

パイプ部品のファミリー生産方式

Pipe Piece Family Manufacturing

1982年3月

U.S. Department of Transportation, Maritime Administration

in cooperation with Todd Pacific Shipyard Corporation

(アメリカ合衆国運輸省 連邦海事局)

前書

一般的に、船には膨大な数の多種多様なパイプ部品が必要である。種類や量に関係なく、パイプ部品が区画艀装を行う組立作業者にジャストインタイムで提供されることにより、造船プロセス全体での生産性が向上する事が、先進的な造船所により証明されている。別な言い方をすれば、パイプ工場の造船全体に対する生産性への貢献こそが、パイプ工場の実績を評価する唯一の意味ある方法であるといえる。

この論文で述べているパイプ部品ファミリー製造 (Pipe-piece Family Manufacturing, PPFM) はグループテクノロジー (Group Technology, GT) のある一つの形態であり、日本の IHI で成功を収めた。この手法の本質は、IHI 呉造船所にある非常に効率的なパイプ工場での製造と運用の研究から得られたものが殆どであるが、呉造船所のパイプ工場は他の造船所のような自動化工場ではなく、人の手でパイプの加工が行われている。

パイプ工場がその実力を如何に発揮するかは、計画者によって決定づけられる。その為、詳細設計担当者と資材定義担当者がこの手法に合わせる必要がある (意識)。PPFM には、調達から、加工に塗装、そして特定の時間に特定の区画で行われる組立作業の為のパレットへ仕分けがなされるまでの間の、資材管理も含まれている。

PPFM は、パイプ部品だけでなく曲げダクト部品などの、多種多様さが必要とされる部品製造を単純化した、包括的な手法である。そして系統 (system) 的で生産性の低い伝統的な手法よりも、計画と日程が、より難しくなっている。

先進的な造船所における PPFM の開発と効率的な適用が成功した理由は、大学もしくはそれと同等の教育を受け、他の造船職の経験を持つパイプ工場管理者と副管理者、現場エ

ンジニアが存在していたからである。彼らは、例えばパイプ工場の手法の分析的、継続的改善において、パイプ工場だけでなく造船プロセス全体をも改善し続けなければならないという競合性と矛盾させないように、統計学的管理を適用する事が可能であった。

PPFM は高度に組織化された作業である。統計学的管理により、設計詳細と作業手法とを改善し続けなければならない。日本では生産性の父として知られている **W.E.Deming** 博士によれば、「より激しくではなく、よりスマートに人々が作業できるように管理する事で生み出されたシステムでの変化によって、利得を得る事ができる」のである。

謝意 (Acknowledgements)

略

1. 0 計画 (Planning)

1. 1 原理

一般的に、船の構成物 (components) の製造は、船の系統 (ship-systems) 別に、そして一つの系統 (system) の中のそれぞれの構成物は唯一のものであるとして、計画されている。その為、パイプ部品のような個々の中間製品は、別々の計画で日程が組まれていた。2 万総トンの船の機関室だけでも約 3500 個のパイプ部品があり、全てのパイプ部品を個別に製造していたことから膨大な量のデータが必要で、そして生産性も低かった。

管理哲学であるところのグループテクノロジー (Group Technology, GT) は、作業を組織化することで、共通の問題に対して共通の解決法を適用可能にしている。グループテクノロジーは、多種多様な製品に大量生産の利点を実現する手法として認められている。製造課題 (problem) における類似点を識別し、異なった製品を類似のプロセス毎にグループ分けを行う。このような、解決法のセットに合うようにグループ分けされた多様な製品群をファミリー (family) と呼んでいる。その為、製造作業に適用されたグループテクノロジーは、ファミリー製造 (family manufacturing) と呼ばれている。

理想的には、ある特定のファミリー製品の製造に必要となる各種の機械群も、一つの生産ラインとしてグループ化されるべきである。製造固有の必要作業 (operation) 毎に行われていた計画手法に代わり、あるグループの機械群により作業可能な全ての作業が、事前計画の 1 つの実体 (single entity) として見なされている。これはプロセス分類 (process categorization) と呼ばれており、パイプ工場の場合にはパイプ部品ファミリー製造 (Pipe-piece Family Manufacturing, PPFM) と言っている。

通常、それぞれのプロセス分類に所属するパイプ部品の総数は、それぞれの生産ラインを独立して運用する程には多くない。その為に 2 つ以上のファミリーが、複数の生産ラインの作業で 1 台の機械 (例えばパイプベンダー等) を共有可能なように、予め計画を立てるようにしておかなければならない。

設備を組織化し、作業を事前計画することで、特定のファミリーのパイプ部品の平均製造期間を容易に決定する事が可能となる。各ステージ毎に必要な作業と、ステージ毎とステージ間とで必要となる時間の合計を分析することより、与えられた期間に作業レーンで製造する事が可能なパイプ部品の数を推定することが可能となる。この考え方において、管理はある決まった期間 (通常は 1 週間) のロット毎に行われており、非常に効率的である。

PPFM は非常に進んだ理論である。先進的な造船所では、配管工場設備の計画において、PPFM を必須なものであると認識している。施設に変更が無くとも、作業フローは仮想的なものにもなり得る為、PPFM は計画作業を単純化し、資材管理と生産管理を進化させ、更には生産性を著しく向上させた。

ファミリーを決定するには、設計と製造のそれぞれの属性について考慮する必要がある。設計属性は寸法や材料、形状などであるが、製造属性としては以下のような要素を考慮しなければならない：

- ・ マネージメント管理システム
- ・ パイプ工場と、常連の下請け工場の製造能力
- ・ 加工設備とその配置

造船において配管工場の作業負荷は、多種多様多量のパイプ部品を艤装作業に間に合うように製造しなければならないという必要性に左右されている。しかし、既存の工場管理者はこの目的を軽視しており、目先の生産性の改善の為に、同一か、ほぼ同一の構成物（components）をバッチ（ひとまとめ）製造している。この固定観念により、艤装組立作業で必要となるよりも遥か前の時期に、膨大な量の構成物が製造されてしまっている。これは以下のような非直接的なコストが無視されているといえる：

- ・ 必要な時期よりも早期に行われる投資に伴うコスト
- ・ 余分な倉庫の確保や余分な資材管理に伴う直接的・非直接的コスト
- ・ 理想的な艤装組立順序に合わない設計、材料定義、資材調達順序を強制する為に

発生してしまう混乱に伴うコスト（訳注：造船においては、状況は刻々と変化している為、可能な限り設計の締切を遅くした方が、その間の状況の変化を設計に折り込むことができるので、後から余計な改正を行わなくて済む。ところが、設計と製造での対象物の順序が異なると、あるものは設計に十分な時間が取れなくなることから設計の質が落ち、またあるものは余りにも早く設計を終了してしまうことから、製造までの間の状況の変化を余計な改正図を作成することで対応しなければならない。このような、設計と製造とで対象物の順序を揃えていれば発生しなかった筈の混乱に伴うコストについて、述べているのではないかと思われる）

このような固定観念は、そうしたバッチ（ひとまとめ）製造で配管工場のリソース（人材・設備）を占有してしまう原因に度々なっており、それにより、組立作業の更なる混乱を生む危険性を増加させている。

グループテクノロジーもまたバッチ（ひとまとめ）製造の形を成しているが、しかし異

なった原理を用いている。製造課題範囲毎に製品をグループ化することで擬似バッチを作り出しているが、これは大量生産の利点を本質的な配管工場の運用にもたらすのに、非常に効率的だ。それと同時にグループテクノロジーは、区画艤装に必要となる、多種多様なパイプ部品の（同時）生産も可能にしている。その結果、パイプ部品加工と艤装組立の両方の生産性が向上した。

ファミリーの選択とその製造ルートの計画の、最終目標は、生産ライン原理を利用する事である。生産ラインでは、作業者が個々のパイプ部品の作業順序を考える必要が無く、目の前の標準作業プロセスの実行のみに集中すれば良い。このような作業の専門化により、作業手法の評価と改善の常時実行が容易となる。しかし、生産ラインであっても以下の条件を満たさない場合には、本来は不必要である繰り返しの計画雑務が要求されることになる：

- ・ 設計者と材料指定者により、予め製造課題が準備されている事
(訳注：どういう加工を行うか（課題）が、製造前に明らかにされていなければつまり、設計者が意図しない加工が行われないように、設計・製造の間で標準化が行われていなければ、製造の前段階で精度の良い計画・日程の実行は不可能である。小手造船所ではこれが出来ておらず、その為精度の低い計画・日程の下で、どんぶり勘定的な製造を行わなければならないとなっている)
- ・ パイプ工場の計画と日程が、生産ライン原理と一致している事

ここで言う生産ライン原理とは以下の物である：

- ・ プロセスの標準化
- ・ 作業の単純化と特別化
- ・ 作業定盤の固定
- ・ 中間製品の移動ルートの固定
- ・ 作業者もしくは作業者グループの作業場所への固定

図 1-1 は、先進的な造船所の自動化工場・手動加工工場の双方で、生産ラインと作業フローとを組織化する為に用いられている、典型的な製造階層と基本理論を説明したものである。塗装とパレット仕分けが独立した製造階層となっているが、これは区画艀装の支援に必要なからである。

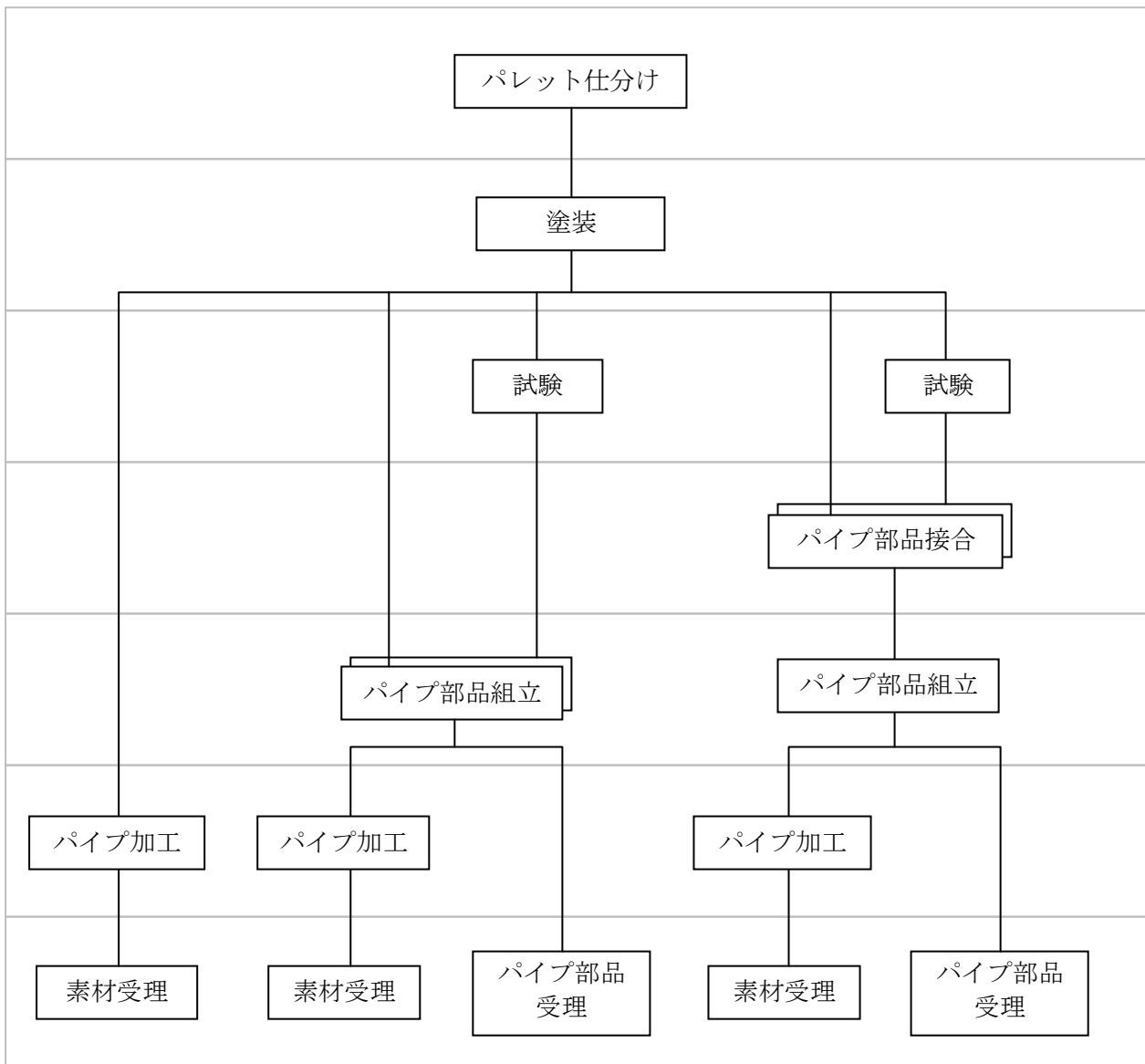


図 1-1 パイプ部品ファミリー製造 (PPFM) での典型的な製造階層

注目すべきはパレット仕分けと塗装が、それぞれ独立した製造階層となっていることである。これは、塗装され、区画艀装を支援する為に必要となる他のパイプ部品とグループ分けされるまで、パイプ部品は完成しないと言う事である。

図 1-2 は、生産中心作業分割（product-oriented work breakdown）で構成された、関連する階層分けを示しているが、この中の製品位相（Product Aspects）が重要である。系統（System）は存在せず、区画（Zone）も実質、パレット仕分けに至るまで明確でない。予定されたパレット出荷日に間に合うようにパイプ部品が製造されている限り、生産ラインと作業フローとは、課題範囲とステージだけで組織化されているのである。言い換えるならば、パイプ工場の運営は、船別・系統別にパイプ部品を分離することで邪魔されないことが、理想的である。

訳注：

「課題範囲（Problem Area、部品・中間製品を構成する要素の内の、ステージが対象とする範囲）とステージだけで組織化された生産ラインと作業フロー」とは、系統と区画に縛られないことで、それだけ単純化されているということである。同じようなパイプ部品なら、それが機関室の物だろうと居住区の物であろうと甲板部の物であろうと、同じように加工・組立ができるということである。もしも場所（区画）や用途（系統）により、ステージに変化をつけなければならなかったら（同じ曲げ作業でも、区画・系統で異なる作業、異なる手法、異なる機器で作業を行わなければならなかったら）、それだけ全体は複雑になる。

システムが単純であれば、それだけ考慮する対象も広げる事が可能となる。つまり旧来の方法では複雑過ぎて全体的なコストにまで考慮を払えなかったが、区画と系統とを取っ払う事でシステムを単純化し、浮いたリソースを全体におけるコストへの考慮、に振り分ける事が可能となる。

人間が把握可能な対象の複雑性には上限がある中で、何を選択し、集中的に問題解決を図るか、ということである。

図 1-1 と図 1-2 は、多種多様なパイプ部品にとって必要となる、以下の事象を実現する為の理論の、実例である。

- ・パイプ部品ファミリー
- ・生産ライン
- ・設備を最大限に活用する作業フロー

| 計画 階層 | 製造 階層 | 製品位相 (Product Aspects) | | | | コード | | | | | |
|----------|----------|------------------------|--------|--|------------|------------|---------|----------------|------------------------|------------------------|----------|
| | | 区画 | | (製造) 課題範囲 | | ステージ (段階) | | 区画 | 範囲 | 段階 | |
| 1 | 7 | パレット | | 甲板 含電気 | 居住区 含電気 | 機関室 含電気 | パレット仕分け | | パレット コード | 工場 番号 | 工場 番号 |
| 2 | 6 | | | 塗装プロセス | | 塗装 | 無し | パレット コード | 工場 番号 | 工場 番号 | |
| | | | | | | 酸洗い | 無し | | | | |
| 3 | 5 | | | 試験プロセス | | 試験 | 無し | 部品 番号 | 塗装 コード | 塗装 コード | |
| 4 | 4 | ? | し 無 | パイプ素材 X線検査有/無 径、長さ 曲げ/直線 | | 仕上げ | | 部品 番号/主管・枝管 | 部品 製造レ レイン 番号 | 部品 製造レ レイン 番号 | |
| | | | | | | 溶接 | | | | | |
| | | | | | | 接合 | | | | | |
| | | | | | | 罫書・切断 | 無し | | | | |
| 5 | 3 | | | パイプ素材 X線検査有/無 主管/枝管 径、長さ 曲げ/直線 | | パイプ部品曲げ | 無し | 部品 番号 | 部品 製造レ レイン 番号 | | |
| | | | | | | 仕上げ | 無し | | | | |
| | | | | | | 溶接 | 無し | | | | |
| | | | | | | 組立 | | | | | |
| | | | | | | パイプ接合 | 無し | | | | |
| 6 | 2 | 切断 | し 無 | パイプ素材/パイプ 主管/枝管 径 | | 機械加工 | 無し | 部品 番号 | 部品 製造レ レイン 番号 | | |
| | | | | | | パイプ曲げ | 無し | | | | |
| | | | | | | 罫書・切断 | | | | | |
| 7 | 1 | 資材 | パイプ | パイプ部品 | | 受領 | | 資材 番号 | 資材 番号 | 無し | |

図 1-2 パイプ部品ファミリー製造の製品位相 (Product Aspect) における典型的な分類

系統 (System) は無く、区画 (Zone) はパレット仕分けされるまで実質的に明確にならない。パイプ工場の組織は、パレット仕分けを除くと、課題範囲 (problem area) とステージのみに基づいて構成されている。典型的な課題範囲の下層分類については、添付資料 A で説明する。

1. 2 設計

図 1-3 にあるように、最新（注：1980 年当時）の造船技術では、設計（原文では **de-sign**、英語の元になったラテン語では、「分離して描く」という意味があり、それを強調する為にハイフンが入っている）は計画の中の 1 つの面（**aspect**、見地）であることが要求されている。設計が進むと共に、計画の要求物は形態を変化させるが、それは以下の目的の為に：

- ・ 1 隻の船を 1 つのシステム（**system**）として表現する為
- ・ 個々の系統（**system**）を並行に取り扱う為
- ・ 系統（**system**）と区画とを関係付ける為
- ・ 区画、製造課題、ステージにより分類された組立作業の、比較的小さな差分として
詳細設計（ここでは作業指示図）を構成する為
- ・ 設計の後半部分（**the latter**）を、事前に要求されている製造作業の作業指示へと
分割する為

1. 2. 1 機能設計

機能設計は、製造作業を計画する最初の段階であるといえる。パイプ部品製造における幾つかの重要要素が、この段階で決定されている：

- ・ パイプ径
- ・ 素材（**material**）
- ・ 使用圧力（**service pressure**）
- ・ 系統（**system**）による要求試験
- ・ 表面処理

機能設計者は、標準を可能な限り使用する事で、それぞれの系統図（**system diagramatic**）で必要となる資材（**material**）を全て定義する。この定義された資材は、比較的連続した大きな区画によってまとめられているが、これはブロック搭載を考慮したものである。このような統合された情報の形式は、**MLS**（**Material List by System**、船の系統別の資材表、更に調達区画毎に分類されている）と呼ばれている。

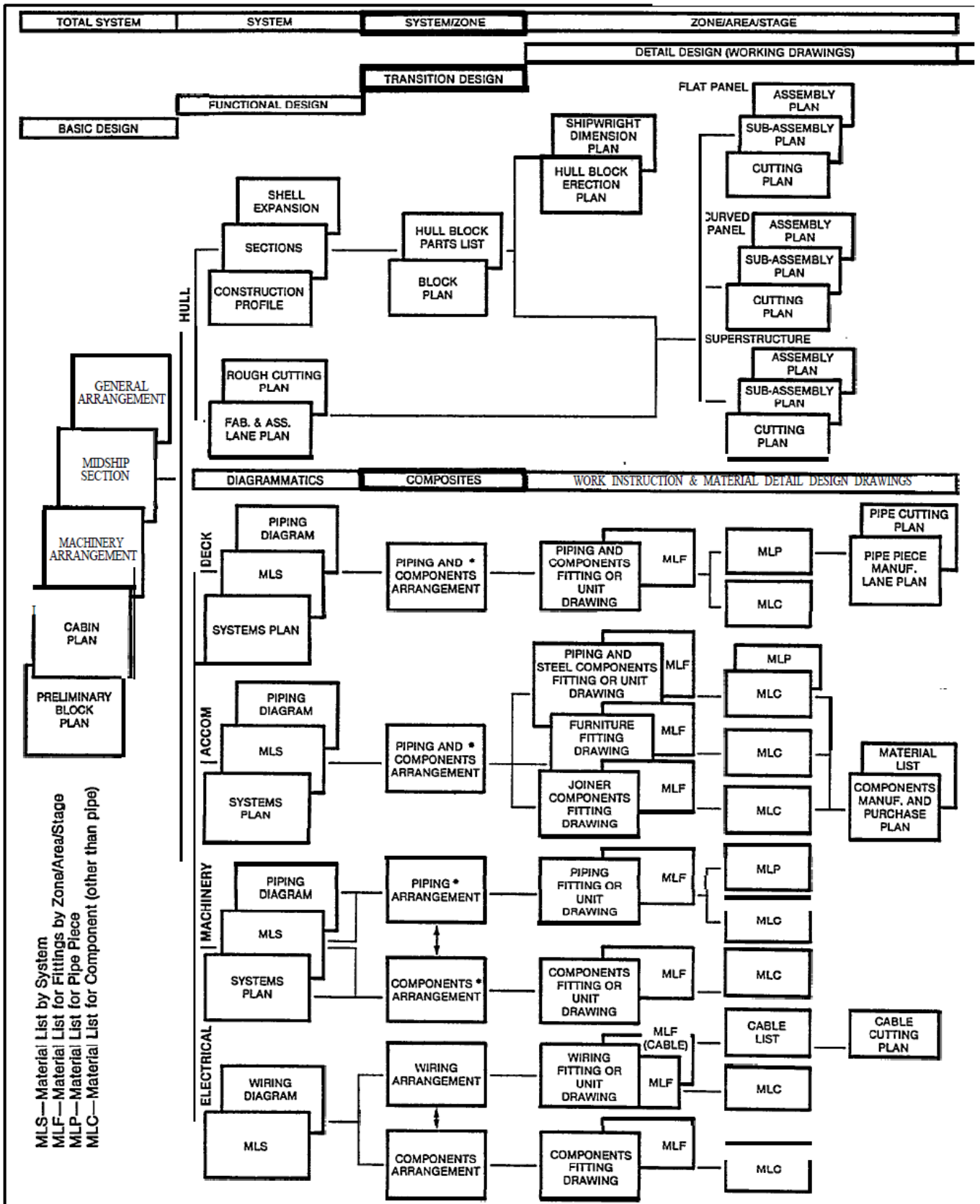


図 1-3 製品中心設計プロセス。転換設計 (transition design) により区画が作成され、系統と関係付けられる (太枠部)。*のあるものは、詳細設計担当者との間で配置図 (arrangement) と系統/区画間の関係を素早く変換する為の要素である。作業指示図と材料詳細設計図が作成されるに従い、設計後半では、配置図と合体ステージ指示 (? incorporate stage designation) が (フィードバックにより) 洗練されてゆく。

MLS は、どういう資材が要求されているか、そしてそれらがだまかにいつ、どこで必要になるかを示している。部分的に見積りが必要となるものの、詳細設計が開始される前に MLS を基にして資材注文の早期開始を行うことも可能である。複雑な資材調達の早期解決は、生産的な PPFM の基本である。

1. 2. 2 転換設計 (transition design)

転換設計は、系統 (system) 中心から区画 (Zone) 中心への変換を行う。図 1-4 図のように、系統図は機器配置図の上に直接、多くはフリーハンドで素早く書き込まれていく。この系統図は、以下のような面での検証の為の分析ツールとして機能している：

- ・ 機器操作が安全に、効率的に実行可能か
- ・ 配管と船殻構造との位置関係
- ・ 直線パイプ使用の最大化
- ・ 組立を容易にするための、平行パイプのグループ化
- ・ ユニット艙装、ブロック艙装、搭載後艙装での配管の取扱い
- ・ 全ての系統 (system) が含まれているか

