

戦略的創造研究推進事業（社会技術研究開発）  
「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」

## 研究開発実施終了報告書

研究開発期間 平成 24 年 10 月～平成 27 年 9 月

研究代表者 松八重 一代  
(東北大学大学院工学研究科 准教授)

## 目次

<b>1. 研究開発目標</b> .....	<b>2</b>
<b>2. 研究開発の実施内容</b> .....	<b>2</b>
2-1. 実施項目 .....	2
2-2. 実施内容 .....	3
<b>3. 研究開発成果</b> .....	<b>29</b>
3-1. 成果の概要 .....	29
3-2. 各成果の詳細 .....	30
3-3. 学術的成果、人材育成やネットワーク拡大への貢献等 .....	31
3-4. 成果の発展の可能性 .....	31
<b>4. 関与者との協働、成果の発信・アウトリーチ活動</b> .....	<b>32</b>
4-1. 研究開発の一環として実施した会合・ワークショップ等 .....	32
4-2. アウトリーチ活動 .....	36
4-3. 新聞報道・投稿、受賞等 .....	39
<b>5. 論文、特許等</b> .....	<b>39</b>
5-1. 論文発表 .....	39
5-2. 学会発表 .....	44
5-3. 特許出願 .....	48
<b>6. 研究開発実施体制</b> .....	<b>49</b>
6-1. 体制 .....	49
6-2. 研究開発実施者 .....	50
6-3. 研究開発の協力者・関与者 .....	55

## 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. 研究開発の実施内容

### 2-1. 実施項目

#### 実施項目 1. 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

各事例研究グループと連携を図りつつ、分析結果の考察、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確立をおこなった。(醍醐・中島・松八重・南斉・山末)

#### 実施項目 2. 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

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に関して 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、地図上に国別資源採掘需要量の可視化を行った。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)

#### 実施項目 3. 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

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。さらに未利用資源の活用において、ヒアリングを通じて誰が重要なステークホルダーであるかの抽出を行い、リンフローの流れを変えるイノベーションにおいて何が障壁となるのかを明らかにした。(三島・稲葉・松八重・馬奈木・鎗目・城山)

#### 実施項目 4. 資源利用の背後にあるサプライチェーンリスクの可視化

##### (1) 衛星画像解析による資源利用の背後にある環境リスクの可視化

資源利用の背後にあるサプライチェーンリスクの一つとして環境影響があげられる。なかでも鉱山開発により引き起こされる環境改変の大きな1つが土地改変であり、その結果引き起こされる問題が生態系への悪影響である。本PJの研究期間においては、ニューカレドニアにおけるニッケル鉱山開発による土地改変の定量的分析を行うことで、基礎的な解析のための枠組みを構築した。(中島・山野・村上)

##### (2) リソースロジスティクスに基づく様々なリスクの可視化

マテリアルフロー情報をもとに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、カントリーリスク、随伴元素による環境影響に関わるリスクを可視化する手法の開発と、その応用事例研究を進めた。(松八重・南斉・中島)

#### 実施項目 5. ステークホルダーガバナンスに向けた情報提供のあり方について意見交換、ヒアリング調査

##### (1) 未利用ニッケル資源の利用促進に関わるステークホルダーへの情報提供と意見交換

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)

##### (2) 持続可能なリン資源利用に関わるステークホルダーへの情報提供と意見交換

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の役割を解析した。(鎗目・城山・三島・松八重・稲葉)

## 2-2. 実施内容

### 2-2-1. (実施項目 1. 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)

可視化グループは各事例研究グループと連携を図りつつ、分析結果の考察、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確立をおこなった。

マテリアルフロー分析で基礎情報を整備し、我が国の経済活動が直接・間接に必要とする資源の流れについて、産業連関モデルとマテリアルフロー分析で得た情報を組み合わせた WIO-MFA の手法ならびに、国際貿易の情報と組み合わせた GLIO による解析を行った。

また関与物質総量 (TMR) の観点から、ある製品、技術の資源端においてどの国の資源に依存しているのかを解析する手法の提案を行った。

Fig.1 は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。

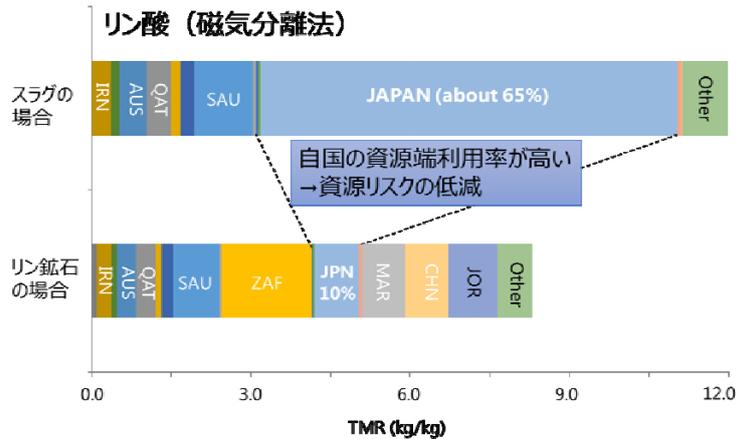


Fig.1 リン酸の TMR

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方が、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、自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。そこで自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、自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。

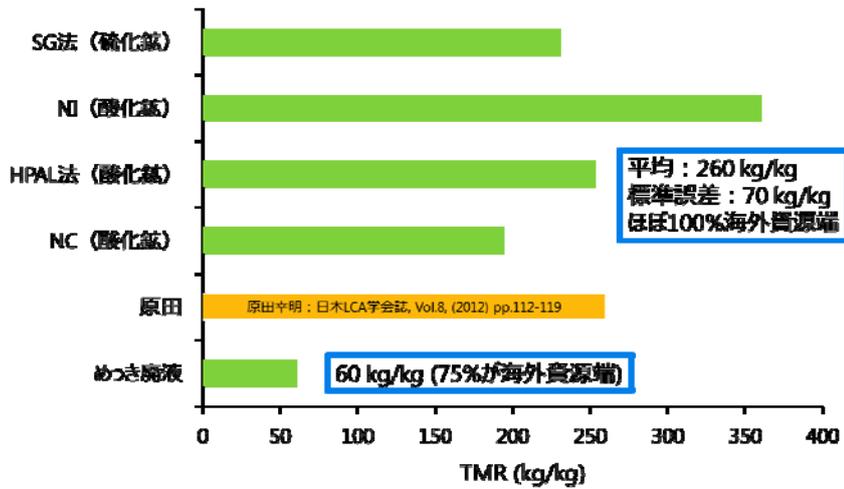


Fig.2 ニッケルの TMR

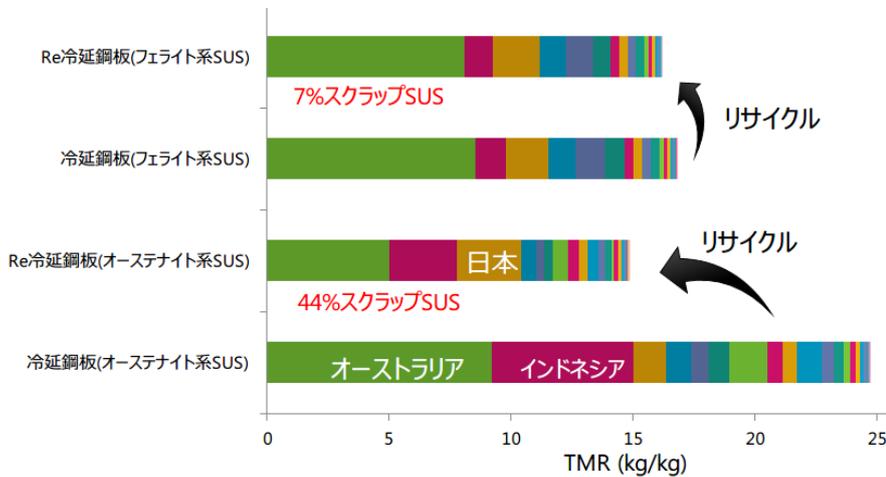


Fig.3 ステンレス鋼の TMR

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鉱山や都市鉱山の廃棄物処理（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、リン鉱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、最適なリ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）

## 2-2-2. (実施項目 2. 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)

新興国の経済発展や先進国における技術革新等に伴い資源需給を取り巻く状況は、急速に変化し続けている。先進諸国の経済発展に伴い拡大してきた鉱物資源および金属の需要は、近年の新興

国の経済発展等に伴い更なる拡大が予測されると共に、先進諸国においても低炭素技術の導入等に伴った資源需要の変化・拡大が指摘されている。他方、資源利用の拡大に伴う地球環境の劣化を受けて、持続可能な資源管理が緊要となっており、国連環境計画(United Nations Environment Programme, UNEP) に設立された国際資源パネル(International Resource Panel)を中心に包括的な議論が展開されている。また、資源は有限であり、資源の管理、供給、消費は各国の経済活動において大きな影響を持つことから、世界各国においても資源戦略に対する関心が高まっている。ニッケルを含む素材は、材料物性・特性等の観点から有用性が高まっている素材であり、耐熱材料や耐食材料、あるいは、その電気・磁気的な特性を活かして、発電設備、輸送機器、電気電子機器など多様な用途で活用されている。また、近年では、高効率な発電技術や二次電池(ニッケル水素電池、リチウムイオン電池)など、省エネルギー技術・低炭素技術など環境適合型社会の実現のための基盤材料としても注目を高めており、先進国および新興国において更なる需要の拡大が予想されている。一方で、製造時のエネルギー消費量や温室効果ガス排出量が高い事、生産施設における不適切な環境管理に伴う重金属汚染、採掘に伴う生物多様性への影響などの各種の環境的側面に関する懸念も指摘されている。

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)。また資源利用に関わるステークホルダーのうち、産業界のイノベーション技術開発者にアンケートを実施し、外的要因(政治・環境・マーケット等)が技術選択にどのような影響をもたらしたかについて、解析を進め、イノベーション技術実装、牽引への影響について定量的な解析を進める準備を行った(中島・山末・松八重)。

さらにニッケルの資源利用に伴う環境影響に関する文献調査を進めると共に、サプライチェーンの構造的把握と課題抽出を目的として、国内外のニッケルの物質フロー・サプライチェーン分析、加えて、資源利用に伴う生態系への影響を視野に置いて、資源採掘に伴う土地改変量の解析を実施した。更には、廃棄物・副産物等のニッケル含有二次資源の資源利用の高度化・高効率化の検討を進めた(Fig.4)。

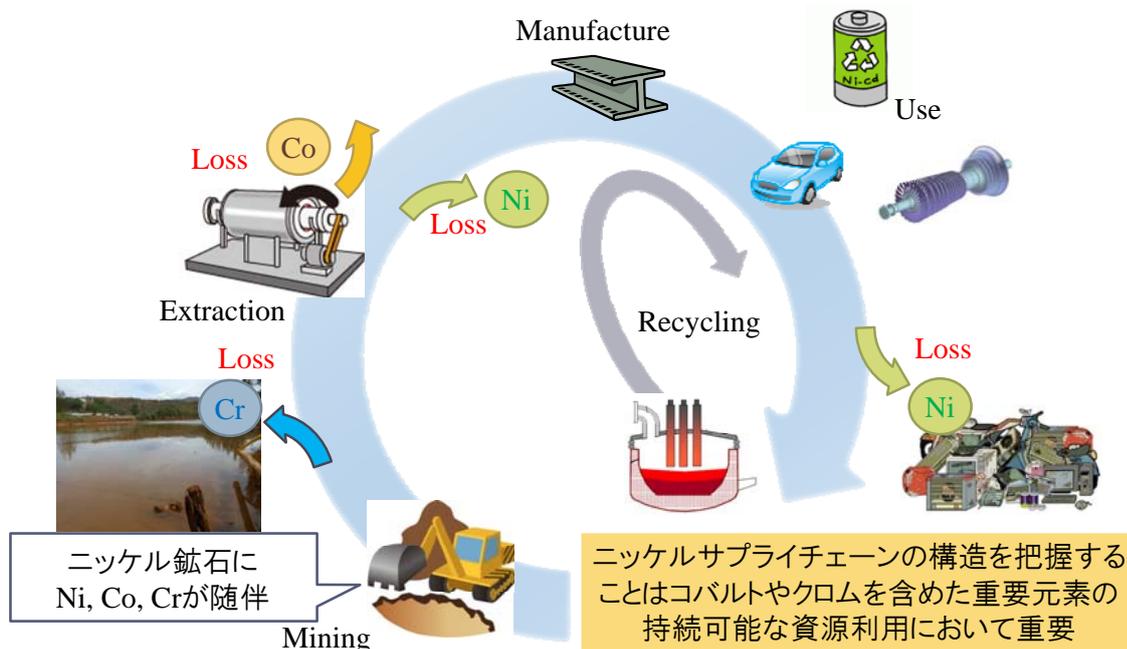


Fig.4 ニッケルサプライチェーンと随伴元素のロス、拡散

最後に、世界全体の国際貿易に伴う移動量(国際マテリアルフロー量)、更には、日本の経済活動が誘引する国際マテリアルフロー量の定量評価をもとに、各情報について効果的な可視化の検討を進めた。

以下、ニッケルを事例とした、サプライチェーンを通じた資源利用と環境影響の把握についての研究成果を述べる。

### [1] ニッケルの物質フロー・サプライチェーン

日本はニッケルの加工貿易国<sup>1)</sup>であり、原材料の安定供給および日本の経済活動が資源産出国等で誘発する環境影響の管理の両側面から、サプライチェーンを通じた資源利用と環境影響の管理の仕組みを構築する事が緊要である。国内の需給構造をみると、日本では、ニッケルの一次資源の全量を海外に依存しており、ニッケル鉱石、ミックスサルファイド、ニッケルマット等の形態で海外から調達して、フェロニッケルやニッケル地金等の製錬、更には、鉄鋼材料等の素材製造や高加工度製品の原材料等として利用している。これらの日本国内に供給されたニッケルの最終需要の内訳としては、約6割が輸出であり約4割が国内最終需要であることが、産業連関分析を応用したMFA研究により明らかとなっている<sup>1)</sup>。

他方、国際的な需給構造は、国際貿易を介して、より複雑な需給構造を有している事が解析により示された<sup>2)</sup>。なお、解析は、WIO-MFA (Waste Input-Output Material Flow Analysis)モデルによる組成情報<sup>4)</sup>が整っている2005年時点を対象として、国際貿易量は、BACI (Base pour l'Analyse du Commerce International, CEPII)<sup>5)</sup>より、231の国・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 (Harmonized Commodity Description and Coding System) codeに基づいて、6桁分類で掲載されている約6000品目群を、123品目群に集計して抽出した。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、ニッケル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ニッケル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、ニッケル含有商品の貿易量の推計精度を高めた。また、貿易に伴うニッケルの移動量への換算には、各種の文献(例えば、USGS Minerals Year book 5))や WIO-MFA 2, 3)等から得られる各商品のニッケルの含有率を乗じて推計を行った。これにより、2005 年の国際貿易を介した世界全体の総ニッケル移動量は、 $2.7 \times 10^6$  t-Ni であり、資源の流れは、特定の国・地域間の移動に集中している事が明らかとなった(Fig. 5)。具体的には、インドネシア、オーストラリア、ロシア、カナダ等の資源産出国から日本、アメリカ、そして北米への移動量が多く、231 の国・地域間のニッケルの移動量のうち上位の 10 位までの移動量占める割合は約 21%に達し、上位の 50 位までの移動量が占める割合は約 47%に達すると得られた。

なお、これらの資源の流れは、新興国の経済発展や各国の政策により、大きく変化し続けている事は注意が必要である。例えば、2010 年頃には、資源産出国から中国や韓国への資源の流れが大きくなっている。また、2014 年には、インドネシアの鉱石輸出規制措置の実施に伴い資源の流れに大きな変化が生じている。この事は、サプライチェーンを通じた資源利用と環境影響を管理していく上で、時系列での解析が重要な意味を持つことを意味していると考えており、現在、時系列での解析を進めている。

#### 参考文献

- 1) K. Nakajima, H. Ohno, Y. Kondo, K. Matsubae, O. Takeda, T. Miki, S. Nakamura and T. Nagasaka: “Simultaneous Material Flow Analysis of Nickel, Chromium, and Molybdenum Used in Alloy Steel by Means of Input-Output Analysis, Environmental Science & Technology, 47, (2013), 4653-4660
- 2) K. Nakajima, Y. Otsuka, Y. Iwatsuki, K. Nansai, H. Yamano, K. Matsubae, S. Murakami and T. Nagasaka: “Global supply chain analysis of nickel: importance and possibility of controlling the resource logistics”, Metallurgical Research and Technology, 111, (2014), 339-346
- 3) 中島謙一, 松八重一代, 南斉規介, 高柳航, サプライチェーンに内在する多面的リスク: ニッケルの資源利用と環境影響, エネルギー・資源 36(2015), 51-55
- 4) 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, 18, (2014), 242-253
- 5) CEPII: Base pour l'Analyse du Commerce International <http://www.cepii.fr/anglaisgraph/bdd/baci.htm>
- 6) United States Geological Survey. Minerals Yearbook. <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/nickel/myb1-2006-nicke.pdf>

### 2-2-3. (実施項目 3. 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: 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。

#### (1) 国内フロー

##### 1. 農業におけるリンのロジスティクス

リンは植物栄養において窒素に次ぐ制限要素であると一般に言われている。日本の土壤肥沃度は伝統的に窒素の全量或いは可給態の量によって測られてきており、リン肥沃度には関心が低かった。しかし、1960~70 年代に農林省によって行われた全国的な土壤調査を取りまとめた吉池(1983)

の報告により、5 酸化 2 リンとして 10mg/100g 乾土以上の可給態リンが十分な収量を得るために必要であることが提示された。これは土壌改良指針として上限を設けることなく長らく提示された。特にリンの固定能力が非常に高く、畑地の半分を占める黒ボク土において、リンを特に多く与えることで作物にリンを供給する農法が確立していたこともあり（吉野 1972）、単位面積当たりのリン施肥量は 1980 年代にかけて上昇傾向にあった(Mishima et al. 2003)。

一方、リンは窒素のように明確な過剰による作物影響・環境への負のインパクトは出にくく、リンの多量施用は続けられた。作物生産時に余剰となったリンには残存効果がないといわれてきたが、1979 年から始められ 5 年 1 巡で 4 回行われた土壌環境基礎調査(定点調査)と 1999 年から引き続いて行われた土壌環境モニタリング調査 1 回目(以下、定点調査 1~5 巡目とする)から、小原と中井(2004)は、水田・畑・樹園地・施設いずれの地目でも土壌中に存在し作物に利用されうるリン(可給態リン)が増え続けていることを明らかにした。

