

板骨構造物を対象とした  
製品モデルの表現方法に関する研究

濱田 邦裕

①

1996年度博士論文

板骨構造物を対象とした  
製品モデルの表現方法に関する研究

指導教官 野本 敏治 教授  
青山 和浩 講師

東京大学大学院工学系研究科

船舶海洋工学専攻

47060 濱田邦裕

# 目次

第1章 緒言 .....	1
1.1 計算機と設計・生産活動 .....	1
1.2 システムと設計・生産活動 .....	3
1.2.1 設計・生産システム .....	3
1.2.2 次世代の設計・生産システムの必要性 .....	4
1.3 本研究の目的 .....	5
1.4 本論文の構成 .....	6
第2章 造船CIMの概要 .....	9
2.1 造船における計算機利用 .....	9
2.1.1 造船における計算機利用の歴史 .....	9
2.1.2 造船における計算機利用の現状 .....	12
2.2 CIMの概念 .....	14
2.2.1 CIMの定義 .....	14
2.2.2 CIM構築の手法 .....	16
2.3 造船CIMS .....	16
2.3.1 造船CIMSの歴史 .....	16
2.3.2 造船CIMSの概要 .....	17
2.4 造船のための設計・生産支援システム-SODAS- .....	22
2.4.1 SODASの基本概念 .....	22
2.4.2 SODASの製品情報 .....	24
2.4.3 SODASにおける設計活動の支援 .....	31
2.4.4 SODASにおける生産活動の支援 .....	34
2.4.5 SODASにおける製品情報の利用 .....	38
2.5 本章のまとめ .....	42
第3章 製品モデルの表現のために .....	43
3.1 計算機システムとモデル .....	43

---

3.1.1 モデル化 (モデリング) とは	44
3.1.2 モデルベース・システム	45
3.1.3 形状モデル	45
3.1.4 エンティティ・リレーションシップ・モデル	46
3.2 製品モデル	47
3.2.1 製品モデルの定義	47
3.2.2 製品モデルと設計・生産過程	48
3.3 製品モデルの特徴の整理	49
3.3.1 製品モデルと設計・生産活動の支援	51
3.3.2 製品モデルの開発の特徴	51
3.3.3 情報処理と設計・生産活動の関連	53
3.3.4 関連する要素技術と製品モデル	54
3.3.5 製品モデルの規模	54
3.3.6 システムの構築と製品モデル	54
3.3.7 製品モデルに要求される項目	55
3.4 製品モデルの表現方法に要求される項目	56
3.4.1 製品モデルに要求される項目と表現方法との関連	56
3.4.2 製品モデルの表現方法に要求される項目の整理	57
3.5 本章のまとめ	59
<b>第4章 本研究における製品モデルの表現方法</b>	<b>60</b>
4.1 製品モデルの表現	60
4.1.1 情報や情報処理機能の部品化のために	60
4.1.2 部品の組み合わせと関係	61
4.1.3 部品の組み合わせによる製品モデルの表現	62
4.2 情報の部品化	64
4.2.1 情報の部品化と関係	64
4.2.2 情報の内容と関係	65
4.2.3 情報の分類	65
4.2.4 最小単位の情報について	67
4.3 機能の部品化	67
4.3.1 機能の部品化と関係	67
4.3.2 最小単位の機能について	68
4.3.3 実体層の機能について	69
4.4 関係の整理	70
4.4.1 関係付けの対象に着目した関係の整理	70
4.4.2 関係付けの目的に着目した関係の整理	70

4.4.3 製品モデルの内外に着目した関係の整理 .....	73
4.4.4 関係のまとめ .....	74
4.5 変換関係と機能 .....	76
4.6 情報・機能・関係の構造の検討 .....	77
4.6.1 情報・機能の関係による組み合わせ .....	77
4.6.2 組み合わせの変更 .....	78
4.6.3 情報の参照と変換への対応 .....	79
4.7 本研究による製品モデルの表現 .....	81
4.7.1 製品モデル全体の表現 .....	81
4.7.2 情報の変換や利用の際の構成要素の役割 .....	82
4.7.3 本研究の表現方法とE-Rモデルとの相違 .....	84
4.8 本章のまとめ .....	85
<b>第5章 本研究の製品モデルの表現方法の有効性の検討 .....</b>	<b>86</b>
5.1 本研究の製品モデルの表現方法の特徴 .....	86
5.2 製品モデルの多面性の表現 .....	87
5.2.1 本研究で対象とする製品モデルの多面性 .....	87
5.2.2 製品情報や機能の詳細度の表現 .....	88
5.2.3 モデルの成長の表現 .....	89
5.2.4 情報の生成・利用・管理の表現 .....	91
5.2.5 製品モデルの多面性と関係 .....	93
5.3 製品モデルの柔軟性と拡張性 .....	94
5.3.1 製品モデルの柔軟性と拡張性の確保のために .....	94
5.3.2 情報や機能の柔軟性と拡張性 .....	95
5.3.3 情報や機能の集合物の柔軟性と拡張性 .....	96
5.3.4 本研究の製品モデルの柔軟性と拡張性の検証 .....	99
5.4 関係の利用 .....	100
5.4.1 関係同士の相性 .....	100
5.4.2 情報と機能に着目した関係同士の相性 .....	100
5.4.3 製品モデルの内外に着目した関係同士の相性 .....	102
5.4.4 関係同士の相性の利用 .....	103
5.5 本章のまとめ .....	103
<b>第6章 プロトタイプ・システムの構築 .....</b>	<b>105</b>
6.1 プロトタイプ・システムの構築のために .....	105
6.1.1 製品モデルの定義のために .....	107

6.1.2 情報の定義の支援のために	107
6.1.3 機能の定義の支援のために	108
6.1.4 関係の定義の支援のために	109
6.1.5 モジュールの定義の支援のために	110
6.1.6 製品モデルの定義の支援のために	110
6.1.7 組み合わせのための環境について	111
6.1.8 実際の船の表現のために	111
6.1.9 システムの全体構成の明確化	112
6.2 プロトタイプ・システムの実装	114
6.2.1 メタノードとメタリンク	115
6.2.2 属性情報のクラスと機能のクラス	118
6.2.3 メタ・ブラウザ	119
6.2.4 リアルノードとリアルリンク	120
6.2.5 リアルノードの生成と参照	121
6.2.6 プロトタイプ・システムの概要	124
6.3 本章のまとめ	125
<b>第7章 本システムを利用した製品モデルの構築</b>	<b>126</b>
7.1 本システムを利用した製品モデルの構築の流れ	126
7.1.1 システム開発者による情報の定義	126
7.1.2 システム開発者による機能の定義	127
7.1.3 システム開発者による関係の定義	130
7.1.4 関係を利用したシステム開発者の支援	131
7.1.5 情報や機能の追加や変更	133
7.2 本システムの利用例(1) - SODASの製品モデル -	135
7.2.1 Smalltalk上に定義したクラス	135
7.2.2 製品情報と機能の表現	136
7.2.3 製品モデル全体の表現	139
7.2.4 SODASの製品モデルの表現のまとめ	141
7.3 本システムの利用例(2) - 海洋構造物の製品モデル -	146
7.3.1 上流部分の構築	146
7.3.2 上流のモデルと下流のモデルとの統合	147
7.3.3 海洋構造物の製品モデルの全体の表現	149
7.4 本システムの利用例(3) - 長瀬らの製品モデル -	152
7.5 本章のまとめ	156

第8章 造船CIMと本研究 .....	157
8.1 本研究の表現方法の特徴 .....	157
8.2 CAEの表現と本研究 .....	158
8.2.1 造船CIMとCAE .....	158
8.2.2 CAEを含めた表現のために .....	159
8.2.3 CAEの表現のための検討課題 .....	162
8.3 生産環境モデルの表現と本研究 .....	163
8.3.1 造船CIMと生産環境モデル .....	163
8.3.2 生産環境を含めた表現のために .....	163
8.3.3 生産環境を含めた表現のための検討課題 .....	165
8.4 本章のまとめ .....	165
第9章 結 言 .....	166
9.1 本研究の結論 .....	166
9.1.1 本研究の位置づけ .....	166
9.1.2 製品モデルの表現方法の検討 .....	167
9.1.3 プロトタイプ・システムの構築 .....	169
9.1.4 既存システムと本システムとの相違 .....	169
9.2 今後の展望 .....	171
参考文献 .....	173
本論文に関連した発表論文 .....	178
謝 辞 .....	179
Appendix-A オブジェクト指向 .....	181
A.1 オブジェクト指向の基礎概念 .....	181
A.1.1 オブジェクト指向 .....	181
A.1.2 オブジェクト指向によるプログラミング .....	181
A.1.3 オブジェクト .....	182
A.1.4 メッセージとメソッド .....	183
A.1.5 クラスとインスタンス .....	184

A.1.6 インヘリタンス (継承) .....	184
A.2 オブジェクト指向方法論 .....	186
A.3 オブジェクト指向と本研究 .....	188
参考文献.....	189
<b>Appendix-B 海洋構造物の製品モデル .....</b>	<b>190</b>
B.1 海洋構造物の製品モデルの構築のために .....	190
B.1.1 海洋構造物の様々な捉え方 .....	191
B.1.2 海洋構造物と設計機能 .....	193
B.2 海洋構造物の様々なモデル .....	193
B.2.1 機能要素モデル .....	193
B.2.2 主要構造モデル .....	195
B.2.3 部屋モデルと部材モデル .....	196
B.2.4 船の製品モデルとの関係 .....	196
B.3 海洋構造物の製品モデルに必要な設計機能 .....	197
B.3.1 機能要素モデルの生成の支援 .....	197
B.3.2 主要構造モデルの生成の支援 .....	197
B.3.3 部屋モデルや部材モデルの生成の支援 .....	198
B.4 システムによる設計例 .....	200
B.4.1 設計の流れ .....	200
B.4.2 様々な設計例 .....	200
B.5 製品モデルの情報の利用 .....	203
B.5.1 設計変更への対応 .....	203
B.5.2 安定性に関する情報の獲得 .....	204
B.5.3 FEMとの統合 .....	205
参考文献.....	205

---

## 図目次

### 第1章 緒言

Fig.1-1-1 生産技術のパラダイム・シフト .....	2
Fig.1-2-1 生産システムの構造 .....	3
Fig.1-2-2 21世紀初頭の造船業の年齢構成 .....	5
Fig.1-4-1 本論文の構成 .....	8

### 第2章 造船CIMの概要

Fig.2-1-1 造船業務概観図 .....	10
Fig.2-1-2 造船業におけるシステム化の現状 .....	12
Fig.2-2-1 造船業の特徴 .....	15
Fig.2-2-2 システム化の方向 .....	16
Fig.2-3-1 パイロットモデルの構成 .....	17
Fig.2-3-2 造船CIMSのシステム構成 .....	18
Fig.2-3-3 設計と生産の関係 .....	19
Fig.2-3-4 倣い設計システム .....	20
Fig.2-3-5 造船CIMSの工程設計システム .....	21
Fig.2-3-6 造船CIMSの日程計画システム .....	22
Fig.2-4-1 製品定義スパイラル .....	24
Fig.2-4-2 板部材の形状の表現 .....	26
Fig.2-4-3 骨部材の形状の表現 .....	26
Fig.2-4-4 接合関係情報 .....	27
Fig.2-4-5 部屋概念 .....	28
Fig.2-4-6 ユニットの例 .....	29
Fig.2-4-7 組立モジュール .....	30
Fig.2-4-8 空間設計機能 .....	32
Fig.2-4-9 部材と部品 .....	32
Fig.2-4-10 内部構造設計機能 .....	33
Fig.2-4-11 カット機能 .....	33

Fig.2-4-12	工程計画と日程計画	34
Fig.2-4-13	工程作業と実作業	35
Fig.2-4-14	SODASの生産環境	36
Fig.2-4-15	SODASの工程計画	37
Fig.2-4-16	SODASの日程計画	38
Fig.2-4-17	統合化CAEシステム	39
Fig.2-4-18	ブロック吊りのシミュレーション例	40
Fig.2-4-19	精度管理システム	41

### 第3章 製品モデルの表現のために

Fig.3-1-1	様々なモデル	44
Fig.3-1-2	様々な形状モデル	46
Fig.3-2-1	製品モデル	47
Fig.3-2-2	製品モデルの進化	48
Fig.3-3-1	製品モデルの明確化のための様々な視点	50
Fig.3-3-2	ウォーターフォール手法とプロトタイピング手法	52
Fig.3-4-1	製品モデルの表現方法に要求される項目の整理	58

### 第4章 本研究における製品モデルの表現方法

Fig.4-1-1	本研究による製品モデルの表現方法	63
Fig.4-2-1	部材の製品情報の部品化	64
Fig.4-2-2	中間製品の製品情報の部品化	64
Fig.4-2-3	情報の内容物	65
Fig.4-2-4	様々な情報と層	66
Fig.4-2-5	層の概念	66
Fig.4-3-1	部材の分割機能の部品化	68
Fig.4-3-2	中間製品の分割機能の部品化	68
Fig.4-3-3	実体層の機能	69
Fig.4-4-1	情報や機能の間の関係	70
Fig.4-4-2	参照関係	71
Fig.4-4-3	制御関係	72
Fig.4-4-4	変換関係	73
Fig.4-6-1	参照関係による情報の組み合わせ	78
Fig.4-6-2	関係を利用した情報の参照	79
Fig.4-6-3	情報や機能の関係付けの例	80

Fig.4-7-1	本研究による製品モデルの表現 .....	81
Fig.4-7-2	情報の管理・参照のために .....	82
Fig.4-7-3	情報の生成・抽出のために(1) .....	83
Fig.4-7-4	情報の生成・抽出のために(2) .....	84

## 第5章 本研究の製品モデルの表現方法の有効性の検討

Fig.5-2-1	情報と機能の詳細度 .....	89
Fig.5-2-2	関係の接続 .....	90
Fig.5-2-3	生成関係とモデルの成長(1) .....	90
Fig.5-2-4	生成関係とモデルの成長(2) .....	91
Fig.5-2-5	SODASにおけるモデルの成長 .....	91
Fig.5-2-6	製品モデルの多面性と関係 .....	93
Fig.5-3-1	ネットワーク構造と本研究の製品モデル .....	96
Fig.5-3-2	モジュールの概念 .....	97
Fig.5-3-3	モデルの統合とモジュール .....	98
Fig.5-3-4	構成要素に重複のあるモジュールの組み合わせ .....	99
Fig.5-4-1	制御関係の定義と関係の相性 .....	101
Fig.5-4-2	変換関係と参照関係によるループ .....	101
Fig.5-4-3	関係と製品モデルの内外 .....	102
Fig.5-4-4	関係同士の相性の利用 .....	104

## 第6章 プロトタイプ・システムの構築

Fig.6-1-1	情報の定義の分類 .....	108
Fig.6-1-2	機能の定義の分類 .....	109
Fig.6-1-3	メタノードとリアルノード .....	112
Fig.6-1-4	システムの全体構成の明確化 .....	113
Fig.6-2-1	メタノードとメタリンクのオブジェクト・モデル図 .....	116
Fig.6-2-2	機能ライブラリ .....	119
Fig.6-2-3	メタ・ブラウザ .....	120
Fig.6-2-4	リアルノードとリアルリンクのオブジェクト・モデル図 .....	121
Fig.6-2-5	ユニットの表現例 .....	122
Fig.6-2-6	情報の参照の流れ .....	122
Fig.6-2-7	情報の生成の流れ .....	123
Fig.6-2-8	プロトタイプ・システムの全体像 .....	124

第7章 本システムを利用した製品モデルの構築

Fig.7-1-1	情報の定義の流れ .....	128
Fig.7-1-2	機能の定義の流れ .....	130
Fig.7-1-3	関係を利用した情報の検索(1) .....	131
Fig.7-1-4	関係を利用した情報の検索(2) .....	132
Fig.7-1-5	機能の組み合わせの支援 .....	132
Fig.7-1-6	制御関係の定義の支援 .....	133
Fig.7-1-7	関係の再編成 .....	133
Fig.7-1-8	メタ・ブラウザとSmalltalk .....	134
Fig.7-2-1	SODASの製品情報の表現例 .....	138
Fig.7-2-2	SODASの機能の表現例 .....	138
Fig.7-2-3	SODASの製品情報と機能との関係(1) .....	139
Fig.7-2-4	SODASの製品情報と機能との関係(2) .....	140
Fig.7-2-5	SODASの表現方法と本研究の表現方法の相違 .....	141
Fig.7-2-6	SODASの製品モデルの表現例(1) .....	142
Fig.7-2-7	SODASの製品モデルの表現例(2) .....	143
Fig.7-2-8	SODASにおけるモデルの成長の表現例(1) .....	144
Fig.7-2-9	SODASにおけるモデルの成長の表現例(2) .....	144
Fig.7-2-10	船の設計例 .....	145
Fig.7-2-11	船のブロック分割例 .....	145
Fig.7-3-1	海洋構造物の製品モデルの概要 .....	146
Fig.7-3-2	海洋構造物の製品モデルの製品情報と機能の表現 .....	147
Fig.7-3-3	海洋構造物の製品モデルの上流部分の表現 .....	147
Fig.7-3-4	上流のモデルと下流のモデルとの統合 .....	148
Fig.7-3-5	モデルの統合のために定義したノードとリンク .....	149
Fig.7-3-6	海洋構造物の製品モデルの表現例 .....	150
Fig.7-3-7	海洋構造物の製品モデルの成長の表現 .....	151
Fig.7-3-8	海洋構造物の設計例 .....	151
Fig.7-4-1	長瀬らの製品モデルの基本構成 .....	153
Fig.7-4-2	モデル操作言語 .....	153
Fig.7-4-3	長瀬らの製品モデルの表現例(1) .....	153
Fig.7-4-4	長瀬らの製品モデルの表現例(2) .....	154
Fig.7-4-5	長瀬らの製品モデルとSODASの製品モデルとの比較 .....	155
Fig.7-4-6	本システム上の長瀬らの製品モデルを用いた設計例.....	156

第 8 章 造船CIMと本研究

Fig.8-1-1	情報の静的な表現 .....	158
Fig.8-2-1	コストダウンの可能性 .....	158
Fig.8-2-2	CAEと入出力情報の表現 .....	159
Fig.8-2-3	製品モデルとCAEとの統合化(1) .....	159
Fig.8-2-4	製品モデルとCAEとの統合化(2) .....	160
Fig.8-2-5	CAE同士の関連(1) .....	160
Fig.8-2-6	CAE同士の関連(2) .....	161
Fig.8-2-7	製品モデルの成長とCAE .....	161
Fig.8-3-1	生産環境の表現 .....	163
Fig.8-3-2	作業の表現(1) .....	164
Fig.8-3-3	作業の表現(2) .....	164

第 9 章 結 言

Fig.9-1-1	本研究の位置づけ .....	167
-----------	----------------	-----

Appendix-A オブジェクト指向

Fig.A-1-1	オブジェクト指向によるプログラミング .....	182
Fig.A-1-2	オブジェクト .....	182
Fig.A-1-3	オブジェクト間のメッセージ通信 .....	183
Fig.A-1-4	クラスとインスタンス .....	184
Fig.A-1-5	インヘリタンス .....	185
Fig.A-2-1	ラウンドトリップ .....	186

Appendix-B 海洋構造物の製品モデル

Fig.B-1-1	様々な海洋構造物 .....	190
Fig.B-1-2	海洋構造物の様々な捉え方 .....	192
Fig.B-2-1	機能要素モデル .....	194
Fig.B-2-2	主要構造モデル .....	195
Fig.B-2-3	部屋モデルと部材モデル .....	196
Fig.B-3-1	線構造設計機能 .....	198
Fig.B-3-2	立体設計機能 .....	199
Fig.B-4-1	海洋構造物の設計の流れ .....	201
Fig.B-4-2	海洋構造物の設計例 .....	202

---

Fig.B-5-1	海洋構造物の設計変更例 .....	203
Fig.B-5-2	海洋構造物の安定性に関する情報の獲得 .....	204
Fig.B-5-3	海洋構造物の製品モデルとFEMとの統合 .....	205
Fig.B-5-4	海洋構造物の構造解析例 .....	206

---

## 表目次

### 第2章 造船CIMの概要

Table 2-1-1 造船業の歩み .....	11
Table 2-1-2 統合化レベルの業務マップ .....	13
Table 2-4-1 板部材と骨部材 .....	25
Table 2-4-2 ユニットの種類 .....	29
Table 2-4-3 造船の設計活動の整理 .....	31

### 第3章 製品モデルの表現のために

Table 3-3-1 製品モデルに要求される項目の整理 .....	55
------------------------------------	----

### 第4章 本研究における製品モデルの表現方法

Table 4-4-1 生成関係と抽出関係 .....	74
Table 4-4-2 本研究における関係の整理 .....	75

### 第6章 プロトタイプ・システムの構築

Table 6-1-1 製品モデルの関係者の分類 .....	106
Table 6-1-2 システム開発者と設計者の扱う情報の分類 .....	107
Table 6-2-1 本研究のクラス定義の特徴 .....	114
Table 6-2-2 メタノードとメタリンクのクラス一覧 .....	115

### 第7章 本システムを利用した製品モデルの構築

Table 7-2-1 属性情報ライブラリのクラス一覧 .....	136
Table 7-2-2 機能ライブラリのクラス一覧 .....	137

### Appendix-A オブジェクト指向

Table A-2-1 オブジェクト指向方法論の比較 .....	187
----------------------------------	-----

---

# 第1章

## 緒言

### 1.1 計算機と設計・生産活動

人類が地球上に誕生して以来、自らの目的に合わせて様々な「道具」を作り出してきた。道具の起源は遙か200万年前に遡り、オーストラロピテクスの使用した「人間の手の代り」である石器が人類の初めての道具と言われている[岩城76]。中世になると、人間の肉体的労働の代替を目的とする道具として「機械」が現われる[人見(1)90]。そして1946年に「計算機(コンピュータ)」が発明され、人間の頭脳の代替による情報処理の支援を享受することができるようになった。

道具の進化と共に、生産技術もその形態を進化させてきた。古代(エジプトなど)の生産技術は、多くの人間を集約させることによって大規模な構造物を構築するという、労働の集約に基づいた生産技術である。労働の集約が困難となった中世に至っては、機械によって肉体的労働の代替が実現された。そして今日、計算機の有する高度な情報処理能力によって知的労働の代替が可能となった。このような生産技術の変化を「生産技術のパラダイム(社会的合意)・シフト」と呼ぶ[古川88]。計算機の出現によって生産技術は大きな転換期を迎え、今まさに知的機能の代替という新しいパラダイムに移行しつつある(Fig.1-1-1)。

以上のような背景の下、製造業各社において「計算機を如何に有効利用するか」という戦略的な問題の重要性が認識されるようになった。このため、設計・生産活動を支援するための「計算機を中核とした大規模な設計・生産システム」の構築が数多く行われ、計算機の利用は製造業の設計・生産活動に多大な影響を与えている。造船業においても、1960年頃から積極的に計算機が利用されており、これまでに計算機の利用による設計・生産活動の支援を目的とした多くのシステムが構築されてきた。そして、この様な努力の結晶として構築された設計・生産システムは多くの成果を収めている。

一方、製造業を取り巻く環境は急激な変化を迎えており、設計・生産活動自体の多様化・複雑化などが進行している。このため製造業は、このような変化に対して柔軟に対応することを望まれている。しかし、これまでに構築されてきた計算機を中核とした設計・生産システムは、人々が期待するほどの能力を有するものではなく、設計・生産活動の変化に対して柔軟に対応することは困難である。

この様な背景のもとに、設計・生産活動を支援する新たな次世代の設計・生産システムを構築する必要性が叫ばれている。次世代の設計・生産システムの一つの概念として「計算機によって統合化された設計・生産システム(CIM: Computer Integrated Manufacturing system)」という概念が提唱されており、様々な製造業においてCIM構築の努力がされている。成熟産業と言われる造船業においても例外ではなく、次世代の設計・生産システムとしてCIM構築の必要性が叫ばれており、シップ・アンド・オーシャン財団(S&O財団)造船CIMSパイロットモデル開発研究委員会による「CIMSプロジェクト」を筆頭に、造船各社のためまざる努力がなされている[造船学会88]。

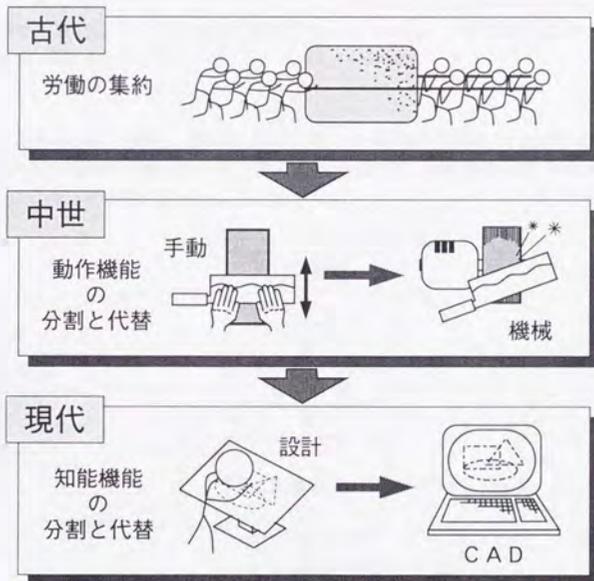


Fig.1-1-1 生産技術のパラダイム・シフト

## 1.2 システムと設計・生産活動

### 1.2.1 設計・生産システム

「システム」の原義（ギリシャ語）は組織化された全体を意味し、個や部分に対する言葉として定義される[渡辺77]。既にギリシャ時代にアリストテレスは「全体は部分の和以上のものである」ことを指摘し、老子は「車全体の構造は車の部分をいくら詳しく調べても分からない」としている。以上のように全体的最適化は部分的最適化の集合以上であることが古くから認識されている。

製品を効率的に生産するためには、設計・生産のある部分を対象とした部分的最適化のみでなく、設計・生産に関係する全ての構成要素の全体的最適化が要求される[石黒他95]。このような要求に対応するためには、製品の設計・生産に関わる全構成要素を一つのシステムとして把握し、システム全体としての最適化をはかることが求められる。その結果、生産をシステムとして捉える生産システム(Manufacturing System)という概念が誕生した[人見(2)90]。鈴木は生産システムの構造をFig.1-2-1のように表現している[鈴木91]。

以上に述べた生産システムの概念は1970年代に入って体系化が始められた比較的若い概念であり、情報処理技術および計算機の発達に密接に関連しながら成長を続けている。生産システムを構成する代表的なサブ・システムとして、計算機援用設計(CAD: Computer Aided Design)、計算機援用製造(CAM: Computer Aided Manufacturing)、計算機援用設計・製造システム(CAD/CAM)等が挙げられる。

「生産システムとは、設計・管理などで代表される'情報の流れ'を製造で代表される'物の流れ'と有機的に結合させるために、全生産過程を情報処理技術によってシステムとして表現するものである」[人見(2)90]

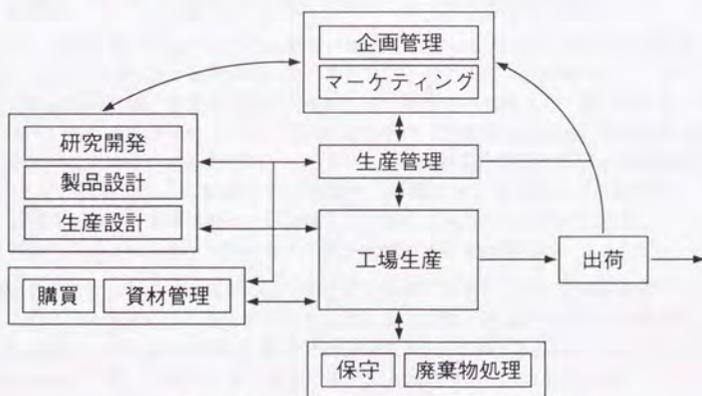


Fig.1-2-1 生産システムの構造 [鈴木91]

なお、上記の生産システムが対象とする「生産」は、製造業における設計活動を含めた「広義の生産」を意味する。本論文では、「広義の生産」に含まれる設計を分離し、「生産」を設計を含まない「狭義の生産」として位置づける。従って、本論文では、以降において、上述の生産システムを設計・生産システムとして認識し使用する。

