

原子力発電プラントコンストラクションCAEシステム

Computer Aided Construction Engineering System for Nuclear Power Plants

原子力発電プラントコンストラクションCAEシステムは、3D-CAD(三次元プラントレイアウト計画CAD)システムに接続された建設作業シミュレータ(手順、工程、管理シミュレーション)のツールである。建設作業シミュレーションに使用するデータは3D-CADより、データベースに据付け最小ユニットデータとして登録されている。この建設作業シミュレータは、建設計画者が高性能グラフィックワークステーションを使用し、3D-CADモデルをベースにして、経験的な手順ロジックにより据付け手順を決定する自動据付け手順決定システム、さらにグラフィック機能を有効活用し、より最適な据付け手順にするための対話システム、これらの手順に基づいて人間の動作シミュレーションを付加し作業性、人員計画などを総合的に評価する評価システム、以上をベースにした工程シミュレーションを行うスケジュールシステム、およびこれらの計画を有効に行わせるデータベースシステム、ならびにプロジェクト管理システムから成っている。これにより、プラント建設計画の効率向上が可能となり、工場計画部門と現地のコミュニケーションが改善され、初期の目的である質の高いプラント建設を短工期に、かつ工事の安全を確保しながら建設できることが期待される。

好永俊昭* *Toshiaki Yoshinaga*

中嶋 明* *Akira Nakajima*

宮原良平* *Ryôhei Miyahara*

三浦 淳* *Jun Miura*

1 緒 言

原子力発電プラントの建設は、工事効率向上および工期短縮という大きな課題に、最近さらに追撃するように建設労働者の不足という条件が加わり、その対策として大きな戦略的展開が必要になってきている。

建設工事を効率よく短工期で行うための施策は、

- (1) 現地作業の削減…モジュールブロック化の拡大など
- (2) 現地作業工程の精度向上…建築並行作業調整および拡大など
- (3) 現地作業の効率化…作業の機械化、自動化など
- (4) 建設工事管理の精度向上…プロジェクト管理の徹底

以上の4柱がある。これらの施策目標を達成するため、建設工事計画および物流・建設管理を高い技術力と豊富な経験をベースに行い、さらにこれらの計画および管理を土木・建築と調整を図りながら最適化する必要がある、多大なマンパワーを要しているのが現状である。

近年、原子力発電プラントの最適配置計画を立てるために、総合設計・製造一貫システムとして3D-CAD(三次元プラントレイアウト計画CAD)システムを開発し、実機プラントに適用して最適レイアウト計画および生産設計に十分適している

ことが実証された。

これらの三次元プラントモデルのデータを、上流側の計画設計・製作設計・施工設計および下流側の建設・保守計画にわたるプラント トータル ライフ一貫システムで有効活用することは効果が倍増する。特にプラントモデルの有効活用の一つの方法としては、最適なプラント建設計画およびプロジェクト管理に多大なマンパワーを要していることの解決策に有効と考える。

一方、近年のコンピュータ分野の技術の発達は目覚ましく、最新のハードウェアおよびソフトウェア技術の進歩によって、2D/3D-CAD(二次元・三次元プラントレイアウトCADシステム)のより大形で複雑なアプリケーションの開発が可能となり、かつ分散リレーショナル形のデータベースシステムが実用化され、それらをシステムチックに取り入れたCAEシステムを開発することにより、従来の経験ベースの計画と同等以上の効果を得ることが予測された。

そこで、対話形CADなどの従来の技術をベースに、いろいろなコンピュータシミュレーションおよびコンピュータグラフィックの最新技術を用いた「原子力発電プラントコンスト

* 日立製作所 日立工場

ラクションCAEシステム」を開発し、実用化した。

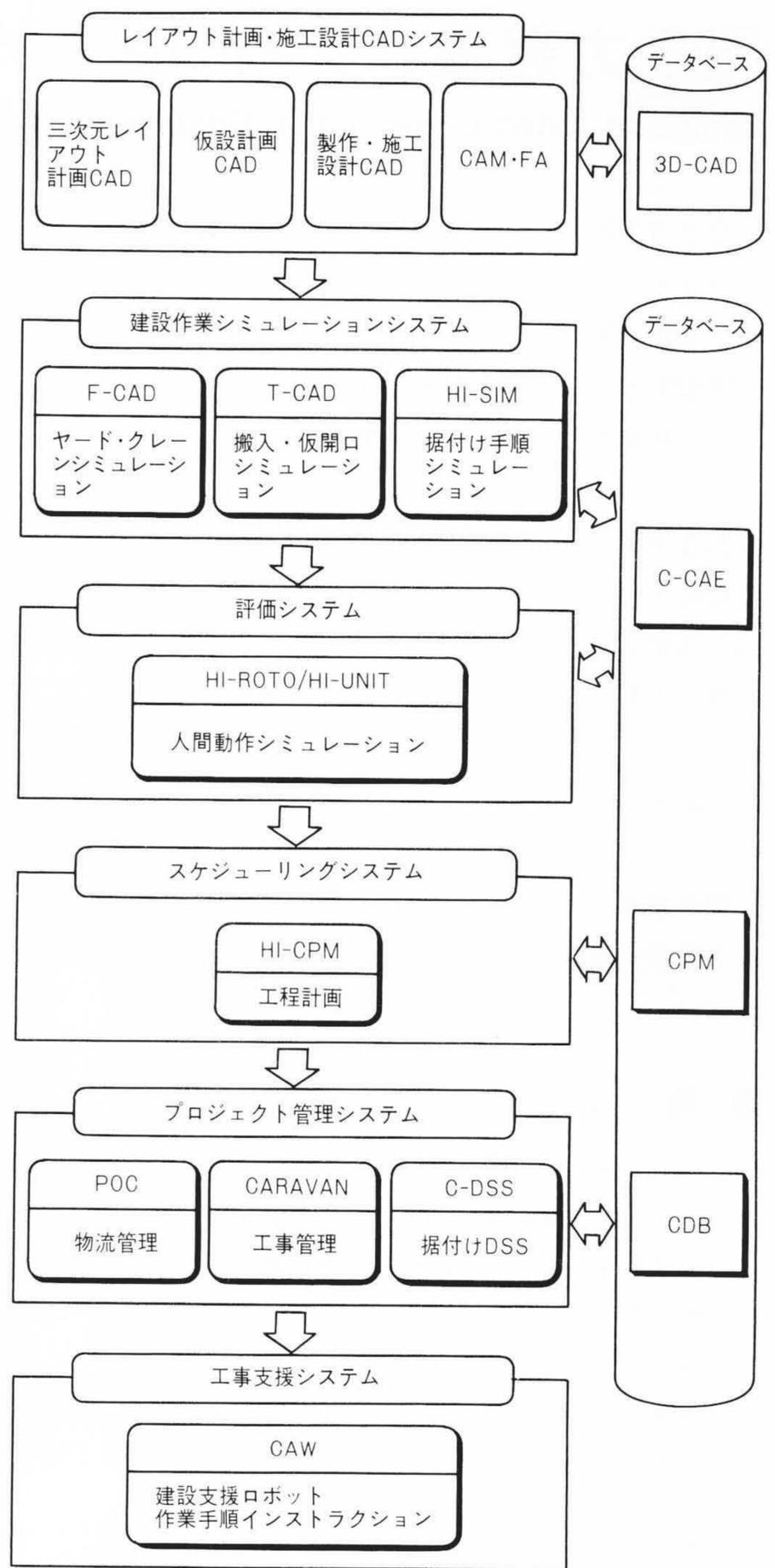
以下、その詳細を報告する。

2 原子力発電プラントコンストラクションCAEシステム

従来、プラント建設計画はプラントのプロットプランおよび概略建屋配置計画をベースに、着工から運開までの建設工期が顧客側から与えられ、建設物量がエンジニアリング・設計とともに変更となっていく状況下で過去の建設計画の実績を考慮しながら、土木業者、建築業者、機械業者間および顧客と総合調整しながら建設基本計画から詳細計画へと進める方法である。この中の建設詳細計画は、下記の理由によって技術と豊富な経験を持つ建設技術者が関連部門と多くの調整を繰り返しながら計画することから、最適化には多大なマンパワーがかかっていた。

- (1) 顧客要求の主要工期(Keydate)を満たすべき工程が各業者間で異なり、画一的に定まらない。
- (2) 建設物量が不明なことから、工程的に現地で詳細計画を立てることは、制約が多く困難である。
- (3) 建設情報がまだ十分でない状況下での計画のため、過去の実績・経験がベースになることから、土木、建築側との総合調整に時間がかかる。
- (4) 前記(2), (3)によってケーススタディに限界があり、最適化および精度の良い詳細計画に基づいた物流・人員計画ができにくい。

以上の諸点から、建設詳細計画作業を機械化するため、本システムではコンピュータグラフィック技術を応用し、ビジュアルな高速・高精細シミュレーションシステムを開発した。建設作業シミュレーションシステムは三次元レイアウト計画CAD、仮設計画CAD、製作・施工設計CADおよび配管製作などのCAM・FAから決定された三次元モデルデータ、エンジニアリングデータ、据付け最小ユニットデータおよび工事計画に必要なベースデータ(マスタスケジュール、マテリアルハンドリング機器、原単位データなど)をデータベースに登録し、必要なデータと有機的に関係させてシミュレーションを行うフィールドシミュレーション(F-CAD)、機器搬入・仮開口シミュレーション(T-CAD)および据付け手順シミュレーション(HI-SIM)で構成されている。本システムでは、計画者によって対話形式で、また簡易クワイテリアによって半自動形式で処理することができると同時に、対話形式で修正可能なようにシステムを開発した。次に、それぞれのシミュレーションシステムによって計画された建屋内外の据付け手順に関し、実際の人間作業動作を再現し、決定された据付け手順に従ってコンピュータグラフィックにより表現し、各種リソースの動作スペースのチェックおよび手順どおりの据付け可否の検討を容易にできる評価システム〔人間動作シミュレーショ



