

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H04147

研究課題名(和文) 鉄鋼循環チェーンにおける不純物制御によるリサイクル高付加価値化

研究課題名(英文) Impurity control through a cyclic use of steel towards high-value additive recycling

研究代表者

醍醐 市朗 (DAIGO, ICHIRO)

東京大学・先端科学技術研究センター・准教授

研究者番号：20396774

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,400,000円

研究成果の概要(和文)：鉄鋼材中の不純物元素は、使用済み製品からの素材の不十分な選別の結果として混在する異物が不純物元素の主要な要因であることが明らかになった。それら不純物元素の日本における代表的な濃度分布を得ることに成功した。それら不純物元素の製鋼における制御、同じく組織形成における制御を可能にするための熱力学データや実験データを整備した。さらに、不純物元素が最終鋼材の特性に与える影響について現在の知見を集約した。これらの成果に基づき、材料設計のためのコンセプトであるPSPPは、材料リサイクルのシステム設計においても有用であり、Recovery(回収)を加えたR-PSPPのコンセプトを提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脱炭素と循環型社会のために素材リサイクルの促進が望まれる中、金属素材リサイクルでは不純物元素の意図しない混在による機能低下が危惧されている。鉄鋼材中不純物元素濃度の国レベルでの代表的な状況を世界で初めて明らかにし、多国間での違いも明らかにした。その知見に基づき、その不純物元素の製鋼での制御ならびに凝固時の無害化の可能性について、熱力学および速度論の両面から考察した。フィールド調査と産業エコロジーの手法に基づく研究成果が材料工学に基づく研究成果と一体となることで、スクラップの機械選別から製鋼プロセスまで一貫して見通した上での、今後のリサイクル促進に向けた社会的意義の高い知見が得られたと言える。

研究成果の概要(英文)：It has been clarified that the main source of impurity elements in steel materials is other materials mixed in steel scrap as a result of inadequate sorting of materials from end-of-life products. We succeeded in obtaining representative concentration distributions of these impurity elements in Japan. Thermodynamic and experimental data were developed to enable control of these impurity elements in refining as well as in the solidification. In addition, we have consolidated academic knowledge of the effects of impurity elements on the properties of steel. Based on these results, we recognize that the concept of PSPP for material computational design is also useful in the design of material recycling systems and propose the concept of R-PSPP with the addition of "recovery."

研究分野：産業エコロジー

キーワード：material flow analysis トランプエレメント 鉄スクラップ リサイクル促進 不純物元素 熱力学
鉄鋼材 循環型社会

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

多くの素材リサイクルにおいて、使用済み製品から素材を二次資源として回収する際に、完全な単体分離は困難であり、二次資源に他の素材が不純物として混在することにより、水平リサイクルが阻害されることが課題である。さらに、精錬において除去されず、繰返しリサイクルにおいて濃化する可能性がある循環性不純物元素がある。リサイクルにおいては、二次資源に混在する不純物の量(濃度)が問題だけでなく、様々な使用済み製品が異なる様々な処理を経ることにより、混在する不純物の量(濃度)が消費するまで不定であり、そのバラツキが大きいことが課題である^[1]。先述の多様性から、代表性のある濃度分布を得ることは、多くのサンプル数を必要とするため、困難である。そのため、今まで、二次資源に混在する不純物の濃度分布はほとんど定量されてこなかった。一方で、その不定な濃度を持つ二次資源を消費して生産されるリサイクル材においては、許容濃度を超えないように原料を配合する必要がある。原料の不純物濃度分布における分散の大きさから、期待(平均)値を許容限界に対して余裕をもって設定した原料配合として操業されている。不純物濃度により機能が損なわれる可能性が高い素材の生産では、二次資源をほとんど配合せずに操業している。このような配合での操業で生産されるリサイクル材は、不純物濃度の分布に大きな分散を持つことになる^[1]。高い不純物濃度は、材の機能に制約を加えるリスクがあるが、それらの関係について十分な知見があるとは言えない。Cu と Sn のように影響を強め合う組合せや、Cu と Ni のように影響を緩和する組合せなど、多元系の不純物の影響は単純ではないことが一因でもある^[2]。しかしながら、これからのさらなる循環型社会を目指す上では、少なくとも今の循環システムにおいて混入するリスクの高い不純物の濃度と、リサイクル材の発現する機能との関係を、深く理解する必要がある。

