

造船における、図面を中心とした設計システムについて（仮）

0. 設計とは

（１）設計の定義

日本語における「設計」という言葉の定義は曖昧である。製造業における設計だけをとっても、英語の **Design** と **Engineering** の 2 つの意味を兼ねており、名刺の英語面にはこの 2 つの言葉が併記されている事が多い。では **Design** と **Engineering** の違いは？と聞いても答えられる人は少ない。Google で検索しても、これはという答えも見つからない。

このように根源的な意味すら曖昧なままでは、その上に幾ら積み重ねても不安定であり、意味の無い議論にしかならない。そこで乱暴ではあるが、ここでは設計を「決定を行う事」と定義してみたい。

例えば、飛行機の機内食で、CA が「**Beef or Chicken ?**」と聞いて来る。判断基準は人それぞれだが、どちらかを回答する事によって、その日の昼食もしくは夕食が決定されることになる。この事を「食事内容を設計した」と言うとおかしな響きだが、「食事内容を **Design** した」と言えば、多少ともしっくりと来る。これが、ある部品の材質に関するものであれば、鉄にするか、アルミにするか、それともプラスチックにするか、という検討と決断のプロセスは、設計作業そのものなのである。こういう考え方をすれば、ある製品の設計とは、その製品を現実のものとする為に必要となる全ての要素…形状や材質、機能、加工方法、材料の調達先と納期・納品場所・保管場所、製造作業の担当者、作業種類毎の期間や場所、使用する施設や機器といった、何一つ欠けても製品が存在し得ない要素…を明確にし、何かしらの検討を行い、正しい決定を行うことであると言える。

(2) 設計量

設計のボリューム、設計量は、決断が必要となる要素の数と、それぞれの要素に準備されている選択肢の数、検討に必要な条件の数に左右される。食事で例えるなら、皿の数、選択可能なメニューの数、そして個人の好みや体調、許容されたもしくは最低限必要な摂取カロリー・塩分量・各種栄養素の量、価格、食べ合わせといった検討条件の数であり、これらが増えれば増えるほど、その食事の設計は困難となる。機内食のような2択と、ファミリーレストランのようなメニューが豊富で選択肢が多い場合と、どちらの決断が容易かは、それこそ容易に想像できるだろう。

これまた乱暴だが、要素数を n 、その要素における選択肢の数を S_n 、同じくその要素に求められる検討条件の数を C_n 、また要素間に及ぼされる影響を考慮するとすると、設計量は

$$\Sigma (n \times S_n \times C_n)$$

と表現する事ができる。要素数 n の増加率に対して、設計量は爆発的に増加することになる。

設計量を上げないためには要素の数、選択肢の数、検討条件の数を抑える事が必要であるが、中でも要素数が大きな比重を占めている。また要素のグループ化を行い、グループ内の要素間にわかりやすい関係を設定したり、グループ内の要素に対して共通の選択肢・検討条件を用いたり、グループ外の要素との関係を制限することで、全体の設計量を削減する事が可能である。部品の共通化や標準の採用、モジュール化がこれに相当する。

(3) 設計能力

与えられた設計課題に対して、状況を認識し、問題を整理し、検討し、それぞれの要素に対して適切な選択を行い、解決を行う能力が、設計能力である。人間の設計能力は、問題処理能力や、対象についての知識や経験、問題解決を補助するツールの有無などにより変化するものの、有能無能の能力比が10倍100倍となる事は稀であり、集団の設計能力の指標として人数が用いられることが多い。処理可能な設計量は、時間当たりの入力量と処理量、処理時間とによって求められる。時間当たりの入力量と処理量、処理時間には個人によって差はあるものの、それぞれに限界と、全体で最大効率が得られる値間の最適比率とが存在している。その人にとって最適な作業環境の下でこそ、人間は最大能力を発揮で

きるのである。

このことから、人間の設計能力には上限が存在する事となり、与えられた設計量がそれをオーバーしてしまうと設計が終わらないか、もしくは不完全なものとなってしまう。常に設計量が設計能力を下回るよう、人数の増加や設計量の削減、設計期間の延長等により調整を行う必要がある。

(4) 設計バランス

設計量を上げないためには要素数、選択肢数、検討条件数の抑制や、要素のグループ化等が必要となるが、しかし一方で、こうした設計自由度の制限により、得られる製品の満足度や性能が低下してしまうことになる。機肉食の例であれば、牛肉と鶏肉しか選択できなければ、豚肉や魚が食べたかった人やベジタリアンは不満を持ち、同じ牛肉メニューであっても牛丼とビーフカレーとでは、乗客毎の満足度は異なってくるだろう。造船で例えるならば、使用可能な鉄板の板厚が 10 mm ピッチであるのと 0.1 mm ピッチであるのとでは、製品の全体重量に開きが出てくることになる。

一方で、前述のように、満足度や性能を過剰に重視すれば設計量は跳ね上がり、設計コストの上昇や設計破綻を招くことになる。

設計量と設計能力のバランスを上手く取らなければならないが、バランスが取れた状態下での片方への偏重は、設計の方向性や設計の特性となる。

(5) 集団による設計とその限界

前述のように、人間の設計能力は個体差があるものの有限である。つまり、設計者 1 人に処理可能な設計量には上限がある。その為、1 人分の設計能力を超えた設計量の製品については、複数人で設計を分担しなければならない。そして複数人で設計を分担し並行に作業を行うには、設計者間の所掌配分や、情報交換、全体的なチェック・調整等の、組織管理という新たな負担が必要となる。

作業員 1 人の平均的な設計処理能力を D 、集団全体の作業員数を n 、集団の組織管理に必要な労力を H (人数 n の変数) と仮定すると、集団全体の設計能力は以下のようになる：

$$n \times D - H(n)$$

つまり、集団全体の設計能力は、個人の設計能力の単純な人数倍である「 $n \times D$ 」よりも $H(n)$ 分だけ目減りするということである。

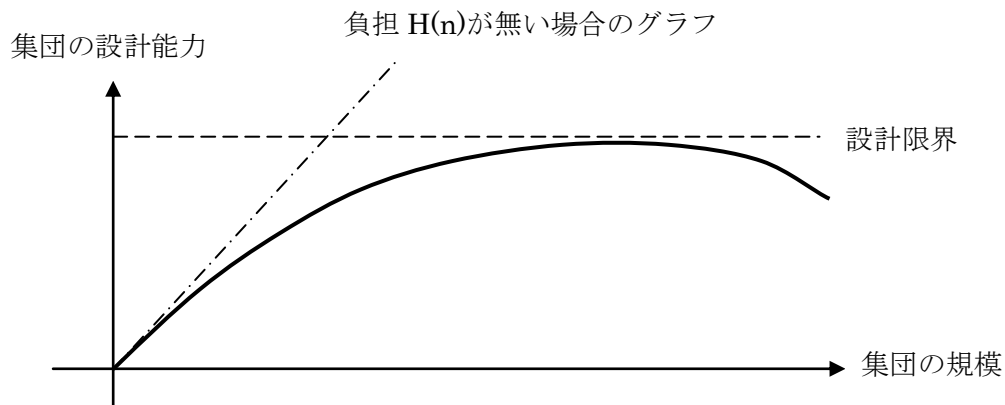
ただし、この組織管理に必要となる負担 $H(n)$ を数式化することは難しい。

まず組織管理を専門とする管理職数だけで見ていくとするとする。組織が階層化され、1 人の管理職が直接管理を行う最適な個体数を 10 人と仮定すれば、最下層が 100 人の組織では階層数は 3 段で管理職数は 11 人、合計で 111 人となる。10,000 人なら階層数は 6 段で管理職数が 1,111 人、合計で 11,111 人。1,000,000 人なら 9 段で管理職数は 111,111 人、合計で 1,111,111 人。これだけならば（ほぼ）無限に拡大できるように見えるが、階層数が多くなると情報の伝達効率が低下し、また作業者毎の処理時間のバラつきから作業同期の際に待ち時間が発生する事から、組織全体の設計能力が低下する事になる。

前者だけを大雑把に考慮してみると、階層 1 段毎に情報伝達で 5% の祖語が生じ、その分だけ能力が低下すると仮定すると、3 段で 0.90、6 段で 0.77、9 段で 0.66 となり、また集団規模が大きくなればなるほど、構成員の間の資質や文化の差異も拡大し、それだけ祖語率も大きくなっていく事を考慮すれば、規模の増加比率よりも、効率が低下する比率の方が大きくなることが判る。

集団規模に対する作業同期の待ち時間の計算は難しいが、規模の増加に伴って構成員の能力のバラつきが大きくなる事から、集団規模と共に処理時間の分散も大きくなり、それだけ待ち時間が多く必要となる事が判る。

その為、集団の規模と集団全体の設計能力の関係を示したグラフは下図のような曲線を描くことになる。この時、集団規模の増大だけでは超えられない設計能力の上限値が存在することとなり、恐らく、これが人類としての設計限界となる。この究極的な限界に達するまで設計集団の規模を大きくすることは事実上不可能であり、考えるだけ無駄かもしれないが、集団規模が大きくなるに従い設計能力の増加量が減少するという特徴は、押さえておかなければならない。



（６）設計破綻

個人であっても集団であっても、要求される設計量に対して設計能力が追い付かなければ、設計は破綻することになる。

設計破綻には色々な形がある。製品が形にならない、形にはなったが製品が要求能力を発揮できない、もしくは誤作動や事故を引き起こす、等。形にならなかった場合には破綻がわかりやすいが、形になっている場合には判別が難しく、完成品を検査するか、もしくは全ての設計プロセスが正しく行われたかどうかを保証する為の仕組み（ISO 等のチェック作業まで含めた設計・製造プロセスの定式化）が必要となる。

全く新規に設計を行う場合は、いい加減な誤魔化しが行われていたとしても不具合が目につく部分に現れる事が多いが、造船のように製品間の共通点が多く、新規設計であっても別の製品の設計をベースに、大がかりな修正という形で設計が行われる場合には、誤魔化しや検討不足が見えづらく、納品後の実運用中に故障や事故として発覚してしまう可能性が高くなる。その為、他の製品以上に、設計プロセスそのもののチェックを行うように注意しなければならない。