### 1.2.2 次世代の設計・生産システムの必要性

前項で述べたように、設計・生産活動全体をシステムとして捉えることは非常に重要である。造船業においてもこれまで、CAD/CAMを始めとする種々の設計・生産システムを開発・利用し、設計・生産情報を獲得しようとしてきた。しかし現状の計算機システムは、設計・生産対象が持つべき情報の一部分の獲得で役割を終えてしまうものが殆どのである。その理由としては、これまでの計算機システムが設計・生産に存在する様々な業務毎で単独に使用されるケースが多いためであり、情報のつながりや情報の伝達と活用を重要視した計算機システムが存在しないためと考えられる（詳細は2章において述べる）。このため、情報の伝達や活用のために計算機システムの間人間が介在することによって、はじめで全体としての設計・生産システムが構成されている。このような状況はHIM(Human Integrated Manufacturing)と表現されている[和田(1)90]。

一方、製造業を取り巻く環境は現在大きく変わりつつある。

世界の大半は依然として貧困状態にあえいでいるが、先進諸国では商品が溢れ飽食時代に入りつつある。貧困社会での商品価値観は「安くても良いもの」に集中するが、飽食時代では「高くても欲しいものを欲しいときに」に商品価値観が移行し、要求が多様化する。近年、この製品に対する価値観の変化や要求の多様化などが要因となり、製品の種類と量は急激に増大している。そのため、製造業に対して多種類の新規の製品を経済的、効率的かつ高信頼性のもとに設計・生産することが求められている。このような情報量の拡大や情報の多様化・複雑化によって、人間による情報伝達がボトルネックとなりつつある。

また、日本における65才以上の高齢者が総人口に占める割合は、1980年の約9%から2000年には約15%、2025年には約18%に達するものと予測されている[岩田他82]。さらに、終身雇用制の崩壊の危機、若年層の製造業離れ等は、就労者の高齢化に一層の拍車をかけるものとなっている。造船業に於いても、現状の就労者の人員構成から21世紀初頭の就労者の人員構成を予測した場合、高齢化は避けられないといった結論が得られている[CIMS89](Fig.1-2-2)。そして、高齢化による労働者不足の補充、労働コストの低減などを目的に、一時雇用者・外国人労働者の雇用増加などが今後さらに推進されるものと考えられる。このため、人間に依存するシステムそのものが大きく揺らぎ始めている[沖野93]。

以上のようにこれまでの人間に強く依存する設計・生産システムは破綻を来し始めている。このような背景の下、新しい計算機支援による設計・生産システムの構築が望まれており、計算機によって統合化された設計・生産システム(CIM: Computer Integrated Manufacturing system)が注目されている。造船においても例外でなく、次世代の設計・生産システムとしての造船CIMの構築が必要である。

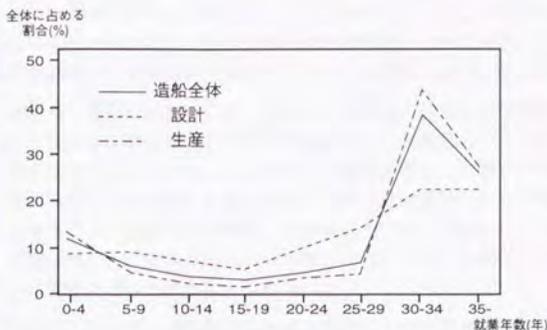


Fig.1-2-2 21世紀初頭の造船業の年令構成 [CIMS 89]

### 1.3 本研究の目的

次世代の設計・生産システムである造船CIMを構築するためには、設計・生産活動を統合的に支援するための概念が必要である。一方、計算機を利用して設計・生産活動を統合的に支援することを目的とした1つの概念として製品モデルの概念が提唱されている。造船CIMにおいても、その中核として製品モデルの重要性が認識されている。

製品モデルは、設計・生産活動で必要となる製品情報を可能なかぎり計算機に記述し、製品情報を統合的に管理するための概念である。このためには、設計・生産活動を様々な角度から分析・整理し、設計・生産活動で必要となる製品情報を明確にすることが必要である。

また、製品モデルのような情報を統合的に管理する環境では、既に製品モデル内に管理されている情報を利用することによって新たな情報を獲得することが肝要である。例えば、ある設計過程において獲得された情報を有効に利用すれば、別の設計・生産過程において必要となる情報を必要最小限の情報の入力によって獲得することが可能である。このためには、製品モデルの生成過程や利用過程を情報処理の視点から捉え、情報を加工・変換するための情報処理機能を明確にすることが必要である。

以上の認識の下、造船業界では製品モデルを構成する製品情報や情報処理機能の明確化を目的として様々な研究が行われてきた(詳細は2章において述べる)。製品情報や情報処理機能は製品モデルを構成する重要な要素であり、製品情報や情報処理機能の明確化は製品モデルを明確にする上で重要な項目である。

しかし、統合化された設計・生産システムを構築するためには、「全体は部分の和以上のものである」ことを十分に認識しなければならない。製品モデルを構成する要素である製品

情報や情報処理機能の明確化は製品モデルの中では部分の明確化と考えられる。全体は部分が接続し合い、それらが組織化されて構成される[Minsky90]。従って、製品モデルを構築するためには部分の明確化のみでなく、製品モデル全体の構成について検討し、全体としての製品モデルを如何に表現すべきかについて検討することが重要と考えられる。

製品モデルの全体像を把握するためには、設計・生産活動の視点や情報処理の視点など、製品モデルを様々な視点から捉えてその特徴を整理することが重要と考えられる。そして製品モデルの全体像を把握するためには、製品モデルの特徴を踏まえて適切な製品モデルの構成や表現方法を検討することが必要である。また、表現方法は製品モデルの構成を考慮して検討すべきものであるため、表現方法の検討の中に製品モデルの構成の検討も含まれると考えられる。従って製品モデルの表現方法について検討することは、全体としての製品モデルを明確にするために意味のあることと考えられる。

以上の考えに基づき、本研究では造船業が製造対象とする船や海洋構造物などの板骨構造物を対象として、製品モデルの表現方法に関する検討を行っている。具体的には以下の2つの項目を本研究の目的とする。

#### (1) 製品モデルの表現方法の検討

製品モデルの表現方法を明確にするためには、様々な視点から製品モデルを捉えることが重要と考えられる。そこで様々な視点から製品モデルを捉え、製品モデルがどのような特徴を有するかを整理する。更に製品モデルの表現のための要求項目を明確にし、その上で要求を満足する製品モデルの表現方法について検討する。

#### (2) プロトタイプ・システムの構築

上記(1)で得られた知見を基に、実際に計算機上にプロトタイプ・システムを構築する。これによって上記(1)の表現方法を確認し再検討すると同時に、本研究の有効性を実践の面から検証する。

## 1.4 本論文の構成

本論文は本章を含む全9章で構成されている。以下にその構成を示す(Fig.1-4-1)。

第2章「造船CIMの概要」では、造船業においてこれまで行われてきたシステム開発の歴史と現状を整理する。更に、シップ・アンド・オーシャン財団、及び、東京大学大学院工学系研究科船舶海洋工学専攻生産システム工学研究室で行われた造船CIMひいては製品モデルに関する研究・開発を概観する。これによってこれまでの製品モデルの研究の特徴を把握し、本研究の背景を明確にする。

第3章「製品モデルの表現のために」では、計算機を用いたシステム開発を行う際的重要となるモデル化について触れた後に、製品モデルの一般的な定義について述べる。そして、製品モデルの特徴を様々な視点から検討し、製品モデルの表現方法に要求される項目を整理する。

第4章「本研究における製品モデルの表現方法」では、第3章の整理を基に製品モデルの表現方法について検討する。具体的には、本研究では製品モデルを構成する情報や情報処理機能を部品化し、部品化された情報や情報処理機能を関係を用いて組み合わせることによって製品モデルを表現する。このために、情報や情報処理機能をどのように部品化すべきか、また部品を組み合わせる関係にはどのような種類があるかを検討する。

第5章「本研究の製品モデルの表現方法の有効性の検討」では、第4章の方法によって製品モデルを表現すると、製品モデルはどのような特徴を有するかを明確にする。それと共に、第3章で述べた要求項目が具体的にどのように満足されるかについて触れ、本研究の表現方法の有効性を検討する。

第6章「プロトタイプ・システムの構築」では、本研究の手法によって製品モデルを表現するためには、システムとして何が必要かを整理する。その上でプロトタイプ・システムの全体構成を明確にする。更にその全体構成に基づいて実際にプロトタイプ・システムを構築する。

第7章「本システムを利用した製品モデルの構築」では、本研究のプロトタイプシステムを用いると、製品モデルがどのように構築され、どのように表現されるかを述べる。更に本研究のシステムを用いて表現された製品モデルの例を示し、本研究の有効性を実例を用いて検証する。

第8章「造船CIMと本研究」では、本研究の表現方法が製品モデルのみでなく造船CIM全体の表現のために有効か否かを検討する。更に造船CIM全体に適用するための検討項目を整理する。

第9章「結言」では、本研究で得られた知見を整理し、本研究の結論を総括する。

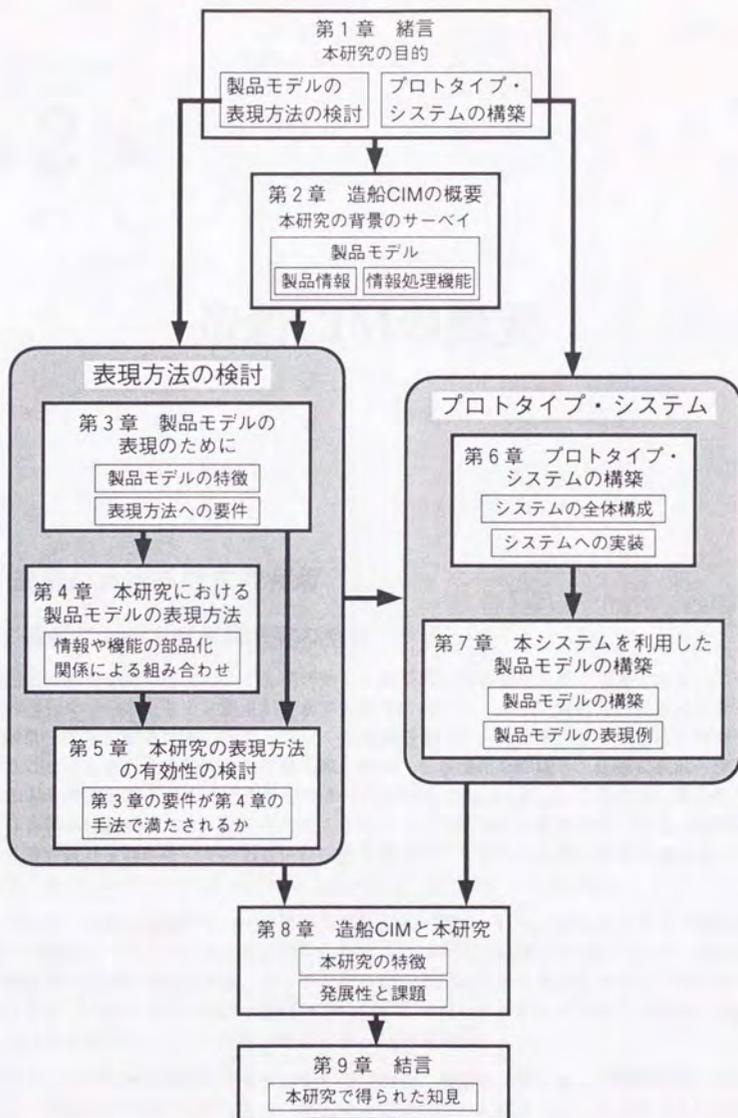


Fig.1-4-1 本論文の構成

## 第2章

# 造船CIMの概要

### 2.1 造船における計算機利用

#### 2.1.1 造船における計算機利用の歴史

造船業は船主からの注文により生産が始まる典型的な個別受注生産の産業である。この受注時の情報をベースとして、船主が要求する納期に間に合うように設計分野と製造分野が共同で設計・生産活動を計画・推進していく生産形態をとる。この際、種々の業務を同時に遂行することにより、その船固有の詳細な製品情報・生産情報を作成し、迅速に設計・生産を行うことを要求されるのが大きな特徴である[小山89] (Fig.2-1-1)。このため、限られた期間内に各船毎に新規に設計・建造を行うことになり、設計分野と建造分野における各種部門の多人数が設計初期の段階からお互いに関連を取りながら同時並行的に作業を進めるコンカレント・エンジニアリング (Concurrent Engineering) を行っている[福田93]。

ところで、日本の造船業は1960年代に急激な拡大を遂げている。1956年のスエズ動乱による第一次輸出船ブームが反落して1960年代初期には一次的に停滞状況があったが、1963年以降の建造量の急激な増加は連続したものとなった。供給過剰が危惧される頃に、第三次中東戦争が勃発しスエズ運河の封鎖が長期化された。このため世界的なエネルギー革命に加速され、1960年代は巨大タンカーの建造時代となった[服部他84]。

日本における実用計算機の登場も1960年頃であり、造船業は早くから計算機の利用に乗りだした。計算機の初期の利用形態は、個人によるプログラム開発によって構築されたシステムの利用が主であった。その主なものは、設計分野における船舶算法の計算機処理化(排水量計算、復原性計算、縦強度計算、タンク容量計算などの計算作業のプログラム化)や、原

図作業の数値計算化（フレーム展開、外板展開、外板組立用治具などのためのプログラム開発）であり、数多くのプログラムが開発された。このような計算機の利用形態は1960年代中頃まで続いた。しかし、以上のような開発によって構築された多くのシステムは、作成者自身でしか使えないものが殆どであったと言われている。

その後、造船業界は日本経済の高度成長の波に乗りながら積極的な設備投資を行い、他の産業にさきがけて計算機への大型投資が進められた。それまでの計算機によって構築されたシステムは、個人的な業務を支援することが目的であったが、この計算機の大規模投資に併せて、企業の業務を支援するシステム作りが推進された。

造船各社は計算機を利用した業務の効率化を目指し、数値計算による線図生成システム、バッチ型自動設計システム、有限要素法による構造解析システム等の大規模な設計・生産業務のシステム化を推進した。またこの時期は、コンピュータの実用化、大型化の時期に同期しており、アメリカでは航空宇宙産業がコンピュータ利用技術のパイオニア的存在であったことに対して、造船業界は、同じ役割を日本で果たすことになった。このような造船業の計算機利用は1973年の第一次オイルショックまで続くことになった。

1970年代後半になると世の中に汎用的なソフトウェアが広まり、造船業界はシステム開発の効率化を目的に汎用ソフトを購入して利用する形態に移行した。その後の情報処理技術の技術的進歩、計算機の低価格化等によって造船業務に計算機が大量に導入され、CAD、CAMシステムの開発が推進された。

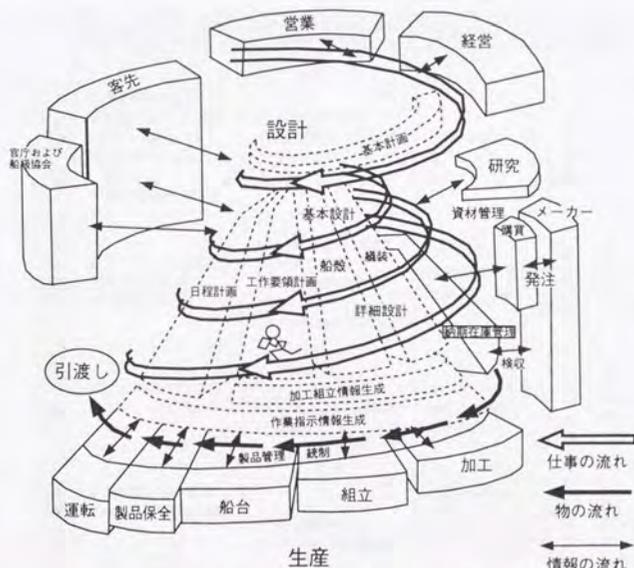


Fig.2-1-1 造船業務概観図 [小山89]

1970年代中頃から、日本の造船界が本格的に設計分野に導入したCADは、図面を描く道具として使われた。また、先に述べた現図作業の数値計算化によりNCデータを計算機によって作成し、NC切断機を稼働し部材を切断加工した。このことにより、船殻部品の精度向上、現図作業の省力化に多大な成果を上げるNC切断システムが構築された[砂川83]。

当初はCADとNC切断システムとは独立したものであった。しかしその後、高度な技術革新によって、コンピュータ・グラフィックス技術とデータベースの高度化でCADが発展し、工作機械のNC技術の高度化によってCAMが飛躍的に発展することになり、1980年代中頃には、CADとNC切断システムとを統合して利用することができる技術が確立された。この技術によって、設計データから直接NCデータを生成することができるようになり、設計から生産までの所用時間の短縮が可能な、高い生産性を実現するCAD/CAM一貫システムが開発・実現化されることになった。

現状のCAD/CAM一貫システムは、設計から部品加工までをカバーしているものであり、将来的には組立作業における溶接作業等の自動化、さらに自動組立のシステム化のための情報生成が望まれている。また可能な限り、基本設計から各設計段階を経て製造ラインまで一貫してデータを生成・伝達するシステムが要望される。

そして現在、造船業の構造改革を目標として、CIM及び製品モデルの構築が進められている(Table 2-1-1)。

Table 2-1-1 造船業の歩み [南崎96]

	変革のステップ	建造船の歩み	技術情報の変化	シェア
45	基盤確立期 * 溶接の実用化 * 船殻のブロック建造法の確立 * 技術情報の設計への集約 * 早期組立法の確立	48 小型全溶接船 51 溶接構造への転換 2~5万DWTタンカー	工作情報の一元化	西 日 欧 18.2% 主 導
60	発展拡大期 * アセンブリ産業化 * 自主管理活動 * 溶接自動化	62~65 13~15DWT 66 VLCC 誕生 69 GT 型LNG(Sw) 71 TZ LNG(Fr) 73 MOSS型LNG(No)	詳細寸法の決定を設計に集約	日 日 欧 46.5% 主 導 44.0%
75	縮小調整期 * 設計作図のCAD化 * ロボット採用のスタート	81 日本初のMOSS型LNG	コンピュータ利用によるNC化CAD化	日 日 欧 45.9% 主 導 21.0%
90	構造改革期 * CIMS化への胎動 # PMによる設計情報の一元化 # PとCの分離 # CIMSの実現	93 SPB型LNG 94 日本初のTZ型LNG	PM(Product Model)作成が設計であり、これを中心にCIMSを構築	日 日 韓 42.0% 主 導 30.0%

### 2.1.2 造船における計算機利用の現状

前項において整理したように造船のシステム化の歴史は古く、様々な業務に計算機が利用され多くのシステムが構築されている。シップ・アンド・オーシャン財団（S&O財団）造船CIMSパイロットモデルの開発研究委員会作業部会は造船における計算機利用の現状を、統合化レベルの業務マップとしてTable 2-1-2のように報告している[CIMS91]。

また、開発研究委員会のメンバーである松岡、覚野は、造船業におけるシステム化の現状と問題点を以下のように報告している[松岡他92]（Fig.2-1-2）。

- ・データベースによって統合化されているシステム、またはファイルの入出力によって接続されているシステムは少なく、単独のシステムが大半を占めている。また単独のシステムは“島(Island)”の形で存在するため、関連データの有効活用がはかれず、入力データの作成に手間がかかっている。
- ・性能・仕様検討の業務では、性能、船殻の基本設計、電装の詳細設計での統合化レベルは高い。また、仕事における縦の繋がりで一貫したデータベースを持ったシステムも少しはあるが、船殻と艤装のような横の繋がりにおける情報交換はほとんど無い。
- ・各社のCADシステムの主対象は詳細設計の配置決定、一品情報決定にあり、各分野ともこれらの部分のシステムの統合化レベルが高く、材料取り、ネスティング、NC切断、NCマーキングに接続された一定レベルのCAD/CAM一貫システムが稼働している。
- ・生産では、素材、艤装品などの納期・在庫管理システムが稼働しているが、それ以外は殆どの作業を人手に頼っており、パソコンの普及と相俟って、現業のスタッフが独自に作成した単発のプログラムを用いて、日程計画や予算の立案などの限られた範囲で計算機が使用されている。

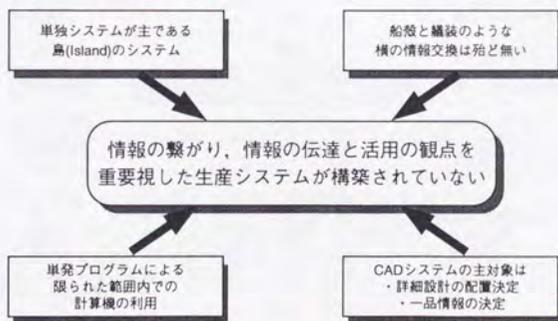


Fig.2-1-2 造船業におけるシステム化の現状

Table 2-1-2 統合化レベルの業務マップ [CIMS91]

業務レベル	分野	性能	船殻	船装	艙装	電装	塗装	備考		
設計	設計管理	日程管理	1.0						単独システム	
		工程管理	1.0						単独システム	
	基本計画	性能・仕様検討	2.6	1.7	1.3	1.6	1.7	0.9	性能以外は単独システム	
		配置検討	1.1	1.1	0.7	0.9			殆ど手作業	
		物量集計		1.4	1.4	1.1	0.9		見積り用の単独システム	
	基本設計	性能・仕様決定	2.0	2.0	1.3	1.6	1.1	0.1	性能、船殻が進んでいる	
		配置検討決定	1.1	1.6	1.3	1.6	1.1		手作業主体	
		物量集計		1.0	0.7	0.9	0.3	0.7	集計だけの単独システム	
	詳細設計	性能・仕様決定	2.4	1.5	1.9	1.8	2.4	0.1	技術計算の利用率高い	
		配置決定		2.9	2.9	2.7	2.1		CADシステムの主対象	
		注文仕様決定		1.7	1.1	1.6	1.7	0.3	電装が最も進んでいる	
		製作要領決定		1.7	0.0	0.4	0.1		殆どシステム化されていない	
		物量集計		1.1	1.6	1.9	1.6		CAD関連の集計作業のみ	
		試験法案・成績	1.4	0.9	0.6	0.7	0.3		単独システムが殆ど	
		一品情報決定		2.9	2.9	2.4			CADシステムの主対象	
		詳細情報付加	0.6	1.6	1.7	1.6	1.4		手順、形状情報が不十分	
	生産	生産準備	加工・組立情報作成	1.6						切断を主体としたCAM
			工程要領計画	0.5						殆ど手作業
品質計画			0.1						殆どシステム化されていない	
管理統制		生産管理	0.5						殆どシステム化されていない	
		日程計画	0.3						殆どシステム化されていない	
		納期・在庫管理	2.0						素材、艙装品毎の単独システム	
		作業指示情報	0.4						殆どシステム化されていない	
		作業実績収集	0.7						殆どシステム化されていない	

- レベル
- 0 : システム化をしていない (コンピュータを使っていない)
  - 1 : コンピュータを使っているが、単なる計算、作表、作画のみの単独システム
  - 2 : 関連システムとのI/Oは可能 (専用データ変換プログラムが必要)
  - 3 : 統合化されたシステムの一部となっている (データベースが存在)
  - 4 : CIMに近い状態
  - 5 : CIM化後

造船業は、様々な設計・生産活動において、CAD/CAMをはじめとする種々の設計・生産システムを開発・利用することによって、製造対象に関するあらゆる情報（設計・生産情報）を獲得しようとしてきた。しかし、その行為は以上の報告からも理解できるように、製造対象が持つべき情報の一部分の獲得で終えてしまうものが殆どのである。これは、これまでのシステムが設計から生産までに存在する様々な業務毎に単独で使用されている場合が多いためであり、情報のつながり、情報の伝達と活用の観点から重要視した設計・生産システムが構築されていないことが原因である。

このために、現状の設計・生産システムにおいては、個々のサブ・システム間の情報の伝達、人とサブ・システム間の情報の伝達には、人が仲介する必要があるという状況が生み出されている。この人手による情報伝達がボトル・ネックになり、船殻設計と機装設計との横方向の情報の統合化、あるいは設計・建造間の縦方向の情報の統合化（設計情報から生産情報を生成）が行われるような設計・生産システムになっていないという問題が生じている。

## 2.2 CIMの概念

前節で述べた現状の設計・生産システムの問題点を解決する、計算機支援による効率的な設計・生産システムの構築が望まれている。この要望から、個々のサブ・システムが生成・管理する情報を統一的に管理・運用することを目的とした、計算機による統合化された設計・生産システム（CIM: Computer Integrated Manufacturing system）が注目されている。

### 2.2.1 CIMの定義

CIMの概念は、アメリカ合衆国の国際的な工業製品の競争力を回復させるための生産システムの概念として、1970年代の初めに、アメリカで誕生した。CIMという言葉は、1974年にDr.ハリントンが「CIM」という本で初めて使用している[和田(2)90]。

CIMの狙いとしては

- ・リードタイムの短縮
- ・生産・販売・開発部門間の連携強化
- ・多品種少量生産への対応

などが挙げられ、多くの企業によって様々なCIMが構築されている。荒井はCIMを以下の3種類に分類してCIM開発の現状を概観している[荒井91]。

#### (1) 生販一体型CIM

生販一体型CIMは生産・販売部門を統合化し、市場・顧客の要求を瞬時に取り込み、必要なものを必要な量だけ短期間で供給する体制を確立することによって、いわゆる「工業製品の生鮮食品化」を狙いとしている。

(2)製造型CIM

生販統合による納期短縮を実現するためには、生産部門のリードタイム短縮をはかり、受注や計画変更に対応できることが不可欠である。

(3)開発型CIM

開発型CIMは製品ライフサイクルの短縮に対応するためのもので、新製品をタイムリーに市場に供給することを狙いとしている。これを実現する考え方として、Concurrent Engineering/Simultaneous Engineeringが注目を集めている。これは製品開発に従事するすべてのグループが協調して作業できるような計算機環境を構築し、これまで順次行われていた製品企画から生産までのプロセスのうち可能な部分を同時並行で行うものである。

ところでCIM先進産業と言われる自動車産業などでは生販一体型CIMが構築されている。しかし造船業の特徴を考慮すると、造船CIMには製造型CIM・開発型CIMの要素が求められる(Fig.2-2-1)。Fig.2-2-2に示すようにこれらのCIMは生販一体型CIMより高度であり、今後も製造型CIM・開発型CIMについて検討していくことが要求されている[坂本91]。

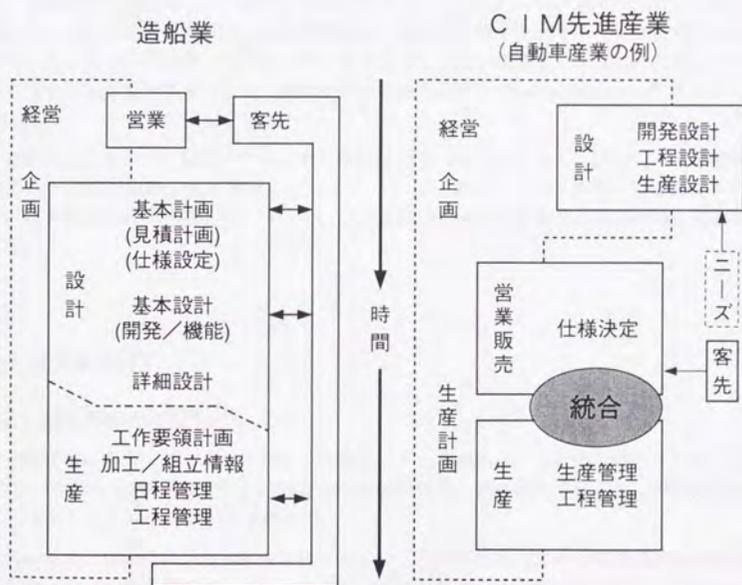


Fig.2-2-1 造船業の特徴 [CIMS91]

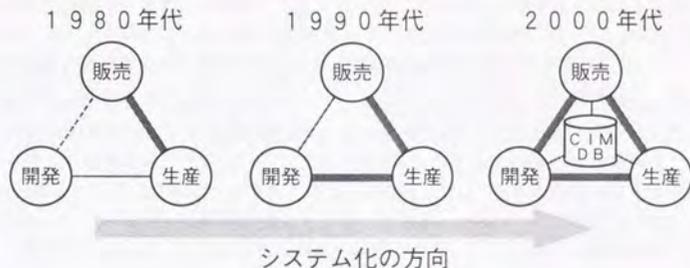


Fig.2-2-2 システム化の方向 [坂本91]

