研 究

2次元順送型自動設計の研究 (第1報)*

—形状パタンを用いた設計モデル—

小島俊雄** 田村公男*** 曾田長一郎† 足助富美雄† 中原征治†

A CAD System for Progressive Blanking Dies
(1st Report)

—A Design Model with Two Dimensional Patterns—

Toshio KOJIMA, Kimio TAMURA,
Choichiro SODA, Fumio ASUKE
and Seiji NAKAHARA

The serial studies aim to establish a CAD system which can solve the specifications of the progressive blanking die required to produce a desired product, when the specifications of the product is given as input information. The present paper makes the mathematical model of this designing process clear. The results obtained are summarized as follows.
(1) The geometry of the product is first represented

by a set of two dimensional patterns, then the required die is designed in such a way as its shape being described by a set of columns which are obtained by sweeping the patterns along the die working direction. (2) In connection with the design parameters along the die operational direction and those on the planes vertical to the direction, the design process is classified separately into two parts. (3) The design parameters on the planes are decided by the three steps; the specifications of the point contour shapes of the tools, the blank layout and the tool layout. They are represented by the set operations of two dimensional patterns, respectively.

Key words: CAD, design model, press tool, die, progressive blanking, set operation.

1. ま え が き

プレス金型の生産において、型構造の高度化、複雑化及びプレス加工の多種少量生産化に伴い、従来、熟練者によって行われてきた設計作業の省力化や設計時間の短縮に対する要請が強まっている。このため、型構造や型構成部品の規格化が進められているほか、自動設計システムの開発が試みられている^{1)~3)}。しかしながら、これらは、設計作業の部分的な自動化や製図作業の省力化に限定されていたり、設計者が逐一設計パラメータを指定する必要があるなどの問題点が残されている。この原因として、一貫した自動設計システムを実現する基礎となる設計手順や設計データの整理の不十分なことが考えられる。しかしながら、現在までプレス金型の設計作業をモデル化し体系的に記述した研究は見当たらないように思われる。

本研究は最も設計がむずかしいとされる順送型の自動設計を考察の対象にする。本報ではプレス製品の仕様が与えられたとき、その製品を加工するプレス金型の仕様を設計結果として得るまでの設計プロセスを数学モデルとして記述することを試みる。

以下では、説明を簡単にするため、JISなどの規格部品を使用したダイボタン形式で、せん断加工を中心とする2次元順送型を例題に選択しており、2次元形状の集合演算による表現を用いて記述する。

本文は、2章でプレス製品の仕様を記述する方法について、さらに、3章で設計結果である金型の仕様を記述する方法についてそれぞれ述べる。そして、4章において、2章で記述した製品仕様を3章で記述した金型仕様に変換する設計過程のモデルについて述べる。最後に、5章において、金型設計の具体的作業が4章で述べたモデルによって記述されることを示す。

2. 製品仕様の記述

本文で対象とするプレス製品の仕様としては、形状、バリの方向や高さ及び寸法精度等がある。

まず、プレス製品の形状を表現するため、図1に示すような座標原点 O_s 、 X_s 軸及び Y_s 軸からなる座標系で定められる V を考える。これは外形状 V_0 と穴形状 V_1 で構成されている。一般に、これらの形状を、単一連結閉集合 $\{V_i: i=0, \dots, n_r\}$ で構成される図形と考えると、製品形状 V は、

