

# 三井 造船 技報

平成 23 年 10 月 第 204 号

MITSUI ZOSEN TECHNICAL REVIEW No. 204 2011

AFTEX-6200



AFTEX-9800



AFTEX-2300



ECR プラズマ成膜装置



## 表紙説明

### ECR プラズマ成膜装置

IT 社会を根底で支えているのは電子・光デバイスの高性能化・大容量化である。これを実現するためには、薄膜技術の革新が必要不可欠で、エム・イー・エス・アフティ株式会社は、1989 年以来、電子磁気共鳴 ( ECR ) プラズマ技術を採用した成膜装置の開発・販売を行っている。この ECR プラズマ技術を用いることにより、半導体に対するダメージを抑制した薄膜形成を可能とした。ECR プラズマ技術は他では実現できないオンリーワン技術であり、特に半導体レーザーの端面コート分野では、この ECR プラズマ成膜技術は、独占的な技術と認められ、国内外の工場で広く使用されている。この他、ECR プラズマ技術の新たな適用先として、LED 用の ITO 膜、パワーデバイス用のカーボン膜の可能性が明らかになった。今後とも、この先端技術を発展させ、IT 社会の発展に寄与していく。

AFTEX-6200Mark ( 量産用・研究用成膜装置 )

AFTEX-9800 ( 量産用成膜装置 )

AFTEX-2300 ( 研究用成膜装置 )

## Cover

### Thin Film Deposition System of ECR Plasma

IT society is supported by the development in performance and capacity of electronic and optical devices. To do this successfully, the technical innovation of thin film technology has been essentially required. Since 1989, MES AFTY Corporation developed and sold the deposition systems equipped with electron cyclotron resonance ( ECR ) plasma source. By using this technology, we have developed the only-one technology less damaging to semiconductor which other methods can not achieve. Especially, in laser diode field, this plasma ECR deposition technology is recognized as an exclusive technology and widely used in factories both domestically and internationally. Besides, ITO films and carbon films made by ECR plasma deposition technology will find a new market in the LED and power device, respectively. We will further develop the advancing technology and contribute to the development of IT society.

AFATEX-6200 Mark

( the deposition system for mass production and study )

AFTEX-9800

( the deposition system for mass production )

AFTEX-2300

( the deposition system for study )

# 三井造船技報

2011年(平成23年)10月・第204号

## 目次

### 技術論文・報告

船舶構造設計効率化のための自動処理システムの開発 .....	1
神永 肇 望月 幸司	
低温プラズマ技術を応用したエンジン起動時対応 DPF の開発 .....	7
加藤 寿仁 野津 匡史 松岡 克憲 今井 兼久	
船用低速ディーゼルエンジンのシミュレーション技術の開発 .....	13
辻 康之 田中 一郎	
電子磁気共鳴 ( ECR ) プラズマの SiC キャップアニール膜への応用 .....	19
廣野 滋 田嶋 哲也 鳥居 博典 天沢 敬生 岡崎 良弘	

### 製品・技術ニュース

火力発電所 石炭バンカ製作工事 - 常陸那珂火力発電所 第2号ボイラ設備 - .....	25
ANA 羽田ドックスタンド - 新機種 BOEING787 受け入れ - .....	26
太陽熱発電実証プラント - 技術開発を進め実証試験により性能を確認 - .....	27
高効率汚泥脱水機“ e- ダイナプレス ” - 汚泥リサイクルの省エネルギー化を実現 - .....	28
営業戦略ソリューション“ Miprime まい・ぷらいむ ” - CRM ソリューションをベースにした新しい事業情報システム - .....	29

### Home Page News

次世代の環境対応・低燃費船 66 000 重量トン型バルクキャリアー 「 neo Supramax 66BC 」2 隻の受注 .....	30
世界最大級のダブルハル VLCC “ チョウカイサン ” 引き渡し ダブルハル燃料油タンク装備の「 三井マラッカダブルマックス 」第 10 番船 .....	30
シンガポール / ZEON Chemicals Singapore Pte. Ltd. 向け スチレンブタジエンラバー製造プラント建設工事起工式 .....	31

# MITSUI ZOSEN TECHNICAL REVIEW

No. 204 OCTOBER 2011

## CONTENTS

### Technical Paper and Report

Development of Automatic Data Processing System for Ship Structural Design.....	1
<i>Hajime KAMINAGA, Koji MOCHIZUKI</i>	
Development of Diesel Particulate Filter applying Non-Thermal Plasma Technology, having Capacity for Adaptation in DE Startup .....	7
<i>Toshihito KATO, Tadahumi NOTSU, Katsunori MATSUOKA, Kanehisa IMAI</i>	
Simulation Technology for Large Marine Diesel Engine in Dynamic Response .....	13
<i>Yasuyuki TSUJI, Ichiro TANAKA</i>	
Application of ECR Plasma to SiC Cap Annealing Films .....	19
<i>Shigeru HIRONO, Tetsuya TAJIMA, Hironori TORII, Takao AMAZAWA, Yoshihiro OKAZAKI</i>	
<b>Products and Technology News</b> .....	25, 26, 27, 28 29
<b>Home Page News</b> .....	30, 31

Published by

MITSUI ENGINEERING & SHIPBUILDING CO., LTD.

3-16, Nihonbashi 1-chome, Chuo-ku, Tokyo 103-0027, JAPAN

# 船舶構造設計効率化のための自動処理システムの開発

神 永 肇\* 望 月 幸 司\*

## Development of Automatic Data Processing System for Ship Structural Design

Hajime KAMINAGA, Koji MOCHIZUKI

In general, ship structural design is carried out in accordance with requirement of classification rules. In recent years, the IACS Common Structural Rule( CSR )has become mandatory. The CSR requires more complicated strength assessment and burdensome work in design process than in previous rules. To cope with this problem, ClassNK has been providing computer aided design system. But it has taken a lot of time to achieve optimization of plate thickness by using it so far, for it is necessary to execute a number of procedures repeatedly. For this reason, we developed an automatic data processing system. This system executes automatically strength assessment by using PrimeShip-HULL DSA, and then determines plate thickness. It enables us to manage and execute automatically various kind of software and in-house programs in place of human work by using multipurpose optimization tool. With this system, we succeeded in decreasing the work time to half. We will enhance the system to enable optimization design in the near future.

一般に、船体構造は船級規則の強度要件を満たすように設計される。近年、国際船級協会連合(IACS)の共通構造規則(CSR)が制定されたが、CSRを適用した設計作業は複雑で、船級協会が提供する業務支援システムの適用が不可欠となっている。さらに、CSRを満足する板厚を決定するまでには、構造モデルの修正と構造解析の実行及び結果の評価を繰り返し実施する必要があり、課題となっていた。そこで、これらの作業を完全自動化することにより、精度と信頼性が確保された合理的設計を短期間に実施できるシステムを構築した。このシステムにより複数ソフトの連携計算と人的判断、データ修正作業などの長時間に及び設計者の拘束が解消されると共に、操作ミスや判断ミスのヒューマンエラーを防止することができるようになった。具体的には、CSR対応の支援ソフト、プリ・ポスト処理ソフト、構造解析ソフト、その他独自開発ソフトを用いた作業を最適化支援ツールにより統合し、対話型の操作部を自動化することにより、作業時間の半減が可能となった。今後、最適化設計への適用を計る予定である。

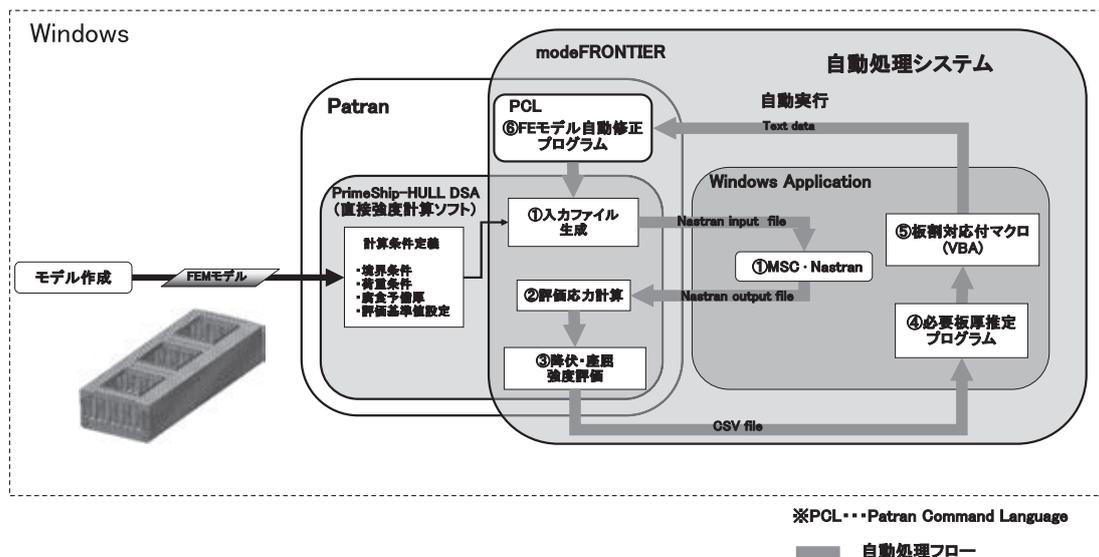


図1 PrimeShip-HULL DSAのための自動処理システム  
Automatic Data Processing System for PrimeShip-HULL DSA

\* 船舶・艦艇事業本部 基本設計部

1. 緒言

国際船級協会連合 (International Association of Classification Societies : IACS) は、船の長さが 90m 以上のばら積み貨物船及び 150 m 以上の二重船殻油タンカーに対する共通構造規則 (Common Structural Rule : CSR) を 2005 年 12 月に採択し、IACS に加盟するすべての船級協会は、2006 年 4 月 1 日以降に建造契約が締結される船舶に対して CSR を適用することとなった。

CSR は、従来の構造関連規則よりも厳しい環境条件の採用、最新の構造強度に関する考え方の導入及び各船級協会の知見が反映された規則で、財団法人日本海事協会 (以下、NK と称す) は、ばら積み貨物船のための CSR を鋼船規則 CSR-B 編<sup>1)</sup>、二重船殻油タンカーのための CSR を鋼船規則 CSR-T 編<sup>2)</sup>として 2006 年 5 月に発行した。また、ほぼ同時期に、従来に比べ複雑になった設計作業を支援する目的で、CSR 対応の計算ソフトウェアを開発し、PrimeShip-HULL (CSR)<sup>3)</sup>(以下、PSH と称す)として各造船会社に配布した。

PSH は、規則算式計算ソフトである“PrimeShip-HULL Rule”及び直接強度計算ソフトである“PrimeShip-HULL DSA”からなり、二重船殻油タンカー用とばら積み貨物船用が用意され、CSR で要求される評価の支援を行うことができる。PSH は現在基本設計業務の重要なツールとなっている。しかし、ツールの操作は画面メニュー主体の対話形式のため、扱うデータが大量になると、繰り返し操作や応答待ち時間が増大するようになり、設計者の円滑な作業や思考活動を妨げ、入力ミスなども生じている。このため PSH を効率的に使い、精度と信頼性の確保された合理的設計が短期間で可能となる対応策が必要となった。ばら積み貨物船は当社にとって主力製品である一方、世界中でし烈な受注競争が繰り広げられている船種の一つでもあるため、作業効率向上の支援対象として、ばら積み貨物船の設計業務を選定し自動化の検討を行って

きた。本報では、開発した CSR 対応ばら積み貨物船の設計作業自動処理システムについて述べる。

2. 基本設計におけるばら積み貨物船用 PSH の現状

2.1 PSH の位置づけ

基本設計業務の流れの中で、ばら積み貨物船用 PSH は図 2 に示す位置にある。

PSH では規則算式計算と直接強度計算を行う。規則算式計算の目的は、各船体横断面の部材寸法の決定にある。規則算式計算が、二次元平面的な検討であるのに対し、直接強度計算は、三次元船体構造としての全体強度を確保するために行われ、これらの計算は、それぞれの規則要求を満足する必要がある。規則算式結果を基に直接強度計算の有限要素解析 (FE 解析) モデルを構築するため、一般に規則算式結果が先行して得られる。しかし、先行値は、直接強度評価要求を必ずしも満足していないため、直接強度評価での開始板厚に規則算式結果の先行値を採用し、この値を暫時増加させながら評価を繰り返して、要求値に持っていくのが合理的である。

2.2 直接強度計算の進め方

直接強度計算では、図 3 に示す三つの貨物倉からなる FE 解析モデル (以下、3 倉モデルと称す) により中央部貨物倉構造を評価するよう要求される。このことは、対象倉以外の前後倉もモデル化しなければならないこと、加えて複数ある評価対象倉の数に合せて、異なった 3 倉モデルを作成しなければならないことを意味する。更に、板厚強度は、開口部のない板の降伏強度 (以下、降伏強度と称す)、開口部のある板の降伏強度 (以下、開口せん断強度と称す) 及び座屈強度の 3 種であり、これら評価結果は、すべてについて規則要求を満足する板厚であることが要求される。更に、積付状態の異なる荷重条件に対して同様の評価を行うことが要求される。

CSR では 40 前後の荷重ケースが想定されており、従来どおりの手作業で、これらの要求する条件設定を行うことは非

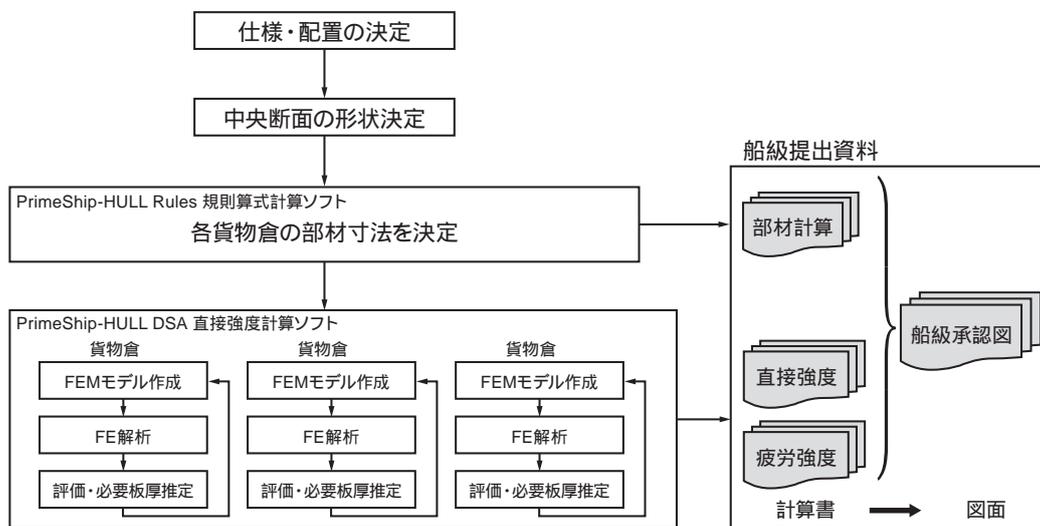


図 2 基本設計業務における PSH の位置づけ  
Position of PSH in the Basic Design

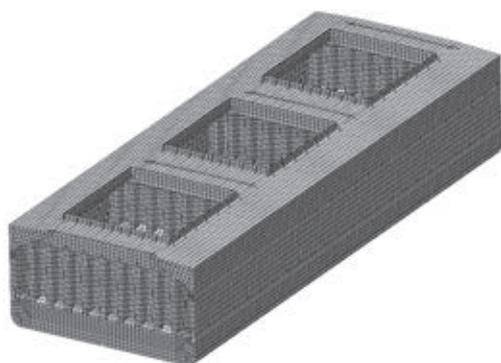


図3 ばら積貨物船用 FE 解析モデルの一例  
FE model for Bulk Carrier by CSR

現実的となった。そのため、直接強度計算ソフトを使用した業務は必須となっている。CSR の要求する煩雑な直接強度計算を支援するため、直接強度計算ソフトは以下の機能を提供している。

強度評価対象部材をほぼ自動で設定する。

荷重条件、拘束条件、腐食予備厚などの諸条件の入力をほぼ自動で設定する。

強度評価結果を安全率としてグラフィック表示する。

### 2.3 直接強度計算ソフト使用上の問題点

設計者へのインタビューや作業分析から、直接強度計算にかかわる作業に以下の問題点があることが分かった。

設計者の長時間拘束

FE 解析の条件設定はすべて自動であるため便利であるが、システム上、数分の待ち時間が断続的に発生する。そのため、設計者が拘束されることになる。

必要板厚推定にかかる時間の長さ

設計者は FE 解析結果について、3 種類の強度評価結果から要求強度を満足しない箇所を抽出し、必要板厚を推定している。更にそれぞれの評価結果を比較して 3 種類の評価項目すべての強度要求を満足するために、各部位の必要な板厚をまとめている。すべての評価を行い、必要な板厚を推定するのに要する時間は 1 回の計算あたり 2 ~ 3 日に及ぶ。その時間の 3 割は待ち時間が占める。

設計者による推定精度と作業工数のばらつき

繰り返し計算では初期板厚候補を選ぶ方法に 2 種類ある。類似船の値を参考値として採用する方法及びルール上必要最小限の板厚である規則算式結果を採用する方法である。いずれにするかは設計者の判断による。現状では経験から前者の手法が採られている。この場合、対象船は類似船の板厚分布の傾向とは必ずしも合致しないため、類似船より薄め若しくは厚めに見積もって計算を開始することが考えられる。経験から薄すぎると繰り返し数が増える。厚めにした場合は、板厚を下げて再評価を実行するという後戻り作業が発生する。計算の結果、規則の要求を満足しない箇所は発見されやすいが、満足している箇所については強度的な余裕がどの程度あるのか見極めるのに手間がかかる。

このように類似船による手法は、設計者によって精度と工数にばらつきが発生する。一方、規則算式結果を採用する手法では、設計者の技量によらず同品質の結果を得ることが期待できるが、解の信頼性を高めるために増分値を小さく取り過ぎると繰り返し数が増えるとの理由で採用されていない。

複数モデル及びデータベース作成の大きな負担

CSR の要求では、図 3 のような 3 倉モデルを評価倉の数作成し、評価しなければならない。これらのモデルは、中央の評価倉が積載倉、空倉、バラスト倉の 3 タイプに分類でき、それぞれ作成するモデルは異なってくる。また、評価倉の配置位置が異なるため、負荷すべき設計加速度も異なってくる。更に、評価倉を挟む前後倉の積載パターンも異なってくる。このような理由から、他のタイプの貨物倉を評価する場合、最初に作ったタイプのモデルデータをベースに用いて、板厚変更、部材形状修正、荷重ケース再定義などのデータの再構築を行った後、再び同様の繰り返し計算と評価を行わなければならない。しかも設計判断を必要とするため自動化はできない。また、本作業は自動処理システム開発後も準備作業として残るものであるが、自動化により繰り返し計算などの煩雑な作業が軽減すれば、設計者に及ぼす精神的負担は大幅に軽減されると考えられる。

## 3. 自動処理システムの開発目標

### 3.1 開発目標と達成項目

直接強度計算ソフトを用いる目的は、CSR の複雑な構造要件を漏れなく網羅し、評価することであるが、前述のとおり、現状の方法では精度良く定品質の評価を行うために多くの時間と労力がかかっている。そこで、自動処理システムの開発目標を以下とした。

パラメトリックスタディが容易にかつ短時間で実施でき、その評価結果を迅速に製品に反映できることとする。開発段階で頻繁に発生する仕様変更に対し、その都度正確な船価を把握する必要がある。そのため、重量の精度が十分に確保されていなければならない。

これらを受けて達成すべき項目を以下とした。

開発目標 の達成項目

- 1) 繰り返し処理の時間を短縮する。
- 2) 設計者の待ち時間を極力無くす。

開発目標 の達成項目

- 3) 設計者の誤操作及び判断の誤りを排除する。
- 4) 作業者が負担なく繰り返し計算ができる。

### 3.2 システムの機能要件

上述の目標を実現するシステムの機能要件を以下とした。ワンクリックで指定した繰り返し数を完全自動実行し、重量推移と板厚推移を記録して、終了までシステムの操作を不要とする。自動処理は、次に示す処理の連結で逐次実行される。

