

# Virtual Factoryによる教育実習システム

## System for Education and Training by Virtual Factory

山田 稔 久<sup>(1)</sup> 小坂 茂 夫<sup>(2)</sup> 田代 英 二<sup>(2)</sup>  
 Toshihisa Shigeo KOSAKA Eiji TASHIRO  
 YAMADA

### 抄 録

高度職業能力開発促進センターにおいて、エンタープライズレベルの生産管理システムから機械加工システムに至るまでの総合的な教育実習システムを構築したことについて述べた。CIM機能階層の上下間でのデータ連携及び設計工程から製造工程に至る工程間でのデータ連携は、一元化されたデータベースを介してシームレスに融合している。各種シミュレーション技術により仮想的な工場、ライン、機械、測定機が定義でき、教育内容に幅をもたせた。複数の仮想工場モデルを有しており、当センターでの今後のセミナー実施展開に有効である。

### Abstract

An integral system for education and training, in which a production management system at an enterprise level through a mechanical processing system are included, has been constructed for the ADVANCED POLYTECHNIC CENTER. Data associations between the upper and lower stages of a CIM function hierarchy and data associations between processes from the process process through the manufacturing process are merged seamlessly through a unified data base. Virtual factories, manufacturing lines, machines and measuring devices can be defined by simulation technologies of various kinds to allow a latitude in the content of education. The system has plural models of virtual factory, which will be effective for this Center making a future evolution of the operation of seminar.

## 1. 緒 言

新日本製鐵エレクトロニクス・情報通信事業部(以下、当事業部という)は、高度職業能力開発促進センター(略称:高度ポリテクセンター)において、次世代の展望が開ける統合的なFMS(Flexible Manufacturing System)教育実習システムを構築した。

同センターは、雇用促進事業団が豪張新都心に設置した公的職業能力開発施設である。近年の急速な技術革新に対応して、各企業(特に中堅中小企業)における中堅技術者育成のための職業教育訓練を目的とした各種セミナーや技術支援等を実施している。全国に65箇所のポリテクセンターが設置されているが、高度ポリテクセンターはそれらの頂点に位置づけられた雇用促進事業団での中心的教育施設であり、全国の各ポリテクセンターに先駆けた高度で先進的な技術集積施設としての役割を担っている。

本システムの特徴は、従来同センターで実施していた加工技術の習得のための工作機械を中心とした個別設備から、情報システム側にも大きく力点を置き、大型教室内に一つのフル機能の工場モデルを構築したことにある。このモデル工場は、最上位の生産管理システムから下位のセル(ワークショップ)コントローラまでCIM(Computer-Integrated Manufacturing)7階層に対応するフル階層

のシステムで構成し、工作機械や自動倉庫等からなる機械設備とのシステム連携を図っている。また、実際の機械設備を使用せず、各種シミュレーションにより複数の仮想的な工場モデルを構築することも可能なシステムとなっている。著者らはこれらのシステム全体を広義な意味でVirtual Factory(以降VF)と呼ぶ。

このVFを実習場として、先端的な切削技術及び工場全体の管理系を含めた情報活用手法等の各種セミナーを運営することになる。

## 2. 全体システム構成

主要部分のシステム構成を図1に示す。工作機械として最新の5軸と4軸のマシニングセンター各1台とターニングセンターを1台導入し最先端の切削加工を可能としている。これらの工作機械や自動倉庫等の機械設備を管理・制御するシステムは、図1から分かるように設計技術部門で行う製品設計機能、工場生産技術部門で行う生産管理機能・工程管理機能まで持つ次の7機能群で構成される。

- 1)工場管理システム
- 2)技術情報管理システム
- 3)工程管理システム
- 4)NCデータ作成検証システム
- 5)ライン稼動シミュレータ

<sup>(1)</sup> エレクトロニクス・情報通信事業部  
 産業システムソリューション第三部 グループリーダー  
 東京都渋谷区代々木3-25-3 大東京火災新宿ビル11階  
 ☎ 151-8527 ☎ (03)5352-9364

