

© 1982 ISIJ

2層構造化によるペレットの耐軟化収縮特性の改善 論文

井上 勝彦*・池田 孜*・上仲 俊行*²・金本 勝*²

Improvement of Softening and Melting-down Properties of Iron Ore Pellets by means of Two-layered Structure

Katsuhiko INOUE, Tsutomu IKEDA, Toshiyuki UENAKA, and Masaru KANEMOTO

Synopsis :

The liquid phase formation process and its effect on softening and melting-down properties were investigated in a synthetic quinary MgO-Al₂O₃-SiO₂-CaO-iron oxide (or metallic Fe) system.

The increase in CaO/SiO₂, MgO and also in T.Fe was found to be effective to improve the softening properties at the wustite reduction stage by increasing solidus temperatures and by reducing amount of liquid developed at solidus temperature, respectively. Even at reduction stage of metallic iron, where network of iron sustains the deformation stress, liquid formation in coexisting silicate phase was also found to affect the softening and melting-down behavior due to subsequent increase in mobility of iron atoms.

Utilizing the topochemical nature of the reduction of iron ore pellet, softening and melting-down properties were found to be improved significantly by means of two-layered structure, where chemical compositions of the core and the shell parts are chosen to have as high solidus temperatures and also as little amount of liquid developed at the solidus temperature as possible at the reduction stage of wustite and metallic iron, respectively.

1. 緒 言

焼成鉱の高温還元性状すなわち高温還元率(還元停滞), 軟化収縮, 充填層の通気抵抗, 溶け落ちなどは高炉における融着帯の形成に深く関連する。そのうち軟化収縮性状は高炉塊状帯の通気性に影響するほか, 還元反応面積の低下により還元の遅延をひきおこし, これによる残留 FeO の増加は空隙率の低下とともに圧損上昇, 溶け落ちなどより高温の還元性状にも間接的に影響するため, とりわけ重要である。

還元による高炉装入原料の軟化収縮を定量化する目的で, 各種焼成鉱の軟化粘度の測定が行われている^{1)~3)}。その結果, 軟化収縮は還元率すなわち残留 FeO 量と構成鉱物相の中でもつとも軟化粘度の小さいスラグ相の量に支配されると指摘している。しかしながら, 軟化収縮が活発となる 1200°C 以上の高温では, 剪断応力を支えることのできない融液がすでに存在しているが, その発生量, 存在形態がどのような微視的な機構で軟化収縮に影響するかはまだ明らかにされていない。

本報告では, ペレットの高温還元性状の改善の一環として, 耐軟化収縮特性の向上を目的に, MgO-Al₂O₃-SiO₂-CaO-鉄酸化物(または金属鉄)合成5元系において

CaO/SiO₂, MgO, T. Fe をパラメータに融液発生過程すなわち固相線温度, 液相線温度, その間の融液量を定量的に調査し, 軟化収縮との関連を明らかにした結果について報告する。さらに上記の単純化した合成系での実験で得られた知見に基づいてトポケミカルに進行するペレットの還元様式を積極的に利用し, どの還元段階でも発生融液量が最少になるように化学組成が外周部と中心部で異なる2層構造ペレットを試作し, 耐軟化特性を改善した応用例についてもあわせて報告する。

2. 実験方法

43 mm 内径の黒鉛容器を用いた昇温荷重還元装置⁴⁾によりドロマイトペレット(化学組成は Table 2 に示す)の高温還元性状の調査を行った。試験途中で還元を中断し, 水浸急冷した試料について EPMA, X線回折により融液発生過程を定量的に調査した。

MgO-Al₂O₃-SiO₂-CaO-FeO_x 合成5元系において融液発生過程と軟化収縮挙動の関係を調査した。その実験手順を Fig. 1 に示す。用いた合成試薬試料は, T. Fe = 60%, Al₂O₃ = 1.5% で CaO/SiO₂, MgO を広範囲に変化したシリーズとその代表的なスラグ組成で T. Fe を変化したシリーズである。約 1.8 Gpa で 5 mm 径 × 5

昭和 56 年 4 月本会講演大会にて発表 昭和 56 年 12 月 7 日受付 (Received Dec. 7, 1981)

* (株)神戸製鋼所浅田研究所 理博 (Asada Research Laboratory, Kobe Steel, Ltd., 53-3 Aza-Maruyama Gomo Nada-ku Kobe 657)

*² (株)神戸製鋼所加古川製鉄所 (Kakogawa Works, Kobe Steel, Ltd.)

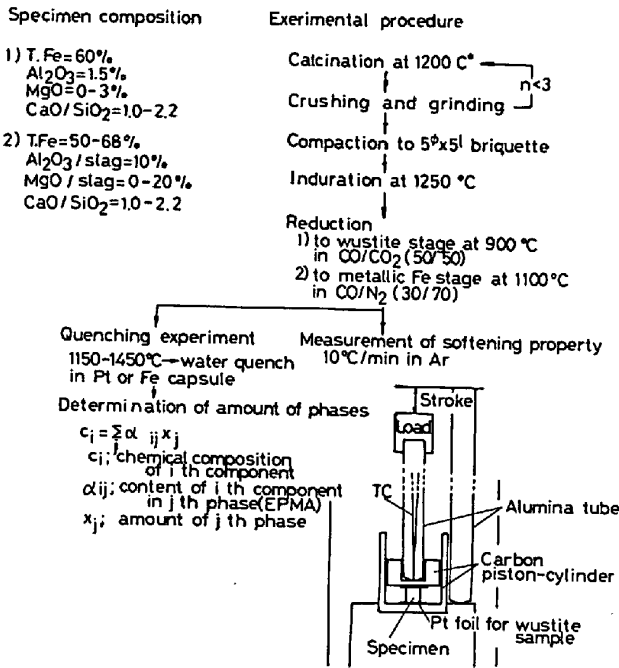


Fig. 1. Experimental procedure to investigate the liquid development process and its effect on the softening and melting-down properties of the synthetic quinary briquette specimens.

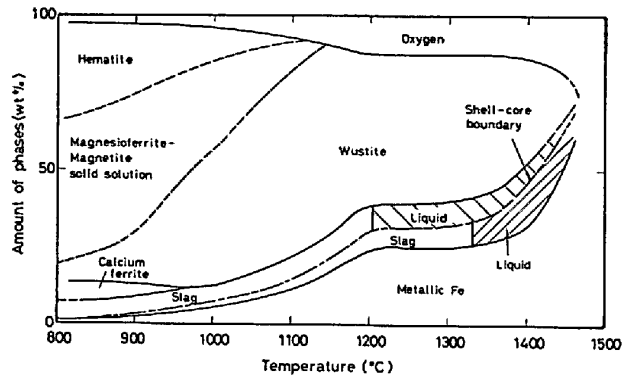


Fig. 2. Variation of the constituent mineral compositions during reduction of dolomite-fluxed pellets.