$$V = V_0 \cap \bigcap_{i=1}^{n_r} V_i^c \quad (1)$$

と集合演算記号 (集合に関する記号は岩波数学辞典⁴⁾による) を用いて記述される。式 (1) 及び以下に出現する

* 原稿受付 昭和54年11月9日。昭和54年度精機学会関西地方定期学術講演会 (昭和54年7月12日) にて発表。

** 正会員 機械技術研究所 (茨城県新治郡桜村並木1-2)

*** 正会員 職業訓練大学校 (相模原市相原1960)

† 機械技術研究所

図1 製品形状の例

図2 形状パタンの構成

集合演算記号に付した*は Requicha ら⁵⁾の導入した正則化された集合演算であることを示す。ただし、

$$V_i \subset V_0 \quad i=1, \dots, n_v \quad (2)$$

$$V_i \cap V_j = \emptyset \quad i, j=1, \dots, n_v (i \neq j) \quad (3)$$

である。

本文で対象とする形状は2次元ユークリッド空間の有界閉集合であり、その境界線は有限個の線分、円弧及び代数曲線を任意の組合わせで接続したものである。したがってその形状は正則集合であり、正則化された集合演算が適用できる。これは通常の集合演算を用いると式(1)の右辺の V_i に関する補集合をとった場合、形状が閉集合として表現されなくなり現実的でない。正則化された集合演算はこれを避けるためである。ここで、 $\{V_i\}$ を形状パターンと呼び、特に V_0 を外形形状パターン、 $\{V_i: i=1, \dots, n_v\}$ を穴形状パターンと呼ぶことにする。式(2)及び(3)は、外形形状パターン V_0 が n_v 個の穴形状パターンを内部に含んでおり、各穴形状パターン V_i は連結ではないことを示している。

一方、バリの指定は次のように記述される。形状パターン $\{V_i\}$ の境界線を図2のように C_i とする。そして、境界線 C_i は一般に区分的に滑らかな曲線 $\{C_{ij}: j=1, \dots, n_{ci}\}$ を時計回り方向に順次継ぎ合わせて得られるとすると、

$$C_i = C_{i1}C_{i2} \dots C_{in_{ci}} \quad i=0, \dots, n_v \quad (4)$$

と表現できる。 C_{ij} を輪郭要素と呼ぶ。このとき、バリの指定 ϕ は、

$$\phi: \{C_{ij}\} \rightarrow \text{実数} \quad (5)$$

図3 部品形状の分解

の形で与えられる。 $|\phi(C_{ij})|$ はバリ高さの許容限度を示し、その符号は、正は上向き、負は下向きのバリ方向であることをそれぞれ示す。

また、寸法精度の指定は輪郭要素を変数とする関数 ϕ により、

$$\begin{aligned} \phi_+: \{C_{ij}\} \times \{C_{ij}\} &\rightarrow \text{実数} \\ \phi_-: \{C_{ij}\} \times \{C_{ij}\} &\rightarrow \text{実数} \end{aligned} \quad (6)$$

として与えられ、 ϕ_+ は公差の上限を、 ϕ_- は公差の下限を表すものとして表現される。一般に式(6)は、輪郭要素に関して、距離あるいは角度の値として与えられる公差指定を表現している。式(5)及び(6)はすべての輪郭要素に関して指定されるとは限らず、製品の機能に応じて部分的に指定されるのが一般的である。

なお、その他の製品仕様として被加工材の材質及び厚さ、あるいは製品の総数などがあるが、これらは数値あるいはコードの形で記述される。そして、本文ではこれらプレス製品の仕様をまとめて S と呼ぶ。

3. 2次元順送型の記述

本章においては、設計結果である金型の仕様を階層構造として記述する。まず、型構成部品は比較的単純な形状から成り立っており、本文で対象とする設計の範囲内では横断面形状が段階的に変化する $2\frac{1}{2}$ 次元の形状と考えることができる。たとえば、図3に示すようなパンチは刃先部、軸部及びフランジ部に分解され、刃先部は刃先形状を、軸部及びフランジ部は円をそれぞれ断面形状とする柱体とみなすことができる。したがって型構成部品を次のように記述することができる。以下では記号の下添字として、理解を助けるため、上型に関する場合は U を、下型に関する場合は L をそれぞれ付するものとする。

上型に組付けられる n_v 個の部品を $\{P_{Ui}: i=1, \dots, n_v\}$ とし、各部品の端面上に原点 O_{Ui} 、 X_{Ui} 及び Y_{Ui} 軸

