

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24560165

研究課題名(和文) 部品エージェントによるリユース経路を考慮した部品再利用

研究課題名(英文) Reuse of parts using part agents considering paths for reuse

研究代表者

平岡 弘之(Hiraoka, Hiroyuki)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：20165161

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：製品のリユースを促進する目的で、部品エージェントにより経路を考慮して適切なリユース相手を選定する手法を開発した。

家庭間の距離が設定した限界距離以内となるグループを部品エージェント同士が協調して生成し、その中で製品の仕様、価格、残存寿命と家庭間の距離を勘案したユーザ満足度に基づき適切な買い手と売り手をマッチングする。さらに、売り手と買い手の製品の仕様差、価格差をも考慮して定義した拡張距離に基づくグループ化手法を開発した。格子状の経路の交点に家庭を配置、製品を配布し、各家庭に割り当てた部品エージェントが製品を交換するリユースのシミュレーションを行い、手法の有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：A method to generate appropriate pairs of sellers and buyers of reused products using part agents considering paths between houses is developed to promote the reuse of products.

Part agents collaborate and form groups where distances between houses in the group are within a specified limit. In those groups, appropriate pairs of sellers and buyers are generated based on the users' satisfaction that takes into consideration the specification of the product, its price, its residual life and the distance between the pair of houses. Furthermore, an extended distance is proposed that is defined by difference of the specifications, difference of the prices as well as the distance of two houses. Simulation of reuse of products is performed with houses on grid-like paths to evaluate this method. Part agents distributed in houses cooperate and exchange used home-appliances successfully.

研究分野：機械工学

キーワード：リユース ライフサイクル 経路 ネットワークエージェント

1. 研究開始当初の背景

地球環境への影響を配慮した循環型社会の構築の必要性が認識され、環境省を中心に日本政府も 3R (製品の使用量削減, リユース, リサイクル) を推進している. しかし, 機械部品のリユースについては, リサイクルに比べて環境への効果が大きいにもかかわらず, 大きな普及に至っていない. 学術的にも, 限界リユース率の提案などのいくつかの研究を除けば, 大きな研究成果が見当たらない. その理由として申請者は, 従来の研究アプローチが, ライフサイクルにわたる個々の製品・部品の挙動を扱わず数量として扱ってきたため, 適切に対応できていない点にあると考えた.

申請者は, リユースの促進のためには部品のライフサイクルにわたる個体管理が必要と考え, 個々の部品に対してそれを管理するネットワークエージェントを個別に用意し, 部品に貼付した電子タグ (RF タグ) により対応付けを行って管理するしくみを, 部品エージェントと称して提唱してきている. これまでに, ネットワーク上の移動など部品エージェントの基本機能の開発, ユーザの選好の多様性のリユースに対する効果の確認, ハードディスク装置 (HDD) の SMART 機能を用いた HDD の交換提案機能の開発などを行なった. しかし, まだ, a) 部品エージェントによる部品リユースを促進するための基本的戦略, b) 部品の劣化や故障を予測する機能, c) セキュリティとプライバシーに配慮した部品リユース, などの課題が残っていると認識している.

今回は, このうちの a) に含まれる課題を解決する試みの一つであり, 特に家庭間の製品のリユースに焦点をあてた.

リユースの中心作業は, 利用者のもとから製品を回収し, それを次の利用者へ送ることである. ここで, 各中古品は一つずつ異なる履歴を経た異なる製品であり, 部品の循環はできるだけ小さなループで行うことがコスト面でも環境負荷の面でものぞましい. 従って, 多くの利用者からの大量の製品を一律に一つの工場へ回収し, そこから再び遠隔地を含む様々な場所の利用者へ配布するという従来の方式は, 好ましい方法とは言えない.

2. 研究の目的

本研究では, 部品がリユースに際して利用者間を移動する経路に着目し, リユースの促進には経路の距離を考慮に入れたリユース相手の選定が必要であることを示す. 部品エージェントの構想は, 個々の製品・部品を個別に扱うことに特徴がある. 本研究では, この特徴を生かして, 個々の製品のリユース相手を, 経路を考慮して選定する手法を開発し, その効果を調べる.