また、設計量と設計能力とは、常に客観的、定量的に把握しておき、規制の強化や需要の変化、機能の増大等により、製品に求められる設計量が増大したならば、それに合わせて設計能力も向上させるか、もしくは増大した分だけ他の部分の設計量を削減し、設計量が設計能力を上回らないように維持しなければならない。当たり前の事だと思われるかもしれないが、案外と、この事を考慮・実行していないものである。少なくとも造船所では、設計量と設計能力の把握すら、まともに行われておらず、多くは感覚的に人員調整を行うのみである。

（７）設計を行う集団の、それ自身の設計

ある対象物の状態を把握し、かつ管理下に置くことを「設計」として見る事で、これまで述べた設計量と設計能力の考え方を製品以外へ拡張する事も可能である。それにより、限定的な範囲内での自然や都市環境、そして集団や組織、社会や国家といったものも対象として考えることが出来る。この場合「設計の完了」は対象物の正常な運用に、また「設

計破綻」は環境や集団、社会の暴走になる。

一般の工業製品のような設計量が大きく集団で設計を行わなければならない製品の設計においては、設計・生産を行う集団自身をも把握・管理しなければ、製品の設計そのものも完了する事ができず、設計が破たんする事になる。「集団による設計とその限界」の項では、集団管理を単純なものとしているが、実際には集団の構成員の資質や感情、集団の組織的能力や文化等も考慮しなければならない複雑なもので、正しく把握し、完全な管理下に置くには高い設計能力が必要となる。現実には十分に把握できず、設計集団自身が暴走する事により、設計そのものが破綻してしまうことが多い。その為、製品のみを考慮するのではなく、製品の設計を行う自分自身についても設計を行えるよう、考慮しなければならない。

設計から多少逸れるが、「国家」とは、自己集団の設計を目的とした集団であり、その集団の能力は、全て自己把握と自己管理に費やされる。集団の規模が大きくなり、それによって複雑化が進めば、それに対応可能なように設計能力を向上させなければならず、失敗すれば国家が暴走し、いずれは破綻する事になる。統治システムが未熟だった古代から中世において、1 億人を超すような大国家（面積だけ大きいものでは無く）は存在すら不可能であり、また日本においては、近代に至るまで 100 万人前後の単位（大名の単位、石高 $\div$ 人口）までしか拡大できなかったことを見ても明らかである（幕府は将軍による一国統治ではなく大名による連合国家であり、最大のだ大名である徳川家 800 万石も実際には複数の小大名（紀伊、水戸、尾張、その他譜代）に分割されている）。

また世界に対しては、国家は一つのモジュールとして機能している。内部の人間が直接の関係を持たない事で、世界全体での複雑性を抑えているのである。逆に、国家内の自治集団（州や省、県、市町村）も同じである。最近ではグローバル化が何かともてはやされているが、国家を解体し、世界中の人間同士が直接関係を結べる環境となれば、我々は自己をコントロールできなくなり、暴走の果てに破滅する事になるだろう。事実、その兆しが見えつつある。

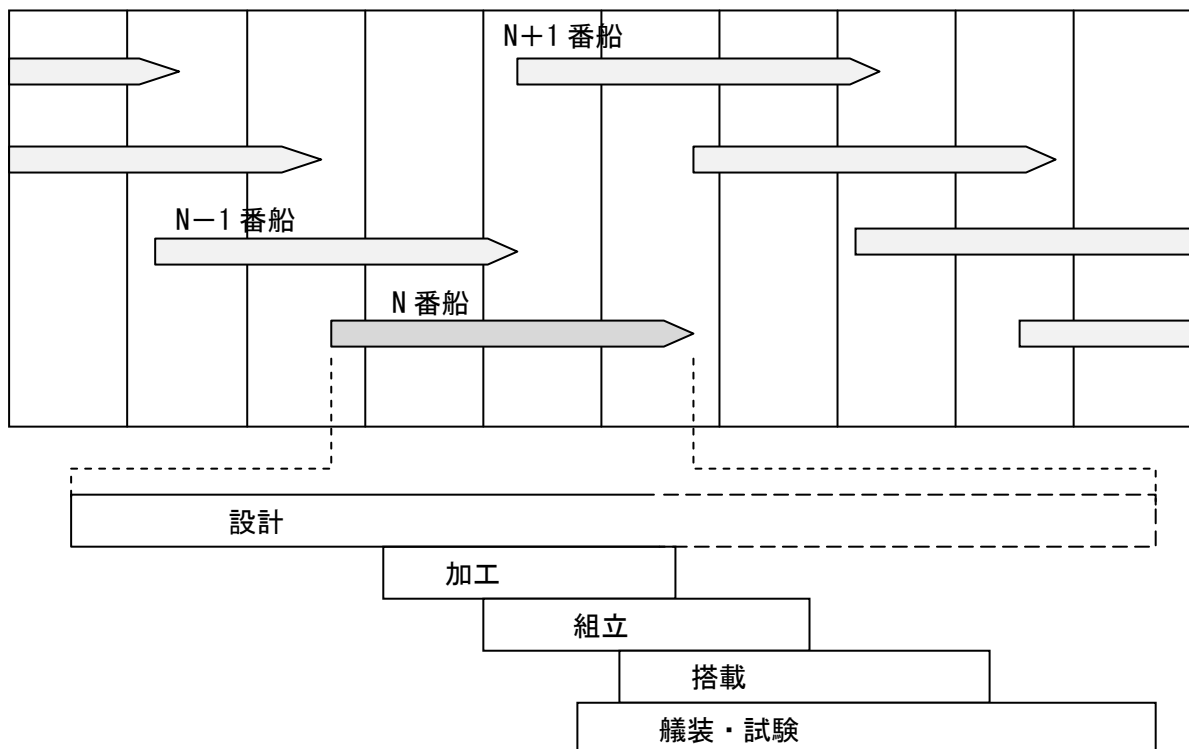
1. 造船の特殊性と、その特殊性への対応策

船は、他の工業製品と比べて、かなり特殊なものである。

ある資料によると、100 トン以上の船の数は世界全体で約 88,000 隻とあるが、機器や部品に至るまで全く同じ製品は、1 組として存在しないのである。例え同型船であったとしても、設計や製造の都合から、何らかの形状や機器が異なっている。そしてそれだけバラエティに富んでいる上に、製品自体を構成する部品数が膨大である。

これだけであれば、ビルや橋などの建築物に近いとも言えるのだが、船は製造場所・設備が固定されており、その固定された場所で連続的に、休みなく設計・建造されている。更に、工業製品として最も特異な特徴として、前の船の設計が終わらない内に次の船の設計が始まり、酷い時はその次の船の設計まで始まってしまうのである。そして船全体の設計が完了しない内に加工や組立が始まり、製品が完成し船主に引渡が終わった後でも設計は完全には終了しない。建造中や引き渡し後に判明した不具合で関係あるものは、リアルタイムで並行建造中の船の設計に反映されて行く。この説明を読んでいて訳が分からなくなった人も多いだろうが、造船は実際にこのような滅茶苦茶なプロセスで行われているのである。

ここでは、造船の特殊性と、それによって独自進化した設計、建造手法について説明する。



典型的な造船所の工程

1.1 ハンドメイド的な工業製品

船の設計と建造は、デスクトップパソコン（DOS/V パソコン…今はこう呼ばれることは無いのだろうけど）の組立と似ている。船の性能を決定する大きな要因となるメインエンジンや発電機、クレーン等から、レーダーや配電盤から救難艇、電球やスイッチ類に至るまで部品の多くは既製品であり、それらを選択して外部業者から購入し、組み立てている。それらの既製品の多くは規格品であり、量産品であり、パソコンの部品に近い。異なるとすればパソコンケース（船体構造）とマザーボード（配線、配管）を造船所で設計、製造しなければならない所と、中身よりもパソコンケースの形状（船型や荷室）が、船の性能に大きな影響を与える事である。

しかし、部品として規格品や量産品が多く使用されているにもかかわらず、船は以下のような理由から、個体毎に異なった形状、機能を有するに至るのである：

（１）目的の違い

搭載する貨物の種類に応じて、バルクキャリアー、コンテナ船、タンカー、自動車運搬船、LNG 船、LPG 船、セメント船、冷凍船…等と、それぞれ特化した形状をしている。

（２）運用先、運用方法による変更

同一の貨物を運搬する船であったとしても、どの港に入港するか、どの航路を運航するか、またどれくらいの量を一度に運ぶかにより、船の寸法が変化して行く。

最も有名なものとしてパナマックスと呼ばれている船があるが、これはパナマ運河の航行をする為、幅に制限を受けている。逆にケープサイズは、スエズ運河を通れず喜望峰を回らなければならないと言う事で、その名が付いている。他にもキャッスルマックスやアフラマックス等のような、利用可能な港湾施設により喫水や幅が制限を受けているものがある。

寸法を制限する理由になるものとして、荷の動きと、輸送費、それによって得られる利益の組み合わせによるものがある。船が大きければ大きい程、重量当たりの輸送費は少なくなるが、荷が溜まるまで動けなくなる為に小回りが利かなくなる。その為、同じ航路であっても、使用する船の大きさを変更する場合もある。また中継用の積み替え港の間を超大型船で運搬し、そこから先は小型の船を用いるといった事も行われている。

また経済速力によって主機や船体形状が変化する。10 ノット平均で運搬する船と、15 ノット平均で運搬する船とでは、例え同じ総トン数であったとしても、主機馬力と船体形状を変更しなければ、燃費を最適化することが出来ない。市場の変化とともに経済速力を変更する場合もあり、中にはそれに合わせて船首部分の交換を行う船会社もある。

（３）船主の好みや取引先の都合による形状や機器類の指定

同型船であり、また性能もほとんど変わらないにも関わらず、船主によって主機や発電機のメーカーを変更する事が多い。機器の故障によって大きな損害を被るため、船主や運用者の持つメンテナンス性や、メーカーの信頼性、安心感などで、選択を行っている。更に、船主の取引先の都合から、機器類や資材で、メーカーを指定されることもある。

機器以外のものに関しても、個別に要求される。乗組員の数や人種の違いによって、居住区の部屋割りや部屋数が変わることもある。

（４）設計、建造時に判明した改良点の即時折込み

設計や建造時に判明した不具合への対応や、改良点は、間に合う限り、折り込まれて行く。間に合わなかった場合には、応急で修正が行われる為、間に合った場合と異なった形状となる事が多い。造船所の自主的な改良点が積み重ねられてゆく為、同型船でも後になるほど設計が洗練される傾向にある。

