

氏名	やまもと たか いく 山本 高 郁
授与学位	博士(工学)
学位授与年月日	平成16年3月25日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科(博士課程) 金属工学専攻
学位論文題目	充填層型スクラップ溶解および部分熔融還元プロセスの開発に関する研究
指導教官	東北大学教授 八木 順一郎
論文審査委員	主査 東北大学教授 八木 順一郎 東北大学教授 三浦 隆利 東北大学教授 高橋 禮二郎 (国際文化研究科)

論文内容要旨

I. 緒言

社会資本の蓄積の中で、鉄スクラップの国内蓄積量も急速に増大しており、現在も増加している。今後、スクラップ需給緩和、および、大量リサイクル時代が予想されている。また、地球温暖化の警鐘を契機に資源保護、資源リサイクルに対する関心が世界的に高まる中、鉄スクラップが既にエネルギーを投入された貴重な鉄資源であるため、地球温暖化対策としての二酸化炭素放出削減の観点からも鉄鋼生産へのスクラップ再生利用は大きく貢献しうるものと考えられる。

本論文は、現行スクラップ溶解電気炉法に対して高・転炉法の利点を最大限に活用できる新しい100%スクラップ溶解法として、酸素高炉法を技術的原点とした充填層型スクラップ溶解プロセス(PSM:Packed bed type Scrap Melting process)、および、部分熔融還元機能を付加した充填層型溶融還元プロセス(PSR:Packed bed type Partial Smelting Reduction process)を開発した結果をまとめた。

本報では、本法の技術構成をPSM法^{1)・2)}で概説し、1t/ch試験高炉および10t/ch試験転炉でのPSM、およびPSR^{3)・4)}溶解試験結果、さらに炉内の溶解挙動推定及びスケールアップ技術確立のために開発した3次元非定常数学モデル^{2)・5)・6)}によるPSMシミュレーション結果を概説した。

II. PSM法の技術構成

PSM法の基本構成をFig.1に示す。PSM法は、上部に炉内排ガスの排出口と原料装入口を持ち、下部側壁に、一次羽口、その上部側壁に二次羽口を有し、炉底部に出銑口を設置した溶解炉を用いる。

コークスベッドで充填された溶解炉内にスクラップを装入し、一次羽口から化石燃料(微粉炭)を支燃性ガス(酸素、空気)とともに吹き込み、 $[C + 1/2O_2 = CO + 123MJ/kmol-C]$ の反応により生成した高温の還元ガスの顕熱によりスクラップを溶解し溶銑を製造する。PSR法ではPSMのスクラップ装入が(スクラップ+鉍石)装入となる。

一方、還元ガスは、スクラップの溶解を終えた後、炉内を上昇しスクラップを予熱するが、2次羽口から吹き込まれた支燃性ガスと2次燃焼反応 $[CO + 1/2O_2 = CO_2 + 283MJ/kmol-C]$ でスクラップの予熱を促進する。

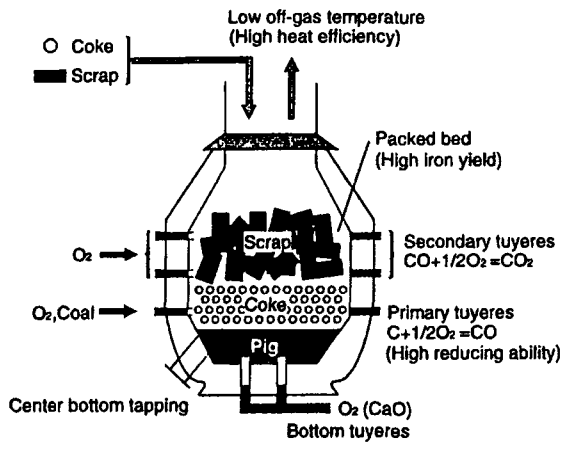


Fig.1 Concept of the PSM

III. 溶解試験方法

試験は1 t/ch 規模の試験高炉で基本機能を見極めた後、10t/ch 規模の試験転炉を用いて転炉適用試験と基本機能確認試験を実施した。

使用した鉄源は、PSMでは100%鋼屑で、単重100kg以下とした。PSRではスクラップに鉍石として(T.Fe=66%,d=8-10mm)のペレットを添加して装入した。また、コークスは、高炉用コークスを40~80mmに整粒して使用した。微粉炭としては、揮発分35%の高炉微粉炭吹き込み用の非粘結炭を200mesh以下80%以上に粉碎して使用した。副原料として、石灰石や生石灰を使用した。

IV. 試験結果

試験転炉における操業試験は極めて順調に推移し、PSM、PSR法の転炉適用は充分可能であることを確認した。PSM、PSR操業成績(Fig.2)及び試験結果のまとめを以下に示す。

