特集≫≫ 河川・海洋・海岸・港湾

環境に配慮した深層混合処理船への設備更新

省エネルギー化設備を導入した「DCM6 号船」

榎 本 孝

深層混合処理船「DCM6 号船」（以下「本船」という）は昭和 57 年の建造時から油圧駆動による処理機と主巻ウインチを装備していたが，省エネルギー化を目的として駆動装置に高効率のインバータによる，交流電動機の可変速・可変トルク制御を導入した。加えて処理機降下時の位置エネルギーから得られる回生電力を回収してさらなる省エネルギー化を図った。また，処理機ほか電動化設備更新に付随して処理機櫓頂部の改造，各種制御盤を集合して設置し管理できる電気室の新設，プラント設備，船橋操作室，操船ウインチの換装，および船体整備工事を実施した。省エネルギー設備更新は，エネルギー使用合理化事業者支援事業に採択され，「技術」と「効果」が評価された。

キーワード：深層混合処理，DCM6 号船，省エネ，回生電力，エネルギー使用合理化事業者支援事業

1. はじめに

「本船」の深層混合処理機（以下，処理機と省略）は昭和 51 年に初号機として製作した。その後，昭和 57 年に建造した「本船」に搭載し，海上専用の深層混合処理船として活躍してきたが，建造後 37 年が過ぎたことに加え，油圧駆動であったため，海上への漏油リスクがあること，改造前の処理機が 8 軸式長方形改良断面であったため，現行工事の 4 軸式正方形改良断面に適合させるためのコスト増を問題視した。今回，「本船」の処理機を環境対策と現行工事に適合した電動駆動の 4 軸式に設備更新した。新しい処理機は，インバータ制御された交流電動機と減速機による回転出力軸 4 軸と各軸に装備された複数本の掘削ロッド・先端掘削ヘッドで構成される。

主巻ウインチは，既設の油圧モータを撤去し，交流電動機，減速機およびブレーキからなる新規設備に更新した。既存のクラッチ機構，エアーブレーキ機構は流用した。交流電動機はインバータ制御方式を採用し，電源引込盤，インバータ盤などは船内に設置した。また，主巻ウインチの電動機を利用して，処理機の降下時に発生する回生電力を回収し，処理機撹拌などに有効利用している。

この処理機と主巻ウインチの設備更新は，事前に一般社団法人環境共創イニシアチブ（SII）が公募するエネルギー使用合理化事業者支援事業に申請し，審査を受けて採択された。この事業は，既設の工場・事業場等における先端的な省エネ設備・システム等の導入に対して，「技術の先端性」，「省エネルギー効果」，「費用対効果」を踏まえて政策的意義が高いと認められる設備に対して採択されるものである。採択された事業には国庫補助金の交付を受けることができ，省エネ設備導入費の 1/3 が支援される。「本船」の省エネ設備導入は，平成 24 年度，25 年度の 2 ヶ年におよぶ複数年事業として計画した。平成 24 年度は，処理機製作，処理機主巻ウインチの駆動装置部制作（いずれも電気設備を含む。）平成 25 年度は，各設備の艤装工事である。それに付随して，古い設備の更新，船体のリニューアル工事も実施した。完成した「本船」の全景を**写真―1** に示す。

写真―1 「本船」全景

2. 本船の主要目

＜船体部＞

船体寸法（LBD）	56.0 m × 26.0 m × 4.2 m
満載喫水	2.2 m
櫓高さ（水面上）	57.4 m
＜処理機＞	4.6 m^2 級（詳細後述）
改良面積	4.74 m^2
処理機重量	220 t
処理機出力	640 kW
改良深さ	水面下 53.0 m
＜主巻ウインチ＞	147 kN タンデム型（詳細後述）
処理機昇降速度	0.0 ～ 2.0 m/min
＜操船ウインチ＞	147/73 kN × 15/30 m/min × 8 台

