形状特徴解消によるアルミニウム建材用押出部材の
プレスせん断工程設計エキスパートシステム*大橋 隆 弘^{*1}, 佐伯 嘉 信^{*2}
本村 貢^{*3}, 沖 善 成^{*2}Expert System for Blanking Process Planning on
Extruded Aluminum Parts of Building Materials by Feature EliminationTakahiro OHASHI, Yoshinobu SAEKI,
Mitsugu MOTOMURA and Yoshinari OKI

Not quite a few extruded aluminum alloys are used for parts of building materials today. We develop an expert system for blanking process planning for such three dimensional materials by feature elimination. We think that blanking is the procedure adding features to a raw material and process planning is the procedure eliminating features from a product. We attempt to implement this feature eliminating procedure on computers. A shape model of a product consists of two parts; a basic-extruded-material and features. A basic extruded material model represents shape of a raw material. It is a plain surface model by polygonal faces. Feature models are surface models, too. But, they describe negative volume representing blanked parts of the product. The expert system attempts to eliminate features by eliminating faces of features on each face of basic material model. At first, the system chooses one face of basic material model, and collects features' faces on it. Then, it searches data-base, we call 'feature eliminating case-base,' at each feature, and finds the blanking procedure which can eliminate, or make it. Repeating the above from the product to its raw material, the system gets process plans of blanking for the product.

Key Words: Press Working, Process Planning, Expert System, Computer-Aided Design (CAD), Knowledge-Engineering, Blanking, Building Materials

1. 緒言

近年, 窓枠をはじめとして, 多くのアルミニウム合金押出材が建材用部材として用いられている. これらの建材用部材は通常, 組み立てや部品取り付けのための切り欠きや穴を持つ. これらの切り欠きや穴は切削加工やプレス機によるせん断で加工されることが多い. 特にプレス機による加工は加工時間が短いためにコスト上有利である. しかしその反面, 加工対象とする材が三次元的な形状を持っているため, 通常よく行われる二次元的な板状素材に対する打ち抜き加工と比較して, その工程設計は幾何学的干渉の問題や加工限界の点において複雑であり, 工具・材料間の幾何学的干渉や受歯の構成の問題など, 板状素材を対象とした工程設計ではあまり意識的な配慮を要しない事柄が, 建材を対象とした打ち抜きの工程設計では大きな影響を及ぼす.

板状の素材に対するプレス工程設計の自動化・支援の研究は従来から盛んに行われている⁽¹⁾⁻⁽¹³⁾. 例えば, 白井ら⁽¹⁾は, 総抜き型 CAD システムの研究を行っている. また,

天野ら⁽²⁾⁻⁽⁴⁾は慣用せん断加工を対象とした工程段取り・金型設計の支援システムの研究を行い, 板状の素材以外への適用についても言及している. Eshel ら⁽⁵⁾は板状素材からの絞りにより軸対称製品を加工する工程設計エキスパートシステムを開発した. Kojima ら⁽⁷⁾は板状素材における順送り型による連続打抜き工程を対象として工程設計と型の設計を行う CAD システムを開発している.

しかし, 本報が対象とするアルミニウム材のような三次元的な素材形状を対象としたプレス打抜きの工程設計システムについての検討は十分にされていない. 筆者らは, プレスによる打抜き工程を「素材に対して形状的な特徴を付加していく過程」であると捉え, 逆にその工程設計を「製品形状から形状の特徴を解消していく過程」であると捉えた. その原則の下, アルミニウム建材用部材 (押出材) を対象として, プレスによるせん断の工程設計を行うエキスパートシステムを開発した.

2. 建材用部材の形状表現

2・1 建材用部材の形状定義と内部データ形式

本システムでは, 建材用部材に特化した形状定義方法により利用者に形状を入力させ, その形状定義データを内部形式の幾何学的な製品形状モデルに変換して工程の

* 原稿受付 1998 年 5 月 7 日.