注：略語説明

- F-CAD (Field Computer Aided Design)
- T-CAD (Transportation Computer Aided Design)
- HI-SIM (Hitachi Simulation)
- HI-ROTO (Hitachi Rotoscope)
- HI-UNIT (Hitachi Unit Rate)
- HI-CPM (Hitachi Critical Pass Method)
- POC (Point of Control)
- C-DSS (Construction Decision Support System)
- CARAVAN (Communication Authorization Reporting and Variance Analysis System for Nuclear Plant)
- CAW (Computer Aided Work)
- C-CAE (Construction Computer Aided Engineering)
- CDB (Commodity Data Base)

図1 原子力発電プラントコンストラクションCAEシステムフロー
三次元レイアウト計画、施工設計CADシステムから決定された三次元モデルデータ、据付け最小ユニットデータおよび工事計画に必要なベースデータを使用して、建設作業シミュレーションを行い、実際の人間動作を再現して据付け性を評価する。上記で決定された計画ベースに対して詳細な建設スケジュールを行い、物流および工事管理のデータとする。

ン(HI-ROTO/HI-UNIT))を開発した。

次に、評価システムによって決定された計画ベースに対して、最適な詳細建設スケジュールおよび人員山積み計画、それらの平準化およびリソース配分などを作成するスケジューリングシステム(HI-CPM)を開発した。さらに、現地の管理業務の精度および効率向上のためのプロジェクト管理システムを開発した。これらの4システムを効率よく稼働させ、かつ計画データの一元化を図るために、データベースシステム(C-CAE/CPM/CDB)を導入した。

以上、五つのシステムを中心に組み合わせたものが「原子力発電プラントコンストラクションCAEシステム」であり、これを図1に示す。このように計画した建設計画データを、さらに有効活用を図るために建設ロボットや作業手順インストラクションなどの工事支援システム(CAW)用データとして使用する。また、これらのシステムはすべて工場間と現地との間がオンラインネットワークによって接続され、運用でき

ることが大きな特徴と言える。

2.1 建設作業シミュレーション

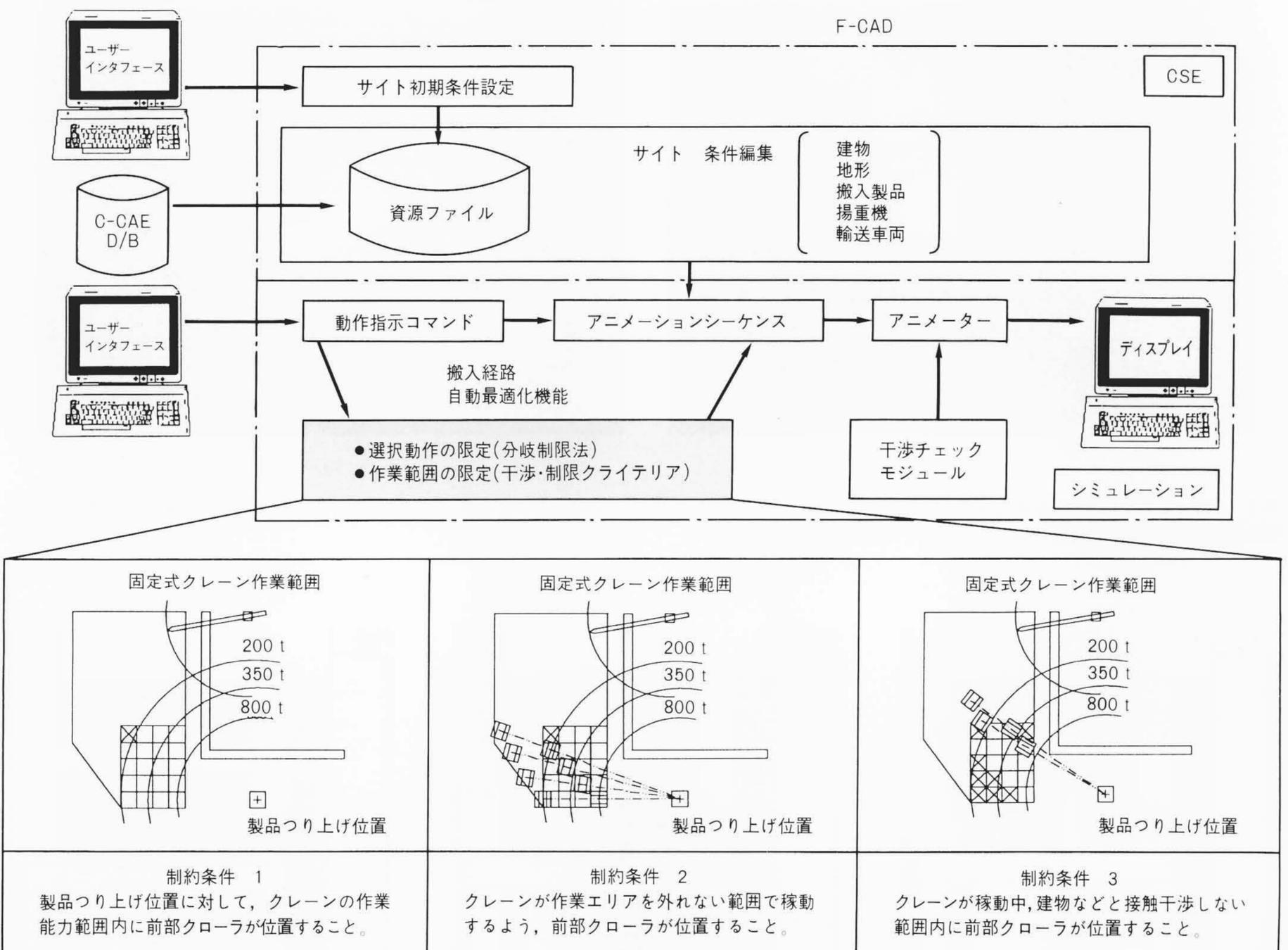
2.1.1 ヤード・クレーン シミュレーション(F-CAD)

本システムは、周辺条件がめまぐるしく変化する屋外ヤードの工事計画およびクレーンなどマテリアルハンドリング機種の使用計画の検討および最適化を目的としたシミュレーションシステムである。

本システムの処理手順と技術的特徴について、以下に述べる。

(1) 地形、軀(く)体、搬入製品などの屋外工事計画に必要な情報をC-CAEデータベースから呼び込み、サイト編集機能を用いて法面、軀体立上がり状況などを建設時期に応じた形状データに編集し表示する。

(2) 移動式クレーン、固定式クレーン、運搬車両など、マテリアルハンドリング機種の配置・動作情報(作業速度、角度などを)をコンピュータに登録する。



注：略語説明 CSE (Construction Site Editor)

図2 システムフローチャートおよび搬入経路の自動最適化機能ロジック サイト編集機能CSEにサイト条件を設定し、ユーザーがクレーンの動作を対話または自動機能を用いて設定し、シミュレーションを行う。自動機能では事前にクレーンの動作クライテリアを定義しておき、最適な経路設定に導いている。

(3) マテリアルハンドリング機種の動作クライテリアをもとに、制約条件を設定し、荷取りからつり込みまでの作業時間を最短化するような搬入動作を入力し、シミュレーションする。F-CADのソフトウェア構成を図2に示す。

本システムは、搬入動作の最適化の方法として、(1)対話方式と、(2)自動方式から構成されている。

また、本システムには、アニメーションに連動して、クレーンなどの実作業時間を時計表示する機能があり、これらのシミュレーション結果の妥当性を、計画者は定量的に評価することができる。シミュレーション出力例を図3に示す。

2.1.2 搬入・仮開口シミュレーション(T-CAD)

本システムは、従来、主に図面を用いて行っていた搬入計画をCAD化したものであり、計画者がコンピュータと対話しながら行うシステムである。ここでは操作性に重点を置いたので、その内容を次に述べる。

(1) 搬入ルート入力では、画面上にグリッドを表示させ、グリッド交点を指定することでルートを自動表示する。

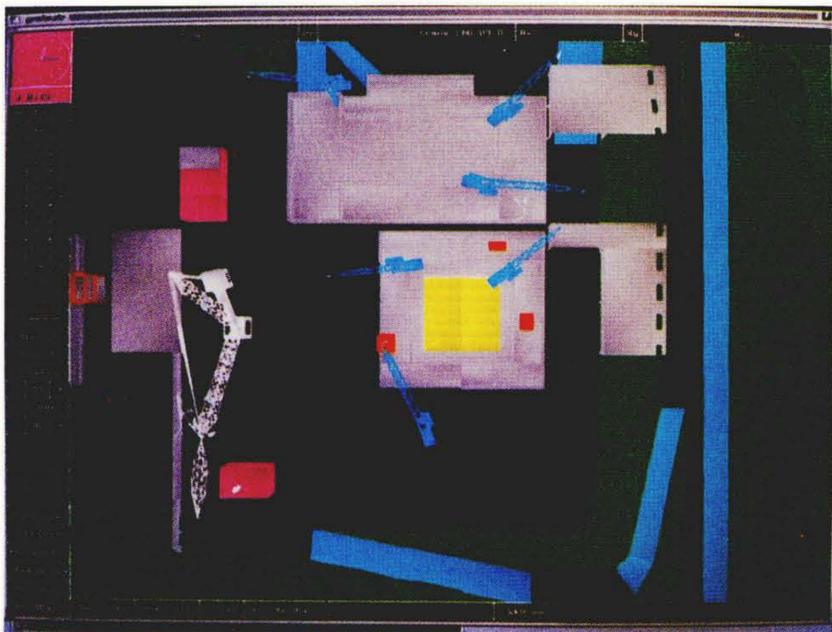
(2) 搬入時の干渉チェックでは、干渉チェック実行を指定するだけで、搬入ルート上のすべての点で自動的に干渉チェックを行う。

