

塩基性キュポラによるダクタイル鋳鉄の製造

Manufacture of Ductile Cast Iron by Basic Cupola

河本 昭 治* 牧野 迪 夫* 川 井 昂*
 Haruji Kawamoto Michio Makino Takashi Kawai

内 容 梗 概

塩基性熱風キュポラによるダクタイル鋳鉄の製造に当り操業法を検討して次の結果を得た。

- (1) 熔銑の脱硫条件と加炭条件は一致する。
- (2) 前炉を設置することにより熔銑の脱硫に関係なく加炭を防ぎうる。
- (3) 熔解帯外壁の水冷効果は酸性より塩基性ライニングの方が大きい。
- (4) 焼成ドロマイトライニングで前炉付ならば酸性より安い築炉費で C<4%, S<0.015% の安
した熔銑が得られる

[I] 緒 言

キュポラ単独でダクタイル鋳鉄を製造する場合は、高温で低硫黄の熔銑を得ることが必要である。最近この目的で塩基性熱風キュポラを使用する傾向が強いが、欧米ではすでに塩基性熱風キュポラによるダクタイル鋳鉄の製造は、実用化の段階にある。

塩基性キュポラで低硫黄の熔銑を得るには、スラグの塩基度を高くせねばならないが、その結果、熔銑は著しく加炭される⁽¹⁾⁽²⁾。このような高塩基度の条件で、さらに送風を予熱して、高温熔解を行えば、熔銑の加炭が著しく促進される。高炭素の熔銑にマグネシウム処理を行い、フェロシリコンで接種すれば、成分が過共晶になるために、流動性がわるくなり、初晶黒鉛の偏析も激しくなる。スラグの塩基度を下げれば、熔銑の加炭は抑制できるが、脱硫が十分に行われぬ。したがって、塩基性熱風キュポラを使用して、ダクタイル鋳鉄を製造するには、まず高温、高塩基度操業を行つても、適正炭素量の熔銑が得られる操業法を確立しなければならない。

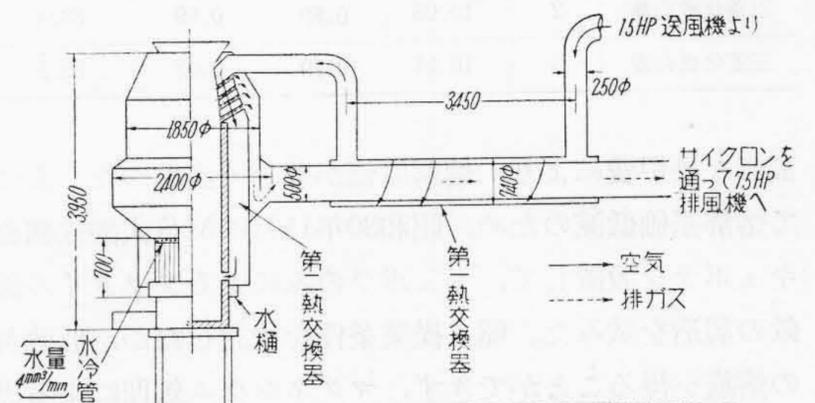
次に問題になるのは、ライニングである。塩基性キュポラが酸性キュポラに比べて種々の特色があるのにもかかわらず、最近までほとんど使用されなかつたのは、耐火物が非常に高価なためである。第1表に各種耐火物の価格を示した。焼成ドロマイトは、ライニングに使用した場合、ライニングの侵蝕状況により、スラグの塩基度 $\left(\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}\right)$ が変動しやすい欠点があるが、価格は比較的低廉である。したがって、築炉費を下げ、塩基性キュポラを経済的に稼働させるには、ライニングに焼成ドロマイトを使用するとともに、その侵蝕量を減少させることが必要である。

筆者らは昭和31年1月よりMS式塩基性熱風キュポラを用いて、高温熔解、高塩基度操業で、炭素量4%以下の熔銑が得られる操業法を確立するため努力してきたが、現在ではキュポラ単独で安定して、ダクタイル鋳鉄

* 日立金属工業株式会社戸畑工場

第1表 耐火物の価格(昭32・2)

耐火物の種類	価格 (¥/kg)	
塩基性	マグネシヤ煉瓦	66.7
	マグネシヤパッチング材	37.0
	マグネシヤモルタル	37.0
	焼成ドロマイト	14.4
酸性	シャモット煉瓦	8.5
	ロース煉瓦	10.4
	シャモットモルタル	5.3



第1図 MS式1.5t熱風キュポラ概略図

が製造できるようになった。よつて、一応現在までに得られた結果を取纏めて報告する。

[II] 操 業 方 法

(1) MS式熱風キュポラおよび使用材料

キュポラの概略図を第1図に、主要諸元を第2表に示した。このキュポラは炉体の顕熱、炉頂廃ガスの顕熱および燃焼熱を利用して、送風を予熱する構造で、順調に操業すれば、操業開始後40分ぐらいで300°C以上の熱風が得られる。熔解帯外壁には、冷却水を流してライニングの侵蝕を防止している。

第3~5表に地金、コークスおよび耐火物の成分を示した。

(2) 操業経過

われわれの工場では従来塩基性電気炉冷材熔解法または酸性冷風キュポラと塩基性電気炉の二重熔解法によつてダクタイル鋳鉄を製造していたが、多量の電力および

第2表 キュポラの主要諸元

項目	単位	寸法
羽口面内径	mm	700
羽口数	個	6
羽口の大きさ	mm×mm	40×70
羽口比		23(16)*
有効高さ	mm	3,080
有効高さ比		4.4

* 第3期操業以降は16にした。

第3表 地金の成分 (%)

地金	C	Si	Mn	P	S	Cr
八幡ダクティル銑	4.33	1.04	0.28	0.085	0.025	0.01
東北電気銑	3.86	2.09	0.20	0.035	0.026	0.01
白銑戻し	2.60	1.00	0.37	0.080	0.110	0.03
マレブル戻し	2.40	1.00	0.37	0.080	0.110	0.03
ダクティル戻し	3.60	2.70	0.35	0.060	0.006	0.04
鋼屑	0.20	0.03	0.50	0.104	0.027	0.03

第4表 コークスの性質

銘柄	期	化学成分 (%)			落下強度 (%)
		灰分	揮発分	硫黄	
三菱化成白菱 三菱化成別製	1	9.65	0.76	0.53	88.7
		11.49	0.85	0.53	87.2
三菱化成白菱	2	10.08	0.89	0.69	88.4
三菱化成白菱	3	10.61	0.79	0.63	85.5

高価な築炉費により、熔解原価が著しく高かった。よって熔解原価低減のため、昭和30年11月にMS式酸性熱風キュポラを設置して、キュポラのみによるダクティル銑の製造を試みた。種々操業条件を検討したが、低硫黄の熔銑を得ることができず、マグネシウム処理による黒鉛の球状化が安定しなかつた。よって昭和31年1月に同キュポラを塩基性キュポラに切換え、熔銑の硫黄の低下を図つた。操業経過を第6表に示すように3期にわけて