- 1) FE 解析を実行し、計算結果を得る。
- 2) FE 解析結果から、すべての評価対象の降伏強度、開口せん断強度及び座屈強度を評価する。

3)基準を満たさないすべてのFE要素について、評価値から要素板厚を逆算する。

4)求めた要素板厚を、実際の製品となる場合の板割を考慮して見直す。

5)見直した板厚をFE解析モデルに反映し、1)を再実行する。以下繰り返し計算となる。

規則算式で算出した板厚分布を初期値に設定し、繰り返し計算にて増厚する手法とする。

自動処理の行きつく先の一つのゴールとして、最適化が重要になると考えられる。そのため、最適化問題への拡張性や、自動実行単位としての管理の容易性から、市販の最適化支援ツール“modeFRONTIER<sup>4)</sup>”を自動実行処理の管理制御機能として採用する。

#### 4. 自動処理システムの概要

図1にシステム概要を示す。まず3貨物倉をモデル化したFE解析モデル(図3)を用意し、直接強度計算ソフトに取り込み、手順に従い設計条件を定義する。ここまでは従来と同様の手作業である。次に自動処理のための定義ファイルを作成し自動実行の準備を整える。自動実行範囲は解析、評価、板厚推定、板厚更新、再解析の繰り返し処理である。

##### 4.1 自動化システムの構成

図1のフローに示す番号順に各構成プログラムを説明する。「直接強度計算ソフト」を使ってPatranデータベースから“MSC・Nastran<sup>5)</sup>”の「入力ファイルを生成」し、MSC・Nastranを実行する。直接強度計算ソフトはNKが開発したシステムで、“Patran<sup>6)</sup>”をプラットフォームに使用し、ナビゲーション機能と対話機能を組み合わせ、CSRが要求する船体強度評価を行うことができるように機能拡張されている。ナビゲーションと対話は今回自動処理されている。「直接強度計算ソフト」により、応力解析結果をPatranデータベースに取り込みかつ「評価応力計算」を実行する。引き続き「直接強度計算ソフト」により、評価応力に対して「降伏・座屈強度評価」(降伏強度、開口せん断強度及び座屈強度の評価)を実行し、評価結果をcsvファイル(「CSV file」)として出力する。

出力された「CSV file」を入力データとして「必要板厚推定プログラム」により3種類の強度評価すべてを満たす必要板厚の推定値を算出する。

算出された板厚推定値を入力データとして「板割対応付マクロ」により、板割りパネル(後述)内の全要素をその中の最大板厚にそろえる。

の処理にて得られた板厚値で、「FEモデル自動修正プログラム」により、のPatranデータベースの板厚を更新する。

入力した回数までに戻り、繰り返す。

##### 4.2 自動実行前準備ファイル

自動実行前に以下のファイルを準備作成しておく。

座屈強度評価用 Patran データベース

開口せん断強度評価用 Patran データベース

セッションファイル(操作コマンド記述文)

座屈パネル定義ファイル(PSHより出力)

開口せん断パネル定義ファイル(PSHより出力)

板割りパネル定義ファイル(PSHより出力)

直接強度計算ソフトの入力パラメータは、すべてPatranデータベースファイルに記述される。自動処理実行前に、直接強度計算ソフト上で部材定義、荷重・境界条件の定義まで完了させたPatranデータベースを用意する。Patranと直接強度計算ソフトの操作と制御は、セッションファイルと呼ばれるコマンドが記述されたファイルを用いて自動実行させる。セッションファイルに記述されるコマンドには、解析モデルに依存するコマンドが含まれており、ひな形を編集して使う。

直接強度計算ソフトでは、座屈強度評価と開口せん断強度評価のために、パネルと呼ばれる評価単位を定義する(図4)。自動処理では、これらを必要板厚推定プログラムのインプットファイルとして利用するため、自動実行前に直接強度計算ソフトでパネル定義情報を作成し出力しておく。

降伏強度評価は要素単位で必要板厚が求められ、座屈強度や開口せん断強度では、定義されたパネル単位で必要板厚が算出される。実際の船体構造を構成する板材は、これらの中から一番厚いものを必要板厚として採用する。このため、本システムでは、板材の単位として新たに「板割りパネル」と称するパネルを定義し、3種類の強度を同時に満たす板材の必要板厚を推定できるようにした。(図4)。

##### 4.3 アウトプット

実行後のアウトプットは、繰り返しごとのデータベースファイル、重量結果ファイル及び板厚推定の結果ファイルである。

##### 4.4 操作手順

自動処理システムの操作手順は次のとおりである。

自動処理の実行単位はプロジェクト名で管理しており、1プロジェクトにつき1フォルダとしている。すべての関連ファイル及び生成ファイルが、このフォルダ内に階層構造をなして格納される。新規プロジェクトを作成する場合は、ひな形プロジェクトを編集して使う。

自動処理システムは、起動画面に繰り返し数を入力し、開始ボタンをクリックすると開始し、最後の処理が完了すると停止する。重量増加が収束した時点で、基準を満たさない箇所については、設計者の判断により別途板厚を決定する。

#### 5. 適用事例

本システムを開発段階にあるばら積貨物船に適用した事例を以下に示す。

開発段階では、計算書の作成を目的とするのではなく、仕様要件との整合性や精度の良い重量を把握することにより、船型計画及び船価の推定精度を高めることを目的とする。この場合、限られた時間の中で精度の高い検討を行うことが求められる。

本事例では、前後倉を空貨物倉とし、中央倉に高比重貨物を積載する3倉モデルを対象とし、降伏強度評価、開口せん断強度評価及び座屈強度評価を実施した。自動処理は、規則算式計算から求めた板厚を初期板厚とし、解析、評価、板厚

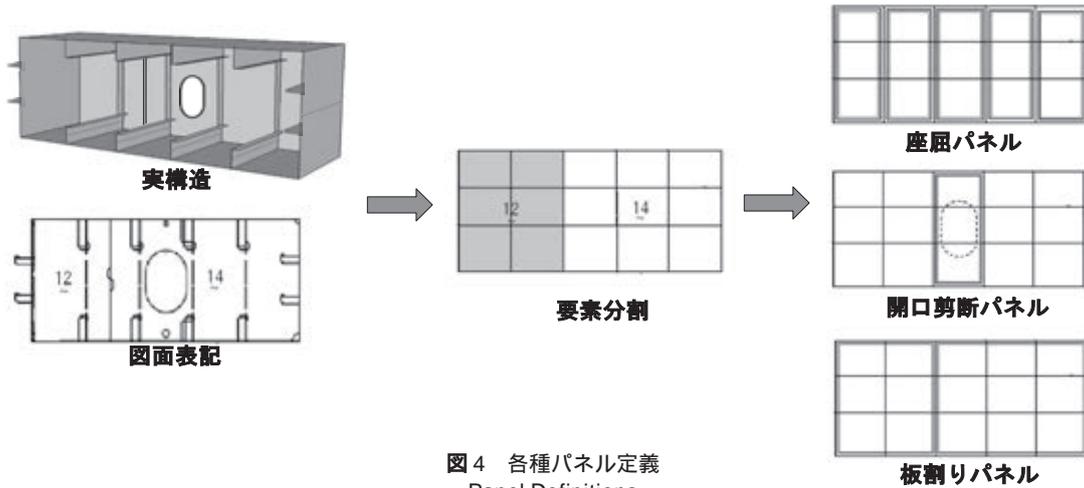


図4 各種パネル定義  
Panel Definitions

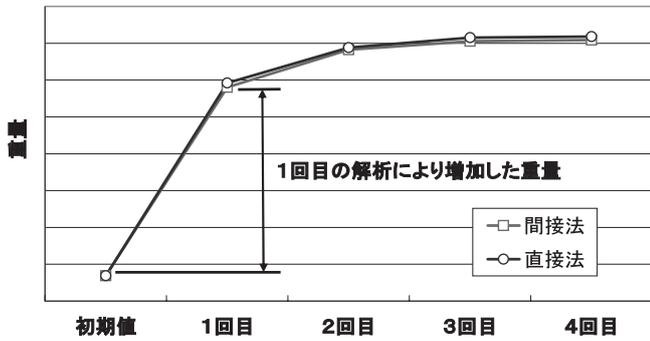


図5 重量増加の推移  
Transition of the Weight

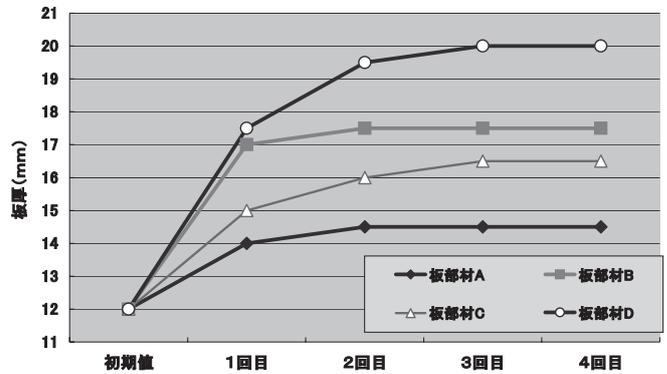


図6 板厚の推移  
Transition of the Plate thickness

推定，板厚更新，再解析などの処理を4回繰り返した。

直接強度計算では，評価応力を計算する手法に「直接法」と「間接法」の二通りがあり，設計者はいずれか一方の手法を選択する。「間接法」は，局部応力とハルガーダ応力を別々に求め，これらの合計を評価応力値とする．ここに，局部応力とは，積み荷と海水圧により生ずる応力を言い，ハルガーダ応力とは，船体に曲げモーメント外力を負荷した時に生ずる応力を言う．局部応力はFE解析で求めるが，ハルガーダ応力は，船体を箱型はりのみなし，断面位置での曲げモーメントと断面係数から算式により各要素位置での応力値として算出するものである．一方，「直接法」は，モデルの両端に曲げモーメント外力を負荷してハルガーダ応力を求める．つまり「直接法」は，局部応力とハルガーダ応力を一括FE解析で求める手法である．これまで両手法の計算結果を比較したことはなかったが，本システムでは，設計手法の検証作業にも容易に適用が可能であり，セッションファイルの一部を変更するだけで容易に設定変更が可能のため，両手法の比較検討を試みた．その結果，両者の処理時間にほとんど差のないことが分った．さらに推定重量にも，ほとんど差のないこと

も判明した．「間接法」と「直接法」の重量増加の推移を図5に示す．

また，「間接法」による板厚増加の推移を図6に示す．板厚及び重量は3回目の計算で，ほぼ収束することが確認された．

繰り返し数3回目までの手作業と自動処理の作業時間の比較を図7に示す．双方とも規則算式計算の板厚を初期値としている．本システムにより，解析準備から終了までの合計時間は，従来の6割程度までに短縮できた．また，自動処理の準備のために，従来にはない作業が発生するものの，作業者が拘束される時間は5割以下にまで短縮できた．

## 6. 結言

財団法人日本海事協会が提供する，CSR設計支援ツールである，ばら積貨物船用PrimeShip-HULL DSAを効率的に自動処理するシステムを開発し，新開発船の設計に適用して，従来法と比較した．その結果，以下を確認した．

今回の事例では，解析準備から終了までの全作業時間を従来の6割程度にまで短縮できた．一方，設計者に発生していた拘束時間は，5割以上削減された．自動処理を夜間処

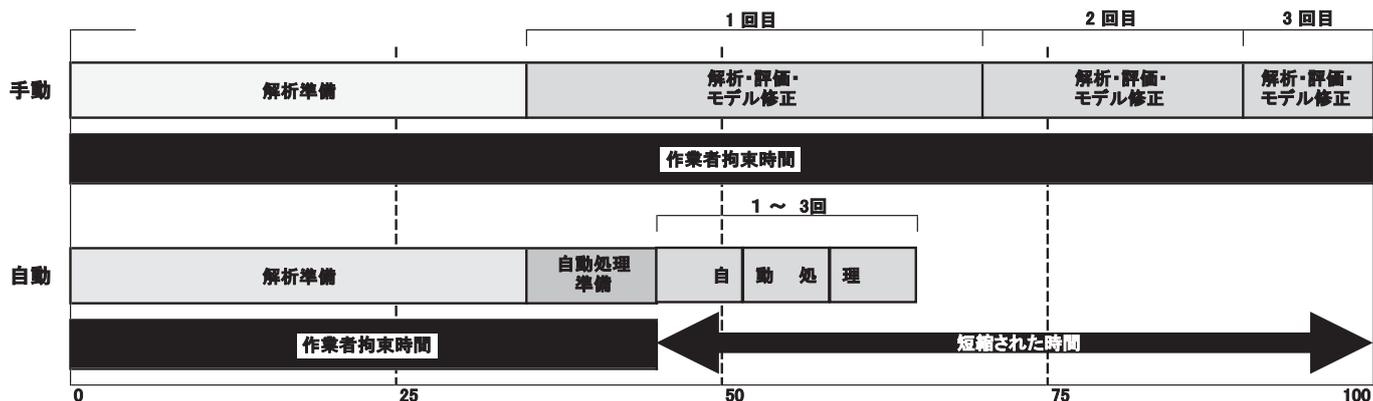


図7 作業時間の比較(%)  
Comparison of Working Hours

理すればさらに効率が上がり，設計者の全作業時間は半分以下になる．

繰り返し処理による作業への負担がなくなった．その結果，重量や板厚の増加推移が収束するまで処理できるようになり，収束傾向を定量的に把握することが可能となった．一度自動処理を実行した後は，パラメトリックスタディが容易となる．

このように自動化処理システムの開発により，短期間に精度と信頼性の確保された合理的設計を行うことが可能となった．今後の課題としては，最適化への機能拡張がある．余剰板厚を適切な厚さに調整する機能を追加し，重量最小となる最適板厚分布を選び出す最適化機能の開発を図る予定である．

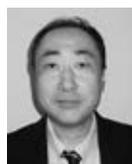
参 考 文 献

- 1)財団法人日本海事協会：鋼船規則 CSR-B 編 ばら積貨物船のための共通構造規則
- 2)財団法人日本海事協会：鋼船規則 CSR-T 編 二重船殻油タンカーのための共通構造規則

- 3)ClassNK : PrimeShip-HULL ( CSR ) User's Guide to Direct Strength Assessment System
- 4) modeFRONTIER™4 ユーザマニュアル, 2009 ESTECO s.r.l.
- 5)MSC.Nastran User's Guide, MSC.Software Corporation
- 6)MSC.Patran User's Guide, MSC.Software Corporation

〔問い合わせ先〕

船舶・艦艇事業本部 基本設計部  
TEL 03 - 5202 - 3529 神永 肇



神永 肇



望月 幸司

# 低温プラズマ技術を応用したエンジン起動時対応 DPF の開発

加藤 寿仁\* 野津 匡史\*\* 松岡 克憲\*\*\* 今井 兼久\*\*\*\*

## Development of Diesel Particulate Filter applying Non-Thermal Plasma Technology, having Capacity for Adaptation in DE Startup

Toshihito KATO, Tadahumi NOTSU, Katsunori MATSUOKA, Kanehisa IMAI

Regulation on the emission control for NO<sub>x</sub>, HC, CO and Particulate Matter (PM) from marine diesel engine (DE) has been established globally by the International Maritime Organisation (IMO) since May 2005 and it has become increasingly stringent. IMO Tier 2 for NO<sub>x</sub> emission control has been adopted in the 58 Marine Environment Protection Committee (MEPC) held in October 2008 and it is required to reduce more 15 through 22% NO<sub>x</sub> emission for the vessels built since January 2011 compared to that defined in the IMO Tier 1. And also it is expected that a regulation for PM emission will be established in the near future as well. In Tokyo, Japan, the emission control for exhaust from vessels in harbor has been pushed forward. In addition, an increasing demand for Diesel Particulate Filter (DPF) is anticipated from shipping and ship management companies operating Pure Car Carrier (PCC) and container ships in order to prevent the pollution of cargo by exhaust from DE generator while the ships are in harbor.

Since 2007 Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd. and Daihatsu Diesel Mfg. Co., Ltd. have been developing a DPF for an on-board 1 MW DE generator using fuel oil with 2 000 ppm sulfur, applying non-thermal plasma technology to cope with such customers' needs. In consequence, a DPF with 50% soot reduction has been achieved and confirmed in bench tests under steady DE operation. On the other hand the customers call for a DPF with further soot reduction rate in DE start up so that we have developed an improved DPF applying non-thermal plasma technology, available even in the DE start up.

船用ディーゼルエンジン( DE )の排出ガス規制は、国際海事機構( IMO )による国際的な規制が 2005 年 5 月に発効されて以来、次第に強化される方向にある。2008 年 10 月に開催された第 58 回海洋環境保護委員会( MEPC )において、2011 年 1 月以降に建造される船舶からの窒素酸化物( NO<sub>x</sub> )の排出を、一次規制基準で 15 ~ 22% 削減するという二次規制が採択されており、粒子状物質( Particulate Matter : PM )についても、近い将来規制対象となる情勢にある。国内でも東京都において、内航船の港湾内での排気ガス規制化が進められつつある。また、自動車運搬船やコンテナ船を運航する船主、船舶運航管理会社が、港湾停泊時に中速 DE 発電機関から排出される PM、特にスス( Soot )による積荷汚染の防止を要求していることから、脱じん装置( Diesel Particulate Filter : DPF )の需要が見込まれる。

このような顧客ニーズに対応するために、1 MW 出力、2 000 ppm 硫黄含有 LSA 重油( JIS 規格 1 種 1 号 )使用中速 DE 発電機関を対象として、低温プラズマ技術を応用した DPF をダイハツディーゼル株式会社と共同して 2008 年度までに開発した。開発した DPF は、エンジン定常運転時における脱じん率が 50% 程度のものであった。一方、エンジン起動時の非常にスス濃度が高い排気ガスに対して、より大きな脱じん率が顧客から求められており、エンジン起動時に限定して、脱じん率を大幅に向上した改良型プラズマ DPF を開発した。

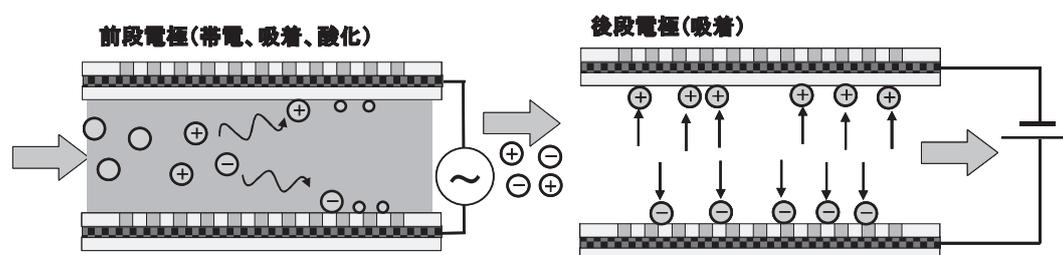


図1 エンジン起動時対応プラズマ DPF の原理

Principles of DPF applying Non-Thermal Plasma Technology, having Capacity for Adaptation in DE Startup

\* 技術本部 千葉技術開発センター

\*\*\* 機械・システム事業本部 企画管理部

\*\* 機械・システム事業本部 機械工場 パワーエレクトロニクス設計部

\*\*\*\* 機械・システム事業本部 事業開発部

## 1. 背景

船用分野では、粒子状物質 (Particulate Matter : PM) は煤じんと呼ぶこともあるが、JIS 規格<sup>1)</sup>では、『ろ過した清浄な空気中、一次フィルタの直前において、325 K (52 °C) 以下まで希釈した排気から、決められたフィルタに捕集されるすべての物質。これは、主に炭素、凝縮した炭化水素及び硫化物ならびに吸着された水である』と定義されており、スス (Soot)、硫酸イオンが水と結合した物質 (Sulfate)、灰分 (炭酸カルシウム等)、可溶性の未燃炭化水素や潤滑油 (Soluble Organic Fraction : SOF) などの総称である。

