

MMRC
DISCUSSION PAPER SERIES


No. 324

人工物の複雑性とビジネス・システムの
不確実性がもたらす複雑性へのマネジメント
—造船産業の事例—

京都産業大学 大学院マネジメント研究科
東京大学ものづくり経営研究センター特任研究員
具 承桓

国土舘大学 政経学部
東京大学ものづくり経営研究センター特任研究員
加藤 寛之

2010年9月

 MONOZUKURI 東京大学ものづくり経営研究センター
Manufacturing Management Research Center (MMRC)

ディスカッション・ペーパー・シリーズは未定稿を議論を目的として公開しているものである。
引用・複写の際には著者の了解を得られたい。

<http://merc.e.u-tokyo.ac.jp/mmrc/dp/index.html>

Management of Complexity Caused by Complexity in
Large Scale Artificial and Uncertainty of Business Systems:
The Case of Shipbuilding Industry

KU, Seunghwan
Kyoto Sangyo University

KATO, Hiroyuki
Kokusikan University

Abstract

This paper studies the complexity management in large scale artificial which has the complexity in product development process and uncertainty of business systems.

Keywords

Complexity, Uncertainty, Large Scale Artifact, Shipbuilding Industry, Business System,
Architectural Innovation

人工物の複雑性とビジネス・システムの不確実性 がもたらす複雑性へのマネジメント —造船産業の事例—

具 承桓

京都産業大学 大学院マネジメント研究科

東京大学ものづくり経営研究センター特任研究員

加藤寛之

国土舘大学 政経学部

東京大学ものづくり経営研究センター特任研究員

要約

本稿では、大型人工物である船舶および造船産業を分析対象にし、製品開発の複雑性を規定する製品システム側の複雑性とビジネス・システム側の不確実性の両面から検討し、複雑性へのマネジメントという観点で中手造船メーカーの企業戦略について分析を試みる。

キーワード：複雑性，不確実性，大型人工物，造船産業，ビジネス・システム，アーキテクチャルイノベーション

1. イントロダクション

1.1. 問題意識

本稿では、大型人工物の開発および生産における制約条件やその異質性、特殊性に起因する複雑性と、ビジネス・システムそのものに内在する不確実性、これらの二つの要因が引き起こす製品開発およびビジネス・システムの複雑性を明らかにする。したがって、大型人工物の1つと考えられる船舶（という意味で小型船は除く）と中手造船メーカーの戦略的行動について複雑性へのマネジメントという観点で考察する。

人工物はヒエラルキー構造のシステムとして捉えられる（Simon, 1969）。そのシステムは多様な市場ニーズの変化や社会・技術的な要求の変化、関連システムの変化、開発者の意思と行動などの影響を受けて変化していく。このようにして、人工物はより高度なシステムへ変わっていく。一方で、あるシステムに対するマーケットからのパフォーマンスへの期待値は一定水準までは常に上昇する。逆に、システムパフォーマンスの向上の動きは、常に技術と組織マネジメントの複雑性をさらに増幅させる。その複雑性が組織能力の限界を超えてしまうと、急速に競争力の低下を招くことになる（中馬, 2004 ; 中馬・橋本, 2007）。

上記を踏まえると、現代企業が抱えている複雑性の問題には大きく分けて2つの側面があることがわかる。第一に、技術の進化プロセスに伴う、製品システムにおける構成要素間の関係変化、すなわちアーキテクチャ（Ulrich,1995）の問題として把握できる。これは製品の複雑性を規定する要因となる。第二に、その製品の開発プロセスを包含するビジネス・システムの特質に起因するものである。産業分業構造の特徴や企業間取引関係の特質から生まれる不確実性が製品開発の複雑性をさらに増幅させる。

複雑性による技術的・組織的負荷に対する組織的な対応は、大きく二つのアプローチがとられてきた。第一のアプローチは、組織間と組織内の部門間のタスク（設計や生産など）分業とアウトソーシングである。この手法は伝統的なものであるが、企業が成長し、関連業務が拡大していく状況下において、次第に増幅する組織管理面での複雑性を克服する方法として捉えることができよう。確かに分業の仕切りは技術の特徴や製品アーキテクチャの性質によって規定される傾向がある（Ulrich,1995 ; Sanchez and Mohoney, 1996）。しかし、必ずしも技術と組織間構造が対応関係にならず、組織能力がどの程度蓄積されているかと、複雑性がどの程度でありどこに存在するかによって、組織間の調整の方法や負荷の程度、関係性が異なる場合もある。その場合、複雑性への対応力は複雑性をどのフェーズで、どの資源を使い、どのように処理するか、またそれに資源配置に伴うコストと能力の幅・深さに左右される。すなわ

ち、複雑性へのマネジメントは組織能力（情報処理・問題解決能力とフレキシビリティ、資源）との関数となる。

第二のアプローチは、設計学ベースのアプローチによるシステムのモジュール化である。これは、システムの構成要素を相互依存性の高い単位ごとにまとめ、全体システムと相互依存関係をなるべく隔離しようとするアプローチである。

上記二つのアプローチをとったとしても、原子や分子などの超極小単位の設計・加工が必要とされるサイエンス型産業では、開発者の認識不足や情報処理能力の制約によって、設計レベルで解の発見すら困難な場合もある。また、超大型人工システムでみられるように、生産側の制約要因やビジネス・システムの特質（取引関係やパワー関係など）を背景とする非常に大きな不確実性（船価や材料費、為替等の急激で大幅な変動）によって、設計レベルでの解の実現ができず、代替案の模索が余儀なくされることもある。背景には、大型もしくは超極小型システム（製品）の場合、技術の発展・拡張・応用の有り様が一般的な製品と異なるという事情があるからである。

本稿では、大型人工物である船舶および造船産業を分析対象にし、製品開発の複雑性を規定する製品システム側の複雑性とビジネス・システム側の不確実性の両面から検討し、複雑性へのマネジメントという観点で中手造船メーカーの企業戦略について分析を試みる。

1.2 船舶システムと造船産業の特徴

船舶という製品システムは、一般的に「海上での貨物と人の搬送機関」として定義できる。当然ながら、他の輸送機関と同様に、海上で安全かつ効率的な輸送が求められる。そのため、設計上、その構造と機能は様々な自然・海上環境やその変化に適合しなければならず、その大きさは他の人工物をはるかに超える規模である。例えば、パナマ運河を通るパナマックスという規模の船種でも幅 32m、積載重量で 6~8 万トンであり、タンカーは 25 万トンを超えるものも少なくない。規模の大きさは重量の増加に繋がると同時に、構成部品の数・種類の増加を意味する。船舶は鉄鋼やエンジン、ボイラー、電気機器、電線、パイプ、バルブ、スクリュー、塗料など、数多くの部材によって構成されている。例えば、積載重量 24 万トンの 310m のタンカー船の場合、約 3 万トンの鋼材を使うと同時に、約 80,000 個にのぼる船体部材で構成される（日本造船協会、2008）。

このように、船舶のような大型人工物の製品設計や生産プロセスにおいては、規模の大きさと構成部品の多さ、重さ、容積において、一般的な製品とは異なる様々な問

題が制約条件となり、その制約条件が加工や搬送、組立などの様々な問題を引き起こすため、設計・生産プロセスで考慮すべき要因が複雑に絡み合うことになる。おそらく設計時に考慮すべき要素が多いことを一つの背景として、業界慣行として構成機関部品はカタログ製品として船用メーカーより購入されている。この点で、構成部品はオープンアーキテクチャ製品として見なすことができる。また、輸送機関であるため、安全性などによる規制条件のゆえに、海上輸送機関ならでの自然環境の問題や安全、規制などが船舶作りの制約条件となって設計および生産の複雑性を増加させる。

さらに、造船産業の場合、基本的には一品生産の代表的な受注産業でありながらも、造船所が埋め込まれたビジネス・システムにおいては、常に船価や材料費、為替が大幅に変動するという、大きな不確実性に直面している産業である（船価の変動幅は100%を上回る）。これに加えて、船舶の所有者と運用者、利用者が分離しており、開発・生産者は思惑の異なる多層の顧客の要望に直面せざるを得ない。こうしたビジネス・システムに内在する複雑性が船舶開発の複雑性を増加させる。

以下では、まず、本稿の分析視点を提示した上、船舶開発における複雑性や制約要因とビジネス・システムの性質を検討した上で、A社の事例を分析する。

2. 分析視点：製品システムの複雑性とビジネス・システムの不確実性

2.1 複雑性の本質と増幅性、そして不確実性

複雑性（complexity）をどう取り扱うかに関する問題は、近代科学の台頭以来、長年に渡りあらゆる分野で重要なテーマとして議論されてきた。

とりわけ、本書および本稿が注目する人工物の複雑性の問題の分析は、H. A. Simon（1969）の“The Sciences of the Artificial”（邦訳『システムの科学』）を嚆矢とする。Simonによると、製品や技術、制度のような人間によって創造された多様な人工物は、ある目標（目的）と機能、機能する環境に適応する形に設計されたシステムとして把握することができる。そのため、システムは複数の要素によって成り立ち、構成要素間の相互依存性の高低によって複雑性が生じる。つまり、複雑性の本質はシステム構成要素間の相互依存性にほかならない。

