

# P W B 用 多 機 能 配 線 シ ス テ ム

鈴木 康晴, 御崎 昭司, 泉 正夫, 野尻 寛, 植村 昌俊  
(沖 電 気 工 業 株 式 会 社)

## 1. ま え が き

P W B の 配 線 に お い て は , 一 般 に 線 分 探 索 法<sup>(1)(2)</sup>と 迷 路 法<sup>(3)</sup>と を 組 合 せ た も の が 広 く 用 い ら れ て い る 。 線 分 探 索 法 は , 図 1 に 示 す よ う に , あ ら か じ め 定 め ら れ た 配 線 格 子 上 に , 端 点 S 及 び T よ り 障 害 物 を 認 識 し な が ら 仮 想 線 分 経 路 (腕 という) を 発 生 さ せ , 端 子 間 の 経 路 を 探 索 し て い く も の で あ る 。 迷 路 法 は , 図 2 に 示 す よ う に , あ ら か じ め 定 め ら れ た 配 線 格 子 上 (セ ル) に 波 を 発 生 さ せ , 障 害 物 を 認 識 し な が ら 経 路 の 探 索 を 行 な う 。 こ れ ら の 2 つ の 手 法 の 共 通 点 と し て は , 既 に 配 線 さ れ た パ タ ー ン が 次 に 配 線 す る 端 点 間 の 障 害 物 と な る こ と で あ る 。 こ の こ と か ら , 配 線 順 序 に よ り 配 線 率 が 左 右 さ れ る 問 題 が 生 じ る 。 こ の よ う な 問 題 の 改 良 手 法 と し て , 配 線 順 序 を , 配 線 が 進 む に つ れ て 逐 次 決 定 し て い く 手 法<sup>(4)</sup>や , 配 線 パ タ ー ン の 経 路 の 位 置 を あ ら か じ め 概 略 的 に 決 め , 配 線 し よ う と し て い る 端 点 間 の 経 路 , 探 索 時 に は , 配 線 パ タ ー ン を 変 更 す る 手 法<sup>(5)</sup>な ど が 提 案 さ れ て い る 。 立 っ て , 1982年 に , 線 分 探 索 法 及 び 迷 路 法 を ベ ー ス に , 配 線

範 囲 内 で , 移 動 可 能 な 障 害 物 と し て 扱 い な が ら 経 路 の 探 索 を 行 な う “ト ラ ッ ク フ ロ ー テ ィ ン グ 手 法<sup>(6)</sup>” を 考 案 し ,

- (1) 複 数 種 の 部 品 ラ ン ド 径
- (2) 複 数 種 の パ タ ー ン 幅
- (3) 浮 動 v i a 方 式

に つ い て も 配 線 が 可 能 な 自 動 配 線 シ ス テ ム を 開 発 し た 。

今 回 , 高 配 線 率 を 実 現 す る た め , ト ラ ッ ク フ ロ ー テ ィ ン グ 手 法 (以 下 , T F 手 法 と 呼 ぶ) の モ デ ル を 精 ち 化 及 び 体 系 化 す る と も に ,

- (4) ミ リ 系 部 品

の 配 線 も 可 能 と な る よ う に 改 良 し た 。

本 文 で は , 線 分 探 索 法 を 中 心 に し て , (1) ~ (4) の 配 線 手 法 を 紹 介 す る 。

## 2. 基 本 ア ル ゴ リ ズ ム

先 ず , T F 手 法 の 基 本 的 な 配 線 モ デ ル に つ い て 示 す 。

### (a) 配 線 格 子

一 般 的 な 線 分 探 索 法 の 場 合 は , あ ら か じ め , パ タ ー ン 間 の 間 隙 を 考 慮 し た 格 子 を 配 線 格 子 と し て 定 義 し , 配 線 パ タ ー ン は こ の 格 子 上 を 走 行 す る 。 T F 手 法 で は , 図 3 に 示 す よ う に , 部 品 ピ ン の ピ ッ チ に 合 せ た 格 子 を 基 本 格 子