IMO による船舶排気ガスに対する対策は、NO<sub>x</sub> 排出量規制が先行しており<sup>2)</sup>、PM に関しては直接的な排出量規制はなく、燃料油中の硫黄分を段階的に削減する方針となっている。これは、船舶から排出される PM の大部分が、主機である低速機関から排出される Sulfate と SOF を主体とした PM であり、Sulfate は燃料油中の硫黄分の削減によって、ほぼ比例的にその排出量を削減できるためである。

しかし、ナノサイズ粒子から構成される Soot や、発がん性が指摘されている多環芳香族炭化水素 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon : PAH)<sup>3)</sup>等を含む SOF の排出がいつまでも規制対象外になるとは考えにくい。また補機である小型高速機関は、シリンダ空間が狭く燃焼時間が短いため不完全燃焼を起こしやすく、Soot と SOF が主体の PM すなわち黒煙を排出する。自動車運搬船等の船舶運航会社からは、停泊中に補機から排出される黒煙が、積み荷を汚染するトラブルが報告されており、補機の黒煙の不可視化ニーズが高い。

三井造船では船用補機向けに、脱 Soot 率 50% 程度の DPF をダイハツディーゼル株式会社と共同で開発した<sup>4)</sup>。更に、これをベースとして、エンジン起動時にも対応できる改良を行ったので報告する。

## 2. 開発目標

### 2.1 1 MW 船用エンジン用 DPF

補機から排出される PM は Soot と SOF が主体である。排気ガス中の SOF は、1) Soot を核とした粒子鎖の表面に液体状で存在、2) Soot を核としない液滴として存在、3) 沸点の低い成分が気体として存在、の三つの形態を取っている。開発した DPF は、微粒子を帯電させて吸引・吸着する方式であるため、Soot 及び上述の 1) と 2) の SOF に対しては有効であるが、3) の気体状の SOF を処理する能力は乏しい。また、3.1 で述べる測定装置の制約から、SOF 濃度を直接的に測定していない。このため、本 DPF は、固体の Soot と同時に液体状の SOF を処理する能力も有するが、本報では、Soot 濃度のみに着目して DPF の性能を評価した。

2008 年度までに黒煙の不可視化を目的とした 1MW 補機用プラズマ DPF を開発し、エンジン定常運転時の脱 Soot 率は、目標とした 40 ~ 50% であることを確認した。このため、実用化に向けた課題抽出のため、以下の試験を実施した。

プラズマ DPF の船級取得のため、国際電気標準会議 (International Electrotechnical Commission : IEC) 及び

国際無線障害特別委員会 (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques : CISPR) の規定に従ったイミュニティ試験、エミッション試験、振動試験  
200 時間 / 33 日間の耐久試験

エンジン起動時の排気ガスに対する脱 Soot 性能試験

脱 Soot 性能試験に用いたエンジンは、ダイハツディーゼル株式会社製 6DL-22 で、定常運転時の Soot 濃度が 6 ~ 20 mg/Nm<sup>3</sup> であるのに対し、エンジン起動時の Soot 濃度は約 2 000 mg/Nm<sup>3</sup> であった。プラズマ DPF の脱 Soot 率は、エンジン起動時においても 40% 強であったが、排気ガス中の Soot 濃度が高いために、黒煙の不可視化には至らなかった。積み荷汚染防止の観点から、エンジン定常運転時よりもエンジン起動時に排出される非常に濃度の高い Soot への対応が急務であると考え、エンジン起動時対応プラズマ DPF の開発を加速することにした。

### 2.2 起動時対応プラズマ DPF の開発コンセプト

従来のプラズマ DPF の原理を図 2 に示す。排気ガス中の Soot を帯電、吸引・捕捉、酸化させる機能が 1 種類の電極で実現されることで、シンプルな機器構成ながら Soot を連続的に処理することが可能となった。低温プラズマによる Soot の捕捉及び酸化のメカニズムについては既報を参照されたい<sup>4)5)</sup>。

しかし、Soot の捕捉能力を強化するために、電極にセラミックボールを充填して電極内を流れる排気ガスを積極的に攪拌したため、圧力損失が比較的大きくなった。また、波形制御機能を持った高周波電源も高価なものとなった。

これに対して、エンジン起動時対応プラズマ DPF の開発目標を表 1 に、原理を図 1 に示す。エンジン起動時の排気ガスに対して脱 Soot 率 90% 以上を達成するため、プラズマ電極を前後 2 段に分割して役割分担させる方針とした。

前段電極の主たる目的は、プラズマ生成による Soot の帯電であるため、圧力損失の増大を招くセラミックボールを使用しない形式とした。また、脱 Soot 率と Soot 酸化能力を個別に制御するための H プリッジ回路を用いた電圧波形制御を行う必要がなくなったため、安価な高周波電源を用いることが可能となった。

表 1 開発目標  
Goal of the Project

項目	仕様
対象 DE 出力	1 000 kW
使用燃料	C 重油 (硫黄含有率 2% 以下)
寸法	現状の消音器相当の大きさ (消音器機能を兼ねる)
使用温度環境	エンジンルーム温度
使用時	エンジン起動時
脱 Soot 率	脱 Soot 率 90 ~ 95% 出口 Soot 濃度 (参考) FSN *1 1.0 又は Soot 20 mg/Nm <sup>3</sup>
許容圧力損失	200 mmAq.

\*1 : ISO 10054, Filter Smoke Meter

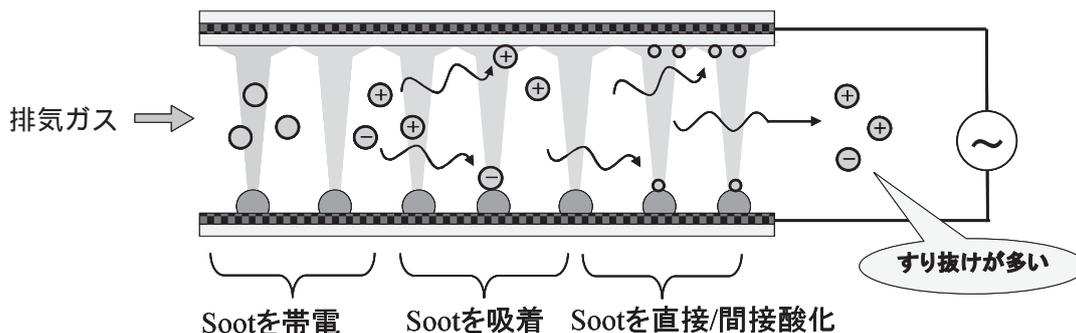


図2 従来のプラズマ DPF の原理  
Principles of the Past DPF applying Non-Thermal Plasma Technology

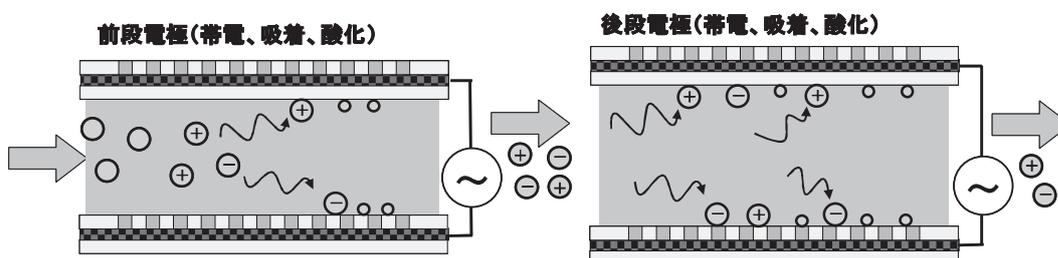


図3 Soot 酸化時の起動時対応プラズマ DPF の原理  
Principles of DPF applying Non-Thermal Plasma Technology in Soot Combustion Mode, having Capacity for Adaptation in DE Startup

後段電極は、帯電された Soot を静電界で吸着する方式としたため、短時間に限定すれば脱 Soot 率を大幅に向上できる。なお、エンジン起動終了後、後段電極にも低温プラズマを発生させ、電極表面に吸着済みの Soot を酸化処理できる電極仕様とした Soot 酸化時のプラズマ DPF の原理を図3に示す。

本集塵方式は、ボイラ排気ガス等に利用されている電気集塵機に類似している。電気集塵機では、灰など微粒子の帯電にグロー放電電極を、帯電した微粒子の集塵に静電界を用いており、後段電極に吸着した微粒子は、定期的に機械的操作で除去されている。もし除去操作を怠ると、帯電粒子が後段電極上で数珠状に凝集して肥大化し、風圧によって剥離・再飛散する。一方、開発したプラズマ DPF は、船用機器としての保守性を考慮して、捕捉した Soot を溜め込まずに、間欠的に酸化処理する従来のプラズマ DPF の特長を残したまま、高い脱 Soot 性能の実現を目指すものである。

### 2.3 電極仕様選定

従来のプラズマ DPF と同様、排気ガスを流す並行平板間に誘電体バリア放電によりプラズマを発生させる。誘電体バリア放電とは、電極の少なくとも一方を誘電体で覆い、高電界の印加により電子を加速して電極空間の電的に中性な原子に衝突させ、電子なだれによる多数の電子やイオンを生成する放電形態である(図4)。生成された電子集団は、陰極側から陽極側へと高速で移動するストリーマを形成するが、電極表面に誘電体(絶縁体)を配しているために電極からプラズマ空間に電流が注入されず、アーク放電には至らない。電

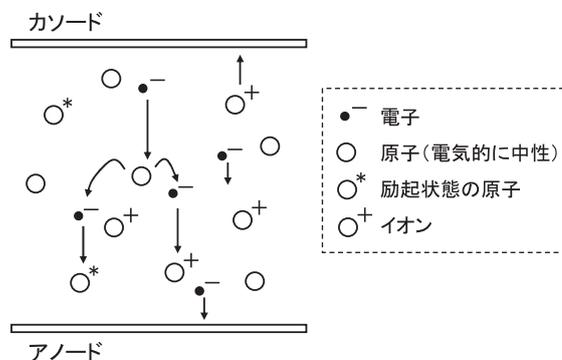


図4 電子なだれ  
Electron Avalanche

極に印加する電圧の変化が終了すると、ストリーマ生成は終了するが、電界の方向を逆転させることで、逆方向の電子なだれを発生させることができる。高周波電源によって電界の方向を高速で変化させれば、電子に比べて重いイオンは、ほとんど移動できずに電子のみが動くため、電子温度のみが高い低温プラズマ(非熱平衡プラズマ)を形成できる。ストリーマにより生成される電子は酸化作用が強いいため、最近では冷蔵庫やエアコンの殺菌・空気清浄技術としても用いられている。

起動時対応プラズマ DPF は、エンジン起動時の温度が低い排気ガスに対しても、前段電極で低温プラズマを発生させなければならない。温度が低い排気ガスは分子密度が高いた

め、電界によって加速された電子が十分な速度(エネルギー)を得る前に分子と衝突する確率が高い。したがって、常温の排気ガス中では、例えば 300 排気ガス中と比べて 1.5 倍ほど大きな電圧を印加しなければ放電が始まらない。しかし、低温でのプラズマ発生が容易なことだけに注目してギャップ長さ等の電極仕様を選択すると、高温排気ガス中では局所に大きな電力が投入され、電極が破損する恐れがある。そこで過去の知見に基づいて数種類の前段電極を試作し、常温及び 300 におけるプラズマ発生時の電圧電流波形を確認して、電極のギャップ長を 1.3 mm に選定した。前段電極を写真 1 に、電極仕様を表 2 に示す。なお、従来の DPF 電極では、セラミックボールがストリーマ放電の起点となっていたが、新しい DPF の電極では、一方の誘電体に貫通穴をあけることで放電の起点とした。

一方、後段電極では、プラズマ発生は高温排気ガス中に限られるため、ギャップ長を大きく設定して圧力損失を低減する方針とした。数種類の後段電極を試作し、電圧電流波形を確認して、電極のギャップ長を 1.9 mm に選定した。

### 3. 性能評価

#### 3.1 試験方法

最終的な開発目標は、1 MW クラスの船用 DE に適用でき



写真 1 前段電極  
Front Electrodes

表 2 電極仕様  
Specifications of Electrodes

	前段電極	後段電極
導電体	SUS304, 厚さ 0.5 mm	同左
誘電体 1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 厚さ 1.0 mm	同左
誘電体 2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 厚さ 0.5 mm 貫通穴*2	同左
ギャップ開口部	110 mm × 1.3 mm	110 mm × 1.9 mm
ギャップ数	24	同左

\*2: 3.5 mm × 248 個, 60° 千鳥

るプラズマ DPF であるが、開発の第一歩として、10 kW クラスの DE を用いた要素試験により、設計電極の脱 Soot 性能を評価した。試験装置の構成を図 5 に示す。図示していないが、計測機器として電力計、オシロスコープ、高電圧プローブ、移動電荷計測用コンデンサなどを用いた。バイパスラインのバルブ開度を調節して、エンジン発電機(北越工業 SDG13S-3A5, エンジン: いすゞ 3LD1, 4 サイクル, 3 気筒, 1496cc, 発電機: 13 kVA)からの排気ガス 50 Nm<sup>3</sup>/h を DPF に通気して実験を行った。

表 1 では使用燃料を C 重油としたが、本試験に用いたエンジンは C 重油に対応していないため、エンジン起動時の試験には軽油(硫黄濃度 6 ppm)を使用した。また、エンジン定常運転時の試験には、Soot 濃度をより高くするために軽油に代えて A 重油(硫黄濃度 900 ppm)を用いた。表 1 と硫黄濃度が大きく異なるが、これまでの知見から本形式のプラズマ DPF の脱 Soot 率は、燃料油中の硫黄濃度に大きく影響されないことが分かっている。

DPF 部分は、直列に接続した小型リアクタ 2 台で構成され、それぞれ内部に前段電極、後段電極を各 1 個セットした。DPF の前後に排気ガスサンプリングポートを設け、加熱ラインを通して AVL 製スモークメータ 415S で排気ガスを吸引した。スモークメータは、吸引した排気ガスをろ紙を通して微粒子を濾し取り、ろ紙の反射光の黒色度から測定器内部の換算式を用いて Soot 濃度を測定する。ろ紙には白色または薄黄色の液状の SOF も吸着するが、スモークメータの測定値は、黒色である Soot の濃度に大きく依存するので、本開発では、これを Soot 濃度とみなした。

試験に用いた電源仕様を表 3 に、また、前段電極に印加した代表的な電圧波形を図 6 に示す。前段電極に投入するプラズマ電力は、排気ガス流量 50 Nm<sup>3</sup>/h に対して 500 W を基準とした。これは従来のプラズマ DPF と同様、エンジン(発電機)出力の約 6% に相当する。なお、ここでプラズマ電力には、高周波電源の一次側(単相 200 V)に接続した電力計の読み値を採用したが、電極側で測定した高周波電圧波形と移動電荷量からリサージュ図を作成して求めた電力との相関も確認した。

#### 3.2 エンジン定常運転時の脱 Soot 性能

エンジン定常運転時における脱 Soot 試験結果を図 7 に示す。高周波電源出力と直流電源電圧をパラメータとして、

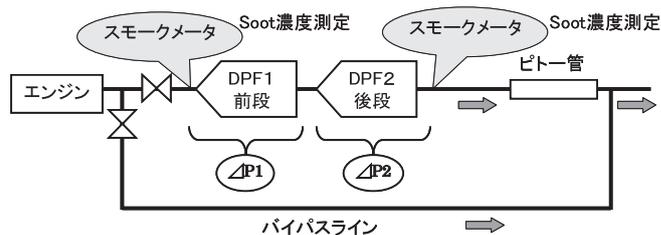


図 5 試験装置の構成  
Schematic Diagram of Test Bench

表3 電源仕様  
Specifications of Power Supplies

	前段	後段
メーカー	(株)増田研究所	Glassman High Voltage
タイプ	高周波電源	直流電源
型式	HCII-1.9/18	KL6R450
電圧	AC ± 9 kV * <sup>3</sup> , 2 ~ 4 kHz	DC ± 6 kV
電流	- -	450 mA * <sup>5</sup>
出力	600 W * <sup>4</sup>	2 700 W * <sup>5</sup>

\*<sup>3</sup>: 電極を接続しない場合

\*<sup>4</sup>: 1.9nF のコンデンサを接続した場合

\*<sup>5</sup>: 実際には電流がほとんど流れず、電力も消費しない

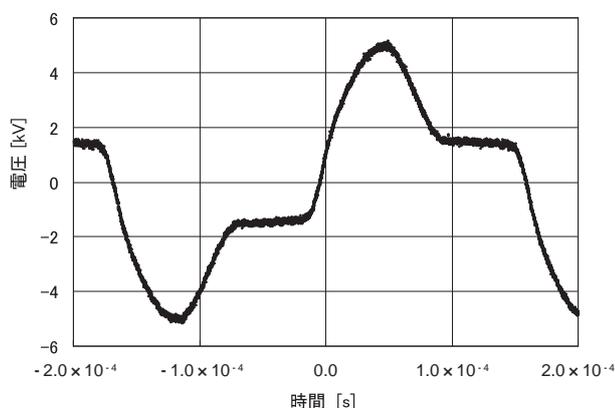


図6 電圧波形の例(3 kHz)  
Electrode Voltage Waveform

DPF 出口の Soot 濃度を概ね 4 回ずつ計測した。各データの測定間隔は 2 ~ 3 分、総試験時間は 2 時間 10 分である。

前段の高周波電源と後段の直流電源が共にオフの時、Soot 濃度は 38.11 mg/Nm<sup>3</sup> (平均値、以下同様)であった。また、DPF 入口と DPF 出口の Soot 濃度は、ほぼ同じであった。

前段電極に高周波電源を使用し、低温プラズマを発生させた時の脱 Soot 率は、45.8% (254 W 時)、63.3% (532 W 時)であった。

また、前段電極に 494 W を印加して低温プラズマを発生させ、後段電極に直流電圧を印加した時の脱 Soot 率は、94.1% (2 kV 時)、96.6% (3 kV 時)、97.3% (4 kV 時)であった。開発目標ではないが、エンジン定常運転時においても、脱 Soot 率が 90% 以上であることを確認できた。

なお、前段電極に低温プラズマを発生させずに、後段電極に直流電圧を印加した場合、脱 Soot 率は 17.6% (3 kV 時)であった。

### 3.3 エンジン起動時の脱 Soot 性能

エンジン起動直後の排気ガスの Soot 濃度は極めて高いが、数秒から 10 秒経過すると Soot 濃度は大きく低下する。

一方、スモークメータは非定常状態の排気ガスを測定する装置ではない。すなわち、AVL スモークメータ 415S は、

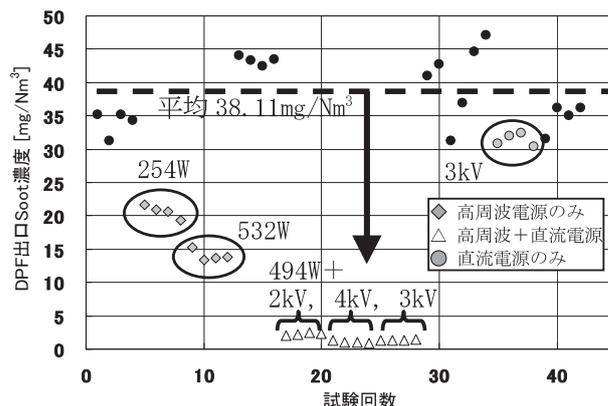


図7 エンジン定常運転時の脱 Soot 性能試験結果  
Soot Removal Efficiency under Steady DE Operation

測定開始のトリガ信号を受けると数秒間の吸引ライン掃気操作を行った後、排気ガスを 6 秒間(標準)吸引してフィルターに通気するため、Soot 濃度は 6 秒間に吸引した排気ガスに含まれていた Soot の平均値として評価される。

