

氏 名	田 口 昇 <small>のぼる</small>
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和62年3月13日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第2項
最 終 学 歴	昭和31年3月 秋田大学鉱山学部冶金学科卒業
学位論文題目	省エネルギー型塊成鉱の製造に関する基礎的研究
論文審査委員	東北大学教授 大森 康男 東北大学教授 萬谷 志郎 東北大学教授 八木順一郎

論 文 内 容 要 旨

「省エネルギー型塊成鉱の製造に関する基礎的研究」

昭和48年の石油危機以後、高炉操業のオールコークス化が進むに伴って、高炉操業の安定性が低下し、塊成鉱とくに高炉の主要装入物の焼結鉱に要求される品質レベルが厳しくなったものの、焼結鉱の品質に関する実験室規模での研究、あるいは実高炉操業試験および解体調査で得られた焼結鉱品質の高炉操業に与える影響などの知見をもとに、現在は高炉操業条件あるいは原料事状に適した焼結鉱の造り込み技術が進歩し、焼結鉱の品質は最高のレベルに達したといえる。今後は良好な品質を保持しつつ、指向される目標として微粉原料の多量使用、高層厚焼結操業、低エネルギー消費型焼結法などが挙げられ、それに関する基礎的研究が最も重要と考えられる。

本論文は、このような観点から、焼結鉱の製造における低温焼結法を指向し、予熱空気吸引法の採用と原料調整処理による通気性の改善が焼結過程と成品品質におよぼす影響、と同時に低温焼結に適する主要鉱物相の造り込み技術の確立のため、主要鉱物相の生成過程および化学的・物理的性質の解明、さらに焼結原料粉の事前処理の基礎となる粉鉱石のペレタイジング特性に対する粉鉱の物理性状や粒度分布の影響および非焼成型ペレットの製造条件の検討など、低エネルギー消費法による塊成鉱の製造を目的として行った一連の体系的な実験結果について記述したものであり、8章よりなる。

第1章は「緒論」であり、従来の研究状況および本研究の目的と意義をのべている。

第2章では「高品質焼結鉱の製造条件の検討」の結果について述べている。コークスの低減を目的とする予熱空気吸引条件と焼結原料の調整条件が焼結過程と成品品質におよぼす影響を検討した。その結果、1) 予熱空気吸引は焼結途中で冷風に切り替える方式がよく、コークスの低減、低温焼結が可能となる。2) 焼結原料調整は粒鉱石に造滓剤を被覆する擬粒化法が焼結時間の短縮、有用鉱物相の生成促進などの点で有効となる。3) 粒鉱石に造滓剤を被覆した焼結原料を予熱空気を用い、さらに途中から冷風に切り替えて焼結を行うと常温強度や被覆還元性を良好に保持しながら、とくに耐還元粉化性の面で著しく向上することを見出した。

第3章では「焼結鉱中の主要鉱物相の還元に伴う膨張に関する基礎的検討」の結果について述べている。石灰自溶性焼結鉱の還元挙動に関連して、その基礎検討の一環として二元系カルシウムフェライト $\text{CaO} \cdot 2\text{Fe}_2\text{O}_3$, $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ の還元に伴う膨張の測定、また実機焼結鉱中の四成分系カルシウムフェライトの基本系 $\text{CaO} \cdot 2\text{Fe}_2\text{O}_3$ に SiO_2 , CaO , Al_2O_3 を単独あるいは複合添加したときの還元に伴う膨張への影響を調べた。その結果、1) 還元に伴って、 $\text{CaO} \cdot 2\text{Fe}_2\text{O}_3$ は2段階、 $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ は1段階の膨張挙動を示し、 $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ はほとんど膨張を示さない。 $\text{CaO} \cdot 2\text{Fe}_2\text{O}_3$ の第1段階の膨張(約0.8%)は Fe_3O_4 の生成までに起こり、その第2段階と $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ の急激な膨張(約4%)は金属鉄の生成とそれに伴う炭素析出による。2) $\text{CaO} \cdot 2\text{Fe}_2\text{O}_3$ への SiO_2 の添加は $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ と Fe_2O_3 を著しく増加させ、膨張を増大させる。3) $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ への SiO_2 と CaO ($\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 2$) の複合添加は Fe_2O_3 の生成を抑制させ、膨張を抑える。4) $\text{CaO} \cdot 2\text{Fe}_2\text{O}_3$ への SiO_2 (1.0 wt%), CaO (1.87 wt%) および Al_2O_3 の複合添加は Al_2O_3 量が4.0%までは $\text{CF}_2 - \alpha$ 相 (Fe_2O_3 : 77.6~82.6%, SiO_2 : 1.5~1.8%, CaO : 11.5~12.4%, Al_2O_3 : 4.2~8.2%) を急激に増加させ、膨張は増し、 Al_2O_3 添加量4.0%以上では $\text{CF}_2 - \beta$ 相 (Fe_2O_3 : 71.7~74.7%, SiO_2 : 1.7~2.0%, CaO : 11.3~11.5%, Al_2O_3 : 12.1~15.4%) も現れ2相が共存し、膨張は著しく抑制される。両相とも被還元性を悪化させる。 Al_2O_3 添加量3.0~4.0%ではほぼ $\text{CF}_2 - \alpha$ のみの均一単相となる。

