

運航経済性向上を実現させた内航電気推進船の省エネ技術

Energy Saving Technology of the Diesel-Electric Propulsion System for Japanese Coastal Vessels

山田 英城 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド エンジニアリング事業部 商船グループ 主査
宮部 宏彰 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド エンジニアリング事業部 商船グループ 主査
佐伯 愛一郎 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド エンジニアリング事業部 商船グループ グループ長

株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッドは、独自技術である二重反転プロペラ搭載電気推進システム (IHIMU-CEPS) を装備した内航電気推進船を開発し、2007年2月に竣工した「新衛丸」を皮切りに2010年8月までにケミカルタンカー、セメント運搬船など12隻を就航させた。ディーゼル主機関で推進する従来船と比べ、大幅な燃費改善と環境負荷低減を実現している。本稿では IHIMU-CEPS の概要および就航船の実績から確認された電気推進の利点と燃費改善などの特長を解説する。

IHI Marine United Inc. (IHIMU) has developed an energy-saving, environmentally-friendly diesel-electric propulsion system with a Contra-Rotating Propeller (CRP) for Japanese coastal vessels. The system is called "IHIMU-CEPS" (the IHIMU-CRP Electric Propulsion System). The energy-saving technology of IHIMU-CEPS has achieved dramatic improvements in the area of vessels' propulsion efficiency due to their highly-advanced, optimally formed hull and the CRP. Starting with "Shineimaru" completed in February 2007, twelve vessels with IHIMU-CEPS, such as chemical tankers, clean product oil tankers and cement carriers, have already been put in service by August 2010. Compared with conventional vessels with direct-drive diesel engine propulsion systems, vessels with IHIMU-CEPS are more fuel efficient and emit less CO₂, NO_x and SO_x. This paper explains the outline of IHIMU-CEPS and the features found by vessels' performance, including advantage of diesel-electric propulsion system and fuel efficiency improvement.

1. 緒 言

海上輸送は長距離・大量輸送に適しており、環境負荷の低減や物流の効率化を目指して国土交通省などが推進するモーダルシフトの担い手として期待されている。とりわけ国内輸送の4割を占める内航海運は、経済と生活を支える重要なライフラインであり、その役割は大きく、これまで以上に省エネと環境問題を意識した事業展開が必要となっている。

このような背景から、株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド (IHIMU) は、大型の外航船で採用実績のある二重反転プロペラ (Contra-Rotating Propeller, 以下、CRP と呼ぶ) を搭載した電気推進システム (CRP Electric Propulsion System, 以下、IHIMU-CEPS と呼ぶ) を内航海運分野における省エネ・環境対策技術として開発した。2007年の第一船「新衛丸」の就航以来、これまでに12隻の IHIMU-CEPS を搭載した内航電気推進船が就航した。ディーゼル主機関を搭載する従来船と比べ、大幅な燃費改善と環境負荷物質の排出削減を達成するとともに、機関保守作業の軽減および船内における作業環境・居

住環境の改善を実現した。

本稿では、IHIMU-CEPS の概要と、就航実績および電気推進の利点や燃費改善を始めとする特長を解説する。

2. IHIMU-CEPS の開発

2.1 内航電気推進船開発の背景

従来の内航船では、船内の限られたスペースを有効に活用するために、ケミカルタンカーの荷役ポンプやセメント船の圧送用コンプレッサなどの荷役装置は、推進用主機関の駆動力をクラッチなどで切り替えることで使用してきた。このため、クラッチやギヤなどの機械装置が多く、メンテナンス作業に多くの労力やコストをかけてきた。

また、内航船は頻繁な出入港があり、乗組員は積地と揚地間の船舶の安全運航を行うことはもとより、港では荷役作業も行う。このため、荷役作業の省力化・作業環境の改善と、乗組員が静かに休息できるような航行中の良質な居住環境の確保が課題であった。