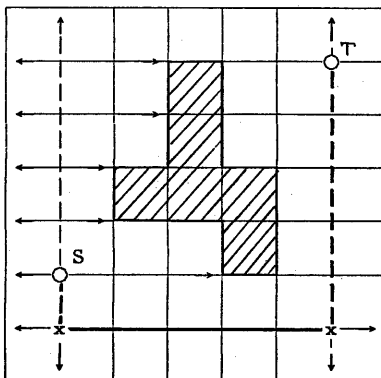


図 1 線 分 探 索 法

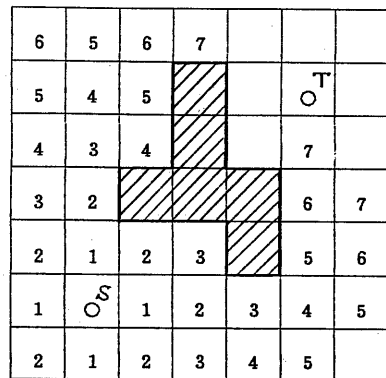


図 2 迷 路 法

と呼び、基本格子内をいくつか分割し、これをトラックと呼ぶ。配線格子は、この基本格子とトラックの2つを言う。配線パターンは、トラック内を第一優先で走行し、トラック内の配線パターンが一杯になった時点で基本格子上をも走行する。基本格子は、縦方向の配線層ではX軸、横方向の配線層ではY軸が基本格子となる。また、トラックの本数は、どの基本格子内も一律とする。

(b) 探索単位

一般的な線分探索法では、(a)で定められた配線格子の一本ずつを探索単位としているが、TF手法では、Via数削減の面から、着目基本格子とその両サイドの基本格子から成る領域を、探索単位としている。

例えば、図4のように、端点Sが存在する着目基本格子G3とその両サイドの基本格子G2, G4から成る領域が探索単位となる。

(c) 障害物の認識方法

一般的な線分探索法では、既に配線されたパターンは必ず配線格子に存

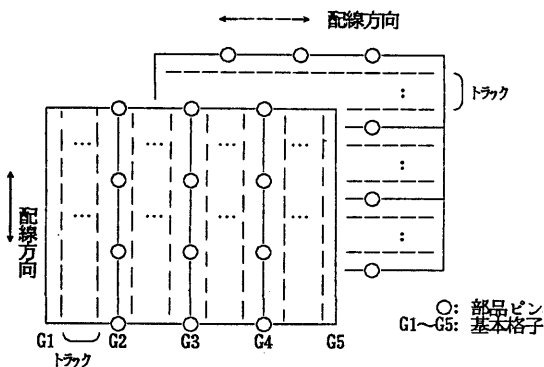


図3 配線格子

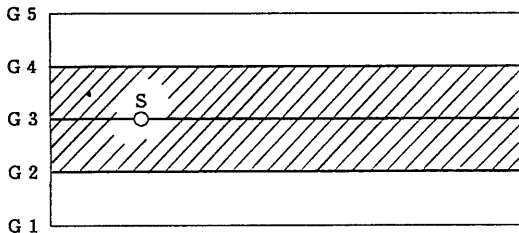


図4 探索単位

在している。そのため、障害物の認識は、配線格子が使用されているか否かで行なう。TF手法では、基本格子間で囲まれた配線領域は、トラック本数を配線容量としたCを持っており、パターンが配線されることにより、その配線パターンの容量分だけ減少するものと見なされる。そのため、障害物の認識方法は、端点より発生する仮想線分の必要容量Cxと基本格子内の空きトラック容量Crの大小で判断する。

すなわち、 $C_r \geq C_x$  の場合は、仮想線分の発生が可能であり、 $C_r < C_x$  の場合は、仮想線分の発生は不可とみなす。

(d) 配線パターンのトラック割付

一般的な線分探索法では、経路が見つかった時点で配線格子が決定される。しかし、TF手法では、探索単位レベルの概略経路が見つかったとしても基本格子内の容量減少としてしか記憶されないため、配線パターンの探索単位内のトラック位置は分らない。そのため、全ての探索が終了した時点で、トラックの割付が必要となる。

