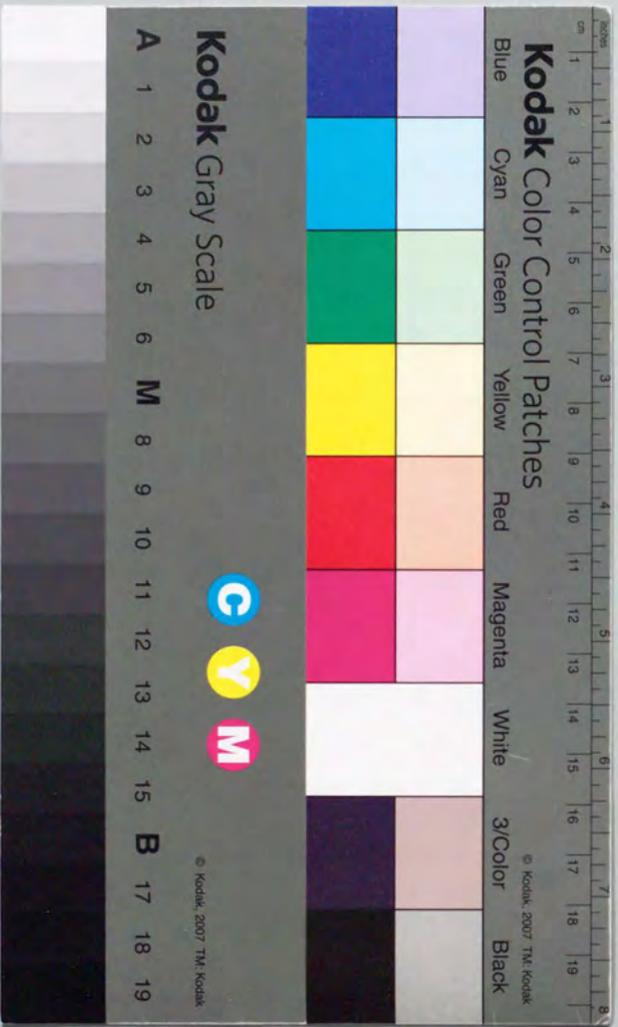


造船における設計・生産情報の獲得支援のための
モデリングに関する研究

青山和清



造船における
設計・生産情報の獲得支援のための
モデリングに関する研究

青山 和浩

目次

はじめに

第1章 緒論	1
1.1 計算機と設計・生産活動	1
1.2 設計・生産システム	2
1.3 設計・生産システムを取り巻く生産環境の変化	2
1.4 研究の目的	5
1.5 論文の概要	7
第2章 造船における設計・生産システム	9
2.1 造船における設計・生産活動の特徴	9
2.2 造船における計算機による設計・生産活動の支援	11
2.2.1 計算機の導入の歴史	11
2.2.2 設計・生産活動を支援する既存のシステム	12
2.3 造船における設計・生産システムの現状と問題点	14
2.3.1 造船における設計・生産システムの現状	14
2.3.2 造船における設計・生産システムの問題点	17
2.4 次世代の設計・生産システム	18
2.4.1 CIM構築の必要性	18
2.4.2 CIMの概念と設計・生産システム	19
2.4.3 造船におけるCIM構築への取り組み	21
2.5 造船のCIM構築のために	21
2.5.1 CIM構築によって解決すべき問題	22
2.5.2 本研究とCIM	22
第3章 モデル化とオブジェクト指向	24
3.1 計算機システムとモデル化	24
3.1.1 モデル化（モデリング）とは	24
3.1.2 モデルベース・システム	25
3.1.3 モデルベース・システムとシミュレーション	26
3.1.4 モデルベース・システムとエキスパート・システム	26
3.2 製品のモデル化	27
3.2.1 形状モデル	27

3.2.2 属性モデル	28
3.2.3 エンティティ・リレーション・モデル	30
3.2.4 製品モデル (Product Model)	30
3.3 オブジェクト指向によるモデル化と表現	31
3.3.1 オブジェクト指向とは	31
3.3.2 オブジェクト指向におけるプログラミング手法	31
3.3.3 オブジェクト	32
3.3.4 メッセージ	32
3.3.5 クラスとインスタンス	33
3.3.6 継承機能 (インヘリタンス)	34
3.4 オブジェクト指向によるシステム開発	34
3.4.1 ウォーターフォール手法とプロトタイピング手法	34
3.4.2 オブジェクト指向とプロトタイピング手法	35
3.4.3 オブジェクトの定義と変遷	36
3.4.4 オブジェクト指向システム開発	39
3.4.5 オブジェクト指向によるシステム開発と本研究	40
第4章 造船の設計・生産活動のモデル化のために	41
4.1 設計活動の特徴	41
4.1.1 造船における設計の流れ	41
4.1.2 設計対象の整理	45
4.1.3 部分化の種類	46
4.2 生産活動の特徴	48
4.2.1 生産活動における生産工程	48
4.2.2 造船における生産計画	49
4.2.3 工程計画	51
4.2.4 日程計画	53
4.3 設計・生産活動を表現するモデル	53
4.4 設計・生産対象のモデルとして定義すべき製品情報	55
4.4.1 製品の特徴	55
4.4.2 モデル化すべき製品情報の整理	55
4.5 設計・生産過程のモデルに求められる情報の処理機能	56
4.5.1 設計・生産過程のモデルに求められる要件	56
4.5.2 設計過程と製品モデル	57
4.5.3 設計過程のモデルに求められる機能	58
4.5.4 生産過程と生産計画	60
4.5.5 生産過程のモデルに求められる機能	62
4.6 生産環境のモデル	63
4.6.1 生産環境のモデルに求められる要件	63
4.6.2 生産環境のモデルの定義	64
4.7 本章のまとめ	66

第5章 設計・生産対象のモデル化	68
5.1 形状モデルによる形状の表現	68
5.1.1 線分形状を表現する形状モデル	68
5.1.2 面分形状を表現する形状モデル	68
5.1.3 立体形状を表現する形状モデル	69
5.2 船体構造を構成する基本単位のモデル	70
5.2.1 部材の製品モデル	70
5.2.2 部材間の接合関係情報の製品モデル	73
5.3 区画のモデル	75
5.3.1 部屋の定義	75
5.3.2 部屋の立体表現	75
5.3.3 「壁」の概念	77
5.4 構造単位のモデル	78
5.4.1 船体構造を構成する構造単位の意味	78
5.4.2 構造単位の分類	79
5.4.3 ユニットの定義	83
5.4.4 ユニットの種類	83
5.5 中間製品のモデル	86
5.5.1 組立モジュールの定義	86
5.5.2 組立モジュールを用いた生産活動の表現	87
5.5.3 組立モジュールの接合関係情報	89
5.6 本章のまとめ	89
第6章 設計活動のモデル化	92
6.1 設計活動を支援する設計システムの一般的概念	92
6.1.1 パラメータの設定による船体構造の設計 (バッチ処理型設計支援)	92
6.1.2 部品毎の入力による船体構造の設計 (現状の CAD による設計支援)	94
6.2 設計の流れと設計対象	94
6.2.1 設計の流れによる設計対象の変化	95
6.2.2 設計対象間に存在する制約 (構造的制約)	96
6.3 基本設計の支援 (区画の設計)	97
6.3.1 部屋と区画の設計	97
6.3.2 空間設計機能	98
6.3.3 部屋の構造的制約と階層構造	99
6.3.4 設計順序に依存した製品情報	100
6.3.5 部屋を定義する部材情報の管理	101
6.3.6 部屋の設計によって得られる情報	102
6.4 構造設計の支援 (主要な内部構造の設計)	104
6.4.1 部屋の構造的制約を利用した設計	104

6.4.2 面型ユニットの設計機能	105
6.4.3 骨型ユニットの設計機能	108
6.4.4 内部構造設計機能に応用した単一部材の設計機能	111
6.4.5 ユニットの構成する部材情報の管理	112
6.4.6 設計によって得られる情報	112
6.5 設計情報の記述と管理	113
6.5.1 寸法と設計情報	114
6.5.2 寸法による幾何拘束(寸法的制約)	114
6.5.3 幾何学的拘束関係を利用した寸法の記述	116
6.5.4 部屋の設計と設計情報	119
6.5.5 面型ユニットの設計と設計情報	120
6.5.6 骨型ユニットの設計と設計情報	123
6.5.7 パラメータの指定による内部構造の設計	125
6.5.8 単一部材の設計と設計情報	128
6.6 設計過程の情報管理と設計変更への対応	128
6.6.1 設計過程の情報管理	128
6.6.2 設計変更への対応	129
6.6.3 設計情報を共有する場合の変更	130
6.6.4 位相関係の変更	133
6.7 部材の分割のモデル化	133
6.7.1 カット機能による部材情報の部分化	134
6.7.2 分割面の指定	135
6.7.3 部材の分割	135
6.7.4 接合関係情報の生成	136
6.7.5 接合関係情報の分割	137
6.7.6 分割情報の記述	138
6.7.7 分割対象の選択	139
6.8 システムの実行例	141
6.8.1 設計支援システムによる設計例	141
6.8.2 その他の船体構造の設計例	147
6.8.3 設計変更例	148
6.8.4 分割例	148
6.9 本章のまとめ	150
第7章 生産活動のモデル化	152
7.1 生産計画によって生成される情報の整理	152
7.1.1 工程計画によって生成される情報	152
7.1.2 日程計画によって生成される情報	154
7.2 組立モジュールの抽出	156
7.2.1 組立モジュールの抽出機能の定義	156
7.2.2 管理物量の収集	158
7.3 生産環境のモデル	163

7.3.1 生産環境のモデルの機能	163
7.3.2 生産環境と作業の関係	164
7.3.3 作業資源モデル	164
7.3.4 工程資源モデル	165
7.3.5 工場モデル	167
7.3.6 生産環境のモデルの構成と定義	168
7.4 作業情報を記述するモデルの定義	169
7.4.1 作業モデルの定義	169
7.4.2 作業モデルの階層構造の定義	170
7.4.3 作業時間の見積り	171
7.4.4 作業の日程情報の生成	173
7.5 工程計画のモデル化	173
7.5.1 工程設計のモデル化	173
7.5.2 グラフによる組立順序の表現(組立グラフの生成)	174
7.5.3 工程作業の抽出のモデル化	175
7.5.4 実作業の抽出のモデル化(作業設計のモデル化)	176
7.5.5 製品の組立姿勢の表現	176
7.5.6 工程間の計画情報の接続のモデル化	177
7.6 工程計画支援システム	178
7.6.1 組立モジュールの接合グラフ	178
7.6.2 組立順序の指定と組立グラフの生成	178
7.6.3 組立姿勢に関する情報	180
7.6.4 工程作業の作業オブジェクトの生成	181
7.6.5 実作業の作業オブジェクトの生成	182
7.6.6 異なる工程間の作業オブジェクトの接続	184
7.7 日程計画のモデル化	186
7.7.1 日程計画のモデル	186
7.7.2 工程作業の割り当て	187
7.7.3 実作業の割り当て	187
7.7.4 作業の日程情報の生成	188
7.7.5 山積み・山崩しのモデル化	190
7.7.6 生産環境の制約のモデル化(組立定整の制約モデル)	191
7.8 日程計画支援システム	192
7.8.1 ガント・チャートによる日程情報の表示	193
7.8.2 工程作業の作業オブジェクトの割り当て	193
7.8.3 実作業の作業オブジェクトの割り当て	194
7.8.4 作業の日程情報の修正	197
7.8.5 前工程の日程計画と工程間の日程計画の接続	198
7.8.6 工程資源オブジェクトの作業情報の管理	199
7.8.7 定盤計画システム	199
7.8.8 停滞作業の作業オブジェクトの生成	201
7.9 複数船を対象とした生産計画	202
7.10 システムの実行例	203

7.11 仮想組立による部品の詳細形状の設計	215
7.11.1 仮想組立機能による部品形状の設計	215
7.11.2 スロットに関する情報の獲得	216
7.11.3 スカラップに関する情報の獲得	216
7.11.4 スロット, スカラップ形状の定義	217
7.11.5 部品形状の生成の実例	217
7.12 本章のまとめ	218
第8章 設計・生産活動の体系化と今後の課題	220
8.1 造船における設計・生産活動の体系化	220
8.1.1 設計・生産対象に関する情報の整理	221
8.1.2 情報の生成に関する整理	222
8.1.3 設計・生産活動の整理と体系化	226
8.1.4 製品定義スパイラル	227
8.2 今後の課題	228
8.2.1 設計活動における課題	229
8.2.2 生産活動における課題	230
8.2.3 実用化のためのシステムの課題	231
第9章 結論	232
9.1 設計・生産活動のモデル化	232
9.1.1 設計・生産対象のモデル	232
9.1.2 設計過程のモデル (製品情報の生成機能のモデル)	233
9.1.3 生産過程のモデル (生産情報の生成機能のモデル)	234
9.1.4 生産環境のモデルの定義	236
9.2 設計・生産システムのプロトタイプ・システムの構築	236
9.3 設計・生産活動の体系化	236
参考文献	238
本論文に関連した発表論文	242
謝辞	243

図目次

第1章 緒論

Fig.1-2-1 生産システムの基本構成	2
Fig.1-3-1 設計・生産活動を取り巻く諸環境	3
Fig.1-3-2 21世紀初頭の造船業における年令別就業人員構成	4

第2章 造船における設計・生産システム

Fig.2-1-1 造船業務概観図 (S&O 財団 CIMS プロジェクト)	10
Fig.2-2-1 計算機利用の歴史	11
Fig.2-3-1 主要システムのソフトウェア構成 (S&O 財団 CIMS プロジェクト)	16
Fig.2-3-2 主要システムのハードウェア構成 (S&O 財団 CIMS プロジェクト)	16
Fig.2-3-3 造船におけるシステム化の現状	17
Fig.2-4-1 HIM から CIM へ	19
Fig.2-4-2 パイロットモデルの構成 (S&O 財団 CIMS プロジェクト)	21
Fig.2-5-1 CIM 構築の手法	23

第3章 モデル化とオブジェクト指向

Fig.3-1-1 様々なモデル化	24
Fig.3-1-2 計算機とモデル化	25
Fig.3-1-3 コストとコスト削減の可能性	26
Fig.3-1-4 製品モデルとエキスパート・システム	27
Fig.3-2-1 設計活動と生産活動	28
Fig.3-2-2 形状モデルの種類	28
Fig.3-2-3 属性モデル	29
Fig.3-2-4 製品モデル	30
Fig.3-3-1 オブジェクト指向プログラミング	32
Fig.3-3-2 オブジェクト	32
Fig.3-3-3 オブジェクト間のメッセージ交換	33
Fig.3-3-4 クラスとインスタンス	33
Fig.3-3-5 継承機能 (インヘリタンス)	34
Fig.3-4-1 ウォーターフォール手法とプロトタイピング手法	35
Fig.3-4-2 オブジェクト指向のラウンド・トリップ	36
Fig.3-4-3 オブジェクト指向の開発スパイラル	37
Fig.3-4-4 特殊化 (Refinement) 過程	37
Fig.3-4-5 組み立て (Composition) 過程	38
Fig.3-4-6 抽象化 (Abstraction) 過程	38
Fig.3-4-7 要素分解 (Factorization) 過程	39

Fig.3-4-8	オブジェクトモデル	39
第4章 造船の設計・生産活動のモデル化のために		
Fig.4-1-1	造船設計の主要な流れ	42
Fig.4-1-2	基本設計の流れ(商船設計)	43
Fig.4-1-3	構造設計の流れ(設計荷重と評価)	44
Fig.4-1-4	部材と部品の関係	46
Fig.4-1-5	部分化の種類	47
Fig.4-2-1	生産活動	48
Fig.4-2-2	生産計画の主要な流れ	50
Fig.4-5-1	製品モデルの進化	58
Fig.4-5-2	空間設計機能	58
Fig.4-5-3	内部構造設計機能	59
Fig.4-5-4	カット機能	59
Fig.4-5-5	生産活動(変換活動・運搬活動・停滞活動)	61
Fig.4-5-6	生産計画情報の変遷	61
Fig.4-5-7	仮想組立機能(アセンブリ機能)	63
Fig.4-6-1	生産環境のモデル	64
第5章 設計・生産対象のモデル化		
Fig.5-1-1	線分オブジェクトのデータ構造	69
Fig.5-1-2	面分オブジェクトのデータ構造	69
Fig.5-1-3	ソリッド・オブジェクトのデータ構造	70
Fig.5-2-1	板部材の形状表現	71
Fig.5-2-2	骨部材の形状表現	72
Fig.5-2-3	部材オブジェクトの定義	73
Fig.5-2-4	接合関係情報	74
Fig.5-2-5	部材オブジェクトと接合関係オブジェクト	74
Fig.5-3-1	様々な接合関係の表現	76
Fig.5-3-2	部屋の形状データ構造	77
Fig.5-3-3	WingedEdgeと接合関係情報	77
Fig.5-3-4	壁の概念	78
Fig.5-4-1	箱型構造の例	80
Fig.5-4-2	面型構造の例	81
Fig.5-4-3	骨型構造の例	82
Fig.5-4-4	ユニットの概念	83
Fig.5-4-5	部屋の製品モデル	84
Fig.5-4-6	箱型ユニット同士の組合せ	85
Fig.5-4-7	箱型ユニットと面型ユニットとの組合せ	85
Fig.5-4-8	面型ユニットの例	86
Fig.5-4-9	箱型ユニットと骨型ユニットとの組合せ	86
Fig.5-5-1	組立モジュールの概念	87
Fig.5-5-2	組立モジュールのオブジェクトモデル図	87

Fig.5-5-3	組立モジュールの階層構造	88
Fig.5-5-4	組立モジュールの接合関係情報	89
Fig.5-5-5	組立モジュールの接合関係情報のオブジェクトモデル図	89

第6章 設計活動のモデル化

Fig.6-1-1	パラメータの設定による設計	93
Fig.6-1-2	一部品毎の入力による設計	94
Fig.6-2-1	構造的制約	96
Fig.6-3-1	板部材(仕切り板)の設計	98
Fig.6-3-2	板部材(仕切り板)の設計のデータフロー図	98
Fig.6-3-3	空間設計機能	99
Fig.6-3-4	空間設計機能のデータフロー図	100
Fig.6-3-5	部屋の木構造	100
Fig.6-3-6	部屋の階層構造	100
Fig.6-3-7	設計順序の違いによる部屋の階層構造	101
Fig.6-3-8	積み荷の重量の算出	102
Fig.6-3-9	喫水面下の容積の算出	102
Fig.6-3-10	トリム計算とスタビリティ計算	103
Fig.6-3-11	モーメント分布の計算	104
Fig.6-4-1	設計基準面の指定による部屋に内接する面分の生成	106
Fig.6-4-2	内部構造の主要な板部材の外形状の設計	107
Fig.6-4-3	内部構造の主要な板部材の穴形状の設計	107
Fig.6-4-4	パラメータの入力による面型ユニットの設計	108
Fig.6-4-5	設計する領域の指定	109
Fig.6-4-6	設計基準線の指定	109
Fig.6-4-7	パラメータの入力による骨型ユニットの設計	110
Fig.6-4-8	部屋の階層構造における骨型ユニットの設計	111
Fig.6-4-9	単一部材の設計機能(ブラケット, スティフナー)	112
Fig.6-4-10	慣性モーメントと断面二次モーメントの算出	113
Fig.6-5-1	寸法の記述と設計の意図	114
Fig.6-5-2	寸法的制約	115
Fig.6-5-3	設計情報の記述	116
Fig.6-5-4	幾何学的拘束関係	117
Fig.6-5-5	座標値の算出	118
Fig.6-5-6	部屋の設計ツール(Room_Divide_Editor)	119
Fig.6-5-7	部屋の設計情報の管理例	120
Fig.6-5-8	部屋の設計情報の共有	121
Fig.6-5-9	部屋の設計情報を共有する場合の設計情報の管理	121
Fig.6-5-10	設計基準面の位置の指定	122
Fig.6-5-11	外形状の設計情報の記述	122
Fig.6-5-12	穴形状の設計情報の記述	123
Fig.6-5-13	面型ユニットの設計情報の共有化	124
Fig.6-5-14	設計基準線の記述	124

Fig.6-5-15	骨型ユニットの設計情報の共有化	125
Fig.6-5-16	リング構造の設計の流れ	126
Fig.6-5-17	トランスリング構造の設計の流れ	127
Fig.6-5-18	トランス構造の設計の流れ	127
Fig.6-5-19	骨型ユニットの設計の流れ	128
Fig.6-6-1	設計情報の記述と管理	129
Fig.6-6-2	設計変更の流れ	131
Fig.6-6-3	内部構造の設計変更例	132
Fig.6-6-4	内部構造の設計変更例 (設計情報の記述の違いによる差異)	132
Fig.6-6-5	部屋的设计変更 (部屋的设计情報を共有する場合)	133
Fig.6-6-6	位相情報の修正を伴う設計変更	134
Fig.6-7-1	分割面の定義	135
Fig.6-7-2	板部材の分割処理	136
Fig.6-7-3	骨部材の分割処理	136
Fig.6-7-4	接合関係情報の生成	137
Fig.6-7-5	接合関係情報の分割処理	138
Fig.6-7-6	分割線を記述するエディター	138
Fig.6-7-7	分割情報の管理	139
Fig.6-7-8	分割対象の選択	140
Fig.6-8-1	主要目 (LBD) の入力による船体形状の生成	141
Fig.6-8-2	区画の設計例 (その1)	142
Fig.6-8-3	区画の設計例 (その2)	143
Fig.6-8-4	トップサイド・タンク、ビルジ・タンク、二重底タンクの設計	143
Fig.6-8-5	内部構造の設計例 (ビルジ・タンクの内部構造の設計)	144
Fig.6-8-6	内部構造の設計例 (トップサイド・タンクの内部構造の設計)	145
Fig.6-8-7	内部構造の設計例 (二重底タンクの内部構造の設計)	145
Fig.6-8-8	内部構造の設計例 (ロンジ構造の設計)	146
Fig.6-8-9	内部構造の設計例 (全体構造)	146
Fig.6-8-10	船体構造の設計例	147
Fig.6-8-11	設計変更例 (隔壁位置の変更)	148
Fig.6-8-12	設計変更例 (二重底の内底板の変更)	149
Fig.6-8-13	分割例	149

第7章 生産活動のモデル化

Fig.7-1-1	工程設計と作業設計	153
Fig.7-1-2	工程作業の認識	153
Fig.7-1-3	実作業の認識	154
Fig.7-1-4	工程計画と日程計画	155
Fig.7-2-1	幾何的な組立モジュールの抽出	157
Fig.7-2-2	直接的な組立モジュールの抽出	158
Fig.7-2-3	部材情報と接合関係情報	159
Fig.7-2-4	溶接姿勢の判定 (JIS Z3003)	160
Fig.7-2-5	組立モジュールから得られる管理物量	161

Fig.7-2-6	組立モジュールの姿勢変更に伴う管理物量の変化	162
Fig.7-2-7	組立モジュールの接合関係情報から得られる管理物量	162
Fig.7-3-1	生産環境のモデルの機能	163
Fig.7-3-2	作業資源オブジェクトの構成	166
Fig.7-3-3	工程資源オブジェクトの構成	167
Fig.7-3-4	工場オブジェクトの構成	168
Fig.7-3-5	生産環境のモデルの階層構造	168
Fig.7-3-6	生産環境のモデルの設定ツール	168
Fig.7-3-7	作業資源モデルの設定例	169
Fig.7-4-1	工程作業と実作業の作業モデル	170
Fig.7-4-2	工程作業の作業オブジェクト	171
Fig.7-4-3	実作業の作業オブジェクト	171
Fig.7-4-4	作業モデルの階層構造	172
Fig.7-4-5	作業時間の見積り	172
Fig.7-4-6	フロー・ダイアグラム	173
Fig.7-5-1	工程設計のモデル化	174
Fig.7-5-2	組立グラフの生成	175
Fig.7-5-3	工程作業の抽出	175
Fig.7-5-4	実作業の抽出	176
Fig.7-5-5	工程間の計画情報の接続のモデル化	177
Fig.7-6-1	組立モジュールの接合グラフの生成	178
Fig.7-6-2	組立モジュールの接合グラフ	179
Fig.7-6-3	組立順序の入力と組立順序のグラフ表示	179
Fig.7-6-4	支配的な組立順序の決定	180
Fig.7-6-5	組立グラフの生成	180
Fig.7-6-6	組立モジュールの階層構造を利用した組立グラフの管理	180
Fig.7-6-7	工程作業の作業オブジェクトの生成	182
Fig.7-6-8	実作業の作業オブジェクトの生成	183
Fig.7-6-9	搭載ブロックを構成する組立モジュールの接合グラフ	184
Fig.7-6-10	先行する組立工程 (大組工程) の組立グラフの生成	185
Fig.7-6-11	大組工程の組立グラフの縮約 (工程作業群の作業オブジェクトの生成)	185
Fig.7-6-12	前後工程間 (搭載工程と大組工程) の作業オブジェクトの接続	185
Fig.7-7-1	日程計画のモデル化	186
Fig.7-7-2	工程作業の日程計画	187
Fig.7-7-3	実作業の日程計画	188
Fig.7-7-4	工程作業・実作業の時間軸への展開	189
Fig.7-7-5	作業の日程情報の修正	189
Fig.7-7-6	停滞作業の生成	190
Fig.7-7-7	作業の階層構造と日程情報の修正	191
Fig.7-7-8	「山積み」と日程情報の修正による「山崩し」	191
Fig.7-7-9	組立定盤の制約モデル	192
Fig.7-8-1	ガント・チャート・オブジェクト	193
Fig.7-8-2	工程作業の作業オブジェクトの工程資源オブジェクトへの割り当て	194
Fig.7-8-3	工程作業の作業オブジェクトのガント・チャート表示	195