を, また部品の組付状態における金型の動作方向を Z_{Ui} 軸とする直交座標系をとる. そして, 部品 P_{Ui} が2次元単一連結閉集合で定義される断面形状 $\{B_{Uik}: k=1, \dots, n_{Ui}\}$ を有し, それぞれの柱体の $X_{Ui}-Y_{Ui}$ 平面上での平行移動及び回転を表す座標変換を $\{T_{Uik}: k=1, \dots, n_{Ui}\}$, また, Z_{Ui} 方向の長さを $\{z_{Uik}: k=1, \dots, n_{Ui}\}$ とする. これらをまとめると, 部品 P_{Ui} は,

$$P_{Ui} = \{(B_{Uik}, T_{Uik}, z_{Uik}): k=1, \dots, n_{Ui}\} \quad (7)$$

と表現することができる. 図3に示したパンチの場合は3個の柱体を端面を接した形で順次連結したものであり, このときには $\{T_{Uik}\}$ は恒等変換である.

下型に組付けられる n_L 個の部品 $\{P_{Li}: i=1, \dots, n_L\}$ に関しても, 原点 O_{Li} , 座標軸 X_{Li}, Y_{Li} 及び Z_{Li} , 断面形状 $\{B_{Lik}: k=1, \dots, n_{Li}\}$, 座標変換 $\{T_{Lik}\}$ 及び長さ $\{z_{Lik}\}$ を同様にとれば, 部品 P_{Li} は,

$$P_{Li} = \{(B_{Lik}, T_{Lik}, z_{Lik}): k=1, \dots, n_{Li}\} \quad (8)$$

と記述される.

なお, 部品に穴部分がある場合は負の柱体からなる負の部品が存在すると考えて同様の表現が可能である⁶⁾. また, 各部品の材質などのほかの仕様は式(7)及び(8)における表現に附属する数値あるいはコードとして記述される.

次に部品の金型における取付位置について記す. 上型においてはパンチホルダ上面内に原点 O_U , X_U 軸及び Y_U 軸を, 下向きに Z_U 軸を定め, 下型においてはダイホルダ下面内に原点 O_L , X_L 軸及び Y_L 軸を, 上向きに Z_L 軸をそれぞれ座標軸として定める. そして, 上型部品 $\{P_{Ui}\}$ の上型への取付位置を, 部品の座標系から上型の座標系への座標変換と考え, X_U 軸及び Y_U 軸方向に関する座標変換 $\{T_{Ui}\}$ と Z_U 軸方向の位置 $\{z_{Ui}\}$ とに分離して表す. また, 下型部品 $\{P_{Li}\}$ の下型への取付位置に関しても同様に, X_L 軸及び Y_L 軸方向に関する座標変換 $\{T_{Li}\}$ と Z_L 軸方向の位置 $\{z_{Li}\}$ とに分離して表す. このとき, 上型 D_U 及び下型 D_L は,

$$D_U = \{(P_{Ui}, T_{Ui}, z_{Ui}): i=1, \dots, n_U\} \quad (9)$$

$$D_L = \{(P_{Li}, T_{Li}, z_{Li}): i=1, \dots, n_L\} \quad (10)$$

で与えられる. たとえばパンチは図4に示すように上型内の位置が指定される.

さらに, 金型の組立状態における上型と下型の関係をプレス機械の動作方向を中心とした関係として記述する. ボルスタ面に原点 O , X 軸及び Y 軸をとり, プレス機械の動作方向を Z 軸とする座標系を考える. そして, 上型の X 軸及び Y 軸方向に関する上型の座標系からプレス機械の座標系への座標変換を T_U , Z 軸に関する位置を z_U とし, 同様に下型に関しても, X 軸及び Y 軸方

図4 部品取付位置の表現

向に関する座標変換を T_L , Z 軸に関する位置を z_L とすると, プレス金型 D は,

$$D = \{(D_U, T_U, z_U), (D_L, T_L, z_L)\} \quad (11)$$

と表現される.

しかしながら, D が正常に動作し, 式(1)~(6)で記述される所定の製品を生産できるか否かはこのままでは明確ではない. これは式(1)~(11)における表現のデータ間の拘束条件等の関係を満足するか否かによって判定される. 本文ではこの関係は抽象的に,

$$\{R_i: i=1, \dots, n_R\} \quad (12)$$

として記述される. 自動設計システムにおいては式(1)~(11)はデータ構造として記述され, 式(12)はデータ構造を処理・操作するプログラムとして記述される⁷⁾.