^{*1} 正員, 機械技術研究所物理情報部 (科学技術振興事業団科学技術特別研究員) [現: 群馬大学工学部 (☎ 376-8515 桐生市天神町 1-5-1)].^{*2} 正員, 三協アルミニウム工業 (株) 生産技術部 (☎ 933-8610 高岡市早川 70).^{*3} 正員, 早稲田大学理工学部 (☎ 169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1).

E-mail: tohashi@me.gunma-u.ac.jp

設計に利用する。簡単のためにまず、最初に「内部形式の幾何学的な製品形状モデル」について解説した後、システムへの入力である「建材用部材に特化した形状定義方法」と形状定義から内部形状モデルへのデータ変換法について説明する。

2・2 建材用部材形状モデルの内部データ形式

本報では、形材から打抜き加工で除去される部分(ブランク)を、「加工によって形材に付加される形状特徴」と考える。そこで建材用部材の形状を「形材に形状特徴を貼付した」という概念で捉える。そのため、本システムでは建材用部材の形状データを、①加工前の形材(以下、形材)のデータと②ブランク部分のデータの2つに分けて管理する。さらに打抜かれた打抜きかす一個ごとのブランク形状データのまとまりを一単位として、③形状特徴として管理する(一度に2つ以上の打抜きかすが生成される加工においては形状特徴2つが同時に加工されると考える。形状のモデル化の基本的な手法には一般的によく用いられている面モデルの方法を採用した。図1に本研究で採用した建材用部材の形状データの内部表現形式を図示する。

(1)形材のデータ 形材のデータは、形材頂点データ(vertex)、形材稜線データ(segment)、形材面データ(surface)から構成される。

(2)ブランク部分のデータ ブランク部分のデータは、ブランク頂点データ(blank_vertex)、ブランク稜線データ(blank_segment)、ブランク面データ(blank_surface)から構成される。本システムでは建材の形状を「形材に負の実体(=なにもない)を持つ形状特徴(切り欠き)を貼り付けた」形で表現する。そのため、切り欠きのデータ構造は、形材の場合と同様な切り欠きそのものを表現するデータと、それに加えて、形材上のどの面にどのように貼りついているかを表すデータが必要となる。

(3)形状特徴データ 形状特徴データの実体は形状特徴を構成するブランク面へのポイントの列(blank_surfaces)である。更に大域変数の特徴プール(features_pool)に建材に存在するすべての形状特徴データへのポイントの列が格納される。

なお、本システムのデータ構造には、計算可能なポイントの値をわざわざデータとして保持したり、変換可能な2種類の座標値をそれぞれ保持したりしているなど冗長性がある。これは工程設計における計算負荷の軽減のためである。建材の形状表現はせいぜい数十のポリゴン数で十分である場合が多く、このようなデータ構造の冗長さはデータ量の観点においてあまり問題とはならない。

2・3 建材用部材形状の定義方法と内部データ形式への変換 第一に、本システムが対象とする建材用部材の素材であるアルミニウム合金押出形材において、長

Fig. 1 Internal data-structure of the model of building material part.

Fig. 2 Definition of the section of the extruded material.

手方向に断面が一定であることに着目すると形材の形状の定義は断面についてのみ行えば良いことがわかる。

また第二に、形材が押出材、すなわち断面を掃引した形状であることは、受け歯(ダイス)、パンチの構成の都合上、打抜きは必ず押出側面に対して垂直方向にのみしか行われないことを意味している。そこで、加工されるべき切り欠き(ブランク)を、押出側面上に配置された二次元図形として記述するものとし、工程の設計を考えるのが便利である。上記に基づいて、形材形状・ブランク部分形状の定義、および内部データ形式への変換は以下を行う。

(a)形材形状の定義と内部データ形式への変換 形材の形状は断面形状を定義することで定義する。断面形状は二次元座標値を用いて、図2に示すように、断面外形線の各頂点を反時計周りに定義することによって定める。本システムはこの入力から、内部形式の形材形状データを生成する。まず、断面データから、x,y 座標をそのままとし、z 方向を押出材の押出方向(図5のページに向かって垂直に紙の向こう側を正)としたワールド座標系を用い、形材端

