

最適板取り自動計算システム

沢田 晃二

1. ま え が き

板取り（ブランクレイアウト）とは、図1のようにプレス金型を使ってコイル材から素材板（ブランク）を打抜くとき、あるいはせん断するときの配置をいう。板取り処理は、プレス技術の中で重要な技術の1つであり、良いブランクレイアウト（以後、単にレイアウトと呼ぶ）は、素材費低減の鍵となる。

板取り処理ができる電算機システムは、世の中に数多く存在する。一般に設計製図システムと呼ばれているものであれば、すべて板取り処理ができるといっても過言ではない。なぜならば、回転・コピー・移動といった標準的な図形操作機能さえあれば、ドラフタで処理するよりも早く一応のレイアウトが得られるからである。ただし、得られるレイアウトは、必ずしも素材費が最小となるものではない。

最小素材費レイアウトを求めるプログラムの必要性は、だれもが認めるところであり、長方形のような単純形状ブランクについて自動計算するプログラムは、すでに存在し、実用化されている。しかしながら、任意形状ブランクの最小素材費レイアウトを自動計算するプログラムは、3. 以下で述べるように、

その計算量の膨大さと複雑さゆえに、実用レベルに達するものは存在しなかった。

今回、当社では任意形状ブランクの最小素材費レイアウトを全自動で計算できる実用プログラムを開発したので紹介する。

2. 板取り処理

板取り処理は、材料歩留り向上による素材費の低減を主目的に行なわれる。本稿では歩留りを下記のとおり定義する。

$$\text{歩留り} = \frac{\text{ブランク面積}}{\text{送りピッチ} \times \text{コイル幅}} \times 100 (\%)$$

ここで送りピッチとは、1ストローク毎のコイル材の送り量をいう。

2.1 板取り処理の検討項目

板取り処理には、上記歩留りと同時に下記のように

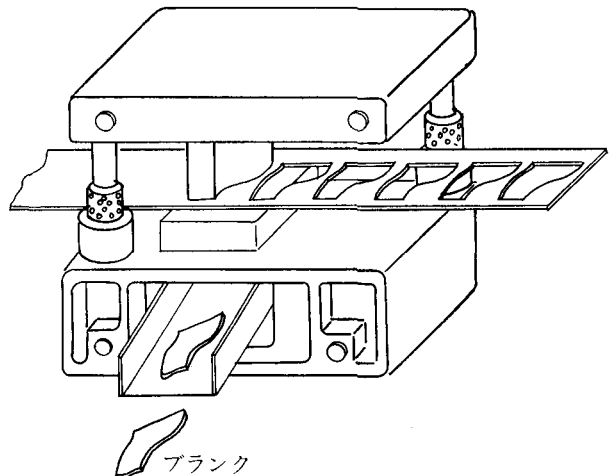


図1 プレス金型

さわだ こうじ 日産自動車㈱ 工機工場

〒228 座間市広野台1-5000

うな検討項目がある。

(1) プレス金型製作費および型治工具段取り費

図2のように、コイル材の送り方向に対して直角方向の切刃でせん断できる板取りの場合(以後、シャーリングタイプと呼ぶ)あるいは図3のように、単に直線切刃でせん断できる板取りの場合(以後、直線切刃タイプと呼ぶ)歩留りが悪い反面、せん断専用機あるいは汎用金型が使えるため金型費が不要で型治工具段取り費も小さい。

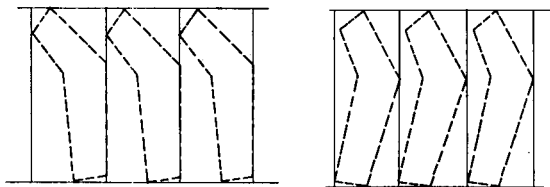


図2 シャーリングタイプ板取り

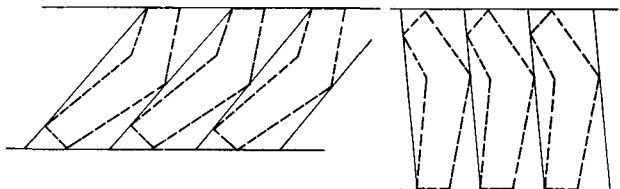


図3 直線切刃タイプ板取り

図4のように、曲線切刃で切り落とす板取りの場合(以後、曲線切刃タイプと呼ぶ)、歩留りは良いが、金型費および型治工具段取り費が高い。

(2) 生産性と型構造

図5のように、1ストロークで2ヶずつ切り落せば能率的であり歩留りも良くなるが、金型の構造が複雑になる。1ストロークで n ヶ落とす板取りを以後、 n ヶ取りと呼ぶ。