4. 設計モデルの概要

本文で扱う設計問題は, 2章の式(1)~(6)で記述される製品仕様 S を入力とし, 3章の式(7)~(11)の金型仕様 D を出力として得る変換問題として定式化される. 具体的には式(12)の諸条件を満足し, 一定の評価関数に関する最適出力を求めることである. しかしながら上記の変換問題は複雑であり, 一度に解を得ることは困難である. 本章では設計作業を整理するため以下の3種類の2次元断面形状モデルについて, その表現と, モデルの有すべき基本的な条件について述べる.

4.1 工具刃先形状モデル

まず製品形状等を工具刃先形状に変換するモデルについて述べる.

式(1)で示す製品形状と工具刃先形状との関係はプレ

図5 外形状パタンの工具刃先形状への分解

ス加工においては次のように定式化される。

外形状 V_0 は加工の種類及び工具刃先形状と対応する2次元単一連結閉集合 $\{W_{0j}: j=0, \dots, n_{w0}\}$ を用いると、

$$V_0 = \begin{cases} W_{00} & (13) \\ W_{00} \cap \bigcap_{j=1}^{n_{w0}} W_{0j}^c & (14) \\ \bigcap_{j=1}^{n_{w0}} W_{0j}^c & (15) \end{cases}$$

のいずれかの形に分解される。たとえば図1に示した外形状 V_0 を加工する場合、式(13)は図5(a)の外形打抜きに、式(14)は図5(b)の切欠きと打抜きの混合に、そして式(15)は図5(c)のふち切りによる外形状の創成にそれぞれ対応することになる。

ただし、式(14)による分解において W_{0j} は、

$$W_{0j} \cap W_{00} \neq \phi \quad (16)$$

および、

$$W_{0j} \not\subset \bigcap_{k \neq j}^{n_{w0}} W_{0k} \quad (17)$$

により、切欠きによって外形状の一部が実際に加工される条件を書き下すことができる。また、式(17)が成立するときのみ式(15)による分解も意味を有する。

次に穴形状の分解について述べる。

穴形状 $\{V_i: i=1, \dots, n_v\}$ の場合も外形状と同様に2次元単一連結閉集合 $\{W_{ij}: j=1, \dots, n_{wi}\}$ により、

$$V_i = \begin{cases} \bigcap_{j=1}^{n_{wi}} W_{ij} & (18) \\ \bigcap_{j=1}^{n_{wi}} W_{ij} \cup W_{i0} & (19) \end{cases} \quad i=1, \dots, n_v$$

のいずれかで表現される。式(19)における W_{i0} は $W_{i0} \subset V_i$ で、

$$W_{i0} \cap W_{ij} \neq \phi \quad (20)$$

図6 穴形状パタンの工具刃先形状への分解

を満足する任意の集合であり、またそのとき、

$$W_{ij} \not\subset \bigcup_{k \neq j}^{n_{wi}} W_{ik} \quad (21)$$

である。図6は図1に示した穴形状 V_1 を加工する場合に対応しており、式(18)は図6(a)に示す通常の穴加工に、式(19)は図6(b)に示すように穴形状の内側からの加工にそれぞれ対応している。また式(21)は W_{ij} が現実加工に寄与するための条件を示している。

$\{W_{ij}\}$ は形状パターンであるが、式(13)から(21)においては工具(パンチ及びダイ)の刃先形状と対応している。

今、工具刃先形状の集合を一般に $\{W_k: k=1, \dots, n_w\}$ とし、 $\{W_{ij}\}$ は $\{W_k\}$ を製品座標系に対して T_{ij} なる座標変換をうけているとすれば、適当な k に対して、

$$W_{ij} = T_{ij} W_k \quad k \in [1, n_w] \quad (22)$$

が成立する。

本文では $\{W_{ij}\}$ や $\{W_k\}$ を刃先パターンと呼ぶ。いずれの場合にも、刃先パターン $\{W_k\}$ は面積を有することが現実的である。さらに現実的な技術上の制限として、たとえば、板厚以下の直径を有する独立な穴形状が存在しないことや穴形状間のさん幅は板厚以上の長さであることなどの条件がある。これらは $\{W_k\}$ や $\{W_{ij}\} \times \{W_{ij}\}$ などの関係として定式化され、式(16)などと同様に式(22)で示される $\{R_i\}$ の形式で記述されたと考える。このような製品形状の刃先パターンへの分解により、形状以外の製品仕様を次のように変換することができる。

