

# マルチエージェントシステムを用いた循環型社会に関する研究

## A study on the recycling society using Multi-agent System

藤井 信忠\*<sup>1</sup>  
Nobutada Fujii

貝原 俊也\*<sup>1</sup>  
Toshiya Kaihara

水島 優二\*<sup>1</sup>  
Yuji Mizushima

\*<sup>1</sup> 神戸大学大学院工学研究科  
Graduate School of Engineering, Kobe University

The concern with realizing recycling society has been growing. For realizing recycling society, considering both profit of companies and environment load is important. For that purpose, it seems that the decision-making of junk dealer is important. In this paper, computer simulation based on Multi-agent System is executed, and the influence of junk dealer is analyzed in the point of both profit and environment load.

### 1. はじめに

近年までの大量生産、大量消費、大量廃棄の限界が認識され、循環型社会に関する関心が高まっている。循環型社会の実現において、環境負荷と経済性を同時に評価することは重要である。環境負荷の評価に関するものとして製品の原料調達から製造、流通、使用、廃棄にいたる全ライフサイクルを環境面でコスト評価した LCA(Life Cycle Assessment)[原田 01]と金銭面でコスト評価した LCC(Life Cycle Costing)[伊坪 04]がある。LCA や LCC はその有効性が確認されてきているが、製品を構成する部品がそれぞれで循環する複雑なループを含むモデルには適用が困難であるという問題がある。複雑なループを含む解析的に困難であるものとして評価方法として LCS(Life Cycle Simulation)が提案されてきている[高田 04]。LCS に LCA の考えを組み込むことで循環型社会の経済性と環境負荷について評価することが可能となる。

また、近年では物理寿命に対する機能寿命の短命化が進み、部品のリユース化がより重要となってきている[高田 00]。市場のやり取りは販売業者と消費者が中心であるが、リユース、リサイクルを含んだ循環を考えると、使用済み製品をリユースやリサイクルに割り振る回収業者の意思決定は重要であると考えられ、経済性と環境負荷に影響を与える要素であると考えられる。そこで本研究では、回収業者の意思決定に注目した LCS を行い、経済性と環境負荷に関し解析することを目的とする。

### 2. 提案する循環型社会モデル

#### 2.1 提案モデルの流れ

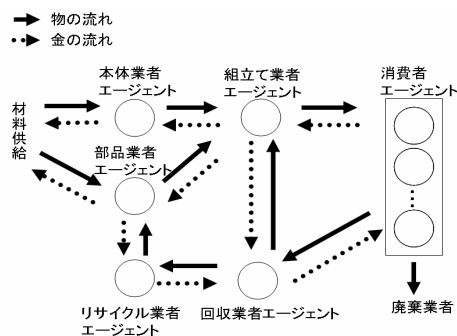


Fig. 1 model of recycling society

Fig.1 は提案する循環型社会のモデルである。提案モデルは以下のステップに従う。

1. 消費者エージェントの需要に従い、各エージェント間で商品の売買を行う。終了ステップ数に達したら3.へ
2. 一定期間毎に旧型の部品がリユースできる次世代製品を市場に投入する。1.へ
3. シミュレーションを終了し、利益、環境負荷を計算する。本研究では以下の式で環境効率を評価する[高田 04]。

$$\frac{\text{profit}_{T_{\text{max}}}}{ev_{T_{\text{max}}}} \quad (1)$$

$\text{profit}_{T_{\text{max}}}$  は、各エージェントの利益の総和であり、 $ev_{T_{\text{max}}}$  は、環境負荷の合計値である。

#### 2.2 製品

製品は、組立業者エージェントが本体に  $n$  種類の部品を組み込み生産する。本体は高品質本体、低品質本体の2種類、部品は高品質部品、高品質リユース部品、低品質部品、低品質リユース部品、リサイクル部品の5種類とする。各製品は、価格、品質、環境負荷に関する3つの属性をもつものとする。本研究では、部品のみリユース、リサイクルの対象とする。製品は、劣化や損傷のような物理的な変化に伴う寿命である物理寿命と技術の進歩や使用環境の変化により、機能的に要求に合わなくなることによる機能寿命をもつものとする[高田 00]。本研究では機能寿命や本体の物理寿命より、部品の物理寿命を長くして使用時間に対するワイブル分布に従うものとする[木村 02]。また、一定期間毎に次世代製品が市場に投入される。次世代製品の部品は既に市場に投入されている製品の部品と同じとする。

#### 2.3 エージェントのモデル化

本モデルには組立業者エージェント、本体業者エージェント、部品業者エージェント、リサイクル業者エージェント、回収業者エージェント、消費者エージェントの6種類が存在し、消費者エージェント以外は商品売ることにより利益を得る。本稿では以下では回収業者エージェントと消費者エージェントについて説明する。

##### (1) 回収業者エージェント

回収業者エージェントは、消費者エージェントからの使用済み製品を分解し、リユースするならば部品を組立業者エージェントに販売し、リサイクルするならばリサイクル業者エージェントに販売するという意思決定を行う。

$$T_0 \leq t \leq T_{reuse} \quad (2)$$

$$T_{reuse} < t \leq T_f \quad (3)$$

分解した使用済み製品の部品は、部品の使用時間  $t$  が式(2)のように  $T_{reuse}$  より小さいとリユース可能であり、使用時間  $t$  が式(3)のように、 $T_{reuse}$  より大きいとリユースが不可であり、リサイクルの対象となる。ここで、 $T_0$  は使用時間なしの初期状態を表し、 $T_{reuse}$  はリユースへまわすことができる最大の使用時間であり、 $T_f$  はその部品の物理寿命時間である。また、高品質本体、高品質部品、高品質リユース部品のみにリサイクル可能とし、その他はリサイクル不可とする。本研究では、回収業者の判断である  $T_{reuse}$  を変化させることによる循環型社会の経済性と環境負荷の変化を考察する。

