汎用加工性評価法 (MEM) の開発*
(種々の加工法に対象を拡張した加工性の定量評価)大橋 敏二郎^{*1}, 有本 象治^{*2}
宮川 正威^{*1}, 松本 義雄^{*1}Development of Extended Machining-Producibility
Evaluation Method; MEM
(Extended Quantitative Machining-Producibility Evaluation
for Various Processes)Toshijiro OHASHI^{*3}, Shoji ARIMOTO,
Seii MIYAKAWA and Yoshio MATSUMOTO^{*3} Production Engineering Research Laboratory, Hitachi, Ltd.,
292 Yoshida-cho, Totsuka-ku, Yokohama-shi, Kanagawa-pref. 244-0817 Japan

The Extended Machining-producibility Evaluation Method (MEM) was developed to assess design quality for easier processing of parts and products. It has been extended, from the MEM for cutting & grinding, to the one covering metal working, welding, molding, diecasting, and casting. It is featuring in 1) quantitative evaluation by means of easy to understand 100 point scale and processing cost estimation within $\pm 15\%$ error, and 2) method is easy to both learn and use, using approximately 20 basic symbols and 5 supplementary elements. This paper describes the theory of the extended MEM for various processing methods.

Key Words: Design Engineering, Producibility, Processability, CAE, Concurrent Engineering, Cost

1. 緒言

1.1 背景とニーズ

製品、部品を加工しやすく設計することは製造の生産性を向上させる生産性設計の一つの重要な方法である。これを実施するためには、製品や部品の加工しやすさ（以下、加工性と呼ぶ）を設計初期段階に定量評価できる技法があれば効果的である。このような技法を使用すれば、加工しやすさの観点での設計の良否の水準を明かにし、加工しにくい部位を摘出するとともに設計改良の指針を得る、また、設計改良後に再び評価を行って改良効果を把握することができる。以上により改良活動が促進でき、効果は大きい。

このような手法を使って設計者が設計中に知りたい事柄は、以下のような点である。

- a. 自分の設計している製品や部品は加工しやすい形状になっているか？
- b. 自社製品は他社製品に比べて加工しやすい設計に

なっているか？

- c. 製品のどの部品から優先的に加工しやすさの改良を進めたらよいか？
- d. 部品製作にどんな加工法を採用したらよいか？
- e. 何が部品の加工しやすさを損ねているか？
- f. 部品のどの部分から改良を図ればよいか？
- g. 改良による加工費低減はどの程度か？

また、設計者以外にも、生産技術者や製造部門において、上記のような点について共通の判断基準を持って設計者と検討を行いたい、というニーズがある。

1.2 開発の目的

製品の設計初期段階に、1.1で述べたような使い方によって設計者が使用して意思決定を行うのを支援するための技術として加工性評価法を開発する。

この分野における従来技術には、加工費推定のシミュレータ⁽¹⁾や、CADの形状情報を用いて加工工程計画を自動で行ない、加工費を自動算出しようという研究⁽²⁾が多数行なわれている。しかしこれらは専門家用で入力の手間が複雑なため設計者が手軽に使用するのが困難であったり、工程計画に用いられるもので設計改良に用いる性格のものではなかった。また、加工性評価法と称するものも、従来いくつか発表されているが^{(3)~(6)}、これらも基本的にはシミュレータで

* 原稿受付 1999年6月18日。

^{*1} 正員、(株)日立製作所生産技術研究所(〒244-0817 横浜市戸塚区吉田町292)。^{*2} (株)日立製作所生産技術研究所。

E-mail: ohashi@perl.hitachi.co.jp

あって、

- a. 設計の良否をコスト値でしか判断できず、特に異なる加工法間の加工難易度差を合理的に示すものが無い、また
 - b. 評価の対象とする加工法の種類が少ない、
 - c. 入力情報が多項目を要し評価手順が複雑、
- など不十分な点が多かった。

そこで、各種の加工法に適用可能、かつ設計者自身が容易に使用できる加工性評価法 (Machining-productivity Evaluation Method: 以下、MEMと称する) を開発した^{(7)~(10)}。この開発においては、先ず切削・研削部品を対象にした手法を開発して⁽¹⁰⁾加工性評価の基礎となる骨組を作った。しかし、この結果だけでは、以下のような問題が残されていた:

- a. 切削・研削以外の加工法について評価方法が未確立でデータも蓄積されておらず、評価ができない、
- b. 部品をどの加工法で製作するのがよいかの比較検討ができない、

そこで今回、切削・研削以外に板金、ダイカスト、モールド、鋳造、溶接の部品も評価可能な総合的な加工性評価法を開発した。

本論文では開発方針、理論体系、評価要素、統合評価方法、について報告する。

2. 汎用加工性評価法 (MEM) の開発方針

2・1 開発すべき評価法の要件

前章に挙げた生産性設計のニーズと開発目的に対し以下の(1)~(3)の特性を実現する:

- (1) 種々の加工方法の加工しやすさが評価できる: ニーズが多く汎用性の高い下記加工法を対象とする。
 - a. 金型等に溶融した材料を注入し部品を形成: モールド、ダイカスト、鋳造
 - b. 前記以外の汎用的加工: 切削・研削、溶接、板金加工

(2) 同一の形状の部品を異なる加工法で作る場合の難易が判断できる:

加工性の良否を加工区分を超えて判断できるようにするためには、以下を実現する。

- a. 区分ごとの独立した評価だけでなく、各加工区分を横断的に比較できる共通の尺度で評価。
- b. 設計者の意思決定の支援ツールであるから、簡単に評価できて精度は比較的高いこと。

(3) 各加工区分の入力情報の項目、形式をなるべく

共通化し、入力情報を極力少なくする。

なお、評価法の精度目標は±15%以内とした。この根拠は、設計変更によるコスト低減は20~30%以上の大きな改良を要求されることが多いためである。競争上高い目標が必要とされることが多いことと、大きな変更の方が、意外にうまくゆくと経験則がこのようなアプローチを支えている。本評価法は設計者がこのような状況で複数案の比較、優劣判定に使用するの

2・2 汎用加工性評価法の開発手順

先に開発した切削・研削対応の加工性評価法⁽⁹⁾を基礎に、以下の手順で板金、溶接、モールド、ダイカスト、鋳造部品に対して評価法の体系を構築する:

(1) 各加工法ごとに、加工費用を決定づける因子を明らかにする。

加工費に影響を与える設計関連因子を抽出し、評価要素とする。切削・研削対応評価法で開発した方式を参考に⁽⁷⁾、評価要素は極力少なく抑える。

(2) 各加工法ごとに評価要素から加工推定費を算出する数式を作る。各加工法の数式に使用する評価要素の係数値を新たに決定する。このため以下を実行した。

- a. 加工区分ごとにサンプルとなる部品を用意する。
- b. サンプル部品について、専門家に工程計画を依頼し、その部品の加工時間を算定してもらう。
- c. 加工時間値を用いて、評価要素から加工時間を推定する式を作成し、式の係数値を決定する。

(3) 2・1に述べた、同じ機能の部品を異なる加工法で加工する場合の比較の可能化のために、部品を同じ職場環境水準で異なる加工法により加工した場合の加工費用を算出して比較する。ただし、すべての加工法を行っている職場は無いため、複数の加工法を実施している加工職場において、同じ製品に使われる異なった加工法で製作される部品のデータを収集する。異なる職場から得たこれらのデータは、同一加工区分で見れば職場ごとに生産量、設備等の生産環境条件が異っている。このため、3章の式(3)の考え方に従って作業時間を製品構造要因と職場要因に分けて計算し、同一の職場要因条件に換算して構造要因部分のみで加工法間の相対比較を行う。これらのデータをもとに加工時間算出式を作成する。

(4) 各加工法の入力因子が、なるべく共通のものとなるように調整する。さらにこれらを連想しやすい名称と記号で表示する。

(5) 加工性評点の算出式を決定

各加工区分に共通で、かつ根拠のある評点の体系を

作る。異なる加工法で製作した部品の評点が、各々の難易度を適切に反映するように、以下の工夫をした：

- a. 加工費用を反映させて「加工しやすさ」を表現する評点の算出式を決定する。
- b. 同じ加工形状の部品を、職場の影響を除いて比較する。すなわち、同じ生産性の職場において当該加工区分の標準的設備でその部品を加工したときの加工時間を比較し、各加工法の加工しやすさの水準の関係を明らかにする。