バリに関しては、式(5)で指定された輪郭要素 C_{ij} が工具により抜き落とされる側にあるか否かによって、

$$\varphi(C_{ij}) > 0: C_{ij} \subset W_{00} \quad (23)$$

$$\varphi(C_{ij}) < 0: C_{ij} \subset W_{0k} \cup W_{qr} \quad (24)$$

$$k=1, \dots, n_{w0}; q=1, \dots, n_v; r=1, \dots, n_{wq}$$

と表現される。

一方、製品公差を保証するために、金型設計において、工具配置や被加工材の位置決め方法を定めることになる。式(6)による寸法公差指定に対しては、 $\{W_{ij}\} \times \{W_{ij}\} \rightarrow$ 実数なる ϕ_+ 及び ϕ_- が存在して、

$$\phi'_\pm(W_{ij}, W_{qr}) = \min\{\phi_\pm(C_{i'j'}, C_{q'r'})\} \quad (25)$$

$$C_{i'j'} \subset W_{ij}, C_{q'r'} \subset W_{qr} \quad (\text{複号同順})$$

と記述することができる。式(25)は輪郭要素間の関係として、製品仕様で定義された寸法公差が、刃先ボタン間の公差に変換されることを示している。順送型では刃先ボタン間の精度に関し、

$$\left. \begin{array}{l} R_S: \text{同一ステージにおける工具の取付精度} \\ R_I: \text{パイロットピンによる位置決め精度} \\ R_F: \text{送り装置による精度} \end{array} \right\} \quad (26)$$

の離散的な3種の $\{W_{ij}\}$ 間の2項関係が存在する。これらの関係は精度の高い順に R_S, R_I, R_F である。このうち R_S は同値関係で、直和分割 Q_S により、 $\{W_{ij}\}$ の一部が同一ステージに存在する刃先ボタンで定められる同値類に分割される。また $\{W_{ij}\}$ で R_I の関係をも有するすべての W_{ij} にはパイロットピンが必要であるから、この $\{W_{ij}\}$ の部分集合を Q_I とする。また同様に R_F の関係のみをも有する $\{W_{ij}\}$ の部分集合を Q_F とすると、式(26)の関係により、 W_{ij} は少なくとも Q_S, Q_I 及び Q_F のいずれかに分類される。式(26)の具体的な公差は金型全体の工作精度等によって定められる。式(26)の分類結果が式(6)の条件を満足するか否かを検査することは可能で、製品の寸法精度は工具間の関係として金型の構造に変換される。なお、分断、切断あるいは材料の辺を製品形状の一部として利用する場合は以上の表現には直接は含まれないが、 $\{W_k\}$ に特別な形状を用意することによって同様の取扱いを行うことができる。

製品仕様は以上のように工具の刃先ボタン及びそれらの間の関係に分解されるが、これらをまとめて、

$$E_1 = [\{W_{ij}\}; Q_S, Q_I, Q_F] \quad (27)$$

とし、 E_1 を工具刃先形状モデルと呼ぶ。

4.2 製品配置モデル

次に材料採りと呼ばれる製品の材料への配置に関して以下のような定式化ができる。被加工材上の座標系として、原点 O_M を材料の下端にとり、 X_M 軸を送り方向に、 Y_M 軸を材料の幅方向にとる。そして、材料長を x_M 、材料幅を y_M とすれば、被加工材料 P_M は、 $P_M = \{(x, y): 0 \leq x \leq x_M, 0 \leq y \leq y_M\}$ で表現される。したがって、材料上への形状ボタンAの配置を製品座標系から材料座標系への座標変換 T_M を用いて $T_M(A)$ と表し、また X_M 軸方向に送り量 f だけ移動させる変換を T_F とする。このとき、製品の材料上への配置は図1に示す製品のときには、たとえば図7のようになり、被加工材料 P_M に対する形状ボタンとして次式で与えられ、本文では E_2 を製品配置モデルと呼ぶ。

