

© 1985 ISIJ

フェロニッケル製造法における最近の状況



田 中 克 芳*

Production of Ferro-nickel—Current State of the Industry and Production Technology

Katsuyoshi TANAKA

1. 緒 言

ニッケルという元素が抽出、命名されたのは、1751年(スウェーデン Cronstedt)であるが、使用認識は、有史以前の中国、ペルシャ、北欧における Ni-Cu 合金の貨幣及び武器また隕鉄にまでさかのぼる。

1830年代に興つた洋白工業でニッケルは重用されたが、産出量は極めて少なかつた。1863年、フランス政府から派遣された鉱山技師 GARNIER は、フランス領ニューカレドニアに豊富なニッケル鉱床を発見した。この鉱床はラテライト (Laterite) 系酸化ニッケル鉱床であり、発見者の名にちなんで、鉱石はガーニエライト (Garnierite—珪苦ニッケル鉱) と名付けられた。以後それまでの銅に随伴する硫化鉱床系のニッケルに加え、酸化鉱床系の資源が加わることとなつた。

Ni+Co 65~68%, Fe 29.5%, S 2.5% これが世界で最初に作られたフェロニッケル(Crude)といわれる。1876年ガルニエは、Ni 10% 以上の高品位珪苦ニッケル鉱を用い、ニューカレドニアでシャフト炉による製錬を、フランスで精錬を試みた。当時はすでに鉄鋼の性状向上にニッケルが役立つこと、ニッケル源としてフェロニッケル使用の可能性が示唆されていた。

第1次世界大戦後、1928年には、ニューカレドニアにおいてル・ニッケル社が電気炉 (1000 kW) を用いて還元製錬を行い、Ni 55~75%, C 0.07%, S 0.3~0.4%, Fe Bal. とかなり改良されたフェロニッケルを製造している¹⁾。

日本においては昭和8年(1933年)日本鉱業(株)が佐賀関製錬所で電気炉 (300 kW 3相アーク炉) によつて、フェロニッケルの製造をはじめた。原料鉱石は、Ni 5.5~6.0%, フェロニッケルは Ni 32~35%, C 1.5~2.0% で、全量当時の安来製鋼所において特殊鋼原料として使用された。その後工程の改良、設備の拡張を行い、昭和11年には、Ni 23~24%, C 0.05~0.07%, Si<0.1%, S<0.03%, P<0.03% の品質のフェロニッ

ケルを製造し(月産約 35 t Ni)、海軍工廠へも納入をはじめている。

以降、輸入鉱を用いたフェロニッケル製錬は、昭和12年日本曹達(株)横浜・直江津工場において、また国内の貧鉱を原料としたフェロニッケル・ルッペの製造は、昭和15年大江山ニッケル(株)において始められ、その他数社もニッケルの生産を手がけた。しかし、やがて第2次世界大戦により原料鉱石の輸入が不可能となり、各社とも製造を中止している²⁾¹⁰⁾。

戦後は、

1) 昭和26年日本鉱業(株)佐賀関製錬所において、電気炉—底吹転炉—金属電極電気炉により、LC フェロニッケルを生産。(昭和28年には、溶鉱炉—底吹転炉—金属電極電気炉)

2) 昭和27年日本冶金工業(株)大江山製造所において、ロータリーキルンにより、フェロニッケル・ルッペを生産。

3) 昭和31年大太平洋金属(株)新発田工場において、焼結機—電気炉(あるいは小型溶鉱炉)による LC フェロニッケル

4) 昭和32年住友金属鉱山(株)富山製錬所において、焼結機—電気炉により LC フェロニッケル

と続々名乗りをあげ、以降、各社共設備・工場の拡張、新技術の導入・開発を行い、我が国鉄鋼業特にニッケル系ステンレスを大宗とする含 Ni 特殊鋼の発展に寄与してきた^{3)~5)}。

本稿においては、ニッケルの資源・需給、種々のフェロニッケル製錬法を概観し、問題点を明らかにする。

2. 世界のニッケル需給と資源

2.1 ニッケル資源の賦存

世界のニッケル資源の推定量を図1に示した⁶⁾。深海底団塊、熱水鉱床は除外しているが、世界のニッケル消費量をやや多目にとつても、今後100年間は資源として頼ることができよう。

