

専用船建造技術発展の系統化調査

Systematic Survey of the Development of Specialized Shipbuilding Technologies

吉識 恒夫 Tsuneo Yoshiki

■ 要旨

昨年実施した大型タンカー建造技術に引続き、今年度は、多数建造されている専用船建造技術の発展に関し調査した。対象専用船として、コンテナ船、液化ガス運搬船、ばら積み貨物船、自動車運搬船を選び、建造船舶の動向と関連する技術の進展・開発状況に関する調査を実施したので、以下に調査結果の概要を述べる。

対象とした何れの専用船とも、戦後の社会経済が著しく発展した1960年代以降に出現している。1954年鉄鉱石を専用に輸送するばら積み貨物船の建造が、多くの専用船の始まりと言える。経済発展による粗鋼生産量の増加により、鉄鉱石・石炭の輸入が急増し、1960年以降鉄鉱石・石炭・穀物などを専用に輸送するばら積み貨物船（Bulk Carrier：バルクキャリア）の建造が活発化した。1966年には、種々の雑貨類をコンテナ容器に収納し、そのコンテナ容器を直接船に積み込み輸送するコンテナ船が米国船社により運航された。我が国海運界も米国マトソン社のコンテナ輸送提携申し入れを受け、1968年より我が国と米国西岸間のコンテナ船による定期航路を開設、その航路に投入するコンテナ船の建造により、我が国のコンテナ船建造が始まった。経済成長による生活環境の変化などによりプロパンガス需要の急増、或いは環境汚染を防ぐクリーンエネルギーである天然ガス利用への転換が進んだ。その結果、これ等ガスの海外からの輸入が必要となり、ガスを液化して輸送する液化ガス運搬船（LPG船、LNG船）の需要が急増した。自動車運搬船は、自動車業界の目覚ましい進展により、海外への輸出が急激に増大し、対応すべき効率的な海上輸送方法が求められ、自動車運搬専用船が生まれた。1965年頃より自動車運搬船の建造が始まり、1970年以降は自動車のみを効率的に輸送する自動車専用船（Pure Car Carrier：PCC）が多数建造されている。

これ等専用船を建造する造船基盤技術は、戦後の造船業界の努力により1960年始め頃までに充分整備され、各専用船建造に必要な固有技術開発を進める事により対応可能な状況にあった。今回調査した専用船の中で、他の専用船と異なる技術が必要となるのは液化ガス運搬船である。プロパン・天然ガス（メタンガス）の液化は、冷却または加圧によらねばならぬが、貨物を大量輸送する船舶では、通常冷却による液化方法を選んでいる。各々のガス液化温度は、プロパンガス -42°C 、天然ガス -162°C で、対応低温技術の開発により、多数の液化ガス運搬船が建造されて来ている。特に天然ガス液化温度は -162°C と極低温で、熱変化に伴う格納容器の収縮問題、断熱対応、低温に適応する容器材料問題などあり、輸送方法基本概念は海外にて開発された。大多数の我が国造船会社は、海外にて開発された基本概念を技術提携し、具体的な建造に関連する細部に亘る技術開発を行う事により、高品質な液化ガス運搬船を建造している状況である。

液化ガス運搬船以外の専用船で、他の専用船に比し高度な技術が必要となるのはコンテナ船である。コンテナ船の導入により、港湾荷役が合理化され、荷主から貨物受け取り先までの一貫輸送方式が実現出来た。コンテナ船需要は急速に高まり、輸送の効率化を目指し船型の大型化が急速に進んだ。コンテナ船は定期航路を定められた時間内での運航が要求されるので、種々変化する波浪海象中での航行速力を維持出来る船型開発が重要な要素である。従って水槽試験と解析技術などを併用し、高速化・大型化する船型開発を行い、多数の大型コンテナ船が建造されている。

鉄鉱石など比重の大きい貨物を積むばら積み貨物船、自動車の効率的積み付けが可能となる自走式荷役方法を採用する自動車運搬船は、従来にない船体構造配置が求められ、慎重な船体構造強度の確認が必要となっている。構造強度に関する設計技術は、コンピュータの発展により有限要素法（FEM）技術を早期に採り入れ、安全性を十分に確認し、載貨重量20万トン以上の大型ばら積み貨物船を含め、多数建造されている状況である。

経済成長と共に、海上荷動き貨物の変化と輸送の効率化を求め、多種類の専用船の建造需要が起きて来たが、我が国造船業界は造船基盤技術の構築と、専用化に対処する技術の開発により多数の専用船が建造されている状況が確認出来た。

■ Abstract

Following up on the survey of large tankers conducted last year, this year we conducted a survey regarding the Development of Specialized Shipbuilding Technologies that have been used in the construction of many ships. The specialized ships examined in this survey are container ships, liquefied gas carriers, bulk carriers, and automobile carriers. The survey focused on the trends in ships under construction, and the progress and development in related technologies. An outline of the survey results is presented below.

All of the specialized ships covered in the survey first appeared during or after the 1960s, when Japan experienced an exceptional rate of economic growth following the 2nd World War. The construction in 1954 of bulk carriers that specialized in transporting iron ore could be considered the beginning of many specialized ships. The increased production volume of crude steel that resulted from this economic development brought about a rapid increase in the import of iron ore and coal, and starting in the 1960s, the construction of “bulk carriers,” designed especially for transporting iron ore, coal, grains, and other bulk goods, became much more active. In 1966, American shipping companies began operating “Container Ships,” in which various types of goods was stored in containers, and those containers were loaded directly onto the ships for transport. The Japanese shipping industry received a request from Matson Inc. of the U.S. to collaborate in container shipping, and in 1968, regular liner shipping routes were established for container ships running between Japan and the West Coast of the U.S. The construction of the container ships being introduced on these shipping routes marked the beginning of container ship building in Japan.

The demand for propane gas increased rapidly as a result of factors such as changes in living environments accompanying Japan's economic growth, and there was a gradual transition to the use of natural gas, a clean energy that prevents environmental pollution. As a result, it became necessary to import these and other gases from overseas, and this led to a rapid increase in the demand for liquefied gas carriers (LPG ships and LNG ships) to transport gases in liquefied form. International exports increased rapidly with the remarkable growth of the automotive industry, and specialized automobile carriers combined bulk cargoes, or “Pure Car Carriers (PCC),” were developed in response to the demand for more efficient marine transport methods to accommodate this growing demand. Construction of combined automobile carriers began around 1965, and from 1970, many Pure Car Carriers were built to enable the efficient dedicated transport of automobiles.

The fundamental construction technologies used in the construction of these specialized ships had been fully put in place by the beginning of the 1960s through to the efforts invested in the shipbuilding industry following the war, and the unique needs of each type of specialized shipbuilding were met by the later development of specific technologies. Among the specialized ships covered in this survey, it was the liquefied gas carriers that required technologies differing from other specialized ships. The liquefaction of propane and natural gas (methane gas) must be achieved through either cooling or pressure, but in the case of ships transporting large volumes of these substances, the method commonly selected is cooling. The temperatures for liquefaction of these gases are -42°C for propane gas and -162°C for natural gas. The construction of large numbers of liquefied gas carriers was made possible through the development of low-temperature technologies that met these requirements. Particularly in the case of natural gas, the extremely low liquefaction temperature of -162°C presented numerous problems, including shrinking of the storage containers due to thermal changes, and problems with container materials in terms of insulation and resistance to low temperatures. For these reasons, the basic concepts for transport methods were developed overseas. The majority of Japanese shipping companies constructed high-quality liquefied gas carriers by using basic concepts for technologies developed overseas, and then developing detailed technologies related to specific construction issues.

Among the specialized ships other than liquefied gas carriers, it was the container ships that required more advanced technologies than other specialized ships. With the introduction of container ships, port and harbor cargo handling became more efficient, and it became possible to transport cargo directly from the cargo sender to the receiver in a single consistent process. Needs increased rapidly as a result, and the size of ships grew dramatically as a means of increasing transport efficiency. Because container ships are required to operate on regular shipping routes within a specified time schedule, it was essential to develop ships that could maintain running speed even in the midst of constantly changing ocean wave conditions. Many large container ships were built by combining the results of model tank tests and analysis technologies by computer, which enabled the development of large, high-speed vessels.

Bulk carriers that handle iron ore and other cargo with high specific gravity, as well as Pure Car Carriers that adopt automated cargo handling methods to enable efficient handling of automobiles, require structural localization of the ships that had never been used before, and also require careful conformation of the structural strength of the ship bodies. Design technologies related to structural strength were incorporated at an early stage in the form of the computer-based “finite element method (FEM).” It is now possible to fully confirm structural safety, even in the case of large-scale bulk carriers that transport loads in excess of 200,000 tons.

In keeping with Japan's economic growth, in addition to the changing types of cargo being transported by sea, there have been increasing demands for greater efficiency in transport, and for the construction of diverse types of specialized ships. Through this survey, we have been able to confirm that Japan's shipbuilding industry is capable of manufacturing large numbers of specialized ships, through the construction of a firm foundation in shipbuilding technologies, and the development of specific technologies that respond to the requirements of each specialized application.

■ 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.....	189
2.戦後の世界船腹量と我が国の建造量	190
3.戦後我が国造船技術の進展.....	192
4.専用船の概要.....	202
5.コンテナ船建造技術と建造船.....	205
6.液化ガス運搬船建造技術と建造船.....	217
7.ばら積み貨物船建造技術と建造船.....	242
8.自動車運搬船建造技術と建造船.....	252
9.まとめ	256
謝辞	258

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、平成15年度造船分野の技術系統化研究で「戦後建造大型タンカー技術発展の系統化」を実施した。今年度も引き続き造船分野の技術発展につき調査を実施することになり、今回は、世界経済の発展に伴う海上物流の変革により、新たに建造されるようになった専用船の建造と関連技術の発展につき調査研究し以下に報告する。

戦後の著しい世界経済成長の中で、最も顕著な現象は、エネルギー源の石油への転換による経済成長、および物流全般に変化・拡大が起きた事であろう。石油への依存は余りにも急激に進み過ぎた結果、2回におよぶ石油危機が発生、無駄なエネルギー消費を抑制する方向へと転換が進んだ。しかし、世界はよりよい社会環境の整備を目指し、石油危機発生以後の一時期を除き、その後の社会経済は順調に進展して行った。経済の発展に伴い、世界の海上荷動き量は年々増加の一途を辿ると同時に、環境汚染防止対応策等により海上荷動き貨物も多様化した。運航する船舶も、海上輸送する貨物に対応した専用船の建造が増加して行った。世界経済の順調な発展による海上荷動き量増大の中で、専用船化した船舶建造量の増加が著しいのは「コンテナ船」、「液化ガス運搬船」である。

コンテナ船による海上輸送は港湾での荷役の簡易化と、貨物の荷主・客先への集配の利便性などが顕著である事により、従来の貨物船による輸送方式を改革し、海上輸送の発展に大きく寄与した。国際海上輸送におけるコンテナ化の始まりは、1960年代後半であるが、近年のコンテナ船建造量の増大と大型化は著しく、今後更に増大・大型化の傾向にある。コンテナ船運航開始当初は、長さ20フィート（6.058メートル）コンテナによる輸送が主流であった。しかし、間もなく輸送の効率化を考慮し、長さ40フィート（12.192メートル）

コンテナを可能な限り多数積載し、定時運航の維持と運航採算を目指す船型へと進化した。関連する造船建造技術の変遷を以下に顧みる事とする。

一方、液化ガス運搬船は、プロパンガス・天然ガスを液化して輸送するLPG船、LNG船である。特に、天然ガスはクリーンエネルギーとして電力・都市ガス業界での需要が大幅に増大し、LNG船の需要は急激に増加している。各々のガス液化対応は、常温で加圧化または大気圧下で冷却化によらねばならない。しかし、加圧化による液化対応は高圧力が必要となることから、輸送効率上大量海上輸送する場合は殆ど冷却化による方法である。各々の冷却による液化温度は、プロパンガス-42℃、天然ガス-162℃で、通常の造船建造技術に加え低温対応技術が必要となる。この特殊な低温関連技術への対応状況にも触れる事とする。

全世界船腹量の船種別割合、即ち各専用船の占有比率はタンカー、ばら積み貨物船（鉱石・石炭・穀物などを運搬する）が最も多く、各々全船腹量の約1/3程度を占めている。ばら積み貨物船の建造技術は、大型タンカー建造技術と大きな差異はないので、共通部分は省略し、ばら積み貨物船固有技術を重点的に調査する。

この他、我が国の自動車業界の驚異的な発展による輸出車の急増があり、その輸送を担う自動車専用船（Pure Car Carrier：PCC）が多数建造されているので、特有の輸送形式の変遷などについても触れることとする。

上記4種類の専用船建造に関する固有技術の発展・変遷、並びに建造された専用船との関連につき述べるが、昨年度タンカーの大型化技術の系統化を行う際に調査した、戦後の我が国造船技術全般に亘る変遷についても簡単に触れ、専用船建造に関する固有技術の発展・推移との関連を明確にする。

2 戦後の世界船腹量と我が国の建造量

2.1 世界の海上荷動き量

戦後の世界経済は技術の進歩と共に大きく発展した。世界経済活動の進展、産業活動分布の変化により、世界各国間の物流は急速に拡大した。世界各国間の物流を支えるのは、船舶による海上輸送が大部分である。海上物流はエネルギー源の原油を始め、製品の原材料となる諸資源、あるいは工業製品などで、あらゆる産業の経済活動に関与する物資の輸送である。石油危機発生時点（第1次1973年、第2次1979年）までは、原油の海上荷動き量の驚異的拡大と共に、海上荷動き量は全般に増加の一途を辿った。しかし、1979年発生の第2次石油危機以降、一転して石油消費の減少などにより、1985年頃迄海上荷動き量は減少を続けた。しかし、1985年以降世界経済の回復に伴い、順調に荷動き量は増加している。全世界の海上荷動き量は、1990年時点で石油危機発生以前の状態に回復し、それ以降順調な伸びを見ている。この中で原油の荷動き量は、石油危機発生時点の量までには回復していないが、原油以外の荷動き量は増加の一途を辿っている¹（図2.1、付録表1）。

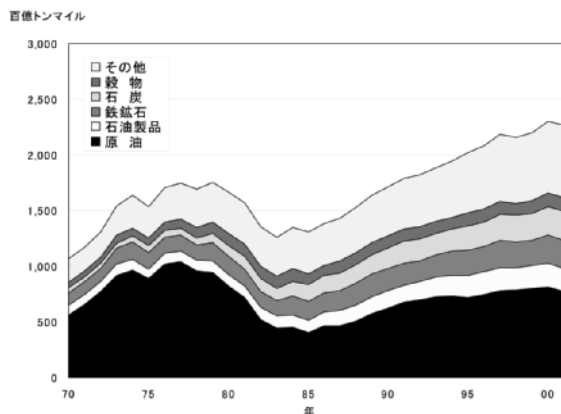


図2.1 世界の海上荷動き量の推移

原油以外の荷動き量増加傾向にある中で、特に増加率の高いのは、コンテナによる輸送量で、1984年ごろから年間10%近くの伸びを示し1994年に至る10年間で、2倍以上のコンテナ取扱量を記録している²（図2.2）。

液化ガスの全世界流通量データは不明であるが、我が国におけるLPガス、天然ガス需要動向の概略数値

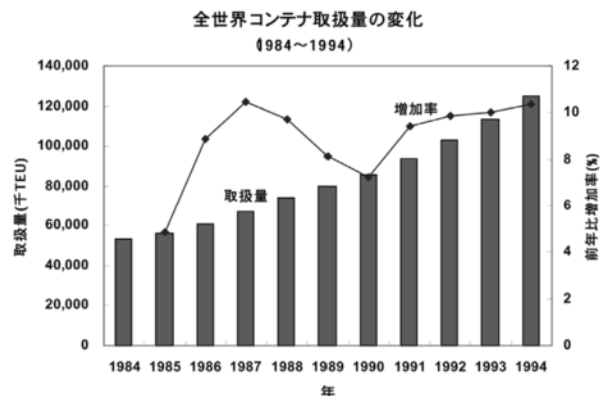


図2.2 全世界コンテナ取扱量の増加

は次の通りである。LPガスの需要は1956年ごろより始まり、当時の需要量は年間4.5万トン程度であったが、1962年に年間100万トンを記録している。その後、経済の高成長と共に需要は増加し、第1次石油危機の起こった1973年には年間1,000万トンに近づき、1990年以降の需要は年間1,900万トン前後で推移している³。

LNG需要は電力・都市ガス業界のクリーンエネルギーへの転換により、1969年から輸入が開始された。供給先毎に年間の輸入量を定め、電力・ガス業界が共同して長期の契約を結び輸入を行っている（表2.1）。

表2.1 LNG輸入量（長期契約ベース）

供給源	導入開始時期	平年度供給量(契約ベース)万トン	年度末累計万トン
アラスカ	1969. 11	130	130
ブルネイ	1972. 12	601	731
アブダビ	1977. 5	430	
インドネシア I	1977. 8	845	2, 006
マレーシア I	1983. 2	740	
インドネシア II	1983. 8	352	3, 098
インドネシア III	1984. 1	352	3, 450
オーストラリア	1989. 8	733	4, 183
マレーシア I	1993. 10	36	4, 219
インドネシア IV	1994. 1	230	4, 449
マレーシア II	1995. 6	210	4, 659
インドネシア V	1996. 3	40	
マレーシア II	1996. 6	50	
マレーシア II	1996. 6	45	4, 794
マレーシア II	1997. 6	15	4, 809
カタール	1997. 1	400	5, 209
カタール	1998. 9	200	5, 409
オマーン	2000. 11	66	5, 475
マレーシア	2003. 3	48	5, 523
合計		5, 523	

単位：万トン 2003年6月現在 日本ガス協会調べ

¹ Fearnleys "Review"より日本造船工業会作成資料による

² Containerisation International Yearbookより

³ 旧通産省“LPガス産業データ”並びに日本LPガス協会資料より

2.2 全世界船腹量の変遷

海上荷動きを支える船舶は、当然の事ながら荷動きの増大により船腹量は拡大し、荷動き貨物の多様化により、建造される船舶の種類も大きく拡大して行った。石油危機発生までは、原油荷動きの増加に対応し、タンカーの需要が急激に増加した。また、輸送量増大への対処と、輸送コストの低減を目指し船型の大型化が急速に進んだ。

原油荷動き以外に量的に多い鉄鉱石・石炭・穀物等を輸送するばら積み貨物船、その他貨物の輸送に適する多種類の専用船が建造されるようになった。各々の専用船は、貨物輸送の効率化などに適する船体構造様式が採用されている。現在までに建造された船舶の種類は多岐に及ぶが、数量的に多数建造されているのは、タンカー、ばら積み船で各々全船腹量の1/3程度を占めている（図2.3、付録 表2）。しかし、石油危機発生以後の海上荷動き内容の変化に伴い、1980年代後半以降はコンテナ取扱量が急激に増加し、1990年代後半にはコンテナ船の船腹量が、全船腹量の10%を超える状況になった。コンテナ船の増加と同様に、環境維持の見地よりクリーンエネルギーであるLNGの使用が近年増加し、LNG運搬船の船腹量増加も著しい⁴（付録 表3）。

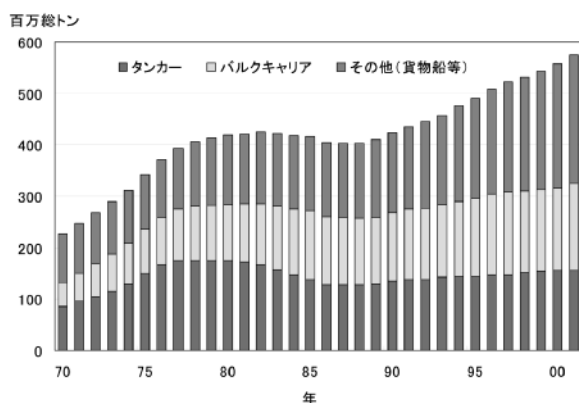


図2.3 世界の船種別船腹量の推移

全世界の船腹量の変遷状況は上述の通りであるが、年々新造される全世界の建造量に占める我が国の建造実績は、1960年代後半から1980年代半ばに至るまで、全世界の約50%近い割合を占めている⁵（図2.4、付録 表4）。しかし、1980年代半ば以降は韓国の建造設備拡大により、追い上げを受け近年では韓国とほぼ同レベルの建造量で、熾烈なコスト競争を引き起こしている。

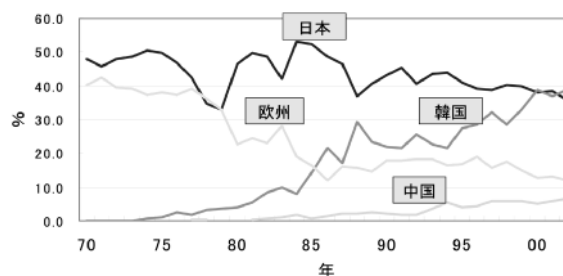


図2.4 各国年間竣工量比率

全世界新造船建造量の50%近くの建造量を、ほぼ20年間連続維持した造船技術と、その変遷の概要を述べると共に、多数建造された各専用船の建造に関係する技術とその進展を次章以降に述べる。

⁴ Lloyd's Register（1991年までは"Statistical Tables"、92年以降は"World Fleet Statistics"）より日本造船工業会作成による

⁵ 上記4項に同じ

3 戦後我が国造船技術の進展

我が国造船業界は、戦後荒廃した造船業の早急な復旧を目指し、学会と産業界が共同して、鋼船の建造工作に関する研究を幅広く行なった結果、多くの技術基盤の構築がなされた事実を、昨年度実施の調査報告に述べた。今年度実施する各専用船建造にもこれ等基盤技術は、必須技術であるので昨年度報告内容の要約を、以下の5項目に区分し述べる。

- (1) 溶接技術と溶接性に優れる鋼材
- (2) ブロック建造法と造船所設備
- (3) 船型設計技術の構築
- (4) 船体構造強度解析技術の高度化
- (5) コンピュータ利用による効率化

第2次大戦による壊滅状態からの復旧を目指した産学の共同研究により、これ等技術項目の基本部分は、1960年代半ばまでにほぼ構築された。この技術開発成果により、性能・品質に優れ且つ建造期間の短縮を可能とする造船技術が完成した。その結果1956年から約半世紀近くの長期間世界一の建造量確保が出来たと考える。

以下に我が国造船業界の大きな発展となった主要な基盤技術変遷につき述べるが、主な技術発展の概況を付録 図1に示すので、技術進展状況の概要把握に参照頂きたい。

注：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/sts/>)の造船分野(分野資料番号1010-1014-0000、または9002-9010-0000*)に整理保管されている分野シークエンス番号(下4桁)を示す。

3.1 溶接技術と溶接性に優れる鋼材

第2次大戦後の造船業復旧を目指した技術革新の第一の課題は、溶接を全面的に採用する建造法の構築であった。最初に採り上げた研究課題は、第2次大戦中米国において、全溶接構造により大量建造された戦標船“T-2タンカー”に発生した、冬期の脆性破壊問題の解

明であった⁶。この問題究明を学会・産業界の共同研究により、先ず鋼材の製鋼・脱酸・圧延方法と成分構成による、鋼材の特性・亀裂発生機構の関連につき追求した。並行して脆性破壊の評価方法につき、鋼材のじんせい値評価試験法の研究⁷も鋭意進められた。脆性破壊発生メカニズム、鋼材切り欠きじんせい値評価試験法の確立により、溶接船に使用する造船用鋼材の材質規格が、世界の主要船級協会(IACS: International Association of Classification Societies)により1959年統一規格として制定され、溶接船の品質・信頼性は飛躍的に向上した。

造船用鋼材規格(普通鋼)が制定され、溶接全面採用の不安は解消された。しかし、船型の大型化、液化ガス専用船などへの対応で、高張力鋼・低温用鋼板需要が増加し、これ等鋼板の規格も順次制定された。我が国製鉄メーカーも造船業界の建造量の増加・大型化に対応し、鋭意造船用厚板の製鋼・圧延に関する技術開発が強力に進められた。この溶接性に優れた鋼板の開発は、新造船の大量建造・大型化・特殊船の建造を強力に援助し、建造量世界一を達成した大きな要素の一つである。製鉄メーカーによる、溶接施工効率向上に対応する鋼板開発は継続的に進められ、1980年代前半には、普通鋼とほぼ同じ溶接条件で施工可能な高張力鋼・低温用鋼板等が圧延供給された。この新圧延技術による高張力鋼・低温用鋼板は、TMCP(Thermo Mechanical Controlled Process)鋼と呼称された。石油危機後の省エネ化に必要な要素の一つである船体構造重量軽減に、高張力鋼の採用は欠かせぬ要素である。TMCP鋼採用により、高張力鋼使用範囲の拡大を容易にした事は、大変意義深い事である。

溶接性に優れた鋼板の供給が実現し、溶接施工方法の効率化に関する施工条件、溶接機器、溶接材料に関する研究も盛んに行われ、溶接施工効率は大きく向上して行った。

溶接施工方法の改良・効率化に関する研究は種々実施されたが、最初に採り上げられたのは、溶接速度を高めるサブマージーク溶接法⁸である。1950年下向き板継ぎ自動サブマージーク溶接法に関し、ユニオンメルト社より機械を購入、各造船所にて適用方法の

⁶ 日本溶接協会“造船の溶接-35年の歩み- 1985年 p63

⁷ 日本造船研究協会40年史 p244&247 “SR 3, SR 5, SR 19

⁸ 1933年アメリカで開発された板を下向きに接合するときの自動溶接法

検討を実施した。その後、この多角的な検討結果を参照し、大阪変圧機とユニオンメルト社間の技術提携により国産量産機が生産され、各造船所では本溶接法を広く採用する事により溶接工数削減・品質確保を達成して行った（資料-1220、1221）（図3.1）（写真3.1）。

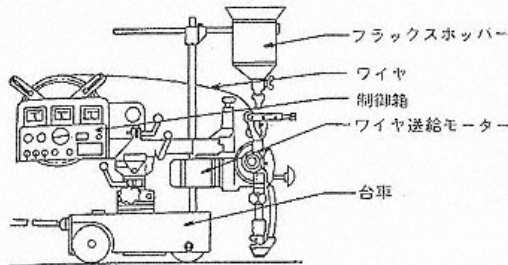


図3.1 サブマージアーク溶接法（資料-1221）

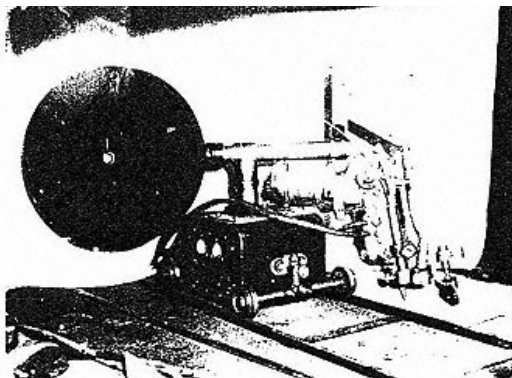


写真3.1 サブマージアーク溶接機(国産1号機)(資料-1220)

サブマージアーク板継ぎ溶接法は、当初板継手の両面を溶接する必要があるが、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、1961年頃より片面サブマージアーク溶接法（資料-1222）（図3.2）の研究が積極的に進められ、1965年以降実用に供され、我が国の大量建造・建造効

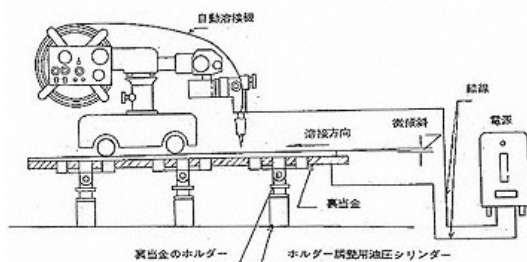


図3.2 片面サブマージアーク溶接法（資料-1222）

率化に大きく寄与した。本溶接法実用化の初期には、溶接端部にワレを発生する問題があり、それを回避すべく裏当て方式の研究等が行なわれ、平板の片面サブマージアーク溶接には、裏当て溶接法が採用される様になった⁹。また、船型の大型化に伴う厚板溶接効率向上に向け、溶接入熱を増大しワンパスまたは最小パス数を意図した、二電極または三電極サブマージアーク溶接の採用を試みた¹⁰。しかし、大入熱溶接を行なうと溶接熱影響部母材は、切欠じんせい値の低下を招く事があり、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。造船・製鉄会社の協力開発の結果、大入熱溶接にも優れた高張力鋼が供給される様になった。また、液化ガス運搬船に用いられる低温用銅板についても、ほぼ同様な開発が進められ、低温用タンク建造効率向上に寄与する鋼材が開発された¹¹。

機械化の難しいブロック継手部分の立て向き溶接にも、エレクトロスラグ・エレクトロガス溶接法¹²の採用を目指し1964年頃から開発を進めた（資料-1221）。1960年代後半より1970年にかけ実用化され、ブロック搭載・組立に広く活用される様になり建造の効率化に貢献した（写真3.2、写真3.3）。

一方、船体構造は、銅板により形成される構造であるが、銅板のみでは水圧・貨物・波浪等による荷重には耐えられず、銅板を桁材・骨材の補強材により補強

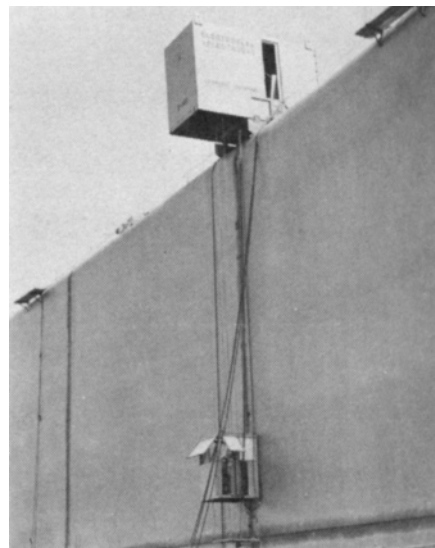


写真3.2 エレクトロスラグ溶接（造船の溶接-35年の歩み）

9 日本溶接協会 “造船の溶接-35年の歩み- 1985年 p138

10 三菱重工技報 Vol. 4-3 1967年、川崎重工技報 50号 1973年

11 日本溶接協会 “造船の溶接-35年の歩み- 1985年 p118、三菱重工技報 Vol. 21-2 1984年

12 日本溶接協会 “造船の溶接-35年の歩み- 1985年 p141

板の立て向きで接合するときの自動溶接法。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。フラックスまたはガスシールドによりアークを発生。

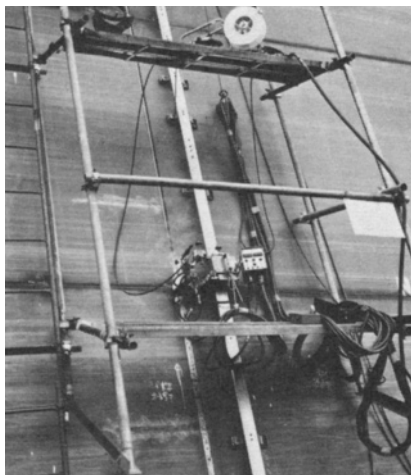


写真3.3 エレクトロガス溶接（造船の溶接—35年の歩み）

することにより船体強度を保っている。その結果桁材・骨材を鋼板に取付ける隅肉溶接が、造船溶接中最大の溶接長となり、隅肉溶接処理技術が重要な課題である。隅肉溶接の効率化に向け、グラビティ溶接（資料-1223）（写真3.4）の採用が1960年頃から進められた。グラビティ溶接は、ガイドレールにセットさ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ある。

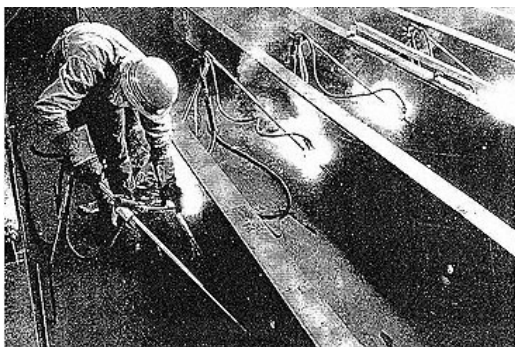


写真3.4 グラビティ溶接（資料-1223）

石油危機が発生した1980年以降、曲面板継ぎ、隅肉溶接法等の主な改善・合理化策は、炭酸ガスフラックス入りワイヤの開発による、CO₂半自動溶接機¹³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完全自動化、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、船体構造構成部材の複雑さもあり、顕著な実用化例が

見られないのが現状のようである。

第2次大戦後の造船業復旧を目指す、第一の技術改革課題として開発された溶接構造の全面採用は、ほぼ1950年代に達成し1960年代には合理化・効率化が積極的に実施された。石油危機発生後の1980年以降、新造船建造受注量の減少、建造船種の多様化への対応もこれ等基盤技術をベースに、更なる溶接品質の向上・効率化へ向け自動化を含めた技術開発が継続して行われている。

3.2 ブロック建造法と造船所設備

溶接性に優れた鋼材の開発と溶接技術の進展に伴い、建造方法は戦前の船台における部品毎の組立方式より、地上で船体構造をある大きさのブロックに建造し、出来上がったブロックを、船台または建造ドック内で搭載組立てる建造方式となった。溶接によるブロック建造法の採用は、構成部材の溶接・組立て順序などを指示する情報が必要となり、これ等の情報を示す工作図を作成するようになった¹⁴。工作図作成とほぼ同時期、構成各部材の切断・加工情報作成作業を、現尺による方法より1/10縮尺方法へと変更した。1960年代に入りコンピュータの普及が始まり、曲面を構成する曲がり板を平面に展開し、加工する情報作成にコンピュータの利用を開始した。その後、1960年代後半各造船所では、船体構造部材形状を数値情報化する原語を作成し、NCガス切断する装置を導入する事により、部材の切断効率の向上と共に精度を飛躍的に向上させた。1970年代に入りNCガス切断装置は、徐々にNCプラズマ切断へと変わっていった。

ブロック建造は、先述の工作図の指示に従い、地上にて部材の組立てを順次行なう、流れ作業方式へと転換して行った。この流れ作業方式は、鋼材の搬入、切断部材の野書き、ガス切断、曲げ加工などを経て、部材を組立てて行く一連の作業を構成するので、ブロック組立を行う溶接工場建屋・設備が必要となった。この組立溶接工場が戦後はじめて設置されたのは、1951年三井造船玉野造船所であった。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、大型溶接組立工場も各所に設置され、建造期間

¹³ 不活性ガスシールド溶接として1950年頃より使用開始、その後炭酸ガスシールドに変更。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かった。しかし、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広がった。

¹⁴ 川瀬 晃：日本造船学会誌「TECHNO MARINE」第871号 2003-1月

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、タンク内等に設置される配管類も船体構造組立と同時に取付けられる様になった。これにより、艤装品類の取付け作業も容易になり、全体工程の短縮を可能にした(資料-1212)。組立工場内では、部品或いは小組立された部品を溶接作業により、ブロックに組上げて行くが、溶接方法の機械化を図り、更なる合理化・省力化を狙う組立装置の開発(資料-1205)が、1960年代半ば頃から考案されている。組立工場にて組上げられたブロックは、船台又は建造ドックにて船体構造に組上げられるが、建造船台・ドックサイズ、設置クレーン容量等により組立方法が異なり、建造期間の短縮・工程の平準化等を考え種々工夫がなされている(資料-1209)。

1960年代後半から、船型の大型化と新造船建造需要の急激な増大に対処すべく、各造船会社は、既存造船所と異なる地域での大型船建造造船所の新設を決め、1970年頃迄に50万トン級超大型船の建造が可能となる新設造船所を完備した。それ以降も、一部の造船会社では、50万トンを超え100万トン級超大型船の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。新設造船所は、各社独自の大型船建造方式を採用し、建造の合理化・効率化を目指した工場配置となっている。即ち、鋼材の搬入より切断・加工・組立・ブロックの大型化を経て、ドック内でのブロック搭載方法に至る各工程を工夫し、独自の工場配置・クレーン設備となっている¹⁵。

ブロック建造法による大型船建造は、溶接技術の進展と各社独自の創意工夫による、大型ドック、ブロック建造建屋、加工・組立て装置の新設、建造工程管理の充実等により、我が国造船技術の根幹を成している。石油危機発生まで驚異的な発展をした我が国造船業は、石油危機発生以降は一転して新造船の発注が激減し、我が国造船業界の設備は過剰状態になり、1980年には35%の設備を削減せざるを得ない状況になった。更に1985年頃から、韓国の急激な伸展により競争の激化が一段と進み、需給調整の必要性から1988年には、更に20%の設備削減を実施した。

しかし、世界の荷動き多様化に関連し、LNG船の需要増大に伴うLNGタンク建造を支える、厚板アルミの溶接・組立技術が必要となり、技術の開発と同時に大

型LNGタンク建造設備の新設が行なわれた。これ等については後述の液化ガス運搬船の技術発展変遷の章で述べる。

3.3 船型設計技術の構築

新造船を建造する船主は、輸送対象とする貨物の種類をはじめ、輸送量・投入航路・航行時間などを設定し、対象貨物の積載量、運航速度をはじめ多くの仕様要求をするのが通例である。客先の要求に対し、先ず造船所はその要求を満足する様な船型設計を行なう事になる。客先の収益に大きな影響を及ぼす船型設計技術は、輸送の高効率化・高性能化への影響が大きく、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上で、概略の船型・性能を比較的短時間に設計出来る技術力を要求される場合が結構数多くある。この対応には、船型と船速に対応した技術のみでなく、幅広い要素に及ぶ技術力と、多くの実績データの分析等を駆使しながら、迅速に対応する能力が必要となる。

船型設計(水中没水部の船体形状の決定)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、水中部と空中部の両部分を航走するので、境界層問題を解決せねばならず、船型設計の技術解明には難しさが伴う。顧客に満足を与える船型設計には、個々の要素技術の進展・向上が重要であるが、同時に進展・向上した要素の関連を見極め、調和を取る設計技術が必要である。例えば、船型設計における推進性能設計に関し言及すれば、単に船体周りの抵抗問題を処理するのではなく、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勘案しながら、総合的にまとめる技術が必要である。

しかし、船型設計上やはり重要な要素技術は、船体抵抗と推進装置に関する問題である。戦前から推進に関する多くの研究がなされているが、先にも述べた境界層問題があり、理論展開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。また、三菱造船株式会社長崎造船所の小水槽は、戦災により被害を

¹⁵ 日本造船工業会：日本造船工業会30年史 1980年 p336

受けた水槽の復旧を急ぎ、1949年に復旧稼動を始め（資料-1249）、その後逐次戦前に設置された水槽の復旧が行なわれている事は、水槽試験を大変重視していることが伺える（写真3.5、写真3.6）。

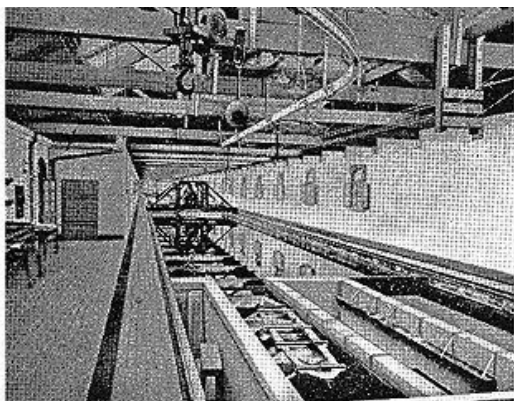


写真3.5 三菱重工船型試験水槽（飽の浦地区）（資料1248）

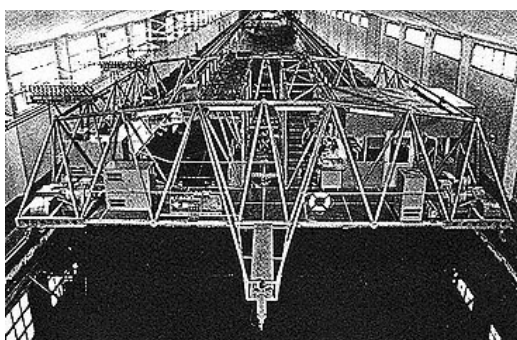


写真3.6 三菱重工船型試験水槽（浦上地区）（資料1249）

その後、1963年には運輸省船舶技術研究所（現独立行政法人海上技術研究所、東京三鷹）に大型船曳航試験水槽（長さ400m、幅18m、深さ8m、曳引車最高速度15m/sec）設置に着手し、1965年完成している。この後、三菱重工以外の各民間企業も、試験水槽設置を開始した。試験水槽の充実、タンカーの大型化、高速コンテナ船、大型液化ガス運搬船の出現に対応し、優れた船型開発に大きく貢献出来た。超大型船の抵抗試験では、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。船型設計は各社の受注競争上、重要な要素であるので、各社は各々の水槽試験設備を存分に活用し、推進性能関連技術開発を競った¹⁶。