Fig.7-8-4	山積み情報	195
Fig.7-8-5	実作業の作業オブジェクトの作業資源オブジェクトへの割り当て	196
Fig.7-8-6	溶接部の詳細な情報の入力	196
Fig.7-8-7	実作業の作業オブジェクトのガント・チャート表示	197
Fig.7-8-8	実作業の日程情報の修正	197
Fig.7-8-9	前工程の日程計画	198
Fig.7-8-10	日程計画の接続	199
Fig.7-8-11	工程資源オブジェクトの作業情報の管理	200
Fig.7-8-12	作業資源オブジェクトの作業情報の管理	200
Fig.7-8-13	定盤計画システムの例	201
Fig.7-8-14	定盤計画の修正	201
Fig.7-8-15	定盤計画の修正による停滞作業の生成	202
Fig.7-9-1	複数船を対象とした生産計画	202
Fig.7-10-1	生産計画の対象となる船体構造	203
Fig.7-10-2	生産計画を行う生産環境のモデル	204
Fig.7-10-3	搭載ブロックの接合グラフの生成	204
Fig.7-10-4	搭載の工程計画 (工程設計)	205
Fig.7-10-5	搭載の日程計画 (工程作業の割当)	206
Fig.7-10-6	搭載工程の山積み (工程作業)	206
Fig.7-10-7	搭載工程の実作業の抽出	207
Fig.7-10-8	搭載工程の日程の修正	208
Fig.7-10-9	大組ブロックの抽出	209
Fig.7-10-10	大組工程の工程計画 (工程設計)	210
Fig.7-10-11	大組工程の日程計画 (工程作業の割当)	210
Fig.7-10-12	大組工程の定盤計画	211
Fig.7-10-13	大組工程の山積み	211
Fig.7-10-14	大組工程の定盤計画の変更による山崩し	212
Fig.7-10-15	大組工程の実作業の抽出	212
Fig.7-10-16	大組工程の小日程計画	213
Fig.7-10-17	工程資源モデルの日程情報	214
Fig.7-10-18	作業資源モデルの日程情報	214
Fig.7-11-1	スロットの設計 (ロンジ差し込み工法)	216
Fig.7-11-2	スロットの設計 (ロンジ先付け工法)	216
Fig.7-11-3	スカラップの設計	217
Fig.7-11-4	ブロックの組立例	217
Fig.7-11-5	部品形状の生成の実例	218
第8章 設計・生産活動の体系化と今後の課題		
Fig.8-1-1	方法論の概念 (現実世界とシステム思考)	221
Fig.8-1-2	製品モデルの構成と進化	223
Fig.8-1-3	設計・生産活動における製品情報と機能	226
Fig.8-1-4	製品定義スパイラル (Product Definition Spiral)	227
Fig.8-1-5	製品定義スパイラルとアプリケーション・システムの構成	228

表目次

第1章 緒論

Table 1-4-1	研究の目的	6
Table 1-5-1	論文の概要	8

第2章 造船における設計・生産システム

Table 2-3-1	統合化レベルの業務マップ (S&O 財団 CIMS プロジェクト)	15
Table 2-4-1	CIM の種類と目的	20
Table 2-5-1	CIM 構築の問題点	22

第4章 造船の設計・生産活動のモデル化のために

Table 4-1-1	設計の流れと設計対象	45
Table 4-2-1	生産計画の分類	49
Table 4-2-2	生産実施と生産管理	50
Table 4-2-3	工程設計における情報処理	52
Table 4-3-1	設計・生産活動のモデル	54
Table 4-5-1	生産活動の分類	60
Table 4-6-1	生産環境のモデルに求められる要件	64
Table 4-6-2	生産環境のモデルの分類 (作業資源モデル, 工程資源モデル, 工場モデル)	65

第5章 設計・生産対象のモデル化

Table 5-2-1	部材の形状定義	71
Table 5-2-2	部材オブジェクトに記述される情報	73
Table 5-2-3	接合関係オブジェクト	74
Table 5-4-1	構造単位の意味	78
Table 5-4-2	箱型ユニットと部屋の関係	84
Table 5-5-1	組立モジュールを用いた変換活動の表現	88

第6章 設計活動のモデル化

Table 6-1-1	一般的な設計システムの特徴	93
-------------	---------------	----

第7章 生産活動のモデル化

Table 7-2-1	組立モジュールの抽出	156
Table 7-2-2	組立モジュールの分配	157

Table 7-2-3	カット機能と分配機能の差異	158
Table 7-3-1	移動設備オブジェクトに記述される移動能力の情報	166
Table 7-3-2	溶接設備オブジェクトに記述される溶接処理能力の情報	166
Table 7-6-1	グラフ表現のためのオブジェクトの定義	178

はじめに

近年、「情報革命」という言葉に象徴されるように、計算機のハードウェアやソフトウェアなどの急激な技術発展に伴い、様々な情報システムが構築されている。このような環境の中で、製造業は自己が抱える「情報処理能力の限界」に起因する様々な問題を解消する糸口として、計算機が提供する情報システムの潜在能力に着目し、極めて情報化された次世代の生産システムの構築に乗り出している。その代表的なシステム概念としてCIM (Computer Integrated Manufacturing system) が注目を集めている。

ところで最近、新しい様々な情報システムが次から次へと登場している。このことに対して中本は、著書である「情報を考える」(中本秀四郎著：丸善ライブラリー、丸善、1993)の中で次のように述べている。

「情報システムの三要素といえば、電算機、ソフトウェアに加えて、処理の対象となる情報を挙げることができる。「仕掛け」が電算機であり、「からくり」がソフトウェアである。これまでの動向をみていると、仕掛けやからくりに興味が集まって、内容ともいべき情報についての勉強が足りないように見えてしかたがない。・・・(中略)・・・情報が有効に利用されるようになるには、情報の構造を研究し、その形態や表現に工夫を加えていかねばならない。これが情報学の役割である。」

つまり、「情報」の必要性は盛んに叫ばれているものの、所詮、コンピュータ会社は「仕掛け」である電算機(コンピュータ)を製造し、提供する会社でしかなく、ソフトウェア会社も「からくり」であるアプリケーション・ソフト、開発言語を作るにすぎない。したがって、情報システムの本質として一番重要と考えられる

- ・「情報」をどの様に生成すべきか
- ・「情報」はどの様に利用されるべきか
- ・生成や利用に適した「情報」は、どの様な構造か

といった「情報」に係わる問題は、「情報」を実際に取り扱う利用者が「情報」自体を明確にすることによって初めて解決することができる問題である。さらに、「情報」を明確にするためには、「情報の構造を研究し、その形態や表現に工夫を加えていかなければならない」と中本が述べているように、必要な「情報」とは何かを明確にする手法が重要な鍵を握ることになる。

それでは、「情報」を明確にする手法としては、どの様な手法が考えられるだろうか。前述のように情報システムが「仕掛け」と「からくり」、さらにそれらの内容である「情報」で構成されるものであるならば、

「実際に情報システムを構築し、その構築されたシステムから「仕掛け」「からくり」を除いた部分を「情報」として抽出することによって「情報」を明確にする」と

といった手法が考えられる。

そこで本研究では、造船の設計・生産活動における「情報」を明確にすることを目的に、オブジェクト指向言語を利用して設計・生産活動を支援する情報システムを実際に構築することを検討した。この検討によって、「造船のCIM」において統合的に生成・利用される設計・生産活動の「情報」を多少なりとも明確にすることができたら幸いである。

第1章 緒論

1.1 計算機と設計・生産活動

20世紀の中頃に登場した計算機（コンピュータ）は、我々が営む社会生活に存在する多種多様の問題に対して、「問題解決のための最も強力な手段」を我々に提供するものであり、我々の社会生活自体を大きく変革する道具となっている[米澤92]。特に製造業における変革は注目に値し、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。

計算機の登場以前では、金槌や台車などの道具、さらにモータやエンジンなどの動力機関を備えた産業機械などが、我々の手・足の能力を代替することによって設計・生産活動を支援した。しかし、計算機の登場と共に、計算機が有する高い情報処理能力によって、我々の頭脳を代替する情報処理の支援を我々は享受することができるようになった。そして計算機は、設計・生産活動における道具としての地位を固め、我々が計算機に対して依存する比率は増大し、いまや無くてはならない存在になっているといっても過言ではない。また、この計算機による支援は、例えばワープロに代表される個人的な支援に留まらず、あらゆる産業の設計・生産活動における重要な役割を担い、必要不可欠な道具となっている。

以上のように設計・生産活動において、計算機に対する依存度が高まるなかで、企業間競争の観点からは「計算機を如何に有効利用するか」といった戦略的な問題が重要となっている。そして企業では、競合他社との差別化をはかる目的で、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てきた。造船業においても、計算機が登場した1960年頃から積極的な計算機の利用がされており、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設計・生産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納めている。

この一方で、設計・生産活動を取り巻く環境は急激な変化を迎えており、その変化に従い、設計・生産活動自体の多様化や複雑化などが進行している。さらに、これらの進行に伴う新たな生産技術への適応や労働資源の問題などの様々な問題が表面化してきているのが現状である。製造業は、これらの問題に対処するために生産環境の変化、それに伴う設計・生産活動の変化に対して柔軟に対応することが望まれていることも無視することができない事実である。

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、その構築の基盤となる概念が乏しかったため、後述するように、我々が期待するほどの柔軟性を有するものではないということを認識しなければならない。つまり、既存のシステムに対して、設計・生産活動を取り巻く様々な環境の変化に対する柔軟な対応を望むことは一般的に困難であり、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。この様な背景のもとに、次世代の設計・生産システムの構築法の一つの概念として「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)」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、既に造船各社において様々な検討がされている[造船学会88]。

1.2 設計・生産システム

製造業における設計・生産活動とは、原材料（素材）に情報、労働、設備などを作用させることによって、人々の要求を満たす価値をもった製品を生産する活動である。しかし近年、製品に対する人々の要求の多様化などが主要因となり、製造業において産出される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効率的かつ高信頼性のもとに設計・生産することの必要性が求められている〔岩田他 82〕。

多様な製品を効率的かつ高い信頼性のもとに生産するためには、設計・生産活動を取り巻く種々の環境の影響や相互作用などについて十二分に考慮し、製品の設計・生産（計画、設計、製造、制御、管理、運用など）に関係する生産要素（情報、労働、設備、原材料など）の総合的な調整と最適化が要求される。この要求に対応するためには、製品の設計や生産に関わる全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。この基本的な概念として、設計・生産活動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ている〔人見 90〕。

生産システムの問題は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。また、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、既に世の中に登場していることは言うまでもないことである (Fig.1-2-1)。

「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 90〕

上記の一般的な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」を意味することは言うまでもない。しかし、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」として位置づけている。つまり本論文では、既に述べた生産システムを設計・生産システムとして認識し、使用することを断っておく。

1.3 設計・生産システムを取り巻く生産環境の変化

一般的に製造業が営む設計・生産活動は、その活動を取り巻く様々な環境に大きく影響を受けるものである (Fig.1-3-1)。したがって、設計・生産活動を取り巻く環境の変化に応じて、それらの活動の

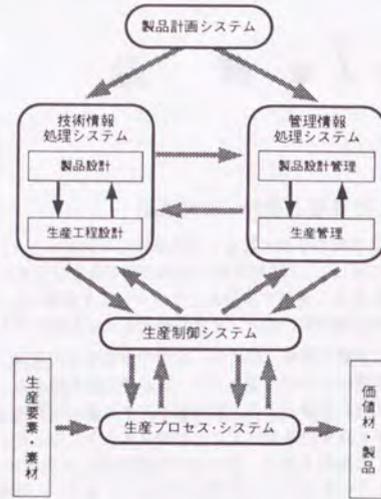


Fig.1-2-1 生産システムの基本構成〔岩田他82〕

1.3 設計・生産システムを取り巻く生産環境の変化

形態は変化（順応）する必要があり、環境の変化に対する活動の順応性の良否は、製造業の設計・生産活動の潜在的な強さ（競争力などの強さ）の評価において重要な指標となるものと考えられる。また、この順応性は、環境の変化の速度と設計・生産活動の規模に深く関係するものである。したがって、

- ・近年に於ける設計・生産活動を取り巻く環境の急激な変化
- ・設計・生産システムの構築による設計・生産活動の大規模化

などによって発生する様々な問題によって、次世代の製造業は、これまで以上に高い順応性が要求されていると考えられる。

上記の設計・生産活動を取り巻く環境は時代によって様々に変化する。特に日本の場合では、諸外国との経済的な関係である国際環境の変化、国内における高齢化などの労働環境の変化はその典型である。そこで先ず、設計・生産活動に影響を及ぼす環境に着目し、現在、製造業が順応しなければならない環境の変化と、その変化に順応する際に認識すべき問題を整理する。

(1) 国際環境の変化

日本の製造業ではこれまでに、計算機による設計・生産活動の支援を目的とした多くの設計・生産システムが構築されてきた。これらのシステムを利用することによって、日本の製造業は、設計・生産活動における高速化や省力化、およびコストダウン等の成果を着実に得ることが可能となった。その結果として、日本の製造業が高い競争力を獲得することによって、日本の経済力を世界的に高いものとしてきた〔牧野 90〕。

近年、世界の経済情勢が激しく変動することに伴い、

- ・諸外国との経済摩擦に起因する円相場の高騰
- ・NIES 諸国の経済発展による厳しい経済的追い上げ

などの対処しなければならない経済問題は年々深刻化する一方である。日本の製造業は、このような経済問題の中においても、これまでと同様な、またはより高い競争力を保持することを要望されている。しかし、既存の設計・生産システムの利用だけでは十分な成果を期待することは困難であると指摘されている。この問題は成熟産業と呼ばれる産業にとっては一層深刻であり、造船業においても、これまでに構築されてきた設計・生産システムでは国際的な競争力の低下は避けられなくなっている。したがって、厳しい経済問題を抱える現状を乗り越えるためには、既存のシステムを見直し、これまで以上に計算機を有効に利用した設計・生産システムの構築が企業戦略として望まれている。

(2) 労働環境の変化

本来、設計・生産活動に必要な知識や知恵等の情報については、企業自身が技術情報（ノウハウ）として直接管理することが望ましい。しかし、終身雇用制度に支えられた日本の産業では、これらの情報が企業に従事する人々の長年に亘る実務経験によって得られるノウハウとして蓄積され、個人々に分散されて管理されているのが現状である。したがって、企業における技術情報の管理は、ノウハウを有する多数の優秀な人材を育成、管理するといった間接的な管理手法がとられている。このよう

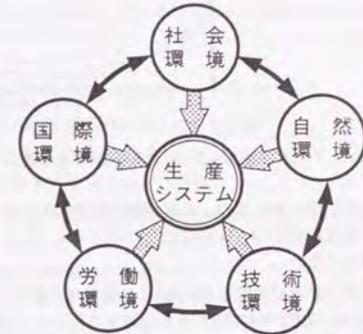


Fig.1-3-1 設計・生産活動を取り巻く諸環境〔人見90〕

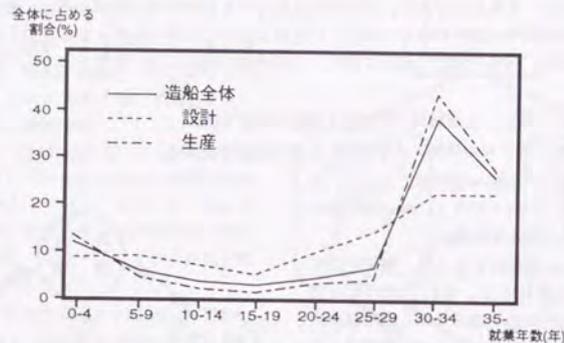


Fig.1-3-2 21世紀初頭の造船業における年令別就業人員構成 [CIMS89]

な管理手法においては、生産環境の変化に対する企業の柔軟な対応は、企業に従事するノウハウを有する多数の優秀な人々の柔軟な対応によって実現されてきた。このことが日本の製造業の特徴であると言って良い。

一方、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や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う結論が得られている[CIMS89] (Fig.1-3-2)。そして、高齢化による労働者不足の補充、あるいは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加速されるものと考えられ、労働資源の急激な変化は避けられない状況にあるといえる。

日本の製造業は労働者の能力に強く依存する設計・生産システム(人間系の設計・生産システム)を基盤としているため、以上に述べた労働資源の急激な変化は、技術の伝承・発展の困難さを招く怖れがあり、日本の製造業に於ける設計・生産システムに極めて大きな影響を与えるものと考えられる。

以上の問題を克服するために、可能な限り労働者の能力に依存しない設計・生産システムの構築が望まれる。

(3) 技術環境の変化

近年の急速な計算機技術の発展に伴い、計算機資源をより効率的に活用するために、中央集中型による計算機利用の形態から複数の計算機が分散して処理を行う分散型の利用形態に移行しつつある[和田90][沖野93]。

また、製造現場には様々な計算機制御による自動化設備、さらには高機能なロボット等も登場している。この製造現場の変革によって、生産に関する情報の重要性がより強く認識されることになり、製造現場への計算機の導入、これらの計算機を接続するLAN(Local Area Network)の構築も進められている。

以上の技術環境の変化によって、設計・生産活動における情報の重要性が認識されることになった。つまり、製造業は、効率のよい情報の生成と情報の伝達によって生産性を直接的に向上させることができるといった可能性を認識することができた。したがってこれまで以上に、設計・生産システ

ムを情報の視点から捉え、設計・生産活動に必要な情報の生成や情報の伝達が円滑(スムーズ)に行われる機能を次世代の設計・生産システムに付加することが望まれている。

1.4 研究の目的

前節で述べたように、製造業は生産環境の急激な変化に直面しており、現在製造業で構築されている設計・生産システムの多くは、それらの変化に対して柔軟に対応することが困難なものであると指摘されている。そのために、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。造船業も例外ではなく、造船における次世代の設計・生産システムとしてCIMが構築される必要がある。

ところで、製造業における設計・生産活動の役割は以下のように整理することができる。

- ・設計活動は、製品に対して要求される機能を満足する製品情報を生成する活動
- ・生産活動は、設計活動で生成された製品情報を利用することによって、製品を製造するために必要な生産情報を生成し、その生産情報に基づき製品を実体化する活動

以上の整理に基づくと、計算機を利用して設計・生産活動における情報を統合化するためには、以下のことが重要であると理解できる。

- 1) 設計・生産対象である製品情報を計算機を利用して統合的に管理する。
- 2) 計算機によって、製品情報の生成を支援する。
- 3) 計算機によって、製品情報を利用して生産情報の生成を支援する。

上記1)の計算機を利用して製品情報を統合的に管理することを目的とした一つ概念として、製品を計算機内部に情報として表現する製品モデルの概念が提唱されている。この概念は、製品情報を可能な限り計算機内部に記述することによって、設計・生産活動において必要となる製品情報を統合的に管理する概念である。この製品モデルに関しては、第3章において詳細に述べる。また、製品モデルの概念に基づくと、上記2)は設計活動における製品モデルの生成、さらに上記3)は製品モデルの利用による生産情報の生成を支援する問題として捉えることができる。

製品モデルや生産情報の生成を統合的に支援するためには、例えば、ある設計過程において生成された製品モデルの情報を有効に利用し、その情報に対して必要最小限の情報を入力して、別の設計過程において必要となる製品モデルの情報を生成することが肝要となる。また、生産過程における生産情報の生成に関しても同様であり、既に生成されている製品モデルの情報を有効に利用して、生産情報を効率的に生成する必要がある。このためには、それらの情報の生成過程において設計者や生産計画者などが入力すべき情報や、その入力によって生成される情報を整理することが重要である。

さらに、この情報の整理に基づいて、上記2)および3)を製品モデルの情報の生成や利用の観点から整理することによって、製品モデルの生成過程や利用過程をシステムにおける情報処理として捉える必要があると考えられる。そこで本研究では、製品モデルの生成過程や利用過程の認識は、情報を統合的に管理する環境にとって重要であると考え、設計過程のモデル化と生産過程のモデル化として検討する。

本研究では、以上に述べた造船における製品モデルの検討、設計過程・生産過程のモデル化をまとめて「(1)造船における設計・生産活動のモデル化」とし、研究目的の一つとしている。また、このモデル化によって定義されるモデルをプロトタイプ・システムの構築によって検証する「(2)造船における設計・生産システムのプロトタイプ・システムの構築」、さらに、このシステム化と(1)のモデル化によって考察することができる「(3)造船における設計・生産活動の体系化」を行うことによ

Table 1-4-1 研究の目的

研究の目的	
造船における設計・生産活動のモデル化	造船における設計・生産システムのプロトタイプ・システムの構築
造船における設計・生産活動における情報の生成、情報の伝達、情報の処理を計算機内部に表現するために、造船の設計・生産活動のモデル化を検討する	実際に計算機を利用して、造船における設計・生産システムのCIMのプロトタイプ・システムを構築する
造船における設計・生産活動の体系化	
設計・生産活動における情報の生成・利用を系統立てて整理することによって、設計・生産活動の体系化の基礎を確立	

て、造船における設計・生産活動の情報を統合化するための「情報の整理」を研究目的としている。以下に、これらの目的について詳細に述べる (Table 1-4-1)。

(1) 造船における設計・生産活動のモデル化

本研究の目的である計算機による設計・生産活動の統合的な支援を実現する CIM を構築するためには、設計・生産活動で必要となる情報の生成と情報の処理を明確にする必要がある。そこで、造船業における設計・生産活動の様々な活動や対象を分析・整理することによって、計算機によって生成すべき情報や伝達すべき情報、さらに処理すべき情報を明確にする。これらの設計・生産活動における情報の生成、情報の伝達、情報の処理を計算機内部に表現するために、造船における設計・生産活動のモデル化を検討する。その際に、設計・生産対象として船体の主要構造に着目し、以下の検討を中心に挙げる。

・造船における製品モデルの情報の構造の検討

設計・生産活動の様々なステージにおいて要求される製品情報は異なるものと認識することができる。したがって、造船における製品情報を、計算機を利用して統合的に管理し、利用するためには、各々のステージにおける製品情報を、統合的に管理するための製品モデルを考慮する必要がある。

本研究では、船体の主要構造を対象に、「設計・生産対象のモデル化」を行い、その設計・生産活動において必要となる様々な情報を、製品モデルとして定義することを目的とする。さらに「設計・生産過程のモデル化」において、ステージ間の製品情報の関連を明確にすることも目的とする。

・造船における製品モデルの生成・利用過程の検討

設計・生産活動において必要となる製品情報や生産情報は膨大な量であるため、これらの情報の生成を支援することは重要な課題である。これまでに構築された設計・生産システムでは、一部分の情報の生成に着目した支援が主体であったため、生成される情報の分散化が情報の統合化への障壁となっている。しかし、設計・生産活動で生成・利用される情報が、統合的に管理する環境においては、ある情報を生成する際に、その情報と密接に関連する情報が既に生成され、管理されている場合が考えられる。そこで本研究では、ある情報を生成する際に、既に生成されている情報を有効に利用し、さらに既に生成された情報と、新たに生成すべき情報との関係を記述することを考慮する。これによって、情報の統合的な生成および管理手法の定義を目的とする。またこの様な情報の生成を機能として捉え、「設計・生産過程のモデル化」において設計機能や生産計画機能を定義し、統合的な情報の管理環境での情報生成を考慮することを目的とする。

ところで、生産活動が行われる生産環境の情報 (工場や設備などの制約や能力) は、生産情報を獲得する際に重要な情報であり、一般的に生産環境の情報は製品情報とは独立している。そこで本研究

では、「生産環境のモデル化」において、製品モデルとは独立した生産環境のモデルを検討することを目的とする。

(2) 造船における設計・生産システムのプロトタイプ・システムの構築

本研究では、(1)の造船における設計・生産活動のモデル化によって得られた知見を基に、実際に計算機を利用して造船における設計・生産システムのプロトタイプ・システムを構築する。また、このプロトタイプ・システムの構築の際に得られる知見を基に、設計・生産活動のモデル化を再検討する。そして、設計・生産活動のモデル化 (理論) と設計・生産システムのプロトタイプ・システムの構築 (実践) の両面から、造船における次世代の設計・生産システムを明確にする。本研究では、システムの開発用言語としてオブジェクト指向言語である Smalltalk を使用している。

(3) 造船における設計・生産活動の体系化

造船業に限らず、あらゆる製造業において行われている設計・生産活動は、様々な業務、分野で構成され、各々の業務や分野で扱われる情報や処理方法は異なっている。このために設計・生産活動における情報処理は、複雑な処理となっている。また、造船における設計・生産活動を情報処理の視点から理解しようとした場合、個々の業務や分野に関する専門的な理解力と、それらを全体としてまとめて把握する総合的な理解力が要求される。したがって、計算機によ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、情報処理の視点から、設計・生産活動を体系的に捉える必要がある。

そこで本研究では、情報処理の視点から造船における設計・生産活動を体系化するために、上記 (1)の造船における設計・生産活動のモデル化、上記 (2)の設計・生産システムのプロトタイプ・システムの構築 によって得られた情報の整理を基に、設計・生産活動における情報の生成・利用を系統立てて整理することを目的とする。

1.5 論文の概要

本研究では、既に述べたように計算機によって統合化された設計・生産システムである CIM に着目し、造船の設計・生産活動において必要となる製品情報・生産情報を獲得する手法に関する検討を行っている。本論文は、本章を含めて全9章から構成されるが、以下に本論文の構成を示す (Table 1-5-1)。

第2章「造船における設計・生産システム」では、造船においてこれまで行われてきたシステム開発の概略的な歴史と現状を整理する。この整理によって、これまでのシステム開発における手法上の問題点と、その結果として構築された現状のシステムの問題点を確認し、次世代の設計・生産システムを構築する際に注意すべき点を明確にする。

第3章「モデル化とオブジェクト指向」では、計算機を用いたシステム開発を行う際に重要となるモデル化について触れ、モデル化の重要性とモデルを基盤としたシステム開発の有効性、さらに設計・生産システムの利用によるシミュレーションの有効性を述べる。また、本研究においてシステムを実際に構築するために用いられたオブジェクト指向の概念と、そのシステム開発の特徴を述べる。

第4章「造船の設計・生産活動のモデル化のために」では、造船における設計・生産活動をモデル化するために、モデル化するべき対象や事象を明確にすることを目的とする。そのためにまず、造船において行われている設計・生産活動における特徴を整理する。さらに、この整理に基づき、設計・生産活動において必要な情報を獲得するためには、計算機内に「設計・生産対象のモデル」、「設計・生産過程のモデル」、「生産環境のモデル」が必要であることを提案し、それらのモデルの設計・生産システムにおける位置づけを整理する。

