

平成 22 年 4 月 18 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19510050

研究課題名（和文） 廃棄物産業連関分析に基づくマテリアルフロー分析モデルの動学化とその応用

研究課題名（英文） Development and application of dynamic material flow model based on the method of waste input-output

研究代表者

中村 慎一郎（NAKAMURA SHINICHIRO）

早稲田大学・政治経済学術院・教授

研究者番号：20180367

研究成果の概要（和文）：

製品ライフサイクルに関わる国民経済全体における多元マテリアルフローを記述する多部門数理モデルを開発した。このモデルを用いることで、非鉄製錬副産物として得られる貴・希少金属の生産過程を考慮したリサイクル可能性、リサイクルにおける多元素混合によるスクラップ品質劣化などを産業連関分析の枠組みで行うことが可能になる。日本におけるポリ塩化ビニールフローの同定、鉛フリーハンダ普及の銀資源への含意、易分解ネジとスクラップ品質の温暖化ガス効果、について応用分析を行った。

研究成果の概要（英文）：

A mathematical multi-sectoral model of economy-wide multi-material flows was developed, which provides a general input-output based framework for analyzing pressing current issues such as the recycling of rare and precise metals based on nonferrous metal refining technologies, and the issue of contamination of scrap by mixing of heterogeneous elements. The model was applied, among others, to identifying the economy-wide flow of plastics (PVC) in Japan, to evaluating resource implications of the replacement of conventional solder by lead free solder, and to evaluating life-cycle impacts on CO2 emissions of the introduction of a new fastener into appliances, which should enable the recovery of high quality scrap.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2008 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学、環境影響評価・環境政策 2002

キーワード：環境政策 モデル化 システム工学 経済理論

### 1. 研究開始当初の背景

持続可能な資源管理を行うためにはマテリアルフロー解析(MFA)の重要であることが内外で認識されているが、多元マテリアルフローを同時に考察できる MFA 手法が十分に開発・実用化されていなかった。製品ライフサイクルとの文脈では、多元的マテリアルフローにおいてはリサイクル過程において混合による品質劣化の生じる可能性が大きい。これを産業連関分析の枠組で明示的に扱うモデルが存在しなかった。又、金属資源リサイクルにおいては、非鉄金属製錬が活用される事が多いが、そこでは多数の金属が副産物中間物として複合的な相互依存関係にある。この関係を明示的に考慮して多元的マテリアルフローを解析できる産業連関モデルは存在しなかった。

### 2. 研究の目的

以上の背景の元、金属を始めとした多元マテリアルフローの製品ライフサイクルを通じる異時点間(動的)挙動を廃棄物産業連関分析の枠組で把握する事を目的とした。特に多元マテリアルフロー産業連関モデル(WIO-MFA)の理論的補強と応用

非鉄金属精錬廃棄物産業連関モデルの開発

リサイクル過程における混合による品質劣化に関わる産業連関分析モデル開発を具体的な目的とした。

### 3. 研究の方法

上の目的は何れも中村等が開発してきた廃棄物産業連関(WIO)モデルを技術的・工学的知見・情報に基づいて一般化・精緻化することで対応可能である。

目的 については、投入係数行列三角化による序列関係同定を用いた。

目的 については我が国において精錬所が稼働している銅・鉛・亜鉛の副産物・中間物フローを文献などから推定し、これを WIO の枠組みを拡張しつつ導入した。

目的 については、家電製品に使われている特定金属(フェライト系ステンレス)を対象に、その混合について知見を得ると共に、その結果としてのスクラップ品質低下と電炉における対応としての一次金属を用いた希釈をモデル化し、これを WIO の枠組みを拡張しつつ導入した。

### 4. 研究成果

(1) 製品(product), マテリアル(material), 資源(resource)を所与のシステム境界の中で投入係数行列を三角化することによって

一般的に定義できること、その定義の基で「二重勘定」を排除した多元マテリアルフロー解析が可能となることを明らかにした。又、PVC について応用を行った。成果を論文に発表した。これまでのマテリアルフロー解析分野では独自の一般的数理的モデルが使われることがなく、学理としての理論的基礎を欠く面があった。ここで開発したモデルの有効性を特に海外において今後紹介していくことで、その一般的手法としての普及が期待できる。

(2) 銅・鉛・亜鉛製錬における副産物としての銀生産に着目し、この数量的相互依存性を表すモデルを開発し、これを実際に応用して普及が進みつつある鉛フリーハンダの資源効果を評価した。鉛フリーハンダに用いられる銀のかなりの部分が鉛精錬過程の副産物として得られていること、鉛生産の減少が銀供給を減少させること、ハンダ含有製品の国内リサイクルのみでは銀資源を十分に確保できない等の結果を得た。これを論文に発表した。今後の応用方向としては、現在注目されているレアメタル・レアアースが挙げられよう。

(3) 電炉普通鋼についてフェライト系ステンレス混入による銑鉄希釈量を求めると共にこれを機能単位(最終需要)に計上して解くモデルを加河さん以下。これを山末等が開発した易分解ネジの家電品への実装について応用し、この効果を評価した。結果を学会発表した。混合による品質低下はリサイクルにおける一般的課題であるが、これをマテリアルフロー・LCA において一般的に扱う数理モデルは未発達であった。研究結果は目下有力国際学術雑誌に投稿中であるが、これが受理されるならば、国際的にも大きな産業エコロジー分野においてインパクトを持つことが期待される。

