

# 三井 造船 技報

平成 29 年 1 月 ■ 第 218 号

MITSUI ZOSEN TECHNICAL REVIEW No. 218 2017





## 表紙説明

### 省エネルギー，CO<sub>2</sub> 排出削減に貢献する港湾荷役クレーン

三井造船の港湾荷役クレーンは、さまざまな方面で使用され、省エネルギー，CO<sub>2</sub> 排出削減に貢献している。

世界最大クラスのグラブバケット式アンローダは、4ドラム式の駆動方式と、高強度軽量グラブバケットの採用により、クレーン総重量及び電力消費量の削減を実現した。

2007年に初号機を納入したハイブリッド式トランスターナ“MES Hybrid”は、従来型のトランスターナに比べ、燃料消費量を60%削減した。

鉄道によるコンテナの輸送が主要である米国では、コンテナターミナル内の鉄道ヤード用に遠隔自動化レール式門型電動クレーンを納入することで、モーダルシフトを加速させ、トラクターやフォークリフトから排出されるCO<sub>2</sub>を大幅に削減した。

- ① グラブバケット式アンローダ
- ② ハイブリッド式トランスターナ (MES Hybrid)
- ③ 鉄道ヤード用遠隔自動化レール式門型電動クレーン

## Cover

### Cranes Contributing to CO<sub>2</sub> Emission Reduction and Energy Saving

Cranes of Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd. (MES) contributes to energy saving and CO<sub>2</sub> emission reduction in various fields of cargo handling industry.

We have achieved reduction of gross weight and power consumption of the world's largest grab bucket unloader by adopting by Four-Drum Drive System and light weight grab bucket.

Hybrid type TRANSTAINER® "MES Hybrid" whose first unit delivered in 2007 reduces fuel consumption by 60 % compared with the conventional type TRANSTAINER®.

In USA where the railway is one of the principal means of container transportation, we contribute to the acceleration of the modal shift by delivering the automated rail mounted gantry crane with remote operation for intermodal yard, and significant reduction of CO<sub>2</sub> emissions from tractor or forklift.

- ① Grab Bucket Unloader
- ② Hybrid TRANSTAINER® (MES Hybrid)
- ③ Automated Rail Mounted Gantry Crane with Remote Operation for Railway Yard

# 三井造船技報

2017年(平成29年)1月・第218号

## 目次

### 製品・技術解説

- 世界初のメタノール焚き ME-LGI 機関の完成 ..... 1  
機械・システム事業本部 村上 高弘
- 次世代船舶保守管理システム "CMAXS e-GICSX" ..... 6  
三造テクノサービス株式会社 三宅 宏明

### 技術論文・報告

- 事業系食品残さを原料とした飼料製造設備におけるバイオガス設備の導入効果..... 13  
中嶋 幸子 庄 智裕 中嶋 昭博  
小倉 智 永淵 優
- 衝撃荷重を受ける延性材料の陽解法を用いた破壊シミュレーション技術の開発..... 19  
安田 章宏 シェリーフ ラシッド

### 製品・技術ニュース

- 製鉄所向け原料荷役用 3 000 t/h 橋形アンローダ  
- 新日鐵住金株式会社名古屋製鐵所に据付 - ..... 26
- 追分橋耐震補強工事  
- 狭隘な施工ヤードにおけるロッキング橋脚の撤去・更新 - ..... 27

# MITSUI ZOSEN TECHNICAL REVIEW

No. 218 January 2017

## CONTENTS

### Products and Technology Explanation

- Completion of the World First ME-LGI Methanol fueled Diesel Engine ..... 1  
*Takahiro Murakami*
- Next Generation Ship Maintenance Support System“ CMAXS e-GICSX ” ..... 6  
*Hiroaki Miyake*

### Technical Paper and Report

- Biogas Process Introduction into Food Waste Recycling System  
for Livestock Feed ..... 13  
*Sachiko NAKAJIMA, Tomohiro SHO, Akihiro NAKAJIMA,  
Satoshi OGURA, Masaru NAGAFUCHI*
- Development of a Simulation Technique using Explicit Method to  
Predict Collapse Behaviors of Ductile Components Subjected to Impact Loads..... 19  
*Akihiro YASUDA, Sherif RASHED*

- Products and Technology News ..... 26, 27

# 世界初のメタノール焚き ME-LGI 機関の完成

機械・システム事業本部 村上高弘

## Completion of the World First ME-LGI Methanol fueled Diesel Engine

Takahiro Murakami

### 1. はじめに

船用ディーゼル機関は、長らく MDO (Marine Diesel Oil) 及び HFO (Heavy Fuel Oil) を主燃料としてきた。その理由は、これらの燃料が、安価でどこでも大量に調達できるという船用燃料に必要な条件を満たしていたためと言える。

一方、世界的に環境保全が叫ばれ、大気放出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)の排出量削減の要求が高まっている。これらの物質の削減については、船舶及び船用ディーゼル機関にも要求され、国際規則等に基づく規制が強化される見通しである。

メタノールは、燃料中に硫黄分が含まれていないため、燃焼させても大気汚染物質である SO<sub>x</sub> を排出しない。また、単位発熱量当たりの CO<sub>2</sub> の排出量が通常の船用燃料に比べて小さいため、次世代のクリーンな燃料の一つとして期待されている。

メタノールは、これまで石油からの生成が主であったが、中国では石炭由来のメタノール生成プラントの建設が多数計

画されている。加えて、米国に端を発するシェールガス革命により、安価な天然ガスが誕生し、天然ガスから製造されるメタノールについて、これまでより安価にかつ大量に生産できる可能性があることから、供給面でもメタノールを燃料として使用することの素地ができつつある。

このような状況下において、2ストローク船用ディーゼル機関で世界最大のシェアを誇る、MAN Diesel and Turbo 社(MDT)では、メタノールに代表される低引火点燃料を従来の船用燃料と共に使用可能な二元燃料ディーゼル機関(ME-LGI 機関)を開発した。三井造船では、メタノール焚き 7S50ME-B9.3-LGI 機関(写真1)を受注し、世界初となる実機での陸上運転を経て、2015年7月に初号機を出荷した。実機陸上運転実施に先立ち、当社所有のテストエンジン 4S50ME-T9 をメタノール焚きに改造し、MDT と共同で世界初の複数シリンダのエンジンによる運転を実施するとともに、本テストエンジンで得た知見を実機運転に適用した。本報では ME-LGI 機関の特長を述べた後、本機関の性能、機器構成等を解説する。

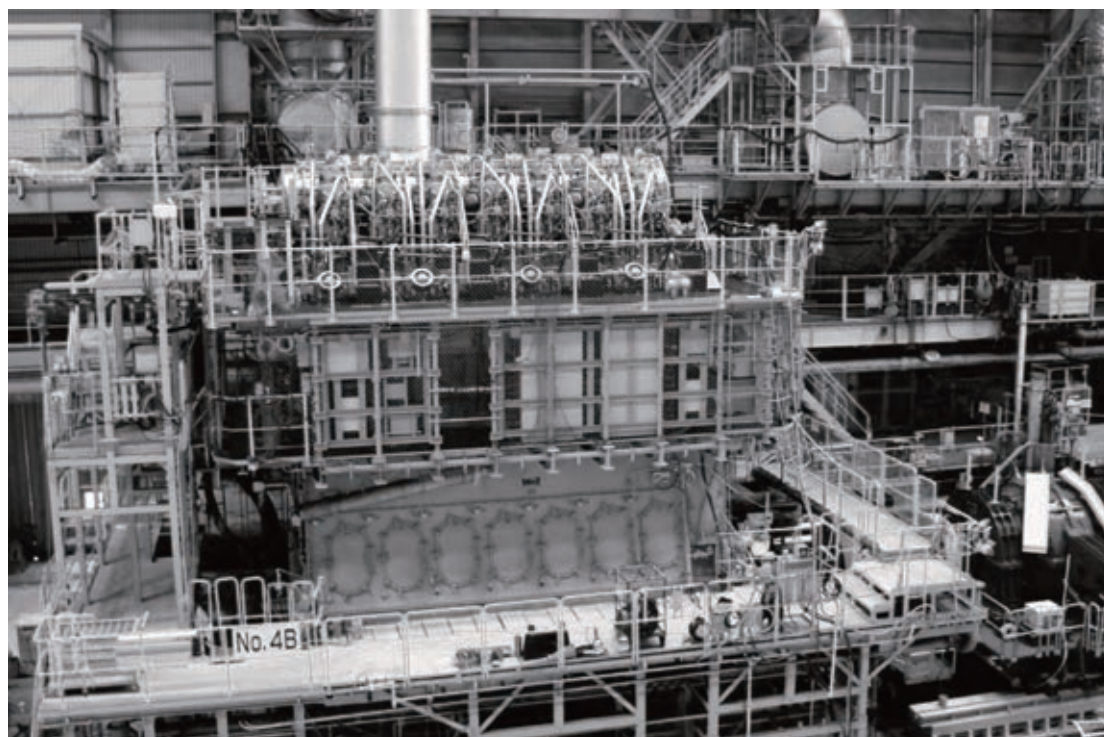


写真1 三井-MAN B&W 7S50ME-B9.3-LGI

2. ME-LGI 機関の特長<sup>1)</sup>

2.1 二元燃料機関

ME-LGI 機関は、従来の燃料油(主燃料: Primary Fuel)の噴射系統はそのままで、二次燃料(Secondary Fuel)の噴射系を追加した二元燃料機関であり、従来の電子制御機関(ME 機関)をベースに開発されたものである。図1に、ME-LGI 機関の燃料噴射弁配置を示す。二元燃料化に際し、二次燃料用噴射弁(Fuel Booster Injection Valve: FBIV)が追加され、燃料油用と併せて、シリンダカバーに2種類の噴射弁が装備されている。二次燃料はピストンの圧縮による温度上昇だけでは安定して着火ができないため、着火のための燃料油が必要である。二次燃料運転時にはシリンダ内の圧縮空気に少量の燃料油を噴射することで火種を作り、それとほぼ同時に高圧の二次燃料を火種に噴射することにより燃焼させている。この方式はパイロット着火方式と呼ばれている<sup>2)</sup>。

二元燃料機関については、先行して天然ガスを二次燃料とする ME-GI 機関が開発され<sup>2)</sup>、国内初のデモンストレーション運転が2013年に当社で実施されている。パイロット着火による燃焼制御について、ME-LGI 機関にも ME-GI 機関で開発された技術が踏襲され、活かされている。

2.2 ディーゼル燃焼方式の採用

ME-LGI 機関では、ME-GI 機関と同じく、主燃料、二次燃料とも、燃焼効率に優れたディーゼル燃焼方式が採用され

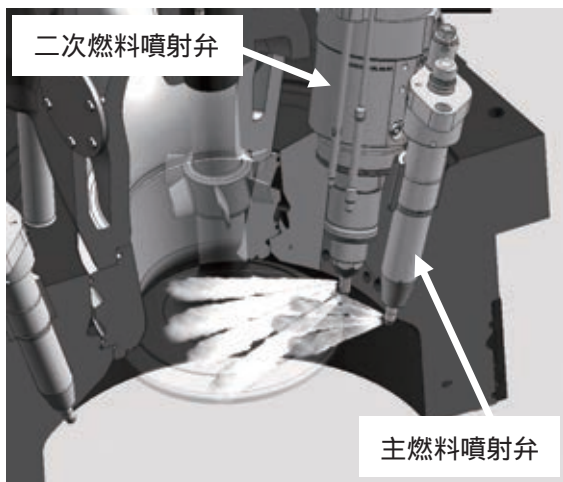


図1 ME-LGI 機関の燃料噴射弁配置

ている。二元燃料機関としては、予混合燃焼方式を採用する機関もあるが、予混合燃焼方式を採用する機関と比較して、ディーゼル燃焼を採用する本機関は、ノッキングや未燃燃料の排出に関する問題がなく、また、燃焼特性が二次燃料の性状に依存しないため、二次燃料運転時においても、従来の主燃料運転時と同等の機関出力、及び負荷変動への追従性を可能としている。

2.3 主燃料系統によるバックアップ

二次燃料噴射系の異常発生時には、速やかに主燃料を使用した運転へ切り替えてバックアップする設計思想を採用しており、二次燃料噴射系の異常発生時においても、本船の航行に影響を与えることはない。

また、主燃料への運転切替後、二次燃料系統は窒素による置換作業(パージング)が実施され、二次燃料は全て機関外へ排出される。加えて、主燃料系統については、従来の油焚き機関と同様な設計がなされており、主燃料へ切り換え後の信頼性は従来機関と同等である。

本バックアップの思想も ME-GI 機関と同様であり、安全性と信頼性を両立させている。

2.4 燃料供給方式

ME-LGI 機関では、今回製作したメタノール焚きのほかに、エタノール、液化石油ガス(Liquefied Petroleum Gas: LPG)又はジメチルエーテル(Dimethyl Ether: DME)焚きでの運転が可能である。ME-LGI 機関で使用可能な燃料について、表1に示す。メタノール及びエタノールの場合、常温、常圧で液体であり、LPG、DMEの場合も10bar程度の加圧下で液体であることから、ME-GI で使用される天然ガス等と比べ、貯蔵、取扱が容易である。また、機関へは液体でかつ比較的低圧の状態でも供給され、シリンダ内への燃料投入の際は、機関本体に装備のFBIVにて液体の状態でも昇圧され、噴射される。そのため、ME-GI 機関のように常圧のガスを30MPaを超える状態まで圧縮することが必要な高圧ガス供給設備の設置が不要である。なお、メタノールは毒物及び劇物取締法において劇物に指定されているため、本機関には様々な安全対策が施されている。

3. メタノール焚き ME-LGI 機関の性能

メタノール焚き実機初号機7S50ME-B9.3-LGI 機関の陸上運転における、重油焚き100%負荷運転時の値を基準にした燃料消費率(Specific Fuel Consumption: SFC)を図2に

表1 燃料仕様の比較

燃料種類	メタノール	エタノール	LPG	DME
供給圧力(bar)	8		50	30
主機入口での状態	液体			
噴射圧力(bar)	550	600		
昇圧方式	FBIVによる昇圧			
単位体積当たりの発熱量 -液体時-(A重油比)	0.44	0.57	0.63	0.52
比重-気体時-	1.1	1.6	1.5	1.6
法律の区分	劇物		無し	

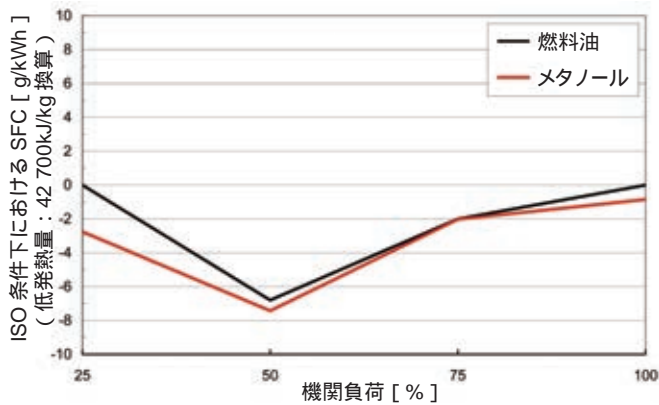


図2 7S50ME-B9.3-LGI 機関での燃料消費率(SFC)計測結果

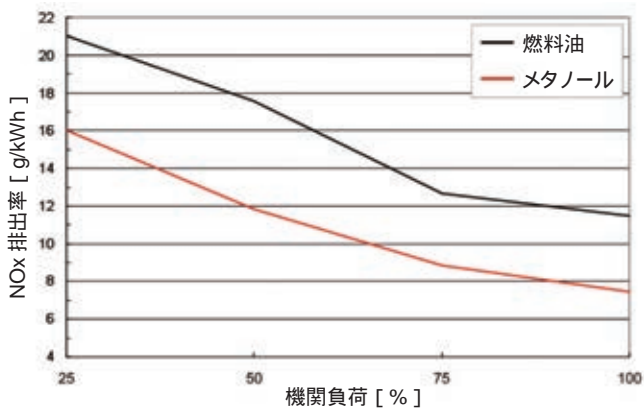


図3 7S50ME-B9.3-LGI 機関でのNOx計測結果

示す。メタノール焚きの燃費は、重油焚きとほぼ同等であることが分かる。一方、NOxについては図3に示したとおり、最大で約30%程度減少することが確認できた。

メタノールには硫黄が含まれていないため、メタノール燃料使用時のSOx排出源は、着火に用いる主燃料中の硫黄分のみとなる。また、メタノールは重油に比べ単位発熱量当たりのCO<sub>2</sub>排出量が少なく、重油焚きと燃費が同等の場合、約6.5%のCO<sub>2</sub>排出量削減が期待できる。

なお、実機初号機運転に先立ち、当社所有のテストエンジン4S50ME-T9をメタノール焚きに改造の上、運転試験を実施した。試験実施に当たり、メタノール供給機器には実機運転と同一仕様のものを使用し、メタノール供給機器の健全性の検証も兼ねた。試験の状況を写真2に示す。テストエンジンでは、メタノール燃料への切り替え動作や、安全システム(異常時に自動で重油運転移行)の確認を行い、シーケンス通りの動作となることを確認した。また、ピストン冠、排気弁、シリンダライナの温度計測を実施し、許容温度内であることを確認した。

#### 4. メタノール焚き ME-LGI 機関の構成機器

メタノール焚き ME-LGI 機関について、シリンダカバー周りの構成機器の配置を図4に、機関上部の機器配置を図5にそれぞれ示す。メタノールは、機関自由端側からチェーン