図4 曲線切刃タイプ板取り

また、図6のように異なるブランクを組み合わせて同時に打抜く板取りを、組み合わせ板取りと呼ぶ。組み合わせ板取りには、総金型数を減らせるという利点がある。

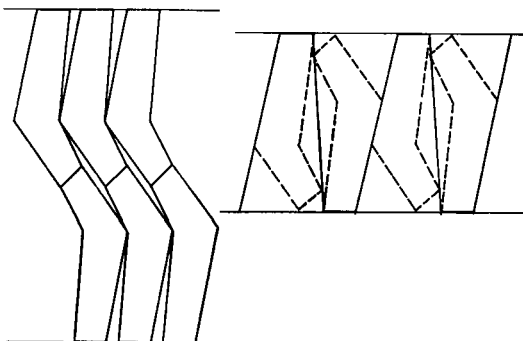
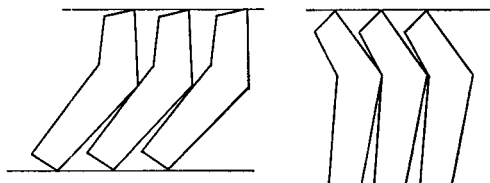


図5 2ヶ取り

(3) 素材の異方性と配置方向

2次加工として曲げ加工がある場合には、材質によっては圧延にもとづく異方性の検討が必要となり、配置方向に関する制約が生じることがある。

2.2 処理手順

上記の検討項目にもとづいた標準的な板取り処理手順は、次のようになる。

(1) 配置制約条件の設定

さん幅、配置方向および配置範囲などについての条件を設定する。

(2) 最適レイアウト(最適板取り)を求める。

使用頻度の高い下記タイプの配置法それぞれについて、(1)の制約条件

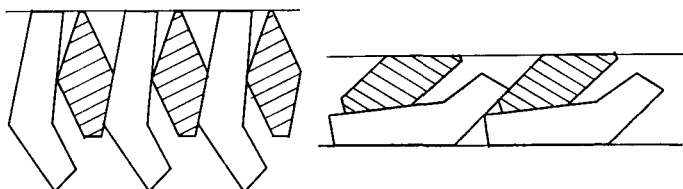


図6 組み合わせ板取り

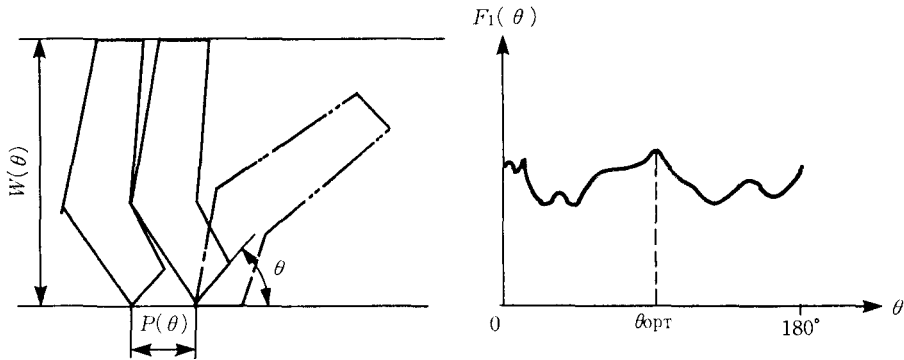


図7 ブランク傾け角 θ と歩留り関数 $F_1(\theta)$

を満たす最適レイアウトを求める。

- ・シャーリングタイプ
- ・直線切刃1ケ取りタイプ
- ・直線切刃2ケ取りタイプ
- ・曲線切刃1ケ取りタイプ
- ・曲線切刃2ケ取りタイプ
- ・曲線切刃4ケ取りタイプ