第4章では「昇温時における焼結反応過程の解析」の結果について述べている。

昇温過程におけるカルシウムフェライトの生成とその成長速度を調べるため、酸化雰囲気中での Fe_2O_3 と CaO との固体反応およびその反応に対する SiO_2 添加の影響、実機焼結の過程で起こりうる還元性雰囲気中で還元された酸化鉄と石灰石の反応を想定した Fe_3O_4 と CaO 、および FeO と CaO の固体反応実験を行った。その結果、1) $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{CaO}$ 系において、カルシウムフェライトは Fe_2O_3 側で選択的に生成され、1100℃以下では $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ の生成がほとんどであるが、1200℃では一部に $\text{CaO} \cdot 2\text{Fe}_2\text{O}_3$ の生成がみられる。2) Fe_2O_3 と CaO の反応は SiO_2 の存在によって抑制され、 CaO 量が $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 2$ 以上になってはじめて、カルシウムフェライト ($\text{CaO} \cdot 2\text{Fe}_2\text{O}_3$) の生成が起こる。3) $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{CaO}$ 系の反応速度は $\text{Fe}_3\text{O}_4 - \text{CaO}$, $\text{FeO} - \text{CaO}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{CaO} - \text{SiO}_2$ ($\text{CaO}/$

$\text{SiO}_2 = 2$) 各系のそれより約10倍高い。

第5章では「冷却凝固時における焼結反応の解析」の結果について述べている。

自溶性焼結鉱を構成している各種鉱物相の冷却凝固過程での生成機構を明らかにするため Fe_2O_3 - CaO - SiO_2 系, Fe_2O_3 - CaO - SiO_2 - Al_2O_3 系について SiO_2 は 5%, Al_2O_3 は 2% 一定とし, 塩基度, 焼成温度, 冷却速度を変化させて調べた。また四元系カルシウムフェライトの生成機構の解明とその単体相の造り込みを目的として, $\text{CaO} \cdot 2\text{Fe}_2\text{O}_3$ に CaO , SiO_2 , Al_2O_3 を単独あるいは複合添加した溶製物について, 鉱物相および固溶状況を調べた。その結果, 1) 前者の三, 四元系では, 各条件における鉱物相の生成過程は Phillip and Muan の Fe_2O_3 - CaO - SiO_2 系状態図からの各塩基度における切断状態図から容易に説明できる。冷却速度の変化は鉱物相, とくにカルシウムフェライトの形態に影響を示す。2) $\text{CaO} \cdot 2\text{Fe}_2\text{O}_3$ に SiO_2 , CaO , Al_2O_3 を複合添加したカルシウムフェライトは Al_2O_3 の含有量の約 8.0% を境にして $\text{CF}_2 - \alpha$ と $\text{CF}_2 - \beta$ の 2 種類の相の晶出を示し, その晶出過程は示差熱分析で検討を加え, 状態図を作図した。