写真2 三井造船テストエンジン4S50ME-Tでのメタノール運転の状況

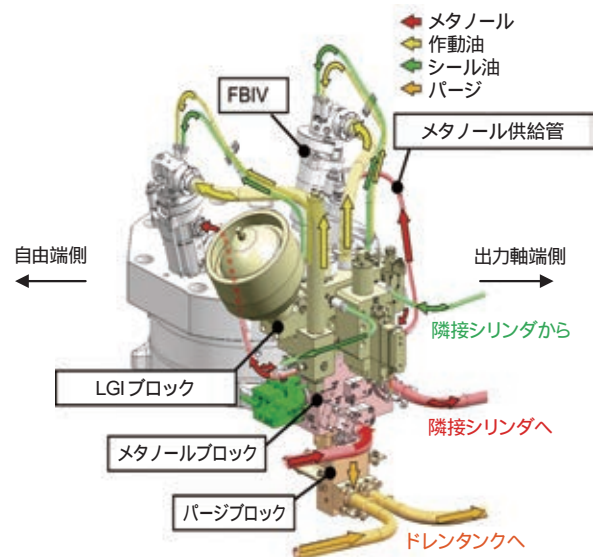


図4 シリンダカバー周りの構成機器配置

パイプ、メタノールブロックを経由し、メタノール供給管を介してFBIVへ供給される。シリンダ内へのメタノール投入については、シリンダカバーに装備されたFBIV内で昇圧し、燃焼室内に噴射するブースター方式を採用している。FBIVへは、作動油がLGIブロック経由で供給されており、機関の制御システムからの指令による作動油の供給により、メタノールが噴射される。メタノール運転が終了した際には、機関内に供給されたメタノールは、メタノールブロックからパージブロックへ排出される。メタノールは機関内配管に液体で存在するため、メタノール運転終了時に機関外への排出が速やかにできるように、メタノール配管は下り勾配を確保するとともに、ドレンラインからの液検知機能も設けている。

メタノールは、環境負荷の低い燃料であるが、一方で、これまで一般的に使用されてきた燃料油と比べ、低粘度で潤滑性に劣る流体であるため、摺動部のシール性と潤滑性に留意が必要である。また、メタノールは引火点が低く、吸引、服用による毒性もあることから、安全面、健康面からも配慮が

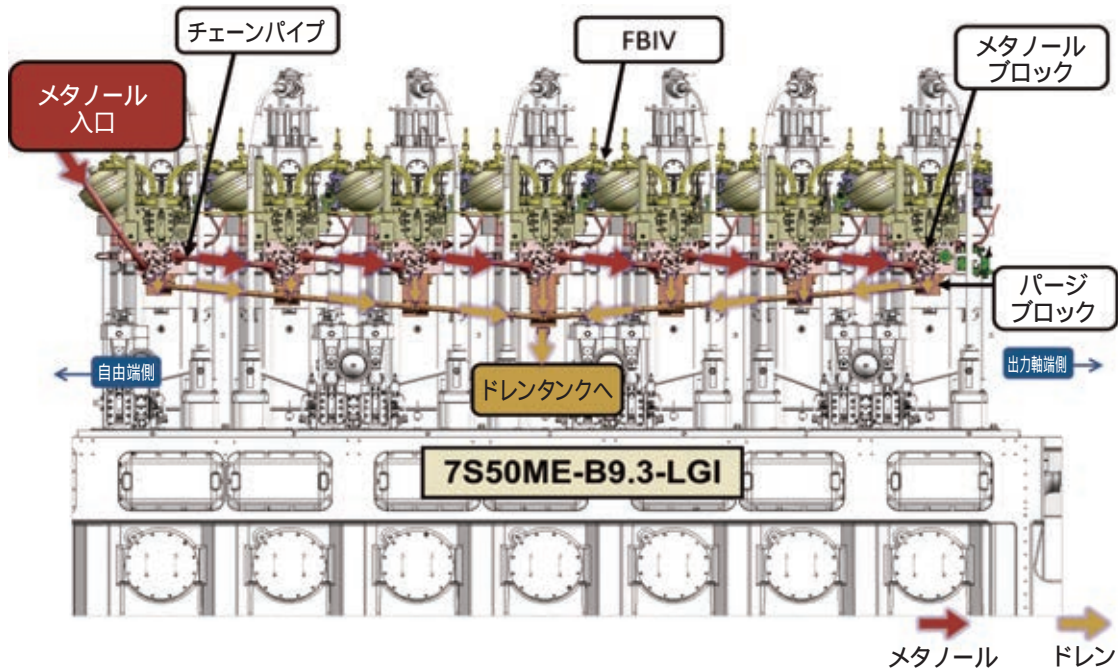


図5 ME-LGI 機関の上部機器配置図

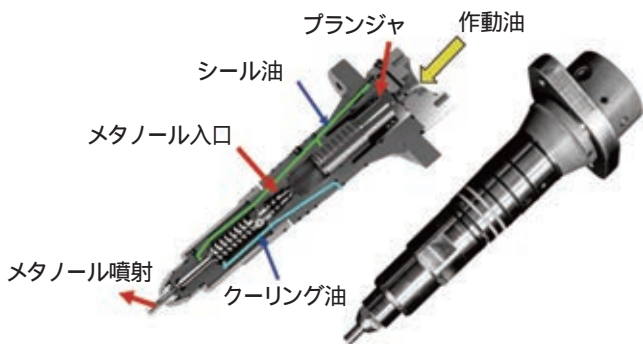


図6 メタノール用FBIV



写真3 解放点検時のメタノール用FBIV

必要な燃料である。

メタノール燃焼 ME-LGI 機関におけるこれら課題への対応について述べる。

#### 4.1 低粘度/低潤滑性への対応

メタノールは、これまで一般的に使用されてきた油燃料と比べ、低粘度で潤滑性に劣る流体であるため、噴射弁の摺動部について、メタノールの噴射圧力に耐えるシール性能と潤滑性能を両立させる機構を採用している。

メタノール用に開発されたFBIVを図6に示す。メタノールは、作動油により駆動されたプランジャにより昇圧され、シリンダ内へ噴射される。摺動部のシール性及び潤滑性の確保のため、FBIVにはシール油が供給されるとともに、FBIV内でのメタノールの沸騰防止のため、クーリング油も供給されている。

テストエンジンにてメタノール運転後に実施したメタノール用FBIVの解放点検の状況を写真3に示す。テストエンジンでの運転において、メタノール用FBIVには、摺動部も含め異常のないことを確認した。

#### 4.2 安全対策

メタノールは、引火点が低く、吸引、服用による毒性もあることから、ME-LGI 機関及び機関へメタノールを供給する機器類には安全面にも配慮した設計がなされている。

機関へメタノールを供給する機器の概略系統図を図7に示す。メタノールは貯蔵槽から、約一日分の容量を持つメタノールサービスタンクに供給される。次にメタノール供給装置(Low flashpoint liquid Fuel Supply System: LFSS)と呼ばれる供給装置により、メタノールの場合約10barに昇圧され、機関への燃料供給/遮断の機構となるフューエルバルブトレイン(Fuel Valve Train: FVT)を通じて、機関に供給される。

FVTには、窒素ガスも供給されており、メタノール運転終了時は、FVTより機関側へ窒素ガスを供給することにより、FVTから下流の配管及び機関内のメタノールの排出と窒素ガスのパージングによる置換を行う。機関下流から上甲



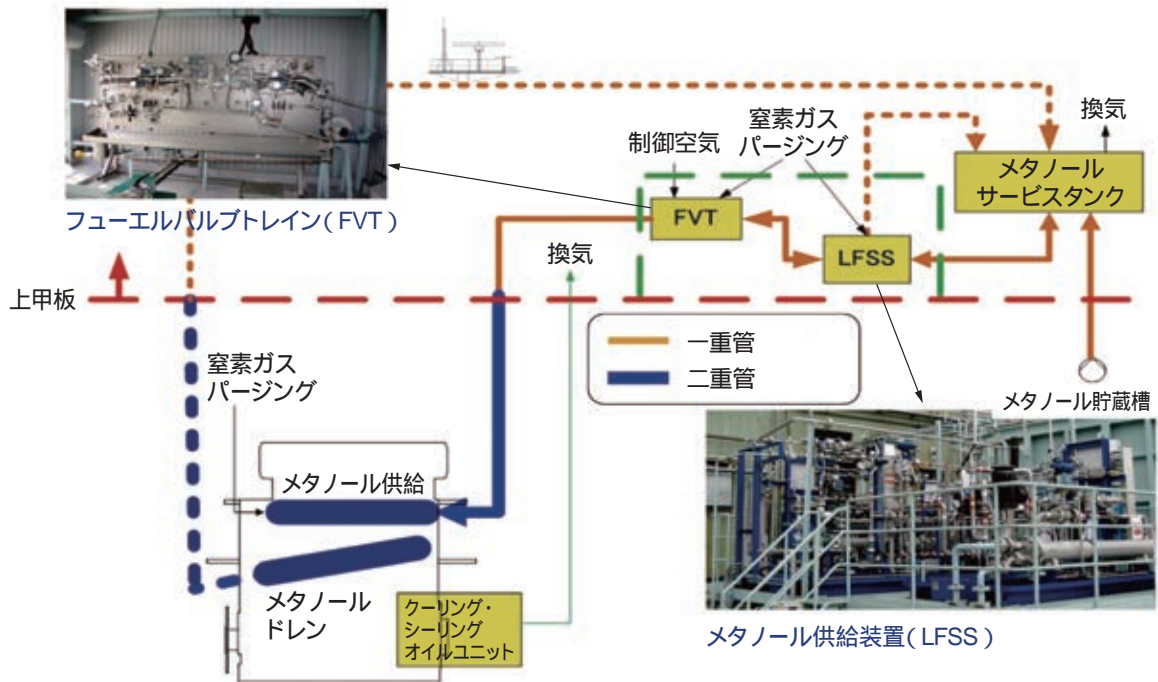


図7 メタノール系統 概略系統図

板上までは、ドレンラインが設けてあり、配管及び機関内のメタノールはドレンラインを介して上甲板上へ速やかに排出することで、メタノール運転終了後にメタノールが機関室内に留まることのないような安全設計がなされている。

また、FVT からは LFSS 側へも窒素ガスを供給できるようになっており、LFSS 停止時には、FVT から LFSS までの配管内も窒素ガスで置換している。FVT からの窒素ガスの供給によるメタノールの置換作業をスムーズに実施するため、FVT は、LFSS や機関に対し上方に設置され、FVT から LFSS 及び機関までの配管は下り勾配としている。

窒素ガスは、LFSS 本体にも供給されており、LFSS 運転終了時には、LFSS 内のメタノールも全て系外に排出され、LFSS のメタノール配管内も窒素ガスに置換される。

上甲板下に設置される配管は二重管構造としており、メタノール運転中、二重管の内管と外管の間はファンによる換気によって、機関室内に対し負圧に保たれている。加えて、フローセンサにより換気の流れを計測することで、換気が正常に実施されているかモニタリングしている。これらの措置により、機関室内へのメタノール漏洩を防止している。さらに、換気空気中の HC(ハイドロカーボン)を計測することで、メタノールの内管からの漏れを監視している。

フローセンサや HC センサからの情報は機関の制御システムによりモニタされており、異常検出時には、直ちにメタノール運転から重油運転への切り替えが実施される。

## 5. おわりに

メタノール焚き ME-LGI 機関の初号機を受注し、当社テストエンジンでの試験運転、実機陸上運転を経て、メタノール焚きでの燃費性能、環境負荷物質の排出量削減を確認し、

出荷を完了した。

ME-LGI 機関は、メタノールのほか、エタノール、LPG、DME での運転も可能であり、これら環境負荷の低い燃料が使用可能な機関の開発によって、更に強化される排ガスに対する環境規制に 대응する素地ができたものと考えられる。

今後は、就航船での実績も踏まえ、より信頼性の高い機関とすべく開発を継続するとともに、ME-LGI 機関の拡販を推進する所存である。

なお、メタノールを利用した本機関及びメタノール供給装置の安全性検討は、国土交通省の「次世代海洋環境関連技術開発支援事業」に採択され、日本海事協会との共同研究の一環としても実施した。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 島田：外：排ガス規制対応代替燃料利用技術，日本マリンエンジニアリング学会誌，51，3(2016)，p.20
- 2) MAN Diesel & Turbo：ME-GI Dual Fuel MAN B&W Engines - A Technical, Operational and Cost-effective Solution for Ships Fueled by Gas, p.5

共同執筆者：

機械・システム事業本部 機械工場  
ディーゼル設計部 島田 一孝，加藤 寿子  
技術開発部 福島 健史

〔問い合わせ先〕

機械・システム事業本部 機械工場 ディーゼル設計部  
TEL 0863 - 23 - 2896 村上 高弘

# 次世代船舶保守管理システム“ CMAXS e-GICSX ”

三造テクノサービス株式会社 三宅 宏 明

## Next Generation Ship Maintenance Support System“ CMAXS e-GICSX ”

Hiroaki Miyake

### 1. はじめに

航海中の船舶は隔離された移動するプラントになるため、刻々と変化する船舶搭載機器の状況変化を陸上側でリアルタイムに把握することは、通信環境などの制約があり、近年まで困難であった。また、機械に装備されているセンサの種類も少なかった。そのため、船舶搭載機器の予防保全への取り組みは古くから試みられている分野であっても、多くの場合が試験的なものに終わっていた。しかし、昨今の急激な解析技術や船陸間通信環境の向上及び船舶に装備される各機器の電子制御化の進行により、従来の予防保全とは一線を画した診断及び保守管理システムの構築が可能となってきた。

三井造船では、2004年11月からインターネット経由による三井-MAN B&W主機関リモート診断サービス(electronic Global Internet Customer Support : e-GICS<sup>1)</sup>)システムを、2006年10月から船舶運航支援システム“ Fleet Monitor ”<sup>2)</sup>を船舶会社に提供している。今回、これらの解析技術及び船内データ収集技術をベースに、IoT/M2M及びビッグデータ解析などの技術を取り入れた予防保全システムとして、本報で紹介する“ CMAXS e-GICSX ”を、日本海事協会(ClassNK)と共同研究開発した。

CMAXS e-GICSXは、e-GICSにはなかったビッグデータ解析技術を加えて船内での異常診断機能を提供し、異常診断結果に基づいて強化された性能診断及び燃焼診断から総合的に状態診断を自動的に行うシステムである。自動化においてはデータ自動取得機能及び自動解析機能を追加するとともに、異常診断処理においては船舶運航データを診断解析に活用している。これにより、従来の機関単独の運転状態からの診断から進化し、船舶というプラントの運航状況を考慮した高度な診断が可能となっている。

CMAXS e-GICSXの開発に当たっては、図1に示す“ ClassNK CMAXS ”<sup>3)</sup>(Cloud computing Maintenance eXpert System)に参画しているディーゼルユナイテッド株式会社の“ CMAXS LC-A ”<sup>4)</sup>の画面表示機能を準用している。

本報では、IoT/M2M及びビッグデータを用いた船用主機関保守管理システムである、CMAXS e-GICSXのサービス概要を紹介する。

### 2. 開発の背景

#### 2.1 予防保全機能の提供及びライフサイクルコスト削減

船舶の定期更新検査においては機関継続検査(Continuous

Machinery Survey : CMS)があり、その延長線上に機関計画保全継続検査(Planned Machinery Maintenance Scheme : PMS)がある。PMSには時間基準保全(Time Based Maintenance : TBM)に従うPMS-TBM方式と状態基準保全(Condition Based Maintenance : CBM)に従うPMS-CBM方式がある。前者は機関使用時間に応じて開放検査が求められる方式である。後者は状態監視・診断に基づく検査方式で、異常がなければ開放検査が免除されるが、計画保全管理(Planned Maintenance System : PMS)ソフトウェアを搭載したコンピューターにより保全計画の管理、状態監視・診断が必要となる。

CMAXS e-GICSXはPMS-CBMに対応したコンピューターシステムである。現在はTBM方式に従うCMS又はPMS-TBM方式に基づく開放検査が主流である。CMAXS e-GICSXを採用することにより、図2に示す状態診断による予防保全への効果が得られるとともに、図3に示すライフサイクルコストの削減を実現できる。

#### 2.2 ClassNK CMAXS への参画

船舶のような多数の機器で構成されているプラントの場合、機器ごとに解析システムを搭載することは、費用対効果が得られず現実的ではないという課題がある。また、シップリサイクルコストの低減が求められている昨今、これを解決する仕組みとしてClassNKから、高度な解析機能を汎用化し、機器メーカーと共同の下、機器種類を問わず診断とサポートを行うことができる船舶保守管理システム統合診断プラットフォームClassNK CMAXSへの参画要請があった。

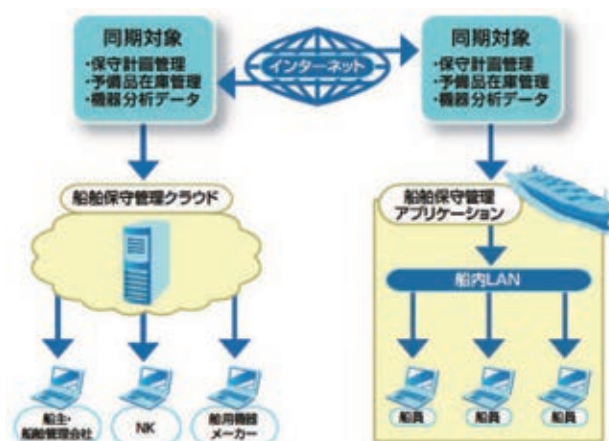


図1 ClassNK CMAXS システム概念図

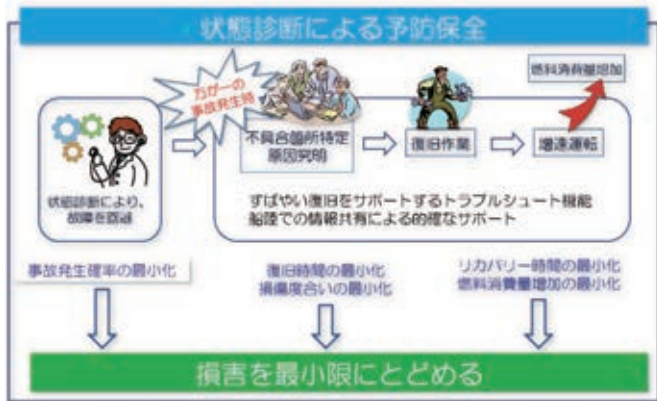


図2 状態診断による予防保全

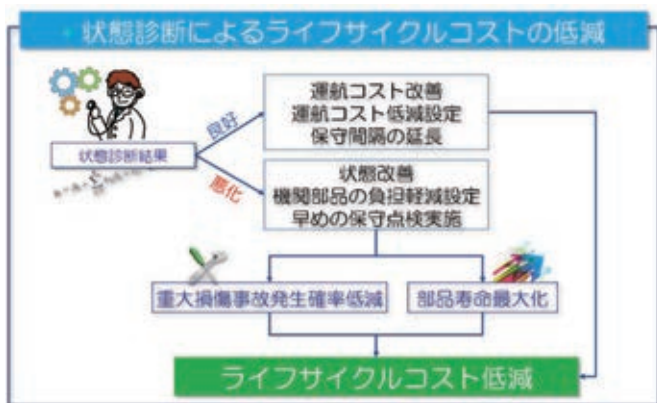


図3 状態診断によるライフサイクルコストの低減

この要請に応え、当社は MAN B&W 主機関の状態監視保全を担う CMAXS e-GICSX を開発するために参画することになった。なお、補機類の状態監視保全においては、ClassNK CMAXS に参画している補機類対応メーカーが担当する。

