

機械部品のリユースのための部品エージェントを用いた分解支援 Disassembly support for reuse of mechanical parts based on a part agent system

精密工学専攻 36号 長沢篤
Atsushi Nagasawa

1. 序論

今日の環境問題の解決のために、地球上のエネルギー資源を効率的に使用していくことができる「循環型社会」の実現が求められている。そのためには 3R の推進が不可欠であるが、特に Reuse は使用済みの部品をそのまま再利用する点で効率がよく、強く推進すべきである。使用済み部品がまだ使用可能かどうかの判別と、実際に製品を分解してその部品を取り出すことができると、部品の Reuse をより促進できる。そのためには部品の設計情報や使用時間、運用履歴などを把握しておく必要がある。

我々は、ネットワークエージェントを利用して、製品を構成する部品に対して、ネットワーク上のエージェントと実世界の部品とを同期移動させ、部品情報の管理を行うことで製品の一生であるライフサイクルを支援する「部品エージェントシステム」を開発している⁽¹⁾。

また、近年では拡張現実感 (Augmented Reality) と呼ばれる技術が注目されている。AR を用いて人の視界に情報をオーバーレイ表示することで、人に追加の情報を与え、支援することが可能になる。たとえば、拡張現実感を用いて原子力プラントの解体作業を支援するシステムの研究⁽²⁾がある。

我々は、これらの技術を用いて部品エージェントシステム上で動作し、製品上に分解に必要な情報をオーバーレイ表示し、ユーザが製品を分解することを支援する分解支援システムの作成を目的とする。

本論文ではまず、当研究室で開発している部品エージェントシステムの概要について述べ、その後、分解支援システムの概要と分解支援システムのために設計した組立構造や組付関係などの製品モデルデータについてそれぞれ述べる。

次に、それらのデータを用いて実際の分解手順を生成する分解支援システムのプロトタイプ⁽³⁾を作成し、ノート PC に対して適用した分解実験について解説する。

最後に、作成したプロトタイプは製品を管理する単一のエージェントが利用する設計となっていたため部品を個別管理するエージェントがシステムを利用できるように使用する製品モデルデータの構造や保持の仕方を変更し、更にエージェントシステムに関しても部品や副組立品、製品のそれぞれを個別に管理できるように部品エージェントの振る舞いを変更する構想を作成したのでこれについて解説する。

2. 部品エージェントシステム

開発している部品エージェントシステムについて解説する。図 1 に部品エージェントシステムの概要図を示す。

それぞれの部品はエージェントと RFID によって関連付け

られ、販売者や使用者がそれぞれのネットワークに接続された端末で読み込むことによってエージェントが部品とネットワークを通して同期移動する。エージェントは部品に取り付けられたセンサ、使用情報や保全のための機能にアクセスし、部品の状態の管理や保全行動の提案をユーザに行う。

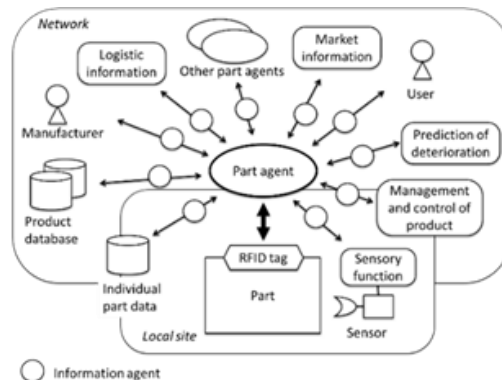


図 1 部品エージェントシステムの概要

3. 分解支援システム

図 2 に分解支援システムの概要を示す。製品が廃棄される際に、各エージェントが残存価値などの情報に基づき分解の提案をする。ユーザが提案を承認すると、エージェントが分解支援システムを起動し、形状や組付関係などの分解に必要なデータを送信する。

分解支援にあたって、製品のモデルデータが分解手順の生成に必要である。組立情報は、組立構造と組付関係の 2 種類のデータ構造を用いて表現する。また、それだけでは部品の取り出しの順序がわからないため、分解順序のデータも用いる。

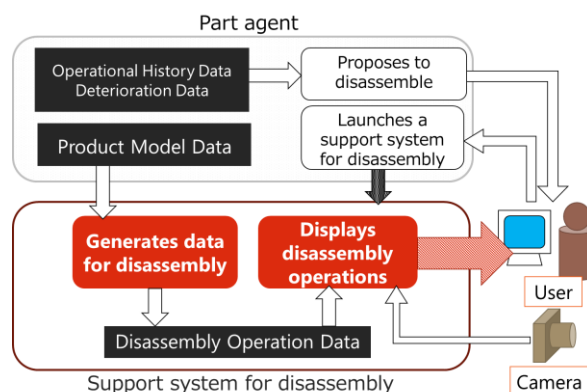


図 2 分解支援システムの概要図

4. 製品モデルデータの設計

製品の組立構造は図 3 のように木構造で表す。子ノードの部品である Part や副組立品である Subassembly は親に対し

ての座標変換 Transform を持ち、自身の位置を表す。また Part それぞれはピンや穴などの組立要素である Assembly Feature を持ち、それらも Part に対する Transform を持ちそれぞれの位置を表す。