2005 年、農林水産省は土壌改善指針として、水田と畑地での可給態リンの上限を提示した。またそれと前後して都道府県の農業研究機関では土壌の可給態リンの濃度に準じてリン施用の削減指針を提示し、これを安西(2013)はメタ解析を行い土壌のリン肥沃度に準じたリン施用の削減私案を提示した。

本研究期間において、農業に関する MFA として、土壌環境実態調査(定点調査、以後「定点調査」とする)1 巡目を 1980 年に当てはめ、2010 年に関しては 2008~2013 年に行われた土壌炭素事業のデータを利用して、両年を比較しリンの利用に関する変化を明らかにした。また、アジア視点でのリン利用の形態の違いを明らかにするため、2010 年に関して日本・中国・韓国におけるみかけのリン利用率について比較を行った。

## 2. 定点調査と土壌炭素事業データの概要とそこからの化学肥料・家畜ふん尿堆肥の施肥量の推計に関して

定点調査は 1979 年から 5 年毎に 1~4 巡行われ、1 巡 2 万点以上の肥培管理と土壌、5 巡目は 5000 点以上の定点を定め、土壌肥沃度の調査を行うと共にその圃場での肥培管理、栽培作物と収穫量を記載したものであり、現在も継続中である。本研究は 1 巡目を 1980 年に適用した。土壌炭素事業は 3000 箇所の圃場の深さ 30cm までの土壌を採取し、その土壌中に含まれる炭素量を測定すると共に栽培作物と収量、肥培管理を補助データとして 5 年間に渡って記載した調査データである。本研究ではこれを 2010 年に当てはめた。定点調査では 70 品目、土壌炭素事業では 100 品目の作物が対象となっていたが、本研究ではこれを、水田・畑作物・野菜・果樹・茶・飼料作物・牧草の 7 つの作物群に別けて集計した。

本研究では肥培管理、即ちその農家での化学肥料の施肥量と家畜ふん尿堆肥の施肥量を定点調査と土壌炭素事業をデータソースとして求めた。事前見積もりにより、化学肥料の施肥量は記載されたデータから個々の作物ごとの栽培面積による加重平均をとることで、概ね信頼できる施肥量が得られることを明らかにした。一方で堆肥に関しては、化学肥料と同様の方法を使うと家畜ふん尿の発生量より多くの堆肥が施用されていることになってしまった。そのため、専・兼業別、耕種・畜産農家別、作物群別に調査データを分割し、それぞれの平均値を出して、推計したそれぞれの作物栽培面積を乗じて加重平均をとることが必要であった(Mishima et al. 2008)。これらの方法を定点調査 1~5 巡目、土壌炭素事業に記載されたデータに適用し、化学肥料・家畜ふん尿堆肥の施肥量を求めた。化学肥料は元データ自体に施用したリン量が記載されているため、直に作物群へのリン施肥量を知ることが出来る一方で、家畜ふん尿堆肥に関しては生重量のみの記載のため、これをリンの量に換算するために、農林水産省(1982)と古谷(2005)によって調べられた日本全国での家畜ふん尿堆肥の水分とリンの含有率を用いてリン量を推計した。

### 2-1. 家畜ふん尿のリン排出算定

家畜ふん尿のリン排出算定は、築城と原田(1997)によるふん尿発生量推計プログラムを用いて算出した。このプログラムは各種家畜一頭羽あたり給餌した餌の各種形態別リン量を投入することで、排泄されるリン量を求めることが出来るものである。ここでは1980年と2010年に関して各種家畜への給餌量は畜産物生産費(農林水産省1981, 2011)と飼料便覧(農林統計協会1981, 2011)、飼料資材別・成分別リン濃度は日本標準飼料成分表(中央畜産会1978, 2009)から求めた。各種家畜の飼養頭数(肉養鶏は出荷数)は農林水産省統計(農林水産省1981b, 2011b)から求めた。

## 2-2. 作物の収穫と畜産物の出荷に伴うリンのアウトプット

1980年から2000年まで5年ごとと2010年の作物の収穫量は農林水産省統計から求めた。各種作物の収穫量に5訂食品成分表(科学技術庁2000)にある各作物のリン濃度を乗じて作物の収穫に伴うリン量を求めた。

1980年と2010年に関しては、牛・豚の精肉量は出荷される牛・豚の体重を畜産物生産費(農林水産省1981a, 2011a)から求め、農林水産省のサイト(<http://www.toukei.maff.go.jp/digest/tikusan/tiku03/tiku03.html>)にある牛・豚の体重と比例させて精肉量を求め、部位別にリン濃度を5訂食品成分表(科学技術庁2000)から求めた。肉用系に関しては上述のサイトから1羽の体重と精肉量をj得て、牛・豚同様に精肉中のリン量を求めた。卵・牛乳については、出荷量は農林水産省統計(農林水産省1981b, 2011b)からリン濃度は5訂食品成分表(科学技術庁2000)から得てリン量を求めた。

## 2-3. 家畜ふん尿リンの堆肥化過程における損失

堆肥化過程では、新鮮なふん尿が活発に分解され、その過程で各種元素が揮発・流亡により損失する。リンの損失は1980年に関しては10%(生雲2001)、2010年に関しては7%(松本ら2008)とした。

## 2-4. 日中韓におけるリン利用と利用効率

日中韓における農業生産での化学肥料・家畜ふん尿堆肥(中国に関しては人ふん尿も含む)と言ったリン資源利用と作物の収穫に伴うリンの収奪から、リンの効率を明らかにするために、中国・韓国での家畜ふん尿原単位に関する文献(Lee and Oa 2015)や肥料統計、農業統計と食品成分表等を現地にて入手した。

## 3. 結果と考察

### 3-1. 日本の食料生産に関わるリンフローはどう変わってきたか

Fig. 5 に日本における1980年と2010年のリンフロー(単位Gg)を示す。但し、土壌表層(およそ18cmの耕される層)に存在するトルオーグリン(pH3の希硫酸で抽出される作物に利用可能なリン)の量に関しては2010年のデータがないため、定点調査5巡目を2000年に適用した場合を提示している。飼料は大幅に輸入に依存しているものの、国内生産される飼料・牧草は減少傾向にあった。この間に乳牛は大きく頭数を減じたが、その分肉牛は増加した。豚は減少し、採卵鶏・肉用鶏は変化が少なかった。全体として飼料中のリンは減少していた。一方で畜産物の生産は1980年より2010年に増加し、餌のリンに占める生産物中のリンが増え、効率が良くなっていた。牛肉生産は減少したものの、牛乳・豚肉・鶏肉と卵は何れも増加していたことが影響している。その間に発生する家畜ふん尿は減少し、生産物とふん尿の差としての非食部分(内臓・骨など)の廃棄は減少した。ふん尿が全量堆肥化した場合、その生産ポテンシャルは1980年の方が大きかったものの、定点調査から求めたほとんどの家畜ふん尿堆肥は農地に還元されていると推計された。三島ら(2008)の方法を適用すると、1980年には日本の農地にとって持続的に受け入れられる家畜ふん尿堆肥の量に対し、家畜ふん尿堆肥の施用量は1.5倍になったが、当時は土壌のリンが作物に

供給できる作物栄養の量(土壌肥沃度)が多く、リン肥沃度も低かった(トルオーグリンの濃度が低かった)ため、受容できたのかも知れない。しかし一方で2010年には持続的に受け入れられる家畜ふん尿堆肥の量の1/4程度の施用しかなく、農地施用以外の方向に向うリンが多かった。その中には宮崎県のように鶏ふんを収集しサーマルリカバリーに使用し、リンを多く含む焼却灰を肥料としてメーカーに売り渡す例(みやざきバイオマスリサイクル・南国興産:参考URL参照)などもあるが、詳細は統計にはなく不明である。平成22年度畜産物生産費(農林水産省2012)によると、乳牛ふん尿の搬出量に対する利用量は60%程度、豚ふん尿で15%程度となっていた。1980年に関しては共に90%近かったことは、本研究と符合するが、2010年に26%ほどしか農地に施用されていないという結果は、過小評価になっているかもしれない。

化学肥料の施用はリン価格が高騰して以来減少したままで、1980年に比して2010年には2/3程度となっている。これには農家経営に占める肥料費が増大したことなどが影響しているかもしれない。作物の生産も減少傾向にあり、化学肥料と堆肥として投入されたリンの作物による見かけの利用率は34%から23%に減少していた。これには穀類中心の生産から野菜・果樹などのリン利用率の低い作物へ生産が移ったことが考えられる。

いずれにせよ利用されないリンが多くを占めており、これが土壌中に蓄積した結果、可給態リンが増加したと考えることが出来る。三島(2013)は、2000年の各種作物栽培土壌のリン肥沃度に準じたリンの施用削減を、北海道(2012)の基準で土壌のリン肥沃度で分級し全国でのリン施用の削減マージンを推計したところ、2000年の施肥リンは2/3程度に削減できることになると発表した。偶然の符合ではあるものの、その量は2010年の化成リン肥料と同等の量であった。

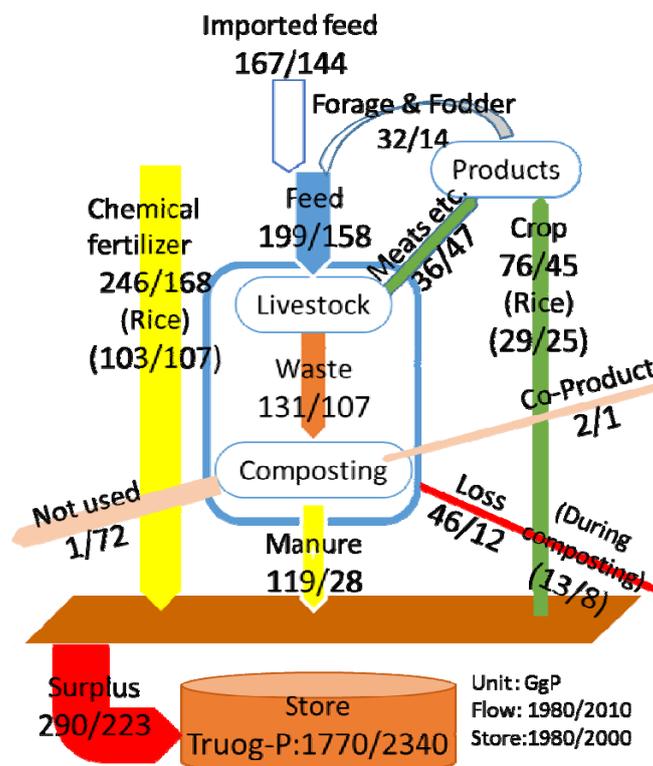


Fig. 5 日本における1980年と2010年のリンフロー(単位 Gg)

Mishima et al. 2014: World Congress of Soil Science 要旨から引用し一部改変

### 3-2. 日中韓での農業におけるリンフローとリン利用率

欧米と異なるアジア視点でのリンの農業利用を考えると、最大の違いは水田の有無である。中国・韓国での水稲への化学肥料・家畜ふん尿堆肥の標準的施用量が不明のため水稲のみに関する収支は算定できなかった。データのある日本に関しては2010年において、水稲には化学肥料で29.0kg P ha<sup>-1</sup>、堆肥で2.1kg P ha<sup>-1</sup>のリンが施用され、15.1kg P ha<sup>-1</sup>の水稲を収穫しており、施用リンの49%が利用されていた。同年の日本全体でのリンの作物による利用率は23% (Fig. 5より算出)であり、リンの作物による利用率は一般に20-30%と言われるが、水稲ではその土壌環境(嫌氣的で還元的、pHの中性化)のために、リンを利用しやすい環境にある。これまで概観した日本でのリンのマテリアルフローに加え、現地で入手した中国・韓国での統計(農地面積、化学肥料リンの使用、家畜の飼養頭数と糞尿排出原単位)での国全体でのリン施用とを比較すると、作物によるリンの収量は54%と中国で多くついで韓国(46%)、日本(26%)となる。ここに各国で発生する家畜ふん尿堆肥(中国に関しては貯留した人糞尿も含む)の量を加えるとみかけのリン利用率は中国で31%、日韓が17%となる。日本に関しては未利用のふん尿リンが存在していることを明らかにしているが、ここでは全量が農地に還元された場合を考えている(Mishima et al. 2015)。日韓はOECD各国と比較するとこれら利用率は低い部類に入るが、韓国においては化学肥料の施用がリンと共に窒素・カリウムに関しても作物により収穫・持ち去られるこれら3元素の量の約2倍と一定している。また、化学肥料窒素の利用率は概ね50%(農業技術体系)であることを考えると化学肥料の作物による収奪が韓国44%・中国47%と言うのはリーズナブルであるかもしれない。しかし家畜ふん尿堆肥の窒素・リンを加えるとみかけの窒素収支は中国・韓国とも31%、34%であり、日本より利用率(68%:ただし使われない堆肥も農地に施用された場合)は低くなる。韓国に関して、家畜ふん尿利用による作物栄養がどのように考えられているかは不明であり、カリウムのみかけの利用率も3カ国中最低である。なお、Shirdreck(2002, 2003)らは中国におけるカリウムの不足が農業生産の制限要素になると指摘しているが、本研究の中ではみかけの利用率は日本と同じ72%であり(韓国は26%)、国全体で見るとカリウムの不足は解消されていた。

#### 4. まとめ

農業におけるリンのマテリアルフローは化学肥料を主として、家畜ふん尿堆肥由来のリンはもとより多くはなく、特に2010年は畜産農家での堆肥化施設の設置或いは畜産農家で作成した堆肥とともに生ふん尿も受け入れる堆肥センターの設置、千葉県などは堆肥利用促進のための耕種・畜産農家と堆肥センターに向けた情報発信・ネットワークサービスが提供されている。これらは、「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」の完全施行に伴い、適正なふん尿処理が義務付けられたことによる。一方、耕種農家側には「持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律」によって、積極的な堆肥の利用を勧めている。しかし、土壌炭素事業のデータから推計した堆肥の施用量は1980年よりも大幅に減少しており、未利用の家畜ふん尿が大幅に増加した。ここには宮崎県のように県内で発生する肉用鶏のふんを県内企業へ全量サーマルリカバリーに提供している部分も含まれているものの、化学肥料の一部を家畜ふん尿堆肥で持続的に投入し続けられる施肥法の開発とそのための試験栽培を積極的に展開する必要があるのではないかと考えられる。

農地に積極的に投入され、蓄積されたリンには、可給態になる部分が存在し与え続けられれば増加していくことが明らかにされており、施肥したリンは以後効かなくなるという残存効果がないとした論は、他の作物栄養やその担体となる炭素が土壌に充分あると思われる日本では棄却されたと考えられる。ここでは農地土壌に存在する可給態リンの濃度を考慮した化学肥料と堆肥の施用がやはり必要となる。これにはリンの植物生理的な側面からの研究開発(例えば生育初期の作物体内のリン濃度が冷害耐性に影響する、など。しかしまだリンの生理には不明な部分が多い)と簡易な土壌中の可給態リンの測定方法の開発と展開が必要になる。

化学肥料としてのリンの少投入化が進展すれば、国内にある農業セクター外にあるリン、例えば

下水とその処理で発生する脱水ケーキとその焼却灰、食料のサプライチェーンと消費過程で発生し処分される生ゴミ或いはその焼却灰、鉄鋼スラグ中にあるリンの回収といったことが効率的に可能になれば、作物生産に使用しているリンを量的に十分代替出来る(三島 2013)。

将来的な農業セクターにおけるリンの資源の生産国の寡占化に対抗する安定的なロジスティクスは、国内にある未利用リン資源の利用技術の進展と、省リン施肥・栽培技術の進展によって実現すると考えられた。

## 5. 引用文献・参考 URL

- [1] 安西徹郎 2013: 全国減肥基準からみた土壌リン酸およびカリウムにおける減肥の指標値と 100%減肥とする基準値(案). 農及園 88(10), 984-997.
- [2] 中国農業科学院 1994: 中国肥料. 農業部, 北京, 中国
- [3] 中央畜産会 2009: 日本標準飼料成分表. 中央畜産会. 東京. 日本
- [4] 中央畜産会 2009: 日本標準飼料成分表. 中央畜産会. 東京. 日本
- [5] 古谷 2005: 全国の堆肥センターで生産された家畜ふん堆肥の実態調査 (1). 畜産の研究. 59(10), 1048-1054
- [6] 北海道 2012: 北海道施肥ガイド. 札幌. 日本
- [7] 生雲晴久 2001: 家畜排泄カリウム量の原単位推定と我が国における窒素, リン酸, カリウムの農地負荷. 農業技術 56(9), 421-424
- [8] 科学技術庁 2000: 5 訂食品標準成分表. 科学技術庁. 東京. 日本
- [9] Lee, Y. and Oa SW 2015: Resource-recovery processes from animal waste as best available technology. J. Meriar Cucles Waste Manag.
- [10] 松本武彦・木村義彰・高橋桂二・寶示戸正之 2006: シートを用いて被覆した牛ふんの堆肥化過程における肥料成分の挙動. 土肥誌. 77(4), 395-400
- [11] Mishima et al. 2003: Trends of phosphate fertilizer demand and phosphate balance on farmland soils in Japa Soil Sci. Plant Nutr., 49(1), 39-45.
- [12] Mishima S, Kimura S. D, Eguchi S. Shirato Y. 2012: Estimation of the amounts of livestock manure, rice straw, and rice straw compost applied to crops in Japan: a bottom-up analysis based on national survey data and comparison with the results from a top-down approach. Soil Sci. Plant Nutr. 58(1) 83-90.
- [13] Mishima S, Oh TK, Duan YH, Lou Y, Yun HB, Lee DB, Xu M, Lee Y 2015: Nutrient Use and Efficiency in East Asian Agriculture. Global Environmental Research, 19(1) 83-90.
- [14] 三島慎一郎 2013: リンリサイクル推進協議会資料. リン資源リサイクル推進協議会, 東京
- [15] 三島慎一郎・遠藤明・白戸康人・木村園子ドロテア 2009: 国・都道府県に存在する有機性廃棄物資源量と農耕地の有機物受入れ量の推定. 日土肥. 80(3). 226-232
- [16] 三島慎一郎, 秋山博子, 八木一行, 神山和則 2008: 家畜ふん尿堆肥に含まれる肥料成分の傾向と堆肥化に伴う窒素消失率の推定. 土肥誌, 79(4), 370-375
- [17] 農林水産省 1981a: 第 56 次農林水産省統計. 農林水産省. 東京. 日本
- [18] 農林水産省 1981b: 畜産物生産費. 農林水産省. 東京. 日本
- [19] 農林水産省 2012: 平成 22 年度畜産物生産費. 東京. 日本
- [20] 農林水産省 2011b: 畜産物生産費. 農林水産省. 東京. 日本
- [21] 農林水産省 2011:a 第 86 次農林水産省統計. 農林水産省. 東京. 日本
- [22] 農林水産省農蚕園芸局農産課 1982: 堆きゅう肥等有機質資材の品質-地力保全特殊調査-, 地力保全対策資料, 60, 1~11. 農林水産省. 東京. 日本
- [23] 農林統計協会 2011: 飼料便覧. 農林統計協会. 東京. 日本
- [24] 農林統計協会 1981: 飼料便覧. 農林統計協会. 東京. 日本

- [25] 小原洋・中井信 2004：農耕地土壌の可給態リン酸の全国的変動：農耕地土壌の特性変動（II）土肥誌，75(1)，59-67
- [26] Sheldrick WF, Syers JK, Lingard J 2002: A conceptual model for conducting nutrient audits at national, regional, and global scales. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 62(1), 61-72.
- [27] Sheldrick WF, Syers JK, Lingard J 2003: Soil nutrient audits for China to estimate nutrient balances and output/input relationships. *Agriculture, ecosystems & environment*, 94, 341-354.
- [28] 築城幹典・原田靖生 1997：家畜の排泄物量推定プログラム．システム農学，13(1)，17-23
- [29] 吉池昭夫 1983：農耕地における施用リン酸の蓄積について．土肥誌，54(3)，255-261
- [30] 吉野昭一郎 1972：リン酸多施による畑土壌改良[2]．農及園，47(2)．41-44.