昭和59年8月21日受付 (Received Aug. 21, 1984) (依頼解説)

* 日本鉱業(株)金属事業本部製錬総括部 (Smelting & Refining Div., Metals Group, Nippon Mining Co., Ltd., 2-10-1 Toranomom Minato-ku 105)

ただ、含有成分から結果的に低採取コストですむ Sulfide (硫化鉱) 系の資源は、Laterite (酸化鉱) 系資源の 1/6 程度にすぎず、年々採掘は深部に、製錬では環境保全に悩みがあること、一方、主流を占める Laterite 系鉱床は、年々その埋蔵量の増加が伝えられるものの、長期的には低品位化の傾向にあることに注意しておきたい。

2.2 世界のニッケル需給

自由世界の鉱山生産量、製・精錬所生産量、消費量の過去 5 年間の推移を図 2 に示した⁸⁾。1983 年の鉱山生産量で特にニューカレドニア、インドネシアの減少が目立つが、これは主として我が国ならびにル・ニッケル社におけるフェロニッケル生産の減少によるものである。製・精錬所生産で世界の需要変動の影響を大きく受けているのは、カナダ及び日本である。鉱山、製・精錬所共に変動は大きい、自由世界計では、400~550 千 t Ni/

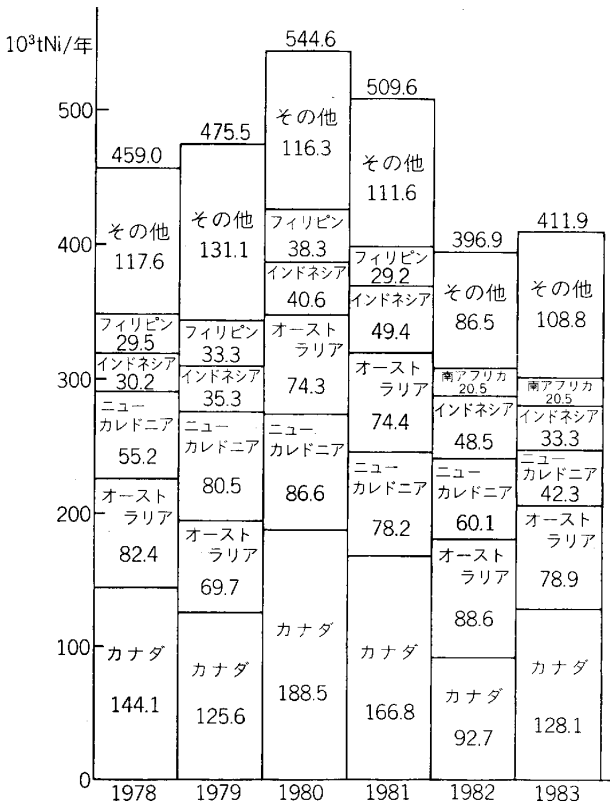
硫化鉱 (14)		酸化鉱 (86)				
⑥ オーストラリア (32)	③ カナダ (7.3)	① ニューカレドニア (50.0)	② キューバ (15.0)	④ インドネシア (5.6)	⑤ フィリピン (5.0)	他 (10.4)

(西側諸国のシェアは 82%)

