

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

Development of Electric Propulsion Chemical Tanker with Contra-Rotating Propeller (CRP)

古 田 哲 也 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド 基本設計部 課長代理
 渡 辺 学 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド 基本設計部
 中 井 源 太 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド 基本設計部
 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 技術部 課長

電気推進システムを採用し、二重反転プロペラによって推進する内航ケミカルタンカーを開発した。ディーゼル発電機とモータの組み合わせによる電気推進システムでは、一般に機器効率分のエネルギーロスがあるが、本船では株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッドが大型船で培った二重反転プロペラや省エネ船型の設計技術などを採用することによって、従来の内航船に比べて約 5% の燃費改善が可能となった。また、機関室やポンプ室の小型化が可能となり、二重船殻（ダブルハル）ながら、従来のシングルハル船と同等の載荷容積を得ることができた。

An electric propulsion chemical tanker equipped with Contra-Rotating Propeller (CRP) was developed by IHI Marine United Inc. (IHIMU). An electric propulsion system, generally composed of diesel generators and electric motors, is apt to be less economical due to the energy loss, which arises in the electric components. To solve this problem, IHIMU adopted CRP and high efficiency hull form, both of which IHIMU has long-term experience of designing for larger vessels. As a consequence, about 5% fuel saving is expected. In spite of being a double hull tanker, this ship has as large cargo capacity as a conventional propulsion single hull tanker, thanks to smaller machinery space and reduced pump room.

1. 緒 言

2005 年に発効した京都議定書において、我が国は二酸化炭素など温室ガスの排出について、2012 年までに基準年（1990 年）比 6% の削減を行うことが求められている。これに伴い、各分野における省エネルギーをいっそう進めるために「エネルギーの使用の合理化に関する法律」の改正が行われ、運輸分野においては一定規模以上の輸送事業者や荷主に対し、省エネルギー計画の策定やエネルギー使用量の報告が義務付けられた。省エネルギーの取組みが著しく不十分な場合には、監督官庁による勧告・公表・命令が行われることとなるため、内航海運分野においても、これまで以上に環境問題を意識した事業展開が必要となってきた。

こうしたなか、① 独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構（JRTT）による電気推進船の普及促進制度
 ② 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）による省エネルギー事業助成制度、など、省エネルギー型電気推進船を建造しようとする事業者に対して社会的な支援が整備されつつある。

株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド（以下、

IHIMU と呼ぶ）は 2006 年 3 月、これらの制度を活用した内航電気推進船 2 隻を受注した。これらの内航船では二重反転プロペラ（Contra-Rotating Propeller, 以下、CRP と呼ぶ）を内航船向けに改良適用するとともに、最新の設計手法による船型開発を行い、船舶の推進効率を大幅に向上させた。この結果、電気推進システムでは不可避なエネルギーロスを補い、従来の内航船と比較して貨物輸送量当たりの燃料消費量を改善できるほか、電気推進に伴うさまざまな優位性が期待されるシステムとなった。

本稿では、内航海運分野における環境対策の選択肢の一つとして開発した、CRP を搭載する電気推進システムについて、ケミカルタンカーの例を紹介し、その技術的な課題、対策と優位性について述べる。

2. 本 船 の 概 要

2.1 全体計画

本船は、汎用ケミカル製品（ベンゼン、トルエン、キシレンなど）の国内輸送に従事するケミカルタンカーであり、約 1 000 t の製品を運ぶタンク容積をもつ。従来、同クラスのタンカーは、低速ディーゼル機関によってプロペラ 1 基を直接回転させ推進力を得ていた。これに対し

本船では、2基の電動機（モータ）によってCRPの前後2基のプロペラを、それぞれ回転させることによって推進力を得る。電気推進船では、在来船に比べ、発電機や電動機などにおける電氣的なエネルギーロスによって燃費の悪化が懸念されるが、本船ではCRPの採用と船型の改良によって、在来船と同等以上の運航経済性を確保している。