そこで、エンジンからの排気ガスがサンプリングポートに到達する時間を計算し、エンジン起動の 1 秒前から 5 秒後までの排気ガスを吸引するように、スモークメータの測定開始トリガタイミングを設定した。測定手順を以下に示す。

- 配管や電極を 150 程度の一定温度に保つ。
- エンジンを無負荷で十分に暖機する。
- 排気ガス全量をバイパスラインに流した状態で 5 分待つ。
- エンジンを停止する。
- バイパスから主ラインにバルブを切り替える。
- 高周波電源と直流電源をオンにする。
- スモークメータの測定トリガをオンにする。
- 計算した秒数待って、エンジンを起動する。
- DPF 出口または入口の Soot 濃度を測定する。(自動)
- 30 秒後にエンジンを停止する。
- 計測データを確認する。
- エンジンを始動して に戻る。

なお、エンジン定常運転時の脱 Soot 性能を評価した時のプラズマ電力は約 500 W であったが、エンジン起動時には排気ガス全量(約 60 Nm<sup>3</sup>/h)を DPF に流すため、プラズマ電力を 600 W とした。また、直流電圧は、設定可能な最大値 6 kV とした。エンジン起動時における脱 Soot 試験結果を図 7 に示す。

エンジン起動時の排気ガスは、装置内に残っている比較的小さい残ガスと混ざりながら流れていく。特に、電極を収納した二つのリアクタ内部には、残ガスが滞留している広い空間部があるため、エンジン起動時の排気ガスがリアクタを通ると Soot 濃度が減少する。この効果は最終的に排出される Soot の総量を減らすことはできないが、Soot 濃度の最大値を小さくして黒煙を目立たせない効果は期待できる。

本報では、プラズマ DPF 本来の性能を評価するため、

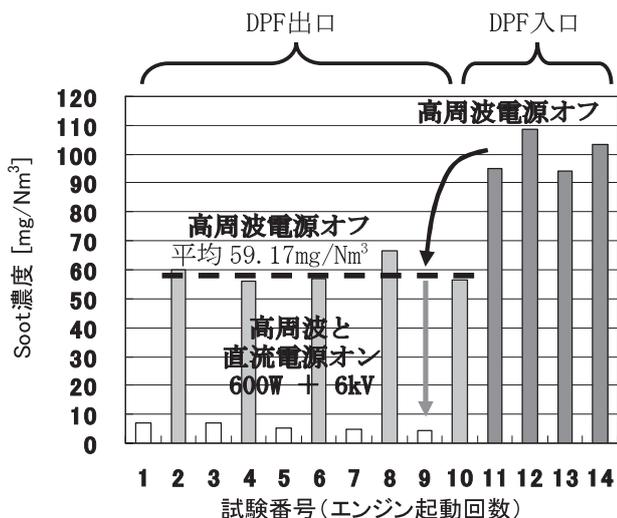


図 エンジン起動時の脱 Soot 性能試験結果  
Soot Removal Efficiency under Startup DE Operation

DPF 出口の Soot 濃度の変化で脱 Soot 率を評価した。すなわち、高周波電源と直流電源をオフとした時の、DPF 出口の Soot 濃度を 5 回測定したところ、平均値は 59.17 mg/Nm<sup>3</sup>であった。また、高周波電源と直流電源をオンとした時の、DPF 出口の Soot 濃度を 5 回測定したところ、平均値は 5.67 mg/Nm<sup>3</sup>であった。以上より、脱 Soot 率は 90.5% となり、開発目標を達成できた。

#### 4. まとめ

エンジン定常運転時に連続使用できる脱 Soot 率 40 ~ 50% のプラズマ DPF をベースとして、エンジン起動時の非常に Soot 濃度が高い排気ガスにも適用できる電極仕様、電源仕様を選定した。更に、10 kW クラスの DE を用いた要素試験を行い、開発目標を達成した。

従来の DPF と本報で開発した起動時対応 DPF の性能比較を表 4 に示す。起動時対応 DPF は、電極内にセラミックボールを充填していないが、従来の DPF に比べて電極ギャップが小さいため、エンジン定常運転時において同程度の脱 Soot 率を得ることができた。また、エンジン起動時には開発目標である脱 Soot 率 90% 以上が得られた。なお、圧力損失においても目標である 200mmAq を大きく下回る結果が得られた。

#### 5. 今後の予定

NO<sub>x</sub> 規制の先行と燃料油の高騰が、プラズマ DPF の開発にとって向かい風になった感がある。しかし、いずれ PM 排出が規制される時代が来るとわれ、その時まで、当社が蓄積した技術力を維持増進していく所存である。

本開発により電極仕様の選定ができ、従来のプラズマ DPF 開発と同様のステップを踏んで、電源を含めたシステ

表 4 DPF の性能比較  
Comparison between the Past and Developed DPFs

	ギャップ	脱 Soot 率 <sup>*6</sup>	圧力損失
従来の DPF	2.5 mm セラミックボール	定常時 40 ~ 50%	100 mmAq
起動時対応 DPF	(前)1.3 mm (後)1.9 mm	定常時 約 50% <sup>*7</sup> 起動時 90 ~ 95% <sup>*8</sup>	50 mmAq <sup>*8</sup>

\*6: 排気ガス 10 Nm<sup>3</sup>/h に対して、プラズマ電力 100 W の場合

\*7: 前段電極の値

\*8: 前段後段電極の合計値

ム全体を実機サイズにまでスケールアップしていくことは、十分可能と思われる。

なお、PM 排出に関する世界的な情勢として、量の規制から数の規制へと変化する気運がある。すなわち、ナノ粒子に対する規制が強くなる可能性がある。

濾過型のフィルターを用いた一般的な DPF は、ナノ粒子に対する捕捉率が低く、また捕捉していたナノ粒子をフィルター再生時に再放出するなど、問題も多い。本開発のプラズマ DPF は、ナノ粒子に対する捕捉率が高いことが予想され、またナノ粒子を連続的に酸化燃焼できるため、再放出の問題も少ないと思われる。

#### 参考文献

- 1) 日本規格協会：JIS B 8008-1, (2000)
- 2) 例えば、花本：船用中速ディーゼル機関における IMO 規制対応技術，日本マリンエンジニアリング学会，46，486(2011)，p. 29
- 3) 例えば、鈴木：ディーゼル排気粒子の生態影響，日本エアロゾル学会，16，3(2001)，p. 180
- 4) 加藤・外：低温プラズマ技術を応用した船用発電機用 DPF の開発，三井造船技報，199(2010)，p. 25
- 5) T. Kato, et al. : Development of Diesel Particulate Filter Applying Non-thermal Plasma Technology for On-board Diesel Generators, Journal of JIME, 45, 484 (2010), p.26

〔問い合わせ先〕

技術本部 千葉技術開発センター  
TEL 0436 - 41 - 1930 加藤 寿仁



加藤 寿仁 野津 匡史 松岡 克憲 今井 兼久

# 船用低速ディーゼルエンジンの シミュレーション技術の開発

辻 康之\* 田中 一郎\*\*

## Simulation Technology for Large Marine Diesel Engine in Dynamic Response

Yasuyuki TSUJI, Ichiro TANAKA

For large marine diesel engine, there is a pressing demand for technological development to reduce emission of carbon dioxide and to meet tighter NO<sub>x</sub> and SO<sub>x</sub> regulations. Though it is hard to meet the demand only by diesel engine improvement, there is a good possibility of meeting demand by the application of waste heat recovery system, post-possessing reactor for NO<sub>x</sub> and SO<sub>x</sub> reduction and burning of LNG fuel. In other words, the large marine diesel engine in the near future will be a combined system of these applications as a marine diesel engine power plant.

A dynamic response simulation technology with feedback control is considered very useful to realize the response of the total system including control system. However, since the realization of the system including control system deals with an enormous amount of data, the enhancement of realization accuracy as well as the simplification of simulation model is urgently required.

Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd. has developed the base of computer simulation system of which result conforms to test bench experiment within 10% error and there is good match in dynamic response in revolution.

The possibility of application to a larger scale plant with environmental equipment and heat recovery system was also confirmed.

船用低速ディーゼルエンジンには、CO<sub>2</sub>削減のための技術開発に留まらず、NO<sub>x</sub>とSO<sub>x</sub>の環境規制強化への対応が求められているが、エンジン単体での達成は困難であり、排熱回収システムや脱硝・脱硫装置との組み合わせ、LNG燃料の利用などの対応が考えられる。すなわち、今後のエンジンは、船用推進システムとして各種機器との組み合わせが予想され、システムが複雑化するため、制御系を含むシステム全体の応答を再現するシミュレーション技術が有用となる。制御系を含むシステムの再現は、過渡応答の再現と大規模なシステム全体を対象とするため、再現精度とシミュレーションモデルの簡易化を両立する必要がある。

低速ディーゼルエンジンを構成する各要素を単純にモデル化し、連携させることにより、シミュレーション結果は、陸上試験と誤差10%程度で、主軸トルク、軸回転数などの応答も良好な一致を得た。また、今後予想される環境装置、廃熱回収装置によるシステム大規模化へも対応できる可能性を確認した。

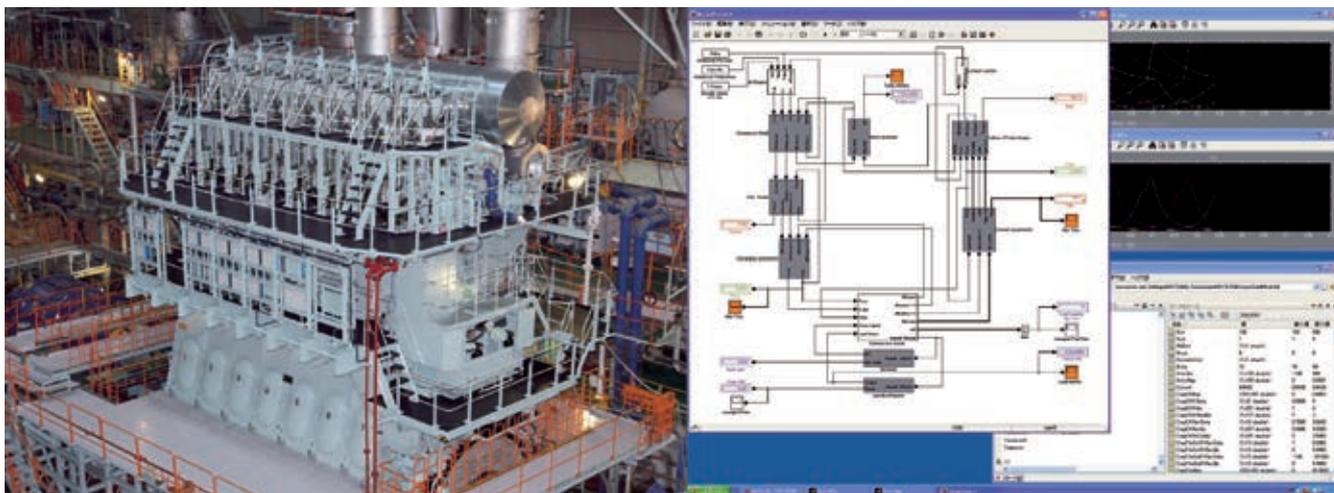


写真1 三井-MAN B&W ディーゼルエンジンとシミュレータ画面  
MITSUI-MAN B&W Diesel Engine and a Sample Screen of Simulator

\* 技術本部 玉野技術開発センター

\*\* 機械・システム事業本部 機械工場 技術開発部

## 1. 低速ディーゼルエンジンの社会的役割と課題

船舶による輸送は、世界的な輸送手段として大きな比重を占めており、これまでは、その輸送コストの低減を目指した改善に重点が置かれていた。具体的には、船用推進装置として蒸気タービンから高効率の低速ディーゼルエンジンへの転換に始まり、新技術の適用による一層の熱効率改善(現状では、50%を超えており、単体内燃機関としては最高効率)、石油製品を精製した後に残る残渣油を燃料として使用することによる低燃料調達コスト、高信頼性・長寿命化による低メンテナンスコストなどである。ディーゼル燃焼の内燃機関において、高効率化は、CO<sub>2</sub>排出量が少なくなることを意味するが、一方で、NO<sub>x</sub>排出量は多くなる。また、残渣油には多くの硫黄が含有されており、酸性雨の原因となり得るNO<sub>x</sub>とSO<sub>x</sub>の低減を目指した規制が開始されている。更に、より一層のCO<sub>2</sub>削減を目指した規制の枠組みづくりも協議されている。2016年からは、エンジン単体では達成困難なレベルまでNO<sub>x</sub>排出量を低減する必要がある。そのため、排気ガス再循環(Exhaust Gas Recirculation: EGR)、選択的触媒還元(Selective Catalytic Reduction: SCR)など、新しい技術・装置の適用は必須と考えられている。また、エンジン単体効率の改善の勢いは鈍っており、かつてのような大幅な改善が見込めないため、排気ガスやエンジン冷却水等のエネルギーを活用した排熱回収システムも注目されつつあり、近年、各種機器の実船試験、大幅なCO<sub>2</sub>削減を実現した商船の開発、コンセプト提案が報告されている<sup>1)~6)</sup>。また、特に2010年頃から、約20%のCO<sub>2</sub>排出低減が見込まれるLNG燃料エンジンも注目を集めている<sup>7)</sup>。

以上のように、今後の船用推進装置は、経済性と環境対応性能を兼ね備える必要があり、複雑化するが、主機関と各種環境対応機器の組み合わせにおいて、最適な組み合わせ、また、最適なオペレーションを見出す必要がある。

このような背景より、複雑化する低速ディーゼルエンジンを含む船舶推進システムの開発及び事業に寄与する、大規模シミュレーションの可能性を検討した。本報では、主として、エンジン単体の簡易なモデル化と再現精度の両立について、三井造船の取り組みを紹介する。

## 2. 低速ディーゼルエンジンの環境規制と技術動向

### 2.1 低速ディーゼルエンジンの概要

大型商船の推進用エンジンは、その大部分が低速2ストロークサイクルディーゼルエンジンで占められ、表1にエンジンの概要を示す。低速ディーゼルエンジンは減速機を介

表1 船用低速ディーゼルエンジンの概要  
Outline of Marine Two-stroke Diesel Engine

シリンダ内径	280 ~ 1 080 mm
ボア・ストローク比	3.5 ~ 4.65
回転数	54 ~ 250 rpm
出力	1.6 ~ 97 MW

せず、プロペラ軸に直接取り付けられて使用される。高いプロペラ推進効率を実現するためには、低い回転数が望ましく、同時に表1の出力を得るためには、高いトルクを実現できるロングストロークの2ストロークサイクルエンジンが適している。1970年代から燃料消費の改善が進み、その過程でクロスヘッド型、ユニフロー掃気、静圧過給へと技術的集約が進んだ。

### 2.2 汚染物質の排出規制と技術動向

汚染物質対策は、国際海事機構(IMO)の主導で海洋汚染防止条約(1978年の議定書によって修正された、1973年の船舶による汚染防止のための国際条約= MARPOL 条約)の付属書VIにより、SO<sub>x</sub>とNO<sub>x</sub>の規制が段階的に強化されている。SO<sub>x</sub>は、燃料に含まれる硫黄分が原因で発生するため、燃料の硫黄含有率を抑制する案が濃厚である。2016年に大幅に規制強化されるNO<sub>x</sub>は、燃焼過程と後処理による対策が検討され、有力候補としてEGR、SCRが開発中である。EGRは、掃気に燃焼ガスを導入し酸素濃度を低下させ、これによる燃焼の温度低下によりNO<sub>x</sub>生成を大幅に抑制する技術で、自動車用ディーゼルエンジンでは実用化されている。SCRは、アンモニアとの化学反応によりNO<sub>x</sub>を窒素と水に分解する技術であり、アンモニア源のコストが発生するが、燃料消費の悪化が小さい利点があり、発電プラントや自動車用ディーゼルエンジンで実用化されている<sup>7)~9)</sup>。

一方、海運分野のCO<sub>2</sub>排出抑制は、国際海運市場における船主、運用主体、船籍などの特殊性から京都議定書では対象外となっていたが、現在、IMO主導による規制が予定されている。エンジン単体での効率改善に加え、新しい取り組みが必要とされ、荒天海域の回避や海流の利用による航海の総燃料消費の抑制、船舶の大型化や国際物流の最適化による海運全体の効率化、排熱回収及びプロペラなど、推進装置全体での効率化も模索されている。

また、このような海運全体としての改善を目的に、船舶推進用ディーゼルエンジンの制御分野でも、更なる性能改善を目的に、排気バルブや燃料噴射のタイミングを電子制御で行う電子制御式エンジンが開発され、実用化されている。

### 2.3 低速ディーゼルエンジンのシミュレーション技術

船用低速ディーゼルエンジンのシミュレーションの歴史は古く、昭和40年代後半にまで遡る。エンジン全体をモデル化し、計算により高出力化、高過給化など巨視的な問題を解決するアプローチが成された<sup>10)</sup>。一方で、部分的な現象を精度良く再現する数式モデルや、数値流体力学(Computational Fluid Dynamics: CFD)による研究が現在まで継続され、成果を上げている<sup>11)</sup>。更に、船用低速ディーゼルエンジンの技術課題に汚染物質の抑制が加わり、環境対策機器の制御への影響を評価した例もある<sup>12)</sup>。

## 3. シミュレーション技術の特長

### 3.1 技術開発の目的

本報で紹介する低速ディーゼルシミュレータは、環境に配慮した次世代のディーゼルエンジン(以下、環境対応型ディーゼルエンジンシステムと称す)の過渡応答を含む動特性の再

現を目的とする。更にこれを発展させて、制御系を含む環境対応型ディーゼルエンジンシステム全体の再現を目指し、事前評価及び荒天に代表される実験的に困難な状況の推定を最終目的としている。

現段階は、個々の機器や現象は簡易なモデルとし、環境対策機器の追加によるシステムの変化を再現するため、改造・保守の容易さ及び大規模化の余地を確保することが必要である。環境対応型ディーゼルエンジンシステムは、2.2 に述べた種々の装置で改良されるが、システム全体は、複雑で容易に動特性を推測できない問題がある。表 2 に 環境対応型ディー

ゼルエンジンシステムにおける技術候補と、想定される制御システムにおける課題を示す。このような課題を克服するため、実験的手法と共にシミュレーション技術も重要となる。

3.2 シミュレータの概要

シミュレーションプログラムは、モジュール化の徹底及び可読性確保に配慮して Mathworks 社製の MATLAB/Simulink を使用し、図形プログラムで作成した。図 1 に、クランク軸の角運動量収支計算の図形プログラムの例を示す。図中の四角形は計算要素、実線と矢印は数値の入出力の関係、長円は上位プログラムとの入出力を示す。プログラムは階層

表 2 船用ディーゼルエンジンにおける環境対応技術と制御システムにおける課題  
Challenges of Environmental Protection Technology and Control System on Marine Diesel Engine

