

# 三井 造船 技報

平成 27 年 3 月 ■ 第 214 号

MITSUI ZOSEN TECHNICAL REVIEW No. 214 2015



三井造船の最新官公庁船



## Cover

### Latest Japanese Governmental Ships Built by MES

Mitsui Engineering & Shipbuilding (MES), has designed and built a lot of training, research, and patrol ships. Since the end of fiscal 2013, MES has delivered the following three Japanese governmental ships in succession:

- ①“Taisei Maru”, Training Ship for National Institute for Sea Training
- ②“Oshoro Maru”, Training Ship for School of Fisheries Sciences, Hokkaido University
- ③“Kii”, Patrol Vessel Large (PL) for Japan Coast Guard

In the description of the Products and Technology Explanation, you can find the technical features of these ships and how we solved the technical issues according to the missions of each ship based upon our evolving know-how.

## 表紙説明

### 三井造船の最新官公庁船

三井造船では、これまで数多くの練習船、調査船及び巡視船艇を設計・建造しており、2013年（平成25年）度末から連続して、以下の3隻の官公庁船を完成させ、船主に引き渡した。

- ①独立行政法人航海訓練所練習船“大成丸”
- ②国立大学法人北海道大学水産学部附属練習船“おしよる丸”
- ③海上保安庁巡視船“きい”

製品・技術解説では、これらの新造官公庁船について、その技術的特長を述べるとともに、当社にて連綿と受け継がれてきた官公庁船設計のノウハウを基に、それぞれの船のミッションに合わせて技術的課題を解決していることを示す。

# 三井造船技報

2015年(平成27年)3月・第214号

## 目次

### 製品・技術解説

三井造船の最新官公庁船.....	1
船舶・艦艇事業本部 岩寄 正城	

### 技術論文・報告

船舶の騒音及び水中放射音予測システムの開発.....	8
木村 校優 井上江里子 大越 茂宏 佐藤 功一 中原 亮一 鈴木 啓史 木下 達弥	

プラズマイオン注入成膜法による 耐腐食性及び耐摩耗性に優れた DLC 膜の開発 .....	13
滝澤 一樹 八木 伸暁 石原 修二 國次 真輔	

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.....	19
中嶋 幸子 庄 智裕 斉藤 政宏 中嶋 昭博 小倉 智	

### 製品・技術ニュース

風力発電設備の設置 - 新潟県胎内市“胎内風力発電所”の竣工 - .....	26
小型蒸気発電装置 Microsteam <sup>®</sup> の販売事業を開始 - 未利用水蒸気エネルギーで発電し, CO <sub>2</sub> 排出削減に貢献 - .....	27

# MITSUI ZOSEN TECHNICAL REVIEW

No. 214 MARCH 2015

## CONTENTS

<b>Products and Technology Explanation</b> .....	1
<b>Technical Paper and Report</b>	
Development of Prediction System for Ship Noise and Underwater Radiated Sound .....	8
<i>Koyu KIMURA, Eriko INOUE, Shigehiro OKOSHI, Koichi SATO, Ryoichi NAKAHARA, Hirofumi SUZUKI, Tatsuya KINOSHITA</i>	
Development of Anti-corrosive and Wear-resistant Diamond-like Carbon Film based on PB I I D Technique .....	13
<i>Kazuki TAKIZAWA, Nobuaki YAGI, Shuji ISHIHARA, Shinsuke KUNITSUGU</i>	
Development of Livestock Feed and Biogas Process utilizing Food Wastes as a Raw Material .....	19
<i>Sachiko NAKAJIMA, Tomohiro SHO, Masahiro SAITO, Akihiro NAKAJIMA, Satoshi OGURA</i>	
<b>Products and Technology News</b> .....	26, 27

# 三井造船の最新官公庁船

船舶・艦艇事業本部 岩 寄 正 城

## 1. はじめに

三井造船では、これまで数多くの練習船、調査船及び巡視船艇を設計・建造してきており、2013年(平成25年)度末から連続して、独立行政法人航海訓練所練習船“大成丸”，国立大学法人北海道大学水産学部附属練習船“おしよる丸”及び海上保安庁巡視船“きい”の3隻の官公庁船を完成させ、船主に引き渡した。

本報では、これらの新造官公庁船について、その特長と顧客要望等を実現するために行った設計及び開発について、建造実績船との関連を示しながら紹介する。

## 2. 練習船及び調査船

表1に、過去30年間に当社で建造した練習船と調査船の実績一覧を示す。

当社建造の練習船は、船員の育成に供される航海練習船と、漁業設備を持ち、漁業の実習や海洋調査及び研究に供される漁業練習船に大別される。前者は深江丸、弓削丸、鳥羽丸、銀河丸及び大成丸が、後者はうしお丸、海鷹丸、豊潮丸及びおしよる丸が該当する。なお、海鷹丸は船舶職員養成も行う。

航海練習船は、実習生の居住設備のほか、船員教育のための実習船橋や、実習生が講義を受けるための大教室が配置されることを特長とする。また、表1に示す漁業調査船と漁業練習船は、全て船尾にスリップウェイを持つトロール船型である。船底のソナードームには海洋調査のための音響観測機器を集中的に配置しており、調査観測時の水中放射雑音低減が求められる。また、調査観測時において低速で連続的に航行することから、高い操縦性能が求められ、高揚力舵等の操縦装置を装備していることを特長とする。例えば、平成3年竣工の開洋丸は、通常のディーゼル推進とは別に、音響調査のために電気推進も可能な仕様となっており、水中放射雑音の低減に特に配慮された調査船である。

このように、これらの船型は全て、時代に即した規則の変遷や技術の進歩を反映させつつ、各船の系統や背景を踏まえ、船主の要望を軸に設計が展開されてきた。

以下では、2014年(平成26年)に竣工した大成丸とおしよる丸について、当社で建造した銀河丸と旧おしよる丸(4代目、後述)と比較しながら、その特長について述べる。

### 2.1 大成丸

本船は、独立行政法人航海訓練所に所属する練習船で、船齢30年を超えた旧大成丸の代船として計画された。本船には新たなミッションとして、内航海運の船員高齢化及び船員不足を解消するために内航船員の確保と育成が掲げられ、内航用練習船として以下の基本構想を基に、既存の航海訓練所

の練習船とは異なる特長を持つ船型となった。

内航船コンセプトの採用

船体規模を内航船と同規模とし、かつ主要内航航路の通航と水深の比較的浅い地方港への寄港が可能となるように、従来の練習船よりも小型化する。

環境への配慮

省エネルギー、大気汚染防止、海洋汚染防止などの環境保護に関して将来を先取りした配慮をする。

複合訓練への対応

実機及び実物による実習とシミュレータ等との複合化による訓練効果向上を図る。

スペースの有効利用

少人数の複数グループによる実習を可能にするため、スペースの有効活用を図る。

表1 練習船と調査船の当社建造実績一覧

船名 (納入先)	船種	竣工
深江丸 (神戸商船大学 <sup>1)</sup> )	練習船	昭和62年10月
開洋丸 (水産庁)	漁業調査船	平成3年7月
うしお丸 <sup>2</sup> (北海道大学)	練習船	平成4年9月
弓削丸 (弓削商船高等専門学校)	練習船	平成6年3月
鳥羽丸 (鳥羽商船高等専門学校)	練習船	平成6年8月
若鷹丸 (水産庁東北水産研究所 <sup>3)</sup> )	漁業調査船	平成7年3月
海鷹丸 (東京水産大学 <sup>4)</sup> )	練習船	平成12年6月
啓風丸 (気象庁)	海洋気象観測船	平成12年9月
銀河丸 (航海訓練所)	練習船	平成16年6月
豊潮丸 (広島大学)	練習船	平成18年11月
大成丸 (航海訓練所)	練習船	平成26年3月
おしよる丸 (北海道大学)	練習船	平成26年7月

1 現 神戸大学

2 建造所は株式会社讃岐造船鉄工所

3 現 水産総合研究センター 東北水産研究所

4 現 東京海洋大学



写真 1 大成丸<sup>1)</sup>

表 2 銀河丸と大成丸の主要目比較

	銀河丸	大成丸
全長	116.40 m	91.28 m
幅(型)	18.00 m	15.50 m
深さ(型)	10.50 m	9.00 m
喫水(型)	6.10 m	5.00 m
総トン数	6 185	3 990
最大搭載人員	246 名	176 名
内)乗員及び 教官	66 名	56 名
実習生	180 名	120 名
主機関	2 サイクルディー ゼル機関 ×1	4 サイクルディー ゼル機関 ×1
連続最大出力	6 600 kW	3 000 kW
推進器	可変ピッチプロペ ラ(4翼) ×1	可変ピッチプロペ ラ(4翼) ×1
航海速力	18.0 ノット	14.5 ノット
航続距離	11 000 海里	7 000 海里
操舵装置	シリング舵 パウスラスト	シリング舵 パウスラスト

船楼甲板まで

写真 1 に本船の全景を示す。

本船の基本構想を基に、当社建造の銀河丸建造時の知見や最新の規則動向を考慮して基本計画を実施した。その結果、表 2 の主要目に示すように航海訓練所の練習船“銀河丸”とは異なり、船体は内航船クラスの比較的小規模なものに仕上げられている。さらに、図 1 に示すように、内航貨物船の船橋からの視界や操縦の感覚と類似させるために、航海訓練所の練習船として初めて船体中央部に船橋を配置することとなった。

主機関には内航貨物船で広く採用されている 4 サイクルディーゼルエンジン 1 基が、また、推進器として可変ピッチプロペラが装備されている。さらに、内航貨物船は通常タグポートなしで離接岸を行うため、本船も港内操船とその実習に配慮し、シリング舵とパウスラストを装備している。

### 2.1.1 船型計画

本船はコンパクトな船体に 176 名の乗員と実習生のための居住及び実習設備を擁し、更に環境性能に優れた練習船として船型計画が実施された。以下にその概要を示す。

#### (1) 復原性能

本船は規則の分類上は貨物船であるが、乗員と実習生の安全確保及び救命設備要件を軽減し、限られたスペースの有効

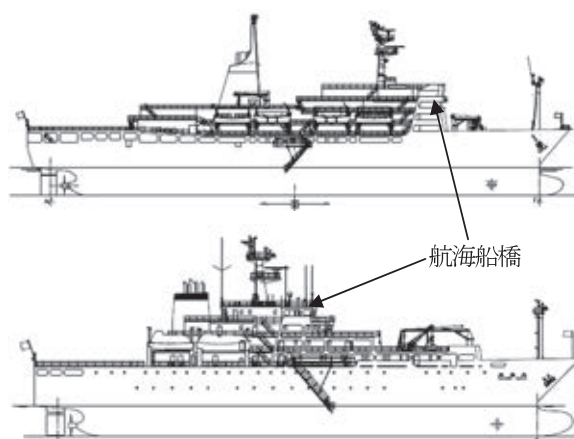


図 1 側面図比較 (上: 銀河丸, 下: 大成丸)

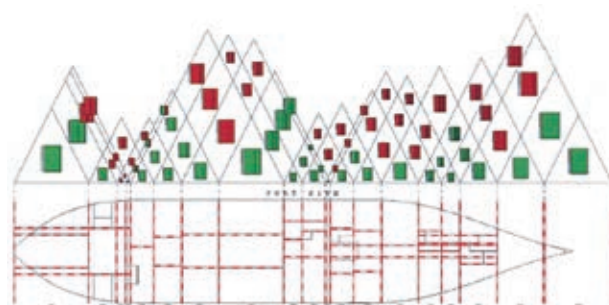


図 2 損傷特性図

活用を図るために、旅客船の損傷時復原性基準に準じた「特殊目的船コード」を適用することとなった。本コードは銀河丸でも適用されているが、本船では新たに IMO(国際海事機関)にて採択された「2008 特殊目的船コード」が当社建造船で初めて適用された。新コードでは、損傷時復原性に関して旧コードの決定論的手法から確率論的手法に変更され、安全性への要求も非常に厳しいものとなっている。確率論的手法では特殊乗船者(本船の場合 実習生 120 名が相当)を旅客と見なし、その人数に応じて旅客船規則に準拠した損傷時復原性が求められる。また、図 2 の損傷特性図に示すように、船全体の到達区画指数を計算し、この数値が規則により要求される要求区画指数を満足する必要がある。このため、本船は新コードに対応するために、以下のような様々な工夫が施されている。

主要目に関しては、深さを大きくとり、十分な乾舷と予備浮力を確保することとした。

また、水密隔壁配置に関しては、銀河丸に対して水密隔壁を 1 枚増加させる等の工夫により、実習生居室エリア及び実習区画内の水密隔壁の配置を回避することとした。このことにより、実習生居室エリア内の動線の確保及び実習生居室と実習区画とのアクセスを容易にすることを可能にした。また、縦隔壁は、損傷時の非対称性を排除するために極力配置しないこととした。なお、縦隔壁の配置が必要な場合には、浸水の非対称性による船体傾斜に関して、より厳しい旅客船の規則要件に適合させなければならないので注意を要する。

タンク配置に関しては、機能を損なわない範囲で長手方向に分割して損傷長さを細分化することで、損傷時の到達区画

指数改善を図っている。また、左右方向には、自由水の影響を最小化するために左右2分割もしくは左中右3分割のタンク配置としているが、一方で損傷時の非対称性を排除するために、船体の傾斜を抑制するクロスフラッティング装置を採用し、損傷時の横傾斜抑制を図っている。

#### (2) 推進性能

本船は(1)の復原性能を確保するとともに環境性能への配慮も求められており、推進性能の改善による省エネルギー化も重要な課題であった。このため、推進性能に関わる船型及びプロペラについても十分な検討を行った。

まず船型については、復原性能を確保するために船底傾斜を設け、推進性能を改善するために図3に示すように様々な船首バルブ形状をCFD(数値流体力学)にて検討し、造波抵抗が低減できるバルブを採用している。

また、快適な居住性と実習環境を確保するために、プロペラキャビテーションとプロペラ起振力抑制に配慮し、伴流分布が改善された船尾形状を採用している。さらに、プロペラ設計に際してもキャビテーション試験を実施し、キャビテーション性能とプロペラ効率改善の両立という観点から検討を進めた結果、快適な居住及び実習環境の実現とともに、推進性能の向上が図られている。

#### 2.1.2 機能要件と主要設備

本船は内航船員育成を目的とした練習船という観点から、その機能要件を満たすための設備を有している。以下にその概要を示す。

##### (1) 航海設備

本船には、航海船橋と実習船橋(写真2)の二つの船橋がある。実習船橋では、実習生が当直航海士(教官)に頼らず、自分で判断して船を運航する単独当直訓練を行うことができる。

また、実際に船を操船する機会は限られることから、これを補うために、実習船橋甲板に操船シミュレータが装備されている。

##### (2) 教育設備

本船には二つの教室があり、実習生食堂と図書室を兼ねた第1教室、その一層下に設けられた第2教室(写真3)から成る。また、教室やシミュレータのほかに各演習室が備えられ、船橋や機関室は20名程度の実習生グループが効率よく当直訓練を行えるように、機器配置などが配慮されている。

##### (3) 居住設備

実習生のための居室、食堂などの生活空間は上甲板上に集約された配置となっている。また、乗組員食堂は実習生食堂と調理室の一層上に配置されているが、配膳用リフトにて配

膳の動線を確保した配置となっている。

##### (4) 機関設備

機関室は、機関制御室、機関工作室、発電機室、主機室及び軸室から構成されている。

機関部装備は、実習生がグループで安全にかつ効率的に実習が行えるように、周囲に広い通路と実習スペースが確保されている。

機関制御室には、主機関及び可変ピッチプロペラのメインコンソール、主配電盤や重要補機器の集合始動機盤のほかに、50インチのグラフィックスパネルが装備されている。

また、静穏な船内の居住及び実習環境を確保するために、主機関及び主発電機関共に防振据付として船内騒音の低減に努めている。さらに、発電機室は防音壁により仕切られており、左舷区画に2台、右舷区画に1台の発電機が分散配置されているため、主発電機関が運転中であっても、別区画の停止中の発電機関での実習が可能となっている。

## 2.2 おしよる丸

おしよる丸は、北海道大学水産学部附属練習船として100年以上の歴史を持ち、4代目を1983年(昭和58年)に当社玉野事業所で建造した。2014年(平成26年)に、当所で竣工した代船(以下、本船と呼ぶ)が5代目となり、表層流網、イカ釣り、トロール及び延縄と言った漁業実習、海洋観測並びに調査研究に従事する。

本船の設計及び建造にあたっては、理想的な漁業練習船とするために、船主から以下のような設計方針が示された。

高い運動性能と耐航性能、良好な居住性を兼ね備えること

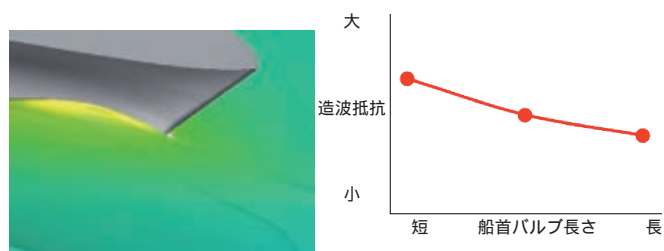


図3 船首バルブとバルブ長さの影響



写真2 大成丸の実習船橋<sup>1)</sup>



写真3 大成丸の第2教室<sup>1)</sup>

今後 30 年間使用することを前提に、耐久性を持たせるとともに、運用経費節減を実現すること  
 高い調査実習能力を持たせること  
 寒冷地対策を施すこと  
 従来以上に、学生の安全を確保すること

