

第5章 設計・生産対象のモデル化

前章では、造船の設計・生産システムを構築するために必要となる設計・生産活動のモデル化について述べ、「設計・生産対象のモデル」と「設計・生産過程のモデル」および「生産環境のモデル」を定義した。これらのモデルのなかで中核となるものは「設計・生産対象のモデル」である製品モデルである。そこで本章では、「設計・生産対象のモデル」に焦点を絞り、以下に示す流れにしたがって、造船における製品モデルを考察する。さらに、造船における製品モデルをシステムに実装するためのオブジェクトの定義も示す。

- ・製品モデルの形状を表現するための形状モデルをオブジェクトとして定義する (5.1節)。
- ・船体構造を構成する基本単位の情報である部材情報と接合関係情報を製品モデルとして定義する (5.2節)。
- ・船倉や区画および各種タンクに関する情報である「部屋」および「壁」を概念化し、製品モデルとして定義する (5.3節)。
- ・船体構造を構成する構造単位を概念化し、製品モデルとして「ユニット」を定義する (5.4節)。
- ・生産活動の対象となる中間製品を概念化し、製品モデルとして「組立モジュール」を定義する (5.5節)。

5.1 形状モデルによる形状の表現

製品の形状を情報として表現することによって、製品の实体としての認識ができるだけでなく、形状情報をもたらし三次元空間内に占める領域などの情報を製品モデルの情報として利用することが可能となる。そこで本節では、CADの研究で行われている形状モデルの定義方法を参考に[山口88]、製品モデルの形状情報を形状モデルによって記述することについて述べる。さらに、形状モデルをシステムに実装するために定義するオブジェクトについても述べる。

5.1.1 線分形状を表現する形状モデル

本研究で定義される線分形状は、二つの頂点で表現され、Fig.5-1-1で示すようなデータ構造によって表現されている。線分には、両端点となる頂点の情報が記述されている。また、頂点には自己が構成する線分の情報が記述されている。したがって、このデータ構造によって、頂点はもう一つの端点の情報を容易に獲得することができる。本研究では、対象とする船体構造は平面部材、直線部材に限定しているのでそれらの部材などの形状定義に用いる線分形状は直線形状のみとしている。

また、この形状モデルをシステムに実装するために、線分をオブジェクトとして表現する<Wire_Edge_Object>、頂点をオブジェクトとして表現する<Vertex_Object>を定義している。またシステムでは、この線分オブジェクト<Wire_Edge_Object>は、後述する骨部材オブジェクトの取付線の形状情報や接合関係オブジェクトの形状情報として利用されている。

5.1.2 面分形状を表現する形状モデル

本研究で定義する面分形状は複数の頂点と稜線の構成によって表現され、Fig.5-1-2に示すようなデータ構造であるB-Reps (Boundary Representations) 表現による形状モデルが用いられている。各

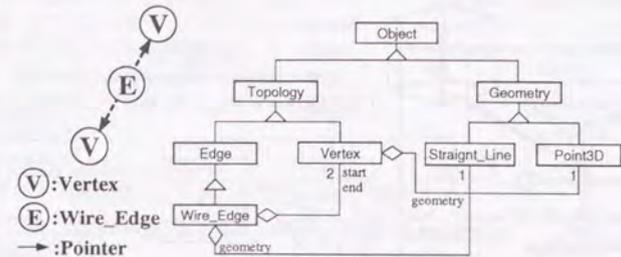


Fig.5-1-1 線分オブジェクトのデータ構造

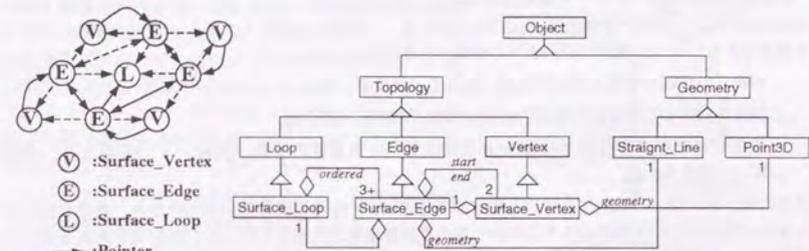


Fig.5-1-2 面分オブジェクトのデータ構造

稜線には、両端点となる頂点と前後に連結されている稜線、さらに稜線が構成している面分の情報が記述されている。頂点には、その頂点に接続されている二本の稜線のうちどちらか一方の稜線の情報が記述されている。また、面分には、その面分を構成している複数の頂点・稜線がリスト形式によって記述されている。このようなデータ構造を用いれば、面分を構成しているある頂点、あるいはある稜線のいずれか一つでも分かれば、それを起点として全頂点、あるいは全稜線を順番に辿ることができる。本研究では、対象とする船体構造は平面部材、直線部材に限定しているため、それらの部材などの形状定義に用いる面分形状は平面形状のみとしている。

また、この形状モデルをシステムに実装するために、面分形状をオブジェクトとして表現する<Surface_Loop_Object>、稜線、頂点を表現する<Surface_Edge_Object>、<Surface_Vertex_Object>を定義している。またシステムでは、この面分オブジェクト<Surface_Loop_Object>は、後述する板部材オブジェクトや骨部材オブジェクトの形状情報などに利用されている。

5.1.3 立体形状を表現する形状モデル

立体形状を表現する形状モデルとしては、B-Reps 表現や CSG (Constructive Solid Geometry) 表現などのソリッド・モデル (Solid Model) が定義されている。本研究では、B-Reps 表現によるソリッド・モデルを利用した。この形状モデルによって立体形状の容積や表面積の計算、さらに任意の平面が立体形状と交差することによってできる面分形状を幾何的に計算することも可能である。

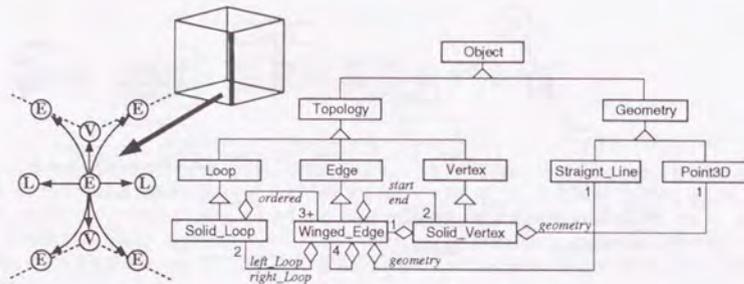


Fig.5-1-3 ソリッド・オブジェクトのデータ構造

B-Reps 表現に用いたデータ構造は Baumgart の提案したウィングドエッジ・データ構造である [Baumgart74]。このデータ構造は Fig.5-1-3 に示すように稜線（稜線 0 とする）に情報を集約したデータ構造であり、一つの稜線には、以下の情報が記述されている。

- ・稜線 0 の両端点となる頂点の情報（頂点 1，頂点 2）
- ・稜線 0 に対して向き合う両側の面分の情報（面分 A，面分 B）
- ・稜線 0 に接続する面分 A と面分 B を構成している稜線の情報（稜線 A-1，稜線 A-2，稜線 B-1，稜線 B-2）

頂点には、その頂点に接続されている稜線のうちどれか一本の稜線の情報が記述され、面分には、その面分を構成している稜線のうちどれか一本の稜線の情報が記述されている。本研究で対象とする立体形状は、立体形状を構成する面が全て平面によって定義される形状のみとしている。

また、このソリッド・モデルを、システムに実装するためのオブジェクトである <Brep_Solid_Object>、ソリッド・モデルを構成する面分や稜線、および頂点をオブジェクトとして実装する <Solid_Loop_Object>、<Winged_Edge_Object>、<Solid_Vertex_Object> を定義している。またシステムでは、このソリッド・オブジェクト <Brep_Solid_Object> は、後述する部屋オブジェクトの形状情報として利用されている。

5.2 船体構造を構成する基本単位のモデル

船体構造は、多数の板部材や骨部材から構成され、それぞれが互いに接合されて造り上げられた大規模かつ複雑な板骨構造物である。そこで本研究では、船体構造を構成する基本単位となる製品情報として、以下の情報に着目し、それぞれを製品モデルとして定義する。

- ・板部材や骨部材を表現する製品情報
- ・複数の部材間の接合関係を表現する接合関係情報

5.2.1 部材の製品モデル

(1) 部材の製品モデルの定義

本研究では、船体構造を構成する板部材や骨部材などの部材を製品モデルとして定義している。この部材の製品モデルは、属性モデルの概念に基づき、部材の形状情報だけでなく部材に関する様々な

属性情報を持つ製品モデルとして定義されている。その主な属性情報としては、次項 (5.2.2 項) で述べる接合関係情報や、部材名称、材質等が挙げられる。また詳細は後述するが、区画の設計段階で生成される部屋の情報、生産の段階で生成される溶接線等の情報なども間接的に有するものとしている。

(2) 部材の形状表現

板部材や骨部材の部材形状は、以下に示すように定義している (Table 5-2-1)。

・板部材の形状表現

本研究では、板部材は曲がりのない平面部材を対象している。板部材の形状表現としては、板厚を属性情報として記述する面分による表現方法を用いている。具体的には、板部材の外形状を重要視した平面の面分モデルによる形状表現を行っている (Fig.5-2-1)。このような形状表現では、板部材の複雑な立体形状を表現することが困難であるが、板厚を形状として表現した B-Reps、CSG などのソリッド・モデルによる形状表現と比べて少量の情報で簡潔な表現が可能である。このような表現を用いた主な理由は、次のとおりである。

- ・ソリッド・モデルによる形状表現では、形状変更の際に、板厚を考慮した形状修正が必要になる。
- ・面分で形状表現された板部材のモデルに板厚という情報が記述されていれば、その情報を利用することによって、面分をその面に対して垂直に掃引するというアルゴリズムを用いて容易にソリッド・モデルの情報に変換することが可能である。
- ・板厚を形状表現として扱くと、板厚という属性情報が容易に取り出せなくなる。
- ・初期の設計において板厚を考慮した形状処理を行うと、形状修正の際には、煩雑になる可能性がある。

また、板部材に対して穴が存在する場合は考えられるが、本研究では穴自体を板部材の属性情報として認識し、穴の情報は板の属性情報として記述する。したがって、穴形状の形状変更は板部材の外形状とは独立に行うことが可能である。

・骨部材の形状表現

骨部材は板部材に対して取り付く部材である。そこで、骨部材の取付線の情報として線分情報と、取付角度の情報を、骨部材の属性情報として記述している。さらに属性情報として骨部材の断面形状 (ウェブ高さ、ウェブの厚さ、フェイス幅、フェイスの厚さなど) を記述する。これらの線分情報と取付角度さらに骨部材の断面形状のウェブの高さの情報から、骨部材の「ウェブを表現する面分」を求めることができる。そこで、骨部材の形状情報としてはこの「ウェブを表現する面分情報」を記述し、「ウェブを表現する面分情報+属性情報としての骨部材の断面形状」を用いて骨部材形状を表現している。この表現方法によって、ウェブを表わす三次元面分に沿って断面形状を移動させたときに

Table 5-2-1 部材の形状定義

| 部材 | 形状定義 |
|-----|--|
| 板部材 | 板の外形を表す面分 + 穴の形状を表す面分 + 板厚 |
| 骨部材 | ウェブ形状を表す面分 + 骨材の断面形状 |

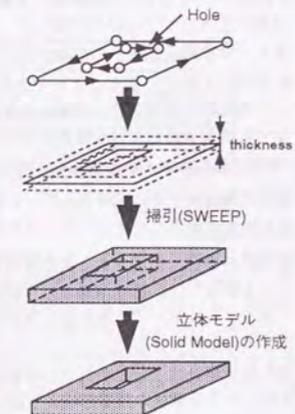


Fig.5-2-1 板部材の形状表現

掃引される部分を、骨部材の形状として定義できる (Fig.5-2-2)。

板部材と同様に、この形状表現では B-Reps, CSG などのソリッド・モデルによる形状定義を用いる程の立体形状の表現力は有していないが、比較的単純な形状に対して、少量の情報による簡潔な表現を可能としている。また、板部材と同様にソリッド・モデルへの形状情報の変換も可能であると考えられる。

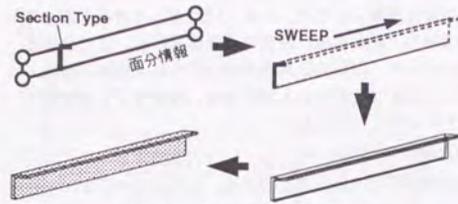


Fig.5-2-2 骨部材の形状表現

骨部材の形状を、以上の様にモデル化する利点を以下に整理する。

- ・ B-Reps, CSG などのソリッド・モデルによる形状表現では、「骨部材の長さ」といった属性情報を容易に取り出すことはできないが、属性情報として「板に取り付く線分」を記述しているので、容易に「骨部材の長さ」の情報を抽出することができる。
- ・ 断面形状を独立に扱うことができるので、骨部材の断面形状として認識することができる。さらに、骨部材の断面形状の変更が容易に行える。他の形状モデルでは、断面形状という概念が存在しないため断面形状だけを変更するのは困難である。

(3) 部材の製品モデルから得られる情報

部材の製品モデルに記述されている情報から獲得できる主な情報は次に示すものである。

・部材の表面積

板部材の場合、記述される面分情報から面積を算出することが可能である。また、板に穴が開けられている場合には、属性情報として記述されている穴の面分形状から、その穴の面積を算出することができる。したがって、板の面分形状の面積から穴の面積を差し引くことによって板部材の表面積を算出することができる。

骨部材の場合は、記述されている面分情報から得られる骨部材の長さの情報と、属性情報として記述されている骨部材の断面形状より部材の表面積を算出することができる。

・部材の重量と重心

板部材の場合は、実際の生産に必要となる詳細な形状までも考慮した重量を算出することは困難である。しかし、簡易的には、板部材の面分形状と穴の面分形状から求められる面積と、属性情報として記述されている板厚と材質の情報から重量を算出することができる。また、重心も容易に算出することができる。

骨部材の場合は、記述されている面分情報から得られる骨部材の長さの情報と、属性情報として記述されている骨部材の断面形状、さらに材質の情報から重量を算出することができる。また、重心も容易に算出することができる。

・接合する部材に関する情報

後述 (5.2.2 項) する接合関係情報が記述されることによって、自己と接合関係にある板部材および骨部材の製品モデルの情報を間接的に抽出することができる

(4) 部材オブジェクトの定義

部材の製品モデルをシステムに実装するために、<部材オブジェクト:Parts_Object>を定義している。部材オブジェクトには部材の名称、部材の形状情報、部材の接合関係情報 (5.2.2. 項にて詳述す

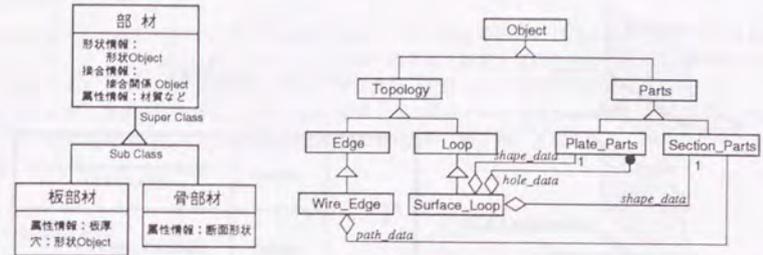


Fig.5-2-3 部材オブジェクトの定義

Table 5-2-2 部材オブジェクトに記述される情報

| | 形状情報 | 属性情報 | 穴の情報 | 接合情報 |
|-----|----------------------|---------------|------------------|------------------------|
| | 形状オブジェクト | 材質など | | |
| 板部材 | 板の外形状を表現する形状オブジェクト | 板の材質、板厚、表面の識別 | 穴形状を表現する形状オブジェクト | 接合関係の情報を管理する接合関係オブジェクト |
| 骨部材 | 骨のウェブ形状を表現する形状オブジェクト | 断面形状の情報 | | |

る)、材質などの情報を記述するために、オブジェクトの変数であるインスタンス変数が定義されている (Fig.5-2-3)。部材オブジェクトは、本研究においては抽象的なオブジェクトである。実際の部材である板部材や骨部材の部材情報を個々にオブジェクトとして表現するために、<板部材オブジェクト:Plate_Parts_Object>と<骨部材オブジェクト:Section_Parts_Object>を定義している。板部材オブジェクトおよび骨部材オブジェクトは、部材オブジェクトとサブ・クラス、スーパー・クラスの関係を持ち、オブジェクト指向の継承の概念を有効に利用している。これらの板部材オブジェクトと骨部材オブジェクトの各々の形状情報およびその他の属性情報は以下に示すように定義している (Table 5-2-2)。

・板部材オブジェクト

板部材の部材情報のオブジェクト表現として板部材オブジェクトを定義している。板部材の外形状は、5.1.2 項で述べた Surface_Loop_Object によって情報を記述している。また、属性情報として記述される穴の情報は、板部材の形状表現に利用した面分情報である Surface_Loop_Object を用いて形状情報が記述されている。

・骨部材オブジェクト

骨部材の部材情報のオブジェクト表現として骨部材オブジェクトを定義している。骨部材の取付線の情報を Wire_Edge_Object、骨部材の形状情報を Surface_Loop_Object によって記述している。また、骨部材の断面形状は種類分けが可能であるので、様々な断面形状を断面形状タイプで管理するテーブル (断面形状テーブル) を作成している。属性情報として、断面形状タイプの情報を記述している。

5.2.2 部材間の接合関係情報の製品モデル

本研究では板部材や骨部材を製品情報として表現する他に、部材間の接合関係に関する情報として接合関係情報が製品モデルに必要であると考えている。そこで、この接合関係情報も製品モデルとし

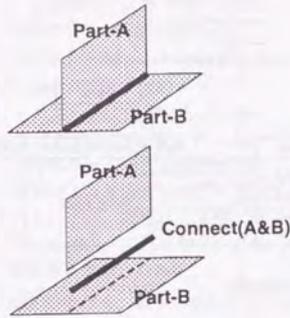


Fig.5-2-4 接合関係情報

て定義している。この接合関係情報の製品モデルと部材の製品モデルとを有効に組み合わせることによって、複数の板部材や骨部材が溶接によって接合されている船体構造を計算機内に表現することを可能としている (Fig.5-2-4)。接合関係情報の製品モデルが有する情報は、接合関係にある部材の製品モデルの情報と、接合箇所を表現する線分情報である (Table 5-2-3)。また、接合関係にある部材の製品モデルに対しては、接合関係情報の製品モデルが記述される (Fig.5-2-5)。

この接合関係情報の製品モデルは、部材の製品モデルが有する形状情報と属性情報から得られる情報以上の様々な情報を提供することができ、後述する部屋の形状情報の生成 (5.3節参照) や溶接作業の作業見積 (第7章参照) の際に有効に利用される。

また、この接合関係情報の製品モデルをシステムに実装するために、オブジェクトとして表現する <接合関係オブジェクト: Parts_Connect_Object> を定義している。接合関係オブジェクトには、接合箇所の形状情報である線分情報が、<Wire_Edge_Object> によって記述され、接合関係にある部材オブジェクトの情報が、それぞれのオブジェクトのポイント参照させることによって記述されている (Table 5-2-3)。また、接合関係にある部材オブジェクトに対しては、自己の有する接合関係を管理するために接合関係オブジェクトが接合関係情報として記述される (Fig.5-2-5)。

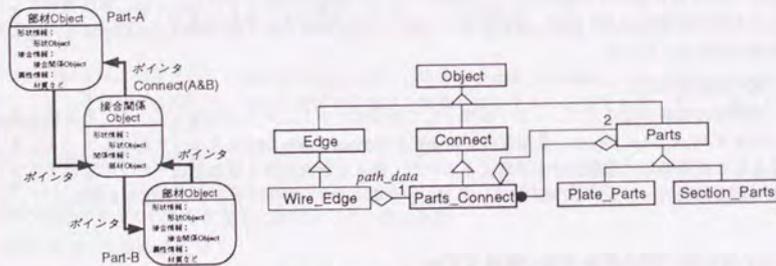


Fig.5-2-5 部材オブジェクトと接合関係オブジェクト

Table 5-2-3 接合関係オブジェクト

| | | |
|------------|------|-------------------------|
| 接合関係オブジェクト | 形状情報 | 接合箇所を示す線分の情報である形状オブジェクト |
| | 関係情報 | 接合関係にある部材オブジェクト |

5.3 区画のモデル

最終製品として船に対して要求される基本機能は、積み荷を積載し海上 (水面上) を航行する機能である。そこで、船体設計に際しては、海に浮かび積み荷を積載する空間を船体構造内に確保することが重要である。この船体構造内に創出される空間は、船倉あるいは区画と呼ばれる。したがって、製品である船は船倉や区画などの空間を製品情報として保持する必要があるものと考えられる。本研究では、船体構造内に創出される全ての船倉や区画を空間 (閉空間) として捉え、製品モデルとして定義する。

5.3.1 部屋の定義

船体構造内に存在する船倉や区画などの空間はどのように創出されるのであろうか。船体構造の特徴は多数の板部材が接合されていることである。したがって、それらの船体構造を構成する板部材が多数組合わさることによって船体内部に船倉や区画などの空間を創出していると考えられる。そこで本研究では板部材によって創出される空間を「部屋」と定義し、板同士が接合された結果として生成される閉空間はすべて部屋であると認識した。

船体構造においては、「部屋」は板部材や骨部材のような物質としての実体ではないが、それと同等に重要な情報であると考えられる。例えば部屋は、名前と形状や容積などの属性情報を有する実体であると考えられ、「二重底」や「ビルジホッパー・タンク」等といった「名前」が記述され認識される必要がある。また、「部屋の容積」が基本設計におけるトリム計算やスタビリティ計算などに有効であることは言うまでもない。本研究では、以上に述べた部屋を製品モデルとして定義する。

部屋

船体構造を構成する船倉や区画などの閉空間の情報を、製品モデルとして定義したもの。閉空間の形状情報は、船倉や区画などを構成する複数の板部材の形状情報と接合関係情報を用いて生成される。

なお、本研究では部屋として閉じた空間だけを取り上げているが、開いた空間 (例えば、板部材によって完全に密閉されていない空間) についても部屋概念を拡張 (例えば、仮想的な板部材を定義する) することによって、閉じた空間と同様に扱うことができると考えられる。

また、部屋の製品モデルをシステムに実装するために、オブジェクトとして部屋オブジェクト: Room_Object> を定義した。

5.3.2 部屋の立体表現

部屋を製品モデルとして定義するためには、部屋の表現方法が重要になる。本研究では、板部材の形状情報と接合関係情報とから部屋の形状を定義することのできる処理機能を提案している。そこで本項では、部屋の形状を定義する処理機能について述べる。

(1) 接合関係情報の利用

既に述べた接合関係情報は、部材と部材との接合関係を表現する情報であった。ここで、接合関係にある部材の形状情報に着目すると、同一のものと思えるべき形状要素の対応関係が存在することが理解できる。この「形状要素」とは、形状を構成する要素、すなわち頂点・稜線・面分の三つの要素である。したがって、部材の接合部における形状要素の対応関係に関する情報も、部材の接合関係情

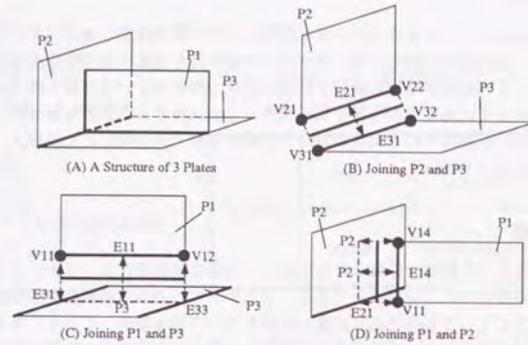


Fig.5-3-1 様々な接合関係の表現

報の一つの情報として考えられる。

「接合関係情報は、接合にかかわる全ての形状要素について、それぞれ他のどの形状要素に接合されるかを記述する情報である」

Fig.5-3-1に実際の接合関係情報の例を示す。なお、以下では説明のために、形状要素 T1 と T2 の対応を T1 & T2、またそれらの集合を {T1 & T2, T3 & T4, ...} と表記する。

Fig.5-3-1の(A)は三枚の面分P1, P2, P3が接合されている様子を表現している。太線の部分が接合部分である。まずP2とP3の接合は、(B)のように稜線同士の接合であるから、接合関係情報が持つべき形状要素の対応関係は |E21 & E31, V21 & V31, V22 & V32| となる。次にP1とP3の接合は、(C)のように、一方の稜線が他方の面上に接合されている。また、その稜線の両端点は他方の稜線上にある。このことから、接合関係情報が持つべき形状要素の対応関係は |E11 & P3, V11 & E31, V12 & E33| となる。最後のP1とP2の接合(D)は(C)とほぼ同じであるが、稜線の端点の一つ(V14)が面分上にある。したがって、接合関係情報が持つべき形状要素の対応関係は |E14 & P2, V14 & P2, V11 & E21| となる。

(2) 部屋の形状表現

部屋の形状を計算機が認識するためには、部屋の形状を立体表現で定義する必要がある。本研究では、形状モデルとしてソリッド・モデルを選定している。このソリッド・モデルによる形状定義によって部屋の容積や表面積の計算、さらに任意の平面が部屋の形状と交差することによってできる面分の形状を幾何的に計算することも可能である。また、システムにおいては、先に述べた部屋のオブジェクトである<Room_Object>を、ソリッド・モデルのオブジェクトである<Brep_Solid_Object>のサブ・クラスに定義している。

複数の板部材によって囲まれた空間を情報として取り出すためには、

「板の形状表現(面分) + 接合関係情報で表現される情報が、ソリッド・モデルによって表現される情報と同等以上のものになること」

が要求される。本研究では、板部材の形状情報と接合関係情報の形状要素間の対応関係を利用することによってこの問題を解決している。以上の処理はシステムにおいて、次のように実装している(Fig.5-3-2)。

六枚の板部材とそれらの接合関係情報が与えられた場合、

- ・板部材オブジェクトの形状情報
- ・接合関係オブジェクトに記述された形状要素間の接続関係の情報

を有効に利用して、Winged_Edgeのデータ構造が生成され、組合わされた板部材の内部に生成される「部屋」の形状が<Brep_Solid_Object>として定義される。<Brep_Solid_Object>の<Winged_Edge_Object>のデータ構造の生成はFig.5-3-3に示すように、接合関係情報に記述されている形状要素間の接続関係の情報が有効に利用されている。

Fig.5-3-3(A)に示すような二つの面分<Surface_Loop_Object>がその稜線<Surface_Edge_Object>同士で接合されている場合を例とした場合(Fig.5-3-3(B))、二つの面分を並べたものとウィングドエッジ(Fig.5-3-3(C))とを並べて描いたものとの比較より、接合関係情報が部屋の形状情報の生成に大きく寄与していることが理解できる。

5.3.3 「壁」の概念

既に述べたように、部屋の形状は多面体として表現され、その各々の面がある特定の板部材に対応している。この多面体を構成する面分を「壁」と呼ぶことにする。壁は表裏の区別も厚みもない幾何学的な概念であり、板と部屋との境界として存在する。また、板の表面のある領域を表わしていると同時に、部屋の外形を構成する多面体の一つの面である。

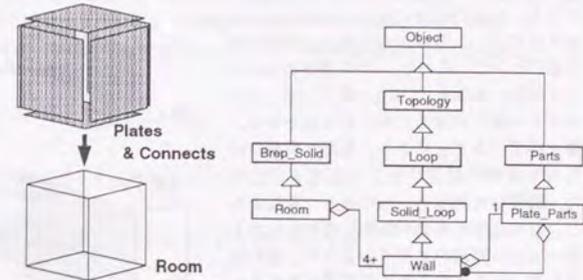
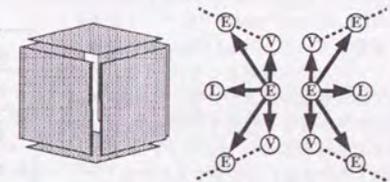
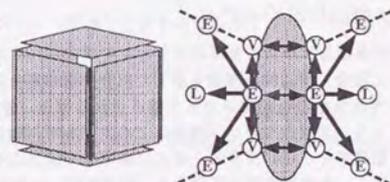


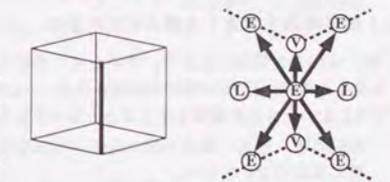
Fig.5-3-2 部屋の形状データ構造



(A) A Pair of Plate



(B) Definition of Connect



(C) Winged-Edge

Fig.5-3-3 WingedEdgeと接合関係情報

より直感的には、壁は「板部材の表面」のうち、特定の部屋に面した部分であると考えるとよい。壁は特定の部屋と特定の板に結びついているので、「ある部屋の中のすべての壁」の探索と、「ある板から派生したすべての壁」の探索の両方が可能となる。壁を指定することにより、部屋と板部材の両方を同時に指定することができる。また、板部材の形状を一つの面で表現すると、板の表側と裏側の区別が幾何的にできないという問題が生じてしまうが、壁の概念を用いることによりこの問題は解決される (Fig.5-3-4)。

