

技術革新の成果－船を支える様々な技術と日本企業

公益財団法人 日本海事広報協会 常務理事
公益財団法人 日本海事センター 客員研究員
松尾龍介

原材料や工業製品の輸出入、また国内外との旅客の輸送に従事する船舶は、産業と国民生活を支える極めて重要な輸送手段であるにも関わらず、一部を除いて国民の目に触れる機会が少ない。また、この船舶を運航、建造する我が国の重要な産業セクターである海運・造船業、これに関わりの深い産業も加えた海事産業部門において、これまで、どのような目覚ましい技術革新が進められてきたか国民が知る機会も少なかった。

ここでは、船舶に関わる数多くの技術革新のうち、この10年内外で実用開発を終了し、実際に普及し、利用されている船用工業製品の開発成果を紹介する。経済構造の変化は新たな工業製品の出現を促し、新たな工業製品、新たな技術（テクノロジー）は市場の変化を生み出している。他の輸送手段に比し安価な大量輸送装置としての船舶の重要性は今後とも消滅することは無いが、生産コストの観点から生産拠点の国際移動は有り得る。設計、生産技術の日本ブランドの一層の強化が望まれる所以である。

1. AIS（船舶自動識別装置）

AIS（Automatic Identification System）は超短波（VHF）を利用する航海計器の一種。日本のメーカーとしては、古野電気、日本無線、東京計器がトップ3だ。

国際VHFを利用したブロードバンド高速通信機能の発達を背景として、90年代から船舶の航行安全性の向上を目的としてIMO（国際海事機関）において検討が進められてきたAISについては、2000年11月にこの導入に関するSOLAS（海上人命安全条約）改正案が採択され、2002年7月に発効した。この間、2001年9月11日に発生した米国同時多発テロ事件を契機としてG8サミットで米国の主導により搭載時期を前倒しして2004年中の搭載完了に合意した経緯がある。筆者はこの日、ロンドンの日本大使館でIMO会議の対処方針打合せをしていたがコーヒープレークにふと見上げたTVニュースで貿易センタービルから立ち上る黒煙に驚愕した記憶がある。この日以降、米国はテロ対策に全力を傾注し、AISを含むISPSコード（The International Code for the Security of Ships and of Port Facilities 船舶と港湾施設の保安のための国際コード）導入についての条約改正を実現させた。

AISは、船舶の情報（IMO番号、長さ、幅、喫水、船の種類、危険貨物、目的地、入港予定時間、位置情報等）を自動的に他の船舶と相互に交換する。レーダー情報と統合すると自船周辺の船舶情報が一目瞭然となる。我が国では、AISを船舶の安全航行に寄与する機器として利用するのみならず、他の様々な情報との統合を前提として、津波予測、海難事故分析への応用について試行的検証が始まっている。

船舶に設置されたAISの電波は、その性質上、水平方向には60～80km程度しか届かないが、垂

直方向には高度 4～500km 位まで到達する。この特性を利用して衛星を使った商業利用が急速に進んでいる。

2008 年 4 月にカナダのコム・デブ社（衛星利用技術や関連機器開発を行う多国籍企業、カナダ、英国、米国に展開。）は AIS 信号を受信できる超小型試験衛星をインドから打ち上げ、さらに 2012 年 7 月には英国の小型衛星開発会社 SSTL と共同で AIS 信号を受信する Exact View 1 をロシアのロケットで打ち上げた。また、2008 年 6 月には米国のオーブ・コム社（データ通信サービスを行う企業。）は、6 基の通信衛星をロシアから打ち上げ、AIS 事業に参入した。同社は次世代通信衛星 18 基を打ち上げる計画を発表し、順次打ち上げを進めており、現在、27 基が運用されている。2009 年 7 月にはアメリカのスペース・クエスト社（1994 年に米国の 2 名の技術者が設立した通信システム開発販売を行う企業）は、AIS 受信機能を有する超小型人工衛星 Aprize - 3 及び 4 をロシアから打ち上げた。同社は更に 2011 年 8 月に Aprize - 5 及び 6 を打ち上げている。2009 年 9 月にはルクセンブルグのラックススペース社（2004 年に設立された宇宙利用技術会社）は、インドの PSLV ロケットで RUBIN-9.1 衛星（AIS 受信機能を有する AIS Pathfinder2 を搭載）を打ち上げた。同社は 2011 年 10 月にインドのロケットで赤道周回衛星 VesselSat 1 を、2012 年 1 月に中国の長征 4B ロケットで極軌道衛星 VesselSat2 を打ち上げた。VesselSat 衛星はいずれもラックススペース社が製造・所有し前述のオーブ・コム社が運用する。VesselSat 1 はオーブ・コム社のほか 3 社が共同利用する衛星であり、経費の低減化が図られている。また、2010 年 7 月にはノルウェイの経済産業省の融資を受けた共同企業体が AISSAT - 1 を打ち上げた。

