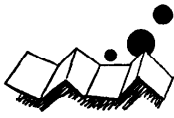


解説



プラント設計における CAD†

東山 尚†† 細井 敏 男††

1. はじめに

プラント設計における設計図面、設計仕様書、設計情報の作成、保管、検索、進捗管理にコンピュータを積極的に活用し、設計品質の向上と設計業務の効率化のためのシステム化が進展している。

システム化は、設計解析・計算、作図、材料集計、積算などを一貫して行う総合設計システムとして各設計分野で行われ、効果を上げてきた。一方、コンピュータ・グラフィックスの機能を充分活用した対話型作図システムおよびデータベース管理システムを核として、プラント設計に携わる各分野の多数の設計者がプラントの設計情報、系統図、配置図、基礎図、配管図などをコンピュータを介して相互に利用できる総合的な設計支援システムの構築が進められている。プラントを構成する機器・配管の3次元レイアウト設計；膨大な機器、配管、土木建築、電気計装などの設計仕様、材料購入、工事仕様などを数百人の設計者が利用できるエンジニアリング・データベースおよび設計文章、設計値、設計図、画像イメージなどを編集し、より高度な内容を表現できる情報を含む文書化のためのドキュメンテーションシステムの確立が重要な課題となっている。

2. プラント設計における CAD の進め方

プラント設計におけるエンジニアリングでのコンピュータの活用は、設計技術の向上、設計品質の向上を中心に展開されている。

設計技術の向上の面では、設計解析・設計計算、材料集計、積算、作図などの機能を含む一貫処理を行う総合設計システムから、対話型作図システム (IGS; Interactive Graphic System) および図形・画像出力処理システムを使用した CAD システムの機能を活用

し、各分野の設計情報のエンジニアリング・データベースを介して、設計解析・計算機能および設計業務管理機能などと結合した CAE (Computer Aided Engineering) システムの開発が当面の課題となっている。

設計品質の向上の面では、複雑なプロセス、構造物などの解析を種々の条件下で行い、機能・性能、安全性、操作性、環境保全などの各方面から検討を加え設計を進めることが行われている。

3. デザインエンジニアリングシステムの総合化

プラント設計は、数拾人から数百人のエンジニアが知識・知恵を駆使し、理論と経験により裏うちされたノウハウを活用して行う非常に人間的な仕事である。

このため、コンピュータは設計支援システムとして直接的にエンジニアの設計解析計算、設計書や設計図面などの設計仕様の作成、材料・作業量集計、見積積算を行い、各設計分野間でのコミュニケーションを迅速に正確に行うシステムとして総合化されてきている。

一方、エンジニアの創造性と設計の効率化の支援のため、設計情報管理、設計業務管理の機能およびエンジニアリングワークステーションによる設計図・文書作成機能を設計支援システムに附加し、マン・マシンシステムとして総合的にとらえ、トータル・デザインエンジニアリングシステムとする必要がある。

このトータルシステムの構築は、図-1 に示す総合エンジニアリングデータベースと、図-2 に示すエンジニアリングワークステーションの機能強化が、情報処理およびコンピュータ技術の発展と共に段階的に進化しながら完成してゆくものであろう。

定められた手順による設計の処理は、CAD から CAE へと発展し、コンピュータ内に蓄積された情報にエンジニアの知識と知恵を加えて設計するシステム化が急速に実用化されだしている。

† Computer Aided Design System for Plant Design Engineering
by Takashi TOHYAMA, Toshio HOSOI (Computer Systems
Department, Chiyoda Chem. Eng. & Const. Co., Ltd.)

†† 千代田化工建設(株)システム部

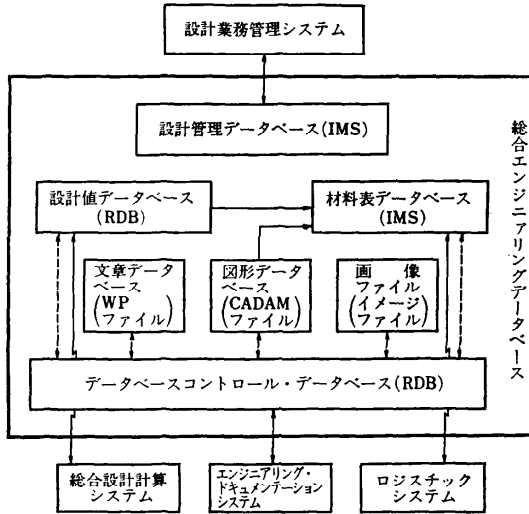


図-1 総合エンジニアリングデータベース

特に、プラント設計では各分野のエンジニアが、コンピュータに記憶された数値情報、文章情報、図形情報、画像情報を対話形式で利用し、各種の設計解析を行うと共にエンジニアの知識を追加し設計仕様書、設計図面類を作成する CAE を総合エンジニアリングデータベースとエンジニアリングワークステーションを中心に開発中である。

総合エンジニアリングデータベースは、多数のエンジニアが一元化されたデータベースの情報を同時にオンラインでアクセスすることができるシステムとして

発展させてゆく必要があると共に、数値、文章、図形、画像を効率的に対話形式で処理する支援ができるデータベースとしてハードウェア・ソフトウェアの両面からみて実用的なシステムとすることが重要である。

このため、現在の情報処理技術では、情報間の関連性とアクセス形式および情報量の点から、それぞれの情報群のデータベース化に適した方法を採用しなければならない状況にある。特に、情報間の構造が見方により変る傾向がある設計値のデータベース、および数値、文章、図形、画像などの異質の情報間の結合状況を管理するデータベースなどに RDB (Relational Data Base Management System) を活用することが始まっている。現在、多重アクセスを行いながら膨大な情報を効率的に取扱える RDB の出現が特に望まれている。

マン・マシンシステムとしては、エンジニアが使いやすいインタフェースが、データベースなどのサポート下で、複合機能のターミナルとして開発される必要がある。これはグラフィック表示機能に、操作性の良い操作卓を付け、図形処理、文章処理、計算処理などを局所的に行うエンジニアリング用のインテリジェントターミナルとして、今後の機能強化が要求されているものである。

