

破碎・選別を含んだプロダクト・プロセスモデリング

北海道大学大学院工学研究科 ○佐々木亮太 金井理 岸浪健史
要旨

分解性設計問題において、材料リサイクルにおける破碎・選別可否材料の判別や、材料の回収率の推定を行うには、製品に対して可能な破碎・選別プロセスを明らかにすることが必要である。本研究は、物理的選別が行える範囲での、破碎・材料選別プロセスモデル表現方法、製品モデルのプロセスに対する状態変化規則と適用判定則を提案し、さらにこれらのモデル・規則に基づいた分解・破碎・選別計画支援システムの実装例を報告する。

1. はじめに

本報では、分解・破碎・選別における情報モデル及び分解・処理プロセスの変化則、判定則を提案し、家電品を対象とした分解・破碎・選別計画支援システムを実装する。

2. 分解・破碎・選別計画問題[1]

本研究における分解・破碎・選別計画問題(図1)とは、組立品構造・部品間接続・材料属性を含む使用済み製品情報と、部品もしくは部分組立品に対する回収条件(再使用・再利用・破棄)[1]を入力し、分解・破碎・選別プロセスの生成物情報とその計画を出力する問題である。

3. 使用済み製品情報モデル

使用済み製品情報モデルは、以下に表すG1,G2の2種類のグラフとして定義される。その要素間の関係を図2に示す。

(1) G1: 構造モデル[1]

G1(図3(a))は、部品及び部分組立品間の階層構造を木として表すグラフで、pノードは部品、saノードは部分組立品、アークは階層構造を表す。部品には、材料属性等が割り当てられる。部分組立品が分解されるごとに、saノードが消去される。破碎では部分組立品及び部品が、フラグメントfノード及びフラグメント構成要素fcノードへ変化する。これにより、破碎物とその構成材料の関係が定義できる。

(2) G2: 結合関係モデル[1]

G2(図3(b))は、部品間の接続関係及びフラグメント構成要素を表すグラフで、pノードは部品、cノードは部品間の接続関係、fcノードはフラグメント構成要素、cfノードはフラグメント構成要素間関係を表す。またcノードには接続関係の特徴を表す属性(可逆不可逆性、分解後の他材料混入性等)が割り当てられている。

4. 分解・破碎・選別プロセスモデル

G3(図3(c))は、使用済み製品の分解・破碎・選別プロセスを表す有向木である。またプロセス順序は木のrootである組立製品(sa1)から下位ノードへ枝をたどることにより表現され、各プロセスはプロセス前のノードの属性(Daは分解作業、Shは破碎作業、Soは選別作業)として記録される。

5. 破碎及び選別における製品モデル及びプロセスモデルの変化則

5.1 破碎における製品モデル及びプロセスモデルの変化則

- ・ G1⁽¹⁾->G1⁽²⁾の変化則：破碎対象のsaノードをfノードへと変化させる。pノードはfcノードへ変化させる。ただし、材料が同じpノードは1つのfcノードへ統合される。
- ・ G2⁽¹⁾->G2⁽²⁾の変化則：接続関係を持っている部品集合(部分組立品)のすべてのフラグメント構成要素集合fc間において、複数材料の混合状態を完全グラフで表現する。
- ・ G3⁽¹⁾->G3⁽²⁾の変化則：破碎前の部分組立品の子ノードを削除し、フラグメントのノードfを追加し、有向辺で結び、その始点ノードに「破碎」の属性を割り当てる。