温度変化を示す。焼成時の鉱物相であるヘマタイト (hematite), マグネシオフィライト-マグネタイト (magnesioferrite-magnetite) 固溶体, カルシウムフェライト (calcium ferrite) 固溶体⁴⁾はウスタイト, 金属鉄へとトポケミカルに還元されていくが, 中心部がウスタイト還元段階に達してからは, ペレット全体の還元の進行は金属鉄殻 (metallic shell) 部の肥大によることになり, 明確な金属鉄殻とウスタイト芯 (wustite core) の2層構造を示す。このようなウスタイト芯の存在は解体高炉の融着層で現実に確認されている⁷⁾。Photo. 1に shell, core 部の微構造を示す。1200°C 付近でウスタイト芯部に融液が発生し, ウスタイト粒の球形化, 粗大化が進行する。一方, metallic shell 部では 1330°C 近くで初めて融液を発生し, 金属鉄の sintering が活発化する。すなわち, 焼成段階で同一スラグ組成でも還元状態によって融液発生過程が大きく異なることを示している。

Fig. 3 にドロマイトペレットの昇温荷重還元試験結果を示す。Fig. 2 と対応づけて考えるとウスタイト芯 (還元対象物) が固相線温度に達するにともない還元停滞が顕著になる。1300°C 近くでウスタイト芯の流出が活発となり, グラファイトるつぼとの直接熔融還元が急速に始まると同時に層の圧力損失が増大する。1330°C 近くでの shell 部での融液の発生とともに後述するように金属鉄の浸炭が活発となり, 溶け落ちに至る。このように融液発生過程に関する知見は高温還元性状を理解する上で非常に重要なものであると考えられる。

焼成温度を変化した同一化学組成 (ただし, FeO のみ異なる) のペレットの還元実験から, 気孔率, 鉱物組成は融液発生前の軟化収縮, 到達還元率 (したがって shell, core 部の量比) にはもちろん影響を与えるが, 融液発生温度や融液発生後の shell, core 各部の相関係にはほとんど影響しないことが明らかとなっている¹⁰⁾。

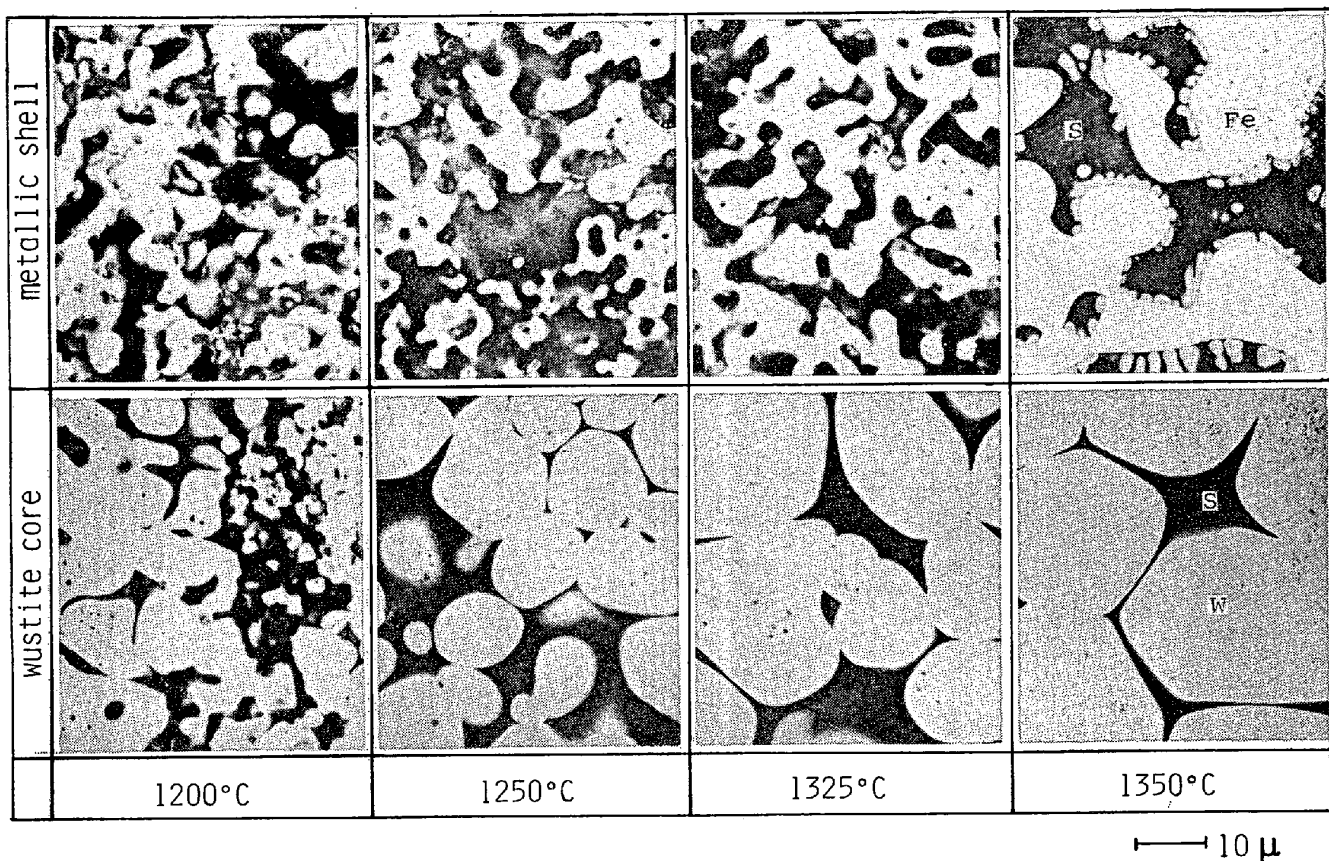
mm 厚に成型, 1250°C 焼成後, おおのウスタイト (wustite), 金属鉄還元段階まで予備還元を行った。その後, 還元率の変化しない雰囲気中で平衡相関係を水浸急冷法により調査した。相組成 (融液量は急冷試料のけい酸塩ガラス質部または微細に結晶化した石基部とした) は EPMA 定量値に基づいた物質収支による最小自乗法により決定した⁴⁾。軟化収縮は予備還元ブリケット試料について 2.5 kg/cm², 10°C/min の条件で測定した。

試作ペレットは 1 m 径パンペレタイザーにより造粒し, ポットグレート, バッチキルンにより 1250°C で焼成した。昇温還元による軟化収縮挙動は CO/N₂ (30/70) 還元ガスを 0.5 l/min 流し, 荷重 0.5 kg/試料, 昇温速度 10°C/min の条件で 1-pellet 法¹³⁾により評価した。

3. 実験結果と考察

3.1 ドロマイトペレットの昇温還元過程の解析

ドロマイト添加により, 自溶性ペレットの還元収縮率の低下, 還元停滞現象の緩和など高温性状の向上⁶⁾が可能となったが, 微粉焼成体であるペレット特有の微細な気孔構造に起因する顕著なトポケミカルな還元様式はドロマイトペレットにおいても変わらない。Fig. 2 に昇温還元途中水浸急冷したドロマイトペレットの構成相の



(W : wustite, S : silicate glass)

Photo. 1. Change in microstructure of metallic shell part and wustite core part of dolomite-fluxed pellet during dynamic reduction.