＜発電機＞

750 kVA（900PS）× 445 V × 60 Hz	2 基
500 kVA（600PS）× 445 V × 60 Hz	2 基

上記発電機 4 台の同期運転が可能

＜補助発電機＞　150 kVA	1 基

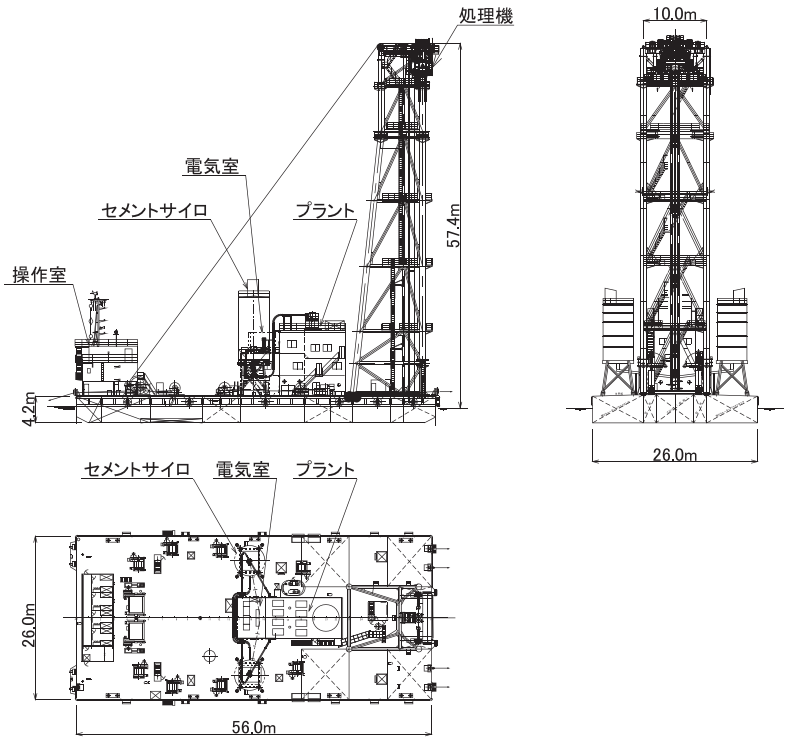
＜油圧ユニット＞（操船ウインチ用）

110 kW × 2 基 + 3.7 kW × 2 基

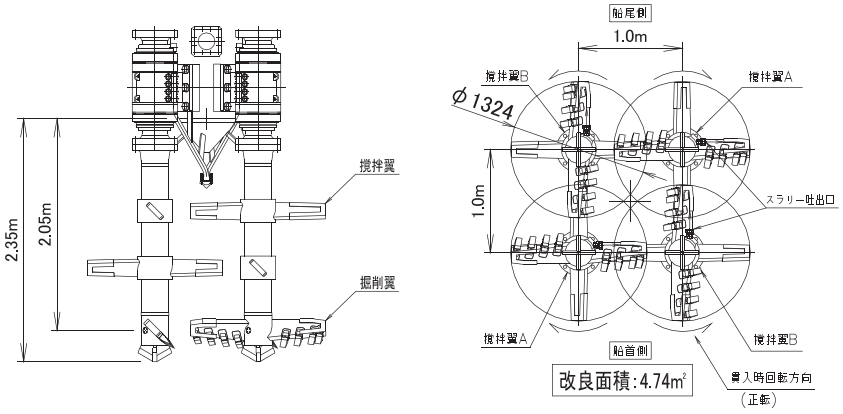
＜スラリープラント＞

セメントサイロ	150 tf × 2 基
ミキサー	2.0 m^3 × 2 基
アジテータ	20 m^3 × 1 基
グラウトポンプ	440 L/min × 8 基