（５）設計、建造時の入手可能品の変化

設計・建造途中に、部品が製造中止などにより入手できなくなり、別部品に変更されることもある。

（６）設計、建造時の規制の変化

バラスト水規制や騒音規制等の各種国際規約の変化により、同型船であっても設計を変更せざるを得なくなる場合もある。

（７）現物合わせ部分の、施工の違い

船では、重要度が低く、船の仕様や性能に殆ど影響を与えないような部分については敢えて設計で明確にせず、製造現場で「それなり」に加工、成形される。こうした現物合わせの存在により、同型船でも形状の違いが発生する。

以上のような理由から、たとえ 100 隻以上建造された同船種の同型船であったとしても、ボルト 1 本に至るまで全く同じ船は、ほぼ存在し得なくなっている。この点において船は、基本的に設計を完了してから製造を開始する他の一般的な工業製品と、根本的に異なっているのである。

1.2 制限、要求の多さ

船は大きく、また乗り物である。その為、安全性や環境に対する影響も大きく、それだけ多くの規制やルールに縛られている。

最も大きなものは、1隻毎に船級協会の承認を得なければならない事である。船種により、細かいルールが船級協会毎に定義されており、それに従わなければ運行ができない。また同時に、各種の国際規則による制限も、年々多くなっている。

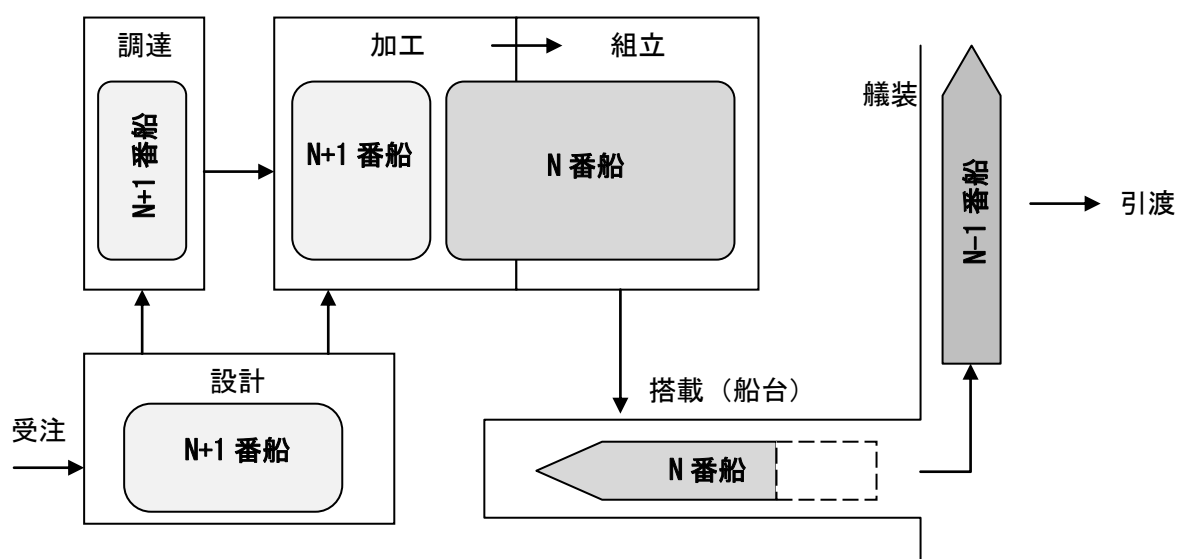
更に、こうした制限の他にも、顧客であるところの船主からの要望も、他の量産製品よりも多い。

以上のような膨大な制限や要求を満たしつつ、かつ造船所独自の制限（設備制限や加工能力等）も考慮し、比較的短期間で設計と建造とを行わなければならないのである。

1.3 途切れる事のない設計と建造

設備や人員といったリソースを最大限に活用し、コストを下げる為、造船所では複数の船を連続的に設計、建造している。それにより、景気や経営の指標として、「船台が埋まる」という言葉が用いられている（船台≡ドックは、造船所内で最大コストの設備であり、これを中心に回っている造船所が多い）。

下図は最も単純な造船所における、同時設計・建造の様子を簡単に図示したものである。1つの造船所内で、最低でも2～3隻の船が並行に設計、建造されている。



複雑性を増している要因は、製品間…上の図では N-1 番船と N 番船、N+1 番船の間の、境界が現実には曖昧であるということである。正常に作業が流れている場合には、製品間の境界は比較的に明確であるが、設計変更やトラブルは常に発生しており、たとえ設計が終了した番船であっても、設計変更やトラブルの発生した箇所においては、設計をやり直さなければならなくなる事もある。このように正常と非正常のワークフローが混在しているのが実情で、それを前提に造船所の経営、運営を行わなければならない。

1.4 高い柔軟性の求められる造船システム

これまで述べてきたように、造船は非常に複雑である。情報の構造も、運用・組織も、ドロドロとした良くわからないものになっている。その為、精度の高い単純明快なシステムではなく、精度はある程度悪くとも高い柔軟性を持ったシステムが必要となる。

現在、製造業で主流となっている、情報のデジタル化は、ベースとなるのがデジタルコンピュータであることもあり、基本的には単純明快でなければならない。少なくとも、コンピュータに直接理解可能な形式でデータが構成されていなければ、データベースやネットワークの利点を生かすことができない。

その為、巷にあふれる各種のシステムやツールは、造船では利用できないのである。何とか導入したとしても、部分的な範囲でしか適応できていない。

情報のデジタル化を、現在と同じ方法でゴリ押しをし続けたところで、成功はしないだろう。一度、造船と言うものを見直さなければならない。その見直し的手段として、造船において現在用いられている、図面を中心とした造船システムを分析してゆきたい。

2. 図面とその仕組み

2. 1 図面における形状表現

(1) 2次元形状による、3次元形状の表現

ほとんどの製品は3次元形状を持っている。しかし、人類は3DCADを手にするまで、縮尺模型や実物大模型といった物の他に、3次元形状を直接表現することが可能な媒体を持っていなかったため、紙上に描かれた2次元図形や属性情報を駆使することで、製品の持つ3次元形状を表現せざるを得なかった。

形状を示す図面は、製品の3次元形状を一意に決定するに足るだけの、複数の、投影図と局所的切断図とで表現されている。

(2) 自由曲面の表現

自由曲面については、線図という3次元空間上の2次元曲線群で表現されている。元々は造船における船体形状の表現の為に用いられていたが、近代に入って自動車や航空機などにも用いられるようになった。線図上の曲線は、3次元曲面と複数の平面との交線という位置づけになっていることから、2つの曲線が空間上の少なくとも1点で交差するように、曲線間の調整を行いながら曲線を作図する必要がある。また曲面が滑らかでなければならない場合には、各曲線自身の滑らかさを維持しつつ交点調整を行わなければならない（この作業はフェアリングと呼ばれている）。この為、線図を作成には高技能と長時間とを要するが、一方でどれだけ長時間をかけても全ての曲線間で辻褄を合わせる事は難しく、調整が不十分であっても規定誤差内に収まっていれば、それを用いるようになっている。

(3) 後工程での補完を前提とした、不完全な情報セット

図面によって表現される製品の形状は完全な3次元形状ではなく、加工作業に必要な最低限の情報であり、不足する形状情報は加工時に追加されるか、もしくは加工誤差によって吸収されることにより補完されている。

例えば、線図によって表現可能な形状は、空間上のカーブ群のみであり、カーブによって囲まれる格子内の形状までは直接に表現ができない。格子の中心部の凹凸の度合いを、線図だけではコントロール不可能である。しかし、鉄板の成形プロセスの限界から、格子枠の形状のみで格子中心部の凹凸の度合いがほぼ決まってしまう、その際のバラつきも製

造誤差として許容される範囲内に収まっている。

（４）記号としての形状

また図面上の 2 次元形状も、正確な図形ではなく、記号的な形状としての意味合いが強い。これは、2DCAD によって図面を作図できるようになるまでは、作図での誤差が大きかったこと、また縮尺率が高いものについては形状だけの表現には限界があったことから、形状と寸法値を組み合わせる事で精度を維持することとなり、これにより形状は記号としての意味合いを強くした。例えば造船の船殻図面においては、スカラップ（ノッチ）は大きさに関わらず同一半径の円弧と、その横に添えられる寸法値によって表現されている。図面上の形状を同一にする理由は、縮尺と同じ寸法でスカラップを描写すると形状を読めなくなってしまう為であるが、この際、図面上の円弧形状は、スカラップの記号であるといえる。

2DCAD の登場により、電子データにより非常に高い精度の形状を表現可能となった事から、図面形状の持つ記号的意味合いが曖昧になり、寸法値の記入忘れがあった際に形状データから直接情報を読み取る様な事が度々行われるようになってきているが、基本的に図面上の形状は記号的なものであることを抑えておかなければ、図面の精度を落としてしまう事になる。

2. 2 図面における機能表現

系統図や配線図といった、形状ではなく製品の機能を表した図面もある。また船における一般配置図（GA）や機器配置図は、製品形状が描かれているもののデフォルメがされており、形状というよりも製品機能の表現に重点が置かれている。キープランも構造強度という機能表現の比重が高い。

機能表現を重視した図面は、機能を読み取りやすくする為に形状をデフォルメしている。系統図や配線図は実形状とはかけ離れたものであり、また一般配置図やキープランも、読みやすくする為に形状のデフォルメが行われ、また、この段階で不要な形状情報は省略されている。曲面を無理やり平面に押し広げた書式（Shell Expansion やヤードプラン内のロンジ側面図等）も、形状そのものよりも形状属性の部分的表現の傾向が強い。

こうした図面内の機能表現は、最終的な製品形状（材質等の属性も含む）を決定するための部分的な要素ではあるものの、それぞれの図面が作成された段階においては、完全な

形状を構成するには情報が不十分な状態である。その為、設計スキーム的な、もしくは抽象的な度合いが強く、明確な形状情報をノードとしている 3DCAD での表現が難しい。