REDUCTION TEST UNDER LOAD
 DOLOMITE-FLUXED PELLET
 GAS FLOW RATE = 6.35 L/MIN
 LOAD = 1.00 KG/CM²
 SPECIMEN WEIGHT = 90.21 GR

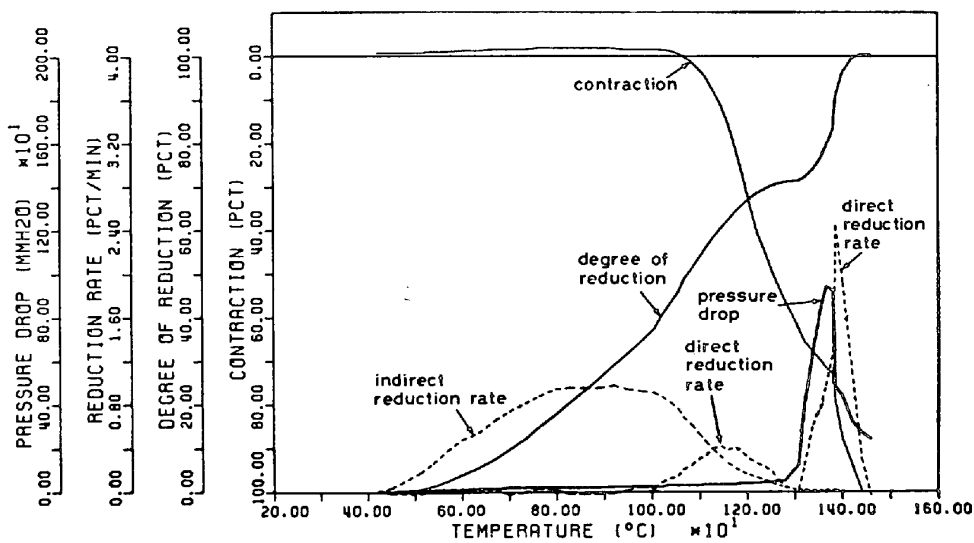


Fig. 3. Result of the reduction test under load of dolomite-fluxed pellets.

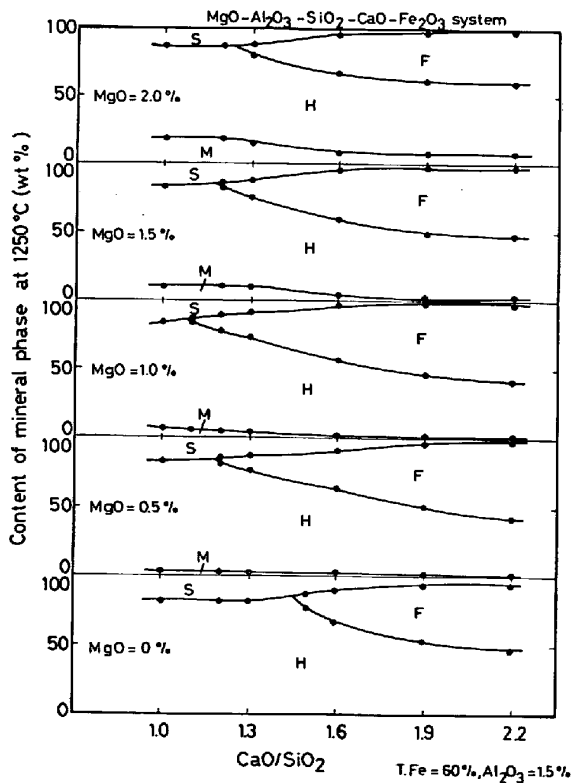
さらに EPMA による測定から融液発生後のウスタイト芯部におけるウスタイトの MgO 固溶度は粒間ではほとんど一定であることが観察され、焼成段階の鉱物相のうちヘマタイト、マグネシオフィェライト-マグネタイト固溶体、カルシウムフェライト固溶体のどれを起源とするか区別することはできない。すなわち融液発生過程では各イオンの移動度は十分に大きく、相関係は非常に平衡に近いと考えられる。したがって高温還元性状を理解する上で重要と考えられる融液発生過程におよぼす還元状態と化学組成（還元状態は化学組成への FeO の参加不参加に換言できるので、結局 FeO を含めた MgO-Al₂O₃-SiO₂-CaO 系の組成）の影響を合成系試料を用いて以下に検討した。

3.2 MgO-Al₂O₃-SiO₂-CaO-酸化鉄(または金属鉄)

合成 5 元系における融液発生過程

本実験の組成では、焼成段階の主鉱物相はヘマタイト (H)、マグネシオフィェライト-マグネタイト固溶体 (M)、カルシウムフェライト固溶体 (F)、シリケートスラグ (S) の 4 相であつた。

Fig. 4 に 1250°C の平衡鉱物組成の MgO, CaO/SiO₂ 依存性を示す。CaO/SiO₂ の増加により F の生成



(H: hematite, M: magnesian ferrite-magnetite solid solution, F: calcium ferrite solid solution, S: silicate glass)

Fig. 4. Effect of MgO and CaO/SiO₂ on the equilibrium phase relation in the synthetic quinary system at 1250°C in air.

