

戦略的創造研究推進事業
(社会技術研究開発)
平成25年度研究開発実施報告書

「科学技術イノベーション政策のための科学
研究開発プログラム」

研究開発プロジェクト
「リソースロジスティクスの可視化に立脚した
イノベーション戦略策定支援」

研究代表者氏名 松八重 一代
(東北大学大学院工学研究科 准教授)

目次

1. 研究開発プロジェクト名	2
2. 研究開発実施の要約	2
2 - 1. 研究開発目標	2
2 - 2. 実施項目・内容	2
2 - 3. 主な結果	2
3. 研究開発実施の具体的内容	3
3 - 1. 研究開発目標	3
3 - 2. 実施方法・実施内容	3
3 - 3. 研究開発結果・成果	4
3 - 4. 会議等の活動	14
4. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況	17
5. 研究開発実施体制	17
6. 研究開発実施者	18
7. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など	22
7 - 1. ワークショップ等	22
7 - 2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など	22
7 - 3. 論文発表	23
7 - 4. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）	24
7 - 5. 新聞報道・投稿、受賞等	27
7 - 6. 特許出願	28

1. 研究開発プロジェクト名

リソースロジスティクスの可視化に立脚したイノベーション戦略策定支援

2. 研究開発実施の要約

2 - 1. 研究開発目標

本プロジェクトにおいて、以下の3つの成果を創出し、リソースロジスティクス可視化を基盤として、我が国が戦略的に推進すべき科学技術イノベーションの浮揚、牽引、導入、実装につなげる方法論を提案する。

- 1)リソースロジスティクス可視化手法の提案
- 2)事例研究を通じて、これまでに行われてきた科学技術イノベーション推進、浮揚、実装に係わるステークホルダーの抽出と、それぞれの役割についての整理
- 3)リソースロジスティクス可視化情報に基づき、ステークホルダー間におけるサプライチェーンリスク情報の共有に向けたプラットフォーム構築ならびにその利用に関わるガイドラインの作成

2 - 2. 実施項目・内容

平成25年度は以下の活動を実施した。

- ・リソースロジスティクス可視化の方法論確立に向けた調査・研究
- ・事例研究：ニッケルに関するリソースロジスティクス可視化のための解析・調査
- ・事例研究：リンに関するリソースロジスティクス可視化のための解析・調査
- ・事例研究：生物多様性について、資源利用と生物多様性への影響について、可視化グループと共同した解析・調査
- ・ステークホルダーガバナンスに向けた情報提供にあり方について意見交換、ヒアリング調査
- ・プロジェクトウェブサイトの運営

2 - 3. 主な結果

- ・本年度は、リソースロジスティクス可視化手法の確立を行い、各事例研究グループと連携を図りつつ、モデルの開発、データベース構築を進めた。具体的にはマテリアルフロー分析 (Material Flow Analysis: MFA)、関与物質総量 (Total Materials Requirements: TMR) ならびに産業連関分析手法 (Input Output Analysis: IOA) に基づく、リソースロジスティクス可視化手法の提案に向け、モデルの開発、データベース構築を行ってきた。
- ・事例研究：ニッケルグループでは国内外のニッケルのフロー解析ならびに廃棄物・副産物中に含有される未利用ニッケルフローの解析を行った。産業連関モデルと国際貿易に随伴するニッケルフローをGLIOモデルを用いて接続することで、我が国の経済活動によって牽引される直接・間接のニッケル需要量を定量評価し、地図上に可視化を行った。ニッケルの資源利用効率向上について関連するイノベーション技術の変遷と、その類型化を行うべく、勉強会、専門家へのヒアリング等を通じたサーベイを行った (中島・松八重・山末・醍醐)。
- ・事例研究：リングループにおいては国内フローを精緻化するとともに、国際貿易に随伴するリンフローについても明らかにし、我が国の最終需要が国内外で直接・間接的に必要とす

るリン資源量の推計を行った。

・さらにこれらのマテリアルフロー情報をもとに事例研究：生物多様性グループではニッケル資源、リン資源の利用がもたらすサプライチェーンを通じたリスクのうち、生物多様性損失に関わる影響を可視化する手法の開発と、その応用事例研究を進めた。

・またガバナンスグループにおいては、リン資源リサイクル推進協議会ならびにリン資源戦略協議会と連携のうえ、協議会での議論の経緯をステークホルダー別に整理を行いつつ、事例研究；農業・食糧グループにおける知見とあわせて、リンのリソースロジスティクスに関わるステークホルダーの抽出ならびにイノベーション浮揚・牽引・実装に関わるステークホルダーガバナンスを解析した（鎗目・城山・三島・松八重・稲葉）。

3. 研究開発実施の具体的内容

3 - 1. 研究開発目標

本プロジェクトにおいて、以下の3つの成果を創出し、リソースロジスティクス可視化を基盤として、我が国が戦略的に推進すべき科学技術イノベーションの浮揚、牽引、導入、実装につなげる方法論を提案する。

1)リソースロジスティクス可視化手法の提案

2)事例研究を通じて、これまでに行われてきた科学技術イノベーション推進、浮揚、実装に係わるステークホルダーの抽出と、それぞれの役割についての整理

3)リソースロジスティクス可視化情報に基づき、ステークホルダー間におけるサプライチェーンリスク情報の共有に向けたプラットフォーム構築ならびにその利用に関わるガイドラインの作成

本プロジェクトでは（1）で革新技术実装に関与する資源利用、環境影響、経済波及効果といった多次元データを可視化するとともに、ブラウザを介した情報共有に適したリソースロジスティクス情報のコンテンツ作成を行い、（2）で抽出されるステークホルダーとしての革新技术の開発に関わる技術者と、技術に関与するステークホルダー、政策担当者をつなぐ情報共有プラットフォーム形成（3）を目指す。

情報共有のプラットフォームの構築に向けて、全ての科学技術分野を網羅的に概観することは研究期間内では不可能であることから、事例として、ニッケル、リンを含む技術に着目し、詳細な解析を行うとともに、情報共有プラットフォームのプロトタイプを作成する。

格納する技術と多次元データとしては、①各種製錬、加工技術の分類、②資源利用変化、③技術実装に関与する環境、経済、地政学面から見たリスク、④実装に関わるステークホルダー、⑤実装に伴う環境、経済へのインパクトを予定する。これらの多次元情報の可視化手法の確立と、情報共有プラットフォームの構造提案、ブラウザコンテンツの整備を行い、この利用に関わるガイドラインもあわせて作成をする。

3 - 2. 実施方法・実施内容

本年度は、昨年度の引き続きリソースロジスティクス可視化手法の確立、提案を目指し、各事例研究グループと連携を図りつつ、モデルの開発、データベース構築を進めた。

事例研究：ニッケルグループは、(1)ニッケルのサプライチェーンデータの整備および解析、(2)ニッケルめっき廃液等のニッケル含有二次資源の廃棄物処理・リサイクル状況の調査、(3)製造業者および廃棄物処理業者などのステークホルダーへの情報還元を行った。

事例研究：リングroupにおける知見とあわせて、リンのリソースロジスティクスに関わるステークホルダーの抽出ならびにイノベーション浮揚・牽引・実装に関わるステークホルダーガバナンスの解析を進めた。

事例研究：生物多様性GrはニッケルGrとともに、インドネシアやオーストラリア等のニッケル産出国での鉱山および製錬等の関連施設や周辺環境の現地調査により、サプライチェーンを通じた資源利用に伴う資源端における問題の実態把握と可視化の為の資料収集を行った。また今年度から新たに人工衛星画像を用いた地理情報と鉱山開発、資源産出の関連について研究を進め、資源利用が直接、間接にもたらす土地改変ならびに生物多様性への影響について、どのように科学的知見を関連づけるのか、方法論の構築を目指した研究を進めた。

ガバナンスグループにおいては、リン資源リサイクル推進協議会ならびにリン資源戦略協議会と連携のうえ、協議会での議論の経緯をステークホルダー別に整理を行いつつ、リソースロジスティクスの可視化を通じて、資源の探索、採掘、精製、製造、使用、リサイクルまでにかかわるステークホルダーに、どのようなインセンティブが働いているのかを分析し、現段階で顕在化していないリスクについても、検討可能にするための方法論開発に向け、様々なリスクの類型化のための議論を進めた。

またサプライチェーンを通じた資源利用に関わるリスクの類型化、定量評価をデータベース化するために、JOGMECとの意見交換を行い、その可視化データベースの構築に向けたIT技術者との打ち合わせもすすめた。

3 - 3. 研究開発結果・成果

本年度は、昨年度に引き続きリソースロジスティクス可視化手法の確立、提案を目指し、各事例研究グループと連携を図りつつ、モデルの開発、データベース構築を進めた。可視化ツールとしてマテリアルフロー分析、総物質関与総量 (Total Materials Requirement: TMR)、産業連関分析 (WIO-MFA, GLIO) を用いて各事例研究に当てはめ、ニッケル、リンのサプライチェーンを通じた資源利用ならびに関与するステークホルダー抽出を行った (Yamasue et al (JIE, 2013), Nakajima et al (EST, 2013), Nansai et al (EST, 2013), Ohno et al, (JIE, in press, 2014))。

可視化グループはインドネシアやオーストラリア、ニューカレドニア等のニッケル産出国での鉱山、およびリンに関しては製錬等の関連施設や周辺環境の現地調査により、サプライチェーンを通じた資源利用に伴う資源端における問題の実態把握と可視化の為の資料収集を行った (松八重・山末・中島・菊池)。Fig.1はこれらの調査を基に、関与物質総量 (TMR) の観点からリンの資源端における問題とその解決策について可視化した結果である。従来、TMRは採掘、輸送、製錬といったプロセス毎での解析がなされていた。しかし、RISTEX研究開発においてはこれらを国別にも分解して解析する手法を提案している。