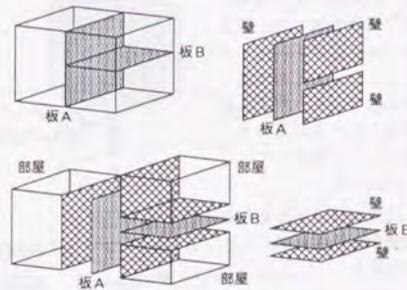


Fig.5-3-4 壁の概念

Table 5-4-1 構造単位の意味

| 構造単位 | 役割 |
|------|----------------------|
| 箱型構造 | 機能を持った空間を船体内部に創り出す |
| 面型構造 | 創出された空間に対して構造強度を保持する |
| 骨型構造 | 箱型構造を構成する板の強度を向上させる |

この「壁」をシステムに実装するために、オブジェクトとして<Wall_Object>を定義しており、立体形状を構成する<Solid_Loop_Object>のサブ・クラスとして定義している。<Wall_Object>に定義されるインスタンス変数としては、「壁」の帰属先である板部材オブジェクト<Plate_Parts_Object>の情報を記述する plateParts (接合関係にある部材オブジェクトのポインタが記述される変数)が定義されている。

5.4 構造単位のモデル

船体構造は多数の板部材や骨部材で構成されるが、船体構造を部材レベルよりも大きな視点で観察した場合、構造的な機能を有した部分構造の集合体として認識することができる。例えば、区画を創出するための板部材によって構成される構造、船体の構造強度を満足させるために存在するトランス・リング構造やロンジ構造などの主要な内部構造は、船種によらない共通性を有した部分構造として認識することができる。そこで本研究では、この部分構造を船体構造を構成する“構造単位”として捉え、船体構造の主要構造を“構造単位”の組合せとして表現することが可能であると考えた。

5.4.1 船体構造を構成する構造単位の意味

「船」は浮力を保持しながら、荷物を積む機能を有するものである。この浮力保持、荷役機能を満足させるために、様々な空間が確保されるように船体構造はつくられている。そこで、船体構造を「空間」という点から観察してみると、以下のように分析することができる (Table 5-4-1)。

- ・船体外板・甲板・船体外板で船体の外部形状が規定され、その内部が隔壁等で区画あるいは船倉に区分けされている。
- ・各々の区画の中には、更に細かな区分けのための板部材がある。
- ・区分けされた空間には、横強度を保つためリング材、縦強度を保つための骨部材などが入っており、また板部材および接合部に対して、それらを補強する目的で構造部材 (板部材や骨部材) が取付けられている。

- ・板部材のうち、船体の外部形状を規定する板部材と補強を目的とする構造部材を除く全ての板部材は、何らかの空間を仕切って更に小さい空間に分けるような形状になっている。

以上の様考えると、船体構造を構成する構造単位として以下の物を認識することができる。

- ・箱型構造
空間を船体内部に創り出すために存在する構造
- ・面型構造
創出された空間に対して構造強度を保持するために存在する構造
- ・骨型構造
箱型構造を構成する板部材の強度を向上させるために存在する構造

5.4.2 構造単位の分類

船体構造における主要構造に着目し、この主要構造を構成する構造単位の分類として「箱型構造」「面型構造」「骨型構造」の三種類を定義した。本項では、各々の構造単位についてその特長を概説する。なお、本研究では船体は曲がり形状を持たない平面部材と直線部材によって構成されるものと考えている。

(1) 箱型構造

5.3節で述べた部屋概念は、船体構造内における区画などの閉空間に着目し、実体としてモデル化する概念である。ここで、この部屋を構造の視点から見ると、複数の板部材が集まることによって部屋が規定されていると捉えることができる。部屋の構造の特徴は箱型の構造であるので、構造単位の認識としては、船体構造に見られる複数の板部材で囲まれる箱型の構造物として認識することができる。したがって、箱型構造の内部空間が部屋であるといった関係として、箱型構造と部屋の関係を捉えることができる。

以下に、バルクキャリアとシングル・ハル・タンカーの船体平行部における様々なタンクを形作る箱型構造を整理する。

(A) 船体外板構造 (Fig.5-4-1(A))

船体外板構造は、デッキプレート、サイドプレート、ボトムプレートなどの板部材によって構成される箱型構造であると認識することができる。また、船体外板構造は、その内部に閉空間を創出する構造であると考えられる。

(B) ウィング・タンク構造 (Fig.5-4-1(B))

縦通隔壁構造によって仕切られて創出されるウィング・タンクは、縦通隔壁、水密横隔壁、船体外板などの板部材によって構成される箱型構造である。

(C) トップ・サイド・タンク構造 (Fig.5-4-1(C))

トップ・サイド・プレートによって創出されるトップ・サイド・タンクも、デッキプレート、船体外板、トップ・サイド・プレートなどの板部材によって定義される箱型構造である。

(D) バルクヘッド構造 (Fig.5-4-1(D))

バルクヘッド構造の構造様式は様々な存在するが、アッパーツール、ロアースツール、バルクヘッド部からなる構造様式を考えた場合、アッパーツール、ロアースツール、バルクヘッドはそれぞれ箱型構造であると捉えることができる。

(E) センタータンク構造 (Fig.5-4-1(E))

縦通隔壁によって仕切られて定義されるセンタータンクは、縦通隔壁、水密横隔壁、船体外

板などの板部材によって定義される箱型構造である。

(F) ビルジホッパー・タンク構造 (Fig.5-4-1(F))

船体構造のビルジ部に存在するタンク構造は、ホッパープレート、船側外板、船底外板等の板部材から構成される箱型構造である。

(G) 二重底タンク構造 (Fig.5-4-1(G))

バルクキャリアなどの船体構造に見られる二重底タンク構造は、船底外板、内底板等の板部材から構成される。また、この構造の内部にはサイドガードである板部材が存在する。

(2) 面型構造

面型の構造部材が規則的に並んだ構造を面型構造として認識することができる。この構造は、一般的には (1) で定義した箱型構造の内部に存在する。

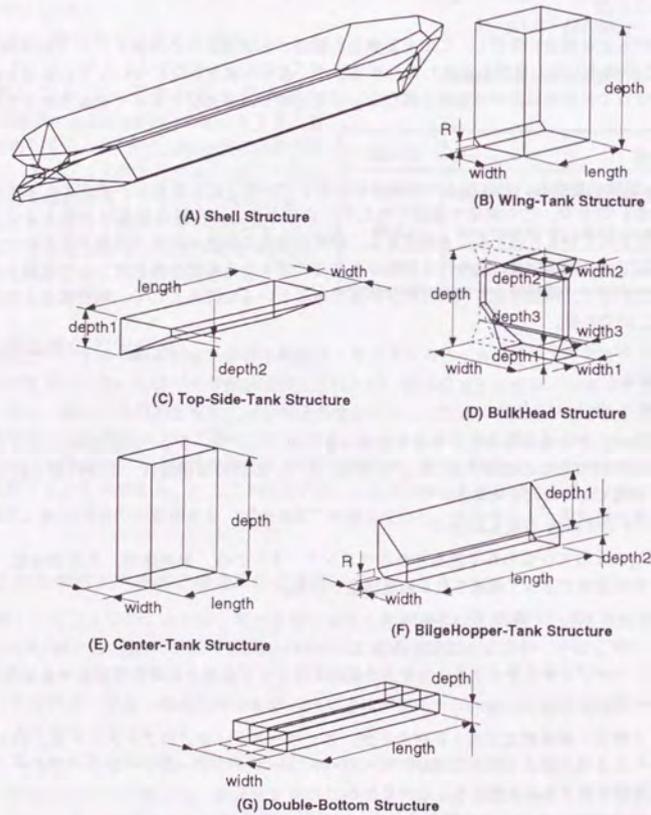


Fig.5-4-1 箱型構造の例

また、箱型構造の内部に設計される内部構造は、内部構造が取り付けられる位置と、内部構造の形状を定める寸法 (例えば、トランスリング構造を規定する様々な寸法値であるストラットの本数、位置、深さ、デッキトランス、サイドトランス、ボトムトランスの深さなどの寸法値) を指定することによって定義される。

以下に、バルクキャリアとシングル・ハル・タンカーの船体平行部における面型構造を整理する。

(A) フロア・プレート構造 (Fig.5-4-2(A))

タンク構造内に設計されるソリッド・プレートで構成されるフロア・プレート構造は、ソリッド・プレートが存在する位置

の情報を指定することによって定義することが可能であると考えられる。

(B) リング・プレート構造 (Fig.5-4-2(B))

リング・プレート構造は多数の板部材が接合して構造を構成する。しかし構造単位で捉えた場合、フロア・プレート構造を構成する板部材に穴が開けられた構造であると認識することができる。したがって、この構造を定義するための寸法は、フロア・プレート構造を定義する情報に加えて穴に関する情報であり、それらの情報を指定することによってリング・プレート構造を定義することが可能であると考えられる。

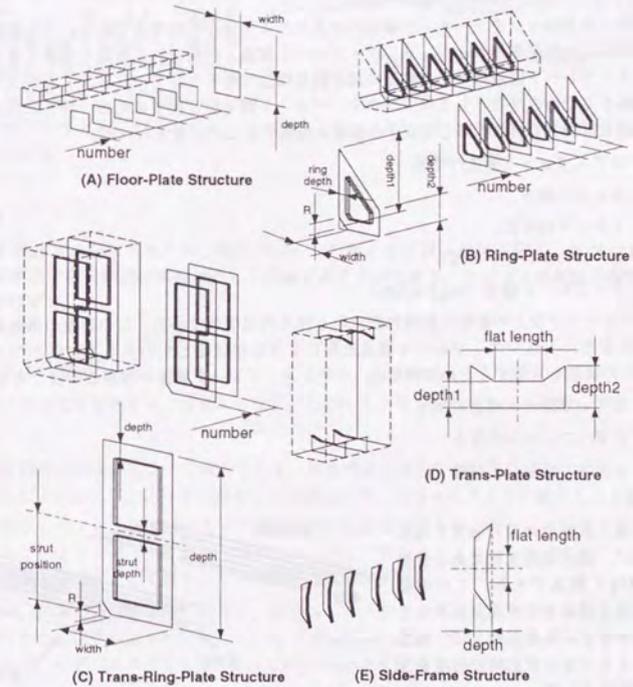


Fig.5-4-2 面型構造の例

- ・フロア・プレート構造の情報
- ・リングの深さ(穴の大きさに換算される)
- ・フェイス・プレートの幅
- ・ブラケットの寸法

(C) トランスリング・プレート構造 (Fig.5-4-2(C))

トランスリング・プレート構造は、タンカーのウイング・タンク構造内に見られる主要な内部構造である。この内部構造は、ウイング・タンクを補強する目的で設計される。この構造も多数の板部材によって構成される物であるが、リング・プレート構造との構造的な特徴の差異を考えると、リング構造内にストラット構造が存在することである。したがってこの構造を定義するための情報としては、(B)で述べたリング・プレート構造を定義する情報に加えて、ストラット構造を定義するための情報を指定することが考えられる。

- ・リング・プレート構造の情報
- ・ストラットの本数
- ・ストラットの位置(高さ)
- ・ストラット自体の深さ

(D) トランス・プレート構造 (Fig.5-4-2(D))

タンカーなどのセンター・タンク構造内に見られる主要な内部構造である。この構造も複数の板部材によって定義されるが、リング・プレート構造との構造的な特徴の差異を考えると、トランス・プレート構造はリング構造の部分的な構造であると捉えられる。したがってこの構造を定義するための情報としては、フロア・プレート構造を定義するための情報に加えて、リング構造を定義する情報に準じた以下の情報を指定することが考えられる。

- ・フロア・プレート構造の情報
- ・トランスの深さ
- ・ブラケットの寸法
- ・フェイス・プレートの幅

(E) サイド・フレーム構造 (Fig.5-4-2(E))

バルクキャリアなどの船倉の船側外板に取り付く内部構造である。この構造の構造的な特徴を観察すると、トランス・プレート構造と同じような形状をしていることに気がつく。したがってこの構造を定義するための情報は、トランス・プレート構造の情報と同様である。

- ・フロア・プレート構造の情報
- ・サイド・フレームの深さ
- ・フェイス・プレートの幅

(3) 骨型構造

骨型構造は、板部材の曲げ強度を増加させるために、曲げ強度部材である骨部材が板に取付く構造である。この構造は、箱型構造を構成する板部材に取付くものであると考えられる。例えば、箱型構造を構成する一枚の板部材の強度を上げることを目的として、

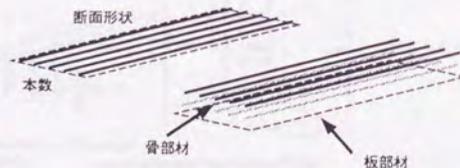


Fig.5-4-3 骨型構造の例

- ・取付ける位置
- ・取付ける骨部材の断面形状
- ・取付ける骨部材の角度

等の情報が指定されることによって骨型構造が設計される (Fig.5-4-3)。

一本一本の骨部材を個々に板部材に対して取り付けることも考えられるが、二重底の内底板に取り付く骨型構造、縦通隔壁に取り付ける骨型構造などといった複数の骨部材をグループ化して管理することも有効である。

5.4.3 ユニットの定義

「様々な船種毎に船体構造は異なったものであるが、船体構造を構成する部分的な構造には共通性が見られる場合が多い」という視点から、船体構造内に見られる特徴的な構造を、「箱型構造」「面型構造」「骨型構造」などに分類した。この船体構造に見られる特徴的な構造を「構造単位」として捉えると、「構造単位」は複数の板部材や骨部材から構成され、船体構造を「構造単位」が組合せられたものとして捉えることができる。

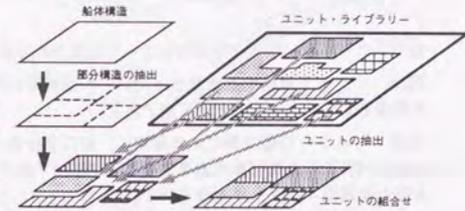


Fig.5-4-4 ユニットの概念

本研究ではこの構造単位を「ユニット」と呼び、この「ユニット」の製品モデルを次のように定義する (Fig.5-4-4)。

ユニット

構造を構成する部材をまとめて概念的に一つの物として扱う製品モデル。ユニットによって、船体構造を部分構造の集合体として認識することができる。ユニットは複数の板部材や骨部材を管理する。

5.4.4 ユニットの種類

本項では、本研究で定義する、箱型ユニット、面型ユニット、骨型ユニットに関して述べる。

(1) 箱型ユニット

箱型構造は複数の板部材によって構成される。箱型構造を構成する複数の板部材の集合を構造単位として捉えることによってユニットの概念として認識でき、箱型ユニットを定義することができる。

また、箱型ユニットは、板部材によって規定される部屋を型取る構造物として認識することができる。したがって、トップサイドタンク・ユニット、ビルジタンク・ユニットなどの全ての箱型ユニットを部屋を型取る構造物として扱うことができる (Fig.5-4-5)。

本研究では、部屋の概念を有効に活用し、箱型ユニットがその内部空間の情報である部屋の情報を管理するものとして以下のように定義している (Table 5-4-2)。また、この箱型ユニットをシステムに実装するために、オブジェクトとして<Box_Unit_Object>を定義している。

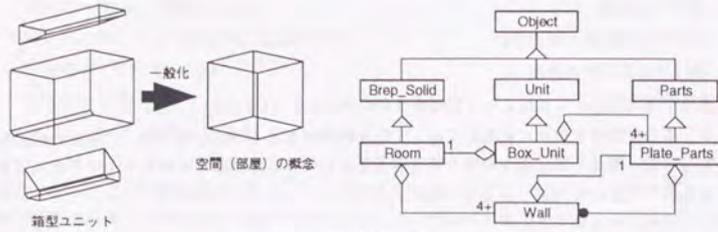


Fig.5-4-5 部屋の製品モデル

- ・箱型ユニットは、複数の板部材によって定義される箱型構造である。
- ・箱型ユニットを構成する板部材とそれらの部材間の接合関係情報によって規定される内部空間を部屋として抽出することが可能である。
- ・箱型ユニットの内部空間である部屋に、新たな仕切りとなる板部材を定義することによって、部屋の内部に新たな部屋を定義することが可能であり、それと同時に、その新たな部屋を管理する新たな箱型ユニットが生成される。
- ・箱型ユニットには、ユニットを構成する複数の板部材と、それらの板部材によって規定される部屋の情報が記述される。

Table 5-4-2 箱型ユニットと部屋の関係

複数の箱型ユニットの組合せによって船体構造を表現することを考慮した場合は、箱型ユニットを構成する板部材の情報管理が重要なポイントとなる。例えば、二重底構造とビルジタンクを並べた場合は (Fig.5-4-6)。

| | | |
|--------|---------|--|
| 箱型ユニット | 定義される情報 | ・任意の板部材とそれらの接合関係情報によって定義される構造 |
| | 空間形状の認識 | ・箱型ユニットが規定する空間形状を、部屋として抽出することが可能である |
| | 部屋の階層性 | ・内部に新たな仕切りとなる板部材を定義することによって、新たな部屋を定義することが可能である |

- ・二重底の内底板と、ビルジ・ホッパー・タンクのホッパープレートは接合する。
- ・二重底とビルジホッパータンクはサイドガーダー・プレートを共有する。

などといった複数の箱型ユニット間の板部材の取合いに関する整合性を保証することが重要である。そこで、箱型ユニットの設計では、部屋の情報が有効に利用されている。先ず、箱型ユニットに記述される部屋の内部に板部材を設計し、その板部材によって新たな部屋を設計する。この部屋を構成する板部材を集めることによって、新たな箱型ユニットが設計される。その際に、箱型ユニットには部屋の情報が記述される。

(2) 面型ユニット

面型ユニットは、トランス・リング構造やトランス構造などの、複数の板部材が規則的に並んだ面型構造を定義するものである。面型ユニットは、(1)で定義した箱型ユニットの内部に存在する。例えば、複数の板部材からなる箱型ユニット (ここでは Fig.5-4-7 に示すようなビルジ・ホッパー・タンクを想定している) の中に、新たにリング構造部材を付け加えようとする場合、新たに定義されるリング部材の形状は、箱型ユニットの内部に隙間なく収まるように定義される必要がある。

箱型ユニットにはその内部空間の情報として部屋の情報が記述されている。この部屋の形状はソリッド・モデルによって形状表現されている。したがって、形状処理の側面では、部屋の形状を有効に利用することによって矛盾無く部屋の内部構造となる板部材の外形形状を算出することが可能である。また、内部構造を定義する際に、面型ユニットを構成する個々の板部材が板部材の製品モデルとして生成される。さらに、部屋を構成する壁との交線の情報より、箱型ユニットを構成する板部材との接合関係情報の製品モデルが生成される (Fig.5-4-8)。

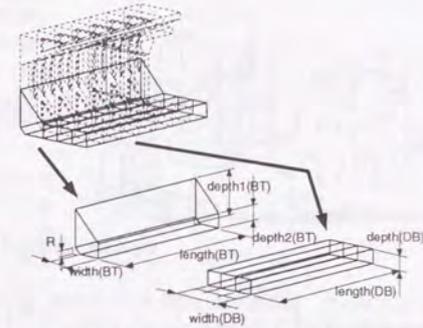


Fig.5-4-6 箱型ユニット同士の組合せ

以上の面型ユニットと箱型ユニットとの関係を整理すると、

- ・「面型ユニット」は、必ず「箱型ユニット」の内部に設計される (「箱型ユニット」が存在しなければ、その内部構造である「面型ユニット」は存在しない)。
- ・面型構造を区画や各種タンク内に設計される構造として捉えたと、「面型ユニット」は区画やタンク形状である部屋に制約されるものである。
- ・「面型ユニット」の板部材の外形形状は、「箱型ユニット」を構成する板部材に制約を受ける形状となる。

といった関係を認識することができる。また、面型ユニットをシステムに実装するために、オブジェクトとして <Plate_Unit_Object> を定義している。

面型ユニットを構成する各々の部材は形状情報を有しているが、ユニットを構造単位として捉える場合、ユニットそのものは、個々の部材の形状情報を決定するための様々な特有の寸法 (構造を表現する寸法) を有するものであるとも考えられる。このことは、円を例とした場合、円の形状は中心点と半径によって規定される形状であることに相当する。したがって、面型ユニットを定義する情報としては、ユニットを定義する位置の情報と面型ユニットの形状を定義する寸法情報が必要である (Fig.5-4-8 ではトランスリング構造を規定する様々な寸法値であるストラットの長さ、位置、深さ、デッキトランス、サイドトランス、ボトムトランスの深さなどの寸法値)。

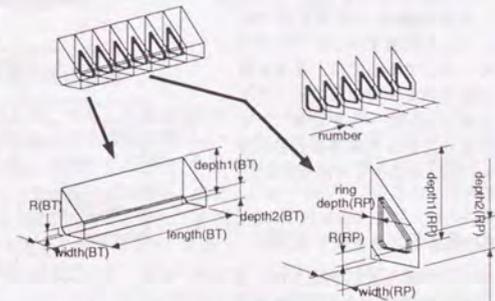


Fig.5-4-7 箱型ユニットと面型ユニットとの組合せ

また、箱型ユニットと面型ユニットとの関係は、面型ユニットは箱型ユニットの内部に設計され、後述する構造的制約 (箱型ユニットの形状が、面型ユニットの形状を制約する) の制約関係にあ

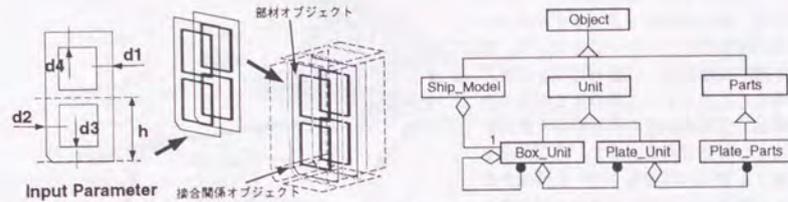


Fig.5-4-8 面型ユニットの例

る。したがって、本研究では、箱型ユニットが親、面型ユニットが子であるといったユニット間の親子関係の階層構造によって箱型ユニットと面型ユニットとは関係づけられている。

(3) 骨型ユニット

骨型ユニットは、(1)で定義した箱型ユニットを構成する板部材に取付き、板部材の曲げ強度を確保するものである。したがって骨型ユニットを定義する際には、この構造を定義する場所の情報、つまり骨型ユニットを取付ける板部材およびその取付位置の情報が重要である。また、板部材は面分で定義されているので、部材面のどちらに骨部材を定義するかの指定が重要である。この問題に対しては、骨構造を定義する部屋を選定し、さらに、その部屋を構成する板部材を選択することによって対処することが可能である。以上の取付け位置の指定に加えて、取付角度、断面形状の情報を入力することによって、個々の骨部材が部材オブジェクトとして定義され、取り付く箱の外板との接合情報オブジェクトが生成される (Fig.5-4-9)。また、骨型ユニットをシステムに実装するために、オブジェクトとして<Longi_Unit_Object>を定義している。

5.5 中間製品のモデル

生産活動は様々な工程の組合せによって構成されており、各工程においては中間製品が生成され次の工程へと流される。したがって、生産活動を「中間製品の流れ」として表現することが可能である。そこで本節では、生産活動の対象である中間製品のモデルとして組立モジュールを定義し、生産計画における生産情報の管理のための基本単位として活用する。

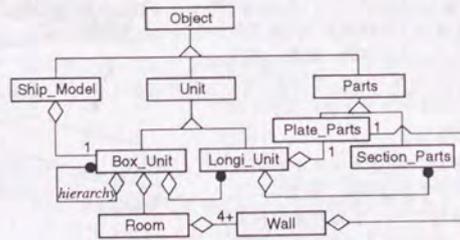
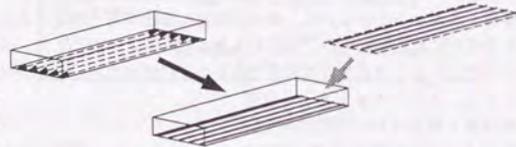


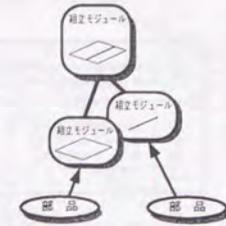
Fig.5-4-9 箱型ユニットと骨型ユニットとの組合せ

5.5.1 組立モジュールの定義

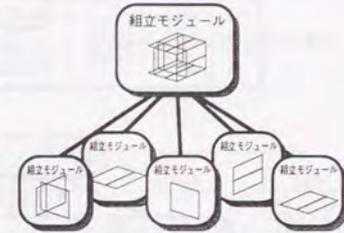
ブロック建造法に象徴される造船の組立作業は、様々な中間製品の組立作業として認識することが

できる。例えば、搭載工程では、大組・総組で組立られた中間製品である搭載ブロックを複数個結合する組立作業が行われる。また、この搭載ブロックも中組工程・小組工程で作成される中間製品 (パネル状内構材・スキン材等) を大組・総組工程において複数個結合する組立作業によって構築される。

雨宮は中間製品に着目し、生産における基本単位を取扱う概念として「中間製品の概念」を定義している [雨宮 90]。本研究では雨宮と同様に、中間製品を部品の集合体として表現するために組立モジュールを定義する。組立モジュールは、Fig.5-5-1のような構成となっており、組立モジュールの最小単位は部品から構成される。また、組立モジュールは複数の組立モジュールの組合せとして表現される。



(A)



(B)

Fig.5-5-1 組立モジュールの概念

この組立モジュールの概念は造船業の生産方式であるブロック建造方式に深く関係しており、設計過程のモデル化が、部屋概念・ユニットを中心に船体構造を捉えていたのと同様に、本研究における生産過程のモデル化では組立モジュールが重要な役割を担うものと考えられる。また、組立モジュールをシステムに実装するために、オブジェクトとして<Module_Object>を定義している (Fig.5-5-2)。

組立モジュール

生産活動で認識される中間製品を表現する製品モデル。最小単位は部品であり、複数の組立モジュールの組み合わせとして新たな組立モジュールが表現される

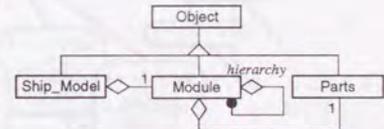
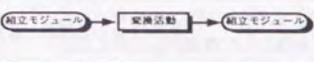
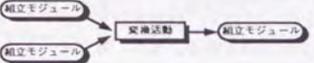


Fig.5-5-2 組立モジュールのオブジェクトモデル図

5.5.2 組立モジュールを用いた生産活動の表現

造船における生産活動には、加工工程、組立工程などの様々な工程が存在する。組立モジュールを利用することによって、これらの工程は新たな組立モジュールを生成する工程、あるいは組立モジュールを形態的に変換する工程として表現することができる (Table 5-5-1)。例えば、切断加工の工程は、素材から新たな組立モジュールを生成 (この場合、組立モジュールは一つの部品で構成されるとみなす) する工程として表現することができる。また、曲げ加工の工程は組立モジュールの形態変化 (組立モジュールの基本要素である部品の曲げ加工) を行う工程として表現することが可能となる。また、小組立工程、大組立工程の組立工程は、複数の組立モジュールから新たな組立モジュールの生成を行う工程として表現することができる。さらに外業工程も、複数のブロックを組合せて船体を建造する工程であり、広い意味で組立工程であると考えられる。したがって、小組立工程、大組立工程と同様に、複数の組立モジュールから新たな組立モジュールの生成を行う工程として表現するこ

Table 5-5-1 組立モジュールを用いた変換活動の表現

| | | |
|--|---------------------------------------|---|
| 個々の変換活動における中間製品を、組立モジュールとして概念的に統合することによって、狭義の生産活動全体を組立モジュールの階層構造として表現することが可能 | | |
| 切断加工 | 素材(鋼材)からの組立モジュールの生成として表現することが可能 |  |
| 曲げ加工 | 組立モジュールの形態変化として表現することが可能 |  |
| 組立工程 | 複数の組立モジュールから一つの組立モジュールの生成として表現することが可能 |  |

