

技術情報

船よもやま話

日本船舶電装協会（文責・荒木義和）

はじめに

船の起源は、初の乗り物の起源でもあり、およそ 10,000 年位前の丸太を利用した「丸木船」もどきのものから出発し、文明の発達に合わせるように、その時代のニーズを満足させるために、人間の知恵と技術も進化し、現代の数十万トンの超巨大船や十万吨級の豪華客船等々を生み出してきた訳である。

しかしながら、近代に入って 100 年以上になるが、すくなくとも西洋型鋼船の基本的なものは、ほとんど不変というか、保守的というかあまり変わっていないのではなかろうか。

私が造船所に入社したのが 1965 年ですが、それ以来、現在までの約 40 年を振り返ってみると、30 数年前の船舶建造の常識（設計や現業）が、現在でもそのほとんどが通用するという不思議な世界が造船産業界の実態なのかもしれない。

他産業、なかんずく電子機器、航空機、自動車、ロボット、人工衛星やロケットなどの宇宙機器等においては、日進月歩の技術革新が予想以上のスピードで進行中であり、常に、次世代技術等が時の常識の世界となっていくのと比べてみるとその違いがよく分かる。

たしかに一部の船舶では、水中翼船やジェットフォイルのような従来とは、発想が異なった船舶が出現している、殊にジェットフォイル型は、スピードも 40 ノット以上（時速約 74 km）と、これまでのものとは比べものにならない高速であるが、これは（現段階では）大量輸送用にはほど遠く、あくまでも小型、少量輸送、短距離航路の域を脱していない。

[参考]

船速の単位は、ノット (kt : knot) で表すが、1 ノット (kt) = 1 海里 (sea mile) / 1 時間 (h) のことである。

また、1 海里の定義は、子午線（緯度）の 1 分の距離であり、北極から南極まで距離の $1/180$ （度） $\times 60$ （分/度）である。即ち、 $[\text{約 } 40,000\text{km (地球一周距離)} \div 2] \div [180 \times 60] \approx 1.852\text{km}$ となるので、「 $\text{km/h} = \text{ノット} \times 1.852$ 」が「国際ノットから km/h 」への換算式となる。

1. 船舶の分類とその特徴

用途による主なものの分類

分野	用途	具体的な船舶
旅客船	貨客の運搬	旅客船、貨客船、港内船、内海巡視船、連絡船、離島航路船、フェリー等
貨物船	貨物の運搬	油槽船、散積貨物船、石炭運搬船、鉱石運搬船、穀物運搬船、セメント運搬船、木材運搬船、自動車運搬船、コンテナ船、貨物はしけ、LNG 船、LPG 船、ラッシュ船等
漁船	漁船	捕鯨船、トロール船、釣漁船、延縄漁船、鯨工船、鮭鱒工船、かに工船、冷凍船、活魚各運搬船、漁業指導船、漁業調査船、漁業取締船、漁業練習船等
海上自衛隊艦船	自衛艦支援船	護衛艦、潜水艦、機雷艦艇、哨戒艦艇、輸送艦艇、その他試験艦等
海上保安庁船艇	警備救難業務用	巡視船、巡視艇
	水路業務用	測量船（水路測量、海象観測）
	灯台業務用	灯台補給船、設標船、灯台見廻り船
特殊船	特殊作業船等	砕氷船、海底電線布設船、測量船、練習船、観測船、消防艇、ヨット、潜水船、潜水調査船、引き船、押し船、浚渫船等

従来の船舶の概念は、船体が水中にどっぷりと浸り、水中に深く没した状態で（例えば、30万トンの超巨大オイルタンカー・VLCCの場合、約20m位没水している）、エンジンで駆動されるプロペラの推進力で航行するものであるというものの、いわゆる“排水量型船舶”が、常識であった。ここでは、この従来の船舶の概念から外れた領域の特徴的な船舶を紹介したい。

紹介する船舶の最も特徴的な共通点は、船速を低減させる元凶である没水部分が受ける造波抵抗をドラスチックな方法で低減させているということである。排水量型船舶では、船速を増加させるために、単にエンジン馬力を増せばよいという安易な考えは成り立たない。即ち、「必要馬力は船速の3乗に比例する」ので、船速を僅かでも増加させるためには、その必要馬力はかなり大きな増加となるということに留意し、運航採算を見据えた初期設計が重要な訳である。