本船には、3基の中速ディーゼル発電機が備えられ、3基並列運転で通常航海時の推進電動機の電力およびそのほかの船内機器電力を総合的に供給する。また、減速航行時や荷役時など、電力需要の少ないときには、発電機の運転台数を減らし、1基当たりの負荷率を高くして、つねに燃費率の良い状態で経済的な運航ができるようにしている。

2.2 本船の主要目

本船の主要目は以下のとおりである。

全 長	約 64.99 m
垂 線 間 長	61.80 m
全 幅	10.00 m
計 画 喫 水	4.20 m
総 ト ン 数	499 トン
推進電動機	370 kW × 2 基
発 電 機	中速ディーゼル発電機 350 kW × 3 基
航 海 速 力	推進電動機出力 70% において 10.5 kn
荷役ポンプ	電動ディープウェル式 100 m ³ /h × 8 台

概略一般配置図を第1図に示す。機関室が従来よりコンパクトになり、また、荷役ポンプは電動ディープウェル式（タンク上部のモータからシャフトを介してタンク内のポンプ本体を駆動する方式）を採用し、ポンプを各タ

ンクに配することによって、ポンプ専用区画を従来よりも縮小した。この結果、ダブルハル構造でありながら、従来のシングルハル構造と同等の載荷容積を確保することができた。

3. 電気推進システム

3.1 電気推進システムの概要

本船の電気推進システムは2組の推進電動機、インバータ、ノイズ低減用変圧器および制動抵抗器によって構成されている。第2図に電気推進システム構成を、第1表にシステムの概略仕様を示す。

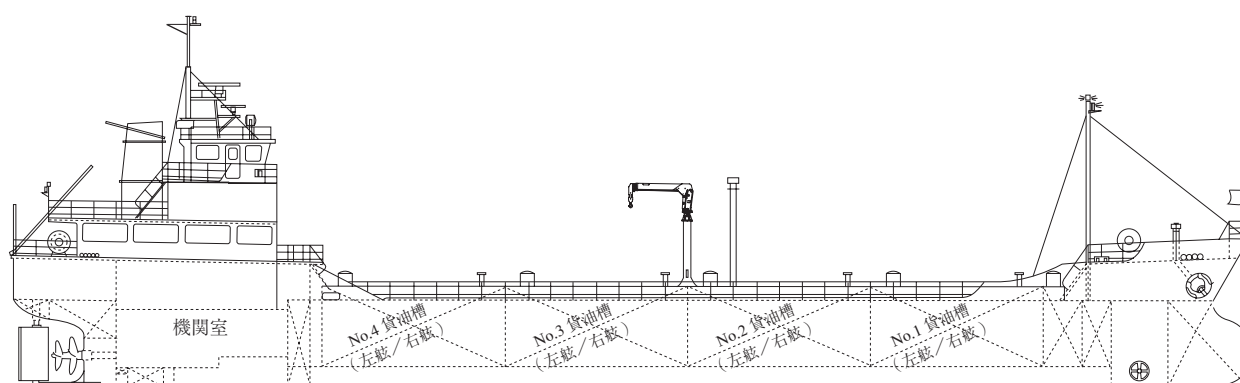
推進電動機の変速駆動装置にはPWM（Pulse Width Modulation）式インバータを採用し、高精度の制御精度をもっている。このインバータから発生する高調波ノイズを低減するため、ノイズ低減用変圧器を装備している。また、プロペラ逆転で本船速力に制動を掛ける場合に発生するバックパワー（電動機が発電機として働くために生じる電力）は、制動抵抗器において吸収している。