面にあたる形材面(surface) (ただし, $z=0$) とそれに伴う形材頂点(vertex), 形材稜線(segment)を自動生成する。次に, 形材断面を構成する各形材稜線に対し, 稜線を z 方向へ 3000[mm]掃引して生成される形材面とそれを構成する形材頂点・形材稜線を自動生成する。これが形材の側面となる。最後に $z=3000$ [mm]において, 最初に生成したのと同様な形材端面を構成する形材面・形材頂点・形材稜線を生成する。これにより全長 3000[mm]の押出形材の形状モデルを得たことになる。3000[mm]は本システムが工程設計の対象とした形材用プレスにおいて形材をダイセットの中に挿入することが可能な最長の長さである。ただし, 建材に穴や切り欠きを設ける目的が部品取り付けや組み立て上の都合にあることが多いという事情から, 実際には形材端より数百ミリメートル以内の部分に打抜き加工が集中するのが普通である。そのため, 工程設計も事実上, この範囲の穴や切り欠きが対象となり, 3000[mm]の範囲にわたって工程設計の対象となる切り欠きがまんべんなく分布するようなことは通常ない。

(b) ブランク部分の定義と内部データ形式への変換 各形材面上において, 切り欠かれる二次元図形を定義することで, ブランク部分を定義する。ブランク部分は図3に示すように, 特定の形材面上において打抜かれる部分を反時計周りの点列で囲んだ二次元図形(ポリゴン)として入力される。円は多角形に近似されるが, 円形を示す属性が付与される。この二次元図形から次のような手順でブランク面, ブランク稜線, ブランク点を生成する。

STEP 1 まず, 最初に二次元図形を定義した形材面のローカル座標系からワールド座標系に二次元図形の頂点座標を変換することで, ブランク部分を定義した形材面上におけるブランク面, ブランク稜線, ブランク頂点データを得る。

STEP 2 二次元図形を定義した形材面の法線方向へ, Step 1で得たブランク稜線と他の形材面の交差判定を行う。

Fig. 3 Definition of blanked shape on building materials.

この交差判定は, 二次元図形を定義した形材面に対し, Appel の不可視数⁽¹⁴⁾(quantitative invisibility; 物体の稜線に関して視点に対する可視不可視を与える。0 の場合に可視。)が 0 の後面に対してのみ行う。交差した部分を新しいブランク稜線として定義し, それらの稜線によって構成されるブランク面を生成する。また, 新しいブランク稜線に対応したブランク頂点を生成する。

STEP 3 稜線を共有するブランク面をチェックし, 互いのデータに相手の面を追加する。

STEP 4 形状特徴データを生成する。前述の通り, 本報において形状特徴とは「打抜きによって除去される体積部分」を指し, 具体的には, 「打抜きによって除去される体積部分」を構成する面データ(へのポインタ)の集合となる。

まず, Appel の不可視数が 0 の稜線によって構成される後面に対して, 同じ形状特徴に属する面であると判定し, 一つの形状特徴データにまとめ, 特徴プールに追加する。次に, 形状特徴中に存在する全ての面に対し, STEP 3 で得られた稜線を共有する全ての面についても, 同じ形状特徴に属する面であると判定し, 該当する形状特徴データ中に追加する。

STEP 5 最後にブランクの切断面を構成するブランク頂点・ブランク稜線を生成し, それらからブランク面を定義する。STEP 1 と STEP 2 において生成したブランク稜線に対し, その稜線を共有する他のブランク面が存在していない場合に限り, せん断面が長方形断面になるものとみなし, STEP 1, STEP 2 の対応する頂点どうしを結び, ブランクの切断面を構成するブランク頂点・ブランク稜線を生成する。さらにそれらからブランク面を生成する。全ての該当する稜線について上記の操作を行った後, 共有するブランク面が存在する稜線に関して, せん断面が多角形断面になるものとみなし, 稜線が所属する形状特徴のもつ稜線データ中で, STEP 1, STEP 2 の対応する頂点が含まれる平面上に所属する稜線を組み合わせて閉図形を構成し, それから, せん断面にあたるブランク面データを生成する。