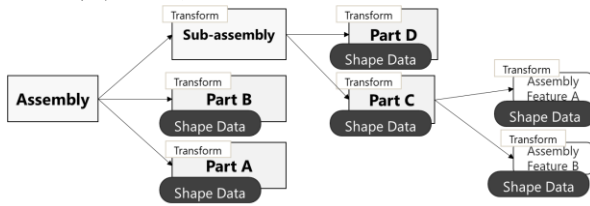


図3 組立構造の表現

また、組付関係は図4のようにそれぞれの部品をノードとしたグラフにより、部品間の組付関係を表す。それぞれの部品は組立要素を持ち、それらを組付状態 Connection Property で繋ぐ事によって、例えばピン - 穴の結合など、どの部品同士がどのように結合しているかを表現する。

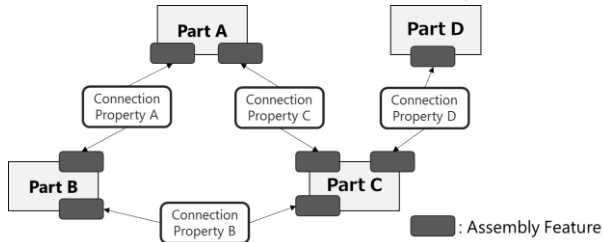


図4 組付関係の表現

また、組付関係のみでは、部品を取り出す際にどの Connection Property を分解すればいいかわかるが、実際にはその部品が隠れていて取り出せないなどの情報を知ることができない。そこで部品の分解順序を表現するデータを作成した。構造を図5に示す。それぞれの部品をノードとしたグラフ構造をとり、矢印の先の部品を分解するには手前側の部品を先に分解する必要があることを示している。例えば Part B を分解して取り出すためには、先に Part A, Part C, Part D を取り出す必要があることがわかる。

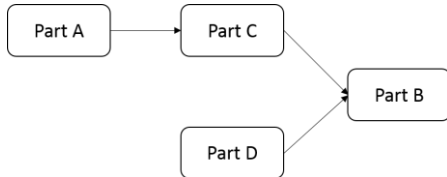


図5 分解順序の表現

本研究では以上の製品モデルデータは製品設計時に作成されて部品エージェントに与えられると想定している。

分解支援システムはこれらのデータから分解手順データを作成し、web カメラから取得した映像に分解手順をそれぞれオーバーレイ表示することで、ユーザによる製品の分解を支援する。

システムが生成する分解手順は図6のようになる。

分解手順は1つ1つの分解操作の連なりとなっており、それぞれ1つの Connection Property を分解することに対応している。Connection Property はそれぞれ結合の種類や関連する Assembly Feature を示すので、Connection Property の種類に応じて分解の際にどの部分にどのような操作が必要か知ることができる。

ここまで解説した製品モデルデータから分解手順を生成する方法について述べる。

図4・図5のデータを例に、Part C を取り出す場合について説明する。

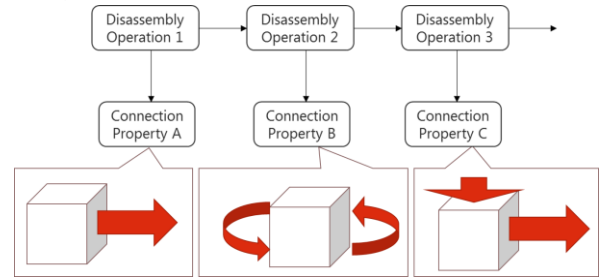


図6 分解手順の構造

Part C を取り出すための分解手順は図7のようになる。

Part C を取り出すには分解順序データから Part A, Part C の順で部品を取り出せばよいことが分かる。なので、まず Part A に接続されている Connection Property A, C をそれぞれ分解する。そして、次に Part C に接続されている Connection Property B, D をそれぞれ分解することで Part C を取り出すことができる。

