

論文 ファシリティのライフサイクルを考慮した 生産モデルの設計手法に関する研究*

A Study of Design Methodology for Manufacturing System Model in Consideration of the Facility Life Cycle

小島史夫 岩田一明 福田好朗 松本和男
Fumio KOJIMA Kazuaki IWATA Yoshiro FUKUDA Kazuo MATSUMOTO

In recent designs of manufacturing systems with the aim of reducing costs, the facility life cycle, ranging from planning to disposal and reuse, is an important factor. The purpose of this study is to propose a new design methodology for manufacturing system models in consideration of the facility life cycle. First, the Facility Life Cycle Model which consists of three basic viewpoints, namely the structure, the methodology and the data, is proposed by analyzing the design process. Next, a new design description method-MALIC (MANufacturing Life Cycle) -which integrates the three viewpoints as a unique system configuration is proposed. Finally, a case study confirms the effectiveness of the method. These results show that this method reduces manufacturing life cycle costs and saves resources throughout the facility life cycle.

Key Words : Production System, Modeling, Design, Life Cycle, Design Methodology

1. 緒 言

近年の製造業では製品競争力強化や地球環境問題への対応のため、製品のライフサイクルに加えて、生産システムのライフサイクルを考慮することが着目されている。生産システムの企画・設計・運用・廃棄などのライフサイクルの各局面で設計・評価作業が高品質かつ迅速に行われることは、効率的な投資により生産システムのライフサイクルコストを低減し、コンカレントエンジニアリングにおいて生産準備期間を短縮し、さらにはリサイクル・再利用などにより資源を有効に活用するために非常に重要な課題である。これを実現するためには、生産システムのライフサイクルを通じて一貫して高精度かつ高効率に設計・評価が行える設計・評価技術が不可欠である。

本研究はISOのTC 184“製造現場における標準化のための参照モデル”¹⁾において示される工場層以下のファシリティにおけるライフサイクル、即ちファシリティライフサイクルを研究対象としている。

図1はファシリティライフサイクルの視点に基づくファシリティの設計・評価作業を示している。一つの

生産システムのライフサイクルは様々な設計・評価段階から構成され、多くの設計作業が専門技術者によって逐次的に実施される。複数の製品に対してもファシリティは対応することが多く、ライフサイクルは長期間に及ぶことが多い。ファシリティライフサイクルを通じて一貫した設計・評価作業を迅速かつ高品質に行うためには、以下の点が課題となる。

- (1) 従来、設計・評価段階では図面などの設計結果が技術者の間で共有化されるが、設計結果に至った経緯、設計データの変遷、さらには実行時に用いられた技術・技能は共有化されていない。しかも設計・評価作業自体が整理・体系化されていない。効率的な設計・評価作業のためには設計結果に至る詳細な生成プロセスまでが体系化され、これを共有化できる設計・評価の仕組み、即ちモデル化が必要である。これは未熟練技術者の能力向上のためにも非常に重要であり、常に高い品質の作業が持続的に行える。
- (2) 共有化すべき設計データや設計作業経歴などの設計情報を一元化して扱える手法がない。しかもファシリティライフサイクルを通じた設計作業では、技術者の所属組織の風土・環境や作業の納期など様々な設計上の環境変化により多様な設計・評価作業モデルが発生するため、これに柔軟に対応する設計手

*日本機械学会論文集(C編)62巻597号(1996)より転載

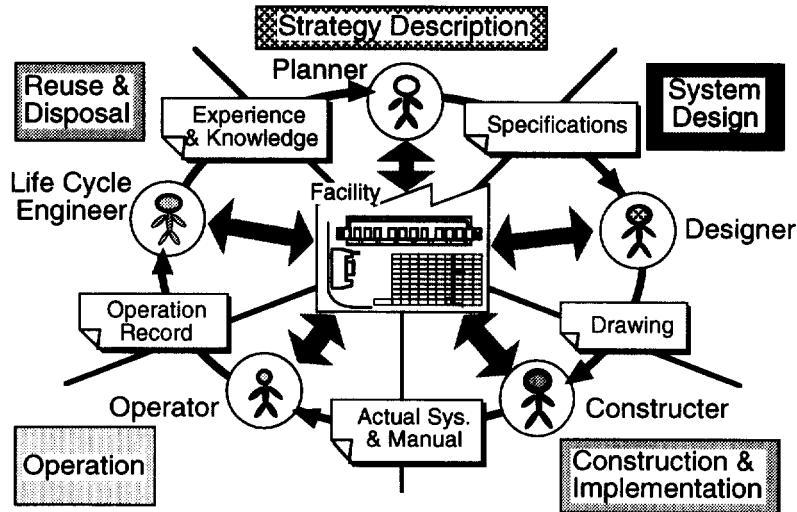


Fig.1 Present Manufacturing System Design

法が必要である

(3) 具体的な設計・評価作業では技術者は自分で適当な複数の支援システムと手作業を組み合わせ利用している。ファシリティライフサイクルを通じて一貫して具体的な設計・評価作業の実施を支援する環境整備は不十分であり、これを自動化した作業支援環境の整備が必要である。

