらの知見から、メチル化酵素遺伝子利用が形質転換効率の向上に有効であることが示された。

5. おわりに

世界で初めて、合成ガス資化性菌 *Moorella* 属細菌の遺伝子組換え技術の開発に成功した。さらに、外来遺伝子として *T. pseudethanolicus* ATCC33223 株由来の乳酸脱水素酵素遺伝子を異種発現させ、乳酸生産を付与することにも成功し、実用的な方法であることが示された。

現在、開発した遺伝子組換え技術を用いて、合成ガス資化性菌のエタノール生産能の改良に着手しており、合成ガスからエタノールを製造するプロセスにおける生物触媒としての利用を進める予定である。

最後に、本研究開発の一部は、独立行政法人科学技術振興機構の研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP)の一環として行われたものである。ここに感謝の意を表する。

表2 プラスミド人工修飾法における形質転換効率の結果
Result of Transformation Efficiency
by Using of the Plasmid Artificial Modification System

メチル化プラスミド (メチル化酵素遺伝子)	形質転換効率 (CFU/ μ g DNA)
pBAD33(control)	$(8.1 \pm 6.1) \times 10^0$
pBAD-M12(Moth_1671-Moth_1672)	$(8.0 \pm 1.1) \times 10^1$
pBAD-M81(Moth_2281)	$(6.0 \pm 3.1) \times 10^1$
pBAD-M1281 (Moth_1671-Moth_1672-Moth_2281)	$(1.5 \pm 1.2) \times 10^2$

参考文献

- 1) S. Sakai, et al. : Ethanol production from H₂ and CO₂ by a newly isolated thermophilic bacterium, *Moorella* sp. HUC22-1, *Biotechnol. Lett.*, 26,(2004), p. 1607
- 2) A. Kita, et al. : Development of genetic transformation and heterologous expression system in carboxydrotrophic thermophilic acetogen *Moorella thermoacetica*, *J. Biosci. Bioeng.*, 115, 4(2013) p. 347
- 3) S. Sakai, et al. : Acetate and ethanol production from H₂ and CO₂ by *Moorella* sp. using a repeated batch culture, *J. Biosci. Bioeng.*, 99, 3(2005), p. 252
- 4) E. Pierce, et al. : The complete genome sequence of *Moorella thermoacetica* (f. *Clostridium thermoaceticum*), *Environ. Microbiol.*, 10, 10(2008), p. 2550
- 5) K. Yasui, et al. : Improvement of bacterial transformation efficiency using plasmid artificial modification, *Nucleic. Acids Res.*, 37, 1(2008), p. e3

〔問い合わせ先〕

技術開発本部 技術総括部
TEL 03 - 3544 - 3245 高岡 一栄



酒井 伸介



高岡 一栄



喜多 晃久



村上 克治



中島田 豊

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 -



写真1 Power Assist Sailのプロトタイプ

三井造船は、船舶が排出するCO₂削減に関する研究開発に継続的に取り組んでおり、ほとんどCO₂を発生させない自然エネルギーである風力の利用についても注目し、開発を進めている。帆装置に関する2011年度までの研究開発の中で、風洞試験、帆装船の自走模型試験などを行い、帆装船のCO₂削減効果や挙動等を把握し、実船へ搭載可能である見通しを得た。2012年6月からは、日本海事協会の「業界要望による共同研究」のスキームにより研究支援を受け、株式会社商船三井、株式会社三井造船昭島研究所及び日本海事協会との共同研究体制により、帆を利用したCO₂削減装置である補助帆(Power Assist Sail)に関する共同研究を開始した。

この共同研究の一環として、実船搭載可能な実機スケールのPower Assist Sailのプロトタイプ(写真1)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。

Power Assist Sailは、横風時には飛行機の翼と同様に発生する揚力を、追風時には発生する抗力を、それぞれ主に用いて船舶の補助推進力とし、利用するものである。実船搭載時には、搭載する船舶の規模と目標とするCO₂削減効果に応じて、搭載する基数を調整し、それぞれの船舶に適切な帆装システムを実現する(図1)。