図―1 に「本船」一般配置図を，**図―2** に処理機先端部の刃先形状図を示す。



図―1 「本船」一般配置図



図―2　処理機刃先形状図

3. 設備・技術の先端性

環境に配慮するために実施した設備更新のうち，処理機と主巻ウインチの技術の先端性と設備の仕様を次に示す。

(1) 処理機

油圧駆動を採用していた処理機は，地盤改良のための駆動エネルギーを発電機 → 油圧ポンプ駆動モータ → 油圧ポンプ → ポンプ室から処理機駆動部までの油圧配管 → 油圧モータの流れの中で回転エネルギーへ変換していた。この間の処理機全体のエネルギー効率は，エネルギー伝達媒体が電気から油圧へと変換される効率，伝達機器の機械的･流体的効率により決まる。

今回，電動駆動に変更することで，地盤改良のための駆動エネルギーは発電機 → インバータ制御盤 → 電気室から処理機駆動部までのキャブタイヤケーブル → 交流電動機の流れの中で，回転エネルギーへ変換される。この結果，エネルギー伝達媒体が電気のみとなり，エネルギー伝達媒体変換効率や伝達機器の流体的効率が無くなることによる効率向上と，伝達機器の削減による機械的効率の向上が見込まれた。

処理機は，交流電動機を搭載した減速機構による回転出力軸を 4 軸分有した処理機駆動部と，4 軸それぞれの回転出力軸下端から順に複数本の掘削ロッド・先端掘削ヘッドで構成される。処理機は，船体櫓上端より吊り下げられ，昇降動作を繰り返して地盤改良を行う。交流電動機は，船内に装備したインバータ制御盤 4 台それぞれからキャブタイヤケーブルを介して制御される。処理機本体を**写真**―２に処理機先端掘削部を**写真**―３に示す。

写真―２ 処理機本体部

写真―３ 処理機先端掘削部

(2) 主巻ウインチ

交流電動機でクレーンやウインチを運転する場合，巻上げ時のエネルギー（電力）は電源側より周波数変換装置（インバータ）～交流電動機に供給される。反対に巻下げ時では処理機が持っている位置エネルギーが交流電動機～周波数変換装置を介して電源側に戻る。このエネルギー（電力）を回生電力と呼び，回生電力を有効に利用することで省エネルギー化を図ることができる。

電動化されているクレーンやウインチの場合でも，回生電力を電源側に戻す機能を持たない変換装置を使用している場合，エネルギーは抵抗器に流して熱に変換して処理している。インバータや制御技術の進歩によって現在は回生電力の有効利用が容易になり，発電機を使用している場合では，発電機容量や燃料の低減化が可能となる。また，商用電源の場合は使用する電力量を低減できる。

本船の主巻ウインチを電動化することで，処理機貫入時の位置エネルギーを回生電力として回収し，処理機の撹拌などに利用する。処理機引抜時は，貫入時に比べ原土が乱されているために引抜抵抗は小さくなる。結果として，主巻ウインチ電動化の回生エネルギーを利用することで，省エネルギーと共に負荷の平坦さも図れる。このような省エネルギー効果に加えて，次のような先端性をプラスすることが期待できる。

・一般の回転制御するインバータより高度な電源回生タイプのインバータ・コンバータを採用することで変換装置の高効率化を図り，回生電力の利用率を向上させる。
・処理機など主巻ウインチの回生電力を利用する側の発電機と他設備用の発電機を連携させて，４台の発電

機を含めたシステムで省エネルギー化を実現させる。

・運転時における発電機の台数制御，最適制御を行うことで消費燃料を削減することができる。

主巻ウインチ電動化については，処理機と同じく油圧駆動から交流電動機による直接駆動に改造することで，処理機の下降時に発生する回生電力を回収し電力として有効利用できるようにした。

ウインチ本体は油圧モータを撤去し，交流電動機と減速機とブレーキからなる新規装置を設置した。クラッチ機構，エアーブレーキ機構は流用した。電動機はインバータ駆動方式を採用し，電源引込盤，インバータ盤などは船内に設置した。主巻ウインチ駆動部を**写真**―４に示す。