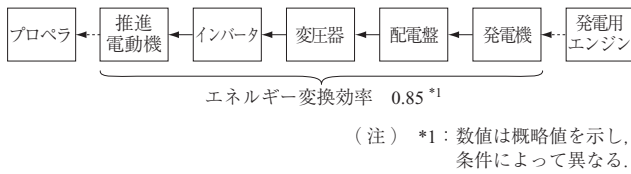
こうした課題を解決するための一つの手段として、荷役装置の電動化が考えられるが、必要な電力を供給するためには発電機の大型化が必要となる。そこで、電気推進を採

用することによって運航中は主に推進用に電力を供給し、船を停めて荷役する場合にはその電力を荷役装置に利用できるシステムの実用化が期待された。

2.2 IHIMU-CEPS の開発

電気推進船は、静音性や低速時の操船性に優れることが一般に知られており、従来はこれらの特長を活かせる客船や調査船、砕氷船などの特殊な用途で利用されてきた。しかし、電気推進船では**第1図**に示すように、発電用ディーゼル機関で発生させた回転エネルギーを発電機によって電気エネルギーに変換し、幾つかの電気機器を経由した後に推進電動機で回転エネルギーに再変換し推進力を得る。このため、単純な電気推進化だけでは、エネルギー効率の観点、つまりは運航経済性の観点からディーゼル主機を搭載した従来船に及ばない。

IHIMU は、外航海運の大型船建造で培った船型開発技



第1図 電気推進システムのエネルギー変換効率

Fig. 1 Energy conversion efficiency of the diesel-electric propulsion system

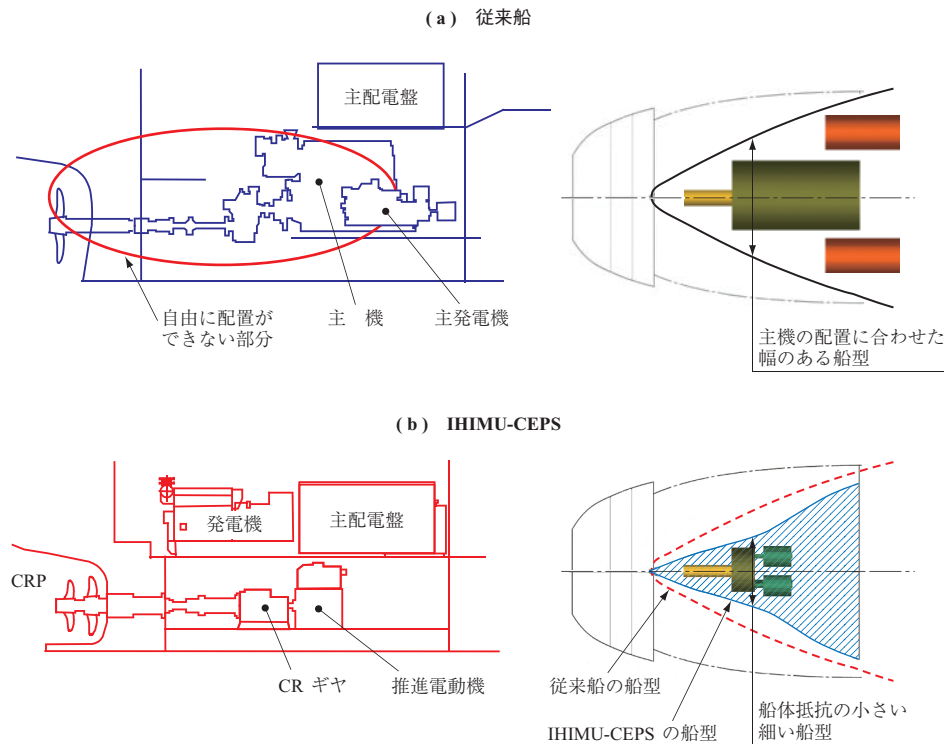
術と CRP 技術を内航海運向けの中小型船用として適用することで、総合的な推進効率を向上させ、電気推進化によるエネルギー変換損失を補完する以上の大幅な省エネ性能の向上を実現し、内航船など一般商船に求められる運航経済性と、電気推進化による作業性・船内環境の改善を両立させた。