#### 参考 URL

みやざきバイオマスリサイクル：<https://www.q-mirai.co.jp/business/biomass-power>

南国興産 <http://www.nangokunet.co.jp/>

## （2）国際フロー

### 1. リンの国際フロー解析

国際貿易統計をもとに、世界のリンフローを推計する。対象国は、国際貿易統計 BACI<sup>5)</sup>の部門分類に準拠した 231 か国、対象年は 2005 年として、リンの商品別国別物質フローを推計した。また、対象商品については、HS コードの分類から抽出し、バイオマス系 256 部門、非バイオマス系 51 部門の計 307 部門について推計を行った。なお紙面の都合上、本稿では食料ならびにリン鉱石の国際貿易に着目して、それに随伴するリンのフローについて述べる。

算出したリンの商品別国別物質フローの推計値をもとに、大陸・地域間ごとのリンフロー図を作成した。食料に随伴するリンのフローの合計値は、約 210 万トン-P であり、全商品の取引に随伴するリンのフロー（約 1900 万トン-P）の約 12%を占める。解析より南北アメリカ、オセアニアおよびヨーロッパから食料の貿易に随伴して輸出されるリン量が大きいことがわかった。またモロッコ、チュニジアや南アフリカなどのリン鉱石産出国がアフリカ大陸外へリン鉱石を輸出している一方で、他のアフリカ諸国はこれを購入する経済力に乏しく、大陸内での消費が少ないことが読み取れた。リン鉱石として地中から採掘され経済圏に入ったリンは、リン酸などに加工された後、肥料として農業生産のために消費される。ここで示したフローは、年間の供給量と需要量とが必ずしもバランスしているものではないが、ヨーロッパはリン鉱石においても食料においても、リンを一方向的に消費している地域であることがわかる。

リン総消費量については、中国、アメリカついでインドネシアとインドが大きな数値を示しているが、人口一人あたりの消費量を見ると、中国とインドは世界の平値均よりも少なく、アメリカやインドネシアはそれよりも高いことがわかる。

今後、アジアにおける経済発展と生活水準の向上により、アジアにおける一人あたりのリン消費量が増大することが予想される。中国やインドにおける人口一人あたりのリン消費量がアメリカ並みに増大する場合、世界におけるリン資源の需給逼迫はますます深刻なものになる恐れがある。

### 2. 国際貿易の背後に隠れたリンのフロー

人口一人あたりのリン消費量は、その国の食生活、経済構造や貿易依存度により大きく異なる。次に、バーチャルリン鉱石需要量 (virtual phosphorus ore requirement, VPOR) という概念を導入して、わが国の食糧消費を支えるリン鉱石の隠れた需要について考えてみた。VPOR は、農作物が生産されるまでに発生する損失分も含めたリン鉱石の需要量を示すことになる<sup>6)</sup>。農業生産において、肥料は植物の生育のために投入される。しかし、投入されたリンのすべてが

農作物に移行するわけではなく、農地の土壌や周辺水域に拡散して失われる部分がある。また、農作物に利用されても、非可食部として農地に残されたり、食品加工の過程で残渣として廃棄されたりする部分もある。これまで、リンのマテリアルフロー分析では、輸入食糧を生産する際に発生するこれらの損失分はあまり考慮されず、国内に持ち込まれたリン量のみが勘定されてきた。VPOR という概念を導入することにより、隠れたリン鉱石需要量を推算することができる。

2008年における日本の食料自給率は、熱量ベースで約40%である。野菜、卵、乳製品といった品目の重量ベースでの自給率は比較的高く、米の自給率はほぼ100%である。その一方で、大豆や小麦、油脂植物の自給率が低いことが、熱量ベースでの自給率を引き下げる要因となっている。

食品輸入量の増大は、VPOR でみたリン鉱石の輸入量を増加させる。2005年に日本は、418万トンの大豆と1666万トンのとうもろこしを海外から輸入している。これらの農作物は、海外で土地、水や肥料を使って生産されたものである。大豆やトウモロコシは、食料としての消費に加えて、家畜飼料としても消費されており、国内での畜産物の生産も、間接的に海外でのリン消費を誘発している。

一般に、肥料投入原単位は国により異なるが、計算を容易にするため、日本と海外における肥料投入原単位に差はないものと仮定すると、2005年に日本は、270万トンの畜産物（肉類）と2694万トンの穀類を輸入している。その背後に隠れたリン鉱石需要量は、穀物生産については約12万トン、畜産物については約15万トンである。穀物の輸入量は、畜産物のほぼ10倍であるにも関わらず、隠れたリン鉱石需要量は両者で同じ程度と推算される。果物の輸入も、無視できない量の隠れたリン鉱石需要量を引き起していることが示された。

2005年の日本における食糧消費を、VPOR の視点から分析した結果より、日本の年間リン鉱石需要総量は616万トンであり、リン鉱石の直接輸入量77万トンの約8倍もあることが示された。また、輸入食料生産に関わるリン鉱石需要量（366万トン）は、国内肥料生産に関わるリン鉱石需要量（374万トン）とほぼ同量であることがわかる。最終的に、「食べる」部分に含まれるリンのリン鉱石換算量は約76万トンであり、これはVPOR の視点から見た年間リン鉱石総需要量の約12%に過ぎない。

以上のように、日本は、年間616万トンの鉱石を直接または間接的に必要としており、そのうち366万トンのリン鉱石が輸入農作物の背後で消費されている。VPOR を考慮したリン鉱石の輸入量は、中国からが最も多く、次に米国およびモロッコからが多い。現在、米国からのリン鉱石そのものの輸入はないが、隠れたリン鉱石需要量で見ると、全体の約20%が米国から持ち込まれていることがわかる。

### 3. 国際フロー解析から得られる政策含意

人口の増加は、食糧需要を増大させ、食糧生産に必要なリン資源の消費を増加させる。また、経済成長により食生活が豊かになると、より付加価値の高い食品に嗜好が移ることも知られている。今後、アジアを中心とした人口の増加と経済の成長により、リン需要は指数的に増加する可能性もある。

エネルギー作物栽培量の増加も、リン資源の消費量を増やす一因となっている。近年のエネルギー需要の増加、原油価格の高騰や地球温暖化などの対策の一環として、各国でバイオ燃料の利用促進政策がとられている。バイオ燃料は、燃焼時に発生するCO<sub>2</sub>量が植物の生長時に吸収されたCO<sub>2</sub>量と相殺するため、カーボンニュートラルであるという点が強調されている。しかし、その栽培には広大な農地、大量の淡水やリンをはじめとする栄養分が必要であり、森林伐採、水や肥料の大量消費などの問題も引き起こす。たとえ新たに森林を切り開いて農地を造成しても、やがては地力が衰え肥料の投入が必要になるため、化学肥料の需要は今後さらに高まることが予想される。リン資源の需給逼迫に対処するためには、社会に眠る未利用のリン資源に着目して、リサイ

クルを含めたリンの持続可能な利用方法を考える必要がある。

#### 2-2-4. (実施項目 4. 資源利用の背後にあるサプライチェーンリスクの可視化)

##### (1) 衛星画像解析による資源利用の背後にある環境リスクの可視化

資源利用の背後にあるサプライチェーンリスクの一つとして環境影響があげられる。なかでも鉱山開発により引き起こされる環境改変の大きな1つが土地改変であり、その結果引き起こされる問題が生態系への悪影響である。ここでは、本PJで実施したニューカレドニアにおけるニッケル鉱山開発による土地改変の定量的分析の結果を示す。

現在商業的に採掘されるニッケル資源の多くは酸化鉱と硫化鉱に分類される。これまでは資源量は酸化鉱の方が大きいものの、商業的に硫化鉱が優位に立つケースが多かったが、低品位酸化鉱利用技術の発展などもあり、酸化鉱への期待は高まりつつある。ニューカレドニアは世界3位の酸化鉱生産国であり、特に我が国にとって重要な輸入元である。現在商業的に採掘されるニッケル酸化鉱鉱床の多くは地下20-40m程度と地表に近いものが多く、その多くは露天掘の一種であるオープンカットと呼ばれる採鉱法で採掘されており(Mudd, 2010)、ニューカレドニアも例外ではない。他方でニューカレドニアは生物多様性ホットスポットの1つとして知られており、その生物多様性を脅かす一つの原因として島の主産業である採鉱業があげられることも多い。

(Grandcolas et al, 2008 and Pascal et al, 2008)

今回はニューカレドニアのニッケル鉱山を多く操業している Société Le Nickel (SLN) の関わる6つの鉱山を対象に検討を行った。分析手法としては、衛星画像解析を用いた。この種の分析について、操業している企業と共同で実施することでより正確な情報を得ることが可能である。しかし、本研究PJの性質を鑑み、客観的にかつ公開されている情報を用いて土地改変面積を定量化する試みとして画像解析を用いることとした。

まず、ニューカレドニアの企業別鉱区情報(詳細は後述)やGoogle Earth, Mining Atlasなどの地図情報から、対象企業が鉱山を持つ地域を大まかに把握した。次に、3年分の衛星画像(1986年、1995年、および2012年)を比較し、その地域において1986年から2012年の間に土地改変(裸地化)が進んでいる場所を特定した。なお、本研究では各時期の裸地総量ではなく、対象期間中での改変量に注目している。そのため、衛星画像から裸地だと確認できた場合でも、対象期間中に変化の見られなかった裸地に関しては、解析対象から除いている。特定した裸地を対象に画像解析を行い、裸地部分の面積を測定するためのポリゴンを作成した。最後に、作成したポリゴンと企業別の鉱区情報を衛星画像上で重ね合わせ、鉱区の場所と土地改変が起きていた場所の位置関係を評価した。これらの手順によって本研究で注目すべき裸地を特定した後に、改変量を求め採掘量等の操業データの比較を行った。なお衛星画像は、Terra Aster, SPOT HRV, Landsat TM/ETM+で撮影されたものを使用した。

これらの鉱山は、同じ1つの島の中にある、比較的地質的環境の似た同鉱種の鉱山である。しかし、鉱山ごとの土地改変面積の傾向は大きく異なることが改めて見出された。酸化鉱ニッケル鉱床が、比較的水平的な層状鉱床であることを考えれば、この違いは大きいようにも思える。ただし、一部の鉱山が尾根状の複雑な地表面形状を持つことが1つの要因であると考えられる。

また、ニッケル協会の原単位との差も興味深い。仮にニッケル協会の原単位の計算が、ピットのみを対象としているとしてもF以外の鉱山についてはこの値よりもかなり大きな土地改変が起きていると示唆している。この結果は少なくともニューカレドニアのニッケル採掘による土地改変に関してニッケル協会の原単位を用いてLCAを行うことは過小評価の恐れがあることを意味する。

今回、土地改変面積の原単位（この場合、土地改変面積/金属生産量）を、公開情報である衛星画像の解析を通して定量的に捕捉可能であることを確認し、その上で似た条件の鉱山であっても大きく異なる可能性があることを確認できた。つまり本PJの趣旨で言えば、様々な鉱山について今回の手法を用いて原単位の計算をすることで、土地改変面積、ひいてはそれによる生物多様性への影響という視点から見て、どの地域、鉱山からの鉱石輸入がより望ましいものかを知ることが出来ることを示唆することが出来たと言える。

参考文献リスト

1. Grandcolas, P., Murienne, J., Robillard, T., Desutter-Grandcolas, L., Jourdan, H., Guilbert, E., & Deharveng, L. (2008). New Caledonia: a very old Darwinian island?. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363, 3309-3317
2. Mudd, G. M. (2010). Global trends and environmental issues in nickel mining: Sulfides versus laterites. *Ore Geology Reviews*, 38, 9-26.
3. Nickel Industry LCA Group, (2000). LIFE CYCLE ASSESSMENT OF NICKEL PRODUCTS.
4. Pascal, M., De Forges, B., Le Guyader, H & Simberloff, D. (2008). Mining and Other Threats to the New Caledonia Biodiversity Hotspot. *Conservation Biology*, 22, 498-499

(2) リソースロジスティクスに基づく様々なリスクの可視化

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 Fig. 6 のように行った。特に事例研究：リンについては、マテリアルフロー情報をもとに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、カントリーリスク、随伴元素による環境影響に関わるリスクを可視化する手法の開発と、その応用事例研究を進めた。

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



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)

採掘		精錬		加工		組立		消費		回収・再資源化	
国	技術	国	技術								

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 技術バケット

Fig. 6 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

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 Fig. 7 で示すような定式化のもとで行った。Fig. 8、9 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。