人工衛星の打ち上げに必要なロケットは高価なものであり、これまで民間企業が利用することは困難であったが、近年、軍事ロケットを低額で商業サービスに転用する国も出てきたことや複数の企業が相乗りして負担額を低減するスキームを採用することにより、多くの企業が衛星打ち上げを現実の視野に入れ始めている。欧州や日本でも国際的な衛星打ち上げ市場に参入すべく、新たな低コストのロケットの開発・製造そして国を挙げてのセールスが始まっている。

国際協力の面では、ISS（国際宇宙ステーション）がある。2009 年 11 月、ISS 利用連絡ミッション STS-129 がスペースシャトル・アトランティスで ISS へ運ばれた。STS-129 で運ばれた貨物の中の AIS 用 VHF アンテナが ISS のコロンバス・モジュールに設置された。その後 2010 年 5 月から AIS 受信実験が開始されている。

我が国では、2012 年 5 月に JAXA（宇宙航空研究開発機構）が小型実験衛星（SDS-4）を打ち上げ、搭載した実験装置（SPAISE）を用いた AIS 電波の到達範囲の拡大に関する研究を行っている。

また、マリン・トラフィック（サイプラスのマルテノス社が運営するウェブサイト）はインターネットを利用して全世界の AIS 情報を統合し提供するサービスを開始している。現在は全世界の位置情報統合に時間を要するが、今後、高速画像通信技術の発達と併せて通信可能範囲、通信可能時間帯の拡大が進めば、自宅にいる家族と乗船している船員が位置を確認しながら TV 電話で会話することも可能になるだろう。

