

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2012～2014

課題番号：24246150

研究課題名(和文) リスクに対する頑健性と柔軟性を備えた環境調和型サプライチェーン設計手法の開発

研究課題名(英文) Development of a Design Tool toward Construction of Supply Chains that are Robust and Flexible against Risks

研究代表者

森口 祐一 (Moriguchi, Yuichi)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：30157888

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,000,000円

研究成果の概要(和文)：リスクに対する頑健性・柔軟性を持つサプライチェーン(SC)構築に向けた分析・設計手法を開発した。まず、国内外における実態調査に基づいてSCリスクの概念を整理した。約2,000品目の製品・サービス間の物質連関をデータベース化するとともに、世界各国を対象として資源の需給構造や貿易の寡占度を把握した。続いて、SCの脆弱性評価の枠組みを構築し、上記のSCデータを用いて地理的遍在性を含む国産製品のSCリスクを可視化した。さらに、家計消費支出の要因分析から最終製品の供給優先度について検討し、リサイクルシステムについても、廃棄物処理と再生原料の供給源としての両面を考慮した頑健性・柔軟性の評価方法を構築した。

研究成果の概要(英文)：An analytical method and a design tool were developed toward construction of supply chains (SCs) that are robust and flexible against risks. First, a concept of SC risk was marshalled from the survey on actual domestic and international SCs. A comprehensive SC matrix database for Japanese 2,000 products was developed utilising the life cycle inventory database and material flows in global supply chain and concentration of the flows were also detected. Subsequently, a mathematical framework for evaluating vulnerability of SCs was developed and SC risks including geographically uneven distribution of domestic products were visualised using the SC matrix database developed and the material flows detected. Furthermore, the priority of final products supply was considered from household consumption expenditure assessment and the robustness and flexibility of recycling systems were also addressed as both the waste treatment and the supply source of recycled materials.

研究分野：産業エコロジー

キーワード：サプライチェーンリスク LCA インベントリデータベース 脆弱性評価 グラフ理論 グローバルサプライチェーン 地理的遍在性 リサイクルシステム

1. 研究開始当初の背景

(1) サプライチェーンの寸断リスク

東日本大震災では多くの産業プロセスが被災してサプライチェーンが寸断され、様々な製品の供給が滞ることで、国内のあらゆる地域における日常生活にも影響を及ぼした。特に、ある素材の供給力低下が波及的に様々な製品やサービスの供給に及ぼす事例が見られた。その背景には、効率性を重視した結果、一部の産業プロセスが特定地域に偏在するという災害リスクへの脆弱性があった。寸断リスクの管理の必要性は従来から議論されてきたが、企業にとって発生確率の低い寸断を緩和するための戦略に高い費用をかけることは正当化が困難であり、サプライチェーンの脆弱性を定量的に評価するための手法や基準が求められていた。サプライチェーン構造に起因するリスク要因の分析としては、グラフ理論やネットワーク理論を用いた脆弱性の定量的な評価方法 [1, 2] が存在したものの、生産プロセスの代替性を考慮した構造分析は、事例に基づく定性的な議論に留まっていた。さらに、従来の研究事例は仮想的なデータによる分析が中心であり、現実のサプライチェーン構造を国家レベルでデータ化し、分析した事例は存在しなかった。

(2) サプライチェーンのグローバル化

近年、世界的に持続可能な資源管理や資源戦略に対する関心が高まりつつある。各国は、鉱物資源のみならず多種多様な加工度の製品を介して資源を利用しており、その資源利用は、サプライチェーンを通じて多国間の国際貿易ネットワークを形成している。これまでも、物質フロー分析(MFA)は、サプライチェーン構造の把握やリサイクルを含めた資源利用への提言に大きな影響を与えてきた。しかしながら、多国間の国際貿易ネットワークに着目した資源の国際サプライチェーン研究は希少であり、特に加工度の高い製品を介した資源利用にまで言及した論文は僅かであった(例えば、文献 [3])。