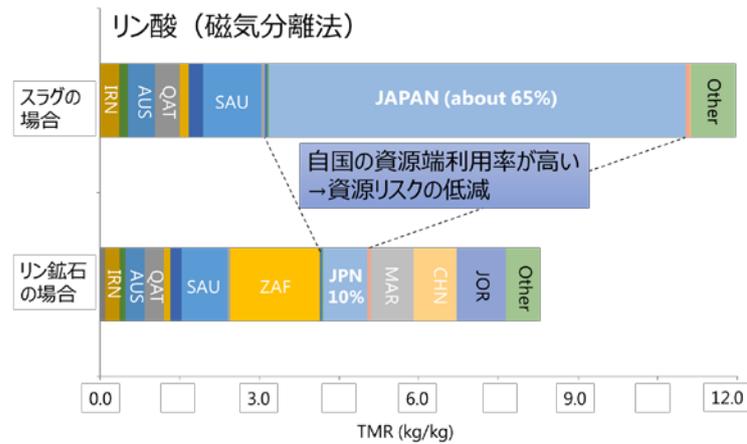


Fig.1 リン酸のTMR

Fig.1から分かることは、鉄鋼スラグからリンを回収する手法は現状のリン鉱石からリンを得る手法に比べTMRが大きく、これはリサイクルをするほうが資源端が大きくなることを示唆している。しかし、国別での分析結果を見ることで、別の視点を得ることも可能である。つまり、スラグからリンを回収することで、本国資源端の利用率が向上している。これは資源リスクの低減につながることを意味する。そこで本国の資源端を除いたTMRで比較をすると、リン鉱石を利用するケースはスラグを使用するより2倍の他国資源端を利用しなければならないことが分かる。

また、Fig.2は金属ニッケルの解析結果である。図より、めっき廃液からニッケルをリサイクルすることにより、ニッケルのTMRが減少するだけでなく、その国外資源端依存性が100%から75%まで低下している。さらにFig.3はステンレス鋼の結果であるが、フェライト系（こちらはニッケルを含んでいない）、オーステナイト系（ニッケルを含む）のいずれもリサイクルがTMRの低下、本国資源端の利用率の向上に寄与していることが分かる。特に興味深いのは、ニッケルを含むオーステナイト系のTMRがニッケルを含まないフェライト系よりも小さいことである。これは、オーステナイト系は磁性を有しておらず、磁性を有するフェライト系に比べリサイクルが容易で、前者には高い比率のスクラップステンレス鋼が投入されていることに起因する。このような理由から、少なくともTMRという観点からはフェライト系を使用せず、あえてオーステナイト系のみを使用する社会システムの構築も考慮に値することが示唆される。

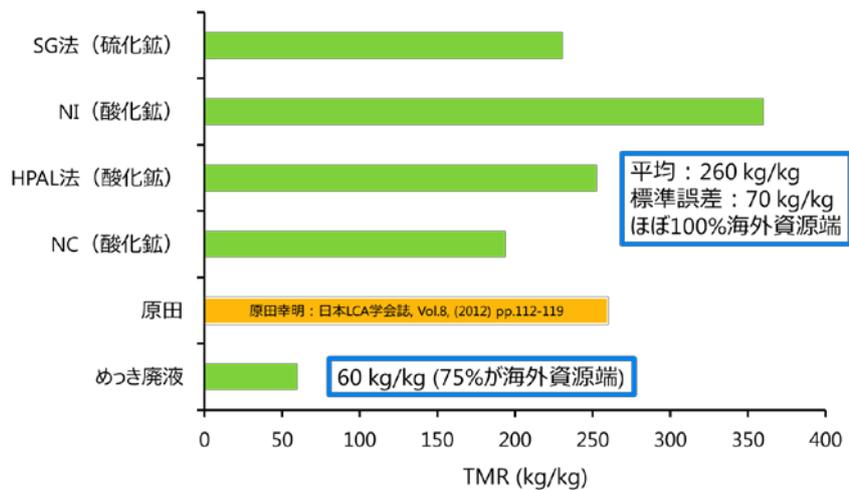


Fig.2 ニッケルのTMR

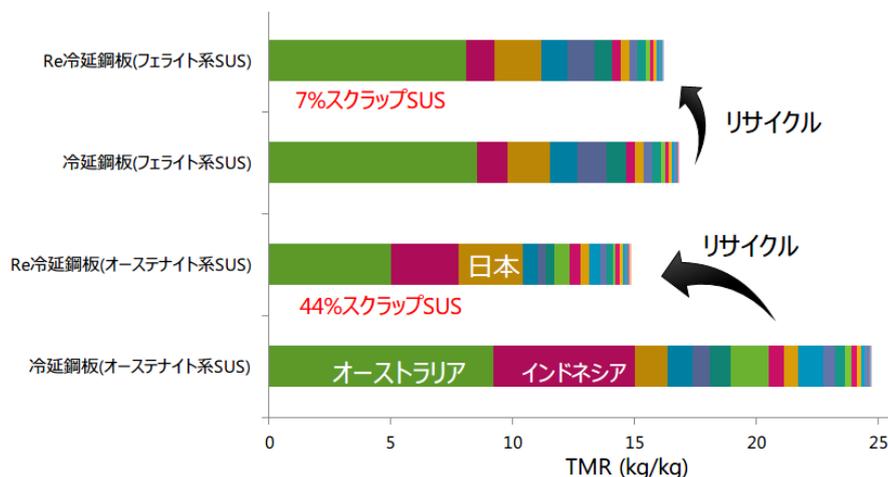


Fig.3 ステンレス鋼のTMR

これらの成果について、フィンランドではFinal Sinks2013という国際会議において、RISTEX事業リソースロジスティクス可視化グループの成果として開発した自然鉍山や都市鉍山の廃棄物処理（埋め立て・無害化処理）を可視化するための手法論についての発表も行った（山末）。具体的には、リン鉍石において無視できない自然起源放射性物質(NORMs)の影響を加味して、最適なりソースロジスティクスを選択できるようにするための指標開発およびその適用結果について報告を行った。またベトナムにおいては発展途上国におけるリンについてのサプライチェーンを調査し、資源端における問題抽出、ステークホルダーの把握に関する情報収集を行う予定であった。ベトナムにおいても同じく国際会議（エコマテリアル国際会議）にて、ニッケルを使用した高機能材料（ステンレスや耐熱合金）について、それらの外国資源端依存性を評価し、ニッケルサプライチェーンにおけるウィークポイントの抽出結果などについて報告を行った（山末）。

ニッケルグループでは、ニッケルのリソースロジスティクス可視化とそれに基づくステークホルダー抽出に寄与する情報収集を行った。さらに事例研究:生物多様性Grとともに、

インドネシアやオーストラリア等のニッケル産出国での鉱山および製錬等の関連施設や周辺環境の現地調査および文献調査により、サプライチェーンを通じた資源利用に伴う資源端における問題の実態把握と可視化の為に資料収集(例えば、Table 1)を行い、この成果については2014年3月の日本LCA学会で発表を行っている(山末、村上、中島ら)。同じく日本LCA学会にてニッケルを使用した高機能材料(ステンレスや耐熱合金)について、それらの外国資源端依存性を評価し、ニッケルサプライチェーンにおけるウィークポイントの抽出結果などについて報告を行った(松八重、中島、村上ら)。また、ニッケルのリソースロジスティクスを可視化した際に未利用、かつ回収再資源化技術が産業化していない箇所としてニッケルメッキ産業からの廃液が浮かび上がった。利用側、処理側の両関係ステークホルダー、ならびにニッケル協会とそれぞれヒアリング、意見交換会を通じて、現状のニッケルフロー解析ならびに回収技術に関するサーベイを行った。なお、これらの成果については、平成26年度に予定されているSAM8などの国際会議での発表や誌上発表を通じて、社会への情報発信を進めていく予定である。

Table 1: Studies focused on environmental impacts in nickel production

Process	Reference	Input		Emission			Others	Note 1	Note 2	
		Energy	etc.	Air	Water	Soil				
Mining										
Smelting										
Refining										
Pollution and matter in local specific area										
	+	Nicolaidou 1989						+	Ferro-nickel smelting in Greece	Heavy metals (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn) concentrations in sediment and biota
	+	Norseth 1994			+				Smelting in Kola Peninsula, Russia	Heavy metal aerosol (Cr, Co, Ni, Cu, As)
	+	Kozlov 1995						+	Ni-Cu smelting in Monchegorsk, Russia	Heavy metals (Cu, Fe, Mn, Ni, Zn) concentrations in leaves
	+	Gonzalez 1995						+	Levisa Bay, Cuba	Heavy metals (Pb, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn) and organic matter concentrations in sediments
	+	Crawford 1995			+	+	+		Mining industry in Sudbury Basin, Canada	SO ₂ , water effluent, mine rock/tailings/slag
	+	Moiseenko 2001				+		+	Mining and metallurgical enterprises in the Kola Region, Russia	Trace metals in surface waters (Ni, Cu, Al, Sr, Zn, Fe, Co, Cd, Cr, Pb, As, Hg). Accumulation in fish
	+	Herrera 2007						+	New Caledonia	Species richness, Phylogenetic diversity
	+	Yakovlev 2008					+		Mining and metallurgical enterprises in Norilsk, Russia	Heavy metals (Co, Cu, Fe, Mn, Ni) concentrations in soil
	+	Mudd 2010						+	Mining in Australia	Ore grade, Open cut mining rate
	+	Raous 2013						+	Lateritic mining in Brazil	Toxic metals in mineral
	+	Li 2014						+	Mines in China	Heavy metals (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg) concentrations in soil
	+	Durán 2013		+					Worldwide	Spatial coincidence between protected areas and metal mining activities (bauxite, copper, iron and zinc)
LCAs (include footprint, TMR)										
	+	Seppala 2002	+		+	+			Nickel cathode and briquette	Air: CO ₂ , NO _x , SO ₂ , HC, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V, Zn, Water: N, P, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, Cyanides
	+	Norgate 2007	+		+		+		Flash furnace smelting and Sherritt-Gordon refining, Presshure acid leaching and SX-EW	Energy, Global Warming Potential (CO ₂ e), Acidification Potential (SO ₂ e), Solid waste
	+	Mudd 2010	+		+	+			Major nickel mines (15 mines)	Energy, water, CO ₂ , SO ₂
	+	Eckelman 2010	+		+				Nickel ore, ferronickel, nickel oxide, nickel pig iron, nickel matte, refined nickel	Energy, Greenhouse gas
	+	Norgate 2010	+		+				Smelting, concentration and smelting, leaching	Energy, Global Warming Potential (CO ₂ e)
	+	Norgate 2011	+		+				High pressure acid leach, atmospheric acid leach, enhanced pressure acid leach, heap leach, ferronickel smelting, caron process	Energy, Global Warming Potential (CO ₂ e)
	+	Haque 2013	+		+				Ferro-nickel production in Australia	Energy, CO ₂
		Nguyen 2007		+					Metal nickel	Energy, Ecological footprint
		Seppala 2011		+					Economy-wide MFA in Finland	Direct material input, Hidden flow, Total material requirement

