ジローおよびエルー炉による、ボーキサイト ならびに膠質土の還元*

菊池 武昭** 黒沢 利夫** 柳橋 哲夫**

Takeaki Kikuchi, Toshio Kurosawa and Tetsuo Yagihashi : Carbothermic Reduction of Bauxite and Colloidal Earth by Girod and Héroult Furnace (Studies on the Production of Crude Aluminium Alloy by the Direct Reduction of Aluminous Ores). As a part of the study relating to direct reduction of aluminum, the preparation of aluminum alloy was carried out by means of 10 kVA Girod and 70 kVA Héroult furnace using the bauxite and the colloidal earth, and the reduction process and operational conditions were clarified.

As to the step of the preparatory treatment of the source materials, it was found that briquetting and pelletizing were more effective to make the reduction easy and to get more uniform tapped alloy in comparison with the respective charge. In addition, a larger amount of alloy and a higher content of aluminum in the tapped metal were obtained in the mixtures.

The differences in the carbonaceous materials among charcoal, coal and cokes were not made clear. The alloy contained 32~55% Al, of 20~54% Si, 15~32% Fe, and 2~4% Ti. The reduction ratios of Al_2O_3 and SiO_2 were similar, while Fe_2O_3 was about twice as good. Chemical and X-ray analysis of the residual matter showed that the alloy was formed mainly between aluminum oxide and silicon carbide.

(Received February 19, 1970)

I. 緒 言

著者らはアルミニウムの直接製錬における過程の第一段階として、含アルミナ鉱石の還元による粗アルミニウム合金の製造に関する基礎研究を行ってきた。

これまで、原料となりうる膠質土やボーキサイトの熱的性状⁽¹⁾⁽²⁾、それらの原料に含まれる二酸化けい素の炭素還元⁽³⁾、またアルミナおよびその炭素還元におよぼす添加物の影響⁽⁴⁾について報告した。

工業的に含アルミナ鉱石を還元する場合は、原料の予備処理、配合などが大いに関係するうえ、またアーク炉還元のような高温操業が必要であると考えられる。さらに従来の粗アルミニウム合金製造の文献は、含アルミナ粘土によるものがほとんどで^{(5)~(7)}、ボーキサイトを原料としたものについてはその報告が極めて少ない⁽⁸⁾。

そこで本報ではジローならびにエルー炉を用いて粗合金の製造を行ない、還元過程および種々の操業条件の検討を行なった。なお本実験は、次の第二段階であるサブクロライド法によるアルミニウム抽出の粗合金原料とすることも目的としているものである。

II. 供試試料および予備処理

1. 供試試料

使用した含アルミナ鉱石は、オーストラリアおよびビンタン産のボーキサイト、それに真岡および北上産の膠質土であるが、また南アフリカ産のシリマナイトも使用した。

炭材としては木炭、コークス、パークチップ炭を夫々32メッシュ以下に粉砕して用いた。またパークチップも使用した。これらの分析値を Table 1, 2 に示す。

Table 1 Analysis of materials

Comp. (%)	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	lg.loss
Materials							
J.C.E* (Kitakami)	36.36	41.04	6.27	0.71	0.79		14.57
J.C.E. (Mooka)	32.95	36.85	3.24	0.87	0.48	0.31	25.28
Bauxite (Australia)	58.97	2.74	6.16				29.64
Bauxite (Bintan)	55.31	3.50	10.51			0.63	29.77
Silimanite (S. Africa)	54.57	37.18	0.86			1.22	6.09

* Japanese Colloidal Earth

** 金属材料技術研究所(National Research Institute for Metals, Tokyo)

* 1968 年本会仙台大会に発表；含アルミナ鉱石の直接製錬による粗アルミニウム合金の製造(第5報)

(1) 菊池, 黒沢, 柳橋: 金属学会誌, **30**(1966), 840.

(2) 菊池, 黒沢, 柳橋: 金属学会誌, **31**(1967), 19.

(3) 菊池, 黒沢, 柳橋: 金属学会誌, **32**(1968), 866.