AIS は当初の導入目的と普及予想を超えて、その利用方法が多様化し、利用者が急速に拡大している技術開発の典型である。

なお、我が国では、海上自衛隊、海上保安庁、水産庁等の船舶は、海賊やテロ行為などに悪用さ

れることを防ぐため、海域によっては信号送信を停止することが認められている。

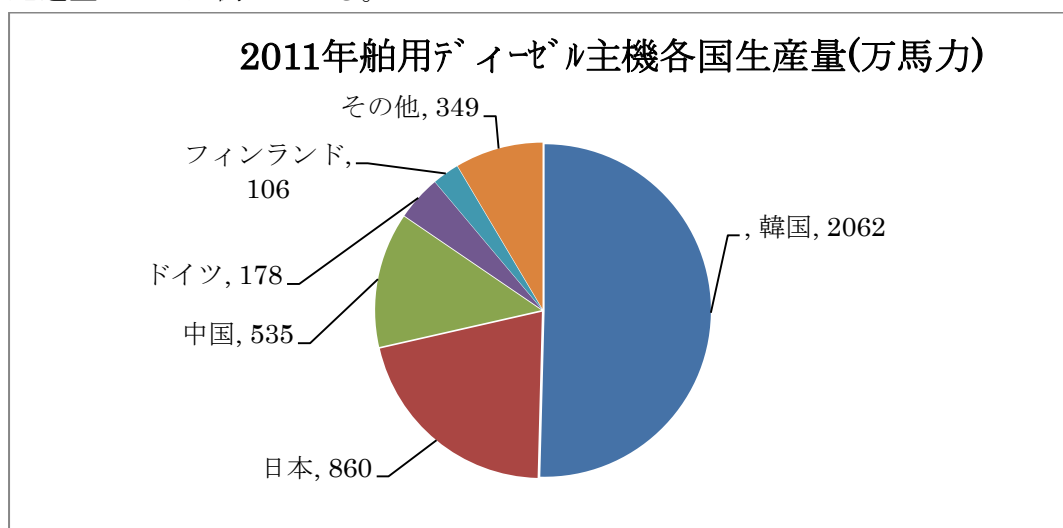
AIS 古野電気製 FA150



2. 船用ディーゼル主機関

船舶の推進エンジン（主機）及び船内で使用する電力を供給する発電機等（補機）のエンジンとして、現在、船舶に搭載されている船用機関は殆どがディーゼルエンジンである。例外的に、LNG 船においては貨物として輸送している LNG（液化天然ガス）の一部が輸送中に蒸発することを避けられないので逆にこれを有効活用するため蒸気タービンを採用している。最近では、混焼ディーゼル発電機を使う電気推進船や再液化装置と組み合わせた低速ディーゼルエンジンを使用する LNG 船もある。

国別の主機生産量を見ると、通常、造船国で生産した主機を搭載するので主機生産量は新造船建造量とほぼ比例している。



各国船用機関の生産動向第 37 号（一社）日本船用工業会資料から作成

大型船用ディーゼルエンジンの世界はライセンス生産が特徴だ。2ストローク、すなわち、大型エンジンは左記3社のブランドとなる。また、エンジン生産会社によっては、顧客の要望に応えるため複数のブランドのエンジンを生産している。

大型船用ディーゼルエンジン（2ストローク）の世界生産シェア（馬力：2011年）はブランド名で見ると、**MAN-B&W**（81.1%）、**スルザー**（15.7%）、**三菱UE**（3.2%）の3社で100%となり、世界の大型船のエンジンはこの3社のブランドの何れかとなる。このうちMAN-B&Wは99.1%をライセンシーが生産しており、スルザーでは100%をライセンシーが生産している。

一方、中小型船用ディーゼルエンジン（4ストローク）の世界生産シェア（2011年）を主要ブランド名で見ると、上位5社は**バルチラ**（27.4%）、**マン**（25.3%）、**MAK**（16.8%）、**キャタピラー**（9.0%）、**ベルゲン**（4.0%）となっている。日本ブランドでは、**ヤンマー**（2.6%）、**ダイハツ**（1.5%）、**阪神**（1.4%）、**新潟**（0.7%）、**赤阪**（0.4%）となっている。

なお、バルチラは97年にスルザーを買収しWARTSILIA NSD社となった。エンジンブランド名はそのまま使用している。また、マンの船用エンジンは、ドイツではアウグスブルグに本社を置くMAN Diesel & Turbo A/Sが製造している。エンジンブランド名はそのまま使用している。マン・グループは、フランスのピルスティックを傘下に入れているほか、同じくフランスのアルストムのディーゼルエンジン部門を買収している。

大型船用ディーゼルエンジンは、変遷はあったものの、現時点ではロングストローク、ユニフロー掃気の2ストロークに集約されたと言っても過言ではない。他方、2016年1月から適用開始予定のMARPOL（海洋汚染防止条約）改正によるNO_x（窒素酸化物）三次規制、2012年からのSO_x（硫黄酸化物）二次規制、2020年又は25年からのSO_x三次規制をクリアするためには、電子制御の採用と新たな燃焼技術やSCR（選択的触媒還元）などの後処理技術の開発が不可欠だ。ブランド3社はいずれもこれらの技術開発に取り組んでいる。