第5表 塩基性耐火物の成分 (%)

耐火物	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
マグネシヤパッチング材	3.98	11.78	12.21	2.52	68.7
焼成ドロマイト	1.62	0.91	5.26	60.80	30.4

第6表 操業区分

期	期間	操業条件の特長				
		前炉	羽口高さ (mm)	羽口角度 (°)	熔解帯のライニングの厚さ (mm)	ライニング
1	昭31 1.6~3.7	なし	450	10	165	マグネシヤパッチング材
2	前 3.10~6.7	400kg 固定式 前炉	250	20	140	マグネシヤパッチング材
	後 6.9~8.17					
3	前 8.21~11.6	800kg 固定式 前炉	150	0	90	マグネシヤパッチング材 焼成ドロマイト
	後 11.10以降					

述べる。

第1期操業： 約400kgの溶銑を湯だまりにためて、約15分おきに出湯した。種々操業条件を検討したが、いずれの条件でも、低硫黄の熔銑を得ようとすれば、著しく炭素が高くなり、キュポラのみによつては、ダクティル銑を製造することができなかつた。

第2期操業： 前炉を設置して炉内における熔銑の滞留を防ぎ、熔銑の加炭をある程度抑制できた。この期よりキュポラのみでダクティル銑の製造を始めた。

第3期操業： 湯だまり部を一部切断して、十分に保温した800kgの固定式前炉を設置した。さらに第3期操業後期よりライニングに焼成ドロマイトを使用し、酸性操業よりも安い築炉費で、著しく低硫黄の熔銑が得られた。

[III] 操業結果

(1) 熔銑の炭素と硫黄の関係

第7表 操業条件 (第1期操業)

熔解	風量 (m ³ /min)	風温 (°C)	風圧 (水柱mm)	地金 (%)		媒溶剤 (%)		コークス比 (%)	コークスの種類	鋼屑の種類	配合成分 (%)	
				鋼屑	ダクティル戻し	石灰石	ドロマイト				C	S
I	22	300~370	140~170	60	40	2	2	17	白菱	普通*	1.56	0.019
	22	300~370	140~170	60	40	0	4	17	白菱	普通	1.56	0.019
	22	300~370	140~170	60	40	2	2	17	別製	普通	1.56	0.019
	22	300~370	140~170	60	40	0	4	17	別製	普通	1.56	0.019
II	22	300~380	160~170	50	50	5	0	15	白菱	普通	1.90	0.017
	22	300~380	160~170	50	50	5	0	15	白菱	山型	1.90	0.017
	22	300~380	160~170	50	50	3	3	15	別製	普通	1.90	0.017
	22	300~380	160~170	50	50	3	3	15	別製	山型	1.90	0.017
	22	300~380	160~170	50	50	5	0	17	白菱	普通	1.90	0.017
III	22	320~380	160~200	60	40	1.5	4	15	別製	普通	1.53	0.019
	22	320~380	160~200	87	13	1.5	4	15	別製	普通	0.64	0.024
	22	320~380	160~200	60	40	1.5	4	15	別製	山型	1.56	0.019
IV	27	300~350	200~250	50	50	5	5	17	白菱	普通	1.90	0.017
	27	220~260	200~250	50	50	5	5	17	白菱	普通	1.90	0.017

* 長さ20cm以下のレール、ボルト、鉄板類で日常の熔解で使用している鋼屑。

(A) 第1期操業

炭素4%以下、硫黄0.03%以下の熔銑の熔解を目標にして、操業条件を検討した。第7表に操業条件、第2~3図に操業結果の一例を示した。第2図はコークスおよび媒溶剤の種類の影響を示した。高灰分の別製コークスを使用するか、媒溶剤にドロマイトを使用すれば、熔銑の炭素は下がるが硫黄が高くなる。第3図にはコークスおよび鋼屑形状の影響を示した。コークス比を増せば熔銑の硫黄は下がるが、炭素が異常に高くなる。嵩容積が大きく、充填装入が困難な山形鋼を使用すれば、熔銑の炭素は下がるが、硫黄が高くなる。

このほか、第7表に示すように鋼屑配合量および風温の影響についても検討したが、これらの結果をまとめると、第4図のようになる。風温300°C以上の場合、還元熔解を促進するか、スラッグの塩基度を高くすれば、高炭素、低硫黄の熔銑が得られる。酸化熔解を促進するか、スラッグの塩基度を低くすれば低炭素、高硫黄の熔銑が得られる。すなわち装入材料を適当に選択して、熔銑の炭素を下げることは容易であるが、同時に硫黄が高くなる。風温が下がるような操業を行えば、適正成分の熔銑が得られるが、出湯温度が低下する。

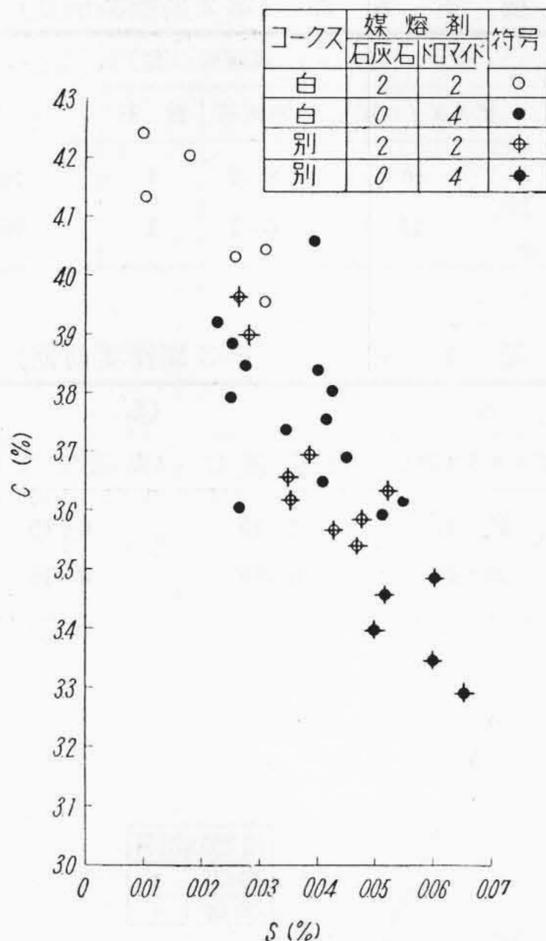
このように、第1期操業では、キュポラ単独ではダクマイル鑄鉄原湯を熔解することができないので、酸性電気炉との二重熔解法によつてダクマイル鑄鉄を製造した。

