



製鉄原料展望—3

スクラップの現状

The Current Status of Scrap

原田幸明
Komei Harada

(独) 物質・材料研究機構
元素戦略センター長

1 はじめに

我が国のマテリアルフロー 2,163 百万トン¹⁾の第一位は土石(約 800)、第二位は化石燃料(約 500)であるが、鉄は約 120 百万トンと第三位であり、かつその約 30%が市中スクラップを用いて生産されている。このように鉄におけるスクラップの利用は将来の持続可能な循環型社会に向けて一歩踏み出した形となっており、今後の動向を的確につかみより持続可能な方向へと進めていくことは現世代の大きな責任である。

現状の把握に関しては、鉄源協会が「クオータリー鉄源」²⁾などを通じて定量的なデータ整理のみならず分析を行っており、今後の需給にかかわる解析に関する小澤ら³⁾によるもの醍醐⁴⁾によるものなど議論が進んでおり、鉄源としての専門的な観点からのスクラップの理解はそれらを参考にすることが適切であると考えられる。

本稿では、それらの分析や議論をより活用する立場から、我が国の鉄のスクラップからの視点ではなく、さまざまな金属スクラップの中の鉄スクラップ、世界のスクラップ動向の中の我が国の鉄スクラップについて情報を整理し、新たな視点で鉄スクラップを捉える一助としたい。

2 スクラップとリサイクル

図1は、いろいろな要素をまとめたリサイクルの概念図である⁵⁾。鉄のリサイクルはほとんどが“オープンリサイクル(別種の製品に戻す)”の“マテリアルリサイクル(素材として使う)”になる。図でマテリアルリサイクルの入口に二種類あることを示しているが、金やレアメタルなどはリサイクルと同時に製錬が行われる“抽出型”なのに対して、鉄はアルミやガラス、紙などと同様に不純物レベルを調整してリサイクルする“希釈型”に属する。この希釈型は抽出型に比べて廃棄

物の発生が極めて少なくなるが、トランプ元素の管理など抽出型にはない問題が伴う。

ポストコンシューマーリサイクルとプリコンシューマーリサイクルの違いは多くのリサイクルシステムで大きな問題になっている。前者は使用済み製品からのリサイクルであり、後者はそれに至る製造段階からの端材のリサイクルである。鉄スクラップでは、前者に相当するスクラップを“老廃スクラップ”とよび、後者で鉄製造で発生するものを“自家スクラップ”、自動車等の加工段階で発生するものを“加工スクラップ”と呼んでいる。なお、“市中スクラップ”とは“加工スクラップ”と“老廃スクラップ”の両者を含んだ鉄製造業が外部購入するスクラップである。リサイクルの大きな目的のひとつである原料としての天然資源使用量の削減に効果があるのはポストコンシューマーリサイクルである。しかし一般にプリコンシューマーでは、発生物の性状も明確で安定しておりかつ供給も定常性が高いためリサイクルは容易であるが、ポストコンシューマーになると上記の特徴が失われて個性、分散性、不安定性が増すだけでなく様々な他素材と混在してしまい選別のプロセスが重要になってくる。その点で、