システムは不変ではなく、時とともに構成要素及びその関係性が変化していく。市場環境やニーズの変化、技術変化、社会変化などの影響を受けながら、当初より複雑なシステムへと変わっていく。複雑なシステムは「多様に関連し合う多数の部分から成り立つシステム（Simon, 1969, pp.183-184, 邦訳,219 頁）」である。システムが複雑

になる（システムの複雑性が増加する）とは、第一にシステムを構成する要素の数が増えること、第二に構成要素間の関係性が増加・深化することを指す。

複雑性増加の背景には、技術そのものの本来的性質が関係している。人工物（＝製品システム）の基盤となる技術そのものの内部には、複雑化のメカニズムが内在しているためである。例えば、Arthur（2009）によれば、「技術」とは基本的なコンセプトを物理的な形態に変換するものであり、進化プロセスの中で複雑化していく属性があると指摘する。より良い構成部品や材料への代替・改善を繰り返しながら、当初の物理的な形態（form）は時とともに変化していく。また、既存システムのパフォーマンスの向上、予測された環境変化への対応、広い範囲への対応、安全性と信頼性の強化といった要請に応えるため、技術はサブシステムやアセンブリーを追加することになる。一方、製品内部での技術代替や改善、サブシステム追加が積み重なると、既存のサブシステム同士の間や部品同士の間で進化ペースの不均衡が生じ、それに由来する技術のボトルネックが発生する。結果、Rosenberg（1982）の指摘するような、システムの内部に技術の不均衡を克服しようとする焦点化装置が働くのである。

こうした構造的深化（structural deeping）によって、技術はさらに複雑化するようになる（Arthur, 2009: p135）。還元すれば、技術・製品の進化プロセスに伴う、製品システムの構成要素間の関係変化による複雑化である。これは製品開発マネジメントにおいて直面する複雑性を規定する。この点で、Arthur の議論は、製品機能および構成要素間の相互依存関係性に注目するアーキテクチャ論の議論（e.g. Ulrich, 1995）に繋がる。つまり、人工物の設計・開発・生産の複雑性は製品を構成する部品間の関係性と技術特性によってもたらされる。さらに、技術の発展経路はあるパラダイムの中で過去の発展経路に依存しながら継続的に発展するものもあれば、不連続的な発展経路を辿る場合もある（Dosi, 1982）。これらの技術そのものに内在する性質によって製品システムの複雑化が引き起こされるのである。

一方、人工物の複雑性は技術属性や製品アーキテクチャ的な特性だけでなく、当該製品事業がおかれているビジネス・システムの特質にも起因し生じることがある。例えば、産業分業構造や組織間取引の特質から生まれるプレイヤー間のパワー関係や予測不可能性による不確実性などが、製品開発プロセスやマネジメントの複雑性をさらに増加させることもある。Pisano（2006）によれば、製薬やバイオテクノロジー産業のようなサイエンス型産業は、不確実性や複雑性、学際性、変化の速さという特質を有している。すなわち、極めて多様な領域の異なるレベルの知識を統合しなければ、新薬や治療法の開発は困難である。また、開発成果への期待・予測が確立分布のよう

に示すことができないほどに不確実性が高い。さらに、サイエンス領域とビジネス領域では求められる基準が完全に異なるため、不確実性への対応をビジネスの基盤と知識の複雑性と同時にマネジメントすることが求められると指摘する。

2.2 複雑性の軽減へのマネジメントと大型人工物の異質性

ところで、システムの複雑性はコントロール可能なのだろうか。製品開発およびそのプロセスにおける複雑性問題をどのように対応し、吸収・軽減するかは、長年のマネジメント課題であった。複雑性への対処（負担の軽減）は、複雑性に対する組織の処理能力（問題解決能力とフレキシビリティ）とコストの関数となる。つまり、複雑性をどのフェーズで、どの資源を使い、どのように処理するか、またそれに資源配置に伴うコストと能力の幅・深さに左右されると考えられる。

その点で、伝統的な **Make or Buy** 議論（特に、取引コスト論, **Williamson, 1975, 1981**) や企業の境界設定, アウトソーシング問題も（自社内の開発や生産などの業務を外部組織に切り離すことという点で）、同様な文脈で調整コストを軽減することによる複雑性への対応として解釈できよう。また、組織の複雑性問題に関しては、**Lawrence and Lorsch (1967)** が組織内の部門間のコンフリクト問題を分化と統合という観点から論じているし、**Galbrith (1973)** は部門間の調整の複雑性の克服のためのマトリックス組織を提案していた。また、**Perrow (1967)** は技術の分析可能性と予測可能性という観点から産業および技術の特性を究明しようとする議論があった。

近年には、**Simon (1969)** のシステム観に基づき、システムの準分離可能性に着目し、全体システムから相互依存性の高い単位ごとにまとめ、システムへの影響を切り離し、システムのモジュラリティを高めることで、市場ニーズの多様化、多岐にわたる必要技術の幅、技術変化のスピードなどに起因する製品開発プロセスのマネジメントの複雑さに対応・軽減できる、という製品アーキテクチャアプローチの議論が盛んである。例えば、「モジュール化」戦略 (e.g. **青木・安藤, 2002, 藤本・青島・武石, 2001**) や **Baldwin and Clark (2002)**, 部品共通化・製品プラットフォームなどによるマス・カスタマイゼーション (**Pine, 1993**)、産業ネットワーク分業構造の形成 (**Langlois and Robertson, 1992**) の議論が展開されている。さらに、**Ulrich and Eppinger (1995)**, **Suh (2001)** などによって、システム設計学でシステム構築の方法 (例えば、**Design Structure Matrix**) やルール、モジュール設計の方策などが提案されている。これらの議論は、システムをどのように認識するか、またどのくぐりで関連単位を捉えるかというアーキテクチャの設計能力をその前提とする議論である。

しかしながら、システムのモジュラリティを高める（構成要素間で相互依存性の高いものをまとめ、システム全体から局所化する）とは、対象となる人工物の設計だけではなく、生産、サプライヤー側の問題で困難になる場合が二通り考えられる。

ひとつは、組織間の利害関係の違いによる機会主義的な行動（Williamson, 1975）が考えられる。既存の産業構造（特に、水平分業構造）によって形成された構成部品に関する知識がサプライヤーごとに分散している場合（具, 2002, 2008）、システムの変化によるサブシステムや部品の構造および機能変化が必ずしも取引当事者である各々のプレイヤーの利害関係と一致せず、機会主義的行動をとるからである（具, 2002, 2008）。

もうひとつは技術の問題が考えられる。技術の成熟理論を提示した Sahal (1982) によれば、物事のスケールが極端に大きく、あるいは小さくなる場合、達成可能な性能向上のペースが低下してしまう。その原因はスケールの減少またはシステムの複雑性にあると主張する。なぜならば、全てのシステムの進化プロセスには、①システム全体の進化に伴いサブシステムの進化が必ずしも比例的に起こらない、②システムのコンストラクションにおいて材料の変化が起こる、③システム構造の複雑性の増加が伴う、といった傾向があるという。したがって、特に、システム規模の変動プロセスは、本質的に不確実的な活動であると指摘する。例えば、半導体のような製品の場合は設計プロセスが、大型人工物の場合は生産プロセスが問題となる。もちろんこれらの問題の解決においては、それまでの技術開発プロセスで得られた学習効果が効くものの、システムの規模の拡張（ないし縮小）には上記①～③が制約条件となり、複雑性を増幅させる要因となるといえる¹。

2.3 分析視点：製品開発の複雑性と不確実性

これまでの議論を踏まえると、製品開発の複雑性は次のようにまとめられる。つまり、製品開発の複雑性は製品システム側の要因とビジネス・システム側の要因で構成されていると見なすことができよう。

まず、製品システム側の側面からみると、設計・開発者は市場・顧客のニーズを把握し、具体的な製品システムに要求される機能とコンセプトを構想する。製品システムを創造する際、自然環境や社会・技術的な要因、使われる場所の構造などが制約条件となる。公理的設計観に基づくと、製品システムは要求機能と制約条件を満たすた

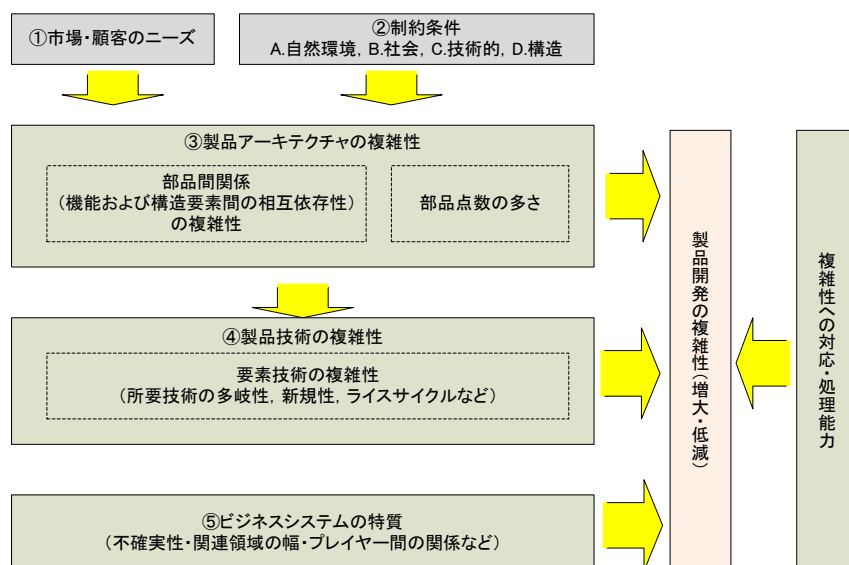
¹ 船舶の場合、形態的にはその変化の度合いを知覚しにくいものの、1970年代のオイルショック以来、大型化の傾向が顕著な製品である。そのため、複雑性が高まった製品と見なすことができる。