上記 STEP 1~5 の操作により, 建材用部材の内部形式のモデルデータが生成される。本報のシステムはこのデータをもとに次章に述べる方法で工程設計を行う。

3. 打抜き工程とその工程設計のモデル化

3・1 形状特徴解消による工程設計 筆者らは, 形材の打抜き工程を「形材に形状特徴を付加していく過程」と捉え, 工程設計を「製品形状から形状特徴を解消していくことで未加工の形材に至る過程」とであると捉えた。サッシにおけるせん断工程設計法の現場マニュアルの調査を行ったところ, せん断形状の種類(打ち抜かれる形状とせん断面の形状の組み合わせ)によって, 工程設計の指

針が変化していることがわかった。そのため、あらかじめ、各々のせん断形状を形状特徴として準備し、形状特徴別に工程設計の手続きを調査・整理した。工程設計を形状特徴の解消過程とみなし、工程設計の作業単位を一つ一つの形状特徴の解消に対応させる。さらに各々の形状特徴についてそれを処理する知識に限定して整理していくことで、工程設計ルールの適用の場合分け等複雑に入り組んだ悪構造の工程設計知識を簡潔に記述することができる。工程設計の様子を図4に模式的に示す。ここで注意しなければならないのが、形状特徴の解消手続きにおいて、①図形的な特徴を単純に消去するだけでは工程の設計たりえない点と②実際の加工工程は一つ一つの形状特徴の解消と一対一に対応すると限らない点である。前者①については、工程の推論にあたって「加工として実現可能な手段」を適用することにより、製品形状から形状特徴を解消する必要がある。本システムはこの「加工として実現可能な手段」のデータベースを持ち、そのデータを用いて形状特徴を解消していくことで工程設計を行う(図5)。また、後者②に対しては、後述の「事例制御・制約黒板」を用いたアルゴリズムを開発することで対応した。

簡単のために、まず、基本的な工程設計アルゴリズムについて説明し、その後「事例制御・制約黒板」について説明する。

事例データは次の3つの部分から構成される。

(1)適用可否の判定手続き 該当する事例データを適用して工程設計をおこなってよいか判定をする手続き。

(2)特徴解消後の形状生成手続き マッチングした場合、該当する特徴を解消し加工前形状を導出する手続き。工程設計によって形状特徴が解消されて、ブランクが全く残らない場合と、加工限界等の都合で形状特徴を分割して加工する必要が生じ、ブランクを残したまま、着目した形状特徴を解消すると同時に元の形状特徴を分割した新たな形状特徴群を生成する場合がある。

(3)「事例制御・制約黒板」への情報の記述手続き 加工前形状の導出後、「事例制御・制約黒板(後述)」に他の事例に対する制御・制約情報を書き込む手続き。

加工事例データは形状特徴を検索キーとした形で整理されている。本システムにおいて、加工事例データベースの検索は、①形状特徴を検索キーとして、対応する形状特徴を処理可能な加工事例データを抽出し、②さらにその事例データ自身に内包される「適用可否の半手続き」を用いる二段階のマッチングによって行われる。

システムはこのような事例のデータベースを用いて、図6のように工程設計を行う。

STEP 1 最初に任意の形材面について、その面上に存在するすべてのブランク面をとりだす(この手続きは全て

Fig. 4 Blanking process and its process planning.

Fig. 5 Feature elimination as process planning method.

Fig. 6 Flow chart of process planning by feature elimination.