第5章「設計・生産対象のモデル化」では、設計・生産システムにおいて中核となる設計・生産対象のモデル (製品モデル) の定義に関して述べる。第5章では、造船における製品情報として重要と

Table 1-5-1 論文の概要

章	概要
第2章 「造船における設計・生産システム」	造船においてこれまで行われてきたシステム開発の概略的な歴史と現状を整理する。この整理によって、これまでのシステム開発の手法上の問題点と、その結果として構築された現状のシステムの問題点を確認し、次世代の設計・生産システムを構築する際に注意すべき点を明確にする。
第3章 「モデル化とオブジェクト指向」	計算機を用いたシステム開発を行う際に重要となるモデル化について触れ、モデル化の重要性とモデルを基盤としたシステム開発の有効性、さらにそのシステムによるシミュレーションの有効性を検討する。また、システムを構築するために用いたオブジェクト指向言語の概念と、そのシステム開発の特徴を述べる。
第4章 「造船の設計・生産活動のモデル化のために」	造船における設計・生産活動をモデル化するためには、何をどの様にモデル化すべきであるかを明確にすることが必要である。そのために、造船における設計・生産活動の特徴を整理する。さらに、設計・生産活動をj必要となる三つのモデルを構築する。
第5章 「設計・生産対象のモデル化」	設計・生産システムにおいて中核となる製品情報をモデルとして定義する設計・生産対象のモデルに関して述べる。そして、造船における製品情報として重要となる情報は何であり、その製品情報をどの様にモデルとして定義すべきかを述べる。
第6章 「設計活動のモデル化」	設計活動を製品情報の生成を行う活動として捉え、第5章で述べた設計・生産対象のモデルとして定義された製品情報をどの様に生成すべきかを検討する。この際に、製品情報の生成機能に着目し、設計過程における設計機能を定義し、製品情報の生成過程をシステム内に表現することを検討する。
第7章 「生産活動のモデル化」	第6章で述べた設計活動によって生成された製品情報を利用して、造船における生産活動で必要となる生産計画の情報を獲得する手法に関して検討する。生産計画をモデル化して生産環境のモデルを定義することによって、生産計画情報を生成された製品情報より獲得する様々なモデル化について述べる。
第8章 「設計・生産活動の体系化と今後の課題」	造船における設計・生産活動のモデル化と、構築された設計・生産システムにより、設計・生産活動の体系化を示す。さらに、この体系化に基づき実用的な設計・生産システムを構築するために問題となる様々な課題を整理する。
第9章 「結論」	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。

なる情報は何であり、その製品情報をどの様に製品モデルとして定義すべきかを中心に述べる。

第6章「設計活動のモデル化」では、設計活動を製品情報の生成を行う活動として捉え、第5章で述べた設計・生産対象のモデルとして定義された製品モデルをどの様に生成すべきかを検討する。この際に、製品情報の生成機能に着目し、設計過程における設計機能を定義し、製品情報の生成過程をシステム内に表現することを検討する。さらに、実際に構築した設計支援システムのプロトタイプ・システムの概要とその主な設計例を併せて紹介する。

第7章「生産活動のモデル化」では、第6章で述べた設計活動によって生成された製品情報を利用して、造船における生産活動で必要となる生産計画の情報を獲得する手法に関して検討する。第7章では、生産活動が展開される生産環境をモデルとして定義し、設計活動によって生成された製品情報から生産計画に関する情報を生成する生産計画のモデル化について述べる。さらに、実際に構築した生産計画支援システムのプロトタイプ・システムの概要とその主な実行例を併せて紹介する。

第8章「設計・生産活動の体系化と今後の課題」では、<造船における設計・生産活動のモデル化>と<設計・生産システムのプロトタイプ・システムの構築>より、設計・生産活動における情報処理を系統立てて整理する。この整理に基づき、本研究によって、設計・生産活動における情報とその情報の処理がどの様に体系的に捉えることができるかについて述べる。さらに本研究の成果に基づき、実用的な設計・生産システムを構築するために問題となる様々な課題を整理する。

最後の第9章「結論」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。

第2章 造船における設計・生産システム

造船における製品である船は、大量の部品から構成される大規模な製品であり、造船業はこの製品を効率的に建造することが望まれる産業である。したがって、造船は大量の情報を必要とし、これまでに積極的に計算機を導入した設計・生産システムを構築してきた。また、日本の造船業が世界で認知される高度な技術力や生産性を有していることから理解できるように、計算機の利用に関して先進的な役割を果たしてきたことは言うまでもない。

そこで本章では、まず造船における設計・生産活動の特徴を概観し(2.1節)、日本の造船においてこれまで行われてきたシステム開発の歴史を整理する(2.2節)。次に、この整理によって、
・これまでのシステムの構築における手法上の問題点
・構築された現状のシステムの問題点
を把握する(2.3節)。さらに、次世代の設計・生産システムとして着目されているCIMに関して一般的な概念に関して触れ(2.4節)、造船におけるCIM構築に対する研究、および本研究と造船におけるCIM構築との関係について述べる(2.5節)。

2.1 造船における設計・生産活動の特徴

造船の生産形態の大きな特徴としては、船主からの注文により生産が始まる典型的な個別注文型の生産形態を挙げることができる。船主からの注文を受けると、造船所ではまず基本計画を立て、性能設計、構造設計、詳細設計、生産設計へと設計作業が進行するに従い製品情報が生成される。そして生成された製品情報をもとに生産計画が立案され、加工、組立、搭載が行われ、進水、試運転、引渡しへと進む。これらの様々な設計・生産活動で利用される製品情報や生産情報は、個別注文生産であるために事前に準備した様々な情報の組合せによる処理だけでは十分に対応することが一般的に困難である。したがって、受注した船一隻単位で見積、開発、設計、建造(製造)が実施されるのが一般的となっている。

活動の起点となる受注時の情報は、受注後の生産活動全体を見渡す概略的な情報である。こ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生産分野が共同で設計・生産活動を計画、推進していく生産形態を造船業はとる。この際、種々の業務を一斉に遂行することにより、その船に固有の詳細な製品情報と生産情報を作成し、迅速に生産を行うことが要求されることが大きな特徴である[小山89](Fig.2-1-1)。また、船を構成する部品の点数は十数万点にも及び、それらの個々の部品形状は一般的に異なるため、部品の流用は非常に困難であると言われている。したがって、設計・生産活動に必要な情報の量は膨大となり、それらの情報生成の量的問題は深刻である。以上に述べた造船の特徴は次のように整理することができる。

- ・設計・生産活動全般における時間が短期
開発、設計、建造に与えられる時間が絶対的に短期である。
- ・設計・生産情報が大量である
部品点数が非常に多く、かつ個々の部品形状は異なるため、短期間で全ての部品の設計・生産情報を生成するのは非常に困難である。

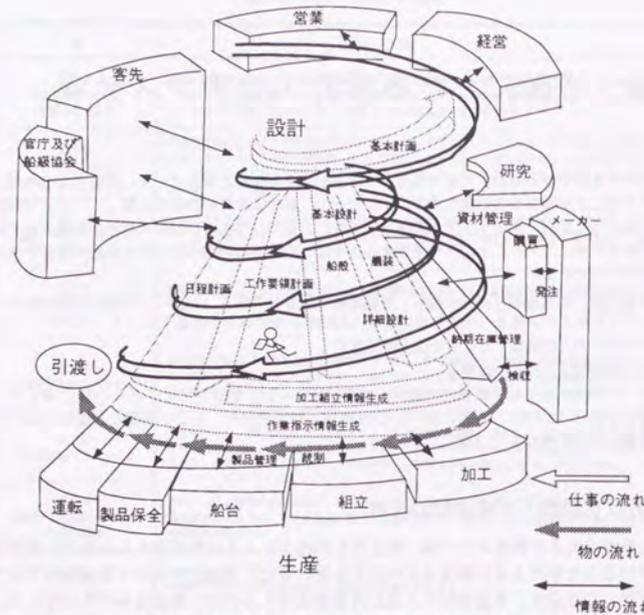


Fig.2-1-1 造船業務概観図 (S&O財団CIMSプロジェクト)

- ・設計・生産情報を予め準備しておくことが困難
- 生産形態が個別注文生産のため、個々の設計・生産活動はゼロからのスタートに近いものとなる。

このような生産形態の特徴により、造船における設計・生産活動は限られた期間内に各船毎に新規に設計と建造を行うことになり、設計分野と生産分野における各分野の多人数が設計初期の段階から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]。しかし、実際の設計・生産活動では、設計・生産活動の各過程において膨大な情報が生成され、それらの情報が他の過程へ伝達され処理されることによって支えられている。また、これらの情報の生成や伝達、処理などのほとんどが人間の力によって行われている。したがって、この生産形態は、情報の質・情報の量・情報伝達のタイミングの不備に起因する不具合が生じてしまうなどの多くの問題点を包含した生産形態であるといえる。

以上の問題に対処するために、造船業では次節 (2.2 節) で述べるような様々な計算機支援システムが構築されてきた。しかしそれらのシステムは、多数の熟練労働者や技能者の支援によってはじめて有効に活用されるシステムである。現在、1.3 節で述べたように製造業を取り巻く労働環境の変化によって、人間系の設計・生産システムの土台が揺らいでおり、次世代の設計・生産システムの構築が望まれている。

2.2 造船における計算機による設計・生産活動の支援

前節で述べたような特徴を有する造船業では、これまでに、設計・生産活動を計算機によって支援する多くのシステムが構築されてきた。ところで、それらのシステムはどの様な過程で開発されてきたのであろうか。本節では、造船業におけるそれらのシステム開発の歴史を整理し、本研究が目指す次世代の設計・生産システムの方向性を考察する。

2.2.1 計算機の導入の歴史

日本経済は、岩戸景気 (1959-1961)、いざなぎ景気 (1963-1964)、いざなぎ景気 (1966-1970) 等の連続した 1960 年代の好景気に支えられ、火力発電、石油生成、石油化学、製鋼等の複合臨海コンビナートの登場によって経済の大型化がもたらされた。そのため、素材産業の原料や燃料の輸入には大量の船舶が必要となり、日本の造船業界は 1960 年代に拡大期を迎えた。1960 年代初期にはスエズ動乱による第一次輸出船ブームの反落により一次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。その後、第三次中東戦争による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。

以上のような、日本の造船業の成長に伴い、他の産業に先駆けて、日本の造船業は多くの計算機の導入や様々なシステムの開発が積極的に行われてきた。そこで、日本の造船業における計算機の導入

項目	55	60	65	70	75	80	85	90
日本経済 (社会情勢)		岩戸景気	いざなぎ景気	いざなぎ景気	オイルショック	オイルショック		
造船業の歴史		日本造船業の黄金時代	日本造船業の黄金時代	日本造船業の黄金時代	日本造船業の黄金時代	日本造船業の黄金時代	日本造船業の黄金時代	造船業の衰退
設計における計算機の利用		船舶設計の計算機化	船舶設計の計算機化	船舶設計の計算機化	船舶設計の計算機化	船舶設計の計算機化	船舶設計の計算機化	船舶設計の計算機化
製造における計算機の利用			NC 設備の使用				コンピュータの普及	コンピュータの普及
システム構築の形態		個人的プログラムの時代		大規模システム構築の時代		汎用ソフト利用の時代		統合化の時代

Fig.2-2-1 計算機利用の歴史

の歴史について、日本造船学会のシステム技術委員会第I部会が出版している資料〔服部/笠原 84〕を基に整理する (Fig.2-2-1)。

・個人的プログラムの時代 (1960年代)

日本における実用計算機の登場は1960年頃であり、造船業では、その当初から積極的に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流であった (個人的プログラムの時代)。その主なシステム開発としては、設計分野における船舶算法の計算機処理化や、原図作業の数値計算化を挙げることができ、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年中頃まで続いた。

・大規模システムの構築の時代 (1960年代中頃～1970年代中頃)

造船業界は日本経済の高度成長 (いざなぎ景気 (1963-1964)、いざなぎ景気 (1966-1970)) の波に乗りながら、積極的な設備投資が行われた。造船業では特に、他の産業にさきがけて計算機を導入するため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な導入に併せて、企業の業務を支援するシステム作りが推進された (大規模システム構築の時代)。いわゆる、造船業における計算機利用の黄金期の到来となった。

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などが推進された。またこの時期は、コンピュータの実用化や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バイオニア的存在であったことに対して、日本では造船業界が同じ役割を果たすことになった。このような造船業における計算機利用の黄金時代は1973年に迎えた石油危機 (第一次オイルショック) まで続いた。

・汎用ソフトウェアの利用の時代 (1970年後半～)

1970年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 (汎用ソフトウェア利用の時代)。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。さらにCAD/CAMシステムの統合化、NC技術、溶接ロボットの登場等の技術革新により、大規模な設計・生産システムが構築されるに至っている (統合化の時代へ)。

2.2.2 設計・生産活動を支援する既存のシステム

日本の造船の設計分野において最初にコンピュータが導入されたのは、1960年頃であった。以下に挙げるように、計算機の利用による船舶算法の計算機化や現図作業の数値計算化などが進められた。

(1) 設計活動を支援するシステム

・船舶算法の計算機化

計算機の高度な計算処理能力を最大限に利用するために、設計部門は船舶算法の計算機化に取り組んだ。具体的には、船舶算法の計算のなかでも既に伝統的な設計業務としてルーチン化されていた排水量計算、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が着手された。

・現図作業の数値計算化

原図作業の数値計算化の試みは、外板展開法の幾何学的問題の取り組みから出発した。その後、1/10縮尺原図、EPM (Electro Photo Marking)、座標読取機などの設備が導入されることによって、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が開発された。

しかし、1960年代の中頃まで続いた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ほとんどであったと言われている。そのために、システム開発の組織をどう編成すべきかが問題となり、次の世代のシステム開発の課題となった。

・バッチ型自動設計システムの開発

造船における生産規模の拡大に伴い、計算機に対する大型の設備投資が進められる中で、企業内に大規模なシステムを構築するためにプロジェクトチームが結成され、本格的な計算機を利用した設計システムの開発が行われた。この中で特に熱心な開発努力が注がれたテーマは、バッチ型自動設計システムであった。

これは、定型的な設計作業の一部分をバッチ型自動設計のプログラムで置き換えることを目的とするものである。このようなシステムの例としては、船級協会のルールに基づいた船体構造のスカントリングの自動決定を、コンピュータのプログラムに置き換えることによってシステム化を行ったものなどを挙げることができる。そして、NV、LR、AB、NKなどのルール別、タンカー・バルクキャリアなどの船種別の組合せで各種のプログラムが開発された。

しかし完成されたバッチ型自動設計システムは、

・開発後の保守体制

・船級協会のルール改正への対応

等が問題となり、実際の設計業務に定着するには至ることなく消滅してしまった。

・CADシステムの開発

計算機環境におけるハードウェアの発展やソフトウェアの発展に伴い、グラフィック・ディスプレイの登場による対話型の計算機利用や数学的なアプローチによる計算幾何学が進歩した。これらの基盤となる技術的な進歩によって、CAD (Computer Aided Design) システムの基本概念が構築された。初期のCADが取り扱う幾何形状は二次元情報が主であったが、その後の様々な幾何モデル (ソリッドモデルなど) の登場によって、計算機で扱うことが可能となる幾何情報の守備範囲は拡張した。その結果として、紙に図面を描いていた設計作業が、計算機による情報処理として代替されることが可能になった。

造船業においても、CADの概念の登場と共に自社の専用CADシステムの構築が始まり、高度情報処理技術を設計分野に導入することが可能になった [志々田 89] [綾 80]。また、汎用CADシステムの登場によって、自社CAD、汎用CADの両者の使い分けが進行している。

(2) 生産活動を支援するシステム

・NC切断システムの開発

船舶の建造技術にコンピュータが直接的に利用された分野は、数値制御技術の応用である。製造ラインでは、1960年代中頃からNC切断機が使用されていた。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切断機を稼働して部材を切断加工した。このことにより、船殻部品の現図作業の省力化や精度向上など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]。

・CAD/CAM一貫システムの開発

1970年代中頃に、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、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、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。これらの技術により、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要時間を短縮させることが可能な、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の工程をカバーしているものである。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。さらに、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・伝達するシステムの実現が期待されている。

・生産計画のためのシステム開発

昭和40年(1965)頃以降、コンピュータを利用した生産計画のためのシステム開発が盛んに行われてきた。しかし、これらのシステムは「設計において生成される製品情報や生産計画の情報、および工場の設備情報などの関係」が明確に整理されていない状況で開発されてきたために[雨宮92]、その多くの生産計画のためのシステムは実際の計画作業には定着することなく、廃止されてしまったようである。また、平成元年(1989)頃から、小山や雨宮、峰村などによって、エキスパート・システムなどを利用した生産計画のシステムの構築に関する研究が数多く行われている[小山/本田89][小山他89][雨宮91][峰村90]。

2.3 造船における設計・生産システムの現状と問題点

本節では、次世代の設計・生産システムの姿を明確にするために、造船における設計・生産システムの現状と、造船における設計・生産システムが抱える問題について整理する。

2.3.1 造船における設計・生産システムの現状

計算機が世の中に登場して以来、計算機のハードウェア・ソフトウェアの発達にはめざましいものがある。これらの発達と共に様々な生産活動において多くの計算機が利用され、あらゆる製造業において生産活動の効率化を目的とした設計・生産システムが構築されてきた。

2.2節において整理したように、造船のシステム化の歴史も古く、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。造船におけるシステムの特徴として、以下に示す特徴が指摘されている。

- ・造船業における従来の生産活動が、個々の労働者の能力に大きく依存してきたために、設計・生産システムを構成するサブ・システムは、労働者の能力を最大限に活用するための支援、または、労働者の能力の一部を計算機に代替させることを目的とするものが主流である。
- ・労働者が平均的に優秀であったことに支えられ、比較的簡単な計算機支援ツールであっても非常に高品質の仕事をごこなすことが可能となり、競争力の高い設計・生産システムを比較的容易に構築することができてきた。

そこで、造船のシステム化がどの様な状況にあるのかを把握するために、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が報告している資料[CIM91]を示す。

・統合化レベルの業務マップ(Table 2-3-1)

造船の設計、生産を構成する様々な分野、業務におけるシステム化の進展度合を定量的に把握し、整理したもの。

Table 2-3-1 統合化レベルの業務マップ (S&O財団CIMSプロジェクト)

業務レベル	分野	性能	船殻	船装	機装	電装	塗装	備考
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
計 画 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
	試験立案・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		手帳、形状情報が不十分	
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
	生産管理	0.5						殆どシステム化されていない
管 理 統 制	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、機械品等の単独システム
	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: CIMSに近い状態
 - 5: CIMS化後

・主要システムのソフトウェア構成(Fig.2-3-1)

造船所で現在稼働している主要システムが、設計、生産の各分野、業務のどの範囲をカバーしているのかを整理したもの。

・主要システムのハードウェア構成(Fig.2-3-2)

主要システムのソフトウェアを動かすハードウェアの構成がどの様になっているのかを整理したもの。

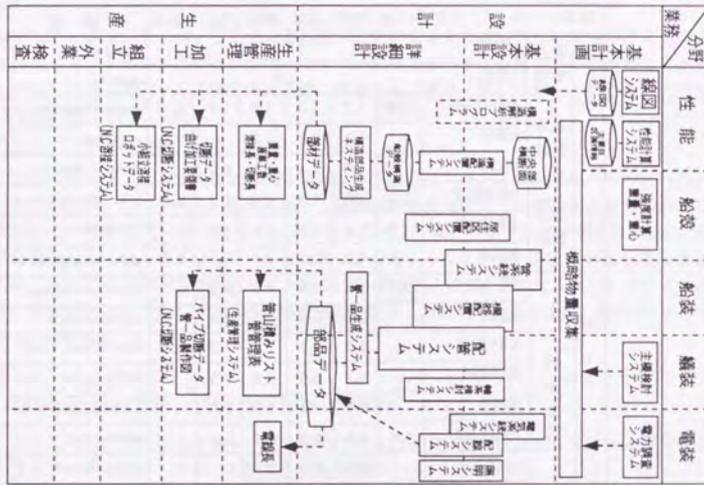


Fig.2-3-1 主要システムのソフトウェア構成 (S&O財団CIMSプロジェクト)

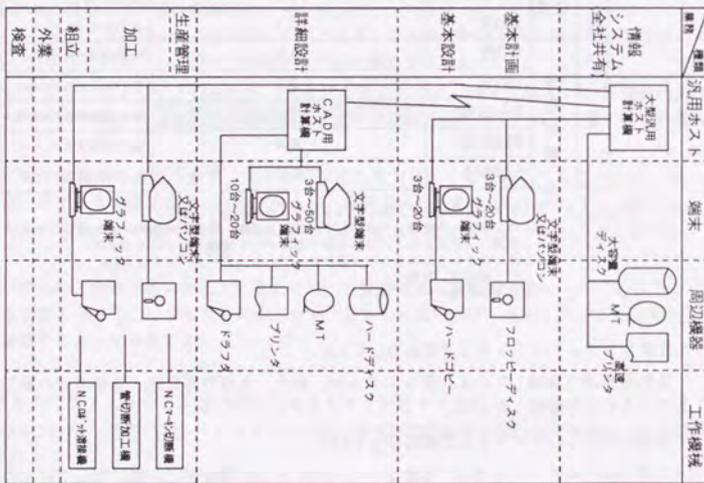


Fig.2-3-2 主要システムのハードウェア構成 (S&O財団CIMSプロジェクト)

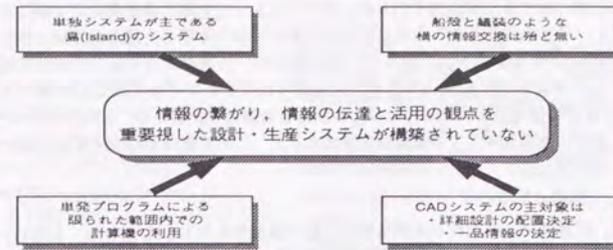


Fig.2-3-3 造船におけるシステム化の現状

以上の資料を基に、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を以下のように報告している [松岡/覚野 92] (Fig. 2-3-3)。

- ・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各々の業務内における統合化レベルは比較的高い。しかし、上流の設計と下流の設計のような縦の繋がりにおいて一貫したデータベースを持ったシステムも多少はあるが、船殻と船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、機装品などの納期・在庫管理システムが稼働しているが、それ以外はほとんどの作業を手元に頼っており、パソコンの普及とあいまって、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、日程や予算関係の限られた範囲で使用されている。

2.3.2 造船における設計・生産システムの問題点

前項で述べたように、造船業は、様々な生産活動において、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、現状のシステムとしては、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」や「情報の伝達と活用」の観点を重要視した設計・生産システムが構築されていないからであると考えられる。そこで本項では、造船における設計・生産システムが抱える問題点を以下に示すように整理する。

(1) 統合されていない部分的なシステム

設計・生産活動に対する支援範囲そのものが部分的であったため、構築された支援システムは部分的なものも多く、その結果としてシステムが扱う情報の分散化を招き、統合化された設計・生産システムを構築するには至らなかった。つまり、従来の設計・生産システムは、「部分の強化」による「全体（設計・生産システム全体）の強化」が進められてきたことを特徴として挙げることができる。しかし、「全体の強化」を支えるのは多くの優秀な労働者であるため、1.3項で述べた労働環境の変化に対する設計・生産システムの柔軟性を評価すると、この特徴は重要な本質的欠陥であると考えられる。

(2) 人に依存した情報の伝達

これまでに、計算機による設計・生産活動の支援は積極的に行われたものの、上記(1)で述べたように計算機支援によるシステムは部分的であることが多いようである。したがって、現状の造船における設計・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や、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システム全体におけるボトル・ネックになり、

- ・各種設計間（上流の設計と下流の設計、船殻設計と艤装設計）の情報の統合化
- ・設計・生産間の情報の統合化（設計情報から生産情報を生成）

などを実現する設計・生産システムが構築されていないのである。「人に依存した情報の伝達」によって生じてしまう問題は、次世代のシステムを構築する上で重要な問題である。

(3) 設計・生産システムが処理すべき情報の複雑化

製造業が取り扱う製品の多様化、複雑化に伴って、

- ・製品を記述するために必要な大量の情報の生成
- ・大量の情報を扱うための何段階にもわたる複雑な情報処理

等の情報の生成、情報の処理はますます複雑になろうとしている。そして、これらの情報の生成、情報の処理を効率的に行うことを目的に、様々な計算機支援システムが設計や生産の様々な過程に導入されてきた。また、より大量の情報の生成や情報の処理を目的として、設計から生産に至る様々な活動ばかりでなく、経営の分野などにも計算機が幅広く導入されはじめています。その結果として、生成すべき情報の量が増加し、さらに複雑な処理が要求され、計算機が支援する設計・生産システムの複雑化は避けられない状況になっている。

以上のように情報の複雑化が進行する中で、情報の伝達の際に人々が介在して伝達を行う効率性がシステム全体の情報伝達の効率性となってしまったという問題は、益々深刻な問題となっている。したがって、情報の複雑化に対応するためにも、生成・処理されなければならない情報の統合的な扱いを可能とする次世代の設計・生産システムの構築が望まれる。

2.4 次世代の設計・生産システム

本節では、次世代の設計・生産システムとして着目されている CIM に関して述べる。その主な内容としては、CIM の必要性と CIM の概念、さらに造船における CIM 構築への取り組みなどである。

2.4.1 CIM構築の必要性

設計・生産活動の様々な分野や業務において、計算機による効率的な生産活動を支援するために、CAD/CAM をはじめとする、様々な部分的なシステム（サブ・システム）が開発、利用されているこ

とは既に述べた。これらのサブ・システムは、分野毎や業務毎に独立して構築されている場合が多く、製品情報や生産情報の円滑な利用や伝達は人の労力に強く依存している。つまり、吉川が表現するように、現状の設計・生産システムは、人によって統合化されたシステム（HIM: Human Integrated Manufacturing system）であるといえる [吉川 88]。