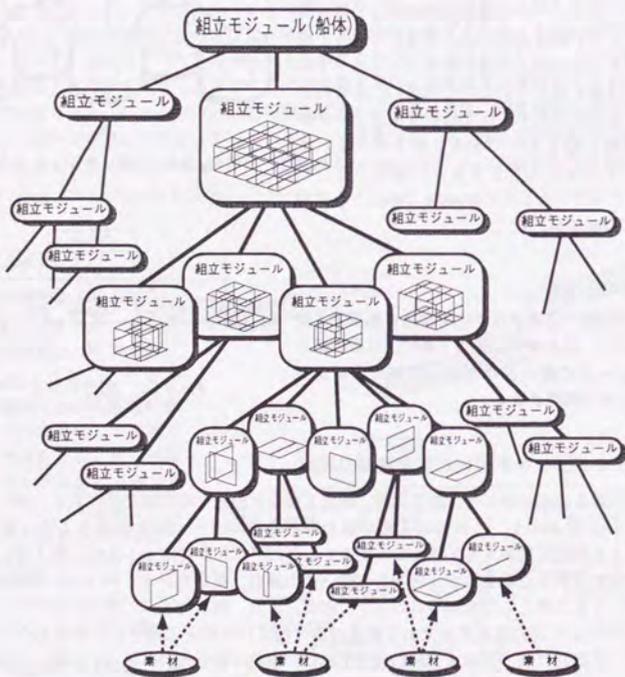


Fig.5-5-3 組立モジュールの階層構造

とができる。

また、以上は変換活動を中心に述べてきたが、生産活動における運搬や停滞の対象は中間製品であり、組立モジュールを活用して計算機内部に運搬や停滞を含めた生産活動を表現することが可能であると考えられる。

以上に述べたように、組立モジュールを用いて生産活動を実施する様々な工程を統合的に捉えることによって、最終製品が生成されるまでの生産活動の流れを組立モジュールの階層構造として表現することが可能である (Fig.5-5-3)。

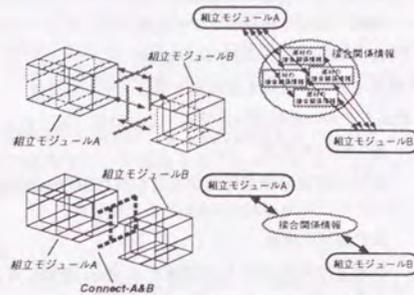


Fig.5-5-4 組立モジュールの接合関係情報

5.5.3 組立モジュールの接合関係情報

設計によって生成された船体構造から、後述する組立モジュールの抽出機能によって組立モジュールを抽出することができる。本研究では組立モジュールの抽出の際に、生産計画において有効に利用できる情報として組立モジュール間の接合関係情報を生成している。Fig.5-5-4に示す様な組立モジュールAと組立モジュールBが船体構造から抽出された場合を例にして、組立モジュール間の接合関係情報に関して説明する。

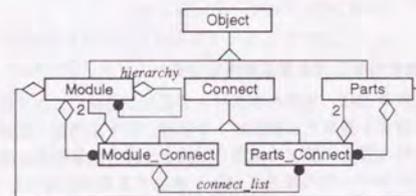


Fig.5-5-5 組立モジュールの接合関係情報のオブジェクトモデル図

本研究では、部材間の接合関係を接合関係情報の製品モデルとして定義していることは既に述べた。したがって、組立モジュールAと組立モジュールBとの接合関係情報を、各々の組立モジュールを構成する部材の製品モデルと、部材間の接合関係情報の製品モデルを利用することによって間接的に得ることが可能である。また、本研究では、部材の接合関係情報と同様に、組立モジュールの接合関係情報を定義する。この組立モジュール間の接合関係情報をシステムに実装するために、オブジェクトとして<Module_Connect_Object>を定義しており、<Parts_Connect_Object>の抽象クラスとして定義された<Connect_Object>のサブクラスとして定義している (Fig.5-5-5)。

組立モジュールの接合関係情報

組立モジュールの接合関係情報は、部材と部材との間の接合関係情報と同様に、組立モジュールと組立モジュールとの間の接合関係を管理する情報である

5.6 本章のまとめ

本章では、前章で考察した設計・生産対象の情報を製品モデルとして定義すること、およびこの製品モデルをシステムに実装するオブジェクトを定義することを目的に、次の考察を行った。

- ・製品モデルの形状を表現する形状モデルの定義と、その形状モデルのシステムへの実装
- ・造船における製品モデルの定義とシステムへの実装

以下に、本章で得られた知見を整理する。

(1) 製品モデルの形状を表現する形状モデルの定義

製品モデルの形状情報を定義するために、以下に示す形状モデルをオブジェクトとして定義した。

- ・線分形状の表現

部材の接合関係情報や骨部材の取付線の形状情報を線分形状として表現するために、<線分オブジェクト：Wire_Edge_Object>を定義した。

- ・面分形状の表現

板部材や骨部材の形状情報を B-Reps 表現による面分形状として表現するために、<面分オブジェクト：Surface_Loop_Object>を定義した。

- ・立体形状の表現

部屋を B-Reps 表現のソリッド・モデルとして表現するために、<ソリッド・オブジェクト：Brep_Solid_Object>を定義した。

(2) 部材情報と接合関係情報の定義

船体構造は、多数の板部材・骨部材が溶接によって接合される板骨構造物であることの認識から、船体構造を構成する板部材・骨部材に関する情報を記述する部材の製品モデルを定義した。さらに、部材間の接合に関する情報を記述する接合関係情報の製品モデルを定義した。これらの製品モデルは造船における他の製品モデルを構成する基本要素として定義されている。また、部材の製品モデルは、最終的に部品情報の記述の際にも部品の製品モデルとして利用することができる。これらの製品モデルは、部材オブジェクト（板部材は板部材オブジェクト、骨部材は骨部材オブジェクト）、接合関係オブジェクトとしてシステムに実装される。

部材の製品モデル：船体構造を構成する部材に関する情報が記述される製品モデル

接合関係情報の製品モデル：部材間の接合関係に関する情報が記述される製品モデル

(3) 部屋概念（区画のモデル）の定義

船に要求される機能の側面において、船倉や区画などの空間が情報として重要であると認識し、それらの情報を製品モデルとして定義することを考察した。この製品モデルを「部屋」と定義した。また、この部屋の製品モデルの情報は、船倉や区画などを構成する複数の板部材の形状情報と接合関係情報を利用することによって生成される。また、部屋の製品モデルの情報は構造単位の製品モデルである箱型ユニットによって管理されている。この製品モデルは、<部屋オブジェクト：Room_Object>としてシステムに実装されている。

部屋：船体構造を構成する船倉や区画などの閉空間の情報を、製品モデルとして定義したものの。閉空間の形状情報は、船倉や区画などを構成する複数の板部材の形状情報と接合関係情報を用いて生成される。また、箱型ユニットの製品モデルによって管理される。

(4) ユニットの概念（構造単位のモデル）の定義

船体構造を多くの部品から構成される構造物として捉えるだけでなく、設計者の認識として有効であると考えられる「構造単位」から構成されるものとして捉え、「構造単位」を製品モデルとして

定義した。この製品モデルは「ユニット」として定義されており、船体構造を構成する部分構造として「箱型ユニット」「面型ユニット」「骨型ユニット」の三種類のユニットの製品モデルを定義した。

また、構造を構成する部材情報はユニットが管理しており、生成された製品情報を管理する単位としても有効に利用することを可能とした。この製品モデルは、<ユニット・オブジェクト：Unit_Object>としてシステムに実装される。

ユニット：構造を構成する部材をまとめて概念的に一つの物として扱う製品モデル。ユニットによって、船体構造を部分構造の集合体として認識することができる。ユニットは、複数の板部材や骨部材を管理する。

(5) 組立モジュール（中間製品のモデル）の定義

設計において構造単位を製品情報として認識したように、生産工程における中間製品を製品モデルとして定義した。この製品モデルは「組立モジュール」として定義される。また、生成される組立モジュールは階層構造によって管理され、組立モジュールを構成する最小単位は部品の製品モデルである。この製品モデルは、<組立モジュール・オブジェクト：Module_Object>としてシステムに実装される。

組立モジュール：生産活動で認識される中間製品を表現する製品モデルとして定義したもの。

最小単位は部品であり、複数の組立モジュールの組み合わせとして新たな組立モジュールが表現される。

第6章 設計活動のモデル化

本論文ではこれまでに、造船において必要と考えられる製品情報と、それらの製品情報の重要性、および製品情報をシステムに実装するためのオブジェクトの定義について述べてきた。以下に、本研究で考慮する造船における製品情報を示す。

- ・部材情報および部材間の接合関係情報
- ・船倉や区画などの空間に関する製品情報
- ・内部構造の構造単位に関する製品情報
- ・生産活動における中間製品に関する製品情報

造船における設計活動は、以上に示した製品情報を生成する活動として捉えることができる。それでは、どの様にしてこれらの製品情報を計算機内において生成すべきであろうか。この問題を解決するためには、造船の設計活動における情報の生成過程を整理して捉える必要がある。そこで本章では、設計活動における製品情報の生成過程のモデル化について、以下に示す流れにしたがって考察する。

- ・造船業では、設計活動における製品情報の生成を支援する様々な設計システムが数多く構築されている。そこで、それらの設計システムを把握し、現状の設計システムが内包する問題点を整理する(6.1節)
- ・造船の製品情報が、設計活動においてどの様に变化するかを認識するために、設計対象の変化に着目し、設計の流れと設計対象の整理を行う(6.2節)
- ・基本設計における船倉や区画などの製品情報を生成する設計機能(空間設計機能)に関して述べる(6.3節)
- ・構造設計における主要な内部構造などの製品情報を生成する設計機能(内部構造設計機能)に関して述べる(6.4節)
- ・空間設計機能や内部構造設計機能を利用して製品情報を生成する際に、必要となる設計情報について述べる。本研究では、設計情報の記述に幾何学的拘束関係の記述を利用していることについて述べ、さらに設計手順の履歴の記述を考慮した設計情報の管理手法にも述べる(6.5節)
- ・設計情報を隣に利用した設計変更への対応に関して述べる(6.6節)
- ・生産活動において必要となる部品情報を、基本設計や構造設計で生成された部材情報を基に生成する設計機能(カット機能)に関して述べる(6.7節)
- ・本研究によって構築された設計支援システムによる設計の実例を示す(6.8節)

6.1 設計活動を支援する設計システムの一般的概念

造船業では、設計活動における情報生成を支援する様々な設計システムが数多く構築されている。そこで本節では、現状における一般的な造船の設計システムを把握し、それらの概念に基づいた設計システムが内包する問題点を整理する(Table 6-1-1)。

6.1.1 パラメータの設定による船体構造の設計 (バッチ処理型設計支援)

建造すべき船種が決まれば、船体構造の構造様式はある程度明確になる。したがって、船体構造の構造様式が決定されると、構造各部の詳細な寸法を決定することが実際の設計作業となる。バルクキャリアを例とすると、その船体構造は二重底構造やビルジタンク構造、トップサイドタンク構造等で構成される構造様式であると認識される。このような構造様式が決定されると、次に決定すべき情報は、二重底構造やビルジタンク構造などの個々の構造の形状を規定する各部の寸法情報となる。例え

Table 6-1-1 一般的な設計システムの特徴

| 設計手法 | 特徴 | 問題点 |
|-------------------------|--|--|
| パラメータの設定による設計 (バッチ処理型) | <ul style="list-style-type: none"> ・設計をデータ部 (パラメータ)、プログラム部に分割してシステム化 ・パラメータの入力のみによる設計活動が可能となり、設計作業が軽減される | <ul style="list-style-type: none"> ・設計対象 (船種) と設計システムとの対応が一对である ・設計対象の変更に対応するためには、プログラムの書き換えが必要である ・汎用的な設計に柔軟に対応することが困難 |
| 一部品毎の入力による設計 (CADによる支援) | <ul style="list-style-type: none"> ・CADが有する高い形状表現能力を利用することによって、柔軟に設計が可能となる ・汎用的な設計に柔軟に対応することが可能である | <ul style="list-style-type: none"> ・入力すべき情報が膨大である ・設計の初期段階から詳細な部品設計を行なう必要がある ・一品形状が完全に定義できないと、最終製品 (船) の定義ができない |

ば、「二重底構造の高さ」はどの位にするのか、「ビルジタンク構造の斜板の傾き」はどの程度の角度にするのか、「横隔壁構造の位置」はどこにするのか等の寸法の決定である。

以上のように、造船における設計作業を、構造の形状を定義するために必要な寸法値を決定する作業であると考えた場合では、

- ・構造形状を定義するための寸法値をパラメータとして定義する。
- ・船体構造の形状を生成するための処理をプログラムとして記述する。

などを実現することによって、計算機の優れた情報処理能力を利用して、船体構造の設計を効率的に行うことが考えられる。このように計算機を利用して船体構造を設計する場合には、設計者が入力すべき情報は、船体構造の複雑かつ詳細な形状情報ではなく、システムに予め定義されたパラメータとして代入される数値情報となる。このパラメータと、予め計算機内に記述した処理 (プログラム) によって、船体構造の形状情報を生成することができる (Fig.6-1-1)。このような考えに基づいた計算機の支援による設計システムは、2.2.2項で述べたように、造船業界におけるバッチ処理型自動設計システムにみられるような以前から利用されてきたシステムである。

以上のような設計システムは、設計活動における情報生成をプログラム部と入力データ部 (パラメータ) に分割することによって構築されている。この設計システムでは、設計者の負担は、データ (パラメータ) の入力のみに限られる。このことによって、設計者の設計作業が軽減される。しかし、設計する船種に応じて定義すべきパラメータが異なるために、設計する船種と設計システムの対応が一对である場合が通常である。したがって、新たな船種の船を設計する場合や、船体構造が多少異なる船を設計する場合において、既存の設計システムに定義されているパラメータが異なるとし

Input Parameter

depth? 35 m
width? 45 m
DBottom Depth?
BilgeTank Width?
:
:

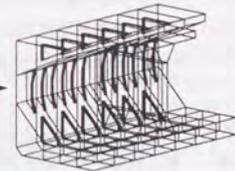
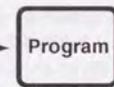


Fig.6-1-1 パラメータの設定による設計

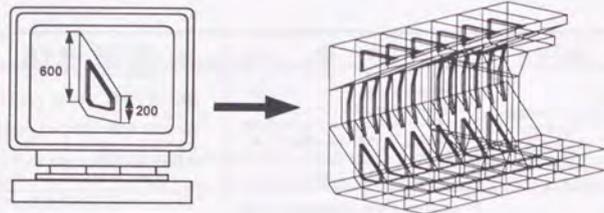


Fig.6-1-2 一部品毎の入力による設計

まうと、この設計システムを利用することは困難になってしまう。したがって、パラメータの設定による設計システムは、設計の柔軟性に乏しいシステムであると理解できる。

6.1.2 一部品毎の入力による船体構造の設計 (現状のCADによる設計支援)

製造業における設計活動の最終目的は、生産対象となる製品形状を確定し、製品を構成する部品の形状情報を生成することであると言える。したがって、製品を構成するすべての部品の形状情報を定義し、それらの組合せとして製品全体を定義すれば、最終的に製品形状の情報を生成することができる。現在の最も一般的な設計システムであるCADを利用した設計は、この考え方に基づいている。つまり現状のCADによる設計は、CADが有する高い形状表現能力を駆使し、製品を構成する一つ一つの部品の形状を入力することによって、製品を設計するものである (Fig.6-1-2)。

造船において、この設計システムを利用する時に最大の問題となる点は、入力すべき情報の多さである。つまり、船体構造を構成する部品数は膨大な数であるため、全ての部品の形状情報を入力することは困難であり、たとえ全ての情報を入力したとしても、入力するための膨大な時間が必要となる。したがって、この設計システムでは効率的な設計を実現することは困難である。この主な理由は、次のように整理することができる。

- ・設計者が入力すべき情報が膨大である。
- ・設計の初期段階から詳細な部品設計を行う必要がある。
- ・一品形状の定義が不完全であると、製品全体の定義が不完全なものとなる。

部品毎の情報入力による設計システムは、造船における現状の主要な設計システムであるにもかかわらず、多量の情報の入力が困難であるという問題を内包しているシステムである。したがって、設計の効率性で評価した場合、あまり有効な設計システムではないことが理解できる。

6.2 設計の流れと設計対象

前節において、バッチ処理型自動設計システムやCADなどの一般的な設計システムは、船体構造の様式の変更に対して柔軟に対応することが困難であるとか、設計者に対して情報の煩雑な入力作業を要求するといった問題を抱えるシステムであることが理解できた。これらのシステムが抱える問題の原因としては、これらの設計システムが共に、設計における製品情報の生成を十分に検討されないまま構築されたシステムであることが考えられる。この製品情報の生成を検討するためには、設計がどの様に進展し、製品情報がどの様な過程を経ることによって生成されるのかといった検討を行う必要がある。したがって、これらの設計システムが抱える問題に対処し、次世代の設計支援システムを構

築するためには、設計の流れに沿った設計支援の在り方を十分に考察したシステムを構築することが重要であると考えられる。そこで本節では、造船における設計の流れを整理し、様々な設計過程における種々の設計対象を整理する。さらに、種々の設計対象の関係を抽出することによって、設計過程で生成される様々な製品情報の関係を把握する。

6.2.1 設計の流れによる設計対象の変化

4.1節では、造船における設計の主要な流れと、各設計において生成すべき製品情報を整理した。この整理に基づき、各々の設計過程における設計の対象となるものと製品情報との関係を整理する。

・基本設計

基本設計の主要目的は、船倉や区画および各種タンク (以後、これらを単に区画として記述する) を船体内部に設計し、その配置方法を検討することである。したがって、基本設計における主要な設計対象は区画である。また、設計された区画が適切かどうかを検討するためには、区画の容積が計算できることが重要である。さらに、船体構造の縦曲げ強度などの計算を行うためには、区画の情報だけでは十分ではなく、区画を構成する板部材の情報も同時に生成される必要がある。

・構造設計

構造設計では、上流の設計である基本設計で生成された区画などの情報を基に、中央断面構造の設計や一般構造配置の設計、さらに船体構造を構成する各構造の構造強度を評価することによって、船体の主要な内部構造が設計される。また、構造設計の主要な内部構造の設計では、部材単位で設計するのではなく、船体構造を構成する主要な部分構造 (例えば、タンカーのトランス・リング構造など) を構造単位として捉え、構造単位の様式や構造単位の配置などが検討される。そして、この構造単位を構成する部材が設計される。

・詳細設計・生産設計

詳細設計・生産設計では、上流の設計である基本設計と構造設計において決定された船体構造を実際に建造し、製品として実体化するための様々な検討が行われる。このために、組立方法の検討によって搭載ブロックが決定されたり、実際に鋼材から加工すべき部品が設計される。また、船体の内部構造を構成するスティフナーやブラケットなどの部品も設計される。

以上の整理によって、設計の主要な流れにおいて生成される製品情報は、各々の設計における設計の対象範囲が変化するにはしたがって、区画から構造単位へ、そして部材から部品へと移行することが理解できる。また、上流の設計において生成された製品情報を有効に利用して、下流の設計における製品情報の生成を効率よく行うためには、設計活動における様々な製品情報を円滑に伝達することが重要である。このことを製品情報の視点から捉えると、上流で生成された製品情報と下流で生成された製品情報には、互いに深い関係を持つものでなければならないことが理解できる。

以上のことから、計算機によって設計活動を支援するためには、設計の流れによって生成される製品情報の相互間の関係を、製品情報に対して記述することが重要であると考えられる。つまり、生成すべき製品情報を単に記述するのではなく、

- ・情報の生成過程において生成される情報間の関係はどの様なものが存在するのか
- ・どの様に製品情報を関係づけて管理するのか

などを検討することが必要である。そこで次項では、設計における製品情報の生成の流れを計算機内部に表現するために、製品情報の間に存在する関係が、どの様な重要性を有するものであるかを検討する。

6.2.2 設計対象間に存在する制約 (構造的制約)

前項で述べたように、設計活動は基本設計、構造設計、詳細設計、生産設計といった様々な設計ステージによって構成されている。このような設計活動の構成では、上流の設計ステージにおいて製品情報が生成されると、その製品情報が下流の設計ステージに伝達される。さらに、伝達された製品情報を基にして、新たな製品情報が下流の設計ステージにおいて生成される。つまり、設計活動における情報伝達によって、設計全体の情報の流れが作り出されていると考えることができる。また、実際の設計では設計作業の効率化のために、上流の設計ステージからの製品情報の伝達が不十分な場合でも、過去の経験による蓄積された設計知識によって必要な情報の不足分が補われ、下流の設計ステージの製品情報が生成される。この場合でも、蓄積された知識は過去の設計における上流の設計ステージの製品情報を基盤にしていると考えられる。したがって、個々の設計ステージにおいて情報生成の基盤となるものは上流の設計ステージの製品情報であるといえる。

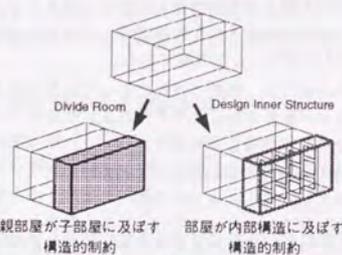
また、以上に述べた情報の流れは、異なる設計ステージ間の問題に限るのではなく、同一の設計ステージにおいても存在する。例えば、ある設計ステージにおいてある構造や部品が設計されると、その製品情報は、同一の設計ステージにおいて後で設計される構造や、部品の制約となる場合がある。このように、製品情報間の制約の関係は、設計の流れに大きな影響を与える。そこで、基本設計や構造設計などで設計される区画や、内部構造などが潜在的に持つ制約について考えると、以下のように整理することができる。

(1) 区画 (部屋) が受ける制約

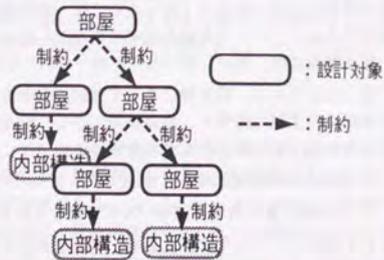
基本設計では、既に設計されている区画に対して、新たに仕切り板が設計されることによって複数の新たな区画が生成される。このような区画の設計は、生成される製品情報 (仕切り板や区画) の視点から捉えると、次のことを決定している設計であると考えられる。

- ・区画形状に制約されて仕切り板の形状が決定される
- ・仕切られる区画形状に制約されて新たに生成される区画形状が決定される

本研究では、基本設計における船倉や区画および各種タンクを製品情報として表現するために、「部屋」を定義している。この「部屋」を利用した設計では、設計の流れに依存する制約を積極的に利用することが有効であると考えられる。つまり、制約を与えるものを親、その制約の下で生成されるものを子とすれば、「親は子を制約する」といった関係を、設計過程において生成される製品情報の関係として有効に利用することができる。したがって、先に述べた設計における制約という観点から捉えると、「部屋」を利用した設計の特徴は、以下のように認識することができる (Fig.6-2-1(A))。



(A)



(B)

Fig.6-2-1 構造的制約

「部屋 (親) の中に生成される仕切り板 (子) の形状は、部屋 (親) の形状に制約されている」
 「部屋 (親) の中に生成される複数の部屋 (子) の形状は、部屋 (親) の形状に制約されている」

(2) 内部構造が受ける制約

内部構造は、上流の設計において生成された区画、およびその区画を構成する板部材に対して設計される構造であると捉えることができる。ここで、区画と内部構造の関係と考えた場合、内部構造は、その構造が属する区画および、その区画を構成する板部材によって制約されるものと認識することができる。したがって、内部構造を設計する場合においても、(1)で述べた部屋の親子関係などと同様に、区画と内部構造の関係を親子関係として整理することができる。

「部屋 (親) の内部に生成される内部構造 (子) の形状は、自分が属する部屋 (親) の形状に制約される」

本研究では、以上に示した異なる製品情報の間に存在する制約を「構造的制約」と定義する。この「構造的制約」は、船体構造の設計の流れに存在する製品情報の間の潜在的な制約関係を表現する情報であると考えられる (Fig.6-2-1(B))。

6.3 基本設計の支援 (区画の設計)

基本設計では、隔壁などの板部材を設計対象として認識するだけでは不十分であり、隔壁などが設計されることによって生成される船倉や区画などを、設計対象として認識することが重要である。そこで本節では、部屋の製品モデルを利用した、基本設計における区画の設計に関して考察する。

6.3.1 部屋と区画の設計

本研究では、船体構造のように複数の板部材を溶接することによって作られた構造では、板部材や接合部 (溶接線) のような実際に目で見えるものだけでなく、それらによって作られた区画などの閉じた空間が、設計活動に重要な役割を果たしている点に注目している。この船体構造における船倉や、各種タンクなどの閉じた空間を「部屋」として定義している。また、この「部屋」は、船体構造を構成する複数の板部材の情報と、それらの板部材の接合関係情報を利用することによって生成される。したがって、造船設計における区画の設計を以下のように捉えることができる。

「区画の設計では、設計者は区画を中心とした設計を行っているが、区画そのものを直接設計することは困難であるために、間接的に板部材 (仕切り板) の設計をしている」

この認識に基づいて区画の設計を支援することを考えると、以下のような点で「部屋」の利用が有効であると考えられる。また、「部屋」を区画の設計に利用することによって、

- ・船体構造を構成する複数の板部材同士の接合から生じるであろう様々な影響 (閉空間の生成など) を、単なる認識ではなく、具体的に部屋の形状として把握する
- ・部屋の形状を具体的に提示することによって、部屋そのものを操作の対象にするなどを可能とすることができ、設計者の区画の設計を支援することが期待できる。

6.3.2 空間設計機能

本研究では、板部材と接合関係情報を用いることによって、間接的に部屋を設計する概念を提案している。この部屋の設計機能（後述する「部屋の分割」）を空間設計機能として定義する。以下に、空間設計機能において、板部材の情報および接合関係情報の生成と、部屋の設計とがどの様に関連しているかを述べる。

(1) 板部材（仕切り板）の設計

本研究では、部屋の形状はソリッド・モデルとして定義されており、さらに部屋を構成する板部材の情報は、部屋が属する箱型ユニットによって管理されている。この様な条件の下に、この部屋の内部に新たな仕切り板を作成することを考える。

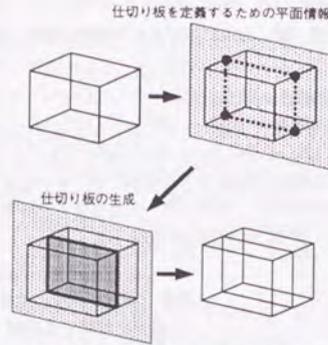


Fig.6-3-1 板部材（仕切り板）の設計

例えば、ある部屋に一枚の仕切り板を設計することを考えてみる。この場合、仕切り板の形状は、部屋の形状と任意の無限平面とが交差してできる面分の形状に等しい。したがって、部屋に対して仕切り板を定義するための平面情報（例えば平面上の一点と平面の法線ベクトル）を設定することによって、部屋とこの無限平面との断面形状が幾何学的に求められ、部屋の内部に形状的に矛盾のない板部材を生成することができる（Fig.6-3-1）。また、部屋の形状を表現する多面体の各面と、部屋を構成する板部材との対応関係は、「壁の情報」として記述されている。したがって、仕切り板の形状を計算する際に、仕切り板と部屋を構成する板部材との接合関係情報も矛盾なく生成される。Fig.6-3-2に、仕切り板の設計におけるデータフロー図を示す。

(2) 部屋の分割

本論文では既に5.3.2項において、「板部材の形状情報」と「接合関係情報」から、ソリッド・モデルとして定義される部屋の形状を生成することが可能であることを述べている。したがって、(1)に述べたように、部屋の内部に新たに板部材を作成し、それと同時に接合関係情報も生成することが可能であれば、分割される部屋を構成する板部材の形状および接合関係情報を用いて、元の部屋（親）の形状から分割されて生成される子部屋の形状を計算することができる。このことは、

- (a) 複数の板部材によって定義される部屋（親）の形状
- (b) 部屋（親）の内部に設計される仕切り板の形状

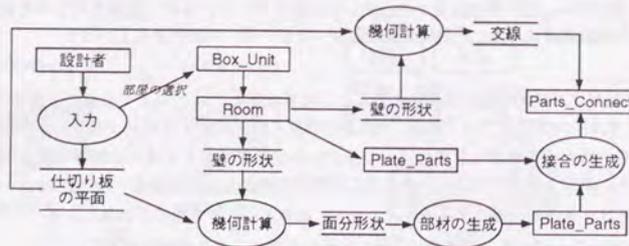


Fig.6-3-2 板部材（仕切り板）の設計のデータフロー図

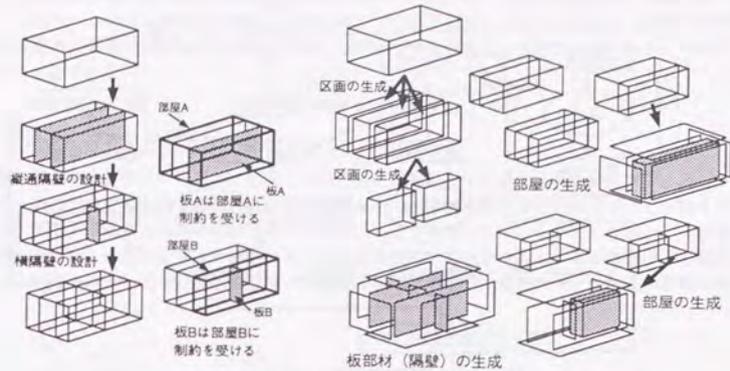


Fig.6-3-3 空間設計機能

(c) 仕切り板と部屋（親）を構成する板部材との接合関係情報の情報から、仕切り板で分けられることによって生成される子部屋の形状を求めることができるということである。本研究では、「既存の部屋の内部に仕切り板を生成し、新たな部屋を生成する」といった情報の生成機能を、空間設計機能として定義している（Fig.6-3-3）。また、空間設計機能における区画の生成のデータフロー図をFig.6-3-4に示す。