## 2.2.2 CIM構築の手法

2.1.2項で述べたように、CIMを構築するためには、情報のつながり、情報の伝達と活用の観点を重要視した設計・生産システムについて検討することが必要である。この課題を解決する手段の一つとして、製品のモデル表現による方法が挙げられる。

製品のモデル表現による方法は、製品に関する情報を基に設計・生産活動を体系的に把握し、計算機内に製品をモデル表現するものである。このためには、設計・生産の対象である製品と、設計・生産に関係する全ての活動を、徹底的にモデル化することが必要である。木村は、このような手法を「モデル・ベースの手法」として提言している[木村92]。また、製品に関する様々な情報を統合的に扱うモデルは製品モデル(Product Model)と呼ばれている[木村86]。

造船CIMにおいても製品モデルはその中核に位置づけられており、設計・生産活動の計算機内への表現や設計・生産活動のシミュレーションを行うための基盤として捉えられている。この製品モデルの明確化によって、CIM構築のための基礎概念が得られると考えられている。

## 2.3 造船CIMS

### 2.3.1 造船CIMSの歴史

造船業界に於いては、現状の設計・生産システムを見直し、次世代の設計・生産システムである造船CIMの構築の実現を目的とした活動が活発に推進されている。この活動の経緯は以下のようにまとめられる[伊藤92]。

1984年及び1985年に、日本造船学会において、21世紀へ向けての造船関連技術開発課題として開発すべき将来技術の一つとしてCIMが提案された。その後1986年度に、造船業にとってCIM構築が重要な開発課題であると業界レベルで確認された。この確認によって、日本の

造船業界はCIM開発を本格的に開始することになり、1987年～1988年度にわたって日本造船研究協会においてSR210委員会が設立された。このSR210委員会において、造船CIMSの概要、技術面での実現可能性の検討が行われ、造船CIMS構築の方向性が示された。

その後、SR210委員会の検討結果をもとに、1989年から3年間にわたる造船CIMSのパイロットモデルの開発研究が、造船大手7社の協力のもとS&O財団において行われた。パイロットモデルを開発することによって、造船CIMS実現のための技術的課題を解決し、造船CIMSの全体像を示すなど多くの成果を上げている(Fig.2-3-1)。それらの成果はその後、同財団においてフレームモデルの開発研究として受け継がれ、1992年から2年計画でパイロットモデルを造船所の実務ベースで評価し、実用へ拡張可能なフレームモデルが設計された。

そして更に、造船業全体、ひいては組立産業全体のCIMの開発効率を高めることを目的とした「組立産業汎用プロダクトモデルの開発研究 (GPMEプロジェクト)」が開始された[田淵他95]。

### 2.3.2 造船CIMSの概要

S&O財団において行われた造船CIMSのパイロットモデルの開発研究では、造船CIMの構築のために有効な数多くの提案がなされた。本項ではその中の一部をピックアップし、造船CIMSを概観する。

(1)パイロットモデルの概要[長瀬92]

#### a)開発言語とデータベース

パイロットモデルの開発研究においては対象とするアプリケーション・システムを7つに限定して実現することにより、造船CIMS実現に当たっての技術的な検討課題の検証が行われた。

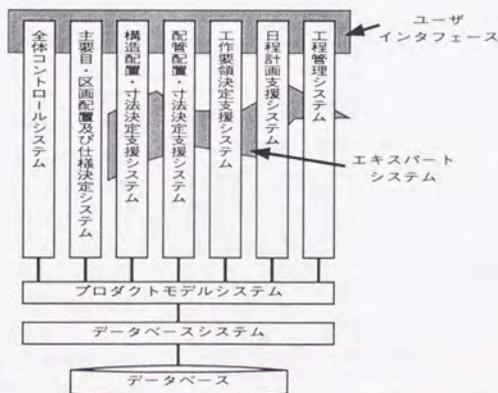


Fig.2-3-1 パイロットモデルの構成 [伊藤92]

パイロットモデルではプロダクトモデルのみではなく、プロダクトモデルを操作する部分を含めてプロダクトモデル・システムとして1つのプログラムの形になっており、オブジェクト指向言語のSmalltalk-80を用いて実現されている。Smalltalk-80は処理終了後もイメージファイルという形でデータを保存することができるので、パイロットモデルではこのイメージファイルをデータベースの代わりに用いている。しかし、この形態では大量のデータや同時並行作業への対応は不可能であり、そのようなデータベースに関連する技術的な検討課題はパイロットモデルとは別に小規模なプロトタイプなどを用いることにより検証を行った。その結果、造船CIMSのように複雑かつ巨大なデータを扱う場合には開発効率や保守効率の点でオブジェクトデータベース(OODB:Object Oriented Data Base)を採用することが有利であることが確認された。オブジェクトデータベース管理システム(OODBMS:Object DataBase Management System)を利用することにより、一時データであるモデラ内のデータ(オブジェクト)をそのままの形でデータベース内に永続的に格納することができる。その結果、Fig.2-3-2に示すようなシステム構成が可能となり、造船CIMS開発時にはモデラより上層の部分のみの開発に注力することができる。

#### b)物情報と関係情報

パイロットモデルでは扱う対象となる全ての情報をEntity-Relationshipモデル(3.1.4項にて述べる)に基づき部品などを表す「物」と溶接接続関係などを表現する「関係」の形に整理し、それぞれを「物オブジェクト」「関係オブジェクト」としてオブジェクトの形でコンピュータ内に表現している。さらに、船殻におけるモールド面や配管における系統に相当する、実際に「物」としては存在しないが、設計時には主たる設計対象になる概念をそれぞれMoldやKeyPipingなどという形で表現することにより、設計過程をも含んだモデル化を行っている。

#### c)モデル操作言語

プロダクトモデル・システムと各アプリケーション・システムとの情報伝達は全てモデル操作言語(MML:Model Manipulation Language)と名付けた言語を介して行い、両者間でのMMLのやり取りはプロセス間通信を用いて実現している。MMLの仕様は造船CIMSパイロットモデルが対象としているアプリケーション・システムのニーズに基づいてパイロットモデル独自に定めている。MMLにより情報伝達手段を一元化することによって、アプリケーション・システムを構築する言語に関する制約がなくなり、ユーザは業務内容を表現しやすい言語やツールを自由に用い

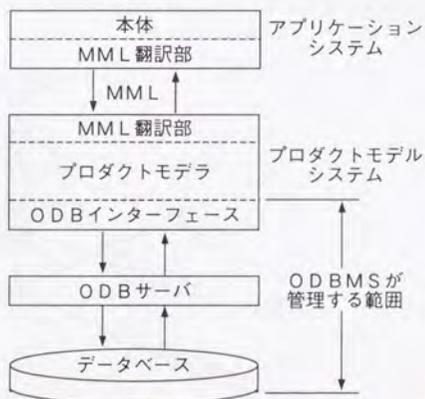


Fig.2-3-2 造船CIMSのシステム構成 [長瀬92]

てプログラムを作成することができるようになる。さらにアプリケーション・システムまたは作業者が直接プロダクトモデルの内部のデータを操作することによる、データ間の不整合の発生を防ぐことができる。また、アプリケーション・システムとプロダクトモデル・システムとの間の階層分けが明確になり、それぞれの変更が全体に影響を与えることがなくなるといったモジュール化の効果も期待できる。

#### d)設計と生産との関係

一般にシステム化に際しては対象を特定の業務に限定すると、その製作は容易になる。その場合には対象業務の目的に合致した観点から見た時の対象の性質を最も良く表現できるようにクラス構造を決定しモデリングすることができる。

しかし、造船においては完成品としての船の情報、言い換えると「What」を決めるのが目的のいわゆる「設計」と、船を建造するための方法や時期、言いかえると「How」や「When」を決めるのが目的のいわゆる「工程計画」や「日程計画」では、扱う情報の種類および単位が全く異なる。船殻を例にとると、設計では「縦強度部材」「横隔壁」「パネル」と言った具合に全体から詳細に向かって構造単位で設計を行い、それらの構造が強度的に成り立つようにスカントリングを決定し、個々の部品が設計される。一方、工程計画では重量や溶接長といったいわゆる管理物量に基づき、ブロック単位で組立手順等を決めて行き、さらに日程計画では個々の船ごとではなく、施工場所単位で計画を立てて行く。つまり、造船CIMでは業務ごとに目的が異なるために、その全体を一般的なオブジェクト指向分析/設計/プログラミングの手法を用いてモデリングすることは困難である[長瀬92]。造船CIMSのように異なる複数の業務に対応する必要があるシステムの場合には、それらの業務を直交する概念として互いに独立に捉える必要がある。

このため造船CIMSのプロダクトモデルでは、造船の対象業務を大きく「設計」と「生産」の2つに分け、Fig.2-3-3に示すように両者に共通である部品を原点とした2つの直交した概念として造船の業務がモデリングされている。そのモデルを基にパイロットモデルが構築され実現されている。

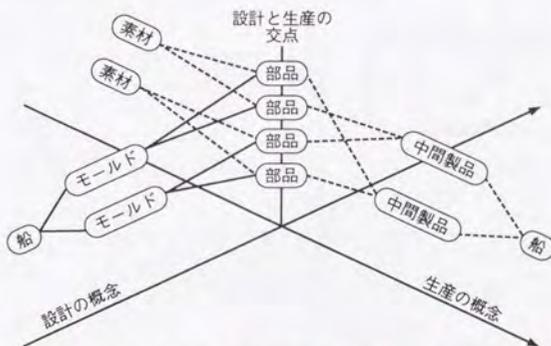


Fig.2-3-3 設計と生産の関係 [長瀬92]

## (2) 倣い設計システム [土井91]

このシステムは、設計情報を今まで以上に早い時期に生成することと、従来のCAD/CAMシステムでは支援が困難であった生産計画（例えば、日程計画、資材調達、工程設計など）のための情報を提供し、より良い生産計画を立案するための初期値を生成することを目的に試作された、造船設計用のエキスパート・システムである。

倣い設計とは、船殻構造設計では広く用いられているが、詳細に検討された設計対象の部分構造をその設計方針を踏襲して類似する他の部分構造を設計する設計手法である。この設計手法をシステムの中に組み込むことができれば、詳細に検討すべき構造のみを試行錯誤しながら設計し、その他の類似した構造は、このシステムを利用して設計者からの入力をほとんど必要とせず設計情報を生成できるようになる。そのことによって詳細設計における飛躍的な設計時数の短縮が可能となり、その結果、今までタイミング的に間に合わなかった設計情報を使った生産計画の検討が可能となり、勘と経験によって作られていた生産計画が、数値に裏付けられた計画精度の高い、実績からの原因追求が容易にできる生産計画を立案することができるようになる。

試作された倣い設計システムでは、倣い設計の知識を、部材と部材との間に存在する拘束関係を緩和する方法を規定した知識として整理されている。そのことによって、手本構造を基に対象部分の構造を自動的に生成することができることが示されている (Fig.2-3-4)。

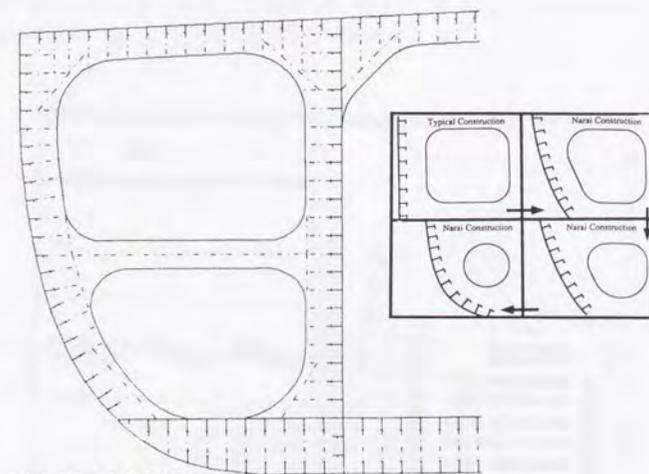


Fig.2-3-4 倣い設計システム [土井91]

## (3)生産計画支援システム[雨宮91]

このシステムは工程設計システム(Fig.2-3-5)、日程計画システム(Fig.2-3-6)の2つの部分から構成されている。

工程設計システムにおける中間製品、作業の設計では、初期値の自動生成や初期値の対話型修正から構成されている。中間製品や作業の情報は、知識ベースに基づき設計されるか、あるいはデフォルトの値が設定されている。例えば、中間製品では、その重量、総溶接長、姿勢別溶接長などの情報が獲得できる。

日程計画システムでは工程設計システムにおいて設定された作業情報と資源情報を基に、各作業を時系列に割り付けることになる。その際、各作業の工数、工期算出などの情報は、対象ワークの作業量と使用する装置の能力から半自動的に生成される。

両システムともその設計結果の評価は、下記事項にて計画者を支援する。

- ・ネットワーク：組立手順、工程、作業の流れの確認
- ・3次元図形表示：組立手順の視覚の確認
- ・設備配置を表現した工場図：工程の視覚の確認
- ・ガントチャート：日程情報の視覚的な表示によって、作業の割り振りの良否を確認
- ・山積み表：ガントチャート上の数値の積み上げ
- ・管理物量：重量、溶接線長などの情報を定量的に評価

以上は船殻のシステムを中心に述べてきたが、中井らによって配管設計を対象としたシステムも造船CIMSの一部として構築されている[中井90]。

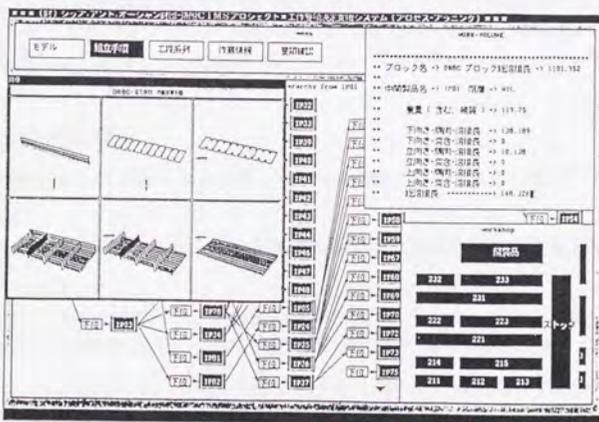


Fig.2-3-5 造船CIMSの工程設計システム [雨宮91]

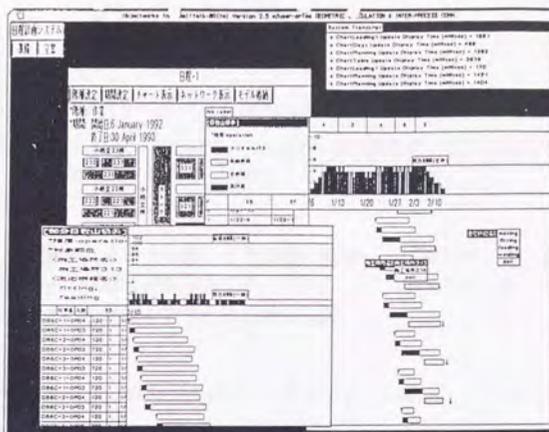


Fig.2-3-6 造船CIMSの日程計画システム [雨宮91]

## 2.4 造船のための設計・生産支援システム-SODAS-

東京大学大学院工学系研究科船舶海洋工学専攻生産システム工学研究室では造船のための設計・生産支援システムのプロトタイプ・システムとしてSODAS(System Of Design and Assembling for Shipbuilding)が構築されている。SODASはオブジェクト指向言語であるSmalltalkを用いて構築されており(オブジェクト指向についてはAppendix-Aにて詳述)、このSODASの研究・開発によって得られた知見は本研究においても有効に利用されている。本節ではSODASの概要について述べる。

### 2.4.1 SODASの基本概念

設計・生産活動において必要となる情報とそれらの活動は以下のように整理することができる[青山95]。

- ・設計活動は、製品に要求される機能を実現するために製品形状などの製品情報を生成する活動。
- ・生産活動は、設計活動で獲得された製品情報を利用することによって、製品を実現化するための生産情報を生成し、その生産情報に基づいて製品を実現化する活動。

従って、設計・生産活動における情報を統合化するためには、製品情報を統合的に管理して、設計活動および生産活動における製品情報と生産情報の生成過程を支援することが要求される。この要求を満足させるためには、

- (1)設計・生産活動において必要となる製品情報を明確にする。
- (2)設計活動（製品情報の生成）を支援する。
- (3)生産活動（製品情報を利用して生産情報の生成）を支援する。

などの点に留意し、製品情報や生産情報の生成過程を統合的に支援することが重要である。このためには、以下の検討が必要と考えられる。

「設計・生産活動において必要となる情報を整理し、情報を統合的に管理する環境の在り方について十分な考察を加える。さらに、その環境における、製品情報の生成過程や利用過程を整理して捉える」[青山95]

SODASの開発では上記(1)~(3)は以下のように考えられている。

- (1)製品情報の明確化
- (2)製品情報を生成するための設計機能の明確化
- (3)生産環境の情報の明確化及び生産計画機能の明確化

そして、これまでの研究によって以下の内容が明らかにされた。

#### (1)製品情報

- ・部材情報：船体構造を構成する板部材・骨部材に関する製品情報
- ・接合関係情報：船体構造を構成する部材間の接合関係に関する製品情報
- ・区画（部屋）の製品情報：船体構造を構成する船倉や区画および各種タンクなどの閉空間を表現する製品情報
- ・構造単位（ユニット）の製品情報：船体構造を構成する構造単位に関する製品情報
- ・中間製品（組立モジュール）の製品情報：生産活動で認識される中間製品に関する製品情報

#### (2)設計機能

- ・空間設計機能：部屋を生成する情報処理機能
- ・内部構造設計機能：構造単位（ユニット）を設計する情報処理機能
- ・カット機能：生産活動で必要となる部品や中間製品の情報を生成する情報処理機能

#### (3)生産環境の情報及び生産計画機能

- ・生産環境の情報：設備、作業員、工程などの生産環境を表現する情報  
生産設備や作業員などを表現する作業資源の情報、複数の作業資源の情報が記述される工程資源の情報、複数の工程資源の情報が記述される工場の情報から構成される。

- ・作業の情報：作業を表現する情報  
作業対象・生産環境（生産設備、作業者）・作業順序・作業日程の情報を有する。
- ・生産計画機能：作業情報を生成する工程計画と、日程情報を生成する日程計画を支援する情報処理機能

尚、以上の製品情報や情報処理機能を陽に意識して、造船の設計・生産活動の流れを製品定義スパイラルとして表現している(Fig.2-4-1)。

### 2.4.2 SODASの製品情報

SODASには以下に示す様々な製品情報が定義されている。尚、これらの製品情報の形状は3.1.3項に示す形状モデルの概念を用いて表現されている。

#### (1)船体構造の基本単位となる製品情報

造船業において設計・生産の対象となる船は、大規模かつ複雑な板骨構造であり、この板骨構造は、多数の板材、骨材から構成されている。船の設計を考える場合、初期の設計段階から多数の板材、骨材を考慮しながら構造全体を設計するわけではなく、概念設計、基本設計、構造設計、詳細設計、生産設計へと設計が順に進められる。この様な手順にしたがって、最終的に鋼材から加工すべき板材、骨材の情報が獲得される。従って、船体構造を構成

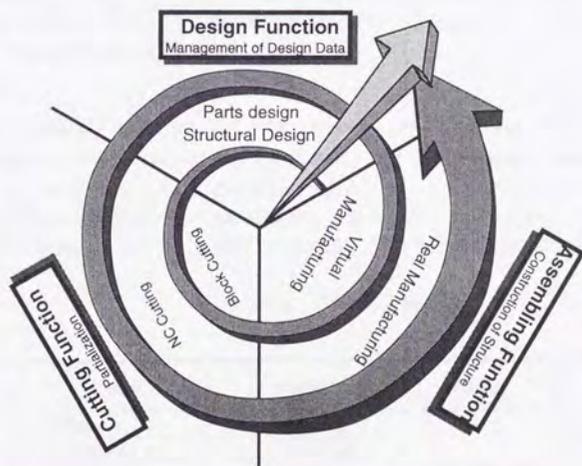


Fig.2-4-1 製品定義スパイラル

する基本単位はこれらの板材、骨材であると考えられる。

また、基本単位である板材、骨材の集合体として船体構造を成立させるためには、溶接による接合が用いられている。この接合に関する情報は、製品である船を物理的に保証するものであるため、設計では接合部の十分な強度を検討することが必要である。また生産では、鋼材から加工された板材、骨材を構造として組み立てる際の組立作業に関する情報として重要な意味を持つものである。

これらの整理から、計算機内部に船体構造を表現するためには、以下の情報の表現が必要と考えられる。

- ・ 構造の基本単位である板材・骨材に関する情報
- ・ 基本単位である板材・骨材の接合に関する情報

SODASでは、構造の基本単位である板材、骨材に関する情報を計算機内部に表現するために部材オブジェクト[SDParts]が定義されている。部材オブジェクトは製品モデルの概念に基づき、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オブジェクトとして定義されている。その主なものとして、後に述べる接合関係情報や、材質等の属性情報が挙げられる。また詳細は後で述べるが、設計、生産の段階で生成される部屋の認識、溶接等の情報も間接的に有するものとしている。

また、板材、骨材を個々に表現するために、各々の部材オブジェクトとして、板材オブジェクト[SDPlateParts]、骨材オブジェクト[SDSectionParts]が定義されている。これらのオブジェクトは、部材オブジェクトと汎化-特化の関係を持ち、オブジェクト指向の継承の概念を有効に利用している。SODASでは、板材は曲がりのない平面部材、骨材は曲がりのない直線部材を対象としている。そこで、板材オブジェクトと骨材オブジェクトは以下のように定義されている(Table 2-4-1)。

#### a) 板部材

板部材を表現するオブジェクトとして板材オブジェクトが定義されている。板の形状は板の外形を重要視した平面の面分によって表現され、板厚を形状情報から分離して属性情報として持たせている。また、穴は形状特徴(feature)と見なすことができるので、穴の表現は板の外形とは独立して表現し、穴の形状を表現した面オブジェクトを板の穴に関する情報として記述している(Fig.2-4-2)。更に板部材は形状以外に材質や名前などの属性情報を有する。

Table 2-4-1 板部材と骨部材

	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	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
板部材	板の外形形状を表現する形状オブジェクト	板部材の材質、板厚、表裏の識別		
骨部材	骨のウェブ形状を表現する形状オブジェクト	型鋼の断面形状の情報		

## b)骨部材

骨部材を表現するオブジェクトとして骨材オブジェクトが定義されている。骨材の形状表現としては「ウェブを表現する面分+属性情報としての骨材の断面形状」を用いている。このモデルでは、ウェブを表す3次元面分とその面に沿う断面形状で物体の形状を表現する。従って、面分に沿って断面を移動させたときに掃引される部分が物体の形状として定義される(Fig.2-4-3)。このように形状を表現することによって長さや断面形状などを容易に取り出すことが可能である。更に形状以外の情報として材質や名前などの属性情報を骨材オブジェクトは有する。

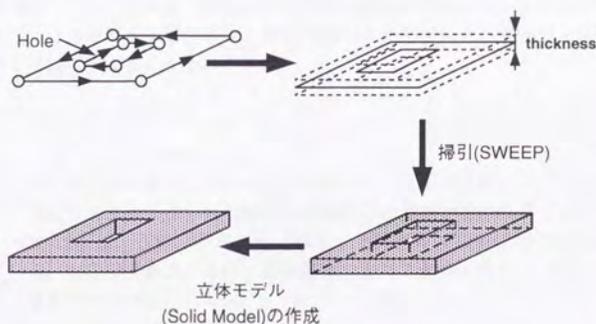


Fig.2-4-2 板部材の形状の表現

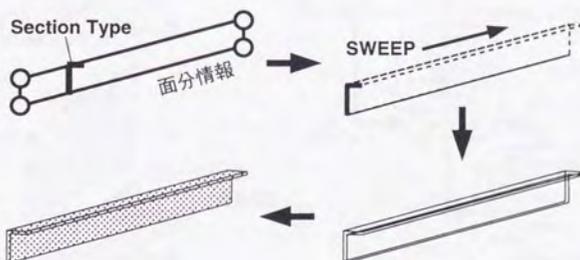


Fig.2-4-3 骨部材の形状の表現

## c)接合関係情報

SODASでは、板材、骨材を表現する部材オブジェクトの他に、部材間の接合関係をオブジェクト（もの）として捉え、接合関係オブジェクト[SDPartsConnect]が部材オブジェクトとは独立した形で定義されている。この接合関係オブジェクトと部材オブジェクトとを有効に組み合わせることによって、複数の板材、骨材が溶接によって接合されている船体構造が計算機内に表現されている。接合関係オブジェクトが有する情報は、接合関係にある部材オブジェクトの情報（ポインタ）と接合箇所を示す線分の情報である形状オブジェクト（線分オブジェクト）である。また、接合関係にある部材オブジェクトは共通の接合関係オブジェクトを自分の接合に関する情報として持つ(Fig.2-4-4)。

この接合関係オブジェクトは、後で述べる部屋認識や作業見積の場合に有効に利用され、部材オブジェクトが有する形状情報、属性情報のみから得られる情報以上の様々な製品に関する情報を提供することになる。

## (2)部屋

船体構造のように板部材を接合して作られた構造では、板や接合部のような目に見えるものだけでなく、それらによって作られた船倉などの閉じた空間が設計作業において重要な役割を果たす。SODASでは、この「空間」を「部屋」と名付けて設計支援の中核となる概念として用いている。ここで「部屋」とは、船体構造における船倉や各種のタンクなど、閉じた空間の総称である(Fig.2-4-5)。

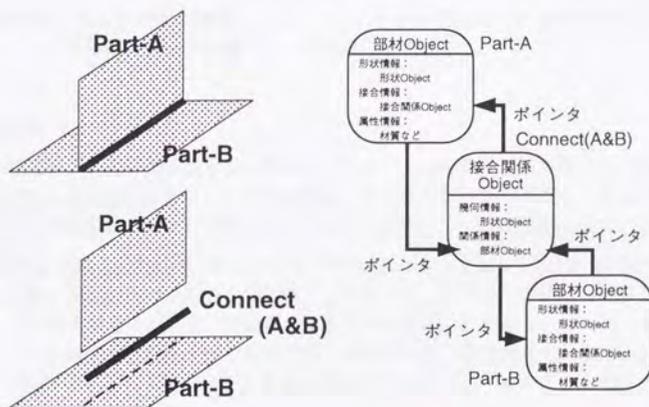


Fig.2-4-4 接合関係情報

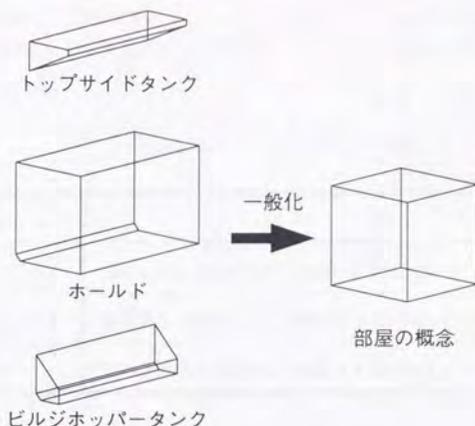


Fig.2-4-5 部屋の概念

SODASでは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。船体構造においては、「部屋」は板のような「もの」としての実体ではないが、名前と形状、容積を持っていると考えられる。「部屋の名前」は、例えば「二重底」や「ビルジホッパータンク」等である。また、「部屋の容積」はトリム計算などに非常に有効である。

SODASでは、以上の部屋を表現するオブジェクトとして[Room]が定義されている。部屋オブジェクトの形状は、Solid-Modelによって表現されている。

### (3)構造単位 (ユニット)

様々な船種毎に、船体構造は異なったものとなるが、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。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、船体構造の設計を「構造単位」の組み合わせとして表現することができる。

SODASではこの構造単位を「ユニット」と呼んでいる。ユニットとは、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ことにより、板部材や骨部材を設計し構造物をまとめる管理機能をもたせ、設計を支援することを目的とするものである。ユニットには、ユニットを構成する部材情報の生成方法、部材間の接合関係情報の生成方法が記述されており、ユニットに対してパラメータを入力することによって、ユニットを構成する部材情報や接合関係情報を生成する。

ユニットとして、区画を構成する外板を構造単位として扱う箱型ユニット、トランスリソングなどの板部材を構造単位として扱う面型ユニット、ロンジなどの骨部材を構造単位として

