大江山製造所におけるフェロニッケル製錬

Ferronickel Smelting at Ōyama Plant

伊 藤 正*

Tadashi ITO

1. 緒 言

日本冶金工業株式会社大江山製造所の所在地は京都府宮津市須津で、その南々西13kmの地点には当所の母体であり、戦時中は国内有数のニッケル資源として開発された大江山鉱山がある。前方は宮津湾に面し、ここで輸入鉱石は荷卸しされる。現在従業員数は460人で、ニューカレドニアおよびセレベスから輸入する珪ニッケル鉱を原料とし、4基のロータリーキルンを運転してクルップ・レン法 (Krupp-Renn Process) により含ニッケルルッペ (粗フェロニッケル粒) を生産している。

昭和9年9月、大江山ニッケル鉱業株式会社として発足して以来、大江山鉱山のニッケル鉱の開発をすすめる一方、その製錬方法について幾多の試験研究を重ね、昭和15年3月、ルッペ製造に成功し、社名を大江山ニッケル工業株式会社と改め、現在の地に工場の建設が着手された。昭和17年11月に製錬工場が竣工し、12月より大江山鉱石を原料として稼働、翌年日本冶金工業株式会社と合併し終戦時まで軍需会社として操業をつづけ、この間に33,570tのルッペを生産したが、終戦と同時に操業中止のやむなきにいたった。朝鮮事変勃発後、特殊鋼部門を主要分野とするニッケル需要の急上昇期をむかえ、日本のニッケル生産は輸入鉱石を原料として再開された。

今日にいたるまで幾度かの変遷はあつたが、フェロニッケル需要はステンレス鋼の成長、とくにゼンジミア・ミル導入を契機とする驚異的飛躍によつて大幅な伸びを示している。フェロニッケル製錬方式には種々あるが、ここに独自の道を歩んできた当所のフェロニッケル製錬について紹介する。

2. 操 業 経 過

昭和27年1月、フェロニッケル生産再開を計画、直ちに工場を整備し、同年6月にニューカレドニアから第1船が入港し、8月ロータリーキルン1基で操業に入つた。製造方法はニッケル鉱石、石灰石、珪砂およびコークスを湿式チューブミルで粉碎、スラリーとして調合後フィルタで汙過したものを炉に装入する。これを微粉炭バーナを用い、ロータリーキルンで還元製錬し、その熔成物は水砕したのちミルで粉碎し、比重選鉱および磁力選鉱により、ルッペとスラグを分離するものである。1日炉当りの鉱石装入量は130t程度であつた。昭和29年8月にはキルン2基稼働、翌年9月には3基稼働となり生産量は漸増し、再開以来フェロニッケルの国内生産量の50%以上を占めていた。

昭和31年6月、原料設備を拡充し、翌年5月にはロータリーキルンの排ガス熱量を利用する原料予熱装置を完

写真1 大江山製造所全景

第1図 大江山製造所位置図

* 日本冶金工業株式会社大江山製造所長

成し、1日炉当りの鉱石装入量は50%増しとなった。さらに昭和33年2月には排ガス集塵装置を完成し、公害問題の解消を図るとともにかなりの収率向上をもたらした。また日本のニッケル生産は原料鉱石をすべて海外に依存しているため、フレートが原価に大きくひびいているがこの点については昭和33年以後逐次、鉱石専用船を建造し、これが現地一宮津間に就航してコストダウンに寄与するところ多大なものがあつた。

一時低調であつたニッケル市況も昭和34年に回復の兆をみせると、需要は可速度的に伸び、当所では原料処理から選別処理に至る生産設備の総合的な拡充合理化工事を完工し生産量は上昇した。その推移を第1表に示す。

第1表 生産量の推移 (Ni 純分 t)

年 度	生 産 量	年 度	生 産 量
昭和27	928 t	昭和35	3,662 t
28	975	36	4,135
29	1,335	37	3,297
30	1,676	38	4,729
31	2,685	39	4,747
32	2,121	40	5,068
33	1,467	41	5,583
34	2,742	42	6,466

昭和41年にロータリーキルン吹込み燃料も微粉炭から重油に切替えたことは、安定供給、取扱易さという点だけでなく、ルッペの品質向上にも見るべきものがあつた。昭和42年3には新たに建設された1号炉が稼働し、月産能力は650 t (Ni 純分) となつた。