(1) 部品エージェントを用いて, 地域内の家庭間でリユースを行うしくみを開発する

(2) 地域内の家庭間で適切なリユース相手を選定する手法を開発する

(3) 製品の仕様や価格だけでなく, その製品の交換に必要な移動距離も考慮に入れてリユース相手を評価する手法を開発する.

3. 研究の方法

(1) 部品エージェント

本研究では, 部品個々の情報管理とユーザへの提案を行うツールとして部品エージェントシステムを提案している. 部品と対応付けられたネットワークエージェントを部品エージェントと呼ぶ. 部品エージェントは, ネットワーク上を移動することで対応する部品に追従し, 部品のライフサイクル全体にわたりその状態を管理する. 製品及び部品がそのライフサイクルの各段階で様々な場所に移動する時に, 部品エージェントもそれらに追従してネットワーク上を移動し, その状況に合わせた情報を取得し, 適切な保全行動をその製品のユーザに提案する. またネットワーク上に存在する他のエージェントから情報を収集するとともに協調して動作する. Fig. 1 に部品エージェントシステムの概念図を示す. 実世界の部品とネットワークエージェントの対応付けには部品個々に付与された RF タグを用いる. 本研究では, この部品エージェントを前提に, 地域内の家庭間リユースを促進する方法を開発する.

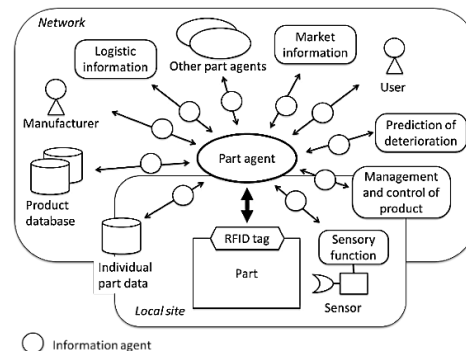


Fig. 1 Conceptual scheme of part agent

本研究では, 地域内の家庭間で行われるリユースとして, 相手の家に製品を持って行き, 金銭と交換する方法を想定した. 部品エージェントは, このようなリユースを次のようにして支援する. 部品エージェントは, 管理している製品の劣化を検知したとき, その交換をユーザに促す. ユーザが交換部品として中古品を要望した場合, ユーザにとって適切な中古品を持つ相手とその中古品の情報をユーザに教える. これによりユーザはその中古品を持っている相手の家へと向かい, 製品をやりとりする. ここで, 部品エージェントは, ユーザが欲しがっている製品の情報, 他のユーザから手放されようとしている製品の情報, そのユーザが居住している場所の情報に

基づいて、ユーザの希望に沿う性能と低廉な販売価格の中古品を持ち、ユーザの移動負担も少ない適切なリユース相手を提案する必要がある。

#### (2) 距離に基づくユーザのグループ化

ユーザの選好に近いが、所持している相手の居住地点が遠い中古品を、エージェントが提案することを避けるために、ユーザが移動できる範囲の限界（限界距離 $MD$ と呼ぶ）を与え、それに従ってグループを作る方法を開発した。

エージェントは、 $K$ -means 法などの集中的な手法によらず、ユーザの限界距離に基づき、互いに協調して自律的にグループを作成する。同じグループに所属しているユーザは全てお互いに限界距離以内に存在するようにするため、エージェントは次の手順でグループに加入する。

1. 地域にグループが存在するかを調べる。グループが存在しなかった場合は3に飛ぶ。
2. 発見したすべてのグループについて、そのグループに所属しているメンバー全てとの距離を計測する。その距離がいずれも限界距離を超えない場合、そのグループを加入候補とする。加入グループの候補が複数存在する場合、一番メンバー数の多いグループを選び加入する。
3. 参加できるグループがなかった場合、エージェントは自身を唯一のメンバーとする新しいグループを作る。

このグループ加入操作を複数回繰り返す。エージェントは、自分のグループより大きいグループを発見した場合、そちらのグループに移籍する。この再構成操作をグループの移籍を行うエージェントがなくなるまで行う。