この様な状況において更なる設計・生産システムの発展を目指し、計算機の支援による、より効率的な設計・生産システムの構築が望まれている。この要望から、既に述べたように個々のサブ・システムが生成・管理する情報の統合的な管理と運用を目的とした、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）の構築が目ざされている (Fig.2-4-1)。

2.4.2 CIMの概念と

設計・生産システム

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設計・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 90]。

CIM の概念は統合化概念として理解されているが、統合化という言葉が抽象的であるため、統合化する対象範囲が個人、企業によって異なっており、様々な CIM が構築されているようである。日本の機械学会誌のまとめでは以下のように CIM を解説している [荒井 91] (Table 2-4-1)。

〔社〕日本能率協会の調査によると多くの企業が

- (1) リードタイムの短縮
- (2) 生産・販売・開発部門間連携強化
- (3) 多品種少量受注・生産への対応

を CIM の狙いとして掲げており、部門間連携のウェイトの重要性が高まっている点が注目される。

企業活動全体を包括したものが CIM であるとするればまだ部分的なものも多いが、多くの事例が報告されてきている。そこで、生販一体型 CIM、製造型 CIM、開発型 CIM に分類し、CIM

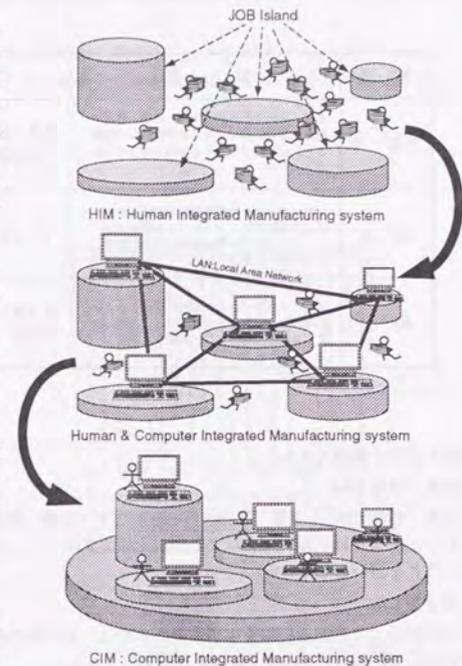


Fig.2-4-1 HIMからCIMへ

Table 2-4-1 CIMの種類と目的

種類	概要	CIMの目的	造船
生販一体	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、必要なものを必要だけ短期間で供給する体制を確立する生産システム	生産・販売・開発部門間の連携強化	
製造	生販統合による納期短縮を実現するために、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可能な生産システム	リードタイムの短縮	◎
開発	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った生産システム	多品種小量受注・生産への対応	◎

開発の現状を概観してみる。

a) 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」を狙っている。

b) 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。

c) 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っている。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。

また、対象製品モデル（プロダクトモデル）、生産資源環境モデル（ファクトリモデル）から、製造を行う前に計算機の中で製品を製造（シミュレーション）し、機能・品質を模擬・評価する Virtual Manufacturing も提案された。

造船における設計・生産活動は 2.1 節で述べたように、

- ・生産活動全般における時間が短期
- ・生産情報が大量である
- ・生産情報を予め準備しておくことが困難

であるといった特徴を有する。したがって、以上に示した CIM の分類に基づき、造船業において望まれる CIM の形態を整理すると、

2.5 造船の CIM 構築のために

・個別受注生産型であるために、新製品の開発的な設計・生産を要求される「開発型 CIM」の要素

・競争力や製造コスト削減の要求から、短納期を要求される「製造型 CIM」の要素

の二つの要素を含む必要がある。このことを考慮し、造船における CIM の姿を明確にすることが重要であると考えられる。

2.4.3 造船における CIM 構築への取り組み

造船業界においては、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 [伊藤健 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。その後この提案は 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 の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 研究委員会が設立された。この SR210 研究委員会において、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 研究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 (Fig.2-4-2)。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。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を設計している。

2.5 造船の CIM 構築のために

本章ではこれまで、造船における設計・生産活動の特徴やその活動自体が有する問題点を整理し、それらの活動を支援する設計・生産システムに関して、その歴史や現状のシステムが抱える問題点を示してきた。そして、次世代の設計・生産システムとして造船においても CIM を構築する必要があると考え、造船業が目指すべき CIM の姿を述べてきた。そこで本節では、造船の CIM を構築するために解決すべき問題を整理し、本研究の目的と造船の CIM 構築との関わりについて述べる。

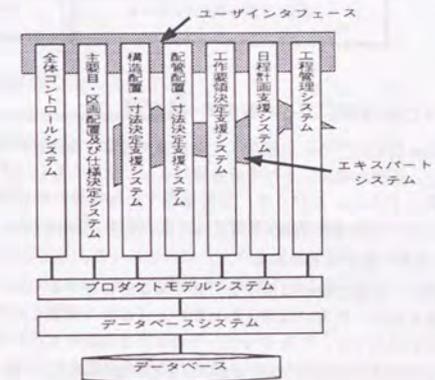


Fig.2-4-2 パイロットモデルの構成 (S&O財団CIMSプロジェクト)

Table 2-5-1 CIM構築の問題点

現状	問題点
個人の業務を支援するものが主である	情報が孤立化する
情報の伝達は人の仲介に依存する	必要十分な情報を伝達することが困難である
情報の生成に重点がおかれる	統合化技術の重要性に気がつかない

2.5.1 CIM構築によって解決すべき問題

CIM構築のためには設計・生産活動で必要となる設計情報や生産情報を統合化する必要がある。しかし、現状の業務、それを計算機によって支援するシステムには、2.3.2項において述べた様々な問題が存在する。したがって、設計情報や生産情報の統合化を実現し、造船のCIMを構築するためには、以下に挙げる問題を考慮する必要がある (Table 2-5-1)。

(A) 情報が孤立化している

設計・生産活動には様々な分野や業務が存在するため、各々の仕事を担う個々人が「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」という問題点が発生する。したがって、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する必要があるが、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) や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

(A)が原因となり、限られた範囲内の情報の“正確かつ効率的な生成”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。したがって、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つかないという問題につながる。

2.5.2 本研究とCIM

前項で挙げた問題点を解決し、CIM構築を実現するためには、「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」の両者の情動的な融合が重要な課題であると考えられる。そこで、本研究ではこの課題を解決する手段として、設計・生産活動を体系的に把握し、製品と設計・生産活動自体をモデルとして計算機内部へ表現する方法 (製品と設計・生産活動のモデル表現) を採用する (木村は、製品と設計・生産活動を計算機内にモデルとして表現する手法を“モデル・ベースの手法”として提言している [木村92]。この手法に関しては、3.1.2項において詳述する)。

この、製品と設計・生産活動のモデル表現が可能になれば、以下に述べるようにCIM構築の基礎概念が得られるものと考えられる (Fig.2-5-1)。

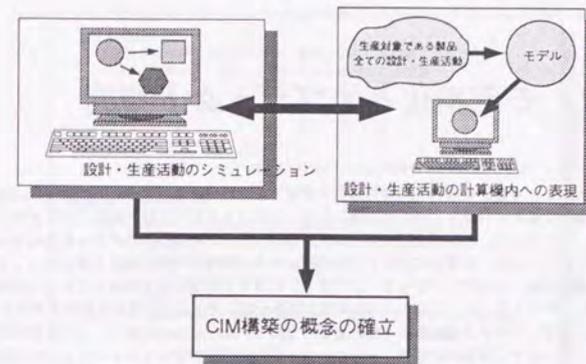


Fig.2-5-1 CIM構築の手法

(1) 設計・生産活動の計算機内への表現

製品と設計・生産活動のモデル表現が可能になれば、設計・生産活動を計算機内部において情報の生成・利用活動として表現することが可能となる。このシステムは設計から生産に亘る様々な広義の生産活動を統合化したものとして認識することができ、統合化環境を計算機内部に明示することができる。

(2) 設計・生産活動のシミュレーション

設計・生産活動に関わる多くの製品と、様々な設計活動や生産活動を計算機が処理可能な形式でモデルとして表現することが可能となれば、実世界の処理 (実際の設計・生産活動) に頼ることなく、計算機内のモデルの世界だけで設計・生産活動を模擬 (シミュレーション) することが可能になる。

(3) CIMの概念の構築

計算機内部に表現した設計・生産活動のモデルを基盤に、CIM構築の骨格を明確に議論することが可能になる。

そこで本研究では、計算機内部における造船の設計・生産活動の表現の重要性を認識し、可能な限りそれらの活動をモデルとして表現することに重点を置いている。単にモデル化といっても、設計・生産活動自体が様々な情報とその情報の生成や利用によって成り立っているため、設計・生産活動における情報の構成を検討し、その構成における情報の生成や利用を整理することによってモデル化を行う。

また、上記の様なシミュレーションが可能で設計・生産活動を支援するシステムのプロトタイプ・システムを構築することも目的の一つとしている。

第3章 モデル化とオブジェクト指向

計算機は人間よりも遥かに優れた情報処理能力を有するものである。しかし、計算機は所謂「仕掛け」であり、仕掛けを動かす「からくり」が必要となる。この「からくり」は一般的にプログラムと呼ばれるものである。したがって、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必要があるが、このプログラムには、計算機に解決すべき問題とその問題をどの様に解決させるか（してもらうか）を正確に記述（伝達）しなければならない。つまり、計算機に問題自体を理解してもらう必要があるということである。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。

本章では、まず、システム構築を行う際に重要となるモデル化について述べ、モデル化の重要性とモデルを基盤としたシステム開発の有効性、さらにシステムの利用によるシミュレーションの有効性を考察する(3.1節)。そして次に、設計・生産システムの中核となる製品情報の表現手法および製品モデルの概念について述べる(3.2節)。また、本研究において、実際にシステムを構築するために用いたオブジェクト指向の概念(3.3節)と、そのシステム開発の特徴と本研究との関係を整理する(3.4節)。

3.1 計算機システムとモデル化

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。この問題を明確に解決しなければ、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、モデルを定義することによってもたらされる様々な可能性に関して述べる。

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想的な支援を提供する表現である（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 89][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な存在するはずであり、その複数存在するモデルの差異が、時によっては間違った問題の認識や問題の解の相違などの様々な問題を引き起こすことにもなる。したがって、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、円滑な活動が支援される。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

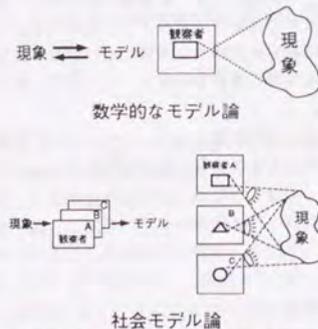


Fig.3-1-1 様々なモデル化[榎木/河村81]

モデルとは

- ・現実の世界に存在する対象（実体・現象）を理解するため
- ・その対象から、特定の目的のために取り出した情報

＊ 目的が異なれば → 必要な情報は異なる → モデルは異なる

モデリング（モデル化）とは

- ＊ 実際の対象から → 特定の目的に合致した情報のみを取り出すこと
- ＊ モデルとして情報を抽出すること

計算機とモデリング

- ＊ 計算機は「問題解決のために最も強力な手段」を提供する
- ・ 計算機が有する問題解決能力を十分活用するためには
- ・ 計算機が理解することが出来る形式に、問題の対象を表現しなければならない
- ・ 問題をモデル化し
- ・ 計算機が扱える数値や記号として表現（プログラム化）が必要
- ・ モデル化と計算機への表現（プログラム化）の間には大きな隔たりが存在

Fig.3-1-2 計算機とモデル化

表現するための活動であるということが出来る。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の支援を行うのである。したがって、計算機の支援によって、複雑な生産活動を円滑に、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必要がある（Fig.3-1-2）。

本研究におけるモデル化（モデリング）とは、この様に計算機が理解可能なモデルを構築する手法のことを意味する。

3.1.2 モデルベース・システム

計算機だけに限らず人間の思考の場合でも、解決すべき問題を整理することによって、問題に含まれる対象や事象が十分理解できる環境（つまりモデルとして理解できる環境）が無意識のうちに構築される。この構築された環境における問題の理解を基にすることによって、はじめて、解決すべき問題の解決策を思考することが可能となる。

このような問題に対する対処の仕方は一般的であり、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支援することに他ならない。したが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。さらに、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次項(3.1.3項)で述べる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ぬ。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 モデルベース・システムとシミュレーション

製品を生産する際には、設計から生産にいたるあらゆる活動において、事前の検討は重要である。この重要性は、Fig.3-1-3に示す設計・生産活動におけるコストとコスト削減の可能性の関係から理解できる。つまり、設計・生産活動における初期の検討は全体のコストに占める割合が低いにもかかわらず、全体のコスト削減に大きく作用する[Buckley92]。しかし、一般的に初期検討を行うためには設計と生産の広範囲な情報に精通していることが望まれ、実際の検討は大変な作業となる。

ここで、前項で述べたモデルベース・システムの構築によって、製品を生産するために必要な全ての対象に関する情報や事象（設計活動や生産活動）に関する情報の処理機能を計算機内にモデルとして表現することが可能となれば、計算機内におけるモデルの世界だけで設計・生産活動のシミュレーションを可能とすることが期待できる。このシミュレーションを初期検討に利用することによって、以下の効果を期待することができる。

- ・十分な設計検討が可能となり、性能のよい製品を生み出す可能性が増加する。
- ・初期の設計や生産計画において、これまで得ることが困難であった生産性に関する情報を容易に獲得することができる。
- ・詳細な生産情報を得て評価することによって、生産活動における無駄な生産コストの低減が期待できる。
- ・設備、施設、労働力の平準化は当然のこととして、新しい設備、施設、労働力の導入のための検討も可能となる。

3.1.4 モデルベース・システムとエキスパート・システム

エキスパート・システムは、問題解決のためのシステムであり、対象となる問題領域の専門家（エキスパート）が持つ知識、ノウハウをシステム内に表現し、これらを利用して専門家と同等の能力で問題解決にあたる方法である。その歴史は、1965年に開始されたスタンフォード大学のDENDRALシステムの開発から始まり、現在までに様々な問題を対象とするシステムが研究開発されている[竹内92]。設計・生産活動におけるエキスパート・システムの利用も当然考えられており、設計者や作業者の知識、ノウハウを取り込んだ設計支援のエキスパート・システムや工程計画のエキスパート・システム等の開発は盛んに行われている[清水89]。

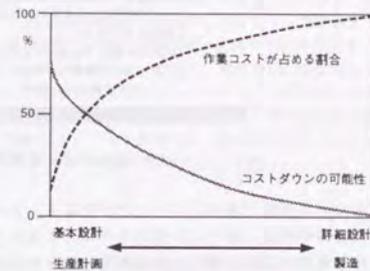


Fig.3-1-3 コストとコスト削減の可能性

本研究では徹底的にモデル化を行うモデルベースの概念にしたがって、製造業が製品を生産するために必要な全ての対象や事象（設計・生産活動）を計算機内にモデル表現することを目的としている。このモデルベースに基づいた、製品（プロダクト）に関する情報を管理するシステムを製品モデル・システムとし、エキスパート・システムが担う機能を情報の生成や判断として捉え、両者（製品モデル・システムとエキスパート・システム）の関係はFig.3-1-4のように表現することができる。

エキスパート・システムで生成された情報は製品モデル内に適宜格納、管理されることになる。さらに、製品モデル・システムによって設計・生産に関する情報が管理されると、一度入力された情報は何度でも何時でも使用でき、情報の入力作業の手間が省略できるだけでなく、情報の整合性などを管理できる等、利点が多いものと考えられる。

以上のように、情報を管理するモデルを定義しておけば、情報のチェック、情報の自動生成などに優れた特性を持つエキスパート・システムの位置づけはより明確になる。このため、大規模なシステム開発においてもエキスパート・システムを適切な箇所に構築することによって多大な効果を期待することができる。

3.2 製品のモデル化

設計・生産活動における対象（つまり製品）の計算機内における表現は製品モデルと呼ばれる。一般に製品モデルは、機能、構造、形状、工作法等の様々な情報を保持するモデルとして表現される。したがって、製品モデルがどの様に情報を表現すべきであるかの問題は、その製品モデルに記述されている情報をどの様に利用するかによって差異が生じる問題であると考えられる。

そこで、製品モデルに対して記述可能な情報を整理するために、情報の表現手法として既に研究されている三つのモデルについて、その基本概念を述べる。さらに、これらのモデルを有効に利用し、製品モデルの概念に関して概説する。

- ・製品形状を表現することに着目した形状モデル
- ・製品情報として記述される様々な属性情報に着目した属性モデル
- ・複数の情報間関係に着目し、それらの関係を情報として表現するエンティティ・リレーション・モデル

3.2.1 形状モデル

製品が有する多くの機能は、形状によって表面に現れていると考えることができる。製品形状という視点から設計・生産活動の営みを分析すると、要求される機能を持つ製品を生産するということは、極端に言えば、機能を実現するための形状を決定する設計活動と、その形状を実体化する生産活

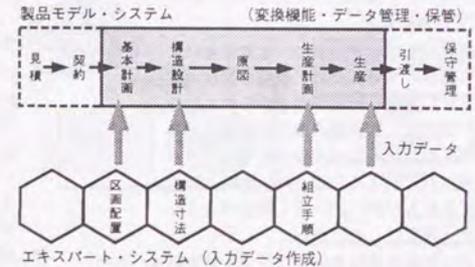


Fig.3-1-4 製品モデルとエキスパート・システム

動に分けて整理することができる (Fig.3-2-1)。

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、製品の形状の表現方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二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、三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おり、それを直接操作することが可能になっている。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、一般的に以下のものに分類することができる (Fig.3-2-2)。

1) 線モデル (Wire-Frame Model)

三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)

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。

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ことになる。また、形状モデルは製品の直接目に見える情報である形状のみを表現したものであるため、製品が有する目に見えない情報 (例えば、材質、肌触りなど) を表現することは困難であることは忘れてはならない。

形状モデルで表現された形状情報は、3.2.4 項で後述する製品モデルの形状情報として利用される。本研究で定義される製品モデルにおける形状モデルの具体的な利用に関しては、第5章で詳細に述べる。

3.2.2 属性モデル

形状モデルの利用によって、製品の立体形状を製品情報として記述することができる。しかしながら製品を情報として

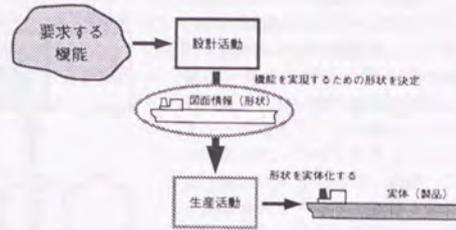


Fig.3-2-1 設計活動と生産活動

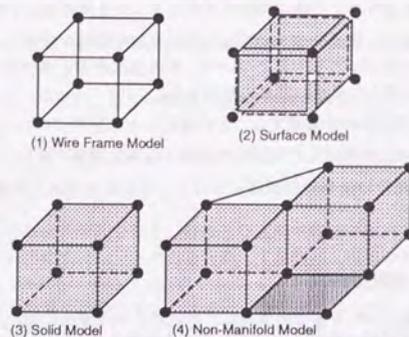


Fig.3-2-2 形状モデルの種類

十分に表現するためには、形状情報としては記述できない様々な情報 (例えば、材質や肌触りなどの目には見えない情報) が必要となる。この形状情報以外の情報を属性情報として捉え、形状情報と属性情報の記述によって製品情報を記述する概念に基づいたモデルを一般的に属性モデルと呼ぶ [長澤 89]。属性モデルは長澤が述べるように、属性情報の目的に応じて「属性つき形状モデル」と「属性制御モデル」の二種類に分類することができる。

(1) 属性つき形状モデル

製品の機能は最終的に形状として表現

されるという考えの基に、製品の形状表現を中心に製品を表現する形状モデルの概念がある。現状における CAD はこの形状モデルをベースにしていることは言うまでもない。しかしながら、製品を表現するためには形状情報以外に属性情報は重要な情報であると考えられる。この属性情報を形状モデルに付加した表現方法は、長澤が述べる「属性つき形状モデル」である (Fig.3-2-3(A))。

属性つき形状モデル

形状として表現することが困難、または表現しない方が有効である情報を形状情報とは別個に属性情報として記述するモデル。

(2) 属性制御モデル

属性として記述される情報は、形状情報では残せない情報であるため、形状情報で表現することが困難な情報を表現する際に、有効に利用することが期待できる。例えば、有限個の属性情報で製品を表現し、形状情報が必要な時点で属性情報を利用することによって形状情報を生成する処理機能を定義し、必要となる製品形状を生成するシステムを構築することが期待される。このモデルの概念は「属性制御モデル」と定義される (Fig.3-2-3(B))。

属性制御モデル

形状情報も一つの属性情報として考えると、有限個の属性情報で製品を表現することが可能である。したがって、このような属性情報で製品を表現する場合、必要となる全ての情報が記述されていない場合でも何らかの処理によって定義されている他の有限個の属性情報から新しい属性情報を生成することができる。つまり、設計対象を有限個の属性集合として表現し、必要な場合にはこれらの属性から形状を生成できる機能をつけ加えたモデル。

本研究で定義される製品モデルには、製品情報として記述すべき様々な情報を属性情報として記述されている。特に、製品モデルに記述された様々な情報を有効に利用することによって、設計・生産活動に必要な情報を生成することを考慮するために、属性制御モデルの概念を利用している。具体的な利用に関しては、第5章で詳細に述べる。

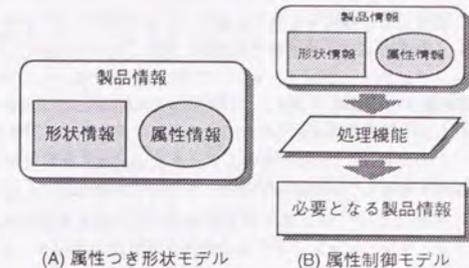


Fig.3-2-3 属性モデル

3.2.3 エンティティ・リレーション・モデル

現実世界を構成する様々な物（エンティティ）は、関係（リレーション）を内包するものであるという思考の基に、物と物との関係に着目したモデルがリレーション・モデル（関係モデル）である。エンティティ・リレーション・モデルは、物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、それらの情報の組合せによって現実世界の様々な対象を情報として表現（モデル化）する概念である。

この概念は、Chen が提唱しており [Chen76]、データベースの情報管理の基本概念、さらに複雑な情報を整理して管理する手法として有効に利用されている。

本研究では、第5章で後述する部材間の接合関係情報の製品モデルの記述に対して、エンティティ・リレーション・モデルの概念を利用している。

3.2.4 製品モデル (Product Model)

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3.2.1項で述べた。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。したがって、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はいるが、製品の表面には直接あらわれない情報を記述する必要があると考えられている。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一的に管理することが可能になると期待できる。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) と一般的に呼ばれている [木村 86] (Fig.3-2-4)。

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様な製品情報が生成され必要とされるのか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と考えられる。

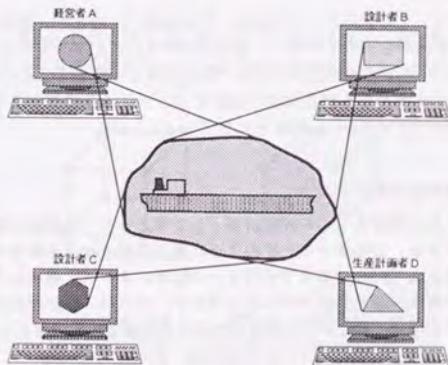


Fig.3-2-4 製品モデル

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、設計・生産活動におけるあらゆる視点から定義するために必要な情報を計算機内に表現したモデル。この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、設計情報、生産情報、属性情報等を持つ。

様々な製品情報を計算機内に記述するために、製品情報を様々な角度から表現することが可能な表現方法（モデル）が必要となる。この表現方法として、先に述べたような形状情報を記述する形状モデルや属性情報を記述する属性モデル、および物の関係を記述するエンティティ・リレーション・モデルなどのモデルを利用することが考えられる。そこで本研究では、製品情報を製品モデルに記述する際に、これまでに本節で述べたモデルを以下に示すように利用している。

- ・製品の形状情報は形状モデル (3.2.1 項) を利用する。
- ・形状情報以外の様々な属性情報は属性モデル (3.2.2 項) を利用する。
- ・製品モデル間の関係に関する情報はエンティティ・リレーション・モデル (3.2.3 項) の概念を利用する。

3.3 オブジェクト指向によるモデル化と表現

本研究では、計算機内へのモデルを構築するための開発言語として、「対象の直感的なモデル化が容易」、「構造化により、複雑なプログラミングが可能」などの特徴を有するオブジェクト指向言語を利用した。そこで、本節ではオブジェクト指向の概念について概説する [竹内/梅村 86] [上谷 87]。

3.3.1 オブジェクト指向とは

オブジェクト指向の「オブジェクト (Object)」は、1.もの、物体 2.目的、対象と訳すことができる。「オブジェクト」を「もの、実体」として理解した場合、この「もの、実体」とは何を意味するのであろうか。「実体」には <1.事物の本体、内容 2.哲学的に、不変の本質的存在> という意味がある。つまり、「オブジェクト指向」の概念の中心となる「オブジェクト」は現実世界に存在する「もの」と密接な関係を持ち、「もの」の内容、本質的存在を表現するものであると考えることができる。

したがって、現実の世界が多くの「もの」で成り立ち、これらの「もの」の相互関係によって様々な現象が発生するように、「オブジェクト指向」の世界も様々な「オブジェクト」によって構成され、それらが互いに機能する世界であると考えられる。

3.3.2 オブジェクト指向におけるプログラミング手法

「もの」を中心に考える概念である「オブジェクト指向」を、プログラミングによってシステムの世界として利用するという事は、「オブジェクト指向」の世界を計算機の中に表現することである。それは同時に「オブジェクト指向」の中心である「オブジェクト (もの)」を計算機内部に取り込む必要があるということである。当然のことながら、実世界の形あるものをそのまま計算機内部に取り込む事は困難である。したがって、何等かの表現方法 (計算機内で表現できるもの) で取り込むことが必要となり、モデル化という表現手法が利用されることになる。つまり、このモデル化によって、実世界に存在する「もの」を、計算機内に「オブジェクト」として表現することができる。このモデル化による表現方法が「オブジェクト指向プログラミング」の骨格となる。つまり、モデル化さ

