

機械部品の加工可能な部品への自動分割法

田中 雅次・金枝 敏明

岡山理科大学工学部機械システム工学科
(2002年11月1日 受理)

1. はじめに

近年のCADでは、ソリッドモデラの導入が盛んに進められているが、数多くの機械部品からなる製品の設計などでは、2次元CADの方がよく適用されているのも現状である。この理由として、本来の製品設計作業は、概念設計より詳細設計に進む点が挙げられる。製品の設計図上では、概念設計は組立図の作成に対応し、詳細設計は部品図の作成に対応する。

ところが、ソリッドモデラで製品設計を行う場合は、個々の部品のソリッドモデルを作成しながら、それらを組み合わせることで製品のソリッドモデルを作成する。したがって、数多くの機械部品からなるような製品では、ソリッドモデルでの設計は、非常に多くの時間と労力を要するものとなる。また、ソリッドモデラは自由曲面を扱いやすいことに大きな利点があり、適用される対象は、意匠設計が必要な製品の外観部分などが大半であるのも現状である。

本研究では、ソリッドモデラにおいても、数多くの機械部品からなる製品のソリッドモデルが容易に作成できることを目的に、あたえられた製品のソリッドモデルの組立図としてのソリッドモデルへの自動変換システムの開発を目指している。この自動変換の初期段階として、本論文では、与えられた機械部品のソリッドモデルを加工が容易な少数の部品に自動分割する手法を提案する。なお、現段階では、対象物形状を多面体に限定し、加工はフライス盤で行われるものとする。

例えば、治具のような機械部品のソリッドモデルを作成する場合、CAD上では、設計・製造に不慣れなオペレータでも、プリミティブやフィーチャの操作で、オペレータのイメージするものが出来上がってくるが、実際には加工できないものも多く作成されると考えられる。本手法では、この加工できないものを、加工が容易な少数の部品に自動分割する。

自動分割の主要なアルゴリズムとしては、最初に与えられた機械部品のソリッドモデルにおいて、凹部を形成する面を延長することで、ソリッドモデルをいくつかのブロックに分割する。これらを立体要素とする。次に、立体要素同士を凹部を形成しないことを条件に結合させる。これらを立体部分とする。立体部分の集合において、特に他の立体部分の一部とならないものを基礎部分として認識する。解は、基礎部分に対して、立体部分や立体要素を結合することで生成する。この結合においては、鋭角を形成しないことを条件に凹部が存在してもよいことにし、また、薄板に細い棒が立つような、加工しにくい形状を形成させない条件を適用する。結果として、与えられた機械部品のソリッドモデルは、加工が容易な少数の部品に分割される。

ソリッドモデルの分割操作については、SHAPIROらのB-repモデルをCSGモデルに自動変換する研究¹⁾や、加工フィーチャに自動分割する研究²⁾³⁾が行われているが、本研究とは目的が大きく異なる。また、DASら⁴⁾は、加工を容易にするような機械部品の設計変更の自動化について研究しているが、加工可能性についての自動化は考えられていない。YINら⁵⁾は、鋳造に関して加工可能性を研究しているが、内容的には、鋳物と鋳型の幾何学的な関係を検討したものであり、本手法の対象となる切削加工とは、切削方法や部品各部の強度などを考慮する点で異なる。

2. 立体要素と立体部分の作成および基礎部分の認識

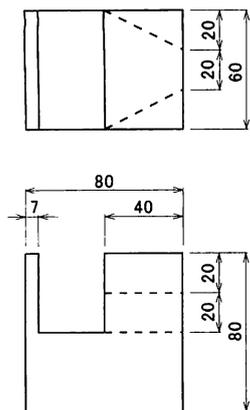
2-1 立体要素の作成

本手法では、与えられた機械部品のソリッドモデルにおいて、最初にその各面をモデル内部に延長させる。延長する面は、凹部を形成する面のみとなる。また、この延長は、モデル外部には及ばないこととする。面の延長によって、ソリッドモデルがいくつかのブロックに区切られる場合は、各ブロックを立体要