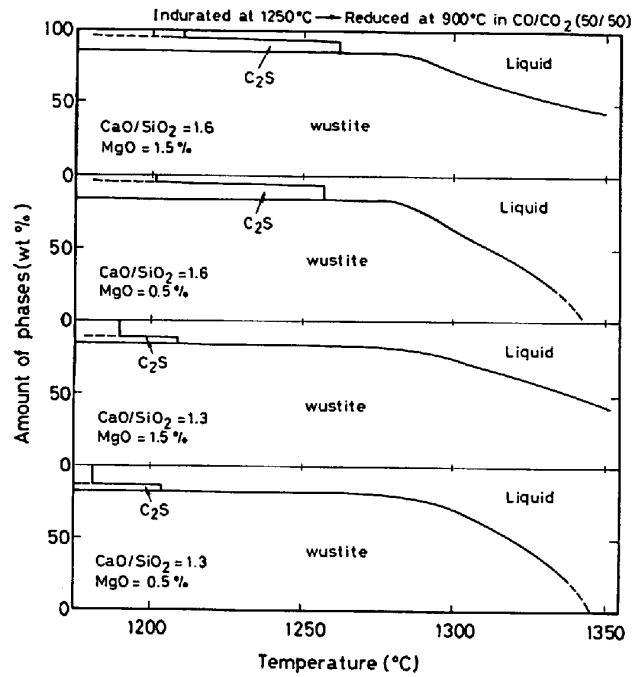


Fig. 5. Liquid development process in four representative quinary systems at the wustite reduction stage.

が多くなり、H, M, S の減少が顕著となる。同一 CaO/SiO₂ では F 量を最大にする MgO 量は約 1.0% に存在する。M は MgO 量の増加につれて単調にその存在量を増す。焼成段階のブリケット試料の気孔率は 20% 以下で実機焼成ペレットに比して若干小さい。組織は少し微細であるが、ほぼペレット類似組織を呈している。

自溶性ペレット、焼結鉱類似の代表的 4 組成 (CaO/SiO₂=1.3, 1.6, MgO=0.5%, 1.5%) のウスタイト還元段階における融液発生過程を Fig. 5 に示す。いずれの組成も初晶はウスタイトであり、第 2 晶は Ca₂SiO₄ (C₂S) である。固相線温度は約 1200°C にあり CaO/SiO₂, MgO の増加と共に単調に上昇する傾向にあるが、大幅には変化しない。また高 CaO/SiO₂ ほど固相線温度での発生融液量は第 2 晶 C₂S の存在のため少なく、C₂S 消滅温度も高い。液相線温度は CaO/SiO₂ よりも MgO に大きく依存し、ペレットの高温荷重還元でウスタイト芯の流出のおこる 1300°C 付近の融液量は MgO の増加により大幅に少なくなる。これはドロマイト添加による自溶性ペレットの高温還元性状改善効果の一つである。Fig. 5 に示されるようにどの組成においても融液量があまり変化しない温度範囲が存在する。これは相図において液相線が温度軸に平行に近いことを意味し、後述の T. Fe 増加による軟化収縮特性の改善の基本となる。

この代表的 4 組成についての金属鉄還元段階の融液発

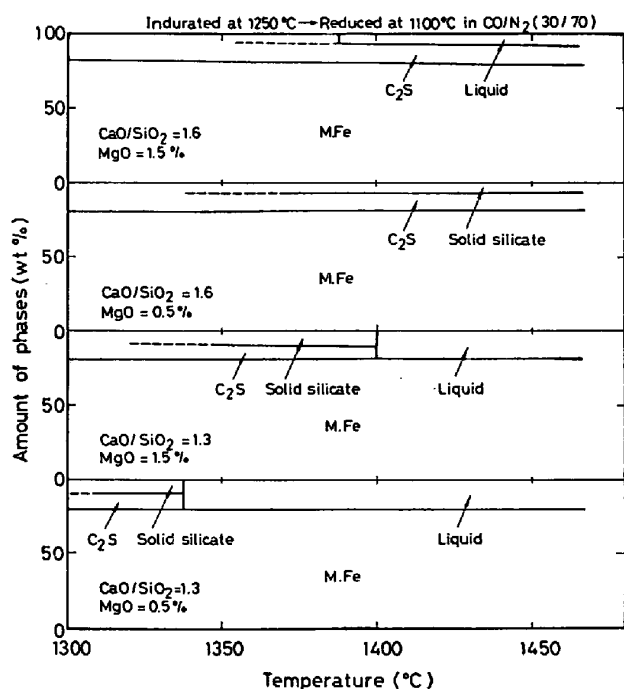


Fig. 6. Liquid development process in four representative quinary systems at the metallic iron reduction stage.

生過程を Fig. 6 に示す。この系では急冷試料の組織から明確に固相線温度を決定することが高分解能 EPMA でも困難である場合もあり、金属鉄の grain size が急激に粗大化する温度（ここでは sintering 温度と呼ぶ）を融液発生温度とした。この還元段階では全般にウスタイト還元段階と比較して、150°C 以上高い温度で初めて融液を発生する。CaO/SiO₂ = 1.3 では C₂S の消滅とともに広範囲に融液を発生するのに対して CaO/SiO₂ = 1.6 では C₂S は高温まで存在し、融液量を減少させる効果がある。CaO/SiO₂, MgO 依存性は、ウスタイト還元段階と異なり単調でなく CaO/SiO₂ = 1.6, MgO = 0.5% 組成とはびぬけて高い sintering 温度を示す。

この系は金属鉄と共存する MgO-Al₂O₃-SiO₂-CaO 4 元系と考えることができ、OSBORN and ROEDER⁸⁾ により詳細に固相線付近の相関係が調べられている Al₂O₃ = 10% の MgO-Al₂O₃-SiO₂-CaO 系との対比が可能である。

Fig. 7 に sintering 温度の MgO, CaO/SiO₂ 面における等温線を OSBORN and ROEDER の平衡 solidus surface の情報と共に示す。両者は傾向として低 MgO では CaO/SiO₂ = 1.6 付近に山をもち、低 CaO/SiO₂, 高 MgO に向かって半島をつきだしている点で共通しているし、絶対値もほぼ一致しているといえるが、高 CaO/SiO₂, 高 MgO では両者は大きく異なる。これは高 MgO による発生融液の粘性の低下、FeO 活量の増

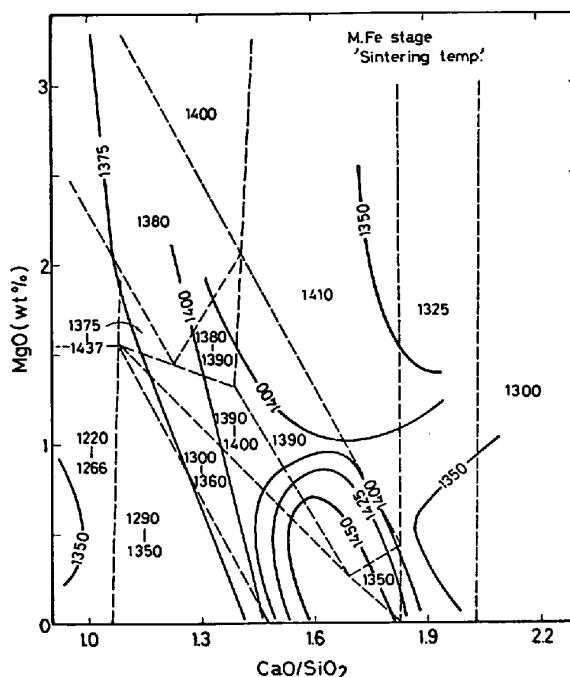


Fig. 7. Effect of CaO/SiO₂ and MgO on the 'sintering temperature' (solid contours) and also plotted is the solidus surface (surrounded by broken lines) in the 10% Al₂O₃ plane of CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂ system determined by OSBORN and ROEDER⁸⁾.