(4) 菊池, 落合, 黒沢, 柳橋: 金属学会誌, **34**(1970), 643.

(5) 早川: 電気化学, **15**(1947), 21.

(6) O.C.Fursman and L.H.Banning: U.S. Bureau of Mines, RI.5575(1960),

(7) M.M.Striplin, Jr. and W.M.Kelly: Chem.Eng. Prog., **43**(1947), 569.

(8) J.Glasser and W.F.Few: J.Metals, **2**(1962), 126.

Table 2 Analysis of carbonaceous materials

Materials	F.C (%)	Ash (%)	Contents in ash (%)				
			Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
Charcoal	80	1.5	8.7	4.2	2.2	50.1	
Coal	80	9.2	30	55	5		
Coke	90	7.5	30	50	20		
Bark chip carbonized	41	11.4					
Bark chip	15						

この中でパークチップとは、製紙工場からでる木材の表皮で、一部燃料とされているが、なおそのほか多方面への活用が望まれているものである。またパークチップ炭は、これを炭化したものである。

その他ジロー炉実験では、試薬のアルミナ、カーボランダム、黒鉛粉末、二酸化けい素などを用いた。

2. 予 備 処 理

含アルミナ鉱石を還元するに当って、ジロー、エルー炉に装入する試料の形状の効果を比較検討するため、ペレット、団鉱などの処理を行なった。また原料そのままのものも使用した。この原料の処理過程を Table 3 に示す。

これらをフレットミルでよく混合し、先の製団機で成型した後10日間風乾したものを装入原料とした。この試料1個の重量は30~35gで、圧壊強度の平均は56kg/個である。また手押製団機によるものは、高さ30mm、径30mmでジロー炉実験に使用した。

III. 実験装置および操作方法

1. ジロー炉

ジロー炉は容量10kWの単相アーク炉で、炉内容積はスタンプペーストの厚さを変えることで調節できるが、本実験では内径12cm、深さ16cmにして使用した。炉底に

Table 3 Briquetting and pelletizing

ペレタイジングは、はじめ膠質土、ボーキサイトおよび炭材、鉄鉱石、股粉を後にのべるような配合をしてから、5%カ性ソーダ溶液を加えて調湿した。つぎによく混合し、さらにポリエチレン袋に約5時間入れて置き湿潤を完全にした。ペレタイザーにかける前に、この原料を3mmのふるいにかけて塊を除いた。ペレタイザーは回転円盤式のもので直径100cm、深さ20cm、回転数13回/分、傾斜角度45~50度である。

はじめ3mm径程度の種をつくり、これに調湿原料を加えて徐々に大きくし、8~12mm径のペレットにし、その後70~90°Cで12~15時間乾燥して装入原料とした。またこのペレットの圧壊強度は約800~900g/個である。

団鉱には豆炭成型機および手押製団機を用いた。団鉱には膠質土だけを用いたが、炭素配合量は、含有酸化物を全部金属に還元するに必要な化学量論量である。またバインダーとしてアルカリ股粉溶液を原料の1%添加した。

設けた電極が径7cm、上部に取りつけた昇降可能な電極が径4cmであって、炉底電極は実験が終了する度に取りはずし、炉の修理を行なった。

実験操作としては、まず木炭片を少量炉内に入れ、アークで炉の予熱を行ない、十分炉内温度の高くなったところで原料を装入した。なおこれに先立ち、予熱に用いた木炭は取り除いた。

実験に当っては、炉容に対して大き目の団鉱物は適当な大きさに割って用いた。操業は原料の溶融や反応にともない、新しい原料を徐々に投入しながら継続して行なった。金属の生成ならびに原料の床上がりにつれて、電極を次第に上げた。1回の実験時間は約3~4時間で、試料使用量は8~10kgであった。

