

戦後建造大型タンカー技術発展の系統化と資料調査

3

The Systematization of Technology on Large Oil Tanker in Japan since 1945

吉識 恒夫 Tsuneo Yoshiki

■ 要旨

戦後、わが国造船業は戦前の艦船建造から、商船を中心にした建造体制に早期に転換すべく、産官学による溶接鋼製大型船建造技術の確立を強力に推進した。戦後15年間で溶接技術・機器の開発、ブロック建造法の基盤が出来、欧米の技術レベルに並び、建造量世界一を達成した。1965年以降は世界的な高度経済成長により、海上輸送量が急激に増大し新造船需要も比例して拡大した。特に石油消費量の増大は、著しいタンカーの船腹量拡大要求が高まり、その要求は隻数のみならず、経済性の高い船型大型化への要求も急激に高まった。この要求を満たすに必要な技術の開発、建造設備の新設を着実に進め、世界の新造船建造量の約50%を20年近く維持してきた。しかし、1973、79年の2度に亘る石油危機の発生により、石油の消費動向は一転し省エネルギー化へと転換、タンカーの新造需要は減少し、同時に船型の大型化は止まり30万トン級が限度となり、燃料消費量の低減が大きく求められるようになった。更に、運航中に起こる座礁・衝突などの事故により、大量の油流出による海洋汚染が起こり、防止策として国際海事機構（IMO）により船体の二重殻化が制定された。この社会情勢に対応する技術とその発展状況を調査し、その中から後世に残すべき候補資料の選定を行った。

■ Abstract

After World War (since 1945), Japan Shipbuilding Industry strongly desired to turn to merchant vessel, the industry, government and professor jointly promoted to investigate and develop welding technique including welding machine for joint welding of large steel fabricated vessel. Around 15 years World War (around 1960), Japanese shipbuilding technology etc. reached same technological level of western shipbuilding. World economy expanded rapidly and remarkably after 1965 and the large oil tanker increased to support expand oil trade. The new demand oil tanker is not number of vessel but larger, Japan Shipbuilding Industry has widely developed building technique and newly constructed large building dock. The share of new tonnage was almost half amount of world new tonnage during 20 years. The tanker market business has changed to less fuel and up to 300,000 dead weight due to oil crisis (1973, 1979). Several oil flow accidents, the International Maritime Organization (IMO) has double hull structure for oil tanker.

Newly developed technology to build ultra size crude oil carriers are in this paper. In addition work of technical those tankers have been to clarify the technological process and to nominate permanent storage.

■ Profile

吉識 恒夫 *Tsuneo Yoshiki*

国立科学博物館産業技術史資料情報センター主任調査員

昭和33年3月	横浜国立大学工学部造船工学科卒業
昭和33年4月	三井造船株式会社入社
昭和61年4月	船舶・海洋プロジェクト事業本部企画開発部長
平成3年4月	船舶・鉄構総括本部技術開発部長 兼技術総括本部昭島研究所長
平成3年7月	理事
平成6年7月	技監
平成10年7月	顧問
平成15年4月	独立行政法人 国立科学博物館 主任調査員
平成15年6月	三井造船株式会社 退社

■ Contents

1.はじめに.....	135
2.造船技術の概要.....	136
3.戦後の大型タンカー建造技術史概要.....	139
4.年代毎の技術と建造船.....	149
5.登録資料候補の選定.....	165
6.まとめ.....	168
謝辞.....	169
専門用語の説明.....	170
参考文献一覧表.....	171

1 | はじめに

独立行政法人 国立科学博物館 産業技術史資料情報センターでは、社団法人日本造船工業会を通じ、平成11年度に造船分野の産業技術史資料の所在調査を行い、302点の資料所在を確認している。この資料調査結果を踏まえ、造船産業の技術発達と社会・経済との相互関連の調査・研究を実施することになった。調査・研究は造船分野全般を対象とすれば、余りにも広範囲に及ぶので、今回は、戦後日本造船業界隆盛に大きく貢献した「タンカーの建造技術」に限定し、実施する事とした。戦後、世界経済は驚異的に発展し、エネルギー資源の石炭より石油への転換により、原油の輸送量は大幅に増加したためタンカーの船腹量拡大需要が起こった。わが国造船業界は、戦後荒廃した造船業の復旧を実施するに当たり、学会を中心にした建造

工作に関する研究体制を組織した。研究の中心は、溶接工法を採用し、ブロック建造法による大型鋼構造船の建造合理化を目指した。戦後の混乱期で十分な研究を実施する様な環境にはなかったと思われるが、当時の学者、業界技術者の熱意と努力により大きな成果が生まれた。この研究成果を基盤とし、海外の技術情報、溶接機器の導入などにより技術構築が着実に成された結果、高度経済成長時代に全世界より多数の大型タンカーの受注に成功し、日本造船業の繁栄をもたらした。この事実を考えると、戦後建造されたタンカーと造船技術発達の間接関係を調査・研究する事により、戦後のわが国造船技術史変遷の主要部分を、調査することになると考えた次第である。

2 | 造船技術の概要

2.1 造船と海運業

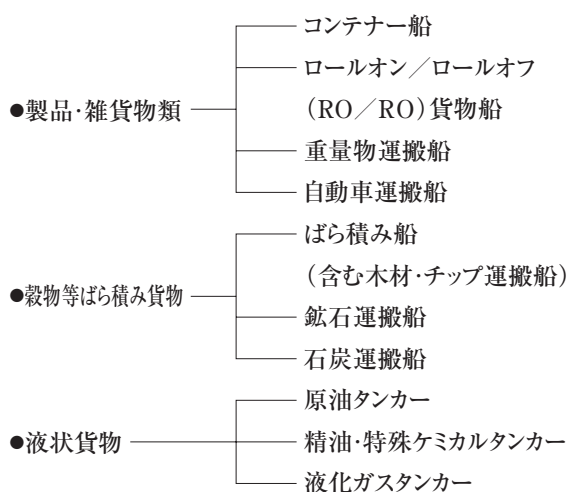
造船分野の産業技術史を調査するに当たり、今回は造船分野の中で商船部門のタンカーに関する項目を調査対象にした。しかし、海上物流を担っている海運業のあらましと造船の関係を概観し、商船の建造に求められる技術項目を先ず説明することにする。

海運業は、旅客船運航事業等もあるが殆どは多種多様な原材料から製品に至る幅広い種類の貨物を、海上輸送する業務を主体とし、多種種類の船舶を所有・運航している。この多種多様な船舶の建造と造船技術の関連につき少し触れてみる。

(1) 輸送貨物による船の種類

輸送対象物に合せ輸送効率に優れ、輸送貨物の特性を損なう事なく輸送する必要性より、種々の専用船が開発建造されている。

海上輸送貨物の種類による商船の主な分類を貨物の形態により分類すると、固形貨物、穀物等の粒状貨物、流体貨物に分類できる。各々の貨物に適する専用船となると種類名称も多く、ここでは比較的多数の船腹量があるものにつき示す。



貨物の種類・形態により商船を区分けすると概ね上記の如くなり、それぞれの専用船は対象貨物を最も効率良く積載・荷役・運航出来る船型・構造となっている。運搬貨物に適する専用船の船型・構造・荷役方法を考案開発する技術が、造船業界に求められる重要な技術要素である。主な専用船の写真を付録に添付するので参照頂きたい(付録写真1～6)。

商船の大きな分類はほぼこの様に分類されるが、上記以外の商船も含めた全商船の年度別全世界船腹量・竣工量(総トン数ベース)の推移と、タンカーの全商船に占める比率⁽¹⁾⁽²⁾を、付録表1に示す。このデータが示す如くタンカーの船腹量は、年度により異なるがほぼ全商船の25～40%を占めており、最も数量的に多くを占めた1975年頃は45%近くにも及んでいる。1975年の竣工量になると全建造船の70%程度がタンカーとなっている。

(2) 専用船の運航と要求性能

専用船は貨物の種類に適する船型・構造配置により区分けされるが、各専用船に要求される基本的な性能は当然の事ながら、運航経済性に大きな影響を与える積載量(重量と容積)と燃費(船速と燃料消費)である。しかし、船主の荷主からの貨物輸送受注時の状況によっても、投入する船への仕様が異なって来る部分もある。船主の荷主から貨物輸送依頼の受け方は、概略次に述べる様な形態となるのが通例である。

a) 特定航路に定期配船する船

世界の主要な航路を定められたスケジュールにより運航し、製品・雑貨物類等多種類の貨物を、多数の荷主より常時受注する専用船グループで、現在ではコンテナ船が主なものである。RO／RO船、フェリー船等も同様な運航形態で運航されることが多い。コンテナ船が生まれる以前は、一般貨物船により製品等の貨物が梱包され、貨物倉の中に混載され輸送された。

定期航路を運航するコンテナ船を企画発注するには、将来の社会経済情勢を見通し、投入航路に最適な積載量・運行スケジュール等の要件につき採算等を検討しながら企画・発注することになる。建造を担う造船に求められる重要な技術は、高速レベルでの定時運行を維持し且つ運航効率を最も重視する船型設計技術が主体となる。

b) 長期間輸送貨物保証船

同一貨物を長期間同じ荷主から輸送依頼を受け、輸送量も年間単位で決め且つ輸送区間が限定される船で、多くは液化ガスタンカー、大型原油タンカー、鉱石・石炭運搬船等の原材料を運搬する大型船に多い。貨物である原材料の産地である積地、消費地と

なる荷揚げ地が確定し、航路もほぼ特定出来る事により、建造する船に対する要件も明確になることが多い。原材料運搬以外の自動車運搬船も、自動車メーカーと輸出先・車種・数量につき取決め、建造されるケースが多い様でこの類に入るのであろう。

年間の総輸送量・航路が決められると、どの専用船にも要求される運航効率の高度化が特にこの長期備船される船には重要となる。即ち、船価の低減、燃費・メンテナンス経費の削減が重要な項目となる。輸送貨物単位重量当たりの輸送費用の削減に大きく寄与する要素として、船型の大型化が有効な手段となるので、大型化対応技術が必要となる。特に、大型船に対応する性能・品質を維持しコスト削減を実現するには、経済船型設計・船体構造設計・合理的な建造技術が重要となる。

c) 上記以外の一般運航船

通常運航されている多くの商船は、定期運航航路、長期保証の貨物もなく、所有する船舶に応じた貨物の集荷を行い、運航に当てられるのが通例である。貨物の種類は幅広くあるので全ての貨物に適應する事は難しく、船主は前記分類した如き専用船を事業目的に合わせ保有し、その船を運航させるに適した貨物の集荷を行ない事業活動する。穀物等ばら積み船、長期積荷保証のないタンカー、精油・特殊ケミカルタンカー、重量物運搬船等は、この方式により運航されることが多い。

これ等船舶は、社会の経済情勢の変化に伴う荷動きの変化に対処し、所有船舶を最大限活用し海上輸送業務を遂行する。船舶所有者は、大手海運業者に限らず、個人的な海運業者も多数ある。その結果建造発注は、かなり投機的要素があると同時に、専用船でありながら多くの貨物への対応、幅広い航路・出入港を可能とする仕様にする必要がある。

建造する造船業界としては、特徴ある船型・仕様を提供する包括的な造船技術が必要であると同時に、低船価となる合理的な建造技術も当然要求される。

2.2 新造船発注と造船技術

大型商船の多くは先に述べた専用船区分に含まれ、運航形態も殆ど上記区分けになることもあり、海運側の意向に沿う船舶を建造することが多く、殆どは個別注文生産方式となる。しかも、大型船と言われる船舶の投資金額は大変高額で、現在建造されている大型液化ガスタンカーになると船価は150億円以上にもなる。

それ故、船主は輸送する貨物の航路・物量等の諸条件より、建造する船の仕様を充分検討し、造船所に要件を明示発注するのが通例である。発注される商船は、荷主より受ける貨物量により複数の同型船の発注となる場合もある。また、受注した大型商船は通常引渡しまで少なくとも1年を要し、多くは2～3年先の引渡しとなる。建造契約に至るまでには、受注する造船所は船型設計を始め、各技術を駆使し要求仕様に合致する船舶の設計、並びに契約納期をまもる建造技術の確認が必要となる。造船所は常に性能に優れた船舶を提供する技術と共に、建造工期を維持する上での技術向上が求められる。

造船所に要求される技術は、品質・性能に関する技術項目と同様に2～3年先の引渡しを確実とする建造関連技術も大変重要な要素である。

(1) 性能・品質技術

船主より発せられる種々の要求仕様に対し、高性能・高品質な船舶を建造するには多くの技術が必要である。その中で特に重要と思われる技術項目を拾い上げてみる。

船主より求められる主要な要求項目のうち、積載貨物重量・容積・船速と主機容量・荷役要領・運航に必要な諸装置の選定配置などは、船舶の商品価値として重要視・比較される項目である。それゆえ、個々の要求要素に対する技術に優れる事は当然であるが、各要素技術の相互関連性に配慮し、船全体を総合的に纏め上げる技術が重視される。求められる要求要素に対処する項目を大別すると次の如くである。

- 抵抗・推進性能(船型設定と推進機関出力・推進装置と船速の関係)
- 運動・耐航性能(波浪中船体運動応答の最小化)
- 構造強度解析(貨物・波浪荷重と構造挙動の把握と安全性、振動対策)
- 艀装設計(荷役等運航に必要な諸装置類の選定配置設計)

この基礎的要素技術は、基本的には各専用船に共通であるが、貨物の種類の変化により船体に加わる荷重・環境状態の違い、輸送時間の差異による船速の違い等により、専用船特有の技術項目は当然ある。

タンカーに関する品質・性能面での特有な技術として、大型肥大船型の推進・操縦性能と原油漏洩、防爆に対する安全対策などが挙げられる。

(2) 建造技術

船主より求められる仕様に基づき、前項に述べた技

術を駆使し設計が行われ、建造契約が結ばれる。建造契約後は、定められた納期を維持し、品質の低下を招かず合理化された建造技術によって建造・完工する技術が求められる。

造船の組立・建造技術は、船体を構成する鋼板構造の部品切断・接合・組立・ブロックの搭載、並びに部品・機器・装置類の購入・配置・据付けを行う総合組立産業である。

鋼板構造の建造技術として、戦前は海軍の軍艦を始め殆どの船舶は、鋸接合により建造されていた。しかし、戦後間もなく建造方法の改革を目指し溶接に関する研究が、産学により広く実施され、溶接構造船へと大きく変化した。溶接構造の採用と同時に、組立・建造方法は船体構造を構成する個々の部品を適当な大きさのブロックに地上で纏め上げ、それぞれのブロックを船台上で接合する方式を全面採用する様になった。

組立・建造技術の発展を調査するに当たり、考慮すべき重点となる項目は下記と考える。

- 組立・建造情報の生成技術(加工・組立に関する総合情報生成)
- 鋼板の切断・曲げ加工技術(高能率・精度向上等)
- 組立技術(溶接法の改良・自動化、組立の改良等)
- ブロック搭載技術(船台・ドック内のハンドリング・搭載方法等)
- 艀装品の設置・管理技術(部品・機器類の管理と取付け方法等)
- 工程計画・管理(全体建造スケジュール計画策定・管理方法)

船主より新造船の発注を受け、受注契約を行うにはこれ等技術の現状と設備環境を把握し、建造期間・製造コストの算定に当たらねばならない。

3 | 戦後の大型タンカー建造技術史概要

戦後わが国造船業は、著しく成長隆盛したが、その成長の中で最も特徴的な事は、大型タンカーの建造である。戦後造船業の成長発展を大きく支えた要素として、大型タンカーを多数建造した事による造船技術の発展が数多くあると考える。この技術の発展状況を調査するに当たり、社会経済情勢の変化とタンカー建造技術の発展・変化に関連する事項を先ず調査する事により、戦後の造船技術史の概要を把握出来ると思う。

註：以下文中に述べる特徴的技術、建造船などに(資料-番号)を付記したものは、独立行政法人 国立科学博物館 産業技術史資料情報センター実施の資料所在調査により、産業技術史資料データベース(インターネット：<http://sts.kahaku.go.jp>)の造船分野(分野資料番号1010-1014-0000、または9002-9006-0000*)に整理保管されている分野シーケンス番号(下4桁)を示す。

3.1 海上荷動きと船腹量

社会経済情勢の発展に伴い、海上荷動き量も当然増加する。海上荷動き量の増大は、世界の船腹量の増加につながり、新造船の需要増大を来た事になる。戦後、世界の利用エネルギー資源は、石油依存へ大きく変わり、石油原産地から消費地への輸送需要が増し、原油輸送用タンカー船腹量の確保が必要となった。その結果、1965年以降のタンカー新造ブームが起り、わが国の造船業の繁栄に繋がった大きな要因である。海上荷動き量とタンカー船腹量⁽²⁾⁽³⁾の年代毎の変化を付録表2に示す。この表からも判るように、1965年以降の原油輸送量の急激な増加と、それに従うタンカーの増大は、1975年をピークとし第2次石油危機が起る1979年まで続いた。1980年以降は石油価格の高騰に伴い省エネルギー策が徹底し、石油消費量の低下により、タンカーの船腹量の削減が行われ、タンカーの新造は極端に減少した。1985年以降徐々に、世界経済情勢の拡大、1970年以前に建造された老朽船・不採算船の代替需要などの要因により、船腹量も徐々に増加に転じた。

社会経済情勢の変化により、タンカー船腹量が増減しているが、その量的変化のみならず質的な変化も当然起きており、次項で社会経済情勢と船型の変遷につき述べる。

3.2 建造タンカー船型の変遷⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾

世界経済情勢の急激な拡大に伴い、タンカー船腹量は急激な増大を見たが、単に数量的な隻数の増大ばかりではなく、石油輸送に関連する特有な社会情勢即ちスエズ運河封鎖等による船型の大型化が、技術開発・発展に大きく影響した。タンカーの貨物輸送航路は、おおむね中東地域の原油を、欧米並びに日本へ輸送するのが主である。特に中東より欧米への航路は、スエズ運河経由が通常航路である。しかし、1956年に発生したスエズ運河封鎖により、南ア喜望峰周りの航路としなければならなくなり、従来のスエズ運河通過可能最大船型4.7万トン型から、運航採算上船型をより大型化する必要が生じた。

1956年のスエズ運河封鎖は間もなく解除されたが、1958年以降しばらくは船腹量が過剰となり、海運の低迷期が続き、新造船の発注も減少した。この低迷も1962年以降、欧米船主並びにギリシャ系船主を主体として、社会経済情勢の拡大傾向に伴う石油需要の増加・低船価情勢を契機とした新造船発注により、低迷期に終わりを告げ建造増大に転じた。この時期に発注された船型は、大型化が進み5～10万トン型が主流となった。

1967年発生した第2次スエズ運河封鎖以降、船型の大型化は、海上荷動き量の拡大・輸送効率の向上を狙い、急速に進み20万トン超30万トン未満のVLCC(Very Large Crude-oil Carrier)が多量に発注・建造され、30万トン超のULCC(Ultra Large Crude-oil Carrier)も建造された。輸送効率の向上を目指す大型化は、運航航路・積荷・荷揚げ港の喫水条件の変化により、更に進み50万トン級超大型船も実現し、更に100万トン級を建造可能とする設備の新設並びに、超大型船建造に対応する船型・構造解析・溶接建造技術等についての研究開発も進められた。

船型の大型化は、1973年の第1次石油危機が起こるまで急激に進み、石油危機発生を機に、タンカー新造船発注は激減し、発注済み新造船契約の破棄又は船型変更が行われた。船型大型化の状況を図3.2.1に示す。この様にタンカーの大型化は石油危機を契機に完全に止まり、以降建造される船は、最大30万トン止まりとなった。石油危機後建造されるタンカーは、大型化に進むのではなく、燃料消費を極力低減し、運航採算の向上を指向する船型となった。

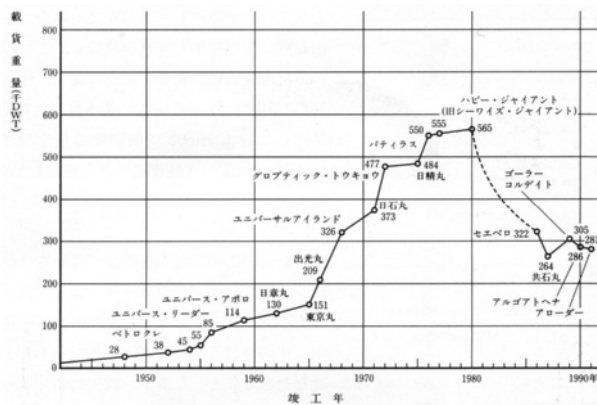


図3.2.1 タンカー大型化の推移（海事産業研究所報）

一方、1967年イギリス沿岸で発生した「トリッキーニオン」の座礁事故により、大量の油が流出し、沿岸地域に多大な被害をもたらした。これを契機に、海洋汚染防止に対する国際世論が高まり、Inter-governmental Maritime Consultative Organization (IMCO)：政府間海事協議機構（後にInternational Maritime Organization：IMOと改称）により、1971