(B) 第2期操業

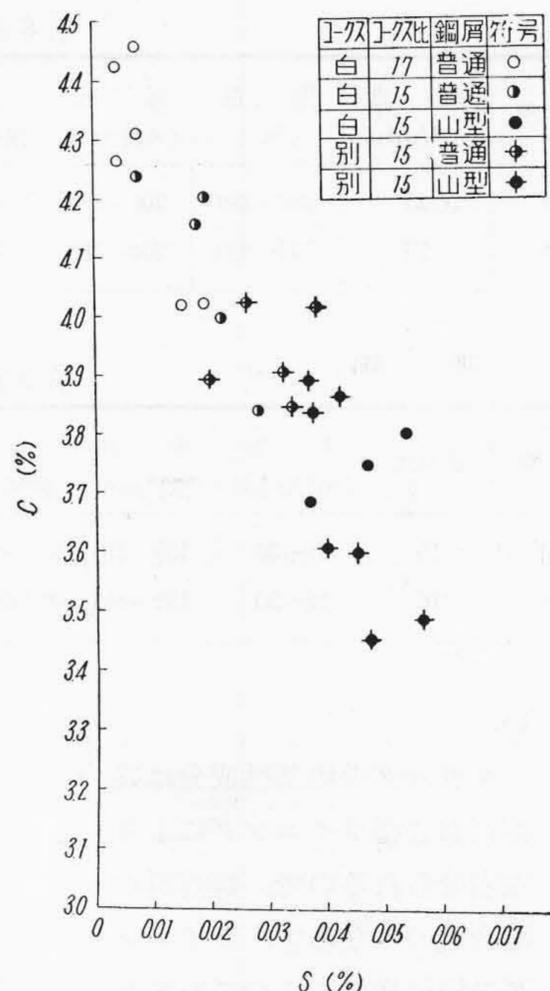
第5図に操業安定後の熔銑の炭素と硫黄の関係、第8表にその操業条件を示した。前炉を設置して、湯だまりにおける熔銑の滞留を防ぐことにより、ある程度高塩基度操業も可能になり、熔銑の硫黄を第1期操業の場合よりも0.01% (4.0% C) ~ 0.03% (3.5% C) 低下することができ、ダクマイル鑄鉄のキュポラ単独熔解が可能になった。

(C) 第3期操業

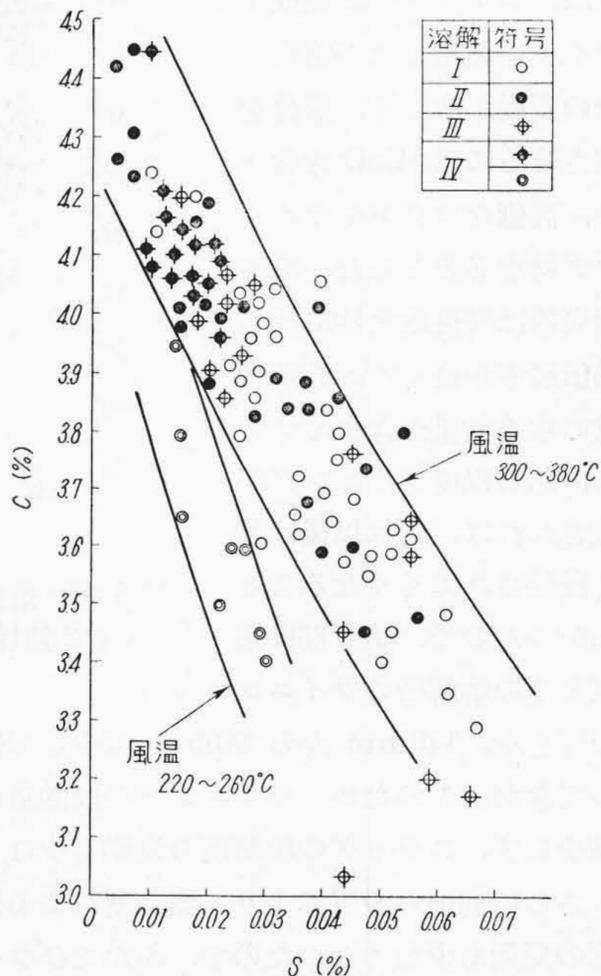
出湯温度を上げるために、風量およびコークス比を増加するとともに、十分に保温した800kgの固



第2図 コークス比および媒溶剤の影響 (溶解I)



第3図 コークスおよび鋼屑形状の影響 (溶解II)



第4図 熔銑の炭素と硫黄の関係 (第1期操業)

定式前炉を設置した。この結果、風温が200°C以下の場合でも、1,500°C以上の熔銑が得られた。

第6図に前期の操業結果の一例、第9表にその操業条件を示した。炭素と硫黄の関係は第2期操業の場合と大差なく、風温の影響も認めることができな

第8表 操業条件 (第2期操業前期)

熔解	風量 (m ³ /min)	風温 (°C)	風圧 (水柱mm)	地金 (%)		媒溶剤 (%)		コークス比 (%)	熔解帯のライニングの厚さ (mm)	配合成分 (%)	
				鋼屑	ダクタイル戻し	石灰石	蛍石			C	S
V	25	300~380	200~280	60	40	6~7	1	16	140	1.56	0.019
V	25	230~290	200~280	60	40	6~7	1	16	140	1.56	0.019

第9表 操業条件 (第3期操業前期)

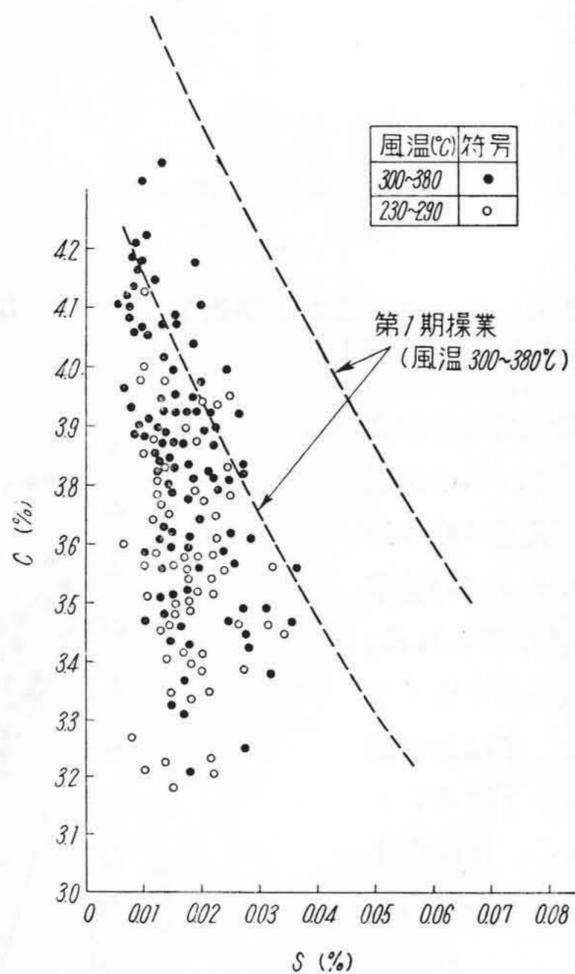
熔解	羽口比	風量 (m ³ /min)	風圧 (水柱mm)	地金 (%)				媒溶剤 (%)		コークス比 (%)	ライニングの種類
				鋼屑	ダクタイル戻し	白鉄戻し	東北電気鉄	石灰石	蛍石		
VI	16	28~30	150~210	40~50	40~50	0~10	0~10	8~9	1	19~20	マグネシヤパッチング材
VI	16	28~30	150~210	40~50	40~50	0~10	0~10	12~14	2	19~20	マグネシヤパッチング材

