



# 鉄スクラップの輸出による国内鋼材の 品位変化に関する考察

藤巻 大輔\*・五十嵐 佑馬\*・醍醐 市朗\*・松野 泰也\*・足立 芳寛\*

Estimation of Quality Change in Domestic Steel Production Affected by Steel Scrap Exports

Daisuke FUJIMAKI, Yuma IGARASHI, Ichiro DAIGO, Yasunari MATSUNO and Yoshihiro ADACHI

**Synopsis** : The total crude steel production in Asian countries was 500 million t in 2004, which accounted for 47% of the total crude steel production in the world. There have been a large demand of steel scraps in Asian countries, which Japan exported 2.5 million t of steel scrap to China, 1.91 million t to Korea and 0.9 million t to Taiwan in 2003. According to our previous studies, steel scrap generation in Japan will increase until 2030. Change in steel scrap demand in Asian countries in the future will make a great influence on the amount and quality of Japan's steel scrap domestic consumption and export. In this work, estimated was the quality change in domestic steel production (Electric Arc Furnace steel for buildings & constructions) by steel scrap exports. The method based on population balance model and material pinch analysis was applied to assess the quality of domestic steel production and steel scrap consumption. The data concerning the quality (copper content) of steel scraps and recovery ratio of steel scrap from post consumer products were updated. It was found that quality requirements on steel scraps to other countries could have large influence on the quality of domestic steel.

**Key words** : Asia; Cu concentration; export; recycling; steel scrap.

## 1. 緒言

中国における、鉄鋼需要の急激な増加に伴う粗鋼生産量の著しい増大は、原材料の価格の高騰を招いた。中国の2004年における粗鋼生産量は2億7千万トンであり<sup>1)</sup>、世界最大の鉄鋼生産国となっている。中国と同様に、韓国、台湾等においても粗鋼生産量は急増し、2004年におけるアジア全体の粗鋼生産量は5億トンであり、世界全体のおよそ47%を占めている<sup>2)</sup>。しかしながら、それらの国において、鉄鋼蓄積量はいまだ大きくないことから、国内発生スクラップ量と鉄スクラップ需要量に格差が生じており、その差を鉄スクラップ輸入によって補っているのが現状である。一方、我が国では、長年の鉄鋼増産計画により、1972年に粗鋼生産量が1億トンを越え<sup>3)</sup>、それ以来、粗鋼生産量は1億トン前後を推移している。鉄鋼蓄積量も年々増大するとともに、1996年から鉄スクラップ輸出国となった<sup>4)</sup>。日本からの鉄スクラップの主な輸出先は、中国、韓国及び台湾であり、2003年の輸出量は中国が254万トン、韓国が191万トン、次いで台湾が87万トンと、上位3カ国で総輸出量572万トン中90%以上を占めている<sup>5)</sup>。

一方で、ポピュレーションバランスモデルを適用した、将来の日本国内におけるスクラップ排出量を予測した既存の研究では、今後も現在の鋼材需要が続く場合、日本国内におけるスクラップ発生量が増加することが予測されてい

る<sup>6)</sup>。その増加分をどのように利用するのか、今後の我が国のスクラップ需給動向を考えるためには、600万トンを超えると予想されるスクラップの輸出量およびその質を考慮する必要がある。

そこで本研究では、既報<sup>6)</sup>において構築した、鋼材の循環利用における品位推移の解析手法を用い、今後の日本からの鉄スクラップの輸出による、日本国内において生産される鉄鋼材（建設用電炉鋼材）の品位（銅濃度）の変化に与える影響について解析することを目的とする。さらに本研究においては、既報<sup>6)</sup>において設定した老廃スクラップの回収率及び、国内の市中スクラップ中の銅濃度について一部のデータを更新し精緻化した。

## 2. 方法

### 2.1 鋼材の品位推移の解析手法

本研究では、醍醐ら<sup>6)</sup>により構築された、鉄リサイクルにおけるトランプエレメント濃化の動的解析手法を用いた。本手法では、鉄鋼材及び鉄スクラップ中のトランプエレメントである銅に着目し、それらの銅含有濃度を品位とし、銅含有濃度が低い方を高品位としている。本手法は、老廃スクラップの回収工程において、製品中に用いられたハーネスやモーターの構成素材である銅がスクラップ塊中へ混入し、品位が変化する様を表現できる手法となっている