の形材面についてそれぞれ別のプロセスとして実行される。

STEP 2 ブランク面群のうち、任意のブランク面を選択し、事例データベース中のマッチする事例を検索する(全てのブランク面、事例データについてそれぞれ別のプロセスとして再帰的に実行される。これにより、全ての組み合わせについて試行がなされる)。各事例のもつ「適用可否の判定手続き」をブランク面のポインタを引数として実行し、その結果によりマッチングの可否を判定する。このとき、「適用可否の判定手続き」は「事例制御・制約黑板」を用いて打抜き工程の複合可否の判定も行う(次節で後述)。

STEP 3 マッチングの結果が成功であった場合は、システムは該当する形状特徴(のポインタ)を形状データから消去する。同時に該当する形状特徴のポインタを『特徴解消後の形状生成手続き』に引数として与えて実行し、その結果により生成されるブランクのデータを(もし生成されるならば)形状データに追加する。

STEP 4 解消した形状特徴のポインタを引数として『事例制御・制約黑板』への情報の記述手続きを実行し、「事例制御・制約黑板」に以降の推論を制御・制約する情報を書き込む。

STEP 5 STEP 2~4 の手続きを全てのブランク面について繰り返す。適用可能な事例が発見できなくなったら、一つの実工程としてまとめる。

STEP 6 STEP 5 の結果を工程設計の初期データとして再帰的に STEP 2~6 の手続きを行い、次の工程の設計を行う。

STEP 7 照合対象とするブランク面を変更して、STEP 2~6 の手続きを再帰的に繰り返す。これにより可能性のある全ての工程案を得る。

3・2 「事例制御・制約黑板」を用いた複合工程の処理 一つ一つのブランクの打抜きを仮想的な一工程とすると、実際に加工を実現する実工程はその集まり(複合工程)であると考えることができる。筆者らは冷間鍛造の工程設計において、複合工程を対象として、仮想工程、実工程(実現工程)の概念と「制約黑板」を用いたアルゴリズム⁽¹⁵⁾を適用して推論を行った。本報でも同様のアルゴリズムを用いて、複数のブランクの同時打抜きを行う工程を推論する。

一例を図 7 に示す。この例では簡単のため、様々な事例に対する制約条件のうち、「同時に打ち抜かれるブランクの打ち抜き方向はすべて同じでなければならない」のみを対象とし、複合工程の推論を行う例を示した。図中で、まず特徴 A の工程設計が行われると、特徴 A を処理した事例によって、「事例制御・制約黑板」に打ち抜き方向に対する情報が記載される。次にシステムは別の事例を用いて(同

Fig.7 Combined process blanking for several locations at a time.

じでもかまわない)特徴 B を解消しようとするが、用いた事例の「適用可否の判定手続き」が「事例制御・制約黑板」を参照し、打ち抜き方向が適当でないことを発見するので、解消することができない。さらに特徴 C を解消しようすると、これは適合するので解消できる。このような手続きを全ての特徴および事例の組み合わせに対して、工程の複合ができなくなるまで繰り返す。一つの実工程(実現工程)としてまとめる。その後、「事例制御・制約黑板」を初期化し、次の実工程の推論を行う。このアルゴリズムにより、複合すべき仮想工程のみを自動的に一つの実工程としてまとめることができる。

4. 知識データと工程設計例

4・1 工程設計知識 本システムでは、工程設計上の知識データは全て事例データとして用意される。事例における「適用可否の判定手続き」、「特徴解消後の形状生成手続き」、「事例制御・制約黑板」への情報の記述手続きは以下のような条件を勘案して記述した。

(1)工具の強度の限界 L 型パンチと対応する受け歯(図

8)を想定し、パンチおよびダイにかかる荷重を次の共通の式で計算する。

$$\sigma = \frac{S_c \times A \times B \times P \times l \times h}{I} \quad \dots (1)$$

S_c : 繰返し荷重による安全率

A : 衝撃による安全率

B : 応力集中による安全率

l : パンチまたは受け歯固定部と荷重中心との距離

h : パンチまたは受け歯中立軸と接触面との距離

I : 工具の断面二次モーメント

(ただし、この式は集中荷重を想定した簡易的な式であるため、 S_c による安全率を大きめにとって運用している。)