大による鉄の sintering の活発化など融液の物性変化が原因の一つと考えられる。すなわち、この sintering 温度は金属鉄還元段階の軟化収縮に対して平衡固相線温度に融液量、融液の物性を加味した実際的な尺度を与えるものと考えられる。

3.3 合成 5 元系試料の軟化収縮挙動

代表的 4 組成のウスタイト還元段階に予備還元したブリケット試料の収縮曲線を Fig. 8 に示す。CO/CO₂ = 50/50 の雰囲気中で 1280°C で焼結した純 FeO 試料の収縮も合わせて示されているが、融点である 1370°C 付近で急激に収縮するのに比較し、5 元系試料では約 15% のスラグ成分を含むだけで約 200°C も低い温度で軟化を開始する。白三角印で各組成の固相線温度を示すが、いずれも 5~10% 収縮に対応していて、急速な軟化収縮の開始が融液発生に起因することは明らかである。Fig. 9 に、MgO = 1.5% と一定に保ち CaO/SiO₂ を変化した組成の結果を示す。CaO/SiO₂ の増加につれて軟化開始は高温にずれるが、軟化を始めると急速に収縮する傾向がみられる。この結果や Fig. 8 の軟化収縮におよぼす MgO の効果は、3.2 で述べた固相線温度、融液発生量への MgO, CaO/SiO₂ の影響と完全に一致する。Fig. 10 にスラグ組成を一定にして T. Fe

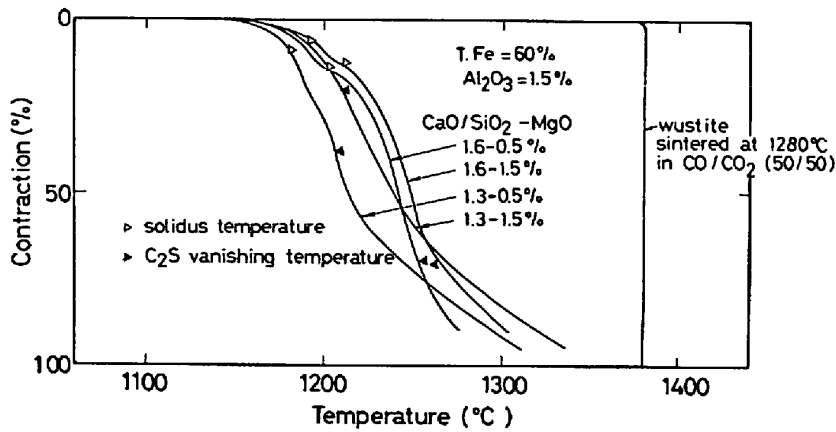


Fig. 8. Effect of chemical composition on the softening behavior of briquette specimens prereduced to the wustite stage.

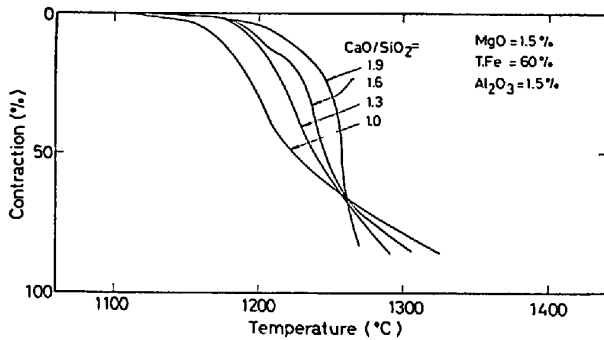


Fig. 9. Effect of CaO/SiO_2 on the softening behavior of briquette specimens prereduced to the wustite stage.

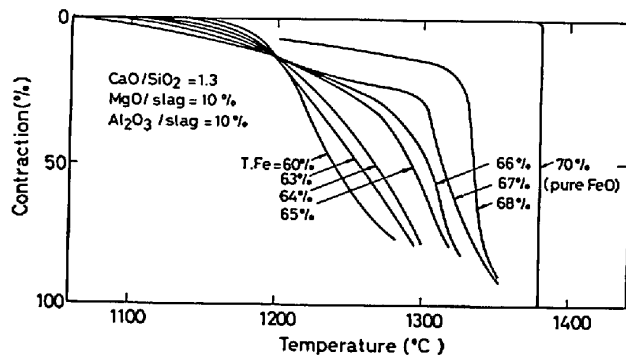


Fig. 10. Effect of T.Fe content on the softening behavior of briquette specimens prereduced to the wustite stage.

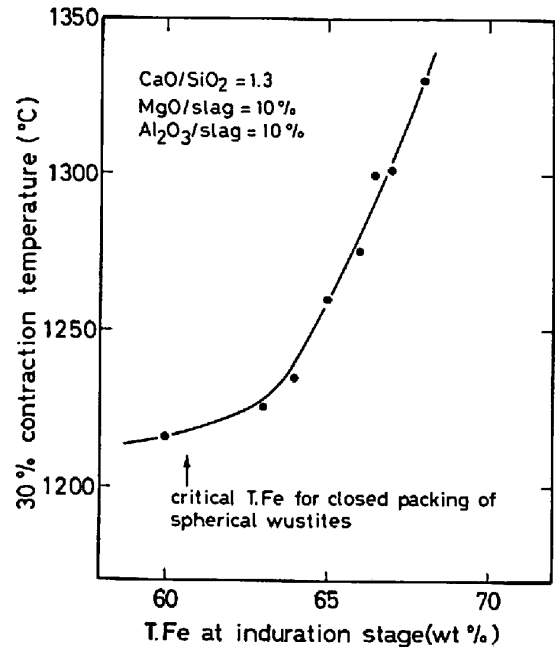


Fig. 11. Effect of T.Fe content on the 30% contraction temperature of the briquette specimens prereduced to the wustite stage.