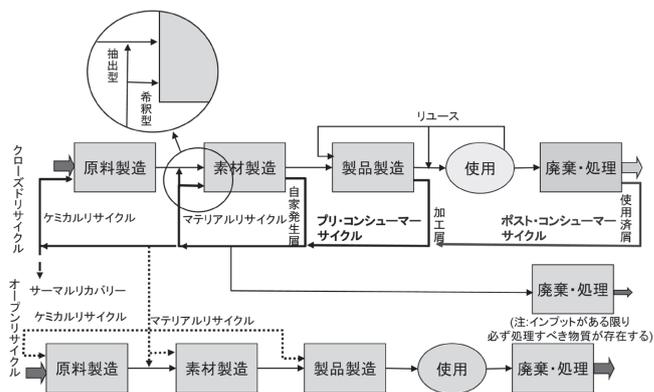


図1 全般的なリサイクルの種類

鉄の場合は選別において磁選が可能であり、ポストコンシューマーである老廃スクラップが相対的に利用しやすい状況にあるといえる。

3 鉄スクラップの構成

図2に鉄源協会の「鉄源需要基礎情報」⁶⁾から得られる2007年の鉄スクラップの供給と利用状況を図示した。2007年の鉄スクラップ使用量は約5300万トン、さらに600万トンを超える量が輸出量として統計上計上されている。なおこの輸出量には銅含有屑などの「雑品」も含まれるのでその全てが鉄という訳ではない。このうち鉄鋼産業以外からの購入スクラップが市中スクラップで約3800万トンである。それを図では加工スクラップと老廃スクラップに分け、さらにそれぞれの発生源毎の量を記しているが、これはスクラップがそのように区分されて購入されるのではなく、鉄源協会の分析による結果である。実際のスクラップは、図の上から4段目のように“新断”、“だらい”、“HS”などの性状により分類され購入される。その中でも加工スクラップに相当するとされるのは、“新断”、“だらい”および“銑”であり、それ以外のものはほぼ使用済みの老廃スクラップとみなされる。

量的な把握は、鉄源協会が数年毎に、自動車、産業機械などの各分野での加工屑発生率を調査しており⁷⁾、各年度でのそれぞれの分野への供給量にその発生率を乗じて加工スクラップの発生量が見積もられ、その加工スクラップの量を市中購入スクラップから減じたものが老廃スクラップの量として取り扱われている。なお近年は5年ごとに出版される産業連関表⁸⁾に「屑」部門が表記されるようになったためそれを

いた加工屑量の把握も行われるようになってきている。

いずれにしても、鉄の場合は加工スクラップに対してその3倍近くの老廃スクラップが利用されており、これは金属の中では自動車バッテリーを持つ鉛のスクラップに次いで高いポストコンシューマーリサイクル比となっている。この高いポストコンシューマーリサイクルを支えているのは、ひとつに先述の選別性の高さであるが、蓄積の大きさも、もうひとつの要因になっている。図3に示すのは、鉄鋼蓄積量と老廃スクラップ回収量、スクラップ使用量、鋼材生産量である。蓄積量の増大とともに老廃スクラップ回収量も伸びており、蓄積量に対する老廃スクラップ回収量の比は、1970年代から現在までほぼ2%から3%の間となっている。

4 各金属の状況

鉄にかぎらず金属の人間経済圏内部蓄積は、“二次ストック”もしくは“on-surface stock”と呼ばれて、地下にある天然資源すなわち、“一次ストック”もしくは“under ground stock”とも呼ばれる埋蔵金属資源、に加えてわれわれが活用すべき資源であり、都市鉱山(urban mining)⁹⁾の対象となる。図4に様々な金属の蓄積推定量¹⁰⁾を表した。この数値は著者らが都市鉱山蓄積推定値として、輸入量の累積から製品輸出も含む輸出累積を差し引いて計算したものである。鉄の場合は鉄源協会による積み上げ法による蓄積量算定があるが、それとほぼ近い値になっている。

図4は対数目盛で記されており、鉄の蓄積量は他の金属と比べて圧倒的に大きい。マテリアルフローで鉄を凌ぐ土石や化石燃料は再利用可能な蓄積物となるのは困難であるから鉄

			自動車	機械	建築	その他	自動車		機械	容器	建築	土木	その他
			4407	2327	3159	1338	3730		8169	1569	7311	4499	4025
高炉	電炉	鋳物	加工スクラップ					老廃スクラップ					その他
9686	3158	2938	11242					29599					
自家発生スクラップ			市中購入スクラップ							輸出			
15782			38235							6430			
			新断	ダライ	銑	HS1,HS2	H1	H2	他ヘビー	ステンレス	アルミ	銅	その他
			5284	2737	983	4373	5186	5674	3816	2448	831	903	
転炉用	電炉用		鋳物用		その他								
12940	32090		6976		1176								
53242													

図2 2007年の我が国の鉄スクラップ構成

が最大の人工資源になっていると言っても差支えない。

各金属のリサイクル率を生産量に対してプロットしたものが図5である。リサイクル率には様々な定義の仕方がある。これは、それぞれの素材や製品に対して固有のリサイクル上の課題がありそれを克服するための取組指標としてそれぞれの分野でリサイクル率を定義しているためである。客観性の高い指標としては、ある素材を生産した場合に、すでに人間経済圏に存在していた原料を含んでいる割合を表す「リサイクル物含有率」を用いるのが良く、図5はそれで表している。これは、もし天然原料の原子にマーキングができ素材製造後にそれが消せたなら、製造段階を流れている素材でマーキングの無い原子の割合に相当する。