めに設計されるが、その際、生産の制約条件を考慮した設計解を選択することになる（Suh, 2001）。その後、選択された機能を実現するために、機能をどのように具体的な構造物に配分するかという製品アーキテクチャを決める。その際、部品の数の多さと部品間の関係性が製品アーキテクチャの複雑さを決定する要因となり、さらに、必要とされる要素技術の多岐性や新規性、ライフサイクルの時期によって製品技術の複雑性が左右される（延岡, 2002）。

次に、ビジネス・システムに埋め込まれた不確実性に起因する複雑性である。ビジネスを共にするプレイヤー間の組織間関係やパワー、産業そのものの特質などのビジネス・システムの性質が製品開発の複雑性に影響を与えるのである。

ただし、複雑性の圧力と負荷の程度は、複雑性に直面する組織側の複雑性への対応処理能力によって異なってくる（藤本, 2010）。製品技術の複雑性とビジネス・システムの特質による製品開発の複雑性の場合も同様である（図 1 参照）。ここでいう複雑性への対応・処理能力とは、合理的な設計能力を含め、環境変化と問題解決に必要なとされる有効な資源の蓄積量、資源の組み合わせ、再配置能力などを指す。

図 1 製品開発およびビジネスの複雑性



(注) 延岡 (2002) 108 頁と本書第〇章 (藤本) をもとに筆者作成。

以上を踏まえて、本稿では、大型人工物である船舶および造船産業を分析対象にし、製品アーキテクチャを規定する要因を検討した上、それによってもたらされる複雑性とビジネス・システムの不確実性を分析する。

3. 船舶開発における複雑性

本節では、船舶の開発生産に関わる組織が直面する、製品システムの複雑性とビジネス・システムにおける不確実性について概観する。

3.1 製品システムの複雑性

(1) 市場・顧客ニーズ：多様化，大型化，カスタマイズ

船舶に対する顧客のニーズは一般的には、燃費や安全性、積載効率性（大型化・高速化）、耐久性が求められる。船舶の設計は、長期間海上の波や風など多様な自然状況の条件に耐えられると同時に、航路の環境条件や積載貨物の種類を考慮しなければならない。また、定期的な点検とメンテナンス、環境規制など様々な国際的なルールの遵守が求められる。²

戦後、ニーズは時とともに多様化し、船舶開発ターゲットも変化してきた。具体的には、特定の貨物輸送に特化した専用船化（タンカー船、自動車運搬船、バルクキャリア（bulk ship：石炭、鉱石、穀物の運送）、LNG 船、LPG 船など）、輸送効率の向上のための大型化と高速化、コンテナ船の増加³が近年の主要な軸になってきている。背景には各国間の国際貿易量の増加とエネルギー需要の変動、経済成長・発展地域の移り変わり、企業の国際化に伴った世界海上荷動量の増大があり、貨物や運航経路、航海地域の多様化が進むと同時に、船型や船体の構造と機能も変遷してきた。例えば、近年には LNG 船の場合、液体ガスの輸送機能だけではなく、液体ガスを気体ガスに変える生産設備や機能の搭載を望む場合も増えている⁴。

また、ニーズの多様化に応じて船種が多様化・大型化してきただけでなく、特定の船種の中においても顧客（船主）ニーズにはカスタマイズで対応してきた。航路選択や荷物の性質・量などによって、船型や大きさ、設備などが異なってくる。顧客（船主）側から機材や機関のメーカー名を指定したり、特定の設備の搭載を要求することも多い。

² さらに、乗組員の削減と安全性の向上のため、運航システムの自動化、メンテナンスの容易さが求められる。

³ 貨物輸送のコンテナ化は海上と陸の輸送を一貫化した輸送革命と呼ばれるものであり、それによってコンテナ専用船の需要も増加した（Leivn, 2006；武石・高梨, 2001）。

⁴ 近年の傾向としては、大水深海の海洋石油・ガスの採掘とそのエリアの拡大によって、「海上工場」とも言えるプラント機能を持つドリル船（Drill Ship）や FPSO（Floating Production, Storage and Offloading system: 浮体式海洋石油・ガス生産貯蔵積出設備）、FSO（Floating Storage and Offloading system: 浮体式海洋石油・ガス貯蔵積出設備）などのオフショア設備（Offshore Facilities）にまで、造船業の事業領域は広がりがつつある。

(2) 制約要因

①自然・社会環境的な要因

船舶の設計・生産の制約条件としては、地理的・空間的な自然環境的要因と国際規制のような社会環境的要因がある。

地理的・空間的な制約条件としては、造船所の立地条件と該当船舶の主な航路が挙げられる。造船所の立地条件は屋外での溶接作業時間が長いことから、波や風、霧、日光などの自然気候状況が重要である。また、近年は船舶の大型化を背景に設備能力の拡張可能性が重要性を増している。船舶の分類はサイズだけではなく、アフラマックスやケープサイズ、スエズマックス、パナマックスなど、停泊する港や通過する運河によって名称がつけられている。これは、入港する貨物産地の入港岸壁周辺の喫水の深さ、通る運河の大きさ、幅、深さは基本的に船舶の設計に影響を与えるためである⁵。

社会環境的な制約条件としては、海運は国境を越えての活動になるため、船舶の建造・運航に関する国際機構や国際ルールが存在する。例えば、1958年に国連専門機関として設立された国際海事機関（International Maritime Organization; IMO）では「海運に影響する技術的側面の規制、慣行の国際的統一化」が図られ、国際的なルールを製品づくりに反映させなければならない（造船統計要覧，2006）。近年の規制変化の代表的例を挙げると、新塗装基準（PSPC：Performance Standard for Protective Coatings）がある。また、原油流出事故を契機として進んだタンカーのダブル・ハル（二重船殻）化のように、環境負荷に対する社会的要請の変化により船舶の開発負荷があがることも多い。

②技術的な制約条件

技術的な制約条件は設計と生産工程に分けて考えることができる。

設計上の制約として第一に挙げられる特徴は、鋼材を除けば、調達される部品のほぼ全てが、カタログ製品であることである。主機と補機関をはじめ、ディーゼル機関、蒸気タービン、発電機、ポンプ、ボイラ、冷却装置などの多くの舶用機器は船舶のタイプ・重量・大きさ・出力などに対応する形で、幾つかの製品グレートのカテゴリ製

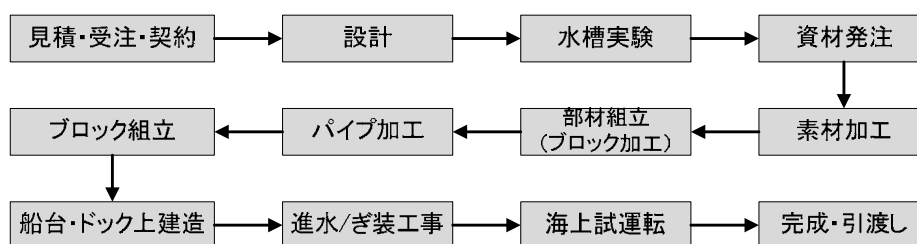
⁵ 航路によって船の大きさはアフラマックス、ケープサイズ、スエズマックス、パナマックスなどに分けて呼ぶ。アルアマックス（AFRA；Average Freight Rate Assessment MAX）はタンカーの運賃指数で、一般的には積貨重量トン 45,000～76,000 クラスのタンカー船だが、現在は 12 万トン位までのタンカー船を指す。ケープサイズは南アフリカ共和国にある石炭積み出し港 Richards Bay に入港可能な最大船型（積貨重量トン 15 万トン）を指す。パナマックスは、パナマ運河を通行可能なサイズ（船幅 32m，計画満載喫水 12m 前後）の積貨重量 6 万～8 万トンの船である。

品として調達される。したがって、造船所からサプライヤーへのカスタマイズ要求は、専用部品開発ではなくスペックの指定（既存部品における特定箇所の変数の変更）による。

システムの機能や性能に合うものを組み合わせて発注する形態がとられており、これらの器材のインターフェースや配置は造船メーカーが決定する。つまり、造船所の仕事の主なものは、必要とされる機能についてカタログを参照しながら最も発揮できる組み合わせを考え、市場から調達し、インターフェースに関する部分を調整・繋げることにある。言い換えれば、造船メーカーは船舶全体に関するシステム知識は有しているものの、個別コンポーネント知識には相対的に不足している。更に、その組み合わせの決定においては船用工業メーカーに依存している構図になっている。