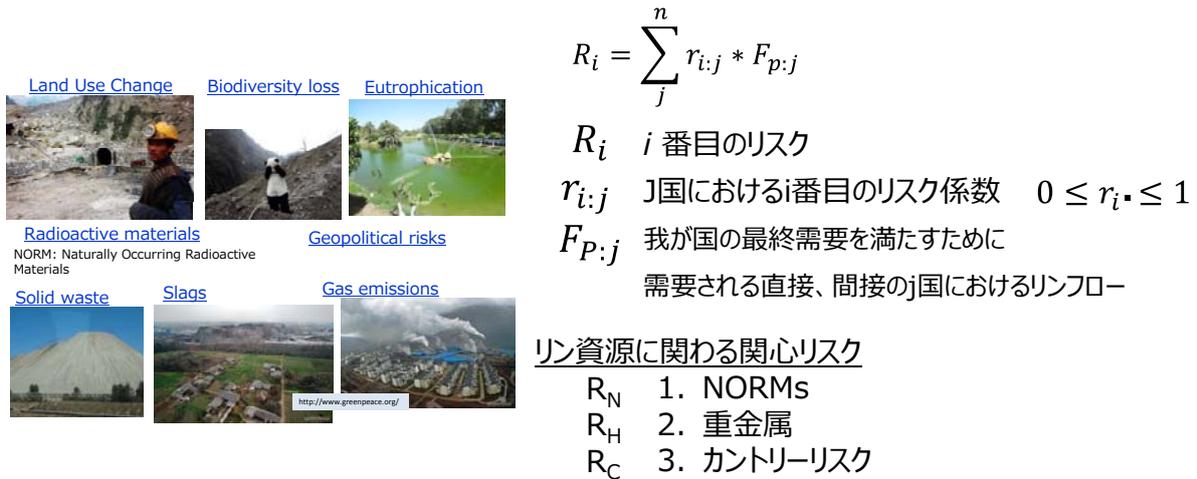


Fig. 7 事例研究：リンにおけるサプライチェーンリスク可視化の定式化

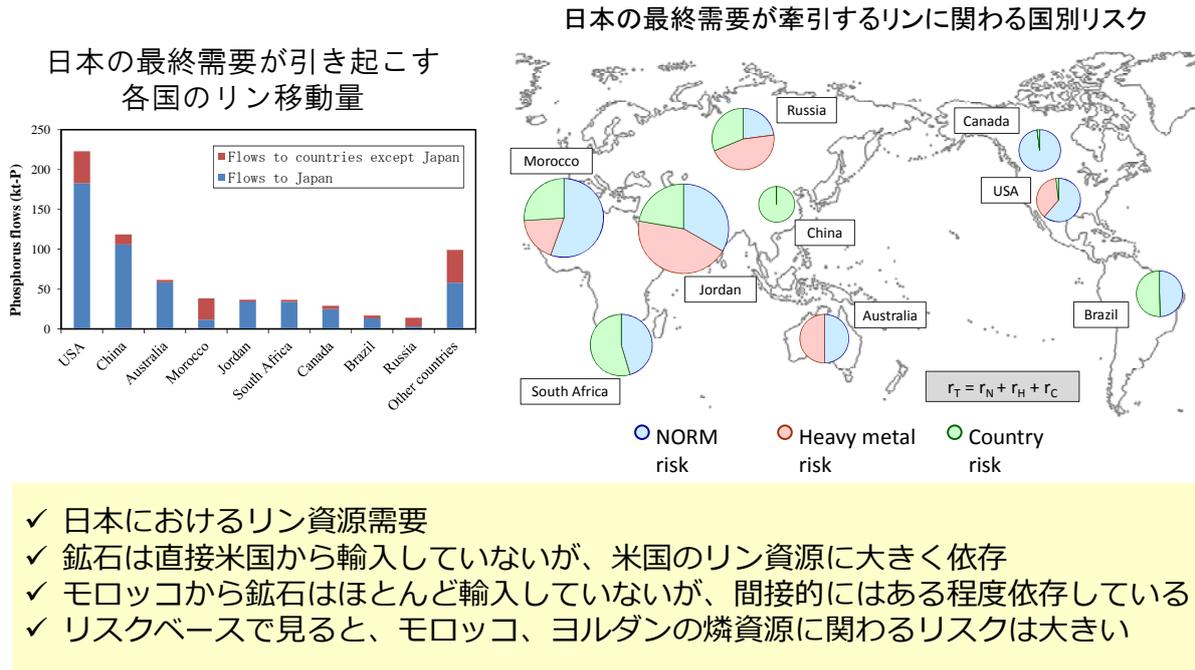


Fig. 8 日本の最終需要が引き起こす各国のリン移動量と、その背後にある国別リスク

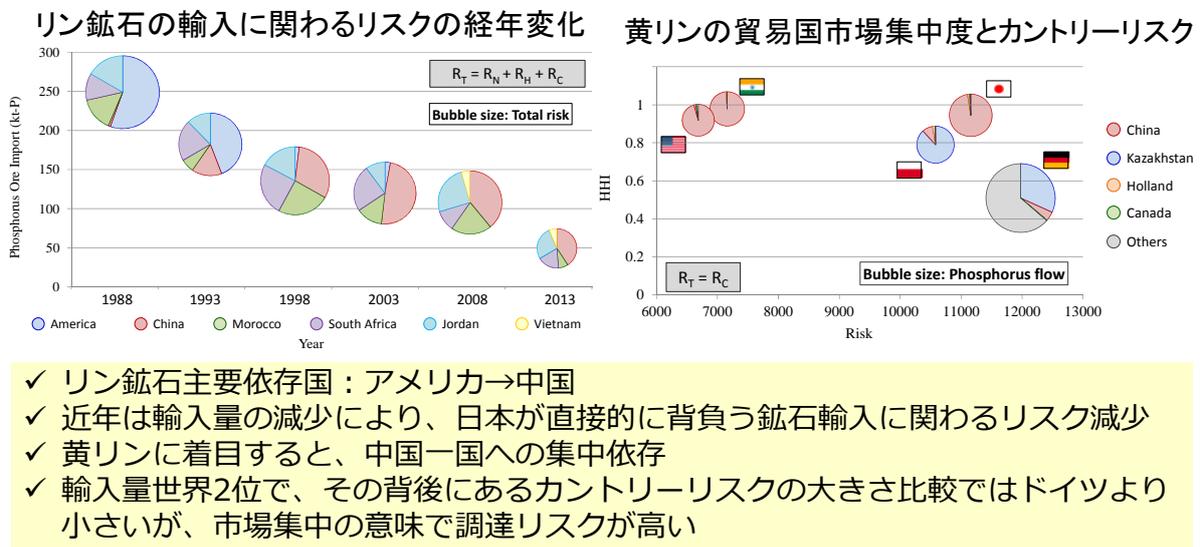


Fig. 9 リン鉱石の輸入に関わるリスクの経年変化と、黄リン貿易に伴うカントリーリスクとHHIの関係

**2-2-5. (実施項目 5. ステークホルダーガバナンスに向けた情報提供のあり方について意見交換、ヒアリング調査)**

(1) 未利用ニッケル資源の利用促進に関わるステークホルダーへの情報提供と意見交換

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）。

## [A]ニッケルの資源散逸と未利用資源

資源利用に伴う環境負荷物質の排出や環境影響が懸念される一方で、ライフサイクルを通じた資源の散逸が指摘されている。MFAを用いることでReckらは、採掘されたニッケルの約48%がライフサイクルを通じて散逸している可能性を指摘している。また、日本国内でのニッケルの散逸量を、Reckら40)は約3.1万トン(2000年)と推計し、村上ら41)は5.6万トン(2005年)と推計している。

日本国内において散逸が懸念されるニッケルとしては、リサイクルの仕組みが未確立のニッケルめっき廃液・スラッジの他、更なるリサイクルの高度化が求められるニッケル系ステンレスの酸洗スラッジや廃触媒、不十分な選別・回収により普通鋼スクラップに混入したニッケル系ステンレスなどが挙げられる。また将来的に排出量の増加が予想される二次電池(Ni-MH電池やLi-ion電池)もリサイクルの高度化・高効率化が期待される。

しかしながら、ニッケル含有二次資源のリサイクル・廃棄物処理は、小規模な排出事業者等を含めて多様なステークホルダーにより構成されており、排出量・処理量を含めた実態の把握が非常に困難である。また、ニッケル含有二次資源は、発生物故に、含有するニッケルおよび不純物を含めた品位の保証は、困難であり、鉱物資源やその加工品を主原料にプロセスの最適化が進められているニッケル製造業や合金製造業等においては、再生原料としての利用において大きな課題を有している。特に、ステークホルダー間で、物量や品位情報、更には、不純物の許容量を含めた制約条件等の情報共有は進んでおらず、これらは、リサイクルの高度化・高効率化を進める上での障害となっている。

ニッケルの散逸過程には、さまざまな可能性があるものの、日本国内の消費量ベースでは、ニッケル消費の9割を占める鉄鋼材としてのニッケルフローならびにステンレス鋼としての散逸について分析した。ニッケルを含有する鉄鋼材には、いくつかの種類があり、種類によってニッケル含有率は異なる。そこで、鉄鋼材のうち、ニッケルを含有するNi-Crステンレス鋼(8%Ni)、Ni-Cr-Moステンレス鋼(10%Ni)、低合金機械用構造鋼(0.1%Ni)、耐熱鋼(4.7%Ni)、低温用合金鋼(8.5%Ni)を分析対象とした。ただし散逸量の推計においては、必要なデータが整備されていたステンレス鋼2鋼種を分析対象とした。それらニッケル含有ステンレス鋼の用途別消費量が過去からの経年で得られることから、それぞれの用途の使用年数分布を用いた動的MFA

(material flow analysis)により、使用済み製品に含まれて排出されるニッケル含有ステンレス鋼の発生量を推計した。一方で、ニッケル含有ステンレス鋼のスクラップとして回収され、消費されるステンレス鋼スクラップ量が得られたことから、発生量に対して、回収量が少ない場合、その差分が使用済み製品からの回収時の散逸分であると考えた。また、ニッケル含有率の設定の妥当性を確認するため、生産された鉄鋼材中のニッケル純分とフェロニッケル等の原料中のニッケル純分の物質収支が整合していることを確認した。その結果、2005年の日本においては、 $3 \times 10^2$ トンのニッケルが散逸していたと推計された。これは、推計された発生量 $3.7 \times 10^4$ トンに比べると1%程度であり、ステンレス鋼に使用されているニッケルは、使用済み製品の回収において、ほとんど散逸していないことがわかった。これは、発生量の半分程度が散逸するとされているCu (Daigo et al., 2008: RCR)とは大きく異なる結果であった。大きな理由に、ニッケル含有ステンレス鋼が非磁性であり、磁性を有するその他の鉄鋼材とは区別が容易であることと、ニッケル

ル資源の価格が高く、かつ製鋼においてニッケルは溶鋼中に分配される (Nakajima et al., 2011: EST) ため回収するインセンティブが高いことが考えられた。

## [B] ニッケルめっき廃液・スラッジ等の発生量および処理量

めっき技術は、材料の高機能化、長寿命化などの特性改善を目的とする表面処理方法として、電気電子機器、自動車、建築などの様々な産業分野において利用されている。表面処理技術においてニッケルは、ニッケルめっきとして、耐食性の付与を目的に自動車部品や化学装置など厳しい腐食環境で使用される部分に、あるいは、装飾性の付与を目的に多様な製品に適用されている。また、ニッケルの他に、クロム、銅、あるいは、貴金属等の有用金属が多用されており、これらの物質を含む洗浄液等の排水は、主として中和沈殿法等により処理が行われているものの、廃棄物処理に伴うニッケル、クロム等の資源の散逸を招いている。

湿式めっき法によるニッケルめっきは、電気めっき法と無電解めっき法があり、製品形状や要求される被膜特性等に応じて使い分けられている。電気ニッケルめっき工程では、陽極用の金属ニッケル、電解液用の硫酸ニッケル、塩化ニッケル、スルファミン酸ニッケル等が用いられる。また、無電解ニッケルめっき工程では、調合された無電解ニッケルめっき液が主として用いられる。なお、これらの市場規模に関する情報としては、過去に経済産業省や九州経済産業局が実施した調査の他には、僅かに、経済産業省が非鉄金属等需給動態統計にてニッケル地金の需給内訳を示すと共に、日本表面処理機材工業会が無電解ニッケルめっき液の国内生産量を把握しているのみである。そこで、以下では、電気ニッケルめっきおよび無電解ニッケルめっきについて、上述の資料およびヒアリング情報などをもとに、大よその市場規模を記す。

電気ニッケルめっきの市場規模について、経済産業省の調査によると、調査時点(2002年10月)の全国鍍金工業組合連合会(全鍍連)会員による電気ニッケルめっき薬剤類の年間使用量は、3,780 t-Ni (金属ニッケル: 3,167 t-Ni、硫酸ニッケル: 472 t-Ni、塩化ニッケル: 121 t-Ni、スルファミン酸ニッケル: 19 t-Ni)であったと推計されている。また、これらの投入量の3割 ( $1,134 \text{ t-Ni} = 3,780 \text{ t-Ni} \times 0.3$ )が水洗廃液として排出されていると推計されている。なお、これらの数値には、年間1000 t-Ni程度と推測される鉄鋼業等におけるニッケルめっき鋼板用途の使用量等、あるいは、全鍍連の非会員の製造業におけるめっき用途の使用量等は含まれていない。一方、電気ニッケルめっきの市場規模に関連する情報として、非鉄金属需給動態統計によると、めっき用途でのニッケル地金の需要量は、2,500 t (2002年)および3,090 t (2003年)であった。これらの数値の差異の原因としては、調査票調査対象数や回収率、推計方法の差異によるものと推測される。例えば、経済産業省の調査では全鍍連の組合員1962社に対して回答率45.7%であったのに対して、非鉄金属需給動態統計の調査について最近の情報では、調査対象数665事業所(回収率: 89%)と公表されている。

他方、無電解ニッケルめっきの市場規模については、日本表面処理機材工業会が同工業会の会員企業による無電解ニッケルめっき液の国内生産量を内部向け資料として把握している。資料によると、2011年の国内生産量は23,014 tであり、液寿命と廃液中のNi濃度(Ni濃度: 3.5-5.5g/L)から推計した老化廃液の排出量は、年間100-150 t-Niと推計されている。また、上記の調査に対応した2001年の市場規模も同程度であったと推計されている。なお、この他、無電解ニッケルめっき工程においても水洗廃液が発生するが、その規模は電気ニッケルめっき工程の水洗廃液の発生量と比べると微々たるものであると推測される。

これらの情報から、市場規模の概観としては、年間のニッケルめっき工程へのニッケル投入量は約 $4 \times 10^3$  t-Niであり、その排出量は $1.2 - 1.4 \times 10^3$  t-Ni程度である事が推測される。廃棄物処理・リサイクルの現況について、全鍍連、めっき事業者、産業廃棄物処理業者、スラッジ等の購買者へのヒアリングを行ったところ、a)ニッケルめっき廃液・スラッジ等のリサイクルは、殆ど

実施されていない現状である事、僅かに、b)中間処理工程を経て、硫化ニッケルとして海外に販売している事例、あるいは、めっき工程で発生する高品位のスラッジ・廃液等が北米の事業者により取引されている事例などが存在している事、等が明らかになった。なお、国内の製錬事業者により処理が実施された事例も存在するが、少量の限定的な処理に留まるということであった。過去から現在にかけて、無電解ニッケルめっき液の長寿命化、リサイクル技術の開発等が進められているものの、日本国内に広く普及しているリサイクル技術あるいはリサイクルの仕組み・制度は存在しておらず、依然として、大部分は産業廃棄物処分場にて最終処分されている状況には変化がないことがわかった。

## [C] リサイクル技術の開発動向と、ニッケルめっき廃液・スラッジ等のリサイクル技術に対する政策含意

ニッケルめっき廃液・スラッジ等のリサイクル技術の開発は、表面処理業、産業廃棄物処理業、金属製錬業等により進められている。最近では、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)主導の省水型・環境調和型水循環プロジェクトの一環としても技術開発が実施されている。

無電解ニッケルめっきの老化廃液を対象としたリサイクル技術としては、上記のNEDOプロジェクト等でも開発が進められている溶媒抽出法による硫酸ニッケル等の回収技術が挙げられる。先進的な技術としては、エマルションフロー法による抽出効率の向上とコンパクト化の検討、協同効果による抽出効率の向上や残液中のリン成分の肥料用途としての有効利用に関する検討が進められている。回収物である硫酸ニッケルの用途としては、無電解ニッケルめっき工程での再利用などであるが、自家利用を除いた他用途での利用は未だ普及していない。

また、電気ニッケルめっき、あるいは、無電解ニッケルめっきの水洗工程から発生するニッケル等の重金属を含んだ排水(水洗廃液)を対象としたリサイクル技術として、中和沈殿法やイオン交換樹脂法を用いた技術開発が進められている。この水洗廃液は異なる種類のめっき工程からの排水が混入するため、ニッケル含有量が少なく不純物量が多い。中和沈殿法によるニッケルの回収技術では、水洗廃液の分別回収によるニッケルの濃化技術を組み合わせる事で、めっきスラッジの削減と共に水酸化ニッケルの回収に成功している。また、この水酸化ニッケルを原料として硫酸ニッケル水溶液を作り、ニッケルめっきの電解液としての自家利用も実証しているものの、回収された水酸化ニッケルおよび硫酸ニッケルの用途開拓には至っていない。他方、イオン交換樹脂法を用いたニッケル回収技術は、ニッケルの回収と共に、水洗廃液から再生された水の再使用による水使用量の削減や放流排水のNi濃度低減等を目的として開発が進められている。なお、この技術を利用した商用設備も存在しており、処理を経て回収された水酸化ニッケルのニッケル合金精錬業への販売実績もあるものの、不純物(塩素や硫黄)の含有などにより、水酸化ニッケルとしての市場価値は低く、回収物の用途開拓には至っていない。

加えて、無電解ニッケルめっき廃液および水洗廃液の処理により発生するスラッジ等を対象としたリサイクル技術として、硫化物沈殿法によるニッケル回収技術の開発が実施されている。この技術は、硫化水素ガスセンサーを用いることで、懸念される硫化水素の発生及び悪臭とコロイド化の液中反応制御を達成しており、いくつかの産業廃棄物処理業にて、めっき廃液からの硫化ニッケルや硫化銅の回収技術として実用化されている。また、硫化ニッケルとしての回収の他、後段に工程を組み合わせる事で、硫酸ニッケルや金属ニッケル(>98%-Ni)としての回収も検討されている。なお、回収された硫化ニッケルについては、国内での用途開拓には至っておらず、ニッケル含有原料として海外に有価売却されている。

更に、スラッジに含まれるニッケル等の有価金属の回収技術としては、電気炉等の乾式溶解炉を用いたニッケル含有合金の製造なども挙げられる。事実、処理の検討や小規模ながらも再生原料としての処理実績に関する情報も得られている。また、規模は異なるが、回転床炉や電気炉など

によるステンレス等の製造工程で発生するスラッジやダスト等の処理実績も存在している。ただし、スラッジ等の再生原料としての有価売却のためには、他の不純物成分を含めた品質の管理が重要になってくるものと思われる。

## (2) 持続可能なリン資源利用に関わるステークホルダーへの情報提供と意見交換

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）。

### [A] バイオマスの利用に関わるステークホルダー解析

バイオマスの利用には、様々なステークホルダーが関与する。廃棄物系バイオマスの循環利用については、市町村などの地域的規模で実施され、関与するステークホルダーは当該地域内に存在するものが主となる。本研究プロジェクトでは、こういった場合のステークホルダーガバナンス、関係主体間の相互作用による合意形成や意思決定について検討する。廃棄物系のリン資源として鶏ふんに着目し、その循環利用に関わるステークホルダーについてヒアリング調査を行い、それらの関係性や構造を整理した。鶏ふんは、廃棄物系バイオマスの中でも焼却発電されることが多いが、その焼却灰がリン肥料あるいはその原料として利用できる。

#### (1) 鶏ふん循環利用のステークホルダー

鶏ふんの循環利用の事例として、養鶏が盛んなA県での事例Bおよび事例Cを選定し、各々の事例を中心的に担う事業者Dおよび事業者Eに対して2013年にヒアリング調査を実施した。調査では、実際に業者を訪問し、鶏ふんの循環利用に関する事業のステークホルダー、施設で用いられている技術、事業のシステム、および経緯などについてヒアリングした。

##### 1) 事例B（事業者D）

事例Bでは、事業者Dの総務部の課長F氏にヒアリングした。事例Bの概要は、A県のほぼ半分の地域で発生した鶏ふんを回収し、これをボイラーで燃焼・発電（場内利用、および電力事業者に売電）し、焼却灰は肥料原料に利用するものである。鶏ふんは13.2万t/年処理され、鶏ふん発電の規模は発電端で11,350kW、送電端で9,000kWである。また、焼却灰が1.3万t/年発生し、肥料製造業者に送られる。このような物質フローとステークホルダーの関係をFig.10に示す。

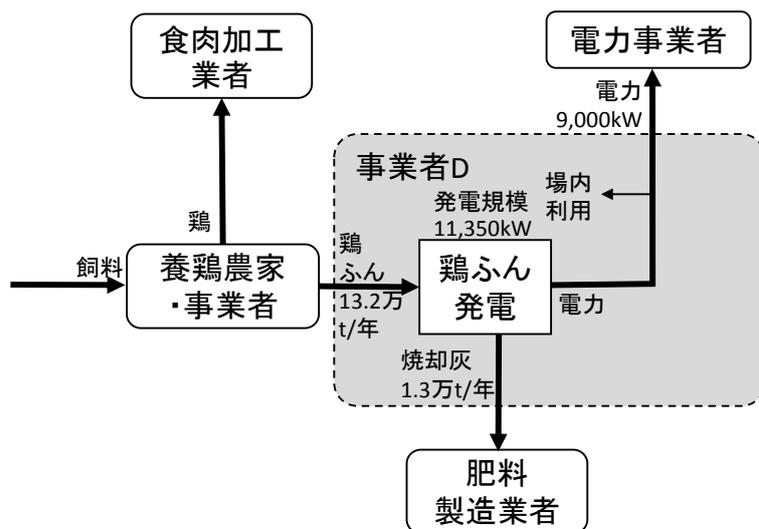


Fig. 10 事例Bにおける物質フローとステークホルダー

Fig. 10 に示すように、事例Bの物質フローの構造自体は単純なものであるが、循環利用する廃棄物系バイオマスの量が単独の事例としては非常に大きく、このようなシステムを構築・運用するのは容易ではない。そこで、システムを形成する重要な要素の一つであるステークホルダーの関係性が重要である。事業者Dへのヒアリング調査によって明らかになった事項を以降で述べる。

