

# 機械部品リユースのための部品エージェントシステム

## - 部品のライフサイクル管理機能 -

### Part agent system for reuse of mechanical parts

#### - Lifecycle management function of parts -

精密工学専攻 47号 本多裕一

Yuichi Honda

## 1. 序論

持続可能な社会の実現に向け、環境への負荷が少ない循環型社会を形成することが急務である<sup>(1)</sup>。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、強く推進するべきである。

我々は、ネットワークエージェントを利用して、部品の生産から廃棄までのライフサイクルを管理する「部品エージェントシステム」を開発している。

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、提案する部品エージェントシステムの構造と機能について述べる。

次に、開発した部品エージェントシステムを用いて行った運用試験の結果と考察を行い、最後に結論を述べる。

## 2. 部品エージェントによる部品のライフサイクル管理

循環型社会の実現に向けて、機械部品を効率的にリユースするためには、個々の部品のライフサイクルを管理する必要がある。先行研究では、ネットワークエージェントが部品のライフサイクルを管理し、生産者と消費者を支援する「部品エージェントシステム」のシミュレーションを行ってきた<sup>(2)</sup>。部品エージェントシステムとは、ネットワークエージェントを部品 1 個単位で利用し、部品のライフサイクルにおける情報を管理するものである。ネットワークエージェントは、ネットワーク上で自律的に機能するプログラムの総称である。部品エージェントシステムの構想図を Fig. 1 に示す。

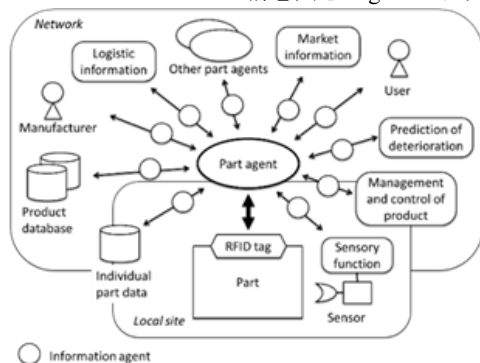


Fig. 1 Conceptual scheme of part agent system

本研究では、今までシミュレーションによって研究が行われてきた部品エージェントシステムを実際に構築し、運用試験を行うことで、システムの運用上の課題を発見することを目的とする。そこで部品エージェントシステムを「基本機能層」、「応用機能層」、「インターフェース層」の 3 つの層に分けて定義し、システムの実装と運用試験を行う。部品エージェントの実装には、通信言語である FIPA-ACL 言語により他のエージェントと通信できるため、JADE<sup>(3)</sup>を使用している。

## 3. 部品エージェントシステムの 3 層構造

部品エージェントシステムを開発するための課題として、サービスを行う既存機能の大幅な変更や追加が予想される。そこでシステムを基盤部分とサービスを行う様々な機能に分けることで、機能の変更・追加が簡単になると考えられる。また、部品エージェントの数が膨大である場合、ユーザが個々の部品エージェントとやり取りすることは効率が良くないため、部品エージェントを管理する機能が必要と考えた。

以上の課題を解決するために、本論文では基本機能層、応用機能層、インターフェース層の 3 つの層に分けて構成する部品エージェントシステムを提案する。類似のシステムとして、クライアントサーバ型システムの 3 層アーキテクチャがある<sup>(4)</sup>。このシステムでは、入力や結果の表示、データの処理、データベースへのアクセスの 3 つの機能を区別することで、システムの開発・保守効率を向上させている。本論文で提案するシステムの 3 層構造も 3 層を明確に区別することで、システムの変更・追加を簡単にすることを目的としている。

システムは部品を管理する「部品エージェント」と部品エージェントを管理する「ステージエージェント」の 2 種類のエージェントで構成される。基本機能層は部品エージェントの基盤部分を定義し、応用機能層は基本機能層の基盤上に実装し、具体的なサービスに関する機能を定義する。インターフェース層は部品エージェントがユーザや部品といった現実世界とやり取りするための GUI を備えたステージエージェントを定義する。本章ではそれぞれの層について説明する。