5.2 選別における製品モデル及びプロセスモデルの変化則

- ・ G1⁽²⁾->G1⁽³⁾の変化則：選別によって、新たに二種類以上のフラグメント構成要素fcで構成されている一つのフラ

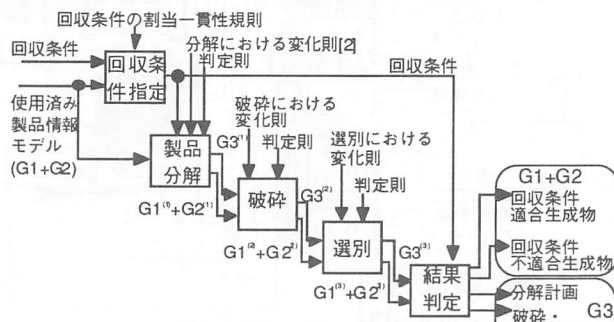


図1 分解・破碎・選別計画問題

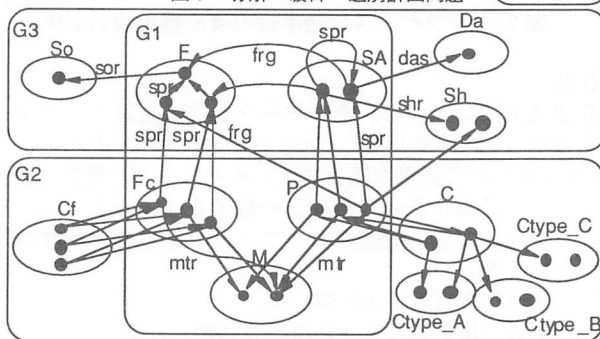


図2 使用済み製品情報モデルの要素関係図

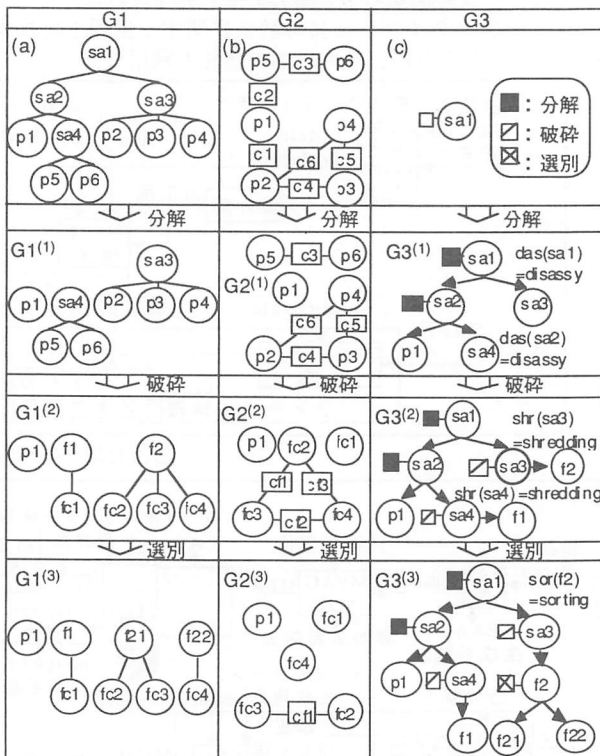


図3 使用済み製品情報モデルと分解・破碎・選別プロセスモデル表記法

グメントfから、新たに二つ以上のフラグメントfのノードを生成しフラグメント構成要素fcとの関係を付け替える。

・G2⁽²⁾->G2⁽³⁾の変化則：複数材料の混合状態を表す完全グラフから、選別によって一部のフラグメント構成要素間関係が消滅し、二つ以上のフラグメント構成要素（例えばfc4,(fc2,fc3)）に分離される（図3 G2⁽³⁾）。

・G3⁽²⁾->G3⁽³⁾の変化則：選別プロセスをG3⁽³⁾に記述するため混合状態のフラグメントから選別済みのフラグメントのノードを生成し、有向辺で結び、その始点ノードに「選別」の属性を割り当てる。

6. 破碎・選別プロセスの適用判定則

6.1 破碎プロセス判定則

破碎プロセス判定則とは、部品及び部分組立品の回収条件と危険物属性によって破碎の可否を判定する以下の規則である。

- (1)回収条件が再使用(reuse)の場合、破碎は行わない。
- (2)回収条件が再利用(recycle)の場合、危険物属性がsafeの時のみ破碎を行い、hazardの場合は行わない。
- (3)回収条件が破棄(disposal)の場合、危険物属性がsafeの時のみ破碎を行い、hazardの場合は行わない。

6.2 選別プロセス判定則

選別とは、二種類以上のフラグメント構成要素からなるフラグメントを再利用(recycle)できるように、材料別の構成要素に分けることである。破碎された部分組立品は、通常、複数材料の構成要素からなるフラグメントとして存在し（図4）、その製品情報モデルは図3のG2⁽²⁾のような完全グラフになる。通常フラグメントの選別には、各材料の属性値（磁化率、電気伝導率、密度等）の差が利用される。その結果、情報モデル上では、cf（フラグメント構成要素間関係）が切断され（図3 G2⁽³⁾）、それらが完全に切り離されたfc（フラグメント構成要素）のみが、独立したフラグメントとして選別可能となる。フラグメント要素間関係が残ったフラグメント構成要素は選別不可能な組合せということになる（図5）。

今、フラグメント構成要素 fc_k において選別に用いられる材料特性等の i 番目の属性値を $\alpha_i(fc_k)$ とし、属性 α_i に対する

選別基準値を α_i^n とすると、 $\alpha_i(fc_{k1}) < \alpha_i^n < \alpha_i(fc_{k2})$ であれば fc_{k1} と fc_{k2} は選別可能であると判定できる。選別プロセスの具体例を以下に示す。