最近、燃料価格の高騰で船会社は運行コストが問題となっているが、前記の「必要馬力は船速の3乗に比例する」ということから、運行コストの低減には、船速を落とすことも実際に実施されつつあるようである…例えば、27ktの高速コンテナ船で10%のスピード低下の24.3ktにすると、計算上では主機関の馬力が33%減となるので、30%程度の燃料費が節約できることになるだろう。

- (1) 今ではおなじみとなっている新潟と佐渡を結ぶ航路の「ジェットfoil型の完全な船体浮上航走型」の高速船は、実を言うと、この発想は、航空機メーカーである米国のボーイング社が航空機の流体力学を基にして、当初は軍用として開発されたものである。

即ち、飛行機と空気の関係が、飛行機と流体が水に変わったことであり、浮上及び航行制御も船体に取付けた水中翼（フラップ付）により揚力を発生し、船体を完全に浮上させ、フラップ制御で回頭（旋回）や姿勢保持させることも航空機と全く同じ方式であり、通常の排水量型船舶が回頭するときに感じる遠心力を感じさせない特徴がある。このタイプに乗船された方々は、多分、いつ回頭したか分からなかったのではないのでしょうか。即ち、浮上原理も操縦システムも飛行機と全く同じものであり、通常の船舶の浮上原理や操縦システムの概念とはまったく異なるタイプの船舶である。

完全に浮上した状態で、ガスタービン駆動のウォータージェットを空気中に噴射しての航走（噴射推進）なので、造波抵抗は、原則として無いので、当然のことながら、高速航行が可能になる訳で、まさに海のジェット機といえるでしょう。このジェットfoil型の高速船が、造船所ではなく、航空機メーカー（米国のボーイング社）が開発したものであったということをご存知でしたか。

現在、このタイプは、日本や世界の観光地の短距離アクセス用、軍用（米国、イタリア、日本）等々に広く運用されている。

- (2) 最近では、次世代高速船・テクノスーパーライナー（TSL）が話題となっている。即ち、この開発研究は、国家プロジェクトとして、平成元年に開始され、実験船として、「飛翔」が、しばしば新聞やテレビで話題になったことは皆さんもご存知の筈です。なお、この「飛翔」は、平成9年3月に、船名を「希望」と改め、静岡県に「TSL防災船」として移管され、フェリーとしても使用されている。

実際のこのタイプの船は平成17年頃に、小笠原航路に就役すると言われていたが、（三井造船で船そのものの建造は完了済みであるが）諸般の事情により、残念なことに運行計画そのものが中止となったことが、テレビや新聞等で報道されたことは皆さんも知ってのとおりである。

この船のコンセプトは、「テクノスーパーライナー技術研究組合のパンフレット」によれば、「船速は50ノット（時速約93km）／積載貨物は1,000トン／航続距離は500海里（約930km）以上」となっている。この船が小笠原航路に就役すれば、東京からの所要時間は、現在の約26時間から約16時間程度まで短縮されることになり、高速かつ大量の貨物輸送手段の先駆けとなるだろうと期待されていた。

勿論、高速を実現するために、前記（1）と同様に、造波抵抗を大幅に少なくする設計となっている。

即ち、船体はアルミ合金製で軽くし、船体形状は双胴型で、船体前後部に空気シールを取り付け（イメージは、弁当箱をひっくり反して水面に浮かべた状態）、船底に空気を吹き込み、船体を空気の力で浮上させて、できるだけ、水没部分（造波抵抗を受ける浮力部分）を少なくして、造波抵抗を減少させて、ガスタービン駆動のウォータージェットを推進力とし、高速を実現させていることである。

(3) 夢の推進システムであると言われる「**超電導を利用した電磁推進システムを搭載した電磁推進船**」の実験船「ヤマト：長さが約30m、排水量約180トン」が、平成4年に、プロペラのない、電磁力による初の実海域航走（船速は10ノット未満の低速ではあったが）を実現した画期的な実験船であった。

まさに、電気工学の基本法則の一つである「**フレミングの左手の法則**」の応用そのものである。この電磁推進船は、超電導磁石による強力な磁場を実現できたことによるものであることは勿論のことである。プロペラやウォータージェットが不要なので、当然のことながら、振動や騒音がドラスチックに低減されたまさに夢の船になるとの大きな期待がある。