このことは二つの組織的な問題を内包している。第一に造船所と船用メーカー間の関係である。たいていの造船所は船用工業メーカーと資本関係が無いことが多く、造船所側が影響力を行使できない場合が多い。また、船用工業メーカーの方が造船所より集中度が高く（企業数が少なく）、主要機材の代替発注先を探索するのが困難な状況下にあるため、船用工業側の交渉力が強いことが多く、更に造船所は主要部品を内製していない⁶。第二に造船所内の組織間関係である。造船所の設計部門は大きく、船舶システム全体（「どんがら」と言われる部門）の設計を担う部門と機関室設計を担う部門に分かれており、緊密な協調関係をもっているものの、組織内で製品づくりのイニシアティブをとっているのは長年にわたって前者であった。これには、後者の仕事の多くがカタログ製品の組立であるという、業務内容の違いも影響しているものと考えられる。

図 2 船舶の製品開発プロセス



出所：（社）日本造船工業会（2009）『造船業パンフレット shipbuilding』,
(<http://www.sajn.or.jp/pdf/shipbuilding.pdf> : 2010年7月28日アクセス)

⁶ 自動車産業で見られるような、複数のサプライヤーに複数発注と競争によって形成されたピラミッド型のサプライヤー・システムではなく、造船産業では多くの顧客を数少ない船用工業メーカーが取引している逆三角形の構造になっていると考えられる。

次に、生産上の制約のうち、最大の要因は設備能力である。船舶の一般的な製品開発プロセスを示したのが図2であるが、素材加工から進水までの生産工程には、他の人工物（製品システム）と異なり、船舶特有の大きさや重さが影響する。大きな船は全長300mを超え、重さも1,000万トンを上回る。たとえ一つの搬送段位や機能単位としてのモジュールに概念上・設計上は分割可能だとしても、生産設備の能力という制約条件と、（作業場の広さという）空間的な制約条件から、実際には搬送上の問題に直面することが多い。設計通りの大きさのモジュールを作っても、組立のために搬送することは大きすぎて不可能になるからである。そのため、現実には設計上で分割したブロックの大きさより遙かに小さなブロックに切り分ける必要がある⁷。また、ボトルネックである最終組立工程（船台・ドック）での船台期間は、どれほど大きなブロックを扱えるかによって決まる。すなわち、納期と建造できる船の大きさが決まる。他にも、組立されたブロックを吊り上げクレーンの能力とブロックの移動搬入に使われるキャリーの積載能力などが制約要因となる（図3, 4, 5参照）。言い換えれば、生産・搬送上の制約条件があるため、船舶のモジュールの大きさには現実には制約がある。

上記の通り、造船所の立地と規模、拡張可能性、自然環境の状況が造船所の生産オペレーションの特殊性と拡張を制約する条件になる。日本の造船所は戦前からの企業が多く、当時の造船産業の規模や特徴を反映している。結果的に、一ヶ所に集中した大型造船所の建設と拡張は困難であったと考えられる。

図3 キャリー（耐荷重数百トンの自走台車）



（出所）筆者による撮影（A社）

⁷ 小ブロックといっても直径数メートル、数十トンに達する。

図 4 ドック内でのブロック組み立て



(出所) <http://www.flickr.com/photos/lilib/68918378/page2/> (2010.1.10 アクセス)

図 5 海上クレーン



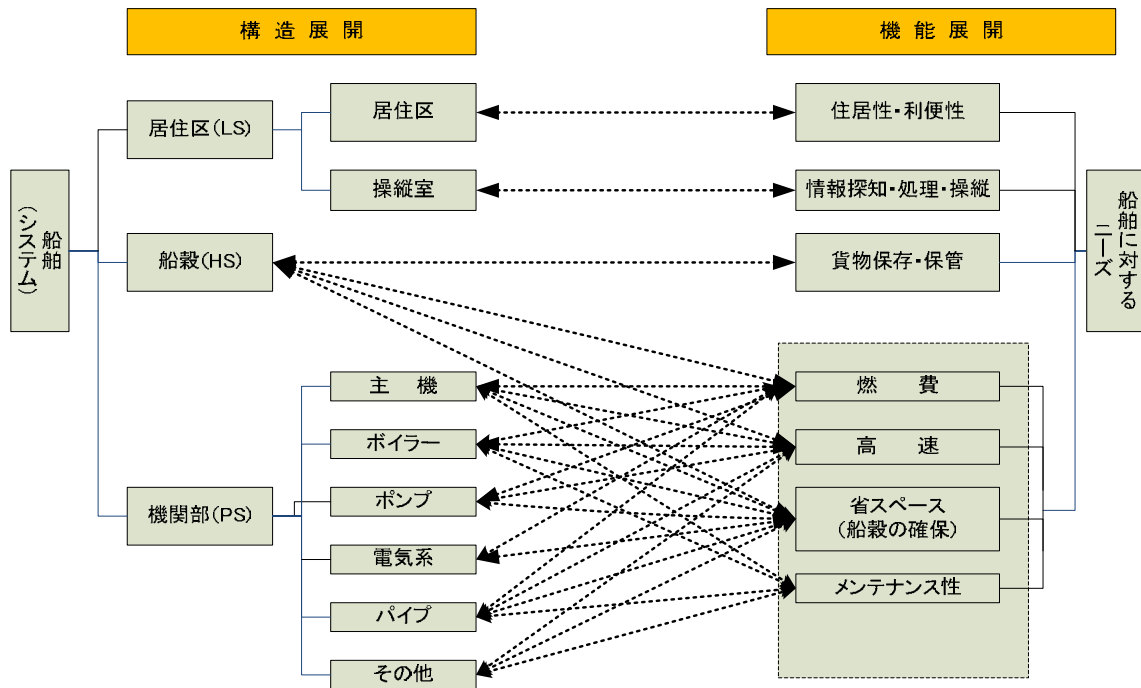
(注) DSME 社の 3600 トン海上クレーン

(出所) <http://anews.ks.icross.co.kr/anews/photoread.php?&idx=346590> (2010.1.10 アクセス)

(3) 製品アーキテクチャの複雑性

船舶という製品システム（人工物）の基本的な機能は、貨物と人を A 地点から B 地点まで海上輸送する機能である。船舶システムのアーキテクチャは、基本的に荷物の保管・保存機能をもつ船殻（hull station: 通称「どんがら」と呼ばれる）と、動力源である機関部（power station）、そして船舶の操縦・制御と乗組員の生活空間である居住区（living station）で構成される（図 6 参照）。

図 6 船舶システムの構造と機能ヒエラルキー



(注) 上記のような分類は A 社の着想で、必ずしも多くの造船メーカーが採用している思想ではない。しかし、筆者らの調査によると意識、無意識的に広く採用していると思われる。

(出所) 具・加藤・向井 (2010) p.19 より。

第 1 に、図の左部中央に位置する居住区は船舶の運航と操縦、情報表示と伝達、そして乗組員の生活空間としての機能を果たす。そのため、船舶という製品システムの最上位階層からみると分割可能であり、設計と生産を他のステーションからほぼ独立して行うことができる。

第 2 に、図の左部上部に位置する船殻の場合、貨物の保存・保管という機能を果たすための構造物である。しかしながら、船型の形状や船舶システム全体の機能性と密接な関係にあり、外側の形状はインテグラルなもの（構造一体）となっていると思われる。内部構造や機能性においては、個別の構造体（ブロック）は居住区と同様な機能と構造を有する。船殻を構成するレゴのようなブロックの場合、どのぐらいの大きさにするのか。また、どこで造るのかに関するものはコスト要因以外に、後述する設備（例えば、クレーンの規模、搬送方法）能力によって、空間的に造船所内もしくは外に、また自社内もしくは外部組織に任せるかが左右される。

最後に、図の左下部に位置する機関部は船の性能を左右する部位である。図示され

ているように機関部は具体的にはエンジン、ボイラー、パイプ、ポンプ、電気系の機材で構成される。船型やエンジンの馬力によって、それらの機材を組み合わせることで機関部としての機能（燃費やメンテナンス性、速度、省スペースといった諸機能を束ねたもの）を発揮できる。その組み合わせはパターン化が可能であり、船種間で共有化も可能となる。即ち、機関部というサブシステムを構成するエンジン、ボイラー、パイプ、ポンプ、電気系などは、船用工業メーカーからカタログ製品として調達できるモジュラー製品である。

しかしながら、図6で示すように、個々の部品は全体が繋がって始めて機関部の機能を果たすが、そのインターフェースは複雑な形状のパイプ等で接続されるものの、一方である程度限られた空間に収めなければならないという制約に直面している。実験のモジュラリティが低く、搭載してから全体の機能確認が可能であるため、ほぼ同一な構造を持つ船殻のように、切り分けること自体が困難であるばかりではなく、生産（溶接）も非常に煩雑である。また、機関部は定期的な検査や故障に対応するため、メンテナンスの容易性が求められる箇所でもある。

言い換えるならば、船舶システムを構成する船殻・居住区・機関部のうち、船殻と居住区はモジュラリティが高いものの、機関部は外モジュラー・中インテグラル型アーキテクチャ（藤本，2003）になっているといえる。したがって、機関部としての機能を十分に発揮するためには、各構成部品を組み合わせるだけでなく、狭い空間で繋ぎ合わせる必要があり、そのための調整には設計工数・生産工数上の大きな負荷がかかる。

(4) 製品技術の複雑性

造船産業は技術的な観点では成熟産業である。構成部品・材料に関する要素技術は成熟期にあるものが多く、安定しており、主となるイノベーションは改善的なイノベーションである。構成部品のモデルチェンジも5～10年以上と長いものが多い。1960～70年代以降に専用船化や大型化が進んだものの、アーキテクチャの基本構造自体は変化していないといえよう。