(3) 仮開口寸法決定では、搬入ルート上の床または壁を指定し、パターン化された段取り余裕代などを選択するだけで自動決定し、表示する。

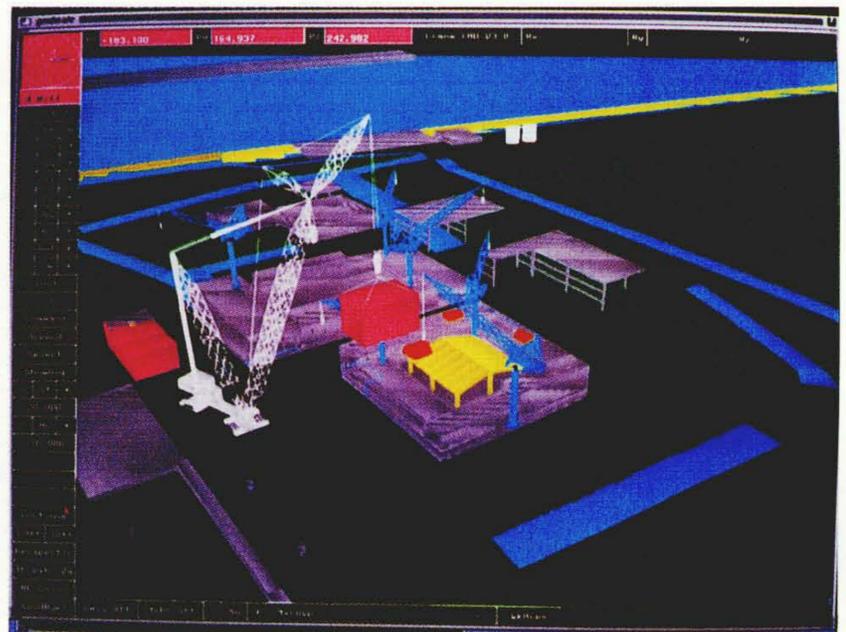
本システムの画面表示例を図4に示す。

2.1.3 据付け手順シミュレーションシステム(HI-SIM)

据付け手順は、従来、技術と豊富な経験を持つ建設技術者によって、機器配置図、配管計画・施工図、工事工程などをベースに決められている。このため、据付け最小ユニット数が膨大なために検討が多岐にわたること、最適な手順計画を得るのに多くの時間を要することなどの問題があった。これ

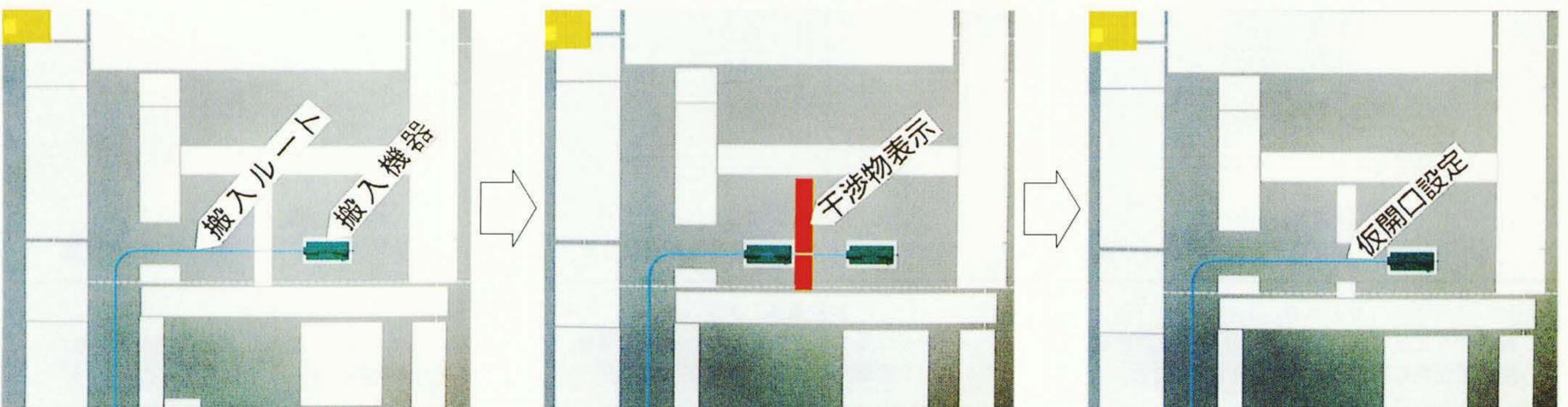


(a) 平面図



(b) 側面図

図3 ヤード・クレーンシミュレーション出力例 大型クローラクレーンによるつり込みシミュレーションの例を示す。写真の左上端に、実時間と連動する時計を設けている。



(a) 搬入ルート入力

(b) ダイナミック搬入シミュレーション
および干渉チェック

(c) 仮開口決定

図4 機器搬入ルート計画表示例 ラバーバンド入力あるいは点入力方法によって搬入ルートを定義し、シミュレーションによって動的干渉チェックを行う。壁または床貫通部に自動的に仮開口が設定できる。

らの問題を解決し、経験の少ない計画者および末端の建設作業員までが容易に作業手順を理解できることを目的として、据付け手順シミュレーションシステム(HI-SIM)の開発を行った。

本システムのフローチャートは、図5に示すとおりである。据付け手順シミュレーションシステムの主な機能の表示例を図6～9にそれぞれ示す。

ここでは、特に据付け手順定義、ネットワーク定義およびアニメーションの機能について詳述する。

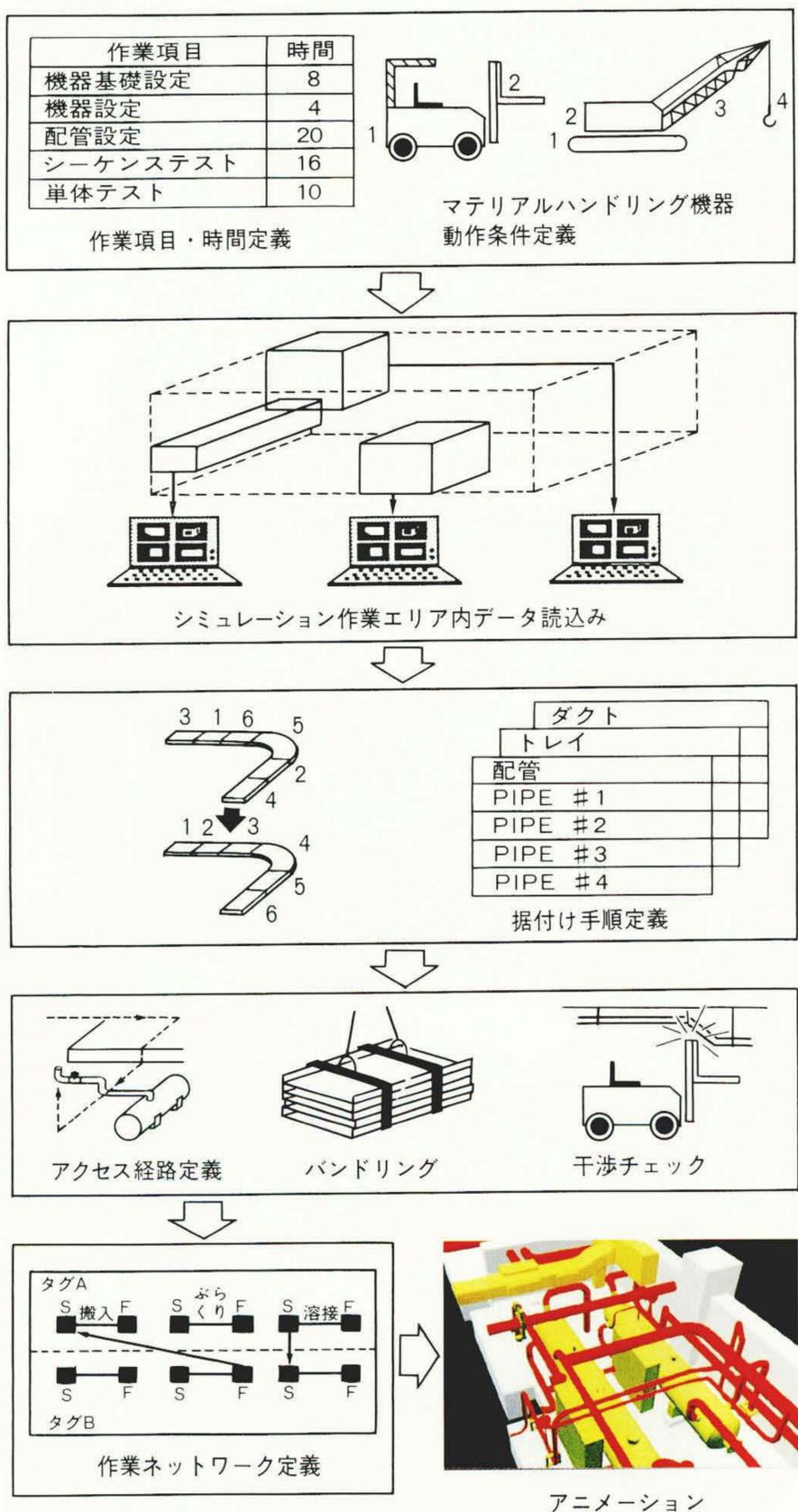
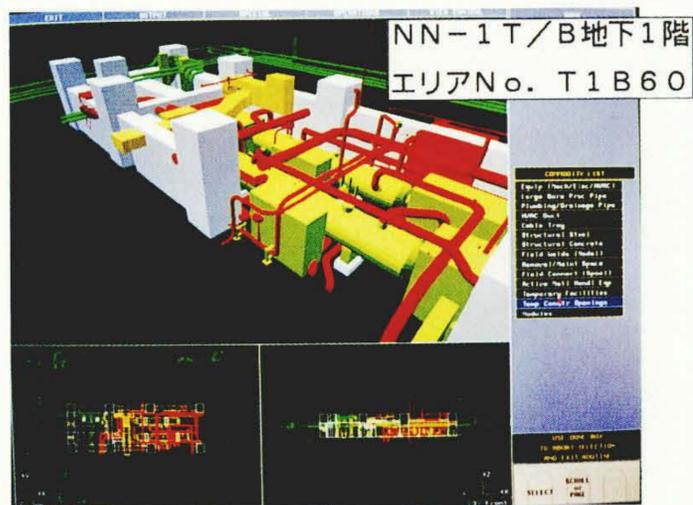


