技術論文

油圧マニホールドブロック用設計支援システムの開発*

蜂須賀 照 憲**, 蟹 江 壽***

Development of a Support System for Hydraulic Manifold Block Design

Terunori Hachisuka, Hisasi Kanie

This paper concerns newly developed software for manifold block design.

Manifold block has become indispensable to almost every hydraulic system nowadays. However, its design is extremely complicated and difficult. The reasons are firstly that hydraulic circuits have to be very densely placed in the manifold block, and secondly, there is no means to correct a failure in the design or manufacture. In addition, each manifold block is custom designed.

Considering the above, we analyzed the experiences of design engineers and their habitual design processes, and developed a support system for manifold block design using a super-mini computer. With this, we are now able to prove the correctness of a design. The software is easy to operate, it can retrieve past design data, and it is extendable to the production line.

Today, manifold blocks are mostly designed on a super-mini computer and/or CAD. Use of this system is particularly effective with manifold blocks with many holes. More than 2800 manifold blocks have successfully been designed as of now. Many common failures of the past have been completely eliminated.

1. 油圧マニホールドブロックとその背景

油圧マニホールドブロック（以下M/Bと記す）は直方体の形状をしており、この6つの各面から垂直に複数個の円筒状の孔を明けて内部に立体回路を構成させ、油圧システムの利用に供せしめるものである。

かつては、油圧システムといえば、油タンクを設置し、タンク天板やパネルに油圧制御弁類を配備し、配管でそれらを接続して仕様に合った機能を具備させるというのが常識であったが、1970年代から、これに代わってM/Bが多く用いられるようになり、以後は油圧システムの一つの構成部品として重要な役割を果たしている。

この大きな長所として、配管よりも空間が大幅に節減でき、油圧応用機器の小形化とブラックボックス化に寄与すること、堅牢で油洩れがなく、したがって安全性に優れていること、また騒音をも低減できることなどがあげられる。1970年代後半からはM/B内部に弁

の機能を植え込むことが考案され、機能の高集積化が進められるようになり、より利用率が高くなった。しかし、M/Bは個々のシステムを対象とするゆえに製作仕様が一定せず、量産するようなたぐいのものではないという宿命を持っており、したがって、その標準化が非常に困難であるとともに、小形化と機能集積度の向上のために内部回路の稠密性を要求され、多大の人手を煩わし、設計・製作上の失策は致命的であって、一度間違つて孔を明けてしまうと復旧の方法がなく、納期遅れを引き起こし、製作者側にとって手の焼けるやっかいなものであった。また、加工されたM/Bが正しく作成されているかを検査する側にとっても多大の手間がかかるものであった。筆者らはこの点に着眼し、M/B周辺の問題を極力失策の入り込む余地のないように、理論的に解決するソフトウェアの開発を行ってきた。本論は、これらの手法の主たる考え方とその効果について述べるものである。

なお、開発期間は'78年7月から'86年7月の約8年である。

2. 開発上の留意点

筆者らが開発を始めるに当たり特に留意した点と、その理由および手法の概略について述べる。

*平成2年3月15日 原稿受付

**株式会社トキメック 企画室

(所在地 〒144 東京都大田区南蒲田2丁目16番)

***東京理科大学 基礎工学部

2.1 設計者らの培った経験や習慣の重要視

設計者らは長年にわたるM/Bの設計において、自分の頭の中で立体回路を構成し、それを図面に表わすことを行なってきた。この経験で培われた手法や習慣にはそれなりに理由があり、筆者らはこれらを見せず、むしろ絶対的な前提条件として考慮しながら、設計者らを補助するために設計結果の正当性の検査を行なうシステムを開発することに重点を置いた。すなわち、設計者らの習慣を見せずしてシステムが新規の設計方式を強要するようなことになると、それが思考の妨げとなり、かえって立体回路の把握を困難にすると考えたからである。