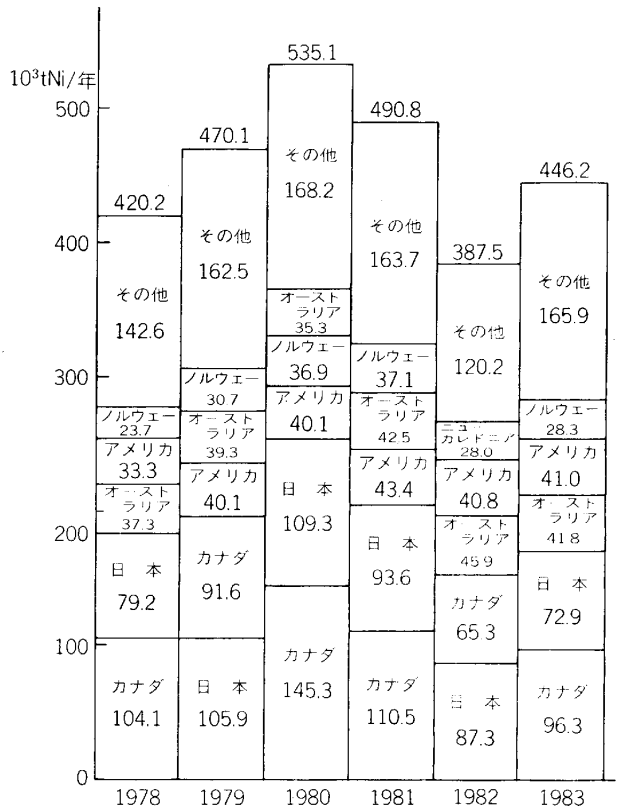
() 内の数字は % = $\times 10^6$ tNi

○ 内の数字は、順位

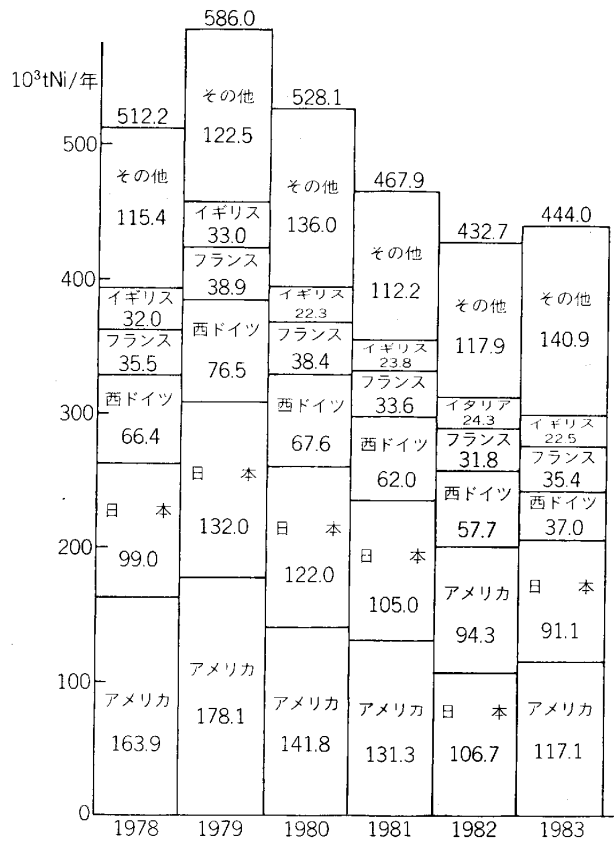
図 1 世界のニッケル資源推定量 (= 99.7×10^6 t-Ni)



(a) 世界のニッケル生産 (鉱山)



(b) 世界のニッケル生産 (製錬所)



(c) 世界のニッケル消費

図 2 世界のニッケル需給

表 1 ニッケル，フェロニッケルの生産，輸入
(t, カッコ内は構成比)

	ニッケル地金		フェロニッケル (Ni 純分)	
	輸入	生産	輸入	生産
50	7 676(37)	12 921(63)	2 400(4)	59 424(96)
51	9 837(29)	24 132(71)	3 500(5)	63 416(95)
52	8 896(27)	24 138(73)	4 900(7)	65 004(93)
53	8 227(28)	21 637(72)	5 100(9)	52 392(91)
54	16 415(40)	25 017(60)	8 200(10)	74 367(90)
55	12 914(34)	24 853(66)	7 700(9)	73 566(91)
56	14 883(39)	23 787(61)	6 600(9)	63 008(91)
57	16 770(42)	23 328(58)	7 500(11)	60 030(89)
58	22 870(49)	23 764(51)	10 000(18)	45 739(82)

1) 地金の輸入はオーストラリア (製鋼用酸化ニッケル) を除いた
2) 58 年のフェロニッケルの輸入は製品量 (36 750 t) より推定
3) 輸入は通関統計，生産はニッケル業界資料による

年のニッケルが生産されている。

消費は，1979 年の 590 千 t をピークに年々減少を続けてきたが，1983 年に至りようやく回復基調に転じてきた。しかし，自由世界の実働可能生産能力とされる 650~700 千 t Ni/年には及ばず，今後も世界の各生産者は低操業度を維持することとなろう。一方，このような環境のもとで，新規生産者の台頭に加え，生産圏からの大量流入により，自由世界のニッケル市場はまだしばらくの間混迷を続けるであろう。