・三相誘導電動機　インバータ制御方式（屋外横型）75 kW × 2 台
・駆動用減速機× 2 台
・電動機用ブレーキ　ミューリフターブレーキ× 2 台

4. 省エネ設備の導入

今回導入した省エネ設備を次に示す。また，省エネ設備導入前後における機器構成，動力系統の新旧比較を**図**―３に示す。

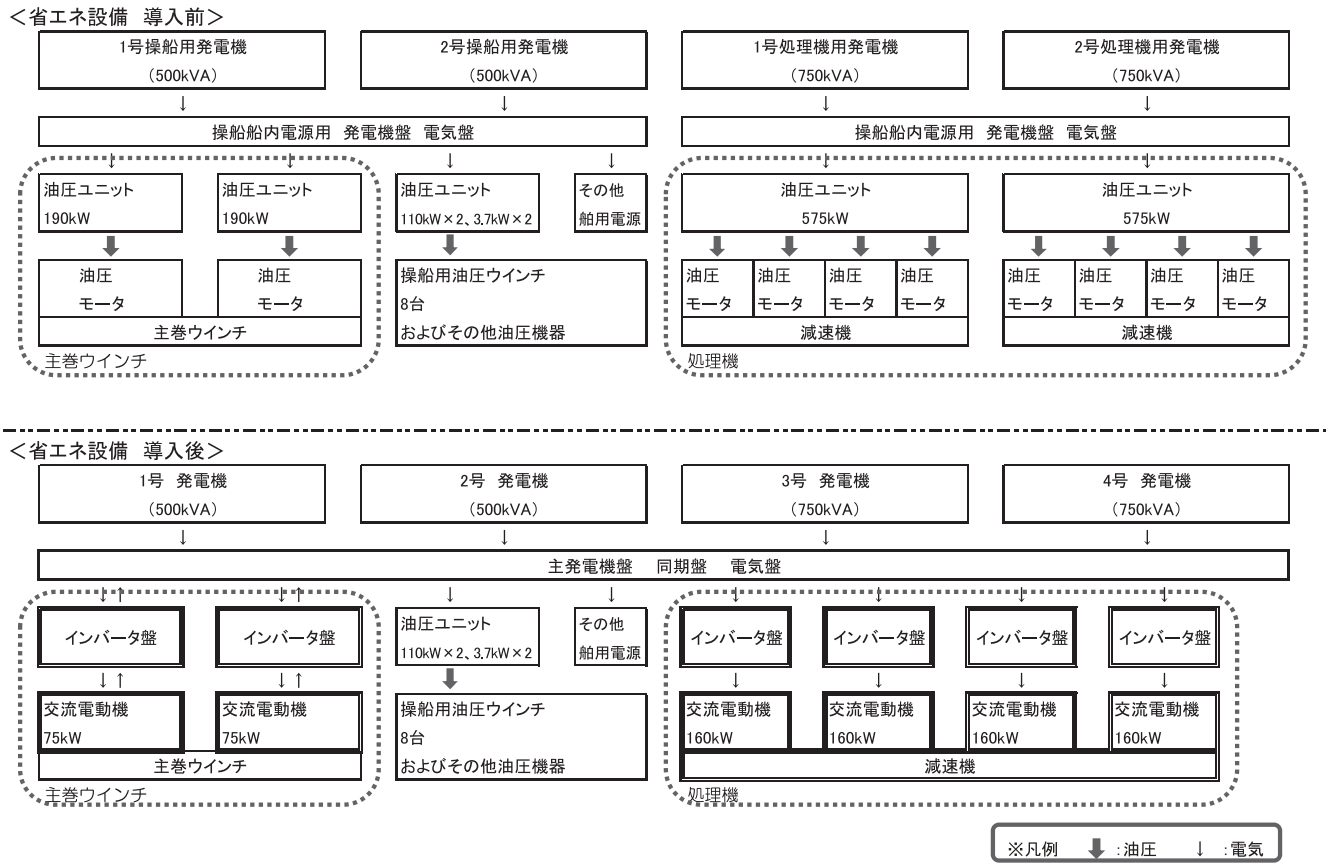
写真―４　主巻ウインチ駆動部

(1) 処理機

油圧駆動８軸撹拌の処理機を高効率のインバータによる交流電動機の可変速・可変トルク制御駆動の処理機に更新した。処理機改良面積を 4.6 m^2 級の標準４軸撹拌に更新，当初設計から杭配置変更が不要になったため施工量の改良ロスをなくした。

(2) 回生電力システム（主巻ウインチ）

油圧モータ駆動の主巻ウインチ動力部を高効率のイ



図―３　省エネ設備導入前後　新旧比較

ンバータによる交流発電機の可変速・可変トルク制御駆動に更新した。処理機降下時の位置エネルギー（電気）を発電機側に戻す（回生）ことで，処理機撹拌などの電力源として有効利用した。

(3) 発電設備運転管理システム

船内に装備する 4 基の発電機を同期運転できるようにして，回生電力を有効活用した。また，複数の発電機負荷を均一に分担させるとともに使用電力量をリアルタイムで監視し，「不要な発電機稼働の停止」もしくは「電力供給不足による発電機の稼働」を管理モニターに表示させることで最適な発電機台数で運転できる。省エネ効果もあり，通常運転では 2 基の発電機稼働が実現できた。

(4) 遠隔操作（各制御盤間のネットワーク構築）

各機器類の制御盤間を光ファイバーケーブルで接続しネットワークを構築することで，居住区操作室内における遠隔操作，総合管理が実現した。常時稼働不要な機器類（操船ウインチ用油圧ユニットなど）の運転と停止を船橋から遠隔操作できることで省エネ効果となった。また，運転中の船体姿勢制御を行うバラストシステムを自動化することで省力化を実現した。