資源の中でも、食料生産、無電解メッキをはじめとする表面処理や、半導体生産等に用いられるリンは、近年、戦略資源化しており国内外で国内外の多くのコミュニティで持続的なリン資源利用に向けた取り組みが行われている。一方で、リン鉱石の採掘には天然放射性物質や、重金属元素などの有害物質による現地での環境汚染、採掘活動による土地改変など種々の環境リスクが潜在している。また、リン鉱石の高い偏在性や、黄リンの生産拠点が限られていることなどから、輸入におけるカントリーリスクが存在する。

(3) リサイクルシステムのリスク要因

震災では、リサイクル施設の処理能力が災害廃棄物処理の制約となる事例も見られた。また、いわゆる「動脈」の原料採掘～製造～物流～販売に加えて、「静脈」のリサイクル

も再生原料の供給源としての側面を認識し、サプライチェーンの構成要素として位置付け、リスク要因を明らかにする必要があった。

(4) ライフサイクル評価のデータベース

製品やサービスについて環境負荷や資源消費を評価するライフサイクル評価(LCA)の分析には、主原料や副原料、エネルギーなど、あらゆる投入物を含んだ膨大な基礎データ(インベントリ)が必要とされ、我が国では研究分担者らのグループが中心となり、包括的なデータベースが整備されてきた。

こうした背景から、研究代表者・分担者が蓄積してきたLCAやMFAの知識や情報(インベントリデータベース)の有効活用先として、従来からの環境調和性の評価に留まらず、リスク要因に対する頑健性と柔軟性を備えたサプライチェーン構築に貢献する分析・設計手法の構築・実証への発展が要請されていた。

2. 研究の目的

本研究課題では、リサイクルを含む国内のサプライチェーン全体を対象として、リスクに対する頑健性・柔軟性と、低炭素や循環型といった環境調和性を併せ持ったサプライチェーンの構築に向けた分析・設計手法を開発することを目的とした。その目的を達成するために、以下のような課題を設定した。

(1) 製品・サービス(約2,000品目分類)間の物質連関をデータベース化し、それに地理的偏在性などのリスク要因を付加した「サプライチェーンマトリクス」を整備する。

(2) 世界231国・地域を対象とした貿易に伴う各元素の移動量を同定するとともに、資源の需給構造や貿易の寡占化などを把握する。

(3) 実態調査に基づいて、サプライチェーンの「頑健性・柔軟性」を評価するための要件を体系化し、評価の枠組みを構築する。この分析手法にサプライチェーンマトリクスを適用し、リスク回避の観点から産業プロセスの立地や原料供給源の検討・再評価を行う。

(4) リサイクルシステムについては、廃棄物処理と再生原料の供給源としての両面を考慮し、頑健性・柔軟性の評価方法を構築する。

3. 研究の方法

(1) 国内外における実態調査に基づくサプライチェーンリスクの整理

平成24年度には、東日本大震災による影響について、国内企業(電子機器、産業機器、自動車、自動車部品)へのインタビュー調査を実施した。平成26年度には、2011年の大洪水によって日本のサプライチェーンへの影響の大きさが顕在化したタイを訪問し、日系を含む現地企業(自動車、自動車部品)と

貿易関連団体へのインタビュー調査を実施した。これらを補完するために、東日本大震災やタイ洪水によるサプライチェーンへの影響に関する新聞記事や、上記の貿易関連団体が実施したタイの日系企業へのアンケート・ヒアリング調査の結果を参照した。

また、サプライチェーン管理を含めた様々な分野において、リスクに対するの“強さ”を表す専門用語は依然として混在している。このことを背景に、上記の実態調査、都市や資源など様々な学術分野を対象とした文献調査、国内外の実務者・研究者との意見交換を通して、サプライチェーンリスクの強さを表す用語と、その概念と相互関係を整理した。

