

5. 焼結原料の分類

以上のように単味焼結性を示す 3 代表特性はそれぞれ原料鉱石の性状と関係のあることがわかつたので、鉱種 (FeO%), 粒度, 脈石型式, ならびに現場作業での塩基度管理をも考慮して SiO₂ 量を加えた 4 要因で次の区分にしたがい鉱石を分類した。

- 1) 鉱種 磁鉄率 (2.332FeO/T. Fe × 100%) > 60%
磁鉄鉱, 25.0~59.9% 赤磁鉄鉱, < 24.9%
赤鉄鉱, 褐鉄鉱
- 2) 粒度 粒度指数 (1~10mm 分の %) > 66.7% 粗,
33.3~66.6 中, < 33.2 細
- 3) 脈石型式 S, SC, SA, A
- 4) SiO₂% < 9% 高, 4.5~8.9% 中, < 4.4% 低

Table 1 が分類結果で、枠内の数値は銘柄番号—単味焼結性値である。表より明らかなように少数の特殊な鉱石と硫酸滓などの処理をうけた原料を除けば、同一枠内に入る鉱石の焼結性はほとんど同じである。

6. 分類表の利用例

6.1 単味焼結性の推定

上記のように分類表の同一枠内に入る鉱石の焼結性はほとんど同じであるから、粒度と化学成分がわかれば焼結試験を行なわないでも大体の焼結性が推定できる。

6.2 配合効果の推定

初めに述べたように、各種の鉱石を混合して焼結する場合にも、各鉱石のおよぼす影響は相加的なことが多いので、単味焼結性をもとに、配合時の影響を推定することができ、また石灰焼結鉱でも特に塩基度の高い場合以外は適用が可能である。たとえば、M-7 鉱石を 18% 配合したところ強度が低下したので、これを L-4 鉱石に変更したいというとき、M-7 鉱石は Table 1 の j-Ⅱ群で焼結性が 223 であるがコークス添加率を下げると強度

が急激に低下するので、現場作業のコークス添加率では 323 と見るべきであり、L-4 鉱石は e-V 群に入り焼結性は 121 である。したがってこれを振り替えば、生産率はあまりかわらないが、強度は向上すると考えられる。30kg 試験鍋で実験してみると Fig. 5 のように推定通りの結果が得られ、現場作業でも同結果が得られた。なお塩基度の高い場合は Fig. 4 において CaO + MgO 側に移動したと考えれば大体の傾向は推定される。

7. 結 言

63銘柄の単味焼結試験結果を整理し、焼結性を落下強度、生産率、コークス原単位の 3 者で代表させ、コークス添加率による 3 者の変化を直観的に表示する方法を案出した。次にこのなかから最高生産率をうるコークス添加率における強度、生産率、コークス原単位をとり、おのおの 3 段階に級分けし、1, 2, 3 の数字により焼結性を表示した。

これら焼結性はいずれも原料鉱石の性状と関係があることから、鉱種 (FeO%), 粒度, SiO₂ 量, および脈石の型式で鉱石を分類したところ、同一群内に入る鉱石は、特殊なものと、天然産でない処理をうけた酸化鉄を除けばほとんど同一の焼結性を示すことを認めた。

したがって本分類表を用いると、鉱石の粒度と化学成分がわかれば、大よその単味焼結性を推定でき、それをもとに他鉱石と配合したときの効果を知ることができる。また石灰焼結鉱においても、塩基度があまり高くなければ適用可能である。

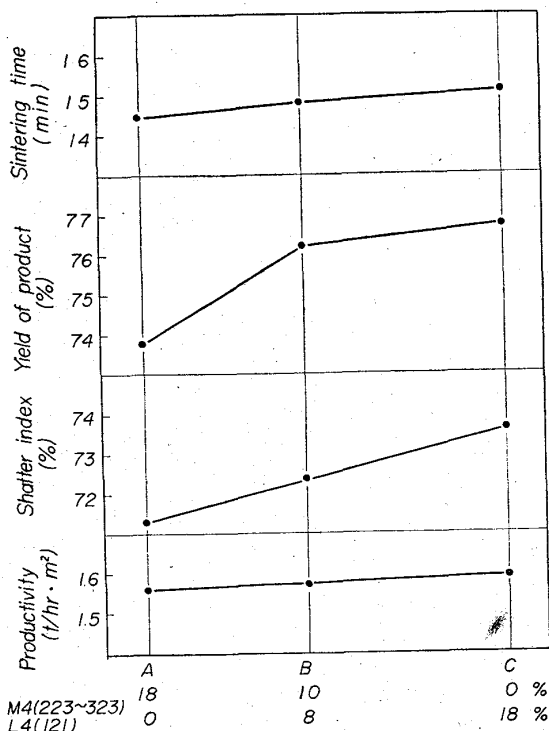


Fig. 5. Results of sintering tests of 30kg pan.