CMAXS e-GICSX は、ClassNK の子会社である株式会社 ClassNK コンサルティングサービス (NKCS) を契約窓口とし、データは、ClassNK の子会社である株式会社 シップデータセンター<sup>5)</sup>内の CMAXS 専用システムに保管される。

### 3. IoT/M2M の活用とビッグデータに基づく解析

#### 3.1 IoT と M2M の活用

“IoT”とは“Internet of Things”の略称であり、モノとモノ、あるいは人とモノとが情報交換を行い、自律制御を行うことを目指すことである。“M2M”は“Machine to Machine”の略称であり、モノ(機械)とモノ(機械)があらゆる通信手段を用いて相互接続、連携する仕組みや、その通信形態を意味する<sup>6)</sup>。

船舶の分野においては近年機器の電子制御化が進み、圧力、温度などの各種信号が、機関制御システム (Engine Control System: ECS)、航海情報記録装置 (Voyage Data Recorder: VDR) 及び機器情報を記録するデータロガー経由で外部機器と接続可能になった。

また、船陸間通信環境においては、衛星通信を利用したイ

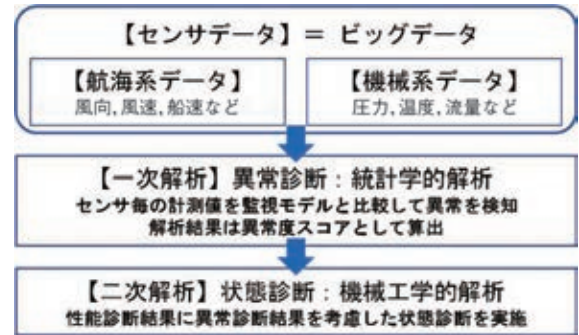


図4 CMAXS e-GICSX における診断の流れ

ンマルサット FBB<sup>7)</sup>、VSAT<sup>8)</sup>などによるブロードバンド化の普及が進み、大量、高頻度のデータ通信が可能になり、機器に設置したセンサからのデータをリアルタイムに近い状態で陸上データベースに送信可能な環境が整った。

CMAXS e-GICSX では機器データの取得から陸上データベースへのデータ転送及び診断まで、一連の流れを自動化している。

#### 3.2 CMAXS e-GICSX のビッグデータ解析

ビッグデータとは、大量、高頻度、多様性に富んだデータを指す。産業利用においては、販売管理情報の解析とその利用が成功例として知られており、この場合の目的は売上げの最大化又は利益の最大化である。この目的を達成するために、販売商品情報とともに、参照情報となる販売時の日時、曜日、天候、店舗の場所、購入者の性別、年代などの情報を収集して解析することにより商品販売の傾向を把握し、より売れる商品をより売れる時間、場所に配置するなどの工夫がなされている。これにより目的の対象情報である売上げとそれ以外の参照情報をセットで、かつ同データ数を入手することが可能であり、統計処理などにより目的情報の関連傾向を直接的に算出することが可能となっている<sup>9)</sup>。

一方、CMAXS e-GICSX の目的は機器の保守管理であり、予防保全である機器故障の最小化が主目的となる。参照情報は機器や船体に装備されているセンサからの情報であり、機器データは主に、圧力、温度、振動、流量、粘度などがあり、航海系データでは水深、風向、船速、風速、舵角、喫水などがある。この場合において、参照情報はビッグデータであるが、目的である故障情報はビッグデータとはならない。

さらに、故障情報は「現象」であり、圧力や温度などの「計測データ」とカテゴリが異なる情報のため、コンピュータによる直接解析は困難である。したがって、工学的現象である機器の故障は、機器の設計情報に基づいて工学的な原理原則に沿った解析が必要となる。

つまり、予防保全を実現するには計測データの統計的な解析のみでは不十分であり、工学的見地に基づき、発生している現象とその程度について、概念的には性能監視に近い解析を加えることが重要である。

#### 3.3 ビッグデータの活用

CMAXS e-GICSX では、図4に示すように、「一次解析：異常診断」と「二次解析：状態診断」の2段階のアプローチ

を用いている。

異常診断とは、計測データが正常値からどの程度かい離しているかを算出することであり、一次解析で行う異常診断には計測データを用いる。この一次解析は、**図1**に示した船舶保守アプリケーションに相当し、船舶内で実施する。

船舶内でセンサから集積される情報はビックデータとなり、統計的解析手法を当てはめることができる。この一次解析の異常診断結果は二次解析で用いられるため、一次解析における異常度算出値の信頼性は、二次解析の状態診断精度に重大な影響を与える<sup>9)</sup>。

一般的に、異常診断手法として下記のような手法が用いられることが多い。

- 固定しきい値判定による方法
- に条件を組み合わせる手法
- 偏差を用いる方法
- 数式モデルを用いる方法
- 正常時のデータに基づくマップと比較する方法
- 分布仮定に基づく統計的処理方法
- 計測値間の相関関係を用いる方法

CMAXS e-GICSX の一次解析では、異常診断手法として、IBM 社の“ ANACONDA ”<sup>10)</sup>を適用している。ANACONDA は上記の分類では の計測値間の相関関係に着目したスパース(疎)構造学習と呼ばれるアルゴリズムであり、機械学習に基づいて、本質的な相関関係を効率的に抽出できる特長を有している。そのため変動や外乱にも頑強である特長を持ち、船舶主機関のような負荷変動の大きな分野でも、適切に異常診断が可能なアルゴリズムであると考えられる。

状態診断では3.2で述べたとおり、工学的見地に基づいた解析を行うことが重要であるため、機器の設計コンセプトに基づいたアルゴリズム、経験や実測に基づくパラメータに従って解析を行う。CMAXS e-GICSX では、異常診断結果を当社の解析用ソフトウェアで解析することにより、二次解析として状態診断を行っている。この二次解析は、**図1**に示した船用機器メーカーに相当する当社のサーバ上で実施する。解析結果はインターネット回線を経由して、情報を入手した船舶と共有される。



写真1 CMAXS e-GICSX 船内用機器

#### 4. CMAXS e-GICSX システム構成と診断フロー

##### 4.1 船内用機器構成

CMAXS e-GICSX 船内用機器は、**写真1**に示す“ MP1000H-G コンピュータ ”<sup>6)</sup>、“ EMS-MOP ”、“ mGuard & Switch ”を基本構成として搭載される。MP1000H-G コンピュータは、CMAXS e-GICSX システム (e-GICSX PC) のプラットフォームとして使用される。e-GICSX PC と VDR、機関用データロガー (EDL)、電子メール用コンピュータ (MAIL-PC) を、**図5**に示すように船内 LAN で接続することで、データ収集から異常診断までリアルタイムで実施可能なシステムとなっている。なお、EMS-MOP 及び mGuard & Switch は、MAN Diesel & Turbo 社開発の“ Engine Management Services ”を構成するための機器である。

計測データ及び異常診断結果は、MAIL-PC の送信ボックスに自動配信され、船陸間通信が行われる都度、株式会社シブデータセンターに送信される。

異常診断ソフトウェア、データベース及びその他必要なソフトウェアは、三井造船システム技研株式会社が開発したデータ収集装置 “MP1000H-G コンピュータ” にインストールされ、VDR 及び EDL と接続可能な仕様となっている。

機関筒内圧を計測する装置としては、“ PMI-Offline ”又は“ PMI Auto-tuning ”のいずれかが電子制御機関 (ME 機関) に装備されており、PMI Auto-tuning 装備機関では、筒内圧データは EMS-MOP 経由で e-GICSX PC システムに接続される。

なお、当社の Fleet Monitor を搭載する船舶では、同システムで取得した VDR 及び EDL のデータを、船舶内で容易に CMAXS e-GICSX と接続可能な仕様となっている。

##### 4.2 陸上用機器構成

陸上用機器は、ClassNK の船舶保守管理クラウド内に配置されたアプリケーションサーバを使用し、同サーバにインストールされた当社開発の解析ソフトウェアを使用することにより、状態診断ソフトウェアの更新、あるいは診断しきい値の調整作業などが容易に可能となっている。

##### 4.3 診断フロー

一次解析と二次解析の診断フローを**図6**に示す。

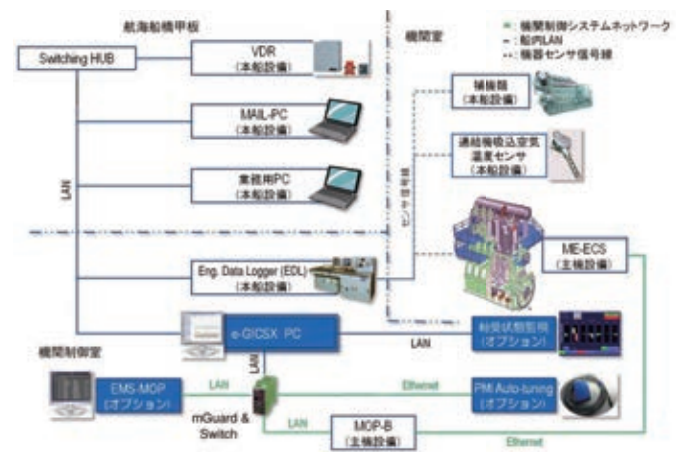


図5 船内機器接続構成

表 1 CMAXS e-GICSX の主要機能

No.	機能名称	動作内容
一次解析	異常診断	機関正常運転時のデータから機械学習した監視モデルをリファレンスとして、各センサからの計測データの相関関係の乖離状態を2～3分毎に求め指数化し、リアルタイムで監視。しきい値以上の値を異常とし、異常検知はコンピュータ画面上にポップアップ画面で表示。異常個所の画面表示も可能。 VDR が e-GICSX に接続されている船舶では、運航データも含めた機械学習による高精度な異常診断が可能。
	状態診断	性能診断結果に異常診断結果を加味した診断で、性能的乖離における原因絞り込みが可能。調整、部品交換などの必要な箇所の高精度な判定が可能。
二次解析	性能診断	陸上性能試験結果をリファレンスとして差分を24時間間隔で自動的に求め、状態診断に引き渡す。e-GICS から踏襲されている機能。二次解析処理の一部。
	燃焼診断	筒内圧を常時計測する PMI Auto-tuning を装備する機関において実行。e-GICS で性能診断機能の一部として採用され、運転中の筒内圧から熱発生率、燃焼時間などにより、異常燃焼の有無及び使用燃料の是非の判断に使用。ME 機関に対応するように改造。
	トラブルシュート	異常診断で検知された部品が取り付けられている箇所の異常な可能性の高い要因や部品を自動的にリストアップ。推定要因に関連する点検要領書、関連する図面、調整要領書などのコンテンツを自動的に提示。乗組員による迅速な初期対応をサポート。
	メンテナンス診断	主機関開放点検時に収集した計測データを基に、燃焼室主要部品の摩耗量・摩耗率の推移など経年変化を診断し、シリンダライナ等の摩耗限度到達までの時間予測。クランクデフレクションカーブの表示、軸受間隙の評価判定を行う機能も装備。
	BCM とのデータ連携	BCM で取得した軸受監視データを自動的に船舶保守管理クラウドに送信することにより陸上側からも本船主機関の軸受状態が遠隔監視可能。CMS 検査における軸受開放点検要否判定根拠資料。
	油類データ管理	C 重油履歴管理による低品質燃料のシリンダコンディションに与える影響対策の補助機能。燃料油と潤滑油(システム油)を対象とし、分析結果を入力することで、燃料油、潤滑油の性状、金属成分毎のグラフ表示及び自動診断を実行。必要に応じて注意点を表示。
	問合わせ機能	各種問い合わせにおけるお客様と当社のコミュニケーションツール。やり取りの際に添付した写真、図面などのデータも含めた過去履歴のファイリング及び検索機能を利用可能。書類管理業務の効率化及び省力化を図る。
	技術情報閲覧機能	当社発行の技術情報を閲覧できる機能。取扱説明書に掲載されていない技術情報へのアクセスが可能。

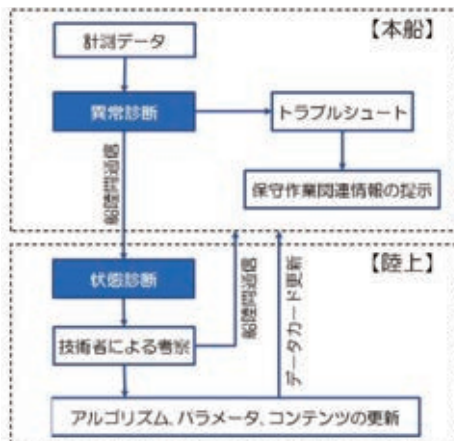


図 6 診断フロー

一次解析は船内でリアルタイムで統計学的処理が実行され、計測データ及び異常診断結果は MP1000H-G コンピュータ内蔵のデータベースに保存される。

二次解析の状態診断には、株式会社シップデータセンター内アプリケーションサーバに配置された e-GICSX 解析ソフトウェアが用いられる。一次解析結果及び計測データを用いて本ソフトウェアで機械工学的に解析処理され、主機関メーカーは状態診断結果を閲覧し、状態に応じた診断結果を適宜状態診断自動コメントに追記する。この状態診断結果は本船搭



図 7 異常診断スコアグラフ

載の e-GICSX PC に自動的に送信され、船陸間で情報が共有される。

## 5. CMAXS e-GICSX の主要機能

CMAXS e-GICSX が提供する主要な機能は、一次解析及び二次解析に係わる三種類を含め、表 1 に示すように 8 個の機能に分類される。本章では、以下にこれらの機能の概要を述べる。

### 5.1 一次解析(異常診断)

一次解析における異常診断の結果では、図 7 に示す異常

度スコアがトレンドグラフと棒グラフでリアルタイムに表示される。異常が発生の有無は棒グラフで確認でき、異常事象の発生箇所の把握が容易である。異常事象の時刻推移はトレンドグラフで把握できる。

異常診断操作画面においては、CMAXS LC-A の機能を CMAXS e-GICSX 用に準用することにより、両サービスを利用するユーザにおける操作方法の利便性向上を図っている。

異常を検知次第、自動的に異常発生を知らせるポップアップ画面が MP1000H-G コンピュータ画面に表示される。機器模擬図(MIMIC)画面では、当該センサを示すマーカを赤色で点滅して異常を知らせる。図8に異常表示状態の一例を示す。

5.2 二次解析

5.2.1 状態診断

状態診断では、性能診断結果と燃焼診断結果に異常診断で検知された異常箇所を加味して評価する。このことで、性能的かい離に対する原因絞り込みが可能となり、高精度な状態診断判定を行い、的確に、調整あるいは部品交換などの必要な箇所の判定を行うことができる。図9に状態診断結果サマリーの帳票サンプルを示す。

5.2.2 性能診断

性能診断のベースとするものは、主機関を顧客に引き渡す前に行う陸上運転試験で取得したデータであり、運航時に24時間間隔で自動的に性能を比較し評価する。

5.2.3 燃焼診断

燃焼診断は、筒内圧を常時計測する PMI Auto-tuning を装備する機関で、状態診断と同時にされる。燃焼診断は性能診断機能の一部であり、現在使用している燃料油による異常燃焼の有無及び今後の使用継続の是非判断に使用する。燃焼状態の把握は、異常診断あるいは性能診断では困難であるため、燃焼診断結果を考察に加えることで、粗悪油に起因するシリンダコンディション悪化を推測し、初期段階での予防保全が可能となる。本機能により、陸上では図10に代表される燃焼波形のほか、指圧線図、熱発生量線図など数種類の圧力波形図を画面操作で切り替えて閲覧可能である。船内では燃焼診断結果帳票に印刷された状態で閲覧する。e-GICS から ME 機関にも対応するように拡張した。

5.3 トラブルシュート機能

トラブルシュート機能の操作画面は、図11に示すとおり CMAXS LC-A を準用しており、異常診断において検知された箇所において異常の可能性が高い要因や部品が自動的にリストアップされる。さらに、推定要因を提示し、これに対する点検要領書、関連する図面あるいは調整要領書などのコンテンツを自動的に表示する。これらにより、状態悪化時に乗組員による迅速な初期対応が可能となっている。