超電導を利用した超電導電磁推進船と言えば、良い事づくめのオールマイティのような感じを持たれ勝ちであるが、実は、いろいろ検討すべき問題（例えば、強磁界や水中での大電流に対する環境問題？も含めて）があるということです。

超電導の専門家ではないが、造船所の一技術者の立場で、先ず思い浮かぶ問題点（心配点）としては、“超電導システムが正常に動作している場合は、まさに、夢のシステムであり、すばらしい船となるであろう。しかし、**“もし、超電導状態がくずれた（クウェンチ現象という）場合の対応策はどうするか？”**”という推進システム上の大きな課題がある。

超電導状態がくずれるということは、もはや、推進力がほとんどなくなることにつながるわけであり、その場合のバックアップシステムが必要になることは当然のことである。言い換えれば、例えば、40ノット（約74km/h）で三宅島東方の沖合を航走中、超電導状態がくずれたら、船としての安全性の面からも、少なくとも6～10ノット（約11～18km/h）程度の船速で、最寄の港まで、自力で到達できる最低限の「予備推進システム」の補完設備が絶対条件となるであろう。即ち、この「超電導状態がくずれた場合」の議論及びその具体的な対応策等があまり表に出てこないのも事実である。

以上のように、心臓部の超電導システムに関する諸問題の解決のための研究が鋭意なされているし、最近、超電導電動機駆動の全旋回ポッド型製品として某社グループが発表したが、前述のような問題点（超電導要素技術も含めて）が確実に解決されたものなのかどうか、また実際に、この製品を採用する船主が現れたかどうかは分からない。20年位前に筆者が現役時代（某造船所基本計画室の時）、我が社の研究所で、**実験機として500kW級の超電導電動機（ヘリウム冷却式）**を製作し、各種要素技術の研究を行っていたので、我が社と某官庁と「超電導電動機駆動推進方式」の調査研究会に参加していた折、当時の結論として、我々のボスが「**まだ20年以上は時間が必要だろう**」と結んだことを思い出しているが、実際、その通りであった。当時、既に米海軍では大型駆逐艦に超電導電動機駆動の全旋回ポッド型プロペラを装着するという研究がなされていたと聞いていたが、現時点でも実装されたというニュースは聞いていないし、超電導技術というものがいかに想像以上に生やさしい技術ではないことが分かる。

因みに、超電導利用による推進法は、超電導電磁推進式、超電導電動機駆動のプロペラ式、超電導電動機駆動の噴射推進式が考えられる。超電導電動機は小型で大出力化が可能なので、今後は、超電導電動機とプロペラを一体化した全旋回ポッド型（POD型）の信頼性のある推進方式の開発が目標の一つになるであろうが、なんといってもこの分野でも**最先端の米海軍の動向に注目**したい。

なお、**常電導型の全旋回ポッド型の電気推進方式**は、その性能を生かして、現在は、特殊な船舶用としての搭載実績が、年々、増加している。例えば、常電導型のポッド型の電気推進方式が、世界最大の豪華客船の15万トンの「クイーンメリー2世号：QM2」や10万トン級の氷海砕氷タンカー及び国内の大型フェリーなどの大型船舶でも、その特徴・性能を主眼に採用され、その性能を発揮している。

今後、船舶に採用可能と思われる超電導機器としては、超電導発電機、超電導電動機、超電導スイッチ、超電導軸受等々が現実味があると予想される。

[参考]

「超電導」についてのイメージを簡単に説明すると、「超電導」とは、特殊な超電導材料の電線を冷却していくと、ある温度で突然に「**電気抵抗が零：0**」となる現象で、その温度を「**臨界温度**」という。

- ① この臨界温度になると、即ち、超電導状態になると、電気抵抗が0なので、エネルギーロスがなくなります。従って、小さなコイルに大電流を流すことが可能となり、大きな磁界を発生さ