写真 4 に 4 代目の旧おしよる丸(以下、旧船と呼ぶ)、写真 5 に本船の全景を示す。また、表 3 に旧船と本船の主要目及び推進機関等主な仕様の比較を示す。

### 2.2.1 船型計画

旧船の耐航性が良好であるとの船主の評価と設計方針を踏まえ、本船の船型については以下のように計画した。

旧船同等の復原性を確保し、かつ、船体動揺を軽減する。旧船を上回る推進性能を持たせる。

実習、調査及び観測に支障をきたさないように、水中放射雑音を低減し、音響観測機器の泡切れを防止する。

本船も、旧船と同様に延縄及び流網漁業実習の作業効率に配慮し、船首楼後方に船首漁労作業甲板としてウェル甲板を設けており、乾舷が低いため、復原性の要件は厳しくなる。また、調査船や練習船では、復原性に配慮して居住区等の上部構造物を軽量化のためにアルミニウム製にすることがあるが、本船は北方海域での航行が想定されており、冬季に船体に着いた氷をハンマーで除去する際、構造にダメージを与えないように、上部構造は全て鋼製としており、これも復原性を厳しくする要因となる。

これらを踏まえ、まず船型を計画するに当たっては、船底の傾斜を旧船よりもやや大きくし、かつ、喫水付近の水線面積を広くすることで、浮心高さ(KB)及びメタセンタ半径(BM)を増すようにした。また、船底構造部材の増厚や固定バラストを打設することで重心降下を図り、旧船同等の横メタセンタ高さ(GM)を確保した。なお、本船の観測舷が左舷と定められていることから、煙突やケーシング等の大型構

造物が右舷側に配置され、重心が右舷側に寄る傾向にあるため、船体の重心の左右位置にも配慮して固定バラスト配置を決めている。また、ビルジキールを旧船よりも大幅に大型化し、更に減揺装置として、実習及び調査観測時の微速航行と漂泊に考慮して減揺タンクを、また通常航行時の減揺性能を高めるために、当社建造の官公庁船では初採用となる格納式フィンスタビライザを搭載し、船体動揺低減を図っている。写真 6 に、本船のフィンスタビライザ(格納状態)とビルジキールを示す。旧船の減揺タンクは固定周期型であったが、本船は可変周期型となり、本船の喫水変化に応じて変化する横揺れ周期に対応可能となるように設計されている。また、ビルジキールとフィンスタビライザは、船の重心からの距離が遠いほど減揺効果が高いため、長手方向に同一流線上に配置されることが多く、本船もそのような配置としている。その際、ビルジキールとフィンスタビライザが流体力学的に干渉し、フィンスタビライザの効果が減少することがあるため、これらの長手方向の配置には注意を要する。

推進性能の向上については、旧船にはなかった船首バルブを設けたほか、浮心の前後位置を推進性能上の最適位置とするために、清水及び燃料油タンク並びに固定バラストの配置

表 3 おしよる丸の新旧主要目比較

	旧おしよる丸	おしよる丸
竣工	昭和 58 年 12 月	平成 26 年 7 月
建造所	当社玉野事業所	当社玉野事業所
全長	72.85 m	78.27 m
幅(型)	12.60 m	13.00 m
深さ(型)	5.70 m	5.80 m
喫水(型)	5.00 m	5.00 m
総トン数	1 383	1 598
最大搭載人員	106 名	99 名
内)乗組員	40 名	32 名
研究者	6 名	7 名
学生	60 名	60 名
推進機関	4 サイクルディーゼル機関 × 1 基	三相誘導電動機 × 2 基
連続最大出力	2 350 kW/ 基	1 000/300 kW (2 速切替方式)/ 基
推進器	可変ピッチプロペラ (4 翼) × 1	可変ピッチプロペラ (4 翼) × 1
発電機	360 kW × 3	1 200 kW × 3 480 kW × 1
航海速力	13.4 ノット	12.5 ノット
航続距離	15 000 海里	10 000 海里
操舵装置	通常舵 × 1 パウスラスト × 1	フラップ舵 × 1 パウスラスト × 1
減揺装置	減揺タンク (固定周期型) × 1	減揺タンク (可変周期型) × 1 フィンスタビライザ (格納式) × 1
漁労装置	延縄, 流網, イカ釣り, トロール	延縄, 流網, イカ釣り, トロール



写真 4 旧おしよる丸(4代目)<sup>2)</sup>



写真 5 おしよる丸(5代目)<sup>3)</sup>





写真6 おしよる丸の格納式フィンスタビライザとビルジキール<sup>3)</sup>

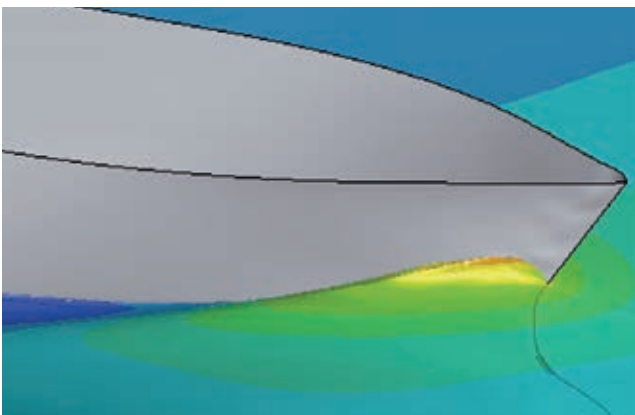


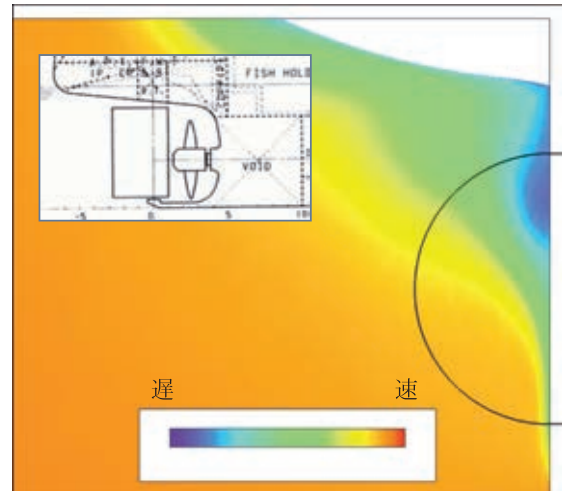
図4 船首波のシミュレーション例

に留意した。船首バルブは一般的に容積が大きい方が造波抵抗は減少する傾向にあるが、一方で、容積が大きいと船首波を攪乱して気泡を生じ、それが船底へ潜り込むことで音響観測機器の泡切れの原因となる。また、喫水付近の水線の角度も同様に造波抵抗と水面の攪乱に影響を及ぼす。このため、CFDによる船体周りの流れのシミュレーションと水槽試験を併用し、船首部形状を検討した。本船では、造波抵抗と水面攪乱のバランスを取り、船首バルブ形状を決定している。図4に船首波のシミュレーション例を示す。

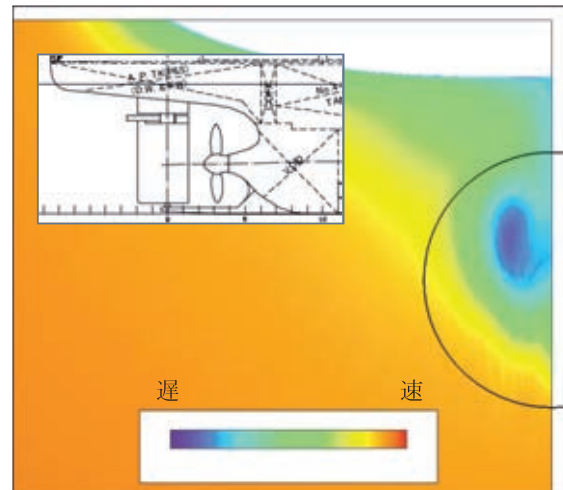
また、図5に船尾伴流分布の推定例を示す。分布は船体中心線より左舷側を示している。図中の半円内はプロペラの回転面を表す。図5(a)は旧船のような逆G型船尾の計算結果を表すが、プロペラ上方の水深の浅い船体中心線付近に、青や緑色で示された流れの遅い部分が比較的狭い範囲に存在することが分かる。プロペラの翼がプロペラの回転により、このような領域を横切ると、プロペラキャビテーションやプロペラ起振力により、水中放射雑音や振動を発生させ、実習や調査観測に悪影響を及ぼす要因となる。よって本船では、図5(b)に示すようなスターンバルブ形状を採用した。伴流推定結果を見ると、流れの遅い部分が比較的広く拡がり、均一化されていることが分かる。

### 2.2.2 推進及び操縦装置

本船のような漁業練習船は、実習及び調査観測時に音響観測機器を使用するために静粛性が求められる。さらに、実習



(a)逆G型船尾形状とその推定伴流分布



(b)スターンバルブ形状とその推定伴流分布

図5 船尾形状と伴流分布推定例

及び調査観測時は微速航行あるいは漂泊することが多く、高い操縦性が求められる。

推進機関は船の最大の騒音源になり得るため、旧船では低速ディーゼル機関を採用していたものを、本船では静粛性に優れた電気推進方式を採用している。図6に、本船の電気推進システム概念図を示す。ディーゼル発電機関で発生させた電力で推進電動機を駆動し、減速機を介して可変ピッチプロペラを回すシステムとなっている。推進電動機は三相誘導電動機で、冗長性を考慮して2基搭載しており、2速切り替え方式である。調査観測時は静粛性を高めるために、低速回転を使用し、出力を落とす。水中放射雑音及び船内振動と騒音の低減に配慮して防振支持された主発電機を3台搭載し、電力の使用状況に応じて稼働台数を変える。通常航海では2基を使用する計画で、発電機のメンテナンス性に配慮したものとなっている。電気推進システムでは、特に前進側から後進側へプロペラピッチを変更する際に、電動機が発電機と化して回生電力を発生することがあるため、特に注意を払う必要がある。本船については、海上公試にて回生電力が発生しないことを確認している。

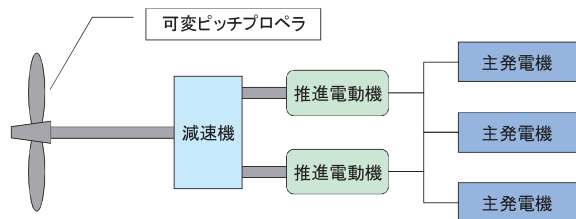
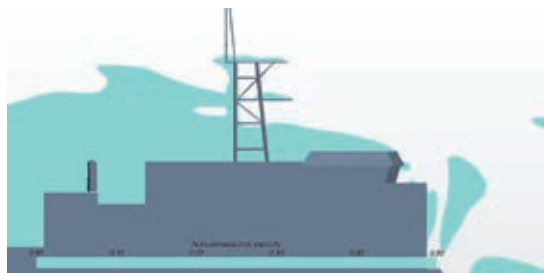


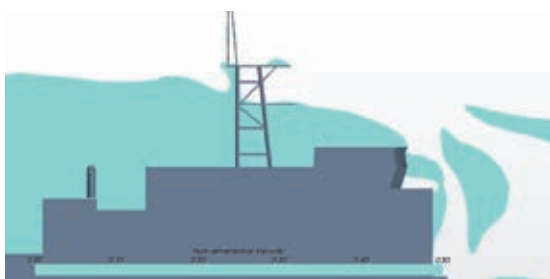
図6 おしよる丸の電気推進システム概念図



写真7 おしよる丸の船尾スリップウェイ  
(左は旧船<sup>2)</sup>, 右が本船<sup>3)</sup>でスリップウェイを起こした状態)



(a)ブルワーク頂部を折らない場合



(b)ブルワーク頂部を折った場合

図7 居住区周りの流れのシミュレーション例

プロペラについては、推進性能及びキャビテーション性能に配慮して、比較的直径の大きなハイスキュー可変ピッチプロペラを採用している。調査観測時の水中放射雑音低減に配慮し、低速回転で航行する際にキャビテーションが発生しない設計としている。船殻構造と同様に、北方海域の航海を考慮して、プロペラやプロペラ軸も日本海事協会鋼船規則のIC級耐氷構造規則に準拠したものとしている。同耐氷構造規則は Finnish-Swedish Ice Class Rules 2008 にて、プロペラに働く氷荷重の設定や翼厚の決定過程など大幅に見直されている。一般に耐氷構造規則を適用した場合、翼厚が厚くなりプロペラ自体の性能が低下する傾向にある。さらに、プロペラ回転時に翼が氷に当たった際、プロペラ軸を保護するような規則体系になっており、結果として翼根部の翼厚や展開面積が制限される。本船では、これまでの当社建造の漁業調査船よりも展開面積比を有意に小さくした上で、ピッチやキャンバー分布を工夫して、キャビテーション性能と推進性能のバランスを取った。

また、調査観測やトロールなどの漁業実習における微速航行、漂泊時及び港内操船における操縦性能に配慮し、舵力の強いフラップ舵を採用し、バウスラストとプロペラを複合的に使用して方位保持等を図るシステム操船装置を搭載している。舵面積については、船主より離着岸時に十分な横推力を発揮し、また、通常航海時及び観測時に旧船と同等以上の操縦性能を確保するよう特に要求があり、当社建造でフラップ

舵を採用した漁業練習船の実績を踏まえ、操縦性シミュレーションを実施の上、決定している。

### 2.2.3 甲板上の配置

甲板上では乗組員や学生が調査観測作業を行う。コンパス甲板で長時間、海域を移動しながら鳥類や鯨類の観測を実施することがあり、特に北方の航海において観測者は寒風にさらされる。これを少しでも緩和するために、旧船ではコンパス甲板前のハンドレールにキャンバスを付けて風除けとしていたが、本船ではコンパス甲板前端にブルワークを設け、更に銀河丸の実績を踏まえ、ブルワーク頂部を前方へ折り、船首からの風が弱まる範囲を増やした。図7に、効果を検証するために、無風状態の中を航海速度で走った場合の空気の流れをシミュレートした結果を示す。風力階級2以下となった範囲を水色で示す。(b)のブルワーク頂部を折った方が、コンパス甲板上の風の弱い範囲が広がることが分かる。

また、写真7に旧船と本船のトロール用船尾スリップウェイを示す。旧船はスリップウェイ上を開放していたが、本船ではスリップウェイ後部からの追い波打ち込みを防ぐために、当社建造の海鷹丸で採用された油圧起倒方式のスリップウェイを採用した。トロール作業を実施しない場合は、スリップウェイを起こして船尾外板として、船尾からの海水打ち込みを防止する。

## 3. 巡視船

表4に、過去30年間に当社で建造した海上保安庁向け巡視船艇の実績一覧を示す。これらの巡視船艇はサイズや推進システムも様々となっており、当社は多種多様な巡視船の建造実績を有している。

なお、電気推進システムを採用した大型測量船である“昭洋”は Ship Of The Year 98 を受賞している。

### 3.1 最新鋭巡視船の紹介

最近建造した2隻の巡視船を以下に紹介する。これらは特長や主要業務は異なるが、PL (Patrol Vessel Large) 型と呼ばれる大型巡視船である。PL型巡視船は当社で長年にわたり建造を継続している船型であり、今後も新型のPL型巡視船の建造が予定されている。

#### 3.1.1 巡視船“はてるま”

本船は、平成20年3月31日に竣工した1000トン型巡視船(拠点機能強化)の1番船である。推進方式にウォータージェット方式を採用し、高速化を図っている。

本船の主要目と航走時の写真を表5及び写真8に示す。

表4 巡視船艇の当社建造実績一覧

船名	竣工
もとうら <sup>1</sup>	昭和61年11月
せんだい <sup>1</sup> (現つるみ)	昭和63年6月
えちご	平成2年2月
おじか(現えりも)	平成3年10月
あしたか	平成6年9月
昭洋 <sup>2</sup>	平成10年3月
でじま(現くりこま)	平成11年10月
みずき	平成12年6月
のりくら	平成13年3月
いずなみ	平成15年3月
おいらせ	平成16年3月
かいもん	平成16年4月
あさま	平成16年4月
ほうおう	平成17年1月
はてるま	平成20年3月
はかた(現いしがき)	平成21年2月
よなくに	平成21年2月
もとぶ(現しもきた)	平成21年3月
くにながみ(現しれとこ)	平成21年3月
あまぎ	平成22年3月
すずか	平成22年3月
きい	平成26年7月
まつしま	平成26年9月

- 1 建造所は四国ドック株式会社  
2 測量船

表5 はてるまの主要目

全長	約89m
幅	約11m
総トン数	約1300
速力	27ノット以上
推進器	ウォータージェット4軸



写真8 航走中のはてるま

### 3.1.2 巡視船“きい”

本船は、平成26年7月31日に竣工した当社最新の巡視船(1番船)である。全管区へ配備されることを想定した汎用的な大型巡視船である。さらに、災害対応能力を強化した1000トン型巡視船として、曳航能力、輸送・給水能力、監視能力及び制圧能力の強化が図られている。

表6 きいの主要目

全長	約92m
幅	約11m
総トン数	約1250
速力	21ノット以上
推進器	プロペラ2軸



写真9 航走中のきい

本船の主要目と航走時の写真を表6及び写真9に示す。

## 4. おわりに

当社にて最近竣工した官公庁船について、技術的特長を建造実績船との関連を示しつつ述べ、当社にて連綿と建造してきた官公庁船のノウハウが受け継がれ、また、それを基に、それぞれの船のミッションに合わせて、船型計画等の課題を解決していることを示した。

当社では、今後もここに紹介した新造船の設計及び建造によって得られた知見、経験及び技術力を活かして、優れた官公庁船を世に送り出し、社会に貢献して行く所存である。

最後に、本報の執筆に当たって御協力を頂いた独立行政法人航海訓練所、国立大学法人北海道大学水産学部、海上保安庁、一般社団法人海洋水産システム協会の各位に対して謝意を表す。

## 参考文献

- 1)独立行政法人航海訓練所．外：独立行政法人航海訓練所“大成丸”，海洋水産エンジニアリング，116，(2014)，p. 57
- 2)北海道大学水産学部：http://www2.fish.hokudai.ac.jp/，(2014-12-19)
- 3)木村．外：北海道大学水産学部附属練習船“おしよる丸”，海洋水産エンジニアリング，118，(2014)，p. 63

共同執筆者：

- 高野浩太郎(2.1. 大成丸)  
菅嶋 孝一(2.1. 大成丸, 3. 巡視船)  
大庭 直樹(3. 巡視船)

〔問い合わせ先〕

船舶・艦艇事業本部 基本設計部  
TEL 03-3544-3522 岩寄 正城

# 船舶の騒音及び水中放射音予測システムの開発

木村 校 優\* 井上 江里子\* 大越 茂 宏\* 佐藤 功 一\*\*  
 中原 亮 一\*\* 鈴木 啓 史\*\*\* 木下 達 弥\*\*\*

## Development of Prediction System for Ship Noise and Underwater Radiated Sound

Koyu KIMURA, Eriko INOUE, Shigehiro OKOSHI, Koichi SATO,  
 Ryoichi NAKAHARA, Hirofumi SUZUKI, Tatsuya KINOSHITA

In recent ship design, reduction of vibration and noise is considered as an important issue with an emphasis on comfortability from the viewpoint of safety and health of ship staff in addition to the improvement of the propulsive performance and fuel-efficiency of ship in order to reduce the environmental impact. The result of such efforts for environment has become an important factor of the commercial value of ships. In IMO (International Maritime Organization) the code on noise levels, requiring the noise exposure generated from the engine room to be kept below a certain level, is adopted and is applied to the ship whose building contract is made after July 1st, 2014. Therefore, the noise prediction technique of ship has drawn attention.

Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd. (MES), has been performing research and development work on high-accuracy prediction system for ship noise and underwater radiated sound. In this paper, the overview and analysis of the developed prediction system are described. By comparison between measurement on board and calculation using developed prediction system, it has been confirmed that developed prediction system can be applicable to new ship design with good accuracy. And this system is also applicable to the prediction of underwater radiated sound.

近年の船舶設計において、環境負荷を低減するための推進性能と燃費の向上のみならず、居住性を重視した振動と騒音の低減が船の安全性や船員の健康面の見地から重要課題と認識され、商品価値を決める重要な要素となっている。国際海事機関IMO (International Maritime Organization)では、機関室等から発生する騒音及び船員の騒音暴露を一定値以下に抑える船内騒音規制コードが採択され、2014年7月1日以降の建造契約船からの適用が行われたことにより、船舶の騒音予測に対する対応が注目されつつある。

三井造船は、これまで船内騒音の予測技術の高度化と高精度化を目的とし、船舶の騒音及び水中放射音予測システムの研究開発に取り組んできた。本報では、開発した船内騒音及び水中放射音予測システムの概要と解析事例について紹介する。開発したシステムを用いて、船内騒音の予測解析結果と実船計測結果を比較した結果、良好な精度で船内騒音が予測できることを確認した。また、本手法は水中放射音の予測解析へも適用可能であることを確認した。

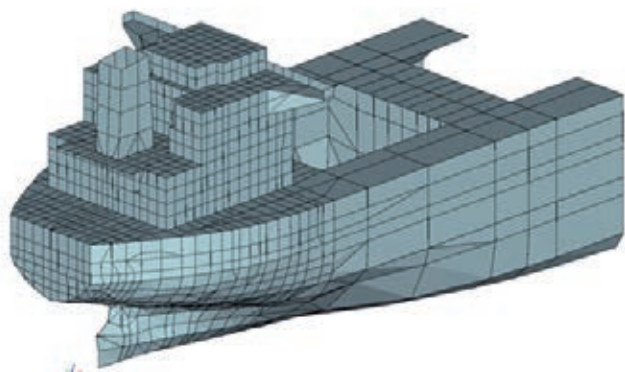


図1 ハンディーマックスバルカーの騒音予測解析モデル  
 Calculation Model for Sound Prediction Method  
 of Ship Noise for Handymax Bulker

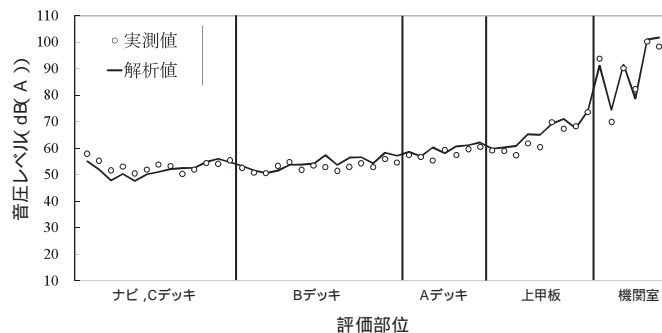


図2 船内各室での騒音レベルの比較結果  
 Comparison between Measurement in Cabin and Calculation  
 by Sound Prediction Method

\* 三井造船船島研究所 技術統括部

\*\* 技術開発本部 玉野技術開発センター

\*\*\* 船舶艦艇事業本部 基本設計部

## 1. はじめに

船舶のように大型機械を源として構造物から放射される騒音は、直接的な空気伝搬音のほか、固体伝搬の寄与が大きい場合も多く、その予測や低減は重要な課題となっている。固体伝搬音解析は、20 Hz ~ 20 kHz の広い周波数帯域の振動を対象とするため、振動モードに注目した振動解析法ではその扱いが困難となり、中及び高周波数帯域の計算に適している統計的エネルギー解析(Statistical Energy Analysis: SEA)法が有効とされる。

SEA 法は、複雑な船体構造を簡単な梁要素と板要素でモデル化し、構造物の各モードが持つ振動エネルギーは解析周波数帯域で一様に分布するという考えに基づく手法であり、広い周波数帯域において実構造物の実験結果に対応する計算結果を得ることができる。ただし、パワー(単位時間当たりのエネルギー)平衡方程式を解くため、SEA 法に用いるパラメータの評価方法は複雑で、かなりのノウハウを要する。

近年、SEA 法を用いた汎用音響解析ソフトウェアの開発が進み、設計技術者が設計ツールとして利用できる状況になりつつある。船舶の開発及び設計段階において、振動基準と騒音基準を同時に満足する高品質な船舶を実現するために、振動解析と音響解析による予測技術の高度化が求められている。

三井造船においても騒音及び水中放射音予測システムの開発を進めており、有限要素法モデルを基に船体構造の音響性能検討が可能なシステムを目標としている。そのため、音響材料特性データベースの構築とその適用による高精度化を行っている。本報では、開発したシステムの特長を紹介し、本システムを使用した騒音予測及び水中放射音予測の解析結果の一例を示す(図1, 図2)。また、船舶の騒音及び水中放射音を低減するための設計と検討ツールとしての有効性を示す。

## 2. 騒音及び水中放射音予測システムの概要

振動解析システムのソルバーには SEA 法を用いた汎用音響解析ソフトウェア VA One を採用した。本ソフトウェア



図3 騒音予測システムの解析手順  
Schematic Diagram of Noise Prediction System

で得られた振動解析結果を基に、船内騒音と水中放射音を算出する。

### 2.1 解析手順

騒音予測システムの解析手順を図3に示す。解析手順としては、有限要素法モデルから SEA 法モデルを作成し、各要素間のパワーフローを設定し、各要素に対応する振動源と材料特性を定義して、VA One により振動解析を行う。

船内騒音解析においては、求められた船体の振動と居住区内の音響材料特性及び空気伝搬音を考慮して、騒音を解析する。

水中放射音解析においては、振動解析によって求められた外板振動及びプロペラ放射音を考慮して、水中音圧分布を推定する。

### 2.2 解析モデル

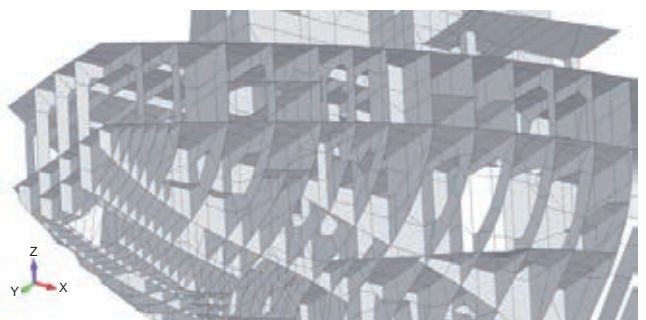
SEA 法の解析の信頼性を確保するためには、対象とする周波数帯域に存在するモード数が関係するため、適切な要素サイズの解析モデルを作成する必要がある。図4に示すように、より詳細な有限要素法モデルから SEA 法モデルを作成する時に、各要素を適切なサイズに修正する。全体的なモデル形状は有限要素法モデルと SEA 法モデルで概ね同一とし、振動源からの振動伝達経路を考慮してモデル化する。

### 2.3 音響パラメータ

解析に用いる音響パラメータは、主機やディーゼル発電機の振動特性、重量などである。これらは図5に示すように、モデル形状を作成した後、境界条件や音源データとして各要



a)有限要素法モデル



b)SEA 法モデル

図4 有限要素法モデルと SEA 法モデルの比較  
Comparison between FEM Model and SEA Model

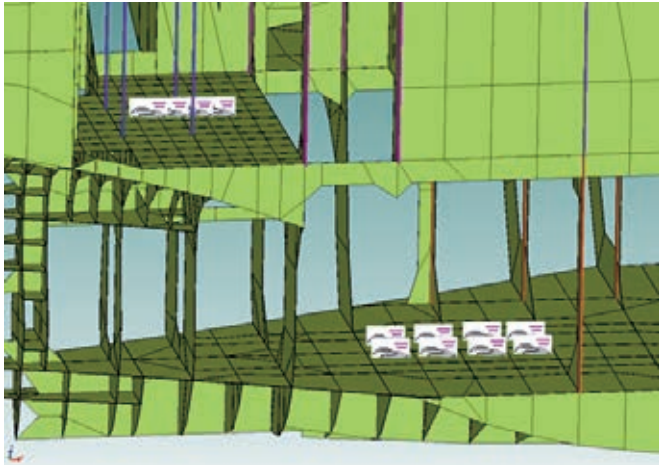


図5 音響パラメータの定義状況  
Definission of Acoustic Parameter

素に定義する．これらの音源データについては，各機器単体での実測データや実船での計測結果をデータベース化し入力値としている．特に，振動源から居室までの伝搬経路における振動減衰特性については，実船での計測データを蓄積し，チューニングすることによって求める．

#### 2.4 内装材の音響材料特性

VA One によって求めた区画壁面と床面の振動を用いて区画内の騒音レベルを計算する時に，壁面の音響材料データが必要となる．必要とする主なデータは，放射効率，吸音率及び透過損失である．

放射効率は，実船で用いている主な内装材の多孔質音響材料のパラメータを計測し，音響材料特性推定ソフトウェアによって計算して求める．

吸音率は，実船の居室における音響材料特性を計測する目的で導入したブリュエル & ケア (B&K) 社製の残響時間計測システムを用いて計算して求める．残響時間は部屋の持つ吸音特性に関係するため，残響時間を計測することでその居室の平均吸音率を算出することが可能である．

透過損失は，質量則によって計算した値を用いる．また，実船で計測を行い，質量則の計算結果と良い一致を示したことを確認した．

残響時間の計測は，写真1に示すような各機器を接続して行う．なお，写真1では騒音計とアンプは無線接続であるが，実船計測は有線接続で行った．ノイズ源は騒音計に内蔵されており，ピンクノイズをアンプで増幅してスピーカーから出力する．計測に用いた機材を表1に示す．

このように，実船の居室の音響材料特性を実測してデータベース化することにより，より高精度な予測が可能になると同時に，騒音対策効果を定量化するときにおいても有効である．

### 3. 騒音予測解析への適用

開発したシステムを用いて，騒音対策効果の確認及び追加対策の可否を検討した．また，予測解析結果と実船計測結果との比較により予測解析精度を検証した．

表1 残響時間の計測機材  
Lists of Sound Decay Masurement Apparatus

騒音計	B&K 社製，型番：Type2250
スピーカー	B&K 社製，型番：4292-L Omnipower
アンプ	B&K 社製，型番：2734-A Power Amplifier
残響時間計測ソフト	騒音計にインストール



写真1 残響時間計測システム  
Sound Decay Masurement Apparatus

#### 3.1 解析対象

対象船は，当社で連続建造しており，船上計測データを収集し易いハンディーマックスバルカーとした．

#### 3.2 解析条件

解析モデル化の範囲は機関室，居住区及び船倉部分として，有限要素法モデルから SEA 法に適した要素分割の SEA 法モデルを作成した．解析に使用したモデルを図1に示す．

板要素のサイズは3m×3m程度で，要素数は6815，節点数は4898である．

騒音源は，主機，発電機及びその他主要音源（主機過給機，主機排ガス管，機関室ファン，各種ポンプ，空調機器など）とした．音源が配置されている板要素には，振動速度レベルを入力した．また，板要素の材料特性として，損失係数と板厚を与えた．

#### 3.3 騒音予測解析結果

SEA 法により解析した振動エネルギー分布を，図6及び図7に示す．図6は主機からの振動エネルギーが支配的な100 Hzの分布を示しており，主機からの振動が居住区全体に伝搬していることが分かる．一方，図7は発電機からの振動エネルギーが支配的な1 kHzの分布を示しており，発電機からの振動が居住区後壁及び縦隔壁から伝搬していることが分かる．

主機，発電機などによる高周波振動を考えた場合，騒音レベルではA特性が考慮される．100 Hzの補正値は1 kHzの1/20であるため，図6及び図7の結果から高周波の影響が比較的大きくなることが分かる．このため，発電機による船体後方からの振動伝搬を正確に解析することが重要となる．このように，それぞれ個別の音源について，その振動伝搬の傾向を捉えることにより，効果的な対策の検討が可能となる．

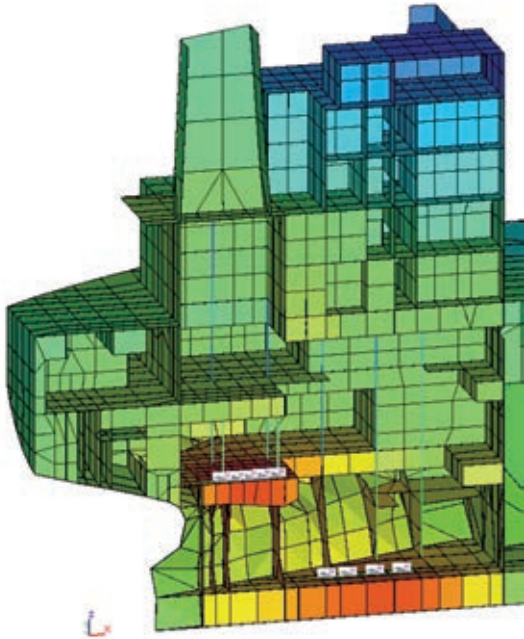


図6 振動エネルギー分布(100Hz)  
Distribution of 100 Hz Vibration Energy

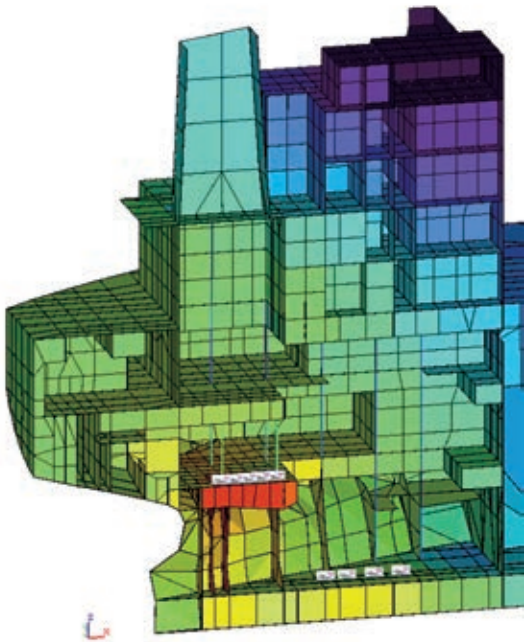


図7 振動エネルギー分布(1 kHz)  
Distribution of 1 kHz Vibration Energy

上甲板にある部屋における右舷側壁面の振動速度レベルの実測値と予測解析結果の比較を図8に示す。振動速度レベルとしては比較的良好な精度で予測されており、各機器からの振動伝搬と強度を定量的に捉えられていることが分かる。

