

III. 討 論

石光章利講師に対する質問

松下幸雄君 (東京大学)

(1) 試薬四三酸化鉄を中性および酸化性雰囲気中で加熱した場合に生成した相と、本研究に使用したペレット中の相とが同一のものであるという推定はいかなる方法で確認されたか。著者は磁気履歴測定によつて推定したと述べているが、もし生成相の保磁力が非常に大きいことを前提とされているならば、そのような相がヘマタイトと $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ の中間体ではなく、 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ と Fe_3O_4 の中間体として低温で生成しうることが報告されている (電気化学, Vol. 31 (1963) p.37) ので、著者のいう不安定酸化物とは異なる可能性がある。

(2) 著者はペレットの異常膨脹がウイドマンステッラン組織 (Widmanstätten figure) を伴うことを前提としているが、膨脹が局部的な割れでなくペレット全面の現象であることから当該組織は試料内にはほぼ一様に分布しているのではないかと思われる。すなわち、CO還元の場合、少なくとも初期段階 (ヘマタイト→マグネタイト) では還元が試料内ではほぼ一様に進行するはずである。これに反し、 H_2 還元の場合に異常膨脹がおこらない理由として著者の挙げた強力な還元能とは、前記初期段階で還元がマクロ的に topo-chemical に進行することを意味するものと思う。これらの解釈に関連して実験的事実をおききたい。

(3) 熱力学的に meta-stable なマグネタイトが安定なヘマタイトとマグネタイトに変化する場合、とくに還元という化学反応を必要としないと考えられるが、実験的に調べておられるか。また、異常膨脹は加熱または還元中に生じた異相内の内部応力の差が異相間界面あるいは酸化物結晶粒界における結合力より大きくなった時生ずると思われるが、これを中間体マグヘタイトの分解および膨脹係数の差という単純な機構で説明するのはやや難点があるのではないか。

以上3点につきご質問いたします。

石光講師 (回答)

(1) マルコナペレットおよび試薬ペレットは次の点で類似している。

① 顕微鏡観察では構成鉱物はヘマタイトとして識別される。

② X線解析によると、 α -ヘマタイト、 γ -ヘマタイトおよびその中間の回折線が現われる。(Table 1 参照)

③ 微弱ながら磁性を帯びている。

従つて両ペレットを構成する鉱物は、 α -ヘマタイト、 γ -ヘマタイトおよび両者の中間体の3種類であると考えられるが、それぞれの割合は焼成条件および原料の差によりわずかづつ異なるであろう。

また、磁気履歴の測定は試薬について行なつたものでその結果明らかにされた磁気的不安定さが焼成後の γ -ヘマタイト相に影響すると推察して付記したのである

Table 1. Results of X-ray analysis

$d \text{ \AA}$			I/I_1	hkl	A-pellet		Reagent pellet		Reagent	
Fe_3O_4	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$			$d \text{ \AA}$	I	$d \text{ \AA}$	I	$d \text{ \AA}$	I
4.86	5.90		2	110				5.3912	10	
			30	111				4.8625	88	
	4.82		5	111						
	4.18		1	200			4.0685	16		
	3.75		5	210			3.8785	15		
2.97		3.68	70	102	3.6972	205	3.6843	255		
	3.41		2	211	2.9911	25				
			60	220			2.9745	15	2.9663	240
	2.95		34	220			2.7778	20	2.7898	27
	2.78		19	221			2.6950	525		
2.53		2.69	100	104	2.7084	535				
	2.64			510						
			100	311	2.5246	355				
2.425	2.52		100	311			2.5188	380	2.5246	540
		2.51	80	110					2.4191	16
			10	222						
	2.41		1	222						
	2.32		6	320	2.2954	10				
2.097	2.23		5	321						
		2.20	70	113	2.2109	185	2.2077	210	2.0955	175
			50	400						
	2.08		24	400						
		2.07	10	202			2.0776	15		
1.714	1.87		5	420	1.8439	190	1.8715	12		
		1.837	70	204			1.8420	205		
			40	422						
	1.70		12	422	1.6981	230	1.6942	235	1.7094	75

Table 1. つづき

d Å			I/I ₂	hkl	A-pellet		Reagent pellet		Reagent	
Fe ₃ O ₄	γ-Fe ₂ O ₃	α-Fe ₂ O ₃			d Å	I	d Å	I	d Å	I
1*615	1*61	1*691	80	116	1*6408	14	1*6378	14	1*6127	200
		1*634	10	121						
			60	{333 511						
			33	{333 511						
			40	108						
1*484	1*48	1*596	40	108	1*6002	55	1*5995	60		
			5	{432 520						
			1	521						
			70	440						
			53	440						
1*326	1*32	1*484	70	214	1*4885	140			1*4816	270
		1*451	80	300						
			1	{433 530						
			20	208						
			10	620						
1*279	1*27	1*309	7	620	1*3131	60	1*3106	42	1*3243	20
			40	(119)						
			30	533						
			11	533						
			30	220						
1*266	1*26	1*255	10	622	1*2601	30	1*2583	30		
			3	622						
			10	306						
			5	441						
			20	444						
1*209	1*21	1*224	10	444	1*1902	20		1*2150	10	1*2109
			5	441						
			20	444						
			10	223						
			30	{312 218						
1*120	1*12	1*205	10	223	1*1641		1*1899	25	1*1195	14
		1*187	30	{312 218						
			20	642						
			7	642						
						1*1748	15			
						1*1619	32			
						1*1410	42			
						1*1103	40			

が、表現がやや不適當であつたようである。

(2) マグネタイトまで還元される速度が、γ-ヘマタイトと α-ヘマタイトで異なることは当然考えられることであり、これは還元剤の存在する場合でも、酸素分圧を低下せしめても同様であろうが、還元剤を用いた場合の方が還元速度は大となり従つてヘマタイトの離溶が生じ易くなるものとする。

また異相間の内部応力は、マグネタイトとヘマタイトとの熱膨脹率の差によつて発生するものと推論しておりこれは講演中で述べた通りである。

(3) ヘマタイト→マグネタイトの還元がこの温度でペレットに一樣に進行するのはペレットが微細気孔を多く含む多孔質であることと関係がある。しかし還元初期においては明らかに外殻部と内芯部とで還元進行度に差がある。しかし膨脹を起すペレットでは還元初期に外殻部に膨脹が生じ、これがガスの内部滲透を促進し引続いて内部の還元および膨脹が起ることになる。

講演中に述べた如く、水素でも還元時の膨脹は起り得るのであり、特に水素分圧の低い場合に顕著である。しかし水素は還元能が大きいため CO に見られる如きヘマタイト→マグネタイトの段階を極めて短時間で通過する。実験的には還元開始後 5min ですでに金属鉄の現出

を見る場合もあり、このような還元速度の差が還元時膨脹の差を生むものと解釈する。

安達春雄君 (日本鋼管)

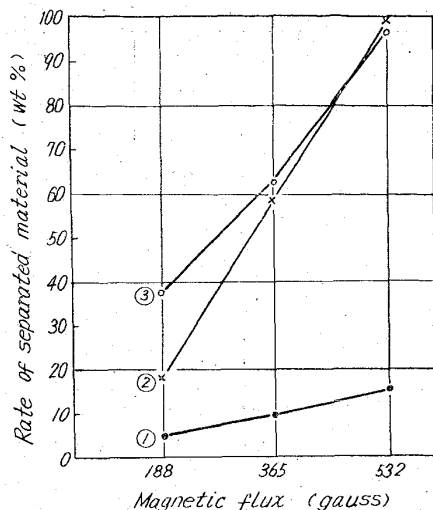
供試試料は、昭和38年9月に第1船分として住友金属の和歌山製鉄所に入荷したマルコナ・ペレットと思われる。このペレットは還元過程で膨脹が認められ、その改善策として、焼成温度を高めること、ベントナイトの添加量を増すこと、ペレット・フィードの Fe 品位が若干低下しても、珪酸分を稍高めることなど、日本側のアドバイスがあり、その後入荷したペレットは、漸次膨脹性状は改善されてきていると考えられる。

最近入荷したマルコナ・ペレットについても、同様な試験をされているならば、鉱物組成の面からも変化が認められたかどうか伺いたい。

また、γ-ヘマタイトの量と膨脹の程度および焼成温度とγ-ヘマタイトの量的関係について、もし調査されていれば教えていただきたい。

石光講師 (回答)

現在までは還元時膨脹機構の解明を目的として、還元時膨脹の著しい第一次入荷のマルコナペレットについて実験を行なっており、それ以後に入荷の同じペレットについては詳細な検討は行なっていない。しかし顕微鏡観



Samples ore

- ① Marcona pellet (Feb. 1964)
 - ② Marcona pellet (Sept. 1964)
 - ③ Marcona pellet (Nov. 1964)
- cf. Crushing size-50mesh.

Fig. 1. Results of magnetic separation test for marcona pellets.