ファシリティライフサイクルを通じて一貫した生産モデルに関する研究はCIM (Computer Integrated Manufacturing) の構築モデル^{2)~5)}を中心に行われている。これらの研究では設計・評価作業のモデル化を提案してはいるが作業プロセスの表現および記述手法に関する研究が主体であり、設計・評価作業自身の体系化までを考慮した検討は行われていない。また、ファシリティの対象を限定し、ファシリティライフサイクルを通じて一貫して体系化された設計・評価モデルを定義し、それに基づく設計支援環境の実現を目指した研究も行われているが^{6),7)}、生産モデルの柔軟な記述が難しく、汎用的にファシリティ全般へ適用することまでは考慮されていない。

本研究はファシリティのライフサイクルを通じて高効率・高品質な生産モデルを設計するための設計作業の体系化、方法論の提案及びそれを具現化する設計支援システムの構築を目指している。本報ではまずその基盤となる生産モデルの設計手法について論じる。まず、ファシリティライフサイクルを通じた一連のファシリティの設計作業をモデル化し、体系化する。次いで個々の設計作業モデルを具体的に表現する方法論およびそれに基づく設計支援システムを提案する。最後に事例に適用し、本方法論の有効性を検証する。

2. 設計作業のモデル化

—ファシリティライフサイクルモデル—

ファシリティライフサイクルの視点からファシリティの構築を捉えると、その構築が概念的な形態から具体的な詳細仕様へと徐々に生成されていく設計過程を的確に表現することが重要である。同一のファシリティを設計する場合でも、その生成過程は投資環境、設計環境の相違により異なる。そこで生成過程を柔軟に表現する生成モデルとして図2に示すジョブユニットを、実際の設計作業を分析することにより提唱している⁸⁾。本モデルは一つの設計作業をこれの特徴付ける目的、組織、設計段階、設計作業および作業結果の5つの要素により構成されるジョブユニットにより表現し、このジョブユニットの連鎖により多様な設計の

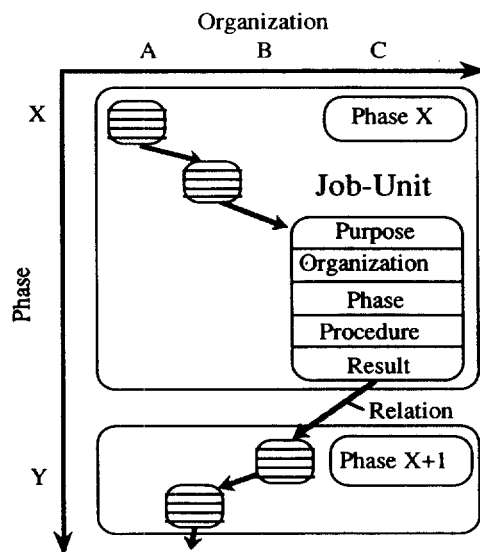


Fig.2 Job-Unit

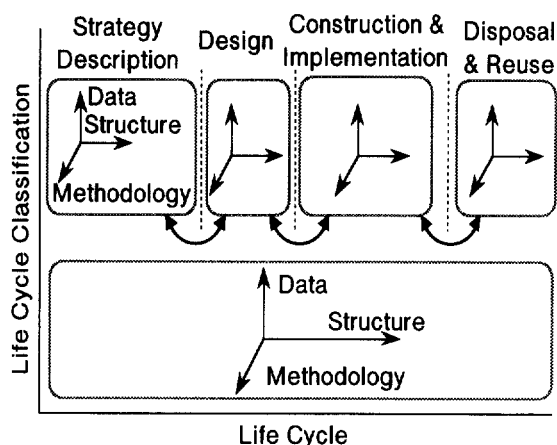


Fig.3 Facility Life Cycle Model

生成過程の表現を可能にしたものである。個々のジョブユニットはそれ自身で自己完結的に設計作業を表現したカプセル構造となっており、これをオブジェクトとして捉えることができる。したがってジョブユニット間の連鎖はオブジェクト間のメッセージ通信として捉えることができる。この結果、ファシリティライフサイクルを通じた多様な設計過程はオブジェクト指向の概念を導入することにより柔軟かつ一貫して扱うことが可能となった。