い。

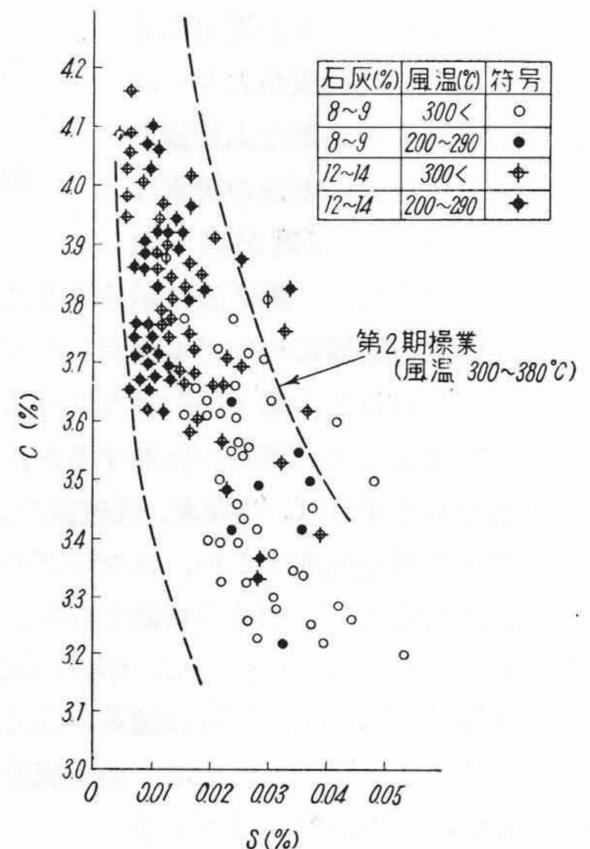
スラッグの塩基性成分は媒溶剤およびライニングにより左右されるので、媒溶剤の配合量のみならず、ライニングの侵蝕状態によってもスラッグの塩基度が異なり、熔銑の成分が変動する。第1期操業では、ライニングに焼成ドロマイトを使用したが熔銑の成分の変動が激しく、成分を安定させるには、CaOを含まない、高価なマグネシヤパッチング材を必要とした。塩基性耐火物は酸性耐火物に比べて熱伝導率が高く⁽³⁾、熔解帯外壁の水冷効果がききやすいため、ある程度ライニングが侵蝕されれば、それ以後は著しく侵蝕されにくくなることわかったので、第2期操業後期よりの熔解帯のライニングの厚さを、140mmから90mm減少して操業を行ってきた。このため、ライニングの侵蝕量が著しく減少して、スラッグの塩基度の変動も少なくなつた。さらに前炉の設置により、塩基度による熔銑の炭素の変動も少なくなつたので、ふたたびライニングに焼成ドロマイトを試みた。

第7図に操業結果の一例、第10表にその操業条件を示した。コークス比が増すと熔銑の硫黄がやや増加するが、いずれの場合も熔銑の硫黄は0.015%以下である。

第8図は最近の熔銑の炭素および硫黄の頻度分布を示したものである。このように適正成分の熔銑が



第5図 熔銑の炭素と硫黄の関係 (第2期操業前期)



第6図 熔銑の炭素と硫黄の関係 (第3期操業前期)

キュポラ単独で得られるので、ダクタイル鉄の鑄造性が良くなるとともに、マグネシウム処理による黒鉛の球状化も著しく安定した。

(D) 考察

第11表に熔銑の硫黄と炭素の間には、近似的には直線関係が有るとして、前述の操業結果をまとめた。

キュポラ内では熔銑の脱硫は次の条件で促進される⁽⁴⁾。

- (i) 高塩基度の多量のスラッグ
- (ii) 流動性のよいスラッグ
- (iii) 還元熔解

第10表 操業条件 (第3期操業後期)

熔解	羽口比	風量 (m ³ /min)	風圧 (水柱mm)	地 金 (%)				媒溶剤 (%)		コークス比 (%)	ライニング の種類
				鋼屑	ダクタイル戻し	白鉄またはマ レプル戻し	東北電気鉄または 八幡ダクタイル鉄	石灰石	蛍石		
Ⅶ	16	32	180~250	40~50	20~40	10~20	0~20	14	2	18	焼成ドロ マイト
Ⅶ	16	32	180~250	40~50	20~40	10~20	0~20	14	2	20	焼成ドロ マイト

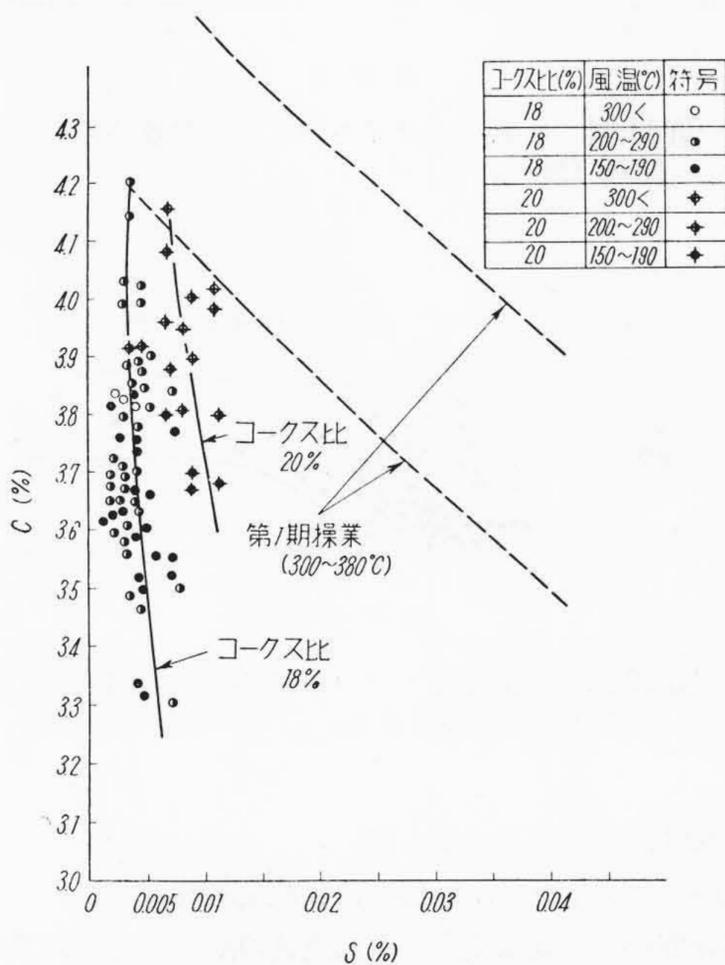
第11表 溶鉄の炭素と硫黄の関係

操業	操業条件				関係式	炭素 3.5% の場合 の硫黄 (%)
	前炉	羽口 高さ (mm)	その他			
第1期	なし	450	風温 (°C)	300~380 220~260	C=4.41-18S C=4.22-27S	0.051 0.027
第2期 (前)	400kg	250	風温 (°C)	300~380 230~290	C=4.79-56S C=4.45-50S	0.023 0.019
第3期 前後	800kg	150	ライ ニング マ グ ネ シ ヤ パ ツ チ ン グ 材 焼 成 ド ロ マ イ ト	C=4.24-24S Cの値に 関係なく Sは大 体一定	0.031 0.015>	