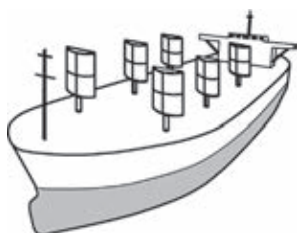


図1 Power Assist Sailの搭載イメージ

今回の実証試験で、本装置の所期の性能と耐久性が発揮されることを確認し、実船搭載に備えた改良点の抽出を行う。

特長

- (1) 帆本体はアルミ合金製、マスト及び駆動部分は鋼製であり、耐久性に優れる。
- (2) 風向・風速、船速、船首方位に応じて、最大の推力が得られるように、帆角度を自動制御する。
- (3) 荒天時、あるいは無風時には、マスト下部を90度屈曲させて格納可能な機構を設け、船舶の運航に与える影響を最小限に留めることが可能である(写真2)。



写真2 格納動作中

主要目

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

(船舶・艦艇事業本部、技術開発本部)

〔問い合わせ先〕

船舶・艦艇事業本部 事業開発部
TEL 03-3544-3345 長 拓治
技術開発本部 技術総括部
TEL 03-3544-3245 平山 明仁

釜石港湾口防波堤用ケーソンを完成 - 大型ハイブリッドケーソンの製作 -



写真1 ケーソン内部鋼殻の製作完了写真



写真2 ケーソン製作完了写真(竣工時)

岩手県釜石市の釜石港湾口防波堤は300mの開口部を持ち、南堤670m、北堤990mから成り、ギネス世界記録にも認定されている世界最大水深(-63m)に設置された防波堤である。この防波堤は平成23年3月11日の東日本大震災による津波によって被災し、その防波堤復旧工事の一部として、平成24年3月国土交通省東北地方整備局発注の長さ50mのケーソン2函製作工事を受注した。ケーソンは三井造船千葉事業所のNo.3ドックで製作し、平成25年4月に引渡しを完了した。

受注したケーソンはハイブリッドケーソンと呼ばれる形式であり、壁部分は鋼材でできた箱の周りに鉄筋コンクリートを施工するオープンサンドイッチタイプで、スリット部分は鋼材を鉄筋コンクリートに埋め込んだSRCタイプの合成版構造になっている。ハイブリッドケーソンの特長は、通常の鉄筋コンクリート製ケーソンに比べて、鋼材を使用することにより長尺化が可能で(鉄筋コンクリート製ケーソンは通常長さ20m程度に対し、本ケーソンは長さ50m)、かつ重量を軽くできることから、長距離輸送が容易になる点である。また、設備の整った工場で作ることにより、高品質かつ短納期での製作が可能である。

本ケーソン製作で施工管理上最も配慮したのが、コンクリートのひび割れ制御である。製作時のコンクリート打設量は1函当り2473.8m³と大量であることから、コンクリートの発熱による内部と表面との温度差によって生じるひび割れ(温度ひび割れ)が発生しやすい状態にあったため、温度ひび割れ解析を有限要素法(FEM)解析により実施した。解析結果から、ひび割れに対する対策として、コンクリートに膨

張材と高性能AE減水剤を添加し、当社開発の保温養生マットを使用することを提案し、承諾を得て実施した。これらのひび割れ対策の結果、温度ひび割れは発生しなかった。

本ケーソンは平成25年6月15日にNo.3ドックを出渠し、千葉から釜石まで特殊な台船に載せて輸送、7月中旬に到着の予定である。本ケーソンの完成が東北地方復興への一つの弾みとなれば幸いである。

がんばろう！東北

主要目

工事名称	: 釜石港湾口地区湾口防波堤(災害復旧) 本体工事
発注者	: 国土交通省 東北地方整備局
工事範囲	: ハイブリッドケーソン2函の製作
工期	: 平成24年3月~平成25年4月
高さ	: 19.50m
幅	: 20.30m(22.50m)
長さ	: 50.00m
ケーソン重量	: 約7600t(1函当り)
鋼殻重量	: 約880t(1函当り)
	(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 技術部 大分沿岸技術室
TEL 097-593-5716 茅野 良太