以下に、(1)ニッケルの国際サプライチェーン分析、(2)ニッケルめっき廃液等のニッケル含有二次資源の廃棄物処理・リサイクルの実態調査、(3)ステークホルダーへの情報還元を通じて得られた成果の概略を示す。

ニッケルのサプライチェーン分析に関して、貿易を通じたニッケルの移動量に関する国際マテリアルフローデータの整備・精緻化および産業連関分析の手法を適用する事で、日本を中心とした国際マテリアルフローおよび日本の最終需要が誘発する国際マテリアルフローの同定を行った。なお、貿易を通じた資源移動量の推計方法の詳細については、既報(中島ら 2014)を参照されたい。Fig.4 に推計により得られたニッケルの国際サプライチェーンの概観を示した。これらの結果より、ニッケルの利用に関して、日本は、ヨーロッパ(フランスなど)および北米(アメリカなど)と共に、世界有数の利用国であり、これらの国々は、

フェロニッケル、金属ニッケル、ステンレス等の鉄鋼材料の生産・輸出を通じて、ニッケルの国際サプライチェーンの中継拠点となっている事が明らかとなった。この事は、ニッケルの資源利用および環境影響の排出を管理して、持続可能な資源管理を達成する上で、これらの国々が大きな役割を担う事を示唆していると考えられる。なお、現在、Global Link Input-Output Model (GLIO)を適用する事で、日本の最終需要が誘発する国際マテリアルフローの同定・解析の一次推計を終了しており、精緻化に入っている。これにより、日本は、直接的な鉱石等の資源輸入に伴うインドネシア・ニューカレドニアにおける資源採掘の他、間接的な素材・製品等の輸入とそれにより誘発されるカナダ等における資源採掘の状況が定量的に明らかになりつつある。これらの成果については、精緻化・検証を終えた後、平成26年度中に誌上・口頭発表を実施予定である。

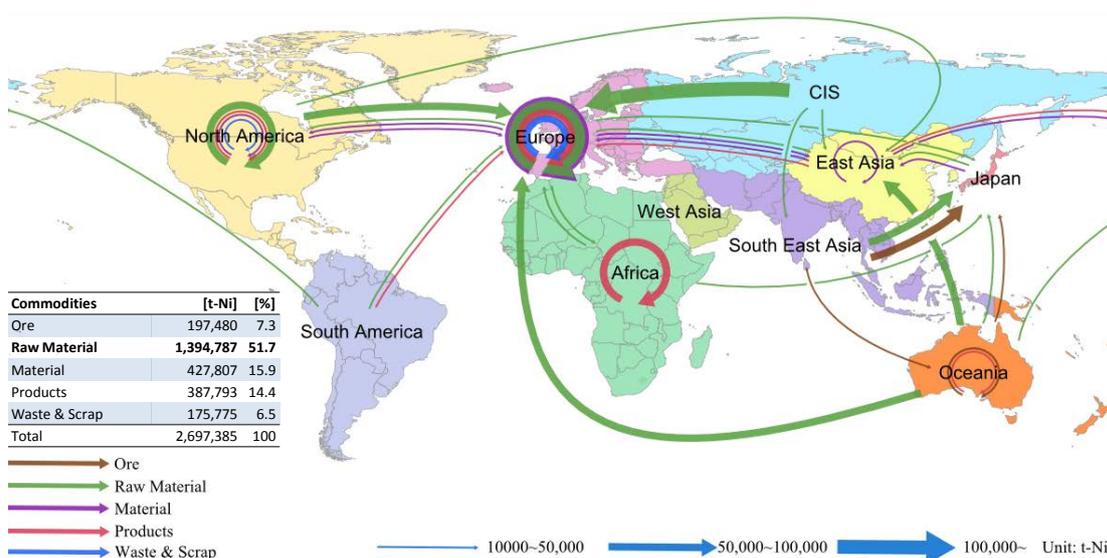


Fig.4 Global material flow of nickel in 2005

また、リソースロジスティクスの可視化を通じて、未利用、かつ回収再資源化技術が産業化していない箇所として浮かび上がったニッケルめっき廃液等の処理・リサイクル状況およびリサイクル技術の開発状況について、Fig.5に示した。ニッケルめっきの廃液・スラッジ等に関しては、工程から発生するめっき廃液や水洗液由来のスラッジ等を対象として各種のリサイクル技術の開発が実施(図中1)~6)など)されているものの、それらの適用による回収状況は未だ微々たるものであり、その多くは産業廃棄物としての処理に留まる。なお、高品位のものについて極少量ではあるが、海外の製錬事業者向けの輸出など、製造業者から発生するめっき廃液等の取引も存在している事も明らかとなった。これらの事から、1) Niめっき廃液・スラッジの排出量は少なく、リサイクル市場も未成熟。 2) 規模の経済性の効果が効きにくい。 3) 市場(再生原料の用途)の柔軟性・安定性が不十分である事などが浮かび上がった。そこで、ニッケルめっきに係わる製造業者および廃棄物処理事業者等との意見交換会(ニッケルめっき廃液・スラッジの処理・リサイクルに関する意見交換会、2014年 3月7日(金) 13:30-16:00, 東北大学 東京分室)を実施した。意見交換会には、プロジェクトメンバーらを含めて、17団体約40名程度の参加者が集まり、ニッケルめっき廃液・スラッジ等の廃棄物処理・リサイクルの現状把握、リサイクル技術の開発状況に加

ニッケルめっき廃液・スラッジの処理・リサイクルに関する意見交換会
 2014年3月7日(金) 13:30-16:00, 東北大学 東京分室(東京都千代田区丸の内1-7-12 サピアタワー10階)

【参加者：17団体(順不同)】 日本カニゼン株式会社、福島県ハイテックプラザ、(独)日本原子力研究開発機構、(公財) 福岡県リサイクル総合研究事業化センター、株式会社ミダック、日本電工株式会社、アスカコーポレーション株式会社、株式会社アクアテック、大谷化学工業株式会社、大同特殊鋼株式会社、住友金属鉱山株式会社、ニッケル協会東京事務所、経済産業省、日鉄住金総研株式会社、東京大学、東北大学、(独)国立環境研究所

- 議題1. ニッケルめっき廃液・スラッジ等のリサイクル技術の特質と適用範囲
 議題2. 廃液等の分別化の経済性
 議題3. ニッケルめっき廃液・スラッジ等の循環利用促進のための仕組み作り
- ・各行動主体(めっき業、中間処理業、製錬業)の役割分担と今後の方向
 - ・めっき廃液・スラッジ集約のネットワーク作りの可能性
 - ・政策的介入(科学技術、産業、環境)の必要性、等
- 欠落したインセンティブと市場の柔軟性・安定性
 1) Niめっき廃液・スラッジの排出量は少なく、リサイクル市場も未成熟。 2) 規模の経済性の効果が効きにくい。 3) 市場(再生原料の用途)の柔軟性・安定性が不十分。

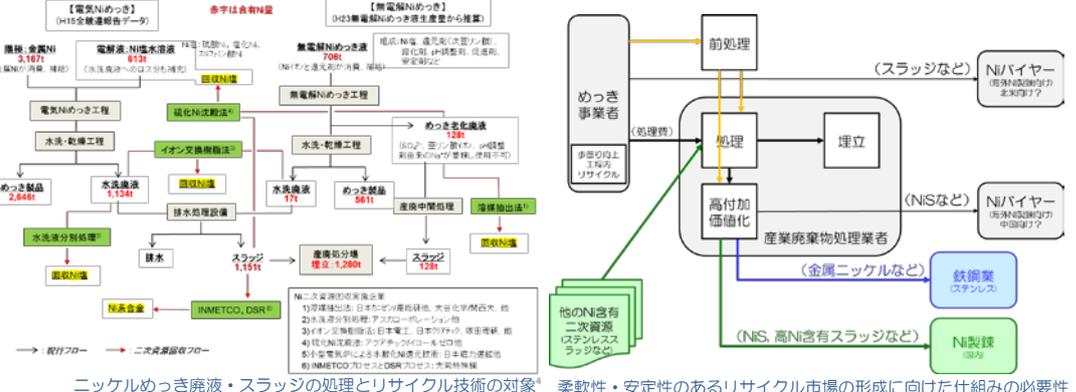


Fig.6 ニッケルめっき廃液・スラッジの処理・リサイクルに関する意見交換会概要

事例研究：リングループにおいては国内フローを精緻化するとともに、国際貿易に伴伴するリンフローについても明らかにし、我が国の最終需要が国内外で直接・間接的に必要とするリン資源量の推計を行った。またこれまでのリンのマテリアルフロー分析では十分な知見が得られていなかった土壤中の利用可能なリン量について、1. 経年的に土壤中の作物に利用可能なリンがどう推移してきたかを明らかにし、2. 結果を受けて日本の施肥上の問題点を明らかにすることを第一歩として行い以下の結果を得た。