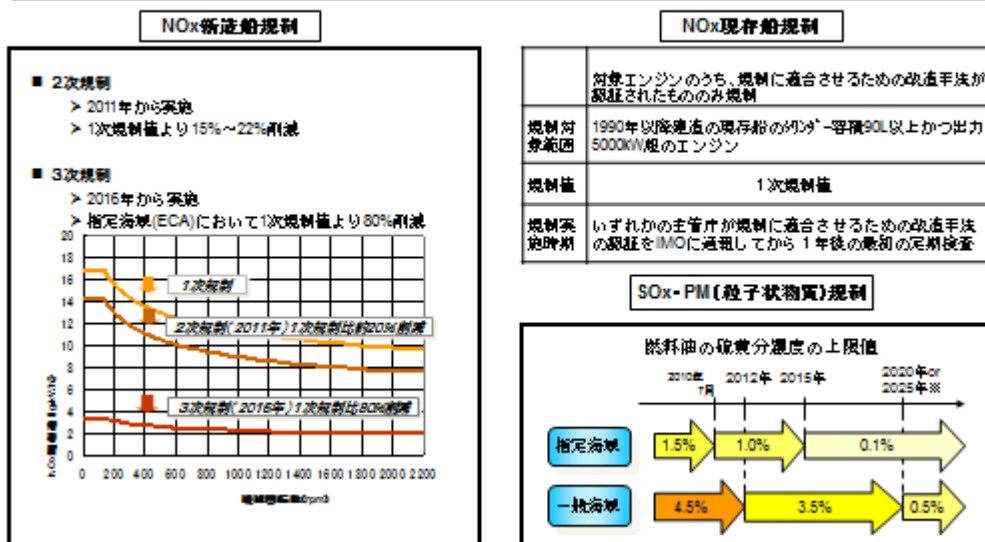
1955年（昭和30年）に三菱重工業が独自開発した**三菱UE**の電子制御エンジンUEC-ECO機関は燃料噴射、排気弁駆動等の電子制御化を図り部品点数の減少、構造のシンプル化が図られているが、とりわけ燃料噴射系等の作動圧力は約30MPaとMANと比べて高圧であり油圧が少なくコンパクトになっている。スルザーのコモンレール方式と比べて超高压配管が少ないため安全性も高い。電子制御の採用により、NO_x生成の制御、低負荷時の性能改善等が図られている。MAN B&Wの電子制御エンジンのシステム構成は三菱UEに近いが、冗長化が図られており制御ユニット1台が故障しても運転継続が可能だ。また運転モードの監視、設定変更も容易になっている。スルザー（バルチラ）の電子制御エンジンは、三菱、MAN B&Wと異なり、燃料は1000barの超高压レールに蓄圧され電磁弁で噴射制御されている。このほか燃料噴射及び排気弁駆動用の制御用オイル、始動空気系も含めると4つのコモンレールシステムがある。同社の電子制御システムは燃料噴射タイミング、噴射量、噴射パターンのそれぞれを各シリンダ別に個別に調整可能で低負荷時のスモーク低減効果を出している。

中小型船用ディーゼルエンジンは4ストロークの中・高速機関である。いずれのメーカーも明治、大正期に創業し苦難の末発展を遂げてきた。1918年（大正7年）創業の**阪神内燃機工業**は独自のSCR装置の開発や陸上から運航を支援するハンシン高度船舶安全管理システムであるHANASYS

EXPERT の販売、1912 年（明治 45 年）創業のヤンマーはガス発動機からスタートし、現在では低 Nox 化を図る高圧ミラーサイクル（シリンダー内温度を低下させる）の開発、1910 年（明治 43 年）に日本石油から分離独立し新潟鐵工所としてスタートし、最近では NOx2 次規制に対応する船用小型中速エンジン 17AHX を発表した新潟原動機、1907 年（明治 40 年）発動機製造株式会社としてスタートし、最近では Nox3 次規制対応 SCR の設計を完了しラインナップを発表したダイハツディーゼル、1910 年（明治 43 年）に創業し 1915 年に 6PS 注水式焼玉エンジン第 1 号機から出発した赤阪鐵工所は NOx2 次規制対応の AX34S 形機関（最大出力 1912KW）や電子制御式シリンダ注油システム ALS を開発するなど各社独自の性能を維持しつつ環境対応を図る技術開発を進めている。三次規制をクリアするためには EGR（排気再循環）、SCR などの組み合わせで対応していくことになる。