<sup>(2)</sup> エレクトロニクス・情報通信事業部  
 産業システムソリューション第三部 マネジャー

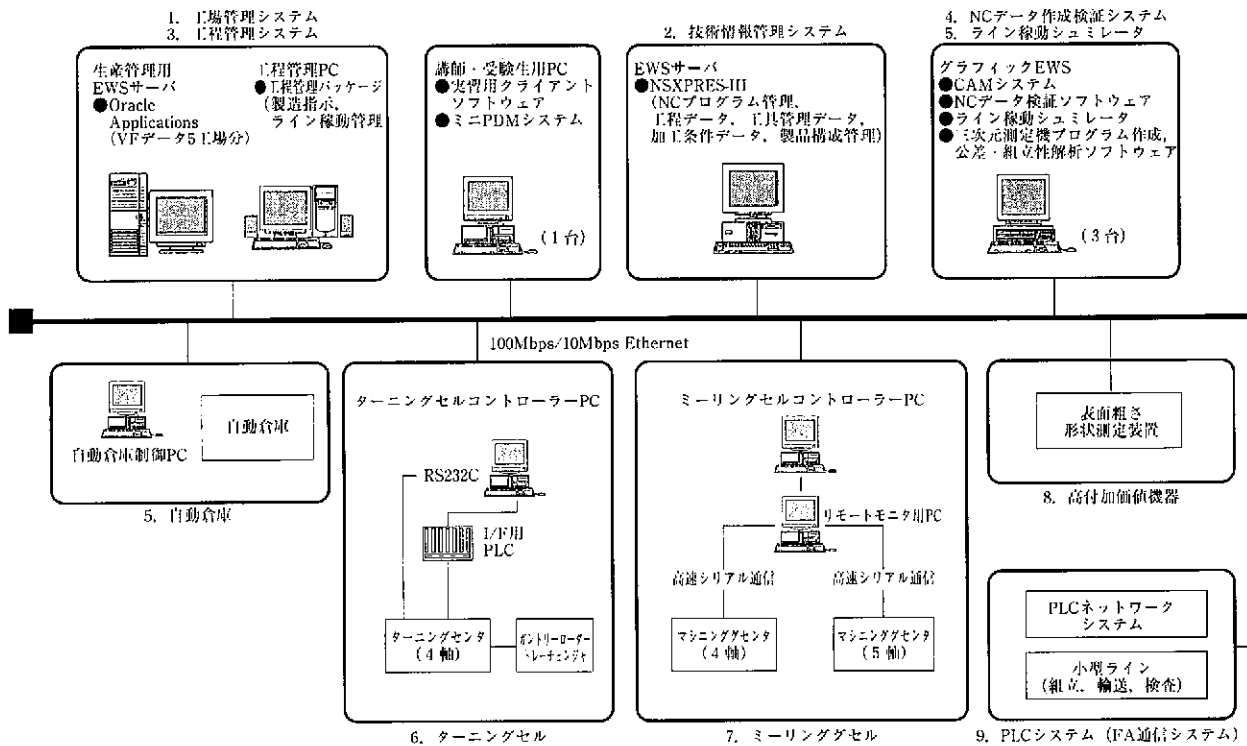


図1 全体システム構成図

## 6) セルコントロールシステム

## 7) PLC (Programmable Logic Control) システム (FA通信システム)

この全体システム構築のコンセプトの一つとして、各々の機能階層間と同一機能階層内の各工程間、つまり縦軸と横軸での情報の共有を掲げており、その手段としてDOA (Data Oriented Approach)<sup>1)</sup>でシステムを構築し、上記の全ての階層においてデータベースをOracle<sup>2)</sup>に統一し、データの一元保証と可用性を担保している。

## 2.1 工場管理システム

本システムは工場全体の管理を行うシステムであり、ERP (Enterprise Resource Planning)<sup>3)</sup>機能を担うものである。当機能を実現するためのアプリケーションプラットフォームとしては、当事業部のコア商品であるOracle Applications<sup>4)</sup>を採用した。

本システムは豊富な機能モジュールと確立されたデータモデルを持っており、カスタマイズを抑制できるメリットがある。主なモジュールは部品表管理・基準生産計画・資材所要量計画・能力計画・在庫管理・購買管理・受注管理・原価管理等々である。当システムには見込み生産、受注生産、及び両者の混在生産を実際に体験学習するための数種類の教育用データを登録しており、実設備を稼働させなくても、バーチャルな環境で、生産管理システムの教育訓練をできるようにしている。

## 2.2 技術情報管理システム

本機能は生産準備工程から製造工程までに必要な情報の作成支援

と管理を目的とする。この生産準備工程の支援システムにPDM (Product Data Management)<sup>5)</sup>を適用し、従来のPDMの得意分野である設計工程における図面データ管理のみでなく、製造に関わる製品・工具等の各種情報も体系的に管理させることで設計から製造まで横断する統合技術データベースシステムとしての役割を負わせている。本システムには当事業部での構築実績が豊富でかつOracleをデータベースとしたPDMであるNSXPRES-III<sup>6)</sup>を適用した。

尚、上記のPDMはエンタープライズレベルのシステムであるが、現場レベルでの情報共有・活用の実習のためにパーソナルコンピュータレベルのワークフローを活用した"ミニPDM"も実習の充実にために構築した。

## 2.3 工程管理システム

本システムは各設備固有のデータ(治具情報、工具情報、機械座標等)をOracleデータベースに管理する機能、PDMで作成された工程(生産)設計情報と生産管理システムで作成された生産スケジュールにしたがって下位のコントローラに情報を設定する機能、及びその結果としての実績データを収集する機能を有している。

## 2.4 NCデータ作成検証システム

本システムはCADで作成したデータに基づきNC加工用プログラムを作成するCAM (Computer-Aided Manufacturing) システムと、その加工プログラムをワークステーション内で検証する機能で構成している。

<sup>1)</sup> DOA (Data Oriented Approach) : データ中心設計とも言い、データを企業の経営資源の重要な要素の一つと認識し、組織や業務の枠にとらわれず企業が管理対象とするデータの収集、分析、整理、統合を行い、そのデータに基づいた情報システムを構築する手法・概念。

<sup>2)</sup> Oracleは、ORACLE Corporationの登録商標

<sup>3)</sup> ERP (Enterprise Resource Planning) : 企業全体の経営資源である人、物、金を有効かつ総合的に計画管理し、経営の効率化を図るための手法・概念。

<sup>4)</sup> Oracle Applicationsは、ORACLE Corporationの登録商標

<sup>5)</sup> PDM (Product Data Management) : 製品(Product)に関わる様々な情報(図面、文書等)を、製品をキーにその構成情報などを体系的に管理する手法・概念。