2. 研究の目的

- (1) 産業エコロジーによるアプローチとして鉄スクラップの管理による不純物元素の混入量とバラツキの制御可能性、冶金学によるアプローチとしてリサイクル材の特性における不純物に対する感度の同定の双方を目的とする。
- (2) 使用済み製品の発生から再生材の特性が決まる組織形成までを通して、バラツキを含め不純物の制御によって、高付加価値なリサイクルを実現するためのモデルを構築する。本課題で構築するモデルは、リサイクル性に優れた鉄鋼材を対象に検討するものの、他の素材のリサイクルにおいても適用可能な部分も多いと考えている。

3. 研究の方法

- (1) 代表性を考えたランダムサンプリングによって得られた試料をスパーク発光分光分析により分析し、不純物元素の量ならびにバラツキの実態を把握する。また、動的物質フロー分析によって異物の混入による影響を定量するとともに、フィールド調査により、不純物元素の混入源の特定に有用な情報を収集する。さらには、循環利用に伴う物質散逸の定量のために、動的物質フロー分析モデルの1つである MaTrace モデルに、循環構造の経路としてリマニュファクチュアリングを組み込むことにより、リサイクルおよびリマニュファクチュアリングによる散逸回避効果の定量化を可能とする分析モデルを開発する。
- (2) るつば内で Fe と循環性元素および合金元素を 1873 K まで加熱して溶解・平衡させる実験を行う。実験後試料を室温まで急冷した後、各元素濃度を測定することで循環性元素と合金元素間または循環性元素間の熱力学的相互作用を定量化し、データベースを構築する。また、所期の銅、硫黄を含有した低炭素鋼を溶解・凝固させ、得られた試料の組織観察、組成分析、強度試験を行い、凝固・冷却中に実測した温度履歴と対応させることにより、冷却速度と銅硫化物の析出挙動の関係を明らかにし、鋼に要求される機能を維持しつつ、銅の熱間脆性抑制の可能性を検討する。

4. 研究成果

- (1) 本研究において、建築解体物から回収された過去に生産された鉄筋棒鋼をサンプリングした。時系列での変化を同定するには至らなかったが、生産時期に応じてリサイクル鋼材中の不純物濃度には違いがある可能性が考えられた。そこで、日本において、近年生産された鉄筋棒鋼を 100 個試料採取し、スパーク発光分光分析により鉄鋼材中の 23 元素を分析した。Mn, Cu, Cr, Si, Ni, P, S, Mo, As, Sn, Co, B, V, Al, Zr の 15 元素が不純物元素として存在し、Bi, Ce, Mg, Nb, Pb, Sb, Ti, W の 8 元素はすべての試料において検出下限以下であった。鉄筋棒鋼中の 15 元素の濃度とバラツキを図 1 に示す^[3]。動的物質フロー分析により、過去に混入した不純物元素の量と異物の混在による不純物元素の量では、後者の法が大きいと推計された^[4]。Cu の混入に対して、従前、機械類や自動車由来の Cu が主要な要因と考えられていたが、フィールド調査を通して、建築解体物由来の Cu 含有異物が無視できないと考えられた。工場の解体由来の鉄スクラップからは、Cu 含有異物として、分電盤、鉄鋼製配電管、電気設備ボックスなどが検出された^[5]。

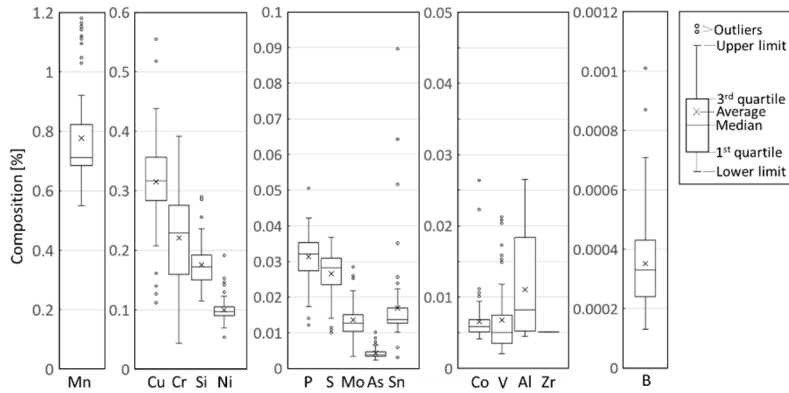


図1 日本で2015年に生産された鉄筋棒鋼中の不純物元素の濃度と分布

(2) 国により、市場における鉄鋼材品種が異なることや、使用済み製品からの素材の分離・回収システムが異なること、鉄鋼生産の原料が異なることなどにより、国により鉄鋼材中の不純物元素濃度が異なることが考えられた。日本のほか、西ヨーロッパ、ウクライナ、中国、ベトナムで試料採取し、日本に持ち帰り同じ分析装置によって不純物元素の濃度を測定した(図2)[6]。大きな傾向としては、先進国の日本と西ヨーロッパでの各元素の濃度が高かった。これは、使用済み製品からの素材の分離・回収システムにおいて人件費の安価なところでは人手により精緻に選別することが可能であることに起因すると考えられた。Moについては、国による差が小さかった。これは異物由来ではなくMoを合金として含む鋼材の混在によるものと考えられ、人手によっても選別することが困難なために差が見られなかったと考えられた。