実験終了後、加熱物の状態を調べ、またその中の金属部分や溶融後に凝固した状態の物質について、化学分析やX線回折を行なった。

2. エル—炉

実験に使用したエル—式アーク炉は、円筒状静置式で、炉の外周鉄皮の外径 91 cm, 高さ 85 cm のものである。これに耐火煉瓦ならびにカーボンペーストのスタンプをほどこし、炉の内径 45 cm, 深さ 35 cm にして使用した。

電極は径 76 mm, また電極間は中心距離で 170 mm である。また 3 本の電極はケーブルで吊り下げ、手動ウインチで昇降できるものである。この電極の昇降は電流と電圧の関係によって調節した。電気エネルギーは容量 70 kVA の 3 相変圧器を通して供給した。

操作手順はジロー炉の場合とほとんど同じである。まず予熱はコークスを使って 6~17 時間行なったが、その電力量は何れの場合にも 200~300 kWh を要した。予熱終了と同時に通電を止め、コークスを取り除いた。還元は原料をスコップで 1 杯ずつ投入しながらゆっくり始め、装入物が消費されるにしたがって少しずつ補充した。

第 1 回のタップまでの時間は、操業条件により多少異なるが 20~24 時間を必要とし、以後のタップは大体 6 時間毎に行なった。またタップ時の湯の温度測定は、色高温計で行なったが、その温度は 1700°~1750°C であった。

タップに際しては、タップ孔を鉄棒で突いてあげ、閉める場合には生の粘土を用いた。タップ中には原料の装入、装入物の棒による突き溶し、および電極周囲へのかき集めなどは中止し、湯を沈静させて不純物の混入のおそれを減少させた。

また団鉱とかベレットにしない場合の原料の装入は、パークチップ、膠質土、木炭またはパークチップ炭を 3 層の形にして順次装入した。

実験後、タップ合金の重量、炉掘物や使用原料の重量、使用電力、合金の化学分析、X 線回折などの結果をもとに各々の実験について検討を行なった。

IV. 実験結果および考察

1. ジロー炉における結果

このジロー炉の実験は、エル—炉での実験を行なう際の諸条件をきめるために、予備実験として行なったもので、含アルミナ鉱石を炭素還元すると、その生成物は金属状の Al-Fe-Si 合金と、 Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 の溶融物や各種金属の炭化物などが溶融凝固した。緻密な岩石状ないしスラグ状のものからなっていた。

配合の種類により生成合金量に多少の差が認められ、またほとんど岩石状ないしスラグ状の固形物の場合も認められた。なおジロー炉ではタップ操作はできず、また生成合金量も少ないため、そのスラグ状物質との分離は

完全ではなかった。

原料の装入は秤量のうえ行なったが、反応による損失、装入時のこぼれ、操業時の機械的な吹き上げ、終了後における反応残留物の取扱中の損失などがあって、物質収支をはっきり知ることはできなかった。この実験結果として、Table 4 に配合の種類、実験中の平均電圧、電流、実験時間、生成合金の分析値などの関係を表示した。

また分析試料は、生成物中の金属状部分とスラグ状部分をできるだけいねいに分離し、それらをステンレス製乳鉢で粉碎して使用した。また X 線回折用にはこれをさらにメノ—乳鉢で磨砕して試料とした。表中の合金の化学分析結果で、Al, Si, Fe 以外の成分は、炭素またはスラグ状の酸不溶解物である。また酸不溶解物を X 線回折したところ、 SiC と Al_2O_3 がほとんどであった。

上記の表より次のようなことが分かった。膠質土に木炭、石炭、コークスを各々配合した場合の生成合金の組成は、Al が 15~20%, Si が 50% 前後、Fe が 20~30% で、Al 含有量が少なく、Si, Fe 分が多く含まれている。配合の理論計算では、膠質土中の酸化物が全部金属に還元されたとすると Al が 47%, Si が 47%, Fe が 6% 程度になる。このため実験結果からすると、膠質土中のアルミナは還元されにくく、次に SiO_2 で、 Fe_2O_3 は最も還元され易いことがわかる。

一方ボーキサイトが全部還元された時には、理論的に Al が 88%, Si が 2%, Fe は 10% の組成になるが、実際には Al が 30~50%, Si が 20~40%, Fe が 10~20% になっていた。このように膠質土の場合に較べると Al の含有率