なお、最適レイアウトとは、無数に存在するレイアウトの中で、(1)の条件を満たし、かつ素材費が最小となるレイアウトをいう。

(3) 総合評価

(2)で求まる6つの最適レイアウトを総合的に検討し、最終的に1つを選択する。

3. 最適レイアウトの求め方

素材費は、次式で与えられる。

素材費＝送りピッチ×コイル幅×板厚×比重×
 素材単価－スクラップ重量×スクラップ単価
 素材単価が一定の場合には、素材費と歩留りは反比例の関係になり、最適レイアウトを求めることと歩留りが最大のレイアウト（以後、最大歩留りレイアウトと呼ぶ）を求めることは同じになる。

コイル材のように標準幅材や特寸幅材があり、コイル幅により素材単価が変る場合の最適レイアウトの求め方は次のようになる。

- ① 素材単価が一定となるコイル幅ごとに、最大歩留りレイアウトを求める。

- ② ①で求めた最大歩留りレイアウトそれぞれについて素材費を計算し、素材費最小のものを求める。

以上述べたように、最適レイアウトを求めることはコイル幅ごとに最大歩留りレイアウトを求めると同じであるといえる。以下にその求め方について述べる。

まず始めに、曲線切刃1ケ取りタイプの最大歩留りレイアウトを求める問題を考える。図7に示すように1ケ取りの場合の歩留りは、送り方向に対するブランクの傾け角 θ （以後、ブランク傾け角と呼ぶ）を変数とする関数 $F_1(\theta)$ と考えることができる。

$$F_1(\theta) = \frac{A}{P(\theta) \times W(\theta)} \times 100$$

A ：ブランク面積

$P(\theta)$ ：送りピッチ

$W(\theta)$ ：コイル幅

最大歩留りレイアウトを求めることは、いいかえると、 $F_1(\theta)$ を最大にする $\theta(\theta_{OPT})$ を求めることになる。ところが、上述の $P(\theta)$ および $W(\theta)$ が数式として与えられることはなく、ゆえに θ_{OPT} を解析的に求めることはできない。結局のところ探索法によって求めることになる。すなわち、 θ の値をいろいろに設定し、各 θ についてのレイアウトを求め歩留りを計算し、最大の歩留りを与える θ を採用するのである。

次に、曲線切刃2ケ取りタイプの場合を考え

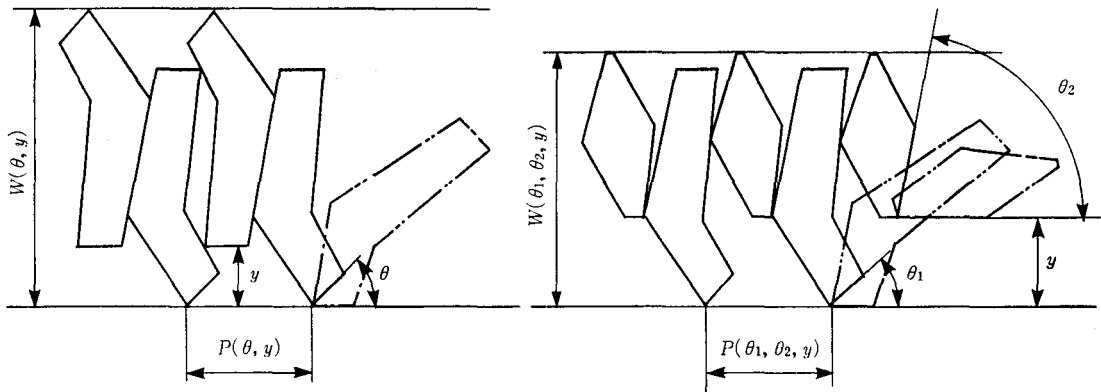


図8 ブランク傾け角 θ と距離 y

る。この場合の歩留りは、図8のように θ に加えて、ブランクとコイル端間の距離 y を変数とする関数 $F_2(\theta, y)$ と考えられる。

$$F_2(\theta, y) = \frac{2A}{P(\theta, y) \times W(\theta, y)} \times 100$$

組み合わせ板取りの場合は、

$$F_2(\theta_1, \theta_2, y) = \frac{A_1 + A_2}{P(\theta_1, \theta_2, y) \times W(\theta_1, \theta_2, y)} \times 100$$

