第Ⅱ部 産業界の最近の動向と溶接工学

Ⅲ 構造製作

1. 船舶・海洋構造物

宮崎 建雄*

Ships and Offshore Structures

by MIYAZAKI Tatsuo*

キーワード：造船，加工，NC 印字，水素切断，溶接，CIM，シミュレーション

3.1.1 日本造船業が直面する国際環境の変化と対応

(1) 国際競争環境の変化

図1は，世界の新造船竣工量およびシェアの推移を示したものである¹⁾。日本造船業は1956年に新造船シェア世界一になって以降半世紀近くにわたってトップシェアを維持しており，世界の現存船舶のうち，わが国で建造されたものは約4割に達する。しかしながら，1990年代に入ってから韓国及び中国の造船業の台頭は著しく，特に韓国は1990年代半ばに大規模な設備投資を行ってからは，1施設当たりの規模で日本を圧倒するようになり，2000年以降新造船建造量において日本を圧倒するようになってきた。また，中国造船業は現在のシェアは10%程度であるが，急激に建造設備能力の増強を図るとともに，VLCC，LPG/LNG 船等いわゆる高付加価値船の分野への進出を積極的に企図している。このように造船の市場は，

1970年代の日本と欧州の二極構造から，グローバルな激戦へと変化してきており，日本はもはや，圧倒的なリーダーの立場にはないと認識すべき状況にある。このような市場環境の変化の中で，一部業界の再編集約に見られるように生産の効率化が進む一方で，技術・技能の円滑な伝承など人的基盤の脆弱性が顕在化しつつあるなど，大きな転換期にさしかかっている²⁾。

(2) 日韓中の本格的競争時代の到来

韓国造船業は1990年代半ばより設備を大幅に増強し，技術力もアップした。従来はタンカーを中心に建造してきたが，コンテナ船で高いシェアを有するようになり，更に近年はガスカリヤやケミカルタンカーにおいて大幅にシェアを高めるなど，ほとんど全ての船種でわが国と競合している³⁾。造船所は3社（現代重工，大宇造船海洋，三星重工）に集約されており，上位3社で国内建造量の7割以上を占め，1企業，1事業所あたりの規模がわが国と比較して圧倒的に大きい。現代重工に現代尾浦，

図1 世界の新造船竣工量とシェアの推移

原稿受付 平成18年3月10日

*正 員 ユニバーサル造船(株) 技術研究所 生産技術センター
Member, Universal Shipbuilding Corporation

表1 世界の主要造船国の生産性・建造能力などの比較

項目	(日本を1とした対比指数)		(海事産業研究所作成資料による)	
	日本	韓国	中国	西欧
主要会社	18社、33工場	9社、12工場	大手7工場	61工場
建造ドック・船台基数(5,000GT以上) <内 VLCC用>	46 <9>	34 <14>の内、実用8	21 <3>	95 <6>
新造船建造能力(2000年現実的最大の <百万GT>	1.00 <12.0>	1.00 <12.0>	0.17 <2.0>	0.50 <6.0>
生産性	1.00	2/3 - 1/3	1/5 - 1/7	3/4
労働時間 <年間>	1.00 <2,120H>	1.18 - 1.42 <2,500 - 3,000H>	1.18 - 1.23 <2,500 - 2,700H>	0.78 - 0.90 <1,650 - 1,900H>
賃金 <1時間当たりドル>	1.00 <25\$>	1/2 - 1/3 <8 - 15\$>	1/6 - 1/12 <2 - 4\$>	0.70 - 1.20 <15 - 30\$>

表2 わが国の造船産業の競争戦略

ビジョン	わが国造船産業が世界の海運造船の中心的役割を担える基盤の確立 (1) 1,000 万総トン規模(世界シェア 1/3)の生産体制の国内維持 (2) 世界の海運造船をリードできる技術力の確立(最高度 LCV 外航船の実現) 目標時期: 2010 年
基本戦略	(1) 競争環境の整備 (2) 「規模の経済」の追求、生産・工期短縮技術の高度化、人材育成・技能伝承による大宗船市場を中心とした総合的競争力の強化 (3) 世界有数のわが国海運・船用工業、大学・研究機関、船級協会等の海事クラスターを主体とした、新たな研究開発アプローチの推進