1) PSM プロセス

- ①一般の高炉用コークスを使用して100%鋼屑を溶解できる。
- ②高炉溶銑並の高炭(≧4%)かつ低硫(≦0.03%)の溶銑が得られる。
- ③排ガス温度を低く保持できるため、2次燃焼率30%程度で高熱効率(Fig.3, Fig.4)を容易に達成。
- ④PSMプロセスは、転炉設備にも適用可能で、2次燃焼率30%程度で、所定量の溶解時間は30分以内(出銑比換算: 50t/day/Nm³)程度であり、転炉精錬のリサイクルを阻害することのない溶銑供給が可能であると考えられる。
- ⑤充填層構造のため、高鉄歩留り(>99%)、低耐火物溶損(≦0.5mm/ch)を達成している。

2) PSR プロセスにおいて、鉍石添加比率は100%まで安定な操業が出来た。

なお、ここで、2次燃焼率(%)=(C₂+H₂O)/(CO+CO₂+H₂+H₂O)、SR(%)=鉍石由来鉄分/装入総鉄分、熱効率(%)=(Heat of Hot-metal)/(Heat Input - Chemical Heat of Off-gas)とする。

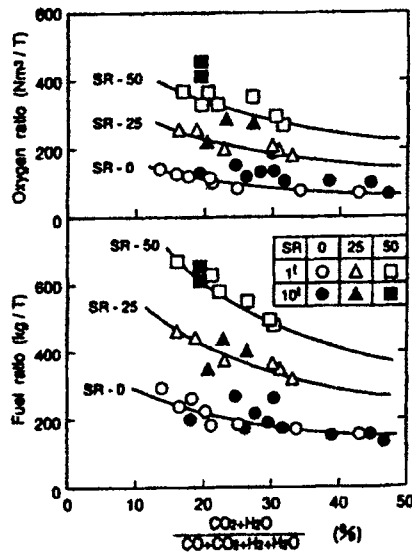


Fig.2 Operational results of the PSM & PSR

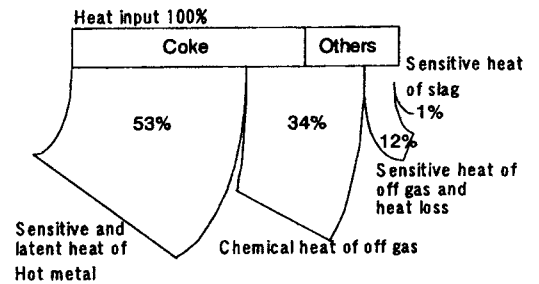


Fig.3 Example of heat balance of the PSM

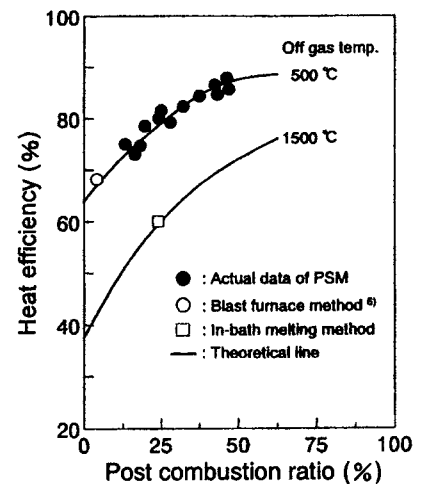


Fig.4 Influence of post combustion on heat efficiency

V. 3次元数学モデルシミュレーション結果

PSM プロセスは、充填層型向流式反応器である高炉やキュボラと同様、炉内に気体、固体、液体が共存し、様々な化学反応が生起する熱と物質の移動を伴う複雑なプロセスである。こういった充填層型向流式反応プロセスの炉内挙動を系統的に解析、推定して、操業設計に役立たせるため、PSM プロセス開発の一環として、従来のモデルでは取り扱えなかった3次元性と非定常性が記述可能な3次元数学モデルを開発した。

この流動・伝熱次元数学シミュレーターとしてのモデルの妥当性については、1 t/ch 試験高炉での操業試験結果により検証した上で、10t/ch 炉の非定常計算に適用した。

計算結果を Fig.5 に示す。実績値の非定常変化挙動に対して、良い追従性を示しており、スケールアップの有効性確認することができた。

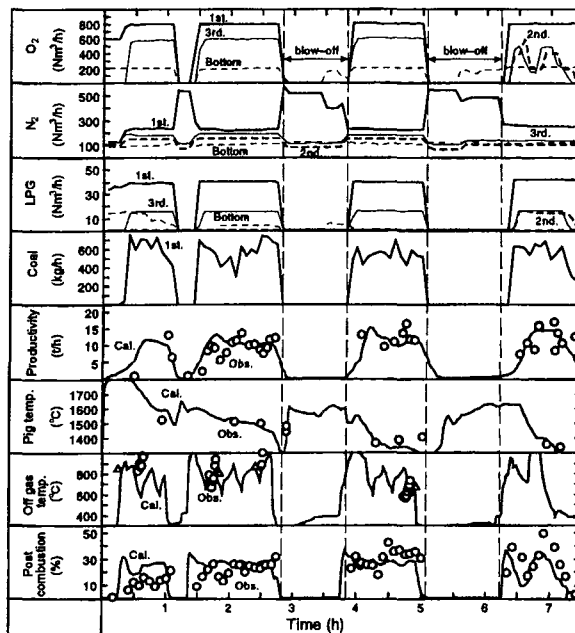


Fig.5 Transition of the operational results calculated by the model for the actual PSM operation of 10t furnace

