

I M S 国際共同研究プログラム
国内研究開発企画

(I M S 0 3 3 0)

仮想現実感技術を用いた工業プロセス制御，設計，トレーニング
に関する研究成果報告書
(普及版)

2 0 0 4 年 3 月

プライムコントラクター： 三菱重工業株式会社

(財) 製造科学技術センター

I M S センター

目次

1 . 緒言	4
2 . 本研究の目的及び方針	5
2.1 目的	5
2.2 実施期間	5
2.3 実施体制	5
2.4 背景	5
2.5 研究方針	6
3 . 研究実施概要	7
3.1 研究開発全体の概要	7
3.2 研究開発スケジュール	7
3.3 今年度の研究実施内容概要	8
3.3.1 目標	8
3.3.2 内容	8
4 . 研究成果	9
4.1 バーチャルリアリティ技術を利用したバーチャルファクトリの開発研究 (WP3)	9
4.1.1 造船バーチャルファクトリ開発	9
4.1.1.1 姿勢設定機能	10
4.1.1.2 作業設定機能	12
4.1.1.3 動作設定機能	14
4.1.1.4 組立手順設定ツール	16
4.1.1.5 パターン設定機能	17
4.1.1.6 工程作成機能	18
4.1.1.7 外部ファイルについて	18
4.1.2 バーチャルリアリティ環境下における描画処理のパフォーマンス向上に関する研究	22
4.1.2.1 「空間プログラミング」の提案	22
4.1.2.2 ジャンクション	23
4.1.2.3 オブジェクトとジャンクションの記述	23
4.1.2.4 造船における溶接工程への適用	24
4.1.2.5 溶接工程のバーチャルシミュレーションの実装	25
4.1.3 欧州のバーチャルファクトリーの評価	28
4.2 重工業製品への適用性評価 (WP4)	33
4.2.1 原動機大型部材を対象とした適用性評価	33
4.2.2.1 バーチャルファクトリ利用による自動コスト見積りシステム	33
4.2.2.2 組立て効率化支援システムの開発	42
4.2.2.3 3DCADデータを元にした部品コスト詳細見積システムの拡張	47

4.2.2.4 統合コスト評価システム	54
4.2.2 船舶を対象とした適用性評価	58
4.2.2.1 統合コスト評価システムの評価	58
4.3.2.2 造船統合コスト評価システムの機能向上検討	62
5 . 国際プロジェクトの活動状況	64
5.1 IRMA 国際会議	64
5.1.1 IMS/IRMA国際中間会議	64
5.1.2 IMS/IRMA国際最終会議	67
5.2 海外調査報告	70
5.2.1 ストラスクライド大学訪問	70
5.2.2 IMS社訪問	72
5.2.3 デルフト工科大学 (Delft University of Technology : DUT) 訪問	75
6 . 今年度の成果と今後の課題	77
6.1 まとめ	77
6.2 今後の課題	77

1．緒言

仮想現実感技術は、世界各地で、かつ、多くの技術分野で開発が進められており、これを製造業に用いると、工業プロセス制御、設計、トレーニングを効率良く進めることができ、生産性を大幅に向上させることができる。したがって、日本の製造業を将来にわたって力強く発展させるためには、本技術の製造業への応用展開を積極的に押し進めると共に、国際共同研究に参画し、我が国の技術レベルを世界一流のものにしておく必要がある。

本国際共同研究は、仮想現実に基づく製造システムを開発し、これにより製造前の設計時（生産準備段階）に生産工程を視覚化すると共に、設計者、生産管理・生産技術者等に高レベルの情報（製造コスト評価、設備の生産性、スケジュール他）を的確に提供することにより、設計および生産の質を総合的に高める技術基盤を構築することを目的としている。

国内研究開発の目標は、バーチャルファクトリを用いて生産準備段階で生産ラインの生産性を評価し、最適製造法を決定できる手段を開発するとともに、製造から出荷に至るまでの「製造コスト評価システム」を作成する。そして、このシステムの適用性を重工業製品の内、船舶や原動機製品を対象に評価する。

2 . 本研究の目的及び方針

2.1 目的

一般に重工業製品は単品又は少数生産のため、繰り返し生産による熟練や改善が期待できず、生産性が量産加工品に比べて悪くなっている。

この問題を解決するため、製造着手前に工場の生産性や製品のコスト評価ができ、製造状態をコンピュータ上でシミュレーションが出来るバーチャルファクトリの研究を行う。この際、バーチャルリアリティ技術を利用し、よりリアルに製造状態を表現させて評価可能なシステムを構築する。

これらにより、重工業製品においても量産加工製品分野の自動車、家電・電子機器メーカーに匹敵する生産性の効率化が図れるものと期待する。

2.2 実施期間

平成15年4月1日～平成16年3月31日

2.3 実施体制

区分	名称
プライムコントラクター	三菱重工業株式会社
パートナー	日本デルミア株式会社 早稲田大学

2.4 背景

一般に、量産加工品は繰り返しによる製造効果（量産効果、習熟効果他）により生産効率を向上させることが可能であるが、受注生産品（重工業製品）では、単品又は少数製造のためこの効果を余り期待できない。このため、製造着手前にシミュレーションをすることにより製造過程を計算機上に模擬して、仮想生産させ、現実に生じると思われる問題点・課題を事前に把握して、製造着手前に手を打っておくことが、生産効率を向上させる上で重要である。

そこで、SCM(Supply Chain Management)の概念や生産シミュレータを利用して、製品の製造状態をコンピュータ上で表現し、受注から出荷まで一貫した生産性やコスト評価をいかに行うかが技術課題となる。さらに、製造状態をよりリアルにビジュアル表現して、問題点・課題を把握しやすくするバーチャルリアリティ技術も重要である。

これらの点を考慮して、受注生産品における生産効率向上を図るためのバーチャルファクトリ技術開発を行う。これにより、受注生産品の生産効率向上のみならず、量産加工品においても初号機から生産効率の向上を図ることが可能となる。

2.5 研究方針

量産加工製品分野の自動車、家電・電子機器メーカーでは、IT (Information Technology) 利用による生産準備段階における効率化が図られている。しかしながら、受注品生産工場では、生産準備段階でのIT利用例は少なく、効率化が求められている。

そこで、製造から出荷に至るまでのコスト評価が可能なバーチャルファクトリにより、生産準備段階で生産性を評価し、設計への後戻り作業を最小とする最適な製造法などを選択できるシステム作りの研究を行う。

産業分野としては、造船、原動機、鉄構、産業機器の製造業が対象となる。

具体的には、SCM (Supply Chain Management) の概念や生産シミュレータ利用による受注から出荷まで一貫した製品の生産性評価、効率化システムの研究を行う。

一般に受注生産品では不確定な設計情報しかない状況下で、同時並行的に生産活動をしているため、生産効率が量産加工品に比べ悪い。

そこでこれまでに、製造着手前に工場の生産性や製品のコスト評価ができ、製造状態がコンピュータ上でシミュレーション出来るバーチャルファクトリを構築するための、要素技術の調査と開発を行い、統合コスト評価システムの開発のためのデータベース技術の確立、コスト評価手法の研究、それに伴う最適化手法の検討を行い、要素技術の開発とその仕様書を作成した。

本年度は、設計～製造～出荷までトータルに製品コストを把握出来るトータルコスト評価システムの開発を行い、その適用性評価を行った。

3. 研究実施概要

3.1 研究開発全体の概要

WP1 データベース構築技術の開発 : 設計～生産準備～製造～出荷にわたるまで、製品に関する全ての情報をデータベース化し、共有化可能なデータベースの基本構造（プロダクトモデル）を構築するための技術開発を行い、情報を一元的に管理できるシステムを開発する。これにより、重工業製品として最適な設計・製造データの標準化とその作成の効率化、計算機処理の効率化が可能となる。

WP2 コスト評価システムの開発 : 設計～製造～出荷までの製品のコストに関して、関連するリソース {人（設計者、生産管理・生産技術間接員、直接作業員等）、物（生産対象物、製造設備等）等} の固定費、流動費を把握する「製造コスト評価システム」を開発する。

WP3 バーチャルリアリティ技術利用によるバーチャルファクトリーの開発 : 重工業製品における人や製造設備などのリソースを計算機（コンピュータ）上にモデル化したバーチャルファクトリーにおいて、人や製造設備を現実世界と同じように動作させ、工場の生産のシミュレーションを行うバーチャルリアリティ技術を開発する。

WP4 重工業製品への適用性評価 : 重工業製品（船舶、タービン、橋梁、航空機等）を対象にバーチャルファクトリー技術をベースに設計～製造～出荷までの製品に係わるトータルな製品コストを把握出来るシミュレーションシステムを開発する。本システムにより重工業製品への適用性を評価する。

3.2 研究開発スケジュール

		H11	H12	H13	H14	H15	担当
WP1	データベースの構築技術の開発	調査, 基本仕様書 <--->	詳細仕様書 <----->	モデル化 <----->			三菱重工業
WP2	コスト評価システムの開発		調査, 仕様書 <----->	詳細仕様書 <----->	最適化ツール製作 <----->		三菱重工業
WP3	バーチャルリアリティ技術利用によるバーチャルファクトリーの開発	調査, 基本仕様書 <--->	詳細仕様書 <----->	モデル化 <----->	評価 <----->	評価 <----->	三菱重工業, 日本デルミア, 早稲田大学
WP4	重工業製品への適用性評価		調査, 仕様書 <----->	詳細仕様書 <----->	ソフト開発, 評価 <----->	ソフト開発, 評価 <----->	三菱重工業

WP : Work Package

3.3 今年度の研究実施内容概要

3.3.1 目標

国際共同研究との整合性を取りながら、以下の技術に関する調査と要素技術開発を行い、さらに重工業製品に応用展開するに当たり、必要な技術、システム開発についての詳細仕様の検討・作成を行い、プロトタイプシステムを作成し、重工業分野製品への適用性を評価・検討する。

3.3.2 内容

本年度は、下記について実施した。

(1) バーチャルリアリティ技術を利用したバーチャルファクトリの開発研究 (WP3)

船舶を対象に、人や製造設備などのリソースを計算機(コンピュータ)上にモデル化し、バーチャルリアリティ技術を用いて、工場の生産シミュレーションを行える造船デジタルモックアップシステムを開発する。今年度は、組立作業キャプチャリングによる、作業時間見積りシステムを開発し、バーチャルファクトリを完成させた。

また、既開発済みの3次元仮想空間記述言語を市販のバーチャルシミュレータに組み込んで効率的なプログラミング環境を実現させた。

国際共同研究では、欧州で開発したバーチャルリアリティシステムについて、日本における重工業分野の適用研究とその評価を行った。

(2) 重工業製品への適用性評価 (WP4)

重工業分野製品(船舶、原動機大型製品等)を対象に、バーチャルファクトリ技術をベースに、設計～製造～出荷までの製品に係わるトータルな製品コストが把握出来る下記シミュレーションシステムを作成し、重工業分野製品への適用性を評価・検討した。

原動機用として、コスト評価に必要な機能開発(製造プロセスのデータベースからの製造バーチャルシミュレーションシステムの開発、組立効率化支援システムの開発、3DCAD図からの部品コスト見積システム)の拡充)を実施し、コストの最適化が可能な「統合コスト評価システム」を開発し、原動機部材を主体に重工業分野製品への適用性を評価・検討した。

造船では、現場改善のためのバーチャルファクトリに、現場の作業計測システムと連動したシミュレーション機能開発し、現場の作業改善の定量的な評価が可能な造船統合コスト評価システムを開発し、造船製造への適用性を評価・検討した。

4 . 研究成果

4.1 バーチャルリアリティ技術を利用したバーチャルファクトリの開発研究 (WP3)

4.1.1 造船バーチャルファクトリの開発

造船バーチャルファクトリは、造船CAD (MATES) で定義したシミュレーション対象ブロックに対して組立工程検討を行い、ワーク/作業者の配置、作業者の移動経路、組立手順に従った作業者の動きを作成し、ENVISIONのシミュレーションを行うシステムである。全体のシステム構成を図4.1.1-1に示す。

昨年度は、予めENVISION内に定義された動作体系に従った動作 (姿勢情報を含む) を用いたシミュレーションを行っていたが、本年度は動作の詳細化、姿勢情報の設定を行なう事により、更に汎用かつ詳細なシミュレーションを行なう事を実現した。これにより、I E観測結果を用いて作業観測データベースを作成することが可能になるとともに、MOSTなどの手法を取り入れることで、標準的な作業時間を計算することも可能になる。

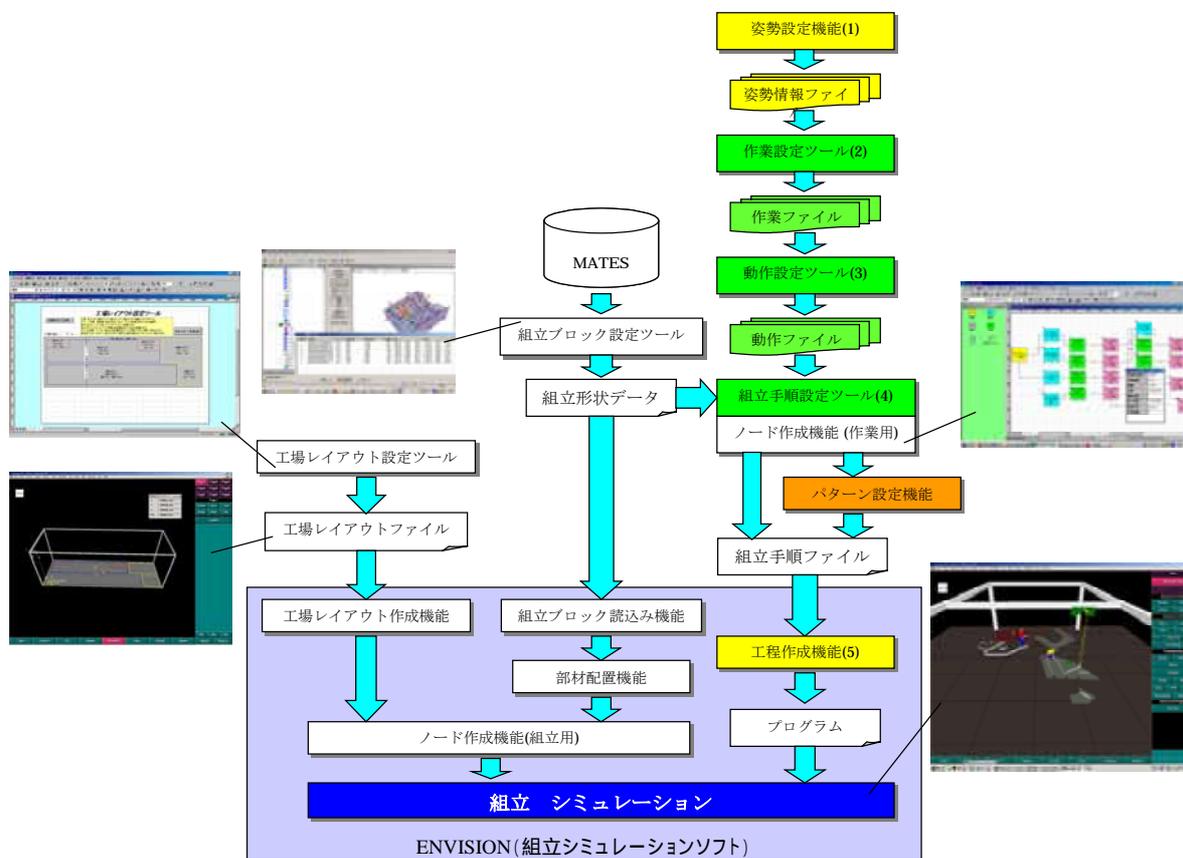


図4.1.1-1 システムの流れ

開発した機能について、以下に示す。

4.1.1.1 姿勢設定機能

本機能は、作業に応じた姿勢をシミュレーション時に再現できるよう、登録した姿勢情報を外部ファイルに出力する機能である。機能の概要を図4.1.1.1-1に示す。

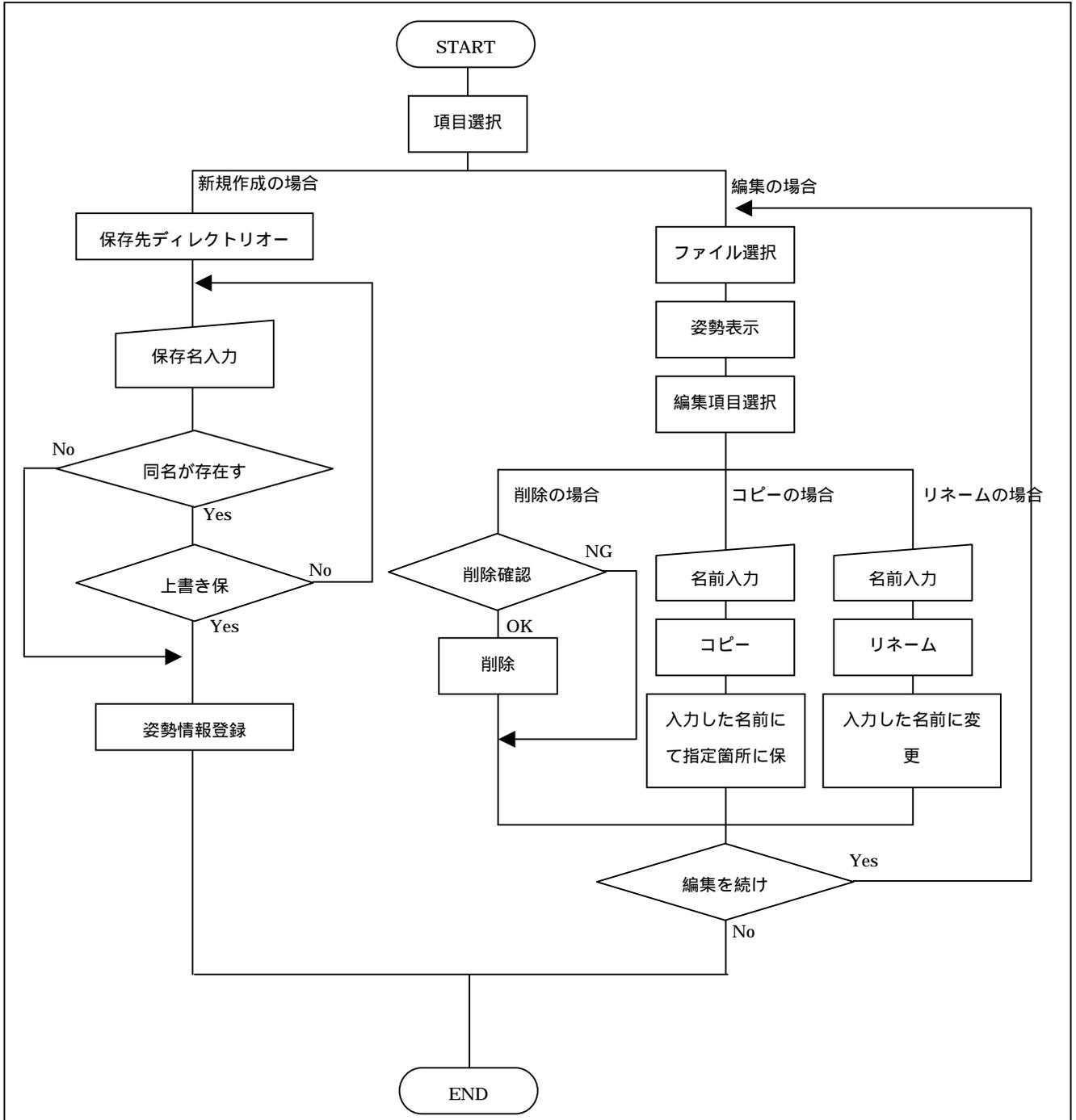


図4.1.1.1-1 姿勢設定機能フロー

本研究では、新規作成と編集の2つの機能を開発した。それぞれについて以下に示す。

<新規作成>

- ① ENVISION / ERGOにて姿勢を作成する。



図4.1.1.1-2 姿勢作成イメージ

- ② マクロボタンを押下し、項目より新規作成を選択する。



図4.1.1.1-3 項目選択イメージ

- ③ 保存名を入力し、姿勢ファイルとして保存を行う。

姿勢ファイルは、” Lib¥WORK¥POSE” 下に保存される。

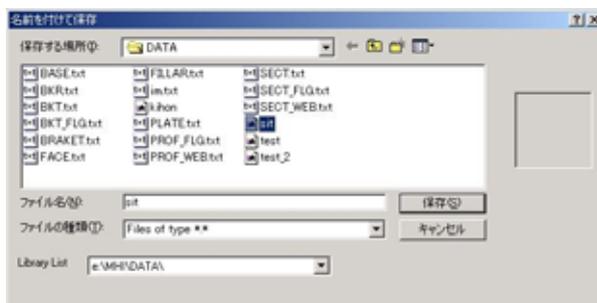


図4.1.1.1-4 ファイル保存イメージ

<編集>

- ① マクロボタンを押下し、項目より編集を選択する。(図4.1.1.1-3 参照)
- ② 編集を行なうファイルを選択する。
- ③ 選択したファイルから姿勢情報を取得し、その情報を反映した ERGOが表示される。(図4.1.1.1-2 参照)
- ④ 編集項目を選択する。



Copy . . . 同一の姿勢情報を作成する。
Rename . . . 名前の変更を行なう。

図4.1.1.1-5 編集項目選択イメージ

作業種類 移動 作業

作業詳細 ▼ ← 作業種類に応じた作業詳細を選択

使用工具 ▼ ← 作業種類が「移動」の場合は工具分類一覧から
選択を行いません。
「作業」の場合はデフォルトで「Crane」が格納されます。

時間情報 m/s ← 単位は作業種類が「移動」ならば『m/s』、
「作業」ならば『sec』で表示

姿勢情報 ▼ ← 姿勢情報一覧を表示します。
姿勢設定無しの為に最後の項目に「-」を用意します。

ファイル名 ← 保存するファイル名になります

OK Cancel

図4. 1. 1. 2-2 作業設定機能イメージ

4.1.1.3 動作設定機能

一連の動作を「4.1.1.2 作業設定機能」により作成された『作業ファイル』を動作順にまとめ、『動作ファイル』として出力する機能である。動作ファイル及び本機能のイメージを、図4.1.1.3-1と図4.1.1.3-2に示す。

このように、本機能は、“溶接する”、“運搬する”といった作業者の動作を、作業ファイルの組み合わせで定義するものである。これにより、従来は、下記4種類で固定されていた基本動作を自由に増やすことが可能となり、シミュレーションの汎用性を高めることができる。

- ・ 歩行
- ・ 溶接
- ・ 仮付け
- ・ 運搬

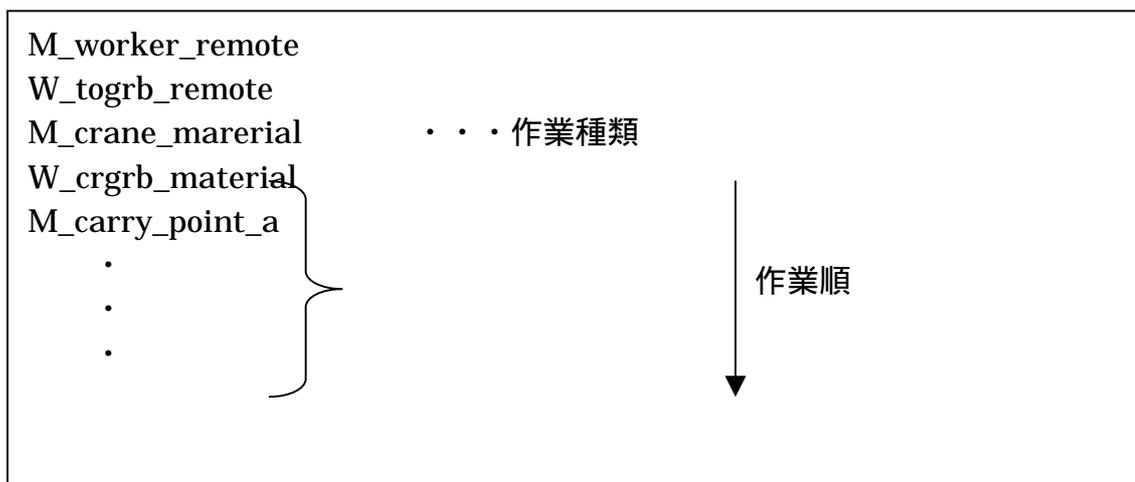


図4.1.1.3-1 動作ファイルイメージ

ファイル名

作業ファイル名

作業一覧

追加

削除

OK

Cancel

- ファイル名 …… 保存するファイル名。
- 作業種類 …… 指定保存位置に格納してある、作業種類の一覧を表示する。
- 作業一覧 …… 作業ファイル名が格納される。作業ファイルは上から順に作業を行なっていく。
- 追加 …… 『作業ファイル名』内の項目を選択した状態でクリックすると『作業一覧』の一番下に選択した作業ファイル名が追加される。
- 削除 …… 『作業一覧』内の項目を選択した状態でクリックすると選択していた作業情報が削除される。
- ・ …… 『作業一覧』内の項目を選択した状態でクリックすると作業順序を変更する事ができる。
「↑」をクリックすると順序を1つ繰り上げ、「↓」をクリックすると順序を1つ繰り下げる。

図4.1.1.3-2 動作設定機能イメージ

4.1.1.4 組立手順設定ツール

組立ブロック設定ツールにより作成された『組立形状データ』と、動作設定機能により作成された『動作ファイル』を参照し、『組立手順ファイル(.ord)』を作成する機能。

レイアウトファイルを指定しておき、レイアウト上にあるクレーンや設備、エリアの整合性を取る。データはタブ区切りとし、作業の流れに沿って出力された組立手順データになる。