5.4 メンテナンス診断機能

メンテナンス診断機能を用いると、主機関開放点検時に収

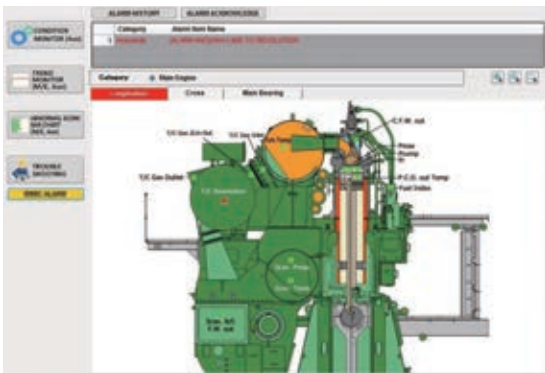


図8 MIMIC 画面

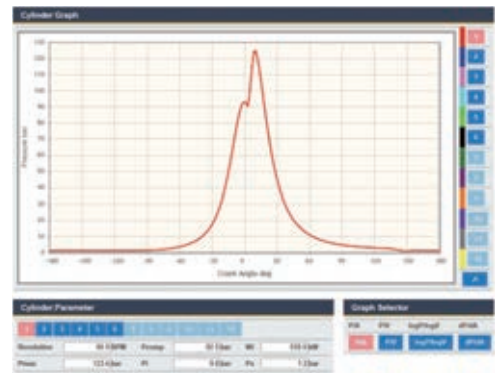


図10 筒内圧力波形図

Main Engine Condition Judgment Report			
Ship Name	Running Mode : ECONOMY		
Engine Type : 6E50ME-C	ISO No.		
Date of Measurement : 2016/05/17 18:33:49	Wind Speed : 0.8m/sec		
Total Running Hours : 4591	Wind Direction (Relative) : 344.0°		
General Auto Comment			
Engine Load Condition			
A Zone : Normal condition. Available for running conditions in shallow water, heavy weather and during acceleration.			
Comment by Maker Engineer			
Please check the engine condition at the time of the next inspection.			
Item	Value	Unit	Remarks
Engine Oil Pressure	4.5	MPa	Normal
Engine Water Temp	75	°C	Normal
Engine Coolant Temp	75	°C	Normal
Engine Oil Temp	75	°C	Normal
Engine Air Temp	25	°C	Normal
Engine Exhaust Temp	250	°C	Normal
Engine Vibration	0.5	mm/s	Normal
Engine Noise	100	dB	Normal
Engine Fuel Consumption	100	kg/hr	Normal
Engine Power Output	1000	kW	Normal
Engine Torque Output	1000	kgm	Normal
Engine RPM	1000	rpm	Normal
Engine Load	100	%	Normal
Engine Efficiency	40	%	Normal
Engine SFC	100	g/kWh	Normal
Engine IHC	100	g/kWh	Normal
Engine BSEC	100	g/kWh	Normal
Engine BMEP	100	kg/cm²	Normal
Engine IMEP	100	kg/cm²	Normal
Engine MEP	100	kg/cm²	Normal
Engine IHC	100	g/kWh	Normal
Engine BSEC	100	g/kWh	Normal
Engine BMEP	100	kg/cm²	Normal
Engine IMEP	100	kg/cm²	Normal
Engine MEP	100	kg/cm²	Normal

図9 状態診断結果帳票サンプル



図11 トラブルシュート機能画面

集した計測データを基に、燃焼室主要部品の摩耗量・摩耗率の推移など経年変化を診断し、シリンダライナの摩耗限度到達までの時間を図 12 に示すように予測することが可能である。そのほか、クランク軸デフレクションカーブの表示、軸受間隙の評価判定を行う機能も含まれている。

5.5 軸受状態監視システム(BCM)とのデータ連携

当社では、図 13 に示す軸受状態監視システム(Bearing Condition Monitoring system : BCM)<sup>11)</sup>を開発し、2013 年から単独製品として販売している。船内完結のスタンドアロン製品であったため、従来は陸上側から直接的に軸受状態を確認することが困難であった。CMAXS e-GICSX では BCM のソフトウェアを改造することで、取得した軸受監視データを自動的に船舶保守管理クラウドに送信できるようになり、陸上側からも本船主機関の軸受状態の遠隔監視が可能となった。

BCM は主要船級の型式承認が取得しており、CMS 検査において事前に船級に申請し、受検時までには異常な兆候が認められなければ軸受開放点検が要求されない。

5.6 その他の機能

油類データ管理機能は、低品質燃料油がシリンダコンディションに与える影響を自動診断し、必要に応じて注意点が表示するものである。

問合せ機能(Q&A System)は、当社とのコミュニケーション

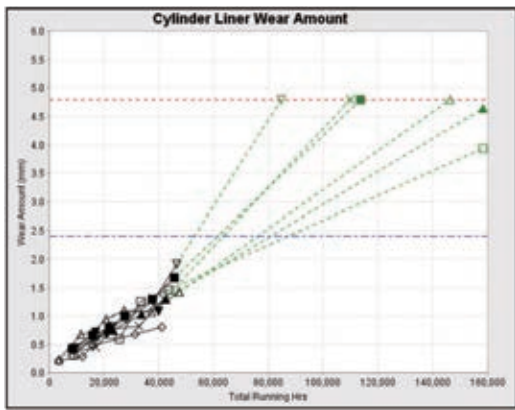


図 12 シリンダライナ摩耗量診断

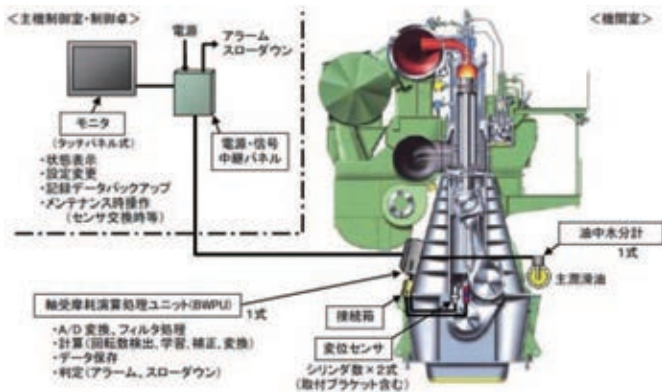


図 13 軸受状態監視システム概要図

ツールであり、過去履歴のファイリング及び検索が可能である。この機能の利用により、書類管理業務の効率化及び省力化を図ることができる。

技術情報閲覧機能(Electronic Document System)は、当社発行の技術情報を閲覧できる機能であり、取扱説明書に掲載されていない技術情報が得られる。

6. CMAXS e-GICSX の異常検知例の紹介

CMAXS e-GICSX の開発は 2014 年度から開始し、2015 年度後半から ME 機関を搭載した実船にてシステムの運用テストを実施した。本章で示す事例は、この運用テスト期間中に発生したものである。

6.1 燃料漏えい検知事例

図 14 は微量な燃料漏えいの異常検知例である。

燃料漏えいに起因する燃料噴射量減少に伴う、No.5 シリンダ排気ガスシリンダ出口温度低下により、異常度スコアの上昇が検知された。

異常度スコアの上昇は、図 14 に示されている以前の 4 月 22 日から発生し、船内のモニタにはシステムから異常検知の警告が表示されていた。当社は本船の対応状況を注視していたが、異常回復の傾向が見られなかったため、4 月 27 日に本船での対応状況についての e-mail にて問い合わせた。翌日本船から目視点検を実施した結果の回答があり、燃料高压管からの微量な漏えいの疑いがあり、次の寄港地にて点検を実施するとのことであった。本船は停泊中に高压管の隙間調整を実施し、5 月 6 日に出港後、No.5 シリンダ排気異常アラームは消え、航行を継続した。

この例は、本船装備のアラームモニタリングシステムでは検知できない、燃料高压管と燃料ポンプの結合部から燃料の微量漏えいを検知し、異常箇所へ対処したことにより、燃料の大量漏えい発生リスクを未然に防止した事例である。

6.2 燃料弁故障検知事例

図 15 は燃料弁故障による異常検知例である。

1 月 3 日の午前 9 時頃に、No.4 シリンダ排気ガスシリンダ出口温度の低下開始とほぼ同時に、当該シリンダの異常度スコアが上昇した。警報発生時には乗組員が機関の異常と判断し、点検の結果燃料弁のトラブルを発見した。乗組員による修理のため、一旦機関を停止して部品を交換した。その後の

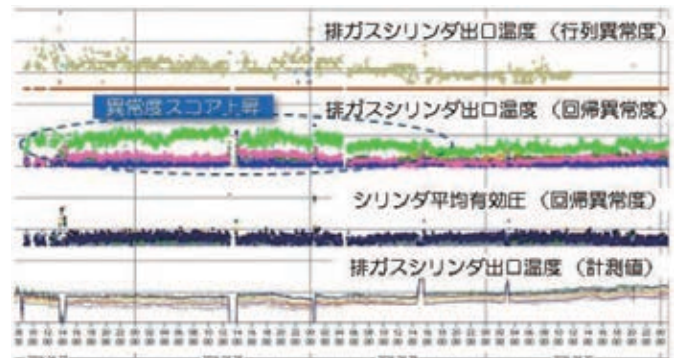


図 14 燃料漏えい検知例

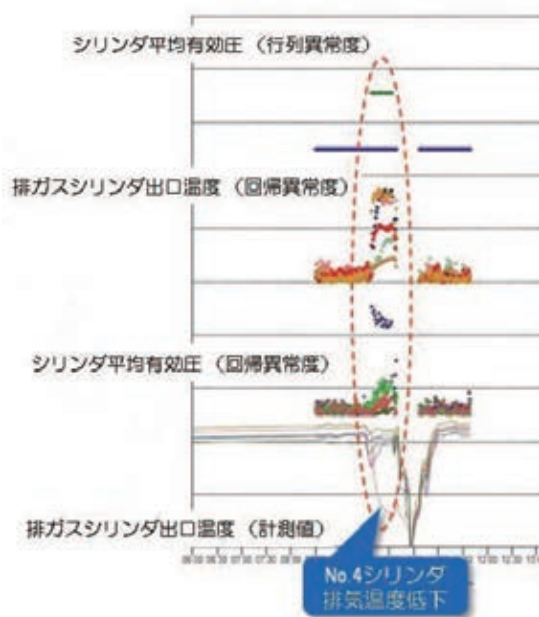


図 15 燃料弁故障検知例

異常度スコアの上昇は表示されず、正常に機関が動作していることが示されている。

この例は、機械故障による変化を迅速に捉え、早期の原因特定に結びついた事例である。

## 7. 搭載例と運用における課題

CMAXS e-GICSX は、2016 年 4 月から本格的に運用されている。二元燃料対応の ME 機関搭載船をはじめ、油槽船など、高度な監視が要望される船舶に搭載されている。(写真 2)

今後 CMAXS e-GICSX を搭載する船舶が増加するにつれて、Fleet Monitor 以外の船舶運航支援システムを搭載する船舶に導入される機会が増加すると考えられ、社外製システムとのデータ接続が求められることが想定される。この対応として、CMAXS e-GICSX 船内システムに、社外製システムと接続するインターフェース(プロトコル)を通して接続する仕組みを設けているが、接続するシステムの仕様と合致するドライバを準備する必要がある。

また、一次解析の異常診断においては、機械学習に基づく解析を行うため、機械学習時の範囲を超えた運転を行う場合には解析できない。この場合、新しい運転パターンにより再度機械学習を行い、対応する監視モデルの作成が必要となる。

## 8. おわりに

近年、船舶においても機器のセンサ情報を外部に取り出す仕組みが次第に整いつつあり、IoT/M2M を活用した状態監視がこれまで以上に容易になってきている。CMAXS e-GICSX では、本報で述べた各種機能を活用することで、船舶の予防保全及び万が一の故障発生時における初期段階での対応による、ライフサイクルコストの削減に寄与できると考える。



写真 2 電子制御二元燃料機関搭載船

最後に、本文を執筆するにあたり快く資料転載を応諾された株式会社ディーゼルユナイテッド及び日本海事協会に対し、感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 三井造船株式会社：e-GICS, [http://www.mes.co.jp/business/it/it\\_05.html](http://www.mes.co.jp/business/it/it_05.html), (2015-12-12)
- 2) 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
- 3) 日本海事協会：ClassNK CMAXS, <http://www.classnkcs.co.jp/cmmaxs/index.html>, (2017-1-27)
- 4) 株式会社ディーゼルユナイテッド：統合支援システム LC-A, <https://www.ihico.jp/du/products/machine/lca.html>, (2017-1-27)
- 5) 日本海事協会：船舶ピックアップデータ活用の基盤として、株式会社シップデータセンターを設立, [https://www.classnk.com/hp/ja/hp\\_news.aspx?id=1759&type=press\\_release&layout=1](https://www.classnk.com/hp/ja/hp_news.aspx?id=1759&type=press_release&layout=1), (2015-12-7)
- 6) 松井・外：IoT/M2M ビジネスに向けた三井造船システム技研の取組み, 三井造船技報, 216(2016-2), p.1
- 7) 例えば, 株式会社日本デジコム: FBB/ フリートブロードバンド, <http://www.jdc.ne.jp/marine/fbb/>, (2016-10-25)
- 8) 例えば, 古野電気株式会社: VSAT (ESV) KU-100, <http://www.furuno.com/jp/merchant/vsat/>, (2016-10-25)
- 9) 菅原・外：IoT 技術の造船への適用, KANRIN, 号 (No.64), (2016), p.20-21
- 10) 井出：センサー・データによる状態監視技術, 日本 IBM PROVISION, 号(78/Summer), (2013), p.28-33
- 11) 稲住：三井-MAN B&W 機関における運転中の機関状態モニタリングについて, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 巻(46)号(2), (2011)

## 【問い合わせ先】

三造テクノサービス株式会社  
ディーゼルサービス事業部 技術部  
TEL 0863 - 23 - 2385 光森 渉



# 事業系食品残さを原料とした飼料製造設備における バイオガス設備の導入効果

中嶋幸子\* 庄智裕\* 中嶋昭博\*  
小倉智\* 永淵優\*\*

## Biogas Process Introduction into Food Waste Recycling System for Livestock Feed

Sachiko NAKAJIMA, Tomohiro SHO, Akihiro NAKAJIMA, Satoshi OGURA, Masaru NAGAFUCHI

As countermeasures for global warming or depletion of natural resources, development of the relevant technologies contributing to the reduction of environmental load, formation of recycle-oriented society for natural resources etc. have become social demands or requirements. In order to meet such requirement, Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd. has so far tried the utilization of biomass as renewable resources and has developed “The Biogas process for livestock feed production” as one of specific plans. This process separates food wastes into solid and liquid, the former of which is processed into livestock feed and the latter is used as raw material in the anaerobic digestion process for methane gas. This separation contributes to reduce the consumption volume of fossil fuel in the feed stock production process and also to create sustainable energy of generated electricity for sale, which would increase profitability. Use of the Biomass energy will contribute to the reduction of environmental load more than before. Sanzo Organic Recycle Co., Ltd., who introduced “The Biogas process for livestock feed production”, produced livestock feed of high quality and the Biogas facilities showed a satisfactory performance.

資源枯渇や地球温暖化問題の対策として、環境負荷を低減し資源循環型社会へ貢献できる技術の開発と事業化が社会的要請となっている。三井造船では、この要請に応えるべく再生可能な資源であるバイオマスの活用に取り組み、その一環として飼料化バイオガスプロセスを開発した。このプロセスは、食品残さを固液分離して、固形物は飼料化し、分離液はメタン発酵の原料として利用する。これにより、飼料製造時の化石燃料使用量を削減し、得られたバイオガスを電力に変換して売電することで事業性を向上させる。また、バイオマスエネルギーを使用することでこれまで以上に環境負荷低減に寄与することができる。飼料化バイオガスプロセスを導入した三造有機リサイクル株式会社では、高品質な飼料原料が安定して製造されており、バイオガス設備も所定の性能を発揮した。

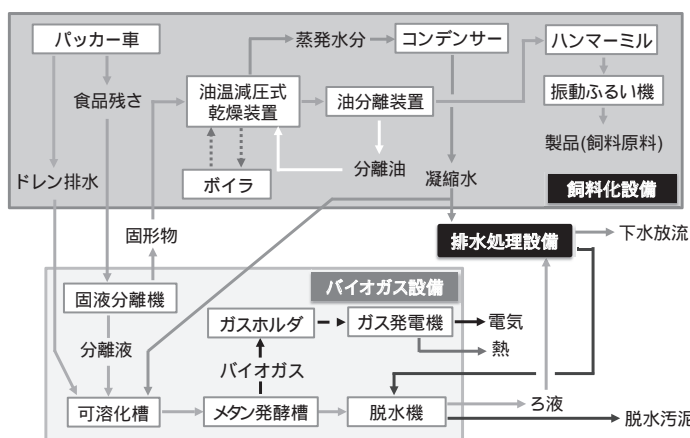


図1 飼料化バイオガスプロセスの基本構成  
Basic Constitution of Livestock Feed and Biogas Process

表1 札幌飼料化リサイクルセンターの施設概要  
System Overview of Sapporo Recycling Center  
for Feedstock

バイオマス受入量(処理許可量)	
事業系食品残さ	68 t/日
主要機器・設備仕様	
固液分離機	処理能力 4 t/時
油温減圧式乾燥装置(クッカー)	容量 10 m <sup>3</sup>
メタン発酵槽	容量 1200 m <sup>3</sup>
ガスホルダ	容量 30 m <sup>3</sup>
発電機	出力 50 kW × 5基 (1基予備)

\* エンジニアリング事業本部 プロジェクト部

\*\* 三造有機リサイクル株式会社

1. はじめに

資源枯渇や地球温暖化問題の対策として、再生可能な資源であるバイオマスの活用が社会的要請となっている。三井造船グループにおいても、環境保全が未来へ向けた重要なテーマと考え、環境負荷低減や食品残さ飼料化などの資源循環型社会へ貢献できる技術開発及び事業開発に取り組んでいる<sup>1)2)</sup>。

当社では、食品残さを加熱乾燥し、家畜の飼料原料としてリサイクルする『食品残さ飼料・堆肥化プラント』を開発・製品化している。食品残さを乾燥し飼料として活用することは、資源循環という観点で大変意義がある。一方で、食品残さは含水率が高くウェット系バイオマスに分類されており、乾燥には多くのエネルギーが必要となる。

そこで、当社は図1に示す飼料化設備のプロセスにバイオガス設備を付加したプロセス(以下、飼料化バイオガスプロセス)を開発した。固液分離性能や、飼料成分、バイオガスの発生量等について検討し、飼料化バイオガスプロセスが、従来の飼料化設備の負担を軽減するとともに、メタン発酵設備から発生するバイオガスを用いて発電を行い、固定価格買取制度(FIT)にて売電することで、事業性を向上させることを確認した<sup>3)</sup>。

本報では飼料化バイオガスプロセスを導入し、事業系食品残さを受け入れて、家畜飼料の原料を製造して出荷している三造有機リサイクル株式会社(Sanzo Organic Recycle Co., Ltd:SOR)における運転状況について紹介する。