(6) 評価法の計算システム、マニュアルを作成する。

3. 拡張した加工性評価法 (MEM) の理論体系

3.1 「加工しやすさ」の定義：

部品やこれを構成する加工面が加工しやすいとは、「それらを形成するのに要する加工費用が部品や加工面の大きさの割りに小さいこと」と定義する。「大きさの割りに」とは加工費用を大きさの影響を除いて考えることを意味し、部品の大きさで規準化した加工の密度が小さいということでもある。上記の定義は、大きさが同じ部品同士あるいは加工面同士を比較したとき、その形状、材質や加工精度等が異なるために加工費用に差があれば、その値の小さい方を「加工しやすい」とするのである。なお「加工部の大きさ」は、モールド、ダイカスト等の型ものでは質量で、それ以外の加工法では加工面の面積で代表させることにする。

3.2 各加工法の加工費用を支配する因子の決定

(1) 部品の加工費用の計算方法と評価要素

部品の加工費を、それを構成する加工面の加工費用の総和と考え、部品 i の加工時間 T_i 、加工費用 C_i を次の関数式で表す：

$$T_i = \sum T_{ij} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$C_i = A \cdot T_i \quad \dots\dots\dots (2)$$

但し T_{ij} ：部品 i を構成する加工面 j の加工時間

A ：加工面 j を加工する職場の職場割掛

また、加工面 j の加工時間、加工費用は：

$$T_{ij} = f_1 (\text{設計因子, 生産環境因子}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$C_{ij} = A \cdot T_{ij} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで f_1 は設計因子と生産環境因子を変数とする関数を示す。以降の $f_2, h_1 \dots$ 等も同様である。また

設計因子：評価対象の部品や加工面の形成に必要な加工の作業時間に影響を与える因子であって形状、材質等の設計情報のみで決まるもの。
生産環境因子：設備の性能、作業者の能力、生産数等の条件によって決まり、職場の作業の速さを支配するもの。である。

加工時間に影響を与える設計関連因子を、各加工法ごとに以下の手順で決定する。

a. 設計情報のうち最も加工時間に寄与する度合の大きい「加工面の形態」を基本要素とし、「面種」と呼ぶ。面種の種類は加工時間の精度が確保できる範囲で、なるべく少ない数にとどめる。次に、

b. 面種以外に加工時間に影響する度合いが大きい因子を選んでこれを補正要素とする。補正要素の種類も、なるべく少なく抑え、大きさ、材質、仕上げ寸法精度、形状・姿勢精度、繰返し数の計 5 項目とした。なお、面の加工順や下加工の有無等を考慮すると評価精度は高まるが、評価者の負担が大きくなるため、これは行わないことにした。

c. 部品を構成する各加工面の加工時間を面種と補正要素の各係数を独立変数とする関数式で表わす。

なお、生産環境因子については、この評価法が設計改善を主目的とするため、直接には扱わない方式とした。すなわち、この部分は分析の対象とはせず、改良前の実績値を改良案の評価にも用いることにする。

面 j の加工時間 T_{ij} は：

$$T_{ij} = f_2 (\text{面種係数, 補正係数, 生産環境因子}) \quad \dots (5)$$

この式は加工法ごとに設定する。

部品 i の加工時間 T_i は、それを構成する全ての面 ($j=1 \sim n$) の加工時間 T_{ij} の総和であるとし、その推定値 T_{fi} (サフィックス f は推定値を表わす) は

$$T_{fi} = \sum_{j=1}^n T_{ij} \quad \dots\dots\dots (6)$$

さらに、(5) 式を用いて、

$$T_{fi} = T_{oi} \cdot \sum_{j=1}^n f_3 (\beta_{ij}, \lambda_{ij}, \rho_{ij}, \mu_{ij}, \theta_{ij}, \gamma_{ij}) \quad \dots\dots (7)$$

T_{oi} ： i 番部品の職場基準加工時間 (= 生産環境因子で決まり、小さいほど加工能率が高い)。

β_{ij} ： i 番部品の j 番加工面の面種係数。

軸部品端面の平面を 1 とする。

λ_{ij} ： i 番部品の j 番加工面の大きさ係数。φ 100 軸の片端面を 1 とする。

ρ_{ij} ： i 番部品の j 番加工面の材質係数。

μ_{ij} ： i 番部品の j 番加工面の仕上・寸法精度係数。

θ_{ij} ： i 番部品の j 番加工面の形状・姿勢精度係数。

γ_{ij} : i 番部品の j 番加工面の繰り返し係数.