当所で生産された粗フエロニッケルは当社川崎製造所に送られ、ここで電気炉→連続鑄造設備→プラネタリー・ミル→ゼンジミア・ミルの一貫工程を経てステンレスになり、その技術と品質は広く世界に高く評価されている。

3. 操 業

3.1 概 略

クレップ・レン法の工程は、まずニッケル鉱石に還元剤(無煙炭)を加え、適当な熔剤(石灰石および珪砂など)を添加して混合原料を作り、これを適当な水分を含有する状態で造粒し、ロータリーキルンの排ガスを利用する予熱グレートを通して付着水分のほとんどを除去したのちキルンに装入する。キルンは排出端側から重油バーナにより加熱される。装入された原料は炉の回転によつて常に攪拌をうけ、炉内ガスの流れにさからつて加熱されながら排出端の方に移動する。炉内では予熱還元ルッペの成長の順序で進行し、半熔融状態のスラグの中にルッペを包含するかたちで熔成物は炉外に排出され直ちに水砕される。スラグとルッペを分離する選別工程は、まず熔成物を粉碎してルッペを単体分離させ粒度わけして、それに応じて比重選鉱あるいは磁力選鉱を行ないルッペを得る。また単体分離できない微粒メタルは

第2図 操業系統図

片刃として炉に戻される。クルップ・レン法は製錬温度が低いため、得られた粗フエロニッケル中のC, Si, Cr, Pなどは低いが、これに反してスラグの珪酸含有量が高く、したがってS収率はほぼ25%であり、原料を吟味する必要がある。第2図に操業系統図を示す。

3.2 原 料

鉱石はニューカレドニアおよびセレベスからの輸入鉱石を用い、現地から宮津まで自社船で運ばれてくる。鉱石全量の90%はニューカレドニア鉱である。ニューカレドニア鉱は水分20~24%, Ni+Co 2.7~3.1%を含む。セレベス鉱は水分22~28%, Ni+Co 2.8~3.5%を含む。いずれも珪ニッケル鉱でCu, Asなどを含まず主成分を第2表に示す。無煙炭は主として韓国産のものを用いるが、稀れには北朝鮮あるいは北ベトナム産のものを使用することがあり、組成を第3表に示す。石灰石は近県に産出し、また珪砂は構内自山の山砂を用いる。吹込用重油は低S頸城重油を使用している。

第2表 鉱石組成の一例

	銘 柄	Ig. loss	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	Ni+Co
ニューカレドニア	オー	11.00	40.79	16.20	0.55	25.60	2.80
〃	チ	11.83	38.88	19.73	0.89	23.00	2.80
〃	イル	10.62	41.58	16.19	1.06	25.64	2.71
セレベス	カレン	10.51	43.63	17.18	1.06	21.50	3.07
〃	モ	9.33	45.32	16.47	2.10	20.67	3.00
〃	マ	10.28	41.54	17.65	1.52	22.90	3.18
〃	ベ	8.95	40.52	20.28	1.95	21.60	3.15

第3表 無煙炭組成の一例

	銘 柄	水分	灰分	揮発分	固定炭素	S	P
韓 国	太	4.4	19.1	2.8	73.7	0.35	0.020
〃	江	5.2	19.4	2.6	72.8	0.33	0.026
〃	東	5.2	20.9	2.4	71.5	0.25	0.012
北 鮮	三	3.9	9.9	3.2	83.0	0.51	0.026
〃	電	4.9	12.5	4.8	77.8	0.24	0.024
〃	新	4.1	12.6	4.4	78.9	0.37	0.015
北ベトナム	ホンゲイ8号	1.8	18.8	6.7	72.7	0.33	0.008

3.3 原料処理

原料の粉碎、混合は湿式および半乾式の2系統ある。湿式処理はチューブミルで行ない、水分約50%のスラリーとし、タンクに貯蔵し調合（配合補正）を行なう。これをディスクフィルタで汙過し、水分約25~30%のケーキにする。一方、ラビッドドライヤおよびロータリードライヤで乾燥した副原料を適正な比で鉱石に加え、インペラブレーカで粉碎混合して調製した半乾式原料をさきのケーキに混ぜ合わせ、プレスローラ型あるいはパンペレタイザにて造粒し、予熱グレートを経てロータリーキルンに装入する。

