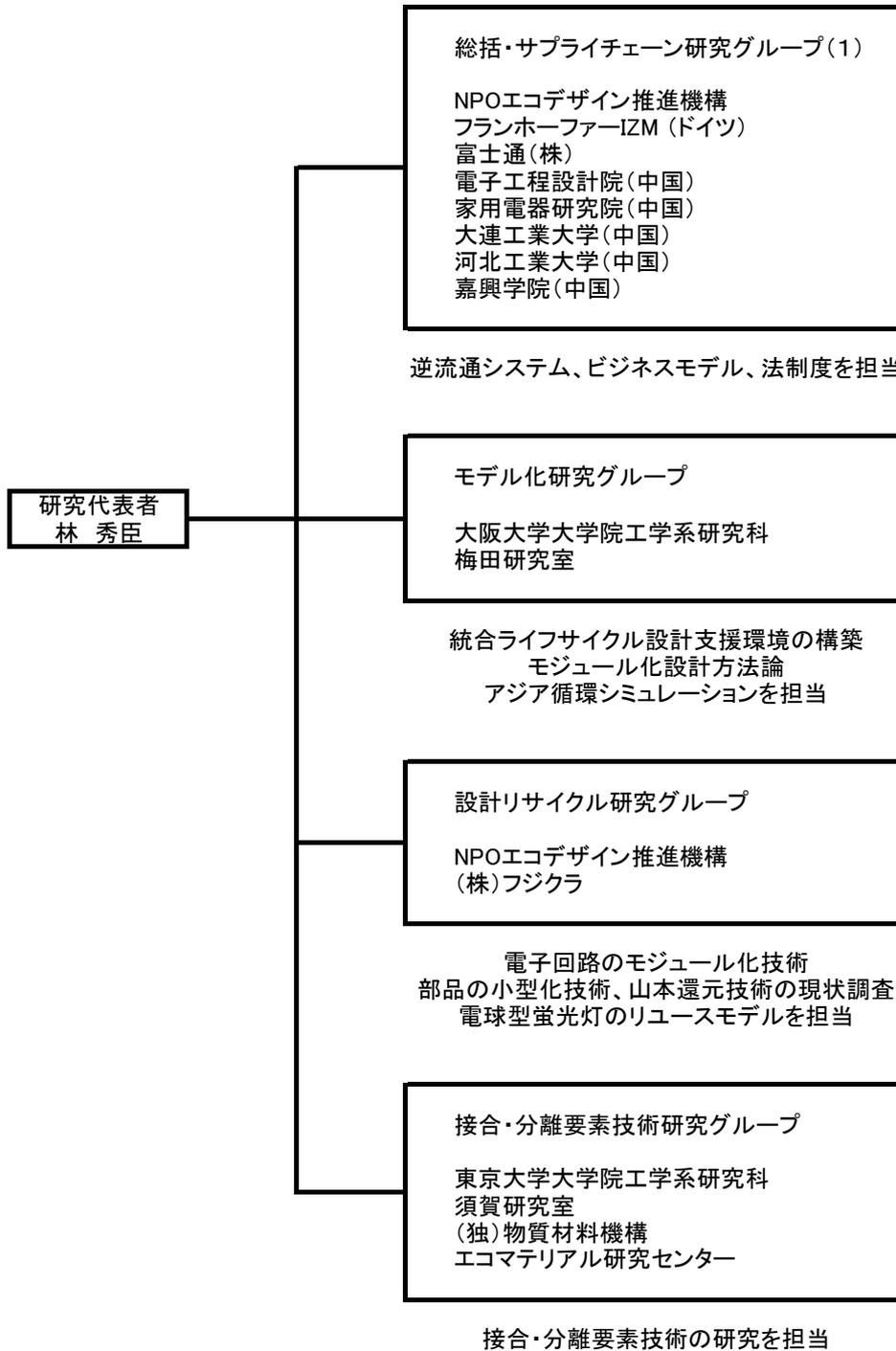


1. ボーダーレスサプライチェーンでの逆流通システム研究概要

JST-RISTEX 循環型社会 研究代表 林 秀臣

1. 1 研究体制



1. 2 研究参加者

(1) 総括・サプライチェーン研究

氏名	所属	担当
研究メンバー		
林 秀臣	NPO エコデザイン推進機構 (理事)	ビジネスモデル構築全般 リサイクル適合性調査
喜多村政賛	同上 (研究員)	リサイクル適合性調査
大黒秀浩	同上 (事務担当)	研究事務補助作業
荒木尊弘	同上	研究事務補助作業
古賀剛志	富士通 (理事)	サプライチェーン研究
カルステン・シシケ	フランホーファーIZM	欧州環境規制
ルッツ・シュトッペ	フランホーファーIZM	欧州環境規制
研究協力者		
林 廣和	産業情報研究センター	リサイクルシステム・法制調査
田 暉	中国家用電器研究院	中国循環システム
王 傑	大連工業大学 (教授)	中国循環システム
沈 本堯	中国電子工程設計院	中国循環システム
馬 秀琴	河北工業大学 (副教授)	中国循環システム
黄 超	河北工業大学 (教授)	中国循環システム
杜 欣政	嘉興学院 (教授)	中国循環システム

(2) モデル化研究グループ

氏名	所属	担当
梅田靖	大阪大学 (教授)	モデル化研究グループの研究全般
福重真一	大阪大学 (助教)	統合ライフサイクル設計支援環境の構築、モジュール化設計方法論
木下裕介	大阪大学 (学生)	アジア循環シミュレーション
未定怜	大阪大学 (学生)	統合ライフサイクル設計支援環境の構築
水野有智	大阪大学 (学生)	アジア循環シミュレーション
外池恵太	大阪大学 (学生)	モジュール化設計方法論
井上洋一郎	大阪大学 (学生)	モジュール化設計方法論
近藤伸亮	産総研 (研究員)	統合ライフサイクル設計支援環境の構築

(3) 設計・リサイクル研究グループ

氏名	所属	担当
林 秀臣	NPO エコデザイン推進機構 (理事)	(1) 電子回路のモジュール化技術 (2) 部品の小型化技術 (WLP、部品内蔵) の現状調査とリサイクル性 (3) 山元還元の効率改善技術
喜多村政賛	同上 (研究員)	同上 (主に1)
藤本郁夫	(株) フジクラ (理事)	同上 (主に1、2)

(4) 接合・分離要素技術研究グループ

氏名	所属	担当
須賀唯知	東京大学 (教授)	新しい接合部分離技術の開発, 易解体性接合技術開発の特許に みられる動向調査
細田奈麻絵	物質・材料研究機構 (主幹研究員)	新しい接合部分離技術の開発, 易解体性接合技術開発の特許に みられる動向調査
赤池洋剛	東京大学 (研究生)	易解体性接合技術開発の特許に みられる動向調査
園田悠太	物質・材料研究機構 (研究生)	新しい接合部分離技術の開発, 易解体性接合技術開発の特許に みられる動向調査

1. 3 対外発表

(1)論文発表

- 1.細田奈麻絵、須賀唯知 “デバイスインテグレーション”、エコマテリアルハンドブック、丸善、2006, 525
- 2.細田奈麻絵, "分離を設計した接合技術", エレクトロニクス実装学会誌, vol.8, no.5, 2005, 416-420
3. 細田奈麻絵, "バイオミメティック接合", セラミックデータブック 2006, 34.88, 200-201, 2006