せることができるので、例えば、電気推進用電動機を「小型で大出力化が可能」となる。

- ② 超電導体は、他からの磁力を通さない性質（他の磁力とは逆向きの反発する磁力を発生）があるので、例えば磁石の上に超電導体を置くと、浮き上がる。この性質を「マイスナー効果」と呼び、JR東海の500km/hの高速で走る超電導リニアモーターカーに应用されている。
- ③ 当初の超電導の「臨界温度」は4K（-269℃）であったが、最近、窒素レベルの77K（-196℃）高温超電導材料及びより高温超電導材料の研究が進んでおり、医療分野を含めて、身近での応用分野が広まってきていることも事実である。
- ④ 「超電導」は、主に産業界の呼称法であり、「超伝導」は、主に基礎的研究分野の呼称法であり、どちらの呼び方も正しい。

2. 船舶の寸法とトン数の種類、船体構造の例

- (1) 船舶の寸法の中で、主要寸法と言われるのが、「船の長さ：L（Length）」、「幅：B（Breadth）」及び「深さ：D（Depth）」の3つである。

- 1) 船の長さ（L）は、次の3種類の規程がある。

- ① 垂線間長（Lpp）：船首材の前面及び舵頭材の中心線（だ柱船尾材の後面）が満載喫水線

と交わる二つの交点から二つの垂線をおろし、この垂線間の距離を垂線間長という。

- ② 全長（Loa）：船体に固定的に付属する突出物を含めて、船首最前端より船尾最後端までの水平距離を全長といい、航海関係の基本長さである。

- ③ 登録長さ：船舶を登録原簿に登録する際用いられる船の長さのことであり、上甲板下面において、船首材の前面より船尾材の後面に至る水平距離をいう。

- 2) 船の幅（B）：船の幅の一番広い部分で、船体外板を支える肋骨の外側から反対舷肋骨の外側までの距離を「幅（breadth）」といい、設計の基準となる。また、船体外板の外側から反対舷の外側までを「最大幅（breadth maximum）」といい、航海の基準となる。

- 3) 船の深さ（D）：船の長さの中央において、船底の竜骨（人間の背骨に相当）の上面から上甲板梁の船側における上面までの垂直距離を「型深さ（molded depth）」といい、船底の最下部（キール下面）までの深さを「最大深さ（depth extreme）」という。

(2) 船舶のトン数の種類

トン表示の起源は、英国で15世紀頃、船が積みうる量を酒樽の数をもって表し、これによって税金を取ったことによる。

この樽を叩くと「タン（tun）」という音がするので、俗に「タン」と呼ばれ、幾タン積みの船と言うようになり、いつしか時を経て、「トン（ton）」と決まったそうである。

樽に酒をつめた重量が2,240ポンド（1,016 kg）即ち、「1英トン」に当たる。また、樽は262ガロン（40.3立方フィート）の容積があるから「1ガロンは0.160立方フィート」の単位が今日でも使用されている。

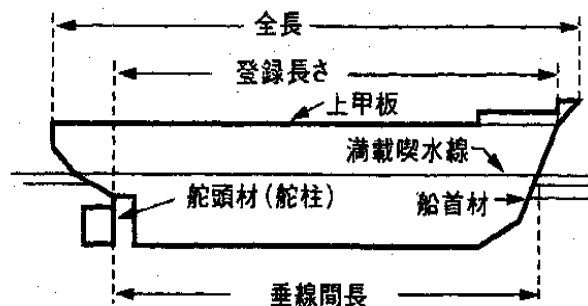
特に、船主の意向で船舶のトン数表示を「英トン」で表示するときは、「LT：Long ton」で記載している。通常は、「MT：Metric ton）」での表示が多いが、1 LT=1.016 MTで換算する。

現在の船舶のトン数の種類は、船舶のトン数の測度に関する法律で以下のように規程されている。大別して、「船の容積を表すトン数」と「船の重量を表すトン数」の2種類がある。これらトン数は、種々の税金や手数料などを定める基準とされている。

1) 容積トン数

- ① 国際総トン数：船舶の大きさを表す国際的な指標となるもので、船舶の閉囲場所の合計容積を算出し、この容積に定められた係数を乗じて算出したトン数をいい、国際航海に従事する長さ24m以上の船舶は、この国際トン数証書を持たねばならない。

- ② 総トン数（gross tonnage…G.T.）：船舶の大きさを表すための主たる指標となるもので、船舶の閉



囲場所の合計容積を算定し、この容積に定められた係数を乗じて算出したトン数をいう。100立方フィート=2.83立方メートル=1トとして算定する。客船の大きさを表すのに用いられる。