2. 3 情報・作業の共通単位としての図面

人間の情報処理能力には限界があり、また作業効率を最適にする時間当たりの情報量と作業期間の組み合わせがある。そして複数人で並行作業を効率的に行うには、各人の単位作業時間を揃え、情報同期を取りやすくしておく必要がある。これは設計作業だけでなく、チェック作業も同様である。その為、1つの図面辺りの情報量が適切なものとなるように調整されている。

設計が進むに従い情報量は増大してゆくが、それには、設計の段階毎に図面を分割して対応している。

これは生産用図面でも同じである。製造作業の段階別に分割されて行き、最終的な出力物は、生産作業の1単位としてまとめられる。設計用図面と生産用図面とは必ずしも1対1にはなっていないが、生産用図面が設計用図面を参照していることもあり、参照元の枠を超えないように分割を行い、設計側の出図や変更のタイミングに対して、生産側で対応をとりやすいような構造にしている。

図面が、それを作成する側、使用する側、それぞれで1つの単位作業となるように調整されている為、設計・製造の工程管理は、図面を単位として行っている。図面番号がそのまま、工程管理の項目番号となるのである。

以上のように、製品情報と、それを作成・使用する作業量とを、図面を共通の単位として分割、構成することにより、製品を取り巻くシステム全体を有機的に取り回すことが可能となっているのである。

2. 4 非同期分散データベースとしての図面システム

データベースと言うと、一般にはデジタルコンピューター上のデータベースの意味であるが、データベースとは呼ばれなかったとしても、人類は同じ機能を紙媒体によって実現していた。学術書や学術論文の、目次や索引、参照資料といった仕組みは、データベースそのものである。

図面を中心とした設計システムは、構造化された図面群と、図面間の要素参照とにより、製品情報のデータベースを構成している。

ある目的に必要なデータを抽出するには、人間がデータの構成に必要となる図面を読み取り、再構成し、出力を図面として描き出さなければならない。また図面そのものや、図面間の参照関係を正しく保つのも人間である。そうした意味において、図面を中心とした設計システムは、図面を記憶媒体とした人間コンピューター上に構成されているとも言える。

膨大な量の設計要素を人間が正確に取扱わなければならないため、負荷を下げ精度を上げる為に色々な工夫がなされている。個々の要素を別々に扱うのではなく、他の要素を参照させて差分情報のみを管理する事により、全体で管理する情報量を少なくしている。また、特有の要素は図面システム全体で 1 ヶ所のみでしか記述しないことで、メンテナンスの負荷を下げている。

ただ、それでもシステムの運用は難しく、設計者個人にも、組織全体にも、高い情報構成能力が要求される。逆に能力が無かった場合には、設計システムの情報精度は悪くなり、最悪破綻してしまう事になる。

情報要素間に直接的なリンクが存在せず、人間によって結び付けられている為、非常に柔軟な運用が可能である。

例えば、情報要素間の一時的な矛盾が許容される事から、現在作成中の図面の参照先図面が変更された場合、即時に変更を折り込もうとすると、設計作業が度々中断されることになり効率が落ちてしまう。一般的には変更の存在を頭に入れつつ、作業者にとって切の良いところまで作業を進め、当人にとって都合の良いタイミングで変更を折り込んでいく。また、図面を変更する前に関係各所に先に変更を連絡し、関係図面の変更がスムーズに行われるように工夫している。更に突然のトラブルなどの、正規の図面改正手続きを行ってはいとても間に合わない場合には、関係するものの内、急ぐ図面を前倒しで変更し、後から正規手続きで変更を行うことも可能である。このような柔軟性のある対応は、デジタルコンピューター上のデータベースでは難しい。

以上のような特性を見ると、デジタルコンピュータ上のデータベースが同期集中型（サーバが分散していても、集中的に管理されている）であるのに対して、図面を中心としたデータベースは、非同期分散型であると言える。

2. 5 インターフェースとしての図面

図面に含まれる情報量が、単位作業で取り扱うのに丁度良い情報量に調整されている事は前に述べたが、図面の物理的広さ、図面内の形状、文字の大きさも、人が視認し、把握しやすいように、言い方を変えれば、人間の肉体的・精神的制限に合わせて調整されている。これは、人が作業しやすいように調整を繰り返した結果、今の図面のシステムへと行き着いた事実を考慮すれば当たり前の話ではあるが、新しい形式の図面を考える際に、抜け落ちてしまいがちな事象である。

図面は、一般には縮尺を固定し、表示画面に合わせて用紙サイズを調整するが、現場で使用する工作図等は、用紙サイズを固定した方が取り回しやすく、用途によっては用紙サイズを固定する方式に移行する場合も多い。しかし縮尺が固定されていないと定規での形状寸法の直接読み取りや、図面上の形状サイズでの大きさ・空間の把握や比較、図面上の文字や記号サイズの調整といった事が、困難になる。それらに対する対処を十分に施さず、安易に用紙サイズ固定へと変更を行へば、余計な混乱を引き起こすことになる。

また、図面は二次元図形を組み合わせる事で立体を表現するような工夫がされている。これには表現手段としての制限、つまり図面では直接立体物を表現する事が不可能だった事から生み出された手法であるが、しかし一方で人間の立体把握能力、立体構成力が低く、直接に立体形状を操作するのではなく、1次元落とした平面形状を経由して形状操作を行わざるを得なかった事も、図面的平面手法が広まった理由であるといえる。

（人間の立体把握能力、構成力の低さには、本来なら理論的科学的裏付けが必要であるが、例えば空間上に直接パイプを配置せず、主要平面上での配置を基点に行われている配管レイアウトの手法を見れば、主観的にでも理解できるのではないかと思われる）

2. 6 設計言語としての図面

製品情報が図面によって構成され、図面によって製品が作られているということは、図面によって表現不可能な形状は、実体化できないということである。

図面を介して製品情報が伝達されているという事は、図面が、設計言語になっているという事である。

言語は、思考を制限する。言葉として存在しないものを考えることが出来ない。赤色だけで 100 種類もの言葉のある民族と、赤色 1 つしか言葉を持たない民族とでは、色に対する感性も、想像力も、大きく異なったものとなる。

それと同様に、設計に用いられる言語としての設計言語は、設計の感性や想像力を大きく制限するのである。

例えば、図面で自由曲面を表現する場合、線図で表現しなければならないが、線図では断面、側面、水平面の主要平面上と、幾つかの斜面上の 2 次元曲線の組み合わせで曲面を表現せざるを得ず、平面上にない曲線をコントロールカーブとして用いた曲面を定義したり、直接曲面を操作して形状検討を行う事が困難である。その為、線図で表現可能な範囲内のみで曲面の検討を行っている為、無条件下での最適解を得られていない可能性が高い。

もう一つの例では、図面ベースでは平面的な、もしくは平面の組み合わせによる形状に制限されやすく、例えば最近流行の生物形状を模した構造物のような、平面では表現が難しい複雑な立体形状を取り扱うことは難しい。

3. 造船における、図面を中心とした設計システム

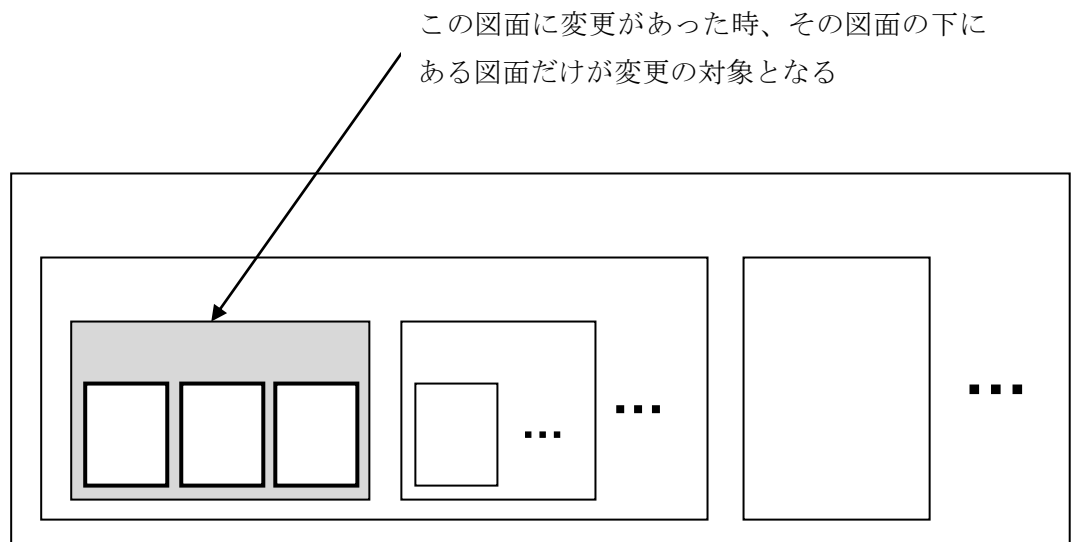
現在の造船は、図面を中心とした設計システムの上で、運用されている。

3. 1 図面を中心とした設計情報の構成

(1) フレーム分割構造

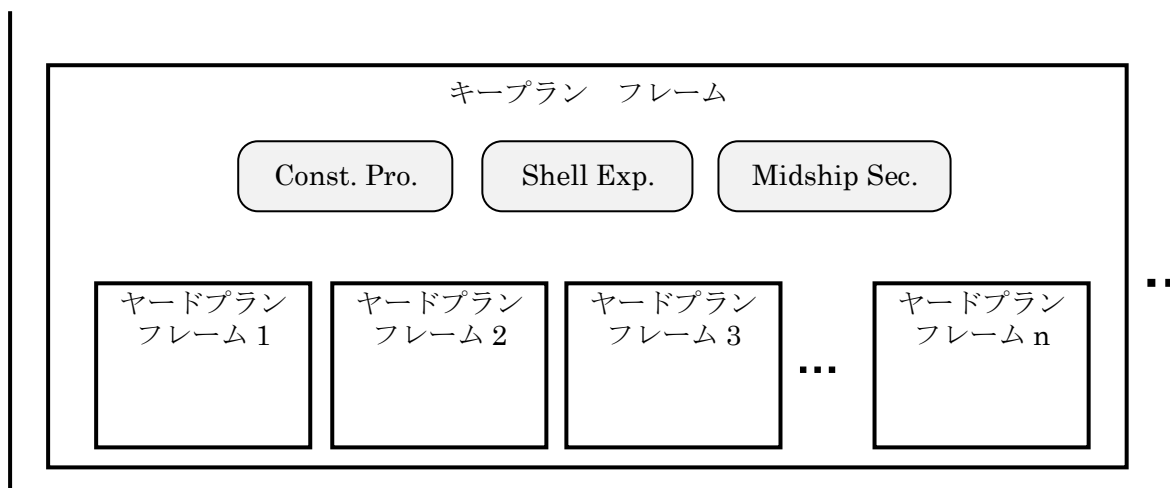
設計が進むに従って、段階的に図面が分割されて行く。この時、上の階層での図面が対象とする範囲を超えない形で、下の階層の図面範囲が定義される。工程管理資料では、これを「フレーム分割構造」と言っていたようなそうでないような。