3.4 還元製錬

ロータリーキルンは4基とも3.6mφ×70mで水冷摺動式5点支持である。排出端の固定フード内に重油バーナが挿入されている。

キルンに装入された原料は炉の回転によつて攪拌をうけ加熱される。炉内の予熱帯ではまず残留付着水分が除去され、原料温度の上昇につれて結晶水、揮発分などの逸散がさかんになり850℃で完結する。同時に鉱石中に見られる Surpentine ($3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)およびTalc ($3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)は消滅して Enstatite ($\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$), Forsterite ($2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$)に変化する。炉の中央部（還元帯）にさしかかると、Ni および Fe などの還元がはじまり、1,200℃以上になるとその反応は急速に進行し、海綿状のフェロニッケルとなる。珪ニッケル鉱中の Fe, Ni の被還元性は比較的悪く、CO ガスによる還元は極めて微弱で、C (Solid) によるそれがほとんどであるとされている。原料がさらに進行するにつれて、slag formation がはじまり半熔融状態になる。この部分がいわゆるルッペ帯で、このゾーンでルッペの生長が行なわれる。

ルッペの成長機構は、ヨハンゼン (F. Johansen) によれば、還元帯で還元された Fe (Ni) はかなりの量のスラグが混在する海綿状粗金属で、これがルッペ帯ガス相（酸化性雰囲気）にふれて一部分の Fe が酸化されて FeO となつてスラグ中に入りその流動性を増す。このとき酸化熱、スラグ生成熱を伴つて温度は上昇し、スラグは流れやすくなり海綿状粗金属のスラグと金属の分離が起こり、自然に金属が互いに鍊接される。酸化されてスラグ中に入った FeO は炉の回転によつて原料内部に入り、その残留炭素により再び還元されて Fe となる。これを繰返すことによりルッペが成長するとされている。

しかしながらルッペの金属組織に関する解析結果からは、ルッペの成長については酸化性雰囲気よりもむしろ固体炭素の存在の方が支配的であるともいえる。すなわち微粒金属の表面は滲炭をうけると融点が低下して互

いに結びつき易くなり、炉の回転に伴う原料の攪拌により成長し大きなルッペになる。これはルッペの粒度による組成の違いからも容易に推定できる。またルッペの成長初期における2,3の元素の挙動にも注目すべきものがある。したがつてルッペの成長機構に関して筆者はヨハンゼンの説がすべてではなく、他にも種々の要因があると考ええる。いずれにしても、ルッペの成長を促進するにはルッペ帯のスラグ粘性、温度、時間、組成などを適正に保持することが肝要である。

炉の排出端における温度は約1,300℃で熔成物は水砕されて選別工程で処理される。スラグを構成する主な化合物は Forsterite ($2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$), Enstatite ($\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$), α -Quartz (SiO_2) でわずかに Cristobalite の存在も見うけられ、その組成を第4表に、またルッペの組成を第5表に示す。

第4表 スラグ組成

SiO ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	FeO
50~55%	26~33%	4~6%	3~6%	3~6%

第5表 ルッペの組成

C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni+Co
0.1~1.5%	0.03~0.20%	tr.	0.02~0.06%	0.20~0.40%	tr.	0.2~1.2%	20~28%

3.5 選別

水砕された熔成物をブレーキクラッシャ、インペラブレーカおよびマーシミルなどで粉碎し、ルッペをスラグから単体分離させる。このように処理されたものの粒度は大略50~0mmφの範囲にあり、振動フルイを用いて+5mm, 5~1.2mm, -1.2mm の3種類にふるい分けする。選別方法としてはルッペ (S. G7.3) とスラグ (S. G 3.0) の大きな比重差を利用して比重選鉱法を用いる。粒度の粗い+1.2mmはハルツジグ (Harz Jig) で処理し、片刃は再び粉碎工程へ戻す。-1.2mmの細粒はウィルフレー・テーブル (Wilfrey table) で処理し、片刃はキルンに再装入される。なお別に -1.2mm 部は全量マグネットセパレータで磁力選鉱し、その片刃はキルンに戻す。マグネットセパレータ尾鉱は排出され、埋立工事あるいはコンクリート二次製品の細骨材として利用されている。

3.6 スラグ利用

第1表に示すとおり、珪ニッケル鉱は造滓成分が極めて多く、スラグ量は装入鉱石量の約90%に達する。クルップ・レン法によるスラグの粒度は -1.2mm で、その主な性質を第6表に示す。