また、総トン数は、国内総トン数と呼ばれるものであり、実質は、ほとんど国際総トン数と同じものと考えてよい。なお、トン数法により、4000トン以上のものは、同じ数値である。

- ③ 純トン数 (net tonnage…N.T.) : 旅客又は貨物の輸送の用に使用する場所とされる船舶内の場所の大きさを表す指標となるもので、貨物倉、満載喫水、旅客定員から算出する。即ち、運賃を稼ぐことのできる容積のこと。

2) 重量トン数

- ① 排水トン数 (displacement tonnage) : 別名、排水量 (displacement) ともいう。

船舶の水面下の体積と同容量の排除した水の重量は、アルキメデスの原理により、船の重量と等しいが、この重量をトン数で表したものを「排水トン数又は単に排水量」という。

即ち、前述の体積をメートル法単位で計算し、淡水ならばその比重 1.0、海水ならばその比重 1.025 を乗ずれば、排水トン数が求められる。なお、船舶に貨物、旅客、燃料、食料等を満載した場合のトン数を「満載排水トン数又は満載排水量」といい、これらを積まない場合のトン数を「軽荷排水トン数又は軽荷排水量」という。海上自衛隊の自衛艦（世界一般の呼称では、軍艦のこと）などの大きさを表すときに用いられる。

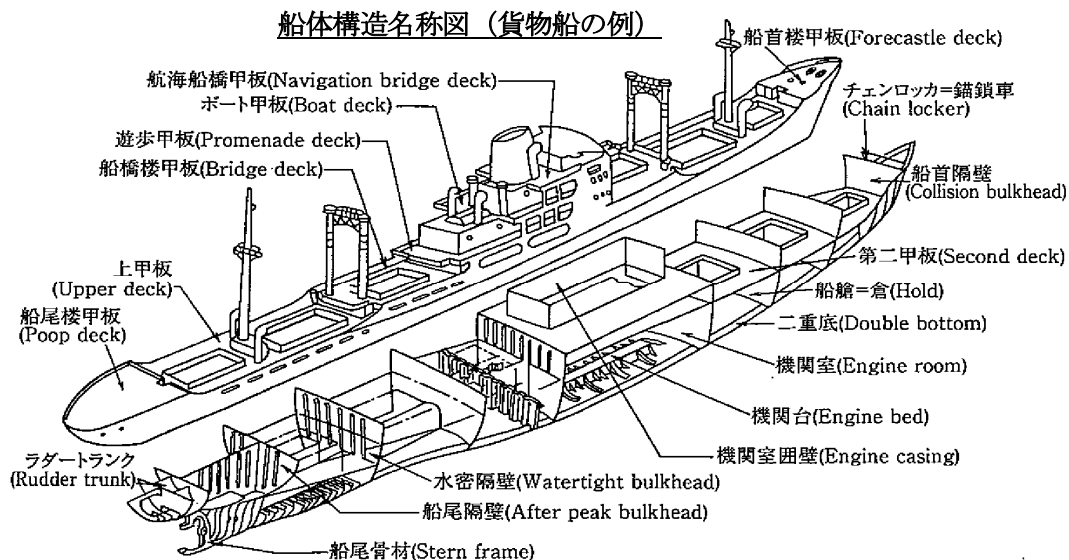
- ② 載貨重量トン数 (deadweight tonnage…D.W.又は D.W.T.) : 船舶の航行の安全を確保することができる限度内における貨物等の最大積載量を表すための指標となるもので、「人又は貨物その他定められた物を積載しないものとした場合の排水トン数」と「基準喫水線に至るまで人又は貨物等の物を積載するものとした場合の排水トン数」との「差」をトン数により表したもので、貨物船の大きさを表すのに用いられる。

3) 貨物船における目安としての各種トン数の割合

トン数には種々あるが、船の種類により言い表わし方が決まっている。例えば、自衛艦では排水トン数、客船では総トン数、貨物船では載貨重量トン数となっている。普通の貨物船における各種トン数のおおよその割合を「総トン数を 100 として」、下記に参考を示す。

トン数の種類	各種トンの割合
総トン数 : G.T.	100 として
純トン数 : N.T.	62 (60~63)
排水トン数	210 (200~230)
積載重量トン数 : D.W.	150 (120~200)

(3) 船体構造の例



前図の貨物船の例を見ると分かるように、いろいろの部材を溶接により、組み合わせて船体が形成されている。人間でいえば、人体の骨格や皮膚にあたるもので、造船用語では、「船殻」という。