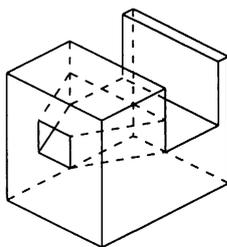
素として認識する。

各立体要素は、凸多面体を形成するので、加工可能部品に成り得るが、機械部品に凹形状が多い場合、作成される立体要素数が増大するので、解である部品としては適さない。そこで次のステップでは、立体要素同士を結合して立体部分を作成する。

図1は、機械部品の例題1である。図1(a)には、例題1の二面図を示し、図1(b)には、例題1のソリッドモデルの外観を示す。例題1には、切削加工ができない穴が存在する。図2は、例題1の立体要素への分割を示し、図3は、例題1の各立体要素の外観を示す。これらの図のように、例題1では、10個の立体要素(S_1, S_2, \dots, S_{10})が作成される。



(a) 二面図



(b) ソリッドモデルの外観

図1 例題1

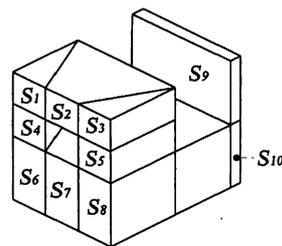


図2 例題1の立体要素への分割

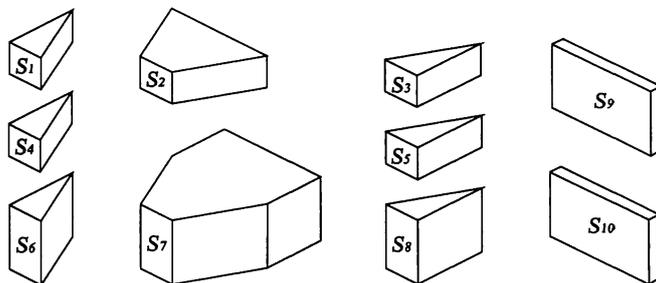


図3 例題1における各立体要素

2-2 立体部分の作成

立体要素を、凹部を形成しないことを条件に結合させて立体部分を作成する。結果として各立体部分は、凸多面体を形成するが、立体要素数が多いと立体部分の数も増大するので、解である部品としては適さない。解は、立体部分や立体要素を結合することで生成する。

1個の立体部分が n 個の立体要素(S_1, S_2, \dots, S_n)からなるとき、この立体部分は、 $S_{1,2,\dots,n}$ と表される。立体部分の作成において、凹部を形成しない条件は、次のように適用させる。

任意の機械部品における2個の立体要素を S_a, S_b とするととき、これらの関係を次のように定める。

(1) もし、 S_a と S_b が面で接触しているならば、これらの関係を $S_a \circ S_b$ と表す。

このとき、1個の立体部分 $S_{a,b}$ が作成できる。

(2) もし、 S_a と S_b が1本の稜線のみで接触し、かつこれらの成す面の間の角度

に鋭角が存在しないとき、これらの関係を $S_a \triangle S_b$ と表す。

(3) もし、 S_a と S_b が 1 本の稜線のみで接触し、かつこれらの成す面の間の角度に鋭角が存在するとき、これらの関係を $S_a \times S_b$ と表す。

(4) もし、 S_a と S_b が非接触ならば、これらは無関係であるとする。

立体部品は、“○”の関係より作成する。最初に 2 個の立体要素からなる立体部分を作成した後、3 個以上の立体要素からなる立体部分を、“○”の関係より次々と作成する。表 1 に例題 1 より作成される全ての立体部分を示す。第 1 段階では、2 個の立体要素間の関係を全て明らかにしている。次に、これを利用して第 2 段階では、2 個の立体要素からなる立体部分と立体要素の関係(例えば、 $S_{1,2} \circ S_3$)が求められる。第 3 段階では、3 個の立体要素からなる立体部分と立体要素の関係(例えば、 $S_{6,7,8} \circ S_{10}$)が求められる。結果として、 $S_{6,7,8,10}$ が立体要素数最大の立体部分となる。図 4 には、例題 1 の立体部分の例を 3 個示す。