(すなわちスラグ量)を変化した場合の収縮曲線を示す。T.Feの上昇につれて軟化開始温度は高温側に単調にずれていき、T.Feが67%以上では1300°C以上(収縮率約30%)になつて急速に軟化する傾向を示す。Fig. 11に30%収縮温度のT.Fe依存性を示す。Photo. 1にみられるように融液発生後のウスタイト試料は、固相ウスタイト球の間隙をけい酸塩融液が充填している組織を呈する。ウスタイトとけい酸塩融液の密度比($\rho_{\text{ウス}}$

タイト/ $\rho_{\text{liq}} \sim 2.3$)を仮定すると、ウスタイトの球同志が12配位で点接触する最密充填に対応する焼成段階でのT.Feは60.7%となる。Fig. 11によると、T.Fe=64%以上で顕著な耐軟化収縮特性の向上がみられるが、これはウスタイト粒同志が、かなり面接触することにより初めて耐軟化に寄与することになるためと考えられる。EPMAにより固相ウスタイトにはMgOなどの不純物が約3%固溶し、一方融液は約15%のFeOを含有することが測定されているので、ウスタイト還元段階で軟化収縮を誘起するに必要な最少の融液量は約7%と見積られる。すなわち、T.Fe増加による耐軟化性の改善の機構はFig. 12に模式的に示されるように、固相線温度で発生する融液量は軟化に必要な水準に達せ

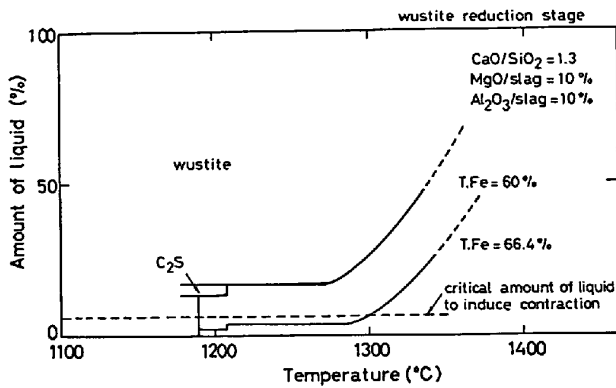


Fig. 12. Schematic representation showing the mechanism of improving the softening properties due to the increase in T.Fe content.

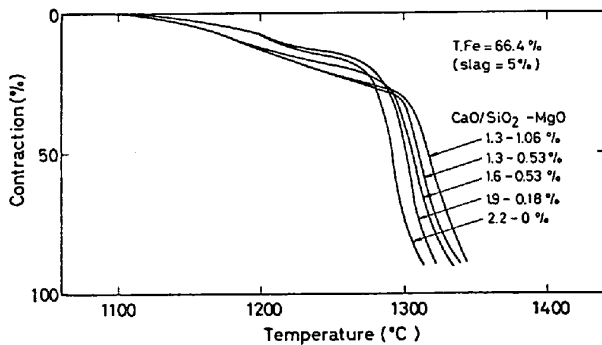


Fig. 13. Effect of chemical compositions on the softening behavior of briquette specimens with high T.Fe content prerduced to the wustite stage.

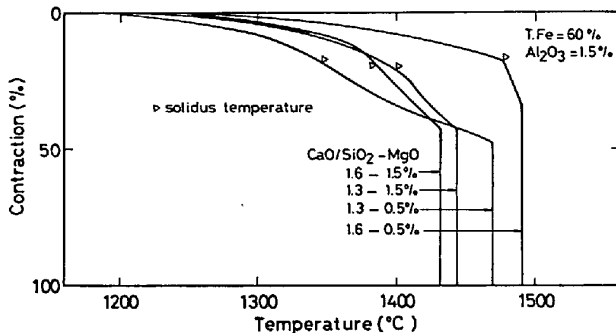


Fig. 14. Effect of chemical compositions on the softening behavior of briquette specimens prerduced to the metallic iron reduction stage.

ず、より高温における増加を必要とするためと考えることができる。Fig. 13 に T.Fe=66.4% (スラグ量=5%) で CaO/SiO₂, MgO を変化した実験結果を示す。高スラグ量の場合と比較して、MgO の増加は同じく軟化温度上昇に有効であるが、CaO/SiO₂ は逆に低い方が耐軟化性に優れるという結果になっている。これは高 T.Fe 組成で軟化が急速となる 1300°C以上の温度では CaO-FeO-SiO₂ 3 元系平衡状態図からも予想されるように高

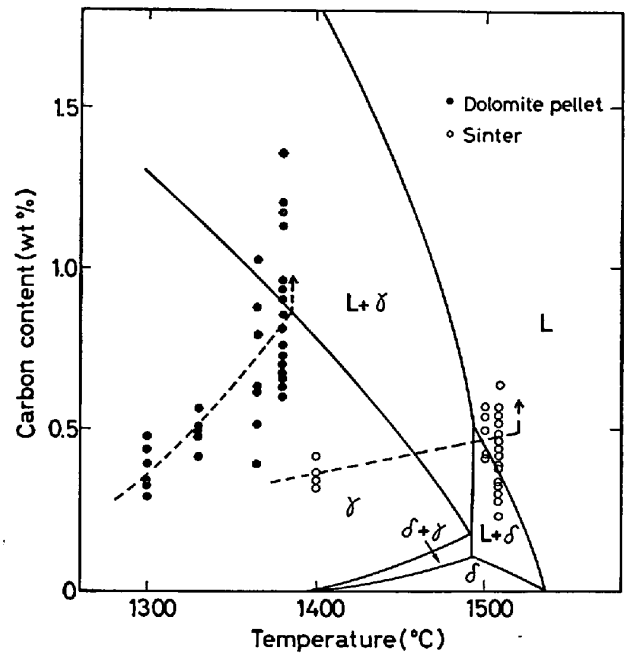


Fig. 15. Effect of temperature on the carbon concentration in metallic iron formed during reduction under load of dolomite-fluxed pellets and lime-fluxed sinters.

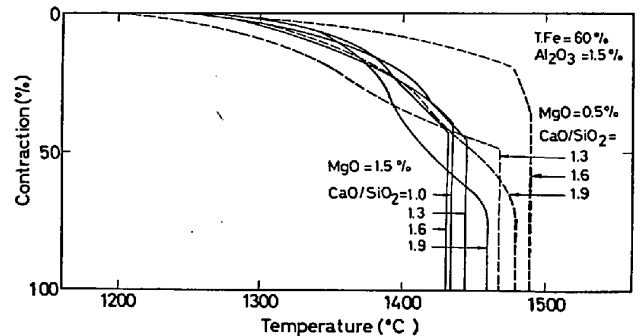


Fig. 16. Effect of MgO and CaO/SiO₂ on the softening behavior of briquette specimens prerduced to the metallic iron reduction stage.