技術候補	概要	制御システムにおける課題
排熱回収エネルギーによるクランク軸回転への加勢	排気ガスのエネルギーやエンジンの熱源で発電し、クランク軸に設置したモータを介して主軸を加勢する。幾つかの手法があり、排気ガスにより直接タービンを駆動して発電する方法などである。これ以外にも、排気ガスで駆動するタービンによる油圧で主軸を加勢する方法もある。	クランク軸へ回収エネルギーを供給するため、回転数制御に対しては外乱要因となる。従来の波浪等の外乱要因とは異なる課題が懸念される。
部分負荷性能の改善	部分負荷における掃気圧力を高めることによりシリンダ内最高圧力が上昇し、燃費改善が図られる。次の複数の手法が選択可能である。1)可変ノズルの採用、2)シーケンシャル過給機の採用、3)過給機カット、4)排気ガスバイパス	荒天時にはプロペラトルクの変動により、クランク軸回転数が変動する。部分負荷におけるこのような外乱への対応は、システムに新たな燃費改善策の動特性要因が追加されるため、複雑化が予想される。
選択式触媒還元 (SCR)	アンモニアとの化学反応により、NO <sub>x</sub> を窒素と水に分解し処理する方法。発電プラント及び陸上輸送分野で実績があるが、排気ガス温度が低い低速ディーゼルエンジンでは、脱硝性能の課題が多い。アンモニア源を消費するため運用コストが必要だが、燃料消費の悪化が少ない。	反応容器を過給機の上流側に設置する場合、排気ガス温度はそれほど問題視されないが、容積及び熱容量が大きく過給機の応答が遅れ、掃気圧の追従遅れが助長される。回転数制御へ影響が予想される。反応容器を過給機の下流側へ設置する場合、排気ガス温度が低い場合、触媒の機能が損なわれる懸念がある。
排ガス再循環 (EGR)	燃焼ガスの一部を掃気へ導入し、NO <sub>x</sub> 生成を大幅に抑制する方法。酸素濃度の低下により燃焼が緩やかに進行し、燃焼温度が下がることによる。自動車用小型ディーゼルエンジンでは実用化されている。	燃焼ガスを掃気へ導入するための動力、燃焼ガスの化学処理は運用コストの増大となるため、システム全体の運用費抑制を目的とした動特性を含む挙動の解明と EGR システムの使用・停止による最適な運用が必要となる。

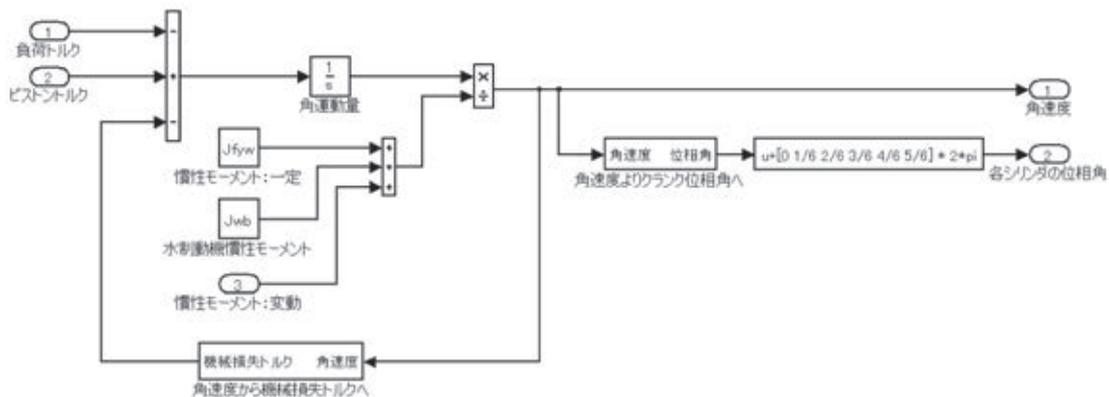


図 1 クランク軸の角運動量収支計算の図形プログラム  
Example of Schematic Program

構造になっており、図1は、より上位のプログラムの一部を構成している。プログラミングは、グラフィカルユーザーインターフェイス(GUI)による専用のエディタで行い、各種の図形をマウス等のポインティングデバイスで操作し作成する。また、プログラムは、時間に関する積分方程式をそのまま記述することで自動的に計算される特長があり、作成及び改造に当たり面倒な時間積分の詳細を取り扱う必要は無い。

図1はトルクの総和を時間積分し、角速度を計算する様子を示している。機械損失に相当するトルクは、図中の下部に長方形で示されるモジュールで計算され、外部より入力された負荷トルク及びピストンにより発生するトルクを差し引いて、これを中央左寄りの正方形の要素で時間積分して角運動量を計算する。図中左寄り中央で慣性モーメントを計算し、角運動量を慣性モーメントで除すると角速度が求められる様子が明瞭に分る。このように図形プログラムは直感的に記述され、モジュール化及び可読性に優れている。

シミュレーションでは、6シリンダ1過給機系のエンジンを対象とした。表3に主要目を、表4にモデル化の概要を、

表5にシミュレータの概要を示す。今後、再現対象が大規模複雑化した場合、状態量及び計算要素数の増加が見込まれるが、既に他のシステムの再現において約10倍程度の大規模化の実績がある。従って、大規模化においては十分な余地を確保している。現状のシステムで約2倍の再現速度、つまり10分間の再現計算の実行に5分程度を要するレベルで実用上の問題は無い。シミュレータの規模としては小規模であるが、再現速度の低下を確認する目的で、燃焼及び掃排気過程の高速な現象をモデル化した。このため再現速度が低下しているが、現在の実行環境では、プログラムはマルチスレッド化されていないため、近年のCPU性能の改善が生かされておらず、今後大幅に改善することが期待できる。

3.3 再現結果

表6に、実機の陸上試験とシミュレーション結果の比較を示す。実機は、当社ディーゼルエンジンであり、陸上において水制動機による一定負荷で試験を実施した。シミュレーションでは、ディーゼルエンジンにガバナ及び水制動機モデルを接続し、水制動機モデルの制動トルクを入力として計算

表3 モデルエンジンの主要諸元  
Main Specifications of Model Engine

エンジン回転数	108 min <sup>-1</sup>
出力	8.5 MW
シリンダ径	500 mm
ストローク	2 000 mm
シリンダ数	6

表5 シミュレータの概要  
Outline of Simulator

状態量	約 50 個
計算要素数	約 800 個
計算機 OS	WindowsXP
CPU 及びメモリ	Intel 社製 Core2 Quad CPU( 3 GHz )/ 3GB メモリ

表4 シミュレーションモデル  
Simulation Modeling

空気及び燃焼ガス	・理想気体とした。
シリンダ・クランク	・シリンダにおける物質収支とエネルギー収支を計算した。 ・燃焼速度は酸素濃度と未燃燃料量により決まるとし、実験結果と一致させた。 ・圧縮・膨張は断熱過程とし、熱損失は別途伝熱モデルで考慮した。 ・シリンダ内圧によりピストンに作用する力からクランクへのトルクを算出し、クランク軸の角運動量収支を計算した。
過給機	・タービン及びコンプレッサの特性は、圧力比とロータ軸回転数を入力とし、総合効率と流体の重量流量を出力する2入力2出力の関数とし、実験結果及び基本設計指針より求めた。 ・タービンによる回収エネルギーとコンプレッサにより消費されるエネルギーを差し引いて、ロータの回転エネルギー収支を計算した。
掃気・排気系	・上流及び下流の圧力差と掃気ポート・排気バルブの開口面積から掃気・排気の重量流量を求めた。 ・掃気過程では、掃気と燃焼ガスの混合を無視したプラグ流とした。 ・掃気溜めにおける物質収支とエネルギー収支を計算した。 ・エアークラの滞留空気量の変化は無視し、伝熱は総括伝熱係数が一定として、クーラ金属部と空気の顕熱に相当するエネルギー収支を計算した。 ・排気レシーバにおける燃焼ガスの物質収支とレシーバ金属部の顕熱を含むエネルギー収支を計算した。
ガバナ	・ガバナの保護動作は無視し、単純なPID制御器とした。 ・計測及び操作点の特性を個々に見積って考慮した。
負荷	・水制動機をトルク源として単純化し、船舶推進用プロペラを模擬した特性を付与した。

した。図2に陸上試験及びシミュレーションの機器構成の概要を示す。シミュレーション結果と陸上試験結果の誤差は10%以下であった。

図3, 4及び5に, 荒天時の外乱に相当する負荷変動時の比較結果を示す。図は横軸が時間, 縦軸が正規化量で, 赤線が陸上試験, 青線がシミュレーションによる計算結果である。エンジンは, 水制動機の制動トルクに抗して回転し, 燃料供給量は, ガバナにより回転数を一定に保つように調整されている。0秒まで制動トルクは一定の値を示し, エンジン回転数, 軸回転数, 掃気圧などは, ほぼ整定している。0秒以降は水制動機を操作し, 制動トルクに正弦波状の変動を加えた。図3は制動トルクの変動に対する主軸トルクの動的応答を, 図4は主軸回転数の動的応答を, 図5は掃気圧の動的応答を現わしている。これにより, 陸上試験結果に比べてシミュレーション結果は, 遅れはあるが概ね一致していると言える。

表6 陸上試験とシミュレーション結果の比較  
Experimental Results and Simulator Output

比較項目	陸上試験	シミュレーション
出力 (MW)	7.3	7.2
回転数 (min <sup>-1</sup> )	107	107
掃気圧 (MPa)	0.321	0.316
排気レシーバ温度 ( )	370	356
タービン出口温度 ( )	201	216
T/C 回転数 (min <sup>-1</sup> )	12 700	13 200

#### 4. まとめ

今後, 複雑化する環境対応型ディーゼルエンジンシステムの全体をモデル化できるポテンシャルを確保した簡易なモデル化により, 低速ディーゼルエンジンを再現するシミュレータを構築し, 概ね良好な再現結果を確認した。本シミュレータは, 極めて簡易なモデルで構築したが, 陸上試験結果とは概ね一致した。これは, モデルが簡易であるため調整が容易

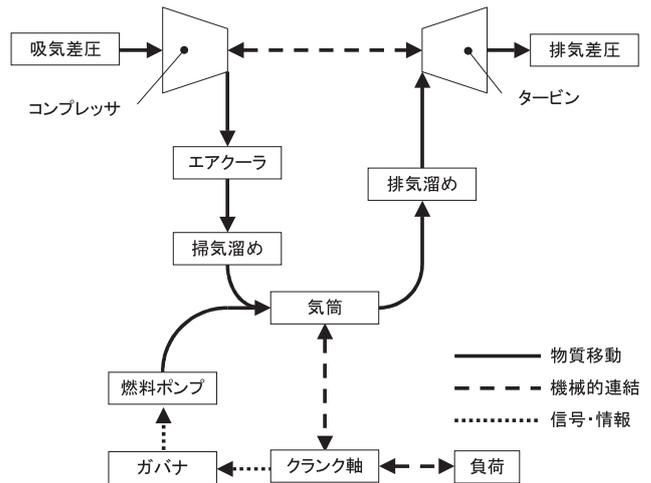


図2 機器構成の概要  
Schematic View of Simulated Equipment

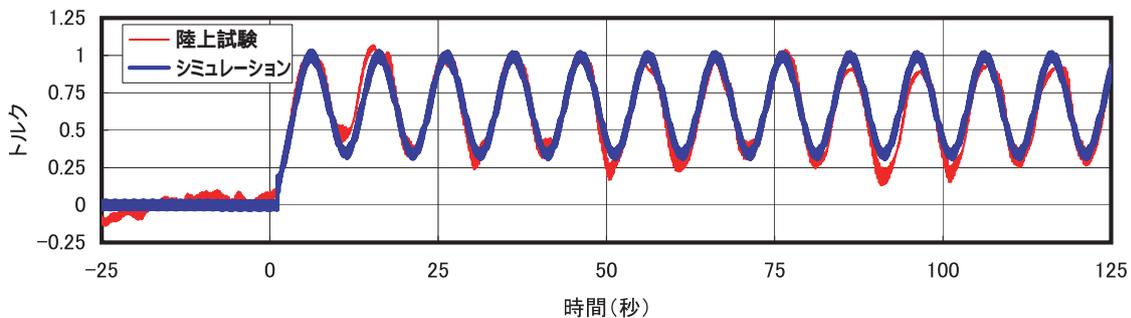


図3 主軸トルクの動的応答  
Dynamic Response of Main Shaft Torque

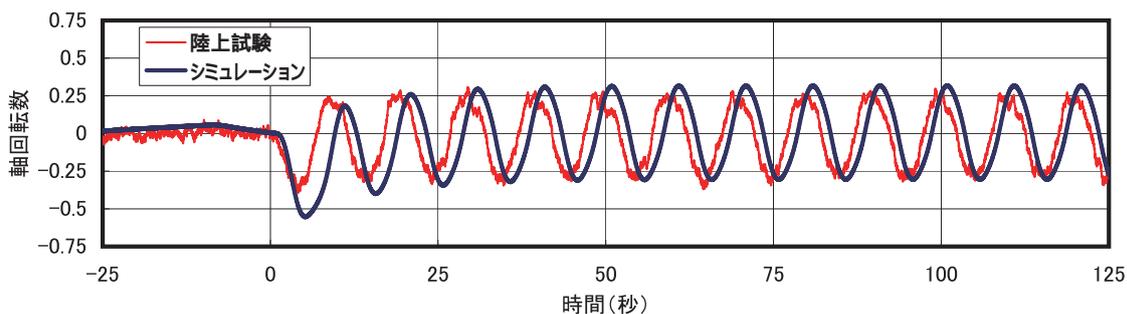


図4 主軸回転数の動的応答  
Dynamic Response of Main Shaft Revolution

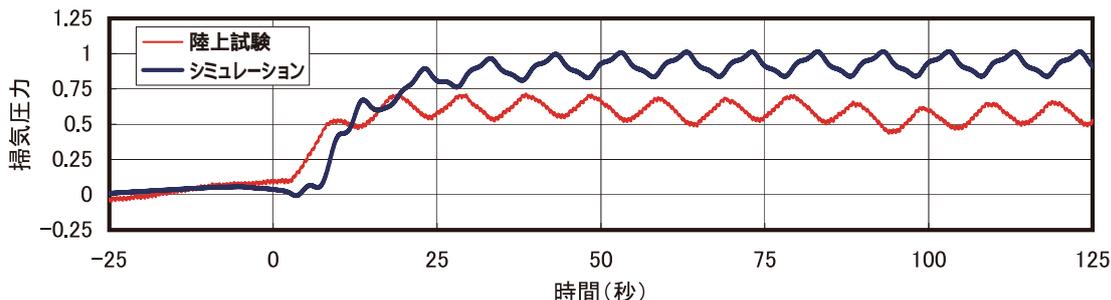


図5 掃気圧の動的応答  
Dynamic Response of Scavenging Pressure

であったこと、係数の物理的意味が明確であり、過去の実験及び試験による暗黙知を反映できたことが理由と推測される。一方、遅れに代表される有意の不一致があり、今後、水制動機モデルの動特性の改良を行う必要性を確認した。

環境への配慮は企業の社会的責任から必須であり、当社も「社会に人に信頼されるものづくり企業」としてこれを重視し、船用低速ディーゼルエンジンの分野においても積極的に研究開発を推進している。

最後に、本シミュレータの作成に当たり、九州大学大学院総合理工学研究院高崎講二教授には、簡易モデル化及び一定以上の精度確保の両立に関し、貴重なご指導を頂いた。ここに感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 三井造船: 燃料費・CO<sub>2</sub>の排出を30%削減したLNG船”Double Eco MAX”を市場投入 - ガス焚き低速ディーゼルエンジンの採用 -, プレスリリース, (2011-7-12)
- 2) 藤井 .外: CO<sub>2</sub> 排出量大幅削減船の開発, 三井造船技報, 203(2011), p. 37
- 3) 増子 . 外: 環境負荷低減型コンテナ船「eFuture 13000C」の開発, IHI 技報, 50,4(2010), p. 22
- 4) アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド: 環境負荷低減型タンカーおよびばら積船の概念設計を完了 ~ 環境負荷 30% 低減を実現した画期的なタンカーおよびばら積船を開発 ~ , プレスリリース, (2010-12-2)
- 5) 三菱重工業: 温暖化防止に大きく貢献するコンテナ船「MALS - 14000CS」の概念設計を完了 空気潤滑システムなどにより CO<sub>2</sub> を 35% 削減, ニュースリリース, 4987, (2010-10-14)
- 6) 三井造船: 次世代環境対応・低燃費船 66 000 重量

トン型バルクキャリア開発完了, 市場投入へ「neo Supermax 66BC」 - CO<sub>2</sub> 排出量を約 30% 削減, プレスリリース, (2010-10-22)

- 7) 田中 . 外: ディーゼルエンジン - 環境対応関連の技術開発 -, 三井造船技報, 200(2010-6), p. 35
- 8) 三菱重工業: 世界初, SCR 脱硝装置を大島造船所建造石炭運搬船に試験搭載 ~ IMO の NOx3 次規制を視野 ~ , ニュースリリース, (2011-6-21)
- 9) 川崎重工業: 世界初, 長期水エマルジョン燃料実船試験実施, ニュースリリース, (2010-9-21)
- 10) 永井 . 外: 大型二サイクルディーゼル機関の性能シミュレーション, 日本機械学会論文集, 40, 332 (1974-4), p. 1154
- 11) 千田 . 外: LES による噴霧構造の解析, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 42, 1(2007)
- 12) 岡部: Latest Technologies for IMO-NOx Tier III Regulation and CO<sub>2</sub> Reduction, 日本機械学会 中四国支部・九州支部合同企画フォーラム 船用大型ディーゼル機関デザイナーの環境対策技術 (2010-10-15)

〔問い合わせ先〕

技術本部 玉野技術開発センター  
TEL 0863 - 23 - 3021 辻 康之



辻 康之



田中 一郎

# 電子磁気共鳴 ( ECR ) プラズマの SiC キャップアニール膜への応用

廣野 滋\* 田 篤 哲也\*\* 鳥居 博 典\*  
天 沢 敬 生\* 岡 崎 良 弘\*\*\*

## Application of ECR Plasma to SiC Cap Annealing Films

Shigeru HIRONO, Tetsuya TAJIMA, Hironori TORII, Takao AMAZAWA, Yoshihiro OKAZAKI

SiC power devices are expected to meet the strong needs of energy saving. The development for the devices has shown a rapid rise. MES Afty manufactures and sells electron cyclotron resonance ( ECR ) plasma deposition systems as a unique technology. We studied the cap annealing process of ECR sputtered carbon films for SiC devices.

As a result of studying ECR deposition technology of carbon films, newly found attractive properties have been obtained such as high hardness comparable to that of diamond and, at the same time, high electrical conductivity, much higher than that of diamond. This unique carbon films show high thermal durability up to about 2000 . This superior thermal durability enables atomically flat surface after annealing of 2000 . This cap annealing process will be a promising technology for developing SiC devices.

