

鉄スクラップを用いた高機能鋼材の生産に資する流通と技術の展望

東京大学先端科学技術研究センター

准教授 醍醐 市朗

1. 調査研究の目的（又は調査研究の背景と目的）

鉄鋼生産は、日本における二酸化炭素排出量の 13% を占めており、その排出量削減が早急に求められている。1 つの方策に、鉄スクラップを原料とした生産が挙げられる。しかしながら、鉄スクラップを原料とすると、その中に含まれる不純物の混入が不可避である。不純物の一部は高温での溶解後に製鋼プロセスで除去しうるものの、実際に流通する電炉鋼では製鋼プロセスで除去されていない 15 元素が検出されている。その中でも Cu が代表的な元素であり、一定以上の濃度での存在は、熱間圧延時に赤熱脆性現象を引き起こし、表面割れを生じて圧延が不能となる。他にも多くの不純物元素の存在が、溶接時の特性を悪化させることが知られている。このような理由のため、現行の生産技術において、使用済み製品から回収される鉄スクラップを主原料とする場合には高機能な鋼材は生産されていない。そこで、本研究では、鉄スクラップを用いた高機能鋼材の生産に資する流通と技術の展望を調査することを目的とした。

2. 調査研究の方法（又は調査研究の方法及び実施体制、ほか）

本調査研究で議論の対象とするプロセスは、廃製品の発生から粗鋼の圧延プロセスまでとした。鉄スクラップの処理や、流通、スクラップヤードでの管理、配合については、いままでほとんど系統だって議論されてこなかった。本調査研究では、鉄スクラップの約 3 分の 2 を占めるヘビースクラップとして流通する鉄スクラップを対象とする。鉄スクラップは、ほとんどがシャーリング（切断加工）によって処理される。実際に流通する鉄スクラップには、シャーリングした際に挟まれて分離不可能になってしまった機械装置などがあり、装置内に含まれる銅素材が高機能材料の生産に対して望ましくないとされる Cu 元素の大きな混入源となることが見込まれる。また、鉄スクラップ処理に続く、製鋼や圧延において、こうした混入物のある原料を用いて高級リサイクル鋼材を生産しようとする課題はあるものの、現状として、そのような生産活動が実施されておらず、そこに存在する科学的知見も十分ではないとともに、課題も不明確である。

この現状の課題を解決する科学技術的方策としては、次の①から③の 3 つの方向性を考えた。

- ① 原料としての鉄スクラップを供給するプロセスでの技術
- ② 化学組成を調整する製鋼プロセスにかかる技術
- ③ 鋼材の内部組織（microstructure）を決定する圧延プロセスにかかる技術

これら課題への解決の方向を探るため、本調査研究では、委員会方式を採用し、我が国の材料技術力の高さを活かした展望を抽出することを目指した。

<委員会体制>

鉄スクラップを用いた高機能鋼材の生産委員会

委員長：醍醐市朗（東京大学）

委員：小林能直教授（東京科学大学）、上路林太郎グループリーダー（物質・材料研究機構）

① 鉄スクラップの等級・流通委員会

委員長：醍醐市朗（東京大学）

委員：大和田秀二教授（早稲田大学）、寺崎英樹常務取締役（HARITA）

田島圭二郎代表取締役（EVERSTEEL）

② 鉄スクラップを原料とする製鋼委員会

委員長：小林能直教授（東京科学大学）

委員：吉川健教授（大阪大学）

③ 高機能材料の生産技術委員会

委員長：上路林太郎グループリーダー（物質・材料研究機構）

委員：宇都宮裕教授（大阪大学）、土山聡宏教授（九州大学）

3. 調査研究の結果（又は調査研究の実施内容、ほか）

各委員会において、必要に応じて産業界における現場の技術者へのヒアリングを実施することで、現場での実施可能性や、経済性を考慮した技術の導入可能性についても議論を深めた。加えて、関連の省庁部局にもヒアリングを実施し、政策としてできることについても議論を深めた。さらに、議論の中で必要性により商社にもヒアリングを実施した。下表のようなスケジュールにおいて、各委員会を開催し、産官学の知見を集約し、現行の課題に対しての展望を検討した。