現在は、CAD の図形・画像処理ターミナルに、より多くのインテリジェント機能を附加してゆくなかで、これからのエンジニアリング・ワークステーション

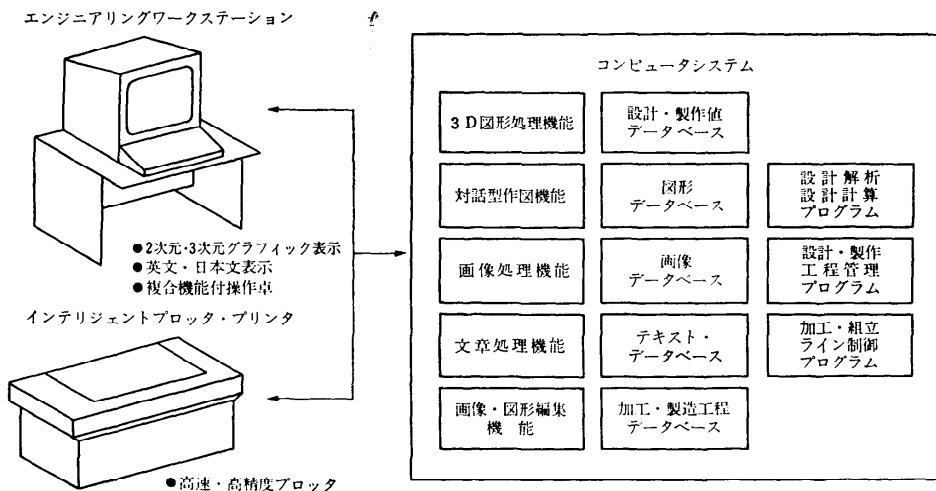


図-2 エンジニアリングワークステーションの機能

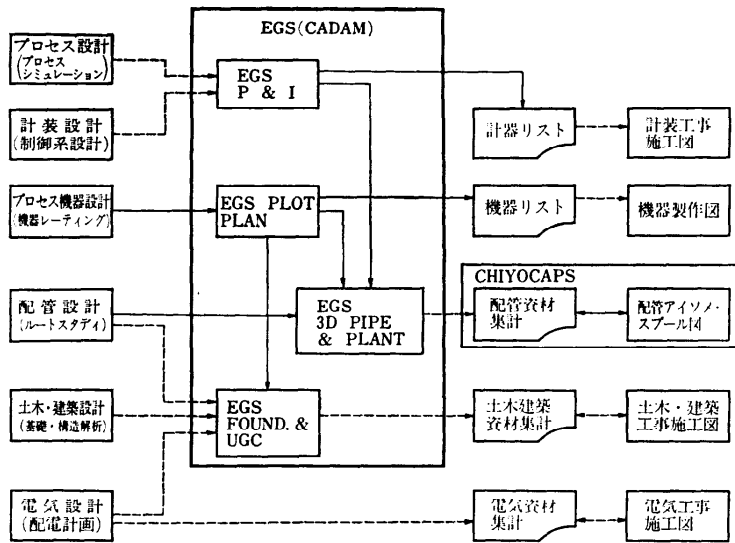


図-3 総合設計システムの概念

んの位置づけを決めようとしているところである。

これらのデータベース、ワークステーションを活用できる体制を準備するため、ホストコンピュータ処理による対話型図形処理システムとしてCADAM(Computer-Graphics Augmented Design And Manufacturing)とワードプロセッサ機能 DCF (Document Composition Facility) を各種設計処理システムに結合させ、設計ロジックの自動計算処理や設計書類の自動編集などを行い、エンジニアの負担を軽減させることができるシステムとして総合化を図-3に示すように進めている。次に、この中心となっているエンジニアリング・グラフィックシステムについて述べる。

4. エンジニアリンググラフィックシステム (EGS)

プラント設計では、各種設計値をもとに図形出力を行い設計を行う方式と、各種図形情報をもとに設計情報を作り設計を行う方式とがある。

前者は、プロセスシミュレーションや構造解析などの計算結果または入力データをターミナル上に図形表示し、コマンドにより設計解析を進めるもので、技術計算プログラムに図形処理機能を組み込み、プログラムの開発が容易なシステムとして、IBM 3277 GAS を活用し、TSS として使い易い環境を設けている。

後者は、プラント設計を行う上での核となるメカニカルフローダイアグラム (P & I)、プラント配置図

(Plot Plan & Elevation)、土木・建築基礎図 (Foundation Plan & Underground Composite Drawing (UGC))、3次元配管・プラント配置図 (3D Pipe & Plant Layout)などをロックード社が開発した対話型作図システム CADAM により作図し、図面間の整合性、図面品質の向上、図形情報の設計システムでの有効利用を目的に導入し活用している。

現在、これらのシステムをEGSと呼び、図-4に示すハードウェア構成により使用している。EGSでの図形情報は、図-5に示すインタフェースによりエンジニアリングシステム内で位置づけられている。

CADAMの機能としては、(1)対話型モジュール、(2)図形インタフェースモジュール、(3)アカウンティングモジュール、(4)統計モジュール、(5)データマネージメントモジュール、(6)ハードコピーモジュールが2次元図形処理システムで利用されている。一方、3次元配管・プラント配置図形処理システムのため、(7)3Dサーフェス図形モジュール、(8)3Dメッシュ図形モジュールの機能を拡充し、システム開発を進め、3次元グラフィックスの効率的な設計への応用方法を検討中である。

CADAMでは、作成した情報は、それを必要とする者は誰でもとり出すことができることを特長としており、CADAM図形データベースはデータ・マネージメントモジュールにより、管理・制御され、合せて機密保護およびファイル保護の機能を有している。