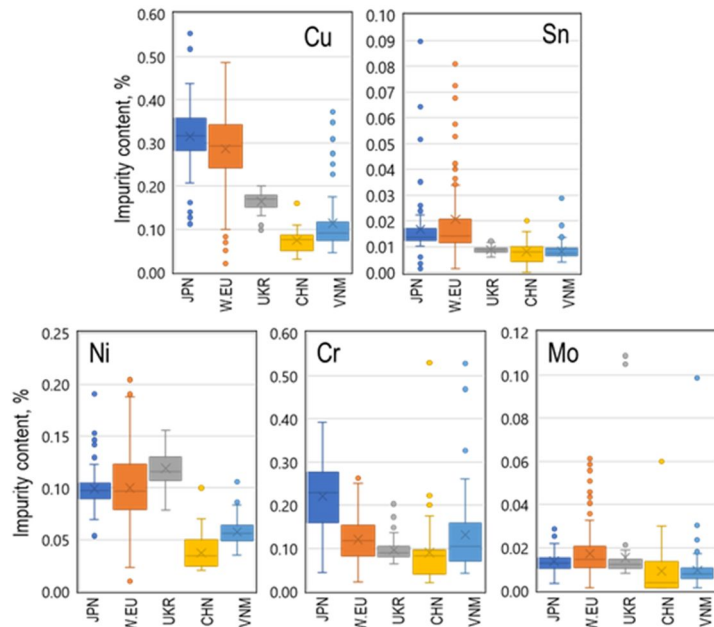


図2 各国や地域で生産された鉄筋棒鋼中の不純物元素の濃度と分布の比較

(3) 循環構造の経路としてリマニュファクチャリングを組み込んだ拡張版 MaTrace モデルを開発すると共に、自動車エンジンを事例として、リマニュファクチャリングによる物的な散逸回避効果の定量化に取り組んだ。その結果、素材リサイクルでは合金種別に選別されないために機能的に散逸していた元素の散逸回避効果が期待できることが明らかとなった。リマニュファクチャリングは、鉄鋼材中の不純物元素の混入に対して有益であることが明らかになった[7]。

(4) 溶鉄中に溶解する種々の元素の活量におよぼすトランプエレメント(Cu,Sn)の影響について、実験による新たなデータの測定と文献の収集の双方よりデータベースの確立を行った。同時に、得られたデータに基づき溶鉄中Cu,Snが他の不純物元素に与える影響を調査した。溶鉄中における合金元素Mの活量に及ぼすSnの影響を図3に示す。横軸は溶鉄中元素の活量係数、縦軸は溶鉄中元素Mの活量係数を表わしている。鉄との親和力が強く、錫との親和力が弱い元素は溶鉄中においてSnとの

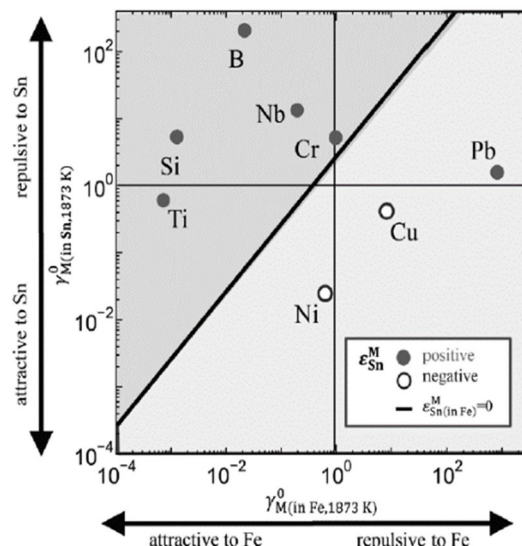


図3 溶鉄中における合金元素Mの活量に及ぼすSnの影響

相互作用により活量が上昇し、逆に鉄との親和力が弱く、錫との親和力が強い元素は溶鉄中において Sn との相互作用により活量が低下する傾向がみられた。

(5) 銅・硫黄を含有した低炭素鋼を溶融凝固させるプロセスを模擬するため、形状の異なる鋳型などを用いて冷却速度を変化させ、凝固・冷却を経て形成した組織観察、組成分析および強度試験を行い、硫化物のサイズと組成の関係(図4)、析出挙動・冷却速度との関係などを明らかに、硫化物の析出可能冷却速度として80K/s以上であることを考察した。銅硫化物の析出機構のうち主要因が凝固偏析であることを、As-cast、Annealed 材の比較実験により考察した。