(16) 還元におよぼす温度の影響

(鉄鋼石層の還元実験—Ⅳ)

茨城大学工学部 工博○相馬 胤和

Influence of Temperature on Ore Reduction.

(Reduction test of ore bed—Ⅳ)

Dr. Tanekazu Sōma.

1. 緒 言

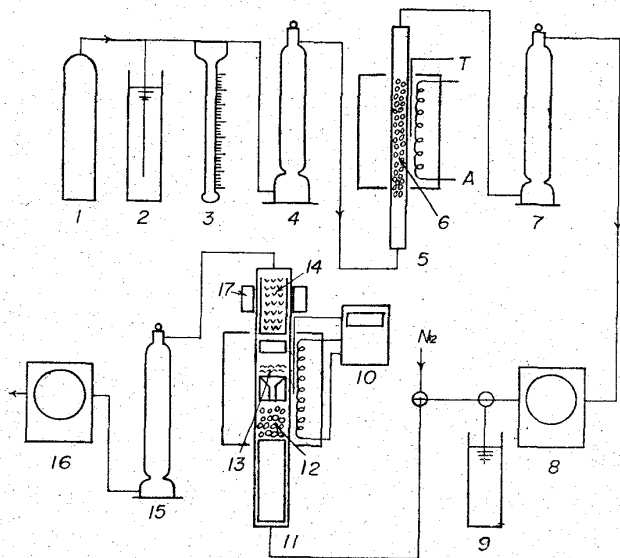
前報¹⁾において鉄鋼石層の還元の際、還元ガスの接触時間が比較的長い範囲におけるガス利用率と平衡階段との関係や各因子の影響を報告したが、CO ガスを使用したため、低温において炭素析出反応をとめない、温度の影響を示すことができなかった。

本報においては H₂ ガスを使用し、ガス利用率 (H₂O / (H₂ + H₂O)) に対する温度の影響を実験し、あわせて CO + CO₂ ガスを使用し炭素析出を起さぬ範囲での温度の影響も測定した。

2. 装置および方法

CO + CO₂ ガスによる還元装置は前報²⁾同様で一部の CO₂ を差圧流量計を通して CO 発生炉をバイパスして混合し、所定の CO₂% にして実験を行なつた。したがって還元前のガス組成は 10min おきに分析した。

H₂ ガスによる還元は Fig. 1 に示すように、H₂ を乾燥後 900°C に加熱したアルミナ球の間を通し、H₂ に



- ① H₂ bomb, ② Over flow, ③ Flow meter,
- ④ ⑦ ⑩ Silica gel, ⑤ Deoxidation furnace,
- ⑥ Packed with Al₂O₃ balls, ⑧ ⑬ Dry gas meter,
- ⑨ Compensation water head,
- ⑪ Temperature regulator, ⑫ Reducing tube,
- ⑬ Al₂O₃ balls for gas preheating, ⑭ Ore bed,
- ⑮ 18-8 stainless basket with silica gel,
- ⑯ Water jacket.

Fig. 1. Experimental apparatus.

含まれる微量の O₂ を H₂ と反応せしめシリカゲルを通して乾燥し使用した。還元炉前後に乾式ガスメーター(品川製作所製, 1 灯用 1 回転 10 l) を 2 台使用し, あらかじめ流量を温度圧力を標準状態に換算した上での相対精度を 0.1% まで検定を行なった。

反応管は内径 35mm φ の 18-8 ステンレス鋼管を使用し, H₂ は下より入りアルミナ球で予熱のうえ, ステンレス鋼上の鉄鉱石層を還元して上昇し, 外部より水冷されたステンレス網かご中のシリカゲルで大部分の H₂O を吸収させ, 残りは反応管外でシリカゲルに吸湿させてのち, ガスメーターで還元後の流量を測定した。