平成17年12月14日受付 平成18年2月10日受理 (Received on Dec. 14, 2005; Accepted on Feb. 10, 2006)

\* 東京大学大学院工学系研究科マテリアル工学専攻 (Department of Material Engineering, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo Bunkyo-ku Tokyo 113-8656)

る。また、本手法を用いることで、鉄スクラップのリサイクル最大可能量を定量評価することができる。手法のフロー図をFig. 1に示し、以下に手法を詳述する。

まず、過去から現在までに消費された鋼材量ならびに品位の経年データ(Data 1)、将来に消費される鋼材量ならびに要求する品位(Data 2)の2つのデータを収集する。次に、将来のある時点に発生するスクラップの量と品位をそれらのデータから、ポピュレーションバランスモデル(Population Balance Model: PBM)を用いて導出する(Module 1)。ここで、PBMとは、過去から現在までの鋼材需要量の経年データおよび将来の鋼材需要予測と用途ごとの寿命分布から、将来の特定の年の廃棄量を算出する手法である<sup>7,8)</sup>。PBMにより得られた結果と、スクラップ中への銅成分の巻込率の経年データ(Data 3)から、発生するスクラップの量と銅濃度データが揃う。これらと、Data 2から得られる要求される鋼材の量と品位との間で、マテリアルピンチ解析<sup>9)</sup>を用いて需給マッチングをおこなう(Module 2)。これより、生産鋼材の銅濃度が導出されるとともに、当該時点におけるスクラップの最大利用可能量とヴァージン材である銑鉄の必要生産量が導出される。マテリアルピンチ解析においては、ヴァージン材による希釈も考慮し、スクラップの最大利用可能量ならびに必要な銑鉄量が導出される。

## 2.2 鋼材の品位推移解析手法における解析の条件設定と用いたデータ

本論文において、鋼材の銅含有濃度に関するデータは、既報<sup>6)</sup>と同様に、電炉と転炉ごとに、普通鋼において建設、機械、自動車、容器、その他、輸出の6用途別と、特殊鋼に区分し、これら14種の区分について2000年における銅濃度を設定した。各種鋼材に許容される銅の濃度にはほとんど明確な規定がない為、2000年における銅含有濃度が、将来における各種鋼材に要求される濃度であるとした。ただし、電炉で生産される建設用鋼材のみ、銅濃度は変化するものとし、建設用電炉鋼材の主要な生産鋼種である棒鋼の許容値(0.4%)まで許容されるとした。また、将来の製品需要に基づく鋼材の消費量は、2000年の消費量のまま一定であるとした。これは、日本鉄鋼連盟による消費量の見込みが、ほぼ横ばいの粗鋼生産とされていること<sup>10)</sup>と、産業連関分析におけるRAS法による予測(現在までの傾向を反映した予測)において鉄鋼業の産出額の伸びが0.0%と見込まれていること<sup>11)</sup>によった。

さらに、用途ごとの老廃スクラップの回収率の一部とスクラップの銅含有濃度のデータに関しては、詳細な推計やヒアリングによって更新した。新たに設定した条件を以下に記す。

### (1) 回収率の詳細化

使用済み製品からの鉄スクラップの回収率に関しては、既報<sup>6)</sup>においては、建設用を50%と設定していた。しかしながら、建設用は、土木用と建築用の2つを含んでいる。

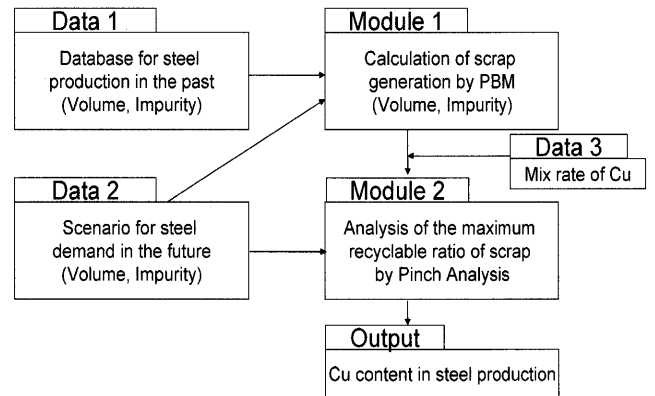


Fig. 1. Outline of the model for analysis of quality change in domestic steel production.