実際の設計作業では、このジョブユニットの連鎖による設計過程に加えて、各ジョブユニットに示される設計作業を具体的に表現する方法が必要である。詳細な設計モデルとして図3に示す3つの視点で構成されるファシリティライフサイクルモデルを提案する。本モデルはジョブユニットがオブジェクトとして扱える点に着目している。オブジェクトであるジョブユニッ

トおよびジョブユニット間の連鎖により表現される生成過程を表す構造軸に加えて、ジョブユニットでの具体的な設計作業の手順をオブジェクトの手続きとして表現する手法軸およびジョブユニットでの設計作業で用いられる具体的な機能や特徴量をオブジェクトの属性として表現するデータ軸から構成される相対座標系の3軸モデルである。また、このモデルはファシリティライフサイクル全体を通じて一元化した座標系としても、設計段階毎の異なる相対座標系からなる複数モデル群としても設定することが可能である。この時、各モデルの構造軸がジョブユニットの連鎖により表現されるため、構造軸に沿った相対座標軸間の連携は保たれ、ファシリティライフサイクルを通じた設計モデルの一貫性は保たれる。

本設計モデルの構造を実際の事例に適用し、3軸の特徴を抽出した。ファシリティライフサイクルを7段階に層別した特徴を表1に示す。

- (1) 構造軸ではジョブユニットの連鎖による設計過程が構造として表される。この過程ではジョブユニットとして表現されるファシリティ構成要素の抽象度が、ライフサイクルに応じて変化する点が共通的な特徴として見いだされる。同一のファシリティを設計する場合でも、戦略記述段階ではファシリティの基本的機能に関わる抽象的な諸要件がまず明確にされ、システム設計段階では機能、アーキテクチャ、システム構成要素、物理的な構成要素やソフトウェアにまで詳細化される。さらに運用段階ではファシリティの構成要素の稼働状態などにまで詳細化される。再利用・廃棄段階では検討対象となる構成要素は詳細に扱われる。

Table 1 Characteristics of the Facility Life Cycle Model

Design Axis	Phase	System Design			Construction Implementation	Operation	Reuse Disposal
		Formulation	Specification	Realization			
Structure	Requirements Constraints	Functions & Objects	Architectures	System Elements	Physical Objects Software	Conditions Status	Reuse Objects
Methodology	Capability Investment	Capability Investment Efficiency	Capability Investment Efficiency	Productivity Efficiency	Productivity Efficiency	Productivity Cost Quality	Disposability Reusability Cost
Data	Data for Goals & Objectives	Function Name Relations	Function Names Relations Attributes	Function Names Relations Attributes Specific Data	Function Names Relations Attributes Specific Data Control Commands	Real Data Actual Data	Specific Data Career Data Law

- (2) 手法軸では構造軸においてジョブユニットで示された設計作業を具体的に実施する手続きが示される。手法軸では具体的な設計がデータ軸で示された属性を用いて逐次的に行われ、最終的に構成要素の形態と属性を算出し、ジョブユニットの作業結果として出力するまでの一連の具体的な手続きが示される。各手続きではシミュレーションなどのシステム構造計算、採算性計算、レイアウト策定など様々な種類の設計手法から構成され、ジョブユニットで示される各設計作業毎に一連の具体的な操作手続きが体系化される。この軸では一連の手続きの結果を評価する項目および尺度がファシリティライフサイクルに沿って共通した特徴として見いだされる。表1に評価項目を特徴量として示すが、生産システム全体の能力評価や投資採算評価など経営的な評価から生産性、稼働率などの効率や生産コストなど具体的な運用面での評価までが各設計段階での共通的な特徴量として整理される。また、評価項目はライフサイクルの各作業段階での設計作業の要求品質、ライフサイクルを通じて変化する構成要素の抽象度に同期して徐々に具体化されていくことも明示される。
- (3) データ軸ではジョブユニットに示された設計作業を手法軸で具体的な手続きとして実施するために具体的なファシリティ構成要素の形態とそれらの機能および特徴量が属性値として示される。ジョブユニットで定義される組織などの各種資源もデータとして扱われる。各ライフサイクルフェーズで要求されるデータの精度は要求されるファシリティの抽象度に応じて変化していく。データの精度はファシリティ全体の構造やその特徴を表すデータから各構成要素の機能、関係へと徐々に詳細化され、運用段階ではリアルデータが用いられる。廃棄・再利用段階では運用時に用いられたデータが整理され、経歴データなどとして利用される。これらのデータはファシリティの機能に応じて抽象的な表現から具体的な表現まで一元的に整理される。また、これら一元化されたデータは抽象的な表現と具体的な表現が相互に関係付けられていることが必要である。これにより実際の設計作業でライフサイクルに戻りが発生した場合にも有効に機能する。