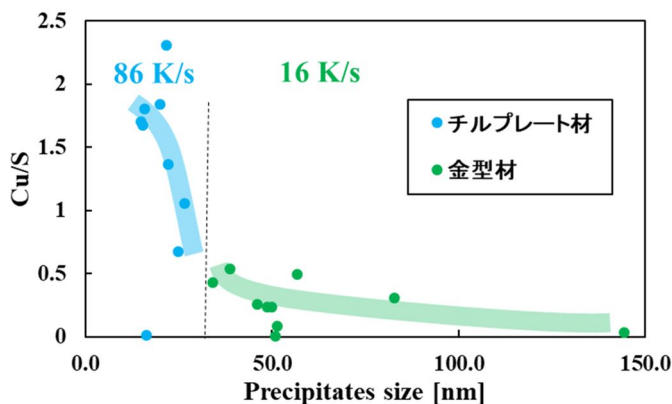


図4 析出硫化物のサイズと組成の関係

(6) ここまでで、混入の結果としての不純物元素の存在を同定し、その制御機構ならびに無害化方策について検討してきた。他方、それら不純物元素の鉄鋼材特性への影響が明確になっているとは言いがたい。第二相を用いた無害化方策も表面赤熱脆性の回避であり、最終鋼材の特性ではなく、生産プロセスにおける課題である。そこで、ここでは生産プロセスでの問題はプロセスにおける回避も可能であると考え、最終鋼材の特性にのみ着目して、存在すると特定された15元素を対象に、主要特性への影響を調査した結果を表1に示す[3]。強度については向上、加工性については低下する傾向が見られたとともに、一部の元素の影響についてはほとんど研究されてきていないことがわかった。また、加工性の中でも溶接部健全性についてはほとんどの元素で機能低下を生じることがわかった。しかしながら、これは鋼材の使用方法において、溶接を必要としない使い方とすることで回避できるため、材料生産技術だけでなく、社会システム全体として影響を回避することが可能であると考えられた。

表1. 文献レビューに基づく不純物元素の鉄鋼材主要特性への影響

Property	Mn	Cu	Cr	Si	Ni	P	S	Mo	As	Sn	Co	B	V	Ca	Al
Tensile strength	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+/-	+	No	+
Elongation	-	-	-	No	-	-	-	No		-		+	+	No	+
Yield point or proof stress	+	+	+	+	+			+				+/-	+	No	+
Soundness in the welding area	-	-	-	-	-	-	-	-				+/-	-		
Fracture toughness	+/-	-	+/-	+	+	-	-	+/-	-			-	+	+	+/-

+: positive influence; -: negative influence; No: no influence; +/-: positive or negative influence depending on type of steel; Empty cells: no information available.

(7) ここまでの研究成果により、(4)においてプロセスにおける制御、(5)において組織における制御、(6)において結果として得られる最終鋼材の特性、さらには、その設計における影響回避の方策について述べた。これは、PSPP (process, structure, property, and performance) のコンセプトと通底するものであり、材料設計だけでなく、材料リサイクルのシステム設計においても、PSPP のコンセプトは有用であると考えられた。ただ、本研究の(1)から(3)で明らかにしてきたように、リサイクルシステムの前に使用済み製品からの素材の回収・選別システムがあり、不十分な選別の結果として混在する異物が不純物元素の主要な要因であることが解明された。そこで、材料リサイクルにおいては、図5に示すR-PSPPの関係を明らかにすることで、どの階層で問題を回避することがより効率的であるかを考えた上で高付加価値なリサイクルを実現するためのシステムを設計できるものと考えられた。

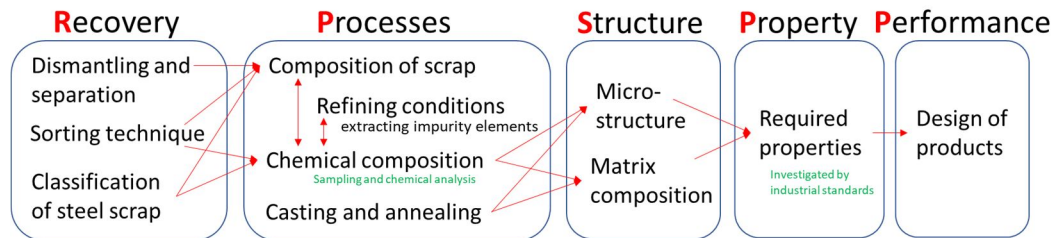


図5 回収 (recovery) , プロセス (process) , 組織 (structure) , 特性 (property) , 機能 (performance) の関係を表すコンセプト R-PSPP の概念図