#### (3) リユース相手とのマッチング

部品エージェントのグループ分けが終わると、そのグループ内においてマッチングを行う。

まず、グループ内のエージェントは、買い手役と売り手役のどちらかに、その数が同数になるようにランダムに分かれる。次に、グループリーダー役のエージェントが、後述する満足度によって作成された選好表に基づき、Gale-Shapley 法を用いて買い手優先安定マッチングを行う。マッチングが終了すると、リーダーは各エージェントに取引相手を通知し、各エージェントはそれをユーザに教える。これにより、ユーザは適切な相手と中古品の取引を行うことができる。

マッチングで用いる選好表は、買い手役の部品エージェントが、すべての売り手役エージェントの製品を評価し、優先順に並べて作る。その評価の指標として、後述する満足度 ( $DoS$ ) を定義して用いた。満足度は、ユーザの希望に添うような製品で、ユーザに近い場所に存在し、残存寿命が長いほど、高くなるように定義した。

#### (4) 拡張距離

この方法では、ユーザの限界距離以内で取

引を行えるようになったが、必ずしもユーザの選好に近い中古品が提案されない。そこで本研究では、距離の概念を拡張し、相手までの距離 $D$ に加えて、評価対象の製品とユーザの製品に対する希望との隔たりを合わせた「拡張距離 $ED$ 」を式(1)により定義し、ユーザの限界を「限界拡張距離 $MED$ 」とすることで、ユーザの移動負担を減らし、かつユーザの希望に近い製品を提案できるようにした。

$$ED = a_1P + a_2S + a_3D \quad (1)$$

$$P = \frac{|P_P - P_U|}{P_U}$$

$$S = \frac{|S_P - S_U|}{S_U}$$

ここで、 $P$ は評価製品の現在価格 $P_P$ とユーザが希望する製品の取引価格 $P_U$ との差の割合を、 $S$ は評価製品の仕様 $S_P$ とユーザが希望する製品の仕様 $S_U$ との差の割合を表す。 $D$ は評価製品を所持しているユーザまでの距離、 $a_1 \sim a_3$ は各項目の重み付けの係数である。

なお、前述した満足度 $DoS$ は、拡張距離 $ED$ を用いて式(2)のように表すことができる。

$$DoS = \frac{1}{ED} + a_4L \quad (2)$$

ここで、 $L$ は評価製品の残存寿命、 $a_4$ は重み付けの係数である。

#### (5) 中古品取引シミュレーション

部品エージェントによるユーザ間の中古品取引シミュレーションを、設定した拡張限界距離、限界距離に対して10回ずつ、以下の条件で行い、その結果の平均を求めた。

ユーザは100人とし、一辺が10人の正方形グリッド状の経路の各交点に配置し、製品として各ユーザに冷蔵庫を1つずつ配分した。製品の残存寿命は1~100%の間で一様分布、容量と新品価格は正規分布で割り振った。各製品は1単位時間につき平均4%、標準偏差2%で劣化する。ユーザは5単位時間以上製品を使用すると50%の確率で購入もしくは売却を希望する。1回のシミュレーションで24単位時間分の動作を行う。限界距離については0.6(km)から2.4(km)の範囲で0.3(km)ごと、拡張限界距離は1.0~2.6の範囲で0.2ごとに变化させてグループ分けを行ない、その影響を調べた。

Fig. 2に両方のグループ分けによる結果を距離に対する満足度で比べた結果を示す。点線が限界距離で行った場合、実線が限界拡張距離で行った場合を示す。各点の数字は、限界を示す。重み係数は $a_1=2$ ,  $a_2=2$ ,  $a_3=1$ ,  $a_4=1$ とした。どちらの方法でもユーザの限界を延ばせば、取引相手までの距離が長くなるため、満足度は低くなっていく。取引相手までの距

離が同じ場合、拡張距離でグループ分けを行った場合よりも限界拡張距離でグループ分けを行なった場合の方がユーザの満足度が高くなっており、拡張距離の有効性が示されている。ただし、距離の影響が大きくなるような重み係数の組に対しては、両者の満足度に大きな差が出ないという実験結果も得られており、重み係数の適切な与え方は今後の課題である。

#### 4. 研究成果

##### (1) 研究の主な成果

本研究では、家庭間のリユースを対象に、

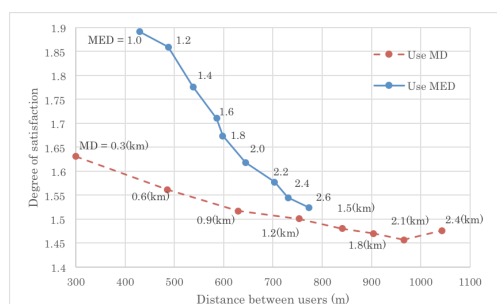


Fig.2 Comparison of the results of simulation between distance and extended distance.