(2) 国内のサプライチェーン構造のデータ整備

研究分担者が作成したインベントリデータベース IDEA から、IDEA マトリクスを作成した [4]。IDEA は主に統計データをベースにしたハイブリッド積み上げ方を採用して作成され、約 3,800 品目のデータを格納している。IDEA データベースは対象年を 2010 年と設定されている。IDEA 分類は階層構造を有しており、そのうち生産量の情報が入手可能でかつ網羅性を確保できる約 2,000 品目のデータを IDEA マトリクスに用いた。IDEA マトリクスは、プロセスデータの集まりである投入係数表に生産量の対角行列を乗じることによって作成した。IDEA マトリクス各製品・サービスのプロセスデータに生産量に乗じると、製品・サービスを供給するために必要な製品の使用量を把握することができる。また、最終需要量（サービス業など）、輸出入量を計上することによって対象製品・サービスがどこに供給されているかを把握が可能となる。この IDEA マトリクスを用いることで直接的な需要と供給を定量化ができ、かつ投入係数の逆数を用いることで直接と間接を含めた波及的な需要量の定量化と、サプライチェーンのリスク分析が可能になった。

(3) グローバルサプライチェーンを考慮した資源のフロー・リスク分析

解析は、WIO-MFA による組成情報が整っている 2005 年時点を対象として、国際貿易量は、BACI より、231 国・地域間を対象とした各品目群の輸出・輸入量を金額単位あるいは物量単位で抽出した。品目群については、HS コードに基づいて、6 桁分類で掲載されている約 6000 品目群の貿易情報を再集計して抽出した。しかしながら、6 桁分類での HS コードであっても、複数の異なる貿易商品が該当するコードがあり、対象元素を含有する商品はその一部である場合がある。本研究では、BACI から得た各商品の貿易量に対象元素を含む製品割合を考慮するための 0 から 1 の範囲を取るカットオフ値を設定し、これを貿易量に乗じることで、対象元素の含有商品の貿易量の推計精度を高めた。また、各元素の移動量への換算には、各種の文献 WIO-MFA [5]

等から得られる各商品の元素含有率を乗じて推計を行った。また、各国の資源採掘量については USGS [6] を参考にした。推計手法の詳細は、鉄 [7] やネオジム等 [8] についての解析を論じた既報を参照されたい。

また、リン含有製品の貿易構造を明らかにし [9]、鉱石に随伴する天然放射性物質や重金属のリスク、カントリーリスクを積み付け係数として用いた際に、我が国の最終需要が引き起こす直接・間接のリン需要にどのようなリスクが付随するのかを分析した [10]。

(4) 国内のサプライチェーン構造の脆弱性評価

本研究では、生産プロセスや輸入の寸断によって原料を調達できなくなって（物理的に）生産が不可能になるリスクに対する影響の受けやすさをサプライチェーン構造の「脆弱性」と定義し、グラフ理論を用いて、代替性を考慮してサプライチェーン構造の脆弱性を評価する枠組みを構築した [11, 12]。

まず、製品・部品・素材の生産プロセスをノード、それらの需給関係をエッジとした有向グラフによってサプライチェーン構造を表現し、ノード i からノード j へ向かうエッジが存在する場合に (i, j) 要素が 1 となる「隣接行列」を定義する。次に、ノード i で生産される部品・素材に代替原料や在庫が存在しない場合に (i, i) 要素を 1 とする「寸断性行列」を設定する。これらを用いたブル演算によって、「脆弱性行列」を定義した。この (i, j) 要素が 1 であることは、生産プロセス i が寸断することでプロセス j が原料を調達できず、生産が不可能になることを示す。

以上の枠組みによって、各製品のサプライチェーンについて、寸断した場合に脆弱性の要因となる国内生産プロセスと輸入原料が特定される。それらの寸断可能性の指標としては、Herfindahl-Hirschman Index (HHI) 値を用いた。HHI 値は市場占有率の二乗和により算定され、市場における寡占度を表す。本研究では、国産プロセスについては工業統計調査（平成 24 年）の各都道府県の製造品出荷額等をもとに「都道府県 HHI 値」、輸入原料については BACI による国別輸入量をもとに「輸入相手国 HHI 値」を算定した。