還元により H₂ は H₂O となりシリカゲルに吸収され, H₂ 流量は還元前後において減少するので, 還元率を流量減少より計算した。すなわち H₂ 22.4 Nl の減少は還元酸素量 16g に相当する。この流量減より計算した還元量と鉱石重量減との間には酸素減量にして約 0.3g (還元率にして約 3%) 以下の比較的良好な結果を得た。

発生した H₂O を反応管上部で脱湿するのは流量減少のおくれのムダ時間をできるだけ減少するとともに, 管壁に水滴がつかぬようにして, 水滴の落下により鉱石重量に誤差を生じさせぬためである。還元条件は鉱石 2~4mm 50g, ガス流量 1 Nl/min を標準として実験し, 使用せる鉱石の分析値は前報¹³⁾ と同一である。

3. 平衡階段の作図法

温度の影響を研究するうえで問題になるのは, Fe-Fe_{0.95}O, Fe_{0.95}O-Fe₃O₄ と共存する平衡ガス組成が温度により変化するため, 各温度におけるトポケミカルな平衡階段を計算する必要がある。筆者は平衡階段の簡単な作図法を考案したので述べる。

まず鉱石の組成とガスの平衡組成より Fig. 2 に示す

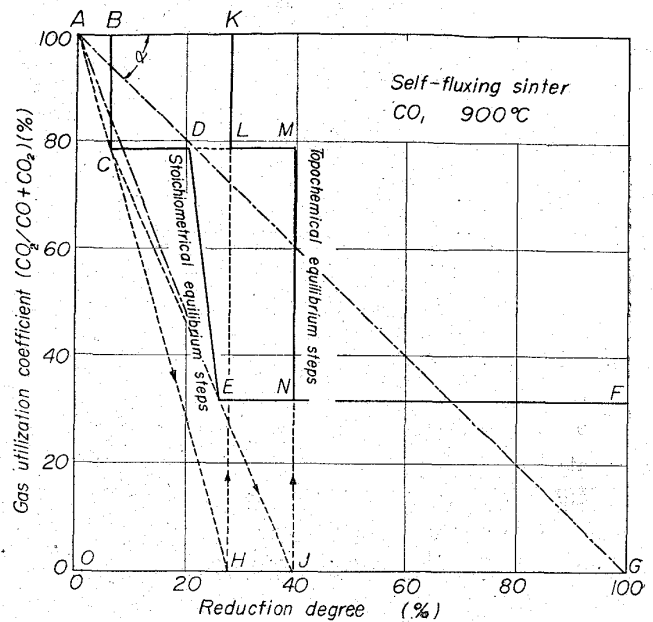


Fig. 2. Graphic solution of topochemical equilibrium steps.

ように化学量論的平衡階段⁵⁾ ABCDEFG をかく。つぎに対角線 AG を引き, AG より下側に点 C, E (大部分の鉄鉱石の還元条件では下にできる) があれば, AE を引き C が線 AE より上であれば C は考慮する必要なく, E についてのみ作図すればよい(後述)。C が線 AE の下にできれば, E につき作図を行なう。C 点については, Fe₂O₃→Fe₃O₄ の還元段階では層厚の方向にトポケミカルに反応が平衡状態を保ちつつ進行する場合, 還元すべき酸素量 AB に対し, Fe₃O₄-Fe_{0.95}O と平衡するガス組成中の還元ガス部分(酸化鉄中 Fe₃O₄ の還元のみ使い得る H₂ または CO 部分)は BC だけ存在するので, その還元速度は BC/AB に比例し, これは線 AC の傾斜をあらわす。ところが還元すべき全酸素量 OG に対し全還元ガス組成 OA で還元をすると仮定したときの還元速度は AO/OG に比例し, これは対角線 AG の傾斜 (tan α) となり, C が AG の下側にあることは BC/AB > AO/OG となり, 鉱石の還元が完全に終わる前に還元ガスを 100% 利用し得る段階は終了することを示している。したがって AC を延長し OG との交点を H とすれば, OH が利用率 100% を示す最大還元率を示す。これは前報⁴⁾ Table 2 の計算よりも明らかである。

同様に CE を結び, それと OG との交点を J とすれば利用率 C を示す最大還元率を示す。

そこで H より垂線をたて AB, CD との交点を K, L, J より垂線をたて CD, EF との交点を M, N とすれば, 求めるトポケミカルな平衡階段は AKLMNFG の 3 段階となる, これは接触時間を大にして平衡に近づけたときのガス利用の限界となる。