機関室内と居室の騒音レベルは、SEA法で解析した板要素の振動速度レベルと居室の内装材の吸音率及び放射効率を用いて予測した。試運転時に計測した騒音レベルと予測解

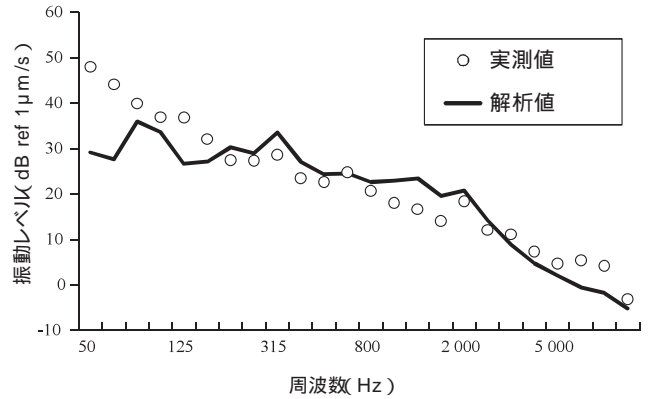


図8 壁面の振動速度レベルの比較例  
Difference of Vibration Speed Level  
between Measurement and Calculation

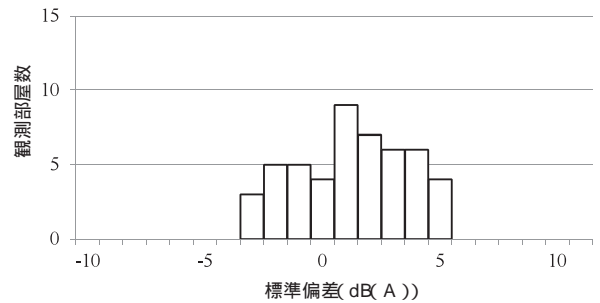


図9 騒音レベルの予測誤差  
Calculational Error of Noise Level

析結果を図2に比較して示す。騒音レベルの解析値と実測値の差に対する出現分布を図9に示す。機関室内及び居住区内居室の騒音レベルは、概ね $\pm 5\text{dB(A)}$ 以内の精度で予測できており、予測手法の妥当性が確認できた。

設計段階での騒音対策検討時には、適切な騒音源を選択することと対策効果のデータベースを準備することが必要である。前者に関しては、評価すべき騒音源を適切に選択することとその騒音源のデータの正確さが重要である。後者に関しては、様々な内装材の音響材料特性や機器防振、制振材の効果などを蓄積することが重要である。

これらのデータベースの構築及び精度向上のために、実船計測データの蓄積を行っている。

#### 4. 水中放射音予測解析への適用

##### 4.1 解析対象

解析対象船は練習船とし、試運転時の船体各部の振動速度レベルと水中放射音の予測解析を行った。予測解析結果と実船計測結果との比較により予測解析精度を検証した。

##### 4.2 水中放射音予測解析結果

水中放射音解析の場合には、重要な音源であるプロペラ放射音に関して、キャビテーション水槽での水中放射音計測を行うことにより、実船でのプロペラ放射音の音圧レベルを予測した。写真2にプロペラキャビテーション試験の状況を

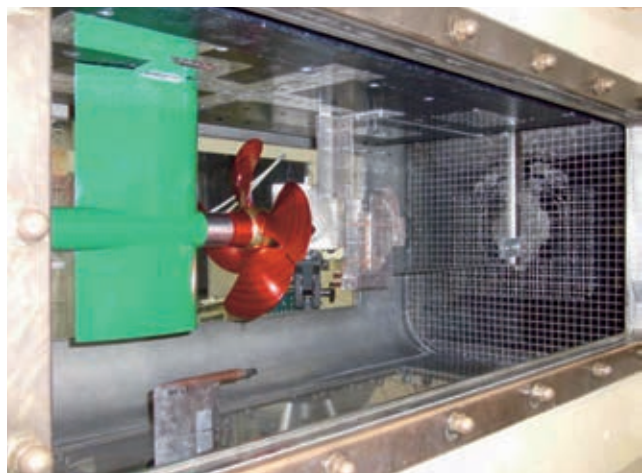


写真2 プロペラキャビテーション試験状況  
Noise Measurement Test in Cavitation Tunnel

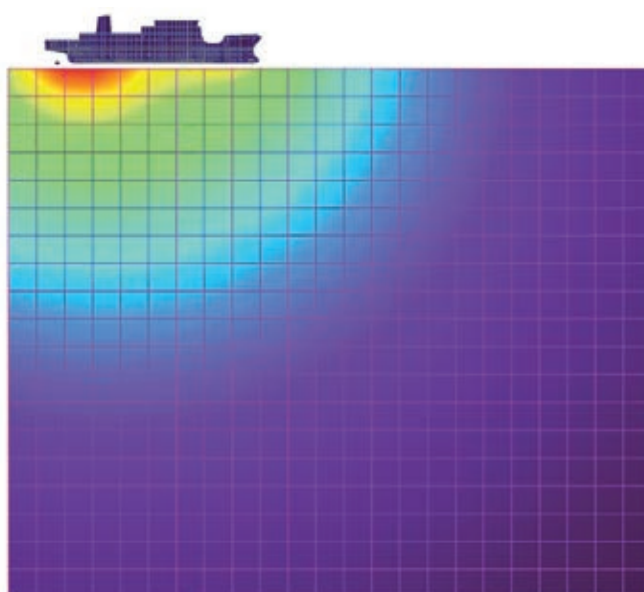


図10 水中放射雑音の試解析結果(32 kHz)  
Distribution of Sound Radiation from Ship(32 kHz)

す。ワイヤーメッシュスクリーン法により実船推定伴流をキャビテーション水槽内に再現し、所定の作動条件に対応した音圧レベルをハイドロフォンにより計測し、実船の騒音レベルとの相関を取ることによって解析用の音源として用いた。

次に、主機や発電機などの各種機器による振動が外板に伝搬する振動から放射される音源も考慮した。

プロペラ音源と各種機器の音源を考慮して解析した音圧レベル分布(32 kHz)を図10に示す。水中放射音は、船体後部に設置されたプロペラ及び機関室の外板から放射状に伝搬していることが分かる。

5. おわりに

汎用音響解析ソフトウェアと実測データを組み合わせて、効率的に船舶の騒音と水中放射音の予測が可能なシステムを開発した。開発したシステムを騒音及び水中放射音予測解析に適用した結果、実用的な予測精度を確保でき、設計ツールとして利用できることを確認した。

今後は、音響パラメータや音源データを収集してデータベース化することにより、より精度の高い予測システムの開発を進める。

参 考 文 献

- 1) 修理．外：船舶の騒音，日本マリンエンジニアリング学会誌，40，5(2005)，p. 71
- 2) 平川．外：船舶の騒音，水中放射音予測システム，日本船舶海洋工学会講演論文集，3(2006)，p. 377
- 3) S. Hirakawa, et al. : Noise Prediction System for Interior Ship Noise and Underwater Radiated Noise

- from Ship, Proceedings of TEAM2007, (2007), p. 99
- 4) 日本造船研究協会 第156研究部会：船内騒音に関する調査研究報告書，研究資料 No. 252,(1976)
- 5) Janssen, J. H, et al. : On Acoustical Designing in Naval Architecture, Proceedings of the Inter Noise '73, (1973), p. 349

〔問い合わせ先〕

(株)三井造船昭島研究所 技術統括部 船舶性能技術部  
TEL 042 - 545 - 3121 木村 校優



木村 校優 井上江里子 大越 茂宏 佐藤 功一



中原 亮一 鈴木 啓史 木下 達弥



# プラズマイオン注入成膜法による 耐腐食性及び耐摩耗性に優れた DLC 膜の開発

滝澤 一樹\* 八木 伸暁\*\* 石原 修二\*,\*\* 國次 真輔\*\*\*

## Development of Anti-corrosive and Wear-resistant Diamond-like Carbon Film based on PBIID Technique

Kazuki TAKIZAWA, Nobuaki YAGI, Shuji ISHIHARA, Shinsuke KUNITSUGU

Diamond-like carbon (DLC) film has been utilized for many industrial fields, especially car industries, since it has good mechanical properties, such as an increased wear resistance and a low friction coefficient. We developed plasma-based ion implantation and deposition (PBIID) equipment and deposition processes for the formation of DLCs on a stainless steel, which improves a wear-resistance of various mechanical parts, since the PBIID processes offer the treatment of three-dimensional (3D) workpieces with complex shapes. In addition, we can expect the DLC coating to have a characteristic of anti-corrosion. Also, we carried out Rockwell and scratch adhesion tests and have confirmed that the DLC film produced by PBIID processes had better adhesion against SUS304 base materials than conventional techniques such as physical vapour deposition (PVD) and plasma-enhanced chemical vapour deposition (P-CVD).

ダイヤモンドライクカーボン (DLC) 膜は様々な産業で利用されており、特に自動車業界では耐摩耗性や低い摩擦係数と言う特長から様々なエンジン部品で利用されている。三井造船では、エンジンなどの機械部品の耐摩耗性を向上させるために DLC コーティング装置の製作を行い、機械部品へ適用するためのプロセスの開発及び検討を行った。プラズマイオン注入成膜 (PBIID) 法は複雑な三次元形状に対しても DLC 成膜が可能であるため、様々な機械部品への適用が期待できる手法である。本報では、耐腐食性及び耐摩耗性に着目して PBIID 装置及びそのプロセスの開発を行い、他社製装置で成膜した DLC 膜と比較して、下地基材の SUS304 鋼に対する密着力が高いことを確認した成果を報告する。

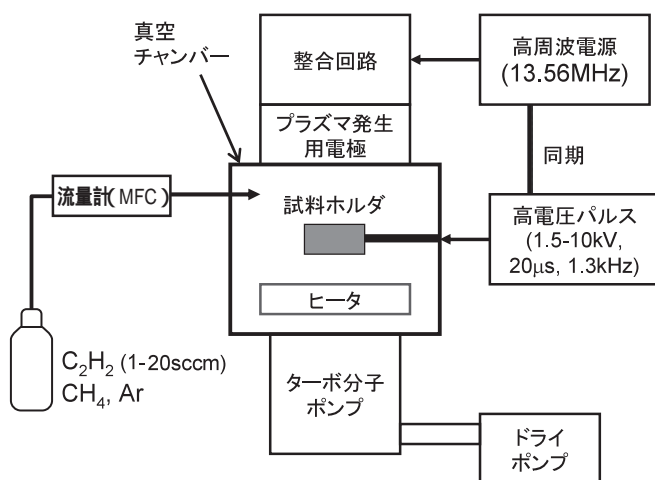


図1 DLC 成膜装置のシステム構成  
Systematic Diagram of DLC Deposition System



写真1 パイプ内面への DLC 成膜  
Example of DLC Inner Coating by PBIID

\* 技術開発本部 玉野技術開発センター

\*\* 技術開発本部 基盤技術センター

\*\*\* 岡山県工業技術センター

## 1. はじめに

ダイヤモンドライクカーボン(Diamond-Like Carbon : DLC)膜は、ダイヤモンドの  $sp^3$  結合とグラファイトの  $sp^2$  結合の両方を含むアモルファスカーボン膜である。特長として耐摩耗性、摺動性、化学安定性、ガスバリア性、耐焼付き性、生体親和性などの点で優れた特性を有するため、コーティング材料として適している。特に、優れた耐摩耗性と低い摩擦係数を有することから、機械部品及び自動車部品の保護膜としての需要が大幅に伸びている<sup>1)</sup>。

プラズマイオン注入成膜(Plasma-Based Ion Implantation & Deposition : PBIID)法は、一般的に複雑な形状基材への付き回りが良いことが知られている<sup>2)</sup>。プラズマの生成方法の違いにより主に三つの方法があり、

パルスバイアス電圧のみを基材に印加してプラズマを生成する方法

パルスバイアス電圧と高周波電力を重畳させて基材に印加してプラズマを生成する方法

パルスバイアス電圧を印加する基材とは別にプラズマ源を有してプラズマ生成を行う方法

に分類できる。本報の実験で用いた手法は 3) に相当するものであり、プラズマ生成のために別に誘導結合型プラズマ(Inductively-Coupled Plasma : ICP)源を有している。ICP源は、プラズマを用いた化学気相成長(Plasma-enhanced Chemical Vapor Deposition : P-CVD)法などの真空成膜プロセスではよく用いられる形態のプラズマ源であり、比較的高密度なプラズマ生成が可能であることが特長であるが、空間的に均一なプラズマ生成に課題がある。しかしながら、本報の開発で製作した ICP 源は通常のコイル型の ICP 源とは異なるブロック型の形状をしており、将来的に大型機材を処理するために大容積化が比較的容易にできる特長を有している。本報では、独自形状の高密度プラズマ源を用いた PBIID 法による DLC 成膜装置を試作し、摺動部品への適用をターゲットにした成膜プロセスの開発を行った結果を報告する(写真 1)。

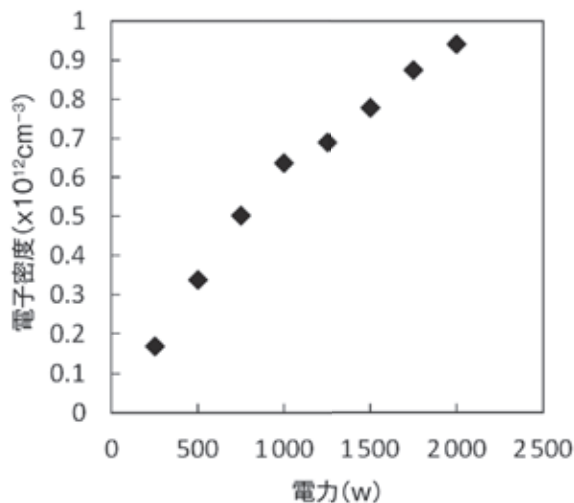


図2 誘導結合型プラズマ(ICP)源の電子密度  
Electron Density of ICP

## 2. DLC 成膜プロセスの開発

### 2.1 実験装置

図1は、DLC成膜のために製作したプラズマイオン注入成膜装置のシステム構成図である。装置は主にガス導入系、成膜室である真空チャンバー、ターボ分子ポンプとドライポンプからなる排気系、プラズマ生成用の高周波電源及び基材へのパルスバイアス電圧印加のための高圧パルス電源から構成される。真空チャンバー側面上部に設けられたガスインジェクタからプロセスガスであるアセチレン( $C_2H_2$ )、メタン( $CH_4$ )及びアルゴンガスをチャンバー内へ導入する。ガス流量はマスフローコントローラ(MFC)により調整されている。ガスはチャンバー下部より排気され、チャンバー内のガス圧力はガス流量とガス排気速度を調整することで制御できる。チャンバー上部にはICP源の電極が石英ウィンドウを介してチャンバー内部に取り付けられており、整合回路を介して周波数 13.56 MHz の高周波電力を投入することによりチャンバー内部にプラズマが生成される。高周波電力は連続放電あるいはパルス生成制御されており、DLC成膜はパルス印加時間 30  $\mu\text{s}$ 、繰り返し周波数 1.3 kHz の条件にて行った。基材へ印加する高電圧パルスは高周波電力パルスと同期されており、負極性バイアスピーク電圧 1.5 ~ 10 kV、幅 20  $\mu\text{s}$  で高電圧パルスが基材に印加される。基材はステンレス鋼のワークホルダーに設置されており、ワークホルダーにパルス電圧を印加することにより基材に電圧が印加される仕組みである。チャンバー内には加熱用のヒータが取り付けられており、DLC成膜前にヒータ表面温度を 400  $^{\circ}\text{C}$  に加熱してチャンバー内の水分を十分に除去する。成膜プロセス開始時にはヒータ表面温度を 50  $^{\circ}\text{C}$  まで低下させた。

### 2.2 プラズマの諸特性

図2は、本装置で生成されたプラズマの電子密度をラングミュアプローブを用いて計測したものである。ICP電極の下部表面より 20 mm 離れた位置での電子密度を高周波印加電力 250 ~ 2000 W の範囲で測定した。雰囲気ガスは Ar、ガス圧力は 2.6 Pa としたときのプロセス条件での結果である。測定した条件範囲では、電子密度は電力に対して単調に増加しており、 $1.7 \times 10^{11} \text{cm}^{-3}$  から  $9.5 \times 10^{11} \text{cm}^{-3}$  の電子密度が得られた。文献<sup>3)</sup>に記載されている既存の代表的な PBIID プロセスの電子密度は  $1.1 \times 10^{10} \text{cm}^{-3}$  であり、従来のプロセスよりも一桁以上高い電子密度でのプロセスが可能となる。一般に、電子密度が高いと基材周辺に形成されるイオンシースの厚さが薄くなるため、複雑な形状の基材に対しても付き回りのよい成膜が可能となる。

図3は、パルス放電終了後の電子密度と電子温度の時間的変化を、ラングミュアプローブ及び分光器を用いて評価した結果である。ガスは Ar、ガス圧力は 2 Pa とし、高周波電力は 300 W (瞬時値) のパルス放電を行い、放電終了後のアフターグローにおいて計測を行った。電子密度はアフターグローにおいてほぼ指数関数的に減少し、約 700  $\mu\text{s}$  後に一桁低下していく傾向が見られた。一方、プラズマの発光強度は、図3に電子密度及び電子温度と合わせて相対値で示したが、アフターグロー初期の約 15  $\mu\text{s}$  でほとんど観測されなくなり、