(iv) 高温熔解

(i), (ii)の条件では燃焼により生成したコークスの外殻の灰分が、スラッグにより除去されやすくなり、炉内を滴下中の溶鉄の直接加炭が促進される⁽⁵⁾。(iii)の条件では、溶鉄の脱炭が抑制される結果、加炭が促進される⁽⁶⁾。(iv)の条件では、還元熔解が促進されるとともに直接加炭も促進される。

このように、キュポラ内での溶鉄の加炭と脱硫の両反応が同一条件で促進されるため、第11表に示

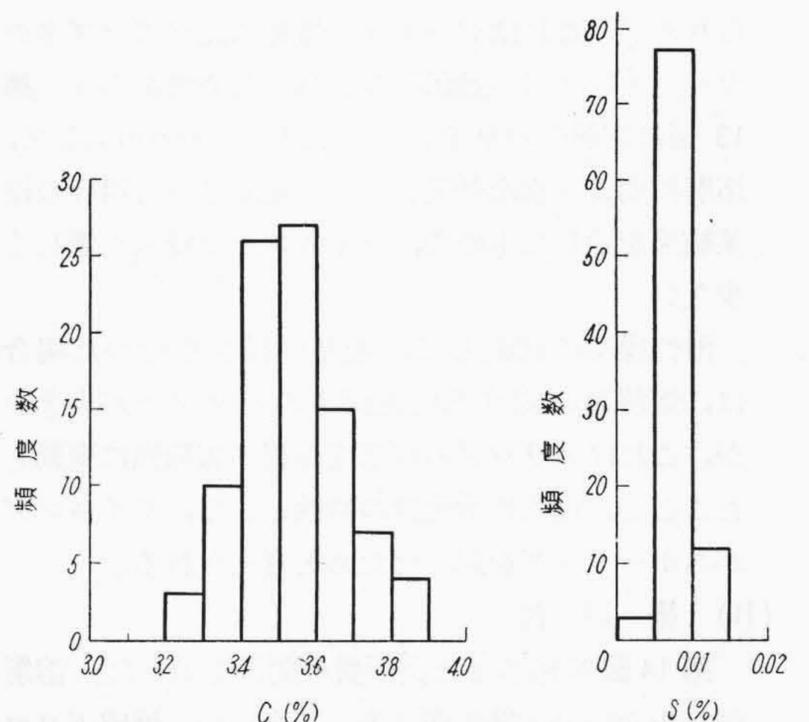


第7図 溶鉄の炭素と硫黄の関係 (第3期操業後期)

すように、溶鉄の炭素と硫黄の間には密接な関係があるのであろう。

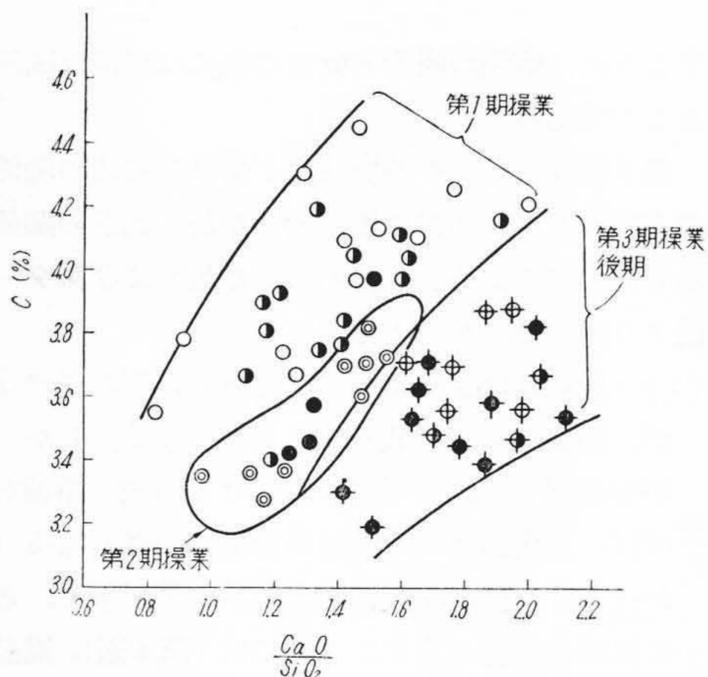
第9図はスラッグの塩基度と溶鉄の炭素の関係、第10図はスラッグの塩基度と溶鉄の硫黄の関係を示したものである。前述の操業結果および第9~10図より次のことがいえる。

- (i) 脱硫は風温によつてはあまり影響を受けないが、加炭は風温が低くなると減少する。しかし前炉を設置して、湯だまりにおける溶鉄の滞留を防げば、加炭に及ぼす風温の影響は小さくなる(第5~7図)。前炉を設置しない第1期操業で、とくに風温の影響が大きかったのは(第4図)、風温により湯だまりの溶鉄の温度が変化して、溶鉄の加炭に影響を及ぼしたためであらう。
- (ii) 前炉を設置して湯だまりにおける溶鉄の滞留を防げば、溶鉄の脱硫にはほとんど影響を与えずに、加炭のみを抑制することができる。第3期操業後期において、著しく低硫黄の溶鉄が得られたのは前炉の設置により高塩基度操業が可能になったためである。
- (iii) スラッグの塩基度が高くなると、溶鉄の加炭と脱硫の両反応が促進されるが、前炉を設置して湯だまりでの溶鉄の滞留を防げば、スラッグの塩基度が溶鉄の加炭に及ぼす影響は少なくなる。