転換分析には、最も経験豊富な設計者が必要とされるが、これは転換設計が艙装コストを決定することになり、更には船の生涯における維持管理コストにも大きな影響を与えるからである。転換分析の作業中、事前に準備された配置区画 (arrangement zones[2]) の中で、可能な限り、平行で直線のパイプが多くなるように取りまとめて行く。設計者が直線で平行なパイプ経路 (pipe-run) を確保する事が、パイプ部品の製造と艙装ユニットの組立の、両方の生産性に非常に大きな影響を与えるのである。(図 1-5)

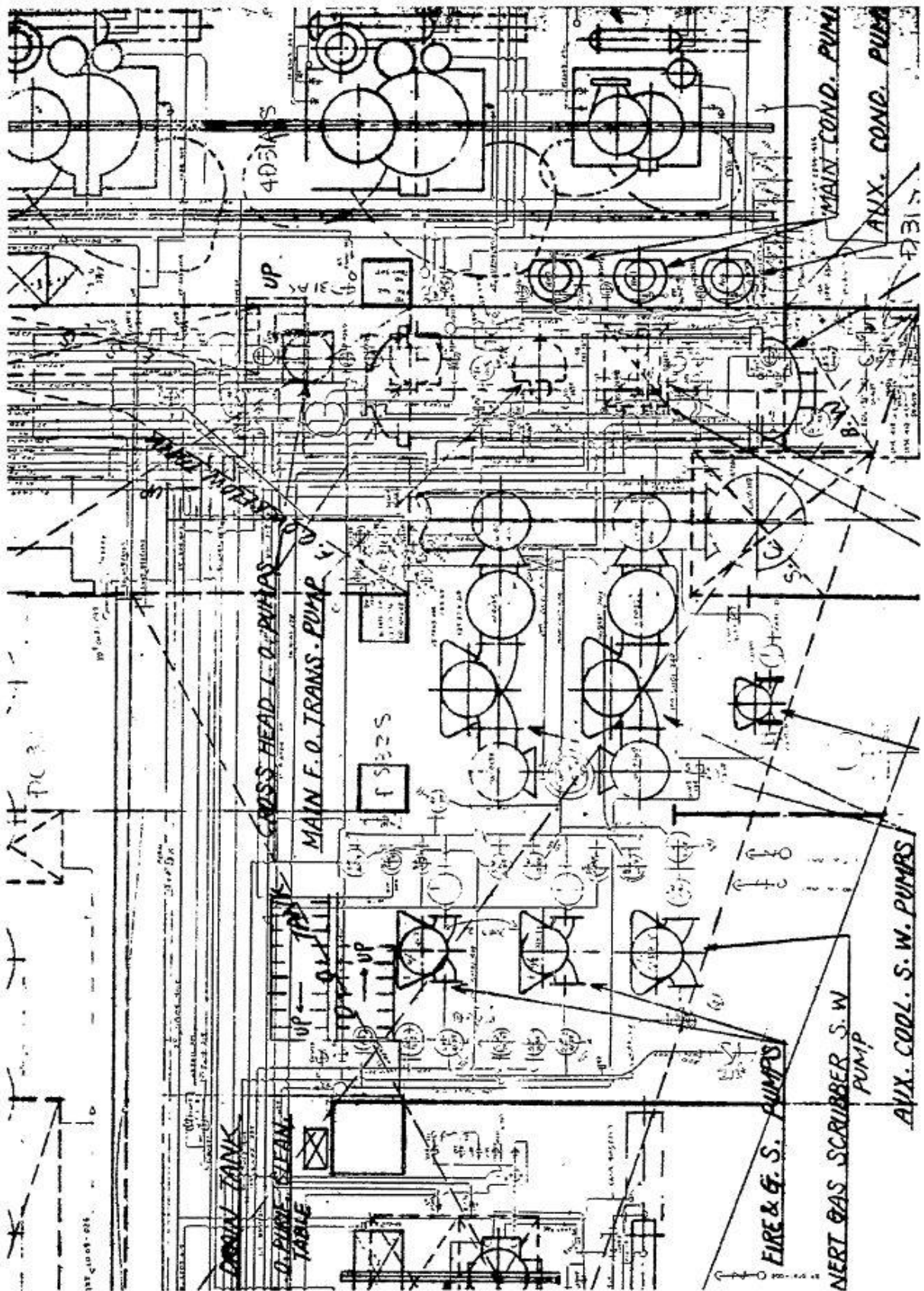


図 1-4 艙装の転換設計

系統と区画とを素早く関係付ける為に、機器配置 (machinery-space arrangement) の専門家が、系統図の配置 (arrange) も一緒に行っている。バルブ等の取付品 (fitting) も含めて配置された系統 (distributive system) の相対的位置は、設計モジュールと、区画/課題範囲/ステージによって分類された、事前準備済みの作業パッケージのファイルを焼き直して作られることが多い

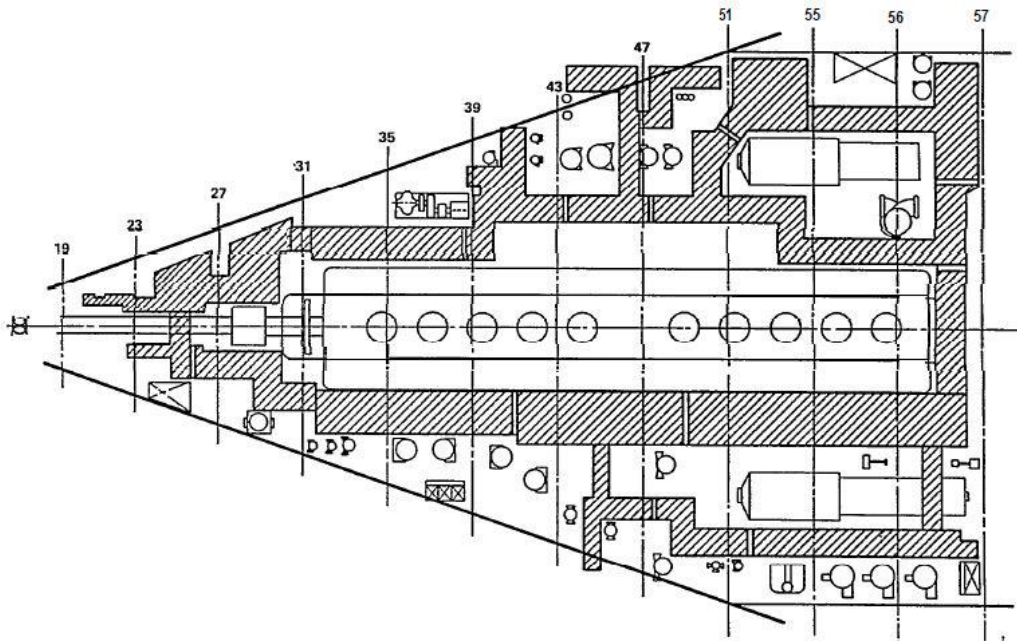


図 1-5 前もって準備された配置区画 (Arrangement Zone) は、転換設計で平行な直線パイプのグループ化と曲げの標準化を可能な限り適用する為に便利である。パイプは急激な曲げ (boil curvature) には追従できない。

[2] Arrangement Zone については、論文「艤装計画」(1979年12月)を参照のこと。

転換設計者は、一般に以下の事を目標として作業を行う：

- ・ 右舷・左舷に均等にパイプ通路を配分する
- ・ 全ての階層 (高さ) に均等にパイプ通路を配分する
- ・ 圧力低下と資材コストを最低にする為に、パイプの総延長を最小にする
- ・ 機器の操作を行う側にバルブ類を配置する
- ・ パイプ分岐は、機器側が主管になるように (branches on machinery sides of mains)
- ・ 主機と補機の周りの通路の下に、直線のパイプ通路を引く
- ・ 直線パイプ通路は、45度と90度の曲りのみで構成する
- ・ 15 mm以上の口径のパイプの全ての系統図の、配置を事前に行う

通常、転換設計で作成されるのは、平面図のみである。垂直方向についての図面は、複雑な配置が行われている場所に限定されている。転換設計による成果物は、多人数へ作業指示設計 (詳細設計) を配分する際の管理を、容易にしてくれる。

1. 2. 3 作業指示設計 (work-instruction design)

作業指示設計では、まず図 1-6 のような構成図 (composite) を作成する。この構成図では、パイプ部品の実際の形状と、パイプ同士と他の取付物との位置関係といった、詳細描写を取りまとめている。詳細な構成物設計を行う他の手段としては：

- ・縮尺模型
- ・コンピューターグラフィック (1980 年頃の記述)

がある。

同一の構成物の設計に、前述の内の 2 つ以上の手法を同時に用いるよう、多くは船主により、時としては造船所自らにより強制されることがあるが、これは一般的に非効率である。これに更に不必要な系統配置図 (system-arrangement drawings) が追加要求されることもある。その結果、設計工数が無駄に消費され、時間的に厳しい詳細設計作業が一層妨害されることになる。図面に加えて縮尺模型も作成するといった、同一の構成物へ 2 つの手法を同時使用する試みは、特に作業進捗を妨げることになる。

どのような種類の詳細構成図であっても、造船所で要求されるのは以下の目的のみである：

- ・資材定義
- ・組立作業指示で用いる為の、取付物の互いの位置関係
- ・製造作業指示図 (fabrication work instructions、一品図) の作成に十分な詳細

構成図と縮尺模型の両方の用途で、直ぐに利用可能なデジタル化手法が存在する事から、コンピューターを構成物設計に利用することが可能である (注：1980 年頃の話)。コンピューターは、既に資材表も含めたパイプ部品製造指示図の作成に、幾つかの形式で使用されている：

- ・オルソ投影図 (正射投影、orthographic) (図 1-7)
- ・等角投影図 (isometric)
- ・シンボル表記 (図 1-8)

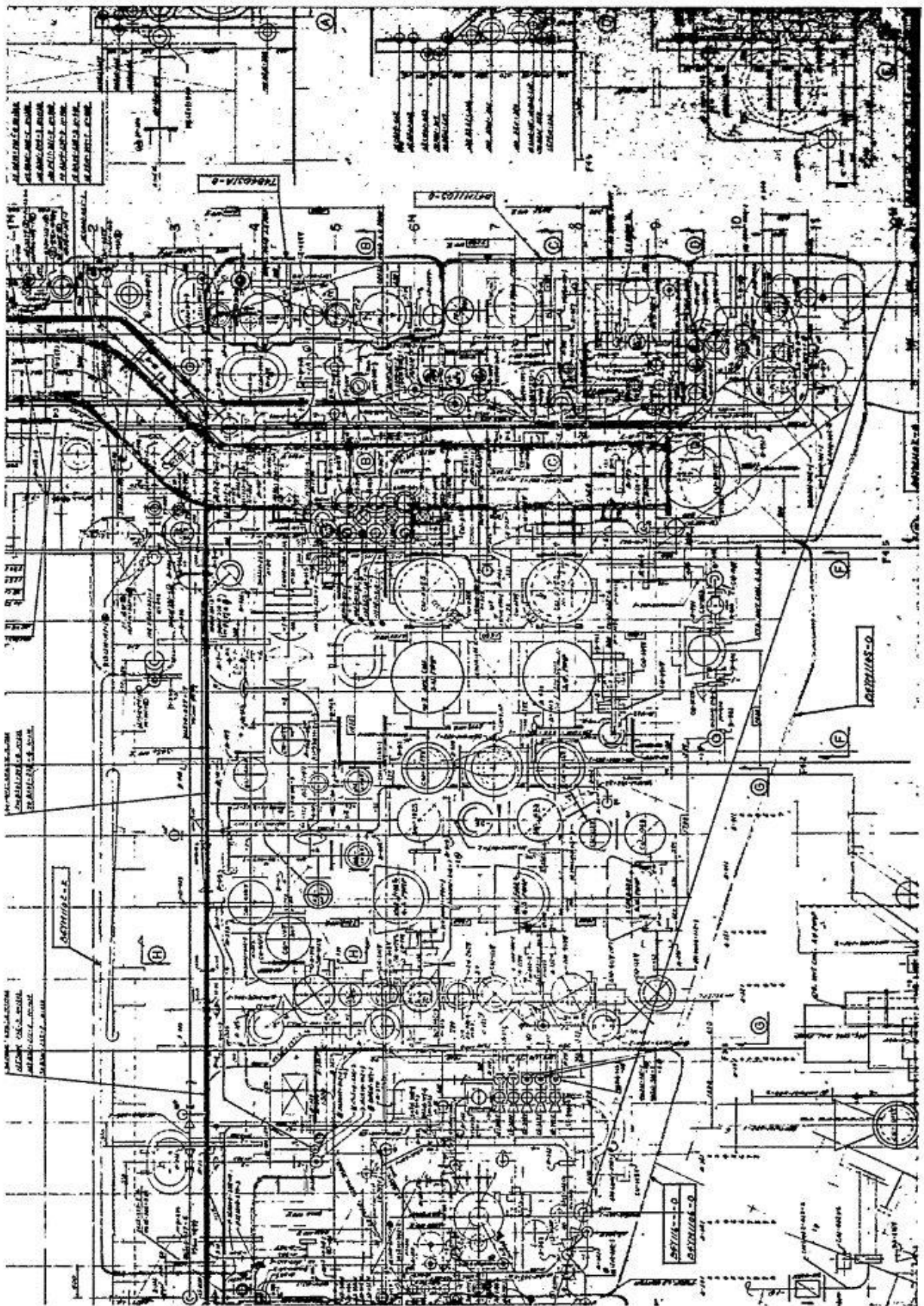


図 1-6 詳細取付配置図 (Detail Fitting Arrangement)

この構成図には、区画境界が記入されている。区画／課題範囲／ステージの区分は、B4YM1105-0のような作業パッケージ番号としてコード化されている。一般に、パイプ部品を単線で表現した平面図で十分である。高さ方向や二重線表記は複雑な範囲のみに限られている。パイプ製造詳細（一品図）の作成に手間がかかる前に、既にパイプ部品はファミリー別に定義され、構成物の作業パッケージと関連付けられている。

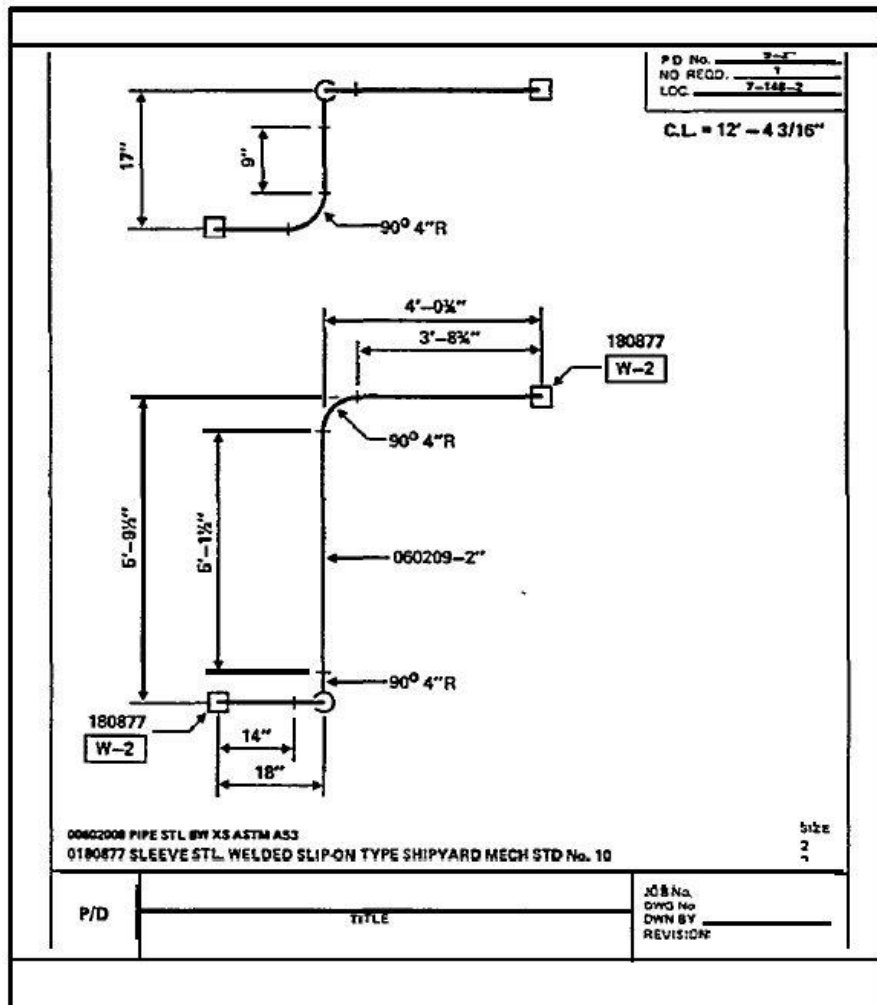


図 1-7 オルソ投影図のパイプ部品製造作業指示図（一品図）

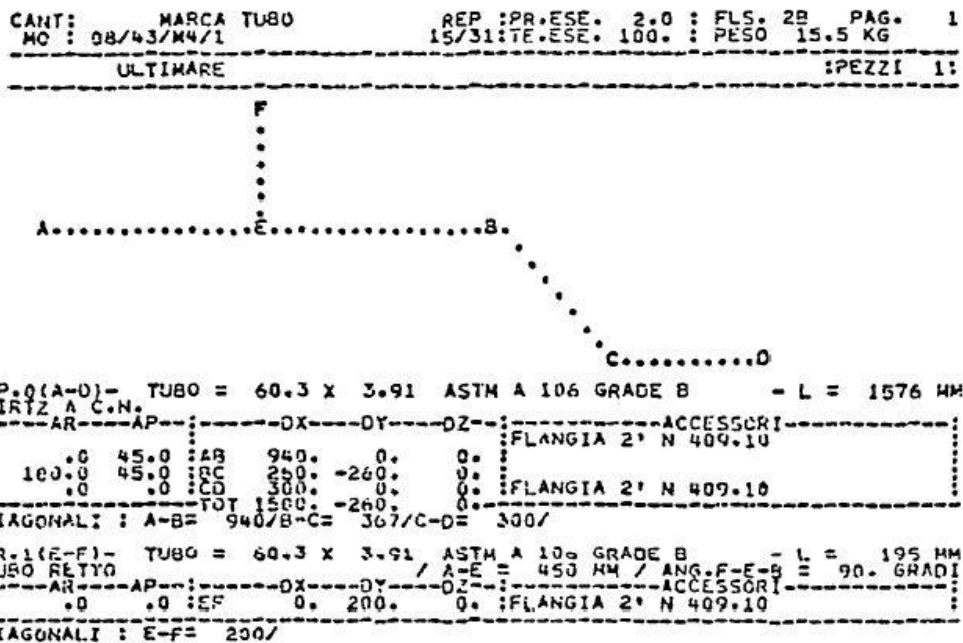


図 1-8 シンボル表記のパイプ部品製造作業指示図（一品図）

現在（1980年当時）広く受け入れられている、シンボル表記によるパイプ部品の詳細図が好まれる理由は、デジタル化され、パイプファミリーの識別番号や、組立作業パッケージ番号、資材表といった、最新の関連する生産管理データと共に作図されるからである。加工開始日とパレット日を併記することで、各パイプ部品に関する全ての必要な計画・日程データを1枚の印刷物上に表記する事が可能となるのである。そして全ての必要な情報が1枚のドキュメントに有る方が、改訂も明らかに容易である。

作業指示図内の図形をより少なく、数値をより多くすれば、作図精度の必要性を最小限まで低くできる。いくらコンピューターを使用しても、正確な図形を作図するには大きなコストがかかる。数値情報だけの場合は主要な点だけが正確であれば良いが、図形情報の場合にはスケッチ全てが正確でなければならない。

デジタル式表記法（訳注：ここではテキスト文字での表示）は、コンピューターによる処理を行うには、より効率的でより自然であるが、幾つかの造船所においては、CADツールにより従来のようなパイプ部品スケッチとその部品の資材表を作図を試行しており、また別の造船所では、コンピューターによるスケッチの作図と、独立した資材管理プログラムに時間を費やしている。しかしそれは本質的に作業の二重化であり、人的ミスの確率が明らかに増大する（訳注：同一のデータが二重化すると、入力機会が2倍になり、それによる入力ミスの確率が2倍になり、更には2か所でのデータのチェックという新たな作業も必要となる）。コンピューターによるパイプ部品のスケッチを正当化するには、以下のような中間的な手法に留めておかなければならない：

- ・デジタル式表記（テキスト文字での表示）が読めるよう、作業者を訓練する
- ・数値管理製造手法の採用

中間的手法に留めて置けない場合、より正確で、より早い、古風な表記を作図するためにコンピューターを使用することになるが、これは矛盾している。

自動化か手動かは別として、設計者は、それぞれのパイプ部品の作業指示図に適した以下のようなデータを作成しなければならない：

- ・素材パイプの長さ
- ・フランジ、エルボ、T字管等のパイプ以外の素材
- ・曲げ部の角度と寸法
- ・ベンダーの掴み代やフランジ取付のマージン量

- ・ 主管と枝管の角度
- ・ フランジの位置と方向 (orientation)
- ・ 枝形状
- ・ 枝位置
- ・ MLP を完成させるための資材数
- ・ 仕上げ要求
- ・ ファミリー識別番号
- ・ 溶接前の処理
- ・ 溶接仕様
- ・ パレット識別番号
- ・ パイプ部品識別番号
- ・ 特別作業指示 (loose fitting a flange 等)
- ・ フランジ板厚
- ・ フランジ表面から分岐中心までの距離、等

図 1-9 は、固有のパイプ部品における以上のようなデータを、コード化したものである。

多くのパイプ部品図面は新船毎に作成しなければならない。設計プロセスは明確に決められたステップに従って行われ、その幾つかでは多くの計算を必要とし、また他の幾つかでは基本設計データへの参照を繰り返さなければならない。その為 CAD ツールの利用は、適時性 (timeliness) や精度、生産性を改善する。CAD ツールの典型的な利用場面は、以下の通りである：

- ・ 入力データのエラーチェック
- ・ 標準を用いた、データ入力手法の改善
- ・ 資材量の計算
- ・ 製造情報の作成
- ・ 見積や計画、日程作成、試験、評価等に使用するデータの作成
 - パイプ部品毎の溶接種類・溶接長、塗装面積、加工に必要な工数、重量
 - ユニット重量当たりの工数、等

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------|------------------------|---|------------------|----------|---------------|----------------|-------------------------|-------------------------|------------|------|-----------|---|---------|----|
| E066 | | 1 | 2 | SNO. | | 3 | 12 | 4 | 5 | 6 | 13 | 7 | 8 | 14 | 9 |
| *G-B | | 1/21 | | | | 995 | | AB | G | Work Stage | | 541 | | SL223-2 | 4B |
| Machinery | 541 | 10 | 11 | Joints | F10K-20 | S | (S) | F | C | L | H | | | | |
| | SL223-2 | | | | S1-150 | S | | A | (2186) | B | 742 | | | | |
| Pipe Material | SGP | Pipe Length | | | 1 | 103 | 2 | 742 | 3 | 2289 | 4 | | | | |
| | | Bender: Grasp Position | | | 55 | + 19 | 704 | | 2331 | | | | | | |
| | | Elbow: Cutting | | | | | | | | | | | | | |
| Nominal Diameter | 20 A | Torsion & Twisting | | 6 | | 0 | | 0 | | | | | | | |
| Thickness | 2.8 | Bending Angle θ | | 90 | | 90 | | | | | | | | | |
| Reference Length | 15 | Branch Boss | | Nominal Diameter | | Branch Length | | Joint | | Position | | Direction | | | |
| Cutting Length | 16 | 87 | 81 | T | 15A | X | 100 | F10K 15 | L3-1235 | | 90** | | | | |
| R Dimension | BN80 | 17 | 18 | 19 | | | | | 20 | | 21 | | | | |
| Parts Quantity Table | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bands | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total Weight (Kg) | X-Ray Inspection | Annealing | Hydraulic Pressure (Kg/m ²) | Zinc Galvanizing | Pickling | Lining | Heat Retaining | Heat Resistive Painting | Anti-Corrosive Painting | | | | | | |