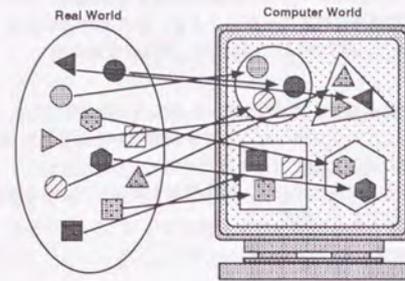


Fig.3-3-1 オブジェクト指向プログラミング

れた「オブジェクト」が実世界の「もの」と対応することによって、「もの」によって成り立つ実世界を計算機内部に取り込むことが可能となる (Fig.3-3-1)。

3.3.3 オブジェクト

計算機内部に「W ton のタンカー-A」を「もの」として定義することを例にして「オブジェクト」を説明する。「タンカー」を「もの」として定義するためには、先ず「タンカー」をどの様に表現 (モデル化) するかを考えなければならない。ここで、タンカーを観察すると、大きさ、形状、積載能力等のどちらかという「もの」の属性に深く依存した情報部分と、油を積むといった「もの」の機能に關係する操作部分から成り立っていると考えられる。「オブジェクト指向」ではこの「タンカー-A」をオブジェクトとして定義するために、オブジェクトに対して、大きさ、形状、積載能力等の属性値 (内部データ) と、海の上を航行するといった機能を満たすための機能 (アルゴリズム) を記述することになる。

手続き型のプログラミング言語では、情報とそれに対する処理機能とは切り放して記述するのが通常となっている。しかし、情報が変化すれば、それを扱う処理機能は変化するべきであり、情報の定義と処理機能の定義は現実には密接に絡み合い不可分なものであると考えられる。そこで「オブジェクト指向」では現実の「もの」が属性と機能を一体として保持しているように、「オブジェクト」に対して「内部データ (情報)」と「アルゴリズム (処理機能)」を一体化 (Package) して定義している (Fig.3-3-2)。

3.3.4 メッセージ

前項では「W ton のタンカー-A」をオブジェクトとして定義することを説明したが、現実の世界では船を操縦したり、油を積んだりするためには人間が船に対して何等かの操作を行う。「オブジェクト指向」の世界でも、この現実世界と同じように、「オブジェクト」として定義されたタンカーに対して、「操縦する」「油を積む」という操作を加えることを表現することが可能である。この操作が「メッセージ」と呼ばれるものであり、「オブジェクト」に操作を加える唯一の方法として準備されている。具体的には、「前進させる」というタンカーに対する操作は、「前進しろ」というメッセージを送ることで表現され、そのメッセージを受けたタンカーは自分が持つ情報 (速力) と処理機能 (速力いくつで航行する) によって前進するという動作を実行する。一般的にオブジェクトは、他の任

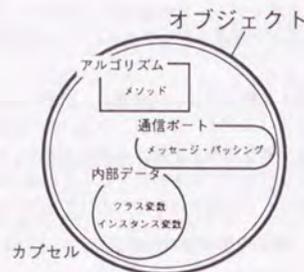


Fig.3-3-2 オブジェクト

意のオブジェクト (自分自身も含めて) にメッセージを送信 (メッセージ・パッシング) することが可能であり、メッセージを受け取ったオブジェクトは、メッセージに対応する処理を開始する。メッセージは、他のプログラミング言語の手続き呼び出しや関数呼び出しに相当する。また、呼び出される「オブジェクトの動作を記述したもの」を特に「メソッド」と呼ぶ。メソッドはメッセージ・パッシングによって起動するアルゴリズムに相当するもので、「オブジェクト」に記述された「処理機能」のことである。

また、オブジェクトを操作するのはメッセージだけであるので、オブジェクトを唯一操作する方法は、オブジェクトに定義されているメソッドを通じて実行する方法である。したがって、それらの操作によって対象物の外的な挙動は完全に特徴づけられる (データ抽象と呼ばれる) ことにもなる。また、オブジェクトが持つ情報も、オブジェクトに対するメッセージによる操作のみによってその入力および書換えを許可している (情報隠蔽) (Fig.3-3-3)。

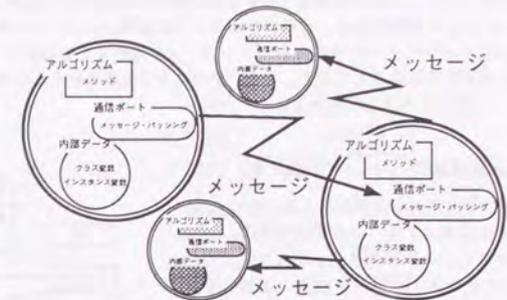


Fig.3-3-3 オブジェクト間のメッセージ交換

3.3.5 クラスとインスタンス

実世界では、タンカーとして分類される船 (タンカー-A、タンカー-B、タンカー-C などの船) は数多く存在する。この様に、あるものを分類できるということは、分類する対象となるものの機能、属性を基にして一般化しているであり、現実世界の「もの」の表現方法 (汎化-特化の關係) としては重要なことである。前述した「タンカー-A」の様に、「タンカー-B」「タンカー-C」を各々オブジェクトとして定義することは可能であるが、オブジェクトが持つ機能、属性を基に分類すると、これらのタンカーは「タンカー」という項目で分類整理することができる (一般化)。この分類の項目となる「タンカー」をオブジェクト指向では「クラス」と呼び、クラスは同一の情報構造を持つオブジェクトを生成する際の「ひな型」となるものと定義される。つまり、「タンカー-A」も「タンカー-B」も「タンカー」というクラスから生成される「オブジェクト」であり、オブジェクトが有する属性値 (大きさ、形状等) の具体的な値のみが異なるものであると定義される (Fig.3-3-4)。

実際のオブジェクト指向におけるプログラミングでは、例えばタンカーを一般的に表現するためには、属性値を納める変数として何が必要か、操作に対応する処理機能 (メッセージに対

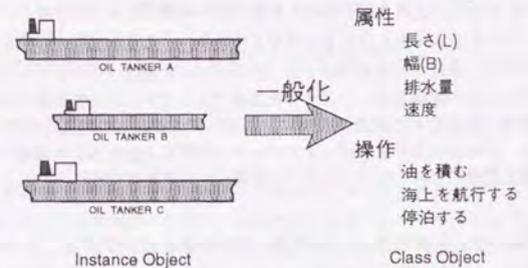


Fig.3-3-4 クラスとインスタンス

応するメソッド)はどの様なものが必要か等の記述が、タンカーを一般的に定義するクラス「タンカー」に対して行われる。その後、このように定義されたクラスを基に実際の属性値(データ)が入ったオブジェクトが生成され「タンカーA」等のような現実の「もの」に対応する「オブジェクト」が表現されることになる。また、クラスから生成されたこのオブジェクトを「インスタンス(実体)」と呼びクラスと区別する。

3.3.6 継承機能 (インヘリタンス)

オブジェクト(クラスオブジェクト)は階層構造を構成することが可能であり、上位クラス(スーパークラス)から下位クラス(サブクラス)にデータ構造(変数)やメソッドなどの性質(機能)の継承(インヘリタンス)が可能である。これによって共通点のあるクラスをその共通点において抽象化した親クラス(スーパークラス)を定義することができ、データの構造化に役立っている(抽象化)。例えば、「タンカー」と「バルクキャリア」というクラスにおいて、積荷の種類や船体構造は異なるが、船としての機能は同じである。したがって、まず、「船」というスーパークラスを定義し、そのスーパークラスに、「船」共通の属性(例えば鋼構造)・機能(例えば、海上(水面上)を航行する)を定義することによって、「タンカー」「バルクキャリア」をそのサブクラスとすることが可能である(Fig.3-3-5)。

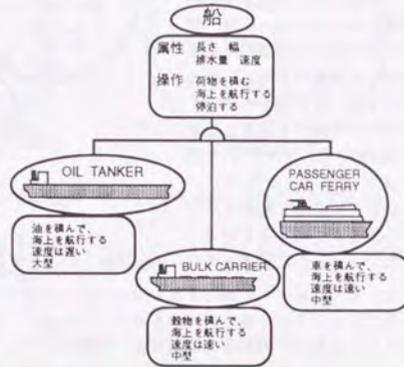


Fig.3-3-5 継承機能 (インヘリタンス)

以上のようにクラス、サブクラスを定義すると、「タンカー」「バルクキャリア」はスーパークラスである「船」から船としての機能を継承することが可能となる。また、「タンカー」「バルクキャリア」が有する特有の性質(例えば「タンカー」は油を積むとか「バルクキャリア」は二重底構造を持つバラ積み専用船である)をそれぞれのクラスで定義する。そうすれば「タンカー」は鋼でできており、海上を航行し、油を積むといったように、船に共通の特徴と、タンカー固有の特徴を合わせ持つクラス「タンカー」を、効率的に定義することができる。

3.4 オブジェクト指向によるシステム開発

オブジェクト指向によるシステム開発では、システムを構成する複数のオブジェクトの存在を前提とする。それらの複数のオブジェクトが互いに関連づけられてシステムとしての機能を発揮する。オブジェクト指向では、システムを構成するオブジェクトの関係(例えば、全体と部分、抽象と具象、部類と実例などの関係)を特に重要視して、それらの関係を整理して捉えることが積極的に行われる。逆の言い方をすれば、オブジェクト指向によるシステム開発では、これらのオブジェクト間の関係を明確にすることが、システム構築につながるのである。

3.4.1 ウォーターフォール手法とプロトタイプング手法

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

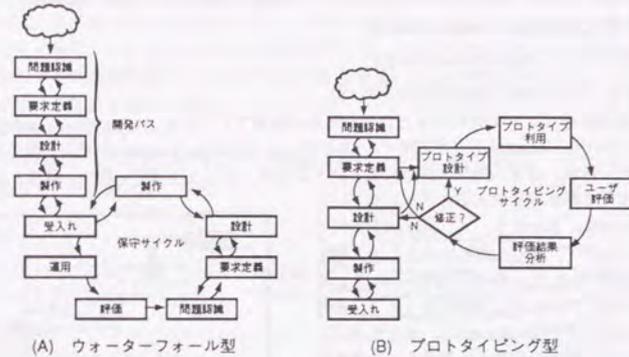


Fig.3-4-1 ウォーターフォール手法とプロトタイプング手法

ターフォール手法」を挙げることができる(Fig.3-4-1(A)) [寺野 93]。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、システムの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には、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。

この手法に対して、近年「プロトタイプング手法」が提唱されている(Fig.3-4-1(B))。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。したがって、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、これまでに開発し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、プロトタイプング手法といわれる所以である。しかしながらこの手法ではシステムの開発速度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。

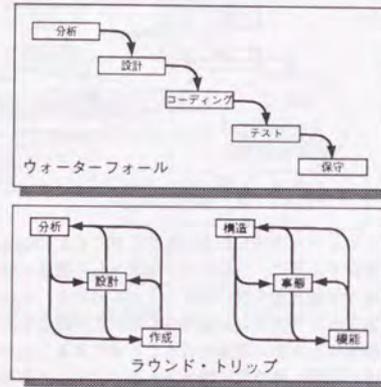
3.4.2 オブジェクト指向とプロトタイプング手法

オブジェクト指向におけるシステム開発は、システムを構成するオブジェクトやそのオブジェクトに記述するメソッドの定義に集約される。また実際のシステム開発では、オブジェクトやメソッドの定義と修正をプロトタイプング手法に基づいて行うことが多い。プロトタイプング手法によるシステム開発の場合では、システム開発の過程においてシステム内に定義されるオブジェクトは様々に変遷し、最終的に理想的なモデルに対応するオブジェクトとして定義される。

近年、オブジェクト指向によるプロトタイピング手法に基づいたシステム開発は、

- ・分析 (OOA:Object Oriented Analysis)
- ・設計 (OOD:Object Oriented Design)
- ・作成 (OOP:Object Oriented Programming)

などの開発段階によって行われるといった概念が提唱されている [Meyer90] [Coad/Yourdon91a] [Coad/Yourdon91b]。Rumbaugh らが提唱する OMT(Object Modeling Technique) では、開発段階である「分析・設計・作成」は逐次的に実行されるというよりは、むしろ「分析・設計・作成」が反復的に切れ目無く実行されるべきであると述べられている [Rumbaugh92]。Booch も、オブジェクト指向のソフトウェア・ライフ・サイクルとして、様々な開発段階である「分析・設計・作成」にフィードバックがかかる循環的なライフ・サイクルを提示している [Booch91]。また青木は、オブジェクト指向のシステム開発を、往復するとか、周遊するとかの意味があるラウンド・トリップ型のシステム開発と表現している (Fig.3-4-2) [青木 93]。



機能：機能役割をモデル化
 ファンクション(function)とデータ(data)
 構造：データ構造をモデル化
 実体(entity)と関係(relation)
 事象：計算過程をモデル化
 状態(state)と事象(event)

Fig.3-4-2 オブジェクト指向のラウンド・トリップ

オブジェクト指向によるシステム開発は、オブジェクトの変遷を容易に実現することができる開発環境を備えることによって、プロトタイピング手法によるシステム開発を容易に行うことができる。したがって、オブジェクト指向によるシステム開発によって、これまでのウォーターフォール手法では実現が困難であった大規模なシステムを比較的容易に構築することが期待できる。

本研究でシステム開発に利用する Smalltalk は、強力なラピッド・プロトタイピング・ツールとして定評があり、オブジェクトやメソッドの定義の容易さや変更の容易さを強力に支援する環境を提供する長所を有する言語である。したがって、プロトタイピング手法に基づく造船における設計・生産システムの開発を十分に行うことが可能である。

3.4.3 オブジェクトの定義と変遷

前項で述べたように、システム開発には「分析・設計・作成」という開発段階があるが、オブジェクト指向におけるシステム開発は必要に応じて自由にどの段階（「分析・設計・作成」）にも移行することができる。むしろ、積極的に別の段階へ移行することによって、開発途中のシステムに対しても変更や変化を少しずつ受け入れることが重要視される。つまり、既に構築されたシステムを修正して改変していくことが、システムの保守でもあり、新たなシステムの開発でもある。つまり、システム開発をシステムの進化として捉える開発である。

以上のようなシステム開発を可能とするためには、分析・設計・作成というフェイズに共通した枠組みが重要な役割を演じることになる。オブジェクト指向では、もの（オブジェクト）という理解の

最小単位をシステム開発の共通の枠組として定義している。したがって、分析・設計・作成の各々のフェイズにおいて、カプセル化され強力なモジュール性を有するオブジェクトを追加したり変更したりすることが容易となる。つまり、オブジェクト自体がそのモジュール性によって追加や変更に対する柔軟性を保持し、その柔軟性によってシステムに対する変更に対して柔軟に対応できる。先に述べたラウンド・トリップ型のシステム開発は、オブジェクトという枠組が存在することによって、初めて実現可能となる手法である。

オブジェクト指向によるシステム開発によって作成されたシステムを、クラス・ライブラリとして整理し、作り込んで、再組織化し、進化していく側面に注目すると、青木が述べるように [青木 93]、以下の四つの過程の螺旋的な繰り返し（スパイラル）として認識することができる (Fig.3-4-3)。

- ・特殊化 (Refinement) 過程
- ・組み立て (Composition) 過程
- ・抽象化 (Abstraction) 過程
- ・要素分解 (Factorization) 過程

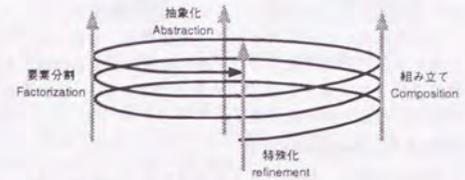


Fig.3-4-3 オブジェクト指向の開発スパイラル

(1) 特殊化 (Refinement) 過程

システム開発における分析・設計・作成は、何も無いことから開始されるのではなく、既に存在するシステムの分析・設計・作成を改良するという形態で実行される。この実行を強力に支援するためにオブジェクト指向には、多くの型定義（クラス）の間に存在する分類の関係を整理できるインヘリタンス（継承）が準備されている。このインヘリタンスを利用して、既に存在するクラスの特化や改良を行うことがシステムにおける特殊化過程である (Fig.3-4-4)。具体的には、特殊化過程では、システムに定義されているオブジェクトの属性や機能が比較的類似するオブジェクトを抽出し、上位に位置するクラス（スーパークラス）を探し出すことから始まる。

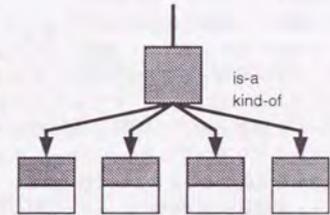


Fig.3-4-4 特殊化(Refinement)過程

この具体的な例としては、次に示す例が挙げられる。「タンカー」というクラスが既に定義されている場合には、二重船側構造のタンカーを「タンカー」を特殊化したクラスとして定義することが相当する。既に定義されている「タンカー」のサブクラスとして、「二重船側構造タンカー」のクラスを定義する。この際に、「二重船側構造タンカー」は、スーパークラスである「タンカー」に既に定義されている変数やメソッドを全て利用することができ（インヘリタンス）、自己（二重船側構造タンカー）に直接関係する変数とメソッドを差別的に定義するだけで良いことになる。

(2) 組み立て (Composition) 過程

複雑なオブジェクトは、それを構成する部分オブジェクトを、全体としてまとめる形で作成する。この組み立て過程を支援するのが、近接の関係（属性、換喻）を表現する抽象データ型である。

組み立てによって、オブジェクトは、has-a, part-of 関係で結ばれ全体一部分構造を表す。実際の複雑なオブジェクトは、この全体一部分構造が幾重にも組み合わせられることによって構成される (Fig.3-4-5)。また、あるオブジェクトの属性（インスタンス変数）に他のオブジェクトを束縛する

場合の他に、あるオブジェクトがそのオブジェクトの機能を達成するために、他のオブジェクトを呼び出す場合も存在する。これは、あるオブジェクトが処理しなければならないメッセージを他のオブジェクトに委譲することに相当する。このオブジェクトの形態も全体一部分構造の変形と考えることができる。

この具体的な例としては、次に示す例が挙げられる。「タンカー」の情報として多くの板骨部材が記述されている場合、それらの複数の板骨部材を船殻構造として整理して、板骨部材を情報として持つことができる新たな「板骨構造」のクラスを定義する。そして、そのクラス「板骨構造」のインスタンス<板骨構造>をタンカーの情報として記述する。このことによって、板骨構造に関する情報の管理や情報処理は直接「タンカー」に依存するのではなく、「板骨構造」のクラスが処理することが可能である。

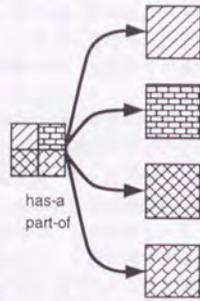


Fig.3-4-5 組み立て (Composition)過程

(3) 抽象化 (Abstraction) 過程

抽象化過程は、抽象クラスを作成するプロセスである。あるクラスの特異化で生まれたいくつかの具象クラスの中から、ある共通の機能 (挙動) や属性 (状態) のパターンを見つけ出す。そして、その共通のパターンを実現する新たなクラスを作成し、それぞれの具象クラスの上に持ち上げ、元のスーパークラスとの間に差し入れる (Fig.3-4-6)。この差し入れたクラスを抽象クラスと呼ぶ。この抽象化過程は、コード量および冗長な表現の削減や理解度の向上を行うことによって、システムの再利用性とメンテナンス性を高める。

一般的に、抽象化過程において、オブジェクトの機能継承を実装する方が、構造継承を実装するよりも容易である。概して、抽象クラスは属性を持たず、多くの共通となる機能を持つ。それらは、内部メッセージへ回されて、サブクラスの主要なメッセージに届着ることが多い。様々なクラスに散在していたポリモフィックなメッセージの統合も、機能継承を実装することによって行われる。

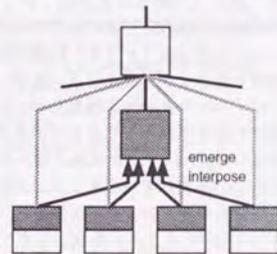


Fig.3-4-6 抽象化 (Abstraction) 過程

この具体的な例としては、3.3.6項で示したような「タンカー」と「バルクキャリア」において共通の変数とメソッドを抽出し、それらの変数とメソッドを有するスーパークラスとして「船」を定義することが挙げられる。また、この過程は、特異化過程の逆過程であるとも言える。

(4) 要素分解 (Factorization) 過程

要素分解過程は、大きくて複雑なオブジェクトの機能 (挙動) や属性 (状態) を分解して、それらの再利用および部品化を行う目的で実施する。まず、分解しても再利用できる機能や属性を識別する。そして、それらをモジュール (部品) 化するために、小さなクラスを定義する。一方、大きくて複雑なクラスから、小さなクラスの機能や属性を除去し、新たに作成された小さなクラスを使って、元々の機能や属性を十分に表現する。最後に、新たに作成された小さなクラスの共有や再利用を、他のオブジェクトについても可能な限り行う。この一連の作業が要素分解過程である (Fig.3-4-7)。

この具体的な例としては、次に示す例が挙げられる。「タンカー」の情報として多くの板骨部材や管部材が記述されている場合、それらの複数の板骨部材や管部材を船殻構造や配管構造として整理して、板骨部材や管部材を情報として持つことができる新たな「板骨構造」や「管構造」のクラスを定

義する。そして、それらのクラスのインスタンスをタンカーの情報として記述する。「板骨構造」や「管構造」のクラスを定義すると、「タンカー」ばかりでなく、「バルクキャリア」などの「船」の他のサブクラスのオブジェクトにも利用することができる。

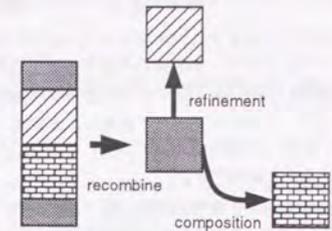


Fig.3-4-7 要素分解 (Factorization) 過程

3.4.4 オブジェクト指向システム開発

実際の開発過程は、前項 (3.4.3項) で述べた四つの過程 (特異化, 組み立て, 抽象化, 要素分解) が渦を巻くようなシステム開発が実施される。例えば初期過程では、特異化と組み立ての試行錯誤が頻繁に行われ、プロトタイプが完成し、後期過程へ移行する。その後期過程では、抽象化と要素分解の試行錯誤が頻繁に行われる。抽象化と要素分解過程は、これと拮抗する特異化と組み立ての過程へ無意識のうちにシフトし、これらの過程が螺旋的に繰り返される。つまり、システムを一度作っただけでは十分ではなく、何度もシステムを作りなおし (システムの作り込み)、システムを構成するオブジェクトを再組織化することが重要であり、このことがシステム開発において多大な成果をもたらすことになる。ここで、それらの過程とオブジェクト指向の関係を整理すると、特異化と抽象化が、is-a, kind-ofの関係である「汎化-特化構造」 (インヘリタンス) にかかわり、組み立てと要素分解が、has-a, part-ofの関係である「全体一部分構造」にかかわると理解できる。

以上のスパイラルによるシステム開発を別の視点で捉えた場合、

- ・特異化過程と組み立て過程は、蓄積された既存のソフトウェア資産 (クラスライブラリ) を出発点にして、それらを利用する過程である
- ・抽象化過程と要素分解過程は、システム開発において作成されたプログラムを、ライブラリとして資産化し、整理する過程である

であると整理することができる。

以上のようにシステム開発を行うわけだが、実際に構築されたシステムを整理する表記方法として Fig.3-4-8 に示すようなオブジェクトモデル図が利用される。この表記法によって、システム内に定義されたクラスとクラスとの間の関係を把握することができる。さらに、ラウンド・トリップ手法にしたがってシステムを再構築する際にも有効に利用することができる。本論文でも、このオブジェクトモデルの表記法にしたがって、構築されたシステムを構成するクラスおよびクラス間の関係を図示している。

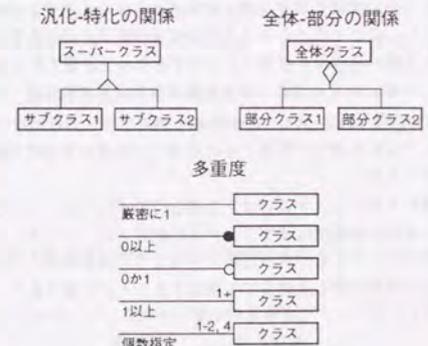


Fig.3-4-8 オブジェクトモデル

3.4.5 オブジェクト指向によるシステム開発と本研究

本節ではこれまでに、オブジェクト指向を利用するシステム開発の特徴と有効性について述べてきた。このことから、本研究の目的である「造船における設計・生産システムのプロトタイプ・システムの構築」におけるオブジェクト指向の有効性を理解することができた。

そこで、このオブジェクト指向による設計・生産システムの構築が、本研究の目的である「造船における設計・生産活動のモデル化」と「造船における設計・生産活動の体系化」に対して、どの様に関係するかを整理する。

(1) 「造船における設計・生産活動のモデル化」との関係

「造船における設計・生産活動のモデル化」に対して、オブジェクト指向によるシステム開発は以下の点で有効に利用される。

・定義するモデルをオブジェクトとしてシステムに実装することが容易である

オブジェクト指向では、オブジェクトとして表現する対象のモデル化とシステムとして表現する際の記述方法が他の言語に比べて比較的容易であり、モデル化とシステム化の間にある変換の壁を低くすることができる。

・プロトタイプ手法によるシステム開発を強力に支援する

既に述べたように、オブジェクト指向自体がプロトタイプ手法に適しているため、全体的な仕様が詳細に固められていない状況においても、容易にシステム開発に着手することができる。このことは、システムとして構築すべき対象の範囲が広い場合ほど、有効であると考えられる。また、システム化が進展することにしがって、定義すべきモデル、修正すべきモデルが認識されても、容易に変更することができる。このことは、次に述べるモデルの検証およびモデルの改良において有効である。