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、新しい展開があった。当時の新造波抵抗理論の中で、1961年東大乾教授が発表した新理論¹⁷は、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。取付けられる船首バルブ形状は以後変化をしているが、現在も殆どの船に何らかの船首バルブが取付けられている（資料-1036）。

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¹⁸も盛んに行なわれ、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、超大型肥大船・高速コンテナ船の船尾流に起こる不均一流中で作動するプロペラに発生する、キャビテーション問題などの解決に、キャビテーション試験水槽の設置が望まれ、運輸省船舶技術研究所を始め民間企業にも新設された。キャビテーション試験水槽の設置により、キャビテーション性能改善、プロペラ起振力を低減するハイリスキュードプロペラが開発された¹⁹。

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航行速度にも影響が起こる。当然船型設計を行なうには、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²⁰が1959年発表された。また、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入れ、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、船の航行指針に関する参考情報を提供する事も可能となりつつある。

16 日本造船学会 日本造船技術百年史 p126,132,219

17 乾 崇夫他：造船協会論文 第108号(1960)、109号(1961)、110号(1961)

18 谷口 中：日本造船学会誌 第490号(1970)

19 日本造船学会 日本造船技術百年史 p217

20 田才福三：造船協会論文 第105号(1959)

船体に働く3次元の流体力により生ずる運動を求める解析方法、船体を輪切りにした細片（ストリップ）に働く2次元流体力を計算し、船体長さ方向に積分した近似的解析方法。

船型設計を行う上で水槽試験が重要な役割を担うのは、推進抵抗の問題ばかりではなく、波浪中を航行する際、波による船体運動応答の最小化と、船の旋回等に関連する操縦性能問題の解明に対処する、試験水槽設置の必要性も認められていた。これ等課題を究明する大型角水槽（長さ80m、幅80m、深さ4.5m造波装置付き）が、1960年運輸省船舶技術研究所に設置され、波浪中の船体運動応答を、水槽試験により把握出来る様になった。翌年には、九州大学にも旋回試験水槽が設置され、操縦性に関する自航模型試験が活発に行われる様になった²¹。その後1970年には、東京大学に拘束模型実験により、船体に働く波による強制力を斜め波中でも測定出来る角水槽が設置され、当時盛んに行われたストリップ法による船体運動応答解析結果との対比がなされた²²。

石油危機以降は、世界経済全般に省エネルギー対策が広がり、船舶の運航には燃料消費の少ない省エネ船型が強く望まれる様になった。これに対応する船型設計技術面では、推進抵抗の減少、推進効率の高いプロペラの設計、プロペラに流入する水流を整流しプロペラ効率の向上策、プロペラ後方の回転流の回収などに関する開発がなされた。プロペラ推進効率に関しては、船型の大型化により、プロペラ翼面の荷重増加による推進効率低下が起こって来た。プロペラ翼荷重の低下を阻止すべく、プロペラ直径を大きくし翼面積の増大と、回転数の減少により対応した²³。プロペラ後方の回転流れエネルギーを吸収する二重反転プロペラ（Contra-Rotating Propeller : CRP）（資料－1150,1191）（写真3.7、写真3.8）の開発、船体後部の流れを整流す

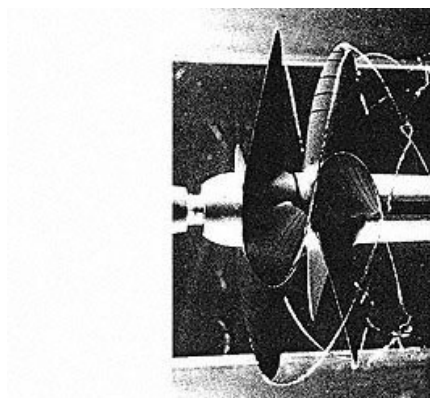


写真3.7 二重反転プロペラ（その1）（資料－1150）

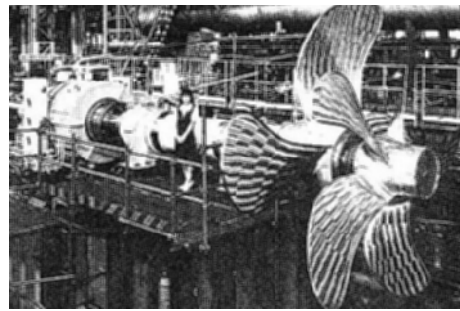


写真3.8 二重反転プロペラ（その2）（資料－1191）

る付加物の取付け等数多くの方法が考案されている²⁴。

省エネ船型開発の強い要求に対し、従来の水槽試験を基盤にした船体推進抵抗推定方法では、多角的な開発を進める事が困難になりつつあった。1980年代に入り大容量コンピュータの出現もあり、船体周りの流れ解析を、数値流体解析法（Computational Fluid Dynamics : CFD）を適用する様になった。これ以降、数値解析と模型試験を併用する船型開発方法が採用される様になり、暫時利用方法の改善、解析精度向上を図る解析ソフトの改良も行われ、徐々に広く活用される様になり、船型設計法の高度化・迅速化が進んだ。抵抗低減・推進器効率の向上策が種々行なわれると同時に、主推進機関となるディーゼル機関の低燃費対策が行なわれ、著しい燃費低減が実現している。三井B&Wディーゼルエンジンは、1976年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²⁵。更に1979年には、高効率な静圧方式過給気の出現により、それまでの動圧方式を静圧方式に変え、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、大幅な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年にはシリンダ内の最高圧力を増大し、燃焼効率を増加した機種（資料－1182）を開発している。それ以降も、更なるロングストローク化、シリンダ最高圧力の増加などの改良、使用負荷条件の低減等による新機種（資料－1183）を発表している。1987年に発表された機種の燃費は、最高出力より低い使用条件における出力では、1979年に発表された機種より更に18gr/BHP-hrの大幅低減を達成している。

その後、低燃費機関の需要と共に、コンテナ船の急速な大型化による高馬力ディーゼルエンジンの需要

21 日本造船学会 日本造船技術百年史 p134,138

22 日本造船学会 日本造船技術百年史 p227

23 門井弘行：日本造船学会誌 第622号(1981)

24 日本造船学会 日本造船技術百年史 p220～222

25 三井造船株式会社：三井造船株式会社75年史 1993年

が、急速に高まった。この需要の高まりに呼応し、三井B&Wディーゼルエンジンはそれまでのシリンダ径900mmを980mmとし、シリンダ有効圧力の増大により、最大90,000PSを超える画期的な高馬力ディーゼルエンジンを、2001年完成している。

試験水槽設備の充実による試験内容・方法の拡充、流体解析法の向上と数値解析法（CFD）の活用、推進装置の開発等により船型設計技術は、石油危機以降目覚ましい進展があり、造船業界の苦境の打開と厳しい競争に打ち勝つ大きな原動力となっている。

3.4 船体構造強度解析技術の高度化

船型設計技術の重要性和同時に、波浪中大量の貨物を積載、安全に運航する船体構造設計技術も重要な要素である。戦後船体構造継手は鋲接合より溶接結合になり、継手強度は向上した。しかし、溶接により発生する拘束力に起因する低温脆性破壊、座屈変形、あるいは僅かな溶接欠陥から発生する疲労破壊問題の解明が重要な課題となった。溶接により船体構造強度に与える影響のほか、船型の急激な大型化と輸送効率を考慮した多種類の専用船の登場は、構造配置の変化もあり、細部におよぶ強度解析技術が必要となった。専用船は貨物の特性・形状に対応した構造配置が必要となり、船体構造構成は各々異なる。各々の船体構造の特徴を示す船体中央部分の横断面図を図3.3に示す。

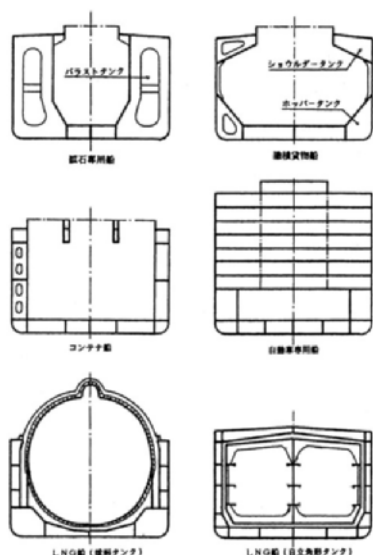


図3.3 専用船の中央断面図（造船技術百年史）

船体構造配置と部材寸法は、航行中に受ける波浪と積荷による荷重を把握し、構造部材の挙動応答解析結果により設定する必要がある。通常船体構造設計は、船体縦強度²⁶、横強度²⁷、各構造部材の局部強度解析を行い、同時にエンジン・プロペラ等の起振源より発生する振動応答解析の実施も必要である。

波浪による荷重算定は、海象状況の把握より始める必要がある。1960年前後から、海象状況統計資料を基に、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た。この成果を利用する事により、海象波浪の長期発生状況が従前に比し詳しく予測出来るようになった。海象の長期予測導入前、船体縦強度の評価は、船長と等しい波長で船長の1/20波高に遭遇するとの条件によっていた。多くの研究成果により、統計的处理法による波浪分布予測が認められ、従来設定していた波浪は過剰であるとの結論となり、各国船級協会規則にも反映された。船長300mを超える超大型船の船体縦強度規則にも採りいれられ、船体構造部材配置・寸法設定が容易となった²⁸。エネルギー・スペクトラム概念による海洋波の研究は、その後も広く海洋海象データ収集を実施し、船体縦強度のみならず、横強度・局部構造解析を実施するに当たり活用されるようになった。波浪により船体を受ける荷重算出は、前述の波浪中の船体運動解析を行う「ストリップ法」解析から算出している。特に、船の生涯寿命を考慮する疲労強度の評価に当たっては、波浪の発生頻度とその大きさを定め、疲労寿命予測を行なう場合広く用いられるようになった。

しかし、波浪中に航行する船舶が遭遇する波浪の実態把握を、種々の計測装置により運航時実測を行なうが、精度の高いデータがなかなか得られないのが実情である。運航時に船体構造部材に発生する応力分布計測例は数多くあるが、波浪状況の把握が充分でなく計測応力分布と、構造解析結果との対比が充分に行えないのが現状で、船体構造強度評価の難しさがある。

一方、積み付けられた貨物による船体への荷重は、貨物重量のみではなく、船体運動による加速度に起因する附加荷重、および液体貨物の場合、液体運動により発生するスロッシング荷重がある。スロッシング荷重については、1964年より2年間、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

²⁶ 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。

²⁷ 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する強度。

²⁸ 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)

果に関する研究」²⁹が行われ、タンカーのタンク内積荷液の運動状況の把握と、構造物への荷重算定法が解明された。その後、液化ガス運搬船のタンク内に起こる、スロッシング現象に関する研究が多数行われ、現象の把握と構造物に与える荷重の確認が出来る様になった。

船体構造設計は、本来構造部材に作用する外部からの荷重を基に、変形・応力応答現象を把握するのが通常の方法である。しかし、従来の船体構造設計は、船体構造の複雑さと、波浪等による荷重算定の不確実な事から、長年の経験と過去の実績を基準とした船級協会の定める規則による設計方法に依存していた。その後、船型の大型化の進行と、従来の構造配置と異なる専用船の出現により、船級協会規則のみによる構造部材寸法を定める設計方法では、十分な安全性の確認が出来なくなる状況になった。船型の大型化と専用船の出現は、1960年半ば以降であるが、ほぼ同時代にコンピュータの大容量化が進み、有限要素法（Finite Element Method :FEM）等マトリックス法による構造解析法が急速に採用される様になり、新しい構造配置となる専用船の構造強度解析に広く活用された。

このマトリックス法による構造強度解析法を活用すれば、構造物の変形状況などの挙動・応答をかなり詳細に求める事が可能となった。しかし、実際細部におよぶ解析を実行するには、構造部材配置を忠実にモデル化して実行すべきであるが、構造配置が複雑で実現しにくい。そこで、船体を構成する板構造を、骨組構造モデルにモデル化し解析する方法が多く採用されていたが、船型の大型化・新しい構造配置となる専用船に対する構造解析には大変苦労が多かった。

しかし、1970年前後から、船型の大型化と共にコンテナ船などの専用船建造が始まり、専用船の船体構造強度解析は、より高精度に実施する必要性に迫られた。船体構造設計に携わる技術者は、より精度の高い船体構造強度評価を行うべく、有限要素法（FEM）による強度解析実施に広く取り組んだが、コンピュータへの入力情報の作成と、解析結果の出力情報の整理には相当の労力を要した。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」³⁰

と名づけられ、完成までに約5年間に要した。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なく終わり、大型専用ソフトの開発に対する一つの教訓となった。開発ソフトの利用は殆どなかったが、有限要素法による構造強度解析の必要性は高く、コンピュータの驚異的な進展と多種多様な汎用ソフトの出現により、有限要素法による解析は広く引継ぎ行われている。

先にも述べたが、船体構造設計方法は、船級協会規則に則り構造部材配置・寸法を決定して行くのが一般的であったが、コンピュータ構造解析の普及により、詳細構造解析結果を十分に加味して、船体構造部材配置と寸法の決定を行う様に変化して行った。構造部材寸法を決定するには、各々の構造強度挙動に対する安全率のあり方が問題となる。大きな荷重による破断・挫屈、あるいは繰返し荷重による疲労破壊現象に対する、構造の安全性を、どの様に評価するか難しい問題がある。破断・挫屈現象については、古くから材料力学・弾性論などで研究解明されており、荷重の評価を充分に行えば構造の安全性は確保出来る。しかし、疲労による破損現象は、作用荷重と使用材料の疲労特性あるいは溶接部の状態などに起因する要素が多く、技術解明には困難な問題が多い。船体構造に起こる疲労破壊は、主に波浪による変動荷重と、エンジン・プロペラなどの回転により発生する振動外力が原因となる。船体構造に発生する疲労破壊は、機械装置などで発生するハイスサイクル疲労ではなく、波浪によるロウサイクル荷重による事が多い。1960年代に入り、日本造船研究協会にてロウサイクル疲労に関する研究が開始され、引き続き多数の研究が各方面で行われているが、明解な評価基準の設定に至っていないのが現状である³¹。この要因は海象波浪状況把握の難しさによる疲労クラックの発生現象、並びに波浪の大きさと頻度分布によるクラック進展状況評価が、なかなか出来ない事にあると思われる。疲労破壊発生と進展問題は、船体構造の寿命評価を行うには必要であり、特に液化ガス運搬船のタンク設計には、タンク構造疲労寿命評価をIMO条約により求められ重要な技術となっている。

船体構造設計に必要な基盤技術は、殆ど1980年頃までに開発され、それ以降は精度の向上を目指す細部にわたる研究が行われている。基盤技術の確立後実

29 日本造船研究協会40年史 p256 “SR 74”

30 日本造船研究協会40年史 p191

31 日本造船研究協会40年史 p254 “SR62”p260 “SR95”

施されている、細部に及ぶ疲労強度、クラック進展現象などの解明は、コンテナ船の大型化、大型液化ガス運搬船の建造に当たり、船体・タンク構造の信頼・安全性向上に大きく寄与している。更に、石油危機発生以後の省エネ対策として、TMCP鋼による高張力鋼使用範囲が拡大したが、船体構造の安全性確認と評価を充分に実施する上で、疲労強度解析技術の向上は大変有用である。

3.5 コンピュータ利用による効率化

戦後の混乱から、溶接の全面採用を目指した技術開発と、溶接船建造設備の整備がほぼ完了し、世界の造船技術レベルに並んだのは1960年ごろであった。ほぼ同年代、国産コンピュータの開発も進み、各社とも国産新機種の導入を進めた。これを契機に、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内容は、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。

各社で実施されたシステム化の第一は、造船の設計・建造を進めるに最も基本を成す、船型を表現する「線図」データ情報のシステム化に取り組んだ。設計段階では、船型形状の評価・確認を行うのに水槽試験が必要であり、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、現尺或いは写真罫書き法³²採用後は1/10縮尺による「フェアリング」³³作業を行う必要がある。この作業を行うには、作業スペース・時間を要するので、これらの作業をコンピュータ処理する事により、船型設計時作成の線図データを、建造用フェアリング作業にも共有する一貫システム化が、1965年頃より各社にて開始された。

線図関連システム化着手とはほぼ同時期、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。この言語開発には、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。我が国でも、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（資料-1218）（写真3.9）。

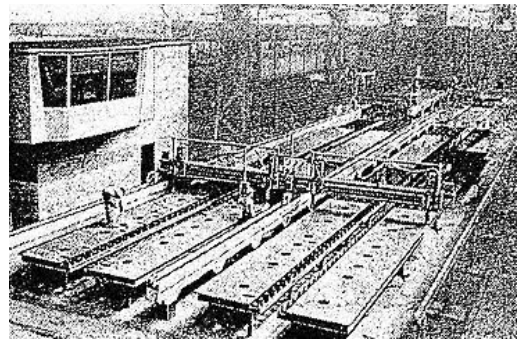


写真3.9 NC切断機（資料-1218）

各社にNC切断装置が導入されたが、切断に必要な情報は船体構造を示す図面から別途作成する必要がある。船体構造全体を示す図面から、切断部材情報を直接作成出来れば、関連する工作・管理情報等も付加出来、建造工程の効率化に大変有効である。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（船体長さ方向の板継手：シーム）・縦通材（船長方向に配置される板を補強する骨材：ロンジ材）に関する位置情報を含めてシステム化されている。線図システムを有効に活用し、構造図面情報を数値化し、コンピュータ処理するCAD（Computer Aided Design）システムが完成出来れば、設計より生産工程に至る生産効率の向上が大きく期待出来るので、1970年代半ば以降各社とも積極的に取組む様になった。更に設計から生産・資材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）。本システム開発は、設計より生産過程の全造船生産工程に及ぶトータルシステム

³² 船体構造部材の切断に際し、その形状の罫書きをするが、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。

³³ 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。

の構築であり、多数の船体構造部品・艤装品など複雑・膨大な数より構成されるので、完成に至るには容易でない。このシステム開発には、造船学会内にシステム研究委員会を設置し、産学による研究を開始した。その後、1980年代末期から1990年代初期に、財団法人「日本船舶振興会」（現「日本財団」）の多大な援助により「シップアンドオーシャン財団」に造船CIMS開発研究委員会を設置、各社より選出されたメンバーによる大型システム開発に取り組んだ。大型組立て産業におけるプロダクトモデル構成のあり方など、基本システ

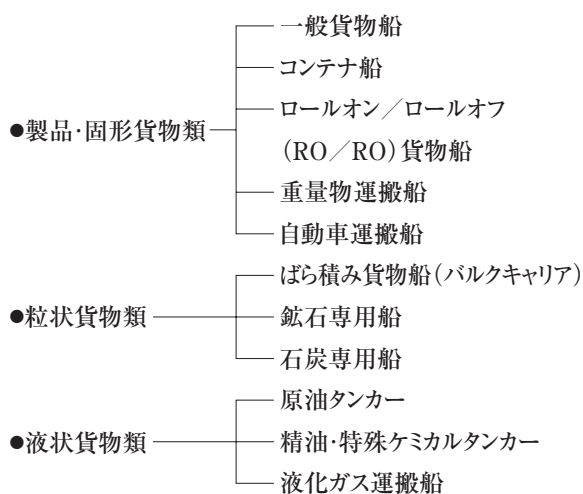
ム要素につき研究し、その成果を各社のシステムに適用、各々のシステム拡張がなされている様である。

一方、船型・構造設計技術関係の項でも述べたが、船型の大型化・専用船の増加に伴い、各々の解析技術内容の充実が要求されるようになった。細部に及ぶ解析内容と精度の向上が要求され、コンピュータによる処理によらねばならなくなった。船体構造解析は1960年代後半から、船型設計に関するCFDによる流体解析は、1980年頃より利用するようになった。

4 | 専用船の概要

本年度調査実施予定の専用船につきその概要を先ず説明する。専用船が多数建造される状況になったのは、世界経済の発展と共にエネルギー源となる原油をはじめ、原材料、加工製品物の海上荷動き量が飛躍的に増大し、同時に輸送の効率化が重要な課題となった事による（第2章 世界の海上荷動き量 参照）。海上荷動きを担う船舶による輸送の特徴は、大量の貨物を一隻の船に積込む事により、輸送の効率化を図って居る事はご承知の通りである。海上輸送の効率化を図るには、貨物の輸送時の形態・特性を把握し、輸送により貨物の品質変化などを起こさぬ専用船が必要となる。海上を荷動きする貨物の種類は、大変多岐に亘るが大別すると、製品などの固形貨物、粒状貨物、液状貨物に区別出来る。貨物の種類別に専用船を分けけると、おおむね以下の様になる。

各々の貨物に適する専用船となると種類名称も多いが、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・形態により商船を分けるとおおむね上記の如くなる。各々の貨物輸送に適する専用船は、上記以外にも多数あるが、各区分に属する船腹量の概略は、前述の第2章全世界の船腹量の変遷に述べた通りである。図2.3並びに付録表2よりわかる様に、タンカー、ばら積み貨物船（鉱石・石炭専用船を含む）が圧倒的に多数を占め、全船腹量の2/3を占めている。その他の専用船は、タンカー、ばら積み貨物船に比し量的に多くはないが、1980年代半ば以降「コンテナ船」、「液化ガス運搬船」の増加は著しく、その増加率は驚くべき量である。建造量の多い専用船の技術変遷を述べるに当たり、先ず調査対象とする専用船の概要を説明する。

(1) コンテナ船

電気製品から衣料、食品（冷凍品を含め）など多種多様な固形・製品雑貨類を、国際規格で定められたコンテナに積み込み、そのコンテナを船内または船の甲板上に積み上げ輸送する。コンテナ船の積み付け状況の概要・外観を図4.1、写真4.1に示す。コンテナ船が従来の一般貨物船に代わり、広く利用される様になったのは、港湾における荷役が容易となり迅速化された事と、貨物発送者より受取先まで、ドア・ツー・ドアの輸送実現により海陸一貫輸送を可能とし、輸送効率の向上がなされた事による。

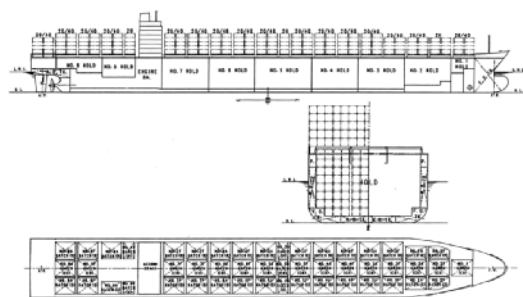


図4.1 コンテナ船概要図



写真4.1 コンテナ船

(2) 液化ガス運搬船：LPG船

プロパン・ブタンガスなどを液化して輸送する専用船。LPGは家庭・業務用を始め工業用、自動車用、都市ガス用など、1970年代にその需要量が増大し、中東諸国から大量に輸入される様になった。ガスの液化方法は、常温で加圧し液化する加圧式（プロパンの場合：外気温度46℃における液化圧力15.0kg/cm²）、大気圧下で冷却して液化する冷却式（プロパンの場合：-42.0℃）、および半冷却・半加圧の3方式による。輸送容量が一般的に10,000m³以上の大型船では、冷却式となるのが通例である。国内沿岸輸送に従事する5,000m³前後の船は、一般的に加圧方式とするケース

が多い。大型LPG船に採用される冷却式の場合、船体内部に据え付けられるタンクは通常方形である。タンクの船内への据付状況の概要・外観を図4.2、写真4.2に示す。冷却式LPG積載タンクは、低温用鋼板により構成しタンクの外部には、侵入熱を防ぐ防熱材をタンク全表面に貼付する。タンク荷重は船体構造に配置された支持構造に伝達・支持される。プロパンガスを加圧して液化するには、 15.0kg/cm^2 の高圧を必要とし、タンク構造は通常円筒型压力容器タンクとする。加圧式の場合防熱は行わず、タンクは直接船体構造に据付ける。

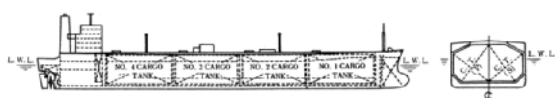


図4.2 LPG船概要図



写真4.2 LPG船

(3) 液化ガス運搬船：LNG船

天然ガスを液化して輸送する専用船。LNGはクリーンエネルギーとして、1969年より電力・都市ガス業界にて広く用いられる様になった。ガスの液化は、大気圧下で -162°C に冷却するのが通常の方法である。液体を格納するタンク形式は、タンク形状を維持する独立型方式と、船体構造に取付けた防熱構造表面に熱伸縮が少なく、且つ熱変形を吸収する薄膜金属を貼りつけたメンブレン方式の2種類がある。現在運航されている独立タンク方式LNG船は、ノルウェーのモス社開発による、モス球形タンク方式と、我が国石川播磨重工にて開発されたSPBタンク方式の2種類がある。独立タンク方式のタンク材料は両方式ともアルミ材を使用している。独立形式タンク構造の防熱は、タンク外面に発泡プラスチックまたはポリウレタンフォームを貼付する。モス球形タンクLNG船の概要・外観を図4.3、写真4.3に示す。

メンブレン方式LNG船は、フランスにて開発された「テクニガス方式」と「ガストランスポート方式」の2種類が建造されている。格納容器に用いるタンク・メ

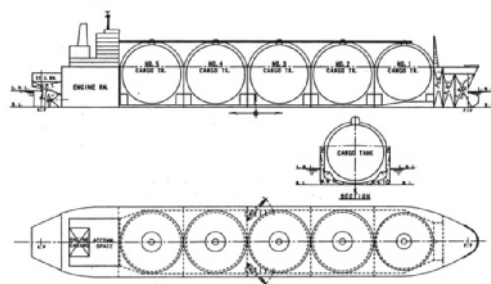


図4.3 モスLNG船概要図



写真4.3 モスLNG船

ンブレン材は、 -162°C の極低温に適する、アルミ、ステンレス、熱伸縮の少ないインバー（36%ニッケル合金）などである。メンブレン方式は船体構造内面に、補強ポリウレタンフォームパネル、またはパーライト入り防熱箱を2層に配置している。防熱箱の表面に薄膜金属メンブレンを取付け、2層構造をなす防熱箱の中間に、液漏洩の際の防護壁となる2次防壁を取付けである。メンブレン方式LNG船の概要を図4.4に示す。

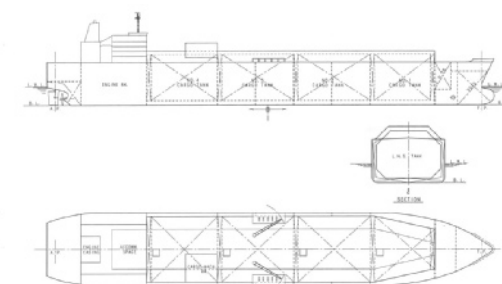


図4.4 メンブレンLNG船概要図

(4) ばら積み貨物船（バルクキャリア）、鉱石専用船

穀物、石炭、鉱石などの粒状貨物をばら積みする専用船の総称で、貨物を積載する船倉構造の形状は2種類ある。鉱石のみを輸送する鉱石専用船と、穀物・石炭・鉱石などを輸送出来るばら積み貨物船（通称バルクキャリアー）の船倉構造形状は異なる。各々の船倉構造・外観を図4.5、4.6、写真4.4、4.5に示す。穀物・石炭・鉱石などを輸送するばら積み貨物船は、船倉上部の上甲板下部に三角形を成すバラストタンクを配置し、積荷の荷崩れを防ぐ船体構造を形成している。鉱石専用船は、鉱石の比重が大きいため、船体構造全体に占める船倉部分を、全て船倉に当てる必要がないので、図4.5に示すごとく船体中心線部分のみを船倉と

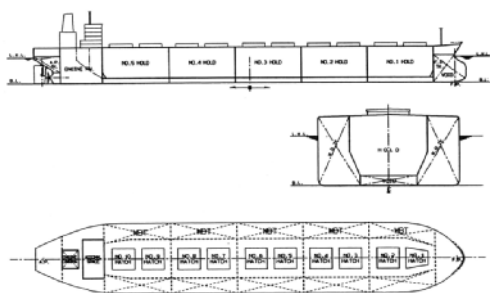


図4.5 鉱石専用船概要図

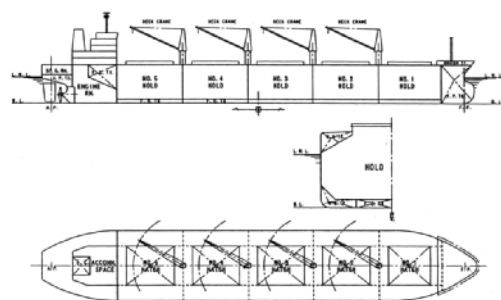


図4.6 ばら積み貨物船概要図



写真4.4 鉱石専用船



写真4.5 ばら積み貨物船

している。穀物・石炭・鉱石を適宜積み付けするばら積み貨物船タイプに鉱石を積載する場合は、船長方向に配置される船倉へ一様に積載せず、積み付けによる

船の姿勢・船体構造強度維持などの条件により、積み付け船倉を決め運航するのが一般的である。積載貨物の荷役は、通常陸上に設置される荷役装置による事が多く、一部クレーンなどの荷役機械を装備するばら積み貨物船もあり、多目的な用途で荷役設備のない港湾への運航を考慮した比較的小型なばら積み貨物船に多い。上記ばら積み貨物のほか、ボーキサイト・燐鉱石・塩・セメント・木材・ウッドチップ・ペーパーロールなどの輸送にもばら積み貨物船が用いられる。

(5) 自動車運搬船

乗用車・トラックなど完成車を専ら輸送する専用船。貨物となる乗用車・トラックなどの船への積み込みは、専用船に設備されたランプウェイを岸壁と結び、専門のドライバーの運転により、船内へ積み込み、積みおろしも同様な方法による。乗用車などを多数積載出来る様船体構造は、多数の甲板を設け積み付ける。多数の甲板を設置した船倉構造、外観を図4.7、写真4.6に示す。輸送する自動車の種類は、乗用車が大多数を占めるので、甲板間の高さは乗用車を基準に決めるが、トラックなどの背高車輸送を考慮し、一部の甲板間高さを上下に調節する構造とするケースがある。

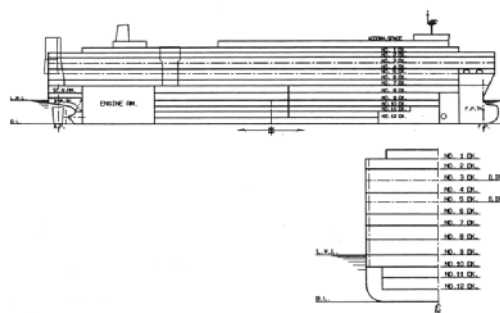


図4.7 自動車運搬船概要図



写真4.6 自動車運搬船

5 | コンテナ船建造技術と建造船

コンテナ船による海上輸送が本格的に始まったのは、1966年シーランド社による北米/欧州間フルコンテナ船による定期航路開設による。我が国海運会社も、日本郵船とマトソン社間でコンテナ輸送に関する提携を行い、1968年国内船社グループによる日本/北米太平洋沿岸間（加州航路PSW）にフルコンテナ船を就航させた事に始まった。この航路に投入するコンテナ船の建造により、我が国におけるコンテナ船の建造が開始された。コンテナ船就航前、一般貨物船により輸送されていた工業製品、雑貨類は、港湾における荷役の利便性、陸上輸送との直結化等により、急速にコンテナ船輸送が拡大して行った。コンテナによる輸送量の急増に伴い、コンテナ船の建造量増加と、船型の大型化が急速に進んだ。1968年最初に建造されたコンテナ船から、近年大型化されたコンテナ船の建造技術の変遷につき以下に述べる。

5.1 コンテナ船の概要

コンテナ船は、通常ISO規格³⁴により定められたコンテナ容器を、船倉内と上甲板上に積載し定期航路を運航するケースが多い。しかし、一部の米国船社では、ISO規格外のコンテナ容器を積載するコンテナ船の例もある。コンテナ船による海上輸送を始めたアメリカのシーランド社・マトソン社は、独自のコンテナを使用している。ISO規格および規格外コンテナの寸法、最大総重量を表5.1に示す。ISO規格コンテナは、コン

テナ長さによる呼称で20フィート、40フィートの2種類に大別される。コンテナ輸送開始当初は、20フィートが多用されていたが、その後40フィートによる輸送が増大している。しかし、コンテナ船の積載容量は、全て20フィートコンテナの積載数に換算して表示され、〇〇TEU（Twenty Equivalent Unit）積みと呼称する。コンテナ容器幅はごく一部を除き、8フィートに統一されているが、高さは、8フィート、8フィート6インチ、9フィート6インチなどの種類に分かれる。

船内および上甲板上への積載方法は、コンテナの長さ方向を船の長さ方向へ、幅方向を船幅に向け、船底より上方向へと積み上げて行く方法を採用している（図4.1参照）。この様な積み付け要領により、船社が要求する積み付け個数（20フィート換算）を満たす船型を決定して行く事になる。

従来のコンテナ船は、運航航路に必ずパナマ運河の通過を考慮し、パナマ運河幅の制約より、船幅を32.2m以下とする船型であった。しかし、1980年代末期にパナマ運河通過を考慮せぬ、幅広船型が採用される様になり、船型の大型化が進んだ。しかし、港湾荷役クレーン設備、入港可能な喫水制約などにより、限られた航路への投入船から始まった。船幅の増大は、船の幅方向のコンテナの配列を増すことが可能となる。また、船幅増大により船の復原性が増し、深さ方向の積み付け段数の増加が可能となった。特に上甲板上の積み付け段数は、初期の2段積から近年の大型船では、5段積みとするケースが多くなっている。

表5.1 コンテナ寸法と総重量

	呼称	長さ		幅		高さ		最大総重量		
		ft in	mm	ft in	mm	ft in	mm	lb	kg	緩和 kg
ISO規格	1AA	40	12,192	8	2,438	8 6	2,591	67,200	30,480	32,480
	1A	40	12,192	8	2,438	8	2,438	67,200	30,480	32,480
	1BB	29 11-1/4	9,125	8	2,438	8 6	2,591	56,000	25,400	
	1B	29 11-1/4	9,125	8	2,438	8	2,438	56,000	25,400	
	1CC	19 10-1/2	6,058	8	2,438	8 6	2,591	44,800	20,320	24,000
	1C	19 10-1/2	6,058	8	2,438	8	2,438	44,800	20,320	24,000
	1D	9 9-3/4	2,991	8	2,438	8	2,438	22,400	10,160	
ISO規格外		40	12,192	8	2,438	9	2,743			
		40	12,192	8	2,438	9 6	2,896			
		40	12,192	8	2,438	9 6-1/2	2,908			
		45	13,716	8	2,438	9 6-1/2	2,908			
		48	14,630	8 6	2,591	9 6-1/2	2,908			
	マトソン	24	7,315	8	2,438	8 6-1/2	2,603	50,000	22,680	
	シーランド	35	10,688	8	2,438	8 6-1/2	2,603	50,000	22,680	

註:日本造船学会誌709号(1998-7月)

³⁴ ISO（国際標準化機構）の専門委員会TC104にて定められている。

コンテナ船の積み付け個数の増大は、船幅方向の列数と深さ方向の段数増大による方法で進んだ。その進行を初期に建造された船から、現在建造されている大型船に至る変遷を5段階に区分して説明する。段階の区切りについては、種々意見が分かれると思うが、とりあえず表5.2 (216頁参照) に示す如く取りまとめた。

1968年我が国で最初に建造されたコンテナ専用船は、北米西岸太平洋航路に就航した700TEU型であった。航行速度は23ノット前後で、それまで就航していた定期貨物船に比し高速化された船型が採用された。その後2～3年間北米西岸、豪州航路用に建造された船は1,000TEU前後で、最大船型でも1,200TEU型で第Ⅰ世代型と言われるタイプである。1971年以降極東～欧州間の航路開設に伴い、船型の大型化と高速化が急激に進んだ。コンテナ積み付け個数は、1,800～2,000TEUとなり、船速を26ノット前後に高速化した船型となった。その結果、所要機関出力が70,000～80,000馬力となり、2～3基の機関を設置し推進プロペラも機関と同数設けた船型となった。推進機関もディーゼル機関では出力が不足し、タービン機関を採用した。ごく一部の船型に、ディーゼル機関を採用した例があり、この船型では3基の機関と推進プロペラを設けた。この高速コンテナ船が第Ⅱ世代にグループされる船型であるが、石油危機の発生に伴い、これ等高速船の建造は1976年頃までで、その後燃費の悪いタービン船は、ディーゼル船に改装された例が多くある様である。

石油危機発生以降世界経済は、省エネ化が徹底し船舶も同様に新造船は、省エネ船の建造へと大きく転換した。コンテナ船も多量の燃料を消費する高速船は建造されず、船速は20ノット前後と、欧州航路用に建造された高速船に比し、大きく減速した省エネ船となった。しかし、コンテナ化した海上荷動き量は徐々に増加し、船型の大型化も進行したが、殆どの建造船積載量は、1,500TEU前後の船型が主流であった。石油危機以降の1970年代末より、全世界のコンテナ取扱量が急激に増加する1984年ごろまでが、第Ⅲ世代に区分け出来る省エネ船型時代と言えよう。

1980年代半ば頃よりコンテナ輸送量は急増したが、一方、北太平洋航路をはじめ輸送価格競争が激化し、効率的な輸送方式を求め、合理化船型による新造船が求められていた。輸送効率向上を目指す船型の選択は、輸送量の増加傾向もあり積載個数増大による効率化へ向かった。1980年代半ばより1990年に向け建造された大型化コンテナ船は、積載数を3,500TEU～4,000TEU積みとするパナマ運河通過可能最大船型、即ち船幅32.2m

以下の制約を維持するパナマックス船型であった。

しかし、1988年海外にて初めて、船幅32.2mを越える所謂オーバーパナマックス船型が採用された。コンテナ積載個数は急激に増大し、4,000TEUを越え、4,500TEU以上となる、超大型船が建造される様になった。省エネを狙う事は当然であるが、船速は積み付け個数の増大に伴い、荷役時間が従来船より要する事もあり、航海時間の短縮が望まれ多少高速化し、23ノット強の航海速力とする船が多くなった。超大型化し且つ高速化を可能としたのは、船型開発の努力と共に、高出力・低燃費化したディーゼル機関の開発による所が大きい。この世代がコンテナ船大型化の幕開けとなった時代と言えよう。同時に港湾における荷役設備、即ちコンテナクレーンの大型化、並びに接岸岸壁喫水の増深などの整備も重要な要素で、世界主要港の改良・拡張が行われた結果による。

1990年代半ば以降は、中国を中心にアジア地域の目覚ましい工業発展により、この地域より製品などの輸出が増加した。コンテナ輸送量の増大は更に船型大型化を促進し、5,000TEUを越える超大型船が建造される様になった。大型化の進行は驚異的な速さで進み、近年建造される超大型船は8,000TEUを越える船が建造されている。この様な超大型船の建造技術の開発と同時に、先に述べた高出力のディーゼル機関、大型クレーンの開発が並行して進んでいる事が大きい。

5.2 コンテナ船建造技術

コンテナ船の大きな特徴は、大きな箱型貨物を曲面構造から成る船体構造に多数積み込み、高速で航行する船を建造する事にあろう。この他、コンテナ積高を増すため、上甲板上に2～5段も積み上げるので、船の復原性・コンテナの固縛問題も重要な技術課題である。大型コンテナ船の建造に必要となる多くの技術は、先の第3章に述べた戦後の我が国造船界の技術発展に負う所が大きい。この基盤技術を背景に、コンテナ船建造に際し別途開発した技術を要約すると、下記の項目であらう。

- (1) 高速船型の開発と船型設計
- (2) 大開口を有する船体構造変形量と強度維持
- (3) 上甲板、倉口蓋上のコンテナ積み付け

これ等技術開発の状況と、コンテナ船建造の変遷に付き以下に説明する (表5.2 216頁参照)。

5.2.1 高速船型の開発と船型設計

コンテナ船の航行速力は、他の専用船に比し高速で、

その航海速力は通常20ノットを超え、23～24ノットにも達する。多数建造されているタンカー・ばら積み貨物船などの航海速力は、通常16ノット前後でこれに比べると高速である。通常船舶の航海速力を増すと、設置機関の出力を単に比例的に増大する事では達成出来ず、ほぼ3乗に比例する機関出力増加が必要となる。石油危機発生以後省エネ化は徹底し、減速の方向へ転換した。しかし、1980年代半ば以降のコンテナ荷動き量増大に伴い、処理の迅速化なども考慮し、船速も増加傾向にあり、対応する省エネ船型の開発は重要な要素となっている。

高速化による抵抗増加は、船の進行により発生する造波抵抗の増大による。造波抵抗削減船型の提案がなされたのは、船首に大型バルブを設け波の発生を防ぐ「波無し船型（Waveless船型）」の開発である。同時に、船型全体の形状を、解析的手法により造波抵抗を最小化する方法も提案され、船型開発には広く採用されている³⁵。