ともかく、このような単純な構造にしておくことで、図面と図面の関係を明瞭にすることが出来る為、設計変更や修正による設計の「やり直し」作業を、スムーズに行うことが可能となる。



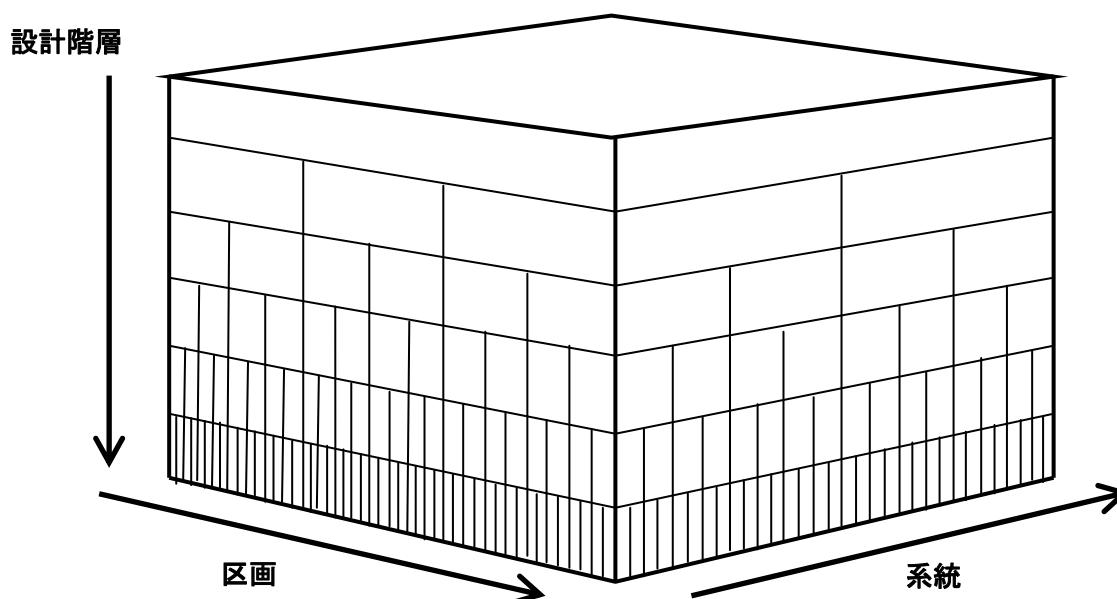
ただ、実際には厳密に 1 フレーム = 1 図面となることはなく、1 フレームに対して複数の図面が所属することがある。ただ、図面間の関係は図面の所属するフレームを 1 つの単位として見ていくことが出来る。

例えばキープランの場合、ConPro、ShellPan、Midship の 3 つの図面が 1 つのセットでキープランフレームを構成している。



(2) 設計階層と、区画・系統の 2 つの軸

設計が進むごとに設計階層が深くなるとすると、設計階層が深くなると共に、区画と系統の 2 つの軸に対して、フレームの分割が行われる。



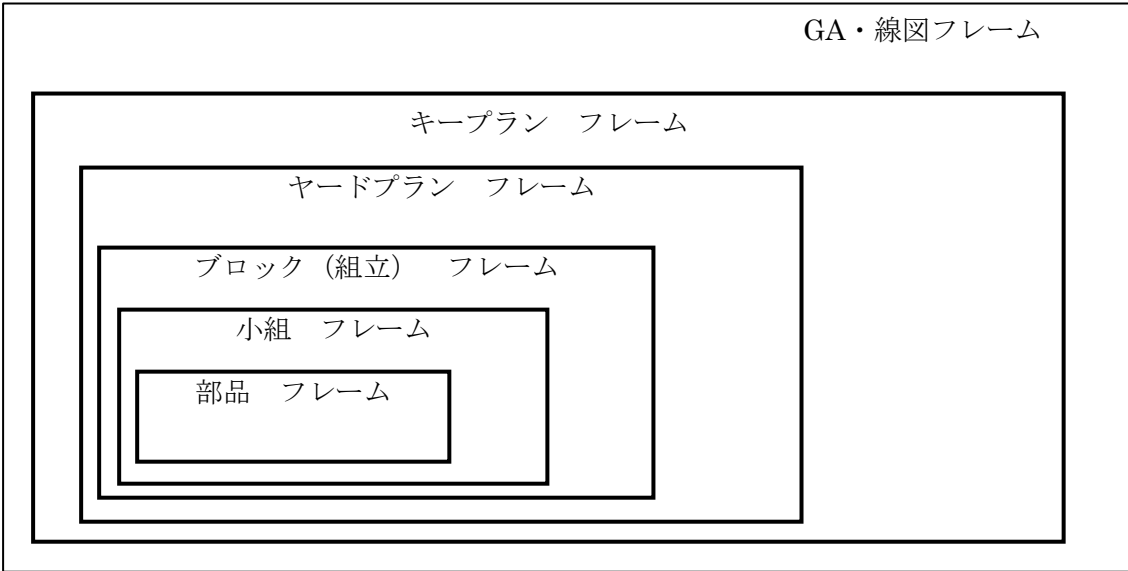
(2-1) 設計階層

基本的な設計階層は、構想設計、性能設計、基本設計、詳細設計、生産設計等に分かれている（造船所によって、微妙に階層名や階層数が変化する）。

設計階層	別名	説明
構想設計		最も粗い段階のもの
性能設計		引合に用いるレベル、GA
基本設計	機能設計	全体的な機能設計、キープラン
詳細設計	転換設計	局所的な機能設計、ヤードプラン
生産設計		部品加工が可能なレベル、工作図、一品図

(2-2) 区画軸

区画軸は、船の物理的な範囲を指している。例えば船殻系統の場合、以下のように物理範囲でフレーム分割が行われる。



(2-3) 系統軸

系統という呼び名は正確ではないかもしれない。英語では **system** や **discipline** と書かれているが、日本語でそれに対応する言葉が無い為、「系統」としている。具体的には下表のような見慣れた分類のことである。

船殻		艤装								
外板	内構	機関			船体			電気		ダクト
		機器	配管	その他	機器	配管	その他	機器	配線	

表： 系統の大まかな分類

系統は、空間ではなく機能的な分類であるが、空間によって機能が分類されている場合には、区画と系統のフレームの範囲が一致することもある。

(3) 要素間の強弱、参照と被参照

一般的には上の設計階層の要素の方が下の設計階層の要素よりも強く、下の設計階層の要素が上の設計階層の要素を参照している。

同じフレーム内の要素にも、この強弱関係は存在し、参照と非参照の関係を持っている。しかし、この関係の明確な方向性は存在せず、その場合であったり、担当者の傾向であったりで、矢印の向きが入れ替わる事もある。

この同一フレーム内の要素間の関係性を、明確に調整することが出来れば、設計の難易度を大幅に低減する事が可能となるかもしれないが、全ての要素間の関係性を明確にすることは特に困難であり、また運用の柔軟性が下がるため、実現は難しい。その為、これまでも図面単位での強弱は明確化されていても、図面内の要素それぞれの関係については、運用者に任せられていた。

3. 2 ワークフローにおける作業単位・管理単位としての図面

3. 2. 1 設計階層間での並行作業

本来は、設計階層毎に、設計作業が進められることを考慮している。それぞれの設計階層で作業が完了した後に、下の設計階層での作業を開始する事で、全体の設計作業が効率的に行われるのである。

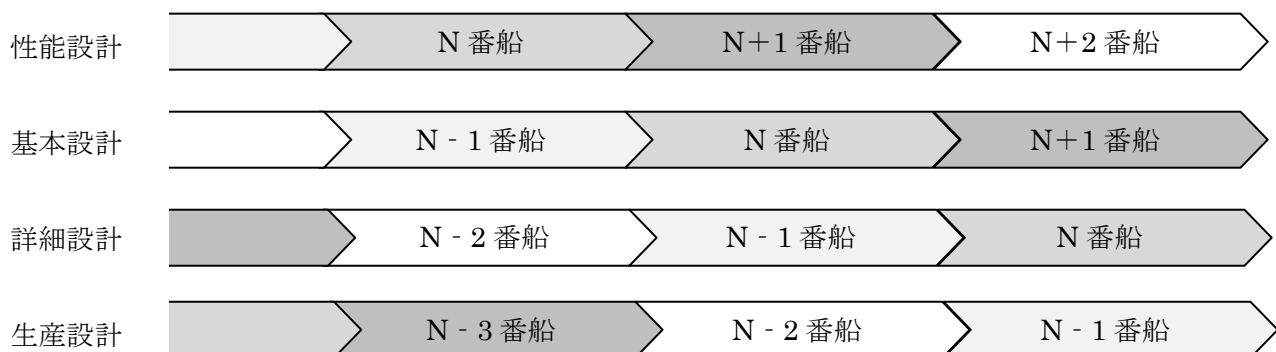
ただ、実際にはその通りには行かない。トラブルやミスを完全に防ぐことは不可能であり、日常、何らかの修正、変更作業が必要となる。その場合、本来ならば変更が必要となる設計階層以下の全ての階層の作業を停止し、変更を行った後、その変更に伴う変更も全てチェック、変更した後、停止した全作業を再開する、という手続きを行わなければならない。しかし現実的には、こうした本来の指向に則った、正しい手法というものは実行不可能である。時間的、人的制限が大きい中、異なった設計階層で並行に作業を進めなければ、当初の締切までに製品が完成しない、もしくはコストがかかりすぎて利益が出ず会社が倒産してしまう、という事態になってしまうのである。