VI. 結 言

試験転炉操業によって、PSM、PSR プロセスの有効性を確認した。

また、開発した3次元数学モデルはシミュレーションを通じて、非定常解析およびスケールアップに有効であることが判った。これにより、実機 PSM 及び PSR の設計が可能となった。

[参考文献]

- 1) T.Yamamoto, Y.Ujisawa, H.Ishida, T.Mori, H.Yamaoka and K.Marukawa : Metallurgical Processes for Early Twinty-First Century (TMS), 2 (1994), p.843
- 2) T.Yamamoto, Y.Ujisawa, H.Ishida and K.Takatani : ISIJ International, 39 (1999), p.705
- 3) T.Yamamoto, Y.Ujisawa, H.Ishida, T.Mori, K.Hanasaki and H.Yamaoka : SEASI (1999), Session 3, Paper 3, p.1
- 4) 山本高郁,宇治沢優,石田博章,山岡秀行,森俊博,花崎一治 : CAMP-ISIJ,10 (1997), p.84
- 5) Y.Ujisawa, T.Inada, T.Yamamoto, H.Yamaoka and K.Takatani : International Symposium on Challenges in Process Intensification (CIM), (1996), p.147
- 6) 宇治沢優,石田博章,高谷幸司,山本高郁,山岡秀行 : CAMP-ISIJ, 7(1994), p.30

論文審査結果の要旨

社会資本の蓄積の中で、鉄スクラップの国内蓄積量は急速に増大しており、スクラップ需給の緩和、および、大量リサイクル時代が予想されている。また、地球温暖化の警鐘を契機に資源保護、資源リサイクルに対する関心が世界的に高まる中、鉄スクラップが既にエネルギーを投入された貴重な鉄資源であるため、地球温暖化対策としてのCO₂放出削減の観点からも鉄鋼生産へのスクラップ再生利用は大きく貢献しうるものと考えられる。

本論文は、現行スクラップ溶解電気炉法に対して高・転炉法の利点を最大限に活用できる新しい100%スクラップ溶解法として、酸素高炉法を技術的原点とした充填層型スクラップ溶解プロセス(PSM: Packed bed type Scrap Melting process)、および、部分熔融還元機能を付加した充填層型部分熔融還元プロセス(PSR)を開発した結果をまとめたもので、全編7章よりなる。

第1章は緒論であり、本研究の背景、目的、および、意義について述べている。

第2章では、PSMの技術構成、および、1t/heat試験高炉と10t/heat試験転炉を使用して、PSMの基本機能である100%スクラップ操業を実証し、休止中の転炉を利用したPSM操業も可能であることを示した。また、一貫製鉄所においては、従来技術である電気炉方式や転炉鉄浴方式と比較して、エネルギー効率において、本法が優位であることを示した。

第3章では、PSMを電気炉工場に適用するため、15t/heat試験転炉を改造してPSM機能拡大試験を実施した。電気炉原料の30~50%の溶銑をPSMから供給する場合、電気炉での溶解効率、電力コスト削減など設定目標を達成でき、電気炉工場においても本法は極めて有効であることが示された。

第4章では、3次元非定常数学モデルを構築し、PSMの生産性やエネルギー効率評価とともに炉内状況の解析を行い、理論的に妥当性を検証すると共に、実機のスケールアップシミュレーションが可能であることを示した。

第5章では、100%スクラップ溶解法であるPSMの機能をより有効にするための付加的技術として、鉬石などを熔融還元する機能を加えた充填層型部分熔融還元プロセス(PSR)の試験を実施した。試験結果に、吹き抜けに関する冷間模型実験など基礎的な検討結果を加え、シャフト型炉のみならず転炉型炉においても、安定したPSR操業が可能であることを示した。また、基礎的解析に基づいてスケールアップに不可欠なPSM及びPSRの送風限界の予測を可能にした。

第6章では、PSMおよびPSRをステンレス製造に適用した。10t/heat転炉型試験炉を使用してNi系ステンレススクラップ溶解、および、クロム鉬石部分熔融還元試験を実施し、エネルギー効率、Ni、Crの回収とも、良好な結果が得られ、実用化の可能性を示した。

第7章は結論であり、研究全体の総括を行っている。

以上要するに本論文は、冷間模型実験、3次元非定常数学モデルに基づくシミュレーション、2種3サイズの大規模実験などの手法を駆使し、時代の要請に合致した新しいスクラップ溶解技術を完成させたもので、金属工学の発展、および、社会、環境問題の解決に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。