もし C が AE の上側にあれば, Fe₂O₃→Fe₃O₄ の還元速度は Fe₃O₄→Fe_{0.95}O のそれよりおそいことになり, Fe₃O₄ を C より上のガス成分で還元するとの仮定に誤りがあり, 両反応は同時に行なわれ, Fe₂O₃→Fe_{0.95}O となる。したがって作図は, AE をむすび OG との交点を H とし, H より垂線と AB, EF との交点を K, N と

すれば、平衡階段はAKNFGの2段階となる。

CO+CO₂による還元の場合は、そのCO₂%に相当する横線との交点をH、Jとすればよい。

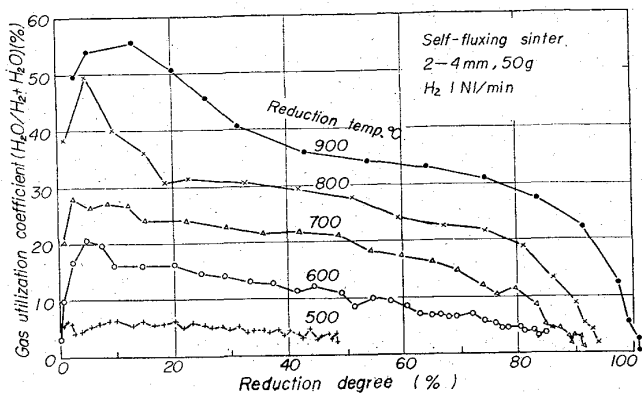


Fig. 3. Influence of reduction temperature on gas utilization coefficient.

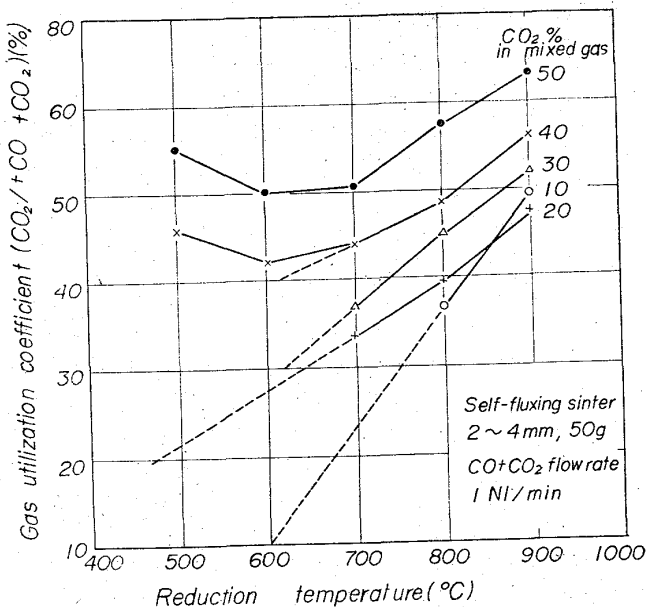


Fig. 4. Influence of reduction temperature and CO₂% on gas utilization coefficient. (at 10% reduction)

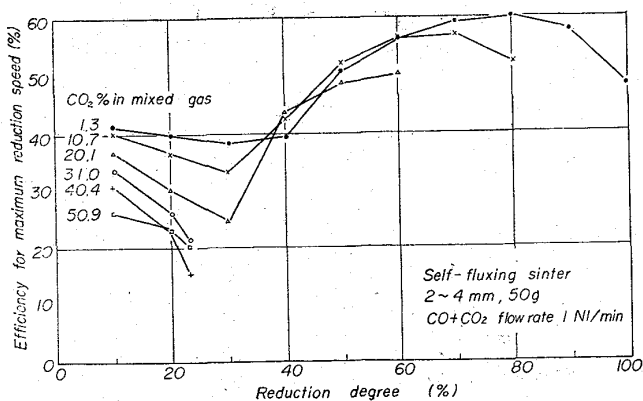


Fig. 5. Influence of CO₂% in CO+CO₂ mixed gas on efficiency for maximum reduction speed.