図5のデータは一貫性をとるためJOGMECのマテリアルフロー調査¹¹⁾より読み取った。鉄のリサイクル物含有率が鉄

の全生産の対するスクラップ投入比である鉄スクラップ投入率として知られている値より10ポイントほど低い、これは他の素材に合わせてLCAで通常使われる方法にもとづき自家発生スクラップの利用をプロセス内利用として計算から外して計算してあるからである。

鉄は銅、アルミ、鉛とともに使用量も多くリサイクル率も高いグループの代表である。なお、Cr、Mnは鉄鋼材料に含まれて循環しているとみなされる量も含まれている。このようなリサイクルは主成分を目的とした循環をエレメンタルリサイクル (elemental recycle) と呼ぶならばバイリサイクル (by-recycle) と呼ぶべき存在である。特に鉄鋼の場合は使用量が多いため低濃度の添加元素も量的には大きな値となり、Cr、MnのみならずNb、Vなどのリサイクルに大きくかかわっている。

図5の左上のIn、Ga、Coなどはほとんどがプリコンシューマリーリサイクルであり、リサイクル率は高いものの天然資源の削減への効果は少なく、鉄の老廃スクラップのように使用済みリサイクル原料を用いることで天然資源消費量を削減し持続可能性を高めることができる。

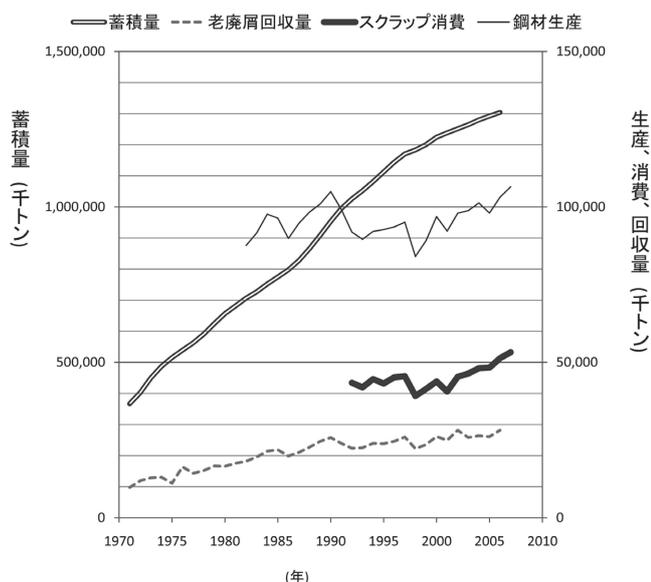


図3 鉄の国内蓄積量と鋼材生産、スクラップ消費、老廃屑回収量

5 世界の状況

次に世界全体の鉄スクラップの状況を見てみる。図6は世界各国の鉄スクラップ発生量とその国の鉄消費量との関係でプロットしたものである。データは世界鉄連の world Steel Use in Figure¹²⁾ からとっており、スクラップ発生量は直接のデータではなくスクラップ消費量に輸出量を加算し輸入量を減算したものである。図からわかるようにスクラップ発生量と消費量はほぼ直線関係にあるが、中国が消費量に対して相対的に低い発生量になっている。

