

分解・処理計画のための製品情報モデルに関する研究

北海道大学大学院工学研究科 ○佐々木亮太、金井 理、岸浪建史

要旨

本研究では使用済み製品の分解・処理計画の支援システムの開発を目的としている。従来の研究では使用済み製品の分解、処理に関して、幾何学的制約条件、作業制約条件を考慮に入れた研究がなされていない。そこで本報では、使用済み製品を処理する際に必要となる製品情報を明らかにし、これらの制約条件を満たし、かつ回収条件に適合した分解箇所決定と、分解部品に対する処理法を決定する規則について提案を行う。

1. はじめに

リサイクル法の公布やISO14000シリーズの発効により使用済み製品に対する企業の責任が増大していく傾向にある。そのため設計段階で使用終了後の分解処理を考慮に入れた製品設計を行うことが必要となってきている。分解・処理計画の従来の研究は、a)LCA(Life Cycle Assessment)[1]、b)分解作業容易性評価[2][3]、c)分解後の回収価値や処理コストの評価に基づく分解深さの最適化に関する研究[4][5][6]等がある。しかしながら、a),b)は評価のみで分解処理計画が行われていない。c)は使用済み製品を分解する際に生じる破壊的分解と、分解生成物に対する処理（破碎、選別）の割当を取り扱っていない。また、予め指定された部品や材料の再使用や再利用の条件を満たす分解・処理計画が立てられない。そこで本研究では、破壊的分解や回収の制約条件を考慮に入れた使用済み製品分解計画の立案に必要な製品構造や、分解処理に伴う製品情報の変換規則の提案を目的とする。

2. 分解・処理計画問題の定義

本研究における分解・処理計画問題とは、図1に示すように部品の接続、材料属性を含めた使用済み製品情報と、回収の制約条件（再使用、再利用、破棄）を入力し、制約条件に適する分解後の部品構造と、分解すべき接続箇所、破碎・選別作業の割当を出力する問題である。

3.使用済み製品情報モデルの定義

使用済み製品モデルは<P,SA,SS,M,H,C,C<sub>super</sub>,sa(),material(),hazard\_flag(),connect\_type(>で構成される。

- P={p<sub>1</sub>,...,p<sub>n</sub>},n:部品数
- SA={sa<sub>1</sub>,...,sa<sub>m</sub>},m:部分組立品数
- SS={sa<sub>i</sub> | sa<sub>i</sub> ∈ SA}
- super\_SA:SA ∪ P → SS
- M={m<sub>a</sub>,m<sub>b</sub>,...,unknown }
- material:P → M
- H={safe,hazard }
- hazard\_flag:SA ∪ P → H
- C={ (p<sub>i</sub>,p<sub>j</sub>) | p<sub>i</sub> ∈ P,p<sub>j</sub> ∈ P,i ≠ j }
- Ct={reversible,irreversible }
- connect\_type:C → Ct

ここでPは部品の集合を表す。SAは使用済み製品内の部分組立品を表す。SSは上位部分組立品を表す。組立品内の部品または部分組立品はひとつの部分組立品を構成する要素といえる。その部分組立品を上位組立品という。Mは材料を表す。Hは特殊処理を必要とする危険物を表す。この属性は、部品自体が有害な材料であったり、部分組立品を分解する場合に作業員に対する危険性が存在