年に始まり1973年・1978年・1992年に相次いで、油の船外への排出基準、油流出量を制限するタンク大きさ制限、分離バラストタンク設置、二重船殻構造等に関する条約が制定された。

二重船殻構造規制に関しては、1989年アラスカで発生した「エクソンバルディーズ」の座礁事故による大量油流出が契機となり、先ず米国で油濁防止法が成立し、その後1992年にIMOも新造船への全面適用、既存船への対応策を制定し、1996年以降建造船への二重船殻構造が義務付けられた。条約制定・発効後には、各条約制定事項を織り込んだタンクの配置、必要機器の設置等を行った船型が当然の事ながら建造されている。

社会経済情勢により、わが国造船業界が年代毎にどのような方向を指向し技術の構築を行ったか、また建造された主要タンカーにどのようなものがあったかを要約して表3.2.1に示す。付録図1には、戦後より現在に至る社会情勢とタンカー建造技術・建造船変遷概要を表す系統化図を示す。

表3.2.1 戦後タンカー建造に関する社会情勢と技術動向

関連項目	戦後復興準備期 1945～1956	整備拡大期 1957～1966	拡大繁栄期 1967～1977	縮小調整期 1978～1987	構造改革期 1988～現在
造船関連 社会・経済 情勢	●船腹量激減への増強策（計画造船のスタート） ●50年朝鮮動乱勃発 ●52年より輸出船拡大振興策	●56年スエズ運河封鎖 ●60年国内所得倍増計画 ●62年国内海運業界集約化	●世界的経済高成長 ●67年スエズ運河の再封鎖 ●67年大型タンカー座礁事故発生 ●71年ニクソン声明によるドル切り下げ ●73年石油危機発生 ●73年海洋汚染防止条約採択 ●73年ドル変動相場制へ	●78年海洋汚染条約議定書の締結 ●79年第2次石油危機発生 ●82年海洋汚染防止条約議定書発効 ●85年プラザ合意によるドル下落 ●86年韓国シェア20%越える	●92年タンカー二重船殻化要求 ●96年タンカー二重船殻構造義務化
業界の動向	●造船業復旧へ向けた建造技術の改革 ●業容拡大へ設計、建造法、設備の復旧・拡充・革新	●建造量拡大、設計/建造技術向上、経済性重視対応策強化 ●スエズ運河封鎖、社会経済変化成長への船型大型化対策	●経済成長に伴う需要拡大に対し設備の拡大/大型化、生産性向上が重点施策 ●国際競争強化へコスト低減策	●第1次石油危機発生による受注激減対応策 ●第1次設備処理実施と競争力強化技術構築 ●石油高騰による省エネ化対策	●更なる競争力強化対応への技術力と、第2次設備処理の実施 ●韓国の追い上げ等国際競争激化と環境汚染対策に対処する構造改革への取組み
研究体制・ 技術・設備 動向	●溶接/工作/鋼材/水槽/構造等各研究委員会の設置 ●溶接法の大規模採用と専門工場の設置 ●ブロック建造法の採用 ●水槽設備の復旧 ●造波抵抗理論、骨組立体構造解析等	●大型船建造へ設備拡充 ●溶接の自動化への積極的な取組み ●船首球状バルブ付船型の発表等船型開発の拡充 ●大型船構造解析法確立 ●コンピュータの利用開始 ●主機の遠隔操縦等の自動化	●超大型船建造設備の拡充/新設 ●各企業による大型水槽設備の新設 ●溶接法の拡充と建造法の改革 ●大型肥大船型理論 ●大型船構造解析法の高精度化 ●コンピュータ搭載集中制御自動化運航	●建造設備の35%削減 ●システム研究委員会の設置 ●船型開発にCFD技術活用 ●省エネ対策に船体への付加物取付け ●省エネ対策へTMCP高張力鋼の大幅採用 ●CO₂溶接の大幅採用による溶接自動化促進 ●CADの採用	●建造設備の20%削減 ●二重反転プロペラ開発 ●造船CIMSへの取組み
建造船の 動向	●1.8～4.7万トン型国内計画造船・輸出船多数建造	●経済性、自動化船を含む5.0～10.0万トン型船建造 ●最大船型13万トン「日章丸」	●20万トン超VLCC、30万トン超ULCC多数建造 ●コンピュータ搭載自動化船・乗組員削減船建造 ●最大船型50万トン「エッソウ・アトランティック」	●省エネ装置・機関・重量軽減策を織り込んだ中・大型船（10～30万トン） ●建造最大船型は30万トン型	●90年代以降二重船殻構造船の建造開始

3.3 大型タンカーにかかわる主要技術

社会経済情勢の変化によるタンカー市場変化は大きく、建造されるタンカーは前項に触れた如く船型の大型化へと変遷した。急激な船型大型化を含め、大量建造量を処理したわが国造船技術の発展につき、技術開発体制・建造設備状況も含め、以下概観する事により、技術史変遷の概要を説明したい。戦後を概略10年毎に区分けし、各々の年代毎に起きた代表的な事項を、表3.2.1に示してあるので参照頂きたい。

先に述べた建造タンカー船型の変遷の通り、1973年に起きた第1次石油危機を契機に、タンカー市場は急転し、船型の大型化は完全に止まり船腹需要も減少した。石油価格の高騰に伴い燃料消費の低減と、環境汚染防止に対する世界的な認識が深まり、環境規制条約も定められ技術開発の方向は大きく転換する事になった。本章では戦後より現在に至る迄の大きな技術要素の流れを述べ、特徴的な技術開発事項は、次章以降の年代区分毎に発生した事項の説明で触れる事とする。

(1) 造船・海運の研究体制

戦前・戦争中のわが国造船業は、海運業を支える商船の建造も行われていたが、技術的な面を見ると海軍の軍備増強を目指す、軍艦建造技術に重点が置かれていた。

当時の艦船建造技術で現時点の技術と最も異なる点は、鋼板の接合を鉚接に依存していた事であろう。鉚接による建造方法は、建造時間・要員を多数必要とする。したがって、大量の戦時標準船を短期間に建造せねばならなかった太平洋戦争後半には、鉚接に代わり溶接を採用する建造法を採用し、大量生産に貢献した。この建造方法が戦後の溶接建造法の研究に引継がれた。

終戦後、壊滅的な打撃を受けた国内各産業と共に、喪失した海運の船腹量回復へ、造船業も復旧を目指し立ち上がった。その中で最も特徴的な事は、鉚接に代わる溶接船の建造技術構築を目指した鋼船工作法研究委員会、電気溶接研究委員会を始め、造船技術を研鑽する研究委員会が造船協会(現在の造船学会)内に設置⁽⁵⁾され、産学協同研究体制を発足させた事であろう。

研究委員会メンバーは産官学の各々専門分野の第一線のメンバーにより構成され、広く自由にオープンな討議が重ねられ、大きな成果が得られている。企業よりの参加者は、各企業においてその成果を広く活用し、技術向上に結びつけた。

研究委員会としては、溶接・工作法に限らず他の設計等に関するものも設置され、大学・企業の技術者が

多数参加活動した。この造船学会内の研究委員会による学会活動は、組織体制の変化はあったが、現在も続いている。

造船協会による研究委員会の他、1949年には日本溶接協会が設立され、その中に第8部会(溶接施工委員会)が設置⁽⁶⁾され、当初は造船協会の電気溶接研究委員会と共同で開催されていた。

この他、関西造船協会、西部造船会等造船関係学会があり、この学会においても同様な研究委員会が設置され、積極的な活動が行われ有益な成果が得られている。

戦後の造船技術開発に多大な影響を与えた、学会等に設置された研究委員会の一覧を、付録表3に示す。

研究活動の中で溶接船建造に関する研究では、太平洋戦争中米国で大量建造された溶接船に、冬期脆性破壊事故が頻発し、この問題究明につき議論が行われていた。特に問題解明に関し重要項目である鋼材の材質等に関し、1950年運輸省の指導により鋼材研究会⁽⁶⁾が、造船協会内に発足した。この研究会は、大学、国立研究所、造船所、製鉄会社からの委員で構成され、鋼材について広範囲な調査研究が行われた。

この研究会における調査活動を契機に、造船技術の向上を目指すには、共同研究機関の必要性の認識が高まり、1951年運輸大臣諮問第2号「現在のわが国における造船技術の向上を阻んでいる隘路とその対策如何」に対し、造船技術審議会より「個々の官設研究機関や民間研究設備では実施し難い共通的試験研究等を実施する民間共同研究機構を設けるべき」との答申があった。この答申に対し、日本造船工業会、日本船主協会及び日本海事協会が中心となり、運輸省指導の下「日本造船研究協会」⁽⁷⁾が1952年6月に設立発足した。本研究協会は、設立当初任意団体で発足したが、1953年運輸省より社団法人としての認可を得、団体会員及び個企業の会員で構成されている。設立後10年間は運輸省等各省庁からの補助・委託金、会員の負担金により運営されたが、1962年財団法人日本船舶振興会の設立に伴い、本組織に対する多額な基金・事業運営に対する補助金を現在に至るまでの長期間受けて、研究開発が盛んに行われ、造船技術全般の向上に大きく貢献している。この組織における研究実施の特徴は、研究計画・資金計画を立案・策定し、会員の了承を得た後、研究の実施を産官学の研究機関に分担依頼する事にある。

即ち、共同研究するテーマ・内容/期間の設定、費用等を定め、研究の実施は大学・国立研究所・民間企業にて分担実施し、成果を会員会社が共有する運営方式である。

共同研究実施課題は、推進性能、構造強度、溶接、

建造技術、推進機関／機器など広範囲に亘り、設立後今日までに250件以上に及ぶ課題につき研究が行われ、戦後の造船基盤技術の発展に大きく貢献した事は特筆すべきであろう。

上記技術開発課題以外に、船舶の安全及び環境保護に関する基準の作成・改廃に対する技術的な支援を1969年以降実施し、また国際海事機関(IMO)への審議参加も行い、国際条約制定に際しその技術的な面で貢献をしている。

以上に述べた研究開発体制が戦後間もなく整備され、この組織を通じ多くの技術開発がなされたが、大型タンカー建造に関する特徴的な技術の概要を以下に述べる。

(2) 技術項目別の変遷

先に述べた様にわが国造船業界が、第1次石油危機が起こるまでのタンカー市場の急激な需要増大と大型化に対し、タイミングよく対応出来たのは、表3.2.1に示す主要技術が戦後の復興準備・整備拡大期に整備された事によると考えられる。主要技術の開発が積極的に行われたが、その変遷を調査するに当たり以下の区分に従い説明する事にする。

- a) 溶接の全面採用とブロック建造法の確立
- b) 大型化対応への建造方式と設備拡張
- c) 溶接法の拡充と鋼材製法・規格の充実
- d) 船型理論の構築と水槽試験法・設備の拡充
- e) 大型化対応への船体構造解析法の整備
- f) コンピュータの発達と利用の拡大

石油危機以降は、石油価格の高騰による需要の低迷からタンカーの建造意欲は急激に減少し、同時に船型の大型化は完全に止まり、省エネ追求、安全、環境保全、並びに徹底的な合理化策が最重要技術課題となった。

a) 溶接の全面採用とブロック建造法の確立⁽⁶⁾

鉚接に代わり溶接による接合を採用すると、船体構造を構成する部材を地上である程度の大きさのブロックに組上げ、そのブロックを船台で搭載し建造する事が容易となる。このブロック建造法は、組立部品の組立順序の策定、部品の管理を行う事により製造工程の短縮に大きく貢献した。しかし、この管理手法を取入れて建造するには、鉚接時代の形状のみを主体にした図面では対応が取れず、組立製造工程を示す工作図⁽⁸⁾の作成が必要となり、ブロック建造法の採用と同時に船体構造工作図の作成が急がれるようになった。同時に部材加工方法、溶接方法・順序等を考慮した組立て管理法が重要な技術項

目となった。

同時に、先に述べた米国において発生した冬の脆性破壊発生問題に関しては、鋼材の材質、亀裂発生機構の解明、鋼材と亀裂発生を評価する試験法等の研究⁽⁷⁾が、日本造船研究協会にて進められ、1955年頃迄に主な成果が得られ、建造された船の溶接採用率は大幅に増加した。

溶接による脆性破壊問題の解明が進むにつれ、溶接採用率も急激に増加し、溶接方法に関する研究が盛んに行われた。手溶接に比し溶接速度を高められるサブマージアーク溶接法(図3.3.1、写真3.3.1)、並びに隅肉溶接に使用する溶接棒の開発も進んだ。1950年ユニオンメルト溶接機(資料-1220)を海外より購入し、各造船所にて適用の検討が始められ、同時に被覆アーク溶接棒のJIS規格制定等が進められた。

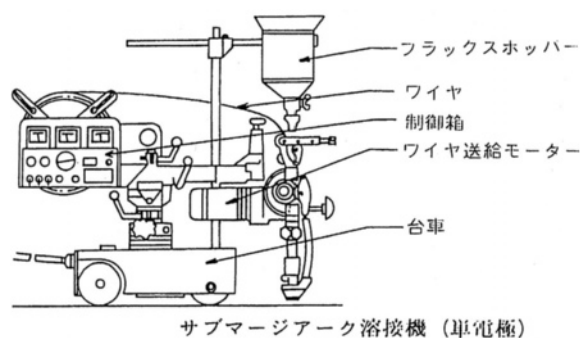


図3.3.1 サブマージアーク溶接 (造船技術百年史)

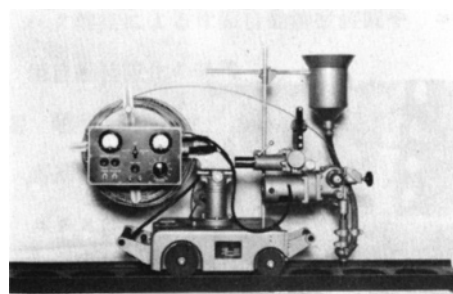


写真3.3.1 初期のサブマージアーク溶接機 (造船の溶接—35年の歩み)

1952～53年頃より建造されるタンカーには、溶接施工法、溶材、機器が開発され実用に供されるようになり、外板・甲板の板継手の一部は低温脆性破壊防止目的で鉚接合としたものの、他の継手は全て溶接を採用する様になり、建造の合理化に大きく寄与している。

1957年1月運輸大臣は、船型の大型化進行に対処すべく、造船技術審議会に諮問し、同年3月の答申により、構造部材の厚板溶接法につき、日本造船研究協会にて1957年より3年間「超大型船の建造に際し

ての厚板の溶接法に関する研究」⁽⁷⁾を実施している。

この研究成果を活用しサブマージーク溶接・隅肉溶接法の効率化を目指す機器開発が、1960年頃より盛んに行われるようになった。サブマージーク溶接法は当初板継手の両面を溶接する必要があり、片面板継ぎ後必ず反転作業を伴った。この反転、裏溶接工程は作業の流れを阻害するもので、1962年頃より片面サブマージーク溶接の研究(資料-1222)が積極的に進められた。

また、隅肉溶接についてはグラビティ溶接(資料-1223、写真3.3.2)の研究が1960年頃より進められた。グラビティ溶接は、ガイドレールにセットさ



写真3.3.2 グラビティ溶接（造船の溶接—35年の歩み）

れたホルダーに溶接棒を挟み、アークをスタートさせると溶接棒の消耗につれて、ホルダーが自重で降下しつつ溶接が進行する方法で、造船溶接に最も貢献し船型大型化・建造量増大に対しても大変役立った技術の一つであろう。サブマージーク溶接、グラビティ溶接を適用し難いブロック継手部分には、他のエレクトロスラグ・エレクトロガス溶接法(写真3.3.3、3.3.4)につき1964年頃より開発を進め(資料-1221)、1966年以降の大型タンカー(VLCC)建造に活用されている。



写真3.3.3 エレクトロスラグ溶接（造船の溶接—35年の歩み）

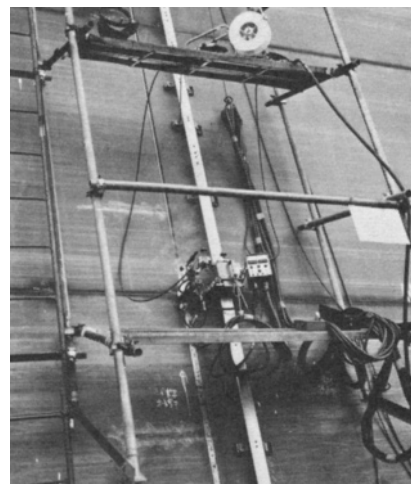


写真3.3.4 エレクトロガス溶接（造船の溶接—35年の歩み）

石油危機以後、1980年以降溶接法の改善・合理化策は、炭酸ガスフラックス入りワイヤの開発により、CO₂半自動溶接機の採用へと変わり、各企業の設置台数は急激に増加している(資料-1224)。

1987年頃より溶接の更なる効率化を目指す自動化、即ち溶接ロボットの前段と考えられる簡易自動溶接台車の導入(資料-1226)を多方面で試みているが、タンカーの複雑な構造構成もあり、実用化への効果は余り上がっていないのが現状のようである。

b) 大型化対応への建造方式と設備拡張⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁶⁾⁽⁹⁾

銲接構造から溶接構造への転換に伴い、ブロック建造方式となり、ブロック建造は流れ作業方式を採用入れる建造法へと転換して行った。この流れ作業方式では、鋼材の搬入、切断部材の野書き、ガス切断を経て部材を組立てる一連の作業のためのブロック組立溶接工場建屋・設備が必要となった。この組立溶接工場は1951年に三井造船玉野造船所に初めて設置された。その後、逐次各造船所に組立溶接工場が設置され、溶接法の改良、船型の大型化・工事量増大に伴い中型ブロック組立を可能とする溶接組立工場が各所に設置され、建造期間の短縮・品質向上へ大きく前進した。

このブロック組立工程を建屋の中で行う事により、雨天などによる溶接作業への影響が避けられ、工程の維持に大きく寄与出来た。後には、船台搭載前の大組立工程には鋼板構造の組立に限らず、貨物油タンク内に設置される配管類等も同時に取付け、艤装品類の取付け作業を容易にする事により、全体工程の短縮を可能にした(資料-1209,1212)。

組立工場内の作業については、部品或いは組立てられたブロックを溶接作業により、より大きなブロックに組上げて行くプロセスで、溶接方法の向上と

一部の造船所では、50万トンを超え100万トン級タンカー建造を可能とする建造ドックを第1次石油危機発生前後に完成している。各造船所にて新設された大型建造ドックの一覧を図3.3.2(付録表4 参照)に示す。超大型ドックを設備した新設造船所は、各



石油危機発生後の省エネ対策として、船体重量の軽減が広く求められる様になり、全使用鋼材の70～

80%を高張力鋼により建造され、更に溶接性に優れた鋼材が望まれた。これに呼応する様に1980年頃より鉄鋼業界では、圧延時に水冷方式による圧延温度を制御する新圧延方法（TMCP：Thermo Mechanical Controlled Process）による高張力鋼板の開発実用化を目指し努力がなされた。TMCP鋼の実用化に伴い高張力鋼の溶接は、軟鋼（抗張力41kg/mm²）と同じ条件で溶接可能となり、高張力鋼の採用が広がった。

d) 船型理論の構築と水槽試験法・設備の拡充

先にも触れたがタンカーに限らず商船全般について、船主が所有建造したい船に対する種々の仕様要求があり、造船所はその要求を満足する様な船型設計を先ず行なう事になる。この船型設計には、輸送効率を高める経済性の追求、高性能化の要請は不断に続くことから、常に技術開発・向上が求められる。また、船主からの迅速な対応要求に応える概略の船型・性能を比較的短時間に求める事も必要である。

船型設計実施に最も必要な要素技術は、船の形状により大きく左右される推進、復原性、船体運動、操縦性能に関する技術である。一般に船舶は水面を浮上して航走するので、境界層問題を解決せねばならないので、船型設計の技術解明には難しさが伴う。船型設計には要素技術の進展・向上が重要であるが、個々の優れた技術を各々単独に採り入れると同時に全体としての調和が必要である。特に推進性能に関しては、船体周りの抵抗問題に限らず、推進装置と推進機関の選定、主機関・貨物タンク等の配置計画、船の自重と肥大度等の関係を総合的にまとめる技術が必要である。戦前から推進に関する多くの研究がなされているが、単に理論展開等により解決出来る問題ではなく、水槽における模型試験に依存する部分が多い。水槽試験方法、結果の整理、実船との関係等を出来るだけ共有化すべく造船協会内（現造船学会）に戦前の1941年に試験水槽委員会が設置され、戦後1945年にはいち早く委員会活動を復活している。同時に、戦災により被害を受けた水槽の復旧を急ぎ、三菱造船株式会社社長崎造船所の小水槽が1949年に復旧稼動を始め（資料-1249）、その後逐次復旧が行われている事は、当時の船型設計並びに推進関連技術開発において水槽試験を重視していることが判る（写真3.3.5、3.3.6）。