- 4.林秀臣、細田奈麻絵、青木正光、田中泰光、米田泰博、矢野昭尚、本田正実、柴田勝司、塚越功、安食弘二, "環境調和型実装技術", エレクトロニクス実装学会誌, 1.9, 35-39, 2006
- 5.細田奈麻絵, "分離を設計した接合技術", エレクトロニクス実装学会誌, 8.5, 416-420, 2005

(2)口頭発表

- 1)近藤伸亮 (産総研) , 島袋敦史 (都立大) , 梅田靖 (阪大) : インバース・マニュファクチャリングのためのモジュール化設計手法の開発, 日本機械学会第 15 回設計工学・システム部門講演会, 札幌, 2005.11.
- 2)S. Kondoh (産総研) , A. Shimabukuro (都立大) , and Y. Umeda (阪大) : Development of Modular Design Method for Inverse Manufacturing, EcoDesign2005: Fourth International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Tokyo, 2005.12.
- 3)S. Kondoh (産総研) , Y. Nishikiori (都立大) , and Y. Umeda (阪大) : A Closed-loop Manufacturing System focusing on Reuse of Components, EcoDesign2005: Fourth International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Tokyo, 2005.12.
- 4)Y. Umeda (阪大) , T. Daimon (都立大) , and S. Kondoh (産総研) : Proposal of Decision Support Method for Life Cycle Strategy by Estimating Value and Physical Lifetimes - Case Study -, EcoDesign2005: Fourth International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Tokyo, 2005.12.
- 5)梅田靖 (阪大) , 吉田直人 (阪大) , 近藤伸亮 (産総研) , 蔵川圭 (国情研) , 高田祥三 (早大) : 循環ビジネス設計支援システムの開発, 2006 年度精密工学会春季大会学術講演会, 東京, 2006.3.
- 6)梅田靖 (阪大) : インバース・マニュファクチャリングのためのライフサイクル設計, 日本機械学会関西支部第 81 期定時総会講演会, 京都, 2006.3.
- 7)S. Kondoh (産総研) , K. Kurakawa (国情研) , S. Kato (阪大) , Y. Umeda (阪大) , S. Takata (早大) : Analysis of Key Success Factors for Eco-Business through Case Studies in Japan, 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, 東京 (早大) , 2006.7
- 8)福重真一 (阪大) , 近藤伸亮 (産総研) , 梅田靖 (阪大) , 蔵川圭 (国情研) , 高田祥三