3. 設計作業の具体的な表現方法

前章で提案したファシリティライフサイクルモデルの各軸の具体的な表現方法について検討する。

3・1 データ軸の表現方法

各ジョブユニットで用いられる属性値が、データ軸上で一元的に表現され、有効活用されることが重要である。属性値は、ファシリティライフサイクルを通じて一貫利用できるよう、一元的に体系化され、しかも一元化されたデータ間の関係が相互に関係付けられるよう表現されなければならない。データ表現は各構成要素の機能およびその機能を具体的に定量化する特徴量が共に表現されることが望ましく、オブジェクト指向の表現が適している。本研究ではSTEP技術の一つであるEXPRESS-G⁹⁾による表現を試みている。EXPRESS-Gにより各ライフサイクルで用いられる構成要素の機能と特徴量を表すデータがエンティティとして表現され、データ間の関連が関係記号で表現される。図4はフローラインの設計をシミュレーションなどにより行う場合のデータ構造をEXPRESS-Gにより記述した事例を示す。この事例ではデータは設計作業で用いられる機能の視点から表現されている。機能設計段階で単に処理工程として扱われていたエンティティが、仕様設計段階では組立工程やロット処理工程など概略設備仕様を決める詳細なエンティティとして表現され、さらには実施設計段階では正味加工機能、設備信頼性機能、段取り機能など設備を設計するためのエンティティへと詳細化に表現される。エンティティ間の関係は関係記号によって表現され一元化が図られている。これらの要素が具備すべきサイクルタイム、稼働率などの諸元も同時にエンティティや属性として表現できるため必要なデータ構造を全体を一元的に表すことができる。

3・2 手法軸の表現方法

手法軸ではジョブユニットにより指示された個々の設計手続きが具体的に実行できるように適切に表現されなければならない。手続きは設計技法や関係する生産システムのデータとの関わりも含めて表現されなければならない。このために本研究ではIDEF0¹⁰⁾による表現方法を試みている。図5にその事例を示す。IDEF0の表現モデルではシミュレータで計算するという一つの業務がアクティビティとして表される。このアクティビティはジョブユニットの機能設計のための概略計算を行うという設計作業が入力として与えられると、シミュレータや評価ツールなどの具体的な設計技法(Mechanism)とそこで利用されるシミュレーションデータ(Control)を活用してシミュレーション業務を遂行し、処理結果をジョブユニットの設計結果

にシステム提案として出力する役割を果たす。ジョブユニットで入力された設計作業が複数の操作手順で構成される場合、複数のアクティビティを接続することにより表現することもできるし、操作内容を詳細に表現する場合、動的シミュレーション作業とシミュレーション結果評価のサブアクティビティに分解することなどのように IDEF0 の持つ入れ子構造により表現することもできる。各ジョブユニット毎に操作手順を体

系化し、IDEF0 で定義しておくことが可能なので、ジョブユニットの連鎖により表現された様々な形態の設計過程が与えられても、それぞれジョブユニットに定義された IDEF0 モデルを接続することで、連続した IDEF0 の表現モデルが容易に生成される。