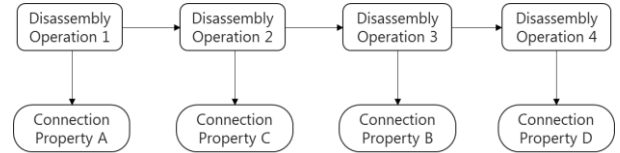


図7 生成される分解手順の例

ここまで解説した製品モデルデータに基づく分解支援システムのプロトタイプ⁽³⁾では図6のように1通りの分解手順を出していたが、実際の分解では部品の劣化や歪みなどで従来の手順では分解できない場合がある。そのような分解できない場合に対して、部品に分割線などの破壊可能な部分の情報をあらかじめ付加しておき、それを表示する⁽⁴⁾。

図8に破壊可能な部分の情報の付加を行う例を示す。

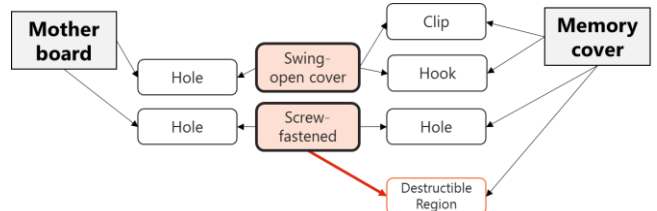


図8 破壊可能な部分の情報の付加

破壊可能な部分や分割線を Assembly Feature の1つとして部品に付加しておき、それを Connection property に関連付けておくことで、この部分が分解できない際にこの Assembly Feature を破壊するような指示をすることができる。こうした破壊可能な部分の情報は、設計段階で予め与えられているものとする。例えば宮地らの研究⁽⁵⁾では、効率的な製品の解体のために分割線を設計の段階で製品に付加するシステムを開発している。

5. プロトタイプの作成

分解支援システムのプロトタイプを Java で作成した。エージェントシステムの開発には Java で利用できるエージェ

ントフレームワークである JADE⁽⁶⁾を利用している. オーバーレイ表示のためのマーカー認識, 画面への出力には OpenCV⁽⁷⁾を利用している.

また, 製品モデルデータは Java でのクラスとして作成し, それぞれ個別のデータは JavaVM 上にインスタンスとして生成する.

エージェントは分解支援システムを起動し, 製品モデルデータをシステムに入力する. 実装した分解支援システムの処理の流れを図 9 に示す.

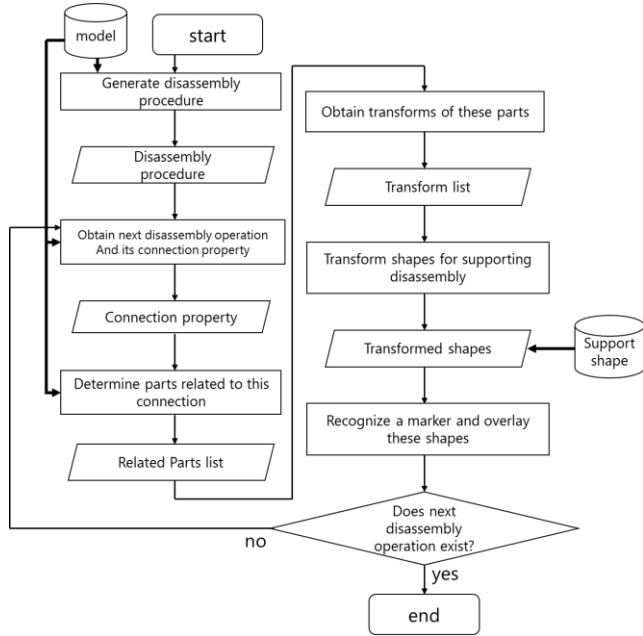


図 9 分解支援システムの処理の流れ

システムが起動すると, エージェントから転送された製品モデルデータを取得し, 分解順序と組付関係から分解手順を生成する. 分解手順から次に分解する Connection Property を取得し, 関連する部品や組立要素を取得する. そして製品構造データから座標変換を取得および部品に貼られているマーカーの認識をし, 支援内容のオーバーレイ表示を行う. ユーザが必要な手順をすべて終わらせるまで Connection Property の取得からオーバーレイ表示までを繰り返す. 全て終わったら分解が完了したとみなし, システムを終了する.

6. 分解実験

更に, 製作した分解支援システムを使用できるかを検証するためにノート PC を用いた分解実験を行った.

今回の実験ではノート PC のメモリを取り出す必要があるとエージェントが判断し, エージェントが分解支援システムを起動してユーザの分解を支援する. 図 10 は分解支援システムに入力した製品モデルデータである. 図 11 は実際にノート PC に分解支援システムを適用している様子である. 今回の実験では, オーバーレイ表示のために部品の位置を認識する必要があるため, ノート PC の本体部分にマーカーを貼り付けている. システムはノート PC のカバーをユーザに分解させようとし, 部品をハイライトし分解方向を表示することで, ユーザの分解を支援している.