- (早大)：循環ビジネスアイデア創成支援手法の提案，日本機械学会第16回設計工学・システム部門講演会，名古屋，2006.11.
- 9)Y. Umeda (阪大) and Y. Kishita (阪大)：Toward the Sustainable Circulation of Products among Asian Countries, Osaka University RISS International Symposium on “Strategies to Achieve a Sustainable Closed-loop Economy in Asia,” Osaka, 2006. 11.
- 10)Y. Umeda (阪大): Integrated Computer Environment for Supporting Product Life Cycle Design, Eco Design 2006 Asia Pacific Symposium, Tokyo, 2006.12.
- 11)Hidetaka HAYASHI(EcoDesign Promotion Network) , Tadatomo SUGA(University of Tokyo), Lutz STOBBE(Franhofer IZM),Karsten SCHSCHKE(Franhofer IZM), Hansjoerg GRIESE(Franhofer IZM)“Investigation on value increase in inverse distribution process” EcoDesign2006 Asia Pacific Symposium Tokyo Dec. 2006.
- 12)Lutz STOBBE(Franhofer IZM), Karsten SCHISCHKE(Franhofer IZM) , Hidetaka HAYASHI(EcoDesign Promotion Network) , Tadatomo SUGA(University of Tokyo), Hansjoerg GRIESE(Franhofer IZM)“Eco-Design Strategies for Electronics Supply Chains Based on Product Material Declarations” EcoDesign2006 Asia Pacific Symposium Tokyo Dec. 2006.
- 13)西岡卓哉，福重真一，梅田靖，近藤伸亮，蔵川圭，高田祥三：プロセスフローに注目した循環ビジネスアイデア創成支援システム，2007年度精密工学会春季大会学術講演会，東京，2007.3.
- 14)外池恵大 (阪大) ，福重真一 (阪大) ，梅田靖 (阪大)：幾何情報を用いたモジュール設計手法の提案，2007年度精密工学会春季大会学術講演会，東京，2007.3.
- 15)福重真一 (阪大) ，谷山慎悟 (阪大) ，梅田靖 (阪大)：ミニマムストラクチャの抽出によるリデュース設計支援手法の提案，2007年度精密工学会秋季大会学術講演会，旭川，2007.9.
- 16)木下裕介 (阪大) ，篠原達郎 (阪大) ，梅田靖 (阪大) ，福重真一 (阪大) ，藤本淳 (東大)：アジアにおける持続可能な資源循環の構築に向けたシナリオの作成と評価，2007年度精密工学会秋季大会学術講演会，旭川，2007. 9.
- 17)Y. Umeda (阪大) , T. Daimon (都立大) and S. Kondoh (産総研)：Life Cycle Option Selection Based on the Difference of Value and Physical Lifetimes for Life Cycle Design, 16th International Conference on Engineering Design (ICED07), Paris, 2007.8.
- 18)Earth, Sendai, 2007.10.
- 19)Hidetaka Hayashi: "Guideline to Construct EEE Recycling System of China" (in Japanese) Sino-Japan Forum on Construction of Waste Electronic/Electric Equipment Collection and Recycling System on 3 Aug. 2007, Beijing China
- 20)林 秀臣：[特別講演] 住みよい世界を作るための電子機器実装技術の課題、電子情報通信学会 CQ/OIS/IE/ITE-ME/IEE-CMN 研究会 平成19年9月26日 徳島大学
- 21)Hidetaka Hayashi: “Reliable Products and Reliable Action,Realistic Eco-Design for