2.2 設計パターンの分析

筆者らは、開発当初は人工知能的なアプローチは考えなかった。まず筆者らは、設計者らが日々に行なっている設計作業に注目し、そのパターンを分析してみた。そして、そのパターンは常に一定のものではないにしても、平均的にほぼFig. 1の流れ図のようになっていることがわかった。この報告は、Fig. 1の中のBの

部分を対象にしている。この部分は、従来の設計手法では個人差や癖が大いに存在するため、標準化が困難であるとともに最も失策の入りやすいところで、設計者らは苦渋から逃れることのできないものと、なかばあきらめていたので、この周辺の合理化を再優先として考えて開発を開始した。

2.3 利用コンピュータの選定

開発当初の利用コンピュータの計画は、まずCADやグラフィックスに頼らず、応答性のよい強力なスーパー・コンピュータを利用することであった。これは当時のCADがまだ貧弱で、設計者の会話型処理に対し、十分に応答できる高性能なものとはいえなかったこと、回路構成の目測による図形処理では失策の入り込む余地があると思えたこと、一方スーパー・コンピュータは処理力もあり、会話、バッチなど種々の処理法が使い分けられ、標準的高级言語も容易に使いこなせ、大量のデータ処理のために最も一般的に使われており、機器も安定していることがその理由であった。

幸い手元にスーパー・ミニ・コンピュータがあり、

Fig. 1 Typical Flow of M/B Design

処理言語も豊富に準備されていることもあって、これを利用することとし、将来必要があればCAD専用機をその時点で検討することとして開発を開始した。

2.4 設計者らにとっての操作の容易性

データの構造は最大限に簡素で分かり易いものにすることを心掛けた。それらの例は4.において後述する。この別の例を開発初期において一部すでに発表¹⁾しているので参考とされたい。また、コンピュータ端末機における会話型操作は必要最小限なものとし、コンピュータの知識の有無に関係なく誰もがなじめるようなものにするため、マニュアルをも完備するようにした。

2.5 過去の集積データの検索の容易性

処理済みのM/Bのデータが無秩序に集積されないようにし、後日の設計変更や改良や流用に即応できるように心掛けた。すなわち、用途別、客先別、納期別に容易に検索できるようにし、さらに工事番号、設計者名、入力日、加工孔総数、製作個数、搭載弁型番と個数、設計概要、経歴などがすぐに見られるようにして設計事務の合理化を計った。

2.6 設計・生産ラインの標準化

将来本システムが設計・生産上の標準化の中心的存在になりうるものであるように心掛けた。単に設計の失策による生産ラインの混乱の排除だけでなく、見積りや自動加工など、いわゆるCAM (Computer Aided Manufacturing) にまで発展しうるものを目指した。

3. 軸づけと図法について

設計された結果をいかにコンピュータの内部に表現

するかを考えると、M/Bの軸づけと図法をある規則で統一しておく必要が生ずる。このことについては以下のような考え方によった。

従来設計者は、便利さと慣習から3次元的な原点を意識してM/Bの設計を行なってきた。孔位置などを示す寸法線などはすべてこの原点を起点として図面に表示している。しかし、この立体の各面の2次元的図面への表現法には個人差や癖があり、軸づけや図法の上での統一を強制することは決して好ましくないと考えた。そこで筆者らは本システム上では一つの標準図法を推奨したが、これを設計者らに強制することはしなかった。このため、設計者が頭の中で考えている図法による座標値を標準図法の座標値に変換しなければならない。この変換法を系統的にもれなく挙げるために、代数学的手法を応用する必要があった。

M/Bの直方体の任意の端点を原点とし、それより発する3つの稜線にX、YおよびZの3軸を割り当てることを考える。Fig. 2(a)および(b)のような軸づけをする方法を、それぞれ本義(右手式)および転義(左手式)軸づけと呼ぶことにする。これを三角法によってFig. 3のように平面上に図として展開するとき、原点