- [1] I. Daigo, L. Fujimura, H. Hayashi, E. Yamasue, S. Ohta, T. D. Huy, Y. Goto: Quantifying the total amounts of tramp elements associated with carbon steel production in Japan. *ISIJ Int.* **57**, (2017) 388-393.
- [2] H. Ono, T. Maeda and E. Takeuchi: A Method to Determine the Thermodynamic Interaction Parameter of Cu with Alloying Elements in Molten Iron, *Advanced Experimental Mechanics*, **2** (2017), 119-123,
- [3] I. Daigo, K. Tajima, H. Hayashi, D. Panasiuk, K. Takeyama, H. Ono, Y. Kobayashi, K. Nakajima, T. Hoshino: Potential Influences of Impurities on Properties of Recycled Carbon Steel. *ISIJ Int.* **61**, (2021) 498-505.
- [4] 醍醐市朗、瀨瀨将太、太田暁、林英男、榎学：日本における普通鋼中の Cu 濃度を決定する要因の同定. *鉄と鋼* **104** (2018), 461-466.
- [5] 醍醐市朗, 瀨瀨将太, ドゥヌウィラ・パサン, 星野岳穂: 建物解体由来のヘビー鉄スクラップに混在する他素材の実態調査. *開発技術* **25** (2019) 63-72.
- [6] D. Panasiuk, I. Daigo, T. Hoshino, H. Hayashi, E. Yamasue, T. D. Huy, B. Sprecher, F. Shi, V. Shatokha: International comparison of impurities mixing and accumulation in steel scrap. *J Ind Ecol.* In Press, Available online 18 February 2022
- [7] Z. Zhang, K. Matsubae, K. Nakajima, Impact of remanufacturing on the reduction of metal losses through the life cycles of vehicle engines. *Resour Conserv Recycl* **170** (2021), 105614,

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Kuzuhara Shunsuke, Kudo Katsuyuki, Hayashi Hideo, Daigo Ichiro	4. 巻 59
2. 論文標題 Microscopic Distribution and Coexistence States of Tramp Elements and Valuable Metals in Recycled Steel Material by a Statistical Analysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 2120～2125
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2019-235	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 醍醐市朗, 瀧澤将太, ドゥヌウィラ・バサン, 星野岳穂	4. 巻 25
2. 論文標題 建物解体由来のヘビー鉄スクラップに混在する他素材の実態調査	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 開発技術	6. 最初と最後の頁 63～72
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Lin Hsin-Tien, Nakajima Kenichi, Yamasue Eiji, Ishihara Keiichi N.	4. 巻 89
2. 論文標題 An optimum treatment for waste electronic home appliance in remote area: The case of Kinmen, Taiwan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Waste Management	6. 最初と最後の頁 379～385
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.wasman.2019.04.026	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Ono Hideki, Aboshi Jingo	4. 巻 59
2. 論文標題 Distribution Ratio of Copper and Tin between Iron and Ca?Pb alloy at 1823 K	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 703～708
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2018-420	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Ono Hideki	4. 巻 985
2. 論文標題 Removal of Tramp Elements from Molten Iron for Recycling Ferrous Scraps	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Science Forum	6. 最初と最後の頁 74 ~ 79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/MSF.985.74	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Zhang Zhengyang, Takeyama Kentaro, Ohno Hajime, Matsubae Kazuyo, Nakajima Kenichi, Nagasaka Tetsuya	4. 巻 107
2. 論文標題 An estimation of the amount of dissipated alloy elements in special steel from automobile recycling	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Mate'riaux & Techniques	6. 最初と最後の頁 105 ~ 105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/mattech/2019007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Lin Hsin-Tien, Nakajima Kenichi, Yamasue Eiji, Ishihara Keiichi	4. 巻 10
2. 論文標題 Recycling of End-of-Life Vehicles in Small Islands: The Case of Kinmen, Taiwan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Sustainability	6. 最初と最後の頁 4377 ~ 4377
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/su10124377	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Zhang Z., Takeyama K., Ohno H., Matsubae K., Nakajima K., Nagasaka T.	4. 巻 107
2. 論文標題 An estimation of the amount of dissipated alloy elements in special steel from automobile recycling	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materiaux & Techniques	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/mattech/2019007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Panasiuk Daryna, Daigo Ichiro, Hoshino Takeo, Hayashi Hideo, Yamasue Eiji, Tran Duc Huy, Sprecher Benjamin, Shi Feng, Shatokha Volodymyr	4. 巻 Available online
2. 論文標題 International comparison of impurities mixing and accumulation in steel scrap	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Industrial Ecology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jiec.13246	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Daigo Ichiro, Tajima Keijiro, Hayashi Hideo, Panasiuk Daryna, Takeyama Kentrao, Ono Hideki, Kobayashi Yoshinao, Nakajima Kenichi, Hoshino Takeo	4. 巻 61
2. 論文標題 Potential Influences of Impurities on Properties of Recycled Carbon Steel	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 498 ~ 505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2020-377	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Zhang Zhengyang, Matsubae Kazuyo, Nakajima Kenichi	4. 巻 170
2. 論文標題 Impact of remanufacturing on the reduction of metal losses through the life cycles of vehicle engines	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Resources, Conservation and Recycling	6. 最初と最後の頁 105614 ~ 105614
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.resconrec.2021.105614	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計51件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 22件)