2.2.1 船型開発

電気推進船では、大型の主機関とプロペラ軸を直結させる必要がなく、主機関に比べてはるかに小型の推進電動機をプロペラ軸に接続する。また、そのほかの電気推進機器は電線で接続されるので、機関室内の機器配置は従来船に比べ自由度が高くなる。したがって、船体抵抗を小さくすると同時にプロペラへ整った流れを送るために重要な、船体中央部から船尾にかけての船型を従来船よりも大幅に改善している(**第2図**)。

併せて、船尾バルブと呼ばれる特殊な船体形状を採用した。これは、プロペラ作動面直前の船体形状をなだらかな球状として、船体周囲の水流をプロペラ作動面に効果的に集中させることによってプロペラ効率を向上させるものである。

また、一部の電気推進船には LV-Fin⁽¹⁾(**第3図**)と呼ばれる省エネ付加物を採用している。これは、プロペラ



(注) 機関室配置の自由度が高くなることで、船型改良が可能になった。

第2図 自由度の高い機関室配置と船型開発

Fig. 2 Flexible arrangement for an engine room and development of hull form



第3図 LV-FinとCRP
Fig. 3 LV-Fin and CRP

前方の船尾バルブ付近に左右一対で取り付けられる三角形の整流板であり、船尾部の水流を整えることで粘性圧力抵抗を軽減させ、効率向上を図るものである。

2.2.2 二重反転プロペラ (CRP)

CRP^{(2),(3)} (第3図)は、互いに反対方向に回転する2枚のプロペラを同一回転軸上の前後に取り付け、前プロペラ後部に発生する回転流に伴う損失エネルギーを、後プロペラで回収し推進力に還元する。さらに、2枚のプロペラで推進力を分担させ、それぞれのプロペラが担う荷重を低減し回転数を下げることによって、同じ直径のプロペラ