(5) 最終製品の供給優先度の設定のための家計消費支出の要因分析

外的要因が発生した場合の最終製品の供給優先度は、消費者によってその製品が重要であるか、その外的要因によって最終製品の需要そのものも変化してしまうか、の 2 点によって決定される。これを、2005～2014 年の家計調査（総務省）を用いて分析した [13]。

前者に関しては、消費者の可処分所得が変化した場合に、当該項目の支出金額がどの程度変化するかを分析した。後者に関しては、外的要因として気候変動を取り上げ、毎日の気温が 1°C あるいは 2°C 上昇した場合の各項目の支出金額の変化量を分析した。

(6) 変動リスクを考慮したリサイクルシステムの評価

プロセス制御やサプライチェーン管理に用いられてきた頑健性および柔軟性の考え方を応用することで、変動リスクに対する頑健性・柔軟性を考慮したリサイクルシステム設計のフレームワークを構築した [14]。まず、リサイクルシステムの評価指標に求められる要件を検討し、頑健性と柔軟性の評価指標を定義した。また、頑健性・柔軟性の評価に基づく代替案の生成手法を提示した。

さらに、高い透明性と耐衝撃性から、液晶の導光板や看板、窓材などに利用されているポリメタクリル酸メチル (PMMA) を対象として、LCA を含む評価手法を統合的に用いたリサイクルプラントの設計手法について検討した [15]。ここでは、長期的な MFA によってプラント規模を特定し、プロセスの環境・健康・安全 (EHS) 評価による実現可能性の分析に基づいて、熱分解による PMMA モノマーのリサイクルプラントを設計した。

4. 研究成果

(1) 国内外における実態調査に基づくサプライチェーンリスクの整理

実態調査の結果から、被災による生産停止の原因と、それらへの対策が整理された。また、サプライチェーンの強さを表す用語 (表 1) について、概念と相互関係が整理された。

表 1 サプライチェーンの強さを表す用語

Resilience (回復力)	Flexibility (柔軟性)
Vulnerability (脆弱性)	Adaptability (適応性)
Robustness (頑健性)	Omnivory (雑食性)
Stockpile (備蓄)	Substitutability (代替性)
Capacity (容量)	Rapidity (回復迅速性)
Redundancy (冗長性)	High Flux (高流量)
	Resourcefulness (資源性)

(2) 国内のサプライチェーン構造のデータ整備

前述した方法に従い、マトリクスを作成した。プロセスデータと生産量・輸出入量の情報源の定義の違いなどから IDEA マトリクスのマスバランスに不整合が生じる場合には、修正可能なプロセスデータについては修正を行っているが、最終的にマスバランスが取れない製品は、過欠補正項を用いて調整をとることにより、約 2,000×2,000 品目のマトリクスを完成させた。

この IDEA マトリクスをもとに、各生産プロセスについて、区分が「資源/原材料」以外の品目と、直接的な原料ではないと判断される品目は、それぞれ投入量を 0 にした。さらに、合算インベントリの影響が大きい生産プロセスは、全ての品目の投入量を 0 にした。最後に、行列の各要素をバイナリ変数に変換した。このことで、(4) における隣接行列に相当する国産製品 1,847 品目の「SCR 分析用 IDEA マトリクス」が整備された。

(3) グローバルサプライチェーンを考慮した資源のフロー・リスク分析

各元素の生産量と貿易量を分析し、国際貿易に伴う 231 国・地域間の元素の移動量を 8 地域・4 品目 (一部の元素は 5 品目) 分類に集計した。各元素の国際サプライチェーンについて、図 1 に鉄について例示したように、上位 10 個のフローを図示するとともに、上位 5 個の移動量に関する情報を示した。解析により、鉱物資源の偏在に対して、各元素は多様な加工度の製品の形で取引されており、需要国の資源・産業政策に選択肢を与えるとともに市場の集中度を緩和していることが明らかとなった。一方で、特定の品目 (希土類金属, 黄リンなど) については、供給国が集中していることも明らかとなった。