- the World Majority” AEARU Joint Workshop-ICASS 2007, Oct. 26-27, 2007 Nanjing
China Invited Speech
- 22)Benyao Shen: “Suggestions on the Construction of Second EEE Product Market”
pp151-160 Proc. AEARU Joint Workshop-ICASS 2007, Oct. 26-27, 2007 Nanjing
China
- 23)Hui Tian: “Study on Establishing new model of Second-hand Appliance Market in
WEEE Recycling System in China” pp161-169 Proc. AEARU ibid
- 24)Wang Jie, Hidetaka Hayashi, Cui Yanjuan, Sun Xiaocheng: “Study on the Best
Choice of Used or Waste EEE in China Based on the Long Chain Recycling Value
Mode –Empirical Analysis on Recycling Models of Used or Waste EEE of Dalian”
pp170-175 Proc. AEARU ibid.
- 25)Chao Huang, Hidetaka Hayashi, Xiuqin Ma, Miaomiao Liang, Chengwei Wang: ”
Pilot Plant for UEEE Recovery Base in the University” pp192-195 Proc. AEARU ibid.
- 26)福重真一 (阪大), 外池恵大 (阪大), 梅田靖 (阪大): 循環型製品ライフサイクル実現
のためのモジュール設計支援手法の提案, 日本機械学会第 17 回設計工学・システム部門
講演会, 仙台, 2007.11.
- 27)Shinichi Fukushige (阪大), Shingo Taniyama (阪大), Yasushi Umeda (阪大): A Design
Methodology for Mass Reduction of a Mechanical Product by Extracting Minimum
Structure, The 4th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st
Century, Fukuoka, 2007.11.
- 28)Keita Tonoike (阪大), Shinichi Fukushige (阪大), Yasushi Umeda (阪大): Proposal
of a Design Methodology for Modularity Using Geometric Information, The 4th
International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century, Fukuoka,
2007.11.
- 29)Hidetaka Hayashi "Suggestions on China's Secondhand E-product Market Control
System" Invited Speech at International Symposium on Circular Economy
Development of Electronics and Information Industry, Beijing China, 2007.11.29
- 30)細田奈麻絵,"可逆的インターコネクションー液体金属を塗って接合部を常温分離ー",
関西 Workshop2006 年度 実装革命、新しいものづくりへの提案, 京都, 2月9日, 2007
(講演及びポスター)
- 31)細田奈麻絵,須賀唯知,"落葉をモデルにしたバイオミメティック接合",新技術振興渡辺記
念会シンポジウム「分野横断的ナノマイクロ構造・機能制御による実践的材料開発 -エコマ
テリアル創世と普及に向けてのプランニング・ストラテジー-,横浜, 2月1日-2日,2007
(講演及びポスター)
- 32)Naoe Hosoda,"Future materials for removable interconnects in
electronics",Sustainable Product,Berlin,10.Feb,2006
- 33)Naoe Hosoda,"Effect of Surface fine structures on adhesion",Adhesion and
friction,Jülich, 27.Feb,2006
- 34)細田奈麻絵,"自然界の接着から学んだバイオミメティック接合技術開発",日本金属学会