$\theta_1, \theta_2, \theta_3$: ブランク傾け角

A, A_1, A_2 : ブランク面積

$P(\theta, y), P(\theta_1, \theta_2, y)$: 送りピッチ

$W(\theta, y), W(\theta_1, \theta_2, y)$: コイル幅

この場合、最大歩留りレイアウトを求めることは、2変数 (θ, y) あるいは3変数 (θ_1, θ_2, y) についての最適点探索問題となる。

一般に n ヶ取りタイプの最大歩留りレイアウトを求めることは、下記多変数非線形システムの最適化問題と等価である。

$$F_n(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n, y_1, y_2, \dots, y_{n-1}) = \frac{(A_1 + A_2 + \dots + A_n) \times 100}{P(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n, y_1, y_2, \dots, y_n) \times W(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n, y_1, y_2, \dots, y_n)}$$

4. 従来の板取りCADシステム

従来の板取りCADシステムのほとんどは、対話型グラフィックシステムであり、設計者は、画

面上に図形を表示し操作することにより、レイアウト処理を行なう。

従来システムによる最適レイアウト探索処理の流れを図9に示す。

- ①設計者は、経験と勘により、歩留りが良さそうな角度 θ を設定する。
- ②回転・コピー・移動などの機能を使って、目視で重なりをチェックしながら配置する。
- ③求めたレイアウトの送りピッチとコイル幅から歩留りを計算する。
- ④時間の許す限り、最適レイアウトが求められたと判断できるまで①～③のレイアウト処理を繰り返す。要するに、試行錯誤による探索を行なうのである。

5. 従来システムの問題点

対話型システムでの板取り処理には、以下の問題がある。

- (1) 最適レイアウトの探索精度が悪い

従来システムは、コンピュータを使用するためドラフタによる処理よりは早いですが、それでも対話型オペレーションである以上、1回のレイアウト処理には分単位の時間を要する。したがって、現実的に検討できるレイアウトの数は、多くて数十通りである。この数は、最適レイアウトを探索するには、あまりにも少ない。なぜならば、 θ_{QPT} の探索精度 $\Delta\theta$ (図10参照)を、仮に 0.1° とした場

合でも 1,800 通りのレイアウトを検討する必要があり、数十通りの検討で可能な探索精度は、 $2 \sim 3^\circ$ が限界だからである。

曲線切刃 2ヶ取りタイプの最適レイアウトを求めようとする、事態はあっさり深刻になる。この場合は θ_{OPT} の探索と同時に y_{OPT} の探索が必要となり、探索精度 Δy (図11参照) の大きさおよびブランクサイズにもよるが、少なくとも数十万通りのレイアウトを検討する必要がある。すなわち、従来システムで最適レイアウトを求めることは、実践的にはきわめて難しい。

(2) レイアウトそのものの精度が悪い限られた画面上での目視によるオペレーションであるため、ボディ・シャン部品用の寸法的に大きなブランクを扱う場合、重なりをチェックするための拡大描画を行なうが、これにより全体の相対関係がつかみにくい。