1. 1979-2003年の間の5年毎・5回の調査では、作物として農地から持ち去られるリンに比して与えられたリンは非常に多く、それが蓄積に回っている可能性が示唆された一方で、農地土壌の耕され、根を多く張る層の中にある作物に利用可能なリン量はそれほど増加していないことが明らかになった(Fig. 7: Soil Sci. Plant Nurt.掲載)。
2. 同調査の結果のうち、農地土壌の耕される層の下の層に含まれる作物に利用可能なリンの量を見ると、下の層中のリンがしばしば増加傾向にあることが明らかになった(Fig. 8. ESAFS 11にて発表)。リンは本来土壤中で動きにくいという性質があり、下方に浸透するのはその上の層でリンが多く蓄積しているためであるとする研究があり、日本でのリン肥料の利用は、あまりに多く与えすぎていることが明らかとなった。

これらを受けて、作物の省リン栽培技術・施肥栽培指針と土壤中の作物に利用可能なリン量について整理を進め、削減ポテンシャルを求めることを次の研究目標とすると共に、農業に限らず、他業種でのリン資源のリファイナリと地域での利用の機運と自給可能性に関して研究を進める。

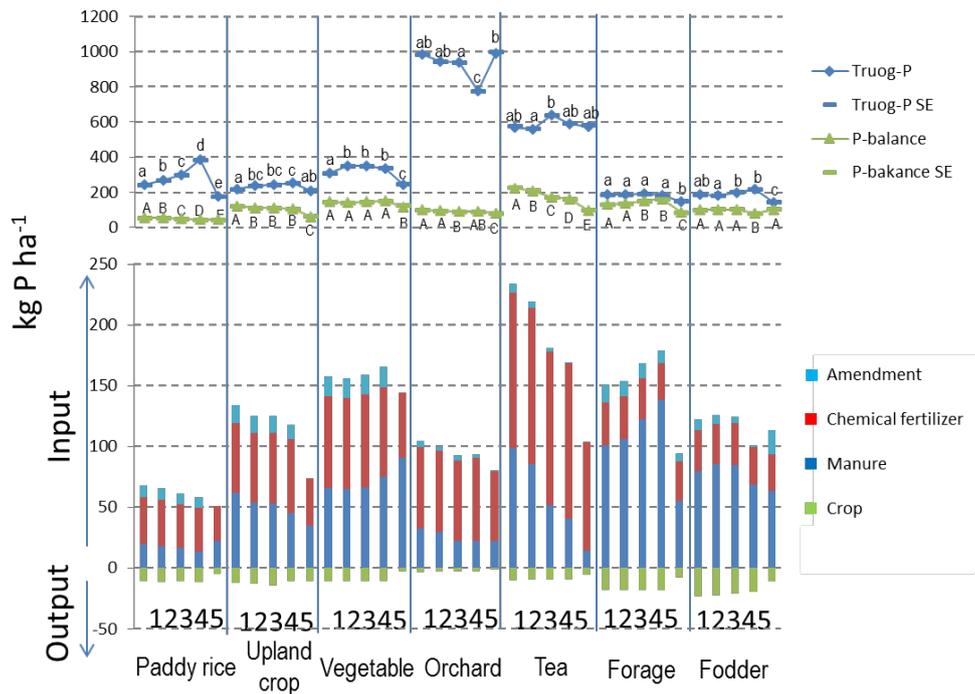


Fig.7 1979-2003年の各農作物生産農地に投入・利用されたリン量

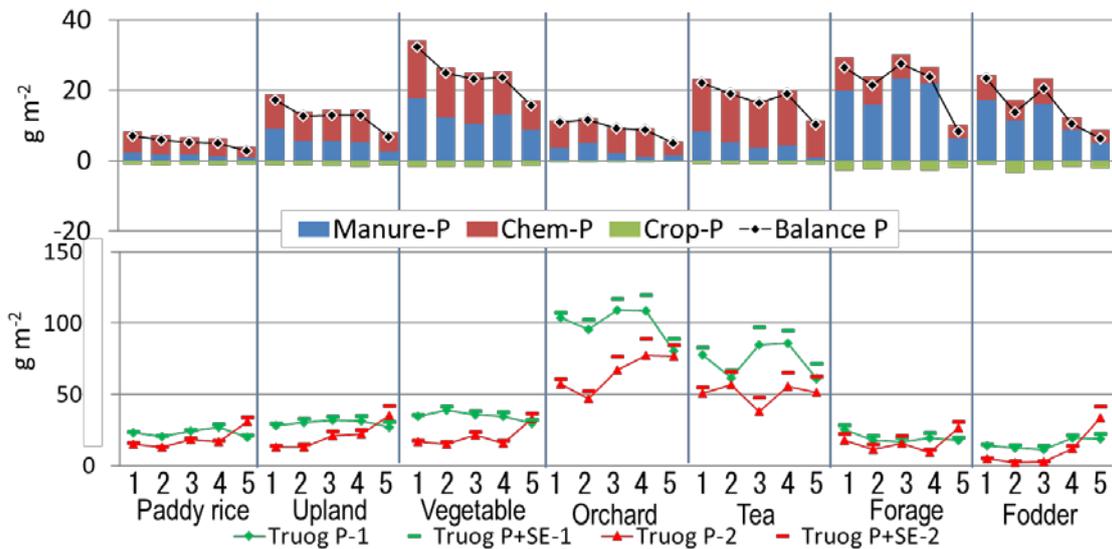


Fig.8 農地土壌の耕される層の下の層に含まれる作物に利用可能なリンの量

さらにこれらのマテリアルフロー情報をもとに事例研究：生物多様性グループではニッケル資源、リン資源の利用がもたらすサプライチェーンを通じたリスクのうち、生物多様性損失に関わる影響を可視化する手法の開発と、その応用事例研究を進めた。生物多様性と資源利用に関わる調査として、ニッケル鉱山開発と生態系影響について日本のニッケル輸入の多くを担うニューカレドニアにおける実地調査を行った（2013年5月 松八重・中島・山末・菊池）。この現地調査ならびに人工衛星画像解析と地理情報との接続を踏まえ、資源採掘に伴う土地改変、生物多様性リスクの関連についての解析方法の確立を目指した研

究を進め、日本LCA学会にてその成果の発表を行った（中島・村上ら）

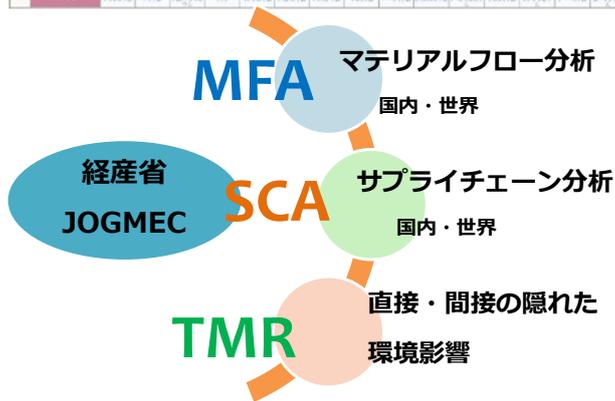
またガバナンスグループにおいては、リン資源リサイクル推進協議会ならびにリン資源戦略協議会と連携のうえ、協議会での議論の経緯をステークホルダー別に整理を行いつつ、事例研究；リン資源グループにおける知見とあわせて、リンのリソースロジスティクスに関わるステークホルダーの抽出ならびにイノベーション浮揚・牽引・実装に関わるステークホルダーガバナンスを解析した（鎗目・城山・三島・松八重・稲葉）。特にリンの拡散フローとして無視できない下水道からのリン回収技術の産業化におけるボトルネックをまとめた（鎗目、城山ら、社会技術研究論文集、2014、印刷中）

ここではリン・リサイクルに関わるステークホルダー分析を行い、その普及に関わる要因を明らかにするとともに、解決に向けた施策を抽出し、それらのフィージビリティを評価した。本研究から得られた新たな知見として、他の分野におけるリサイクルとの比較から、次のような点を指摘することができた。工業用のマテリアルのリサイクルと比べて、リンのリサイクルにおいては、そのプロセスに関わるステークホルダーの種類の幅が非常に広い。そのため、その流通における各アクター間での連携を如何に構築していくことができるかが極めて重要である。特に、従来は必ずしも直接的な接点がなかった各自治体によるリンの回収と、肥料メーカーによる肥料の生産との十分な連携が鍵となる。また、リンは食品に使われる物質として、そのイメージが非常に重要であり、また地方においては地産池消のイメージも製品の魅力を増すうえで大事な役割を果たすと考えられた。現在のところ、リン資源リサイクル推進協議会が設立されているものの、まだ社会全体を動かすまでには至っていない状況である。リンのリソースロジスティクスを健全なものにするための施策を推進するためには、自治体と肥料業界の連携を促し、十分なステークホルダーの包括性と参加を確保するような場を設定することが、国内全体のプロセスとして非常に重要であると考えられた。またこれらの成果を社会へ発信することを目的として、第1回持続的リン利用シンポジウムを共同主催し、シンポジウムでの講演、司会を行った（城山、鎗目、松八重、三島）。