そこで、現実の造船所では、元々の指向からは外れた、いわば非正規手段を用いて、制限に見合う作業環境を造り出しているのである。

(1) 複数の製品を、入れ替わりで並行に流す

1つの製品については、各設計階層での作業終了を待ち、その次の設計階層での作業を開始するものの、複数の製品をずらしつつ入れ替わりで並行に流すことで、リソースを最大限に利用している。

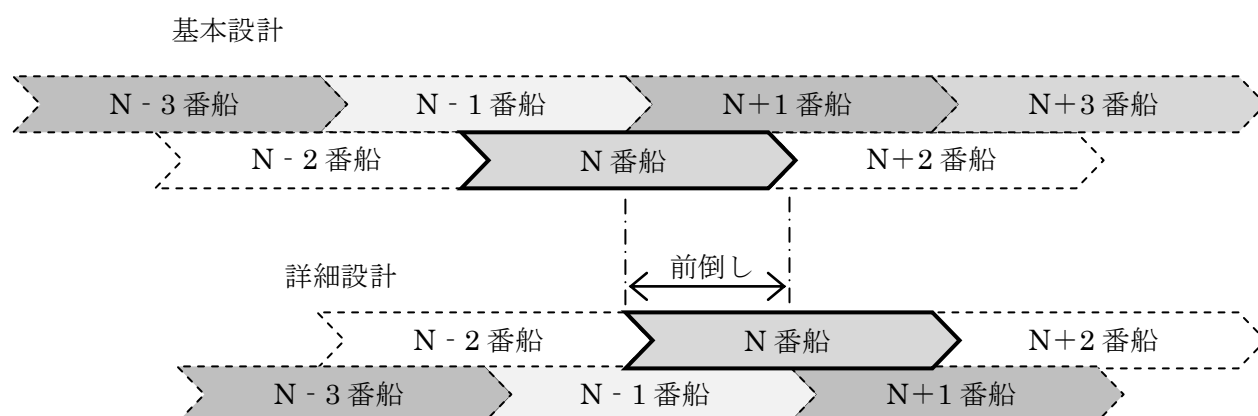
ただし、仕事が上手く流れている間は製品間の境界が明確であるが、変更作業が入ってくると、不明瞭で入り乱れた状態となり、当然に対応も難しくなる。



(2) 同一製品の異なる設計階層での作業を、同時並行で進める

参照先の設計作業を仮定し、その設計作業が完了する前から、仮定を前提に作業を進めておき、仮定と異なった部分については後に修正を行う。

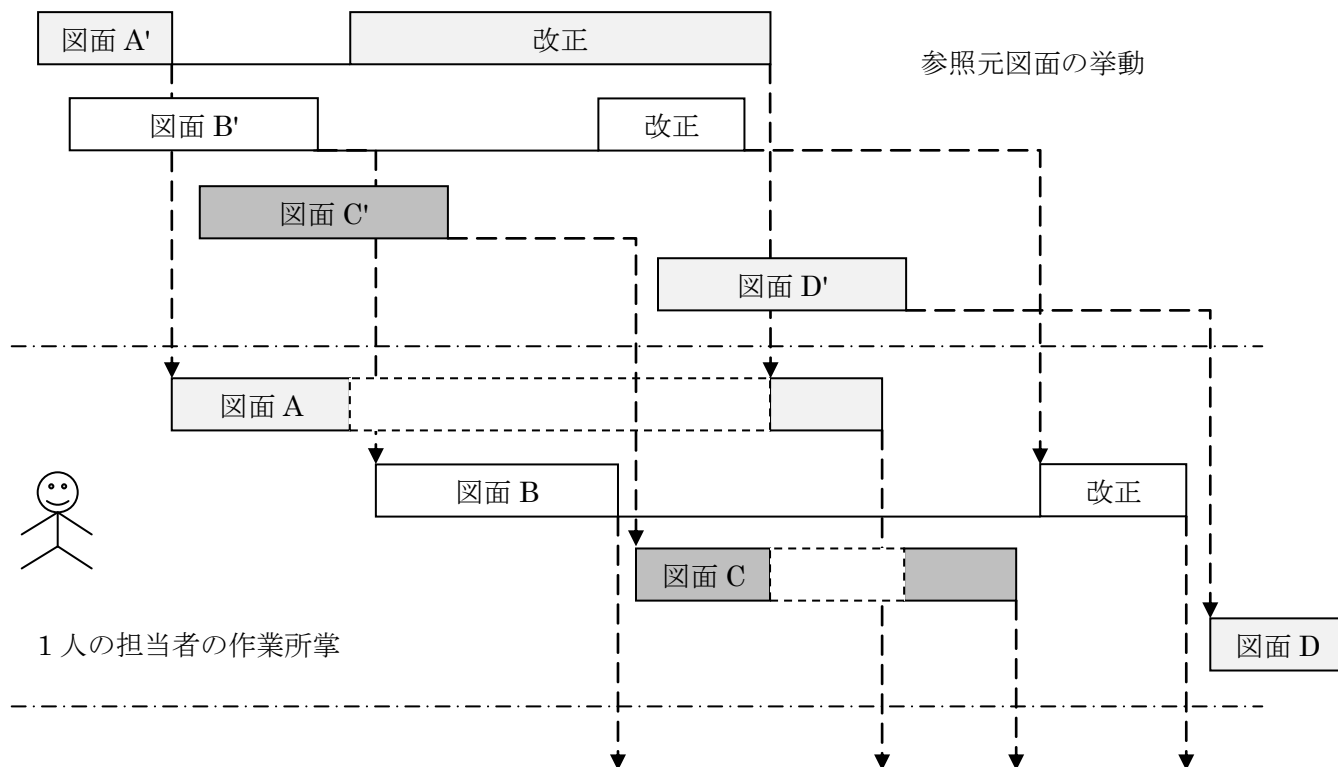
対象となる製品が比較的に似通っている場合には、こうしたエッジの効いた手法も利用可能である。ただし仮定を見誤ると、全体の工程が大混乱に陥ってしまうことになり、マネジメントが難しくなる。



(3) 図面単位で、更に最適化を進める

ある設計作業を行う為には、その設計で参照を行う図面の完成を待たなければならない。(2)のように参照先図面の完成を見越して前倒し作業をするにしても、参照先図面の設計は開始されていなければならない。まの参照先となる図面は複数存在し、それぞれで締切の変動や変更作業が発生すると、予定を立てにくくなり、また現時点で作業中の場合には、その設計を一時停止しなければならない。つまり、他の設計者の作業の進捗によって、自身の設計作業をその都度変化させて行かなければ、手空き時間ばかり増えて、仕事にならないのである。また、自身が作成した図面を参照する下流の設計者や生産者の都合も考慮しなければならない。

その為、1人の設計者は、複数の船の複数の図面の作業を抱えて、同時並行で進めているのが普通である。取り掛かれるのは1つの図面のみだが、関係する他の設計者の作業の進捗に応じて、その時点で最も優先度の高い図面の作業を行うのである。1つの作業が途中で途切れると、作業の能率が大幅に落ちてしまうことから、如何にして作業が途切れないように日程を組むか、当事者間で調整を行うかが重要となる。

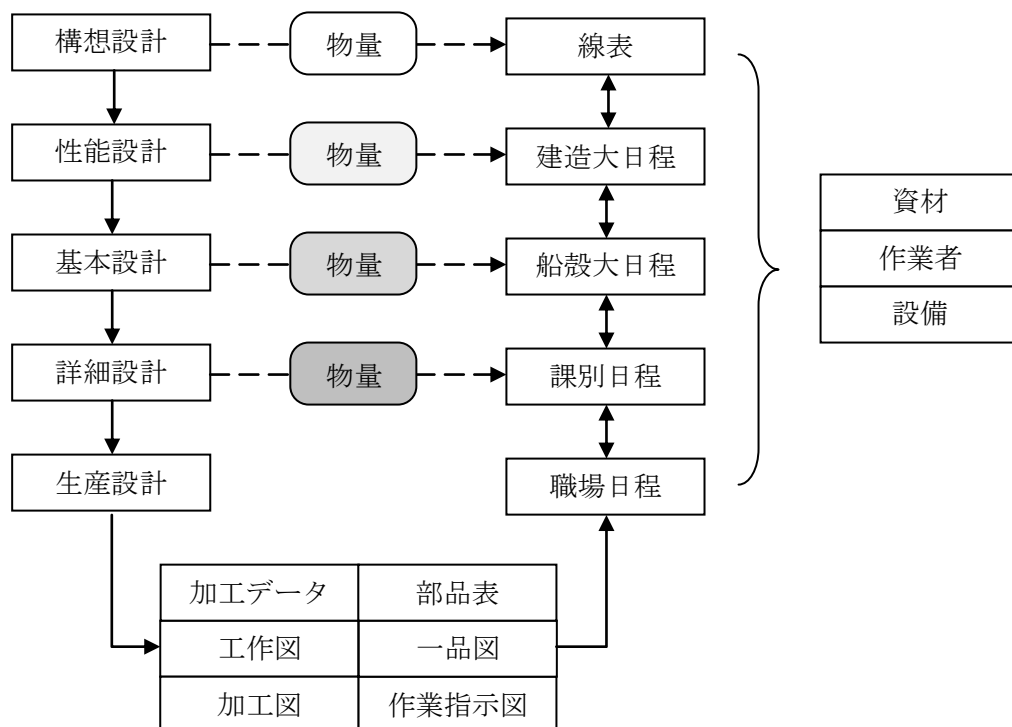


3. 2. 2 設計・製造の並行作業と図面

造船の特徴として前にも挙げた通り、1隻の船の設計が完了しない内に建造が開始される。当然に、資材の調達や作業・施設の確保を行う為、建造を開始するよりも相当に早い段階から、物量を抑えなければならない。

その為、一般的な造船所では、設計とほぼ同時並行で、物量の把握と日程の作成とが行われている。これは、その時点で入手可能な最新情報を基にして、予測に利用するデータの精度を限界まで向上させるためである。そして最新のデータに更新する度に、それまでの粗いデータで作成されていた日程も再更新し、それに従って資材等のリソース予約も調整してゆくのである。元となる設計図面に変更が行われ、それが日程やリソース予約に影響を及ぼすものであれば、更新を行わなければならない。