と表わす.

面種係数 β_{ij} は面種ごとの加工難易度を表わす係数値で, 基本減点 (Basic elimination score) とも称し, 以下の式で表わす:

$$\beta_{ij} = T_x / T_b \quad \dots\dots (8)$$

T_x : 加工面が面種 x 1 個で構成された部品の加工時間

T_b : 面種が基準の平面 1 個で構成され, 他の評価要素は全て前記と同じ条件の部品の加工時間

T_x , T_b の時間データは 2.2 節で述べたように, 多くの工場の種々の部品の設計情報および加工標準時間 (ST) の実績値をサンプルデータとして集め, これらを用いて β_{ij} の値を決定する.

補正係数 $\lambda \sim \gamma$ についても, 面種の場合と同様に加工時間への寄与度から係数を定義し, その係数値も式 (8) と同様の式で与え, 同様の手順で, 各加工方法ごとに, 工場の実績データを用いて求める.

4. 各加工法の評価要素決定

前章の式 (7) (8) に述べた面種係数, 補正係数の値と加工時間推定式の関数形を, 各加工法ごとに決めた. 以下に加工法ごとの検討内容を示す.

4.1 板金部品の加工

4.1.1 板金部品の基本要素

板金部品は大別して大量生産品に用いられる専用金型を用いた抜き・曲げ・絞り等, 中量製品を中心に用いられるターレットパンチによる成形, 中・少量生産品に主として用いられる汎用型を用いた成形がある. 部品全体の加工に要する時間, 費用は, 丸穴や角穴の抜き, 直線的曲げ, パーリング等, の一つ一つの要素形状の加工時間の積み重ねで近似できる. そこで, 板金部品の面種にはこれらの形状要素の中から頻度高く使用されている形状を, 穴, 外周, 曲げ, 等 9 種選んで設定した.

4.1.2 板金部品の面種と面種係数

板金部品の加工時間は, 素材の取り付け, 変形, 取り出し, 後加工等から成り立っている. これらの時間の合計はおおむね部品の変形の大きさに比例し, その変形量は変形部分に加えられる加工力 (せん断力) に

支配されるとの仮説を立てた. 穴, 外周, 曲げ, 等の面種の形状が形成されるとき, どのような加工力が作用するかを検討し, 面種ごとに入力指定する数値項目を決定した. 例えば丸穴などの「抜き」の場合の加工力は, 板厚と抜き線の長さの積に材料のせん断強さを乗じたものとする. そして, 加工作業時間はこの数値に比例するものとして計算式を作成した.

4.1.3 板金部品の補正要素と補正係数

補正要素の項目である大きさ, 材質, 仕上げ精度, 幾何精度, 繰り返し数の内容について板金加工の特性を考慮に入れて, 以下のように決めた (図 1):

a. 大きさ係数 λ : 加工部の大きさによって決まり, その関係は次の関数式で表わされる (図 1 (a)):

$$\lambda_{ij} = h_1 (\text{加工部の面積})$$

$$= A_p \log S + B_p$$

S : 加工部の最大寸法を直径とする円の面積.

A_p , B_p : 定数. 加工部の最大寸法が 100mm のとき $\lambda_{ij} = 1$ となるように定める.

b. 材質係数 ρ : 炭素鋼, 銅・アルミ合金材, SUS 材につき, 炭素鋼を基準 (= 1) として係数値を設定した (図 1 (b)).

c. 仕上・寸法精度係数 μ : 寸法精度の指定があるものは無いものより加工時間が長い. 無指定 = 1 とし平均的な増加の割合を係数値に設定した (図 1 (c)).

d. 形状・姿勢精度係数 θ : 直角度, 同芯度等の指定があると作業に注意が必要で, 成形速度を上げることが出来ない. これらの項目指定の有無による加工時間の影響を係数値として設定した (図 1 (d)).