第8図 溶鉄の炭素と硫黄の頻度分布

風温(°C)	期	1	2	3-後
300<		○	◎	⊕
200~290		●	⊙	⊕
150~190		●	⊙	⊕



第9図 熔銑の炭素とスラッグの塩基度の関係

(2) ライニングについて

(A) ライニングの侵蝕

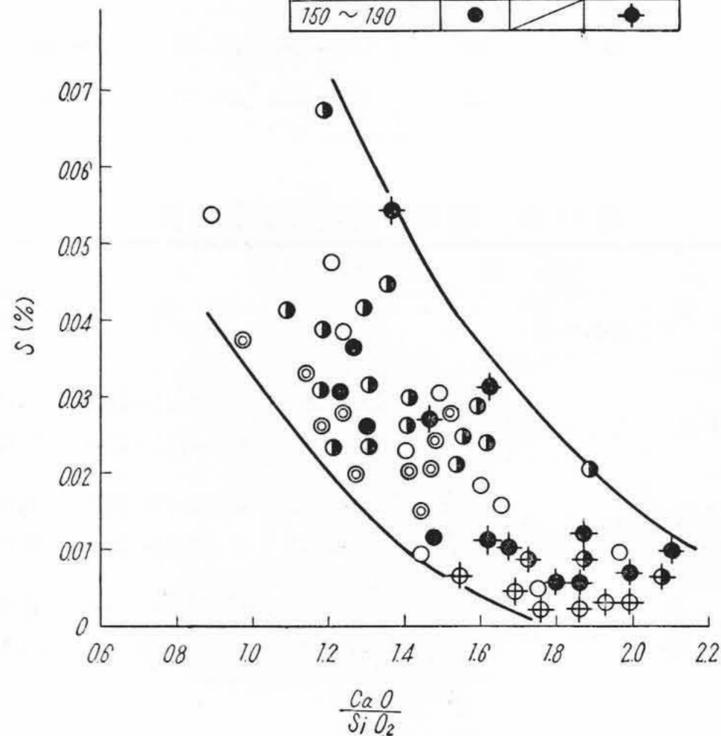
第11図に酸性操業における熔解量とライニングの侵蝕深さの関係を示した。熔解量が1.5t以下の場合、熔解量の増加による侵蝕深さの増加は顕著であるが、熔解量が1.5tを越えて、ライニングの厚さが60mm位になると、熔解帯外壁の水冷効果により、侵蝕深さの増加は急に緩慢になる。第12図に第2期操業前期における熔解量と侵蝕深さの関係を示した。ライニングが侵蝕され80mmくらいになると酸性操業の場合よりも顕著な水冷効果が認められるが、これはシャモット煉瓦に比べてマグネシヤパッチング材の熱伝導度が高いためであろう。第13図は熔解帯のライニングの厚さを90mmにして、熔解初期より水冷効果を十分に発揮させた場合の操業結果を示したもので、ライニングの侵蝕が著しく少ない。

酸性操業に比較して、塩基性操業を行つた場合は、熔解量に対する侵蝕深さのバラツキが大きい、これはスラッグの塩基度が相当広範囲に変動したことと、塩基性耐火物の特性として、ライニングがスポーリングを起したためと考えられる。

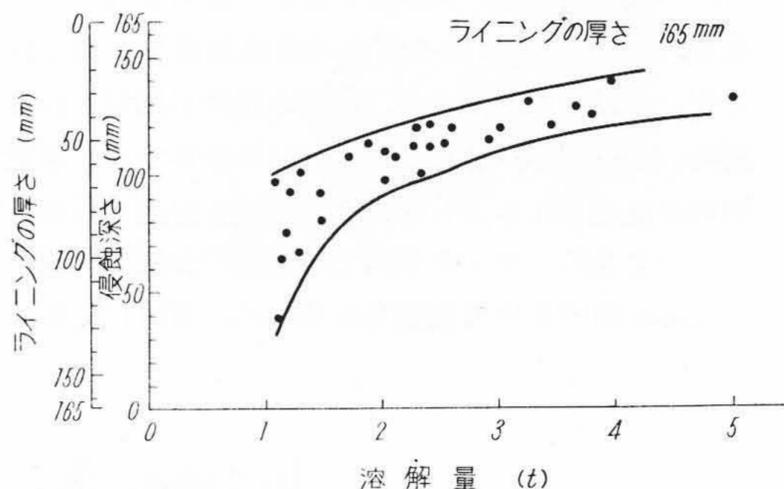
(B) 築炉費

第14図に熔解量と築炉費の関係を示した。溶解量が少ないため築炉費は著しく高いが、焼成ドロマイトのライニングで操業した第3期操業後期では、

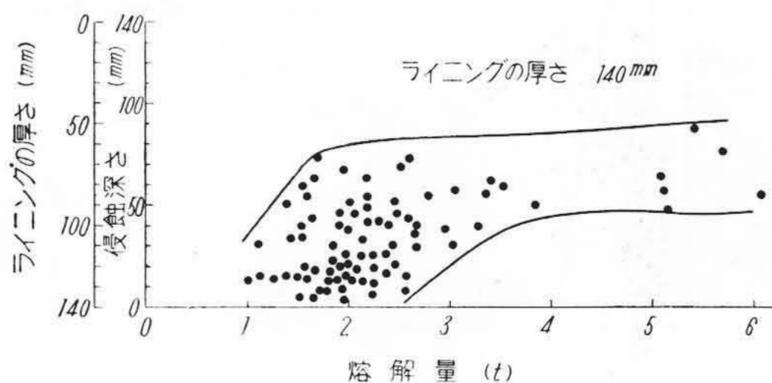
風温(°C)	期	1	2	3-後
300<		○	◎	⊕
200~290		●	⊙	⊕
150~190		●	⊙	⊕



第10図 熔銑の硫黄とスラッグの塩基度の関係



第11図 熔解量とライニングの侵蝕深さの関係 (酸性操業)

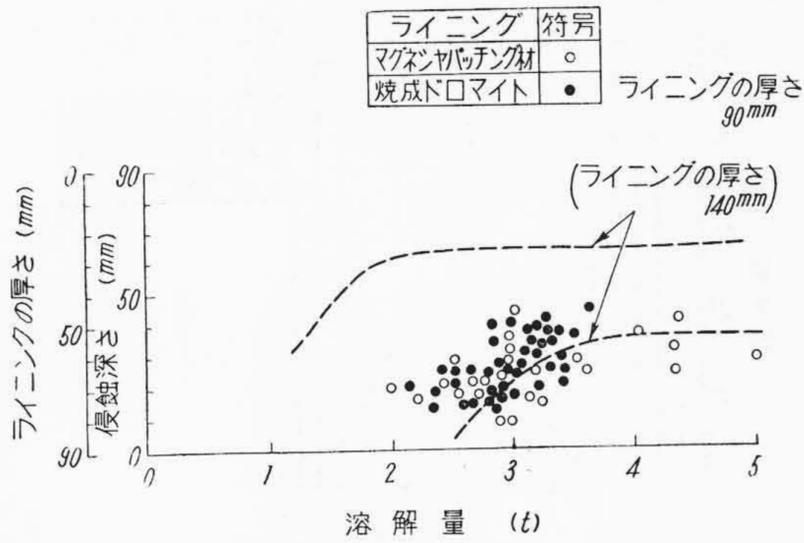


第12図 熔解量とライニングの侵蝕深さの関係 (第2期操業前期)