現代三湖を加えた現代グループは世界の建造量の約2割を占め、個別企業・グループでみた世界の建造量ランキングでは韓国勢が3位までを独占している。

表1は、世界の主要造船国の生産性・賃金などを日本を1とした対比指数で2001年4月に調査比較した事例である²⁾。韓国造船業の生産性については、日本の約2/3ぐらいまで向上している。一方、賃金水準については、日本の約1/2～1/3とみなされている。一般的に製造コストは、人件費、材料費、間接費に大別されるが、日本の業界が行なったコスト比較の試算によれば、2002年時点で1円=10.0ウォンと仮定した場合、コスト全体の約3割を占める工費・間接費につき、日本の方が4%～16%高くなっている。また、コストの1割弱を占める経費・設計費につき、約30%高くなっている。国際競争力という視点からは、コスト競争力に加えて、契約船価と為替により決定されるといっても過言ではない。世界的な新造船市場における最終的な船価の決定要因は、オファする造船国の対ドル為替レートの如何によるところが大きい。現在の為替水準(1,050ウォン/ドル、110円/ドル)では、ドル建て船価差は、約10%前後、韓国造船会社の方が安く有利とみられている。

一方、中国造船業は1990年代の後半から大型設備を相次いで建設・稼働させ、更に計画中的のものもある。現状においては、生産性や技術力の低さ等から中型以下の一部船種に関する「コスト競争」を除き、全ての要素につき日本が有利と考えられるが、新鋭工場の建設、先進造船国からの技術支援、安価、勤勉で豊富な労働力を考え

ば、「コスト競争」を中心に接近してくることが予想される。日本の造船会社へのアンケート調査によれば、5～10年後にはバルカー、タンカー、コンテナ船の大半において日本と競合するようになるとの予想が多数を占めている³⁾。このように、中国の生産性、技術力がアップしてくる2010年以降には、日韓中を中心に今以上に激しい競争が展開されることが予想されている。

(3) 中・長期的視点での課題と対応

表2は、わが国造船産業の競争戦略のビジョンと基本戦略について、造船産業競争戦略会議による提言の骨子を示したものである⁴⁾。

本提言によると、

●「世界の造船市場は、中国が本格的に参入してくることが予想される2000年代後半以降、大宗船を中心に競争は一段と激化することが予想されるものの、わが国造船業が世界の海運造船の中心的役割を担っていく上では、純粋なエンジニアリング機能のみでなく生産と一体となった総合的な技術力が不可欠であり、現状における1,000万総トン程度の生産規模、人員の確保は是非とも必要である。2010年頃における世界の建造需要は、景気変動、需要の先食い等により変化するものの概ね3,000万総トンと見込まれることから、大宗船分野においても諸外国と同等以上の競争力を保持する必要がある。わが国造船業の場合、温暖な気候等の造船に適した地理的条件、全自動化が困難なため前後工程への配慮など高度な状況判断と自己裁量性に対応できる優秀な人的資源、世界有数の造船関連産業及び海運業の存在等他国にない「強み」を数多く有している。これらの強みを生かすことにより、基本的に国内に生産拠点を維持しつつ競争力を強化していくことを目指すべきである。」

●「わが国造船業は、船舶の大型化等の改良技術、工程短縮等の生産技術、高品質化技術等の分野において世界をリードし、競争力を維持してきた。他方、ブロック建造方式の開発、LNG船等の専用船の開発など新しいコンセプトの創出においては、欧米諸国が主導的役割を果たしてきた。わが国造船業が、世界の海運造船の中心的役割を担っていくためには、製品の経済性・安全性・環境保全性等の総合技術力ナンバー1を追求し続けるとともに、日本が革新的な海上輸送・海洋空間利用のコンセプト

トとそれを支える新技術を発信し、長期的にはそれをグローバルスタンダードになしう技術開発力と企画力の強化が必要である。これを先導するプロジェクトとして、製品の全使用期間にわたるトータルコスト削減への関心の高まりを背景に、燃料消費や大気汚染物質排出の大幅削減など、船舶の生涯価値（LCV: Life Cycle Value）を抜本的に高める最高度 LCV 外航船を設計・建造できる技術力を2010年までに確立することを目指すべきである。」