さらに、以上のように子部屋の形状を生成することができれば、さらにその子部屋の内部に板部材を設計し、子部屋を複数の新たな子部屋（孫部屋）に分割することが可能となる。したがって、空間設計機能を繰り返し利用することによって、以下のように、仕切り板や区画などの設計を表現することができる。これは、造船における区画の設計を表現するものであると考えられる。

- ・隔壁の設計から二重底内のフロアやガーダなどの設計までを、仕切り板の設計として表現できる
- ・船倉の設計から二重底内の一区画の設計までを、部屋の設計として表現できる

6.3.3 部屋の構造的制約と階層構造

前項で述べたように、空間設計機能を繰り返し利用することによって、船体の内部空間を表現する大きな部屋から始めて、それをより小さな部屋へと分割していくことが可能である。この際に、空間設計機能によって生成される複数の部屋の間関係を見ても、部屋（親）とその内部に生成される部屋（子）の間には、構造的制約の関係が存在することが理解できる（6.2.2項参照）。そこで、この親部屋と子部屋の間にある関係を情報として残すために、分割する順序にしたがって生成される部屋の情報を階層的に管理している。この管理は、親部屋を分割することによって生成される複数の子部屋の情報を、親部屋の情報の一部として管理することによって行われている。

以上のように、生成された部屋の情報を階層的に管理することによって、ある部屋にはその部屋を直接生成した「親」になる部屋が存在するといった関係を階層関係として残すことが可能となる。したがって、全ての部屋について、この「親」と「子」の関係をたどれば、「船全体」を表現する部屋を頂点として、分割過程で生じた部屋によって構成される「部屋の木」を生成することができる。例

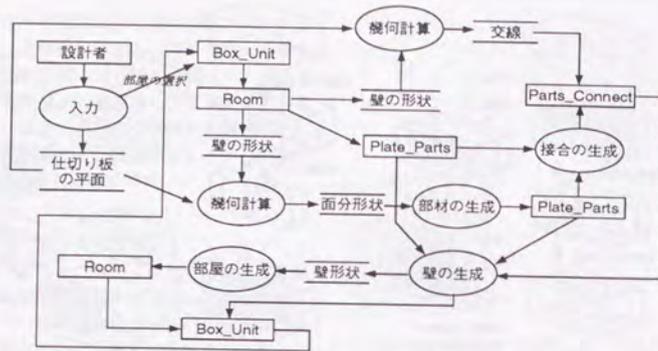


Fig. 6-3-4 空間設計機能のデータフロー図

例えば、船全体を船首部と船倉部、船尾部などとなるように横隔壁で分割してから、さらに船倉部を縦通隔壁や横隔壁などで分割するという手順をとった場合は、「部屋の木」はFig.6-3-5に示すものとなる。本研究では、生成された部屋の情報は箱型ユニットによって管理されているので、部屋の階層構造は箱型ユニットの階層構造として表現される (Fig.6-3-6)。

6.3.4 設計順序に依存した製品情報

空間設計機能は、生成される部屋に対して繰り返し利用され、複数の部屋を階層的に生成する機能である。ここで、空間設計機能による部屋の設計の特徴としては、設計される板部材は部屋 (区画) の形状に制約されるため、部屋を設計する順序によって部屋の仕切りとなる板部材の形状が異なることを挙げることができる。例えば、Fig.6-3-7(A-1)のように縦通隔壁を横隔壁より先に設計する場合と、Fig.6-3-7(B-1)のように横隔壁を縦通隔壁よりも先に設計する場合とは、設計される隔壁の形状は異なる。また同様に、部屋を設計する順序によって、生成される部屋の形状も異なる。したがって、設計順序にしたがって、生成される部屋の情報や板部材の情報などの製

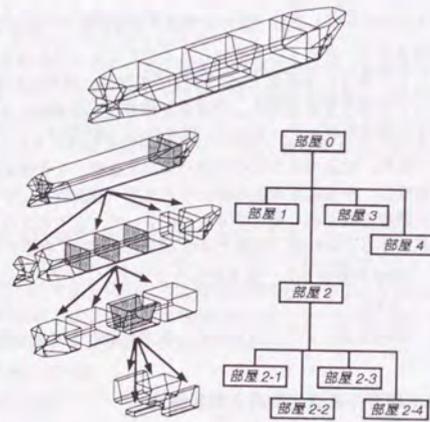


Fig. 6-3-5 部屋の木構造

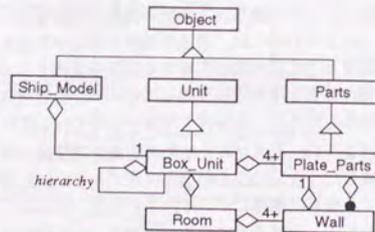


Fig. 6-3-6 部屋の階層構造

品情報が異なる。さらに、最終的には同じような構造に見えても、Fig.6-3-7(A-2)および(B-2)に示すように、生成される部屋の階層構造は異なったものとして表現される。以上のことから、部屋の階層構造は単なる情報の構造ではなく、設計順序に関する情報までもが階層に表現されているものであると認識することができる。

6.3.5 部屋を定義する部材情報の管理

部屋を構成する板部材の情報は、部屋を内部空間の情報として記述する箱型ユニットによって管理されている。また、部屋は、複数の板部材の情報とその板部材の接合関係情報によって生成されているので、部屋を構成する板部材は、空間設計機能によって分割されていない。したがって、親部屋を構成する板部材と子部屋を構成する板部材が同じ板部材となる場合がある。この場合は、親部屋が管理される箱型ユニットと子部屋が管理される箱型ユニットの両方の箱型ユニットに、板部材は管理される。

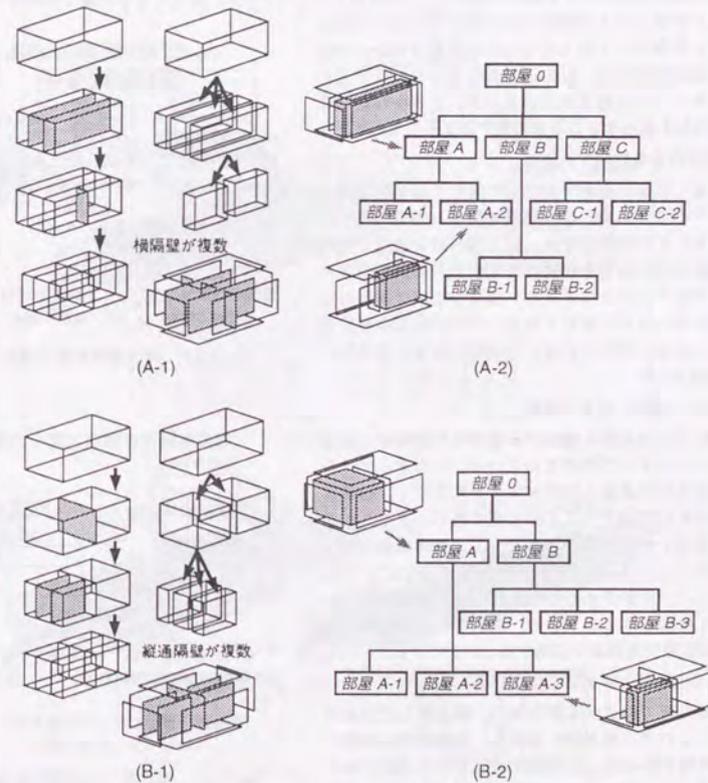


Fig. 6-3-7 設計順序の違いによる部屋の階層構造

部屋は階層的に管理されているので、親部屋を構成する板部材や子部屋を構成する板部材などを階層的に取り出すことが可能である。さらに、部屋と板部材を指定することによって、部屋の壁の情報を階層的に取り出すことが可能である。例えば、親部屋と板部材を指定した場合の壁と、子部屋と板部材を指定した場合の壁を、それぞれ取り出すことができる。このような階層的な壁の取り出しは、後述する内部構造の設計において利用される(6.4.3項参照)。

6.3.6 部屋の設計によって得られる情報

これまでに述べてきたように、空間設計機能によって生成される部屋の情報、および隔壁などの仕切り板の情報を利用することによって、以下に示す様々な情報を容易に獲得することができる。これらの情報は、システムを用いて生成された製品情報が、設計要求を満足するものか否かを設計者が判断する際の情報として有効に活用することができる。

(1) 区画の容積に関する情報

空間設計機能によって部屋の製品モデルが生成されているので、船としての重要な情報である船体全体の容積、および設計された個々の船倉や区画の容積を情報として取り出すことが可能である。これは、部屋の形状が、B-Reps表現を用いたソリッド・モデルとして定義されているので、必要な時点で容易に容積を算出することが可能であるからである。

(2) 積荷の重量に関する情報

船倉・区画を表現する部屋に対して積荷の情報を付加することによって、積荷に関する重量・重心を求めることが期待できる。例えば、積荷の量と積荷の比重などの情報を部屋の製品モデルの属性情報として記述することによって、積荷の形状は部屋の形状と積荷の量から算出される。さらに、この積荷の形状の容積と積荷の比重から積荷の重量が求められる (Fig.6-3-8)。

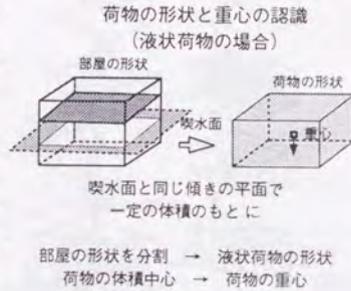


Fig. 6-3-8 積み荷の重量の算出

(3) 部材と接合に関する情報

設計された部屋を構成する板部材の情報は、箱型ユニットによって管理されている。したがって、全ての板部材の重量を合計することによって、船殻重量を容易に把握することが可能である。また、板部材の情報を利用することによって、船体構造の断面二次モーメントなどの情報を計算することができる。また、設計された仕切り板の接合関係情報も矛盾無く生成されているので、設計された船体構造の接合線に関する物量を収集することができる。

(4) トリム計算とスタビリティ計算

船体外板で囲まれる閉空間は、部屋として定義されているので、喫水面を定義し、船体の内部空間である部屋の形状を、この喫水面によって分割することによって、喫水面下の容積も容易に取り出すこと

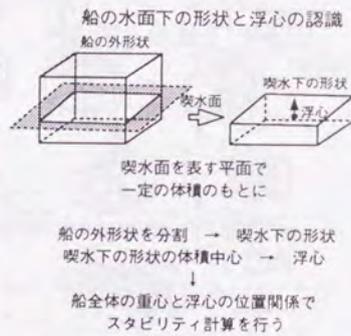


Fig. 6-3-9 喫水面下の容積の算出

ができる (Fig. 6-3-9)。したがって、船殻・載貨の重量と重心を求め、船体の浮力・浮心とのつり合いを考慮することによってトリム計算を行うことができる。さらに重心、浮心などの情報からメタセンタを求めることによって、スタビリティ計算を行うことができる。また、浸水区画に積荷として海水を定義することによって、スタビリティ計算と同様にダメッジ・スタビリティ計算を行うことができる (Fig. 6-3-10)。

(5) モーメント分布に関する情報

喫水面下の容積による浮力分布と船体構造と積荷の重量分布を利用することによって、船体にかかる縦曲げモーメントや捩じりモーメントなどの分布を算出することができる (Fig.6-3-11)。

(6) その他の情報

部屋の壁の情報は、区画やタンクの壁面に相当する情報である。したがって、壁の面積を収集することによって、船体構造を構成する区画や各種タンクの壁面の塗装面積に関する情報を算出することが期待できる。

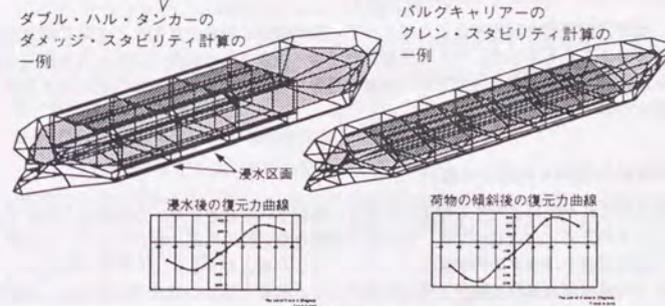
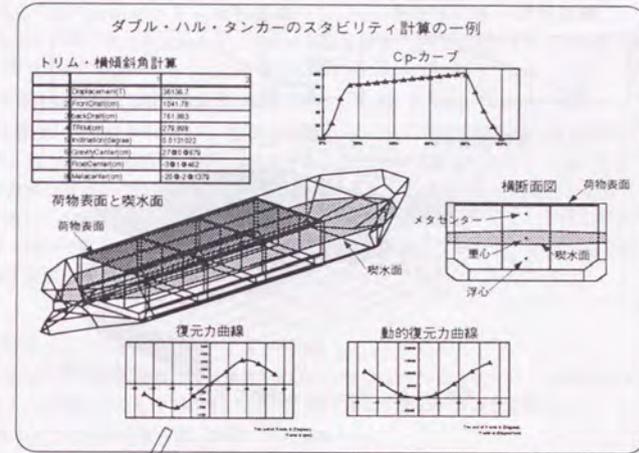


Fig. 6-3-10 トリム計算とスタビリティ計算

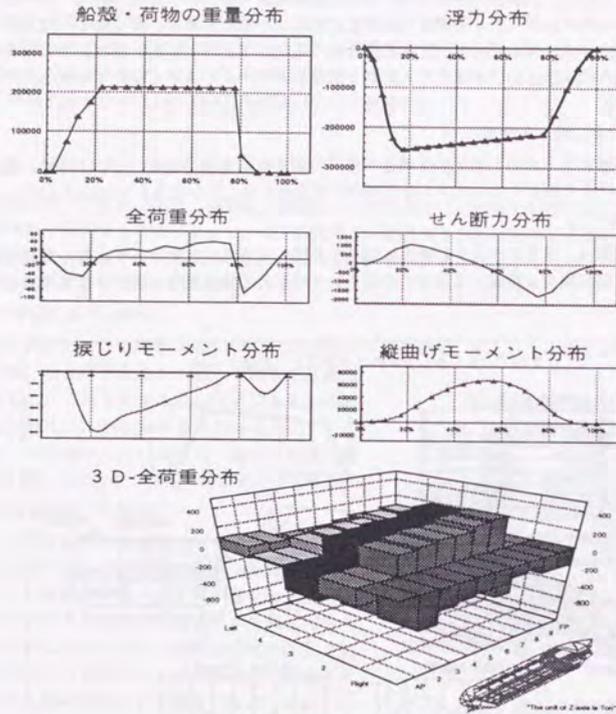


Fig. 6-3-11 モーメント分布の計算

6.4 構造設計の支援 (主要な内部構造の設計)

前節では、空間設計機能を利用することによって、船体内部に船倉や区画などの閉空間である部屋を任意に設計できることを示した。さらに造船設計では、生成された部屋の内部に内部構造を設計する必要がある。そこで本節では、生成された部屋の情報を有効に利用し、その内部に内部構造を設計する設計機能について考察する。

6.4.1 部屋の構造的制約を利用した設計

基本設計で設計された区画に対する構造的な強度が保証されるためには、内部構造が設計されなければならない。そのために構造設計では、主要な内部構造が区画の内部に設計される。5.4.2節で分類したように、船体構造を構成する内部構造としては、リング構造やトランス・リング構造などの面型構造と、複数の骨部材が板部材に取付く骨型構造がある。本項では、これらの内部構造の特徴を整理し、区画の情報とこれらの内部構造との間に、どのような関係が存在するのか考察する。

(1) 面型構造の設計

面型構造の構造形状に着目すると、以下の条件を満足するものであることが理解できる。

- ・面型構造の外形は、その構造が設計される区画やタンクの内部に収まっている。
- ・面型構造に定義される穴に関しても、その穴の形状は面型構造の外形内に収まっている。
(ここで使用する「穴」とは、マンホールなどの板部材に開けられた小さな穴だけを意味するのではなく、リング構造に見られる構造的な穴をも含む)

そこで面型構造の設計を、面型構造を構成する主要な板部材の外形形状の設計、および穴形状の設計として考えると、設計すべき各々の形状(外形形状、穴形状)は、面型構造が所属する部屋の「構造的制約」を受けているといえる。この考え方は、先に述べた部屋の親子関係における「構造的制約」と同様であると考えられる。

そこで本研究では、面型構造の設計を、部屋の構造的制約下における、面型構造の外形形状と穴形状を決定する設計であるとする。

(2) 骨型構造の設計

骨型構造は、曲げ強度を向上させる必要がある板部材に対して設計される構造である。したがって、その構造形状に着目すると以下の特徴を認識することができる。

- ・骨型構造は、主に区画を構成する板部材に対して設計される。
- ・骨型構造の骨部材の取付線は、板部材の領域(あるいは部分的な領域)内に収まっている。

そこで、骨型構造の設計を、区画を構成する板部材を補強する行為として捉えたと、設計すべき各々の骨部材の取付線の情報は、取付く板部材が所属する部屋の「構造的制約」を受けているものと考えられる。この関係は、部屋と面型構造の関係と同様であると考えられる。

そこで本研究では、骨型構造の設計を、部屋の構造的制約下における、骨型構造を構成する骨部材の取付線を決定することによる設計であるとする。

6.4.2 面型ユニットの設計機能

面型ユニットは、船体構造の内部構造であるリング構造やトランス・リング構造などの面型構造をユニットとして定義するものである。ここで、様々な面型構造の特徴を整理すると、

- ・区画やタンク内の任意の面(断面)上に存在する
- ・構造的な穴が存在することがある
- ・フェイス・プレートなどの補強部材が存在する場合がある

等の点を挙げる事ができる。そこで本研究では、これらの特徴を有する面型構造の設計を、

- ・面型ユニットが存在する基準となる面(ユニットの設計基準面)の指定
- ・主要な板部材の外形形状の設計
- ・主要な板部材に開けられる穴の形状の設計
- ・フェイス・プレートなどの補強部材の設計

などの設計段階に分けて考える。以下に、それらの各々の設計段階において、どの様に面型構造の情報が生成されるかを示す。本研究では、この設計機能を内部構造設計機能と定義している。

(1) ユニットの設計基準面の指定

面型ユニットは、生成された部屋を構造としての強度を満足させるために設計される構造部材の集合体である。ここで、面型ユニットを構成する主要な板部材に着目した場合、その板部材は仮想的な

面上に設計される構造と認識することができる。つまり、面型ユニットは、その構造が受け持つ外力を、ユニットが存在する仮想的な面の面内方向の構造強度によって支持するために設計される構造であると認識することができる。例えば、リング構造を構成する主要な板部材（リング部材）はタンクの断面上に設計されることによって、タンクが変形しないように支持している。また、トランス構造を構成する板部材は部屋の断面全てに設計されないが、その板部材も、部屋の変形を板部材の面内方向の強度によって支持するものと考えられる。

したがって、区画やタンクなどの空間内部に設計される面型構造は、どの方向にどの位置で閉空間を支持するかが重要であり、面型ユニットを生成するためには、面型ユニットを構成する主要な板部材が存在する仮想的な面の情報が必要である。本研究では、この仮想的な面を面型ユニットの設計基準面と呼ぶ。

(2) 内部構造（主要な板部材）の設計

面型ユニットを構成する主要な板部材の外形形状に着目すると、その形状は、面型ユニットを設計する部屋の内部に収まる形状である。つまり、面型ユニットを構成する板部材（例えばリング部材）の外形形状は、仕切りの板材と同様に部屋の内側に沿った形状をしている。また、部屋を完全には仕切らない板部材（例えばトランス構造を構成するトランス部材）でも、少なくとも部屋の壁に接する部分の外形形状は同様である。

上記(1)で述べたように、面型ユニットの設計基準面が指定されると、面型ユニットが設計される部屋の形状を利用することによって、部屋に内接する面分形状を矛盾なく算出することができる。本研究では、この部屋に内接する面分を部屋の内接面分と呼ぶ。二重底内のフロアなどの板部材や、リング部材などの外形形状は、部屋の内接面分の形状が相当する (Fig.6-4-1)。

さらに、面型構造を構成する主要な板部材の任意な外形形状の生成は、板部材の外形形状に対応する稜線の情報が、部屋の内接面分上に線分情報として記述されることによって処理される。この記述された線分情報によって生成される領域を、部屋の内接面分から削除することによって、板部材の外形形状が求められる。また、この際に部屋を構成する板部材との接合関係情報は、矛盾なく生成される。

このように、部屋の形状と設計基準面の情報を利用して、面型ユニットを構成する主要な板部材がとり得る最大形状である部屋の内接面分を取り出し、さらに、この部屋の内接面分上に主要な板部材の外形形状を設計することによって、面型ユニットを構成する主要な板部材の外形形状を設計することができる (Fig.6-4-2)。

(3) 内部構造（主要な板部材）の穴の設計

実際には、リング構造やトランス・リング構造などは、複数の部材の構成によって構造が定義される。しかし、構造単位で捉えた場合、上記(2)で生成された部材上に穴が存在するものとして認識する

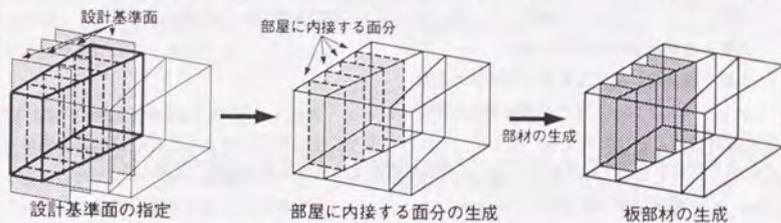


Fig.6-4-1 設計基準面の指定による部屋に内接する面分の生成

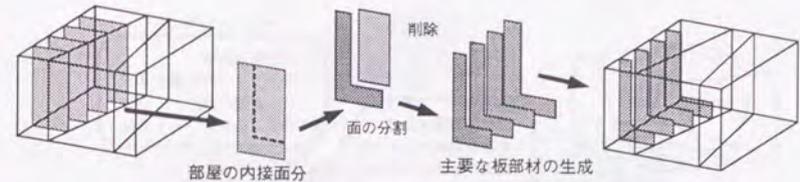


Fig.6-4-2 内部構造の主要な板部材の外形形状の設計

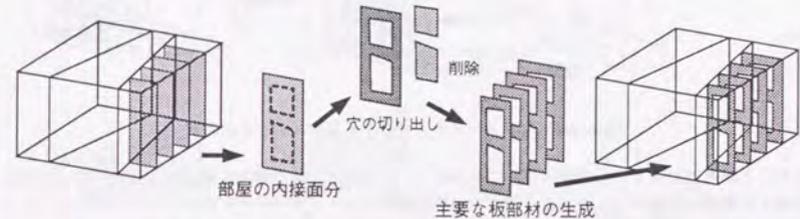


Fig.6-4-3 内部構造の主要な板部材の穴形状の設計

ことができる。例えば、トランス・リングの場合、実際の構造では複数の板部材（ストラット部材やデッキ・トランス部材など）によって、トランス・リングの穴が生成されている。しかし、トランス・リングを一枚の板部材として捉えた場合、この板部材に穴が開けられていると認識できる。したがって、上記(2)で述べた主要な板部材の外形形状を線分情報として記述するのと同様に、穴の形状を記述することによって、リング構造などに見られる穴を設計することが考えられる。例えば、Fig.6-4-3に示すように、記述された複数の線分情報から穴の面分形状を構成する稜線を求める。この穴の形状を面型ユニットを構成する主要な板部材の属性情報として記述することによって、穴が開けられたリング部材などを設計することができる。

(4) フェイス・プレートの設計

上記(2)の設計によって生成される主要な板部材の外形形状を表現する稜線の中で、部屋を構成する板部材と接合していない稜線、つまり板部材のフリーエッジに相当する稜線が生成される場合がある（例えば、トランス部材）。また、上記(3)の設計によって主要な板部材の穴の形状が生成されるが、この穴の形状を表現する稜線は板部材のフリーエッジに相当する稜線である。本研究では、面型ユニットを構成するフェイス・プレートの板部材は、それらのフリーエッジ上に取付き、面型ユニットの主要な板部材の構造の強度を確保するものと考えた。フェイス・プレートは、フェイス・プレートを取付ける稜線（フリーエッジ）の情報と、フェイス・プレートの幅および板厚などの情報によって設計される。

(5) パラメータを利用した設計

以上の(1)~(4)で述べた面型ユニットを設計するために必要となる情報を、設計する面型構造の構造モードに合わせたパラメータによって表現することが考えられる。例えば、面型構造のストラット形状やリング形状などは、ストラットの位置や寸法、リングの深さなどのパラメータによる表現に置き換

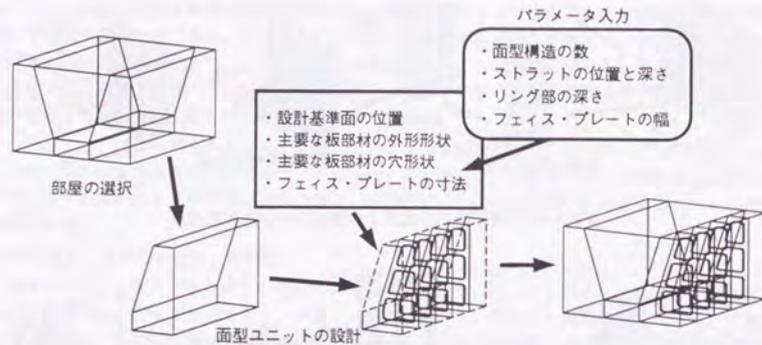


Fig. 6-4-4 パラメータの入力による面型ユニットの設計

えることが可能である。したがって、このパラメータを基に、面型構造を構成する複数の部材情報を生成する機能を定義することによって、この面型構造をパラメトリックに設計することが可能となる (Fig. 6-4-4)。このパラメトリック設計によって、設計者は、面型ユニットの組合せや、面型ユニットを表現する寸法情報の検討を考慮するだけで船体構造を設計することができ、内部構造を構成する多数の部材の個々の設計から解放されることが期待できる。なお、この設計に関しては、6.5.7項において詳細に述べる。

(6) 面型ユニットの管理

面型ユニットは、箱型ユニットが管理する部屋の情報を利用して設計される。したがって、面型ユニットは箱型ユニットと関係すると考えられ、生成された面型ユニットは箱型ユニットに管理される。

6.4.3 骨型ユニットの設計機能

本項では、骨型構造をユニットとして定義する骨型ユニットに対して、前項と同様にユニットの設計に関して考察し、骨型ユニットを構成する部材 (骨部材) を生成するために必要となる情報および設計機能を以下に整理する。本研究では、骨型ユニットの設計機能も内部構造設計機能として定義している。

(1) 設計する領域の指定

ロンジ構造などの板部材に対して取付けられる構造の設計では、板部材のどちらの面 (表・裏) にロンジ構造を取り付けるかといった領域の指定が重要である。この板部材の領域を指定する際に、板部材が属する部屋の壁の情報を利用することが考えられる。例えば、ある板部材に対して、その板部材が構成する部屋を指定することによって、板部材のどちらの面 (表・裏) を確定することができる (Fig. 6-4-5(A))。また、部屋は階層的に生成されているので、生成された部屋の壁の情報も階層的に抽出することが可能である。したがって、ロンジ構造を設計する領域を板部材の部分的な領域とすることができる (Fig. 6-4-5(B))。そこで、骨型ユニットの設計を、以下のように設計する領域の指定から行うものとする。

