

機関番号：32678

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20710122

研究課題名 (和文) 異なる製品再生ライフサイクルを考慮した
循環型生産システムのモデル化と設計研究課題名 (英文) Modeling and Design of Inverse Manufacturing Systems
considering Different Product Recovery Lifecycle

研究代表者

山田 哲男 (YAMADA TETSUO)

東京都市大学・環境情報学部・准教授

研究者番号：90334581

研究成果の概要 (和文)：本研究では、リユース・リサイクルによる組立製品の資源循環を経済的に促進させるために、製品再生ライフサイクルを考慮した循環型生産システムについて、モノの処理や流れのモデル化ならびに設計を行った。主な成果として、事例にもとづく循環型生産システムの設計課題の整理や、リユースおよびリサイクル循環型生産システムのモデル化による生産性の可視化と設計に加え、製品再生ライフサイクルのモデル化と検証を行った。

研究成果の概要 (英文)：This research models and designs inverse manufacturing systems with assembly and disassembly considering the different product recovery lifecycle in view of material process and flow. Main findings are to classify Japanese cases and challenges for the inverse manufacturing systems, visualize and design their productivity for reuse and recycling, and model the product recovery lifecycle by the product lifecycle management.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：循環型サプライ・チェーン、経営情報、経営工学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学、社会システム工学・安全システム

キーワード：循環型生産システム、製品ライフサイクル・マネジメント、
リユース・リサイクル、分解生産システム、組立生産システム、環境
経営工学、シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

21世紀に入ってなお、地球環境問題はますます深刻化しており、持続可能な社会を目指す我々人類とその生活は、環境への調和なくしてありえない時代となった。一方、我々人類の生活は、洗濯機・冷蔵庫をはじめとする家電からパソコン・携帯電話など、様々な製品なくしては、すでに成り立たなくなっている。こうした組立製品は、地球から掘削した

有限な天然資源から素材や部品を製造して構成されるため、資源循環を行って環境に調和する循環型生産システム (木村ら, 2002) の構築が急がれている。

組立製品の循環型生産システムとは、従来から存在する製品の組立を行う組立システムと、リユース・リサイクル (再生) のために回収した製品を部品や素材に分解する分解システム (Lambert and Gupta, 2005) から構成される。この成立のためには、製造技術のみならず、経済性の観点からも生産シ

システムの設計が行われなければならない。一般に、生産システムの設計においては、モノ（製品）の処理や流れの配置によって、全体の生産性を左右することが知られている。

環境負荷低減の観点からは、製品組込リユース（小林，2003）が一つの理想形とされる。これは、回収された使用済み製品から取り出された再生部品が、新調達部品と同等に新製造品に組み付けられるリユースのことであり、レンズ付きフィルムではすでに実用化されている。しかし、使用済み製品の中には、製品ライフサイクルの長さが10年を超えるために、製品価値の陳腐化が生じてしまうものも少なくない。独自の現地調査によれば、たとえ、リユースが行われたとしても、製品あるいは部品としては市場価値を失い、素材リサイクルにならざるを得ないケースもあった。例えば、家電で言えば乾燥機能付き全自動洗濯機が主流の21世紀に、リユースで利用可能だとしても、10年以上前の2槽式洗濯機を使用したい消費者はいるのであろうか？したがって、循環型生産システムの成立のためには、陳腐化によって市場価値を失う製品の再生ライフサイクルを考慮しながら、製品・再生・分解組立システム特徴の異なる製品ごとに、モノの処理や流れをモデル化して事前に効率を可視化し、より経済的な設計が必要となる。

2. 研究の目的

本研究では、リユース・リサイクルによる組立製品の資源循環を経済的に促進させるために、製品再生ライフサイクルを考慮した循環型生産システムのモデル化と設計を行う。ここでは、製品ごとに異なる再生ライフサイクルを考慮し、素材の価値や利益、リードタイムなど市場価値の観点から、組立と分解から成る循環型生産システムのモデル化を、モノの処理や流れから行うとともに、製品・再生・分解組立システムの各特徴の観点からシステムの設計基準を明らかにすることを目的とする。

具体的には、次の3つの課題に取り組んだ。

- (1) 事例にもとづく循環型生産システムの設計課題の整理
- (2) リユースおよびリサイクル循環型生産システムのモデル化と設計
- (3) 循環型生産システムにおける製品再生ライフサイクルのモデル化と検証