図 1 国際貿易に伴う鉄の移動量 (2005 年)

さらに、リン資源利用により生ずる種々のリスクを加味した、ライフサイクル全体での資源管理と、その可視化を行った。図 2 は、特に工業原料として重要な黄リンに着目して、その市場寡占度 (HHI 値) と輸入相手国におけるカントリーリスクをプロットした図である。我が国はドイツに次いで世界 2 位の黄リン輸入国であるが、輸入元のカントリーリスクを比較すると、ドイツと比較すると大きな市場集中により高いリスクが背後にあることが示された。

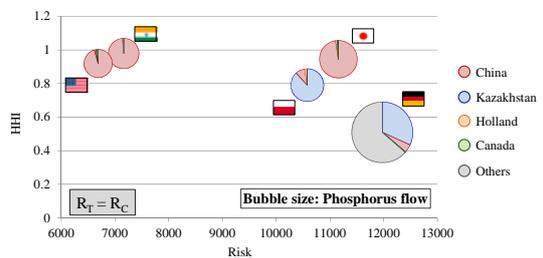


図 2 黄リン貿易に伴うカントリーリスクと HHI の関係

(4) 国内のサプライチェーン構造の脆弱性評価

国産製品のサプライチェーンについて、国内生産プロセスおよび原料輸入の寸断によるリスクを分析するために、脆弱性評価の枠組みに (2) で整備した SCR 分析用 IDEA マト

リスクを適用した [12]。各製品について、寸断した場合に脆弱性の要因となる国内生産プロセスおよび輸入原料を特定し、それらを寸断可能性（都道府県 HHI 値および輸入相手国 HHI 値）によって順位付けした。

国産製品のうち 27 種類の合成樹脂を対象として、寸断可能性が高く脆弱性の要因となる国内生産プロセスについて、それらの立地を地図上に示すことで、地理的偏在性に伴うリスクを可視化した (図 3)。

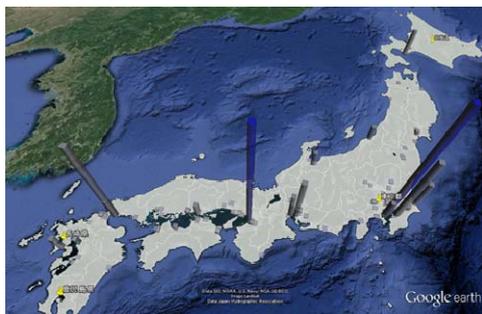


図 3 ユリア樹脂の脆弱性の要因となる国内生産プロセスの立地

(5) 最終製品の供給優先度の設定のための家計消費支出の要因分析

家計調査の 503 項目中、基礎的支出（可処分所得が変化した場合、その変化率より支出金額の変化率が小さい項目）と見なされるのは 307 項目であった。気温 1℃および 2℃上昇時に支出金額の変化量から、都市ガス、贈与金、祭具・墓石、他の理美容代、他の電気代は基礎的支出にも関わらず、気温上昇時に需要は大きく増大することになる。気候変動に際しては、都市ガスや他の電気代のようなエネルギー項目の需要変動が着目されがちであるが、必需品であるにもかかわらず、エネルギーと同等あるいはそれ以上の需要変化を示す項目の存在が浮き彫りとなった。

(6) 変動リスクを考慮したリサイクルシステムの評価

頑健性・柔軟性を考慮したリサイクルシステム設計のフレームワークを国内のペットボトルリサイクルの事例に適用し、頑健性・柔軟性の評価と代替案生成を実践した [14]。その結果、作成された「設計変更リスク対応表」をもとに、指標間でパレート最適な複数の代替案が生成され、今後のリサイクルシステム設計に対して、議論の対象とするべき具体的な方向性を示すことができた。