CaO/SiO₂ では融液量は多く、CaO/SiO₂=1 付近で極小になることにより理解される。すなわちウスタイト還元段階では、T.Fe の向上が耐軟化性向上に有効であるが、最適な CaO/SiO₂ も T.Fe 水準により変化する。

代表的 4 組成の金属鉄還元段階試料の軟化収縮試験の結果を Fig. 14 に示す。白三角印で示される sintering 温度は、いずれも約 20% 収縮に対応する。Photo. 1 にみられるように、ウスタイト段階と反対にこの還元段階では金属鉄が連続したネットワークを組んだ組織を呈している。スラグ系相が耐軟化性を担っていない金属鉄還元段階においても、スラグ系における融液発生は溶解析出機構により Fe の移動を促進することにより、間接的に軟化収縮挙動に影響を与えると考えられる。Fig. 15

にドロマイトペレットと焼結鉱の昇温荷重還元途中中断試料の金属鉄部分の炭素濃度を EPMA で測定した結果を示す。浸炭源であるカーボンるつぼとの接触面積、昇温速度は同一にもかかわらず、浸炭速度はドロマイトペレットの方が速く、1390°Cで $liq + \gamma Fe$ 領域に至り、耐軟化を担当する金属鉄ネットワークそのものが熔融を開始する。この温度は昇温荷重還元試験の溶け落ち温度と完全に一致する。浸炭の微視的機構はいまだ明らかではないが、スラグ系融液はカーボンを溶解⁹⁾ するため、浸炭を促進する可能性も考えられる。Fig. 16 に溶け落ち温度の化学組成依存性を示す。MgO=0.5% では CaO/SiO₂=1.6 で融液発生温度が極大となることに対応して、溶け落ち温度が最も高くなっている。これは斧らによる焼結の滴下性状に及ぼす CaO/SiO₂ の影響の実験結果¹⁰⁾ともよく一致する。また MgO=1.5%ではCaO/SiO₂によらず溶け落ち温度は全般に低い。MgO はウスタイト段階では常に耐軟化性を向上させるが、金属鉄段階の溶け落ち温度を低下させる傾向を持つ。これは評価の分かれる焼結鉱性状に対する MgO の効果¹¹⁾¹²⁾とも

関連して興味深い。

前述の合成 5 元系試料の収縮挙動に関する実験は形状、還元状態ともに過剰に単純化されており、それにより得られた知見の動的に昇温還元される球形のペレットへの適用の有効性には問題を多く残している。Fig. 17 に合成系試料と同一組成の試作ペレットの 1-pellet 法による昇温荷重還元試験結果を示す。収縮曲線は合成系ウスタイト、金属鉄還元段階試料の中間に存在し低温、低温還元率でよりウスタイト試料に類似した、高温、高還元率でより金属鉄還元段階に類似した挙動を示すことが確認された。ただ、溶け落ち温度に相違があるが、溶け落ちは前述のように浸炭に起因するため、炭素源との接触の幾何学的な相違が原因として考えられ、またウスタイト芯の熔融および shell 外への流出にともなう熔融還元が金属鉄の浸炭状況に影響を与える可能性も考えられる。したがって合成系での知見は現実のペレットの耐軟化性の改善に少なくとも定性的には応用可能であることを示している。

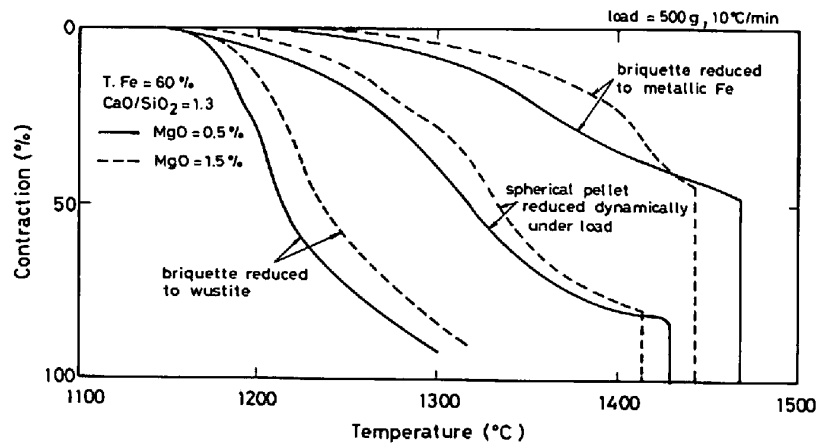


Fig. 17. Comparison of the softening behaviors in briquette specimens prerduced to the wustite and metallic iron reduction stages and spherical pellets reduced dynamically under load.

Table 1. Blending, pelletizing conditions and chemical compositions after induration for the iron ore pellets with two-layered structure.

	Blending		Pelletizing (%)	Chemical composition after induration (wt%)							Dimension
				T.Fe	FeO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	CaO/SiO ₂	
2-layered pellet	Core part	Raw materials	54.3%	66.55	<0.1	0.41	0.46	1.18	1.90	1.61	9.1 mmφ
		Blending%									
	Shell part	Mt Newman LGO limestone	48.4 48.4 3.2								
Whole pellet			100.0%	60.66	0.36	0.43	1.85	3.94	6.55	1.66	11.5 mmφ
Homogeneous pellet	homogeneous blending of raw materials for 2-layered pellet		homogeneous	59.75	0.36	0.44	1.96	4.60	7.52	1.63	11.5 mmφ

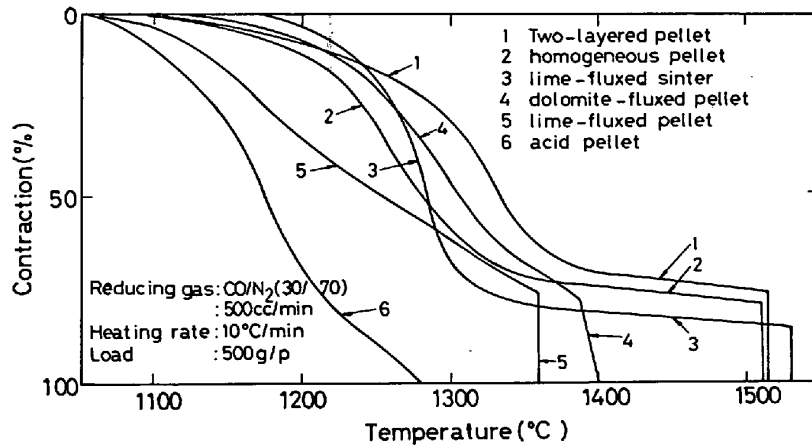


Fig. 18. Result of reduction test under load (1-pellet method) of the iron ore pellets with two-layered structure compared with those of various kinds of processed iron ores.