2013 年 5 月に開催された IMO の MEPC65（海洋環境保護委員会）において、NOx3 次規制は当初予定の 2016 年適用開始を 5 年延長し 2021 年開始とする改正案を承認したが、幾つかの国は留保を付し、とりわけ、米国からは米国等において当初予定通り 2016 年から適用を可能とする修正案を提出する用意がある旨の発言があった。次回 MEPC66 で最終審議が行われる予定。NOx3 次規制は、米国・カナダの 200 海里以内及びカリブ海域を指定海域（ECA）として一次規制値から 80%削減を要求しており（ECA 以外の海域では二次規制値）、また、SOx 規制については EU 地域港湾停泊中及び米国カリフォルニア州 24 海里以内では更に厳しい規制が課せられていることに注意しておく必要がある。

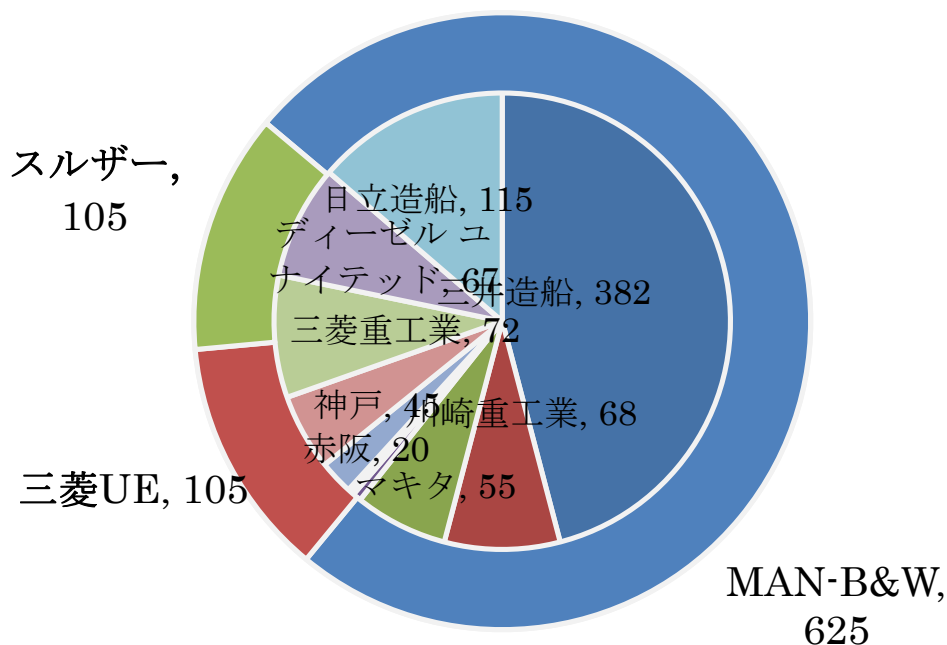
MARPOL 条約附属書 VI の概要



国土交通省資料から作成

我が国の船用ディーゼル主機 2 ストローク生産量 (万馬力)

*内円は企業別生産量、外円は生産しているエンジン・ブランド



各国船用機関の生産動向第 37 号 (一社) 日本船用工業会資料から作成

3. プロペラ (固定ピッチ、可変ピッチ)

船を動かす推進装置には、スクリュープロペラ (プロペラ) や小型高速船用のウオータージェットが使用されている。この他にも自然エネルギーの風を省エネの観点から活用すべく帆走装置の研究開発も進められている。また、プロペラの中にもピッチ (翼角度) を固定した固定ピッチプロペラ (FPP)、翼角度を自由に変更可能な可変ピッチプロペラ (CPP)、回転方向が反対の 2 枚のプロペラを取り付けた二重反転プロペラ、左右方向への推進力を与えるサイドスラスタ、プロペラ自体を水平に回転させて舵の役目も果たす全旋回型推進器など船の用途に応じて様々な形式のプロペラがある。ここでは船舶の推進装置の太宗を占める固定ピッチプロペラ及び可変ピッチプロペラを紹介する。