ヘッダ情報として作業数、各作業者の工程数（動作ファイル数）が入り、それ以降は上記作業者順の工程順とし、作業種類に合わせて後のデータを変更させる。

作業ファイルの項目に、作業ファイル作成時には設定する事ができなかった到達情報が追加される。

表4.1.1.4-1 組立手順ファイルフォーマット

項目	内容
作業者	Worker番号
動作ファイル名	『動作ファイル名』
対象	作業対象パーツ名
作業順番	全ての作業者での作業順番
ID	作業ID
フラグ	0が最初の作業 フラグに指定された作業の後にカレントの作業が行われる。 フラグには複数設定することも可能です。この場合フラグに設定されている作業全てが終了した後にカレントの作業が実行される。
作業数	動作ファイル内の作業ファイル数を格納
シミュレーション結果	一連の動作のサイクルタイムを格納

組立手順設定ツールより追加される作業ファイル項目

到達情報	作業終了後の座標値もしくは指定位置。 何も入力がない場合は「-」が入る。 「移動」の場合は従来機能に従い、位置情報を取得する。 「作業」の場合は直前の位置情報と同様と認識する。
------	---

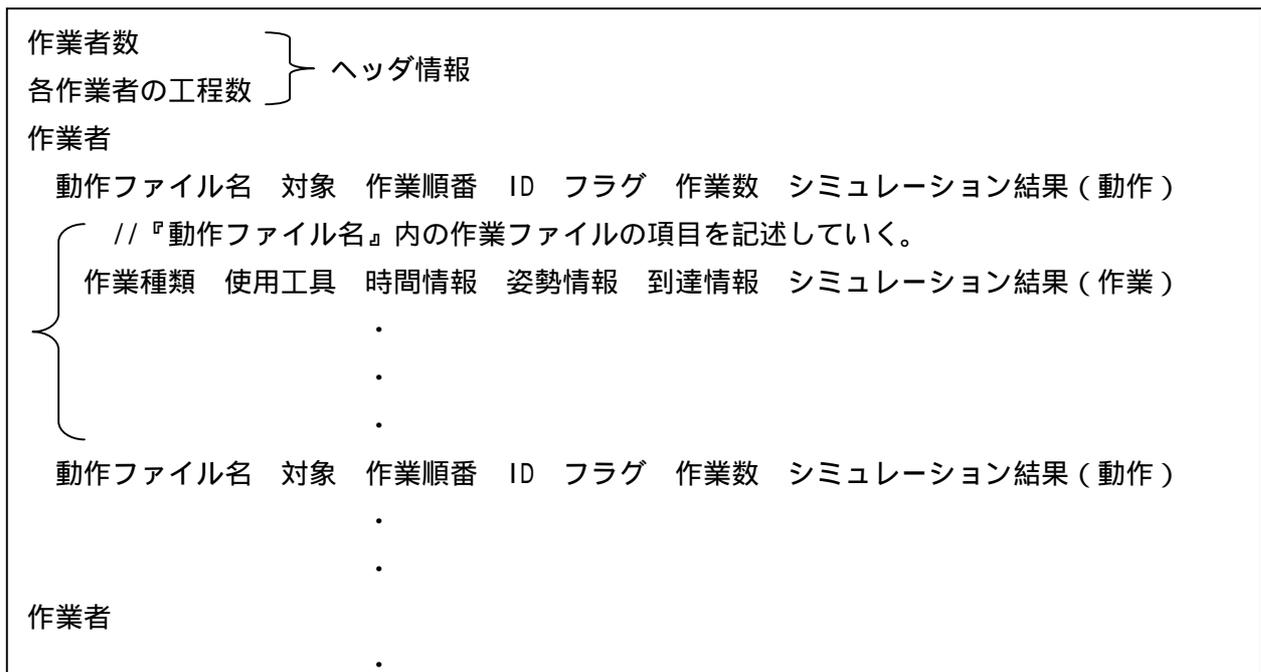


図4.1.1.4-2 組立手順ファイルイメージ

※シミュレーション結果(動作)には、動作内のシミュレーション結果(作業)の合計値が格納される。

4.1.1.5 パターン設定機能

「4.1.1.4 組立手順設定ツール」にて作成された『組立手順ファイル』を異なる組立方法にて検証を行なう為に組立手順の変更を行なう機能。

組立方法は、

1. 個々の作業エリアにてそれぞれ組立作業を行なう方法
2. 作業エリアに対して役割を決め組立作業を行なう方法

になる。

この機能により作成された『組立手順ファイル』は内部の組立手順や、到達位置等が異なるだけで、基本フォーマットは同一とする。

4.1.1.6 工程作成機能

『組立手順ファイル』を基にシミュレーション用プログラムを作成する。
基本的な操作は前年度に作成された工程作成機能 (make_gsl. gsl) と同様。
各作業毎に、『組立手順ファイル』内の姿勢情報を基に姿勢を反映する。

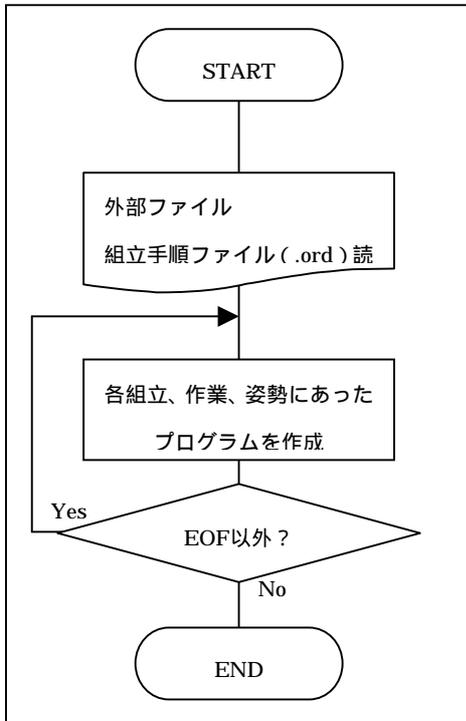


図4. 1. 1. 6-1 工程作成機能フロー

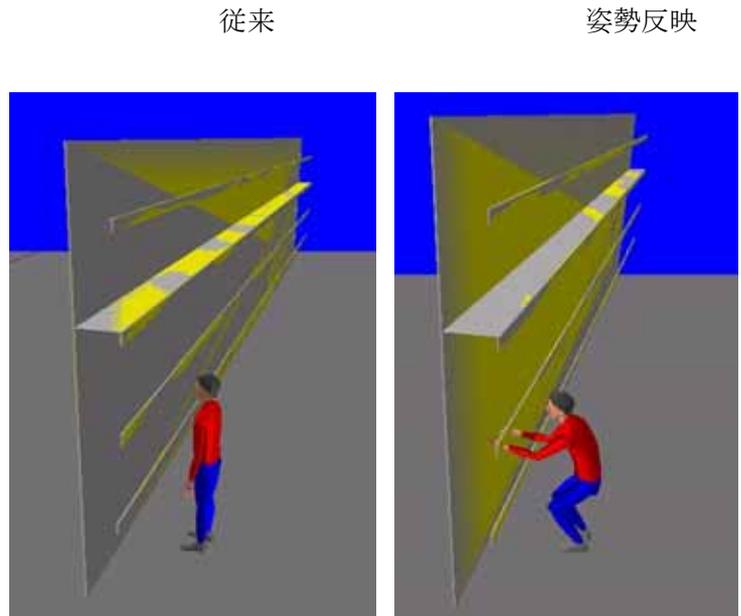


図4. 1. 1. 6-2 姿勢情報反映イメージ

4.1.1.7 外部ファイルについて

外部ファイルは以下のようなテキストファイルとし、ExcelのCSV形式とする。

語句説明

Lib : ライブラリのPath。 例)y:¥IMS2002¥

Workcell path : 呼び出したworkcellの保存されているPathになる。

(1) 工場レイアウトファイル

ファイル名 : 工場/工程名.txt

保存場所 : Lib¥factory¥

内 容 :

[工場レイアウトファイル]

工場のレイアウトを作成する為のファイル。

【出力ファイル】

* L : Layout * C : Crane * B : BuzaiArea * K : KumitateArea * T : ToolArea * W : WaitArea * A : Another	} コメント行
L(W, D, H) 28, 9, 10	} 工場データ 幅 奥行 高さ
C 1(←Total No, posX) 1, 7.5, 7.5, 4, クレーン名	} クレーンデータ 台数 機械番号 工場左端からの距離 ノードX ノードY 名称 :
B 1(←Total No, posX, posY, W, D) 1, 0.5, 0.5, 23, 3.5, 1, 1, エリア名	} 部材エリアデータ エリア数 番号 始点X 始点Y 幅 奥行 ノードX ノードY 名称
K 1(←Total No, posX, posY, W, D) 1, 0.5, 4.5, 20, 4, エリア名	} 組立エリアデータ エリア数 番号 始点X 始点Y 幅 奥行 ノードX ノードY 名称 :
T 2(←Total No, posX, posY, W, D) 1, 0.5, 7, 4, 1.5 2, 16.5, 6.5, 4, 2, エリア名	} 道具エリアデータ エリア数 番号 始点X 始点Y 幅 奥行 ノードX ノードY 名称
W 2(←Total No, posX, posY, W, D) 1, 23.8, 0.5, 4, 3.5 2, 21, 4.5, 6.8, 4, エリア名	} 待機エリアデータ エリア数 番号 始点X 始点Y 幅 奥行 ノードX ノードY 名称 :
A 2(←Total No, TypeNo, posX, posY, W, D) 1, 1, 3.5, 5, 2, 2, 装置名 2, 2, 12, 6, 3, 2, 装置名	} 他装置データ 台数 番号 タイプ番号 始点X 始点Y 幅 奥行 ノードX ノードY 名称

(2) 組立形状データ

ファイル名：ブロック名.kumi

保存場所：Lib¥KUMI_FILE¥工場/工程名¥

内 容：

[組立形状データ]

組立対象ブロックデータになります。

【出力ファイル】

中間製品	部品
分類：im	分類：product
ID名	ID名
中間製品名	部品名
上位中間製品	上位中間製品/部品
BASE情報	種類(BRAKET, BASE・・・他)
0	重心X
0	重心Y
0	重心Z
0	Xmin
0	Ymin
0	Zmin
0	Xmax
0	Ymax
0	Zmax

注) ・データはタブ区切りとします。

・データ内にカナもしくは“—”は使用不可とします。

・中間製品と部品データの項目数を合わせる為に、分類～BASE情報以外には“0”を入れます。

(3) 溶接データ

ファイル名：ブロック名.wld

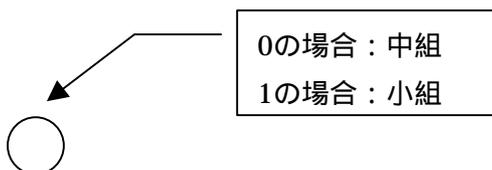
保存場所：Lib¥KUMI_FILE¥工場/工程名¥

内 容：

[溶接データ]

出力されたブロックに対しての溶接情報になります。

データの読込用では無く、小組/中組の区別に使用します。



- (4) 組立手順データ
 - ファイル名 : ブロック名.ord
 - 保存場所 : *Lib*¥KUMI_FILE¥工場/工程名¥
 - 内 容 : 『4.1.1.4 組立手順設定ツール』参照
- (5) 姿勢ファイル
 - ファイル名 : 姿勢名.pose
 - 保存場所 : *Lib*¥WORK¥POSE¥
- (6) 動作ファイル
 - ファイル名 : all.mov
 - 保存場所 : *Lib*¥WORK¥MOTION¥
 - 内 容 : 『4.1.1.2 作業設定機能』参照
- (7) 作業ファイル
 - ファイル名 : 作業名.ope
 - 保存場所 : *Lib*¥WORK¥OPERATION¥
 - 内 容 : 『4.1.1.3 動作設定機能』参照

4.1.2 バーチャルリアリティ環境下における描画処理のパフォーマンス向上に関する研究

生産シミュレーションとVRとの融合を目指した3次元仮想空間記述言語及びこれを利用したシステムの構築を目指しているが、そこでは、VR空間を停止することなく空間内の物体の構成や挙動の変更が動的に可能であることが最大の特徴である。これまで、既に記述言語及びシステムの根底となる枠組みに関して開発を進めており、動的な変更を可能とする部分に関しては概ね完成されている。今年度は、

1. 場所・状況に依存した処理をVRにより空間に配置することでVRシミュレーション環境を構築する、「空間プログラミング」の提案
2. 空間プログラミングにおける相互作用を媒介する仮想的なオブジェクトとしてのジャンクションの使用と記述言語仕様の修正
3. 造船における溶接工程のシミュレーションへの適用を図り、このためのシミュレーション環境の実装

を図り、本システムの実際の生産シミュレーションへの適用を行った。

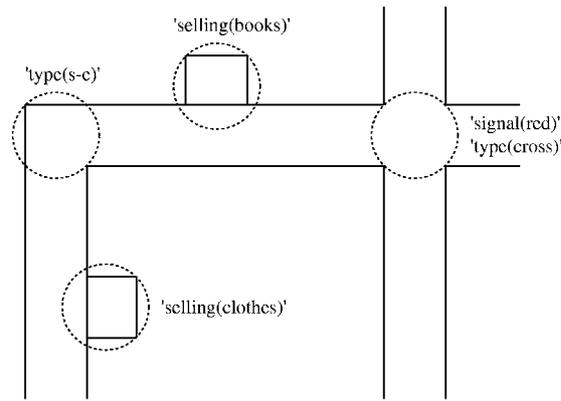
4.1.2.1 「空間プログラミング」の提案

実空間においては、我々はしばしばその時々場所に依存した状況により行動を決定する。

例えば図4.1.2.1-1に示したような実空間においても、我々は交差点にいればその信号機の状態により進むか停まるかを決定する。これはその交差点でのみ発生する、場所に依存した行動である。また、特定の場所において取りうる行動が存在したならば、それを考慮して自分の行動を決定することになり、状況によってはそれは取ってはならない行動を指示するものとして行動に制約を加える働きをする。これは、工場内における各種の作業においても当てはまり、作業者が取るべき行動は作業者がいる場所やその近傍の状況などに依存したものであると言える。

そこで、我々は場所に依存するこれらの処理や制約等を「空間に置く」ことによりバーチャルなく空間をプログラムしていく、「空間プログラミング」を提案した。

このVR空間をシミュレーションとして動作させると、実空間における実際の作業者と同様、VR空間内の仮想的な作業者は特定の制約が有効となる場所に接近した時に状況に応じて行動の指示や制約を受け、それに伴い取るべき行動を決定することになる。



Each information means the following:
 type(s-e) : Intersection of south and east st.
 type(cross) : Intersection of crossing street
 signal(red) : Signal is now red
 selling(books) : Books are sold here
 selling(clothes) : Clothes are sold here

図4. 1. 2. 1-1 場所に依存した制約の情報

4.1.2.2 ジャンクション

場所に依じた制約や指示を受け取るための媒介として、これまで動的なシミュレーションの実現メカニズムとして研究を行ってきたジャンクションを用いる。空間プログラミングにおけるジャンクションは、空間内に配置された仮想的なオブジェクトとし、制約や指示などの情報を相互作用として対象の物体に与える働きをするものとする（図4. 1. 2. 2-2）。

VR空間において、ジャンクションに接触したオブジェクト（作業員）には相互作用が発生し、オブジェクトの状況を見ても的確な制約情報や指示をジャンクションが発行する。このように、制約の発生プロセスが独立し、オブジェクト独自の挙動からの独立性が確保されていることで、シミュレーションからの制約の設置や撤去は極めて容易に可能となる。同時に、VR空間を停止することなくVR空間の修正が可能となり、VRシミュレーション環境そのものをVRシミュレーションの構築環境として利用することができる。

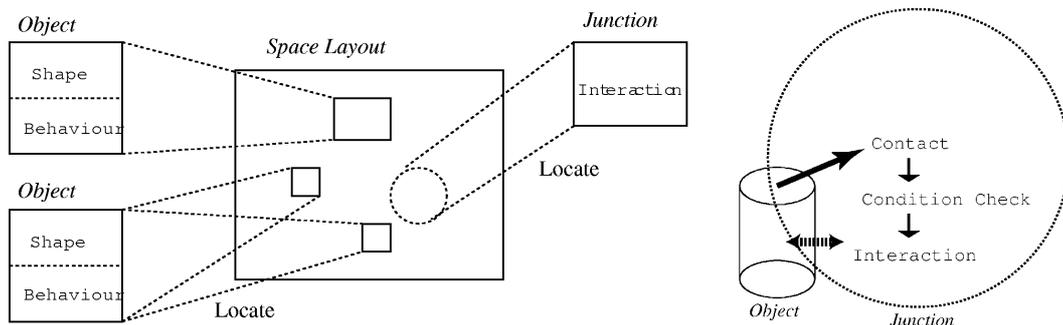


図4. 1. 2. 2-2 ジャンクションによる空間プログラミングと相互作用

4.1.2.3 オブジェクトとジャンクションの記述

オブジェクトは自分の形状や振る舞い、自身の状態に関する情報を保持しており、空間に配置する段階では形状と振る舞い、初期状態を記述する。ジャンクションは置かれ方の指定と相互作用の発生条件、それにより発行される制約の情報を保持しており、空間に配置する段階でそれらを記述する。

ジャンクションを用いたVR空間の記述については、詳細な文法等は割愛するが基本的にはXMLにより記述し、挙動の部分はJavaで記述する。大まかには、オブジェクトは基本的にXMLにより記述され、振る舞いを記述したプログラム部分についてはJava言語で記述したものをこれに埋め込む。これらは、個々のオブジェクトの型ごとに1つのファイルとして記述される。

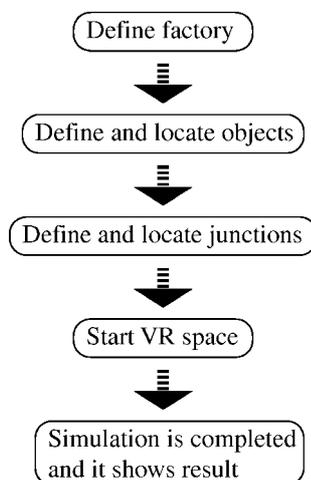


図4.1.2.3-3 シミュレーション構築手順

ジャンクションもオブジェクトと同様、基本的にXMLにより記述され、各種の情報を発行する動作を記述したプログラム部分についてはJavaで記述したものをこれに埋め込む。これも個々のジャンクションの型ごとに1つのファイルとして記述される。

このほか、シミュレーションに用いる空間のレイアウトの定義も記述する。オブジェクト及びジャンクションは、それをインスタンス化してVR空間に配置してゆく。このあたりは、オブジェクト指向言語の手法を踏襲している。VRシミュレーションの構築手順は、図4.1.2.3-3のようになる。

4.1.2.4 造船における溶接工程への適用

我々が試みるバーチャルシミュレーション技術の導入の適用対象として、造船における溶接作業を取り上げた。この溶接工程において、最も効率の良い人数配分・レイアウト・行動パターン等の検証を行うのがシミュレーションの目的である。

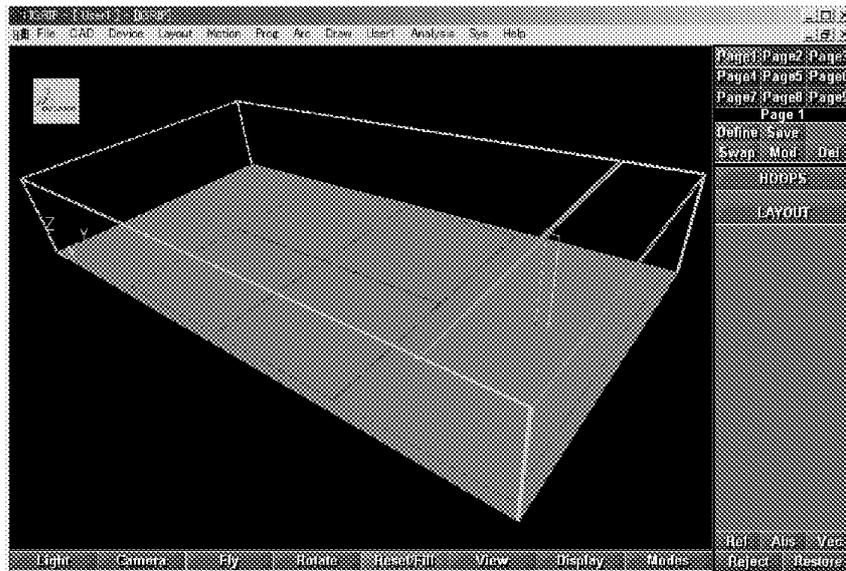


図4.1.2.4-4 溶接作業を行う工場のレイアウト

溶接作業を行う工場は、資材置き場・作業エリア・搬出エリアにより構成される（図4.1.2.4-4）。また、工場内の搬送設備としてクレーンやコンベアなどが配置される。

溶接作業は、基本的に「搬送」「仮付け（位置合わせ）」「溶接」「搬出」の4つの手順から成る。この過程において、いくつかの制約が存在する。

まず、クレーンを動かしての搬送作業中は、通過エリア内の作業者は退避ゾーンに退避していなければならない。退避すべき作業者が溶接作業中である場合、作業との兼ね合いについて優先度が存在し、作業者の溶接作業が完了するまでクレーンを動かすのを待たなければならない。

また、仮付けも含めた溶接作業中は、溶接作業を行っている作業員から一定距離内に進入してはならないという制約がある。これは、同一の部材の複数箇所を複数の作業員が作業する際に考慮する必要がある。

これらのクレーン移動と溶接作業について、移動時間や姿勢変更時間なども含めて総作業時間を算出する。工場レイアウトや作業員数、行動パターンを変えてシミュレーションを行い、それらによる差を検証することになる。

4.1.2.5 溶接工程のバーチャルシミュレーションの実装

前節において述べたシミュレーションを、バーチャルシミュレーションとして実装した。

工場内にはクレーン1台と作業員2名が配置されている。作業員の人数は、空間に配置することで任意に増減させることが可能である。溶接対象となる資材は、複数個の資材の溶接で組みあがるセットが2セットぶん存在する（これもVR空間内への配置操作で増減可能）。これらの溶接工程の基本的なシーケンスは定義済みのものを外部から読み込むことができ、これを必要なセットのぶんだけ読み込み追加することで全体のシーケンスが構成される。これは最も単純なシーケンスであり、実際には

シミュレーションを実行することでこれに作業員の退避シーケンスなどが挿入されていくことになる。各作業は担当の作業者が指定されているが、これを変更したり、作業順序を変更したりしてシミュレーションを行い所要時間などを算出、適切な作業手順を探ることになる。現在、この部分は通常のGUIで実装されており、得られた最終出力をVRで表示するようになっているが、将来的には完全にVR空間に組み込まれることになる（図4.1.2.5-1）。

各種制約は、ジャンクションとして定義され、クレーンや部品に付随して設置されている。これに作業者が接触すると、状況に応じ退避命令や待ちの指示が発行される。

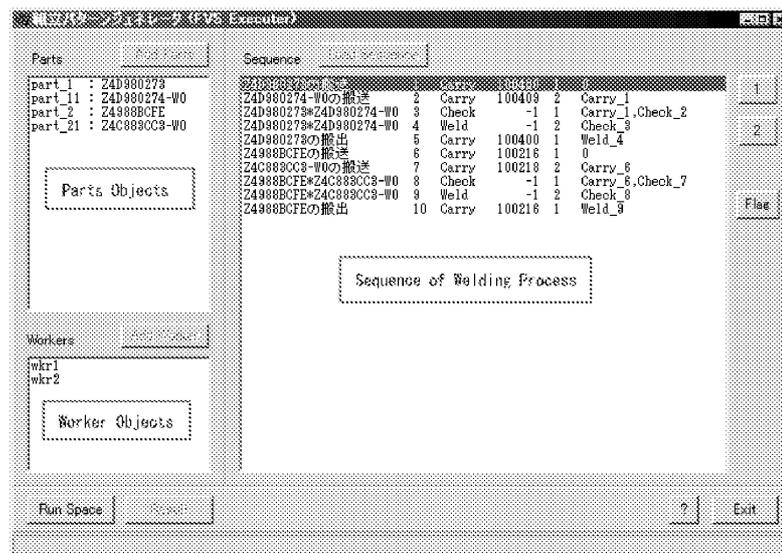


図4.1.2.5-1 作業手順と工場内オブジェクト等の設定

空間が完成したところで、VR空間の時間を進行させることによりシミュレーションを開始する。以下、場所や状況に応じて作業員が指示を受けその状況にふさわしい行動を取りつつ作業が進行する（図4.1.2.5-2）。全工程が完了した時点で、空間の時間の進行が停止され、実際に行われたシーケンスが行動タイミングとともに出力される（図4.1.2.5-3）。

別のパターンでシミュレーションを行うのであれば、いったんVR空間の時刻をリセットし、さらにオブジェクトの位置と状態を初期のものに戻す。必要であれば作業員などの追加・削除や振る舞いの修正も可能である。そこでシーケンスに修正を加え、再度時間の進行を開始することでシミュレーションを再実行する。これを繰り返して適切なシーケンスを検討する。

この間、VR空間の再起動は一切行われない。これにより、ユーザインターフェースが完全に3次元VR空間化された場合でもその内部にとどまったままシミュレーションの構築・修正が可能となるわけである。また、シミュレーションの動作中にも途中で停止させシミュレーションを修正したりすることも可能である。