M: Manufacturing Code

- (1) Manufacturing Code
- * A-A: General pipes, straight pipes, elbows
 - * G-A: Galvanized pipes, straight pipes, elbows
 - * G-B: Galvanized pipes, pipes bent with bender
 - * S-A: Pickling, straight pipes, elbows
 - * S-B: Pickling, pipes bent with bender
 - * H-P: Hydraulic pressure pipes
 - * @@: Model pipes
 - * YA: Pipes bent by heating
- (2) Date
- (3) Ship No.
- (4) Ship Class
- (5) Code for heat insulation
- (6) Code for fitting stage or unit code
- (10)(7) Zone code
- (11)(8) Pipe code
- (9) Pipe shape code
- 1: Straight
 - 2: 1 bend
 - 3: Zigzag bend
 - 4: 2 bends
 - 5: 2 bends (solid height)
 - 6: 3 bends
 - 7: 4 bends
 - B: With branch or boss
- (12) Check marks for joints
- @@: Model pipe
 - ** : With 50-mm margin loose pipe
 - + : With 50-mm margin loose pipe (Galvanized after joining)
 - = : No-margin loose pipe
 - :: : No-margin loose pipe (Galvanized after joining)
 - S: Check mark
- (13) Flange thickness
- (14) Distance between flange faces and/or solid height
- (15) Indicator for reducer, elbow, model or loose pipes
- (16) Margin for grip by bending machine and flange fitting
- (17) Fitting angle between main and branch pipes
- (18) Branch code
- (19) Branch shape code
- W: Boss
 - B: Special branch pipe
 - Y: Y-branch pipe
 - T: 90° T-branch pipe
- (20) Branch pipe fitting position
- L₃: Branch pipe fitted on 3rd leg
 - No.: Distance from pipe end to branch fitting position
- (21) Mounting angle relative to around main pipe
- (22) Bending dimensions
- ST: Straight pipes
 - BN 80: Bending radius
 - SE 127: Elbow radius
 - YA: Pipes bent by heating

図 1-9 パイプ部品の加工の為のコードデータ

このコンピューターで作成される精巧な形式は、配分工数や加工開始日、パレット日等の関係する生産管理データを含める事で、より効率的なものとなる。

設計者がパイプ部品をどのように設計し、分類するかということが、加工と組立プロセスの両方に大きな影響を与えている。パイプ部品を曲げなければならない時、加工後の曲げ作業を行うようにすべきである（フランジを取付後に曲げを行う等）。このような設計は図 1-10 に示すように、その殆どの加工サイクルを直管として取り扱う事が可能となり、有益だからである。設計者にとっての適切な目標は、全体のパイプ部品の 40%を直管もしくは加工後に曲げを行うパイプとして定義することである。

作業指示図の作成者の典型的な目標は以下の通りである：

- ・ユニット艀装とブロック艀装の場合、パイプ部品の長さを 5.5m 以内とする
(クレーンが常に利用可能であるため)
- ・搭載後艀装の場合、パイプ部品の長さを 3m 以内とするか、もしくは組立作業者が安全に取り回し可能な寸法内とする。
- ・平行なパイプ経路と通路に共通のサポートを用いる
- ・隔壁とデッキを貫通するパイプはまとめる
- ・隔壁とデッキの貫通金物、枝の位置と長さ等には、標準の寸法を用いる

| | 罫書と切断 | 取付と溶接 | 曲げ | 組立 |
|-----------------|-------|-------|----|----|
| 従来の加工前に曲げを行う手法 | | | | |
| 先進的な加工後に曲げを行う手法 | | | | |

図 1-10 手動・自動に関係なく、可能な限りパイプ部品を直線の状態に維持する事で、加工作業と作業定盤間の輸送とが容易になる。

1. 2. 4 作業指示設計中の材料定義

作業指示図の作成中に詳細設計者によって実行されている計画という機能は、効率的な PPFM を実現する為に重要である。ここで実施されている計画は、パイプ工場の全ての資材管理・生産管理の基礎となる。詳細設計者によってもたらされている計画の本質には以下のものがある：

- ・ 区画／課題範囲／ステージ毎に分類された艤装組立作業の作業パッケージである、パレットの指定
- ・ パイプ部品の、各パレットへの分類
(≒パイプ部品のパイプ部品ファミリーへの登録、図 1-11 参照)

| PPFM NO. | パイプ部品ファミリー | スケッチ |
|----------|-------------------------------|------|
| 01 | 直管 $\leq 50\text{mm}$ | |
| 04 | 直管 65~200mm | |
| 07 | 直管 $\geq 250\text{mm}$ | |
| 11 | 加工後に曲げ $\leq 50\text{mm}$ | |
| 14 | 加工後に曲げ 65~200mm | |
| 21 | レントゲン検査 | |
| 24 | 水圧試験 $\geq 40\text{ kg/cm}^2$ | |
| 27 | 水圧試験 $< 40\text{ kg/cm}^2$ | |
| 31 | プラスチック | |
| 34 | 熱曲げ | |
| 41 | 加工前に曲げ $\leq 50\text{mm}$ | |
| 44 | 加工前に曲げ 65~200mm | |
| 51 | 組立 $\leq 50\text{mm}$ | |
| 54 | 組立 65~200mm | |
| 57 | 組立 $\geq 250\text{mm}$ | |

図 1-11 典型的なパイプ部品ファミリー

直管の相対数を最大にすることで、高い生産性を生み出す。曲げを行う場合、加工後の冷間曲げの工数は、曲げ後に加工を行う工数の 3 分の 1 になる。パイプ工場の生産性は、設計者の持つ製造手法と製造コストの知識に依存している。上の表以外のパイプ部品ファミリーについては、添付資料 A を参照のこと。

このマトリクス（matrix、数学の行列的な部品の取扱い）を行うには、以下の条件を満たさなければならない（図 1-12 を参照）：

- ・ 詳細設計を区画毎に行う
- ・ パイプ部品ファミリー（課題範囲とステージ）毎に加工を行う
- ・ 多様なファミリーのパイプ部品を艀装区画（パレット仕分け区画）毎にグループ分けを行う

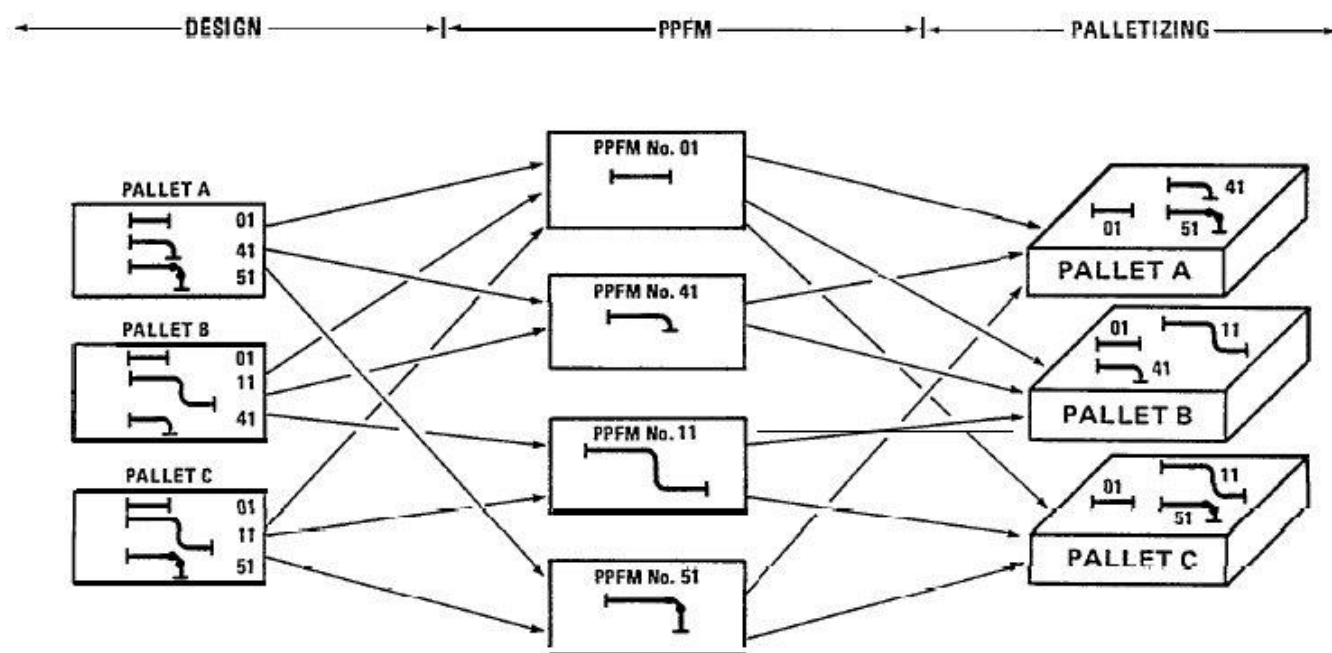


図 1-12 PPFM は資材管理に依存している。そして資材管理は設計者による素材定義に依存している。早い段階から必要なパイプ部品をファミリー別に識別し、個々の加工・組立作業の組み合わせに沿ったパレット仕分けを行う。

設計者によって作成される、2つ以上の性質を持つ情報により、パイプ工場的能力に対する艤装組立からの要求量の大きさに関しての、素早く、詳細な、精度の高い予測が可能となる。それに劣らず重要な事として、同じ情報は構造化された資材帳票の基礎にもなっている。これにより、ある特定の艤装組立作業パッケージの為に各種のパイプ部品資材表（material lists for pipe pieces、MLP、1つのパイプ部品を作成する為に必要な資材表）と、その作業パッケージに必要な取付資材表（material lists for fittings、MLF、ある作業パッケージで取り付けられる部品類の一覧表）とが、結び付けられるのである。図 1-13 と 1-14 で示されているように、グループテクノロジーは作業フローを標準化する為に、比較的少ない作業パッケージを目指す必要があることから、資材管理を通じた生産管理が最も重要となるのである。

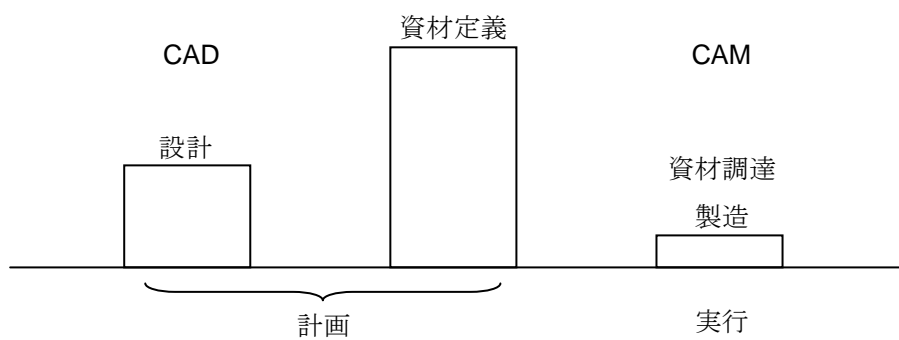


図 1-13 従来の CAD/CAM という概念では、資材定義の重要性を認識していなかった。上図のように、構造化された資材表の作成と維持管理へのコンピューターの必要性は、設計でのその2倍以上、資材調達・製造の合計の4倍以上になっている。先進的な造船所では、資材定義を、コンピューター導入の最重要課題であると認識している。

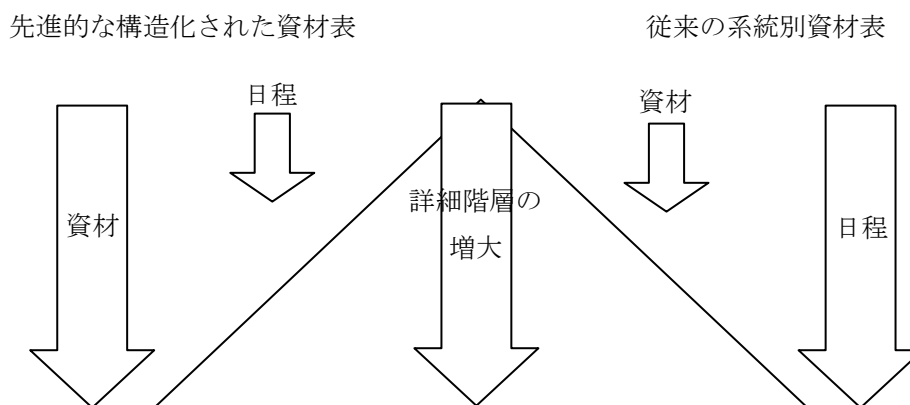


図 1-14 先進的な造船所では、構造化された資材表の素早い組織化と維持管理を行う事を目的として、資材定義にコンピューターを導入している。単位作業（work increments）であるところの収集された資材を管理している為、日程は単純化されている。また下層日程の担当者にも大きな責任と権限とが与えられている。先進的な造船所は、管理が単純化されたことで、従来の造船所での手動で行われている日程管理よりも、より柔軟に対応可能である。

図 1-15 は、系統図と構成図、パイプ部品図（?一品図）とそれぞれの資材表の関係を示したものである。図 1-16 は、パイプ部品の計算プログラムのデータフローを図示したものである。図 1-16 はパイプ部品の計算プログラムにおけるデータフローを図示したものである。この図はまた、標準ファイルがどのようにして資材仕様の繰り返し定義作業や、それに近い面倒な入力作業を少なくしているかについても示している。必要な入力は 1 回のみで、後は系統別に 1 つずつの標準ファイルを準備するだけである。

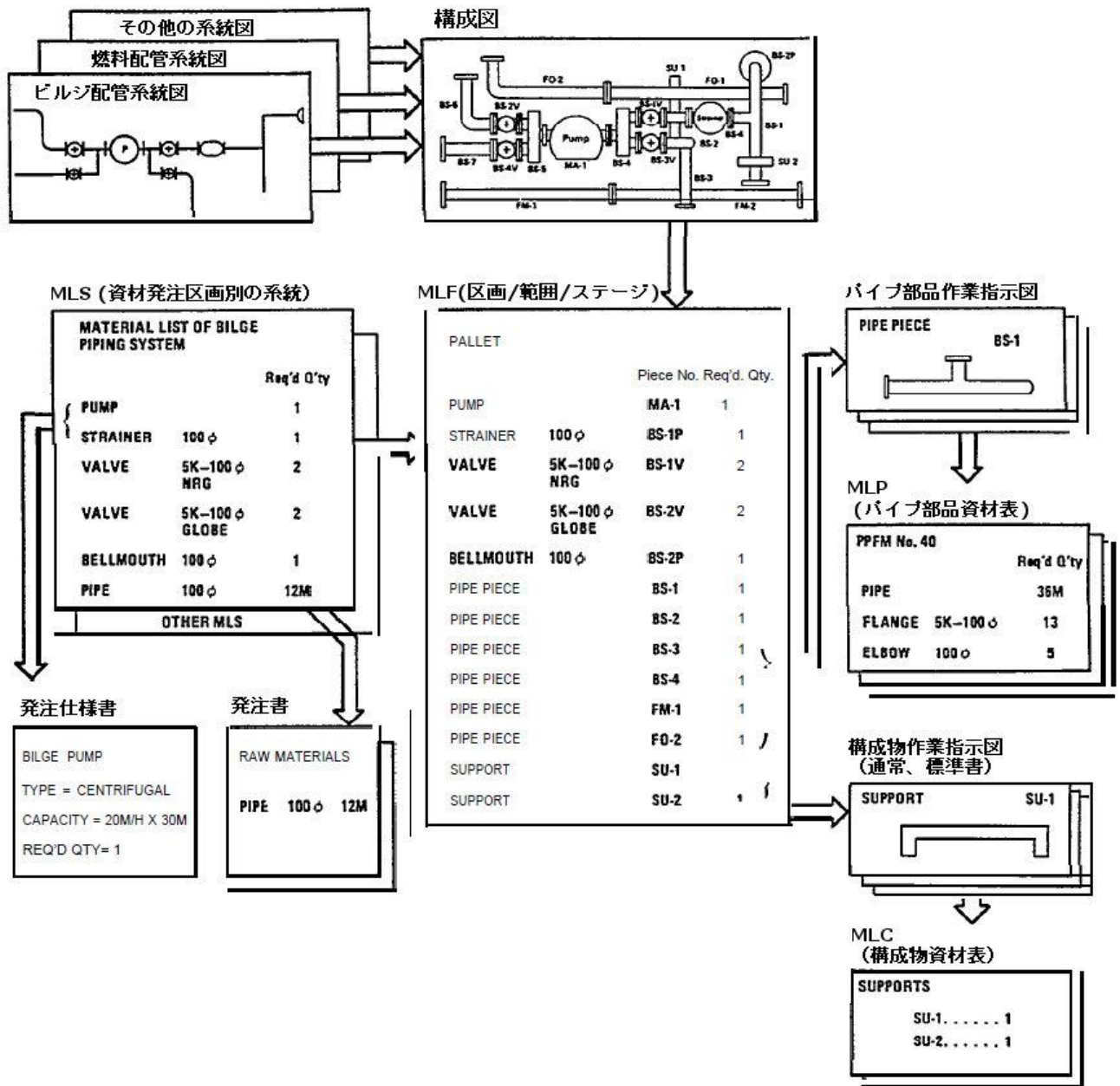


図 1-15 系統図、構成図、加工作業指示図と、それぞれの資材表の間の関係図

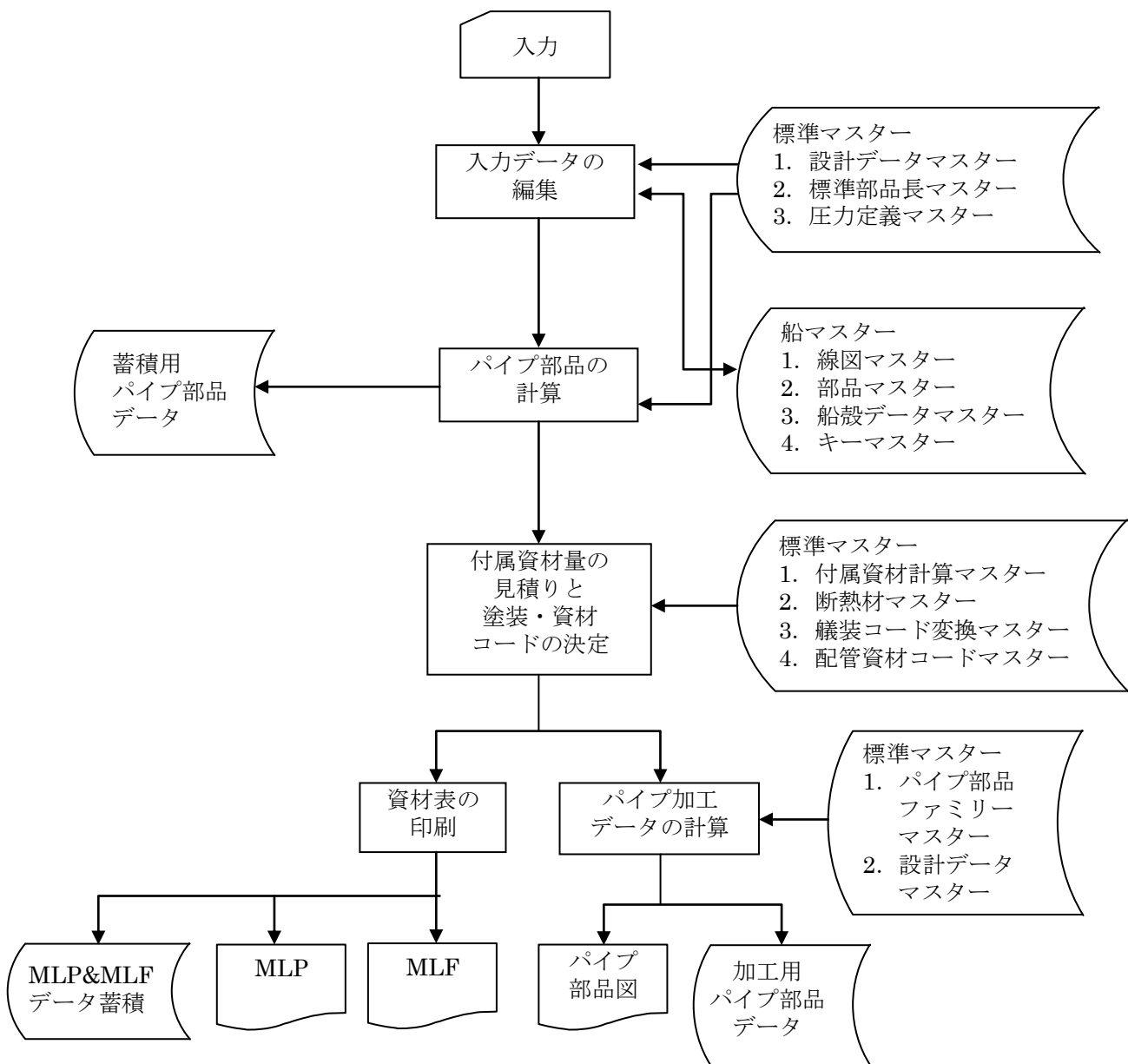


図 1-16 典型的なパイプ部品計算プログラムの基本的な流れ

ファイルシステム上にまとめられた標準データを利用する事で、各パイプ部品のデータ入力の労力を最小限にしている。パイプ部品の端部と曲げ交点？（bend intersections）の座標は、構成図の作成に使用される手段（直接入力モード、2DCAD 図面、3D デジタルモデル等）無しで、自動的に入力される。

ファミリーID もまた、パイプ工場の生産性に対する設計者の寄与を示す指標になっている。設計者のパイプ工場の生産性に対する寄与を測るファミリーID 以外の指標として、良く使われるものには以下の物がある：

- ・ スケッチからカスタム製作しなければならなかったり、
モックアップが必要となるパイプ部品の数
- ・ 部品毎の平均長さ

生産性が向上するに従って、カスタム部品数は少なくなり、平均長さは大きくなる。例えば、20,000DWT の船における典型的な機関室では約 3,500 個のパイプ部品が存在するが、カスタム部品の割合は 11%未満であり、また平均長さは 1.85m よりも長くなっている。

先進的な造船所における 60,000DWT のタンカーにおけるファミリー毎のパイプ部品数を添付資料 A に挙げておく。設計者が利用している決定論理表とファミリーID のフォーマットについても、添付資料 A 内に含まれている。

補足（1. 2. 4 作業指示設計中の材料定義）

今一つ分かり難いが、まとめるとしたら以下のようなになるのか。

- ・ パイプ部品製造作業の目的地をパレットとする
パレット＝パイプ部品製造の納期、艀装組立作業日程との節点
後工程との節点を明確にすることで、日程管理を容易にする
- ・ パイプ部品ファミリー毎に加工を行う
加工方法が標準化されているので、形状→資材→仕事量への変換が容易。
日程もファミリー単位で組まれている（通常 1 週間で 1 サイクル）
工場のリソースの割当ても効率的に可能
- ・ 構造化された情報（図面と帳票のリンク、標準化の徹底）
情報の冗長性を下げ、データの入力と維持管理を容易に
コンピュータを利用する事で、データ入力・計算の簡易化、高速化

1. 2. 5 資材管理

見積り、調達、在庫管理を単純化する為に、パイプ部品の製造に必要な資材は、単位価格、使用頻度、使用数、その他決定要素により分けられている。統合された人材・日程・資材管理と一致するように、生産管理担当者は資材区分とその最適な使用法を改良している。別途、詳細設計者により実行される計画作業で、これに従った区分が行われる。図 1-17 で示された他の中間製品の資材と同じように、パイプ部品の資材もまた割当 (A、Allocated)、貯品 (S、Stock)、割当貯品 (AS、Allocated Stock) の 3 つに区分けされている。

A (割当) は、少量のみ必要な比較的に高価な銅合金パイプ等の、特別な条件のものである。調達は船毎に行われ、この資材を余分に取り貯めておく (ストック) ことはしない。

S (貯品) は、小品やスリップオンフランジ、安価な溶接棒等の、殆どの船で共通に使用されている資材である。こうした資材は、消費に合わせ、経済的な数量でまとめて調達される (high-low inventory、消費に合わせた倉庫管理?)。