以上の配線モデルをもとに、図5の端点SからTへの、TF手法による配線アルゴリズムを以下に示す。

① 端点Sの下(左)側にある基本格子領域について、空き容量Crを算出し、 $C_r \geq C_x$  ならば、Sより仮想線分を発生する。

図5の例では、Y1とY2内に存在する配線パターンはP1, P2の2本であるが、P1, P2の始終点座標A, J, Iは、X軸上で重なっていないため、 $C_r > C_x$  となるので、仮想線分が発生される。

② 基本格子に接している配線パターンと交差する点で、Sからの仮想線分を分割する。

例えば、Sが存在する着目基本格子

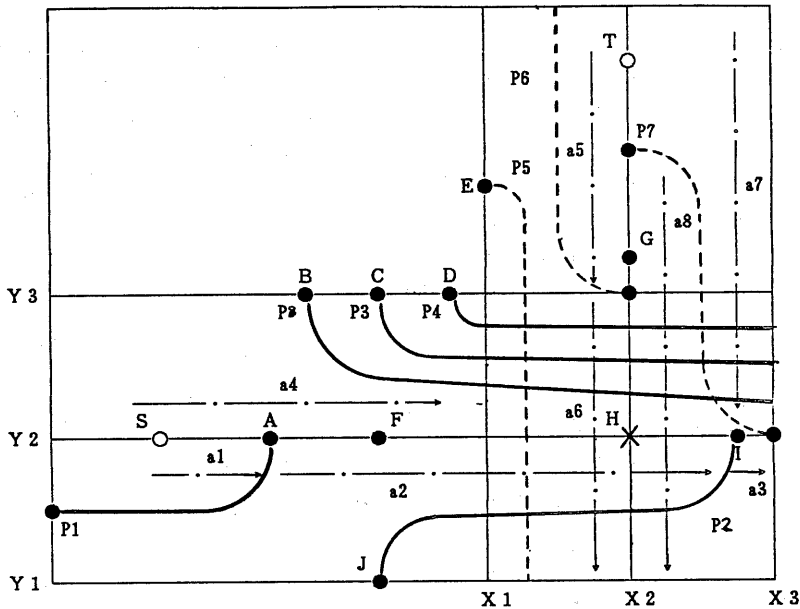


図5 TF手法の基本アルゴリズム

上の、AとIの点でそれぞれの配線パターンが接しているため、交差してしまう。そこで、AとIの点で仮想線を分割し、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ が求まる。

③ Sの上(右)側にある基本格子領域についても、①、②の処理を行い仮想線分を求める。図では、仮想線分 $a_4$ が求まる。

④ 探索領域内の仮想線分群( $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$ )より、先ず、Sと連結する仮想線分 $a_1$ 、 $a_4$ を両サイドの領域より抽出する。抽出された仮想線分 $a_1$ 、 $a_4$ について、反対側の領域にある仮想線分のなかから、着目基本格子上の同一座標を共有する線分を選出する。さらに、このようにして選ばれた線分についても同様な手順で、連結する仮想線分群を選び出す。

図では、( $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_4$ )が連結仮想線分群となる。

⑤ 求められた連結仮想線分群について、Tとの交点検出を行なう。交点が見つからなかった場合は、Sの縦方向について、①～④をくり返す。交点が見つかった場合は、⑧へ。

図では、Tと交差しないため、交点の検出は失敗となり、①へもどる。

⑥ 次に、Tについて、①～④の処理を行い、連結仮想線分群( $a_5$ 、 $a_6$ 、 $a_7$ 、 $a_8$ )が求まる。

⑦ Tの連結仮想線分群とSの連結仮想線分群とで交点の検出を行う。図では、双方の仮想線分が交差する点Hが求まる。

⑧ 検出された交点Hより、それぞれの端点S、Tへ、各々の連結仮想線分群の中から線分数が最小となるように最終的な仮想線分を選び出す。

図では、仮想線分 $a_2 \rightarrow a_4$ 、 $a_8 \rightarrow a_5$ を選び、S、Tが存在する基本格子上( $Y_2$ 、 $X_2$ )の交差する座標値