Table 4 Data on smelting using the Girod furnace

No.	Materials	Reduct. time (min)	Volt	Amp
1	J.C.E.* Coke	180	45	200
2	J.C.E. Charcoal	90	50	220
3	J.C.E. Coal	100	60	250
4	J.C.E. Coal (70%)	120	60	230
5	Bauxite Charcoal	210	25	200
6	Bauxite Coal	90	50	200
7	Bauxite Coal (70%)	60	60	250
8	Bauxite J.C.E. Charcoal	180	50	200
9	Sillimanite Coal (70%)	120	65	270

* Japanese colloidal earth

は高くなっているが、これはボーキサイトと膠質土の組成の差から当然考えられることである。

また表には示さないが、合金生成量については膠質土の方がボーキサイトより多く、またボーキサイトの場合はスラグ状物質中に金属がサスペンドした状態で存在する傾向があった。また何れの原料の還元でも、炭材による還元率のよしあしの差は、はっきりとは認めることができなかった。

ボーキサイトと膠質土を混合した場合は、それぞれ単独の場合よりも合金の集まりがよく、良好な結果がえられた。

一方スラグ状のものは溶融物が固結したもので、酸化物や炭化物と共に相当量の金属が分散混入していた。

なおシリマナイトの還元においては、ほとんど膠質土の場合に類似していた。また Al_2O_3 と SiC を 1:3 の化学量論比に配合し団鉱したものを還元すると、その生成物の外観は金属状物質と黒色物質が共存した状態で、金属状部分の分析値は Al が 15%、Si が 59% であり、残りの成分を X 線回折したところ SiC が多く、 Al_2O_3 が少量認められた。

2. エルー炉における結果

ジロー炉における実験から、ボーキサイトの還元よりも膠質土の場合の方がスラグ状物質から生成合金を分離し易いこと、ボーキサイトおよび膠質土を各々単独の状態で還元するよりも両者を適度に混合して還元した方が生成合金を分離し易く、また高アルミニウム含有の合金が得られることなどがわかった。これらのことを参考にしてエルー炉の実験を行なったが、本実験における操作条件、配合および結果を Table 5 に示す。

エルー炉実験は 4 回行なったが、第 1 の実験は膠質土、木炭、パークチップ、パークチップ炭をそのまま装入して行なったものである。第 2 実験では、第 1 回目に用いたと同じ配合のものを豆炭状に団鉱して装入した。第 3 と第 4 実験は、膠質土、ボーキサイトと炭材を粉体としての混合しペレットにして行なったが、第 3 実験ではボーキサイトを、また第 4 実験では膠質土をより多く配合した。

第 1 回目の実験では、膠質土をそのままの状態で炉に装入する点とか、パークチップの実用性を検討する点に主眼を置いた。

この実験では装入原料の吹き上げや、炎の吹き出しが盛んで、それを補うため次々に原料を装入しなければならなかった。炭化パークチップは細か過ぎて飛散が多く、団鉱の必要があることが認められ、また生のパークチップの使用はあまり効果的でなかった。これは膠質土と混和せず、炉装入物の上部付近にのっているだけで、短時間で燃えてしまうからである。したがってその含有炭素の還元剤としての効果は少なかったものと思われる。

第 2 回目の実験では、前回の吹き上げやパーク炭の飛散を防ぐため団鉱して行なったもので、この団鉱物は運搬中にも、操業中にも碎けることはなかったが、装入物間の隙間が大きく、1 回分の装入量が少ないことや、このための熱量の損失がともなうことなどから、エルー炉に対してはやや大き過ぎるように思われた。

第 3 と第 4 実験はペレットにして行なったものであって、用いたエルー炉に対して大きさも強度も適当であった。第 3 実験のものはボーキサイトを多くしたためか、前のジロー炉でのボーキサイトの還元実験結果に似て、タップ合金量は少なかった。Fursman⁽⁶⁾らはカヤナイトのよう