コンテナ船の建造が開始された当時は、この解析的手法と水槽試験による波形解析を応用した船型計画法によっていた。しかし、近年のコンピュータの大容量化に伴い、CFD解析法の実用化が進み、最適船型設計法の精度が向上し、省エネ船型設計が幅広く実施可能となっている。基本船型形状は、この様な手法により船型を定めるが、更に省エネ効果を上げるために船尾周りに適宜付加物をつけ、推進効率の向上を期すのが、通常の船型設計方法となっている。船尾付加物としては、プロペラ前部或いは後部、舵などに設置する翼型のフィン類が比較的多い様である。

高速化により機関出力が増大し、プロペラ回転により誘起される起振力の増加を防ぐ目的で、ハイリースキュード・プロペラが開発された（写真5.1）。このプロペラを採用する事により、変動圧力が小さくなり、船体に伝わるサーフェス・フォースの減少、キャビテーション性能改善に大きく寄与している³⁶。

船型設計に関し推進性能関連技術の他、波浪中の航行による船体運動の解明は、コンテナ船の場合重要視される技術項目である。この技術要素は耐航性能と称し、波浪中を航行する際に起こる速力減少、甲板上への波の打ち込み状況把握など、波浪による船体運動応答の把握にある。コンテナ船は、定期航路を予め決められたスケジュールに従い、運航するのが通例である。

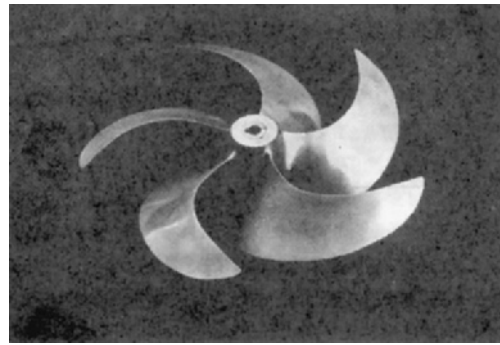


写真5.1 ハイリースキュードプロペラ（造船技術百年史）

従って、運行時の海象条件の変化に影響されず、運航スケジュールの維持が必要であるので、波浪中の航行速度の把握が重要となる。また、上甲板上に2～5段のコンテナを積み上げるので、波浪の打ち込みを減じ、コンテナの損傷を起こさぬ船型設計が必要となる。波浪中の船体運動応答に関する解析技術は、第3章に述べた「ストリップ法」による解析法に大きく依存している。コンテナ船の建造開始とほぼ同時期、本解析法のコンピュータによるシステム化が、各方面で広く行なわれた。波浪中運動応答をより明確に把握する事を目指し、1968年建造の太平洋航路投入船、および1971年建造欧州航路用超高速船を対象に、本方法による解析を実施し、同時に運航時の状況を詳細に計測した。各運航船に搭載するコンテナ内部に運動応答計測機器を配置、運動データの収集を行なった。計測記録より実運航状況が把握出来、解析結果と比較を行う事により、解析法の実用性が確認出来た。以後、本解析法はコンテナ船の船型設計時の耐航性能解析には、大変有用な方法で広く活用されている³⁷。

コンテナ船の船型設計時の重要な要素は、推進・耐航性能であるが、先に述べた運航航路にパナマ運河通過を考慮する関係上、船幅を32.2m以下とせねばならず、復原性に対する配慮が重要な要素となる。コンテナ積み付け個数の増大要求に対し、船幅の増大による積載個数の増加は望めず、上甲板上の積み付け段数を増す方法の選択となるが、この場合復原性能の確保が重要で、船体の重心査定も船型設計上欠かせぬ要素となる。しかし、近年の大型化は、パナマ運河通過を前提としない事により、船幅の制約条件のないオーバーパナマックス船型が採用される事になり、復原性の確保が容易となり、上甲板上の積み付け段数の増加が容易となった。

35 日本造船学会 日本造船技術百年史 p128

36 日本造船学会 日本造船技術百年史 p217,218

37 日本造船学会 日本造船技術百年史 p228

コンテナ船の船速は先にも述べた通り、他の船舶に比し高速で運航されるので、どうしても大きな出力を有する機関を採用せねばならない。石油危機発生以前建造された超高速コンテナ船では、70,000～80,000馬力の所要馬力に対し、40,000馬力級の大型タービンを搭載し、所要の速力を確保した。しかし、タービン主機はディーゼル主機に比し燃費が悪く、運航船主側としてはどうしても大出力のディーゼル機関の採用希望が強い。造船業発展の中で、造船技術の大きな進展と共に、船舶運航の心臓部となるディーゼル機関の発展は、新造船建造の大きな支えとなっている。大型商船に多用される低速・中速ディーゼル機関の技術は、主に海外にて開発された技術提携によっている。我が国では技術提携後、製品性能の高度化を目指し独自に技術開発を実施し、新しい造船マーケットに対応する機関を提供している。技術提携されたディーゼル機関は、デンマークB&W社（BURMEISTER&WAIN社）、ドイツMAN社、スイスSulzer社の3タイプである。我が国において開発された機関は、三菱造船のUECタイプ1機種のみである。その後、B&W社とMAN社は合併し、1981年にMAN B&Wとなり、主にB&W社技術を中心に新製品の開発、提供がなされている。

技術提携後の国内独自技術開発は、高出力化・低燃費化・機関構造の軽量化・運転信頼性の向上など製品性能と商品競争力向上を目指し、幅広い技術開発を行い、新しい船舶の需要に対処している。

ディーゼル機関の高出力化は、1950年初期排気駆動に過給機を設置する事から始まった。その後、大型タンカー、高速コンテナの出現により、高出力機関の需要が高く、シリンダ口径の増大、高過給機の設置などにより、1969年には34,200馬力機関（三井B&W9K98FF型）が出現している。石油危機発生以降は、省エネ追及があらゆる分野に広がり、低燃費機関開発の要望が高まった。船体の推進効率向上の一要素として、プロペラ回転数の低減による効果の期待がある。プロペラ回転数の低減に対応すべく、シリンダ行程の長大化による機関が、1976年開発された（三井B&W6L67GF型）。その後、シリンダ行程のロングストローク化が進み、当初のストローク長さの30%増機関（三井B&W1-MC型）、更にシリンダ行程を18%増した機関（三井B&W5-MC型）が出現し、ストローク／シリンダ径比は2.5より3.82となる機関（三井B&W6S80MC型 27,360馬力 1986年）が製造されている³⁸（図5.1）。

一方、ディーゼル機関自体の低燃費化は、シリンダ

ピストンストローク／シリンダ径の変遷

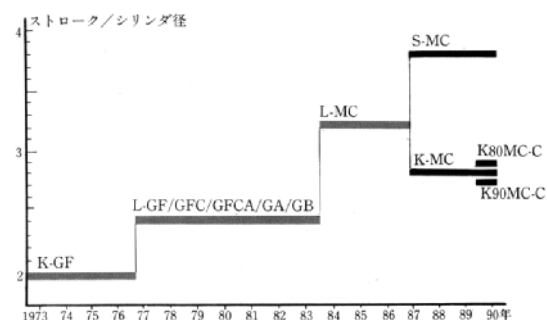
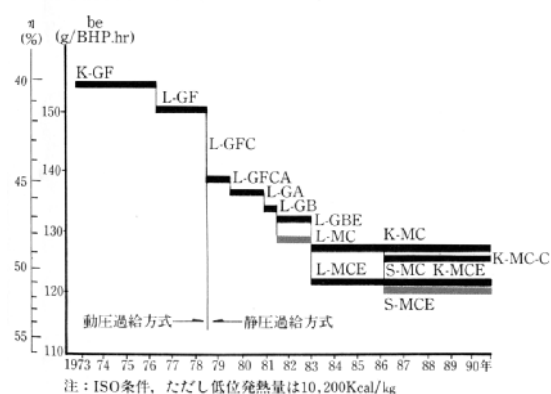


図5.1 ピストンストロークの変遷（三井造船75年史）

内最高圧力の増大、過給方式を動圧過給方式より静圧過給方式への変更により、大幅な燃料消費率低減を達成している（図5.2）。近年の超大型化コンテナ船に搭載される、低速ディーゼル機関Sulzer12RTA96C（65880KW×100RPM）型が1998年石川島播磨重工にて製造された（資料－1179）（写真5.2）。その後、三井B&W10K98MC型 77,800馬力が、2001年4月製造されている。本機関はシリンダ数が10シリンダであるが、更なる高出力化には12シリンダとする事により、90,000馬力超の出力が得られ、6,000TEU超の超大型コンテナ船に対応可能な機関が製造される様になった。

燃料消費率及び熱効率の変遷（シリンダ径800mm）



注：ISO条件、ただし低位発熱量は10,200Kcal/kg

図5.2 ディーゼルエンジン燃費率変化（三井造船75年史）

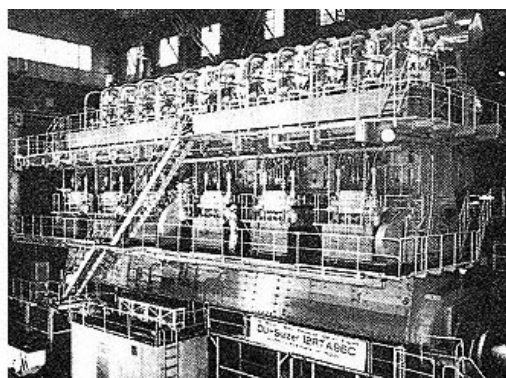


写真5.2 超大型コンテナ船用低速ディーゼル機関（資料－1179）

³⁸ 三井造船株式会社75年史 p397～400

5.2.2大開口を有する船体構造変形量と強度維持

船体内部に長さ40フィートのコンテナを、出来るだけ多数積み込む事が望ましいので、上甲板には大きな開口が必要となる。大きな開口により上甲板の有効鋼板面積が少なくなり、タンカーなど甲板全面に鋼板が張りつめられている構造に比し、波浪の影響による船体全体の捩れ変形を起し易い。同時に波浪による船長方向の縦曲げモーメントに対する、縦曲げ剛性を維持する上甲板構造の面積も不足し、その対策が必要となる。コンテナ船の船体構造強度に関する諸問題については、コンテナ船の建造が始まる7年前(1960年ごろ)より、産学共同研究を日本造船研究協会にて実施し、コンテナ船船体構造のあり方につき結論を得ていた³⁹。この研究によれば、上甲板に大きな開口を有するコンテナ船の捩れ変形は、船側構造の二重構造化と横隔壁の配置により充分阻止出来る事が判明している。コンテナ船の導入決定以降、船体構造に関する研究を多数実施する事なく、大型コンテナ船の建造に着手出来たと言えよう。船体構造の解析方法の発展につき第3章3.4項に述べたが、コンテナ船建造開始とほぼ同時期にFEM解析法の活用が開始され、船体構造強度評価に広く活用し、安全性の確認に役立った⁴⁰。しかし、先にも述べたとおり船幅は、パナマ運河通過とする場合、32.2m以下の必要があり、上甲板の有効鋼板面積は充分に取れない。特に、コンテナ積載個数4,000TEU前後となるパナマックス船型では、船幅方向にコンテナを11列配置すると、有効甲板幅は大変狭くなる。船体縦曲げ剛性を維持する上で、上甲板には超厚板を使用する必要性が生じ、且つ高強度の高張力鋼を選択せねばならない。先に示した建造時期区分によれば、第Ⅲ世代までは倉内の船幅方向積み付けは10列までで、上甲板有効幅はそれなりに維持出来ていたもので、超厚板高張力鋼を使用する必要性は必ずしも大きくはなかった。しかし、第Ⅳ世代以降は、積み付け個数増大要求が強く、倉内積み付けを11列とする例が多くなり、高強度の高張力鋼でしかも超厚板材を使用せねばならぬ状況となった。使用鋼板の厚板化は、溶接接合部分の材料劣化によるじんせい値の低下が起り易い。特に高張力鋼を使用すると、じんせい値低下の影響が起りやすくなる。しかし、1980年代半ばに、新しい圧延法によるTMCP鋼が、鉄鋼業界により開発された。TMCP鋼による超厚板高張力鋼を使用する事により、

コンテナ船の超厚板上甲板構造の溶接作業は、比較的容易となり、大型化への対応が可能となったと言える。

5.2.3コンテナの積み付け

コンテナの積み付けは図4.1に示す如く、船倉内と上甲板上の暴露部に大きく2分して積載される。船倉内にはコンテナを整列して積載する様、写真5.3に示すセルガイドと呼ばれる、ガイドレールを設け船体に固着してある。セルガイドの配置は、積載予定のISO規格コンテナサイズ(表5.1参照)による。コンテナ船の建造が開始された当初は、長さ20フィート型が主流であったが、近年では40フィート型が多い。通常は各々の型式に合わせセルガイドを設置するが、20・40フィート両用に使用する様、20フィート用枠に設置したセルガイド枠を、移動可能な構造とした例もある。コンテナは岸壁のコンテナ専用クレーンにより、積み込み・降ろしを行う。岸壁クレーンにより船倉内に積み込まれたコンテナは、船底より単に積み重ねられ固縛は行わず、セルガイドにより移動を止めている。

上甲板・倉口蓋上に積載するコンテナにはセルガイドを設けず、単に積み付け位置のみを決め、その箇所積み上げる方法である。従って、船の運動によるコンテナの移動を何らかの方法により固縛が必要となる。固縛はツイストロック・ターンバックル(図5.3、図5.4)等の固縛金物でラッシングする必要がある、荷役作業の増大と高所作業による危険を伴う為、種々工夫が必要となっている。一例として、写真5.4に示す様なラッシングブリッジを、コンテナの長さ方向の間に設け、高所における作業の安全を確保している。

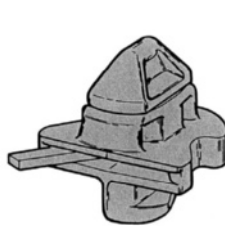


図5.3 ツイストロック

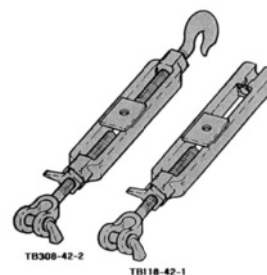


図5.4 ターンバックル

ラッシング工程を避ける為、上甲板上にもセルガイドを設置した例がある。この例では倉口蓋を設けず、船倉内のセルガイドを、上甲板上の所用積み付け段数まで延長配置している。倉口蓋を設けていないので、

³⁹ 日本造船研究協会 SR研究 SR48「コンテナ船の構造、強度に関する研究」1960～1961

日本造船研究協会 40年史 p212,251

⁴⁰ 三菱重工技報 1969年 Vol.6, No.1 「コンテナ船の構造強度に関する研究」



写真5.3 セルガイド



写真5.4 ラッシングブリッジ

船内に海水・雨水等が流入するので、流入水の排水・倉内消火設備等が必要となる。倉口蓋を省略し、セルガイドを上甲板上に延長した船型は、1991年建造の同型船5隻と、我が国で最初に建造された、オーバーパナマックス船型2隻に適用した例があるのみである⁴¹。

コンテナ船の積み付けは、岸壁に設置されるクレーンの容量により支配されるので、船型の大型化は、投入航路の寄港先に装備されるクレーン設備に支配される。同時に岸壁の長さ・喫水の影響も大きく受ける。岸壁コンテナクレーンの大型化進展状況をコンテナ船変遷表(表5.2 216頁参照)に示してあるが、オーバーパナマックス船型用に、上甲板上幅方向16列積みの処理可能な、アウトリーチ44.5m、倉内と上甲板上を合わせ16段積みに対応し、リフト34.9mの大型クレーン設置が行なわれている⁴²。更に、8,000TEU超型船に対処すべく、近年18列積み対応アウトリーチ50mの超大型クレーンも出現する状況にある様である⁴³。世界主要港湾の大型コンテナ船受け入れ態勢は逐次整いつつあり、超大型コンテナ船の建造が急激に進行中である。しかし、更なる大型化は、貨物の効率的な集配問題に加え、大出力機関開発問題もあり2軸船とならざるを得なくなる状況で、輸送コストの増大を来す恐れもあり、どの程度まで大型化が進むか予測は難しい。

我が国で最初に建造されたコンテナ船

船 名	建造造船所	コンテナ数 (TEU)	Lpp(m) 船長	B(m) 船幅	主機馬力 (PS)	航海速力 (kt)
箱根丸 ^{*5.1} 、榛名丸	三菱神戸	752	175.00	26.00	27,800	22.60
あめりか丸	三菱神戸	716	175.00	25.00	28,000	22.40
ごうるでん げいと ぶりっじ	川重神戸	716	175.00	25.00	27,500	22.00
加州丸 ^{*5.2}	日立因島	732	175.00	25.70	27,000	22.50
ジャパン エース ^{*5.3}	石播相生	730	175.00	25.20	28,000	22.80

注：*5.1(資料-1026*) 写真5.5、*5.2(資料-1025*) 写真5.6、*5.3(資料-1024*) 写真5.7

41 日本造船学会誌 757号 1992年7月「荷役作業の改善を目指したハッチカバーレスコンテナ船」

42 日本造船学会誌 781号 1994年7月「岸壁荷役機器の技術動向」

43 三井造船株式会社 プレスリリース 2003年8月7日「英国向け最新鋭のコンテナクレーンを受注」

44 日本造船学会 TECHNO MARINE 1992-7 Vol.757 p8

5.3 コンテナ船建造実績

日本船社グループが、1968年太平洋北米航路(日本～カリフォルニア間)へ、コンテナ船による定期航路を開設する事になり、国内造船所におけるコンテナ船建造が始まった。この海上コンテナ輸送の開始は、政府の海運造船合理化審議会(海造審)の1966年答申で、海運企業のグループ化によって進める事を示唆している。海運業界は、4社グループ(大阪商船三井船舶、山下新日本汽船、川崎汽船、ジャパンライン)と2社グループ(日本郵船、昭和海運)を形成、北米西岸太平洋航路の開設を計画し、次年度(1967年)の計画造船にて建造を決めた⁴⁴。最初に建造されたコンテナ船6隻は、コンテナ積み付け個数700TEU強、航海速力22ノットを維持する船型であった。航海速力は、荷役時間を含め日本～北米西岸間を、28日間で往復運航するのに、必要速力として建造された。建造船6隻は、6船社向けに4造船所で建造された。就航航路は同一で、ウィークリー・サービスを目指しての船舶建造であったが、保有船社が異なることにより、建造船型は微妙に異なっている。その概要を下表に示す。



写真5.5 箱根丸



写真5.6 加州丸



写真5.7 ジャパンエース

6隻はほぼ同時期に完成就航したが1968年8月に完成した「箱根丸」⁴⁵が最も早く、最後に「ジャパン エース」が1968年11月に完成引渡されている。これ等初期のコンテナ船は、20フィートコンテナ積載を主とし、一部に40フィートコンテナを積載する様なセルガイド配置となっている。コンテナの高さ方向の積み付け段数も、倉内6段・上甲板上2段とする配置である。

翌1969年には豪州航路に就航した「箱崎丸」、「おーすとらりあ丸」が完成している。豪州航路用各船は、先の北米航路用に比しコンテナ搭載数が、1,150TEU超と大型化が進んでいる。倉内・上甲板上の積み付け段数などに変わりはないが、船長を200mに延長し、船幅も30m近くに広げ、積み付け個数の増加を図っている。豪州航路用として冷凍コンテナ（40フィートコンテナ）150個積載可能となっている。「箱崎丸（1,178TEU、232ノット）三菱重工」、「おーすとらりあ丸（1,168TEU、23.0ノット）三井造船」（資料-1027*）（写真5.8）は、1969年9月、12月に完成している。両船とも当時としては最大出力となる、34,200馬力のディーゼル機関を搭載し、23ノット超の速力を出している。



写真5.8 おーすとらりあ丸

北米・豪州航路では集荷が意外に伸び、高い積載率の維持が出来、欧州航路開設の動きが国内海運業界で広がった。当時、海上コンテナ輸送を開始したシーランド社は、1,086TEU、航海速力30ノットの超高速船8隻の建造計画を策定していた。海外主要船社を含め国内船社も、シーランド社の企画への対応が急がれた。欧州主要船社は、シーランド社の計画に匹敵する大

型・超高速船の計画を始めた。極東・欧州航路同盟に加入している日本船社（日本郵船、大阪商船三井船舶の2社）も、ほぼ欧州航路同盟計画と同様な高速・超大型船の建造計画を取り決めた⁴⁶。最初に完成就航したのは、「鎌倉丸（1,838TEU、26.0ノット、タービン40,000馬力2基）三菱重工」で、1971年11月に完成している。本船の完成は石油危機発生前で、燃料消費量より速力を重視し、主機関にタービンを選択している。タービン機関も当時建造されていたVLCCに搭載される40,000馬力級を2基搭載し、プロペラも2セットとする2軸船となっている。コンテナ積み付け個数は、最初に建造されたコンテナ船に比べ2倍以上となり、しかも高速船であるので、当時の技術力を結集し設計・建造された船である。コンテナ積み付け個数を一気に増加出来たのは、船長・船幅・船深さを各々245.0m・32.2m・24.0mに増大した事による。船の深さの増大により倉内の積み付け段数を9段とした事による要素が大きいと思われる。通常ISO規格コンテナは、6段まで積み上げる事が可能な強度を有する。9段積みとするには、何らかの対策が必要となり、6段目と7段目の間に上部3段のコンテナを支持する受け構造を、セルガイド構造に設けた。本船の上甲板上積み付け段数は、2段積を可能としているが、通常運航は1段積とする事が多かった様である。シーランド社、欧州船社の計画と同時並行で進められたが、海外船社の完成は1972年になり「鎌倉丸」が当時世界最初の超高速・超大型船の完成となった。

日本船社グループは、欧州航路プロジェクト用に1971年11月～1972年5月までに合計5隻建造した。その中で1972年3月完成「えるべ丸（1,842TEU、27.48ノット、ディーゼル33,800馬力1基、21,600馬力2基）三井造船」は主機関をタービンではなく、ディーゼル主機を装備建造されている。当時、ディーゼル機関ではタービン機関出力と同等の出力が得られなかったので、3基のディーゼル機関を搭載、プロペラも3セット装備した、大型船舶では大変珍しい3軸船を完成している。欧州航路に投入された建造船を次表に示す。

⁴⁵ 日本郵船株式会社 七つの海で一世紀－日本郵船創業100周年記念 船舶写真集－

⁴⁶ 船舶技術協会 船の科学 1971年 Vol.24, No.12 p53

船 名	建造造船所	コンテナ数 (TEU)	Lpp(m) 船長	B(m) 船幅	主機馬力 (PS)	航海速力 (kt)
鎌倉丸、鞍馬丸	三菱神戸	1,838	245.0	32.2	T40,000X2	27.10
北野丸 ^{*5.4}	NKK鶴見	1,838	245.0	32.2	T40,000X2	26.13
らいん丸	三菱神戸	1,950	245.0	32.2	T40,000X2	26.00
えるべ丸 ^{*5.5}	三井玉野	1,842	252.0	32.2	D33,800X1 D21,600X2	27.48
春日丸 ^{*5.6}	三菱神戸	2,326	273.0	32.2	T40,000X2	26.5

注：*5.4（資料－1029*）写真5.9、*5.5（資料－1034）写真5.10、*5.6 写真5.11



写真5.9 北野丸



写真5.10 えるべ丸(資料-1034)



写真5.11 春日丸

「えるべ丸」の他欧州船社向け「TOYAMA (2,208TEU、27.75ノット) 三井造船」も3機3軸船で1972年11月建造されている。その後、欧州航路向けに追加建造された中の1隻は、ディーゼル機関2基搭載した「てむず丸 (1,950TEU、26.6ノット、ディーゼル42,000馬力2基) 三菱重工」が、1977年9月に完成している。

欧州航路開設とほぼ同時期、北米東海岸ニューヨーク航路も開設された。ニューヨーク航路に投入する船も、欧州航路と同様な船型とし、主機は殆どタービンを選択した船型となっている。一部は欧州航路船と同様、ディーゼル機関2基搭載した船も建造されている。代表的な建造船を下表に示す。

船 名	建造造船所	コンテナ数 (TEU)	Lpp(m) 船長	B(m) 船幅	主機馬力 (PS)	航海速力 (kt)
東米丸 ^{*5.7}	日立因島	1,620	230.0	32.00	T 45,000	24.35
ジャパンアンブローズ	石播相生	1,569	215.0	32.20	T 50,000	25.10
にゅーよーく丸	三菱神戸	1,884	247.0	32.20	T 34,800X2	24.70
黒部丸	三菱神戸	1,826	242.0	32.20	T 34,800X2	25.65
にゅーじゃーじ丸	三井玉野	1,887	247.0	32.20	D 34,800X2	26.15
木曾丸	石播相生	1,826	242.0	32.20	T 34,800X2	25.50
べらざの ぶりっし ^{*5.8}	川重神戸	2,068	248.0	32.20	D 40,000X2	26.56

注：*5.7（資料－1028*）写真5.12、*5.8（資料－1030*）写真5.13



写真5.12 東米丸



写真5.13 べらざのぶりっし

上記ニューヨーク航路船の船倉内のコンテナ積み付けは、7段とし欧州航路の9段に比し少なく、船の深さも浅い船型となっている。

欧州・ニューヨーク航路用に、タービン主機装備コ

ンテナ船は、石油危機以降の省エネ対策として、1980年代半ばにかけ、ディーゼル機関の高出力・低燃費化の達成により、主機をディーゼル機関に換装している⁴⁷。

石油危機発生以降の1970年代後半から1980年代前半

⁴⁷ 日本郵船株式会社 七つの海で一世紀－日本郵船創業100周年記念 船舶写真集－

にかけては、欧州・ニューヨーク航路への高速・大型船の整備も一段落し、建造船型は省エネ・低燃費型の船型へと変化していった。省エネ船型として建造された豪州航路へ投入「白馬丸（1,854TEU、21.0ノットディーゼル27,200馬力）三菱重工」（写真5.14）が1979年完成している。しかし1970年代末期には、海外船社発注省エネ船型でない高速船も建造されている。1979年4月完成「Bunga Permail（2,770TEU、23.5ノット、ディーゼル30,150馬力2基）住友重機械」（資料-1033*）（写真5.15）、同年9月完成「NEPTUNE DIAMOND（1,854TEU、23.0ノット、ディーゼル40,200馬力）石川島播磨重工」は、石油危機発生以後の建造船としては、高速・大型船である。



写真5.14 白馬丸



写真5.15 Bunga Permail

省エネ世代に入り、台湾船社「EVERGREEN」が、搭載コンテナ数の最大化と省エネを積極的に採用した船型を、多数国内造船所に発注・建造している。第Ⅲ世代以降EVERGREEN社は、多数のコンテナ船建造実績を残している。この世代に建造された船は、1977年完成「EVER VALIANT（1,140TEU、21.0ノット、20,100馬力）林兼造船」、1979年完成「EVER LOYAL（1,800TEU、21.0ノット）尾道造船」、1983年完成「EVER GUARD（1,954TEU、21.0ノット）石川島播磨重工」、1984年完成「EVER GLORY（2,728TEU、20.5ノット）尾道造船」（資料-1038*）（写真5.16）、1986年完成「EVER GOODS（3,428TEU、20.7ノット）尾道造船」等の建造例があり、これ等完成船の同型船が多数建造されている。



写真5.16 EVER GLORY

1980年代前半から更なる輸送効率の向上を目指し、初代建造船の代替建造が始まっている。初代建造船に比べ搭載コンテナ数を2倍以上とし、航海速度は減速せず機関所要馬力の増加を、極力小さくする船型開発が行われている。代替船の例を下表に示す。

船 名	建造造船所	コンテナ数 (TEU)	Lpp (m) 船長	B (m) 船幅	主機馬力 (PS)	航海速度 (kt)
ジャパン アポロ	石播相生	1,197	183.00	31.20	32,400	22.40
新加州丸	日立因島	1,450	207.00	31.20	31,300	22.75
あめりか丸	三井玉野	1,676	206.00	32.20	35,500	22.27
りっちもんど ぶりっじ	川重神戸	1,702	203.00	32.20	29,920	22.50
箱根丸	三菱神戸	1,866	196.00	32.20	26,200	20.90
新米州丸	日立因島	1,728	200.00	32.20	25,210	24.30

上記代替船は1980年より1983年に完成している。

コンテナの海上荷動き量の著しい増加が始まったのは、図2.2に示す如く1984年頃からで、これを契機にコンテナ船建造量の増大と、輸送効率の向上を求め船

型の大型化が始まった。当時、荷動き量の増加傾向はあったが、北米航路を中心に海上コンテナ輸送は、過激な競争状態にあった。過当競争を乗り越えるのに、船社間の提携関係がグローバルに広がった。共同運

航・スペースシェアリングなどを行うのみではなく、コンテナ・ターミナル、コンテナ機器、システムの共有化等も行い、経営の効率化を目指した様である。輸送効率向上を目指す船型の大型化は、パナマ運河通過条件により船型寸法の選択に大きな影響を受ける。運河通過船とするには、船幅32.2m、船長280.4m以下との制約がある。また、運航性能・船体構造の安全性を考慮すると簡単に大型化は出来ず、積載個数は最大

4,000TEU前後となる船型で建造されている。これ等大型船型の建造を可能とした主な技術要素は、先に述べた省エネ船型設計、船体構造強度解析、TMC P鋼による溶接容易な高張力鋼、ディーゼル機関の高出力化と低燃費化などの開発結果に大きく依存している。

1988年以降1995年始めごろまでに建造された、パナマックス船型および1994年国内で始めて建造されたオーバーパナマックス船型の代表例を以下に示す。

船 名	建造造船所	コンテナ数 (TEU)	Lpp(m) 船長	B(m) 船幅	主機馬力 (PS)	航海速力 (kt)
加賀 ^{*5.9}	幸陽船渠	3,618	273.00	32.20	39,000	23.00
La Seine	石播 呉	3,613	273.00	32.20	39,000	23.00
はんばーぶりっじ	川重坂出	3,456	261.00	32.20	41,600	24.00
AROSIA ^{*5.10}	三井千葉	4,000	280.00	32.20	55,900	24.50
NEDLLOYD ASIA ^{*5.11} / NEDLLOYD EUROPA ^{*5.12}	石播 呉/ 三菱神戸	3,568	253.00	32.24	30,600KW	21.50
JERVIS BAY	石播 呉	4,038	273.00	32.20	46,800	23.40
EVER ROYAL ^{*5.13}	尾道造船	4,229	281.00	32.22	46,800	23.00
NEDLLOYD HONGKONG/ NEDLLOYD HONSHU ^{*5.14}	石播 呉 三菱神戸	4,112 4,000	265.00	37.75	41,260KW 56,100	24.05
NYK ALTAIR	石播 呉	4,743	283.00	37.10	43,620KW	23.50
NYK VEGA	三菱長崎	4,800	262.00	37.10	43,620	25.60

注：*5.9（資料－1039）写真5.17、*5.10（資料－1041*）写真5.18、*5.11（資料－1037）写真5.19、
5.12（資料－1042）写真5.20、*5.13（資料－1043*）写真5.21、*5.14写真5.22



写真5.17 加賀(資料－1039)



写真5.18 AROSIA



写真5.19 NEDLLOYD ASIA
(資料－1037)



写真5.20 NEDLLOYD EUROPA



写真5.21 EVER ROYAL



写真5.22 NEDLLOYD HONSHU

上記表中、1991年完成「NEDLLOYD ASIA、NEDLLOYD EUROPA」は、倉口蓋を設置しない所謂ハッチカバーレスタイプで、倉内より上甲板上の積付けを通して行える様なセルガイド配置となっている。本船は、第5章5.2.3項に述べた上甲板上のラッシングを省略した例で、この他同型3隻が建造されている。

パナマ運河通過を考慮しない、オーバーパナマック

ス型大型コンテナ船は、1988年海外船社発注により海外造船所にて最初に完成している。我が国では上記、1994年2月完成「NEDLLOYD HONGKONG」、1994年12月完成「NYK ALTAIR」、1995年2月完成「NYK VEGA」が最初に建造されたオーバーパナマックス船である。船幅を37.0m超とし、倉内の幅方向の積付けを従来の最大11列から13列に増大、上甲板は最大13

列から15列、5段積みとし搭載個数の増大を図っている。

この世代にも台湾のEVERGREEN社は、上記表に示す1993年完成「EVER ROYAL（4,229TEU、23.0ノット、46,800馬力）尾道造船」を始め、1994年完成「EVER REWARD（4,229TEU、23.2ノット、46,800馬力）三菱重工」等のパナマックス大型船を建造、コンテナ輸送能力の強化を図っている。

1995年以降オーバーパナマックス船型による超大型船の建造数が増加している。主な例を下記の表に示す。船幅は40.0m超となり、倉内の幅方向積み付けを14～15列、上甲板上是16～17列搭載する配置となっている。積み付け個数も6,600TEUを超え、船速も24.5ノット、主機所要馬力は89,600馬力と急速に大型化が進んでいる。

船幅40mオーバーパナマックス船型例

船 名	建造造船所	コンテナ数 (TEU)	Lpp (m) 船長	B (m) 船幅	主機馬力 (PS)	航海速力 (kt)
OOCL CALIFORNIA ^{*5.15}	三菱長崎	4,960	262.00	40.00	66,120	24.60
EVER ULTRA	三菱神戸	4,948	268.00	40.00	66,120	24.50
LUHE	川重坂出	5,250	267.00	39.80	58,600	24.50
P&O NEDLLOYD SOUTHAMPTON ^{*5.16}	石播呉	6,690	283.80	42.80	65,880kw	24.50
NYK CASTOR	三菱長崎	6,148	287.00	40.00	72,000	23.00
NYK SIRIUS	三井千葉	6,148	287.00	40.00	72,000	23.00

注：*5.15 写真5.23、*5.16（資料－1038）写真5.24



写真5.23 OOCL CALIFORNIA



写真5.24 P&O NEDLLOYD SOUTHAMPTON
(資料－1038)

コンテナ船の建造当初から1998年に至る建造船の主な概況を述べたが、これ等建造状況の概要を付録表5に示す。コンテナの海上荷動き量は、近年中国を含めたアジア地域の急激な工業発展により、著しく増加の

一途をたどっている。1998年以降の建造量の増加・大型化は著しく進んでいるが、就航後間もない事もありここには含めていない。

表5.2 我が国コンテナ船建造実績変遷

	第Ⅰ世代	第Ⅱ世代	第Ⅲ世代	第Ⅳ世代	第Ⅴ世代
年代	1966～1970	1971～1977	1978～1987	1988～1994	1995～
運航状況	国際規格コンテナによる国際航路運航開始（北米西岸、オーストラリア航路）	高速・大型船による運航航路拡大（北米東岸・欧州航路開設）	石油危機による燃料消費削減、減速船型の採用	コンテナ輸送量の増加に伴う積載個数の増大を図る船型採用（船長・船幅の増大）	輸送量の急増に伴い高速・超大型船時代への突入
積載個数	700～1,200 TEU	1,800～2,400 TEU	1,700～3,000 TEU	3,500～4,700 TEU	5,000 TEU 超
船速	23ノット前後	26ノット前後	20～22ノット	23～24.5ノット	24～25ノット
船長	180～210m	245～260m	210～230m	260～290m	270m～
船幅	25～30m	32.2m	32.2m	32.2～37.75m	40m～
喫水	9.5～10.5m	11.5～12.0m	9.5～12.0m	11.0～13.0m	13.0m～
積みつけ 列 (船幅方向)× 段数(高さ方向)	Hold 7～8列X6段 On Deck 9～10列X2段	Hold 9列X7～9段 On Deck 12列X1～3段	Hold 10列X8段 On Deck 13列X3～4段	Hold 10～13列X8段 On Deck 13～15列X4～5段	Hold 13列～X9段 On Deck 16列～X5段～
主機関	27,000PS～34,000PS (ディーゼル)	70,000PS～80,000PS (主にタービン2基搭載、一部ディーゼル3基搭載船あり)	25,000PS～30,000PS (ディーゼル)	42,000PS～58,000PS (ディーゼル)	66,000PS～ (ディーゼル)
積載コンテナ サイズ	ISO規格20Feet (L 19' - 10 1/2"XB 8' XH 8' 6"), 40Feet (L 40' XB 8' X H 8' or 8' 6")	左記欄以外にISO規格外の40Feet (L 40' XB 8' XH 9' 6")が出現	左記欄に同じ	左記欄以外にISO規格外の45&48Feetコンテナ (L 45' & 48' XB 8' XH 9' 6 1/2")出現 主に On Deck搭載で対応	左記欄に同じ
船型の特徴	・在来定期貨物船より船速の増大 ・オーストラリア航路向けは冷凍コンテナ150個積載	・積載個数増大と高速化に伴う高出力機関の必要により2基2軸或いは3基3軸船を採用 ・復原性維持を期し船倉内積み付けを増大	・積載個数および船速も22ノット程度を維持し省エネを狙う船型開発に注力 ・船幅はパナマ運河通行可能な32.2mを採用 ・積載個数はOn Deck積み付け段数を3～4段とし増大を図る	・パナマ運河通過可能船幅で積載数を最大とする船型開発 ・低燃費高馬力ディーゼル機関の開発による船速のアップ ・92年にはパナマ運河通過しない幅広船型を採用 ・On Deck積も5段を採用しLashing法の改良 ・冷凍コンテナ積載増加	・積載個数増大に対し船幅の更なる拡大 ・岸壁荷役クレーン設備能力(アウトリーチ)を配慮 ・船幅増大による復原性関連対応 ・ディーゼル機関の更なる出力増大 ・冷凍コンテナ積載増加
定格荷重(t)	25.4～30.5	30.5	30.5	30.5～40.6	40.6～61.0
巻上速度(m/min)	30～36/72(無負荷) 120	36～50/90～120(無負荷) 125～150	36～50/90～120(無負荷) 125～150	50～65/120～130(無負荷) 180～210	65～75/130～150(無負荷) 210～215
横行速度(m/min)		35.5～37.2	35.5～37.2	36.0～44.5	44.5～50.0
アウト リーチ(m)	32.0～33.5				
リフト(m)	19.5～21.0	21.0～25.0	21.0～25.0	27.5～34.9	34.9～36.0

6 | 液化ガス運搬船建造技術と建造船

液化ガス運搬船はLPG船、LNG船の大きく2種類に分かれる。運搬するプロパン/ブタンガスと天然ガスの液化条件が大きく異なる事による。これ等ガスの液化は、常温で加圧化、または大気圧下で冷却の2方法による。プロパンガスは通常の圧力容器により液化が可能であるが、天然ガスは常温では加圧により液化せず、冷却方式によるタンク構造を選択せねばならない。船舶による海上輸送は、通常一度に大量運搬するので、加圧方式の場合、タンクの大型化による、タンク重量の増大により、輸送効率の低下を招く結果、冷却方式を選択するケースが大部分である。各々大気圧下ガス液化温度は、プロパンガス -42.0°C 、天然ガス -162°C と極低温であるので、大型液化ガス運搬船建造に当たり、低温対策技術が重要となる。

低温対策技術として考慮すべき点を挙げると、

- ・タンクに使用する材料の低温じんせい値の確保と加工・溶接性
- ・タンクの熱収縮問題
- ・タンクの防熱対策
- ・低温液漏洩時の二次防壁対策

などが挙げられよう。

大型LPG船需要は、国内の経済成長に伴いプロパンガスの消費量が増大、中東地域などからの輸入の必要性により始まった。クリーンエネルギーであるLNGの国内需要が始まったのは、1969年電力・都市ガス業界がアラスカからの輸入を開始した事による。その後、ブルネイ、インドネシア、マレーシア、オーストラリア、中東地域など世界各地から、現在年間5,500万トンを超えるLNGを輸入している。輸入開始後約15年間は、海外船社所有船により輸送されていたが、1983年以降は国内船社が自社船を建造し輸送を始めた。海外船社による輸入時代のLNG船は、全て海外造船所で建造された船によっていたが、国内船社が運航するLNG船は、国内造船所で建造する様になった。以下に、LPG船、LNG船に関する概要・建造技術・建造船の変遷につき述べる。

6.1 液化ガス運搬船の概要

6.1.1 LPG船の概要

プロパン・ブタンガスの液化は、先に述べた様に常

温下での加圧、または大気圧下での冷却液化の方法による。常温 15.0°C における、プロパンガスの液化可能圧力は $6.4\text{kg}/\text{cm}^2$ 、大気圧下の冷却温度は -42.0°C である。加圧による液化圧力は、温度条件の変化により変わり、例えば 46°C の場合は $15.0\text{kg}/\text{cm}^2$ の圧力が必要となる⁴⁸。従って、LPG船を建造する場合の液化設定条件は、多少の余裕が必要で通常圧力は $18.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 、温度は -45.0°C 程度とする事が多い様である。LPG船は大別して加圧式と冷却式に分かれ、これらタンク形式の分類を表6.1（236頁参照）にまとめて示す。