<sup>6)</sup> NSXPRESは、新日本製鐵(株)の登録商標

CAMシステムは実設備である4軸と5軸のマシニングセンター用とターニングセンター用の加工プログラムを生成するためのポストプロセッサを備えている。またプログラム検証システムは、素材形状及び工具モデルを定義するだけでなく実機の工作機械までも定義することができ、このシミュレーションにより刃具とワーク間の相互動作検証だけでなく工具や治具の干渉チェックまでダイナミックに行うことができる。これにより単なる形状確認機能しか持たないCAMシステムのチェック機能を補完している。

2.5 ライン稼働シミュレータ

生産管理システムにはガントチャートにより編集できる生産計画スケジューラを付帯させている。本シミュレータはこのスケジューラで策定した各生産指示が実際のラインの中で計画通りに流れるのか、ボトルネックとなる工程が発生しないか検証するシステムである。当シミュレータは、三次元のモデリング・レイアウト機能を有した離散系シミュレータであり、教室に実際に設置した設備を忠実にモデリングし、ワークの流れや人の動きを空間的・時間的に正確に定義・検証することができる。

また、実設備のみならず、数種類の仮想ラインを教育モデルとして構築しており、タイムスタディー、コストスタディーによる生産性検討、ラインやセルの最適レイアウト検討などの実習ができるようになっている。

2.6 セルコントロールシステム

セル(Cell)はNC工作機械を核とし搬送やワークストッカー等の周辺機器を組み合わせた機能群の最小単位を意味する。この納入システムには図1にあるようにミーリングセルとターニングセルの二つのセルを備える。セルごとにセルコントローラを1台ずつ設け、上位システムが生成した生産スケジュールや加工プログラム等を機械の稼働に合わせて都度編成して機械を統括制御する機能を備

える。

2.7 PLCシステム(FA通信システム)

当システムはセルコントロールシステムで制御される工作機械の遠隔監視機能を有しており、設備診断、故障診断に関する実習が可能となっている。また、本体システムとは独立した小型の組立・搬送・検査ラインを持っており、工作機械では安全上できないPLCによる制御プログラミング実習を行うことができる。更に、より広範囲なPLC制御実習のために、制御対象を仮想的にシミュレーションできる機能を構築した。

従来PLCシステムは各メーカー毎のクローズドなシステムであったが、本システムではイーサネット<sup>7</sup>とデータコンバータを活用したマルチベンダPLCシステムとしている。このPLCマルチベンダ環境の中で、PLCリンク、シリアル通信、イーサネット通信、無線LAN等の各種データ通信の比較実習ができるシステムになっている。

3. システム内での情報の流れ

図2にシステム全体のデータフロー概念図を示す。前述したようにデータベースはOracleに統一しているが、各アプリケーションごとの機能・特徴・規模に応じて個別のOracleを使用している。従って、図2には工場管理、技術情報管理、工程管理の各階層ごとに合わせて三つのOracleを持ち、そのOracle間のデータ連携を図っている。

3.1 データ連携における基本方針

- 1) 統合データベース的なデータ管理を図るべく複数のデータベース間でのマスター情報の重複を避ける。(データ一元性保証)
- 2) 生産準備情報は技術情報管理(PDM)システムに集約し、そこを起点として上下システムへ必要なデータを渡す。(起点明確化)