に対して高いプロペラ効率を得ることができる推進システムである。

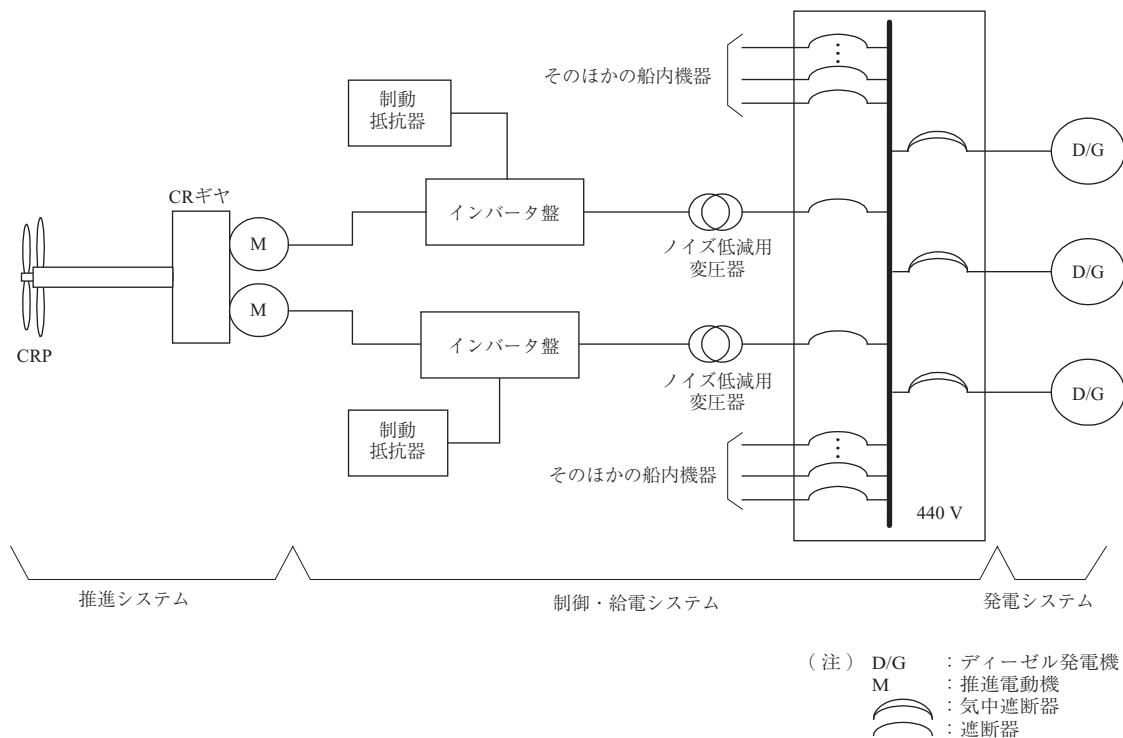
2.2.3 電気推進装置⁽⁴⁾

本電気推進システムの標準的な機器構成を第4図に示す。

発電機の設置台数は、機関室の配置スペースと必要とする電力量から、2～4台としている。これらの同出力複数台のディーゼル発電機によって船内用および推進用電力を発電し、2組の変圧器・PWM (Pulse Width Modulation) 式インバータを経由して2基の推進電動機をそれぞれ駆動させる。駆動力は二重反転歯車装置 (CRギヤ) を介して、1組のラインシャフト式CRPへ伝達され、推進力を発生させる。

発電機および推進電動機からプロペラまで、それぞれ2系統以上が備わっているため、万一、一部に故障が生じた場合でも、残った健全なシステムによって運航を継続することが可能であり、冗長性の高いシステムである。

PWM式インバータは推進電動機の出力・トルク・回転数を高精度に制御する。変圧器は船内機器のモータ異常過熱の原因となる高調波ノイズを低減するために装備され、制動抵抗器はプロペラ逆転によって本船速力に制動をかける場合などに発生する回生電力を熱として消費するために装備される。



第4図 IHIMU-CEPSのシステム構成例
Fig. 4 Configuration of the IHIMU-CEPS

3. IHIMU-CEPS 搭載船の建造実績と特長

3.1 IHIMU-CEPS 搭載船の建造実績

IHIMU-CEPS を搭載した内航電気推進船は 2010 年 8 月現在、12 隻が就航している。その就航内訳は、492 GT 貨物船兼油送船 1 隻、499 GT ケミカルタンカー 5 隻、499 GT パラフィンワックスタンカー 1 隻、749 GT 白油タンカー 2 隻、749 GT 型セメント運搬船 2 隻、1 066 GT ケミカルタンカー 1 隻である。また、749 GT 型液化ガス (LPG) 運搬船 1 隻、5 700 GT 型セメント運搬船 2 隻の計 3 隻が建造中である。第 1 表に各船の主要目を示す。

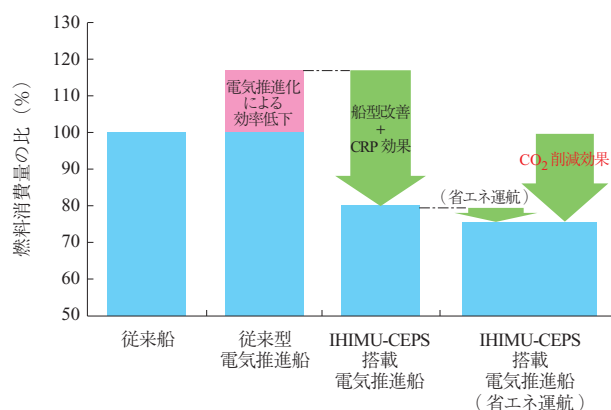
3.2 IHIMU-CEPS 搭載船の特長

3.2.1 省エネ性能と環境負荷の低減

前述した船型開発と CRP の採用によって、電気推進船の総合的な推進効率が従来船と比べ大幅に向上し、電気推進化による効率低下を補完したうえで大幅な燃料消費量削減を実現した。船型と比較する従来船の選択にもよるが、499 GT 型ケミカルタンカーを例に挙げると、海上試運転での計測の結果、電気推進船の燃費性能は約 20%向上した (第 5 図)。