Fig.1 Supplementary elements' coefficients for sheet metal working.

- e. 繰り返し係数 γ : 同じ形状要素の加工が r 回繰り返される場合の加工時間を, 1 回の加工時間に対する倍率で係数として設定した。

4・2 溶接部品

本評価法で扱う溶接は, いわゆる溶接職場において部品を作り上げる作業である。組立職場でしばしば行われる, 部品を組付けるために行う溶接作業は, 別途組立性評価法⁽¹¹⁾で評価することにし, 除外する。

4・2・1 溶接部品の面種と面種係数

溶接の作業は部材の治具への取り付け, 溶接, 取り外し, 歪み除去処理, 等から成る。それらの作業時間は, どの溶接法が使用されるかに大きく依存する。そこで基本要素として代表的溶接法であるスポット溶接アーク溶接, ガス切断を面種として選定した。

面種係数については, 作業時間は溶接部の大きさに支配されるとして設定した。加工時間を決める溶接部の大きさは, 以下のように求める。

例えば板材の「アーク溶接」の場合の溶接部の大きさは, 板厚に溶接長を掛けた数値とする。その他の各種の接合形態においても同様に, 溶接長さやスポットの大きさを面種に関連して抽出する。

4・2・2 溶接部品の補正要素と補正係数

補正要素は前節の板金と同様, 大きさ, 材質, 等の項目であるが, 溶接加工に通常指定される情報として以下の a ~ d の項目を定めた:

- a. 大きさ係数: 溶接部の大きさにより決まり, その関係は次の関数式で表わす:

$$\lambda_{ij} = A_w \log S + B_w$$

S : 溶接部の最大寸法を直径とする円の面積

A_w, B_w : 定数。最大寸法が 100mm のとき

$\lambda_{ij} = 1$ となるように定めた。

- b. 材質係数: 炭素鋼を基準 (= 1) として, 銅, アルミとその合金材, SUS 材につき係数値を設定した。
 c. 仕上・寸法精度係数: 溶接部の仕上げ加工の指定 $\nabla, \nabla\nabla, \nabla\nabla\nabla$ により仕上げ加工時間が異なる。これを反映して ∇ のときを 1 として係数を設定した。
 d. 形状・姿勢精度係数: 直角度等の指定の有無の加工時間への影響を, 指定無しを基準として設定した。
 e. 繰り返し数: 繰り返しの影響度を, 繰り返し無しを基準 (= 1) に係数値を設定した。

4・3 モールド部品

4・3・1 モールド品の面種と面種係数

モールド部品の成形工程は, ダイカスト, 鋳造と同

様, 射出成形もしくは注湯, 冷却, 取り出し, 後処理等から構成されている。これらの部品製作時間のうち特に成形後の冷却時間の比重が高い。

大きさや材質等が同じで形状の異なる部品の射出成形後の冷却時間が最も小さいのは, 突起の無い, 肉厚が均一な形状である。そこで, 円板状の, 穴や突起の無い形状を基準形状と考え, これを母体 (Body) と名付けた。この形状に穴やアンダーカット等が加わると冷却時間や型の出し入れ等の操作時間が加わり, 部品製作時間が増す。面種として母体, インサートの有無丸穴, 等 4 種を選定した。各々の面種係数は, 部品質量で決まる時間と, インサート部品の型への取り付け時間等の総和で算出した加工時間値を用い, 式 (8) 用いて決定した。

4・3・2 モールド部品の補正要素と補正係数

補正要素は, 以下のように設定した (図 2 参照):