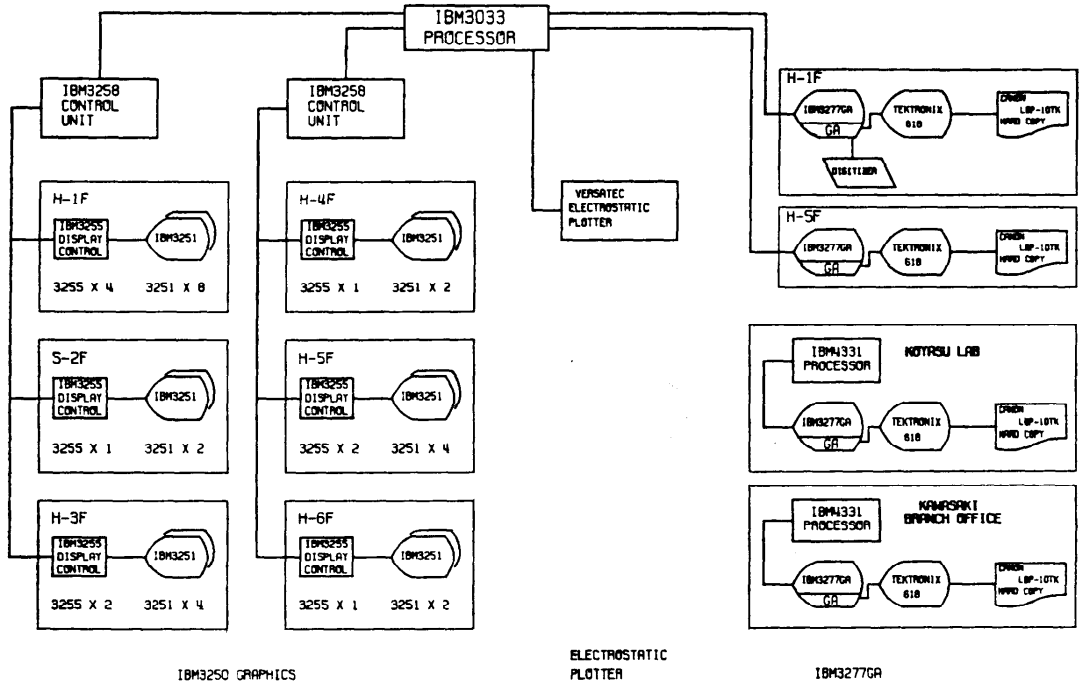


図-4 千代田化工におけるグラフィックシステム

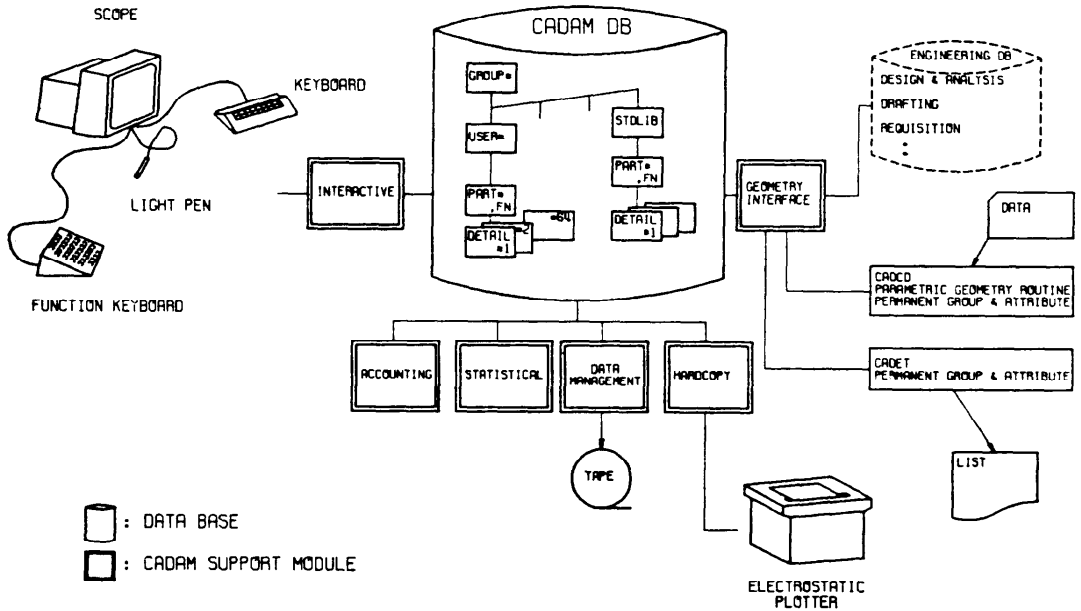


図-5 CADAM インタフェースの構成

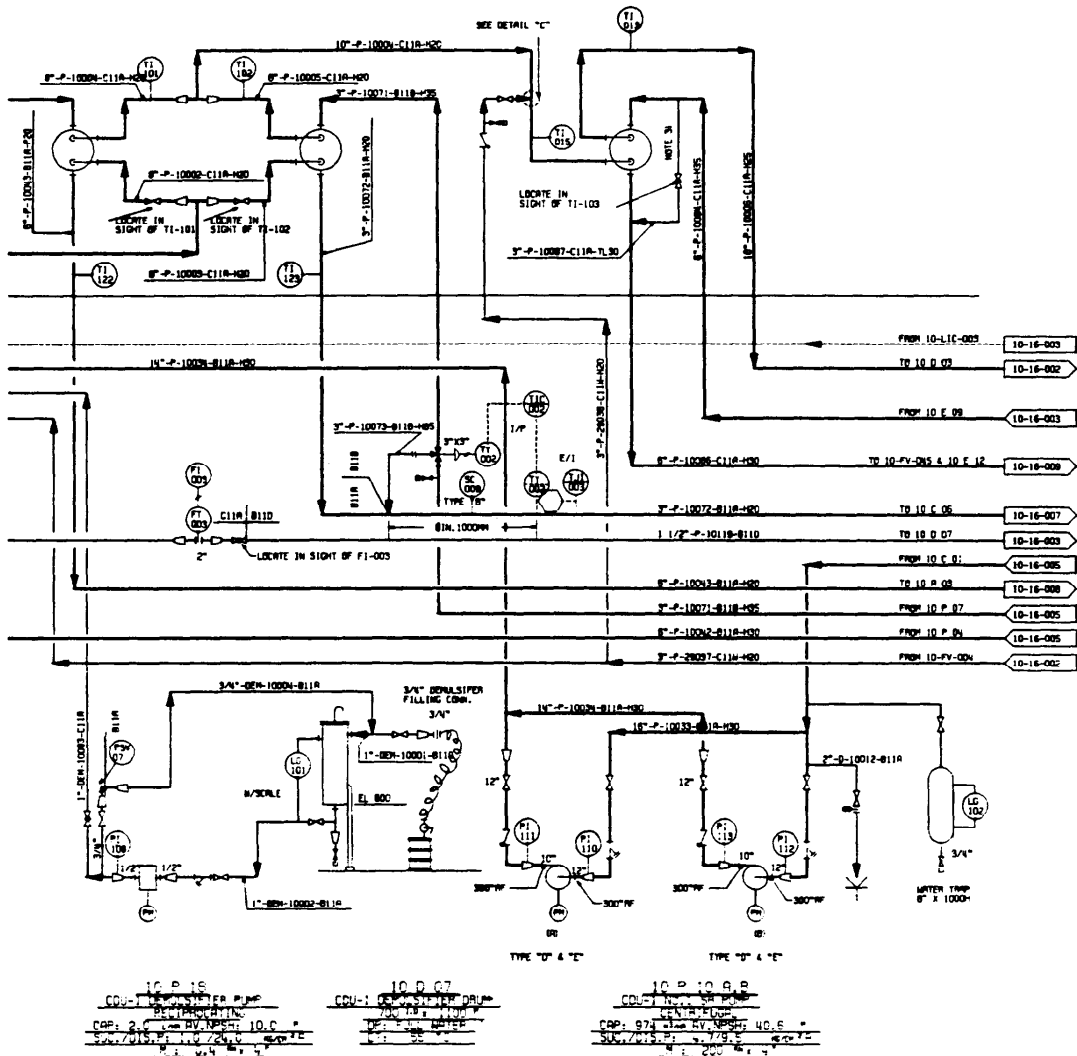


図-6 P & I ダイアグラムの例

また、この図形データベースにユーザが入力するサブルーチン (CADCD), CADAM 図形データベースから図形データと属性データをユーザが受けるルーチン (CADET) が図形インタフェースモジュールとして機能をしており、ユーザプログラムとの一体化が可能となっている。特に、図形要素に属性 (Attribute) を与えることにより作図中の図形要素の照会が可能となり、図形情報と設計情報の結合を深めることができる。

これらの機能に、今までの設計ノウハウにもとづく

ユーザプログラムの機能を組合せ、エンジニアが使いやすいマンマシンインタフェースを開発し、総合設計支援システムとして充実させてゆくところである。

4.1 P & I ダイアグラムの CAD

一般に、プラントの構成は、P & I (Piping & Instrument Diagram) により、図-6 のごとく表現される。

この作図は 図-7 に示す様に、図中のシンボルを、CADAM のシンボル機能を利用し、シンボルライブラリに登録し、ユーザがターミナルから対話型式で呼