これらにより、VRとシミュレーションが融合したバーチャルシミュレーション環境を実現させた。

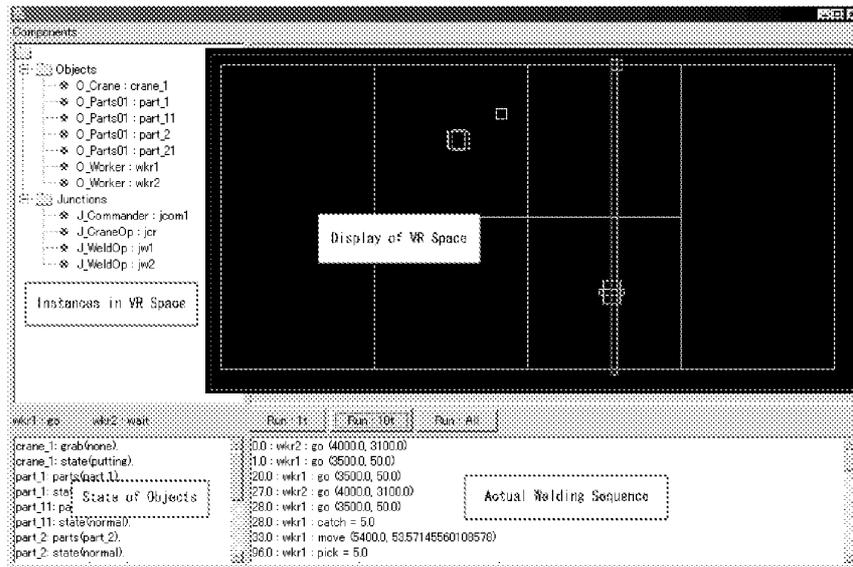


図4. 1. 2. 5-2 シミュレーションの実行

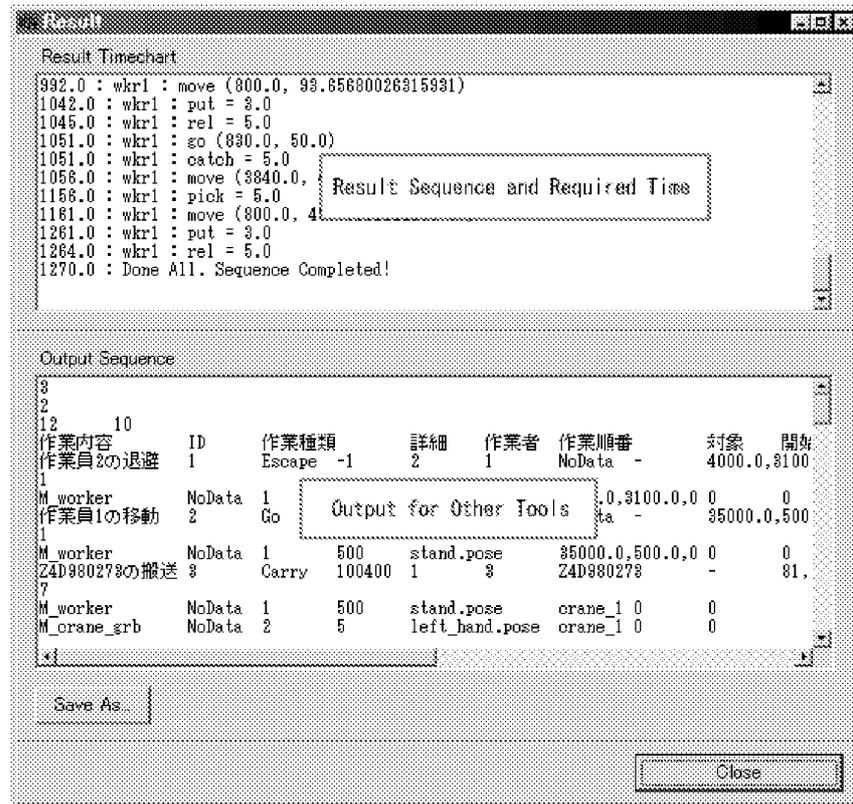


図4. 1. 2. 5-3 シミュレーション結果の出力

4.1.3 欧州のバーチャルファクトリーの評価

① BNFL

BNFLのデモ画面の一例を図4.1.3-1に示す。ここでは、シミュレータ (Simulation World) から実機 (Real world) に信号を送り、PLCの遠隔操作を行う機能のデモが行われた。機能概要は下記の通り。

- 1) シミュレータ上で装置の操作を行う。本操作により、信号が PLC へ送信される。
 - 2) 1)の操作により信号が PLC へ送信され、実機が作動する。
 - 3) 実機の位置情報等などがシミュレータへフィードバックされ、シミュレータの装置が作動する。
- ・ インターロック発生時の PLC リセットについても遠隔操作可能であった。
 - ・ 通信はイーサネットを經由して行っており、実機動作とシミュレータ内の装置の動作は完全には同期していなかった。ただし、コンピュータの処理能力等の向上によりこれらの問題は解決されると期待され、将来的には非常に有用なツールになると考えられる。

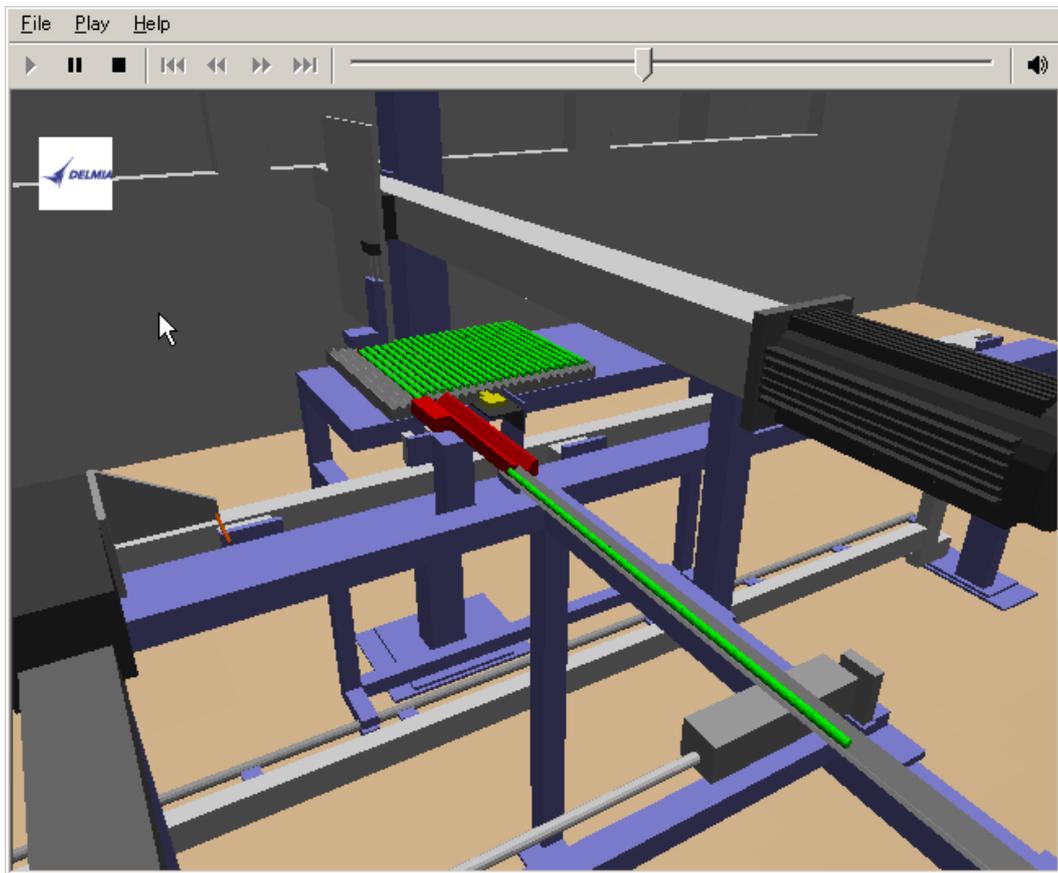


図4.1.3-1 BNFLデモ画面の一例

② ZEM

ZEMの工場におけるモーター等のローター組立装置を対象としたシステムのデモが行われた。本システムでは、工場全体のオペレーション訓練、および設備のメンテナンス作業の訓練が実施可能であった。デモの概要および評価について下記に示す。また、デモ画面の一例を図4.1.3-2に示す。

- ・ 作業指示書 (シナリオ) が画面上に表示され、その指示に従って作業を行う。また、異常要因 (設備異

常，ステーター位置異常など）が適宜画面上に表示され，運転員は検出した異常要因を選択して，各種異常処理を実行する。

- 操作にはジョイスティック，およびグローブを使用する。また，ヘッドマウントディスプレイを装着することにより，立体画像による作業を行うことが可能である。
- 実際に操作を行ってみたが，処理に時間がかかり動きが遅い，操作が難しいなどの問題があり，運転訓練シミュレータとして実際に使用するためにはまだいくつか大きな課題があると思われる。ただし，コンピュータの処理能力等が向上すれば，将来的には有効なツールになると考えられる。
- 重工業製品についても設備の運転訓練シミュレータとして適用可能であると考えられる。

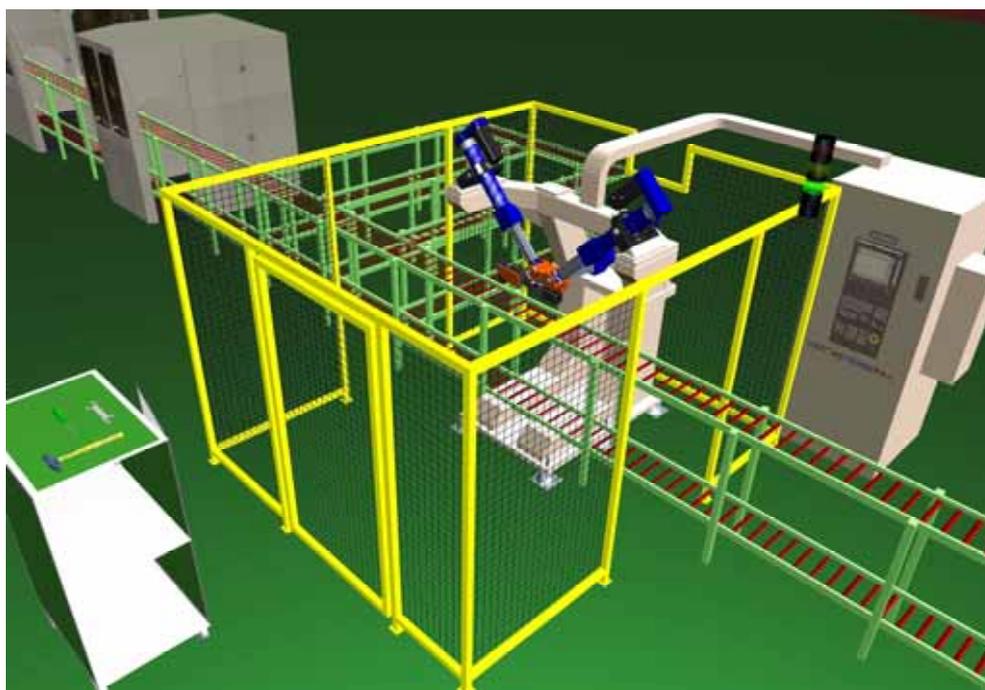


図4.1.3-2 ZEMデモ画面の一例

③スイス：Free-form IDA

スイス地域では、Immersive Design system（図4.1.3-3）を開発した。本システムは、デザイナーの形状検討作業を支援するためのシステムである。イメージ的には、粘土でモデルを作る代わりに、コンピュータ上に形状を作成していくようなシステムである。

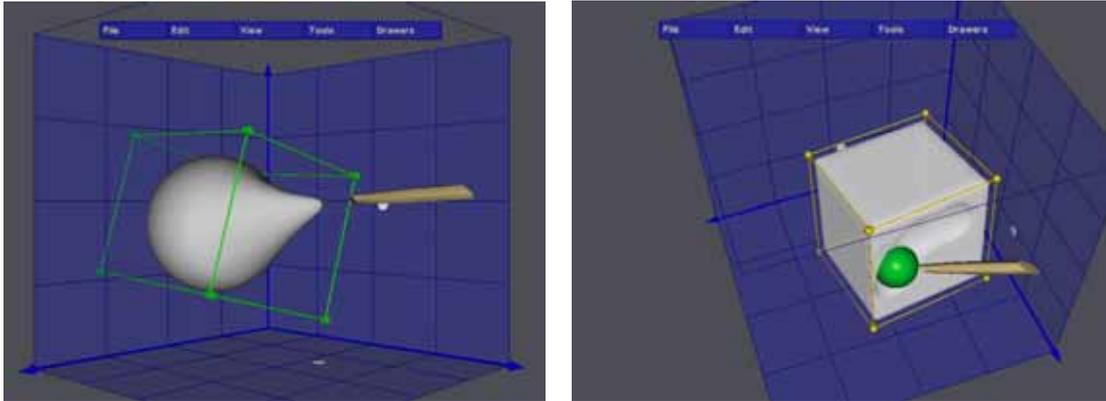


図4.1.3-3 Immersive Design system

システムの操作状況を図4.1.3-4に示す。このように、本システムは、VR表示のために、3Dグラスを用いていた。また、形状の操作には図4.1.3-5に示すハプティックデバイスを用いていた。



図4.1.3-4 システム操作状況



図4.1.3-5 ハプティックデバイス

所感を下記に示す。

- ・ 粘土で作る代わりに形状を作れる。というのは興味深い
- ・ 現在の座標を XY, YZ, ZX 平面に投影し、表示しているため、空間上での位置が、わかりやすかった。(図4.1.3-6)

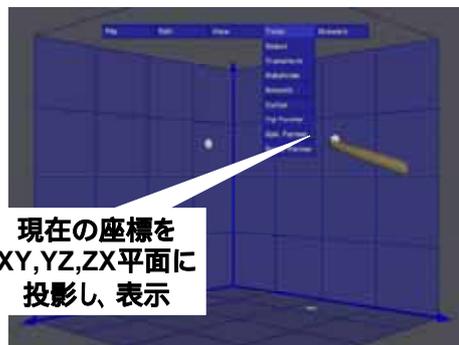


図4.1.3-6 空間上での位置の把握

- ・ 現状は、複数の部品を組み合わせる Assembly の概念がないが、将来的には必要と思われる。
- ・ Immersive Design system は、将来の CAD の一つの姿と考えられる。そのためには、一般的な 3 次元 CAD のような機能 (たとえば下記機能) が必要不可欠と思われる。

(ア)寸法を定義して形状を定義する機能が必要

(イ)座標軸を回転させる機能や、XY, YZ, ZX 平面で物体を表示する機能が必要

(ウ)形状の変形 Tip Former、Mesh Smother には、まだ工夫の余地あり。

- ・ ハプティックデバイス (図 4.1.3-5) は、デルミア等の組立シミュレーションソフトの移動経路定義などにも使えそうである。特に製品を干渉せずに分解できるかどうかを試行錯誤的にチェックするような場合には有効と思われる。

④ チェコ : rotating plant software

チェコ地域は、Rotating plant software (図4.1.3-7) を開発した。本システムは、原子力発電所の燃料を送り込むためのポンプ (RCP) について、回転による振動が与える影響を解析するためのシミュレーションシステムである。

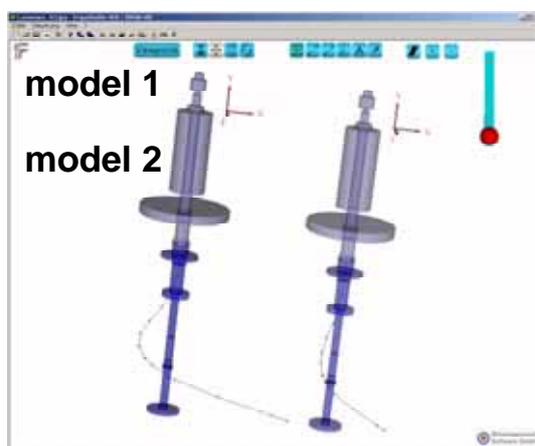


図4.1.3-7 Rotating plant software

実機でのモニタリング機能も開発しており、実機の振動が大きくなった場合、事前に様々な故障時を想定したシミュレーション結果と比較して、故障個所の特定を行うことが目的である。

所感は以下のとおり

- ・ 原子力発電所の場合、小さな故障が重大事故につながることもあり、本システムのように、小さな故障をとらえようとする試みは、有効だと感じた。
- ・ IRMAで開発したVR表示機能を利用することで、表示プログラムをほとんど開発せずに機能を実現しており、IRMAで開発したVR表示機能の有効性が確認できた。
- ・ 実機を想定した開発をおこなっている点は素晴らしい。
- ・ 今後、モニタリング機能と連動した故障診断機能の開発が望まれる。

⑥ ルーマニア : built structure simulation under earthquake

ルーマニアでは、Built structure simulation under earthquake (図4.1.3-8) を開発した。本システムは、地震時の建物の動的な構造解析を行うものである。

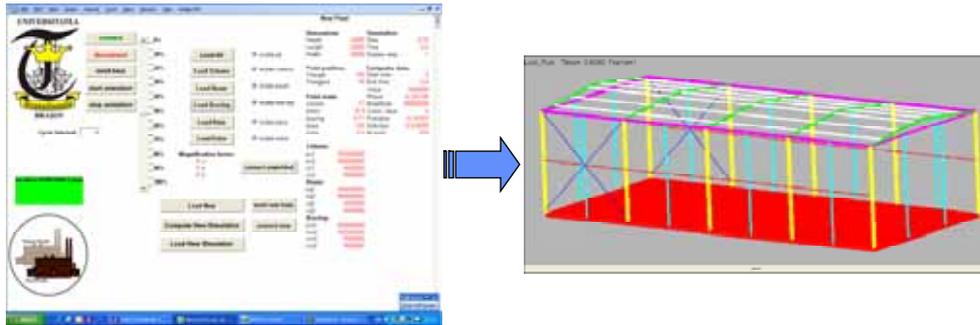


図4.1.3-8 Built structure simulation under earthquake

本システムは、UTBVで開発した計算プログラムをIRMAのVR環境で表示させる仕組みになっており、表示系の開発をしなくて良かったので、開発期間を大幅に短縮できた。とのことであった。

所感は以下のとおり。

- IRMA の環境を用いることで、UTBV の計算プログラムの結果を 3 次元で評価するプログラムを開発しており、IRMA の VR 環境をうまく利用している。
- 研究機関等で、自ら解析プログラムを開発している所にとっては、IRMA の VR 環境は、役立つと思われる。

4.2 重工業製品への適用性評価（WP4）

4.2.1 原動機大型部材を対象とした適用性評価

原動機部材の最適化システムと合わせ、コストが各種の方面から見積もられるシステムを開発し、その適用性を評価した。

4.2.2.1 バーチャルファクトリ利用による自動コスト見積りシステム

新たな製品開発や既存製品の工場での製造上のボトルネック、コストが把握可能なシステムとして、製品や製造に関するデータベースを基に、実際の製造を模擬して計算機上で自動的にシミュレーションしてコストまで集計可能なVF（バーチャルファクトリ）を開発した。

これは、製品対象のM-BOM（Manufacturing Bill of Material）や関連する各種リソースなどのデータベースを基に、前年度までに開発した自動シミュレーション機能に、今回、新たにコストを自動計算し、各設備や人の稼働分析等の統計データも出力表示する機能を開発したものである（図4.2.2.1-1参照）。

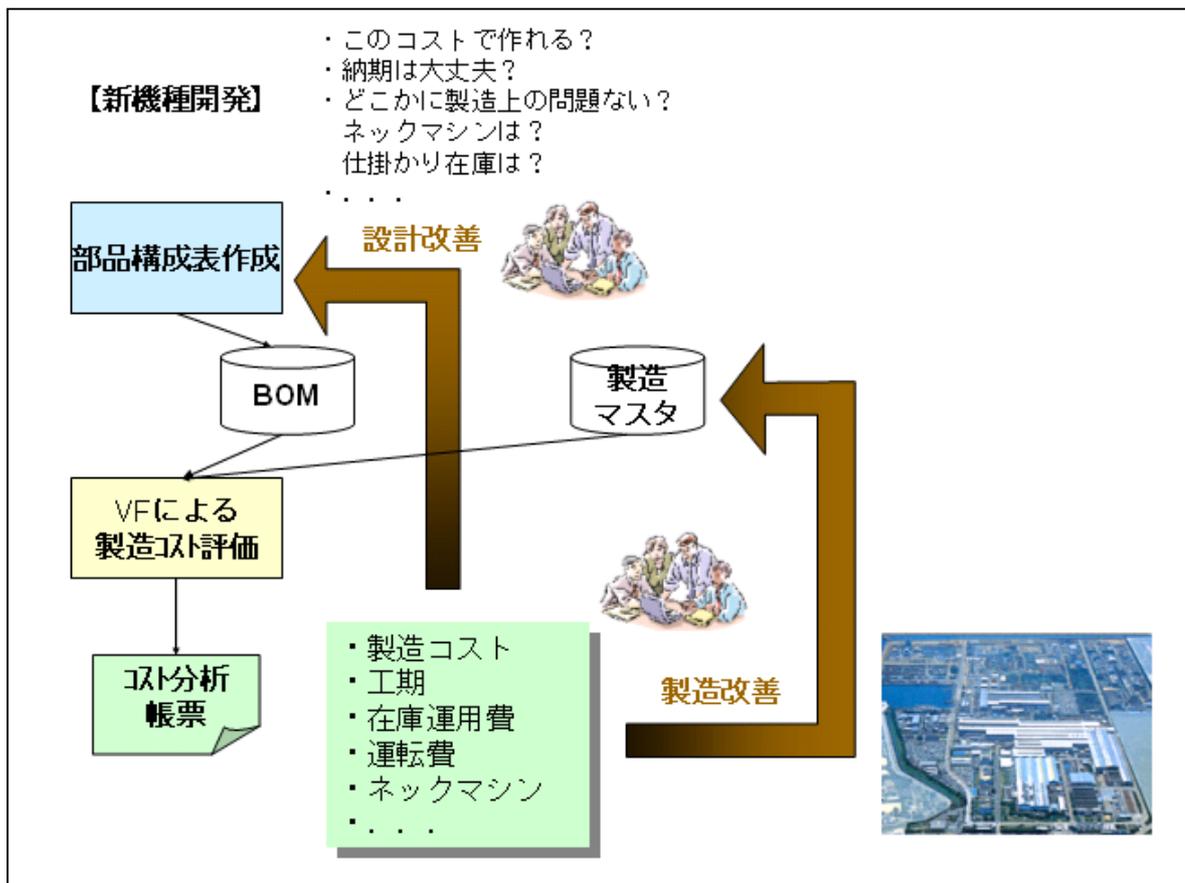


図4.2.2.1-1 自動コスト見積りシステム

図4.2.2.1-2に自動コスト見積りシステムの全体フロー図を示した。本年度は、これまで開発した自動シミュレーションシステムからシミュレーションした結果に基づき、コストデータを収集し、集計するシステムと、このコスト集計結果から統計データなどで表示してコスト評価可能なシステムを開発した。

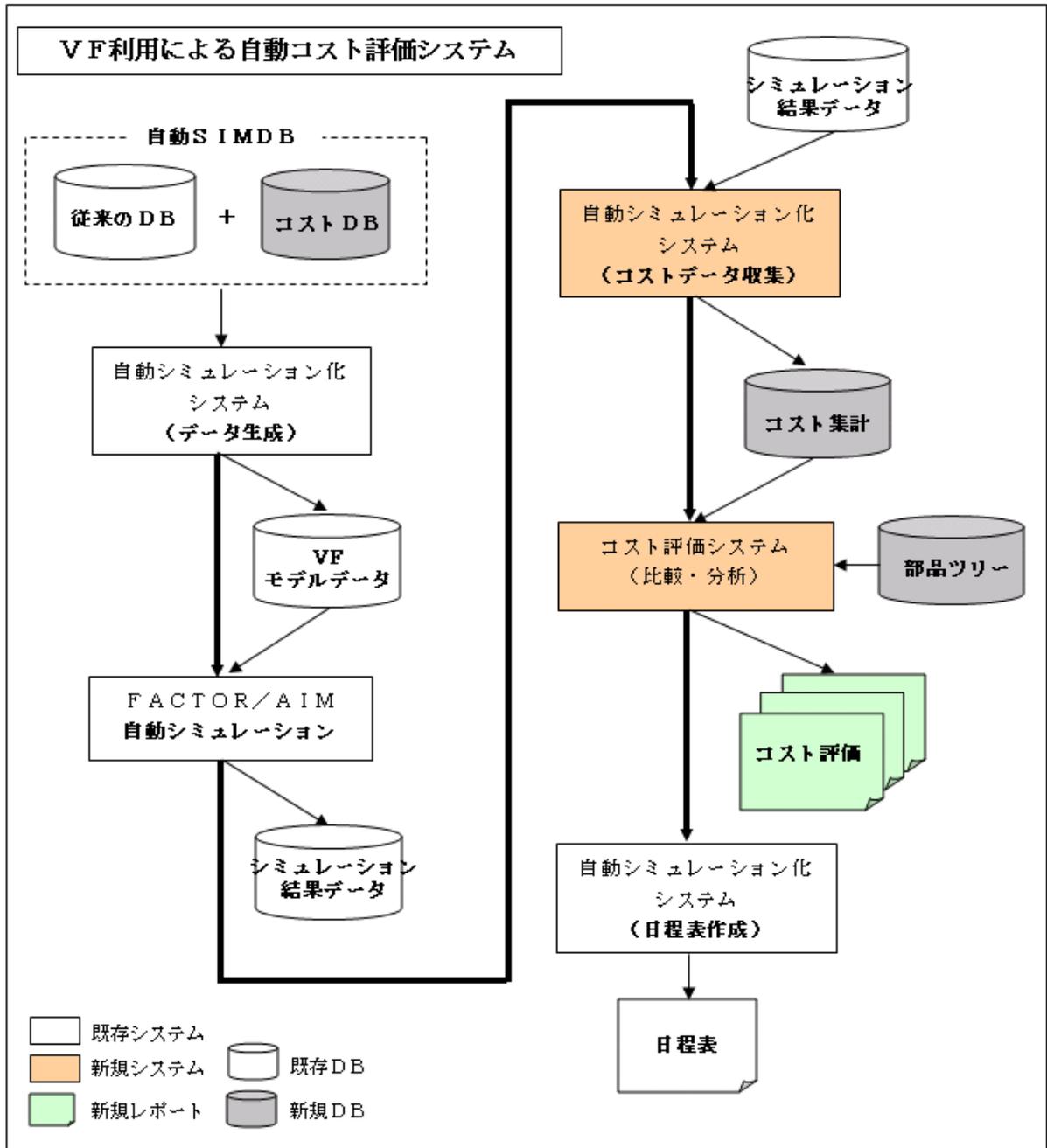


図4.2.2.1-2 自動コスト見積りシステム全体フロー図

コストは、下記についてシミュレーション結果に基づき、各リソース毎に自動計算される。

・機械運転コスト = Σ (機械レート / (時間) × 使用時間)