Fig. 2 Coordinate System

Fig. 3 Expansion of Manifold Block

の位置ぎめ、軸の方向づけをするには何通りもの方法があることがわかる。かりに、本義軸づけだけを考えることにして、展開図中の正面図 (front view) に注目し、その左下隅に、紙面に垂直に軸 X, Y, Z のうちのひとつの軸を割り当てると、その方向をも考慮すれば、6 通りの図法があることがわかる。すちわち、正面図の 4 隅に Fig. 4 のように原点から右回りに軸のくるべき位置を設定したとき、X, Y, Z に軸 X, Y, Z のくる図法 (N はいずれの軸もこない隅) を

$\begin{pmatrix} X & Y & N & Z \\ X & Y & N & Z \end{pmatrix}$ のように*置換で表現するならば,

$$\begin{pmatrix} X & Y & N & Z \\ Y & Z & N & X \end{pmatrix} = e_0, \quad \begin{pmatrix} X & Y & N & Z \\ Y & Z & N & X \end{pmatrix} = a_0,$$

$$\begin{pmatrix} X & Y & N & Z \\ Z & X & N & Y \end{pmatrix} = b_0, \quad \begin{pmatrix} X & Y & N & Z \\ X & Z & N & Y \end{pmatrix} = f_0,$$

$$\begin{pmatrix} X & Y & N & Z \\ Y & X & N & Z \end{pmatrix} = g_0, \quad \begin{pmatrix} X & Y & N & Z \\ Z & Y & N & X \end{pmatrix} = h_0$$

の6通りである。この集合 $S_0 = \{e_0, a_0, b_0, f_0, g_0, h_0\}$ は、置換の乗法に関して、 e_0 を単位元とした3次の**対称群を^{2), 3)}形成しており、Nを固定した場合の3次の置換群ともみなせる。そして、 $A_0 = \{e_0, a_0, b_0\}$ は S_0 の正規部分群で交代群をも形成しており、 $H_0 = \{f_0, g_0, h_0\}$ はその剰余類 S_0/A_0 である。 A_0 に相当する図法の垂直軸の+方向は紙面に向かっており、 H_0 のそれは紙面から手前に向かっていることもわかる。

Fig. 4 Axis Positioning

以上では正面図における紙面に垂直な軸を左下隅としたが、さらに右下、右上、左上の隅とする図法が考えられる。それが、X軸が紙面に向かっている正面図の場合だけを考えれば、4種類の置換、

$$\begin{pmatrix} X & Y & N & Z \\ X & Y & N & Z \end{pmatrix} = e_0, \quad \begin{pmatrix} X & Y & N & Z \\ Y & N & Z & X \end{pmatrix} = e_1,$$

註) *上段は固定された位置、下段はその位置にくる軸を表わす

＊ ＊ 以下，本節における諸群類の代数学表現の詳細については，末尾の参考文献の 2)，3）参照。

$$\begin{pmatrix} X & Y & N & Z \\ N & Z & X & Y \end{pmatrix} = e_2, \quad \begin{pmatrix} X & Y & N & Z \\ Z & X & Y & N \end{pmatrix} = e_3$$

が対応することがわかる。集合 $T_e = \{e_0, e_1, e_2, e_3\}$ は、位数 4 の巡回置換群である。

$G = \{\sigma\tau \mid \sigma \in S_0, \tau \in T_0\}$ なる集合は、置換の乗法に則るとき、4次の対称群を形成する。また、 G の各置換の要素に対応して、正面図として本義軸づけに対して全部で $4! = 24$ 通りの図法が存在することがわかる。正面図の軸づけが定まれば、ほかの5つの面図の軸づけはそれぞれ一義的に定まる。 S_0 は4次対称群の正規部分群のひとつである。 e_0 は G の単位元でもある。 G は本義軸づけに限るものであり、転義軸づけを考えた場合、さらに24通りの別の図法が考えられ、合計48通りの図法があり、それ以外の図法がありえないことも理解できる。

現実には設計者らは原点は意識しても、3軸のどれをX, Y, Zとするかという意識を持たないので、正面図において紙面に垂直な軸をX軸とするならば、 $D = \{e_0, e_1, e_2, e_3, f_0, f_1 = e_1f_0, f_2 = e_2f_0, f_3 = e_3f_0\}$ の8つの図法のうちのどれかで図面を画いていることになる。Dは4次の正二面体群を形成している。