他方、受注産業であるため、大型製品の生産における量産効果はそれほど大きくないが、成熟製品の特徴とも言える生産技術においては、生産期間短縮のためのいくつかの重要イノベーションがあった。ブロック建造工法とそれに伴う溶接技術の進化があった（高柳，1993）。先述したように、どのぐらい大きいブロックにするかは基本的にクレーンなどの設備能力に左右される。溶接作業は大型物の搬送などの問題があ

るため、自動溶接は部分的で、ほとんど手作業がメインである。一隻当たりの溶接距離は数百キロメートルに達するため、学習効果が効く熟練技術が求められる。生産プロセスにおける溶接や塗装、艀装などの多くのタスクは労働力に大きく依存しており、船殻の人件費の割合は約3割を占める。多くの作業は協力（請負）会社との分業と協調によって行われているため、合計すると約3.5~4割を占める。そのため、固定費の削減、景気循環のリスク回避という側面から、溶接や塗装、艀装などの多くのタスクが協力会社に社内外注されている。

また、船台・船渠を従来の1.5倍に延長し、海に向かって後方で大ブロック総組立のうちもっとも時間のかかる船尾（機関部）の総組立を先行して行い、前方では従来どおり一隻分の大ブロック総組立を同時に行うセミタンデム方式が開発された。

3.2 ビジネス・システムにおける不確実性・複雑性

(1) 船舶産業のビジネス・システム

造船所は船を設計し、鋼材と舶用部材を調達し、切断・曲げ加工・溶接してブロック建造工法により船を組み立てている（直接作業は構内外注であることも多い）。一方で造船所は海運・造船ビジネスのビジネス・システムの中に埋め込まれている（図7）

①製鉄所：

鉄鉱石の価格変動に応じて、鋼材価格は大きく変動する。鋼船は鉄の塊であり、溶接距離はバルクキャリアで一隻あたり200kmにも達するため、製造原価に占める鋼材費の比率は6割近くに達する。費目のうち最大のものが鋼材費であるが、もっともコントロールしにくい費目でもある。受注から引き渡しまで3年待ちが常態であるため、受注の際に船の受注価格が決定した後に鋼材調達価格が決まるためである。

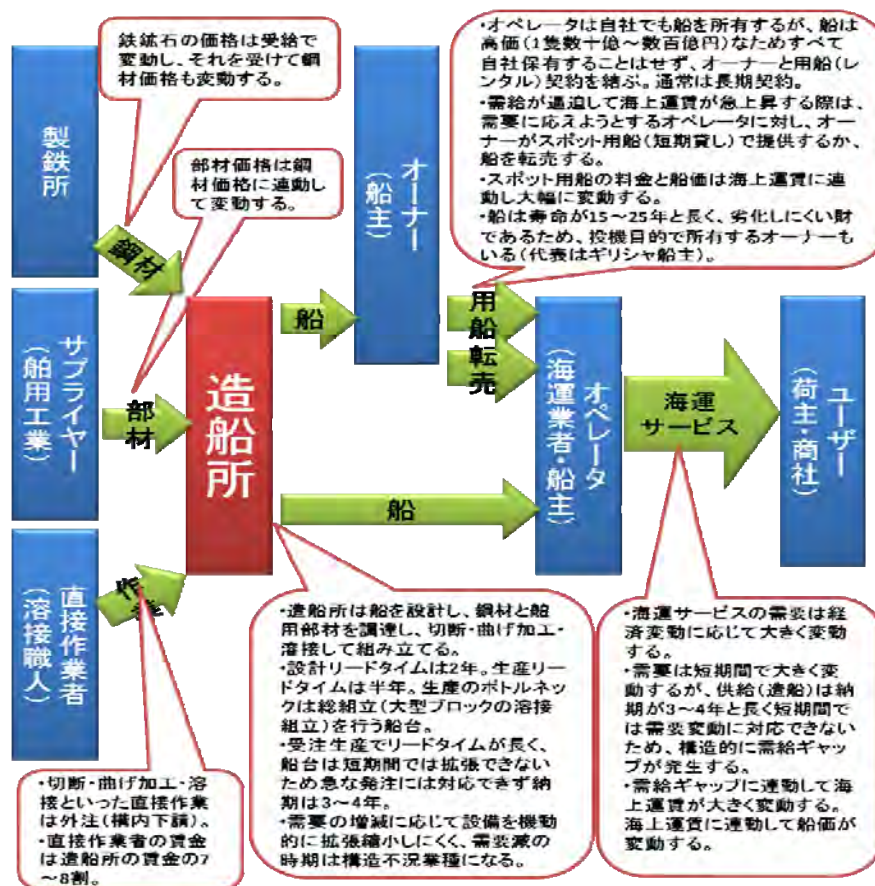
②サプライヤー（舶用工業メーカー）：

鋼材を除けば舶用部材の内製化率は限りなくゼロに近く、エンジンからプロペラ、パイプに至るまで、ほぼすべての部材を外部から調達している⁸。オイルショック後の構造不況期に造船所は政策上保護された（国土交通省通達により生産能力を制限し過当競争を抑制することで淘汰圧力から守られた）一方、舶用工業は激しい淘汰圧力にさらされて業界集中度が急上昇し（企業数が半分以下になり）、一方で舶用工業側は生き残りのため地上用途への多角化を進めたため舶用用途への依存度を低下させたため、価格交渉力が購入側に一方的に有利になることはない。また、取引形態におい

⁸ エンジンは、一部大手は内製している。

では、部材発注はほぼすべてカタログからの注文で行われる。部材（機材）同士を組み合わせて（溶接して）船舶を生産するが、スペース上の制約から部材間の煩雑な調整が必要になったとしても造船所側に交渉力がないため、組立における調整上の負荷をサプライヤーに負わせることは困難であり、造船所側で負担することが多い。

図 7 造船産業のビジネス・システム



(出所) 具・加藤・向井 (2010) p.20 より。

③直接作業者：

切断・曲げ加工・溶接といった直接作業は外注（構内下請）である。直接作業者の賃金は造船所の正規従業員の 7～8 割と高額である。日本国内で瀬戸内海沿岸や九州沿岸に造船所が密集しているのは、同業者（造船所）や製鉄所，船用工業が数多く立地して集積（クラスター）になっているほか，溶接職人が多く直接作業者を調達しやすいという環境要因もある。溶接職人やパイプ職人が熟練工として育つには，特に図面を読めてその通りに実現できる職人になるまでには数年～十数年という時間がかか

る。

④造船所：

造船所は船を設計し、鋼材と舶用部材を調達し、切断・曲げ加工・溶接してブロックを組み立て、ブロック同士をゴライアス（大型門型）クレーンで積み上げ、ブロック同士を溶接（搭載）して総組立して船を組み立て、進水させてから艤装して販売している。

顧客との間の引き合いの期間は半年程度、設計リードタイムは2年（引き合いと平行して進められる）、生産リードタイムは半年である。生産のボトルネックは総組立（大型ブロックの溶接組み立て）を行う船台ないし船渠での総組立工程である。

受注生産でリードタイムが長く、船台・船渠は短期間では生産能力の拡張ができない（立地制約や巨額の資金がかかるほか設備拡張には国土交通省への申請が必要）であるため、急な発注には対応できずに納期は3～4年である。需要の増減に応じて設備を機動的に拡張縮小しにくいことから、需要減の時期は構造不況業種になる⁹。

⑤顧客（オーナー（船主）、オペレーター（海運業者・船主）、ユーザー（荷主・商社））：

船の顧客・利用者は三層構造になっている。オーナー（船主）とオペレーター（海運業者・船主）、ユーザー（荷主・商社）の三層である。

第1に、オーナー（船主）は船という巨大な人工物（構造物）の所有者であり、船を利用する際はオペレータ（海運業者）に貸し出す（用船する）。また、ユーザー（荷主）に直接貸し出すこともある。更に船を投機（転売）目的で所有することもある。需給が逼迫して海上運賃が急上昇する際は、需要に応えようとするオペレーターに対し、オーナーがスポット用船（短期貸し）で提供するか、船を高値で転売する。スポット用船の料金と船価は海上運賃に連動して大幅に変動する。船は寿命が15～25年と長く、技術的にも比較的（エレクトロニクス製品等と比べて）安定していて劣化しにくい財であるため、用船料金と船価が劇的に変動する際に利ざやを稼ぐ投機（高値での転売）目的で所有することも可能である。ただし、1隻の価格が100億円を超える（巨大タンカーの場合）ため、所有者になるには資金上の参入障壁がある。また、船の所有には税金や船員に関する法的制約など様々なコストがかかるため、現在

⁹ 特に日本では60年代末～70年代初頭に大規模な設備拡張をした直後にオイルショックに見舞われて稼働率が劇的に低下し、90年代に市場が成長軌道に戻るまでの長期間にわたり典型的な「構造不況業種」と呼ばれた。その期間、国土交通省（当時は運輸省）により船価指導や設備拡張の制限、大臣勧告による操業時間の制限が行われることで造船所は延命したが、一方で舶用工業は激しい淘汰圧力にさらされて業界集中度が急上昇し（一方で多角化を進め海上用途への売上依存度を低めた）、造船所との交渉力に変化が生じたのは上述の通りである。