事例Bが計画された背景には、家畜ふん尿処理に関する法改正（1999年改正、2004年完全施行）の動きがあった。ヒアリングしたF氏によれば、同法改正の前からA県が動いていたようである。その動きとは、鶏ふんの適正処理の徹底に向けた検討と推測されるが、本調査では確認をとれていない。本事例の鶏ふん発電施設の着工は2004年であり、前述の改正法完全施行と同年である。本事例のシステム構築、およびステークホルダーの調整において重要な役割を果たしたのは、事業者Dの副社長である。同氏は、もともと鶏ふんの堆肥化を手掛けていた事業者であり、本事例のシステム形成において、堆肥化事業のステークホルダーや販売ルートをそのまま利用した。また、電力事業者や商社ともつながりがあり、それらのステークホルダーと準備会を作って本事業を開始した。なお、F氏によれば「本事例のシステム形成は副社長の人間性に依るところが大きい」とのことである。鶏ふんを排出する養鶏事業者と、焼却灰を受け入れる肥料製造事業者は系列会社であり、養鶏事業者は事業者Dに対して焼却灰の引き取りを保証する契約を結んでおり、事業者D自体が焼却灰の受け入れ先確保に苦勞することはない。また、従来は競合関係にある養鶏農家・事業者は、鶏ふんの循環利用を通じて何らかの連携を行っているようである。前述したように、本事例は準備段階から電力事業者の関わりが強く、事業者Dの従業員43名のうち電力事業者からの出向が15名となっている。以上の内容をFig. 11に示す。

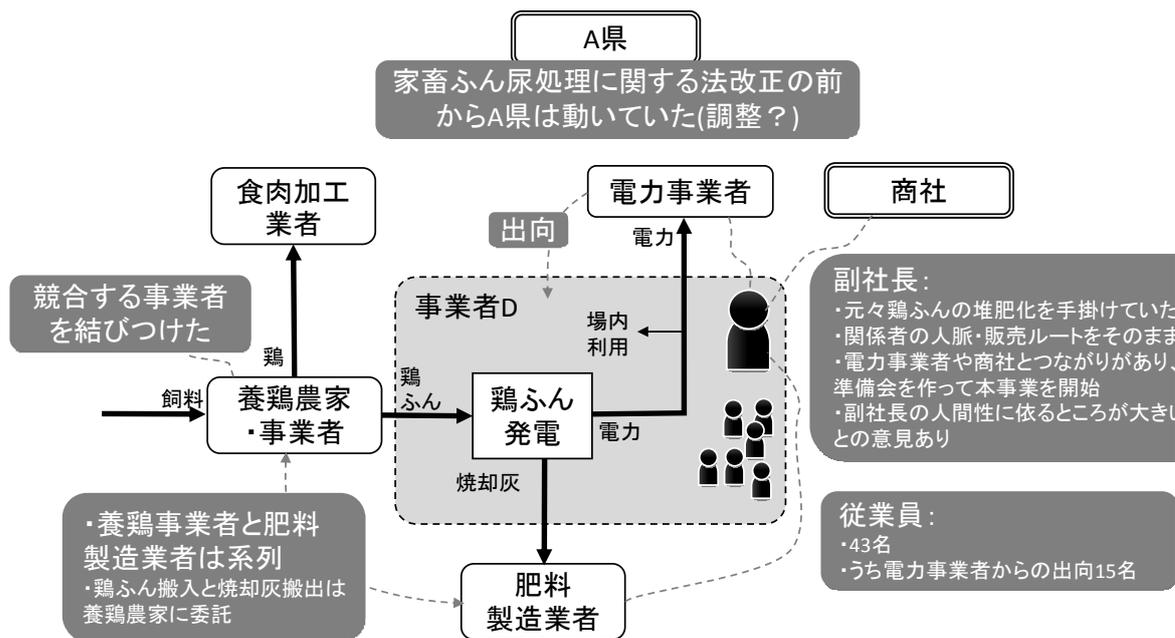


Fig. 11 事例Bにおけるステークホルダーとそれらの関係性

同事例のステークホルダーとそれらの関係性の調査結果から、資源循環利用システムにおけるステークホルダーの調整において重要な事項を下記のように抽出した。

<有効なステークホルダー調整の方策>

- ・事業導入地域に人脈を保有している人材を活用する
- ・廃棄物の排出事業者と副産物の利用事業者の系列があれば活用する

<有効な循環利用システム構築の方策>

- ・可能であれば既存の事業における物流ルートを利用する
- ・副産物の引き取り先を確保する

<課題>

- ・出向者の入れ替わりが早いと、常駐者との目的・意識のズレが生じる場合がある

2) 事業C (事業者E)

事例Cでは、事業者Eの常務取締役のG氏にヒアリングした。事例Cの概要は、事例Bと同様、A県の半分の地域で発生する鶏ふんを回収し、これをボイラーで燃焼・発電し、焼却灰は肥料原料として利用するものである。ただし、事例Bとは異なり、回収したエネルギーは熱として利用する割合が大きい。この熱はレンダリングで用いられる。レンダリングは、事業者Eの本来事業であり、食肉加工業者が排出した不可食部、および食品加工業者が排出した加工残渣などを熱処理し、脂肪を溶かして油脂(原料)にするものである。この熱処理に必要な燃料として、従来はA重油を用いていたが、本事例では鶏ふん焼却熱を用い、A重油の費用が1/3になった。事業者Eのレンダリングでは、食品油脂原料の他に、ペットフード、飼料原料、肥料原料なども生産する。食用油脂原料とペットフードは各々、食用油脂精製業者とペット食品販売業者に販売する。飼料原料も同様に飼料製造業者に販売する。肥料原料はそのまま販売するか、あるいは鶏ふん焼却灰と混合して肥料を製造する。肥料製造においては食品販売小売業者から受け入れた食品残渣も原料となる。肥料原料や肥料は肥料製

造業者、飼料作物農家、および耕種農家に販売される。飼料や飼料作物は養鶏農家・事業者や畜産農家における鶏・豚・牛の飼育で与えられ、それらの家畜は食肉加工業者に販売・加工されて食肉となり、食品販売小売業者を通じて一般消費者に販売される。鶏の飼育で発生する大量の鶏ふんは、前述のとおり事業者Eによって回収され、ボイラーで熱利用される。事例Bと異なる要素の一つは、本事例では牛・豚の畜ふんも受け入れていることである。畜ふんは18万t/年投入され、その大半は鶏ふんである。畜ふん発電の規模は3,000kWであるが、前述のとおりエネルギーの大半は熱利用である。また、ボイラーでの燃焼にともない焼却灰は1.8万t/年発生し、前述のとおり肥料原料として利用される。このような物質フローとステークホルダーの関係をFig. 12に示す。

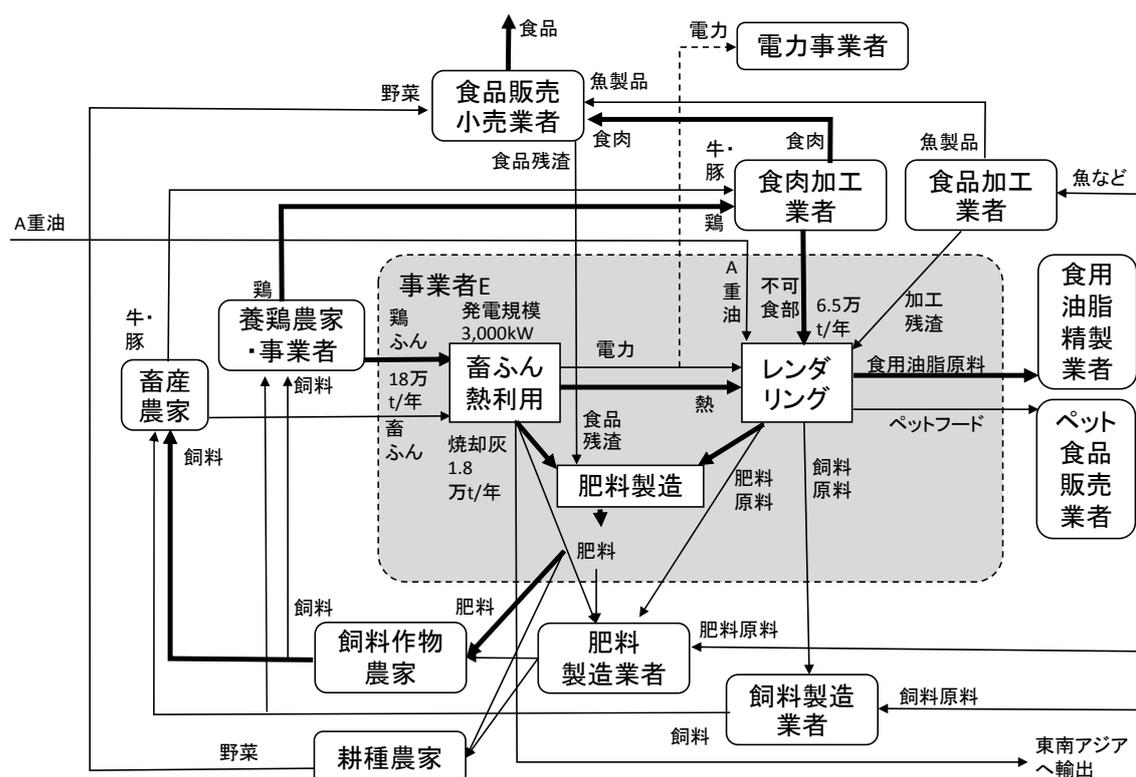


Fig. 12 事例Cにおける物質フローとステークホルダー

Fig. 12に示すように、事例Cの物質フローは事例Bに比べると非常に複雑である。これは、畜ふんの熱利用のみならずレンダリングという事業者Eの中核技術が絡んでいるためである。レンダリングには、食肉加工業者から不可食部、そして食品加工業者から加工残渣が投入される。レンダリングからは、食用油脂原料、ペットフード、飼料原料および肥料原料という多様な産出がある。また、肥料については、レンダリングからの原料産出だけでなく、畜ふん熱利用から排出される焼却灰も原料として混合される。肥料製造プロセスには、食品販売小売業者から食品残渣も投入される。このように、特にレンダリングをはじめとして投入産出が多岐にわたり、そのため、関連するステークホルダーも多岐にわたるのが本事例の特徴である。事業者Eへのヒアリング調査によって明らかになった事項を以降で述べる。事業者Cはもともとレンダリング業者として1973年に創業した。このころ、A県を含む地域において畜産が国策として定着し、食肉加工の工場なども併設が始まったという経緯がある。従来、鶏ふんは肥料に用いられてきたが、排出量の増大にともない燃料化が検討された。こういったシステム構築は農業、行政、企業が協力しないと困難であるが、本事例の場合、事

業者Cが「A県の担当部局に任された（前述のG氏談）」とのことである。これは、ステークホルダーへの連絡・依頼・調整は事業者C自身が行うが、その際にはA県の下承済みと説明できる、という意味と捉えられる（ただし事業者CとA県には再確認していない）。鶏ふんなどの焼却灰を混合した肥料（原料）については、肥料製造業者に徹底して営業活動を行い、現在の受け入れ体制が構築された。また、システム構築にあたっては養鶏農家とも調整が行われた。事業者Eは、養鶏農家に対して可能な限り前処理を依頼し、異物混入についても度々の話し合いを行った。本事例の中核となる畜ふん熱利用のボイラー技術については、事業者Eがメーカーと共同研究し、その応用は現場スタッフと議論を行った。事業者Eの従業員は280名で、半数が地域内での採用である。従業員が前述の事業者D（事例B）に比べて多いが、これは中核事業のレンダリングに関するものが多いためと考えられる。また研究スタッフの数は7、8名である。以上の内容をFig. 13に示す。

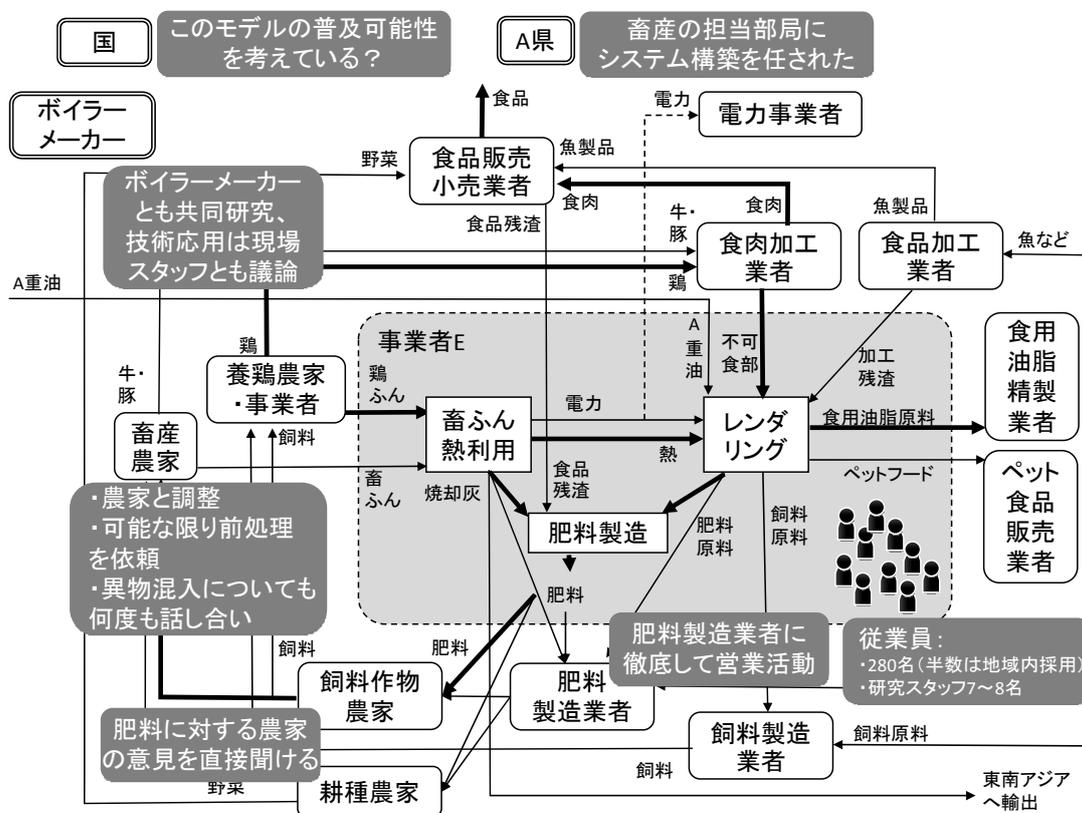


Fig. 13 事例Cにおけるステークホルダーとそれらの関係性

同事例のステークホルダーとそれらの関係性の調査結果から、資源循環利用システムにおけるステークホルダーの調整において重要な事項を下記のように抽出した。

<有効なステークホルダー調整の方策>

- ・行政からの事業者への一任による効率的な連携
- ・他のステークホルダーへの丁寧かつ根気強い説明（営業活動）
- ・地場企業としての地域での信頼に基づく活動

<有効な循環利用システム構築の方策>

- ・既存の熱利用プロセスとの連携による物質・エネルギーの相互利用と高効率化

- ・共同研究や運用現場からの適切なフィードバック
- ・肥料に対する耕種農家の意見の反映

<課題>

- ・造粒灰の pH が高く中和剤が必要（技術的改善が期待される）

### （3） まとめ

A 県における 2 つの鶏ふん循環利用の事例は共に規模が大きく（2 事例で全県の鶏ふんをすべて受け入れている）、コストやエネルギーの面でも効率が良いと考えられる。ただし、両事例の中心となるシステムは、事例 B が鶏ふん発電単独、事例 C が既存のプロセスとの複合、というように対照的である。このことは、ステークホルダーの数にも影響し、事例 B より事例 C の方がステークホルダーの多様性が大きい。このような違いはあるものの、両事例はともに持続的に運用されている。

ここまでの考察を踏まえ、バイオマスおよびリン資源の循環利用に関する他の事例でも有効となりうるステークホルダー調整の方策を考察し、下記のようにまとめた。

<他の事例でも有効となりうるステークホルダー調整の方策>

- ・地域に人脈を持つ人材の活用
- ・既存の物流ルートとそのステークホルダーの利用
- ・地場企業としての地域での信頼に基づく活動
- ・他のステークホルダーへの丁寧かつ根気強い説明（営業活動）
- ・専門的なステークホルダーとの共同研究による技術改善

本調査では、リン資源の循環利用のステークホルダーに関して、A 県での鶏ふん循環利用（エネルギー回収、リン肥料化）の事例を対象とし、中心を担う事業者に対してヒアリングを実施し、システム・事業・ステークホルダーの関係性を調査した。その結果を整理・考察した結果、各々の事例で有効であったステークホルダー調整の方策や、他の事例でも有効となりうる方策などが明らかとなった。方策は様々であるが、地域における既存のステークホルダーの基盤（人脈や地場企業の信頼など）を活用することは特に有効といえる。

今後、こういった調査を他の事例でも実施することによって、より多くの有効な方策が明らかになると考えられる。また、それを通じて一般的な傾向が判明すれば、より根本的な方策の検討にもつながる。

### 3. 研究開発成果

#### 3-1. 成果の概要

##### 実施項目 1. 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

各事例研究グループと連携を図りつつ、分析結果の考察、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確立をおこなった。

##### 実施項目 2. 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

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に関して 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、地図上に国別資源採掘需要量の可視化を行った。

産業活動において重要なレアメタルの一つであるニッケルについて、我が国経済が直接間接にどの国に、どれほどの資源依存を行っているのかを定量的に明らかにした。

また、ニッケル資源利用の背後にあるリスクを定量評価する手法開発を行った。

さらに未利用資源の活用は、我が国におけるニッケル資源調達に関わるサプライチェーンリスクを軽減できる可能性を有するが、その供給可能性と、その再資源化におけるステークホルダーと障壁を明らかにした。

##### 実施項目 3. 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

農業、食糧供給において必須の栄養塩の一つであるリンについて、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。さらに未利用資源の活用において、ヒアリングを通じて誰が重要なステークホルダーであるかの抽出を行い、リンフローの流れを変えるイノベーションにおいて何が障壁となるのかを明らかにした。

##### 実施項目 4. 資源利用の背後にあるサプライチェーンリスクの可視化

###### (1) 衛星画像解析による資源利用の背後にある環境リスクの可視化

資源利用の背後にあるサプライチェーンリスクの一つとして土地改変による環境影響に着目し、衛星画像解析に基づく、鉱山周辺の土地改変量の推定を行い、資源供給の背後の環境リスクの可視化手法を構築した。

###### (2) リソースロジスティクスに基づく様々なリスクの可視化

マテリアルフロー情報をもとに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、カントリーリスク、随伴元素による環境影響に関わるリスクを可視化する手法の開発と、その応用事例研究を進めた。