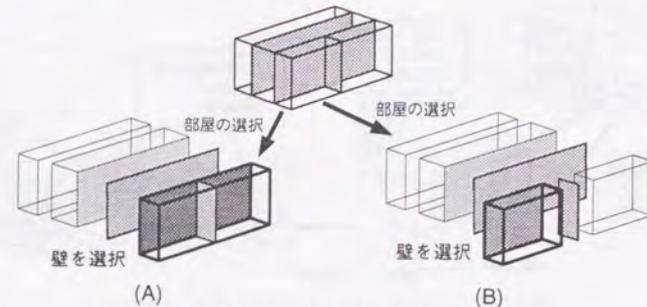


Fig. 6-4-5 設計する領域の指定

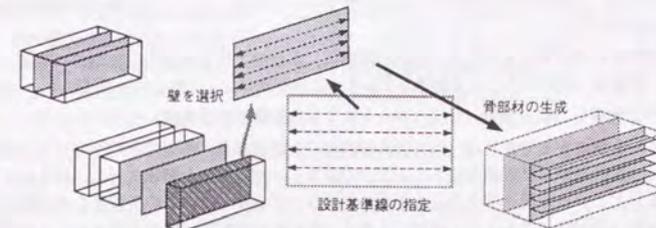


Fig. 6-4-6 設計基準線の指定

- ・取付ける板部材を選択する
- ・取付ける領域 (壁) を限定するために部屋を選択する

(2) 設計基準線の指定

面型ユニットの設計では、部屋に対して設計基準面を指定し、その面上にユニットを構成する主要な板部材を設計した。このことに対して骨型ユニットの設計では、上記(1)で指定された領域である壁に対して、骨部材を取付ける線分の情報を記述することによって設計が行われる。その際に、補強したい板部材の領域に対して、どのように補強するかを骨部材の取付線の情報として指定する。本研究ではこの取付線を設計基準線と呼ぶ (Fig. 6-4-6)。

(3) 骨部材の断面形状・取付角度の力

設計者が、骨型ユニットを構成する個々の骨部材の断面形状や取付角度などの情報が指定されることによって、上記(2)において指定された設計基準線上に、骨部材の形状を表現する面形状が生成される。この面形状は骨部材の形状情報として記述される。

(4) 板部材との干渉チェック

新たに設計された骨部材と、既に設計されている隔壁や内部構造との干渉部に、スロット形状を定義することは重要である。しかし、このスロットの形状は組立方法に強く依存する。そこで本研究では、構造設計において骨部材が設計された段階では、組立方法に関する情報は確定されることはなく、貫通する骨部材と干渉する板部材との干渉情報が生成されるのみであると考えている。骨部材が

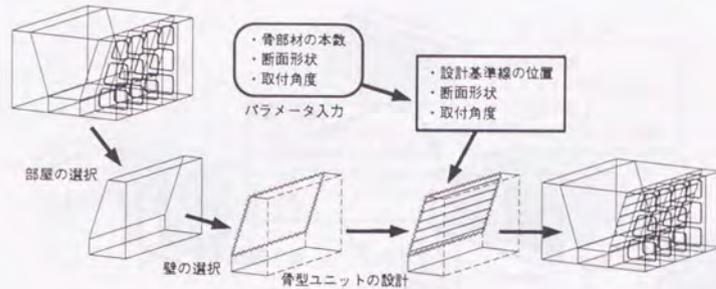


Fig. 6-4-7 パラメータの入力による骨型ユニットの設計

設計された時点で、内部構造との干渉チェックが行われ、「貫通する」という属性情報を有した接合関係情報が生成される。

また、組立方法の検討によるスロット形状の設計は、本研究では計算機内で仮想的に生産を行うことによって、矛盾なく設計することを考慮している。この詳細は、7.11節において述べる。

(5) パラメータを利用した設計機能（骨型ユニットによる内部構造設計機能）

骨型ユニットを構成する骨部材は、設計基準線の指定と取付角度、断面形状の情報によって設計される。しかし、設計基準線は直接指定されるだけでなく、指定された領域に対し、例えば等間隔で何本設計するなどといった間接的な指定も考慮されることが望ましい。この間接的な指定方法として入力される情報（等間隔に何本という情報）を基に、骨部材の設計基準線を算出することが考えられる。このように、骨型ユニットを設計する際に必要な情報をパラメータ化することによって、面型ユニットの設計において述べたようなパラメトリックな設計支援が期待できる（Fig. 6-4-7）。この骨型ユニットのパラメータの指定による設計は、6.5.7項において詳細に述べる。

(6) 部屋の階層構造との関係

複数の部屋を通る骨部材を設計する場合には、部屋の階層構造を利用することができる。例えば、Fig. 6-4-8(A)に示すように分割された場合では、部屋の階層性を利用し、ROOM1-1、ROOM1-2の「親」であるROOM1のplate1の壁にロンジを取付けることが可能である。この場合はロンジが途中で切断（横隔壁による切断）されないように設計することができる。もちろん、このようなロンジの設計の場合、最終的な形状を決定するためには、上記(4)で述べた部材同士の干渉チェックが必要になる。

一方、Fig. 6-4-8(B)のように分割を行った場合では、分割によって設計された部屋の最終的な形状はFig. 6-4-8(A)に示す場合と同じであるが、部屋の階層構造は異なったものとなる。したがって、ROOM1-2、ROOM2-2にまたがって存在するロンジ構造を定義することはできない。このような構造を設計するためには、複数の壁に取付けることができる骨型ユニットを定義する必要があり、今後の課題である。

(7) 骨型ユニットの管理

骨型ユニットは、箱型ユニットが管理する部屋の壁の情報と、骨を設計する基準線の情報の指定によって設計される。そこで、骨型ユニットは箱型ユニットに関係が存在するものとして考え、生成された骨型ユニットは箱型ユニットに管理される。

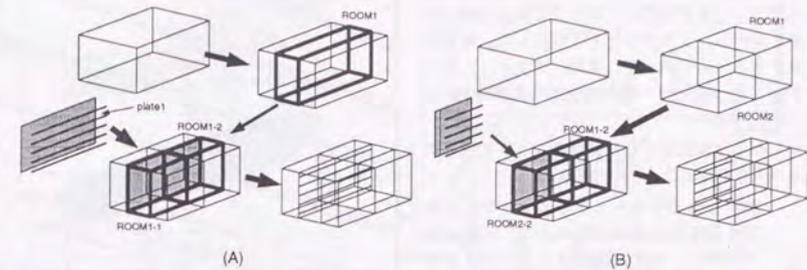


Fig. 6-4-8 部屋の階層構造における骨型ユニットの設計

6.4.4 内部構造設計機能を応用した単一部材の設計機能

本研究では、複数の部材の集合体としてユニットを定義し、面型ユニットや骨型ユニットの設計機能として内部構造設計機能を定義した。ところで、内部構造を構成する部材には、ブラケットやスティフナーなどの小部材も存在し、それらの小部材の設計は無視できない。そこで本項では、これまでに述べてきた面型ユニットと骨型ユニットの内部構造設計機能を利用した、ブラケットやスティフナーなどの小部材の設計に関して考察する。

(1) 面型ユニットや骨型ユニットに小部材の設計機能を組込む方法

ブラケットやスティフナーなどの小部材を、既に定義されている面型ユニットを構成する部材として予め考慮し、それらの小部材をトランス・リング構造と一括して設計することが考えられる。この設計を可能にするためには、ブラケットやスティフナーなどの小部材を設計するために必要となる情報を整理し、それらの情報を用いて小部材を生成するための設計機能を、新たに面型ユニットや骨型ユニットの内部構造設計機能に付加する必要がある。

(2) 面型ユニットや骨型ユニットの設計機能を利用して設計する方法

上記(1)の方法とは異なり、ブラケットやスティフナーなどの小部材の設計を単一部材の設計として捉えることが考えられる。さらにこの設計では、面型ユニットや骨型ユニットの設計機能を利用することが考えられる。この設計の概略は、以下のものとなる。

- ・構成する部材が一つであるユニット（例えば、小部材ユニットと呼ぶ）を定義する
- ・面型ユニットや骨型ユニットの内部構造設計機能を用いて、小部材を設計する

例えば、ブラケットを設計する場合は、

- ・面型ユニットの設計に基づき設計基準面を指定
- ・ブラケットの外形状を入力する

ことによって設計することが可能である。また、スティフナーの設計では、

- ・骨型ユニットの設計に基づき、スティフナーの設計基準線を指定する
- ・スティフナーの寸法（断面形状、取付角度）を入力する

ことによって設計することが可能であると考えられる。このように設計されたブラケットやスティフナーなどの小部材の情報は、小部材ユニットによって管理されることになる。また、この小部材ユニットは、面型ユニットや骨型ユニットの場合と同様に、箱型ユニットに管理される。

本研究においては、上記(2)の考えに基づいたブラケットやスティフナーなどの小部材の設計を検討し、システムとして実装した。構築されたシステムを用いて、実際にブラケットやスティフナーなどの小部材を設計した例をFig.6-4-9に示す。

しかし、以上に示した面型ユニットや骨型ユニットを利用した小部材の設計は、

- ・膨大な量のブラケットやスティフナーなどを設計する必要があるため、一部材毎の設計は、設計の効率上においてあまり実用的でない。これは、6.1項で述べたCADが抱える問題と同じである。

- ・一つのユニットが一つの部材を管理するので、情報管理の面で無駄が存在するなどの問題を有する設計であり、今後十分な検討を要する課題であると認識している。

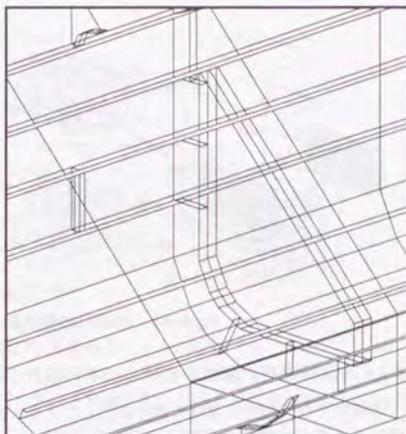


Fig.6-4-9 単一部材の設計機能
(ブラケット, スティフナー)

6.4.5 ユニットを構成する部材情報の管理

面型ユニットや骨型ユニットを構成する部材の情報は、その部材が属するユニットによって直接管理されている。したがって、設計された部材の情報は、その部材が属するユニットから容易に抽出することができる。また、板部材の板厚や材質、骨部材の断面形状などの情報は部材の形状情報とは独立な属性情報として記述している。したがって、板部材の板厚や材質、骨部材の断面形状などの属性情報は、取り出された板部材に対して自由に情報を記述あるいは変更することができる。

6.4.6 設計によって得られる情報

(1) 船殻重量に関する情報

船殻構造を構成する板部材や骨部材の情報から、重量計算、重心計算が可能である。さらに、板部材や骨部材を適切な要素(メッシュ)に分割することによって、各要素の重量、重心の情報から、船体の三軸(長手方向: X軸, 幅方向: Y軸, 高さ方向: Z軸)回りの慣性モーメントを求めることができる(Fig.6-4-10(A))。この慣性モーメントを利用して、船体の運動性能の解析計算を行うことが期待できる。

(2) 船体強度に関する情報

船殻構造は三次元的に定義されているので、任意の横断面の指定によって断面形状が容易に取出すことが可能である。この断面形状を利用して、その断面における船体の断面二次モーメントが算出可能となり、船体構造の縦曲げ強度を計算することができる(Fig.6-4-10(B))。

また、部材単位に有限要素を生成することによって、構造強度の評価法として広く利用されている有限要素法解析(FEM解析)のための入力情報(有限要素, 要素節点)を生成することが期待できる。この生成された入力情報に、構造解析における適切な荷重条件, 拘束条件などの情報を追加し、構造解析を実行することが可能となる。

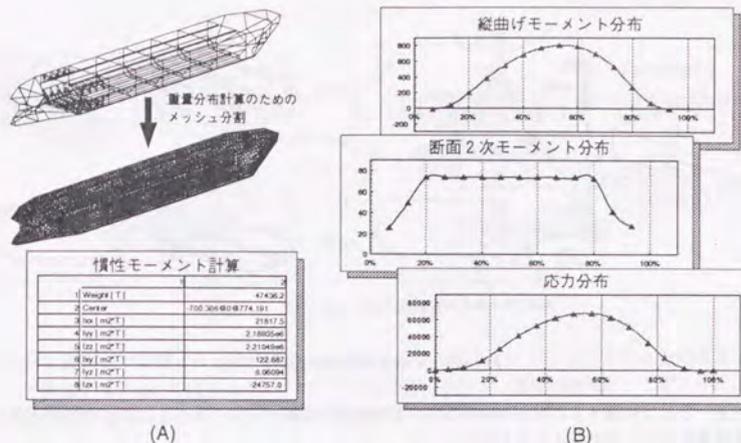


Fig.6-4-10 慣性モーメントと断面二次モーメントの算出

(3) 部材に関する情報

船体構造を構成する部材は、部材情報として個々に定義されており、各部材には属性情報として部材の名称が記述される(ただし、本システムでは、部材の名称は簡略化して自動的に付けられており、実際に呼称されている名称と必ずしも一致するものではない)。したがって、部材情報のリストを挙げることによって、容易に部材表を作成することが期待できる。また、部材情報によって初期段階から任意の設計段階において鋼材発注のために必要となる部材リストの情報を提供することが期待できる。また、これらの部材全ての重量を合計することによって、船殻重量を容易に把握することが可能である。

(4) 接合に関する情報

本研究では、部材情報のみならず部材間の接合関係情報も生成されている。したがって、船殻構造を設計した任意の時点で、生成された全ての部材間の接合関係情報を収集することが可能である。これらの情報は、船殻構造を構成する溶接線の情報に変換することが可能であり、船体建造に必要な溶接作業の見積りに十分活用することができる。この情報の活用は、第7章で詳細に述べる。

6.5 設計情報の記述と管理

設計は製品に対する機能の要求に始まり、概念設計やそれ以降に続く詳細化の過程で様々な制約が付加される。その制約を満足するように情報が決められて、最終的には、製品を構成する部品の幾何情報が求められる。部品に付加される制約は寸法という形で表現されることが普通であり、寸法は部材形状に対する設計の意図の一部分を表現したものと考えることができる。また逆の視点では、設計は、様々な設計の意図の中で、寸法によって表現可能な意図を、寸法によって設計情報として記述する行為であると考えられる。したがって、この寸法による設計の意図の表現を設計情報として残すことは、製品モデルの情報として重要なことであると考えられる。例えば、設計の意図の一部分が設計情報の記述(寸法の記述)として残されていれば、製品に対する設計変更の要求を記述の変更(寸法

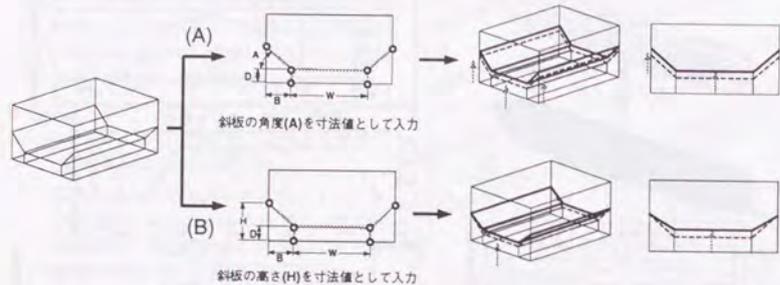


Fig. 6-5-1 寸法の記述と設計の意図

の変更)として処理することが可能になり、設計変更に対応することが可能な設計支援システムを構築することができるものと考えられる。

本節では以上の考えに基づき、寸法の記述を利用した設計情報の記述と、その設計情報の管理について考察する。

6.5.1 寸法と設計情報

設計の意図が製品形状に与える影響を理解するために、二重底構造を例として、設計情報の記述と設計変更による製品形状との関係を確認する (Fig. 6-5-1)。例えば、図中の二重底構造の内底板に対して「内底板の幅を保持したまま上方へ移動」という設計変更が要求されたとする。この場合、以下に示すような設計の意図の違いによって、二重底の斜板には二通りの変更が考えられ、それぞれ異なる構造形状となることが理解できる。

- (A) 「斜板の角度を一定にする」といった設計の意図が寸法として記述されている場合、斜板の角度を一定に保ちながら全体が上方へ移動する (Fig. 6-5-1(A))。
- (B) 「斜板の上端点の位置を固定する」といった寸法の記述では、斜板の上端は固定されて斜板の角度が変わる (Fig. 6-5-1(B))。

以上の様に、構造を設計する際に記述された設計情報の違いによって、最終的に得られる構造形状は異なったものとなる (仮に表面的には同じ形状のものでも、構造が意図する形状は異なる)。本研究では、次項で述べる寸法を利用することによって設計情報を記述することを考えている。さらに、設計情報として記述された寸法を利用することによって、設計変更を要求された場合においても、設計の意図に合致した変更を自動的にを行う手法を検討する。

6.5.2 寸法による幾何拘束 (寸法的制約)

(1) 寸法と幾何学的拘束関係

設計図に記述されている製品の形状は、絶対座標の記述ではなく、基準値からの相対的な関係を記述する、いわゆる寸法の記述が一般的である。鈴木らによれば、

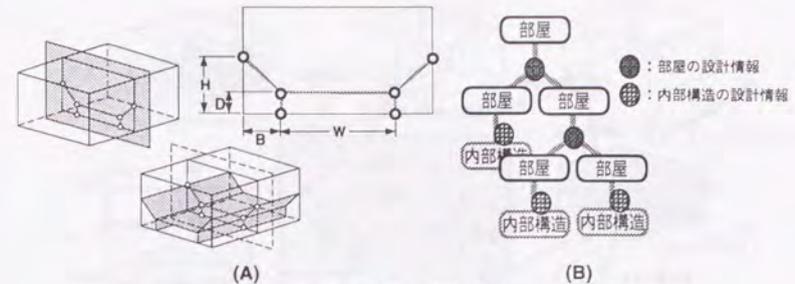


Fig. 6-5-2 寸法的制約

「形状は輪郭線で表現される位相構造と輪郭線、および寸法によって規定される幾何構造によって表現することが可能である。寸法は形状を拘束するもの (幾何学的拘束) と考えられ、寸法値を変えることによってモデルの形状修正を行うことが可能である」

としている [鈴木86]。

例えば、Fig. 6-5-2(A)のような船体構造 (二重底構造) を設計する場合には、設計者は寸法の記述により「内底板は船底から高さDの位置に設計する」という表現を用いる。この場合、「高さD」という寸法の記述は設計されるものの形状 (二重底の内底板の位置または二重底タンク形状) を制約していると考えられる。また、この「高さD」という寸法を変更することは形状の制約を変更することになり、設計変更を行うことと同じになる。

(2) 寸法的制約

上記(1)で述べたことは、寸法の記述のみで設計対象の形状を定義することが可能であるということである。設計対象の形状を制約する寸法は、6.5.3項で述べたような記述を用いることによって、多様な表現が可能となる高い記述性を有する設計情報と考えられる。また、この寸法は、設計する構造形状に対する幾何学的拘束となり、本研究では寸法による構造形状に対する制約を「寸法的制約」と定義する (Fig. 6-5-2(B))。

(3) 寸法による設計情報の記述

空間設計機能による部屋の設計では、部屋の設計作業は分割する部屋の断面を取り出した二次元平面上で行われており、設計者によって、隔壁等の仕切りとなる板を設計するための線分が二次元平面上に入力される。したがって空間設計機能では、

- ・仕切り板の位置を線分情報として部屋の断面上に記述する

際に、寸法を利用することが考えられる (Fig. 6-5-3)。このような情報の記述によって、部屋の分割のための設計情報の記述を可能とすることができる。

また本研究では、6.4節で述べた主要な内部構造の設計において、ユニットを設計する内部構造設計機能を提案している。したがって、面型ユニットの内部構造設計機能では、

- ・設計基準面の位置を線分情報として部屋の断面上に記述する
- ・面型ユニットの外形状を設計基準面上に線分情報として記述する
- ・面型ユニットの穴形状を設計基準面上に線分情報として記述する

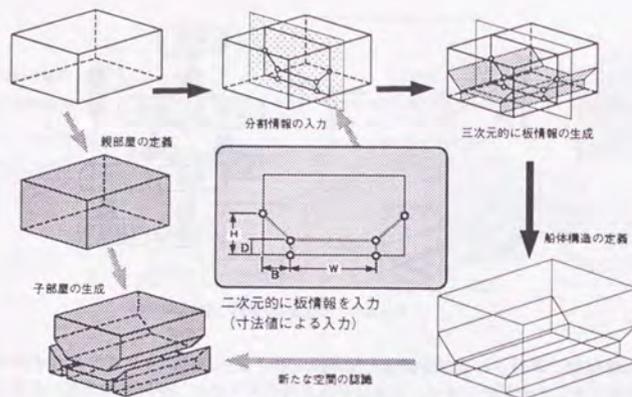


Fig.6-5-3 設計情報の記述

などの際に、空間設計機能と同様に、寸法を有効に利用することができる。

さらに、骨型ユニットの内部構造設計機能においても、

・設計基準線を部屋の壁上に線分情報として記述する

際に、寸法を有効に利用することができる

(4) 設計情報の管理

部屋を分割する際に記述される部屋の設計情報は、分割の結果として生成される部屋の親子の関係において、「親」である部屋（以下、「親部屋」と呼ぶ）からどの様に「子」である部屋（以下、「子部屋」と呼ぶ）が生成されるのかを記述したものであると考えられる。また、部屋の内部に設計される内部構造の設計情報は、部屋の親子関係と同様に、「親部屋」からどの様に「子」である内部構造（以下、「内部構造」と呼ぶ）が生成されるのかを記述したものであると考えられる。

したがって、空間設計機能や内部構造設計機能によって生成される「子部屋」や「内部構造」は、親部屋の「構造的制約」と、「どの様に部屋、あるいは内部構造を設計するか」を記述した設計情報による「寸法的制約」とを同時に受けることにより、生成されたものであるといえる。

本研究では、「子」を設計するための設計情報は、その部屋に「構造的制約」を与える「親部屋」に記述される情報として考えており、「親部屋」が「子」の生成に関する設計情報を管理する手法を提案する (Fig.6-5-2(B))。この部屋の階層構造を利用した設計情報の管理によって、船体構造を構成する多くの部材の設計情報を整理して管理することが期待できる。また、6.6節において後述する設計変更の際にも、有効に利用することができる管理手法であると考えられる。

6.5.3 幾何学的拘束関係を利用した寸法の記述

本研究では、前項の(3)で述べたように、空間設計機能や内部構造設計機能に要する情報として、ある面上（二次元平面上）に記述される線分情報を利用している。そこで、この記述される線分情報に対して幾何学的拘束関係を利用した寸法の記述方法に関して考察する。

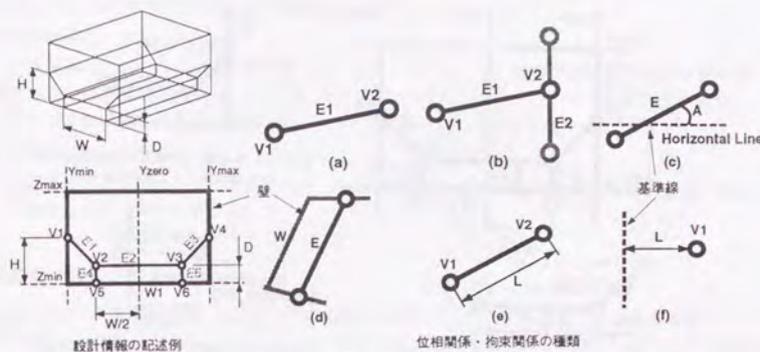


Fig.6-5-4 幾何学的拘束関係

(1) 幾何学的拘束関係の種類

設計情報として記述される線分情報は、以下に示す頂点と線分によって構成される位相構造が存在する (Fig.6-5-4)。

(a) 「線分 E1 は頂点 V1, V2 を端点とする」といった線分と頂点の位相関係の記述

(b) 「線分 E1 の頂点 V2 は、線分 E2 上にある」といった線分と線分の位相関係の記述

したがって、以上の頂点や線分に対して寸法の記述を適用するためには、「頂点と頂点」や「頂点と線分」、および「線分と線分」などの間に幾何学的拘束関係を記述することが必要である。本研究では、以下に示す幾何学的拘束関係を考慮している。

(c) 線分 E は水平線に対して角度 A をなす

(d) 線分 E は親部屋の壁 W に平行である

(e) 頂点 V1 と頂点 V2 の距離は L である

(f) 頂点 V1 は基準線から距離 L だけ離れている

(ここで基準線は、設計者の寸法の記述を支援するものであり、設計者が任意の位置に設定する)

Fig.6-5-1における(B)の二重底構造を設計する際に、以上の情報を記述した例を以下に挙げる (Fig.6-5-5)。

(i) 二重底構造の設計

Fig.6-5-5では、内底板は水平であるという設計の意図を線分E2に対して、サイドガードは垂直であるという意図を線分E4, E5に対して情報として記述されている。また、二重底の高さ、幅を規定するV2 (又はV3) については基準線 Zmin (底板)、Yzero (中心線) からの距離が指定されている。

(ii) ビルジタンクの設計

ビルジタンクの高さを規定する V1, V4 については、基準線 Zmin (底板) からの距離が指定されている。

(2) 幾何学的拘束関係による幾何情報の算出

本研究では、設計情報として記述される線分は直線を想定しており、その線分の両端の頂点の座標が求めれば、線分は確定される。したがって、上記(1)で述べた寸法の記述によって得られる

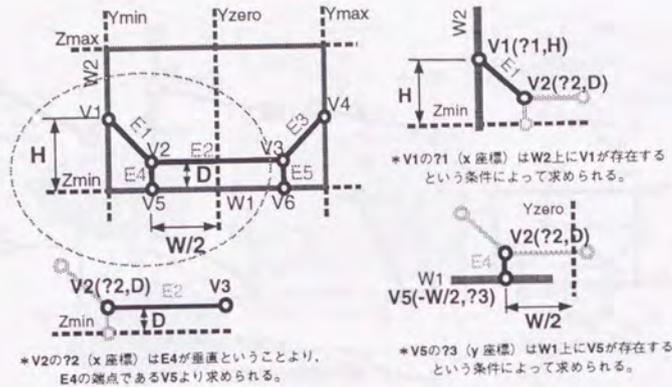


Fig. 6-5-5 座標値の算出

・線分と頂点との位相構造

・線分の傾きや、基準線から頂点までの距離等を指定した幾何学的拘束関係

から、全ての頂点 (Fig. 6-5-5ではV1からV6)の座標値を解とする連立方程式をたて、この連立方程式を解くことによって、必要な頂点の座標値を求めることができる。

例えば Fig. 6-5-5において、サイドガードが船底外板に取付く位置を定めることは、頂点V5の座標値を算出することになる。この場合では、

- ・頂点V2の寸法の記述によって規定された座標値
- ・稜線E4は垂直である (E4の両端の頂点のx座標値は等しい)
- ・頂点V5は親部屋の壁に相当する線分W1上に存在する

といった拘束関係から、頂点V5の座標値を求める連立方程式をたて、この方程式を解くことによって頂点V5の座標値を算出することができる。

ところで、設計者の自由な寸法の記述によって、拘束関係の基である寸法指定に情報の過剰や不足という誤りが生じることがある。このような場合は、連立方程式を利用して設計者が入力した寸法値が整合性のあるものであるか否かをチェックすることができる。

(3) システムへの実装

また、本研究によって構築された設計支援システムでは、記述される線分情報を構成する頂点と線分がそれぞれオブジェクトとして定義されている。この頂点と線分のオブジェクトに対して、以下に示す情報を記述されている。

(A) 線分のオブジェクトに記述される情報

線分の名称、線分を構成する二頂点の名称[上記(1)の(a)], 線分の傾き[上記(1)の(c)と(d)]

(B) 頂点のオブジェクトに記述される情報

頂点の名称、座標値を決定するために必要な幾何学的拘束関係[上記(1)の(c)と(d)]

また、以上のように情報が記述された頂点と線分のオブジェクトを利用して、頂点の幾何情報を算

出するために、以下に示すオブジェクトが定義されている。

a) 拘束関係ハンドラ

拘束関係ハンドラは、頂点や線分に記述された寸法に対して、幾何学的拘束関係の矛盾や過剰、あるいは不足などをチェックするオブジェクトである。そのチェックの結果、設計者が入力した寸法値に問題がある場合は、システムが設計者に対して異常を知らせる。

b) 座標関係ハンドラ

座標関係ハンドラは、入力された頂点 (オブジェクト) の座標値を幾何学的拘束関係を利用して求めるオブジェクトである。

6.5.4 部屋の設計と設計情報

本研究では、空間設計機能や内部構造設計機能などが実装された設計支援システムが構築されている。本項では、そのシステムにおける、寸法の記述を利用した部屋の設計情報の記述と、その設計情報の管理について述べる。

(1) 設計情報の記述

本研究で構築された設計支援システムでは、部屋の設計情報を管理するオブジェクトとして分割情報オブジェクト<Room_Divide_Info_Object>が定義されている。この分割情報オブジェクトには、部屋の分割の際に記述される情報 (板部材の設計情報として入力された線分情報、線分を構成するための頂点情報、基準線など) が記述されている。また、部屋を設計するための設計情報の記述を支援するツール (エディター) として<Room_Divide_Editor>が実装されている。設計者が、分割する部屋の断面を指定することによって、分割される部屋の壁に相当する線分がエディター上に表示される。設計者は、このエディター上に、部屋の分割線に相当する線分情報を任意に記述する (Fig. 6-5-6)。この記述された線分や線分を構成する頂点に対して幾何学的拘束関係を記述することによって、部屋の設計情報を生成することができる。