- ・ 治具運転コスト = Σ (治具レート / (時間) × 使用時間)
- ・ AGV運転コスト = Σ (AGVレート / (時間) × 使用時間)
- ・ 設備費 = 機械運転コスト + 治具運転コスト + AGV運転コスト
- ・ 作業員運転コスト = 作業員レート / (時間) × 作業員労働時間
- ・ 労務費 = Σ (作業員運転コスト)
- ・ 部品運転コスト (1 部品) = Σ (オーダー総運転費) / 部品数
- ・ 在庫運用費 = 年間在庫運用比率 × (WIP内平均在庫時間 / 年間総時間) × 現在のロードの総費用
- ・ 運転費 = WIP在庫時間 × 保管費
- ・ 間接労務費 = 労務費 × 間接労務費率
- ・ 間接資材費 = 資材運転費 × 間接資材費率
- ・ 製造コスト = 設備費 + 労務費 + 在庫運用費 + 間接労務費 + 間接資材費

(注) WIP：一次部品置き場

以下、自動シミュレーションについて説明する。

図4.2.2.1-3に自動シミュレーションメニュー画面を示した。これにより、必要なデータベースを定義して、シミュレーション用のデータを自動生成して、シミュレーションを自動実行させる。

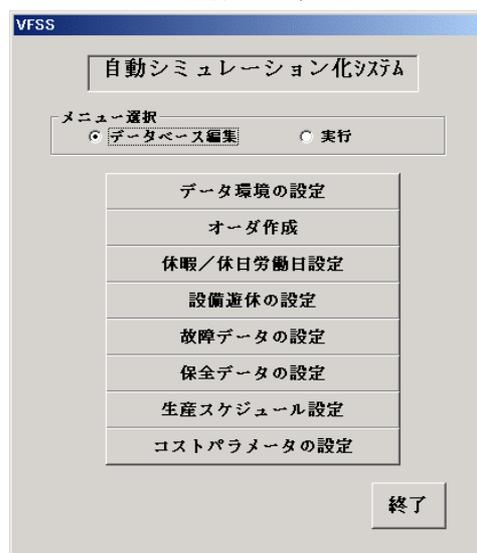


図4.2.2.1-3 自動シミュレーションメニュー画面

データベースの作成では、例えば、製造指示のためのデータベースがある。これは、図4.2.2.1-4の製品のオーダー指示に始まり、これから別途用意された部品表を展開して、部材毎の生産指示になる。オーダーは、納期を指示するが（投入日を指示する事もシステム的には可能となっている）、部材は、製品の納期と部材毎の生産工期を基にロス時間を考慮してバックワードでスケジューリングされた日程で（部材投入日が設定されて）出力される。図4.2.2.1-5は、その生産スケジュールの編集画面例である（個々に修正したい場合に編集出来るようになっている）。

一般的には、このオーダーデータ、すなわち、いつまでにどの製品をいくつ作るかというデータのみを作成して指示すれば、仮想生産を行い、製造コスト見積りまでを行ってくれる様になっている。

オーダー	アイテム	符号1	符号2	符号3	客先名称1	客先名称2	客
1	6-546301	0000			TUXPAN	TUXPANⅢ#4	
2		0000			TUXPAN	TUXPANⅢ#4	

値を入力して更新ボタンを押してください。

オーダー	アイテム	客先名称	製品名	オーダー数	<input type="radio"/> 投入日	納期	戻る
	0000	TUXPAN	501F	1	<input checked="" type="radio"/> 納期	2003/05/10	

図4.2.2.1-4 製造オーダー指示データベース画面

製品名	部品名1	部品名2	部品名3	部品名4	部品名5	部品コード	工程表コード
501G	ブレード	SE1	9S			9S_SE1_501G	pL_9S_SE1
501G	ブレード	SE1	10S			10S_SE1_501G	pL_10S_SE1
501G	ブレード	SE1	11S			11S_SE1_501G	pL_11S_SE1
501G	ブレード	SE1	12S			12S_SE1_501G	pL_12S_SE1
501G	ブレード	SE1	13S			13S_SE1_501G	pL_13S_SE1
501G	ブレード	SE1	14S			14S_SE1_501G	pL_14S_SE1

製品名	工程表コード	シミュレーションオーダー	プロセスプラン	投入数量	投入日付	納期日付	戻る
501G	pL_9S_SE1_501G	1	PPLN1	76	2003/11/10	2004/09/04	

仕掛かり 完了手順 仕掛かり設備 残り時間 0

図4.2.2.1-5 生産スケジュール編集画面

その他、事前に準備しておくべきデータベースとして、工程マスタについて説明する。工程マスタは、上記で展開された部品毎に工程展開する。その基になるのが工程マスタで、製作手順毎にどの設備を使って、どのくらいの準備を要し、加工時間は何時間かかって、搬送手段は何で、何処から何処へ運ばれ、途中の仕掛り場所と置ける量、そして作業者との関わり等について定義しておく。

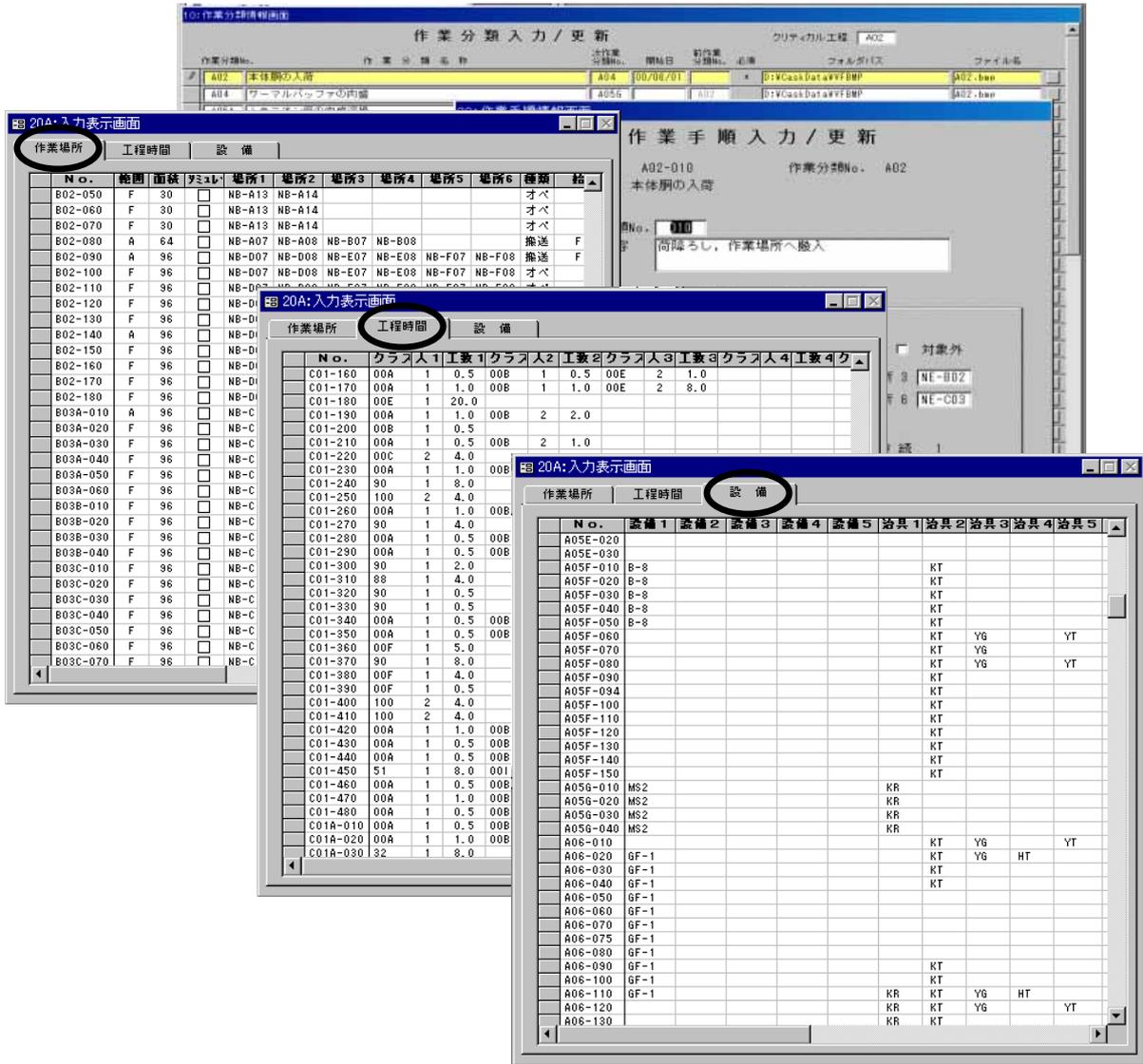


図4.2.2.1-7 標準工程マスタのデータベース構造例

図4.2.2.1-6に工程マスタの編集画面例, 図4.2.2.1-7に標準工程マスタのデータベース構造例を示した。

この他に, 設備マスタ, 作業者マスタ, 設備-作業者対応テーブル, 治具マスタ, 作業シフト時間設定テーブル (休日, 作業開始/終了時刻, 休憩時刻など), を有す。

これらのデータベースを基に図4.2.2.1-8の自動シミュレーションメニューにより, モデルデータ作成ボタンをクリックすると自動的にシミュレーションデータが自動生成される。

シミュレータは, 構造計画研究所製のラインシミュレータFACTOR/AIMを利用している。このFACTOR/AIMは, ACCESSのデータベースにシミュレーション結果を保存出来るようになっており, このファイルを基にFACTOR/AIMは, 編集・実行可能となっている。そこで, これと同等のデータをACCESSのデータベース上に自動生成してやる事で, 自動シミュレーションを可能とした (既報)。

図4.2.2.1-8に, 自動シミュレーションのモデル作成, シミュレーション, コスト集計・評価させるメニューを示した。また, 図4.2.2.1-9にこれらのデータを元に自動的にシミュレーションさせた原動機ブレード工場のSEラインのシミュレーション画面例を示した。

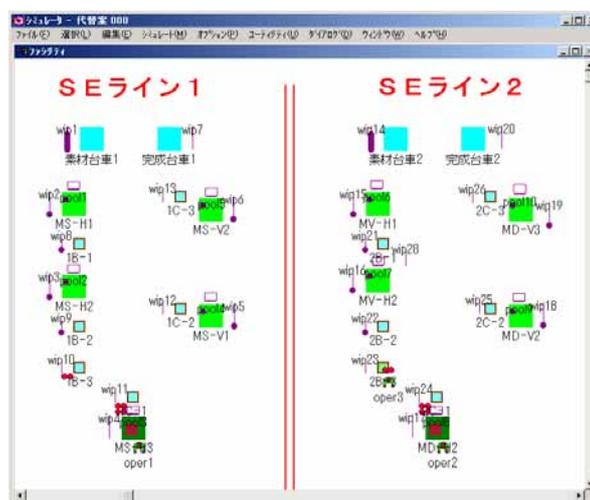
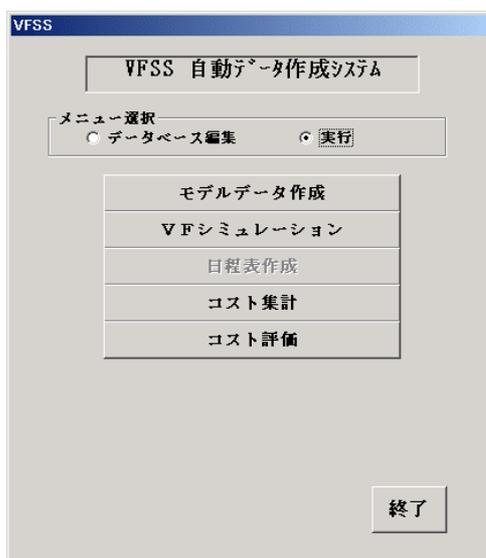


図4.2.2.1-8 自動シミュレーション
メニュー画面

図4.2.2.1-9 自動シミュレーション画面例

次にシミュレーションした結果は, ACCESSのデータベースに格納されるので, このコストデータを一端集計する (図4.2.2.1-8のメニュー画面のコスト集計ボタンをクリックする)。

次にコスト評価メニューをクリックして, コスト評価を実施する。

本システムの機能は, 下記の通りである。

- (1) 設備費 (機械, 治具) とその使用時間を設備毎にグラフ表示。
- (2) 労務費 (稼動日×稼動時間/日×レート) と実作業時間を作業者毎にグラフ表示。
- (3) 部品毎にコストと製造時間をグラフ表示。
- (4) 部品ツリーにおける各部品のコストと製造時間を表示。
- (5) プール別在庫運用費をグラフ表示。

- (6) 製造コストにおける設備費，労務費等の割合をグラフ表示.
- (7) 各グラフにおいて，ボトルネックを表示.
- (コストおよび時間でのソート機能を有す.)

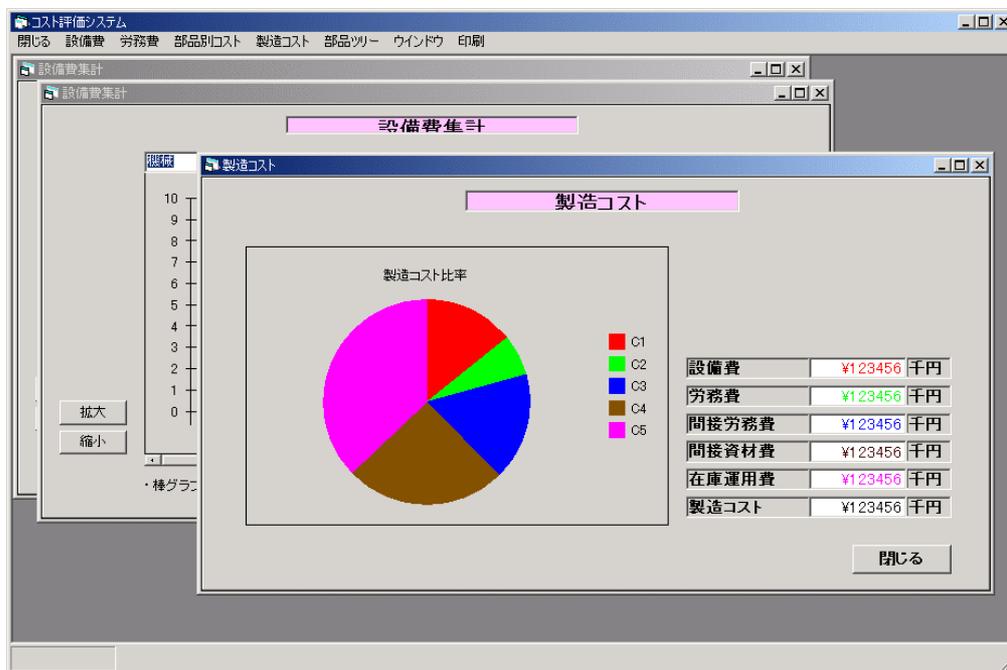


図4.2.2.1-10 コスト評価システム全体イメージ

以下，コスト評価システムで出力される画面例について説明する．図4.2.2.1-11は，設備の運転コストと使用時間の表示例である．設備毎にシミュレーションした期間での運転コストとその時の設備の使用時間が表示可能となっている．これを運転コストや運転時間の多い順に表示可能で，どの設備がコスト高となっているか，ネックマシンはどの設備か，どの設備が遊休マシンか？ がすぐ判断出来，改善につなげる事が可能である．また，各設備のグラフをクリックする事により，さらにその設備のアイドル時間や稼働率等の詳細データを表示する．

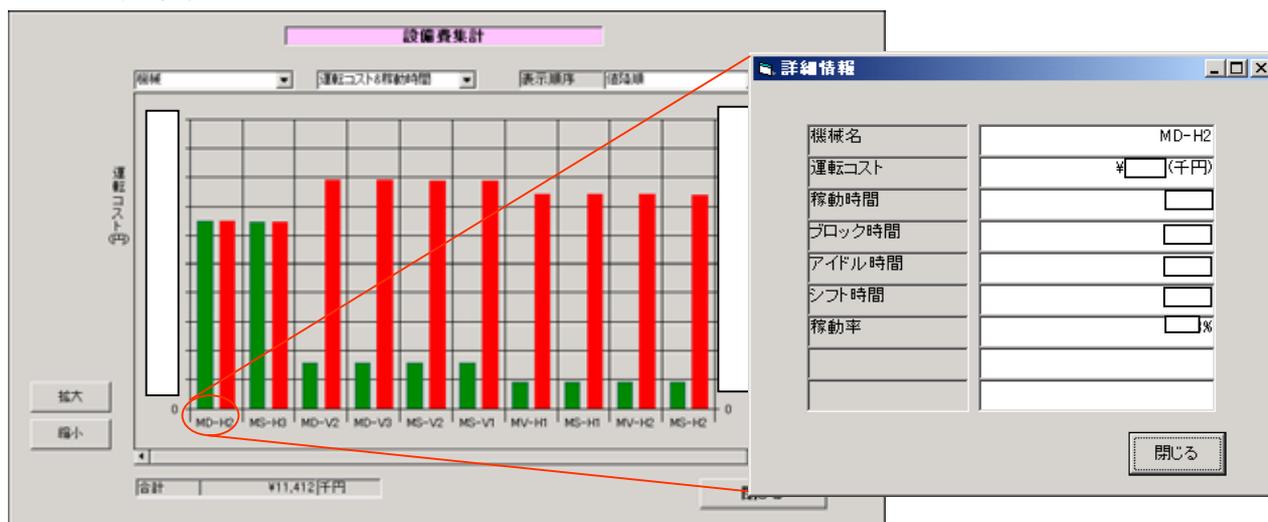


図4.2.2.1-11 設備のコストと使用時間表示例

同様に労務費，部品別コスト，プール別在庫運用費等についても同様の画面イメージで出力表示され

る。

図4.2.2.1-12に、製造コストの内訳の集計表示をした例を示した。ここでは、製造コストと設備費、労務費、間接費等の割合を円グラフ表示し、その内訳を右に明細表示している。

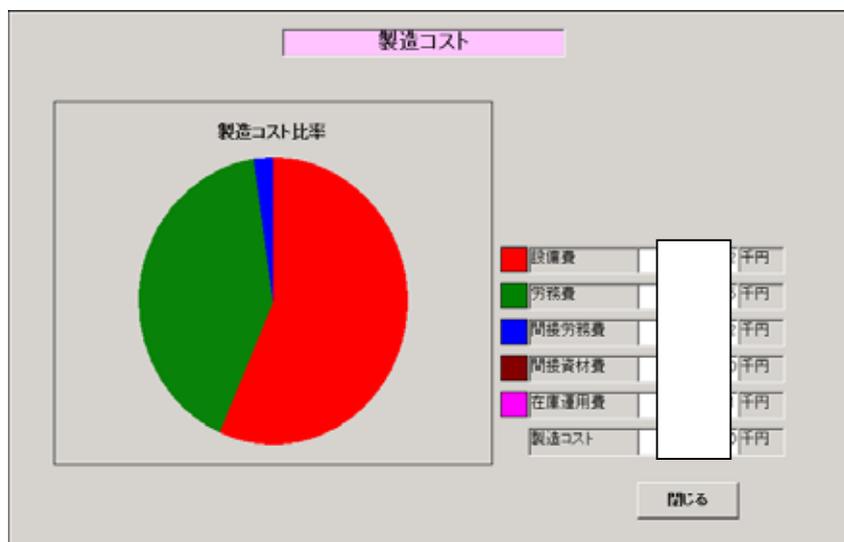


図4.2.2.1-12 製造コスト内訳集計表示例

図4.2.2.1-13は、設備毎の稼働時間、ブロック時間（他の設備、搬送機のビジィ状態やバッファ容量制限などの原因により稼働出来ない状態）、アイドル時間（生産する部材がない状態）などについて、分類・集計し、表示したものである。これにより、調査対象の製品を製作する上での、ネックマシンが把握出来ると共に、何が原因で動作していないかなどを把握可能とした。



図4.2.2.1-13 設備毎の稼働時間、ブロック時間、アイドル時間集計表示例

図4.2.2.1-14に部品ツリーによるコスト表示画面例を示した。これは、これまでに作成した実績コスト表示システムにつなげて表示したものである。自動シミュレーションした結果を用いて、製品の部品構成図上に製造コストを表示する。これにより、コスト高なユニットや部材に対して、プライオリティ付けしながら、コスト削減計画が建てられる。

さらに、これと実績コストとを比較することにより、現実生産と仮想生産との比較が出来、より、理想に近い仮想生産にするために、何処に問題（遊離）があるのかが把握出来、これを基により正確で深い改善活動を広げて行く事が可能となった。

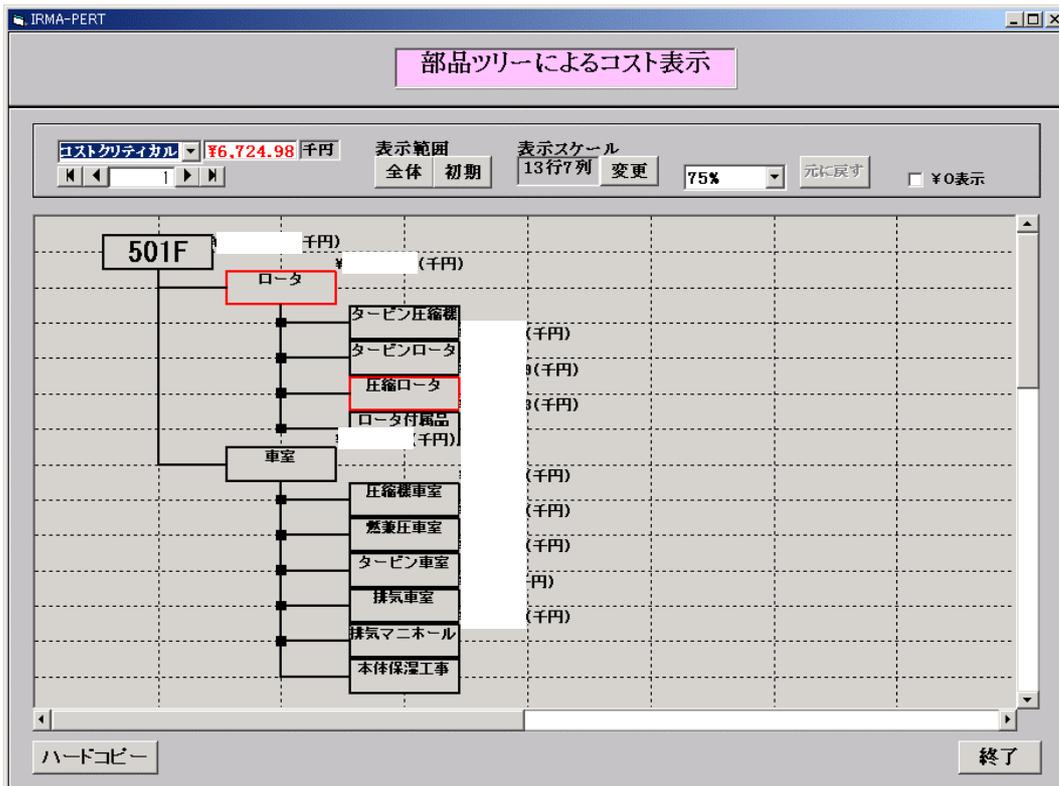


図4.2.2.1-14 部品ツリーによるコスト表示画面例

4.2.2.2 組立て効率化支援システムの開発

組立て作業効率化のため、これを支援出来るシステムの概念図を図4.2.2.2-1に示した。これは、人間の基本的な動作をビデオ撮りし、これを工程あるいは作業単位毎に分割してビデオライブラリ化する。これを基にDMU (Digital Mock Up) により、ビデオ同様な動き、計算機上動作可能なシミュレーションモデルを作成し、ライブラリ化しておく。

次に新たな作業が来たときに、人間動作シミュレーションを用いて、作業要素毎にライブラリ化された人間動作モデルを組み合わせ、新たな一連の作業を作り出してDMU上で動作させ、そのシミュレーションを確認しながら、作業標準時間と照らし合わせつつ、効率的な組立て方法を検討していく。さらに、よりリアルに見せるために、これをビデオライブラリから要素作業を組み合わせ新たな一連の作業をビデオ出力する というシステム構成である。