## 実施項目 5. ステークホルダーガバナンスに向けた情報提供のあり方について意見交換、ヒアリング調査

(1) 未利用ニッケル資源の利用促進に関わるステークホルダーへの情報提供と意見交換  
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、その類型化を行った。その結果、未利用ニッケルの活用において、どのステークホルダーが重要で、国内での資源循環を阻害・妨げる要因となる産業の欠落を明らかにした。

(2) 持続可能なリン資源利用に関わるステークホルダーへの情報提供と意見交換  
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の役割を解析した。

### 3-2. 各成果の詳細

#### 実施項目 1. 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

- ・リソースロジスティクスを今後明らかにしようとする、学術関係者ならびに、その情報に基づき技術についての評価を行おうとする R&D 担当者
- ・ツールの提供
- ・ツールの適用についての制限はなく、関心のある利用者は関心のある資源を対象として適用可能

#### 実施項目 2. 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

#### 実施項目 4. 資源利用の背後にあるサプライチェーンリスクの可視化

- ・ニッケル資源を直接・間接に利用する需要家、R&D 担当者、資源戦略に基づく政策立案を行う行政担当者
- ・我が国の経済活動が直接・間接に需要するニッケルに関する国内外のフロー情報ならびに、資源利用の背後にある環境リスクの可視化情報
- ・多くの内容は学術論文等として発信しており、すでに公表している情報の利用についての制限はなく、関心のある利用者は自由に参照可能

#### 実施項目 3. 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

#### 実施項目 4. 資源利用の背後にあるサプライチェーンリスクの可視化

- ・リン資源を直接・間接に利用する需要家、R&D 担当者、資源戦略に基づく政策立案を行う行政担当者
- ・我が国の経済活動が直接・間接に需要するリンに関する国内外のフロー情報ならびに、資源利用の背後にある環境リスク・カントリーリスクの可視化情報
- ・多くの内容は学術論文等として発信しており、すでに公表している情報の利用についての制限はなく、関心のある利用者は自由に参照可能

## 実施項目 5. ステークホルダーガバナンスに向けた情報提供のあり方について意見交換、ヒアリング調査

(1) 未利用ニッケル資源の利用促進に関わるステークホルダーへの情報提供と意見交換

- ・資源戦略に基づく政策立案を行う行政担当者、未利用ニッケルの活用を目指す R&D 担当者
- ・未利用ニッケルに関するフロー情報ならびに、現状活用が不十分である市場構造についての解析
- ・内容については学術論文等として発信しており、すでに公表している情報の利用についての制限はなく、関心のある利用者は自由に参照可能

(2) 持続可能なリン資源利用に関わるステークホルダーへの情報提供と意見交換

- ・資源戦略に基づく政策立案を行う行政担当者、未利用リン資源の活用を目指す R&D 担当者
- ・未利用リンに関するフロー情報ならびに、ステークホルダー構造についての解析
- ・内容については学術論文等として発信しており、すでに公表している情報の利用についての制限はなく、関心のある利用者は自由に参照可能

### 3-3. 学術的成果、人材育成やネットワーク拡大への貢献等

#### 3-3-1. (学術的貢献)

資源利用の背後にあるサプライチェーンリスクについて、MFA、LCA、TMR のツールに基づくリソースロジスティクス可視化を踏まえて、見える化した試みは、これまで主にこれらのツールの開発応用を行ってきた産業エコロジー、LCA 学会の分野でも新しい試みであり、多くの学術的貢献があった。このことから研究メンバーの中島、醍醐、山末、松八重はそれぞれ、その貢献を認められ LCA 学会、鉄鋼協会等より賞を受賞している。

#### 3-3-2. (産業界の関心)

本研究課題で発信してきた資源利用の背後にあるサプライチェーンリスク可視化は産業界においても関心が高く、2015 年度より本田技術研究所との共同研究を開始した。

研究期間中は事例研究で深掘りしたニッケル、リンについて、それぞれニッケル協会や、リン資源リサイクル推進協議会と密に意見交換を重ね、情報共有、フィードバックを行ってきた。

これらの点から、本研究課題の出力が産業界においてもある一定の評価を受け、成果を上げたといえる。

### 3-4. 成果の発展の可能性

データベースの構築ウェブでの公開については、商用データベースより様々な数値を参照しており、これを加工してウェブで公開することが知的財産侵害にあたる可能性があり、当初目標としていた進捗を妨げることになった。

省庁の有している情報の共有についても、同様の懸念があり、入手したい情報を共有することが困難であるという状況にしばしば直面した。

この点の解決無くして、情報の共有の糸口は見えないものと思われる。

#### 4. 関与者との協働、成果の発信・アウトリーチ活動

##### 4-1. 研究開発の一環として実施した会合・ワークショップ等

名 称	年月日	場 所	概 要
全体会合	2012年11月27日	東京大学	キックオフミーティング
ガバナンス Gr 意見交換	2013年1月26日	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
可視化、ニッケル、生物多様性 Gr ミーティング	2013年3月18日	島津製作所 三条工場	ニッケル資源利用と未利用ニッケルのフローについて意見交換
全体会合	2013年4月11日	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
ニッケル、生物多様性 Gr 意見交換	2013年4月15日	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
ガバナンス Gr 意見交換	2013年4月19日	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
可視化、リン Gr ミーティング	2013年5月1日	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
可視化、ニッケル、生物多様性 Gr ミーティング	2013年5月8日～15日	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
可視化、ニッケル Gr ミーティング	2013年5月27日	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
可視化、生物多様性 Gr ミーティング	2013年6月5日	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
リン、ガバナンス Gr 意見交換	2013年6月20日～21日	北京	Global TraPs World Conference の参加者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
生物多様性 Gr ミーティング	2013年7月8日	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
ニッケル Gr ミーティング	2013年7月24日	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
ニッケル Gr ヒアリン	2013年8月	ミダック、岐阜県	無電解ニッケルメッキ廃液の処理技

グ	1日		術についてミダック（岐阜県関市）にヒアリング
ニッケル、生物多様性 Gr ミーティング	2013年8月5日	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
リン Gr ヒアリング	2013年8月20日	山形県長井市	長井レインボープランヒアリング
総括、ガバナンス Gr ミーティング	2013年8月21日	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
ニッケル、生物多様性 Gr 意見交換	2013年9月7日	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
全体会合	2013年9月9日	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
可視化、ニッケル Gr ミーティング	2013年9月19日	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
リン Gr ミーティング	2013年10月3日	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
ニッケル Gr ヒアリング	2013年10月15日	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
可視化、リン Gr ミーティング	2013年10月17日	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
可視化、ニッケル、生物多様性 Gr ミーティング	2013年11月26日	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
総括 Gr 意見交換	2013年11月29日	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
総括 Gr 意見交換	2013年12月3日	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
全体会合	2013年12月10日	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

可視化、ガバナンス Gr	2013 年 12 月 13 日	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
可視化 Gr ミーティング	2013 年 12 月 18 日	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
ニッケル Gr	2013 年 12 月 19 日	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
リン Gr 意見交換	2014 年 1 月 4 日-11 日	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
リン Gr 意見交換	2014 年 1 月 16 日	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
可視化 Gr ミーティング	2014 年 1 月 22 日	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
リン Gr 意見交換	2014 年 1 月 24 日	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
ニッケル Gr 意見交換	2014 年 1 月 27 日	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
リン Gr 意見交換	2014 年 2 月 4 日	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
ニッケル Gr 意見交換	2014 年 2 月 28 日	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
リン Gr 意見交換	2014 年 2 月 4 日	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
ニッケル Gr 意見交換	2014 年 3 月 7 日	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
ニッケル Gr 意見交換	2014 年 3 月 12-17 日	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

総括 Gr 意見交換	2014年3月28日	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
全体会合	2014年4月30日	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
可視化 Gr 意見交換会	2014年6月16日	東京	リソースロジスティクス可視化について、外部有識者と意見交換を行った。
可視化 Gr 意見交換会	2014年7月1日	東京	リソースロジスティクス可視化について、外部有識者と意見交換を行った。
可視化 Gr 意見交換会	2014年7月7日	東京	リソースロジスティクス可視化について、外部有識者と意見交換を行った。
ニッケル資源リソースロジスティクス意見交換会	2014年8月6日	東北大学	ニッケル資源リソースロジスティクスについて、国内フローと資源循環に関わる意見交換を行った。
ニッケル資源リソースロジスティクス意見交換会	2014年8月18日	東北大学	ニッケル資源リソースロジスティクスについて、国内フローと資源循環に関わる意見交換を行った。
ニッケル資源リソースロジスティクス意見交換会	2014年8月18日	大平洋金属株式会社	ニッケル資源リソースロジスティクスについて、国内フローと資源循環に関わる意見交換を行った。
リソースロジスティクス可視化 意見公開会	2014年10月10日	本田技術研究所	サプライチェーンを通じた資源の流れに関わるリスク可視化に関して意見交換を行った。
リソースロジスティクスと Responsibility in Mining 意見交換会	2014年10月26日	エポカルつくば	Dr. Mudd、Monash Univ。ならびに Dr. Corder、Univ。 of Queensland を招いて、科学技術イノベーション政策とリソースロジスティクス可視化、資源利用の責任について意見交換を行った。
ニッケルリソースロジスティクス可視化ミーティング	2014年11月12日	東北大学	NTNU、早稲田大学の研究者と会合、MaTrace モデルを用いた時間を通じた資源の流れに関する可視化について意見交換を行った。
リソースロジスティクス可視化 意見公開会	2014年12月12日	京都大学	サプライチェーンを通じた資源の流れに関わるリスク可視化に関して意見交換を行った。
ニッケル資源リソースロジスティクス	2014年12月22日	東京	ニッケル資源リソースロジスティクスについて、国内フローと資源循環に

意見交換会			関わる意見交換を行った。
PJ 全体会合	2015年1月 21日	東京大学	進捗報告ならびに、リソースロジスティクス可視化に関して意見交換を行った。
リソースロジスティクス可視化意見交換	2015年1月 27日	東京	ニッケル、リンに関わる資源利用と、サプライチェーンを通じたリスク可視化に関する意見交換
リソースロジスティクス可視化意見交換	2015年1月 27日	東京	ニッケル、リンに関わる資源利用と、サプライチェーンを通じたリスク可視化に関する意見交換
リソースロジスティクス可視化意見交換	2015年2月 27日	東京	ニッケル、リンに関わる資源利用と、サプライチェーンを通じたリスク可視化に関する意見交換
リソースロジスティクス可視化意見交換	2015年2月 27日	東京	ニッケル、リンに関わる資源利用と、サプライチェーンを通じたリスク可視化に関する意見交換

## 4-2. アウトリーチ活動

### 4-2-1. 主催したイベント

- (1) International Workshop on Phosphorus Governance from Asian Perspective、2012年11月20日、慶應義塾大学、中国・台湾・韓国・ベトナム・タイ・スイスより著名な実務家・研究者を招きアジアにおけるリン資源ガバナンスについて意見交換を行った。
- (2) 特別セッション Sustainable Nutrient Management、2012年11月20日、慶應義塾大学、International Conference on EcoBalance2012における特別セッションの企画・運営。keynote speakerとして海外からの講演者2名を招いて、7件の講演と総合討論を行った。
- (3) シンポジウム「リン資源戦略と鉄鋼業の関わり」2013年3月29日、東京電機大学、リン酸メーカーならびに鉄鋼スラグ中に含まれるリン分離回収に関わるイノベーション技術開発者を交えた研究発表ならびに意見交換、日本鉄鋼協会環境・エネルギー・社会工学部会と共同開催。
- (4) 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、東北大学東京分室、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。
- (5) 第一回持続的リン利用シンポジウム、2014年3月10日、伊藤国際学術研究センター、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）
- (6) 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、2014年9月24日、名古屋大学、60人、鉄鋼技術の発展と鉄鋼石中に随伴するリンは強い関連があった。リンのリソースロジスティクスと鉄鋼技術イノベーションについて、その歴史的な変遷を概観し、将来における資源制約にどのように対応すべきかを議論した。
- (7) Workshop on Resource Logistics and Mining Responsibility、2014年10月27日、Tsukuba International Congress Center (Epochal Tsukuba)、Japan、Dr. Mudd、Monash Univ. ならびに Dr. Corder、Univ. of Queensland、斎藤 和彦氏 (KPMG)

あずさサステナビリティ) を招いて、科学技術イノベーション政策とリソースロジスティクス可視化、資源利用の責任について意見交換を行った。また学生によるポスターセッションも行った。

#### 4-2-2. 書籍、DVD など発行物

- (1) 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]
- (2) 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]
- (3) 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]
- (4) 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]

#### 4-2-3. ウェブサイト構築

<http://www.resourcelogistics-for-stipolicy.com/> (2013年12月)

#### 4-2-4. 招聘講演

- (1) 醍醐市朗: 都市鉱山とリサイクル, 平成24年度第2回生研材料科学セミナー(東京大学生産技術研究所主催). 2012年10月15日, 東京[V, Ni]
- (2) 鎗目雅, 「サステナビリティ・イノベーションに向けた戦略的リソース・ロジスティクス」、戦略ワークショップ「物質・エネルギー分野」分科会、科学技術振興機構研究開発戦略センター(JST-CRDS)、東京、10月17日(2012). [G]
- (3) Eiji Yamasue, Kazuyo Matsubae, Kenichi Nakaima and Ichiro Daigo: Activity of Material Flow Analyses in Japan Considering Recycling Processes, International Cooperation Symposium TOSHIKOHZAN "Urban Mine – Its Potential Resources, Kyoto TERRSA, 1-2 October 2012 (Invited & panelist) [V, P, Ni, G]
- (4) Yarime, Masaru, "Sustainability Science and Its Challenges in Academic Development, Institutionalization, and Societal Contribution," Third SUSTAIN.CAFE, Kashiwa Campus, University of Tokyo, October 19 (2012). [G]
- (5) 松八重一代: 量から質への転換を目指した材料リサイクルの課題、精密工学会ライフサイクルエンジニアリング専門委員会 公開ワークショップ「リサイクルの新潮流、量から質の時代へ」、2012年11月16日、早稲田大学、東京[V, Ni, P, G]

- (6) Yarime, Masaru, "Theories and Practices of Sustainability Innovation," Special Lecture, Business Creation and Management for Environmental Industries, Education Program for Field-Oriented Leaders in Environmental Sectors in Asia and Africa (FOLENS), Tokyo University of Agriculture and Technology, Tokyo, December 1 (2012). [G]
- (7) 醍醐市朗:鉄鋼材の資源循環の現状, 第2回グリーンスチールセミナー(日本鉄鋼連盟主催) 2012年12月5日, 東京[V, Ni]
- (8) 鎗目雅,「サステナビリティに向けたイノベーション創出:その可能性と課題」、サステイナブル機械システム研究センターシンポジウム、名古屋・豊田工業大学、12月13日(2012)。[G]
- (9) Yarime, Masaru, "Introduction to A New Angle on Sovereign Credit Risk – E-RISC: Environmental Risk Integration in Sovereign Credit Analysis," United Nations Environmental Programme Financial Initiative (UNEP FI, Geneva) E-RISC Project Seminar, Sumitomo Mitsui Trust Bank, Tokyo, Japan, December 26 (2012). [G]
- (10) Yarime, Masaru, "Stakeholder Collaboration for Creating Innovations for Global Sustainability," Kawasaki International Eco-Tech Fair 2013, Kawasaki, Kanagawa, Japan, February 1 (2013). [G]
- (11) Yarime, Masaru, "Creating Innovation for Sustainability: Integration of Innovation Systems and Management Perspectives," Public Research Seminar, School of Environment, Enterprise, and Development (SEED), University of Waterloo, Ontario, Canada, March 4 (2013). [G]
- (12) 醍醐市朗:我が国の鉄鋼資源ストックとリサイクル, 東京都立産業技術研究センター 技術セミナー 鉄鋼資源のリサイクル動向、2013年1月17日、東京都立産業技術研究センター、東京[V, Ni]
- (13) 松八重一代:自動車リサイクルにおける鉄鋼資源利用と合金元素のロス, 東京都立産業技術研究センター 技術セミナー 鉄鋼資源のリサイクル動向、2013年1月17日、東京都立産業技術研究センター、東京[V, Ni]
- (14) 松八重一代, 中島謙一, 中村慎一郎, 長坂徹也, 廃棄物・資源問題に関わるステークホルダー抽出のための産業関連MFA, 第8回日本LCA学会研究発表会, 2013年3月6日~8日, 立命館大学(受賞講演) [V, P, Ni, G]
- (15) Yarime, Masaru, "Comments on the Role of Real-time Technology Assessment in STI Processes," International Conference on Using Evidence and Human Resource Development for Science, Technology and Innovation (STI) Processes, International House of Japan, Tokyo, Japan, March 8-9 (2013). [G]
- (16) 醍醐市朗: 海洋環境での製鋼スラグ利用による藻類の炭素吸収効果の評価, 日本鉄鋼協会 環境・エネルギー・社会工学部会 鉄鋼スラグ新機能フォーラム 産発プロジェクト展開鉄鋼研究「海洋環境での製鋼スラグの利用技術開発」共催 経済産業省(後援) 2013年3月19日, 東京[V, P]
- (17) 醍醐市朗: 社会のメタボを予防せよ!, 日本機械工業連合会 代替材料技術に関する調査専門部会) 2013年3月21日, 東京[V, Ni]
- (18) 醍醐市朗: 使用済み製品からの鉄鋼材回収率の時系列推計, 第165回日本鉄鋼協会春季大会,(2013/03/27-29 東京電機大学), pp.234 (2013/03/29) (受賞講演) [V, Ni, G]
- (19) 中島謙一, 南芥規介, 松八重一代, 近藤康之, 長坂徹也: 金属およびリンの国際サプライチェーン分析, 第165回日本鉄鋼協会春季大会,(2013/03/27-29 東京電機大学), pp.234 (2013/03/29) (受賞講演) [V, P, Ni, G]
- (20) 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]
- (21) 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]
- (22) 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]
- (23) 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]
- (24) 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]
- (25) 松八重一代、化学工学会東北支部若手の会、2014年6月14日 [V,P]
- (26) 中島 謙一, “ニッケルサプライチェーンとその生態系への影響”, 飛ばない鳥たちの世界, (2014/09/20 横浜市開港記念館) [V, Ni,B]
- (27) 中島 謙一, “サプライチェーンを通じたニッケルの資源利用と環境影響”, (一社)表面技術協会 将来めっき技術検討部会 第18回例会, (2014/11/17, 回路会館) [V, Ni]