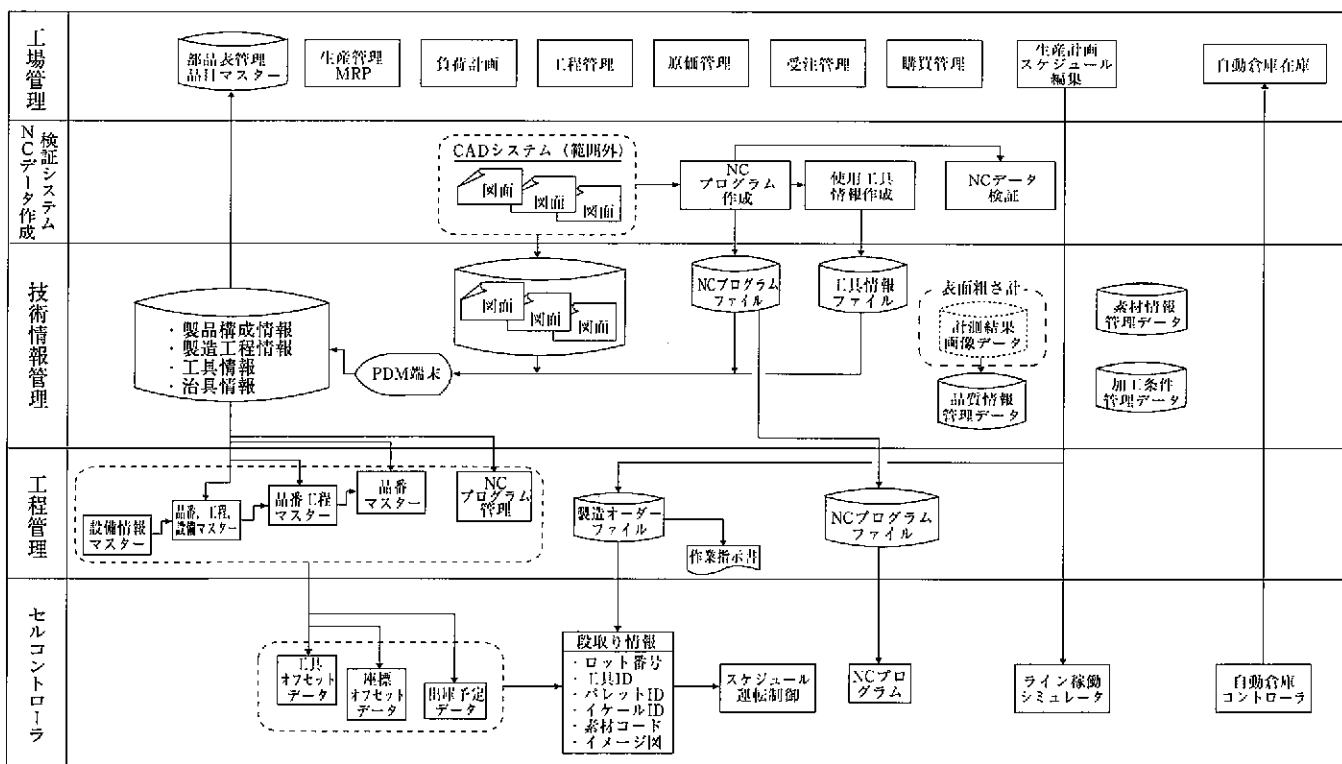


図2 データフロー概略図

<sup>7</sup> イーサネット:ETHERNETは、富士ゼロックス(株)の登録商標

- 3)データの授受は必要とするシステムがデータを都度取りに行  
く。(オンデマンド要求によるデータアクセス回数最小化)
- 4)設備固有、全工具情報、治具関連情報は工場レベルでの統一情  
報として管理する。(グローバル情報明確化)
- 5)それぞれのデータメンテナンスを容易にするGUIを準備する。  
(操作性向上)

### 3.2 データフロー

情報の起点である設計情報から終点の設備用加工情報までのデー  
タフローを説明する。

#### 1)CAD情報の登録と加工プログラムの作成(製品情報登録)

まず製品を構成する部品図面と使用可能な工具情報を基にCAM  
システムでNCプログラムを作成し、これを図面と工具情報と共に  
PDMの主機能である製品構成情報の要素として登録する。新規登  
録した製品構成情報のうち工場管理システムの部品表管理(BOM:  
Bill Of Material)が必要とする項目の一括変換登録も合わせて行  
う。

#### 2)PDMでの製造工程情報の作成(工程設計)

次に製品構成情報の各要素である部品ごとにその加工工程を策定  
する。これは、加工に必要な工具や治具をキャスティングする作業  
でもあり、治具図面や工具諸元等の設備マスター情報を閲覧できる  
PDMは有効である。これらの情報体系を図3に示す。

#### 3)設備用情報の作成(作業設計)

PDMで策定した製造工程情報を工程管理システムの各マスター  
テーブルに変換登録し、工程管理システムのもつ設備固有情報と合

わせて管理する。また工程管理システムは工場管理システムが策定  
した製造計画を受信し具体的な作業指示を作成・発行する。

セルコントローラは作業指示書に基づき工程管理システムから製  
造計画と製造情報を取り込み各工作機械に設定し、スケジュール運  
転を行う。

### 4. Virtual Factoryによる工程設計の改善

本来、量産品は製造工程が確立された上で、工場管理システムが  
作成した製造指示により生産される。従って前章で説明したデー  
タフローは新規設計品における製造方法の策定としての工程設計の業  
務についてであり、実際には製造設計と試作・検査を何サイクルも  
繰り返す作業工程となる。このPDCA(Plan Do Check Action)を  
減らすこと、つまり試作回数を削減することで開発期間の短縮を図  
り、あわせて品質を向上させることが常の課題である。本システム  
ではその対策として次の二つのソリューションを提案し、合わせて  
教育実習システムとして活用している。

#### 1)シミュレータによる仮想設備の定義とその活用による試作の削 減

#### 2)PDMによる設計付帯情報の体系的な管理と共有

##### 4.1 シミュレータによるVFの構築

従来からCADデータに基づく各パーツの静的解析としてCAE  
(Computer Aided Engineering)が行われてきたが、最近のCG技  
術とハードウェアの機能向上によりコンピュータ上の仮想マシンや  
仮想ラインでのシミュレーションが実用段階となった。以下に、導