2.3 日本のニッケル需給

昭和 50 年以降の，我が国のニッケル輸入量と生産量の比較を表 1 に示す²⁾。自由世界ニッケル消費の 25% を我が国が占めており，国内ニッケル消費の 60% がフェロニッケルである。また，我が国のステンレス鋼は，そのニッケル源のおよそ 80% をフェロニッケルによっている。

1982 年後半のニッケル価格 (最近では LME 価格が目安となる) 暴落時以降，各需要家は，戦略的価格政策をとる海外ニッケル生産者からの，ニッケル (地金，オキサイド及びその加工品，フェロニッケル等) 購入割合を急激に増した。このため，国内各フェロニッケル生産者は大きな打撃を受けた。

2.4 フェロニッケルの原料鉱石

日本におけるフェロニッケル原料鉱石 (ガーニエライ

t) の供給元は，現在，ニューカレドニア，インドネシア (スラヴェン，ゲベ)，フィリピン (リオツバ，ヒナトワン) である。この種のラテライト系ニッケル鉱石は，上記の他キューバ，コロンビア，ドミニカ，ギリシャをはじめとし，主に南・北回帰線の間広く賦存する。採掘は露天掘である。

ガーニエライトの成因については諸説があるが，一般的には次のように言われている。カンラン岩が，熱帯性の高温多湿気候により長年にわたる風化作用を受けて変質し，2 次的に蛇紋岩を生成する。最も風化の進んだ地表近く (通常 1~10m の範囲) には，Mg, Ni が少なく Fe₂O₃, SiO₂ の多い赤褐色泥状のラテライト層がある。このラテライト層の下部 (1~10~20m の範囲) に，Ni, Co が濃縮した蛇紋岩質の珪苦ニッケル鉱 (ガーニエライト) が存在する¹⁾³⁾。

この成因からも推察されるように，場所によつて鉱石の胚胎状況，鉱石の鉱物学的・物理的・化学的性質，化学組成等が大きく異なる。従つて，原料鉱石の選択，立地によつて適切なシステム，製錬プロセスを選択すること及び十分な対策をとることが肝要である。選択の誤りあるいは不十分な対策によるトラブルの例は，幾度か伝えられた。原料鉱石の組成例を表 2 に示す。またこの鉱石は“塊粉混合”であり，産地，採掘場所 (時期) によつて粒度分布も変化する。例を図 3 に示す。

3. フェロニッケル製造プロセス

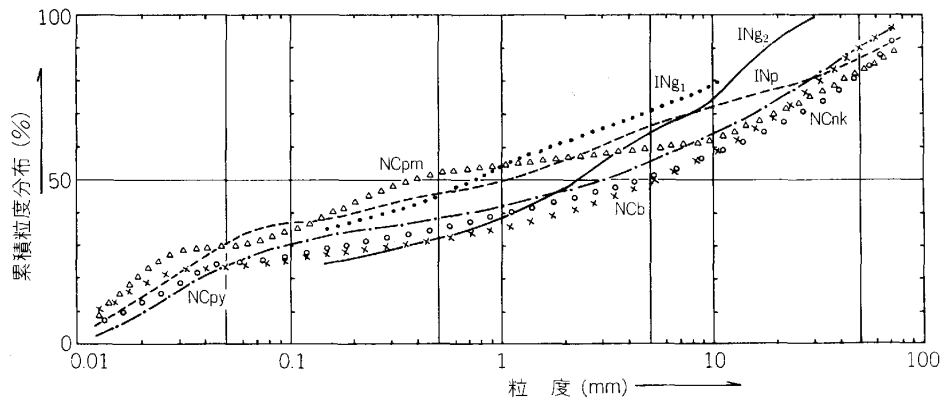
世界の 10 数ヶ所で様々なプロセスが採られている (表 3) が，これらは主反応を電気炉によるもの，ロータリーキルンによるもの，あるいは溶鉱炉によるものと，3 法に大別することができる¹⁾³⁾⁷⁾¹¹⁾。

使用鉱石の鉱物学的性質，物理化学的性質，組成を前提とし，立地をふまえ，目的製品を考えつつ，予備処理工程，本工程，後工程に，種々の要素を加味して全体プロセスが考えられている。