AS (割当貯品) は、A もしくは S の資材で、過去に問題が起きた為に特別な管理が必要となったものである。どのような状況下でも問題は発生し得るものではあるが、通常は過不足に関連するものである。AS として定義される資材は造船所によって様々である。例えば、ある造船所の AS には鋼管、前もって製造される取付品 (エルボ、ティー、レデューサ)、バルブオペレータが含まれている。

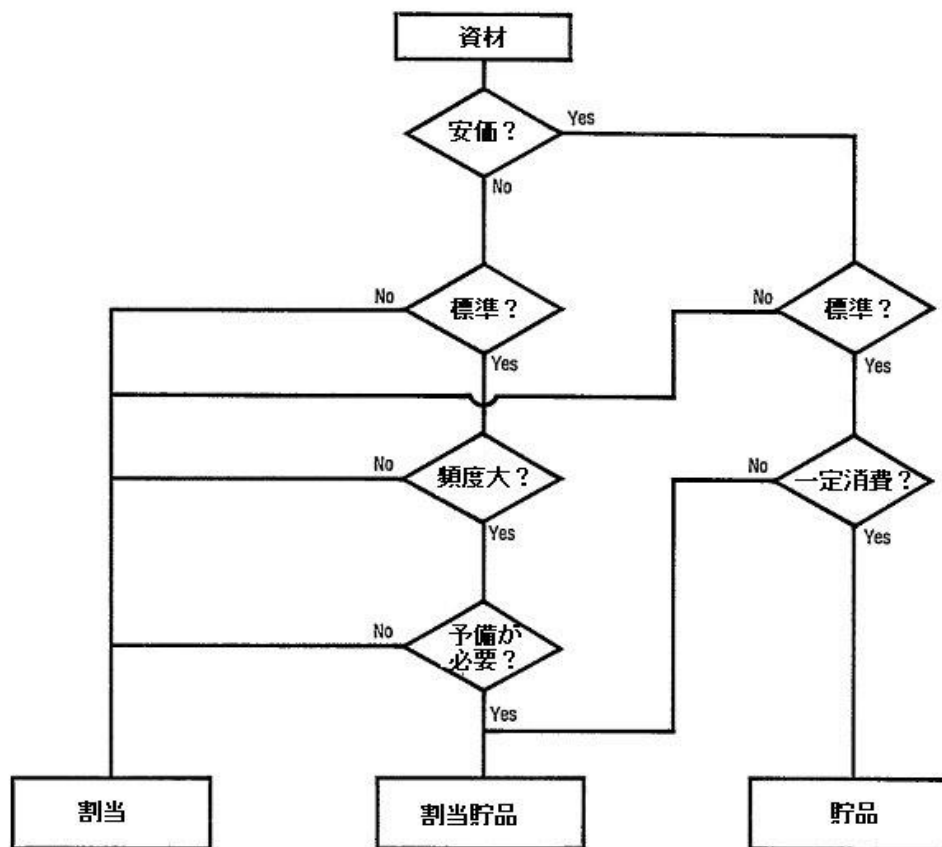
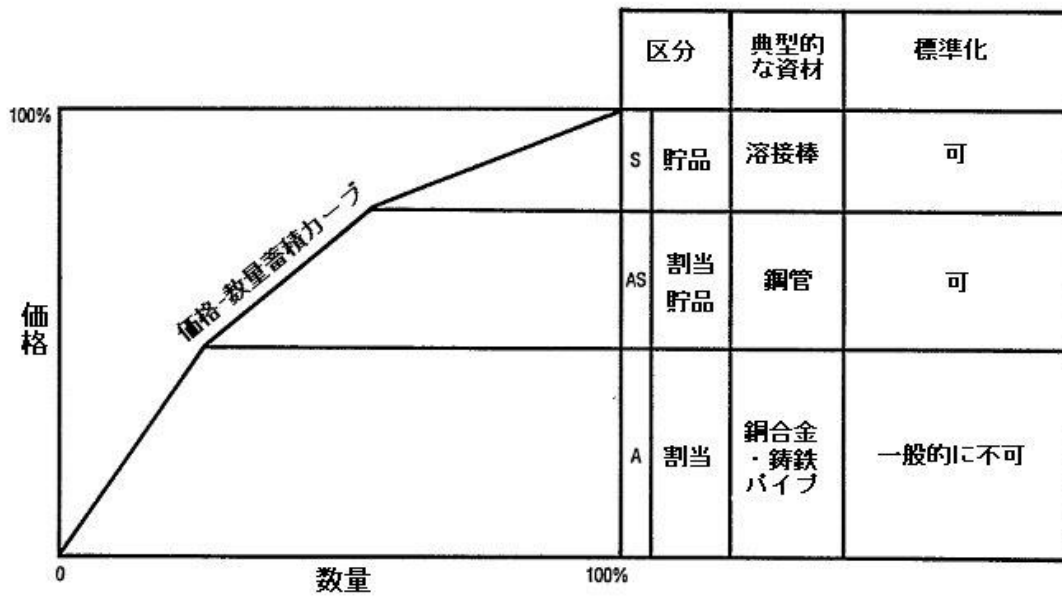


図 1-17 資材管理区分

従来の区分である A と S に加えて 3 つ目の AS が加えられているのは、過去に何らかの状況でトラブルが発生した資材を考慮している為である。

1. 3 能力計画と日程 (Capacity Planning and Scheduling)

図 1-18 は、全ての加工・組立作業に関する日程の階層的な環境を図示したものである。本質的に異なった作業である、船殻、艀装、塗装を統合している為、日程を以下のようにしなければならない：

- ・決められた回数、単位作業 (work increments) を命令するという管理メカニズム
- ・各階層の日程が、より下層の、より詳細な日程を拘束するという仕組み

日程は、以下の物を基礎としている：

- ・造船所の通常的能力における工数消費、生産進捗、生産性指標
- ・通常、利用可能な下請け会社

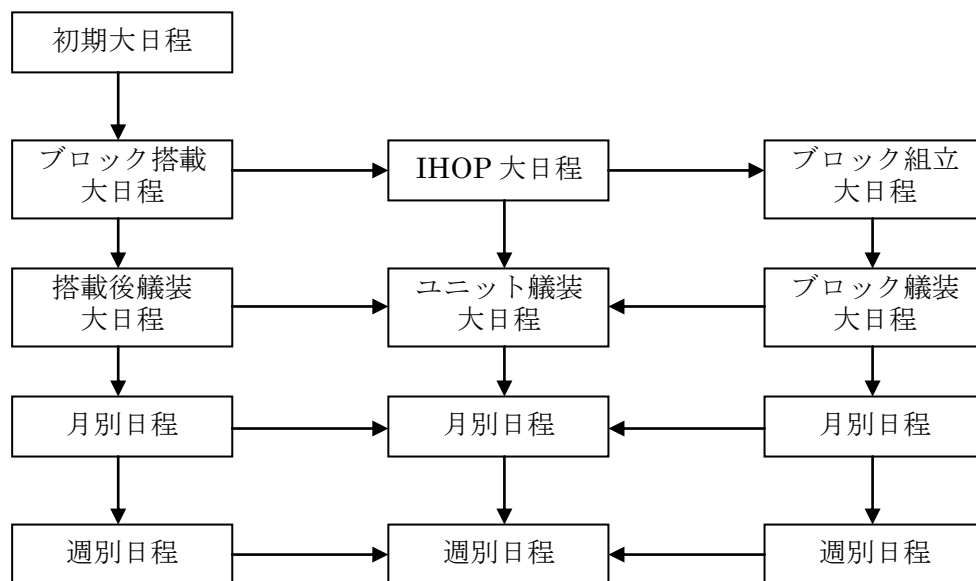


図 1-18 統合された船殻・艀装・塗装日程 (IHOP 日程)

艀装大日程により、パイプ工場の作業負荷は固定されている。

1. 3. 1 社内製作 (In-house)

艤装作業パッケージの取付品リストである MLF は、便宜上、配置図のある部分 (a part of an arrangement) と、それに必要な艤装組立作業の指示にも使用されている (図 1-19 参照)。それと同様に、あるパイプ部品の資材表である MLP も、必要となる作業指示と、関連する加工作業の指示にも使用されている。MLC は部品ではなく構成物 (component) の資材表だが、これもまた同様に用いられている。個々の MLF は前段階で実行されなければならない単位作業、つまりは MLP と MLC とにより支えられている (図 1-20 参照)。

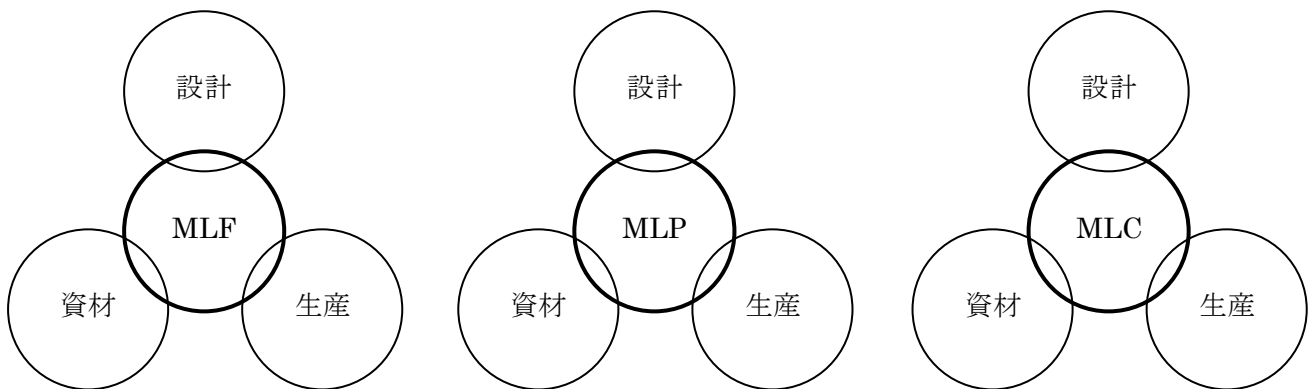
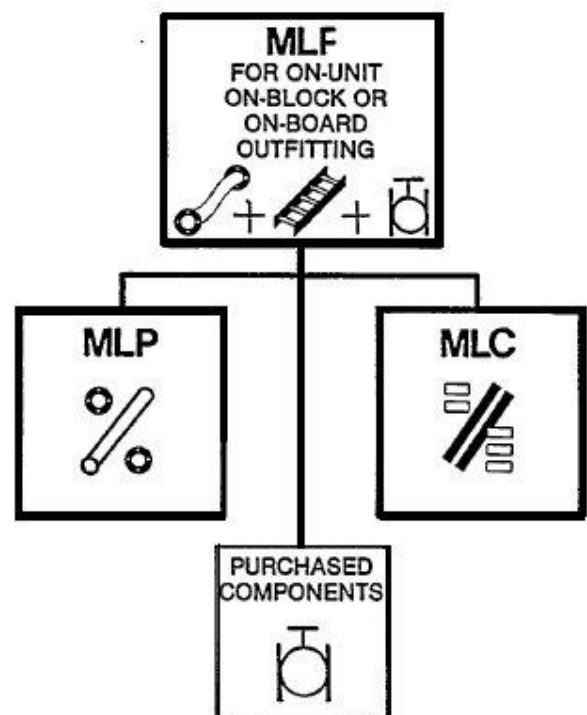


図 1-19 MLF、MLP、MLC は情報リンク

MLF、MLP、MLC は、資材を集めたものだが、これらは単位作業を表している。これらは図面、資材、作業のフローの中で、フォローアップに使用されている。また、生産性の指標にもなっている。

図 1-20 各 MLF は、MLF よりも前段階で実行される MLP と MLC という単位作業により支えられている。MLF とそれを支える MLP と MLC は、構造化された資材表 (bill of material、bill と list が混ざって使用されているが、この違いが良くわからん) とも呼ばれている。構造化された資材表 (material list) は、設計、資材、生産の各活動を効率的に調整する為に極めて重要である。



パイプ部品ファミリーによる MLP の更なる区分は、グループテクノロジーに従ったパイプ工場の運営を計画するには必須である。作業ロットを作るための MLP のグループ分けは、管理を単純にしてくれる。

典型的な作業ロットは、1 労働週間に課せられる工場の作業量である。理想的な 1 作業ロットには、個々の作業やパイプベンダーの径変更等のツール設定の最適等の、定式化された作業フローによって製造される、多種多量なパイプ部品が含まれている。こうした作業ロット内での変更の回数は合理的なものでなければならない。何故なら作業ロット内での加工パイプ径をただ 1 種類のみ固定してしまうと、全ての作業フローがパイプ曲げ操作に固定されてしまうことから、加工途中品が多くなり、つまりは全体的なコスト増となってしまうからである。更にこのような変更回数の固定は、結果的に、設計と資材調達とを、最適化された艤装組立の要求と合わないものにしてしまう。もしも、パイプ工場とだけ関係している管理者が見た目だけの効率を優先するなどして、この最優先要求を無視してしまえば、造船プロセス全体の生産性に悪影響を及ぼすことになる。

当然、詳細設計の出力物には、パイプ部品毎の種類や溶接線長、塗装種類 (paint system) や塗装面積といった情報も含まれていなければならない。1 週間で製造可能なパイプ部品の総数はパイプ部品の複雑性にも依存しているため、工場の管理者は種類と溶接線長毎の工数や、塗装回数と塗装面積毎の工数といった事を、モニターしておくべきである。

作業フローを最適化する日程再調整 (rescheduling) は、明確な制限内でのみ達成可能である。1 週間の作業量が工場能力を超えたり、不必要な変動を起こさないように、山均しとバランス取りを行った日程が作られている。詳細設計者の作成する加工作業指示図内のファミリー ID と、生産管理者によって標準化されたリードタイムにより、山均しとバランス取りのプロセスが機能している。一般的に、パイプ部品の数は大量で、コンピューターによる計算が必要である。

精密検査 (overhaul) や改造 (conversion)、その他の作業が必要となる (特殊な) パイプ部品であっても、その部品の個々の通常のリードタイムが適応可能であれば、山均しとバランス取りルーチンを含めるようにしなければならない。

「パレット」という言葉が MLF の代わりに用いられたとき、パレットは区画、課題範囲、ステージによって区分けされた艤装作業パッケージである。このパレットによって構成されるパレットリストは、作業指示設計 (詳細設計) が開始される前に出図される。言い換えるならば、パレットリストは艤装組立作業を実施する際のゲームプラン (game plan、攻略計画) として提供されている。

ユニット艀装、ブロック艀装、もしくは搭載後艀装向けの各パレットには、色々なファミリーのパイプ部品が含まれている為、多様な加工作業が混在し、パイプ工場全体の作業を構成している。全てのパイプ部品がファミリーに区分けされ、そして各々のファミリーが各々の標準リードタイムを持っている事から、その週に製造されるパイプ部品のリストを、いつでも作成する事が可能である。言い換えるならば、あるパイプ部品の加工作業完了日は、パレットの出荷日からファミリーの標準リードタイムを引くことによって求める事ができるのである（図 1-21 参照）

この手法論により、早い段階から能力計画を立てる事が可能となった。まず、ファミリー毎の各作業に必要となる工数を毎週計算する。これにより、切断、曲げ、溶接、組立、塗装といった製造ラインそれぞれの中の作業定盤毎に、必要となる工数の合計が求められる。ある特定の作業定盤の作業負荷を調査し、超過した作業の日程を前倒して通常の処理能力内に収まるように調整することで、各製造ラインの作業負荷の平準化とバランス取りを行うことが出来る。例えば、溶接定盤の作業負荷がボトルネックになっていた場合、溶接が必要となる幾つかのパイプ部品を、前の週へと前倒するのである。それぞれの造船所における経験を基にして定義された図 1-21 に示さるようなリードタイムは、こうした日程再調整作業を未然に防いでくれるのである。

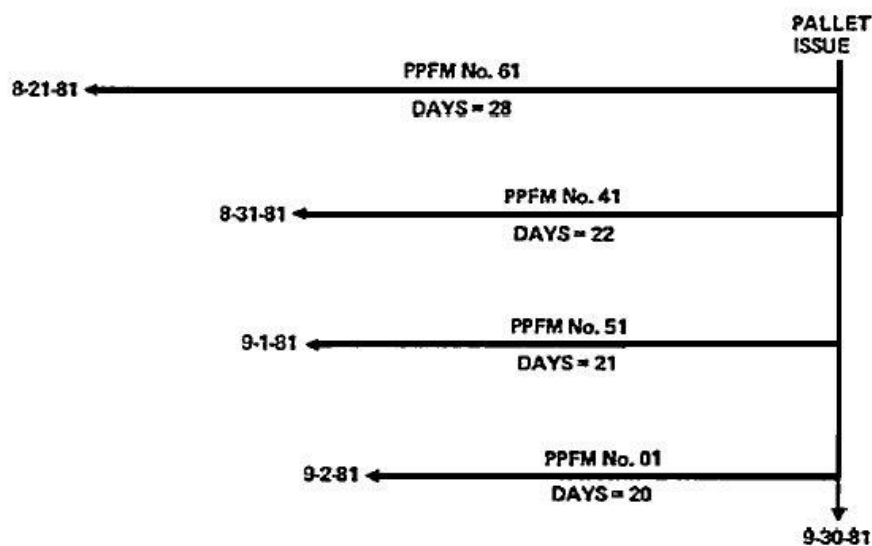


図 1-21 通常のリードタイムは、パイプファミリーによってそれぞれ異なっており、個々の造船所の通常状態下での実績を基にして定義されている。こうしたリードタイムは、ボトルネックを避ける為にある作業の日程を早めたり、誘導加熱によるパイプ曲げや、別の仕上げが必要となるプラスチックライナーのパイプ部品等の特殊な作業を、下請け会社に行わせるといった、通常起こり得る事態も考慮したものである。

1. 3. 2 下請け会社

ユニット艀装、ブロック艀装、搭載後艀装の日程は、構成図の後に作成されるパレットリストのフォーム内に書かれている。パイプ部品ファミリー番号は詳細設計者によって付けられるが、これは彼らが個々のパレット毎に構成品（composite）を設計しているからである。これにより、加工作業指示図の作成の前であっても、重要な計画を行うことが可能なのである。パレット内の、ファミリー毎のパイプ部品数を取りまとめるだけで、必要となる工場能力を素早く見積り、そして下請けに出すべきであるパイプ部品数をファミリー別に決定する事が出来る。十分な準備時間を確保することで、適切な下請け期間の交渉が可能になる。

平準化とバランス取りにより作業負荷の上下変動を最小限にすることができるが、日程作業の制限の為、完全に無くすことは出来ない。一般に、造船所のパイプ工場能力は、通常発生し得る最小作業負荷よりも少なくすべきである。これにより、

- ・ 作業負荷が低い時に、使用されない造船所の能力が発生することを回避し、
- ・ 作業ピークの緩和の為に頼らざるを得ない幾つかの下請け会社と、常に仕事をやり取りする関係を維持するのである。

下請け作業に大きな上下変動があると、少数の下請けを規則正しく使用する事で得られる安定性を、作業負荷と収入の面から損なうことになる。この問題に対しては、より多くの下請け会社に仕事を分配し、全ての下請け会社が受ける変動の効果を最小化することが、特に有効である。

ファミリー毎のパイプ部品製造の作業負荷を予測することで、製鋼所におけるミル（圧延機）の予約と同じ手法で、下請け会社の製造能力の一部を、その造船所の物として予約する事が可能となる。

対象となる期間とパイプ部品を指定しない調達命令を事前に出すことで、内作と外部調達のどちらにするかという決定を、パイプ工場管理者に委託することが可能となる。こうした決定は、関係する作業週間の少なくとも3労働日前までに開かれる週会議で行われる。この3日間という期間は、作業指示図と必要な資材とを下請け会社に提供する為の期間である。必要な資材をこちらから提供する事は、資材品質や日程、コストを管理する為の現実的な手法である。また、造船所で一度に大量の資材を購入する事で、単品当りのコストを下げる結果にもなる。

下請け会社は、プラスチックライニング鋼管や、大径パイプの小半径曲げに用いられ

る高周波電磁加熱等の、特別な設備が必要となる場合に利用すると、特に生産性が高くなる。

造船所の延長として機能する下請け会社を作るには、管理において特別な注意が必要となる。パイプ工場と品質管理部門の両方を代表する少人数のスタッフを常に確保し、パイプ部品製造作業員への技術的支援を、専門的に担当できるようにしておかなければならない。造船所特有の情報様式、専門用語、手法等の指示も行われなければならない。このような支援があれば、下請け先が例えば設計部門や資材調達部門が無いような小さな工場であっても、パイプ部品の製造に従事する事が可能になるのである。

2. 0 工場運営

2. 1 作業フロー

生産ライン理論を通じた生産性の向上には、生産手段や設備、技能、必要工数、生産期間等の、作業プロセスの標準化が必要となる。理論上、それぞれの生産ラインは、一つのファミリーに所属するパイプ部品を製造する為に必要となる、マーキングや切断、組立といった生産活動の連結のみにより構成されている。これを実現するには、施設を無駄に重複させなければならなくなるため、各種のファミリーのパイプ部品の生産フローを、選択的に合体、調整する必要がある。ただし、基本的なワークフローの方向からの逆流を回避するか、もしくは最小限に止めなければならない。

手順計画 (routing) は、時には必要となる作業プロセスの類似点を基にしてファミリー同士を合体させつつ、ファミリーを維持するように作られる。図 2-1 は、どのファミリーが作業フローレーンを共有できるかの判断の基礎となるプロセス内の共通性を示したものである。

| パイプ部品ファミリー | | 加工作業順序 | | | | | 処理作業順序 | | | | | 作業フローレーン | |
|------------|-------|--------|----|----|----|----|--------|----|----|----|------|----------|-------|
| CODE | NAME | CT | BN | FT | WL | GR | PK | PT | LN | GL | ETC. | CODE | NAME |
| 01 | 直管 | 1 | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | | AA | 直管 |
| 11 | 加工後曲げ | 1 | 5 | 2 | 3 | 4 | 6 | 7 | | | | | |
| 64 | ライニング | 1 | | 2 | 3 | 4 | 5 | | 6 | | | | |
| 68 | 亜鉛メッキ | 1 | | 2 | 3 | 4 | | | | 5 | | | |
| 41 | 加工前曲げ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | | | BB | 組立パイプ |
| 51 | 加工パイプ | 1 | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | | | |
| 65 | ライニング | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | 7 | | | | |
| 69 | 亜鉛メッキ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | | 6 | | | |

略語

CT: Cutting 切断 BN: Bending 曲げ FT: Fitting, assembling, etc. 取付、組立、他 WL: Welding 溶接
 GR: Grinding グラインド PK: Pickling 酸洗い PT: Painting 塗装 LN: Lining ライニング GL: Galvanizing 亜鉛メッキ

図 2-1 設備の利用を最適化する為、必要となる作業の共通性を基にして、パイプ部品ファミリーを合体させている。この結果が、このような工場管理の為の作業フローレーンの組織となっている。各プロセスの下の番号は、製造順序を示している。

作業フローは仮想的なもので、存在する設備を再配置する必要は無い。実際のフローか仮想のフローかは関係なく、パイプ部品製造に割り振られた製造課題範囲と、パイプ工場の建物のドアの数と寸法、そして利用可能な設備の配置と能力とにより、作業フローのパターンが変化する。これ以外の、作業フローパターンに影響を及ぼすものとしては：

- ・パイプ部品ファミリー毎の、下請けによる作業負荷ピーク移動の、通常の度合い
- ・作業負荷シフトの為ではなく、鋼管へのプラスチックライニングや大径パイプの小半径曲げ等の、通常は下請けに出される作業プロセス

図 2-2 は PPFM を採用した、手動運用ながらも先進的なパイプ工場での調整された作業フローを図式化したものである。図 2-3 は、より詳細な工場内配置と作業フローを示したものである。この同じ工場の塗装とパレット分けについての写真は、図 2-4 に示す。