表 1 例題 1 で作成される立体部分

第 1 段階	$S_1 \circ S_2, S_1 \circ S_4, S_2 \circ S_3, S_2 \triangle S_4, S_2 \triangle S_5, S_3 \circ S_5, S_4 \circ S_6, S_4 \triangle S_7, S_5 \triangle S_7, S_5 \circ S_8, S_6 \circ S_7, S_7 \circ S_8, S_7 \triangle S_9, S_7 \circ S_{10}, S_9 \circ S_{10}$
第 2 段階	$S_{1,2} \circ S_3, S_{1,4} \circ S_6, S_{2,3} \circ S_1, S_{3,5} \circ S_8, S_{4,6} \circ S_1, S_{5,8} \circ S_3, S_{6,7} \circ S_8, S_{6,7} \circ S_{10}, S_{7,8} \circ S_6, S_{7,8} \circ S_{10}, S_{7,10} \circ S_6, S_{7,10} \circ S_8$
第 3 段階	$S_{6,7,8} \circ S_{10}, S_{6,7,10} \circ S_8, S_{7,8,10} \circ S_6$

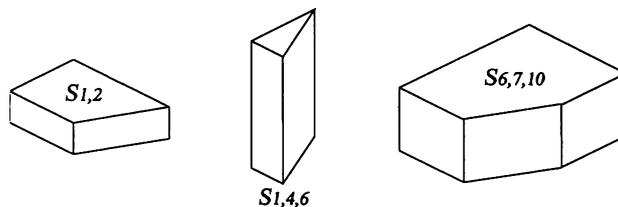


図 4 例題 1 における立体部分の例

2-3 基礎部分の認識

作成された全ての立体部分の集合において、特に他の立体部分の一部とならないものを、基礎部分として認識する。一般的には、任意の機械部品より、 n 個の立体部分(G_1, G_2, \dots, G_n)が作成されるとき、 $G_a \not\subset G_i$ ($i=1,2,\dots,n, i \neq a$)となる G_a が基礎部分となる。例題 1 では、5 個の基礎部分($S_{1,2,3}, S_{1,4,6}, S_{3,5,8}, S_{6,7,8,10}, S_{9,10}$)が認識される。これらを図 5 に示す。解である部品は、基礎部分に立体部分や立体要素を結合することで生成する。

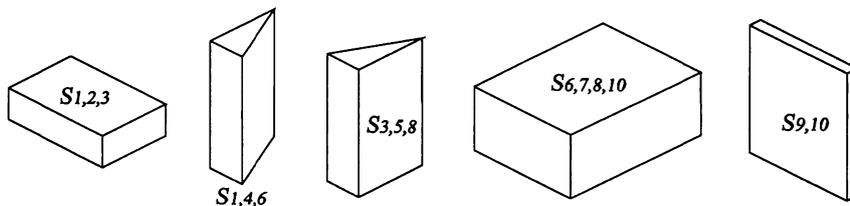


図 5 例題 1 の基礎部分

3. 解の生成

3-1 基礎部分への立体部分・要素の結合条件

基礎部分への立体部分や立体要素の結合において、加工を容易にする条件を適用する。ここで、任意の立体部分と基礎部分をそれぞれ G と B とする。また、 G の体積を G_v 、 G の表面積を G_s 、 G の B からの最大高さを H_g 、 G と B の接触面の面積を C_s とする。図6には、 G と B の関係の簡単な例を示す。

条件1： G と B の間に"○"の関係が存在すること。

この条件は、 G と B が頂点や稜線で接触する場合、または非接触の場合を除外する。

条件2： G と B の間に"×"の関係が存在しないこと。

この条件は、加工が困難になる鋭角の凹部を、解となる部品に形成させない条件となる。

条件3： $\sqrt{G_v/H_g} \geq H_g$

概して、図7のように、板の上に細い棒や薄板が立っているような部品形状は、加工が困難となる。この条件は、 B に対して G が、立方体より細くならない条件である。

条件4： $6C_s+H_g^2 \geq G_s$

G が薄板を形成する場合、条件3は満たされる可能性がある。この薄板の幅を図6のように H_g/K とすると、薄板の長さは KC_s/H_g となる。このとき、薄板の表面積は、 $2C_s+2H_g^2/K+2C_sK$ となる。 K は板厚を決める定数であり、本手法では、 $K=2$ として、表面積の値を $6C_s+H_g^2$ とし、 G_s がこの値を越えないことを条件とする。