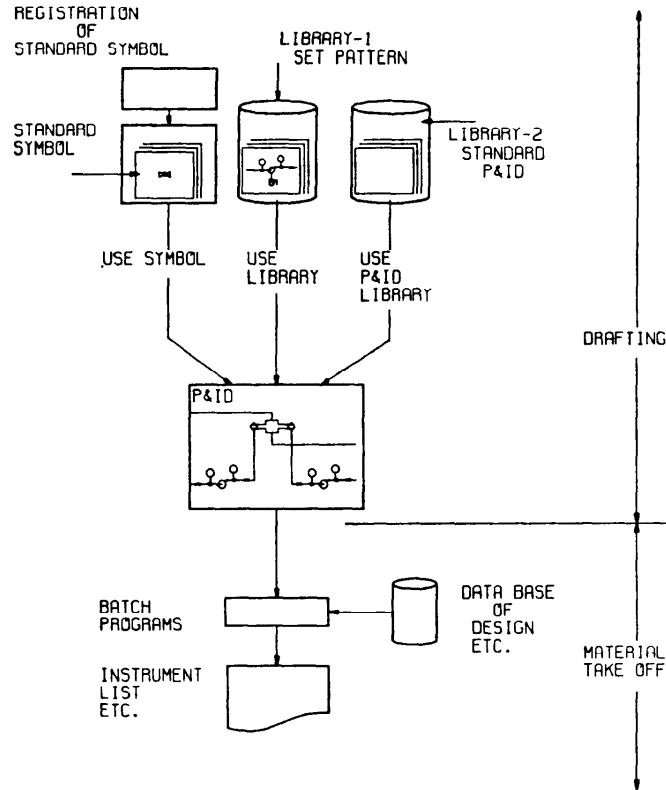


図-7 P & I ダイアグラム作成に必要な情報と手順

出し、ディスプレイ画面上に表示し、配置し、それらをラインで結合しながら、P & I を作成してゆく。また、シンボルなどに属性を附加し、ユーザプログラム・インタフェースの CADET を利用し、計器リスト、バルブリストを出力することができると共に、マクロ・ジオメトリ機能を使用し、部品リストプログラムを実行させることにより材料表をオンラインで作成することができる。

このため、P & I などを使用するシンボルの使用頻度を調べ、シンボルが使われやすいように分類整理することが重要である。

4.2 プラント配置の CAD

各種のプロセス機器、タンク、構造物などを機能的に、安全な操業運転ができるように、建設・保全作業が容易であるようになどの多くの観点から技術的検討を加えた後、更に経済性を加味しプラント配置図を作成している。

この作図は 図-8 に示す方法で行われている。このため、プラント配置図では、塔、熱交換器などの機

器または関連する構造物の形状を、CADAM の図形定義サブルーチン（ライン、サークルなど）を使用し作図プログラムを作成し、機器・構造物ライブラリを 図-9 のように作成しておく。一度プログラムが作成されると、ユーザは、各機器のレーティングを行った結果にもとづき、各機器の機器番号、機器名称、寸法パラメータを入力し、プログラムを実行することにより、図形データベースに各機器形状を登録することができ、あわせて機器リストを得ることができる。