図5 据付け手順シミュレーションシステムフロー 据付け手順定義の処理手順を示したもので、作業項目・時間のデフォルト値定義および材料ハンドリング機器定義→シミュレーションエリア選定→据付け最小ユニットの据付け手順決定→搬入経路、バンドル定義および動的干渉チェック→作業ネットワーク定義によってアニメーションの実行ができる。



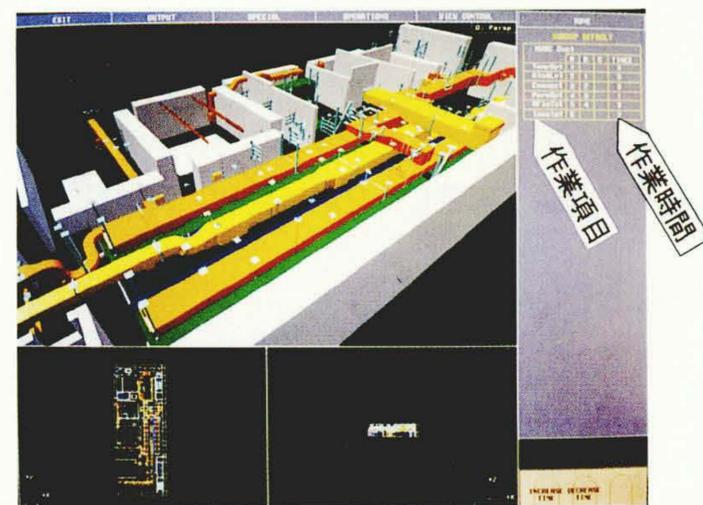
(a) 据付けシミュレーションエリア選択



(b) 据付け作業手順定義



(c) ビュー変更機能

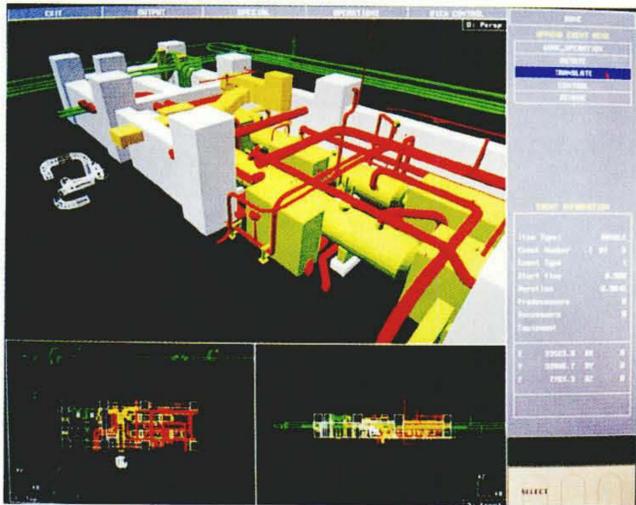


(d) 作業項目・時間定義

図6 据付け手順シミュレーションシステム主機能 (a)図：シミュレーションエリア内据付け物を自由に抽出できる。(b)図：写真右欄に据付け最小ユニットの据付け順序を示す。(c)図：表示内容の拡大・縮小、回転、視点変更などが自由にコントロールできる。(d)図：写真右欄に作業項目・時間を表示し、対話修正ができる。



(a) バンドリング定義



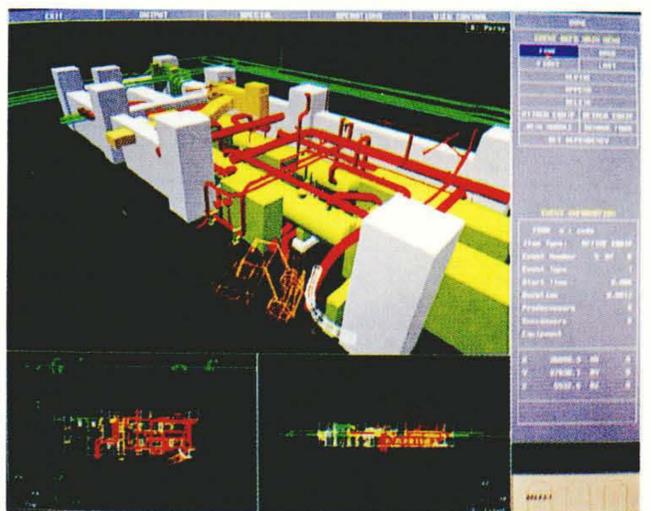
(b) バンドル一括搬入



(a) 搬入路決定



(b) 据付け位置



(c) 移動



(d) 持ち上げ

図7 バンドリング機能 (a)図：写真右欄の据付け最小ユニットを指定し、バンドル形状を作る。(b)図：定義したバンドルで搬入をシミュレートする。

(1) 据付け手順定義では、据付け最小ユニットのすべてを製品の種類によって区分し、特定の製品の種類に属する番号を付けて、ファイルに格納する。このファイルのそれぞれの据付け最小ユニットのナンバーは、据付け論理順序に従って配列される。本システムでは据付け優先クライテリアを設定して、据付けの論理順序を決定する。ここでは、クライテリアに優先順位を付けて適用することができ、ケースバイケースの据付け手順計画を可能にしている。しかし、実際の建設作業では、本クライテリアに基づく据付け手順では、据付けが困難な場合が生じる。そのような場合に備え、本システムでは対話処理機能を開発し、自動決定後の対話修正を可能とした。

(2) 作業ネットワークは、図10に示すように据付け最小ユニット間の関係、例えば据付け最小ユニットAの溶接作業完了後、ユニットBの開先合わせが始まるといった関連づけを、対話的に連続して行うことで構築される。この関連づけは、連続した据付け最小ユニットで構成される配管のような場合は、同じパターンを繰り返す場合が多く、コピー機能を持たせて対話処理時間の削減を図っている。

(3) アニメーション機能は、図11に示すように、コンピュータスクリーンの右端にスピードコントロールバーおよび時

図8 マテリアルハンドリング機器選定機能 マテリアルハンドリング機器ライブラリに登録したマテリアルハンドリング機器を選定し、実作業に合わせたシミュレーションを行う。マテリアルハンドリング機器の移動速度などの仕様は、実仕様を入力している。



図9 干渉チェック機能 据付け物を設定位置へ移動させたとき、軀(く)体との干渉が発生(赤ラインが干渉経路)する。



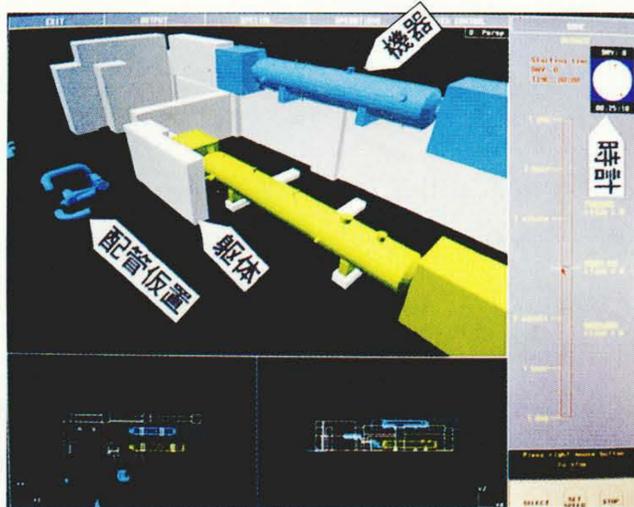
図10 作業ネットワーク定義機能 二つの据付け最小ユニット間の作業シーケンスの関連づけを対話で行うが、矛盾した関連づけは自動的に警告される。

計を備えている。スピードコントロールバーを使用して、ユーザーは任意のスピードのアニメーションを実行できるとともに、マイナス方向のスピードを与えることにより、分解のシミュレーションを表示することができる。また、画面右上の時計は、個々の据付け最小ユニットに与えられた作業時間の実時間を再現しており、各エリアの据付け進捗(ちよく)各時点までの所用時間、およびトータルの作業時間がわかる

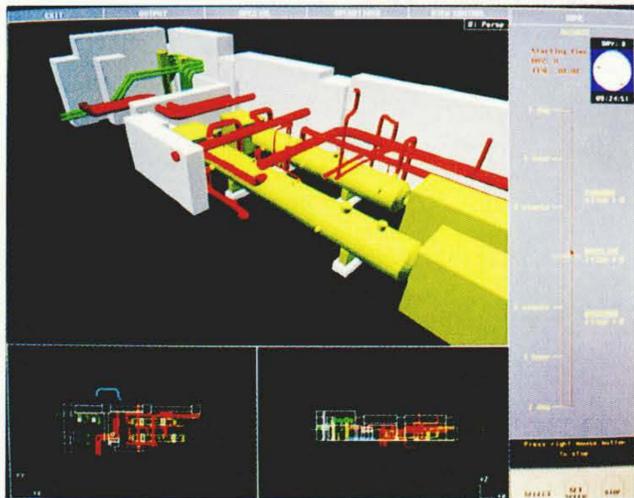
ようになっている。

2.2 評価システム

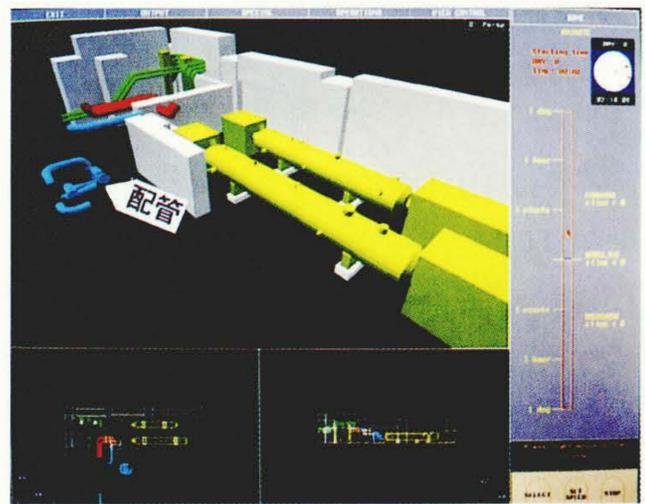
HI-ROTO/HI-UNITの主な目的は、異なる職種、異なる能力を持つ建設作業員による現場をコンピュータモデルで再現し、種々の建設作業の詳細なシミュレーションを実行することによって、より正確な作業所要時間の算出、および計画された手順どおりの据付けの妥当性の評価を支援するもので