・システムにおけるモデルの検証を強力に支援する

プロトタイプ手法を積極的に使用することによって、モデルとして定義した情報と、実際にシステムに実装した情報の有効性を常に検証することができる。また、システムにおける検証の結果、定義されたモデルが不適切な場合においても、容易に修正することが可能であり、モデルの定義とシステムへの実装の境界を強く意識することなくモデル化およびシステム化を行うことができる。このように、モデル化とシステム化の相互の検証、修正を密に行うことによって、定義すべきモデルは最適な方向に収束し、理想に近いモデルとして定義することを可能とする。

(2) 「造船における設計・生産活動の体系化」との関係

(1)で述べたように、定義するモデルをシステムとして実装することの容易さ、システムによるモデルの検証を強力に支援することから、容易に本研究の目的である設計・生産システムを構築することができる。

構築されたシステムには、必要な情報がオブジェクトとして整理されて定義されており、また、必要な情報処理機能はオブジェクトに記述されたメッセージとして整理されている。したがって、構築されたシステムを、人が理解できるように再整理することによって、容易に設計・生産活動における情報と情報処理を系統立てて整理することが可能であり、造船における設計・生産活動を体系化する指針を示すことができるものと考えられる。

第4章 造船の設計・生産活動のモデル化のために

前章では、計算機内にシステムを構築するためには、計算機が十分に理解できるように対象や事象をモデル化する必要があることを述べてきた。このことから理解できるように、次世代の設計・生産システムを構築するためには、設計活動や生産活動における対象である製品や事象である設計活動や生産活動を十分吟味してモデル化する必要がある。そこで本章では、以下に示す構成によって、設計活動と生産活動をモデル化するために、モデルとして表現すべき情報と、情報の処理機能、情報の管理などについて考察する。

- ・造船における設計・生産活動の特徴を整理し、設計・生産活動における情報とその情報の生成や利用を把握する (4.1節, 4.2節)。
- ・計算機の支援によって、設計・生産活動における情報とその情報の生成や利用を可能とするために必要な三つのモデル (設計・生産対象のモデル, 設計・生産過程のモデル, 生産環境のモデル) を提案する (4.3節)。
- ・設計・生産活動における製品情報を整理し、設計・生産対象のモデルとして定義すべき製品情報を考察する (4.4節)。
- ・設計・生産活動における情報の生成機能に着目し、製品情報や生産情報の生成過程をモデル化するために必要な設計機能や生産計画機能などについて考察する (4.5節)。
- ・生産情報を生成する際の生産環境の役割に着目し、造船における生産環境を生産環境のモデルとして定義することに関して考察する (4.6節)。

4.1 設計活動の特徴

一般的に製造業の設計過程は、次の様に分類される。

概念設計→基本設計→詳細設計→生産設計

以上に挙げた各々の設計過程において、設計対象に対して設計情報の付加が行われる。設計者の立場からは、設計とは設計対象に対して要求される機能を個々の設計過程において具現化し、機能によって決定される製品情報を生成する行為であると考えられることができる。このことは造船設計の場合においても例外ではなく、一連の設計過程によって製品情報が次々に生成されている。

そこで、本節では造船における設計の特徴を整理し、造船の設計活動において生成すべき情報と情報の生成や利用を行うための処理機能を明確にすることを目的とする。

4.1.1 造船における設計の流れ

造船設計を製品に関する情報の生成と、その生成された情報の評価の側面から捉えると、造船設計を構成する設計ステージは、

基本設計：主要目の決定、概略一般配置 (ジェネラル・アレンジメント) 設計

構造設計：中央断面 (ミッド・シップ・セクション) 構造設計、一般構造配置 (コンストラクション・プロファイル) 設計

詳細設計・生産設計：ブロック分割の決定、部品の詳細決定

などに分類することができる (Fig.4-1-1)。そこで造船設計の全体的な流れを把握するために、これ

らの設計ステージにおける主要な目的と、生成される情報および設計における検討項目を整理する[造船テキスト研究会82]。

(1) 基本設計

造船設計における基本設計は、設計条件である

「船種・船型、DW, 速力(航海速力 or 試運転速力)、計画満載喫水、貨物容積、荷役装置、乗組員数、船級、適用法規、その他主要仕様」

などの様々な条件の下に、可能な限り軽荷重量が軽く、また主機馬力が小さく、かつ、建造コストが最小となる船体構造を設計する設計ステージである。そのために基本設計では、主機、区画や各種タンクなどの配置および主要内部構造の様式を検討する。さらに、この概略的な配置についてトリム、縦強度、グレンスタビリティ、ダメッジスタビリティなどの基本性能をチェックすることによって、船体構造の概略一般配置の設計を決定する (Fig.4-1-2)。

基本設計の主要な流れを分類すると、「主要目の決定」と「概略一般配置設計」の二つの設計に大別することができる。それらの設計の詳細な内容を以下に示す。

・主要目の決定

基本設計では、載貨重量、満水喫水、航海速力、貨物の載貨係数、荷役装置、航続距離などの設計条件が与えられ、先ず載貨重量の要求値から実績データを利用することによって満載排水量を推定する。この推定された満載排水量を満足するL, B, d, Cbの組合せの候補を選定する。次に、満載排水量と速力、所要馬力の関係を示す実績データから主機馬力を推定する。その後、主要寸法と主機馬力の情報から船殻重量、船体機装、機関部、電気部の各々の重量を実績データにより推定し軽荷重量を推定する。この軽荷重量の推定値に載貨重量の要求値を加算し、満水排水量を計算する。そして、以上のようにして求められた情報を基に馬力計算を行い、主機馬力で要求された航海速力を満足するかのチェックを行う。以上の流れの結果として、航海速力を満足する主要寸法とCbの組合せの中から船殻重量の一番軽い組合せの一つを選定する。

次の設計段階では、貨物倉の長さ中央断面の形状を想定し、貨物倉の長さ中央断面の貨物倉部の面積とから、より精度をあげた貨物倉の容積を推定する。その後、乾舷計算を行い、仮定したDで要求の喫水がとれているかチェックする。また、区画浸水の計算を行い、浸水後の復原性、傾斜角度について規則の要求値を満足するものであるかチェックする。

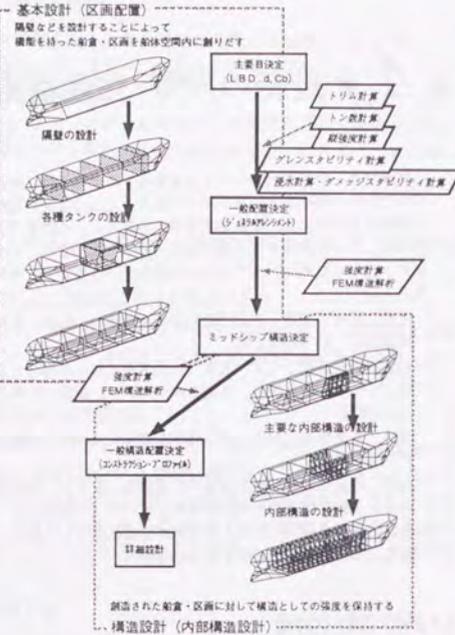


Fig.4-1-1 造船設計の主要な流れ

・概略一般配置設計

主要目が決定された後に、概略の一般配置図を作成する。この配置図に基づいて容積計算やその他の様々な諸計算を行うことによって、チェックした主要寸法が妥当であることを確認する。

概略一般配置の設計では、まず主要な隔壁位置、燃料油槽、清水槽、バラストタンク等の諸タンクの配置を想定する。次に、概略線図を作成し、この線図を利用することによって喫水と排水量、浮心位置などの関係を求める。その後、航続距離に基づいて燃料油、清水の所要量を計算する。また、概略線図と概略一般配置図を用いて貨物倉、燃料油槽、清水槽、バラストタンクなどの容積を計算する。さらに、各種の性能計算を行って、仮定した主要寸法、概略一般配置図で設計する船に性能上問題が無いことを確認する。性能計算は、トリム計算、縦曲げモーメント計算、グレンスタビリティ計算、区画浸水計算などである。概略一般配置を決定するためには、満載状態やバラスト状態の各々についてトリム計算を行い、

- ・トリム計算を行った各状態について縦曲げモーメントの計算
 - ・バラ積貨物船の場合では、グレンスタビリティを計算 (SOLAS の規定)
 - ・浸水区画を想定し、浸水後の傾斜角やGM等の算出
- などの諸計算を行うことによって評価する。

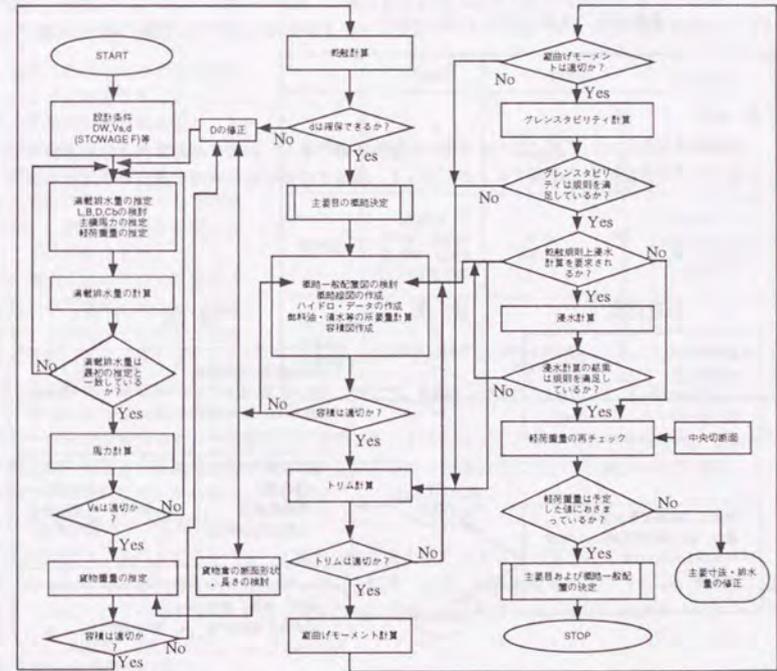


Fig.4-1-2 基本設計の流れ (商船設計) [造船テキスト研究会82]

以上の設計では、基本的に造船所において既に建造している実船の実績データが重要な設計情報として活用される。したがって、これらの設計において類似船のデータが存在しない場合は設計手順そのものは変わらないが、試行錯誤の回数が増加し、大変複雑な作業となる問題が生じる。それは、船殻重量を推定する場合には、類似船のデータが存在するときは主要寸法からほとんど間違いのない値が推定できるが、類似船のデータが存在しないときには全てのデータを推定するために、主要寸法から推定しただけでは実際の値と大きくずれる可能性が存在するからである。したがって、中央断面図を作成して重量を計算した結果、主要寸法からの重量の推定値とは大きくかけ離れて、主要寸法を修正することも少なくない。

(2) 構造設計

・中央断面(ミッド・シップ・セクション)構造設計

構造設計は、船体の中央断面部分の構造を設計する中央断面構造設計によって始まる。これは、その運航上最大の荷重(縦曲げモーメント)が船体中央部分にかかるため、船体中央部の構造の検討を最初に重点的に行う必要があるからである。

・一般構造配置(コンストラクション・プロファイル)設計

中央断面における構造配置が設計されると、基本設計において決定された概略一般配置の情報とあわせて、船体構造の全体的な構造配置の設計が展開される。この設計が一般構造配置設計である。この際に、基本的には中央断面の構造形状の設計情報を基に、船体の各断面における内部構造が設計される。この設計過程では、「做い設計」という造船における特徴的な設計手法が多く用いられる[土井91]。

做い設計

船殻構造設計において多く用いられている設計手法であり、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することによって、類似する他の部分構造を設計する設計手法である。

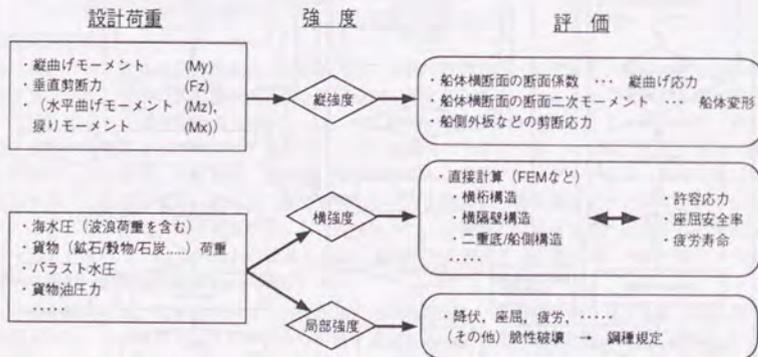


Fig.4-1-3 構造設計の流れ(設計荷重と評価) [仁保95]

船体の内部構造は「做い設計」などによって決定されるが、設計された各々の部分構造に対して構造強度などの検証を行う必要がある[古賀91]。そのために、船体にかかる外荷重(波荷重など)をルールベース、あるいは船体運動を直接計算することによって算出する。その後、算出された荷重を基に設計した構造に対して構造解析(有限要素解析など)を行うことによって設計した船体構造および、部分構造を評価する(Fig.4-1-3)[仁保95]。この際に、設計された板部材や骨部材を強度的かつ経済的に現実のものとするために、板部材に板厚の差を持たせたり、骨部材に対して断面形状の変化を持たせたりすることが行われる。

(3) 詳細設計・生産設計

造船における生産形態の特徴の一つとして、ブロック建造法が挙げられる。ブロック建造法を行うためには、設計された船体構造を複数のブロックの集合体として取り扱うために、ブロック分割を検討する必要がある。この際には、建造する場所である造船工場の生産能力や物理的制約などの制約条件の下に、ブロックの許容重量や許容サイズなどを考慮し、船体構造を複数のブロックに分割する。また、そのブロックを工場内で造るために様々な組立方法を検討し、組立方法にしたがった詳細な部品形状の設計が行われる。具体的には、納入される素材の寸法を考慮することによって、加工することができる部品形状を確定し、さらに溶接部の開先形状やスロット形状、およびスカラップ形状などの現実の構造物を構成する部品として矛盾のない部品形状を詳細に求めることが行われる。

Table 4-1-1 設計の流れと設計対象

	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)	船首・区画 (一般配置)	全体(船) 概略配置
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)	部品情報の生成

4.1.2 設計対象の整理

造船における設計の流れを前項のように整理することによって、基本設計から構造設計、さらに詳細設計・生産設計へと移行する設計過程の変化に応じて、設計過程には様々な目的が存在し、様々な情報が生成されることが理解できた。しかし、設計過程における目的と情報の多様性が、情報を統合的に管理することに向けての大きな障壁となるものと考えられる。したがって、情報の統合化のためには、多様な目的と対象に対応することが可能な製品モデルを定義することが必要であるとされる。そこで本項では、造船設計の主要な設計過程である基本設計、構造設計、詳細設計・生産設計において、個々の設計過程における設計要求とそれに対応する設計対象を整理する(Table 4-1-1)。

(1) 区画や各種タンクの設計

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・区画配置等が検討される。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、及び、区画や各種タンク等の様々な製品情報が生成される。

(2) 主要な内部構造の設計

構造設計を一言で表現すると、基本設計で決定された船の構造様式を満足させるための検討を中核

とした設計である。つまり、「構造設計は、定義される構造に対して、実体として存在するために必要かつ十分な構造強度を満足させるための設計である」と考えられる。検討すべき構造強度は、縦強度、横強度、捻れ強度、また疲労強度、座屈強度等を挙げることができ、これらの検討によって構造強度を満足する構造形状が決定され、構造を構成する「部材」形状が求められることになる。また、構造設計で認識される構造とは、例えばタンカーのトランス・リング構造といった、複数の部材によって構成される部分構造である。つまり、構造設計における設計対象は、この部分構造を中心として認識されると考えられる。

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、骨部材であるが、これらは最終的な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。

(3) 詳細な部品の設計

詳細設計・生産設計は、構造設計によって決定される「構造」、「(構造)部材」に対して、生産性を考慮して行う設計である。つまり、設計要求は「実際の生産性」であり、構造設計において生成される「部材」の情報に基づき、生産可能な「部品」を設計する。

ここで、「部品」は先に述べた「部材」とは異なり、板部材や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 (Fig.4-1-4)。

設計過程毎に要求される設計要求を実体に変換するためには、各々の設計過程における設計対象は通常は異なる。例えば造船設計では、初期の設計段階から一つ一つの部品を定義することによって船体構造全体を捉えているわけではなく、構造全体である船体構造を一つの連続体構造として捉えて設計が行われる。その後、設計作業が進行するにしたがい、設計対象は部品になり、個々の部品の設計情報が決定されて行くのである。つまり、設計の初期においては設計対象は部品ではないが、詳細設計・生産設計の段階になると、部品が設計対象となるのである。

したがって、従来の造船業では、各々の設計過程における設計対象が異なっているため、個々の設計対象に最も適した設計モデルが定義され、数々の設計システムが開発、利用されてきた (2.2節参照)。そして、これらの設計モデルの相違が原因となり、基本設計から詳細設計・生産設計までの各種の設計システム間において、設計情報を効率よく伝えることが困難であるという問題が発生している。このために従来の設計では、人の介入による情報伝達によってこの問題に対処せざるを得なかったと考えられる。

設計活動のシステム化を考える場合、以上に述べた設計過程における設計対象の相違が、設計過程毎に生成される設計情報の円滑な流れを阻害する要因となり、設計のシステム化に向けての大きな障壁となっていると考えられる。

4.1.3 部分化の種類

基本設計や構造設計では、船体構造を製品として成立させることを目的に、区画や各種タンク、および主要な内部構造などが新たに設計される。したがって基本設計や構造設計は、船体構造に対して

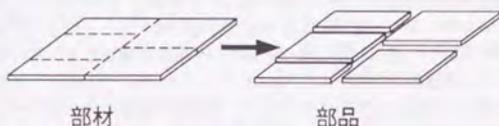


Fig.4-1-4 部材と部品の関係

新たな製品情報を付加する設計であると認識できる。

これに対して、詳細設計や生産設計では、実際の船体構造を建造するために生産の側面から製品を捉え、製品情報として定義すべき情報を生成する過程が存在する。つまり、基本設計や構造設計で生成された部材に関する製品情報を基に、実際に生産可能な部品に関する製品情報を生成する過程である。また、基本設計や構造設計が新たな製品情報を付加する設計であることに對し、この過程は、情報の詳細化に基づく設計過程であると捉えることができる。そこで本項では、最終的に必要となる部品情報の生成過程として、上流の設計過程で生成された部材情報を基に、詳細な部品情報を生成する過程を考える。この詳細な部品情報を生成する過程を、実際の設計活動における部材情報の部分化(分割)による設計として整理する。部品化の設計を目的および設計法の二つの観点から分類すると、以下に示す三種類の設計が存在すると考えられる。

(1) 鋼板板厚、型鋼断面形状の差異をもたせるための部品の生成

基本設計や構造設計において、船体構造に構造機能を付加する目的で生成された部材は、船体構造全体としての形状や位置などの情報が重視された部材である。例えば、隔壁や内底板などの板部材は、構造的には一枚の板部材として、船体外板に付けられる骨部材は構造的には一本の骨部材として生成される。したがって、この生成された部材を、強度的かつ経済的に現実のものとして満足させるためには、

- ・板部材に対しては、板厚の差をもたせる
- ・骨部材に対しては、断面形状の変化をもたせる

などの考慮が必要であると考えられる。このような要求を、生成された部材に対して求めるためには、板厚の差をもたせる境界部や断面形状を変化させる境界部において、生成された板部材・骨部材を分割することで対応することができる (Fig.4-1-5(A))。

(2) ブロック建造法におけるブロックの生成のための部材の分割

造船における建造法の特徴であるブロック建造のためには、連続体として設計された船体構造から搭載ブロックを抽出することが必要である。そのためには、既に生成された部材に対して、ブロック分割線を定義し部材を分割する必要がある (Fig.4-1-5(B))。

(3) 板寸法、型鋼長さの購入制約による部材の分割

素材である購入鋼材には、購入可能な寸法という物理的・経済的な制約(購入寸法の制約)が存在する。したがって(1)(2)の検討をした後に、購入寸法の制約を考慮して、現実の部品として成立する寸法形状を定義する必要がある (Fig.4-1-5(C))。

上記の(1)は構造設計、(2)(3)は詳細・生産設計の部類に分けられる。しかし、部材情報の部分化(分割)という概念では全く同じであると考えられる。本研究では、これらの部分化(分割)の機能を設計機能として定義し、部材(板部材、骨部材)から部品を生成する部分化のモデルを考える。

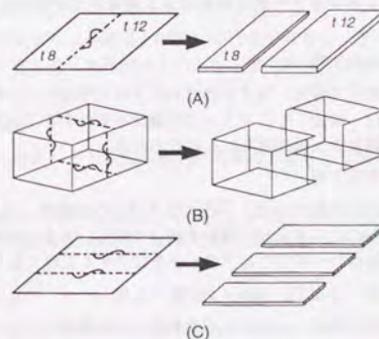


Fig.4-1-5 部分化の種類

4.2 生産活動の特徴

計算機内部に生産活動を表現するためには、実際に行われている生産活動がどのような活動であるかを十分理解しておく必要がある。そこで本節では、造船で営まれている生産活動の特徴を整理し、さらにその活動の計画である生産計画の特徴を整理する。

4.2.1 生産活動における生産工程

一般的に生産活動（狭義の生産活動）とは、生産設備（加工設備、組立設備、運搬設備、治具など）と、生産労働力（作業者など）とが有機的に連結することによって作り出される生産環境と、生産活動の対象となる素材や中間製品とが互いに関係し合うことによって営まれる一連の活動である。つまり、生産活動とは生産環境に対して素材や中間製品を流すことによって、生産環境が有する生産方法や生産技術にしたがって素材や中間製品の形態（形状）を変化させ、設計活動で要求された製品（最終製品）が製造される活動である〔岩田 82〕。

主として鋼板や型钢を加工し溶接することによって船体構造を組上げる造船では、以下のような様々な工程（加工・組立（小組立、大組立）・外業）によって生産活動が行われている〔藤田他 93〕〔造船学会 75〕（Fig.4-2-1）。

1) 加工工程

加工工程は、鋼板や型钢等の鋼材を搬入し、マーキング作業・切断作業・曲げ加工作業を行う工程である。切断作業では、生産設備としてプラズマ切断機、ガス切断機等が利用され、鋼材から部品（板材、骨材）が切り出されている。また、曲げ加工作業では、プレス・ベンディングローラーによる冷間加工や線状加熱による熱間加工が行われ、曲がり形状を有する板材、骨材が成形される。

2) 小組立工程

小組立工程は、加工工程で作成された板部材に、鋼材（鋼板・型钢）より切り出された付属部品を取付・溶接して、パネル状内構材を製作する工程である。このパネル状内構材は、大組立工程で他の構造物（中間製品）と結合される。

3) 大組立工程

大組立工程は、加工工程で仕上げられた板材（皮材）・ロンジ材（縦通部材）と小組立工程で組立てられたパネル状内構材を組合せたり、あるいはパネル状内構材同士を組合せることによって、完成船体の一部となるブロックを製造する工程である。

4) 外業（総組立、ブロック搭載）工程

外業工程は、大組立工程で製作された複数のブロックを、船台もしくはドック内で搭載し、完成船体（最終製品）を建造する工程である。

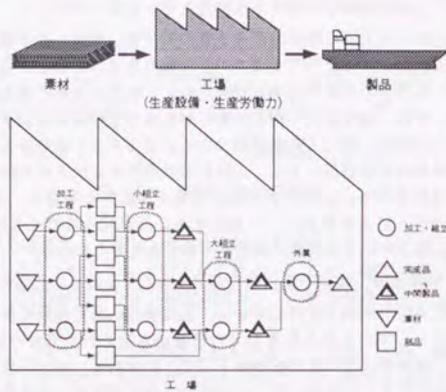


Fig.4-2-1 生産活動

4.2 生産活動の特徴

以上のことより、造船で行われている生産活動は、以下に示す特徴を有する活動として理解できる。

- ・様々な役割を持つ複数の工程が存在する

切断・加工工程は部品を作成、加工する役割を担い、小組立・大組立工程は、複数の部品・中間製品から、パネル状内構材、ブロックなどを製作する役割を担う。また同様に、外業工程は複数のブロックを組合せて、完成船体を建造する役割を担う。

- ・役割が異なる複数の工程の組合せによって生産活動が構成される

部品を作成する工程、中間製品を製作する工程、最終製品を製作する工程などの様々な役割を担う工程が組合せられることによって、鋼材から最終製品である船が完成されるといった全体の生産活動が構成される。

Table 4-2-1 生産計画の分類

4.2.2 造船における生産計画

生産活動の効率化（最大生産性・経済性）を実現するためには、生産計画を立案することによって生産活動を計画的に実施する必要がある。そこで本項では、造船における生産計画はどの様に立案され、生産情報が生成されているかを整理する。この整理の際に、人が整理している生産計画の分類を基に〔人見 90〕、造船における生産計画を「造船におけるシステム技術」に纏められている生産計画のフローを参考に〔佐々木 84〕（Table4-2-1）（Fig.4-2-2）。

1) 全般的生産計画（大日程計画）

一般的定義では、全体的生産計画に要求される機能は、規定の期間において生産すべき対象の種類、数量を決定するなど、生産に関する総合的な意思決定の機能である。

造船では、受注計画に従って線表（ドック計画または長期船台計画）を作成すること、また、各船毎の主要な工事節点を指示する船別総合日程（大日程）を作成することなどが、大日程計画に相当する。

2) 生産プロセス計画（工程計画：Process Planning）

工程計画に要求される機能は、生産投入物（素材）を生産産出物（中間製品・製品）に変換する手順の意思決定の機能である。

造船では、船台に搭載するブロックの搭載順序の決定や総組立、大組立、小組立の各工程における中間製品（パネル状内構材・ブロックなど）の組立順序の決定、および加工工程の加工順序の決定などが、工程計画の計画作業に相当する。

3) 生産スケジューリング（日程計画：Scheduling）

日程計画に要求される機能は、生産活動を構成する具体的作業を実施するための実行計画、つまり、いつ、どの生産設備で、誰が、何を行うかという時間的側面（日程）に関する具体的な意思決定

