

要旨

本研究は曲面の仕上げ加工における工具の使用順序決定方法を取り扱っている。曲面形状を使用する工具径により複数の部分面として認識し、加工される全体形状に対する加工面積比として表現した。さらに、各工具の加工作業時間を要求仕上げ面粗さと工具移動時間を考慮して表現した。また、工具と加工作業時間の情報を基にした加工時間を最短とする工具使用順序の解探索に対してジェネティックアルゴリズム (GA) の適用を検討し、全探索方法に比較して良好な結果が得られた。

1. 緒論

NC工作機械を用いた曲面形状の仕上げ加工における工程設計作業は、加工形状に依存して複雑であり、特に使用する工具の順序の決定は熟練技術者の経験や勘に頼っている。本研究では、曲面加工に対する使用工具とその使用順序の決定方法に対して着目した。本報では、工具情報を基にした加工領域の分類、および加工時間の推定方法とそれらを用いた GA による工具使用順序の決定法に関して報告する。

2. 曲面形状、使用工具と加工時間の関係

工具による除去加工では、成形可能な加工形状と要求形状が同形状であることが理想である。しかし、工具干渉回避などの事情によりかならずしも同形状とはならない。すなわち、要求形状が与えられた場合、その加工可能な形状は工具形状に依存して決定される。1つの工具で加工可能な領域を要求形状全体の面積比で定義すると、工具径が小さくなるほど面積比は増大し、工具径 0.0mm で 100% となる。工具径が大きくなると工具干渉回避のため加工不可能領域が増大し、相対的にその面積比は 0 に近づく傾向を示す。一般に、要求形状は複数の部分形状から構成されている (図 1)。工具選択の視点から見たその部分形状は要求形状に対する工具による加工領域として定義できる。本研究では要求形状 S を次式で定義する。

$$S = \cup s(r) \quad (1)$$

$$|s(r)| = a(r) \cdot |S| \quad (2)$$

$$A = 1.0 = \sum a(r) \quad (3)$$

ここで、 $s(r)$ は工具形状 r で加工される部分形状であり、 $|S|$ 、 $|s(r)|$ は形状、部分形状の表面積である。式 1 は要求形状 S を工具形状 r により加工される部分形状 $s(r)$ に分類し、その集合体として表現している。また、部分形状領域 $s(r)$ の表面積は要求形状全体の表面積 $|S|$ とその面積比 $a(r)$ により表現した (式 2)。したがって、面積比 $a(r)$ の合計 A は形状の寸法にかかわらず 1.0 となる。式 3) は形状における加工可能領域の表面積に対する正規化した表現である。

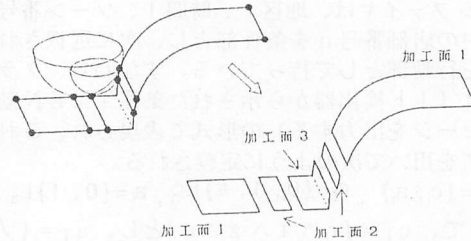


図 1 工具径により分離した要求形状の部分形状

3. 加工時間の推定

前加工面は要求形状にほぼ一様な余肉量をもつと仮定し、それらを切削する工具の加工能率を考える。加工能率は切削面積を用い工具径 r に対する切削能率 $\eta(r) (m^2/min)$ を定義する。一般に加工能率は工具径が大きいくほど良好となる。また、理想仕上げ面粗さが与えられるとき、その横送り量 (クロスフィード) は工具径に依存して異なる。すなわち、同じ切削領域を加工する場合、工具径が大きい程工具の移動距離は短くなる。また、加工領域が不連続に複数存在するとき、それらの間を移動する時間 (早送り空切削移動時間) や、工具を交換する時間を考慮する必要がある。工具形状 r_i における加工面積比 δ の加工時間は次式で与えられる。

$$t(r_i) = |S| \cdot \delta \cdot \varepsilon(r_i) / \eta(r_i) + T_m \cdot n(r_i) + T_c \quad (4)$$

ここで、加工開始時、 $\delta = a(r_i)$
以降 $\delta = a(r_{i+1}) - a(r_i)$

$$\varepsilon(r_i) = Pf(r_{min}) / Pf(r_i)$$

$Pf(r_i)$: 工具 r_i で加工するときの横送り量

r_{min} : 使用工具の最小径

T_m : 早送り空切削平均移動時間

$n(r_i)$: 工具 r_i の不連続加工領域の数 - 1

T_c : 工具交換時間

また、総加工時間は次式で与えられる。

$$T = \sum t(r_i) \quad (5)$$

T が最小、すなわち最短時間となる工具 r_i の選択と使用順序を決定すればよい。

4. GA による加工工具の選択

GA は生物の進化の過程にヒントを得た比較的単純な基本原理を基にしている最適化・探索アルゴリズム¹⁾²⁾であり、多点情報を利用した確率探索手法の1種である。加工する工具の選択状態が簡単にコード化することができ、染色体として表現できることを理由として GA を用いて、工具使用順序決定を試みる。本研究における、GA の処理手順は以下ようになる。