加圧型LPG船の場合、プロパンガス積載タンク圧を $18.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度とし、この圧力を維持出来る圧力タンクを船に搭載、LPGの輸送に当たる。加圧型LPG船は、大量の液輸送をするには大型の圧力容器が必要となるので、タンク自体の重量増大により輸送効率が低下する。従って、多くの加圧型LPG船は、国内沿岸航路に従事する内航船用に建造される事が殆どである。加圧型を採用し輸送容量を増大するケースとして、冷却方式と併合した半冷却・半加圧方式とする例が、数多くはないが幾例か見受けられる。この場合のタンクは圧力容器型で、タンク外面に防熱を施し侵入熱も防ぐ様式をとっている。

大型LPG船は、タンク設計温度を -45.0°C 以下とした冷却型LPGタンクと荷役機器を設置している。LPG船建造当初より現在までに建造された冷却型タンク様式には3種類ある。表6.1（236頁参照）に示す如く、冷却型LPG船は独立方形、セミメンブレン（非独立型）、内部防熱（非独立）の3形式がある。しかし、独立方形型LPG船が圧倒的な数を占め、セミメンブレン、内部防熱型により建造されたLPG船は、1980年代前半迄で、それ以降の建造船は全て独立方形型である。

独立方形型LPG船は、大型方形タンクを船体構造に設けたタンク支持構造により、タンク重量を支持する方式である。船体・タンク概要断面図は図6.1に示す通りである。タンクは完全に独立した構造で、船体構造とはタンク支持台により連結される（図6.2）。低温液体搭載によるタンクの熱収縮は、タンク構造自身で吸収し、船体構造には直接影響を与えない支持方式としている。タンク支持構造は船体構造に固着され、タンク構造と支持構造は断熱部材を介し、スライド可能な支持方式となっている。タンク構造は船体構造と同

⁴⁸ 科学技術庁資源局「LPガス・データ必携」

様、板・桁板・骨構造様式である。使用鋼材は、船級協会規格による低温用鋼板を使用する。大型LPG船建造当初、タンク材はASTM規格による2 1/4%ニッケル鋼が使用されていたが、その後高価なニッケル含有鋼に代わり、熱処理した低炭素アルミキルド鋼による低温鋼が開発され、その後改良を重ね溶接性に優れたTMCP鋼による低温用鋼板を使用している。タンク外面には侵入熱を防ぐ防熱を施すが、多くの場合、ポリウレタンフォームの現場発泡により、厚み100mm程度の防熱が施されている。

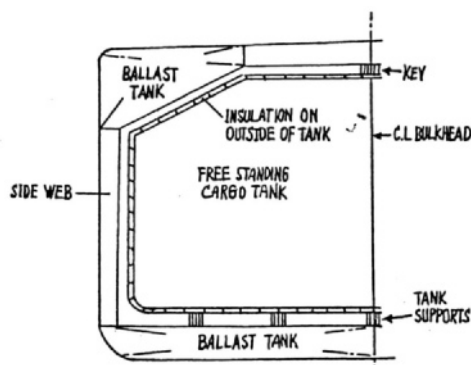


図6.1 独立方形型LPG船

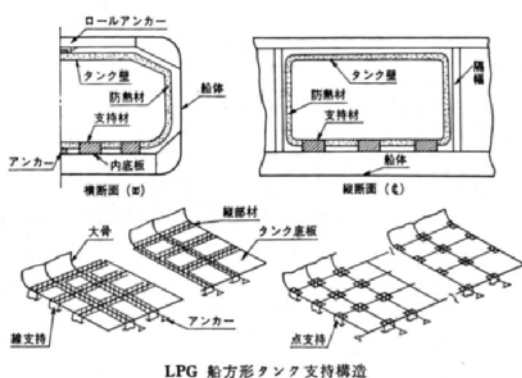


図6.2 LPG船方形タンク支持構造（三菱重工技報）

LPG船を含め液化ガス運搬船に関する安全性・信頼性を重視した条約が、1975年政府間海事協議機構（Inter-governmental Maritime Consultative Organization：IMCO、後にInternational Maritime Organization：IMOと改称）により定められ、1980年より各国規則・船級協会規則に関連条約が採り入れられた。この規則の発効により、LPG船のタンク構造は3種類に区分けされ、各々の区分規程により設計要領が異なっている。タンク構造に対する信頼性基準を、タンク事故発生によるタンクからの液漏洩量の差異により、二次防壁設置基準を区分している（表6.1 236頁参照）。この基準は、タンク構造をタイプA,B,Cの3種類に区分している。タイプC

は、先に述べた圧力型で圧力容器設計基準に準拠するので、構造強度解析が比較的明解である事により、特に二次防壁設置は求められていない。タイプAは独立方形型に適用され、タンク構造設計は船級協会規則により、詳細な構造解析を省略するケースで、完全二次防壁の設置が必要となる。タイプBによるタンク構造設計は、運航状況に合致する荷重状況を再現、構造解析を詳細に亘り実施し、タンクに発生する亀裂発生状況を把握し、亀裂の進展状況につき解析し液漏洩量の予測が要求される。このような詳細構造解析を実施するタンク構造は、二次防壁の軽減が認められる。

冷却セミメンブレン型は、大型LPG船建造開始当初より、1980年代末頃迄建造された実績がある。タンク構造概要は図6.3に示す如く、タンク内に液を搭載するとタンク形状がふくらむ。タンク内に液が入ると自立は不可能となり、防熱材を介し船体構造により形状が維持される。タンク構造自身は、板厚8mm程度の低温用鋼板により防撓材を設けない板のみの構造である。タンク内に液を積載すると変形が起こるが、変形挙動をタンク鋼板の面内に起こる変形強度解析を基準に設計を行なう。タンクからの荷重は、船体側に取り付けられた防熱材と根太を介し、船体構造により支持されている。タンク構造設計に際しては、特殊な構造形態である事もあり、IMO安全条約導入後はタイプB区分となっている。

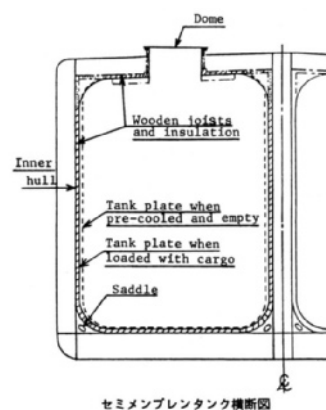


図6.3 セミメンブレン型LPG船

冷却型で上記2方式と異なる内部防熱方式型の建造例がある。この型式は、船体構造の内面に防熱材を取り付け、防熱材自身がタンクを形成し、LPG液を直接防熱面に積み込む方式である（図6.4）。本型式は、三菱重工・横浜造船所が1971年SHELL RESEARCH社と技術提携、防熱施工方式などの開発を実施し、1976年第1船を完成させたが、その後2隻の建造例があるのみである^{49）}。

49 三菱重工業株式会社 横浜製作所「新造船建造史」1988年p453

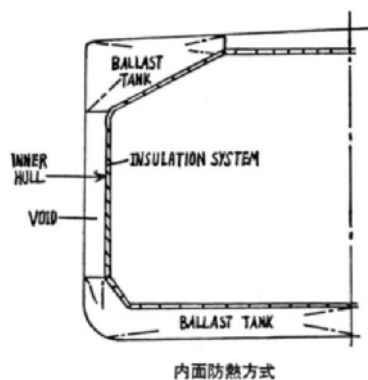


図6.4 内部防熱型LPG船

6.1.2 LNG船の概要⁵⁰

天然ガスの液化は、大気圧下での加圧による液化は出来ず、 -162°C の極低温で液化が可能である。液化天然ガスLNGはLPGに比し、液化温度が極低温であるので、タンクを構成する材料・形式・防熱方式など特別な低温技術が必要となる。1954年アメリカで6,000 m^3 型バージにより、LNG輸送が始めて行なわれたのが海上輸送の最初である。このバージによるLNG輸送を契機に、LNG船の開発が始まった。その後イギリス、フランス、ノルウェーなどの国家・企業により、独立タンク形式、並びにメンブレンタンク形式の2方式の開発が行なわれた。我が国造船各社は、これ等海外にて開発された技術と提携し、各社において実船建造に必要となる技術開発を実施、建造を行なっている。国内にて独自に開発されたタンク型式は、独立方形型でLPG船と同様な概念のタンク型式を、石川島播磨重工が開発した。各々のタンク形式概要一覧を表6.2に示す。(237、238頁参照)

独立タンク形式には、コンチ方形・ウォルムス円筒・モス球形・石川島播磨重工SPB方形の4種類がある。コンチ方形型は、1957年より英国政府・コンストック社共同出資（後にシェルとコンストックの間でコンチ社設立）により開発が開始された。1959年5,100 m^3 「メタン・パイオニア」が建造され、大西洋横断実験航海に成功した事が、海上LNG輸送の本格的始まりである。1964年には大型27,400 m^3 「メタン・プリンセス」が建造されている。本方式の船体横断面形状は、図6.5に示す通り、船底・船側・上甲板下部とも二重船殻構造とし、船殻構造の表面に図示の如きバルサ材による防熱材が取り付けられ、防熱の内側にタンクが設置されている。タンク構造はアルミ合金により、水平防撓構造様式を採用、タンク・液重量は防熱材を介し船体に伝達する方式となっている。本方式による実船建造実績

は「メタン・パイオニア」、「メタン・プリンセス」を含め3隻のみで、我が国での建造実績はない。

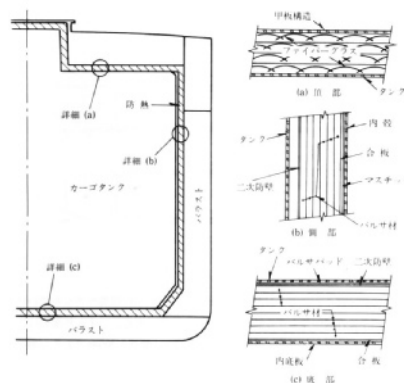


図6.5 コンチ方形型LNG船（LNG船一英知の生んだ船一）

コンチ方形型に引続き開発されたのが、ウォルムス円筒型である。本方式は、1960年フランスガス局系列ガスマリン社の発注により、ウォルムスグループが開発した。1962年実験船を建造、この実験船に3種の試験タンクを製作搭載し実験を行い、円筒型タンク方式の実船を建造する事となった。1965年25,500 m^3 「ジュール・ベルヌ」を完成、見事な運航実績を収めている。本方式の船体横断面形状を、図6.6に示す。タンク形状は円筒型となっており、底部は図に示す如くすり鉢状とし、タンク重量の船体構造への伝達を容易とした形状を選択している。タンク構造は9%ニッケル鋼により、水平防撓構造様式を採用、タンク重量は、タンク底部に設けた防熱材となる塩化ビニールフォームにより支持される。

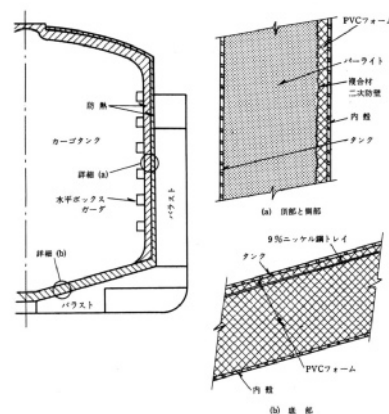


図6.6 ウォルムス円筒型LNG船（LNG船一英知の生んだ船一）

船側部は、タンクと船体構造の間に粒状のパライトを充填し、パライトを介しタンク荷重を船体に伝達する方式である。本方式の建造実績は、「ジュール・ベルヌ」1隻のみで、我が国での建造実績はない。

⁵⁰ 糸山直之「LNG船一英知の生んだ船一」成山堂書店

上記2独立形式タンクは桁・骨材により補強されたタンク構造であるが、タンク構造に桁・骨材を設けない压力容器型式概念を導入した球形タンクを、ノルウェーのモス・ローゼンベルク社が1969年より開発を開始し、翌年開催第2回LNG国際会議に新概念タンク型式を発表した。モス球形タンクは圧力型容器型であるが、搭載LNGは常圧である。その後、実験船の建造を行わず、直ちに実運航船の建造契約を結び、1973年87,600m³「ノーマン・レディ」を完成、良好な就航実績を得、その後建造実績を急激に伸ばして行った。本型式の開発発表があるまでLNG船は、後述するメンブレン型式が多数建造されていた。モス球形型の開発発表後、川崎重工・三井造船・三菱重工3社は技術提携を行い、各社独自に実船建造に向け建造技術の開発を実施し、1981年川崎重工は129,000m³「GOLAR SPIRIT」を国内建造第1船として完成した。以後、国内船主向けなどに、技術提携3社により、125,000m³タイプモス球形LNG船を多数建造している。本型式の船体横断面形状を、図6.7に示す。タンク形状は球形で、球の赤道部分に円筒状のスカートを取付け、このスカートを介しタンク荷重を船体に伝達する型式である。タンク構造は压力容器設計概念により、タンク構成板の膜力により強度を維持するので、詳細構造解析が比較的容易であるので、IMO液化ガス規則タイプB適用の支障が少ない。タンクシステムはIMOタイプBに区分されるので、二次防壁の簡略化が可能となり、漏洩液は少量と看做しうるので、ドリフトレイシシステムの採用が認められている。タンク材料は、溶接性に優れるアルミニウムA5083-O材を使用している。タンク防熱は発泡プラスチックにより、タンク外面とスカートの上半部に取り付けられる。

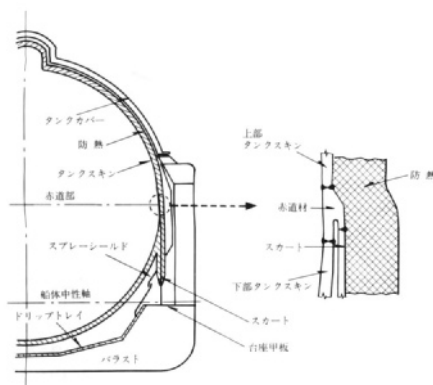


図6.7 モス球形LNG船（LNG船一英知の生んだ船一）

1983年以降、国内船主向けLNG船の建造開始により、近年建造されるLNG船はモス球形型がメンブレン型より増加している。元三菱重工糸山氏の調査による、各型式LNG船就航実績船の状況を図6.8に示す⁵¹。この様に球形LNG船の建造実績増加要因としては、タンクシステムが桁・骨構造による補強材のない単純な球形膜板構造であり、設計・建造要素面の信頼性が高く、造船所の建造設備・技術に合致した箇所が多い事によると考えられる。

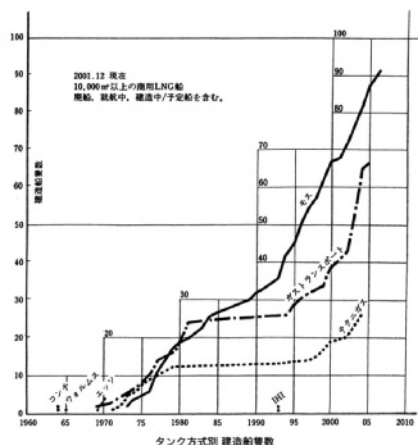


図6.8 LNG船建造実績（LNG船開発50年史）

国内造船所で開発された唯一のタンク型式は、1982年石川島播磨重工よりSPB（Self-supporting Prismatic tank-Type B）方形独立タンク方式として発表された。本型式は、先に述べたLPG船に多数採用されている独立方形形式と同じ概念で、船体横断面形状を図6.9に示す。タンク構造は、板・桁板・骨材により構成され、詳細な強度解析を実施し、IMOタイプBを適用している。IMOタイプBとして認められる事により、二次防壁が軽減され、モス球形タンクと同様タンク支持船体構造上に、ドリフトレイの設置により本型式が認められている。タンク形状・構造様式・タンク支持・防熱要領は、LPG船の独立方形形式と同様であるが、冷却温度の違いによる技術面への影響は大きい。タンク構造材は、モス球形タンクと同様アルミニウムA5083-O材による。建造実績は、1993年89,900m³「ポーラ・イーグル」他1隻が完成している⁵²。

2000年時点でメンブレンタンク型式の建造実績は、独立タンク型式とほぼ同数である。メンブレンタンク型式は、テクニガス方式とガストランスポート方式の2形式に大別される。メンブレン方式のタンクシステム概念は、タンク表面を金属の薄膜で覆い液密性を維

⁵¹ 糸山直之「LNG船開発50年史」成山堂書店 p85

⁵² 石川島播磨重工技報「IHIにおける液化ガス船の技術とSPB LNG船の1994-7, Vol.34, No.4

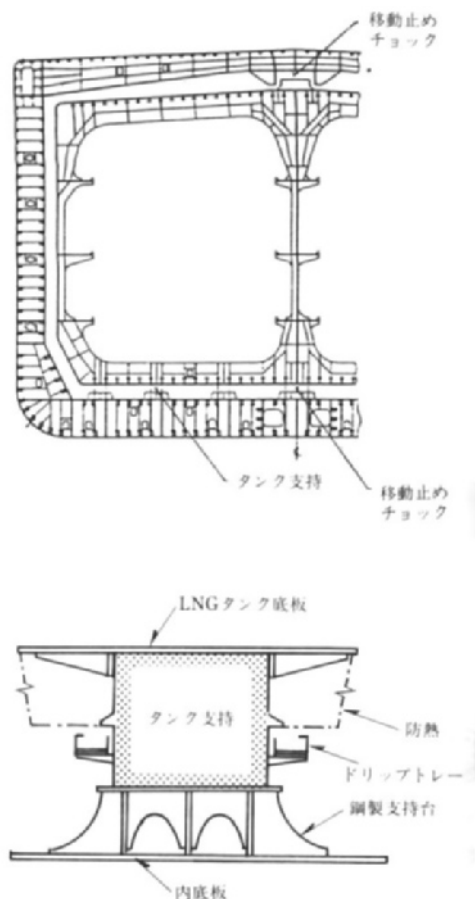


図6.9 SPB型LNG船（LNG船－英知の生んだ船－）

持し、LNG液荷重は防熱材と船体構造により支持される。2方式あるメンブレン型式の違いは、メンブレン薄膜の熱収縮対応様式と使用材料、並びに使用防熱材料の違いにある。

テクニガス方式は、1962年ノルウェーにて開発された、アルミの薄板に設けた“しわ”構造によるメンブレン概念の特許を、フランス「ガスオーシャン社」が取得し開発を開始した。ガスオーシャン社は、メンブレン技術特許取得後直ちにLNG船開発に取り組み、翌1963年同社は技術開発会社「テクニガス社」を設立、1964年630m³実験船「ピタゴール」を完成している。

テクニガス方式の構造様式を図6.10に示す。開発を進める段階でメンブレン薄膜は、アルミニウムより熱収縮の少ないステンレス鋼に変更、防熱材はバルサ材を使用している。防熱部は液荷重を支持する事もあり、また二次防壁の組み込みなどもあり複雑な構造となっている。その後、バルサ防熱方式を完成、1971年「デカルト」50,000m³を完成している。引続き、1970年代に75,000m³、120,000m³、125,000m³型など、合計12隻のテクニガス方式メンブレンLNG船を、フランス、アメリカ造船所で建造している。しかし、バルサ材による防熱は価格が高い事などにより、発泡プラスチック

(PVC)に変更され、更にガラス繊維補強によるポリウレタンフォーム（R-PUF）パネルに変更された。原型をテクニガスマークⅠ、防熱PVC型がマークⅡ、防熱R-PUF型がマークⅢと称され、マークⅢ防熱が開発されたのは1978年であった。我が国におけるテクニガスマンブレン型LNG船の建造実績は、1993年日本鋼管にて完成した「AMAN BINTULU」18,900m³が第1船でマークⅢタイプである。

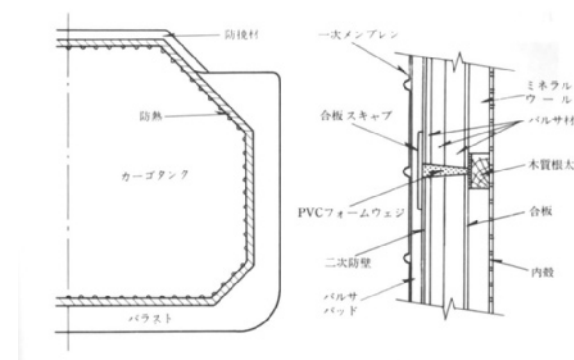


図6.10 テクニガスマンブレン構造（LNG船－英知の生んだ船－）

テクニガス方式メンブレンタンクが先行開発された事もあり、ガストランスポート方式は、新規性ある方式を開発すべく、円筒型独立タンク型式を開発したウォルムスグループが1965年より開発を始めた。同年関係会社により、LNG船開発技術会社「ガストランスポート社（Gaz Transport社）」が設立された。この技術会社により開発が進められ、テクニガス方式に比べ、新しい概念2点を採り入れたメンブレンタンク方式を考案している。ガストランスポート方式メンブレン構造の概要を図6.11に示す。特徴の1点は、タンク薄膜のメンブレンに熱収縮吸収対応“しわ”構造を設けず、熱収縮量が極端に少ないインバー（36%ニッケル合金：Invariable steel）を使用している。第2は、防熱様式を合板製箱型とし運搬・施工の容易性を図った。インバーの線膨張係数は、鉄に比し約1/10と非常に小さく、熱収縮に対しては大変有利である。防熱箱は、長さ1,000mm、幅400mm、深さ200mmと小型化し取り扱いを容易とした。同時に液荷重に耐えうる様カバ材・ラワン材の合板構造とし、箱の内部にはパーライトを充填し防熱材としている。海上における実運航実験は、1965年完成した円筒独立型「ジュール・ベルヌ」に25m³タンクを搭載し10ヶ月航走試験を行った。1968年30,000m³LPG船「ヒボリト・ウォルムス」を建造、1969年71,500m³LNG船「ポーラー・アラスカ」を完成、我が国最初のアラスカよりのLNG輸入プロジェクトに投入された。国内での建造実績は、2002年三井造船、三菱重工にて建造された137,000m³型が最初である。

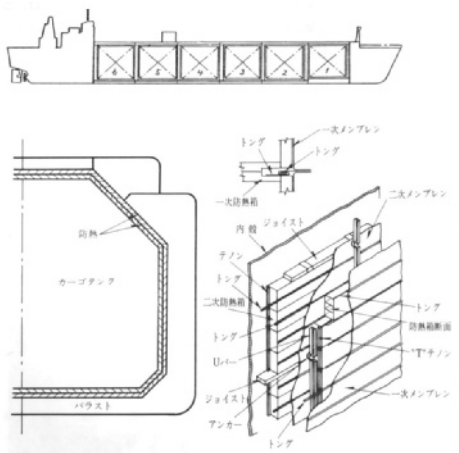


図6.11 ガストランスポートメンブレン構造（LNG船—英知の生んだ船—）

6.2 液化ガス運搬船建造技術

大型LPG船、LNG船建造に関する主要技術の開発・変遷につき述べるが、大型船は殆ど冷却型である。LPGとLNGでは液化冷却温度が、 -42°C と -162°C と大きく違うので低温技術に対し差異がある。LPG船の場合は、冷却温度がそれ程低くない事もあり、熱収縮問題の影響はLNG船に比べ少ない。LPG船には一部非独立型タンク方式はあるが、大部分は独立タンク形式が圧倒的に多い。LNG船では、冷却温度が極低温であり熱収縮問題を重視した、メンブレン型式と独立型の2方式となっている。以下に、LPG船、LNG船の低温に対処する技術につき説明する。

6.2.1 LPG船建造技術

冷却型LPG船建造上重要技術は、低温液収納による熱収縮対応構造様式、タンク材料の選定と低温切欠きじんせい値、溶接施工技術、溶接部品質の維持が重要課題であろう。タンク構造と関連する防熱方式と材料、並びに低温液の荷役・運航時の管理なども低温液取り扱い上必須技術項目である。LPG船開発の変遷を図6.12（239頁参照）に示す。

（1）熱収縮対応構造様式

冷却型タンク様式は表6.1に示す3タイプあるが、建造された型式は、方形タンク型式が圧倒的に多く、セミメンブレンタイプは少数である。セミメンブレンタイプは、1980年代まで建造された例はあるが、それ以降の建造例はない。方形独立タンク型式の概要は図6.1に示してあるが、タンクは船体構造と直接固着されず、船体構造に固着した支持構造上に支持され、支持面をスライドする事により熱収縮を吸収する。従っ

て、図6.2に示す如くタンク構造は点列に配列された支持構造、或いは線状に配列された支持構造により、タンクに生ずる諸荷重が支持される。タンク構造設計に当たっては、液の重量・船体動揺による加速度を考慮し、船体変形による支持構造からの反力、支持面断熱材弾性特性等を加味して解析せねばならず、複雑な作業である。LPG船建造開始当初は、この様な複雑な解析を充分に行う状況にはなかったが、「3.4船体構造強度解析技術の高度化」項に述べた通り、1960年代半ば以降のコンピュータと構造解析技術の向上により、複雑な構造解析は充分対応可能となった。

セミメンブレンタイプ形状は図6.3に示す通り、タンク荷重は防熱材・根太を介し船体構造に伝達する方式であり、タンク四周部は1/4球形状で直接防熱等に支持される事なく、液荷重により自由な変形挙動をする。セミメンブレンタンク構造解析は、方形独立タンク形式以上に複雑である。更に、1975年IMOにより液化ガス運搬に関する安全条約が定められ、タンク構造システム、二次防壁設置に関し、より高度な解析が必要となった。冷却型LPG船は、IMO規則によりタイプA、Bの2種に区分けされ、何れかのタイプにより建造される事になった。IMO規則によるタンク構造設計基準の違いは、損傷時に起こるタンクからの仮想液漏洩量の差異による二次防壁の設置要領にある。二次防壁はタンク内の液が、何らかの原因で漏洩した場合、漏洩低温液を何らかの構造囲壁により保持せねばならない。多量のタンク内液が短時間でタンク外に漏洩した場合、低温液はタンク外の船体構造内に溜まる事になる。その結果、液面レベルがタンク内・外同一レベルになるまで漏洩するのが、通常の見方である。この考え方によるLPGタンク方式がタイプAに属し、二次防壁は漏洩液に直接接する船体構造と考え、構造材料はタンク使用材と同一低温用鋼板によらねばならない。タイプBに属するタンクは、漏洩液が短時間に多量に流出しない事が、タンク構造設計時確認される場合に限り適用可能となっている。タンクは通常船体内部に格納されており、タンク外よりの大荷重により瞬時に破壊する事は考え難い。通常タンクに起こる漏洩は、タンク構造物に発生する疲労破壊等によるクラック現象と考えられている。タンク壁へクラックが発生し、液漏洩が始まるが、このクラックが急激に進展することなく、時間経過によるクラック進展量の予測解析を実施し、漏洩量の算定が可能な場合、二次防壁の低減が認められ、タイプB方式となる。

タイプB方式タンク破壊強度解析を実施するには、タンク構造が受ける荷重の算定・詳細構造解析法・脆

性亀裂伝播及び伝播停止機構解析・疲労亀裂の伝播挙動把握解析などの技術が必要である。タイプBタンク設計技術を総合的に産学協同で研究開発し、日本造船研究協会にて総合的に取り纏めを行い、IMOへタイプBタンク設計基準案とし提出した。この研究結果は、タイプB液化ガス運搬船強度解析法として広く適用されている⁵³。

(2) タンク材料と溶接性

1960年代初期より大型冷却型LPG船の建造が始まったが、時代の経過によりタンク用材料、溶接技術等の変遷要旨を図6.12（239頁参照）に示す。最初に建造された低温LPG船タンクに使用された鋼材は、ASTM規格による2 1/4%ニッケル含有鋼であった。しかし、第1船建造後、鉄鋼業界の開発努力により、高価なニッケル含有鋼に代わり、熱処理した低炭素アルミキルド鋼が市販されるようになった。この低温用鋼板による、-60.0℃（材料試験温度）対応低温切欠きじんせい値は、ニッケル含有鋼と同等レベル確保可能となった。鋼板自身の切欠きじんせい値の確保は可能となったが、タンク製作に当たっては溶接・曲げ加工などによる入熱の影響により、低温切欠きじんせいの低下の恐れがある。この問題に関し種々研究を重ね、適切な加工技術を開発すると同時に、加工入熱影響が少ない改良調質型アルミキルド鋼を鉄鋼業界と共同で開発し、以降全面的にタンク材として使用されている⁵⁴。この種の低温用鋼板の開発と共に、船級協会の低温用鋼材の規格が制定され、タンクへの使用基準も明確になった。

曲げ加工などの入熱に優れたタンク材料は開発されたが、更にタンク製作に大きく影響する溶接効率の向上が課題であった。LPG船建造増加が始まる1960年代後半より1970年代前半は、タンカーを中心にした建造量の飛躍的な増加により、溶接を中心に加工工数削減が重要課題であった。当時タンカーに使用されている高張力鋼を含む厚鋼板板継ぎ溶接に、広く普及した片面サブマージ溶接法は工数削減に大変効果を上げていた。低温用鋼板にも同様な溶接法を採用すべく開発が進められ、溶接部の低温切欠きじんせい値の低下を招く事のない溶接法の開発がなされた⁵⁵。その後、更に溶接効率を上げるべく、溶接入熱増大による効率向上

をめざしたが、当時使用していた低温用鋼板では、溶接部のじんせい値規格が確保出来なかった。しかし、1980年始めに鉄鋼業界と共同により大入熱用低温用鋼板が開発され、同時に低温用鋼板に使用する大極間サブマージアーク溶接法も開発された⁵⁶。

高張力鋼板圧延に多用されるようになったTMCP鋼圧延技術が、低温用鋼板にも適用されるようになり、前述の鋼板より更に溶接性・加工性に優れる結果が得られ、以降のLPG船多量建造に大きな効果があった。

LPGタンク構造は、高品質・信頼性の維持が重要である。品質維持の上で、溶接部欠陥からクラックを発生させてはならない。従って、溶接部の非破壊検査を全長に亘り実施すべきで、当初はX線透視検査であったがフィルム処理問題もあり、その後自動化した超音波探傷装置により行う様になった。

(3) 防熱方式と運航関連

冷却型LPG船はタンク外表面或いは船体構造面に、タンク内への入熱防止と、タンクからの低温伝達を防ぐ目的で防熱を施す。防熱要領は、PUF（ポリウレタンフォーム）による現場発泡による方法が、広く採用されている。独立方形タンクではタンク外表面に、現場発泡により固着され、セミメンブレン方式では船体構造内面に、根太構造を配置しその間にPUFを現場発泡により取り付けている。

冷却型LPG船の中で、特異な例として内部防熱方式タイプがある。本方式の概略構造は図6.4に示す様に、船体構造を二重殻構造とし、その内面にポリウレタンフォームによる防熱を施し、直接低温LPG液を積載する方式となっている。防熱施工要領は他の防熱と同様PUFにより、品質維持などの見地より特殊吹付け装置の開発を実施し工事を行った様である。

タンク内への進入熱を遮断する上で、充分な断熱性能が達せられぬと運航時低温液のガス化が増加する。液のガス化を最小限にする様な防熱を行うが、ガス化を完全に防ぐ事は出来ないので、LPG船の場合ガス化した液を、再液化するプラントを船に装備する事が多い。荷役制御と共に再液化装置の監視などを含め、運航時のタンク状況・荷役時の制御を行いやすくする統合した集中制御システムを、近年採用する様になっている。

53 日本造船研究協会「日本造船研究協会40年史」p149～151、p274 SR 169

54 三菱重工技報「調質アルミキルド鋼および2.5%、3.5%Ni鋼の加熱の影響」Vol. 2,No.1、三菱重工技報「低温用高切欠きじん性鋼の研究開発」Vol.3,No.4

55 三菱重工業株式会社 横浜製作所「新造船建造史」1988年p453

56 三菱重工業技報「方形タンク方式LPG船のタンク構造」Vol.21,No.2

6.2.2LNG船建造技術

LNG船は先にも述べた通り冷却型のみで、タンクシステムは独立型とメンブレン型の2方式がある。天然ガスの液化温度は -162.0°C と極低温でLPG船に比し、熱収縮問題とタンク構成材料の選択が大きく異なってくる。独立型、メンブレン型各々の開発、関連技術の進展状況を図6.13（240、241頁参照）に示す。2通りのタンクシステムに関する特徴的な技術につき以下に述べる。

（1）独立型LNG船建造技術

独立型タンク形式は、表6.2（237頁参照）に示す如く、コンチ方形・ウォルムス円筒・モス球形・石川島播磨重工業SPB方形の4種類ある。コンチ方形・ウォルムス円筒方式は、初期に建造されているのみで、国内での建造例はない。ここでは、我が国で建造例があるモス球形・SPB方形の2タイプに関係する技術につき述べる。独立型タンク形式に求められる事項は、タンクを形成する構造の信頼性、並びに構成材料と製作技術の高度化により、タンクの低温環境下の品質維持が最も重要な事項である。

モス球形方式は図6.7に示す如く球形タンクを、球の赤道部にタンク重量を支える円筒形スカートを設置した構造となっている。球形タンクは圧力容器構造概念により、タンク構成面に補強材は設けてないが、大直径の球形を真球形に仕上げる建造技術と、スカート部構造を含めた構造解析技術が重要である。タンク構造解析は、先のLPG船に関する項で触れたIMOタイプB基準によらねばならない。構造解析は、詳細な応力解析に始まり亀裂伝播・停止に関する破壊機構解析の実施が必要となり、その結果二次防壁を低減したドリップパンシステム方式が認められている。タンク構造の信頼性を維持する上で実施する構造解析は、船体に働く波浪荷重、タンク内液運動によるスロッシング荷重の算定、温度変化などを考慮し、FEMにより広範囲に実施しなければならない。FEMによる構造解析環境は、LNG船の建造が始まるまでに充分整っていた。また、タンク構造の破壊管理機構解析は、LPG船タイプB形式タンク構造設計基準と同様な方法によっている。

タンク構成材料は、低温に適するアルミ材を使用している。アルミ材には多種の規格があるが、モス球形タンクには溶接性に優れるA5083-O材を使用してい

る。これ迄に多数建造されている125,000 m^3 型船に搭載されている球の直径は36.0mを越え、タンク板厚は30～160mm超となる超厚板が使用されている。アルミ厚板による大型球形モスタイプLNG船を建造する3社は、技術提携後早々にアルミ厚板溶接技術開発に着手、溶接姿勢・溶接条件・溶接の自動化などの開発を実施、高品質なアルミ材溶接施工法を確立している⁵⁷。アルミ厚板溶接施工法の確立と共に、大型球形タンクの製作技術は3社各々独自に考案し、球形精度を確保し高品質なタンク組立て技術を確立した。

技術提携3社は、巨大球形タンク組立建造方法を各々独自に開発し、組立に必要な建造用治具の作成と同時に、加工精度が高く信頼性ある溶接施工法を開発している。3社のタンク建造法に大きな違いはなく、球形を大きく3分割ブロックに分け組立てる方法を採用している。球形ブロックの分割状況の1例を図6.14に示す。3社共ブロック分割法は、タンクを水平に切断、南半球、赤道部、北半球に分ける方法であるが、切断継手位置は各々異なっている。3分割大型ブロックを組立てるには、数多くの花びら状板により成型するが、花びら状への曲げ加工仕上げ精度と、各々の花びら板の溶接継手精度確保に苦心し、独自の組立て法を確立している⁵⁸。超厚アルミ板の溶接品質の確保と、球形形状精度維持の観点から、溶接作業の実施に当たり開先表面状態・溶接条件などの徹底管理と、溶接機器・装置の開発を実施している。溶接部の検査は、放射線探傷法・超音波探傷法・浸透探傷法を組み合わせ実施している⁵⁹。球形タンクの真球度については三角測量法などの方法を用いて行なっている。

-162.0°C の極低温液をタンク内に格納運搬するには、外部からの侵入熱を遮断する防熱を施さねばならない。曲がりのある球形表面への防熱施工方法に2方法が採用されている。一方法はタンク表面に1m強の矩形のパネルを貼り付ける方法で、他は200mm程度の正方形断面を有し、長さ3m程度のポリスチレンフォームを連続的に溶着した帯状のログを、タンク表面に巻きつける方法の2種類がある。

パネル方式は川崎重工にて開発され2層構造となっている。2層構造のタンク表面に接する下層はフェノールフォーム（Phenolic resin foam：PRF）、表層はポリウレタンフォーム（Polyurethane foam：PUF）

57 三菱重工技報「LNGT用5083Al合金の溶接に関する研究」Vol.6, No.2 三井造船技報「厚板アルミ合金（A5083-O）の大電流MIG溶接に関する研究」94号、1976

58 三菱重工技報「球形タンク方式LNG船の建造」Vol.21, No.2, p54 川崎重工技報「アルミニウム合金製LNG船積用球形タンクの製作」81号、1983-1, p140

59 川崎重工技報「アルミ合金製LNG球形タンク溶接部の非破壊検査について」61号、1976-8, p126

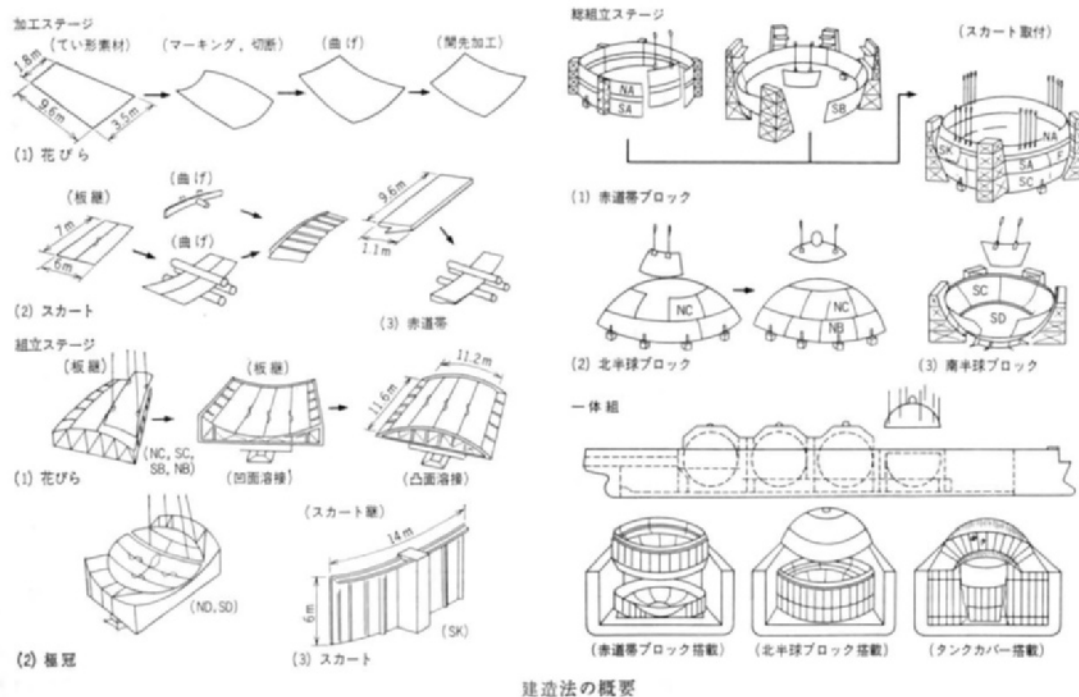


図6.14 球形ブロック分割（三菱重工技報）

とし、両層の間に金網を、表層の上面にアルミ合金製の薄板を設けてある。このパネル方式は、タンク表面に取付けたスタッドボルトにより固着され、パネル間はPUFの発泡により接着される。防熱要領の概要を図6.15に示す⁶⁰。

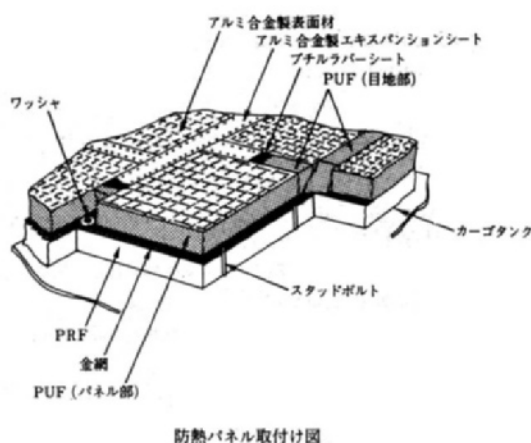


図6.15 防熱パネル取付け図（川崎重工技報）

带状ログをタンク表面に巻きつける方法は、ノルウェーのTI社（TEKNISK ISOLERING）の技術により国内防熱業者により施工が行なわれている。三井造船・三菱重工は本方式を採用しているが、各々の建造要領・設備の違いにより、本来ノルウェーのモス造船所に適用した方法に改良を加え施工されている⁶¹。三