3.2 配電システム

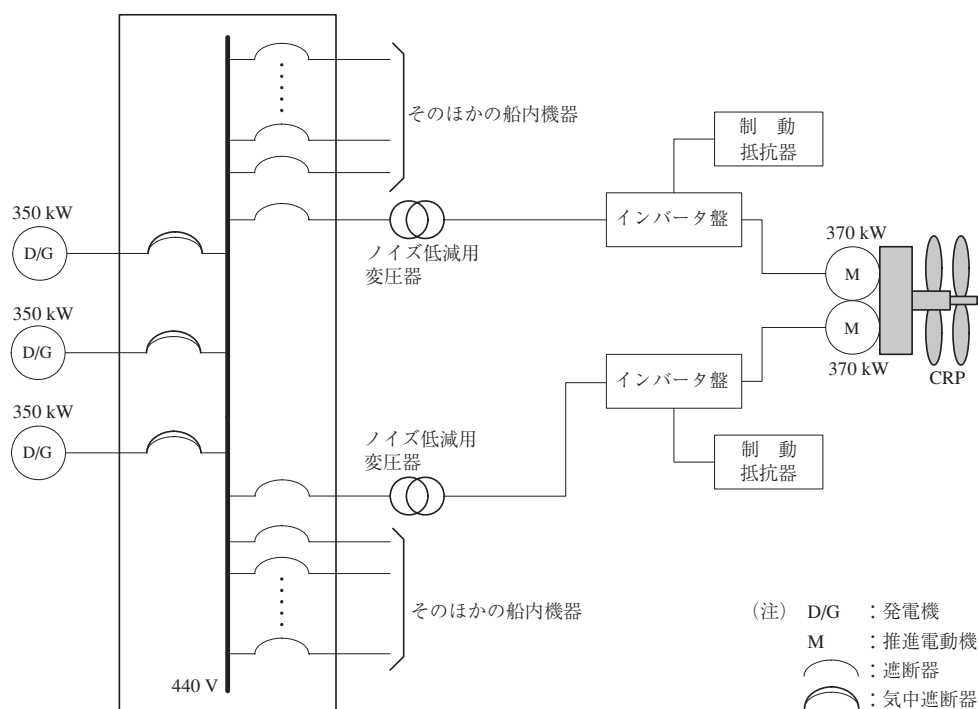
本船の航海中の電力需要を第2表に示す。本船では、通常航海時に3基の発電機の並列運転を行い、電気推進システムおよびそのほかの船内機器に電力を供給している。また、仮に故障やメンテナンスのため1台の発電機を止めて航行する場合においても、航行に十分な推進電動機出力を残りの発電機で得ることができる発電機容量をもっている。

3.3 ノイズ対策

本システムではPWMインバータを採用しているが、このタイプのインバータではスイッチング動作によって高調波ノイズが発生し、電動機の異常加熱、電子機器の誤



第1図 一般配置図
Fig. 1 General arrangement



第2図 電気推進システム構成
Fig. 2 Configuration of electric propulsion system

第1表 電気推進システムの概略仕様
Table 1 Main specifications of electric propulsion system

機器名称	台数	仕様
主発電機	3	350 kW, 1 200 min ⁻¹ , 450V, IP22, 60 Hz, 3φ
推進電動機	2	370 kW, 1 200 min ⁻¹ , IP44, F種, 連続定格, 海水冷却クーラ付空冷
インバータ	2	370 kW, PWM インバータ方式, IP22
ノイズ低減用変圧器	2	500 kVA, 440 V/440 V - 440 V (3巻線), 3φ, H種, IP22

第2表 電力需要
Table 2 Demand for electricity

項目	通常航海中	最大出力時	減機運転
電気推進システム所要電力*1 (kW)	560	820	490
その他の船内電力 (kW)	140	140	140
合計電力 (kW)	700	960	630
発電機運転台数 (基)	3	3	2
発電機負荷率 (%)	67	92	90