部品エージェントを用いて、ユーザ間の距離を考慮した適切な中古品取引相手を選定する手法を開発した。以下に主な成果を列挙する。

- ①部品エージェントを用いて、地域内の家庭間で中古品を取引するしくみを開発した。
- ②ユーザの移動できる限界距離に基づいて、ユーザ間の距離が設定された限界距離を越えないグループを、エージェント同士が協調して作るしくみを開発した。
- ③中古品の仕様、価格、および取引相手までの距離に基づくユーザの満足度を定義し、それに基づいて買い手優先安定マッチングを行うことで、適切な買い手と売り手を組み合わせる手法を開発した。
- ④距離に加えて、中古品の仕様の差、価格の差を含めた拡張距離を提案し、それに基づくグループ化の手法を開発した。
- ⑤グリッド状の経路の交点にユーザを配置し、冷蔵庫を例題に中古品取引のシミュレーションを行い、手法の有効性を確認した。また、限界距離によるグループ化より限界拡張距離によるグループ化の方がユーザの満足度が高くなることを確認した。

(2) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

個々のエージェントが協調して適切なリユース相手を見つけ直接製品の交換をするという方法は、具体的な数値の比較はしていないが、集中回収・配布方式より効率的であり、リユースの普及に効果があると期待でき

る。さらに、製品・部品の挙動を総体としての数量として扱う従来の研究アプローチと異なり、性質や履歴の異なる個々の製品を個別に管理する部品エージェントを用いることで、それぞれの製品に適した対応とユーザの満足度の上昇が予想され、その面でも製品のリユースが促進されることが期待される。

##### (3) 今後の展望

以下のような課題が残されている。

- ①限界距離や選好はユーザごとに異なるはずである。そのような場合に対応するグループ化、マッチングの手法の開発が必要である。
- ②グリッド状の経路とその交点の家庭という単純な設定でない経路についての検討が必要である。経路によって距離が異なる場合や方向によって到達の可否がある場合などの問題がある。
- ③ユーザの満足度の定義については、より詳細な検討が必要である。プロスペクト理論などの適用も考慮すべきである。
- ④部品のリユースの場合には、製品のリユースと異なり、組立品の適切な扱いの議論が必要である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 4 件)

[1] Y. Yamamori, Y. Yokoki, H. Hiraoka, Seller-Buyer Matching for Promoting Product Reuse Using Distance-Based User Grouping, EcoDesign 2015 9th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Tokyo International Forum (東京都・千代田区), Dec. 4, 2015.

[2] K. Nanjo, Y. Yamamori, Y. Yokoki, Y. Sakamoto, H. Hiraoka, Maintenance decisions of part agent based on failure probability of a part using Bayesian estimation, The 22nd CIRP conference on Life Cycle Engineering, Sydney (Australia), Apr. 9, 2015.

[3] Y. Yamamori, K. Nanjo, H. Hiraoka, Matching Reused Products with Users Considering Their Satisfaction, EcoBalance 2014, Tsukuba International Congress Center (Tsukuba), Oct. 29, 2014.

[4] 山森 友貴, 南条 佳祐, 平岡 弘之, 経路探索とマッチングによる家庭間リユース, エコデザイン プロダクト&サービスシンポジウム, 東京大学 (東京都・文京区), 2014年7月30日.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

平岡 弘之 (HIRAOKA, Hiroyuki)  
中央大学・理工学部・教授  
研究者番号：20165161

### (2) 研究分担者

川原田 寛 (KAWAHARADA, Hiroshi)  
横浜国立大学・工学(系)研究科(研究院)・  
助教  
研究者番号：40462676

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：