これから、各工具材種に対応した応力の限界値と安全率を用いて工具強度を判定する。せん断に必要な力の算出はせん断面積から算出する簡易的な方法を採用した。実際の生産では工具の共通化を目的として、試作等の絞り込みによりさらに危険な条件でも加工を行うが、本システムでは将来の課題としている。

(2)材料の変形による加工限界 材の縁、および他のブランク部分との距離について、実験によって得られた、実際の生産設計現場で用いられている標準化データを用いて加工限界を設定した。

(3)陽極酸化皮膜割れ発生による加工限界 商品としての美観を損なうアルミニウム陽極酸化皮膜（アルマイト）の割れを防止するため、生産現場において用いられている品質標準データを用いて設定した。

(4)工具どうしの幾何学的な干渉の防止 工具を構成するポリゴンを実際に加工しようとする特徴にあわせて生成し、そのポリゴンが、他の工具および建材の全ポリゴンとの間で干渉を起こしていないか検査する。検査方法は2・3節(b)step2と同様のポリゴン間の交差判定による。

(5)打ち抜き方向 プレス機械の構成上、打ち抜き方向が同じ工程のみを複合するものとした。ただし、実際の生産において、パンチを工夫することで、打ち抜き方向が異なる加工を同時に行うことが全くないとは言えない。

(6)せん断面が長方形の形状特徴のみ工程複合を許可 この条件は本質的ではないが、本報のシステムで用いた知識データは、せん断面積からせん断力を算出する単純な方法を用いて加工限界を判定し、標準化したため、安全のためこのようにした。せん断面が長方形以外の形状特徴は加工工程中のストロークの進行につれて、荷重が複雑に変動すると考えられる。本システムにおいても、安全係数を大きくすることで単独の加工としては対応している。

(7)加工工程の分割

Fig. 8 Punches and dies treated in the system.

Fig. 9 Divided process to make one blank.

Fig. 10 Example features and making processes.

形状特徴を一度に加工することを想定した場合に上記限界から加工できないときでも、工程を2度以上に分けて加工することがある(図9)。本システムでは、これを形状特徴が二つ以上に分割されたものとして新たに解釈され直したという立場で捉える。

以上の知識から工程設計を行うための事例を次節のように定めた。

4・2 事例データ 本システムで用意した事例データは以下の通りである。

4・2・1 板状ブランク打ち抜き(図10(a))
事例データ

a.適用可否の判定 以下の条件を満たす場合に本事例の適用を可とする。

- (i) 照会された(引数として与えられる)ブランク面が形材面上に存在していること。
- (ii) せん断面が凸形状であること。
- (iii) 照会されたブランク面と対となるブランク面が、形材面上に存在すること。
- (iv) 照会されたブランク面と、対となる形材面上のブランク面が、頂点を共有していないこと。
- (v) 工具の強度の限界を満足していること。

- (vi) 材料の変形による加工限界を満足していること。
- (vii) 陽極参加皮膜割れによる加工限界を満足していること。
- (viii) 工具の干渉がないこと。
- (ix) 「事例制御・制約黑板」を検索し、複合工程中であった(適用済みの事例が存在した)場合]打ち抜き方向が同じであること。
- (x) 「事例制御・制約黑板」を検索し、複合工程中であった(適用済みの事例が存在した)場合]工具が干渉しないこと。
- (xi) 「事例制御・制約黑板」を検索し、複合工程中であった(適用済みの事例が存在した)場合]材料の変形による加工限界を満足していること。
- (xii) 「事例制御・制約黑板」を検索し、複合工程中であった(適用済みの事例が存在した)場合]陽極参加皮膜割れによる加工限界を満足していること。
- (xiii) 「事例制御・制約黑板」を検索し、複合工程中であった(適用済みの事例が存在した)場合]せん断面が長方形形状をしていること。

b. 加工後形状の生成 引数として与えられた特徴の消去(形状データ、特徴プールからのポイントの削除、特徴そのもののデータはメモリ上に残す)を行う。

c. 「事例制御・制約黑板」への記述 推論成功時に以下のデータを「事例制御・制約黑板」に記述する。

- (I) せん断方向
- (II) せん断されたブランク(形状特徴)へのポイント
- (III) 適用された事例の名称
- (IV) せん断面積
- (V) せん断に必要な力
- (VI) 工具データ