一方、水槽の復旧に努力すると同時に、推進抵抗に関する理論的な解明も進められ、1950年頃船の推進により生ずる造波抵抗に関する研究が進み、新し

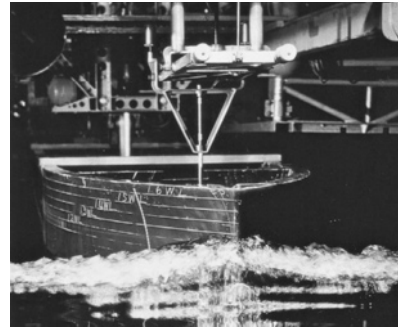


写真3.3.5 水槽試験（日本造船工業会30年史）



写真3.3.6 水槽試験（日本造船工業会30年史）

い展開があった。当時の新造波抵抗理論の中で、東大乾教授が発表した新理論⁽¹⁰⁾は、1961年に発表された船首部に取付けた球状バルブによる「波なし船首（Waveless Bow）」船型に発展し、以降設計される船型に広く採用された。形状は以後変化をしているが、現在も殆どの船で何らかの船首バルブが取付けられている（資料-1036）。

船首バルブ付船型の出現とほぼ同年代頃より、高い輸送効率を目指す経済性の重視が重要項目になり、船型設計に対する考え方即ち、船の主要寸法（船長、船幅、深さ、喫水）の選定方法が、大きく変化して行った。タンカー船型は、それ程高速を要求されず、出来るだけ輸送貨物量を多量に輸送する事が望まれる。これに対応する船型は、細長船型ではなく「ずんぐり船型」⁽¹¹⁾即ち船長を出来るだけ短くし、船幅を広げる船型とする事にある。幅広「ずんぐり船型」の始まりは、1961年完成の「亜細亜丸」（資料-1068）で船長と船幅比を7.0以下とする選択であった。その後タンカーの大型化が進むにつれ、船幅の拡大が進み船長／船幅＝5.0とする船型設計も行われている。

タンカーの大型化が進むにつれ、肥大船に関する推進抵抗研究⁽¹²⁾も盛んに行われ、特に船尾流れの不安定化現象問題が提起され、水槽試験精度の重要性が増した。更に、船尾流れの不安定による操縦不安定現象、プロペラ起振力増加、キャビテーション発生問題などの解決につき、模型試験法、実船における評価試験法の改善により問題解決の努力がなされた。

推進性能評価は、波の影響を考慮すると現象が非常に複雑になることから、平水中の現象として扱われるのが一般的であるが、実際船は波浪中を航行するので、波により船体運動を引き起こし運航速度にも影響が起こる。当然船型設計を行うには、推進性能のみならず運動応答性能に対しても十分な注意が必要となる。

波浪中の船体運動解析法につき、船体が運動する際船体周りの流体から受ける流体力を、船体長さ方向の輪切り断面毎に求め、その断面毎の力を船長方向に積分し、船全体が受ける流体力とする「ストリップ法/解析法」⁽¹³⁾が1959年に確立発表された。航行中に遭遇する不規則波の取扱いについては、エネルギー・スペクトル概念をとりいれ、船体運動応答を確率論的に取扱い運動状態の予測を可能とした。その後、コンピュータの発展に伴い、コンピュータによる「ストリップ法」解析法が船型設計時にも適用可能となり、波浪中の運動応答と波浪から受ける外力の把握精度が向上し、船の航行指針の参考に供する事も可能となりつつある。

石油危機以降は省エネ船型が強く望まれ、推進抵抗の減少と推進効率の高いプロペラの設計を指向する努力が払われた。プロペラ効率は、船型の大型化による荷重度の増加により低下の傾向を示しているが、これに対しプロペラ直径を大きくすることによりプロペラ翼面積を増し、回転数を減少することにより対応した⁽¹⁴⁾。それ以外に、プロペラ後方の回転流れエネルギー吸収方法としての二重反転プロペラ (Contra-Rotating Propeller :CRP) (資料-1150,1191)の開発⁽¹⁵⁾、船体後部の流れをプロペラに誘導する付加物の取付け等による推進効率改善が、省エネ対策として現在まで行われている。

一方、1980年頃から従来の水槽試験を基盤にした船体推進抵抗推定方法は、大容量コンピュータの出現により数値流体解析法 (Computational Fluid Dynamics : CFD) が実用的に活用される様になり、数値解析と模型試験を併用する様になった。その後、徐々に利用方法も改善、解析精度も向上し、広く活用され船型設計法の高度化・迅速化が進んだ。

e) 大型化対応への船体構造解析法の整備

建造方法については全溶接接合構造を目指したが、1963～1964年頃までの建造船は低温脆性破壊の発生防止を配慮し、外板・甲板構造の縦縁(シーム)接ぎ手部分の数箇所を、鉚接手とし瞬時に亀裂が伝播する脆性破壊の停止策を図る構造設計が行われ

ていた。

1948年株式会社播磨造船所にて、実験的に載貨重量1,800トン型全溶接タンカー「新和丸」(資料-1002*)が建造され、溶接に適する構造と溶接法等につき研究し、その目的は十分に達成された。しかし、溶接船体構造に使用する鋼板の国際統一規格⁽⁶⁾が1959年定められ、製鉄所の製鋼圧延技術も向上し全溶接構造としても不安は少ないと考えられたが、溶接による残留応力などによる、拘束力に対する影響を排除する事を考慮して、前述のとおり外板・甲板の縦縁の一部は鉚継手とする構造であった。全ての建造タンカーが、完全溶接構造となった年代は、1963～1964年以降の建造船と思われる。

船体構造設計は、船級協会の定める規則により、構造部材寸法を決定する方法が長年行われている。船級協会の構造部材に関する規則は、材料力学による構造強度の算定方法を基に、戦前からの長年の建造・運航実績を考慮して制定されている。しかし、船型の大型化が進むにつれ、船級協会規則の構造部材寸法規程によると同時に、大型貨物油タンク構造を骨組み構造にモデル化して、解析する方法が1952年に初めて提唱された。1957年1月運輸大臣は、船型の大型化進行に対処すべく、造船技術審議会に諮問し、同年3月の答申により、1957年より3年間日本造船研究協会にて、「超大型船の構造法に関する研究」⁽⁷⁾を実施した。1964年より2年間、やはり日本造船研究協会にて「長大油槽における荷油の運動及び制水隔壁の効果に関する研究」⁽⁷⁾が行われ構造物への荷油の運動による、荷重算定法が解明された。これ等の研究成果は1966年以降の急激な船型大型化の船体構造設計に広く活用された。この構造強度解析は横強度構造部材の強度解析であるが、船長方向の縦強度解析は、波浪中を航行する船が波により船長方向に受ける曲げモーメントとせん断強度を評価する解析で、甲板・船底外板等の縦通部材の板厚を算定する重要な強度解析である。船級協会規則による縦強度の基準は、船長の1/20の波高で波長が船長に等しい波に遭遇した状態を仮定し定められて来た。しかし、当時エネルギー・スペクトラム概念を導入した海洋波の研究が進められ、この成果を利用する事により波浪中の挙動を従前に比し詳しく評価出来る様になった⁽¹⁶⁾。この結果、縦強度評価算定基準が低減され、大型船建造に際し、甲板・船底外板に極端な厚板を使用せず、通常の溶接法の範囲に収める板厚とする事が出来る様になった。しかし、大型化の進行は想像以上に急速に進み、船長は

300メートルを超え350メートル超にも達し、波浪中における船体の受ける縦曲げモーメントはさらに増大する。その結果軟鋼を使用すると甲板・船底外板の板厚が増大することになる。このことが結果として50kg/㎡級高張力鋼が縦通部材に使用される様になり、溶接工数の低減をもたらすと同時に使用鋼材重量の減少による載貨重量の増大につながることもなった。使用される高張力鋼の規格は、前述の通り日本海事協会では1964年、国際統一規格は1971年に制定されている。

一方貨物油タンク構造の強度解析方法は、前述の研究成果により判明していたが、実際に解析を実行するには構造が複雑で、骨組構造モデルによる方法でも簡単に解析は実行出来なかった。しかし、船型の大形化の進行とほぼ並行して、コンピュータの大形化容量増大が進み、強度解析へのコンピュータ利用が容易となった。その結果、構造部材各部の応力分布を求める事が可能となり、VLCC、ULCC建造を可能にした要素の一つとなった。更に1970年前後より、応力分布を更に詳細に求める「有限要素法 (Finite Element Method :FEM)」による解析が実用に供される様になり、構造強度評価に大きく貢献した。構造強度評価レベルは向上したが、コンピュータによる解析を実行するには、入力情報の作成と解析結果の出力情報の整理には相当の労力を必要とし、構造設計技術者は大変苦勞をした。この状況を改善すべく産官学が協力して、出入力の容易化を図った有限要素法による大型解析ソフトの開発に着手した。完成ソフト名「PASSAGE :The Program for Analysis of Ship Structures with Automatically Generated Elements」⁽⁷⁾と名づけられ、完成までに約5年間を要した。完成時点は石油危機後で周辺環境も大きく変化した事と、コンピュータ並びに汎用ソフト環境の変化も大きく、このソフトは余り実用に供されること無く終わり、大型専用ソフトの開発に対する一つの教訓となった。

石油危機発生後は、構造設計に関しても省エネ対策が求められ、構造重量の軽減要求は従来に増して強くなって行った。前述した様に1980年頃新製鋼法によるTMCP高張力鋼が製造され、溶接性にも優れ大幅に高張力鋼の使用範囲が拡大し、使用鋼材の70～80%にも及ぶ船もあり、以降高張力鋼の使用率は増大し現在に至っている。

f) コンピュータの発達と利用の拡大⁽¹⁷⁾

戦後の復旧を経て、整備拡大に入る造船業界の情

勢とほぼ同時期に、コンピュータ容量も拡大し、国産コンピュータ開発が進み、各企業共新機種の導入を進めた。これを契機に積極的に、従来人間が処理している業務のコンピュータ処理化を目指し、各々独自に処理プログラムを開発利用する事から始まった。初期の独自プログラム開発による利用は、1960年頃から始まり、設計面では船舶算法(船の排水量計算、復原性計算、タンク等の容積計算、縦強度計算等)計算より始めた。建造工作面では原図作業(外板曲がり部分形状の幾何学的解析による展開作業)の数値化から開始されている。その後、個々の計算・解析から、設計・建造に関連する情報の生成に関するシステム化への移行が1965年以降始まっている。

先ず造船の設計・建造を進めるに最も基本を成す情報として、船型を表現する「線図」データがあり、このデータ情報のシステム化に各社共取り組んだ。先ず、設計段階では水槽試験用模型の作成に「線図」が必要となる。模型船でも船体表面の曲面形状がスムーズでなければ、推進性能に微妙な影響を及ぼすので線図作成には大変時間を要する。また、建造段階では出来る限り船体曲面形状をスムーズに表現する意味で、現尺を用いるか或いは写真罫書き法採用後は1/10縮尺による「フェアリング」作業を行っていたが、スペース・時間を要するのでこれらをコンピュータ処理すべく、線図作成よりフェアリングに至るシステム化が1965年頃より開始された。

線図関連システム化着手とほぼ同時期、NC切断の導入が始まった。船体構造部材のNC切断には形状に沿う切断情報のテープ作成が必要で、コンピュータの利用が欠かせぬ状況となった。船体構造は造船特有の形状・構成であるので、造船特有の図形処理言語が必要である。この言語開発にイギリス・ノルウェーが先駆けて取組み、1964年にノルウェーがAUTOKONを完成、世界の注目を集めた。わが国でも、各社が積極的に独自のNC処理用図形言語を開発し、1968年頃迄には言語を作成しNC切断機を各社とも導入、大型船大量建造に貢献した。

NC切断情報を作成する図面処理言語は完成されたが、船体構造全体を示す図面から切断部材情報が直接作成出来れば、関連する工作・管理情報等も付加出来建造工程に有用である。特に、先に述べた線図システムには、船体の形状を示す情報のみではなく、船体周りの外板の縦縁(シーム)・縦通材(ロンジ材)位置情報を含めてシステム化されているので、構造図面情報と一体化したCAD(Computer Aided Design)システムの完成は大変効果が期待出来るこ

とから、各社共積極的に取組む事になった。更に設計から資材・生産管理過程を包含する造船CIMS (Computer Integrated Manufacturing System、一般的にはCIMと言うが造船ではこのように呼称した)の開発へと進み現在に至っている(資料-1216)。

設計より生産過程に及ぶトータルシステム化は、船体構造・艤装品が複雑・膨大な数より構成されているので容易ではない。この課題究明についても、1977年造船学会内に、システム研究委員会を設置し、産学による研究を行っている。

一方、設計技術関係でも述べたが、船型の大型化に伴い、構造強度解析・船型設計に関する解析技術の高度化が必要となった。コンピュータの利用により解析精度の向上が期待出来る様になり、1967年頃から船体構造解析に広く利用され、1980年頃からは船型設計に関する流体解析をCFDにより行う事になった。

業界全体が船型の大型化と建造量増大にタイミングよく対応出来た一面に、コンピュータの発展を捉えその利用に努力し、成果を広く活用したことがあると考える。

4 年代毎の技術と建造船

戦後の大型タンカー建造に関する技術の変遷は、先に述べた表3.2.1に示す年代区分に大別出来ると考える。

戦後復興期	(1945～1956年)
整備拡大期	(1957～1966年)
拡大繁栄期	(1967～1977年)
縮小調整期	(1978～1987年)
構造改革期	(1988～現在)

各々の年代に開発された特徴的な技術項目を抽出し、開発技術と当時建造船されたタンカーとの関連につき以下に述べる。

4.1 戦後復興期(1945～1956年)

第二次大戦の敗戦により、わが国の産業界は大きな被害を受け、社会環境は食糧難などでどの様に復興すべきか、将来を見通す状況にはなかった。しかし、終戦の1945年末頃より当時の造船協会(現在の造船学会)にて、戦後の造船復興に向けた研究のあり方が論ぜられ、学会内の研究委員会組織づくりが始まった。その中で、従来学問的に余り興味を持たれていなかった建造法に関する研究委員会の設置があった。この研究委員会は、先に述べた「鋼船工作法研究委員会」、「電気溶接研究委員会」として発足し、大学・各企業の技術者の熱心な活動により多大な成果が得られ、造船業繁栄の大きな基盤をなした。

この研究委員会を中心にした研究活動により得られた、溶接・ブロック建造法に関する技術、ならびに建造されたタンカーにつき以下に触れたい。

(1) 鋼船建造法の大改革

戦後の造船技術革新で最も画期的な事は、鋼板の接合を全て溶接結合とし、結果として建造法も船台上での組立主体より、地上でのブロック建造を行い、ある大きさのブロックを組立後、船台或いは建造ドックにて搭載建造する方式へとの変革である。この建造方式は、既に戦時中の戦時標準船改E型(870総トン型)の量産建造時に、溶接接合を採用し地上で多数のブロックを建造し、船台ではブロックの接合のみとし、短期間での大量建造を行った実績がある。この戦時標準船は、新建造方式を採用する為、新設した簡易造船所「播磨造船所の浦」、「三菱重工若松」、「川南工業深堀」、「石川島東京造船」にて建造された。この大量建造方式の考えをもとに、鋼船工作法研究委員会にて各企業

より集まった技術者等により議論を重ね、溶接を全面的に採用する建造技術の構築がなされた⁽⁶⁾⁽¹⁸⁾。

一方、溶接による建造方式の早期採用を実現させたのは、全溶接船「新和丸(載貨重量 1,800トン、船長 65.0メートル)」(資料-1002*)が1948年に竣工した事⁽⁶⁾⁽¹⁸⁾にあると思われる。本船は株式会社播磨造船所の六岡周三の強い意志で、東大教授吉識雅夫、日本海事協会常松四郎、元海軍福田烈等の技術協力を得ながら、株式会社播磨造船所の技術力を結集し完成させた全溶接船で、大変良好な運航実績を残した事が、溶接の全面採用を大きく促進させたのは事実であろう。

しかし、この時代は西欧造船所には遅れをとっており、西欧造船所の視察が、講和条約発効前より行われ、広く関係者に報告され技術・設備の整備の参考に供されていた様である。当時の報告でわが国より進んでいたのは、生産施設・設備機器等であり、特に写真罫書き、写真ネガを用いた自動ガス切断機、サブマージーク溶接機の普及が挙げられる。加えて従業員数が少なく管理方式も充実していること等が報告されている。その後1961年に行われた西欧の状況調査結果では、大型船の建造設備が未完であった事を除き、殆ど同レベルに達している事が報告されており、戦後15年で技術レベルは西欧に並んだと言える様である⁽¹⁸⁾。

溶接を全面採用する事によるブロック建造法は、前述した通り流れ作業により地上でブロックを建造し、そのブロックを船台で搭載組立てる順序で行われるが、組立作業を行うに際しての種々の情報を記述する工作図が必要となった。この新しい加工・組立を実施する施工法につき、鋼船工作法研究委員会にて討議を重ねて1954年頃迄に、「鋼船工作法基準」を作成刊行している。

新加工・組立法は、構造部材の切断加工段階にも現われた。部材を切断するには罫書きが必要で、従来は原尺原図法で行われていたが、1953年にフォトマーキング装置⁽⁹⁾(資料-1044*)の導入が三井造船でなされた。また、1955年1/10縮尺で描かれた原図を、更に1/10の写真ネガに撮り、このネガの切断線を光学的にトレースする事により、原寸の部材をガス切断する「モノポール」(写真4.1.1)をドイツより輸入して使用を始めた。この縮尺原図法の採用により罫書き・切断工程の効率化が行われた。この年代のガス切断・機械切断・溶接採用率を表4.1.1に示す。溶接採用率は急激に増大して行ったが、当時の溶接法は、ユニオンメルトによ

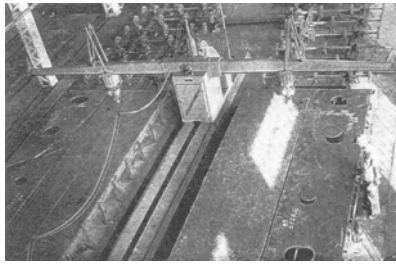


写真4.1.1 モノボール (造船技術百年史)

年 次	機械切断 使用率	ガス切断 使用率	船体溶接 使用率
1944 年 (昭 19)	95%	5%	21%
1952 年 (昭 27)	60%	40%	85%
1956 年 (昭 31)	5%	95%	95%

表4.1.1 溶接採用率 (造船技術百年史)

るサブマージーク溶接法と手溶接の二種類であった。後者の場合はイルミナイト系被覆溶接棒によったが、その後溶接棒は、比較的均等で1層の脚長が大きく出来る高酸化鉄溶接棒へと変わって行った⁽⁶⁾。

(2) 建造船と技術

造船業の復興を目指し、溶接の全面採用とブロック建造法に関する精力的な努力、海運界の船腹量確保に対する政府の計画造船施策、並びに建造量増大に向け輸出船受注への努力などにより、業界の受注量は確実に伸びた。1949年から1956年迄の各年の建造実績は付録表1の通り順調に増大している。1956年には建造量が急激に増大し、前年まで世界一の建造量を維持していた英国を抜き、建造量世界一となった。

建造法の革新並びに新しい施工法に対する設備投資の効果により、建造の合理化が進み建造期間の短縮が可能となり、建造量の拡大が可能となった。溶接とブロック建造法採用により工作法技術は戦前より大きく変わったが、この年代の設計手法には、前述の組立製造工程を示す工作図の作成以外、あまり大きな変化は見られない。しかし、船型の大型化傾向と性能面での向上を目指す技術開発は着実に行われている。船型設計に関しては、試験水槽委員会にて、模型試験結果と実船の推進性能を、より精度高く結びつける技術に注力している。その中で戦争により損害を受けた水槽設備の復旧がある。三菱造船株式会社(現三菱重工)長崎研究所は、当時世界第2の長さ285メートル水槽を1953年8月に完成した(資料-1249)。当時としてこの水槽設備は、特に計測精度向上に注力した設備となっている。同時期実船における運航状況を把握する為「白馬山丸」、「日聖丸」による実船実験を行い、実船

と模型船による試験結果の相関関係をより精度よく把握すべく努力が為されている⁽⁷⁾⁽¹⁹⁾。

構造強度関連では、船型の大型化傾向に伴う縦強度問題のほかに、溶接時に生ずる熱影響による残留応力、使用鋼材の脱酸処理方法の違いによる材料の低温脆性破壊といった問題もあった。しかし、溶接施工と密接に関係した鋼材の低温脆性破壊問題を考慮して、急激な変化を避ける慎重な設計的な判断により、3.3.2 e) 項で述べたとおり1963～1964年頃までに建造された船は、一部鉚接箇所を残した構造配置となっていた様である。

敗戦の混乱の中、溶接による新建造法についての研究成果を、実際の建造現場に広く且つ迅速に活用する事により、建造量を着実に増大し、前述の如く1956年にはわが国の建造量は世界一となった。この間建造された船種は貨物船が多数であるが、輸出船が急増しその中にはタンカーが多く含まれた。

