“コンカレントマリンエンジニアリング” による 高付加価値機関室の設計*

福岡 俊道** 野村 昌孝***

New Design Methodology for *Concurrent Marine Engineering* toward High Competency Engine Room

By Toshimichi FUKUOKA and Masataka NOMURA

Machines and equipments are arranged functionally in a ship's engine room; the generation of the ship's propulsion power, supplying electricity, refrigeration, air conditioning and so on. Such machines and equipments are usually manufactured in different companies. Meanwhile, the rapid development of the shipbuilding technologies in some Asian countries is starting to threaten the marine engineering industries in Japan. In this paper, a new design methodology - defined as *Concurrent Marine Engineering* (CME) - is proposed to cope with this situation. As an actual outcome, CME is aimed at manufacturing engine rooms with high competency through the cooperation among the different Japanese companies related to marine engineering. We wish to provide an environment of *Sustainable Developing Marine Engineering*.

1. はじめに

現在我が国の造船業界は、以前の不況が想像できないような好景気に沸いている。一方、造船業界全体に目を向けると、アジア諸国の造船業の急速な進歩により、かつて日本が圧倒的なシェアを誇っていたという状況が大きく変化したことは周知の通りである。日本からの技術の輸入、自国における技術開発など様々な要因が考えられるが、安い労働力に支えられた低コスト生産がもっとも大きな原因であると考えられる。同じような現象は、家電業界でも見受けられる。また自動車業界においても、いつか同様な現象が起こりうる可能性は否定できない。このような低価格競争に対抗する手段は、コスト削減と高付加価値製品の開発の2つに集約できると考えられる。例えば薄型の液晶テレビなどは後者に重点を置いた商品である。ところが造船分野では、我が国が得意とするハイテク技術を商品開発に対して駆使できる割合は、家電製品に比べてかなり低い。したがって、ハイテク技術のみに依存した製品開発では、アジア諸国との競争において自ずから限界が来ると考えられる。

本報告では、以上のような状況の打開策のひとつとして“コンカレントマリンエンジニアリング (*Concurrent Marine Engineering* 略称CME)”という新しい設計概念を提案する。CMEは、機関室あるい

は船舶全体として高い付加価値を有する製品を開発するための概念であり、「相互協力」という日本人固有のメンタリティを、企業等の枠を越えて拡大することを原動力としている。すなわち本稿で提案するCMEは、マリンエンジニアリング分野におけるコンカレントなエンジニアリングという、他国がまねのできない設計概念を確立することによって、「効率性」、「安全性」、「低環境負荷」を同時に実現できる機関室、さらには船舶全体の提供を目指すものである。

2. コンカレントエンジニアリングとマリンエンジニアリング

コンカレントエンジニアリング (*Concurrent Engineering* CE) は、以下に示すような同時並行型問題解決手法である⁽¹⁾。

- 1) 製品開発における各工程のエンジニアが、協力し合い同時進行でその作業を行う製品開発手法
- 2) 製品企画、設計、製造、販売、サービス、使用済後処理の一連の流れをすべて考慮して、開発の各段階でそれぞれの技術者たちが協力し合いながら開発を行う。

CEは機械、電機、自動車をはじめとする様々な製造業に適用されて大きな成果を上げている。また、コンピュータのソフトウェア開発においても、CEの概念は効率的なプログラム開発に対して極めて有効である。例えば、大きなプログラムは様々な役割を果たす小さなプログラムの集合体である。その場合、モジュールあるいはサブルーチンという形に分割された小ブ

*原稿受付 平成 19 年 10 月 4 日

** 正会員 神戸大学海事科学研究科 (神戸市東灘区深江南町 5-1-1)。

*** 神戸大学海事科学研究科 (神戸市東灘区深江南町 5-1-1)。

図1 CMEのイメージ

プログラムを結びつけるインターフェースを定義しておけば、プログラムの同時開発、すなわちCEの実現が可能となる。CEはマリンエンジニアリング関連産業においても広く適用され、各社の製品開発に対して大きな成果を挙げている。本稿で提案する“コンカレントマリンエンジニアリング (CME)”は、異なった企業で製造される様々な機関室配置の機械・機器・装置類を対象として、企業の枠を越えてCEの概念を適用することにより、付加価値の高い機関室を提供することを目的としている。図1にCMEのイメージを示す。