以下，主な製錬プロセスについて述べるが，ユージン法，シャフト炉-電気炉法については略述にとどめ，ロ

表 2 フェロニッケル原料鉱石組成例 (%)

産地	成 分														
	Ni	Co	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Cu	P	S	Cr	L.O.I.	付着水			
ニューカレドニア	クモボ	ワネ	ワオロ	2.3	0.06	12.5	36.5	1.4	27.8	0.002	0.0006	0.03	0.6	11.9	26.6
				2.4	0.08	13.1	35.1	0.8	28.0	0.001	0.0007	0.02	0.7	12.4	24.0
				2.5	0.09	10.6	41.2	—	28.6	—	0.004	0.02	0.7	9.5	23.1
インドネシア	ボゲ	マ	ラベ	2.4	0.03	12.0	45.4	1.8	21.0	0.001	0.0014	0.01	0.6	9.3	30.6
				2.5	0.10	15.3	35.7	0.8	23.1	0.008	0.0010	0.02	1.0	12.4	34.4
フィリピン	リオチュバ			2.3	0.03	13.9	41.9	0.9	22.1	0.001	0.0017	0.03	0.7	10.8	30.1
ドミニカ	ボナオ			1.7	0.04	15.7	35.6	2.0	23.5	—	0.002	0.02	0.8	11.0	27.6
U. S. A.	リドル			1.5	0.02	11.0	48.2	1.3	24.6	—	0.001	0.01	0.6	7.3	17.8
ギリシャ	ラリムナ			1.3	0.03	34.5	17.6	13.2	2.1	—	0.008	0.04	1.7	6.5	5.6
コロンビア	セロマトソ			2.7	0.05	13.8	45.9	1.8	17.4	—	0.001	0.08	0.4	9.6	27.0



NC.....ニューカレドニア, pm, py, b, nk は鉱山を示す略号
 IN.....インドネシア, g1, g2, p は鉱山を示す略号
 g1, g2 は同鉱山で時期が二年異なる。

図 3 ニッケル 鉱石の粒度分布例

表 3 フェロニッケル製造法

製錬方式	製 錬 所				使用 鉱 石	生産能力 (千 t Ni/年) '84 実動ベース	注
	会 社	国	場 所				
キルン-電気炉法	S L N	New Caledonia	Doniambo	New Caledonia	45	他にマット, MNi用 15千 t Ni/月	
	A N T A M	Indonesia	Pomalaa	Pomalaa & Gebe	5	—	
	L A R C O	Greece	Larymna	Larymna	18	選択還元	
	CERRO MATOSO	Colombia	Montelibano	Montelibano	23	—	
	MORRODE NIQUEL	Brazil	Pratapolis	Pratapolis	2	—	
	C O D E M I N	Brazil	Niquelandia	Niquelandia	7	—	
	F E N I	Yugoslavia	Kavadarci	Rzanoro	12	'84年 3月休止	
	FERRO NIKL	Yugoslavia	Kosovo	Ciakatovo	12	'84年 5月稼働	
	大平洋金属 (株)日向製錬所 (住友)	日 本	青森・八戸 宮崎・日向	Rio Tuba 他 New Caledonia他	22 9	一炉休止中	
	日 本 鉄 業	日 本	大分・佐賀関	New Caledonia他	10	一炉休止中	
シャフト炉-電気炉法	Falconbridge	Dominica	Bonao	Bonao	30	一炉休止中, 選択還元	
電気炉-スキップミキサー法 (ユージン法)	HANNA	USA	Riddle	Riddle	9	'81~'83 休止	
ロータリーキルン法 (クルップレン法)	日本冶金	日 本	京都・宮津	Pomalaa 他	11	選択還元	
溶 鉱 炉 法	日本鉄業	日 本	大分・佐賀関	New Caledonia 他	6	—	

ーターキルン法, キルン-電気炉法, 溶鉱炉法については, 若干詳しく述べることにする。(その他のプロセスについては記述を略する.)

3.1 ユージン・プロセス

ハンナマイニング (Hanna Mining) 社が, 米国オレゴン州リドルで自山鉱を対象に製錬している世界唯一のプロセス. 操業フローシートを図4に, 産出物の組成を表4に示す.