Table 5 Data on smelting using the Héroult furnace

	1	2	3	4
Operating conditions				
Reduction time (hr)	59.2	48.4	36.9	33.2
Charge proportions	Non treat.	Briquet	Pellet	Pellet
Colloidal earth (kg)	481	247	94	146
	Mois. 20.4%	Mois. 32.5%	Mois. 25.3%	Mois. 30%
	Kitakami	Kitakami	Mooka	Kitakami
Bauxite (Australia) (kg)			116	73
			Mois. 29.4%	Mois. 32%
			2.8	
Hematite (kg)				
Charcoal (kg)	111	33		
Bark chip carbonized (kg)	45	111		
Coal (kg)			67	
Coke (kg)				62
Bark chip (kg)	166			
Stoichiometric carbon (%)	92.2	111.9	95.0	100
Electrical-power input (kWH)	2418	1785	1896	1695
Operating results				
Alloy tapped (kg)	9.6	22.0	7.2	20.6
Alloy, theoretical (kg)	207.4	96.9	85.4	87.7
Alloy recovery (%)	4.6	22.7	8.4	23.5
Energy consumption per kg of alloy tapped (kWH)	251.9	81.1	263.3	82.3
Residue in furnace (kg)		80	65	52

な高アルミナけい酸塩が比較的還元し易いの、低アルミナけい酸塩にアルミナを加えた混合物は還元が困難であったと述べているのは、ここでの第3実験のようにボーキサイトを多くした場合と同じ傾向を示すものである。

第1～第4実験を通じて表から分かるように、予備処理を行なわなかった場合は、合金タップ量も少なく、その合金1kg当りの電力消費も多い。またペレットの場合でも、第3実験のように原料中にボーキサイト分が多い場合には、タップ合金量が少なく、電力消費も多いことがわかる。

つぎに第1～第4実験において得られた合金の分析値をTable 6に示した。これからわかるように、第1、第2実験のように膠質土のみを還元したものではAl分が少なく、膠質土とボーキサイトを混合した第3、第4実験の方がAl分が多くなっている。また団鉱やペレットなどの予備処理をしたものは、タップ毎のその含有成分組成は大体一定しているが、これに反し予備処理をしないものはその変動が大きいがわかる。

Table 6 Analysis of tapped alloy

Run	Comp. (%)		Al	Si	Fe	Ti	Ca	C
	Tap No.							
1	1	41	35	21	1.6	0.1	0.2	
	2	22	49	22	1.8	0.1	0.4	
	3	7	54	32	1.9		0.1	
	4	32	45	17	1.4	0.1	0.4	
	5	32	45	20	1.4	0.2	0.3	
	6	28	46	21	1.5	0.1	0.2	
2	1	43	35	19			3.4	
	2	44	33	17			2.8	
	3	40	41	19			1.2	
	4	45	39	15			1.3	
	5	45	41	14			1.3	
3	1	48	22	26	3.1			
	2	48	21	27	2.5			
	3	51	22	19	3.7			
	4	54	22	20	3.1			
4	1	55	20	21	2.2			
	2	52	23	17	4.0			
	3	53	23	15	3.8			

またこの分析値をもとに実験2, 3, 4のタップ合金中の各金属成分の重量を算出し、これから求めた各々の成分の還元率を比較してみると、膠質土のみを用いた場合の実験2がAl 25%, Si 22%, Fe 43%で最もよく、ついで第4実験のAl 19%, Si 18%, Fe 42%, 実験3のAl 7%, Si 9%, Fe 18%の順となっている。

以上のことから、ボーキサイトを多く配合した場合は還元率が悪いこと、ならびにどのような配合でもAlとSiへの還元率は大体同じであり、Feへの還元率は何れの場合でもほぼ2倍と大きな値を示すことがわかる。