3・3 構造軸の表現方法

以上のデータ軸及び手法軸により具体的に記述されたジョブユニットの連鎖として構造軸が表現される。

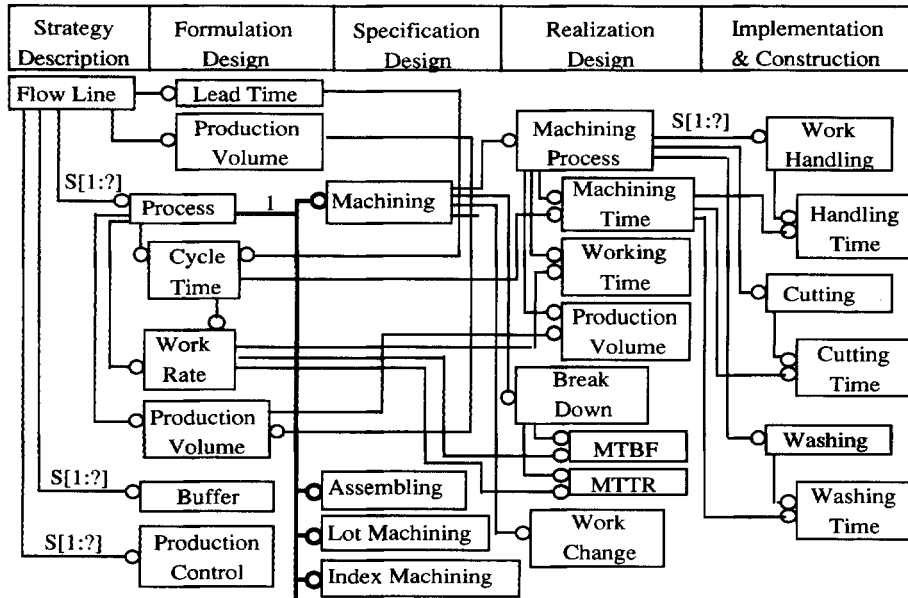


Fig.4 Data Axis Example by the EXPRESS-G

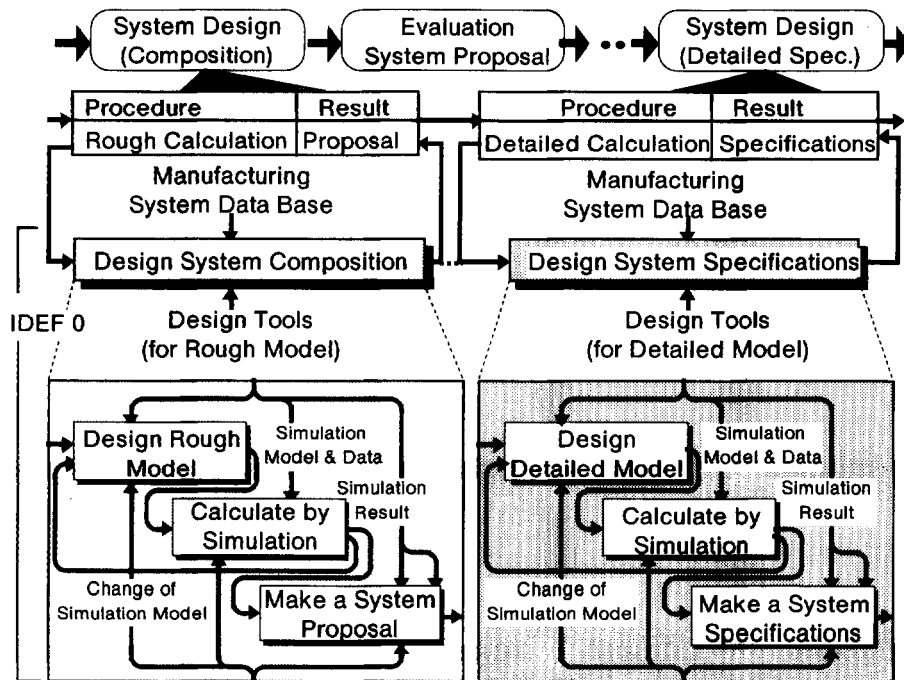


Fig.5 Methodology Axis Example by the IDEF0

表1でも示したように、ジョブユニットの作業結果として得られるファシリティの構造が変化していく過程を詳細に表すことができる。図6に示す部品加工ライン、部品搬送システム、部品保管システムおよび組立ラインから構成される生産システムの構造が徐々に変化する過程が表現することができることが確認される。機能設計段階では生産システムの機能を中心に設計していたものが、各構成要素の諸元、レイアウトまで含む詳細な機能検討へと変化していく様子が示されている。

4. 生産モデル構築支援環境 — MALIC —

前章で定義したファシリティライフサイクルモデルの各軸の表現方法を統合化した生産モデル構築支援環境 MALIC (MAnufacturing Life Cycle) を提案する。図7に全体構成を示す。各設計作業毎にジョブユニットがデータベース (モジュールライブラリ) として用意され、ジョブユニットはファシリティライフサイクルモデルで定義された詳細な手続きとそこで用いられる属性値により一元化された構造となっている。本図ではそれぞれ IDEF0, EXPRESS-G により表現された構造を示している。IDEF0 では利用されるデータは EXPRESS-G で表現されており、そこで利用される設計支援ツールも定義されている。これにより一つのジョブユニットが起動されれば具体的な設計作業を行うことが可能となる。なお、データはファシリティラ