熔融鉱石を自家製 Fe-Si で還元するために, スキップミキサーを用い, 得られた熔融フェロニッケルを, アーク式電気炉で脱りん精製する. 還元率の調節は容易であるが, 収率が低く(90% 前後), 高価な Fe-Si を要し, 脱りんのための精製工程を必要とする¹⁾³⁾⁹⁾¹¹⁾. 鉱石の熔融, Fe-Si 製造, 脱りん精製用に, 安価な電力を確保することが, 不可欠である.

3.2 シャフト炉-電気炉法

ファルコンブリッジ (Falconbridge) 社が, ドミニカ共和国ボナオで, 自山鉱を対象に採用しているユニ

クなプロセスである. 操業フローシートを図5に, 産出物の組成を表5に示す.

半乾燥鉱を団鉱成型し, シャフト炉に装入, ナフサのクラッキングガスによる予備還元後, 電気炉に熱装入し, 選択還元を行う. 電気炉からの溶湯は, ASEA-SK 下炉で脱硫する¹⁾³⁾⁹⁾¹¹⁾. 収率が低い(90% 前後). 安価な還元剤・エネルギーの確保と, 良質安定した団鉱の製造が最重点である.

3.3 クルップレン・プロセス

日本冶金工業(株)が, 大江山鉱山の極低品位ニッケル鉱(蛇紋岩)を対象に開発した技術を, 戦後, 輸入ニッケル鉱を処理対象として改良発展させてきた. このプロセスは, 大江山製造所の他に昭和40年代, 日本鉄業(株)によつて佐賀関製錬所で採用されたが, 生産能率向上のため数年間でキルン-電気炉法に転身した. したがって, 現在大江山製造所における操業が, 世界唯一のフェロニッケル用クルップレン・プロセスである.

操業フローシートを図6に, 主要設備仕様を表6に示

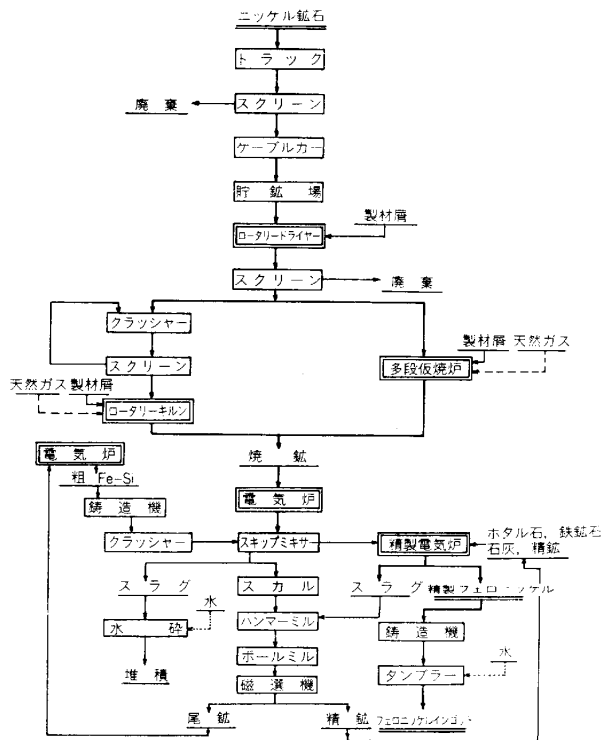


図 4 ユージンプロセスフローシート

表 4 ユージン法産出物組成例 (%) (HANNA)

粗フェロニッケル	Ni	Co	C	Si	P	S	Cr
	47.0	0.5	0.01	Tr	0.2	0.007	0.2
スラッグ	Ni	Fe	SiO ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃
	0.12	10	55	25	1.5	1.5	0.6

す。産出物の組成例を表 7 に示す。

鉱石は、無煙炭、石灰石とともに過粉碎を避けつつ湿式粉碎し、還元材、溶剂量を調整後脱水し（水分 32%）ダスト等と混練後、径 12 mm の団鉱（スパゲティ状）として予熱用グレートに装入する。装入物は、グレート上でキルン排ガス（700°C）によつて乾燥されたのち（水分 10%）、ロータリーキルンに装入される。装入物は、ゆつくり回転する（0.6~0.8 r.p.m.）炉内を進み、排出端における微粉炭、重油燃焼によつて、乾燥→予熱→還元→造滓→メタル造粒と昇温反応過程を経由し、生成した半溶融物はクリンカーとして排出される。クリンカーは水砕急冷され、メタル回収（選別）工程へ送られる。ロータリーキルンの物量バランスを図 7 に示す。