菱重工は初期の建造船数隻に限り本方式を採用し、以降は川崎重工と同様なパネル方式によっている。本方式による防熱施工要領の概要を図6.16に示す。本方式はタンク全球表面には施工出来ず、両極部・スカート部はパネル方式によっている。本方式による施工は、機械化され防熱の品質が安定して得られ、工事の省力化につながる事によってと思われる。

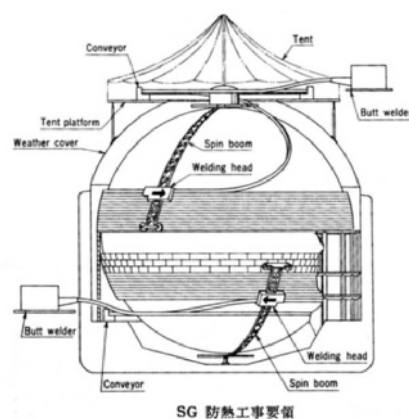


図6.16 SG防熱工事要領（三菱重工技報）

独立型タンク形式に限らぬが、極低温液用配管類はタンク内をアルミ管、タンク外をステンレス管とし、各々の溶接加工に関しては、タンク同様溶接条件などにつき研究を行い、施工の管理を徹底し品質の維持を確保している。

60 川崎重工技報「モス方式球形タンクLNG船用低ボイルオフ防熱の開発」110号、1991-7,p64

61 三菱重工技報「球形タンク方式LNG船のタンク防熱特性」Vol.21,No.2,p74

石川島播磨重工で開発された独立型SPB方式は、LPG船の方形独立型概念を適用し、IMOタイプBによる破壊管理機構による解析を実施したタンク形式である。タンク構造様式は図6.9に示す通りで、タンク材料はモス球形タンクと同様アルミA5083-O材による。タンク構造は骨・桁板で補強されているので、補強材の取付けに必要となる多量な溶接部の品質維持管理が、重要な技術課題である。IMOタイプB方式の承認を得るべく、石川島播磨重工では、各種アルミ溶接継手の溶接状態と疲労強度に関するデータを取得し、溶接仕上がり状況毎の疲労強度・亀裂発生と伝播の関係資料を作成した。これ等資料により、溶接施工と溶接部の品質管理基準が作成出来た事により、IMOタイプB方式の独立方形型LNGタンク方式が認められ、87,000m³型大型船の建造となった。防熱はタンク外表面にポリウレタンフォーム製パネルを、パネル中央の位置にタンク外面に取付けたスタッドボルトにより固着している。相互のパネル間はクッションジョイントにより結合し、熱収縮に対処している⁶²。タンク重量は、垂直荷重を支持する支持台、前後・左右荷重を支持するチョック並びに浮き上がり防止チョックが配置されている。鋼製構造による支持台は、船体二重底構造上に配置され、タンク底部に取付けられた断熱ブロックを介し荷重が伝達される。

(2) メンブレン型LNG船建造技術

メンブレン型LNG船は表6.2（238頁参照）に示す様、海外にて開発された2形式がある。図6.10、6.11に示す如く、船体二重構造の内面に防熱を取付け、防熱表面は液密性保持の為金属薄膜にて覆われている。メンブレン型LNG船は、独立型LNG船に認められている二次防壁の軽減は認められない。従って、メンブレン方式の防熱層は2層で形成し、中間に二次防壁が取付けられているので、施工工事は大変複雑となる。複雑な工事となるので、施工時の品質管理は重要な技術要素である。また、タンク内液荷重を防熱構造が直接受け、船体構造に伝達せねばならず、防熱装置自身充分な強度を維持せねばならない。タンク内液積載量が満載でない場合は、船体運動による液のスロッシング荷重が加わるので、防熱材は荷重変動に対し充分な解析が求められている。また、防熱方式は従来大型鋼構造の建造要領と異なり、非金属部材の取扱い・接着などの施工に加え高度な加工精度を求められ、更に薄膜金属の溶接

技術など造船業が従来経験していない技術が必要である。

テクニガス方式マークⅠ、Ⅲタイプの防熱構造の概略を図6.10、6.17に示す。テクニガスマークⅠは初期の方式で、その後改良を重ねられ現在ではマークⅢタイプにより建造されている。タンク表面となる一次バリアーは、1.2mm厚のステンレスコルゲートで両タイプとも同じであるが、防熱材は積層バルサよりグラスファイバー補強ポリウレタンフォーム（R-PUF）へ、二次バリアーは合板材よりアルミ薄板の両面にグラスクロスを接着し防熱層内部に組み込んである。本方式を技術提携している日本鋼管では、1982年より1983年にかけて当時既にマークⅢタイプの形式が開発されていたが、防熱構造が複雑なマークⅠ方式によるモデルタンク実験を実施し、施工に関する諸技術の開発を行なっている⁶³。特に薄板ステンレスコルゲートメンブレンの溶接については、自動溶接装置を開発し溶接品質維持に配慮している。また、施工条件・要領の把握を目的としたモデルタンク実験結果により、品質保証システムを確立し、18,900m³型テクニガスLNG船を建造している。

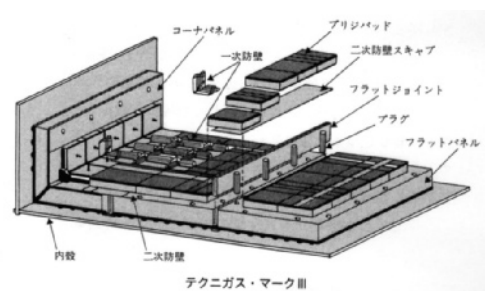


図6.17 テクニガス マークⅢ（LNG船開発50年史）

先行したテクニガスマンブレンに続き、ガストランSPORTメンブレン（GTメンブレンと呼称）が開発された。開発の遅れはあったが、GTメンブレンの建造実績は図6.8にある様に順調に増加している。本方式防熱構造の概略を図6.18に示す。テクニガス方式とGT方式の差異は、6.1.2LNG船の概要で触れた様に、薄板金属材料、防熱構造の使用材料と成形様式の違いである。メンブレン方式LNG船建造に要求される技術は、方式毎に差異はあるが、従来の造船建造技術と異なる材料の取扱い、並びに独特な施工精度の維持が必要で、新しい施工技術の開発が必要である。GT方式の薄板メンブレンは、0.7mm厚インバー（36%ニッケル合金）によるので継手溶接品質保持が重要であり、自動溶接法を広く採用している。GT方式の場合もモデルタンクの作成により、施工要領・条件に関する諸

⁶² 船の科学「IHI SPB方式87,500m³型LNG船の概要」1991-5,Vol.44,No.5,p44

⁶³ 日本鋼管技報「テクニガス・マークⅠ方式LNG船モデルタンクの建造と低温試験」104号、1984,p53

データの取得を行い、137,000m³型大型LNG船が2002年国内で建造され、その後建造が続いている。

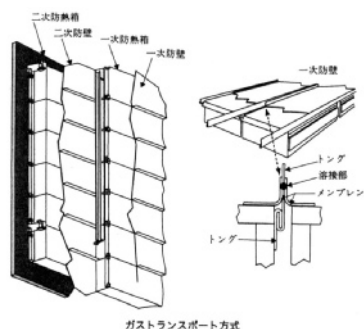


図6.18 ガストランスポート防熱（LNG船開発50年史）

両方式には上記の如き構造様式に違いがあり、この影響により建造実績数に差が生じたかどうか分からぬが、1994年両社は合併し各々「GTTマークⅢ」、「GTT No.96」と呼称されている。合併後両方式の利点を活かした新方式「CS1（Combined System No.1）」を発表している。この方式は防熱層と二次バリアーをマークⅢ方式とし、一次バリアーメンブレンをGTT No.96のインバーとする折衷案である。本方式の開発発表はあったが実船建造には至っていない。

6.3 液化ガス運搬船建造実績

我が国におけるLPG、LNG需要状況の概略を2章に述べたが、LPGは1960年頃より家庭業務用、工業用燃料或いは石油化学工業原料としての需要が急激に伸び、海外からの輸入が必要となって来た。その後経済の急成長に伴い、LPG需要は急速に増大し現在では年間2,000万トン近くの消費量となっている。一方クリーンエネルギーとして脚光を浴びるLNGは、電力・都市ガス業界が1969年アラスカより輸入を開始し、その後年々輸入量を増し現時点では年間5,500万トンを超える量を輸入する状況にある。このような状況に対処すべく、国内船主を始め海外船社も多数のLPG、LNG船の建造を行って来た。この需要状況に対し、国内造船所で多数のLPG、LNG船が建造されている。その建造実績一覧を付録表 6、付録表 7に示し、特徴ある建造船の概要を以下に述べる。

6.3.1 LPG船建造実績

LPG海上輸送の始まりは、1950年代末期以降国内の石油精製時に回収されるガスを、沿岸航路を運航する内航船による輸送から始まった。沿岸輸送であるので

輸送量は多量でなく、1,000m³以下の小型船により、液化方式も加圧式タンクシステムによるものであった。現在でも内航輸送用LPG船は、加圧方式タンクシステムで多数建造されている。輸送開始当初に建造された2～3の例を、我が国建造大型LPG船リストを付録表 6に付記してあるので参照頂きたい。以下には、外洋航路に従事する大型船を対象に、冷却型、または半加圧・半冷却型船の建造状況を述べる。

最初に建造された大型LPG船は、1962年完成「ブリヂストン丸」（28,875m³ 独立方形）三菱日本重工（後の三菱重工 横浜）」（資料-1055*）（写真6.1）である。本船は世界最初的大型冷却型LPG船で、船主（ブリヂストン液化ガス社）の技術提携先であるConch International Methane社及びJ.J.Henry社（コンサルタント会社）と三菱日本重工との緊密なる連携により建造された。タンク材料は全て2 1/4%Ni鋼が使用され、溶接は2.5%Ni系溶接棒により全て手溶接によった。タンク外表面の全溶接部はX線による検査を施した。タンク支持方式は、6.1.2LNG船の概要に述べたコンチ独立型方式と同様で、船体二重構造の内面に取付けた防熱面にて支持する方法である。防熱面とタンク表面には間隙がないので、タンクは船体建造と同一箇所では建造せず、他の場所で建造し船体内部へ、進水式時に使用する滑りボールを用い引き込んでいる。防熱材はグラスウールを船体二重構造内面に取付けてある。低温液荷役用ポンプなどは輸入品を使用している⁶⁴。



写真6.1 ブリヂストン丸

三菱重工で完成した“ブリヂストン丸”とほぼ同時期に日立造船は、米国の戦時標準船T-2タンカーを改造した、LPG・原油混載船“日石丸”を1962年に完成している。改造要領は、タンカーの船首尾部を利用し、船体中央部にLPGタンクと原油搭載タンクを新造挿入する方法によっている。原油混載LPG船概念は、米国カルテックス社より技術導入し改造計画を作成した。LPGタンクは、タンカー構造に配置する2列縦通隔壁の内側に、3タンク設置し、合計9,288m³の容量を有している。タンク材料は2.5%ニッケル鋼を使用、防熱はタンク外部に当時として始めて、現場発泡方式硬質ポリウレタンフォームを採用している。現在広く利用さ

64 三菱重工業株式会社 横浜製作所「新造船建造史」1988年p449

れている、現場発泡ポリウレタンフォーム防熱方式の基礎が、この時点に開発された様である⁶⁵。日立造船では引続き1963年にも、LPG・原油混載型改造船“豊洲丸 13,145m³”を完成している。

三菱重工では、第1船“ブリヂストン丸”の建造で習得した経験を基に、第2船の建造に当たり、独自の技術の改善・合理化による新形式LPG船を開発、以後の独立方形型LPG船の基本概念を確立した。三菱重工で建造された第2船以降は、ほぼ本型式によるものである。三菱重工にて建造された第2船は、1964年完成した「第二ブリヂストン丸（36,007m³ 独立方形）三菱重工」（写真6.2）である。本タンクシステムは図6.2に示すごとく、船体構造に取付けられた支持台にてタンク重量を支える方式で、防熱はタンク外表面にポリウレタンフォームの現場発泡により貼り付ける方法である。タンク材料は、第1船ブリヂストン丸に使用した2 1/4%Ni鋼より、新しく開発された低温用調質アルミキルド鋼を使用している。本鋼材の使用に当たって、鋼材の低温じんせい値の確認、溶接加工・熱曲げ加工によるじんせい値の低下影響などに関する実験研究を行い、2 1/4%Ni鋼に劣らぬ性能が確保出来る事を確認し使用している⁶⁶。第3船では第2船までの手溶接作業を合理化すべく、低温用鋼サブマージーク自動溶接法を開発した。溶接線のX線検査も、連続X線透視検査装置を開発、溶接・X線検査の合理化が大きく進んだ⁶⁷。三菱重工建造第3船は、1966年完成「山秀丸（38,040m³ 独立方形）三菱重工」である。三菱重工では3隻のLPG船建造により、独立方形型LPG船のタンク様式・製作技術の基本を確立し、以降三菱重工はじめ他社で建造される冷却独立方形LPG船の基本型となった。以後各社で建造されるLPG船は大型化され、50,000m³、70,000m³、100,000m³型が続々と建造された。



写真6.2 第二ブリヂストン丸

1965年以降1975年までに建造された冷却型LPG船は、付録 表6に示す様“山秀丸”を含め合計22隻建造されている。22隻建造されたタンク様式の内訳は、独立方形型18隻、セミメンブレン型4隻となっている。

セミメンブレン型LPG船の概要は、図6.3に示す如くタンク内に低温液が搭載されるとタンクが風船の様にふくらみ、船体構造内側に取付けた防熱により支持される。この方式による第1船は、荷主であるブリヂストン液化ガス社と川崎重工による共同開発により建造された。慎重に解析・模型実験を重ね、安全性を確認し建造に着手している。タンクを構成するセミメンブレンは、液を格納しない空倉時には独立可能となる様8mm厚の低温用鋼板により製作されている。本方式による第1船は、1969年完成「第五ブリヂストン丸（72,345m³ セミメンブレン）川崎重工」（資料—1134）（写真6.3）である⁶⁸。その後1971, 1973, 1974年に「WORLD SKY 74,442m³、ORINOCO GAS 74,580m³、SUN RIVER 75,998m³ セミメンブレン 川崎重工」が完成している。



写真6.3 第五ブリヂストン丸（資料—1134）

1965年～1975年までに建造された独立方形型18隻の中で、三菱重工にて方形独立型LPG船建造技術開発が進められていた同年代、石川島播磨重工でも同様な建造技術開発が行なわれ、1965年当時として最大級LPG船「城山丸（46,548m³ 独立方形）石川島播磨重工」（資料—1056*）（写真6.4）が完成している。



写真6.4 城山丸

⁶⁵ 関西造船協会 創立90周年記念出版「航跡」“ケミカル・液化ガス運搬船の揺籃期” p208

⁶⁶ 三菱重工技報「調質アルミキルド鋼および2.5%,3.5%Ni鋼の加熱の影響」Vol.2,No.1 三菱重工技報「低温用高切欠きじん性鋼の研究開発」Vol.3,No.4

⁶⁷ 三菱重工技報「LPGタンカー建造に対する自動溶接とX線検査の自動化」Vol.3,No.4

⁶⁸ 川崎重工技報「世界最大のLPG運搬船“第五ブリヂストン丸”」37号 1970-4,p88

船 名	タンク型式	積載容積 (m ³)	完成年	建造造船所
ブリヂストン丸	独立方形	28,875	1962	三菱日本重工
第二ブリヂストン丸	独立方形	36,007	1964	三菱横浜
城山丸	独立方形	46,548	1965	石播名古屋
山秀丸	独立方形	38,040	1966	三菱横浜
第10雄洋丸 ^{*6.1}	独立方形	47,372	1966	日立因島
和珠丸	独立方形	51,824	1967	日立因島
龍野丸	独立方形	50,542	1967	三菱横浜
第五ブリヂストン丸	セミメンブレン	72,345	1969	川重神戸
泉山丸 ^{*6.2}	独立方形	61,000	1970	三井玉野
金山丸 ^{*6.3}	独立方形	70,238	1970	三菱横浜
雄翔丸	独立方形	73,210	1972	日立因島
ESSO FUJI ^{*6.4}	独立方形	100,213	1973	日立因島
ぱれすとうきょう	独立方形	100,081	1974	日立因島
SUN RIVER	セミメンブレン	75,998	1974	川重神戸

注：*6.1（資料－1057*）写真6.5、*6.2（資料－1058*）写真6.6、*6.3写真6.7、*6.4（資料－1058*）写真6.8



写真6.5 第10雄洋丸



写真6.6 泉山丸



写真6.7 金山丸



写真6.8 ESSO FUJI

1962年～1975年までに建造された代表的なLPG船の建造例を上表に示す。

三菱重工ではSHELL RESEARCH社と開発を進めた内部防熱方式によるLPG船「PIONEER LOUISE 77,373m³ 内部防熱 三菱重工」（写真6.9）を1976年完成している。1971年より開発を進め、入念な準備を進めたにも拘らず、本船の内部防熱の施工には相当苦労があった様である。新型吹付装置の開発をはじめ、空調設備の設置などによる品質管理体制の強化により、第1船を完成した様である⁶⁹。その後、同型船「GAS GEMINI」、「GAS DIANA」が1977年、1978年に建造されたのみで、その後内部防熱LPG船の建造実績はない。

1975年IMCOにより液化ガス運搬船に関する条約が締結され、各国規則・船級協会規則にも適用されたが、本規則タイプB方式による第1船「玄海丸（80,311m³ 独立方形）石川島播磨重工」（資料－1061*）（写真6.10）が1980年完成している。引続きタイプB方式によるLPG船は、1981年完成「岩国丸（8,081m³ 独立方形）日立造船」、1983年完成「コープ サンシャイン（83,126m³



写真6.9 PIONEER LOUISE



写真6.10 玄海丸

⁶⁹ 三菱重工業株式会社 横浜製作所「新造船建造史」1988年p454

独立方形) 日立造船」(資料-1064*) (写真6.11)、1983年完成「くりーん りばー (76,313m³ セミメンブレン) 川崎重工」、1984年完成「豊洲丸 (39,000m³ 独立方形) 石川島播磨重工」、1985年完成「ほうらい丸 (77,755m³ 独立方形) 日立造船」、1985年完成「光邦丸 (80,000m³ 独立方形) 石川島播磨重工」、1987年完成「コープ サンライズ (83,126m³ 独立方形) 日立造船」などが建造されている。タイプB方式によるLPG船は、建造造船所・船主の考え方により異なる様で、石川島播磨重工・日立造船による建造例が多い様である。三菱重工、日本鋼管などにて建造された1980年完成「GAS LIBRA (77,327m³ 独立方形) 三菱重工」(写真6.12)、1982年完成「龍田丸 (70,737m³ 独立方形) 日本鋼管」などはタイプA方式により建造されている。



写真6.11 コープ サンシャイン



写真6.12 GAS LIBRA

1990年代以降の建造船は、タイプA方式によるものが殆どである。タイプA方式による場合は、タンク損傷時、漏洩液が船体構造部分に、タンク内液レベルと同一レベルになるまで流出するとの考え方により、低温液に直接触れる船体構造はタンク使用材と同一とせねばならない。1980年代半ば以降TMCP鋼圧延技術による低温鋼板の製品化により、低温用鋼板の溶接・加工技術が、普通船体鋼板とほぼ同じ条件にて溶接可能となった事にも起因していると思われる。

1980年代末期より現在までに建造されたLPG船の大多数は、三菱重工・川崎重工により建造されている。特に三菱重工にて建造されているIMOタイプA方式78,000m³型LPG専用船は、第1船「日雄丸 (78,508m³

独立方形) 三菱重工」(資料-1067*) (写真6.13) を1989年完成以来現在までに31隻建造されている。LPG以外にアンモニア、VCM (Vinyl Chloride Monomer: 塩化ビニールモノマ) など多種類の液化ガス搭載可能とするLPG船を除き、全て78,000m³搭載同型船を建造している。



写真6.13 日雄丸

川崎重工は、LPG船建造開始第1船より全てセミメンブレン方式で建造して来たが、1990年完成「パシフィック ハーモニー (75,208m³ 独立方形) 川崎重工」(資料-1068*) (写真6.14) 以降の建造船は全てIMOタイプA方式独立方形型に変更建造している。1990年以降川崎重工建造プロパン・ブタン搭載LPG船は、搭載容量の異なる幾つかの船型により現在までに20隻以上建造されている。



写真6.14 パシフィック ハーモニー

上記2社以外にて建造された独立方形LPG船は、1990年完成「KELVIN (17,950m³ 独立方形) 石川島播磨重工」、1991年完成「BERGE COMMANDER (他同型船3隻あり) (78,543m³ 独立方形) 日本鋼管」(資料-1069*) (写真6.15)、1996年完成「ANTWERPEN VENTURE (39,270m³ 独立方形) 日立造船」(資料-1070*) (写真6.16)、1997年完成「AGRI VIKING他1隻 (18,152m³ 独立方形) 日立造船」(資料-1071*) (写真6.17) のみである。なお、これ等完成船は全て搭載貨物を、LPGの他アンモニア、VCMなど多種類の貨物が搭載可能となっている。液化アンモニア搭載に当たっては、応力腐食割れの恐れがあり、IMO液化ガス運搬船規格にも、液化アンモニア格納に適する材料規格が追加された。多目的LPG船

建造に当たり、各社とも新たなタンク材料の選定・溶接施工条件につき材料試験を実施し、タンク建造を行っている。



写真6.15 BERGE COMMANDER



写真6.16 ANTWERPEN VENTURE



写真6.17 AGRI VIKING

三菱重工、川崎重工も多目的LPG船を建造しており、1993年完成「HEDDA他8隻（34,765m³ 独立方形）川崎重工」、1997年完成「BRUGGE VENTURE他5隻（35,418m³ 独立方形）三菱重工」（写真6.18）、など多数の建造実績がある。



写真6.18 BRUGGE VENTURE

数少ない半冷却・半加圧式LPG船の建造例を紹介する。1981年完成「GUARUJA（6,200m³ 球形半冷却半加圧）三井造船」（資料-1063*）（写真6.19）、1998年完成「MAERSK HUMBER（20,815m³ 双胴（めがね型）半冷却半加圧）三井造船」（資料-1072*）（写真6.20）、2002年完成「QUEEN ZENOBIA（22,700m³ 双胴（めがね型）半冷却半加圧）名村造船」（資料-1073*）（写真6.21）の建造例がある。球形タンク搭載“GUARUJA”はIMCOタイプC（压力容器型）を適用、タンク使用条件として、温度-5℃以上、圧力5kg/cm²G以下を設定している。タンク外面には50mm厚のポリウレタンフォームを現場発泡により取付けてある。“MAERSK HUMBER”、“QUEEN ZENOBIA”は双胴（めがね型）压力容器タンクを搭載し、このタイプのLPG船では世界最大級である。搭載貨物はLPG以外アンモニア・VCMなど多種類の貨物積載可能となっている。



写真6.19 GUARUJA



写真6.20 MAERSK HUMBER



写真6.21 QUEEN ZENOBIA

以上我が国で建造された大型冷却型LPG船を中心に特徴的な建造例について述べた。

6.3.2LNG船建造実績

電力・都市ガス業界が、クリーンエネルギーであるLNGを輸入使用開始したのは、表2.1に示す様1969年からである。輸入開始当初は、輸入LNG価格に海上輸送費も含まれている事もあり、海外船主所有のLNG船で輸送されていた。国内船主によりLNG輸送が始まる1983年まで、国内造船所で建造されたLNG船は1隻のみであった。国内造船所にて建造されたLNG船の一覧を付録 表7に示す。

我が国建造LNG第1船は、1981年完成「GOLAR SPIRIT (128,997m³ モス球形) 川崎重工」(資料－1048) (写真6.22) である。モス球形方式LNG船技術提携3社は、提携後タンク構造強度解析を始め、アルミ材による大型球形タンクの建造方法など、各社独自に具体的な建造法技術の開発に取り組み、建造契約を待った。しかし、技術提携直後は、大型タンカー建造の最盛期で各造船所とも、長期の建造期間を要するLNG船の受注には消極的であった。しかし、川崎重工はノルウェー船主より128,000m³型モス球形LNG船を受注した。技術提携後この受注に至るまで川崎重工では、アルミ厚板の溶接施工、球形タンクの建造方法⁷⁰、タンク防熱方式などに関し広範囲な研究開発を実施し、大型球形LNG船の建造に備えた。川崎重工のモス球形LNG船建造技術は十分に整い、受注後直ちに着工

建造引渡しの予定であったが、石油危機発生により完成納期の変更などがあり、1981年完成引渡しとなった。



写真6.22 GOLAR SPIRIT (資料－1048)

LNG輸入は表2.1に示す様1969年アラスカからの輸入に始まり、その後世界各地から電力・都市ガス業界のクリーンエネルギーとして輸入量増大を重ね、現時点では年間5,500万トンを入力している。国内船主保有のLNG船による輸送が始まったのは、表2.1にある1983年8月から輸入を開始した、インドネシアⅡ及びⅢプロジェクトからである。

インドネシアからの輸入増量プロジェクトに投入する、125,000m³型LNG船7隻を日本船社（日本郵船、商船三井、川崎汽船他2社を含む5社）が保有・運航する事になった。7隻全てモス球形型で建造する事になり、技術提携3社に発注・建造された。3社における建造実績は下表の通りである。

船 名	完成年	タンク型式	建造造船所	CAP (m ³)
播州丸 ^{*6.5}	1983	MOSS球形	三菱長崎	125,542
尾州丸	1983	MOSS球形	川重坂出	125,660
越後丸	1983	MOSS球形	三菱長崎	125,568
琴若丸	1984	MOSS球形	川重坂出	125,199
泉州丸 ^{*6.6}	1984	MOSS球形	三井千葉	125,556
出羽丸	1984	MOSS球形	三菱長崎	125,631
若葉丸	1985	MOSS球形	三井千葉	125,568

注：*6.5 写真6.23、*6.6 (資料－1065) 写真6.24



写真6.23 播州丸



写真6.24 泉州丸(資料－1065)

各船とも運航に拘る基本仕様は同一とし、球形タンク配置は各船とも5タンク配置により建造された。建造3社は技術提携後培った技術を基に、各々独自の

設計・建造要領・品質管理方法を採用したので、船型・タンク直径・タンク組立て要領などは微妙に異なっている。推進機関は全てタービン機関を採用し、

⁷⁰ 川崎重工技報「LNG船用タンクの移動システムについて」63号,1977-3

航行中に発生するボイルオフガスは、推進用燃料として使用している。各船ともボイルオフレートは0.25%/dayに設定、6.2.2項で述べた各社の防熱要領により防熱が施されている。7隻全て建造後20年を経過しているが、運航上問題を起こすことなく順調に現在も航行を続けている。

引続き建造大型プロジェクトは、1989年より輸入開始する、オーストラリア西部ガス田産出LNG輸送に当てられる新造船計画であった。この海上輸送プロジェクトには、日豪英米の船社が参画し新会社を設立、125,000m³型LNG船8隻を建造する一大プロジェクトであった。世界のメジャーオイル、Shell、BP、Chevronなどの参加により、輸送効率の向上を目指す新規構想に取組んだ。建造造船所への省エネ追及要求が強く、ボイルオフレートに関する提言が求められた。モス建造3社は、先の国内船社への個別対応方式を止め、同

一設計により共同で受注すべきとの結論になり、三菱重工を主幹会社とし対応する事となった。先の国内船社向け7隻のボイルオフレートは0.25%/dayであったが、本プロジェクトでは0.15%/dayを採用する事になった。ボイルオフレートの低減のためには、タンクへの進入熱低減策が必要となった。対策の1方策として、タンクの総表面積を出来るだけ少なくする事とし、前回の5タンク方式より4タンク方式を採用した。タンク数を減少する事により、タンク直径の増大を来し、タンク製作・船幅の増大・上甲板タンクの張出し増加による操船への影響問題があったが、省エネ効果の向上を優先し、建造技術については改善を図り、新規構想を採り入れた新船型による合計8隻が建造された。1989年より1994年までに、三菱重工他2社により完成した一覧を下表に示す。

船 名	完成年	タンク型式	建造造船所	CAP (m ³)
NORTHWEST SANDERLING	1989	MOSS球形	三菱長崎	127,515
NORTHWEST SWALLOW	1989	MOSS球形	三井千葉	127,697
NORTHWEST SWIFT	1989	MOSS球形	三菱長崎	127,427
NORTHWEST SNIPE	1990	MOSS球形	三井千葉	127,584
NORTHWEST SHEARWATER	1991	MOSS球形	川重坂出	127,574
NORTHWEST SEAEAGLE	1992	MOSS球形	三菱長崎	127,452
NORTHWEST SANDPIPER	1993	MOSS球形	三井千葉	127,746
NORTHWEST STORMPETREL	1994	MOSS球形	三菱長崎	127,443

新規大規模輸入計画プロジェクトに基づく、多数の一括建造計画以外に建造された例は、1990年完成「EKAPUTRA (137,012m³ モス球形) 三菱重工」、1993年完成「LNG FLORA (127,551m³ モス球形) 川崎重工」、1994年完成「DEIPUTRA/LNG VESTA (127,386m³モス球形) 三菱重工」などがある。この中で「EKAPUTRA」はボイルオフレートを0.10%/dayと、過去建造例の最低値を採用している。その他の船も0.15%/dayとし、タンク数は全て4タンクで建造されている。

国内LNG船建造開始後10年経過した1993年、モス球形方式以外のSPB方式LNG船が、本方式を開発した石川島播磨重工で建造された。最初に我が国がLNGを輸入開始した、アラスカ航路へ投入されていた代替船として建造された。「POLAR EAGLE/ARCTIC SUN (89,880m³ SPB独立方形) 石川島播磨重工」(資料-1096) (写真6.25) の2隻が建造されたが、それ以降本タイプの建造実績はない。タンクはアルミニウムA5083-O材により、構造強度解析はIMOタイプBを満

たす破壊強度管理解析を実施、溶接部の非破壊検査と共に高度な品質管理を行い建造された。国内にて最初に開発された新LNG船方式として総理大臣表彰を始め多方面より表彰を受けている。



写真6.25 POLAR EAGLE (資料-1096)

1993年我が国で始めてメンブレン方式LNG船が完成した。完成船はテクニガスマークⅢ方式により、表面に“しわ”を設けた薄板ステンレスを貼り、防熱材をガラス繊維補強のPUF (ポリウレタンフォーム) によりLNGタンクを構成している (資料-1146) (写真6.26)。建造船は大容量のLNG運搬ではなく、国内地

方都市ガス業界（西部ガス）向けへの輸送を目的とした「AMAN BINTULU（18,927m³ テクニガスメンブレン）日本鋼管」（資料-1048*）（写真6.27）が完成した。本船の同型船が1997年、1998年に各々地方都市ガスへの輸送用として「AMAN SENDAI／AMAN HAKATA（18,800m³ テクニガスメンブレン）日本鋼管」が建造されている。引続き「SURYA SATSUMA（22,500m³テクニガスメンブレン）日本鋼管」（資料-1050*）（写真6.28）が2000年に完成している。

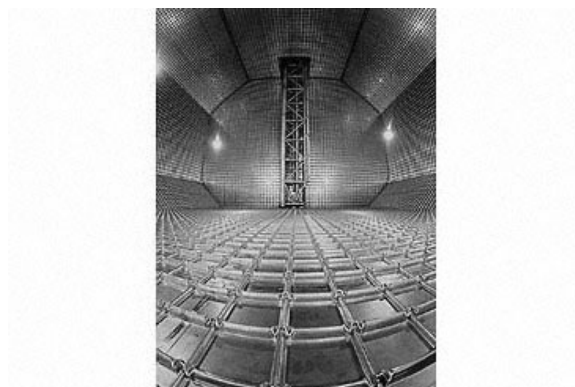


写真6.26 テクニガスメンブレンタンク（資料-1146）



写真6.27 AMAN BINTULU

モス球形型による地方都市ガス（広島ガス）向け小



写真6.28 SURYA SATSUMA

容量型LNG船「SURYA AKI（19,182m³ モス球形）川崎重工」（資料-1049*）（写真6.29）も1996年に完成している。本船にはアルミ球形タンク3基が搭載されている。



写真6.29 SURYA AKI

先の西豪州プロジェクトに続き、アブダビからの既存輸入プロジェクトで、4隻を新造代替する一括発注が行われた。他の大型輸入プロジェクトと同様、モス提携3社にて受注建造する事になり、三井造船が幹事会社となり設計を行ない、他2社は同型船を建造した。本船は当初建造した国内船主向けと同様5タンク配置としたが、ボイルオフレートは0.15%/dayに変更されている。4隻の建造実績は次ぎの通りである。

船 名	完成年	タンク型式	建造造船所	CAP (m ³)
AL KHAZNAH	1994	MOSS球形	三井千葉	137,736
SHAHAMAH	1994	MOSS球形	川重坂出	135,496
ISH	1995	MOSS球形	三菱長崎	137,304
GHASHA	1995	MOSS球形	三井千葉	137,708

アブダビプロジェクトに引続き、中東カタルよりLNGを年間600万トン輸入する大型プロジェクトが決まり、135,000m³型10隻の新造計画が始まった。船主は日本船社（日本郵船、商船三井、川崎汽船、飯野海運）が保有運航を行う事もあり、他プロジェクトと同様モス提携3社により分担建造方式が取られた。運航・保守など出来るだけ統一性を保つ様、同一設計で

建造する事となり三井造船が設計を分担した。中東からの長距離輸送で、航海時間の短縮を計り従来船より高速運航を目指す関係上、細長船型とし船幅を狭めたので、タンク直径を小さくした5タンク配置となっている。ボイルオフレートは他船と同様0.15%/dayとしている。建造された10隻の一覧を次表に示す。

船 名	完成年	タンク型式	建造造船所	CAP (m³)
AL ZUBARAH	1996	MOSS球形	三井千葉	137,769
AL KHOR	1997	MOSS球形	三菱長崎	137,354
AL RAYYAN	1997	MOSS球形	川重坂出	135,359
AL WAJBAH	1997	MOSS球形	三菱長崎	137,309
AL WAKRAH	1998	MOSS球形	川重坂出	135,310
BROOG	1998	MOSS球形	三井千葉	137,725
ZEKREET	1998	MOSS球形	三井千葉	137,601
AL BIDDA	1999	MOSS球形	川重坂出	135,270
DOHA	1999	MOSS球形	三菱長崎	137,252
AL JASRA	2000	MOSS球形	三菱長崎	137,227

上記大型プロジェクトへの対応は全てモス球形型で対応して来たが、既存マレーシア輸入プロジェクトに運航されていた、メンプレン型LNG船の代替船建造計画が始まった。船主・運航者側からすれば従来のメンプレン型を選択するのが、過去の実績などから見ても好都合である。造船所側もメンプレン型につき技術提携後、十分な建造技術研究を実施しており、対応可能な状態にあった三菱重工・三井造船が、ガストランス

ポート方式メンプレン船建造に取り組んだ。前述大型プロジェクトへの対応と同様、運航・保守などの面より同型船とする事が望ましく、三菱重工の設計により建造が進められる事となった。船型は137,000m³型と大型船で5タンク配置し、防熱仕様は他船と同様0.15%/dayを満足する構造となっている。本プロジェクトにより建造されたLNG船は、合計5隻で2002年より2004年に完成した一覧を以下に示す。

船 名	完成年	タンク型式	建造造船所	CAP (m³)
PUTERI DELIMA SATU ^{*6.7}	2002	メンプレン (GTT No.96)	三井千葉	137,601
PUTERI INTAN SATU ^{*6.8}	2002	メンプレン (GTT No.96)	三菱長崎	137,489
PUTERI NILAM SATU	2003	メンプレン (GTT No.96)	三菱長崎	137,585
PUTERI ZAMRUD SATU	2004	メンプレン (GTT No.96)	三井千葉	137,590
PUTERI FIRUS SATU	2004	メンプレン (GTT No.96)	三菱長崎	137,100

注：*6.7（資料－1051＊）写真6.30、*6.8（資料－1052＊）写真6.31



写真6.30 PUTERI DELIMA SATU 写真6.31 PUTERI INTAN SATU

以上大型プロジェクトにより複数隻の同型船が、複数社の共同受注により建造された例を挙げた。しかし、近年では通常船舶と同様船主が個別に輸送貨物を受注し、それに対応するLNG船の建造が行なわれる様になって来ている。これ等LNG船は全てモス球形型により135,000m³型を越える大型船が多い。2003年に完成した最新型モスLNG船「Pacific Notus (137,006m³モス球形) 三菱重工」(資料－1054＊) (写真6.32) などがある。



写真6.32 Pacific Notus

表6.1 LPG船タンク型式一覧表

タンク種類		適用条件	タンク構造様式	船体とタンク構造	タンク防熱	IMO規則のタンク強度解析と二次防壁
圧力/低温	タンク型式					
圧力型	独立型	設計・貯蔵蒸気圧 0.7kg/cm ² 以上 温度 常温	タンクにかかる荷重・圧力を主としてタンク板の膜力で支持する回転式形状で維持するタンク	船体とタンクは各々独立構造で貨物を含めたタンク重量を船体構造で支持	原則防熱なし	Type C タンク強度解析は圧力容器解析基準 二次防壁省略
半冷却 半加圧型	独立型	設計蒸気圧 0.7kg/cm ² 以上 貯蔵蒸気圧 0.7kg/cm ² 以下 温度 低温	圧力容器型と同じ	圧力容器型タンクと原則同じ、但し低温によるタンク側の熱収縮を吸収する支持構造が必要	タンク外面に防熱施工	Type B or C タンク強度解析は圧力容器解析基準 (TypeC), 圧力容器解析基準の許容応力レベル変更の場合 (TypeB) 二次防壁 (TypeC) は省略 (TypeB) は軽減二次防壁
	独立方形	設計・貯蔵蒸気圧 0.7kg/cm ² 以下 温度 低温	タンクにかかる荷重・圧力をタンクを構成する板、防撓材、桁で維持するタンク	低温によるタンク熱収縮をを吸収し船体運動による移動を防止、冷熱の船体流入を軽減する支持構造を船体・タンクに設置	タンク外面に防熱施工	Type A or B タンク構造は船級規則による (TypeA) タンク構造は詳細精密計算しタンクは限定破壊のみとする (TypeB) 二次防壁 (TypeA) は完全防壁、 (TypeB) は軽減二次防壁
冷却型	セミメンブレン(非独立)	設計・貯蔵蒸気圧 0.7kg/cm ² 以下 温度 低温	タンクにかかる荷重・圧力は防熱材を介し船体構造で支持され、タンク主要部材の応力分布の解析計測が可能な液密性金属で構成するタンク	防熱材と一体型に構成される根太構造を船体構造に設置	タンクを支持する船体囲壁面に防熱を施工	Type A or B タンク構造は解析およびモデル実験ベースによる (TypeA) FEMによる詳細解析と疲労強度、クラック進展解析など必要 (TypeB) 二次防壁 (TypeA) は完全防壁、 (TypeB) は軽減二次防壁 特別承認型式 Type A or B
	内部防熱 (非独立)	設計・貯蔵蒸気圧 0.7kg/cm ² 以下 温度 低温	貨物荷重・圧力は船体構造の一部を構成する囲壁内面に設けた防熱材を介し支持され、液密性は防熱材などにより維持されるタンク	防熱材を通して船体構造により支持	タンクを構成する船体囲壁面に防熱を施工	
	船体一体	設計・貯蔵蒸気圧 0.7kg/cm ² 以下 温度 -10℃以上	船体構造の一部が貨物荷重・圧力を支持するタンク	船体構造により直接支持	タンク外面に必要とする防熱を施工	

註：Type A タンク 全面破壊を想定するタンク 完全二次防壁が要求される
Type B タンクの限定破壊を想定するタンク 軽減二次防壁が要求される
Type C タンクの破壊を想定しないタンク 二次防壁を省略出来る

表6.2 LNG船タンク型式一覧表 (1/2)