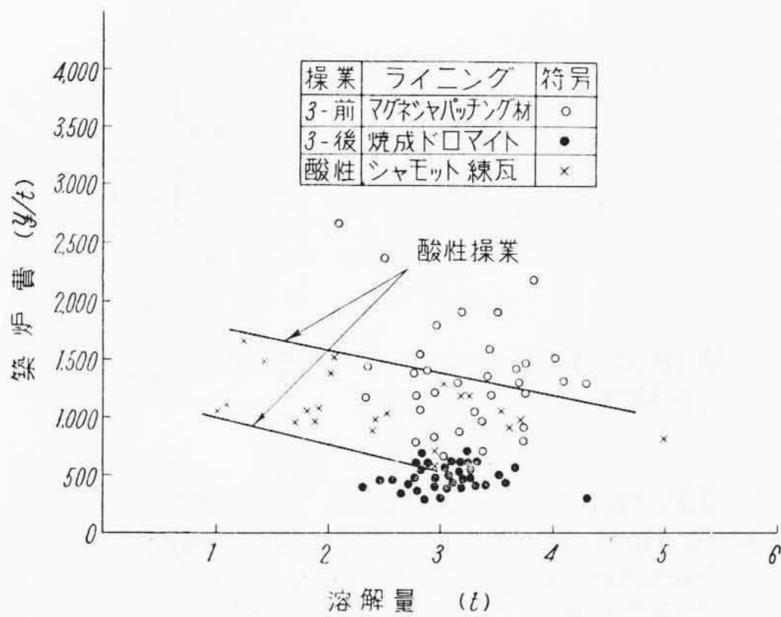
酸性操業の場合よりも安い。

(3) マグネシウム処理および機械的性質

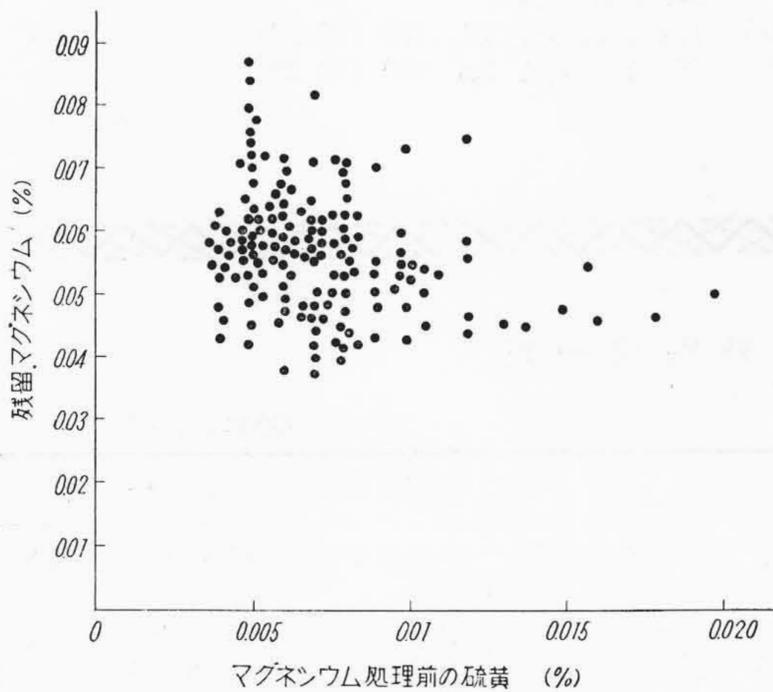
第3期操業後期以後著しく低硫黄の溶銑が得られてからは、マグネシウム処理方法の改善とあいまつて、黒鉛の球状化が著しく安定した。第15図に第3期操業後期



第13図 熔解量とライニングの侵蝕深さの関係 (第3期操業)

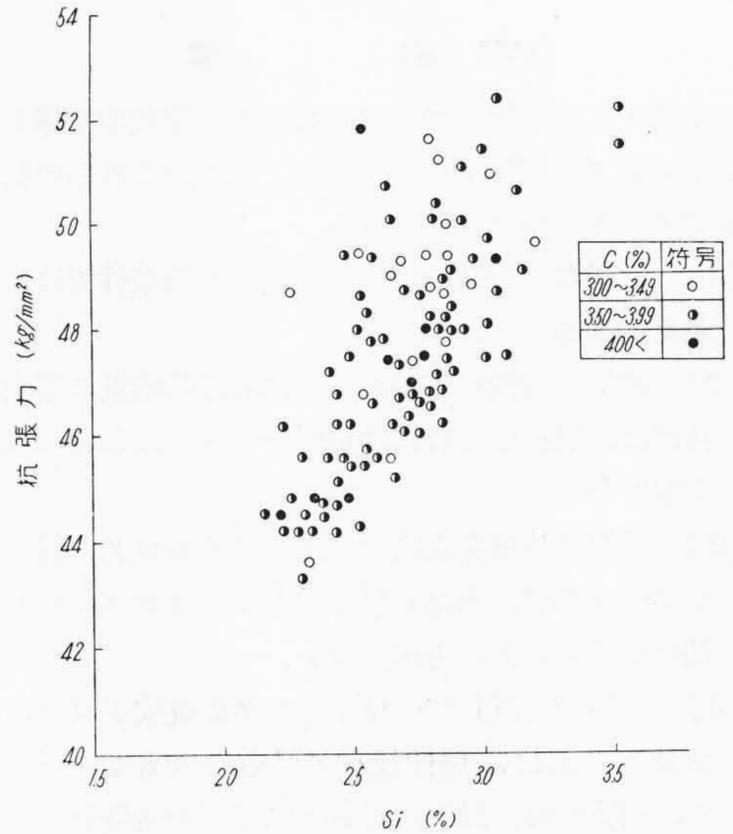


第14図 熔解量と築炉費(キュポラ本体のみ)の関係

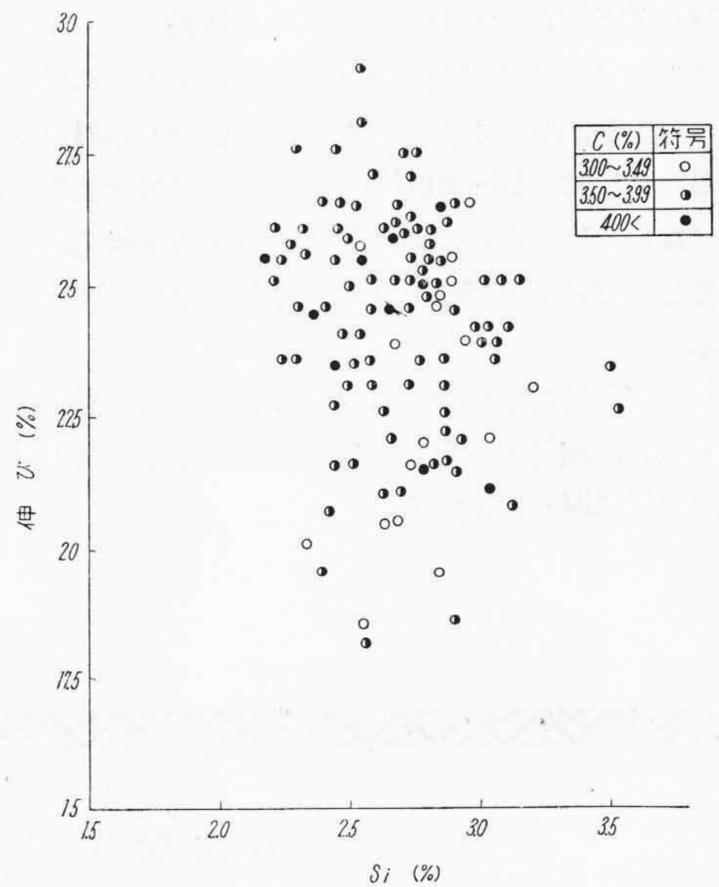


第15図 熔銑の硫黄と残留マグネシウムの関係

における熔銑の硫黄と残留マグネシウムの関係を示した。処理量、処理温度および反応状況の相違により、マグネシウム歩留のバラツキが大きく、硫黄と残留マグネ



第16図 抗張力に及ぼす炭素と珪素の影響 (DCI 40)