ここ近年のスクラップ発生量の推移を表1に示した。各地

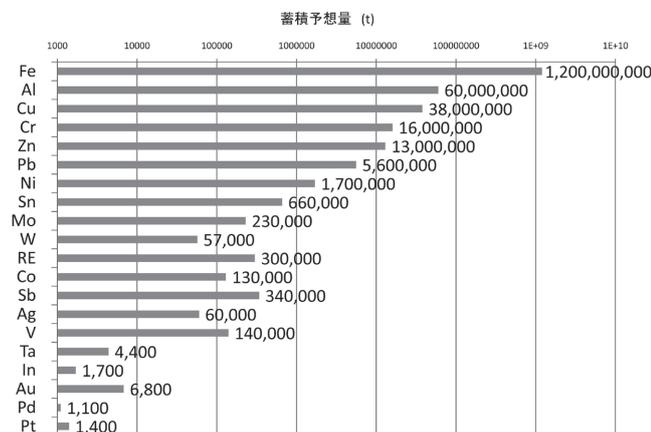


図4 各金属の国内蓄積予想量

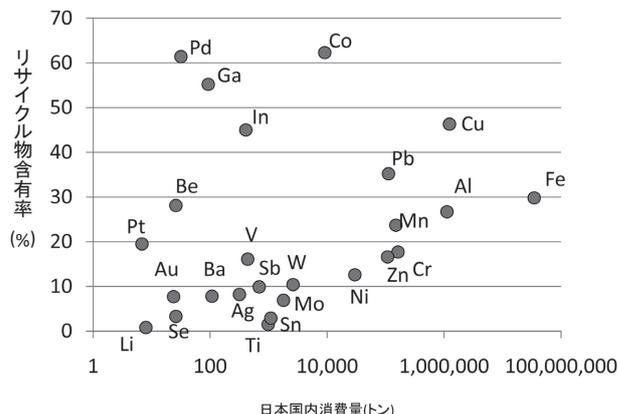


図5 各金属の国内消費量とリサイクル率 (リサイクル物含有率)

域や国の発生量は世界全体に対するパーセンテージで示している。2008年は世界経済危機を反映してスクラップ発生量も前年度比約7%減となっている。しかしこれは世界で一様ではなく、南・中央アメリカは絶対量としても発生量を増やしている。

いまひとつ注目すべきは中国の挙動である。2005年から2006年の間に中国のスクラップ発生量は日本や旧ソ連地域を追い越しておりアメリカに迫る勢いである。これは中国の鉄鋼生産が飛躍的に伸びていることの反映であるが、同時にその生産の内容に変化が起きてきていることも一因になっている。図7は国際鉄連の統計¹³⁾から得られた熱延鋼の棒・型もの(long hot-rolled)と板・帯もの(flat hot-rolled)の生産量の推移を中国と日本で比較したものであり、中国では2002年から急速にflat hot-rolledの生産が高まっている。これらの最終需要を日本の産業連関表から得られる波及関係と同程度と仮定すると、long hot-rolledの波及は機械に4.3%、電気に0.5%、輸送に4.1%、建築に52.9%、土木に42.9%であり、一方でflat hot-rolledは機械15.7%、電気に11.2%、輸送28.1%、建築28.6%、土木12.4%となっており、寿命の長い建築、土木用途から相対的に短寿命の電気、機械、輸送部門への供給が増している。さらにこれらのflat hot-rolledが主として対象とする機械、電気、輸送部門の端材発生率は

日本の場合でもそれぞれ、14.5%、19.9%、16.2%と建築、土木の3.3%と比べて大きく、これも中国のスクラップ増の一因になっている。

このような分析はさらに寿命曲線などを用いて経年分析をすすめることで将来予測なども可能であろうが、ここでは上記の仮定とともに耐用年数を電気5年、輸送および機械10年、建築30年として単純に計算できる2008年の中国のスクラップ構成の推定を図8に示すにとどめる。図からわかるとおり電気機械の老廃屑や自動車の加工屑が多くを占めていると予想され、今後もflat hot-rolledの鋼材製造が伸びるならばこのような加工スクラップや短寿命製品の老廃スクラップの増加によりますます中国のスクラップ発生は大きくなるものと予想される。

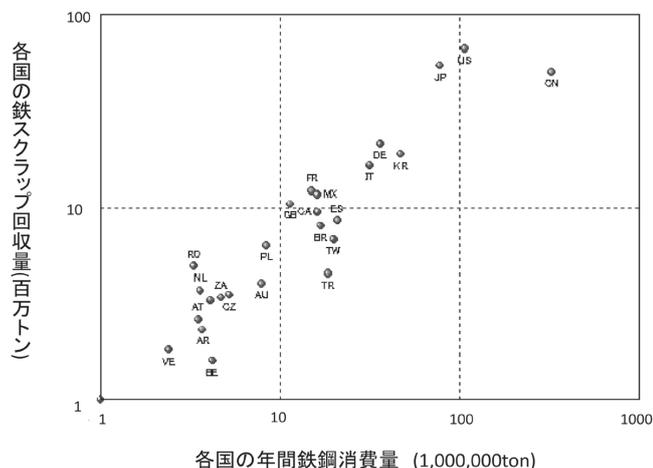


図6 世界各国の年間鉄鋼消費量とスクラップ回収量

表1 世界のスクラップ発生量と地域シェア

	2008	2007	2006	2005
world(Mton)	445.2	478.9	459.7	433.9
EU%	22.2	24.6	25.6	23.4
CIS%	10.5	12.7	12.3	14.9
USA%	14.4	16.1	15.8	15.3
China%	13.1	15.6	13.0	11.5
Japan%	10.4	12.4	12.3	12.5
CS-America%	6.1	5.6	5.2	6.1