つぎに還元後炉中に残った塊を掘り出し、その代表的部分のX線回折を行なった。すなわちPhoto.1に第3実験の炉掘物全容と、第1実験炉掘物の破断面を示す。

炉掘物の外側はペレットの焼結したものが多く、またペレット相互の機械的な結びつきは弱く脆いものであった。それより内部になると、全体的に緻密であり熔融状態を経て凝固した様子を示し、灰緑色の固い岩石状物質、銀灰白ないし青白色の粒状あるいは分散状の合金部分、ならびに黄金色をした結晶状物質などが混り合ったものである。

Photo.1 Appearance of the remained materials in the furnace and its broken parts

つぎに炉掘物から採取した各部の試料のX線回折をFig.1に示し、合わせてその状態を説明する。

X線図には示さなかったが、写真に示したような第3実験の炉掘物の外周の焼結ペレットには、SiCと鉄のアルミネート(FeAl_2O_4)のピークが表われていた。またさらに高温帯にあったと思われる半融ペレットのX線図を見ると、アルミネートは分解しており、 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ とSiCの共存する状態になることがわかったが、これらは還元の初期の変化を示すものである。

Fig.1の(a)試料は電極周辺の灰色溶融物質で、金属分もかなり含まれているような外観をし極めて固いものである。炉掘物の多くをしめるこの(a)試料のX線図をみると、

Fig.1 X-ray diffraction charts for residues of the Héroult furnace

SiC と合金の共存物で、これから判断すると多孔質の SiC に合金がサスペンドしているものと思われる。その他 Al_2O_3 らしいピークを見られるが合金線と重複する部分もあり、その存在は確認できない。

(b) 試料は炉掘物の上部および外周部で採取したもので、炭化けい素化したと見られる木炭であった。これには 2 種類あり、その一つは黒色を呈して炭化けい素化のあまり進んでいないもの、他の一つは淡緑色の緻密な層が木炭の外周を覆い、内部の黒色の部分とかなりはっきりした境界をもっているもので、X 線回折には後者を使用した。その結果この中では SiC と Al_2O_3 のピークが認められた。この SiC は既報⁽⁹⁾の SiO_2 の炭素還元でのべたように、還元途中で発生する SiO ガスが木炭と反応して SiC 化したものと思われる。なお Al_2O_3 については今のところその生因をはっきりのべることは困難である。

(c) 試料は黄金色を帯びた固く脆い結晶性物質で、この X 線図によると、つぎの (d) 試料の合金中に見られる alloy と表示したピークと一致したものが明らかに認められたが、他に不明のピークも存在していた。このような (c) 試料と類似の物質は、ボーキサイトのように Al_2O_3 の多目の配合試料中により多く認められた。また (d) 試料はタップした合金である。以上の結果ならびに肉眼的観察から、定量的には求め難いが、炉掘物の中にはかなりの合金がタップされずにとどまっていることがわかった。

以上ジロー炉、エルー炉における実験についてのべたが、実験回数、配合の相違、操業技術のよしあしなどにより、系統的な結果を得ることは困難であった。その外含アルミナ鉱石のアーク炉による還元では、アーク周辺が極めて高温であって装入物中に相当大きな温度勾配があること、また原料中の物質は、酸化物、炭化物、合金、それに蒸発性酸化物など種々の形をとりうることから、その還元過程は非常に複雑であろう。ここでは以上の実験結果、ならびに前報で報告した SiO_2 や Al_2O_3 の炭素還元などを参考にして炉内変化を推察する。

一般にアーク炉による還元では、アーク直下やそのごく近辺では極めて高温であるため、そこに落ちこんだ原料中のすべての酸化物は、ほとんど同時に直接的な還元反応で溶融合金を生成するものと思われる。しかしこのような場合は少なく、原料は上部から徐々に高温帯に行くものであり、原料はそれぞれの温度帯ならびにガス雰囲気により、次々に中間的な生成物をつくりながら逐次アーク周辺に移動して、溶融合金浴ができるものとみられる。