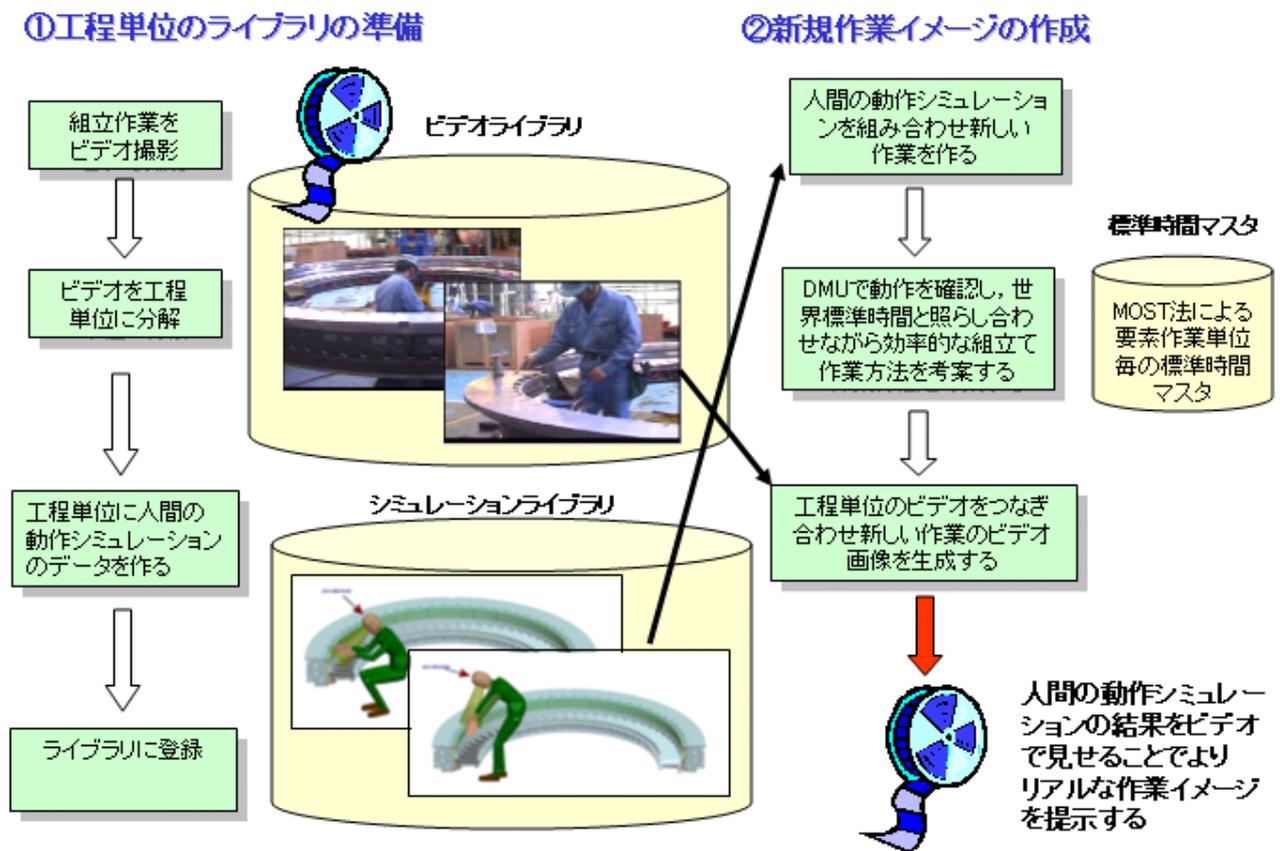


図4.2.2.2-1 組立て効率化検討支援システムの全体概念図

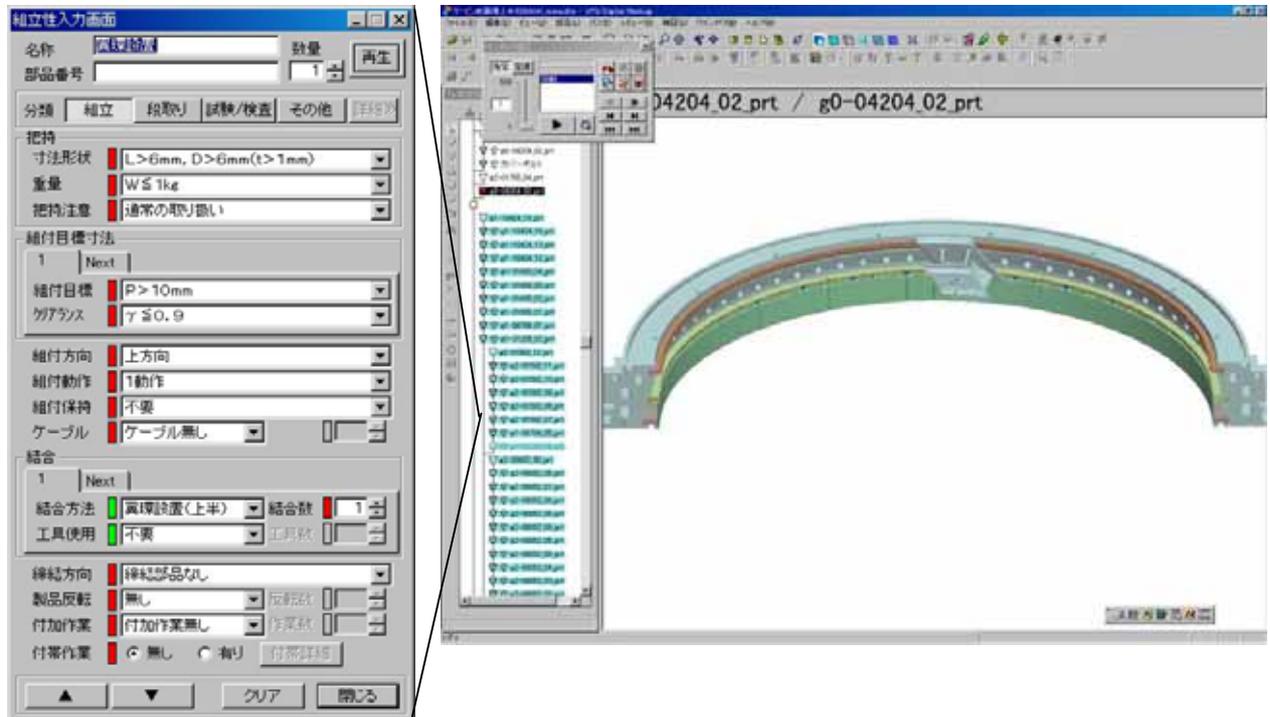
今回DMUは、富士通の組立て検討ツールであるVPS/DMUを用い、組立性検討ツールとして上位機能であるVPS/Manufacturingを用いた。

VPSでは、図4.2.2.2-2に示したように、CAD図のアセンブリ構成情報から製造フローが生成できる。製造フローには、「部品」とそれに対応した「組立工程」が作成される。

ここで、「部品」では、部品の種類に応じた分類(基本/構造/サブASY/締結)定義が行なえ、「組

立工程」では、「把持性」「組付目標寸法」「結合方法」など各種組み立て情報の入力が行なえる。

また、組立工程情報以外にも、製造部門特有の作業(付帯、段取等)・副資材を追加入力することで、実際のラインに近い製造フローの作成がさらに可能となっている。



(組立て性情報入力画面)

(製造フロー作成画面例)

図4.2.2.2-2 VPSによる組立て性検討画面例

組立て効率化のシミュレーション結果例を図4.2.2.2-3に示した。組立性評価は、「工数評価」「部品構成評価」「把持評価」など、部品個別の評価と製品全体での評価を行うことができる。また、着眼部品の組立動作をその場で確認可能となっている。評価結果は、図に示したように棒グラフで表示される（但し、VPSは、家電ものを意識して製作しているため、時間設定は、思わしくない。この精度向上策については、後述する）。

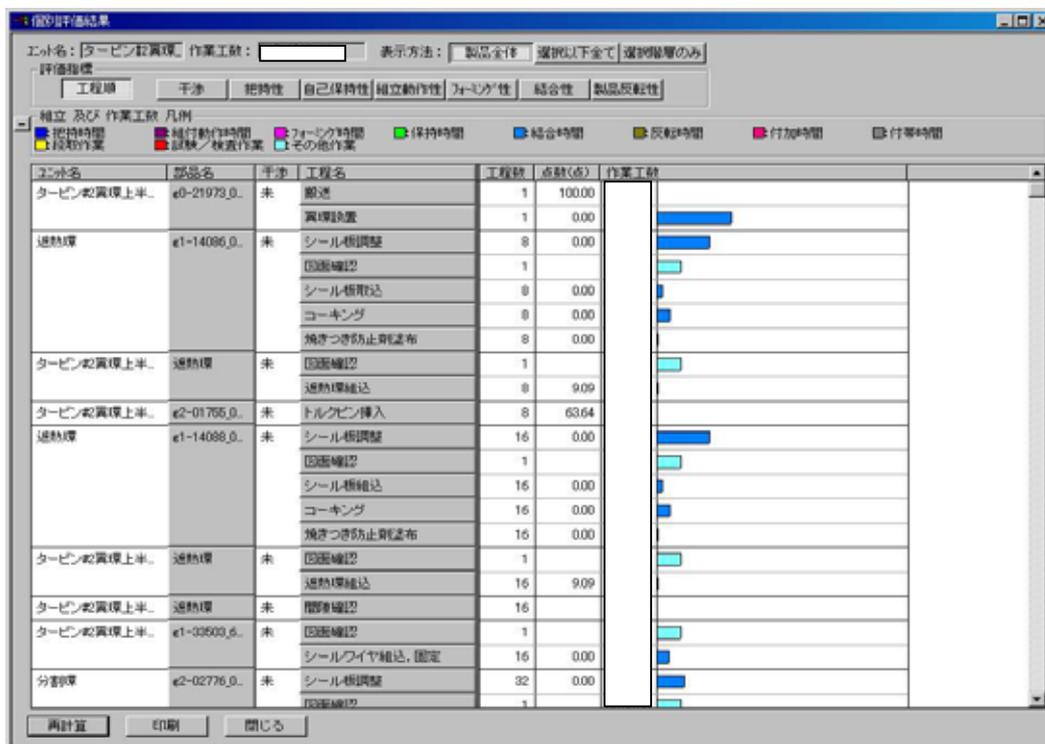


図4.2.2.2-3 VPSによる組立評価結果画面例

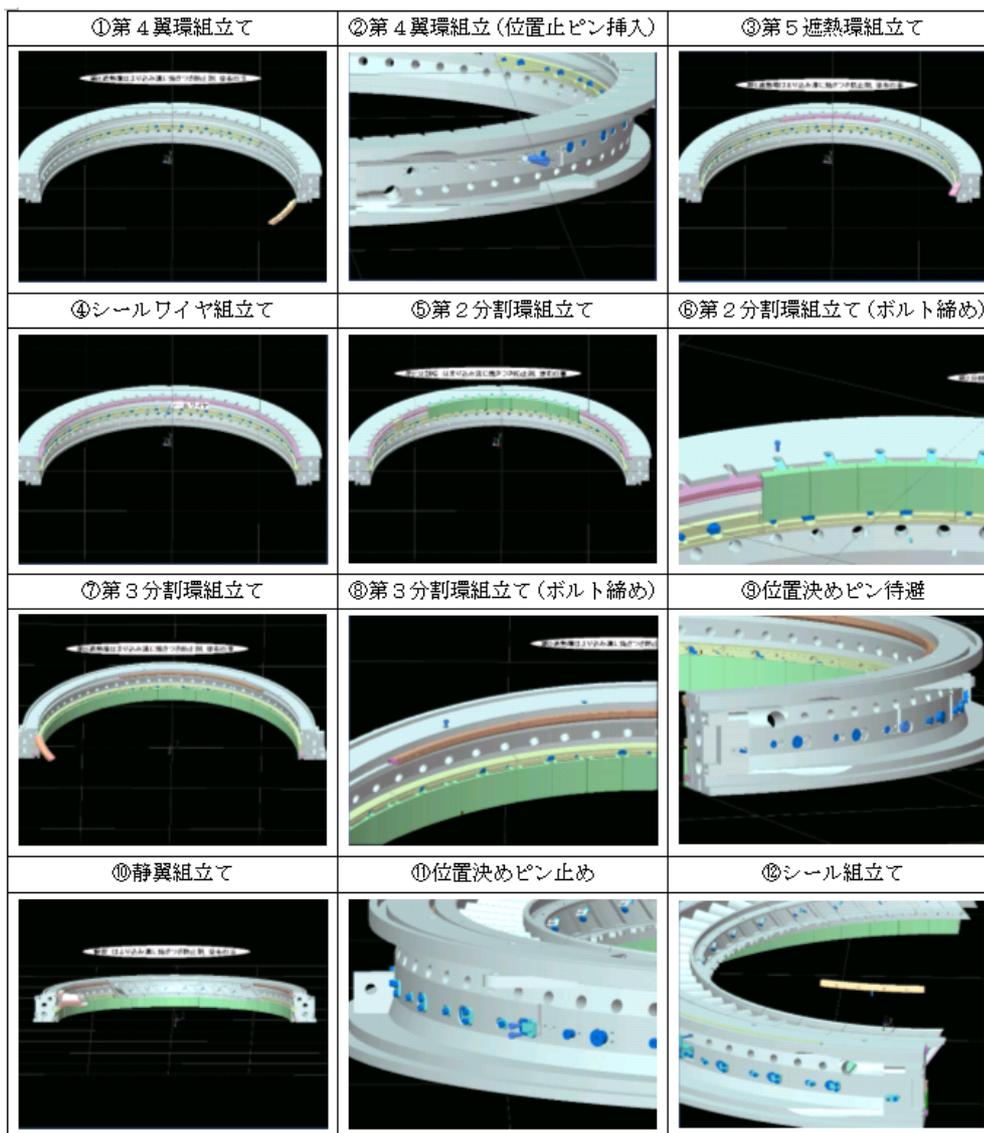


図4.2.2.2-4 組立て効率化検討支援システムの全体概念図

図4.2.2.2-4にDMUで検討した主なシミュレーション画面を手順を追って示した。

本システムにより、組立の効率化検討作業を支援可能であることを確認した。例えば、ここでの効率化案として、②の位置止めピンについて検討した。この位置止めピンは、②の工程で、①の工程で組立てた第4翼環の位置決めにまず用いられる。次に静翼を組立てる時にこの位置決めピンが、静翼を挿入する際に邪魔になるため、⑨の工程で一度この位置決めピンを引っ込ませて、⑪の工程で再度これを上から蓋をする様に締め付けている。

検討結果、この位置決めピンについては、半減出来る可能性がある事が判った。この位置決めピンを半減する事により、位置決めピン作成工数、位置決めピン用穴空け工数、位置決めピンに係る組立て工数の半減が期待される事が判った。

また、これをさらに時間分析の細かさでは定評のあるMOST (Maynard Operation Sequence Technique) システムを用いて、標準時間設定を行った。

このMOST法は、アメリカH. B. メイナード社により開発されたもので、作業の流れ(シーケンス)

という新しい発想を基本とする作業測定手法であり、欧米ではすでに機械・電子・電気・航空業界等で広く利用されており、日本でも最近量産分野を中心に多く使われ出している。

基本的な動作は、図4.2.2.2-5に示したように標準時間データベースから広い集めるだけでよい。これにより、個々の組立について、VPSで実行した組立時間をこれに入れ替える事により、世界標準時間を設定できる。

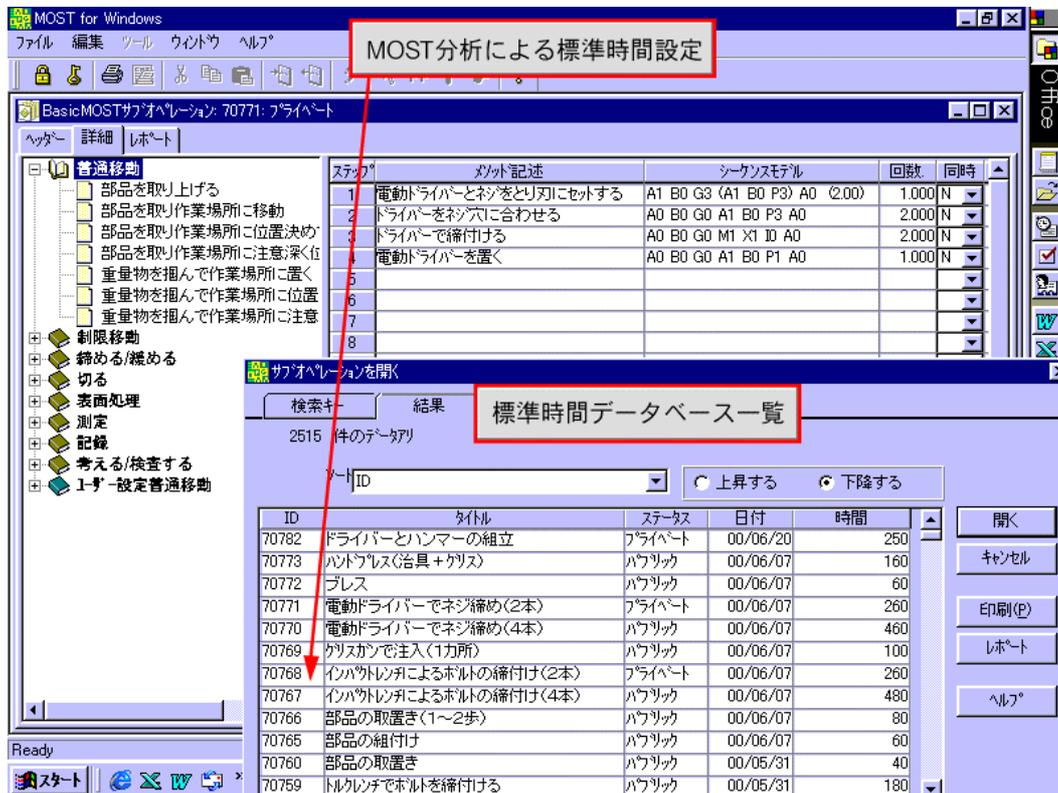


図4.2.2.2-5 MOST法による時間設定例

以上、求まった個々の時間に合うように、DMUの速度を設定し直して、一連の組立て検討作業が終了する。

さらに組立て作業者に判りやすいプレゼンテーションを行うため、元々のビデオを単体作業に分割してデジタルビデオ化されたデータベースより、検討した結果通りに組み合わせ、標準時間に合うようにビデオレートを変更して出力する。これを一通りつなぎ合わせたものを現場の作業指示に用いる。

これにより、組立性検討が効率的になると共に、精度高く、改善も容易となり、大幅な組立の効率化が図れるようになった。

4.2.2.3 3DCADデータを元にした部品コスト詳細見積システムの拡張

3DCADデータを元に属性データおよび部材形状を入力として、切削条件データベース、工具データベース、設備データベース、材料データベース等より、コスト算出データベース（加工コスト計算式）より、自動的にコスト見積可能なシステムを開発した（3DCADは、PRO/Eを対象とした）。

図4.2.2.3-1に全体システム構成概念図を示した。

H15年度に開発したシステムは、「3次元モデル形状を自動認識して、形状の属性情報を自動入手する方式」であった。しかし、実際は、3次元モデルの形状モデリングの持ち方が非常に複雑となっており、この方式が最善の方法で無い事が判明した。従来のシステムでは、幾つものモデリング方法を想定し、そのモデリング方法に応じて、形状情報を取得するためのロジックを個別に実装するため、

- ・ 想定外のモデリング方法については、形状情報の取得が不可能
- ・ 想定内のモデリング方法についても、情報取得ロジックが複雑化
- ・ 3DCAD側のバージョンUpに伴い、都度、ロジックを見直す必要が生じる

という問題が発生した。そこで、これを解決するため、「3Dモデルと独立にプロダクトモデルを生成し、形状情報について、CADモデルのジオメトリ要素と直接関連付ける方法」を採用した新たに機能拡張したシステムを開発した。これにより、

- ・ CADモデル上の要素とプロダクトモデル上の形状情報とを、明示的に関連付けることにより、CADモデルから形状情報を自動的に取得（CADモデル変更時には自動的に反映される仕組み）
- ・ 予め関連付けを行った部品を標準部品としてライブラリ化しておくことにより（Pro/EのUDF（User Defined Future, ユーザ定義フューチャ）機能を利用）、部品の再利用を可能とした。

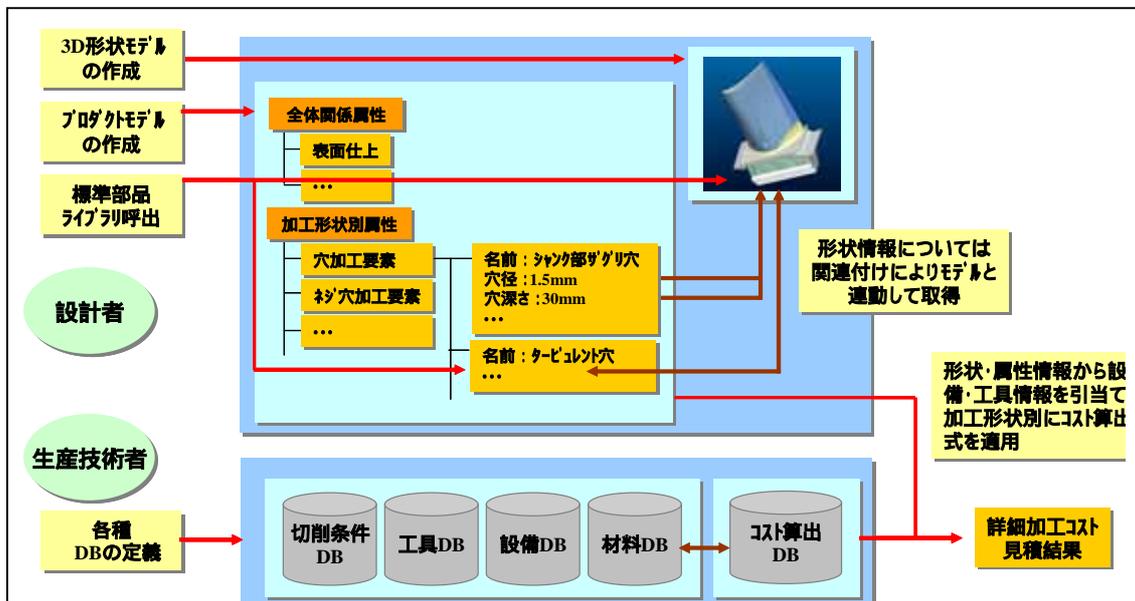


図4.2.2.3-1 部品コスト詳細見積システム全体構成図

3DCAD上に属性を入力してプロダクトモデルを作成・出力する手順の説明を図4.2.2.3-2に示した。

3DCADモデルに事前に用意された形状要素毎の属性データベースを関連づけていく。この際の属性データベースは、XMLスキーマ定義されている。

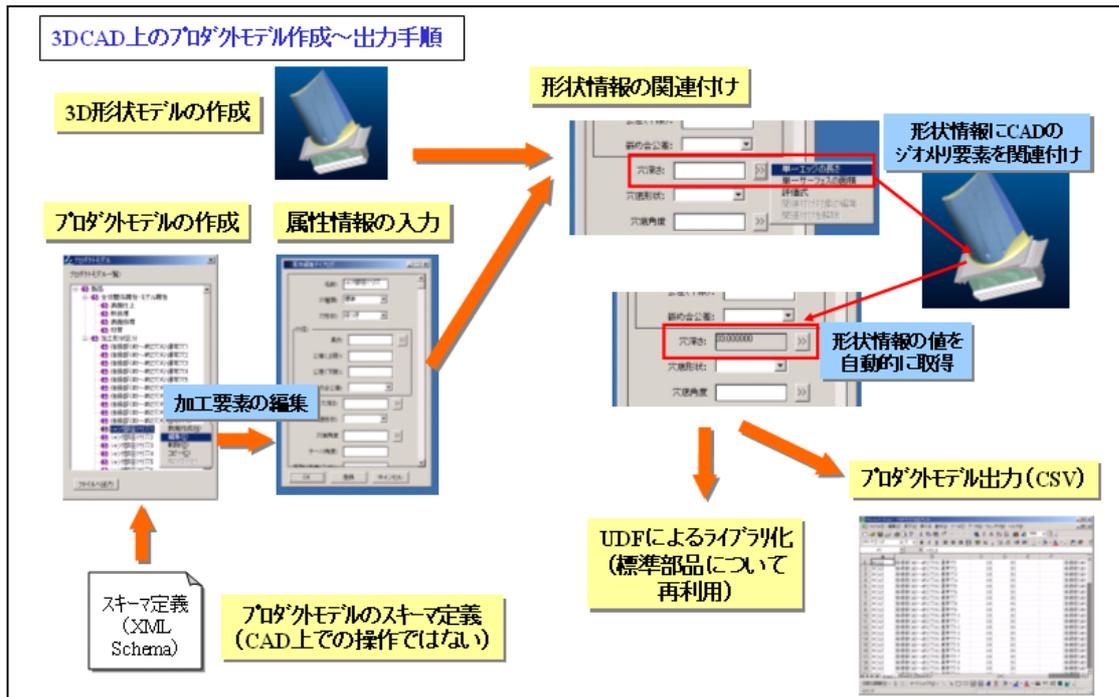


図4. 2. 2. 3-2 3DCAD上のプロダクトモデル作成～出力手順説明図

この属性情報について、図4. 2. 2. 3-3、図4. 2. 2. 3-4に一例を示した。これは、部品全体に関するモデル属性と形状毎に付ける形状属性の2つがある。モデル属性は、部品に対して関係する表面仕上げや熱処理などがある。形状属性は、穴加工、ネジ穴加工、外径加工、平面加工などがある。