1. 初期集団の生成

決められた個体数の染色体（染色体の長さは使用可能な工具本数）をランダムに生成する（図2）。工具を使用する場合は1、未使用の場合は0が代入される。

2. 終了条件が満たされるまでループ

● 適応度の評価

各々に個体に対して、式5)にしたがい適応度の評価を行う。かならず大きい工具から小さい工具への順に加工が進むことを前提としている。

● 選択

基本的に適応度の高い（本研究では加工時間の短い）個体がより多くの子孫を残すような機構をとり、個体を選択する。本研究における個体の選択は基本モデルである適応度比例戦略とエリート保存戦略の組み合わせを採用し、最も適応度の高い個体をいくつか常に保存することにより解の収束性を高めた。

● 交叉

交叉は、2つの親の遺伝子を組み替えて子の染色体を生成する操作であり、一様交叉を採った。どの親の遺伝子を受け継ぐかを決定するマスクはランダムに生成し、それ自身を一定の世代毎に変化させた。

● 突然変異

遺伝子を一定の確率で変化させ、解を局所解に陥らせないようにした。

5. 実験・結果

GA を用いて行った工具使用順序決定実験の加工形状として自動車用部品を用いた（図3）。その工具径に対する加工面積比図（図4）に示した。GA パラメータとして、個体数30、遺伝子コード（工具数）の長さ18、突然変異の確率0.1、エリート保存数3を採用した。GA の実行過程の1例を図5に示した。エリート保存により残った3つの染色体の評価値が同値で、かつ100世代続いたときを解の収束として、処理を終了した。比較として、全探索方法により最短加工時間となる最適な工具使用順を求めた。その処理時間は約2分10秒であり、一方GAによる方法は初期条件により異なるが20秒から40秒程度で最適解に収束しており、良好な結果が得られた。

工具半径 (mm)	20	19	18	17	16	15	14	13	●●●●●	5	4	3	2
G type	1	0	0	0	1	1	0	1	●●●●●	1	0	0	1

図2 生成する染色体の例

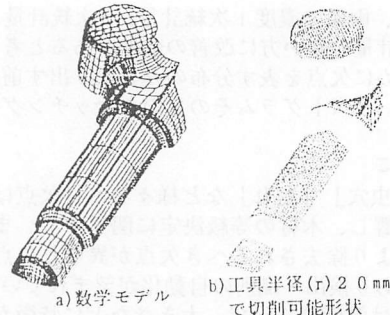


図3 自動車部品の計算機形状モデル

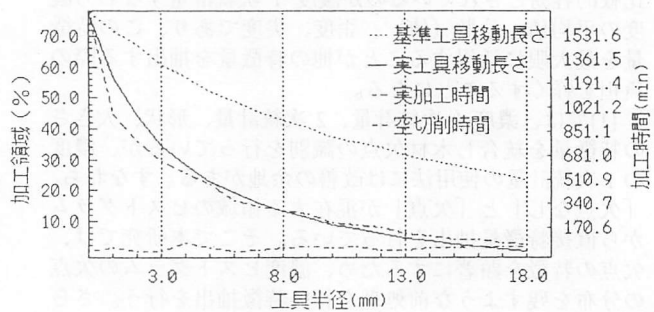


図4 工具移動長さによる加工面積図

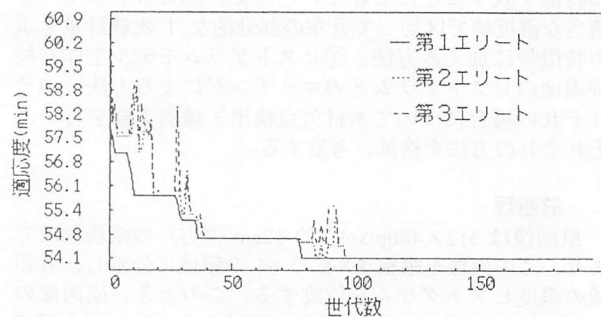


図5 GAによる探索結果例

6. 結論

本研究では、加工作業における工具の選択、使用順序の決定法に対して検討を行い、以下の結論を得た。

1. 加工領域を工具により加工可能な部分形状の集合体として定義し、その面積比を用いて定量的に表現した。
2. 加工領域情報と工具情報を基にして、加工時間の推定法を提案した。
3. 工具使用順序決定法に対して GA への適用方法を示し、実験によりその妥当性を確認した。

参考文献

- 1) 北野宏明. 遺伝的アルゴリズム. 産業図書
- 2) 伊庭齊志. 遺伝的アルゴリズムの基礎. オーム社