この登録された機器を対話形式で、ディスプレイ画面上に配置し、プロセス配置図を作成することができる。これは、CADCD ルーチンを使用して作成した作図プログラムを、マクロジオメトリ機能を使用することにより、対話形式で画面上にて各パラメータを指定することができ、設計変更に対応し効率的に迅速な処理をすることもできる。

特に、CADAM 図面の 1 要素または要素グループに対して任意の情報を付加できる。この情報は、属性と呼ばれ 5 桁の属性番号と 72 文字以内のテキストか

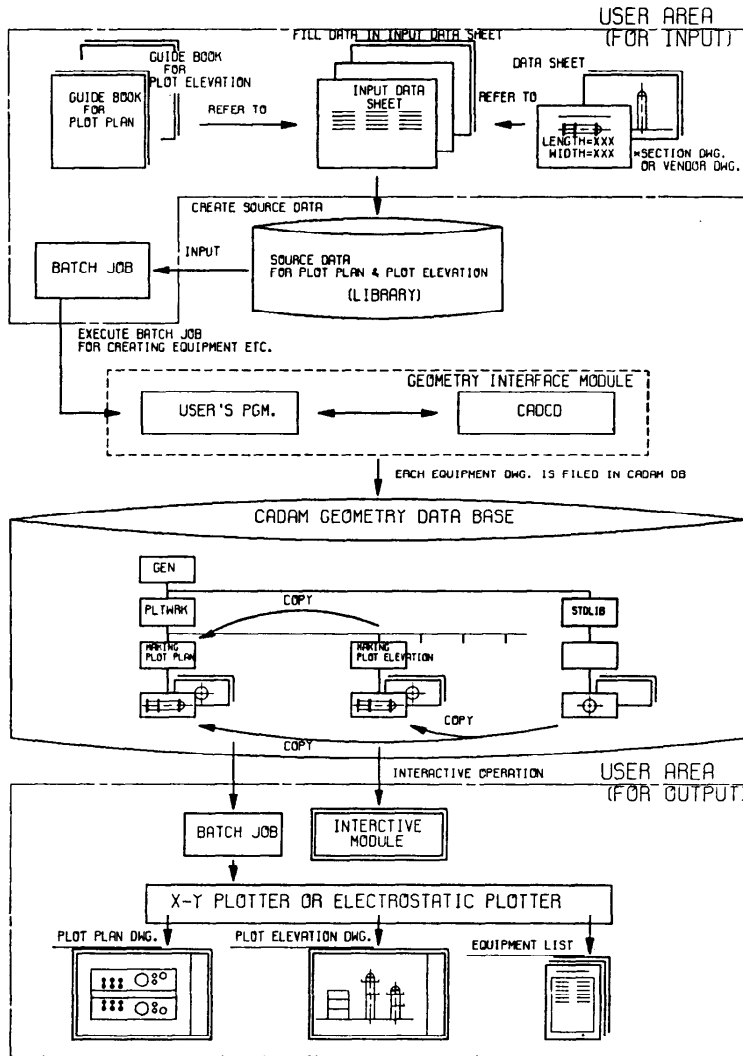


図-8 プラント配置図作成に必要な情報と手順

ら成る。同一の図形要素に複数の属性を与えたり、異なる図形要素に同一の属性を与えたり、また与えないこともできる。

属性番号の使用が標準化されている場合には、属性テーブルを使うことにより、ユーザは番号を覚えている必要がなくなる。

また、属性のフォーマットを定義できる。例えば、配管について、配管ラインネームをパイプサイズ、流体記号、連続番号、パイプクラス、保温データなどの構成で定義できる。これらの属性は、ヘルプ機能によ

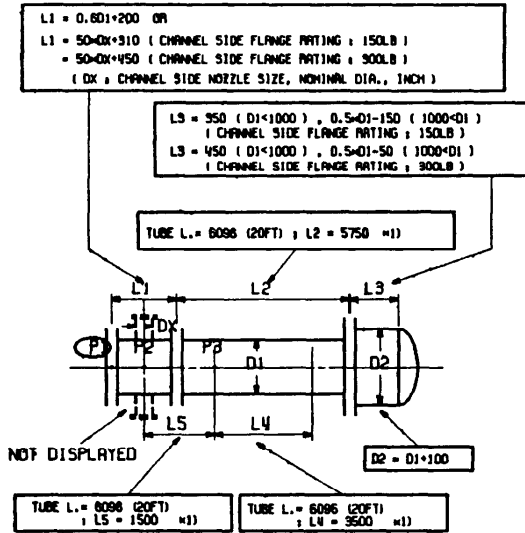
り作図中に画面の任意の位置に表示し、確認することができる。

この機能を、P & I、プラント配置図などに応用してゆくことにより、図形情報と設計情報の高度な結合が可能となり、マクロジオメトリの機能と組合せ、ユーザ開発の設計システムとのインタフェースをとり、CAEとして発展させてゆくことが期待できる。

4.3 埋設工事のCAD

土木・建築設計における基礎、排水溝、埋設配管、埋設ケーブルなどの配置を、UGCと呼び土木工事の

PGH. NAME ; HEARES1 (UNIT ; MM)
 M HEAT EXCHANGER TYPE ; BEU



NOTE ; IN CASE OF TUBE LENGTH DIFFERING FROM 6096 MM, THIS VALUE MAY BE DETERMINED PROPORTIONALLY TO THE TUBE LENGTH.