察によるとこれらのペレットはスラグ結合部分が若干増加しており、ベントナイト添加と関係があるものと考えられる。最近入荷した3試料について着磁試験を行なった結果を Fig. 1 に示したが、これによっても操業条件の差によつてペレットの磁性すなわち γ -ヘマタイトの生成の割合は可成り影響されることが窺われる。しかしこの場合の操業条件の詳細は不明である。

大蔵明光君 (東京大学) [紙上質問]

- 1) Fe_3O_4 試薬より成型したペレットを $1200^\circ C$ で 1hr, 中性および酸化雰囲気中で焼成したものにウイドマンステッテン模様状の組織が確認されたかどうか。
- 2) 中性雰囲気中で特にウイドマンステッテン模様状の組織が出るということはどのように考えるか。例えば中性雰囲気中の若干の酸素と反応したとみてよいのか。
- 3) 天然鉱石にもウイドマンステッテン組織が存在すると思われるかどうか。
- 4) 還元過程でヘマタイト→マグネタイト約20~25%還元で、上記の反応が進む、この場合は当然格子変態をとまうので膨脹崩壊する可能性が大きい。この場合マグネタイトまでが問題となるがその点どうか。

石光講師 (誌上回答)

- (1) わずかながら確認されている。ただしこの場合には粒界への離溶が著しい。
- (2) ウイドマンステッテン模様は離溶の結果であるから例えば砂鉄を中性雰囲気中で加熱してもこの組織は現れる場合がある。
- (3) 天然鉱石にも当然存在し、砂鉄にはよく見られる。
- (4) ヘマタイト→マグネタイトの格子変換でも粒間結合は弱まるから強度は低下する。しかし格子定数の差は小さいので膨脹の応力源とは考え難い。

大竹康元君 (住友金属工業) [誌上質問]

膨脹の原因の一つとしてペレットを構成するヘマタイト

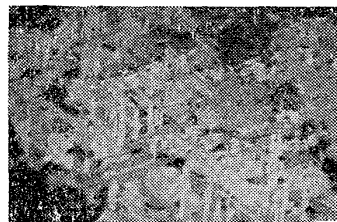


Photo. 1. Micrograph showing hematite intergrowth in pellet.

Reflected light, cross nicol. ($\times 400$)

トに注目しておられるが、私どももヘマタイトの性状が膨脹のための前提条件になつており、問題のヘマタイトは不安定なものであるという見解をもっている。ただこのヘマタイトが通常のヘマタイトとは結晶学的に異なるものであるとは考えていない。すなわち本ペレット中のヘマタイトの特異性は、その連晶の結晶成長 (Photo. 1 参照) にあり、当ペレットの原料鉱石および原料フィードは自形結晶としては認められないが octahedral habit を有する粗粒マグネタイトよりなるので、これを原料として製造したペレットの焼成温度より低目の焙焼過程では、マグネタイト $\{111\}$ → ヘマタイト $\{0001\}$ となる如きいわゆる epitaxial reaction を行なう。したがつてヘマタイトはこの種の reaction の生成相に特徴的な連晶としてペレット中に存在することになる。加熱顕微鏡下の直接観察により還元過程においてこの連晶中の単結晶境界面もしくはそれと平行に弱線ないし crack を生じ、これに沿い還元が急速に進行することを確かめた。しかしてこれらのことが異常膨脹の遠因となり、またこのような解釈の下に、本ペレット中のヘマタイト (連晶) は他と異つた不安定なものであるという見解を私どもはもっている。

貴報文と私どもの考えとは共にヘマタイトの特異性に注目した点において一致し、ただそのヘマタイトの解釈が異なるものようであるが、ヘマタイトの異常性について、X線その他の結晶学的データをもつておられるならば、御開示願いたい。

石光講師 (誌上回答)

われわれの観察ではペレットの全部分に連晶は認められないこと、膨脹の際は粒子境界で離れるものが多いこと、およびマルコナ社の操業データから必ずしも低温焼成とはいえないこと (上部で $1300^\circ C$ 以上、下部でも $1200^\circ C$ 以上) などから、御質問中の考え方に同意すべきデータを持ち合わせていないが貴重な御意見と考え、今後留意して行きたいと考えている。

西田氏の質問に対して

現在試薬ペレットの焼成条件と還元時膨脹との関連を検討中であり、後日発表する所存であるがマルコナペレットの場合、ヘマタイト→マグネタイトの段階で膨脹は起るのであり、この場合は海綿鉄の生成とは直接関係はないと考える。また CO と H_2 との差は西田氏のいわれるごとく、両ガスの還元速度の差に起因すると考えている。

西田礼次郎講師に対する質問

中村信夫君 (日立金属工業)

ヘマタイトでも極微粒子はいわゆる "active fine"

として働く。まして適当な添加剤、高温焼成の条件が揃えば十分高炉使用にたえるペレットができるのは事実である。しかしマグネタイトとヘマタイトのペレットが焼成体で物理的強度が同一であつたら還元強度も大体等しいと即断してよいか伺いたい。講演者も指摘しているが、ペレットの還元強度テストには特殊な手法が必要であり、回転強度の場合球状のままのテストは効果なく、ガス組成も Femet. のできるものではない。この点を指摘したい。Table 1 でアフリカは化学的、物理的条件が悪いと思うが他の二者より還元強度の高いのは何故か。また Fig. 4 の信頼限界はどうなっているか。實際上このような線は統計的に整理しないと求められないと思う。

西田講師 (回答)

焼成ペレットの顕微鏡組織は講演の Photo. 2 に示したように焼成後も各配合鉱石粒子が区別できる状態である。したがってヘマタイトとマグネタイトというよりは原料鉱石が変われば当然還元経過が異なるので還元強度は異なってくるものと考えられ、このため混合原料よりペレットを製造するには十分な注意が肝要かと思う。

今回発表に用いた試験方法はわれわれが従来より行なってきた方法であり、今回も過去のデータと対応させるため従来の方で試験を行なった。しかし還元体の強度は FeO 組成の時に最も低いことは定説となりつつありわれわれも決して否定するものではない。今後は御指摘の分を含めて検討し高炉装入物の還元強度測定法を確立したいと考えている。

アフリカペレットは比較的純度は高いが脈石分はブラジルペレットや還元途中で異常膨脹したマルコナペレットよりも多くとくに化学的条件が悪いとは考えられずまた気孔率の低いのは被還元性そのものには影響するが還元強度そのものにはむしろ低いほうが望ましいと考えている。

Fig. 4 の各点は 5 試験値の平均値で σ は約 23 kg である。

文 献

- 1) 第22回製鉄部会八幡製鉄提出資料 p. 23

坂本大造君 (住友金属工業)

マグネタイトおよびヘマタイト鉱石のペレタイジングはいずれも焼成温度管理のみ適正にすれば優良ペレットを作ることができるのですが、同種の原料でも粒度が異なりますとできたペレットの強度が異なり、また生ペレット製造時におけるマグネタイトとヘマタイト原料とではその造粒適正水分にも差があるなどの観点よりヘマタイトとマグネタイト原料をペレタイジングする際の品質面および経済的見地よりみた焼成前の工程におけるそれぞれの調整すべき適正原料粒度についていかに考えられますか。

また結合剤についてもヘマタイトを原料とした場合にはベントナイトより消石灰の方が効果があるという説もありますがマグネタイトについても同じことがいわれますか。以上について御質問致します。

西田講師 (回答)

まず grate-kiln 式を Fig. 1 で説明すると、この形式は乾燥、予熱、焼成と各工程に分けられているのが特

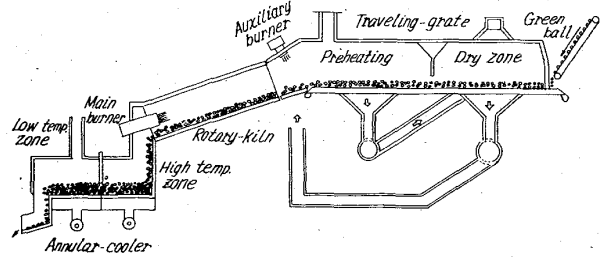


Fig. 1. Grate-kiln system.

Table 1. Operations condition.

Ore	Particle size (-44 μ, %)	Moisture of green ball (%)	Grate		Kiln
			Dry	Preheat	
Jedway	64.3	9.1	280°C × 5.0min	955°C × 7.5min	1265°C × 30min
BRG-2	51.7	10.5	385°C × 6.0min	1030°C × 9.0min	1350°C × 30min

徴である。

ヘマタイトはマグネタイトに比べ結晶構造的に水分を吸着しやすいので生ペレットの水分量が多い。その上に通常のヘマタイトには多かれ少なかれ結合水を含むためとマグネタイトのヘマタイトへの酸化による自己発熱がないために所要熱は多くなる。この一例として講演で発表したジェッドウェイと BRG-2 ペレットの試験工場での操業状況を Table 1 に示す。

さらに結合水は多かれ少なかれバースティング* に影響するので乾燥、予熱時間は長くなりこの部分の機械は大きくなる。

添加物、まずベントナイトは造粒性の向上、バースティング* の防止に効果がある。この点はマグネタイト、ヘマタイトの区別でなく各鉱石ごとにその特性がかなり異なっているのが必然的に銘柄ごとにその添加量は異なってくる。Ca(OH)₂ の添加についてはその効果は現在のところ不明である。

* 乾燥予熱時の破裂

大竹康元君 (住友金属工業) [誌上質問]

基礎試験を含めて試験工場の操業試験の貴重なデータの御発表に敬意を表します。さて、焼成温度が 1350°C の水準になつているのが最近の傾向でありましょうが、実際操業上、シャフト炉による焼成法では焼成温度の最高温度に制限があるかと思う。

ご発表の高温焼成温度の採用は、赤鉄鉱原料を使用しでの grate kiln あるいは grate 式の焼成法にのみ有効と考えるべきでしょうか。高温焼成法は熱精算上どの位の比較数値が得られておられましょうか。ご教示をお願いします。

西田講師 (回答)

高温焼成は一応 1300°C 以上の焼成であることを前提として解答いたします。

まず原料がヘマタイトでは焼成 Temp. は 1350°C 程度を必要とし、次にヘマタイトにマグネタイトを 1/3 配合した場合はヘマタイト単味より若干焼成 Temp. を下げても問題はないがやはり 1300°C 以上の Temp. は必

要と予想される。以下マグネタイトの配合量が増すにしたがい必要焼成 Temp. は下つていくが、最後のマグネタイト単味でも 1200°C の Temp. が望ましいと考える。