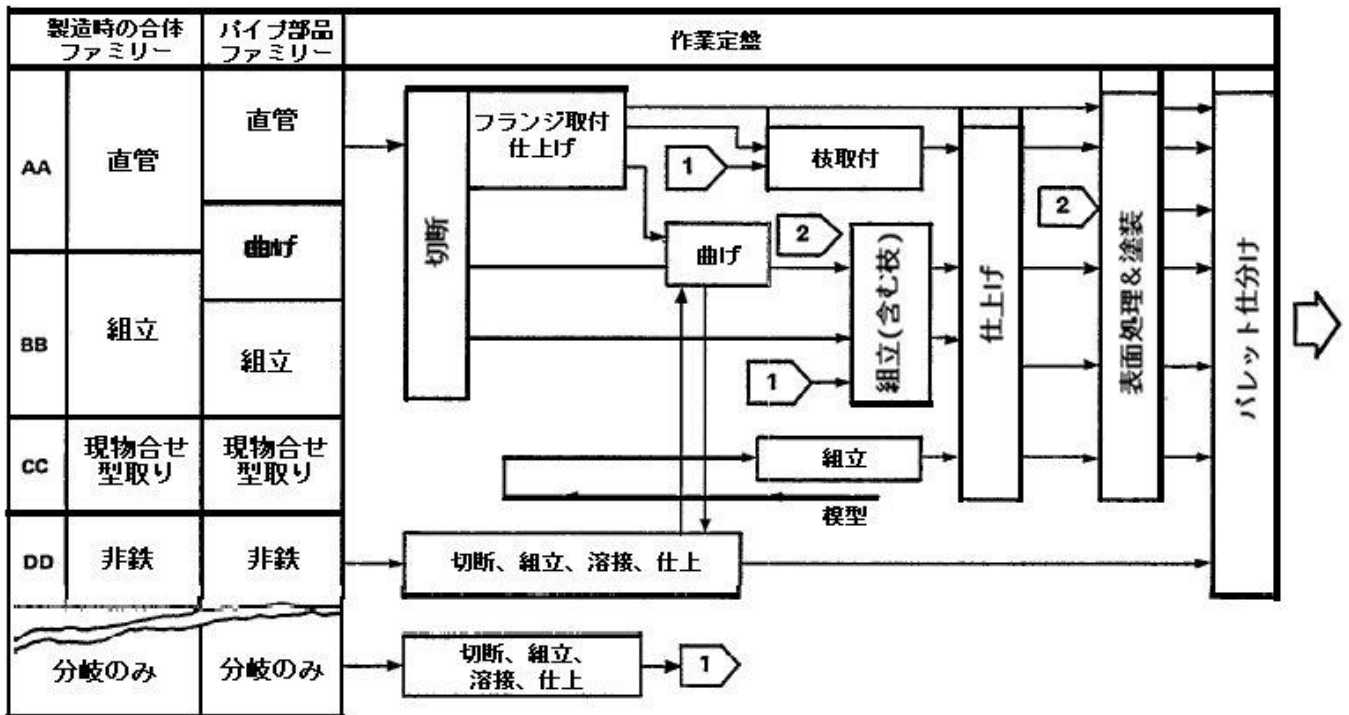


図 2-2 パイプ部品ファミリーを合体させた、典型的な作業フロー。より詳細なものについては、添付資料 B を参照のこと。



IHI, KURE



IHI, KURE

図 2-4 IHI 呉造船所のパイプ工場

左：塗装。左手奥に管理事務所が見える。その手前が溶接定盤。
 右：パレット仕分け。塗装の横で、2000m²の面積がある。

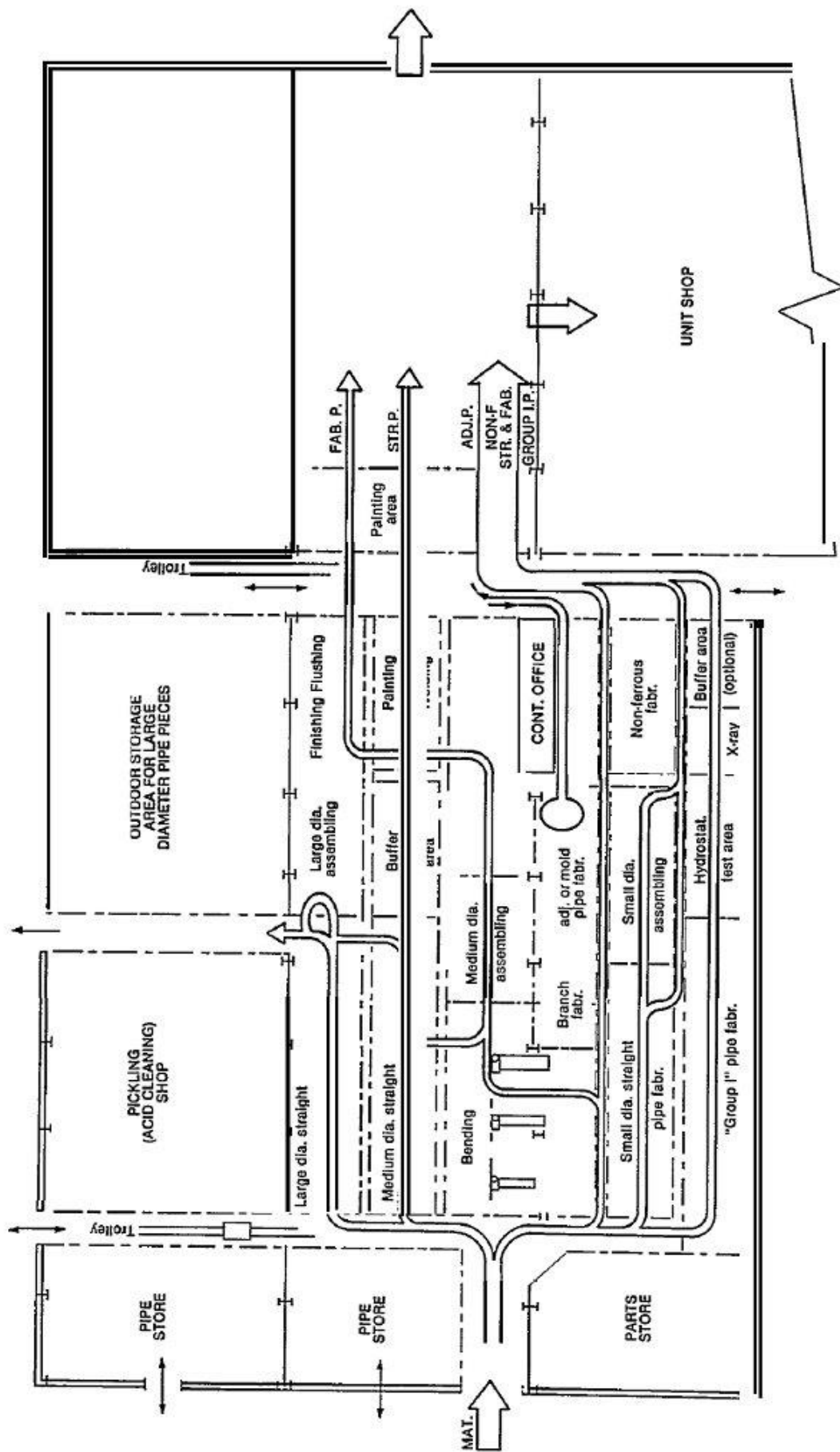


図 2-3 PPFM を採用した IHI 呉造船所にある、手で運用されている配管工場の典型的な作業フロー
 計画能力は 450 トン/月。パレット仕分け場所を除くと 4,167m² の広さがある。計画効率は 0.17/月/m²
 大型船建造の際の最大能力は 490 トン/月。現在は中型船建造の為、処理能力は 260 トン/月である。
 船のサイズや表面処理等に依るが、生産性は 1~2 工数/部品である。大径パイプ等は野外の塗装場で塗装される。

2. 2 工場組織

PPFM による作業フローの手順計画は、造船所毎の環境によって異なっている。しかし基本的な管理組織については、図 2-5 に書かれているものと同じである。

その上、PPFM は工業科学 (industrial science) である。PPFM の導入には、グループテクノロジーの原理と、IHOP のような船全体を建造する為の生産中心作業分割 (product-oriented work breakdown) を理解した管理者が必要である。例えば、造船所全体の生産性を向上させるパイプ工場の手法改善には、統計学的なプロセス分析が要求される。その為、パイプ工場の管理者、副管理者、そして計画管理係長という役職は、造船エンジニアの更なる育成の為の、貴重な訓練施設ともいえる。

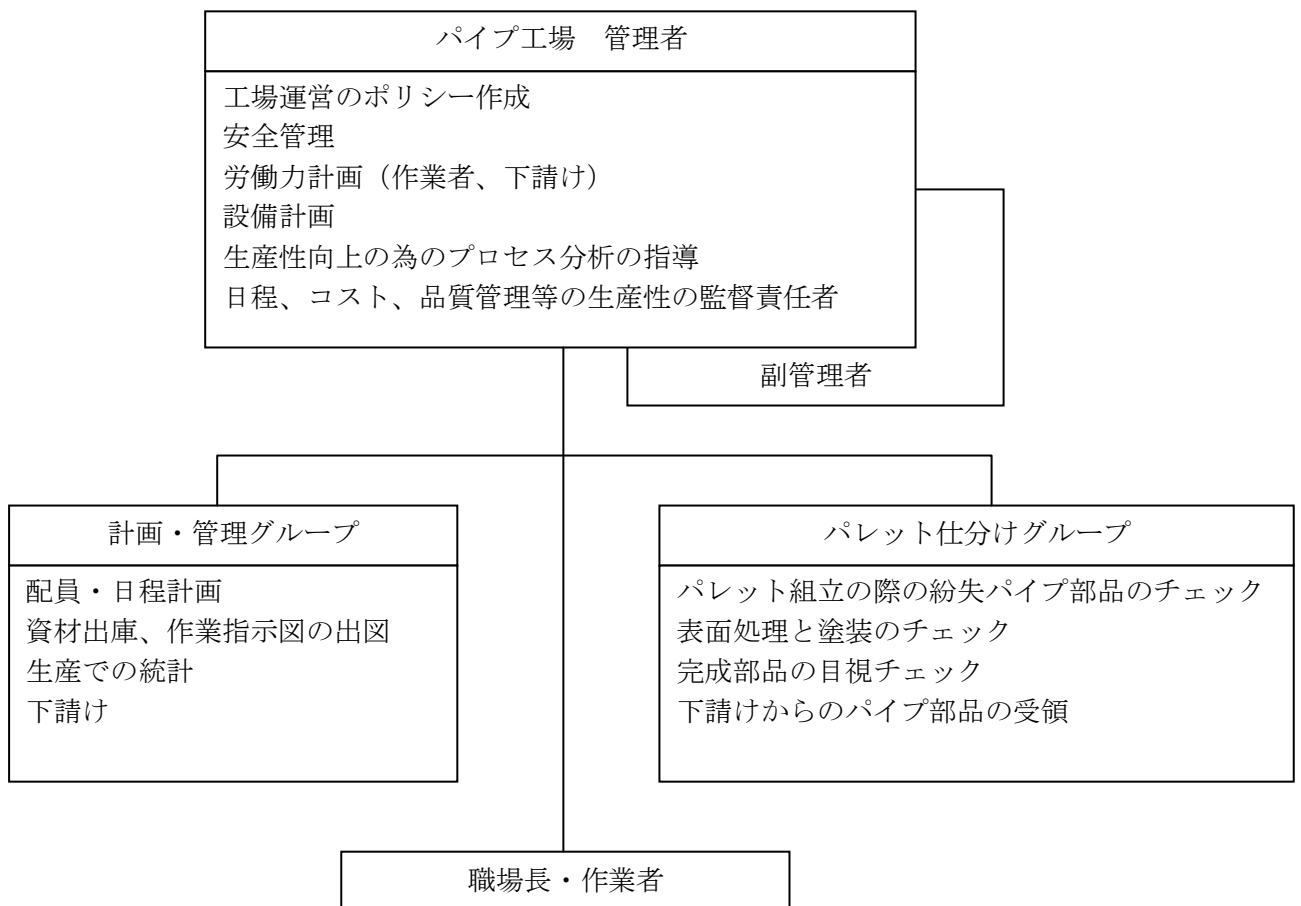


図 2-5 典型的なパイプ工場の管理組織

激しい競争という現実の前に、造船所のエンジニア／管理者には以下の条件が要求されており、他に選択肢はない：

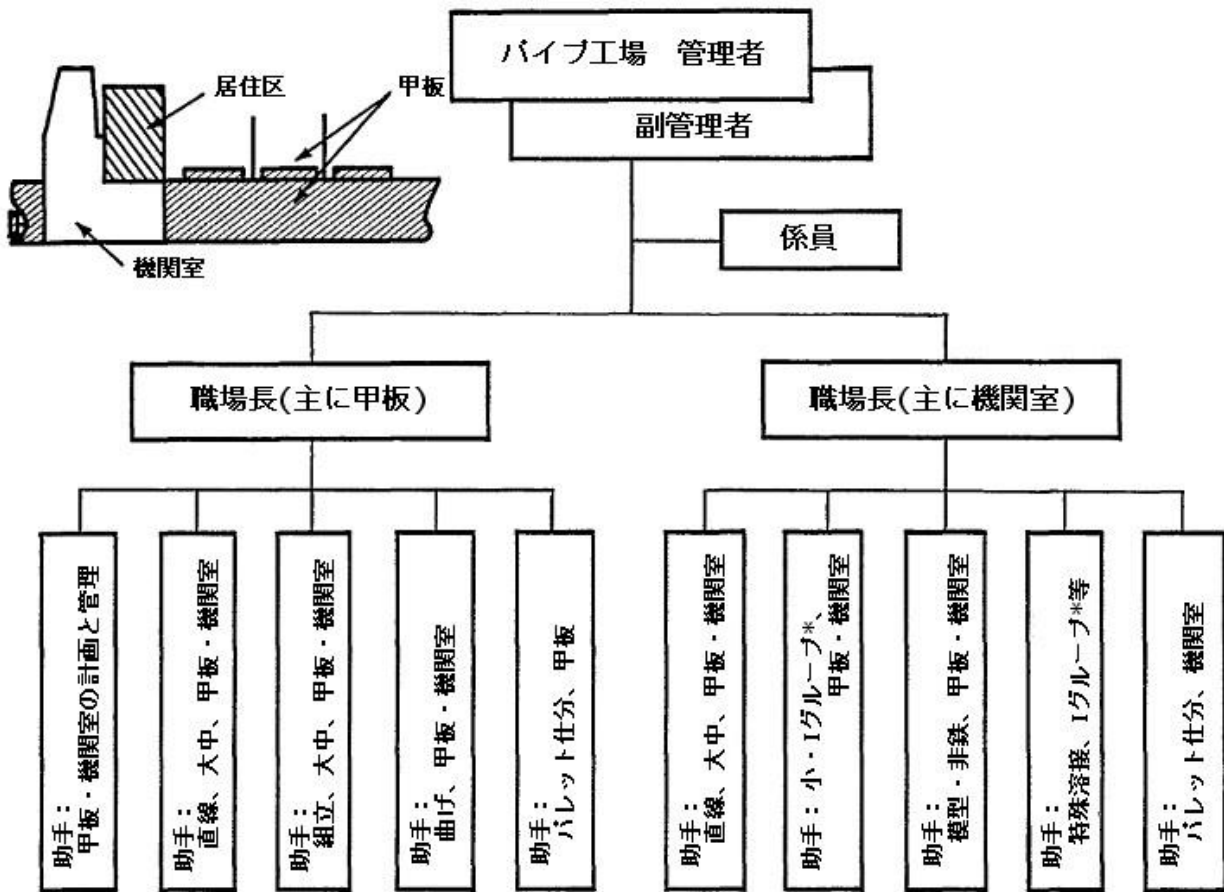
- ・大卒が、それと同等の教育を受けている
- ・パイプ工場内の職務を一通りと、更に他の造船の役職を経験していること

職場長や助手等の、第 1 階層と第 2 階層の監督者への責任所掌の割当ては、作業フローの手順計画（routing）とパレット仕分けの、両方の要求に基づいて行われている。図 2-6 はそうした責任所掌が、図 2-3 のような配管工場に、どのようにして分散配置されているかを示している。また図 2-7 は、PPFM を採用した小径パイプ工場の責任所掌割当てのを示している。

PPFM は固定された作業定盤での生産ライン原理を用いているが、作業者については全ての職務に対する訓練を行い、異なった職務への配置換えを連続的に行っている。

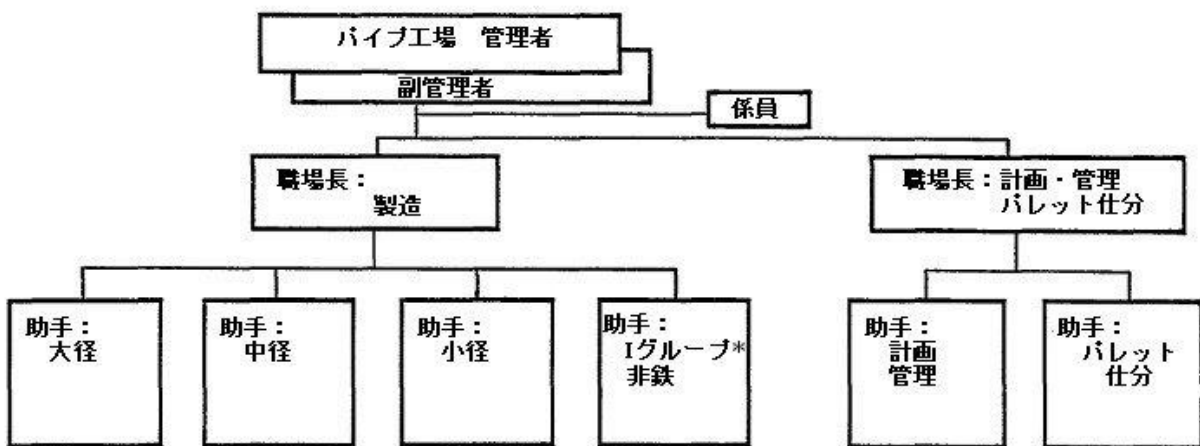
その理由は以下の通りである：

- ・多様・多量が必要となるパイプ部品に対応する為には、
パイプ工場の作業者の配置換えは最適な手段である
- ・互いが、互いの作業定盤にどのような影響を及ぼすかに気付くことにより、
フローレーンのより良い調整を行うことが可能となる
- ・幅広い経験を積むことで、優秀な職場長・助手を育てる



* 特殊な試験・検査が必要なパイプ部品

図 2-6：PPFM を採用したパイプ工場の組織は、フローレーンを作り出す為にいかにして多様な生産ラインをまとめ合わせて行くかに依存している。他に効率の良い代案があっても、PPFM はグループテクノロジーを全く採用していることから、製造課題範囲別の合理的な分割を反映していなければならない。図のごとく、殆どのパイプ部品が必要とされる場所（甲板・機関室）の基本的な艀装区画に合うように、責任所掌を分散配置するのも 1 つの方法である。こうした種類の組織は、作業フローのバランスを取るためならば、パイプ工場管理者のいかなる要求も直接可能なように、柔軟に運用される。



* 特殊な試験・検査の必要なパイプ部品

図 2-7：もう 1 つの効果的な組織は、パイプの径別の製造課題範囲を反映したものである。この組織も同様に、柔軟的に運用される。

2. 3 作業負荷予測

パイプ工場の作業負荷は、艀装組立日程からの要求によって左右されているが、この要求は事実上パイプ工場の能力や残作業を無視している。その為、効率的な PPFM の日程を作成するには、この要求される作業量がパイプ工場と下請けの利用可能な能力に合っていないなければならない。それには、以下の事を考慮する必要がある：

- ・長期的な評価基準
- ・即時解決が求められている緊急課題への対応

これらの点を考慮した結果としての作業員数と設備の変更は、内作能力を比較的抑え目にして普段から下請けに依存するという、経済的な必要性とも一致させるべきである。

2. 3. 1 長期計画

施設、人員、下請けの方針を調整するための計画は、今後 6 ヶ月間について見積もられた、必要な部品の合計数もしくは製造工数を、基にしなければならない。時には状況により、予期される別の要求に備えて、下請けの製造能力を即座に使用せず保留しておくこともある。

2. 3. 2 中期計画

中期計画は、コンピューターによって分析された今後 2 ヶ月間のパイプ部品の需要を基にしている。この中期計画は、パイプ部品ファミリー別に作成され、その作業プロセスは添付資料 C で図示されている通りである。もしも作業負荷が工場能力を大きく上回ってしまった場合には、中期計画を変更し、下請けにより多くの仕事を回す。また印刷された出力物も、内作と外注とは別々に出力されている。

| 製造ライン | 単位 | 先週分 | 先週残 | 今週分 | 来週分 |
|------------|-----|------|-----|------|------|
| A-A | 個 | 346 | 140 | 180 | 250 |
| | 工数 | 1570 | 643 | 352 | 1132 |
| B-B | 個 | 370 | 321 | 825 | 950 |
| | 工数 | 888 | 227 | 971 | 1045 |
| 合計 | 個 | 716 | 461 | 1005 | 1200 |
| | 工数 | 2458 | 861 | 1323 | 2177 |
| A-A 作業者 | 本工 | 20 | | 20 | 20 |
| | 外注 | 4 | | 4 | 4 |
| | 応援※ | 5 | | 2 | 2 |
| B-B 作業者 | 本工 | 26 | | 26 | 26 |
| | 外注 | 4 | | 4 | 4 |
| | 応援※ | 3 | | 3 | 2 |
| 合計 | 本工 | 46 | | 46 | 46 |
| | 外注 | 8 | | 8 | 8 |
| | 応援※ | 8 | | 5 | 5 |

※艤装組立部門からの応援

| 下請け | 単位 | 最大能力／月 | 先週完了 | 先週予定 | 今週予定 | 来週予定 |
|-----|----|--------|------|------|------|------|
| A | 個 | | 485 | 444 | 658 | |
| | 工数 | 1700 | | 905 | 862 | |
| B | 個 | | 0 | 278 | 106 | |
| | 工数 | 700 | | 133 | 105 | |
| C | 個 | | 0 | 165 | 40 | |
| | 工数 | 100 | | 106 | 36 | |
| D | 個 | | 93 | 125 | 0 | |
| | 工数 | 900 | | 655 | 0 | |
| E | 個 | | 0 | 242 | 113 | |
| | 工数 | 230 | | 223 | 123 | |
| 合計 | 個 | | | | | |
| | 工数 | | | | | |

図 2-8：架空の、実績作業と予定作業。パイプ工場管理者は毎週の会議の中で「土壇場」の要求を消化し、翌週の作業を割当て、それに従ってリソースの調整を行う。

2. 3. 3 週間計画

中期計画から作成された日程を基にしてコンピューターで計算を行い、週別日程を作成する。これも添付資料 C に図示されているが、これはある程度平準化とバランス取りがされた後のものである。しかし週別日程には、失敗や損傷、船主による変更、修繕船等によって発生する「土壇場」の作業変更も織り込まなければならない。こうした突発的な要求は、コンピューター化されたそれぞれの週別日程に上書きされる。ステージ毎、パイプ部品毎のパイプファミリー番号と通常処理工数により、作業フローレーン毎に合計された効果の概要を知ることが可能となる。(図 2-8)

翌週の操業分の概略計画案の作成と、工場管理者によって開催される毎週の会議の主要な議題の作成は、パイプ工場の生産計画管理課長が行う。毎週の会議では、職場長と助手が各自の担当する範囲の状態について発言する。そして調整が行われ、最終的な計画が作成される。(生産計画部門長は) 工場管理者並みの権威を持っているが、以下の項目については工場管理者が直接指示を行う：

- ・ 作業フローレーン間の作業者の移動
- ・ 残業
- ・ 契約済みの下請けへの、更なる仕事の割当て

別の採り得るオプションとして、艀装組立作業の進捗の許容範囲内で、艀装組立作業者をパイプ工場へと一時的に移動することも可能である。管理者が持つ選択肢の幅は、作業者が各種の作業定盤で働けるようにどれだけ訓練されているかに大きく依存している。

翌週分の作業内容が決定されたら、更に平準化とバランス取りを行い、作業フローレーン内の作業定盤毎の詳細な日程へと反映する。そして各作業定盤での流れを最適化する為に、現場担当者はロットの担当範囲内で、日程の更なる調整を半日単位で行っている。