3. “コンカレントマリンエンジニアリング”の概念と効用

3. 1 Concurrent Marine Engineering (CME) とは 機関室の性能は、機関室を構成する多くの機械・機器類の個別の性能だけでなく、それらをシステムとしてとらえた場合の総合性能によって評価すべきである。すなわち、個々の機器類の単独性能が高くても、システムとして考えた場合、総合性能を向上させるためには相互のマッチングがキーポイントとなる。“コンカレントマリンエンジニアリング (CME)”では、機関室の個々の機器のマッチングを考慮することにより、機関室全体の総合性能を高め、「効率性」、「安全性」、「低環境負荷」を同時に改善し、国際競争力の高い高付加価値を有する機関室システムを提供することを目的としている。CMEは具体的に以下の2項目から構成される。

1) 総合性能 (効率性, 安全性, 低環境負荷) の高い機関室の提供 開発予定の機械, 機器類の主要な性能や特性を, CMEに参加する企業に対して適切な時期に限定的に情報公開することにより, 互いの開発コストを抑えつつ, トータル性能の高い製品の開発が可能となる。その結果, 国際的競争力の高い機関室システムの提案が可能となる。

2) 造船技術と機器製造技術の連携と融合 主機・プロペラ軸系をはじめとする機械・装置類は, 基礎が剛体ではない機関室に設置される。それらが船体を通

して波浪等による外力を受けた場合の強度及び安全評価を実施することにより, “船体剛性と船の揺れを考慮した機器・装置の設計方法”を確立する。

本稿で提案するCMEの主役はマリンエンジニアリング関連企業である。しかしながら, 開発予定あるいは途上の製品の性能の公開は, 企業にとって大きなリスクを伴う。そこで, 営利を目的としない中立の第三者機関によるコーディネートが不可欠となる。

3. 2 CMEの問題点 本稿で提案するCMEの概念がこれまで実現できなかった理由は, つぎのように考えられる。主機をはじめとする機関室の機器類及びプロペラに至る軸系は, それぞれ別のメーカーが製造しているケースが多い。一方造船所は, 自社で機械や装置の一部を製造しているケースも見受けられるが, 基本的にクライアントである船会社の要望に応じた機械, 装置, 機器を用いて船舶を製造する役割を担っている。これに対して, 自動車の製造は多数の子会社の協力で成り立っているが, 製品開発に関する基本的なコンセプトは親会社が決定権を持っており, コンカレントエンジニアリングを実行しやすい環境にある。

3. 3 CMEがもたらす効果 CMEを導入することにより, 以下のような効果が期待できる。

- 1) 国際的にも例がないと思われる“企業の枠を越えた同時進行型のマリンエンジニアリング”を導入することにより, わが国のマリンエンジニアリング関連産業全体が持続的に高い競争力を持つことが期待できる。わが国には固有の“協力の精神”があり, それを生かすことにより企業の壁を超えたコンカレントなマリンエンジニアリングを実現できる可能性を秘めている。
- 2) 個々の機械・機器類の性能評価から, システム全体に要求される複数の項目を同時に考慮した設計開発が可能となる。

以上の考え方は, 近年様々な分野で支持されつつある“アナリシス (Analysis) からシンセシス (Synthesis) へ”という概念と合致するものである。この概念をさらに推し進めることにより, analytical でしかも synthetic な手法を創出することが期待できる。マリンエンジニアリングは, 機械, 電気, 制御, エネルギー, 環境, 材料, 情報通信をはじめとする多くの分野を統合することによって成り立っている。基本的には工学を基盤とする部分が多いが, その中で学際的 (interdisciplinary) な製品開発手法あるいは評価手法を創出することにより, 高い付加価値を有する機関室の提供が期待される。