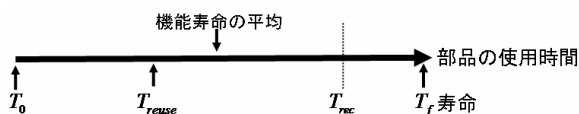


Fig. 2 about  $T_{reuse}$

### (2) 消費者エージェント

消費者エージェントは製品を1つ保持するものとし、寿命が尽きると回収業者エージェントへ売却を希望する。回収業者エージェントからの需要がなく、一定期間売れない場合は廃棄するものとする。各消費者エージェントは、価格、品質、環境負荷の選好値をもちその合計を一定とする。式(4)より効用値を求め、閾値を超えた製品からルーレット選択により購入候補を決める。

$$U_{i,j} = w_{i,1}u_1(P_j) + w_{i,2}u_2(Q_j) + w_{i,3}u_3(E_j) \quad (4)$$

$$u_1(P) = \exp\left(-\left(\frac{P}{\lambda_1}\right)^2\right) \quad (5)$$

$$u_2(Q) = 1 - \exp\left(-\frac{Q}{\lambda_2}\right) \quad (6)$$

$$u_3(E) = \exp\left(-\left(\frac{E}{\lambda_3}\right)^2\right) \quad (7)$$

ここで、 $U_{i,j}$  は消費者エージェント  $i$  の製品  $j$  に対する効用値、 $w_{i,1}$  は消費者エージェント  $i$  の価格に対する選好値、 $w_{i,2}$  は消費者エージェント  $i$  の品質に対する選好値、 $w_{i,3}$  は消費者エージェント  $i$  の環境負荷に関する選好値である。機能寿命が尽きても次世代製品が市場に投入されていない場合はそのまま使い続けるとする。

## 3. 計算機実験

### 3.1 実験条件

本実験では、部品の数を1としてシミュレーションの実行世代数を2とする。製品は1世代当たり、高品質本体と高品質部品、高品質本体と高品質リユース部品、低品質本体と低品質部品、低品質本体と低品質リユース部品、低品質本体とリサイクル部品の組み合わせの5製品とする。機能寿命の平均を50ステップ、部品の物理寿命の平均を100ステップとして、次世代製品投入間隔を50ステップとする。消費者エージェントは選好値(価格、品質、環境負荷)が(60, 20, 20)の価格重視型、(20, 60, 20)の品質重視型、(20, 20, 60)の環境負荷重視型の3種類とする。ま

たその人数比(価格重視型、品質重視型、環境重視型)により(200, 50, 50)の価格重視型社会、(50, 200, 50)の品質重視型社会、(50, 50, 200)の環境重視型社会、(100, 100, 100)の平均型社会の4種類とする。 $T_{reuse}$  を20ステップ、50ステップの2つとし、上記の4種類とかけて8種類の場合わけで実験を行ったが、本論文では、平均型社会における結果について考察する。

### 3.2 実験結果

計算機実験の結果を以下に示す。

Table 1 simulation results

$T_{reuse}$	sales volume	profit	environment load	profit / environment load
20	5402	2129.8	13770	0.1547
50	5901	2140.3	12048	0.1776

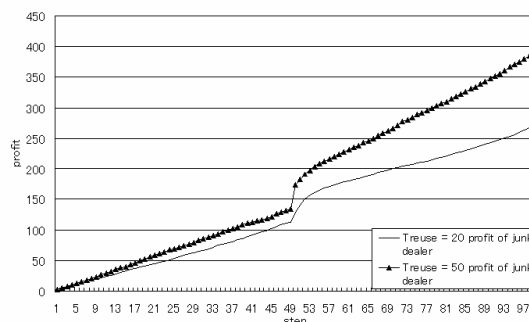


Fig. 3 profit of junk dealer

Table 1 は、 $T_{reuse}$  が20のときと50のときの製品の販売数、社会全体の総利益、社会全体の総環境負荷、環境効率で比較したものである。Fig.3は  $T_{reuse}$  が20のときと50のときの回収業者エージェントの利益を比較したものである。

Fig.3 の50ステップでの変化は、機能寿命が尽きているが次世代製品が投入されていないため使い続けている消費者エージェントの買い替え行動のためである。表より、回収業者エージェントの意思決定を変化させることにより、全体の利益を確保したまま環境負荷が下がっていることがわかる。リユース化が進み回収業者エージェントの利益が増加することで全体の環境負荷が軽減されたと考えられる。

## 4. おわりに

本実験から、回収業者エージェントの意思決定により、経済性と環境負荷に影響を与えることができることが導き出された。今後の展望としては、環境効率を高めるように  $T_{reuse}$  を回収業者エージェントに学習させることなどがあげられる。

## 参考文献

[原田 01] 原田幸明: 設計・製作段階でのコンカレント評価技術としての LCA(ライフサイクルアセスメント)の将来、計測と制御、計測自動制御学会, 2001.  
 [伊坪 04] 伊坪徳宏: ライフサイクルを指向した環境経営管理手法- LCAから LCC, LCM へ-, 計測と制御、計測自動制御学会, 2004.  
 [高田 04] 高田祥三: 製品ライフサイクルのシミュレーション、計測と制御、計測自動制御学会, 2004.  
 [高田 00] 高田祥三: ライフサイクルデザインへのロードマップ、精密工学会誌, 精密工学会, 2000.  
 [木村 02] 木村文彦: 機能的に短寿命な製品に対する迅速ライフサイクルの適用、生産システム部門講演会 2002 講演論文集, 日本機械学会, 2002.