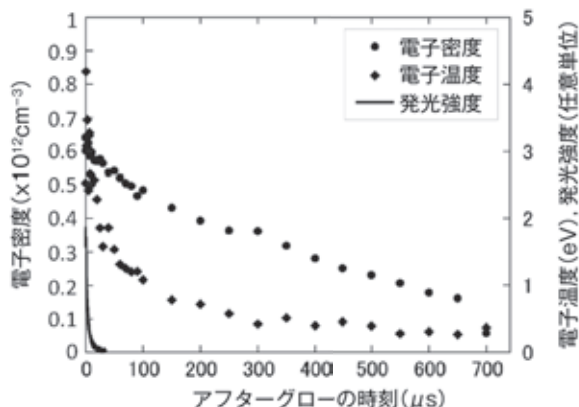


図3 アフターグローにおける電子密度と電子温度の変化  
Variations of Electron Density, Electron Temperature and Emission Intensity in Afterglow

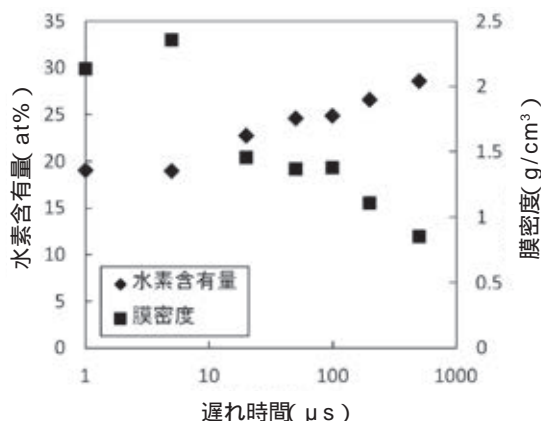


図4 DLC 膜の水素含有量及び膜密度とパルス印加遅れ時間の関係  
Hydrogen Content and Film Density vs. Delay Time Applying Pulsed Bias

それに伴って電子温度も急速に低下していった。このように、アフターグロー初期においてプラズマの特性が大きく変化しており、この期間でパルスバイアス電圧の印加タイミングを変化させることにより、DLC 膜の特性を変化させることができ、このプラズマの特性の変化を利用した DLC 膜のプロセス開発を行った。

### 2.3 DLC 膜の水素含有量及び膜密度の制御

図4はプラズマのアフターグロー期間中にパルスバイアスの印加時刻を変化させて、DLC 膜の水素含有量と膜密度を調べたものである。横軸はパルス放電終了時刻からパルスバイアス電圧印加時(中央時刻)までの遅れ時間を示し、縦軸は DLC 膜の水素含有量(C 原子数に対する H 原子数の割合)と膜密度を示している。水素含有量及び膜密度はグロー放電発光分光分析法(Glow Discharge-Optical Emission Spectroscopy: GD-OES)により評価を行った。GD-OESは本来薄膜の組成分析に用いられるが、DLC に関しては得られた C 原子と H 原子の発光強度比から水素含有量を、また、エッチングレートから膜密度を評価できることが明らかにされており、それぞれ弾性反跳検出分析(Elastic Recoil Detection Analysis: ERDA)及び X 線反射率法(X-Ray Reflection: XRR)のデータとの比較により検量線が引かれている<sup>4)</sup>。

試験結果では、パルスバイアス電圧の遅れ時間を 1 ~ 500 μs で変化させたとこ、水素含有率は 19 ~ 29 at% で変化し、対応する膜密度は 0.8 ~ 2.3 g/cm<sup>3</sup> の範囲で変化した。パルスバイアス電圧の印加時刻により DLC 膜質が変化する原因の詳細は明らかではないが、基材に入射するイオンエネルギーが変化することが考えられる。アフターグローにおいて、電子温度は急速に低下するため、基材表面に形成されるイオンシースと呼ばれる真空層は消滅する。その後、イオンの拡散により基材周辺のイオンの密度分布は一様に変化し、パルスバイアス電圧を印加した際に基材に入射するイオンの平均的なエネルギーが変化する。DLC 膜の sp<sup>3</sup>/sp<sup>2</sup> 結合成分比はイオンエネルギーと関係があることが知られており<sup>5)</sup>、その構造の変化が水素含有量や膜密度に影響を及ぼしていると推

測される。膜密度と膜硬度には相関があり、ナノインデンテーション試験により得られた膜硬度は膜密度が 1.7 g/cm<sup>3</sup> のときには 11 GPa であった。このように、パルスバイアス電圧の印加遅れ時間を変化させることで、DLC の水素含有量と膜密度を制御することが可能である。摺動部品などでは、比較的密度が高く硬い DLC 膜が利用されることが多いが、逆にそのようなコーティング膜は相手材への攻撃性が高くなるため、相手材の摩耗にも注意を向ける必要がある。本手法を用いれば、摺動部分に対して最適な膜硬度の DLC 膜を探索して提供することができる。

## 3. 摺動部品への適用に向けた DLC 膜の形成と評価

### 3.1 試料作製

摺動部品に適用する際に問題となるのは、基材に対する DLC 膜の密着性である。PBII 法は基材にカーボンイオンを注入することにより強固な傾斜結合層を形成することができるため、密着性の良い DLC 膜が形成可能であると言われている<sup>6)</sup>。そこで、下地基材として SUS304 鋼を用いて、その表面に強固な DLC 膜を形成するプロセスについて開発を行った。

図5に、試料の作製手順を示す。まず、表面研磨した SUS304 基材に対して Ar イオンクリーニングを行い、基材表面の酸化膜除去を行う。次に、DLC 膜の密着性を高めるために、基材表面にプラズマイオン注入(Plasma-Based Ion Implantation: PBII)を行う。PBII プロセスでは、ガスは CH<sub>4</sub> を用いて、パルスバイアス電圧を -10 kV に設定した。このプロセスにより基材表面から約 10 μm の深さに C イオンを注入することができ、SUS304 基材と DLC 膜とを強固に結合させることができる。最後に、ガスを C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> に変えて DLC の成膜を行う。本報の実験では、DLC 成膜条件としてパルス遅延時間を 20 μs 一定とした。

### 3.2 プラズマイオン注入による下地表面処理プロセスの評価

DLC 成膜を行う前に、下地基材の表面に強固な結合層を形成するプロセス条件の探索を行った。プラズマイオン注入時間を 30 分、60 分及び 120 分と変化させ、それぞれの時間

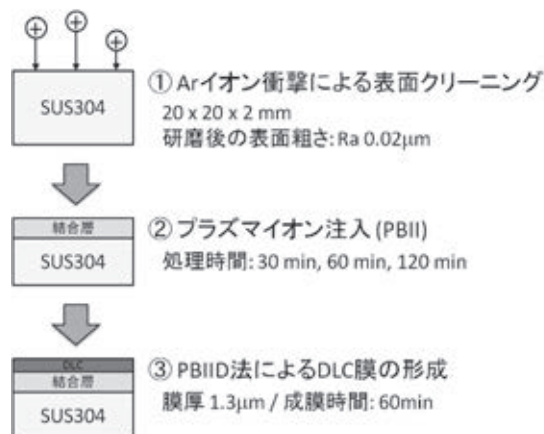


図5 試料作製手順  
Procedures of Preparing Samples

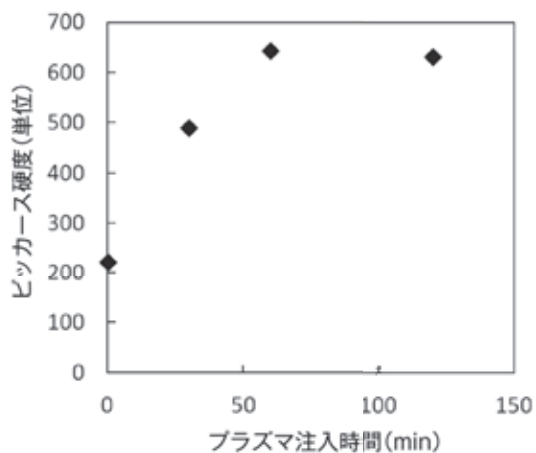
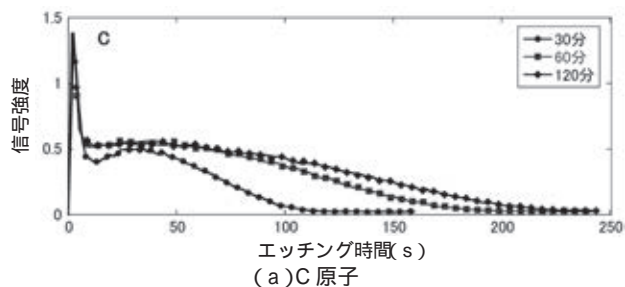


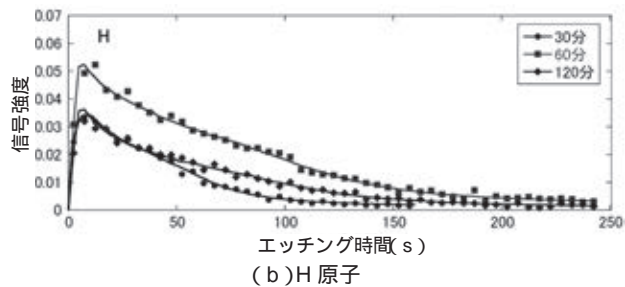
図6 プラズマイオン注入時間と表面硬さとの関係  
Hardness of SUS304 Surface vs. Ion Implantation Time

処理したときの基材表面状態の変化について調べた。図6は、プラズマイオン注入時間を変化させたときの基材表面の硬さをマイクロビッカース硬度試験機を用いて評価した結果である。横軸はプラズマイオン注入時間、すなわちPBIIプロセス時間を示し、縦軸はビッカース硬度を示す。PBIIプロセス時間が0のところはSUS304基材そのものの硬さを示しており、約220HVであった。プロセス時間の増加とともに硬さは増加していき、60分のときには650HVの硬さが得られた。また、120分処理を行った試料は、60分のときとほぼ同じ硬さであった。このように、PBIIプロセスにより基材表面に硬質層が形成されていることが分かる。

次に、PBIIプロセスにより基材表面へC原子などがイオン注入されていることを確認するために、それぞれの試料についてGD-OESにより元素分析を行った。図7は、GD-OESによるC原子及びH原子の発光強度の時間変化を示す。エッチング時間0のときはPBIIプロセス後のSUS304基材表面を表し、エッチングが進むにつれ深さ方向の分布が得られる。C原子はPBIIプロセス時間が30分と60分の場合で侵入深さが大きく異なるが、60分と120分では侵入深さに大きな違いは見られなかった。この結果は、図6の表面硬さ



(a)C原子



(b)H原子

図7 GD-OESによる注入された元素の深さ方向分布  
Depth Profiles of C, H Atoms by GD-OES

のデータとも相関があり、60分以上PBIIプロセスを行ってもイオンは侵入しなくなるため、表面硬さに違いが見られなかったものと考えられる。H原子に関しては、信号強度が非常に低いことから基材中ではほとんど存在していないことが分かる。注入原子の侵入深さについては、集束イオンビーム走査イオン顕微鏡(Focused Ion Beam-Scanning Ion Microscope: FIB-SIM)により断面観察を行ったところ、120分PBII処理を行った試料は、表面より約10 μmの深さまでSUS304の組織に変化が見られた。しかしながら、木下らの報告<sup>7)</sup>によれば、100 ~ 300 keVのイオンエネルギーでSUS301基材にTiイオンの注入を行った場合には、表面より250 nmの深さまでイオンが侵入しているため、本報で用いた10 keV以下の比較的低いイオンエネルギーでの注入深さは、より浅くなるものと思われる。そのため、このイオン注入層は、基材最表面に注入されたC原子がPBIIプロセスによって基材表面が加熱されたことにより、基材内部へ拡散して形成されていることが考えられる。

最後に、表面硬化層での結晶構造を調べるため、X線回折法(X-Ray Diffraction: XRD)による分析を行った。図8は、研磨後のSUS304基材、Arイオンクリーニングプロセス後の基材及び120分PBII処理を行った後の基材のスペクトルを示す。研磨後のSUS304基材のスペクトルでは、オーステナイト(111)、(200)及び(220)の結晶ピークと加工誘起マルテンサイトと思われる結晶ピーク(101)と(110)が観測されており、オーステナイトのピーク強度は変化するもののArイオンクリーニング後にも同じ位置で観測されている。

一方、PBIIプロセス後のXRDスペクトルでは、オーステナイトのピークが明らかにシフトしていた。シフト量から結晶格子間隔を評価したところ、約4 Å格子間隔が広がっていることが分かった。これはオーステナイト結晶構造の変化のために、基材表面の硬さが変化したものと思われる。このような拡張オーステナイト又はS相と呼ばれる構造は低温

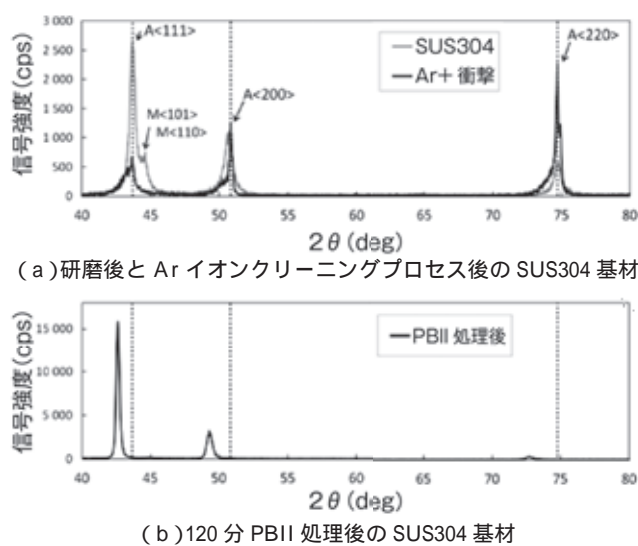


図8 X線回折による試料表面の結晶構造解析  
Analysis of Bonding Layer by XRD

表1 評価したサンプルの成膜条件  
Conditions of Evaluated Samples

	方法	水素含有量	膜厚
サンプル A	PVD	16.3 at%	0.70 μm
サンプル B	PVD	18.9 at%	1.7 μm
サンプル C	P-CVD	22.2 at%	1.6 μm
本報	PBIID	24 at%	1.3 μm

で浸炭や窒化処理をしたときに形成されることが知られており<sup>8)</sup>、イオン注入されたC原子が低温で基材内部に拡散することにより形成されたものと思われる。通常、DLCは下地基材に対して非常に硬いため、SUS304のような軟材料上にコーティングしたときには下地の変形に追従できずに皮膜の割れや剥離が生じる。そのため、下地表面に浸炭などの熱処理を行い、その表面を硬化させるようなプロセスを追加したり、DLC膜と下地基材との間にCr-Cのような中間層を形成したりする。このような表面処理は下地表面の耐摩耗性を向上させるのには有効であるが、基材の耐腐食性を劣化させることが考えられる。

本報で得られたように、PBIIプロセスにより基材を低温で硬化させた場合には拡張オーステナイト相が形成されており、オーステナイト相の耐腐食性を維持したまま基材表面を容易に硬化させることができる。PBIIにより基材の表面処理を行い、その上に化学的に安定なDLC膜をコーティングすれば、耐腐食性低下の原因となる皮膜のピンホールからの侵食に対しても耐性のあるコーティングが安価に実現できる可能性がある。

### 3.3 DLC膜の密着性の評価

#### 3.3.1 ロックウェル圧痕試験

DLC膜の密着性を評価する方法の一つに、ロックウェル圧痕試験がある<sup>9)</sup>。DLC膜に対するロックウェル圧痕試験では、ロックウェル硬度計を用いてダイヤモンド圧子を基

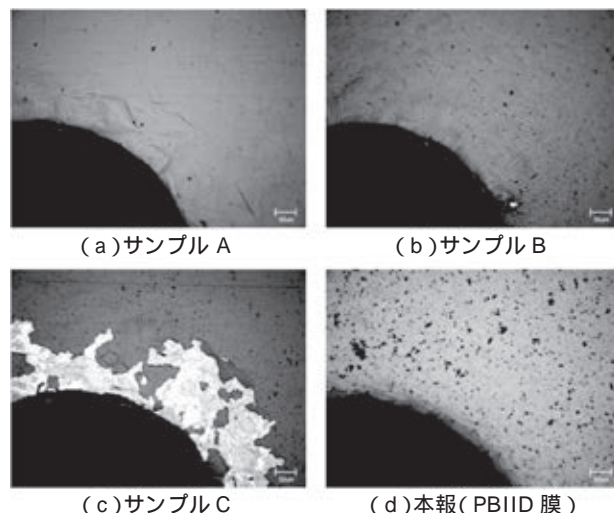


写真2 ロックウェル圧痕試験結果  
Results of Rockwell Adhesion Test

材に押し込むことによりDLC膜を破壊し、圧痕周辺部の剥離状態を観察することでDLC膜と基材との密着性を評価する。密着性の評価は、その剥離形態からドイツ技術者協会VDI3198及び国際標準規格ISO26443によりランク付けが規定されている。比較のために代表的な物理蒸着(Physical Vapour Deposition: PVD)法及びP-CVD法を用いて成膜された市販製品のDLCコーティング膜についても評価した。比較したDLC膜の水素含有量と膜厚の値を表1に示す。試料の膜厚はそれぞれの試料で異なっており、0.70 ~ 1.7 μmの範囲である。