アウトプレート工法で鋼橋補強工事を実施
- 炭素繊維プレート緊張材を用いて新湊川橋に適用 -

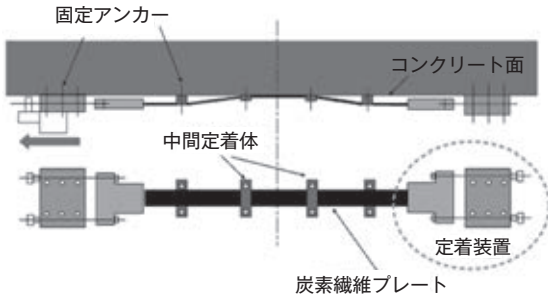


図1 アウトプレート工法の概要

表1 緊張材の設計仕様

緊張材の特性	240 kN 型緊張材	360 kN 型緊張材
補強繊維	高強度カーボン・ガラス繊維	高強度カーボン・ガラス繊維
幅 (mm)	50.0	75.0
厚さ (mm)	3.0	3.0
公称断面積 (mm ²)	150	225
引張耐力 (kN)	240	360
引張弾性率 (MPa)	1.20 × 10 ⁵	1.20 × 10 ⁵
純リラクセーション	6.0%	



写真1 緊張作業状況

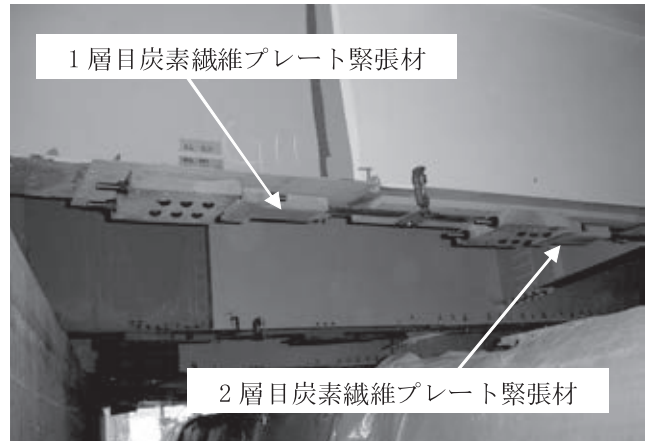


写真2 緊張作業完了状態

三井造船グループのドービー建設工業は、アウトプレート工法を用いて新湊川橋の補強工事を行った。アウトプレート工法は、炭素繊維プレートの両端に、定着体を工場で一体化した緊張材(アウトプレート)を緊張して部材に定着及び接着し、コンクリートまたは鋼構造物を補強する工法である(図1)。

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。一方、アウトプレート工法は、炭素繊維の高強度な材料特性を活用し、引き抜き成形された炭素繊維プレート緊張材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ことができる。

本工事は、昭和44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。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鈹桁橋である。B活荷重に対応させるための補強として、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が小さいことから、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(幅75mm、厚さ3mm)を2層設置して補強が行われた。緊張材定着用固定プレートの設置は、1層及び2層ともトルシアボルトを用いて固定した。炭素繊維プレート緊張材の緊張は、専用の爪付きジャッキを使用し、1層目の緊張が完了後に、1層目の上に2層目を設置して、全て片引きで緊張を行った(写真1、写真2)。

緊張材の設計仕様を表1に示す。本アウトプレート工法による施工実績は、コンクリート橋が43件、鋼橋が2件あり、当社は今後も橋梁の延命化に貢献していく。

(ドービー建設工業株式会社)

〔問い合わせ先〕

営業企画部

TEL 03 - 3918 - 9174 塘 和寿

汚泥再生処理施設等建設工事，受注



三井造船の100%子会社である三井造船環境エンジニアリング(MKE)は、2012年4月～12月までに3件の汚泥再生処理施設、し尿処理施設の建設工事を受注しました。汚泥再生施設とは、し尿・浄化槽汚泥を衛生的に処理し、資源を有効活用する方法です。都市部では、下水処理によるし尿処理方法が行われていますが、それ以外は集合処理により効率的に処理しています。また、2007年2月からの海洋投棄全面禁止や資源の有効利用の高まりから近年汚泥再生施設が多く建設されています。

MKEは、し尿・浄化槽汚泥処理施設や汚泥再生処理センターに関し、40件以上の納入実績を有し、加えて施設建設後の運転管理についても高度な維持管理技術により数多くの実績を有しています。