は便宜置籍船の形でパナマやリベリア船籍として所有することが主流である。なお、船価変動に大きな役割を果たしているギリシャ船主については前述の通りである。

第2に、オペレーター（海運業者・船主）は「海上輸送・海運サービス」という「船の機能」をユーザー（荷主）に提供して対価を得ている。オペレーターは長期用船契約でオーナーから船を借りるほか、自身で船を所有しており、オーナーでもある。また、後述するように石油や鉄鉱石、パルプといった実需と海上輸送供給のギャップが生じた場合はスポット用船市場でオーナーから船を短期間借りる。この短期借り入れの際の価格が船の受注単価に反映される。代表的なインデックスはバルチック・ドライ・インデックスである。造船業の盛衰に果たす海運業者の役割は大きい。たとえば、イギリスの造船業が衰退し日本が追い抜く際に競争相手としてアメリカが登場しなかったのは、アメリカは自身が巨大な資源産出国であり、海運業が発達していなかったことも大きいと思われる。

第3に、ユーザー（荷主・商社）は「海上輸送・海運サービス」という「船の機能」の利用者である。海運サービス（海上輸送）の需要は経済変動に応じて大きく変動する。需要は短期間で大きく変動する一方で、供給（造船）は受注生産であり納期が3～4年と長く短期間では最終需要の変動に対応できないため、構造的に海運サービスの需給ギャップが発生する。需給ギャップに連動して海上運賃が大きく変動し、海上運賃に連動して船価が大きく変動する。

(2) ビジネス・システムに起因する3つの不確実性とその影響

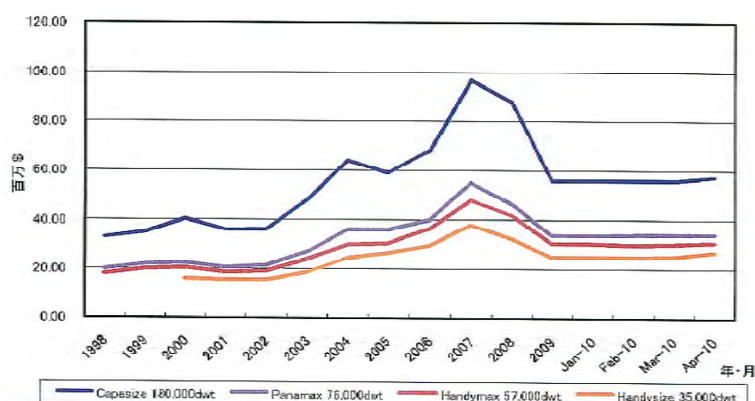
① 船価の変動

船価は時期により2倍（100%）以上変動する。たとえば、バルクキャリア一隻は安い時期には40億円、高い時期には90億円である。船価は受給バランスで変動するが、供給側の事情により大きな受給ギャップが生じやすく、変動幅も必然的に大きくなる。需給ギャップが急拡大する主な理由を列举すると例えば次のような要因群をあげることができる。

第1に、需要側の要因として、海運サービスの需要は経済変動（実需）に応じて急変動する（Peter, 2006）。第2に、需要側の要因として、石油や鉄鉱石、パルプやコーンの需要変動は、金融商品としても扱われるため投機資金の流入により実需以上に変動する。第3に、生産側の要因として、船体の寿命が15～25年と長いこと劣化しにくい。日本では減価償却期間が15年（10%の残存価値）だが、ギリシャでは25年である。第4に、生産側の要因として、技術的に安定した製品であるため数年間では

陳腐化しない¹⁰。(アンカー巻き上げ装置が油圧から電動に変化するなど)部分的な変化はあるが、製品システム全体に影響を及ぼすような主要構成部品の劇的な変化も生じていないほか、構成部品の組み合わせ方を大幅に変えるような変化(アーキテクチャル・イノベーション)も、この数十年の間は生じていない。木造船主流から鉄鋼船主流に移ったのも、エンジンの配置が船体の中央から船尾に移った(ミッドシップからリアシップへの移動)のも一世紀近く前であり、工法の変化(リベットから溶接へ、キールからブロック建造工法への変化も半世紀以上前である)。なお、船型の大型化や環境対策としてのタンカーのダブルハル(二重船殻)化といった変化はあるが、スエズ運河やパナマ運河を通るバルクキャリアには、運河の大きさといった制約から逃れられないため、製品・製法において現在の所、主立った変化は生じていない。第5に、生産側の要因として、受注生産であり、開発と生産のリードタイムが長いこと、市場の実需に供給が追いつくにはタイムラグがある。タイムラグを埋めるために高い料金のスポット用船(短期貸し)や高値での転売が行われる。

図 8 船価推移の例 (バルク)



(注) Clarkson Research Services

(出所) (社) 日本船用工業会 (<http://www.jsmea.or.jp/senyo/sokuho/joho/2010-5/tokei10-5-0102.pdf>)

上述のように船価は激しく変動するが、受注と納期が3年ずれるため、不況期に入ると受注はまったくないのに生産現場は空前の忙しさに見舞われるという状況が生じる。受注と基本設計部門、詳細設計部門、生産部門の繁閑のずれをうまく調整・吸収し、受注が減った三年後に大赤字を出さないようにマネジメントすることが造船所に求められている。

¹⁰ 船殻部の抵抗値(車のCD値に相当)は年間1%程度ずつ向上している。

②材料費変動

上述のように受注から納期まで3年待ちのため、受注が決まり販売価格が決定してから数十ヶ月後に鋼材購入価格や部材購入価格が決まる。鉄鉱石の価格上昇は鋼材のみならず同じく鋼材によって作られる部材の調達費用を引き上げる。予想売価を想定して目標原価を設定しても、目標原価を達成するのが困難であることが多いのは、背景にこれらの事情があるためである。

③為替変動

船主から造船所への支払い慣行として、鋼材を切り始めた際に数パーセント支払われ、下降が進むにつれスーパーセントずつ支払われ、大半は引き渡しの際に支払われる。支払いは世界共通でドル建てである。上述のように受注から納期まで3年待ちのため、その間の為替の変動によっては、受注の際のドル交換レートと大きくずれが生じることもある。そのため、利益予想に大きな変動幅がついて回るという特徴がある。

4. 複雑性への対応・処理能力構築

ここでは、国内を代表する中手¹¹造船メーカーであるA社の、ここ十数年の取り組みの事例を複雑性の克服という観点で考察する。具体的には、「標準船戦略」と「海外展開」、「機関部の製品アーキテクチャの見直し」活動について分析を行う¹²。

4.1 A社の事例概要

A社は「標準船戦略」を社内外に標榜・推進し1990年代後半から成長性・収益性の両面で高いパフォーマンスを継続している企業である。成果の背景には、様々な戦略的かつ継続的な取り組みの歴史がある。A社の取り組みを簡単に紹介する。

A社の立地は晴天が多く作業日数の確保という点で気候には恵まれている。ただし細長く入り組んだ狭小な海岸に立地するため、物理的・空間的な制約が厳しく大型船の建造は著しく困難であり、大型船建造を可能にする大型設備の導入も極めて困難である。また、構造不況期を経て日本国内における造船産業の位置付けが低下した影響で大学の造船学科卒業生が減少し、一方でA社は大手ではないことと造船所の中でも相対的に大都市から離れた場所に立地することからエンジニアの確保が難しく、慢性的なエンジニア不足に直面している。

A社のプロダクト・ミックスを見ると、1980年代までは自動車運搬船やタンカー、

¹¹ 先述の通り、規模では国内を代表する大手だが、船台・船渠の建造能力の点では超大型船を造ることができないため、業界の呼び方を投手すると中手になる。

¹² 同事例の紹介については具・加藤・向井（2010）を参照されたし。なお、前掲書では戦略的な観点から分析しているが、本稿では複雑性への対処という観点に鑑みて再解釈を試みる。

バルクキャリアなど多様な船種を手がけていた。当時は船種を戦略的に絞り混む発想はなく、1980年代末から造船市場が回復して売上高が増加しても収益性が伴わないでいた。

そこで、高い成長ペースを維持しながら収益性を改善するために、1990年代後半より作業の平準化と原価企画導入の取り組みが行われ、現在も継続している。さらに2000年代前半に当時の状況では達成困難とも言えるトップの戦略的なビジョンが策定・宣言された¹³。挑戦的なビジョンを実行する一連のプロセスにおいて、以下の取り組みが実行され、一定の成果を挙げることになったと解釈できる。

4.2 顧客のニーズの複雑性と制約条件の克服

(1) フロントローディングによる複雑性への対処：原価企画船・標準船戦略

大量生産を行わない大型船舶は基本的には一品ごとの受注生産であり、受注してからの新規設計が主流である。A社では1980年代前半からナンバーを付けたシリーズ船を有し、標準船と称していた。ただし、シリーズ船としての基本設計を共有するとはいうものの、引き合いの際に受注を確かなものにするために、顧客から詳細な可能な限り要望を聞き、発注が確定してから要求仕様にあわせて大幅な設計変更を繰り返し、新規設計に近い工数が必要になっていた。要するにこの段階では名称は標準船でも実態は一品ごとの受注生産に等しかった。