SiC パワーデバイスは、省エネルギーへの強い要求に応えることができるデバイスとして期待され、近年その研究開発が急激に立ち上がりつつある。エム・イー・エス・アフティ株式会社では、独自技術である電子磁気共鳴 ( ECR ) プラズマを用いた成膜装置の製造販売を展開しており、マーケット拡大の一環として、SiC パワーデバイス用のキャップアニール膜への適用を検討した。

ECR プラズマで成膜したカーボン膜は、ダイヤモンドに匹敵する硬さとダイヤモンドより 19 桁大きい電気伝導性を有する新規な結晶性カーボン材料である。この膜は 2000 に近い耐熱性を示すため SiC へのイオン注入後の活性化アニール用のキャップ膜として有効であり、この手法により、アニール後 SiC 基板において、原子レベルで平坦な表面が得られる技術を確立した。

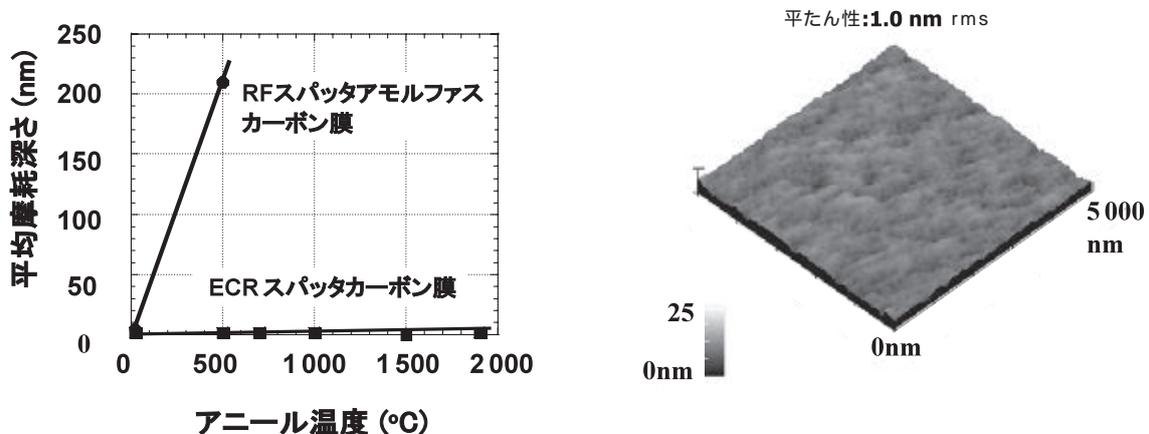


図1 開発した ECR スパッタカーボン膜の耐熱性とキャップアニールプロセス後の平坦性  
The Thermal Durability and Surface Flatness after Cap Annealing Process of ECR Sputtered Carbon Films

\* エム・イー・エス・アフティ(株) 八王子工場 開発部

\*\*\* 機械・システム事業部 事業開発部

\*\* エム・イー・エス・アフティ(株) 玉野工場 製造部

## 1. ECR プラズマ成膜により 高耐熱性カーボン保護膜を実現

ハードディスクドライブ(HDD)に代表されるように、機械摺動部を有する先端的なデバイスにおいては、界面の保護特性に関し従来より極めて高い要求条件を満たす必要があるため、ここ 20 年来、カーボンを用いた保護膜の研究開発が精力的になされてきた<sup>1)</sup>。特に HDD において、磁気ヘッドは記録媒体から 10 nm レベルの非常に微小な浮上量を維持して、記録再生を行う必要があるため、磁気記録媒体・磁気ヘッドでは 2 ~ 3 nm レベルの非常に薄い保護膜の特性を極限的なレベルまで向上させる必要があった。このため、炭化水素系のガスを用いて作製した DLC (Diamond Like Carbon) 膜の研究開発が精力的になされ、このカーボン膜は、HDD の分野だけではなく、工具の保護膜、ペットボトルの保護膜など広範囲な分野で実用化されるようになった。

エム・イー・エス・アフティ株式会社では、従来から電子磁気共鳴 (Electron Cyclotron Resonance : ECR) プラズマ成膜装置の製造販売を展開しており、半導体レーザ、磁気ヘッドなどの電子部品において必須なプロセス装置を販売している。この ECR 装置は、成膜時に基板にイオン照射が可能なのが特長で、この特長により従来の成膜方法では実現できない図 1 に示す優れた特性を実現することができる。当社では、この ECR 成膜装置を用いてカーボン膜の開発を行ってきた。この開発を通して、ECR スパッタ法では DLC よりはるかに高硬度なカーボン膜を成膜できるだけでなく、結晶性のカーボン膜が得られる、また、硬さと電気伝導度を両立させることができるなど、従来の炭素同素体の延長線上では予想できない、新規なカーボン材料を実現できることを明らかにした。

本報では、ECR 成膜法の簡単な紹介を行った後、ECR カーボン膜が従来の常識を超える新規なカーボン材料であることを述べ、最後にパワーデバイスで期待されている 2000 レベルの超高温耐熱性保護膜として ECR カーボン膜が有望であることを紹介する。

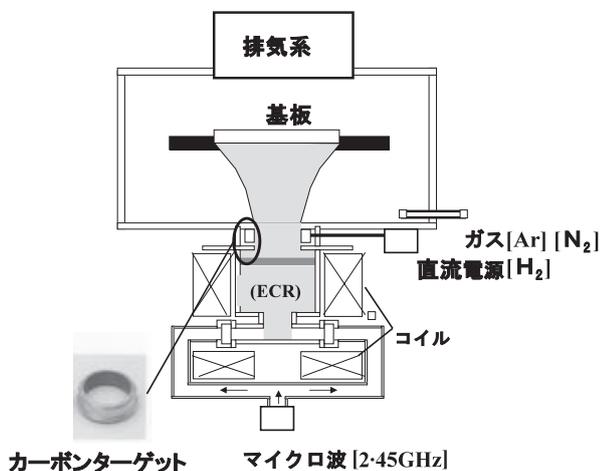


図2 ECR プラズマ成膜装置  
ECR Plasma Deposition System

## 2. ECR スパッタ法とその特徴

ECR プラズマ成膜装置は 図2 に示した装置構成であり<sup>2)3)</sup>、スパッタ法を用いて成膜を行う。この ECR スパッタ法では、プラズマ室に導波管を介して、周波数  $\omega$  のマイクロ波が導入される。プラズマ室の外部に設置されたコイルからは、磁場  $H$  がプラズマ室に印加される。磁場中で電子は、サイクロトロン周波数 ( $\omega_c = eH/m$  :  $e$  は素電荷,  $m$  は電子の質量) に従って、磁力線方向に向かって右回りの回転運動をする。一方、マイクロ波はプラズマ室に伝搬し、電子サイクロトロン波と呼ばれる右回りの円偏波を励起する。この円偏波は、 $\omega = \omega_c$  なる共鳴層 ( $\omega_c$  を与える磁場領域: プラズマ室のイオン流出口付近) で急激に減衰し、エネルギーが電子に吸収される。これは、共鳴層で電子の回転方向とマイクロ波電界の偏波面が常に一致するため、電子が直線的に加速されることによっている。一般に広く用いられている 2.45 GHz のマイクロ波の場合、共鳴磁場は 0.0875 T である。この回転運動の周期と電磁波の周期を一致させた場合、電子は回転周期を保ちながら、電磁波のエネルギーを吸収し、次第に回転半径を増大させながら回転するようになる。このため、電子の運動エネルギーは増大し、電子衝撃による中性ガスの電離確率が高まり、高密度のプラズマを発生させることができる。コイルから発生する磁場は、成膜室に発散型の磁場を形成する。回転する電子は、磁気モーメントを有するため、発散型 (不均一) 磁場中にこの電子が置かれると、磁場勾配に沿って電子は移動する。一方、電離したイオンも電子に引きずられるように成膜室に移動する。したがって、成膜室に発散型の磁場分布を有する磁場配置では、最終的に電子とイオンの両方が成膜室に引き出される。このイオン源ではプラズマを引き出すために、外部から電場を印加する必要はなく、自動的にイオンが引き出されることが特長である。基板に到達するまでにイオンが得るエネルギーは、10 ~ 30 eV 程度であり、比較的低いエネルギーである。一方、イオン電流密度は、10 mA/cm<sup>2</sup> レベルの非常に高い電流密度まで制御可能である。

ECR スパッタ法では 図2 に示すように、イオンの出口付近に円筒形のターゲットを設置している。プラズマは、この円筒形のターゲットの中央部を通過して基板に照射される。一方、ターゲットには電位が印加され、ターゲット近傍のイオンをターゲットに衝突させスパッタリングを生じさせる。これにより、ECR スパッタ法では、基板にイオンを照射させつつ、スパッタリングを起こさせることが可能となる。

## 3. ECR カーボン膜の特長

### 3.1 硬さと電気伝導度が両立する新規材料

現在まで、高硬度カーボン膜としては、DLC と呼ばれるアモルファスカーボン膜が主に研究されてきた<sup>4)</sup>。このカーボン膜は高硬度、絶縁性、平坦性が特長であり、現在 HDD の保護膜として用いられている。一方、ECR スパッタ法では DLC よりはるかに高い硬度を有する結晶性の ECR カーボン膜が得られる<sup>5)</sup>。以下、この結晶性 ECR カーボン膜の特性について詳しく説明する。

本手法でカーボン膜を成膜する場合、最も重要な制御因子はイオンの加速電圧である。そこで、基板にバイアス電圧を印加可能とした。アルゴンガス圧は  $5 \times 10^{-2}$  Pa を用いた。膜厚は 40 nm である。基板温度は室温であり、基板加熱は行っていない。マイクロ波パワーは 700 W、ターゲットには 500 V の DC 電位を印加した。基板には Si 基板を用いた。

ECR カーボン膜の摩耗特性は、イオンの照射条件に強く依存する。図 3 にイオン加速電圧が摩耗特性に与える影響を示す。ECR カーボン膜の摩耗特性測定には原子間力顕微鏡 (Atomic Force Microscope : AFM) を用いた。探針には曲率半径 80 nm のダイヤモンド探針を用い、荷重は 80  $\mu$ N である。イオン加速電圧が 50 V までは、摩耗深さは減少し、50 ~ 150 V までは摩耗深さはほぼ一定値を取る。しかし、加速電圧が 160 V を超えると、摩耗深さは急激に増大する。図中の破線は比較対象として測定したダイヤモンドの摩耗特性である。加速電圧が 50 から 100 V の領域ではカーボン膜の摩耗深さは、ダイヤモンドの摩耗深さにほぼ等しく、この加速電圧領域で成膜した ECR カーボン膜がダイヤモンドに匹敵する硬さを有することが分かる。

表 1 に ECR カーボン膜、ダイヤモンド、グラファイトの室温における電気伝導度を示す。ダイヤモンドは  $sp^3$  結合からなり、バンドギャップが 5.5 eV と大きいため、その電気伝導度は  $1 \times 10^{-18}$  ( $1/(\Omega \cdot \text{cm})$ ) と著しく小さい。一方、グラファイトは  $sp^2$  結合からなり、電子が非局在なバンドを形成するためダイヤモンドよりはるかに大きな電気伝導度を示す。この物質は、層状物質であるため伝導性に異方性が認められ、c 面平行方向は、垂直方向に比べ 4 桁高い電気伝導度を示す。ECR カーボン膜の電気伝導度は、加速電圧により異なるが、グラファイトの c 面平行方向と垂直方向に測定した電気伝導度の中間の値を示す。特に、加速電圧 85 V で作成した膜の硬さは、ダイヤモンドに匹敵する硬さであるが、ダイヤモンドの電気伝導度より 19 桁大きい値を示す。このように、ECR カーボン膜は、硬さではダイヤモンドと同等で、電気伝導度では平均的なグラファイトに近い値を有する。しかし、ダイヤモンドとグラファイトの化学結合は本質的に異なり、従来の考え方からすると、バンドギャップが大きく、ドーピングされていないダイヤモンドが高い電気伝導度を示

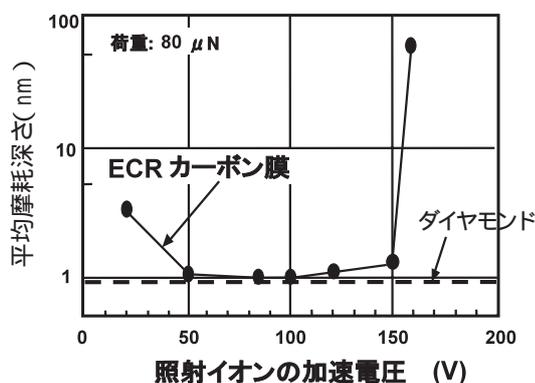


図 3 摩耗深さの加速電圧依存性  
Ion Acceleration Effect on Wear Depth

すことは考えられず、逆に層状構造を有するグラファイトが高い硬度を示すことは考えられない。

### 3.2 2種類の膜構造を有する新規材料

3.1 で説明した ECR カーボン膜の物性と構造を明らかにするため、電子顕微鏡 (Transmission Electron Microscope : TEM) と X 線光電子分光法 (X-ray Photoelectron Spectroscopy : XPS) により ECR カーボン膜の構造と結合状態を検討した。

図 4 に加速電圧 20 V と 85 V で形成した ECR カーボン膜の膜面内方向の高分解能電子顕微鏡写真を示す。両膜とも明瞭な格子像が観察される。従来、スパッタ法、CVD 法などの手法でカーボン膜が形成されてきたが、このような明瞭な格子像が認められる結晶性のカーボン膜は報告されていない。ECR スパッタ法では高密度のイオン照射が可能のため、成長表面の実効温度を増大させることが可能となり、室温基板条件で成膜したにもかかわらず、結晶性の膜が得られる。これも ECR カーボン膜の大きな特長である。電子線回折法により評価した格子像の面間隔は 0.34 nm であり、グラファイトの c 面 (グラフェンと呼ばれている) のそれに近い値であることから、これらの格子像はグラフェンの集合体と考えられる。加速電圧が低い条件で形成された膜では、図 4 A の中で示されるように微小な層状構造が多く観察され、この領域は微小なグラファイト構造と考えられる。また、一部に示されるように、グラフェンが円形に閉じた構造も観察される。一方、加速電圧 85 V で形成されたカーボン膜ではグラフェンが層状に形成された領域は少なく、むしろ閉じた構造が主体である。図 5 に加速電圧 85 V で形成された ECR カーボン膜の断面 TEM 像を示す。この電子顕微鏡写真より、膜面垂直方向に配向していることが分かる。すなわち、膜を上方から観察すると円形に閉じた構造となり、断面方向から観察すると c 面が縦に立った構造になっている。この構造は、基板垂直方向にカーボンナノチューブが配向している膜と行うことができる。図 5 の断面 TEM 像内には、矢印で示されるように刃状転位が認められるが、いたる所に多くの格子欠陥が存在していることが分かる。このため、ECR カーボンで見られる垂直方向に配向したナノチューブは個々に独立した構造ではなく、お互いに入りこんだ隣同士のナノチューブが連結した構造をしている。

ECR カーボン膜の結合状態を評価するため、XPS の  $C_{1s}$  ス

表 1 各種カーボン材料の電気伝導性  
Electrical Conductivities of Carbon Materials

物質	電気伝導度 ( $1/(\Omega \cdot \text{cm})$ )
ダイヤモンド	$1.0 \times 10^{-18}$
グラファイト	
C 面平行方向	$1.9 \times 10^4$
C 面垂直方向	1.0
ECR カーボン膜	
加速電圧 20 V	$3.8 \times 10$
加速電圧 85 V	$2.2 \times 10$
加速電圧 100 V	$1.4 \times 10^2$

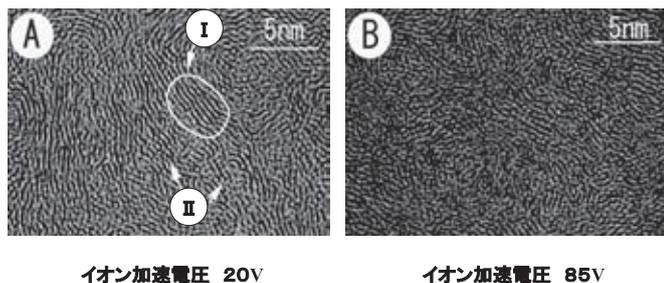


図4 ECRカーボン膜の格子像  
Lattice Images of ECR Carbon Films

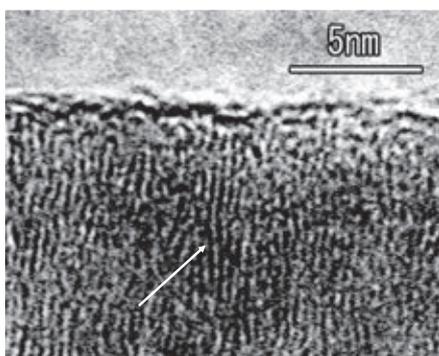


図5 ECRカーボン膜の断面TEM像  
Cross Sectional TEM Image of ECR Carbon Film

ペクトルの測定を行った。図6に加速電圧20Vと85Vで形成されたECRカーボン膜のスペクトルを示す。本スペクトルは主に284.3eVと285.3eVのピークから構成されている。前者は $sp^2$ に対応するピークで、後者は $sp^3$ に対応するピークである。加速電圧20Vで形成されたECRカーボン膜では $sp^2$ 結合が主体であり、ピークハイト比 $sp^3/sp^2$ は0.3である。一方、加速電圧85Vで形成されたECRカーボン膜では、 $sp^3$ 成分が著しく増大し、 $sp^3/sp^2$ は0.83に達する。このように両膜とも $sp^2$ 結合が主体であるものの、イオン加速電圧の増大とともに $sp^3$ 成分が増大している。両膜とも $sp^2$ 結合からなるグラフェンから構成されているため、 $sp^2$ 結合が主体のスペクトルを示す。また、グラフェンには $sp^3$ 結合が含まれていないため刃状転位などの格子欠陥部で六員環が開環し、 $sp^3$ 結合が出現しているものと予想される。すなわち、本ECRカーボン膜では、結晶性のグラフェンとこれをつなぐ役目を果たしている $sp^3$ からなる格子の不整合が、ECRカーボン膜の物性を規定する上で本質的な役割を果たしている。

グラファイトのもろさ、へき開性は、グラフェンの層状構造に由来する結合力の弱いファン・デル・ワールス力に起因している。このため、加速電圧が高く層状構造領域が減少した膜では、層状構造ゆえのもろさがなくなり、結合力の高い共有結合のみが支配的となる。したがって、加速電圧の高いECRカーボン膜ではダイヤモンドに匹敵する硬さを示すものと考えられる。一方、加速電圧の低いECRカーボン膜では層状構造が多いため、高加速電圧の膜に比べ、硬さが劣るものと考えられる。

本ECRカーボン膜の基本構造はグラフェンから構成され

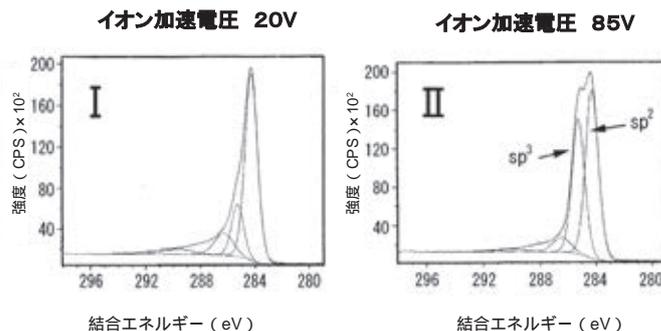


図6 ECRカーボン膜のXPSプロファイル  
XPS Profiles of ECR Carbon Films

ており、グラフェンが膜面垂直方向に配向している。この膜は単結晶グラファイト膜ではないため、表1で示したように、膜面平行方向に測定した電気伝導度は単結晶グラファイトのc面平行と垂直方向の中間的な伝導度を示すものと考えられる。

ECRカーボン膜の構造と結合状態を調べることにより、なぜこの膜がダイヤモンドに匹敵する硬さとダイヤモンドよりも19桁高い電気伝導性を示すかが解明された。この膜は従来のカーボン膜の常識を覆す新規な構造を示すカーボン膜である。この膜の実態が解明されたのは比較的最近であり、今後この膜を用いた新しいアプリケーションの開拓が大いに期待される。現在まで、この膜を用いた耐熱用保護膜、電気化学用電極など新しい応用が開発されつつある。本報では、次章で耐熱用保護膜のアプリケーションについて紹介する。

#### 4. ECRスパッタカーボン膜の耐熱性保護膜への応用

##### 4.1 2000 まで対応可能な耐熱性

SiCパワーデバイスにおいては、イオン注入した後に、ドーパントの活性化のため、1500～2000に及び超高温熱処理が必要である。このような超高温状態でSiCの結晶を保持すると、ステップバンチングが起こり、表面が著しく荒れて素子特性が劣化する。このため、熱処理をする前にカーボン膜などの保護膜をSiC基板上に成長させ、アニール時の表面荒れを防ぐ手法が検討されている<sup>6)</sup>。この手法はキャップアニール法と呼ばれている。従来、キャップ用の膜としてはDLC膜が検討されていた。しかし、炭化水素系のガスを用いて作製するため、この膜には20～30%の水素が含まれる。このため、この膜を500以上に加熱すると、水素が膜から脱離し体積が縮むため、緻密な状態を維持できず、高温時のキャップ特性が劣化する問題があった。さらに、従来、熱処理をした後、カーボン膜を酸素アッシングにより除去する手法が取られていたが、カーボン膜除去後にSiC上には、 $SiC_xO_y$ なるSiCの酸化膜が形成される。この膜は非常に強固で、物理エッチング、各種の溶液を用いた化学エッチングを用いても、容易に剥離できない問題があった<sup>7)</sup>。このため、アッシング後の犠牲酸化などの手法で酸化膜の除去を行っているが、この処理により表面の平坦性が劣化するなどの問題が生じていた。このように、キャップアニール技術では、耐熱性に優れたカーボン膜の開発、及びアニール後のカーボ