今後とも地域の特性を活かした環境リサイクル関連技術を活用し、積極的に事業展開を図っていく方針です。

受注工事名称

- ・高座清掃施設組合し尿処理施設建設工事
- ・宇和島地区広域事務組合汚泥再生処理センター建設工事
- ・和歌山市汚泥再生処理センター建設工事

[担当] 三井造船環境エンジニアリング(株) 環境ソリューション事業本部 営業部

菅野 電話：043-351-9163

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

マルタ向けディーゼル発電設備を納入



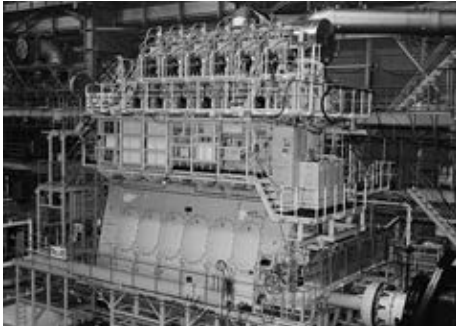
三井造船の100%子会社である、Burmeister & Wain Scandinavian Contractor A/S (BWSC)は、マルタの国営エネルギー会社であるエネマルタ社にディーゼル発電設備を納入いたしました。本プロジェクトは、同国南東部のデリマラ発電所の増設工事で、BWSCはエンジニアリング、機器調達、据付、建設、試運転までを一括で請け負いました。本発電設備は、重油焚き中速ディーゼルエンジン8基をベースとし、発電出力は144 MWです。

EUの厳しい排出ガス規制に対応するため、蒸気タービンによる排熱回収・再利用することにより発電効率を48%まで高め、二酸化炭素排出量を低減するとともに、最新鋭の脱硝装置及び排煙脱硫装置を備え、NOx(窒素化合物)、SOx(硫黄化合物)、煤塵(粒子状物質)の規制値を大幅に下回る削減に成功しており、世界でもっとも環境にやさしいディーゼル発電設備となっています。

BWSCは、ディーゼル及びバイオマス発電施設のエンジニアリング、建設、運転・保守管理まで一貫した事業を世界の各地で展開しており、創業以来約51カ国、160件以上の発電施設の納入実績があります。

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

船舶用電子制御式ガスインジェクションディーゼル機関(ME-GI)の デモンストレーション運転実施について



株式会社商船三井の協力のもと、国内で初めて天然ガスを燃料とした船舶低速ディーゼル機関(ME-GI)のデモンストレーション運転を実施し、現在殆どの商船に搭載されている油焚きディーゼル機関と同様の信頼性を有することを確認しました。従来、船舶ディーゼル機関の燃料は重油が主体でしたが、環境負荷が低く、シェールガス開発により、近い将来、経済性においても魅力的となる天然ガス燃料が注目されています。

当社は、平成6年に千葉事業所内に低速ガスインジェクションディーゼル機関(GIDE)発電設備を完成させ、ガス焚き低速ディーゼル機関による発電事業を行うとともに、LNG(液化天然ガス)運搬船の推進機関に採用すべく、本機関の信頼性の検証ならびに運転ノウハウを蓄積して参りました。ME-GIは、この経験を基に、電子制御、環境対策などの最新技術を融合した機関であり、今後、LNG運搬船を皮切りに多くの一般商船に採用されると考え、注力しているところです。また、2011年7月には、このME-GIを推進機関に採用し、燃費・CO₂排出量を30%削減したLNG運搬船「Double Eco MAX」を開発、市場投入を行っています。

[担当] 機械・システム事業本部 機械工場 ディーゼル設計部 田淵 電話：0863-23-2896

[問い合わせ先] 経営企画部 広報室 乾(いぬい) 電話：03-5202-3147

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
奥 幸之介
穴倉 進
鎌田 勤 也
佐野 健 一
兼本 浩