図-9 プラント配置図で使用される機器図の例

施工計画の基本としている。

図-12 は、CADAM による UGC の作図方法と図面の構成を示したものである。設計各部（例えば、土木、配管、電気、計装など）が作成した図面を、あたかも、オーバヘッド・プロジェクトのフィルムを重ね合わせて編集し、透視してゆくことで UGC を作成することができる。

これは、図面の作成過程の中に、図面間に親子関係を持たせ、順次作図を進めてゆく、ファミリー・トリー・コンセプトを適用したものである。

例えば、埋設ケーブル施工図を作成するためには、その基本となるプラント配置図からファンデーション図を作り、ケーブルルート図と図面フレームをそれに重ね合わせることで作成することができる。ファンデーション図が変更になれば、それを変更して、再度重ね合わせて、透視し干渉などを検討して対応してゆくことができる。

4.4 3次元プラント・配管設計の CAD

プラントのレイアウトデザインのため、実プラントの縮小プラスチックモデルを作り、機器・配管・構造

物の配置上、機能上、操作上、安全上、保守上、建設上などのレビューのために活用している。

また、製作・施工のためには寸法を含み、正確な作業指示が出せる設計図面は2次元的な表現で行うのが実務的に行われている。

しかし、レイアウトデザインを行うエンジニアのイメージを順次確定してゆくために、3次元グラフィック機能を活用し、プラントの配管ルートスタディを行うと共にプラント内の機器・構造物を含むレイアウトデザインを支援するシステムが必要になる。

このため基本となるものが3次元配管機能であり、その作図例を図-13に示す。

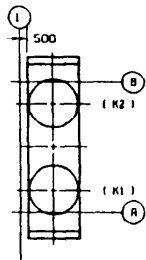
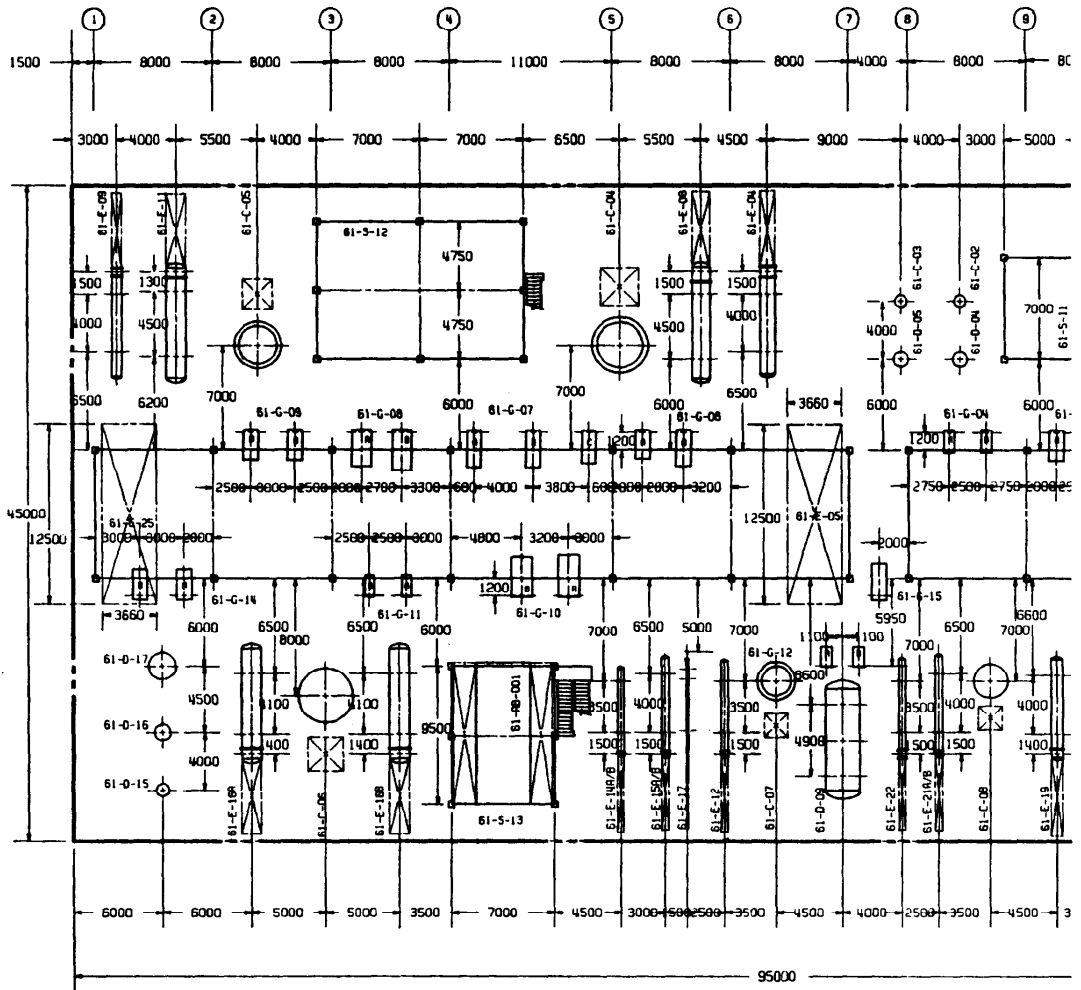
実際のプラントの複雑で膨大な配管群を3次元形状として対話形式ですべて入力することは必要以上の労力を必要とするため、基本的な配管の情報とプラント配置図からの機器・構造物の配置・形状情報を共有し、3次元プラント配置図を作り、その中に3次元配管を配置してゆくことで、エンジニアが使いやすい対話型3次元プラント設計システムを開発する必要がある。

この3次元プラント設計のアプローチとして、IBM ワトソン研究所で開発中の IBM ソリッドシステム (GRIN) の例がある。図-14 に示すように、ソリッドモデルを定義するために、まずワイアフレームモデルにより入力し、その後図-15 に示すようにソリッドモデルに変換してゆく方法がある。

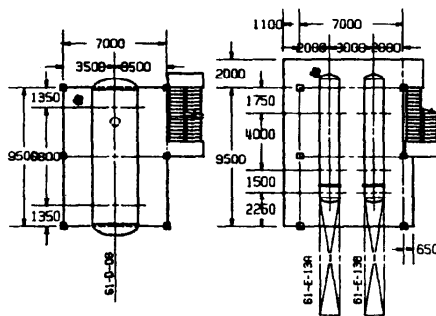
ソリッドモデルでは、任意の断面は、面として完全な切口が得られ、空間内における干渉チェック、隠線消去も自動的に行うことができる上に、体積、重量、重心などの情報を容易に知ることができる。