M/Bを扱う上で、このような4次対称群およびその種々の部分群と対応させるという考え方は、ソフトウェア構築上でわれわれが基礎としてとりあげた概念である。特に、貫通や干渉状況を調べたり、5で後述する搭載する弁の孔の集合を取り扱ったりするプログラムを構築するときにそれらの整合性を高め、プログラミング時間やステップ数を短縮し、正当性を確かめたり、またたとえば、数値制御工作機械の台上にM/Bを置き、加工対象面を考える場合や、座標変換のための行列を整備したり、完成した設計についてCAD上でM/Bの2次元図面を画かせる図形処理プログラムを形成したりするとき、この図法と同様に群と対応させる考え方がそのまま応用できた。

4. 孔の表現方法と座標の変換

M/Bを設計していくときに各面に明けられる孔を表現するために、孔の先端の点の座標と、明ける面、形状、孔径などに関する属性をデータとしてコンピュータに与える方法をとった。これはM/Bが単純な立体構造であるからこそ可能な方法である。

孔を明ける6つの面については、Fig. 3に示したように、紙面に垂直な軸とその方向からX+, Y+, Z+, X-, Y-, Z-面と書くことにする。

孔の先端の座標については2つの方法を考えた。1つは点を絶対的な位置の座標 (x, y, z) で表現す

Table 1 A Sample of M/B Input Data

Header								
Drawing No.	: VAM70014		Designer	: T. Yamada				
Design Version	: D1		Date	: 12-Oct-1983				
Mfg No.	: 890-1234		Customer	: ABC Co., Ltd.				
Number of Production	: 3		Delivery Limit	: 30-Oct-1983				
Size	: 300×540×600		Total Coordinates	: 293				
Abstract	: Applied for Injection Molding Machine Model S550X. Clamp Block.							
Main Data								
Hole Number	Coordinates			Diameter	Attributes	Classification		
	X	Y	Z		Surface			
1	—	106.0	55.0	—	X+	CV		
2	240.0	380.0	370.0	37.5	Z—	PT		
3	225.0	60.0	80.0	71.0	Y+	Flange		
4	—	210.0	425.0	—	X—	Valve		
5	145.0	180.0	400.0	47.5	Z—	Flat Bottomed		
e t c								
Auxiliary Data								
Hole Number	Model Number	Putting (Degree)	Hole Depth					
			No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	—
1	NG-25	270	93.0	—	90.0	70.0	—	—
3	SSA-24	—	—	—	—	—	—	—
4	DG4V-3-50	270	32.0	152.0	58.0	72.0	—	—
e t c								

る方法であり、もう1つは、その孔を明ける表面からの深さそのものを採用する方法、すなわちX—、Y—、Z—の3つの面に明けられる孔については、(x, y, z)のかわりに、おのおの(B_x—x, y, z), (x, B_y—y, z), (x, y, B_z—z)で表現する方法である。ただし、B_x, B_y, B_zはM/Bのx, y, z各軸方向の大きさを表わす。前者をA系、後者をR系と仮に呼ぶことにする。

いずれの系も容易に変換ができる。実際には点を同次化した4次元列ベクトル¹⁾(x, y, z, 1)を対応させた。3つの+面に明ける孔の座標はA系もR系も同じであるが、X—、Y—、Z—の3つの面上の点に関しては、A系、R系間で、それぞれ行列

$$\begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & B_x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & B_y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & B_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

で変換すればよい。一般に、設計者らは面からの深さ

そのものを強く意識して設計するので、R系でデータを入力させるようにした。コンピュータ内では便利さを考えてA系、R系を都度使い分けている。Table 1にその入力例を示す。

5. 搭載弁孔の取扱い

M/B表面に搭載する弁は複数個の弁孔を持っている。弁孔は相対的に互いに一定の位置を保つひとまとまりの集合とみなせる。これら弁孔をひとつずつ入力する手間と、それによる入力の失敗から設計者らを解放するために、筆者らはその処理方法の基本事項について以下のようなことを考えた。