S, F, H, G, Tとパターンの上下左右関係が求まる。

⑨ 全ての端点について、①～⑧を繰り返す。

⑩ 全端点の経路探索終了後、基本格子毎に、配線パターンを最終的なトラックへ割付る。

### 3. 空きトラック容量算出法の精ち化

PWBに搭載される部品の取付けランドのサイズや、端点間を接続するパターンの幅は、複数種存在する。そのため、これらのサイズを考慮した経路探索を行うには、探索単位内にある障害物の占有容量 $C_a$ 及び空きトラック容量 $C_r$ を正確に管理する必要がある。

そこで、基本格子内トラック本数を $C$ 、障害物(配線パターン又は部品ピンおよびVia)の占有トラック数の総和を $C_a$ 、探索すべき系列のパターン又は、生成すべきVia占有トラック数を $C_x$ としたとき、

$$C_r = C - C_a \geq C_x \rightarrow \text{通過可能}$$

$$C_r = C - C_a < C_x \rightarrow \text{通過不可}$$

ここで、

$$C_a = \sum_{i=1}^{n1} C_{li}/2 + \sum_{j=1}^{n2} C'_{xj}$$

$n1$ : X (Y) 方向の探索の場合、同一X (Y) 軸上にある探索範囲内のランド数

$n2$ : X (Y) 方向の探索の場合、同一X (Y) 軸上にある探索範囲内のパターンの本数

$C_{li}$ : 部品ピン又はViaの占有トラック本数

$C'_{xj}$ : 配線済パターンの占有トラック本数

(ただし、 $C_{li}/2$ は整数とする)

例えば、図6に示すように、配線パターンP1 ( $C'_{x1}=3$ )は、基本格子上のE1の範囲を走行し、P2 ( $C'_{x2}=1$ )は、基本格子内を走行している。またE2の範囲に大小2つのランドL1, L2 ( $C_{l1}=1, C_{l2}=3$ )が、基本格子上に存在している。このとき、A系列( $C_x=1$ )の経路探索をする場合、E1ではP1, P2が既に配線されているため、 $n1=0, n2=2$ となり、

$$C_a = (C'_{x1}/2) + C'_{x2} = 1 + 1 = 2$$

ただし、基本格子上を走向する配線パターンについては、 $C'_{xj}/2$ の整数とする。

従って、

$$C_r = C - C_a > C_x$$

となり、さらにE2では $n1=2$ , P2が走行しているため $n2=1$ となり、

$$C_a = (C_{l1}/2 + C_{l2}/2) + C'_{x2} = 1 + 0 + 1 = 2$$

従って、

$$C_r = C - C_a > C_x$$

となる。以上より、全ての範囲で $C_r > C_x$ となり、A系列の仮想線分は、基本格子内を通過可能となる。

プログラム化の段階では、処理時間を節約するため、パターンとランド及びViaとの通過可能パターン本数の関係を配線の前段階で探索ルールとしてまとめ、経路探索時に容易に参照できるようにしている。

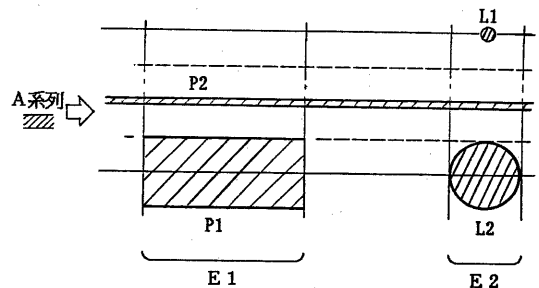


図6 空きトラック容量算出法

#### 4. ミリ系部品の配線手法

TF手法の配線格子モデルは、インチ系部品又はミリ系部品のいずれか一方のピンピッチを基本格子と定めているため、インチ系部品とミリ系部品が混在した場合は、他方のピンが基本格子の交点上に存在しない場合がある。その結果、配線が不可能になる。