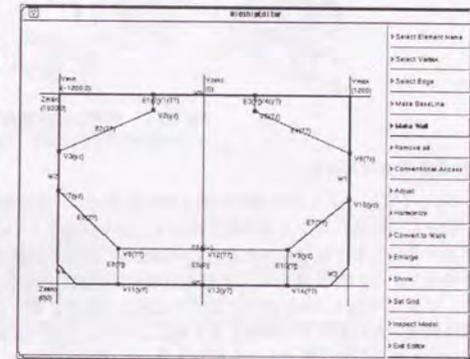


Fig. 6-5-6 部屋の設計ツール (Room_Divide_Editor)

設計者が、分割する部屋の断面を指定することによって、分割される部屋の壁に相当する線分がエディター上に表示される。設計者は、このエディター上に、部屋の分割線に相当する線分情報を任意に記述する (Fig. 6-5-6)。この記述された線分や線分を構成する頂点に対して幾何学的拘束関係を記述することによって、部屋の設計情報を生成することができる。

(2) 設計情報の管理

上記(1)で述べたように設計者がエディターに入力した設計情報は、設計情報によって設計された部屋の階層構造を利用して管理される。Fig. 6-5-7は、部屋に対して、先ず、二枚の縦通隔壁が設計され、その後、生成された三つの部屋に横隔壁が設計された場合の、生成された部屋の階層構造と、記述された設計情報を示している。

また本システムでは、分割情報オブジェクトは頂点情報や線分情報をすべて文字列として管理しているため、部屋の設計情報として保存する事が可能である (例えば、テキスト形式による外部ファイル化)。したがって、部屋の設計情報を分割パターンとして登録することによって、ある分割パターンで親部屋を子部屋に分割する際には、登録されている情報の中から意図する分割パターンを呼び出すことによって、部屋の分割を実行することが可能である。

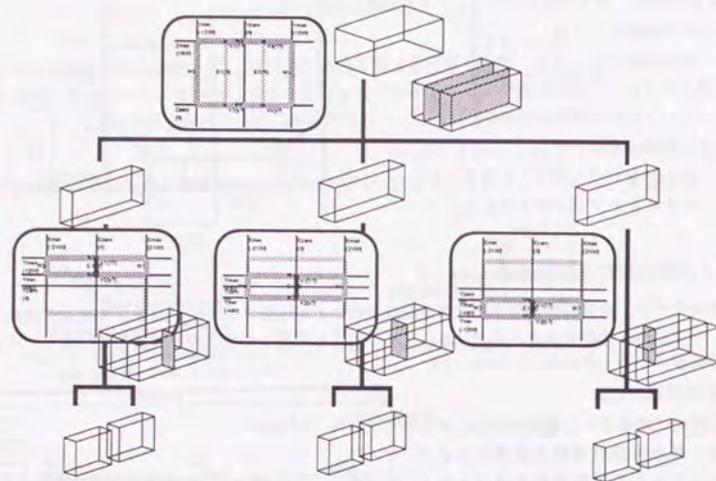


Fig.6-5-7 部屋の設計情報の管理例

(3) 設計情報の共有化

Fig.6-5-8(A)のように部屋が設計された場合には、本研究のシステムでは生成された三枚の横隔壁（図中では灰色）はなんら関係を持たず、各々が独立している。しかしながら、この三枚の横隔壁をグループ化して一体のものと捉えたい場合が存在する（例えば、三枚の横隔壁が同じ位置に設計される場合）。この様な場合は、本研究では設計情報の共有化を行うことによって対応することができる。つまり、Fig.6-5-8(B)で示すように三枚の横隔壁を設計する際に、これらの三枚の横隔壁の設計情報は共通のものであると記述することによって、三枚の横隔壁は実体は異なるが、設計情報は共有しているものとして定義することができる（Fig.6-5-9）。

本研究では、部屋を設計するための設計情報の共有化は検討したが、共有された設計情報によって関係づけられる部屋や板部材間の関係は十分な検討は行われていない。ここで、製品モデルの構造的制約の関係を「縦の関係」として表現すれば、この「縦の関係」には当てはまらない製品モデルの「横の関係」の検討は、今後の課題として重要であると考えられる（8.2節参照）。

6.5.5 面型ユニットの設計と設計情報

本項では、本システムにおける、寸法の記述を利用した面型ユニットの設計情報の記述と、その設計情報の管理について述べる。

(1) 設計情報の記述

・設計基準面の設計情報の記述

設計基準面を規定する情報としては、船のフレーム番号などの情報が考えられる。このフレーム番号とフレーム・スペースの情報とを組み合わせることによって、船体構造における船長方向の位置を確定することができる。また、部屋の分割で利用されるエディターを応用することによって、任意の位

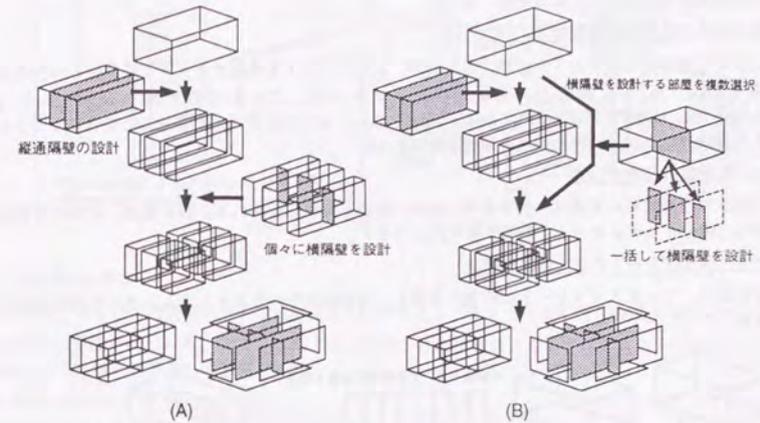


Fig.6-5-8 部屋の設計情報の共有

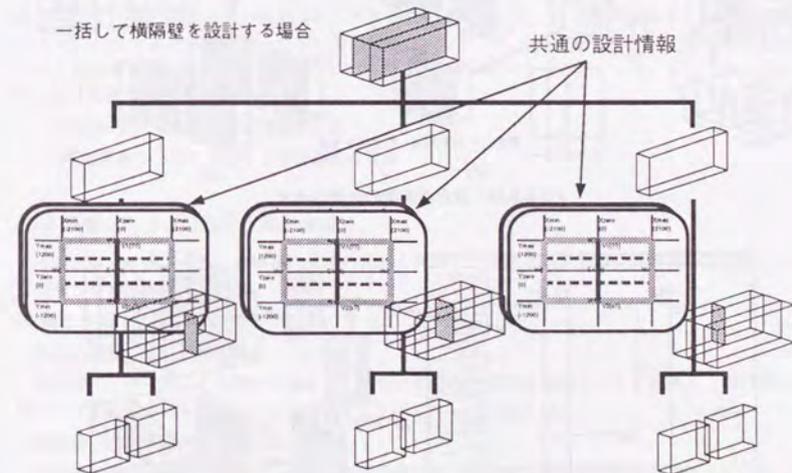


Fig.6-5-9 部屋の設計情報を共有する場合の設計情報の管理

置に設計基準面を指定することも可能である (Fig.6-5-10(A))。

さらに、複数の部屋を抽出して共通の設計情報を設定することによって、Fig.6-5-10(B)に示すような設計基準面を生成することも可能である。

・外形形状の設計情報の記述

必要な外形形状を取り出すために、設計者が、面型ユニットを構成する主要な板部材の外形形状の稜線を線分として記述する。本研究のシステムでは、この記述を支援するツールとして <Design_Unit_Editor> が実装されている (Fig.6-5-11)。また設計者は、記述された線分によって生成される領域のなかから、削除すべき領域を指定する。

・穴形状の設計情報の記述

穴形状の設計情報の記述は、外形形状の稜線の記述と同様に行われる。設計者は、穴形状に相当する閉じた線分をエディター上に記述する (Fig.6-5-12)。

・フェイス・プレートの設計情報の記述

設計者は、フェイス・プレートの板幅の情報を、外形形状や穴形状として入力された線分情報に入力する。

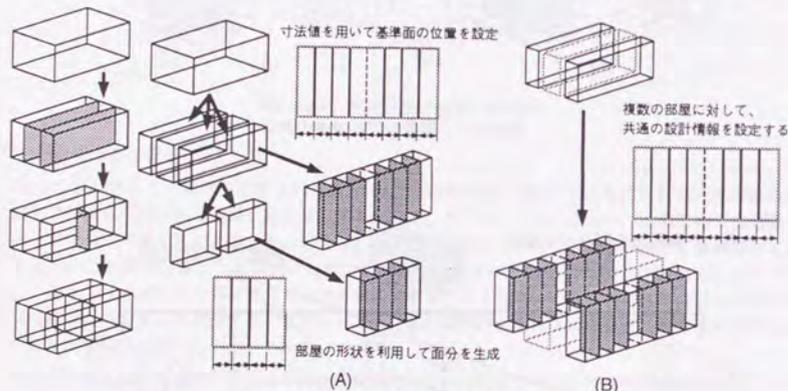


Fig.6-5-10 設計基準面の位置の指定

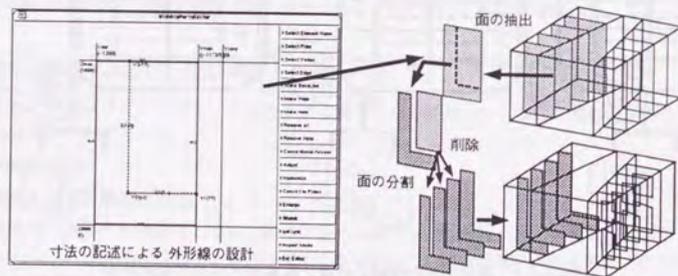


Fig.6-5-11 外形形状の設計情報の記述

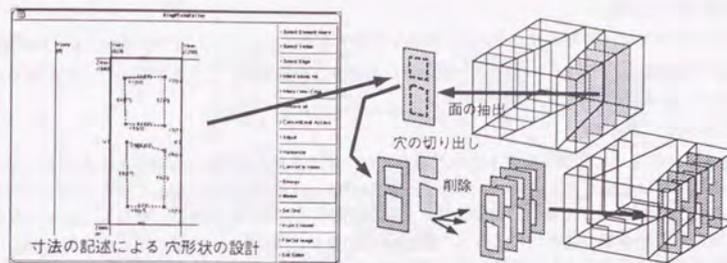


Fig.6-5-12 穴形状の設計情報の記述

(2) 設計情報の管理

本システムでは、面型ユニットの設計情報を管理するオブジェクトとして <Plate_Unit_Dedign_Info_Object> が定義されている。(1)で述べたように記述された情報は、このオブジェクトに記述され、面型ユニットに設計情報として管理される。

(3) 設計情報の共有化

面型ユニットを設計する際に、部屋の階層構造を有効に利用することができる。例えば、Fig.6-5-13(A)のように指定された複数の部屋には共通の部屋が存在する。したがって、これらの指定された複数の部屋に対して、同じ構造様式の面型ユニットを設計する場合は、共通の親の部屋に対して面型ユニットを設計することができる。

また、Fig.6-5-13(B)のように指定された複数の部屋には共通の親の部屋が存在しない。それらの部屋に対して、同じ構造様式の面型ユニットを設計するためには、同じ設計情報を、設計する面型ユニットに記述することが必要となる。この場合は、実体としての面型ユニットは異なるが、面型ユニットを定義するための設計情報は同じであり、設計情報が共有化されている。また、この場合、以下に示す設計情報が共有される。

- ・設計基準面 (線) の設計情報の共有
- ・内部構造の形状を確定する設計情報の共有

6.5.6 骨型ユニットの設計と設計情報

本項では、本システムにおける、寸法の記述を利用した骨型ユニットの設計情報の記述と、その設計情報の管理について述べる。

(1) 設計情報の記述

・設計基準線の設計情報の記述

設計者は、取り出された壁の面分上に、自由に取付線の情報を線分として記述する。この線分の情報も寸法を利用することによって記述することができる (Fig.6-5-14)。

・断面形状と取付角度の設計情報の記述

骨部材の形状を確定する断面形状は、個々の骨部材が有すべき属性情報であると考えている。したがって、設計者が入力する断面形状と取付角度の情報は、骨型ユニットを構成する骨部材に記述される。

(2) 設計情報の管理

本システムでは、骨型ユニットの設計情報を管理するオブジェクトとして<Longi_Unit_Dedign_Info_Object>が定義されている。(1)で述べたように記述された情報は、このオブジェクトに記述され、骨型ユニットに設計情報として管理される。

(3) 設計情報の共有化

Fig.6-5-15のように部屋の設計を行った場合では、生成されたROOM1-2, ROOM2-2にまたがって存在する板部材は生成されていない。したがって、ROOM1-2, ROOM2-2に対して別々のロンジ構造を設計することになる。この場合、面型ユニットの設計情報の共有化と同様に、骨型ユニットの設計基準線に関する設計情報の共有化によって、ROOM1-2の壁と、ROOM2-2の壁に別々に設計されるロンジ構造を連続的に繋がるように設計することができる(ただし、骨部材は横隔壁で寸断されている)。

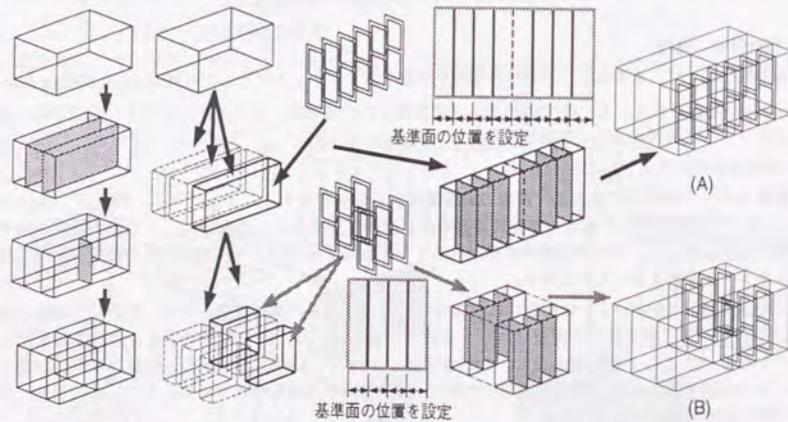


Fig.6-5-13 面型ユニットの設計情報の共有化

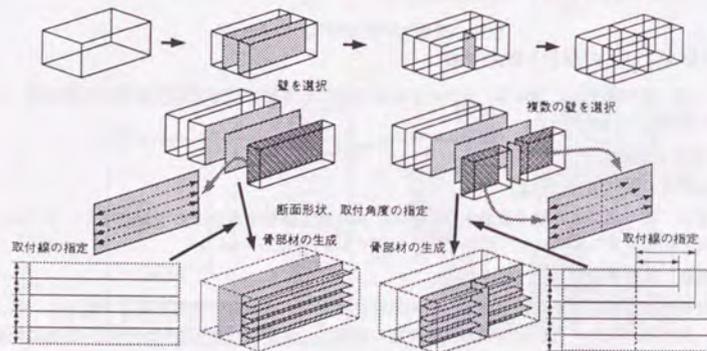


Fig.6-5-14 設計基準線の記述

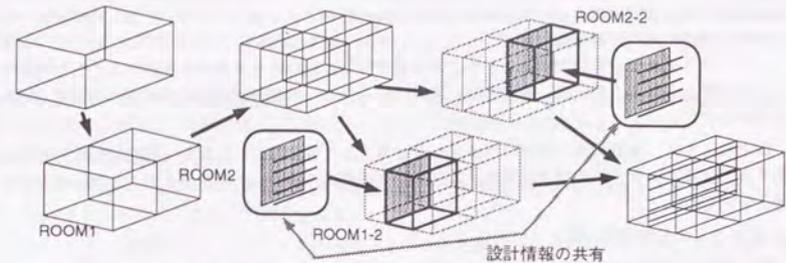


Fig.6-5-15 骨型ユニットの設計情報の共有化

6.5.7 パラメータの指定による内部構造の設計

幾何学的拘束関係を利用した設計情報の記述は、多様な記述が可能であるため、任意の設計情報の記述が可能である。しかし、より効率的にユニットの設計を支援することを考えた場合、パラメトリックな設計方法を導入することが考えられる。そこで本項では、面型ユニットと骨型ユニットを対象に、これまでに述べてきた寸法を利用した設計情報の記述に加えて、パラメータによる設計情報の記述を考察する。

(1) パラメータによる設計情報の表現

本研究のパラメータによる設計情報の記述によって実施される設計は、以下に示すように、パラメータを利用して内部構造設計機能で必要とされる情報が生成され、これまでに述べてきた内部構造設計機能を有効に利用することを可能とする。

- ・ユニットの形状を定義する寸法をパラメータとして定義する
- ・定義されるパラメータから設計機能に必要な情報を生成する
- ・生成された情報を利用して、内部構造設計機能によってユニットを生成する

パラメータの指定による設計の概念は、パラメータを利用して形状を決定する設計である。つまり、指定されるパラメータは、「高さ」や「幅」などといった、それ自体が意味を持つ属性的記述によって表現されることが特徴である。

例えば、リング構造をパラメータによって表現する場合、次のように考えられる。リング構造の設計情報として「深さ」という表現に着目することによって、「リング部材の外形形状の稜線と、その稜線に対応するリング部材の穴の稜線との距離」を「深さ」というパラメータとして表現することができる。この場合、リング部材の稜線から、この「深さ」を保つ線分が連なることによってできるループ形状を生成し、リング部材の穴の形状が定義される。また、ストラットを有するトランス・リング構造の場合も同様であり、「ストラットを取付ける位置(ストラットを中心線の位置)」と、「ストラットの深さ」をパラメータによって記述することが考えられる。これらのパラメータによって、ストラットの下に存在する穴の形状を生成し、トランス・リングの形状を定義することができる。

パラメータを利用した設計情報の記述は、設計における形状定義を属性情報の記述に置き換えることによって設計者を強力に支援することができる。また、形状情報は、パラメータを入力値とするアルゴリズムによって生成される。したがって、入力されたパラメータを処理(設計機能に必要な情報

を生成する)するアルゴリズムを十分に検討することによって、内部構造を定義する部屋の形状が大幅に変更される場合(例えば、形状を司る位相情報が変更される場合)においても、内部構造の形状を柔軟に修正することが可能である。さらに、パラメータを処理するアルゴリズムに対して、エキスパート・システムなどを付加することなどを考慮すれば、設計をより強力に支援することが可能であるものと考えられる(例えば、造船のいい設計に見られる、外板形状の変化に対する内部構造の柔軟な対応など)。

以上のように、設計情報の記述にパラメータを導入した場合においても、「構造的制約」と共に利用することによって、船体構造を構成する部屋や内部構造の設計に十分活用することが可能であると考えられる。

(2) 面型ユニットの設計の場合

・設計基準面の指定への利用

面型ユニットの設計では、内部構造を設計する基準となる面である設計基準面の指定が先ず重要である。この設計基準面の指定に対して、パラメータの指定を考えてみる。例えば、部屋の内部に面型構造を等間隔にN枚などといったパラメータの指定である。この場合では、入力される「等間隔に何枚」といった情報を基に、部屋の幾何情報を利用して、設計基準面を幾何的に算出することによって対応することが可能である。

・リング構造の設計への利用

パラメータによってリング構造を設計するためには、リング構造の穴を規定するために必要な寸法をパラメータとして定義する(Fig.6-5-16)。例えば、設計者が、リング構造が外接している部屋の壁からの距離を意味するリングの深さをパラメータとして入力する。この入力されたパラメータを基に、穴の形状を規定する線の情報が生成され、穴形状を表現する稜線の情報が幾何学的に算出される。

また、穴の部分に設計するフェイス・プレートは、フェイス・プレートの幅を入力することによって定義され、リング構造を構成する板部材として生成される。この場合、フェイス・プレートとリング部材との接合関係情報は、穴形状を表現する稜線の情報を利用して自動的に生成される。

・トランス・リング構造の設計への利用

トランス・リング構造は、上記のリング構造を応用して設計される。例えば、リング構造における「深さ」のパラメータに加えて、トランス・リング構造の特徴であるストラットに着目し、ストラット

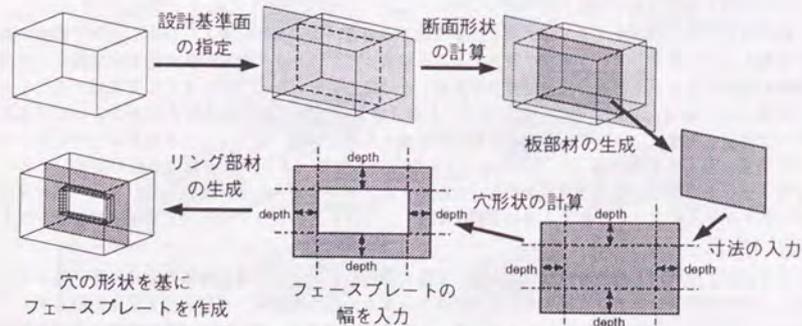


Fig.6-5-16 リング構造の設計の流れ

トの位置やストラットの深さをパラメータとして入力する。これらのパラメータによって、Fig.6-5-17に示すように穴形状が複数生成され、トランス・リング構造が設計される。つまり、リング構造が穴形状を一つ有する構造であることに対して、トランス・リング構造は複数の穴形状を有する構造として定義される。

また、リング構造の場合と同様に、トランス・リング構造のフェイス・プレートの幅の寸法値を入力することによって、穴形状を基にフェイス・プレートの板部材が生成される。

・トランス構造の設計への利用

トランス構造は、トランス中央部の深さや端部の深さ、水平部の幅がパラメータとして入力されること、Fig.6-5-18に示すような流れで設計される。

また、トランス構造のフェイス・プレートは、トランス部材のフリーエッジ上にされる板部材と解釈し、フェイス・プレートの板幅を入力することによって、フェイス・プレートが生成される。さらに、フェイス・プレートとトランス部材との接合関係情報はトランス部材のフリーエッジ上に生成される。

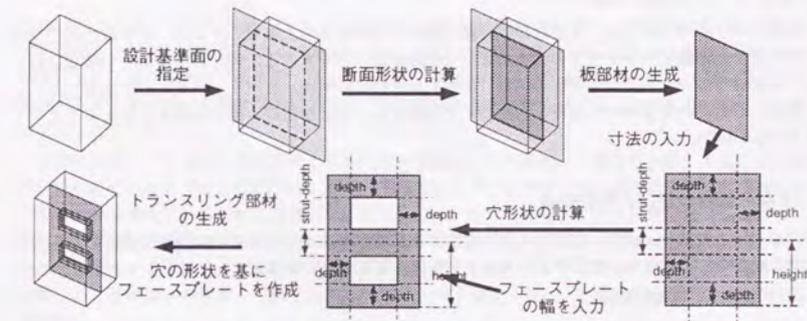


Fig.6-5-17 トランスリング構造の設計の流れ

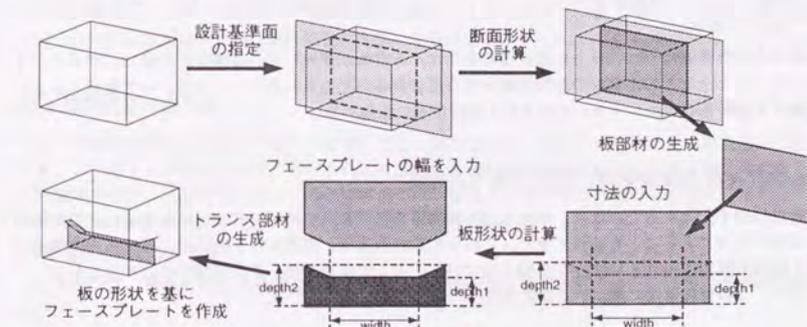


Fig.6-5-18 トランス構造の設計の流れ

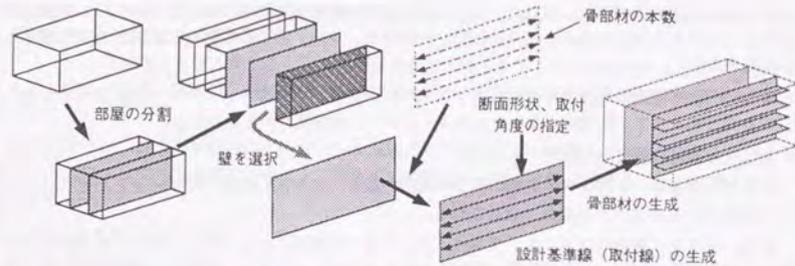


Fig.6-5-19 骨型ユニットの設計の流れ

(3) 骨型ユニットの設計の場合

骨型ユニットの設計では、骨部材の取付線の情報が主要な情報となる。そこで、この取付線の情報である設計基準線をパラメータの入力によって生成することを考える。例えば、指定した領域に対して、骨部材を並べる方向と骨部材の本数（あるいは骨部材の間隔）をパラメータとして指定する。この場合、設計される骨部材の間隔を自動的に等間隔とし、設計基準線の線分情報を生成することができる(Fig.6-5-19)。

6.5.8 単一部材の設計と設計情報

ブラケットやスティフナーなどの小部材の設計を、面型ユニットや骨型ユニットの設計の応用として考えた場合、これらの小部材の設計情報としては、以下に示す情報が考えられる。

・ブラケットの設計情報

面型ユニットの設計にならった、設計基準面の情報と、ブラケットの外形状に関する情報

・スティフナーの設計情報

骨型ユニットの設計にならった、スティフナーの設計基準線の情報と、スティフナーの寸法（高さ、板厚）

これらの設計情報は、ユニットの設計情報をユニット自体が管理している場合と同様に、ブラケットやスティフナーなどの小部材の設計情報はその部材自体が記述されるユニットによって管理される。記述する設計情報はユニットに記述される設計情報に準拠する。

6.6 設計過程の情報管理と設計変更への対応

設計情報を記述するためには、幾何学的拘束関係を利用した寸法や、パラメータを用いた設計情報の記述が有用であることを述べてきた。これらの設計情報は、部屋の親子関係や、部屋と内部構造の親子関係を利用することによって管理されている。そこで本項では、この管理手法の特徴を整理し、さらに、この管理手法に基づいた設計変更への対応に関して考察する。

6.6.1 設計過程の情報管理

部屋を分割する際に記述される部屋の設計情報は、分割の結果として生成される部屋の親子の関係

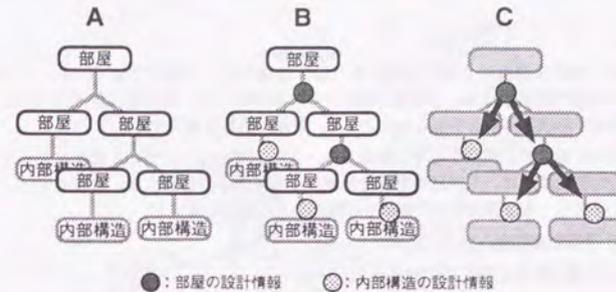


Fig.6-6-1 設計情報の記述と管理

において、「親」である部屋（以下、「親部屋」と呼ぶ）からどの様に「子」である部屋（以下、「子部屋」と呼ぶ）が生成されるのかを記述した情報であると考えられる(Fig.6-6-1)。したがって、分割によって生成される「子部屋」は、部屋の親子関係による「構造的制約」と、「どの様に部屋を分割するか」を記述した設計情報による「寸法的制約」とを同時に受けることにより、生成されたものであるといえる。

本研究では、「子部屋」を設計するための設計情報は、その部屋に「構造的制約」を与える「親部屋」に記述されるものとして扱われており、「親部屋」が「子部屋」の生成に関する設計情報を管理する手法を提案している(6.5.2項参照)。この手法は、空間設計機能による分割手順にしたがって生成される部屋の階層構造を隣に利用したものであり、設計手順が部屋の階層構造として記述されていることを意味する。また、「部屋」と「部屋」の内部に定義される内部構造に関する設計情報も「親部屋」と「子部屋」の関係と同様であり、内部構造の帰属先である「部屋」に対して設計情報が記述される。

以上の様に、「構造的制約」と「寸法的制約」を利用した設計情報の管理によって、部屋の分割、部屋の内部に内部構造の設計を実行する際に、設計の順序と個々の設計の意図が記述されることになる。したがって、設計行為によって製品形状が獲得されるだけでなく、製品情報がどの様に生成されて行ったかの生成過程の情報（設計過程の情報）も同時に獲得される。

6.6.2 設計変更への対応

寸法が設計情報として記述されている場合では、設計変更は、記述された寸法値の変更として処理することが考えられる。例えば、修正された寸法による幾何学的拘束関係を用いて形状を再計算し、設計変更を行うことが可能である。そこで本項では、記述されている設計情報を有効に利用した、設計された部屋や内部構造の設計変更に対する対応を考察する。