講演概要集,新潟,9月16日-18日,2006

- 35)Naoe Hosoda,"Biomimetic Approach to Reversible Interconnection",The 4th NIMS-MPI-MF Workshop,Tsukuba, 6-7 July,2006"
- 36)N.Hosoda,"Plan for research by Connection/Disconnect Research Group",Workshop on Inverse Distribution in Borderless Supply Chain,Tokyo, 16 Dec. 2005
- 37)細田奈麻絵,"常温接合とインターコネクエコデザイン",実装工学シンポジウム 常温接合の最新動向 その系譜と未来,東京,13 Sep,2005
- 38)Naoe Hosoda,"Challenge to a biomimetic joining technology",NIMS mini Workshop "Nature Inspired Materials",Tsukuba,4 Oct. 2005
- 39)Naoe Hosoda,"A Challenge to a Biomimetic Joining Technology",German-Japanese Workshop on Bionics and Nature-Inspired Technologies,Nagoya,10-12 Oct. 2005
- 40)園田悠太、細田奈麻絵、今井八郎、須賀唯知,"液体 Ga によるはんだ接合部の常温分離",MES2007 第 17 回マイクロエレクトロニクスシンポジウム,神戸9月13日-14日,2007
- 41)園田悠太、細田奈麻絵、今井八郎、須賀唯知,"液体 Ga によるはんだ接合部の常温分離",日本金属学会講演概要集,岐阜,9月19日-21日,2007
- 42)Yuta Sonoda, Naoe Hosoda, Hachiro Imai and Tadatomo Suga,"Easy Disassembly of Joined Interface Using Ga",going Green EcoDesign2007,Tokyo,10-12.Dec, 2007
- 43)Naoe Hosoda and Tadatomo Suga, "Leaf Abscission Inspired Interconnection", going Green EcoDesign 2007,Tokyo,10-12.Dec, 2007
- 44)Naoe Hosoda and Tadatomo Suga,"Leaf Fall Inspired Joining Technology",Bionik-Kongress in Bremen Patente aus der Nature,Bremen,27-29 Oct.2006
- 45)園田悠太、細田奈麻絵、赤池洋剛、今井八郎、須賀唯知、林秀臣,"易解体性接合技術開発の特許に見られる動向調査",エコデザイン 2006 アジア・パシフィック・シンポジウム,東京,12月11日-12日,2006
- 46)Naoe Hosoda and Tadatomo Suga,"A Novel Approach to Disassembly of Joined Interface",4th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing- EcoDesign 2005,Tokyo, 12-14 Dec. 2005
- 47)細田奈麻絵、木村隆、須賀唯知,"液体金属を用いた界面の常温分離技術",第 5 回 マイクロエレクトロニクスシンポジウム MES2005,大阪,10月13日-14日, 2005
- 48)細田奈麻絵、須賀唯知,"ガリウムを用いた接合部の常温接合分離技術",日本金属学会講演概要集 (第 137 回大会),広島,9月28日-30日, 2005

1. 4 研究成果の要約

欧州、中国の法制度、リサイクルシステムの経済性などの現状調査を行った。その結果、循環型のビジネスモデルを社会に実装する地域として中国を選定した。実装する地域に中国を選定した理由は、次の4点である。①我が国の製造業が中国と共存共栄の体制を確立する上でビジネスモデルの存在は非常に有効である②生産・消費・廃棄の各段階で、世界に大きな比重を占めている③国内に非常に大きな経済格差を有し、国境のない世界の縮図の感を呈している④経済および環境影響の両面で我が国に非常に強い影響力を有している。この絞り込みに至る研究としては、日本、欧州、タイ、中国に立地するリサイクル業の価値回収の実態調査、欧州の環境に関する諸規制、中国の法制度の状況を調査した。また、中古品の国境移動に関してはバーゼル条約事務局との意見交換を行った。

技術的な課題としては、電子機器の環境調和設計に関わる設計ツール、リユース設計の手法、電球型蛍光灯のリユース技術、接合・分離技術を研究した。また、ビジネスモデル研究のツールとしてシミュレーション技術を開発し、中国と日本の間を循環するいくつかのモデルを設定して地球温暖化効果に対する評価を行った。以下に、各課題について更に補則説明を行う。

逆流通のビジネスモデル研究：日本、欧州、中国の3地域にける逆流通段階での電機電子機器リサイクル工場による付加価値の回収の結果は以下の通りであった。日本では家電リサイクル工場で回収される材料の市場価格は工場に投入された機器が新製品として市場に出された時の価格の1/60である(2006年相場)。この市場価格は、リサイクルシステムを運用するコストの1/3であり経済的に自立出来る水準にはない。消費者による処理負担金額は、機器(新品)の1/20である。この1/2をリサイクル工場の運用コスト、1/2を流通の運用コストとする事で家電リサイクルの仕組みが成り立っている。欧州では、日本における統一的な処理システムはなく、このような数字は得られなかった。但し、逆流通過程で回収される追加的な付加価値を推定する指標として、特定のリサイクル集団から医療用電子機器に用いられる部品のリサイクル率を得る事が出来た。それによると、製品重量の約3%の部品が回収されている。旧ソ連時代の機器を回収して処理しているリトワニアの回収業者の特例では、機器の重量が重いために、利益を確保できている。しかし先行きについては不透明であり、自動車用白金触媒の回収を行う事で、収益性を改善している。中国については、リサイクル工場は殆ど稼働していなかった。リサイクル工場が稼働しない原因として、巨大な中古品市場が存在していることが背景にある。中国に進出した日系企業のリサイクル事業は、工場廃材の再処理により計画されており、市中からの廃電子機器を用いた事業は計画されていない。