タンク種類		開発経緯	タンク構成	タンク・防熱構造	タンク・防熱材料	建造船と国内関連
タンク型式	呼称					
方形独立	コンチ (Couch)	1957年英国政府、共同出資（後にシエールとコンスツクトクの間でコンスツクトク社設立）により開発、タンク設計A. D. リトル社実施、温度影響構造解析MITが実施	・タンク形状を方形とし、タンクの温度変化を考慮し水平防熱構造方式 ・船体構造は二重船殻構造とし、二重船殻内面に二次防壁を組み合わせた防熱材を取り付けタンク重量を支持	・タンクはアルミニウム合金（Al-Mg系、5000系）で溶接性に優れた材料を選択、その後特に低温特性・溶接性に適した5083材を使用 ・タンク重量は内殻に取付けたバルサ材防熱と堅木材による二次防壁を組合わせたパネルを介し船体に伝達 ・船体運動に対してはタンク底部と頂部に設けたキー構造による	・タンク アルミニウム合金（5000番系 5083材） ・防熱 バルサ材	・1959年5,100m ³ 「メタン・パイオニア」 ・1964年27,400m ³ 「メタン・プリンセス」他1隻建造 ・国内建造実績なし
		1960年フランスガソリン社の発注により、ウォルムスグループ開発	・液荷役時のボンブ故障を想定し、液を加圧荷役する事を考慮し円筒型タンクとし、タンク収納船体構造も円筒型 ・タンクを内面・外面両面から検査可能とする様防熱材を砂状パライトを充填、検査時ブロワーで吸出し	・タンク材は強度・低温特性に優れた9%Ni鋼を使用、タンク防熱は水平方式 ・タンク重量は底部に設けたPVC（塩化ビニール）フォーム防熱を介し船体に伝達、船体運動に対してはキー構造による	・タンク 9%ニッケル鋼 ・防熱 パーライト粒状及びPVCフォーム	・1965年25,500m ³ 「ジュール・ベルヌ」完成この1隻のみ建造 ・国内建造実績なし
球形独立	モス (MOSS)	1969年ノルウェーのモス造船所により開発開始、開発責任者はDnVより移籍のロルフ・クバムスダール	・球形圧力容器型は構造解析が容易で、形状的に応力集中箇所が少なく、溶接継手も突合せのみで信頼性が高い ・タンクは球中央赤道部に円筒型スカートを構造を取付け船体構造に結合する ・防熱はタンク外面とスカートを上半部に発砲プラスチックを施工	・球形タンク構造解析は詳細解析が容易な事より破壊力学に基づく疲労解析等を実施、二次防壁を軽減タイプ（ドリッヅパン）とする ・球形タンクとスカートの結合はアルミニウム超厚板から特殊形状に切削加工した部材による	・タンク 5083アルミニウム ・スカート 上半部アルミニウム下半部低温用鋼板 ・防熱 発砲プラスチック	・1973年87,600m ³ 「ノーメン・レディ」完成、以後メンブレンに代わり多数建造 ・国内では1981年129,000m ³ 「ゴーラー・スピリット」竣工、以後国内船主向けなど125,000m ³ 級を多数建造
方形独立	SPB (IHI)	1982年IHIによりIMOガスキャリアアーコードTYPE Bを適用しタンクの構造解析を破壊力学による詳細解析を実施した新方形タンクを発表 1988年1,500m ³ 型実験船を建造	・LPG船に多数用いられている独立型方形タンクを採用、疲労・破壊力学解析を実施、溶接部は全線非破壊検査による確認を実施 ・防熱はポリウレタンパネルをタンク外面にスタッドにより取り付け	・方形タンクは防熱材・桁材で補強された構造方式で船体構造と同様で詳細破壊力学に基づく疲労解析を実施、軽減二次防壁（ドリッヅパン）を採用 ・タンクは船体二重底上部に設けた断熱材付支持構造およびタンク上・下部に設けたキー構造により支持	・タンク 5083アルミニウム ・防熱 ポリウレタンフォーム	・1993年89,900m ³ 「ポーラー・イーグル」他1隻完成

表6.2 LNG船タンク型式一覧表(2/2)

タンク種類		開発経緯	タンク構成	タンク・防熱構造	タンク・防熱材料	建造船と国内関連
タンク型式	呼称					
メンブレン	テクニガス(マークⅠ)	1962年ノルウェー(ローレンゼン氏)にて開発された純アルミニウムによるメンブレン方式と「コンチ社」のバルサ防熱を組合わせた新ブレン構造を開発する新会社「テクニガス社」をフランセスに設置 ・防熱材とその表面に取付けるしわ付薄膜金属によるメンブレン完成	・ノルウェーで開発された純アルミニウム2～3mm厚縦横しわによるメンブレン方式と「コンチ社」のバルサ防熱を組合わせた新ブレン構造を開発する新会社「テクニガス社」をフランセスに設置 ・防熱材とその表面に取付けるしわ付薄膜金属によるメンブレン完成	・船体構造内殻に取付けた木製根太に3層バルサ材により構成されるパネルを取付け ・バルサ材パネルの液側面には二次防壁を設けバルサパッドを接着、その上にステンレス鋼メンブレンを取り付け	・メンブレン 1.0～1.2mm 厚ステンレス鋼 コルゲート間隔340mm, シートサイズ L3.9m B1.9m ・防熱 PVCまたはPUFパネル L3m B1m 厚さ170mm ・二次防壁 一次メンブレンと同じ	・1964年ガスオージャン社による630m ³ 実験船「ピタゴラル」(防熱PVCによる)完成 ・1971年「デカルト」50,000m ³ 完成、 ・72～75年に75,000m ³ 級5隻、 ・75年120,000m ³ 1隻がフランスで建造、 ・78～79年に125,000m ³ 隻アメリカで建造 ・国内建造実績なし ・建造実績なし
メンブレン	テクニガス(マークⅡ)	1970年代建造実績のコスト高により改良	・格納要領はマークⅠに同じ	・基本構造はマークⅠと同じ、防熱材料を変更 ・防熱パネルの製造法変更 ・二次防壁のアルミニウム箔とガラス繊維布の複合材に変更	・メンブレン ステンレス鋼 (マークⅠと同じ) ・防熱 PVCまたはPUF	
メンブレン	テクニガス(マークⅢ) 現 GTTマークⅢ	1978年ジェネラルエレクトリック社により防熱要領の改良 1994年合併新会社 Gaztransport & Technigazとなる	・格納要領はマークⅠに同じ	・船体構造内殻面を平滑化しスタッドにより二次防熱箱を取付け、その上面に二次メンブレン板と取付けたピースとメンブレン板とを抵抗シーム溶接 ・その後一次防熱箱を取付け一次メンブレンを二次メンブレンと同様シーム溶接	・メンブレン 厚0.5 (現在0.7)mm, B400mmのインバー (36%Ni 合金) ・防熱 L1.0mXB0.4mXD0.2mパーライト入り防熱箱	・1993年国内NKKにて18,800m ³ 型完成
メンブレン	ガストランスポート 現GTTNo.96	1965年「ジュール・ベルヌ」に実験タンク(25m ³)を搭載し5ヶ月間実験航海し成功(ガストランスポート社設立) 1994年合併新会社 Gaztransport & Technigazとなる	・線膨張係数が非常に低いNi合金(Ni36%含有)をメンブレンに採用 ・防熱材は粒状パーライトを木箱に詰めたものを使用工作の容易性を狙った	・船体構造内殻面を平滑化しスタッドにより二次防熱箱を取付け、その上面に二次メンブレン板と取付けたピースとメンブレン板とを抵抗シーム溶接 ・その後一次防熱箱を取付け一次メンブレンを二次メンブレンと同様シーム溶接	・メンブレン 厚0.5 (現在0.7)mm, B400mmのインバー (36%Ni 合金) ・防熱 L1.0mXB0.4mXD0.2mパーライト入り防熱箱	・1969年71,500m ³ 「ボラー・アラスカ」他1隻が商用メンブレンLNG船として就航 ・80年半ばまでに25隻が建造 ・国内では2002年MHI, MESにて137,000m ³ 型完成

年代	1960-1965	1966-1970	1971-1975	1976-1980	1981-1985	1986-1990
タンク形式	小型容量圧力タンク型 コンチ技術指導 方形タンク型	セミメンブレン タンク開発	シェル内部防熱 方式開発	IMCO TypeB 方形独立、 セミメンブレン方式開発		
タンク構造	ポライー鋼板材によるシリランダー タンクを支持台に より船体と結合	独自開発方形 独立タンク	調整アルミキルド鋼 による方形タンク構 造に支持構造を経て 船体と連結	タンク構造の破壊機構解析法 の確立と破壊時の液漏洩量の 最小化と保護機構考案		
タンク材料	低溫用Si-Mn系アルミ キルド鋼の開発	低溫用鋼板のサブマージ 自動溶接法採用	低溫用FCB式片面 自動溶接法採用	低溫用大入熱片面 自動溶接法の開発	低溫用TMCP鋼開発	
防熱	ガラスウール防熱 ポリウレタンフォーム現場発泡	溶接部連続X線透視 検査装置採用	溶接部自動超音波 探傷装置開発	低溫用大入熱用改良鋼(Ti-Ca添加鋼、低N鋼)開発	入熱の少ない特殊ブラ スチックを根太とする 現場発泡開発	
各方式建造第1船	加圧独立「第一えび丸」 1,000m³	方形独立「ブリヂストン丸」 28,900m³	方形独立大型化「ESSO FUJI」 100,000m³	内部防熱式「PIONER LOUSE」 77,800m³	セミメンブレン IMCOTypeB「くりんりばー」 76,300m³	
建造実績	4隻	8隻	9隻	2隻	9隻	10隻

図6.13 LNG船開発変遷(1/2)

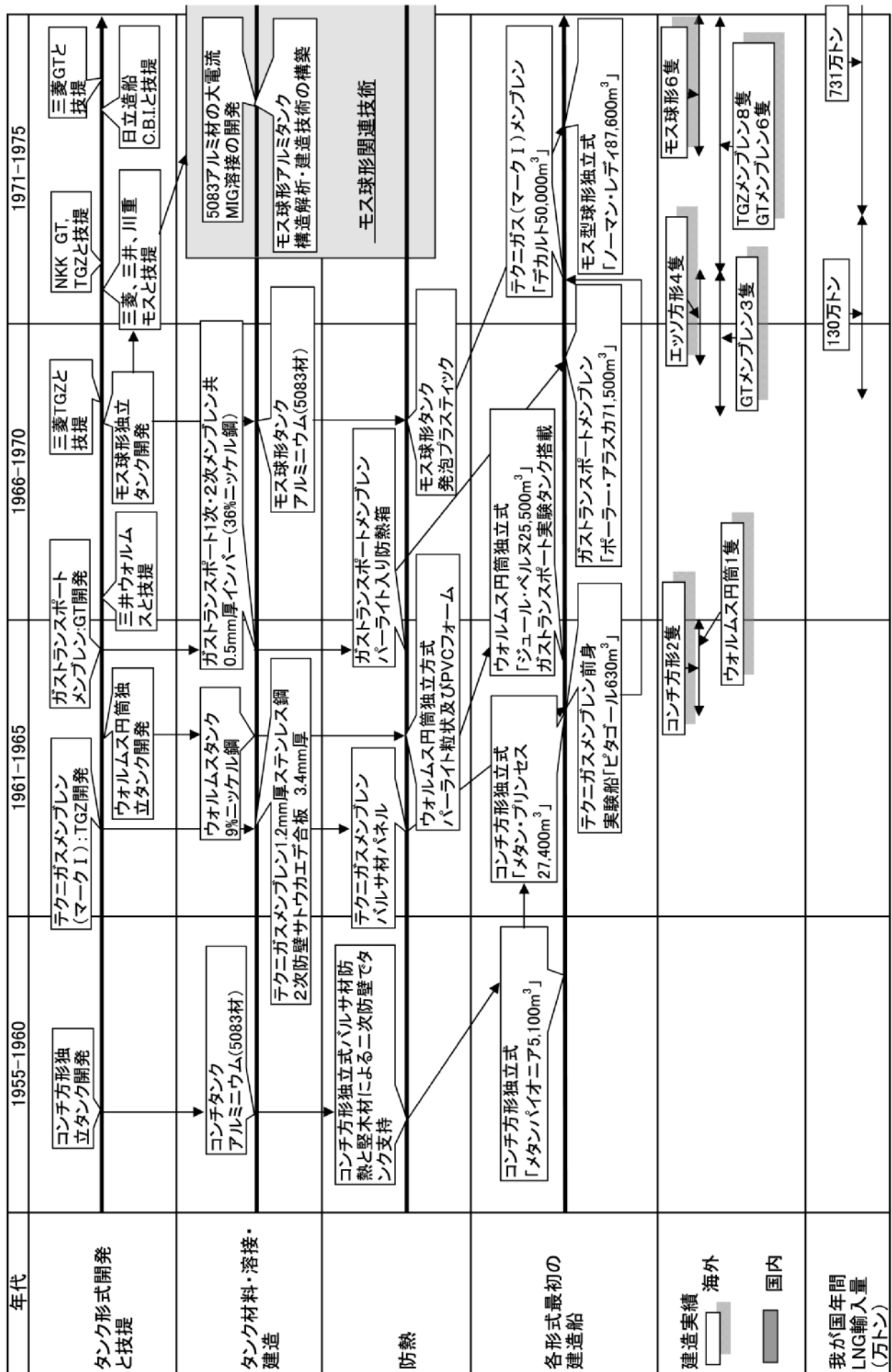


図6.13 LNG船開発変遷(2/2)

年代	1976-1980	1981-1985	1986-1990	1991-1995	1996-2000
タンク形式開発 と技提		IHI SPB方式 独立方形タンク開発		住重 SPB 方式技提	
タンク材料・溶接・ 建造	アルミ全姿勢MIG自 動溶接装置開発	コルゲートメンブレンの自 動溶接装置開発			
防熱	アルミ厚板溶接部の超音波 高感度探傷装置開発				
防熱	モス球形用PRF,PUFの2層 構造防熱パネル開発				
各形式最初の 建造船	モス球形国内建造第1船 「GOLAR SPIRIT」128,997m ³ J/KHI		SPBエチレン船(実験) 「霞陽丸」1,516m ³ J/IHI	SPB方式国内建造第1船 「POLAR EAGLE」89,880m ³ J/IHI	デクニガスメンブレン第1船 「AMAN BINTULU」18,927m ³ J/NKK
建造実績 海外 国内	モス球形 14隻 TGZメンブレン 4隻 GTメンブレン 11隻	GTメンブレン 6隻 モス球形 8隻	モス球形 5隻	モス球形 11隻 SPB方形 2隻 デクニガスメンブレン 1隻	モス球形 13隻 デクニガスメンブレン 2隻
我が国年間 LNG輸入量 (万トン)	2,006万トン	3,098万トン	3,450万トン	4,183万トン 4,659万トン	5,209万トン 5,409万トン

7 | ばら積み貨物船建造技術と建造船

専用船区分でばら積み貨物船に属する船舶は、鉱石・石炭・穀物などの原材料をバラで直接船倉に積み込める船体構造・倉口蓋などを配置し、同一貨物を多量に運搬可能とした船である。第2章にて海上荷動き量と建造船舶につき触れたが、鉄鉱石・石炭などのばら積み貨物の荷動きは増加の一途を辿っている。従ってばら積み貨物船の船腹量も年々増加している。

第4章にばら積み貨物船の概要を述べてあるが、鉱石は石炭・穀物に比し比重が大きいので、鉱石のみを専用で運搬するタイプと、鉱石・石炭などと兼用するタイプとする、異なる2船型により輸送される。船倉の構造は、図4.5、図4.6に示す如く構造様式は異なる。通常ばら積み貨物船（バルクキャリア）と呼ばれるタイプは、種々のばら積み貨物を輸送可能とする図4.6に示す船型が圧倒的に多い。ばら積み貨物船により輸送する貨物は、上記の3大バルク貨物のほか木材、ウッドチップなど多種類あるが、定期的に輸送貨物量が決まった貨物を対象とする場合と、不定期的に発生する貨物輸送を行なう船では、一般的に建造する船のサイズが異なっている。通常鉄鉱石・石炭などの輸送は、決められた原産地より輸入先もほぼ同一の荷揚地となるケースが多く、輸送量も年間単位で取引されるので、輸送効率の見地より大型船となり専用船化される。一方、ばら積み船の多くは定期的に発生する貨物ではなく、世界中に存在するばら積み貨物類を受注し、輸送に従事する船が大多数である。

7.1 ばら積み貨物船の概要

7.1.1 鉱石専用船

鉄鉱石のみを長期にわたり多量に輸送する場合に用いる専用船で、鉄鉱石の比重が大きい事もあり、鉱石積載船倉部分は広いスペースを必要とせず、図4.5に示す様に船体中央部分のみで充分である。二重底高さは鉱石重量に耐えられる高さを選び、荷役時のグラブ操作を考慮し、船体構造の補強を行うのが通例である。

鉱石専用船の出現は、経済の高成長に伴う粗鋼生産量の急激な増大により、鉄鉱石・石炭の海上輸送量の増加による。我が国製鉄各社の鉄鉱石輸入先は、オーストラリア、ブラジル、インド、チリ、ペルーなど遠距離の産地であり、遠距離輸送を考慮し輸入量の増加と共に、船型の大型化が進んでいる。製鋼用石炭も同様オーストラリア、アメリカ東岸、カナダなど遠距離

輸送が多い。国内製鉄各社は、鉄鉱石・石炭原料の安定的確保の意味から、船社建造船舶を長期備船して原料を輸入しているのが現状である。

鉱石専用船は、鉱石のみの運搬で片航海はどうしても空荷となるので、空荷航海時に航路を変更迂回し、原油輸送を考えた鉱石兼油運搬船（Ore/Oil Carrier）を建造した時代があった。船体構造様式は図4.6にある様タンカーと同じ型式であるので、油荷役用配管などを設置すれば運航可能な事もあり、1960年から石油危機が発生するまでに建造された鉱石専用船は、油兼用船として建造されるケースが多かった。石油危機以降油兼用船で建造される例はほとんど見られない。

一方、輸送コスト低減はタンカーのケースと同様、船型の大型化による効果大きい。しかし、タンカーの大型化に比し急激な大型化が進んでいないのは、入港岸壁周りの深い喫水の確保、荷役設備の大型化などタンカーのケースに比べ簡単でない事情がある。現在建造されている最大船型は20万トンを超えた船型が最大であるが、近年中国の目覚ましい経済発展により中国への鉄鉱石輸送の増加と、中国港湾設備の新設などを考慮し30万トン超の船型も出現している様である。

7.1.2 ばら積み貨物船（バルクキャリア）

通常のばら積み貨物船はバルクキャリアと呼ばれる、鉱石・石炭・穀物を始めチップ・塩などのバラ積み貨物の他、木材・ペーパーロールなどの貨物を搭載可能とした船体構造配置となっている。しかし、多くの場合各々輸送対象貨物を決め建造する事が多いが、多種類の貨物を輸送する、多目的バルクキャリアも多数建造されている。多目的船として建造される船は、通常大型船ではなく3万～7万トンクラスの船に多い。

バルクキャリアは図4.6に示す様、上甲板下部に三角形のタンク（トップサイドタンクと呼称）と船底部二重底の両舷にホッパータンクを設置し、バラ積み貨物の積み付け・荷役を容易にした構造配置となっている。しかし、ペーパーロール・角型製材などを輸送する場合は、コンテナ船と同様な箱型形状船倉とした船も、バルクキャリアグループに入れ、オープンタイプバルクキャリアと呼称している。

鉄鉱石の輸送は、通常前述の鉱石専用船による事が多いが、バルクキャリアによる輸送例も多い。バルクキャリアによる鉄鉱石の輸送は、比重が大きいので全船倉に積み付けると、各船倉容積の1/2以下となり船

倉の下部のみに積載されるので、運航時重心が下がりすぎ、動揺周期が極端に早くなるので、この様な積み付けは一般に行わない。鉄鉱石など比重の大きなばら積み貨物を搭載する場合は、満載船倉、空倉と船長方向の船倉交互に積付けを行うのが一般的である。比重の大きな貨物と石炭などと兼用で使用する場合は、積み付け方法を船級規則により限定し、運航するのが通例である。

貨物の積みおろしに必要な荷役装置を、船に装備する船もあるが、運航航路が特定され港湾の荷役設備が完備されているケースも多く、荷役設備を持たないバルクキャリアも多い。運航航路の特定もなく、多目的に活用する船、或いは特定な貨物例えばチップなどを輸送する場合には、上甲板上にクレーン、あるいはコンベヤー式アンローダーなどの荷役装置を設置する船もある。

7.2 ばら積み貨物船建造技術

鉱石専用船・バルクキャリア建造には、前述のコンテナ船、液化ガス運搬船建造に求められる多様な技術は少ない。鉱石など比重の大きな貨物積載に対する船体構造配置を除き、タンカー建造技術とほぼ同様である。造船技術に共通する溶接・ブロック建造法など製造上の技術、製造管理方式、省エネなどの船型設計技術項目などは、第3章の戦後の造船技術の進展にて触れた内容全てを活用している。

貨物比重の大きな鉱石を輸送する鉱石専用船の船体構造は、船倉下部二重底深さを通常バルクキャリアの2倍程度の深さとして構造強度を維持するのが一般的である。また、船倉側部に生ずる鉱石圧と舷側タンクの変形に起因する船倉側部構造強度解析が必要である。しかし、コンピュータを利用した構造解析技術の目覚ましい進展により、タンカー・コンテナ船の大型化対応が比較的容易に行われたのと同様、鉱石専用船の船体構造設計もスムーズに対処出来るようになった。

バルクキャリアに鉱石など比重の大きな貨物を積載する場合、先に述べた様に船長方向の船倉交互に積み付けるので、船長方向の船倉を仕切る横置隔壁を挟んで船倉二重底の変形が、鉱石積載部は下向きへ、空倉部は浮力により上向きとなる。コンピュータによる解析が行えない時代は、二重底を支持する四周の条件を、二重底周囲船体構造の剛性などを算定の上解析を実施していた。しかし、1970年代半ば以降FEM解析法が構造設計に採り入れられ、図7.1に示す様船体構造をモデル化し解析を行う事が多く、構造強度に対する信

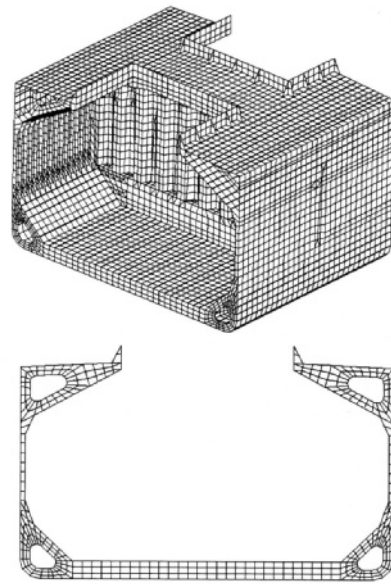


図7.1 バルクキャリアFEM構造解析メッシュ分割図
(日本海事協会 ガイダンス)

頼性は増し、20万トン超鉱石兼石炭輸送の大型バルクキャリアが建造されている。

比重の大きな鉱石を積載して波浪中を航行する大型船は、大変厳しい荷重状況下での航行となり、船体構造は過酷な状況にある。船体構造設計に際しては、通常20年間航行する間に遭遇する海象条件を想定し、船体構造部材配置と部材寸法を定めている。しかし、バルクキャリアの船体構造配置は、上甲板に荷役用の倉口があり、タンカーに設置されている縦通隔壁もないので、船体構造全体の強度維持は、厳しい状況下におかれている。船体構造部材配置は、波浪などの外部荷重と積荷荷重を考慮し、充分安全な強度解析を行なうが、石炭などの積載貨物に含まれる腐食促進物により、船倉部構造部材に腐食の進行が見られ、強度低下を来たし、バルクキャリア沈没事故が起きている様に思われる。しかし、沈没事故の原因が本当に腐食進行による船体強度低下に起因しているのか、沈没の多くは外洋で起こることから、引き揚げ不可能な事もあり、明確な状況把握が殆ど出来ていない。

1969～1970年、新造就航後5年未満の国内建造大型バルクキャリア、鉱石専用船が続けて、鉱石を満載して冬季の房総半島野島崎南東沖合を航行中に沈没する事故が発生した。建造就航後5年未満の船に起きた事故で、造船・海運界をはじめ社会全般大変驚かされる出来事であった。バルクキャリア船型による沈没事故の状況は、海難審判記録によると「1969年1月5日“ほりばあ丸”がペルーより鉄鉱石53,746トンを積載、京浜川崎地区に向け野島崎沖合を航行中、突然船体が2番船倉付近より折損し、船首部が脱落し航行不能とな

り、1時間未満で完全沈没した。船長ほか乗組員30名が行方不明となり、二等機関士と司ちゅう員⁷¹の2名のみが救出された。」この沈没海難事故に対し、横浜地方海難審判庁にて審判が1969年12月より開始され、1972年11月第一審の裁決があった。海難審判裁決による主文には「本件遭難は、ほりばあ丸が鉄鉱石を貨物倉ひとつおきに積載した場合、船側構造及び二重底の各強度が不足していたところ、バラストタンク内が予想外に腐食し、船体主要鋼材の腐食衰耗箇所に応力集中をきたした結果、第2番貨物倉付近において折損するにいたったものと考えられるが、船体の折損状況を確認できず、他方では、その他の原因が単一または重畳して船体、折損にいたった可能性も考えられ、結局、本件の発生の原因を断定することができない。」との結論になっている⁷²。

上記裁決主文に対し次の如き補足も記載されている「当時造船界においては技術革新の波が押し寄せ、船舶の巨大化、専用船化、高速化、自動化等の要望が一時にわき上がり、バルクキャリアについては、比較的小型のものは建造されていたが、船の長さが200メートルを超える大型船は、国内船としてはまだ建造されておらず、1964年第20次計画造船において建造トン数が飛躍的に増大した際、大型バルクキャリアに鉄鉱石など比重の大きい鉱石をも積載できる、いわゆる多目的バルクキャリアが建造されるようになり、“ほりばあ丸”はこの種貨物船の第一船として、石川島播磨重工にて建造された」。事故発生後造船技術審議会は「鉱石運搬船特別部会」を設置、9月に運輸大臣あてに建議した。

翌1970年2月10日同じく野島崎沖合にて発生した、鉱石専用船“かりふおるにあ丸”の沈没事故に関し海難審判の記録には以下の通り示されている。「かりふおるにあ丸はロスアンゼルスで60,157トンのペレットを6個の船倉全部に積み分け和歌山に向い航行中、異常な大波を受けて左舷船首部外板に破口が生じ船首を下にして沈没した。本船の乗組員は沈没の約20分前、来援したニュージーランド国籍の冷凍貨物船“オーテアロア号”の救命艇が“かりふおるにあ丸”に接舷し、乗組員22人を乗せて同号に収容したが、船長は退船を拒否し、船橋に残留して行方不明となり、救命艇が落下した際などに海中に転落した6人のうち2人がえくあどる丸に救助され、その他4人が行方不明となり、負

傷者8人を含む24人が救助された。」

裁決主文は「本件遭難は、“かりふおるにあ丸”が、カイザーペレットを満載し、冬季に北太平洋を本邦に向け航行中、温暖な黒潮海域にはいり、予知できなかった高層気象の変化に伴い大気がじょう乱し、これにより激しい突風が起こり、この影響で海面に発生した混乱波が、たまたま同調して異常な大波となり、この大波と本船とが遭遇し、瞬時に生じた一大破壊力をもつ外力を左舷船首部に受け、左舷1番バラストタンク付近の内部構造部材が崩壊し、同タンク外板に破口を生じて浸水したことに因って発生したものである。

本件のような事件は今までに類例の少ないものであり、本船の遭難地点付近は北太平洋を本邦に向かう船舶の常用海域で、冬季この黒潮海域においては高層気象の変化が地上気象に及ぼす影響が大きく、これによる海上模様の変化にはかり知れないものがあると思われるから、この海域でのこのような気象の変化が予測されるような場合には、時を移さず必要な警報等を発表し、船舶の運航上の指針となるように、また、航行中の大型船舶においても当該海域での運航には、なお一層の注意を払うとともに付近航行中の船舶とも気象、海象に関する情報の交換など行なうよう希望するものである。」となっている⁷³。

この様な裁決となった理由が次の様に述べられている。「かりふおるにあ丸は、昭和40年2月1日指定海難関係人造船所横浜三号船台で起工し、同年6月30日進水、同年9月25日完成のうえ、船舶所有者に引き渡された。船体の建造では、同造船所横浜で建造された鉱油船を含む類似の6隻目にあたり、他の一般船舶と同じ様な工作過程がふまれ、通常の工作精度が維持され、建造中に行なわれる検査、ことにNKに入級するための製造中に行なわれる検査は、特に大きな支障もなく進められた。

本船は、同40年9月25日アメリカ合衆国ロスアンゼルス港に向け横浜を出港して処女航海の途についてから、本件遭難前航までの33航海中、本船から提出された海難報告書は2件あり、うち1件は船体には何ら損傷がなく、他の1件は船底に軽微な衝撃を受けたもので、同船底の一部が新替えされた。

本件遭難は、大型鉄鉱石専用運搬船かりふおるにあ丸が、アメリカ合衆国ロスアンゼルス港でカイザーペレットを満載し、冬季に北太平洋を日本に向け帰航の

71 海運用語 コックの呼称

72 横浜海難審判庁 海難審判裁決記録

73 横浜海難審判庁 海難審判裁決記録

途、本邦東方の温暖な黒潮の蛇行している海域にはいり、やがて連続して東進してきた低気圧に伴う寒冷前線を通じたため気温が水温より著しく低くなり、その後高層気象の変化と相まって本船上空の状態が不安定となったが、当時の高層気象の放送状況においては、この状態を早期に察知できず、これによる海象の変化を予知できないまま航行中、まもなく上空を不安定線が通過したため大気がじょう乱して強い下降気流が起こり、これにより激しい突風が発生し、この影響で海面が荒れて混乱波が生じ、この突風の強吹に伴い海面が一層混乱し、この波がたまたま船首前方至近のところで同調して異常な大波となり、本船はこれらの大波に続けて遭遇し、その二つ目の大波と船体とが同調した状態で出会い、瞬時に生じた一大破壊力をもつ外力を左舷船首部に受け、左舷1番バラストタンク付近の内部構造部材が崩壊し、同タンクの外板に破口を生じて浸水したことに因って発生したものである。」

これ等連続発生した重大事故を重く見て、運輸省（現国土交通省）内に「大型専用船海難特別調査委員会」を設置、同年6月調査結果をまとめ「早急に着手すべき対策として気象・海象、運航、船体の3部門6項目を発表」関係組織で各々の項目につき検討を実施した。

種々の対策と構造強度解析技術の向上により、前記沈没事故以降鉱石輸送による重大事故発生は起こらなくなった。しかし、1990年代に入り老朽大型バルクキャリアに沈没或いは行方不明事故がしばしば発生した。2年間で20隻が沈没・行方不明となり、原因調査が広く進められた。調査結果によると、船倉部船体構造の腐食が進み船体強度不足となり、船側外板に亀裂が入り、船倉内に浸水が起こり事故を発生して居る事例が多い様である。対応策として、船体構造部材の腐食進行状況の把握を従来以上に行なうべく、船体検査の強化が進められ、同時に安全性に関する規則の改正を行なうべく、IMO、IACS⁷⁴などで議論が重ねられつつある。

7.3 ばら積み貨物船建造実績

7.3.1 鉱石専用船建造実績

経済成長による粗鋼生産高増大に従い、鉄鉱石の需要増加は著しく、2列の縦通隔壁で囲まれた船倉構造を持つ鉱石専用船の建造が進んだ。鉱石専用船が建造されるまでは、一般貨物船の船倉内にばら積み輸送し

ていたが、輸送量が増大し荷役効率を飛躍的に改善出来る鉱石専用船の建造が開始された。国内で最初に建造された鉱石専用船は、1956年完成「HARVEY'S MUDD（載貨重量31,662トン）日本鋼管」、同年同型船「ALLEN D CHRISTENSEN（載貨重量31,491トン）日本鋼管」の2隻である。当時国内船主は、一般貨物船を改良し、後述するバルクキャリア型に類似した船型により輸送していた様である。

国内造船所において鉱石専用船の建造が始まる以前、1951年より9年間旧呉海軍工廠設備の大半を、米国の海運会社National Bulk Carriers（略称NBC）が国より借用し、大型タンカー・鉱石専用船を多数建造していた。NBCで建造された鉱石専用船は、当時の国内造船所建造船より大型船が建造されている。NBC造船所で建造される鉱石専用船の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鉱石専用船は、1954年完成「ORE CHIEF（載貨重量 60,400トン）」、1955年完成鉱石兼油専用船「SINCLAR PETROLORE（載貨重量56,000トン）」などがあり当時建造された鉱石専用船としては世界最大である⁷⁵。

鉱石専用船による鉱石の輸送効率向上は図れるが、荷揚げ後積地に向かう航路はどうしても空倉航海となり、本船の有効活用の方法として、空倉航海時の一部分に原油を積載、鉱石積地近くまで輸送する利用形態が考案され、多くの鉱石専用船に原油も積載する方式が採用される様になった。例えば、この場合の輸送航路は、南米鉱石積地から荷揚地の日本、日本から原油積地の中東までは空倉バラスト航海、中東で原油積み南米までの所謂三角航路方式を採用した様である。

前述のNBC造船所で1955年に56,000トン型兼用船が建造されているが、各造船所で海外船主向けに、1957年「COSMIC（載貨重量46,000トン）川崎重工」、「ANDROS THUNDER（載貨重量38,589トン）三井造船」を完成、1959年には「SJOA（載貨重量31,798トン）新三菱重工」などが建造されている。

国内船主向け鉱石専用船が最初に引渡されたのは、1958年完成「新田丸（載貨重量18,188トン）呉造船所」

⁷⁴ International Association of Classification Society（主要世界船級協会組織 第3章参照）

⁷⁵ 船の科学 Vol.12, No.7, 1959年7月 “超大型船建造について（6） 真藤 恒” p84

で、海外船主向けに比し小型であった。その後、鉄鉱石輸送需要の増大に対処すべく、当時行われていた船腹量拡大を図る計画造船により、鉱石専用船の建造量拡大と船型の大型化が進んだ。翌1959年には「日鉱丸（載貨重量15,381トン）浦賀船渠」、「富浦丸（載貨重量15,557トン）三菱日本重工」、「邦和丸（載貨重量18,422トン）三菱造船」などが建造されている。1960年になると大型化した「さんたるしあ丸（載貨重量37,034トン）三菱造船」が完成している。

船型は引続き大型化され、1962年完成「さんたいさべる丸（載貨重量52,686トン）三菱造船」は船長が200mを越える214mとなる大型船となった。その後も大型化は着実に進み、1964年完成「INAYAMA（載貨重量80,760トン）日立造船」、1968年完成「ぼうとらった丸（載貨重量90,000トン）住友重機械」（資料-1027）（写真7.1）などがある。



写真7.1 ぼうとらった丸（資料-1027）

国内船主は、鉱石専用で大型化による効率化を目指したが、海外船主は先に述べた様に鉱石兼油専用船の建造を早くから始めていた。兼用船の大型化もやはり海外船主向け建造船で始まり、1962年完成「SAN-

JYUAN PROSPECTOR（載貨重量71,308トン）三井造船」、1963年完成「デラウエア ゲティ（載貨重量69,425トン）石川島播磨重工」、「RAUNALA（載貨重量66,100トン）三菱造船」などがあり、これ等建造船は上甲板に高張力鋼を採用し、厚板の板継ぎ溶接の容易化を図っている。タンカーの大型化進行に伴い高張力鋼が多用されたが、鉱石兼油専用船への使用実績が大きく影響していると思われる。

国内船主も兼用船形式を1968年頃より採用している。タンカーの大型化進行と同様、鉱石兼油専用船の船型も急激に大型化が進んでいる。国内船主による鉱石兼油専用船の建造は、1968年完成「ジャパン チェリー（載貨重量77,388トン）三菱重工」、「君津山丸（載貨重量99,605トン）三井造船」などがある。その後船型の大型化は急速に進み、1972年完成「NAESS AMBASSADOR（載貨重量264,485トン）三菱重工」、並びに「宇佐丸（載貨重量268,770トン）石川島播磨重工」は当時としては世界最大船型である。しかし、鉱石兼油専用船では出入港する水深による船の喫水条件は簡単に変更出来ない事、並びに上甲板に大きな倉口を設けねばならぬ事より船体強度上の制約があり、タンカーの場合40万トンを越える船が多数建造されているが、鉱石兼油専用船では最大26万トン止まりである。

石油危機発生時点までに建造された鉱石専用船の大多数は、鉱石兼油専用船として建造された。しかし、石油危機発生以降、この兼用船型の建造例は見られない。石油危機以降建造される鉱石専用船は、省エネ対策を施し、輸送効率を考慮した大型船である。今回実施の資料所在調査に提供された建造例を下表に示す。

船 名	竣工年	建造造船所	DW (トン)	特 徴
HITACHI VENTURE ^{*7.1}	1982	日立有明	267,889	静圧過給ロングストローク低速型エンジン、シリンドリカルバウ、HZノズル採用、推進効率の改善を図っている。
ふろんちあ丸 ^{*7.2}	1983	石播呉	224,222	省エネルギー対策に特筆、低速エンジン×2基/1軸
尾上丸 ^{*7.3}	1989	日本鋼管津	233,000	省エネ・省人化が急務の中、NOPS (NKK Off-center Propeller Ship) を初めて採用。従来船に比し約14%の省エネルギーを達成。(NOPS1996年通産大臣賞受賞)。
NSS CONFIDENCE ^{*7.4}	1999	三井千葉	229,545	垂線間長 313m、幅 52m、深さ 24.3m、喫水 18.133m、載荷重量 229,545トン、主機関 三井 B & W ディーゼル 機関 6S80MC、21,840kW x 79rpm。

注：*7.1（資料-1061）写真7.2、*7.2（資料-1073）写真7.3、*7.3（資料-1075*）写真7.4、
7.4（資料-1076）写真7.5



写真7.2 HITACHI VENTURE
(資料-1061)



写真7.3 ふろんちあ丸
(資料-1073)

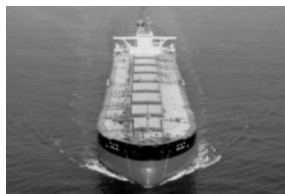


写真7.4 尾上丸



写真7.5 NSS CONFIDENCE

石油危機以降建造された鉱石専用船は、建造可能な最大船型で建造されている。

7.3.2ばら積み貨物船（バルクキャリア）建造実績

国内最初のバルクキャリア建造記録は、1954年完成「日隆丸（載貨重量15,368トン 日本鋼管）」（資料-1133）（写真7.6）である。上甲板下に3角形のトップサイドタンクを設け、ばら積み貨物の積み付けを容易にし、鉱石運搬を主目的とし建造された。

1954年第1船建造後1960年代前半、各造船所にて最

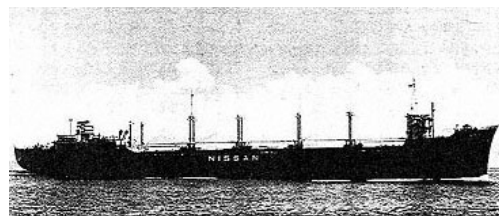


写真7.6 日隆丸（資料-1133）

初に建造された、ばら積み貨物（石炭・穀物を主体に一部鉱石を考慮）を積載するバルクキャリアの概要を下表に示す。

船 名	竣工年	建造造船所	DW(トン)	種 類
DENEB	1959	日本鋼管清水	19,948	Bulk
NIKITAS ROUSSOS	1960	新三菱 神戸	21,110	Bulk
LACONIA	1960	播磨造船所	20,853	Bulk
アモルゴス	1961	石播東京	22,850	Bulk
びんたん丸	1961	浦賀船渠	15,355	Bulk
MOSHILL	1961	三菱造船 長崎	24,717	Bulk
CORSAIR	1962	三井玉野	24,911	Bulk
EASTERN SAKURA ^{*7.5}	1962	函館どっく	15,700	木材
ARISTEIDES	1963	三井玉野	50,065	Bulk
富豪丸	1964	石播相生	34,986	Bulk
アーサー ストーン	1965	日立因島	39,277	Bulk
AEGEAN SKY	1966	三菱横浜/広島	40,783	Bulk

注：*7.5（資料-1030）写真7.7



写真7.7 EASTERN SAKURA
(資料-1030)

鉄鉱石輸送には専ら鉱石専用船が建造され、船型もばら積み専用タイプに比べ大型化傾向にあった。この時代に建造されたバルクキャリアタイプによる、鉱石輸送は余り多くなく、沈没事故を起こした「ほりばあ丸」は、1965年完成船バルクキャリアタイプであったが、当時としては数少ない例であった様である。

バルクキャリアタイプ型にも、鉱石専用船と同様原油も兼用で積載出来るOre/Bulk/Oil Carrierの開発が行われ、1960年第1船が建造された。石油危機発生までに建造された、バルクキャリアタイプの多くは、O/B/O兼用型により多数建造された。各社によるO/B/O兼用船建造例の一部を次表に示す。