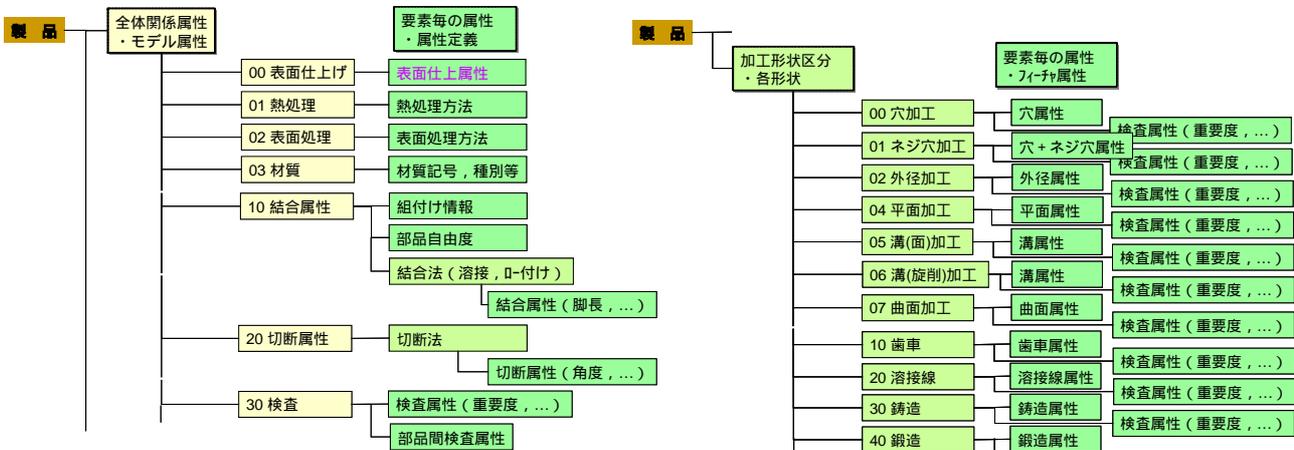


図4. 2. 2. 3-3 属性情報例 1

形状属性は、穴加工では、図4. 2. 2. 3-4の様に穴属性として、穴径や穴深さなどを持ち、穴径には更に寸法属性が付加され、寸法属性は、別途、長さ公差が設定される。その他、属性としては、表面仕上げ属性があり、S記号や△記号を指示可能としている。

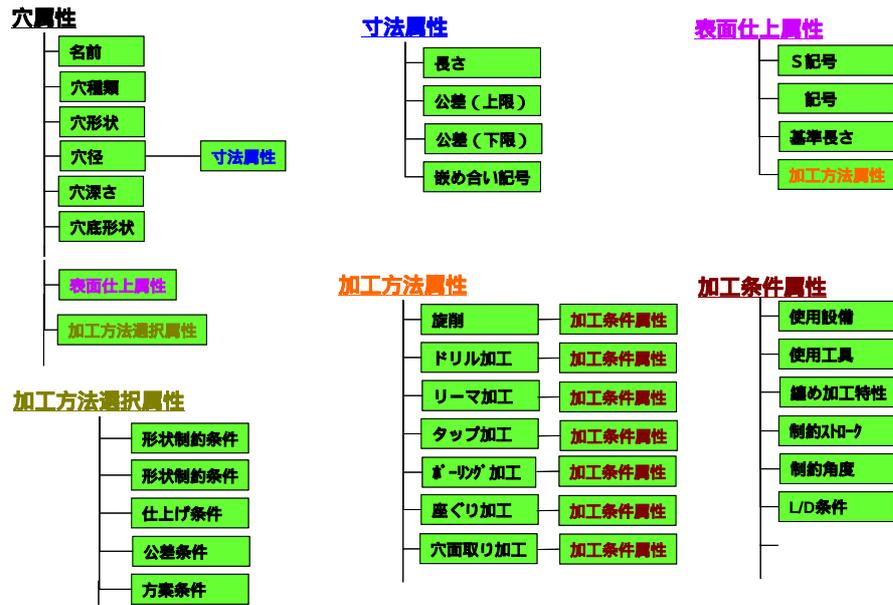


図4.2.2.3-4 属性情報例 2

3DCAD (PRO/E) 上に属性データを入力している画面例を図2.2.2.3-5に示した。例えば、面粗度は、プルダウンメニューにより入力出来る。3D図面から寸法値などの情報を入力すべき属性情報は、図面上の寸法値や変数名を入力して関連づけを行う。この事により、3Dモデルから対応する寸法値などを持ってきて、関連づけされた属性値に入力される。後で、設計変更があつて、その寸法値に相当する部分の形状変更があつた場合は、自動的に属性値も変更される。

これは、PRO/EのUDF (User Defined Future, ユーザ定義フューチャ) 機能により実現している。

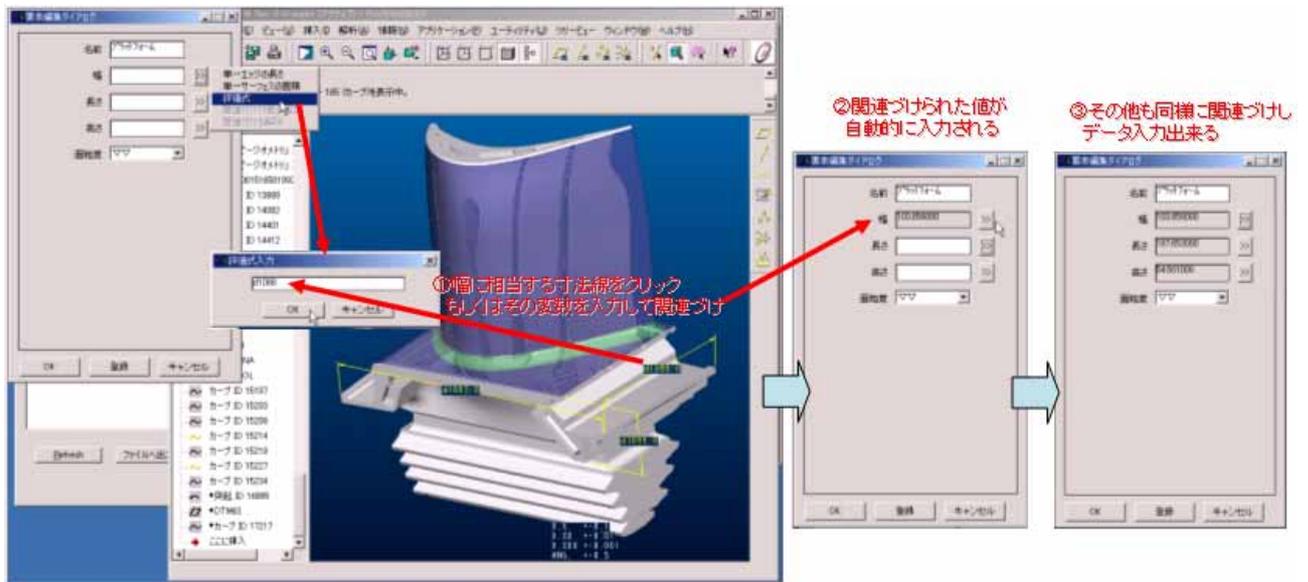


図4.2.2.3-5 属性情報入力画面例 (関連づけ例)

また、この定義されたプロダクトモデルを基に詳細コスト見積を行い、見積り結果を表示するまでの手順の説明を図4.2.2.3-6に示した。

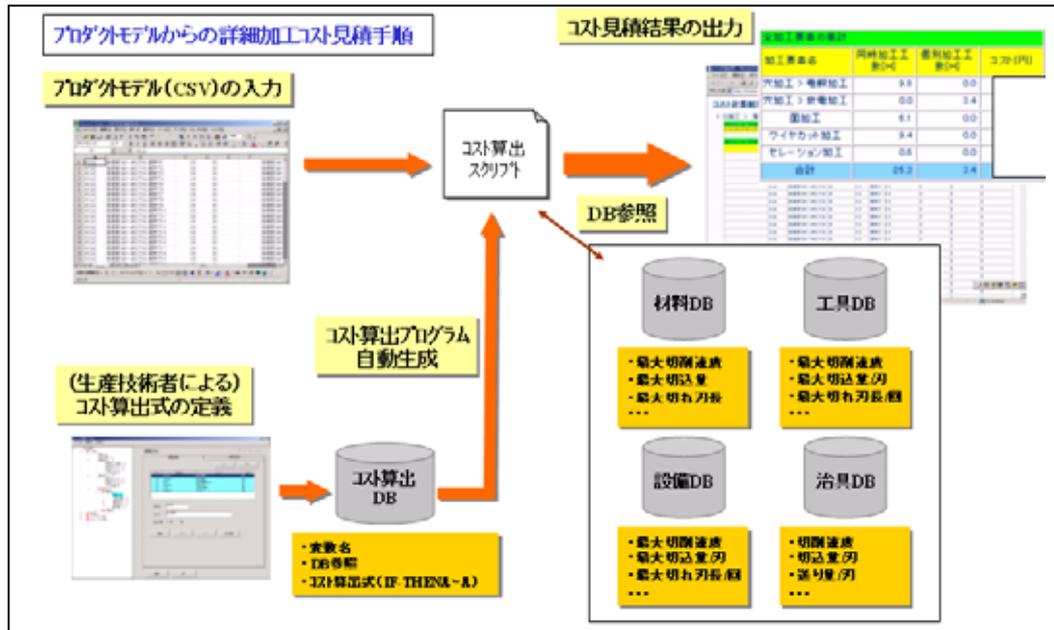


図4. 2. 2. 3-6 プロダクトモデルから詳細コスト見積り手順説明図

図4. 2. 2. 3-7にPRO/Eから出力した属性情報例を示した. これは, 3DCADモデル単位に埋め込まれた属性情報全てについてCSV出力される. これを基に, コスト見積りが行われる.

従来, 属性情報は, CAD図の中に描かれてはいたが, それを意味のある情報として取り出す事は, CADメーカーが標準的に必要と思われる公差データや仕上げ程度などに限られ, その他の情報は, 新たに下位のシステムで人手により入力するしかなかった. しかし, 本システムの開発により, この情報は, コスト見積り以外にも下位のシステム (ex. NC自動プログラミング, 自動方案) で有効に使われる事になり, 今後, 大幅な効率化が期待されている.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	細径穴	腹側フラット	1	6.21			▽	
2	細径穴	腹側フラット	1	6.352			▽	
3	細径穴	腹側フラット	1	6.478			▽	
4	細径穴	腹側フラット	1	6.587			▽	
5	細径穴	腹側フラット	1	6.68			▽	
6	細径穴	側部フラット	1.3	44.042			▽	
7	細径穴	側部フラット	1.3	64.067			▽	
8	細径穴	側部フラット	1.3	84.084			▽	
9	フラットフォーム		103.858	187.653	54.561	▽▽		
10	翼根		52.467	151.004	62.39	▽▽▽		
11								
12								
13								

図4. 2. 2. 3-7 PRO/Eから出力した属性情報例

また、コスト計算するためのコスト計算式を事前に用意しておく必要がある。図4.2.2.3-8は、コスト計算式の入力画面例である。本システムは、下記、機能を有している。

- (1) 属性情報の変数定義
- (2) 一般変数の定義、初期値設定
- (3) 加工方案毎にコスト計算するため、該加工方案に分類するためのルールを入力
- (4) 同時加工ルール設定（例えばいくつかの穴を同時に加工する場合のルール設定）
- (5) 個別加工ルール設定（個々に計算する場合の計算ルールの設定）
- (6) 計算式の設定
- (7) その他機能
 - ・変数値の簡易入力化機能（変数リストよりドラッグ&コピー可能）
 - ・マクロ機能（マクロを作成、呼び出しが可能。VBAにて記述）
 - ・各データベースからのデータ取得機能（EXCELやACCESSからのデータ入力）

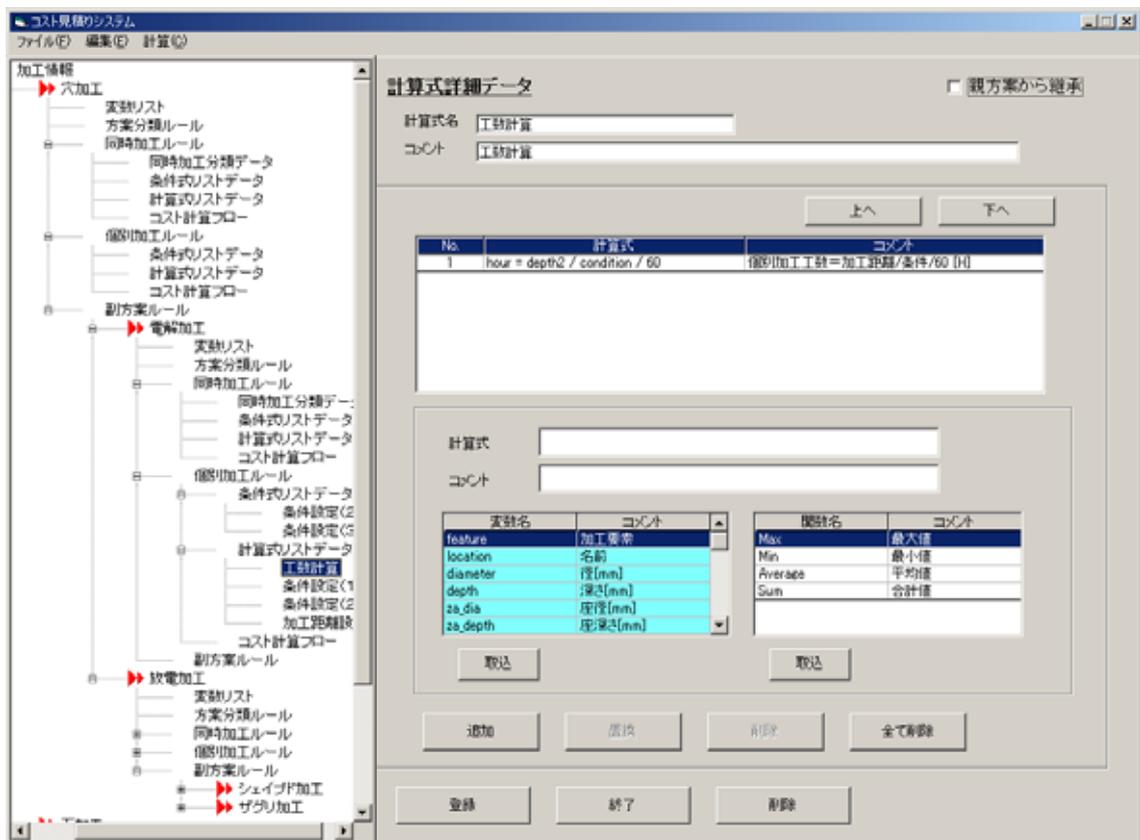


図4.2.2.3-8 コスト計算式入力画面例

以上、3DCADモデルの属性情報を入力にコスト計算式と各種データベースを用いてコスト計算を行う。

現状、コスト計算出来る対象は、下記の通り。

- (1) 穴加工（下穴加工，ボーリング加工，リーマ加工，
面取り加工，ザグリ加工，裏ザグリ加工）
- (2) ネジ加工
- (3) 平面加工（四角形状のポケット加工）
- (4) ブレード加工：
電解加工，放電加工，翼根研削加工，ワイヤカット

旋削加工や3次元の曲面加工は、今後、条件を詰めて、コスト計算ロジックを埋め込んで計算出来るようにしていく予定である。

また、本システムは、製造情報を必要とするものであり、設計者がコスト計算のための属性情報を全て入力出来るわけではないため、3DCADから取り出した属性情報に生産技術者が必要な情報を新たに付加出来る編集機能を有している。これを利用して、全く3DCAD情報が無くても、コストに必要な属性情報を入力する事でコスト計算する事も可能にした。図4.2.2.3-9に穴加工の加工コスト計算用の属性入力画面例を示した。

穴加工

必須入力項目 追加 修正 削除

下穴加工(必須項目)

加工部位名称

穴径: D(必須入力) [mm]

穴深さ: L(必須入力) [mm]

面粗度(必須入力)

穴数: (必須入力) [個]

加工部位状態 黒皮面 Yes

干渉レベル 1

表ざぐり加工(選択項目)

表ざぐり加工 有

表ざぐり径 [mm]

表ざぐり深さ [mm]

加工部位状態 黒皮面 Yes

干渉レベル 1

裏ざぐり・ぬすみ加工(選択項目)

裏ざぐり・ぬすみ加工 有

裏ざぐり・ぬすみ径 [mm]

裏ざぐり・ぬすみ深さ [mm]

加工部位状態 黒皮面 Yes

干渉レベル 1

ネジ切り加工(選択項目)

ネジ切り加工 有

ネジ径 [mm]

ネジピッチ [mm]

ネジ深さ [mm]

下穴径 [mm]

ネジ仕上げ加工 有

図4.2.2.3-9 コスト計算結果画面例

図4.2.2.3-10にコスト計算結果の画面例を示した。

コスト計算結果 ● コスト計算出力ファイルダウンロード

1. 穴加工 > 電解加工

加工合計

SYSGROUPNUM	加工要素	名前	径[mm]	深さ[mm]	座径[mm]	座深さ[mm]	面粗度	加工距離[mm]	条件[mm/min]	同時加工工数[H]	個別加工工数[H]
0										0	4.576

同時加工出力詳細リスト

SYSGROUPRECORDNUM	加工要素	名前	径[mm]	深さ[mm]	座径[mm]	座深さ[mm]	面粗度	加工距離[mm]	条件[mm/min]	同時加工工数[H]	個別加工工数[H]
0										0	0

個別加工出力詳細リスト

加工要素	名前	径[mm]	深さ[mm]	座径[mm]	座深さ[mm]	面粗度	加工距離[mm]	条件[mm/min]	同時加工工数[H]	個別加工工数[H]
軸径穴	側部フラットフォーム部冷却穴1	1.3	44.042			▽	44.042	0.7	0	1.049
軸径穴	側部フラットフォーム部冷却穴2	1.3	64.067			▽	64.067	0.7	0	1.525
軸径穴	側部フラットフォーム部冷却穴3	1.3	84.084			▽	84.084	0.7	0	2.002
合計		3.9	192.193				192.193	2.1	0	4.576

2. 穴加工 > 放電加工 > シェイプ加工

加工合計

SYSGROUPNUM	加工要素	名前	径[mm]	深さ[mm]	座径[mm]	座深さ[mm]	面粗度	シェイプD部径	シェイプD部深さ	加工距離[mm]	加工面積[mm ²]	除去量[g/min]	送り速度[mm/min]	同時加工工数[H]	個別加工工数[H]
-------------	------	----	-------	--------	--------	---------	-----	---------	----------	----------	------------------------	------------	--------------	-----------	-----------

図4.2.2.3-10 コスト計算結果画面例

4.2.2.4 統合コスト評価システム

統合コスト評価システムの全体像を図4.2.2.4-1に示した。本システムは、個々の要素システムにより、コスト評価やコスト効率化・工期短縮・品質最適化が検討可能となる事を確認した。

図4.2.2.4-2に各検討ツールの開発コンセプトを説明している。概要は、下記の通り。

- ① 客先の欲する製品を適正な価格で提供検討可能なシステムを開発した（企画・営業，開発）。
- ② 製品の部品表や3DCAD情報に基づき，実績コストやPERT図作成により，製品全体でのトータルなコストや工期のボトルネックを探索可能とし，製品全体として見通せるシステムにより，統合的にコスト評価を可能とした（開発・設計，生産準備）。
- ③ 上記分析に基づいた部材の設計段階でのコストを意識した設計，品質の最適化を可能とした（開発・設計，生産準備）。
- ④ 各種データベースより工場の生産ラインを計算機上でシミュレーションさせるバーチャルファクトリにより，コスト計算・分析や日程表作成までを行う「バーチャルファクトリ自動シミュレーションシステム」を開発し，リソース（設備や人）のボトルネックや工場の運転時の課題・問題点を製品全体として統合的に事前評価可能とした。
- ⑤ 3DCAD情報に基づいたバーチャルリアリティ利用による組立て性効率化検討を可能とした（生産準備）。
- ⑥ 最適化機能としてスケジューリング最短化，仕掛かり在庫最小化，山積み平準化，検査間隔最適化，設備保全間隔最適化などのシステムを開発し，最小の設備でコスト最小，工期最短，品質適正化を実現可能とした。



図4.2.2.4-1 統合コスト評価システム全体像



図4.2.2.4-2 統合コスト評価システム各検討ツールの開発コンセプト

さらにこれら各システムを連携させ、出力された情報を関連するシステムに伝達し、これを順次、各システムを用いて一通り検討し、また、営業や設計に戻って、図面から見直していくなどの処置を取って、改善サイクルを回す事で最適化を図っていく。この時の各システム間の関係や、情報の流れについて図4.2.2.4-3に説明した。

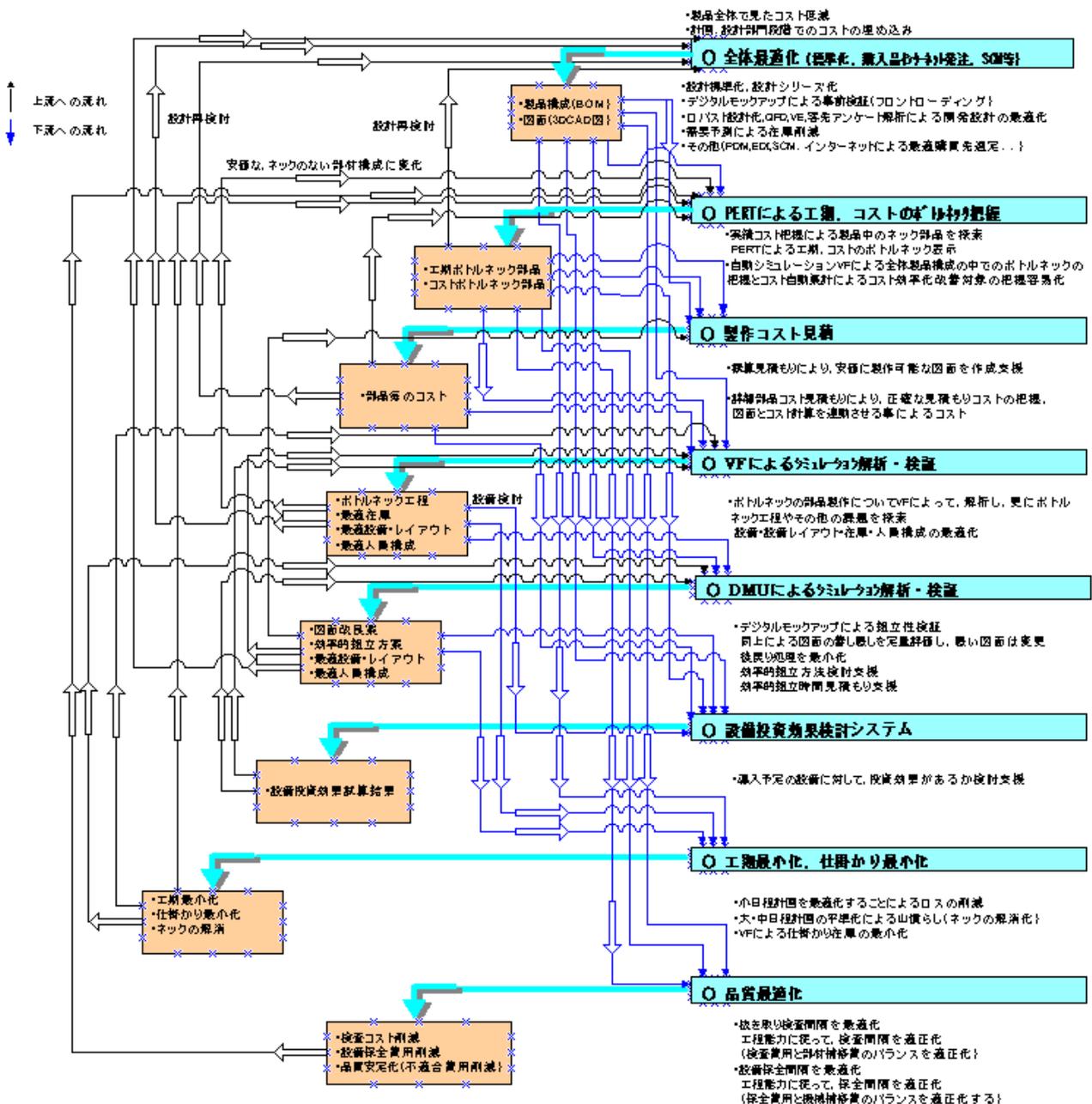


図4.2.2.4-3 統合コスト評価システム各検討ツールの情報の流れ

これら開発したシステムにより、客先要求機能を満たしつつ、全体を見ての改善ターゲットを見つけ、個々には、要素毎の最適化により、効率化を目指し、再度全体を見て、次のターゲットを見つけ出して、改善をさらに推し進めることが出来る。さらに、この改善サイクルを回し続ける事により、安く、早く、性能の良い客先のためになる製品を効率よく提供する事が出来る。

これを全て自動的に計算機上で回すのは、困難であるが、情報の伝達は、自動処理可能である。そこで、この情報を伝達し、これら各システムを必要な部門で実行し、サイクリックに部門間を回して改善検討が可能なプラットフォームのシステムを検討した。

図4.2.2.4-4に自動コスト評価システム概念図を示した。

- ・各サブシステムは、このプラットフォームと共通のI/Fを介してつながっており、検討したいサブシステムを人が選んで実行
- ・その結果、解析されたコスト他の情報が出力される。
- ・これを①のイベントウォッチャーが監視しており、新たなファイルが作成されると、そのファイルから必要な情報を関連サブシステムに送るよう「キャリーオーダ」として②の情報キャリアに指示する。
- ・②の情報キャリアは、この指示に基づき各サブシステムに情報を伝達・保管し、完了したら「セットコマンド」を発信する。
- ・これを受けた③のイベントコントローラは、内容に応じ、
 - (1) 人に判断してもらって次のアクションをしてもらうものは、登録された関係者に「メール送信」を行い、
 - (2) 人の介入を必要とせず実行可能なサブシステムについては、「オートアクティブコマンド」を送信して、①のイベントウォッチャーにて、指示されたサブシステムを自動的に起動・実行させる。
- ・これを繰り返し行い、出力されるコスト情報がある値以下になった場合に、収束させ、コスト評価を完了させる。