また、燃料消費量の削減に伴い、CO₂ および SO_x の排出量も約 20%の削減を達成した。

NO_x 排出量については、従来船で主機関として搭載されていた低速エンジンに替えて、発電機関に中速エンジンを採用したことで、上記の燃料消費量削減を加味して、約 40%の削減を達成した。



(注) 船型改良効果は、比較対象船によって変わる。

第 5 図 従来船と IHIMU-CEPS 搭載電気推進船の燃料消費量比較 (499 GT 型ケミカルタンカーの例)

Fig. 5 Fuel consumption comparison of a conventional vessel and an electric propulsion vessel with IHIMU-CEPS (Example of a 1 230 m³ type chemical tanker)

3.2.2 船内作業環境の改善

ケミカルタンカーでは、荷役ポンプとして電動ディーゼルポンプを各貨物槽に装備し、従来船に装備されていた主機駆動型荷役ポンプとこれを設置するポンプ室を廃止した。これによって、種類の異なる貨物のコンタミネーションを防止することによる輸送品質の向上と、荷役作業の安全性向上を実現した。セメント運搬船は、荷役用空気圧送装置として大型の空気圧縮機を搭載する。従来は、主機関の動力を推進軸から空気圧縮機へ切り替えて利用する機械駆動方式であったが、電気推進船では推進用と兼用したインバータの制御による電動方式を採用し、運転中の騒

第 1 表 IHIMU-CEPS 搭載電気推進船の主要目
Table 1 Principal item of electric propulsion vessels with IHIMU-CEPS

船名	用途 (貨物)	竣工年月 (年/月)	総トン数 (GT)	長さ×幅×深さ (Lpp×B×D) (m)	主発電機 (kW)×(台)	推進電動機 (kW)×(台)
新衛丸	貨物船兼油送船	2007/2	492	55.0×9.8×3.5	400×3	500×2
第五日光丸	ケミカルタンカー	2007/5	499	61.8×10.0×4.5	350×3	370×2
なでしこ丸	白油タンカー	2007/11	749	69.95×11.5×5.25	410×4	600×2
国朋丸	ケミカルタンカー	2008/6	1 066	76.9×12.2×5.8	700×3	745×2
のじぎく	ケミカルタンカー	2009/1	499	61.8×10.0×4.5	350×3	370×2
第三ほうりん	ケミカルタンカー	2009/4	499	61.8×10.0×4.5	350×3	370×2
豊和丸	ケミカルタンカー	2009/9	499	61.8×10.0×4.5	400×2	260×2
ろっこう	ケミカルタンカー	2009/12	499	61.8×10.0×4.5	350×3	370×2
海光丸	セメント運搬船	2010/3	748	72.0×14.6×7.6	800×3	900×2
東亜丸	白油タンカー	2010/4	749	69.95×11.5×5.25	450×3	500×2
第五豊晃丸	パラフィンワックスタンカー	2010/6	499	61.8×10.0×4.5	350×3	370×2
鶴洋丸	セメント運搬船	2010/7	749	72.0×14.6×7.6	800×3	900×2
未定	液化ガス運搬船	建造中 (1 隻)	約 749	65.0×11.6×4.9	480×3	550×2
未定	セメント運搬船	建造中 (2 隻)	約 5 700	109.0×18.2×9.4	1 500×3	1 400×2