(1) 構造的制約と設計変更

本研究では、異なる製品情報間関係として「構造的制約」を定義している。この「構造的制約」は、

- ・親となる部屋の形状に、子となる部屋の形状は制約される
- ・親となる部屋の形状に、子となる内部構造の形状は制約される

といった制約の関係である。したがって、設計者が、ある部屋の形状を変更した場合、その親部屋の

内部に設計されている子部屋や内部構造などは、親部屋の変更に応じて矛盾なく修正される必要がある。

(2) 部屋の変更

部屋の形状は、部屋を設計する際に記述された設計情報によって規定されている。この設計情報は、設計された部屋の親部屋によって管理されている。本研究では、親部屋に記述されている設計情報を変更し、部屋の形状を再設計することによって、部屋の形状を変更する。

また、変更された部屋が子部屋を有する場合には、上記(1)で述べたように、変更によって再設計された部屋の構造的制約の下に、子部屋の形状を矛盾なく修正する必要がある。本研究では、部屋の階層構造を有効に利用し、階層構造における親子の関係にある部屋に対して、

- ・ 部屋の設計情報を変更する
- ・ 部屋を新たな設計情報を基に再設計する

などの処理を再帰的に処理する。このことによって、設計者によって変更された部屋が影響を及ぼす部屋に対して、矛盾なく修正することを自動的に処理している(Fig.6-6-2)。

(3) 内部構造の変更

内部構造として設計された面型ユニットや骨型ユニットは、それらのユニットが設計される部屋によって管理されている。したがって、ユニットが所属する部屋の形状を変更させた場合は、内部構造が受ける「構造的制約」の変更となり、矛盾なく部屋の変更にしたがって内部構造の形状も変更される必要がある。また、ユニットは自己の設計情報を管理しているので、この設計情報を利用して、ユニットを再設計することによって、形状を変更することが可能である (Fig.6-6-3)。

本研究では、内部構造の設計情報の記述として、幾何学的拘束関係を利用した記述方法と、パラメータの定義による記述方法を検討している。これらの記述方法は、記述される情報にしたがった設計機能に必要な情報を生成しているので、ユニットの設計変更に対して対応の違いが存在する。以下に、それらの変更に対する対応の違いを、トランス・リング構造を例にして示す。

・ 幾何学的拘束関係を利用した寸法の記述によって設計された場合

寸法の記述を利用した内部構造の外形状や穴形状の表現では、その形状 (外形状や穴形状) の位相構造が前提となっているため、内部構造を設計する部屋の形状の位相変化に対応することは困難である。例えば、Fig.6-6-4(B)に示す場合には、部屋の断面形状の位相情報と穴の形状の位相情報は全く関係づけられていないので、部屋の断面が四角形から五角形に変更されても、トランス・リングの穴の形状は四角形のままである。

・ パラメータの指定によって設計された場合

穴の形状を定義するための「深さ」というパラメータの記述は、穴の形状の位相情報とは独立している。したがって、内部構造の外形状の位相変化に追従することができる。例えば、Fig.6-6-4(A)の場合、トランス・リング構造が設計された部屋の断面形状は四角形であるが、部屋を構成する板部材の変更によって五角形になった場合においても、トランス・リングの穴の形状はその変更に対応することができる。

6.6.3 設計情報を共有する場合の変更

本項では、部屋の設計や、内部構造の設計をする際に、設計情報を共有化させた場合の設計変更に対応する処理に関して述べる。

(1) 部屋の設計情報が共有される場合

Fig.6-6-5(A)に示すような三枚の隔壁の設計情報を共有している場合は、一枚の横隔壁の設計情報を

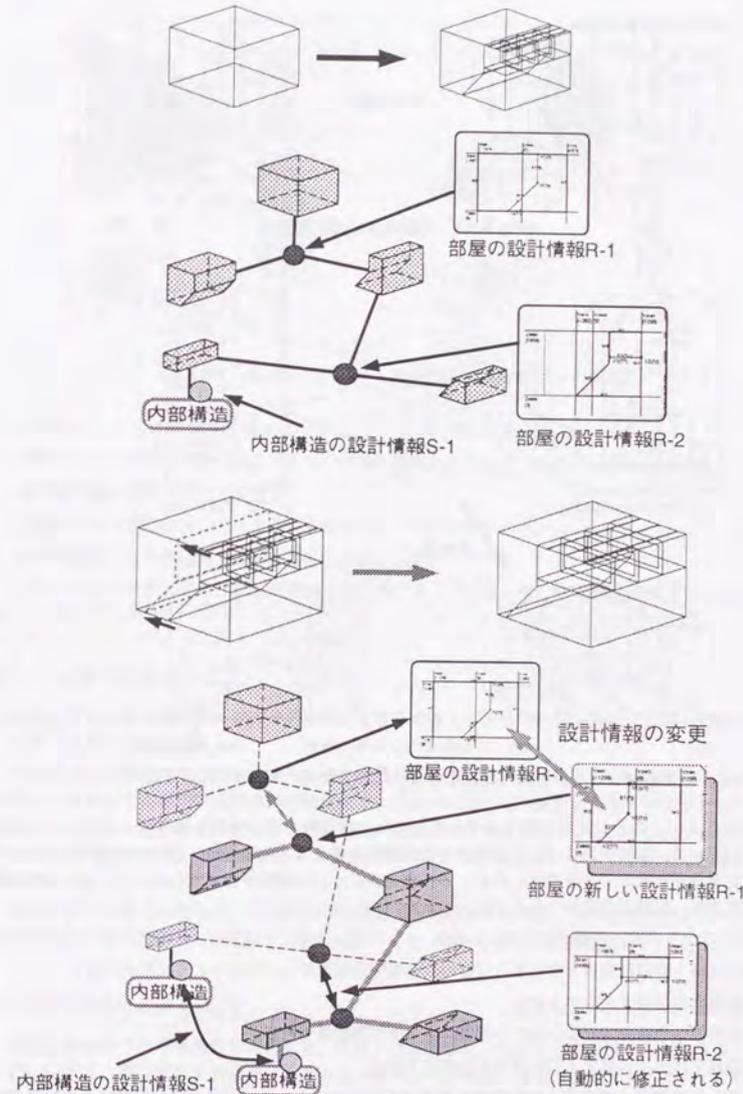


Fig.6-6-2 設計変更の流れ

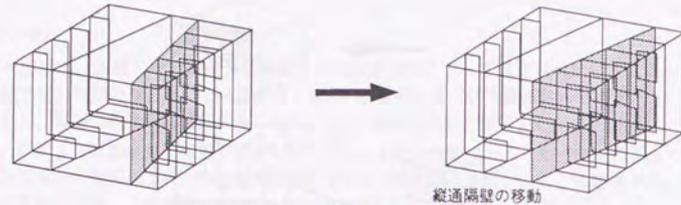


Fig. 6-6-3 内部構造の設計変更例

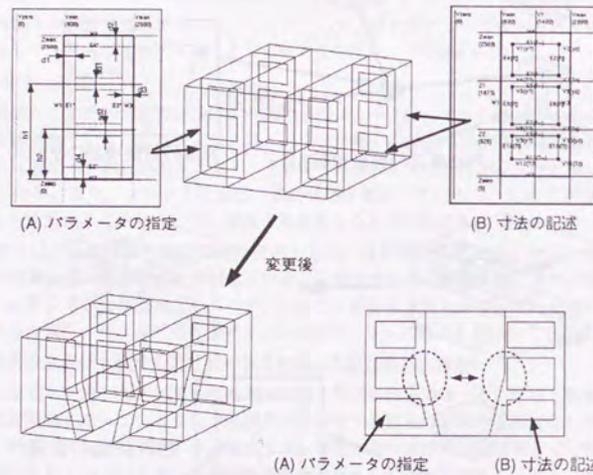


Fig. 6-6-4 内部構造の設計変更例 (設計情報の記述の違いによる差異)

修正することは、共通の設計情報を有する他の二枚の横隔壁の設計情報を書き換えることに相当する。したがって、設計変更によって横隔壁の設計情報を書き換えた場合は、三つの部屋に記述されている設計情報が自動的に書き換えられる。この書き換えられた設計情報にしたがって、各々の横隔壁が再設計され、部屋が再定義される (Fig. 6-6-5(B))。

(2) 面型ユニットの設計情報が共有される場合

面型ユニットが設計情報を共有する場合の設計変更の処理は以下に示すように行われる。

・設計基準面の情報を共有する場合

設計基準面の情報を共有する全ての面型ユニットが再設計される。

・外形形状や穴形状に関する設計情報を共有する場合

共有する形状情報を規定する設計情報を書き換えることによって、内部構造は変更された設計情報にしたがって再設計される。

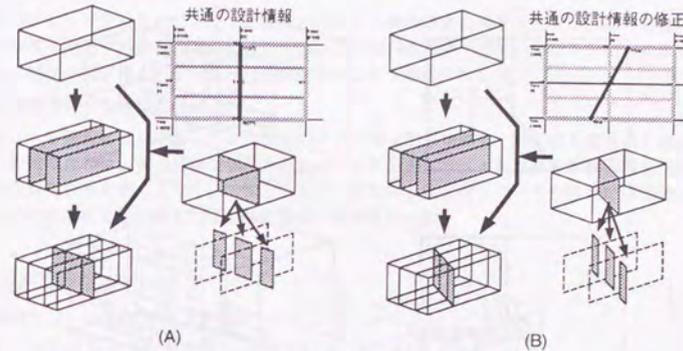


Fig. 6-6-5 部屋の設計変更 (部屋の設計情報を共有する場合)

(3) 骨型ユニットの設計情報が共有される場合

骨型ユニットが設計情報を共有する場合の設計変更の処理は以下に示すように行われる。

・設計基準線の情報を共有する場合

設計基準面の情報を共有する全ての面型ユニットが再設計される。

・断面形状や取付角度に関する設計情報を共有する場合

共有する形状情報を規定する設計情報を書き換えることによって、内部構造は変更された設計情報にしたがって再設計される。

6.6.4 位相関係の変更

設計変更には単に幾何学的な座標値の修正だけを考慮するだけで十分な場合と、位相情報の修正までを要求される場合とがある。

Fig. 6-6-6は、位相情報の修正が伴う設計変更の例である。設計変更によって移動すべき板は、要求された変更値にしたがって変更前の位相関係にある板から別の板へと位相情報を修正しなければならない。この新たな位相関係を持つ板の選択では親部屋の形状情報を活用する。本システムにおけるこのような位相的変更は、寸法の記述による幾何学的拘束関係の処理によって自動的に処理されている。

また、変更が及んだ部屋に、子部屋や内部構造が存在している場合は、「寸法的制約」にしたがって再分割あるいは内部構造の再設計を自動的に行うことによって構造を修正する。

6.7 部材の分割のモデル化

空間設計機能や内部構造設計機能では、部屋や内部構造などの新たな製品情報を付加することを論じた。つまり、設計要求を満足させるための手法として、新たな構造機能を付加することによる製品定義手法について述べてきた。しかし、設計にはこのような設計とは別に、設計要求にしたがって既に存在するものを詳細化する設計が存在することは、既に第4章において述べた通りである。そこで本節では、この詳細化の設計を部材の分割による設計として捉え、部品化のモデルを考察する。

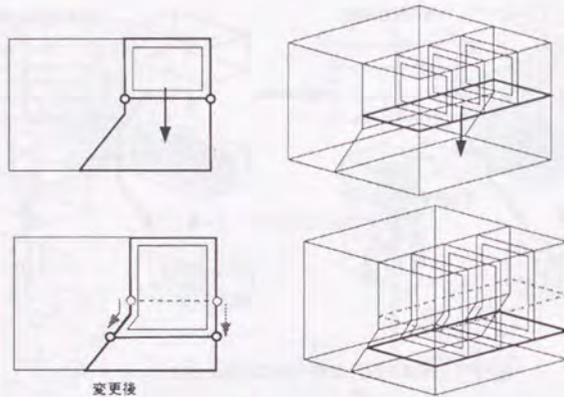


Fig.6-6-6 位相情報の修正を伴う設計変更

6.7.1 カット機能による部材情報の部分化

空間設計機能による部屋の設計や、面型ユニットと骨型ユニットを利用した内部構造設計機能による内部構造の設計では、設計要求にしたがって生成されるものは部屋を仕切る板部材や、ユニットを構成する部材である。しかし、実際の生産活動で加工・組立を施される対象物は「部材」ではなく「部品」であり、設計における最終的な製品情報としては部品情報を獲得する必要がある。

ここで、構造と部材との関係、および部材と部品との関係を考えてみると、構造とは構造設計によって生成された部材を構成要素とする集合体であり、部材は部品を構成要素とする集合体であると考えられる。したがって部品情報の生成は構造設計で獲得された部材情報を基に、集合（構造）の部分集合（部材）の中から構成要素（部品）を抽出することとして考えることができる。本研究では部品情報の抽出を、既に存在している部材の部分化としてモデル化することにより、上流の設計において生成された部材を、4.2.2項で定義したカット機能を用いることによって分割し、実際に必要となる部品情報の生成を表現する。本研究で定義する、カット機能の概要を以下に示す。

1) 分割面の指定

部材を分割するための分割面を指定する。分割の対象となる部材が、指定された分割面により、分割されるべきか否かの幾何学的なチェックが行われる。

2) 部材の分割

・部材形状の分割

部材の情報として記述されている形状情報を利用して、指定された分割面との交線を算出し、分割されて生成される新たな面形状などの形状情報を生成する。

・新たな部材の生成

生成された形状情報を基に、分割されて生成される部材が生成される。この際に、部材の属性情報として記述されている様々な情報を、新たに生成される部材に振り分け、情報を継承させる。

3) 新たな接合関係情報の生成

上記2)によって生成された新たな部材間に存在する接合関係情報を生成する。この接合関係情報には、接合線に相当する線分情報が記述される。この線分情報は、部材の形状を分割面によって分割する際に、部材の形状情報と分割面との交線計算によって求められる。

4) 接合関係情報の接合線の分割

分割される前の板部材が有していた他の部材との接合関係情報を、新たに生成された部材に矛盾なく振り分けるために、接合関係情報を分割面によって分割して、新たな接合関係情報を生成する。この接合関係情報の分割によって、分割される前の板部材と他部材との一つの接合関係情報から、新しく生成された部材と他部材との接合関係情報が複数得られる。

6.7.2 分割面の指定

本研究では、分割線を二次元的に入力し、この分割線の情報を基に分割面を定義する。各々の部材の実際に分割される箇所は、この分割面との交線を求めることによって求められる。つまり、設計者の分割線の入力は平面的（二次元的）なものであるが、入力した折れ線を入力面（分割線を入力した面）の法線方向に引き伸ばして得られる複数の無限平面を分割面として定義する。この分割面を利用することによって、分割対象となる全ての部材を分割する（Fig.6-7-1）。

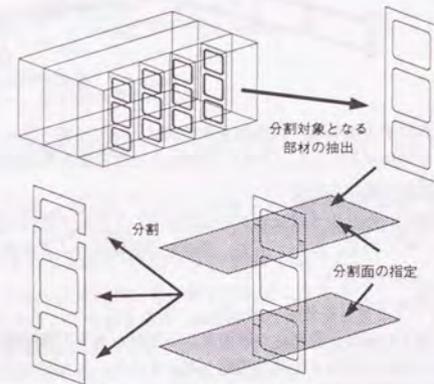


Fig.6-7-1 分割面の定義

6.7.3 部材の分割

本研究では、空間設計機能や内部構造設計機能を用いることによって、部材の形状情報や接合している他の部材との接合関係情報を獲得することができる。生成された部材から詳細な部品情報を生成するために利用するカット機能の役割は、これらの情報（部材情報・接合関係情報）の分割・生成であると考えられる。つまり、一つのもが複数に分割されるということは、形状情報の側面では新たな形状情報の生成であり、また、接合情報、属性情報（材質、板厚、断面形状等）に関しても矛盾なく新たに定義される複数の部材に分けられたり、新たに生成される必要がある。本項では、カット機能における部材の分割の処理機能を述べる。

(1) 形状の分割

・板部材の形状の分割

板部材の形状表現は、「板の外形状を表現する面分 + 穴の形状を表現する面分 + 板厚」が用いられている。したがって、板部材の形状の分割は、Fig.6-7-2に示すように板の外形状を表現する面分と穴の形状を表現する面分を、指定された分割線で幾何学的に分割することによって可能にしている。

板部材の場合は、板部材の外形状である面分が分割面によって分割される。また、板部材に穴形

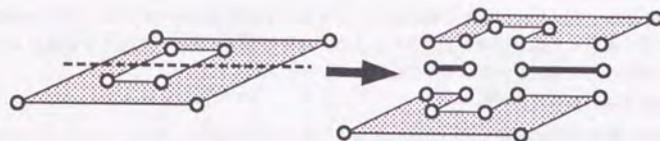


Fig. 6-7-2 板部材の分割処理



Fig. 6-7-3 骨部材の分割処理

状が存在する場合は、穴形状も分割面によって分割される。これらの分割によって生成された複数の面分を利用することによって、分割によって生成される新たな板部材の外形状を算出する。

・骨部材の形状の分割

骨部材の形状表現は板部材とは異なり、「ウェブ形状を表現する面分 + 骨部材の断面形状」が用いられている。したがって、骨部材の分割はウェブ形状を表現した面分の分割問題として取り扱われる (Fig. 6-7-3)。

(2) 新たな部材の生成

板部材の板厚、骨部材の断面形状は部材が有する属性情報として扱っている。また、部材は部材名称や材質などの様々な属性情報も有している。したがって、分割によって生成される新たな部材は元の部材の属性情報を継承する必要がある。本研究では、属性情報に関する継承は分割の際に自動的に処理し、設計者の負担を軽減させている。

・板部材の生成

分割によって生成された形状を利用して、個々の形状に対応する部材を生成される。この際に、生成された面分形状は、部材の形状情報として記述される。また、板部材の場合では、分割されない穴の形状が存在する場合がある。この穴は、分割面によって幾何的にチェックされ、新たな部材の穴の情報として割り振られる。また、板部材の属性情報である板厚は、新しく生成される板部材に自動的に割り振られ、属性情報が継承される。

・骨部材の生成

骨部材の取付線の情報も分割面で分割され、新たに生成される骨部材の情報として記述される。属性情報である骨部材の断面形状は、板部材の板厚の場合と同様に、新たに生成される部材に属性情報が割り振られることによって継承される。

6.7.4 接合関係情報の生成

分割によって新たに生成される複数の部材同士にとって、互いに接合されていることを表現する情報である接合関係情報の生成は重要である。その理由は、新たに生成される複数の部材は、現実の構造物として構築される際に接合される必要があるからである。本研究では、分割によって新たに生成

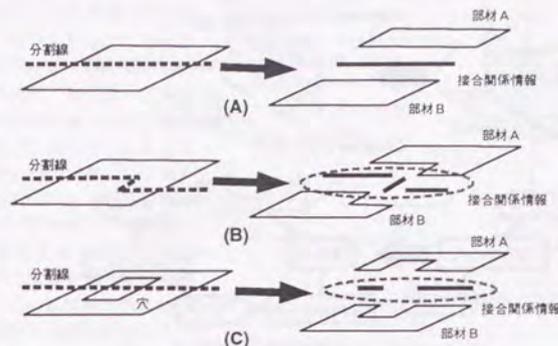


Fig. 6-7-4 接合関係情報の生成

される複数の部材間に接合関係情報を、矛盾無く自動的に生成させることによって対応させている (Fig. 6-7-4(A))。

板部材の場合は、分割面と板部材の外形状との交線、および穴形状との交線の情報から、新たに生成すべき接合線の情報を生成する。また、骨部材の場合は、分割面と取付線との交点の情報から、骨部材の断面形状を考慮することによって新たに生成すべき接合線の情報を生成する。

折れ線で分割する場合や穴を考慮して分割する際には、接合線が折れ線になる場合や、複数の線 (不連続な線) の集合になる場合が考えられる。このような場合、本研究では接合線を重視し、接合関係情報と接合線が対一になるよう接合関係を生成する。したがって、Fig. 6-7-4(B)(C)の場合では、分割によって生成される部材A、部材Bの接合関係情報は一つではなく複数存在することになる。

6.7.5 接合関係情報の分割

接合関係情報には、部材の接続関係 (接合関係にある二つの部材情報) と、接合箇所を示す線分の情報が記述されている。この場合、部材が分割される場合において特に注意しなければならないことは、接合関係情報の分割である。分割される前の部材が有していた他の部材との接合関係情報を、新たに生成された部材に矛盾なく振り分けるために、接合関係情報を分割面によって分割する。

(1) 接合線の分割

接合関係情報には、部材情報と同様に幾何情報である線分情報が幾何情報として記述されている。そこで、部材の形状を分割する場合と同様にして、この接合関係情報の線分形状を分割し、新たな接合線を算出する。

(2) 新たな接合関係情報の生成

新たな接合線を基にして、新たな接合関係情報を生成される。この情報の生成によって、分割される前の板部材と他部材との一つの接合関係情報から、分割された接合線を持つ新部材と他部材との接合関係情報が複数得られる。例えば、Fig. 6-7-5 に示すように部材Aと部材Bが接合関係Cによって構成されている場合の分割を考えてみる。指定された分割面によって、部材Aが分割され、新部材A-1、A-2が生成される。この場合では、新部材A-1とA-2との新たな接合関係情報Dが生成されるばかりでなく、接合関係情報CもC-1およびC-2に分割される。

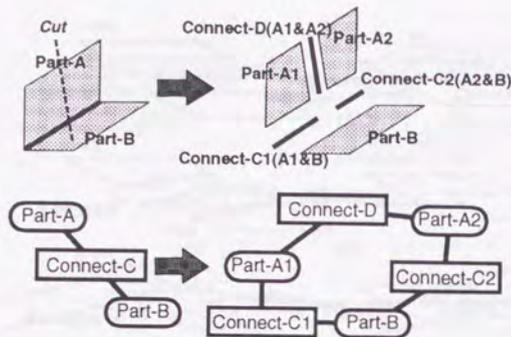


Fig.6-7-5 接合関係情報の分割処理

6.7.6 分割情報の記述

本システムでは、分割情報を記述するために、空間設計機能や内部構造設計機能において利用した寸法の記述を利用し、分割線を記述するエディターを定義している (Fig.6-7-6)。

図中に示すように、エディター上に表示される線は、分割対象の形状線 (部材形状の外形線、穴の外周線)、分割対象が有する接合線を表現するものである。設計者はこれらの線で構成される図形に対して、

- A: 全体座標系における絶対値
- B: 任意の基準からの相対値

等の寸法指定によって分割線を設定する。この入力した分割線を基に三次元の分割面を定義し (エディターの面の法線方向に入力した線分を引き伸ばし、分割面を定義する)、これまでに述べた分割の処理によって複数の部材と、生成された部材間の接合関係情報を矛盾なく生成することができる。

本研究では以上のように、任意の対象に分割線を指定することによって、新しい部材情報と接合関係情報を矛盾が生じないように生成することを可能としている。

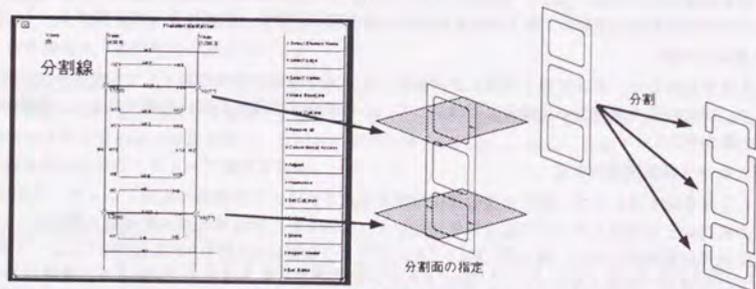


Fig.6-7-6 分割線を記述するエディター

この分割線の情報 (どの箇所で部材を分割したかの情報) は分割情報として部材に記述され管理されている (Fig.6-7-7)。したがって、構造の変更、分割線の変更の際に有効に活用することが可能である。例えば、次のようなことが可能である。分割情報は、分割する対象の部材に対して記述する形態をとっているため、その対象となる部材が何らかの設計変更によって形状・位置が変更された場合、記述している分割情報にしたがって再分割を自動的に行うことが可能である。

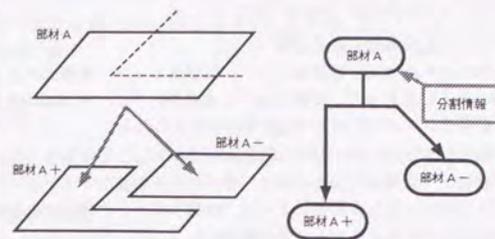


Fig.6-7-7 分割情報の管理

部材を分割する際に、分割線の情報と分割情報として記述することにより、部材から部品を生成する設計情報として獲得することができる。この分割情報の記述によって、カット機能により生成された部品情報だけでなく、どのような過程を経て部品が生成されたかの情報を容易に取り出すことが可能である。これは部材の分割も設計の一部であると考えられる場合、重要な設計情報である。

6.7.7 分割対象の選択

本研究で定義したカット機能は、任意の部材、任意の接合関係の生成を、矛盾のない分割処理によって生成することを実現している。またこのカット機能は、分割すべき対象が単一部材であるか、複数部材であるかには関係なく、全て同じ分割の処理が実行されることになる。そこで本項では、選択する対象の違いによってどのようにカット機能が実行され、選択された部材の分割結果が得られるかを実例を用いて述べる。

(1) 単一部材の選択による分割

生成された船体構造を構成する部材の中から、単一部材を取り出し、その部材の分割として考えられる分割は、以下に示す場合が考えられる。

- ・ 鋼板板厚、型鋼断面形状の差異をもたせるための分割
- ・ 板寸法、型鋼長さの購入制約による部材の分割

以上に示した部材の分割の処理は、部材毎に実行される。したがって、分割情報の記述は分割対象である部材毎に記述する。この分割情報は広い意味で捉えた設計情報として見なされ、分割する対象の部材の設計情報として記述される (Fig.6-7-8(A))。

(2) 複数部材の選択による分割

上記(1)では、個々の部材の分割について述べたが、この機能を拡張して複数の部材を分割面の指定によって分割を行うことが可能である。

・ 複数の部材の選択による分割

先に述べた部材の分割は、例えば一つのトランス・リング材について分割を行うものであった。しかしトランス・リング材などにはフェイス・プレートが付いており、これらの部材を纏めて分割する場合は考えられる。

このような場合は、カット機能を活用する対象を、単一の部材に限ること無く、複数の部材に適用することで対応する (Fig.6-7-8(B))。

・ユニットの選択による分割

本システムでは、箱型ユニット、面型ユニット、骨型ユニットといった三種類のユニットを定義している。したがって、設計において生成されたこれらのユニットを部材の集合体として認識し、カット機能をユニットに対して施す場合が考えられる。

例としてトランス・リング構造の面型ユニットの分割を Fig.6-7-8(C) に示す。あるトランス・リング部材上で分割線を入力すると、得られた分割線をトランス・リング部材に対して法線方向に引き伸ばして定義される分割面によって、面型ユニットを構成する全てのトランス・リング部材、および付随するフェイス・プレートが分割される。

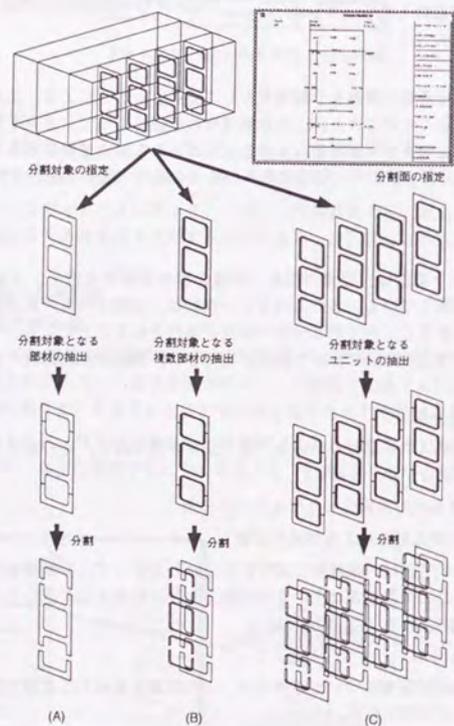


Fig.6-7-8 分割対象の選択

6.8 システムの実行例

本節では、これまでに述べてきたモデル化を基に構築されたシステムを利用することによって、船体構造の設計、および設計変更の実行例を示す。

6.8.1 設計支援システムによる設計例

バルクキャリアの船体構造を例として、システムでどの様に船体構造が設計されていくかを図示する。

(1) 主要目 (LBD) の入力による船体形状の生成

本設計支援システムでは、先ず船体形状をパラメトリックに定義する。Fig.6-8-1では、船体形状を規定する主要目であるL, B, Dを入力し、システムに記述されている手順 (プログラム) に基づいて船体形状を生成した例を示している。本システムでは、板部材は平面部材のみを対象としているので、生成された船体形状は複数 (この場合は28枚) の板部材によって定義されている。また、板部材間の接合関係情報も生成されており、さらにそれらの板部材によって規定される船体内部に一つの閉空間も部屋として生成されている。また、この船体外板とデッキからなる板構造は箱型ユニットとして定義され、構造を構成する板部材および部屋を情報として管理している。