3. 研究の方法

- (1) 事例にもとづく循環型生産システムの

設計課題の整理

最新調査も含め、これまでに行った国内実践リサイクル工場の実地調査にもとづき、事例の分類・整理を行って、循環型生産システムの設計課題を整理する。整理によって得られる製品・再生・分解組立システムの各特徴は、循環型生産システムのモデルや設計基準に反映させる。

- (2) リユースおよびリサイクル循環型生産システムのモデル化と設計

「(1) 事例にもとづく循環型生産システムの設計課題の整理」で得られる製品・再生・分解組立システムの各特徴にもとづき、リユースおよびリサイクルが実際に行われている製品を取り上げて、モノの処理や流れに着目した循環型生産システムのモデル化を待ち行列理論により行う。また、循環型生産システムの複雑さゆえに数理モデルの適用が難しい場合には、導入する生産シミュレータを活用し、モデル化とシステム設計を行う。

- (3) 循環型生産システムにおける製品再生ライフサイクルのモデル化と検証

「(1) 事例にもとづく循環型生産システムの設計課題の整理」と「(2) リユースおよびリサイクル循環型生産システムのモデル化と設計」にもとづき、製品ライフサイクル・マネジメント（PLM; Product Lifecycle Management）のツール活用によって、循環型生産システムの製品再生ライフサイクルのモデル化を行う。具体的には、部品表（BOM; Bill of Materials）などの製品情報を一元的に管理できるPLMツールにより、製品設計や環境負荷の情報が、製品再生ライフサイクルのモデル化と設計にどのように活用できるかの検証を行う。

4. 研究成果

- (1) 事例にもとづく循環型生産システムの設計課題の整理

循環型生産システムのモデルや設計基準に反映させるために、実際にリユースやリサイクルを行っている製品とシステムに関する国内事例を、実地調査にもとづき取り上げた。さらに、製品ごとに異なる再生ライフサイクルを考慮して、循環型生産システムの設計課題をまとめた。

使用済みの組立製品で再生産を伴うリユースについては、主に3つの再生タイプ（リファービッシュ、リマニュファクチャリング、製品組込リユース）があったが、製品価値の陳腐化によって、リユースは特定の製品に限定されてしまっていることなどがわかった。

また、分解システムの経済性については、取り外す部品や素材の再生市場での価値増加のために細かい仕分けや非破壊の手分解が必要となる一方で、日本のような高人件費の先進国ではコスト増加の要因となり得てしまうことを指摘した。(雑誌論文①、③、学会発表①、④、⑦、⑩、図書②)

(2) リユースおよびリサイクル循環型生産システムのモデル化と設計

- ① 組立や分解の代表的なシステム構成のモデル化(図1)と設計方法をまとめるとともに、数値実験を行って基本的なシステム性能を明らかにした。分解においては、仕分け品種数の増加につれて、システム全体の生産性が低下する場合があることがわかった。(雑誌論文②、④、学会発表⑤、⑨、図書③)
- ② リユース循環型生産システムについて、3つの異なる再生タイプ(リファービッシュ、リマニュファクチャリング、製品組込リユース)に着目して、組立・分解・再流通を繰り返す製品の流れをモデル化(図1)した。シミュレーション実験を通じて、リユース循環型生産システムの設計例を作成し、再生タイプごとに回収率や経済性に関するシステム特徴を得た。再生タイプによっては、スループットを最大にする回収率が存在する場合のあることを示した。(学会発表②、図書①)
- ③ リサイクル循環型生産システムについて、生産シミュレータを活用した分解や仕分けの両システムに関してモデル化を行い、システム構成や再生素材価格の変更について検討を行った。