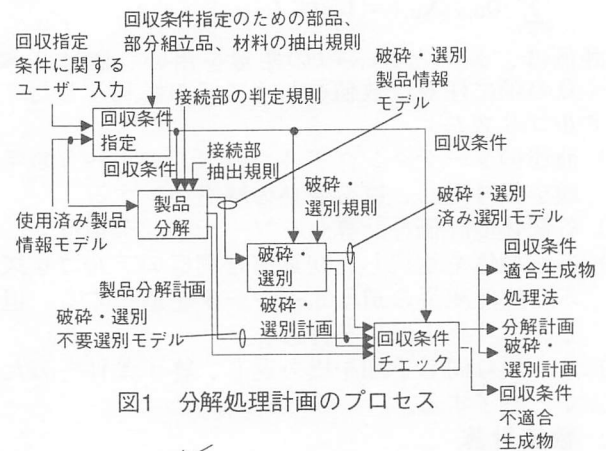


図1 分解処理計画のプロセス

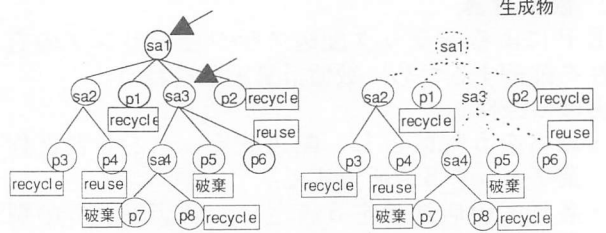


図2 使用済み製品情報モデルの分解木

するなど自然環境や分解作業に対して負の要素を持っているものに対して適用する。Cは接続部を表す。Ctは接続タイプを表す。接続は分解が可逆的な接続と不可逆的な接続の二種類に分けられる。

4. 回収条件指定

回収条件とは、再使用、再利用、破棄を、部品、部分組立品または材料ごとに予め指定した条件である。材料リサイクルの場合は、製品情報モデルの材料リストから指定された材料の部品を探索し、それに回収条件を割り当てる。回収条件RCは以下のように表せる。

$$RC = \{(q,t) \mid q \in P \cup SA \cup M, t \in T\}$$

$$T = \{reuse, recycle, disposal\}$$

ここでTは、処理法の集合である。

5. 製品分解計画のための規則

5.1 接続部抽出規則

接続部抽出規則とは、回収条件を割り当てられた部品もしくは部分組立品を分離して取り出すために、分解する接続部を抽出する規則をいう。上位部分組立品をSSの関係より、最上位の組立品までたどる。そして最上位の部分組立品（使用済み製品）から順番に分解箇所の抽出を行う。例えば、図2左図においてp6を分解したいとする。このとき上位部分組立品であるsa1とsa3を分解する

表1 分解判定規則

接続の片側の部品と回収条件 $(p_i, t) \in RC$	接続のタイプ $connect\_type(p_i, p_j)$	接続の片側の部品と回収条件 $(p_j, t) \in RC$	分解可否
1 $(p_i, reuse)$	reversible	$(p_j, anyone)$	○
2 $(p_i, reuse)$	irreversible	$(p_j, recycle)$ $material(p_j)=m_a$	×
3 $(p_i, reuse)$	irreversible	$(p_j, disposal)$	×
4 $(p_i, recycle)$ $material(p_i)=m_a$	reversible	$(p_j, recycle)$ $material(p_j)=m_b$	○
5 $(p_i, recycle)$ $material(p_i)=m_a$	irreversible	$(p_j, recycle)$ $material(p_j)=m_b$	×
6 $(p_i, recycle)$ $material(p_i)=m_a$	either	$(p_j, recycle)$ $material(p_j)=m_a$	×
7 $(p_i, disposal)$	either	$(p_j, disposal)$	×

表2 破碎・選別規則

$(p_i, t) \in RC$	破碎 $SH = \{shredding, no\}$	選別 $SE = \{selection, no\}$
1 $(p_i, recycle)$ $material(p_i)=me$	×	○
2 $(p_i, recycle)$ $material(p_i)=m_a$	○	×
3 $(p_i, recycle) \text{ and } (p_i, recycle)$ $material(p_i)=m_a$ $material(p_i)=m_b$	○	○
4 $(p_i, disposal)$ $hazard\_flag(p_i)=safe$	○	×
5 $(p_i, disposal)$ $hazard\_flag(p_i)=hazard$	×	○

表3 回収条件指定の例

回収条件	指定部品、指定材料
1 reuse	p13 (スイッチ部品)、p15 (モーター)
2 recycle	スチール、ポリプロピレン
3 disposal	p22 (抵抗)、p23 (発光ダイオード)

際に切断する接続部を抽出する。この場合sa1を分解することでsa2,sa3,p1,p2が生成され、さらにsa3がsa4,p5,p6に分解される。その結果、図2の右図の部品と部分組立品が、分解後の製品情報モデルとなる。