扱う骨型ユニットの3種類のユニットが定義されている(Table 2-4-2)(Fig.2-4-6)。またこれら3種類のユニットはそれぞれ箱型ユニット・オブジェクト[Box\_Unit]、面型ユニット・オブジェクト[Plate\_Unit]、および骨型ユニット・オブジェクト[Longi\_Unit]としてシステムに実装されている。

Table 2-4-2 ユニットの種類

ユニット	役割
箱型ユニット	機能を持った空間を船体空間内に創り出す
面型ユニット	創造された空間に対して構造としての強度を保持する
骨型ユニット	空間を創り出す箱構造を構成する板の強度を向上させる

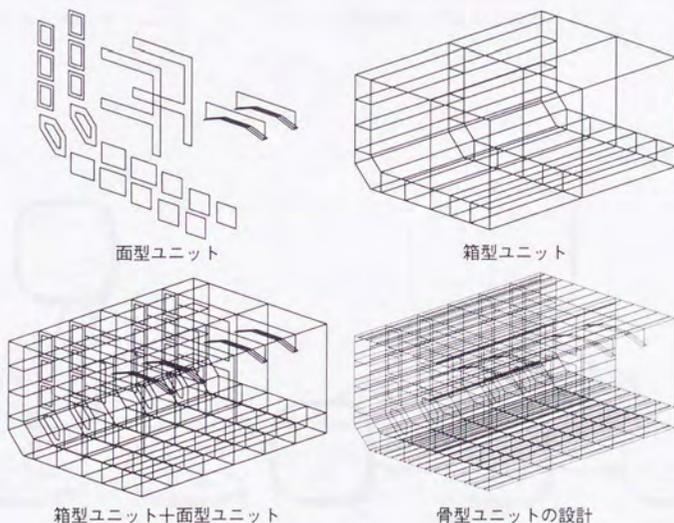


Fig.2-4-6 ユニットの例

## (4)中間製品

設計プロセスを経ることによって定義された船体構造が、生産を意識して部品化されることによって、計算機内における船体構造は多数の板材、骨材の集合体として表現することが可能となる。

造船業における組立作業は、ブロック建造法に象徴される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。つまり、ブロック搭載の工程では、大組・総組で組み立て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、最終製品である船体構造が構築される。また、この搭載ブロックも大組・総組工程において中組工程・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91]。SODASには雨宮と同様に、各工程における組立単位である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が定義されている。組立モジュールは、Fig.2-4-7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み合わせとして表現される。この組立モジュールの概念は造船業のブロック建造方式である生産方式に深く関係しており、設計では、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、生産においては組立モジュールが重要な役割を担うものであると考えられる。また、組立モジュールをシステムに実装するためにモジュール・オブジェクト[SDModule]が定義されている。

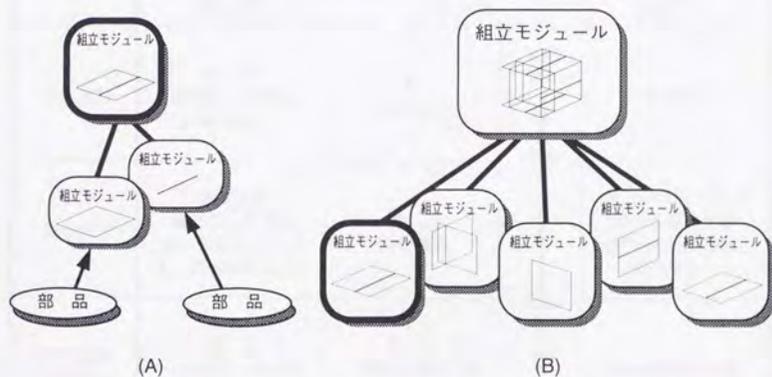


Fig.2-4-7 組立モジュール

### 2.4.3 SODASにおける設計活動の支援

造船業における設計活動は、基本設計、構造設計、詳細設計・生産設計に大別され、それぞれの設計要求、設計対象、設計情報はTable 2-4-3のように整理することができる。この整理に基づき、SODASには各々の設計を支援する設計機能が定義されている。

#### (1)基本設計の支援

基本設計は、船の主要目を決定し、概略一般配置を検討することが主目的である。このために、製品である船に対する性能要求にしたがって、主要目・線図・区画配置などが検討される。つまり、基本設計では、船としての基本性能を満足させるために必要となる船体形状、および区画や各種タンクなどの様々な製品情報が生成される。

SODASでは、基本設計を区画の設計と捉える。この区画の設計では、設計者は区画を中心とした設計を行うが、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とに着目する。この仕切り板によって区画の分割を行い区画設計を支援する設計機能として、空間設計機能が定義されている(Fig.2-4-8)。

#### (2)構造設計の支援

構造設計では、基本設計で決定された船の構造様式を検討することが主目的である。構造設計で検討すべき強度としては、縦強度・横強度・捩れ強度、さらに疲労強度・座屈強度などを挙げることができる。構造設計においては、これらの強度を満足すべき構造形状が決定され、構造を構成する「部材」が生成される。

Table 2-4-3 造船の設計活動の整理

	設計要求	設計対象		設計情報
基本設計	性能 (航海性、対航性、安定性など)	船 (船体構造)	全体 (船)	構造様式
構造設計	構造強度 (縦強度、横強度、捩れ強度、疲労強度、座屈強度など)	構造 (部分構造)	↑ 構造	構造形状の決定と 部材情報の生成 (個々の構造形状、 部材形状)
詳細設計 生産設計	生産 (生産性、経済性 など)	部材 (構造を構成する 構造部材)	↓ 部材 部品	部品情報の生成

ここで、「部材」という概念は、造船設計における一つの特徴的な概念である。「部材」とは、構造を構成する板部材・骨部材のことを指すが、これらは生産の最小単位である部品と等価なものではなく、部品と構造との中間的な概念であると認識することができる(Fig.2-4-9)。

ところで、船体構造の構造単位を表現するユニットが製品モデル内に定義されていることは先に述べた。このユニットの概念を用いて、内部構造をパラメトリックに設計する内部構造設計機能がSODASには定義されている。内部構造設計機能は、構造設計を支援する設計機能である(Fig.2-4-10)。

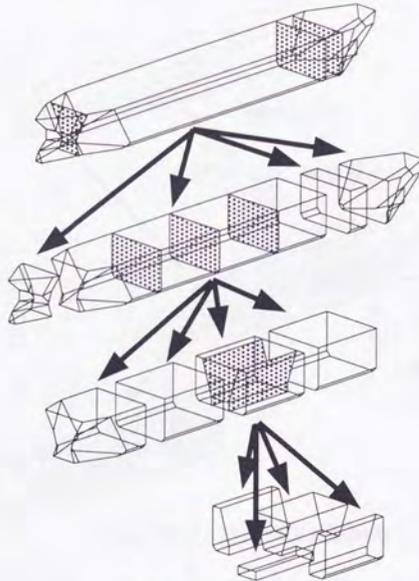


Fig.2-4-8 空間設計機能

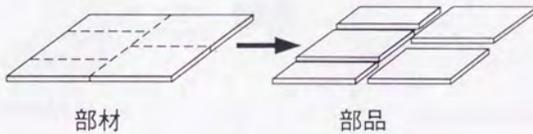


Fig.2-4-9 部材と部品

(3)詳細設計・生産設計の支援

詳細設計・生産設計は、基本設計や構造設計で生成された情報を基に、生産性を考慮した「部品」を検討することが主目的である。

ここで、「部品」は先に述べた「部材」とは異なり、板部材・骨部材を構成するものであり、実際の生産活動で加工・組立を施される対象物である。別の表現を用いれば、複数の「部品」によって「部材」が定義される。

構造を部品に分解していく過程においては、造船における特徴的な生産設計であるブロック分割や板割を行う必要がある。このブロック分割や板割を支援する情報処理機能として、SODASにはカット機能が定義されている(Fig.2-4-11)。

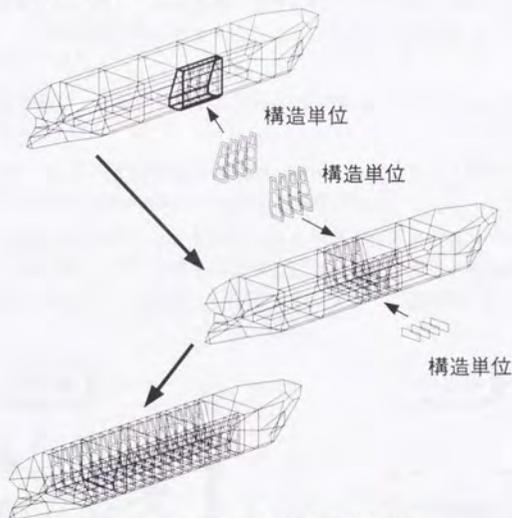


Fig.2-4-10 内部構造設計機能

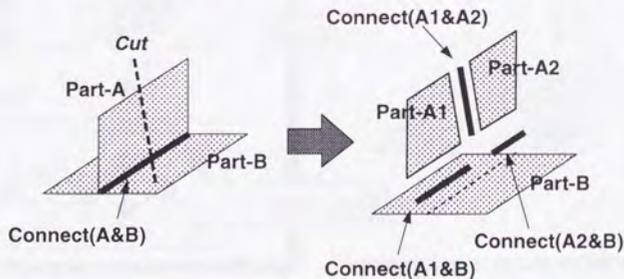


Fig.2-4-11 カット機能

### 2.4.4 SODASにおける生産活動の支援

製造業において行われる生産活動は、一般的に、生産対象の形態の変化を施す活動である「変換活動」を中心として、「運搬活動」「停滞活動」の3種類の活動から構成される。ここで「変換活動」は生産対象そのものを変化させる生産活動として定義され、「運搬活動」は生産対象に場所的な変化を与える生産活動として、「停滞活動」は、生産対象に時間的な変化のみを与える生産活動として認識される。また、造船業における生産活動は複数存在する工程間の素材、中間製品の流れとして理解することができ、生産活動を変換活動間の「物の流れ」として表現することが可能である。このように考えた場合、運搬活動、停滞活動は、「物の流れ」を空間的、時間的に変化させる活動として認識することができる。

生産活動を現実的に捉えると、変換活動、運搬活動、停滞活動にはそれぞれ様々な具体的な作業が存在する。この具体的な作業を認識することによって、生産活動を「作業の流れ」として捉えることが可能である。

一般的に、生産計画は、工程計画と日程計画に分類することができると言われている[人見(2)90](Fig.2-4-12)。

工程計画は「物の流れ」を計画する工程設計(process design)と、工程内で行われる「作業の流れ」を計画する作業設計(operation design)から構成される。

日程計画は、工程計画で獲得された作業を、生産活動を行う生産環境の日程的制約を考慮しながら時間軸上に展開し、作業日程を計画することが目的である。造船業では、日程情報の管理レベルの違いに応じて、大日程・中日程などの様々な日程計画が存在する。

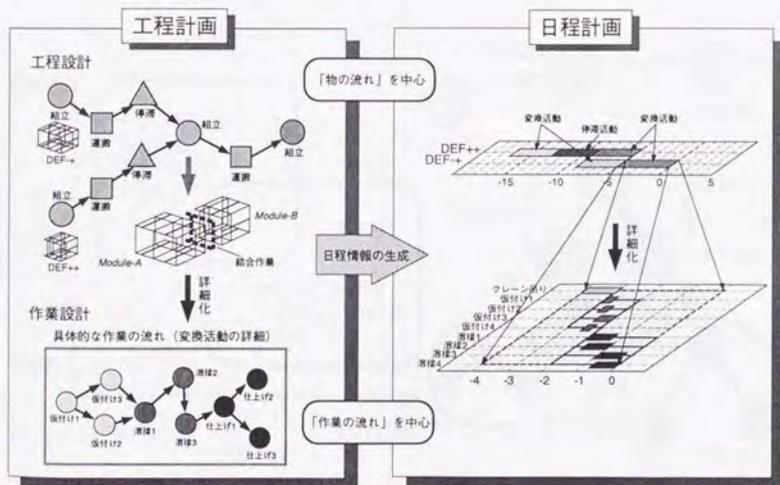


Fig.2-4-12 工程計画と日程計画

SODASでは、以上の整理に基づいて「作業モデル」「生産環境モデル」を定義し、これらのモデルと設計で得られた製品情報とを利用して生産活動を支援することを試みている。

### (1)作業モデル

SODASには生産活動で行われる作業をモデル化した作業モデルが定義されている。作業モデルには生産の対象となる製品モデルの情報と、生産を行う生産環境の情報である生産環境モデルの情報とが記述される。作業モデルは、作業の前後関係の情報を相対的に記述することにより工程計画に利用され、時間軸へ展開することにより日程計画に利用される。

作業モデルとして、工程設計を行うための工程作業と、作業設計を行うための実作業とが定義されている。工程作業は‘物の流れ’を計画する工程設計で認識される概略的な作業（例えば、ブロックの結合など）である。また、実作業は、実際の生産活動で行われる詳細で具体的な作業（例えば、仮付け作業・溶接作業など）である。工程作業と実作業は、SODASでは階層構造を形成しており、工程計画の管理レベルに応じた作業の取り扱いが可能である(Fig.2-4-13)。

SODASでは、生産対象である製品モデルから得られる管理物量と、作業を行う生産環境モデルの生産能力（見積関数）とから作業時間が算出され、この作業時間が作業の情報として記述される。この際には、適切な生産環境モデルと作業モデルを用いることにより、管理レベルに応じた作業時間を算出することが可能である。

この作業モデルを直接的に利用して、計画情報をガントチャートによって視覚的に表示し、計画者の直接的な作業配置を支援することが可能である。

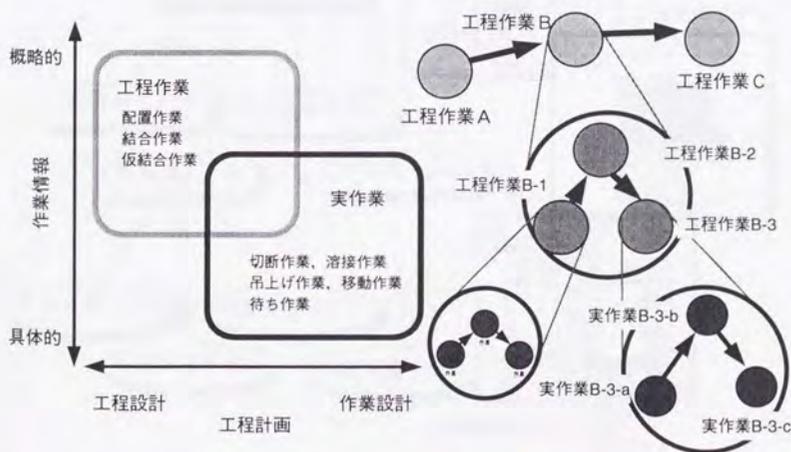


Fig.2-4-13 工程作業と実作業

(2)生産環境モデル

生産計画を行うためには、生産環境の能力や制約を考慮する必要がある、生産環境を表現するモデルが計算機内に定義される必要がある。SODASでは、生産環境は、生産活動において実施される作業の作業時間を算出する役割を担うものであるとの考えに立ち、生産環境モデルが定義されている。そして、組立モジュールから得られる管理物量を基にして作業時間を算出する見積関数が、生産環境モデルの生産能力として記述されている。

ところで、生産計画の管理レベルに応じて、工程作業・実作業が定義されていることは既に述べた。生産環境モデルについても、管理レベルに応じた取り扱いが可能であり、かつSODASで定義した作業モデルに対応するように、工程資源モデル、作業資源モデルが定義されている。作業資源モデルは、実作業に対応する溶接機、作業者などの実体的な生産環境モデルである。工程資源モデルは複数の作業資源モデルを構成要素とするものとして定義されている。また、これらの生産環境モデルを管理するものとして工場モデルが定義されている(Fig.2-4-14)。

SODASにおいて生産環境のモデルとして定義された「工場モデル」「工程資源モデル」「作業資源モデル」は、上からこの順に階層構造を構成する。また、これらの生産環境のモデルはそれぞれが独立しており、各々の構成要素を自由に追加・削除することが可能であり、生産環境の自由な構成・配置が可能である。

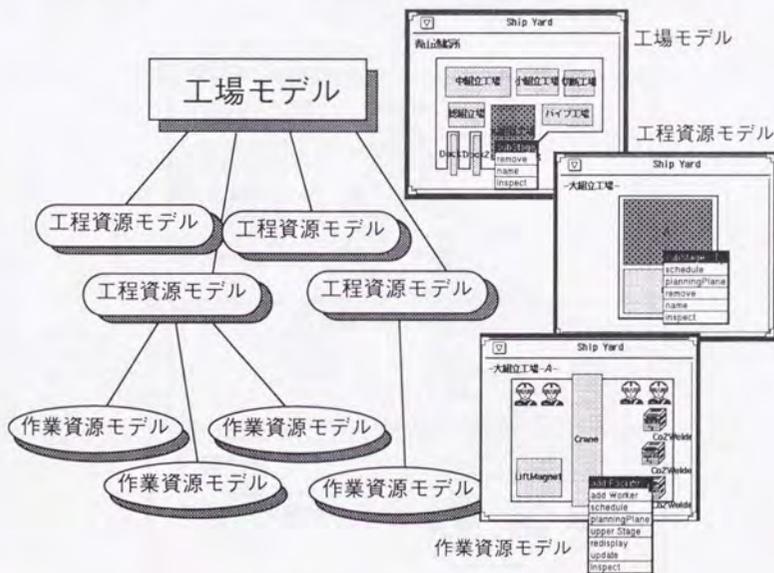


Fig.2-4-14 SODASの生産環境

## (3) 工程計画の支援

SODASでは、工程計画は生産環境における‘物の流れ’を把握するものとして捉えられている。‘物の流れ’を表現するために、まず、組立モジュール間の接合関係情報から、組立モジュールの接合グラフが生成される。この接合グラフに組立順序が入力されると、ノード間の結び付きの向きが定まった組立グラフによって‘物の流れ’が表現される。また、この組立グラフを構成する作業として工程作業が用いられる。さらに工程作業が詳細化されたものとして実作業オブジェクトが定義され、適当な管理レベルでの前後工程間の工程の接続表現が可能となっている(Fig.2-4-15)。

## (4) 日程計画の支援

SODASの日程計画は、工程計画で得られた作業情報である工程作業・実作業を時間軸上に展開するものとして考えられている。従って、日程計画を支援するために、作業を時間軸へ展開する情報処理機能が構築されている。作業を時間軸へ展開する際には作業時間の情報が必要であるため、工程作業を工程資源モデルに割り当てること、あるいは実作業を作業資源モデルに割り当てることによって、製品モデルから得られる管理物量と、生産環境モデルに記述された生産能力の情報（見積関数）とから作業時間を算出される(Fig.2-4-16)。

工程作業と実作業は階層構造を構成しているので、大日程・中日程・小日程などの計画は、階層を利用することによって、必要に応じた日程情報を得ることが可能である。

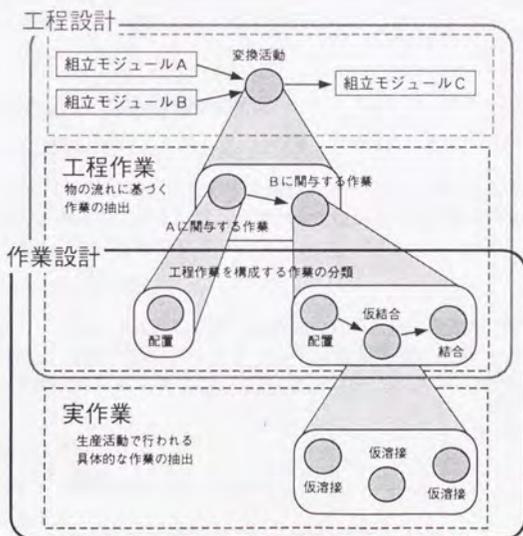


Fig.2-4-15 SODASの工程計画

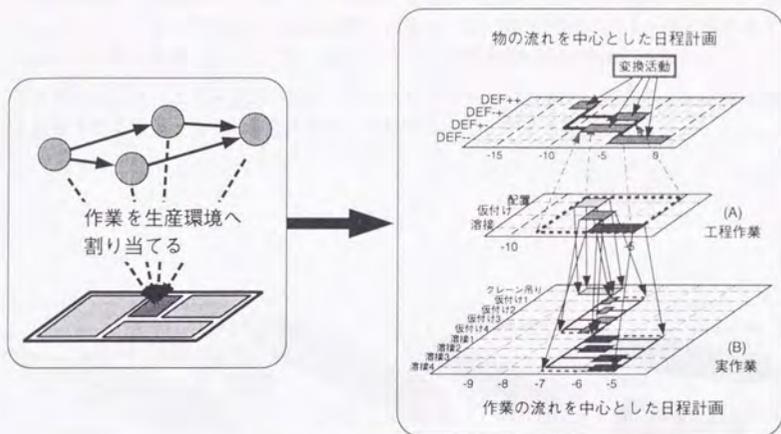


Fig.2-4-16 SODASの日程計画

SODASでは、時間軸上に展開された工程作業・実作業はガントチャートによって表現される。このガントチャートの機能を利用することによって、作業の山積み情報を求めることが可能である。また、表現された作業をガントチャート上で直接変更することによって、日程の変更が可能である。

### 2.4.5 SODASにおける製品情報の利用

前項まではSODASの根幹部分について述べてきた。

ところで、SODASでは製品モデルの有する情報の有効利用を目的として、様々なCAEシステムとの統合化や、製品モデルを利用した新たなCAEシステムの構築が行われている。以下にこれらのシステムについて述べる。

#### (1) 統合化CAEシステム[青山他95]

SR207で指摘されているように造船設計の近代化のためには、運動解析システムや構造解析システムを統合し、造船設計をシミュレーション技術を用いて行うことが重要である[SR207]。SODASでは製品モデルを中核として、以下のシステムが統合化されている(Fig.2-4-17)。

- ・基本計画支援システム
- ・ストリップ法による船体運動計算システム
- ・有限要素法システム
- ・統計解析システム

これらの統合化の際には、製品モデルの有する部材・部屋・接合関係情報が有効に利用されている。また、船を浮体として捉える際には船体内部の積み荷やバラストなどを表現する「荷物」の情報が重要であることが上記のシステムの統合化の際に明確にされた。

この統合化CAEシステムを用いると、船体にかかる外力の計算にはじまり、船の疲労被害度を計算するまでを、数十時間のオーダーで計算することができる。

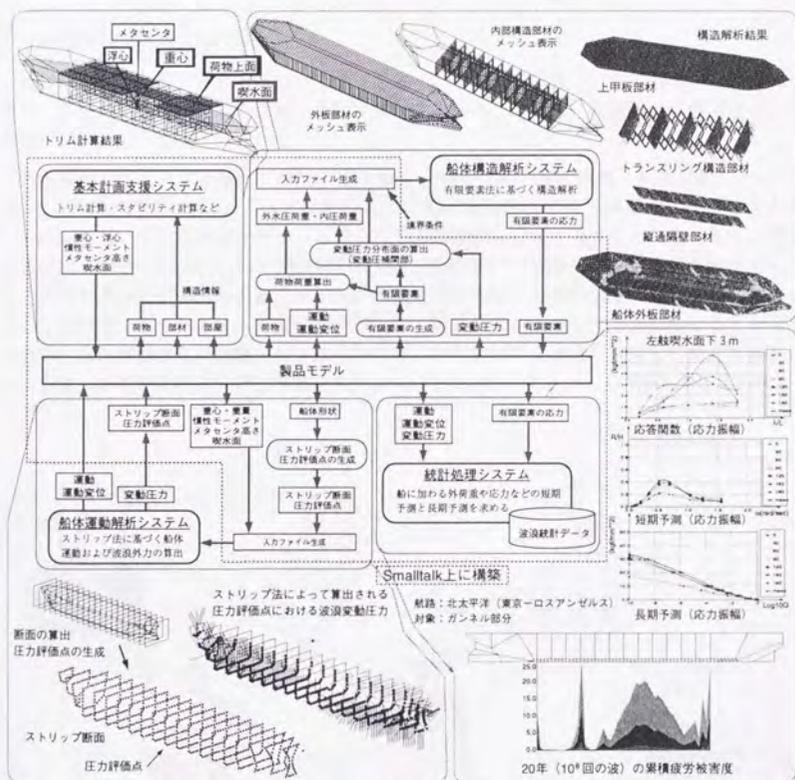


Fig.2-4-17 統合化CAEシステム

## (2)揚重計画支援システム[野本他94]

造船業では100トンを超える大型ブロックを搭載することが少なくない。これは危険な作業であり、現状では熟練者のノウハウに頼っている部分がある。

そこでSODASには、ブロックの吊り・移動作業を支援するシステムが構築されている。製品モデルには重量・重心の情報が存在するので、吊り点・ワイヤ・クレーンなどのモデルを追加すると、吊り金具の位置やワイヤの操作状況などの情報を管理することが可能となる。このシステムを用いると、吊り金具の溶接の時期や、ワイヤと部材との干渉の問題など、熟練者に頼っていた作業を、事前にシミュレーションすることが可能となり、作業性の改善が見込まれる(Fig.2-4-18)。

## (3)精度管理システム[武市96]

溶接建造物の生産システムにおいて管理されるべき重要な項目の一つに製品の精度管理がある。製品の精度は、製品の機能や美観に関連するばかりでなく、生産性や生産コストとも関連が深い。

精度管理システムでは製品の精度管理活動を、精度計画・精度評価・精度対策の3つに大別し、各々を支援するシステムが構築されている。精度計画では、製品モデルの情報を基に、FEMを用いて弾性解析を行うことによって溶接変形を推定することが可能である。精度評価では、3次元計測器を用いて実構造の各部の座標値を計算機内に取り込み、取り込んだ点の情報と製品モデル内部の組立モジュールの情報を利用して実構造を計算機内部に表現することが可能である。更にこの情報を利用して、製品精度や工作精度を把握することが可能である。また精度評価に問題があった場合には、計算機内の実構造を利用して精度対策を行い、手直しが必要な部分や今後の建造方針について検討することが可能である(Fig.2-4-19)。

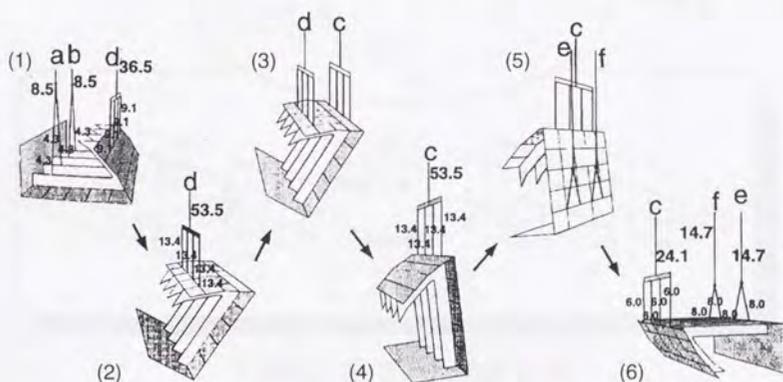
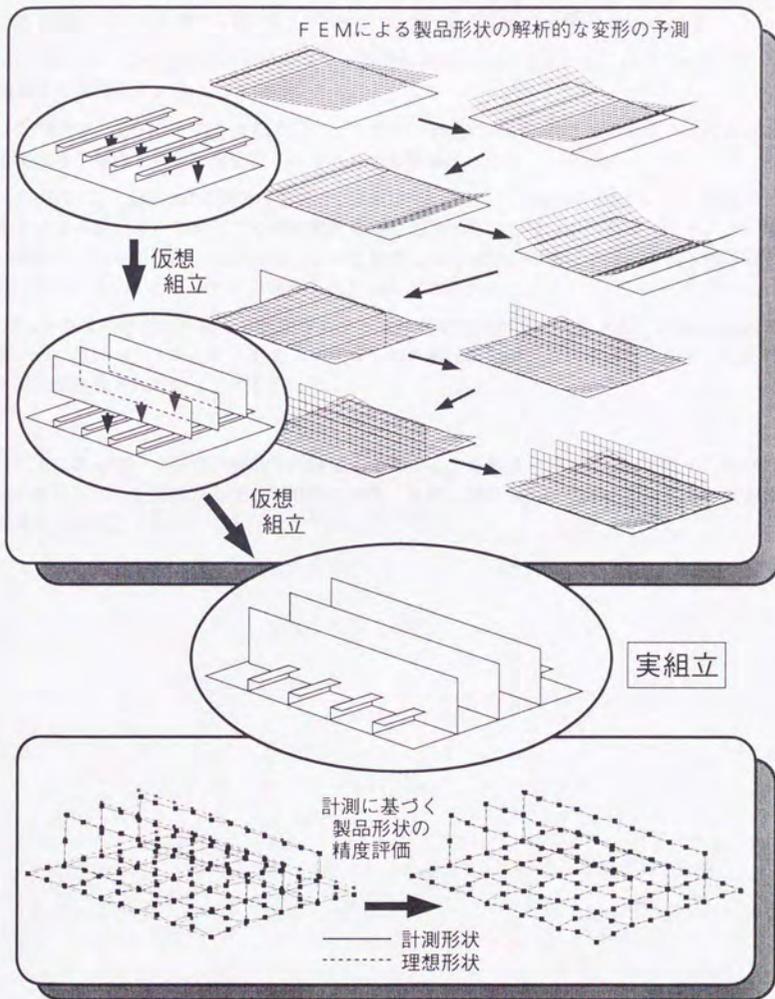