また、PMMA モノマーのリサイクルプラントについては、PMMA 含有製品の MFA からは、年間処理量が 5000 t 程度までは国内で稼働できること、プロセスの EHS 評価からは、モノマーリサイクルが石油由来の新規モノマーの製造に比べて優位であることが分かった。PMMA 含有製品の回収・リサイクルが、環境負荷の削減に加え、物質の循環やプロセスハザードの低減につながることを示された [15]。

<引用文献>

- [1] Mizgier, K.J., et al. (2013): International Journal of Production Research 51 (5), pp. 1477-1490
- [2] Wagner, S.M. and Neshat, N. (2010): International Journal of Production Economics 126, pp. 121-129
- [3] Johnson, J. and Graedel, T.E. (2008): Journal of Industrial Ecology 12, pp. 739-750
- [4] 学会発表⑦⑨
- [5] Nakamura, S., Nakajima, K., Kondo, Y., and Nagasaka, T. (2007): Journal of Industrial Ecology 11, pp. 50-55
- [6] USGS (HP): minerals information, <http://minerals.usgs.gov/minerals/>
- [7] 雑誌論文⑤
- [8] Nansai, K., Nakajima, K., et al. (2014): Environmental Science & Technology 48, pp. 1391-1400
- [9] 雑誌論文④
- [10] 学会発表⑤
- [11] 雑誌論文⑧
- [12] 学会発表④
- [13] 学会発表③
- [14] 雑誌論文①, 学会発表⑩
- [15] 雑誌論文⑥

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 8 件)

- ① 石川晴菜・中谷隼・菊池康紀・平尾雅彦 (2015): 変動リスクに対する頑健性・柔軟性を考慮したリサイクルシステム設計, 廃棄物資源循環学会論文誌 26, pp. 1-15 【査読有】 [DOI] <http://dx.doi.org/10.3985/jjsmcwm.26.1>
- ② Nakajima, K., Nansai, K., Matsubae, K., 他 1 名 (2014): Material flow of iron in global supply chain, ISIJ International 54, pp. 2657-2662 【査読有】 [DOI] 10.2355/isijinternational.54.2657
- ③ Nakajima, K., Matsubae, K., 他 6 名 (2014): Global supply chain analysis of nickel: importance and possibility of controlling the resource logistics, Metallurgical Research & Technology 111 (6), pp. 339-346 【査読有】 [DOI] 10.1051/metal/2014036
- ④ Webeck, E., Matsubae, K., Nakajima, K., 他 2 名 (2014): Analysis of phosphorus dependency in Asia, 社会技術研究論文集 11, pp. 119-126 【査読有】 <http://shakai-gijutsu.org/sociotechnical11.html>
- ⑤ 中島謙一・南齊規介・松八重一代・長坂徹也 (2014): グローバルサプライチェーンを通じた鉄の国際移動量, 鉄と鋼 100 (6), pp. 750-755 【査読有】 [DOI] <http://dx.doi.org/10.2355/te-tsutohagane.100.750>

- ⑥ Kikuchi, Y., 他 6 名 (2014): Design of recycling system for poly(methyl methacrylate) (PMMA). Part 2: process hazards and material flow analysis, International Journal of Life Cycle Assessment 19 (6), pp. 307-319 【査読有】 [DOI] 10.1007/s11367-013-0625-x
- ⑦ 菊池康紀 (2014): 持続可能性を考慮したプロセス評価のアクティビティモデルとデータモデル, 化学工学会論文集 40 (3), pp. 211-223 【査読有】 [DOI] <http://dx.doi.org/10.1252/kakoronbunshu.40.211>
- ⑧ 中谷隼・醍醐市朗・松八重一代・中島謙二・井原智彦・田原聖隆 (2013): グラフ理論を用いたサプライチェーン機能停止リスクの構造分析, 開発技術 19, pp. 23-35 【査読有】 <http://www.ab.auone-net.jp/~ides/gakaishi/mokuji.html>