開催日時	委員会名
2024 年 6 月 18 日	鉄スクラップを用いた高機能鋼材の生産委員会
7 月 26 日	意見照会：経済産業省 イノベーション・環境局 GX グループ 資源循環経済課
8 月 8 日	意見照会：経済産業省 製造産業局 金属課
9 月 13 日	鉄スクラップの等級・流通委員会(1)
10 月 24 日	高機能材料の生産技術委員会(1) ヒアリング：製鋼メーカー
12 月 12 日	鉄スクラップの等級・流通委員会(2) ヒアリング：商社
2025 年 1 月 6 日	高機能材料の生産技術委員会(2) ヒアリング：製鋼メーカー
2 月 14 日	鉄スクラップの等級・流通委員会(3)
2 月 26 日	鉄スクラップを原料とする製鋼委員会(1) ヒアリング：製鋼メーカー
3 月 4 日	鉄スクラップを原料とする製鋼委員会(2) ヒアリング：製鋼メーカー
3 月 14 日	鉄スクラップを原料とする製鋼委員会(3) ヒアリング：製鋼メーカー
3 月 14 日	鉄スクラップを原料とする製鋼委員会(4) ヒアリング：製鋼メーカー

4. 考察（又は調査研究のまとめ、今後の展開、提言、ほか）

鉄スクラップに混在する不純物元素として鋼材生産のプロセスで課題と感じられる元素は、主には **Cu** で、その他に **Cr**、**Mn** であった。今後の鉄スクラップの品位に対する要求は変化するものと考えていたが、一部の製鋼メーカーからは、既にスクラップの品質に変化があるメーカーもあった。鉄含有率の低下、**Cu** 濃度の上昇、ばらつきの向上などが挙げられ、操業の工夫によって品質を維持している。一方、メーカーによっては、**Cu** 価格の上昇などの分離の動機から、品質に顕著な変化はみられないとしている。製造所の位置、製造する鋼種など様々な要因で課題が異なることがわかった。不純物元素濃度の変化は、モニタリングする手段もなく、科学的な知見はほとんどない。唯一、電気炉鉄筋棒鋼品質調査報告書によって定期的に計測された不純物元素濃度があり、これは 2017 年から 2022 年の 5 年間の変化として、ややバラツキが大きく最大値が大きくなる傾向を示している。

鉄スクラップの流通においては、市中スクラップ取引量の 7－8 割は商社が関与している。その中でも解体現場で発生するヘビーについては、50%程度と関与する比率が低めである。発生物の品質と、リサイクラーの有する設備によるプロセスの違いもあるため、商社がそのマッチングの役割を担うことで、鉄スクラップの品位が上がる可能性が考えられた。また、持込みスクラップは発生源が不明であり、商社の関与スクラップは内容物のおよその把握が事前にできることも大きなメリットであると考えられた。流通においては、スクラップの品質を適切に評価し、その品質に応じた価格設定を行うことが重要である。公平に品質を評価するための客観的な手段がないことが大きな要因と考えられるが、いまの等級評価では化学組成の観点での品質を評価できていない。画像解析などの新しい技術を活用することで、より客観的な品質の評価が可能になり、新しい等級区分の創成につながることを期待される。一方、製鋼メーカーでは、購入したスクラップを追加で自社処理する動向も見られた。品質評価とともに、混在する異物の分離が課題であり、リサイクルに関わる全ての業界の協力が必要と考えられるが、経済性に見合った分離効果の高い選別方法の開発が期待される。

製鋼メーカーでは、**Cu** 無害化のための他の元素の添加などの技術が良く知られているが、これは凝固時の表面での現象の影響であり、凝固した後のプロセスにおいては、不純物元素による課題はあまり得られなかった。一方、一部の不純物元素による、機械的特性への影響や、圧延後の二次スケール生成に伴う表面特性変化など、明確に分かっていない課題が得られた。鉄スクラップの高度利用に向けて、不測の不純物元素の特性への影響は、まだまだ研究が不十分であることがわかった。現場で生じている現象が、実験室では再現できず、科学的には明確に理解できていないことは、今後の原料としての鉄スクラップの性状の変化に対して、あるいは、同様の原料でさらに高機能な材料の生産を目指すことがこのままでは困難であると言えよう。スクラップの流通については、民間の取組みに任せるところが大きいものの、リサイクル起因の不純物元素に対する生産技術の開発に向けては、政府の支援が期待された。