### 3.1 基本機能層

基本機能層は、部品エージェントの基盤となる基本機能をまとめた層である。提案する部品エージェントシステムでは、以下の 4 つの機能を基本機能として定義した。

#### (1) 部品エージェントのコンピュータ間移動

部品エージェントは常に部品の近くに存在して部品管理を行う。そのため、部品エージェントはリユースなどの部品の移動に同期して、ネットワークを移動する。

#### (2) 部品エージェントと部品の対応

部品エージェントはネットワーク上、部品は実世界に存在するため、部品エージェントと部品を対応付けなければならない。部品エージェントシステムでは RFID タグを部品に貼り付けることで部品エージェントと部品を対応させる。

#### (3) 部品エージェントによる部品情報の計測

リユースに関するサービスを提供するためには、部品エージェントが劣化情報などの部品状態を把握する必要がある。

#### (4) 部品エージェント間の通信

部品のリユースを促進させるためには、部品単体の管理だけではなく、複数の部品エージェントが部品情報のやり取りをする必要である。

### 3.2 応用機能層

応用機能層は、部品リユースを支援する機能をまとめた層である。基盤である基本機能を組み合わせることで実装を行

う。先行研究では、ライフサイクル展開による将来予測や部品の交換相手選定といった応用機能の研究が行われてきた。

#### (1) ライフサイクル展開による将来予測

部品エージェントは計測した情報とライフサイクルモデルを基に、ライフサイクルシミュレーションを行う<sup>(6)</sup>。ライフサイクルモデルは、生産、使用、廃棄といったライフサイクルステージ(Stage)とそれらをつなぐライフサイクルパス(Path)によって構成される。部品エージェントは時間経過に沿って Fig. 2 のように経路ごとに展開し、将来予測を行う。

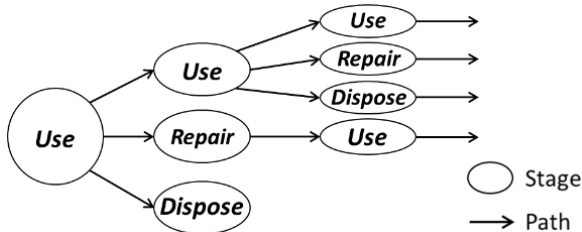


Fig. 2 Expanded life cycle model

#### (2) 部品の交換相手の選定

部品エージェントは条件に適した部品の交換相手を提案することで、ユーザーのリユース行動を支援する<sup>(6)</sup>。交換相手の選定の流れは、部品劣化の検知、満足度の計算、交換相手の選定となる。満足度とは部品の仕様、価格、残存寿命の値それぞれにユーザーの希望を重み付けして求めた値と定義する。部品の交換相手の選定に参加している中で、全体の満足度が最も高くなる組み合わせを算出し、交換相手を決定する。

### 3.3 インターフェース層

インターフェース層では、部品エージェントが部品やユーザーなどの外部とやり取りするための機能を持つステージエージェントを定義する。ステージエージェントはコンピュータに1体存在し、同じコンピュータに存在する複数の部品エージェントを管理する役割を持つ。また、ユーザーとやり取りするための GUI の表示、RFID リーダ・ライタとの通信、コンピュータの場所情報やファイル情報の管理を行う。

## 4. 運用試験のための試験環境

### 4.1 試験環境の構築目的

3章で提案したシステムの課題を抽出するためには、実際にシステムの運用試験を行うことが有効である。本研究における運用試験は以下の5つのユースケースに分けて行う。

- (1) 部品エージェントの生成
- (2) 部品エージェントによる部品の劣化情報の計測
- (3) 部品エージェントによる部品の将来予測・提案
- (4) リユース相手の選定
- (5) 部品エージェントの同期移動