2. 飼料化バイオガスプロセス導入事例

SORは、1997年3月に三井造船株式会社が主要株主として設立し、1998年1月より札幌市リサイクル団地内の“札幌飼料化リサイクルセンター”にて札幌市内の事業系食品残さのリサイクル事業を開始した。また、2013年にバイオガス設備を追加建設設備として導入し、試運転を経て、2014年3月からFITを利用して売電を行っている。

札幌飼料化リサイクルセンターの施設概要を表1に、プロセスフローを図2に示す。札幌飼料化リサイクルセンター(写真1)では、搬入された事業系食品残さを破碎し、固液分離機(写真2)で固形物と分離液に分ける。固形物は、クッカーと呼ばれる油温減圧式乾燥装置(写真3)で減圧雰囲気にて加熱乾燥される。乾燥後は油分離装置等で油分を取り除き、ハンマーミルで粉末状にした後、振動ふるい機(シフター)で異物除去を行い、家畜飼料等の原料となる。

一方、分離液はドレン排水と共に可溶性槽で飼料化設備から排出される凝縮水を用いて水分調整した後、バイオガスの原料としてメタン発酵槽(写真4)に供給される。メタン発酵で得られたバイオガスをガス発電機(写真5)に供給して電力と排熱回収による熱エネルギーが得られる。

バイオガス設備を追加したことにより、飼料化設備に供給する固形物の含水率が固液分離により低下し、油温減圧式乾燥装置で蒸発させる水分量が減少して乾燥用の化石燃料使用量を削減することができる。

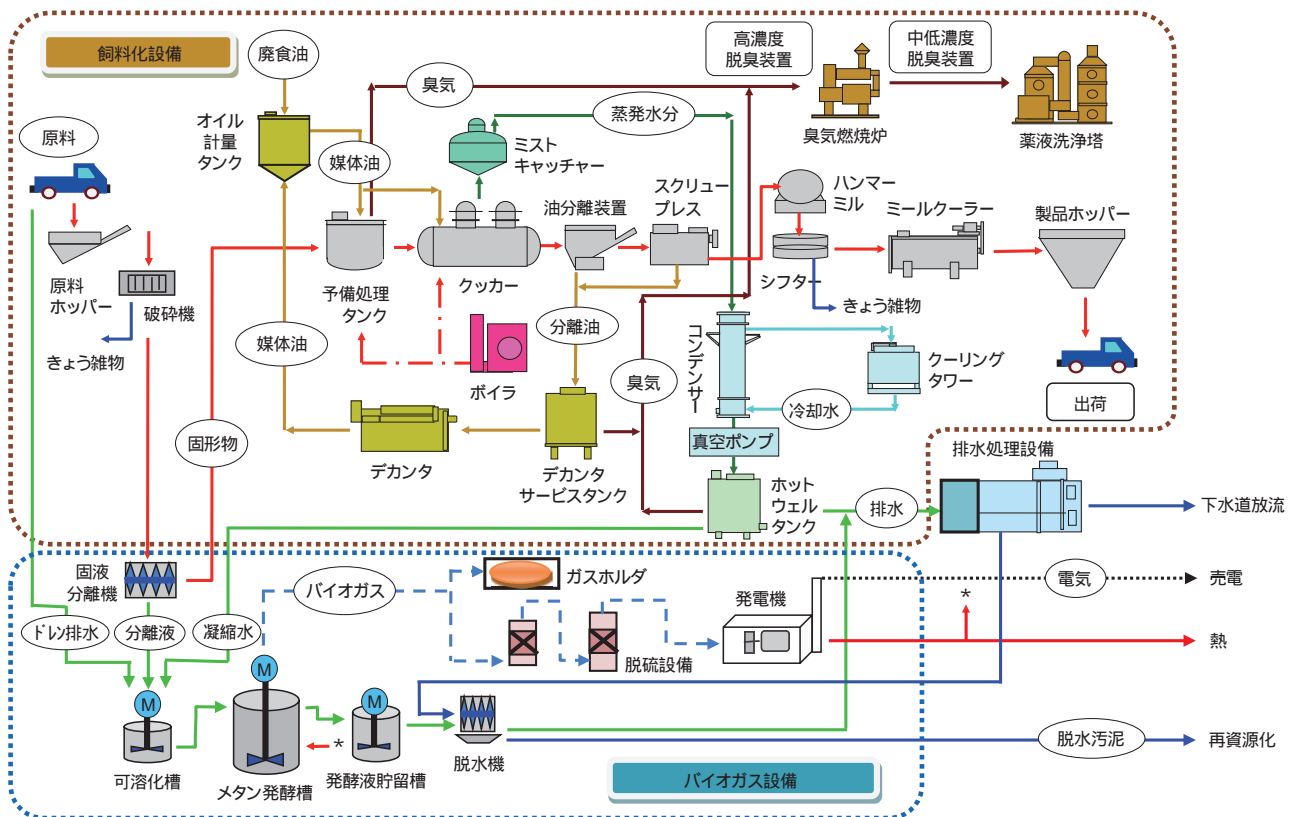


図2 札幌飼料化リサイクルセンターのプロセスフロー  
Process Flow of Sapporo Recycling Center for Feedstock



写真1 施設外観  
External View of the Plant



写真4 メタン発酵槽  
Methane Fermenter



写真2 固液分離機  
Solid-Liquid Separator



写真5 ガス発電機  
Gas fired Generator



写真3 油温減圧式乾燥装置(クッカー)  
Pressure Reduction Type Drying Machine

また、発電により得られた電力は、FIT を利用して売電し、得られた熱エネルギーは温水としてメタン発酵設備の加温のほか、冬季融雪エネルギーとして有効利用されている。

### 3. 運転結果

#### 3.1 原料性状

固液分離機前後の原料性状として、食品残さ、固形物、分離液の値を表2に示す。ここで、TSは固形物(Total

表2 原料性状  
Material Properties

	水分 (wt%)	TS (wt%)	VS/TS
食品残さ	74.8	25.2	0.90
固形物	73.7	26.3	0.89
分離液	76.8	23.2	0.94

Solids)を、VSは有機物(Volatile Solids)を表わす略号である。食品残さ、固形物、分離液の水分はそれぞれ、74.8%、73.7%、76.8%であった。

食品残さを固液分離することで、飼料化設備の原料となる固形物の水分は食品残さと比べて低下し、逆にバイオガス設備に供給される分離液は水分が高くなっていることを確認した。食品残さを圧搾するほど、得られる固形物の水分は低くなるが、量は減少する。SORの主事業は、飼料原料の製造であるため、品質・量ともに安定した飼料原料を製造することが優先されている。このため、固液分離機では、飼料化設備に必要な固形物を確保しながら、可能な範囲で水分を分離

液側に搾り取るという運転方針が取られている。結果として、本設備における固形物と分離液の水分の差は3.1%であった。

また、固形物に対する有機物の含有割合の指標である VS/TS はそれぞれ、0.90, 0.89, 0.94 であり、バイオガスの原料となる有機物は分離液側に移行しやすい傾向にあった。

### 3.2 運転データ

#### 3.2.1 前処理(固液分離)工程

2015年1月から2015年12月における食品残さ搬入量と固形物量を図3に示す。食品残さは、変動はあるものの月平均で1520tを受け入れており、設備に大きなトラブルもなく順調に稼働している。

搬入された食品残さに対する固液分離して得られた固形物

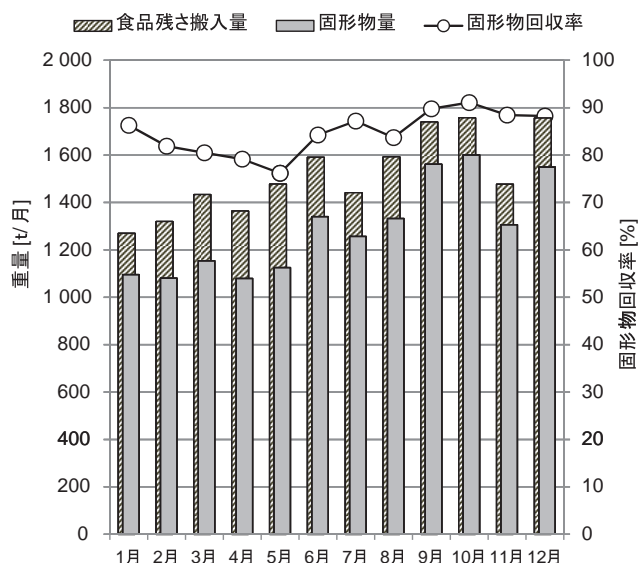


図3 食品残さ搬入量と固形物量

Relation between Quantity of The Food Wastes Import and separated Solid

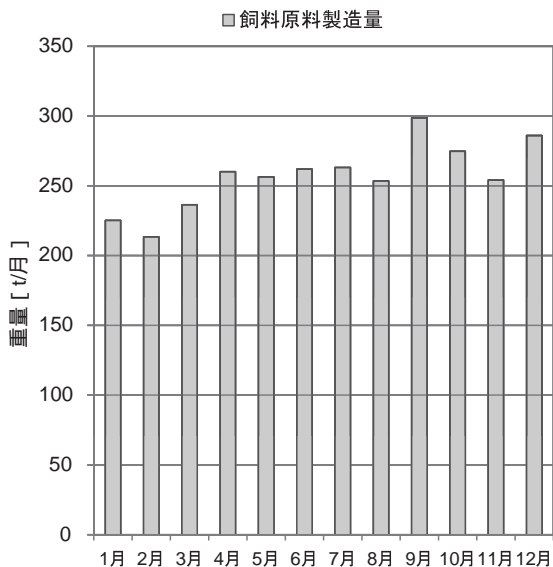


図4 飼料原料製造量

Quantity of Livestock Feed Production

量の割合は、最も少なかった5月で76%、多かった10月で91%、平均85%であった。期間中の月平均値として、食品残さ1520tから飼料原料となる固形物1290tを得た。

#### 3.2.2 飼料原料製造工程

2015年1月から12月における飼料原料製造量を図4に示す。原料となる固形物量の増減に伴って、飼料原料製造量も変動したが、その変動幅はおよそ±40t/月であった。また、平均では260t/月の飼料原料が製造されており、バイオガス設備を導入しても安定した飼料原料製造量が確保できた。

また、図3に示した固形物量の平均値1290t/月と図4に示した飼料原料製造量の平均値260t/月には1030t/月の差があるが、これは大部分が水分除去による減量である。この水分は、油温減圧式乾燥装置で蒸発後コンデンサーで冷却され、凝縮水として排出される。

#### 3.2.3 メタン発酵工程

食品残さを固液分離して得られた分離液に、パッカー車からのドレン排水を加え、飼料原料製造時に排出される凝縮水の一部にて水分調整を施した可溶化液をバイオガスの原料としてメタン発酵槽に供給する。

メタン発酵設備の導入前は、パッカー車ドレン排水を排水処理設備にて処理して下水放流していた。ドレン排水には有機物が含まれており、これを可溶化槽に受け入れてバイオガスの原料とすることで、有機物を無駄なく利活用できるとともに、排水処理設備の負荷を低減することができる。

2015年1月から12月における可溶化液供給量とバイオガス発生量を図5に、汚泥性状を表3に示す。メタン発酵に供される分離液は飼料化設備の原料となる固形物を確保した残分となるため、可溶化液の供給量は少ない時で310t/月、多い時で540t/月となり、バイオガス発生量の変動要因と

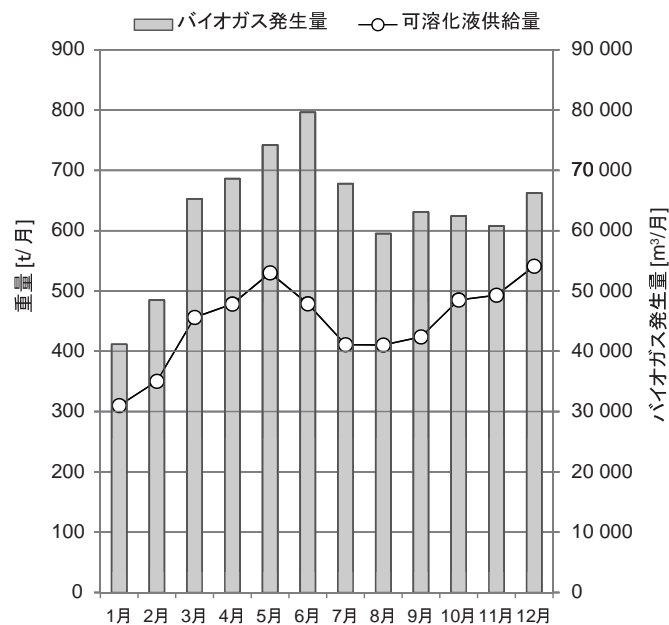


図5 可溶化液供給量とバイオガス発生量

Relation between Supply Quantity of Solubilized Liquid and Amount of Biogas generated

表3 汚泥性状  
Sludge Properties

	可溶化槽	発酵槽
pH	3.5	7.4
TS (wt%)	16.1	2.8
VS (wt%)	15.1	2.1
NH <sub>4</sub> -N (mg/l)	450	3 720

表4 飼料原料の性状  
Livestock Feed Properties

水分 (%)	4.2
TS (%)	95.8
粗タンパク質 (%)	24.9
粗脂肪 (%)	10.4
粗繊維 (%)	4.8
粗灰分 (%)	9.2
塩分 (NaCl) (%)	2.1

表5 エネルギー収支  
Energy Balance

バイオガス設備の有無		無し	有り
バイオガス	生成熱量 GJ/月	0	1 356
重油	使用熱量 (飼料原料乾燥) GJ/月	-2 250	-2 123

なった。

メタン発酵は生物処理という特性上、食品残さ由来の可溶化液から15日間程度の時間をかけてガスを発生させるため、可溶化液供給量とバイオガス発生量に若干の時期ずれが発生することを考慮すると、おおむね可溶化液供給量の増減に伴って、バイオガス発生量も推移する結果となった。

メタン発酵槽内のNH<sub>4</sub>-N(アンモニア性窒素)は3 720 mg/lと高めの値であったが、中温発酵であるため、アンモニア阻害は発生せず、安定した運転を継続することができた。

可溶化槽のVS濃度とメタン発酵槽のVS濃度の比から求めたVS分解率は86%、可溶化液1 m<sup>3</sup>当たりのガス発生量は、平均140 m<sup>3</sup>であった。食品残さを対象としたメタン発酵における一般的なVS分解率は70~90%<sup>4)</sup>であり、本可溶化液は、比較的分解し易い原料であると言える。また、VS分解率が86%と高い値であったことから、メタン発酵槽に投入されたほとんどの有機物がガスに転換され、効率良くエネルギー資源として有効利用できたと言える。

### 3.3 飼料原料の性状

製品として出荷された飼料原料の性状を表4に示す。飼料には主栄養素としてタンパク質、脂質、糖質が必要とされる。その中でも、飼料としての評価は粗タンパク質の量によって決まると言われており、養豚飼料では約16%、養鶏飼料では約20%含まれていることが目安となる<sup>5)</sup>。

粗タンパク質量は全窒素量に窒素・タンパク質換算係数(6.25)を乗じて求めるが、SORで製造された飼料原料は、粗タンパク質の含有量が20%を超える高タンパク質飼料であり、バイオガス設備の導入後も高品質な飼料原料が製造できていることを確認した。

### 3.4 エネルギー収支

メタン発酵で得られたバイオガスはガス発電機に導入され、電力と排熱回収により熱エネルギーが得られる。発電により得られた電力はFITを利用して売電され、熱エネルギー

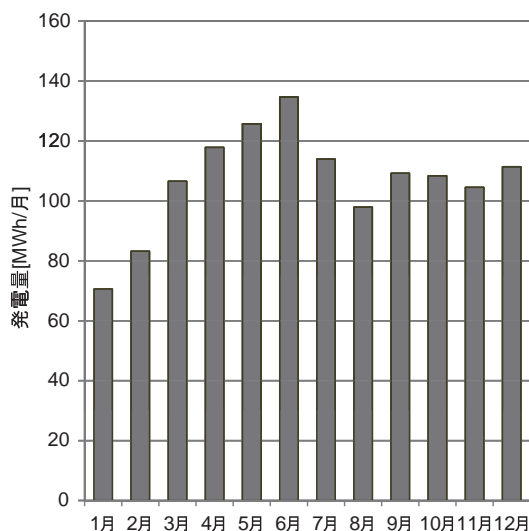


図6 月別発電量  
Electric Power Generation

はメタン発酵設備の加温のほか、冬季融雪エネルギーとして有効再利用されている。

2015年1月から12月までの平均飼料原料製造量260 t/月におけるエネルギー収支を表5に示す。このときのエネルギー量として、バイオガス、重油ともに熱量に換算した数値を記載した。また、バイオガスの組成は投入原料に依存することが知られているが、SORでは概ねメタン60%、二酸化炭素40%のバイオガスが発生しており、生成熱量はメタン濃度60%にて算出した。

バイオガス設備がない場合には生成熱量はゼロとなる。また、ここで示した重油熱量は、飼料原料乾燥時に必要な熱量として、蒸発潜熱を記したものである。バイオガス設備がない場合には、含水率の高い食品残さを直接乾燥することになるため、蒸発除去すべき水分量が多くなり、2 250 GJ/月となった。

一方、バイオガス設備がある場合には、生成熱量は1 356 GJ/月となった。また、飼料原料乾燥に使用する重油熱量については、原料となる固形物の水分濃度が食品残さと比べて低いため、2 123 GJ/月と減少した。

施設全体としては、飼料化バイオガスプロセスを導入することで、従来の飼料化設備のみのプロセスと比較して、化石燃料使用量を5%程度削減するとともに、1 356 GJ/月のバイオマスエネルギーを生み出すことが可能となった。

### 3.5 発電量

2015年1月から12月における月別発電量を図6に示す。SORでは、バイオガス設備を追加したことでメタン発酵槽の加温が必要となったが、これをガス発電機の排熱を利用して行なうため、バイオガスや化石燃料を使用する必要はなく、発生したバイオガスは全量をガス発電機に使用している。従って、図5のバイオガス発生量と図6の月別発電量の増減傾向は良く一致した。