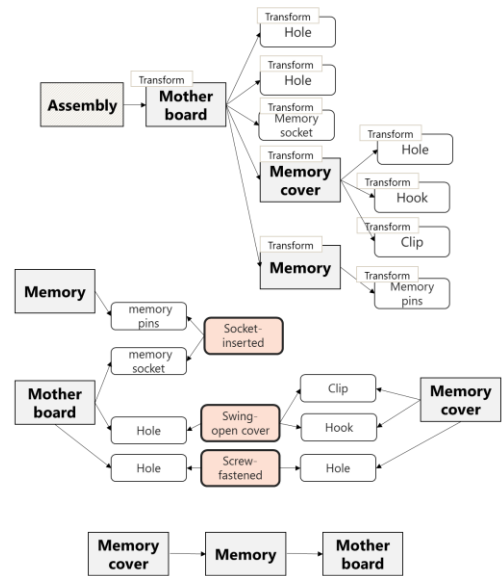


図 10 ノート PC を分解する際のシステムによる支援

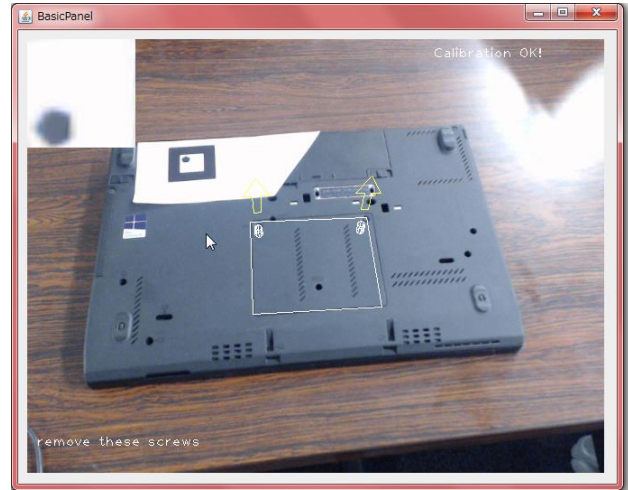


図 11 ノート PC を分解する際のシステムによる支援

7. 部品を個別管理するエージェントの構想

既存の部品エージェントシステムは, 部品ごとにエージェントが対応し, それぞれのエージェントが保全行動を提案していた. しかし, 例えば製品の分解を考慮すると, サブアセンブリでの状態での取り出しなど, 単一の部品だけでは保全行動を判断できない場合がある. そこで, 部品エージェントシステム内に部品, 副組立品, 製品をそれぞれ管理するエージェントを作成した.

これらのエージェントは製品構造に従って階層構造を作る. また, エージェント間でメッセージ交換を行い, 部品データの要求や転送, 保全行動の提案を行う.

製品エージェントは製品に含まれる部品と副組立品を全て管理し, ユーザインタフェースとの通信も行う. また, 製品が部品として組み込まれると製品エージェントは副組立品エージェントとして機能し, 階層構造に組み込まれる.

図 12 にユーザに保全行動を提案する際のエージェントの働きについて示す.

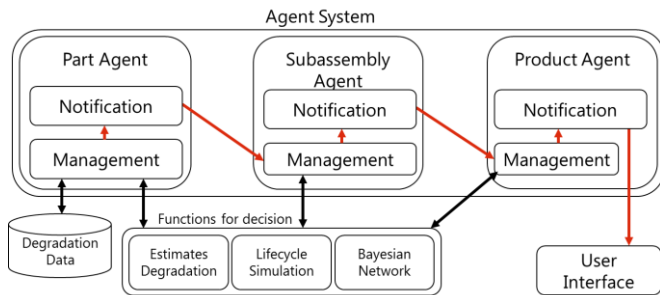


図 12 保全行動を提案する際のエージェントの行動

部品エージェントは、必要に応じて使用履歴や劣化情報を取得し、最適な行動を判断するための機能にアクセスすることで、必要な保全行動を判断し、上位のエージェントにメッセージを送り報告する。メッセージを受けた上位のエージェントは副組立品として保全行動が必要かを判断し更に上位のエージェントへと伝える。最終的に製品エージェントが保全行動を必要と判断したらユーザインタフェースを介してユーザに保全行動を提案する。

8. 部品を個別管理するエージェントによる分解支援の構想

製作した分解支援システムのプロトタイプは、製品1つに対応した単一のエージェントが製品モデルデータを持ち、分解支援システムを起動していた。しかし、この方法だと大規模な製品ほど組付関係が複雑になり、分解手順を作成しづらくなり、また部品ごとにモデルデータを管理することができない。