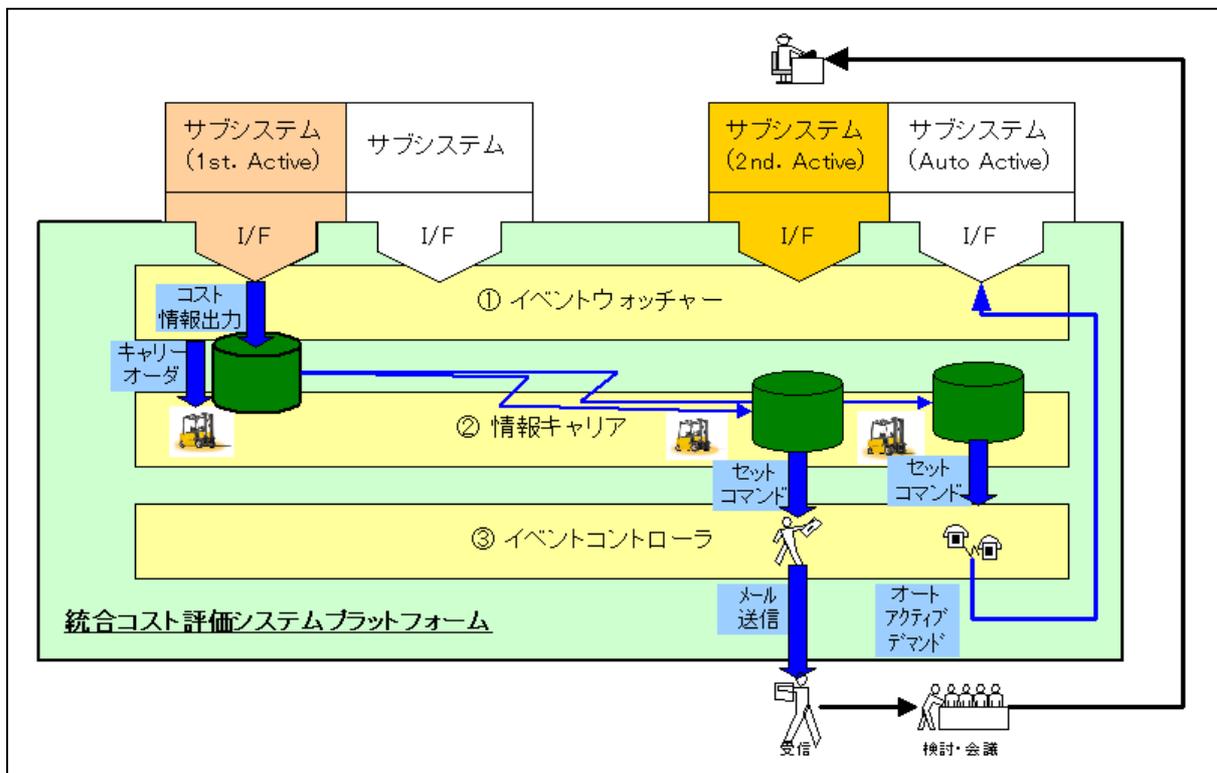


図4.2.2.4-4 統合コスト評価システムプラットフォーム概念図

4.2.2 船舶を対象とした適用性評価

4.2.2.1 統合コスト評価システムの評価

IRMAプロジェクトでは、造船統合コスト評価システムとして、図4.2.2.1-1に示すように、工程評価システム・造船デジタルモックアップ・現場改善のためのバーチャルファクトリーの開発を行った。そこで、最終年度は、開発したシステム全体のテストを行った。

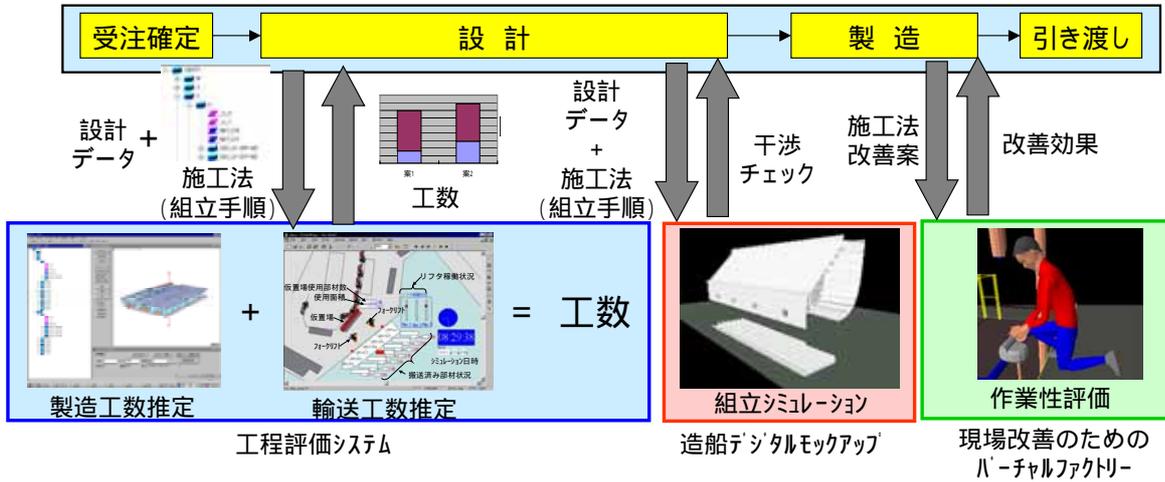


図4.2.2.1-1 造船統合コスト評価システムイメージ

(a) 工程評価システム

工程評価システムの試行結果を図4.2.2.1-2に示す。本年度は、実際の工法検討に適用を行った。その結果、工数を定量的に評価することが可能で、本システムの有効性を確認できた。

- DB2Fブロック
 - 枠組工法
 - 単板工法

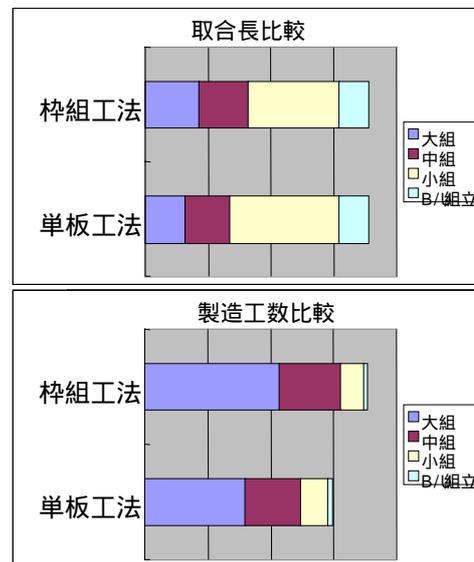
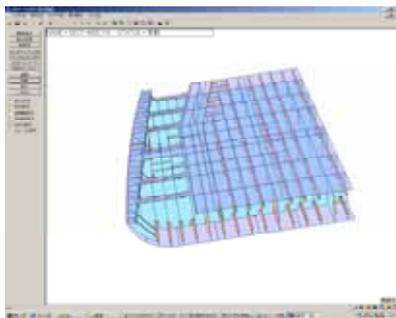
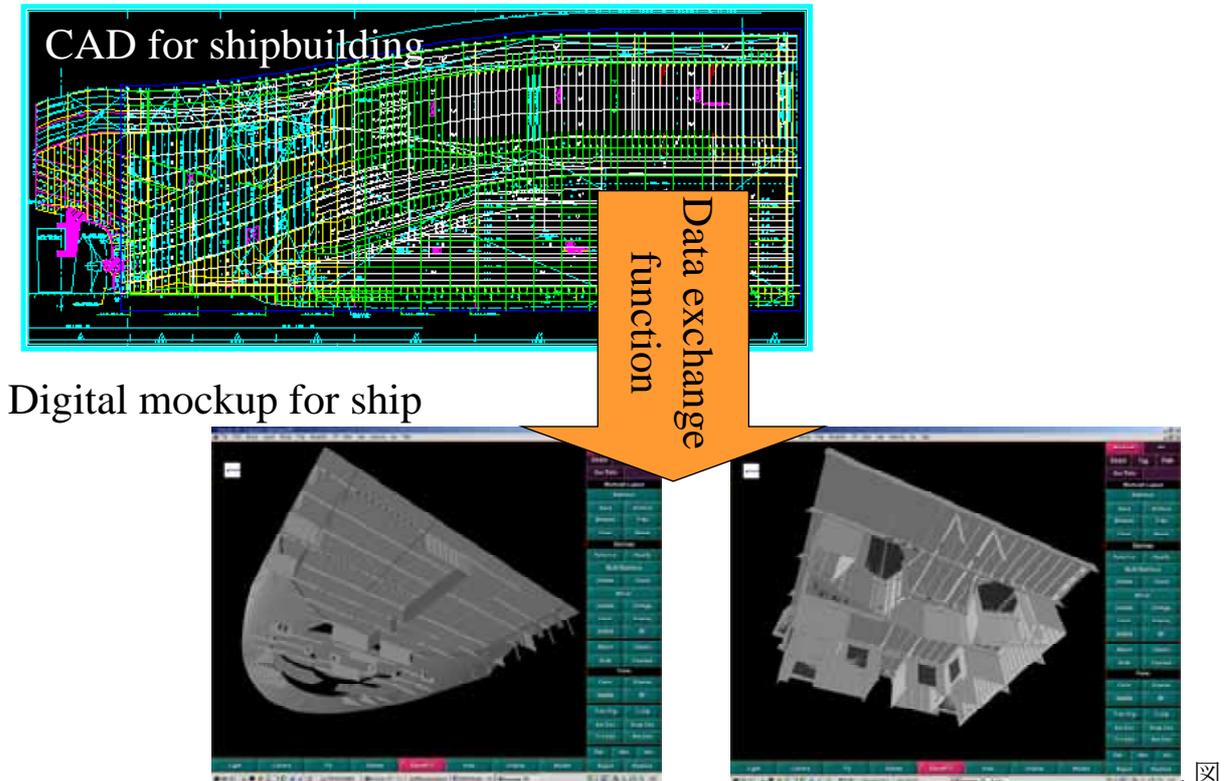


図4.2.2.1-2 工程評価システム

(b) 造船デジタルモックアップ

IRMAプロジェクトでは、造船用CADからデジタルモックアップソフトへの変換プログラムを開発するとともに、造船を対象としたデジタルモックアップが可能であることを検証した。図4.2.2.1-3にデータ変換プログラムの試行結果を、図4.2.2-4にデジタルモックアップの試行結果を示す。このように、造船CADのデータを用いて組立シミュレーションを行い、干渉チェックを行うことができ、システムの有効性を確認した。本システムは、将来的には、作業指示にも有効と思われる。



4.2.2.1-3 データ変換プログラム試行結果

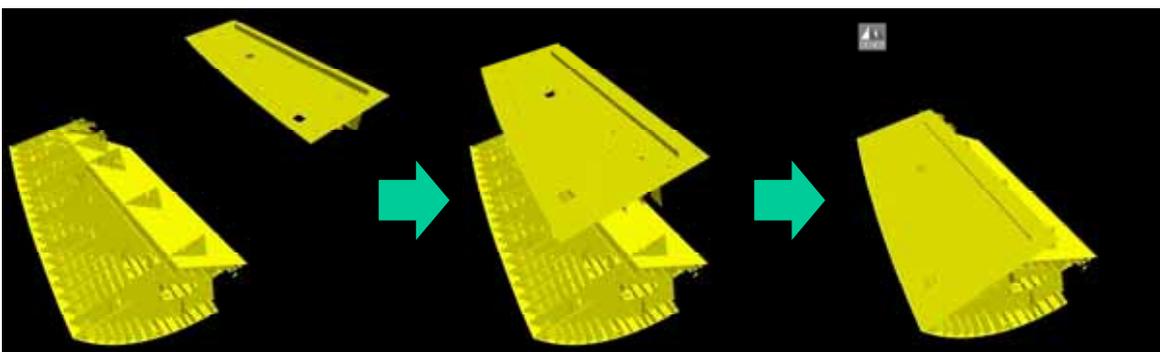


図4.2.2.1-4 造船デジタルモックアップ試行結果

(c) 現場改善のためのバーチャルファクトリー

IRMAプロジェクトでは、現場改善のためのバーチャルファクトリーとして、図4.2.2.1-5に示すような構成のシステムを考えた。ここでは、工程評価システムの組立ツリーデータをもとに、組立手順設定ツールで組立手順を定義し、形状データについては、工程評価システムから直接バーチャルファクトリーへデータ変換することとした。また、工場のレイアウト定義を簡素化するために、工場レイアウト設定ツールを開発した。ここでは、工程評価システムの出力をもとに、組立手順設定ツールで組立手順を定義し、工場レイアウト設定ツールを用いて定義した仮想工場でのシミュレーションを試行した。

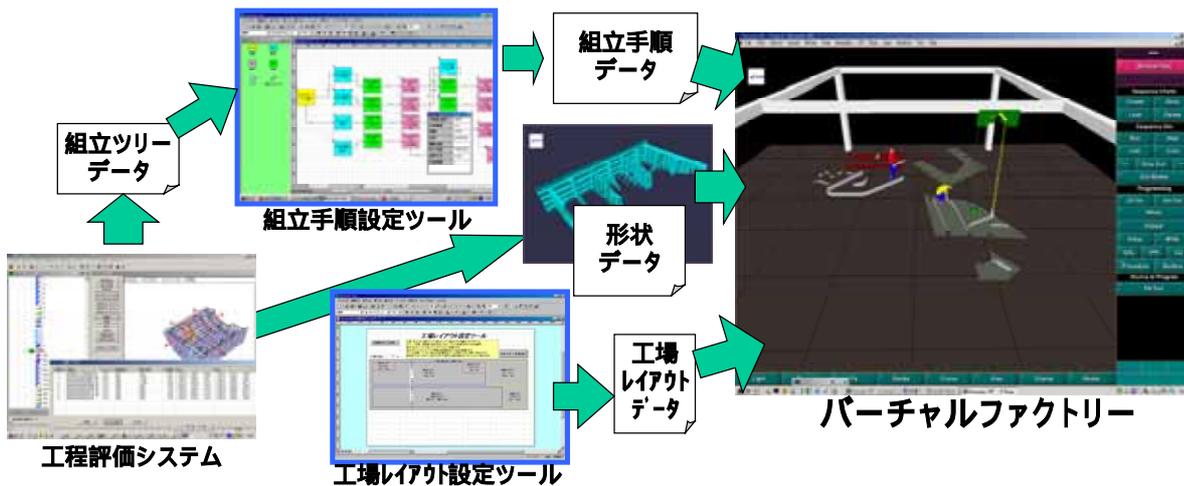


図4.2.2.1-5 現場改善のためのバーチャルファクトリー構成

図4.2.2.1-6に組立手順設定ツールの画面イメージを示す。ここでは、工程評価システムから出力された組立ツリーデータをもとに、組立手順を設定することができた。

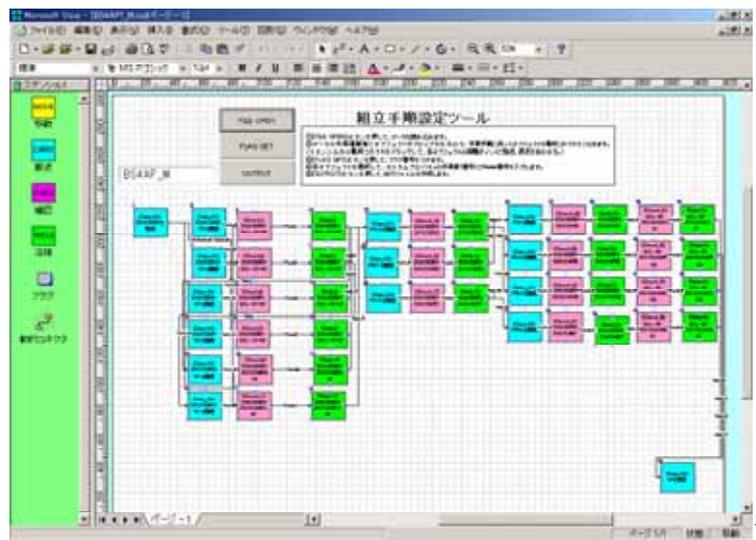


図4.2.2.1-6 組立手順設定ツール

図4.2.2.1-7に工場レイアウト設定ツールの適用例を示す。このように、工場レイアウト設定ツールで工場を定義することができた。

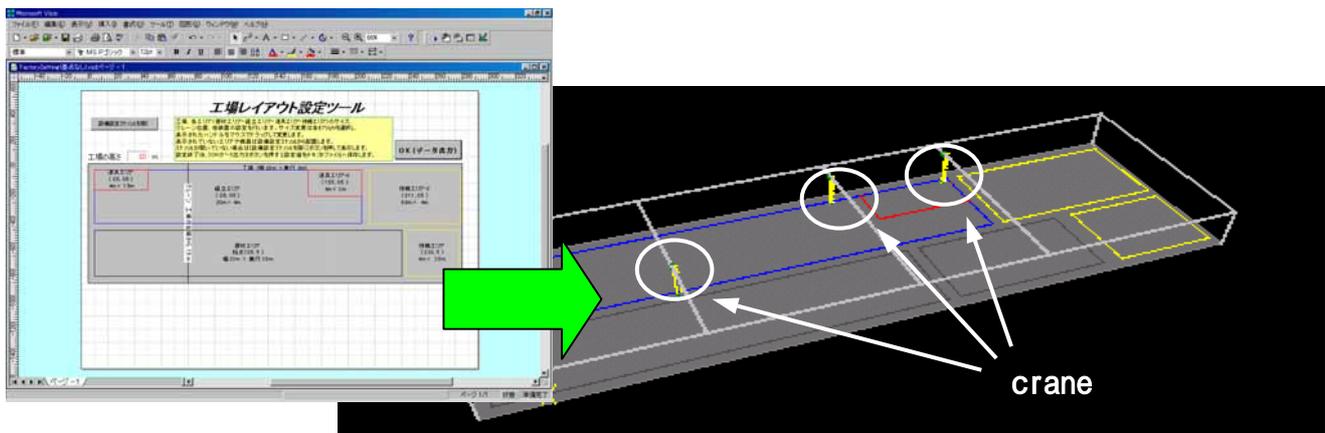


図4.2.2.1-7 工場レイアウト設定ツール

図4.2.2.1-8に、シミュレーション画面と結果を示す。このように、工程評価システムのデータを用いて組立手順を設定し、作業性を評価することが可能であり、本システムの有効性を確認できた。

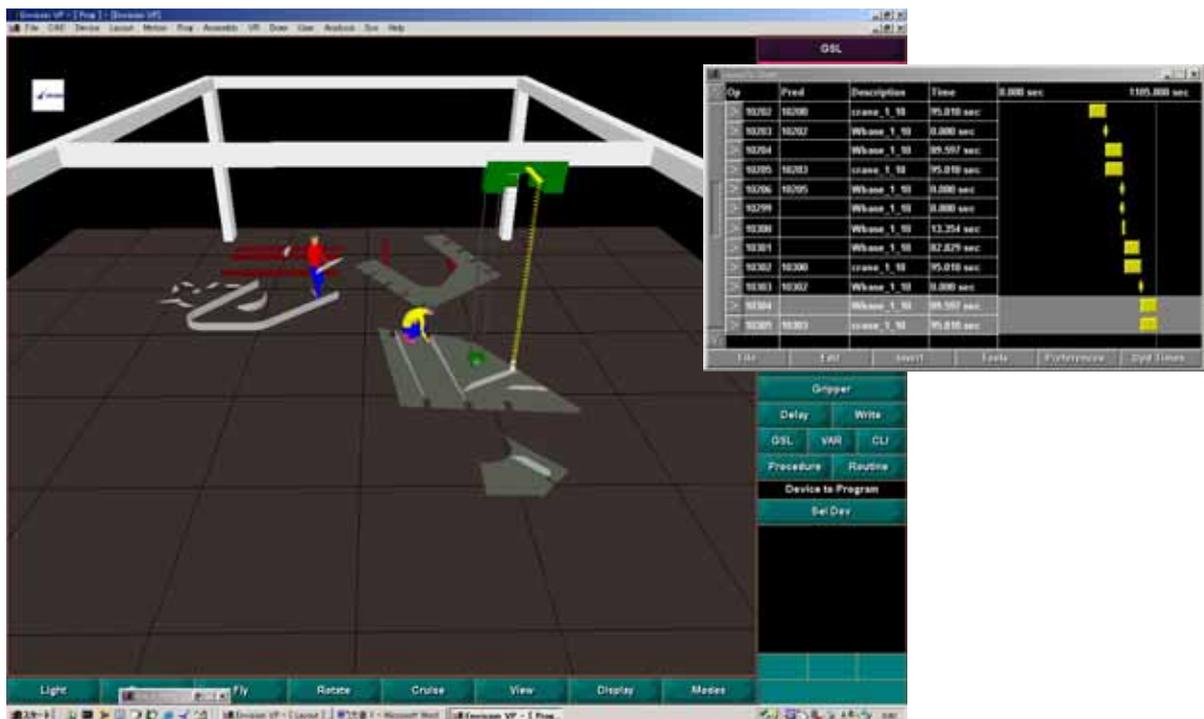


図4.2.2.1-8 作業性評価結果

全体の評価結果を以下に示す。

1) 工程評価システム

- ・工程評価システムは、工程設計システムを拡張することで開発した。
- ・このシステムは、複数の工法を定量的に評価することが可能であり、工法の最適化に有効であった。

2) 造船デジタルモックアップ

- ・船殻を対象としたデジタルモックアップシステムを開発した。
- ・このシステムは、干渉チェック等の組立性の評価には、非常に有効であった。
- ・将来的には、作業指示にも有効と思われる。

3) 現場改善のためのバーチャルファクトリ

- ・造船を対象に、人間モデルを用いた作業シミュレーションシステムを開発した。
- ・このシステムは、造船における基本作業がデータベースに予め定義されており、実際のシミュレーションモデルの定義が容易であった。
- ・このシステムは、現場改善の評価には非常に有効であった。

4.3.2.2 造船統合コスト評価システムの機能向上検討

(1)で述べたように、本年度は、IRMAプロジェクトで開発した造船統合コスト評価システム全体の評価を行い、本システムの有効性を検証した。そこで、このシステムの機能向上について、検討を行った。その結果、コストを評価するためには工法、作業性の検討に加えて、生産計画（スケジューリング機能）も重要であることがわかった。そこで、造船を対象としたスケジューリング機能として、エージェントを用いた生産計画機能の検討を行った。造船における生産計画については、特に線表の成立性の検討時などには、短期間で行う必要があり、自動化が望まれているが、工程に関する全ての制約を織り込むのが難しいため、現状では、人間の手作業によるチェック項目が膨大である。この工程の制約は、熟練の生産計画担当者のみが暗黙知として知っているが、それを明文化することができないため、全ての制約を表現したシステムを構築することが難しいという問題がある。そこで、図4.2.2-9に示すように、生産計画ツールにエージェントプログラムを組み込み、熟練者の生産計画業務を記録する。そして、その結果を分析することで、現場の制約を組み込んだ生産計画機能を実現する。という試行を行った。

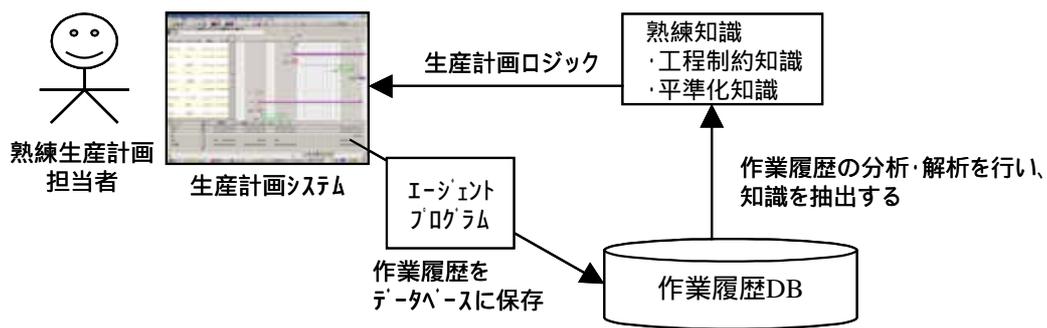


図4.2.2.1-9 エージェントを用いた作業平準化機能

試行結果を以下に示す。図4.2.2.1-10は作業履歴DBから抽出された平準化の知識であり、図4.2.2.1-11に、この知識を用いたスケジューリング結果を示す。ここでは、ある程度、知識を抽出することが確認できた。したがって、本手法を用いることで、造船のスケジューリングの知識を抽出し、自動化できるという可能性を検証することができた。