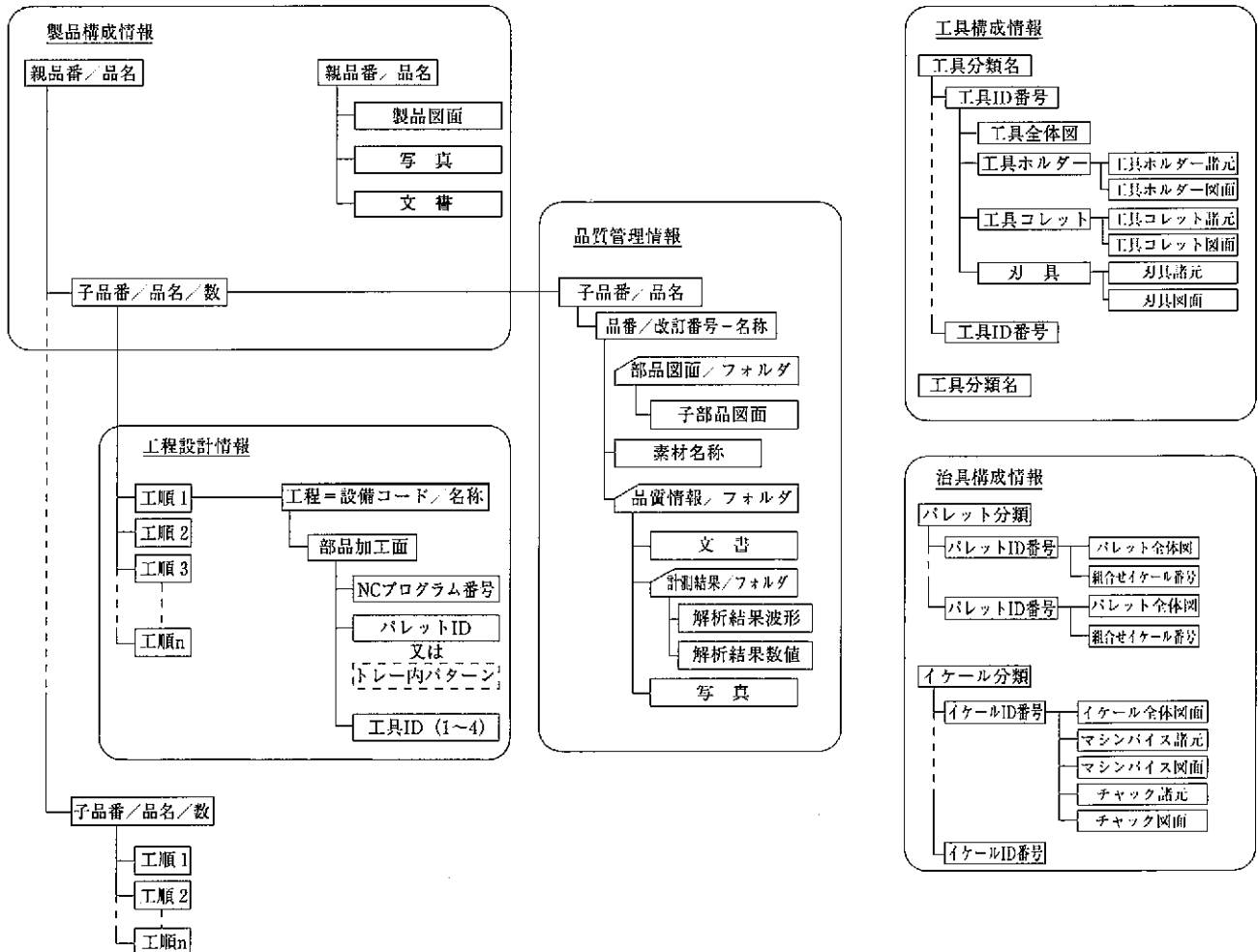


図3 PDMでの製造情報管理体系

入した各シミュレータの特徴とその適用による製造設計改善フローを説明する。

#### 4.1.1 切削シミュレータ

内蔵の製品ライブラリーとCADデータの取り込みで工作機械本体、工具、治具の形状と運動拘束関係を簡単にモデル化することができる。定義した5軸マシニングセンターを図4に示す。本切削シミュレータはCAMシステムが作成したNCプログラムを忠実に実行するだけでなく、機械の位置と速度・加速度の監視や体積・面積・重心、2点間距離等の幾何学的分析機能も備える。この機能でチェック不十分な試作プログラムでの機械破損を避けられることはもちろん、次のシミュレーションにも有効である。

1) 工具と治具干渉チェック等により治具設計やワークピースの配置の最適化の検証

2) 速度・加速度の設定変更や工具交換によるサイクルタイムの削減

#### 4.1.2 計測シミュレータ(オフライン計測プログラムの作成)

試作品は加工完了のあと設計意図通りに加工できているか計測され、その結果を前工程にフィードバックする必要がある。複雑な形状になると三次元形状測定機を用いるが、その計測の形状要素や部位により測定プローブを制御する計測プログラムを作成する必要がある。このプログラムの作成はティーチングプレイバック方式が主流であるが、本システムではCADデータに基づくオフラインプログラミングによる効率化のために計測シミュレータを構築した。計測プログラムの検証は切削シミュレータと同様のCG機能による仮想測定機に対して行う。図5に穴の径を測定している例を示す。

#### 4.1.3 ラインシミュレータ

上記の切削シミュレータ及び計測シミュレータは、ともにワークとセルの関係のシミュレーションであるが、その前提となる設備ライン構成をシミュレーションする機能を持つことにより、ラインに投入した場合の生産効率のチェック、ライン制約や目標生産性から逆算した加工や計測に要する時間のチェック、セル間の渡りのチェック及びラインの改善点の顕在化などが可能となり、試作段階から早期に量産時の重要な指針が判断できることになる。図6に仮想ラインの一つの例を示す。

#### 4.1.4 製造設計の改革フローと教育システムへの活用

これらのシミュレーターの特徴を生かして従来の製造設計フローに組み込むと図7のようになる。従来の情報の流れを実線、改革ラインを点線で表す。この点線フローは従来の製造設計の改善を実現するだけでなく、仮想機械や仮想ラインを対象とすることで複数同時教育の実現や事故回避の観点からも製造設計用の教育ツールとして非常に有用となる。