5. 設備更新工事の概要

今回実施した設備更新工事についての概要を次に示す。

(1) 処理機の換装（エネルギー使用合理化事業者支援事業）

油圧駆動に替えて採用した交流電動機の処理機駆動部は気中仕様であるため，櫓頂部から処理機の頂部が出る構造として処理機を長くし，従来と同じ櫓高さで改良深度を確保した。処理機巻上時の櫓頂部を**写真**―5 に示す。

処理機減速機には，高効率潤滑油 EPS150 を採用した。これは高度に精製したベースオイルに S-P 系極圧剤や有機モリブデンを配合した工業用ギヤ油でモリブデンがギヤ表面に油膜を形成し，ギヤ噛み込み時に発生する摩擦を滑らかにさせることにより，省電力効果を発揮するものである。また処理機の軸受けには，環境にやさしい生分解性グリスを採用している。

処理機の軸間距離・撹拌翼径は，㈶沿岸技術研究センター発行の深層混合処理工法技術マニュアルに定義される断面有効係数 α が大きくなるように設定し，セメント量の割増しを極力少なくなる形状にした。また先端処理の方法は先端吐出方式を採用した。旧処理機と新処理機の比較を**表**―1 に示す。

写真―5 櫓頂部（処理機巻上時）

表―1 旧処理機と新処理機の比較表

	旧処理機	新処理機
処理機本体	8 軸（水中仕様）	4 軸（気中仕様）
駆動源	油圧モータ× 8 台	交流電動機× 4 台
改良面積	4.64 m^2	4.74 m^2
処理機重量	160 tf	220 tf
処理機長	46.6 m	58.26 m
電動機総出力	1,150 kW ※油圧ユニットの電動機合計	640 kW ※交流電動機の合計
最大トルク	22.5 kN·m (2,300 kgf·m)	50.9 kN·m (5,195 kgf·m)
改良深度（水面下）	60 m	53 m
改良長（海底面下）	38 m	−
掘削翼径	950 mm	1,324 mm
軸間距離	700 mm，750 mm	1,000 mm
先端処理方法	スライド管吐出	先端吐出