5.1 搭載の手順

まず全種類の弁に対して、それらを標準の向きに搭載したときの各弁孔の位置のデータを準備した。これらは、ほぼカタログなどの記載してある孔の位置関係に則っている。そして設計者が、弁を搭載する所望の面上の位置と向きを指定すれば、指定位置での弁の複

数個の孔表現がプログラムにより作られるようにした。弁の孔の処理では、まず搭載面の指定にあたるput(設置)、次にrotate(回転)、そして最後にtransfer(移動)する座標変換を行なうようにした。これらの変換は互いに非可換であるので、その変換順位をこのように決めておかななくてはならない。

5.2 弁の顔

弁の個々の孔の配置は、必ずしも点・線対称ではないので、弁の標準取付け向きと決めなければならぬ。このことに関しては、設計者らが無意識のうちに認識し、記憶している弁の孔の相対位置を調査し、これにもとづき標準取付け向きを決めた。この標準取付け向きにしたときの弁孔の配置のことを筆者らは弁の顔と称している。一般的には、設計者はカタログなどに記載されている形状で記憶している場合が多かったが、例外や個人差も見受けられた。この弁の標準取付け向きは、ひとつの向きに標準化した。

弁の孔位置の原点は、多くの設計者の意見に従いがい、顔の最も左下にある弁取付けボルト孔の中心と決めた。そしてその原点からの各孔の相対距離を記述するマスターファイルを各種の弁についてコンピュータ内に作成した。

5.3 弁配置機能

プログラムでは、まずM/BのX+面の原点に、弁の顔の原点をあわせて設置してあるものとする。このときの、設計者らにより与えられた弁のn個の孔の座標は同次化した列ベクトルで、 $\{P_i = (x_i, y_i, z_i, 1)\}$, $i = 1, n\}$ と表わす。R系の場合、 x_i はそれぞれの孔の深さに相当する。まずこれらのA系の4次元列ベクトルに、X+, Y+, Z+, X-, Y-, Z-のうちの所望の面に載せるputの変換として、

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$\begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & B_x \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & B_y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & B_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

を乗ずる。結果はA系で表わされる。

具体的に弁の顔をFig. 5のように、文字「正」を使ってモデル化するとき、この結果はFig. 6のようになる。

次にこれを、各面上で弁の原点を中心に設計者らの指示した角度だけrotateを行なう。一般にM/B設計では、弁は0°, 90°, 180°, 270°以外の角度で配置させるようなことは考えられていない。それぞれの面で原点を

Fig. 5 Valve Face

Fig. 6 Valve put

中点に、各面に向って+面では反時計回りに、一面では時計回りに90°回転させるには、

$$X \pm, Y \pm, Z \pm, \text{各面では}, \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \text{ を乗ずることになる。}$$

これを設計者らの指示に従って、0～3回乗ずれば必ず各面上の所望の向きがえられる。参考までにこれを行なうプログラムの例をTable 2に示す。

最後にこれを面上でtransferさせる。これには、 $X \pm, Y \pm, Z \pm$ の各面の弁に対してそれぞれ

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & y_0 \\ 0 & 0 & 1 & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x_0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x_0 \\ 0 & 1 & 0 & y_0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

を乗ずればよい。ただし、 x_0, y_0, z_0 はそれぞれの軸方向への弁の移動距離である。

putにおける6つの行列は、3. に述べた3次の置換による対称群の単なる表現としての3次の行列を同次化したものではなく、整然としていないようであるが、実はそれらのうち一面のものを鏡映変換し、M/Bのそ