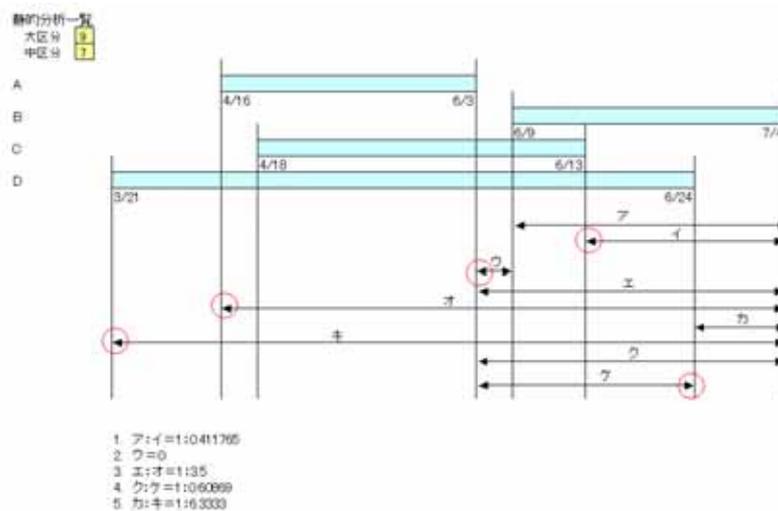


図4.2.2.1-10 平準化知識抽出結果

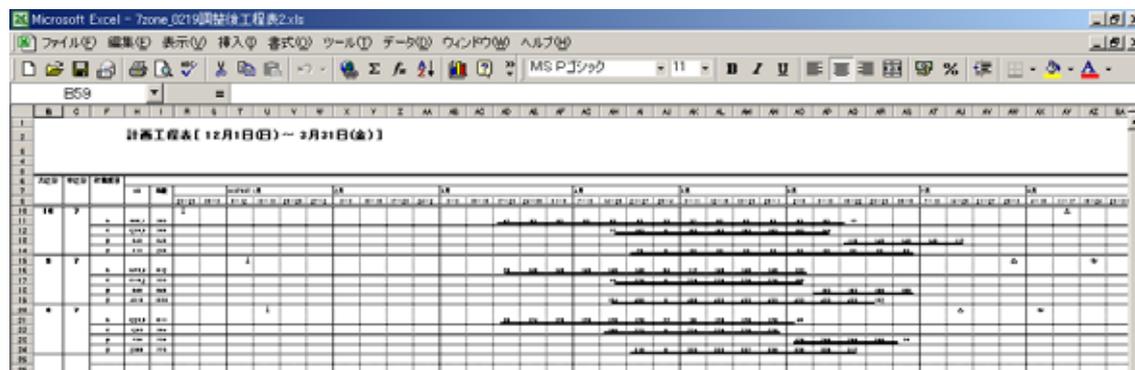


図4.2.2.1-11 平準化結果

5 . 国際プロジェクトの活動状況

5.1 IRMA 国際会議

5.1.1 IMS/IRMA 国際中間会議

日時 : 10月6日 (月) ~ 10月8日 (水)

場所 : BNFL (プレストン, イギリス)

出席者 : Dr. Peter Modern BNFL, Chairman and Project Manager
Mr. Graham Sharples BNFL
Mr. Tiziano Maraldo ZEM
Mr. Piero Chiabra ZEM
Mr. David Roche CS SI
Mr. Philippe Pinto CS SI
Mr. Petteri Halonen Delfoi
Dr Mirabelle D' Cruz UoN
Mr Christoph RundeFraunhofer IPA
Mr. Uli Jessen Fraunhofer
Mr. Santos Vicente Arcitel
Prof. Doru Talaba UTBv
Dr. Antonya Csaba UTBv
Mr. Pavel Jirsa UJV
Mr. Jiri Sadilek UJV
Mr. Urs Kunzler INTEC
Dr. Michalis Loupis ITC
佐々木, 橋本 MHI

(1) IRMA Progress Meeting

① 前回議事録の確認

- ・ 3月にヘルシンキで開催された IRMA 国際会議の議事録について, アクションプランの確認が行われた。

② 全体の進捗状況

- ・ EU 地域におけるシステム開発はほぼ完了し, 現在機能検証を実施中である。本会議では, EU 地域のメンバーである BNFL および ZEM にて開発されたシステムを中心にデモが行われた。また, 機能検証作業の予定について報告が行われた。
- ・ スイス地域の進捗について報告が行われた。VRML ベースの VR ツール (FrH-IPA) の開発を現在実施中とのことであった。
- ・ EU, スイス, 日本の各地域で開発したシステムの相互検証を実施することを確認した。

③ EU (BNFL) の進捗状況

- ・ システム開発はほぼ完了し, 現在機能検証を実施中である。本会議では, 開発したシステムのデモが行

われた。

④ EU (ZEM) の進捗状況

- ・ システム開発はほぼ完了し、現在機能検証を実施中である。本会議では、ZEMの工場におけるモーター等のローター組立装置を対象としたシステムのデモが行われた。
- ・ その他のシステムとして、上記工場を対象とした遠隔監視システムを開発中とのことであった。現在、ミラノの工場の実システムにて検証中であり、今後工場全体へ拡張予定とのことであった。

⑤ スイスの進捗状況

- ・ IDAというCADに似たVRシステムを開発中である。進捗としては若干遅れ気味であるが、VR装置の開発を行っている Iseli Design 社との打ち合わせ回数を増やすなどの対応をとり、遅れをとりもどすように努力しているとのことであった。
- ・ 来年1月に日本で開催される IRMA 成果報告会を目処にシステムを完成させる予定。

⑥ ルーマニアの進捗状況

- ・ 3次元CAD情報をもとにした動的な構造解析を検討中である。また、ADAMSの解析結果をVR環境で表示する機能についても開発中である。
- ・ 2004年2月完了を目標として開発中（若干遅れ気味）。

⑦ チェコの進捗状況

- ・ 原子力発電所に設置された燃料を送り込むためのポンプ(RCP)について、回転による振動（特に高周波）が与える影響を解析するためのシミュレーションシステムを開発中である。
- ・ 振動の解析結果を3次元で表示するシステムを開発中であり、ポンプの各部品（回転子、カップリングなど）を3D表示することによって、振動解析結果をアニメーション表示していた。
- ・ 上記システムによる実データを用いたシミュレーションを実施中。
- ・ 2004年2月完了を目標として開発中。

⑧ 次回の予定

- ・ IRMA 最終ミーティングは、2004年2月11日～2月13日の予定でスイスで開催されることとなった。スケジュールの概要は下記の通り。

2/11：デモ準備（日本は参加する必要無し）

2/12：全体ミーティングおよびデモ

2/13：プロジェクト全体まとめ

(2) その他

① IRMA成果報告会

来年1月に日本で行われるIRMA成果報告会に関して、スケジュールと内容の確認を行った。EUおよびスイスのメンバーに対し、事前に下記5件の発表およびポスターセッションを依頼していたが、これらについての了承を得た。

- ・ About IRMA Project
- ・ Overview of EU IRMA Project
- ・ Overview of CH IRMA Project

- Presentation about EU VR System
- Presentation about CH VR System

また、ルーマニアから参加したいとの意向を受けたため、今後発表内容等の調整を実施する予定である。

② INTUITION

IMSのメンバーであるノッティンガム大学のDr. Mirabelle氏より、NoE/INTUITIONという新プロジェクトの提案があったため、その詳細について確認を行った。確認内容は下記の通り。

- 本プロジェクトはIMS/IRMAプロジェクトの継続ではなく、Network of Excellence という、EUの6th Frameworkプロジェクトである（IRMAは5th Frameworkプロジェクト）。
- 日本からの参加は歓迎するが、参加する場合は日本で予算を用意する必要がある。

③ プロジェクト評価レポートについて

今回実施されたBNFL/ZEMのデモについて評価レポートを作成し、Dr. Peter J. Modern氏へ送付する。スイスとチェコのプロジェクト評価については、2月に開催予定であるIRMAミーティングの際に実施する。また、ルーマニアのプロジェクト評価については、2月のIRMAミーティング後、ルーマニアで行う予定である。なお、評価レポートの取り纏めは、Dr. Modern氏が行う予定である。

④ その他の確認事項

IRMA関係の論文をIRMAのウェブサイトへ掲載して欲しいとの通達があった。

5.1.2 IMS/IRMA 国際最終会議

日時 : 2月12日 (木) ~ 2月13日 (金)

場所 : INTEC (ベルン, スイス)

出席者 : Dr Peter Modern BNFL, Chairman and Project Manager

Mr. Graham Sharples BNFL

Mr. Tiziano Maraldo ZEM

Mr. Piero Chiabra ZEM

Mr. David Roche CS SI

Mr. Philippe Pinto CS SI

Mr. Petteri Halonen Delfoi

Dr. Mirabelle D' Cruz UoN

Mr. Christoph Runde Fraunhofer IPA

Mr. Uli Jessen Fraunhofer

Mr. Santos Vicente Arcitel

Prof. Doru Talaba UTBv

Dr. Antonya Csaba UTBv

Mr. Pavel Jirsa UJV

Mr. Jiri Sadilek UJV

Mr. Urs Kunzler INTEC

Dr. Michalis Loupis ITC

佐々木 MHI

高野氏 (MHI)

吉江先生 Waseda Univ.

(2) IRMA Progress Meeting

今回の会議の目的は下記である。

- ・ 10月の会議以降のプロジェクトの進捗確認
- ・ スイス、ルーマニア、チェコで開発したシステムの最終デモ
- ・ プロジェクトのまとめ
- ・ プロジェクト完了までの宿題の確認

① 前回議事録の確認

- ・ 10月にプレストンで開催された IRMA 国際会議の議事録について、アクションプランの確認が行われた。すべてのアクションプランが予定通り進行していることが確認された。
- ・ 日本の報告書も IRMA のホームページに載せたいということだったので、2001年度と2002年度の英語版要約を掲載してもらうように依頼した。

② 重要な報告書の確認

- ・ D43 : Pilot Monitoring Application Experimental Report・・・予定通り完了した。

- ・ D47 : Evaluation of Reports . . . 予定通り作成中。

③ FrH-IPA parallel demonstrator status

FrH-IPAのIRMAプロジェクトでの役割について説明が行われた。彼らの担当は、VR環境の実現であり下記を実施した、とのこと。

- ・ VRデバイスの調査・検討
- ・ VR装置 (passiv stereo : 左右の目に対して、それぞれのプロジェクタの画像を表示させることで、VR表示を実現する装置) の開発 (図 5.1.2-1)

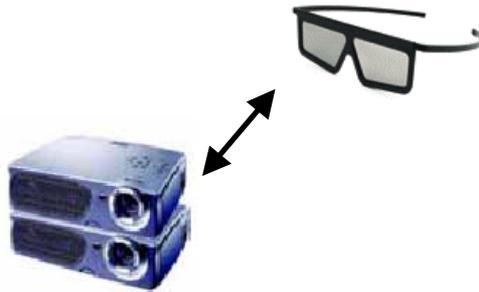


図5.1.2-1 passiv stereo

- ・ 各種解析ソフトの計算結果のVR (3次元) 表示技術の開発
- ・ VR上でのGUIの開発

(3) プロジェクト進捗状況確認

① スイスプロジェクトの進捗

下記報告書については、すべて予定通り完了予定である。

D54 : Demonstration of Swiss Pilot Application

D55 : Swiss Application Experimental Report

D46 : Completion of Research Programme

今後、Swiss authorities (BBW) への報告書を作成予定であり、完成した報告書は、EU、日本へも送付する。

② ZEM (EU) の進捗

下記報告書については、すべて予定通りである。WP12に関する報告書もすべて終了した。

D26 : Training Application Test Bed Specifications (2)

D33 : IRMA prototype

D37 : Training pilot Application Test Bed

D42 : Pilot Training Application Experimental Report

D38 : Demonstration of European Pilot Training Application

③ WP7の進捗状況

報告書 (D48、D49、D64B) については、予定通りの進捗である。

④ WP10 (ルーマニアの進捗状況)

D101～D104 完了

D105～D107 2月末までに完了予定

今後も継続してすすめていきたい。

⑤ WP9 (チェコの進捗状況)

多少遅れ気味ではあるが、2月末までに完了予定

⑥ Review of Project IRMA achievement

Dr. Peter J Modern氏により、プロジェクト全体の成果として下記が報告された。

- ・ プロジェクト全体像
- ・ α テストプランの構成
- ・ 各地域の成果概要

(3) その他

① プロジェクト評価レポートについて

今回実施された各地域のデモについて評価レポートを作成し、Dr. Peter J. Modern氏へ送付する。なお、評価レポートの取り纏めは、Dr. Modern氏が行う。

② 5月のIMSフォーラムでのIRMA成果の発表について

5月のIMSフォーラムで、Dr. Peter J Modern氏がIRMAプロジェクト全体を発表する。1月に日本で開催されたIRMAメンバーミーティングの際に、できれば、日本のIRMAプロジェクト概要を日本から発表してほしいとの依頼があった。社内で調整した結果、佐々木が発表すると返事をした。Modern氏にIMSフォーラムの事務局への連絡を依頼した。

5.2 海外調査報告

5.2.1 ストラスクライド大学訪問

日時 : 10月3日 (金) 13:30~17:00

場所 : ストラスクライド大学 Industrial Control Centre (グラスゴー, イギリス)

面接者 : Dr. Reza Katebi, Dr. Andrzej W. Ordys (ストラスクライド大学)

Dr. Ir. Gerrit M. Van Der Molen, Dr. Xiaohong Guan (ISC Ltd.)

(1) 学科概要 (Industrial Control Centre)

Industrial Control Centreは14の部門に分かれており、連続/離散事象シミュレーションおよび各種制御技術に関する研究を行っているとのことであった。また、別組織としてIndustrial Systems and Control Ltd. およびIndustrial Club on Advanced Control Technologyの2つの組織を持っており、ISCでは上述した技術を用いてヨーロッパの様々なメーカーと共同研究を行っているとのことであった。

(2) 離散事象シミュレーション技術調査

離散事象シミュレーション技術の取り組みについて、シミュレーション事例、ツール、および最適化の調査を行った。

① シミュレーション事例

一般企業からの依頼で、さまざまな離散事象シミュレーションを行っている。最近の事例は下記の通り。

- ・ 鉄鋼の物流シミュレーション
- ・ 造船組立工場のシミュレーション
- ・ 製鉄のシミュレーション

また、この他に物流シミュレーション (サプライチェーンシミュレーション) についても今後取り組む予定であり、その場合、Business Schoolなどと共同開発を実施していく予定とのことであった。

② シミュレーションツール

シミュレーションツールとしてはSimple++ (eM-Plant) やWitnessを導入したが、客先によってはシミュレーションツールを購入する余裕が無い場合もあり、その場合はVBなどにより開発を行っている。ただし、オブジェクトの数が1000を超える場合はシミュレーションツールを利用した方が効率的である。この場合、VBやC++などでモデルを自由に拡張できるようなシミュレーションツールを使う必要がある。

③ 最適化

いろいろ試行したが、遺伝的アルゴリズム (GA) による最適化が最も優れていたとのことであった。

(3) その他

① ハイブリッド制御技術

連続事象モデルと離散事象モデルを融合したハイブリッドモデルを提唱し、製鉄ラインを例題とした制御系設計およびシミュレーションを実施中とのことであった。連続事象モデルは状態方程式、離散事象モデルは状態遷移をオートマタにより表現していた。ツールとしてはMatlab/Simulink等を使用しているとのことであった。

② データ解析技術

制御装置およびセンサが正常に動作しているか否かを，収集データから自動検出する技術について現在研究中とのことであった。本技術はPCA (Principal Component Analysis) と呼ばれる二乗予測誤差 (Squared Prediction Error : SPE) に基づく理論を用いてある領域から外れたデータを異常データと定義し，それにより制御装置およびセンサ異常を検出するという技術であり，本技術を用いることによって遠隔地に設置された制御装置を常時監視することが可能とのことであった。

5.2.2 IMS 社訪問

日時 : 10月9日 (木) 9:00~12:30

場所 : IMS社 (マグデブルグ, ドイツ)

面接者 : Claudius Borgmann社長, Uwe Hess取締役 (IMS社)

Bettina Wiedmann氏, Dirk Scheffter氏 (APPSS社)

(1) IMS 社概要

IMS社は1995年にフラウンフォーファー研究所から独立したベンチャー企業であり、主な仕事はフラウンフォーファー研究所で行っている研究の実用化である。現在は、VRやナレッジマネジメントなどのツールを中心にBPRの提案を行い、企業向けのソフト開発を行っている。特に、VR関係についてはAPPSSという子会社をつくり、集中的な開発を行っている。社員数は全部で36人、主な客先はT-SystemやBMW, VWなど。今回は、彼らが開発した可搬型バーチャルリアリティプロジェクトを中心に調査を行った。

(2) 可搬型バーチャルリアリティプロジェクト (Mobile Virtual Reality solution)

三次元表示が可能なプロジェクトおよび三次元モデルを定義するためのツールからなる可搬型VRシステムについての紹介が行われた。可搬型VRプロジェクトを図5.2.2-1, 図5.2.2-2に示す。



図5.2.2-1 可搬型VRプロジェクト



図5.2.2-2 可搬型VRプロジェクト全体構成

システムのスペックを下記に示す。

- OS : LINUX
- サイズ : 25×21×21cm
- 重量 : 7.8kg
- 画面 : XGA (1024×768)
- 電源 : 100-240V/8A
- 起動時間 : 約 3 分
- 値段 : 49,950Euro～ (PC1 台+プロジェクタ+ソフト)

システムの主な特徴、および感想を下記に示す。

- サポートしている形状データフォーマットは VRML のみであるが、他の 3D CAD やシミュレーションツールからのデータ変換ソフトを開発することも可能である (BMW からの依頼で、eM-Plant とのデータ変換機能を開発した実績あり)。
- CAD から読み込んだデータの不要な部分を削除するなどの簡素化機能については現時点では無い。
- VRML データに関連を定義することで、階層的にオブジェクトとして定義することが可能 (例: 工場内にラインがあり、ライン上に設備がある)。
- VRML データ、配置データのバージョン管理機能がある。
- 簡単な図形を作成する機能があり、これを用いて VR モデルを簡単に作成することができる。例えば、直方体に写真を貼ることで建物を定義することが可能。
- 複数のクライアントで、同一のモデルを同時に操作することが可能。
- 客先などのプレゼンテーションで 3 次元モデルを見せたいときには、有効なツールであると感じた。
- CAVE (没入型 VR プロジェクタ) については、現時点では、オペレーションやメンテナンスにコストがかかり、企業向けにはあまり実用的でないとのことであった。

(3) IT for Logistics Management

物流に関するIT技術について調査を行った。

- ・トラックや船舶などの運行管理システムを開発している。
- ・自動車会社向けのデジタルコックピット開発などの実績がある。特徴として、ユーザが自由に設計できる点が挙げられる。現在は自動車会社と共同で、自動車の遠隔監視システムを開発中である。

(4) Knowledge Management

Knowledge Managementについて調査を行った。

- ・現在、国プロでコーティングに関する Knowledge Management システムを構築中である。Knowledge はルールベースのシステムを用いて構築しており、コーティングメーカーからのヒアリング結果を元に構築されている。
- ・IMS 社の考えでは、知識の更新・拡張にはニューラルネットワークが有効とのことであり、将来的には自動的に知識を更新していくシステムを目指している。
- ・データが膨大となった場合、ニューラルネットワークの構築および学習が難しいのではないかと質問をしたところ、問題なしとの回答を得た。そうであればニューラルネットワークは Knowledge Management の有用なツールとなり得る可能性があるため、今後資料を入手し、詳細についてさらに調査する予定。

(5) IMS プロジェクト

現在、IMSへ提案を検討している下記のプロジェクトについて紹介があった。

- ・VRを用いた都市、プラントの設計
- ・VRを用いた災害のシミュレーション
- ・自動車（船？）の運行管理システム

(6) 所感

今回の訪問に際して、IMS社の主要技術であるVirtual Realityの他に、IT for Logistics, Knowledge Management system for Industriesについて興味があると事前に伝えたが、そのどちらについても様々な活動をしており、IMS社およびフラウンフォーファー研究所のITに関する技術力の幅の広さを感じた。ただし企業から見た場合、実用化研究とはいってもまだまだ実用化には遠い技術もあるように感じた。

5.2.3 デルフト工科大学 (Delft University of Technology : DUT) 訪問

日時 : 10月10日 (金) 10:00~17:00

場所 : デルフト工科大学 (デルフト, オランダ), TNO研究所 (オランダ)

面接者 : Dr. Ir. Ubald Nienhuis, Dr. Nico Delleman (DUT)

Dr. Ir. Herke Schuffel (TNO)

(1) デルフト工科大学概要 (添付資料 3)

デジタルマニュファクチャリング技術調査のため、デルフト工科大学を訪問した。デルフト工科大学の概要を下記に示す。

- DUT の研究員は全部で 5000 人。造船学科は、流体部門、構造部門、エンジニア部門、および Ship Production 部門などで構成されており、70 人の研究員が在籍している。そのうち、Ship Production 部門には 15 人の研究員が在籍している。
- Ship Production 部門の現在の研究内容は、設計システム、CAD 間データ交換、Knowledge Management、バーチャルファクトリ、小型自律ロボットなどである。また、各種理論のみでなく、マネージメントまで含めた研究 (コンセプトエンジニアリング) を提案しているとのことであった。
- Dr. Nienhuis 教授の研究室の主な共同研究先は、TNO, MARIN, オランダ海軍など。
- オランダの造船会社では、現在約 75%を外注に出しており、溶接の場合はルーマニアの溶接工を雇うなど、各部門でできるだけ安い外注先を利用しているとのことであった。そうしないとコスト競争で勝負にならない、とのことであった。

また、造船WEBのような取り組みについても現在検討中とのことであり、今回は生産システム関係の取り組みを中心に、調査を行った。

(2) 造船生産システム研究紹介

① 生産計画システム

現在、造船に特化した生産計画システムを開発中とのことであり、本システムについての紹介があった。基本的には当社で開発中の艤装生産計画システムとコンセプトが似ており、当社での研究開発方針が正しいことが確認できた。なお、DUTのシステムには実績を取り込む仕組みが無く、その点について質問したところ、オランダでは作業実績を収集するのが難しいとのことであった。システムの主な特徴を下記に示す。

- 1つの日程に複数の作業を記述可能。
- 各作業のSカーブを定義可能。
- 作業毎の山積みが可能。
- 表示は週単位だが、日程は日単位で入力可能。
- 大日程→中日程へと展開が可能 (大日程が中日程表の背景として、薄い灰色で表示される)。

② 艤装組立シミュレーション

今後、生産システムとして艤装の組立シミュレーションに取り組む予定であり、TNO研究所との共同研究として、来年1月から博士課程の学生を1人充てて研究を行う予定である。

(3) VR 技術紹介 (TNO 研究所)

Dr. Nienhuis教授の共同研究先であるTNO研究所のHuman Facility部門を訪問した。本研究所の客先は主

に軍関係であり、本部門では特に、人間モデルおよびVRを中心とした研究を行っているとのことであった。今回説明を受けた内容を下記に示す。

① 造船への適用例

- ・ ブリッジからの視界検証用デジタルモックアップ

海底の地形を調査する船の後方視界を検証するために作成した、デジタルモックアップの説明を受けた。検討にはHMD (Head Mount Display) を使用したとのことであった。

- ・ 艦艇CIC (Combat Information Center) モックアップ

多国籍共同作戦に対応するため、オランダ海軍で建造予定の艦艇のCICレイアウトを、デジタルモックアップで検討した例について説明を受けた。本研究では、デジタルモックアップによる機能検証実施後、実際の大きさのモックアップを作成し、軍関係者らによって仮想訓練を行うことによって、機能検証を実施したとのことであった。大がかりなモックアップによる検証は必要であるが、デジタルモックアップによる事前検証は非常に有効であったとのことであった。

② その他のVR関係の研究例

- ・ 自動車運転シミュレータ

本研究所にて開発した自動車運転シミュレータについての説明を受けた。シミュレータ概要は、アクセル、ハンドル操作と連動して風景およびアクチュエータが動作するというものであり、あわせてサイドミラーおよびバックミラーの風景も変化するということであった。なお、本システムは運転者の視点調査などの研究へ適用しているとのことであった。

- ・ 装甲車用モニタ

装甲車搭乗時の視界を広げるためのシステムについて説明を受けた。システム概要は、車外設置カメラの画像を利用して視界を広げるというものであり、運転者の頭の動きと連動してカメラが左右に動作する点が特徴であった。

6. 今年度の成果と今後の課題

6.1 まとめ

船舶を対象に、人や製造設備などのリソースを計算機（コンピュータ）上にモデル化し、バーチャルリアリティ技術を用いて、工場の生産シミュレーションを行える造船デジタルモックアップシステムを開発する。今年度は、組立作業キャプチャリングによる、作業時間見積りシステムを開発し、バーチャルファクトリを完成させた。

また、既開発済みの3次元仮想空間記述言語を市販のバーチャルシミュレータに組み込んで効率的なプログラミング環境を実現した。

欧州で開発したバーチャルリアリティシステムについて、日本における重工業分野の適用研究とその評価を行った。

重工業分野製品（船舶、原動機大型製品等）を対象に、バーチャルファクトリ技術をベースに、設計～製造～出荷までの製品に係わるトータルな製品コストが把握出来る下記シミュレーションシステムを作成し、重工業分野製品への適用性を評価・検討した。

原動機用として、コスト評価に必要な機能開発（製造プロセスのデータベースからの製造バーチャルシミュレーションシステムの開発、組立効率化支援システムの開発、3DCAD図からの部品コスト見積システムの拡充）を実施し、コストの最適化が可能な「統合コスト評価システム」を開発した。

造船では、現場改善のためのバーチャルファクトリに、現場の作業計測システムと連動したシミュレーション機能開発し、現場の作業改善の定量的な評価が可能な造船統合コスト評価システムを開発した。

本研究活動により、重工業分野製品の生産プロセスにおいてトータルコスト低減を実現することが可能となる支援システムを開発した。今後、バーチャルファクトリによる生産シミュレーションは、生産技術強化による国際市場における競争力強化・差別化を達成するためのブレークスルーとなる次世代技術であり、経済的・社会的な効果（工程短縮、工数低減、品質向上、リスク低減等）が期待できる。

6.2 今後の課題

開発したシステムは、造船工業会を中心にデルミアの製品群に組入れ市販化し、世に有効活用していく予定である。

I M S 国際共同研究プログラム

国内開発研究企画

0330 「仮想現実感技術を用いた工業プロセス制御，設計，トレーニング」
に関する研究成果報告書

発行年月日 2004年3月

発 行 者 財団法人 製造科学技術センター

I M S センター

〒105-0002 東京都港区愛宕1-2-2

第9森ビル 7F

TEL 03(5733)3331

どのような方法であっても，発行者に無断で
全部もしくは一部の複写・転記載を禁止します。