このようなことが起こる背景にはマーケティングの不在があった。上述の通り造船所の顧客は、船主（オーナー）や、オペレーター（海運業者）、ユーザー（荷主）の三層構造になっている。A社ではそれぞれがいかなる背景のもとに船を要望するのか、購入後にどのように船を利用しているのか、どのような問題に直面しているのかについて考慮しておらず、引き合いの際に受注を確定するために顧客側の錯綜する複雑な要望を可能な限り引き受けていたのである。一方でA社は上記のようにリソース上の制約がタイトである。ビジョンを達成しようとする受注量を増やさざるを得ず、結果、受注量は増えて売上高は伸びるものの、カスタマイズに対応するために設計・生産現場での工数や購入部材の費用が跳ね上がり、利益無き繁忙に陥っていた。

そこで、A社は自社の設備制約と人員（エンジニア）制約、資金制約を背景として、引き合いの際に顧客の複雑な要望にカスタマイズで対応するのではなく、市場調査に基づいて数年先の市場で重視されると予測した仕様をあらかじめ搭載した「標準船」

¹³ 「2010年までに①造船業界で世界一の経常利益率、②世界シェア30%（年間90隻建造）、③造船業界で経常利益率3位以内を達成する」という数値目標を伴うビジョンが社内で1998年前後から練られ、2004年に公表された。

を基本設計として固定することにした¹⁴。引き合いの際にカスタマイズ要求には極力対応しない、いわゆる「標準船戦略」をとることで、従来のように詳細設計を頻繁に変更することで事後的に発生していた工数をできるだけ削減することを志向したのである。問題解決のフロントローディングによる複雑性への対処の一例とすることができよう。

「標準船戦略」の採用は原価企画の本格的導入¹⁵が開始された時期と同時期であり、A 社内では「標準船」は「原価企画船」と呼ばれる¹⁶。開発・設計段階からマーケティングに基づく船型を開発し、カスタマイズを限定的なものに抑えることで設計・製造現場の工数を明確にし、購入部品のバラエティを減らして調達コストを抑制するなどコストを予め作り込むのみならず、営業方法も受注産業でありながら提案営業によって注文をとってくるというやり方に変更した。上記の設計プロセスの変更を起点とする「標準船戦略」の遂行により、収益性が向上したのみならず利益の確定段階が大幅に早まった。

このような A 社の活動は、顧客の要望に最大にカスタマイズ対応し、高付加価値船を追求してきた日本の旧大手メーカーや韓国大手メーカーのアプローチとは異なり、自社が直面している組織的制約条件の中で、ビジネス・システムの不確実性、すなわち船価変動のリスクや不確実性¹⁷を低減させようとする組織的な対応として理解できよう。

(2) 拠点間・工程間分業による複雑性への対処：海外生産拠点の新設による能力拡大と拠点間・工程間の最適分業

A 社の本社工場は造船所としては狭小な海岸に立地している。ビジョン達成のために生産量を拡大するには年間建造数を増やすことが必要になるものの、A 社の立地では限界があった。年間建造数を増やすにはボトルネックである最終組み立て工程（大型ブロックの溶接）工程のサイクルタイム（船台期間）を短縮することが必要であり、そのためにはブロックの大型化と大型クレーンの設置が必要になるが、立地制約から大型設備導入は困難であった¹⁸。そこで A 社は年間建造数を増やすために、国内で造

¹⁴ マーケティングと基本設計を担当する専用の部門を設置する組織改革を行った。

¹⁵ 原価企画が導入されても、ルーチンとして定着するまでには相当な時間がかかり、A 社内でも目標原価達成率を考慮するとまだまだ定着までは道半ばと認識されている。

¹⁶ 原価企画の定義は諸説あるが、A 社では「開発・設計段階からマーケティングに基づく船型を開発し、製造現場の工数を明確にし、船にかかるトータルコストが最小になるよう設計しコストを作りこんでいく手法」としている。

¹⁷ A 社の主力製品であるバルクキャリアの場合、船価は下限 40 億円から上限 90 億円と 100%を超える変動幅がある。

¹⁸ A 社はブロック大型化ではなく先行偽装率の向上で船台期間を短縮している。

船所 1 箇所を買収するほか、フィリピン（1997 年）と中国（2004 年）に新しい生産拠点を確保し、生産を開始する。日本の造船メーカーとしては珍しく、海外生産拠点を早い時期から展開、生産能力の強化を図ったことになる。¹⁹

A 社は生産拠点を拡大したのみならず、生産拠点の地域特徴を生かした戦略的分業体制を構築していく。具体的には、船型別および拠点別に、横軸に「(予想)収益性」、縦軸に「(予想)工数達成度²⁰」をとったマトリクスを作成した。生産拠点の設備状況や労務費などの違いを踏まえてどの船型をどの拠点で作れば全体として効率的かを明らかにして、工場ごとに生産する船型を絞り込むことを通じて、工数達成度の向上と利益率の向上が同時に目指されるようになったのである。結果、中国が居住区を、フィリピンが船舶の建造を、日本ではマザー工場としての役割と新造船（まだ生産がこなれていない新規の原価企画船）の建造を担う、という形で生産拠点間が専門特化する分業体制が構築された²¹。

このように、A 社による海外生産拠点の拡張と拠点間の分業・特化は、受注型大型人工物の建造における地理的・空間的・物理的制約条件の克服と、専門特化による受注産業で見られる低い量産効果、生産工程の複雑性の低減などのメリットを享受しようとした行為として理解できよう。

(3) 製品アーキテクチャ見直しによる複雑性への対処：新たな企業間協同問題解決への取り組み

最も革新的と思われる取り組みの 1 つが、2006 年 9 月に始まった PSSC (Power Station Suppliers Committee) と呼ばれる、船用メーカーとの協働で進められている機関部の製品アーキテクチャの見直し活動である。現在は PSPO (Power Station Plug and Operation) に変更されて継続している。目的は顧客価値の向上とされ、具体的には運搬人件費の革新的削減と輸送効率の飛躍的向上、トータル・メンテナンス・サービスの提供が謳われている。複雑性への対処という観点からは、この活動は製品アーキテクチャの見直しによる複雑性への対処の例と捉えることができる。

機関部は上記のように顧客価値向上のための開発ターゲットとなりうる部分である。一方、船舶全体の製造原価を部位ごとに割り振ると、機関部の割合は 3 分の 1 に達す

¹⁹ A 社が海外進出に乗り出した背景には、生産能力拡張だけではなく、日本と海外拠点間の労務費格差を活用するというトップの意思決定があった。日本国内の直接労務費に比べると、フィリピンは 10 分の 1 程度である。現場のタスクの大半を、溶接をはじめ人力作業が占める造船業においては、労務費削減効果は大きい。

²⁰ 工数達成度とは、予想工数と実際の工数との乖離を示すパラメータのこと。熟練工の少ない工場では乖離が大きくなり達成度が低くなる。

²¹ 国内でも生産が行われているが、売上高の国内比率は 3 分の 1 程度である。

る。更なる内訳は、船用メーカーからの部材調達費が約 8~9 割を占める。機関部は船用メーカーのカタログからエンジンや発電機、ボイラーなどの機能部品を選び、溶接して製造される。原価企画及び標準船戦略を展開するには、調達される機能部品の設計効率化なくしては不可能である。サプライヤーの関与なしには設計改善はありえないことが、PSSC 活動開始の契機となった。

PSSC には A 社、主機関、発電機、補助ボイラー、発電機原動機、制御・パネルメーカーなどの船用メーカーが参加しており、セミ・オープン・ネットワークの形態をとっている。初期の段階では船用メーカー16社が集まり、5つのチームを結成してチームごとに研究テーマを設定した。例えば、機関部の省スペース、省人化、ライフ・サイクル・バリュー向上を図るための研究成果の発表が既に行われた。

現在は更に踏み込み、機関部をサブシステムレベルで 8 つのモジュールに分割 (partition) し、各々の機能塊を構成するサブモジュールを 21 の機能ごとにまとめ、異なる船型に対応できる機能統合モジュールを事前に揃えるところまで行なっている。モジュールごと 4 つのタイプ分けを行い、構成部品をタイプごとに統一することにより、複数の船型の間で構成部品の共通化率の向上や設計の世代間の流用度の向上、新規部品の採用による調整コストの削減などのメリットが得られる。

現在は各モジュール内での構成機能部品の最適配置、レイアウトの検討を行っている。さらに、これらのモジュールの配置は、機能軸を中心に階層構造にすることが決められている。まず、機能軸を中心にまとめると同時に、部品間の距離を短くする (その分パイプの総距離が削減する)。また、メンテナンスを容易にするため、スロット式のパレットの上に造船所の中で組み付け、モジュール構造にしようとする構想でもある。いわば、Henderson and Clark (1990) のアーキテクチャルイノベーションを試みる活動である。

しかし、そのプロセスには大型人工物ならではの問題が発生している。構成部品を統合し再配置する際に、重量やエネルギーの伝達、メンテナンス性など様々なことを考慮しなければならない。また、機関室を含めて船全体に関するシステム知識と個別機能部品に関する知識の統合能力が必要となる。

要するにこの活動は、機関部に着目し²²、そのサブシステムレベルでの構造物間の複雑なつながり方や相互依存関係を見直すものである。サブシステムレベルで、なるべく機能軸を中心にまとめることで、実験のモジュラリティ (Kogut and Bowman, 1995) を事前に確保し、設計のモジュラー性と生産のモジュラー性を進展させ、設計および