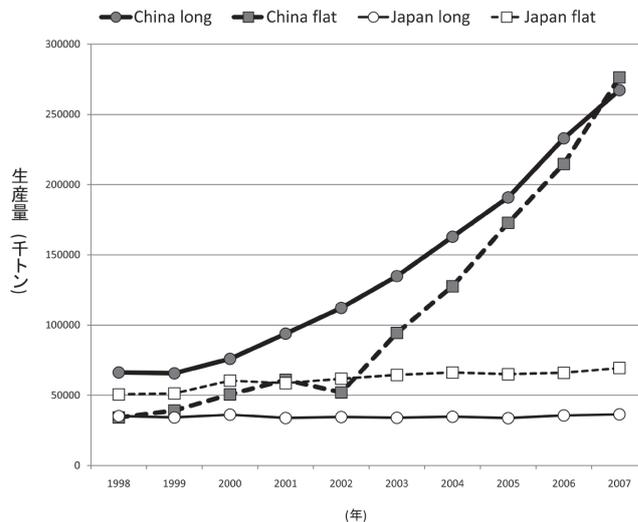


図7 中国と日本の熱延鋼材生産量の推移

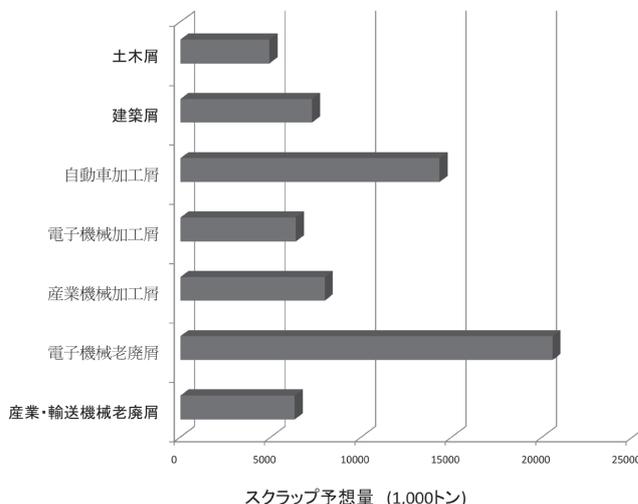


図8 中国の2007年スクラップ構成予想

6 グローバルな展開

中国の動きは世界のスクラップ状況に大きく影響するが、世界はそればかりではない。図9に2008年の鉄スクラップのトレードフローを图示した。データは国連貿易統計(Comtrade)¹⁴⁾から得て輸出入の上位10か国を入超国は白丸、出超国は白抜きで示し、二国間の貿易量を輸入側の統計データをもとに量の多いものから上位約30のフローとそこには含まれないが輸出入の多い国の典型的取引先のフローをディフォルメした地図上に記したものである。なお、国名は二文字の国際標準コードを用いており、線の太さは貿易量に比例している。

図9でわかるように、鉄スクラップの最大の輸入国は中国ではなくトルコである。トルコにはアメリカ、ロシア、ヨーロッパなど世界の各地からスクラップが輸入されている。なお、2006年ではロシアからの輸入が大部分であった。中国は輸入量も5位となっており、スペイン、イタリア、エジプトなど地中海沿岸から中東、中部ユーラシアがスクラップの輸入国となっている。

これらのスクラップがさらにどこに流れるかを知るために、スクラップに依存することの多い棒鋼の2008年のトレードフローを図10に示した。2005年ではトルコからアラブ首長国連邦への流れが格段に大きかったが¹⁵⁾、経済危機の影響で

その流れは少なくなり、トルコからはアメリカ、イタリアへと流れている。またアメリカが棒鋼の輸入国としての性格を強める一方で、中国は輸出国の側面をますます強くしており、アジア、アメリカへの輸出拠点となりつつある。

この図9、図10を合わせてみると、鉄スクラップはもはや、発展途上国が国内の建設需要の増大に合わせて近隣国から鉄源を調達しているという関係ではなく、大洋を渡って国際的な規模で動き、またそのスクラップから製造される製品も国際商品として流通していることがわかる。1980年代は多くのトレードフローは日米独の三極を軸として動いていたが、これからは南東北欧、中東、中部ユーラシアなど幅広い可能性に目を向けた動向把握が必要となってくる。