これらの各Grにおける知見を踏まえ、革新技术の実装、産業化の際に直接・間接の資源利用が引き起こすサプライチェーンリスクの同定、可視化に向けたリソースロジスティクス情報提供のためのプラットフォーム構築を目指し、データベースの構造設計を行い、また科学技術イノベーション政策立案支援の場で明らかにすべきリスクの類型化を行った。資源利用に関わるサプライチェーンデータの構築ならびに利用可能性について、PJ内で議論を行い、それを踏まえて関係部局・省庁との連携可能性について意見交換を進めた。

Resource Logistics
リソースロジスティクス情報の提供 Resource Logistics

- ✓ 科学技術イノベーションによって需要が見込まれる資源の流れの定量評価
- ✓ 資源利用に関わるサプライチェーンリスクの明確化
- ✓ 関連するリスクとして何が
あるのか？どこで、どのような
リスクが起こりうるのか
- ✓ ステークホルダー、アクター
は誰なのか？



イノベーションのシーズに対して
 → 技術を支える資源と関連するサ
プライチェーンリスク指標

よりリスクに強いリソースロジ
スティクスとはどのようなものか
 → 支える技術として何が求められて
いるか？
 →イノベーションのニーズ

Fig. 9 リソースロジスティクス情報提供の概念図

Resource Logistics
**リソースロジスティクス情報の
提供プラットフォーム構築に向けて** Resource Logistics

資源利用に関わるサプライチェーンリスクの明確化

- ✓ 採掘 (鉱床タイプ × 国)
- ✓ 精錬・精製 (技術 精錬方法 × 国)
- ✓ 加工 (技術)
- ✓ 組立 (製品)
- ✓ 消費
- ✓ 回収・再資源化 (精錬方法 × 国)

リスクの分類

1. Economy インフラの有無 市場 原料 エネルギー 人的資本 等
2. Environmental 水・生態系、
3. Societal 人権 教育 ストライキ 等
4. Geopolitical 輸送経路 (越境輸送)
5. Technological 知的財産流出 技術バスケッ

Fig.10 リソースロジスティクス情報提供プラットフォーム構築に向けたリスクの分類

3 - 4. 会議等の活動

・実施体制内での主なミーティング等の開催状況

年月日	名称	場所	概要
2013年 4月11日	全体会合	東京大学	各Gr進捗報告、リソースロジスティクス可視化情報をどう活かすか、意見交換
2013年 4月15日	ニッケル、生物多様性Gr意見交換	横浜市繁殖センター	ニューカレドニアにおけるニッケル資源採掘と生物多様性との関連について、意見交換
2013年 4月19日	ガバナンスGr意見交換	東京大学	リソースロジスティクス可視化とステークホルダー抽出に関わる意見交換
2013年 5月1日	可視化、リンGrミーティング	北海道大学	農業用栄養塩類の利用とサプライチェーンを通じたリスクに関する意見交換
2013年 5月8日～15日	可視化、ニッケル、生物多様性Grミーティング	ニューカレドニア、バルカン鉱山、IRD	ニッケル資源採掘と生物多様性との関連について、現地調査ならびに現地研究者との意見交換
2013年 5月27日	可視化、ニッケルGrミーティング	国立環境研究所	ニッケルの国際サプライチェーン解析について意見交換
2013年 6月5日	可視化、生物多様性Grミーティング	龍谷大学	リソースロジスティクス可視化と生物多様性損失リスクとの関連について意見交換
2013年 6月20日～21日	リン、ガバナンスGr意見交換	北京	Global TraPs World Conferenceの参加者ととともにリンのリソースロジスティクスならびにステークホルダー抽出について意見交換
2013年 7月8日	生物多様性Grミーティング	龍谷大学	ニッケル資源利用と生物多様性への影響について意見交換
2013年 7月24日	ニッケルGrミーティング	国立環境研究所	ニッケルの国際サプライチェーン可視化に関する意見交換
2013年 8月1日	ニッケルGrヒアリング	ミダック、岐阜県	無電解ニッケルメッキ廃液の処理技術についてミダック（岐阜県関市）にヒアリング
2013年 8月5日	ニッケル、生物多様性Grミーティング	国立環境研究所	ニッケルの国際サプライチェーン可視化に関する意見交換
2013年 8月20日	リンGrヒアリング	山形県長井市	長井レインボープランヒアリング

2013年 8月21日	総括、ガバナンス Grミーティング	東京大学	リソースロジスティクス可視化データベースについてJOGMECとの意見交換
2013年 9月7日	ニッケル、生物多 様性Gr意見交換	立教大学	立教大学主催のカグーシンポジウムの参加者とニッケル資源利用と生物多様性影響について意見交換
2013年 9月9日	全体会合	東京大学	進捗報告、サプライチェーンリスクの類型化について意見交換
2013年 9月19日	可視化、ニッケル Grミーティング	金沢大学	リソースロジスティクス可視化ツールとしてのTMRを用いたニッケル資源利用と生物多様性影響の関連性について意見交換
2013年 10月3日	リンGrミーティ ング	日本肥料アン モニア協会	リン資源有効利用技術イノベーションと関与するステークホルダーについて意見交換
2013年 10月15日	ニッケルGrヒア リング	TKP東京駅前 カンファレン スセンター	AIST田中幹也氏を招いて、ニッケルめっき廃液の資源化技術について意見交換
2013年 10月17日	可視化、リンGr ミーティング	北海道大学	農業用栄養塩類のフットプリント研究に詳しい北海道大学柴田英昭氏を交えてリンのリソースロジスティクス可視化について意見交換
2013年 11月26日	可視化、ニッケ ル、生物多様性 Grミーティング	TKP東京駅カ ンファレンス センター	リソースロジスティクス可視化ツールとしてのTMRを用いたニッケル資源利用と生物多様性影響の関連性について意見交換
2013年 11月29日	総括Gr意見交換	経産省	経産省製鉄企画室を訪問、リソースロジスティクス可視化とサプライチェーンリスクデータベースについて意見交換
2013年 12月3日	総括Gr意見交換	東京大学	リソースロジスティクス可視化データベースについてJOGMECとの意見交換
2013年 12月10日	全体会合	東京大学	進捗報告、サプライチェーンリスクの類型化、サイトビジット
2013年 12月13日	可視化、ガバナン スGr	日本鉄鋼協会	鉄鋼技術革新とリソースロジスティクスについて意見交換
2013年 12月18日	可視化Grミーテ ィング	東京	鉄鋼技術革新とリソースロジスティクスについて意見交換

2013年 12月19日	ニッケルGr	日本カニゼン 株式会社	ニッケルめっき廃液処理技術とニッケルリソースロジスティクスについて意見交換
2014年 1月4日-11日	リンGr意見交換	アリゾナ州立 大学	リンのリソースロジスティクスについてArizona State University, Prof.J. Elser他と意見交換
2014年 1月16日	リンGr意見交換	日本鉄鋼協会	日本鉄鋼協会リンリサイクル研究会の参加者とリンのリソースロジスティクスならびにスラグからのリン回収技術について意見交換
2014年 1月22日	可視化Grミーテ ィング	東北大学	鉄鋼技術革新とリソースロジスティクスについて意見交換
2014年 1月24日	リンGr意見交換	日本肥料アン モニア協会	リン資源有効利用技術イノベーションと関与するステークホルダーについて意見交換
2014年 1月27日	ニッケルGr意見 交換	DESK@ 東京 日本ビル店	未利用ニッケル資源フローと回収資源化技術、ステークホルダー、ボトルネックについて意見交換
2014年 2月4日	リンGr意見交換	岩手県工業技 術センター	岩手県リン資源地産地消研究会に参加、講演するとともに、リンのリソースロジスティクス、ステークホルダー、技術実装に関わるボトルネックについて意見交換
2014年 2月28日	ニッケルGr意見 交換	DESK@ 東京 日本ビル店	未利用ニッケル資源フローと回収資源化技術、ステークホルダー、ボトルネックについて意見交換
2014年 2月4日	リンGr意見交換	日本肥料アン モニア協会	リンのリソースロジスティクス、ステークホルダー、技術実装に関わるボトルネックについて、Global TraPsリーダーのProf. R. Scholtz他と意見交換
2014年 3月7日	ニッケルGr意見 交換	東北大学東京 分室	未利用ニッケル資源フローと回収資源化技術、ステークホルダー、ボトルネックについて意見交換
2014年 3月12-17日	ニッケルGr意見 交換	Univ. of Queensland, Monash Univ.	Univ. of QueenslandならびにMonash Univ.においてMining Responsibilityとリソースロジスティクスについて意見交換
2014年 3月28日	総括Gr意見交換	東京大学	リソースロジスティクス可視化データベースについてJOGMECとの意見交換

4. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況

本年度は、昨年度に引き続きリソースロジスティクス可視化手法の確立、提案を目指し、各事例研究グループと連携を図りつつ、モデルの開発、データベース構築を進めた。

リン資源リサイクル推進協議会ならびにリン資源戦略協議会と連携のうへ、協議会での議論の経緯をステークホルダー別に整理を行いつつ、事例研究：リングループにおける知見とあわせて、リンのリソースロジスティクスに関わるステークホルダーの抽出ならびにイノベーション浮揚・牽引・実装に関わるステークホルダーガバナンスの解析を進めた。