ン膜の除去方法を開発する必要があった。

ECR カーボン膜の耐熱性を調べるため、アルゴンガス中で ECR カーボン膜をアニールし、アニール後に AFM を用いて膜の硬さの変化を調べた。図 7 に 1900 まで各 10 分間アニールした後の摩耗深さ測定による硬さを示す。基板には 4HSiC 基板を用いた。比較対象として、RF スパッタ法で作製したアモルファスカーボン膜を用いた。この膜は、水素が含まれていないので、水素の脱離による膜の劣化は認められないカーボン膜である。膜厚は 50 nm である。図 7 に示すように、ECR カーボン膜では、1900 までアニールしても、膜の硬さはほとんど変化しない。一方、RF カーボン膜は、500 程度から摩耗深さが著しく増大し、耐熱性に乏しい。これは、アモルファスが熱的に不安定であることに由来する。一方、ここで採用した ECR カーボン膜を成膜する時、基板にはバイアスを印加していない。このため、ここで採用した ECR カーボン膜は、 $sp^2$  結合成分が 80% 程度の高い  $sp^2$  結合成分を有するカーボンを用いた。高耐熱性カーボン膜を形成するには、以下の 3 種の条件が必要である。

結晶性であること。

DLC のようなアモルファス膜であると、昇温時にグラファイト化が始まり、構造変化を起こし体積が減少し、緻密な膜を維持することはできない。そのため、カーボン膜には結晶性が要求される。

高純度膜であること。

DLC のように水素などの不純物が含まれていると、昇温時に不純物がカーボン膜から脱離し、体積が減少するため緻密な膜状態を維持することはできない。このため、カーボン膜の純度は、できる限り高いことが望まれる。

できる限り  $sp^2$  成分が多いこと。

カーボンは、高温時には  $sp^2$  結合状態が安定相であり、 $sp^3$  結合は不安定となる。このため、DLC 膜のように、 $sp^2$  と  $sp^3$  相が混在する状態であると、 $sp^3$  相が  $sp^2$  相に変態するため昇温時に体積増加が起こり、膜のはく離が起きやすくなる。このため、高温安定相である  $sp^2$  相ができる限り高いことが望まれる。

ECR カーボン膜は、耐熱性に要求される上記の 3 種の条件を満足しているため、2000 に近い超高温条件に耐える耐熱性を示すものと考えられる。

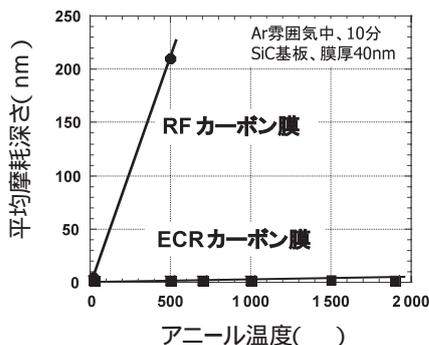


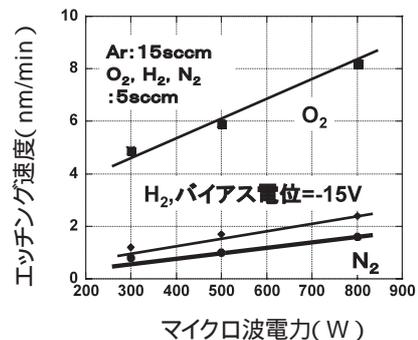
図 7 ECR カーボン膜の耐熱性  
Thermal Durability of Sputtered Carbon Films

#### 4.2 エッチング可能な耐熱性保護膜

超高温でアニールした ECR カーボン膜を除去するため、ECR プラズマを用いたエッチングを検討した。基板にバイアスを印加してアルゴンイオンを照射すれば、ECR カーボン膜を容易にエッチングすることは可能である。しかし、この場合、ECR カーボン膜を除去した直後に基板へ高エネルギーのイオンを照射することは避けられず、この高イオンエネルギー照射により、SiC 基板にダメージが入ることが予想される。このため、エッチングを行う場合、基板にはバイアスを印加せず、アルゴンに窒素、水素などの反応性のあるガスを導入することにより、ECR カーボン膜がエッチングされるか検討した。

図 8 にアルゴン 15 sccm (standard cc/min) に対し、反応性ガス ( $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2$ ) を 5 sccm 導入した場合のエッチング速度のマイクロ波パワー依存性を示す。ここでは、比較のため、酸素ガスも導入している。この図から分かるように、エッチング速度は酸素が一番高い。水素は、基板にバイアスを印加しないとエッチングが起きないため、カーボン膜のエッチングには適さないことが分かる。一方、窒素はバイアスを印加しなくても、エッチング可能であるが、エッチング速度が低い。このため、窒素の流量を増加させたエッチング速度を図 9 に示す。窒素のガス流量を 15 sccm にした場合には、8 nm/min のエッチング速度が得られた。ECR カーボンキャップ膜の膜厚は 10 nm 以下と予想されるので、このエッチング速度は十分実用に耐えるエッチング速度であると考えられる。

上述の ECR カーボン膜及びエッチング手法を用いたキャップアニール特性について、以下説明する。今回行ったプロセスのフローを図 10 に示す。基板には Al を 500 の温度下で  $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  イオン注入した。また、アニール条件は、アルゴン雰囲気、2000 で、30 秒である。このキャップアニールの工程の後、AFM により表面の平坦性を求め、ホール測定によりシート抵抗を求めた。図 11 に、アニール処理後、水素と窒素によりエッチングを行った後の基板表面の平坦性を示す。水素の場合は、基板にバイアスを印加する必要があるため、二乗平均粗さ (rms) は 2.5 nm である。一方、窒素の場合は、バイアスを印加する必要がないため、rms は、1.0 nm と原子レベルでの平坦性が維持されていることが分かる。また、シート抵抗は 5.7 k / であった。パワー半導



注 1 sccm =  $1.667 \times 10^{-5}$  /s

図 8 エッチング速度のガス種依存性  
Gas Species Effect on Etching Rate

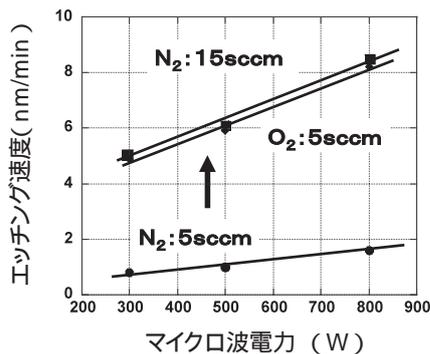


図 9 エッチング速度のガス種依存性  
Gas Species Effect on Etching Rate

体用の SiC の用途としては、ショットキーバリアダイオード、MOSFET などの素子が検討されており、素子ごとにキャップアニールに対する要求特性は異なるが、二乗平均粗さは 1 nm 以下、シート抵抗は 10 k / 程度が要求特性になっている。このため、ECR カーボン膜は、これらの要求特性を満たしており、キャップ膜として有望である。

5. おわりに

本報では、ECR カーボン膜が従来のカーボン同素体の常識を超えた新しいカーボン材料であることを紹介した。この材料の実態が解明されてきたのは、比較的最近であり、今後のアプリケーション開拓が期待される。

さらに、本報では、この ECR カーボン膜の応用として SiC パワーデバイスに対するキャップアニール技術の現状も説明した。耐熱性保護膜の分野であるガラスモールドレンズ金型の保護膜として、ECR カーボン膜はすでに実用に供されている。この保護膜の耐熱性は 700 ~ 800 程度であるが、今回紹介したキャップアニール技術では、2000 レベルのアニールが行われており、現在まで経験のない超高温に対する耐熱性能が要求されている技術分野である。今後、スループットの向上、パーティクル対策などの検討を行い、実用に供せられる技術へ発展させる予定である。

参 考 文 献

- 1) 榎本 . 外 : 薄膜トライボロジー , ( 1994 ) , p. 103 , 東京大学出版会
- 2) T. Ono, et al. : Electron Cyclotron Resonance Plasma Source for Conductive Film Deposition, J. Vac. Sci. Technol., A12, 4( 1994 ) , p. 1281
- 3) R. Geller : Electron Cyclotron Resonance Ion Sources and ECR Plasmas ( 1996 ) , p. 100, Institute of Physics Publishing
- 4) 市村 . 外 : プラズマプロセスによる薄膜の基礎と応用 , ( 2005 ) , p. 235 , 日刊工業新聞社
- 5) S.Hirono , et al. : Superhard conductive carbon nanocrystallite films, Appl. Phys. Lett., 80( 2002 ) p. 425
- 6) Y. Negoro, et al. : Technological aspect of Ion

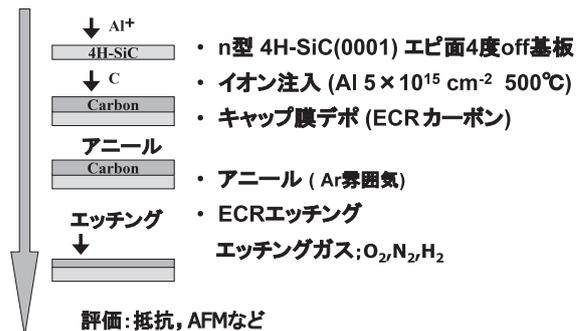


図 10 キャップアニールプロセス  
Cap Anneal Process

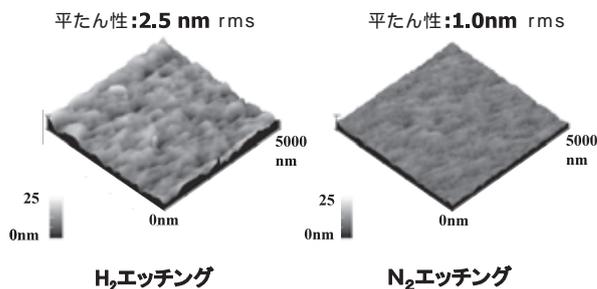


図 11 エッチング後の SiC 基板の表面平坦性  
Surface Flatness of SiC Substrates after Annealing

Implantation in SiC Devices Processes, Mater. Sci. Forum 457-460, ( 2004 ) p. 483

7) F. C. Stedile, et al. : Reduction of the C-containing layer between thermally grown dielectric films and SiC induced by N incorporation, Technical Digest on International Conference on Silicon Carbide and Related Materials 2009, ( 2009 ) p. 153

〔問い合わせ先〕

エム・イー・エス・アフティ(株) 八王子工場 開発部  
TEL 042 - 632 - 8845 廣野 滋



廣野 滋



田崎 哲也



鳥居 博典



天沢 敬生



岡崎 良弘

火力発電所 石炭バンカ製作工事  
- 常陸那珂火力発電所 第2号ボイラ設備 -



写真1 仮組立



写真2 海上輸送

常陸那珂火力発電所は、茨城県那珂郡東海村に位置し、2003年12月に定格出力1000MW、使用燃料を石炭とする1号機が運転を開始している。現在、更に同じ定格出力1000MWで、使用燃料を石炭とする2号機の建設工事が行われている。

三井造船は、2号機の建設工事の一環として、パブコック日立株式会社より2009年12月に石炭バンカ6台の製作工事を受注し、2011年6月に引渡しを行った。

石炭バンカとはボイラ設備の一部であり、貯炭場よりベルトコンベアで運ばれた石炭は、バンカに一旦投入され、計量給炭機、微粉炭機を経てボイラまで運搬される。

**特長**

- (1)バンカはボイラ鉄骨と一体型であり、本工事の製作範囲としてはバンカを支持するボイラ鉄骨も含まれている。
- (2)バンカの下端ブロックはホッパーと呼ばれ、垂直部と呼ばれる上端ブロックと現地で溶接にて一体化される。この現地溶接の仕口精度を高める必要があり、その製作手順を計画、実施した。
- (3)重量が100ton、長さが17mを超える大型ブロックの製作に当たっては、吊上げ、反転作業の安全性に特別な配慮をして実施した。工場建屋外でのブロックの吊上げ、反転作業には大分運搬機工場が所有する300トンLLC (Level Luffing Crane)を駆使した。

- (4)バンカ6台分の垂直部とボイラ鉄骨を一体化して仮組立を行った。6台のうち1台に関しては、ホッパーと垂直部を一体化して精度の確認を行った。なお、写真1に仮組立風景を示すが、仮組立は完成時の状態に対して天地を逆にして行った。

**主要目**

工事名	常陸那珂火力発電所 第2号ボイラ設備 石炭バンカ製作工事
発注者	パブコック日立株式会社
受注者	三井造船株式会社
工期	2009年12月～2011年6月
納入場所	茨城県那珂郡東海村

(構造諸元)

形式	角型石炭バンカ6台
寸法	高さ 約30m 平面寸法 約60m × 15m(バンカ6台分)
主要鋼材	SN490B, SM490A, SN400A, SS400
鋼重	1600t

(鉄構・物流事業本部)

[問い合わせ先]

鉄構運搬機工場 鉄構設計部  
TEL 097-593-3773 松田 秀一

## ANA 羽田ドックスタンド - 新機種 BOEING7 7 受け入れ -



写真1 ドックスタンド(機首部)



写真2 ドックスタンド(機体胴体部)

ANA 羽田ドックスタンドは、現有主力航空機(B777)及び新機種(B787)の安全運航に寄与する重整備品質の向上、及び重整備環境を確保する目的で、新格納庫(ANA 東京新第2号格納庫)に建設されたものである。三井造船は、本ドックスタンド2基を平成18年12月に全日本空輸株式会社から受注し、平成22年1月に引渡しを完了した。引渡し前には現有主力航空機(B777)に対してFitCheck(実機体による確認)を行い、機能が満たされていることを確認した。また、このたび飛来した最新鋭機種(B787)においても平成23年7月にFitCheckを行い、その機能が確認された。

### 特長

- (1)本ドックスタンドは、航空機の機体整備をするための移動足場で、Nスタンド(機首部)、FAスタンド(胴体前部)、FBスタンド(胴体後部)、TVスタンド(垂直尾翼部)の吊スタンドと、Wスタンド(主翼部)、WEスタンド(エンジン部)、THスタンド(水平尾翼部)の床置きスタンドから構成されている。
- (2)各スタンドとも、形状の違う機体に対応できるように、微調整が可能な走行装置、昇降装置及びスライド床を付帯しており、寄り付き時の隙間を最小限に抑えることを可能にした、多機種対応型のマルチスタンドになっている。
- (3)あらゆる各整備部位へのアクセスを可能にするための個別の装置類を付帯することにより、機体全面に作業員の寄り付きが可能な設備としている。
- (4)従来の設備とは異なり、メインジャッキ、エンジン、主翼の交換部品用の可動式吊荷装置を付帯することにより、整備の作業性向上に配慮している。

### 主要目

N スタンド：吊り2層デッキ，電動走行，電動昇降  
FA スタンド：吊り2層デッキ，電動走行，電動昇降  
FB スタンド：吊り2層デッキ，電動走行，電動昇降  
TV スタンド：吊り5層デッキ，電動走行，電動昇降

W スタンド：床置き，油圧昇降

WE スタンド：床置き，電動走行，油圧昇降

TH スタンド：床置き，油圧昇降

装 備 品：スライド床，横行走行クレーン

クラウン部用移動式作業台

カーゴドア用昇降作業台

ウィンドシールド用移動式作業台

主翼アクセススタンド

水平尾翼アクセススタンド

機首レーダ部用移動台車

整備対象機種：B777-200，-200ER，-300，-300ER

B787-3，-8，-9，-10

工 事 範 囲：設計，製作，塗装，輸送，設置，試運転

工 期：平成18年12月～平成22年1月

(B787のFitCheckは平成23年7月)

(鉄構・物流事業本部)

### 〔問い合わせ先〕

建設エンジニアリング部

TEL 03 - 5202 - 3908 山口 為久

## 太陽熱発電実証プラント

- 技術開発を進め実証試験により性能を確認 -



写真1 マスダールシティの実証プラント

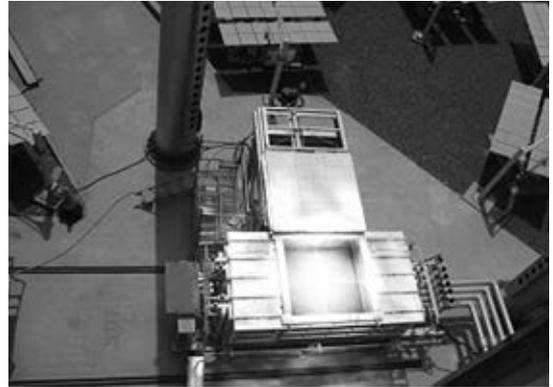


写真2 集熱レシーバ

地球環境の保全是、全人類の課題と責務であり、世界規模での対応が求められている。特に、地球温暖化の主要原因と言われているCO<sub>2</sub>削減方策については、再生可能エネルギーの利用が多方面で提言されている。そのうち太陽エネルギーの利用に関しては、太陽光発電(Photovoltaic power generation: PV)や太陽熱発電(Concentrated Solar Thermal Power Plant: CSP)が各国で実用化段階にあり、実証プラントも稼働している。

三井造船は、このCSPに注目し、2008年よりアラブ首長国連邦の政府系会社MASDAR、コスモ石油株式会社などとCSP技術の共同開発を開始し、2009年に実証プラントを設計・建設して、基本的性能評価を行ってきた。2010年に集光性能を確認した後、集熱性能を確認するために集熱レシーバを開発し、アブダビ現地での性能確認を行い、熱交換率の評価を行っている。

現在、これらの実証成果を踏まえ、2010年度に新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「国際エネルギー消費効率化等技術普及協力事業」の一環である、チュニジアでのCSP技術実証FS作業に、大成建設株式会社と共同提案し、採択された。現在、チュニジアでの建設用地を確定し、詳細なFS作業を当社の機械・システム事業本部、環境・プラント事業本部及び鉄構・物流事業本部の横断組織で計画し、CSPの設計を行っている。また、インド等でのプラント建設の可能性、評価などの依頼も受けている。

今後、早ければ2014年には日本版太陽熱発電システムの実証試験を開始し、更に他地域でのCSP事業展開を図る予定である。

### 特長

#### (1)高い集光性能

CSPでは、太陽の位置・高度に合わせて、反射光を設計した1点に集光させることが重要となる。これを実現

するために、2方式の制御方式(センサーフィードバックと太陽軌跡計算)を開発し、採用した。

#### (2)平面鏡の複合による集光

大きな平板の鏡ではコストとハンドリングの問題が危惧され、小型の鏡を凹面状に配置する三井式ギャング型ヘリオスタットを開発した。また、コストパフォーマンスに優れた新しい機構による新型ヘリオスタットも開発中である。

#### (3)高い反射率を持つ鏡の採用

ビームダウン方式での二次反射鏡は、高い反射率が要求され、コニカミノルタオプト株式会社が開発した誘電多層膜ミラーを採用した。

#### (4)建設地域の条件に即したCSPの適正設計手法

CSPの建設場所毎に最適なヘリオスタット配置とタワー高さなどの適正設計が要求される。当社は集光シミュレーションを駆使し、世界各地での最適なCSP設計手法を確立した。

### 主要目

CSP建設場所	: アラブ首長国連邦アブダビ マスダールシティ
ヘリオスタット	: 三井式ギャング方式(3段鏡) 3.21 m(W)× 3.11 m(L)× 1.22 m(H)33基
制御方式	: 集光センサーフィードバック方式と 太陽位置計算制御(2方式併用)
中央タワー	: ビームダウン方式、二次反射鏡 45枚 タワー高さ 20m
集熱レシーバ	: 1.5 m × 1.5 m 平置型、高温油循環式 (機械・システム事業本部)

### 〔問い合わせ先〕

事業開発部  
TEL 03 - 5202 - 3960 塚田 純

高効率汚泥脱水機“e-ダイナプレス”  
- 汚泥リサイクルの省エネルギー化を実現 -



写真1 EDP-5の設置例(1)



写真2 EDP-5の設置例(2)