Table 2. Chemical compositions of the pellets and sinter for reduction test under load.

No	Processed iron ores	Weight ratio	T.Fe	CaO/SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃
1	2-layered pellet					
	whole pellet	57.3	60.7	1.66	0.43	1.85
	core part		66.6	1.61	0.41	0.46
	shell part	42.7	52.5	1.60	0.43	3.19
2	homogeneous pellet with chemical composition near No. 1 pellet		59.8	1.63	0.44	1.96
3	lime-fluxed sinter		55.6	1.91	0.7	1.67
4	dolomite-fluxed pellet		60.8	1.35	1.49	1.41
5	lime-fluxed pellet		60.5	1.18	0.52	2.24
6	acid pellet		62.44	0.16	0.15	2.65

3.4 2層構造ペレットによる耐軟化収縮特性の改善

前述のように均一組成では、ウスタイト、金属鉄還元段階に共通して耐軟化に最適な組成は存在しないことは明らかなので、トポケミカルに進行するペレットの還元様式を積極的に利用し、還元の遅れる中心部ではウスタイト段階で、低温で金属鉄還元段階に至り、浸炭源であるカーボンと接触する外周部に金属鉄還元段階で、おのおの耐軟化、溶け落ちに優れた化学組成を配置した2層構造ペレットを試作し、ペレットの耐軟化収縮特性の改善を試みた。Table 1 に原料配合、造粒条件、各層の化学組成を示す。中心部には高品位鉄鉱石をドロマイトまたは石灰分を溶剤としたものを約9mm径に造粒した後、低鉄品位リモナイト系鉱石と石灰石を混合したものを被覆造粒した。外周部組成はCaO/SiO₂ = 1.6, 低MgO, 低T.Feを選び、低収縮、高溶け落ち温度を指向した。中心部、外周部の量比は、1) 平均組成のT.Feは現行ドロマイトペレットと同水準(約60%)とする、2) 急速還元したとき、外周部がウスタイト還元段階のまま、固相線温度に達することのないように外周部の厚みを極力薄くするように考慮した。その結果、ペレット直径11.5mmで外周部にT.Fe=58.8%の低鉄品位鉄鉱石を使用することにより、外周部の厚さは1.2mmと薄くすることができた。このときスラグ成分のほぼ85%

がこの外周部に偏在する。2層構造化による効果を確認するため、同一化学組成の均一構造ペレットも同時に試作した。Fig. 18 に1-pellet法による昇温荷重還元試験結果を各種焼成鉱(Table 2)の結果と共に示す。2層構造ペレットは同一化学組成の均一構造ペレットに比して、同一収縮率を示す温度で30~50°Cの改善がみられた。また全還元過程で発生融液量が減少したことにより、融液による気孔の閉塞による還元停滞の緩和がみられた。さらに外周部組成の高塩基度化、低T.Fe化により溶け落ち温度は焼成鉱と同一水準となつた。焼成鉱の還元性状のうち特に高温での性状は焼成時の結合組織、鉱物組成よりも化学組成の影響を強く受ける傾向を持つので、焼成鉱の還元性状の改善にもこの不均一構造の考え方は適用可能である。

4. 結 言

還元停滞、軟化収縮、圧損上昇、溶け落ちなど焼成鉱の高温還元性状に密接に関係する融液発生過程をMgO-Al₂O₃-SiO₂-CaO-酸化鉄(または金属鉄)合成5元系において還元状態、MgO, CaO/SiO₂, T.Feを広範に変化させて調査し、特に軟化収縮に対する影響について検討した結果、次の知見を得た。

(1) ウスタイト還元段階ではCaO/SiO₂, MgOは

単調に固相線温度を上昇させ、耐軟化特性の向上に効果的である。さらに耐軟化特性を改善するには、固相線温度で軟化を誘起するに必要な最少融液量 (約 7%) を発生しないように T.Fe を向上することが有効である。

〔2〕 金属鉄が連続ネットワークを形成し、耐軟化を担っている金属鉄還元段階においてもスラグ系の溶融は溶解析出による Fe の移動度の向上により初期軟化に影響を与えるのみならず、浸炭を促進することにより溶け落ち性状をも左右する可能性を指摘した。CaO/SiO₂ = 1.6, 低 MgO 組成は特に融液発生温度が高く、耐軟化収縮、溶け落ちに対して有効である。

(3) トポケミカルに進行するペレットの還元様式を利用し、各還元段階で耐軟化に最適な化学組成を配した 2 層構造ペレットを試作し、耐軟化収縮特性、溶け落ち性状の改善に有効であることを確認した。

文 献

1) 中村正和, 関 義明, 近藤真一: 鉄と鋼, 56 (1970) 12, p. 1456

- 2) 羽田野道春, 宮崎富夫, 下田輝久, 岩永祐治, 桐野輝雄: 鉄と鋼, 66 (1980), S 699
- 3) 三本木貢治, 宮崎伸吉: 学振 54 委-No. 1254 (昭和47年11月)
- 4) 池田 孜, 井上勝彦, 上仲俊行, 金本 勝: 鉄と鋼, 67 (1981), p. 726
- 5) 井上勝彦, 池田 孜, 上仲俊行: 鉄と鋼, 投稿中
- 6) 成田貴一, 前川昌大, 北村雅司, 金山宏志: 鉄と鋼, 62 (1976), A91
- 7) 成田貴一, 前川昌大, 金山宏志: 鉄と鋼, 66 (1980) 13, p. 1860
- 8) E. F. OSBORN, P. L. ROEDER, and G. C. ULMER: Bull. Earth Miner. Sci. Exp. Sta., Pa. State Univ., (1969) No. 85
- 9) 下尾聡夫, 柴田芳隆, 木村 弘: 日本金属学会誌 44 (1980), p. 1231
- 10) 斧 勝也, 山口一良, 重見彰利, 西田信直, 榑原健二郎: 鉄と鋼, 66 (1979) 5, p. 505
- 11) 安元邦夫, 山下良一, 山本一博: 鉄と鋼, 66 (1980) 4, S 43
- 12) 飯塚元彦, 岸本純幸, 渋谷悌二, 福島 勤: 鉄と鋼, 66 (1980) 13, p. 1966
- 13) 土屋 脩, 大槻 健, 杉山 健, 小野田守, 藤田勇雄: 鉄と鋼, 66 (1980) 9, p. 1297