(注) *1: 電気推進システムの効率分を含む。

動作などを引き起こす可能性がある。そこで本システムでは、この高調波ノイズを低減するため、ノイズ低減用変圧器を装備して電源電圧の電圧波形ひずみ率を低減している。

3.4 バックパワー

前進航行時に、プロペラを正転から逆転に制御することによって制動を掛けると、推進電動機が誘導発電機として

動作し、バックパワーと呼ばれる電力が発生する。このバックパワーを吸収する手法として以下に示す二つの方法がある。

(1) 発電制動

バックパワーを抵抗器に流し、熱として消費する。

(2) 回生制動

バックパワーを電源系統に戻し、系統負荷により消費する。

本船は第2表に示すとおり、電源系統にバックパワーを戻しても消費できる負荷がないため、(1)の発電制動を採用し、抵抗器によってバックパワーを吸収している。

3.5 保護制御

本船では船内停電、また機器保護のため、下記の制御を行っている。

(1) 負荷低減制御

航海中、オペレーションミスや一部の発電機が異常停止するなどの原因で稼働中の発電機が過負荷となった際に、発電システム全体が緊急停止し、船内が停電になるおそれがある。これを防ぐため、自動的に推進電動機の回転数を下げ、発電機負荷を下げる負荷低減制御を行っている。

(2) 出力トルク制限制御

荒天時または旋回時にプロペラに負荷変動が掛かった場合、推進電動機およびインバータが過負荷

となる可能性がある。これを防ぐため、電動機の出力が定格トルク以上にならないよう制御を行っている。

4. 二重反転プロペラ（CRP）

4.1 CRP システムの概要

CRP は、互いに反対方向に回転する二つのプロペラを前後に取付け、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とともに、2 基のプロペラで推進力（スラスト）を分担させ、個々のプロペラが担う荷重を下げることによって、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。

CRP システムの全体構成を第3図に示す。本船のCRP システムは、並列に配置された2 基の推進電動機出力軸から、平行1 段歯車装置を介して内軸、外軸をそれぞれ単独に回転させ、後プロペラおよび前プロペラに駆動トルクを伝達させる構造となっている。

4.2 従来システムからの改善点

IHIMU では、石川島播磨重工業株式会社（以下、IHI と呼ぶ）から分社化する前から、大型商船向けにCRP システムの開発・納入を行ってきた^{(1) (2)}。その実績をベースに、本船のCRP システムにおいては、電気推進化ならびに建造造船所における据付け簡易化の観点から、従来システムから以下のような改善を図っている。

(1) 電気推進化によるシステムの冗長性の確保

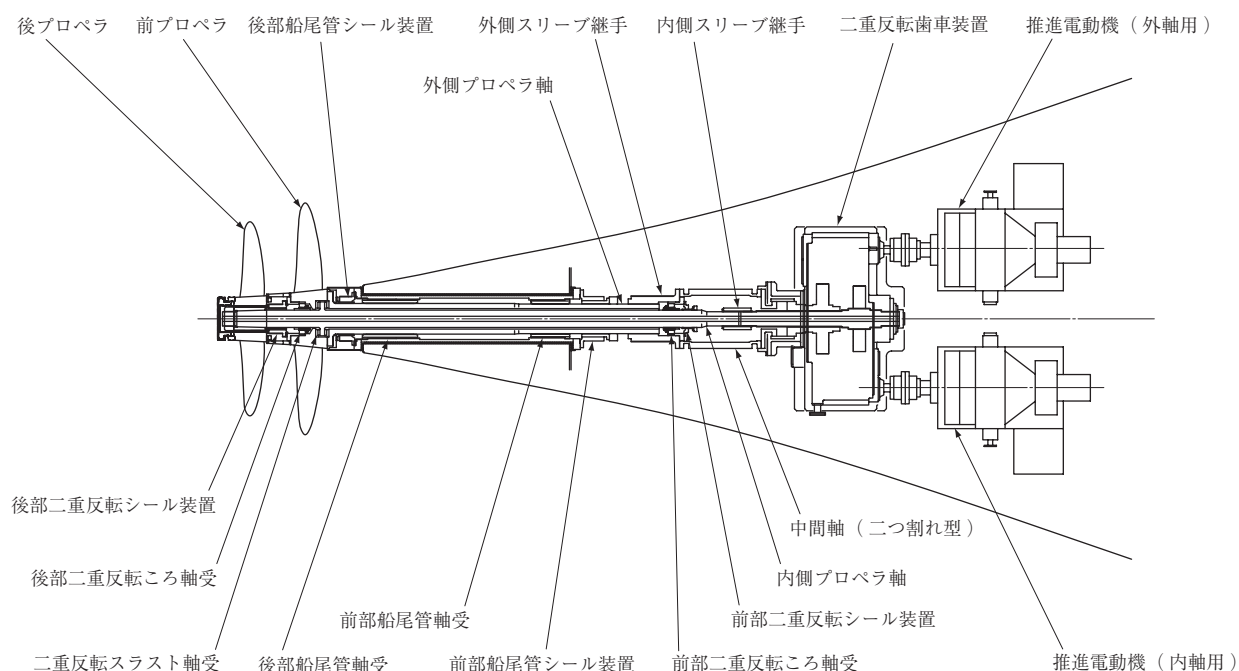
従来の反転歯車は、ディーゼル主機関直結式の遊星歯車を採用していた。しかし、本船では推進電動機を並列配置し、2 軸入力であること、電動機の回転数から減速する必要があることなどから、2 機2 軸式の反転歯車減速装置を採用している。