土木用は埋設なども多く回収率は低いですが、建築用は比較的回収率が高いとされているため、本論文では、建設用を土木用と建築用の2つに分け、それぞれの回収率を設定した。そして、ヒアリング調査により得られたそれぞれの回収率の範囲内(土木用:30~40%、建築用:70~80%)で回収率を変動させ、我が国での各種使用済み製品からのスクラップ回収量の総量に最も近くなるように回収率を決定した。具体的には、土木用および建築用鋼材の回収率を変動させ、1990年~2000年における回収量(電炉への鉄源投入量)を推計し、当該期間の実績値と比較し、その残差平方和が最も小さくなる値を導出した。

### (2) スクラップ中の銅含有濃度のデータの更新

既報<sup>6)</sup>においては、各種使用済み製品から発生するスクラップ中の銅含有濃度は、文献データに基づき設定していた。本論文では、ヒアリング結果から、一部のスクラップ中の銅濃度について見直した。既報<sup>6)</sup>から更新した箇所は、建設用鋼材由来のスクラップと自動車由来のスクラップである。建設用鋼材由来のスクラップについては、スクラップ種ではHS, H1, H2と区分される高品位なものと、同様にH3と区分される低品位なものに分類し、それぞれの銅含有濃度を、0.08%, 0.49%とした。これから、主な鋼種が形鋼等である建設用電炉鋼由来のものを高品位、主な鋼種が鉄筋等である建設用電炉鋼由来のものを低品位とした。自動車由来のスクラップは、プレスとシュレッダーに分類され、プレスの銅含有濃度は、近年に実施された調査結果<sup>12)</sup>から1.14%とし、シュレッダーの銅含有濃度は0.28とした。また、機械用途から発生したスクラップにおいて、リサイクル工程で分離しきれなかったハーネスやモーターなどによる銅混入率に関するデータも更新した。

銅の混入は、建設、自動車、機械の3用途を対象とした。建設、自動車に関しては、上記の値が銅混入済みの値であるので、2000年における消費されたスクラップの銅含有量と、生産された電炉鋼材の銅含有量のバランスから機械用への混入率を導出した。その結果、機械用鋼材由来のスクラップへの銅混入率は0.49%となった。

### 2・3 スクラップ輸出の国内鉄鋼循環利用に与える影響の解析

本研究においては、鉄スクラップ輸出に関してシナリオを設定し、日本国内の鉄鋼材の品位の変化について解析した。

まず、PBMによって算出される、将来回収されるスクラップ量から国内におけるスクラップの需要量を差し引いた量を、スクラップ輸出量とした。

現在の日本の鉄スクラップ輸出の主な対象である、中国、韓国、台湾、ASEAN（タイ、マレーシア、シンガポール、インドネシア、フィリピン）の鋼材の需給動向に関する既往調査<sup>5,13-15</sup>から、将来における当該国への日本からのスクラップ輸出量を2015年まで予測した。国ごとの将来予測に用いた仮定や前提条件を以下に示す。

中国に関しては、今後数年間国内スクラップ発生量の増加は大きく見込まれず、日本からのスクラップ輸出量は2010年まで現状推移するとし、その後国内スクラップの発生量増加により輸出量は減少し<sup>13</sup>、2015年に現状の2分の1になると仮定した。韓国については、鉄鋼蓄積量の増加に伴い、今後老廃スクラップ回収量の増加が見込まれ、スクラップ輸入量が今後減少していき、2015年に自給化し、日本からのスクラップ輸出量は0になると仮定した<sup>5</sup>。台湾については、老廃スクラップの発生量が緩やかに増加するため、今後輸入量は減少していき、日本からのスクラップ輸出量は2015年に現状の2分の1になるとした<sup>14</sup>。ASEANの中では最初に自給化する見込みであるタイについては、国内スクラップ発生量の増加に伴い、今後スクラップ輸出量は減少していき、2015年に現状の3分の2になるとした<sup>15</sup>。マレーシア、シンガポール、インドネシア、フィリピンについては需要動向が不確定なため<sup>15</sup>、スクラップ輸出量は2015年まで現状推移するとした。

