

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	マイクロ波加熱ロータリーキルンによる銑鉄製造の研究
Title(English)	
著者(和文)	梁川雅弘
Author(English)	masahiro yanagawa
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9270号, 授与年月日:2013年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:林 幸,多田 英司,腰原 伸也,西方 篤,須佐 匡裕,永田 和 宏,柴田 修一
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9270号, Conferred date:2013/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	梁川 雅弘
論文審査 審査員		氏 名	職 名	
	主査	林 幸	准教授	須佐 匡裕 教授
	審査員	腰原 伸也	教授	永田 和宏 学外
		西方 篤	教授	柴田 修一 学外
		多田 英司	准教授	

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「マイクロ波加熱ロータリーキルンによる鉄鉄製造プロセスの研究」と題し 8 章から構成されている。

第 1 章「緒論」では、現在の高炉法による鉄鉄製造法では高温の還元ガスの通気性を確保するため高強度の塊状原料の鉄鉱石とコークスを必要とするが、反応に長時間を要し、鉄鉄 1 トン当り 2 トンの炭酸ガスを発生すること、粉状で劣質な原料の増加事情などの問題点があることを指摘し、粉状原料を効率的に利用できるマイクロ波加熱ロータリーキルン法の優位性を指摘し、本研究の意義及び目的を述べている。

第 2 章「マイクロ波加熱ロータリーキルンの設計と製造」では、回転部のレトルト筒の大きさ（長さ 1880mm、直径 975mm）をマイクロ波のインピーダンス解析から決定し、内部を六角形にする事により電場と磁場を攪拌し定在波の発生を防止していること、両側の蓋に 2.45GHz 出力 2.5kW マイクロ波発生装置を 4 台ずつ設置し、対抗する導波管の向きを 90 度ずらすことにより相互の干渉を防止していること、さらにレトルトの摺動部のマイクロ波遮漏防止法、スリースタップチューナーによるインピーダンス調整法などを述べ、回転するレトルト中央に設置した黒鉛管（内径 400mm、長さ 520mm）内の粉体の挙動からレトルトの適正な傾斜角度が 2 度程度である事を示している。

第 3 章「キルン内での原料の運動が加熱に与える影響」では、電場と磁場を分離できるシングルモード型マイクロ波加熱装置を用い、シリカ管内に入れた黒鉛粉試料にピストン振動を与える方法と、回転するレトルト中に設置した反応容器内の黒鉛粉試料の発熱挙動を計測し、回転数増加により試料表面温度が低下することから、マイクロ波は試料表面から吸収され、試料で自己発生する熱が攪拌により均一化されることを明らかにしている。

第 4 章「レトルト静止状態での製鉄実験」では、窒素ガスで満たした静止したレトルト内で、マグネタイト鉄鉱石粉 82mass% と黒鉛粉の原料混合物 1.4kg にマイクロ波を 15kW で照射し、鉄鉄が 25 分程度で生成する条件を明らかにしている。導体の黒鉛管表面でマイクロ波をカットオフする効果を考慮に入れ、マグネシアセメント内張り多孔質ムライト板製の円弧型反応容器（板間隔 50mm、底厚 60mm）を黒鉛管内に設置し、製鉄実験を行った結果、原料表面からの輻射熱損失が大きいことを示し、レトルトの回転で原料を攪拌し熱を均一化する優位性を示唆している。

第 5 章「レトルトの回転数が鉄鉄製造に与える影響」では、回転するレトルト内の黒鉛管内に、マグネシアセメントを内張りした多孔質ムライト円板製の反応容器（板間隔 50mm、底厚 60mm）を設置し、これに原料混合物を装荷しマイクロ波照射した場合の鉄鉄製造の条件を明らかにしている。レトルトの回転数が 0.061 から 0.152rpm の場合は、還元した鉄粒が一部固着して塊状化しあるいは壁面に付着し、脱落しながら鉄鉄を生成し、坩堝の底に開けた隙間から鉄鉄が流出した。一方、回転数が 0.474rpm の場合は、原料が焼結して塊状化し鉄鉄の分離回収は困難であったと述べている。鉄鉄は白鉄で炭素濃度は鉄-炭素系合金の亜共晶液相線上にあり、レトルトの回転により、硫黄濃度は現在の高炉鉄の半分程度、リン濃度は 1 桁程度低くなる事を明らかにし、スラグの生成量が極端に少ない事を考慮してマスバランス上、気化したことを指摘している。また、マイクロ波のレトルトからの反射は 2%程度であるとしている。

第 6 章「製鉄実験における炉内耐火物の損傷」では、レトルトの回転による反応容器に用いられた耐火物の損傷状況を調べ、多孔質のムライト板やマグネシアセメントはマイクロ波を吸収せず発熱しないこと、及びレトルトの回転により、原料との接触の無い間に耐火物の温度が下がるため、耐火物の損傷が抑制されることを述べている。

第 7 章「原料の供給速度が鉄鉄生成に与える影響」では、レトルトの回転軸に設置したスクリー型原料供給機から連続的に原料混合物を第 5 章に述べた反応容器に供給した場合の鉄鉄製造の条件を明らかにしている。最初に原料 1.4kg を入れ、レトルト回転数を 0.061rpm とし、マイクロ波照射開始の 1 時間後に原料の連続供給を開始した。原料の供給速度が毎分 16g と 19g では、生成した熔融鉄鉄と供給される原料鉄鉱石粉との間で反応が起こり、CO ガスの発生によるバブリングが起こり、生成した鉄鉄が坩堝底の隙間から流出する事を明らかにしている。一方、供給速度毎分 28g では、供給した原料で鉄鉄が冷却され塊状化するとし、熱バランスの重要性を指摘している。マイクロ波照射中は雰囲気中の酸素分圧は 10^{-6} atm まで低下し、鉄鉱石の還元反応が進行するが、照射を止めると急上昇して 10^{-13} atm に戻ることから、炭材がマイクロ波を吸収し自己発熱して局所的に高温となり、ブドアー反応を促進させ、CO ガス濃度が高まり鉄鉱石の還元を促進することを指摘している。さらに、以上の結果から炉の大型化の設計指針を提案している。

第 8 章「総括」では、本論文を総括し、マイクロ波加熱ロータリーキルンによる鉄鉄製造方法の利点を述べている。以上を要するに、本論文ではマイクロ波を利用し粉鉄鉱石から鉄鉄を製造する場合のロータリーキルンの優位性を明らかにした上で大型化への指針を示しており、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって本論文は、博士（工学）の学位論文として十分な価値があると認められる。