三井造船環境エンジニアリング株式会社は、高効率脱水機“e-ダイナプレス”(以下、EDPと略す)の開発・実証テストを実施し、2010年より汚泥再生処理センター、下水処理場及び資源循環施設の汚泥処理機器として販売を開始している。

このEDPは、力を加える脱水方式とは異なり、電気之力を利用した電気浸透脱水方式を採用している。電気浸透脱水方式とは、汚泥と水に極性があることを利用して、汚泥に直流電流を加えて水を陰極へ引っ張り、脱水する原理である。

特長

- (1) 汚泥再生処理センター等から排出される汚泥に対し、一般的な連続式の脱水機では、水分量が80%前後に留まるため、後処理工程における消費エネルギーが多く、設備規模も大きくなっていった。しかし、EDPを二次脱水機として用いると、凝集剤等の薬液、脱水助剤等の薬剤を用いることなく、汚泥を最大50%台の含水率まで脱水が可能となり、汚泥の重量が大幅に減少する。
- (2) 薬剤を使用せずに含水率を下げられるため、汚泥のリサイクル用途が広がる。また、堆肥化、汚泥燃料化、炭化などに利用する工程での消費エネルギーが低減化し、CO<sub>2</sub>排出量の削減に寄与できる。
- (3) 脱水機は、ドラム状のロール(陽極)、ベルト状のろ布、及びキャタピラー状の電極(陰極)で構成され、両電極で汚泥を挟んで電気を加える非常にシンプルな構造に

なっており、故障が少ない。

- (4) 汚泥に加える電圧を変化させることで直ちに希望の含水率に調整できるため、含水率60%の助燃剤化や堆肥化用から、含水率50%台の燃料化用や炭化用へ運転を切り替えることができる。

このEDPを用いて、3年間にわたり実施施設において実証試験を実施し、運転方法の確立、省エネルギー化、機器性能向上を行ってきた。この実証試験結果は、2010年度に財団法人日本環境衛生センターから性能確認調査報告書として発行された。また、本装置は、2011年度に汚泥再生処理センターへ6台納入予定となっている。

EDPの主要目を表1に示す。今後は、幅広いリサイクル分野への納入を目指して、販売を促進する。

なお、当社は、噴射空気切返し式堆肥化装置“ジェットエアコンポスター”(JAC)を有しており、EDPとJACとの組み合わせで、省エネルギー、高効率、省スペースで温暖効果ガスのN<sub>2</sub>Oの発生が少ない堆肥化システム“ダイナジェットコンポスター”も販売している。

(三井造船環境エンジニアリング株式会社)

〔問い合わせ先〕

環境ソリューション事業本部 営業部  
TEL 03 - 3675 - 4052 西村 健次

表1 “e-ダイナプレス”の主要目

型式	ろ布幅	処理量(投入含水率82%)	概略寸法
EDP - 1	560 mm	220 kg-wet/h(39.6 kg-DS/h)	3 475 mm L × 2 085 mm W × 3 245 mm H
EDP - 2	1 120 mm	590 kg-wet/h(106 kg-DS/h)	3 475 mm L × 2 645 mm W × 3 245 mm H
EDP - 3	1 680 mm	990 kg-wet/h(178 kg-DS/h)	3 475 mm L × 3 205 mm W × 3 245 mm H
EDP - 4	2 240 mm	1 390 kg-wet/h(250 kg-DS/h)	3 475 mm L × 3 765 mm W × 3 245 mm H
EDP - 5	2 800 mm	1 800 kg-wet/h(324 kg-DS/h)	3 475 mm L × 4 325 mm W × 3 245 mm H

(\*)DS: 汚泥乾物量

## 営業戦略ソリューション“ Miprime まい・ぶらいむ ”

### - CRM ソリューションをベースにした新しい事業情報システム -

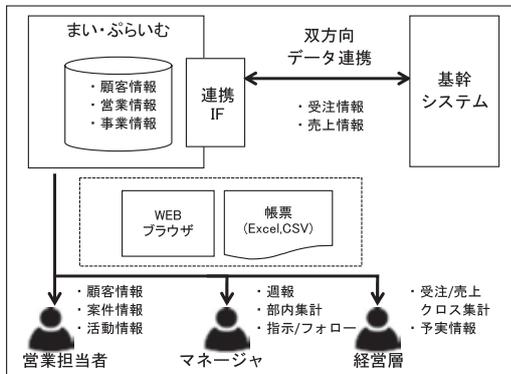


図1 システム概要図

図2 受注売上クロス集計表の画面イメージ

三井造船システム技研は、CRM<sup>(\*)1</sup>ソリューションをベースに、決算に関わる受注・売上状況を連動させた事業情報システム“ Miprime まい・ぶらいむ ”オンプレミス版<sup>(\*)2</sup>を2010年10月より販売している。このたび、次期バージョン (Ver.3)としてクラウド版を開発し、販売開始する。

“ Miprime まい・ぶらいむ ”は、パッケージをベースとしたSI型製品で、営業担当者、マネージャ、経営者それぞれの階層に応じた機能が用意されている。個々の営業案件に対する意思決定から、事業状況に応じた経営戦略策定のスピードアップまで、幅広く実現することができる。特に、当社にて業務へ適用した実績から、個別受注生産を行う業態や、当期受注 / 当期売上が事業数値に大きく影響する業態のユーザに導入効果が期待できる。

(\*)1 CRM : Customer Relationship Management の略。情報システムを利用して個々の顧客に対するマーケティングを実現する仕組み

(\*)2 オンプレミス : 自社内でサーバを導入し運用する形態

### 特長

#### (1) オンプレミス版、クラウド版共通の特長

##### 営業情報の可視化

- ・営業担当者間での営業活動の検索や活動助言機能により、営業活動情報を共有

##### 顧客情報の可視化

- ・集約顧客情報(取引累計, キーパーソン, 訪問履歴など)による経緯 / 傾向の分析と顧客別カルテの作成

##### 事業情報の可視化

- ・受注売上クロス集計機能による予算達成状況の把握とドリルダウン機能による案件詳細情報の把握

##### 使う立場から生まれたプロダクト

- ・世の中のCRMにない四半期決算、個別原価管理、製販一体の予実管理など、開発元である当社が必要とする機能を開発
- ・報告用資料、会議資料の自動生成や、週報、集計表が

ワンタッチで出力できるなど、二重入力を極力排除  
 基幹システムとの事業数値データ連携

- ・ユーザが現在利用している基幹システムから受注、売上などの数値情報を連携して動作が可能

#### (2) クラウド版の特長

- ・ハードウェアの初期投資が不要の上、必要なユーザ数で利用開始できるため、システム投資の無駄を排除
- ・モバイル機器(スマートフォン, タブレットPC)からのアクセスに対応
- ・社外データセンタの活用により、自社のインフラ運用負荷の軽減と、災害等発生後のシステム維持が可能
- ・社外からのアクセスを想定したセキュリティ対策により、重要データの機密性・安全性を確保

### 主要目

#### (1) “ Miprime まい・ぶらいむ ”オンプレミス版

##### [サーバ要件]

- ・CPU : Pentium( Xeon P4 )デュアルプロセッサ 1.8 GHz 以上
- ・メモリ : 2 GB 以上
- ・HDD : 20 GB 以上の空きハードディスク領域
- ・OS : Microsoft Windows Server 2003
- ・DB : Microsoft SQL Server 2005
- ・APP サーバ : Microsoft Internet Information Services( IIS )6.0

##### [クライアント要件]

- ・OS : Microsoft Windows XP, Vista, 7
- ・ブラウザ : Microsoft Internet Explorer 6.0, 7.0, 8.0
- ・その他 : Microsoft Office 2000, XP, 2003, 2007

#### (2) “ Miprime まい・ぶらいむ ”クラウド版

##### [サーバ要件]

- ・案件ごとに個別対応

##### [クライアント要件]

- ・PCはオンプレミス版と同様。モバイル機器の対応状況についてはお問い合わせ下さい。

記載されている会社名・製品名は、各社の商標または登録商標です。

(三井造船システム技研株式会社)

#### [問い合わせ先]

第一ビジネスソリューション事業部 営業部

TEL 043 - 274 - 6165 細田 季之

## 次世代の環境対応・低燃費船 66 000 重量トン型バルクキャリアー

## 「neo Supramax 66BC」2 隻の受注



## 主要目

全長	: 約 200 m
幅(型)	: 36.00 m
深さ(型)	: 18.45 m
載貨重量トン数	: 66 000 メトリックトン
航海速力	: 14.5 ノット(常用出力)

三井造船は、次世代の環境対応・低燃費船として開発した 66 000 重量トン型バルクキャリアー「neo Supramax 66BC」2 隻をこのほど受注しました。

開発にあたり多くの顧客ヒアリング、国内外合わせて 600 以上の港湾調査を行っており、また 2014 年に完成予定のパナマ運河の拡張、現状の航路選定(トレードパターン)等を勘案し、オーバーパナマックス幅(36 m)の幅広浅喫水を基調とした船型に仕上がっています。さらに、56BC に比べて大型化したにも拘らず、従来型のハンディマックスと同等以下の燃料消費量を達成しています。

なお、今般、国際海事機関(IMO)において、船舶からの温室効果ガス(GHG)削減対策として、新たな燃費指標(EEDI)の導入と、これに基づく燃費規制の実施等が採択されました。本船は、この指標(EEDI)に基づく燃費基準を大幅に上回る低燃費を達成しており、今後の海洋環境保護規制のもとでも、長期にわたり活躍することが期待されます。

[担当] 船舶・艦艇事業本部 船舶海洋営業部 番場 秀行 電話: 03 - 5202 - 3516  
[問い合わせ先] 広報室 乾 雅俊 電話: 03 - 5202 - 3147

## 世界最大級のダブルハル VLCC「チョウカイサン」引き渡し

## ダブルハル燃料油タンク装備の「三井マラッカダブルマックス」第 10 番船



三井造船は、千葉事業所にて建造していたマーシャル諸島共和国, AEOLUS MARITIME INC. 向けダブルハル VLCC (超大型油槽船)「チョウカイサン」(CHOKAISAN, 当社第 1807 番船)を完成し、同事業所にて船主に引き渡しました。

本船は、マラッカマックス船型<sup>(注)</sup>としては最大の載貨重量と最大の貨物油艙容積をもち、さらに最頻比重の原油を効率良く輸送できる船型です。本船では、船体はもちろんのこと燃料油タンクのダブルハル(二重船殻構造)化及びポンプ室の

二重底化を実施しています。また、新たに開発した省エネ装置を装備し、航海速力および燃費の向上を図っています。

(注)マラッカマックス船型

マレーシアのマラッカ海峡を通過できる最大喫水での載貨重量を最大化した船型。(多くの日本船社は最大喫水 20.5 m で運航)

## 主要目

全長	: 333.00 m	貨物油艙容積(100%)	: 354 689 m <sup>3</sup>
長さ(垂線間)	: 324.00 m	主機関	: 三井-MAN B&W ディーゼル機関 7S80MC-C 型 1 基
幅(型)	: 60.00 m	連続最大出力	: 27 160 KW x 76 回転 / 分
深さ(型)	: 28.80 m	最大搭載人員	: 40 人
総トン数	: 160 137	船級	: NK
載貨重量	: 308 221 トン	船籍国	: マン島

[問い合わせ先] 広報室 乾 雅俊 電話: 03 - 5202 - 3147

## シンガポール / ZEON Chemicals Singapore Pte. Ltd. 向け スチレンブタジエンラバー製造プラント建設工事起工式

三井造船株式会社が ZEON Chemicals Singapore Pte. Ltd. (社長：平川 宏之氏)より受注した溶液重合法スチレンブタジエンラバー製造プラントの第1期建設工事について、2011年9月1日に現地にて起工式が行われました。

溶液重合法スチレンブタジエンラバーは、低燃費エコタイヤの原料として用いられ、需要の伸張が今後著しい製品です。

三井造船は、シンガポールでの建設工事の実績や設計・調達・マネージメント能力が高く評価され、今回の受注に至りました。東南アジアでも石化投資が活発化しており、これを契機に今後ともシンガポールを初めとするアジア地域での受注活動を積極的に展開していきます。

受注プラント	溶液重合法スチレンブタジエンラバー*製造プラント 第一期工事 年産3～4万トン
建設地	シンガポール、ジュロン島内
プロセス	日本ゼオン株式会社
受注日	2011年7月
完工	第一期工事 2013年 第1四半期(予定)

\*): 低燃費タイヤとして利用される合成ゴム

[担当] 環境・プラント事業本部 プラント営業部 田中 英雄 電話：03 - 3675 - 4962

[問い合わせ先] 広報室 高岡 正宏 電話：03 - 5202 - 3147

### 三井造船技報編集委員会

委員長 中谷 龍 男  
委員 木澤 厚 夫  
福岡 哲 二  
小野 純 二  
川島 幸 司  
速水 礼  
大橋 弘 隆  
穴倉 進  
松本 正文  
神田 伸 靖  
兼本 浩

### 三井造船技報

第204号

2011年(平成23年)10月31日発行  
(年3回発行)

発行人 入江 泰雄

発行所 三井造船株式会社 技術本部  
〒103-0027 東京都中央区日本橋1丁目3番16号  
TEL 03-5202-3600

印刷 株式会社 三造ビジネスクリエイティブ  
〒134-0088 東京都江戸川区西鑑西8丁目4番6号

## 三井造船株式会社

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

本社	〒103-0027	東京都中央区日本橋1丁目3番16号	TEL 03-5202-3147
鑑西センター	〒134-0088	東京都江戸川区西鑑西8丁目4番6号	TEL 03-3675-2819
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
岡山支店	〒700-0903	岡山市北区幸町8番29号(三井生命ビル)	TEL 086-233-4131
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
四国支店	〒760-0050	香川県高松市亀井町5番地1(百十四ビル)	TEL 087-833-4111
松山営業所	〒790-0002	愛媛県松山市二番町3丁目3番8号(伊予石油ビル)	TEL 089-947-7060
九州支社	〒812-0011	福岡市博多区博多駅前1丁目1番1号(博多新三井ビル)	TEL 092-411-8111
東九州支店	〒870-0027	大分県大分市末広町1丁目1番18号(ニッセイ大分駅前ビル)	TEL 097-537-9260
沖縄支店	〒900-0033	沖縄県那覇市久米2丁目4番16号(三井生命那覇ビル)	TEL 098-869-3135
玉野事業所	〒706-8651	岡山県玉野市玉3丁目1番1号	TEL 0863-23-2010
千葉事業所	〒290-8531	千葉県市原市八幡海岸通1番地	TEL 0436-41-1112
大分事業所	〒870-0395	大分県大分市日吉原3番地	TEL 097-593-3111
技術本部			
玉野技術開発センター	〒706-0014	岡山県玉野市玉原3丁目16番1号	TEL 0863-23-3001
千葉技術開発センター	〒290-8531	千葉県市原市八幡海岸通1番地	TEL 0436-41-1110
基盤技術センター	〒706-0014	岡山県玉野市玉原3丁目16番1号	TEL 0863-23-3101
昭島研究センター	〒196-0012	東京都昭島市つつじが丘1丁目1番50号	TEL 042-545-3111
つくば研究センター	〒103-0027	東京都中央区日本橋1丁目3番16号	TEL 03-5202-3600
海外事務所	シンガポール, 北京, ジャカルタ, ハノイ, クアラルンプール		
海外現地法人	三井造船ヨーロッパ株式会社(ロンドン)		
	三井造船(U.S.A.)株式会社(ニューヨーク)		
	三井造船(上海)商貿有限公司		

# 三井造船技報 第 204 号の発行に当たって

「三井造船技報」をご高覧いただき、ありがとうございます。

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

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

敬具

キ リ ト リ 線

FAX : 03 - 5202 - 3610

三井造船株式会社 技報編集委員会 事務局 行(TEL. 03 - 5202 - 3600)

## 三井造船技報 送付先の確認と第 204 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 03-5202-3510 FAX 03-5202-3599

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  
水中ロボット / 水道管点検ロボットを用いた点検サービス

## 鉄構・物流事業本部 TEL 03-5202-3900 FAX 03-5202-3937

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，海外土木・建築工事全般，特殊構造物，風力発電設備工事  
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

## 機械・システム事業本部 TEL 03-5202-3950 FAX 03-5202-3977

船用ディーゼル機関  
往復動圧縮機，ガスタービン発電設備，ガスエンジン発電設備，ディーゼルエンジン発電設備，太陽熱発電設備，バイナリー発電設備，各種コージェネレーションプラント，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，ガスタービン，各種ボイラ，プロセス用圧縮機，蒸気タービン発電設備，炉頂圧タービン発電設備，プロセス機器，誘導加熱装置，各種クレーンの保守，改造用部品・機器の供給，性能改善・改造工事・延命工事などのエンジニアリング・サービスと施工）  
SiC ウェハー，CVD-SiC コーティング，SiC 製半導体装置用部品

## 環境・プラント事業本部 TEL 03-3675-6984 FAX 03-3675-6429

プラントのエンジニアリング及び建設工事（石油化学，化学繊維，合成樹脂，石油精製，ガス製造・精製，無機化学，化学肥料，石炭化学，発酵関連，ファインケミカル，代替エネルギー関連），プラント要素技術（加熱炉，分離炉，分解ガスクエンチャー，高粘度流体脱揮装置，PSA 装置），エンジニアリング支援システム，フィージビリティスタディ，プラントメンテナンス，SDM 工事  
三井リサイクリング 21（キルン式ガス化溶融システム），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）

## 事業開発本部 TEL 03-5202-3981 FAX 03-5202-3989

新規事業の発掘・立案・計画・事業化推進，全社の事業開発の統括・推進，社内向け事業開発関連情報の発信，新規事業のフィージビリティスタディ，新規事業のプロジェクトの推進  
天然ガスハイドレートの製造・貯蔵・輸送・ガス化技術の開発，ガスハイドレートの特性を生かした各種事業開発，バイオエタノール事業の開発，次世代リチウムイオン電池正極材事業の開発  
船舶運航支援のポータルサービス

## 営業総括本部 TEL 03-5202-3940 FAX 03-5202-3125

CS（顧客満足）向上活動の推進，全社にかかわる営業戦略の企画・立案・推進，各事業本部の営業支援及び社内横断プロジェクトの推進，新規事業の発掘と事業化推進，国内・海外営業拠点（支社，支店，営業所，海外駐在員事務所）の統括と受注活動の推進  
海外プロジェクトの推進（ODA 案件），海外新規案件の発掘及び支援

# Double Eco MAX



## 燃費・CO<sub>2</sub>の30%削減を実現させた 新型LNG船“Double Eco MAX”市場投入

### ガス焼きディーゼルエンジン「ME-GI」の採用

三井造船は、新型LNG船“Double Eco MAX”を市場に投入しました。このLNG船は推進システムにガス焼き低速ディーゼルエンジン「ME-GI」を搭載していることが最大の特長です。同エンジンは熱効率の高い2サイクル低速ディーゼルエンジンでありながら、ガス専焼、重油専焼、さらにガスと重油の混焼を可能にしております。これにより二元燃料焼きプロペラ直結推進システムが可能となり、最大限に燃料・CO<sub>2</sub>排出量の削減を図る“Ecology MAX”と、変化する燃料価格情勢に応じて最も経済的な燃料を選択する“Economy MAX”の“Double Eco MAX”を実現しました。

実用化が難しいとされていたこのエンジンは、千葉事業所における世界初のガス焼き低速ディーゼルエンジンによる発電



左：ME-GIエンジン、右：二元燃料噴射システム

プラント-GIDE-の技術がベースとなっており、ME-GIは運転領域全般にわたりGIDEの環境性能や効率を向上させています。また、千葉事業所での2万時間におよぶ実証試験に加え、MAN DIESEL & TURBO社、DNV・ABS(船級)などによるリスクアセスメントも実施され、高度な安全性が立証されています。

今後、天然ガス需要の増加に伴い、“Double Eco MAX”によるLNG船の受注拡大が期待されています。