写真2はロックウェル圧痕試験の結果であり、円形の圧痕周辺部分を高倍率で拡大したものである。試験条件として、負荷荷重は150 kgfとした。サンプルA、B及び本報のPBIID膜は若干圧痕エッジ部分に放射状のクラックが見られるものの剥離は生じなかった。一方、サンプルCでは、圧痕周辺部に大規模な剥離が生じているのが分かる。このように、ロックウェル圧痕試験の結果ではサンプルA、B及び本報のPBIID膜は密着性に問題がないことが分かった。

#### 3.3.2 スクラッチ試験

スクラッチ試験はロックウェル圧痕試験と同様に、DLC膜の密着性を評価する際によく行われる試験である<sup>10)</sup>。ダイヤモンド圧子をDLC膜に接触させ、荷重を加えながら移動させることでDLC膜に荷重を与え、その破壊剥離形態を観察して膜の密着性を評価する。試験条件として、先端頂角120°、曲率半径0.2 mmのダイヤモンド圧子を用いて、荷重負荷速度100 N/minとする一般的な条件を採用した。本報の実験で用いた最大荷重は50 Nである。

写真3にスクラッチ試験の結果を示す。それぞれ左から右方向へ荷重を増加させたところ、荷重が増加するにつれDLC膜の破壊が進展しているのが分かる。圧痕のエッジ部分に注目して全剥離荷重を決定し、それぞれの剥離荷重を比較したものを図9に示す。ロックウェル圧痕試験と同様に、サンプルCの試料は全剥離荷重が4 Nと最も低くなってい

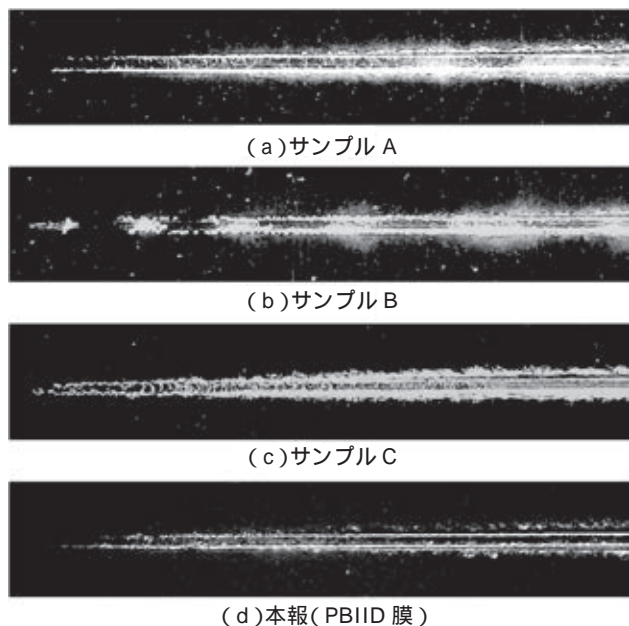


写真3 スクラッチ試験結果  
Results of Scratch Adhesion Test

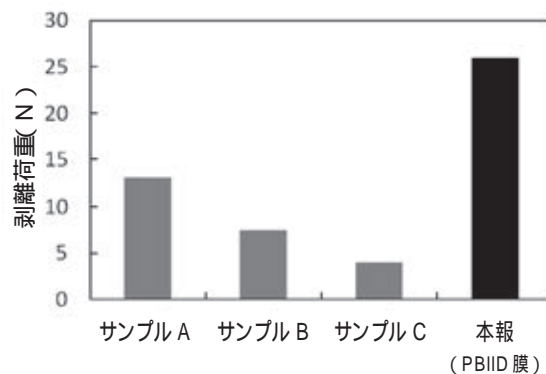


図9 スクラッチ試験における全剥離荷重の比較  
Adhesion Force of DLC Film Obtained by Scratch Test

た。試験ではPBIIDプロセスによるDLC膜が最も密着力が高く、全剥離荷重としては26 Nが得られた。既存の市販製品と比較しても、密着性においては同等以上の特性が得られていることが確認できた。

#### 4. おわりに

大容積プラズマ生成が可能なICPプラズマ源を用いたPBIID装置の試験機を製作して、DLC成膜プロセスの開発を行った。DLCの膜密度や水素含有量に関して制御性の高いプロセス条件が得られ、またSUS304鋼を基材にした強固な結合層の形成条件に関して検討を行い、密着性の良好なDLC膜を得ることができた。

現在、開発したPBIID法を応用した成膜技術として、筒形状基材内面へのDLCコーティングプロセスの開発を行っている。特殊な形状のプラズマ生成源を製作し、筒形状基材内部に高密度プラズマを生成させることで筒内壁に均一にDLC成膜ができるようになった(写真1)。

当社が行った調査では、円筒形状の内面に対するDLCコーティングは、筒の中央部における膜厚の低下やエッジ付近における密着性の低下が問題となっていた。しかし、本報で示した手法により、筒内面のエッジまで密着性の良いDLC膜が形成可能であることが確認できた。今後は従来困難であった円筒内面へのDLCコーティングの実用化を目指して開発を進めていく予定である。

#### 参考文献

- 1) 馬淵：DLC膜の自動車部品への適用，トライボロジスト，58，8(2013)，p. 557.
- 2) 鈴木：複雑三次元形状物へのパルスプラズマによる

- DLC成膜と産業応用，電学論B，127，2(2007)，p. 349.
- 3) Nishimura, et al. : A new PBIID processing system supplying RF and HV pulses through a single feed-through, Surf. Coat. Technol. 156(2002)，p. 50
  - 4) 國次．外：各種成膜法により形成したDLC膜の特性(2)，表面技術協会第129回講演大会講演要旨集，(2014)，p. 176
  - 5) Yamamoto, et al. : The sp<sup>3</sup> bond fraction in carbon films prepared by mass-separated ion beam deposition, Diamond and Related Materials, 10(2001) p. 895
  - 6) 八束：プラズマイオン注入成膜法の特徴と高密着性DLCコーティング，プラズマ応用化学，16，2(2008)，p. 1
  - 7) 木下：SUS301鋼におけるイオン注入によるマルテンサイト核形成，日本金属学会誌，72，8(2008)，p. 631
  - 8) 榮川．外：オーステナイト系ステンレス鋼に対する低温プラズマ窒化・浸炭処理，大阪府立産業技術総合研究所報告，25(2011)，p. 29
  - 9) 國次 外：各種成膜法により形成したDLC膜の密着性(1)，表面技術協会第130回講演大会要旨集，(2014)，p. 87
  - 10) 三浦．外：各種成膜法により形成したDLC膜の密着性(2)，表面技術協会第130回講演大会要旨集(2014)，p. 89

〔問い合わせ先〕

技術開発本部 玉野技術開発センター  
TEL 0863 - 23 - 3001 滝澤 一樹



滝澤 一樹 八木 伸暁 石原 修二 國次 真輔

# 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

中嶋幸子\* 庄智裕\* 斉藤政宏\*  
中嶋昭博\*\* 小倉智\*\*

## Development of Livestock Feed and Biogas Process utilizing Food Wastes as a Raw Material

Sachiko NAKAJIMA, Tomohiro SHO, Masahiro SAITO, Akihiro NAKAJIMA, Satoshi OGURA

For countermeasures of global warming and resource depletion, the utilization of biomass as a renewable resource has become socially important. Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd. is working on technology and business that can contribute to a recycling-oriented society and reduce the environmental load. The “livestock feed and biogas process” has been developed as one of such. This process separates food wastes into a solid and liquid, wherein, the solid makes the livestock feed and the liquid is used as a raw material for methane fermentation. This process will reduce the burden of conventional equipment by selling power out of biogas generation using methane fermentation under feed-in tariffs in (FIT) plan. This new process with an improved economic feasibility was delivered to and introduced by Sanzo Organic Recycle Co., Ltd (SOR). Its construction and commissioning was completed in 2013, and the selling of electricity under FIT plan started in March 2014.

資源枯渇や地球温暖化問題への対策として、再生可能な資源であるバイオマスの利活用が社会的要請となっており、三井造船においても、環境負荷の低減や資源循環型社会へ貢献できる技術開発と事業に継続的に取り組んでいる。その一つとして、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、固形分は飼料化し、分離液はメタン発酵の原料として利用する。これにより、飼料化設備及び排水処理設備への負担を軽減するとともに、メタン発酵槽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)を活用して売電することで、事業性を向上させることができる。開発したプロセスは、既に飼料化設備の追加設備として三造有機リサイクル株式会社(SOR)に導入されており、2013年度の建設工事と試運転を経て、2014年3月よりFITを活用して売電を開始している。

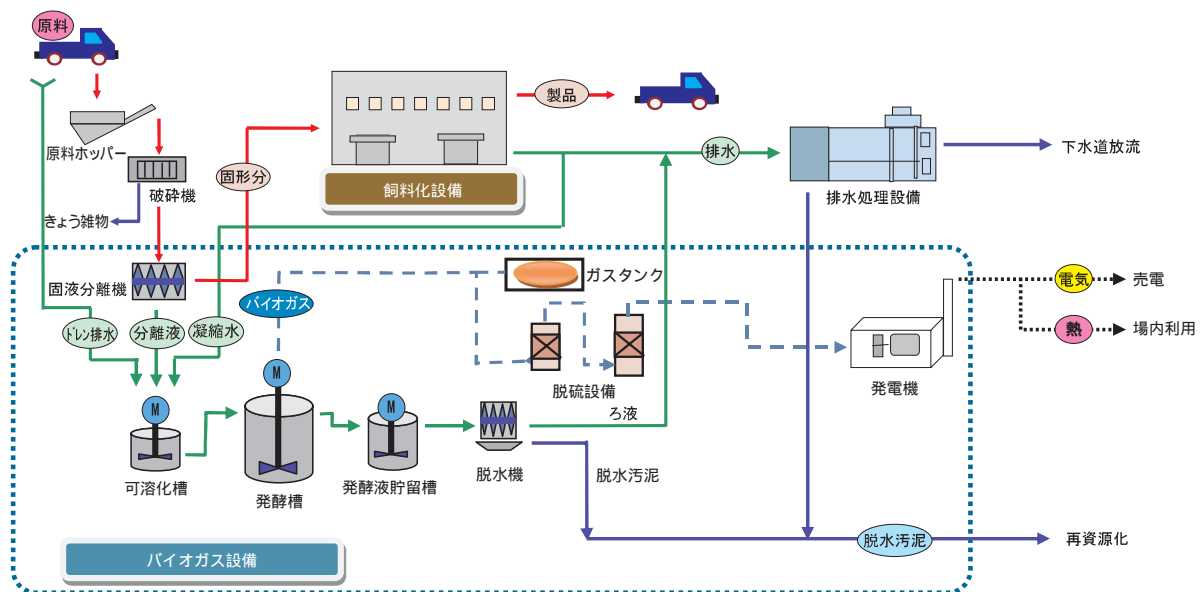


図1 飼料化バイオガスプロセスのフロー  
Flow Diagram of Livestock Feed and Biogas Process

\* 技術開発本部 千葉技術開発センター

\*\* エンジニアリング事業本部 プロジェクト部

1. はじめに

資源枯渇や地球温暖化問題への対策として、再生可能な資源であるバイオマスの利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、環境保全を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の飼料化などの資源循環型社会へ貢献できる技術開発と事業に継続的に取り組んでいる<sup>1)2)</sup>。

三井造船は、食品残さを加熱乾燥させ、家畜の飼料原料としてリサイクルする食品残さ飼料・堆肥化プロセス(以下、飼料化プロセス)を製品化している。本技術を導入している三造有機リサイクル株式会社(以下、SOR)では、事業系食品残さを受け入れ、家畜飼料の原料を製造して出荷している。

食品残さを乾燥し飼料として活用することは、資源循環という点においては大変意義がある。一方で、食品残さは含水率が高くウェット系(含水系)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、飼料化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)を検討した。本プロセスは、飼料化プロセスで取扱う食品残さの含水率が低減し、かつ、これまで未利用であった排水中の有機物をメタン発酵させて活用するものである。

本報では、図1の飼料化バイオガスプロセスの設計のために実施した基礎試験及び経済性について評価した結果を報告する。

2. 飼料化バイオガスプロセスの概要

2.1 飼料化プロセスとその課題

従来の飼料化プロセスは、図1の飼料化設備と記載され

た部分と排水処理設備などを組み合わせて構成していた。飼料化プロセスのフローを図2に示す。

受け入れた事業系食品残さは破砕機で破砕した後、予備処理タンクで廃食油(媒体油)と混合して予備加熱を行い、油温減圧式乾燥装置(クッカー)で減圧雰囲気にて加熱乾燥する。乾燥後は油分離装置で油分を取り除き、半製品をハンマーミルで粉末状にした後、振動ふるい機(シフター)で異物の除去を行い製品となる。製品は、飼料配合材料として飼料配合会社に販売する。このように飼料化プロセスは、食品残さの成分を栄養素としてリサイクルする優れたプロセスである。

しかし、飼料化プロセス単独では、ウェット系に分類される食品残さをそのまま乾燥しているため、多量の水分を蒸発させる必要があり、化石燃料の使用量が多くなることが課題であった。

また、食品残さの搬入時には、ごみ収集車(パッカー車)のドレン排水を、乾燥水分削減の観点から直接排水処理設備にて処理し下水放流していたが、ドレン排水に含まれる高濃度の有機物を利用せずに廃棄することになり、その処理のために多大なエネルギーを消費していた。

2.2 飼料化バイオガスプロセスの特長

図1に示した飼料化バイオガスプロセスでは、破砕機から排出される食品残さを受け入れる固液分離機を設置している。この固液分離機からの分離液並びに有機物を多く含む飼料化設備から排出される凝縮水及びパッカー車からのドレン排水は、バイオガスの原料としてメタン発酵槽に定量供給される。メタン発酵により得られたバイオガスからガス発電機により、電力と排熱回収による熱エネルギーを得る。

一方、飼料化設備では、含水率の低くなった固形分を飼料

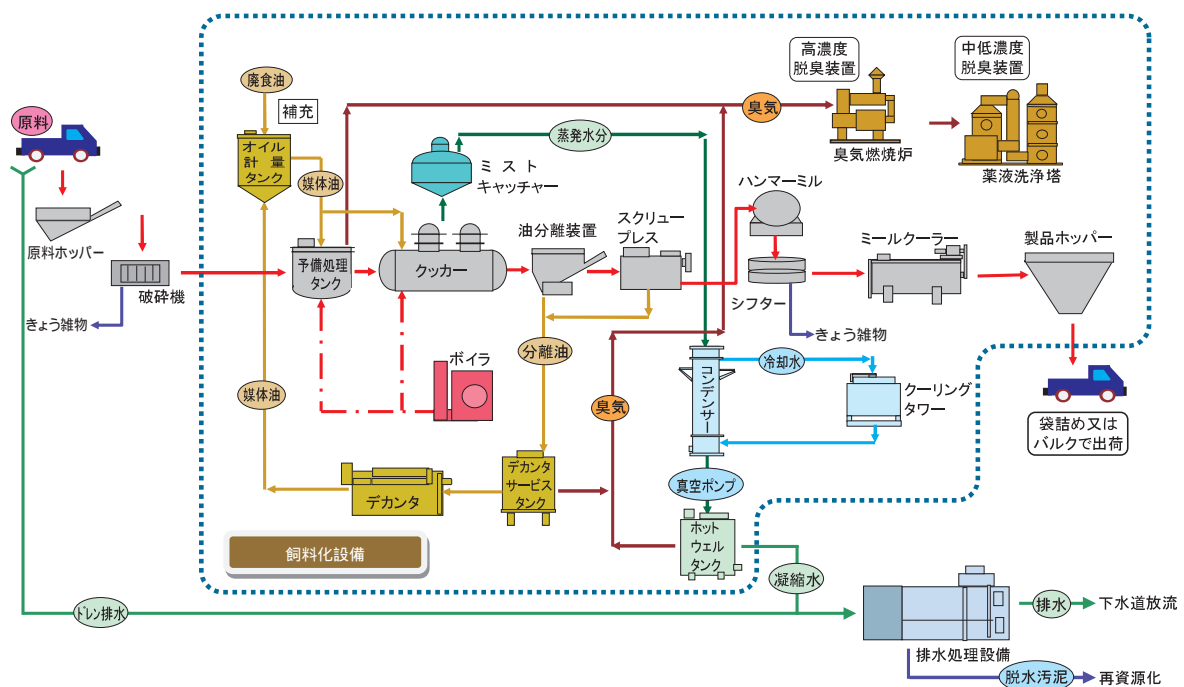


図2 飼料化プロセスのフロー  
Flow Diagram of Livestock Feed Process



化するため、油温減圧式乾燥装置での蒸発水分(凝縮水)量も減少し、蒸発のために必要であった燃料を削減できる。

また、凝縮水とパッカー車のドレン排水を可溶化槽に受入れバイオガスの原料とすることで、有機物を無駄なく活用できるとともに排水処理設備の負荷低減ができ、排水処理設備側でのエネルギー削減が可能となる。

発電により得られた電力は、固定価格買取制度(FIT)を利用して売電し、また、得られた熱エネルギーは、メタン発酵設備の加温のほか、冬季の融雪エネルギーとしても有効再利用が可能である。