このようにマグネタイト配合量が 1/3 以内では 1300°C 以上の高温焼成が必要であろうと予想している。もちろんマグネタイト単味でも焼成 Temp. が高いほど焼成反応は短時間で終了し、かつ製品品質が向上するため高温度で焼成するのが望ましいことはいうまでもない。

次に grate 式と grate-kiln 式の機械の特徴と焼成 Temp. の関係を説明いたします。grate 式については焼成時のペレット層はかなり厚いので上下方向にいちじるしい Temp. 差が存在するといわれており上部をマグネタイト発生温度直下で操業しても下部はこれより数十度低い Temp. になる。さらに操業中のペレット層の焼成ガスの流通抵抗が常に均一にせねばならず操業中の変動、また grate 材質を考えるとペレット層下部まで 1300°C 以上にすることは不可能だと考える。

これに反し grate-kiln 式では rotary-kiln で焼成を行なうため kiln 内の最高 Temp. はほとんど均一(±6°C 以内)でマグネタイト発生 Temp. 直下でも焼成は可能である。

以上高温焼成は grate-kiln 式で行なうのが望ましいことがわかる。

結局高温焼成 (1300°C) はヘマタイトにマグネタイトを 1/3 まで配合したものに有効であり、その時の機械は grate-kiln 式が適当と考えている。

熱精算は試験工場の段階ゆえ解答いたしかねます。

石光章利君 (八幡製鉄) [誌上質問]

1350°C 以上の焼成で圧壊強度が低下する理由および組織上の差はどうか。

西田講師 (回答)

ペレットの焼成の場合、大気雰囲気下 ($P, O_2=0.21$) では焼成 Temp. が 1380°C 以下ではヘマタイト結合で 1380°C 以上ではマグネタイト-ヘマタイト結合となる。

ペレットの焼成はヘマタイトを主体とした結晶粒子の焼結反応を進行させることであり、焼結においては結合点での化学反応をとまなわないとすれば異質粒子間の結

合は同質粒子間の結合に比べて弱いはずである。このため焼成 Temp. が 1400°C 以上の試料はヘマタイト-マグネタイト間の結合でヘマタイト間の結合に比べて弱くなることが推察される。

さらにヘマタイトがマグネタイトに変わるので、講演の Fig. 2 に示したように一たん焼結反応に逆行することになり気孔が増加するので圧潰強度が低下する。組織は Photo. 1 に同時焼成した試料の顕微鏡組織を示したが焼成 Temp. が 1400°C のものは 1350°C のものに比べヘマタイトがマグネタイトに変化していること、気孔は大きく量的には増加していることに相異点がある。

焼成 Temp. が 1400°C の組織では針状に走るヘマタイトがみられるがこれは空冷中に再酸化したものである。

大竹康元講師に対する質問

光井 清君 (八幡製鉄)

溶鉱炉の装入物として、鉄鉱石、焼結鉄、ペレットの内、ペレットが最もよい装入物と考えるか。

焼結鉄は、還元気流中では膨脹収縮、荷重軟化試験では粉化。褐鉄鉱と同様に最も還元粉化しやすいと述べてありますが、溶鉱炉の装入物としては、鉄鉱石よりも一般によりとされているのは何故か。

大竹講師 (回答)

初めにペレットを最もよい溶鉱炉装入物と考えるかどうかについては、実験室的検討結果ではペレットは溶鉱炉装入物として要求される高品位の化学成分、強度、還元性、粒度の点より最もよい溶鉱炉装入物と考える。しかしこれはあくまでも品質的な面のみからの結論であるが、装入物の炉内分布に関係しての通気性ならびに炉内性状についてはなお問題がある。すなわち内外のペレット使用の溶鉱炉操業実績を考えると少なくとも小型溶鉱炉では出鉄比の増加、コークス比の減少と溶鉱炉装入物としての高いメリットを示しているかと考えられる。しかし大型溶鉱炉での良好な操業実績はない。現在わが国で大量に輸入使用することのできるようになったマルコナペレットについての使用試験結果では、小型溶鉱炉で 100% までの装入にて操業上問題ないが、大型溶鉱炉では 30% 位までの装入が限度と考えられており、まだ一部のペレットでは品質的に問題があるとともに、ペレットを溶鉱炉装入物の対象とした溶鉱炉操業技術の確立が必要と考えられる。

つぎに溶鉱炉の装入物として焼結鉄が鉄鉱石よりも一般によりとされているのは結論的には焼結鉄高配合使用により出鉄比の増加、コークス比の低下と経済的な溶鉱炉操業が保証されるためと考えられる。すなわち整粒鉄鉱石と比較して焼結鉄は粒度のバラツキが大きく、大塊および粉鉄の除去が必要であるが Fig. 1 の鉄石粒度と被還元性の実験結果の示すように、鉄鉱石と比較して焼結鉄がその粒度変化の還元性におよぼす影響が少なく化学成分、粒度構成の均一な単一銘柄としての溶鉱炉装入物の位置を占めるためと考える。

さらに現行の溶鉱炉への装入方法では焼結鉄が最も通気性が良好で、鉄鉱石はこれより若干劣ることも溶鉱炉操業上重要な点かと考える。なお焼結鉄は昇温還元の実験

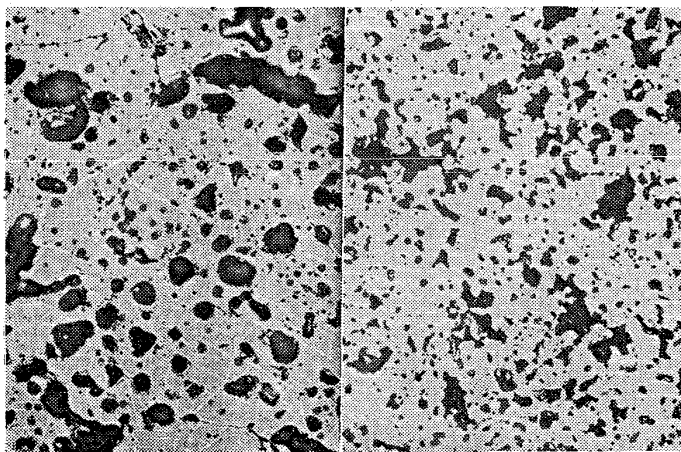


Photo. 1. Microstructure of briquettes.

×200 (1/2)

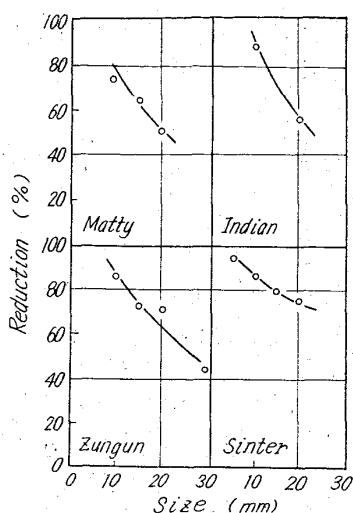


Fig. 1. Relation between lump ore size and reduction degree. (Gakushin method)

室的条件下では還元粉化し易いが、実際の溶鉄炉間の状況と同じでない点はこの点は今後の検討問題と考える。その上焼結鉄は鉄鉱石の整粒作業の結果生ずる篩下鉄の処理工程、あるいは熱間粉化の性状を示すイタビラ鉄鉱石、シブケイ鉄鉱石などの直接鉄鉱石として溶鉄炉に装入することの好ましくない鉄鉱石を全量粉砕して焼結鉄として溶鉄炉装入物とすることができる処理鉄石としての役割も大きいと考える。

以上鉄鉱石に比べて焼結鉄が一般に良いとされているが、整粒鉄鉱石と焼結鉄はそれぞれ関連して溶鉄炉装入物としての役割を果すものと考えられる。

高橋愛和君 (富士製鉄)

初めに当所における実験結果というよりも、ペレットの還元強度に関して暫定的に学振54委員会で決められた還元回転強度試験を中心に、従来の検討結果を整理して若干の意見をのべ、後程質問する場合の参考に供したいと考える。

ペレットの購入を契機とし、特に最初の購買対照となつたマルコナペレットに還元過程での膨脹崩壊現象が見られてから、還元過程における強度の問題が大きく取上げられ、それに関しての多くの試験方法が提案され検討

されていることは今秋の鉄鋼協会講演大会においてもうかがわれる。

(1) 従来の検討結果について

ペレットの還元強度の試験方法としては従来リンダーテスト¹⁾と称する方法が最もよく知られ、欧米においても広く利用されている。富士製鉄においても広畑研究所と中央研究所で学振の塊状鉄鉱石還元試験方法とともにリンダーテストの検討を行ない、還元ガスやコークスなどの実験条件を簡素化したリンダー-富士法と称する方法を社内統一法として決定した。

しかしながらマルコナペレットをリンダーテストで試験すれば粉化が少ないにもかかわらず、学振の塊状還元試験を行なうと還元中の膨脹崩壊が著しいという事実が認められた。その後いろいろ実験を行なつた結果、リンダーテストの方法でも還元温度を学振の還元試験と同様900°Cで還元すると学振の還元試験と同様粉化率が高いという傾向が認められた。広畑の研究所でリンダーテストにより還元温度を変えた結果²⁾の代表的な例をTable 1に示す。

同様な実験結果は富士の中研、住友金属中研³⁾、日本鋼管技研⁴⁾でも得られており、さらにそれらの実験結果を詳細に検討してみると、マルコナペレットはリンダーテストのごとく回転還元強度の場合であろうと学振法のごとく還元後の回転強度であろうと昇温しながら還元した場合には粉化率は低く、900°Cで還元した場合には粉化率が高い。一方自溶性焼結鉄はマルコナペレットと丁度逆で何れの方法でも昇温しながら還元した場合には粉化率が高く、900°Cで還元した場合には粉化率が低い。エリーペレットその他アメリカで実際に使用されているペレットは昇温しながら還元した場合も900°Cで還元した場合も何れも粉化率は比較的低い。このように還元過程における強度は静置したまま還元させるか回転しながら還元させるかという試験装置よりも還元温度によつてより大きく支配されていると考えられる。

一方高炉でペレットを使用した結果は広畑を初めとして初期のマルコナペレットは成績が悪く操業上障害があつた。自溶性焼結鉄は日本においては高炉装入物として非常によい成績を収めている。

前述の還元強度試験結果と高炉の使用成績を比較した場合、マルコナペレットの粉化率が高く自溶性焼結鉄の

Table 1. Comparison of reduction strength method.