(2) 区画の設計例 (その1)

(1)で設計された船体形状に対して、Fig.6-8-2に示すように隔壁を設計することによって、船倉やエンジンルーム、複数の区画を設計する。

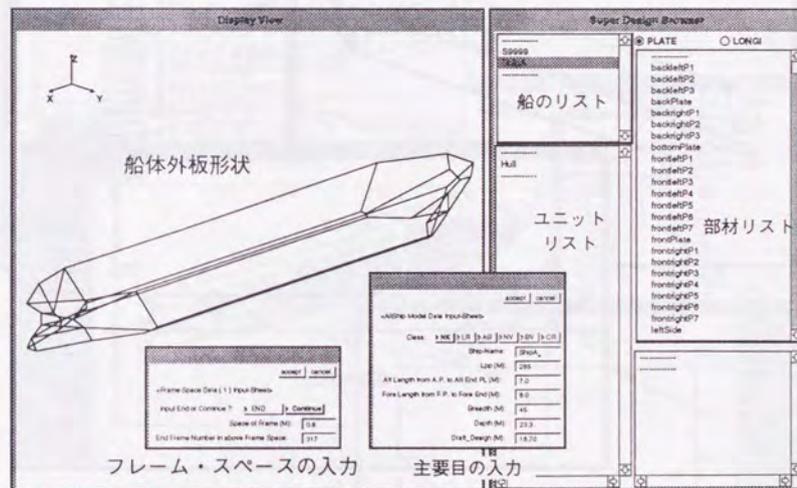


Fig.6-8-1 主要目 (LBD) の入力による船体形状の生成

(3)区画の設計例 (その2)

(2)において設計された船倉部の部屋に対して、空間設計機能を活用することによって分けられた複数の船倉 ([船倉1], [船倉2], [船倉3], [船倉4]) をFig.6-8-3に示すように設計する。

(4)トップサイド・タンク、ビルジ・タンク、二重底タンクの設計

(3)で設計された複数の船倉 ([船倉1], [船倉2], [船倉3], [船倉4]) に対して、トップサイド・タンクやビルジ・タンク、二重底タンク等を設計することによって、船体構造を構成する複数の区画 (ホールド部) やタンク構造 (トップサイド・タンクやビルジ・タンク、二重底タンク等) をFig.6-8-4に示すように設計する。図に示した例では、(2)において設計された複数の船倉 ([船倉1], [船倉2], [船倉3], [船倉4]) に対して同一の部屋の設計情報を記述した例である。

(5)内部構造の設計例 (ビルジ・タンクの内部構造の設計)

(4)までにおいて設計された船体構造には、様々な区画やタンクが定義されている。そこで、それらの内部に内部構造を設計するために、内部構造設計機能を活用する。Fig.6-8-5は、あるビルジ・タンクの内部に、リング構造を面型ユニットとして設計した例である。

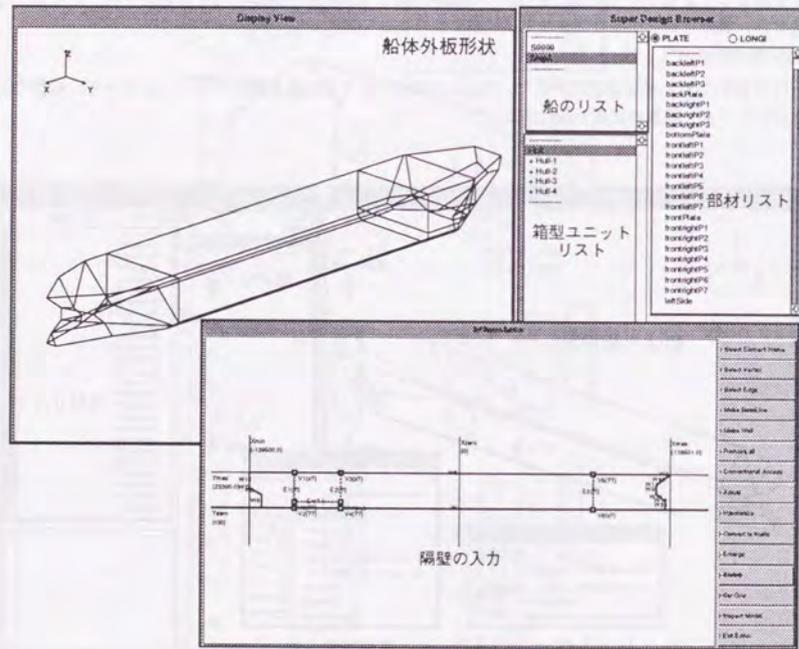


Fig.6-8-2 区画の設計例 (その1)

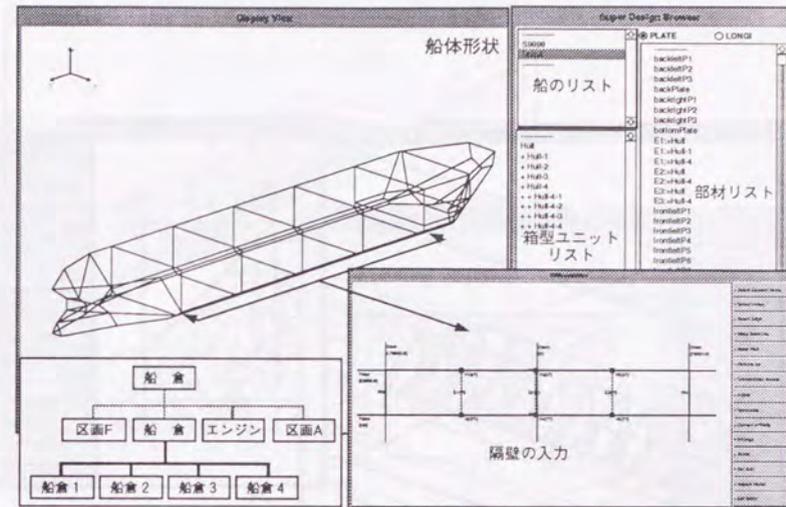


Fig.6-8-3 区画の設計例 (その2)

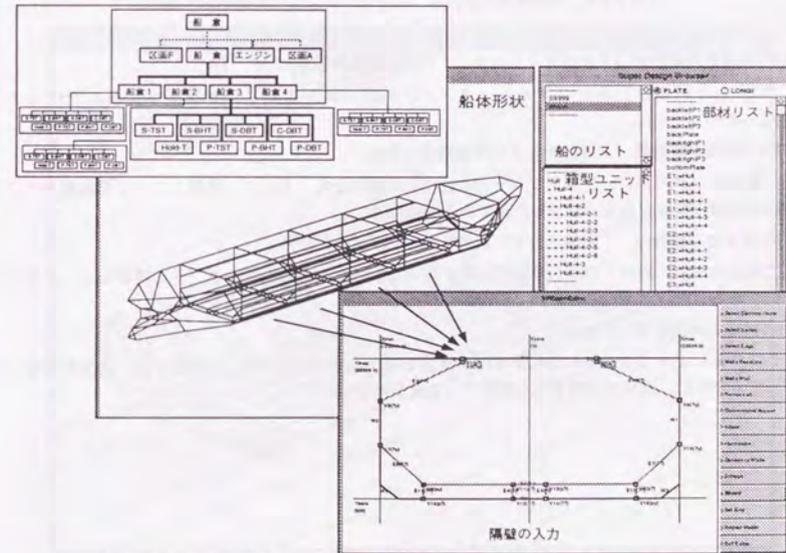


Fig.6-8-4 トップサイド・タンク、ビルジ・タンク、二重底タンクの設計

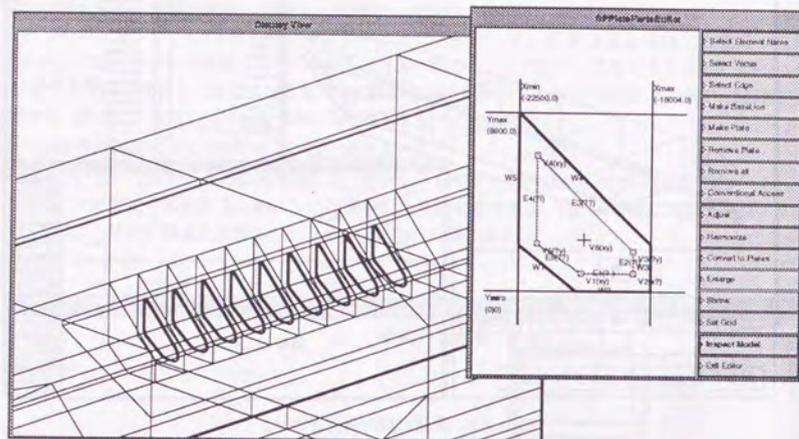


Fig.6-8-5 内部構造の設計例 (ビルジ・タンクの内部構造の設計)

(6)内部構造の設計例 (トップサイド・タンクの内部構造の設計)

上記(5)と同様に、トップサイド・タンクに面型ユニットのリング構造を設計した例である (Fig.6-8-6)。

(7)内部構造の設計例 (二重底タンクの内部構造の設計)

二重底タンク内部に、フロアプレート设计了例である。さらに、骨型ユニットを利用して二重底の内定板にロンジ構造を設計した例である (Fig.6-8-7)。

(8)内部構造の設計例 (二重底内底板に取付くロンジ構造の設計)

二重底内底板に取付くロンジ構造を、長手方向全領域 (内部の区画やタンクに関係なく) に設計した例である (Fig.6-8-8)。

(9)内部構造の設計例 (その5)

システムによって設計された船体の全体構造をFig.6-8-9に図示する。なお図では、内部を視認しやすくするために、全ての内部構造を設計することを省略している。

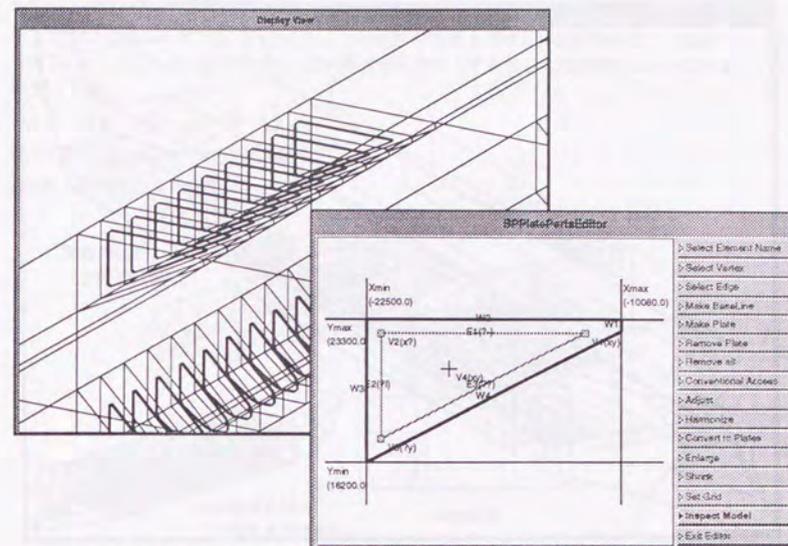


Fig.6-8-6 内部構造の設計例 (トップサイド・タンクの内部構造の設計)

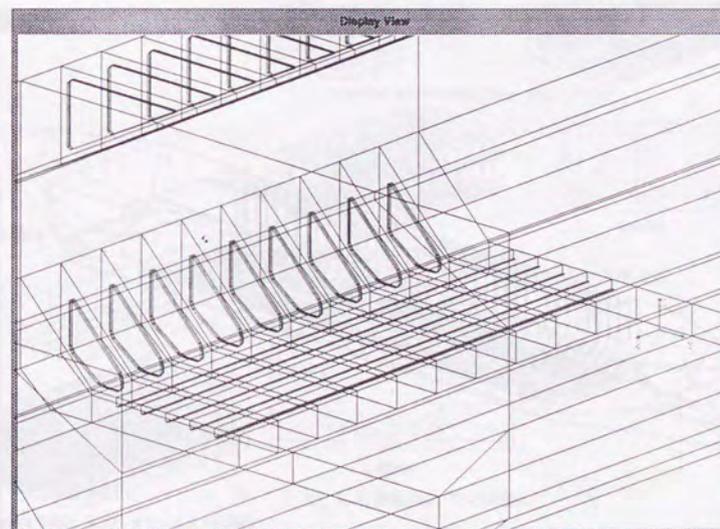


Fig.6-8-7 内部構造の設計例 (二重底タンクの内部構造の設計)

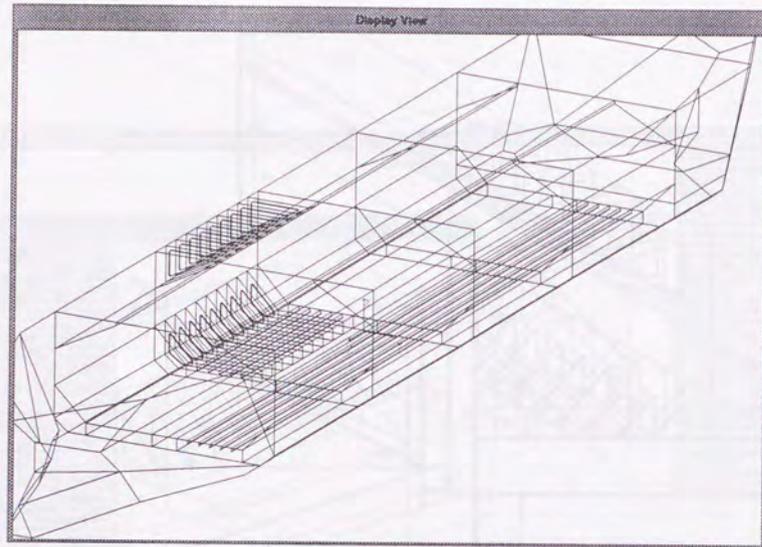


Fig. 6-8-8 内部構造の設計例 (ロンジ構造の設計)

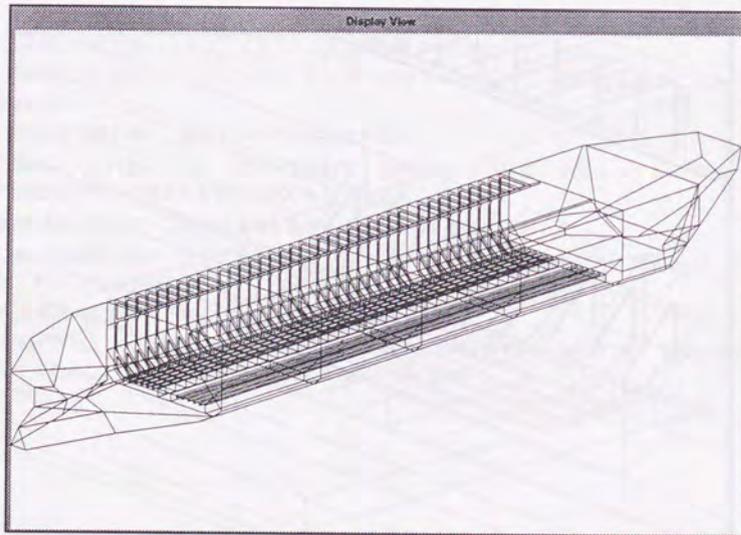


Fig. 6-8-9 内部構造の設計例 (全体構造)

6.8.2 その他の船体構造の設計例

本研究で構築した設計支援システムによる設計の実例を挙げる。設計例を以下に図示する (Fig. 6-8-10)。また、これらの船体構造は、内部構造を見やすくするために内部構造を多少省略していることを断っておく。

- (A) シングル・ハル・タンカー
- (B) ダブルハルタンカーの中央構造部
- (C) 鉱石運搬船の中央構造部

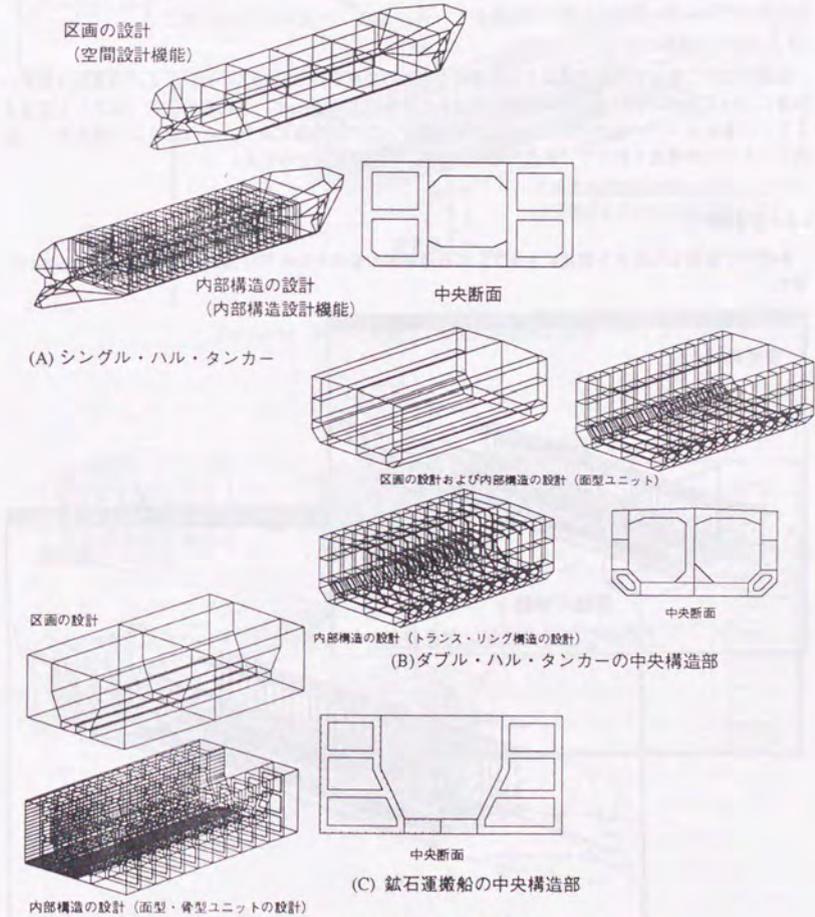


Fig. 6-8-10 船体構造の設計例

6.8.3 設計変更例

本研究で構築された設計支援システムにおける設計変更の実行例を挙げる。6.8.1項で設計例を示したパルクキャリアーを対象とした。また、この船体構造は見やすくするために全ての内部構造の設計は省略されている。

(1) 隔壁位置の移動

設計された船体構造に対して、隔壁の位置を移動する。Fig.6-8-11では、船首区画と船倉を仕切る隔壁の位置を移動した例である。この隔壁の移動によって、船倉の形状は変更される。さらに、船倉内に定義されている区画やタンクおよび内部構造が再設計される。図の例では、船倉内に存在する複数の船倉を仕切る他の隔壁の位置は固定されている。

(2) 二重底の内底板の変更

船倉内部の二重底タンクを構成する内底板の高さの変更を行う (Fig.6-8-12)。この内底板は複数の船倉において共通の設計情報によって定義されている。したがって、内底板の位置 (高さ) を変更すると、二重底タンクの形状が全て変更される。また、この内底板に取付けられたロンジ構造や、二重底タンクの内部構造も新たな「構造的制約」の基に形状変更が行われる。

6.8.4 分割例

本研究で定義したカット機能によって、鉱石運搬船の船体中央の平行部を分割した例をFig.6-8-13に示す。

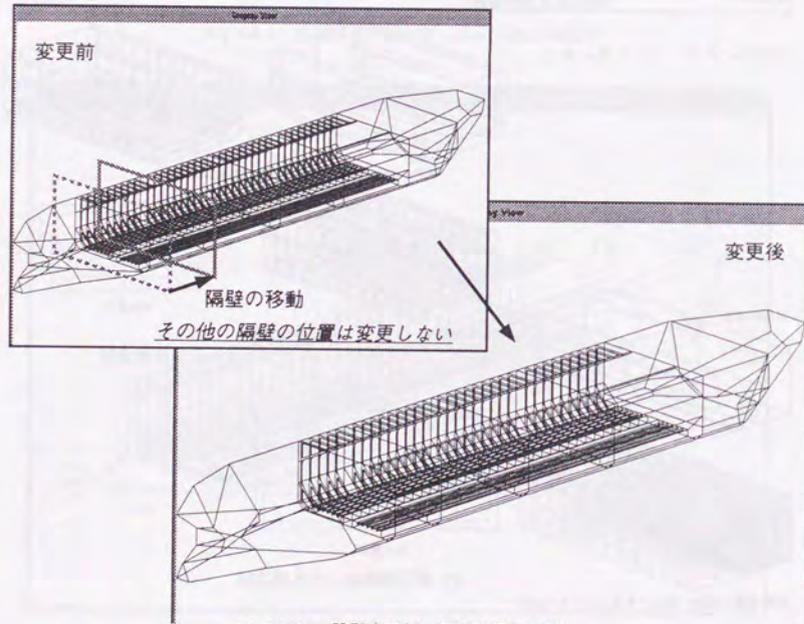


Fig.6-8-11 設計変更例 (隔壁位置の変更)

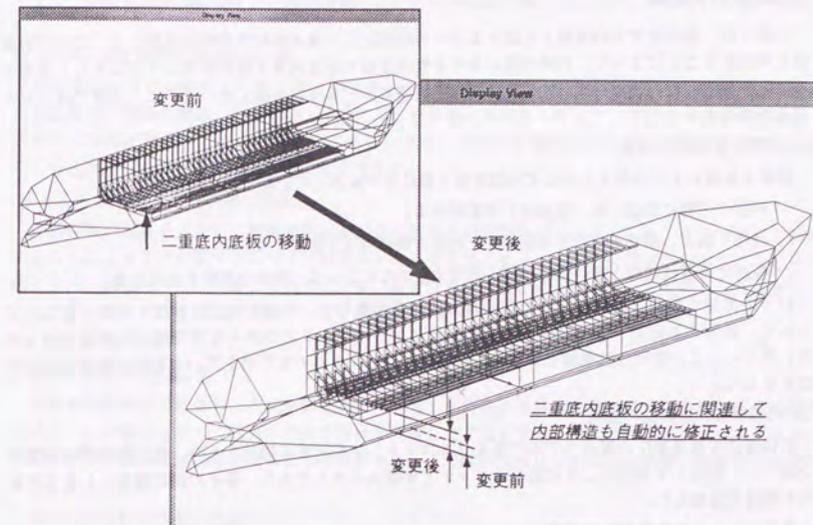


Fig.6-8-12 設計変更例 (二重底の内底板の変更)

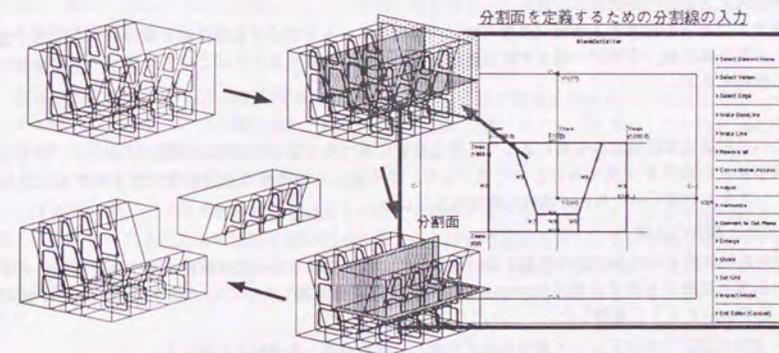


Fig.6-8-13 分割例

6.9 本章のまとめ

本章では、製品モデルの情報を生成するための機能として様々な設計機能を考察した。この設計機能を利用することによって、設計活動における製品情報の生成過程を設計過程のモデルとして表現することを検討した。また、設計支援システムの構築に関する考察も加えた。以下に、本章で得られた知見を整理する。

(1) 空間設計機能の定義

- 船倉や区画および各種タンクなどの閉空間を製品モデルとして定義する「部屋」を利用し、
- ・部屋の内部に仕切り板（板部材）を設計する。
 - ・仕切り板と、部屋を構成する板部材との接合関係情報を生成する。
 - ・板部材の形状情報と接合関係情報を利用することによって、新たな部屋を生成する。

といった部屋を設計する機能として空間設計機能を定義した。この空間設計機能を利用することによって、船倉から区画、および区画内部の各種タンクに至るまでの様々な閉空間の設計を可能とした。さらに、この空間設計機能をシステムに実装し、システムの実行例を用いて空間設計機能の有効性を示した。

(2) 内部構造設計機能の定義

船体構造の構造単位の製品モデルである「ユニット」を設計する機能として、内部構造設計機能を定義した。対象とするユニットは面型ユニットと骨型ユニットであり、各々の設計機能として以下に示す機能を定義した。

・面型ユニットの内部構造設計機能

自身の内部に面型ユニットが設計される部屋、面型ユニットを構成する主要な板部材が存在する設計基準面、主要な板部材の外形状および穴の形状、補強部材であるフェイス・プレートの寸法などの情報を入力することによって、面型ユニットを設計する機能である。

・骨型ユニットの内部構造設計機能

骨型ユニットを設計する領域（部屋の壁）、骨型ユニットを構成する骨部材が取付けられる位置を意味する設計基準線、骨部材の傾きや断面形状などの情報を入力することによって骨型ユニットを設計する機能である。

この内部構造設計機能の定義によって、構造設計における主要な内部構造の設計において、設計者の構造単位の設計を支援することを可能とした。さらに、この内部構造設計機能をシステムに実装し、システムの実行例を用いて機能の有効性を示した。

(3) カット機能の定義

空間設計機能と内部構造設計機能を用いることによって生成される部材情報から、生産活動に必要な部品情報を生成する機能の一つとしてカット機能を定義した。このカット機能における処理を、以下に示すように整理した。

- ・部材形状を分割面によって幾何学的に分割し、複数の新たな部材を生成する。
- ・分割される部材の属性情報を、新たに生成された複数の部材に継承させる。
- ・新たに生成された複数の部材同士の接合関係情報を生成する。
- ・接合関係情報を分割面によって分割し、新たな接合関係情報を生成する。
- ・既に生成されている接合関係情報を、新たに生成された複数の部材に割り振る。

また、このカット機能をシステムに実装し、システムの実行例を用いてカット機能の有効性を示した。

(4) 設計における構造的制約の定義

設計過程における制約として「構造的制約」が存在すると考えた。この考えは、部屋の階層構造（親部屋と子部屋の関係）や、部屋とその内部に設計される面型ユニット、骨型ユニットの関係は、構造的に制約が存在するという考え方である。また、空間設計機能による部屋の生成は「構造的制約」の生成をも意味すると理解することができた。

(5) 設計における寸法的制約の定義

設計情報の記述を目的に、幾何学的拘束関係を利用した寸法の記述を導入した。寸法の記述を利用することによって、部屋やユニット（面型ユニットと骨型ユニット）の設計情報を記述することが可能となり、部屋やユニットなどの製品モデルの設計情報を有効に記述することを可能とした。また、この寸法による制約を「寸法的制約」として定義した。

(6) 設計情報の記述

・部屋の設計情報の記述

分割される部屋の任意の二次元断面に、「部屋を仕切る板部材の位置の情報」として線分情報を記述し、この線分に対して幾何学的拘束関係を利用した寸法を記述した。この寸法によって記述された線分は空間設計機能の設計情報として利用され、この設計情報は分割される部屋（親部屋）に管理されることにした。

・内部構造の設計情報の記述

ユニットを設計する内部構造設計機能においても、空間設計機能の設計情報と同様に、寸法の記述を利用した設計情報を生成している。面型ユニットにおける設計情報は、設計基準面の位置の指定、主要な板部材の外形状や穴の形状を線分情報として記述する際に寸法の記述を利用している。また、骨型ユニットにおいては、設計基準線の情報を線分情報として記述する際に利用している。以上の設計情報は、ユニットに管理されている。また、内部構造の設計に対しては、パラメータの指定による設計情報の記述方法も検討した。

・分割情報の記述

部材を分割するための分割面の情報を記述する際に、寸法の記述を用いた。このことによって、カット機能における部材の分割情報を、設計情報と同様に記述することができた。この設計情報は、分割される前の元の部材に管理されている。

(7) 設計変更が可能な設計支援システムの構築

「構造的制約」と「寸法的制約」との組合せによる設計のモデル化によって、設計手順の記述を可能とすることができた。この設計手順に記述されている設計情報を変更し、設計手順を再実行することによって、設計変更柔軟に対応することが可能であるという概念を示した。また、この設計変更の処理をシステムに実装し、システムにおける設計変更の実例を示すことによって、その有効性を示した。