1. 発表者名 藤原 健弥, 小林 能直
2. 発表標題 Fe-C-Cu-S模擬スラップ鉄における鑄造冷却速度の及ぼす銅分布状態への影響
3. 学会等名 日本金属学会2019年秋期 (第165回) 講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林 能直
2. 発表標題 却速度を変化させた鋳造低炭素鋼中の銅硫化析出物と偏析挙動
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第178回秋季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ichiro Daigo, Masato Nakada, Masaaki Fuse, Takeo Hoshino, Manabu Enoki
2. 発表標題 Can Recovery of Common Metals be Promoted by the Same Factor?
3. 学会等名 The 10th International Conference of the International Society for Industrial Ecology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Numfor Solange Ayuni, Kentaro Takeyama, Kazuyo Matsubae
2. 発表標題 Estimation of End of Life Vehicle Quantities in Kenya, Cameroon, Nigeria, South Africa and Morocco, Using Population Balance Model
3. 学会等名 第15回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武山健太郎、大野肇、松八重一代、中島謙一、近藤康之、長坂徹也
2. 発表標題 動的マテリアルフロー分析を用いた鉄鋼循環における非鉄金属元素の蓄積量推計
3. 学会等名 第15回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Zhang Z.Y., Takeyama K., Nakajima K., Matsubae K.
2. 発表標題 Evaluation of the material loss mitigation effects for remanufactured products
3. 学会等名 The 10th International Conference of the International Society for Industrial Ecology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武山健太郎、大野肇、松八重一代、中島謙一、近藤康之、長坂徹也
2. 発表標題 動的マテリアルフロー分析を用いた鉄鋼資源循環に与える異材混入の影響評価
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第177回春季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 張政陽、武山健太郎、松八重一代、中島謙一
2. 発表標題 自動車エンジンに着目した特殊鋼合金のリサイクルに関するシナリオ分析
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第177回春季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原慎平、小野英樹、小西宏和
2. 発表標題 1873 Kにおける溶鉄中SnとTi, Nb間の相互作用係数
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第178回秋季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideki Ono
2. 発表標題 Interaction Parameters between Sn and Alloying elements in Molten Iron
3. 学会等名 14th International Conference on the Physical Properties and Application of Advanced Materials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koga Hori and Hideki Ono
2. 発表標題 Interaction Parameter between Cu and Cr in Molten Iron
3. 学会等名 14th International Conference on the Physical Properties and Application of Advanced Materials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideki Ono, Kenji Taguchi, Katsuhiro Yamaguchi, Tateo Usui
2. 発表標題 Methods to Remove Tramp Elements in Steel for Recycling Ferrous Scraps
3. 学会等名 2019 - Sustainable Industrial Processing Summit & Exhibition (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nakajima K., Nansai K., Takayanagi W.
2. 発表標題 Toward environmentally sustainable patterns of resource consumption and production
3. 学会等名 13th Society And Materials International Conference (SAM13) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀江空太, 醍醐市朗, 星野岳穂:
2. 発表標題 地域の経済発展の違いを考慮した鉄鋼材中のCu濃度の将来推計モデルの構築
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第179回春季講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 張政陽, 武山健太郎, 松八重一代, 中島謙一
2. 発表標題 自動車エンジンに着目した特殊鋼合金のリサイクルに関するシナリオ分析
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第179回春季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 醍醐市朗, 濱田航, 林英男, 星野岳穂
2. 発表標題 鉄鋼材LCIに向けたリサイクル性評価のための鉄鋼材中Cu濃化の観測
3. 学会等名 第15回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 パナシウクダリナ, 醍醐市朗, 星野岳穂, 林英男, 山末英嗣, フィ ツラン ツク, スプレッヒャ ベンジャミン, フェンシ, シャトハ ヴォ ロジミル
2. 発表標題 棒鋼の合金元素含有量の国際比較
3. 学会等名 第15回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 堀江空太、パナシウクダリナ、醍醐市朗、星野岳穂
2. 発表標題 鉄リサイクルにおけるCu制約の対策技術の導入による環境負荷評価モデルの構築
3. 学会等名 第15回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武山健太郎, 大野肇, 松八重一代, 中島謙一, 近藤康之, 長坂徹也