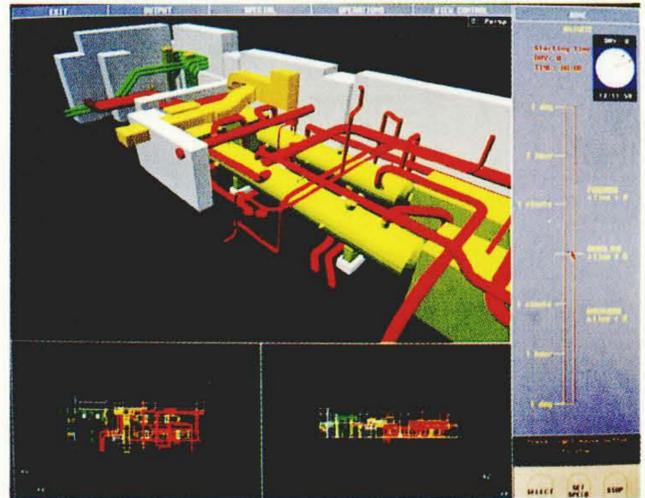
(a) 機器搬入



(c) 配管据付け



(b) 配管据付け開始



(d) 据付け完了

図11 建屋内据付けアニメーション エリア内の据付け手順を決定し、アニメーションで据付け作業を再現した。

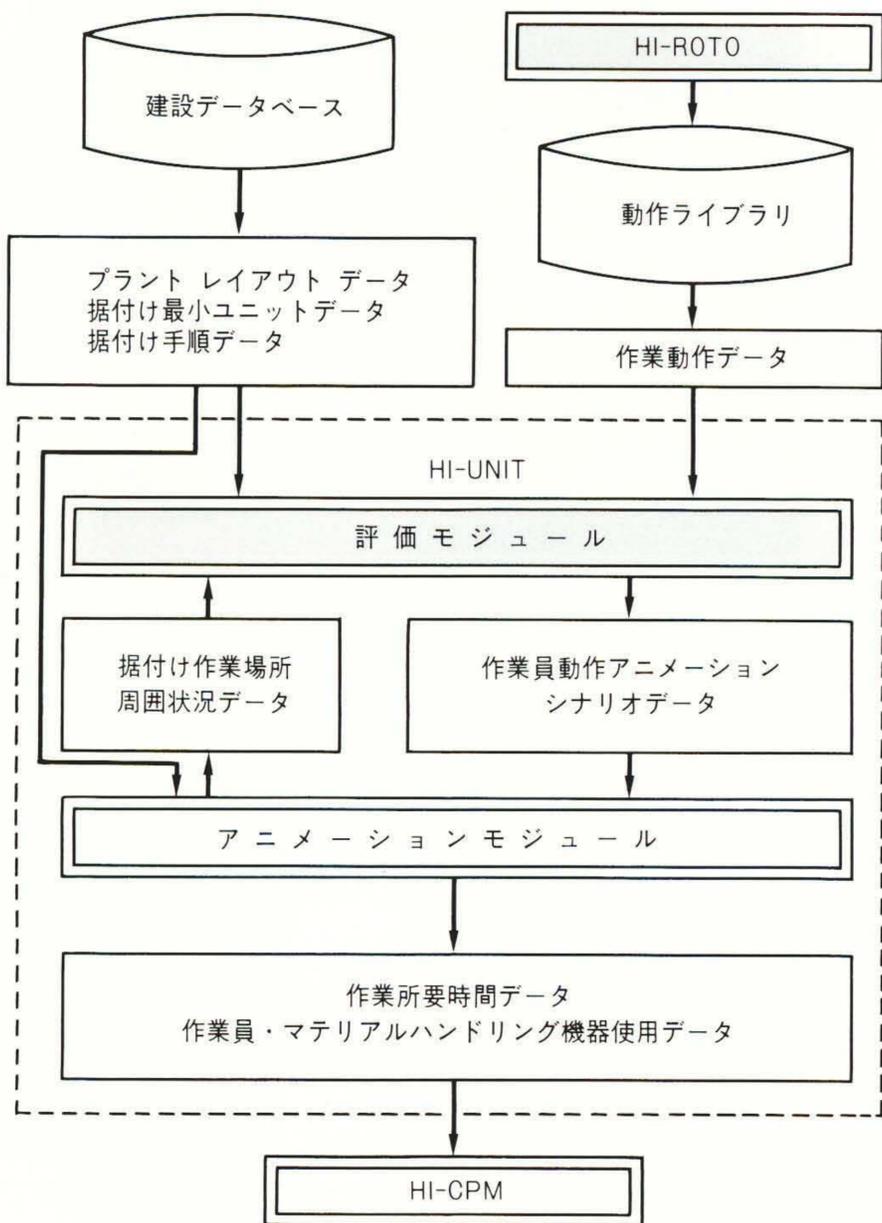


図12 評価システム・システム構成 評価システムは、人間動作の三次元アニメーションモデルを生成するHI-ROTOおよび据付け作業詳細アニメーションを実行し、作業所要時間を算出するHI-UNITから構成される。

ある。HI-ROTO/HI-UNITのシステム構成を図12に示す。

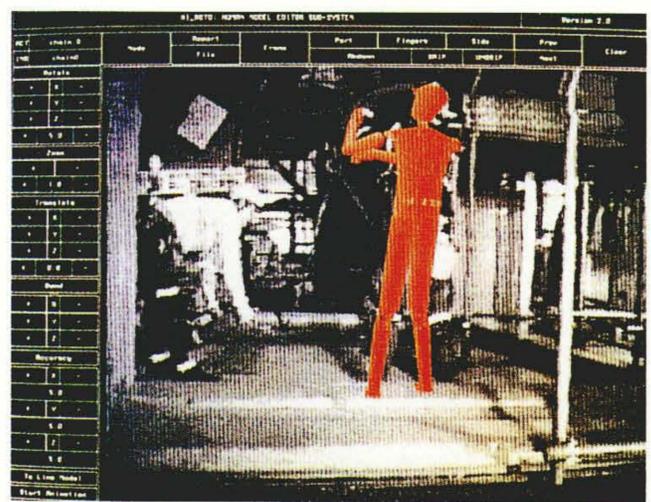
2.2.1 HI-ROTO

HI-ROTOは、各種建設作業での建設作業員の実際の動作とそのスピードをコンピュータモデルに変換することを目的に開発したものである。HI-ROTOは、VTRで撮影した建設作業員の動作をコンピュータ内三次元人間モデルのアニメーションデータに変換するものであり、変換されたアニメーションデータは、HI-UNITプログラムで、個々の据付け作業の作業終了時間の計算に使用される。画面表示例は図13に示すとおりである。

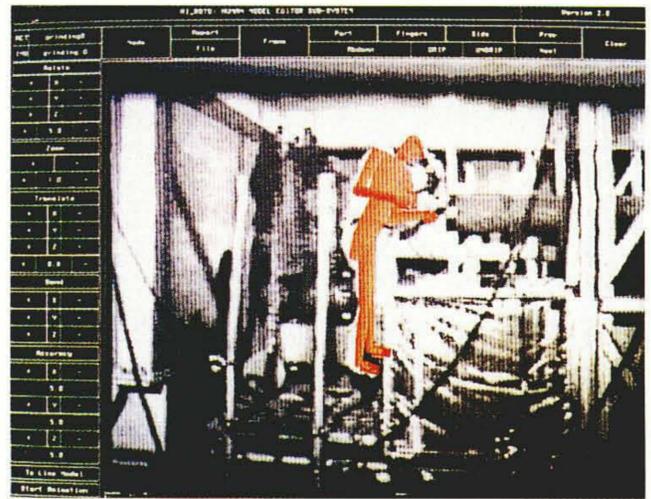
2.2.2 HI-UNIT

HI-UNITは、作業員動作を含む据付け作業の詳細アニメーション、および個々の据付け作業の作業所要時間の計算を行うものであり、概略以下の手順で実行される。

- (1) 3D-CADデータ、据付け手順データ、搬入経路データなど、必要なデータを建設データベースによって自動的に読み込む。また、HI-ROTOプログラムで生成された動作ライブラリから、人間動作データを自動的に読み込む。
- (2) 読み込まれたデータをもとに、据付け前のレイアウトを



(a) チェーンブロック作業



(b) 溶接作業

図13 HI-ROTOロトスコーピング実施例 コンピュータスクリーン上に、VTR画像を表示し、その上に三次元人間モデルを重ね合わせ、人間の動作データを作成していく。

表示し、据付けに必要なマテリアルハンドリング機器モデルを配置する。

- (3) 作業が発生するエリアに「作業空間」を表示し、作業空間に至るまでのマテリアルハンドリング機器による据付け最小ユニットの搬入アニメーションを実行する。
- (4) 据付け手順を反映した人間動作のアニメーションシナリオファイルを生成する。この際、作業動作スピードは、作業空間の混雑度、作業条件、作業者の職種など種々の条件を考慮して決定される。
- (5) 生成されたアニメーションシナリオファイルのデータから、作業空間内の人間動作を含む作業詳細アニメーションを実行する。
- (6) 個々の据付け作業の作業時間および使用された各職種の人員、マテリアルハンドリング機器の種類および台数を計算し、出力する。HI-UNITでの据付けアニメーションの実行例を図14に示す。

(a) 混雑度の評価

HI-UNITで据付け作業の各作業空間での「混雑度」を評価する機能を開発した。混雑度は、各作業空間に存在する物品の量によって左右されるものであり、作業所要時間を増大させる係数として定量化した。混雑度の定量化を行う