イフサイクルを通じて一元化された構造となっており、このレベルで抽象度の異なるデータ間の関係付けが行われている。また、シミュレータ、工程設計システムなどの各種設計支援ツールも支援環境には用意され、IDEF0 により定義された具体的設計業務の遂行を可能にしている。

本支援環境の特徴はジョブユニットの連鎖によりファシリティのライフサイクルを通じて一貫したファシリティの生成論とそれを具体的に設計するための手続きと属性からなる方法論を一元化することができたために、対象となる生産システム、設計を行う技術者の所属の違いにより生ずる多様な設計手順の形態に柔軟に対応できる点にある。

技術者は自部署にあらかじめ用意された様々なジョブユニットから適切なジョブユニットを選択し、自分が行う一連の設計過程を記述することができる。これによりデータベースにより関連する操作手順およびデータのデータベースが自動的に参照され、IDEF0 による一連の操作手順が自動生成され、EXPRESS-G により各業務で参照すべき生産システムのデータが自動生成される。これと IDEF0 により定義される設計支援ツールにより一貫した設計作業を支援する環境が整備され、効率の良い高い精度の作業を行うことが可能となる。

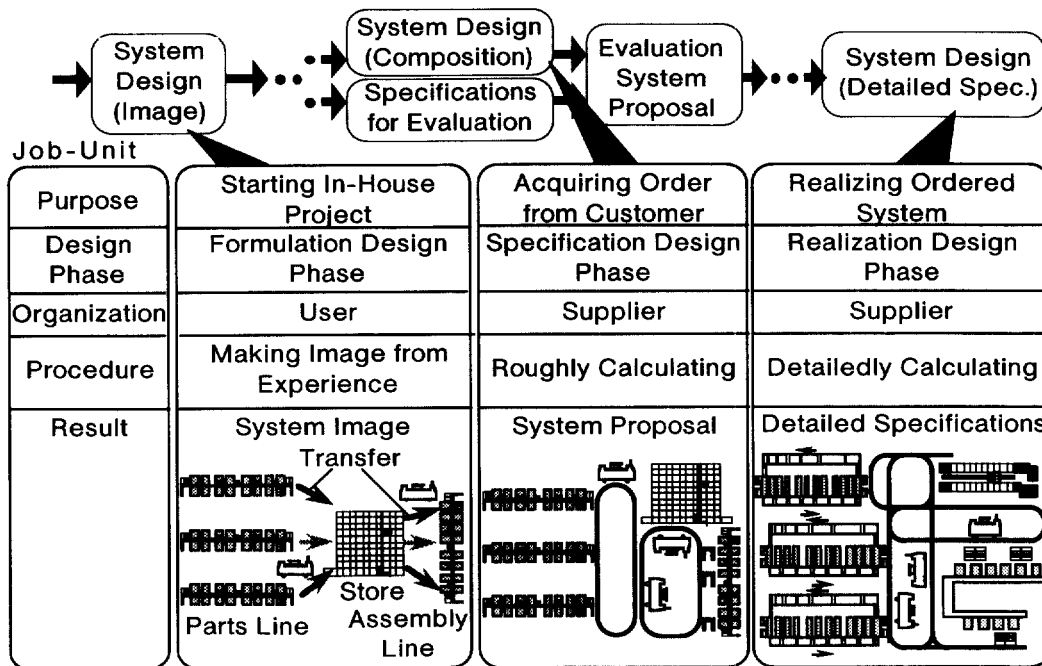


Fig.6 Structure Axis Example by the Job-Unit

5. 適用結果

MALICはファシリティの企画～構築段階における設計作業を主に分析することにより提案されている。そこで本MALICをファシリティの運用～廃棄・再利

用段階へも適用し、ファシリティライフサイクルを通じて一貫した利用の可能性を検証し、本提案の有効性を確認する。図8にフロー型生産システムの運用、廃棄・再利用段階においてシミュレーションにより作業