このように、PPFM の計画と日程は、階層が進むに従って詳細化が進むようになっている。まず最初に、計画者は要求されている全てのリソースの識別を行う。次に、作業負荷の上下変動が最小になる様に製造能力計画を行う。そして製造の 1 週間前には次の作業ロットについての計画を終え、具体的な作業が命令される。最後に、現場レベルで毎日の調整が行われる。

2. 4 情報の流れ (Information Organization)

翌週の作業を決定するパイプ工場管理者主催の週会議は、火曜日に行われるのが望ましい。その前日までに、パイプ工場の生産計画管理課長が、直前の労働週の進捗情報の分析も含めた必要作業を行っている。火曜日の週会議で決定がなされれば、一晩かかる作業命令と資材命令に関する計算を開始する。この計算は、どのような作業を、どのようにして、いつ行うかに関する、標準的なデータを基にして行われている。情報の配分は、図 2-9 で示された情報の流れのような形で、毎週水曜日の朝に行われる。そして残りの 3 労働日で、下請け分の資材の取りまとめや送付も含めた準備が行われるのである。

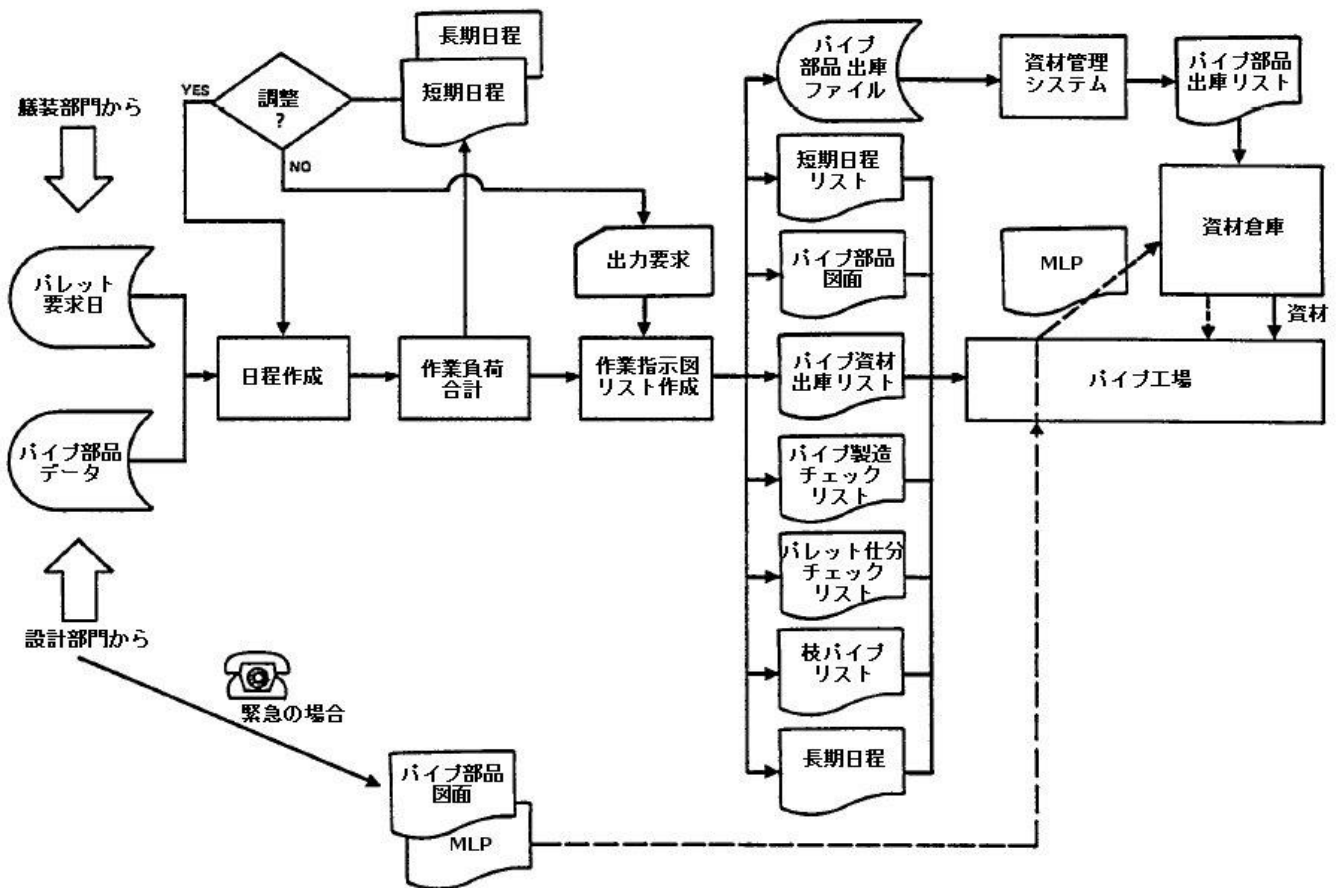


図 2-9: PPFM 管理下における情報の流れ

2. 4. 1 カuttingプラン (Cutting Plan)

出力物の1つであるカuttingプランは、図 2-10 にあるようにパイプ資材の最大活用を行う為の物であるが、それと同時に、作業や必要となる資材、作業指示図の順番付けにも使用されている。例えば、パイプの切断順序から、フランジや、ティーやレデューサーといった取付物が必要となる順番が決定されることになる。このように、カuttingプランは資材管理を通じて、全ての作業を管理するのである。

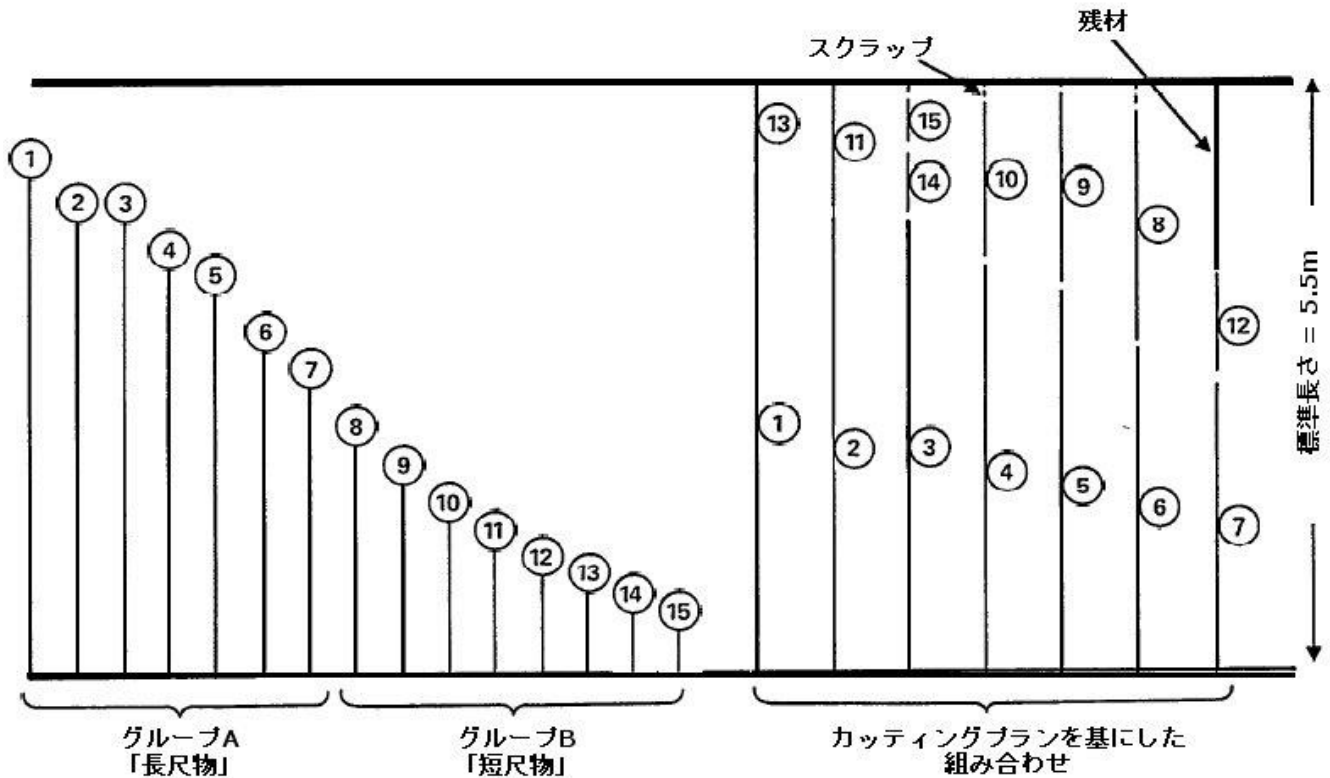


図 2-10： カuttingプランはスクラップの削減を促進すると同時に資材出庫の順序を提供する。また調達するパイプ資材の長さを標準化することで、資材管理が促進される。

カuttingプランの作成では、呼び径 (nominal diameter)、肉厚 (wall thickness)、材質により構成されたロット内での、実際のパイプの切断長さが指示されている。パイプは「長尺物 (Long)」と「短尺物 (Short)」に分類されている。この分類は、標準長さの資材パイプを最大限に有効利用させる目的に叶っている。一般的には、同じ船のパイプ部品は同じグループにまとめられている。

スクラップの標準的な制限は、パイプ径と最小枝管長さの標準に連動している：

- ・ 300 mm以上のパイプ径は 1000 mm以下。
- ・ 250 mm以下のパイプ径は 400 mm以下

このようなスクラップ制限よりも長く、且つ他に割り当てが無いものは残材となる。枝管の製造用に別の切断設備を使用している場合には、残材は別のカッティングプランで取材を行う。

カッティングプランに含まれている情報は、以下の通りである：

- ・ 切断長と切断位置
- ・ スクラップもしくは残材の指示
- ・ 識別番号（船番、MLF、MLP、ロット、個別番号）
- ・ パイプ径と仕様
- ・ 切断予定日
- ・ 必要な後処理
- ・ ベンダーマシンの掴み位置
- ・ 加工後の工程（作業フローレーン）

2. 4. 2 下請け支出計算

週会議の中で、外注先を利用する決定がなされた場合には、下請け会社の指名と、適切な総量から、関連費用を計算し、印刷する。この計算は、通常の作業、単価価格、輸送コスト、等のファイルを基にして行われる。下請け支出計算のフォーマットは、添付資料 D に挙げておく。

2. 4. 3 運用管理リスト (Operation Control Lists)

運用管理の為に便利な追加出力物には、以下の物がある：

- ・ 枝管リスト
関連する作業定盤の日程作成を促進させるために、製造を行う枝管部品をグループ分けしたもの
- ・ パレット比較表
仕上げられたパイプ部品をパレット仕分けする際に便利になるように MLF データを配置し直したものである。製造作業の進捗チェック用も兼ねている。
- ・ I グループパイプ部品表
船主や船級協会の代理人立会いの試験が必要な、特殊なパイプ部品を識別するためのもの

表面仕上げや塗装方針なども含めたこのような運用管理リストの例については、添付資料 D に挙げておく。

2. 4. 4 資材出庫確認

通常、運用管理リストが作成された後に、関係するデータが資材管理システムへと送られる。パイプ工場からの資材出庫命令に対して、特定の出庫日・出庫先別に並び替えられた資材表が印刷される。例は添付資料 D に挙げておく。ストックに無い資材は、別途「不足品リスト」に記載される。

2. 4. 5 進捗状況の識別 (In-process Identification)

製造されるパイプ部品毎のカッティングプラン上の数字から、船番、MLF、MLP、ロット、そして個別番号を読み取ることができる。ある週に、あるロットが製造される事に決まれば、その週に製造される全てのパイプ部品が、関連するパレットの出荷日に遅れることなく製造されることになる。

パイプ工場内の運用は、パレット仕分けに至るまでは製造課題範囲とステージ区分のみに従って行われている。パレット仕分けされるまでは、船番や MLF、MLP による識別を行う必要は無いのである。カッティングリストは、このような比較的複雑な識別番号を、単純なロットと個別番号へと変換するマトリクス（matrix、数学の行列）の役割も果たしているのである（図 2-11）。



図 2-11：（見えにくいですが、タグに 6-112 とある）

このような 1 桁の識別番号がロット番号である。ロット番号の下にある個別番号は、一つの部品に対して固有のものが割り振られている。パイプ工場によっては、色によって特殊なロットを表現している所もある（色ペンキを付けたり、カラータグを取付ける）。大型のカレンダーにも色づけがされており、臨時作業員でも日程通りに作業が進んでいるかどうかを理解できるようにしてある。

最後の作業プロセスであるパレット仕分けの際に、パレット構成リストが作成されることで、不要になったロット番号と個別番号の代わりに、固有の船番、MLF、MLP の識別番号へと付け替えられることになる（図 2-12）。



図 2-12： 1 ロットには、通常、異なった複数のパレットの、時としては複数隻に跨るパイプ部品が含まれている。また標準のリードタイムが異なる事から、同じパレットのパイプ部品が複数のロットに跨ることもある。左図：工場内の作業用識別番号を、パレット仕分けに必要な船番、パレット、部品固有番号へと変換するには、多くの図表が必要になる。右図：パレット仕分けに必要なとなる識別番号は、パイプ部品の塗装後に取り付けられる。

2. 5 資材の流れ

2. 5. 1 入力 (Input)

PPFM を成功させるには、論理的区分と資材管理が重要となる。パイプ工場手法に合わせた倉庫組織が必須となる。

公称能力 450 トン/月のパイプ工場に PPFM が効率的に適用された時、それに必要となる倉庫側の組織は、監督者 1 人と倉庫係 3 人となる。倉庫係は 1 人がパイプを、別の 1 人がフランジ、そして残りの 1 人がエルやティー、レデューサー等の取付品を担当する。倉庫係は受納と出庫のどちらをも担当するので、延べ毎月 900 トンの資材を扱うことになる。

倉庫係は毎週水曜日の朝に、以下の物を基にして作成された、パイプ、フランジ、パイプ取付品の「出庫」リストを受け取る (図 2-13) :

- ・前日の工場管理者主催の週会議での最終的に決定された、翌週の作業
- ・特定の作業フロー別に (例えば大径、中径、小径毎であったり、他のフローや下請け毎別) 作業を順序付けた、カッティングプラン。

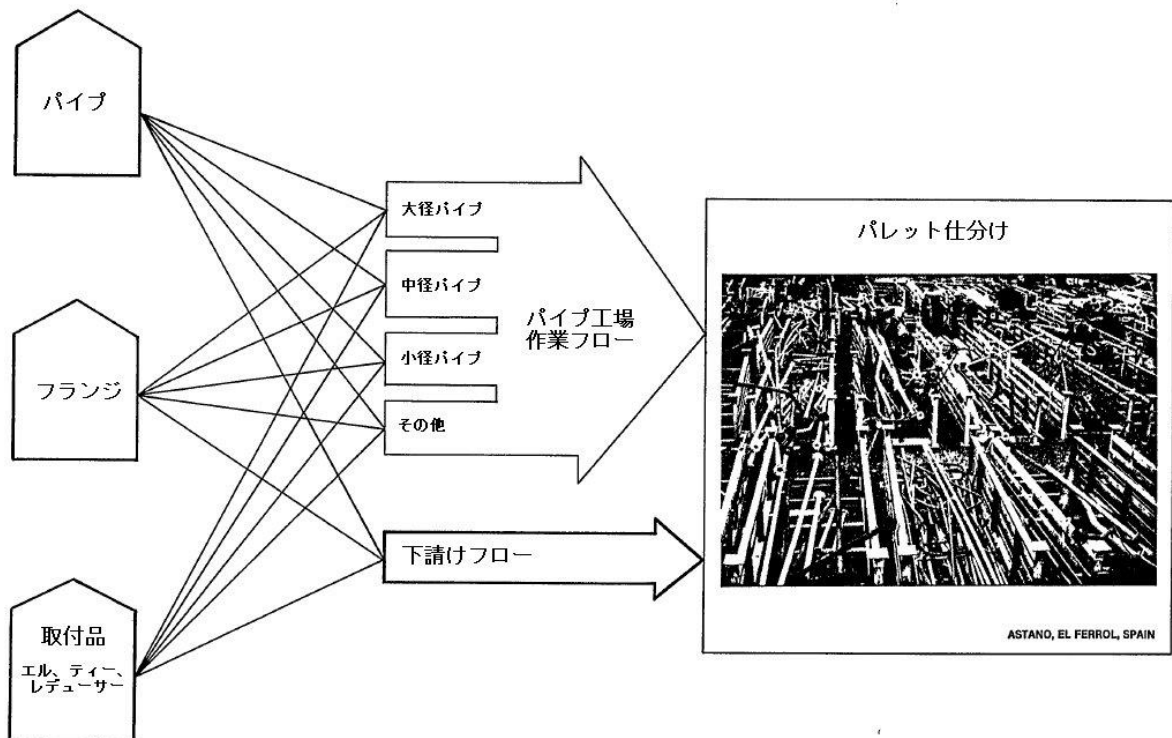


図 2-13 : PPFM の生産性は、物品の記録を正確にとる事と、対象の資材を特定の場所に特定の順序で時間通りに配送する事にと大きく依存している。大中小径とその他の作業フローは、添付資料 B にあるように統合されている。

2. 5. 2 出力

造船プロセス全体にグループテクノロジーの原理を完全に導入する為には、塗装とパレット仕分けされるまでは、パイプ部品は完成したとは見なしてはならない。図 1-1 にあるように、塗装とパレット仕分けは、溶接や曲げと同じ製造ステージなのである。

個々のパイプ部品に適用される塗装系列 (paint system、塗装方法?) は、ユニット艀装やブロック艀装、搭載後艀装の周辺環境に合わせたものとなる。例えば、艀装組立の時には清掃とタッチアップ作業が終わり、組立品全体に下塗りが施されていることになるので、上塗りの前に、パイプ部品に「キャッチアップ」塗装 (? 原文では "catch-up" painting。追い上げ塗装…意味不明) が要求されることは無い。

パレット仕分けは単純に、ある特定の組立作業に必要となるパイプ部品を取りまとめるだけである。パイプ部品の製造で必要だった識別番号から、ある特定の組立作業パッケージへと変換する際に使用されるマトリクスは、2. 4. 5 章で説明した通りである。

パレット仕分けに割り当てられる工場の敷地面積とコンテナの数は、あるパレットに含まれるパイプ部品の製造が、パレットの出庫日の前の複数の異なった週に跨ることもあり得る事を考慮して準備しておかなければならない。製造週の長さは、1. 3. 1 章でも説明したように、パイプ部品ファミリー毎の標準リードタイムに依存している。そのため、あるパレットのパイプ部品を収集の開始日は、最後のパイプ部品の製造される 2、3 週間前になる。

造船全体での生産性という見地におけるパイプ工場の実出力物は、サイズや系統は関係なく、区画/課題範囲/ステージによって構成された艀装組立作業で必要とされる、塗装済のパイプ部品のグループということになる。

2. 6 生産性指標

PPFM の基本的な目的は、パイプ部品ファミリー別にコストを集計する事である。図 1-2 のように、PPFM は主に課題範囲とステージの区分を基にしている。その為、労働コストの集計の唯一の実践的な手法は、課題範囲別か、ステージ別か、もしくはその両方合わせたものになっている。

1つの生産ラインを 1つのパイプ部品ファミリーで占有するという事は稀であるが、この場合、ファミリー毎に労働コストを集計するだけで十分である。製造されたパイプ部品の時間当たりの工数、総重量、総数から、以下のような平均値を求める事ができる：

- ・ **工数／製造重量／ファミリー**
- ・ **工数／製造個数／ファミリー**

しかし実際の製造ラインは、以下の目的のために意図的に PPFM へと合成されている：

- ・ 設備の休止状態を避ける為
- ・ 製造プロセスの早い段階では、幾つかのファミリーのパイプ部品を直管としてひとまとめに扱う為

合成された作業フローでの労働コストの集計は、作業定盤（ステージ）毎に行わなければならないため、多少複雑になる。時間当たりの工数、パイプ部品の数、重量から、以下の値を得ることが出来る：

- ・ **工数／製造重量／ステージ**
- ・ **工数／製造個数／ステージ**

この 2つの生産性指標は、混在したパイプ部品ファミリーに適用された、同一の作業プロセスの平均値を示している。

ロット内のパイプ部品の種類も数も週毎に異なっている為、作業フローも毎週変化して行く。工場管理者の採り得る最も効果的な対策は、**工数／製造重量／ステージ**と**工数／製造個数／ステージ**の 2つの指標をガイダンスに従って使用し、作業フローレーン間で作業者を移動して作業定盤毎の作業人数を調整する事である。この生産性指標は図 2-14 のように、作業定盤毎にグラフとしてプロットされる。その定盤での過去の実績から求められた定常効率線上に定盤の実績曲線が載るように、作業者を移動するのである。

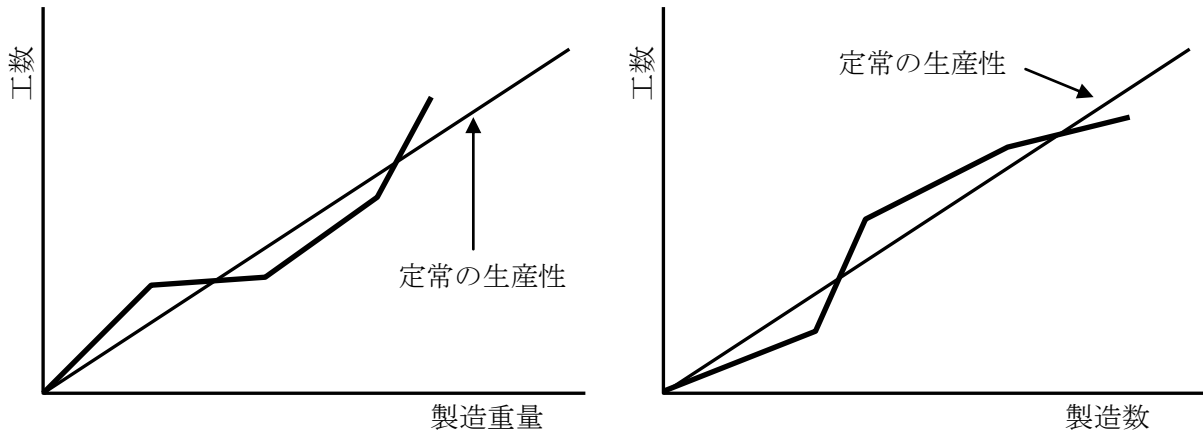


図 2-14：必要なパイプ部品の種類と個数は週毎に変動する為、特に異なったサイズ・種類の船の建造では、重量ベースと個数ベースの 2 つの生産性指標を用い、作業定盤毎にプロットを行う。作業者は補完の為に担当する作業フローを変更する必要があるため、各作業定盤での定常効率が何なのかを知っておく必要がある。

