

## 鉄鉱石焼結プロセスにおける歩留向上に向けた焼成 雰囲気制御に関する研究

岩見, 友司

<https://hdl.handle.net/2324/7157323>

---

出版情報 : Kyushu University, 2023, 博士 (工学), 課程博士

バージョン :

権利関係 : Public access to the fulltext file is restricted for unavoidable reason (3)

氏 名 : 岩見 友司

論 文 名 : 鉄鉱石焼結プロセスにおける歩留向上に向けた焼成雰囲気制御に関する研究

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

鉄鋼材料は現代社会において広く使用されており、粗鋼生産量は増加の一途を辿っている。そして生産性に優れるという理由もあり、日本の粗鋼生産の 75%は高炉製鉄法によって製造されている。高炉では上部から装入された酸化鉄原料の充填層を下方から流れてくる還元ガスによって還元する向流移動層を形成している。したがって、酸化鉄原料の充填層は上昇する還元ガスの通気性を良好に保つ必要があり、本研究の対象である焼結プロセスは粉鉱石を塊成化することで高炉内での通気性を良好に保つことを主の目的としている。

焼結プロセスでは粉鉱石と石灰、および粉コークスの充填層において、粉コークスの燃焼熱によって粉鉱石と石灰間で生成した融液が粉鉱石同士を結合させることで塊成化を行う。塊成化した充填層は焼結ケーキと呼ばれ、破碎・所定粒度で篩われた後、篩上は次工程の高炉に成品として送られ、篩下は返鉱として焼結プロセスの原料として再度利用される。この焼結ケーキに対する成品の比率は歩留と呼ばれ、焼結操業の生産性やコストに直結する重要な指標として管理されている。

現在、鉄鋼業では中国による鉄鋼材料の過剰生産や鉄鉱石や石炭の高騰を原因として徹底したコスト削減、さらには SDGs 等の策定に伴う CO<sub>2</sub> 排出量の削減が求められている。この課題に対し、焼結プロセスでは直接的な対策として歩留の改善が志向されている。これは歩留の改善により、返鉱を再度焼結させるための原料や電力、水等のユーティリティ原単位を削減できるためである。

そこで本研究では焼結プロセスにおいて歩留を改善する技術の開発を目的とした。まず歩留に影響度の高いと考えられる要素を用いた歩留推定式を構築し、検証を経て要素の改善すべき方向性を示した。特に温度と成分に着目し、焼結機内への気体燃料吹込みや酸素富化、マグネタイト原料の偏析等による、焼成雰囲気の制御によるそれらの制御を試みた。

第 1 章では、研究の背景、焼結プロセスにおける歩留の操業指標としての重要性を述べ、さらに歩留改善に向けた過去研究における多角的なアプローチを整理し、本研究の新規性等を踏まえた歩留改善の目指すべき方向性として焼成雰囲気の制御によるものとするを明確化した。

上述のように、歩留とは焼結ケーキ破碎後の成品比率を示しており、焼結ケーキの強度改善は歩留改善と同義である。第 2 章では多孔質体の強度推定式を焼結ケーキに適用し、歩留推定式を構築した。多孔質体の強度推定式は気孔率と基質強度から成る式であり、焼結ケーキでもその 2 要素に分けて考えた。焼結ケーキでは融液が原料間の空隙を埋めながらクラスタ状に結合点を形成することから、焼結ケーキの気孔率は融液移動距離に大きく影響を受けると考えられる。一方、焼結ケーキにおける基質強度は破碎後の焼結鉄強度に該当すると考え、従来研究に基づき、焼結鉄内に残留

した微細気孔の気孔率、および構成組織に細分化した評価を行った。焼結鉍中の微細気孔の多くは元鉍由来のものが多く、原料の熔融率に大きく影響を受けると考えられる。これらのことから原料の熔融率と融液移動距離を用いて歩留推定式を構築し検証した結果、反応温度を 1200℃以上に長時間保持することが有用であるとの結論を得た。

第3章では歩留推定式の要素の一つである焼結鉍の構成組織に及ぼす焼成雰囲気の影響を明確化した。特に構成組織中でも強度に優れるとされるカルシウムフェライト組織に着目し、形成時の温度と酸素濃度影響を調査した。また、原料環境の変化を踏まえ鉍石中の酸化鉄形態に対するカルシウムフェライト系融体の浸透挙動、界面反応挙動の差異を調査した。結果として、酸素濃度の増加に伴い  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  を主成分とするカルシウムフェライトが増加すること明確化した一方、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$  でも緻密質層を形成することで、生成したカルシウムフェライト系融体の浸透を促進できることを明らかにした。

第4章では反応温度を 1200℃以上に長時間保持する方法として焼結機での気体燃料吹込み技術を提案した。所定濃度に調整した気体燃料を焼結機上から吹込むことで、粉コークスの燃焼位置よりも上方で気体燃料が燃焼し、焼結層内の冷却を緩和することで 1200℃以上の保持時間が延長する効果についてラボ試験とシミュレーションモデルの両方の面からメカニズムを解明した。また、実機適用時の操業結果についても述べた。

第5章では気体燃料吹込み条件において酸素濃度を増加させた際の温度への影響をラボ実験とシミュレーションモデルを用いて考察した。酸素富化によって粉コークスと気体燃料の燃焼位置を制御することで、1200℃以上の保持時間をより延長できることを示し、実機での操業結果と併せて報告した。

第6章では緻密質  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  層におけるカルシウムフェライト系融体の浸透距離向上の知見について、磁気ブレーキ式装入装置による実機での活用方法を提案した。装入部のシュートに対し垂直方向に適正磁力を印加することで、装入層上部に緻密質  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  層を形成できることをラボ試験とシミュレーションモデルで検証し、焼結実験による歩留の改善効果を報告した。

第7章では本研究で得られた結果を総括した。