#### 4-3. 新聞報道・投稿、受賞等

##### 4-3-1. 新聞報道等

- (1) ・ "Rebuilding public trust in Japanese Science," Simon Perks, Chemistry World, Royal Society of Chemistry, United Kingdom, September 6 (2012) ([Masaru Yarime](#)). [G]
- (2)  
松八重一代 4/28 朝日新聞 (科学の扉) 人に欠かせないリン 輸入頼み、安定的確保が課題
- (3) ・ [Yarime, Masaru](#), "Can we build sustainable phosphorus governance?," Future Earth: Research for Global Sustainability, October 16 (2014)

##### 4-3-2. 受賞

- (1) [醍醐市朗](#)、日本鉄鋼協会 平成24年度 西山記念賞
- (2) [中島謙一](#)、日本鉄鋼協会 平成24年度 西山記念賞
- (3) [松八重一代](#)、日本LCA学会 第4回学会賞 奨励賞
- (4) [中島謙一](#)、日本LCA学会第5回学会賞 奨励賞、2014年3月
- (5) [平木岳人](#)、平成26年度 日本鉄鋼協会研究奨励賞、2014年3月
- (6) [松八重一代](#)、インテリジェントコスモス奨励賞、2014年5月
- (7) [山末英嗣](#)、日本鉄鋼協会西山記念賞 2015年3月

#### 5. 論文、特許等

##### 5-1. 論文発表

###### 5-1-1. 査読付き (32件)

英文

1. [Shinichiro Nakamura](#), [Yasushi Kondo](#), [Kazuyo Matsubae](#), [Kenichi Nakajima](#), [Tasaki Tomohiro](#) and [Tetsuya Nagasaka](#),: Quality- and dilution losses in the recycling of

- ferrous materials from end-of-life passenger cars: input-output analysis under explicit consideration of scrap quality, *Environmental Science & Technology*, 2012, 46 (17), 9266-9273 <http://dx.doi.org/10.1021/es3013529> [V,Ni]
2. • Kondo, Y., Nakajima, K., Matsubae, K. and Nakamura, S.: The anatomy of capital stock: input-output material flow analysis (MFA) of the material composition of physical stocks and its evolution over time, *Revue de Metallurgie* 109, 293-298, 2012, <http://dx.doi.org/10.1051/metal/2012022> [V]
  3. • 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]
  4. 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]
  5. • Eiji Yamasue, Ryota Minamino, Ichiro Daigo, Hiroki Tanikawa, Hideyuki Okumura, Keiichi N. Ishihara and Paul. H Brunner: Quality Evaluation of Scrap Materials from Urban Buildings by means of Total Materials Requirement, *Journal of Industrial Ecology*, [Accepted] [V]
  6. • Eiji Yamasue, Kazuyo Matsubae, Kenichi Nakajima, Seiji Hashimoto, Tetsuya Nagasaka, Recyclability of Phosphorous from Steelmaking Slag in Terms of Total Material Requirement, *Journal of Industrial Ecology*, [Accepted] [V, P] •
  7. • 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]
  8. • Trencher, Gregory, Masaru Yarime, and Ali Kharrazi, "Co-creating sustainability: cross-sector university collaborations for driving sustainable urban transformations," *Journal of Cleaner Production*, 10.1016/j.jclepro.2012.11.047 (2012). [G]
  9. • Kudo, Shogo, and Masaru Yarime, "Divergence of the sustaining and marginalizing communities in the process of rural aging: a case study of Yurihonjo-shi, Akita, Japan," *Sustainability Science*, 10.1007/s11625-012-0197-x (2012). [G]
  10. • Pohl, Hans, and Masaru Yarime, "Integrating Innovation System and Management Concepts: The Development of Electric and Hybrid Electric Vehicles in Japan," *Technological Forecasting and Social Change*, 79 (8), 1431-1446 (2012). [G]
  11. • Kharrazi, Ali, and Masaru Yarime, "Quantifying the Sustainability of Integrated Urban Waste and Energy Networks: Seeking an Optimal Balance between Network Efficiency and Resilience," *Procedia Environmental Sciences*, 13, 1663-1667 (2012). [V, G]
  12. • Yarime, Masaru, and Yuko Tanaka, "The Issues and Methodologies in Sustainability Assessment Tools for Higher Education Institutions: A Review of Recent Trends and Future Challenges," *Journal of Education for Sustainable Development*, 6 (1), 63-77 (2012).[G]
  13. Yarime, Masaru, Gregory Trencher, Takashi Mino, Roland W. Scholz, Lennart Olsson,

- Barry Ness, Niki Frantzeskaki, and Jan Rotmans, "Establishing sustainability science in higher education institutions: towards an integration of academic development, institutionalization, and collaborations with stakeholders," *Sustainability Science*, 7 (Supplement 1), 101-113 (2012). [G]
14. • Shiroyama, Hideaki, Masaru Yarime, Makiko Matsuo, Heike Schroeder, Roland Scholz, and Andrea E. Ulrich, "Governance for sustainability: knowledge integration and multi-actor dimensions in risk management," *Sustainability Science*, 7 (Supplement 1), 45-55 (2012). [G]
  15. • Wiek, Arnim, Francesca Farioli, Kensuke Fukushi, and Masaru Yarime, "Sustainability science – Bridging the gap between science and society," *Sustainability Science*, 7 (Supplement 1), 1-4 (2012). [G]
  16. Masaru Yarime, "Examining the Ecology of Commodity Trade Networks using an Ecological Information-Based Approach," *Journal of Industrial Ecology*, forthcoming.
  17. Huang, Wei, Shenghui Cui, Masaru Yarime, Seiji Hashimoto, and Shunsuke Managi, "Improving Urban Metabolism Study for Sustainable Urban Transformation," *Environmental Technology and Innovation*, forthcoming.
  18. Shiroyama, Hideaki, Makiko Matsuo, and Masaru Yarime, "Issues and Policy Measures for Phosphorus Recycling from Sewage: Lessons from Stakeholder Analysis of Japan," *Global Environmental Research*, 19 (1), forthcoming.
  19. K.Nakajima, K.Nansai, K.Matsubae, and T.Nagaska: "Material Flow of Iron in Global Supply Chain" , ISIJ International, Vol. 54 No. 11, (2014), pp. 2657-2662
  20. K. Nakajima, Y. Otsuka, Y. Iwatsuki, K. Nansai, H. Yamano, K. Matsubae, S. Murakami and T. Nagasaka: "Global supply chain analysis of nickel: importance and possibility of controlling the resource logistics" , *Metallurgical Research and Technology*, 111, (2014) , 339–346
  21. 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
  22. E.Webeck, K.Matsubae, T.Nagasaka, "Phosphorus requirements for the changing diets of China, India and Japan" *Environmental Economics and Policy Studies*, (2014)
  23. Nakamura, Shinichiro; Kondo, Yasushi; Kagawa, Shigemi; Matsubae, Kazuyo; Nakajima, Kenichi; Nagaska, Tetsuya, MaTrace: Tracing the fate of materials over time and across products in open-loop recycling" *Environmental Science & Technology*, 2014, 48 (13), pp 7207-7214
  24. E.Webeck, K.Matsubae, K. Nakajima, K. Nansai, T.Nagasaka, Analysis of Phosphorus Dependency in Asia, *SOCIOTECHNICA*, 11(2014)119-126
  25. Shigemi Kagawa, Shinichiro Nakamura, Yasushi Kondo, Kazuyo Matsubae, and Tetsuya Nagasaka, Forecasting Replacement Demand of Durable Goods and the Induced Secondary Material Flows: A Case Study of Automobiles, *Journal of Industrial Ecology*, Accepted (2014)
  26. 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]

27. 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]
28. Nakamura, Shinichiro; Kondo, Yasushi; Kagawa, Shigemi; Matsubae, Kazuyo; Nakajima, Kenichi; Nagaska, Tetsuya, MaTrace: Tracing the fate of materials over time and across products in open-loop recycling, *Environmental Science & Technology*, 2014, 48 (13), pp 7207-7214, (<http://dx.doi.org/10.1021/es500820h>)
29. Takehito Hiraki, Takahiro Miki, Kenichi Nakajima, Kazuyo Matsubae, Shinichiro Nakamura, and Tetsuya Nagasaka , Thermodynamic Analysis for the Refining Ability of Salt Flux for Aluminum Recycling, *Materials*, 7(8), 5543-5553,(2014) (doi:10.3390/ma7085543)
30. Elizabeth WEBECK, Kazuyo MATSUBAE, Tetsuya NAGASAKA, Phosphorus requirements for the changing diets of China, India and Japan, *Environmental Economics and Policy Studies*, (2014)(DOI 10.1007/s10018-014-0088-8)
31. Eiji YAMASUE, Kazuyo MATSUBAE and Keiichi N. ISHIHARA , Weight of Land Use for Phosphorus Fertilizer Production in Japan in Terms of Total Material Requirement, *Global Environmental Research*, Vol.19(2015)No.1,97-104
32. Elizabeth WEBECK, Kazuyo MATSUBAE,Kenichi Nakajima, Keisuke Nansai, Tetsuya NAGASAKA, Phosphorus Flows in the Asian Region, *Global Environmental Research*, Vol.19(2015)No.1,9-18
33. Hajime Ohno, Kazuyo Matsubae, Kenichi Nakajima, Yasushi Kondo, Shinichiro Nakamura, Tetsuya Nagasaka , Towards the efficient recycling of alloying elements from End of Life Vehicle steel scrap, *Resources, Conservation and Recycling*, (2015) [Accepted]
34. Kazuyo Matsubae,Eiji Yamasue, Tadahiro Inazumi, Elizabeth Webeck, Takahiro Miki, Tetsuya Nagasaka, Innovations in Steelmaking Technology and Hidden Phosphorus Flows, *Science of the Total Environment*, (2015) [Accepted]

#### 和文 (11 件)

1. 中島 謙一: リソースロジティクスの最適化を目指して, *エコマテリアルマガジン* Vol. 5 No. 3 2012, 2-5[V, Ni, G]
2. 山末英嗣:「関与物質総量を用いた都市鉱山の評価」, *検査技術*, Vol.11, (2012), pp.57-64[V, Ni, P]
3. 柚山義人, 稲葉陸太, 松橋啓介, 栗島英明, 中村真人(2012), 豚ふん尿を原料とするメタン発酵システム導入による地域活性化戦略, *農業農村工学会資源循環研究部会論文集*, 8, pp.45-54[P, G]
4. 稲葉陸太,橋本征二(2012), 廃棄物系バイオマスの利用に関する LCA の論点, *日本 LCA 学会誌* 8(4), pp.321-327[V, P, G]
5. 鎗目雅, グレゴリー・トレンチャー, 「社会的課題の解決に向けたイノベーションの創出: ステークホルダー連携と社会実験の分析」, *研究 技術 計画*, **29** (2/3), 118-131 (2014).
6. 佐藤隼, 佐藤俊秀, 仲川祐司, 林志洋, 松本頌, 城山英明, 松尾真紀子, 鎗目雅, 「国内下水道からのリサイクル・リン普及の課題」, *社会技術研究論文集*, **11**, 108-118 (2014).
7. 中島 謙一, 南芥 規介, 松八重 一代, 長坂 徹也: “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*, Vol. 100, No. 6 (2014), pp.750-755
8. 山末英嗣, 松八重一代, 中島謙一, 醍醐市朗, 石原慶一: 「使用済み自動車から得られる

- 鉄スクラップの関与物質総量」, 鉄と鋼, Vol.100, No.6, (2014), pp.774-783
9. 松八重 一代, 飯塚陽祐, 長村弘樹, 大野 肇, 中島 謙一, 長坂 徹也, 廃自動車由来の鉄鋼スクラップソーティングのコストベネフィット解析” 鉄と鋼, Vol.100 No.6 (2014) pp.794-798
  10. 松八重 一代, 飯塚 陽祐, 大野 肇, 平木岳人, 三木貴博, 中島謙一, 長坂 徹也, 自動車由来鉄鋼スクラップ再資源化における鉄鋼合金元素分配傾向, 鉄と鋼, Vol.100 No.6 (2014) pp.788-793
  11. 中島謙一, 南斉 規介, 松八重 一代, 長坂 徹也, 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, Vol.100 No.6 (2014) pp.750-755

#### 5-1-2. 査読なし (8件)

1. 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]
2. 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]
3. 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]
4. 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]
5. 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]
6. 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).
7. 中島 謙一, 三田村修一, 松八重 一代, 田中 幹也: "ニッケルめっき廃液・スラッジ等のリサイクルに向けた技術動向", 環境管理, Vol.9, No.9, (2014), 41-45
8. 松八重一代, 科学技術イノベーション政策におけるコミュニケーションツールとしての LCA, 日本 LCA 学会誌, 10 (2014) 4, 435-436
9. 中島 謙一, LCAの専門家による「閉じた議論」に留まらないために, 日本LCA学会誌, 10 (2014) 4, 437
10. 醍醐 市郎, 機能の向上による持続可能な社会の実現, 日本LCA学会誌, 10 (2014) 4, 440-441
11. 久保裕也, 松八重 一代, 長坂徹也, 亜鉛およびリン資源の現状と確保戦略, 表面技術, 66(3) (2015)86-90
12. 松八重一代, 大野肇, 中島謙一, 長坂徹也, 自動車リサイクルにおけるレアメタルロス, 環境科学情報, 43(4) (2014).
13. 松八重一代, 中島謙一, 長坂徹也, 国際貿易を介したリンのマテリアルフローとアジアにおけるリン需要, 再生と利用, 38(146), pp. 4-8, (2014)

## 5-2. 学会発表

### 5-2-1. 招待講演 (国内会議 3 件、国際会議 0 件)

1. 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.
2. • Eiji Yamasue: “Potential of Steelmaking Slag as New Phosphorus Resource”, Technical University of Denmark, 22 May 2013 (Invited speech) [V, P, Ni]
3. • 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]
4. • 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]
5. • 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]
6. • 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]
7. • 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]
8. • 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]
9. 松八重一代、化学工学会東北支部若手の会、2014年6月14日
10. 中島 謙一, “ニッケルサプライチェーンとその生態系への影響”, 飛ばない鳥たちの世界, (2014/09/20 横浜市開港記念館)
11. 中島 謙一, “サプライチェーンを通じたニッケルの資源利用と環境影響”, (一社)表面技術協会 将来めつき技術検討部会 第 18 回例会, (2014/11/17, 回路会館)

### 5-2-2. 口頭発表

1. M.Yarime, Encouraging Innovation for Sustainable Phosphorus Management: Technology, Management, and Public Policy, International Conference on EcoBalance2012, 2012年11月20日~2012年11月23日, Keio University, Yokohama [P, G]
2. • Kazuyo Matsubae, Kenichi Nakajima, Keisuke Nansai, and Tetsuya Nagasaka, Development of Integrated Phosphorus Cycle Input Output Model and Its Applications, International Conference on EcoBalance2012, 2012年11月20日~2012年11月23日, Keio University, Yokohama [V,P,G]
3. • Eiji Yamasue, Keiichiro Morotomi, Shinsuke Murakami, Hideyuki Okumura and Keiichi N. Ishihara: Integrated Indicator for Resource Dependency by TMR, , International Conference on EcoBalance2012, 2012年11月20日~2012年11月23日, Keio University, Yokohama [V]
4. • Inaba R., Ogino A., Okamoto S., Osako M. (2012), Scenario Planning of Waste Biomass

- Management in the Near Future. International Conference on EcoBalance2012, 2012年11月20日～2012年11月23日, Keio University, Yokohama [P]
5. ・ Kharrazi, Ali, and Masaru Yarime, "Evaluating Ecological Risks of Fixed Income Investments, An Ecological Network Perspective," International Conference on EcoBalance 2012: Challenges and Solutions for Sustainable Society, Yokohama, Kanagawa, Japan, November 20-23 (2012). [G]
  6. ・ 柚山義人, 稲葉陸太, 松橋啓介, 栗島英明, 中村真人 (2012), 豚ふん尿を原料とするメタン発酵システム導入による地域活性化戦略, 平成24年度 農業農村工学会資源循環研究部会 論文集 [P]
  7. ・ 橋本征二, 稲葉陸太, 加用千裕, 高木重定, 田崎智宏, 南齋規介, 藤井崇, 藤井実, 森口祐一, 吉川実, 大迫政浩 (2012), 日本の物質フロー・ストックモデルの構築とその適用, 第23回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, pp.17-18 [V]
  8. ・ 藤井崇, 高木重定, 田崎智宏, 稲葉陸太, 加用千裕, 藤井実, 大迫政浩, 橋本征二 (2012), 近未来における容器包装の資源循環モデルの開発とシナリオ予測, 第23回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, pp.97-98 [V]
  9. ・ 伊藤幸男, 稲葉陸太, 栗島英明, 森 亮祐, 及 川弥里 (2013), 木質バイオマスエネルギーの地域導入過程に関する研究: 岩手県紫波町を事例に, 第124回日本森林学会大会講演要旨集, pp.79 [P,G]
  10. ・ 三島慎一郎, 松八重一代, 木村園子 ドロテア, 江口定夫, 白戸康人, 日本での食飼料生産に関わる養分フローと国内肥料資源の賦存量, 日本生態学会第60回大会, 2013年3月5日～9日, グランシップ静岡 [V, P]
  11. ・ 稲葉陸太, 伊藤幸男, 栗島英明, 松橋啓介 (2013), 紫波町における地域活性化をめざしたバイオマス利用の事例研究, 第8回日本LCA学会研究発表会, 2013年3月6日～8日, 立命館大学 [P,G]
  12. ・ 栗島英明, 稲葉陸太, 松橋啓介, 柚山義人, 内田勉, 伊藤幸男 (2013), バイオマス利活用による地域の社会的活性化に関する研究(その2): バイオマス利活用、ソーシャル・キャピタル、地域活性化の関連分析, 第8回日本LCA学会研究発表会, 2013年3月6日～8日, 立命館大学 [P, G]
  13. ・ 溝口修史, 高橋麻理恵, 松八重一代, 稲葉陸太, 中島 謙一, 南齋規介, 長坂徹也, 食糧生産における農業用塩類のマテリアルフロー分析, 第8回日本LCA学会研究発表会, 2013年3月6日～8日, 立命館大学 [V, P]
  14. ・ 森村武史, 松八重一代, 中島謙一, 稲葉陸太, 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, 第8回日本LCA学会研究発表会, 2013年3月6日～8日, 立命館大学 [V,P]
  15. ・ Kazuyo Matsubae, Kenichi Nakajima, Keisuke Nansai, Tetsuya Nagasaka: Phosphorus Flow Analysis for Food Production and Consumption, REWAS2013 (March 3-7, 2013 (TMS Annual Meeting) \* San Antonio, Texas \* USA), (2013/3/7) [V, P]
  16. ・ Eiji Yamasue, Kazuyo Matsubae, Kenichi Nakajima, Tetsuya Nagasaka: Potential of Steelmaking Slag as New Phosphorous Resource in Terms of Total Materials Requirement, REWAS2013 (March3-7, 2013 (TMS Annual Meeting) \* San Antonio, Texas \* USA), (2013/3/7) [V, P]
  17. ・ K.Nakajima, K.Matsubae, Y.Kondo, S.Nakamura, and T.Nagasaka: IO-MFA and Thermodynamic Approach for Metal Recycling, REWAS2013 (March3-7, 2013 (TMS Annual Meeting) \* San Antonio, Texas \* USA), (2013/3/7) [V, Ni]
  18. Yarime, Masaru, "Emerging Experiences and Practices of Stakeholder Collaboration on