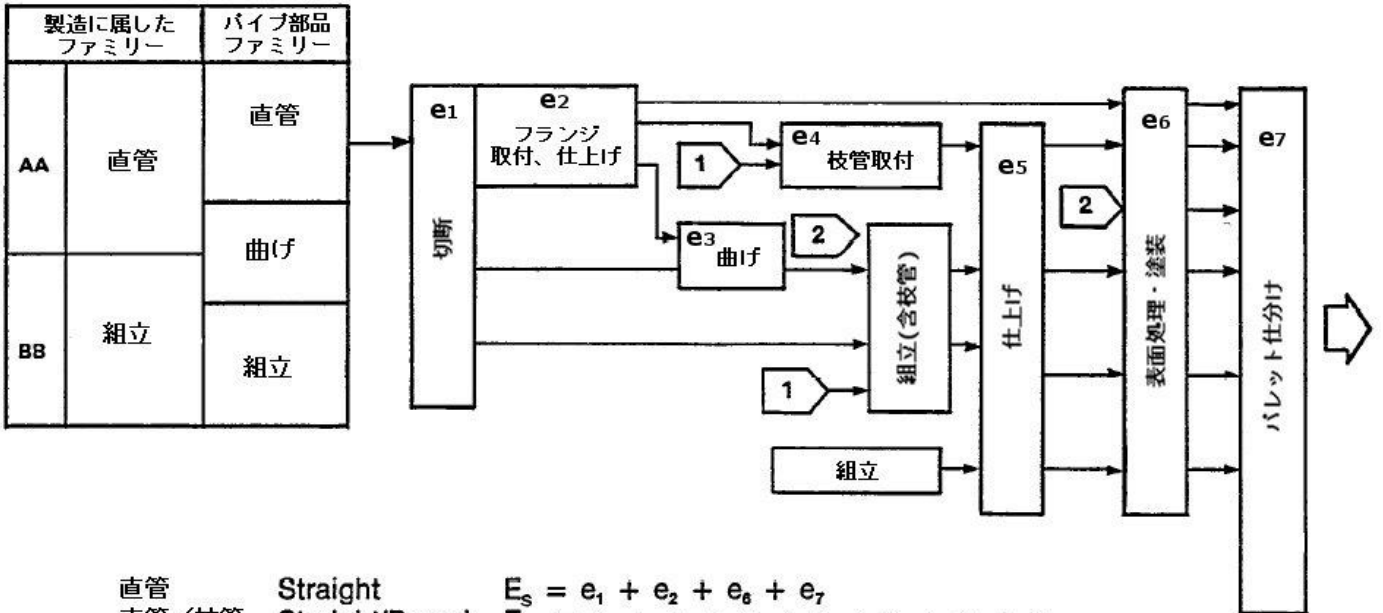
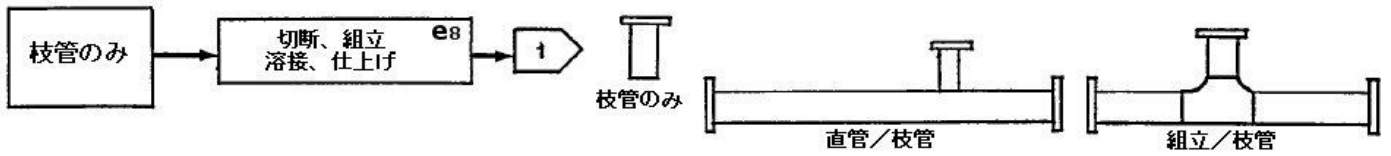
一般的に、複数のパイプ部品ファミリーが共通の作業定盤を使用する為、パイプ部品ファミリー毎のコストは間接的に求められる。図 2-15 のように、関連するステージだけの生産性指標値が合計される。合計されるのは以下の 2 つである：

- ・ **工数／製造重量／ファミリー**
- ・ **工数／製造個数／ファミリー**

前述のように、作業負荷予想と生産性の監視の両方の目的において、即ち工場運用の問題として、フィードバックが必要である。ところが、**工数／製造重量／ファミリー**は平均値であるので、そのファミリーの個々のパイプ部品重量を掛けることにより、そのパイプ部品当りの工数の見積値を得ることが出来る（下式参照）。この見積値を系統別に合計することで製造工数／系統の評価値を求められ、見積り者へとフィードバックされる。

$$\text{工数／製造重量} \times \text{ある部品の重量} = \text{工数} \times \frac{\text{ある部品の重量}}{\text{製造重量 (全ての部品の合計重量)}}$$

通常、非常に大量のパイプ部品を取り扱う為、生産性指標の微分計算と適用には、コンピューターの利用が必要となる。先進的な造船所がコンピューターの導入先として資材定義を重要視している理由が、ここにも表れている。



- | | | |
|--------|------------------|--|
| 直管 | Straight | $E_S = e_1 + e_2 + e_6 + e_7$ |
| 直管/枝管 | Straight/Branch | $E_{SB} = e_1 + e_2 + e_4 + e_5 + e_6 + e_7 + e_8$ |
| 加工後 曲げ | Bent After Fab. | $E_{BAF} = e_1 + e_2 + e_3 + e_5 + e_6 + e_7$ |
| 加工前 曲げ | Bent Before Fab. | $E_{BBF} = e_1 + e_3 + e_4 + e_5 + e_6 + e_7$ |
| 組立 | Assembled | $E_A = e_1 + e_4 + e_5 + e_6 + e_7 + e_8^*$ |

* 枝管が含まれる場合

E = ファミリー別の生産性指標
e = 作業定盤別の生産性指標

図 2-15 : 工数/製造重量/ファミリーは、図のように関係する作業定盤 (ステージ) の生産性指標を合計して求められる。工数/製造個数/ファミリーも同様に求められる。

3. 0 改善提案 (Suggestions)

3. 1 必須条件 (prerequisites)

パイプ工場の生産性改善の要 (かなめ) は、作業者が、予測できない出来事により邪魔されることなく、彼ら自身に割り当てられたマーキングや切断、溶接といった作業に集中可能な環境を構築することである。これを実現する為に、パイプ工場管理者による計画作業と日程作成が、特に週のロットサイズ決定において、特異なものになっている。更に PPFM は、設計、資材定義、資材管理の担当者までもがパイプ工場の製造課題を考慮すると言う、同様に特異な環境の上に成り立っている。

3. 2 統計学的管理

パイプ工場における作業プロセスの継続的な改善には、先進的な造船所で実践されているのと同様に、統計学的分析が必要である。定常能力 (normal performance) を基にした、基準範囲 (standard range) と許容誤差 (tolerance limit) が、真直度 (straightness) や全長、フランジの位置合わせ、フランジ上のボルト穴の位置といった事象に必要となる。更に、先進的な造船所では、パイプ架台に取り付けられるパイプ部品や、デッキの平面度についての基準範囲と許容誤差も作成している。こうした事から、先進的な造船所では大型の艀装ユニットの搭載と溶接においても、デッキの凸凹に合わせる為のマーキングと切断 (現物合わせによる調整) が不要になっている。

3. 3 設備

PPFM は、工場が自動化されているかどうかとは関係の無い、作業の組織化の為の理論である。そして PPFM として適用され、完全に活用されているグループテクノロジーは、追加施設が要求されるかどうかを、決定しておく必要がある。すなわち、まずは作業プロセスの管理に成功してみないことには、新しい設備が本当に必要かどうかを判断するのは不可能である。(訳注：文脈が今一つ繋がらない。設備どうのと言う前に、まずは作業プロセスを管理する事から始めるべきだ、という意味合いなのかと思われる)

1973年のアラブのオイルショックによる造船不況の直前に、造船所では相当な規模の投資が行われ、切断やフランジ搭載、溶接、曲げといった作業が完全に自動化された。更に、パイプ素材の貯蔵や出庫、中間貯蔵、そして機械間の輸送といった補助的な設備までが自動化された。そうした機器の管理に使用される作業指示は、コンピューターにより計画・日程データと結び付けられた。

こうした導入計画では、経済的な面ばかりが評価され、予想されるパイプ工場の製造作業負荷が考慮されていない。そしてパイプ工場の製造作業負荷と同様に重要であるにも関わらず、しばしば見逃されるが、区画艀装を支援するコンピューター化に適した形式と数量という点で、パイプ部品の設計と資材の定義に何が必要となるかということと、更に、自動化で最大の利益を得るためには、資材をどのように組織化し、どのように提供するかということもまた、同時に考慮されなければならないのである。言い換えるならば、パイプ部品製造システムは、パレット仕分けを通じて、設計、資材定義、資材管理と繋がっているのである。造船システムの一面のみの改善を考慮するのではなく、造船システム全体に対する影響を評価しなければならないのである。

3. 4 自動化機器の配置

自動化機器の配置については、特別な考慮が必要である。作業フローの最後端に自動化機器を配置すると仕掛品（work-in-process）が減少するが、逆に作業フローの最前端に自動化機器を配置すると仕掛品が増加し、それに伴うコストが増加する事になる。

3. 5 直管（straight pipe）

直管は、パイプ部品ファミリーの中で最も大きな部分を占めており、そして製造時間が最も短い。治具や機器との相性も良く、治具や機器により生産性の著しい改善が期待できる。また直管は定盤間の移動が最も容易である。直管の生産ラインは、資材搬入口から製品搬出口までの距離が最短になるように配置すべきである。

3. 6 枝管 (branch)

枝管は、直管ファミリーか、もしくは組立ファミリーのどちらかに属する。図 2-15 では枝管部品の作業フローレンは分離されており、一般の作業フローに対して、枝管取付ステージと組立ステージに枝管を供給している。枝管のみの作業フローレンは、通常は残材専用の切断表によって管理される。

3. 7 冷間曲げ (Cold Bending)

直管以外の要素として、冷間曲げを最大限にするという原理を設計部門が適用することで、パイプ工場の生産性が大きく向上する。冷間曲げで製造可能なパイプを組立で製造すると、通常、取付作業量が 3 倍になる。

切断表をまとめる時、1つのロット内のパイプ部品は、径、肉厚、曲げ半径でグループ化し、ダイ（加工用の型）の変更回数を最小にすべきである。

3. 8 設計

転換設計 (transition design) と作業指示設計 (work instruction design = detail design、詳細設計) のどちらの構成図 (composition) も、以前の似たような配置図を基にして前もって準備されたパレットリスト、すなわち、区画／課題範囲／ステージで区分された推奨、作業パッケージリストから作成されている。設計が進むに従いパレットリストが更新されて行くが、通常は区画の境界内だけで調整が行われている。時には、設計の都合から、作業パッケージを分割したり、2つの作業パッケージを1つにまとめることがある。ステージ内の変更も可能である。(訳注：今一つパッとしない)

MLP の作成順序に影響する為、可能な限り早急にパレットリストの作成を完了する事が重要である。つまり、設計者はパレットの要求する順序に従って、パイプ部品の詳細図を作成して行くのである。このように、(詳細) 設計者は系統から系統へと (from system to system、清水とか海水とか燃料とか、そういう意味での system か?) 休みなくシフトして行かなければならず、そして転換設計で作成された構成図を消込み目的で使用している。

作業指示設計で作成される構成図 (composite) は、個々のパイプ部品の為の作業指示図である MLP の作成に使用される。パイプ部品の端点と曲げ交点 (bend intersection)、その他の重要な点の座標が定義されると、後はひたすら計算を行うのみである。この非創造的な作業はコンピューターを使用した方が早く、正確に実行可能である。コンピューターは具体的な寸法値を生成し、パイプ工場の運用に必要となる資材、溶接、塗装、パレット仕分け情報を正確に定義する。そしてコンピューターは、パイプ部品ファミリー毎の工数、進捗、生産性の定常率 (normal rates) から計算される計画と日程に必要な、パイプ部品ファミリー区分、重量、そしてデータを出力する。

パイプ部品ファミリー毎の製造期間、必要工数、製造手段は直前の、標準的なパイプ工場の効率を基にしていることから、そうしたフィードバックを行う時、コンピューターだけがパイプ工場管理者の需要を完全に満足させることができるのである。

3. 9 コンピューターによる日程作成と平準化

管理された作業プロセスの個々のパイプ部品の生産に必要な工数を、マスターファイルデータを基にコンピューターで計算を行うのは当然である。コンピューターは、個々のパイプ部品の加工開始日を、相当するパイプ部品ファミリーの標準リードタイムをパレット要求日から引くことによって計算している。図 1-21 のようにパイプ部品毎に加工開始日が異なるが、これは共通のパレット日に合わせる為である。

コンピューターは、まず、パイプ部品ファミリー毎と、作業フローレーン毎の、切断、曲げ、溶接、組立、仕上げの各ステージに必要な工数を計算する。時には、1つのステージ (例えば溶接定盤) に作業が集中する事もある。その時には、コンピューターは溶接作業量の大きなパイプ部品を、標準リードタイムの制限に収まる範囲で前倒しに日程を変更するのである。

このようなコンピューターによる平準化には、パイプ工場での最新の標準実績を反映したフィードバックが不可欠である。更に、船主要求による変更や修繕作業といった土壇場の要求が過剰になれば、手動による山均し作業が必要になってくる。

3. 1 0 ロットサイズ (Lot size)

パイプ部品の製造計画（作業負荷日程、資材管理方針等）では、1 週間を計画サイクルとするのが最も現実的である。全体的な計画の際には粗いロットサイズで考慮し、後から 1 週間の生産に必要な作業量に合わせて行く。1 週間の取扱い可能な作業総量が一定である為、1 週間で生産可能なパイプ部品の個数は、必要となる加工作業の複雑さによって変化する。

ロット毎での作業配分では、通常はパイプ工場の曲げ、組立、溶接といった処理能力の配分とは一致しない。全体的な作業量が工場全体の処理能力を大幅に上回っていないかどうかの監視は別として、個々の作業定盤での作業負荷の山均しには詳細な作業日程が必要となる。この為、多くの場合半日単位で作業員個人により作成される詳細作業日程が、作業定盤毎の実際の作業負荷を決定するのに便利である。

こうした山均し作業には、ある程度の柔軟性が必要である。（異なった定盤間での移動が可能なように）、作業員は 2 つ以上の作業定盤で作業する能力がなければならない。

3. 1 1 資材の運搬と貯蔵

パイプ工場の作業は、一方向へと流れるようにすべきである。つまり、逆流による混乱はあってはならない。個々の作業プロセスの期間（切れていて **tion** しか読めなかった。**duration** もしくは **action**）が比較的に短いことから、加工途中部品の処理量を比較的高いものにするためには、使用可能な機械を完全に利用し尽くさなければならない。その為、搬入される資材と搬出される製品の運搬・取扱の手段を、十分に考慮し途切れないようにしなければならない。ステージ間の個々の加工途中部品毎の運搬距離は最小でなければならない。ステージ間の運搬は、幾つもの代替手段で達成する事が可能である。最も生産性の高いアプローチは、その部品を仕上げた前のステージのチームによって、次のステージへと運搬する事である（訳注：初期のカンバン方式とは逆、というかフォード生産方式のオリジナルがこちら）。

ステージ間の、加工途中部品の中間貯蔵の考慮も重要な要因となる。そうした加工途中部品の貯蔵目的に使える余分な床面積は存在しないため、何らかの工夫をしなければならない。その 1 つとして、貯蔵棚により床面積を最大活用するというものがある。ただし、どのような手段を工夫するとしても、中間貯蔵は半日から 1 日分の資材を緩衝する能力に留めておくべきである。

パイプ素材の貯蔵施設の広さと貯蔵量は 1 週間分を準備しておくべきである。しかし大径パイプについては空間がより多く必要となるため、容積に応じて 2 日から 3 日分に制限すべきである。

3. 1 2 特殊作業

PPFM の効率とは関係なく、通常の作業フローを妨害するような特殊な作業を専門に行う為に、幾つかの施設を分離しておくべきである。ここで言う特殊な作業とは、船主による急な変更や、修繕船用の作業などである。

3. 1 3 進捗管理

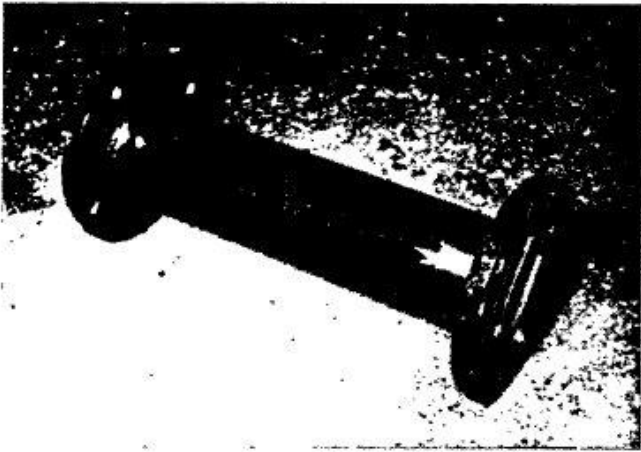
図 2-5 に示すように、作業進捗管理の主要な責任所掌は、計画管理グループとパレット仕分けグループが受け持っている。しかし、パイプ工場で働く職場長と作業者も、遅れている作業を正確に指示し、そして上塗りステージから出てきたパイプ部品を、次のステージで必要となる表面処理に従い並べ替えることで、協力する必要がある。(訳注：上塗り、表面処理といった具体作業名がなぜここで必要なのかが不明)

3. 1 4 従属資材 (subsidiary material) の管理

パイプ工場が必要となる溶接棒、接着剤、その他のそうした資材は、作業者が自由に使用可能である。消耗量を帳簿に付け、フランジ等の関連品とリンクさせ、特定の船の建造プロジェクトにかかったコストを計算する。

3. 1 5 関連する写真

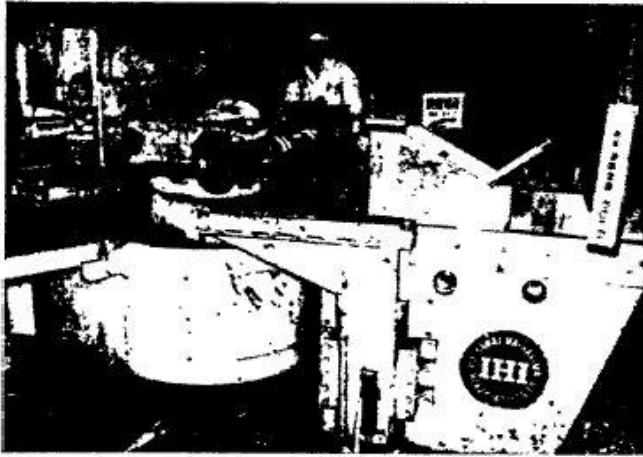
図 3-1 から図 3-4 にかけて、運用されている PPFM の様々な面について説明している。



A



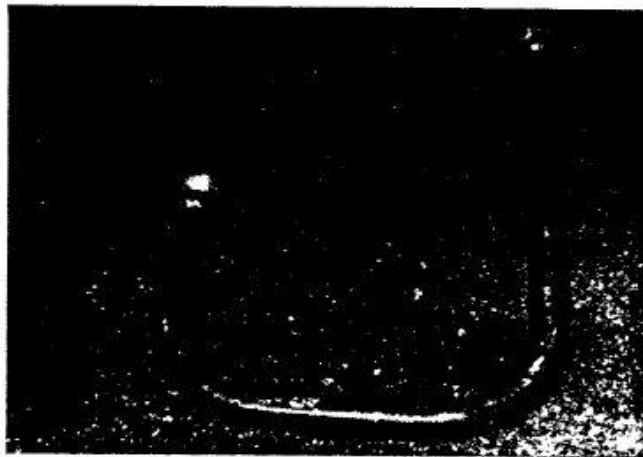
B



C



D



E

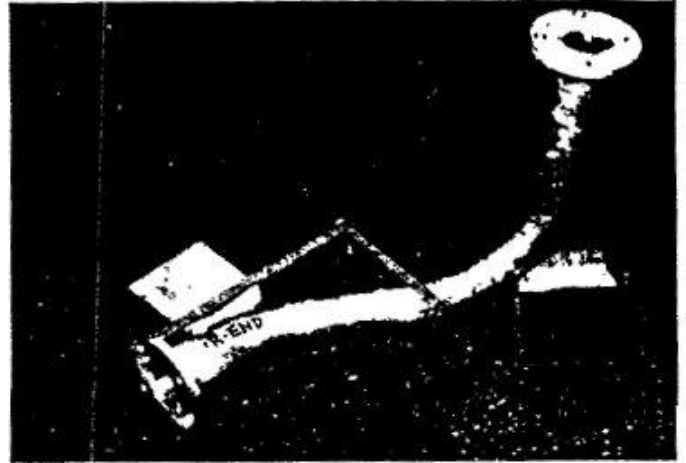
図 3-1 : 典型的な PPFM 区分け

A と B 直管

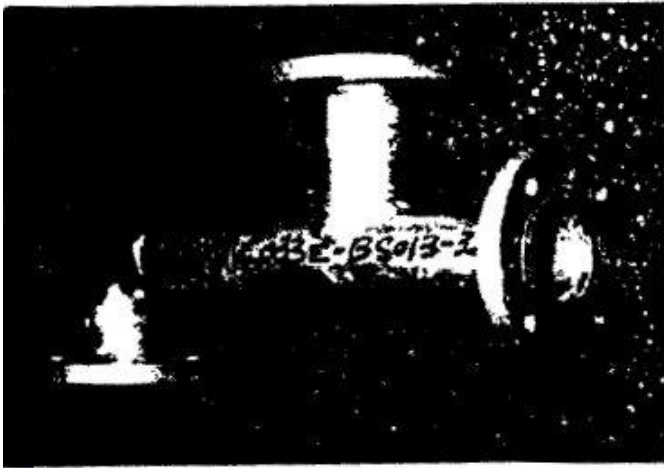
C、D、E 加工後の曲げ



A



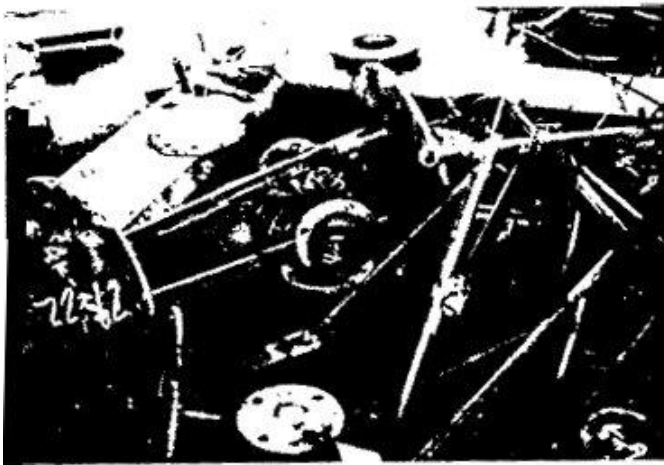
B



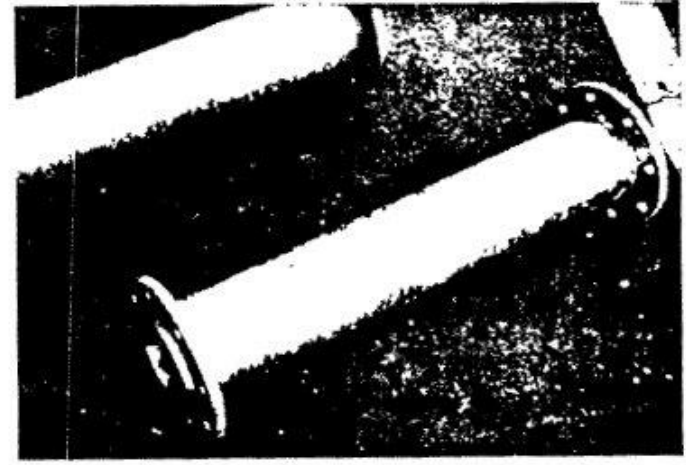
C



D



E



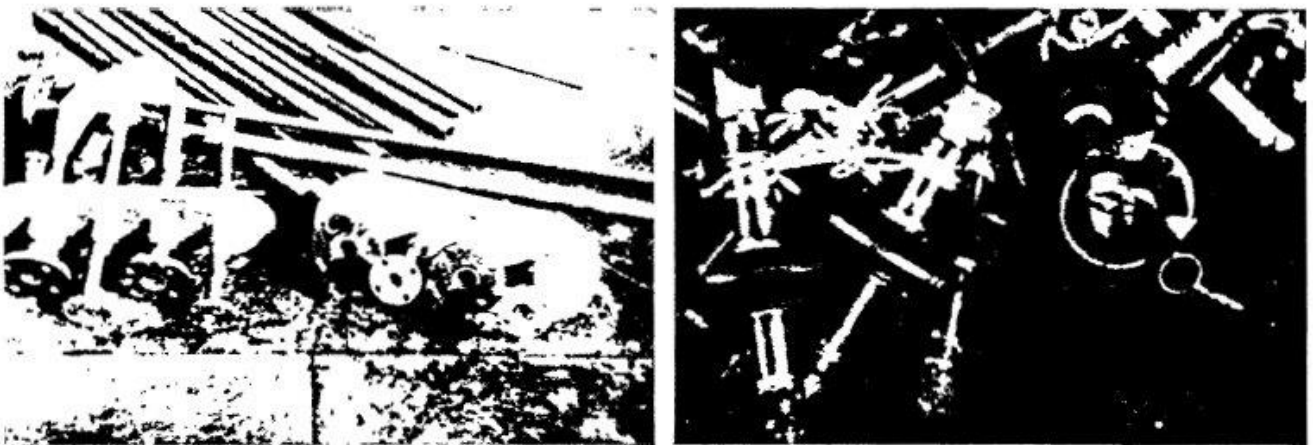
F

図 3-2 : 典型的な PPFM 区分け

A と B 加工前の曲げ

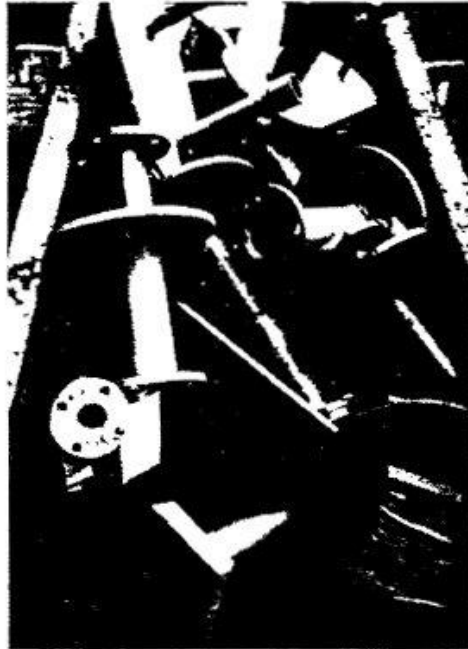
C 組立、 D ユニット組立、 E 型取りによる成形、

F ルースフランジ (loose flange) による調整



A

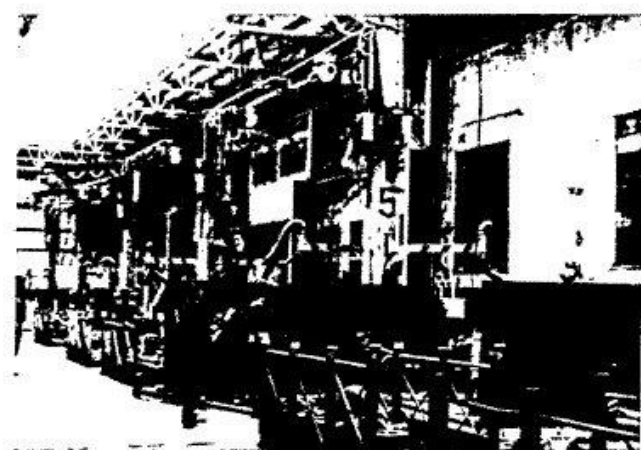
B



C

図 3-3 : 典型的な PPFM 区分け、貫通金物

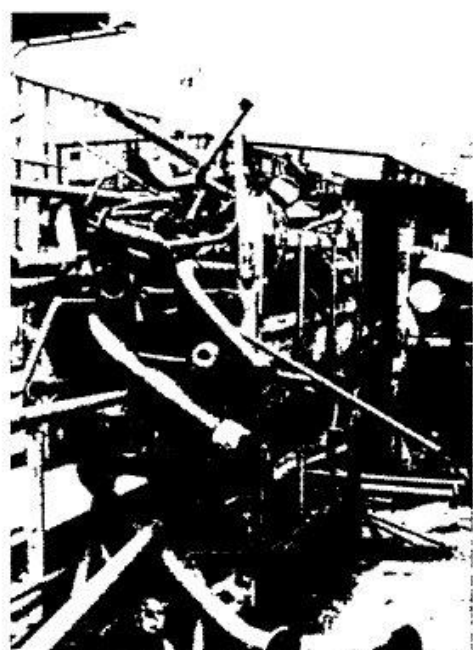
- A 平行配管は、複数の系統 (system) を 1 つの貫通金物として組立やすくする
- B 貫通金物の為に、銅管を鉄に蝕付けする (?)
- C 油圧系統も含んだ、多様な系統 (system) の、完成した貫通金物