- a. 大きさ係数: 部品が大きくなってくると, 成形工程のうち特に, 冷却, 取り出し, 後工程の一部に時間が余計にかかるようになる。大きさの加工時間におよぼす影響については, 部品の質量や肉厚が冷却時間や取り出し時間に大きく現われるが, 冷却時間と相関性が高く抽出しやすい因子として, 質量を選定した。質量と加工時間の関係をデータから次式のように求め, 係数値を定めた (図 2 (a))。

$$\lambda_{ij} = h_3(\text{モールド部の質量})$$

$$= A_M \log M + B_M$$

M : 部品の質量

A_M, B_M : 定数。直径 100mm で厚み 5 mm の円板が $\lambda_{ij} = 1$ となるように定めた。

- b. 材質係数: 材料はファイバー入りするとき, 射出成形, 冷却, 取り出し, 後処理等の時間に影響する。また材料試験が要求されるときには, その試験時間を作業時間に加える必要がある。そこで一般のモールド材を基準 (= 1) に, ファイバー入り, 材料試験の有無, 等につき係数値を設定した (図 (b))。
 c. 仕上・寸法精度: この区分で想定しやすい表面仕上げの精粗, 寸法精度, および抜き勾配の大小, につき離型性, 作業時間への影響を検討したが, 特に抜き勾配の影響度が大きい。抜き勾配が小さいと離型し難く作業時間が増加する。そこで抜き勾配が大きい「指定無し」を係数値 1 とし, 勾配が小さくなるにつれ係数値を大きく設定した (図 2 (c))。
 d. 形状・姿勢精度係数: 同芯度が必要な, あるいはゆがみが許されない部品は, 冷却に長時間をかけねばならない。そこで形状・姿勢精度指定の無い場合

Fig.2 Supplementary elements' coefficients for various processing

を基準 (= 1) に係数を設定した (図 2 (d)).

- e. 繰り返し数：モールドでは部品中に同じ形状が複数個形成されても全体の加工時間は殆ど増加しない。従って繰り返しによる面種 1 個あたりの形成時間の増減率を表わす本係数値は繰り返し数 (1, 2, ...) に反比例するように設定した (図 2 (e)).

4・4 ダイカスト部品

ダイカストによる部品成形はモールドと同様に扱うが細部で若干異なる。加工時間は主として成形後の冷却時間と、取り出し後の後処理の時間等により決定づけられる。面種はモールドと同様に母体を基準とし加工時間を増加させる要因としてインサートやアンダーカットの有無、丸穴、等 5 種類を選定追加した。

補正要素については下記 a ~ d のように設定した。

- a. 大きさ係数：モールドと同様な質量を反映した λ_{ij} の式を用いた。ただし、質量が増加するにつれての加工時間の増加率はモールドの場合とは異なるので、定数値は独自に設定した。
- b. 材質係数：通常のダイカスト材 (アルミ合金) を基準とし、熱処理の有無、材料試験の有無等につき係数値を設定した。
- c. 仕上・寸法精度：肉厚と仕上げの程度により係数値を設定した (図 2 (c) 参照)。
- d. 形状・姿勢精度係数：指定無しを基準 (= 1) に有の場合の係数を設定した (図 2 (d) 参照)。

4・5 鋳造品

鋳造は鋳鉄の砂型鋳造を主対象に検討した。その製作時間は、砂型製作、注湯、冷却、取り出し、成形後の冷却時間、取り出し後の後処理の時間等により決定づけられる。そこで面種として母体を基準にこれに、アンダーカットの有無、丸穴、分岐穴の有無、等 4 種を加えて設定した。部品質量で決まる成形時間と、形状の複雑さによる取り出し後の作業時間等の総和で加工時間を推定し、式 (8) で係数値を決定した。

補正要素と補正係数は以下のように設定した：

- a. 材質係数：通常の鋳鉄を基準 (= 1) とし、熱処理の有無、等につき係数値を設定した。
- b. 仕上・寸法精度：抜き勾配の程度により係数値を設定した。
- c. 形状・姿勢精度係数：指定の無を基準として、有の場合に係数を設定した。

5. 各加工法の統合評価

5・1 評価要素の統合

各加工法に対する面種の合計は 36 種類となった。この種類数は、使用者が記憶し使いこなすには多すぎると判断し、類似のものはまとめる等して使いやすさの向上を図った。整理統合の方法は、類似の形状要素は、その形状に関して抽出する情報内容が異なっても同一面種として扱い、同じ要素記号で表わす。但し同じ要素記号を選定した後、加工法を選べば、意図した要素が選定できるようにした。この結果、要素記号は合計で 23 種に収まった。この方法により面種の区別

Basic element	Symbol	Process category						Co- [*] efficient	Configuration
		Cutting/Grinding	Sheet metal working	Welding	Die-casting	Molding	Casting		
Plane	P	(Turning)						1 (standard)	
		(Milling)						W, L	
Round Hole	RH	(Turning)						D, H	
		(Milling)						D, L	
								D, t	
								M	
Outer Fringe	OF							W, L, t	

*: value under standard condition.