この物量は設計の図面単位で計算、管理されている。また生産設計によって作成される各種の工作用図面を一つの単位として、現場での作業が行われている。



3. 2. 3 データ管理単位としての図面

設計のリリースという意味での出図や、船級や船主の承認も図面単位で行われている。作業の単位が図面であるので、自然とこうならざるを得ないのだが、しかし、図面を管理単位としていることで、図面上に散らばる個々の設計要素に対して、各々承認印を押さずに済ませることが出来きている。仮に、個々の設計要素別にリリース・承認を行おうとすれば、全ての設計要素に ID をふり、一覧表を作り、管理しなければならない。図面をベースとした設計情報システムでは、これは不可能である。

一方でデジタルデータベースでは、設計要素単位での管理機能が図面ベースのシステムと比較すると格段に優秀である。しかし、結局のところ管理作業そのものを実行する人間の機能が追い付かない為、図面のような、ある情報グループ単位でのリリース・承認を行わなければならないと思われる。

3. 2. 4 図面を用いる事による形状の制限

図面が設計言語となっていることから、図面を中心とした設計システムにおいて、取り扱える形状に制限がある事は既に述べたが、造船においては船級ルール等で図面での形状表現を前提にしていることが多い為、この形状制限が問題になる事は余りない。

例えば、貨物船の二重底構造は、理想的にはハニカム構造か、それに近い形になると思われるのだが、現状の船級協会のルールにおいては、縦横が明確で、それぞれの方向に対する各種の強度計算に別々に用いる事が可能な独立部品としておかなければならない事から、実用は難しい。また、配管を船体構造の一部として用いる事で、船体重量を幾らか軽減する事が可能となると思われるが、検討が難しくなり判断できなくなるため、配管を船体構造の一部として用いる事は不可能である。

将来、強度計算が全て FEM で実行されるようになれば、二重底のハニカム構造や、生物的構造物、配管の船体構造への利用といった事も実現可能となるかもしれないが、設計情報の媒体として図面が用いられ、また図面を設計言語とした各種ルール・規則が存在している限り、現在の形状から離れる事は難しいと考えなければならない。

4. ポスト図面システム

4. 1 3DCAD とは

3DCAD は図面に代われるか？という根源的な問題について、深い考察が為されないまま、なし崩し的に 3DCAD への置換を行おうとし、そして失敗しているのが現状である。

そもそも、3DCAD はその名のごとく、設計を補助するツールとして登場した。それまで、図面上の二次元形状を駆使しながら三次元形状を想定、検討し、更にはそれを基に生産情報へと展開していたが、これには作業者に高い立体把握能力を必要とし、また大変手間のかかる作業であった。そこで、コンピューター上に三次元形状を定義し、各種の検討をコンピューターに計算させる事により、設計、エンジニアリング、生産の作業負荷を低減させようとしたのである。ここで重要な事は、あくまでも「補助」手段であり、情報の中心は図面や各種表類といった紙、もしくは二次元媒体であり続けた。これは単純なデータ、つまり形状や材質といった情報をコンピューター上に定義することは比較的容易であるものの、図面等に含まれている設計意図や各種ノウハウ等の複雑な設計要素までをコンピューター上で表現することが困難であり、そして設計環境の多くが図面をベースとしていることから、製品そのものの表現方法だけでなく、その周辺の環境も変更しなければならなかったからである。

ただ、最近の電子情報機器類の進化により、コンピューターのハードウェアのみでなく、データベースやネットワークの機能が格段に向上し、デジタルデータの表現の幅も広がった。そしてデジタルデータの情報処理能力の高さを活かした、これまでの紙や二次元媒体から移植できなかった情報の表現や、紙や二次元媒体を中心とした環境では不可能であった新しい機能や手法が、実現可能なものとなりつつある。それにより、PDM とか ERP とかライフサイクルマネジメントといった、従来の設計の範囲を超えた新しい統合環境が提唱されるようになった。

このような新しい統合環境を、そのシステムの中心に近い部分に 3DCAD が存在していることから、3DCAD と呼んでしまっている人が多い。しかし従来の 3DCAD との混乱を避けるためにも、別の名称、例えば「製品情報のデジタル化」等と呼ぶべきである。

4. 2 製品情報のデジタル化

4. 2. 1 デジタルデータの特質

・デジタルデータの利点

処理能力の高さ

計算スピード、繰り返し計算

記憶領域の大きさ

並行処理、多人数による同時アクセスへの対処

プログラムにバグが無い限り、処理ミス・計算ミスが発生しない

→システムが単純である程、効率が良くなる。

システムがコンピューターのみで構成される範囲が広い程、効率が良くなる。

データ間から人間を排除する

・デジタルデータの欠点

システムが単純でないと、構築や処理ができない

プログラミングや、データベース定義、データ入力人間

→人間が把握しきれないものは、表現不可能

人工知能は論外（何をもって人工知能が出した答えが正しいもので

あると確認するのかという問題が解決されない。結局のところ、

人間が考える以上のものは、存在しても意味が無い）

複雑や不明瞭なもの、循環参照、例外処理、抽象的表現は難しい

（設計の上流段階に多く存在）

→コンピューターが直接解釈可能なデータでなければ、利点を活かせない

コンピューターが直接解釈不可能なものは人間が介在することになる

柔軟性が犠牲になる

例えば抽象的なものを定義するのであれば、抽象的なものを具体的な形式としてデータベース上に定義しなければならないが、抽象的な物を共通な形式で定義する事は難しく、抽象的な物の数だけデータ形式が増えてしまうことになる。しかしデータ形式の種類が増えたと、それだけシステムが複雑になってしまい、デジタルデータの利点である処理能力の高さを殺してしまう事になるのである。その為、抽象的な物の定義は可能な限り避

けるべきである。

製品情報のデジタル化においては、デジタルデータの利点を最大限に活かし、かつ欠点を巧みに回避しなければならない。

4. 2. 2 デジタル化の方向性

造船システムのデジタル化を進めるに当たり、以下の 2 つの方向性が存在する：

- (1) 現在の図面システムを、そのままデジタル化する
- (2) 現在の図面システムは捨ててしまい、全く新しい環境として創り上げる

4. 2. 2. 1 図面システムのデジタル化

現在、広く行われている方法。デジタル化の範囲が制限され、システム内に人間の介入を必要とする部分が多く残ることになり、システムの効率が大幅に低下することになる。全体的な投資コスト・運用コストを考慮すると、デジタル化を初めから行わない方が良い状態に陥りかねない。ただ一方で、この方式でのデジタル化の推進は現場レベルで行えるため、コストを無視すれば導入そのものは一番容易である。

図面システムをデジタル化するに当たり、以下のような壁がある。

(1) 抽象的表現

特に設計の上流部分において、抽象的表現が用いられることが多い。図面上に幾何学形状や数値で具体的に表現されているものであっても、完成した製品形状とは異なる仮の形状を描いたものであったり、記号的意味合いしかもたないものがある。またデジタルデータでは循環参照となってしまう構造物も多く取り扱われている。このように、図面をベースとしたシステムにおいては、こうした抽象的表現は人間が解釈していたことから取扱いが可能であったが、データ間に人間を介在させないコンピューターのみで構成されたシステムでは、抽象的表現を取り扱うのは困難である。

これに対して、以下の 2 つの解決法がある：

- ・ 抽象的な表現手段を準備する
構造的データ（XML 等）により、段階的に具体化される表現の仕組みを作成する。ただし種類が多くなるとシステムの効率が低下する。
- ・ 抽象的な表現を排除する
抽象的定義を飛ばし、設計を前倒しするように設計フローを変更する

（2）システムの柔軟性

図面システムにおいては、適度な量の情報を、適度に分離し、人間が柔軟に運用していた。段階的な設計や、例外処理、抽象的表現、そして設計変更やトラブルの際の例外的な対応といった事が可能であった。

しかしこうした柔軟性は、データの間人間が介在することで取扱いが可能となるものであり、デジタルデータの長所を活かす為の最低条件であるところの、データ間からの人間の排除とは真逆となる。その為、以下のような選択を行わなければならない：

- ・ 柔軟性を優先する
データ量の制限、データ間リンクを柔軟的運用が可能な構造にまとめる、適度に人間が入り込む形にする。
柔軟性はある程度保たれるが、システムの効率が低下し、また運用の難易度・コストは上昇してしまう。
- ・ 柔軟性を優先しない
システム効率とデータ精度を優先し、柔軟性は後回しにする。
運用の難易度・コストは低くなるが、一方で柔軟な対応が不可能となり、それを前提とした運用システムへと転換しなければならない。

（3）統合は困難

現在進められている既存の造船システムのデジタル化は、別々の局所的範囲に都合の良いやり方で、バラバラに行われている。そこには統一された思想も、方向性も持たない為、後で全体を統合しようとしても、バラバラな仕様の調整で行き詰まる事となる。

4. 2. 2. 2 図面システムに代わる、新しいシステムの構築

図面システムに代わる、効率の良い新しい造船システムが構築されることになるものの、以下のような理由から、現実的には不可能に近い：

(1) ゼロからのシステム構築となること

既存の図面を中心とした造船システムは、帆船時代から何世紀に渡って築き上げられたものである。システムの規模は膨大で、構築にかけられた時間、人員を考えると想像もつかないほどである。

これだけのボリュームの造船システムをゼロから構築し直すという事は、既存の図面システムを参考可能ではあるとしても、相当な時間と人員とが必要となる。50 年、100 年単位の長期的な開発プロジェクトとなる可能性も考慮しておかなければならないが、それだけのプロジェクトを主導できる組織、団体が存在するかと言われると、利害の相反する造船所、船主、船会社、船級、各国政府が混在する造船界においては、不可能に近い事のように思われる。

(2) システム全体への展開が難しいこと

既存の図面を中心とした造船システムにおいて、図面がシステムの言語となっている。つまり、システムに属する人間の思考が図面をベースに行われ、設計やルールの変現が図面で行われていたということである。