Fig.2-4-18 ブロック吊りのシミュレーション例

溶接変形の予測に基づいた精度管理



計測に基づいた精度管理

Fig.2-4-19 精度管理システム

## 2.5 本章のまとめ

本章では、本研究の内容に具体的に入る前に「造船CIMの概要」として、本研究の背景となる造船におけるシステム開発及び造船CIMについてのサーベイを行った。

2.1節では、これまでの造船のシステム開発の概要について述べ、これまでのシステムの問題点を整理した。

2.2節では、CIMの一般的な概念について触れ、造船CIMがこれまでのシステムのどのような問題点を解決することを目的としているかを明確にした。

2.3節では、造船CIMの開発の歴史と、S&O財団で行われた造船CIMSひいては製品モデルに関する研究について述べ、その概要を整理した。そして部品、中間製品、モールド、接合関係等の、造船の設計・生産活動において重要な製品情報が明確にされ、これらの情報を生成・利用するためのシステムが構築されていることを示した。

2.4節では、著者の所属する生産システム工学研究室で研究・開発されているSODASの概要について述べた。そして、部屋・ユニット等の製品情報や、製品情報を生成するための設計機能が定義されていることを示した。

以上によって、本研究の背景を明確にすると共に、これまでの造船CIMに関する研究の中心が製品モデルを構成する製品情報の明確化、及び、製品情報の生成や利用のための情報処理機能の明確化を中心として行われてきたことを示した。

## 第3章

# 製品モデルの表現のために

### 3.1 計算機システムとモデル

計算機が1946年に地球上に初めて登場して以来、計算機システムは、その計算処理能力、記憶容量の双方において予想をはるかに超えるスピードで発展し続けてきた。計算機によって我々は「問題解決のための最も強力な手段」を得たといわれる[米沢/柴山92]。国勢調査の集計をより早く正確に行うという問題について、ミサイルの弾道をより精密により早く計算するという問題について、あるいは他の多くの問題に対して計算機はまさに革命的な手段を我々に提供した。

しかし計算機が理解できるのは情報の「意味」ではなく、数値や記号などの情報の「形式」であり、計算機の有する強力な情報処理能力を有効に利用するためには、我々が解こうとする問題を、計算機に理解可能な数値や記号として表現することが必要である[大須賀85]。「計算機に理解可能な表現方法」は一般的にプログラムと呼ばれ、計算機を用いてシステム開発を行うためにはプログラムを作成することが必要である。このプログラムには、計算機が解決すべき問題とその問題の解決方法を正確に記述（伝達）しなければならない。モデル化とは、このように計算機が理解可能な表現に現実問題を表現する行為である。

計算機を利用したシステムを実際に構築するためには、どのような問題が存在するのだろうか。この問題を明確に理解しなければ、計算機的能力を十分利用することができないだけでなく、逆に、計算機を利用することによって様々な問題が生じてしまうと考えられる。

そこで本節では、計算機によるシステム構築の際に重要となるモデルに関して、その一般的な定義と、製品の表現の際に有効とされる様々なモデルについて触れる。

### 3.1.1 モデル化 (モデリング) とは

モデルとは、ある種の問題を解決しようとする場合、要求する解(問題に対する解)を得るために必要となる思考的な支援を提供するものである(Fig.3-1-1)。また、そのようなモデルを作り出す活動を一般にモデル化(モデリング)と呼び、このモデル化如何によって要求する解の導出が左右されることになる[吉川/富山89]。

人間の思考においても、頭の内部でモデル化が実行され、その結果として、モデルが生成されているといっても過言ではない。このモデルは解決すべき問題や、個人的な思考形態によって様々存在する。その複数存在するモデルの差異が原因となり、時によっては問題の誤認や問題の解の相違などの不具合がもたらされる。従って、多数の人間が共同して実施する活動においては、共通のモデルが必要となり、その共通のモデルを媒体として集団としての纏まりが実現され、円滑な活動が可能となる。例えば、設計活動における図面を作成する行為は、生産すべき製品をモデル化し、紙あるいはCAD上に表現するための活動であるということができる。この表現されたモデル、つまり「図面」を、多人数で行われる設計活動における共通のモデルとすることによって、円滑な設計、生産活動を推進して、要求される解である製品情報・生産情報を獲得する[伊藤91]。

計算機を利用した設計・生産システムを構築するためには、問題自体を計算機が理解できるように表現する必要がある。現状の技術では、計算機の内部に現実そのものを表現することは不可能であり、現実のある一面を表現することが重要となる。その現実のある一面の表現がモデルであり、計算機はそのモデルに対して処理を行い問題解決を行う。従って、計算機の支援によって複雑な設計・生産活動を円滑に、かつ効率的に推進するためには「計算機はどのような問題を解決すべきか、解決すべきでないか」を検討し、各々の活動が有する問題を解決するための十分な情報量を持ったモデルを構築することが必要である。

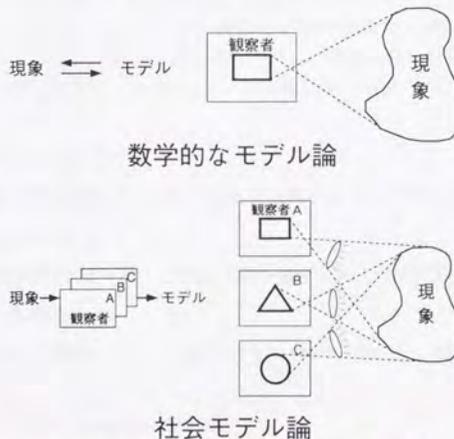


Fig.3-1-1 様々なモデル [榎木/河村81]

### 3.1.2 モデルベース・システム

計算機に限らず人間の思考の場合でも、解決すべき問題を整理して捉えることによって、問題解決のためのモデルが無意識下に構築される。この構築されたモデルを基にして、解決すべき問題の解決策は考えられている。

このようにモデルを構築することによって問題を解決する方法は一般的であり、計算機を用いることはこの延長線上に相当する。つまり、計算機の強力な情報処理能力によって、人間が処理可能な情報の量的制約や質的制約を取り払うことに他ならない。従って前項で述べたモデル化によって、情報処理の対象や事象を計算機が理解できるように表現することができた場合、容易に情報の生成や管理を行うことができる。更に、これらの情報と計算機の高い処理能力を有効に利用することによってシミュレーションなどを行うことも期待できる。

計算機の高い処理能力を有効に利用するためには、計算機に対して問題を理解させる必要がある。そのためには、意図する目的にしたがって情報処理の対象や事象を徹底的にモデル化し、情報として抽出しなければならない。別の表現を用いれば、ある目的に即して実世界を徹底的にモデル化することによって、実世界に対する理解を全てモデルの世界に対する理解に置換することが考えられる。木村は、以上のように実世界をモデル化して利用する概念を「モデルベース」と提唱している[木村92]。また、モデルベースの概念の基に構築されたシステムはモデルベース・システムと認識することができる。

### 3.1.3 形状モデル

製品の形状はその設計・生産活動に大きく関与しているため、製品の形状表現の手法に関する研究が従来から盛んに行われている。計算機内部に表現される製品対象の形状表現は一般的に形状モデルと呼ばれている[山口88]。初期の形状モデルは人が紙の上に描く図形のような2次元表現でしかなかった。しかし、計算機の技術的環境の発展に伴い、3次元表現を可能とする高度な形状処理システムが構築されている。形状情報を表現するための形状モデルは、その表現能力の差異にしたがって、一般的に以下のように分類することができる(Fig.3-1-2)。

#### 1) 線モデル(Wire-Frame Model)

3次元形状を稜線で代表し、直線や曲線で表現するモデルである。

#### 2) 面モデル(Surface Model)

線モデルの情報の不備を補う目的で、面の情報を加えたモデルである。

#### 3) 立体モデル(Solid Model)

物体の3次元形状情報を矛盾なく表現できるモデルである。形状モデルの主流となるモデルである。

#### 4) 非多様体モデル(Non-Manifold Model)

上記1)~3)の表現方法が異なる形状モデルを統一的に扱うことが可能なモデルである。

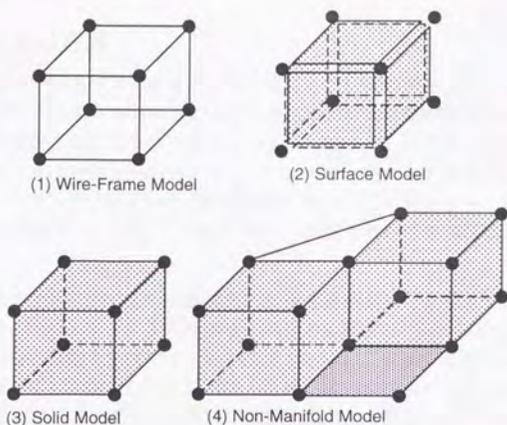


Fig.3-1-2 様々な形状モデル

以上の様々な形状モデルの利用により、製品の形状に関する定義はすべて形状モデルに置き換えることができる。また、形状モデルは製品の直接的に目に見える情報である形状のみを表現したモデルであるので、製品が有する目に見えない情報（例えば、材質、表面粗さなど）を表現することは困難であることは忘れてはならない。

### 3.1.4 エンティティ・リレーションシップ・モデル

現実世界を構成する実体（エンティティ：Entity）には、様々な関係（リレーション：Relation）がある。エンティティ・リレーションシップ・モデル（E-Rモデル）は、実体であるエンティティと関係であるリレーションを個別に情報として定義し、それらを組み合わせで現実世界の様々な対象を情報として表現する概念である。

例えば、ある会社における社員の資格所得について考えてみる。ここでは「社員」と「資格」がエンティティとして認識される。そして「社員」エンティティと「資格」エンティティとは「資格所得」というリレーションによって結びつくことになる。また、船体構造に着目すると、様々な部材が互いに接合されているという状態は「部材」エンティティが「接合」リレーションによって関係付けられていると考えられる。

以上に示したE-Rモデルは、Chenによって提案されたモデルであり[Chen76]、システムに対する要求仕様のモデル化やデータベースの仕様設計の基本概念として有効に利用されている[河村95]。

## 3.2 製品モデル

### 3.2.1 製品モデルの定義

設計・生産活動は、製品に対する要求仕様を製品という実体に変換する活動であり、製品に関する様々な情報の付加が行われる。製品の形状情報を計算機内部に表現するためには、形状モデルによる情報の表現が有効であることは既に述べた。しかし、形状モデルは、実世界に存在する製品を形状の側面から捉えることによって、製品を計算機内に表現するモデルである。従って、形状モデルを用いた形状情報は、製品として完成された最終結果である形状のみを表現した情報であり、設計・生産の過程で考慮された様々な情報を表現した情報ではない。

製品の設計過程や生産過程における計算機の支援を実現するためには、製品の形状のみを計算機内に記述するのではなく、設計や生産の過程で考慮されているが、製品の表面には直接的には表われない情報を記述することが必要である。このような製品の幅広い情報の記述によって、計算機による統合化された設計・生産システムにおいて扱われるべき製品の情報を統合的に管理することが可能になる。この製品に関する情報を記述するモデルは、製品モデル(Product Model)と一般に呼ばれている[木村86]。

製品モデルに対して、製品が有する幅広い製品情報を記述するためには、様々な設計・生産活動においてどのような製品情報が生成され必要とされるかについての検討が重要となる。このような検討の結果、計算機内に設計・生産対象である製品が製品モデルとして統合的に表現されることになり、設計・生産活動で必要になる製品情報を統合的に利用することが可能になる(Fig.3-2-1)。

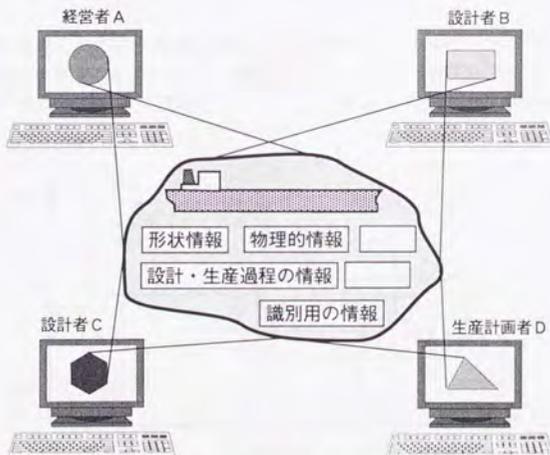


Fig.3-2-1 製品モデル

### 3.2.2 製品モデルと設計・生産過程

一般的に設計と言っても、概念設計、基本設計、詳細設計など、様々な設計過程が存在する。また、個々の設計過程における製品の表現方法は異なり、アイデアスケッチのような製品の抽象的な表現方法から、部品図面のような詳細で具体的な表現方法まで様々存在する。鈴木は、これらの製品の様々な表現方法を計算機内部に製品モデルとして表現するためには、様々な表現方法に応じたモデルが必要であると述べている[鈴木91](Fig.3-2-2)。

鈴木は設計過程におけるモデルを以下のように整理している。

- ・コンセプトモデル：概念設計段階において得られる、設計対象全体の概形であるとか、機能実現の基本方法などを表現するモデルである。
- ・コンフィグレーションモデル：製品を構成する基本要素の関係を表現するモデルであり、機能ユニットの接続や、それらの空間的な配置などが表現される。製品の全体的な構成や構造を表現するモデルである。
- ・組立品モデル：組立品（製品）を構成する個々の部品を表現したモデル間の機能的関係、空間的關係を表現するモデルである。
- ・部品モデル：個々の部品の形状や、材質などの属性を表現するモデルである。

以上に挙げたように、様々な設計過程ではその過程で生成・管理される情報が異なるために、設計過程に応じた対象表現が必要であることが理解できる。従って、統合化された設計・生産システムを構築するためには、以上に挙げた様々な対象モデルによって得られる製品情報の有効な利用が望まれる。即ち、製品（プロダクト）に関するモデルのみでなく、設計・生産過程（プロセス）のモデルを明確にし、それに基づいて製品モデルを構築することが重要である。

造船においては、これまでの造船CIMに関する開発研究によって、プロダクト及びプロセスのモデル化がCIM実現のために重要と認識された。それに伴いプロダクトのモデル及びプロセスのモデルを含めて単に「プロダクトモデル（製品モデル）」と呼ばれることが多い

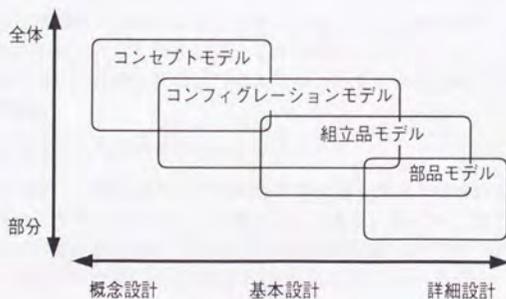


Fig.3-2-2 製品モデルの進化 [鈴木91]

[GPME96]。そこで本研究でもプロダクト（製品）のモデル及びプロセス（設計・生産過程）のモデルを含めて製品モデルと呼ぶ。

#### 製品モデル

製品を形状表現としての視点から見た場合では形状情報が必要であるが、製品を形状だけでなく、製造業における設計・生産などのあらゆる視点から定義するために必要な情報と、製品を設計・生産するためのプロセスをもモデル化し計算機内に表現したモデルである。

製品モデルにおいては、形状情報は情報の一部分であり、計算機内での形状記述が形状モデルであるといった位置付けにあり、形状情報の他に属性情報、設計情報、生産情報等を持つ。また、設計・生産過程を表現することも可能である。

### 3.3 製品モデルの特徴の整理

製品モデルを表現するためには、製品モデルの特徴を把握し、その特徴を考慮して表現方法について検討することが重要である。そこで本節では製品モデルの特徴を整理する。

第2章において述べたように、現状の設計・生産システムは以下のような問題を有する。

#### (A)情報が孤立化している

設計・生産活動には様々な分野・業務が存在するため、各々の仕事を担う個人が「自分の仕事しか考えない、あるいは考えられない」、「自分の範囲しか考えない、あるいは考えられない」という問題が発生する。従って、そのような環境のもとに作成されたシステムの多くは、個々の業務のみを支援するものとなり、生成される情報は孤立化している。

#### (B)必要な情報の管理、伝達が不十分である

生成された情報は、関連する他の業務に伝達される必要がある。この孤立化した情報の伝達は人の仲介に強く依存しているのが現状である。しかし、伝達の際の媒体（図面、仕様書等）・時間は限られているため、必要十分な情報を伝達するのは一般的には困難である。

#### (C)情報の伝達よりも生成が重要視されている

上記(A)が原因となり、限られた範囲内での正確な情報の効率的な“生成”が個人、あるいはシステムの能力として評価されてしまう。従って、限られた範囲内で有効な情報の生成に重点がおかれ、生成された情報の伝達は軽視されてしまっている。このことは、要素技術の他に統合化技術の重要性に気が付かないという問題につながる。

製品モデルは、現状の設計・生産システムの有する以上のような問題を解決し、次世代の

設計・生産システムの中核となるモデルである。このためには「設計・生産活動に必要な情報の生成」と「生成された情報の伝達・管理」を統合的に行い、両者の情動的な融合が重要である。

また、造船の製品モデルは非常に大規模かつ難易度の高いものであり、これまで10年の歳月を経て開発が進められているが、現時点においても完全な造船の製品モデルが構築されている訳ではない。従って、今後も製品モデルの姿について検討していくことが必要である。

更に、製品モデルを構築する際には関連する要素技術（例えば形状を表現するための形状モデルなど）を考慮し、造船以外の分野の研究成果などを織り込むことが重要である。

以上より、製品モデルの構築のためには、設計・生産活動の支援の視点を初めとして、様々な視点から製品モデルについて検討することが重要である。これに伴い、様々な視点から捉えた製品モデルの特徴を考慮して、製品モデルの表現方法を検討することが要求される。

そこで、本研究では以下に示す視点から製品モデルの特徴、及び製品モデルに要求される項目について整理する(Fig.3-3-1)。

- ・設計・生産活動の支援の視点
- ・製品モデルの開発の視点
- ・情報処理と設計・生産活動の関連の視点
- ・関連する要素技術の視点
- ・製品モデルの規模の視点
- ・システム構築の視点

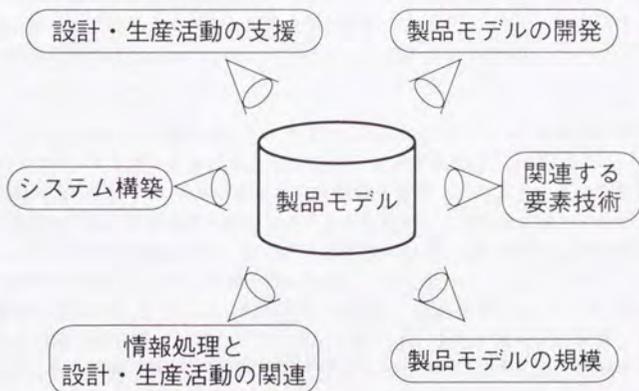


Fig.3-3-1 製品モデルの明確化のための様々な視点

### 3.3.1 製品モデルと設計・生産活動の支援

設計・生産活動の支援という視点から製品モデルを捉える際に、最も重要なことは、

- (1)設計者や生産技術者が必要とする情報を、製品モデルから必要な時に自由に取り出せること
- (2)設計者や生産技術者が生成したい情報を容易に生成できること

の2点と考えられる。

上記(1)を実現するためには、設計者や生産計画者が製造対象である製品をどのように捉えるかを明確にし、それに対応する製造対象の情報を製品モデルが有することが重要と考えられる。製造対象の情報は製品モデルには種々の製品情報として格納される。従って、製品情報の明確化が重要である。

次に上記(2)について考えてみる。製品モデルのような情報を統合的に管理する環境では、何らかの情報を生成するときには、その上流の設計・生産過程で生成された情報は既に製品モデルに格納され管理されている。従って、新たな情報を生成するときには、生成しようとする情報と上流の設計・生産過程で獲得されている情報との関係を考慮し、必要最小限の情報を入力によって新たな情報を生成することが肝要と考えられる。このためには、上流の情報を利用して下流の情報を獲得する情報処理機能の明確化が重要である。

以上より、設計・生産活動の支援という視点から製品モデルを捉えると、製品情報と情報処理機能の明確化が製品モデルの構築のために重要と考えられる。

### 3.3.2 製品モデルの開発の特徴

製品モデルの開発の大きな特徴としてプロトタイプング手法による開発が挙げられる。プロトタイプング手法はこれまで行われてきた開発形態であるウォーターフォール手法の対極に位置する開発形態である。以下に各々の手法について述べる[寺野93]。

#### (1)ウォーターフォール手法

造船業におけるシステム開発を含め、これまでに行われてきたシステム開発の特徴として「ウォーターフォール手法」を挙げることができる(Fig3-3-2(A))。この手法では、システムを実際に開発する前に、システムに要求される機能を整理し、対象とする情報や情報の構成、および情報の生成や管理機能を洗い出すことが行われる。それらの洗い出された機能を満足するシステムの構成が確定され、システムが構築される。この開発手法の利点は、開発作業自体を分業化することによって効率的にシステム開発を行うことができることである。しかし、開発の初期に確定された要求だけが、最終的に構築されるシステムの基本機能となってしまう問題は無視することができない。例えば、開発に長い期間を要する場合は、情報処理技術の発展に伴わない開発形態を余儀なくされる問題を抱えるものである。



(A) ウォーターフォール手法 (B) プロトタイピング手法

Fig.3-3-2 ウォーターフォール手法とプロトタイピング手法

## (2) プロトタイピング手法

この手法はシステム開発を柔軟に行うことを目的に提案された手法であり、システム開発に積極的にシステムの改良を取り込む手法である(Fig.3-3-2(B))。従って、開発の初期ではシステム全体の基本的な概念は確定されるが、システムの詳細部は漠然とした形で開発が開始される点が特徴である。漠然とした形でシステム開発が開始されるため、システムが構築されるにしたがって稼働するシステムに対して評価を行い、この評価を基に、これまでに開発されたシステムを改良し、さらに今後のシステム開発の指針が決定されていく。つまり、ある製品を実際に商品化する前に、事前にプロトタイプの製品を数多く作成し、その都度改良し、本当に必要とされる製品像を確認しながら最終製品を確定する流れとして考えることができる。このシステム開発の特徴が、プロトタイピング手法といわれる所以である。しかし、この手法ではシステムの開発が非効率的になりがちであり、これを避けるための強力な開発ツールが要求される。

ところで、製品モデルがプロトタイピング手法によって開発される理由について考えてみると、大きく分けて2つの理由に整理できる。1つは規模が大規模であること、もう1つは製品モデルが多面的な点である。製品モデルの規模に関する考察は3.3.5項において検討するので、ここでは製品モデルの多面性について述べる。

製品モデルは設計・生産の上流から下流に至るまでの様々な情報を有する。コンセプト・モデルのように製品を概略的に捉えることもあれば、部品の集まりとして製品を詳細に捉えることもある。このため、製品を設計・生産を通じて多面的に捉えることが必要である。また、製品を表現するための情報として、形状情報のみでなく、物理的情報や識別用の情報な

ども必要であるため、製品情報の中身も多面的に捉えることが要求される。更に、情報の生成、利用、管理などを考慮して製品モデルの構造について検討することが必要である。

ここでは部材の製品情報を例として、その多面性について考えてみる。部材という製品情報を定義するためには、

- ・設計・生産の流れのどこで利用されるか
- ・部材の表現のために各設計・生産の過程においてどのような情報が必要か
- ・どのように生成するか
- ・どのように管理するか

など、様々な側面から部材の製品情報について検討し、その上で部材の製品情報を定義することが必要である。

このような多面性によって、様々な製品情報や情報処理機能を一度に全て明確にすることができない。このためプロトタイピングを繰り返すことによって製品モデルが徐々に明確にされていくことになる。

以上より、製品モデルを開発の視点から捉えると、プロトタイピング手法による開発と、製品情報や情報処理機能の多面性を認識することができる。従って製品モデルは、これらの特徴を考慮した構造であることが要求される。

### 3.3.3 情報処理と設計・生産活動の関連

造船業に限らず、あらゆる製造業において行われる設計・生産活動は、様々な分野・業務で構成され、各々の分野・業務で扱われる情報や情報処理方法は異なる。また、全体としての設計・生産活動はこれらの業務や分野が複雑に絡み合って構成される。従って、現実世界の設計・生産活動は非常に複雑であり、全体像の把握は困難と考えられる。

一方、製品モデルの世界は、現実世界の設計・生産活動の写像として捉えられる。製品モデルの世界では、現実の設計・生産活動が情報処理の視点からモデル化され、情報の生成・利用が整理されて表現される。従って、製品モデルの世界から現実の設計・生産活動を捉え直すことによって、現実の設計・生産活動を系統立てて整理して捉えることができる。このことは、設計・生産活動を体系化していくために非常に重要な項目である。

ところで、現実世界の製造対象の情報は、製品モデルでは製品情報として表現される。また、製品情報の生成は情報処理機能によって実現され、製品情報の利用は製品情報の構造を用いて行われる。従って、情報処理の視点から製品モデルを把握するためには、情報や情報処理機能の構成として製品モデルを捉えることが必要である。

以上より、製品モデルを情報処理の視点から把握するためには、製品モデルを情報や情報処理機能の構成として捉えることが重要と考えられる。

### 3.3.4 関連する要素技術と製品モデル

製品モデルは、様々な情報や情報処理機能によって構成される。この情報や情報処理機能の全てを1から検討する必要はなく、関連する様々な要素技術を利用できる。例えば製品の形状を表現する時には、先に述べた形状モデルの概念を利用することができる。従って、製品モデルを構築するときは関連する要素技術を有効に利用することが重要である。

ところで、要素技術に関する研究は現在も、造船のみならず多方面で研究開発が進められている。これらを考慮すると、現状の要素技術を利用するのみでなく、今後も何らかの有効な要素技術が開発されたなら、その要素技術を製品モデルに組み込むことが必要である。このためには、製品モデルにおける要素技術部分が明確になっており、新たな要素技術が開発されたなら、対応する既存の部分と交換できることが重要である。

### 3.3.5 製品モデルの規模

造船の製品モデルは非常に大規模である。非常に大規模であるために、製品モデルを構成する全ての情報や情報処理機能を一度に定義することは困難である。このため、例えば設計・生産の上流部分と下流部分とを別々に検討し、その後上流部分と下流部分との統合を図るなどの手法によって構築されることもある。

このような開発の例として先に述べたSODASが挙げられる。2.4節において述べたSODASの全ての製品情報や情報処理機能は一度に定義された訳ではない。ある時には基本設計を支援するための空間設計機能や部屋の情報について検討し、また他の時には内部構造の詳細な定義方法を検討している。これら複数の部分が統合化されて全体としてのSODASが構築されている。

また、これまでの製品モデルの研究によって全ての情報や情報処理機能が定義されている訳ではなく、造船の設計・生産過程の全てが網羅されてはいない。従って、今後も設計・生産過程の様々な部分について検討し、情報や情報処理機能を既存部分と統合することが必要である。

以上のように、製品モデルの規模に着目すると、一度に全ての情報や情報処理機能が定義できないことが理解できる。このことを考慮すると、製品モデルには情報や情報処理機能が統合化しやすいことが要求される。