全般的生産計画 （大日程計画）	<ul style="list-style-type: none"> ・規定の期間において、生産すべき対象の種類、数量を決定する。 ・生産に関する総合的なマクロ意思決定
生産プロセス計画 （工程計画）	<ul style="list-style-type: none"> ・生産投入物（生産要素）を生産産出物（生産財）に変換する手順 ・「物の流れ」と流れる物の形態の変化に関するマクロ意思決定 ・船台に搭載するブロックの搭載順序の決定、総組立、大組立、小組立の各工程における中間製品（パネル状内構材・ブロックなど）の組立順序の決定
生産スケジューリング （日程計画）	<ul style="list-style-type: none"> ・生産を構成する要素作業実施のための実行計画（いつ、どの生産設備で、誰が、何を行うかという時間的側面（日程）に関する計画）の意思決定 ・ブロック搭載日程、工程別の日程計画、小日程計画などが相当 ・前後の工程間に矛盾が生じないように、バランスのとれた計画が立案される

の機能である。

造船においては、ブロックの搭載日程、工程別の中日程計画、小日程計画などが日程計画に相当し、前後の工程間に日程的に矛盾を生じさせず、作業負荷のバランスがとれた日程計画が立案される。

以上の1), 2), 3)の段階によって得られた計画を基に、以下に示す4), 5)の「実施・管理」が行われ、実際の生産活動が円滑に行われる必要がある (Table 4-2-2)。

4) 生産実施

生産実施は、実際の生産活動を実施することである。

造船では、4.2.1項で述べたように、大別して加工工程 (切断, 曲げ加工), 塗装工程, 組立工程 (小組立工程から大組立工程まで), 外業工程が存在し、各工程において様々な作業が行われる。

5) 生産管理

生産管理に要求される機能は、生産の進捗状況を監視する機能、計画から乖離した場合の修正を施す機能である。

造船では、天候等の外的要因による影響が大きいため、生産の進捗状況を常に把握し、計画の補正が頻繁に要求される。したがって、生産管理は特に重要である。

本研究では、生産計画を考慮した生産活動の計算機内部への表現を可能とするために生産計画のシステム化を考察する。ここで、先に挙げた全般的生産計画 (大日程計画) の情報を獲得するためには、経営的な情報を多く考慮する必要があるものと考えられる。そこで本研究では、経営的な情報と密接に関連する全般的生産計画はシステム化の対象とせず、実際に行われる生産活動と密接に関連する工程計画、日程計画のみに焦点を絞り、造船における生産計画に関してシステム化の検討を行うことにする。

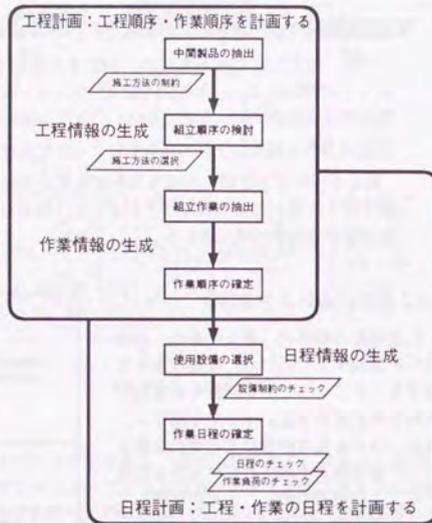


Fig.4-2-2 生産計画の主要な流れ

Table 4-2-2 生産実施と生産管理

生産実施	<ul style="list-style-type: none"> ・実際の生産活動を実施すること ・大別して加工工程 (切断, 曲げ加工), 塗装工程, 組立工程 (小組立工程から大組立工程まで), 搭載工程が存在 ・各工程において業務活動が行われる
生産管理	<ul style="list-style-type: none"> ・生産の進捗状況を監視 ・計画段階からの指示標準より乖離した場合の修正を施す ・天候等の外的要因による影響が大きいため、生産の進捗状況を常に把握し、計画の補正が頻繁に要求される

4.2.3 工程計画

製品設計が完了すると、生産活動における素材、中間製品などの流れに伴う技術的情報を処理し、加工工程や組立工程などから構成される生産工程を予め計画することが必要である。一般的に、この計画を「工程計画 (Process Planning)」という。この工程計画は、以下に述べる工程を中心に全体の生産活動を計画する工程設計 (Process Design) と各工程で行われる作業を中心に工程内における生産活動を計画する作業設計 (Operation Design) の二つの設計から構成される [人見 90]。

(1) 工程設計 (Process Design)

工程計画における工程設計の役割は、生産に関係する要因を十分に考慮して、生産の対象となる製品に対して最も適切な生産工程の枠組を決めることである。つまり、工程設計は設計で生成された製品情報から、生産方法や生産順序、さらに生産設備の種類・数量などの全般的な生産工程に関する情報を求める設計である。したがって、工程設計は生産活動に存在する様々な工程を決定する設計行為であると考えられる。

造船の工程設計において処理されなければならない情報の項目と、それらの情報の生成、情報の処理の過程は以下のように纏められる (Table 4-2-3)。

A: 製品の理解と中間製品の抽出

造船では、ブロック建造法に代表される中間製品の組合せによる組立工法が採用されている。したがって、図面や設計情報から得られる製品情報を基に、各工程における組立単位である中間製品 (搭載ブロック, パネル状内構材等) を抽出する必要がある。搭載工程では、組立単位は搭載ブロックであり、大組工程では、複数のパネル状内構材が組立単位である。

B: 組立工法と組立順序の決定

Aにおいて抽出された中間製品の情報を基に、これらの中間製品を組上げる組立工法が決定される。例えば小組立工程では、ロンジ差込み工法を採用するか、ロンジ先付け工法を採用するか等の検討を行うことによって組立工法が決定され、これによって容易に組立手順が確定される。

また、その他の一般の工程では、上記ほど容易に組立手順が確定されない。したがって、組立する中間製品の大きさ、形状などの製品情報と生産環境の情報から、経済的、物理的に組立て可能となる順序を確定する必要がある。

C: 概略的な作業情報の抽出

加工・組立作業で必要となる概略的な作業情報を製品情報から抽出する。この概略的な作業情報は、溶接作業がどの位必要であるか、切断作業がどの位必要であるかといった情報である。この作業情報は、使用する生産設備の種類・数量などの選択を行う際に、有効に利用される。したがって、この段階で生成される作業情報は、後述する (2) の作業設計で獲得される具体的な作業情報とは情報の質が基本的に異なる。

D: 内作区分・外作区分の決定

内作区分・外作区分の決定とは、製品を自工場内で製作 (内作) するか、外部に製作を発注 (外作) するかの決定である。自工場内での組立作業が、技術的・経済的・時間的に困難である場合、外作する必要がある。外作も一つの工程として捉えて、自工場内の組立工程に合わせた計画的に発注するのが一般的である。

Table 4-2-3 工程設計における情報処理

分類	工程設計の処理内容
製品の理解と中間製品の抽出	<ul style="list-style-type: none"> 図面や設計情報から得られる製品情報を基に、各工程における組立単位である中間製品（搭載ブロック、パネル状内構材等）を抽出 搭載工程での組立単位は搭載ブロック 大組工程での組立単位は、複数のパネル状内構材、皮板、縦通部材
組立工法の決定 組立順序の選択	<ul style="list-style-type: none"> 中間製品を組上げる組立工法を決定 組立工法の決定によって、容易に組立手順が決定 一般の工程では、組立てる中間製品の大きさ、形状などの製品情報と生産環境の情報から、物理的、経済的に組立て可能となる組立手順を決定
作業情報の抽出	<ul style="list-style-type: none"> 加工・組立作業が必要となる概略的な作業情報を製品情報から抽出 概略的な作業情報から、使用する生産設備の種類・数量などの選択を行う
内作区分・外作区分の決定	<ul style="list-style-type: none"> 中間製品を自工場内で製作するか、外注するかを決定 外注も一つの工程として考えて、自工場内の組立工程の設計に合わせて計画的に発注する
運搬、停滞工程の設計	<ul style="list-style-type: none"> 工程間の物の流れを現実のものとする「運搬活動・停滞活動」を変換活動と同様に扱う 部品、中間製品を組立定盤に運搬したり、出来上がった中間製品を次の工程に搬送する活動である運搬活動の決定 搭載ブロックの搭載待ち、中間製品の組立待ちなどによる停滞する活動である停滞活動を決定する

E: 運搬、停滞工程の設計

変換活動を行う工程（加工工程、組立工程）間の流れを円滑にするために、「運搬、停滞」の生産計画における考慮は重要である。したがって、生産計画では加工工程、組立工程と同様に、運搬、停滞に関する工程（運搬工程、停滞工程）についても十分に検討することが必要である。

以上の一連の情報生成、情報処理によって、生産の対象となる各製品を製作するために要する工程が確定される。また、工程の流れが決定されることによって、運搬や停滞などの生産活動全体における構成が明確にされる。

(2) 作業設計 (Operation Design)

工程設計では、生産計画において全体的な情報である「素材から製品への変換を行うための工程」に関する作業情報の生成が主であった。このことに対して作業設計は、工程設計で生成された工程の情報を基に個々の工程で行われる作業を確定する計画である。つまり作業設計は、様々な工程で行われるべき具体的な作業（切断作業や溶接作業など）の抽出、作業内容の確定、さらに運搬や停滞における作業の抽出、作業内容の確定が行われ、それらの作業の順序を決定する計画である。

作業設計によって獲得される作業情報は、日程計画において実際に作業を実施する作業員、使用する設備が割り振られる対象となるものである。

工程設計によって生成される工程の順序と、作業設計によって生成される具体的な作業の順序とを組合せることによって、生産活動において実施される全体的な「作業の流れ」を把握することができ

る。さらに、この全体的な「作業の流れ」に対して、生産時間（変換、運搬、停滞に必要な時間の総和）または生産費用（加工・組立、運搬、停滞に必要な費用の総和）の最小化という評価を行うことによって、生産効率の良い生産活動を実現する工程計画が選定される。

4.2.4 日程計画

工程計画の工程設計によって生産活動を構成する複数の工程間の順序が、さらに作業設計によって各々の工程において実施される作業間の順序が計画される。したがって、工程計画の主目的は、順序に関する情報の生成であるといえる。しかし、生産計画において最終的に生成されなければならない情報は、生産活動を構成する工程や作業の日程情報（開始時刻と終了時刻）であり、これらの日程情報を獲得するために「日程計画」が行われる。そこで本項では、「日程計画」が有すべき機能を整理する。

(1) 日程計画 (Scheduling) の機能

日程計画では、生産活動を構成する個々の工程、また個々の作業を実施する日程情報を求めることが要求される。このために、日程計画は、工程計画によって得られる工程間の順序、作業間の順序の情報を時間・場所・設備の活用の観点から時間軸上に展開し、納期、工場全体の操業度の向上等の条件を満たす日程情報を作成する。

また、工程計画では生産対象となる個々の製品（船）を対象としていたことに対して、日程計画では同時に複数の船を生産することを念頭に置くことが必要であり、工場単位の計画を作成する必要がある。この点は工程計画と日程計画の大きな相違点である。

さらに、生産活動における全作業量の把握、作業負荷の山積み・山崩しによって管理・調整することにより、工場全体、あるいは各工程における作業の標準化が検討され、実行可能でありかつより効率的な作業日程を決定する機能が日程計画に対して要求される。

(2) 生産環境と作業情報

実際の作業は、個々の処理能力の変動（バラツキ）が大きい生産設備や生産労働力そのものと、作業を実施する生産設備と生産労働力との組合せに大きく左右されるといった特徴を有する。また、使用する生産設備や生産労働力の物理的な制約（例えば、生産設備では組立定盤の広さ、生産労働力では作業資格）や、さらに他の作業を考慮した時間的な制約（例えば、使用したい生産設備が他の作業で使用されている場合）に影響を受ける。そこで、日程計画では以上の様々な制約を考慮した上で、作業を生産設備や生産労働力に割当てることによって、この際に使用する生産設備や生産労働力について、物理的、時間的に矛盾が生じないように作業を実施する日程が決定される。したがって、日程計画においては、使用する生産設備、作業を行う生産労働力の情報は特に重要であることが理解できる。

4.3 設計・生産活動を表現するモデル

設計・生産活動は様々な業務によって成り立ち、この様な業務では、設計・生産活動に必要な情報の生成、伝達、処理が行われる。したがって、これらの情報を計算機の支援によって生成、伝達、処理することは、次世代の設計・生産システムにとって重要な課題である。

鈴木は、設計・生産システムで扱われる情報は、大きく以下の四つの項目に分けることが可能であると分析している [鈴木91]。

- 1) 製造対象の情報（設計要求、設計仕様、製品図面、製品性能、製造工程など）
- 2) 製造管理の情報（生産計画、生産実績、在庫、受注、出荷など）

- 3) 製造過程の情報 (設計手順, 生産準備手順など)
- 4) 製造資源・環境の情報 (技術データ, 生産設備など)

以上の情報を, 計算機によって処理するためには, 前章で述べたように, 計算機が理解可能なモデルを構築する必要がある。

ここで, 造船における設計・生産活動において実際に存在する物に対応する情報としては,

- ・設計・生産対象である船体構造
- ・生産活動を展開する生産環境である造船工場

の二つの実体を挙げる事ができる。これらの船体構造や造船工場に関する情報は, 鈴木が整理している。製造対象の情報と製造資源・環境の情報に対応するものであり, それらの情報をモデルとして定義する必要があることが理解できる。本研究では, 設計・生産対象のモデルと生産環境のモデルを定義する。

さらに, それらの情報を生成したり利用したりするために必要となる情報の処理機能に着目した場合, 製造管理の情報と製造過程の情報は情報の処理機能によって生成される情報に相当すると考えられる。例えば, 製造過程の情報である設計手順の情報は, 設計・生産対象のモデルに記述される情報を生成する処理機能を検討し, その機能を利用して情報がどのように生成されたかを記述することによって生成することが可能であると考えられる。また, 製造管理の情報である生産計画の情報は, 生産環境のモデルに記述される情報と設計・生産対象のモデルに記述される情報との双方を利用して, 生産計画を立案する処理機能を定義することによって生成することが可能であると考えられる。本研究では, 情報の処理機能を考慮した設計・生産過程のモデルを定義する。この設計・生産過程のモデルでは, 設計・生産対象のモデルと生産環境のモデルとの双方が利用され, 情報の処理機能によって必要となる情報を生成すると考えている。

以上に述べた, 設計・生産活動を計算機内に表現するために必要となるモデルを整理する。

(A) 設計・生産対象のモデル

設計・生産活動の対象である船体構造を製品情報として計算機内に表現するモデル

(B) 設計・生産過程のモデル

設計活動を製品情報の生成活動として捉え, 製品情報を生成する機能やその際に生成される設計過程の情報を計算機内に表現するモデル。また同様に, 生産活動を作業情報の生成活動として捉え, 作業情報を生成する機能やその過程の情報を計算機内に表現するモデル

(C) 生産環境のモデル

造船工場自体や, 工場内における生産設備と作業者等の生産活動を実際に行う生産環境に直接関係する情報を計算機内に表現するモデル

本研究では, 以上に示したモデルの整理にしたがって, 設計・生産活動で必要となる様々な情報を計算機内部において生成し管理することを可能とするシステムの構築を検討する (Table 4-3-1)。

Table 4-3-1 設計・生産活動のモデル

必要な情報		モデル化	
製造対象の情報	設計要求, 設計仕様, 製品図面, 製品性能, 製造工程など	設計・生産対象のモデル化	設計・生産活動の対象となる製品を表現するもの
製造管理の情報	生産計画, 生産実績, 在庫, 受注, 出荷など	設計・生産過程のモデル化	設計活動, 生産活動などの活動の過程を表現するもの
製造過程の情報	設計手順, 生産準備手順		
製造資源・環境の情報	技術データ, 生産設備など	生産環境のモデル化	工場・生産設備・作業者などの生産活動を行う環境を表現するもの

4.4 設計・生産対象のモデルとして定義すべき製品情報

本節では, 造船における製品モデルを明確に定義するために, 製品である船の特徴を整理し, モデル化すべき対象を考察する。

4.4.1 製品の特徴

造船において生産対象となる船は, 多数の板部材・骨部材が溶接によって接合される板骨構造物である。したがって, これらの船体構造を構成する基本要素である板部材・骨部材を製品モデルとして定義することが必要である。さらに設計・生産活動における様々な過程において要求される製品情報は, 4.1節の設計活動の特徴と4.2節の生産活動の特徴で整理したように, これらの板部材・骨部材に関する情報だけでは十分ではなく, 以下に述べる様々な製品情報が必要であると考えた。

- ・基本設計における, 複数の板部材によって規定される船倉や区画, および各種タンクなどの製品情報
- ・構造設計における, 主要な内部構造 (トランス・リング構造など) を複数の部材の集合体として認識する構造単位に関する製品情報
- ・ブロック建造法に基づいた生産活動における, 生産対象の管理として認識される中間製品に関する製品情報

4.4.2 モデル化すべき製品情報の整理

本研究において製品モデルとして定義する, 設計・生産対象の情報を以下のように整理する。

(1) 船倉や区画

船体構造は, 船体外板・甲板等によって内部空間が規定され, その内部空間が主要構造である隔壁等によって船倉やその他の区画, 各種タンクなどの様々な空間に区分けされている。したがって, 基本設計における区画設計では, 板部材や溶接部によって作られた閉空間が設計対象の認識として重要である。

また, 造船設計において船の積載能力の把握, さらにトリム計算, スタビリティ計算などを行うことによって船の基本性能を把握することは重要である。したがって, 設計される区画や各種タンクに対しては容易に容積が計算できることが重要である。

(2) 構造単位

船体の縦強度・横強度を保つために設計される主要な内部構造 (トランス・リング構造・ロンジなど) は, 船種によらない共通性を有した複数の部分構造に分類することができる。そこで本研究では, この部分構造を船体構造を構成する“構造単位”として捉え, 船体構造の主要構造を“構造単位”の組合せとして表現する。また, この構造単位は複数の部材から構成されるものと定義する。

(3) 中間製品

ブロック建造法は巨大な船体構造を効率的に建造するために, 船体構造を複数のブロックに分割し, 船台上においてブロックの結合作業を連続的に行うことによって作業効率を向上することを目的とするものである。したがって, 船台における搭載工程に対して先行する組立工程はブロックを効率よく供給することが望まれ, この組立工程においても中間製品と呼ばれる組立ブロックの結合作業によって行われる。つまり, 組立産業である造船では, 様々な工程において中間製品が生成され, 中間製品単位の生産計画が実施されている。したがって, 中間製品を製品情報として管理する必要がある。

また、中間製品の重量、重心などの値を算出することは工作情報を獲得する際に重要であり、それらの情報を容易に求めることが可能な中間製品に関する情報の定義が必要である。また、溶接作業によって船体構造を建造するため、作業の管理物量として溶接線の長さに関する物量を把握することは重要であり、システムとして容易にそれらの物量を獲得することが要求される。

(4) 部材（部品）情報

造船において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、多数の板部材、骨部材から構成されていることは言うまでも無いことである。したがって、船体構造を構成する基本単位はこれらの板部材や骨部材であると考えられる。また、板部材や骨部材は、基本設計、構造設計、詳細設計・生産設計へと設計が進められることによって、最終的に鋼材から加工すべきものとして情報が獲得される。また、最終的に必要となる情報は部品の情報であり、詳細な部品形状を獲得することは重要な課題である。

(5) 部材（部品）の接合関係情報

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、設計では十分な構造強度に関する検討を必要とする情報である。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。

本研究では、以上に整理した設計・生産活動の対象を計算機内に製品情報として記述するために製品モデルを定義している。この製品モデルについては、第5章において詳細に述べる。

4.5 設計・生産過程のモデルに求められる情報の処理機能

前節では、計算機内に製品情報として記述すべき対象の整理を行い、それらを製品モデルとして定義することを述べた。しかし、設計・生産活動を計算機内部で表現するためには、それらの対象の情報をどの様に生成し、利用すべきであるかの検討を行う必要がある。そこで本節では、設計・生産活動における情報の生成過程と利用過程を設計・生産過程として捉え、それらの過程で利用される情報の生成機能や利用機能を計算機内に表現するためのモデル化を検討する。

4.5.1 設計・生産過程のモデルに求められる要件

設計・生産活動で必要となる全ての情報を同時に生成することは現実的ではない。このことは、設計活動や生産活動において様々な設計ステージや計画ステージが存在することが、その理由の一つとして理解できる。そこで、設計・生産活動における情報の生成過程は、様々な要求にしたがって段階的に情報を詳細化する過程であると捉え、

- ・既存の情報を基に、どの様な情報が生成されるのか
- ・既存の情報がどの様に詳細化されていくのか

などの情報の生成過程を検討し、以下に示すように設計・生産過程のモデルを検討する。

- ・製品モデルの生成過程をモデル化するために、設計機能を利用した製品モデルの統合的な生成や利用を検討する。製品モデルの生成過程のモデル化は、造船の設計活動における区画設計や主要構造の構造設計を情報の生成や利用の見地からモデル化したものと考えられる。
- ・生成された製品モデルを利用して生産情報を生成する過程をモデル化するために、生産計画機能とその生産計画機能を利用した生産情報の統合的な生成や利用を検討する。生産情報の

4.5 設計・生産過程のモデルに求められる情報の処理機能

生成過程のモデル化は、造船の生産活動における生産計画を製品情報を利用した生産情報の生成の見地からモデル化したものと考えられる。

以上のモデル化を満足させるためには、以下に示す情報の生成機能、管理機能が必要である。

(1) 製品情報・生産情報の生成機能

製品情報や生産情報を統合的に管理するためには、それらの情報を効率的に矛盾なく生成することが重要である。つまり、既に生成されている情報を考慮して、この情報に追加されるべき必要にして十分な最小限の新たな情報を生成することが重要であり、この点を考慮した情報の生成機能を検討しなくてはならない。

本研究では、情報の生成機能に着目し、設計過程における製品情報の生成機能を設計機能、生産過程における生産情報の生成機能を生産計画機能として位置づけ、それぞれの機能をモデル化し、計算機内部に定義する。

(2) 生成過程の情報の管理機能

生成された情報は整理されて管理されることが望ましい。なぜならば、整理された形で情報が管理されていなければ、新たな情報を生成し管理する際に情報処理の効率が悪くなるだけでなく、矛盾を含んだ情報定義を許容してしまう怖れが存在するからである。したがって、管理すべき情報の構造を十分吟味し、効率のよい情報の管理方法を検討することが重要であると認識する。

また、情報の構造は単に情報管理のためではなく、製品情報や生産情報が詳細化する過程自体の表現においても重要であると考えられる。したがって、モデル化すべき情報の構造は情報の詳細化の過程に着目したモデルであると認識することができる。

4.5.2 設計過程と製品モデル

一般的に設計と言っても、概念設計や基本設計、さらに詳細設計などの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製品モデルが必要であると述べている [鈴木 89] (Fig.4-5-1)。

鈴木的设计過程における製品モデルを整理すると以下のようになる。

- ・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。

以上に挙げた複数の製品モデルが各モデル間において矛盾無く変換・生成され、統合的に管理されることが望ましい。しかしながら、ここで認識しなければならないことは、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の表現が必要であるということである。したがって、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製品モデルによって管理される製品情報の有効な生成および利用が必要である。

本研究では、多岐にわたる設計過程において、どの様な検討がなされ、どの様な手続きのもとに、

製品に関する情報が生成、管理されているかの検討を行う。さらに、設計機能を利用した製品モデルの変化として設計過程を計算機内に表現することによって、製品情報の円滑な生成について検討した。また、設計過程のモデル化による設計手順の計算機内への記述表現を可能にすることによって、製品モデルに対して最終結果のみを記述するだけでなく生成過程までも記述することが期待できる。

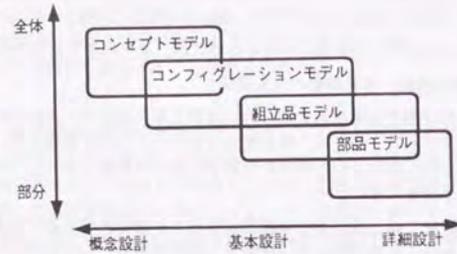


Fig. 4-5-1 製品モデルの進化 [鈴木89]

4.5.3 設計過程のモデルに求められる機能

船体構造を設計結果として捉えた場合、船体構造は複数の部品情報の集合体として表現することができる。しかし、それはあくまでも最終結果として表現することができるのであり、設計活動の初期から全ての情報が定義されている訳ではない。設計過程を整理してみると、概念設計や基本設計等の上流設計の段階では、その設計対象は、詳細な部品情報といった情報ではなく、船全体としての認識が強いものであるといえる。そこで本研究では、上流設計で得られる製品情報を基に構造設計や詳細設計が行われ、設計が進展すると共に部材情報、接合情報という情報が明確化されると考えた。

本研究では、第5章において後述するように、船体構造を表現する基本単位の製品モデルとして部材情報と部材間の接合関係情報を定義している。したがって、この製品モデルが設計過程の流れにしたがってどのように生成され、個々の設計過程における製品モデルとしてどのように利用することができるかを検討する必要がある。また、設計対象として挙げた区画や構造単位の製品情報はどのように生成されるべきであり、それらの製品情報間の関係はどのように認識することが可能であるかを検討する。このことは、製品情報の管理の問題としても、さらに情報生成の概念の整理においても重要である。

本研究では基本設計や詳細設計などの設計における製品情報の生成機能を、部材情報、接合関係情報を生成する設計機能としてモデル化している。また、設計過程で生成される情報としては、実体である部材や接合等の情報だけではなく、設計過程そのもの、つまり設計手順も含まれる。したがって、設計過程で生成される情報として設計手順を残すことは設計活動を支援するシステムにとっては重要であると考えられ、設計手順の記述が可能なモデル化も考慮する。

(1) 空間設計機能

造船においては容積の算出などの区画形状に直接関係する情報を製品情報である区画から抽出する必要がある。しかしながら、実際の設計においては直接的に区画を設計する訳ではな