溶接建造採用の先駆となったのは、前述したとおり1948年に播磨造船所で建造された実験船的意味を持つ「新和丸(載貨重量1,800トン)」(資料-1002*、写真4.1.2)である。この船の良好な就航実績により、1950年溶接率90%とした「日栄丸(載貨重量19,000トン 播磨造船所)」(資料-1003*、写真4.1.3)を完成している。当時としては、画期的な溶接採用率で、使用鋼材を600トン節減し、載貨重量において約1,000トンの増加があったとの記録がある⁽¹⁸⁾⁽²⁰⁾。



写真4.1.2 新和丸

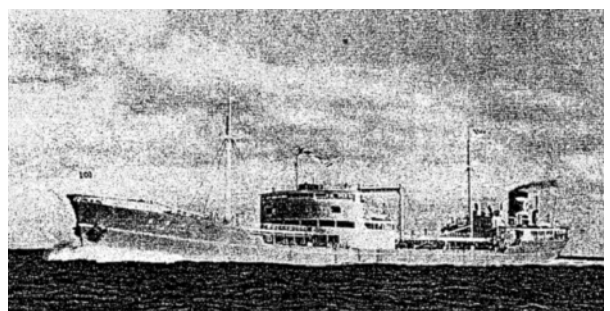


写真4.1.3 日栄丸

溶接率は日栄丸の完成以降1～2年の間は、表4.1.1にある様85%程度の採用率となっている。溶接率85%～95%には一気に進んだが、その後しばらくは低温脆性破壊阻止を考慮し、一部の外板・甲板の縦縁継手(シーム)を鉚接とする設計が続いた。

1950年以降に建造されたタンカーにつき、産業技術史資料調査に提供頂いた資料を中心に概要を説明する。

1950年に早くも輸出船の第1号「FERNMANOR(載貨重量18,400トン 川崎重工)」(資料-1004*、写真4.1.4)が完成引渡されている。以後引続き完成した



写真4.1.4 FERNMANOR

輸出船は、国内船に比し大型船型で1952年完成の「ADRIAS(載貨重量 20,000トン 日本鋼管)」(資料-1006*)、「EURYCLEIA(載貨重量 24,600トン、主機関にディーゼルを搭載、三菱東日本)」、1953年完成の「PATRICIA(載貨重量 29,700トン、主機に12,000馬力ディーゼル搭載 川崎重工)」、同じく「STANVAC JAPAN(載貨重量26,500トン、当時最新高温高压蒸気タービン採用、三菱造船)」(資料-1005*)等があげられよう。

また、同年代に完成した国内船主向けでは、1951年完成の「あらびあ丸(載貨重量 18,400トン 日立造船)」(資料-1032)、1952年完成の「聖邦丸(載貨重量 20,400トン 川崎重工)」、1953年完成の「祐邦丸、高邦丸(載貨重量 28,200トン キルド鋼を採用 播磨造船所)」がある。

1954年以降の輸出船は、国内船主向けに比し大型化の進みが早く、1954年には「WORLD JUSTICE(載貨重量 33,000トン 三菱造船)」を完成し、1955年に至って「CHRYSANTHY L(載貨重量39,300トン 川崎重工)」(資料-1007*、写真4.1.5)、「VEEDOL(載貨重量 45,800トン 三菱造船)」と、遂に載貨重量4万トンを越える大型船が建造されている。

一方、国内船主向けでは、1956年完成の「泰邦丸(載貨重量 33,400トン 播磨造船所)」、「隆栄丸(載貨重量 33,300トン 三菱造船)」(資料-1008*)等

で載貨重量は33,000トン級にとどまる。



写真4.1.5 CHRYSANTHY L

4.2 整備拡大期(1957～1966年)

戦後の復興は着実に進み、1956年には建造量世界一を達成、順調に受注・建造量を延ばして来たが、1956年にスエズ運河の封鎖が起これ、船型の大型化傾向が強まった。しかし運河の封鎖は余り長期間とはならず、比較的早く解除となりその後は船腹量の過剰を来し、一時期輸出船の受注が大幅に減少、業界全体として影響を受ける状態となった。この海運不況は1962年頃迄約5年間続くが、わが国の建造量首位の座は、国内の所得倍増計画などもありその地位を維持出来た(付録表1参照)。この間英国の建造量は現状維持の域を出なかったが、西欧の西ドイツ、スウェーデン、オランダ等が急速に建造量を延ばし、わが国にとって大きな競争相手となった。1962年以降の輸出船成約に大変影響を及ぼす事となり、経済船型の開発と建造効率化へ向けた技術力が問われる時代となった⁽³⁾。この時代に培われた技術が後のわが国造船業を繁栄させた基礎を成したと言っても過言ではなからう。以下にポイントとなった技術と当時建造された特徴的なタンカーを挙げる。

(1) 経済船型開発

厳しい競争下にあっては、品質の高い船を低船価で提供できなければ、競争に打勝つことが出来ないのは明白である。戦後いち早く学会内に設置された各研究委員会、及び日本造船研究協会で実施された産官学の共同研究成果、学術研究成果などを活用した経済船型開発が精力的に実施された。経済船型開発には幾つかの要素があるが、船型の選定は運航性能に最も影響があるので、多くの面から検討が行われた。当時の船型選定要素で大きく変わったのが、東大教授乾崇夫提案の船首バルブ船型と幅広船型(船長/船幅 ≤ 7.0)の選

択であろう。船首バルブ付船型は高速船型の造波抵抗減少には大きな効果があるが、タンカーの様な比較的低速で肥大船型には効果が少ないのではとされていた。しかし、全般的に良好な結果が得られ、以後広く採用される様になった。

他方幅広船型導入の主眼は、前述したとおり船長が長くなると、波浪による船体全体に及ぼす縦曲げモーメントが増大し、結果として船体構造増強が必要となり、使用鋼材量の増加を来すので、その低減を図り載貨重量の増加を狙うことにある。当時の幅広船型は、後の超大型船に採用された様な幅広ではないが、従来建造されていた船長／船幅 ≥ 7.0 を 7.0 以下とする船型が採用される様になった。しかし、船幅増大による影響としては、運航時の操縦針路維持に不安定現象を起こす問題があること、また船体横方向の強度についても、船体横断面の変形増大に対応した構造強度の強化が必要となることなどがある。

経済性を重視した船型設計と同時に、船体構造の合理的な設計を行う事により、使用鋼材重量は軽減し載貨重量の増大につながる。船体構造設計改革は、日本造船研究協会で実施された「超大型船の構造強度に関する研究」、「長大油槽における荷油の運動及び制水隔壁の効果に関する研究」等の成果⁷⁾を活用し、構造部材配置の合理化を行った。具体的な構造配置の合理化としては、従来建造されたタンカーの貨物油タンク区画数の減少(具体的には貨物油タンクの船長方向の仕切り間隔の長大化)、船体横強度部材の桁板配置間隔を広げることによる部材数の減少、甲板・船底外板部縦通部材の一部に高張力鋼を採用する事による構造設計の合理化などがある。この構造設計思想は以後の超大型船建造に大きく反映されていると思う。

しかし、1963年頃に建造されたタンカーの多くに、就航後比較的短時間に細部構造部分にかなりの数の亀裂損傷が発生した。この事故対策に各企業の構造設計者と日本海事協会等が協力し、構造設計の見直し改良を行い、以後の超大型船の構造設計法へ大きな指針を与えた。以後この構造設計法を採り入れることにより、構造強度に関し特に問題を起こすことなく経過出来た。

(2) 建造効率化技術

1956年建造量世界一を達成後、海運界の不況により一時発注が減少し、建造量は延びなかったが建造量世界一は以後も維持し、大型化への技術開発、設備拡充は着々と進められた。この年代に入ると溶接率は90～95%と略全溶接に近かったが、前述の通り脆性破壊阻止の目的で鉚接箇所が一部残されていた。ほぼ全溶接

に近い船体構造の溶接作業効率向上を計るべく、溶接方法、溶接機器、溶接材料等あらゆる角度から改良・開発が進められた。

溶接方法では、前述のとおりサブマージアーク溶接法の研究を進めるべく、1950年に海外メーカー製の「ユニオンメルト」を購入して各社で徹底的に使用条件、溶接状況などを調査し、国産サブマージアーク溶接機の開発を実施した。その後1960年以降は独自の溶接施工法、溶接材料を開発し、板継溶接の自動化に大きく役立てた。更に合理化を目指す片面サブマージアーク溶接法の開発に1962年頃から取組み、大型船建造最盛期にこの片面自動溶接法は大いに効果を挙げている(資料-1221, 1222)。

造船の溶接長は莫大な量であり、桁などの構造部材を取り付ける隅肉溶接長が板継溶接長に比し遥かに多いので、隅肉溶接の能率向上に関する溶接方法が考案されている。隅肉溶接の効率化に大きく寄与したのはグラビティ溶接(資料-1223)で、この年代から広く採用される様になり、以後この方式を参考に桁、骨材の組立加工をする自動化溶接の考案がなされている。溶接効率の向上に向け、溶接時の様々な溶接姿勢に対する効率的な溶接方法の研究も当時盛んに行われ、種々の装置、機器類の開発が行われ後年の建造効率化に供している(資料-1221)。

溶接法の合理化・品質向上に対する取組みは目覚しく、種々の成果が得られ、鋼材の規格も既に制定され、厚板の圧延技術向上等により、この年代末期(1963～1964年頃)に完成する船は全溶接構造となっていた様である。

ブロックを構成する鋼板部材の切断加工を行うには、罫書きが必要となる。1953年以降海外より導入された写真マーキング装置他の影響を受け、国内では独自に鋼板の表面に光導電性酸化鉛を含む塗料を塗布して行う電子写真罫書法(EPM: Electro Photo Marking)⁽²¹⁾(資料-1219, 1046*, 図4.2.1)を1962年

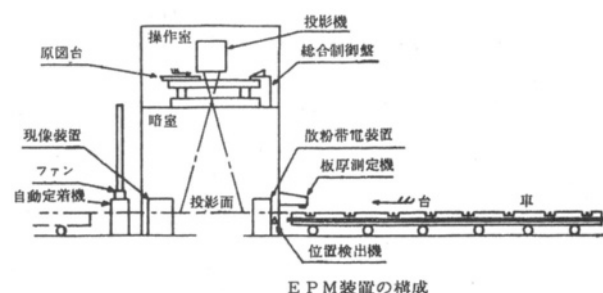


図4.2.1 電子写真罫書法 (造船技術百年史)

活用された。

同時に原図作業の中で、曲面板・曲がり骨材の平面への展開作業を数値表現により行う開発が行われ、コンピュータ処理するプログラムを完成させた。この数値化の実現は、原図作業の効率化へ大きく寄与すると同時に、前述した線図システム、NC切断導入等構造部材の生成工程システム構築へ大きく貢献している。船台に搭載するブロックの組立ては、先に述べた溶接工場にて流れ作業方式で行うが、板継ぎ、桁・骨材の組立て取付け方法等につき、能率向上を指向して自動化を含め検討が行われ始めたのがこの時代である(資料-1210, 1211)。

1956年以降約10年間の船型大型化に対する設備の増強は、主として現有船台の部分的拡大、クレーン能力増大、溶接工場設置などが主であった。その結果載貨重量10万トン超の大型船が、分割建造法等の採用によりこの時代後半各所で建造されている。しかし、現有造船所内での拡張は限度があり、1965年完成した三菱重工長崎造船所内に設置された30万トン建造ドック並びに旧海軍工廠設備流用以外は、各社とも新臨海工業地域に独自の考えを入れた新工場設置計画を纏め、1966年以降2～3年の間に30～50万トン級ドックを完成している(図3.3.2, 付録表4参照)。その中で石川島播磨重工横浜第二工場は他社に先駆け1964年秋完成、当時として世界最大となる「東京丸(載貨重量151,300トン)」、「出光丸(載貨重量209,300トン)世界初のVLCC」を1966年相次いで完成引渡している。

(3) 完成したタンカーの特徴

1960年頃迄の完成タンカーは、1956年以前完成の船型とはほぼ同じで、国内船主向けも輸出船と同様47,000トン型の完成をみている。一例として1958年完成「剛邦丸(載貨重量47,200トン 播磨造船所)」(資料-1011*、写真4.2.1)がある。



写真4.2.1 剛邦丸

この年代に入る以前、1951年より9年間の契約で呉海軍工廠設備の大半を、米国の海運会社National Bulk

Carriers(略称NBC)が借用操業した造船所で建造されたタンカーは、国内造船所の建造実績より大型化された船が建造されている。NBC呉造船所で建造された大型船は、基本設計図は米国で作成され、この図面を基に効率的な建造法を、NBC呉造船所の技術者が検討を重ね、当時としては画期的な大型船の完成をみている。溶接構造を全面的に採用した大型船の建造法を、国内造船所が共同で実施していた研究とは別に、独自に「真藤 恒(元石川島播磨重工社長、NTT総裁)」を中心に研究を重ね完成させた大型船である。NBC呉造船所で建造された大型船として、1957年完成「Universe Commander(載貨重量85,700トン)」、1959年完成「Universe Apollo(載貨重量114,400トン)」があり当時建造されたタンカーとしては世界最大である⁽⁸⁾⁽¹⁸⁾。

特徴的な建造法により1957年に完成した「RUNNER(載貨重量38,500トン 川崎重工)」(資料-1009*)は船尾機関室を含む総重量2,800トンの巨大構造ブロックを、船台横で建造した後に船台に横移動させ、その後それより前部の構造を完成させた工法による船である。この工法は船台占有工期の短縮と全体建造期間の短縮による効率化をはかったものである。

1961年以降に完成したタンカーは、載貨重量も5万トンを超え且つ経済船型となり、それ以前の建造船とは異なった新しい設計方針を取り入れている。先ず船型設計に船首バルブを採用すると同時に幅広船型の採用が多く見られる様になり、貨物油タンク区画長さを長くし、タンク数の減少と共に、タンク内構造様式の改革を実施し使用鋼材重量の大幅軽減を行った設計となっている。

1961年完成「NAESS SOVEREIGN(載貨重量88,500トン 三菱造船)」(資料-1012*)は船首バルブを設けた船型とし、当時の最大船型である事から船体強度の確認を、船体構造模型による強度実験を実施し、周到的プロセスを経て建造された。また船体縦強度を確保するには、甲板・船底外板の厚さを45mmとしなければならなかったが、厚板の溶接を回避すべく二重張構造とした。この二重張構造施工のために新しく開発した溶接施工法「裏波溶接法」を実施したが、この溶接方法が後の片面自動溶接法の開発へと繋がった⁽²²⁾。

同じく1961年完成の「亜細亜丸(載貨重量48,300トン 石川島播磨重工)」(資料-1068)は幅広船型で所謂「ずんぐり船型」の契機となった船型で、従来の設計より船長を8メートル程度短くする事により、使用鋼材を250トン減少出来たので載貨重量も増加し、以後のタンカー設計にこの思想が広く採用される様になった⁽¹¹⁾。

1962年には当時として世界最大の「日章丸(載貨重

量132,300トン 佐世保重工)」（資料-1014*、1015*、写真4.2.2）が完成就航している。船型設計は、船首バ



写真4.2.2 日章丸

ルプ付・船長／船幅＝6.4とした幅広船型であり、また船の深さを増す事により、船体長さ方向の構造曲げ剛性を増す事が可能となり、甲板・船底外板に高張力鋼を使用せず板厚は38mmとする事が出来、溶接施工を容易にした。鋸継手は甲板・船底外板の一部縦縁に残されたが他は全て溶接構造を採用した⁽²³⁾。

引続き幅広船型の採用は広がり、同時に可能な限り喫水を深くする経済船型設計が行われる様になった。貨物タンク構造はウィングタンク長さを、従来の15メートルから30メートル長さに変更する合理化構造が広く採用されている。このタンク配置を採用したタンカーとして1962年完成の「成和丸（載貨重量49,900トン 三菱造船）」、「利洋丸（48,200トン 佐世保重工）」、1963年完成の「大和丸（載貨重量71,500トン 三菱造船）」、「PHILLIP S NIARCHOS（載貨重量92,200トン 三菱造船）」等がある。

1963年になると主機をブリッジ(操舵船橋甲板)から遠隔操縦する自動化装置のほかに、貨物油荷役の際の配管弁の遠隔操縦装置、機関室内機器類の自動化が進んだ。船橋配置も従来の船体中央部より後部への配置に変わっていった。自動化装置を採用したタンカーとして「RALPH O RHOADES（載貨重量48,800トン 川崎重工）」(資料-1016*、写真4.2.3)、「泰光山丸(載



写真4.2.3 RALPH O RHOADES

貨重量69,500トン 三井造船)」、「大和川丸(載貨重量51,500トン 川崎重工)」(資料-1013*)、「KINNADAN(載貨重量65,000トン 三井造船)」(資料-1025*)等がある。

1964年以降大型化の進行は早く、10万トン超タンカーが建造されている。建造設備は従来の船台設備の増強程度に過ぎなかったが、建造方法につき種々工夫され、分割建造し接合完成させる工法等が採られた(資料-1208)。完成した船としては1965年完成の「菱洋丸（載貨重量91,000トン 三菱重工）」(資料-1020*)、「山寿丸（載貨重量121,400トン 日立造船）」(資料-1019*)があり、これらは2分割建造されている。

この年代に完成したタンカーに高張力鋼を採用する船が実現し、1965年完成「昭和丸（載貨重量104,500トン 日本鋼管）」(資料-1021*)、1966年完成「PEMBROKE TRADER（載貨重量78,600トン 川崎重工）」(資料-1024*)等がある。

1964年秋完成した石川島播磨重工横浜第二工場で、1966年1月に当時として最大船型となった「東京丸（載貨重量151,300トン）」(資料-1022*、写真4.2.4)が



写真4.2.4 東京丸

完成している⁽²⁴⁾。東京丸は貨物油タンク数を極端に減らし合計11タンクとし、最も長いタンクは、54メートルと従来のタンク長さの約2倍となっている。船体中央部分に配置された貨物油タンク11タンク、バラスト水専用タンク3タンク合計14タンクは、従来建造されてきたタンカーに比しその数は著しく少なく、船体構造配置の合理化へ大きな影響を及ぼしている。このタンク配置を可能にしたのは、前述した日本造船研究協会で実施された、「長大油槽における荷油の運動及び制水隔壁の効果に関する研究」による成果が大きい。船の全長は306.5メートルあるが、船橋配置は船体後部のみに配置し、主機関の船橋からの遠隔操縦、並びに貨物油荷役、機関室内機器類の自動化を採用している。

引き続き「出光丸（載貨重量209,300トン 石川島播磨重工）」(資料-1017、写真4.2.5)が同年12月に完成



写真4.2.5 出光丸

し、当時の世界最大船型でVLCCの先陣を切った⁽²⁵⁾。出光丸も東京丸と同様、貨物油タンク数を極端に減らし合計12タンクとし、最長タンクの長さは、65.16メートルと東京丸より更に長く巨大である。また、高張力鋼規格の制定もあり、大幅に50kg/mm²高張力鋼を使用し、自動化も広範囲に採用し、経済性向上を目指した。出光丸は全長342メートルとなるので、操船上の見通し維持を考慮して、当時は船橋の配置を船体中央部より船尾に移す傾向にあったが、本船は中央部に設置してある。主機は再熱サイクルを採用した33,000馬力蒸気タービンを1基設置している。

この年代に完成したタンカーの設計は、以降の超大型船建造のほぼ大枠を形成したと言えよう。

4.3 拡大繁栄期(1967～1977年)

世界の石油消費量は経済の発展と共に急激に増大し、タンカー船腹量の拡大需要は著しく、わが国の受注量は極端に拡大して行った。船型の大型化も短期間に進み、載貨重量は過去の2倍を超えて50万トン型の超大型船が出現した。受注量の増大に伴い、年間の建造量も1967年の7,500千総トンから1975年には18,000千総トンと2倍以上に拡大し、この年代の建造量は世界の50%近くを確保していた(付録表1参照)。その対策として設備の増強と共に、建造量の具体的な消化の見地より、建造の合理化と省力化建造方法に努力が払われている。

一方、船型の急激な大型化に対する構造強度の安全性確保には、コンピュータの大容量化により詳細な構造解析が可能となり、従来に比しより安全性の高い設計が可能となった。

(1) 建造設備と建造法の合理化

1965年から1970年にかけての輸出船受注の増大に伴う建造量増大に対し、建造の合理化を計るべく溶接方法に関する改良・開発が活発に行われ、更に超大型船

に適應させる改良も同時に行われた。新しく計画された各社の大型船建造造船所設備は、1966～1969年にかけて完成、各々稼動に入った。1970年以降更に大型化対応新設建造ドックが、建造方法を工夫した設備と共に完成している。大型船建造造船所の一覧は前述図3.3.2(付録表4参照)に示す通りである。