A



B



C



D

図 3-4 : その他

- A : 組立パイプ部品の作業定盤は、フォークリフトの移動が容易な幅のある 2 本の作業レーンに挟まれた範囲に、1 列に並べられている。手前にあるコンテナは、完成したパイプ部品を入れる為の物である。写真には写っていないが、手前には素材の入っているコンテナが置かれている。作業の構成と管理は、資材管理を通じて行われている。(イタリア、Monfalcone の Italcantieri 社)
- B : 多くのパイプ部品に特殊塗装は不要である為、特殊塗装施設では生産性を考慮し、パレット仕分け直前に手で塗装が行われている。
- C : パレット仕分けされたパイプ部品のコンテナは、貯蔵範囲を節約する為に積み重ねられるようになっている。
- D : 建物間のレーンは、パレット仕分け範囲としても利用可能である。

添付資料 A

| 階層 | <div style="text-align: center;"> </div> | | | | | |
|------|--|-----|-------|-------|-----|----------|
| | 範囲 | 資材 | X線の有無 | 主管・枝管 | 径 | 直管・曲げ |
| 詳細範囲 | 銅 | 無し | 主管 | 小 | 直管 | |
| | | | | | 曲げ | |
| | | | | 中 | 直管 | 短 長** |
| | | | | | 曲げ* | |
| | | | | 大 | 直管 | 短 長** |
| | | | | | 曲げ* | |
| | | | 枝管 | | | |
| | | X線 | | | | |
| | | 非鉄 | | | | |
| | | PVC | | | | |
| | その他 | | | | | |

パイプ加工、パイプ部品組立、パイプ部品接合の階層のみの、課題範囲の詳細
空欄はそれ以上の詳細分割が存在しない事を示している。

※：中径と大径パイプ部品は同じ詳細範囲として割り当てられている

※※：同様に、長尺、中径、大径パイプ部品も、同じ詳細範囲として割り当てられている。

典型的なパイプ部品ファミリー製造 (PPFM) の区分

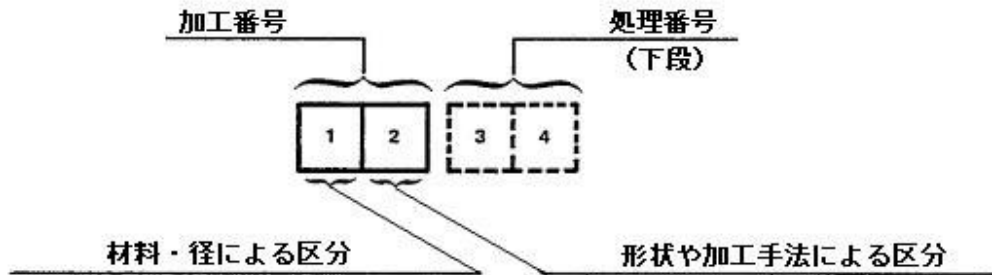
| PPFM NO. | パイプ部品区分 | スケッチ・注記 |
|----------|--|---------|
| 01 | 直管 ≤ 50 mm | |
| 04 | ≤ 200 mm | |
| 07 | ≥ 250 mm | |
| 11 | 加工後曲げ ≤ 50 mm | |
| 14 | $65 \sim 200$ mm | |
| 21 | レントゲン検査 (全量) | |
| 24 | (サンプル抽出) | |
| 25 | 水圧試験 ≥ 40 kg/cm ² | |
| 27 | < 40 kg/cm ² | |
| 31 | プラスチック | |
| 34 | 熱曲げ | |
| 41 | 加工前曲げ ≤ 50 mm | |
| 44 | $65 \sim 200$ mm | |
| 51 | 組立 ≤ 50 mm | |
| 54 | ≤ 200 mm | |
| 57 | ≥ 250 mm | |
| 61 | 特殊塗装 - ライナー | |
| 69 | - 亜鉛メッキ | |
| 71 | ネジ込み管 | |
| 77 | 貫通金物 | |
| 81 | ヒーティングコイル | |
| 84 | ステンレス管 | |
| 87 | 非鉄 | |
| 90 | 緊急 (M)* | |
| 91 | 型取り・調整 | |
| 92 | | |
| 93 | アルミ管・銅管 (M) | |
| 95 | ユニット組立 | |
| 96 | 製造期間長** (M) - PPFM No. 21, 24, 27 & 61 に同じ | |
| 97 | 铸鋼品 | |
| 99 | 一般 (M) - PPFM No. 96 を除く | |
| 00 | 型取り・調整 (M) | |

* (M) 手書きのパイプ部品図面で指示

** 平均時間よりも長時間必要

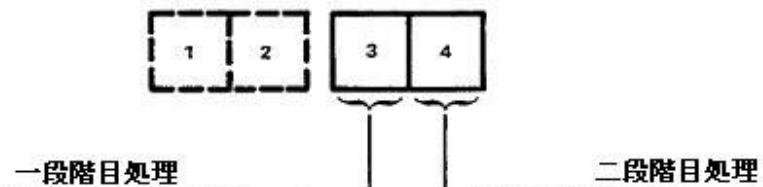
60,000DWTタンカーで用いられているパイプ部品のファミリー別数量

| PPFM NO. | パイプ径 (mm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 小計 | | |
|-------------|-----------|----|-----|----|-----|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-------|-------|
| | 8 | 10 | 15 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 65 | 80 | 100 | 125 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 | | 700 | |
| 01 | | | 183 | 16 | 256 | 21 | 289 | 200 | | | | | | | | | | | | | | | | | 965 | |
| 04 | | | | | | | | | 160 | 72 | 173 | 123 | 161 | 70 | | | | | | | | | | | 759 | |
| 07 | | | | | | | | | | | | | | | 100 | 23 | 16 | 34 | 47 | 41 | 45 | | 3 | | 309 | |
| 11 | | | 264 | 21 | 285 | 20 | 227 | 111 | | | | | | | | | | | | | | | | | 928 | |
| 14 | | | | | | | | | 46 | 31 | 48 | 16 | 16 | | | | | | | | | | | | 157 | |
| 21 | | | | | | | | | | 34 | 27 | 2 | 6 | | | | | | | | | | | | 69 | |
| 24 | | | 19 | 2 | 33 | | 4 | 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | 71 | |
| 25 | | | | | 1 | | 2 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | 11 | |
| 27 | | | 29 | 2 | 4 | | 59 | 12 | 10 | | 5 | 7 | | 2 | 18 | | | | | | | | | | 148 | |
| 31 | | | 5 | | 3 | 9 | 76 | 108 | 45 | 9 | 38 | | | | | | | | | | | | | | 293 | |
| 34 | | | | | | | 2 | | 4 | 1 | 4 | 8 | 4 | 5 | 22 | 6 | 6 | | 2 | | | | | | 64 | |
| 41 | | | 199 | 32 | 310 | 36 | 342 | 221 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,140 | |
| 44 | | | | | | | | | 152 | 82 | 137 | 89 | 81 | 43 | | | | | | | | | | | 584 | |
| 51 | | | 2 | 1 | 20 | 1 | 44 | 76 | | | | | | | | | | | | | | | | | 144 | |
| 54 | | | | | | | | | 56 | 36 | 95 | 59 | 74 | 68 | | | | | | | | | | | 388 | |
| 57 | | | | | | | | | | | | | | | 57 | 34 | 17 | 13 | 18 | 11 | 10 | 3 | 3 | | 166 | |
| 61 | | | | | 61 | 1 | 53 | 46 | 42 | 12 | 88 | 35 | 52 | 30 | 27 | 8 | 5 | 2 | 16 | 1 | 4 | | | | 483 | |
| 69 | | | | | 94 | | 45 | 18 | 23 | 50 | 56 | 20 | 12 | 16 | 47 | | | | | | | | | | 381 | |
| 81 | | | | | | | 43 | 196 | | | | | | | | | | | | | | | | | 239 | |
| 87 | | 29 | 227 | 24 | 101 | 4 | 293 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | 680 | |
| 90 | 20 | 40 | | | | | | | | | | | | 4 | | 2 | | 3 | | | | | | | 69 | |
| 91 | | | 83 | 13 | 111 | 16 | 146 | 94 | 57 | 57 | 118 | 63 | 46 | 25 | 35 | 6 | 14 | 7 | 2 | 2 | | | 1 | | 896 | |
| 93 | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | |
| 95 | | | 19 | 1 | 18 | | 12 | 13 | 4 | 1 | 7 | 8 | 8 | 7 | 13 | 1 | 1 | 7 | | 17 | 1 | | | | 138 | |
| 96 | | | | | | | 4 | 5 | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | 11 | |
| 99 | | 16 | 28 | 27 | 5 | 1 | 4 | | 7 | 1 | 1 | 10 | | 3 | 12 | 7 | 11 | 16 | 10 | 8 | 19 | 1 | 2 | 5 | 194 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 合計 | 9,289 |



| NO. | 内容 (単位はインチ) |
|-----|---|
| 1 | 鋼管 $\phi < 1''$ |
| 2 | 鋼管 (自動加工ライン) $1'' \leq \phi \leq 10''$ |
| 3 | 鋼管 (自動切断) $1'' \leq \phi \leq 10''$ |
| 4 | 鋼管 (手動加工ライン) $1'' \leq \phi \leq 10''$ |
| 5 | 鋼管 $\phi > 10''$ |
| 6 | 非鉄パイプ |
| 7 | |
| 8 | |
| 9 | |
| 0 | 型取りパイプ |

| NO. | 内容 |
|-----|-----------------------|
| 1 | 直管 |
| 2 | 直管 (A) *1 |
| 3 | NCベンダーによる曲げ |
| 4 | NCベンダーによる曲げ (A) *1 |
| 5 | 冷間ベンダーによる曲げ |
| 6 | 冷間ベンダーによる曲げ (A) *1 |
| 7 | 事前加工パイプ |
| 8 | エルボ (? sector pipe) |
| 9 | 焼曲げパイプ |
| 0 | 分岐部分 |

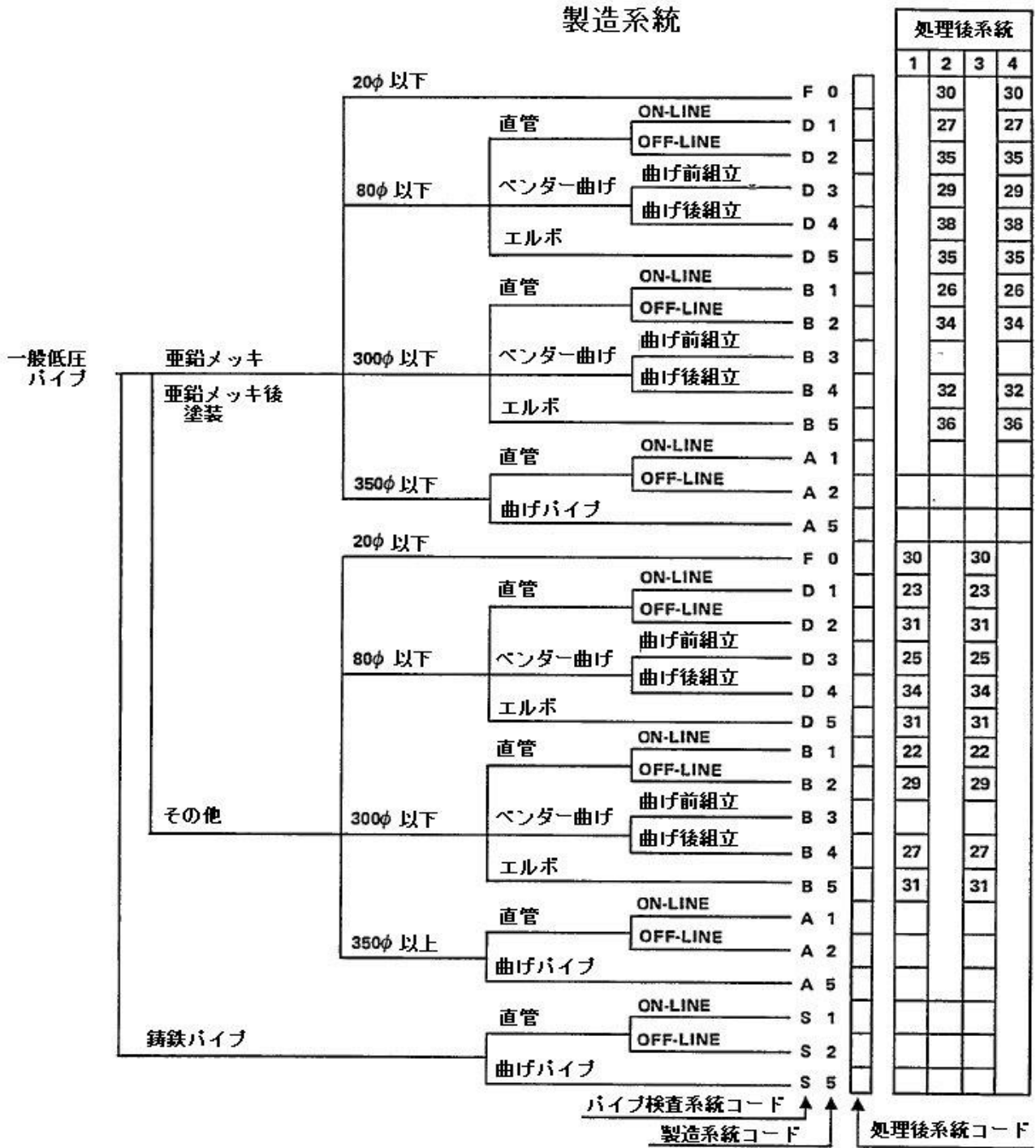


| NO. | 内容 |
|-----|--------------|
| 1 | 高圧パイプ X線検査 |
| 2 | 高圧パイプ X線検査無し |
| 3 | 酸洗い |
| 4 | サンドブラスター |
| 5 | 亜鉛メッキ |
| 6 | ポーリング |
| 7 | |
| 8 | |
| 9 | |
| 0 | 無処理 |

| NO. | 内容 |
|-----|----------------|
| 1 | 塗装 (アクリル? AL) |
| 2 | 塗装 (エポキシ? E) |
| 3 | 酸洗い→アクリル塗装 |
| 4 | サンドブラスト→アクリル塗装 |
| 5 | ポーリング→アクリル塗装 |
| 6 | ポーリング→エポキシ塗装 |
| 7 | ポーリング |
| 8 | 圧力試験→エポキシ塗装 |
| 9 | |
| 0 | 無処理 |

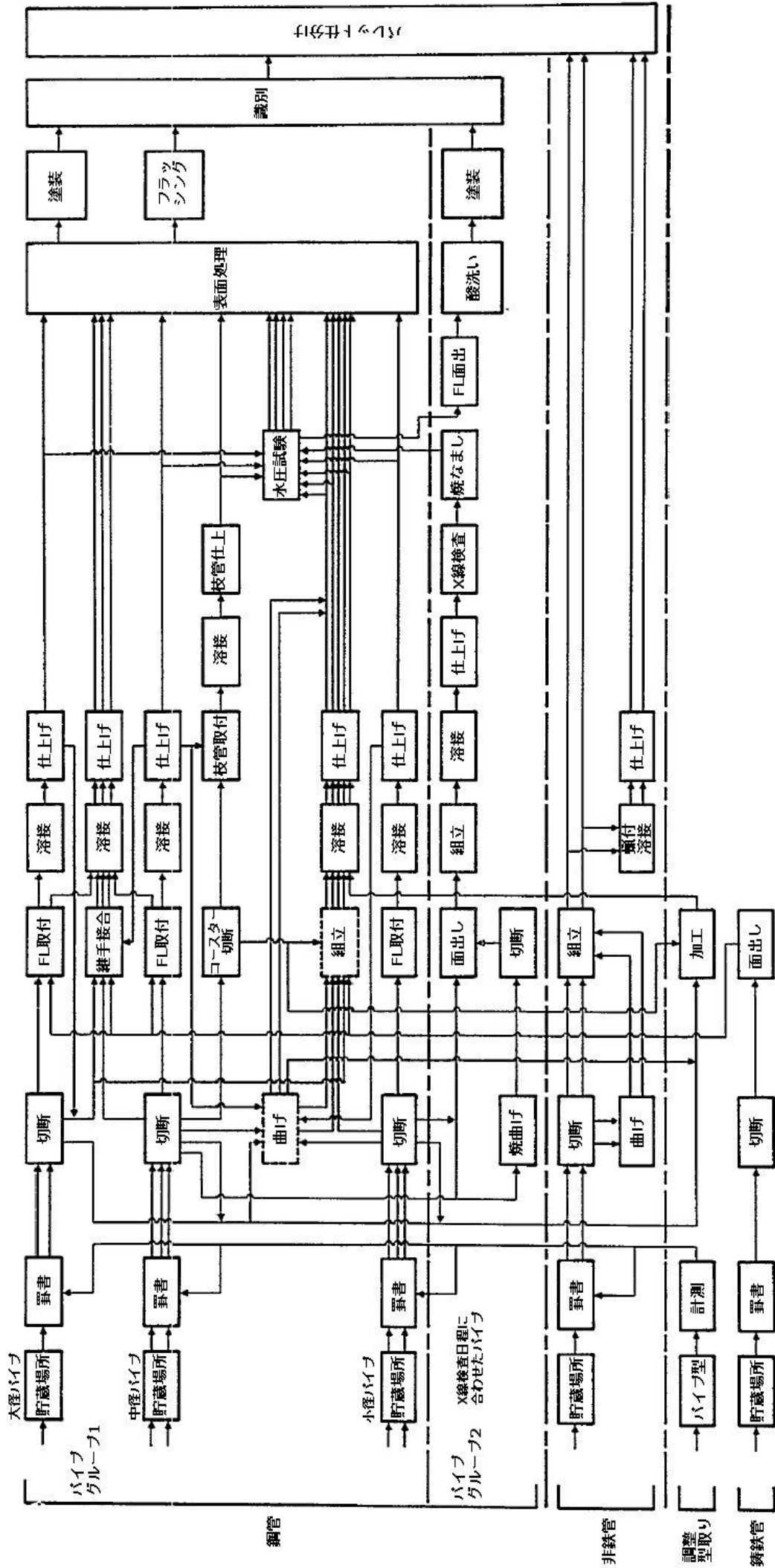
パイプ部品ファミリー製造 (PPFM) のコードの例

製造系統



設計者がパイプ部品ファミリーを決定する際に使用されている、典型的な決定論理表

このテーブルをコンピューター化して、自動的にパイプ部品ファミリー番号を生成することも可能である。この表は、ヨーロッパの造船所のパイプ工場向けに作成されたものである。手動作業定盤に加えて自動生成ラインがあるため、「オンライン」「オフライン」の区別がなされている。



PPFM を採用している手動パイプ工場でのパイプ製造の流れ

添付資料D

下請け支払計算書

下請け会社：

Ship No.

Date:

| | |
|-------------------------------|--|
| パレット番号 | |
| ファミリー | |
| 個数 | |
| 重量 | |
| 完成日 | |
| パレット要求日 | |
| 工数 (分 溶接以外) | |
| 工数 (分 溶接) | |
| 製造原価 | |
| 付属資材原価 | |
| 取替、切断、組立 曲げ、仕上毎の 工数 (分) | |

合計
+ 郵送費

枝管表

| | |
|-----------------|--|
| ライン番号 | |
| 開始日 | |
| 主管径 | |
| 枝管径 | |
| 材質 | |
| 船級 | |
| 枝管取付角 | |
| 切断長 | |
| 端部取付 (フランジ等) | |
| フランジボルト振り角 | |
| 枝管長 | |
| 溶接開先 | |
| 塗装 | |
| 船番 | |
| MLF番号 | |
| パイプ部品番号 | |
| 注文番号 | |

パレット仕分け促進MLF

Ship No.:

MLF No.

パレット要求日:

| | |
|------------|--|
| ライン番号 | |
| 注文番号 | |
| 取付、溶接条件、形状 | |
| パイプ径、材質 | |
| 長さ | |
| パイプ部品番号 | |
| 組立日 | |
| 完成日 | |
| 重量 | |
| 塗装 | |
| パレット要求日 | |
| ファミリー | |
| 内面積 | |
| 系統 | |

資材出庫表

倉庫：

出庫日：

| 資材管理 | 艦装資材コード | 記載 (材質、標準、寸法、備考) | 塗装 | 船番 | 注文番号 | 繰り返し回数 | ユニット (? Unit of) | パイプ部品ファミリー | 部品番号 / 図面番号 | 設計者名 | 保管場所 | グループ | パイプ個数 | ラック番号 | 特記 |
|---------------------------------|---------|------------------|----|----|------|--------|------------------|------------|-------------|------|------|------|-------|-------|----|
| Empty table body for data entry | | | | | | | | | | | | | | | |