	Linder method		Gakushin reduction method	
	+1mm(%) (At resing temp.)	+1mm(%) (At fixed temp.)	+1mm(%)	Reduction degree (%)
Marcona pellet	87.4	61.8	54.1	42.9
Erie pellet	72.8	98.1	71.6*	72.0
Self flaxing sintered ore	53.8	97.6	96.5	79.4
Note	sample : 500g temp. normal temp. 700°C : 2hr. 700~1000°C : 3hr.	sample : 500g temp. : 900°C 3hr	sample. : 300g temp. : 900°C : 2hr after redustion sample : 250g 900 revolution	

* This present result is much lower than other results.

粉化率の少ない 900°C で還元する試験方法がよいと考えられ、さらに学振の還元試験方法で代用できるならば回転しながら還元するリンダーテスト（この場合900°Cで還元する）を省略して学振の還元試験後の還元試料を回転させて回転強度を求めてもよいのではないかという考え方にもとづいて暫定的に決められたのが学振の還元回転強度試験である。

(2) 今後の課題について

学振の還元回転強度試験においては特殊の試料を除くとその指数として 90 以上の高い値を示し品質の相違による指数の開きが小さい欠点がある。この問題は回転容器に羽根をつけることによつてある程度改善されるがなお十分とはいえない⁵⁾。その一例を Table 2 に示す。

Table 2. Fine and coarse disintegration of Gakushin reduction method.

	Erie	Reserve	Empire	Humbolt
+1mm(%) without blades	94.4	95.7	98.1	84.1
with blades	87.6	92.5	98.1	63.0
+3mm(%) without blades	91.5	94.7	97.8	83.8
with blades	81.7	89.8	97.8	62.8
Reduction degree(%)	71.2	72.7	63.3	73.4

またこの方法は学振の塊状還元試験方法を基にしているが、装置などの詳細について規定していないので実施箇所による実験値のばらつきが大きいこと、さらに根本的には高炉装入物の還元強度を評価するによい方法であるという裏付けの実験データや理論的な解明の検討が乏しいという欠点を有している。

したがって今後の課題としては、この試験法による結果と実際の高炉操業成績との関係についてデータの蓄積をはかると共に、還元過程における粉化崩壊現象に対する還元温度、還元度合の影響を明らかにし、さらに実際の高炉での還元過程になるべく近い温度状況、還元ガス条件を把握して、再現した条件下での還元過程を追求して行く必要があると考えられる。

講演では、回転還元試験と荷重軟化試験における粉化率は同一傾向であつて焼結鉄は何れの場合も粉化率が高いことを示している。先程述べた“ペレットなどの還元過程における強度について”の中で指摘したごとく従来の実験結果より考えれば還元強度は還元を受ける温度条件の影響が著しく、焼結鉄の場合でも例えば学振の還元回転強度試験の温度条件によつてはかえつて粉化率の少ない結果も得られている。

かように温度条件による粉化傾向の相違をどのように考えておられるか。また端的にいつて今回の実験によつて明らかにされたような条件下で粉化率の高い焼結鉄は高炉装入物としていまだ大いに改善される必要があると考えておられるかどうか。（今の自溶性焼結鉄はかなり満足された高炉装入物と一般には考えられていると思うが）

脚 註

- 1) J.I.S.I. 196 (1958) 233
- 2) 学振 54 委 808

- 3) 学振 54 委 805, 807, 在京小委 6
- 4) 学振 54 委 806, 在京小委 4
- 5) 学振 54 委 852, 856, 在京小委 26

大竹講師 (回答)

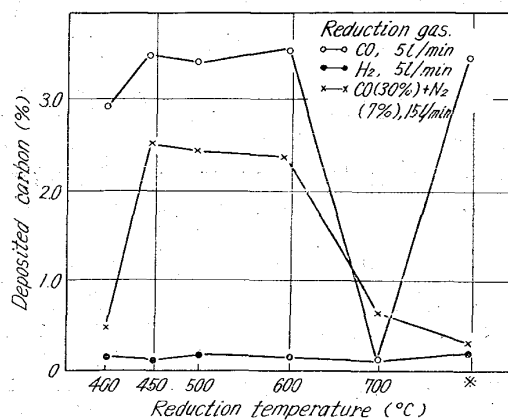
焼結鉄性状の改善に関しては、自溶性焼結鉄の製造により還元性の問題が解決され、最近の溶鉄炉の大型化と共に高い強度の焼結鉄の製造が希望され高塩基度焼結鉄などの検討も行なわれており、さらに常温強度のみならず還元強度（還元粉化）の問題も指摘されている。

また粒度の問題に関しては二次クラッシュャーの使用、篩分け工程の強化などにより大塊および粉鉄の除去が実施されている。従つて焼結鉄製造技術および焼結鉄品質の改善が完成されてしまつたかの感があるのが現在の焼結に関する一つの問題点の姿かと考えられる。しかし、今回報告の焼結鉄の還元粉化の問題を含めて、未だ焼結鉄、鉄鉱石およびペレットの高温性状ならびにこれら高温性状の溶鉄炉操業におよぼす影響が十分明らかにされていないので、これらの究明によりさらによりよき優良焼結鉄の製造を目標として私共は努力すべきであらうかと考える。

つぎに焼結鉄の温度条件による粉化傾向の相違に関しましては、焼結鉄の粉化機構としてつぎのものが考えられる。

- (1) 還元過程における格子変態による粉化
- (2) 熱膨脹による粉化
- (3) クラックの発生による粉化
- (4) 炭素析出による粉化

私どもは実験的検討により焼結鉄の低温度域での粉化はそのマイクロ組織の観察より気孔を中心としたクラックの発生におよぼす炭素析出によるものであると考える。Fig. 2 は学振法の塊状還元試験で定温還元（還元時間60 min）および昇温還元で還元ガスの差による炭素析出量の比較であり、粉化と炭素析出量に關係が認められており、Photo. 1 は低温度（500°C）還元でのクラックの存在を示します。クラックは気孔と気孔、あるいは気孔からマグネタイト zone へと伸びておりあらゆる場所で観察できる。すなわち気孔を中心としてクラックが伸び



※ Increasing temperature
300→800°C, 300°C/hr. 800→1000°C, 100°C/hr.

Fig. 2. Relation between deposited carbon and reduction condition.

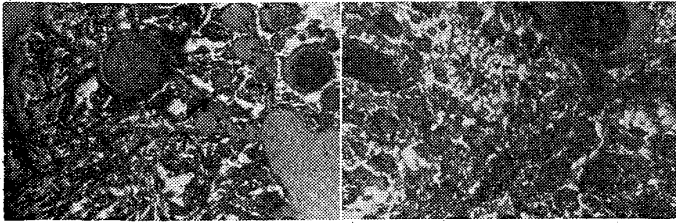


Photo. 1. Microstructure of reduced sinter (500°C×60min, CO (30%) + N₂(70%) gas, 500cc/min). Arrow shows crack ×60(1/2)

ているものと考えられる。一方高温度 (900°C) 還元では Photo. 2 のごとくクラックの発生が認められず、炭素析出作用もないため粉化しないものと現象的に考える。この場合クラックの発生機構については今後の研究

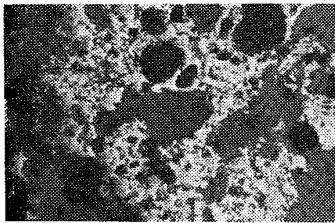
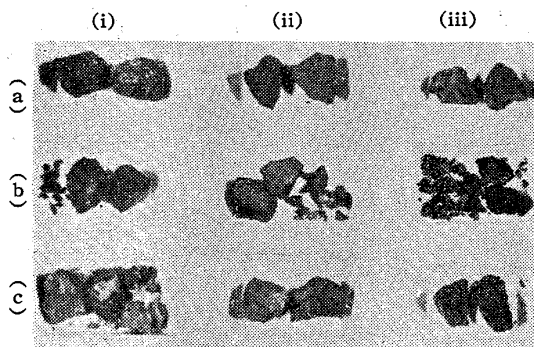
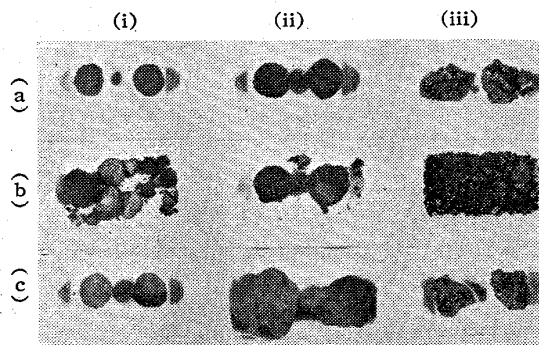


Photo. 2. Microstructure of reduced sinter (900°C×60min, CO (30%) + N₂(70%) gas, 500cc/min) ×60 (1/2)



(i) Acari magnetite (ii) Indian hematite (iii) Temangan limonite
(a) Before CO reduction (b) After CO reduction (1500°C×60min) (c) After CO reduction (900°C×60min)
Photo. 3. Appearance of various iron ores.