TV、冷蔵庫、洗濯機、空調、携帯電話、ラジオ、PCの所有と廃棄の状況について、中国の研究機関が保有しているデータを元に沿岸部(北京、上海、広東省)と内陸部(山西省)の調査を行った。その結果、山西省の100人あたりの販売数量は、0.9~5.3台と極めて少なく、中古品の販売数は新品と中古品の合計対比、18~37%で、沿岸部の1.6~30%に比較して非常に多い事が明らかとなった。また、廃棄される機器は、携帯電話を除き中古品販売数の2/3程度であった。更に、中古品の保有と購買動向を直接的に把握する為に中国の研究機関に協力を求めて北京、河北省、遼寧省、吉林省、黒竜江省で約5000人を対象に

した市場調査を行った。調査地域としては、都市部から農村部まで連続した地域を含み、購買力の格差を推定する為に学歴を織り込んだ。その結果、いずれの所得層でも元の所有者の99%が廃棄せずに保有、譲渡あるいは、販売していることが分かった。また新たに入手した機器の約5%は中古機器であった。結果は、使用済み家電が資産価値を有していることを意味しており、廃家電を有料で廃棄するあるいは無料で供出するモデルは成立しないと判断される。循環系のビジネスモデルとしては、この資産価値を認める形で構築されなければならない。中古品市場に関する別の切り口として、多くの人口を有する発展途上地域共通の問題となる所得水準と格差の問題を国連の調査から纏めた。その結果、所得の低い地域はGini係数も低く格差は拡大している。従って、安い中古品の需要が旺盛であると判断された。また循環系の価値獲得構造について分析を行った。その結果、動脈系の企業（製品の生産と供給側の企業）は事業の収益性を確保する為に外部購入比率を下げる経営努力を続ける。従って、製品中の材料価値の比率は常に下がる傾向にある。静脈系の企業（リサイクル事業を行う企業）が収益性を高めるには、材料以外の付加価値を回収する部分に目を向ける必要があることが示された。

以上の結果から、市中に流通した電機電子機器のリサイクルを経済的に自立した事業とする事は日本、欧州、中国の各地域で実現されていない事が明らかとなった。この調査のなかで更に明らかになった事は、中国では購買力の低い購買層が多数存在しており、このような購買層に対する製品供給源としての中古機器市場がリサイクル網に深く組み込まれなければならないという事である。地球規模で循環生産システムを構築する場合にはこのような購買層の存在は極めて重要な考慮点である。即ち、現在また将来の地球人口構成を考えた場合、これらの人々は地球の多数を占めるが、地球規模での循環システムの構築とはその多数の人々に機器を供給し廃棄するシステムとして機能しなければならないという事である。

結論として、この研究で導き出したグローバル化する時代でのリサイクルシステムモデルは、中古品市場と一体になった「流通循環生産システム」である。

今後重要度を増すと考えられる技術的課題は、機器の長期信頼性を向上させる部品技術と接合技術、機器のエネルギー効率を改善した部品の置き換え技術、部品構造と設計の技術、使用履歴の記録と追跡技術である。これらの課題の内、この研究では接合と分離技術、蛍光灯のリユースモデルを研究した。蛍光灯のリユースモデルは極めて簡単な機器（部品）ではあるが広範にエネルギー節減効果を発揮できる。日中を循環系とした場合の総合的なエネルギー節減効果については、シミュレーションモデルにより試算した。

以上が、この研究の成果である。この研究を行うに当たって、社会技術として特に配慮した点は、研究結果を社会に実装する事である。社会に実装するにはモデルが実装する社会が求めている事と適合する事が最小限必要な事である。その為、この研究では、当初ドイツのフランフォーファーIZMと共同研究を行った。理由は、研究を開始する段階では、欧州指令が世界標準として打ち出されており、各国がそれに対する対応に最も注力していたからである。しかし、研究を進めた結果、欧州指令で与えるのはあくまで枠組みであり、循環システムを構築し実施する場合は、その実施地域の状況が最も優先される事が明らかになった。その為、平成18年の中間段階で、中国の4機関との共同研究を行うこととした。

これらの研究機関と共同研究の体制を敷いたことで、情報チャンネルが確保され、研究成果を社会に実装する道が開かれたと考えている。得られた社会問題解決に資する効果として客観的な有効性の結論はまだ出ていないが、社会に広く電機電子機器の恩恵を受ける仕組みの中に循環システムを構築する意味は極めて大きいと考えている。平成 19 年 1 月に北京で開催したワークショップでこのモデル (EcoDeNet モデル) を、中国側の研究機関、大学、行政機関に所属する研究者に提示して以来、全人代の環境部会の研究会で意見を発信するところまで到達した。