(注) 2010 年 8 月現在

音低減や機械保守の負担軽減を実現した。

電気推進したことによって振動・騒音源となるエンジンが小型になるため、低振動・低騒音化が実現され、船内の居住環境が格段に向上している。

3.2.3 船内動力源の一元化と発電機運転台数の選択

従来船では、推進用主機関と船内電力供給用主発電機をそれぞれ別に装備し、それぞれのエネルギー需要に対して各機関から供給する。一方、電気推進船では、推進用とそのほかの船内電力をすべて共通の発電システムから供給することで、船内動力源を一元化した。これにより、発電機器を効率良く利用することが可能になった。

船内の電力需要は、① 満載航海・バラスト航海といった船の状態の違い ② 静穏・荒天などの海象の違い ③ 航海・出入港・荷役といった作業状況の違い、などでさまざまに変化する。第6図に例示した発電機を3台搭載する電気推進船の場合、航海中は発電機3台運転、出入港時は2台運転といったように、発電機の運転台数を選択することで、発電機関の低負荷運転を回避すると同時に、燃料消費率の良い負荷率で稼働させることができる。また、穏やかな海象では、少ないモータ出力で航海に必要な速力を維持できるので、航海中でも発電機2台運転（減機運転）によって推進用電力と船内電力の需要を賄うことが十分に可能である。

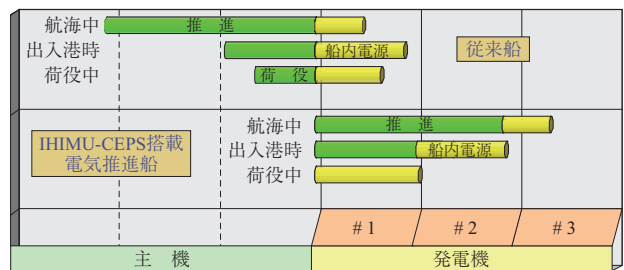
また、この減機運転によって、航海時間に対してそれぞれの発電機関の運転時間が減るため、機械保守の負担軽減にも貢献している。

3.2.4 海洋環境への配慮

749 GT 白油タンカーでは、積荷を衝突などの事故から保護するため、ダブルハル（二重船殻）構造にし、海洋環境保全に配慮している。そのうえで、機関室配置の自由度が高い電気推進船の特長を活かし機関室の長さを短くし、ポンプ室を廃止したことで、総トン数を増加させることなく、従来船のシングルハル型と同等の積載貨物量2000 kIの貨物槽容積も確保することを実現した。

4. 結 言

就航した12隻のIHIMU-CEPS搭載内航電気推進船が優れた省エネ性能と環境負荷低減を実現したことで、船主



第6図 船内動力源の一元化と発電機運転台数の選択
Fig. 6 The unification of the power source and the selection of the number of operating generators

の皆様から高い評価が得られている。また、乗組員の方からは、従来船では経験したことがない静かな居住環境に満足の声をいただいている。

IHIMUは、海運産業の発展と地球環境の保全に貢献できるよう、これまで以上の高いレベルで環境性能と運航経済性を実現させるため、環境に優しい省エネ技術の開発・普及にこれからも注力していく。

— 謝 辞 —

本船の開発と普及に当たり、独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構の関係各位から多くのご助言をいただきました。ここに記し、深く感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) 増子 章, 小柴幸雄, 石黒 剛: 船舶の省エネルギー付加物 IHI-L. V. Fin 石川島播磨技報 第38巻第6号 1998年11月 pp.392 - 397
- (2) 船舶海洋事業本部: CRP 船“JUNO”の就航実績と評価 石川島播磨技報 第31巻第4号 1991年7月 pp.258 - 263
- (3) 坂本芳太郎, 藤野良亮, 勝亦康司, 成田豊伸: 二重反転プロペラ装備 258 000 DWT 型油槽船「沖ノ嶋丸」 石川島播磨技報 第34巻第5号 1994年9月 pp.372 - 377
- (4) 古田哲也, 渡辺 学, 中井源太, 宮部宏彰: 二重反転プロペラ搭載電気推進内航ケミカルタンカーの開発 石川島播磨技報 第46巻第4号 2006年12月 pp.145 - 150