今後、資源利用に直接間接に関与するステークホルダーの抽出と、イノベーション技術の実装に伴う様々なリスクの発生、取り除きがどのように行われるのか、歴史的なイノベーション技術実装を事例にとりつつ検討を進める。

事例研究としてはリン資源リサイクル推進協議会ならびにリン資源戦略協議会と連携のうへ、協議会での議論の経緯をステークホルダー別に整理を行いつつ、リソースロジスティクスの可視化を通じて、資源の探索、採掘、精製、製造、使用、リサイクルまでにかかわるステークホルダーに、どのようなインセンティブが働いているのかを分析し、現段階で顕在化していないリスクについても、検討可能にするための方法論開発に向け、様々なリスクの類型化のための議論を進める。

またサプライチェーンを通じた資源利用に関わるリスクの類型化、定量評価をデータベース化するために、JOGMECとの意見交換を行い、その可視化データベースの構築に向けたIT技術者との打ち合わせもすすめている。2014年度はデータベースの構築と共有に向けたプロトタイプ作成を目指す。

研究成果の外部発信として、2014年度は秋に鉄鋼イノベーション技術とリソースロジスティクス シンポジウムを日本鉄鋼協会 歴史を変える転換技術研究会との共同開催を予定しており、現在準備中。また2014年10月につくば国際会議場にてInternational Conference on EcoBalanceにて特別セッションおよび企画セッションを準備しており、リンならびにニッケルのリソースロジスティクス可視化に関わる研究成果をプレゼン予定である。また同年10月に Resource Logistics and Mining Responsibilityに関する国際ワークショップを開催する予定である。

5. 研究開発実施体制

(1) 統括グループ (General Management Group: GM Gr)

- ① グループリーダー：東北大学 松八重 一代
- ② 実施項目：研究総括（全体方針の設定、研究スケジュールの管理・最終アウトプットのイメージ策定）・リソースロジスティクスに基づく科学技術イノベーションを戦略的に推進支援するためのマニュアル作成

(2) リソースロジスティクス可視化グループ (Resource Logistics Visualization Group: RLV Gr)

- ① グループリーダー：京都大学 山末 英嗣
- ② 実施項目：リソースロジスティクス可視化手法の開発

(3)事例研究：ニッケルグループ (Case study: Nickel, CS-Ni Gr)

- ① グループリーダー：国立環境研究所 中島 謙一
- ② 実施項目：金属材料の国内・国際サプライチェーン分析、技術情報の類型化・解析

(4) 事例研究：リン資源グループ (Case Study: Phosphorus, CS-P Gr)

- ① グループリーダー：農業環境技術研究所 三島 慎一郎
- ② 実施項目：農業生産における肥料利用側から見たイノベーションの類型化・整理

(5) 事例研究：生物多様性グループ(Case study: Biodiversity Group, CS-BD Gr)

- ① グループリーダー：龍谷大学 菊池 隆之助
- ② 実施項目：生物多様性に係わるステークホルダー抽出、関連イノベーション導入・実装の影響分析

(6) マルチステークホルダー・ガバナンスグループ(Multi-stakeholder Governance Group, MSG Gr)

- ① グループリーダー：東京大学 鎗目 雅
- ② 実施項目：リソースロジスティクスに基づく科学技術イノベーションに関する企業戦略、公共政策、制度設計

6. 研究開発実施者

研究総括グループ：東北大学・東京大学

氏名	フリガナ	所属	役職 (身分)	担当する 研究開発実施項目
松八重 一代	マツバエ カズヨ	東北大学 大学院 工学研究科	准教授	研究総括・リソースロジスティクスに基づく科学技術イノベーションを戦略的に推進支援するためのマニュアル作成
平木 岳人	ヒラキ タケヒト	東北大学 大学院 工学研究科	助教	研究総括補佐・リソースロジスティクスに基づく科学技術イノベーションを戦略的に推進支援するためのマニュアル作成
伊藤 彩未	イトウ アヤミ	東北大学 大学院 工学研究科	研究補佐員	研究総括補佐。リソースロジスティクス可視化データの整理、ワークショップ、シンポジウム運営支援

鎗目 雅	ヤリメ マサル	東京大学 公共政 策大学院	特任准教授	研究総括補佐・リソース ロジスティクスに基づ く科学技術イノベーシ ョンを戦略的に推進支 援するためのマニユア ル作成支援
城山 英明	シロヤマ ヒデアキ	東京大学 法学政 治学研究科	教授	研究総括補佐・リソース ロジスティクスに基づ く科学技術イノベーシ ョンを戦略的に推進支 援するためのマニユア ル作成支援

リソースロジスティクス可視化グループ：京都大学・国立環境研究所

氏名	フリガナ	所属	役職 (身分)	担当する 研究開発実施項目
山末 英嗣	ヤマスエ エイジ	京都大学 エネル ギー科学研究科	助教	TMRを用いたリソース ロジスティクス可視化 手法の開発・金属資源
中島 謙一	ナカジマ ケンイチ	独立行政法人国立 環境研究所	主任研究員	TMRを用いたリソース ロジスティクス可視化 手法の開発・金属資源
南齋 規介	ナンサイ ケイスケ	独立行政法人国立 環境研究所	主任研究員	産業連関表を基盤とし たリソースロジスティ クス可視化手法の開 発・金属資源

事例研究 ニッケルグループ：国立環境研究所・東京大学・京都大学・東北大学

氏名	フリガナ	所属	役職 (身分)	担当する 研究開発実施項目
中島 謙一	ナカジマ ケンイチ	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 国際資 源循環研究室	主任研究員	金属材料の国内・国際サ プライチェーン分析、技 術情報の類型化・解析、 イノベーション導入・実 装の影響評価・リソース ロジスティクス可視化
村上 進亮	ムラカミ シンスケ	東京大学 工学研 究科	准教授	ニッケルに係わるイノ ベーション導入、実装の 供給側ステークホルダ ーから見た影響分析

山末 英嗣	ヤマスエ エイジ	京都大学 大学院 エネルギー科学研究科	助教	ニッケルを含む鉄鋼材 料に係わるイノベーシ ョン技術情報の類型化
醍醐 市朗	ダイゴ イチロウ	東京大学 大学院 工学研究科	准教授	ニッケルを含む鉄鋼材 料に係わるイノベーシ ョン技術情報の類型化
平木 岳人	ヒラキ タケヒト	東北大学 大学院 工学研究科	助教	ニッケルならびに軽金 属に係わるイノベーシ ョン技術情報の類型化

事例研究：リン資源グループ：農業環境技術研究所・国立環境研究所・東北大学

氏名	フリガナ	所属	役職 (身分)	担当する 研究開発実施項目
三島 慎一郎	ミシマ シンイチロウ	独立行政法人農業 環境技術研究所	主任研究員	農業生産におけるリン 資源利用側から見たイ ノベーションの類型 化・整理
稲葉 陸太	イナバ ロクタ	独立行政法人国立 環境研究所	主任研究員	リン肥料代替資源とし てのバイオマス利用に 係わるステークホルダ ー抽出
松八重 一代	マツバエ カズヨ	東北大学 大学院 工学研究科	准教授	リンのリソースロジス ティクス可視化と、イノ ベーション浮揚、実装に 係わる場の構築、整理

事例研究：生物多様性グループ：龍谷大学・国立環境研究所・京都大学・東北大学

氏名	フリガナ	所属	役職 (身分)	担当する 研究開発実施項目
菊池 隆之助	キクチ リュウノスケ	龍谷大学 理工学 部 環境ソリュー ション工学科	教授	生物多様性に係わるス テークホルダー抽出、関 連イノベーション導 入・実装の影響分析
馬奈木 俊介	マナギ シュンスケ	東北大学 環境科 学研究科	准教授	海洋生物多様性に係わ るステークホルダー抽 出、関連イノベーション 導入・実装の影響分析

中島 謙一	ナカジマ ケンイチ	独立行政法人国立 環境研究所	主任研究員	ニッケルのリソースロ ジスティクス可視化と、 生物多様性への影響分 析
山末 英嗣	ヤマスエ エイジ	京都大学 エネル ギー科学研究科	助教	ニッケルのリソースロ ジスティクス可視化と、 生物多様性への影響分 析

マルチステークホルダー・ガバナンスグループ：東京大学・東北大学

氏名	フリガナ	所属	役職 (身分)	担当する 研究開発実施項目
鎗目 雅	ヤリメ マサル	東京大学 公共政 策大学院	特任准教授	リソースロジスティク スに基づく科学技術イ ノベーションに関する企 業戦略、公共政策、制度 設計
城山 英明	シロヤマ ヒデアキ	東京大学法学政治 学研究科	教授	ガバナンスに関わる制 度設計を含むシステム の設計
馬奈木 俊介	マナギ シュンスケ	東北大学	准教授	リソースロジスティク スに基づく科学技術イ ノベーション導入・実装 の影響

7. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など

7-1. ワークショップ等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2014年 3月7日	ニッケルめっき廃液・スラッジの処理・リサイクルに関する意見交換会	東北大学東京分室	27	未利用ニッケルフローの中でめっき廃液に着目し、そのスラッジ処理・リサイクルに関して国内主要ステークホルダーを交えて意見交換を行った。
2014年 3月10日	持続的リン利用シンポジウム	伊藤国際学術研究センター	350	成果を社会への発信することを目的として大阪大学大竹プロジェクト等と共同主催し、講演、司会を行った（城山、鎗目、松八重、三島）