4・2・2 板状ブランク打ち抜き分割事例データ

a. 適用可否の判定 (i)～(iv)まで4・2・1と同様。かつ4・2・1の(v)～(xiii)を満たさない場合に本事例の適用を可とする。

b. 加工後形状の生成 特徴の消去(形状データ、特徴プールからのポイントの削除、特徴そのもののデータはメモリ上に残す)を行う。その後、特徴を分割し、適用可否判定の(v)～(xiii)を満たす新たな形状特徴の生成する。形状データ、特徴プールに加える。

c. 「事例制御・制約黑板」への記述 適用された事例の名称を「事例制御・制約黑板」に記述する。

4・2・3 板状ブランク切り欠き(図10(b))事例データ

a. 適用可否の判定 4・2・1の(i)～(iii), (v)～(xiii)と同様の条件を満たし、かつ以下の条件を満たす場合に本事例の適用を可とする。

(xiv) 照会されたブランク面の側方側と対向側の形材面上にブランク面が存在していること(コの字型の形状)。

(xv) せん断面を構成する4つの稜線のうち、1個所が形材面上に存在しないこと。

b. 加工後形状の生成 4・2・1と同様。

c. 「事例制御・制約黑板」への記述 4・2・1と同様。

4・2・4 板状ブランク切り欠き分割事例データ

a. 適用可否の判定 4・2・1の(i)～(iv), 4・2・3の(xiv), (xv)と同様な条件を満たし、かつ、4・2・1の(v)～(xiii)と同様の条件を満たさない場合に本事例の適用を可とする。

b. 加工後形状の生成 4・2・2と同様。

c. 「事例制御・制約黑板」への記述 4・2・2と同様。

4・2・5 アングル切り欠き(図10(c))事例データ

a. 適用可否の判定 4・2・1の(i)～(iii), (v)～(viii)と同様の条件を満たし、かつ以下の条件を満たす場合に本事例を適用する。

(xvi) せん断面に凹部が1個所存在する。

(xvii) 照会されたブランク面を含め形材面上のブランク面5つでLの字型の形状を形成していること。

(xviii) せん断面を構成する6つの稜線のうち、1個所が型材面上に存在しないこと。

(xix) 複合工程中でないこと。

b. 加工後形状の生成 4・2・1と同様。

c. 「事例制御・制約黑板」への記述 4・2・1と同様。

4・2・6 アングル切り欠き分割事例データ

a. 適用可否の判定 4・2・1の(i)～(iii), 4・2・5の(xvi)～(xviii)と同様の条件を満たし、かつ4・2・1の(v)～(viii)と同様の条件を満たさない場合に本事例を適用する。

b. 加工後形状の生成 4・2・2と同様。

c. 「事例制御・制約黑板」への記述 4・2・2と同様。

4・2・7 立ち上がり切り欠き(図10(d))事例データ

a. 適用可否の判定 4・2・1の(i)～(iii), (v)～(viii), 4・2・5の(xix)と同様の条件を満たし、かつ以下の条件を満たす場合に本事例を適用する。

(xx) せん断面に凹部が2個所存在する。

(xxi) 照会されたブランク面を含め形材面上のブランク面6つでTの字型の形状を形成していること

(xxii) せん断面を構成する8つの稜線のうち、形材面上の稜線5つが連続して凹凸凸凹と接続し、2個所が型材面上に存在せず、かつ形材面上の稜線に挟まれていること。

b. 加工後形状の生成 4・2・1と同様。

c. 「事例制御・制約黑板」への記述 4・2・1と同様。

Fig. 11 Example session with the system. Pane A shows the processes' path; pane B, post blanked shape of a selected process at pane A; pane C, its blanking force; and pane D, the process plan from material to the selected process.