船 名	竣工年	建造造船所	DW(トン)	種 類
MANDO THEODORA COPULOS ^{*7.6}	1960	浦賀船渠	28,326	O/B/O
ERIDGE	1966	三井玉野	72,692	O/B/O
SANKOBAY	1967	三菱横浜	60,165	O/B/O
ベストフォールド	1967	日立因島	74,107	O/B/O
ドーバー丸	1967	石播東京	60,044	O/B/O
GOLDEN CLOVER	1971	三菱横浜	164,369	O/B/O
万喜川丸	1972	石播呉	156,109	B/Oil
ぱしふいつく丸	1972	住重追浜	168,400	B/Oil
ROSS ISLE	1973	日本鋼管鶴見	111,910	O/B/O
寿光丸	1981	川重坂出	70,681	O/B/O

注：*7.6（資料－1025）写真7.8



写真7.8 MANDO THEODORA COPULOS（資料－1025）

石油危機発生後原油の海上荷動き量は減少したが、鉱石・石炭などのばら積み貨物の海上荷動き量は、経済の発展と共に増加をたどり、ばら積み貨物船の建造は増大している。今回の資料所在調査で各社より提出

があった、省エネ対策大型バルクキャリアの一覧を下表に示す。建造船の多くは、各社の省エネ大型鉱石兼石炭輸送の標準船型の原型となっている様である。

船 名	竣工年	建造造船所	DW(トン)	特徴
新豊丸 ^{*7.7}	1982	三菱長崎	208,952	石炭/鉄鉱石 倉口数11、リアクションフィン、CPP propeller, 36kg/mm ² 級高張力鋼
邦英丸 ^{*7.8}	1982	川重坂出	208,739	従来型の約50%減の省エネを達成した超省エネルギー船
はりえっと丸	1982	三井千葉	177,754	鉱石/石炭、9Holds
筑波丸 ^{*7.9}	1983	住重追浜	201,227	超低回転大直径プロペラを採用した大型鉱石石炭バラ積み貨物船。このため、120rpmの低速ディーゼル機関から減速機を介して60rpmまで低回転化し、固定ピッチプロペラとしては、当時世界で最低の回転数を実現
駿河丸 ^{*7.10}	1987	日本鋼管津	215,158	高張力鋼の使用比率を高め、載貨重量を大幅に増加させた
CAPE ROSA ^{*7.11}	1997	日本鋼管津	172,846	欧州Dunkirk港の入港制約条件下で、「Dunkirkmax」として開発された最大船型のバルクキャリアーシリーズ船。本船を含め同型船が29隻、その後継船も含めると42隻が約10年間に建造された。
RUBIN PHOENIX	1997	石播呉	171,080	170型標準第1船

船 名	竣工年	建造造船所	DW(トン)	特徴
CAPE VICTORY ^{*7.12}	2003	名村	177,300	ダンケルクマックスバルクキャリアとして最大級の載貨重量を誇る。船尾プロペラ前方には当社が開発した "NCF(Namura flow Control Fin)"を装備し、乱れた流れを整流することで渦抵抗を減少
AZUL CHALLENGE ^{*7.13}	2004	ユニバーサル 有明	203,277	瀬戸内の喫水制限を維持した最大船型のバルクキャリアーとして開発、船首部には波浪中抵抗の低減を計ったAx-bow(斧型船首)と低風圧抵抗居住区を採用、実海域での性能を向上

注：*7.7（資料－1003*）写真7.9、*7.8（資料－1002*）写真7.10、*7.9（資料－1004*）写真7.11、
7.10（資料－1006）写真7.12、*7.11（資料－1011*）写真7.13、*7.12（資料－1020*）写真7.14、
7.13（資料－1021）写真7.15



写真7.9 新豊丸



写真7.10 邦英丸



写真7.11 筑波丸



写真7.12 駿河丸



写真7.13 CAPE ROSA



写真7.14 CAPE VICTORY



写真7.15 AZUL CHALLENGE

石油危機以降の大型バルクキャリア建造実績の一部は上記の通りである。バルクキャリア型船型の建造隻数が多いのは、多目的に活用出来る中・小型船型である。集荷、運航航路などの面から利用度が高い30,000～50,000トンクラス、およびパナマ運河通過可能な最大船型とする2種類の船型を中心に建造されている。

小型船型はハンディーバルカーと称し、パナマ通過船型をパナマックスバルカーと呼んでいる。各造船所とも各々の船型につき標準設計を行ない、同型船建造による生産効率の向上を図っている。これ等標準船型による建造例の一部分を以下に示す。

建造造船所	竣工年	特 徴
日立造船 ^{*7.14}	1969	日立造船建造「パナマックス型」ばら積み船の第1船「BLESSING」、その後改良が加えられ大型化もされ、1999年末現在100隻建造実績がある
佐世保重工 ^{*7.15}	1988	パナマックス型68,000重量トンばら積み貨物船シリーズの1番船「TOPAZ」、貨物倉容積を増やし、このクラスで最大級の貨物容積を確保した。
今治造船 ^{*7.16}	1990	載貨重量28000トン型 ばら積み貨物船「OCEAN LOTUS」15年で55隻建造
三井造船 ^{*7.17}	1995	46,637トン「WESTERN VIKING」全長190m以下 当時最大船型で連続建造
常石造船 ^{*7.18}	1999	常石造船45,000トン標準ハンディーバラ積み貨物船100隻目引渡し「JAWA POWER」
石川島播磨重工 ^{*7.19}	1999	載貨重量48,000トン型量産第1船「クリスタルリリー」、浅喫水で4台のデッキクレーンを装備し荷役設備のない港湾にも対応
今治造船 ^{*7.20}	2001	載貨重量53,000トン型ハンディーバラ積み貨物船「LAKE MAINE」全長190m以下5万トン超

建造造船所	竣工年	特 徴
サノヤス・ヒシノ明昌 ^{*7.21}	2003	世界最大級のDWT55,000mt型ハンディマックスバルクキャリア「NISSOS KYPROS」、35T型デッキクレーンを搭載
今治造船 ^{*7.22}	2004	改良パナマックス最大船型、載貨重量76,000トン型バラ積み貨物船「MEDI VITORIA」は最新完成、既にパナマックス28隻建造

注：*7.14（資料－1031）写真7.16、*7.15（資料－1007*）写真7.17、*7.16（資料－1008*）写真7.18、
7.17（資料－1010）写真7.19、*7.18（資料－1300）写真7.20、*7.19（資料－1075）写真7.21、
7.20（資料－1014）写真7.22、*7.21（資料－1018*）写真7.23、*7.22（資料－1022*）写真7.24



写真7.16 BLESSING
（資料－1031）



写真7.17 TOPAZ



写真7.18 OCEAN LOTUS



写真7.19 WESTERN VIKING



写真7.20 JAWA POWER
（資料－1300）



写真7.21 クリスタルリリー
（資料－1075）



写真7.22 LAKE MAINE



写真7.23 NISSOS KYPROS

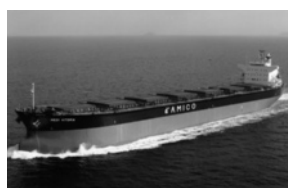


写真7.24 MEDI VITORIA

上記の大型船および中・小型標準船型には通常荷役装置を設置する場合と、港湾の設備を利用し荷役装置を設けない船に分かれる。しかし、中・小標準船型の一部、製紙用木片（ウッドチップ）、ペーパーロールなど特殊貨物を対象にしたバルクキャリアには、独自

の荷役装置を設置する事が多くある。また、ペーパーロールなどを積載する船は、コンテナ船と同様箱形船倉としたバルクキャリアもある。この箱形タイプ船をオープンタイプバルクキャリアと呼ぶ事が多い。この類の建造船の中で特徴的な例を下表に示す。

船 名	建造年	建造造船所	船型の特徴・荷役設備等
いーでん丸	1971	石播名古屋	載貨重量57,898トン 当時世界最大チップ船
北極星 ^{*7.23}	1986	三井玉野	27,500トン型 セルフ・アンローディング石炭運搬船であり、ホール下部に2条のベルトコンベアが設置され、毎時3500トンの能力を有する。
WESTERN BRIDGE ^{*7.24}	1991	常石造船	当時最大セルフアンローダー付バルク
SAGA TIDE ^{*7.25}	1991	大島造船	46,990トン 10船倉 Open Hatch型
GROUSE ARROW ^{*7.26}	1991	三井玉野	42,276トン型 雨天時でも新聞紙などの荷役を可能にするため、貨物艙に鋼構造の屋根が設けられた全天候型のばら積み運搬船
能代丸 ^{*7.27}	1993	大島造船	幅広浅喫水、石炭専用船、二重船殻構造
DYNASTAR ^{*7.28}	1997	サノヤス・ヒシノ 明昌	貨物容積425万フィート ³ チップ船

船 名	建造年	建造造船所	船型の特徴・荷役設備等
TOP LEADER ^{*7.29}	1999	大島造船	二重船殻構造パナマックスバルクキャリア
SAGE SAGITTARIUS ^{*7.30}	2001	今治造船	100,500トン 電力炭輸送の高効率化船型に加え、2基のアンローダー用ガントリークレーンを設備
BALDER ^{*7.31}	2002	大島造船	49,463トン オフセンター配置の35tクレーンとHopper/船側コンベア/65mBoomコンベアからなるベルトアンローダー装置
やまゆり ^{*7.32}	2003	今治造船	集塵装置を付随する密閉型荷役設備を設置、環境保護への配慮がなされた石炭運搬船

注：*7.23（資料－1005*）写真7.25、*7.24（資料－1299）写真7.26、*7.25（資料－1009*）写真7.27、*7.26（資料－1064）写真7.28、*7.27（資料－1044）写真7.29、*7.28（資料－1050）写真7.30、*7.29（資料－1046）写真7.31、*7.30（資料－1015*）写真7.32、*7.31（資料－1016*）写真7.33、*7.32（資料－1019*）写真7.34



写真7.25 北極星



写真7.26 WESTERN BRIDGE
（資料－1299）



写真7.27 SAGA TIDE



写真7.28 GROUSE ARROW
（資料－1064）



写真7.29 能代丸(資料－1044)



写真7.30 DYNASTAR
（資料－1050）



写真7.31 TOP LEADER
（資料－1046）



写真7.32 SAGE SAGITTARIUS



写真7.33 BALDER



写真7.34 やまゆり

バルクキャリアと呼ばれる大半は、上記に述べた建造例に包含され、概観は説明出来たと思う。しかし、上記以外にもばら積みタイプ船型により、木材・セメ

ント・塩などを専用に運搬する船も建造されており、使用目的により呼称する事が多いので大変広範囲な種類の船を総称しているのが一般的である。

8 自動車運搬船建造技術と建造船

我が国自動車業界の隆盛は目覚ましい現状であるが、海外へ輸出が始まったのは1955年との記録が、自動車工業会の統計にある⁷⁶。1961年、乗用車の年間輸出台数が1万台を越え、11,152台との記録がある。1970年には、乗用車・商用車合計の輸出台数が1,000,000台を突破している。その後も自動車の輸出台数は急激に増加し、1985年には総計6,700,000台を越えている。しかし、余りにも急激な輸出増大により、貿易摩擦の要因となり、対米輸出規制が行われ輸出台数は減少する事となった。乗用車の輸出台数が100,000台を越える1965年頃より、多量に積載可能な専用船による輸送が望まれ、外航自動車運搬専用船の建造が始まった。

輸出台数の急増に対処すべき自動車専用船（Pure Car Carrier : PCC）の建造技術と建造実績の状況を以下に述べる。

8.1 自動車運搬船の概要

輸出台数が少数の時代は、その当時定期航路を運行していた一般貨物船の船倉に、1台ずつ船に装備されたデリックポストにより、積みおろしを行う方法であった。貨物船には船倉内に中間デッキがあるので、積み付け台数には限界があり、他の方法を考案せねばならぬ状況にあった。船倉構造内部に突起構造物が少なく、広いスペースのあるバルクキャリアを利用する案があった。バルクキャリア船倉内に、乗用車を搭載する移設甲板を仮設する案が生み出された。ばら積み貨物と兼用にする事により、空船の航海を避けることが出来るので、当初この方式による自動車運搬船が建造された。初期の荷役方法は、一般貨物船の場合と同様クレーンなどの荷役装置による積み込み/積みおろし（Lift On/Lift Off : LO/LO）方式であった。しかし、LO/LO方式は荷役時間がかかり、車に損傷を起こす事もあり、車の自走による荷役方式（Roll On/Roll Off : RO/RO）が考案された。自走による積み込み/積みおろしは、岸壁と船の間に自動車が自走出来るランプ（Ramp）を渡し上甲板に上がり、上甲板から船倉内にはエレベータにより仮設自動車甲板へ走行する方法によった。ばら積み貨物との兼用船は、殆どこの方式によっている。

ばら積み貨物との兼用船では、積み付け台数・荷役

の効率化には限界があるので、更なる輸送効率向上を目指す専用船が望まれた。専用船は船倉部分に可能な限り多数の車を積載する様、甲板間の高さを積載車種の高さに合わせ多数の甲板を設置し、車を自走により車の間隔を最小となる様配列する。甲板間の車の移動は、甲板間に設けた傾斜ランプウェイを自走により上下移動する。岸壁から船倉内、或いは逆の移動は、先のばら積み兼用船と同様、船と岸壁間に設けたランプを自走により移動する。ランプと船体との結合箇所は、船側部または船尾部に設置され、結合部船体外板には大きな開口が設けられる。

船倉内部は車が自走するので、出来るだけ突起物・障害物を最小にする様、甲板荷重を支持する柱の配置には細心の注意を払っている。甲板は船体構造に固定するが、一部の甲板は船体へ固定せず移動可能な支持方法とし、乗用車と異なるトラックなどの背高車種の積み付けに備える場合が多い。車積み付け用甲板数は、積み付け台数により当然異なるが、9～13層設置するケースが多い。

甲板上に配列した車は、航海中の移動防止のためラッシングワイヤーにて固縛する。ラッシングワイヤーは、車と甲板上に設けた金具などと連結固着する。

完成車運搬専用船として建造される場合にも、海外生産拠点にて組立を行うノックダウン方式の部品を、完成車と同時に輸送出来る積み付け配置とした船も建造されている。ノックダウン部品は通常コンテナに積み込まれるので、一部の甲板をコンテナ積み付け可能な配置としている。

自動車専用船とする場合は、復航はどうしても空船となるので、運航効率上から最適となる航海速力が選ばれ、石油危機以降も18～19ノットの航海速力とするケースが多い。自動車専用船の搭載台数は、生産規模と輸出需要にマッチさせる関係上か、専用船の建造開始当時の搭載台数と大きな変化は認められない。

8.2 自動車運搬船建造技術

ばら積み船との兼用型自動車運搬船は、ばら積み貨物を積載する船倉内に、移動式自動車甲板を車積載時に仮設搭載する方式による。この移動式車両甲板の一例は図8.1に示す如く、ばら積み貨物搭載時には移動

⁷⁶ 自動車工業会「自動車統計年報」

格納方式をとる。この移動格納方式車両甲板は、川崎重工にてKAWASAKI/BLOHM&VOSS方式として開発され、ばら積み兼用船の車両甲板に広く採用されている。川崎重工では本方式車両甲板を積極的に販売し、1966年～1976年の10年間に合計101隻分製造販売したとの報告がある⁷⁷。

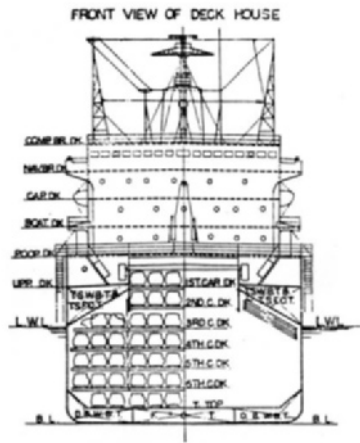


図8.1 移動式自動車甲板配置図（船の科学 Vol.22 No.3）

ばら積み貨物との兼用船は、ばら積み船としての運航に配慮した船型となっている。従って、建造実績の多い小型のハンディーサイズバルクキャリアに、移設式車両甲板を設置したケースが多い。パナマ運河通過最大船型となる中型バルクキャリアにも、移設車両甲板を設けた兼用船の建造例はあるが多数ではない。基本的に兼用船型は、バルクキャリア建造技術に移設甲板設置技術を加味し建造されている。

専用船は輸出完成車の輸送のみを目的とするので、復航は完全に空倉となる事もあり、効率的な車の搭載方法の考案も重要である。車の搭載数を増加させるには、船倉内部の空間に車を自走により如何に効率的配列出来るかが、最大の課題である。船倉部分の空間を先ず増大する方法として、通常の船に比べ船の深さ方向で、容積を増大する方法を採っている。車は専有容

積に比し比重が小さい事もあり、船倉部分の増深が可能である。船倉内に車両甲板を9～13層設け、車積載量の増大を図っている。船型の外観は写真4.6に示す様、船の深さが増大した箱型船となっている。

車両甲板の増設により、車積載台数の増大は可能であるが、車を積載した甲板構造の支持方法、突起構造物の最小化など、船体構造部材配置への配慮が重要となる。通常船倉は船長方向に幾つかに分割し、横隔壁が設けられる。しかし、自動車専用船では荷役を自走方法によるので、横隔壁・柱などの配置は最小化が望まれ、船体構造強度維持には細心の注意が必要となる。

車の容積に対する比重が小さい事により、運航時の喫水が浅い。一方、船倉部分の深さが大きいので、水面上の側面積が増し、操船時風による抵抗が他船に比し大きくなる。風圧抵抗の増大に対して、推進抵抗削減策として船倉全面の空気抵抗削減形状の模索、操船対策としては、舵・操舵装置の容量増大を考慮する必要がある。

この他、車荷役時に発生する排気ガスの換気装置、消火装置などに対する安全面での配慮が必要となる。

8.3 自動車運搬船の建造実績

我が国における自動車運搬船の建造が開始されたのは、年間輸出乗用車数が100,000台を越えた1965年からである。建造する自動車運搬船は、ばら積み貨物と兼用するタイプで、1970年自動車専用船による第1船が建造されたが、専用船による運航実績が得られる1973年ごろまでは専らこのタイプであった。その後も兼用船の建造は行われているが、次第に専用船に変わり、1976年以降の自動車運搬船は殆ど専用船型で建造されている。

ばら積み貨物と兼用で建造された自動車運搬船の代表例を下記に示す。

船 名	竣工年	建造造船所	積載台数	ばら積み貨物重量(トン)
追浜丸 ^{*8.1}	1965	日立櫻島	1,200	16,155
第一とよた丸 ^{*8.2}	1968	川重神戸	1,273	18,507
第五とよた丸	1969	名村造船	1,288	18,980
第七とよた丸	1970	名村造船	2,188	30,326
ASIA HUNTER	1971	住重浦賀	1,900	29,569
豊穀山丸	1971	三井玉野	3,076	52,258
栃木丸	1971	舞鶴重工	1,900	27,156

⁷⁷ 船の科学「自動車運搬船の新造および改造について」

船 名	竣工年	建造造船所	積載台数	ばら積み貨物重量(トン)
菱光丸	1972	佐野安船渠	2,172	38,082
白光丸	1976	尾道造船	2,362	32,595
東明丸	1977	来島ドック	2,475	38,287
WILMONA	1978	三菱長崎	4,000	63,787
名豊丸	1978	佐野安水島	2,639	37,821
JUPITER No.2	1978	今治丸亀	4,366	64,473
CO-OP Express I	1982	日立舞鶴	3,670	53,532

注：*8.1（資料－1078*）写真8.1、*8.2（資料－1079*）写真8.2



写真8.1 追浜丸



写真8.2 第一とよた丸

ばら積み貨物との兼用船は、バルクキャリアとして一般的に利用される船型を基準にされる事が多く、乗用車積載台数の概数が2,000台、4,000台クラスに分かれている。

1970年乗用車2,082台積み自動車専用船（Pure Car

Carrier）が、初めて川崎重工にて建造された。以後自動車の輸出増大に従い、ばら積み貨物との兼用船に代わり専用船が、多数建造されている。国内造船所における建造隻数は多数あるが、今回実施の資料所在調査に提供された建造例を下記に示す。

船 名	搭載台数	完成年	建造造船所	特記事項
第十とよた丸 ^{*8.3}	2,082	1970	川重神戸	我が国初の専用船 甲板9層
多摩丸 ^{*8.4}	2,530	1972	日立舞鶴	甲板9層 日立造船PCC型No.1
相模丸	3,000	1973	日立舞鶴	甲板10層
神悠丸 ^{*8.5}	6,045	1974	三菱神戸	甲板13層 欧州航路
RIGOLETTO ^{*8.6}	5,300	1977	日立因島	油圧式移動甲板設置
NISSAN SILVIA	3,500	1978	日立舞鶴	一部大型特殊車積載
神明丸 ^{*8.7}	7,000	1978	日本鋼管鶴見	甲板13層内3甲板移動可
ぐろーりあす えーす	5,688	1981	日立有明	甲板13層
神海丸 ^{*8.8}	4,000	1983	大島造船	重量車両、ノックダウン部品、コンテナ積載
ひゅーむ はいうえい ^{*8.9}	4,168	1985	大島造船	ノックダウン部品、コンテナ
OTELLO ^{*8.10}	6,151	1992	日立舞鶴	4甲板移動可
HUAL CAROLITA ^{*8.11}	5,715	1999	常石造船	乗用車・トレーラー・コンテナ搭載
SUNBELT SPIRIT ^{*8.12}	6,100	2002	住重追浜	甲板12層、一部 冷凍貨物倉（面積21,000m ² ）
PHENIX LEADER ^{*8.13}	6,500	2004	今治造船丸亀	風圧抵抗低減形状採用

注：*8.3（資料－1020）写真8.3、*8.4（資料－1080*）写真8.4、*8.5（資料－1082*）写真8.5、
8.6（資料－1083）写真8.6、*8.7（資料－1084*）写真8.7、*8.8（資料－1045）写真8.8、
*8.9（資料－1043）写真8.9、*8.10（資料－1088*）写真8.10、*8.11（資料－1301）写真8.11、
8.12（資料－1089）写真8.12、*8.13（資料－1090*）写真8.13



写真8.3 第十とよた丸
(資料-1020)



写真8.4 多摩丸



写真8.5 神悠丸



写真8.6 RIGOLETTO



写真8.7 神明丸



写真8.8 神海丸(資料-1045)



写真8.9 ひゅーむ はいうえい
(資料-1043)



写真8.10 OTELLO



写真8.11 HUAL CAROLITA
(資料-1301)



写真8.12 SUNBELT SPIRIT



写真8.13 PHENIX LEADER

上記に示す様自動車専用船は、乗用車積載を基準に甲板配置を決めるのが一般的であるが、車高の異なる車種の積載台数の変化に対応出来る様、一部の甲板を油圧装置などにより、甲板高さ調整機能を持つケース

が多い。また、完成車のみの積載ではなく、海外生産車用部品の輸送、或いはコンテナの搭載を考慮した建造例も上記に示す如くある。

9 | まとめ

今年度造船分野の系統化調査は、昨年度の“戦後建造タンカーの大型化技術”に引続き、タンカー以外多量に建造された、各種専用船に関する技術の系統化を実施した。量的に多数建造されているばら積み貨物船（バルクキャリア、鉱石専用船）、コンテナ船、液化ガス運搬船、自動車運搬船につき、建造量の増大・船型の変遷状況と、技術開発の関係を調査取り纏めた。

戦後の高度経済成長が起こるまでは、多くの海上荷動き貨物は一般貨物船により輸送されていた。しかし、経済成長に伴い貨物輸送量の急増、種類・内容の変化もあり、輸送効率の向上が期待出来る専用船による輸送が急激に増大した。最も輸送効率向上可能な専用船は、製品など固形貨物類をコンテナ容器に収納し、貨物発送地から受取先まで一貫輸送出来る、コンテナ船による輸送システムである。コンテナ輸送システム採用前の一般貨物船による輸送方法は、長時間の港湾荷役、輸送システムの一貫性欠如などがあり、急激にコンテナ輸送システムへと変わった。また、食品など冷蔵を要する貨物も、冷蔵装置を持つコンテナを船の電源と結合する事により、一般コンテナと同様輸送可能となり、コンテナ船建造量の増大と急激な船型大型化への影響がある様に思われる。建造開始当初の船型は、積載量700TEUクラスであったが、以後輸送効率向上を目指し大型化が進み、現時点では6,000TEU型が建造され、海外では既に8,000TEUを超える超大型船が建造されている。コンテナ船は配船航路の柔軟性を考慮し、全ての船型はパナマ運河通過可能とする船幅を32.2m以下とする船型であった。パナマ運河通過船型は船幅制限により、4,000TEU程度が最大であるので、1988年以降全世界的に船社は、パナマ運河通過船型の制約を外し、船型の大型化が急速に進んだ。

一方、高度経済成長により輸送貨物内容に変化が起きたのは、液化ガスの海上輸送需要である。特にクリーンエネルギーとして、電力・都市ガス業界は天然ガスの使用を増大して行った。電力業界などがLNG輸入を開始してから約14年間は、海外船主所有・海外造船所建造LNG船により輸入が行われていた。しかし、1981年以降国内造船所にてノルウェー開発モス球形LNG船を主体に、125,000m³クラスLNG船の建造が始まり以降大小多数のLNG船が建造されている。国内におけるLNG船建造開始以降、2004年までの建造総数は57隻に達している。モス球形方式が大多数であるが、石川島播磨重工開発SPB方式2隻とメンブレン方式9隻

が含まれる。

プロパンガス需要も家庭業務用など、1960年代に入り増加を始め海外よりの輸入が必要になった。この需要に対処すべく大型LPG船の建造が1962年より開始された。その後のLPG需要の増加に伴い、70,000～80,000m³型LPG船を中心に2000年までに100隻を超えるLPG船が建造されている。

我が国自動車業界の完成車輸出増大により、自動車運搬船の建造が1960年代半ば以降急増した。1970年代初め頃までの建造船は、ばら積み貨物船の船倉内に移設式車両甲板を設ける兼用船タイプが多かった。それ以降建造される型式は、片航海が空倉航海となる自動車専用船タイプとし、輸送需要に応ずべく多数建造されている。

経済成長に大きく左右される粗鋼の生産量も、1960年代半ばより増加し原料となる鉄鉱石・石炭の輸入が急増した。鉄鋼業界は鉄鉱石・石炭の安定的な輸入を目指し、海外産地と長期購入契約を行い、輸送に必要な専用船も同様長期傭船契約を船社と結んでいた。船社も輸送効率に優れる大型鉄石専用船、或いは鉄石兼石炭専用船を多数建造する状況になった。石油危機発生以前に建造される鉄石専用船、鉄石兼石炭専用船は片航の空船を避けるべく原油輸送を兼用するタイプが多くなった。石油危機発生以後鉄石専用船の建造例は少なく、鉄石兼石炭専用船によるケースが多く、輸送効率を考慮し170,000トン超の大型船が多い。鉄石・石炭輸送を含め穀物などのばら積み貨物をはじめ、ペーパーロール・ウッドチップ・木材など多目的にばら積み貨物を輸送するバルクキャリアが多数建造されている。多目的用途バルクキャリアは、通常3～7万トンクラスの船型が多く、標準型船型により多数の同型船を建造している。

各専用船とも社会経済情勢の変化による需要動向の変動から、建造船型仕様に変化が起きて来る。造船業界では業容の拡大、競争力の強化を目指し、終戦直後から一貫して如何なるタイプの船の建造に対しても必要となる船型計画をはじめとした設計技術の高度化、効率的且つ信頼性の高い製造工作技術の蓄積に日々努力を重ねている。各企業の技術開発に対する努力を多とするが、一方、大学などとの共同研究による成果を広く活用した事は、総合的技術力向上に大きく寄与している。

船速と省エネに関連する船型設計技術、船体構造の

安全・信頼性に寄与する構造強度設計技術は、造船学理論およびコンピュータの発展に伴い数値処理技術を導入し、いち早く細部にわたる解析を可能にした。また、水槽試験設備などの充実による各種実験を広く実施出来た事も、技術蓄積に大きく影響していると思う。

製造工作にかかわる建造技術は、溶接施工による品質の確保と効率化が重要な課題で、同時にブロック建造法に対する精度管理技術開発が重要である。溶接施工に関しては、自動溶接装置の開発などを戦後直ちに着手した結果、多くの装置が開発され溶接効率は著しく向上している。また、溶接部品質は使用鋼材の材質により大きく影響を受ける。使用鋼材と溶接施工時の入熱条件により、溶接部に劣化が起こる。溶接施工効率向上を目指す溶接法と鋼材の開発を、鉄鋼業界との協力により進めた結果、溶接性に変えられた高張力鋼・低温用鋼板が開発された。新しく開発された圧延技術による高張力鋼板・低温用鋼板は、通称TMCP鋼と呼ばれコンテナ船、液化ガス運搬船、大型鉱石兼石炭運搬船の建造には大変有用であった。

石油危機発生以降、省エネ船型開発要望は強く、特に高速航行を求められるコンテナ船船型計画には大きな要素となった。大型化されるコンテナ船設計には、通常の船型設計手法に加え、CFD解析手法などを採り入れより広範囲且つ細部に及ぶ内容検討が行われている。コンテナ船の大型化に伴う船体構造強度の安全性確認は、有限要素法（FEM）による解析を実施しているが、共通基盤技術の蓄積による所が大きい。

同様に液化ガス運搬船のタンク構造強度解析、大型鉱石兼石炭運搬船の船体構造解析も全てFEM解析法が必要である。船体構造解析にFEM解析手法を広く活用出来る環境が整っている事は、安全性の高い構造設計を可能としている。特に、LNG,LPGタンク設計を行う際、IMO条約によるタイプB方式では破壊管理機構解析が求められ、細部におよぶ解析プロセスが必要となったが、従来の構造解析技術を基盤に破壊伝播解析要素を加える事により処理可能となっている。また、LNG船建造に当たっては、モス球形型・メンブレン型とも従来の造船建造技術とは異なり、各社とも建造開始以前にモデルタンクによる実験を重ね、建造施工要領技術を習得している。

今回各種専用船の建造実績と建造に必要な技術の関連に付き述べて来たが、当然の事ながら造船基盤技術を基に、各専用船に必要な固有技術開発を行う事により建造実績を積み上げて来た。海上を荷動きする多種類の荷物に適する方法により、輸送する専用船が実現建造されているが、コンテナ船、液化ガス運

搬船などの基本概念は、海外にて考案された技術を基に、建造に必要な細部の技術の詰めと、合理的な建造要領を開発することにより、多数の建造実績が得られていると思う。しかし、近年の韓国における竣工実績増加は著しく、我が国を凌ぐ状況にある。この事実は、建造設備の増大による事のみではなく、建造技術力の高度化も加味されて来ていると考えるべきであろう。我が国造船業界が世界の中で優位性を保つには、経営の合理化と共に技術的差別が大変重要な事と考える。戦後から石油危機の発生までの期間は、建造に関する溶接・ブロック建造技術、コンピュータを利用した解析技術を完成し、技術的優位性を大きく発揮出来た。各種専用船の建造開始時点では、この基盤技術を基に各専用船に求められる技術を開発する事により優位性を保ってきた。しかし、石油危機以降の技術開発は、業界全体の建造能力縮小政策などにより、研究開発も縮小し技術の発展が急激に低下している。製造業として厳しい競争を勝ち抜くには、新製品の開発と新技術の進展なくしては生き残れない。現状のごとく既存技術を基に単なる合理化策に依存し、新技術の開発を怠れば何れは競争から落伍することになるだろう。厳しい競争で重要な事は、価格競争に打ち勝たねばならぬが、製品性能に優れた上での事である。大型船舶の製品性能で重要視されるのは、運航採算に最も大きく影響する消費燃料削減策であろう。今後環境保全の面からも化石燃料使用の削減、或いは化石燃料以外を活用する技術の開発は重要な課題であろう。使用燃料の削減実施には、造船技術の基盤である推進抵抗、船体運動の削減を始め、安全性が維持された船体構造の軽量化などにつき、従来実施してきた方法と異なる見地からの取組が必要と思われる。何れにしろ、今後も造船基盤技術の向上と充実に邁進し、経済情勢の変化を予見した新しい海上輸送手段を先んじて考案すると同時に関連技術の構築が望まれる。

今回の技術系統化調査対象とした範囲の資料所在調査を実施したが、昨年度実施のタンカーのケースと同様、建造船は大型構造物で運航寿命が終わると解撤・廃棄されるのが通常である。今回も資料の所在を申し出られているのは、主として船の完成時の航走写真が多い。一部設計図面の保存もあるが、情報の漏洩を嫌い非公開扱い希望が多い。今後大型船舶に関する資料保存のあり方につき検討が必要である。

■謝辞

今回実施した「専用船建造技術発展の系統化調査」に関し大変多数の方々にお手を掛け、ご協力頂いたことに深く感謝致します。

まず、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、業界各社作成の社史類の閲覧は、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年度社団法人日本造船工業会を通じ、実施した資料の所在調査に加え、今年度の調査対象とする専用船に関し、追加再調査を各企業にお願い致しました。次の方々に資料調査・報告内容の確認など種々ご協力いただきました。

株式会社アイ・エチ・アイ マリンユナイテッド	安部昭則氏、森田博行氏、桑田央代氏
今治造船株式会社	永井昌太郎氏、藤田均氏
株式会社大島造船所	堀龍明氏、森茂博氏
尾道造船株式会社	三谷正紀氏、浅野重明氏
株式会社 川崎造船	川尻勝己氏
佐世保重工株式会社	山中康裕氏、安田耕造氏
株式会社サノヤス・ヒシノ明昌	伊藤隆章氏、中藤達志氏
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
株式会社名村造船所	秋山徳昭氏、李旗氏
三井造船株式会社	矢吹捷一氏、渡辺孝和氏、上谷秀雄氏
三菱重工株式会社	青柳彰氏、山口信之氏
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)

付録 図1 戦後の船腹量と我が国造船技術の変遷 (1/2)

年代	1950-1955	1956-1960	1961-1965	1966-1970	1971-1975
海上荷動量X10 ⁶ T 船腹量	550~790	880~1,080	1,250~1,638	1,722~2,482	2,577~3,047
全世界 X10 ³ GT タンカー 比率% バルク 比率% コンテナ 比率% 液化ガス 比率% 竣工量	84,600~100,600 26.8~32.0	105,200~129,800 32.3~34.3	135,900~160,400 32.3~34.3 ~11.7	171,100~227,500 ~37.8 13.6~20.5 ~0.8 ~0.6	247,200~343,200 38.9~43.7 21.8~24.9 0.7~1.8 0.6~0.9
全世界 X10 ³ GT 日本 比率% 韓国 比率%	3,250~4,970 7.1~11.3	6,290~8,380 24.5~22.0	8,060~11,800 21.3~41.4	13,900~21,000 46.8~48.1 0	24,400~34,200 42.6~49.7 0.1~0.9
船台設備等	4~10万トン型建造用船台の拡張				
建造技術				第1期大型建造ドック (20~50万トン)新設	第2期大型建造ドック (50~100万トン)新設
溶接	サブマージーク自動溶接開始	グラビティ溶接採用	片面自動溶接開発	エレクトロスラッグ・ガス溶接	多電極片面自動溶接
加工・組立	ブロック建造法 写真縮尺置書法		曲り板数値展開法 EPM野書装置開発	NCガス切断法 組立コンベヤー導入	NCプラズマ切断法 組立機導入組立ライン形成
生産情報管理				線図データ・NC情報システム化	
鋼材・エンジン等	各船級協会毎の溶接鋼板規格 船級統一(IACS)鋼材規格制定		NK高張力鋼規格制定		IACS高張力鋼規格制定
設計技術 船型性能	造波抵抗理論構築	乾船型提案・プロペラ設計図表作成 船体運動応答解析法(ストリップ法)提案	大口径・動圧過給ディーゼル	肥大船型理論構築 高速船対応船型・プロペラ理論構築 民間各社試験水槽設置	ストリップ法解析構築
船型開発(水槽)	戦災被害水槽の復旧		大型試験水槽設置開始		ストリップ法による 波浪荷重算定
船体構造強度	切欠靱性試験法・脆性破壊伝播特性究明		運動性能試験用角型水槽設置	タンク内液運動によるスロッシング荷重算定 マトリックス法構造解析(FEM等による)	
専用船固有技術 コンテナ船 液化ガス船			低温用鋼板溶接法・ポリウレタンフォーム現場発泡	大倉口船体振れ強度解析 タンク内スロッシング荷重を考慮した構造解析	高速対応船型開発

年代	1976～1980	1981～1985	1986～1990	1991～1995	1996～2000
海上荷動量X10 ⁶ T 船腹量	3,312～3,606	3,461～3,293	3,385～3,977	4,110～4,687	4,859～5,434
全世界 X10 ³ GT タンカー 比率%	372,000～419,900	420,800～416,300	404,900～423,600	436,000～490,700	507,900～558,100
バルク 比率%	45.2～41.7	40.8～33.3	31.7～31.8	31.9～29.2	28.8～27.8
コンテナ 比率%	24.7～26.1	26.9～32.2	32.8～31.4	31.1～30.9	31.0～28.9
液化ガス 比率%	1.8～2.7	2.9～4.4	4.8～5.6	6.0～7.9	8.5～10.8
竣工量	0.9～1.8	1.9～2.4	2.4～2.5	2.6～3.0	3.1～3.5
全世界 X10 ³ GT 日本 比率%	33,900～13,100	16,900～18,200	16,800～15,900	16,100～22,700	25,800～31,700
韓国 比率%	46.9～46.6	49.7～52.2	48.8～42.8	45.3～41.0	39.1～37.9
	2.4～3.8	5.3～14.3	25.0～22.0	21.7～27.3	28.7～38.5
船台設備等	第1次設備削減(平均35%)		第2次設備削減(一律20%)		
建造技術 溶接	CO2半自動溶接多用				
加工・組立			簡易溶接台車導入		
生産情報管理	CAD導入		CIMS開発		
鋼材・エンジン等	IMCOガスキヤリアー低温鋼規格制定	TMCP鋼(高張力、低温用)開発			
設計技術 船型性能	ロング・ストローク・低回転・静圧過給ディーゼル	←船型開発にCFD解析導入 省エネ船型対応船体付加物	ストローク/シリンダ径比大・シリンダ圧増大ディーゼル		
船型開発(水槽)	各所にプロペラキャビテーション試験水槽設置				
船体構造強度	脆性・疲労破壊強度解析確立				
専用船固有技術					
コンテナ船	省エネ船型開発・大倉口変形と倉口蓋固着		TMCP鋼超厚板鋼高張力鋼の溶接効率化		
液化ガス船	超大型・厚板球形タンク建造・溶接非破壊検査 タンク破壊機構解析	省エネ船型開発・大倉口変形と倉口蓋固着 非破壊検査			

付録 表1 世界の海上荷動量の推移（トンマイルベース）

（単位：10億トンマイル）

年	原油	石油製品	鉄鉱石	石炭	穀物	ボーキサイト ・アルミナ	燐鉱石	その他	合計
1965	2,480	640	527	216	449			1,537	5,849
1966	2,629	700	575	226	495			1,613	6,238
1967	3,400	730	651	269	464			1,716	7,230
1968	4,197	750	775	310	407			1,933	8,372
1969	4,853	760	919	385	367			2,090	9,374
1970	5,598	890	1,093	481	475			2,118	10,655
1971	6,555	900	1,185	434	487			2,169	11,730
1972	7,720	930	1,156	444	548			2,306	13,104
1973	9,207	1,010	1,398	467	760			2,562	15,404
1974	9,661	960	1,578	558	695			2,935	16,387
1975	8,885	845	1,471	621	734			2,810	15,366
1976	10,199	950	1,469	591	779			3,035	17,023
1977	10,408	995	1,386	643	801			3,220	17,453
1978	9,561	985	1,384	604	945			3,455	16,934
1979	9,452	1,045	1,649	778	1,026			3,605	17,555
1980	8,219	1,020	1,651	957	1,087			3,720	16,654
1981	7,193	1,000	1,558	1,124	1,131	172	139	3,399	15,716
1982	5,212	1,070	1,478	1,111	1,120	153	142	3,265	13,551
1983	4,478	1,080	1,359	1,074	1,135	145	159	3,206	12,636
1984	4,508	1,140	1,670	1,289	1,157	172	162	3,386	13,484
1985	4,007	1,150	1,702	1,473	1,004	166	156	3,428	13,086
1986	4,640	1,265	1,699	1,558	914	167	155	3,458	13,856
1987	4,671	1,345	1,761	1,622	1,061	180	165	3,495	14,300
1988	5,065	1,445	1,950	1,682	1,117	189	176	3,675	15,299
1989	5,736	1,540	2,012	1,752	1,095	190	173	3,887	16,385
1990	6,261	1,560	1,978	1,849	1,073	205	154	4,041	17,121
1991	6,757	1,530	2,008	1,999	1,069	200	140	4,170	17,873
1992	6,977	1,620	1,896	2,001	1,091	177	133	4,340	18,235
1993	7,251	1,775	2,001	1,949	1,038	184	124	4,532	18,854
1994	7,330	1,860	2,165	2,014	992	180	132	4,788	19,461
1995	7,224	1,945	2,287	2,176	1,160	195	135	5,065	20,187
1996	7,495	2,040	2,227	2,217	1,126	195	133	5,377	20,810
1997	7,830	2,050	2,444	2,332	1,169	205	133	5,662	21,825
1998	7,889	1,970	2,306	2,419	1,064	205	135	5,600	21,588
1999	7,980	2,055	2,317	2,363	1,186	204	133	5,752	21,990
2000	8,180	2,085	2,545	2,509	1,244	208	132	6,113	23,016
2001	8,074	2,105	2,575	2,552	1,322	192	141	6,280	23,241
2002	7,860	2,090	2,700	2,570	1,250	200	141	6,440	23,251
2003	7,880	2,130	2,780	2,670	1,290	207	143	6,665	23,765
2004	7,910	2,160	2,830	2,750	1,340	211	146	6,950	24,297