入力端からプロペラ出力まで内軸、外軸は互いに独立しているため、万一、一方の推進軸系が不稼働に陥るような不具合が発生しても、もう一方の推進軸系で航行を確保できる冗長性をもたせている。

(2) 建造造船所における据付け簡易化

建造造船所における据付けの簡易化を図るため、CRP システムの反転歯車出力端継手部から後プロペラまでを、あらかじめ陸上において組立て、完成ユニットとして納入する。建造造船所における作業は、CRP ユニットを船尾管後部から挿入し、その前に船内に設置しておいた反転歯車などとの接続のみとなる。ユニット化することで、複雑なCRP システムの組立てノウハウがなくても容易に据付けが可能である。

さらに、反転歯車出力端の継手には、据付けがより容易となるように、スリーブ継手、二つ割れ型中間軸を採用し、機関室の狭い内航船における船内作業を軽減するための配慮がなされている。



第3図 電気推進 CRP システムの全体構成
Fig. 3 Arrangement of electric motor driven CRP system

5. 機関室配置

本船の機関室は、船尾側に軸系装置および推進電動機、船首側に発電機 3 台を並列に配置している。また、これらの機器を取り囲むように海水ポンプ、燃料ポンプ、潤滑油ポンプおよび冷却器などを配置している。第 4 図に機関室の配置を示す。

6. 船型開発

本船の船型開発に当たっては、IHIMU に蓄積されたノウハウを内航船の船型に応用することで、従来の内航船より推進所要馬力を低減させることを目指した。

本船に採用する船型は、大型商船と同様に、模型を製作して船型試験水槽において性能を確認した。CRP による流場も再現するため、模型船には実際に二重反転するプロペラの模型を搭載して試験を実施した。

7. 電気推進化の優位性

こうした設計展開から、本例の内航ケミカルタンカーの電気推進化には以下のような優位性が期待できる。

(1) 原動機の種類と台数は、従来の主機 1 基 + 発電

機 2 基から、本船では同じ形式の発電機 3 基となり、予備品が共通化され、保守作業も簡素化される。

(2) 推進システムは従来の 1 系統（主機 1 基 + プロペラ 1 基）が、本船では 2 系統（電動機 2 基 + プロペラ 2 基）になり、推進システムが二重化されたことによって、運航の信頼性が向上する。