そこで、今回、次のような考え方をTF手法に導入した。“基本格子の交点上に存在しないピンを近傍の交点上に近似して配線を行なう。”この考えに従って、交点上に存在しない部品ピンについて、近似点までの引出しと基本アルゴリズムのトラック容量算出法を改良した。

図7の例で、この手法の手順を示す。

① 相手の端点Tとのマンハッタン距離が最短となるように、基本格子の交点上にSの近似点 $s'$ （対応点と言う）を求める。

図7では、Tに最も近い点Dの位置が $s'$ となる。

② 求められた $s'$ とTとについて、TF手法を用い $s'$ より仮想線分を発生させ経路の探索を行なう。この際、部品のピンの占有容量 $C_a$ を $C_a = C$ と見なす。

③ 経路が見つからなかった場合は、 $s'$ をマンハッタン距離の短い順に再割付し、②を繰り返す。

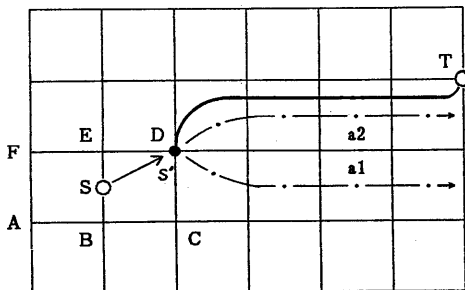


図7 ミリ系部品の配線手法

図7では、仮想線分 $a_2$ を選択した経路 $S \rightarrow s'$ 、 $s' \rightarrow T$ が求まる。

#### 5. 浮動Via配線手法

Viaを基本格子上に限定したTF手法では、Viaネックが発生しパターンを走向させることができるにもかかわらず未結線となる場合がある。

例えば、図8のように、端点Sから発生した仮想線分 $a_1$ からは、Via生成可能位置が無いいため、より高いレベルの仮想線分の発生ができず、TF手法では、SとTは未結線となる。

そこで、筆者らは、任意のトラックの交点上に、微少Viaを発生させることにより、さらに配線率を向上できると考え、TF手法完了後、微少Viaを用いた浮動Via配線を行っている。

その手順を次に示す。

① 先ず、基本格子とトラックの全てを格子表現したビットマップ上に、TF手法で割付けられた各々の配線パターンに対して、他の配線パターンとの位置関係より、配線通過禁止情報及び微少Via作成禁止情報をフラグとしてセットする。

② TF手法で未結線となった端点について、ビットマップ上のフラグがセットされていない空きビット上を、線分探索法を用い、経路探索を行なう。

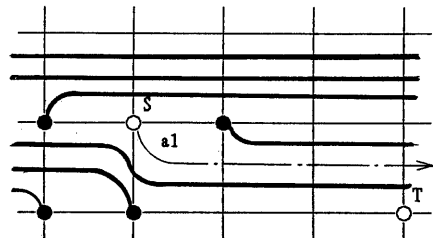


図8 浮動Via配線手法

## 6. 評価及び配線例

TF手法での空きトラック容量算出法の精ち化及び浮動Via採用の効果を評価するため、いくつかの実行例を示す。

表1は、基本アルゴリズムのみの場合と、空きトラック容量算出法の精ち化後と、浮動Via配線手法を採用した場合の、それぞれの配線率の推移を示したものである。(各々の配線仕様を図9に示す。)

データA・Bの配線格子は、110 x 80基本格子(1基本格子: 1/10インチ)であり、配線層は、2層である。Aの区間数(端子対)は888であり、Bは994である。

表1に見られるように、空きトラック容量算出法の精ち化の効果が極めて多い。これは、図9(b)に示すように、従来は微小Viaの部分での通過可能本数も、部品ピンの部分と同数であったが、容量算出法の精ち化により、微小Viaの部分の通過可能本数が増大したためと考えられる。