3) 「効率性」、「安全性」、「低環境負荷」を同時に実現することにより, 国際的に高い競争力を持つ機関室システムの提供が可能となる。

4) プロペラ軸系を含む機関室に設置される機械・機器

類について、機関室への設置の影響に加えて運航状態を考慮して設計することにより、付加価値の高い機関室システムを提供できる。

4. “コンカレントマリンエンジニアリング”の実現に向けて

4. 1 CMEの実現可能性と問題点の検討 CMEを実施する場合の問題点を産学官共同で洗い出し、実現の可能性を検討する。その際もっとも大きな問題は、製品に関する情報公開が可能な範囲の調査である。また、CMEを実施するための基礎資料を収集する。具体的には、マリンエンジニアリング関連企業に対してアンケートを実施することにより、機関室に設置された機器の相互依存性を“相互影響係数”を導入して定量的に評価する。その結果に基づいてCMEの導入効果が高い機器類を選定する。

4. 2 CMEの実施形態の一例 CMEの導入が可能でかつ有効であると判断された場合、例えば以下のような形態で実施する。

- 1) ある機械・装置・部品に関して性能改善を目指すメーカーは、それに伴って起こると考えられるインターフェース部分の入出力量の予測値を、可能な範囲でCMEに参加するメンバーに限定的に情報公開する。
- 2) その機械・装置に接続されている、あるいは関連部品を製造しているメーカーは、新しい設計によって発生する入出力の予測量が自社製品の性能に及ぼす影響を評価し、必要に応じて設計を見直し改善する。
- 3) 1), 2)の過程を繰り返すことにより、ある機械・装置の開発に伴って起こりうる問題点を関連するメーカー間で情報交換しながら各社が担当する機器を同時進行（Concurrent）で設計開発する。

4. 3 機関室の機器類の相互依存性の定量的評価 CMEの導入効果の高い機械・機器・装置類の選定は、自動車設計等において使用されている「性能項目と構成要素の関連相関図⁽²⁾」等と類似の図表を用いて実施する。

表1 機械・機器・装置間の相互影響係数

	Machine A	Machine B	Equipment A	Equipment B
Machine A		0～3	0～3	0～3
Machine B	0～3		0～3	0～3
Equipment A	0～3	0～3		0～3
Equipment B	0～3	0～3	0～3	

- 1) 機関室内の機械・機器・装置類をリストアップし相互関係図を作成する。
- 2) 機器間に関連の強さを「相互影響係数」を導入して定量的に評価する。

マトリクス形式の表を使用し、相互の影響の大きさを例えば4段階（0～3）で評価する。表1に一例を示す。アンケートは関連企業の協力を得て実施する。

- 3) 相互影響係数の大きさにより、CMEの対象となる機器類とその範囲を設定する。

現実には、機関室に存在する機械・機器類のすべてをCMEの考え方に従って開発することは不可能である。そこで、まず相互影響係数の高い機械・機器の中からモデルケースを設定して、大学・研究機関の協力を得て仮想的な開発を開始する。調査は大学・研究機関が中心となって、造船所、船用原動機メーカー、補機類メーカー、部品メーカーなどの協力を得て実施する。

4. 4 総合性能の高い機関室を目指して 前節で示した手法は、3.1節で紹介した「総合性能（効率性、安全性、低環境負荷）の高い機関室の提供」の具体化である。もう一方の「造船技術と機器製造技術の連携と融合」は船舶の運航形態を考慮に入れたCMEである。後者に関連して、付加価値の高い機関室を提供するために有効と考えられる項目を以下に紹介する。