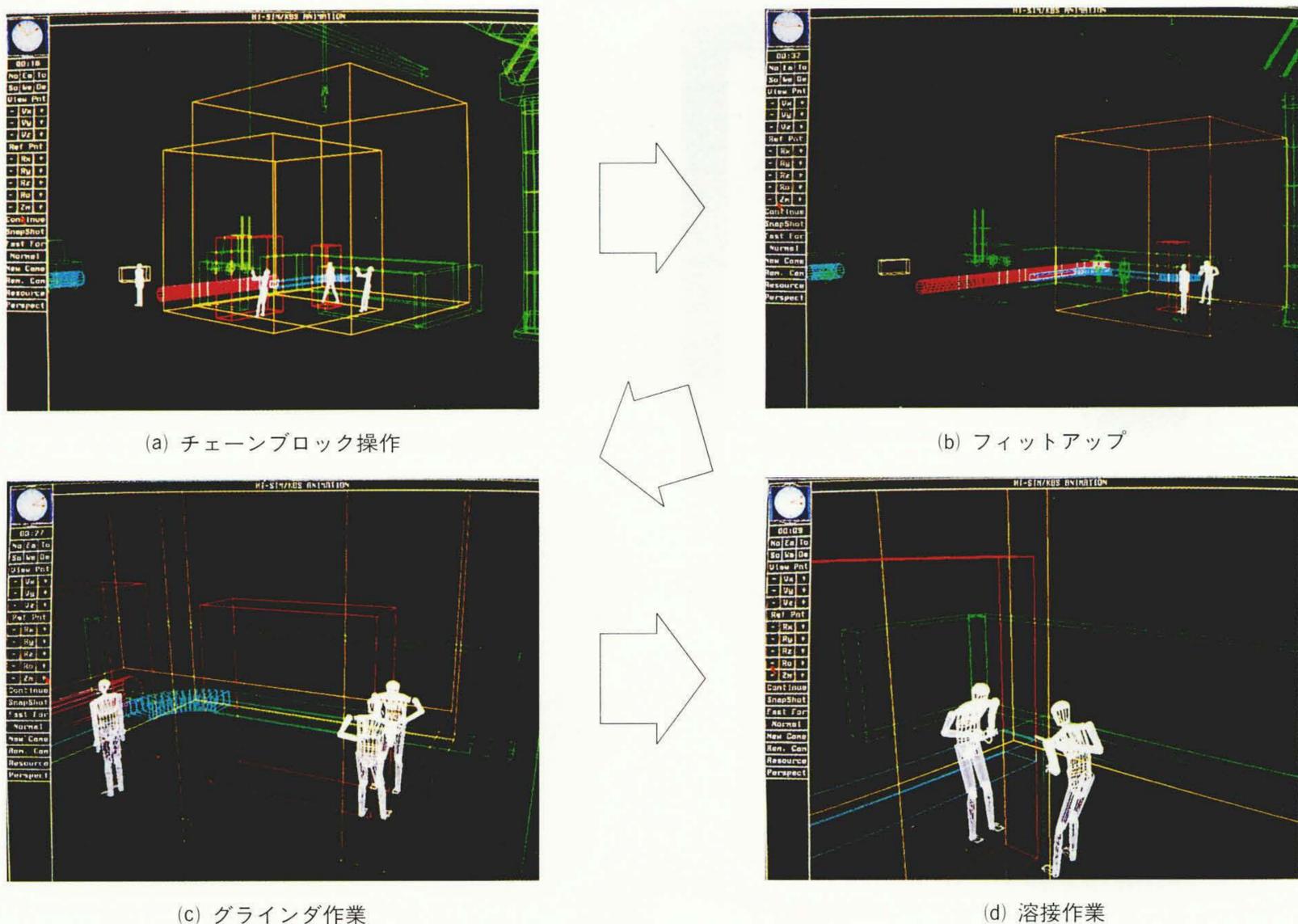


図14 据付け作業動作シミュレーション マテリアルハンドリング機器による据付け最小単位の搬入作業，および作業員動作の正確なアニメーションを実行する。

にあたり，TMV(作業空間ボリューム)およびVOO(障害物占有ボリューム)という二つの量を定義する。TMVは人間の動作が及ぶ空間の体積であり，VOOはこの中に存在する既設置の配管，機器などの障害物の体積である。これら二つの「量」は第三の「比率」，PUV(障害物非占有率)を定義するために用いられる。PUVを(1)式で定義する。

$$PUV = (TMV - VOO) / TMV \dots\dots\dots(1)$$

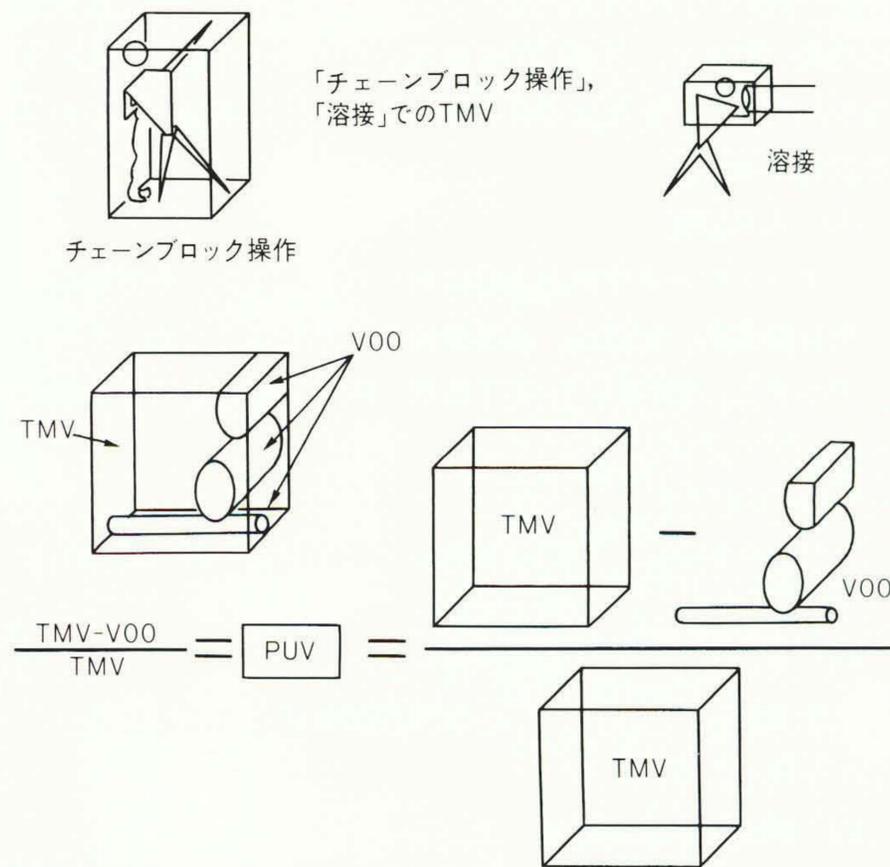
PUVの概念は図15に示すとおりである。混雑度と所要時間の増大の関係については，所要時間の増分量 Δt をPUVの関数として次式で表現される。

$$\Delta t = f(PUV) \dots\dots\dots(2)$$

しかし， $f(PUV)$ 関数の導出を理論的に行うことは，実際には困難である。現状は，過去の経験から判断して $f(PUV)$ 関数をプログラム化しているが，今後実際の作業での混雑度と作業時間の関係を実測し，その値の比較検証をしたうえで，プログラムの中に， $\Delta t = f(PUV)$ 多項式の形で組み込む予定である。

(b) 作業効率の評価

HI-UNITで，個々の作業員によって異なる作業効率のばらつきを評価する機能を開発した。これまでの経験から，作業効率は正規分布を示すものと考えられ，プログラム内



注：略語説明

- PUV (Percentage Unobstructed Volume：障害物非占有率)
- TMV (Typical Movement Volume：作業空間ボリューム)
- VOO (Volume Occupied by Obstructions：障害物占有ボリューム)

図15 混雑度評価-PUVの定義 混雑度を定量化するにあたり，PUVを定義する。PUVはTMVとVOOから算出する。

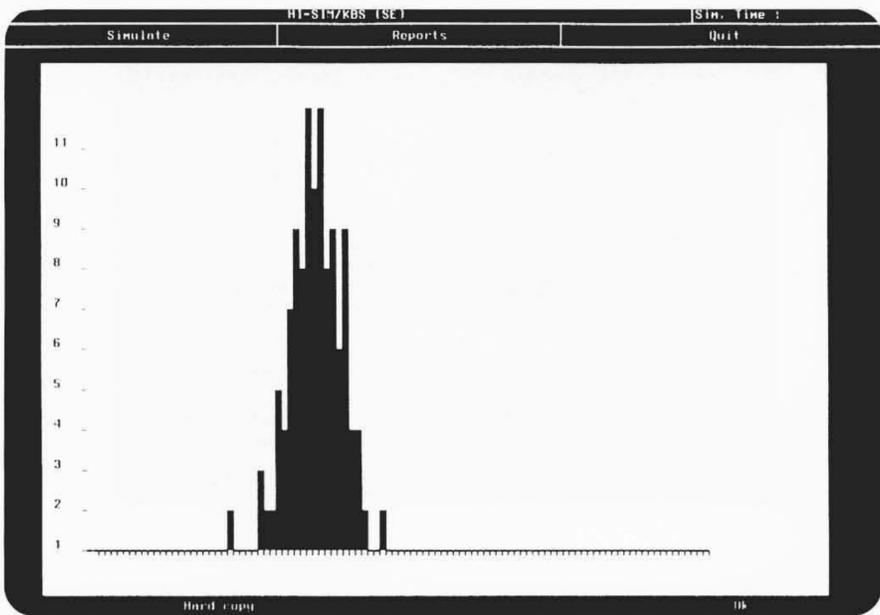


図16 配管据付けシミュレーション結果の据付け予想時間頻度分布
個々の作業に正規分布関数の作業効率を与え、同じ配管据付けシミュレーションを100回繰り返した場合の据付け作業予想所要時間の頻度分布を示したものである。

に、正規分布関数を任意に指定できるように組み込んだ。作業効率は、直接的に個々の作業所要時間に影響し、最終的には据付け終了時間に影響する。作業効率を考慮した場合の据付け終了時間の予測結果を図16に示す。

2.3 スケジューリングシステム(HI-CPM)