新しい建造ドック設備については、ドック内での工程を平準化するセミタンデム建造方式(2隻を並行して建造する方式:図4.3.1参照)(資料-1207)⁽²¹⁾を採用

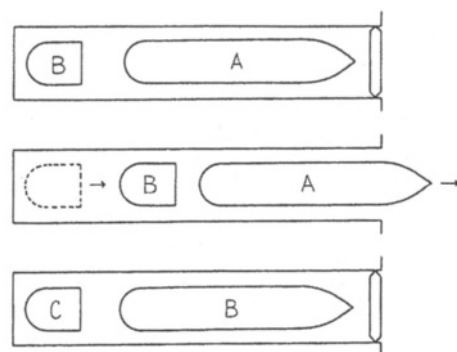


図4.3.1 セミタンデム建造方式(造船技術百年史)

する事が多く、ドック長さは付録表4からも判るよう大変長く建設されている。充分な長さのないドック配置の場合は、他の修繕ドック等との併用による建造法を採っている例もある。建造ドックには大型ブロックの搭載を可能とする、吊り上げ能力300トン級的大型クレーンが各所とも2基設置されているケースが多い。

ドック内での搭載に至るまでの大型ブロック組立作業を行う加工・組立工場の配置は、各社の考えにより異なり、NC切断、溶接、組立方法等合理化された新しい考え方を採用した機器、方法により整えられている。

従来罫書き・切断の工程では、縮尺原図を使って切断を行う装置を各社で採用していたが、構造部材の大型化により精度の確保が難しくなりつつあった。1952年頃米国で開発されたNC機械加工技術を基にして、西欧造船界でも1964年に構造部材切断加工に適用出来る技術を完成した。わが国でもほぼ同時期にNC加工導入に向け積極的な検討が始まり、1965年に日立造船がNC切断機を最初に導入した。以降各社ともNC切断を導入すべく、加工データ作成の為に図形処理言語の開発を進め、独自の図形処理言語を完成した。1970年頃から各社ともNC製図機・切断機を導入したことにより、構造部材切断効率・切断精度が向上し、組立工程の効率化にも寄与出来た様である。NC切断は当初ガスで行われたが、プラズマ切断に変わって行った(資料-1218, 1045*、図4.3.2、写真4.3.1)。

溶接方法も建造量の増大に対し更なる効率化・自動

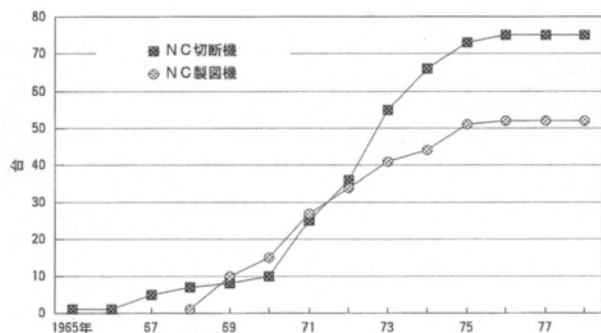


図4.3.2 NC機械普及状況 (造船技術百年史)

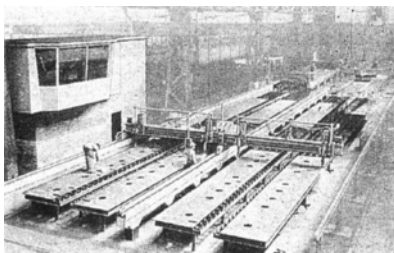


写真4.3.1 NCガス切断機 (昭和造船史)

化へ向けた研究開発が活発に行われた。1962年に開発された片面サブマージーク溶接は、当初端部にワレを発生する問題があったので、それを回避すべく裏当て方式の研究が行われ、平板の溶接には殆どこの溶接法が採用される様になった。また、板厚の増大に伴う溶接効率の向上に、二電極または三電極サブマージーク溶接の採用が必要となった。この様な大入熱溶接を行うと溶接熱影響部の切欠靱性は母材に比べ大幅に低下するので、鉄鋼各社の協力を得て大入熱用50kg/mm²高張力鋼の開発を行った。同時にドック内のブロック溶接部にもこの溶接方法が適用される様になり、足場の悪い溶接現場には大変効果があった。ドック内のブロック継手に対しては、下向き溶接以外に溶接部の立向き・横向き・上向き溶接が存在する。下向き以外の溶接法として、立向き自動溶接法としてエレクトロスラグ・エレクトロガス溶接法が開発され、ブロック継手の溶接効率向上に大きく貢献した⁽⁶⁾ (資料-1221, 1228)。

巨大ブロックの建造方法として、新しい方式が考案されている。三井造船千葉工場のウィングタンク巨大ブロックを組立てるROTAS方式 (資料-1246、図4.3.3、写真4.3.2)、住友重機械工業追浜工場のガンマシステム (図4.3.4、写真4.3.3)、石川島播磨重工呉工場の足場架設を必要としない作業ユニットなどは大型タンカーの建造には有効な方式であった。

各社とも構造部材の加工・溶接方法については基本的に同じ要領で施工していた様であるが、組立・搭載方法は各々独自の方法を考案しており、大量工事量の消

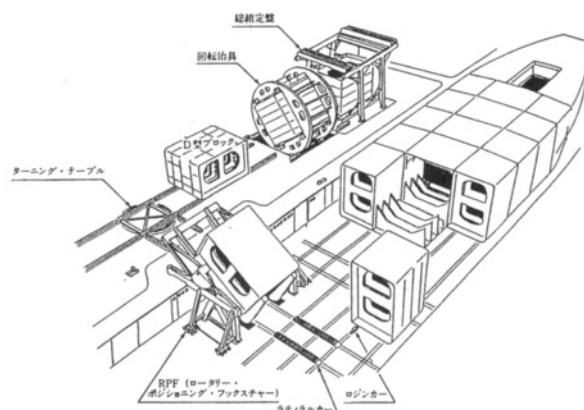


図4.3.3 ロータスシステム (造船技術百年史)



写真4.3.2 ロータスシステム (日本造船工業会30年史)

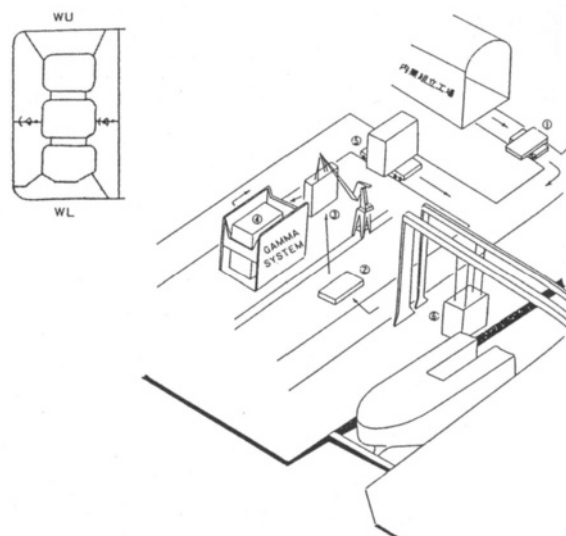


図4.3.4 ガンマシステム (造船技術百年史)

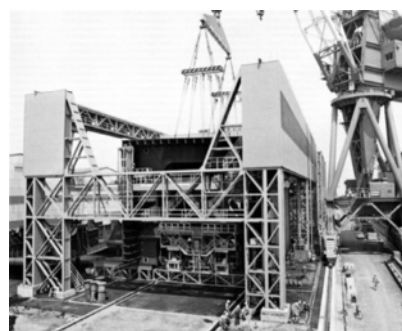


写真4.3.3 ガンマシステム (日本造船工業会30年史)

化に対する努力が伺える。

この年代に入りコンピュータ容量の拡大により、設計面では利用率が増大したが、建造面では先に述べた線図関連データのシステム化とNC加工の構造部材の図形処理が主で、一部機装品の管材への加工・管理、工程計画・管理の一部に利用開始された程度であった。

(2) 超大型船設計技術

超大型船の幅広ずんぐり船型設計は、理論解析主体では解決出来ず水槽試験が重要な役割を担っていた。大型船の水槽試験は、計測する抵抗値の計測精度が非常に重要となり、模型船の大きさも6メートル程度が必要となる。また、船型設計は各社の受注競争の上で重要な要素でもあるので、各社は各々独自に水槽試験設備の整備を始めた⁽²⁶⁾。各社の試験水槽設備の概要は表4.3.1の通りで、船型設計に大いに貢献したが、残念ながら一部設備の完成が大型船建造の最盛期より遅れた事である。水槽設備の完備によりずんぐり船型周りの流れの現象把握が向上した。特に、船尾付近の流れ現象の把握、プロペラ面内の伴流分布計測等により、実船との相関関係把握向上にも大きく前進し、船型設

表4.3.1 国内大型設備水槽一覧

	長さ(m)	曳引車速度 (m/s)
三菱重工	285	10
石川島播磨重工	210	12
三井造船	220	7
日本鋼管	240	7
明石船型研究所	200	6
住友重機械	120	4
船舶技術研究所	400	15
防衛庁技術研究本部	339	15
日本造船技術センター	207	5

2001国土交通省調

計の高度化に繋がった。

1965年頃よりコンピュータは第3世代と言われる大容量となり、利用方法も個々の計算・解析への利用のみならず、システム化による利用方法への転換期となったように思われる。先に述べた、船型関連の基礎情報となる線図データの生成に始まり、設計・加工工作への情報利用面で一層の生成精度向上と利用の拡大を目指し、線図システムの開発⁽¹⁷⁾が盛んに行われた。NC切斷導入に際しての構造部材処理言語にも線図デ

ータの生成が大きく関連していた。

コンピュータの大容量化は、計算容量が膨大となる構造解析には大変好都合で、船型の急激な大型化に対して必要な解析を実施するのに、うまく合致し大幅な利用状況となった。構造解析への利用は、解析精度の必要性により異なり、高精度の解析を必要とする場合は、1967年頃より実用化されつつあった有限要素法(FEM解析)を適用した。当時FEM解析を適用する例は稀であったが、船体構造の広範囲な部分への適用例がある。FEM解析は入力情報の作成に多大な労力を必要とするので、当初は貨物油タンク構造を骨組構造にモデル化し、汎用に作成されている骨組構造解析システムにより実施する事が多く、必要に応じて詳細解析結果を求められる個所についてFEM解析を実施していた。本来船体構造は甲板・外板・隔壁等の板構造を桁板・骨部材で補強する構造である故、解析手法としてはFEM解析が望まれるが、骨組構造によりモデル化された解析でも構造部材の応力分布状況の把握が可能となり、構造部材細部の応力分布を求められる様になった。その結果、先に述べた1963年頃の建造船に発生した損傷も避ける事が出来、多数の大型船建造に何ら支障を起こす事無く、大量工事量消化が出来たと思われる。

一方、構造解析に必要となる構造に付加される荷重の中で、波浪による荷重算定が困難であった。波浪影響荷重は、前述の波浪による船体運動によって生ずる流体力の解析を行うストリップ法解析結果から導き出せる事もあり、船体運動応答把握と共に実用性の観点から、1970年頃より多方面でストリップ法解析のシステム化が行われた。多くの企業・大学でシステム化された結果を比較し、以後の実用化に供される様改良され、船体運動応答と同時に波浪変動圧力が算定出来る様になり、船体構造解析精度向上にも寄与した。

この年代のコンピュータ発展は、船型大型化・大量建造の造船業界にとっては大変タイミングよく、造船サイドも積極的に利用・活用出来た事が特徴づけられよう。

(3) 大量に建造された大型タンカー

1966年完成した出光丸を皮切りに、1977年頃迄に載貨重量20万トン超のVLCCが国内船主、海外船主向けに大量建造され、同時に大型化も進み10年間に20万トンから50万トン級の出現に至った。

出光丸完成の翌1967年、当時として最大の輸出船でディーゼル主機を搭載した「BERGEHUS(載貨重量202,600トン 三菱重工)」(資料-1027*)が完成している。

1968年以降、世界石油大手のシェルグループから国

内造船4社（三菱、石播、日立、川重）で合計11隻のVLCCを受注建造引渡している。1968年に第1船「MACOMA（載貨重量206,700トン 石川島播磨重工）」が完成している⁽²⁷⁾。シェルグループは世界中に合計22隻の同型船を発注したが、当時の建造船には機器類の遠隔操作などの自動化を採用する傾向にあったが、本船は保守メンテナンス面を重視し自動化の採用には慎重であった。この大型発注により世界的な大型船ブームが起きたと言えよう。

同じく1968年に30万トン超のULCC「UNIVERSE IRELAND, UNIVERSE KUWAIT（載貨重量326,600トン 石川播磨重工、三菱重工）」（資料-1028*、1029*、写真4.3.4）が完成している⁽²⁸⁾。本船は2社が各々3隻



写真4.3.4 UNIVERSE IRELAND

受注し、慎重に強度解析など共同設計を実施し、完成後貨物油タンクに海水を張り、タンクの強度実験を実施し解析結果との精度比較を行っている。載貨重量が30万トン超となったのは、貨物の中継荷揚基地（CTS：Central Terminal Station）を設置し、この基地より7～8万トンタンカーにより一般の港湾施設へ運ぶ形式としたので、運航喫水を他船より深くとることが可能になったことによる。当時建造されたVLCCの喫水は通常18～19メートルであったが、本ULCCは喫水24.7メートルと深い喫水が選べたので載貨重量を急激に増大できた。喫水の増大により船の深さも増加し、その結果、船体強度の強化が必要となった。しかし、喫水増大により船の深さも増大し、結果として長さ方向の船体縦曲げ剛性が増大し、上甲板・船底外板に高張力鋼を使用することなく、軟鋼による35mm以下の板厚で施工出来た。運航面では安全性を考慮し、主機を2機設置、舵も2セット装備した2軸船となっている。

当時、就航船の増加・船型の大型化により、船員の不足、航行の安全性維持、作業環境の改善の必要性といった問題が提起され、日本造船研究協会において、1968年から4年間「船舶の高度集中制御方式の研究」が実施され、その成果を採り入れた大型船が建造され

ている。1970年完成「星光丸（載貨重量138,500トン 石川島播磨重工）」（資料-1069、写真4.3.5）は東芝製コンピュータ（TOSBAC3000S）を搭載し、操船に係る船位算定・衝突予防、積み付け・荷役制御、機器類の



写真4.3.5 星光丸

異常予知処理・データ記録等のシステムを作成して運航に当たった⁽²⁹⁾。ほぼ同年代にコンピュータを搭載し、高度に自動化した大型タンカーに「三峰山丸（載貨重量227,800トン 三井造船）」（資料-1070）、「錦江丸（載貨重量261,400トン 日本鋼管）」、「鳥取丸（載貨重量237,400トン 三菱重工）」等がある。何れの船も星光丸とほぼ同様に航法関連、積み付け荷役関連、機関・機器類の計測データ処理・異常診断等が主な項目であった。貨物油荷役に関する遠隔操縦など自動化は以前より進められていたが、1970年完成「沖ノ嶋丸、三菱重工」（資料-1033*）は、集油ポンプとジェットポンプを組み合わせたJSS（Jet Strip System）、各カーゴタンクの液面を検出して弁の自動開閉を行う自動集油装置、荷役状態表示装置が搭載され、荷役作業を大幅に省力化したタンカーとして特筆される。

特異な例として推進向上を計りプロペラにノズルを装備した大型タンカー「GOLAR NICHU（載貨重量215,800トン 川崎重工）」（資料-1031*）、「THOR-SAGA（載貨重量279,800トン 三井造船）」（資料-1035*）がある。

1971年には先に述べたCTS揚荷地が国内の鹿児島県喜入に設置され、ここへ入港する「日石丸（載貨重量372,700トン 石川島播磨重工）」（資料-1033*、写真4.3.6）が完成し、大型化の記録を更新した⁽³⁰⁾。本船は貨物油満載時、中東から日本への通常航路であるマラッカ海峡を通過せず、インドシナ南端のロンボック経由とする事により、27メートルと深い喫水を採用した。この大型化に対しては、「UNIVERSE IRELAND」設計時と同様船体構造強度につき、コンピュータによる解析と完成引渡し前の貨物油タンク強度試験を実施した。また、喫水増大に対しプロペラ軸の船尾管シール材の開発にも注力し建造した。本船の建造は設備増強



写真4.3.6 日石丸

された石川島播磨重工業造船所で行い、前述の新設作業ユニットを有効に活用した。

1973年には更に大型化した「GLOBTIK TOKYO（載貨重量483,700トン 石川島播磨重工業）」（資料－1034*、写真4.3.7）が完成し、50万トン級に一気に近づいた⁽³¹⁾。本船も呉造船所で建造し、広範囲の自動溶接の採用と作業ユニットの活用により大ブロックの搭載が可能となり作業効率は一段と向上した。喫水も「日石丸」と同様深く28メートルとし、船の深さも深いので「UNIVERSE IRELAND」の設計と同じく、縦強度上からの高張力鋼使用の必要性が無く、軟鋼による設計となっている。



写真4.3.7 GLOBTIK TOKYO

1973年の石油危機発生以後も、発生以前に大量受注した船で契約破棄、船型変更されたものを除き、1977年頃迄大型船の建造が続いた。1974年以降各社で建造された主な40万トン超ULCCとして「日精丸（載貨重量484,400トン 石川島播磨重工業）」（資料－1018、写真4.3.8）、「OPPAMA（載貨重量410,000トン 住友重機械）」、「BERGE EMPEROR（載貨重量423,700トン 三井造船）」、「愛光丸（載貨重量413,000トン 三菱重工業）」、「ESSO DEUTSCHLAND（載貨重量421,700トン 川崎重工）」、「ESSO TOKYO（載貨重量406,300トン 日立造船）」等が挙げられる。この中で日立造船建造「ESSO TOKYO」は船長／船幅＝5.0と最もず



写真4.3.8 日精丸

んぐり船型で、操船の不安定現象については大型実験船（長さ30メートル）により確認後建造されている。

1977年に最大ULCC「ESSO ATLANTIC（載貨重量516,900トン 日立造船）」（資料－1063、写真4.3.9）が完成している⁽³²⁾。本船は1軸船として建造されたが、操縦性・保針性の維持と推進性能の向上も期しプロペラにノズルを装備している。本船の完成を最後にタン



写真4.3.9 ESSO ATLANTIC

カーの大型化の進行は完全に止まったが、特例として1980年完成した世界最大ULCC「SEAWISE GIANT（載貨重量564,800トン 住友重機械・日本鋼管）」（資料－1053、1038*、写真4.3.10）がある。本船は1977年住友重機械が載貨重量415,400トンとして完工したが、



写真4.3.10 SEAWISE GIANT

石油危機後のタンカーマーケットの不安定状況もあり、船主の引取り拒否に合い、長期間の裁判の結果他の船主に買取られ、船長を80メートル延長し世界最大船型となる工事を日本鋼管で1980年実施した。

タンカーの大量建造と大型化で繁栄した日本造船業

は、第一次石油危機発生による大きな環境の変化により、企業経営の転換を余儀なくされる苦難な時代に入るのである。

4.4 縮小調整期(1978～1987年)

石油危機(第1次1973年、第2次1979年発生)以降世界経済情勢は、石油価格の高騰による石油消費の節減が全ての産業・社会生活に浸透し、石油消費量は大幅に減少する事になり、省エネ運動が一気に拡大した。その結果、タンカー船腹量は過剰となり、新造船建造は激減し、1978年のタンカー建造量は最盛期の30%迄に落ち込んだ(付録表1参照)。新造船需要の極端な減少に業界全体としては、設備などの削減実施を行わねばならぬ事態となり、1980年現有設備の約35%削減を実施した⁽⁴⁾。同時に競争力強化への合理化と、省エネに対する技術の開発・向上に傾注した。

(1) 省エネ対応技術

省エネ対策で最も重要な項目は、説明するまでもなく運航に必要な消費燃料の低減で、船型設計即ち推進抵抗の減少、推進効率の向上、船体重量の軽減、低燃費主機等への技術開発が必要となった。

推進抵抗・プロペラ性能に関する理論的解析⁽³³⁾は、最小造波抵抗理論、粘性流場の3次元境界層理論、不均一流れ中の非定常プロペラ理論の提唱等あり、コンピュータの利用が可能になった事もあり、かなり進歩したが水槽試験との併用はどうしても必要であった。従来と異なる新船型開発には、多角的な検討が必要となりまた水槽試験精度も要求された。水槽試験件数の増加と精度確保には、各社で新設した水槽が大変有効に活用出来たのがこの時代である。水槽試験実施では模型船の製作や、各航行試験状態の計測に相当な時間を要するので、船型を変え試験を追加するのは簡単な事ではなかった。この様な状況を変えるべく、1980年頃から船体周りの流れの状況を把握するために、コンピュータを利用した数値流体力学(CFD)を導入⁽³²⁾することが始まった。導入当初は計算手法に対する比較から始まり、粘性流体力学解析を行う解析・計算法を確立し、解析コードが幾つか開発された。水槽試験を省略出来る精度には至っていなかったが、船型設計時に適用し、波形状況、流線観測、船体表面の圧力分布等の確認に利用され、線図改良作業の迅速化に活用される様になりつつあった。