### 3. 飼料化バイオガスプロセス開発のための基礎試験

プロセスを検討するに当り、SORの飼料化プロセスからサンプルを収集し、食品残さの固液分離試験及び固液分離後の固形物の飼料化試験を行い、ラボ試験と併わせて設計用データの収集を行った。

#### 3.1 食品残さの固液分離性能

##### 3.1.1 固液分離試験方法

試験は図3に示すフローで実施した。

パッカー車にて搬入された食品残さ及びパッカー車ドレン排水を採取し、固液分離機(スクリーブレス)に投入して固液分離性能を確認した。食品残さ、固液分離後の固形物及び分離液を分析して水分を測定し、さらに固形物は油温減圧乾燥実験機へ投入して飼料化を行い、飼料としての評価のために水分と粗蛋白質の分析を行った。

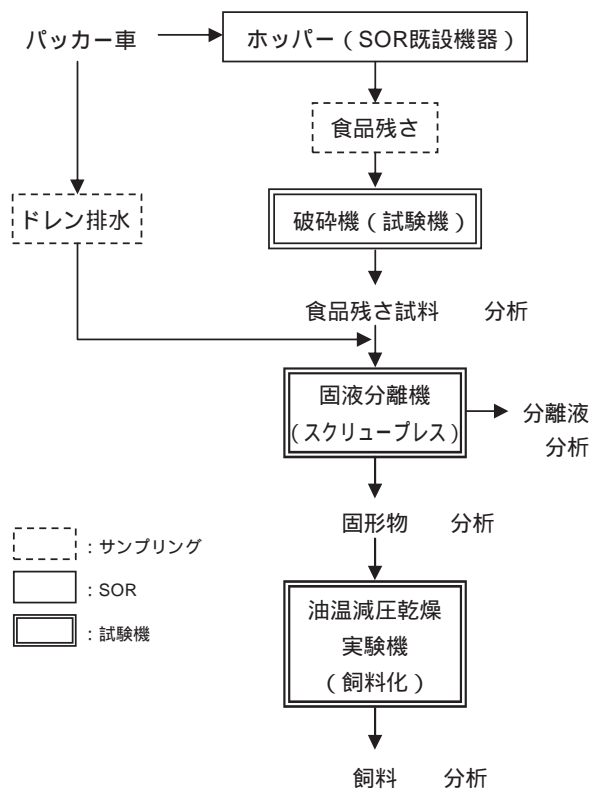


図3 固液分離試験方法  
Test Method of Solid-Liquid Separation

#### 3.1.2 固液分離性能

試験に供した食品残さの水分は、最小で73.4%、最大で79.0%、7検体の平均が76.2%であり、一般的な事業系食品残さの水分である76.1%と良く一致していた<sup>3)</sup>。

図4に固液分離機投入物(食品残さ)水分と固形物水分の関係を示す。固液分離機に投入した食品残さの水分が低いほど、固液分離後の固形物水分も低い傾向がみられた。投入した食品残さに対して、固形物は水分が約4%低下しており、本前処理を導入することで、飼料化設備に持ち込む水分量を削減できる見込みを得た。

図5に固形物水分と固形物側に回収された全固形物(Total Solids: TS)の割合の関係を示す。固形物水分とTS回収率には相関が見られなかったことから、本前処理においては、TS回収率は固形物の水分によらないものと判断し、試験結果の平均値である65%を設計値として採用するものとした。

試験結果を基に、原料として一般的な事業系食品残さを想定し、食品残さ水分を76%として固液分離した場合の水分及びTSの挙動を図6に示す。

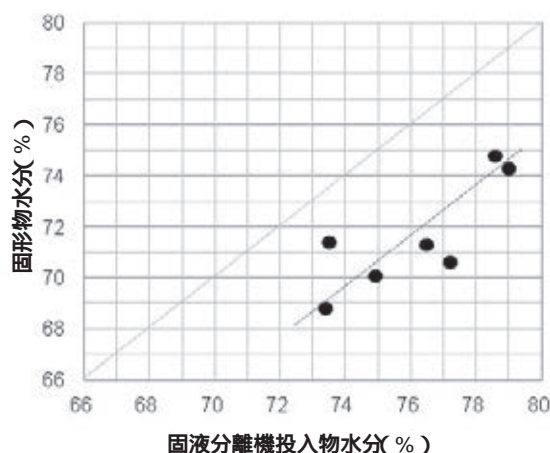


図4 固液分離機投入物水分と固形物水分  
Relation between Moisture of the Raw Material and Moisture of the Solids

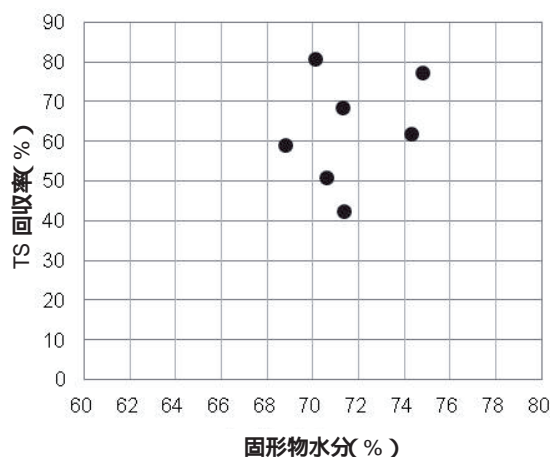


図5 固形物水分とTS回収率  
Relation between Moisture of the Solids and the Rate of Collection of Total Solids

事業系食品残さを固液分離することで、固形物は食品残さよりも低水分となり、飼料化の原料として扱いやすくなる。さらに、分離液には高濃度の有機物が含まれており、メタン発酵の原料に適している。

3.1.3 分離液の性状

本前処理によって得られた分離液の物理的な性質を把握するために、分離液及び破碎処理(回転数 2 500 rpm)した後水分調整を行った破碎食品残さスラリーそれぞれについて、一般的にメタン発酵槽に投入される水分の目安とされている TS 濃度 10% 程度及び高濃度である 15% 以上の 2 種類のサンプルを作製して粘度を測定した。結果を図 7 に示す。

破碎処理した食品残さスラリーは、TS 15% では粘度は 3.0 Pa・s, TS 10% でも 1.0 Pa・s であったのに対し、分離液は、TS が 24% のときでも粘度は 0.3 Pa・s であり、高 TS 濃度でも低粘度で、流動性が良いことが確認できた。また、分離液はスクリーブレス式の固液分離機を通過しているという特性上、スクリーブレスの通過孔径である 2 mm 以上の異物を含むことがないため、後工程での閉塞等のトラブルを回避できる。分離液は、バイオガス設備に移送されることになるが、粘度が低いと配管の圧力損失が少ないためポンプ動力は小さい。

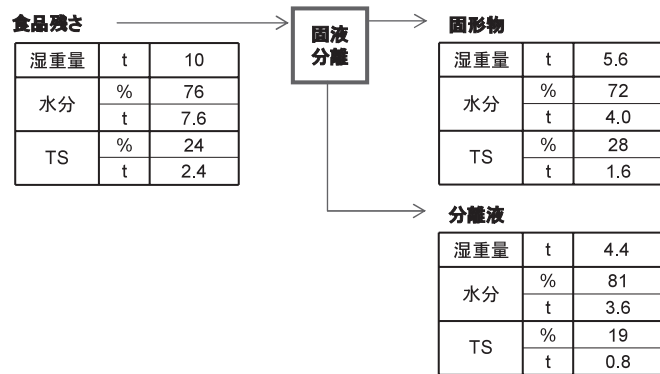


図 6 固液分離状況  
Situation of Solid-Liquid Separation

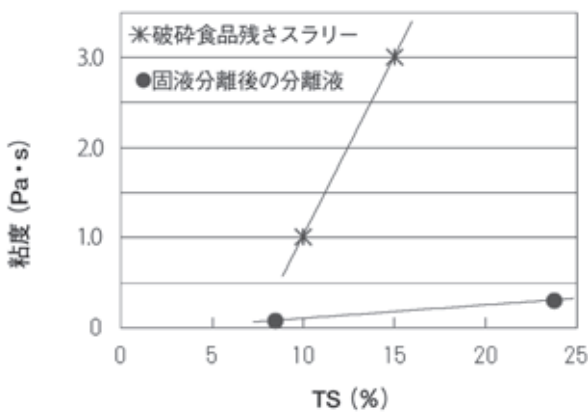


図 7 TS 濃度と粘度  
Relation between Total Solids Concentration and Viscosity

3.2 飼料成分

飼料の価値は、主として含有される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>4)</sup>。固液分離によるタンパク質の挙動について図 8 に示す。なお、このタンパク質重量等は、分析値若しくは窒素量から算出したものである。

飼料化プロセスで製造した飼料は、基本的に受け入れた食品残さのタンパク質がそのまま飼料中へ移行し、タンパク質の含有量が 20% 強の高タンパク飼料となる。一方、飼料化バイオガスプロセスを導入した場合は、固液分離により分離液側にタンパク質が一部流出するものの、飼料となる固形物側には 7 割程度のタンパク質が残ることとなる。また、固液分離によりタンパク質以外の有機物も分離液側に移行するため、結果的に飼料中のタンパク質含有率は、飼料化プロセスとほとんど変わらない。

飼料化バイオガスプロセスでは、固液分離によってタンパク質を含む有機物の一部が分離液に移行し、バイオガスの原料となるため、飼料化プロセスと飼料化バイオガスプロセスでは、後者から生産される飼料量は減少する。例えば、図 8 のように運転された場合には、飼料化プロセスの 7 割程度の生産量になる。

3.3 バイオガス発生量

分離液を原料としたメタン発酵試験をバッチ処理にて実施した。試験に供したサンプルの強熱減量(Volatile Solids: VS) 1 t 当たりのガス発生量を図 9 に示す。

分離液中の VS 1 t 当たり、800 m<sup>3</sup>N のバイオガスが発生することが確認できた。また、このときバイオガス中のメタンガス濃度は 65% であった。

食品残さの VS 1 t 当たりのバイオガス発生量は 800 m<sup>3</sup>N、メタン濃度 57.8% との報告<sup>5)</sup>があり、本試験の結果は、ガス発生量については一致していたが、メタンガスの濃度については、高い傾向となった。メタンガス濃度は原料組成に依存

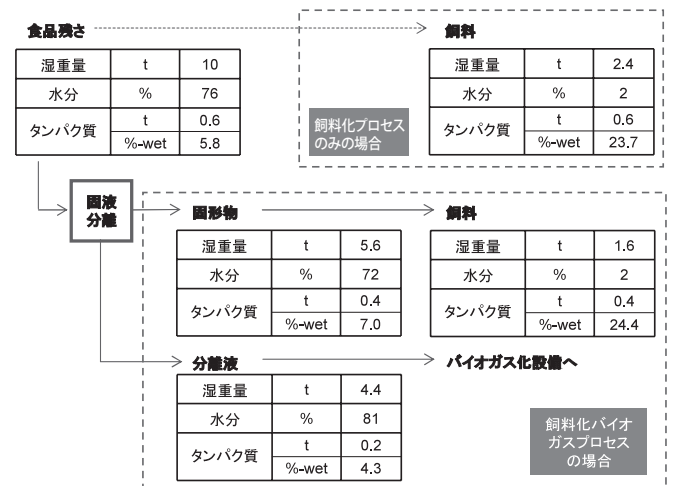


図 8 固液分離によるタンパク質の挙動  
The Protein Behavior of Solid-Liquid Separation

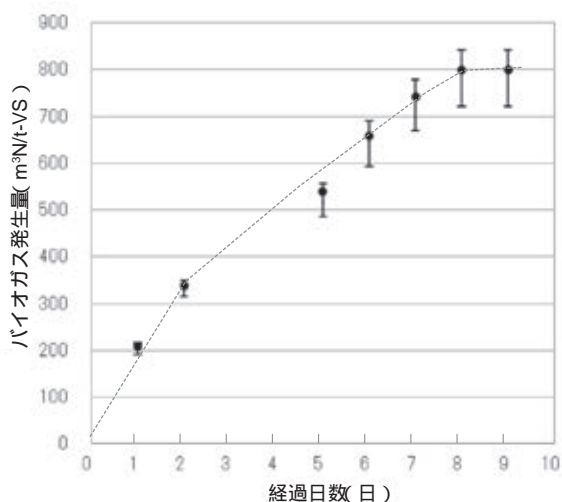


図9 分離液中 VS からのバイオガス発生量

Amount of Biogas Generated from the Liquid Content of Volatile Solids

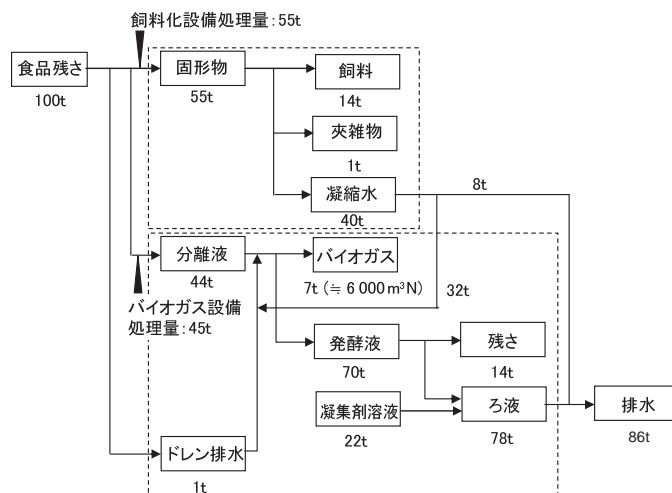


図11 飼料化バイオガスプロセスの物質収支

Material Balance of Livestock Feed and Biogas Process

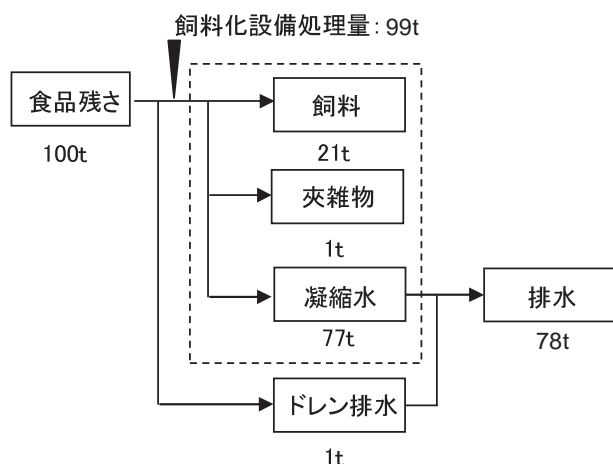


図10 飼料化プロセスの物質収支

Material Balance of the Livestock Feed Process

しており、食品残さに含まれる成分では、炭水化物はメタンガス濃度 50%、脂肪やたんぱく質はメタンガス濃度 70% という報告<sup>6)</sup>があることから、分離液に脂肪やたんぱく質の含有量が多いためにメタンガス濃度が高くなったと推察している。

#### 4. 飼料化バイオガスプロセスの経済性

3. 得られた基礎データに基づき、100 t/日の食品残さを受け入れ、二つのプロセスにて処理した場合の経済性評価を行った。

##### 4.1 物質収支

100 t/日の食品残さを受け入れた場合の飼料化プロセスの物質収支を図10に示す。

飼料化プロセスでは、100 tの食品残さを受け入れて処理した場合、食品残さに含まれている 77 tの水は蒸発し、飼料として出荷されるのは 21 t程度となる。

次に、同量の食品残さを飼料化バイオガスプロセスにて処

理した場合の物質収支を図11に示す。この収支は、試験結果を基に固液分離による固形物は水分 72%、固形物への TS 回収率 65%、分離液からは VS 1 t 当たり 720 m<sup>3</sup>N、メタン濃度 65% のバイオガスが発生するとして計算した。バイオガス発生量については、バッチ試験の結果である VS 1 t 当たり 800 m<sup>3</sup>N に対して、実プラントは連続式の完全混合流れであることを考慮して 経験的に試験結果の 90% の値を採用した。

飼料化バイオガスプロセスを導入することで、飼料化時に蒸発させる水分が 40 t と従来の約 52% まで減少する。また、固液分離後の分離液、パッカー車ドレン排水及び飼料化設備で発生した凝縮水中に含まれる有機物は、メタン発酵槽内で微生物の働きにより分解されて、6 000 m<sup>3</sup>N 程度のバイオガスに変換される。

さらに、飼料化設備の処理量は 55 t となり、新規設置であれば飼料化設備部分がコンパクト化でき、また既設の飼料化設備へのバイオガス設備追加であれば既設飼料化設備の負荷が下がるため、余裕のある運転が可能となる。

##### 4.2 排水処理

飼料化プロセスと飼料化バイオガスプロセスにおける有機物の流れをそれぞれ図12、図13に示す。これらの図では、各プロセスに持ち込まれる食品残さに含まれる有機物量を 100 としている。

図12に示した飼料化プロセスでは、パッカー車ドレン排水と飼料化設備で発生する凝縮水を合わせて排水処理設備で処理するため 施設に入ってきた有機物量を 100 とした場合、8 が排水処理設備に流れ込む。

一方、図13の飼料化バイオガスプロセスにおいては、パッカー車ドレン排水と凝縮水の半量以上がメタン発酵槽に投入され、食品残さの分離液とともにバイオガスの原料となるため、排水処理設備に流入する有機物負荷は、有機物量を 100 とした場合、飼料化プロセスの約 1/5 の 1.5 程度になる。したがって、飼料化バイオガスプロセスは、排水処理設備の負荷が小さくなり、水槽容量が小さくなるとともに、有機物を