### 5.2 接続部の分解判定規則

接続部の分解判定規則を表1に示す。

### 6. 破碎・選別規則

破碎・選別の判定規則を表2に示す。ここで、meは金属材料の集合を表す。

### 7. 回収条件チェック

分解された使用済み製品情報モデルが予め入力された回収条件を満たしているかを判定する。

### 8. 使用済み製品分解・処理計画の例

実際に販売されているシェーバー (図3) を取り上げ使用済み製品の情報モデル化を行った。例を図4に示す。製品情報は階層を持つグラフとして表現できる。pノードが部品を、saノードが部分組立品を表している。アークは接続を示す。ノードにはそれぞれ表3に示す回収条件が予め指定されている。この製品情報モデルに基づいて、制約条件を満たす分解・処理を行った結果、生成されるのが図5の回収条件適合生成物と図6の回収条件不適合生成物である。

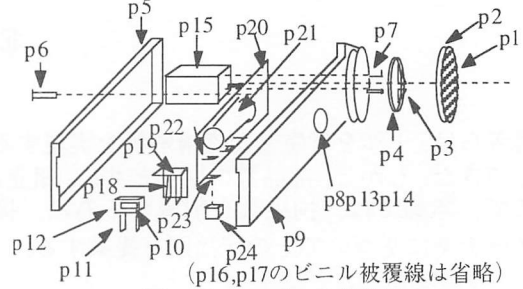


図3 シェーバーの部品図

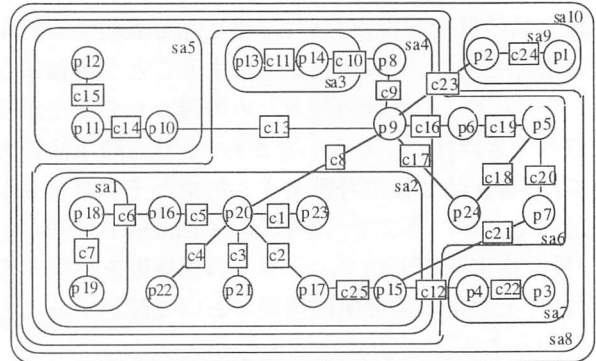


図4 シェーバーの接続情報モデル

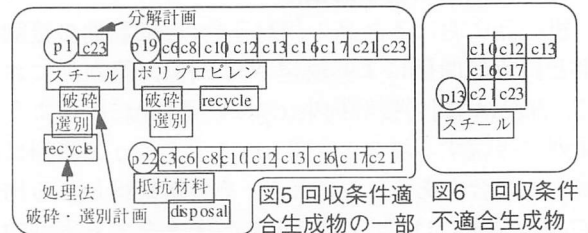


図5 回収条件適合生成物の一部

### 9. おわりに

本研究では、回収条件、接続型、材料属性、破碎・選別の割当などを考慮に入れた分解・処理計画のための提案を行うとともに、それらに伴う情報モデルの変換規則を提案し、さらに、分解・処理計画の具体例を提示して有効性の検討を行った。

### 参考文献

- [1]永田勝也:ライフサイクルを考慮した製品設計、設計工学、Vol.31,No.6,pp.224-230(1996)
- [2]弘重雄三、大橋敏二郎:分解性評価法、Proceedings of ECEE 96, pp.129-132(1996)
- [3]須賀唯知、実重研一、藤本淳:解体性の定量的評価、Proceedings of ECEE 96, pp.133-138(1996)
- [4]E.Zussman,A.Kriwet,G.Seliger:Disassembly-Oriented Assessment Methodology to Support Design for Recycling,Annals of the CIRP,Vol.43,No.1,pp.9-14(1994)
- [5]G.Boothroyd他:Design for Disassembly and the Environment,Annals of the CIRP Vol.45,No.1,pp.109-114(1996)
- [6]K.Feldman,O.Meedt:Recycling and Disassembly of Electronic Device,Lifecycle Modeling for Innovative Products and Processes,pp.223-245(1996)