#### 4.2 PDMによる製造設計情報の体系化

図7で従来と改善の両フローを説明したが、図面をベースとした業務フローでは当初の設計意図を完全に伝達できない恐れがある。実際は、製造図面に表記しきれない加工ノウハウや試作段階で都度発生する様々な情報が重要であり、これらは各々の図面からは読み取れないためである。

本システムでは、前述したように、設計と製造に関わる情報をPDMで体系的に管理する仕組みを構えている。この仕組みで図7の情報の流れを描き換えると図8のようになり、どの工程からも同一データベースにアクセスする仕組みとなり、工程で分断されない情報の共有が可能となる。これはまた、一つのデータベースを題材に設計と製造に関わる多くのデータを活用できることから教育システムとしても有効である。

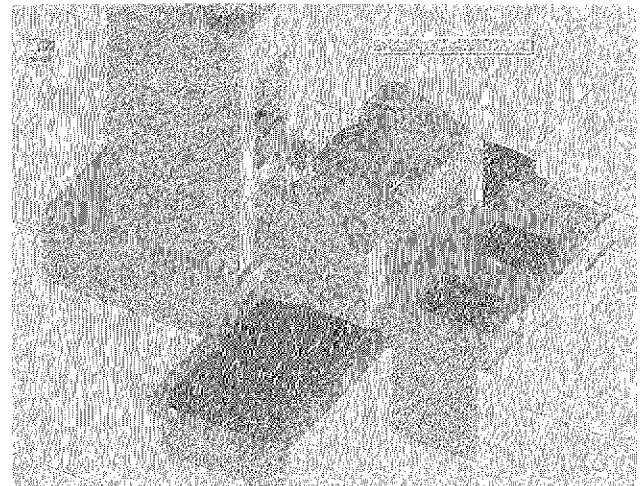


図4 5軸マシニングセンターでの切削シミュレーション

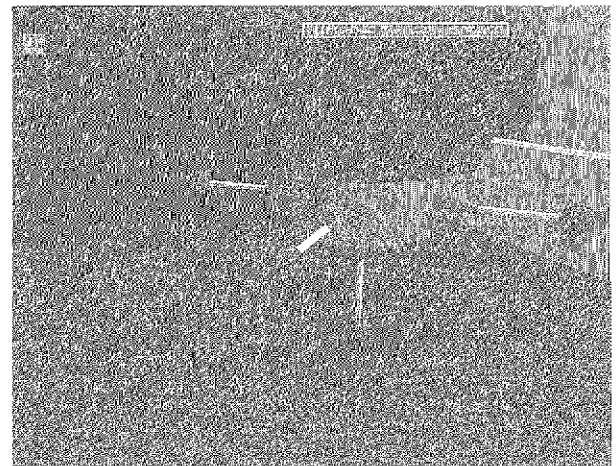


図5 三次元測定機での計測シミュレーション

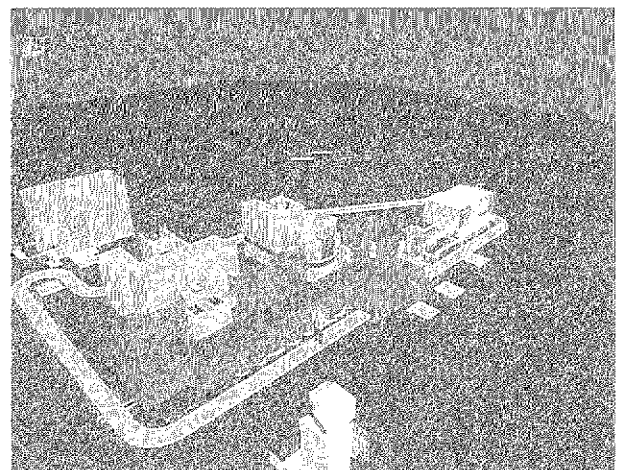
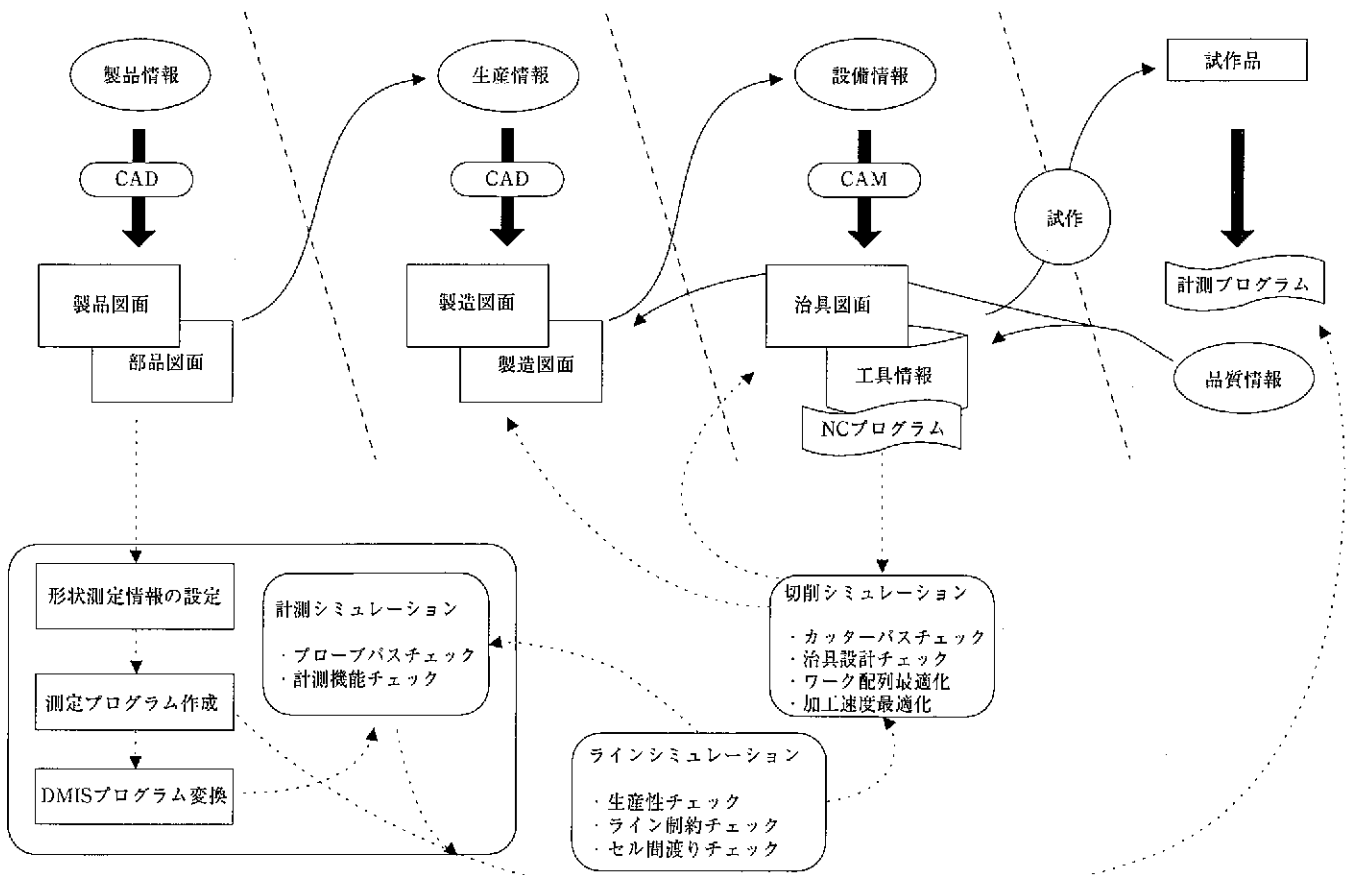