7-2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など

以下、文末に関連するGrの成果として[V:可視化, Ni:事例研究ニッケル, P:事例研究リン, B:事例研究生物多様性, G:ガバナンス]をつける。

(1) 書籍、DVD

- ・ Kikuchi, R., Gorbacheva, T.T., Slukovskaya, M.V. and Ivanova, L.A. 2013. Tolerance of herbaceous plants to multiple contaminations in industrial barren near the nickel-copper smelter. In: *Herbaceous Plants: Cultivation Methods, Grazing and Environmental Impacts*, F. Wallner (ed.), ISBN 978-1-62618-729-0, Nova Science Publishers, Hauppauge (NY), pp 95-112. [Ni,B]
- ・ Yarime, Masaru, Cynthia Carliell-Marquet, Deborah T. Hellums, Yuliya Kalmykova, Daniel J. Lang, Quang Bao Le, Dianne Malley, Kazuyo Matsubae, Makiko Matsuo, Hisao Ohtake, Alan Omlin, Sebastian Petzet, Roland W. Scholz, Hideaki Shiroyama, Andrea E. Ulrich, and Paul Watts, "Dissipation and Recycling: What Losses, What Dissipation Impacts, and What Recycling Options?" in Roland W. Scholz, Amit H. Roy, Fridolin S. Brand, Debbie T. Hellums, and Andrea E. Ulrich, eds., *Sustainable Phosphorus Management: A Global Transdisciplinary Roadmap*, Dordrecht: Springer, 247-274 (2014). [P,G]
- ・ S. Mishima, K. Matsubae, S.D. Kimura, S. Eguchi (2013) Phosphorus conventional use, reduction potential, and possibility of self-sufficiency during food and feed production in Japan, *Food and Environment II*, WIT Press, Southampton, Boston, 170, 185-194 [P]
- ・ Yarime, Masaru, "Transforming Japanese Science and Technology to Meet Societal Challenges," in Anne Allison and Frank Baldwin, eds., *Possible Futures for Japan*, New York: New York University Press, forthcoming. [G]

(2) ウェブサイト構築

- ・ <http://www.resourcelogistics-for-stipolicy.com/>

(3) 学会（7-4.参照）以外のシンポジウム等への招聘講演実施等

- ・ 松八重一代：未利用リン資源の有効活用に向けたリン資源循環モデル開発、第7回岩手県リン資源地産地消研究会、岩手県工業技術センター、2014年2月4日 [V,P, G]
- ・ 城山英明：セッションコーディネーター、第1回持続的リン利用シンポジウム、東京大学 伊藤国際学術研究センター、2014年3月10日 [P, G]
- ・ 鎗目雅：セッションコーディネーター、第1回持続的リン利用シンポジウム、東京大学 伊藤国際学術研究センター、2014年3月10日 [P, G]
- ・ 松八重一代：世界のリン利用と資源問題、第1回持続的リン利用シンポジウム、東京大学 伊藤国際学術研究センター、2014年3月10日 [V, P]
- ・ 三島慎一郎：日本のリン利用と資源問題、第1回持続的リン利用シンポジウム、東京大学 伊藤国際学術研究センター、2014年3月10日 [P]

7 - 3. 論文発表

(1) 査読付き (7 件)

●国内誌 (0 件)

●国際誌 (7 件)

- ・ Shin-Ichiro MISHIMA, Sonoko Dorothea KIMURA, Sadao EGUCHI, YasuhitoSHIRATO (2013) Changes in soil available-nutrient stores and relationships with nutrient balance and crop productivity in Japan, SOIL SCIENCE AND PLANT NUTRITION, 59(3), 371-379[P, G]
- ・ Kharrazi, Ali, Elena Rovenskaya, Brian D. Fath, Masaru Yarime, and Steven Kraines, "Quantifying the sustainability of economic resource networks: An ecological information-based approach," Ecological Economics, 90, 177-186 (2013). [V, G]
- ・ Kenichi Nakajima, Hajime Ohno, Yasushi Kondo, Kazuyo Matsubae, Osamu, Takeda, Takahiro Miki, Shinichiro Nakamura, and Tetsuya Nagasaka, Simultaneous MFA of nickel, chromium and molybdenum used in alloy steel by means of input-output analysis, Environmental Science & Technology, 2013, Publication Date (Web): March 25, 2013 (Article) DOI: 10.1021/es3043559is, [V, Ni]
- ・ K.Nansai, K.Nakajima, S.Kagawa, Y.Kondo, S.Suh, Y.Shigetomi, and Y.Oshita, "Global Flows of Critical Metals Necessary for Low-Carbon Technologies: The Case of Neodymium, Cobalt, and Platinum" , Environmental Science & Technology, Vol.48, No.3, (2014), 48, pp 1391-1400 [V]
- ・ E. Yamasue, K.Matsubae, K. Nakajima, S. Hashimoto, and T.Nagasaka, Using Total Material Requirement to Evaluate the Potential for Recyclability of Phosphorous in Steelmaking Dephosphorization Slag, Journal of Industrial Ecology, 17,(2013) 5, 722-730 [V,P]

- ・ Kharrazi, Ali, Steven Kraines, Lan Hoang, and Masaru Yarime, "Advancing quantification methods of sustainability: A critical examination of energy, exergy, ecological footprint, and ecological information-based approaches," *Ecological Indicators*, 37, 81–89 (2014). [V,G]
- ・ H.Ohno, K.Matsubae, K. Nakajima, S.Nakamura, and T.Nagasaka, Unintentional Flow of Alloying Elements in Steel during Recycling of End-of-Life Vehicles, *Journal of Industrial Ecology*, 2014, In press, DOI: 10.1111/jiec.12095 [V, Ni]

(2) 査読なし (5 件)

- ・ 松八重一代、大野肇、中島謙一、中村慎一郎、長坂徹也、自動車リサイクルにおける鉄鋼合金のフロー解析、*ふえらむ*, 18(12), pp.65-69, (2013) [V, Ni]
- ・ 中島 謙一、金属の資源循環と産業エコロジー研究：鉄鋼材料と合金元素の循環利用への挑戦、*環境資源工学*, Vol.60, (2013), 186-191 [V, Ni]
- ・ 中島謙一、リソースロジスティクスの最適化を目指して、*エコマテリアルマガジン*, 5(2013)3, 2-5 [V, Ni]
- ・ 醍醐市郎、社会のメタボを予防せよ！、*エコマテリアルマガジン*, 11(2013)1, 2-3 [V, Ni]
- ・ 松八重一代、久保裕也、山末英嗣、長坂徹也、製鋼スラグからのリン資源回収の可能性、*ふえらむ*, 43(2014)2, 15-21 [V, P, G]

7 - 4. 口頭発表 (国際学会発表及び主要な国内学会発表)

(1) 招待講演 (国内会議 7 件、国際会議 2 件)

- ・ Eiji Yamasue, Takashi Fujimori and Keiichi N Ishihara: "Recyclability of Substance considering Landfilling Total Material Requirement (LF-TMR)" , International Conference on Final Sinks 2013, Espoo, Finland, 16-18 May 2013.
- ・ Eiji Yamasue: "Potential of Steelmaking Slag as New Phosphorus Resource" , Technical University of Denmark, 22 May 2013 (Invited speech) [V, P, Ni]
- ・ 山末英嗣 : 資源端重量の観点から見た資源リスク評価、龍谷エコロジーセミナー、「工学系と生態系の架け橋：資源利用と生物多様性」、2013年6月5日、龍谷大学、京都 [V, Ni, B]
- ・ 中島 謙一、松八重一代 : ニッケル採掘が生態系に与える影響について、カグーシンポジウム～ ニューカレドニアの鳥類の生態と保全の現状 ～、立教大学、2013年9月7日 [V, Ni, B]
- ・ 中島 謙一 : “金属の資源循環と産業エコロジー研究：鉄鋼材料と合金元素の循環利用への挑戦”，環境資源工学会第131回例会（2013/10/24，産業技術総合研究所）招待講演[V, Ni, B]
- ・ 松八重 一代、大野肇、長坂徹也、中島謙一、中村慎一郎 : 自動車リサイクルにおける鉄鋼合金のマテリアルフロー解析、2013 年金研ワークショップ 「金属材料の高度利用，省資源化，及び循環利用に資する分析・解析技術」2013年12月16日、東北大

学金属材料研究所、仙台 [V, Ni, B]

- ・ 醍醐市郎：鉄鋼材の循環利用によるトランプエレメントの混入、2013 年金研ワークショップ 「金属材料の高度利用, 省資源化, 及び循環利用に資する分析・解析技術」 2013年12月16日、東北大学金属材料研究所、仙台 [V, Ni]
- ・ 山末英嗣：「リン資源としての鉄鋼スラグ利用」, 日本鉄鋼協会第29回歴史を変える転換技術研究会「製鋼スラグの利用に伴う製鉄プロセスの技術改革の歴史と今後の革新的発展」, 2014年2月24日 (招待講演) [V, P]
- ・ 中島 謙一：“資源材料分野における環境システム評価手法の開発と応用に関する研究”, 第9回日本LCA学会研究発表会 (2014/3/6, 芝浦工業大学) 依頼講演 [V, Ni, G]
- ・

(2) 口頭発表 (国内会議 14 件、国際会議 11 件)