注) 1. Fearnleys " Review" より作成。

(社団法人 日本造船工業会調査)

2. 2002～2004年は、Fearnleysによる推定値である。

付録 表2 世界の船種別船腹量の推移 (タンカー・バルク・他)

年	世界合計		タンカー		バルクキャリア		その他(貨物船等)		総トン構成比 (%)		
	隻数	千総トン	隻数	千総トン	隻数	千総トン	隻数	千総トン	タンカー	バルク	その他
1965	41,865	160,392	5,307	55,046	1,403	18,757	35,155	86,589	34.3	11.7	54.0
1970	52,444	227,490	6,103	86,140	2,528	46,652	43,813	94,698	37.9	20.5	41.6
1971	55,041	247,203	6,292	96,141	2,760	53,797	45,989	97,265	38.9	21.8	39.3
1972	57,391	268,340	6,462	105,129	3,048	63,487	47,881	99,724	39.2	23.7	37.2
1973	59,606	289,927	6,607	115,365	3,303	72,648	49,696	101,914	39.8	25.1	35.2
1974	61,194	311,323	6,785	129,491	3,491	79,438	50,918	102,394	41.6	25.5	32.9
1975	63,724	342,162	7,024	150,057	3,711	85,548	52,989	106,557	43.9	25.0	31.1
1976	65,887	372,000	7,020	168,161	3,932	91,738	54,935	112,101	45.2	24.7	30.1
1977	67,945	393,678	6,912	174,124	4,313	100,921	56,720	118,633	44.2	25.6	30.1
1978	69,020	406,002	6,882	175,035	4,557	106,545	57,581	124,422	43.1	26.2	30.6
1979	71,129	413,021	6,950	174,213	4,638	108,323	59,541	130,485	42.2	26.2	31.6
1980	73,832	419,911	7,112	175,004	4,706	109,596	62,014	135,311	41.7	26.1	32.2
1981	73,864	420,835	6,986	171,697	4,736	113,084	62,142	136,054	40.8	26.9	32.3
1982	75,151	424,742	7,021	166,828	4,947	119,298	63,183	138,616	39.3	28.1	32.6
1983	76,106	422,590	6,882	157,279	5,073	124,397	64,151	140,914	37.2	29.4	33.3
1984	76,068	418,682	6,647	147,463	5,229	128,334	64,192	142,885	35.2	30.7	34.1
1985	76,395	416,269	6,590	138,448	5,391	133,983	64,414	143,838	33.3	32.2	34.6
1986	75,266	404,910	6,490	128,426	5,274	132,908	63,502	143,576	31.7	32.8	35.5
1987	75,240	403,498	6,490	127,660	5,099	131,028	63,651	144,810	31.6	32.5	35.9
1988	75,680	403,406	6,565	127,843	4,980	129,635	64,135	145,928	31.7	32.1	36.2
1989	76,100	410,481	6,383	129,578	5,061	129,482	64,656	151,421	31.6	31.5	36.9
1990	78,336	423,627	6,609	134,836	5,156	133,190	66,571	155,601	31.8	31.4	36.7
1991	80,030	436,027	6,768	138,897	5,201	135,885	68,061	161,245	31.9	31.2	37.0
1992	79,726	445,169	6,342	138,149	5,894	139,042	67,490	167,978	31.0	31.2	37.7
1993	80,655	457,915	6,847	143,441	5,952	140,915	67,856	173,559	31.3	30.8	37.9
1994	80,676	475,859	6,639	144,595	5,964	144,914	68,073	186,350	30.4	30.5	39.2
1995	82,890	490,662	6,761	143,521	6,165	151,694	69,964	195,447	29.3	30.9	39.8
1996	84,264	507,873	6,878	146,366	6,409	157,382	70,977	204,125	28.8	31.0	40.2
1997	85,494	522,197	6,933	147,108	6,552	162,169	72,009	212,920	28.2	31.1	40.8
1998	85,828	531,893	6,960	151,036	6,413	158,565	72,455	222,292	28.4	29.8	41.8
1999	86,817	543,610	7,051	154,092	6,357	158,958	73,409	230,560	28.3	29.2	42.4
2000	87,546	558,054	7,009	155,429	6,342	161,186	74,195	241,439	27.9	28.9	43.3
2001	87,939	574,551	6,984	156,068	6,476	168,000	74,479	250,484	27.2	29.2	43.6
2002	89,010	585,583	7,294	155,176	6,487	169,954	75,229	260,453	26.5	29.0	44.5
2003	89,899	605,218	7,317	159,958	6,500	173,071	76,082	272,190	26.4	28.6	45.0

(注) 1. Lloyd's Register 資料 (1991年までは"Statistical Tables", 92年以降は
"World Fleet Statistics") から作成。

(社団法人 日本造船工業会調査)

2. 100総トン以上の船舶を対象とする。

3. 1991年までは年央時点、92年以降は年末時点である。

4. バルクキャリアには、兼用船を含む。

付録 表3 世界の船種別船腹量の推移（コンテナ・液化ガス船）

年	世界合計		コンテナ		液化ガス(LPG)		液化ガス(LNG)		総トン構成比 (%)		
	隻数	千総トン	隻数	千総トン	隻数	千総トン	隻数	千総トン	コンテナ	LPG	LNG
1965	41,865	160,392							0.0	0.0	0.0
1970	52,444	227,490	167	1,908	288	1,350			0.8	0.6	0.0
1971	55,041	247,203	231	2,781	327	1,622			1.1	0.7	0.0
1972	57,391	268,340	312	4,310	349	1,887			1.6	0.7	0.0
1973	59,606	289,927	394	5,899	374	2,276			2.0	0.8	0.0
1974	61,194	311,323	412	6,291	399	2,415			2.0	0.8	0.0
1975	63,724	342,162	419	6,244	421	2,999			1.8	0.9	0.0
1976	65,887	372,000	443	6,685	433	3,377			1.8	0.9	0.0
1977	67,945	393,678	507	7,543	493	4,411			1.9	1.1	0.0
1978	69,020	406,002	531	8,674	536	5,530			2.1	1.4	0.0
1979	71,129	413,021	594	9,996	580	6,676			2.4	1.6	0.0
1980	73,832	419,911	662	11,274	631	7,393			2.7	1.8	0.0
1981	73,864	420,835	707	12,292	678	7,959			2.9	1.9	0.0
1982	75,151	424,742	718	12,942	722	8,785			3.0	2.1	0.0
1983	76,106	422,590	786	14,194	750	9,079			3.4	2.1	0.0
1984	76,068	418,682	940	16,913	775	9,889			4.0	2.4	0.0
1985	76,395	416,269	1,011	18,364	776	9,965			4.4	2.4	0.0
1986	75,266	404,910	1,064	19,609	770	9,832			4.8	2.4	0.0
1987	75,240	403,498	1,093	21,089	771	9,784			5.2	2.4	0.0
1988	75,680	403,406	1,115	22,109	772	9,765			5.5	2.4	0.0
1989	76,100	410,481	1,122	22,735	789	10,054			5.5	2.4	0.0
1990	78,336	423,627	1,169	23,900	814	10,656			5.6	2.5	0.0
1991	80,030	436,027	1,249	25,980	877	11,466			6.0	2.6	0.0
1992	79,726	445,169	1,414	29,745	921	12,376			6.7	2.8	0.0
1993	80,655	457,915	1,461	31,662	946	13,113			6.9	2.9	0.0
1994	80,676	475,859	1,603	35,102	948	14,039			7.4	3.0	0.0
1995	82,890	490,662	1,763	38,742	985	14,899			7.9	3.0	0.0
1996	84,264	507,873	1,949	43,097	1,034	15,833			8.5	3.1	0.0
1997	85,494	522,197	2,187	48,859	1,045	16,576			9.4	3.2	0.0
1998	85,828	531,893	2,382	53,242	957	8,364	108	8,755	10.0	1.6	1.6
1999	86,817	543,610	2,457	55,255	978	8,649	113	9,280	10.2	1.6	1.7
2000	87,546	558,054	2,590	60,201	999	9,006	127	10,650	10.8	1.6	1.9
2001	87,939	574,551	2,756	66,767	1,025	9,398	128	10,780	11.6	1.6	1.9
2002	89,010	585,583	2,918	72,873	1,014	9,155	138	11,820	12.4	1.6	2.0
2003	89,899	605,218	3,055	78,435	1,027	9,573	153	13,195	13.0	1.6	2.2

- (注) 1. Lloyd's Register 資料 (1991年までは"Statistical Tables"、
92年以降は"World Fleet Statistics") から作成。
2. 100総トン以上の船舶を対象とする。
3. 1991年までは年央時点、92年以降は年末時点である。
4. 1997年までのLNG船はLPG船に含む

(社団法人 日本造船工業会調査)

付録 表4 世界各国の年度別建造量

建造量: X10³総トン

年	全世界	日本		韓国		欧州		中国		その他	
	建造量	建造量	比率%	建造量	比率%	建造量	比率%	建造量	比率%	建造量	比率%
1970	20,980	10,100	48.1	2	0.0	8,481	40.4			2,397	11.4
1971	24,388	11,132	45.6	16	0.1	10,388	42.6			2,851	11.7
1972	26,749	12,857	48.1	15	0.1	10,589	39.6			3,288	12.3
1973	30,409	14,751	48.5	14	0.0	11,865	39.0			3,779	12.4
1974	33,541	16,894	50.4	313	0.9	12,544	37.4			3,791	11.3
1975	34,203	16,991	49.7	410	1.2	13,070	38.2			3,732	10.9
1976	33,922	15,868	46.8	814	2.4	12,714	37.5			4,527	13.3
1977	27,532	11,708	42.5	562	2.0	10,731	39.0	110	0.4	4,421	16.1
1978	18,194	6,307	34.7	604	3.3	6,625	36.4	31	0.2	4,627	25.4
1979	14,289	4,697	32.9	495	3.5	4,686	32.8			4,411	30.9
1980	13,101	6,094	46.5	522	4.0	2,965	22.6			3,520	26.9
1981	16,932	8,400	49.6	929	5.5	4,129	24.4	30	0.2	3,443	20.3
1982	16,820	8,163	48.5	1,401	8.3	3,865	23.0	135	0.8	3,257	19.4
1983	15,911	6,670	41.9	1,539	9.7	4,455	28.0	185	1.2	3,062	19.2
1984	18,334	9,711	53.0	1,473	8.0	3,497	19.1	329	1.8	3,324	18.1
1985	18,157	9,503	52.3	2,620	14.4	2,958	16.3	166	0.9	2,909	16.0
1986	16,845	8,178	48.5	3,642	21.6	2,061	12.2	258	1.5	2,705	16.1
1987	12,259	5,708	46.6	2,091	17.1	1,977	16.1	286	2.3	2,198	17.9
1988	10,909	4,040	37.0	3,174	29.1	1,714	15.7	254	2.3	1,727	15.8
1989	13,236	5,365	40.5	3,102	23.4	1,959	14.8	326	2.5	2,485	18.8
1990	15,885	6,824	43.0	3,460	21.8	2,849	17.9	367	2.3	2,386	15.0
1991	16,095	7,283	45.3	3,497	21.7	2,890	18.0	310	1.9	2,116	13.1
1992	18,633	7,582	40.7	4,767	25.6	3,406	18.3	361	1.9	2,518	13.5
1993	20,538	8,932	43.5	4,664	22.7	3,734	18.2	737	3.6	2,470	12.0
1994	19,669	8,648	44.0	4,236	21.5	3,203	16.3	1,080	5.5	2,503	12.7
1995	22,652	9,311	41.1	6,218	27.5	3,803	16.8	953	4.2	2,367	10.4
1996	25,837	10,149	39.3	7,380	28.6	4,949	19.2	1,103	4.3	2,255	8.7
1997	25,537	9,883	38.7	8,229	32.2	4,020	15.7	1,480	5.8	1,924	7.5
1998	25,464	10,272	40.3	7,250	28.5	4,445	17.5	1,466	5.8	2,032	8.0
1999	27,822	11,052	39.7	9,161	32.9	4,141	14.9	1,585	5.7	1,884	6.8
2000	31,696	12,020	37.9	12,228	38.6	4,032	12.7	1,647	5.2	1,770	5.6
2001	31,292	12,024	38.4	11,608	37.1	4,124	13.2	1,827	5.8	1,709	5.5
2002	33,383	11,957	35.8	12,967	38.8	4,050	12.1	2,207	6.6	2,203	6.6

注) 1. 1992年まではロイド統計年報

(社団法人 日本造船工業会調査)

2. 1993年から2002年まではロイド統計 "World Fleet Statistics"

付録 表5 主なコンテナ船建造リスト (1/2)

	船名	竣工年	造船所	載貨重量(トン)	コンテナ数(TEU)	Lpp(m)	B(m)	D(m)	d(m)	主機馬力(PS)	航海速度(kt)	備考
1	箱根丸	68. 8.	MHI神戸	16,306	752	175.00	26.00	15.50	9.50	27,800	22.60	北米西岸航路、同型榛名丸
2	あめりか丸	68. 10.	MHI神戸	15,440	716	175.00	25.00	15.50	9.50	28,000	22.40	北米西岸航路
3	ごうるでん がいと ぶりっじ	68. 10.	KHI神戸	15,926	716	175.00	25.00	15.40	9.52	27,500	22.00	北米西岸航路
4	加州丸	68. 10.	HZ因島	15,014	732	175.00	25.70	15.30	9.10	27,000	22.50	北米西岸航路
5	ジャパン エース	68. 11.	IHI相生	15,819	730	175.00	25.20	15.30	9.70	28,000	22.80	北米西岸航路
6	箱崎丸	69. 9.	MHI神戸	19,914	1,178	200.00	30.00	16.30	9.50	34,200	23.20	豪州航路,
7	おーすとらりあり丸	69. 12.	MES玉野	23,312	1,168	200.00	29.00	16.30		34,200		豪州航路,
8	鎌倉丸	71. 11.	MHI神戸	35,406	1,838	245.00	32.20	24.00	12.00	T 40,000X2	27.10	欧州航路、同型、鞍馬丸
9	らいん丸	72. 1.	MHI神戸	35,544	1,950	245.00	32.20	24.00	12.00	T 40,000X2	26.00	欧州航路
10	えるべ丸	72. 3.	MES玉野	35,229	1,842	252.00	32.20	24.40	12.00	D 33,800X1 D 21,600X2	27.48	欧州航路、ディーゼル3機搭載3軸船
11	北野丸	72. 5.	NKK鶴見	35,198	1,838	245.00	32.20	24.00	12.03	T 40,000X2	26.13	同型鎌倉丸
12	東米丸	72. 8.	HZ因島	28,760	1,620	230.00	32.00	19.00	10.53	T 45,000	24.35	ニューヨーク航路
13	ジャパン アンブローズ	72. 9.	IHI相生	28,806	1,569	215.00	32.20	19.00	11.03	T 50,000	25.10	ニューヨーク航路
14	にゅーよーく丸	72. 9.	MHI神戸	33,287	1,884	247.00	32.20	19.60	11.54	T 34,800X2	24.70	ニューヨーク航路
15	TOYAMA	72. 11.	MES玉野	34,005	2,208	259.00	32.20	24.00	11.60	D 31,400X1 D 23,600X2	27.75	
16	黒部丸	72. 12.	MHI神戸	32,343	1,826	242.00	32.20	19.60	11.54	T 34,800X2	25.65	ニューヨーク航路 84年主機換装(26,320PS) 20.5kt
17	にゅーじやーじ丸	73. 3.	MES玉野	33,025	1,887	247.00	32.20	19.80	11.53	34,800X2	26.15	ニューヨーク航路
18	木曽丸	73. 4.	IHI相生	31,771	1,826	242.00	32.20	19.50	11.74	T 34,800X2	25.50	ニューヨーク航路 84年主機換装(26,320PS) 20.5kt
19	べらざの ぶりっじ	73. 7.	KHI神戸	35,583	2,068	248.00	32.20	19.90	12.04	40,000X2	26.56	ニューヨーク航路 HoId9列X7段 OnDk13列X3段 1部4段
20	八洲丸	76. 12.	HZ因島	28,725	1,730	230.00	32.00	19.00	10.58	T 48,000	25.10	北米東岸航路
21	春日丸	76. 8.	MHI神戸	43,896	2,326	237.00	32.20	24.30	12.00	T 40,000X2	26.50	欧州航路 84年主機換装(53,600PS) 23.25kt
22	てむず丸	77. 6.	MHI神戸	33,179	1,950	243.30	32.20	24.30	12.00	42,000X2	26.60	欧州航路 Sulzer 12RND90M
23	Bunga Permail	79. 4.	SHI追浜	49,228	2,770	250.00	32.24	24.15	13.02	30,150X2	23.50	HoId内10列X9段、OnDk13列X3段 同型BUNCA SURIA
24	NEPTUNE DIAMOND	79. 9.	IHI呉	38,429	1,854	216.00	32.20	19.00	12.53	40,200	23.00	IHI Sulzer 12RND90M
25	EVER LOYAL	79. 10.	尾道	28,900	1,800	186.50	30.00	16.20	11.23	22,260	21.00	OnDk4段積、OnDk3段の場合1,556、同型EVER LUCKY
26	きゃんべら丸	79. 10.	MES玉野	29,888	1,570	199.00	32.20	19.00	11.53	30,700	22.31	
27	白馬丸	79. 12.	MHI神戸	29,701	1,854	200.00	32.20	21.60	11.52	27,200	20.95	豪州航路、省エネ船
28	日豪丸	80. 1.	HZ因島	32,023	1,588	200.00	32.20	21.50	11.53	27,300	21.50	超自動化
29	SEA-LAND PATRIOT	80. 1.	MHI神戸	23,308	839 (35&40Feet)	213.00	30.60	16.50	10.00	30,150	22.00	TEU換算1,678個
30	SEA-LAND DEFENDER	80. 3.	MES玉野	23,374	839 (35&40Feet)	213.00	30.60	16.50	10.00	30,150	22.50	TEU換算1,678個
31	ジャパン アポロ	80. 4.	IHI相生	27,500	1,197	183.00	31.20	18.70	11.52	32,400	22.40	北米航路
32	KOREAN CHANCE	80. 12.	KHI神戸	34,271	1,781	198.00	32.20	18.60	12.03	36,700	23.20	同型とらんすわーど ぶりっじ
33	新加州丸	81. 10.	HZ因島	28,615	1,450	207.00	31.20	19.00	11.03	31,300	22.75	
34	大阪丸	81. 12.	MHI神戸	33,185	1,770	195.00	32.20	19.00	11.60	20,400	18.91	南アフリカ、合理化船
35	あめりか丸	82. 3.	MES玉野	32,207	1,676	206.00	32.20	18.80	11.61	35,500	22.27	世界初船橋と機関制御室間光ファイバーによる伝送
36	りっちもんど ぶりっじ	83. 3.	KHI神戸	32,261	1,702	203.00	32.20	18.90	11.52	29,920	22.50	7X10, 13X3、省エネ23%減2年前

付録 表5 主なコンテナ船建造リスト (2/2)

	船名	竣工年	造船所	載貨重量(トン)	コンテナ数(TEU)	Lpp(m)	B(m)	D(m)	d(m)	主機馬力 (PS)	航海速度 (kt)	備考
37	箱根丸	83. 3.	MHI神戸	29,733	1,866	196.00	32.20	21.35	11.50	26,200	20.90	米国西海岸、先代箱根丸に比し積載数2倍・20%省燃費
38	EVER GUARD	83. 6.	IHI呉	34,137	1,954	188.00	32.20	18.65	11.63	24,000	21.00	
39	新米州丸	83. 9.	HZ因島	31,901	1,728	200.00	32.20	21.50	10.50	25,210	24.30	省エネ(Stern Bulb)、速力表示は最大速力
40	ジャパン アライアンス	83. 10.	IHI相生	30,941	1,692	204.00	32.20	18.70	12.62	30,200	22.30	
41	EVER GLORY	84. 2.	尾道	43,310	2,728	216.32	32.20	18.65	11.59	24,000	20.50	OnDk4段積、OnDk3段の場合2,390、同型EVER GLOBE
42	BO JOHNSON	84. 3.	NKK鶴見	34,680	1,905	192.00	32.20	18.80	11.52	18,000	18.70	欧州～南米航路、主機に中速ディーゼルエンジン採用
43	日向丸	84. 5.	NKK津	30,124	1,694	194.00	32.20	21.60	11.50	26,500	20.90	
44	ごうでん げいと ぶりっじ	85. 6.	KHI神戸	35,304	2,069	210.00	32.20	19.50	11.53	22,140	20.00	高近代化第3世代コンテナ船、36kg/mm2高張力鋼
45	ORIENTAL FREEDOM	85. 7.	MHI神戸	43,720	2,510	227.00	32.20	21.10	12.50	33,120	22.40	
46	HANJIN NEWYORK	86. 1.	HZ因島	43,270	2,358	224.00	32.20	19.00	11.73	30,100	22.00	
47	EVER GROUP	86. 7.	尾道	53,239	3,428	253.00	32.20	19.15	11.63	25,760	20.70	Hold内10列X7段, On Dk13列X4段
48	じょーじ わしんとん ぶりっじ	86. 7.	KHI神戸	44,221	3,032	228.00	32.20	21.20	12.53	31,830	22.40	parallel cross lashing system
49	加賀	88. 4.	幸陽	59,533	3,618	273.00	32.20	21.50	13.00	39,000	23.00	
50	La Seine	88. 4.	IHI呉	59,411	3,613	273.00	32.20	21.20	13.02	39,000	23.00	欧州航路 同型 鎌倉
51	はんぱーぶりっじ	88. 12.	KHI坂出	47,539	3,456	261.00	32.20	21.20	12.02	41,600	24.00	欧州航路 高近代化船 (第3種)
52	NEPTUNE ZIRCON	89. 5.	今治丸亀	51,534	3,017	259.20	32.20	21.50	12.52	42,300	24.00	3列倉口蓋
53	AROSIA	90. 7.	MES千葉	55,971	4,000	280.00	32.20	20.90	13.02	55,900	24.50	欧州航路 Hold内 11列X8段, On Dk13列X5段、同型ALSTIA
54	THAMES	90. 8.	幸陽	59,056	3,614	273.00	32.20	21.50	13.00	49,860	24.00	Hold内10列X8段, On Dk13列X5段
55	えるべ	90. 9.	IHI呉	59,045	3,613	273.00	32.20	21.20	11.20	46,800	23.90	
56	EDYTH	90. 12.	常石	15,672	434X43feet Ref Cont	192.00	27.20	14.80	8.30	22,400	21.50	北米東岸～中南米 パナマ運搬、2120n Dk, 222 Hold内
57	NEDLLOYD ASIA	91. 12.	IHI/呉	47,157	3,568	253.00	32.24	23.25	11.00	30,600KW	21.50	ハッチカバレーレスコンテナ船、倉内9段、甲板上4段積み
58	NEDLLOYD EUROPA	91. 12.	MHI神戸	46,985	3,568	253.00	32.24	23.25	11.00	30,600KW	21.50	ハッチカバレーレスコンテナ船、倉内9段、甲板上4段積み
59	JERVIS BAY	92. 6.	IHI呉	59,093	4,038	273.00	32.20	21.20	13.00	46,800	23.40	欧州航路8X10Hold(7X8'6", 1X9'6"), 13X5onDk, Reefer240
60	EVER RACER	93	尾道	57,904	4,229	281.00	32.22	21.25	12.60	46,800	23.00	10X8 in hold 13X5 on dk 同型5隻 MHI神戸で建造
61	NEDLLOYD HONGKONG/ NEDLLOYD HONSHU	94. 2. 95. 1	IHI呉 MHI神戸	51,151 49,980	4,112 4,000	265.00	37.75	23.25	12.50	41,260KW 56,100	24.05	First Post Panamax container Cell Guide extend up to 4 tiers on dk container 13rows in hold 15rows on dk 同型NEDLLOYD HONSHU(MHI神戸)
62	EVER REWARD	94. 3.	MHI神戸	58,912		281.00	32.22	21.25	12.60	46,800	23.20	同型5隻
63	NYK ALTAIR	94. 12.	IHI呉	63,163	4,743	283.00	37.10	21.80	13.00	43,620KW	23.50	12X8 in Hold 15X5 on Dk
64	NYK VEGA	95. 2.	MHI長崎	49,600	4,800	262.00	37.10	21.80	11.20	43,620	25.60	
65	OOCL CALIFORNIA	95. 8.	MHI長崎	67,765	4,960	262.00	40.00	24.30	14.00	66,120	24.60	同型6隻、韓国三星と共同、Lashing Bridge System Cell guide aft mooring Dk
66	NOL TURQUOISE	96. 3.	幸陽	60,209	4,434	281.00	32.20	21.50	13.00	55,100	24.50	11X8in hold, 13X5 on dk
67	EVER ULTRA	96. 6.	MHI神戸	63,388	4,948	268.00	40.00	24.20	12.70	66,120	24.50	
68	LUHE	96. 9.	KHI坂出	68,950	5,250	267.00	39.80	23.60	14.00	58,600	24.50	9X14 in hold, 16X5 on dk
69	P&O NEDLLOYD SOUTHAMPTON	98. 0.	IHI呉	88,669	6,690	283.80	42.80	24.40	14.00	65,880kw	24.50	15X9 inHold 17X6 onDk 65mm HT plate for Dk
70	NYK CASTOR	98. 1.	MHI長崎	72,342	6,148	287.00	40.00	23.90	14.00	72,000	23.00	6Tiers On Dk
71	NYK SIRIUS	98. 4.	MES千葉	72,238	6,148	287.00	40.00	23.90	14.00	72,000	23.00	14X9 inHold 16X6 On Dk

付録 表6 大型LPG船建造実績リスト (1/2)

完成年	船名	貨物	タンク形式	建造造船所	CAP (m ³)	完成年	船名	貨物	タンク形式	建造造船所	CAP (m ³)
1 1960	第一えるび丸	合成ゴム原料 Butadiene	圧力型 (7kg/cm ²)	播磨造船所	1,011	40	岩国丸	LPG	独立方形	HZ因島	8,081
2 1960	第一ぶろば丸	LPG	圧力型 (20kg/cm ²)	HZ桜島	360	41	GUAPORE	LPG	独立半冷却/半加圧	MES玉野	6,200
3 1961	第二えるび丸	LPG	圧力型 (18kg/cm ²)	藤永田造船	609	42	龍田丸	LPG	独立方形	NKK津	70,737
4 1962	ブリヂストン丸	LPG	独立方形	三菱日本重工	28,875	43	天竜丸	LPG	独立方形	MHI長崎	77,290
5 1964	第二ブリヂストン丸	LPG	独立方形	MHI横浜	36,007	44	日山丸	LPG	独立方形	MHI長崎	43,671
6 1965	城山丸	LPG	独立方形	IHI名古屋	46,548	45	コープ サンシャイン	LPG	独立方形	HZ因島	83,126
7 1966	山秀丸	LPG	独立方形	MHI横浜	38,040	46	くりーん りぼー	LPG	セミメンプレン	KHI神戸	76,313
8 1966	第三ブリヂストン丸	LPG	独立方形	IHI名古屋	46,720	47	豊洲丸	LPG	独立方形	IHI相生	39,000
9 1966	第10雄洋丸	LPG/OIL	独立方形	HZ因島	47,372	48	ほうらい丸	LPG	独立方形	HZ因島	77,755
10 1967	和珠丸	LPG	独立方形	HZ因島	51,824	49	光邦丸	LPG	独立方形	IHI相生	80,000
11 1967	龍野丸	LPG	独立方形	MHI横浜	50,542	50	城山丸	LPG	独立方形	MHI長崎	82,513
12 1967	M.P.Grace	LPG	独立方形	IHI名古屋	19,314	51	コープサンライズ	LPG	独立方形	HZ因島	83,126
13 1969	第五ブリヂストン丸	LPG	セミメンプレン	KHI神戸	72,345	52	Nichiyuh Maru	LPG	独立方形	MHI長崎	78,508
14 1970	泉山丸	LPG	独立方形	MES玉野	61,000	53	KELVIN	LPG	独立方形	IHI呉	17,950
15 1970	金山丸	LPG	独立方形	MHI横浜	70,238	54	パシフィック ハー モニー	LPG	独立方形	KHI坂出	75,208
16 1971	WORLD RAINBOW	LPG	独立方形	MHI横浜	70,247	55	CRYSTAL MERMAID	LPG	独立方形	KHI坂出	75,204
17 1971	WORLD SKY	LPG	セミメンプレン	KHI神戸	74,442	56	Sunny Hope	LPG	独立方形	MHI長崎	78,488
18 1972	雄辯丸	LPG	独立方形	HZ因島	73,210	57	Gohshu	LPG	独立方形	MHI長崎	71,913
19 1973	ESSO FUJI	LPG	独立方形	HZ因島	100,213	58	Gas Leo	LPG	独立方形	MHI長崎	78,484
20 1973	ORINOCO GAS	LPG	セミメンプレン	KHI神戸	74,580	59	Gas Roman	LPG	独立方形	MHI長崎	78,478
21 1974	ばれすとうきょう	LPG	独立方形	HZ因島	100,081	60	BERGE COMMANDER	LPG	独立方形	NKK津	78,543
22 1974	SUN RIVER	LPG	セミメンプレン	KHI神戸	75,998	61	BERGE CAPTAIN	LPG	独立方形	NKK津	78,530
23 1974	AMVROSIOS	LPG	独立方形	MHI横浜	70,132	62	TSUGARU GLORIA	LPG	独立方形	KHI坂出	75,352
24 1974	PINE QUEEN	LPG	独立方形	MHI横浜	70,139	63	Sunway	LPG	独立方形	MHI長崎	78,476
25 1974	徳邦丸	LPG	独立方形	MES玉野	61,203	64	Gas Aries	LPG	独立方形	MHI長崎	78,452
26 1975	NEKTAR	LPG	独立方形	MHI横浜	70,162	65	Pacific Century	LPG	独立方形	MHI長崎	78,482
27 1975	OGDEN GENERAL	LPG	独立方形	MHI横浜	70,156	66	NOTO GLORIA	LPG	独立方形	KHI坂出	75,145
28 1976	PIONEER LOUISE	LPG	内部防熱方式	MHI横浜	77,373	67	ARIES DUO	LPG	独立方形	KHI坂出	75,198
29 1976	WORLD CONCORD	LPG	セミメンプレン	KHI神戸	80,026	68	BERGE CLIPPER	LPG	独立方形	NKK津	78,549
30 1976	WORLD CREATION	LPG	セミメンプレン	KHI神戸	79,995	69	BERGE CHALLENGER	LPG	独立方形	NKK津	78,539
31 1977	WORLD VIGOUR	LPG	セミメンプレン	KHI神戸	79,963	70	Sunny Green	LPG	独立方形	MHI長崎	78,507
32 1977	GAS GEMINI	LPG	内部防熱方式	MHI横浜	77,417	71	Inger	LPG	独立方形	MHI長崎	78,464
33 1978	GAS DIANA	LPG	内部防熱方式	MHI横浜	77,292	72	Gas Miracle	LPG	独立方形	MHI長崎	78,503
34 1979	雄洋丸	LPG	セミメンプレン	HZ因島	83,070	73	CO-OP AKEBONO	LPG	独立方形	KHI坂出	75,211
35 1980	玄海丸	LPG	独立方形	IHI相生	80,311	74	MUSASHI GLORIA	LPG	独立方形	KHI坂出	75,179
36 1980	GAS LIBRA	LPG	独立方形	MHI横浜	77,327	75	HEDDA	LPG	独立方形	KHI神戸	34,765
37 1981	BENNY QUEEN	LPG	独立方形	NKK津	70,793	76	Energy Orpheus	LPG	独立方形	MHI長崎	78,498
38 1981	GUARUA	LPG	独立半冷却/半加圧	MES玉野	6,200	77	Gas Al-Mutlaa	LPG	独立方形	MHI長崎	78,475
39 1981	GUARA	LPG	独立半冷却/半加圧	MES玉野	6,200	78	Gas Al-Gurain	LPG	独立方形	MHI長崎	78,462

付録 表6 大型LPG船建造実績リスト (2/2)

	完成年	船名	貨物	タンク形式	建造造船所	CAP (m³)	完成年	船名	貨物	タンク形式	建造造船所	CAP (m³)
79	1993	Oval Nova	LPG	独立方形	MHI長崎	78,470						
80	1994	HELGA	LPG	独立方形	KHI神戸	34,754						
81	1994	JA SUNSHINE	LPG	独立方形	KHI坂出	75,209	註：建造造船所略号：KHI→川重					
82	1995	EEKLO	LPG	独立方形	KHI神戸	37,327		MES→三井				
83	1995	G.Leader	LPG	独立方形	MHI長崎	78,479		MHI→三菱				
84	1995	Gas Scorpio	LPG	独立方形	MHI長崎	78,462		NKK→日本鋼管				
85	1996	ELVERSELE	LPG	独立方形	KHI神戸	37,318		IHI→石横				
86	1996	FLANDERS TENACITY	LPG	独立方形	KHI坂出	84,269		HZ→日立				
87	1996	ANTWERPEN VENTURE	LPG/NH ₃ /VCM	独立方形	HZ有明	39,270						
88	1996	Gas Vision	LPG	独立方形	MHI長崎	78,502						
89	1996	Lavender Passage	LPG	独立方形	MHI長崎	78,452						
90	1997	FOUNTAIN RIVER	LPG	独立方形	KHI坂出	79,527						
91	1997	Toyosu Maru	LPG	独立方形	MHI長崎	78,462						
92	1997	AGRI VIKING	LPG/NH ₃ /VCM	独立方形	HZ有明	18,152						
93	1997	EURO VIKING	LPG/NH ₃ /VCM	独立方形	HZ有明	18,159						
94	1997	Brugge Venture	LPG/NH ₃ /VCM	独立方形	MHI長崎	35,418						
95	1997	Gas Columbia	LPG/NH ₃ /VCM	独立方形	MHI長崎	35,421						
96	1997	Oxfordshire	LPG/NH ₃ /VCM	独立方形	MHI長崎	35,454						
97	1998	Carli Bay	LPG/NH ₃ /VCM	独立方形	MHI長崎	25,302						
98	1998	MAERSK HUMBER	LPG	双胴半冷却・半加圧	MES千葉	20,815						
99	1999	REGGANE	LPG	独立方形	KHI坂出	84,358						
100	1999	Yuhsho	LPG	独立方形	MHI長崎	78,499						
101	1999	Eupen	LPG/NH ₃ /VCM	独立方形	MHI長崎	38,934						
102	1999	Grete Tribune	LPG	独立方形	MHI長崎	78,433						
103	2000	DJANET	LPG	独立方形	KHI坂出	84,310						
104	2000	Gas Diana	LPG	独立方形	MHI長崎	78,888						
105	2000	Sunny Joy	LPG	独立方形	MHI長崎	78,874						
106	2000	MAERSK HOLYHEAD	LPG	双胴半冷却・半加圧	MES千葉	20,815						

付録 表7 LNG船建造実績リスト

	完成年	船名	タンク形式	建造造船所	CAP (m³)
1	1981	GOLAR SPIRIT	MOSS球形	KHI坂出	128,997
2	1983	播州丸	MOSS球形	MHI長崎	125,542
3	1983	尾州丸	MOSS球形	KHI坂出	125,660
4	1983	越後丸	MOSS球形	MHI長崎	125,568
5	1984	琴若丸	MOSS球形	KHI坂出	125,199
6	1984	泉州丸	MOSS球形	MES千葉	125,556
7	1984	出羽丸	MOSS球形	MHI長崎	125,631
8	1985	若葉丸	MOSS球形	MES千葉	125,568
9	1989	NORTHWEST SANDERLING	MOSS球形	MHI長崎	127,515
10	1989	NORTHWEST SWALLOW	MOSS球形	MES千葉	127,697
11	1989	NORTHWEST SWIFT	MOSS球形	MHI長崎	127,427
12	1990	NORTHWEST SNIPE	MOSS球形	MES千葉	127,584
13	1990	EKAPUTRA	MOSS球形	MHI長崎	137,012
14	1991	NORTHWEST SHEARWATER	MOSS球形	KHI坂出	127,574
15	1992	NORTHWEST SEAEAGLE	MOSS球形	MHI長崎	127,452
16	1993	NORTHWEST SANDPIPER	MOSS球形	MES千葉	127,746
17	1993	AMAN BINTULU	メンブレン (GTTマークⅢ)	NKK津	18,927
18	1993	LNG FLORA	MOSS球形	KHI坂出	127,551
19	1993	POLAR EAGLE	SPB独立	IHI知多	89,880
20	1993	ARCTIC SUN	SPB独立	IHI知多	89,880
21	1994	DWIPUTRA	MOSS球形	MHI長崎	127,386
22	1994	AL KHAZNAH	MOSS球形	MES千葉	137,736
23	1994	SHAHAMAH	MOSS球形	KHI坂出	135,496
24	1994	LNG VESTA	MOSS球形	MHI長崎	127,386
25	1994	NORTHWEST STORMPETREL	MOSS球形	MHI長崎	127,443
26	1995	ISH	MOSS球形	MHI長崎	137,304
27	1995	GHASHA	MOSS球形	MES千葉	137,708
28	1996	SURYA AKI	MOSS球形	KHI坂出	19,183
29	1996	AL ZUBARAH	MOSS球形	MES千葉	137,769
30	1997	AMAN SENDAI	メンブレン (GTTマークⅢ)	NKK津	18,800
31	1997	AL KHOR	MOSS球形	MHI長崎	137,354
32	1997	AL RAYYAN	MOSS球形	KHI坂出	135,359
33	1997	AL WAJBAH	MOSS球形	MHI長崎	137,309
34	1998	AMAN HAKATA	メンブレン (GTTマークⅢ)	NKK津	18,800

	完成年	船名	タンク形式	建造造船所	CAP (m³)
35	1998	AL WAKRAH	MOSS球形	KHI坂出	135,310
36	1998	BROOG	MOSS球形	MES千葉	137,725
37	1998	ZEKREET	MOSS球形	MES千葉	137,601
38	1999	AL BIDDA	MOSS球形	KHI坂出	135,270
39	1999	DOHA	MOSS球形	MHI長崎	137,252
40	2000	GOLAR MAZO	MOSS球形	MHI長崎	136,867
41	2000	AL JASRA	MOSS球形	MHI長崎	137,227
42	2000	LNG JAMAL	MOSS球形	MHI長崎	136,977
43	2000	SURYA SATSUMA	メンブレン (GTTマークⅢ)	NKK津	22,500
44	2001	LAKSHMI	MOSS球形	MHI長崎	137,248
45	2002	ABADI	MOSS球形	MHI長崎	136,912
46	2002	PUTERI DELIMA SATU	メンブレン (GTT No.96)	MES千葉	137,601
47	2002	PUTERI INTAN SATU	メンブレン (GTT No.96)	MHI長崎	137,489
48	2002	GALEA	MOSS球形	MHI長崎	136,967
49	2003	GALLINA	MOSS球形	MHI長崎	137,001
50	2003	PUTERI NILAM SATU	メンブレン (GTT No.96)	MHI長崎	137,585
51	2003	PACIFIC NOTUS	MOSS球形	MHI長崎	137,006
52	2003	ENERGY FRONTIER	MOSS球形	KHI坂出	145,385
53	2004	GEMMATA	MOSS球形	MHI長崎	136,985
54	2004	PUTERI ZAMRUD SATU	メンブレン (GTT No.96)	MES千葉	137,590
55	2004	PUTERI FIRUS SATU	メンブレン (GTT No.96)	MHI長崎	137,100
56	2004	LALTER FATMA M'SOUMER	MOSS球形	KHI坂出	145,000
57	2004	MUSCAT LNG	MOSS球形	KHI坂出	145,000

註：建造造船所略号：KHI→川重

MES→三井

MHI→三菱

NKK→日本鋼管

IHI→石播

国立科学博物館 技術の系統化調査報告 第5集

平成17(2005)年3月31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