●「これからの5～10年間は、中国を交えたグローバルな競争の本格化、代替需要一巡後の需給不均衡の顕在化、国内的には世代交代が重なり合う時期となることから、2010年を国際競争のターニングポイントとして設定し、それまでの間に必要な対策を早急に講じ万全の体制を整えておく必要がある。」

図2は、日本造船工業会（造工）の新造船建造需要量の予測を示したものである^{4, 5)}。2005年現在の需要予測によれば、'05-'10年の短期需要量は44.8百万総トン、'11-'15年の中期需要量は34.6百万総トン、'16-'20年の長期需要量は33.3百万総トンと予測している。2005年現在の需要予測は、2000年時点の需要予測に対比して大幅な増加がみられ、特に、'05-'10年の短期需要量予測については、実に65%アップものクルイを生じている。海事産業研究所がレポートしている2003年時点の世界の造船建造能力は41.0百万総トンであることから、'05-'10年の短期需要量は供給能力を上回るような異常な需要と言える。

現在の堅調な需要は、急速な中国経済の発展に牽引された世界の海上荷動量の増加によるものであるが、中国経済の状況変化如何では大きな影響を受けることを留意しておく必要がある。また、中国の活発な設備増強、日本および韓国の生産性向上により供給能力は拡大しており、2015年の世界の造船建造能力は45.0-43.0百万総トンに達すると予測されており、2010年以降は慢性的な供給過剰状況は依然続くと考えなければならない。

わが国の造船業は今、低船価受注船の建造時期にさしかかっているなど大きな課題を抱えながら“利益なき繁

忙”の中で経営的には厳しい環境下で操業を営んでいるが、中・長期的には「需要変動への柔軟な対応体制の構築」を留意しながら、前述したような“わが国造船産業の競争戦略”の実現へ向けたチャレンジャーとしての対応が求められている。

3.1.2 将来技術の姿とブレイクスルーへ向けたチャレンジ事例

前述したように、造船業は日韓中の本格的競争時代が到来し、「日本はもはや、圧倒的なリーダーの立場にはなく、チャレンジャーとしての対応が求められている」と認識すべき状況にある。造船産業競争戦略会議が提言しているように、「大宗船市場を中心とした総合的国際競争力の強化」を図らない限り、国内立地を前提としたわが国造船事業としての将来を展望することは難しい。そのためには、製品技術のみならず、他国が簡単には追従出来ないような差別化指向の生産技術を果敢に開発し、経済性との整合性を保ちながら適用拡大出来るか否かがキーとなる。本章では、今後グローバル競争に生き残っていくためにわが国の造船業が注力すべき技術向上分野として、①差別化指向生産自動化の拡大、②造船所 CIM の高度化、を挙げ、志向すべき生産に関わる将来技術の姿を展望する。

(1) 差別化指向生産自動化の拡大：

① 加工

造船における加工は、印字、マーキン・溶断、曲げ作業から構成されるが、わが国の造船業における加工作業は既に究極の状態まで機械化（NC化）が進んでいる。しかしながら、最近の新しい動向として、図3に示すような新しいコンセプトに基づくNC印字装置が開発・実用化され、造船技術における今後の開発指針、即ち「設計・生産における殻機統合化の実践」が具現化されつつある。本装置は、鋼板上を2往復することにより、市販印字装置の5-6倍の能率で、かつ印字文字数に支配されることなく同一のサイクルタイムで印字作業が可能なることを特徴とするコストパフォーマンスに優れたNC印字

図2 世界の造船建造需要量予測

装置である。先進的な CAD/CAM システムの支援と本装置の特徴とを生かし、船殻の印字情報のみならず、艀装品取付情報の NC マーキン拡大等を推進することによって、造船プロセスチェーンにおけるトータルな生産性向上を図ろうとするチャレンジが今急速に進展している。

一方、造船の溶断はプラズマ切断とガス切断が主流であるが、ガス切断の分野で新しい動向が見られる。従来、プロパンガス、LNG、アセチレン等が溶断用に使用されてきたが、これらの代替燃料として水の電気分解で発生した水素ガスを利用する NC 溶断技術が造船へも導入され始めている。熱集中性に優れた水素ガス炎の特徴を生かすことにより、①30% 程度の切断速度向上、②切断品質向上、③切断変形軽減、④燃料コスト低減、および⑤環境に配慮した溶断技術としての利点が評価されつつある。