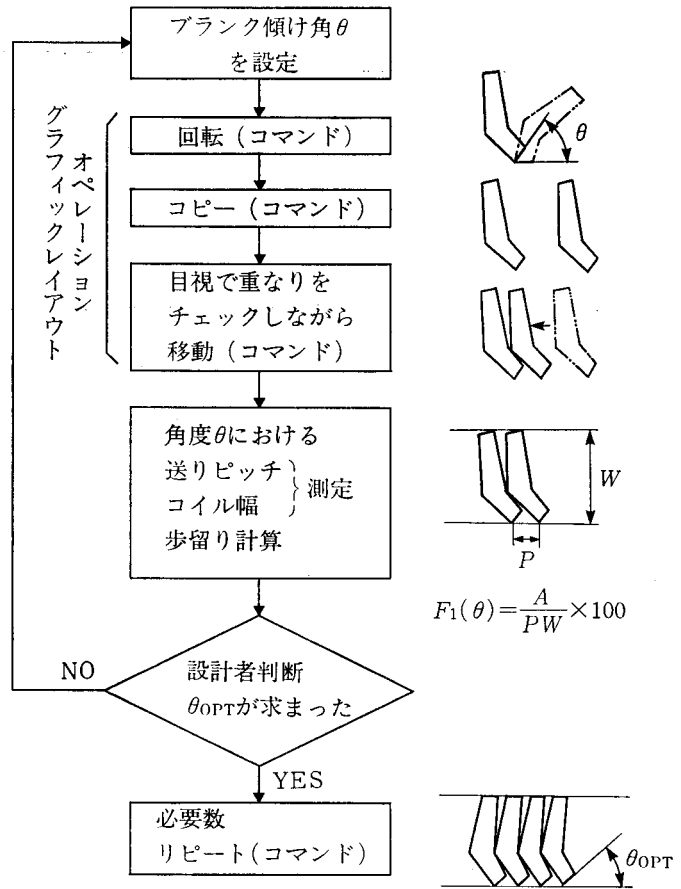


図9 従来システムにおける最適レイアウト探索処理の流れ

6. 新板取りCADシステム

上記の問題点を解決するには、1回のレイアウト処理をきわめて高速に行なう以外に方法はなく、従来の対話型オペレーションに代って全自動であることが不可欠となる。

今回、新たに開発したシステムは、全自動・高速レイアウト計算を実現したシステムであり、現実的な計算時間で、前記6タイプの最適レイアウトすべてを自動計算することができる。また、最

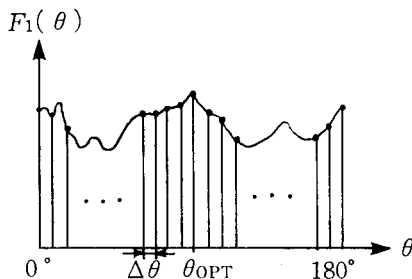


図10 最適レイアウト探索精度 $\Delta\theta$

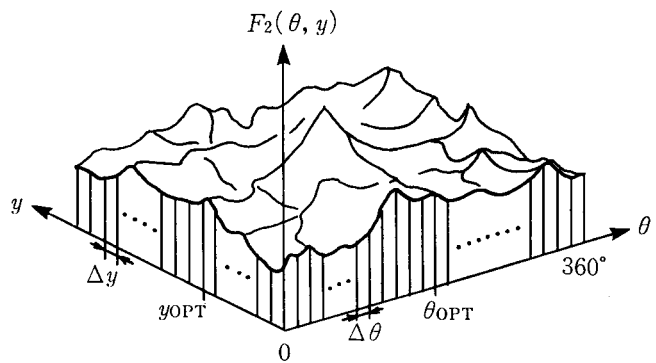


図11 最適レイアウト探索精度 $\Delta\theta, \Delta y$

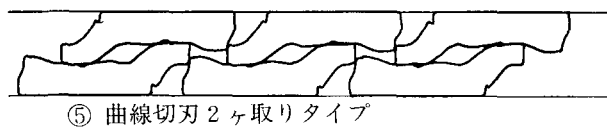
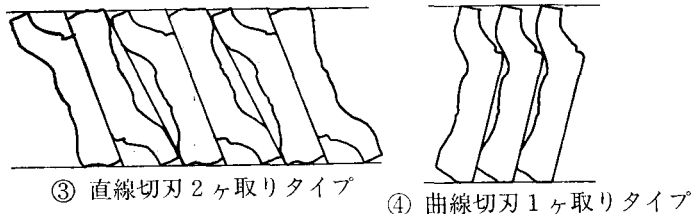
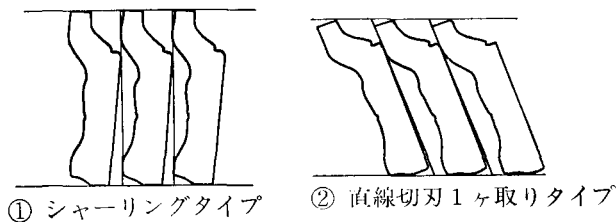


図12 メンバサイドフロント最適レイアウト

表1 最適レイアウト計算時間と
検討レイアウト数

タイプ	計算時間	検討レイアウト数
図12の①～④各々	数十秒～数分	数千通り
図12の⑤	10分以内	10万通り以上

適な組み合わせ板取りを求めることもできる。

なお、計算対象ブランクとしては、ボディ部品のように大きなものから、トルクコンバータのタービンブレードのように小さなものまで扱うことができる。

図12に、メンバサイドフロントについて求めた最適レイアウトを示す。また、計算に要した時間および検討レイアウト数を表1に示す。

7. 開発のポイント

新システムの開発におけるポイントを以下に示す。

(1) 最小送りピッチの高速計算

レイアウトにおける最小送りピッチの計算、すなわち、図13のような重なりやはめ合い問題の計算は、電算機の最も苦手とする分野であり、通常の幾何・解析手法を使うと、その計算時間は膨大なものとなる。