三 井 造 船 技 報

第209号

2013年(平成25年)7月10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	名古屋市中村区名駅南 1 丁目 24 番 30 号(名古屋三井ビル)	TEL 052-582-0145
関西支社	〒 550-0004	大阪市西区靱本町 1 丁目 11 番 7 号(信濃橋三井ビル)	TEL 06-6447-2001
中国支社	〒 730-0051	広島市中区大手町 2 丁目 7 番 10 号(広島三井ビル)	TEL 082-248-0311
呉営業所	〒 737-0045	広島県呉市本通 3 丁目 5 番 18 号(メゾンロイヤル)	TEL 0823-25-7837
九州支社	〒 812-0011	福岡市博多区博多駅前 1 丁目 1 番 1 号(博多新三井ビル)	TEL 092-411-8111
東九州支店	〒 870-0027	大分県大分市末広町 1 丁目 1 番 18 号(ニッセイ大分駅前ビル)	TEL 097-537-9260
沖縄支店	〒 900-0033	沖縄県那覇市久米 2 丁目 4 番 16 号(三井生命那覇ビル)	TEL 098-869-3135
玉野事業所	〒 706-8651	岡山県玉野市玉 3 丁目 1 番 1 号	TEL 0863-23-2010
千葉事業所	〒 290-8531	千葉県市原市八幡海岸通 1 番地	TEL 0436-41-1112
大分事業所	〒 870-0395	大分県大分市日吉原 3 番地	TEL 097-593-3111
技術開発本部			
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	シンガポール, 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		

三井造船技報 第 209 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が、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 209 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，鉦石運搬船，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
水中ロボット / 水道管点検ロボットを用いた点検サービス
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（シーパス，ケーソン，沈埋函，ジャケツ），浮体式海洋設備

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）
遠隔操作コンピュ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 ウェハー，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

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，分離炉，分解ガスクエンチャー，高粘度流体脱揮装置，PSA 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
三井リサイクリング 21（キルン式ガス化溶解システム），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）
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，各種コージェネレーションプラント
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

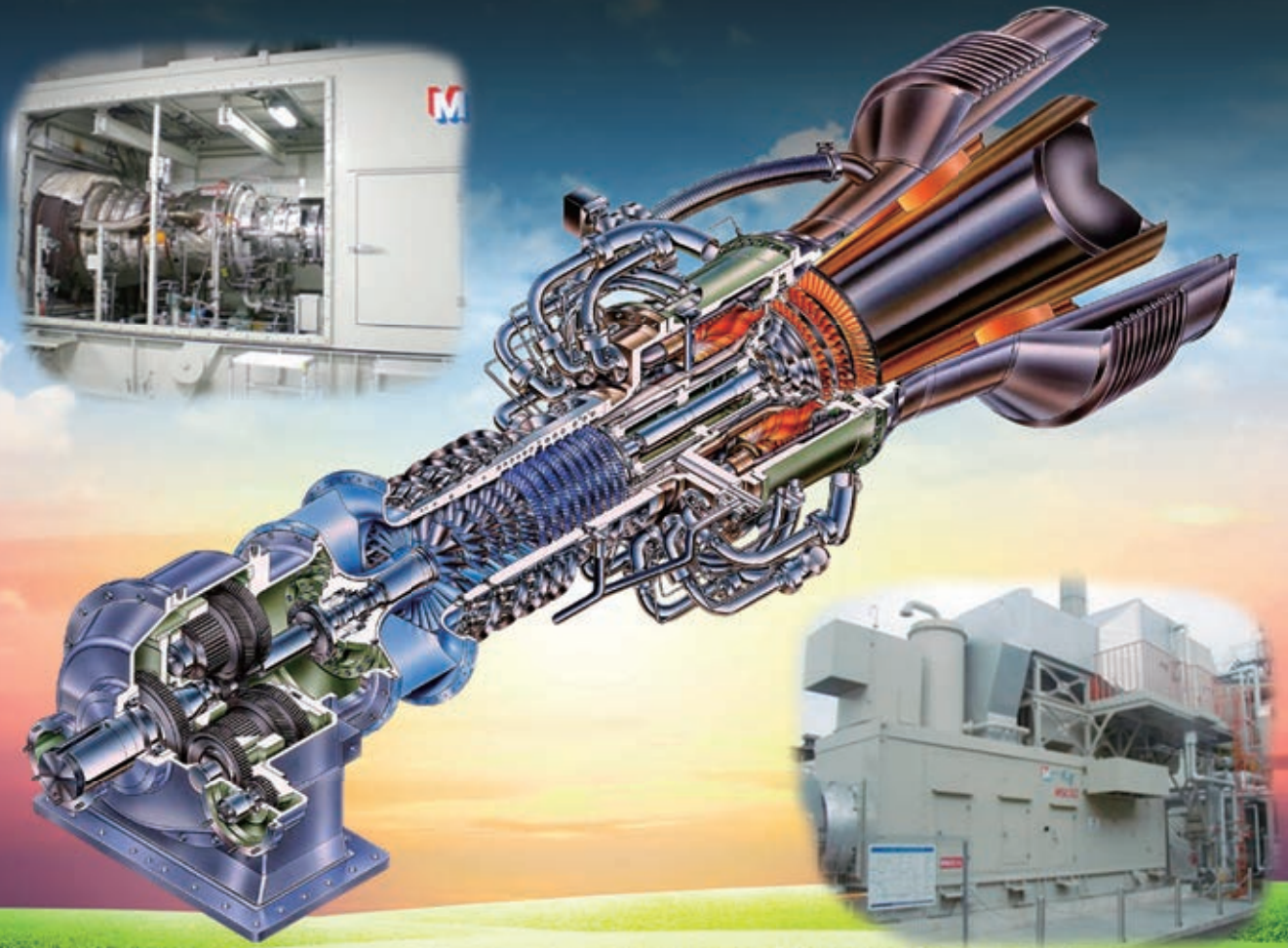
事業開発本部 TEL 03-3544-3280 FAX 03-3544-3982