(1) 機能概要

本システムの基本構成を図17に示す。本システムは工程の入力、表示、調整、出力および実績管理ができる一貫した工程計画管理システムである。特に工程解析手法の一つであるCPM(Critical Path Method)法をベースとした自動工程最適化機能に加えて、対話式修正機能を持ち、より最適な工程を効率的に作成できるようにしている。以下に本システムの主な機能を示す。

(a) 入力機能

ネットワーク中の各作業に対して、作業名、作業期間、先行作業名、資源名、必要資源量を対応づけて表した作業データと、作業実施・完了時期に関する制限を表した制約条件データを与える。

(b) 工程図表示機能

ネットワーク図とガントチャートの利点を持つ統合的な工程図を表示する。

(c) 平準化機能

作業調整範囲の限定および作業調整順序の決定により、平準化を行う。

(d) 作業期間調整機能

本機能は対話により、作業開始時期の変更および作業期間の変更が可能である。

(e) 制約条件違反と自動解消機能

制約条件をルールで知識ベースに記憶し、知識工学的手法を用いて違反を自動的に検出して解消する。

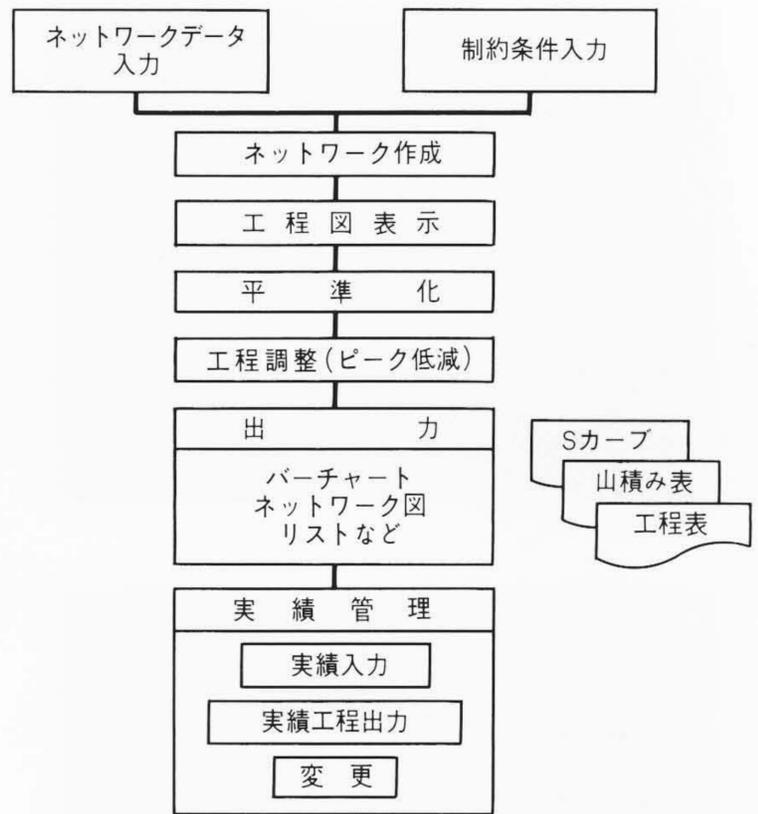


図17 HI-CPM基本構成 工程の入力、表示、調整、出力および実績管理まで含む一貫した工程計画管理システムである。

(f) 出力機能

最適化工程データを使用して、工程表、資源山積み表、Sカーブなどのプロッタおよびグラフィック画面出力が可能である。

(g) 実績管理機能

終了日、完了パーセントおよび完了期間・残期間を入力することにより、CPM再計算などを実施し予実算管理およびインパクト評価を実施する。

現地人員のピーク平準化の例を図18に示す。

2.4 プロジェクト管理システム

本システムは、POC(物流管理システム)、CARAVAN(工

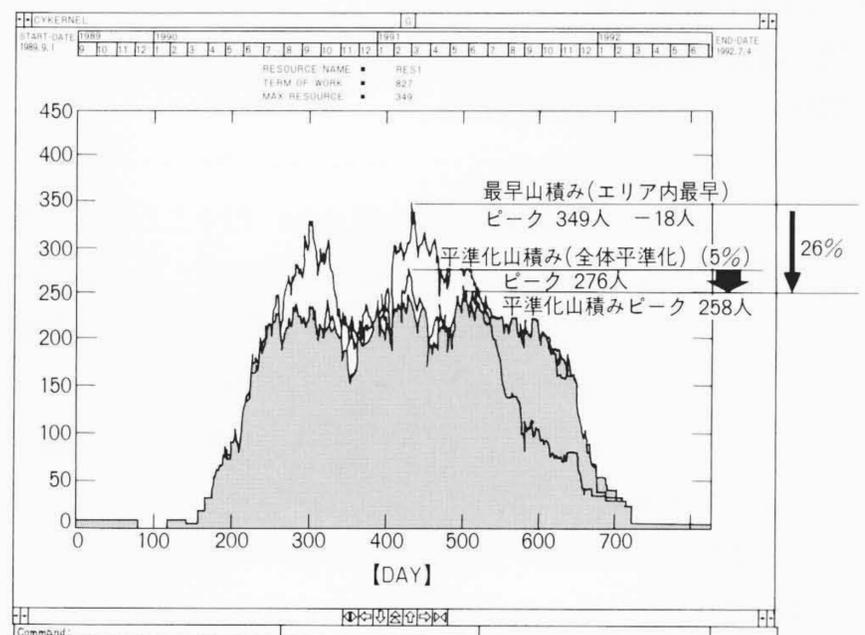
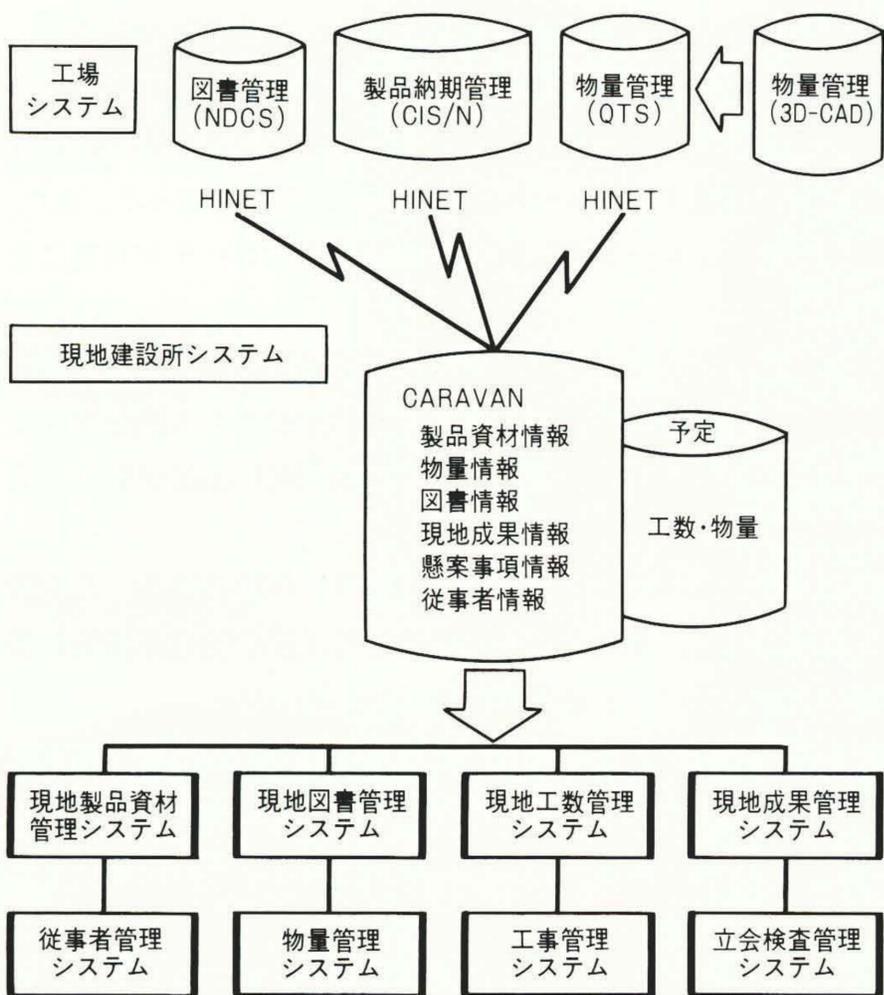


図18 人員山積み比較例 エリアの最早工程から自動平準化を行い、対話でピーク低減を実施することにより、26%のピーク値が改善された。



注：略語説明

- NDCS (Nuclear Document Control System)
- CIS/N (Computer Integrated Schedule Information System for Nuclear Production Control)
- QTS (Quantity Tracking System)

図19 現地建設管理システム体系 上流側の各工場システムから、管理予定データが現地建設所へ回線を通じて伝送される。現地建設管理システムは八つのサブシステムから成り、有機的に情報の授受を行っている。

事管理システム), およびC-DSS(据付け管理支援システム)の3システムから構成されている。

工場と現地はオンライン化されているため、工場、現地のどちらでも必要なときに必要なデータが得られ、現地実績データの的確な把握、予実算管理および各種レポート発行機能による高精度で多角的なプロジェクト管理が可能となっている。

CARAVANシステムの体系を図19に、また建設状況のステータス表示の例を図20に示す。

2.5 データベースシステム

三次元プラント建設計画CAEシステムに関連するデータベースシステムは、図21に示すように大きく3種類に分類できる。これらのデータベースは、建設計画CAEシステム(据付け手順シミュレーションシステム、スケジュール管理システム、プロジェクト管理システムなど)で使用しており、設計の上流側に位置する3D-CADデータベースから、三次元形状データ、設計情報などを取り込み、建設計画で発生した各種情報を登録、一元化管理している。本データベースはリレーショナルデータベースを採用しており、エンジニアリングデータベースによく見受けられるデータ構造の変更、データ項目の追加、変更、削除などに柔軟に対応でき、さらにハードウェア環境