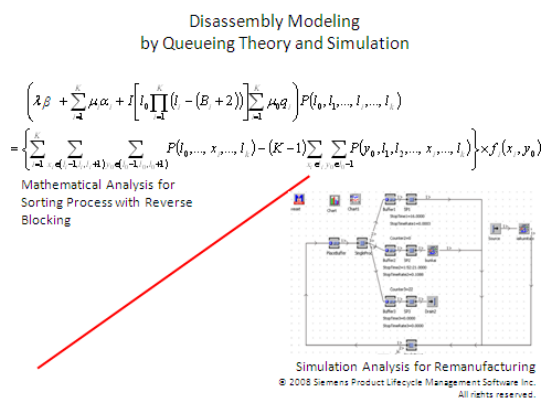


図1 待ち行列理論とシミュレーションによる循環型生産システムのモデル化

- (3) 循環型生産システムにおける製品再生ライフサイクルのモデル化と検証

- ① リユース・リサイクルのために回収される使用済み製品について、再生市場での製品・部品の価格と分解システムでの生産性を同時に考慮する分解システムの設計手順を提案した。使用済み製品の例としてパソコンを取り上げ、実際の分解・組立の作業時間や要素作業の先行順位関係をもとに、PLM (Product Lifecycle Management) ツールで部品表を活用する分解システム設計を行った。これにより、分解する部品の再生価値と作業時間(分解コスト)のトレードオフを考慮して、システム効率の向上を図れる場合のあることがわかった。(学会発表⑧)
- ② 分解の経済性を向上させるために、製品設計と分解システム設計の両者で行われる分解評価について、PLM活用による情報共有と両設計プロセスの統合に関する検討を行った(図2)。各プロセスで活用される情報と設計手順に着目し、分解のシステム効率について協働の効果を示した。(学会発表③、⑥)

Collaborative Disassembly Evaluation between Product and System Design with PLM

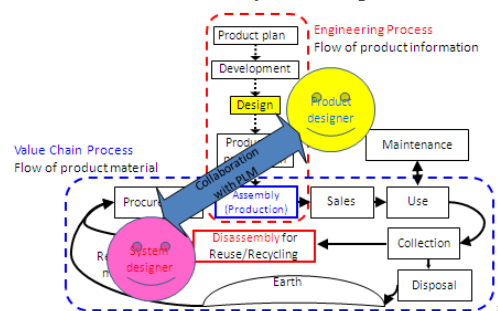


図2 製品とシステム設計間の協働による分解評価

得られた研究成果の一部は、雑誌論文4件、学会発表10件、図書3件の計17件として公表を行った。17件のうち、外国語(英語)は10件あり(日本語は7件)、また招待講演が4件(国内3件、海外1件)、図書が3件(国内2件、海外1件)あった。このことから、国内外へ向けて、ある一定のインパクトをもたらすことができたと考えられる。

今後の展望の一つとしては、資源循環とCO₂削減における環境負荷および経済性の観点から、生産と物流の両システムの統合に関する研究が挙げられる(図3)。循環型生産システムの環境負荷は、資源循環の観点からは低減されると言える。しかし、製品の配送に加えて回収の物流を行わねばならず、地球温暖化をもたらすCO₂排出量の増加になりかねない。他方、循環型生産システムの経済性は、陳腐化のある回収製品の再生価値だけで成

立させることは困難な場合もある。製品の配送・回収時に環境物流（共同輸配送やモーダルシフトなど）を行って CO₂ 排出量を削減できれば、エネルギー消費量すなわち燃料コストの削減につながるため、循環型生産システムの経済的な成立に貢献する可能性がある。本報告書の研究成果を踏まえ、生産・物流の両システムの統合についてのモデル化と評価が期待される。

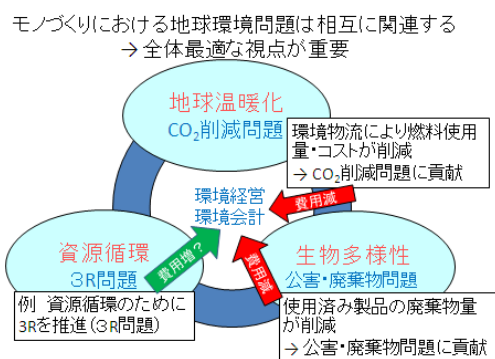


図3 モノづくりにおける地球環境問題

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計4件）

- ① 山田哲男, “エコ生産システム～持続可能なモノづくり～”, 工場管理, 査読無, Vol. 57, No. 1, pp. 142-143 (2011)
- ② T. Yamada, N. Mizuhara, H. Yamamoto, M. Matsui, “A Performance Evaluation of Disassembly Systems with Reverse Blocking”, Computers and Industrial Engineering, 査読有, Vol. 56, Issue 1, pp. 1113-1125 (2009)
- ③ 山田哲男, “循環型生産システムの国内事例と異なる製品再生ライフサイクルを考慮した設計課題”, 武蔵工業大学環境情報学部紀要, 査読無, 第10号, pp. 100-107 (2009)
- ④ 山田哲男, 掛札智美, 長友寛, 松井正之, “需要変化のもとでの効率的組立システムの比較研究”, 日本経営工学会論文誌, 査読有, Vol. 59, No. 1, pp. 1-10 (2008)