4. 実験結果

4.1 接触時間の長い場合

焼結鉱、インド鉱、ネバタ鉱をH₂でできるだけ接触時間を長くして実験を行なった。鉱石は2~4mm 100g, H₂流量0.5NI/minにて還元し、900°Cでは平衡階段に近い利用率曲線が得られた。温度を下げ500°Cにすると利用率曲線はかなり平衡階段よりずれ、還元速度がかなりおそいことがわかる。

4.2 温度の影響

4.2.1 H₂による還元

自溶性焼結鉱2~4mm 50gをH₂1NI/minにて、温度を900~500°Cに変化させて還元を行なった。その結果ガス利用率曲線をFig. 3に示す。図のごとく曲線はかなり等間隔にならんでいるので、同一還元率におけるH₂利用率と温度との関係をとるとほぼ直線的な関係が得られた。

イポー、インドの赤鉄鉱についても同様な結果が得られ、その直線の延長は400°C付近で横軸と交わる。すなわち900°Cにおいては500°Cのほぼ5~6倍のガス利用率が得られた。

ネバタ、韓国の磁鉄鉱では直線的な関係は得られず、500°Cと900°Cのガス利用率の比は前者のそれよりも低い。

4.2.2 CO+CO₂による還元

CO₂を0~50%に10%おき変え、前報⁴⁾により炭素折出を起こさぬ範囲で温度を900~500°Cに100°Cおきに変え還元を行なった。Fig. 4は焼結鉱についての還元率10%におけるガス利用率を温度とCO₂%につつき示す。500°CにてCO₂40, 50%ではわずかに炭素折出を起こしていた。この図よりCO₂%の如何にかかわらず、700~900°Cの範囲ではガス利用率は温度に対してほぼ直線的に変化している。その直線の延長とそのときのCO₂%を示す横軸との交点は約600°CでCO₂%の高いほど高温側に移行し、H₂還元の際の400°Cより高い。

4.3 H₂還元とCO還元と比較

鉱石2~4mm 50g, ガス流量1NI/min, 900°CにおけるH₂還元とCO還元を比較すると、自溶性焼結鉱ではH₂還元は還元率60%までは約1.4倍で、60%以上ではさらに大となる。

インド、イポーの赤鉄鉱では、還元率60%までは約1.6倍で、還元条件はちがうが兎玉他⁶⁾のH₂+COによるポート還元でH₂の利用率がCO利用率の1.66倍であるのと一致している。

2種の磁鉄鉱では一致せず、ネバタ鉱では2.5倍、韓国鉱では還元率30%まで1.8倍、それ以上では1倍以下に逆転している。

4.4 CO₂%の影響

現在多くの還元式⁷⁾が提案されているが、COガス中のCO₂の影響はそれらの式中に(CO-CO_{eq})のごとく平衡値との差に比例する形で与えられている。そこでガス利用率が平衡階段である理想的還元を考えると、そのとき最高の還元速度が得られる。この理論還元速度に対する実際の還元速度の効率を考え、理論速度効率と呼ぶと、上述の還元速度が(CO-CO_{eq})に比例すること

622. 341.1 : 669. 162. 263
: 669. 162. 282

は理論速度効率が還元ガス中の CO₂% のいかにかわらず一定ということになる。Fig. 5 に CO₂% を 0~50% に変化させたときの理論速度効率を到達還元率に対しプロットした。図より理論速度効率は CO₂% に対し一定ではなく、CO₂% の増加と共に減少し、50% のときは 0% のときの約半分になっている。したがって鉄鉱石層の還元では還元速度は (CO-CO_{ep}) には比例しない。

5. 結 言

- 1) H₂ 還元を還元前後の流量の減少より還元率を測定し良い結果を得た。
- 2) 平衡階段の簡単な作図法を考案した。
- 3) H₂ 還元においても接触時間を長くするとガス利用曲線は平衡階段に近づく。
- 4) ガス利用率は H₂ 還元では 500°~900°C において、CO+CO₂ 還元では 700°~900°C において、温度に対しほぼ直線的に変化する。
- 5) 900°C におけるガス利用率は H₂ 還元は CO 還元に対し焼結鉱で 1.4 倍、赤鉄鉱で 1.6 倍を示した。
- 6) 還元速度は鉱石層では (CO-CO_{eq}) に比例しない。

文 献

- 1) 相馬胤和: 鉄と鋼, 49 (1963) 11, p. 1645
- 2) 相馬胤和: 鉄と鋼, 50 (1964) 2, p. 151
- 3) 相馬胤和: 鉄と鋼, 50 (1964) 3, p. 379
- 4) T. SōMA: Tesu-to-Hagané Overseas 4, (1964) 2, p. 121
- 5) H. SCHENK, H. P. SHULTZ & R. RADWAN: Arch. Eisenhüttenw., (1961), p. 431
- 6) 児玉・重見・東: 鉄と鋼, 46 (1960) 10, p. 1138
- 7) S. P. PRIVALOV: Stal, (1960) p. 5
- 7) 森一美: 鉄と鋼, 50 (1964) 13, p. 2259

(17) 鉱石性状の高炉操業に与える影響
(鉱石性状の評価—I)

川崎製鉄, 千葉製鉄所

安藤 博文・○榎谷 暢男
原田 崇試

The Effect of Properties of Iron Ores during Reduction on Blast Frnace Process.