粒形は熔成物を破碎したものであるから角ばつてい

第6表 スラグの性質

真比重	見かけ比重	単位容積重量	実 績 率	吸 水 率
2.99	2.94	1.80kg/l	61.5%	0.45 O/wt

(モース硬度7)に近い硬さである。破碎性は Work index が約22kWh/t であり、そのじん性は石灰石のその約2倍近い値である。

これをコンクリート二次製品の細骨材に用いた場合、強度が大で防水性のよい製品が得られる。昭和39年1月よりスラグ利用を実用化し、現在コンクリートブロックU字溝、パイプ、ポール、コンクリート管などに大量に生産されている。

また人工軽量骨材(ALLA)としての工業化研究も実施した。試験用ロータリーキルン(1.6mφ×35m)を用い、海底のへどろにスラグを混合し、造粒焼成して比重約1.3~1.5で化学組成およびコンクリート打込み試験に関するJIS規格のすべての項目に充分合格する製品を得た。その他スラグ利用に関する各種の研究がすすめられている。

4. 結 言

近年ニッケル需要とくにステンレス鋼を中心とする特殊鋼のフエロニッケル消費は目ざましいものがある。昭和43年度の推定ではフエロニッケルによる特殊鋼へのニッケル添加量は36,000tで全体の53%を占め、42年に比較して5%伸びている。しかし原料のほとんどをニューカレドニアから輸入している国内フエロニッケルメーカーは原料面で大きな問題を抱えている。すなわち世界的なニッケル不足からくる鉱石代の値上りと品位の低下である。現在ニューカレドニアのニッケル鉱石の賦存率は3.0%のもので6%、2.4%のもので30%、2%のもので、65%ともいわれている。品位が低下すれば当然コストが高くなり、このようなきびしい状態におかれて世界のメーカーに伍して行かなければならない。これに対処して従来以上に収率の向上および量産効果によるコストダウン、さらには低品位鉱の製錬、スラグ利用などにつき技術の改善研究ならびにその実用化に努める所存である。

佐賀関製錬所におけるフエロニッケル製錬

Ferro-Nickel Smelting at Saganoseki Smelter of Nippon Mining Co., Ltd.

真 坂 英 夫*

Hideo MASAKA

1. 緒 言

当所のフエロニッケル製錬は、昭和8年3月に電気炉法によつて開始されたが、昭和18年から25年の間は第2次世界大戦により原料が入手できず操業は中断された。26年に再び原料が入荷し、電気炉法によつて操業は再開された。その後、幾多の変遷を経て今日の熔鉱炉法に、また昨42年から稼働をはじめたクルップレン法の併用にと発展し、熔鉱炉法において月産Ni 500tに、さらにクルップレン法により月産300t、計800tの高・低炭素フエロニッケル、フエロニッケルルッペの生産設備を有するにいたつた。

2. 経 緯

当所におけるフエロニッケル製錬の起源は遠い。大正4年、第1次世界大戦で金属類が急騰した。たまたま、この折に仏領ニューカレドニアから、Ni 鉱石売り込みの

申入れがあり、直ちに6,000tの買鉱契約を結ぶと同時に、大分県日出町に金属Ni製錬所の建設にかかつた。しかし、諸般の情勢から同6年に工事は中止となり、以後16年間鉱石は雨ざらしのまま貯蔵された。

昭和6年に満州事変が勃発し、Ni 価格が再び急騰した。そこで速やかにこの鉱石を処理すべく再びNiの生産を計画した。しかし、金属Niを生産するには、設備・工程ともに複雑であり再び市況が悪化するおそれもあるので、一日も早く製品化せねばならない。よつて、用途としては限定されるが、還元するだけで簡単に製品化できるフエロニッケルを生産することとなつた。かくて電気炉法によるフエロニッケルの生産が当所で開始されたのは、昭和8年3月である。生産当初は、3相エルー式電気炉(トランス200kVA×3台)を用い、処理鉱量75t/月であつた。本法は鉱石を乾燥後、木炭を還元剤として電気炉で還元熔解して粗フエロニッケルを得るもので、昭和11年に貯鉱を処理し尽した。

しかし、Niの需要はその後も増加を続けたので、鉱石を輸入するとともに、設備も処理鉱量1,000t/月に増

* 日本鉱業株式会社佐賀関製錬所製錬部製鉄課長
昭和42年10月、武石彰：昭和42年鉱業関係学会合同秋季大会分科研究会にて発表。