### 3.3.6 システムの構築と製品モデル

全てのシステムはそのライフサイクルを通じて、絶えず変化していると言われている [Jacobson95]。一旦構築されたシステムは、ユーザーの要求などによって、追加、変更が行われる。この際に、汎用性や再利用性の高いシステムは容易に追加や変更が可能であるのに対して、汎用性や再利用性の低いシステムはシステム全体の作り直しが必要となることもある。このため、システム開発の一般論としてシステムの汎用性や再利用性が重要と言われている。また、システムのライフサイクルにおいて、その構築や維持に必要な工数に着目する

と、初期バージョンの構築までが約3割、維持や変更などに必要な工数が約7割と言われている[Vietch96]。

前項で述べたように、造船の製品モデルの概念に基づいたシステムは非常に大規模である。このため、一旦構築されたシステムを作り直すことは事実上不可能に近いと考えられる。従って、システムの構築の視点から製品モデルを捉えると、製品モデルが汎用性や再利用性を考慮した構造となっており、追加や変更が行い易いことが重要と考えられる。

### 3.3.7 製品モデルに要求される項目

本節をまとめると、製品モデルに要求される項目は以下のように整理できる(Table 3-3-1)。

- (1)製品モデルを構成する製品情報・情報処理機能を明確にすること
- (2a)プロトタイプング手法に適した構造であること
- (2b)製品モデルの多面性を表現できること
- (3)製品モデルを情報や情報処理機能の構成として捉えられること
- (4)関連する要素技術を容易に織り込むことができること
- (5)情報や情報処理機能の統合化を行いやすい構造であること
- (6)製品モデルが汎用性や再利用性を考慮した構造となっており、情報や情報処理機能の追加や変更が行い易いこと

Table 3-3-1 製品モデルに要求される項目の整理

	視点	特徴	要求される項目
1	設計・生産活動の支援	情報の生成と利用	製品情報・情報処理機能の明確化
2	製品モデルの開発	プロトタイプング手法	プロトタイプングに適した構造
		情報の多面性	情報の多面性の表現
3	情報処理と設計・生産活動	現実世界を情報処理から捉え直す	情報と情報処理機能の構成の把握
4	関連する要素技術	要素技術の有効利用	要素技術の織り込みが容易
5	製品モデルの規模	大規模	情報や情報処理機能の統合化が容易
6	システム構築	情報や機能の追加・変更	汎用性や再利用性を考慮した構造
			情報や情報処理機能の追加・変更が容易

## 3.4 製品モデルの表現方法に要求される項目

前節において製品モデルの特徴を整理した。この整理を基に本節では製品モデルの表現のために何が要求されるかを整理する。

### 3.4.1 製品モデルに要求される項目と表現方法との関連

3.3.7項で述べた項目が製品モデルの表現に影響を与えるか否かを以下に整理する。

#### (1)製品モデルを構成する製品情報・情報処理機能を明確にすること

製品情報・情報処理機能の明確化は製品モデルの表現方法に拠らず、どのような表現方法を用いても検討が必要な項目である。従って、製品モデルの表現方法によって解決すべき問題ではない。

#### (2a)プロトタイプング手法に適した構造であること

プロトタイプング手法を用いてシステムを構築する場合には、システムが柔軟であることが重要である。製品モデルの表現方法は製品モデル全体としての柔軟性に大きく影響を与える。例えば製品モデルを堅く剛な構造と捉えて表現する場合と、変更などを考慮して製品モデルを表現する場合とでは、その柔軟性は大きく異なる。従って、製品モデルの表現方法を検討する際に考慮すべき項目である。

#### (2b)製品モデルの多面性を表現できること

この項目は製品モデルの表現方法と直結する問題と考えられる。

#### (3)製品モデルを情報や情報処理機能の構成として捉えられること

この項目も製品モデルの表現方法と密接に関わりがあり、情報や情報処理機能の構成として製品モデルを表現することが重要と考えられる。

#### (4)関連する要素技術を容易に織り込むことができること

製品モデルを構成する個々の要素が部品化されており、これらの部品が容易に交換可能であれば要素技術を織り込むことは容易である。従って、製品モデルをこのような構造として構築することが重要である。

ところで、例えば上記(2)に示した様に、柔軟な構造と剛な構造の場合はその表現方法は異なる。また、交換や変更を意識した構造と意識しない構造では全体としての製品モデルの構造は異なり、これに伴い製品モデルの表現方法は異なる。以上のように製品モデルの構造に関する留意点が異なればその表現方法も異なると考えられる。

従って、この項目は製品モデルの構造を含めて、表現方法を検討する際に考慮すべき項目である。

#### (5)情報や情報処理機能の統合化を行いやすい構造であること

上記(4)で述べたように、製品モデルの構造への要求は、製品モデルの表現方法に影響を与える。従って、この項目は製品モデルの表現方法を検討する際に考慮すべき項目

である。

- (6)製品モデルが汎用性や再利用性を考慮した構造となっており、情報や情報処理機能の追加や変更が行い易いこと

この項目も製品モデルの構造に対する要求である。従って製品モデルの表現方法の検討項目の1つとして考慮する必要がある。

### 3.4.2 製品モデルの表現方法に要求される項目の整理

前項で述べた項目を整理し、製品モデルの表現方法に要求される項目をまとめると以下のようになる。

- (1)表現方法と直接的に関係のある項目

- a)製品モデルを情報や情報処理機能の構成として表現できること
- b)製品モデルの多面性を表現できること

- (2)製品モデルの構造への要求であり、間接的に表現方法に影響を与える項目

- c)プロトタイプング手法に適した構造であること
- d)関連する要素技術を容易に織り込むことができること
- e)情報や情報処理機能の統合化を行いやすい構造であること
- f)製品モデルが汎用性や再利用性を考慮した構造となっており、情報や情報処理機能の追加や変更が行い易いこと

ここで、上記の項目の間の関連性について考えてみる。

上記(1)は製品モデルの表現に直接関係のある項目であり、上記(2)は製品モデルの構造に対する要求であるため、別々の問題として捉えられる。また上記(1)のa)とb)とは表現に対する要求であるが、a)は情報や情報処理機能という要素に関する項目であり、b)は製品モデル全体としての多面性に関する項目である。従って、a)とb)とは別個の問題である。そこで上記(2)のc)-f)について互いの関連について検討する。

まず、c)のプロトタイプング手法による開発では、製品モデルを構成する情報や情報処理機能などの追加や変更が頻繁に行われる。このことに対応するためには製品モデルが柔軟性に富み、拡張性を有する構造であることが重要である。ここで、情報や情報処理機能の追加や変更の問題はc)のみの問題ではなく、f)の後半部分（情報や情報処理機能の追加や変更が行い易いこと）と共通の問題である。また、e)情報や情報処理機能を統合化する場合についても、製品モデル全体が拡張性に富み、情報や情報処理機能を自由に組み合わせることができれば、情報や情報処理機能の統合化は容易である。以上より、上記c)e)及びf)後半部分の問題は、製品モデルの柔軟性、拡張性の問題としてまとめて考えることができる。

次にd)の関連する要素技術の問題について考えてみる。関連する要素技術を容易に織り込むためには、要素技術部分が部品化され、その交換や変更が容易に行えることが重要であ

る。一方、f)の前半部のシステムの汎用性や再利用性を向上する手法としては、システムの部品化を行い、汎用的な構成要素を定義することが有効と言われている[Jacobson95]。従って、d)及びf)前半部分の問題は、製品モデルの要素技術部分、即ち、情報や情報処理機能の部品化の問題として捉えることができる。

以上より、製品モデルの表現方法に要求される項目は以下の4項目に整理できる(Fig.3-4-1)。

- (1)製品モデルを情報や情報処理機能の構成として表現できること
- (2)製品モデルの多面性を表現できること
- (3)情報や情報処理機能が部品化されていること
- (4)製品モデルの柔軟性・拡張性が確保されていること

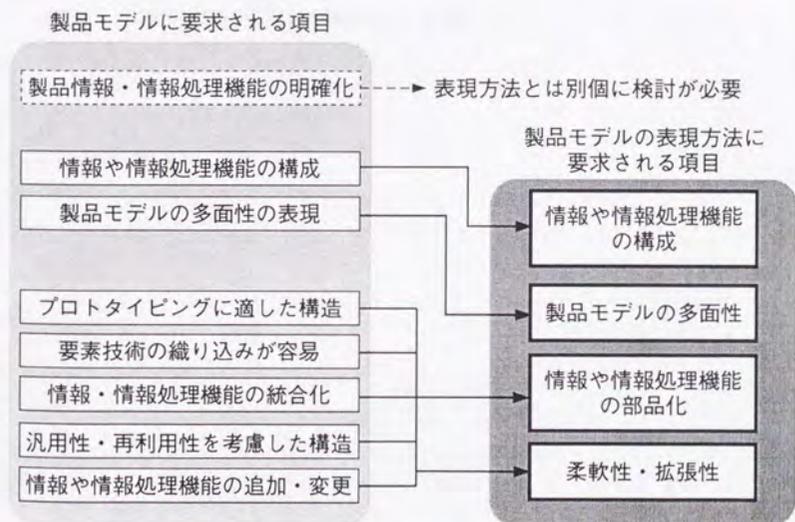


Fig.3-4-1 製品モデルの表現方法に要求される項目の整理

### 3.5 本章のまとめ

本章では、製品モデルの表現方法に要求される項目を整理した。

3.1節では、計算機を利用した問題解決の際に重要となる「モデル」及び「モデル化」の概念について述べ、更に現実世界を徹底的にモデル化することによって問題を解決しようとするモデルベース・システムについて述べた。そしてモデルの一例である形状モデルやエンティティ・リレーションシップ・モデルを紹介した。

3.2節では、本研究の対象である製品モデルの一般的な定義と、造船における製品モデルの定義について触れ、本研究の対象である製品モデルの定義を明確にした。

3.3節では、製品モデルの構築のためには、設計・生産活動の支援や製品モデルの開発など、製品モデルを様々な視点から捉えることが重要であることを示した。そして様々な視点から製品モデルを捉えて、製品モデルにはどのような特徴があり、その特徴を考慮した時に製品モデルはどうあるべきかを整理した。

3.4節では3.3節を受け、製品モデルの表現方法に対して要求される項目を整理した。そして以下の4項目が製品モデルの表現方法に求められることを示した。

- (1)製品モデルを情報や情報処理機能の構成として表現できること
- (2)製品モデルの多面性を表現できること
- (3)情報や情報処理機能が部品化されていること
- (4)製品モデルの柔軟性・拡張性が確保されていること

## 第4章

# 本研究における 製品モデルの表現方法

### 4.1 製品モデルの表現

第3章の要求項目を満足するために、本研究では製品モデルを部品の組み合わせによって表現することを試みる。このために本節では部品化の方法、及び組み合わせの方法について検討する。

#### 4.1.1 情報や情報処理機能の部品化のために

製品モデルを構成する要素として「情報」と「情報処理機能」が必要であることは先に述べた通りである。ここで「情報」及び「情報処理機能」を部品化することを考えると以下の2つの方法が考えられる。

- a) 「情報（データ）」及び「情報処理機能（アルゴリズム）」を一体化（パッケージ）して部品化する。
- b) 「情報」と「情報処理機能」とを分離し、各々を独立して部品化する。

本研究では以下の点を考慮し、上記b)の方法を用いることにする。

- ・情報の生成や利用の際の情報の変換は、現状では設計者あるいは生産技術者によって行われる。情報処理機能は情報の変換を目的とするため、設計者あるいは生産技術者の情報処理を代替するものとして捉えられる。言い換えれば、製品モデルにおける情報処理機能は設計者あるいは生産技術者の行為をモデル化したものであり、製品をモデル化したものではない。従って、情報処理機能と一体化すべき情報は設計者の情報

であるが、設計者を表現する情報は製品モデル内に管理されていないため、情報と情報処理機能とを分離して考えるべきである。

- ・情報処理機能は入力情報を出力情報に変換する役割を担うものであり、情報処理機能によって入力情報と出力情報との整合性は保証される。言い換えれば、情報処理機能は情報と情報との間に位置し、情報間の関係の一部として考えられる。従って、何らかの情報と一体化して部品化すると、情報の内部に他の情報との関係が記述されることになり、部品の独立性に問題が生じる。

情報と情報処理機能とを分離して部品化することによって以下に示す効果が期待できる。

- (1)複数の情報と関係する情報処理機能も1つの部品として明確に認識できる。
- (2)ある特定の情報のみを対象としない汎用的な情報処理機能を検討できる。

ところで、情報処理の世界では情報処理機能を単に「機能」と呼ぶことが多い。本研究でもこれに倣い、本章以降では情報処理機能を単に「機能」と呼ぶ。また「情報」は非常に広い範囲を網羅する言葉であり、解釈の相違が生じる可能性のある言葉である。そこで本研究では「情報」及び「機能」を以下の意味で使用することをここで断っておく。

情報：

製品情報、形状情報、属性情報など、内部データを有するものの総称。本研究では関係情報は情報と明確に区別して「関係」と呼ぶ。

機能：

情報を変換する役割を担うものの総称。

#### 4.1.2 部品の組み合わせと関係

製品モデルには、情報が独立して記述されているのではなく、様々な形で関係付けられて管理されている。つまり、製品モデルを表現するためには「情報」や「機能」だけではなく「関係」が重要である。例えば以下のような「関係」が挙げられる。

##### (1)情報の参照と関係

中間製品の製品情報について考えてみると、中間製品は自己を構成する部材の集合として定義されている。このような情報の構造は「is part of」の関係として定義される。この関係によって中間製品は自己を構成する部材の情報を参照することができる。

##### (2)情報の生成と関係

情報の生成過程における情報の整合性を保証するためには、情報間の制約関係が重要である。例えば、空間設計機能の使用によって、基の部屋と新たな部屋との間に生成される関係は、基の部屋の形状が新たな部屋の形状を制約しているという関係と認識できる。このような関係は情報を生成するための機能とも密接に関わりがあり、「情報」や「機能」を「関

係」を含めて捉えることが重要である。

ところで製品モデルでは、製品モデルに記述すべき情報を生成し、生成された情報を矛盾なく関係付けて管理できなければならない。このような製品モデルを構築するためには、以下の項目を考慮する必要がある。

- a) どのような情報が必要か
- b) 生成すべき情報をどの情報を基に生成するか
- c) 生成された情報をどの情報と関係付けて管理するか

上記のb)及びc)については情報間の関係を考慮する必要がある。b)については、制約に基づいた実際の情報処理を考える必要があり、機能についても考慮が必要である。またc)については管理する情報の制約や参照を考慮して情報の構造を決定する必要がある。言い換えれば、情報の構造（データ構造）や機能を決定するためには、情報や機能の間の関係を考える必要がある。

以上のように、製品モデルの開発者は情報や機能を検討するのみでなく、情報間の関係も検討している。特に情報の生成について検討するときは情報及び関係に加えて機能も同時に考慮することが必要であり、情報間の関係のみでなく情報と機能の間の関係も考慮しなければならない。そこで本研究では、情報や機能などの部品を組み合わせるために「関係」に着目する。

### 4.1.3 部品の組み合わせによる製品モデルの表現

第3章で述べたように、製品モデルの表現方法は以下の項目を満足しなければならない。

- a) 製品モデルを情報や機能の構成として表現できること
- b) 製品モデルの多面性を表現できること
- c) 情報や機能が部品化されていること
- d) 製品モデルの柔軟性・拡張性が確保されていること

本研究では、情報や機能を部品化し、部品を関係によって組み合わせることによって製品モデルを表現する。具体的には以下の方法を取る(Fig.4-1-1)。

- ・ 情報や機能を一旦バラバラに（要素技術のレベルまで）分解し部品化する。
- ・ 部品化した情報や機能を関係によって組み合わせて製品モデル全体を表現する。
- ・ 関係は目的に応じて種類分けする。
- ・ 情報や機能の間の関係は自由に定義・削除することを可能にする。

このように製品モデルを表現すると、a)~d)の要求項目は以下のように満足される。

## a) 製品モデルを情報や機能の構成として表現できること

本研究の手法によると、製品モデルは情報や機能が関係によって結合された結合体として表現される。このため、製品モデルを構成する情報や機能の構成を明確に把握することが可能である。

## b) 製品モデルの多面性を表現できること

関係を目的に応じて種類分けすることによって、製品モデルの全てを同時に捉えるのみでなく、ある特定の関係に着目して捉えることが可能となる。従って、ある特定の関係に着目して製品モデルを捉えることによって、製品モデルを様々な側面から捉えることが可能である。

## c) 情報や機能が部品化されていること

情報や機能が要素技術のレベルまで分解されるので当然のことながら部品化される。

## d) 製品モデルの柔軟性・拡張性が確保されていること

関係を自由に定義・削除できる構造を明確にすることによって、情報や機能の追加・変更は容易に行うことができ、製品モデルの柔軟性・拡張性は確保される。

ところで、情報や機能を関係によって組み合わせることによって製品モデル全体を表現するためには、以下の項目についての検討が重要と考えられる。

- ・情報や機能を部品化すること
- ・関係を目的や特徴に応じて整理すること
- ・情報、機能、関係の組み合わせ方法について検討し、柔軟に定義・削除できる構造とすること
- ・情報、機能、関係によって製品モデル全体がどのように表現されるかを明確にすること

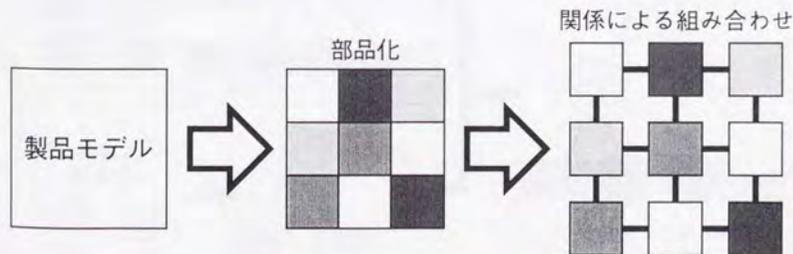


Fig.4-1-1 本研究による製品モデルの表現方法

## 4.2 情報の部品化

### 4.2.1 情報の部品化と関係

部材の製品情報を表現するためには、形状情報や材質・名前などの属性情報が用いられる (Fig.4-2-1(1))。ここで、形状や材質は、部材の一側面を表現する情報であるため、部材情報と形状情報との間、及び、部材情報と材質の情報との間には関係が存在する。従って、この関係を考慮して、部材の製品情報を部品化すると、Fig.4-2-1(2)のように表現することができる。Fig.4-2-1より、元々は1つの情報として定義されていた部材情報が、関係を考慮することによって5つの部分に分解され部品化されることが理解できる。

また、中間製品は部材の集まりとして表現され、中間製品独自の名前を有する。従って中間製品と部材の情報の構造を、関係を考慮して同時に表現するとFig.4-2-2のようになる。

以上のように関係を考慮すると、情報の構造は以下のように変化する。

- ・関係を考慮しない時は対象とする情報の内部に含まれていた属性情報などが対象とする情報の外部に出て部品化される。
- ・外部に出た情報と対象とする情報とは関係によって関係付けられる。

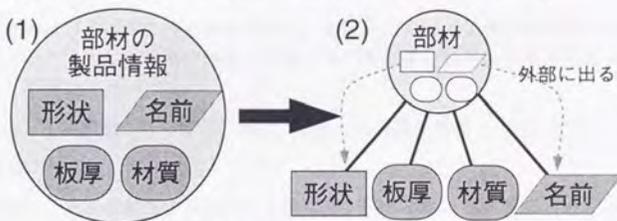


Fig.4-2-1 部材の製品情報の部品化

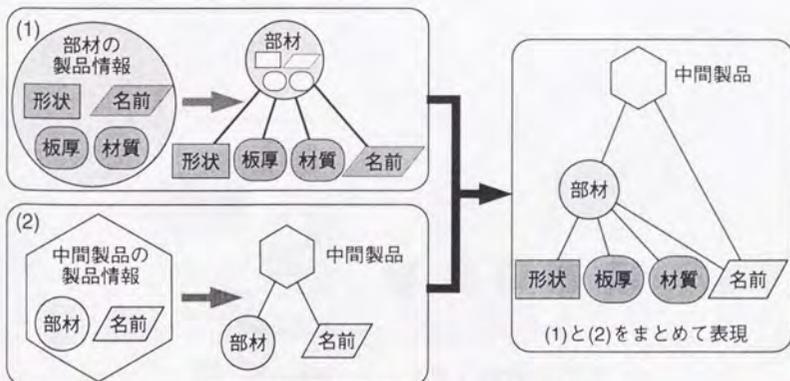


Fig.4-2-2 中間製品の製品情報の部品化

### 4.2.2 情報の内容と関係

本研究では、様々な情報を分解し部品化するが、この際に形状情報や、材質、板厚、名前などの属性情報を最小単位の情報と考える。これに対して、現実世界の実体を表現する部材情報などは形状情報や属性情報の集合体として捉えられる。さらに、中間製品などは部材の集合体として捉えられる(Fig.4-2-3(1))。以上を関係を含めて考えると、中間製品は、部材と関係付けられ、部材は、形状情報や材質などの属性情報と関係付けられる(Fig.4-3-3(2))。このため、ユニットは、部材を介して自分の形状や重量を知ることができる。従って、本研究のように関係によって様々な情報を結び付ける際には、形状情報や属性情報が正確に定義されていれば、部材情報や中間製品の情報が内部に管理すべき内容は特に必要なく、関係を用いて組み合わせることによって部材情報や中間製品の情報を表現することができる。

### 4.2.3 情報の分類

前項の整理に基づいて、本研究では製品モデルに必要とされる情報を分類し、以下の2つの層によって捉えることにした。

#### (1) 実体層：

現実の世界の実体の情報が属する層。本研究においては属性層の情報と関係付けられることによって実体層の情報は表現され、実体層の情報の内部に記述すべき内容物は特に必要ない。

(例) 中間製品、ユニット、部材、部屋、接合関係情報 etc.

#### (2) 属性層：

実体の一側面を表現するための属性情報が属する層。本研究においては最小単位の情報となり、内部に自分を表現するための詳細な内容が記述される。

(例) 形状、材質、板厚、名前 etc.

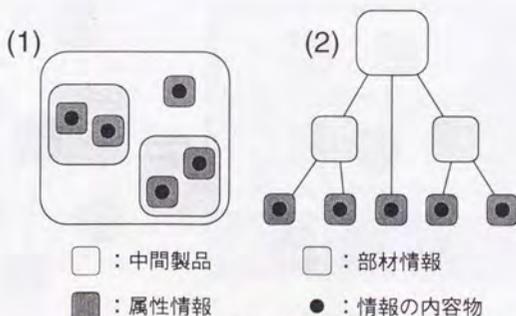


Fig.4-2-3 情報の内容物

ところで、中間製品やユニットは部材の集合として捉えられる。更に、船は中間製品やユニットの集合として捉えられる。ここで、船、中間製品、ユニット、部材、形状などを本研究の方法を用いて表現するとFig.4-2-4に示す構造となる。Fig.4-2-4より、部材と形状が層を成しているのと同様に、船と中間製品・ユニット、あるいは中間製品・ユニットと部材は層を成していることが理解できる。従って、実体層に属する様々な情報も層の概念を用いて整理して捉えることが可能である。

本研究では、実体層は属性層の上位の層と捉える。また、実体層の中の中間製品や部材などの情報も層を成しており、ある情報の集合物（中間製品）の属する層がある情報（部材）の属する層の上位の層と捉える。以上の層の概念は製品モデルに必要な情報を関係を含めて整理して捉えるための視点と考えられる(Fig.4-2-5)。

また本論文では、形状、材質、板厚、名前などの属性層に含まれる情報のことを単に「属性情報」と呼ぶことをここで断っておく。

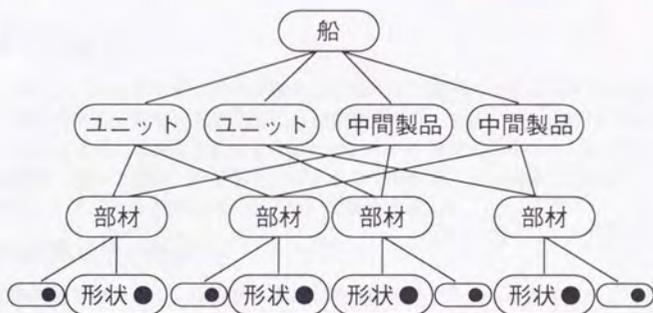


Fig.4-2-4 様々な情報と層

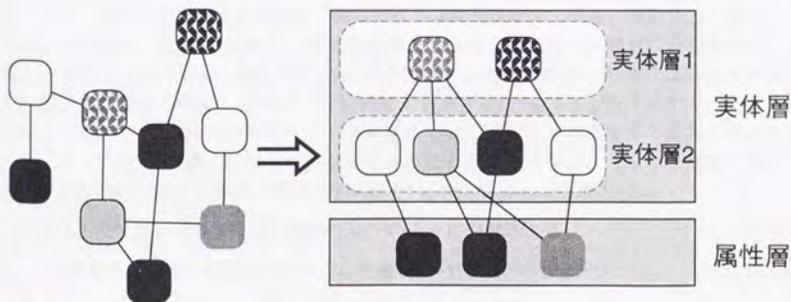


Fig.4-2-5 層の概念

#### 4.2.4 最小単位の情報について

以上に示したように、本研究では製品モデルに含まれる情報を一旦属性情報のレベルまで分解している。そして関係を用いて組み合わせることによって、実体層の情報を表現する。このようにすると属性情報のみを正確に定義すれば、他の情報は関係付けのみで定義が可能である。

ところで、実際には形状などの属性情報は更に細かい情報へと分解できる。しかし、本研究では以下の2点を考慮して属性情報を最小単位の情報と考えることにする。

- (1)形状などの属性情報については既に様々な研究が行われ、多くの成果が得られている。造船の製品モデルにおいても、これらの成果を有効に利用すべきである。
- (2)製品モデルの中心となる情報は、部材、中間製品などの実体層の情報である。従って、実体層の情報を中心に表現方法を検討するべきと考えられる。

### 4.3 機能の部品化

製品モデルのような情報を統合的に管理する環境では、情報の生成過程や利用過程を整理して捉え、情報の生成や利用を支援することが重要である。製品モデルに管理されている情報を利用して新たな製品情報を生成するためには何らかの情報処理を行うことが要求されるため、情報処理を行う「機能」が必要である。そこで本研究では「機能」も製品モデルの構成要素と考える。本節では機能の部品化について検討する。

#### 4.3.1 機能の部品化と関係

部材の分割機能を例として、関係を考慮した時に機能がどのように表現されるかについて考えてみる。

部材を分割するためには、形状、材質、板厚、名前などの属性情報を同時に生成する必要がある。従って、部材の分割機能は、形状を分割する機能、新たな板の板厚を決定する機能、新たな板の材質を決定する機能、新たな板の名前を決定する機能、等によって構成される(Fig.4-3-1(1))。ここで、部材の分割機能を構成する小さな機能は、部材の分割機能の側面として捉えられるため、部材の分割機能と形状を分割する機能との間には関係が存在する。従って、関係を考慮して部材の分割機能を表現するとFig.4-3-1(2)に示すようになる。Fig.4-3-1より、元々は1つの機能として表現されていた部材の分割機能が、関係を考慮することによって5つの機能に分解され部品化されることが理解できる。さらに、部材の集合である中間製品を分割する機能は関係を用いるとFig.4-3-2のように表現される。

以上のように関係を考慮すると機能は以下のように定義される。

- ・対象とする機能の内部に含まれていた機能が外部に出て部品化される。
- ・外部に出た機能と対象とする機能とは関係によって関係付けられる。

### 4.3.2 最小単位の機能について

機能は入力情報を基に出力情報を生成する際に用いられる。このため、機能を定義する際には入力情報や出力情報の構造を考慮しなければならない。本研究では、最小単位の情報は属性情報となっている。このため最小単位の機能は「属性情報を基に属性情報を生成する機能」となる。最小単位となる機能の例としては

- ・面分を平面によって分割する機能
- ・ある名前を基に新たな名前を生成する機能

などが挙げられる。

尚、情報を層の概念によって整理したことに倣って、機能も層を利用して表現することにする。具体的には、属性情報を生成する機能を「属性層の機能」と呼び、同様に実体層の情報を生成する機能を「実体層の機能」と呼ぶ。