2. 発表標題 動的マテリアルフロー分析を用いた自動車解体技術の資源循環に与える影響の評価
3. 学会等名 第14回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeyama K., Ohno H., Matsubae K., Nakajima K., Kondo Y., Nagasaka T.
2. 発表標題 Estimation of inflow and outflow of domestic accumulation using dynamic MFA model
3. 学会等名 The 13th Biennial International Conference on EcoBalance (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Zhang Z., Takeyama K., Ohno H., Matsubae K., Nakajima K., Nagasaka T.
2. 発表標題 An Estimation of the Amount of Dissipated Alloy Elements in Special Steel from Automobile Recycling Processes
3. 学会等名 12th International Conference on Society & Materials, SAM12 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 醍醐市朗
2. 発表標題 日本におけるベースメタルリサイクルにおける制約の可能性
3. 学会等名 日本金属学会2019年春季講演大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 醍醐市朗、田島圭二郎、瀧澤将太、星野岳穂、榎学
2. 発表標題 サイクルで混入する可能性のある不純物元素による普通鋼の材料特性への影響
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第177回春季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 醍醐市朗、中駄 将人、布施 正暎、星野岳穂、榎学
2. 発表標題 日本におけるベースメタルの使用済み回収率の評価
3. 学会等名 第14回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shota Koketsu, Ichiro Daigo, Hideo Hayashi, Manabu Enoki
2. 発表標題 How tramp elements in carbon steel are increased by repeated recycling
3. 学会等名 The 13th Biennial International Conference on EcoBalance (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masato Nakada, Ichiro Daigo, Manabu Enoki
2. 発表標題 Estimation of Exported Mixed Metal Scrap for Evaluation of End-of-Life Recycling Rates
3. 学会等名 The 13th Biennial International Conference on EcoBalance (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shota Koketsu, Ichiro Daigo, Hideo Hayashi, Takeo Hoshino, Manabu Enoki
2. 発表標題 Tramp elements contents in carbon steel in Japan
3. 学会等名 Sino-Japan Symposium for Industrial Ecology 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masato Nakada, Ichiro Daigo, Takeo Hoshino, Manabu Enoki
2. 発表標題 Time-series change of EoL-RR of base metals in Japan
3. 学会等名 Sino-Japan Symposium for Industrial Ecology 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keijiro Tajima, Ichiro Daigo, Takeo Hoshino, Manabu Enoki
2. 発表標題 Definition of closed-loop recycling in terms of steel properties affected by impurities
3. 学会等名 Sino-Japan Symposium for Industrial Ecology 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 瀧澤将太、醍醐市朗、林英男、榎学
2. 発表標題 炭素鋼中Cu濃度変化説明モデルの構築
3. 学会等名 エコデザイン・プロダクツ&サービス 2018シンポジウム (EcoDePS2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中駄将人、醍醐市朗、榎学
2. 発表標題 ベースメタルの使用済み回収率の時系列評価
3. 学会等名 エコデザイン・プロダクツ&サービス 2018シンポジウム (EcoDePS2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田島圭二郎、醍醐市朗、榎学
2. 発表標題 鉄スクラップへ混入する不純物元素によるリサイクル炭素鋼材機能への影響
3. 学会等名 エコデザイン・プロダクツ&サービス 2018シンポジウム (EcoDePS2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 瀧澤将太、醍醐市朗、林英男、星野岳穂、榎学
2. 発表標題 炭素鋼中トランプ元素濃度の説明モデルの構築
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第177回春季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木本悠介、醍醐 市朗、星野岳穂、榎学
2. 発表標題 トランプエレメントによる将来の鉄鋼材循環利用制約の評価
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第177回春季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 濱田 航、醍醐市朗、星野岳穂、榎学
2. 発表標題 交換モンテカルロ法を用いたリサイクル鋼材のCu濃度分布分解
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第177回春季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木本 悠介、榎 学、醍醐 市朗
2. 発表標題 動的MFAによる世界規模での鉄鋼材中Cu濃度の将来推計
3. 学会等名 第14回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 濱田 航、醍醐市朗、榎学
2. 発表標題 統計分析を用いたリサイクル鋼材中の不純物混入起源の推定手法の構築
3. 学会等名 第14回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideki Ono, Hirokazu Konishi, and Takaaki Maeda
2. 発表標題 Interaction coefficients of alloying elements on copper and tin in iron