### 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5件)

Shinichiro Nakamura, Kenichi Nakajima, Yoshie Yoshizawa, Kazuyo Matsubae, Yokoyama, Tetsuya Nagasaka: Material Flow Analysis of Polyvinyl Chloride in Japan based on the WIO-MFA Model, Journal of Industrial Ecology 査読有り 13 (5), 706-717, 2009

Shinichiro Nakamura, Shinsuke Murakami, Kenichi Nakajima, Tetsuya Nagasaka: Hybrid input-output approach to metal production and its application to the

introduction of lead-free solders, Environmental Science & Technology 査読有り, 42 (10) 3843-3848 (2008)

NAKAJIMA Kenichi, MATSUBAE-YOKOYAMA Kazuyo, NAKAMURA Shinichiro, ITOH Satoshi and NAGASAKA Tetsuya: Substance flow analysis of zinc associated with iron and steel cycle in Japan, and environmental assessment on its recycling process” ISIJ International 査読有り 48 (2008), pp.1478-1483

松八重(横山)一代, 中島謙一, 小野恭平, 中村慎一郎, 長坂徹也: WIO-MFA および SFA 分析を通じた我が国の鉄資源循環とマンガンフロー分析, 鑄造工学 査読有り 80 No.6 (2008), pp.330-336

Shinichiro Nakamura, Kenichi Nakajima, Yasushi Kondo and Tetsuya Nagasaka: The Waste Input-Output Approach to Material Flow Analysis: Concepts and Application to Base Metals, Journal of Industrial Ecology, 査読有り 11-4, 50-63 (2007) 20-5, 227-236,

〔学会発表〕(計 13 件)

S Nakamura: Synthesis of MFA and IOA, and Its Application to Metals and Plastics, 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ECOMATERIALS (ICEM9), Kyoto, 26. November 2009

S Nakamura, E Yamasue, and K Matsubae: Environmental Effects of the Introduction of Active Disassembling Fasteners Made of Hydrogen Storing Materials into Electric and Electronic Home Appliances: A Hybrid LCA of DfD based on WIO, R'09 Twin World Congress and World Resources Forum, Davos, Switzerland, 14-16, September 2009.

S Nakamura, K Nakajima, K Matsubae, T Nagasaka, Y Kondo: Multi material hybrid input-output analysis of base metals, alloying elements, and plastics in the Japanese economy: an application of WIO-MFA, SAM3, TU Bergakademie Freiberg, Germany, 29-30 April, 2009

S Nakamura: Metal ecology, the anatomy of capital stock, and beyond: the frontiers of research based on WIO-MFA, Japan - Australia Workshop on Material Flows and Resource Productivity, CSIRO Sustainable Ecosystems, 26-27 February 2009, Canberra

S. Nakamura: MFA and Input-Output Analysis: A Synthesis, The 8th International Conference on EcoBalance, December 10-12, 2008, Tokyo

S. Nakamura, K. Nakajima, K. Yokoyama

and Y. Kondo: Input-output MFA as a tool for sustainable management of material stocks with application to capital matrix, The 2008 International Input-Output Meeting Input - Output & Environment, Seville, Spain July 9 - 11, 2008

S. Nakamura and K. Nakajima: Waste Input-Output Material Flow Analysis of Mineral Materials: a new approach to compiling a PIOT that is consistent with mass conservation, 16th International Input-Output Conference, 2-6 July, Istanbul, 2008, Turkey

S. Nakamura, K. Nakajima, and S. Murakami: Waste Input-Output Material Flow Analysis of Metals and Plastics in the Japanese Economy, R'07 World Congress, 3-5 September 2007, Davos, Switzerland

S. Nakamura, S. Murakami, and K. Nakajima: Hybrid (waste IO) approach to metal ecology with application to the introduction of lead-free solders, 3rd International Conference on Life Cycle Management 27-29 August, 2007, Zurich, Switzerland

S Nakamura: WIO-MFA: integration of IOA and MFA, Symposium on Industrial Ecology Applications of Input-Output Economics, 22. June, 2007, University of Toronto, Toronto

S. Nakamura, S. Murakami, and K. Nakajima: Waste Input-Output-MFA of quantity metals with explicit consideration of smelting processes and by-production of precious metals, ISIE 2007 Conference, 17-20 June, 2007, Toronto

S. Nakamura: Evaluating eco-efficiency of appliances by integrated use of hybrid LCA and LCC tools, 14th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, 11-13 June, 2007, Waseda University, Tokyo, Japan

S. Nakamura and K. Nakajima: Waste Input-Output Material Flow Analysis of Metals and Plastics, 7th International Conference of the European Society for Ecological Economics, Leipzig, Germany, 5-8 June 2007.

〔図書〕(計 1 件)

Nakamura S. and Kondo Y. Waste Input-Output Analysis: Concepts and Application to Industrial Ecology, Eco-Efficiency in Industry and Science Vol. 26, Springer, February 2009

6 . 研究組織

(1)研究代表者

中村 慎一郎 (NAKAMURA SHINICHIRO)

早稲田大学・政治経済学術院・教授

研究者番号：20180367

(2)連携研究者

近藤 康之 (KONDO YASUSHI)

早稲田大学・政治経済学術院・教授

研究者番号：80313584

横山 一代 (YOKOYAMA KAZUYO)

東北大学・環境科学研究科・准教授

研究者番号：50374997