この船殻は、規程や規則に基づいて、安全や保安の面から十分に力学的に計算されたものである。

人間の皮膚にあたる船体の外板は、船と水が接する最外殻で最も主要な部材であり、船底には、単底と二重底とがある。二重底の場合は、座礁等の損傷による浸水のある程度防ぐことができる。

近年、油タンカーの大規模油流失事故を契機に、国際海事機関（IMO）においてタンカーへの導入促進等を内容とする海洋汚染防止条約の改正が採択されるなど、世界的に燃料タンクも含めたダブルハル（二重船体または二重船殻ともいう）の義務化が進んでいる。

船体各部は、それぞれが変形防止、浸水の制限、十分な縦応力、波浪や暴風雨に耐える強度等々慎重な計算・設計がなされている。また、船倉や機関室は、振動・衝撃に耐える構造にし、船尾骨材は、プロペラの振動と応力に耐える構造となっている。

(4) 電気機器類の配置例

下図に、一般商船の電気機器類の配置例を示す。

1) 動力装置として機関室に発電機と配電盤（機関制御室内が一般的）が配置され、主機関用補機類、機関制御及び自動化装置、照明装置、通信及び船内警報装置、航海関係装置、無線装置、荷役機械、甲板機械等に給電している。

2) 通信装置：

① 船内用として、電話装置、拡声装置、携帯式トランシーバー、各種警報ベル、一般及び火災警報装置等が配置されている。

② 船外用として、無線通信の海事衛星利用による「GMDSS（全世界的な海上における遭難安全通信システム）」が設置されている。

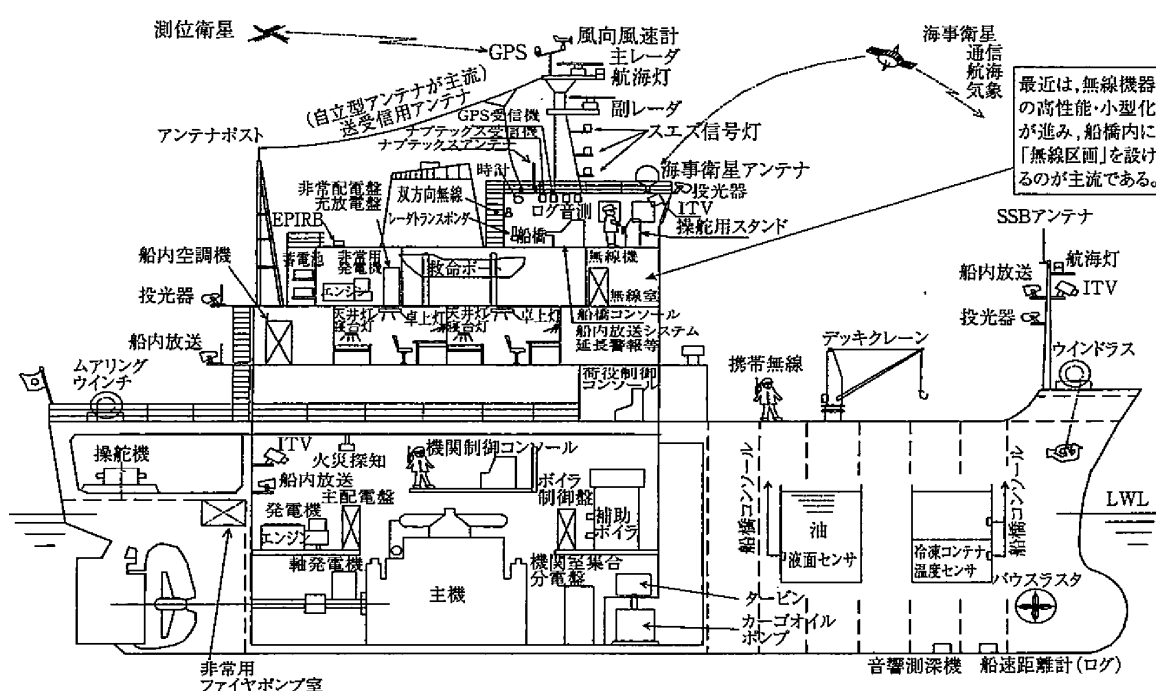
③ その他の無線装置：

a. 模写電送装置（ファックス・FAX=Facsimile）として、気象 FAX、航行警報・新聞 FAX、漁海況 FAX 及び通信用 FAX がある。

b. 甲板上で、携帯無線（400MHz 帯）が、操船、荷役、接岸及び係留等の作業用に使用される。

c. 衛星放送受信装置として、BS放送用とCS放送用の2種類がある。

電気機器類の配置例（貨物船の場合）



3. 造船における電気の果たすべき役目と立場

造船所で船舶という大きな器の建造のために、おおまかに言えば、営業、基本計画、詳細設計、資材調達、船殻、船体艤装（内業及び外業）、塗装、機関艤装、電気艤装、海務、工務等々に仕事が分業化されており、それぞれの分野でお互いの業務を調整しつつ当該役目を果たし、結果として一隻の新造船または修理船を完工させることができるのである。

船舶建造における「電気」の役目について、簡単な比喻で説明すると、船舶を人間に置き換えた場合、人間の骨格、手、足等々が船殻関係／皮膚、目、鼻、口、耳、血管等々が船体関係／心臓、肝臓、腎臓、血管等の内臓関係が機関関係／脳神経等々が電気関係と喩えられる。