省エネに関しては船型の線図形状改良以外に、推進器の改良が種々提案されている。一つは、大型化によ

るプロペラ翼面の受持つ荷重度の増大により、プロペラ効率の低下が過去の実績で判明している事への対策である。荷重度の低下を避ける方法として直径の増大による方法がある。当時ディーゼル機関のロングストローク採用による低回転数機関が開発され、大直径・低回転プロペラの採用による効率化が行われた。大直径以外にプロペラ荷重度の低下を回避する推進器は、ダクト・プロペラ、タンデム・プロペラ、二重反転プロペラ(資料-1150, 1191)、オーバーラッピング・プロペラ、ヴェーン・プロペラ等がある。一部の例に限定されるが、この特殊推進器を採用建造された省エネ船⁽³³⁾がある。推進器自体のほか、推進器に流入する流れの変更又は推進器後流の回収方法を考慮した附加装置がある。推進器前方の流れに対しては、非対称船尾、リアクションフィン(資料-1151)、NOPS(図4.4.1)(資料-1142)等がある。プロペラ後流回収装置としては、

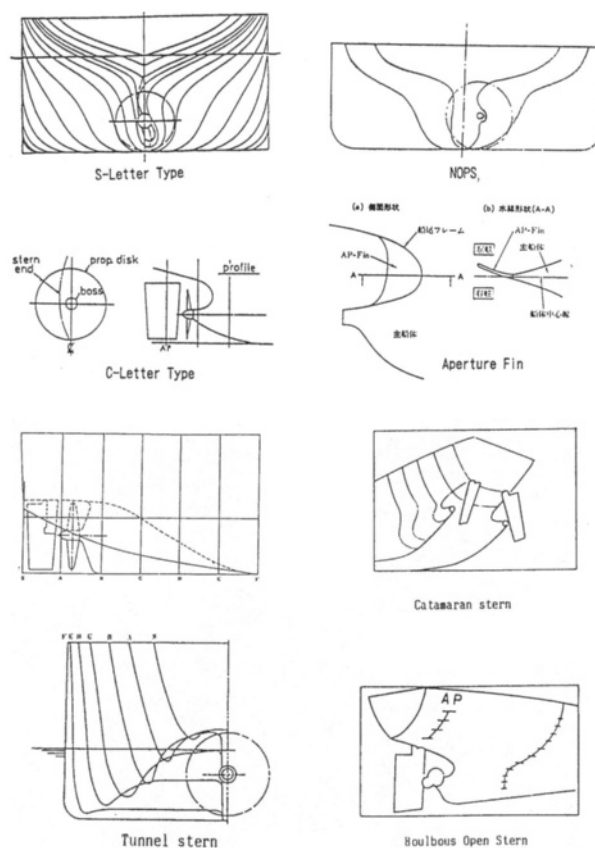
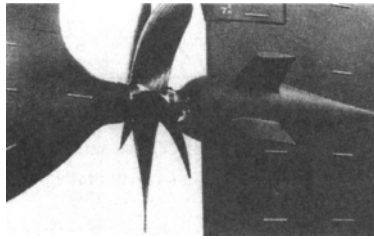


図4.4.1 各種省エネ船尾(造船技術百年史)

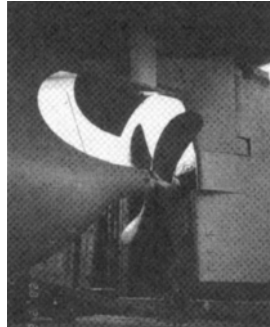
リアクションラダー、ATフィン(資料-1189 Additional Thrusting Fin)、フィン付ラダーバルブシステム(資料-1145)、SURF(資料-1141)、MIPB(資料-1148)等(写真4.4.1)がある。推進器装置ではなく、船尾よりプロペラに流入する流れの安定化を目的としたものとしてMIDP(資料-1147)、HZノズル、その他フィン形状の附加物等⁽³²⁾がある。



Rudder Bulb System with Fin



グロシュウススポイラー



SA フィン

写真4.4.1 各種省エネ船尾（造船技術百年史）

抵抗低減・推進器効率の向上策が種々行われたと同時に、推進機関も低燃費対策が行われ著しい低減がなされている。三井B&Wエンジンは、1977年にピストンのロングストローク化（資料-1188）による燃焼効率の向上と低回転を実現した⁽³⁴⁾。更に1979年には過給方式を動圧方式より静圧方式に変え、排気ガスエネルギーの高負荷時の利用度を高める事により、大幅の燃費低減を実現した。この燃費低減率は約8%を達成、一気に12gr/BHP-hrの低減となった。1982年にはシリンダー内の最高圧力を増大し、燃焼効率を増加した機種（資料-1182）、1983年には更なるロングストローク化、シリンダー最高圧力の増大、その他種々の改良、使用条件の変更等を加えた新機種（資料-1183 写真4.4.2）を発表した。この燃費は、使用条件の選定により1979年次発表の機種より更に18gr/BHP-hrの大幅低減を達成している（図4.4.2, 4.4.3）。

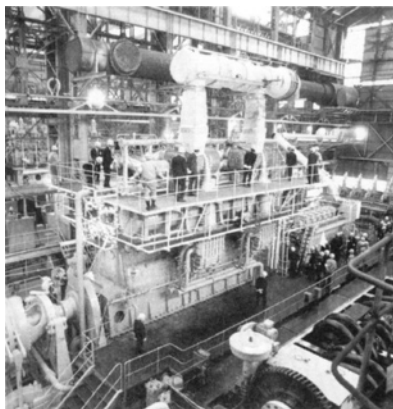


写真4.4.2 ロングストロークディーゼル（三井造船75年史）

ピストンストローク／シリンダ径の変遷

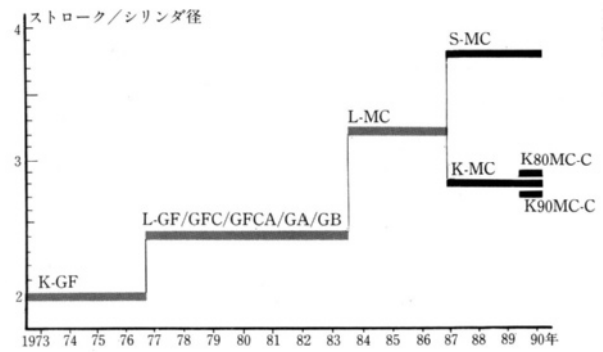


図4.4.2 ピストンストロークの変遷（三井造船75年史）

燃料消費率及び熱効率の変遷（シリンダ径800mm）

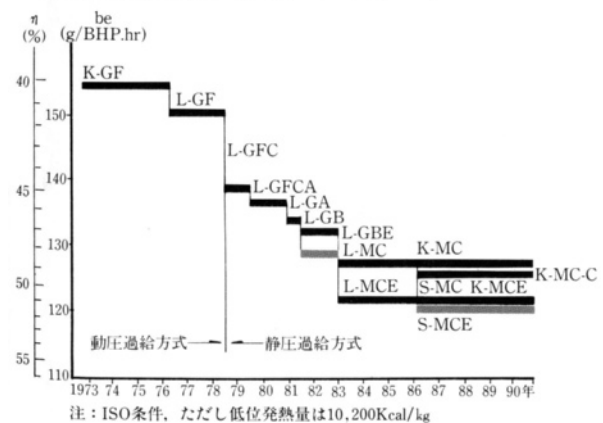


図4.4.3 ディーゼルエンジン燃費率変化（三井造船75年史）

省エネに影響を与える船体構造重量の軽減は、3.3.2 c)に述べた新圧延法によるTMCP鋼を大幅に採用する事により達成した。従来高張力鋼の使用範囲は上甲板・船底外板部分の縦強度部材にほぼ限定されていたが、溶接がほぼ軟鋼材（抗張力41kg/mm²級）と同様に行える高張力鋼の実現によって、横強度部材へも利用が拡大し、全使用鋼材の70～80%を高張力鋼とする設計になり省エネ船型設計へ大きな効果を表した。

以上の如き省エネ対策への努力の結果、石油危機以前に建造されたVLCCに比し、1985年頃完成するVLCCの燃料消費は40%程度に削減されている。但しこの省エネ効果は、航海速力の17.0ノットより14.0ノット程度への減速、船型設計要素に関連する種々の対策、主機のタービンより低燃費のディーゼルへの変更、高張力鋼の大幅採用による船体重量軽減効果といった種々の相乗効果による。

受注量の減少による設備の削減等があり、苦しい環境下ではあったが競争に勝ち抜くべく、省エネ対策の技術開発には多大な努力がなされていた状況が伺える。

(2) 建造設備削減と合理化策

海運造船合理化審議会は、「特定不況産業安定臨時

措置法」に基づく造船業の安定基本計画を1978年に答申した。これにより、1980年3月末までに造船業61社全体の年間建造能力を船台基数単位で、35%削減(大手7社は40%)した⁽⁴⁾。

大幅な設備削減の一方で、溶接方法については、CO₂ガスシールド溶接による半自動化が広く進められた。以前は、風の影響を受けやすいガスシールドとビード形状、溶接機の価格問題等により使用の増加を見なかったが、1980年頃から細径炭酸ガスフラックス入りワイヤの開発、溶接機の改善(ワイヤーフィーダー、CO₂供給配管、トーチ)⁽⁶⁾により、半自動化効果が得られる様になり急速に使用量が増加した。更にこの溶接方法による自動化、機械化も進められるようになった(資料-1224、写真4.4.3)。

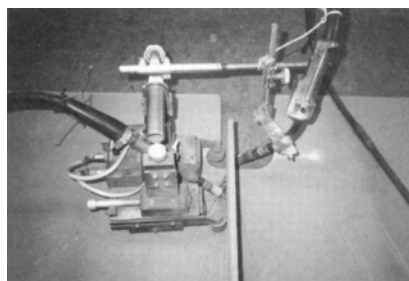


写真4.4.3 簡易自動多目的溶接台車 (造船技術百年史)

合理化対策としてコンピュータの急速な技術変化に合わせ、パソコン、キャラクタ/グラフィックディスプレイを積極的に利用し、CAD/CAMへの取組が一段と広がった。従来のNC切断に必要な情報作成を主体とした図形処理より、上流設計段階の情報生成CADと合体し総合的なシステムを作成し、設計・生産・管理の一体化による効率化を目指した。このコンセプトはコンピュータを利用する全体生産システム：CIMS (Computer Integrated Manufacturing System) の前段階構想である。情報の一元化を行い幅広い活用を目指す結果、データ量が莫大になった。その処理方法についてデータベースのあり方、システム全体の構成などにつき、各社それぞれの考え方により進められていたが、実用に供される迄には時間を要し、部分的な活用から始まった様である。

システムを作り上げるプロダクトモデルの構築など基礎的な技術については、造船学会内に1977年に設置されたシステム技術研究委員会にて研究し、他の研究委員会と同様活発な活動があった。

(3) 超省エネタンカー

1977年迄の完成船は、石油危機発生以前の受注船であったので、従来建造された仕様と同様であった。し

かし、1977年以降は省エネ対策船へ大きく変化した。1978年完成「ALAMO (載貨重量66,700トン 川崎重工)」(資料-1037*)は低回転プロペラと主機関の廃熱回収システムを採用したKSE プラント (Kawasaki Supper Economical Propulsion Plant) 設置により省エネを達成している⁽³⁵⁾。同じく1978年完成「西龍丸 (載貨重量61,000トン 日立造船)」、「PACIFIC HARMONY (載貨重量80,000トン 三井造船)」は何れも中速ディーゼル機関を搭載、プロペラ回転数を従来の100rpm前後より70~80rpmとし推進効率向上を図った省エネ船となっている。1979年完成「紀邦丸 (載貨重量90,800トン 川崎重工)」も中速ディーゼル機関採用による低回転数、排ガスターボシステムの採用による省エネ船である⁽³⁶⁾。1980~1984年の間は大型タンカーの建造は殆ど見られない。

1984年以降になると、大量建造時の初期に建造されたVLCCの代替期に入り、徐々に省エネ第2世代VLCCの建造が始まった。1984年完成「東海丸 (載貨重量238,500トン 石川島播磨重工)」(資料-1039*)は、やはり中速ディーゼル主機を2基搭載、主機直結発電システムを採用し、減速歯車により大直径可変ピッチプロペラに直結されている。プロペラ後部の舵にはATフィン (資料-1189) を設け推進効率の向上を図っている⁽³⁷⁾。

1985年大幅に省エネ・省人化した「第2世代出光丸 (載貨重量258,100トン 石川島播磨重工)」(資料-1040*、写真4.4.4)が完工している⁽³⁸⁾。省エネ対策とし



写真4.4.4 出光丸 (第2世代)

て航海速力を14.0ノットに減速し、船尾形状選択とATフィン設置による船型選択、低燃費型ディーゼル主機の選定と低回転プロペラの採用、主機直結発電システムの採用等により大幅な燃料消費減少を達成している。また、全鋼材の70%に高張力鋼を使用し、船体構造重量を軽減省エネに寄与している。

同じく同年完成「田川丸 (載貨重量236,000トン三

菱重工)」は、1972年完成の「鳥取丸（載貨重量237,400トン 三菱重工）」に比し1日の燃料消費量を166トンから60トンへと大幅に減少させたと報告されている。燃費減少は「第2世代出光丸」と同様、航海速力の減少、船型の改良、高張力鋼の大幅採用による船体重量の軽減等による⁽³⁹⁾。

翌1986年完成「第2世代東京丸（載貨重量258,400トン 三菱重工）」も前年完成の「田川丸」より更に燃費低減を達成している⁽⁴⁰⁾。

この様に船型設計の改良、船体重量の軽減、低燃費機関の採用などにより、15年以前の大量VLCC建造時に比べて大きな燃料消費削減を達成している。

4.5 構造改革期(1988年から現在)

第2次石油危機発生後の石油海上輸送量は、減少を続け1985年に最低になり、その後上向きに転ずる状況にあった(付録表2参照)。しかし、為替の円高傾向が続き、韓国の建造能力拡大も急速に進み1986年には世界市場の20%を占める迄に成長し、わが国造船業界は苦境に追い込まれた。その結果、1980年の設備削減に続き、更に20%の第2次設備削減を1988年に実施せねばならなくなった⁽⁴⁾。

設備削減と共に業界の再発展を目指し全力を挙げ、構造改革を実施し、競争力の向上に取り組まねばならない状況となった。構造改革は業界全般に関する企業経営問題から技術開発に至るまで広範囲に行って行かねばならない。技術関連問題では、建造の更なる効率向上、合理化を目指し受注、設計、生産、管理全般に関する情報を一元化する全体システム：CIMSの構築に注力している。同時に一層の省力化・自動化を目指した機械化、並びに地球環境維持に必要となる新技術開発に努力している。地球環境問題では、特に海洋汚染問題に関連する、油流出防止対策としタンカーの二重船殻構造化(図4.5.1)がIMOにより条約制定さ

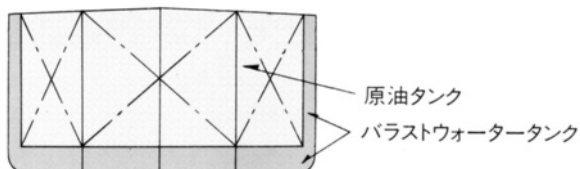


図4.5.1 二重船殻構造（日本造船工業会パンフレット）

れた。1996年以降は、タンカー二重船殻構造義務化により、建造の合理化・構造強度の安全性に対する技術開発が行われている。条約制定後もシングル船体構造の老朽船による大きな損傷事故が続き、二重構造化さ

れていない船の早期廃船の提起が起こり、二重船殻構造船の建造が今後増大すると思われる。

海洋汚染問題以外の大気汚染への対処も重要で、燃料油に依存する推進方法から他への転換、または使用量の大幅な削減に取り組まねばならない。造船業界としては、省エネ対策に取り組んで大きな効果が得られたが、今後、更に大幅な燃料消費削減を可能とする新技術の開発に果敢に挑戦すべきであろう。

(1) 厳しい環境下の対応状況

年間建造量は前述(付録表1)したように1987年に底を記録した。その後は暫時建造量を延ばして行くが、韓国の急激な台頭により競争は一段と激化した。先にも述べた様に省エネ化、建造面での合理化等への努力を重ねて来たが、更なる努力を強いられ、設計から建造工程を一体化した情報管理を行うCIMS構築に向け努力が重ねられた。従来各社単位で行われていたCAD/CAMシステムを、幅広い統合システム構築を狙いプロダクトモデル構想による開発を進めた。この開発には、財団法人日本船舶振興会(日本財団)の多大な援助により、産学から構成されたプロジェクトチームによる開発が1989年から進められた。約10年間の開発によりそれなりの成果を得て解散したが、その後は以前と同様各社の考え方により、より統一化されたシステムを段階的に作成し、実用化に供する状況にある。時間経過と共にシステム構成は改良が進み、コンピュータ環境の変化と共に成果が出ている様である。

建造情報一体管理によるCIMS構想と同時に、建造段階の一層の合理化として自動化問題に関し研究が進められた。溶接法については、以前よりかなり自動化が進められているが、先に述べたCO₂溶接は機器の開発により使用範囲が広範囲に及ぶ様になり、殆どのCO₂溶接機器で部分的な自動化が進んでいる。ごく一部の機器で更なる自動化を目指した機器の開発が行われている。

1985年以降VLCC建造初期の代替船建造需要が逐次起こり、1988年に第2世代型VLCC「日石丸(載貨重量258,100トン 三菱重工)」が完成している。本船は、前記した「田川丸」より一層の省エネ化を図り次の項目を織り込んでいる。

- 船型は水槽試験による波浪中の性能向上策と共に最適主要寸法を選定
- 高張力鋼は40HT(降伏応力40kg/mm²)を使用、範囲を拡大
- 三菱リアクションフィンの装備
- 大直径(11m)低回転(61rpm)プロペラを装備

- SPC(自己研磨防汚塗料)の塗装
- 低燃費・AFR(Automatic Flexible Rating)制御型ディーゼル機関の採用
- 荷役・機関等の集中監視制御、陸上・船内情報を船内LANにより船全体の運転制御システム

を採用する事による究極の省エネ船となっている⁽⁴¹⁾。

また、同年完成の「T.Y.DRACO(載貨重量236,600トン 石川島播磨重工)」(資料-1041*)は航海速力を減少せず、ブーム時完成の船と同様な速力16.5ノットの比較的高速を維持した省エネ船となっている。省エネ対応として、オランダLips社と共同開発した主プロペラの後方に自由回転するグリムベンホイール(GVW)を搭載、従来と異なる新船型を採用、これまでの省エネ船に比べ約2ノット速い航行船速(大量建造時とほぼ同等な船速)にも拘わらず、燃費は2年前竣工船より約20%、5年前竣工船に比し約50%の省エネを達成している⁽⁴²⁾。

1993年には二重反転プロペラ装備により推進効率を15%程度向上する「COSMO DELPHINUS(載貨重量258,100トン 三菱重工)」及び「沖ノ嶋丸(載貨重量258,100トン 石川島播磨重工)」(資料-1074、写真4.5.1)が完成し、省エネ装置装備船の最も特徴的な船となっているが、その後、現在に至るまで大型タンカーに装備建造された記録はない。



写真4.5.1 沖ノ嶋丸

1996年以降建造船は二重船殻構造が義務化されるが、この規制を先取りした船が建造されている。国内最初の二重船殻船は、1991年完成の「OLYMPIC SERENITY(載貨重量96,700トン 住友重機械)」(資料-1055、写真4.5.2)で、同型3隻の内最後に建造予定された船を、途中設計変更し建造された。1993年には「EAGLE(載貨重量301,700トン 住友重機械)」(資料-1054)、「AROSA(載貨重量291,400トン 日立造船)」(資料-1058、写真4.5.3)、「BERGE SIGVAL(載貨重量306,400トン 日本鋼管)」等の二重船殻構造VLCCが建造されている。



写真4.5.2 OLYMPIC SERENITY



写真4.5.3 AROSA

1999年には二重船殻構造船建造に際し、省力化を図る構造方式を採用した「OPALIA(載貨重量302,200トン 川崎重工)」(資料-1042*)が完成している。建造された二重船殻構造船は、建造の省力化に対する構造部材の配置と同時に、二重構造内の点検を容易にする方策がなされている様である。

老朽船の代替需要並びに二重船殻船の先取り需要などにより建造量は、徐々に増大に向かっている。しかし、韓国との受注競争は更に激化し、2002年には大手造船所の分社化・造船部門の合併が行われ、更なる合理化と共に新技術の開発が強く望まれている。

5 | 登録資料候補の選定

前章までに戦後のわが国造船技術の発展経緯の系統化を、大型タンカー建造技術を中心に取りまとめた。調査結果によると、石油危機が発生するまでは50万トン級にも及ぶ超大型船を含む多数の大型タンカーを建造し、全世界建造量の50%近くを約20年間維持した諸技術は、世界の最先端を行くものであった。諸技術の進展により建造されたタンカーは、巨大な構造物であるのでその製品寿命を終えると、廃船即ち解撤されるのが通例で、その形を残す事は全くないのが現状である。製品そのものが残らなくとも、タンカー建造時に作成された設計図・技術資料などの保管・保存が望まれるが、船の寿命である建造後20～30年を過ぎるとこれ等の類も多くが廃棄処分されているのが現状であることが今回の調査で判明した。