バイオガス設備を導入した際の計画発電量90 MWh/月(3 000 kWh/日)に対し、2015年1月から12月における平

均発電量は、107 MWh/月であり、所定の性能を発揮することを確認した。

また、年間発電量 1 284 MWh/年のうち 1 214 MWh/年が FIT により売電された。

#### 4. おわりに

三造有機リサイクル株式会社(SOR)では、2013年に既設の飼料化設備にバイオガス設備を追加建設し、飼料化バイオガスプロセスとして運転を開始し、試運転を経て、2014年3月から FIT を利用して売電を行ってきた。

SORの主事業は、飼料原料の製造であるため、品質・量ともに安定した飼料原料を製造することが優先され、飼料化設備の原料となる固形物を確保し、その上で、残分をバイオガス設備に供するという運転方針である。このことを踏まえて、2015年1月から2015年12月における施設の運転データから、以下の結果を得た。

食品残さ 1 520 t/月を受け入れて 260 t/月の飼料原料を製造しており、大きなトラブルもなく順調に稼働した。また、製品として出荷された飼料原料は、粗タンパク質の含有量が 20% を超える高タンパク質飼料であり、飼料化バイオガスプロセスの導入後も高品質な飼料原料が計画通りに製造された。

食品残さを固液分離することで、飼料化設備の原料となる固形物の水分は食品残さと比べて低下し、逆にバイオガス設備に供給される分離液は水分が高くなっていることを確認した。

飼料化バイオガスプロセスの前処理にて得られた分離液は、メタン発酵における VS 分解率が 86% と高く、ほとんどの有機物がバイオガスに転換されており、効率良くエネルギー資源として有効利用されていることを確認した。飼料化バイオガスプロセスを導入することで、従来の飼料化プロセスと比較して、化石燃料使用量を 5% 程度削減するとともに、1 356 GJ/月のバイオガスを生み出すことが可能であった。

飼料化バイオガスプロセス導入時の計画発電量 90 MWh/月に対し、2015年1月から12月における平均発電量は、107 MWh/月であり、所定の性能を発揮することを確認した。

三井造船で開発された飼料化バイオガスプロセスは、飼料原料製造時の化石燃料使用量を削減するとともに、食品残さから電気・熱エネルギーを生み出す環境負荷低減に寄与できるプロセスである。さらに、得られたバイオマスエネルギー

を電力に変換して売電することで収入を得ることができ、事業性向上においても優れたプロセスであることを実設備にて確認することができた。

飼料化バイオガスプロセスは、食品残さの処理量に対する飼料製造量とバイオガスによる発電量の組み合わせや、副生成物の処理方法、立地条件等により、最適設計が求められるものであり、今後も市場動向や顧客ニーズを取り入れ、更なる技術改良を加えながら、環境負荷の低減や資源循環型社会への貢献のために積極的に取り組んでいきたいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 宮崎：省エネ・高付加価値型焼酎粕飼料化システムの構築，三井造船技報，193(2008-2)，p. 30
- 2) 大野．外：バイオマス由来 C5 糖の有効利用法の開発，三井造船技報，209(2013-7)，p.19
- 3) 中嶋．外：事業系食品残さを原料とした飼料化バイオガスプロセスの開発，三井造船技報，214(2015-3)，p. 19
- 4) 柚山．外：バイオマス再資源化技術の性能・コスト評価，農工研技報，204(2006)，p. 61
- 5) 千葉県：千葉県モデル・バイオマスタウン設計業務調査報告書，(平成 16 年 3 月)

#### [ 問い合わせ先 ]

エンジニアリング事業本部 プロジェクト部  
TEL 043 - 351 - 9112 中嶋 幸子



中嶋 幸子



庄 智裕



中嶋 昭博



小倉 智



永淵 優

# 衝撃荷重を受ける延性材料の陽解法を用いた破壊シミュレーション技術の開発

安田 章 宏\* シェリーフ ラシッド\*\*

## Development of a Simulation Technique using Explicit Method to Predict Collapse Behaviors of Ductile Components Subjected to Impact Loads

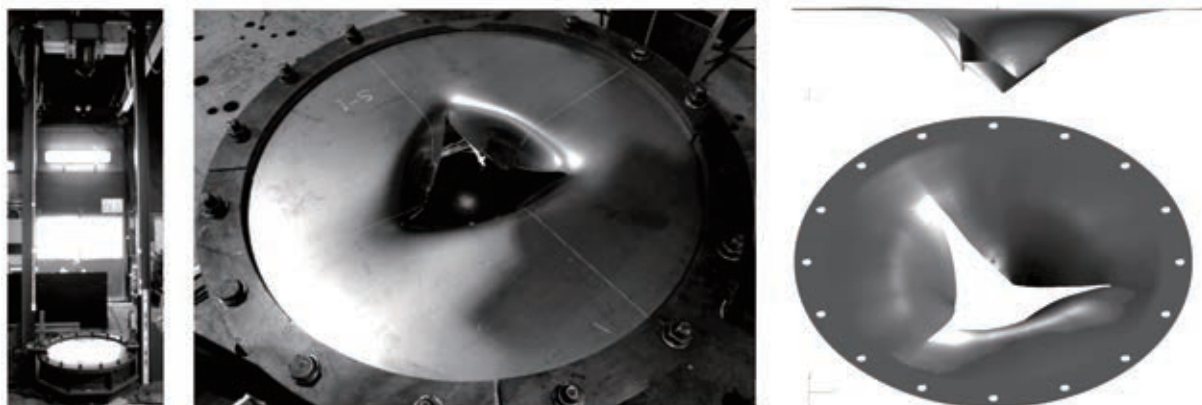
Akihiro YASUDA, Sherif RASHED

In collapse analysis of mechanical or structural components made of ductile materials when subjected to impact loads, it is necessary to carefully consider material tearing (cracking and crack propagation). Traditional methods that focus on material behavior at crack tip require very fine finite element meshes and are not suitable for impact analysis where explicit integration codes, for very good reasons, are used. On the other hand, in methods which utilize surface separation such as the interface element approach or node break approach, crack propagation route needs to be known beforehand.

In this paper, the development of an efficient three-dimensional finite element for such collapse analysis is reported. Stress-strain relationship takes account of the effects of element size and strain rate. Crack propagation through the element (tearing of the element) is predicted based on the sum of the strain energy and surface creation energy taking account of the effects of element size and strain rate on the tearing energy. Comparison of test and analysis results of a conical impactor dropped on a circular steel plate is made to confirm the validity of the element model.

衝撃荷重に対する延性材料の破壊挙動を予測することは非常に重要であり、その予測のためには亀裂発生から進展を扱う必要がある。従来の手法では亀裂先端部に非常に細かい要素を生成する必要があるが、陽解法を用いる場合には時間刻みが小さくなり計算時間が非常に長くなる。一方、結合要素などの節点分離による破壊解析手法では、亀裂が進展する箇所を事前に把握しておく必要がある。

そこで本報では、3次元ソリッド要素に対する効率的な破壊モデルを提案する。本モデルでは応力-歪み関係に対する要素サイズ、歪み速度の影響を考慮した。さらに、要素内の亀裂進展は歪みエネルギーと表面生成エネルギーの和を用いて評価し、そのエネルギーに対して要素サイズの影響及び歪み速度の影響を考慮した。本モデルを組み込んだ陽解法有限要素法によるシミュレーションと円盤の落錘破壊試験の結果を比較し、提案したモデルが妥当であることを示した。



(a) 落錘試験装置

(b) 試験結果

(c) シミュレーション結果

図1 円盤破壊試験の比較

Comparison between Circular Plate Rupture Test and Simulation

\* 技術開発本部 技術開発センター

\*\* CAE Lab

## 1. はじめに

船体構造等の鋼構造に作用する荷重は様々であり、その強度に関する安全性確保は設計上の重要な課題の一つである。例えば船体構造においては、乗員の安全性に加えて燃料や貨物の流出に対する環境保護の観点から、座礁や衝突などによる構造の破壊予測が重要である。また艦船においても、爆発等の衝撃荷重を受けて船体構造が高速で変形・破壊することがあり、構造の機能を保持するためにも衝撃荷重に対する構造破壊予測技術が重要である。

これらの延性材料の破壊を扱う際には亀裂の進展を評価する必要がある。亀裂進展については、歪みエネルギー解放率<sup>1)</sup>や応力集中係数<sup>2)</sup>、J積分<sup>3)</sup>やCOD (Crack Opening Displacement)<sup>4)</sup>による手法で評価可能であるが、これらの適用範囲は亀裂位置が明確な場合かつ中央に亀裂を有する無限板のような単純な形状の構造に限定されている。

一方、有限要素法を用いて亀裂先端部の歪みや応力分布を予測する場合には、亀裂先端部周辺に非常に細かいメッシュを生成する必要がある。しかし、本研究開発の対象である動的な破壊現象の予測に有効な陽解法有限要素法においては、小さい要素が計算時間を増大させる原因となる。陽解法の特徴を付録に示す。また、亀裂進展として、要素を破壊させて取り除こうとすると、要素の除去による不適切な形状変化を防ぐためにメッシュの再生成を行う必要があり、このことも計算時間の増大につながる。メッシュの再生成を避けるための新たな手法としてはX-FEM<sup>5)</sup>や結合要素<sup>6)</sup>が提案されているが、これらの方法においても非常に細かい要素が必要となるため、陽解法には適していない。

そこで本報では、衝撃荷重に対する延性材料の破壊予測を行うため、比較的粗いメッシュでも亀裂進展が予測可能な陽解法有限要素法を基にした材料モデルを提案する。本モデルでは3次元ソリッド要素を対象とし、応力 - 歪み曲線の要素サイズに対する影響を考慮する。本研究開発は、船体外板のような板構造への適用を視野に入れている。まずは現象を忠実に再現するソリッド要素で手法を構築し、さらに、それをシェル要素へ発展させることを検討している。亀裂の進展は歪みエネルギーと表面生成エネルギーの和で判定し、破壊と判定された要素を取り除く。本研究開発では亀裂を進展させるエネルギーを評価する際に、要素除去を行いながらその評価を行っている。なお、要素サイズや歪み速度がそのエネルギーに与える影響も考慮する。そして提案した材料モデルによるシミュレーションと円盤に対する落錘試験の結果を比較し、その妥当性について示す。

## 2. シミュレーション手法

### 2.1 応力 - 歪み関係に対する要素サイズの影響

有限要素法を用いた構造解析においては、通常はモデル化されるそれぞれの材料に対して、要素サイズとは無関係に一つの応力 - 歪み関係が与えられる。それらは引張試験による伸び - 荷重関係若しくは断面積 - 荷重関係から、工学的応力 - 歪み関係や真応力 - 真歪み関係として求めることが一般的

である。より詳細な検討を行う場合には、引張試験のシミュレーションを行い、その結果が引張試験結果と一致する応力 - 歪み関係を反復計算しながら同定する方法もある。このようなシミュレーションは材料に発生する塑性歪みが比較的に小さい範囲において有効であると考えられる。一方、Ehler and Varsta<sup>7)</sup>は、材料の変形が大きくなりネッキングが生じた後においては、応力 - 歪み関係は要素サイズに依存することを示した。これは、ネッキングが生じた非常に狭い領域において応力の勾配が非常に大きくなるためである。そのため、異なる要素サイズが混在するモデルにおいては要素サイズに応じた応力 - 歪み関係を与える必要がある。

そこで、要素サイズの影響を考慮するために、一般的な鋼材であるSS400を対象とし、引張、圧縮試験を行い、それらに対応するシミュレーションを行った。なお、本報では汎用非線形有限要素解析ソフトMSC.DYTRANを用いた<sup>8)</sup>。本ソフトでは時間積分には陽解法を使用しており、積分点が中心一点の六面体要素を用いた。図2は有限要素法モデルを示しており、ネッキングが生じる中央部分の要素サイズを0.5 mmとした場合の例である。本モデルは1/2対称モデルであり、長手方向の中心面に対して対称条件を与えた。図中\*で示した区間における表面の節点に対しては、試験機の把持部を表現する剛体をモデル化した。そして片方の剛体は固定し、もう片方の剛体に対して試験片の長手方向に作用させる強制運動(引張速度0.01 m/s)を与えた。なお、SS400の材料特性は密度 $7.85 \times 10^5 \text{ kg/mm}^3$ 、体積弾性率175 GPa、せん断弾性率80.8 GPa(ヤング率210 GPa)とした。試験ではロードセルで荷重を、ゲージ長60 mmの伸び計で伸びを計測した。

この引張試験で計測された荷重 - 変位関係を再現できる応力 - 歪み関係を異なる要素サイズのモデルでそれぞれ反復計算して同定した。

図3は要素サイズが0.25 mm, 0.5 mm, 1.0 mmの場合における同定された応力 - 歪み関係曲線である。図4は変位 - 荷重関係曲線である。試験片は板厚9 mmの板から採取し、圧

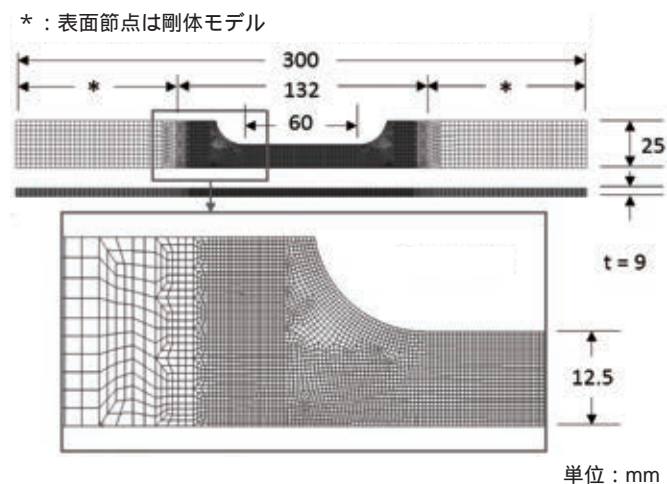


図2 引張試験片シミュレーションモデル(要素サイズ 0.5 mm)  
Tensile Test Specimen Model (Element Size 0.5 mm)



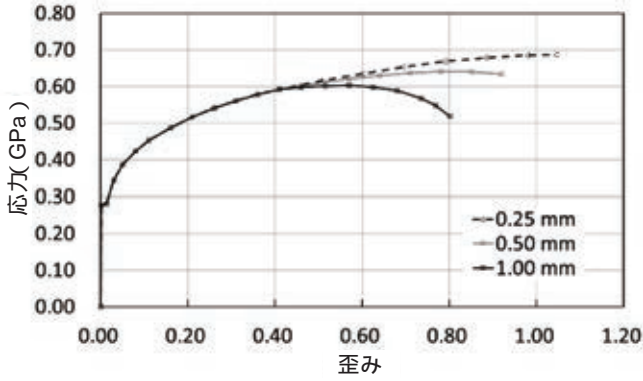


図3 応力 - 歪み関係 (要素サイズ 0.25 mm, 0.5 mm, 1.0 mm)  
Effects of Element Sizes on Stress Strain Curves

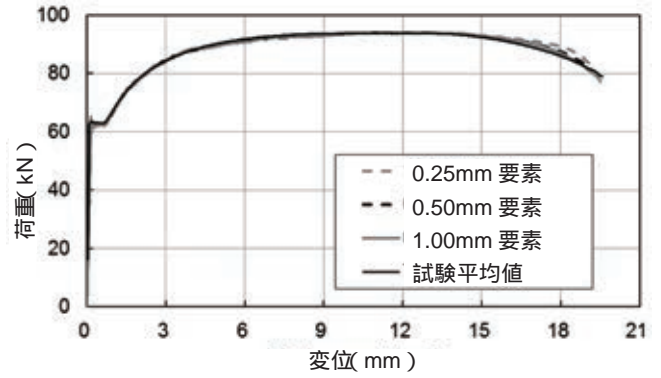


図4 引張試験とそのシミュレーションの荷重 - 変位結果  
Tensile Tests and Simulation Load-displacement Curves

延方向から3個, 圧延方向に対して直角方向から3個の合計6個の試験片からデータを取得した. 図に示す荷重 - 変位曲線はこれら6個の試験の平均値を表している. また, 図には異なる3個の要素サイズに対してそれぞれの応力 - 歪み関係を用いたシミュレーション結果も合わせて示されている. ここで, 一つの材料に対して異なる要素サイズを用いたモデルを解析するため, 下に示す要素サイズと応力 - 歪み関係を提案する.

$\epsilon_1 < \epsilon_n$  の場合

$$\sigma(\epsilon_1) = \sigma(\epsilon_1) \dots \dots \dots (1)$$

$\epsilon_1 < \epsilon_n$  の場合

$$\sigma(\epsilon_1) = \sigma(\epsilon_{eq}) + c_1 (\epsilon_1 - \epsilon_n)^{B_1} (x/|x|)^{B_2} |x|^d \dots \dots (2)$$

$$x = 1 - (h_1/h_r)$$

$$d = |x|^p$$

$$\epsilon_{eq} = \epsilon_n + c_2 (h_1/h_r)^{B_2} (\epsilon_1 - \epsilon_n)$$

ここで,  $\sigma_1(\epsilon_1)$  はサイズが  $h_1$  の要素における歪み  $\epsilon_1$  の時の応力,  $\sigma_r(\epsilon_1)$  は参照応力 - 歪み関係から歪み  $\epsilon_1$  に対して求めた応力,  $\epsilon_n$  はネッキングが発生し始める歪み (異なる要素サイズに対する応力 - 歪み曲線が分かれ始める歪み),  $\sigma(\epsilon_{eq})$  は参照応力 - 歪み関係から歪み  $\epsilon_{eq}$  に対して求めた応力,  $\epsilon_1$  はサイズが  $h_1$  の要素の歪み,  $\epsilon_{eq}$  は  $\epsilon_1$  と等価になる参照サイズ  $h_r$  の要素における歪みである. さらに,  $c_1, B_1, c_2, B_2$  は材料によって決まる定数を表しており,  $h$  は  $\sqrt[3]{V}$  ( $V$  は要素体積) で表される要素サイズである. 本報で採用した SS400 に対しては,  $c_1 = 0.63, c_2 = 1.0, B_1 = 1.4, B_2 = 0.365, e = 0.5, P = -0.5, n = 0.4$  の場合において, 図3に示す応力 - 歪み関係と良好に一致する近似曲線を得ることができる. なお, ここで提案した関係式は, 同定した範囲外の要素サイズに対してもある範囲では外挿可能である. 参照される応力 - 歪み関係は要素サイズ  $h = 1.0$  mm とした. 本研究開発では, 計算する要素のサイズを検索し, その要素サイズに応じた応力 - 歪み関係を式(1), (2)で求めるサブルーチンとして陽解法有限要素解析ソフトに組み込んだ.