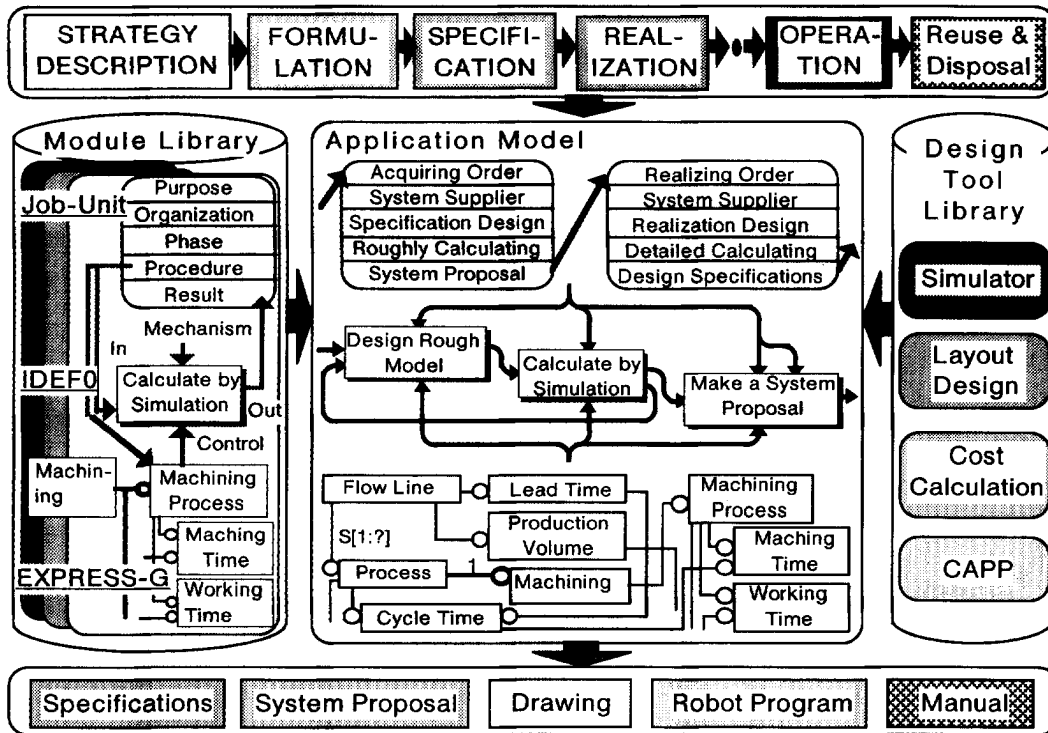


Fig.7 MALIC System Configuration

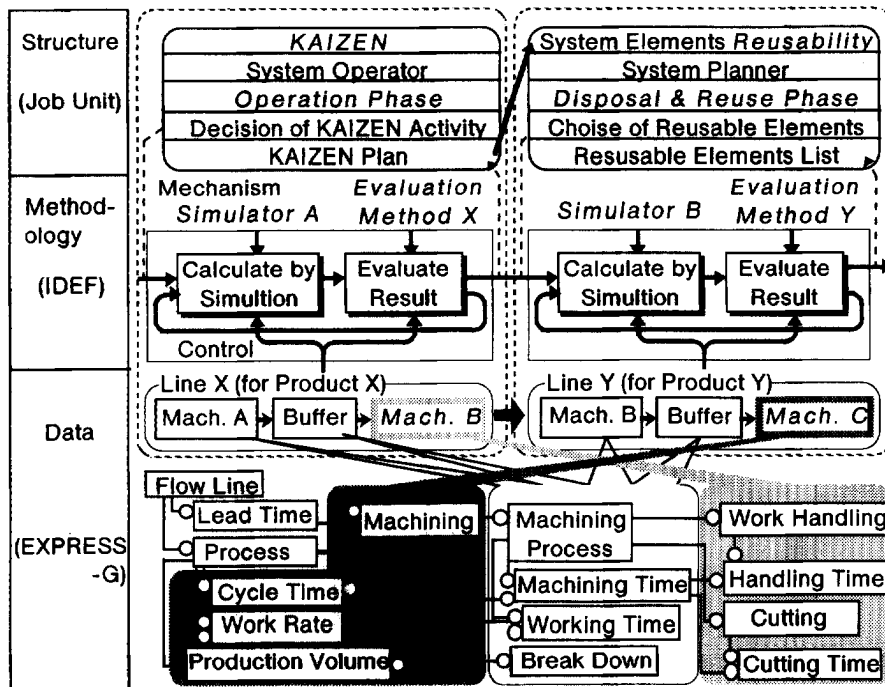


Fig.8 Applied Example Result

を行う場合の適用検討結果を示す。運用段階では実生産システムの不具合を改善するために詳細なデータに基づいたシミュレーションによる改善案の効果予測・検証が、廃棄・再利用段階では新製品ラインへの既存設備の転用可能性について設備の信頼性の面からシミュレーションによる評価が行われる。従来、この分野でのシミュレーション適用化作業はあまり普及しておらず、各担当技術者が各自の経験を基に試行錯誤により業務を行っており、作業時間の長期化や担当者間での設計品質の差を生じていた。そこでまず、この段階での作業をジョブユニットを核としたMALICにより詳細に表現する。適正な作業方法がIDEF0により各ジョブユニット毎体系化され、そこで用いられるデータが改善対象となる設備（設備B）と対象外の設備（設備A、バッファ）、再利用される設備（設備B、バッファ）と新規設備（設備C）の違いに対し、それぞれ異なった詳細度の表現仕様に整理され、EXPRESS-Gで体系的・一元的に記述される。これにより担当者の作業が客観的に表現できるので、自分の置かれた状況からジョブユニットを選択するだけで自分の行うべき作業の手順および扱うべきデータの抽象度を適切かつ容易に選定することが可能となる。同じシミュレーションを行う業務であっても、それぞれの目的に見合ったジョブユニットを選定できるので適当な操作手順およびその段階で用いるべきデータが一義的に特定でき、的確な作業を行うことが可能となった。また、各作業において利用可能な資源が体系的に取り揃えられ、しかもEXPRESS-Gで記述されたデータが相互に関係付けられるため、継続的に抽象度の異なるデータの一貫利用が可能となり、効率的な作業が可能となる。従って運用時に用いられた設備Bのデータも廃棄・再利用段階で利用可能な1ランク抽象度の高いデータに自動的に演算され継続的な利用を可能にすることが検証される。

以上のようにMALICはジョブユニットを核としたモジュールライブラリをデータベースとして整備することにより、多様な形態の設計作業内容を的確に特定できることが判り、本提案の有効性が検証される。

6. 結 論

本研究で得られた結論は以下の通りである。

(1) 構造、手法およびデータの3軸で構成される設計モデル—ファシリティライフサイクルモデル—を実際の設計作業を分析することにより提案し、その特

徴を明らかにした。

- (2) 具体的な3軸の表現方法としてジョブユニット、IDEF0, EXPRESS-Gによる表現方法を提案し、各軸間の関係も明確にした。
- (3) 設計作業を高効率・高精度に行うための設計支援環境—MALIC—を提案し、その有効性を事例により検証した。
- 今後はMALICのレベルアップを図り、実用システムを目指していく。

＜参 考 文 献＞

- 1) ISO/TC184/SC5/WG1 : Reference Model for Shop Floor Production Standards Part 1, ISO Technical Report 10314 (1989)