〔学会発表〕（計10件）

- ① T. Yamada, “Homework for Next Generation in Industrial Sustainability -Research Challenges in Production and Logistics Systems for Sustainability”, UK-Japan Workshop on Industrial Sustainability,

2011年1月12日, The British Embassy Tokyo (東京), Invited Lecture

- ② T. Yamada, N. Ohta, “Modeling and Design for Reuse Inverse Manufacturing Systems with Product Recovery Values”, The 8th Global Conference on Sustainable Manufacturing, Sustainable Product Development and Life Cycle Engineering, 2010年11月23日, Abu Dhabi, UAE
- ③ 村田潤一, 山田哲男, 井上全人, 石川晴雄, 由良憲二 製品と分解システム設計間の協働に関する一考察, (社)日本経営工学会 平成22年度春季大会, 2010年5月16日, 日本大学経済学部(東京都), pp. 134-135
- ④ 山田哲男, “環境に調和した生産・物流システムと企業経営”, (社)日本技術士会経営工学会 ビジネス研究会, 経営環境, 2010年4月8日, 葦手第二ビル(東京都), 招待講演
- ⑤ T. Yamada, H. Yamamoto, J. Mitsuhashi, I. Wakiyama, “A Modeling of Disassembly Systems with Reverse Blocking considering Traffic and Buffer Capacities in Sorting Process”, Northeast Decision Sciences Institute, 2010 Annual Conference, 2010年3月27日, Alexandria, USA, CDROM, pp. 433-438
- ⑥ T. Yamada, M. Inoue, H. Ishikawa, K. Yura, “A Collaborative Disassembly Evaluation between Product and System Design with PLM”, The 7th Global Conference on Sustainable Manufacturing, Sustainable Product Development and Life Cycle Engineering, 2009年12月3日, Chennai, India, Proceedings and CDROM, pp. 301-306
- ⑦ T. Yamada, “Disassembly System Designs for Different Product Recovery Lifecycle: Japanese Cases and Its Research Challenges”, Proceedings of the 8th Symposium of the Institute of Business Research, 2009年11月10日, Daitobunka University, Itabashi, Tokyo, pp. 43-54, Invited Lecture
- ⑧ T. Yamada, M. Arakawa, “Disassembly System Design Considering Product Recovery Values”, 20th International Conference on Production Research (ICPR-20), 2009年8月6日, Shanghai, China, CDROM
- ⑨ T. Yamada, “A Simulation-based

Analysis for Disassembly Systems with Reverse Blocking”, The 9th Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference (APIEMS 2008), 2008 年 12 月 4 日, Bali, Indonesia, Proceedings and CDROM, pp.1268-1272

- ⑩ T. Yamada, “Inverse Manufacturing Systems with Different Product Recovery Lifecycle: Japanese Cases and a Concept”, Global Conference on Sustainable Product Development and Life Cycle Engineering, SUSTAINABILITY and REMANUFACTURING VI, 2008 年 9 月 29 日, Pusan, Korea, Keynote Speech

[図書] (計 3 件)

- ① T. Yamada, N. Ohta, (G. Seliger, M. M. K. Khraisheh, I. S. Jawahir, I. S. (Eds.)), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, “Modeling and Design for Reuse Inverse Manufacturing Systems with Product Recovery Values”, Advances in Sustainable Manufacturing: Proceedings of the 8th Global Conference on Sustainable Manufacturing, Part 5, 5.2, pp. 197-202, 2011 (in press)
- ② 山田哲男 (大場允晶・藤川裕晃編著), 文眞堂, 生産マネジメント概論 戦略編, pp. 231-242, 247-250, 2010
- ③ 山田哲男 (大場允晶・藤川裕晃編著), 文眞堂, 生産マネジメント概論 技術編, pp. 182-204, 260-263, 265-270, 2009

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田 哲男 (YAMADA TETSUO)
東京都市大学・環境情報学部・准教授
研究者番号：90334581