提案した3層構造に基づく部品エージェントシステムの実装及び運用試験のために試験環境を構築し、これらのユースケースについて試験する。

### 4.2 試験環境の要件

まず、部品エージェントが存在するためのコンピュータを用意する。今回の運用試験では部品エージェント間の移動や通信の挙動を確認するため、コンピュータの数は2台とし、それぞれに JADE のインストールを行う。そして、部品エージェントの生成と移動前後に RFID リーダ・ライタによる部品との対応付けを行うため、それぞれのコンピュータに RFID リーダ・ライタを接続する。また、部品の劣化はシミュレーションによって行うため、劣化情報を書き込むための CSV ファイルと、シミュレーションによって部品を劣化させて劣化情報を CSV に書き込むプログラムが必要である。

### 4.3 試験環境の構成

現状の環境や部品の劣化にかかる時間などを考えると、生産から廃棄までの各ライフサイクルにおける処理を全て網羅した試験環境の構築は困難である。そこで試験環境の構築要素のうち、シミュレーションに依存する部分と、ユーザーの判断や部品エージェントなどの実世界の動作に依存する部分に分けて構築していく。前提条件として部品エージェントが存在するコンピュータは全てネットワークで繋がれており、RFID リーダ・ライタが備わっているものとする。

## 5. 運用試験

### 5.1 運用試験における前提条件

4章で述べた試験環境を用いて運用試験を行った。運用試験では2台のコンピュータにシステムの試験環境を構築し、RFID リーダ・ライタを接続する。管理想定部品は SSD とし、劣化はシミュレーションによって行う。劣化のシミュレーションでは、SSD の残存寿命を最初 100 として、10 秒ごとに 5 減らし、最新の残存寿命を CSV ファイルに書き込む。残存寿命は 0 になると寿命が尽き、使用不可とする。部品エージェントは CSV ファイルを読み込むことで残存寿命を計測し、その劣化進行の情報を用いて SSD の状態を把握する。

本章では部品エージェントとステージエージェントの挙動と、4.1 で述べた5つのユースケースについて説明する。

### 5.2 部品エージェントの挙動

運用試験における部品エージェントの挙動を Fig. 3 に示す。

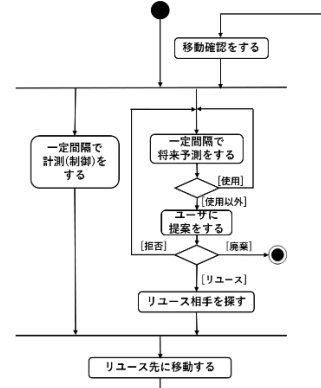


Fig. 3 Behavior of Part Agent

部品エージェントが生成されたとき、部品との対応付けを行い、部品の残存寿命の計測と将来予測を行う。将来予測では部品の残存寿命から継続使用、リユース、廃棄のいずれかの提案をユーザーに行う。リユースの提案を受け入れたとき、部品エージェントはリユース相手を探す。リユース相手が決定したら部品エージェントと部品はリユース相手の場所に同期移動する。そしてリユース先で計測と将来予測を行う。これが運用試験における部品エージェントの挙動である。

### 5.3 ステージエージェントの挙動

ステージエージェントの挙動について説明する。ユーザーが部品エージェントに入力を行うときは、まず GUI に入力し、その内容をステージエージェントが通信によって部品エージェントに送信する。部品エージェントによる処理の結果はステージエージェントに送信され、GUI によってユーザーに出力される。また、RFID リーダ・ライタのような外部装置に対する入出力はステージエージェントが行う。

### 5.4 部品エージェントの生成

部品エージェントは部品が作られたときに生成される。部品に RFID タグを貼り付けることで、部品エージェントと部品を対応付け、部品 ID、部品名、部品の種類を登録する。基