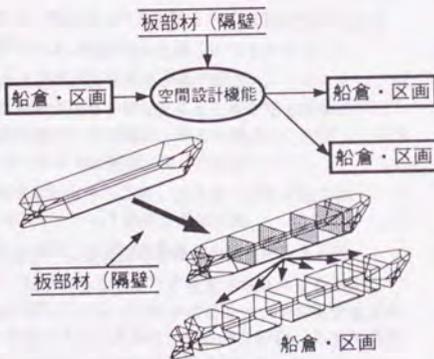


Fig. 4-5-2 空間設計機能

く、区画を仕切る隔壁などの板部材を定義することによって間接的に区画を生成していることが特徴である。したがって、設計を支援するためには、必要となる区画を製品情報として直接的にシステム内に定義するのではなく、設計手法に準じた隔壁の定義によって区画を設計することを考慮する必要がある。本研究では、区画および隔壁などの製品情報を生成する設計機能として空間設計機能を定義している (Fig. 4-5-2)。なお、この機能の詳細は第6章で述べる。

(2) 内部構造設計機能

構造単位の設計では、設計する対象である構造単位をどの様に認識するかを十分考慮する必要がある。つまり構造単位は複数の部材によって定義される物であるが、部材を一つ一つ定義することによって構造単位を設計するのではなく、構造単位として認識したまま設計することが可能であることが望まれる。例えば、内部構造としてトランス・リング構造を定義する場合、その構造を構成する部材を一つ一つ定義することによって構造全体を定義するのではなく、リングの深さがDであり、ストラットの数がN本、それらの位置がH1,H2...Hn であるといった認識によって定義されることが構造単位の設計においては重要であると考えられる。さらにそれらの内部構造は、区画または区画を構成する板部材に対して設計されるといった関係が存在することも十分考慮する必要がある (Fig. 4-5-3)。本研究では、この構造単位の設計機能として内部構造設計機能を定義しており、第6章にて詳細に述べる。

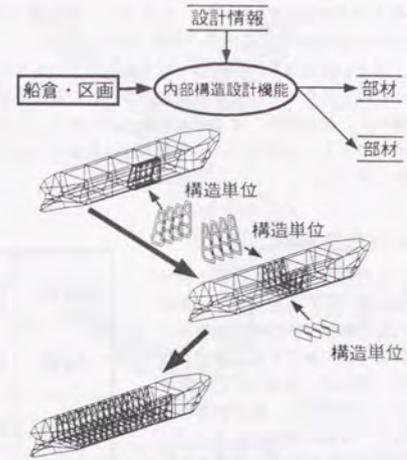


Fig. 4-5-3 内部構造設計機能

(3) 部品化機能 (カット機能)

カット機能は、(1)で述べた設計機能によって生成された部材情報と接合関係情報を物理的にカット (CUT) し、新たな部材情報や接合関係情報を生成する機能である。この機能は、造船の特徴であるブロック分割や板割を詳細な製品情報の生成機能としてモデル化するものである。具体的には、連続体として設計されている構造物 (船体構造つまり部材情報と接合関係情報の集合体) をブロック分割や板割などの生産側の制約を考慮することによって現実の部品情報と接合関係情報を生成する機能である。設計機能では新しい部材情報や接合関係情報の付加による情報生成の機能が主に論じられることに対して、カット機能では単に形状を幾何学的に分割するのではなく、より詳細な部品情報と接合関係情報を生成することが可能である。

具体的なカット機能のイメージは Fig. 4-5-4 に示すように説明することができる。つまり、部材 Part-A と部材 Part-B が接合関係情報 Connect(A&B) によって構造物を構成している場合、カット機能を用いると部材 Part-A がカットされ、新部材 Part-A1、Part-A2 が生成される。ま

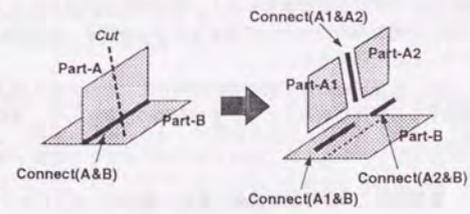


Fig. 4-5-4 カット機能

た、新たな部材情報の生成だけでなく、接合関係情報 Connect(A&B) もカットされ、Connect(A1&B) および Connect(A2&B) が生成され、更に新部材 Part-A1 と Part-A2 との新たな接合関係情報 Connect(A1&A2) を生成する機能である。

以上の処理は実際の設計では当然のことであるが、計算機内部のモデルの世界において表現するためには十分なモデル化が要求される。この機能を繰り返し使用することによって、現実の部品の製品情報を、部品情報、接合関係情報として得ることが可能になり、生産活動で利用される情報とすることができる。本研究では、部品の設計機能の一つとしてカット機能を定義しており、この詳細は第6章で述べる。

4.5.4 生産過程と生産計画

設計過程によって生成された製品モデルを利用して、計算機内部において生産過程を表現することが可能であると考えられる。例えば、定義された製品モデルを利用して、生産計画を立案し、詳細な作業計画を立て、効率的な生産管理を実現する等の生産情報の獲得が期待できる。

そこで、生産活動において必要となる生産情報を生成するために、生産環境自体が持つ情報と、その情報より獲得できる情報を整理することによって、生産情報の生成過程を生産過程のモデル化として捉える。

(1) 生産活動の分類

造船の生産活動には様々な役割を持つ複数の工程が存在する。ここで生産活動における工程の役割を考えると、加工、(小・大)組立、外業などの全ての工程は、生産対象である素材・中間製品を形態的に変化する役割を担うものであると言える。したがって、各工程で行われる生産活動は、生産対象の形態的变化を施す活動であり、この活動は一般的に変換活動と呼ばれている。この変換活動の組合せによって全体の生産活動が構成されているものと考えられる (Table 4-5-1)。

変換活動：生産対象の形態的变化を施す活動

実際の生産活動は、様々な変換活動を生産対象となる素材、中間製品に対して行うために、変換活動を行う工程に生産対象物を流し、形態的变化が施される。また、造船における生産活動は工程間の素材、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。

また、生産活動には変換活動の種類に応じた様々な工程が存在するために、これらの工程を円滑に連結する必要性が求められる。そのための活動として、運搬活動や停滞活動が存在するものと考えられる。

運搬活動：運搬活動は生産対象物に場所的な変化を与える生産活動

停滞活動：生産対象物に形態的变化・場所的变化を与えることなく、時間的变化だけを与える生産活動

Table 4-5-1 生産活動の分類

変換活動	加工作業・組立作業により、次工程の中間製品、製品へと形態的に変化する生産活動
運搬活動	生産対象物に場所的な変化を与える生産活動
停滞活動	生産対象物に形態的变化・場所的变化を与えることなく、時間的变化だけを与える生産活動

生産活動を変換活動間の「物の流れ」として表現した場合、運搬活動と停滞活動は、「物の流れ」を空間的、時間的に支援する活動として認識することができる。

また、変換活動や運搬活動、停滞活動を実際の活動とするためには、それらの活動で行われる実際の具体的な作業を定義する必要がある。さらに、それらの作業には順序が存在し、生産活動を具体的な作業の連続として捉えることも必要である。この作業の連続は、先に述べた「物の流れ」に対して「作業の流れ」として認識することができる。

以上を整理すると、生産活動を変換活動、運搬活動、停滞活動の組合せによって表現することができる (Fig.4-5-5)。これらの活動の中でも、変換活動が主体となり生産活動が展開され、物は様々な形態的 (形状的) 変換を受けることによって最終製品へと変換される。

(2) 生産計画情報の変遷

造船においては、一隻の船舶を建造するために製作すべき部品点数が数十万点に及び、多数の工程を有するだけでなく、その全工程が絶対的に短期間であるといった理由のため、建造コストの低減、建造期間の短縮化等の生産性は生産計画に深く関係している。(1)において生産活動を「物の流れ」と「作業の流れ」の二つの視点から整理したが、「物の流れ」と「作業の流れ」の定義によって生産活動を円滑に実施するための生産計画は、以下に示すようにそれぞれの「流れ」の計画として整理することができる (Fig.4-5-6)。

・「物の流れ」の計画

全体的な生産活動の効率化のためには、「変換活動・運搬活動・停滞活動」の各々の活動を計画して実施することによって円滑な「物の流れ」を実現することが必要である。したがって、工程計画における工程設計は、主として「物の流れ」を計画する計画作業である。

・「作業の流れ」の計画

変換活動が行われる工程における生産活動の効率化のためには、「作業の流れ」を構成する具体的な作業を計画して実施することによって、円滑な「作業の流れ」を実現することが必要である。また同様に運搬活動、停滞活動においても活動を構成する具体的な作業を計画して実施することが必要である。したがって、工程計画における作業設計は、主として「作業の流れ」を計画する計画作業である。

造船においては、大日程計画、中日程計画、小日程計画など様々な日程計画が存在するが、それらの計画のメッシュの大きさに応じて整理すると、以下ようになる。

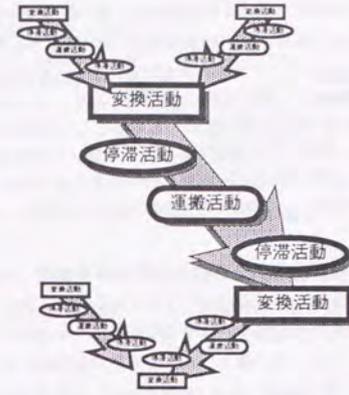


Fig.4-5-5 生産活動 (変換活動・運搬活動・停滞活動)

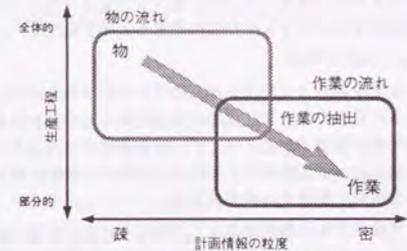


Fig.4-5-6 生産計画情報の変遷

- ・大日程計画は全ての工程間の接続を考慮した全体的な生産計画
- ・中日程計画は工程における「物の流れ」を中心とした生産計画
- ・小日程計画は「作業の流れ」を中核とした詳細な生産計画

したがって、これらの生産計画において生成される日程情報の相違を情報の詳細化の問題として捉えた場合、大日程計画から中日程を経て、小日程計画へと計画の情報は詳細化されて行く。この生産計画の流れは、「物の流れ」を中心とした生産情報から「作業の流れ」を中心とした生産情報への詳細化の過程として理解できる。この様に生産計画では、「物の流れ」から「作業の流れ」へと情報の詳細化が行われるが、実際に行われる生産活動は「作業の流れ」が計画的に実施されることによって「物の流れ」が円滑に実現されているのである。

4.5.5 生産過程のモデルに求められる機能

本研究では、設計過程によって生成された製品モデルを有効に利用し、計算機内部で生産過程をモデル化して表現することを検討する。この際に、「物の流れ」から「作業の流れ」へと「作業の流れ」から「物の流れ」への両方向を考慮することによって、

- ・「物の流れ」から「作業の流れ」へ展開することによって、生産計画における情報生成をモデル化する
- ・「作業の流れ」から「物の流れ」へ展開することによって、生産活動を計算機内でシミュレーションする

ことを可能とする。そして、以上のことを可能とするための機能として生産計画機能と仮想組立機能を定義する。以下にそれらの機能の詳細を述べる。

(1) 生産計画機能

生産を効率よく行うためには予め生産手順を検討し、十分な吟味の基に生産活動を展開する必要がある。このためには、実際に生産活動を行う際に必要となる作業時間の把握、作業コストの把握、物流管理が重要である。そこで、計算機内部に記述され管理されている製品情報を有効に利用し、この情報に対して工作順序、工作方法に関する情報を付加することによって生産活動に必要な様々な作業情報を獲得する必要がある。

本研究では、製品情報として記述されている製品モデルの情報を有効に利用し、生産順序や生産方法を入力することによって必要となる生産計画の情報を獲得する生産計画機能を定義する。

造船における生産計画には、大日程計画、中日程計画、小日程計画などの様々な計画が存在し、それぞれの生産計画において生成されるべき日程情報はその情報の詳細度が異なる。したがって、それらの日程計画を一般的に捉え、各日程計画で生成される計画情報を関連付けて生成、管理することが可能な生産計画機能が望まれる。この生産計画機能に関しては、第7章において詳細に述べる。

(2) 仮想組立機能（アセンブリ機能）

設計機能、カット機能によって、実際の部品、接合に対応する、部材情報、接合関係情報が生成される。これらの部材、接合関係情報の情報を利用して、実際の造船工場で行われている組立作業を計算機内にモデル化するために、仮想組立機能を定義する。この機能の位置づけは構造物を構築するための生産設計のための機能、さらには生産活動を計算機内で模擬的に実行することによって生産活動に矛盾がないか確認する機能であると考えられる。

この機能は、部品を選択し、組立順序の情報を入力することによって実行される。この際、部品の接合関係情報を利用して、構造物を矛盾なく計算機内に組立てることを可能としている（Fig.4-5-7）。また、組立てる際に使用するクレーン、溶接機などの生産環境に関する情報（次節（4.6節）で述

べる生産環境のモデル）や溶接条件などの作業情報を入力することによって、より現実に近い組立工程を計算機内に表現することが可能となる。以上の詳細は第7章において述べるが、この機能は仮想生産（Virtual Manufacturing）につながるものであると考えられる。

仮想組立機能は生産計画機能の一つとして重要であるが、生産活動を仮想的に行うことによるシミュレーション手法に基づくことにより、計画の段階、つまり実際の生産活動に着手する前段階において予期しないトラブルなど（例えば、組立方法に合致しない部品の設計や実行不可能な作業の計画など）を未然に確認することができ、熟練労働者に依存しない生産形態を強力に支援することができる。

以上に示した生産計画機能や仮想組立機能を有効に利用するためには、次節で述べるように、製品情報には直接関係を持たない生産環境に関する情報が必要である。生産環境の情報を利用することによって、設計されたものが生産可能であるか否かを評価（物理的評価・経済的評価）することができる。さらに、この評価によって、生産性という制約を製品情報に対して付加することが可能となり、より現実的な製品情報を獲得することができると考えられる。

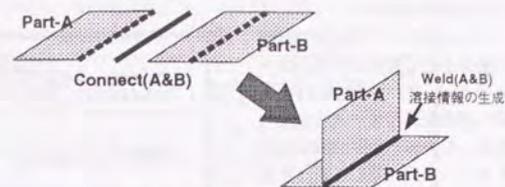


Fig.4-5-7 仮想組立機能（アセンブリ機能）

4.6 生産環境のモデル

現実の生産活動は、限られた生産環境（設備、労働力によって構成される環境）において行われている。生産環境は生産活動に対して影響を与え、最終的には生産対象にまでその影響を与えるものである。したがって、生産活動が実際に行われる生産環境を計算機内に表現することが必要である。本研究では、生産環境を計算機内に表現することのできるモデルを生産環境のモデルと呼ぶ。

この生産環境のモデルの定義によって、計算機内の生産活動の表現は、生産対象のモデル、生産過程のモデル、生産環境のモデルによる製品情報・生産情報のやり取りによって表現されることになり、計算機による生産活動のシミュレーションが可能になる。

そこで本節では、生産環境である造船工場に視点をあて、計算機による生産活動のシミュレーションを可能にするために必要な生産環境のモデル化を考察する。

4.6.1 生産環境のモデルに求められる要件

生産環境のモデルに対して要求される主要な要件を挙げる（Table 4-6-1）。

(1) モデルの独立性

製品モデルが個々の製品（個別の船体構造）を対象にしていたことに対して、生産環境のモデルは、生産活動の客体である製品を区別なく対象とすることが必要である（複数の船体構造）。したがって、生産活動の対象となる製品とは別に独立したモデルであることが重要である。

また、生産環境を独立したモデルとして定義することによって、生産設備の配置替えや生産現場における組立手順の変更の際に、生産環境のモデルの変更によって柔軟な対応を容易に行うことができ

ると考えられる。
(2) 作業情報の生成

これまで述べてきた生産活動の客体となる製品モデルが有する情報は、三次元的な形状情報、接合関係情報、属性情報である。しかし、生産計画を立案するためには作業に必要な作業情報を獲得する必要がある。したがって、生産環境のモデルには、製品モデルが有する情報を基に、作業情報を生成する機能が必要である。

(3) スケジュール管理

生産環境のモデルには、(2)で述べた様に生成された作業情報を基に、時間軸を考慮した情報の生成・管理を行う機能が必要であると考えられる。この時間の概念の創出の際には、生産環境が有する物理的制約および時間的制約を考慮する必要がある、これらの制約を生産環境のモデルに表現する必要がある。

以上の要件を満足するように生産環境をモデル化して計算機内に表現し、実際の造船工場が有する生産環境に対応する生産環境のモデルとして利用する。本研究ではこのモデルを生産環境のモデルと定義し、先に定義した設計・生産対象のモデルが、この生産環境のモデルの中を流れるものとして生産活動を表現する。そして、この生産活動の表現によって得られる情報を利用することによって生産計画を立案する。

4.6.2 生産環境のモデルの定義

生産環境のモデルは、生産活動が実行される環境である工場において、使用される生産機械、その他の設備、材料、人的資源(作業員)等の情報をモデル表現したものである。このモデルの利用によって、生産計画機能によって得られる生産情報を詳細に決定することが可能になる(Fig.4-6-1)。また、モデル化された生産環境にとっては、生産活動における作業情報を生産情報として獲得することができる。

本研究では、生産環境を以下のように概念的、機能的に分類して整理することによって生産環境のモデルを定義している(Table 4-6-2)。な

Table 4-6-1 生産環境のモデルに求められる要件

モデルの独立性	・生産活動の客体である製品を区別なく対象とする ・生産設備の配置替えや生産現場における組織の変更の際に、生産環境のモデルの変更によって柔軟な対応を容易に行うことができる
作業情報の生成	・製品モデルが有する情報を基に、作業に必要な作業情報を生成する
スケジュール管理(時間概念の創出)	・獲得した作業情報を基に、時間軸を考慮した情報(4次元の情報)の生成・管理を行う ・生産環境が有する物理的制約および時間的制約を考慮し、これらの制約を生産環境モデルに表現する

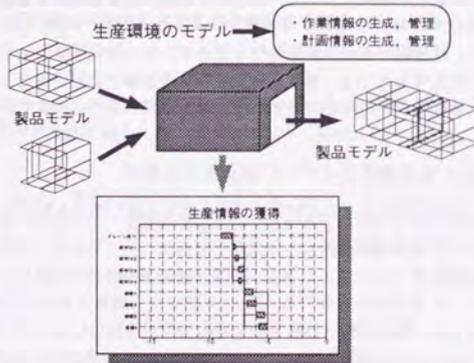


Fig.4-6-1 生産環境のモデル

Table 4-6-2 生産環境のモデルの分類
(作業資源モデル, 工程資源モデル, 工場モデル)

種類	概念	構成
作業資源モデル	生産活動における実際の作業に直接関係する生産設備、生産労働力をモデル化	溶接機、作業員などの実体的な生産環境
工程資源モデル	生産活動を構成する生産工程を概念的に捉え、生産機能を有したものとモデル化	工程における生産設備、生産労働力に対応した、複数の作業資源モデルから構成される
工場モデル	生産機能を有した工程を複数有する統合的な生産環境モデル	切断工程、加工工程、組立工程に対応した工程資源モデルから構成される

お、生産環境のモデル化の詳細は第7章にて述べる。

(1) 作業資源モデルの定義

造船における生産活動は、切断作業、曲げ作業、溶接作業、運搬作業などの様々な作業によって構成される。これらの作業は、作業を行う場所(定盤など)、使用される設備(クレーン、炭酸瓦斯溶接機など)、作業を行う作業員(溶接作業員など)、等の作業に直接関係する生産環境が有する生産機能の働きによって実現化される。

そこでまず、作業に直接関与する生産環境のモデルを定義する。本研究ではこの生産環境のモデルを作業資源モデルと定義する。この作業資源モデルの役割は、先に述べたように工程内における生産計画に必要な具体的な作業に関する作業情報を生成したり、それらの作業情報を管理するものである。

作業資源モデル：溶接機、作業員などの生産活動に直接関係する生産環境

(2) 工程資源モデルの定義

実際の生産活動は、生産活動を構成する変換活動の変換内容によって様々な工程に分類されており、切断工程、曲げ工程、組立工程などの複数の工程が存在する。個々の工程の生産機能、生産能力は工程を構成する生産資源である場所・設備・作業員の組合せによって決定される。そこで、個々の工程は複数の作業資源モデルを構成要素とするものとしてモデル化し、工程資源モデルを定義する。このモデルは変換活動が行われる工程自体に関する生産環境のモデルである。また、工程資源モデルは作業資源モデルの組合せで表現される概念的な生産環境のモデルである。したがって、工程資源モデルは作業資源モデルの上位概念となる生産環境のモデルであると考えられる。この工程資源モデルの役割は、工程設計における工程に関する情報の生成や管理を行うことである。

工程資源モデル：工程自体が生産機能を有するものとして考えることによって定義される概念的な生産環境

(3) 工場モデルの定義

造船工場全体の生産機能、生産能力は、その造船工場が有する工程の種類と、その工程の配置に深く関係する。したがって、実際の造船所は、(2)で述べた様々な変換機能を有した工程の組合せに

よって成り立っているものと考えられる。そこで、造船工場を複数の工程資源モデルを構成要素とするものとしてモデル化する。本研究では、この生産環境のモデルを工場モデルと定義する。工場モデルは、工程資源モデルの組合せで表現される概念的な生産環境のモデルであるので、工程資源モデルの上位概念となる生産環境のモデルとなり、生産環境のモデルにおける最上位のモデルである。

工場モデル：生産活動には直接関与しないが、工程資源モデルの情報を管理することによって、工場全体の生産計画の情報を管理する

4.7 本章のまとめ

本章では、「次世代の設計・生産システムを構築するためには、設計活動や生産活動における対象である製品や、事象である設計・生産活動を十分吟味してモデル化する必要がある」との認識に基づき、設計・生産活動のモデルを定義するためにはどのような点に着目すべきであるかを考察した。以下に、本章において得られた知見を整理する。

(1) 造船における設計活動の整理

造船設計の特徴を抽出し、設計活動の基本設計、構造設計、詳細設計・生産設計の流れにおいて、設計対象がどの様に変化するかを整理した。この整理によって、以下に示すような設計過程に応じた設計対象が存在することが理解できた。

- ・基本設計では、主に船倉や区画などを設計対象として船体構造が設計される
- ・構造設計では、主に船体構造を構成する部分構造を設計対象として船体構造が設計される
- ・詳細設計・生産設計では、主に生産活動に必要な部品を設計対象として船体構造が設計される

(2) 造船における生産活動の整理

造船における生産活動は、素材や中間製品の形態を変換する活動である「変換活動」を中核として、「運搬活動」「停滞活動」などの様々な活動から構成されると整理した。これらの活動を円滑に行うためには、生産計画が重要であり、生産計画を工程計画と日程計画に分類してそれらの計画の主要な計画機能を整理した。

- ・工程計画は、生産活動における「物の流れ」を決定する工程設計と、「作業の流れ」を決定する作業設計とに分類することができ、生産活動における様々な工程や作業を抽出し、それらの工程や作業の順序を決める計画であると理解した。
- ・日程計画は、工程計画で生成される工程や作業の日程情報を決める計画であり、計画する際に、生産設備や生産労働力などの時間的制約を考慮することが重要であると理解した。

(3) 造船の設計・生産活動のモデル化

造船の設計・生産活動における様々な情報の生成・利用・管理を整理して認識するためには、以下の三つのモデルが重要であると考え、各々のモデルについて考察した。

- ・設計・生産対象のモデル
- ・設計・生産過程のモデル
- ・生産環境のモデル

これらのモデルの組合せによって、製品の設計・生産活動に関する情報（製品情報や生産情報）

の生成や管理を表現することができる。また、これらのモデルに基づいて設計・生産システムを構築することによって、計算機による設計・生産活動の支援を実現することが期待できるものと考えた。

(a) 設計・生産対象のモデルとして定義すべき製品情報

本研究における設計・生産対象のモデルとして定義すべきものとして以下の製品情報を整理した。

- ・区画の情報：船倉や区画、および各種タンクなどの製品情報
- ・構造単位の情報：船体構造を構成する部分構造を構造単位として表現する製品情報
- ・中間製品の情報：生産活動の基本単位である中間製品の製品情報
- ・基本単位の情報：部材情報や部材間の接合関係情報

以上の情報を明確にすることによって、設計・生産活動で生成・利用される製品情報や、設計・生産活動における設計・生産対象のモデルの役割を認識することができ、設計・生産過程のモデル化の際に定義すべき情報の生成機能や管理機能に要求すべき機能を明確にすることができると考えた。

(b) 設計・生産過程のモデルに求められる機能

b-1) 設計過程のモデルに求められる機能

設計活動を製品情報の生成過程の側面から捉えることによって、製品情報の生成や製品情報の詳細化などを機能として捉える設計機能を定義した。この設計機能としては、

- ・区画の製品情報を生成する空間設計機能
- ・構造単位の製品情報を生成する内部構造設計機能
- ・部材情報から部品情報を獲得するためのカット機能

などを定義した。これらの機能を組合わせて利用することによって、製品情報を生成する過程である設計過程を表現することが可能であると理解した。

b-2) 生産過程のモデルに求められる機能

生産活動を、設計で生成された製品情報を利用して生産活動で必要となる生産情報の生成過程の側面から捉えることによって、生産情報を生成する生産計画機能と仮想組立機能を定義した。これらの機能の特徴は、以下のように要約できる。

- ・生産活動を、「物の流れ」から「作業の流れ」として捉えることによって生産情報を生成する生産計画機能
- ・生産活動を、「作業の流れ」から「物の流れ」として捉えることによって生産情報を生成する仮想組立機能

以上の機能を利用することによって、生産情報を生成する過程である生産過程を表現することが可能であると理解した。

(c) 生産環境のモデル

生産活動を行う生産環境をモデル化し、生産活動を物理的、時間的に制約するモデルとして生産環境のモデルを定義した。この生産環境のモデルの定義によって、現実の製造活動が定盤・生産設備等の限られた生産環境において行われており、生産環境が製造活動に対して影響を与えていることを計算機内部に表現することができた。

生産環境のモデルとしては、以下のモデルを整理した。

- ・生産活動における作業に直接関係する生産設備、作業者などをモデル化した作業資源モデル
- ・生産工程を概念的に捉えモデル化した工程資源モデル
- ・生産環境に関する情報を統合的に管理する工場モデル