可変ピッチ・プロペラは、プロペラの翼角 (プロペラ・ピッチ) を制御することにより全速から後進まで、機関回転数を変えずに推力及び推進方向を変えることができるが、固定ピッチ・プロペラと比較して機構が複雑になる。

船用プロペラ (固定ピッチ) の生産量はナカシマプロペラが国内第 1 位だ。ナカシマプロペラは岡山市に本社を置く 1926 年 (大正 15 年) 創業のプロペラ製造専門メーカーであり、プロペラを製造している国内造船所のトップの座にある三菱重工業を抜いて首位の座にあるのは特筆に値する。中小企業庁「元気なものづくり 300 社」によれば、商船向け固定ピッチプロペラでは国内シェア 70%、世界シェア 30%としており、さらに同社は小型船やプレジャーボート向けの小形サイズのプロペラ

ロペラから大型商船向けの固定ピッチプロペラに加え、スラストや可変ピッチプロペラも製造しており、世界最大の総合プロペラメーカーと言える。また、プロペラ製造で培った技術を活かして人工関節など医療機器分野へも進出し、売り上げの1割を占めるなど異色の企業だ。

大型コンテナ船プロペラ ナカシマプロペラ



可変ピッチでは、かもめプロペラが国内第1位にある。同社は1961年に手動油圧式可変ピッチプロペラ、動力油圧式可変ピッチプロペラの生産を開始し、小型船から15,000kWの大型船まで装備可能とする可変ピッチプロペラの納入実績は2012年で5,000台を超えている。

プロペラをプロペラ軸に固着させるボスの覆いであるキャップに小型のフィンを取り付けたPBCF（プロペラ・ボス・キャップ・フィンズ）は、プロペラ後方のハブ渦を削減することによりプロペラ効率を改善する省エネ装置である。商船三井、西日本流体技研、ミカドジャパン（現在のナカシマミツワプロペラ）が共同開発し、商船三井テクノトレードが80年代後半に販売開始した。プロペラ効率の改善により3～5%の燃料消費が減少する効果があるとの検証も行われた。船体や船尾形状、プロペラ自体の開発については様々な企業が古くから研究開発を進めているが、既設のボスキャップをフィン付きキャップに交換する簡易な工事であるため、定期ドック時に施工可能であり、メンテが不要と言うメリットは特筆すべきものだ。現在、ナカシマプロペラグループが製造し、商船三井テクノトレードが発売しているPBCFは国内外に販売開始以来、装備隻数は2011年12月に2,000隻と発表している。現在、世界の商船は漁船等を除き約55,000隻であるから約3%強がPBCFを装備していることになる。

4. 電子航海計器

船を動かすには、船体、エンジン、プロペラと言うハードウェアに加えて、司令塔としての船長、

機関長等の乗組員（ヒューマンウェア）、そして彼らの指揮を助ける様々な航海用具（ソフトウェア）が必要だ。ブリッジ（船橋）は指揮官室であり、ここに様々な電子計器類が集結している。ここでは、特に重要と考える電子航海計器を紹介する。

電子航海計器は日本無線、古野電気、東京計器の3社が国内市場をほぼ完全に支配している。日本無線は1915年（大正4年）創業の老舗で、火花式電信装置から始まり、現在は無線機器、情報機器総合製造業として、GPS受信機、無線LAN、魚群探知機など陸上、海上の通信機器やシステム機器の製造販売を行う。古野電気は1938年（昭和13年）長崎県で創業し、魚群探知機の開発に尽力し成功した。現在は本社を兵庫県西宮市に移し、魚群探知機のほかGPS、ソナー、レーダー、AIS等を製造販売する。東京計器は1896年（明治29年）我が国初の計器工場として東京小石川で圧力計の製造を開始し、羅針儀やスペリー式ジャイロコンパスから始まり、1952年にはマリンレーダーの国産化に成功した。現在では航海計器、油圧機器、計測機器、情報通信機器など総合計器企業となっている。