その為、いくら新しいシステムがスマートで、完成度が高い優秀な物であったとしても、システムに参加している全ての人間に対して、思考を図面ベースから新システムへと切替させなければならず、また設計やルールの変現も図面から新システムへと作り変えなければならないのである。そして当然に、造船システムを構成する全ての造船所、船主、船会社、船級、政府の間で利害調整を行わなければならないが、事実上不可能である。

4. 2. 3 デジタル化において採るべき方向性と選択肢

現在の図面を中心とした造船システムで、デジタル化を進める事は困難である。またそれと同時に、現在の造船システムに代わる、新しい造船システムをデジタルデータ上に構築して行くことも困難である。

以上の事実を考慮すると、「何もしない」という選択肢が最も有益であることがわかる。つまり、これまで通りの図面を中心とした既存の造船システムを変更せず、そのまま利用し続けて行くことが、無駄な投資や混乱を生まないだけ、デジタル化の推進に失敗した場合よりも合理的であるということである。

しかし造船だけが、この進化の著しいデジタル技術の恩恵に与れないままで良いのだろうか。船舶機器や、一般業務、船舶運用管理システムといった外的なものばかりでデジタル化が進められてゆくのを傍から眺めるだけで良いのだろうか。

(1) 将来を見据えた準備を

現在の造船システムに代わり、デジタルデータの能力を最大限に活用可能な新しいシステムの創造は、たちまちに実現可能ではないが、準備だけは行っておかなければならないのではないか。

(2) 当面のデジタル化の恩恵の最大限の享受と、デジタル化の失敗を防ぐ為の何か。

現在進められている局所的なデジタル化を今後拡大して行く事にはメリットが余り見い出せない状態であるが、現在導入された範囲を整理し、効率の向上を行う事には意味がある。またデジタル化の困難な部分を予見し回避する事で、無駄な導入による損失を防ぐことも必要である。

(2)の発展系が(1)にはならない為、これらは並列に、実行されるべきである。リソースが分散されてしまうことになるが、(1)は長期的戦略の下に行わなければ達成不可能であること、そしてそれが達成されるまでにも手当が必要であることを考慮すれば、致し方ないことである。

4. 3 デジタルデータ上での理想的な製品の表現について

図面システムからデジタル化されたシステムに移行するとして、新しいシステムの上で、製品はどのように表現すべきであろうか。

4. 3. 1 新システムに必要となる条件

(1) デジタルデータの長所を最大限に、短所を最小限に

何よりも、デジタルデータの特性を最大限に活かしたものでなくてはならない。

- ・システムを可能な限り単純化する
- ・冗長性の無いシステム（同一要素を並列に持たさない、代わりにリンクを利用する）
- ・データ間に人間を必要としない（入力された全てのデータは、コンピューターのみで処理可能であり、人間による読解や翻訳を不要としていること）

(2) 造船環境との親和性

一方で、従来の造船環境との親和性を維持するか、従来の造船環境に取って代わる新しい造船環境を創り出す根幹的な仕組みが必要となる。後者については難易度が余りにも高く想像すらつかないので、親和性維持についてのみ考慮する。

- ・設計階層、系統（船殻、艀装）、作業単位で、並行作業が容易なデータ構成
- ・柔軟に運用可能な仕組み

4. 3. 1. 1 シンプルな基本構成

シンプルで使い勝手の良い製品要素の基本構成を考えてみる。

まず、製品を構成する為に必要となる全ての要素は、大きく分けて設計要素と制限要素

とに分類できる。

設計要素：

製品自身の定義、並びに製品の製造に必要となる全ての要素。

他の要素を基にして、新たに定義される要素（エンジニアリング要素）

設計初期段階で、独立して新たに定義される要素（デザイン要素）

制限要素：

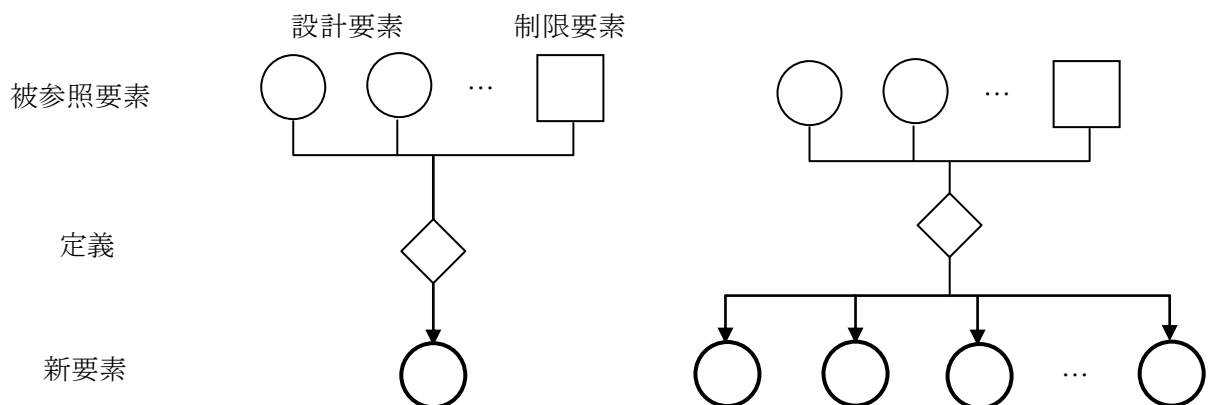
製品外から、設計要素の制限を行う外的要素。以下の 2 つのものがある：

各種法律や船級ルール、規制等の、造船所外から加わる外部的制限要素

造船所の各種社内標準、製造時の工場設備や人員の制限などの内部的制限要素

要素間の関係

初期設計要素以外の設計要素は、1 個以上の設計要素と、0 個以上の制限要素を参照して定義されている（下左図）。通常は、一つの定義で複数の新要素が作成されることが多い（下右図）



以上から、製品は無数の設計要素と制限要素、要素間の定義により、構成されることとなる。どれだけ単純な製品であったとしても、この要素、定義の関係は、複雑なものとなる。

4. 3. 1. 2 多階層・多系統での並行作業を可能にする要素構造

(1) 要素構造に必要とされる条件

複数人で設計要素を分担し、段階的に定義作業が行われる。
段階が進む毎により詳細な定義が行われ、作業者数も増加する

1 隻の船は膨大な量の要素で構成されており、1 人だけでの定義作業は不可能
船主との契約、船級・船主の設計チェック・検査を、設計作業の区切りとしている
生産を設計と対照的な段階別に行う事で、設計が完了しない内の生産を可能とする

(2) 以上の条件を満たす、スマートな要素構造の提案

・冗長性を無くし、スマートなデータ構造とするための工夫：

二重定義される要素が無いように、個々の設計要素の定義は 1 度きりで、
要素への参照関係を用いて製品を構成して行く

・並行作業を容易にするための工夫：

純粋な足し算による詳細化による要素構成

下層での定義後、上層で変更が行われても下層での変更作業は不要

モジュールによるパッケージ化

境界範囲と外界とのインターフェース、モジュール内機能の定義により

モジュール内の設計作業が可能となる

完成したモジュールは、外界では 1 つの部品として取り扱われる。

・循環参照を防ぐ為の工夫：

全ての設計要素と全ての制限要素に唯一の優先順位を与えておき、

新要素の定義時に、それよりも優先順位が上の要素しか参照できなくする。

参照を行う要素から、非参照要素への関係が分岐を繰り返しても、

参照関係がもつれなくなる

一方で、かなりの設計制限を受ける事になる

以上の 3 つの工夫を具体化して行くことで、設計要素間の関係性が明確になり、どの設計要素の内容を変更しても、初期設計要素以外の全ての設計要素が、自動的に再計算可能な環境を構成することが可能となる。

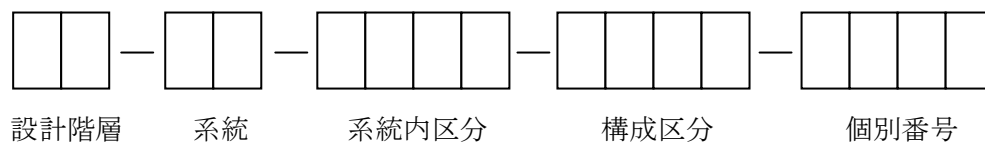
上流における設計要素の構成そのものの変更にも対応可能となれば、より完璧になる。

モジュールセットを幾つか作成し、セット毎に選択を行う。

複数人による並行作業において、要素への優先順位付与をスムーズに行う手法

- ・ 設計階層毎に、絶対的な上下の区別をつけておく
- ・ 同一設計階層でも、系統の違いにより、明確な上下の区別をつけておく
- ・ 同一設計階層、同一系統内においても、対象を区分しておき、
区分毎に明確な上下の区別をつけておく
- ・ 同一区分内で、要素構成がスマートになるように、基本的な要素構成を
予め準備しておく
 - ・ 基本的な構造の部材の参照関係（隔壁とスティフナ、ブラケット等の関係）
 - ・ 基本的な部品（隔壁、スティフナ、ブラケット、等）毎に要素をセットにしておく

→ 要素毎に、下記のような独自の ID を付与する。



- ・ 優先度が逆転してしまう参照は実行できないように、3DCAD 側に仕込んでおく。
- ・ 3DCAD で定義不可能な形状、構造を回避して設計する

ただ実装するには、かなり多くのハードルが…

4. 3. 1. 3 もう少し難易度の容易な方法

循環参照チェック機能のある 3DCAD を利用して、予行演習してみるのが良い。

主要な構成物に優先度を割当てておく

複雑な物は事前にパッケージ化

補機台とデッキ裏補強材の関係等

3DCAD の機能での、循環参照のチェックと回避

循環参照を行わないで済むように、設計を調整

EvoShip は、色々な意味でこの用途に最適なツールである。

4. 4 当面の大きな問題

4. 4. 1 データのチェックをどのように行うか？

図面は、人間が読みやすかった。その為、チェックも容易であった。

3DCAD データは、そのままでは人間が読みにくく、チェックが困難。

社内チェック、船主・船級のチェック、完成図、メーカー図、等

造船システムの中で、何をもって正しいとするのか。根本的な見直しを行わなければならない。

矢張りインターフェースとしての図面は、今後も必要なのか？

少し古い船殻用 3DCAD は、2 次元図面ベースでモデリングを行っている