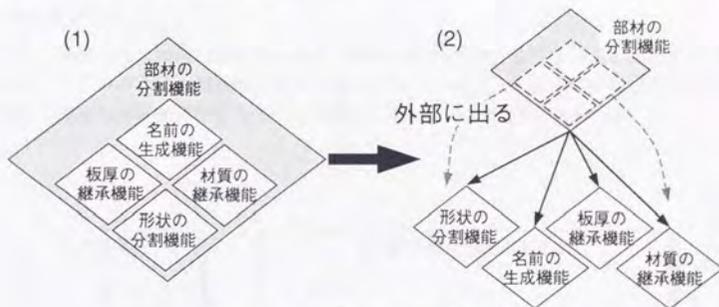


Fig.4-3-1 部材の分割機能の部品化

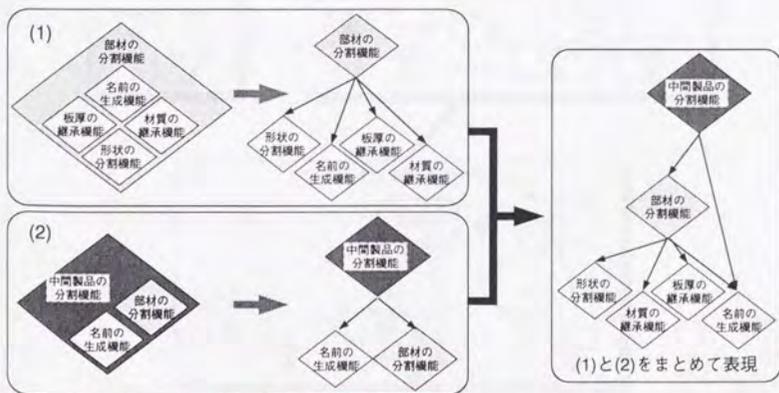


Fig.4-3-2 中間製品の分割機能の部品化

### 4.3.3 実体層の機能について

実体層の機能は、関係によって他の機能と関係付けられている。例えば、先に述べた部材の分割機能は、形状を分割する機能、板厚を決定する機能、材質を決定する機能、名前を決定する機能、と関係付けられる。これまでの部材の分割機能はこれらの機能を全て内部に含んでいたわけだが、本研究ではこれらの機能が外部に出て部品化されている。そこで、本研究における部材の分割機能がどのようなものかを考えてみる。

実体層の情報である部材は、形状や材質などの属性情報と関係によって関係付けられている。従って、部材を表現するためには、

- a) 部材情報（中身は空）を生成すること
- b) 形状、材質、名前などの属性情報を生成すること
- c) 部材情報と属性情報との間の関係を生成すること

の3つが必要である。

ここで、部材の分割機能は属性層の機能（形状の分割機能、名前を決定する機能など）と関係付けられているため、属性層の機能を使用することによって上記b)は実現される。従って、実際に部材の分割機能が果たすべき役割は上記a)及びc)となる(Fig.4-3-3)。

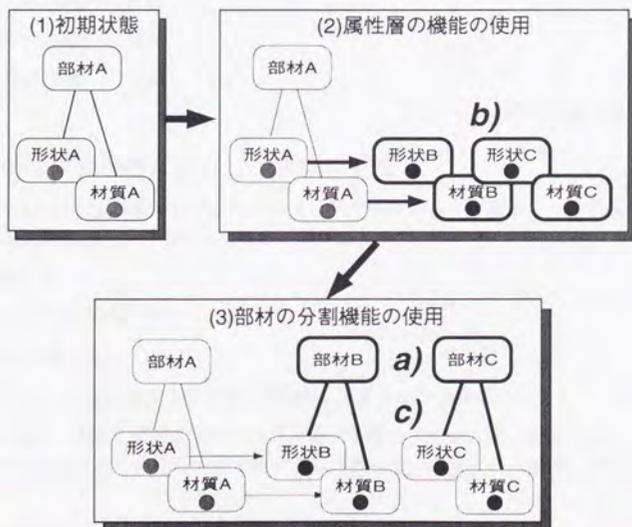


Fig.4-3-3 実体層の機能

以上のように、実体層の情報を生成するためには、下位の層の機能を使用した後に、上位の層の情報を生成し、上位の層の情報と下位の層の情報とを矛盾なく関係付けることが必要である。以上の情報処理を行う機能が「実体層の機能」と考えられる。

## 4.4 関係の整理

関係を定義する際には必ず関係付ける対象が有り、その関係付けには何らかの目的が存在する。そこで本節では、先ず関係付けの対象によって関係を整理し、次に整理した関係の目的と使用条件とを明確にする。そして最後に製品モデルの特徴を考慮して関係を見直すことによって、製品モデルを表現するために必要な関係を明確化する。

### 4.4.1 関係付けの対象に着目した関係の整理

本研究では、情報や機能を関係によって組み合わせて製品モデルを構築する。従って、製品モデルを構成する個々の情報や機能が関係付けの対象となる。この情報と機能という2種類の要素に着目し、更に方向性を考慮して関係を整理すると、以下の4種類の関係に整理できる (Fig.4-4-1)。

- (1) 情報から情報への関係
- (2) 機能から機能への関係
- (3) 情報から機能への関係
- (4) 機能から情報への関係

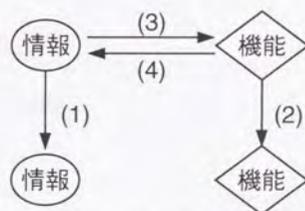


Fig.4-4-1 情報や機能の関係

### 4.4.2 関係付けの目的に着目した関係の整理

設計者あるいは生産技術者が製品モデルを利用する時のことを考えると、製品モデルに対する要求は大きく2つに分けられると考えられる。

#### a) 情報の参照

製品モデルに記述されている情報を取り出す。

#### b) 情報の変換

製品モデルに記述されている情報を利用して何らかの情報を生成する。

上記a)は情報と関係とが製品モデル上に正確に定義されていれば、関係を辿ることによって目的とする情報を取り出すことが可能である。従って「情報」と「関係」のみがあればよい。

しかしb)は情報を生成するための情報処理が必要であり、「機能」を含めて「情報」と「関係」を捉えることが必要である。

以上を踏まえると4.4.1項で明確にした4種類の関係は以下のように考えることができる。

#### (1)情報から情報への関係

情報から情報への関係は機能を含まないため、情報の参照のための関係と捉えられる。このため、本研究では情報から情報への関係を参照関係と呼ぶことにする。

製品モデルに含まれる情報を、関係を明確に意識して捉えるとFig.4-4-2のように表現できる。このような情報間の関係は一般的に'has-a'の関係、あるいは'is part of'の関係と呼ばれている。この関係によって情報Aと情報Bが関係付けられる時は、情報Bが情報Aに所属することが表現され、情報Aはいつでも情報Bを参照できる必要がある。またFig.4-4-2の例においてユニットは部材を介して形状を獲得する。従って、情報の参照は直接的に関係付けられる情報のみでなく、複数の関係を辿って情報の参照が行われることも考慮する必要がある。

以上をまとめると参照関係は以下の特徴を有すると考えられる。

- ・任意の情報と情報とを関係付けられる
- ・方向性を有する
- ・入力側から出力側をいつでも参照できる。
- ・複数の関係を辿って情報を参照できる。

#### 参照関係：情報の参照を目的とする情報から情報への関係

#### (2)機能から機能への関係

製品モデルに含まれる機能の中には、他の機能をその内部に含んでいるものがある。例えば、部材の分割機能は、その内部に形状の分割機能などを含む。この時、部材の分割機能と形状の分割機能との間には関係が存在し、部材の分割機能を関係を意識して捉えるとFig.4-4-3のように表現できる。Fig.4-4-2とFig.4-4-3とを比較すると、Fig.4-4-2の情報を機能に置き換えたものがFig.4-4-3であることが理解できる。従って情報間の参照関係と同様に、機能か

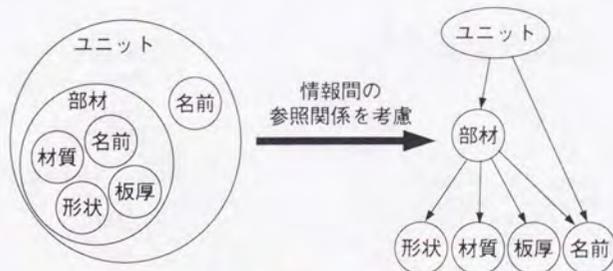


Fig.4-4-2 参照関係

ら機能への関係は方向性を有し、機能同士の'has-a'の関係として捉えられる。例えばFig.4-4-3の例においては、部材の分割機能が形状の分割機能を有していると捉えられる。また、実際に機能を使用されるのは情報の変換を行う時であり、この時、部材の分割機能は必要に応じて形状の分割機能を参照・制御できることが必要である。

本研究では、この機能から機能への関係を制御関係と呼ぶ。制御関係は以下の特徴を有する。

- ・任意の機能と機能とを関係付けられる
- ・方向性を有する
- ・入力側から出力側を必要に応じて参照・制御できる。

#### 制御関係：情報の変換を実現するための機能から機能への関係

##### (3)情報から機能への関係、機能から情報への関係

情報を変換して新たな情報を生成する時は、入力情報から機能を介して出力情報が生成される。これを関係として捉えると、情報から機能への関係、そして、機能から情報への関係という流れとなる。即ち、情報を変換する時は、機能の入力側にある「情報から機能への関係」と、機能の出力側にある「機能から情報への関係」の2種類の関係で1セットとなる。そして、機能の入力側にある関係を用いて機能は自分の入力情報を知り、機能の使用によって入力情報は出力側の関係に記述される情報へと変換される。

本研究では、情報から機能への関係を「入力側の変換関係」と呼び、機能から情報への関係を「出力側の変換関係」と呼ぶ。そして両者を総称して単に「変換関係」と呼ぶことにする(Fig.4-4-4)。

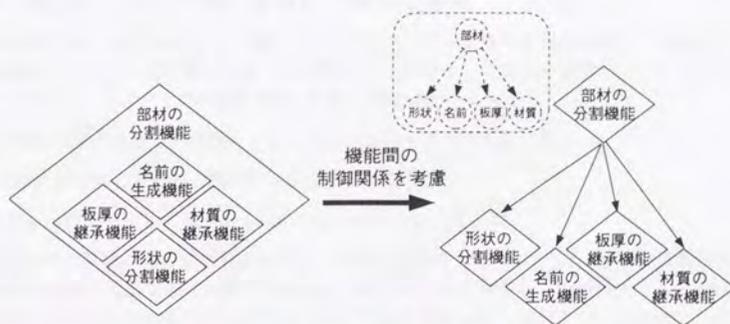


Fig.4-4-3 制御関係

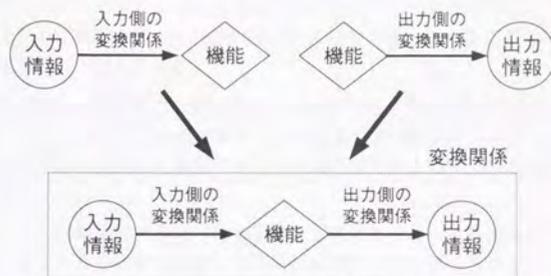


Fig.4.4-4 変換関係

変換関係は以下の特徴を有する。

- ・方向性を有する
- ・情報と機能とを関係付けられる  
(入力側の変換関係：入力が情報、出力が機能  
出力側の変換関係：入力が機能、出力が情報)
- ・入力側の変換関係と出力側の変換関係とで1セットである
- ・機能は入力側の変換関係によって情報を参照できる

変換関係：情報の変換を表現する関係。入力情報から機能への関係と、機能から出力情報への関係によって表現される

#### 4.4.3 製品モデルの内外に着目した関係の整理

前項までは、情報と機能との関係という視点、及び、情報の参照と変換という視点から関係を整理してきた。言い換えれば、情報処理の一般論として関係を整理してきたと考えられる。このため、以下の2つの関係はどちらも変換関係として捉えられる。

- a)部材の有する面分の情報を基に、部材の面積を求めるための関係
- b)部材を分割して新たな部材を生成するための関係

しかし、製品モデルの観点からはa)とb)とは明らかに異なる。

上記a)では部材の面分の情報を利用して部材の面積を抽出している。面分の情報があればいつでも面積を抽出することができるため、製品モデルの情報として管理することが必要なのは面分の情報のみである。本研究では部材や面分のように、製品モデルの情報として管理が必要な情報を「製品モデルの内部の情報」と呼び、面積のように製品モデルに管理されて

いる情報を利用していつでも取り出せる情報を「製品モデルの外部の情報」と呼ぶ。この区分に従うと、上記a)は製品モデルの内部の情報を変換して製品モデルの外部の情報を生成するための変換関係として捉えられる。

上記b)では部材情報を基に新たな部材情報が生成される。部材情報は製品を表現するための重要な情報であり、製品モデルの情報として管理すべき情報である。従って、上記b)は製品モデルの内部の情報を変換して製品モデルの内部の情報を生成するための変換関係として捉えられる。

以上を考慮すると、製品モデルの内部の情報を生成するための変換関係と、製品モデルの外部の情報を生成するための変換関係を明確に区別すべきと考えられる。そこで本研究では、製品モデルの内部の情報を生成する「生成関係」と、製品モデルの外部の情報を生成する「抽出関係」の2種類に分けて変換関係を捉えることにする(Table 4-4-1)。

生成関係：製品モデルの内部の情報を生成するための変換関係

抽出関係：製品モデルの外部の情報を生成するための変換関係

ところで、参照関係は製品モデルに記述される情報の参照時に使用されるため、元々製品モデルの内部の情報の間にしか参照関係は存在しない。従って、変換関係のような種類分けは必要ない。

#### 4.4.4 関係のまとめ

本節で述べてきた関係は、以下のように整理することができる(Table 4-4-2)。

##### (1)参照関係

- ・関係付けの対象（入力：情報、出力：情報）
- ・目的：情報の参照
- ・要求される項目：入力側から出力側を参照できる

複数の関係を辿れる

Table 4-4-1 生成関係と抽出関係

名称	特徴
生成関係	製品モデルの内部の情報を生成するための変換関係
抽出関係	製品モデルの外部の情報を生成するための変換関係

## (2)制御関係

- ・関係付けの対象（入力：機能、出力：機能）
- ・目的：情報の変換の実現
- ・要求される項目：入力側から出力側を必要に応じて参照・制御できる

## (3)生成関係

- ・以下の2種類の関係に整理でき、その両方で1セットとして扱われる
- ・目的：製品モデルの情報の生成

## a)入力側の生成関係

- ・関係付けの対象（入力：情報、出力：機能）
- ・情報から機能を制御できる
- ・機能から情報を参照できる

## b)出力側の生成関係

- ・関係付けの対象（入力：機能、出力：情報）
- ・機能の使用によって何が生成されるかを表現する

## (4)抽出関係

- ・以下の2種類の関係に整理でき、その両方で1セットとして扱われる
- ・目的：製品モデルの情報の利用

## a)入力側の抽出関係

- ・関係付けの対象（入力：情報、出力：機能）
- ・情報から機能を制御できる
- ・機能から情報を参照できる

Table 4-4-2 本研究における関係の整理

		名称	入力	出力	目的
関係	参照関係		情報	情報	情報の参照
		制御関係	機能	機能	情報の変換の実現
	生成関係	入力側	情報	機能	情報の変換 (製品モデルの内部の情報の生成)
		出力側	機能	情報	
	抽出関係	入力側	情報	機能	情報の変換 (製品モデルの外部の情報の生成)
		出力側	機能	情報	

## b)出力側の抽出関係

- ・関係付けの対象（入力：機能、出力：情報）
- ・機能の使用によって何が生成されるかを表現する

## 4.5 変換関係と機能

4.2節では、情報間関係（参照関係）に着目することによって情報がどのように表現されるかについて検討し、4.3節では機能間関係（制御関係）に着目することによって機能がどのように表現されるかについて検討した。従って、4.2節および4.3節では情報及び機能の表現方法を各々個別に検討してきたと言える。

ところで、4.4節の関係の整理によって、関係には情報間関係や機能間関係のみでなく、情報と機能との関係があることが分かった。そこで本節では情報と機能との関係である変換関係に着目する。変換関係（生成関係と抽出関係）は情報と機能とを関係付ける役割を担い、情報-機能-情報で1つのセットとなる。即ち、変換関係によって情報と機能との統合化が実現される。

実際に変換関係を定義することを考えると、属性層と実体層でその定義されるまでの過程が異なっている。

属性層の機能として例えば以下の機能が挙げられる。

- a)面分と面分との交線を求める機能
- b)名前を基に名前を生成する機能
- c)面分を基に面積を求める機能

これらの機能を定義すると、その機能の入力情報と出力情報とは一意に決定される。入力情報と出力情報が決定されるということは、入力情報-機能-出力情報の流れが機能に支配されるということである。以上より、属性層では機能によって変換関係が決定されることができると考えられる。

一方、実体層の機能は、前節で述べたように「下位の層の機能を使用した後に、上位の層の情報を生成し、上位の層の製品情報と下位の層の製品情報を矛盾なく参照関係によって関係付ける」というものである。この機能からは入力情報及び出力情報を一意に決定することは不可能であり、情報と機能との関係を利用して入力情報や出力情報が決定される。即ち、実体層では変換関係を基に機能が決定され、機能よりも関係が支配的であると考えられる。

以上のように変換関係は情報と機能とを関係付ける役割を担うが、属性層と実体層では決定のされ方が異なる。属性層では機能を基に変換関係が決定され、実体層では機能よりも関係が支配的である。

## 4.6 情報・機能・関係の構造の検討

本章でこれまで述べてきたように製品モデルを表現するためには、情報・機能・関係は以下の項目を満足しなければならない。

- (1)情報・機能が関係によって自由に組み合わせられること
- (2)組み合わせの変更を容易に行えること
- (3)組み合わせに応じて情報の参照や変換が可能なこと

本節では、上記(1)(2)(3)の順序で情報・機能・関係の構造及び仕組みについて検討する。

### 4.6.1 情報・機能の関係による組み合わせ

情報・機能は、関係付けられる情報・機能の数が決まっている訳ではなく、関係付けが必要な情報・機能と幾つでも関係付けられる必要がある。また、本章でこれまでに述べてきた関係には全て方向性があり、入力と出力とが明確であることが必要である。そこで、自由な組み合わせを可能とするために情報・機能・関係を以下の構造として定義する。

#### a)情報

情報には、自分の有する参照関係や変換関係（生成関係・抽出関係）を格納するための器を用意する。情報が他の情報・機能と関係付けられたなら、その器に関係が格納される。尚、参照関係・生成関係・抽出関係の各々について、情報が入力側かあるいは出力側かを明確に区別するために、合計6つの器を用意する。

#### b)機能

機能も、情報と同様に自分の有する制御関係や変換関係を格納するための器を用意し、他の情報・機能と関係付けられたならその器に関係が格納される。ところで機能の出力情報は製品モデルの内部か外部の何れかであり、その両方を同時に有することはないため、生成関係と抽出関係を区別する必要はない。従って、制御関係（入力側・出力側）と変換関係（入力側・出力側）とを区別するために、合計4つの器を用意する。

#### c)関係

関係には、入力となる情報あるいは機能と、出力となる情報あるいは機能が記述される。また、関係の種類として参照関係、制御関係、生成関係（入力側）、生成関係（出力側）、抽出関係（入力側）、抽出関係（出力側）の計6種類が必要である。

以上のような構造で情報・関係・機能を定義すれば、情報Aから情報Bへの参照関係を定義する時には以下の流れによって情報Aと情報Bとは関係付けられる(Fig.4-6-1)。

- 1)情報Aを入力、情報Bを出力とする参照関係Cが定義される。
- 2)情報Aの参照関係を格納する器に、定義された参照関係Cが格納される。
- 3)情報Bの参照関係を格納する器に、定義された参照関係Cが格納される。

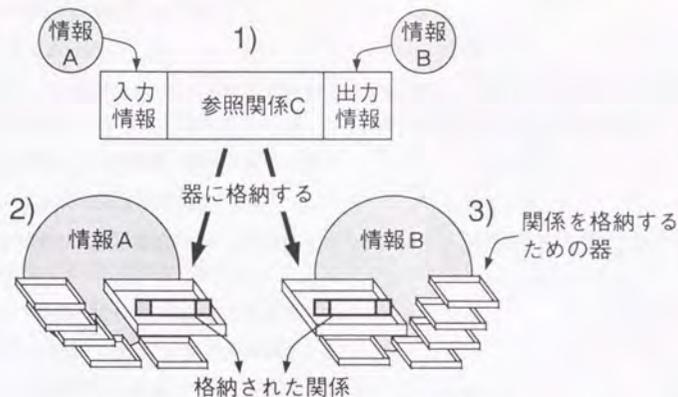


Fig.4-6-1 参照関係による情報の組み合わせ

以上のようにすれば、情報Aは参照関係Cを介して情報Bを知ることができる。

更に、情報Aと情報Dとの参照関係Eを定義するときは、上記の流れによって情報Aと情報Dとの参照関係Eが定義される。その結果、情報Aの参照関係を格納する器には2つの参照関係が格納されることになる。

以上は情報間に参照関係を定義することを例として情報や機能の関係による組み合わせについて述べてきたが、他の関係の場合も全く同様であり、関係が定義されると情報や機能の関係を記述するための器に、定義された関係は格納される。

#### 4.6.2 組み合わせの変更

組み合わせの変更は、関係付けの変更として捉えられる。関係付けの変更は、ある関係を削除し、その後新たな関係を定義することと考えられる。新たな関係の定義は前項で述べたように柔軟に行うことができるため、組み合わせを柔軟に変更できるという問題は、関係を自由に削除できることによって解決することができる。

ある関係を削除する時は、その関係の入力および出力となる情報・機能の器から対象とする関係を取り除けばよい。例えば、Fig.4-6-1の情報Aと情報Bとの参照関係Cを削除する場合は、情報Aの参照関係を格納する器と、情報Bの参照関係を格納する器との両方から参照関係Cを取り除く。これによって、情報Aや情報Bの有する他の組み合わせに影響を与えずに参照関係Cを削除することができる。また情報や機能そのものを削除する時は、情報や機能と同時に、その情報や機能が有する全ての関係を上記の方法によって削除すればよい。

以上のように本研究の情報・機能・関係の構造は、情報・機能・関係の削除に対して柔軟に対応でき、更に前項で示したように追加の問題に対しても柔軟に対応できる。従って、組み合わせの変更を自由に行うことが可能である。

## 4.6.3 情報の参照と変換への対応

## (1)情報の参照への対応

情報Aと情報Bとが参照関係Cによって関係付けられている時は、情報Aから情報Bを参照できなければならない。本研究では以下のようにして情報の参照が行われる(Fig.4-6-2)。

- a) 情報Aが参照関係Cに情報Bの参照を要求する。
- b) 参照関係Cは自分の有する情報Bを参照する。

更に情報Bが情報Dと参照関係Eによって関係付けられており、情報Aから情報Dを参照する時は以下のように情報の参照が行われる。

- a) 情報Aから参照関係Cに情報Dの参照を要求する。
- b) 参照関係Cは情報Bに情報Dの参照を要求する。
- c) 情報Bから参照関係Eに情報Dの参照を要求する。
- d) 参照関係Eは自分の有する情報Dを参照する。

以上のように参照の要求を繰り返し伝えることによって、複数の関係を辿り情報を参照することにも対応ができる。従って以上に示したように情報と参照関係の挙動（振る舞い）を定義することによって、本研究のように情報が関係によって組み合わせられていても情報が参照される。

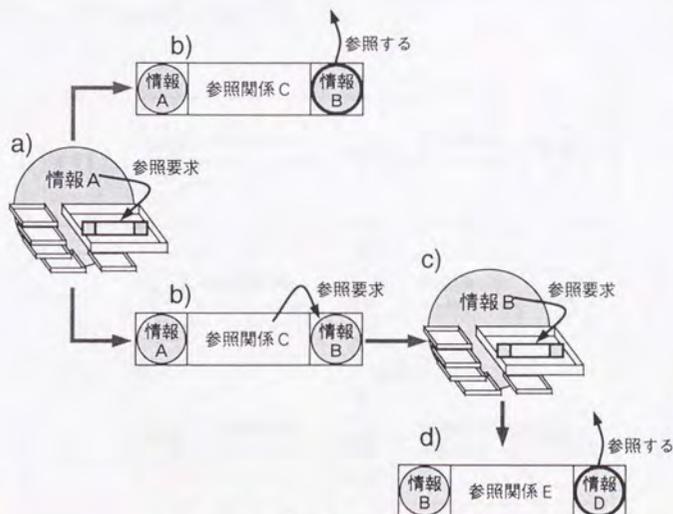


Fig.4-6-2 関係を利用した情報の参照

## (2)情報の変換への対応

Fig.4-6-3(1)に示すように情報や機能が関係付けられている状態で、情報Aを基に情報Bを生成する時は以下の流れによって情報の変換は行われる。

- a)情報Aが変換関係Dに情報の変換を要求する。
- b)変換関係Dは機能Cに情報の変換を要求する。
- c)機能Cは変換関係Dに情報Aの参照を要求する。
- d)変換関係Dは自分の有する情報Aを機能Cに伝える。
- e)機能Cは自分の有する情報処理手順にしたがって情報Aを基に情報Bを生成する。

更に、Fig.4-6-3(2)に示すような関係付けの時は、上記の流れのe)の中で以下の処理が行われる。

- e1)機能Cは制御関係Fに対して情報の変換を要求する。
- e2)制御関係Fは自分の有する機能Gに情報の変換を要求する。
- e3)機能Gが活性状態となり、上記c)~e)の流れによって情報Iが生成される。
- e4)機能Cは制御関係F、機能G、変換関係Kを介して情報Iを知る。
- e5)機能Cは自分の有する情報処理手順にしたがって情報Bを生成し、情報Bと情報Iとの間に参照関係を生成する。

従って以上に示したように情報、機能、関係の挙動（振る舞い）を定義すれば、本研究の表現方法によって情報の変換が可能となる。

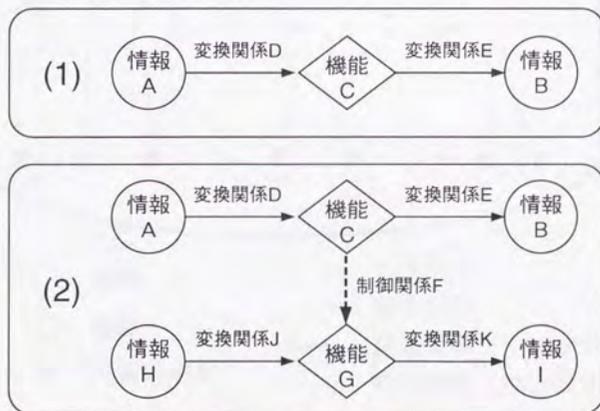


Fig.4-6-3 情報や機能の関係付けの例

## 4.7 本研究による製品モデルの表現

### 4.7.1 製品モデル全体の表現

本研究の概念を用いると、製品モデルは複数の情報や機能が関係によって結合された結合体として表現される(Fig.4-7-1)。製品を表現するための様々な情報は、本研究では部品化され「情報」として管理されている。また、情報の生成や抽出のための情報処理機能も部品化され「機能」として管理されている。そしてこれらの「情報」や「機能」が「参照関係」「制御関係」「変換関係(生成関係と抽出関係)」によって関係付けられている。このため情報の生成や抽出が必要な時には、「情報」から「変換関係」を介して「機能」に生成や抽出の要求が発せられ、「機能」によって要求された情報処理が行われる。また、製品モデルに記述される情報の参照が必要なときは、「参照関係」を辿ることによって目的とする情報が参照される。

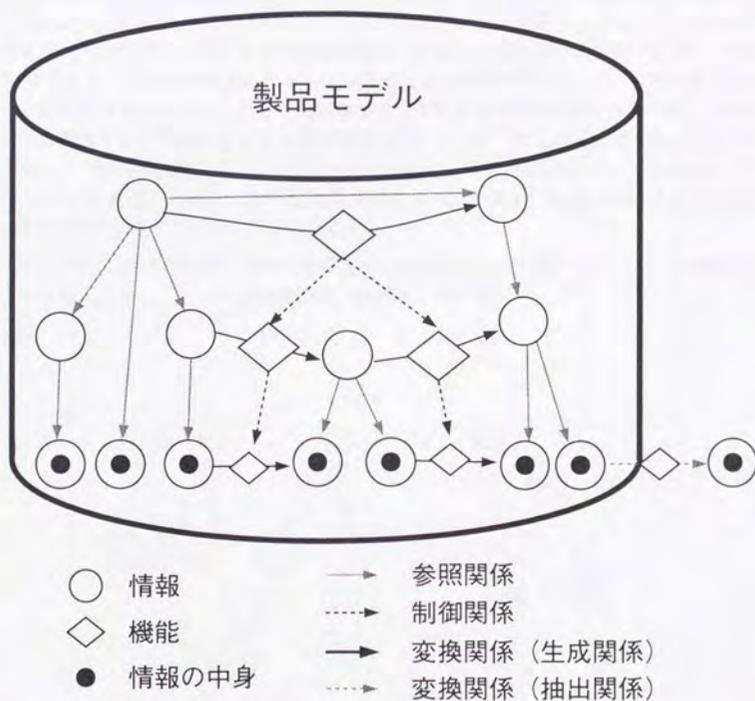


Fig.4-7-1 本研究による製品モデルの表現

## 4.7.2 情報の変換や利用の際の構成要素の役割

以上のように本研究の製品モデルは「情報」「機能」「関係」という3種類の構成要素によって構成される。ここで、この3種類の構成要素の組み合わせによって製品モデルにおける情報の利用（管理・参照）や、情報の変換（生成・抽出）が可能であるか否かを考えてみる。