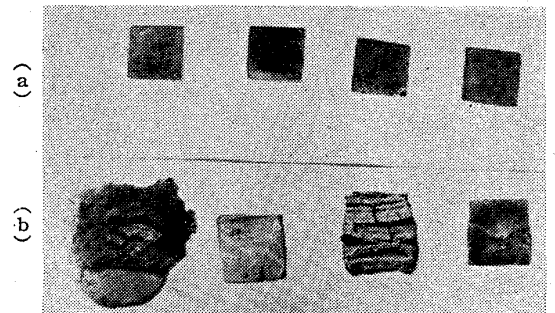


(i): Pellet A (ii): Pellet B (iii): Sinter
(a): Before CO reduction (b): After CO reduction (500°C×60min) (c): After CO reduction (900°C×60min)
Photo. 4. Appearance of pellets and sinter.

が必要である。

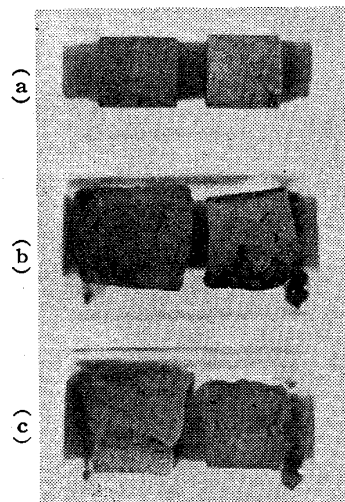
つぎに最近の還元強度試験法について高橋講師より明解なるご説明がありました。溶鉱炉装入物の膨脹、粉化に關しまして私どもの講演内容を補足したい。Photo. 3 および Photo. 4 はそれぞれ 500°C および 900°C での還元試料 (CO ガス 300cc/min, 還元時間 60min) の外観写真を示したものであり、粉化膨脹の様相はそれぞれ試料により異つてゐる。さらにマルコナペレットの高温度 (900°C) の還元膨脹は原料鉄鉱石の性状に關係あるものとの考えから、各種の鉄鉱石について 900°C×180min のガス還元を行なつた。その試料の外観は Photo. 5 および Photo. 6 のようである。これらは化学成分よりは鉄鉱石の鉱物学的成因の特異性によるものと考えられる。すなわち、マルコナペレットの異常膨脹はそのヘマタイトにみられる著しい連晶組織がその還元速度を大にし、この急速な還元がウイスタイトからの急激な纖維状α鉄の発生生長を促すことによるものであると考えられる。

しかしこれに關しては石光講師御指摘のように非常に難しい問題が含まれており、本質的な粉化あるいは膨脹機構究明はペレットおよび焼結鉄ともに今後に残された問題と考える。なお回転還元 (昇温還元) 試験後試料の外観より、試験した範囲の輸入ペレットの膨脹および粉化状況は Photo. 7 のごとく分類され、焼結鉄の粉化は微粒粉化部分が少いが粗粒粉化部分が大であり Photo. 7 の粒状粉化に相当するものようである。



(a): Before CO reduction (b): After CO reduction (900°C×180min)

Photo. 5. Appearance of various iron ores.



(a): Before Co reduction (b), (c): After Co reduction (900°C×120min)

Photo. 6. Appearance of Goa iron ore.

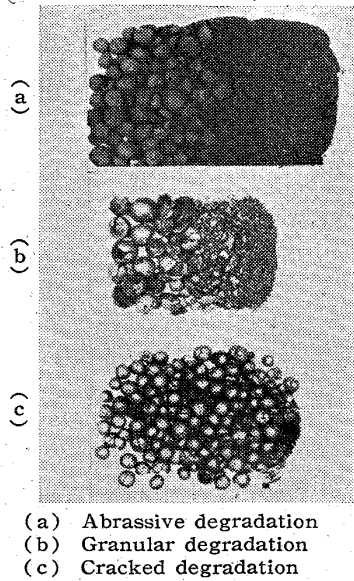


Photo. 7. Typical classification of degradation pellet after rotary reduction test.

Table 1. Reduction strength by Gakushin method (+3mm%).

Method reduction	Constant temperature reduction		Rotary reduction	
	Gakushin method	Wüstite phase method	Constant temperature method	Increasing temperature method
Reduction temperature (°C)	900°C	900°C	900°C	200~1000°C
Reduction time (min)	180	120	180	240

Method reduction	Constant temperature reduction		Rotary reduction	
	Gakushin method	Wüstite phase method	Constant temperature method	Increasing temperature method
Reduction gas	CO 30, N ₂ 70 15 l/min	CO 50, CO ₂ 50 15 l/min	CO 30, N ₂ 70 15 l/min	CO 30, N ₂ 70 15 l/min
Erie	94.8	84.6	97.5	97.5
Marcona	Wakayama(1)	41.3	36.0	48.5
	Hirohata(1)	77.8	—	56.5
	Wakayama(2)	92.2	74.3	89.2
	Hirohata(2)	90.9	—	81.6
Grove-land	90.2	79.9	—	97.4
Reserve	97.7	—	—	92.8
Republic	93.8	76.0	—	95.9
Empire	99.2	95.6	—	94.8
Humbolt	93.7	71.8	—	74.3
Goa	88.1	74.7	88.5	90.9
Robe River	98.5	98.9	100	86.7
Kaiser	98.3	—	—	92.5
Savage River	99.8	96.9	99.9	93.7

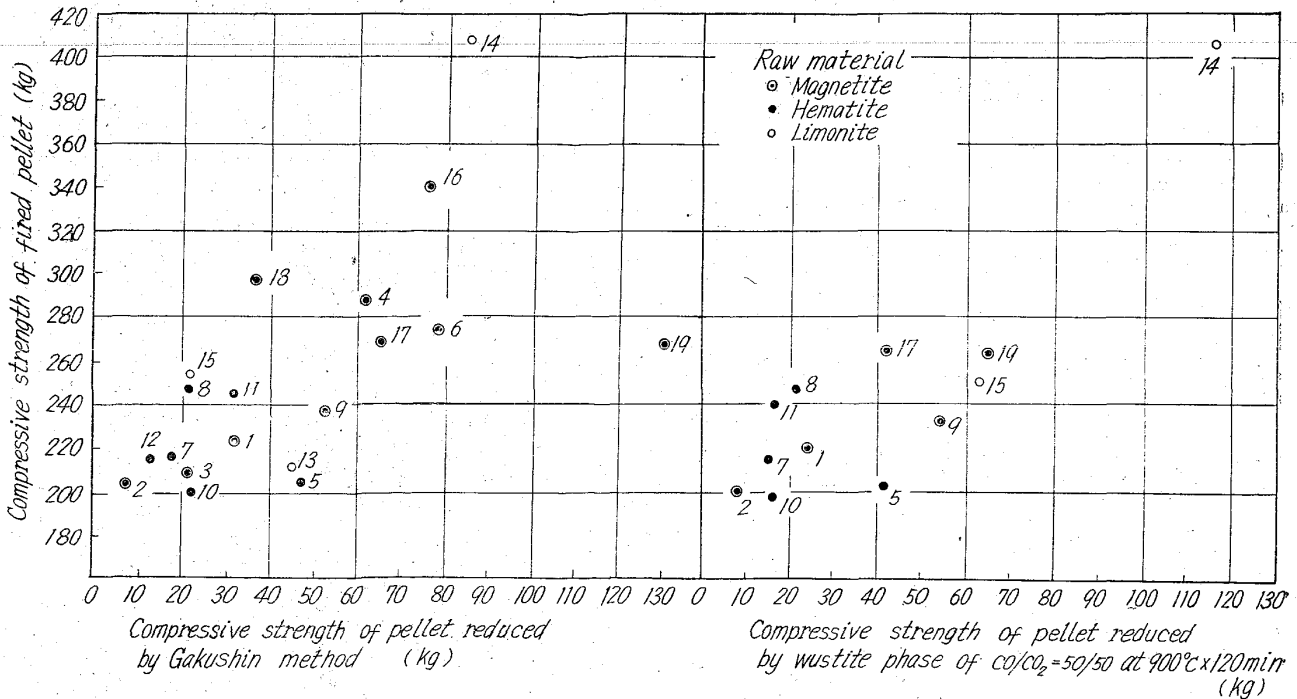


Fig. 3. Relation between compressive strength of fired pellet and reduced pellet.

つぎに輸入ペレットの各種試験について学振法によりその還元強度の比較を行なった結果は Table 1 のごとくであり還元強度と焙焼ペレットの耐圧強度との関係を図示したのが Fig. 3 である。耐圧強度の測定法については中村講師および西田講師の御指摘のごとくその精度が問題であります。一応ここでは直径約 12mm のものの試料 20 個の平均値である。これによると異状な還元性状を示すペレットを除いては常温強度の高いものは還元強度も高いものと考えられる。

以上輸入ペレットの問題に関連して焼結鉄の還元粉化ならびに一部の鉄鉱石の熱的粉化の諸現象が最近注目されてきたわけであるが、ペレットおよび鉄鉱石に関してはそれぞれの原料の性状の特異性に理由づけられるようである。一方焼結鉄の還元粉化は高炉操業条件との関連にて今後注意していかなければならないものと考えられる。

大蔵明光講師に対する質問

佐藤良吉君 (日曹製鋼)

大蔵明光氏の講演について 2, 3 おたづねしたい。

H₂ 気流中で還元したペレットにおける「中心部の緻密な組織」とは、金属鉄が還元されたままの状態と比較的に密に充填されたときのマクロ組織であり、「外殻部の多孔質組織」とは、金属鉄の粒子が再結晶と結晶の生長により相互にネットワーク状に結合した組織を意味するように推察される。したがって、硬度の測定値 Hv は、硬度というよりも、粒子間の結合の開き破壊あるいは変形の抵抗を意味するように思われる。そして実験結果によれば、