[学会発表] (計 11 件)

- ① 中谷隼: How can environmental input-output analysis contribute to screening potential foreign hotspots of different impact categories?, ISIE 2015 Conference, 2015/7/7-10, Guildford (UK)
- ② 田原聖隆: IDEA マトリックスを用いた次世代自動車導入の産業構造解析, 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会, 2015/3/10, 神戸大学 (神戸)
- ③ 井原智彦: 家計支出に及ぼす気温の影響, 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会, 2015/3/10, 神戸大学 (神戸)
- ④ 中谷隼: インベントリデータベースを用いたサプライチェーンの脆弱性評価, 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会, 2015/3/10, 神戸大学 (神戸)
- ⑤ 山本高史: リン資源利用に関連するサプライチェーンリスクを加味したライフサイクル分析, 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会, 2015/3/9, 神戸大学 (神戸)
- ⑥ 中谷隼: Analysis for regional potential impacts of different impact categories induced through supply chains using environmental input-output analysis, USAR Conference 2014, 2014/11/5, London (UK)
- ⑦ 田原聖隆: サプライチェーンリスクマネージメントのためのデータベース構築と事例研究, 第 9 回日本 LCA 学会研究発表会, 2014/3/5, 芝浦工業大学 (東京)
- ⑧ 中島謙一: Global flow of metals and phosphorus: Supply chain analysis for sound resource logistics, ISIE 2013 Conference, 2013/6/26, Ulsan (Korea)
- ⑨ 田原聖隆: サプライチェーン寸断リスク分析用データの作成, 第 8 回日本 LCA 学会研究発表会, 2013/3/8, 立命館大学 (草津)
- ⑩ 中谷隼: Variability-based optimal design of plastic recycling,

EcoBalance 2012, 2012/11/22, 慶應義塾大学 (横浜)

- ⑪ 石川晴菜: Design of robust and flexible plastic recycling system against variation risk, EcoBalance 2012, 2012/11/21, 慶應義塾大学 (横浜)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権] (計 0 件)

[その他] ホームページ等

<http://ilcaj.snitt.or.jp/reconstruct/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森口 祐一 (MORIGUCHI, Yuichi)
 東京大学・大学院工学系研究科・教授
 研究者番号: 30157888

(2) 研究分担者

田原 聖隆 (TAHARA, Kiyotaka)
 独立行政法人産業技術総合研究所・安全科学研究部門・研究グループ長
 研究者番号: 10344160

工藤 祐揮 (KUDOH, Yuki)
 独立行政法人産業技術総合研究所・安全科学研究部門・主任研究員, 研究者番号: 90391094 (平成 24 年度は連携研究者)

松八重 一代 (MATSUBAE, Kazuyo)
 東北大学・大学院工学研究科・准教授
 研究者番号: 50374997

中島 謙一 (NAKAJIMA, Kenichi)
 独立行政法人国立環境研究所・資源循環・廃棄物研究センター・主任研究員
 研究者番号: 90400457

醍醐 市朗 (DAIGO, Ichiro)
 東京大学・大学院工学系研究科・准教授
 研究者番号: 20396774

栗島 英明 (KURISHIMA, Hideaki)
 芝浦工業大学・工学部共通学群 (人文社会)・准教授, 研究者番号: 80392611

井原 智彦 (IHARA, Tomohiko)
 東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授, 研究者番号: 30392591

菊池 康紀 (KIKUCHI, Yasunori)
 東京大学・プラチナ社会総括寄付講座・講師, 研究者番号: 70545649

中谷 隼 (NAKATANI, Jun)
 東京大学・大学院工学系研究科・助教
 研究者番号: 40436522

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者

平尾 雅彦 (HIRAO, Masahiko)
 福島 康裕 (FUKUSHIMA, Yasuhiro)
 西島 亜佐子 (NISHIJIMA, Asako)