## (1)情報の管理・参照

製品モデルを単に静的なデータベースとして捉え、情報の統合的な管理と、管理されている情報の取り出しを目的とする時は、Fig.4-7-2(1)に示すように情報と参照関係があればよい。この時、情報の内部にはその情報が管理すべき内容が記述され、複数の情報は参照関係によって関係付けられている。このため、本研究においては、製品モデルに管理すべき情報が一旦分解され部品化されるが、部品化された情報が参照関係によって関係付けられることによって、情報が統合的に管理される。

ここで、製品モデルに管理されている情報を参照する（取り出す）ことを考えてみる。例えば、Fig.4-7-2(2)に示す例において部材の形状を参照することを考えてみる。部材は直接的に形状を知らないため、部材から参照関係に形状を参照する要求が発せられる。そして参照関係が主体となって形状が参照される。このため、4.4節で述べたように、参照関係が情報同士を自由に組み合わせられるという役割の他に、情報を参照するための役割を有していれば、複数の情報を参照関係によって自由に関係付けることができ、更に参照関係の入力側から出力側をいつでも参照することが可能となる。従って、Fig.4-7-2(1)のように組み合わせられた時はAからCは参照できるが、CからAは参照できない。またAからBを参照したい時はAからBへ参照関係を定義すればよいことになる。

以上のように、情報の管理・参照は情報と参照関係があれば可能であり、この2種類の要素によって組み合わせに応じた情報の管理・参照が行われる。

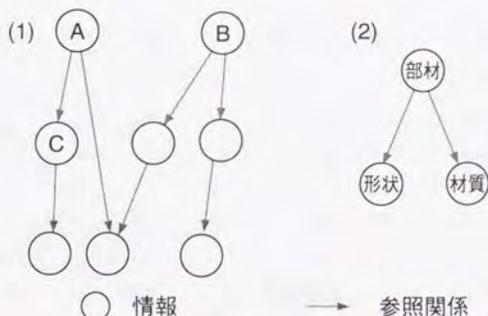


Fig.4-7-2 情報の管理・参照のために

## (2)情報の生成・抽出

3.3節で述べたように、製品モデルのように情報を統合的に管理する環境では、既に製品モデル内に管理されている情報を有効に利用して新たな情報を生成することが重要である。そして情報を生成するためには、情報を変換する役割を担うもの、即ち機能が必要であり、機能には情報を変換するための情報処理の内容が記述される必要である。このため、Fig.4-7-2(1)において情報Aを基に情報Bを生成する時は、Fig.4-7-3(1)に示すように情報Aと情報Bの間に機能が必要となる。但し、Fig.4-7-3(1)に示すように情報と機能とが独立しては機能を利用することができないため、Fig.4-7-3(2)に示すように情報と機能とを関係付ける変換関係が必要になる。Fig.4-7-3(2)のように情報と機能とが変換関係によって関係付けられたなら、4.6.3項(2)に示した手順で情報の変換が可能となる。従って、変換関係が4.4節で述べたように、情報と機能とを自由に関係付けられるという役割と、情報の変換の際に必要な役割を有すれば、情報と機能とを自由に関係付けることができ、更に機能の入力情報を基に出力情報を生成(抽出)することが可能となる。

ところで、4.3節で述べたように本研究では機能を部品化している。このために、Fig.4-7-2(2)を生成するための機能と変換関係について考えると、Fig.4-7-4(1)のように3つの異なる機能と変換関係が必要である。ここで部材の生成機能は部材情報のみを生成し、形状や材質は生成しない。しかし、部材情報は、形状や材質の情報を含めて生成することが必要であり、このためには部材の生成機能の使用と同時に、形状や材質の生成機能を使用しなければならない。この役割を担うのが制御関係である。制御関係は複数の機能を関係付けられるという役割の他に、入力側の機能が使用された時に出力側の機能に情報の変換の要求を発するという役割を担う。従って、Fig.4-7-4(2)に示すように機能同士を制御関係によって関係付けられれば、部材の生成と同時に形状や材質が生成され、部材全体としての整合性が維持される。以上は部材を例に制御関係について説明してきたが、他の場合も全く同様であり、上位の層の機能と下位の層の機能が制御関係によって関係付けられることによって、上位の層のみでなく下位の層を含めて情報が変換される。

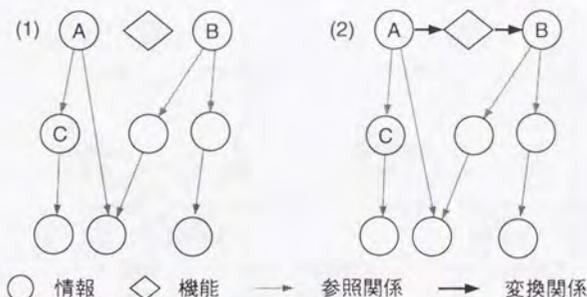


Fig.4-7-3 情報の生成・抽出のために(1)

従って、情報の生成・抽出は機能、変換関係、及び制御関係によって可能となる。この3種類の要素によって組み合わせに応じた情報の生成・抽出が行われる。

上記(1)及び(2)より、「情報」「機能」「関係（参照関係・制御関係・変換関係）」という3種類の構成要素の組み合わせによって、製品モデルにおける情報の利用（管理・参照）や情報の変換（生成・抽出）が可能であることが示された。

### 4.7.3 本研究の表現方法とE-Rモデルとの相違

本研究の製品モデルは、情報や機能などの部品を関係という連結器によって組み合わせることによって表現される。関係(Relation)の重要性は3.1.4項において述べたようにChenによって指摘されており、様々な物(Entity)を関係(Relation)によって関係付けて表現する方法は一般的にE-Rモデルと呼ばれている[Chen76]。そこで本研究の表現方法とE-Rモデルとの相違を以下に述べる。

Chenによって提案されたE-Rモデルの概念は非常に広い範囲を対象としている。このため、Entityとして何が必要か、あるいはRelationとしてどのような種類があるかについては深く言及されていない。

本研究では情報及び機能をEntityとして捉え、情報及び機能を別々のEntityとして扱うべきであること、更に情報及び機能の特徴を考慮すると属性層と実体層の2つの層に分類できることを示している。また関係についても、関係付けの目的と対象とを考慮して、参照関係、制御関係、及び変換関係（生成関係・抽出関係）に分類し、各々の関係の特徴や振る舞いを整理している。

以上のように、本研究では製品モデルにおけるEntityとしてどのような種類があるか、またRelationとしてどのような種類が必要であるかを検討し、製品モデルの特徴を考慮して、Chenによって提案されたE-Rモデルの概念を掘り下げている。

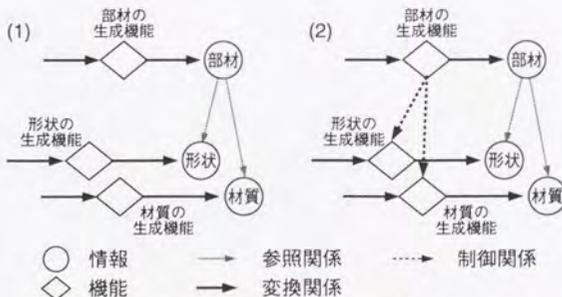


Fig.4-7-4 情報の生成・抽出のために(2)

## 4.8 本章のまとめ

本章では製品モデルの表現方法について検討した。

4.1節では、製品モデルでは情報や機能に加えて「関係」が重要な意味を持つことを示した。そして、製品モデルの表現方法としては、情報や機能を部品化し、それらを関係によって組み合わせることで表現することが有効であると考えた。

4.2節では、情報の部品化について検討した。そして、関係を考慮することによって、これまでではある情報の内部に記述されていた情報が外部に出て部品化されること、また部品化された情報はその表現内容によって分類することが有効であることを示した。そして情報の分類のために層の概念を導入し、製品モデルを構成する情報を実体層、属性層の2種類の情報に分類した。更に実体層の情報は、他の情報との関係付けのみによって表現できることを示した。

4.3節では、機能の部品化について検討した。そして関係を考慮することによって、これまでではある機能の内部に記述されていた機能が外部に出て部品化されること、また機能も層の概念を用いて分類することが有効であることを示した。

4.4節では、製品モデルにおける関係を、関係付ける対象と関係付けの目的に着目して整理した。そして参照関係、制御関係、生成関係、抽出関係の4種類の関係を定義し、各々の関係の特徴を明確にした。

4.5節では、変換関係によって情報と機能とがどのように関係付けられるかについて検討した。

4.6節では、情報や機能を関係によって組み合わせるためには、情報・機能・関係がどのような構造であればよいかを検討した。更に、組み合わせに応じて情報の生成や参照を可能とするためには、情報・機能・関係に何が求められるかを明確にした。

4.7節では、4.1節から4.6節までの検討に基づくと、製品モデル全体がどのように表現されるかについて述べた。

以上によって、本研究の製品モデルの表現方法に必要な概念を明確にした。

## 第5章

# 本研究の製品モデルの表現方法の有効性の検討

第4章では、製品モデルの表現方法について検討した。本章ではこれを受け、本研究の製品モデルの表現方法の有効性について検討する。このために先ず、5.1節から5.3節において第3章において述べた4つの要求項目が、本研究の製品モデルの表現方法によってどのように満足されるかについて述べる。また5.4節において、本研究の製品モデルの表現方法の特徴である「関係」を利用することによるメリットについて検討する。

### 5.1 本研究の製品モデルの表現方法の特徴

第3章において整理したように、製品モデルの表現方法には、以下の4項目が求められる。

- (1)製品モデルを情報や機能の構成として表現できること
- (2)製品モデルの多面性を表現できること
- (3)情報や機能が部品化されていること
- (4)製品モデルの柔軟性・拡張性が確保されていること

また、本研究で提案する製品モデルの表現方法は以下の特徴を有する。

- a)情報と機能とを同格と見做し、各々を明確に認識することができる。
  - b)情報及び機能が分解され部品化されている。
  - c)部品化された情報及び機能が関係によって組み合わせられ、情報や機能の結合体として製品モデルが表現されている。
-

d)関係が果たすべき役割を考慮し、参照関係・制御関係・生成関係・抽出関係の4種類の関係に整理している。

これらの特徴によって、製品モデルを構成する情報や機能は部品化され、製品モデル全体は情報や機能の構成として表現される。従って上記の製品モデルの表現方法の要件の内、

- (1)製品モデルを情報や機能の構成として表現できること
- (3)情報や機能が部品化されていること

は満足される。そこで、実際に要件が満足されているか否かを詳細に検討が必要なのは、(2)製品モデルの多面性を表現できること、(4)製品モデルの柔軟性・拡張性が確保されていること、である。

そこで以下、5.2節において「(2)製品モデルの多面性を表現できること」について検証し、5.3節において「(4)製品モデルの柔軟性・拡張性が確保されていること」について検証する。

## 5.2 製品モデルの多面性の表現

### 5.2.1 本研究で対象とする製品モデルの多面性

製品モデルの多面性は、製品モデルを様々な視点から捉えるために生じると考えられる。このため、製品モデルの多面性の表現は、「製品モデルをどのような視点から捉えることができるか」に置き換えることができる。製品モデルの多面性を表現するためには、以下に示す視点から製品モデルを捉えられることが重要である。

#### (1)情報や機能を詳細に捉える視点と大局的に捉える視点

製品モデルには、設計の初期段階から生産に至るまでの設計者の認識に対応する様々な情報が統合化されて管理される。また、形状情報のみでなく様々な属性情報も管理される。このような特徴を有する製品モデルを捉えるためには、情報や情報処理の流れを大局的に捉える視点や、情報の表現方法や情報処理の方法などを詳細に捉える視点など、情報や機能を様々な詳細度で捉える必要がある。

また、実際に製品モデルを構築する際にはプロトタイプング手法が用いられるため、大局的な検討をした後に詳細な検討を行ったり、あるいはその逆にある一部分の検討をした後に全体の検討に戻るなど様々な詳細度の変化が存在する。このような詳細度の変化に応じて情報や機能を捉えられることが製品モデルには求められる。

#### (2)モデルの成長に着目する視点

製品モデルは設計・生産過程をも含むモデルである。設計・生産過程は製品モデルでは、製品モデルを構成する様々なモデル（コンセプトモデル、組立品モデルなど）の成長過程として捉えられる。このため、モデルの成長を表現できることが重要である。

### (3)情報の生成・管理・利用に着目する視点

実際に製品モデルをシステム上に構築するためには、情報の生成・利用・管理などの情報処理の視点から製品モデルを捉える。このためには、情報の生成・利用・管理の各々の視点から製品モデルを捉えられなくてはならない。従って製品モデルの表現方法には、情報の生成・利用・管理の各々の視点に対応することが必要である。

ところで本研究では、関係を参照関係、生成関係、抽出関係、制御関係の4種類に種類分けしている。そして関係の種類分けによって製品モデルの多面性を表現している。そこで、本節では上記した視点がかこれらの関係によってどのように表現されるかについて述べる。

## 5.2.2 製品情報や機能の詳細度の表現

本研究を利用する場合の詳細度の変化を、情報及び機能について考えてみる。

### (1)情報の詳細度の変化

本研究における最小単位の情報は属性情報である。属性情報のレベルでは、形状をどのように表現すべきかなどの詳細な検討が行われる。属性情報の集合として捉えられる部材情報などは属性情報と参照関係によって関係付けられる。さらに部材の集合物であるユニットや中間製品の情報は部材情報と参照関係によって関係付けられる。そしてユニットや中間製品の生成の流れに着目する時は、詳細な形状の表現方法などに囚われることなく、情報を大局的に捉えている。以上のように、中間製品などの上位の層の情報ほど大局的であり、形状などの下位の層の情報ほど詳細である。そして上位の層の情報と下位の層の情報とは参照関係によって関係付けられている。言い換えれば参照関係によって情報がヒエラルキを構成し、ヒエラルキの上位の情報ほど大局的ということが出来る。従って、情報に関しては参照関係の上流側ほど大局的であり、下流側ほど詳細であると考えられる。

### (2)機能の詳細度の変化

本研究における最小単位の機能は属性層の機能であり、属性層の機能では形状処理などの具体的な方法が検討される。属性層の機能の集合として捉えられる実体層の機能は属性層の機能と制御関係によって関係付けられる。さらにその実体層の機能はより上位の層の機能と制御関係によって関係付けられる。即ち、制御関係によって機能がヒエラルキを構成し、ヒエラルキの上位の機能ほど大局的である。従って機能については制御関係の上流側ほど大局的であり、下流側ほど詳細である。

以上の特徴を考慮すると、製品モデルを大局的に捉えたい時は、参照関係や制御関係の上流側で製品モデルを捉えばよく、また逆に製品モデルを詳細に捉えたい時は、参照関係や制御関係の下流側で製品モデルを捉えばよい。そして大局的な視点から詳細な視点へと変化させる時は参照関係や制御関係を上流から下流へと辿ればよく、詳細な視点から大局的な視点へと変化させる時は逆に下流から上流へと辿ればよい(Fig.5-2-1)。

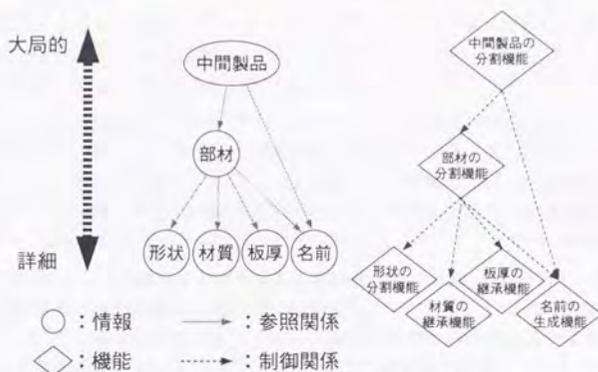


Fig.5-2-1 情報と機能の詳細度

以上はでき上がった製品モデルの捉え方であるが、製品モデルを構築する時においても、詳細から大局への流れで構築する時は参照関係や制御関係の下流側から上流側へと情報や機能を定義し、大局から詳細への流れで構築する時は参照関係や制御関係の上流側から下流側へと情報や機能を定義することになる。

以上のように、本研究で提案する製品モデルでは、参照関係及び制御関係に着目することによって情報や機能の詳細度の変化を明確に把握することが可能である。

### 5.2.3 モデルの成長の表現

設計者の認識に対応する様々なモデル（コンセプトモデル、組立品モデルなど）は、製品モデルの中では製品情報として表現される。上流のモデルから下流のモデルへのモデルの成長は、上流の製品情報を基に下流の製品情報を生成することとして置き換えられる。製品情報は情報に含まれるため、情報の生成過程がモデルの成長を表現するものと考えられる。

情報の生成は機能によって行われるが、本研究では入力情報—機能—出力情報の関係が生成関係として表現されている。生成関係そのものは、製品モデルの中のある一部分を表現しているに過ぎない。しかし、Fig.5-2-2に示すように、情報をジョイントとして生成関係をつなげることによって、情報の生成過程（モデルの成長過程）を生成関係の流れとして捉えることが可能となる。生成関係の流れとして捉えると、流れの上流に位置する情報や機能は製品モデル全体の中でも上流に位置するものと捉えられ、生成関係の流れの下流に位置する情報や機能は製品モデル全体の中でも下流に位置するものと考えられる。従って、生成関係に着目して製品モデルを捉えることによって、モデルの成長や成長に関与する機能を把握することができ、更にモデルの成長の中で個々の情報や機能がどのような位置づけにあるかを把握することが可能である(Fig.5-2-3)。

ところで、一口にモデルの成長といってもモデルの成長には2種類あると考えられる。1つ

はコンセプト・モデルからコンフィグレーション・モデルへの成長のようにモデルの変化を伴う成長である。もう1つは例えばコンセプト・モデル内での情報の詳細化のように、モデルの変化を伴わない成長である。製品モデルの成長を捉えるためには、このような2種類の異なる成長を明確に区別できることが重要と考えられる。

先に述べたように本研究ではコンセプト・モデルなどは情報として表現されており、生成関係に着目することによって入力情報と出力情報とが把握できる。従って、Fig.5-2-4に示すように、同じモデル内での情報の詳細化は入力情報と出力情報とが同じ生成関係として表現され、モデルの変化を伴う情報の生成は入力情報と出力情報とが異なる生成関係として表現される。従って2種類の製品モデルの成長を明確に区別して捉えることが可能である。

例えば、前述のSODASの製品モデルの成長を本研究の概念を用いるとFig.5-2-5のように表現できる(参照関係や制御関係の上流側で大局的に捉えている)。空間設計機能、カット機能は同じモデル内での情報の詳細化を行うための機能であり、内部構造設計機能はモデルの変化を伴う機能であることが理解できる。またFig.5-2-5の(A)の機能は、現状のSODASでは考慮されていない機能である。しかし本研究の表現方法を用いると、モデルの変化を伴う機能がFig.5-2-5の(A)の場所に必要であることが理解できる。

以上のように本研究で提案する製品モデルでは、生成関係に着目することによって、製品モデルの成長や、モデルの成長過程における情報や機能の位置づけを明確に把握することが可能である。

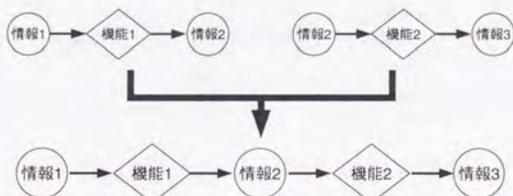


Fig.5-2-2 関係の接続

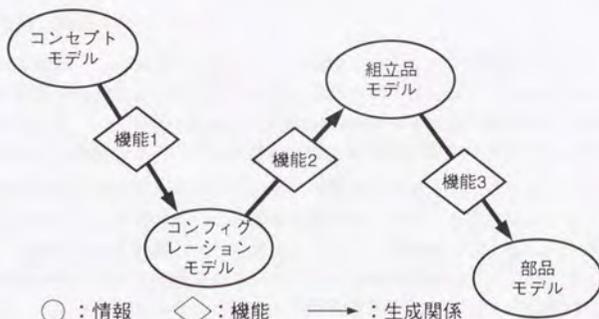


Fig.5-2-3 生成関係とモデルの成長(1)

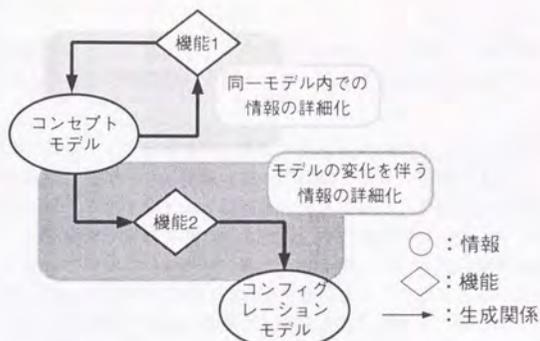


Fig.5-2-4 生成関係とモデルの成長(2)

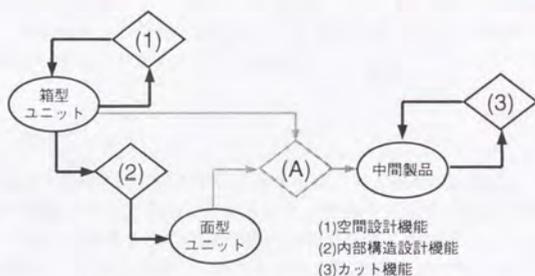


Fig.5-2-5 SODASにおけるモデルの成長

### 5.2.4 情報の生成・利用・管理の表現

#### (1)情報の管理と関係

製品モデルでは数多くの情報を管理しなければならないため、管理の良否によって情報の参照や抽出の際の効率が大きく異なってくる。このため製品モデルにおいてはデータ構造が重要と言われており、STEP(STandard for the Exchange of Product model data)でも情報の交換・管理に主眼を置いて製品モデルのデータ構造に関する検討が行われている[大高95]。

データ構造は情報と情報同士の関係を含めて情報構造を捉えたものと考えられる。そしてその情報構造を利用して管理されている情報は取り出される。本研究においては情報の参照(取り出し)は参照関係を利用して行われる。従って、本研究では、製品モデルのデータ構造は情報と参照関係によって表現される。このため情報の生成などに囚われず、製品モデルを単にデータベースとして捉えたい場合や、情報の管理方法に着目する場合は情報と参照関係に着目して製品モデルを捉えればよい。

### (2)情報の利用と関係

製品モデルを構築する上で、製品モデルの情報を利用して獲得できる情報について検討することは重要である。そこで中間製品を例として、ある製品情報から獲得できる情報について考えてみる。

中間製品は部材の集合として定義され、また中間製品の識別子として名前を有する。このため中間製品が直接的に獲得できる情報は部材の情報と名前の情報である。これらの情報は本研究では参照関係によって中間製品と関係付けられている。また部材は形状、材質、名前等の属性情報との参照関係が定義されているため、中間製品は部材を介して自分の形状を知ることができる。従って中間製品が自分の形状を知る際には、複数の参照関係を辿ることになる。更に、形状(面分)があれば面積の情報を獲得することができる。面分から面積を獲得できるという関係は本研究では抽出関係として定義されている。従って、中間製品が自分の表面積を求めたいときは、複数の参照関係と抽出関係を辿ることになる。

以上のように、本研究では、ある情報が与えられた時にその情報を利用して直接的・間接的に取り出せる情報は、参照関係・抽出関係を辿ることによって獲得できる情報ということになる。従って、製品モデルの情報の利用という視点から製品モデルを捉えるときは参照関係と抽出関係に着目して製品モデルを捉えればよい。

### (3)情報の生成と関係

製品モデルを構成する情報をどのように生成するかという問題は、製品モデルを構築する上で非常に重要な問題である。製品モデルのような情報を統合的に管理する環境においては、既に製品モデル内に獲得された情報を基に新たな情報を生成することが有効であるため、本研究では情報間の制約を利用して新たな情報が生成されると考えている。そして制約を利用して実際に新たな情報を生成するためには、何らかの情報処理が必要となる。

このような情報の生成の流れは、本研究では、情報-機能-情報の流れで定義される生成関係によって表現されている。例えば、部屋の情報を基に部材の情報を生成する際の生成関係は「部屋-部材生成機能-部材」の流れとして表現される。従って、生成関係に着目することによって、どのような情報を基にどのような情報が生成されるかを把握することができる。

ところで実際に情報を生成するためには、情報を生成するための情報処理機能についての検討も重要である。機能を検討する際には、機能がどのような構成となっているか、あるいは入力情報と出力情報の整合性がどのように保証されているかについて把握する必要がある。例えば先に挙げた部材生成機能の場合は、部材の形状をどのように生成するかなども同時に考慮することが重要である。本研究では、このような部材生成機能と形状の生成機能との関係は制御関係によって表現されている。従って、制御関係に着目することによって機能の構成を把握することが可能である。

以上のように本研究では、情報の生成の流れが生成関係によって表現され、情報を生成するための機能の構成が制御関係によって表現されている。従って、生成関係と制御関係に着

目して製品モデルを捉える事によって、製品モデルを情報の生成の視点から捉えることが可能である。

### 5.2.5 製品モデルの多面性と関係

本節で述べてきたように、4種類の関係（参照関係・制御関係・生成関係・抽出関係）を用いることによって、大局的な視点、詳細な視点、製品モデルの成長に着目する視点、情報の生成に着目する視点、情報の管理に着目する視点、情報の利用に着目する視点などの様々な視点から製品モデルを捉えることが可能となる(Fig.5-2-6)。言い換えれば製品モデルの多面性の表現のために、関係の種類分けが有効に利用されていると考えられる。

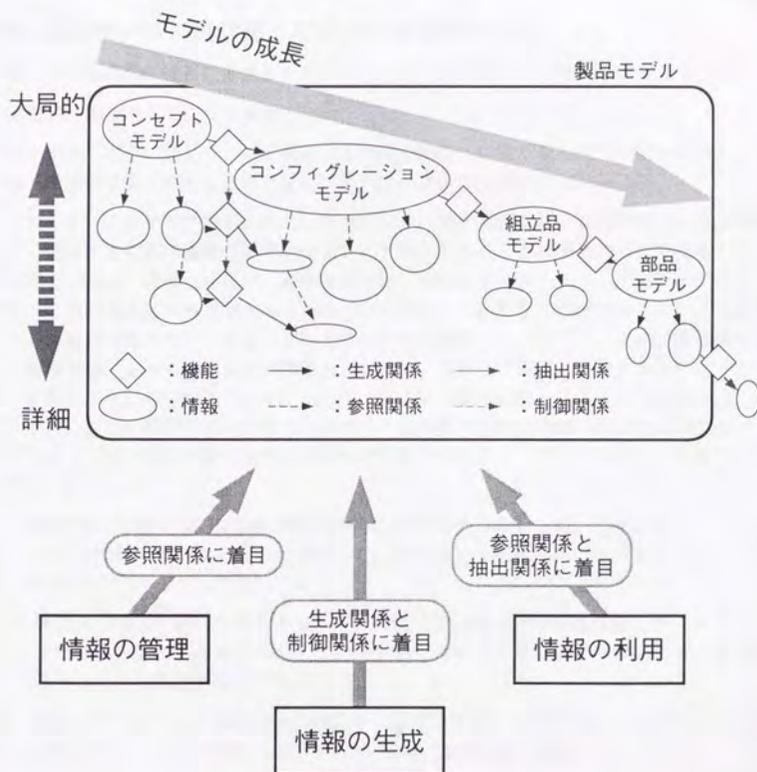


Fig.5-2-6 製品モデルの多面性と関係