そのような動向把握の際に注意すべきことは、製品としての鉄もまた世界中に移動して回っているということである。図11は、自動車のトレードフローであるが、その重量の7割程度は鉄鋼製品であり、日本からアメリカにはほぼ240万トンの鉄が輸出されたことに相当している。他の製品にも多くの鉄が使用されており、今後これらの動態を含めて二次ストックとしての鉄の蓄積動態と分布を把握していくことが、特にこれから産業の急成長にともなって鉄の消費が急速に増すと思われるAALA(アジア、アフリカ、ラテンアメリカ)諸国に鉄鋼をいかに供給し、循環していくかという課題の解決に大きく影響していくと思われる。

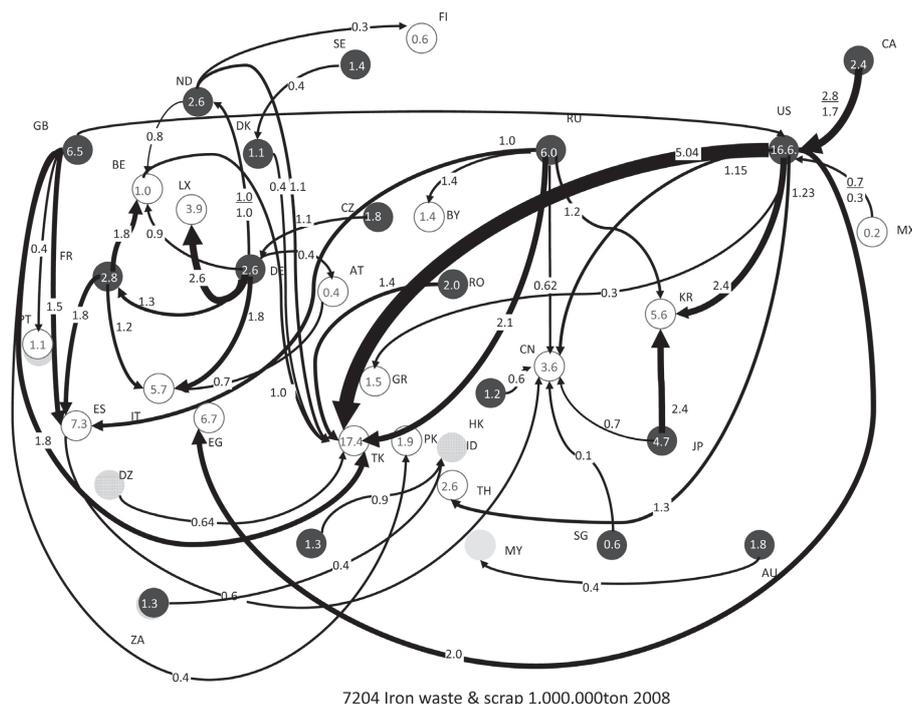
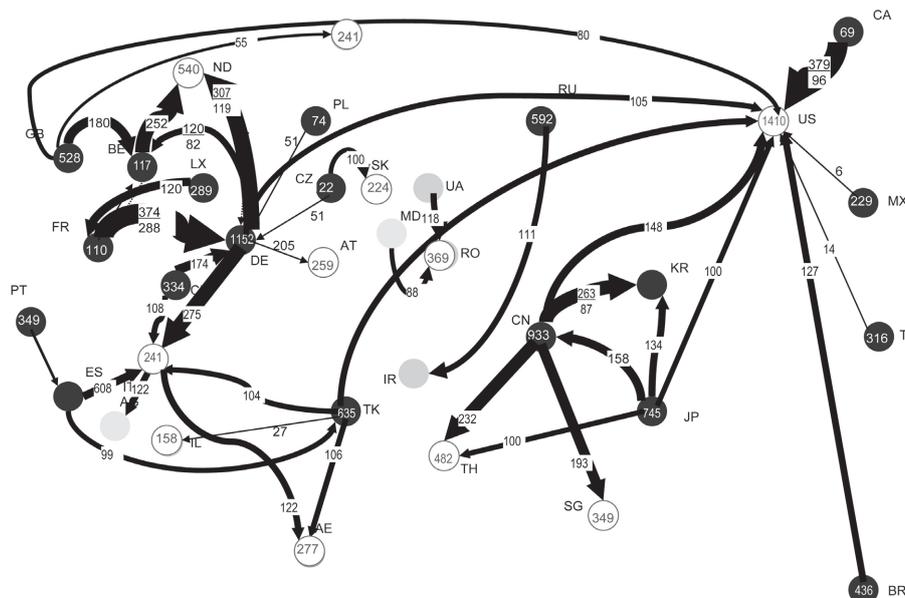