（1）レーダー、ARPA（自動衝突予防援助装置）、ECDIS（電子海図情報表示システム）

注）AIS（船舶自動識別装置）については冒頭1. に紹介したので省略する。

レーダー（Radio Detecting and Ranging）は船舶から発射した電波の反射波を利用して障害物の有無や距離、方位を測定する装置で、夜間や濃霧の中でも周囲の船や障害物を探知する航海計器である。船舶用レーダーに使用される電波はいわゆるマイクロ波の中のSバンド（2.9~3.1GHz）とXバンド（9.2~9.5GHz）である。

現在は、周辺の他船の将来位置を予測し画面上に表示するARPA（自動衝突予防援助装置）（現在、IMOではARPAと言う呼称は使っておらずTT [Target Tracking] と呼称している。）の情報や、電子情報化された海図や水路情報をディスプレイ上に表示するECDIS（電子海図情報表示システム）情報、更に周辺の船舶の情報を自動的に取得するAIS情報など様々な電子情報を画面上に統合表示することが可能となっている。

ECDIS（電子海図情報表示システム）はSOLAS条約改正により2012年7月から段階的に搭載が義務化されている。

電子海図情報表示システム 東京計器 EC-8500



(2) GMDSS (海上における遭難及び安全に関する世界的制度)

GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System) は 1988 年 (昭和 63 年) に承認された SOLAS 条約改正により、1992 年 (平成 4 年) から段階的移行が開始され 1999 年 (平成 11 年) 2 月 1 日から全面的に運用が開始された新しい遭難救助通信システムである。これにより同日から従来のモールス信号による無線通信は行われないことになった。

GMDSS システムは、海難発生を自動的に又は有人操作で迅速に救助機関へ伝達し、同時に救助機関による遭難位置特定作業を容易にするものだ。広大な海域において遭難情報、遭難位置を特定するため、衛星利用は欠かせない。海難時の位置を知らせるため、①コスパス・サーサット衛星 1988 年に合意された「国際コスパス・サーサットプログラム協定」に基づき、低軌道衛星 6 基、静止衛星 6 基を使用して、遭難した船舶、航空機、陸上移動体に備え付けられた発信機 (ビーコン) が発射する遭難警報の位置を検出し、関係国の救助機関等に迅速に配信するための国際的なシステム) を使用する衛星 EPIRB (衛星非常用位置指示無線標識) や