(1) 純 Fe₂O₃, ゴア赤鉄鉱, マルコナペレットなどの CaO を添加しないペレットでは、500°C~800°C において、低温ほど「中心部の緻密組織」が多く、800°C ではこれがほとんど消失する。

(2) Fe₂O₃+CaO(8%), ゴア赤鉄鉱+CaO(8%) のペレットでは、やはり同様な傾向がみられるが、後者では 800°C においても「中心部の緻密な組織」が多く残り、前者では CaO 無添加の場合にくらべて気孔や亀裂が少なくなる。

以上が主な内容と推察されるが、そうすると、講演者のいう「緻密な脆い組織がなぜ出るのか」、また「CaO の有無、すなわちヘマタイト組織のペレットと Ca-ferrite 組織のペレットにいかなる相違があるのか」が問題となるように思われる。

Fe₂O₃ の H₂ 還元は、Fe₃O₄→FeO→Fe の段階が吸熱反応であり、560°C 以下では Fe₃O₄→Fe の反応として観測される。また Ca-ferrite の還元については、Ca²⁺ と Fe²⁺ の置換が可能であるから、xCaO·yFe₂O₃→x(Ca, Fe)O·yFe₂O₃→(Ca, Fe)O→CaO+Fe のような過程が考えられ、低温では x(Ca, Fe)O·yFe₂O₃→Fe として観測されるように思われる。

また O の除去は FeO→Fe の段階がもつとも多く、比容の低下も大きく、Fe₂O₃→Fe₃O₄ では六方晶から等軸晶への格子変態による亀裂の発生なども考えられる。さらに金属鉄の再結晶と結晶の生長は、むしろ高温ほど顕著となるであろう。

このような還元にともなう諸現象と、講演者の実験結

果との関連性について、講演者の意見をうかがいたい。

大蔵講師 (回答)

還元後のペレット「中心部の緻密な組織とは、金属鉄が還元されたままの状態と比較的に密に充填された状態のマクロ組織である。また外殻部の多孔組織は、金属鉄の粒子が再結晶と結晶の生長により相互にネットワーク状に結合した組織で、お指摘の通りと考える。また、硬度についても言葉の定義は厳密にはお指摘のように結合の間隙、破壊、変形の抵抗を意味すると考える。

i) 緻密な脆い組織がなぜでるのか。

この原因について著者はつぎのように考える。

pellet の還元の場合外側から還元が進行し全面的に金属鉄になつている点から考えて、還元初期段階では表面に生成された金属鉄と、還元完了後の写真からも明かなように内部の緻密な組織とが同様であつてしかるべきである。そこで約 50% 前後の組織を観察すると以上のことがうらづけられる。

たとえば、還元反応が一定の速さで進行し、ある時間を経過し反応が完了する場合、初期に生成した金属鉄はある時間後に生成する金属鉄よりも以前に結晶粒子間の焼結、成長が起こり得ると考えてさしつかえがないものと思う。以上のような考えにもとずくと、結晶粒子の成長、焼結は還元機構もさることながら、むしろ温度の影響が非常に大きいと考えられる。そこで御指摘のように内部に還元前に酸化物として焼結していた bond が還元により切断され、それぞれの粒子は焼結をおこさず内部に緻密につまつた状態で存在する。これは低温還元後ゆつくり温度を上げ 800°C で保持した場合に緻密な組織が減少する現象からもうらづけられる。また外殻部と内部との粒子を腐食 (塩酸 5cc, ピクリン酸 1g, アルコール 100cc) して観察すると、内部の粒は細かく、外部は内部に比較し大きいことも粒成長、焼結現象のうらづけと考えられる。Hv の値からも焼結の程度を知ることができる。

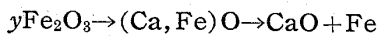
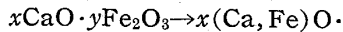
ii) CaO 添加により Ca-ferrite 組織にどのような相違があるか。

CaO 無添加のヘマタイト pellet の組織と、CaO 添加の pellet すなわち Ca-ferrite の組織には明らかに相違が観察され最初に示した写真からも明らかのように CaO の添加によつて、Ca-ferrite は大きな粒子に成長している。本実験からは、反応完了までの速度に大差はみとめられないが、組織的には差があり、還元温度 800°C のものについてみると CaO 添加のもの (Ca-ferrite bond の形成されているもの) より無添加の pellet の方が緻密な部分が少ない。CaO 添加の pellet では 800°C で相当広い部分に緻密な組織の出ていることは結晶粒子間にある CaO が還元後の金属鉄の焼結、粒子成長をさまたげているのではないかと考えられる。

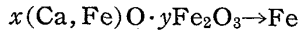
iii) Fe₂O₃ の還元の場合の現象と容積変化について

Fe₃O₄→FeO→Fe の段階では吸熱反応であり、560°C 以下では Fe₃O₄→Fe として観測される。また Ca-ferrite については Ca²⁺ と Fe²⁺ の置換が可能である (これは陽イオンの配位数と、イオン半径から考えて Ca²⁺ と Fe²⁺ は互に陽イオンであり、配位数も共に 6 で、イオン半径も Ca²⁺ 0.99, Fe²⁺ 0.75 である。イオン結

晶の場合、陵や面で連結している場合、イオン半径に大差のない陽イオンは置換が起こり得ると考えられる) 以上のように考えると

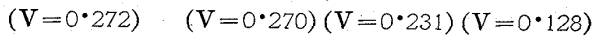
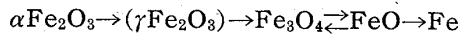


以上の式のごとく高温域ではなり、低温域では次式



で表わしうると考えられる。

また還元過程における容積変化は Edstrom の文献にも指摘しているごとく



となり御指摘のように $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$ の場合に最も容積変化が大きいと考えます。

三本木貢治君 (東北大学)

各試料とも各温度において最終還元率は 90~99% と非常に高い還元率を示しているが、組織的には内部の密の部分と外側の海綿状の部分に区別しており硬度差が認められている。これは矢張り中心部には未還元物が多いと解釈してよいか御見解を質したい。なおつぎの講演の八幡製鉄石光氏の研究でもふれているペレットの還元崩壊の問題に関連しペレットが還元過程に swelling の傾向があるとすれば内部と外部の硬度差は逆の傾向を示してよいと思うがその辺の御見解をうかがいたい。

大蔵講師 (回答)

i) 外殻部、緻密な内部の組織的变化、また Hv の値に明らかに差がみとめられる。これは未還元物とみなしてよいのか。

著者はペレットの還元の場合外周部から還元が進行していくので御質問のように内部に多くの未反応物が介在すると考え、前にも述べたごとくもし未反応酸化物が存在するとすれば内部の Hv の値が高いと考えたが、全く逆の結果を得ました。また昇汞水飽和液にて腐食し観察したところ、内部、外部ともに粒子内に微量の酸化物が残っている程度であり、必ずしも内部の密の部分に多いとは考えられない。

ii) 還元過程における swelling の傾向があると Hv の値が内外逆になるのではないか。

水素還元の場合には CO ガス還元にみられる程の swelling の傾向は少く、むしろ高温の場合は収縮の現象が表われる場合がある。あるいは CO ガス還元の場合還元初期において表面部分のある厚さが swelling を起している場合は御指摘のような現象、すなわち Hv の値に逆の結果が表われるとも考えられる。

石光章利君 (八幡製鉄) [誌上討論]

試料 B および D では石灰分を添加しているので、おそらくカルシウム・フェライトの生成が行われていると思われるが、これは還元による程度影響を与えると解すべきか。また組織上明瞭な差があるか。

大蔵講師 (回答)

石灰の添加によりカルシウム・フェライトが生成されているか。これらが還元におよぼす影響および組織上の差異があるか否か。

B, D の試料には顕微鏡観察の結果から明かにカルシウム・フェライトが形成されていて、無添加の組織と

明瞭な差異が認められる。しかし還元速度におよぼす影響には明瞭な差がみられない。著者は石灰の添加により反応速度は増大するものとする。還元後の組織では明かに差異がみとめられた。これは前述のごとくカルシウムフェライトボンダが還元により切断されているが還元途中、あるいは完了時に金属鉄の焼結、成長を CaO が阻害したための差異と考えられる。

西田礼次郎君 (神戸製鋼) [誌上質問]

Marcona ペレットの還元前試料の硬度は 230 kg/mm² 還元後中心部の硬度は 10 kg/mm² で標準試料の硬度 Fe₂O₃ 470 kg/mm², Fe₃O₄ 447 kg/mm², Fe 54.4 に比べかなりの差異がある。この理由は単なる結晶粒度の違いかまたは Marcona ペレットは何か特別な組織を有するのか (例えば $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ など) またその他の理由によるものかご意見をうかがいたい。

大蔵講師 (回答)

マルコナペレットの還元前の硬度、および還元後の硬度にかなりの差異があるがこれは単なる結晶粒度の差によるものか、それ以外に特別な性質を有するのか。

還元前のマルコナペレットの硬度が、純粋系 Fe₂O₃ に比較し約 1/2 の値をしめしている。これは著者らが入手したペレットの履歴が問題となる。すなわち鉱石粒子径 (ペレット製造前の鉱石粉の径) 焼成温度などを調べないと正確にはいえないが、各社が輸入し研究された初期のものと同様と考えられる。これらの組織は Fe₂O₃ 系ペレットと比較し大差がなく、またスラグボンダの形成が少ない。これらの差異は、焼成温度および CaO, SiO₂ などの影響であると考えられる。このような組成の差異および焼成温度の影響が硬度差として表われたものと考えられる。還元後の硬度差については、純粋 Fe₂O₃ と同様の結果を示している。これらは、還元温度とペレットの径に対する硬度の図表からもあきらかであり、他の添加物の加えられたペレットと比較すればかなりの差がみとめられる。これらは CaO の影響とみてきしつかえないと考える。X線解析からは $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ とはいはれなかった。ほとんどが $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ の型で存在した。