さらに、輸出されるスクラップの品位については、中国、韓国は、需要の増加が著しい鋼板製品に対応するため、高品位スクラップの需要が持続すると考えられる<sup>5,13</sup>。台湾、ASEAN諸国については、インフラが整備されておらず、建設用鋼材の需要が今後も大きいことが考えられるため<sup>14,15</sup>、低品位スクラップの輸出が持続すると考えられる。そのため、回収されたスクラップの中でCu濃度の低いものから（高品位なものから）順に中国、韓国に輸出される向けとし、Cu濃度の高いものから（低品位なものから）順に台湾およびASEAN諸国に輸出されるとした。ただし、高品位なものの中でも、自家発生スクラップに関しては全量日本国内において消費されるものとした。さらに、上記以外の国へのスクラップ輸出の品位について、全量低品位（シナリオI）、全量高品位（シナリオII）の2通り設定し、輸出される鉄スクラップの品位の違いが、日本国内において生産される鉄鋼材（建設用電炉鋼材）中の銅濃度の変化に与える影響について解析した。

なお、本研究では、国内で余剰となったスクラップはアジア諸国で消費されることを前提としている。それら輸出先での需要がなく輸出されない場合は、低品位のスクラップが回収されず、スクラップとして発生しないと想定される。国内の鉄鋼循環に与える影響という観点から、輸出されるものと国内で回収されないものに違いはない。つまり、アジア諸国で需要のない場合はシナリオIの結果に含まれているといえる。そのため、上記2通りのシナリオにより、需要の有無も含めたスクラップ輸出の動向が国内で生産される鉄鋼材中の銅濃度の変化に与える影響を考慮していることとなる。

## 3. 結果と考察

### 3・1 土木用鋼材と建築用鋼材由来の老廃スクラップの回収率の決定

土木用鋼材と建築用鋼材由来の老廃スクラップ回収率を変動させたとき、算出された回収量（電炉への鉄源投入量）と、1990年～2000年における統計値<sup>4</sup>との残差平方和は、土木用30%、建築用70%で最小値をとった。このときの電炉への鉄源投入量の推計値と統計値をFig. 2に示す。

### 3・2 鉄スクラップ輸出による国内鉄鋼材の品位変化の解析結果

本手法を用いて算出された、将来の国内において回収されるスクラップ量はFig. 3のようになり、2015年まで単調増加する結果となった。Fig. 4には、本論文の前提条件に基づいて算出された、2003年から2015年のスクラップの国別輸出量を示す。回収されたスクラップ量から国内におけるスクラップ需要量を差し引いた量を日本からの輸出量とし、将来の国内の鋼材需要（スクラップ需要量）が一定であるならば、スクラップ輸出量は増大することになる。さらに、2015年にかけて、中国、韓国、台湾、タイへのスクラップ輸出量が減少する場合、他国へ輸出する量が増大することになる。

各シナリオにおける、将来の建設用電炉鋼材の銅濃度の経年変化を解析した結果、Fig. 5のようになった。シナリオIでは低品位のスクラップ輸出量の増加に伴い、国内に高品位のスクラップが多く残り、国内の建設用電炉鋼材の濃度は年々低下し、2015年には0.23%となると推計された。

一方、シナリオIIでは高品位のスクラップの輸出量の増加により、国内に低品位のスクラップが多く残り、国内の建設用電炉鋼材の濃度は年々濃化し、2009年に許容濃度(0.4%)に達すると推計された。

本研究において用いた手法では、建設用電炉鋼材の銅含有率のみが変化すると仮定したため、シナリオにおいて得られた建設用電炉鋼材の銅含有率は、実際にそれが取ると予想される銅濃度というより、日本国内の鋼材の銅濃度変