この問題を解決するため、新システムでは図形外形線の認識法に工夫をこらし、計算時間の短縮を計っている。

(2) 素材費の自動計算

一般に、鋼板の価格体系は非常に複雑であり、同一材質であっても板厚やコイル幅により単価が異なる。このため、前述のとおり最大歩留りレイアウト=最適レイアウトという関係は必ずしも成り立たない。

そこで、新システムにおいては、最適レイアウトを求めるため、標準幅

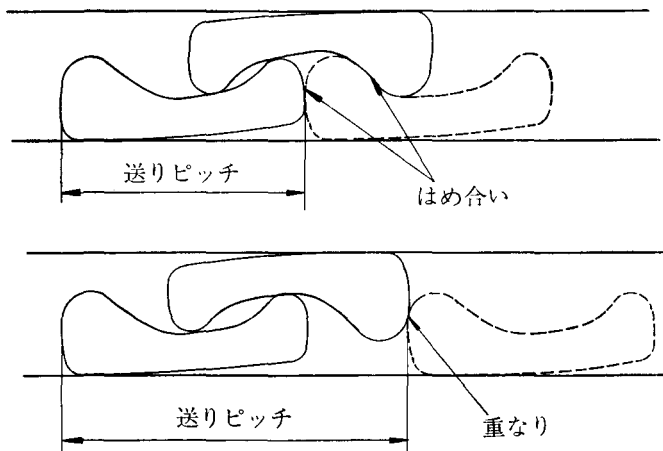


図13 送りピッチとはめ合い、重なり

材、特寸幅材および、スクラップコストを含めた鋼板単価のデータベース化を計り、素材費の自動計算を行なっている。

(3) 計算精度と最適レイアウト探索の効率化

製品設計から金型設計に至る流れの中で、板取り処理を行なう段階はいくつかある。

・製品設計および工程計画段階

本段階で行なう板取り処理は、最適レイアウトを求めるとともに歩留り向上を阻害している箇所を見つけて、製品の設計変更を行ない、より一層の歩留り向上を計ることを目的としている (図14参照)。つまり、

θ_{OPT} を正確に求めることのみならず、 $F_1(\theta)$ を向上することを目的としている。

したがって、この段階における板取り処理では、高い計算精度はもとより、設計への早いフィードバックが重要となる。

・プレス金型設計段階

本段階は、プレス金型用のレイアウト図や切刃加工用NCデータを出力するために、最終的な最適レイアウトを計算する段階である。

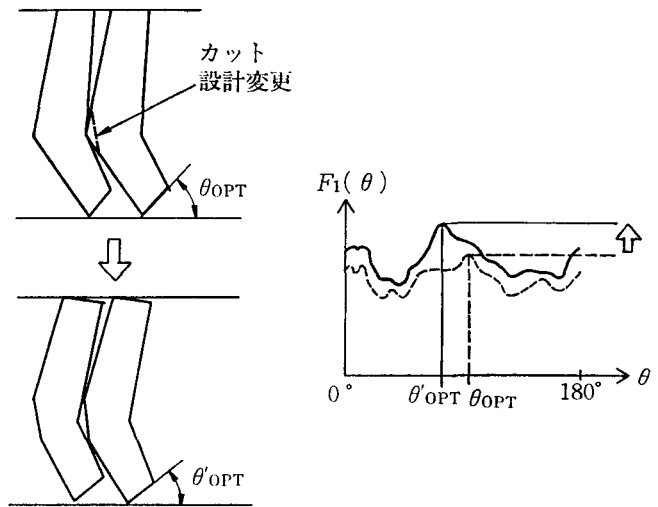


図 14 設計変更と歩留り

したがって、高い計算精度が要求される。

以上のように、段階によって必要な計算精度は異なる。また、いかに計算が高速になったとはいえ、明らかに無駄な計算は避けるべきであり、新システムでは計算精度の指定および要求精度に応じた効率的な最適レイアウト探索を行なうことができる。

なお、最適レイアウト探索における制約条件として配置方向・配置範囲・さん幅などの条件が設定できるようになっていることはいうまでもない。

8. 効果

新システムの効果を検証するため、現行生産中のジャン・ボディ部品、計8点について本システムによる計算を試みた。その結果を表2に示し、最適レイアウトの一部を図15~図18に示す。