(Estimation of properties of iron ores—I)

Hirobumi ANDŌ, Nobuo TSUCHIYA and Takashi HARADA.

1. 緒 言

高炉操業の支配因子の定量的な把握は、高炉内プロセスの複雑さがわがわいで、困難であるのが現状となっている。本報告では支配因子をできる限り明確な形で把握したいという考えから、理論的な厳密さの点ではかなり妥協的な態度をとって、特に高炉プロセスの最大支配因子と考えられる鉱石還元性状の検討を行なった。

還元性状は大きく 2 つに分けて被還元性状と還元崩壊性状とし、2 報にわたって、重回帰分析によつてその高

炉操業におよぼす影響を検討した。第 I 報では被還元性状についてその概要を報告する。

2. 鉱石の被還元性指数

鉄鉱石の炉内における反応速度は還元所要熱量の観点から生産速度を支配する因子、もしくはコークス比に影響を与える因子としてきわめて重要な意味をもっている。

しかし、炉内での反応速度を支配する温度プロファイルおよび還元ガス組成の変化の評価はかなう困難な問題であり、また、かりに高炉内プロセスに適合したプログラムで還元速度を評価しようとしても解析が複雑化するばかりで実用から遠ざかつたものになりかねない。したがって、実用性に主眼点を置き、かつ高炉プロセスを評価する際にそれほど大きな矛盾をもたらさない方法として学振法に類似した次の条件を設定して検討を行なった。

- 1) 試料粒径: 22.5mm
- 2) 試料重量: 500g
- 3) 反応管径: 68mm
- 4) 還元ガス組成: 33±1%CO (残りは N₂)
- 5) 還元ガス流量: 20l/min

鉱石の還元速度はガス流速が増すにしたがつて速かになるが、流速がある程度以上になると還元速度が変化しなくなる。本報告での実験でもこの臨界流速以上になるように 20l/min なる流量を選択した。

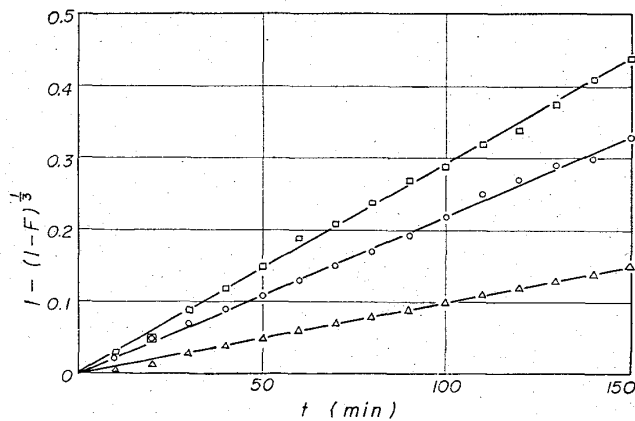
- 6) 還元温度: 900°C

炉内での固体およびガスの温度プロファイルは一般的には、固体とガスの温度がほとんど一致する温度保存領域をはさんで S 字状に変化している¹⁾。この温度保存領域は高炉によつてまちまちで 850~1000°C くらいの温度をもつとされているが、平均的に 900°C 程度と考えてよいであろう。この温度保存領域を通過する間に鉱石の還元は相当促進されるものと推定される。この領域での還元速度が炉内反応を大きく左右すると想定され、したがって、間接還元帯での鉱石の反応の挙動はこの温度において評価する必要がある。

実験結果から各鉱石の相違を評価する際には、界面反応を律速段階と仮定すると下記の関係式 (1) が得られる²⁾³⁾。

$$1 - (1 - F)^{1/3} = kt/r \dots\dots\dots (1)$$

F: 還元率 (%/100)



○: Sinter B, □: Temangan, △: Korea (Bukkin)
Fig. 1. Relation between t and 1 - (1 - F)^{1/3}.