- Innovation for Sustainability: Implications for Technology Assessment in a Global Context," Session on Technology Assessment in East Asia: Experiences and New Approaches, Second European Technology Assessment (TA) Conference: Next Horizon of Technology Assessment, Berlin, Germany, February 25-27 (2015).
19. Kazuyo Matsubae, International Input Output Conference, Lisbon, Portugal, 2014.7.14-19
  20. Yarime, Masaru, "Governance of Sustainability Innovation through Stakeholder Platforms: Global Initiatives for Managing Phosphorus within the Planetary Boundary," Session: Sustainable Nutrient Management in the Anthropocene, International Alliance of Research Universities (IARU) Sustainability Science Congress, Copenhagen, Denmark, October 22-24 (2014).
  21. Yarime, Masaru, Masahiro Sato, Ali Kharrazi, and Hirofumi Nakayama, "Resilience in Global Energy Systems: Implications of Network Governance for Sustainable Development Goals (SDGs)," 2014 International Conference on Sustainable Development Practice, Columbia University, New York, United States, September 17-18 (2014).
  22. Yarime, Masaru, "Establishing Systems for Knowledge Integration on Phosphorus: Implications for the Governance of Sustainability Transitions," Studying Sustainability Transitions in Welfare States: A Research Agenda for Japan and the Netherlands, Dutch Research Institute for Transitions (DRIFT), Erasmus University Rotterdam, The Netherlands, September 10-13 (2014).
  23. Yarime, Masaru, "Transdisciplinary Approaches to Knowledge Integration through Stakeholder Platforms: Implications for Knowledge Commons for Sustainability, Second Thematic Conference on Knowledge Commons: Governing Pooled Knowledge Resources with Special Attention to the Fields of Medicine and the Environment, New York University School of Law, New York, United States, September 5-6 (2014).
  24. Yarime, Masaru, "Establishing Stakeholder Platforms for Sustainable Phosphorus Governance: The Case of Japan," Round Table on National/Regional Phosphorus Platforms: Lessons Learned?, Sustainable Phosphorus Summit 2014, Le Corum, Montpellier, France, September 1-3 (2014).
  25. Yarime, Masaru, "Governing the Process of Sustainability Transitions: Creation of Stakeholder Platforms for Sustainable Phosphorus Management," International Conference on Sustainability Transitions 2014: Impact and Institutions, Utrecht University, The Netherlands, August 27-29 (2014).
  26. K. Nakajima, Y. Otsuka, Y. Iwatsuki, K. Nansai, H. Yamano, K. Matsubae, S. Murakami and T. Nagasaka, Global supply chain analysis of nickel: importance and possibility of controlling the resource logistics, 8th International Conference on Society & Materials, SAM8, Liège, 20-21 May 2014 (2014/05/20)
  27. Shinsuke Murakami and Akitoshi Shindo: "Understanding Criticality with Material-Flow Information" Critical Minerals 2014, Westin Downtown Denver, USA, 3-5 Aug., 2014
  28. Eiji Yamasue, Kenichi Nakajima, Shinsuke Murakami, Kazuyo Matsubae, Keiichi N Ishihara, TMR of Material Production and Recycling for Bottom-up Decoupling, ISIE-SEM conference, 17-19, Nov. 2014, Melbourne, Australia
  29. Eiji Yamasue, Kazuyo Matsubae, Kenichi Nakajima, Ichiro Daigo, Shinsuke Murakami, Keiichi N Ishihara, How should we recycle scrap steel from End-of-Life vehicles in terms

- of TMR?, ISIE-SEM conference, 17-19, Nov. 2014, Melbourne, Australia
30. Kazuyo Matsubae, Masafumi Mizoguchi, Kenichi Nakajima, Keisuke Nansai and Tetsuya Nagasaka, IO-based phosphorus and nitrogen flow analysis focusing on the demand and supply structure in Asia, ISIE-SEM conference, 17-19, Nov. 2014, Melbourne, Australia
  31. 中島謙一, 南齊 規介, 大塚 祐登, 松八重 一代, 長坂 徹也, “グローバルサプライチェーンを通じたニッケルの国際移動量”, 環境科学会 2014 年会 (2014/09/18-19, つくば国際会議場) (2014/09/19)
  32. K.Nakajima, K.Nansai, H.Yamano, K.Matsubae, S.Murakami, Y.Ohtsuka, Y.Iwatsuki, and T.Nagasaka, Global flow of nickel: Identifying its supply chain and implication for sustainable resource management, The 11<sup>th</sup> International Conference on EcoBalance (Eco Balance 2014), 27–30 October 2014, Tsukuba, Japan (2014/10/30)
  33. Kazuyo Matsubae, Kenichi Nakajima, Keisuke Nansai, Tetsuya Nagasaka, Resource logistics for sustainable management of agricultural nutrients, The 11<sup>th</sup> International Conference on EcoBalance (Eco Balance 2014), 27–30 October 2014, Tsukuba, Japan
  34. Eiji Yamasue, Kazuyo Matsubae, Keiichi N Ishihara, Total material requirement of food production and related materials in Japan, The 11<sup>th</sup> International Conference on EcoBalance (Eco Balance 2014), 27–30 October 2014, Tsukuba, Japan
  35. 山末英嗣, 松八重一代, 石原慶一, 日本における食料生産の TMR とそのエネルギー・物質集約度評価, 日本 LCA 学会, 神戸大学, 2014 年 3 月 9-11 日
  36. 湯龍龍, 中島謙一, 村上進亮, 松田健士, 伊坪徳宏, 鉱床種類と採掘方法を考慮したニッケル資源採掘時の土地改変面積の推計, 日本 LCA 学会, 神戸大学, 2014 年 3 月 9-11 日
  37. 湯龍龍, 中島謙一, 村上進亮, 伊坪徳宏, IUCN レッドデータを活用した鉱山採掘時の生物多様性への影響の推計, 日本 LCA 学会, 神戸大学, 2014 年 3 月 9-11 日
  38. Yasunori Iwatsuki, Kenichi Nakajima, Shinsuke Murakami, Hiroya Yamano: “Analysis of the changes in land use by surface mining with satellite images” The Joint 11th International Society For Industrial Ecology (ISIE) Socio-Economic Metabolism Section Conference and The 4th ISIE Asia-Pacific Conference, Melbourne Exhibition Centre, Australia, 17 -19 NOVEMBER 2014
  39. Yasunori Iwatsuki, Kenichi Nakajima, Hiroya Yamano and Shinsuke Murakami: “Mining impact on the changes in land use measured by satellite images analysis” The 11th International Conference on EcoBalance, Tsukuba, Japan, 27-30 October 2014
  40. Shinsuke Murakami and Akitoshi Shindo: “Understanding Criticality with Material-Flow Information” Critical Minerals 2014, Westin Downtown Denver, USA, 3-5 Aug., 2014

### 5-2-3. ポスター発表

1. 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]
2. 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]
3. 大塚祐登, 大野肇, 松八重一代, 中島謙一, 南齊規介, 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]

4. 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]
5. 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]
6. 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]
7. 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]
8. Yarime, Masaru, "Establishing Global Stakeholder Platforms for Sustainable Phosphorus Governance," Second European Sustainable Phosphorus Conference, Berlin, Germany, March 5-6 (2015). [G]
9. Yarime, Masaru, and Ali Kharrazi, "Exploring Resilience in Energy Systems: An Application of the Ecological Information-Based Approach," Energy Systems Conference: When Theory Meets Reality, London, United Kingdom, June 24-25 (2014). [G]
10. Yarime, Masaru, "Utilizing Knowledge Resources on Adaptation to Climate Change: Weather Insurance as an Institutional Tool for Promoting Community Resilience," Resilience 2014 Conference - Resilience and Development: Mobilizing for Transformation, Montpellier, France, May 4-8 (2014). [G]
11. Yuto Ohtsuka, Hajime Ohno, Kazuyo Matsubae, Kenichi Nakajima, Keisuke Nansai, Tetsuya Nagasaka, Global supply chain analysis for sustainable utilization of nickel, The 11<sup>th</sup> International Conference on EcoBalance (Eco Balance 2014), 27-30 October 2014, Tsukuba, Japan [V, Ni]
12. Takashi Yamamoto, Masafumi Mizoguchi, Kazuyo Matsubae, Kenichi Nakajima, Keisuke Nansai, Tetsuya Nagasaka, Substance flow analysis on agricultural nutrients focusing on nitrogen and phosphorus, The 11<sup>th</sup> International Conference on EcoBalance (Eco Balance 2014), 27-30 October 2014, Tsukuba, Japan [V, P]
13. 山本高史, 松八重一代, 南齋規介, 長坂徹也, 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, 日本 LCA 学会, 神戸大学, 2015 年 3 月 9-11 日 [V, P, G]
14. 大塚祐登, 大野肇, 松八重一代, 中島謙一, 南齋規介, 長坂徹也, ニッケルサプライチェーンに伴う資源散逸問題に資するニッケル、コバルト及びクロムのフロー解析, 日本 LCA 学会, 神戸大学, 2015 年 3 月 9-11 日 [V, Ni]

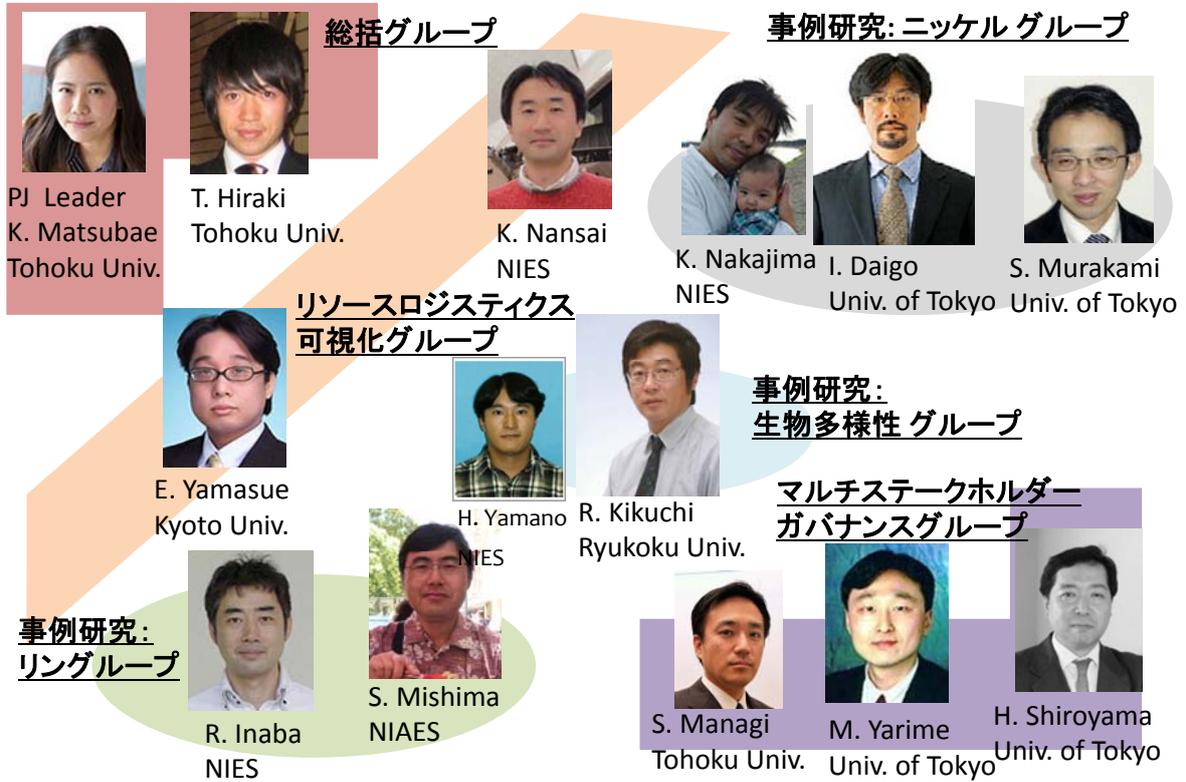
### 5-3. 特許出願

5-3-1. 国内出願 ( 0 件)

5-3-2. 海外出願 ( 0 件)

## 6. 研究開発実施体制

### 6-1. 体制



〈研究開発実施体制〉

## 6-2. 研究開発実施者

※研究開発実施期間：平成 24 年 10 月 1 日～平成 27 年 9 月 30 日

研究グループ名：General Management Group、GM Gr

氏名	フリガナ	所属	役職 (身分)	担当する 研究開発実施項目	研究参加期間			
					開始		終了	
					年	月	年	月
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	24	10	27	9
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	24	10	27	9
大野肇	オオノ ハジメ	東北大学大学院 工学研究科 (イェール大 学)	学振研 究員	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	24	11	27	9
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	24	11	27	9
鎗目雅	ヤリメ マサル	東北大学公共政 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 のマニュアル作成支 援	24	10	27	9
城山英明	シロヤマ ヒデアキ	東北大学法学政 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 のマニュアル作成支 援	24	10	27	9

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

氏名	フリガナ	所属	役職 (身分)	担当する 研究開発実施項目	研究参加期間			
					開始		終了	
					年	月	年	月
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	24	10	27	9
中島謙一	ナカジマ ケンイチ	国立研究開発法 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	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	24	10	27	9
南齋規介	ナンサイ ケイスケ	国立研究開発法 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	24	10	27	9
飯塚陽祐	イイツカ ヨウスケ	東北大学大学院 環境科学研究科	修士 2 年	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	24	10	25	3
中村哲也	ナカムラ テツヤ	東北大学大学院 環境科学研究科	修士 2 年	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	24	10	26	3
吉田康紀	ヨシダ ヤスキ	東北大学大学院 工学研究科	学部 4 年	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	24	10	25	3
大塚祐登	オオツカ ユウト	東北大学大学院 工学研究科	修士 2 年	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	24	10	27	9
中村 慎一郎	ナカムラ シンイチ ロウ	早稲田大学政治 経済学術院	教授	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	25	4	27	9

研究グループ名：ニッケルグループ (Case study: Ni c k e l、CS-Ni Gr)

氏名	フリガナ	所属	役職 (身分)	担当する 研究開発実施項目	研究参加期間			
					開始		終了	
					年	月	年	月
中島謙一	ナカジマ ケンイチ	国立研究開発法人 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	24	10	27	9
村上進亮	ムラカミ シンスケ	東京大学大学院 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	24	10	27	9
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	24	10	27	9
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	24	10	27	9
山野博哉	ヤマノ ヒロヤ	国立研究開発法人 国立環境研究所 生物・生態 系環境研究センター 生物多様 性保全計画研究室	室長	資源採掘に伴う土地 利用の解析と影響の 把握	26	4		
湯龍龍	タン ロンロン	国立研究開発法人 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	特別研 究員	国際的なニッケルの 資源利用構造および 資源利用に伴う環境 影響の解析	26	4		
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	24	10	27	9

研究グループ名：リン資源グループ (Case Study: Phosphorus Group、 CS-P Gr)

氏名	フリガナ	所属	役職 (身分)	担当する 研究開発実施項目	研究参加期間			
					開始		終了	
					年	月	年	月
三島 慎一郎	ミシマ シンイチ ロウ	国立研究開発法 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	24	10	27	9
稲葉陸太	イナバ ロクタ	国立研究開発法 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	24	10	27	9
松八重 一代	マツバエ カゾヨ	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	24	10	27	9
溝口修史	ミゾグチ マサフミ	東北大学大学院 工学研究科	修士2 年	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	24	10	26	3
森村武史	モリムラ タケシ	東北大学大学院 環境科学研究科	修士2 年	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	24	10	25	3
山本高史	ヤマモト タカフミ	東北大学大学院 工学研究科	M1	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	26	4	27	9

研究グループ名：生物多様性グループ(Case study: Biodiversity Group、 CS-BD Gr)

氏名	フリガナ	所属	役職 (身分)	担当する 研究開発実施項目	研究参加期間			
					開始		終了	
					年	月	年	月
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	24	10	27	9
馬奈木 俊介	マナギ シュンス ケ	九州大学大学院 工学研究院	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	24	10	27	9
中島謙一	ナカジマ ケンイチ	国立研究開発法 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	24	10	27	9
山野博哉	ヤマノ ヒロヤ	国立研究開発法 人国立環境研究 所生物・生態系 環境研究センタ ー 生物多様性 保全計画研究室	室長	資源採掘に伴う土地 利用の解析と影響の 把握	26	4		
湯龍龍	タン ロンロン	国立研究開発法 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	特別研 究員	国際的なニッケルの 資源利用構造および 資源利用に伴う環境 影響の解析	26	4		
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	24	10	27	9
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	生物多様性保全に係 わるステークホルダ ー抽出と科学技術イ ノベーションに関与 するステークホルダ ーとの関係整理	24	10	27	9

研究グループ名：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)

氏名	フリガナ	所属	役職 (身分)	担当する 研究開発実施項目	研究参加期間			
					開始		終了	
					年	月	年	月
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	24	10	27	9
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	24	10	27	9
馬奈木 俊介	マナギ シュンスケ	九州大学大学院工学研究院	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	24	10	27	9
Seyed Ali Kharrazi	セイエド アリ カラジ	東京大学公共政策大学院	ポスドク	リソースロジスティクス可視化と、ネットワーク解析によるステークホルダー抽出	25	4	27	9

6-3. 研究開発の協力者・関与者

氏名	フリガナ	所属	役職 (身分)	協力内容
木村秀平	キムラ シュウヘイ	龍谷大学 理工学部 環境ソリューション工学科	学部4年生	資源利用と生物多様性をつなぐシステムダイナミクス手法開発、ならびに土地利用改変に伴う生物多様性損失に関わる情報解析