- 2) G. Doumeingts, D. Chen, F. Marcotte, Concepts, models and methods for the design of production management systems, J. of Computers in Industry, Vol. 19, No. 1 (1992) p. 89
- 3) ESPRIT Consortium AMICE, Open System Architecture for CIM, Spring (1989)
- 4) K. Mertins, W. Sussenguth, Integrated information modelling for CIM, Computer-Integrated Manufacturing System, Vol. 4, No. 3. (1991) p. 123
- 5) R. E. Young, J. Vesterager, An approach to CIM system development whereby manufacturing people can design and build their own CIM system, INT. J. COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING, Vol. 4, No. 5 (1991) p. 288
- 6) R. Heger, M. Richter, Modelling and Simulation in Concurrent Engineering, 10th CIM-Europe Annual Conference. (1994) p. 269
- 7) F. Kojima, K. Iwata, Y. Fukuda, Manufacturing System Design Simulator Based on Facility Life Cycle Model, 7th ICPE (1994)
- 8) K. Iwata, F. Kojima, A Study of Manufacturing System Design Methodology in Consideration of Facility Life Cycle, Proceedings RECY'94 (1994) p. 154
- 9) CAD/CAM データ交換の標準化に関する調査研究成果報告書：日本コンピュータ・グラフィックス協会 (1992)
- 10) DESIGN IDEF MANUAL Ver 1. 5 : Meta Software (1989)



〈筆 者〉



小島 史夫 (こじま ふみお)
生産技術部
生産システムの開発および要素技術の開発に従事



福田 好朗 (ふくだ よしろう)
法政大学工学部経営工学科教授,
工学博士
生産システム設計, ロジスティック工学, 生産管理システムの研究に従事.



岩田 一明 (いわた かずあき)
大阪大学工学部電子制御機械工学科教授 工学博士
生産システム学, 生産工学, 人間工学, 技術予測, 製造文化の研究に従事.



松本 和男 (まつもと かずお)
取締役 生産技術開発1部
生産技術関連のシステム開発および要素技術の開発に従事
工学博士