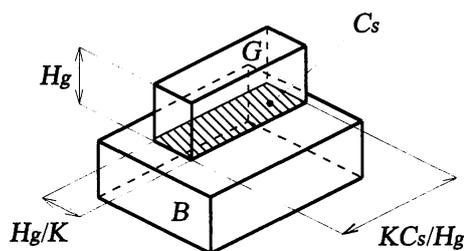


図6 G と B の簡単な例

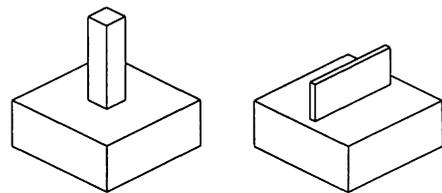


図7 加工が困難な部品の例

3-2 解の生成プロセス

各基礎部分より解である部品を生成するプロセスを次に示す。

- (1) 基礎部分に対して、“○”の関係を持つ立体部分や立体要素を選択する。
- (2) もし、いくつかの“○”の関係を持つ立体部分や立体要素が互いに接触しているならば、これらは基礎部分に対して1個の立体部分とみなす。
- (3) 上述の4条件を全て満たす立体部分や立体要素を全て基礎部分に結合する。結果として、1個の解となる部品ができる。
- (4) 解となる1個の部品の形成後、いくつかの立体部分や立体要素が残っている場合は、それらの中より基礎部分を認識して、別の部品を生成させる。
- (5) 全ての立体部分や立体要素が解となる部品に含まれた時点で、機械部品を加工可能部品に分割した1通りの解が得られる。

例題1からは、29通りの解が得られる。各解は、3～5個の部品からなる。図8には、3個の部品からなる4通りの解を示す。図9に例題2を示す。この例題は、鋭角となる溝が加工しにくい部分となる。本手法により、例題2は図10のように5個の立体要素に分割される。表2には、例題2より作成される立体部分を示す。結果として、図11のように2個の部品からなる2通りの解が得られる。

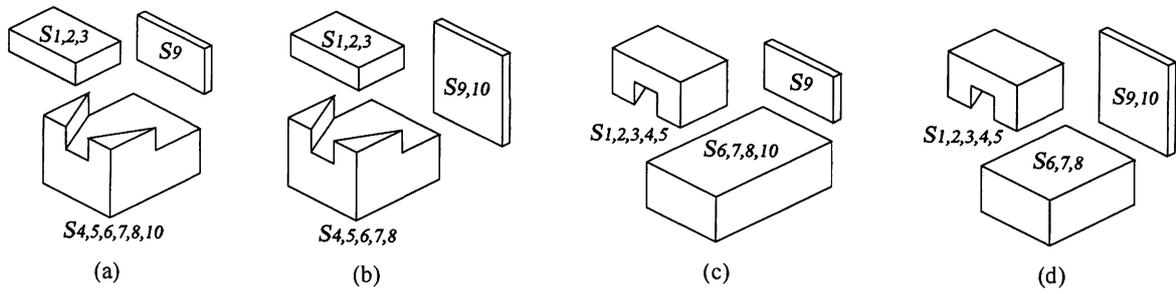


図8 例題1における3個の部品からなる4通りの解

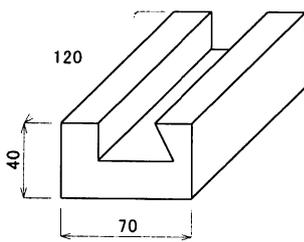


図9 例題2

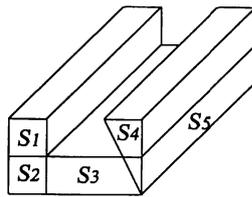


図10 例題2の立体要素への分割

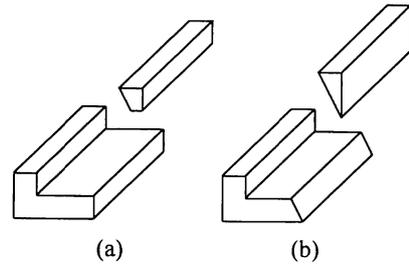


図11 例題2の2通りの解

表2 例題2で作成される立体部分

第1段階	$S_1 \circ S_2, S_1 \triangle S_3, S_2 \circ S_3, S_3 \circ S_5, S_3 \times S_4, S_4 \circ S_5$
第2段階	$S_2,3 \circ S_5, S_3,5 \circ S_2$