浮動Via配線方法を採用することにより、1~2%配線率が向上している。これは、TF手法のみで配線した結果、Viaネックが生じたが、浮動Via配線方法を併用することによりViaネックが解消したものと想定される。

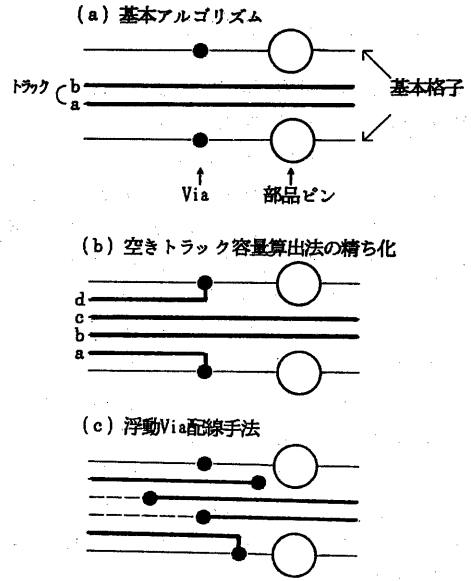


図9 配線仕様

最後に、これらの各手法を用いた配線例を図10、11に示す。図10は、ICピン間2本、基本格子内のトラック本数を4本とし、Viaのサイズを微小Viaとした配線仕様であり、TF手法と浮動Via配線手法を採用している。

配線結果は、99%であった。

図11は、ミリ系部品が搭載されたPWBの配線例である。配線仕様は、ICピン間1本、基本格子内のトラック本数を3本とし、ViaのサイズはICピンと同じであり、TF手法のみで配線している。配線結果は、98%であった。

表1 配線率の推移

データ	区間数 (端子対)	TF手法		浮動VIA 配線手法
		基本アルゴリズム	空きトラック容量 算出法の精ち化	
A	888	798 (90)	866 (22)	876 (12)
B	994	912 (82)	963 (31)	970 (24)