図7 製品配置モデル

$$E_2 = \bigcup_{i=1}^{n_M} T_F^{i-1}\{T_M(V_0)\} \quad (28)$$

ここで、 $T_F^{i-1}\{T_M(V_0)\} \subset P_M$ が各 i について成立し、 n_M は材料長及び送り量から定まる製品個数である。

また、歩どまり m は形状ボタンAの面積を $\sigma(A)$ で表すとき、

$$\begin{aligned} m &= \frac{n_M}{\sigma(P_M)} \left\{ \sigma(V_0) - \sum_{i=1}^{n_V} \sigma(V_i) \right\} \\ &= \frac{n_M}{x_M \cdot y_M} \left\{ \sigma(V_0) - \sum_{i=1}^{n_V} \sigma(V_i) \right\} \end{aligned} \quad (29)$$

で与えられる。

さらに、製品形状が形状ボタン間の干渉なしに得られる条件としては、切欠き加工など形状が外側から加工されることやパイロットピンの配置を考慮して、

$$\bigcap_{i=1}^{n_M} \left[\bigcap_{j=0}^{n_{V_0}} T_F^{i-1}\{T_M(W_{0j})\} \cap \bigcap_{j=1}^{n_V} T_F^{i-1}\{T_M(W_{1j})\} \right] = \phi \quad (30)$$

が得られる。ここで、 $\{W_{1j}: j=1, \dots, n_V\}$ はパイロットピン及びパイロットパンチに対応する形状ボタンであり、製品座標系で記述されているとする。現実には式(30)の無干渉条件はさん幅を考慮した表現となるが、これは形状ボタンとして製品形状にさん幅分を上乗せした形状を形状ボタンとして考えることにより同様の取扱いが可能である。一般に x_M が非常に大きく、したがって n_M が十分大きい場合は、式(29)は

$$m = \frac{1}{y_M \cdot f} \left\{ \sigma(V_0) - \sum_{i=1}^{n_V} \sigma(V_i) \right\} \quad (31)$$

となり、式(30)の条件においても任意の隣り合う2項のみを考慮すればよい。なお、以上の議論は一列採りに対する定式化であるが、多列採りについても $\{V_i\}$ 及び $\{W_{ij}\}$ にさらに添字を付することにより同様に記述される。

4.3 工具配置モデル

工具刃先形状モデル E_1 及び製品配置モデル E_2 によって、工具の刃先ボタンと被加工材料上への工具配置の相対的位置が定められた。したがって、順送型設計の基本とされるストリップレイアウトを定めるには、刃先ボ

図8 工具配置モデル

タンを配置する加工ステージを定めればよい。このモデルを形状ボタン E_3 として表し、本文では工具配置モデルと呼ぶことにする。

いま、刃先ボタン W_{ij} が ρ : 整数 $\times$ 整数 $\rightarrow$ 整数なる関数により、 $\rho(i, j)$ ステージに配置されるとすれば、

$$E_3 = \bigcup_{i,j} T_F^{\rho(i,j)-1}(W_{ij}') \quad (32)$$

である。ただし、

$$W_{ij}' = \begin{cases} T_M(W_{ij}); & W_{ij} \notin Q_I \\ T_M(W_{ij} \cup W_{Ir}); & W_{ij} \in Q_I \end{cases} \quad (33)$$

$$T_M(W_{ij} \cup W_{Ir}); \quad W_{ij} \in Q_I \quad (34)$$

とする。図8は図5(b)及び図6(a)の工具刃先形状モデルを図7の製品配置モデルに対応させた場合の工具配置モデルの一例を示す。図8では、 $\rho(1, 1)=1$, $\rho(1, 2)=2$, $\rho(0, 1)=\rho(0, 2)=3$ 及び $\rho(0, 0)=5$ により、それぞれ第1, 第2, 第3, 及び第5ステージが定められ、第4ステージは $T_F^3(\phi)=\phi$ によりアイドルステージであることを示している。 $\rho(i, j)$ は加工の可能性や加工力のバランス等を考慮して定められる。また、 W_{ij} による加工によって生じる形状ボタン W_{ij}'' は、

$$W_{ij}'' = W_{ij} \cap \left(\bigcap_{\rho(q,r) < \rho(i,j)} W_{qr} \right)^c \quad (35)$$