長谷川友博講師に対する質問

春 富夫君 (川崎製鉄)

長谷川講師の御講演に関して、当社での同様な試験の結果について御報告し、関連する点についてお伺いしたい。

今回当社では西オーストラリア州のヤンピ鉱石約 11,000 t を使用して、ヘマタイト鉱石ペレットの製造試験とこのペレットを装入した高炉操業試験を行なった。

送付されたヤンピ鉱石は run of mine と selective ore の 2 種でそれぞれ 55%, 45% になるように ore bedding より混合した。ペレタイジングに際しては lime sand を外数として 3%, ベントナイトを約 1% 添加している。

各原料および製造したペレットの化学分析値は Table 1 の通りである。

Table 2 に製造したペレットの各種性状試験結果を示す。

Table 1. Chemical analysis of raw materials and Yampi pellet.

wt. %	T.Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	S	P	CaO	MgO	TiO ₂	FeO
Run of mine	65.14	3.22	2.54	Tr.	0.023	Tr.	0.03	0.19	0.43
Selective ore	67.13	1.82	1.57	Tr.	0.025	Tr.	0.01	0.15	0.47
Lime sand	—	0.88	0.05	0.11	—	53.14	1.51	—	—
Pellet	63.69	4.19	2.25	0.01	—	1.35	0.27	0.23	—

Table 2. Properties of Yampi pellet.
(Average value)

Size -5mm wt.%	0.7
Porosity %	25
Crush strength kg	715
Tumble test -5mm wt.%	9.6
Reduction test	
(i) Linder test - mm %Fe	10
(ii) "Gakushin" test	
Reducibility %	51.1
-1mm wt.%	10

平均値としてこのような性状を持つヤンピ鉱ペレット約 10,000 t を使用して 8 月 1 日より 8 月 17 日まで約 17 日にわたり干葉第 1 高炉で操業試験を行なった。試験に先立ち、操業結果の比較のために 5 日間の干葉ペレット 60% 配合試験を行ない、これと 5 日間の干葉ペレット 30% とヤンピ鉱ペレット 30% 合計 60% 試験操業との比較検討を行なった。Table 3 に高炉操業結果を表示した。この操業にあたって炉況の調整は主として重油吹込み量および装入鉄鉱石量の増減で行ない、その他の操業条件を一定に保ちヤンピ鉱ペレットの効果を調査した。結果によるとヤンピ鉱ペレットの配合によつて操業上のトラブルはなく、高品位である効果が明白で出鉄量の増

Table 3. Operational results.

		Standard operation					Average (I)	Yampi pellet operation					Average (II)	(I) (II)	
		1964 7.27	28	29	30	31		1964 8.8	9	10	11	12			
Hot metal	t/day	1,532	1,566	1,483	1,527	1,446	1,511	1,526	1,523	1,505	1,523	1,567	1,529	+18	
	MT/Dm ³	1.68	1.71	1.62	1.67	1.58	1.65	1.67	1.67	1.65	1.67	1.72	1.68	+0.03	
Coke ratio	kg/t	506	511	531	517	542	521	515	526	527	534	501	521	0	
Oil ratio	l/t	51	48	55	51	57	53	54	49	49	49	47	50	-3	
Oxygen enrichment	%	1.3	1.3	1.3	1.3	1.1	1.26	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	0	
Burden															
Chiba pellet	t/day	1,435	1,492	1,467	1,437	1,445	1,455	722	734	728	745	722	730	-725	
Bedded ore	t/day	699	727	714	697	697	706	673	681	676	692	671	679	-27	
Yampi pellet	t/day							725	742	741	758	735	740	+740	
Kankoku	t/day							39	39	39	40	39	39	+39	
Mill scale sinter	t/day	241	251	247	245	245	246	245	249	247	253	245	248	+2	
Ore total		2,375	2,470	2,428	2,379	2,387	2,407	2,404	2,445	2,431	2,488	2,412	2,436	+29	
L.D. slag	t/day	38	40	39	39	39	39	39	39	39	40	39	39	0	
Lime stone	t/day	262	265	258	250	250	257	232	236	234	239	232	235	-22	
Ore/coke		3.07	3.08	3.08	3.01	3.04	3.06	3.06	3.05	3.07	3.06	3.07	3.06	0	
Blast volume	m ³ /min	1,544	1,537	1,544	1,551	1,548	1,545	1,565	1,572	1,558	1,572	1,580	1,569	+18	
Temperature	°C	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,024	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	0	
Moisture	g/Nm ³	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	0	
Pressure	g/cm ²	1,057	1,037	1,023	1,034	1,030	1,036	1,027	1,012	994	990	984	1,001	-35	
Slag ratio	kg/t	344	352	346	329	346	343	304	350	349	303	340	329	-14	
Dust ratio	kg/t	14	13	20	23	20	18	29	28	24	20	18	24	+6	
Top gas temp.	°C	213	188	189	203	208	200	212	214	215	205	209	211	+11	
Top gas analy- sis	{ CO ₂ CO	%	17.8	17.8	17.8	17.5	17.2	17.6	17.8	17.6	17.7	18.0	17.6	17.7	+0.1
	{ CO ₂ CO	%	23.9	23.5	23.9	24.0	24.0	23.9	24.1	23.9	23.2	23.1	23.2	23.5	-0.4
Hot metal temp.	%	1,473	1,472	1,469	1,478	1,484	1,476	1,480	1,486	1,482	1,481	1,476	1,481	+5	
Hot metal analysis	{ Si P S	%	0.79	0.63	0.56	0.70	0.81	0.70	0.86	1.00	0.80	0.72	0.82	+0.12	
	{ Si P S	%	0.144	0.146	0.147	0.151	0.145	0.147	0.147	0.141	0.143	0.143	0.141	-0.004	
	{ Si P S	%	0.024	0.027	0.027	0.023	0.021	0.024	0.037	0.024	0.026	0.030	0.030	+0.005	
Slag analysis	{ SiO ₂ FeO Al ₂ O ₃ S CaO CaO/SiO ₂	%	32.2	32.7	32.8	32.7	32.2	32.5	32.3	32.6	31.5	32.8	33.5	±0	
	{ SiO ₂ FeO Al ₂ O ₃ S CaO CaO/SiO ₂	%	0.50	0.50	0.72	0.57	0.47	0.55	0.72	0.43	0.50	0.32	0.47	-0.06	
	{ SiO ₂ FeO Al ₂ O ₃ S CaO CaO/SiO ₂	%	16.4	15.8	15.8	15.9	15.8	15.9	16.2	16.9	16.7	16.3	16.5	+0.6	
	{ SiO ₂ FeO Al ₂ O ₃ S CaO CaO/SiO ₂	%	1.14	1.18	1.10	1.12	1.18	1.14	1.20	1.14	1.06	1.10	1.11	-0.02	
	{ SiO ₂ FeO Al ₂ O ₃ S CaO CaO/SiO ₂	%	41.5	40.7	40.2	40.8	41.2	40.9	41.9	41.4	42.4	41.2	40.0	+0.5	
	{ SiO ₂ FeO Al ₂ O ₃ S CaO CaO/SiO ₂	%	1.29	1.26	1.22	1.25	1.28	1.26	1.30	1.27	1.35	1.26	1.19	+0.01	

加, 燃料比の低下を得た。

このヤンピ鉱ペレットの還元性状試験としては, Table 2 に示した通り Linder 試験, 学振還元試験と暫定的にペレット試験法として定められた学振還元試験後の回転強度試験を行なっている。この試験の成績と高炉使用の結果について各社で検討が行なわれているが, ヤンピ鉱ペレットでは +1mm wt. % 指数が 90 と千葉ペレットの 94 に比較して低いが, 配合率 30% の操業では問題はなく千葉第 1 高炉に対してこの指数の許容限界はさらに低いところにあると考える。

講演では, マルコナペレットの学振還元試験後の回転強度は -0.5mm wt. % で 13.7% とのべられているが, この値は米国で実際に高炉に使用されているペレットについて従来発表されているデータ (学振 54 委物理測定小委在京小委-25 富士製鉄中央研究所提出) に比較すると, 磁鉄鉱を原料とするペレットとしては低い。鶴見第 2 高炉での操業試験ではよい成績を得られているが, 更に大型の高炉で使用することについてお考を伺いたい。

長谷川講師 (回答)

マルコナペレットの学振法還元後の耐摩耗強度は, Table 1 に示すように, 製造者側における焼成温度の上昇, ベントナイト添加量の増加などのアクションによりかなり改善されている。しかしながら -0.5mm, 13.7% の数値は, エリーペレットなどに比較するといまだ十分なものではなく改良後のペレットでも学振法還元後の膨脹が見られ, この点大型高炉で使用した場合, 使用量に

限界があるかもしれない

当初入荷した製品 (S. 38. 10 頃入荷) については, 住金和歌山, 富士広畑, 日本鋼管鶴見の操業例から見て大型高炉では 10% 程度が安全使用限界と考える。

その後, 改良されたマルコナペレットを使用し, 小型高炉を対象として, 日本鋼管鶴見 2B.F. (516m³) が 65%, 八幡東田 5B.F. (646m³) が 80% 配合に成功しており, 600m³ 級の小型高炉では, 使用上問題はないと思う。

つぎに, 大型高炉における使用可能性であるが, 当社では, S. 39. 7. 6~S. 39. 9. 30 にかけて, 鶴見 1B.F. (1143 m³) を対象とし, 主として高品位鉱石との代替で最大 30% 配合を実施した。Table 2 に, この間の操業成績を示す。ペレット配合を上げる過程 (10% 配合附近) で, 一時的に炉況が悪化したが, 以後好転し, 最大 30% 配合を実施した。しかしながら, S. 36 年, 2B.F. で実施したエリーペレット配合試験の際と違い, 通気性 (P/V) は好転せず略々一定であり, 風量もほぼ横ばいのまま推移した。

従つて, 大型高炉においても, この程度の配合割合であれば悪影響はあられず, マルコナペレットの高品位性, 良好な被還元性によりそれ相応のメリットが得られるものと考えられる。

Fig. 1 に出鉄量とペレット配合率の関係, Fig. 2 に燃料比とペレット配合率の関係を示す。

すなわち, ペレットを高品位鉱と 10% 代替した場合 Table 3 に示すような効果が得られた。

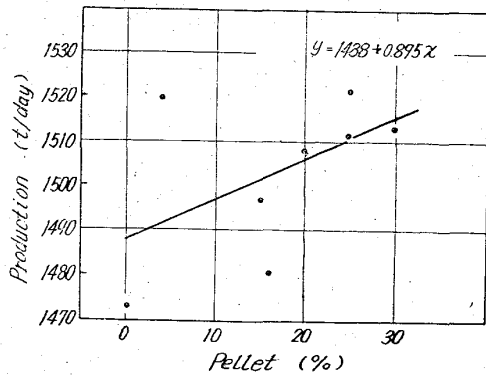
従来の解析結果によれば, 焼結鉱と鉱石の 10% の代

Table 1. Abrasion strength after reduction of Marcona pellets in relation to their manufacturing conditions.