( ) 未結線数

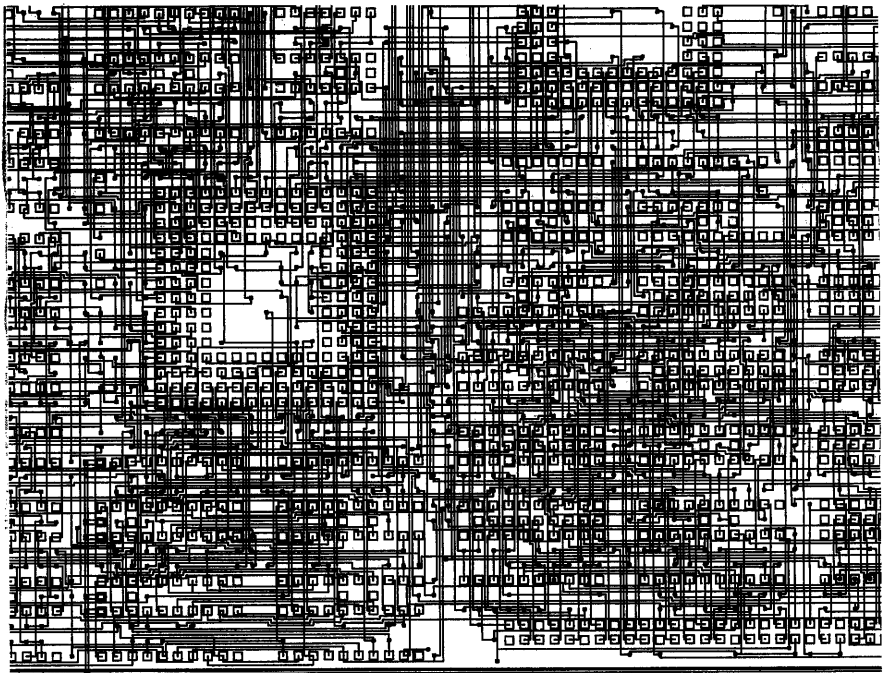


図 10 ICピン間2本の配線例

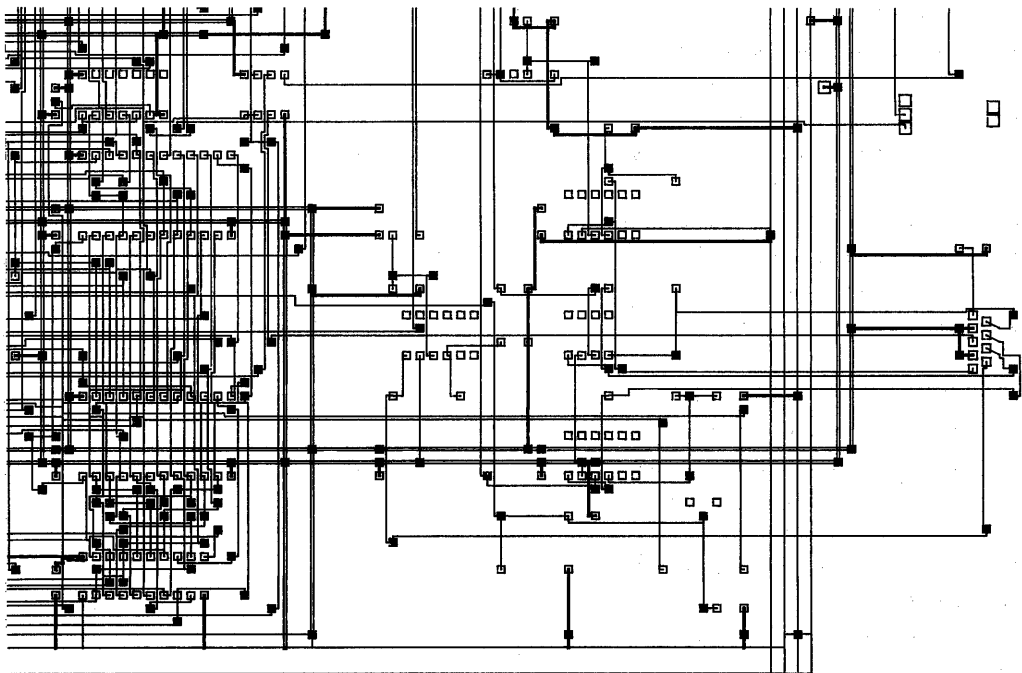


図 11 ミリ系部品の配線例

## 7. おわりに

TF手法における空きトラック容量算出法，ミリ系部品の配線手法及び，浮動Via配線手法について述べてきた。

現在，各手法は，「CADASシステム」の自動配線<sup>(7)</sup>に組み込み実用として使用されている。

## 謝辞

終りに，各手法を開発するに当り御協力戴いた，当社DA推進部渡会 隆志，上田 勤課長を始，関係者各位に感謝致します。

## 参考文献

- (1) K. Mikami, K. Tabuchi, 'A computer program for optimal routing of printed circuit conductors.' Proc. Information Processing '68, 1969, pp. 1475-1478.
- (2) D. W. Hightower, 'A solution to line routing problems on the continuous plane' 6th Design Automation Workshop, 1969, pp. 1-24
- (3) Lee, C. Y., 'An algorithm for path connections and its applications.' IEEE Trans. Electronic Computers, 1961, pp. 346-365
- (4) J. C. Foster, 'A "Lookahed" Router for Multilayer Printed wiring Boards' 16th DAC, 1979, pp. 486-492
- (5) J. Soukup, 'Global router' 16th DAC, 1979, pp. 481-485
- (6) 鈴木，上田他，'高密度プリント基板自動配線の汎用化の一手法' 情処学会，電子装置設計研究会資料，1982.12-3
- (7) 鈴木，御幡他，'プリント基板設計システム(CADAS)の会話型配線' 情処学会第30回全国大会，1985, pp. 1897-1898