図12に例題3を示す。この例題は、切削加工は容易であるが、鋳造が困難なものである。本手法では、図13のように立方体となる基礎部分が作成され、それに対する立体部分は、2個の穴のある形状となる。これらは結合可能であり、結果として例題3は加工可能な機械部品であることが分かる。

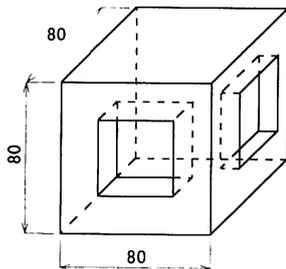


図12 例題3

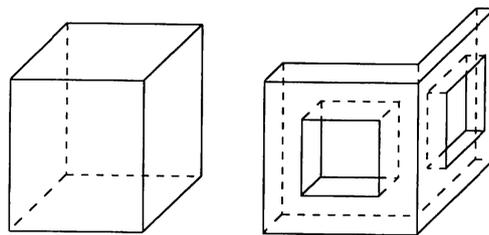


図13 例題3における基礎部分と立体部分

4. 考 察

機械部品のソリッドモデルより作成される立体要素の数が多くなると、作成される立体部分の数も増大する。しかしながら、情報量の爆発には至らないと考えられる。これは、立体部分生成の性質によるもので、構成要素となる立体要素の数が多いほど、立体部分は生成の可能性が低くなるためである。

本手法では、対象物の形状を多面体に限定したが、もし、円柱面や円錐面、トラス面などの曲面を適用させる場合は、これらの面の持つ軸方向が立体部分を作成する上で重要な要素になると考えられる。これは、この軸方向が、切削工具のアプローチ方向に関係するからである。

機械部品が複雑な形状の場合、本手法では多くの解が生成されることが予想される。より良い解のみを生成させるには、工具の形状や大きさ、解である部品間の組立性や加工に要するコストなどを条件として本手法に付加する必要があると考えられる。一方では、多くの解を出力することで、入力された機械部品の加工の難易度を判断することもできると考えられる。

5. おわりに

本論文では、機械部品のソリッドモデルを加工が容易な少数の部品に自動分割する手法を提案した。実際の部品設計では、設計者に豊富な経験が求められるが、ソリッドモデルを基礎とした自動設計システムを考える場合、本論文で示した自動部品分割は、必要不可欠なサブシステムになると考えられる。今後は、設計者の経験を広く反映できるように手法の拡張を行いたい。

参考文献

- 1) SHAPIRO, V., VOSSLER, D. L. : Separation for Boundary to CSG Conversion, ACM Trans. on Graphics, 1993, 12(1): 35-55
- 2) TSENG Y. J., JOSHI, S. B. : Recognizing Multiple Interpretations of Interacting Machining Features, Computer-Aided Design, 1994, 26(9): 667-688
- 3) SAKURAI, H. : Volume Decomposition and Feature Recognition: Part 1 - Polyhedral Objects, Computer-Aided Design, 1995, 27(11): 833-843
- 4) DAS D., GUPTA, S. K., NAU, D. S. : Generating Redesign Suggestions to Reduce Setup Cost: A Step Towards Automated Redesign, Computer-Aided Design, 1996, 28(10): 763-782
- 5) YIN, Z., DING, H., XIONG, Y. : Virtual Prototyping of Mold Design: Geometric Mouldability Analysis for Near-net-shape Manufactured Parts by Feature Recognition and Geometric Reasoning, Computer-Aided Design, 2001, 33(2): 137-154

A Method of Dividing Mechanical parts into Machinable Parts

Masaji Tanaka and Toshiaki Kaneeda

*Department of Mechanical Systems Engineering,
Faculty of Engineering,
Okayama University of Science
Ridai-cho 1-1, Okayama 700-0005, Japan
(Received November 1, 2002)*

In recent years, solid modelers have been introduced to CAD systems. Although these have simplified the design process, they must be redesigned by changing their shapes or dividing them into machinable parts when the designed mechanical parts are difficult to be machined. This can be a difficult and time consuming operation. In this paper, we propose a method to automatically divide the solid models of mechanical parts into machinable parts. The number of the machinable parts can be minimized regardless of the complexity of the shapes of the mechanical parts, using the proposed method.