(2) 主巻ウインチ駆動部の換装（エネルギー使用合理化事業者支援事業）

処理機の昇降速度は，改良地盤の品質（強度）を保つために地盤に注入し撹拌するセメントミルク量と連動させるために無段変速が必要である。

近年，処理機降下時のエネルギー回収ができ，格段にエネルギー効率が良く変速が可能なインバータによるウインチ制御が確立されたので，主巻ウインチの駆動源に油圧モータに替えてインバータ制御の交流電動機を採用した。改造前の主巻ウインチに合わせるため，減速機とミューリフタブレーキも装備した。主巻ウインチの旧設備と新設備の比較表を**表**―2 に示す。

表―2　主巻ウインチ　旧設備と新設備の比較表

	旧処理機	新処理機
定格荷重	74 ～ 147 kN	74 ～ 147 kN
ワイヤ寸法	φ 40 × 1,660 m	φ 40 × 1,660 m
駆動方式	油圧モータ （油圧ユニット）	交流電動機 （インバータ制御）
ワイヤ速度 （処理機昇降速度）	0 ～ 80 m/min （0 ～ 4 m/min）	0 ～ 40 m/min （0 ～ 2 m/min）
原動機出力	190 kW × 2 基 油圧ユニット モータ出力	75 kW × 2 基 インバータ制御 交流電動機

(3) 居住区（船橋）の換装

新処理機と主巻ウインチを遠隔操作する操作卓を新替えした。コの字型の操作卓を採用して限られたスペースを有効に使った。処理機の操作，操船ウインチ遠隔操作，船体のバラスト自動制御，軸受けグリス注入操作などを集中管理できるものとした。また，遠隔操作のネットワークを構築したため，機関室内にある発電機の運転状況監視や，プラント室内に設置したスラリーポンプ運転時のセメントスラリー注入操作の総合管理が船橋で実施できるものとなった。新替えした船橋（操作卓）を**写真―6**に示す。

新設した居住区には，新たに士官室×2室，会議室，事務室を設けて船内で管理業務や会議が実施できるように配慮した。居住区全体を**写真―7**に示す。

(4) 発電機同期盤，電気室の新設（エネルギー使用合理化事業者支援事業）

「本船」の既設発電機4台（500kVA × 2台，750kVA × 2台）を同期するために新たに同期盤を製作して船内に設置した。同期盤の設置場所は機関室内で旧処理機用の油圧ユニット撤去場所を利用した。これは機関室内の既設発電機盤を配電盤として利用するため，ケーブル敷設距離が短く，設置作業を容易にするために計画した。また，発電機エンジンの始動停止は遠隔操作では実施できないため，機関室内での一括管理の方が安全で確実であることを考慮したのである。発電機同期盤を**写真―8**に示す。

処理機用，主巻ウインチ用，スラリーポンプ用のインバータ盤，回生電力盤，PLC盤，バラスト制御盤，操船ウインチ制御盤は船体中央の甲板上に2層構造の電気室を新規製作して設置した。室内は壁と天井に断熱材を設け空調設備と換気設備を設置して，通期にわたり制御盤が最適な環境下となるように配慮した。