²² 船殻の生産プロセスの分割可能性を活用したのがブロック工法だということができる。

生産における複雑性の軽減を図りつつ、高い製品価値提供のための取り組みとして理解できよう。

また、PSSC のような協同活動はそれらの知識を統合するプロセスとして理解できよう。自動車産業でも同様なことが観測される（具，2008）。サブシステムレベルでのモジュール化を進める場合、その纏まり単位にかかわる諸部品に関するコンポーネント知識と、部品間の繋ぎ方や上位システムに関するシステム知識が必要不可欠であった。しかし、Williamson（1975）が指摘したように、ピアグループ（peer group）同士では機会主義的な行動や限定された合理性のため、知識の共有の場として PSSC は機能しなくなる。そのため、A 社は様々な支援をしながら、活動を促している。現在は建造隻数やその成長性もあり、PSSC は一定の成果を見せながら進行しているものの、知識統合プロセスの観点からみるとやや限界的な側面もある。こうした新しい試みの成功の鍵はおそらく、このような場や活動がサプライヤーにとって、どのようにしたらビジネス上のメリットのある空間（企業間関係）になるのかであろう。

さらに、造船所の組織分化には、船型のデザインを担う船体グループが設計の主導権を担ってきたという伝統がある。機関部設計グループが行っている PSSC 活動は、としては、機関部設計グループが直面する様々な設計・生産・組織文化上の制約条件を前提に調整を行われなければならない。つまり、造船産業の長い伝統の中で形成された組織内の部門間のパワー関係も大きく作用している。この点で、機関部アーキテクチャの見直し活動は、コンポーネント知識の分散という点で組織をまたがった複雑性軽減への取り組みであり、組織内パワー関係による制約条件の下での制約された問題解決活動として見なすことができる。

5. まとめと結語

本稿では、船舶の製品開発プロセスおよび同産業のビジネス・システムの性質がどのように複雑性を増幅させるかについて考察を行い、複雑性へのマネジメントという観点から A 社の事例を分析した。大型人工物の場合、自然的・物理的な要件が設計・生産の制約条件となっていること、長い組織伝統や文化、そして産業構造およびビジネス・システムの特徴が複雑性を増幅させていることがわかった。その意味で、船舶の場合、多様な複雑性の凝集体として理解できよう。

大型人工物の場合、一般的に産業構造上、多くの外部企業との協同によって製品づくりが行われている。また、大きく、重たいということで多額の資本投資が必要とさ

れることから、需給変動に対して生産能力を機動的に拡張縮小することが難しい。船舶の場合は納期が延びて需給ギャップが恒常的に存在し、船価が大きく変動する。一方で製品寿命が長く劣化しにくいことから投機目的での需要も存在する。また、原材料費も大きく変動する一方で納期が長いことから受注後に原材料費の購入価格が決まるため、収益性は生産要素に大きく影響されるものが多い。

上記の諸点は、建物や橋、プラントなどの大型人工物とも共通する。これらの製品は基本的に受注産業であり、顧客からのカスタマイズ要求も高く、需要と販売価格が景気循環に左右され、納期が長いことから材料費が受注の後で変動するため利益変動幅が大きい。そのため、造船産業でみたように、製品開発に動員される技術の幅も広く、設計・生産活動も自然環境・社会的・物理的制約条件とビジネス・システムの特性による多様な複雑性に直面している。よって、複雑性に対するマネジメントにおいては造船と同じように、技術と組織間・部門間の調整といった多様な手法が求められるだろう。例えば A 社の事例では、顧客の錯綜する要望にマーケティングによる製品開発ターゲットの絞り込みで対処し（一種の問題解決のフロントローディング）、船価と材料費の変動に原価企画の導入による目標原価に焦点を絞った経営体制の構築で対処し、製品・製品技術の複雑性に対しては製品アーキテクチャの見直しで対処し、さらにそれぞれの側面での対応を可能にするために組織の側面で伝統的な組織間・組織内分業のあり方の見直しに踏み込んでいた。このように、複雑性への対処には様々な角度から多様なアプローチを検討し動員すべきであるという示唆が得られよう。

■参考文献

青木晶彦・安藤晴彦（2002）『モジュール化—新しい産業アーキテクチャの本質』東洋経済新報社。

Arthur, Brian W. (2009) *The Nature of Technology: What It Is and How It Evolves*. New York, NY: Free Press.

Baldwin, Carliss and Kim B. Clark (2000) *Design Rules: The Power of Modularity*, Cambridge, MA: MIT Press.

中馬宏之（2004）「日本のサイエンス型産業が直面する複雑性と組織限界」『一橋ビジネスレビュー』冬号，東洋経済新聞社，65-85。

中馬宏之・橋本哲一（2007）「ムーアの法則がもたらす複雑性と組織限界」『一橋ビジネスレビュー』春号，東洋経済新聞社，23-45。

- Dosi, Giovanni (1982) “Technological Paradigms and Technological Trajectories”, *Research Polocy*, 11, 147-164.
- 藤本隆宏・青島矢一・武石彰 (2001) 『ビジネス・アーキテクチャー—製品・組織・プロセスの戦略的設計』 有斐閣。
- 藤本隆宏 (2010) 「経済教室：複雑化が組織能力を超越」 日本経済新聞, 3.17, 31 面。
- Galbrith, Jay (1973) *Designing Complex Organziations*. MA: Addison Wesley. (梅津祐良訳 『横断組織の設計—マトリックス組織の調整機能と効果的運用』 ダイヤモンド社。
- Henderson Rebecca M. and Kim B. Clark (1990) “Architectural innovation: the reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms”, *Administrative Science Quarterly*, 35, 9-30.
- Kogut, Bruce and Edward H..Bowman (1995) “Modularity and Permeability as Princiiples of Design” in *Redesigning the Frim*, edited by E. Bowman and B. Kogut, New York, NY:Oxfrod University Press, pp.243-260.
- 具承桓 (2008) 『製品アーキテクチャのダイナミズム—モジュール化・知識・企業間連携—』 ミネルヴァ書房。
- 具承桓・加藤寛之・向井悠一郎 (2010) 「造船産業のダイナミズムと中手メーカーの製品戦略—国際競争構図の変化と新たな取り組み—」 ディスカッションペーパー MMRC-J-286, 東京大学ものづくり経営研究センター。
- Lawrence, Paul P. and Jay W. Lorsch (1967) *Organization and Environment: Managing Differntiation and Integration*, Boston: Harvard Business School. (吉田博訳 『組織の条件適応理論』 産業能率短期大学出版部)
- Levinson Marc (2006) *The Box: How the Shipping Container Made the World Smaller and the World Economy Bigger*. Princeton University Press: New Jersey. (村井章子訳 『コンテナ物語—世界を変えたのは「箱」の発明だった』 日経 BP, 2007)
- Lorange, Peter(2007) Shipping Organizations -The Ultimate Global Players, in *Managing Complexity in Global Organization*, John Wiley & Sons, pp.61-74.
- 延岡健太郎 (2002) 『製品開発の知識』 日本経済新聞社。
- Perrow, Charles (1967) “A Framework for the Comparative Analysis of Organizations”, *American Sociological Review*, 32(2), 194-208.
- Pine II, Joseph B. (1993) *Mass Customization*, Cambrigde, MA: Harvard Business School.
- Pisano,Gary (2006) *Science Business-The Promise, the Reality, and the Future of Biotech*, MA: Harvard Business School. (池村千秋邦訳 『サイエンスビジネスの挑戦—バイオ産業の失

- 敗の本質を検証する―』日経 BP 社, 2008)。
- Sahal, Devenda (1981) *Patterns of Technological Innovation*, MA: Addison-Wesley.
- Sanchez, Ron. and Joseph T. Mahoney (1996). “Modularity, Flexibility, and Knowledge Management in Product and Organization Design”, *Strategic Management Journal*, 17, 63–76.
- Simon, Herbert (1969, 1981, 1996) *The Sciences of the Artificial*. Cambridge, MA : MIT Press. (第3版 稲葉元吉・吉原栄樹訳『システムの科学』パーソナルメディア)。
- Suh, Nam Poh(2001) *Axiomatic Design*, Oxford University Press. (中尾正之・飯野謙次・畑村洋太郎訳『公理的設計―複雑なシステムの単純化設計』森北出版, 2004)。
- 武石彰・高梨千賀子 (2001) 「海運業のコンテナ化」藤本隆宏・武石彰・青島矢一編著『ビジネス・アーキテクチャ』有斐閣。
- 高柳暁 (1993) 『海運・造船業の技術と経営』日本経済評論社。
- Ulrich, Karl (1995). “The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm.” *Research Policy* 24: 419-440.
- Ulrich, Karl and Steven D. Eppinger (1995). *Product Design and Development*. McGraw-Hill.
- Williamson, O. E. (1975) *Market and Hierarchies*, Free Press: New York. (浅沼万里・岩崎晃訳『市場と企業組織』日本評論社, 1980)
- Williamson, O. E. (1981) “The Economics of Organizations: The Transaction Cost Approach”, *American Journal of Sociology*, 87(3), 548-577.
- 造船統計要覧編集委員会 (2006) 『造船統計要覧』成山堂書店。