Fig.3 Examples of basic elements and coefficients.

認識が容易になり、使いやすくなった。

図3に決定した面種と面種係数の例を示す。同図では、例えば切削部品と板金、モールド、部品等では、形状は異なるが、ともに丸穴 (RH) と表示、認識する。このような方式を採用することにより、少ない記号種類で加工形状要素を表現することを可能とした。

5.2 加工性評点の定義

「加工し易さ」を表わす加工性評点は前報⁽⁷⁾と同様に以下の式で定義する：

$$\text{加工性評点} = f_4 (\text{加工推定費用}) \quad \dots\dots (9)$$

$$= f_5 (\text{面種係数, 補正係数}) \quad \dots\dots (10)$$

$$= f_6 (\text{設計因子}) \quad \dots\dots\dots (11)$$

前節で述べたように加工推定費用は面種係数と補正係数の関数で表わされるから (10) 式が導かれ、面種係数および補正係数は設計因子で決定付けられるから (11) 式が導かれたのである。

関数 f_5 はさらに、

$$\begin{aligned} f_5 &= 100 - (\text{部品減点}) \\ &= 100 - \tau \left(\frac{C_i}{C_{bi}} - 1 \right) \\ &= 100 - \tau \left(\frac{T_i}{T_{bi}} - 1 \right) \quad \dots\dots (12) \end{aligned}$$

ただし τ : 比例定数

C_{bi} , T_{bi} : 部品 i と大きさが同じで、他の評価要素が基準状態である部品の加工費用、時間

と表わされる。なお、 T_{bi} は加工性評点が100点となる「最も加工しやすい」部品を定義したものである。切削・研削部品対応加工性評価法においては、評価対象部品の最大寸法を直径とし、その他の評価要素が基

準状態である軸端面の加工時間値を、部品の基準値にとっていた⁽¹⁰⁾。

今回、板金、モールド等の加工法を追加した結果、切削・研削部品と同じ基準では加工量が小さい場合には加工性評点が100点を超えることがわかった。これらの加工法は加工能率が高く、加工量が小さい場合には式 (12) において T_i/T_{bi} 項が1より小さくなり、加工性評点が100点を超えてしまうのである。

「部品最大寸法を直径とする円板」は部品の基準として分かりやすくユーザーに好評であったため、この概念は活かし、

「評価対象部品の最大寸法を直径とする円板端面の加工時間の $1/Q$ (Q : 定数 >1) を部品加工基準時間」

と定義し直した。これにより加工性評点が100点を超える不都合は無くなった。

製品加工性評点も前報と同様、以下で定義する：

$$\text{製品加工性評点} = \frac{\sum (\text{部品加工性評点})}{\text{製品中の加工部品数}} \quad \dots (13)$$

5.3 評価事例

図4に加工性の評価と改良の事例を示す。

構造1は、改良前の部品で、平板から全面切削加工で製作したプレートである。評価の結果、加工性評点が90点となり、極めて加工性が悪いとの結果になった。結果を分析することにより、減点の大きい理由が理解でき、改良方策検討の参考になる。この場合、上下面1および4や側面2および3の平面加工に大きな時間を要して減点が大きいため、このうちの面2、4の加工が不要のように改良したものが構造2である。構造2は、素材に表面仕上げ精度の良い冷間引き