図6 仮想ラインシミュレーション



DMIS: Dimensional Measuring Interface Specification

図7 製品設計から製造までの工程分散モデル図

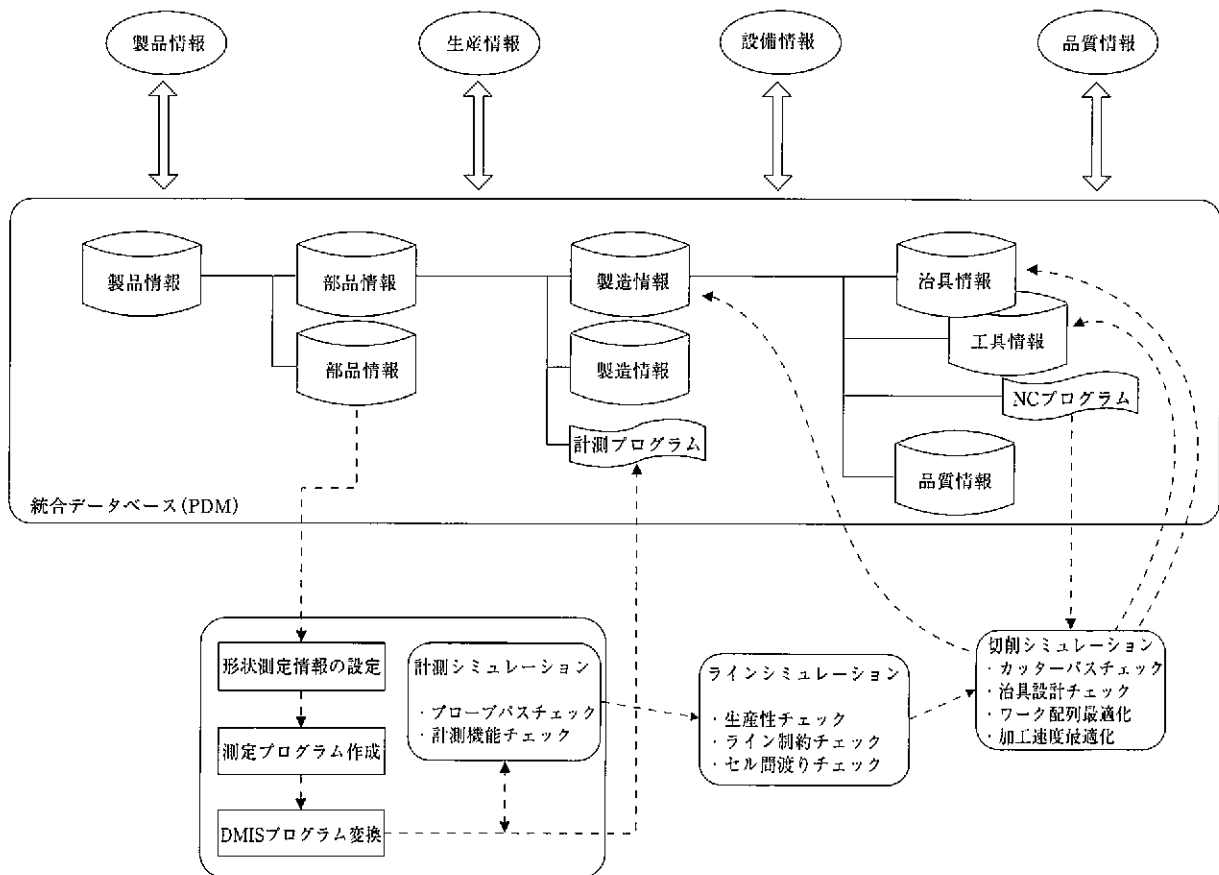


図8 製品設計から製造までのデータ連携モデル図

表1 当システムで提供するセミナー

No.	区分	セミナータイトル	概要
1	工場管理	コンピュータによる生産管理技術	生産管理とは、生産計画 生産統制の方向 多品種少量生産への対処、生産計画
2	技術情報管理	生産ノウハウの蓄積と利用方法	加工現場の情報化 PDMとは、データ入力と利用方法 会社のデータベース構築に向けて
3	技術情報管理	パーソナルコンピュータでできる現場の情報化	製造業の情報化、パーソナルコンピュータの能力 加工業における情報化、カスタマイズ
4	NCデータ作成検証、 ライン活動シミュレータ	VFを目指す生産シミュレーション技術	シミュレータとは ラインシミュレーション 切削シミュレーション シミュレーションと実システム
5	NCデータ作成検証	NC技術者が知っておきたいCAM技術	CAD/CAM概要、加工情報ファイル登録 NCデータ出力、シミュレーション、加工実習
6	NCデータ作成検証・セル	NC旋盤の切削加工技術	NCプログラミング 最近の加工技術、機械操作実習 総合課題プログラミング、加工実習
7	NCデータ作成検証・セル	CAD/CAM技術者が知っておきたいNC加工 技術	NC工作機械の概要、加工に必要な条件 NCプログラミング、DNC(Direct Numerical Control)加工
8	セル	NC技術者のための通信技術	RS232Cの基礎 DNCソフトウェア、構内ネットワーク
9	セル	効率切削へのアプローチ	切削方法、カッターパス、切削例、切削刃物
10	セル	NC旋盤複合加工技術	ターニングセンター、プログラム 課題作成、技術動向
11	セル	自動化マクロ	マクロ変数、プログラミング実習 自動計測プログラム 総合課題プログラミング、加工実習
12	セル	マシニングセンターの切削加工技術	NCプログラミングの復習 付加軸を考慮したプログラミング 総合課題プログラミング、加工実習
13	セル	マシニングセンターにみる高速化技術	高速切削の現状、高速化のカスタマイズ 機械操作実習 総合課題プログラミング、加工実習
14	セル	微細加工技術の現状と動向	微細加工技術