船体に各種の艤装品が搭載されたら、電装工事としての①艤装品と電力供給盤間、②艤装品間及び艤装品と制御盤間、③操舵室と機関制御室及び操舵機室の間等に電線を布設するための電路材の取付、電線布設・結線することにより「脳と神経系」が構成され、発電機により発生した電気を給電することにより、機関、各種機器を動かして、且つ、目となるレーダー、GPS受信機（衛星航法装置）、耳となる無線・通信機器等々が機能して、船舶としての自己完結型の移動体となり得る。

即ち、電気の主役目は、電気を介して、各種機器に生命を与え、各種機器が所定の機能を発揮できるようにすることであり、まさに、近年のハイテクを駆使した高性能の船舶を生み出すための縁の下の力持的な重要な役目を担っている、即ち、船舶といういろいろの分野の集合体に命を吹き込むということは、まさに「システムエンジニアリングのなせる技」である。

あとがき

普段、会員の方々も船というものをあまり意識しないで、淡々と電装作業をされていると思いますので、今回は、船というものが船種や用途により、いかにいろいろの先端技術を取り入れているか、または取り入れようとしているかに、すこしでも理解を深めてもらいたいし、また興味を持ってもらいたいとの意図でメモした次第である。

最後に、**筆者の独り言として**…、

船の基本は昔も今もほとんど変わらないが、要素技術はその時代時代で変化するものであるから、当協会会員の方々も、常に、船という自己完結形の生き物のような移動体に興味を持って、その時代の視点で観察し、改良・改善する技術者魂を持ち続けることがなによりも大切ではないでしょうか。

一方、現在の状況としては、国内の旧大手造船所、旧中小造船所、韓国及び中国の造船所が、ほとんど同じ船種を、商売としてただ大量に建造競争し、結果として、ほとんどの旧大手造船所が赤字という現状は、なんとも寂しいかぎりである。

昭和40年代～50年代にかけては、日本の旧大手造船所は、万人が認めるリーダー社がいて、新しい船種や新技術開発等を競って世界の一流になろうという気概と造船所間での（各種調査研究委員会を含めて）競争意識のみならず協力意識もあり、盛り上がりがあったことも確かであった。

そこで、造船OBの一人の独り言として（田作の歯ざしりだが）、近未来を見据えて日本の「旧大手造船所」は、ハード中心主義から欧米型の高付加価値で高技術を要する船舶建造が可能な「ソフト中心主義（エンジニアリング“例えば、意匠、差別化できるデザインなどを含めて”及びコンサルタント指向）」に舵を切り、かつ、昭和40年代～50年代の世界の一流という気概と造船所間での盛り上がりの再現を計ることが、第三国（韓国や中国など）に決定的な差別化を持つ本来の造船先進国としての進むべき必要条件ではないかと思われるが…間違っているのでしょうか、それとも今のまま商売として第三国と同じ船種をただ大量に建造競争し続けることもやむなしでしょうか…

なお、本メモには、筆者の思いこみが多々あるので、その辺は適宜、勘案して一読頂ければ幸である。