で与えられ、

$$W_{ij}'' \neq \phi \quad (36)$$

の成立が、加工が実際に生じるための条件である。ここで式(37)及び(38)は W_{ij} に対応する工具の加工への寄与を加工順序に関係しない条件下で求めた式であるのに対し、式(36)の条件は加工順序に関する制限を示している。すなわち、たとえば外形抜きに対応するステージ $\rho(0, 0)$ に対して、 $\rho(0, 0) < \rho(1, 1)$ とすると、 $W_{11} \subset W_{00}$ より $W_{11}'' = \phi$ となって式(36)が満足されないことになる。また、総ステージ数 n_s は $\rho(i, j)$ の i 及び j に関する最大値で与えられる。

一方、第 k ステージに配置される形状ボタンを $\{H_k: k=1, \dots, n_s\}$ とすれば、

$$H_k = \bigcup_{i,j \in \rho(i,j)=k} W_{ij}' \quad (37)$$

と表現できる。 Q_s による同値類に含まれる刃先ボタン

W_{ij} 及び $W_{i',j'}$ に関しては必ず

$$\rho(i, j) = \rho(i', j') \quad (38)$$

が成立する。したがって、式(37)による分解に関して式(32)の別表現として図8に示すような形式で、

$$E_3 = \bigcup_{k=1}^{n_s} T_F^{k-1}(H_k) \quad (39)$$

が得られる。 E_3 におけるステージの形状ボタンに関する干渉条件は次式で与えられる。

$$\bigcap_k^{n_s} T_F^{k-1}(H_k) \neq \phi \quad (40)$$

5. 断面形状モデルと設計プロセス

本章においては、プレス製品の仕様 S から金型仕様 D への変換が4章で述べた3種類の断面形状モデル $E_1 \sim E_3$ を順次構成していく操作で記述されることを具体的に述べる。なお、工具刃先形状以外の金型構成部品の諸仕様は金型標準化の考えをとり入れ、規格品リストからの選択を前提としており、それらの個々の設計は本文には含まないものとする。

まず、工具及びパイロットピンの X - Y 断面方向に関する設計結果が求められている。2章で述べた金型の工具刃先に関する断面形状 $\{B_{Uik}\}$ 及び $\{B_{Lik}\}$ (以下ではこのように上型及び下型の両方に関係する場合はまとめて $\{B_{U/Lik}\}$ のように記述する) は式(27)の工具刃先形状モデル E_1 の $\{W_{ij}\}$ で定められており、その断面形状間に関する相対的位置を示す式(9)及び(10)における座標変換 $\{T_{U/Li}\}$ は、式(22)における $\{T_{ij}\}$ 、製品配置モデル E_2 における式(28)の T_F 及び T_M 、そして工具配置モデル E_3 における $\{\rho(i, j)\}$ を順次施した複合演算の結果として式(32)あるいは(39)で与えられている。

一方、工具及びパイロットピンの刃先面以外の断面形状や取付けねじ、位置決めキー、プレート類など他の型構成部品の断面形状及びそれらの位置関係は、型構造を指定することにより、規格化された形式で E_3 に対して定められる。たとえば、 E_3 に対応して、工具の軸部間の干渉をチェックしながら、軸部やフランジ部の形状ボタンが定められ、次いで必要があれば回り止めキーの形状や位置が定まる。そして以上の形状ボタンを含むよう

にプレート寸法が決定される。プレート寸法が求められれば、ダイセット、取付けねじ、ダウエルピンなど他の型構成部品すべての断面形状及びそれらの位置は標準の規格に従って一意的に定めることができる。

以上の手続きにより、断面に関するすべての金型モデル、 $\{B_{U/Lik}\}$ 、 $\{T_{U/Lik}\}$ 、及び $\{T_{U/Li}\}$ が求められたことになる。