第17図 伸びに及ぼす炭素と珪素の影響 (DCI 40)

シウムの間には、明瞭な関係を見出しえなかつたが⁽⁷⁾、黒鉛の球状化はいずれも完全である。

第16~17図に一例として、DCI 40の機械的性質と化学成分の関係を示した。引張試験棒は1"キールブロックより採取し、炭素量はマグネシウム処理前の分析値で示している。第18図は最近熔解したダクタイル鑄鉄の抗張力および伸びの頻度分布を示したもので、いずれも規格値を十分に満足させている。

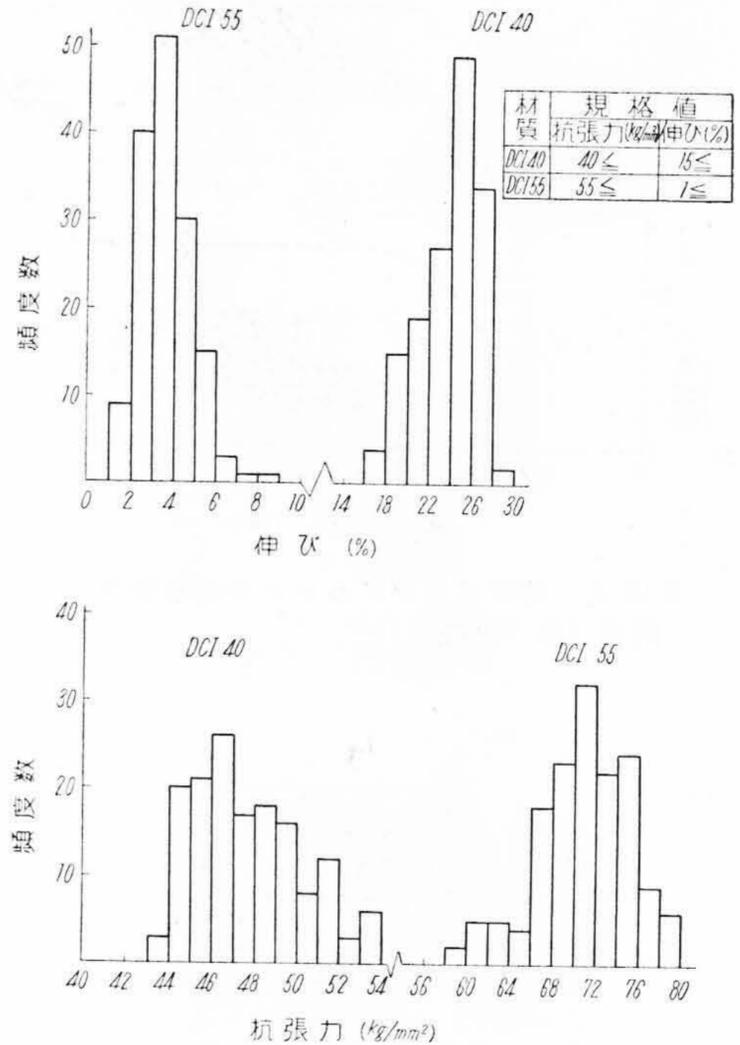
〔IV〕 結 言

塩基性キュポラ操業での熔銑の炭素と硫黄の関係およびライニングの問題について報告したが、これらの結果を要約すると次のようになる

- (1) 一般に、熔銑の脱硫が促進される条件では、加炭も促進される。
- (2) 前炉を設置して湯だまりにおける熔銑の滞留を防げば、燥銑の脱硫には影響を与えずに加炭のみを抑制できる。
- (3) 熔解帯外壁を水冷すれば、ライニングの侵蝕量が減少するが、水冷効果は酸性ライニングよりも塩基性ライニングの方が大きい。
- (4) 前炉を設置して、ライニングに焼成ドロマイトを使用すれば、酸性操業の場合よりも安い築炉費で、硫黄0.01%以下、炭素4%以下の熔銑を安定して熔解できる。

このように低硫黄の熔銑が得られるようになってからは、マグネシウム処理による黒鉛の球状化が著しく安定し、機械的性質のすぐれたダクタイル鑄鉄をキュポラ単独で製造できるようになったが、酸性キュポラに比較すれば、珪素損失が大きく(約30%)、しかも高温の熔銑を得るためには、18~20%の多量のコークスを使用しなければならない。この二点は塩基性キュポラ操業に当って今後の研究により解決しなければならない重要な問題である。

最後に御指導を載いた、日立金属工業株式会社戸畑工場金田次長、塩谷課長ならびに御協力を下された中原、栗田の両氏に厚く感謝する。



第18図 DCI 40 および DCI 55 の抗張力と伸びの頻度分布

参 考 文 献

- (1) J.P. Holt: Foundry, 79, 92 (1951)
- (2) R. Doat, R. Balon and L. Winandy: Foundry Tr. J., 100 (Dec. 1955)
- (3) 窯業工学便覧, 30 (昭 19, 窯業協会)
- (4) A. F. S.: The Cupola and its Operation, 89 (1954)
- (5) R.A. Flinn and R.W. Kraft: Trans. A.F.S., 59, 323 (1951)
- (6) 丹治: 鑄物, 25, 176 (昭 28)
- (7) 草川: 鑄物, 26, 290 (昭 29)

日立製作所社員社外寄稿一覧

第98頁より続く

昭和32年7月受付分

寄稿先	題 目	執筆者所属	執筆者
京大ウイルス研究所	超高圧電子顕微鏡とその応用(第2報)	中央研究所	只野文哉
オーム社真空機器協会	digital indico to v について 真空熔解における耐火材料について	中央研究所 中部耐火物研究所 中央研究所	鴨井章 日比野実
家庭電気文化会	日立電気掃除機の構造と特長	本社	岩田篤 百瀬昭治
電気学会	電気学会大学講座火力編第13章ガスタービン	本社	木俣彬
日本溶接協会	英国型原子力発電所	本社	島史郎
山陽技術振興会	ブレードレスポンブとその応用	本社	堀田正雄
KK工業資料社	日立コンクリートトランスファーカー	本社	五十嵐慶吉