- ・ Mishima, S., Leon, A., Kimura, S. D., Eguchi, S., Shirato, Y., Obara, H. (2013) changes in nutrient store in surface and subsurface soil layer under different cropping system, PROCEEDINGS OF 11th International Conference The Ease and Southeast Asia Federation of Soil Science Societies, 80 [P]
- ・ Kharrazi, Ali, and Masaru Yarime, "Robustness of Economic Resource Networks: An Ecological Information Based Approach," 7th International Society for Industrial Ecology Biennial Conference: Strategy for Green Economy, University of Ulsan, Ulsan, South Korea, June 25-28 (2013). [P, G]
- ・ Matsubae, Kazuyo, Masafumi Mizoguchi, Kenichi Nakajima, Keisuke Nansai, Masaru Yarime, and Tetsuya Nagasaka, "Resource logistics analysis on phosphorus and its implication on resource governance," 7th International Society for Industrial Ecology Biennial Conference: Strategy for Green Economy, University of Ulsan, Ulsan, South Korea, June 25-28 (2013). [V, P]
- ・ K.Nakajima, K.Nansai, K.Matsubae, E.Yamasue, and Y.Kondo: "Global flow of metals and phosphorus: Supply chain analysis for sound resource logistics", 2013 ISIE conference, Ulsan, Korea, (2013/6/21-24, University of Ulsan, June 25~28, 2013), (2013/6/26) [V, Ni, P]
- ・ Hajime Ohno, Kazuyo Matsubae, Kenichi Nakajima, Shinichiro Nakamura and Tetsuya Nagasaka, Input-Output Approach for Development of Appropriate Recycling System of End of Life Vehicles Aimed at Efficient Utilization of Steel Alloying Elements, 21st International Input-Output Conference, Kitakyusyu, Japan, (7-12, July, 2013) [V, P]
- ・ Kazuyo Matsubae, Kenichi Nakajima and Keisuke Nansai, Resource Logistics Analysis on Phosphorus by Integrated Phosphorus Cycle Input Output Model, 21st International Input-Output Conference, Kitakyusyu, Japan, (7-12, July, 2013) [V, P, G]
- ・ Keisuke Nansai, Kenichi Nakajima, Shigemi Kagawa, Yasushi Kondo and Sangwon Suh, Characterization of Global Flows of Rare Metals and Their Relation to Japan's Economy, 21st International Input-Output Conference, Kitakyusyu, Japan, (7-12, July, 2013) [V]

- ・ 三島慎一郎 (2013) 農地の肥培管理と土壌肥沃度の経年変化, 横浜国立大学大学院環境情報研究院 地球研研究会 【成果ID:1010962】 [P]
- ・ Eiji Yamasue, Shinsuke Murakami, Ichiro Daigo, Kenichi Nakajima, Kazuyo Matsubae and Keiichi N Ishihara: "Evaluation of environmental conscious materials in terms of TMR", Ecomaterials Conference & Exhibition 2013 (ICEM11), Hanoi University of Science and Technology, Vietnam, 11-14 Sep. 2013 [V]
- ・ 山末英嗣, 中島謙一, 醍醐市朗, 松八重一代, 石原慶一: 「自動車から得られる鉄スクラップの関与物質総量」, 日本鉄鋼協会秋季大会, 金沢大学, 2013年9月17-19日 [V, Ni]
- ・ Shimizu, Tomomi, and Masaru Yarime, "Responsible Supply Chains as Risk Management or Strategic CSR: The Case of Conflict Minerals Management in Japanese Companies," International Conference on CSR and Corporate Governance, jointly organized by the Japan Forum of Business and Society (JFBS), Humboldt University International CSR Conference (HU CSR), and Japanese German Center Berlin (JDZB), Waseda University, Tokyo, September 19-20 (2013).[G]
- ・ 松八重一代, 中島謙一, 南齋規介, 長坂徹也: 農作物消費に伴うリン資源の国際フロー解析とバーチャルリン消費、環境経済・政策学会2013年大会、2013年9月21日～22日、神戸大学 [V, P]
- ・ 菊池隆之助 & 木村秀平、2014. ニューカレドニアにおけるニッケル鉱山周辺の生態系リスク調査。第25回龍谷大学新春技術講演会、大津、1月15日。[Ni, B]
- ・ 菊池隆之助, 樋上優也, 木村秀平 & 長谷琢磨. 2014. 技術イノベーションにおける環境リスク。第25回龍谷大学新春技術講演会、大津、1月15日 [Ni, B]
- ・ 山末英嗣, 中島謙一, 松八重一代, 村上進亮, 石原慶一: 「日本におけるニッケルおよびステンレス鋼生産の資源端重量」, 日本LCA学会春季大会, 東京, 芝浦工業大学豊洲キャンパス, 2014年3月4-6日 [V, Ni, B]
- ・ 中村哲也, 松八重一代, 大野肇, 平木岳人, 中島謙一, 中村慎一郎, 長坂徹也: 動的WIO-MFA (MaTrace) を用いたアルミニウム新地金消費量の削減ポテンシャルの評価, 日本LCA学会春季大会, 東京, 芝浦工業大学豊洲キャンパス, 2014年3月4-6日 [V]
- ・ 大野肇, 松八重一代, 中島謙一, 近藤康之, 中村慎一郎, 長坂徹也: WIO-MFAモデルによる鉄鋼合金元素有効利用に向けた鉄スクラップリサイクルシステムの構築, 日本LCA学会春季大会, 東京, 芝浦工業大学豊洲キャンパス, 2014年3月4-6日 [V, Ni]
- ・ 大塚祐登, 大野肇, 松八重一代, 中島謙一, 南齋規介, 長坂徹也: ニッケルの持続可能な資源利用に向けた国際サプライチェーン分析, 日本LCA学会春季大会, 東京, 芝浦工業大学豊洲キャンパス, 2014年3月4-6日 [V, Ni]
- ・ 岩月泰典, 山野博哉, 中島謙一, 村上進亮: 衛星画像解析による露天掘鉱山開発に伴う土地利用変化の把握, 日本LCA学会春季大会, 東京, 芝浦工業大学豊洲キャンパス, 2014年3月4-6日 [V, Ni, B]
- ・ 南齋規介, 中島謙一, 加河茂美, 近藤康之: 日本のマテリアルフローフットプリント, 日本LCA学会春季大会, 東京, 芝浦工業大学豊洲キャンパス, 2014年3月4-6日 [V]
- ・ 溝口修史, 松八重一代, 中島謙一, 南齋規介, 稲葉陸太, 長坂徹也: 窒素とリンに着目した農業用栄養塩類のサプライチェーン分析, 日本LCA学会春季大会, 東京, 芝浦

工業大学豊洲キャンパス, 2014年3月4-6日 [V, P]

- ・宮内雄飛, 松八重一代, 橋本征二: 水圏へのリンフローのシナリオ分析, 日本LCA学会春季大会, 東京, 芝浦工業大学豊洲キャンパス, 2014年3月4-6日 [V, P]
- ・後藤芳一, 醍醐市朗, 藤原亮: 金属消費量の飽和時点における各国の経済成熟度の比較, 日本LCA学会春季大会, 東京, 芝浦工業大学豊洲キャンパス, 2014年3月4-6日 [V, Ni]
- ・Kazuayo Matsubae, Resource logistics analysis on phosphorus and its implication on resource governance, Seminar of The Centre for Social Responsibility in Mining, Brisbane, 13, March, 2014 [V, P, G]
- ・Keisuke Nansai, Resource security footprint of critical metal: the case of Japan, Seminar of The Centre for Social Responsibility in Mining, Brisbane, 13, March, 2014 [V]

(3) ポスター発表 (国内会議 7 件、国際会議 0 件)

- ・中村哲也, 松八重一代, 大野肇, 平木岳人, 中島謙一, 中村慎一郎, 長坂徹也: 動的WIO-MFA (MaTrace) を用いたアルミニウム新地金消費量の削減ポテンシャルの評価, 日本LCA学会春季大会, 東京, 芝浦工業大学豊洲キャンパス, 2014年3月4-6日 [V]
- ・大野肇, 松八重一代, 中島謙一, 近藤康之, 中村慎一郎, 長坂徹也: WIO-MFAモデルによる鉄鋼合金元素有効利用に向けた鉄スクラップリサイクルシステムの構築, 日本LCA学会春季大会, 東京, 芝浦工業大学豊洲キャンパス, 2014年3月4-6日 [V, Ni]
- ・大塚祐登, 大野肇, 松八重一代, 中島謙一, 南齋規介, 長坂徹也: ニッケルの持続可能な資源利用に向けた国際サプライチェーン分析, 日本LCA学会春季大会, 東京, 芝浦工業大学豊洲キャンパス, 2014年3月4-6日 [V, Ni, G]
- ・岩月泰典, 山野博哉, 中島謙一, 村上進亮: 衛星画像解析による露天掘鉱山開発に伴う土地利用変化の把握, 日本LCA学会春季大会, 東京, 芝浦工業大学豊洲キャンパス, 2014年3月4-6日 [V, Ni, B]
- ・溝口修史, 松八重一代, 中島謙一, 南齋規介, 稲葉陸太, 長坂徹也: 窒素とリンに着目した農業用栄養塩類のサプライチェーン分析, 日本LCA学会春季大会, 東京, 芝浦工業大学豊洲キャンパス, 2014年3月4-6日 [V, P]
- ・宮内雄飛, 松八重一代, 橋本征二: 水圏へのリンフローのシナリオ分析, 日本LCA学会春季大会, 東京, 芝浦工業大学豊洲キャンパス, 2014年3月4-6日 [V, P]
- ・後藤芳一, 醍醐市朗, 藤原亮: 金属消費量の飽和時点における各国の経済成熟度の比較, 日本LCA学会春季大会, 東京, 芝浦工業大学豊洲キャンパス, 2014年3月4-6日 [V, Ni]

7 - 5. 新聞報道・投稿、受賞等

(1) 新聞報道・投稿 (0 件)

(2) 受賞 (2 件)

- ・2014年3月 日本LCA学会第5回学会賞 奨励賞 中島謙一
- ・2014年3月 平成26年度 日本鉄鋼協会研究奨励賞 平木岳人

(3) その他 (1 件)

- ・東北大学イノベーションフェア2014, プロジェクト紹介ポスタープレゼンテーション出展, 2014年1月28日, 仙台

7 - 6. 特許出願

なし