(1) 運航状態における機器性能予測と機関室への設置の影響評価によるCMEの実現

- 1) 強度・剛性関係

機器を機関室に設置した状態における強度・剛性の評価

主機・中間軸・プロペラ軸に対して、軸受と床の剛性を含めた強度・剛性評価

例：機関室から船尾に至る床の剛性を考慮した主機・プロペラ軸系の解析

- 2) 振動関係

機関室あるいは船体全体をモデル化した解析

- 3) 熱関係

関連機器間の熱交換に関する熱解析

例：主機、発電機用電動機の冷却システムに関連する熱交換器、ポンプ、各種配管

- 4) 材料関係

新技術を実現するために必要となる材料性能の評価

(2) 高温・低温環境における機器の性能および損傷予測評価

- 1) 機器の性能向上に伴う作動流体の高温化により発生する問題、損傷の予測と評価
- 2) LNGに関連して必要とされる低温技術

LNG船の大容量化に伴う問題（ポンプ、パイプライン他）

低温環境において発生する周辺機器を含めた熱伝導、熱応力、材料強度の問題

(3) 熟練作業不足の解消を目指した計算力学の導入⁽³⁾

熟練作業者に依存している製造・組み立て・検査過程における“高度な非線形問題”の解決に関して、可能な部分について計算力学的手法の導入によって対処できる手法の確立

(4) 運航状態における機器のリスクアナリシス

- 1) ロバストな機関室の設計
- 2) 操作ミス、作業ミスに対するロバストさの定量評価

4. 5 コンカレントマリンエンジニアリング研究会（CME研究会）

CME研究会の構成員は、マリンエンジニアリング関連企業に勤務する技術者・研究者及び大学、公立の研究機関の研究者である。当面の役割は、CMEの実現性と波及効果の検討である。研究会が充足する迄の準備は大学側で担当する。具体的な検討項目として、「機関室に配置されている機器をリストアップ」して、「機器相互の関連の強さである“相互影響係数”をアンケートによって調査」する。

例：主機の出力、トルク、回転数、排気温度等の基本性能に関する項目に加えて、ポンプ容量のような関連補機に対して要求される性能など

以下に研究会メンバーのイメージを示す。大学・研究所の研究者は、人材が確保できればすべての分野に参加する。

1. 主機・・・大型ディーゼル、蒸気タービンの設計担当者
2. 中速ディーゼル・・・中速ディーゼルの設計担当者
3. 軸系・・・プロペラメーカーの設計担当者
4. 発電機・・・発電機メーカーの設計担当者
5. ボイラ・・・補助ボイラ、主機タービン用ボイラメーカーの設計担当者
6. ポンプ・・・冷却用ポンプ、給水ポンプ、L Oポンプなどのメーカーの設計担当者
7. 熱交換器・・・各種熱交換機、造水器メーカーの設計担当者
8. 油清浄機
9. その他補機・・・冷凍機他
10. 船体強度・剛性・・・造船所の船体設計担当者
11. 燃料・潤滑油、軸受、シール材料、その他の部品・・・各部品メーカーの設計担当者および造船所の艤装担当技術者

5. まとめ

本稿で提案する“コンカレントマリンエンジニアリング”は筆者の造語であり、実現性に関して様々な問題点を含んでいる。しかしながら、アジア諸国における造船産業の急速な発展に対抗するためには、他の分野の例を見るまでもなく、高付加価値の製品の提供が有効な手段と考えられる。その目的達成のために、我が国のマリンエンジニアリング関連産業の「高い技術力」と「日本人固有の相互協力の精神」が大きな原動力になると考えられる。今回は機関室に焦点を絞ったCMEを紹介したが、最終的には船舶全体にCMEを拡大することができれば、“持続的に発展可能なマリンエンジニアリング”の実現が期待される。

参考文献

- (1) 有泉, コンカレントエンジニアリングによる設計の改革術, (2000), 38-39, 日刊工業新聞社
- (2) 三浦, 福田, 自動車設計と解析シミュレーション, (1990), 1-6, 培風館
- (3) 福岡, マリンエンジニアリングにおける安全管理に対する計算力学の可能性, 日マリ学会誌, (2001-3), 36-3, 181-187.