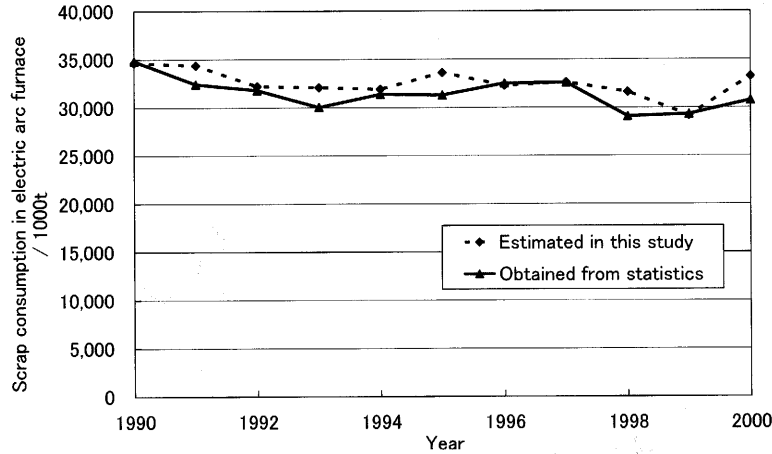


Fig. 2. Comparison between domestic scrap consumptions estimated in this study and obtained from statistics.

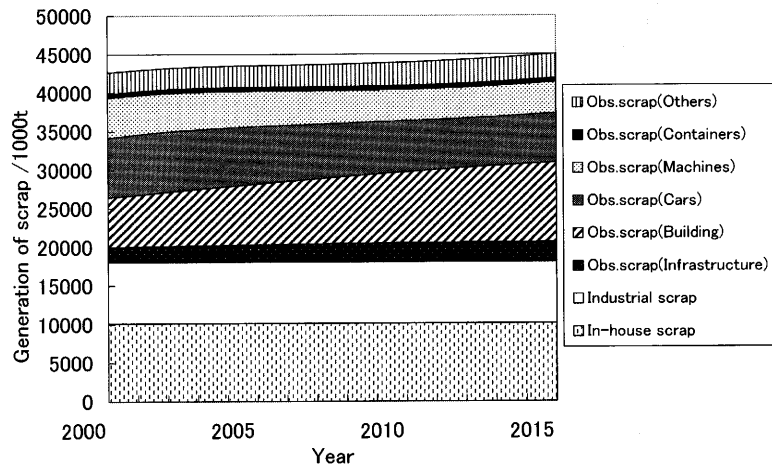


Fig. 3. Generation of scrap in Japan during 2000–2015.

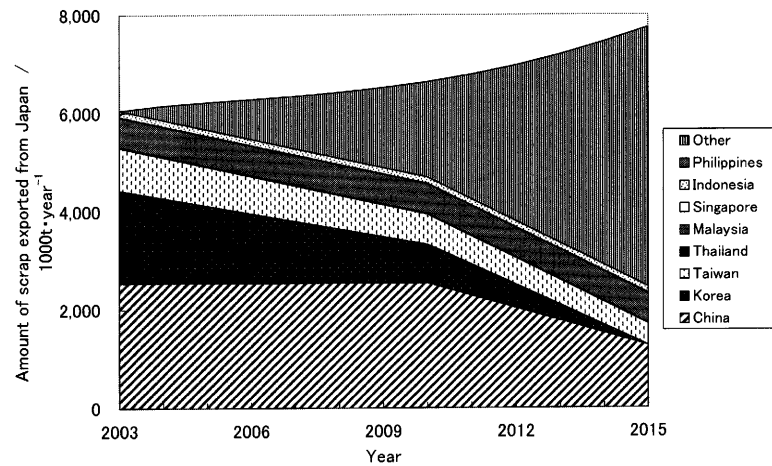


Fig. 4. Amount of scrap exported from Japan during 2000–2015.