4・2・8 立ち上がり切り欠き分割事例データ

a. 適用可否の判定 4・2・1の(i)~(iii), 4・2・7の(xx)~(xxii)と同様の条件を満たし, かつ4・2・1の(v)~(viii)と同様の条件を満たさない場合に本事例を適用する.

b. 加工後形状の生成 4・2・2と同様.

c. 「事例制御・制約黒板」への記述 4・2・2と同様.

4・2・9 ドリルによる穴あけ事例データ

a. 適用可否の判定 以下の条件を満たす場合に本事例を適用する.

(xxiii) 対向する円形穴があること.

(xxiv) 円形穴寸法がドリル径列に含まれること.

(xxv) [「事例制御・制約黒板」を検索し, 複合工程中であった(適用済みの事例が存在した)場合]ドリルによる穴あけ事例が適用されていた場合のみ適用可とする.

b. 加工後形状の生成 4・2・1と同様.

c. 「事例制御・制約黒板」への記述 4・2・1と同様.

4・3 工程設計例 図11に本システムを用いて工程設計を行った際の画面のハードコピーを示す. 図中Aのペイン(pane:ウィンドウの中の小さいウィンドウ)が建材用部材の加工済形状から出発して素材に至る工程案を示している. 一つの建材形状を製作するのに複数の工程案が示されているのがわかる. 図中DのペインがAで選択した工程における加工の様子を示している. 太線で書かれているのが, 打ち抜きを行うパンチと受歯である. 他の工具, 型材と幾何学的干渉を起こしていないのが確認できる. 図中左下が加工に必要な打ち抜き力の計算結果を表している. 図12に本システムによる工程設計の一例を示す. この工程設計例は実際に加工することが可能である.

5. 結言

本論文で筆者らは, 建材用部材の加工におけるプレス

Fig. 12 Example process plans suggested by the system. Plan 1 includes a combined process; plan 2 does not.

機による型材のせん断加工工程を, 型材に形状的な特徴を付与していく過程であると捉えた. そしてその工程設計を加工の逆過程とみなし, 製品から形状的な特徴を解消していく過程であると捉え, 三次元的な複雑な断面を持つ型材の打ち抜き加工の工程設計エキスパートシステムを開発した. アルミニウムサッシの加工を対象とした加工知識を収集し, システムに組み込んだ.

参考文献

- (1) 村上・白井, 昭55春塑加座講論(1980), 307-310.
- (2) 坪内・天野・中杉, 実習教育, 12-2(1997), 35-37.
- (3) 中杉・天野・坪内・大川, 44回塑加座講論(1996), 327-330.
- (4) 天野・坪内・田村・山口, 平8春塑加座講論(1993), 107-108.
- (5) 日本機械工業会・日本金属プレス工業会, プレス加工シミュレーションの調査研究報告書(1991)
- (6) Eshel, G., Barash, M. and Jhonson, W., J. Mech. Work. Tech., 14(1986), 1.
- (7) Kojima, T., Tamura, K., Nakahara, S., Asuke, F. and Soda, C., Proc. 4th Int. Conf. Prod. Eng., (1980), 256-261.
- (8) Ahley, S., Mech. Eng., 119-1(1997), 62.
- (9) 逆藤, 金属, 63-2(1993), 44-50.
- (10) Hoffman, M., Geissler, U. and Geiger, M., J. Mater. Process Technology, 30-1(1992), 1-12.
- (11) Rangenbass, A. and Reissner, J., Proc. Inst. Mech. Eng. Part B, 205-1(1991), 25-34.
- (12) Cave, P. R. and Miles, M. E., 4th Int. Conf. Comput. Aided Prod. Eng., (1988), 541-546.
- (13) 小坂田, 塑性加工シンポジウム, III(1987), 1-10.
- (14) 例えば, 山口, コンピュータディスプレイによる図形処理工学, (1981), 日刊工業新聞, 246.
- (15) 大橋・本村, 機論C, 64-620(1998), 1450-1455.