② 溶接

溶接は造船の現場工作作業の中で最も比重が高い作業であるが、わが国の主要造船所における船殻溶接の機械化率は、最新調査結果によると、業界平均で 42%、最も機械化が進んだ造船所で 64% の水準である。これらの溶接機械化指標は、1999 年から 5 年間、ほとんど変化しておらず、頭打ちの状態が続いている。経済性との整合性を持った究極の自動化率としては、造船においてはこれ

図 3 高性能 NC 印字装置

まで 60% 前後にあるとみなされてきたが、熟練した多くの溶接士が急速にリタイアしていく社会環境の中で、熾烈なグローバル競争にさらされているわが国造船業としては、究極の自動化率そのものをブレークスルー出来る様な、差別化指向の自動化技術を目指す必要性に迫られている。差別化指向の自動化技術を目指すとは言え、技術の新規性、創造性、ライフサイクルの長さだけを追求していたのでは不十分で、競争力強化のためには経済性との整合性を保つことが不可欠である。従って、開発技術の適用ターゲットは自ずと対象物量の多い構造や継手に絞られてくる。

このような視点から残された溶接自動化の対象を考えると、内業ステージにおいては「屋内総組ブロックのダブルハル内溶接」を、外業ステージにおいては「渠中ダブルハル内ロングの突合せ溶接」が最も自動化ニーズの高い対象と考えられる。前者は、狭隘かつ密閉された構造内の溶接であり、自動化設備の搬入搬出やケーブル処理の困難さのため、これまでの造船所近代化推進の歴史の中では、自動化出来るような対象区画とはみなされていなかった。後者は、同様な構造条件に加えて、ルートギャップ適応制御など高度機能を持つ自動化機器しか対応できないという継手条件が自動化を阻害してきたと考えられる。両者とも極めてハードルの高い自動化技術分野であるが、船舶の構造設計技術と溶接技術やメカトロ技術の融合した取り組みが必要である他、ハードウェアに関しては、ソフトウェアウィービングを可能ならしめ、かつ既設マンホールをアクセス出来るような超小型軽量ロボットの開発がブレークスルーのキーワードになるだろう。ダブルハル内の溶接ロボット化技術は、過去 20 数年に渡って蓄積されてきた溶接ロボットのハードウェア技術、CAD/CAM/ロボットリンク運転に代表されるソフトウェア技術、そして船殻構造設計技術等の融合が無ければ実現出来ないようなハードルの高い自動化領域であるが、世界的には、デンマークオデンセ造船所にお

図 4 研究開発・設計と究極の CIM

るロボット実用化の事例や最近では韓国の先進的造船所においても同様な開発が進められており、わが国造船業の将来を展望する上において避けて通れない開発課題であろう^{6, 7)}。

(2) CIM の高度化

究極の造船所 CIM の姿の基本形は、吉川東大総長（当時）が提唱し、日・米・欧共同の研究開発として実施している次世代高度生産システム IMS（Intelligent Manufacturing System）即ち、「知能化された機械と人間の創造性との融合を図りながら、受注から設計・生産・販売までの企業活動全体をフレキシブルに統合・運用し、生産性の向上を図るシステム」であろう。それは、人類がこれまで順次手に入れてきた道具、機械、コンピュータを融合させ、コンピュータを中核として、高度情報処理機能を備えてシステム化し、経済的に可能な究極まで自動化された自律分散型生産システムである。そこでは、コンピュータの中に Virtual Production（仮想生産）を実現して設計・建造方針・見積等を一元化し、製品開発において企画から製品化までの期間を短縮してコスト低減を可能にするコンカレントエンジニアリングを実現させる。そして、企業活動全体をモデル化したビジネスシミュレーションにより最適ビジネス戦略を導き出す⁸⁾。

このシステムは、図 4 に示す技術開発によって確立されるが、Digital Engineering や Simulation 技術など各種要素技術と製品固有技術が CAE・CAD を限りなく高度化し（ノウハウのようなヒューマンウェアをも取り入れる）、編集設計や SBD（Simulation Based Design）を進展させ、また、各種要素技術と生産技術が CAM・FA を高度化し、経済的に可能な技能の技術化が不可欠熟練技能を固定化する。そして、このシステムをより早期かつ効率的に実現した企業こそがグローバル化した市場競争社会で勝者になるのである。しかしこのシステムにおいても、既存製品の改良や新製品の開発は、技術開発によって得られる製品技術を駆使した設計に負う。設計はその支援技術の上記 CAD・CAE を駆使するにしても、研究開発と同様アイデアを積み上げる属人的なヒューマンウェアそのものである。従って、ダントツに差別化された競争力を持つためには、結局上記システムの確立を含め、製品技術・製造技術とも研究開発と設計のヒューマンウェアの質と量が決め手となる。「企業は人なり」である⁹⁾。