しかし、ソリッドモデルによる方法は多量のデータ入力と大きな CPU パワーを必要とし、多くのエンジニアが並行作業を行うプラント設計のために活用するためには、ソリッドモデルを必要最小とし、ワイアフレームモデル、サーフェスモデルなどの3次元形状モデリング方法の特長を生かし、システム化してゆくことが必要となろう。

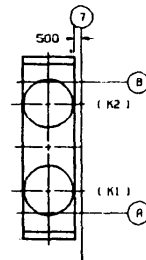
一方、配管ルートを決定し、配管の配置方法を決定した後は、局部的に配管工事のための施工図をアイソメトリック図として作成し、そこで必要とする配管資材の一覧表を図面上に記述するなどしてゆく詳細配管設計システムがすでに CHIYOCAPS の名で開発されており¹⁾、この3次元プラント設計システムの下流システムとして情報の有効利用の観点から結合される。



61-E-25
BOTTOM OF TUBE BUNDLE
EL. 111.3M



2ND FLOOR (EL. 108.0M) 3RD FLOOR (EL. 115.2M)
61-S-13



61-E-05
BOTTOM OF TUBE BUNDLE
EL. 111.3M

図-10 プラント配置の例

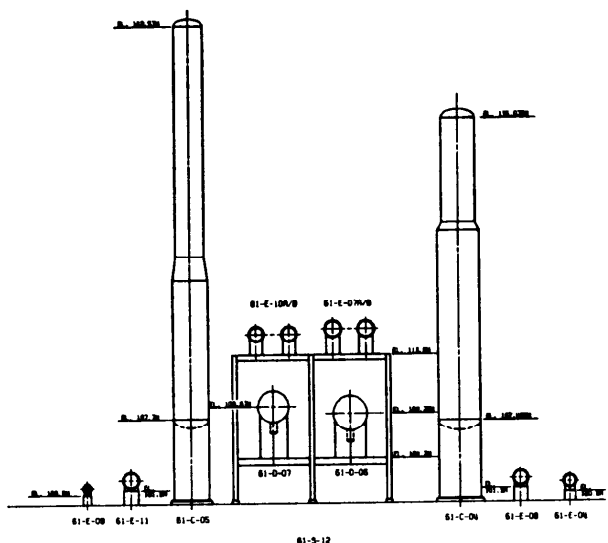


図-11 プラント配置図の例

5. 今後の課題

5.1 情報処理技術面

これから、CAD から CAE へと機能を拡充し、設計の効率化、品質向上をはかるためには、エンジニアリング用のデータベース管理システム、グラフィックディスプレイ・ワークステーション、3次元形状モデリングシステム、手書図形入力システム、図形・画像を含んだ設計仕様書作成システムなどの技術を早急に確立すると共に、これらのシステムを組合せ、ユーザが開発した総合設計システムと共に情報処理を行うに必要なコンピュータハードウェア、システムソフトウェアを整備してゆかなければならない。