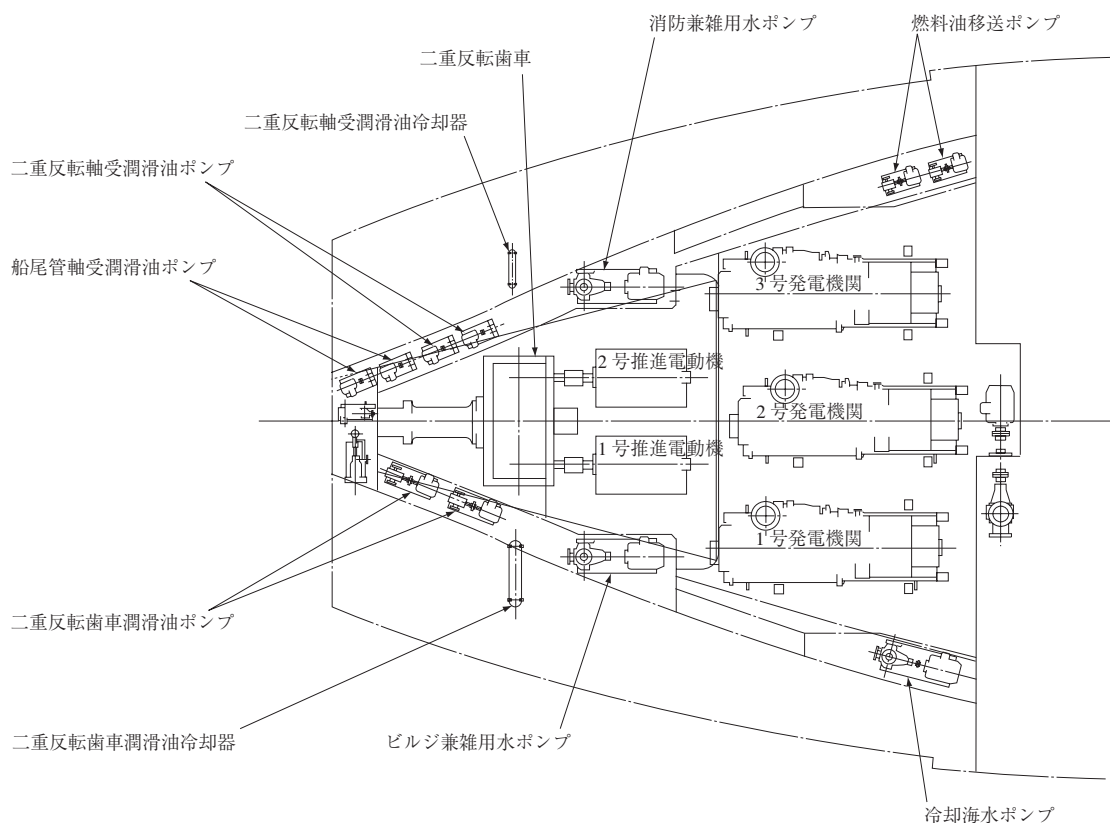
(3) 燃費は、従来船比で貨物 1 トン輸送距離 1 マイル当たり約 5% 減となり、燃料費が削減されることが期待できる。

(4) 環境面では、従来の低速ディーゼル主機関に対し、本船では発電機用に中速ディーゼル機関を採用することによって、 NO_x 排出量は約 35%、 CO_2 は燃料消費量削減に伴い約 5% の削減が期待できる。

(5) 居住区の振動・騒音は、中速ディーゼル機関では振動・騒音の原因となる起振力が、低速ディーゼル機関に比べ減少するので、乗組員の居住環境が改善されることが期待できる。

8. 結 言

IHIMU は、上述の電気推進化の優位性を踏まえ、代替期を迎え潜在的な新造需要の高い内航電気推進船の分野に営



第 4 図 機関室配置
Fig. 4 Machinery arrangement

業活動を展開するとともに、IHIを中心に現在開発中の超電導モータの採用を含めて、今後よりいっそう効率の高い電気推進システムを開発・供給することによって、内航海運の近代化に取り組んでいく所存である。

— 謝 辞 —

本船の開発に当たり、このような機会と多くのご助言をいただいた独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構，上野トランステック株式会社および国鵬汽船有限公司の関係各位に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) 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
- (2) 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