化を示すひとつの指標である。2つのシナリオにおいて推計された建設用電炉鋼材の銅含有率が、2015年に0.17%の差を生じる結果となったことから、今後増加が見込まれるスクラップ発生量の増加分を輸出に供することと仮定したとき、輸出されるスクラップの品位の違いによって、日本国内の鋼材に含まれる銅濃度に大きな差を生じると予測さ

れた。

#### 4. 結言

本論文では、既報において設定した老廃スクラップの回収率及び国内の市中スクラップ中の銅濃度について、デー

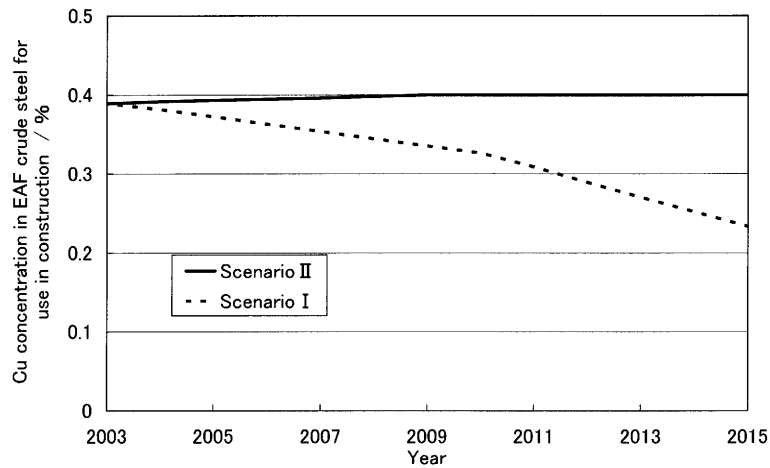


Fig. 5. Cu concentration in EAF crude steel for use in construction, from 2000 to 2015.

タの精緻化を行った。そして、国内スクラップの発生量とその品位を考慮した鋼材の品位推移の解析手法を用い、今後の日本からの鉄スクラップの輸出による、日本国内において生産される鉄鋼材の品位の変化に与える影響について、建設用電炉鋼材の銅濃度に代表させて解析した。

将来の国内の鋼材需要（スクラップ需要量）が一定であるならば、国内のスクラップ回収量の増大に伴いスクラップ輸出量は増大すると予測された。予測されたスクラップ発生量の増加分を輸出すると仮定した場合、輸出されるスクラップの品位の違いによって、日本国内の鋼材に含まれる銅濃度に大きな差を生じる可能性があることがわかった。

## 文 献

- 1) IISI: World Steel in Figures 2005, Brussels, (2005), 3.
- 2) IISI: Steel Statistical Yearbook 2005, Brussels, (2005), 12.
- 3) (社) 日本鉄鋼連盟鉄鋼統計専門委員会：鉄鋼統計要覧（1972-2003年版），（社）日本鉄鋼連盟，東京，（1972-2003）.
- 4) (社) 日本鉄源協会：鉄源年報2003，東京，（2003），15.
- 5) W.Tamaki, Y.Igarashi, D.Fujimaki, S.Hayashi, Y.Tomota, Y.Matsuno and T. Nagasaka: *Tetsu-to-Hagané*, **92** (2006), 340.
- 6) I.Daigo, D.Fujimaki, Y.Matsuno and Y.Adachi: *Tetsu-to-Hagané*, **91** (2005), 171.
- 7) K.Yokota, Y.Matsuno, M.Yamashita and Y.Adachi: *Int. J. Life Cycle Assess.*, **8** (2003), 129.
- 8) K.Kakudate, M.Kawamura and Y.adachi, T.Suzuki: *Tetsu-to-Hagané*, **86** (2000), 425.
- 9) Y.Matsuno, I.Daigo and Y.Adachi: *Tetsu-to-Hagané*, **91** (2005), 127.
- 10) (社) 日本鉄鋼連盟：Press release, 2005. Dec. 20.
- 11) (社) 日本経済団体連合会：産業力強化の課題と展望—2010年におけるわが国産業社会—，（2003, Apr. 22），30.
- 12) Y.Kitagawa: *JRCM NEWS*, No. 212, (2004), 5.
- 13) W.Tamaki, Y.Igarashi, D.Fujimaki, S.Hayashi, Y.Tomota, Y.Matsuno, and T.Nagasaka: *Tetsu-to-Hagané*, **92** (2006), 334.
- 14) S.Hayashi, W.Tamaki and D.Fujimaki: *CAMP-ISIJ*, **18** (2005), 252.
- 15) S.Hayashi, W.Tamaki and D.Fujimaki: *CAMP-ISIJ*, **18** (2005), 253.