Table 2 A Sample of Coordinate rotating program

```

c Valve rotation on a block surface.
c 90 degree × m times.
c m : Rotating times. (integer)
c axis : Axis attributes. (character)
c This routine spends less calculation-time than
c so-to-say orthodox matrix routine.
c -----
integer function rotate (coordinate, axis, m)
real coordinate (3), work (3), sign (3,3)
character*1 axis, xyz (3)
integer matrix (3,3)
data xyz / 'X', 'Y', 'Z' /
data matrix /
1 1, 3, 2,
3, 2, 1,
2 2, 1, 3 /
data sign /
1 1., 1., -1.,
-1., 1., 1.,
2 1., -1., 1. /
c
rotate=0
if (m. eq. 0) then
return
else if (m. lt. 0. or. m. gt. 3) then
rotate=1
return
end if
do j=1, 3
if (axis. eq. xyz (j)) goto 10
end do
10 do n=1, m
do k=1, 3
work (k)=coordinate (k)
end do
do k=1, 3
coordinate (k)=sign (j, k)
1 *work (matrix (j, k))
end do
end do
return
end

```

それぞれの軸の大きさの分だけtransferしたものである。このputの結果は、設計者らに各面図は左下隅に紙面に垂直な軸を置くようにして見るという平易な習慣づけを行なえた。rotateにおける3つの行列は、3次元の各軸の回りの90°回転の行列をそれぞれ同次化したものである。3次元の座標の同次化は、4. でもそうであったが、平行移動を容易にする目的で行なったものである。

弁DG4V-3-50型のマスターファイルの例をTable 3に示す。また、それらがTable 1の例の孔番号4のように指定されたとき、プログラムによりTable 4のようにコンピュータ内に座標が増殖される。他にフランジ孔の増殖の例も一部紹介したことがある。

6. 孔の結合関係とその表現

与えられた孔の座標とその属性から孔の結合状態を分析し、設計ミスの検査を行なうことができる。われわれはこのためのプログラムを構築したが、その詳細について述べるのは冗長なために別に機会にゆずることとしたい。結合状態の結果をコンピュータ内に表現するためにグラフ理論を利用した。それぞれの孔をノードとみなし、結合しているノード同士はリンクされているものとし、不完全な結合や、近接していて工作上の失策を犯しやすいものもリンクしているものとして取り扱った。実際には結合状態に応じてリンクに何種類かの等級を与えている。結合している孔はひとつのグループに属しているものとして表示した。また不完全な結合や、近接している孔は警告を発し、設計者らに再検討を促すようにした。

一般に、リンクの状況を表わすには、縦横に孔数だけの次数を与えたノード対ノードの歪対称行列によると簡明であるが、孔数が800というようなM/Bともなると、これだけで1 MB以上の記憶容量を要し、容量の

Table 3 A Sample of Valve Master File

Model No. :	DG4V-3-50	Holes Total: 9			Bolt Holes Total: 4	
	Hole No.	Y	Z	Depth	Dia.	Notation
	1	0.0	0.0	17.0	5.0	M (Bolt)
	2	0.75	40.5	17.0	5.0	M (Bolt)
	3	32.5	0.0	17.0	5.0	M (Bolt)
	4	31.75	40.5	17.0	5.0	M (Bolt)
	5	26.5	19.0	—	7.5	Pressure
	6	5.9	19.0	—	7.5	Tank
	7	16.2	27.8	—	7.5	A-port
	8	16.2	10.3	—	7.5	B-port
	9	32.5	7.5	5.0	4.0	Pin

Table 4 A Result of Valve Holes Multiplication
Expressed in R-coordinate system

Hole No.	Y	Z	Depth	Dia.	Notation
4A1	210.0	425.0	17.0	5.0	M (Bolt)
4A2	209.25	465.5	17.0	5.0	M (Bolt)
4A3	177.5	425.0	17.0	5.0	M (Bolt)
4A4	178.25	465.5	17.0	5.0	M (Bolt)
4A5	183.5	444.0	32.0	7.5	Pressure
4A6	204.1	444.0	152.0	7.5	Tank
4A7	193.8	452.8	58.0	7.5	A-port
4A8	193.8	435.3	72.0	7.5	B-port
4A9	177.5	432.5	5.0	4.0	Pin

制限やデータアクセスのための非効率さから、リンクの等級の数だけのリンクトリスト⁴⁾ (linked list) を用いた。これにより、ノード対ノード行列に比べ極端に少ない記憶容量で済んでいる。