Items	Abrasion strength after reduction % (-0.5mm)	Firing temperature (°C)	Bentonite addition (lbs/t)
Products imported on Nov., 1962	37.5%	1300~1320	3~5
Products imported on May, 1963	13.7	1350	20

Table 2. Operational results of blast furnace No. 1 at Tsurumi Works.

Period	Item	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
		6/26 ~7/5	7/6 ~7/10	7/11 ~7/17	7/18 ~7/22	7/23 ~7/31	8/1 ~8/8	8/9 ~8/13	8/14 ~8/17	8/18 ~8/24	8/25 ~8/27	8/28 ~9/1	9/2 ~9/20
	Pellet ratio %	0	4	10	14	11	16	20	25	30	25	20	15
	Sinter ratio %	42	39	37	39	37	36	38	38	37	38	38	38
	Production t/day	1473	1520	1440	1455	1479	1480	1508	1522	1514	1512	1534	1497
	Coke ratio kg/t	526	522	521	517	517	518	519	505	509	513	514	515
	Oil ratio kg/t	39	37	41	40	36	38	40	37	37	41	45	42
	Fuel ratio kg/t	565	559	562	557	553	556	559	542	546	554	559	557
	Blast volume Nm ³ /min	1563	1587	1534	1501	1524	1568	1581	1579	1580	1596	1518	1549
	Blast moisture g/Nm ³	25	26	26	28	29	29	29	29	29	29	29	30
	Blast pressure g/cm ²	1115	1154	1138	1147	1160	1150	1159	1125	1146	1182	1154	1179
	P/V	0.71	0.73	0.74	0.76	0.76	0.73	0.73	0.71	0.73	0.74	0.76	0.76
	Blast temperature °C	940	980	936	864	869	890	942	892	876	899	889	912
	Hot metal Si %	0.41	0.42	0.38	0.40	0.48	0.48	0.49	0.49	0.47	0.45	0.36	0.40
	Hot metal S %	0.053	0.053	0.044	0.041	0.051	0.045	0.046	0.030	0.043	0.048	0.042	0.031
	Slag volume kg/t	295	290	284	280	275	279	291	276	271	268	273	277
	Hanging N/day	0	0	0.5	1.8	0.8	0.3	0.6	0.7	0.7	0.7	1.8	0.7
	Slip N/day	1.9	5.4	4.0	7.2	4.5	0.5	3.0	6.0	7.0	8.3	7.0	4.7



Data obtained during periods III, IV and V are eliminated for calculation of regression line.

Fig. 1. Relation between production and pellet percent in burden.

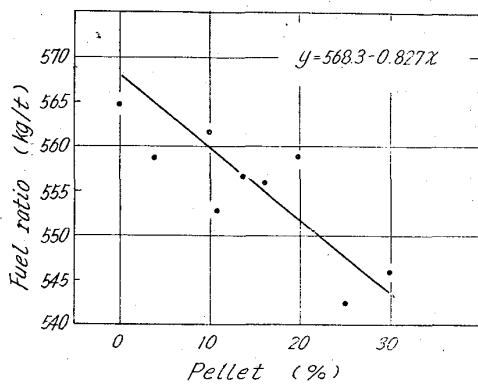


Fig. 2. Relation between fuel rate and pellet percent in burden.

Table 3. Effects of Marcona pellets on blast furnace operation for an increase in burden by 10%.

	Non-modified	Modified
Production	+0.6%	+0.8%*
Fuel rate	-8 kg/t	-14 kg/t**

* modified for difference of Si% in pig
 ** modified for difference of Si% in pig, blast temperature, blast moisture and sinter % in burden.

替により 10kg/t のコークス比の低下が得られるので、本試験結果では、ペレットは焼結鉄とほぼ同等な効果をもつことがわかる。

今後の課題として、大型炉を対象とし焼結鉄との代替で更に高配合試験を実施してみたい。

原田久光君 (神戸製鋼所)

高炉操業においてペレット配合率を増加させたときにペレット高配合に起因する操業上のトラブルが起らないかどうかはペレットを使用する側、生産する側のいづれにとつても大きな問題であります。そこで、つぎの諸点についてお尋ねしたいと思います。

Table 5 Operation results, Table 6 Materials

balance and heat balance において、第Ⅶ期を境界にして第ⅧおよびⅨ期では CO ガス利用率は横ばい状態となり、H₂ ガス利用率は減少する傾向となつて、solution loss carbon が増加を示しています。

(1) 操業上のバランスは十分とられていたとしても上述の現象をペレット高配合操業と関連させてどのようにお考えになつておられますか。また、その時点において 65% 以上の高配合操業試験の継続の可能性についてはどのように推定されましたか。

(2) ペレットダストは dust-catcher よりもそれ以降の集じん系統で捕集されるといわれていますが、dust-catcher 以降の集じん系統におけるダスト量に変化がなかつたかどうか、また、羽口前における装入物の生下り現象などに顕著な変化がなかつたかどうかについてはいかがでしたか。

長谷川講師 (回答)

(1) 第Ⅷ期以降のソリューションロス増加について。物質精算上でいうソリューションロス C は、コークス C と重油 C の合計から、ダスト中 C、鉄中 C、羽口先水蒸気分解 C、Si, Mn, P 還元用 C、結晶水分解 C、羽口先燃焼 C を差し引いた残余として求められる。

従つて、第Ⅷ期以降ソリューションロスが上昇しているのは、主として湿分減によるアクションに対応し、羽口先水蒸気分解 C が低下したためである。講演論文中、Table 4 からわかるように、この時点においては計画的に重油吹込み量を 47~59 kg/t に増加させ、湿分減のアクションは羽口先熱補償のため行なつたので、本ペレット操業と直接の関連はない。

なお H₂ 利用率の低下した理由は明確ではないが、前記のアクションと関連しているかもしれない。

従つて、重油吹込み量、酸素吹込み量を一定に維持した操業を実施すれば、65% 以上の配合においても、羽口先燃焼 C はほぼ横ばい、ソリューションロス C が若干低下する傾向が続くものと考えており、少なくとも当熱バランスの結果がペレット配合の上限を与えるものとは思われない。

(2) ペレット操業時におけるダストについて

当所においては、高炉装入物の微粉をできるだけ除去することに努めており、ペレットの使用に際しても、3 × 3 mm で篩分けを行ない、炉前における粒度分布は 5 mm, 3.2% と良好である。

ダストキャッチャーのダスト量、成分、粒度は Table 1 に示すようにほとんど変化していない。予冷塔およびタイゼンにおけるダスト量は適確に把握し難いので詳細は不明である。

(3) ペレット操業時における生鉄下りについて

当所では、1,2B.F. でペレット操業の経験をもつが、いずれも生鉄下り現象は見られなかつた。マルコナペレットの学振法還元試験による還元率は良好であり、その点、生鉄下り現象の起る懸念は少ないと思う。

しかしながら、第24回製鉄部会で発表したように、ペレット操業時において、朝顔冷却函摺合せからのガス洩れ、鉄皮赤熱、羽口破損が多少増加しているようであるが、これはペレット操業により外部操業に移行したものと考える。この点については、今後、シャフト断面のガ

Table 1. Chemical analysis and size distribution of dust-catcher dust during Marcona pellet operation.

Item Period	Chemical analysis (%)				Size distribution (%)							
	Fe	C	SiO ₂	CaO	+18 mesh	18~60	60~100	100~150	150~200	200~250	250~300	-300
I	38.6	32.0	5.4	2.7	1.6	33.6	29.0	20.2	6.5	3.0	3.8	2.3
II	Not sampled											
III	Not sampled											
IV	39.1	28.3	5.6	3.3	4.4	34.4	28.6	6.6	7.6	8.5	6.6	3.3
V	39.2	27.0	5.6	3.3	0.5	31.4	29.5	16.2	10.5	6.6	2.8	2.5
VI	34.3	34.0	5.3	3.2	3.8	33.2	29.1	9.7	8.8	7.4	5.1	2.9
VII	41.2	28.0	6.1	3.9	0.4	35.9	29.1	15.1	9.5	5.3	2.9	1.8
VIII	42.6	25.8	4.8	2.9	0.7	28.8	15.8	16.1	21.2	7.5	6.7	3.2
IX	34.7	34.1	3.7	1.6	1.0	29.0	22.3	12.1	16.5	3.8	8.3	4.5

ス分布, 温度分布などを調査し結論を出したい。