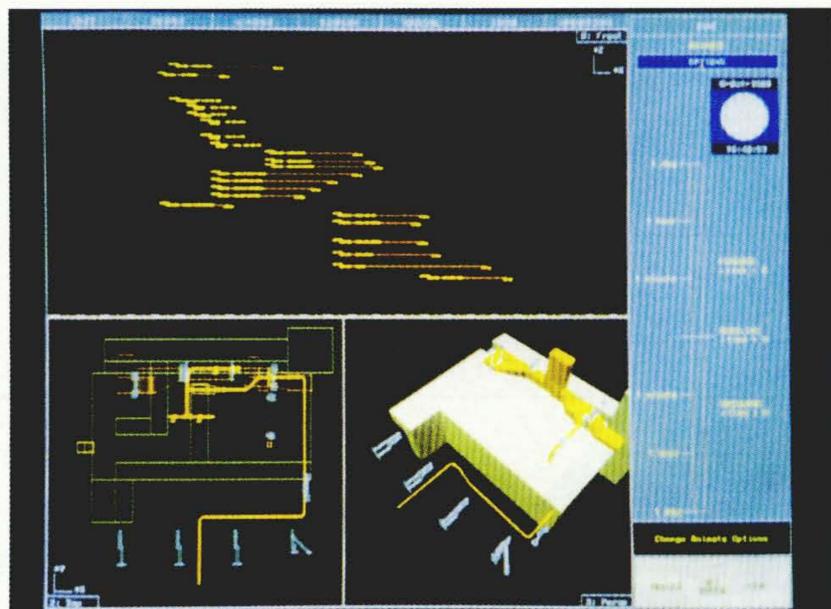


図20 建設状況ステータス表示 図は任意の時期に対する建設状況を表示した例であり、工程上にその時期が明示されている。

を考慮して、それぞれのデータベースをホストコンピュータ、ミニコンピュータあるいは高性能グラフィックワークステーション上に適材適所配置している。次に、それぞれのデータベースの主な内容および特徴について述べる。

(1) C-CAEデータベース

C-CAE(コンストラクションCAE)データベースは、建設計画を行う各種CADシステムのデータを一元化している。これらのCADシステムは、大量のデータのロード・アンロードが発生するため、応答性の観点から大量データのロード・アンロードに弱いリレーショナルDBMS(Data Base Management System)の欠点をカバーするため、いったんデータベースからASCII(American Standard Code for Information Interchange)ファイルへコピーして、データのロード・アンロードに要する時間の最小化を図っている。またその際に、DBMSの整合性環境から離れてしまうため、ロードしたデータにロックフラグを立て、同一データが同タイミングでトランザクションを起こさないよう考慮し、データの整合性、信頼性を確保している。

(2) CPMデータベース

CPM(Critical Path Method)データベースは、工程計画に必要な情報を、上流側のC-CAEデータベースで作成された据付け手順情報をベースに、詳細工程管理を行うための情報(作業名、作業期間、先行作業名、資源名、必要資源量、CPMネットワークデータなど)を一元化している。

(3) CDBデータベース

CDB(Commodity Data Base)データベースは、物量、図書、現地成果管理情報などを工場～現地間で運用している。この際、現地へのデータ転送が確実に行われていることをチェックするため、現地コンピュータで転送データ処理が正常終了した後、再び工場へフィードバックし、整合性チェックを実施し、データの不整合や転送ミスをなくしている。

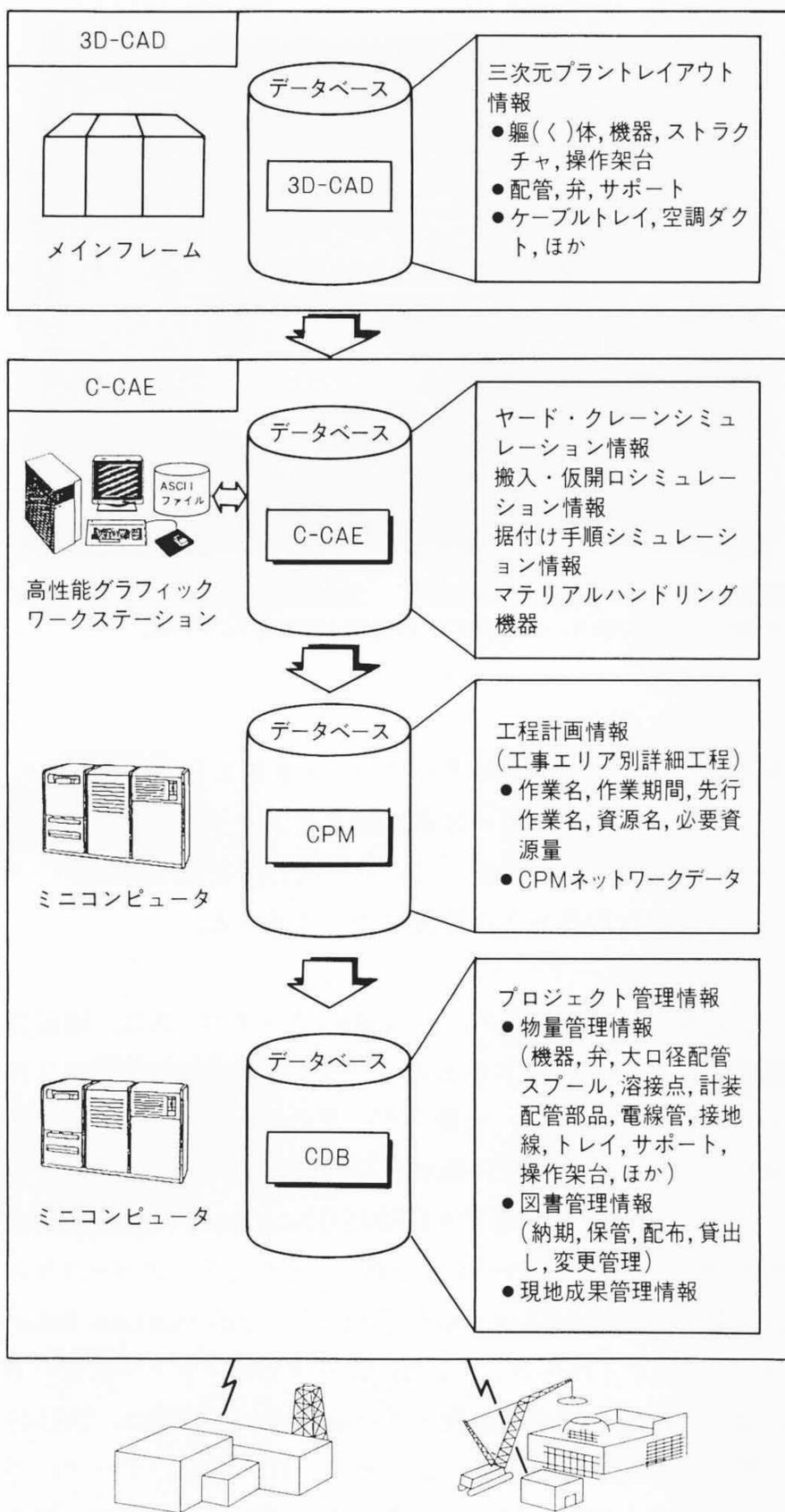


図21 建設データベース 設計の上流側に位置する3D-CADデータベースから必要情報を取り込み、建設計画で展開したデータは、3種類の建設データベースに一元化管理される。

3 結 言

原子力発電プラントの建設計画に3D-CAD、コンピュータシミュレーション、コンピュータグラフィックスなどの最新技術を取り入れた新しい計画手法として、「原子力発電プラントコンストラクションCAEシステム」を開発した。本システムを実機プラントに適用することにより、プラントのレイアウト計画から建設計画に至るトータルシステムとして、次のような効果が期待できる。

(1) C-CAEシステムは3D-CADで計画された範囲の最適建設計画ができる。また、本システムは3D-CADモデル、据付け

最小ユニット、作業項目、スケジュールそれぞれの関係を一一つ定義し、修正することができる。

(2) 建設作業シミュレーションシステムによる手順の最適化ができ、建設スケジュールの精度向上が可能になった。また、種々のシミュレーションによる最適化アプローチが可能になった。

(3) 評価システムにより、実際の建設段階での問題発生前に計画段階での搬入性、据付け性、作業性などを人間動作シミュレーションを行い、計画段階での問題点の摘出が図れ、先手解決ができる。

(4) スケジューリングシステムにより、資源の配分、工数積算を最適化し、現場建設上の混乱と再工事の発生を低減し資源の有効活用による必要資源の低減が図れる。

(5) プロジェクト管理システムにより、据付け品の納期が明確に定義され、ジャストインの物流管理が可能となる。また、工事進捗状況・成果をデイリーに把握でき、その問題点を早期に発見できる。

(6) データベースシステムに登録された各種プロジェクト管理データに基づいて、必要な報告書が出力される。また、データベースを介して工事支援システムへ連携され、建設支援ロボット開発の加速が期待できる。

(7) その他、工事計画が非常に複雑で、工事にかかわる技術者が十分なトレーニングを必要とする場合に、C-CAEは三次元モデル、工事計画のアニメーション画像および注釈の付いた図面を使いながら工事計画、作業者のトレーニングおよび工事計画のいろいろな側面からの評価に利用することができる。

以上により、プラント建設計画の効率向上が可能となり、工場計画部門と現地のコミュニケーションが改善され、初期の目的である質の高いプラント建設を短工期に、かつ工事の安全を確保しながら建設できることが期待される。また、システムとしてレイアウト計画と建設計画を同期化できるようにしたことは、高く評価されるものと考えられる。今後は本システムの個々の改良を図りながら、原子力プラント以外のプラントにも適用拡大ができるようにし、すべての建設計画および管理を工場側のコントロールセンタで実施できるプラント統合CAEシステムの開発、および総合データベースの開発を引き続いて行い、プラント建設の工事効率向上および工期短縮に寄与したい。

参考文献

- 1) 好永, 外: 三次元プラントレイアウト計画CADシステム, 日立評論, 68, 4, 325~330(昭61-4)
- 2) T. Yoshinaga, et al.: Construction CAE, Ans. Winter Meeting, Nov.(1987)
- 3) T. Yoshinaga, et al.: Automated Work Simulator: A New Wave in Project Management, PMI '89, Oct.(1989)