本機能はエージェント間の通信と部品との対応付けを利用している。部品エージェント生成の手順を Fig. 4 に示す。

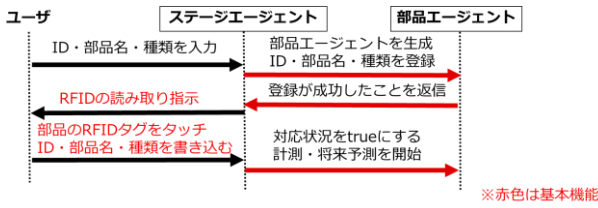


Fig. 4 Procedure for creating Part Agent

まず、部品エージェントを生成し、ユーザの入力により部品 ID、部品名、種類を与える。次に RFID タグにより、部品と部品エージェントの対応付けを行う。処理が正常に行われた場合は、GUI の部品リストに部品エージェントが表示され、部品エージェントの対応状況が false から true になる。試験結果を Fig. 5 に示す。Fig. 5 ではリストに部品 ID、部品名、種類が表示されており、部品エージェントが正常に生成されたことを確認した。

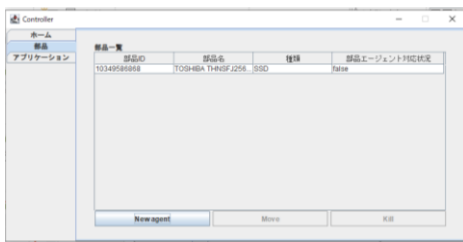


Fig. 5 Creating Part Agent

### 5.5 部品エージェントによる部品の残存寿命の計測

部品エージェントは管理部品の残存寿命が書き込まれた CSV ファイルから一定間隔で残存寿命を取得する。基本機能は残存寿命の計測とエージェント間の通信を利用している。計測手順を Fig. 6 に示す。

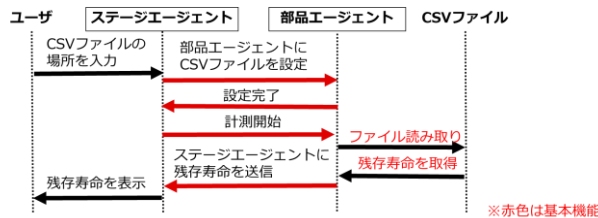


Fig. 6 Procedure for measurement of a part

まず、シミュレーションにより運用試験における管理想定部品である SSD の残存寿命を CSV ファイルに書き込む。部品の残存寿命は最初 100 とし、10 秒ごとに 5 減らしていく。部品エージェントは 3 秒ごとに CSV ファイルを読み込み、結果を GUI に表示する。GUI に表示された残存寿命と CSV ファイルに書き込まれた最新の残存寿命を比較し、一致していることを確認することで、部品エージェントが正常に計測できていることを確かめた。結果を Fig. 7 に示す。

部品名	劣化寿命	最終更新日時
SSD	95	2021/01/22 11:34:46

Fig. 7 Measurement of a part

### 5.6 部品エージェントによる部品の将来予測・提案

部品エージェントは部品の残存寿命の計測から取得した値を用いて将来予測を行い、継続使用、リユース、廃棄のいずれかの結果をユーザに提案する。運用試験で用いる将来予測では、残存寿命の値が 0~20 で廃棄、20~60 でリユース、60~100 で継続使用が最適な行動であるとして、ユーザに提案する。基本機能はエージェント間の通信を利用している。将来予測・提案の手順を Fig. 8 に示す。

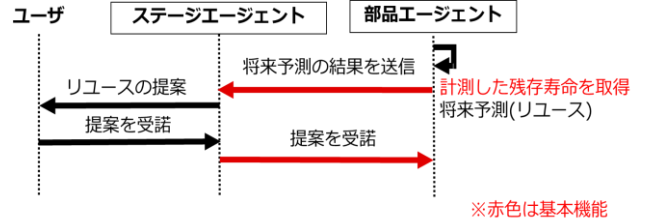


Fig. 8 Procedure for future prediction

部品エージェントが持つ残存寿命から将来予測を行い、将来予測の結果からユーザに行動の提案を行う。残存寿命が 60 以下で将来予測を行うと、リユースを提案するウィンドウが表示される。また、残存寿命が 20 以下になったときは、廃棄の提案をするウィンドウが表示される。残存寿命が 60 以下の状態で将来予測を行った結果、リユースの提案を行うウィンドウが、Fig. 9 に示すとおり、正しく表示された。