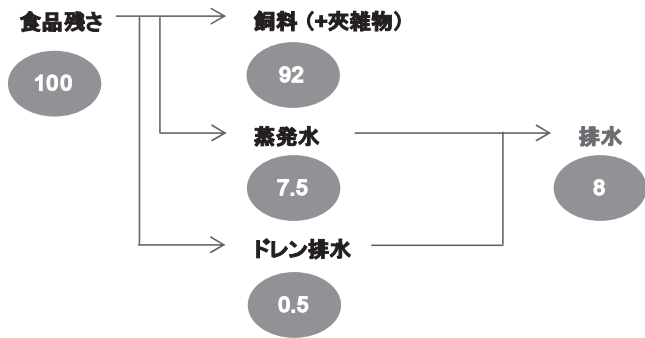


図 12 有機物の流れ(飼料化プロセス)  
Flow of Organic Matter(Livestock Feed Process)

表 1 乾燥用燃料のコスト比較  
Cost of Drying Fuel

	蒸発水分 t/日	蒸発潜熱 MJ/t	必要エネルギー*1 MJ/日	重油使用量*2 /日	重油代*3 千円/t-受入量
飼料化プロセス	77	2500	$2.0 \times 10^5$	5000	4
飼料化バイオガスプロセス	40	2500	$1.0 \times 10^5$	2600	2

\* 1 : 加熱効率 90%として算出  
\* 2 : 重油熱量 39.1 MJ/  
\* 3 : 重油価格 80 円 /

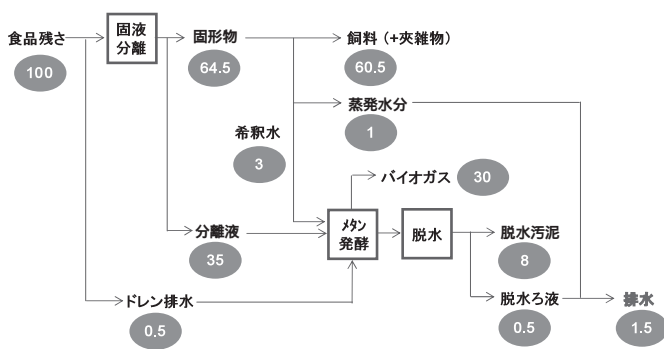


図 13 有機物の流れ(飼料化バイオガスプロセス)  
Flow of Organic Matter(Livestock Feed and Biogas Process)

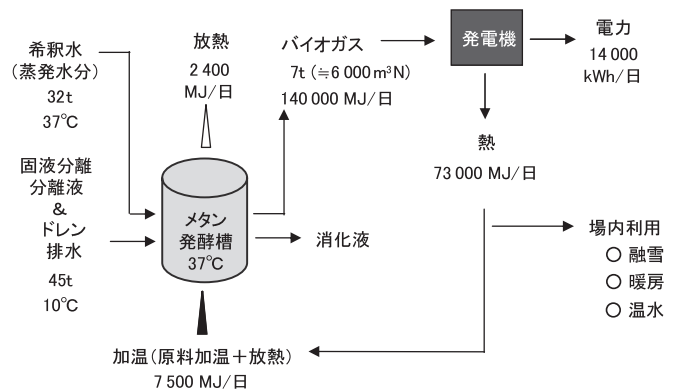


図 14 メタン発酵設備の熱収支  
Heat Balance of the Methane Fermentation Part

酸化分解するための曝気量が少なくなる。

また、有機物負荷と並んで、排水処理設備の設計の重要な要素の一つである窒素は、飼料化プロセスではそのほとんどが飼料に移行して、排水処理設備への流入量が少ない。これに対して、飼料化バイオガスプロセスでは分離液とともに原料中の窒素化合物の一部がメタン発酵槽に流入し、槽内で菌体の作用によりアンモニアまで分解されて、排水処理設備に流れ込むため、飼料化プロセスと比較して流入量は多くなる。ただし、この窒素を処理するために必要な槽容量、曝気量などの増分は、有機物負荷が減ったことによる削減分よりも小さく、結果的に排水処理設備はコンパクトなものとなる。

### 4.3 事業性の評価

#### 4.3.1 飼料の乾燥コスト

表 1 に、食品残さを 100 t/日として、飼料製造時にかかる乾燥用燃料のコストを比較した結果を示す。なお、表中の必要エネルギーについては、その大部分を占める蒸発水分量と蒸発潜熱のみから算出しており、昇温時の顕熱については加算していない。

飼料化プロセスでは、100 t の食品残さから 21 t の飼料を製造するために、77 t の水を蒸発させる必要がある。これに必要なエネルギーは  $2.0 \times 10^5$  MJ/日 で、これを重油に換算すると 5000 に相当する。一方、飼料化バイオガスプロセスでは、同じ 100 t の食品残さに対して蒸発させる水の量は 40 t で済むため、必要なエネルギーは  $1.0 \times 10^5$  MJ/日、重油

換算で 2600 となる。

この重油量をプロセスの食品残さ受入量 1 t 当たりで比較すると、重油代は、飼料化プロセスでは 4 千円 / t- 受入量、飼料化バイオガスプロセスでは 2 千円 / t- 受入量となり、受入量 1 t に対して 2 千円の削減となる。

#### 4.3.2 メタン発酵槽の加熱コスト

図 11 に示した飼料化バイオガスプロセスの物質収支でプラントを運転した場合のメタン発酵設備周りの熱収支を図 14 に示す。熱収支については、最も熱が必要となる冬季の気温条件で算出している。

メタン発酵槽を発酵に最適な温度である 37 に保つためには、原料である食品残さの分離液及びドレン排水を加温する熱量と、発酵槽からの放熱分を補う熱量が必要である。このときに必要な熱量は、バイオガスを用いた発電時に同時に発生する温水を使って賄われる。図 11 に示した飼料化バイオガスプロセスにおいては、加温に必要な熱量が 7500 MJ/日 であるのに対して、発電時に得られる熱量は 73000 MJ/日 と十分であるため、プロセス外から化石燃料等により補完することなく、熱的に自立した設備となる。

また、発酵槽を加温して更に余った熱を利用し、施設の融雪や暖房などに使用することも可能である。

#### 4.3.3 売電収入

図 11 に示した飼料化バイオガスプロセスの物質収支で運転した場合の発電量と売電収入を表 2 に示す。食品残さ受

表2 発電量と売電収入

Power Generation Amount and Revenue from Power Sales

	バイオガス m <sup>3</sup> N/日	メタンガス <sup>*1</sup> m <sup>3</sup> N/日	発電量 <sup>*2</sup> kWh/日	売電収入 <sup>*3</sup> 千円/日	売電収入 <sup>*3</sup> 千円/t
飼料化バイオ ガスプロセス	6000	3900	14000	500	5

\* 1: メタン濃度 65%

\* 2: メタンガス熱量 35.8 MJ/m<sup>3</sup>N, 発電効率 35%

\* 3: 売電単価 39 円 / kWh

入量 100 t/日規模のとき、バイオガス設備により1日当たり6000 m<sup>3</sup>N程度のバイオガスが発生するため、これで発電して売電することで1日当たり約50万円程度の収入となる。設備規模によって売電収入が異なるため、これを受入れ食品残さ1tに換算すると5千円/t受入量の収入となる。

## 5. おわりに

本報では、飼料化バイオガスプロセスの設計のために実施した基礎試験及び経済性について評価した結果を示した。

基礎試験では、固形分離による固形物は水分72%、固形物へのTS回収率65%、分離液からは強熱減量(VS)1t当たり720 m<sup>3</sup>N、メタン濃度65%のバイオガスが発生するという結果を得た。

この結果を基に計算した飼料化バイオガスプロセスの物質収支から、排水処理設備に流入する有機物負荷は、飼料化プロセスの約1/5になり大幅に削減されること、また飼料化設備への持ち込み水分量が減るため乾燥コストが約半分となることを示した。さらに、得られたバイオガスを用いてガス発電機により発電し、固定価格買取制度(FIT)を活用して売電することにより、食品残さを100 t/日規模で受け入れる場合、1日当たり約50万円程度の収入となることを確認した。

飼料化バイオガスプロセスは、既に、飼料化設備の追加設備として三造有機リサイクル株式会社(SOR)に導入されており、2013年度の建設工事と試運転を経て、2014年3月よりFITを活用して売電を開始している。

今後は、SORの飼料化バイオガスプロセスの運転データ

を蓄積し、想定した効果が現われているかどうか検証を行っていく。

## 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)環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：メタンガス化(生ごみメタン)施設整備マニュアル，(平成20年1月)
- 4)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)
- 5)松田：生ごみのバイオガス化について，月刊廃棄物，(2000-10)，p. 20
- 6)片岡：嫌気性生物処理技術の特徴と発展の流れ，エバラ時報，229(2010-10)，p. 27

〔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 - 1110 中嶋 幸子



中嶋 幸子



庄 智裕



斉藤 政宏



中嶋 昭博



小倉 智

## 風力発電設備の設置 - 新潟県胎内市“胎内風力発電所”の竣工 -



写真1 胎内風力発電所(据付時)



写真2 胎内風力発電所(竣工時)

三井造船は、JEN 胎内ウインドファーム株式会社より受注していた風力発電設備 10 基の建設工事を完了し、引き渡した。

本工事は設計から調達、現地工事までを行うフルターンキーでの施工であり、元請として一括で請け負った工事である。本風力発電所の合計出力は 2 万 kW であり、この発電量は一般家庭の約 14 000 世帯が消費する電力に相当する。当社は本工事を含め、現在までに全国 8 箇所で風力発電所建設工事を実施しており、更なる環境影響負荷の少ない再生可能エネルギー需要の高まりを受け、今後も多くの案件を手掛けていく予定である。

### 特長

- (1)本サイトはほとんどが保安林内であったため、仮設工事として使用できる場所や面積の制限が厳しく、風車本体の輸送や据付等、建設工事における課題が多かった。この問題に対しては、当社が長年培ってきた大型重量構造物架設技術や土木、機械、電気技術などの蓄積されたノウハウを活用することによって、無理、無駄のない施工計画を立案し、完成までスムーズに遂行した。
- (2)本サイトは冬季に非常に強い風が吹くため、その期間中の風車の据付作業が中断されることもあり、工程管理に特別な配慮が必要であった。また、風車据付後の試験の際には逆に強い風が必要であったが、あまり風が吹かな

い夏季であったため、長期的及び短期的な風況予測情報を活用して、試験に必要な風が吹く日時を予想して性能試験を実施した。

### 主要目

風力発電機	: SUBARU80/2.0
定格出力	: 2 000 kW
ローター径	: 80 m
ハブ高さ	: 60 m
全高	: 100 m
タワー	: 鋼製モノポール
重量	: ナセル 80 t, ローター 40 t, タワー 90 t
基数	: 10 基
送電設備	: 埋設送電線 約 7 500 m
工事範囲	: 設計, 調達, 土木, 基礎, 輸送, 据付, 電気, 試運転調整(フルターンキー)
工期	: 平成 22 年 10 月 ~ 平成 26 年 12 月 (休止期間 平成 23 年 1 月 ~ 平成 25 年 5 月)

(エンジニアリング事業本部)

[問い合わせ先]

環境エネルギー営業部  
TEL 043 - 351 - 9262 春日井 清秀

小型蒸気発電装置 Microsteam<sup>®</sup>の販売事業を開始  
 - 未利用水蒸気エネルギーで発電し、CO<sub>2</sub> 排出削減に貢献 -



写真1 米国エナージェント社の Microsteam<sup>®</sup>設置例  
 (New York Con Edison ビル)

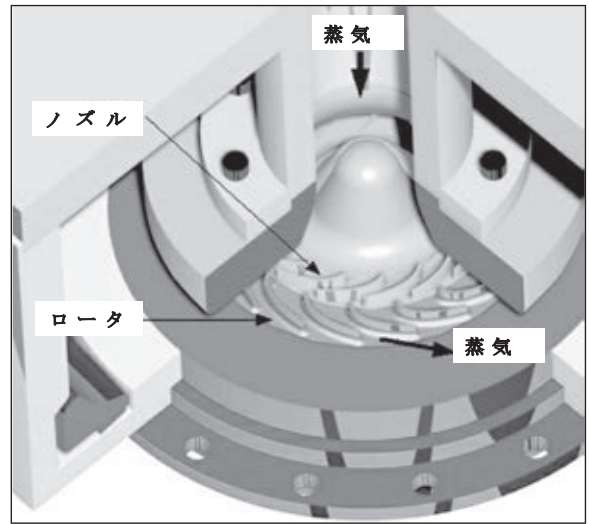


図1 ラジアル単式衝動タービン

三井造船マシナリー・サービス株式会社は、米国エナージェント社 (Energent Corp.) の小型蒸気発電装置 Microsteam<sup>®</sup> (以下、本装置) を導入し、パッケージング及び販売事業を開始した(写真1)。

本装置は、最大 275 kW の発電能力を有する未利用水蒸気を利用した小型蒸気タービン発電装置である。

電気事業法の適用を受けるが、一定の条件下では規制緩和の対象となり、ボイラー・タービン主任技術者の免除及び工事計画書の事前届け出が不要となる。

本装置は、2004 年から米国を中心に販売されており、積算運転時間は 14 万 8 300 時間、総発電量は 31 400 MWh であり、この間トラブルが無いという実績がある。

対象とする市場としては、製紙、化学、石油精製、製鉄などの工場や大規模商業ビルなどがある。これらの分野では、高圧の水蒸気を減圧して使用することが多い。本装置は、このエネルギーを発電に使用するものである。また、バイオマス発電用の小型蒸気タービンとしても最適な仕様となっており、各分野への導入が可能である。

当社は、本装置の販売事業を通して、顧客の省エネルギーによるコスト削減及び CO<sub>2</sub> 削減による環境負荷低減に貢献することを目指している。

**特長**

1. 形状がシンプルで小型であるため、工場試験で出荷可能である。
2. ロータディスクと翼はチタン合金の一体加工品で、通常の薄板翼を有する蒸気タービンと比べて耐久性及び耐食

性に優れている(図1)。

3. 保守は、オイルフィルター、シールエアフィルターの定期保守ならびに潤滑油の変質チェックのみであり、これらを適正に行うことにより 20 年の長寿命を維持できる。

**装置概要**

- ・ 入口圧力 : 0.5 ~ 1.96 MPaG
- ・ 出口圧力 : 0.05 ~ 0.98 MPaG
- ・ 最大出力 : 275 kW
- ・ 蒸気流量 : 1.8 ~ 9.0 t/h
- ・ エンクロージャ: 鋼製屋外防滴構造
- ・ 外形寸法 : L3.0 x W1.25 x H2.6 (m)

**装置構成**

- ・ タービン : ラジアル単式衝動タービン (28 000 rpm)
- ・ 発電機 : 三相誘導発電機, 2 ポール, 全閉外扇型
- ・ 減速機
- ・ 潤滑油装置
- ・ 制御盤
- ・ スイッチパネル
- ・ バルブ, 計装機器

(三井造船マシナリー・サービス株式会社)

[問い合わせ先]

- 東京営業所 TEL 03 - 6806 - 1075 今井 兼久
- 大阪営業所 TEL 06 - 6307 - 3050 河合 雅之

## 三井造船株式会社

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

海外事務所 北京, ジャカルタ, ハノイ, クアラルンプール  
 海外現地法人 三井造船ヨーロッパ株式会社(ロンドン)  
 三井造船(U.S.A.)株式会社  
 三井造船(上海)商貿有限公司  
 三井造船アジア株式会社(シンガポール)

### 三井造船技報編集委員会

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

### 三井造船技報

第 214 号

2015 年(平成 27 年)3 月 3 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  
<http://www.mes.co.jp>  
 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

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

万一、落丁・乱丁がありました節は、お取り替えます。

(非売品、無断転載を禁ず)



# 三井造船技報 第 214 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 - 3125

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 214 号へのご意見等について

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

### a) 旧送付先

所在地 〒 \_\_\_\_\_

組織名称 \_\_\_\_\_

担当部署 \_\_\_\_\_

旧送付先は、現在の宛先ラベルのコピーをここに貼付して  
頂いても構いません。

### b) 新送付先

所在地 〒 \_\_\_\_\_

組織名称 \_\_\_\_\_

担当部署 \_\_\_\_\_

ご担当者 \_\_\_\_\_

TEL No. \_\_\_\_\_

FAX No. \_\_\_\_\_

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

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

技術論文・報告では .....

製品・技術ニュースでは .....

その他の記事では .....

(2) その他、ご意見・ご要望あれば、お聞かせください。

キ  
リ  
ト  
リ  
線

# 主要営業品目

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

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

修繕船，各種改造船工事，M & R エンジニアリング

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

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

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

船舶運航支援のポータルサービス

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

船用ディーゼル機関

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

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

遠隔操作マニピュレータおよびその周辺機器，センシング機器（地中埋設物・建築物探査レーダ，太陽追尾採光システム，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，各種ボイラ，プロセス用圧縮機，ガスタービン発電設備，ガスエンジン発電設備，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，分解炉，分解ガスクェンチャー，高粘度流体脱揮装置），エンジニアリング支援システム，フィージビリティスタディ，プラントメンテナンス，SDM 工事

海外土木・建築工事全般，特殊構造物，風力発電設備工事，海外橋梁

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

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

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