次に、金型の動作方向に関する $\{z_{U/Lik}\}$ 及び $\{z_{U/Li}\}$ などの Z 方向の長さについて述べる。まず型構造を指定することにより型構成部品間の相対的位置が定まる。たとえば、パンチフランジ部の端面とバックアッププレートの下面とは同一の Z_U 座標値を有するという関係によって決定される。次にプレス機械の仕様を元に、上死点及び下死点の2状態における型構成部品内の Z 軸座標値をそれらの満足すべき拘束条件を利用して求める。これらの条件は一般に、 $\{z_{U/Lik}\}$ 間の線形不等式の組として記述され⁸⁾、型構成部品の寸法が決定される。実際には上記拘束条件を満足する規格品の寸法は複数個存在するので、金型の強度・コストなどを評価関数として、最適な $\{z_{U/Lik}\}$ 及び $\{z_{U/Li}\}$ を求めることになる。

そして最後に、式(11)における $T_{U/L}$ 及び $z_{U/L}$ がプレス機械への金型の取付け及びプレス加工が可能となるように設定されて、金型のモデルDが完全に求められたことになる。

以上の考察により、3種類の断面形状モデルを入力仕様に関して順次作成すること、及び規格品リストの中から標準部品を選択することの二つの作業により製品仕様Sが金型仕様Dに変換されたことになり、2次元順送型の設計プロセスが定式化された。

6. 結 論

本文では、従来、熟練者のノウハウにゆだねられていた2次元順送型の設計プロセスを形状操作を中心とするモデルとして定式化することを試み、以下のことを明確にした。

- (1) 2次元順送型のモデルは2次元形状パターン(平面図形パターン)を断面形状とし、型の動作方向に関して一定の長さを有する柱体の幾何学的組合せとし

て記述される。

- (2) 2次元順送型の設計プロセスは、工具刃先形状モデル、製品配置モデル及び工具配置モデルの3種類の断面形状モデルを作成するプロセスと、他の設計パラメータを規格品リストの中から選択するプロセスに分離された形で体系的に記述される。
- (3) 断面形状モデルは2次元形状パターン及びそれら相互の相対的位置を示す座標変換の組として記述され、モデルの作成は集合演算による形状パターンの配置関係式として記述される。

本文の定式化はダイボタン形式の2次元順送型を例題としたが、設計プロセスの入出力を記述し、その変換過程をいわばトップダウン的に順次分解して構成する形式になっている。したがって、本文の定式化手法は他の型形式やより複雑なプレス金型の設計プロセスについても適用可能であろう。

最後に、本研究に対してご指導いただいた、当所金井実徳前次長(現中国工業技術試験所長)、木村誠次長、島村昭治材料工学部長並びに清水嘉重郎システム部長に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) O. F. Shifman: The PDDC System: A CAD-CAM Application to the Design and Fabrication of Press Tools, SME Paper, TE 73-107, (1973).
- 2) 村上碩哉, 白井健二, 山田 収, 磯田賢一: 順送りプレス型CADシステムの基本設計, 塑性加工春季講演会講演論文集(1979) 111.
- 3) 森 俊洋, 安田昌弘: 金型CAD-Mシステム, Nat. Tech. Rep., 24, 6, (1978) 1046.
- 4) 日本数学会: 岩波数学辞典(第2版), 岩波書店(1976) 682.
- 5) A. A. G. Requicha & R. B. Tilove: Mathematical Foundations of Constructive Solid Geometry: General Topology of Closed Regular Sets, Tech. Memo 27, Production Automation Project, Univ. of Rochester, (1978).
- 6) 沖野教郎, 嘉数侑昇, 久保 洋: 自動設計プロセッサTIPS-1の開発, 精密機械, 44, 3 (1978) 371.
- 7) N. Wirth (片山卓也訳): アルゴリズム+データ構造=プログラム, 科学技術出版社(1979) 347.
- 8) 小島俊雄, 中原征治, 足助富美雄, 曾田長一郎, 田村公男: プレス型自動設計の研究(第3報), 昭和54年度精機学会秋季大会学術講演論文集(1979) 319.