7. 本システムの運用と効果

前章6.において述べた孔の結合関係の表示と、不完全な結合や近接している孔の警告の表示による情報は、設計者らには失策回避のために最も知りたかったものであり、かつてはこの情報をえられなかったために失策が多発していたものであって、非常に有効な助けとなっている。本システムを利用することによって従来のような設計上の失策は絶滅したと言っても過言ではない。

筆者らは設計の正当性がえられた座標データをもとにして、CADを用いて従来と同じような図面を画くことをも試みた。この図面は主として客先の承認をうることと、製作者への参考用として供されるに止まり、従前のように図面が重要で絶対的な位置づけにあるのではなく、むしろコンピュータ内の座標データにそれがあることが認識されるに至った。またM/Bの数値制御による自動加工にもこの座標データがそのまま使え、完成後の孔結合状態の検査工程もまったく不要となったことの効果は大きい。

筆者らはプログラムとともにマニュアルも整備したが、特にこれらの利用を強制することはしなかった。しかし、現状ではこの効果を認識している設計者らは全面的に利用しており、利用基準も極く自然に確立されるに至っている。

以上のようにして構築されたシステムは、現在までに約2800件以上のM/Bの設計作業を支援してきた。Fig. 7に開発以前と現在の任意に抽出したM/Bの設計

に要した時間の計測結果を示す。支援を受けた過去のデータはすべて残されており、いつでも容易に引きだし、設計変更や流用に対処できるようにしてある。

システムは、DEC社製のVAX, microVAXや、CADの上で稼動している。過去においては、人間だけでは誤りなく300個以上の孔のM/Bを設計することは不可能とされていたのが、その倍の600個以上のM/Bでも可能となった。この結果孔の多いM/Bの潜在的な需要に応じられるようになり、またそれらはリポート・オーダーされることが比較的多くなり、M/Bの製造が必ずしも単品受注とはならないという認識をうるこ

Fig. 7 Result of Design Time Measurement
× Not computer aided
○ Computer aided

もできた。このように本システムのM/Bの設計・製造に対する支援の効果は大きい。

8. ま と め

M/Bのためのソフトウェアの開発にあたり、以上のような代数的な考え方が、3.にも述べたように適切で大きな効果を挙げたと考える。

このM/Bのようなソフトウェアの開発は、終焉がないかと思えるほど規模が大きい。たとえば与えられた回路図をもとにしてコンピュータにすべてを設計させようとするいわゆる人工知能の開発は大変な困難があると予想される。しかし最近は超高速のCPUエンジンをもつエンジニアリング・ワークステーションやミニスーパー・コンピュータが普及し始めており、それらの上で3次元ソリッド・モデラーを駆使しての設計が可能な域に達しつつある。今後大いにこれら開発がなされて油空圧業界の発展に寄与することを期待したい。

開発したシステムは、昭和62年10月12日に『多面体内流体回路設計支援ツール』P第288号—1として、(財)ソフトウェア情報センターに著作権登録を行なった。

最後に、本稿執筆にあたって指導や助言をいただいた、東京理科大学工学部 野中保雄教授、早稲田大学理工学部 小林 寛教授、(株)トキメック パワー・コントロール事業部システム技術部 大野一男氏、技術部 木村 猛氏およびその利用・発展の上でご協力下さった同システム技術部および技術部の皆様方、ならびに(株)トキメックエンジニアリング 一ノ瀬 健氏に対し厚く謝辞を申し述べる。

参 考 文 献

- 1) 蜂須賀照憲：油圧マニホールドブロック設計とそのソフトウェア，油圧と空気圧，Vol. 12, No. 4, 1981
- 2) 近藤武：群論 I，岩波講座基礎数学代数学 i，第1刷，1976. 7，岩波書店，P1—39
- 3) 松坂和夫：代数系入門，第10刷，1987. 4，岩波書店，P45—89
- 4) Thesen著：野中，西田，山口，蟹江 共訳：ORのためのプログラミング技法，一版，1980. 5. 31，日刊工業新聞社，p95—100