そこで図 13 のように各エージェントが子部品との関係のみを持ったデータを持つように製品モデルデータを分割することで、エージェントが部品ごとに個別にモデルデータを管理できるようにする。また、これによってより容易に分解手順を求めることができる。

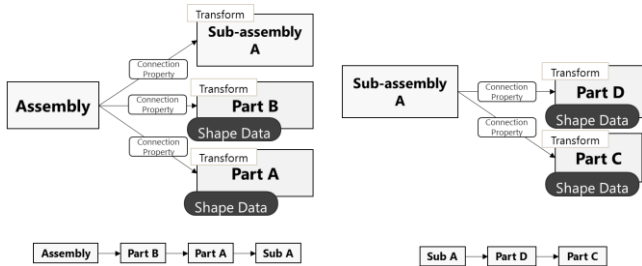


図 13 分割されたモデルデータ

また、個別にモデルデータを持つようになるので、単一のエージェントが製品モデルデータをシステムに送ることができなくなるので、分解支援の際のエージェントの働きについてもこれに合わせて変更が必要になる。

図 14 に新しいモデルデータを利用した分解支援の際のエージェントによる支援の流れを示す。

分解支援システムにデータを送信する際に、これらのデータを下位のエージェントから収集していくことで、製品全体の分解手順データを生成する。ユーザが分解を承諾した際に、製品エージェントは下位エージェントに順次メッセージを伝え、データの収集をさせ上位エージェントに送信させる。

そして、製品エージェントは分解支援システムを起動する際にこれらのデータをまとめて送信する。これによって、製品の中の部品やサブアセンブリを取り出すための分解手順を求め、ユーザの分解を支援する。

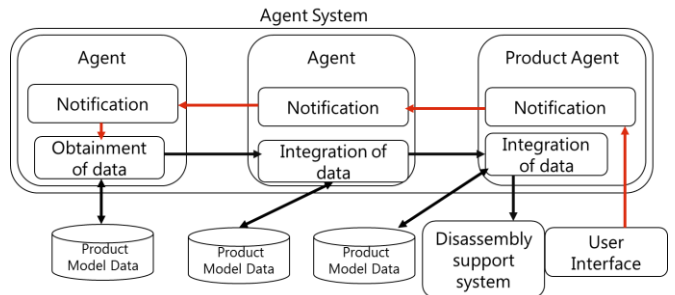


図 14 分解支援の際のエージェントによる支援の流れ

9. 結論

部品エージェント上で動作し、ユーザによる製品の分解を支援する分解支援システムのプロトタイプを開発した。また、そのため必要なデータ構造の設計を行った。

製品を管理するエージェント向けであった分解支援システムを、部品を個別管理するエージェントに対応させる構想を考案した。

今後の課題としては、これらのエージェントシステムと分解支援システムの構想をプロトタイプシステムや既存のエージェントシステムに実装していくために、エージェント間でのメッセージの形式や種類、モデルデータの管理などについての詳細な仕様の設計が必要である。

参考文献

- (1) 南條佳祐, 山森友貴, 川原田寛, 平岡弘之, ライフサイクルに基づく部品エージェントの状況の変化に対応する行動選択, 日本機械学会第 23 回設計工学システム部門講演会, **2013. 23** (2013) 2309.
- (2) 石井 裕剛, 中井 俊憲, 十 志強, 泉 正憲, 森下 喜嗣, 下田 宏, 拡張現実感を利用した原子力発電プラントの解体支援手法の提案 と評価, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 **13-2** (2008) pp. 289-300.
- (3) Atsushi Nagasawa, Hiroyuki Hiraoka, Part agent's support for disassembly of mechanical product, ICPE2016, The 16th International Conference on Precision Engineering, (2016) pp. B301-8216.
- (4) Atsushi Nagasawa, Yuuki Fukumashi, Yoshinori Fukunaga, Hiroyuki Hiraoka, Disassembly support for reuse of mechanical products based on a part agent system, Proceedings of EcoDesign 2017 International Symposium, (2017) pp. D6-3.
- (5) 宮地 直也, 白石 優実, 福重 真一, 梅田 靖, 分割線の付加による製品の易解体性設計手法の提案, 日本機械学会論文集, **80-818** (2014) p. TRANS0290.
- (6) Java Agent DEvelopment Framework, <http://jade.tilab.com/> (最終閲覧日: 2018 年 1 月 30 日)
- (7) OpenCV, <http://opencv.org/> (最終閲覧日: 2018 年 1 月 30 日)