衛星 EPIRB (Emergency Position Indicating Radio Beacon) 日本無線 JQE-103



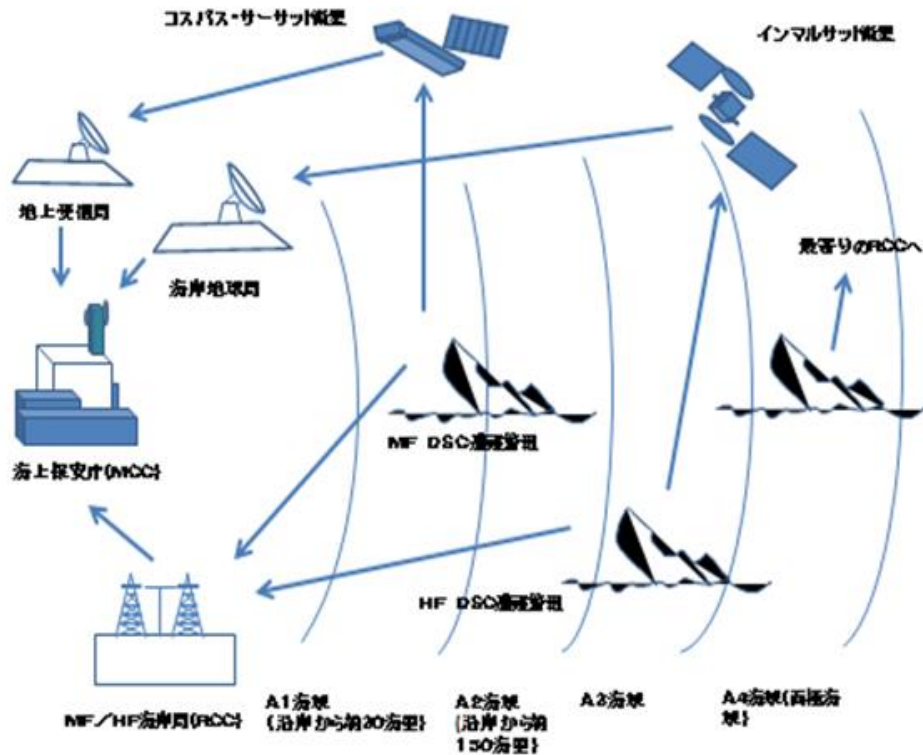
②インマルサット静止衛星を使用して陸上と遭難通信を直接行うインマルサット遭難通信システムは特に重要だ。また、③簡易な操作で遭難信号を発受信する DSC (Digital Selective Calling : デジタル選択呼出し装置 : デジタル選択呼出デジタル通信技術を用いて海難警報や呼び出しを行うシステム) や無線テレタイプの NBDP (Narrow Band Direct Printing : 狭帯域直接印刷電信 : 狭帯域直接印刷電信送信者と受信者がそれぞれキーボードを操作することにより通信内容が双方のブラウン管画面上に表示される無線テレタイプ) 又は無線電話による通信も重要である。このほか海上安全放送を受信する④NAVTEX (ナブテックス:NBDP による海上安全放送を沿岸約 300 海里まで自動印字 : 海岸局から狭帯域直接印刷電信によって、300 海里以内を航行する船舶に放送される海上安全情報を自動的に受信し、内蔵プリンタで印字する。国際ナブテックス (英語 : F1B 電波、518KHz)

と日本語ナビテックス（F1B 電波、424KHz）がある。）、⑤インマルサット EGC（高機能グループ呼出し：遠洋を航行する船舶に海域を特定して航行警報等の海上安全情報を送信するシステムインマルサット静止衛星を利用して遠洋区域の船舶に対して海上安全情報を自動印字。）、⑥VHF 無線電話放送（沿岸船舶に VHF 無線電話で海上安全情報を提供）など航行海域に応じて設置義務がある各種機器を使用して遭難救助に必要な情報を提供している。

遭難救助通信システムについては、全世界の海域を A1～A4 海域までの 4 つの海域に分類し、それぞれの海域で装備しなければならない設備及びその機能が規定されている。

ラックタイプ総合無線通信装置 古野電気 RC1800FZ





上述のコスパ・サーサット衛星システムにおいては、片方向通信であるため発射した信号が捜索側に伝わっているか遭難側では確認できない。このため、大洋無線及び一般社団法人電波産業会は、2010～11年度文部科学省委託により「準天頂衛星みちびき」を用いて小容量の返信を行う実証試験を実施した。準天頂衛星 Quasi-Zenith Satellite System は、日本のほぼ真上（天頂）を通る軌道を持つ人工衛星で、上空に常に1機以上存在するようにするためには最低3機必要。「準天頂衛星みちびき」はJAXAが研究開発のため打ち上げた初号機

(用語解説) A1～A4 海域

A1 海域 自国沿岸の約 25 海里までの海域で、国際 VHF、DSC の有効通信エリア。但し、日本では設定していない。

A2 海域 自国の約 150 海里までの海域で、中短波 DSC の有効通信エリア。日本の A2 海域は海上保安庁が告示で定めている。

A3 海域 インマルサット海事通信衛星の有効通信エリアである北緯 75 度以南、南緯 75 度以北の海域。

A4 海域 A1～A3 海域以外の両極海域。この海域では主として短波 DSC や 406MHz 衛星 EPIRB が使用される。