それで原料装入後、はじめに低温側から順に Fe_2O_3 の鉄への還元ならびにアルミニオートの生成、膠質土からのムライトの生成ならびに上記生成物の熔融や分解、装入炭材の SiC への変化、それからより高温の $1900^\circ C$ 程度で Al_2O_3 の Al_4C_3 への変化などの反応がおこるものである。したがって合金浴生成温度帯に達した付近での反応は、SiC や Al_4C_3 などの途中で生成したものに、 Al_2O_3 や SiO_2 などの未変化

部分が相互に反応を起こし、さらにその上に還元された鉄分が吸収剤として働くもので、この結果、 $Al_2O_3 + SiC \rightarrow (Al-Si) + CO$, $Al_4C_3 + SiO_2 \rightarrow (Al-Si) + CO$, $Al_2O_3 + Al_4C_3 \rightarrow Al + CO$, $SiO_2 + SiC \rightarrow Si + CO$ などの諸反応が起こるものと推定される。

これらの反応の中で、どれが優先するかを一概に決めることは困難であるが、 Al_2O_3 が CO 中では高温まで安定であること、ならびに SiO_2-C 系混合物の実験でみたように比較的低温で SiC が生成することなどを考えると、 Al_2O_3 と SiC 間の反応が主体と思われる。このことは Al_2O_3 と SiC の混合物を実際にジロー炉で反応させて、合金生成を行なった実験からも裏付けられることである。

本報告は 10 kVA, 70 kVA の炉で実験を行なったものであるが、実際に含アルミナ鉱石から粗アルミニウム合金を得るには、1 万 kVA 以上の規模の炉による操業であろう。この場合本実験のような小規模での結果が、そのまま実際に応用することは困難であるが、基本的には大差がないであろう。また炉の容量と電力消費量の関係については、北川⁽⁹⁾が、ドイツ、米国、ソ連の例をのせ、炉容が小さい範囲では電力消費量が多く効率が高いが、炉容が大になるほど順次電力消費量を減少させることができるとのべている。さらに前報でのべたような添加材によって還元効果を上げ、不利な面を補うことが考えられるが、これについてはなお検討する必要があるように思われる。

V. 総 括

アルミニウムの直接製錬の第一段階として、粗アルミニウム合金の製造を 10 kVA ジロー炉、70 kVA エルー炉を用いて行ない次の結果を得た。

(1) ボーキサイトの炭素還元では、生成粗合金と未還元物との分離が困難であった。膠質土の還元ではそれに比べ Al のパーセントは少ないが、生成合金量は多い。

(2) 膠質土、ボーキサイトの還元には、石炭、コークス、木炭などを用いたが、炭材による相違ははっきりとは認められなかった。

(3) 膠質土とボーキサイトを混合して還元した場合は、各々単独の場合より良好で、特に膠質土を多目に配合すると、合金量ならびに Al 含有量も大であった。

(4) 含アルミナ鉱石の還元では原料そのままのものより団鉱、ペレットなどの予備処理をした方が操業し易く、70 kVA エルー炉では 8~12 mm 径のペレットが適当であった。

(5) 団鉱、ペレットなどの処理を行なって還元すると、タップ毎の合金組成も一定したものが得られた。

(6) タップ合金の組成は Al 32~55%, Si 20~54%, Fe 15~32%, Ti 2~4% であった。

(7) タップ合金からみると、原料中の Al_2O_3 , SiO_2 はほ

(9) 北川：軽金属, 46(1961), 59.

ほぼ同程度に還元され、 Fe_2O_3 はこれらの約 2 倍であった。

(8) 実験後の炉内残留物内の緻密熔融物中には、かなりの合金がタップされずに残留していた。

(9) ジロー炉の実験、エルー炉の炉掘物の状態やX線回折などから、粗合金生成の主反応は Al_2O_3 と SiC 、ならび

に Al_4C_3 間の反応によるものと推察された。

終りに本研究に際し、御指導ならびに御協力いただいた元農林省林業試験場 岸本定吉博士、日鉄鋳業株式会社三鷹研究所 小野孝一氏、日本電工株式会社、ならびに金属材料技術研究所前所員の中西敏勝氏に深く感謝の意を表します。