また，電気室の上部にはセメント圧送用のブロア室を設けた。新設した電気室，ブロア室を**写真―9**に示す。

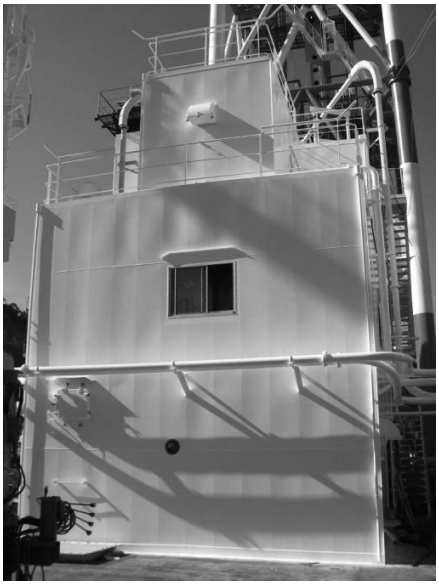
写真―6　新設船橋（操作卓）

写真―7　居住区全体

写真―8　発電機同期盤（機関室内）

(5) 甲板上機械・設備の換装

甲板機械では，全8台装備している操船ウインチを4台換装（平成23年度に2台換装済）した。既設操船ウインチ撤去時にウインチ下の船体甲板を切り替え



写真―9 新設電気室，ブロア室

補修した。

深層混合処理船は 24hr 昼夜運転が通常であるため，夜間でも安全作業となるように甲板上照明に㈱ソディック製 LED 投光器を新規に設置した。櫓トップからのダウンライト，船橋屋上から船上の広範囲を照射することができた。従来の水銀灯に比べて使用電力が350 W と約1/4となり，約4万時間の長寿命である。入力電圧は AC100 ～ 242 V である。また，新設した居住区内の各室，増設した食堂の照明には LED 照明（蛍光灯）を採用した。

(6) スラリープラント設備の換装

処理機は先端処理方法に先端吐出方式を採用した。（旧処理機はスライド管吐出方式）それに伴い，スラリーポンプを先端処理用に 4 台，引抜吐出用に 4 台新設した。ポンプ吐出量はインバータ制御で行い，電動機出力 22 kW，理論吐出量 440 L/min，最大圧力 2.45 Mpa のプランジャ式ポンプを採用した。新規に換装したスラリーポンプを**写真― 10** に示す。

ほかにセメントサイロからチャージホッパーへのセメント供給方法を機械式から空気圧送式に改造した。

(7) 機関室内の整備

処理機重量増加，船尾側の処理機・主巻ウインチ油圧ユニット撤去による船首側トリム修正のため，船尾側中央に固定バラスト約 90 t（コンクリート製）を設置，既設の船尾清水タンクを常時満水として固定バラスト化した。両舷の処理機用油圧ユニット撤去場所には清水タンク（容量 48 m^3 × 2 基）を設置し，船尾側のバラストタンクに余裕が持てるように計画した。

写真― 10 スラリーポンプ（プラント室内）

6. おわりに

海上工事で大型作業船を使う場合，主機関の燃料消費効率が悪いため燃料使用量が多くなり，NO_X の排出量も増えることから，経済的なことだけなく環境面にも悪影響を及ぼすことになる。よって建造後何十年も経った作業船の場合，省エネ設備を導入する効果は非常に大きなものになると想定できる。また新造船として建造する場合，船体を建造すると製作に多大なエネルギーを消費して多くの CO_2 を排出する。船体を定期的に整備して長期間使用すれば，多くの CO_2 の削減効果も期待できる。

謝辞

本船「DCM6 号船」の省エネ設備導入，設備更新，船体リニューアル工事に御協力頂いた MHI メカトロシステムズ㈱（処理機製作），マリンハイドロテック㈱（主巻ウインチ電動化，操船ウインチ），㈱明電舎（主巻ウインチ電動化，回生電力盤，発電機同期盤），MHI マシナリーテクノロジー㈱（遠隔操作，制御システム全般），吉永機械㈱（櫓トップ製作），㈱ JMU アムテック（艤装工事全般）他多くの企業の皆様に誌面をお借りして御礼を申し上げます。また，エネルギー使用合理化事業者支援事業に採択され，技術的に評価されたことに感謝を申し上げます。

JCMA

［筆者紹介］
榎本 孝（えのもと たかし）
東洋建設㈱
土木事業本部 機械部
課長