3. 学会等名 7th International Congress on Science and Technology of Steelmaking (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hideki Ono, Hirokazu Konishi, and Shimpei Fujiwara
2. 発表標題 Determination of Thermodynamic Interactions between copper (or tin) and alloying elements in molten iron
3. 学会等名 The 16th Discussion Meeting on Thermodynamics of Alloys (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hideki Ono
2. 発表標題 Removal of Tramp elements in steel for recycling ferrous scraps
3. 学会等名 The 13th International Conference on the Physical Properties and Application of Advanced Materials (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小野英樹
2. 発表標題 溶鉄中循環性元素と合金元素間の相互作用係数
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第177回春季講演大会シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeyama K., Ohno H., Matsubae K., Nakajima K., Kondo Y., Nagasaka T., Daigo I., Hoshino T.
2. 発表標題 ESTIMATION OF CR AND NI CONTENT IN CARBON STEEL SCRAP BY USING DYNAMIC MATERIAL FLOW ANALYSIS MODEL
3. 学会等名 The 14th Biennial International Conference on EcoBalance (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中島謙一, 醍醐市朗, 南齋規介, 渡卓磨, 高柳航
2. 発表標題 資源利用と素材の社会的価値
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第180回秋季講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kenichi Nakajima
2. 発表標題 Materials and Society: Resource Use Transition and Created Value
3. 学会等名 2020 NICKEL WEBINAR:LIFE CYCLE ASSESSMENT AND NICKEL (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 堀功雅、小野英樹
2. 発表標題 溶融Fe-18mass%Cr合金中SnとMo, B, Ni間の相互作用係数
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第180回秋季講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hideki Ono, Koga Hori
2. 発表標題 Thermodynamic interactions between tin and alloying elements in molten Fe-Cr alloy
3. 学会等名 11th International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts (MOLTEN 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Panasiuk, Daryna; Daigo, Ichiro; Hoshino, Takeo
2. 発表標題 Methodology for Investigation of Material Degradation during Recycling.
3. 学会等名 11th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (EcoDesign 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ichiro Daigo, Hideo Hayashi, Ko Hamada, Takeo Hoshino
2. 発表標題 Has copper content in steel been increased by recycling
3. 学会等名 14th International Conference on Society & Materials (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大西圭祐、武山健太郎、醍醐市朗、星野岳穂
2. 発表標題 金属素材の使用済み回収率分析における廃棄実態の反映手法
3. 学会等名 第16回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大西圭祐、武山健太郎、醍醐市朗、星野岳穂
2. 発表標題 鉄鋼材の使用済み回収率分析における不確実性の低減手法の構築
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第181回春季講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takeyama, Kentaro; Ohno, Hajime; Matsubae, Kazuyo; Nakajima, Kenichi; Kondo, Yasushi; Nagasaka, Tetsuya; Daigo, Ichiro; Hoshino, Takeo
2. 発表標題 Estimation of Cr and Ni content in carbon steel scrap by using dynamic material flow analysis model
3. 学会等名 14h The International Conference on EcoBalance (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	林 英男 (Hayashi Hideo) (10385536)	地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター・事業化支援本部技術開発支援部先端材料開発セクター・上席研究員 (82670)	
研究分担者	小林 能直 (Kobayashi Yoshinao) (20354269)	東京工業大学・科学技術創成研究院・教授 (12608)	
研究分担者	小野 英樹 (Ono Hideki) (30283716)	富山大学・学術研究部都市デザイン学系・教授 (13201)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	松八重 一代 (Matsubae Kazuyo) (50374997)	東北大学・環境科学研究科・教授 (11301)	
研究 分 担 者	中島 謙一 (Nakajima Kenichi) (90400457)	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・主任研究員 (82101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
中国	中国科学院	南京大学		
オランダ	デルフト工科大学			
ウクライナ	ウクライナ国立冶金大学			
ベトナム	ハノイ工科大学			