例1 比重選別（図6）

属性として密度を採用し、 $\alpha_1^1=0.95$ 、 $\alpha_1^2=1.10$ [g/cm³]とすると、これはプラスチックの選別に用いることができ、{PP},{PS,ABS},{PVC,PE,EP,UF}が選別可能である。

例2 磁力選別

属性として磁化率を採用し、 $\alpha_2^1=1.0 \times 10^{-4}$ [cm³/g]とすると、これは鉄類と非鉄金属の選別に用いることができ、{常磁性体(Fe,Ni,Ti,Mn,Cr等)},{反磁性体}が選別可能である。

例3 渦電流選別（図7）

属性として密度と電気伝導率の比を採用し、 $\alpha_3^1=0.1 \times 10^3$ 、 $\alpha_3^2=5.0 \times 10^3$ 、 $\alpha_3^3=10 \times 10^3$ [m²Ω⁻¹kg⁻¹]とすると、これは非鉄金属の選別に用いることができ、{プラスチック類},{Zn,Pb,Sn},{Cu,Ag},{Mg,Al}が選別可能である。

7. 分解・破碎・選別計画支援システムの実装結果

分解・破碎・選別計画支援システムをVisual C++で実装

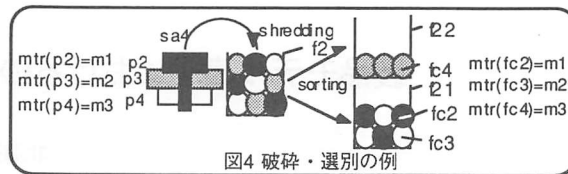


図4 破碎・選別の例

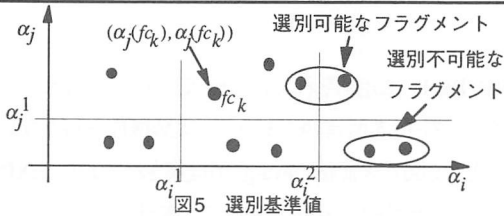


図5 選別基準値

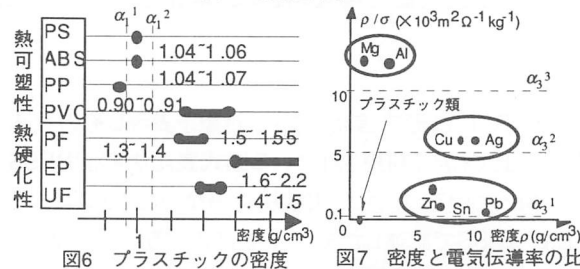


図6 プラスチックの密度

図7 密度と電気伝導率の比

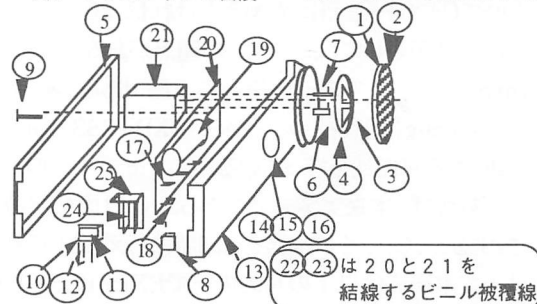


図8 シェーバー

表1 指定回収条件と適合部品数及び分解・破碎・選別プロセスの関係

回収条件	回収条件 適合部品数	プロセス数	
		分解	破碎 選別
すべてreuseの場合	16	28	0
すべてrecycleの場合	9	0	1
すべてdisposalの場合	24	0	1
鉄、銅部品はreuse、 プラスチック部品はrecycle、 材料不明部品はdisposalとした場合	15	16	1
鉄、銅部品はrecycle、 プラスチック部品はreuse、 材料不明部品はdisposalとした場合	17	28	0

(総部品数 25)

し、シェーバー（図8）の使用済み製品情報モデルを例に取り入力した結果、表1のように回収条件に依存して適合する部品数が異なることが明らかとなった。全てrecycleした場合の方が、全てreuseしたときより回収条件適合生成物が少ないのは、早い段階で破碎を行ったため、選別しても回収条件に適合する部品が少なかったからと考えられる。

8. おわりに

本報では、破碎・材料選別プロセスモデル表現方法、プロセスにおける製品モデルの状態変化規則及び破碎・選別プロセスの判定則を提案し、さらにこれらのモデル・規則に基づいた分解・破碎・選別計画支援システムの実装を行い、その有効性を確認した。

参考文献

[1]佐々木亮太他：精密工学会春季大会学術講演会講演論文集、p64(1998)