建造されたタンカーは存在しないが、建造時点で最大船型などとなる場合、その完成時点に船体形状・外面に設置される艤装品を忠実にトレースした縮尺模型船を作成する例がある。また、完成時点では必ず船の全景写真は撮影され、ごく一部の例ではあるが建造中の状況を撮影した映画フィルムも存在しているので、これ等の資料を中心に登録候補として以下を選定する。

(1) NAESS SOVEREIGN(載貨重量88,500トン 三菱造船)16mm映画フィルム

1961年1月完成、当時国内で設計された最大船型である。船首バルブを設けた先駆の船型で同時に最大船型であることから船体強度については、船体構造模型による強度実験を実施し、周到なプロセスを経て建造された。また船体縦強度を確保するには、甲板・船底外板の厚さを45mmとしなければならなかったが、厚板の溶接を回避すべく二重張構造とした。この二重張構造施工のために新しく開発した溶接施工法「裏波溶接法」を実施したが、この溶接方法が後の片面自動溶接法の開発へと繋がった。

三菱重工業株式会社 長崎造船所 史料館保管

(2) 日章丸(載貨重量132,300トン 佐世保重工) 1/100縮尺模型船

1962年10月完成就航した当時のわが国最大船型。船型設計は、船首バルブ付・船長/船幅=6.4とした幅広船型であり、また船の深さを増す事により、船体長さ方向の船体縦曲げ剛性を増す事が可能となり、甲板・船底外板に高張力鋼を使用せず板厚は38mmとする事が出来、当時の溶接技術を駆使し施工した。鉚継手

が甲板・船底外板の一部縦縁に残されたが他は全て溶接構造を採用している。

佐世保重工業株式会社 佐世保造船所 総務部保管

(3) 出光丸(載貨重量209,300トン 石川島播磨重工) 1/100縮尺模型船

1966年12月に完成した当時の世界最大VLCC(20万トン超タンカー)。日本造船研究協会で実施された、「長大油槽における荷油の運動及び制水隔壁の効果に関する研究」による成果を活用し、貨物油タンク数を極端に減らし合計12タンクとし、最長タンクの長さは、65.16メートルとなっている。また、1964年制定された高張力鋼規格により、大幅に50kg/mm²高張力鋼を使用している。自動化も広範囲に採用し、経済性向上を目指している。出光丸は全長342メートルとなるので、操船上の見通し維持を考慮して、当時は船橋の配置を船体中央部より船尾に移す傾向にあったが、本船は中央部に設置してある。主機は再熱サイクルを採用した33,000馬力蒸気タービンを1基設置している。

(財団法人)日本海事科学振興財団 船の科学館保管

(4) UNIVERSE IRELAND(載貨重量326,600トン 石川播磨重工)1/50縮尺模型船 UNIVERSE KUWAIT(載貨重量326,600トン 三菱重工)1/200縮尺模型船

石川島播磨重工、三菱重工2社が各々3隻受注した同型船の第1船で両船とも1968年9月に完成。両社技術者並びに社外学識経験者による委員会を構成、構造強度に関し慎重に共同設計を実施し、完成後貨物油タンクに海水を張り、タンクの強度実験を実施し解析結果との精度比較を行った。計測結果は解析結果と大変良好な一致を得、後日の超大型船設計に大きく貢献した。載貨重量が30万トンとなったのは、貨物の中継荷揚基地(CTS: Central Terminal Station)が設置され、この基地より7～8万トンタンカーにより一般の港湾施設へ運ぶ形式としたので、運航喫水を他船より深くとることが可能になったことによる。本ULCCは喫水24.7メートルと深い喫水を選べたので載貨重量を急激に増大できた。喫水増大により船の深さも増大し、結果として長さ方向の船体縦曲げ剛性が増大するので、上甲板・船底外板に高張力鋼を使用することなく、軟鋼による35mm以下の板厚で施工出来た。運航面では安全性を考慮し、主機を2機設置、舵も2セット装備した2軸船となっている。

UNIVERSE IRELAND模型船：(財団法人)日本海

事科学振興財団 船の科学館保管

UNIVERSE KUWAIT模型船：三菱重工業株式会社
長崎造船所 史料館保管

(5) 日石丸(載貨重量372,700トン 石川島播磨重工)
1/100縮尺模型船

1971年9月完成、大型化の記録を更新した。本船は貨物油満載時、中東から日本への通常航路であるマラッカ海峡を通過せず、インドシナ南端のロンボック経由とする事により、27メートルと深い喫水を採用した。大型化に対しては、「UNIVERSE IRELAND」設計時と同様船体構造強度につき、コンピュータによる解析と完成引渡し前の貨物油タンク強度試験を実施した。また、喫水増大に対しプロペラ軸の船尾管シール材の開発に注力し建造した。本船の建造は設備増強された石川島播磨重工呉造船所で行い、新設作業ユニットを有効に活用し効率的な建造を行った。

(財団法人)日本海事科学振興財団 船の科学館保管

(6) GLOBTIK TOKYO(載貨重量483,700トン
石川島播磨重工)完成時写真
日精丸(載貨重量484,400トン 石川島播磨重工)
1/100縮尺模型船

GLOBTIK TOKYOは1973年2月、日精丸は1975年6月呉造船所で完成、両船とも建造時点の世界最大船型である。呉造船所に新設された作業ユニットの活用、並びに広範囲の自動溶接の採用により大ブロックの搭載を可能とし、世界最大船型を効率よく建造した。喫水も「日石丸」と同様深く28メートルとし、船の深さも深いので「UNIVERSE IRELAND」の設計と同じく、縦強度上からの高張力鋼使用の必要性が無く、軟鋼による設計で建造されている。

GLOBTIK TOKYO：完成時写真 株式会社アイ・エチ・アイ・マリンユナイテッド 基本設計部
管理グループ保管

日精丸：1/100縮尺模型船 呉市企画部海事博物館
推進室保管

(7) BERGE EMPEROR(載貨重量423,700トン
三井造船)完成時写真
愛光丸(載貨重量413,000トン 三菱重工)
1/100縮尺模型船

ESSO DEUTSCHLAND (載貨重量421,700トン
川崎重工)完成時写真

各船とも三井造船、三菱重工、川崎重工各社の最大建造船で、それぞれ1975年12月、1976年2月、1976年10月に完成している。各社の建造技術力、設備を活用して建造した最大船型である。BERGE EMPERORは三井造

船のROTASシステムを活用し、愛光丸は三菱重工長崎造船所香焼工場の新設ドック、ESSO DEUTSCHLANDは川崎重工坂出工場の新鋭設備により、効率的に建造された超大型船である。

BERGE EMPEROR：完成時写真 三井造船株式会社 広報室保管

愛光丸：1/100縮尺模型船 三菱重工業株式会社
長崎造船所 史料館保管

ESSO DEUTSCHLAND：完成時写真 株式会社
川崎造船 技術本部保管

(8) ESSO ATLANTIC(載貨重量516,900トン
日立造船)完成時写真

1977年8月わが国新造最大ULCCとして完成、以後の船体改造工事による最大船型の出現を除き、国内ではこれより大きな船型は出現していない。日立造船有明工場の最新鋭設備により効率的に建造された。本船は1軸船として建造されたが、操縦性・保針性の維持と推進性能の向上も期しプロペラにノズルを装備している。

ユニバーサル造船株式会社 有明事業所 保管

(9) SEAWISE GIANT(載貨重量564,800トン
住友重機械・日本鋼管)完成時写真

本船は1977年住友重機械追浜造船所にて載貨重量415,400トンとして完工したが、石油危機後のタンカーマーケットの不安定状況もあり、船主の引取り拒否に合い、長期間の裁判結果、他の船主に買取られた。転売後貨物油槽部分の長さを80メートル延長する工事を、日本鋼管津造船所で1980年実施し世界最大船型となった。

新造完成時写真：住友重機械マリンエンジニアリング
株式会社 営業開発本部・営業グループ保管

改造完成時写真：ユニバーサル造船株式会社
津事業所保管

(10) T.Y.DRACO(載貨重量236,600トン 石川島播磨
重工)完成時写真

1988年9月完成した省エネ効果の大きいVLCCで、石油危機発生以前のブーム時完成船と同様な速力16.5ノットと比較的高速を維持した省エネ船。省エネ対応として、オランダLips社と共同開発した主プロペラの後方に自由回転するグリムペーンホイール(GVW)を搭載し、従来と異なる新船型を採用、それまでの省エネ船に比べ約2ノット速い航行船速にも拘わらず、燃費は2年前竣工船より約20%、5年前竣工船に比し約50%の省エネを達成している。

株式会社IHIマリンユナイテッド 基本設計部
管理グループ保管

表5.1.1 登録資料候補一覧表

番号	名 称	資料形態	所 在 地	製 作 者	製作年	コ メ ン ト
1	NAESS SOVEREIGN	映画フィルム	三菱重工 長崎造船所	三菱造船	1961	当時国内設計最大船型、建造過程記録映画
2	日章丸	模型船	佐世保重工 佐世保造船所	佐世保造船所	1962	当時建造最大船型
3	出光丸	模型船	船の科学館	石川島播磨重工	1966	当時20万トン超国内最初のVLCC
4	UNIVERSE IRELAND	模型船	船の科学館	石川島播磨重工	1968	当初初の30万トン超ULCC
5	UNIVERSE KUWAIT	模型船	三菱重工 長崎造船所	三菱重工	1968	UNIVERSE IRELANDと同型船
6	日石丸	模型船	船の科学館	石川島播磨重工	1971	当時の最大船型
7	GLOBTİK TOKYO	完成時写真	アイ・エチ・アイ・マリ・ユナイテッド 本社	石川島播磨重工	1973	当時の最大船型
8	日精丸	模型船	呉市企画部海事博物館推進室	石川島播磨重工	1975	当時の最大船型
9	BERGE EMPEROR	完成時写真	三井造船 総務部広報室	三井造船	1975	三井造船建造最大船型
10	愛光丸	模型船	三菱重工 長崎造船所	三菱重工	1976	三菱重工建造最大船型
11	ESSO DEUTSCHLAND	完成時写真	川崎造船 本社	川崎重工	1976	川崎重工建造最大船型
12	ESSO ATLANTIC	完成時写真	ユニバーサル造船 有明事業所	日立造船	1977	わが国最大船型
13	SEAWISE GIANT	完成時写真	住友重機械マリンエンジニアリング 本社・ ユニバーサル造船 津事業所	住友重機械・日本鋼管	1977・ 1980	住友重機械、日本鋼管建造最大船型
14	T.Y.DRACO	完成時写真	アイ・エチ・アイ・マリ・ユナイテッド 本社	石川島播磨重工	1988	当時の最大省エネ効果船

6 | まとめ

第二次大戦の敗戦以降半世紀以上が経過し、世界の社会経済情勢は大きく変化し高度な成長を遂げた。わが国造船業界では戦後いち早く産官学が一致協力し、大型鋼船建造に関する研究開発体制を学会中心に組織化し、活発な研究活動が実施された。研究体制発足後全溶接船に発生していた低温による脆性破壊阻止技術を中心に研究を実施、全溶接船の建造技術の構築がなされた。その研究開発成果を、企業の建造現場に直ちに採り入れ、建造方法を大きく変革し、大型鋼船建造の作業効率は大きく向上できた。建造方法の改革と同時に船型の大型化に対応する船型・船体構造に関する研究開発も多角的に実施され、大きな成果を得た。共同研究成果の活用と共に超大型船建造設備を各企業とも新設し、1965年以降第二次石油危機発生前後の3年間を除き、わが国造船業界は約20年間世界の新造船建造量のほぼ50%を確保して来た。その中でわが国のタンカー建造量は、最大時わが国新造船の70%以上にも達している。この様に大量に且つ超大型船の建造が出来たのは、建造技術の効率化、製品性能・品質の高度化技術を、官学の研究者と業界技術者が強力に推進し大きな成果を得たと同時に、適切な行政指導と業界の積極的な経営判断によるところが大きいと考える。更に、溶接施工に適する鋼材と溶接材料の品質向上は、欠かせぬ問題であり、鉄鋼業界との連携により新材料が次々と開発されたことも大きい。また、今回の技術資料調査対象に含まれていないが、運航に必要な諸設備の機器類の性能は、船の性能・品質維持には重要な要素で、これら機器類の開発には船用工業界の協力を寄ることを付記したい。

石油危機発生以後造船業界の環境は大きく変化し、タンカーの大量建造は影をひそめ、また大型化傾向も完全に止まり、省エネ・低コスト高効率船へと転換した。省エネ船型に対し、船型設計・低燃費ディーゼル機関・船体重量軽減などの技術開発に傾注した結果、高度経済成長時大量建造した船に比べ、燃料消費量を

50%以上低減する技術の構築が出来た。1985年以降は韓国の追上げが厳しく、コスト競争に巻き込まれ高性能な品質維持と共に建造コストの削減が重要な要素となっている。この両者を満たすには、やはり技術開発が重要な要素であり、その為に実行すべき課題・体制につき産官学で議論が進められている様であるが、一層の促進が必要と思われる。今回戦後の造船技術の変遷の調査結果より判明したことは、産官学の研究者・技術者の胸襟を開いた討議姿勢、社団法人日本造船研究協会設立などを含めた共同研究体制の確立、並びに財団法人日本船舶振興会（日本財団）の多大な資金援助が得られたことが大きく、研究成果が着実に得られ、各企業の積極的な成果の実用化策にあると思う。当時と現在の環境は大きく異なるが、新技術の開発を進める上での基礎的研究課題については大学を中心に進め、同時に実施側の業界との共同研究体制は重要な方法と考えられ、今後も同様な研究開発体制維持が望まれる。

戦後エネルギー源の石油への転換と、高度経済成長によりタンカーの所要船腹需要が極端に増大し、わが国造船業界は多量に且つ超大型タンカーを建造した。種々の技術を駆使し建造されたタンカーは多数あるが、大変巨大な構造物である関係上、その寿命を終えると全て解体され姿を留めることがないので、歴史的資料として目にすることが出来ないのは残念である。今回の登録資料候補として採り上げられる対象物は、船の外観を忠実に作成した模型船、航走写真などにとどまった。建造時に使用した開発機器・装置・道具類なども新しいものによってゆくに廃棄されるようで、資料として残されているものは殆どないことが今回判明した。

今後、造船などの巨大構造物を扱う産業分野の技術の進展・変遷を、目に見える形で保存する方法につき一考を要するように思われる。

■ 謝辞

今回実施した「戦後建造大型タンカー技術発展の系統化と関連資料調査」に関し大変多数の方々にお手数を掛け、ご協力頂いたことに深く感謝致します。

まず、東京大学大学院 野本敏治教授より多々溶接・建造技術に関する助言をいただき、関係文献・書類・資料の閲覧・借用を受けました。さらに、同大学院工学系研究科環境海洋工学専攻図書室の閲覧許可をいただき、図書・雑誌類の閲覧をさせていただきました。

また、関係する多くの学術研究論文・学会関係資料については社団法人日本造船学会事務局長 久保田種一氏他のご好意により閲覧・借用許可をいただきました。

造船・海運業界他関連団体、業界各社社史類の閲覧は、社団法人日本造船工業会技術部長 桐明公男氏他のご好意により日本造船工業会保管の蔵書を閲覧させていただきました。

平成11年度に実施した資料の所在調査に加え、今年度タンカーに関し再調査を各企業にお願い致しました。次の方々に調査と報告内容の確認など種々ご協力いただきました。

石川島播磨重工業株式会社	小林英章氏
株式会社アイ・エチ・アイ マリンユナイテッド	
	太田垣由夫氏、森田博行氏、前原広徳氏
株式会社 川崎造船	川尻勝己氏
佐世保重工株式会社	重永照幸氏
住友重機械マリンエンジニアリング株式会社	
	松田正康氏、今沢健治氏
三井造船株式会社	矢吹捷一氏、渡辺孝和氏、鷺田正氏、遠藤雅博氏
三菱重工株式会社	青柳彰氏、井上俊司氏、田中規隆氏
ユニバーサル造船株式会社	北野公夫氏、宮本孝夫氏

以上述べました方々より多大のご協力を得ましたことに深く感謝いたします。

(以上)

■ 専門用語の説明

総トン数

英語でGross Tonnage,略してGTと言う。

課税、船舶検査料などの算定基準となる、同時に船舶の諸統計量に用いられる数値で、1969年IMCOで国際的に統一制定され、1982年発効した。船体の内部の総容積により算定する。

サブマージアーク溶接法

板を下向きで接合するときの自動溶接法で、1933年アメリカで開発された。フラックスとワイヤを組み合わせ溶接アークはフラックス内部で起こる。

エレクトロスラグ・エレクトロガス溶接法

板を立て向きで接合するときの自動溶接法で、1951年ソ連で開発され、1960年国内およびベルギーで実用機が開発された。フラックスまたはガスシールドによりアークを発生する。

CO₂半自動溶接機

アルミなど非鉄金属溶接に不活性ガスシールド溶接として1950年頃より使用され始め、その後炭酸ガスシールドに変わった。被覆アーク溶接に比し高能率であるが、屋外作業の多い造船には防風対策が難しく採用がすすまなかった。1980年以降細径炭酸ガスフラックス入りワイヤが開発され急速に採用されようになった。

切欠きじん性値

鋼材の破壊靱性を比較するのに、鋼材に切り欠きを入れ衝撃を与え、衝撃により破壊する吸収エネルギーにより破壊靱性を比較する値。

焼きならし

金属組織A3変態点以上の温度まで加熱したのち大気中で放冷する処理方法。組織が微細化し破壊靱性が向上する。

「ストリップ法」解析法

船体のように細長い浮体に働く3次元の流体力により生ずる運動等を求めるのに適した解析方法で、船の場合船体を輪切りにした細片（ストリップ）に働く2次元流体力をもとに計算し、船体長さ方向に積分する近似的解析方法。

縦縁（シーム）

船体を構成する外板・甲板などの船の長さ方向の板継手。

横強度

船体に働く水面下の水圧、波浪、ならびに貨物などの荷重により船体横断面内の変形に対し強度を保つ必要がある。横断面内に配置する隔壁（Bulkhead）、横桁（Transverse Ring）部材などにより強度を維持する。

縦強度

波浪、貨物などにより船体の長さ方向に生ずる曲げモーメントに抗する、船体長さ方向の強度で、外板、上甲板ならびにそれらを補強する船の長さ方向に配置した桁板、骨材により強度を維持する。

写真罫書き法

船体構造部材を形状に従い切断するのに、その形状の罫書きをする必要があるが、原寸の1/10サイズで罫書きしたものを1/128に縮尺しガラス原板に描き、この原板に光を投影し人間の手により罫書きする方法。

フェアリング

船体形状を平滑にすること、船体線図の曲線を滑らかにしたのち、多数の船体横断面間隔（フレームラインと言う）の曲線形状を作成し、その曲線を座標数値で表現する作業を一般的に指す。