図9 鉄スクラップの2008年のトレードフロー

7 おわりに

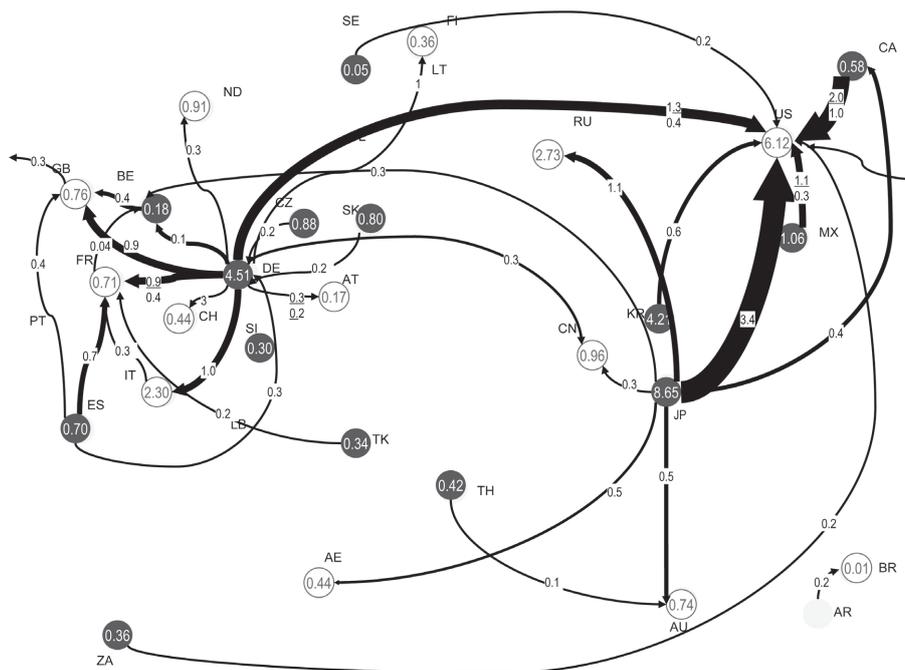
鉄鋼は膨大な需要を持ちつつも循環型への適応を進めている典型的な素材である。今後、中国のみならずAALA諸国など世界的な鉄需要の増大の中で持続可能な鉄資源の利用を

追及していくと、ますますスクラップの役割は大きくなる。国内的な視点だけでなく国際的な観点からのスクラップ利用の議論がこれから盛んになると思われる。本稿がその一助になればと願う次第である。



7213 Iron Rods 1,000ton 2008

図 10 棒鋼の2008年のトレードフロー



8703 Motor Cars (1,000,000ton)

図 11 乗用車の2008年のトレードフロー

参考文献

- 1) 平成 20 年環境循環型白書, 環境省 (2008)
- 2) クォーター鉄源, 鉄源協会, (1999)
- 3) 小澤純夫, 林誠一, 月橋文孝: 鉄と銅, 95 (2009) 6, 70-78.
- 4) 醍醐市朗: ふえらむ, 13 (2008) 5, 53.
- 5) 物質・材料工学と社会, 日本放送出版協会, (2005), 147.
- 6) 鉄源協会ホームページ「鉄源需給基礎情報」,
<http://www.tetsugen.gol.com/kiso/>
- 7) クォーター鉄源, 鉄源協会, 19 (2004) 1.
- 8) 2005 年産業連関表, 総務省統計局, (2008)
- 9) 南条道夫: 都市鉱山開発—包括的資源観による: リサイクルシステムの位置付け 東北大学選鑛製錬研究所彙報
43 (1988) 2, 239 - 251.
- 10) 原田幸明, 井島清, 島田正典: 日本金属学会誌, 73 (2009) 3, 151-160.
- 11) 鉱物資源マテリアルフロー 2007, JOGMEC, (2008)
- 12) World steel use in Figure 2008, IISI, (2009)
- 13) Steel Statistics Yearbook 2008, IISI, (2009)
- 14) 国連貿易統計 UN COMTRADE,
<http://comtrade.un.org/db/>
- 15) 原田幸明: 第 196・197 回西山記念技術講座, 日本鉄鋼協会, (2008), 81.

(2009 年 9 月 2 日受付)