データベースは、リレーショナル型であることが望まれるが、多数のユーザが同時にオンラインで使用することができ、効果的なデータの提供ができる環境として準備する必

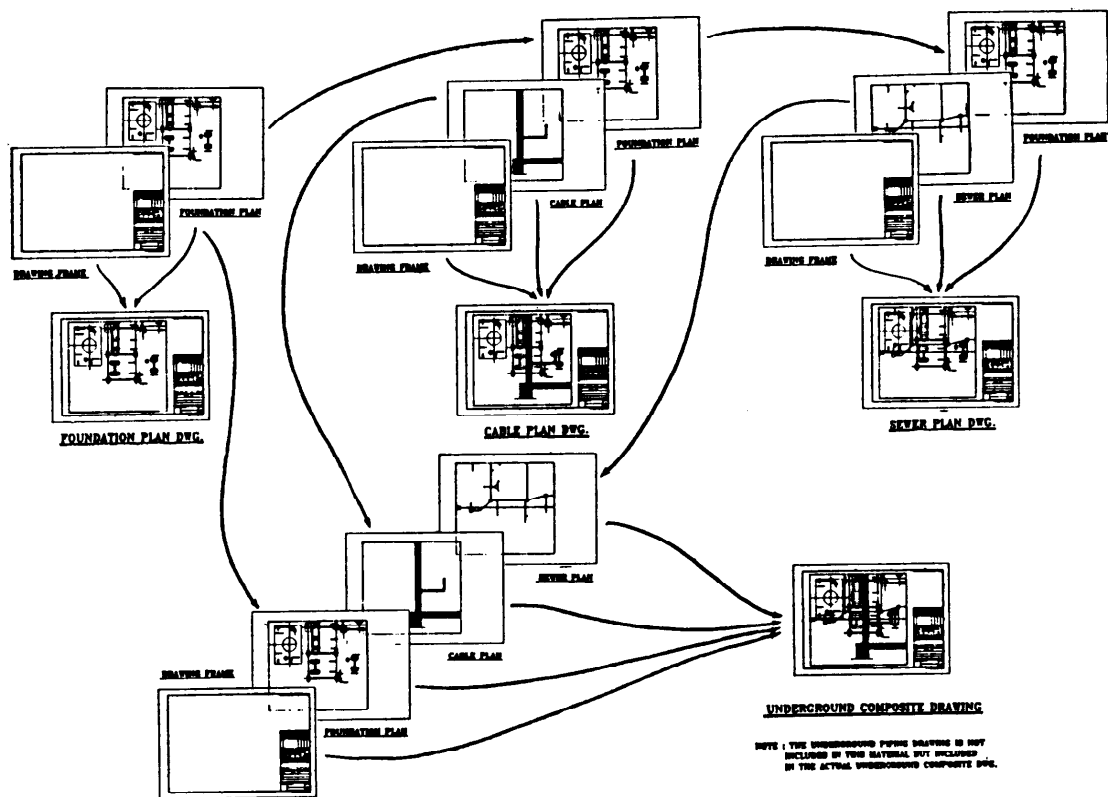


図-12 埋設工事用図面の作成手順

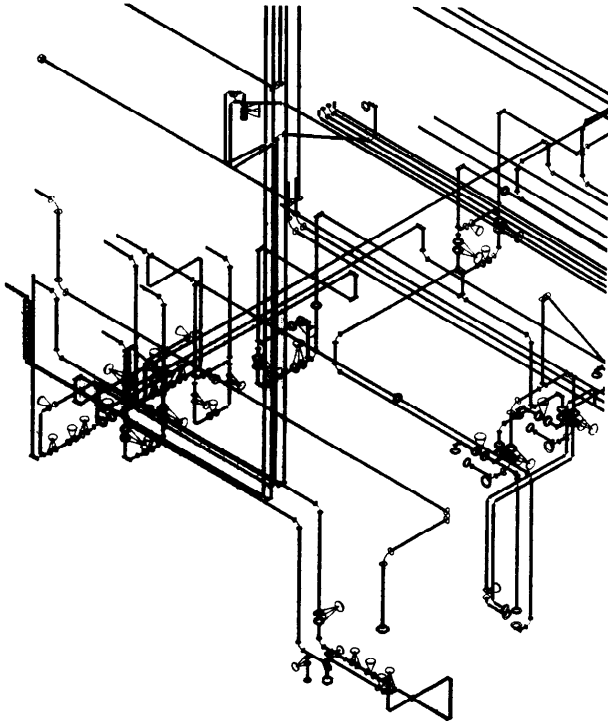


図-13 3次元配管レイアウト図の例

要がある。また、コード化情報だけでなく非コード化情報、非定型情報などを含めて管理できるものとして発展させる必要がある。

エンジニアリングワークステーションとしては、大型、高密度のカラーグラフィック機能付きで、計算処理、図形処理、文章処理、画像処理の操作が容易なイ

ンテリジェント機能を含む操作卓としてまとめ上げる必要がある。特に、人間の機能に近い、音声入出力、手書情報・画像入力などのパターン処理機能を附加し、将来は、人工知能的な機能により類型的な認識・推論処理を行い、人間をささえるシステムとするなど、長期的な視点から実用化研究をすることが重要であろう。

図形・画像を含む設計仕様書の作成は、これらの設計事務所におけるオフィスオートメーションの核となるもので、CADの技術、イメージ処理技術、テキスト処理技術などを組合せて実用化システムとして早急に開発されねばならない。

5.2 ユーザにおける応用面

CAD や CAE を効果的に活用するためには、エンジニアの教育研修と共に、CAE を通じて、エンジニアがどのような分担と責任を持ち、共同して設計をしてゆくか、組織的にも、コンピュータの役割についても、設計の進め方の本質から検討し、受入体制を作る必要がある。また、この受入体制も、システムの機能の拡充、エンジニアの能力向上に合わせて、見直してゆく必要があり、ユーザにおけるマネジメントがいかに、将来の設計方法を念頭におき、実務的に活用してゆくかの姿勢が問われることになる。

特に、CAD や CAE の投資効果の測定は、必要なだけワークステーションを設け、設計の生産性を測定

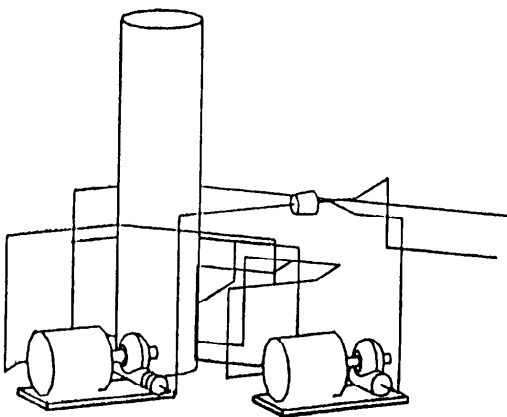


図-14 3次元プラントのワイヤ・フレーム・モデル (IBM-GRIN)

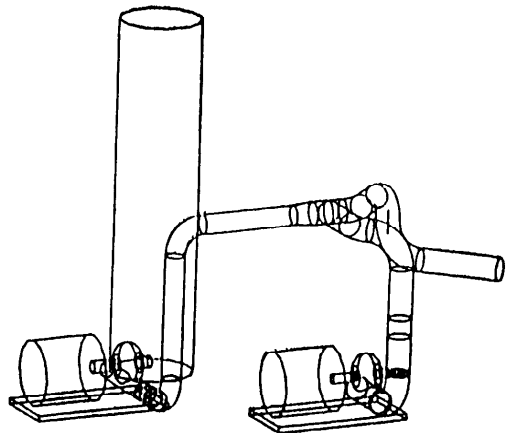


図-15 ワイヤフレーム・モデルから変換したソリッド・モデル

し、総合的に評価するだけの試行を行うには、あまりにも多くの投資と、導入開発マンパワーが必要となり部分的に効果のあるところから、独立的に行うこととなり、長期的な見地から見ると二重、三重の投資となり、投資効果の評価を更に困難にしている。

しかし、エレクトロニクスの急速な進歩につれてコンピュータのコストパフォーマンスが数年で倍以上良くなる状況下にある現在、便利なツールとして CAD, CAE をエンジニアリングの一部分の分野で使ってゆく過程のなかから、一步一步総合設計支援システムが作られてゆき、技術立国に役立つ基盤の1つと

なつてゆくであろう。

この意味においても、ユーザは CAD, CAE の企業内での長期的な取組み方針、コンピュータ・システムを含むハードウェア・ソフトウェアの長期的予測のもとにシステムを構築してゆく能力が問われている。

参 考 文 献

- 1) 蔵元真一郎：化学プラントにおける配管設計，日本機械学会，第 510 講習会（1980 年 10 月）。
（昭和 57 年 11 月 19 日受付）