	Shape and processing	MEM score	MEM cost index	Surface to be improv'd
Structure 1 (Before improvement)	<p>t=5 Material: Al 4-φ8 drilled holes Surface 1 Surface 2 Surface 3 Surface 4 All machined surfaces</p>	90	C_1 ; 100%	#2, #4,
Structure 2	<p>t=5 Material: Al Surface 1 Surface 3 Use die-plate (surf. #2 & 4 are not processed)</p>	47	C_2 ; Approx. 78%	#1, #3,
Structure 3	<p>t=5 Material: Al 10 x 80 long hole All holes are punched</p>	51	C_3 ; Approx. 27%	—

Fig.4 MEM analysis examples

の加工板を使用し、切削加工の一部を省略したものである。この結果、式 (12) により計算される加工費指数は 7.8 % に低減された。しかし加工性評点は改善されたものの -4.7 点と依然としてマイナス点であり、更に改良が望ましい。

構造 3 は加工方法を変更して、板金加工化したものである。これにより、加工性評点は 5.1 点まで改善され、加工費指数は構造 1 の 2.7 % にまで低減した。

以上のように MEM は加工法の相対的な難易度も含めて評価が可能で、幅広く利用できることがわかった。

6. 汎用 MEM の評価精度

MEM の評価精度を検証する。「加工性」という概念は抽象的なものなので、MEM で求められる加工推定時間を実際時間と比較し、両者が良く一致していれば評価法としての精度が高いとする。図 5 に各種の加工法で製作した部品に関し、部品加工実際時間と MEM による部品加工推定時間を比較した結果を示す。種々の加工法で製作された部品において、加工推定時間の加工実際時間からの誤差はほぼ目標の $\pm 15\%$ 以下に収まることがわかった。これは、事前評価法として実用に堪える精度である。またこれにより MEM の理論的妥当性が裏付けられたものと考えられる。さらに、設計者は設計完了前にこの精度で加工時間および加工費用を推定することができる。これは原価設計に活用可能な、有用な情報である。

Fig.5 Accuracy of MEM cost estimation

7. 結論

切削・研削、板金、溶接、モールド、ダイカスト、鋳造で製作される部品を対象として、部品およびこれで構成される製品の加工しやすさを定量的に評価する設計評価法を開発した。

(1) 各加工法について、加工時間に寄与する設計と生産環境因子のうち、設計因子の詳細を明かにし、これをもとに加工時間を推定する計算式を開発した。

(2) 各加工法の相対的な加工の難易度を相対的に表わせる加工性評点を開発した。

(3) 評価式の精度を検証して加工時間推定精度が $\pm 15\%$ におさまることを確認した。

8. 謝辞

本技術の開発にあたって共同開発者であった(株)日立製作所生産技術研究所の故池田学氏、貴重なアドバイスを戴いた、元同社生産技術部の谷口修氏、データを提供と討論を戴いた同社の多くの工場および技術者の方々に感謝の意を表します。

9. 参考文献

- (1) α プレイン社, 加工費見積りシステム カタログ (1987)
- (2) 杉村ほか, 工作機械の設計に対する解析的アプローチ, 日本機械学会公園論文集, No.804-9 (80-11), pp.93-100.
- (3) 太刀川, FAにおける機械加工性評価, 第7回FA 세미나資料 (1985), 2-5.
- (4) G. Boothroyd, 部品加工の定量的見積り法, 日経メカニカル, 1988.11.14, 54-60.
- (5) G. Boothroyd, 生産コスト削減のための製品設計, 日経BP社 (1998), 222-449
- (6) 高橋, 設計評価と設計改善技法をペアにした製造性評価法, 設計・製図, 26-1 (1990), 18-22.
- (7) 有本ほか, 日立加工性評価法 (MEM) の開発, 1991年精密工学会春期全国大会講演論文集, 537-538.
- (8) 有本ほか, 加工性評価法 (MEM) の開発-2, 1991年精密工学会秋期全国大会講演論文集, 577-578.
- (9) 有本ほか, 日立加工性評価法 (MEM) の開発, 1992年精密工学会春期全国大会講演論文集, 133-134.
- (10) 大橋ほか, 切削・研削対応加工性評価法 (MEM) の開発, 機論, (論文No.99-0544),
- (11) 技術紹介記事, 日立製作所, 組立性を設計図面で定量評価, 日経メカニカル, ('78.10.2), 54.