Fig. 9 Future prediction of a part

### 5.7 リユース相手の選定

リユースの提案を受け入れたときにリユース相手を探す。条件として、同じ種類の部品交換、お互いのユーザが提示された部品のリユースを承諾した場合に交換する。基本機能はエージェント間の通信を利用している。リユース相手の選定手順を Fig. 10 に示す。

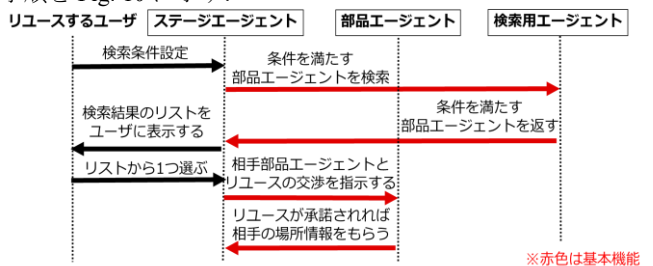


Fig. 10 Procedure for selecting a reuse partner

まず、検索用エージェントに部品名、種類、残存寿命を登録する。次に検索条件を設定し、部品の検索を行う。今回の検索条件は部品の種類(SSD)とする。そして種類が SSD の部品 ID を取得し、GUI のリストを表示する。ユーザはリストの中から部品を 1 つ選択することで、その部品の持ち主に交換を提案する。提案した相手が交換を承諾したら、お互いの場所情報を送りあい、リユース相手の選定が完了する。リユースする部品を探し、検索条件に一致している部品のリストが正しいことを確認する。実行結果を Fig. 11 に示す。Fig. 11

の左の図は検索用エージェントに登録した部品エージェントの一覧である。右の図は検索条件を SSD に設定してリユース相手の選定機能を実行した結果で、検索用エージェントに登録した部品エージェントの中から、部品の種類が SSD である部品エージェントがすべて表示されているので、試験手順通りに実行されたことを確認した。

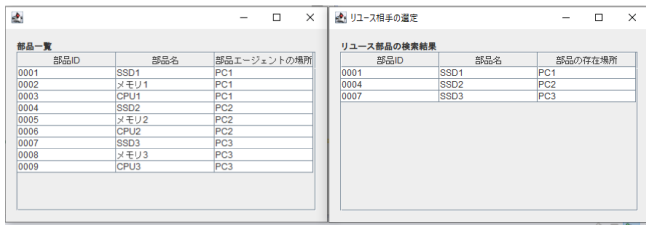


Fig. 11 Selecting user to reuse

### 5.8 部品エージェントの同期移動

部品エージェントは部品と同期移動を行う。移動する際、移動の前と後の2回 RFID タグによる認証を行う。移動には移動先の場所情報が必要であるため、リユース相手の選定機能により、リユース先の場所情報を取得する。基本機能は部品の対応確認、部品エージェントの移動、エージェント間の移動を利用している。部品エージェントの移動前手順を Fig. 12, 移動後手順を Fig. 13 に示す。