圧縮試験の計測及びシミュレーション結果からは引張側と

圧縮側のヤング率が同じであることがわかっている. しかし, 圧縮試験における荷重 - 変位関係は引張試験のそれと大きく異なる. 一方, 異なる要素サイズのモデルに対して同じ応力 - 歪み関係を用いた圧縮試験シミュレーションでは, 荷重 - 変位結果は一致する. これは圧縮試験ではネッキングが生じず, 局所的に急激な応力変化がないためである. このため, 引張時と圧縮時で異なる応力 - 歪み関係を用いた.

### 2.2 亀裂進展エネルギーに対する要素サイズの影響

亀裂先端部においては, 亀裂が進展するために新たな表面を作り出すためのエネルギーが必要とされ, このエネルギーが与えられたときに亀裂は進展していく. 亀裂先端部における有限な体積の要素においては, 要素に与えられたエネルギーが, その要素に蓄えられた歪みエネルギーと表面生成エネルギーの和に等しい時に要素が破壊し, 亀裂が進展する可以考虑することができる. 亀裂先端部近傍の局所的に急激な応力の変化を考えると, 一つの要素全体に亀裂を進展させるための単位体積若しくは単位質量当たりの要素平均エネルギーは, 要素サイズに依存することが明らかである. 加えて, 亀裂形状をモデル化する場合には要素サイズが極端に小さくなり計算時間の増大につながるため, 要素を取り除くことによる亀裂進展のモデル化が望ましい. このモデル化では亀裂先端部の正確な応力分布は扱えないため, ここでは亀裂進展エネルギーを材料特性としてモデル化し, そのエネルギーに対する要素サイズの影響を考慮する. この亀裂進展エネルギーを求めるためには, 異なる要素サイズのモデルに対してシミュレーションを反復して行い, 材料試験結果を再現する値を求める. 適切な材料試験としてシャルピー衝撃試験が考えられるが, (i)シャルピー衝撃試験片は非常に小さいため, 要素サイズの影響を考慮できるのは1 mm よりも小さい範囲に限定される. (ii)シャルピー衝撃試験では亀裂進展エネルギーに対して歪み速度が大きく影響する. そこで, シャルピー衝撃試験片に似た形状でサイズが大きな試験片を製作し, 準静的荷重による亀裂進展試験を実施した. 試験片の形状を図5に示す. 材料はSS400とし, 寸法は165 mm x 30 mm x 10 mm とした. またノッチは45度のVノッチとし, ノッチ深さは6 mm とした. ノッチ方向は板の面内方向としているが, これは船体の外板や船底などの板が衝突や爆発の

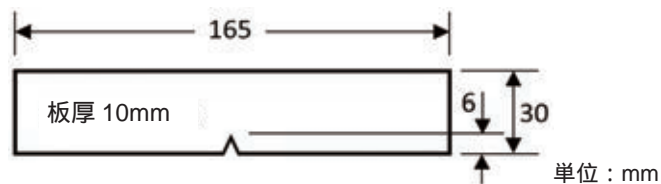


図5 亀裂進展試験片  
Rupture Test Specimen

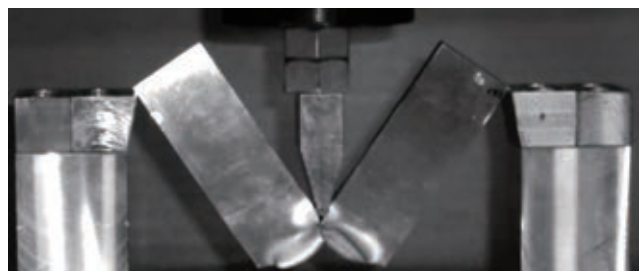


写真1 亀裂進展試験状況  
Rupture Test

衝撃で裂けることを想定しているためである。試験片は板厚 12 mm の板から機械加工して製作した。合計 6 個の試験片を製作し、3 個は圧延方向、3 個は圧延方向と直角方向から採取した。これらの試験片を用いることにより、(i) 3 mm の要素サイズまでシミュレーションすることが可能となり、(ii) 基準となる静的荷重に対する亀裂進展エネルギーを取得できる。圧延方向に採取した試験片に対する亀裂進展試験の状況を写真 1 に示す。

次に、この試験に対応したシミュレーションの結果を示す。要素サイズは 0.75 mm, 1.0 mm, 2.0 mm, 3.0 mm の 4 ケースとした。図 6 に要素サイズ 0.75 mm の試験片とサポート、荷重治具のモデルを示す。図には要素サイズ 3.0 mm の試験片モデルも合わせて示す。それぞれの要素サイズモデルにおいて反復シミュレーションを行い、試験結果を再現できる亀裂進展エネルギーを求めた。すなわち、試験における荷重 - 変位関係曲線を積分して得られるエネルギーの平均値を再現できる亀裂進展エネルギーを同定した。なお、破壊した試験片の形状は試験結果と良く一致した結果が得られた。これにより得られた要素サイズと亀裂進展エネルギーの関係を図 7 に示す。シミュレーションしていない要素サイズに関しては、図 7 の関係を用いて亀裂進展エネルギーを内挿し、若しくはある範囲までを外挿して求めることができる。

2.3 歪み速度パラメータに対する要素サイズの影響

材料の歪み速度は、その応力 - 歪み関係や亀裂進展エネルギーに影響を与える。ここでは、式(3)に示す Cowper-Symonds の関係式を用いてその結果を考慮した。

$$\sigma_d = \sigma_s [1 + (\dot{\epsilon}_p / D)^{1/P}] \dots \dots \dots (3)$$

ここで  $\sigma_d$  は動的な降伏応力、 $\sigma_s$  は静的な降伏応力、 $\dot{\epsilon}_p$  は塑性歪み速度、 $D$  と  $P$  は Cowper-Symonds の材料パラメータを表している。

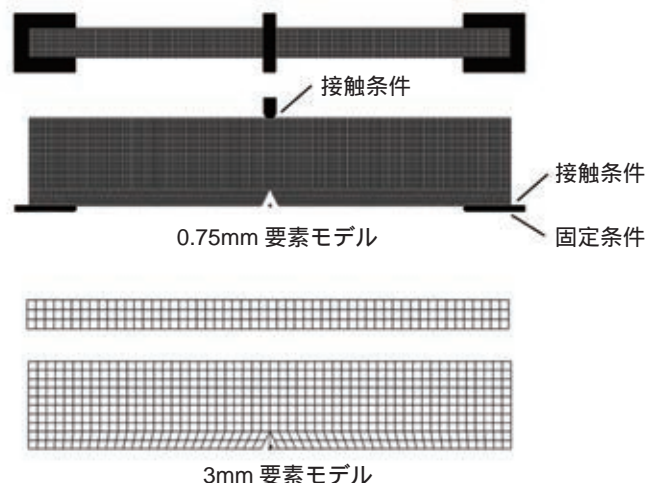


図6 シャルピー衝撃試験モデル(要素サイズ 0.75 mm, 3.0 mm)  
Charpy Impact Test Specimen Models with 0.75 mm Elements  
and 3 mm Elements, Supports and Loading Device

本研究開発では、検力ブロック式動的荷重試験装置<sup>9)</sup>を用いて、複数ケースの荷重速度による引張試験及び圧縮試験を行った。本試験機では、約 1 000 (1/s) までの歪み速度で材料試験を行い、応力 - 歪み関係を取得することができる。そして、それら試験の反復シミュレーションを行い、試験で得られた荷重 - 変位関係を再現できる  $D$  と  $P$  の値を同定する。その結果、使用した SS400 に対しては、引張、圧縮共に  $D = 4 039 (1/s)$ ,  $P = 5.807$  となることが分かった。これらの  $D$ ,  $P$  と静的荷重における応力 - 歪み関係式(図 3)を用いることにより、真歪み速度に対する降伏後の真応力を計算することができる。式(3)を用いた歪み速度に対する降伏後の真応力の関係を実験結果と合わせて図 8 に示す。図中における C-S が Cowper-Symonds 式で計算した結果を、Test が試験結果<sup>10)</sup>をそれぞれ示している。なお凡例における数値(0.05, 0.15, 0.25)はそれぞれ歪み値を表している。この図から分かるように、歪み速度が 0.1 から 10 の範囲においては、Cowper-Symonds 式で計算した応力と実験で求めた応力は良く一致している。一方、より小さい歪み速度域において式(3)は実験に対して応力を過小評価するのに対し、より大きい歪み速度域においては過大評価することが分かる。材料の歪み速度依存性に関する式に関しては、より良好に現象を再現する式がほかに提案されているが、これまでの実績が多く、パラメータの入力が容易な式(3)を用いることにした。

さらに、亀裂進展エネルギーに対する歪み速度依存性についても Cowper-Symonds の式を仮定し、式(4)を用いて評価した。

$$E_d = E_s [1 + (\dot{\epsilon}_p / DE)^{1/PE}] \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 $E_d$  は動的な亀裂進展エネルギー、 $E_s$  は静的な亀裂進展エネルギー、 $DE$  と  $PE$  は亀裂進展エネルギーに関する Cowper-Symonds の材料パラメータをそれぞれ表している。 $PE$  は式(3)で求めた  $P$  と同じ値(5.8074)の定数と

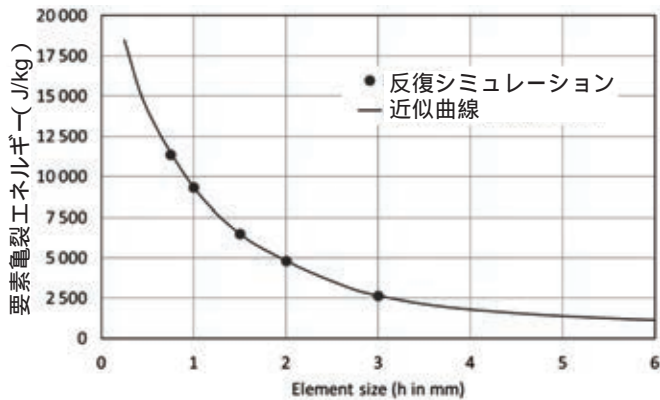


図7 破壊エネルギーと要素サイズの関係

Relationship between Element Size and Element Cracking Energy

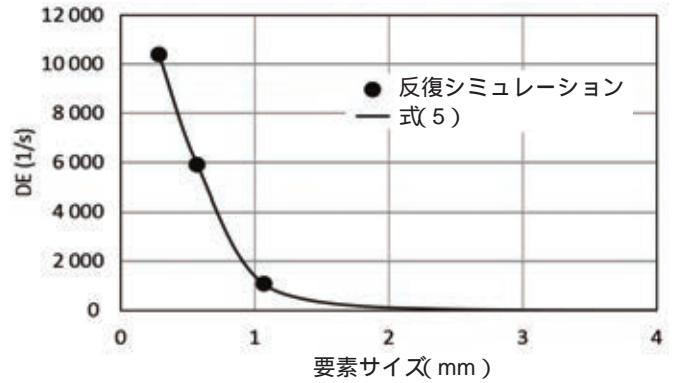


図9 DEと要素サイズの関係

Relationship between Element Size and Cracking Energy's Cowper Symonds Parameter DE

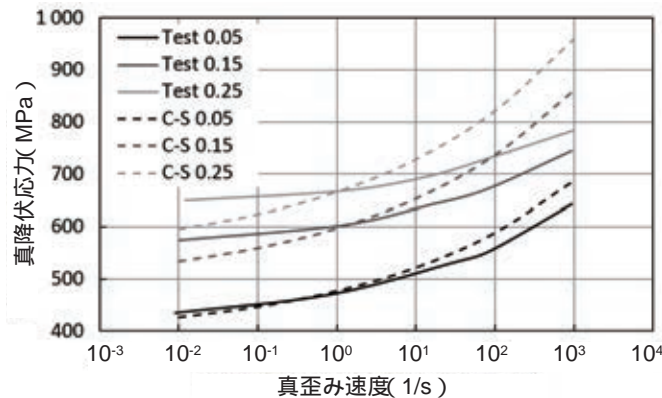


図8 降伏後の真応力と歪み速度の関係

Relationships between True Yield Stress – True Strain Rate

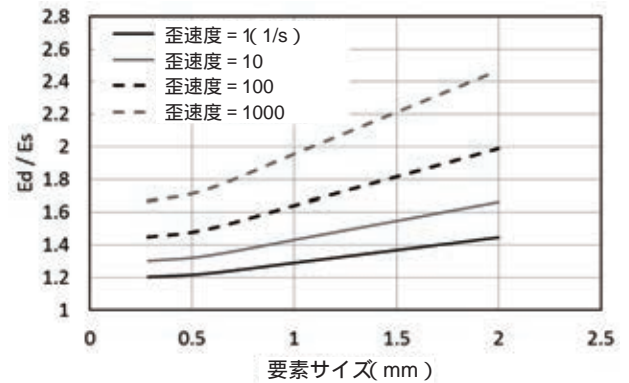


図10  $E_d/E_s$ と要素サイズの関係

Relationships between  $(E_d/E_s)$  and Element Size for Strain Rates from 0.1 to 100 1/s

仮定した． $DE$ を評価するために，シャルピー衝撃試験片を用いて準静的荷重の材料試験及びシャルピー衝撃試験を行った．試験片はサイズが55 mm×10 mm×10 mmのJIS規格に沿ったVノッチ切欠き試験片とし，他の試験と同様に板の圧延方向とその直角方向から2個ずつ採取した．さらに，この試験の反復シミュレーションを行い，試験において亀裂進展に費やされるエネルギーと同じ結果を得る $DE$ を同定した．なお，シミュレーションでは0.25 mm，0.5 mm，1.0 mmの要素サイズを採用した．図9に要素サイズと $DE$ の関係を示す．本手法では亀裂先端部において要素が破壊する際のエネルギーを考慮しているので，亀裂先端部の歪み速度影響も考慮した．ただし，ここでの $DE$ は要素内の平均エネルギーに対する平均歪み速度影響を表しており，亀裂先端部における同じエネルギー分布に対して，無限に大きなサイズの要素では平均歪み速度は小さくなる．このため，亀裂先端部で同じ歪み速度影響を得るためには，小さい $DE$ が必要となる．そこで，無限に大きな要素に対する $DE$ がゼロとなるよう，式(5)を用いてシミュレーションで得られた $DE$ の近似曲線を求めた．

$$DE = C/(h^n + e) \dots \dots \dots (5)$$

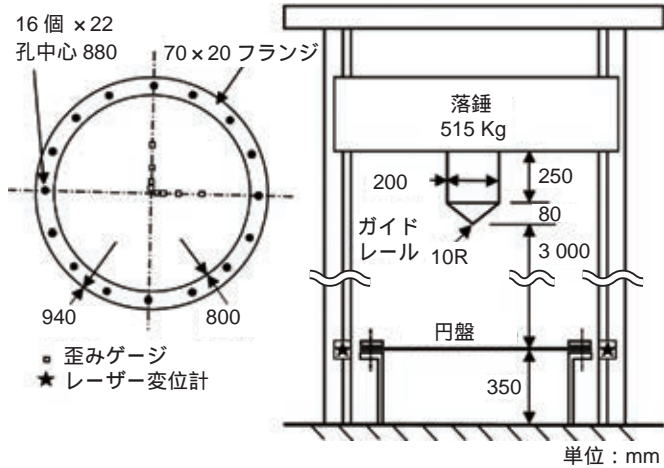
ここで $C, n, e$ は材料パラメータで， $C=1515.0, n=3.8, e=0.137$ となった．また $DE$ は1/sの単位を有する．

図9に示す $DE$ ，式(5)及び $P=0.5807$ を用いて， $E_d/E_s$ と要素サイズの関係を求めた結果を図10に示す．図には歪み速度1～1000(1/s)に対する値を曲線を示した．

これらの提案した材料モデルをサブルーチンとして汎用有限要素解析ソフトMSC.DYTRANに含めた．このサブルーチンにより，降伏応力の算出や亀裂先端部要素の破壊判定を考慮した．

### 3. 落錘試験シミュレーション

衝撃荷重下における鋼材の破壊に対する材料モデルの妥当性を確認するために図1(a)に示す装置で落錘試験を行った．試験装置の構造は図11に示すとおりであり，直径940 mm，板厚3.2 mmの円盤をSS400で製作し落錘試験装置に固定した．落錘は焼き入れしたSCM440で円錐形状とした．落錘の総重量は515 kgで，円盤上面の3000 mm上方から落下させた．落錘の変位を計測するために，レーザー変位計を用いた．レーザー変位計の計測範囲は200 mmであり，円錐の先端が円盤に接した瞬間から落錘の変位を計測するように配置した．