縦通材（ロンジ材）

縦強度の項に示す、外板、上甲板、ならびにそれらを補強する船の長さ方向に配置した桁板、骨材を指す。

2軸船

推進用主機、推進器（プロペラ）、舵などを2セット並べて装備し航行する船、1セットに故障など生じても片方で運航可能で信頼性は増す。

■ 参考文献一覧表

- (1) 社団法人 日本船主協会：日本船主協会30年史 1980年
- (2) 社団法人 日本船主協会：日本船主協会50年史 1997年
- (3) 社団法人 日本造船工業会：日本造船工業会30年史 1980年
- (4) 社団法人 日本造船工業会：五十年の歩み 1997年
- (5) 社団法人 日本造船学会：日本造船学会史料 第4版 1995年
- (6) 社団法人 日本溶接協会：船舶鉄構海洋構造部会編 造船溶接35年の歩み 1984年
- (7) 社団法人 日本造船研究協会：日本造船研究協会 40年史 1993年
- (8) 川瀬 晃：日本造船学会誌「TECHNO MARINE」第871号 2003-1月
- (9) 社団法人 日本造船学会：昭和造船史 第2巻 1973年
- (10) 乾 崇夫他：造船協会論文 第108号(1960)、109号(1961)、110号(1961)
- (11) 石川播磨重工業株式会社：石川島播磨重工株式会社史 技術・製品編 1992年
- (12) 谷口 中：日本造船学会誌 第490号(1970)
- (13) 田才福三：造船協会論文 第105号(1959)
- (14) 門井弘行：日本造船学会誌 第622号(1981)
- (15) 佐々木紀幸他：西部造船会会報 第75号 1988年、住友重機械工業技報 Vol.38, No.112、右近良孝：西部造船会会報 第75号 1988年、三菱重工技報：Vol.25, No.6 1988年、石川島播磨重工技報：Vol.29, No.4 1989年
- (16) 秋田好雄：造船協会論文 第106号(1960)、栢田吉郎：造船協会論文 第111号(1962)、113号(1963)、福田淳一：造船協会論文 第110号(1961)、111号(1962)、112号(1962)、114号(1963)
- (17) 社団法人 日本造船学会：システム技術委員会第1部会編 造船におけるシステム技術 1984年
- (18) 南崎邦夫：船舶建造システムの歩み-次代へのメッセージ- 成山堂書店 1996年
- (19) 社団法人 造船協会：水槽委員会編 白馬山丸試運転成績について 造船協会雑纂 第289号(1951)
- (20) 船の科学：Vol.4, No.3 1951年3月
- (21) 社団法人 日本造船学会：鋼船工作法研究委員会編 新版鋼船工作法 1970年
- (22) 三菱重工業株式会社：三菱造船株式会社史 1967年、船の科学：Vol.14, No.4、1961年4月
- (23) 船の科学：Vol.15, No.10 1962年10月
- (24) 石川島播磨重工技報：Vol.6, No.28、1966年3月
- (25) 船の科学：Vol.20, No.2 1967年2月
- (26) 寺尾貞一他：造船協会論文 第121号(1967)、横尾幸一他：日本造船学会論文集 第124号(1968)
- (27) 石川島播磨重工技報：Vol.8, No.41、1968年5月
- (28) 石川島播磨重工技報：Vol.9, No.1、1969年1月
- (29) 石川島播磨重工技報：別冊 第4号「船舶特集」 1970年10月
- (30) 石川島播磨重工技報：Vol.11, No.6 1971年11月
- (31) 石川島播磨重工技報：Vol.13, No.3 1973年5月
- (32) 船の科学：Vol.30, No.10 1977年10月
- (33) 社団法人 日本造船学会：日本造船技術史百年 1997年
- (34) 三井造船株式会社：三井造船株式会社75年史 1993年
- (35) 船の科学：Vol.31, No.4 1978年4月
- (36) 船の科学：Vol.32, No.10 1979年10月
- (37) 船の科学：Vol.37, No.3 1984年6月、石川島播磨重工技報：Vol.24, No.4 1984年7月
- (38) 船の科学：Vol.39, No.3 1986年3月、石川島播磨重工技報：Vol.26, No.2 1986年3月
- (39) 船の科学：Vol.39, No.1 1986年1月
- (40) 船の科学：Vol.40, No.3 1987年3月
- (41) 船の科学：Vol.41, No.8 1988年8月
- (42) 石川播磨重工業株式会社：石川島播磨重工株式会社史 技術・製品編 1992年、船の科学：Vol.41, No.12 1988年12月

付録表1 年度別全世界船腹量と竣工量

船腹・竣工量 : 千総トン

年	全世界船腹量			総竣工量					
				全世界竣工量			日本竣工量		
	総計	タンカー	その他	総計	タンカー	その他	総計	タンカー	その他
1948	80,290	15,590	64,690	2,480					
1949	82,570	16,100	66,470	3,110			120		
1950	84,580	17,170	67,410	3,250			230		
1951	87,250	18,530	68,720	3,560			430		
1952	90,180	19,990	70,190	4,210			510		
1953	93,350	21,960	71,390	4,940			730		
1954	97,420	24,670	72,800	5,450			430		
1955	100,570	26,460	74,110	4,970			560		
1956	105,200	28,210	76,990	6,290			1,540		
1957	110,250	29,940	80,310	8,120			2,310		
1958	118,030	33,590	84,440	9,060			2,230		
1959	124,940	37,890	87,050	8,900			1,730		
1960	129,770	41,470	88,310	8,380			1,840		
1961	135,920	43,850	92,070	8,060			1,720		
1962	139,980	45,300	94,680	8,180			2,070		
1963	145,860	47,120	98,740	9,030			2,270		
1964	153,000	50,560	102,440	9,720			3,760		
1965	160,390	55,050	105,350	11,760	5,250	6,510	4,890		
1966	171,130	60,200	110,930	13,850	5,860	7,990	6,500		
1967	182,100	64,200	117,900	15,130	4,370	10,760	7,220		
1968	194,150	69,210	124,940	16,840	6,250	10,590	8,350		
1969	211,660	77,390	134,270	19,740	8,950	9,790	9,170	4,750	4,420
1970	227,490	86,140	141,350	20,980	10,030	10,950	10,100	5,110	4,990
1971	247,200	69,140	151,060	24,390	10,450	13,930	11,130	4,810	6,320
1972	268,340	105,130	163,210	26,750	12,790	13,960	12,860	6,470	6,390
1973	289,930	115,370	174,560	30,410	17,090	13,320	14,750	9,320	5,430
1974	311,320	129,490	181,830	33,540	22,720	10,820	16,890	12,260	4,630
1975	342,160	150,060	192,110	34,200	24,370	9,840	16,990	12,950	4,040
1976	372,000	168,160	203,840	33,920	21,440	12,480	15,870	9,690	6,180
1977	393,780	174,120	219,550	27,530	12,350	15,180	11,710	3,170	8,540
1978	406,000	175,040	230,970	18,190	6,290	11,900	6,310	760	5,550
1979	413,020	174,210	238,810	14,290	5,440	8,850	4,700	1,600	3,100
1980	419,910	175,000	244,910	13,100	4,970	8,130	6,090	3,150	2,940
1981	420,840	171,700	249,140	16,930	6,240	10,690	8,400	3,380	5,020
1982	424,740	166,830	257,910	16,820	4,810	12,010	8,160	2,300	5,870
1983	422,590	157,280	265,310	15,910	4,250	11,660	6,670	1,440	5,230
1984	418,680	147,460	271,220	18,330	3,000	15,340	9,710	1,290	8,420
1985	416,270	138,450	277,820	18,160	3,550	14,600	9,500	1,620	7,880
1986	404,910	128,430	276,480	16,850	4,550	12,290	8,180	2,230	5,950
1987	403,500	127,660	275,840	12,260	3,500	8,760	5,710	1,660	4,050
1988	403,410	127,840	275,560	10,910	4,390	6,520	4,040	1,450	2,590
1989	410,480	129,580	280,900	13,240	5,690	7,550	5,360	2,170	3,190
1990	423,630	134,840	288,790	15,890	5,870	10,020	6,820	3,230	3,600
1991	436,030	138,900	297,130	16,100	8,050	8,040	7,280	4,200	3,080
1992	444,300	142,920	301,380	18,630	10,590	8,050	7,580	5,200	2,380
1993	457,920	143,440	314,470	20,530	11,190	9,340	9,090	5,910	3,180
1994	475,860	144,600	331,260	18,970	7,020	11,940	8,600	2,860	5,750
1995	490,660	143,520	347,140	22,470	7,410	15,050	9,260	2,560	6,700
1996	507,870	146,370	361,500	25,880	8,330	17,560	10,180	3,260	6,920

日本船主協会 30年、50年史による

付録表2 年度別全世界船腹量と荷動き量

船腹量：千総トン

年	全世界船腹量			海上輸送量					
				輸送重量（百万トン）			荷動きトンマイル（10億トンマイル）		
	総計	タンカー	その他	総計	石油	その他	総計	石油	その他
1948	80,290	15,590	64,690						
1949	82,570	16,100	66,470						
1950	84,580	17,170	67,410						
1951	87,250	18,530	68,720						
1952	90,180	19,990	70,190						
1953	93,350	21,960	71,390						
1954	97,420	24,670	72,800						
1955	100,570	26,460	74,110						
1956	105,200	28,210	76,990						
1957	110,250	29,940	80,310						
1958	118,030	33,590	84,440						
1959	124,940	37,890	87,050						
1960	129,770	41,470	88,310						
1961	135,920	43,850	92,070						
1962	139,980	45,300	94,680	1,250	536	714	4,356	2,300	2,056
1963	145,860	47,120	98,740	1,350	582	768	4,704	2,450	2,254
1964	153,000	50,560	102,440	1,510	652	858	5,353	2,770	2,583
1965	160,390	55,050	105,350	1,640	727	913	5,849	3,120	2,729
1966	171,130	60,200	110,930	1,770	802	968	6,238	3,329	2,909
1967	182,100	64,200	117,900	1,860	865	995	7,230	4,130	3,100
1968	194,150	69,210	124,940	2,040	975	1,065	8,372	4,947	3,425
1969	211,660	77,390	134,270	2,239	1,082	1,157	9,376	5,615	3,761
1970	227,490	86,140	141,350	2,482	1,241	1,241	10,655	6,488	4,167
1971	247,200	69,140	151,060	2,577	1,317	1,260	11,730	7,455	4,275
1972	268,340	105,130	163,210	2,753	1,446	1,317	13,104	8,650	4,454
1973	289,930	115,370	174,560	3,121	1,640	1,481	15,404	10,217	5,187
1974	311,320	129,490	181,830	3,248	1,625	1,623	16,387	10,621	5,766
1975	342,160	150,060	192,110	3,047	1,496	1,551	15,366	9,730	5,636
1976	372,000	168,160	203,840	3,324	1,682	1,642	17,057	11,183	5,874
1977	393,780	174,120	219,550	3,399	1,724	1,675	17,489	11,403	6,086
1978	406,000	175,040	230,970	3,466	1,702	1,764	16,953	10,546	6,407
1979	413,020	174,210	238,810	3,714	1,776	1,938	17,555	10,497	7,058
1980	419,910	175,000	244,910	3,606	1,596	2,010	16,654	9,239	7,415
1981	420,840	171,700	249,140	3,461	1,437	2,024	15,716	8,193	7,523
1982	424,740	166,830	257,910	3,199	1,278	1,921	13,551	6,282	7,269
1983	422,590	157,280	265,310	3,090	1,212	1,878	12,636	5,558	7,078
1984	418,680	147,460	271,220	3,292	1,227	2,065	13,484	5,648	7,836
1985	416,270	138,450	277,820	3,293	1,159	2,134	13,086	5,157	7,929
1986	404,910	128,430	276,480	3,385	1,263	2,122	13,856	5,905	7,951
1987	403,500	127,660	275,840	3,461	1,283	2,178	14,300	6,016	8,284
1988	403,410	127,840	275,560	3,675	1,367	2,308	15,299	6,510	8,789
1989	410,480	129,580	280,900	3,860	1,460	2,400	16,385	7,276	9,109
1990	423,630	134,840	288,790	3,977	1,526	2,451	17,121	7,821	9,300
1991	436,030	138,900	297,130	4,110	1,573	2,537	17,873	8,187	9,586
1992	444,300	142,920	301,380	4,221	1,648	2,573	18,235	8,597	9,638
1993	457,920	143,440	314,470	4,339	1,714	2,625	18,900	9,162	9,828
1994	475,860	144,600	331,260	4,506	1,771	2,735	19,600	9,329	10,271
1995	490,660	143,520	347,140	4,687	1,796	2,891	20,388	9,320	11,018
1996	507,870	146,370	361,500	4,790	1,845	2,945	20,545	9,405	11,140

日本船主協会 30年、50年史による

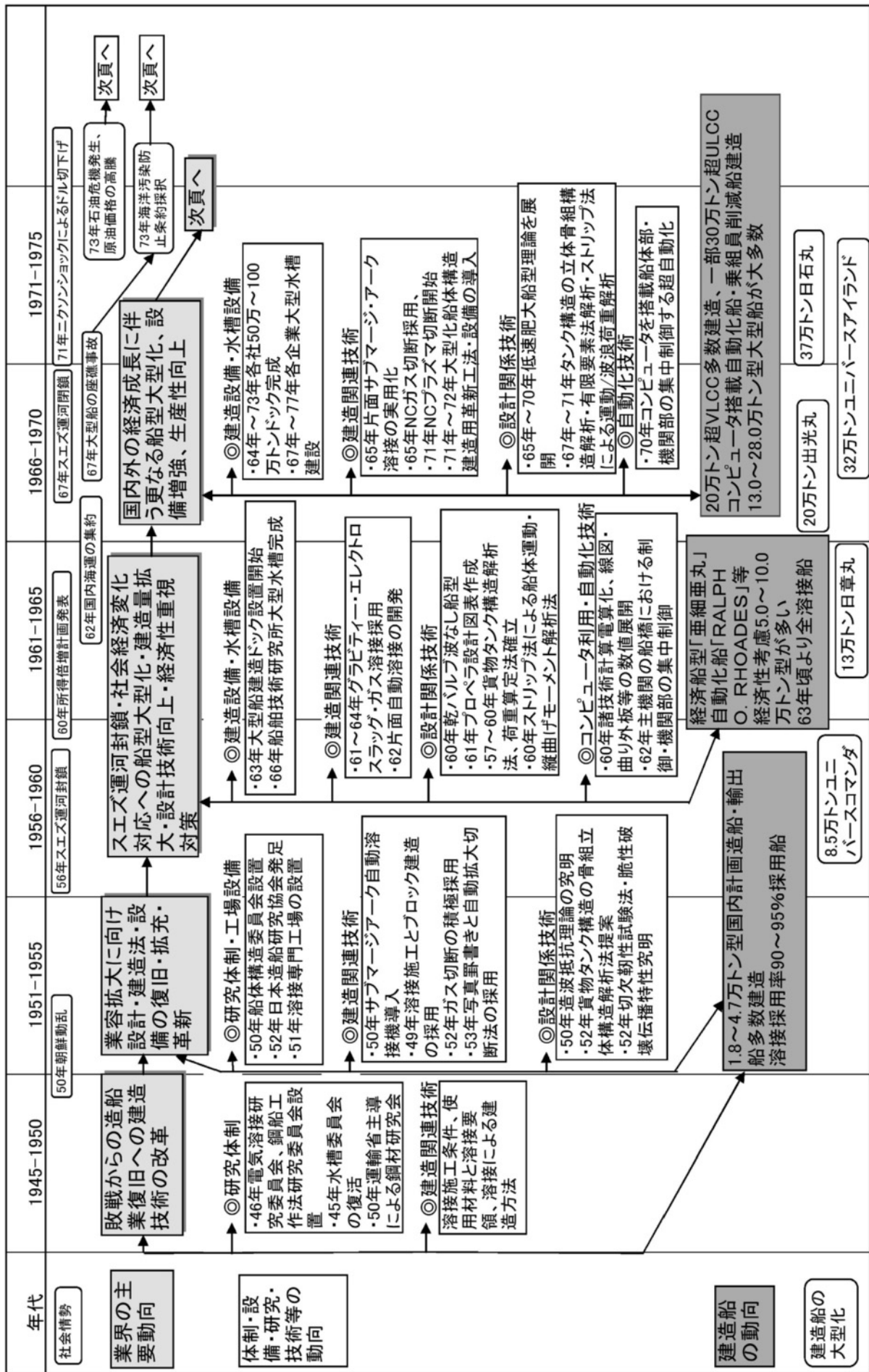
付録表3 造船研究体制一覧

所属機関	研究委員会名	発足年	現在の状況
日本造船協会 1968年改称 日本造船学会	・試験水槽委員会	1941	・試験水槽委員会
	・電気溶接研究委員会	1946	・構造・材料研究委員会
	・鋼船工作法研究委員会	1946	・工作法研究委員会
	・造船設計法基準制定委員会	1948	・造船設計・技術研究委員会
	・船体構造研究委員会	1950	・構造・材料研究委員会
	・艤装研究委員会	1958	・造船設計・技術研究委員会
	・造機関係研究委員会	1959	・造船設計・技術研究委員会
	・海洋工学委員会	1973	・海洋工学委員会
	・システム技術委員会	1976	・情報技術研究委員会
		1998	・海洋環境研究委員会
	・造船用鋼材研究会 (運輸省指導により設置)	1950	
日本溶接協会	・第8部会（造船） (設立当初は造船協会電気溶接研究委員会と共同開催)	1949	・船舶・鉄構海洋構造部会
日本造船研究協会	・技術研究委員会（1962年研究委員会に改称）	1952	・研究委員会
	・基準委員会	1969	・基準委員会

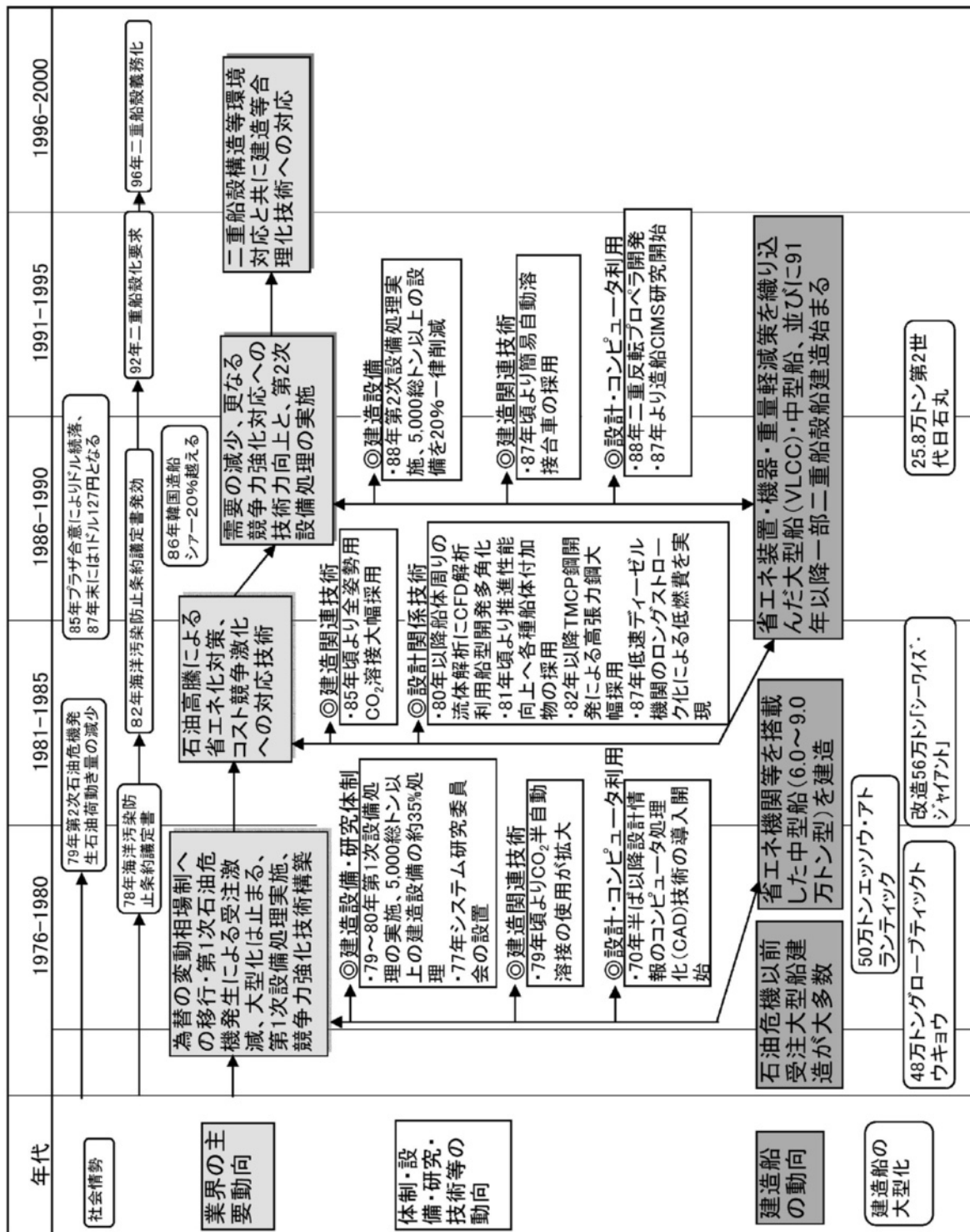
付録表4 重量トン20万トン以上建造ドック一覧

造船所	建造能力 (重量トン)	長さX幅(m)	クレーン 能力トンX数
三菱重工・長崎	300,000	375.00X56.00	300X2
香焼	1,000,000	990.00X100.00	600X2
石川島播磨・横浜	230,000	328.00X52.00	120X2
呉	800,000	510.00X80.00	300X3
知多	1,000,000	810.00X92.00	400X2
日立造船・堺	300,000	400.00X55.70	200X2
有明	800,000	620.00X85.40	700X2
三井造船・千葉	500,000	400.00X72.00	300X2
川崎重工・坂出	600,000	420.00X75.00	300X2
日本鋼管・津	600,000	500.00X75.00	200X2
住友重機械・追浜	500,000	560.00X80.00	300X2
佐世保重工	380,000	400.00X57.00	150X2

注：1 日本造船工業会30年史による
2 1977年12月現在の状況



付録図1 戦後の大型タンカー建造技術系統図(1/2)



付録図1 戦後の大型タンカー建造技術系統図(2/2)

付録写真 1～6



① RO/RO船(ロールオン・ロールオフ船)



② コンテナ船



③ 鉱石専用船



④ ばら積み船



⑤ タンカー



⑥ LNG船

国立科学博物館 技術の系統化調査報告 第4集

平成16(2004)年3月29日

- 編集 独立行政法人 国立科学博物館
産業技術史資料情報センター
(担当：コーディネイト 永田 宇征、エディット 久保田稔男)
- 発行 独立行政法人 国立科学博物館
〒110-8718 東京都台東区上野公園 7-20
TEL：03-3822-0111
- デザイン・印刷 株式会社ジェイ・スパーク