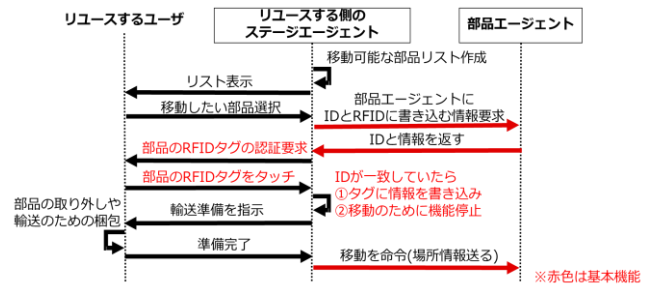


Fig. 12 Procedure before the transfer of Part Agent

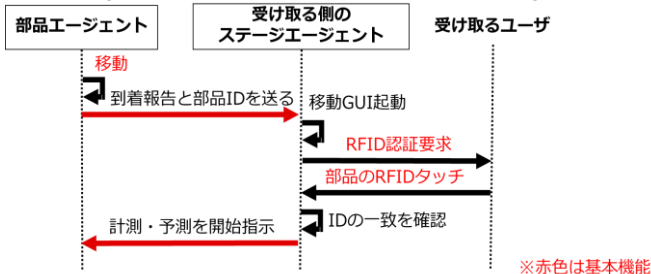


Fig. 13 Procedure after the transfer of Part Agent

まず、リユース相手の選定により、リユース先の場所情報を取得する。移動前に RFID タグによる認証を行う。そして部品の輸送と同時に部品エージェントはリユース先に移動する。移動後に RFID タグによる認証を行い、正常に移動できているか確認する。確認方法は2台のコンピュータを用意し、それぞれの GUI を見て正常に移動できていることを確認する。また、部品エージェントがリユース先に移動せずに行方不明になっている場合、部品エージェント探索機能により部品エージェントの居場所を探す。部品エージェント移動の試験結果を Fig. 14 に示す。USER1 は移動前、USER2 は移動後の GUI を表している。部品エージェントを3体生成し、Agent1 は移動前の RFID による部品認証を終えて、移動待機状態、Agent2 は移動先の部品認証待機状態、Agent3 は移動して RFID による部品の認証を終えた状態を表しており、Fig. 12 と Fig. 13 の手順通りに移動できたことが確認できた。



Fig. 14 Move of Part Agent

## 6. 考察

運用試験を通して、部品エージェントの生成、移動、通信、劣化情報の計測といった基本機能と将来予測・提案とリユース相手の選定といった応用機能の挙動を確認した。また、ステージエージェントが複数の部品エージェントを1つの GUI で管理できることを確認した。

従来の部品エージェントでは応用機能ごとに通信や移動といった基本機能を定義していたため、同じシステム上で動作できなかった。提案した3層構造では、部品エージェントを基本機能層と応用機能層を分けているため、複数の応用機能を動作させることが可能である。インターフェース層に関しては、ステージエージェントを定義しているため、他の層との結びつきが弱く、プログラムの変更が容易である。

## 7. 結論

3層構造の部品エージェントシステムを提案し、実装を行った。また、部品エージェントシステムの運用上の課題を抽出するために、提案したシステムを用いて運用試験を行った。

今後の課題として、今回は運用試験を行いやすい部品の将来予測とリユース相手選定の応用機能を採用したが、他の応用機能も実装して運用試験を行い、課題を抽出する必要がある。具体的な応用機能として、製品の分解を支援する分解支援システムとの連携と管理部品の制御機能があげられる。

## 参考文献

- (1) 環境省, <http://www.env.go.jp/annai/index.html> (2021/1/21 閲覧)
- (2) Hiraoka, H., Ito, K., Nishida, K., Horii, K., Shigeji, H., Development of Part Agents for the Promotion of Reuse of Parts through Experiment and Simulation, Globalized Solutions for Sustainability in Manufacturing, Proceedings of the 18th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering (2011), pp. 419-424.
- (3) Java Agent DEvelopment Framework, <http://jade.tilab.com/> (2021/1/21 閲覧)
- (4) 大塚商会, 3層アーキテクチャ, 大塚商会, <https://www.otsuka-shokai.co.jp/words/three-layer-architecture.html> (2021/2/5 閲覧)
- (5) Y. Yokoki, H. Hiraoka, Life cycle simulation of mechanical parts with part agent considering user behavior, The 24th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, pp116-121, (2017)
- (6) Y. Yamamori, Y. Yokoki, H. Hiraoka, "Seller-Buyer Matching for Promoting Product Reuse Using Distance-Based User-Grouping", EcoDesign 9th Symposium Proceedings, pp. 733-738, 2015.