第6章では「鉄鉱石のペレタイジングに関する基礎的検討」の結果について述べている。磁鉄鉱の摩砕分, その赤鉄鉱化粉, 微粉混合粉および 2, 3 の純粋鉄石粉の生, 乾燥, ペレットの強度におよぼすとともに比表面積, 分布および粒度係数の影響を調べた。その結果, 1) 造粒に必要な最適水分量は粉砕の粒度特性によって変わり, 生ペレットの圧潰強度の極大値と充填密度の極大値はほぼ一致し, この場合の水分飽和度はほぼ 70% で, 主として毛管力によって支配される領域とみられる。2) 強度は比表面積の増大に伴い直線的に増大するが, その増大傾向は分布および粒度係数の組み合わせの変化で変わる。分布係数の減少は強度を双曲線的に増大させ, 粒度係数の逆数の増大は強度を直線的に増大させる。3) 造粒における微粉の挙動は特異で, 局部的に微粉による擬似粒子の充填組織を示す。4) 粉砕の濡れ性と粒子形状は明らかに強度に影響を与える。5) この造粒における微粉の挙動は焼結原料の擬粒化処理に示唆を与えるものと考えられる。

第7章では「コールドボンドペレットの製造についての検討」の結果について述べている。転炉や電気炉製鉄向けペレットの製造を想定し, 省エネルギーの立場から, コールドボンドペレットの強度発現における, 養生法の簡略化と処理時間の短縮を目的に, 2, 3 の組み合わせ養生の水和による強度の経時変化を調べた。その結果, 1) 水蒸気養生と乾燥を組み合わせると, 圧潰強度は室温養生よりおよそ 2.0 ~ 3.0 倍高い。2) 水蒸気養生の一部を温水浸漬養生で置き換え, そのあと乾燥すると圧潰強度はさらに 1.5 倍高く, かつ養生時間を短縮できる。3) コールドボンドペレットの養生による強度発現はセメントの水和反応量とその後の乾燥における粒子同士の摩擦抵抗による。4) 成品品質は通常の焼成ペレットのそれに匹敵するものであった。

第8章は「結論」であり, 省エネルギー法による塊成鉄の製造に関して行った各章での研究の成果を要約した。

審査結果の要旨

現在、高炉技術は限界コストへの挑戦を迫られており、この達成には、塊成鉱製造の自由度拡大が不可欠となる。本研究は、低温低FeO焼結鉱ならびに非焼成塊成鉱の製造方法についての新しい提案とそれらの実用性および成品品質を検証するための基礎的研究成果をまとめたもので、全編8章よりなる。

第1章は緒論であり、本研究の背景と目的について述べている。

第2章では、高炉内被還元性の向上に必要な低温低FeO焼結鉱の製造には、予熱空気吸引法が有効であることを述べ、焼結原料の造粒法として、粗粒核鉱石に造滓剤を被覆する2層造粒法を適用すれば、FeO濃度2.0 wt%の低FeO焼結鉱が得られることを小型焼結装置による実験により立証している。原料鉱石の自由度拡大の観点から重要な知見である。

第3章では、高炉塊状帯における脆化に関する焼結鉱中カルシウムフェライト(CF)相の体積膨張について述べている。Al₂O₃とSiO₂濃度を広範囲に変化させたCFを試薬合成して、還元時の膨張率を測定した結果、CaO-Fe₂O₃-Al₂O₃-SiO₂系CFには、膨張率の異なる2種のCFが存在することを明らかにしている。

第4章および第5章では、焼結過程の昇温時および冷却時に出現するCFの生成、晶出について速度論的ならびに鉱物工学的に検討した結果を述べている。

第6章では、原料鉄鉱石の核粉比率と造粒時のグリーン強度を支配する諸因子間の定量的検討結果を述べ、粉鉱の分布および粒度係数の組み合わせとともに、造粒時にける微粉の挙動が圧潰強度に著しい影響を及ぼすことを指摘している。

第7章では、非焼成ペレットの養生法の改良について述べている。養生法の簡略化と処理時間の短縮を目的として、水蒸気養生の一部を温水浸漬養生に置換し、その後乾燥する処理工程を提案し、この処理によるペレットの圧潰強度は通常養生法と比べ約4倍の強度を有し、かつ養生時間が大幅に短縮できることを立証している。養生の水和による強度発現機構として注目される。

第8章は結論である。

以上要するに本論文は、低温低FeO焼結鉱の製造法ならびに非焼成塊成鉱の養生法の改良など、将来予想される鉄鉱石原料の微粉割合の増加に対応した省エネルギー型塊成鉱の製造法について提案し、それら塊成鉱の高炉内性状に関する品質を検討したもので、金属工学の発展に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。