さて、わが国の造船業は今、3D CAD/CAM システムを中核とした本格的な造船所 CIM 環境の中で操業を営んでいる。今後、情報処理技術の進歩とともに前述した IMS が目指すような究極の CIM の姿へと漸次進化していくものと想像されるが、生産の分野においては、シミュレーション技術を応用して船舶建造のエンジニアリングや既存の生産管理個別システムの高度化を図るような所謂 SBM（Simulation Based Manufacturing）構築への取り組みが、グローバル競争環境において即効性があるように思

われる。このような観点から、わが国の先進的な造船所においては下記のような分野に SBM 構築の取り組みが既に始まっている。

● 3D CAD システムの全船適用が定着し、船殻・艤装の全船プロダクトモデルの構築が可能となった背景を受けて、船舶建造のエンジニアリング分野への SBM の開発事例の報告が多い。例えば、先行艤装されたブロック搭載の事前シミュレータ¹⁰⁾やブロック楊重計画を支援するシミュレータ¹¹⁾の開発事例などがある。

● 一方、生産管理個別システムの高度化へ向けた SBM の導入事例としては、資源制約付きスケジューリング問題（Resource Constrained Scheduling Problem, RCSP）¹²⁾の近似解法に平準化解の探索機能を付加してシミュレーションし、造船の日程計画システムにおける“自動スケジューリング”を実現している造船所もある¹³⁾。また最近では、造船の日程計画において組立定盤内にブロックを最適配置計画する作業があるが、SA 法（Simulated Annealing Algorithm for RCSP）¹⁴⁾を応用した自動シミュレータの開発事例も報告されている¹⁵⁾。

熟練したエンジニアリングスタッフが高齢化し急速にリタイアしていく造船環境において、これら SBM 構築への取り組みは、わが国造船業が競争力を維持強化していく観点からも当面の重要な開発課題のように思われる。

文 献

- 1) 日本造船工業会：世界の造船竣工量の推移，造船関係統計データ，(2005)。
- 2) 造船産業競争戦略会議：我が国造船産業のビジョンと戦略，提言書，(2003)。
- 3) 日本船主協会/海事産業研究所：日本造船業が直面する国際環境の変化に関する調査研究報告書，(2001)。
- 4) 日本造船工業会：新造船長期需要予測，(2000)。
- 5) 日本造船工業会：新造船長期需要予測，(2005)。
- 6) C.E. Skjoelstrup et al: *Shipbuilding Using Automated Welding Processes*, Welding Review International, Vol.13-1, (1994)。
- 7) S. H. Kim: *Welding Automation Technologies in Shipbuilding Industry*, IIW 2004 International Conference, (2004)。
- 8) 長谷川：製造システム研究最近の動向，先端技術講座講演梗概，(1990)。
- 9) T. Miyazaki: *A New Evolution of Production Technology in Shipbuilding*, IIW 2004 International Conference, (2004)。
- 10) 比翼ら：3次元 CAD による生産シミュレーション，日本造船学会秋季講演会講演梗概，(2004)。
- 11) F. Katayama et al: *An Example of Steps to Modern Ship Production Based on Product Model Technologies*, Proc. of 8th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding (ICCAS'94), Vol.1, (1994)。
- 12) R. Kolisch: *Serial and Parallel Resource Constrained Project Scheduling Methods Revisited: Theory and Computation*, European Journal of Operational Research 90, (1996)。
- 13) 宇野ら：造船工場生産シミュレーション，NKK 技報，No.172, (2000)。
- 14) J.H. Cho et al: *A Simulated Annealing Algorithm for Resource Constrained Project Scheduling Problems*, Journal of the Operational Research Society 48, (1997)。
- 15) 奥本ら：SA 法を応用した組立定盤内のブロック最適配置，日本船舶海洋工学会論文集第 1 号，(2005)。