新システムを使うことによる歩留り向上効果は、約1~4%であった。なお、この程度の歩留り向上であっても、生産台数を勘案すると、きわめて大きな原低効果をもたらす。

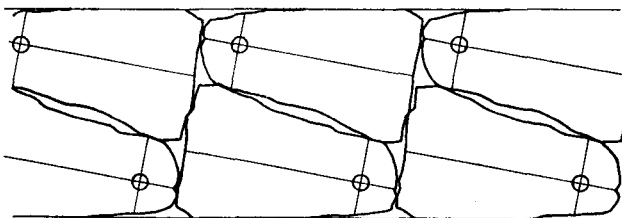


図 15 フェンダフロント

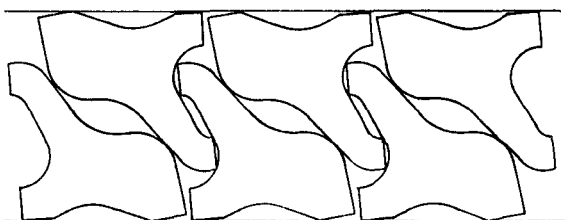


図 16 アームリヤサスペンションA最適レイアウト

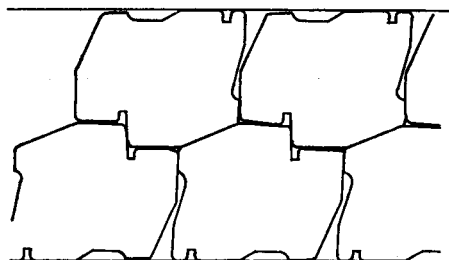


図 17 リンクトランスパース最適レイアウト

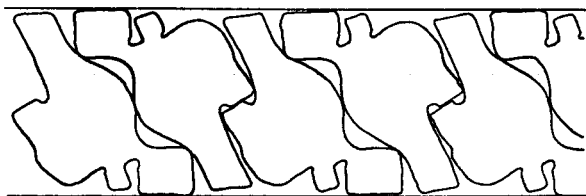


図 18 テンションロッドブラケット最適レイアウト

今回の試みで明らかになった内容の一部を下記に示す。

(1) アームリヤサスペンション

図19は、アームリヤサスペンションA部品についての歩留り関数グラフで、図20は現行レイアウトである。本部品について現われた3.81%の歩留り差は、設計者が、最適レイアウト（図18）に対して90° 近くずれたブランク傾け角を採用してしまったことによる。

(2) リンクトランスパース

リンクトランスパースで現われた歩留り差1.14%は、ブランク傾け角が最適レイアウトに対し0.6° くるっていたことによる。

(3) テンションロッドブラケット

テンションロッドブラケットで現われた歩留り差2.71%は、ブランク傾け角が1.7°くるっていたことによる。

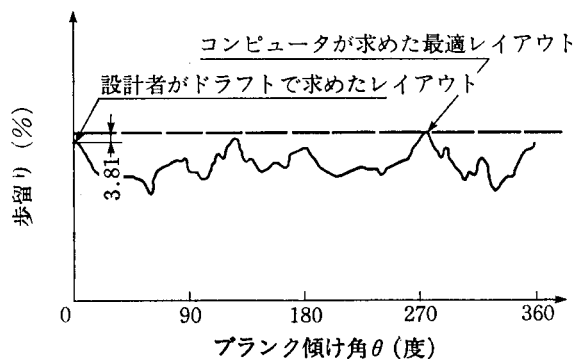


図 19 アームリヤサスペンションA歩留り関数グラフ

9. あとがき

本システムは、1983年より稼動している。

開発後、他部門からの要望により、板材に関する板取りもできるように改良を加え、現在に到っている。

表 2 新システムによる歩留り試算

部 品	新システムによる歩留り向上 (%)	ブランク傾け角角度差 (度)
メンバサイドフロント	3.76	
フェンダフロント	1.06	
リヤホイールハウスアウト	1.49	
テンションロッドブラケット	2.71	1.7
アームリヤサスペンションA	3.81	83.95
アームリヤサスペンションB	3.65	82.47
リンクトランスパース	1.14	0.6
ブレードタービン	0.92	

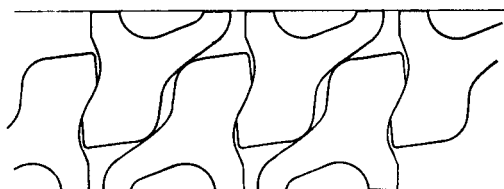


図 20 アームリヤサスペンションA