(a) 円盤・サポート構造詳細 (b) 試験装置の主要寸法

図 11 落錘試験装置  
Drop Test Setup

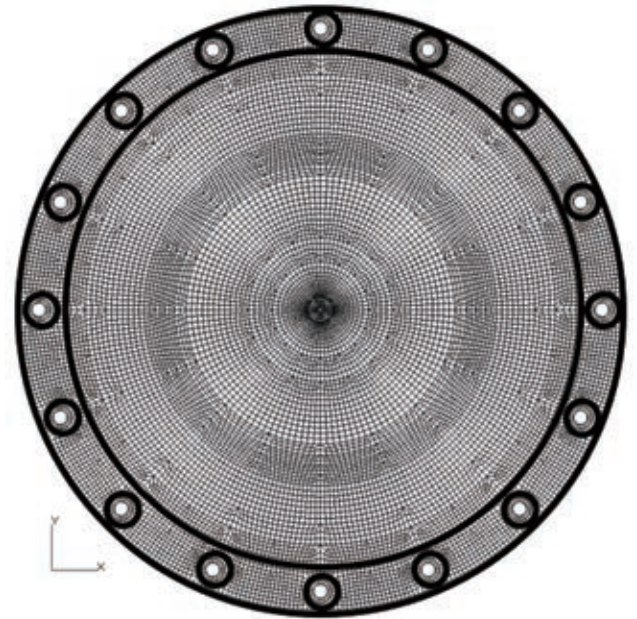


図 13 円盤の固定境界条件  
Circular Plate Boundary Condition

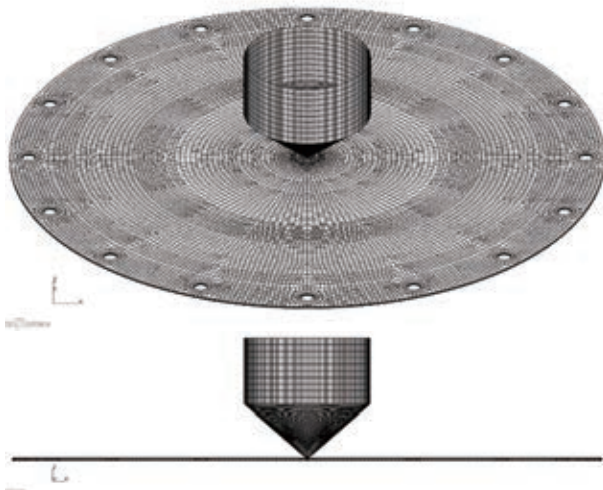


図 12 落錘と円盤のシミュレーションモデル  
Finite Element Model of Plate and Impactor

図 12 はシミュレーションで用いたモデルを表しており、円盤はソリッド要素でモデル化し、板厚方向に 3 分割 (約 1 mm)、面内方向には 1.5 ~ 4 mm で要素分割した。また落錘は実験と同じ重量の剛体としてモデル化した。そして、応力 - 歪み関係と亀裂進展エネルギーによる破壊判定及び 2. で述べた歪み速度影響についての手法を用いた。なお周囲に亀裂がない要素に対する最大塑性歪みによる破壊判定についても図 3 に示した応力 - 歪み関係式に対して考慮した。図 13 に太線で示すモデルの節点は固定条件を与えた。シミュレーションにおいては円錘先端の初期位置を円盤から 1 mm のみ上方に配置し、自由落下から得られる下向き速度 7.668 mm/ms (m/s) を初期条件として落錘に与えた。なお重力加速度 0.0098 mm/ms<sup>2</sup> も考慮した。

図 1(b)(c)に、破壊した円盤の試験結果とシミュレーション結果を示す。シミュレーションにおいては落錘が円盤の変形と摩擦により一旦停止した後にリバウンドする。図 1(c)

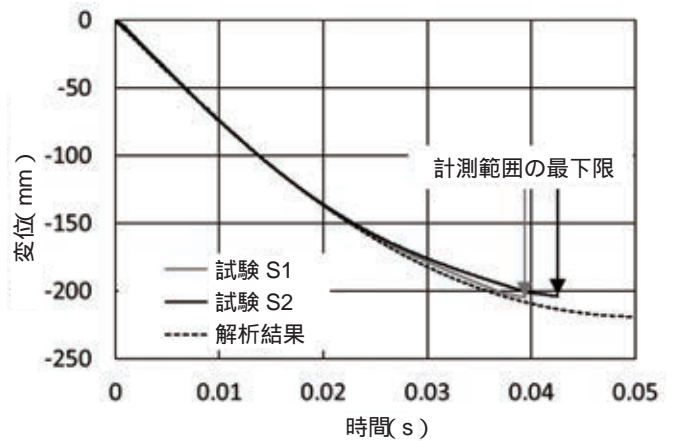


図 14 落錘位置時間変化  
Time Histories of Impactor Displacement

は落錘が最も下方にまで進んだ際の時刻 51 ms における変形図を表している。一方、試験においては落錘に対するストッパーを設置したため、最下位置に達する直前までの落錘の変位が計測されている。この図から分かるように亀裂は試験結果 (図 1 (b))と同様に 3 方向に進展している。ただし、シミュレーションにおける亀裂は試験よりも多く進展しており、円盤の曲げ変形は試験よりも広い範囲で生じる結果となった。図 14 は落錘の変位の時間変化に関する試験とシミュレーションの比較結果を表している。図から分かるように両者は良好に一致している。しかし、グラフの傾きで表される落錘の速度に関しては、時刻 0.02 秒以降において試験がシミュレーションと比べて減速していることが分かる。この結果と変形の違いを踏まえると、シミュレーションは試験よりも亀裂進展が早く進み、円盤の塑性変形が小さくなったもの

と考えられる．この原因としては，材料パラメーターを同定した要素のアスペクト比が1であったのに対して円盤モデルのアスペクト比が6であること，及び材料定数を求めた試験片を切り出した板と円盤を製作した板が異なることが考えられる．しかし，ストッパーに衝突するまでの落錘の速度については，実験とシミュレーションは良好に一致しており，本提案手法は材料の変形や亀裂進展に吸収されるエネルギーを良く再現できることが判断できる．

#### 4. おわりに

本報では，陽解法有限要素法を用いて衝撃的な荷重に対する材料の破壊挙動を効率的かつ精度良く予測できるモデルを提案した．このモデルにおいては，応力 - 歪み関係に対する要素サイズの影響及び歪み速度依存性，亀裂進展エネルギーによる破壊判定，亀裂進展エネルギーに対する要素サイズの影響及び歪み速度依存性が考慮されている．そして，一般的な鋼材であるSS400による引張・圧縮，シャルピー衝撃試験などの材料試験を行い，試験対応シミュレーションにより本モデルで使用する材料パラメーターを同定した．さらに，円盤に対する落錐試験を行い，シミュレーション結果との比較を行った．その結果，両者は良好な一致を示し，ここで提案した材料モデルが妥当であることを明らかにした．

今後は本モデルを更に発展させ，シェル要素に関する破壊モデルの開発を目指す．そして，これらの開発を製品の構造安全性評価に適用していく予定である．

#### 参 考 文 献

- 1) A. A. Griffith : The Phenomena of Rupture and Flow in Solids , Phil. Trans. R. Soc. Lond., A 221 ( 1921 ), p.163
- 2) G. Irwin : Analysis of Stresses and Strains near the End of a Crack Traversing a Plate, J. Appl. Mech. , 24 ( 1957 ), p.361
- 3) J. R. Rice : A Path Independent Integral and the Approximate Analysis of Strain Concentration by Notches and Cracks, J. Appl. Mech. , 35 ( 1986 ),

p.379

- 4) T. L. Anderson : Fracture Mechanics ( 2005 ), CRC Press
- 5) T. Belytschko , et al. : Elastic Crack Growth in Finite Elements with Minimal Remeshing , Int. J. Numer. Methods Eng. , 45 , 5 ( 1999 ), p.601
- 6) MSC.Software : Dytran 2013 Reference Manual , ( 2013 ), p.159
- 7) S. Ehlers , et al. : Strain and Stress Relation for Non-linear Finite Element Simulations, Thin walled Struc. , 47 ( 2009 ), p.1203
- 8) MSC.Software : Dytran 2013 User 's Guide ( 2013 )
- 9) 三村 . 外 : 検力ブロック式動的負荷試験装置の開発とその実験的検証 , 材料 , 45 , 8 ( 1996 ), p.939
- 10) 私信

#### 付録 陽解法の概要

陽解法とは，物理現象をシミュレーションする際に，現ステップの状態を基にして次ステップにおける解を求める方法の一つである．衝撃問題のように極めて短い時間に非線形性が強く現れる事象を解くことに適した手法である．ただし，安定した解を得るためには，安定条件を満たす時間刻みを適切に設定する必要がある．小さい要素サイズのモデルに対しては，時間刻みを小さくしなければならない．

#### [ 問い合わせ先 ]

技術開発本部 技術開発センター  
TEL 0863 - 23 - 3021 安田 章宏



安田 章宏



シェルフ ラシッド

製鉄所向け原料荷役用 3 000 t/h 橋形アンローダ  
- 新日鐵住金株式会社名古屋製鐵所に据付 -



写真1 アンローダ全景



写真2 高強度軽量グラブバケット

三井造船株式会社は、新日鐵住金株式会社名古屋製鐵所に橋形アンローダ1基を据付けた。今回据付したアンローダは、石炭及び鉄鉱石の荷役時において、3 000 t/hの荷揚げ能力を有する世界最大クラスのアンローダである(写真1)。

鉄の原料となる石炭、鉄鉱石は、穀物と共に三大バルク貨物と呼ばれ、世界的に物流量が多く、バルクキャリアと呼ばれる貨物船で輸送され、製鐵所や火力発電所などの工場岸壁等でアンローダにより荷揚げされる。

アンローダは荷揚げ方式により、グラブバケット式と連続式とに大別される。本アンローダが採用している前者の方式は、後者の方式に比べ、初期導入コストと保守コストのいずれも割安となるが、重量が大きい原料を掴んでいるグラブバケットが、アンローダ上の橋桁を移動するため、一般的には、アンローダの総重量が重くなる。しかし本アンローダでは、4ドラム駆動システムと軽量グラブバケットの採用により、総重量を抑制することを可能としている(写真2)。

当社は2014年に国内メーカーで初めて4ドラム駆動システムを開発、設計した。これまでに2基の4ドラム駆動システムを有するアンローダを製作し、今回が3基目となる。新日鐵住金株式会社名古屋製鐵所向けにはアンローダを更に1基受注しており、2019年に引き渡しを予定している。

国内に設置されている既存のアンローダは1960～1970年代製のものが多く、今後、老朽化に伴う更新が期待される。

特長

- (1) 4ドラム駆動システムの採用により、グラブバケット支持及び開閉並びにトロッコ横行の3つの動作において、駆動装置を兼用可能とし、使用ワイヤロープ本数及びロー

プ滑車(シーブ)などの部品点数を減らすことができ、ワイヤロープ交換の費用等のメンテナンスコストの削減を実現している。

- (2) 高強度軽量グラブバケットの採用により従来のグラブバケットから巻上荷重を約15%軽減させることで、アンローダ総重量及び電力消費量を削減し、アンローダの省エネルギー化を図っている。
- (3) 新日鐵住金株式会社の開発した、塗装周期延長耐食鋼“CORSPACE®”を鋼構造物の製作に用いており、構造物の長寿命化や再塗装などの修繕コスト減少が期待される。

主要目

石炭グラブバケット容量	: 50.0 m <sup>3</sup>
鉄鉱石グラブバケット容量	: 21.5 m <sup>3</sup>
つり上げ荷重	: 70 t
石炭荷役能力	: 3 000 t/h
鉄鉱石荷役能力	: 3 000 t/h
アウトリーチ	: 42 m
スパン	: 30 m
揚程	: 41 m
巻上速度	: 3.33 m/s
巻下速度	: 3.67 m/s
横行速度	: 3.67 m/s

〔問い合わせ先〕

機械・システム事業本部 運搬機システム営業部  
TEL 03 - 3544 - 3906 佐々木 皓

## 追分橋耐震補強工事 - 狭隘な施工ヤードにおけるロッキング橋脚の撤去・更新 -



写真1 既設橋脚(ロッキング橋脚)



写真2 更新後の橋脚

“追分橋”は滋賀県南部に位置し、昭和38年に供用を開始した名神高速道路の高架橋である。中間支点がロッキング橋脚となっており、橋脚の上下にヒンジ構造を有し、水平方向の上部構造慣性力を支持することができないため、大規模地震動に対して十分な耐震性能を確保できない状態であった(写真1)。耐震性向上対策を種々検討した結果、中間支点橋脚の耐震性向上、支承取替、落橋防止装置の設置などの耐震補強を行うことになった。

追分橋の下は、国道1号線と京阪電気鉄道京津線が通過する交通の要衝のため、高速道路のみならず、これらに対する安全確保と交通の維持が求められた。中でも特長はロッキング橋脚を撤去し、鋼コンクリート複合構造橋脚に更新する工事であった。本工事では、更新用橋脚を最初に設置した。橋脚の柱部はコンクリート造で、この上部に鋼製梁を設置する構造である。更新用の橋脚完成後、既設の橋脚を撤去する工程では、仮設構造物での支持を使用せず更新工事を進めた。

### 特長

#### (1) 狭隘な桁下空間における橋脚の建設

桁下空間が約8.0mの条件下で実施可能な施工方法を考案した。コンクリート造の基礎及び柱部の最下部を先行して施工した。鋼製梁は、既設のロッキング橋脚と干渉するため、半割構造として、中央ブロックを桁下高の制約を受けない位置で架設し、横取り・縦取り工法によって桁下の所定位置まで移動した。その後、先端側の梁のブロックをロッキング橋脚を挟むように架設し、中央ブロックと連結させた。

一体化した鋼製梁を油圧ジャッキおよび総ねじのPC鋼棒を用いた吊上げ工法で所定の高さまで吊り上げた。鋼製梁の設置後、最初に施工した柱基部との間のコンクリート脚柱を構築し、鋼製梁と脚柱を剛結して新設橋脚を完成させた。

#### (2) ロッキング橋脚撤去中の上部工の支持方法

橋脚の建設中は上部工をベント等で支持するのが一般的だが、より高い安全性が求められることから、仮設構造物での支持は適さないと判断し、先行して建設した新設橋脚に上部工荷重を移行した後、既設ロッキング橋脚を撤去する工法を採用した。本工法により、仮設構造物の設置が不要となり、安全性の向上及び作業の省スペース化が実現できた(写真2)。

#### (3) ロッキング橋脚の撤去

大型重機を使用できない桁下での作業であり、新設橋脚の梁を貫通しているロッキング橋脚を安全に撤去するために、撤去設備で支持しながら下部から逐次小ブロックに切断し、だるま落とし方式で撤去した。ロッキング橋脚には中詰めコンクリートが充填されていたため、ガス切断で外側の鋼管部を切断後、内部のコンクリート部を湿式のワイヤソー工法で切断した。撤去設備はロッキング橋脚の重量を吊下げ設備で支持するとともに、撤去中に不安定となる脚柱の転倒防止の機能も兼ね備えた構造とした。

なお、ここで示した橋脚更新工法は、西日本高速道路株式会社と共同で特許を出願し、登録済である。

### 主要目

工事名：名神高速道路 追分橋他1橋耐震補強工事

工事場所：滋賀県大津市追分町

発注者：西日本高速道路株式会社 関西支社

工期：自)平成24年6月28日 至)平成28年7月6日

(三井造船鉄構エンジニアリング株式会社)

〔問い合わせ先〕

建設本部 西部工事事部

TEL 06-6446-3101 青山 智明

# 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(名古屋三井ビルディング)	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	〒812-0036	福岡市博多区上呉服町10番1号(博多三井ビルディング)	TEL 092-291-0092
東九州支店	〒870-0027	大分県大分市末広町1丁目1番18号(ニッセイ大分駅前ビル)	TEL 097-537-9260
沖縄支店	〒900-0033	沖縄県那覇市久米2丁目4番16号(三井生命那覇ビル)	TEL 098-869-3135
玉野事業所	〒706-8651	岡山県玉野市玉3丁目1番1号	TEL 0863-23-2010
千葉事業所	〒290-8531	千葉県市原市八幡海岸通1番地	TEL 0436-41-1112
大分事業所	〒870-0395	大分県大分市日吉原3番地	TEL 097-593-3111

## 技術開発本部

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

海外事務所	北京, ジャカルタ, ハノイ
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(上海)商貿有限公司 MES タイ(バンコク) 三井造船アジア株式会社(シンガポール)

## 三井造船技報編集委員会

委員長	木戸口 晃
委員	木澤 厚夫 神 永 肇 難波 浩一 速水 礼 佐野 健一 村田 和俊 兼本 浩

## 三井造船技報

第218号

2017年(平成29年)1月31日発行

発行人	鳥井 幸典
発行所	三井造船株式会社 技術開発本部 〒104-8439 東京都中央区築地5丁目6番4号 TEL 03-3544-3266 <a href="http://www.mes.co.jp">http://www.mes.co.jp</a>
印刷	株式会社 MES ファシリティーズ 〒261-7128 千葉県千葉市美浜区中瀬2-6-1

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

万一、落丁・乱丁がありました節は、お取り替えます。

(非売品、無断転載を禁ず)



# 三井造船技報 第 218 号の発行に当たって

「三井造船技報」をご高覧いただき、ありがとうございます。

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

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

敬具

キ リ ト リ 線

FAX : 03 - 3544 - 3086

e-mail : gihojim@mes.co.jp

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

## 三井造船技報 送付先の確認と第 218 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，冷凍運搬船，ガス燃料船，LNG バンカー船，FSO，FPSO，FSRU，超高速貨物船，超高速カーフェリー，各種特殊船

修繕船，各種改造船工事，M & R エンジニアリング

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

自動艦位保持装置（DPS），システム操船装置，艦橋情報表示装置（ABS / IBS），舵減揺装置，船体運動状態表示装置（SMACS），航海情報表示装置，フィンスタビライザー，中折式デッキクレーン，赤外線低減装置，弾薬搭載機材，補機制御表示装置，機関操縦装置，水中放射雑音シミュレータ，防火防水実習場，各種訓練水槽，操船シミュレータ，船舶運航支援のポータルサービス，フリートモニタ，洋上風力用浮体基礎

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

船用ディーゼル機関

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

鍛造前誘導加熱装置（ピレットヒータ，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，複合材剥離検査器），レーダ探査サービス，水理実験設備，塔，槽，熱交換器，回転式乾燥機

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

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

LSS（ライフサイクルソリューションサービス：上記設備・機器の保守，改造用部品・機器の供給，性能改善・改造工事・延命工事などのエンジニアリング・サービスと施工），IT を活用した各種設備・機器のリモートモニタリングサービス・診断サービス・情報サービス，各種設備・機器の包括／一括メンテナンスサービス，各種技術サービス（運転及びメンテナンスにかかわる技術指導・工事指導・工事施工）

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

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

海外土木・建築工事全般，特殊構造物，風力発電設備工事

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

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

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

# 100<sup>th</sup> Anniversary