新規事業の発掘・立案・計画・事業化推進，全社の事業開発の統括・推進，社内向け事業開発関連情報の発信，新規事業のフィージビリティスタディ，新規事業のプロジェクトの推進
天然ガスハイドレートの製造・貯蔵・輸送・ガス化技術の開発，ガスハイドレートの特性を生かした各種事業開発，バイオエタノール事業の開発，次世代リチウムイオン電池正極材事業の開発，太陽熱発電事業の開発，波力発電事業の開発，集光型発電事業の開発
船舶運航支援のポータルサービス
CS（顧客満足）向上活動の推進，全社にかかわる営業戦略の企画・立案・推進，各事業本部の営業支援及び社内横断プロジェクトの推進，新規事業の発掘と事業化推進，国内・海外営業拠点（支社，支店，営業所，海外駐在員事務所）の統括と受注活動の推進
海外プロジェクトの推進（ODA 案件），海外新規案件の発掘及び支援

三井ソーラーガスタービンコージェネレーションシステム

技術の融合で エネルギー新世紀へ

三井造船は自社技術によるガスタービン開発メーカーとしての高い技術力、豊富な実績を活かしながら1996年に中型ガスタービンでは世界トップメーカーである米国ソーラータービン社とパッケージング契約を締結しました。自社開発のS B機とソーラー機を合わせて130台以上の納入実績があります。三井造船の技術とソーラータービン社の技術の融合によりエネルギー問題の様々なニーズにお応えいたします。



世界最高峰の高効率発電

米国ソーラータービン社製の3～14MWクラスの産業用ガスタービンを採用し、同クラスのガスタービン単体では世界最高レベルの発電効率 7MW級トラス70で33.5% を誇ります。最新の希薄予混合燃焼システムによりNOx排出を大幅に低減(20ppm以下/O₂ 16%濃度)、抜群の環境効果を誇ります。またドライ燃焼を基本とするため、コージェネレーション用として、非常に高い熱回収効率を実現しています。熱回収システムの組み合わせにより、最大で90%を超える高い総合効率を実現することが可能です。

安心のバックアップ体制

豊富な経験を持つ三井造船グループのメンテナンス専門部隊である三造テクノサービス(株)によりコージェネレーションシステム全体でのアフターサービスを提供します。オーバーホールではなく、4～5年周期でのエンジン交換方式によるメンテナンスを採用しているため、定期点検による設備の停止期間を最小限に抑えます(最長で約8日間)。万一のトラブル発生時にも、予備エンジンへの交換によって迅速な対応、復旧が可能です。