15	PLC/FA通信	工場設備のシステム化のための通信技術	通信の概要、各種通信方法の紹介 通信データの確認処理
16	PLC/FA通信	PLC応用技術	PLC関連機器 システム構成機器間の接続 モデル設備システム運転
17	PLC/FA通信	PLCによるシステム化技術	PLCと各機器との接続 NC加工機の制御、最適制御運転

## 5. 教育セミナー内容

本システムにより今後実施するセミナーを表1に示す。初年度17種類のセミナーを実施する中で、表中1項から5項のセミナーの実施にVFの活用を予定している。

## 6. 結 言

本システムは教育設備とはいえ、最新の情報技術と機械加工技術を駆使したものであり、今後5年間の高度ポリテクセンタでのセミナー実施展開に充分耐えられる基盤を備えている。またエンタープライズレベルの生産管理システムから、機械加工システムに至るまでの広範囲な技術要素を有しており、多種多様な教育実習が可能な環境となっている。

特に、シミュレータ技術を駆使したVF構築については、比類のない特徴を有している。これについては、近年、主にCAD/CAMの世界でデジタルモックアップ<sup>8)</sup>、デジタルファクトリー<sup>9)</sup>が注目されつつあるが、本システムではそれを設計情報のみではなく、広く製造情報まで拡大して捕えており、しかもそれらのデータは設計から製造にいたるまで一元化されたデータベースを介してシームレスに融合している。

技術の進展はすさまじく早く、今後とも先端的な技術習得、知識習得が可能な教育実習システムの構築を目指していきたいと考える。最後に、本システム構築に関して、多大のアドバイス、御支援をいただいた高度ポリテクセンタの先生方及び各関係先の方々に深く感謝致します。

<sup>8)</sup> デジタルモックアップ(Digital Mockup)：デザイン工程で実物大の模型を作る代わりにパーソナルコンピュータやワークステーションの画面の中にコンピュータグラフィック機能を使い、その製品を忠実に定義し具現化すること、またはその成果物。各種シミュレーションの対象として活用する。

<sup>9)</sup> デジタルファクトリー(Digital Factory)：Virtual Factoryと同義義。工場内の設備をパーソナルコンピュータやワークステーションの画面の中にコンピュータグラフィック機能を使い具現化し生成した仮想的工場。各種シミュレーションの対象として活用する。