ロータリーキルン操作の要点は、半溶融状態において還元、造滓、メタル造粒等の主反応を進めることで、反応物の組成、温度、粘性、滞留時間が、これらを制御するための主要因として挙げられる。

水冷クリンカーは、粉碎、篩別、比重選別、磁力選別等の操作を巧みに組み合わせた工程で処理し、スラッグとメタルに選別する。得られたメタルは、ルッペ(Luppe)と称し、全量同社のステンレス原料となる^{3)~5)7)9)11)}。

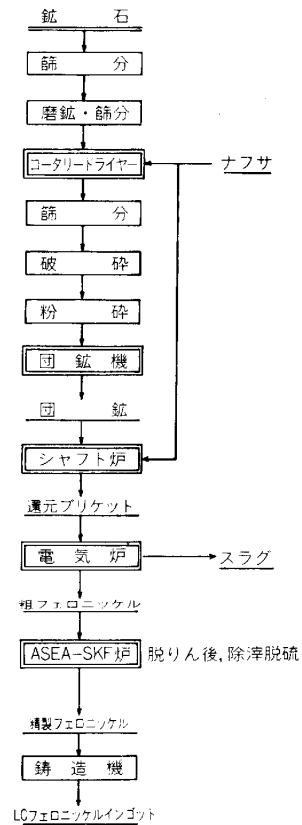


図 5 Falcondo フローシート

表 5 シャフト炉-電気炉法産出物組成例 (%) (Falcondo)

フェロニッケル	Ni	Co	C	Si	P	S	Cr	Mn
	39.1	0.76	0.08	0.26	0.010	0.080	<0.10	Tr
スラッグ	Ni	Fe	SiO ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃		
	0.23	14	49	28	2.4	0.6		

このプロセスは、高価な電力の消費が少ない、という利点を有するが、一方収率が低い、製品ルッペにスラッグが混入している、また水分を含み、ルッペ中の S が高い等の弱点をもつ。

最近、同所では、予備処理工程に半乾式法を取り入れ、更に省エネルギーを図つた。現在、立ち上り操業中である。

3.4 キルン-電気炉法

世界で最も一般的なフェロニッケル製錬法が、キルン-電気炉法であり、ロータリーキルンと密閉型大容量電気炉を接続したエルケム方式 (ELKEM-Electro Kemisk 社 (ノルウェー)) が、代表的である。各工場とも、それぞれの立地、環境、体力、原料事情、需要家とのつながり等にあわせ、技術の改良を進めているが、本稿では、このプロセス実用化の先駆者である大平洋金属(株)八戸工場の例を主に述べることにする。((株)日向製錬所、日本鉱業(株)佐賀製錬所については、紙数の関係で紹介を略す。)

表 6 日本冶金・大江山主要設備使用

No.	分類	設備名	基数	能力	水分(%)	その他仕様
1	荷役設備	艇	10隻	130 wt/隻		専用岸壁 バスケット容積 1.6m ³
		岸壁 電動式ジブクレーン	2	水深 2.8m 長 100m 225 wt/h		
2	原料置場	貯 鉱 場		15 万Dt	26	
3	前処理設備	インペラーブレード	4	100 wt/h	20	2.2mφ×8m ^l 篩目 3mm 6mφ 2.4mφ ろ過面積 70m ³ 真空脱水形 ダブルロール形 ロール径 1.01mφ
		チューブミル	4	85 wt/h	20	
		振動篩	4	〃	50	
		ラリタンク	12	325 m ³ /基	50	
		凝集分離槽	4	6 m ³ /基	70	
		ドラムフィルター	8	18.5 wt/h	33	
4	溶鉱設備	予熱グレード ロータリーキルン 電気集塵機 ダストシット	4 4 4 1	18.5 wt/h 18.5 wt/h 100 000 Nm ³ /h 800 m ³ /h	5	幅 4.04m×長 18.6m 内径 3.6mφ×長 71m×0~1.2 r.p.m. 燃料 C重油 湿式 20mφ 内容積 900m ³
5	選別設備	マシナリ	5	25 Dt/h		2.4mφ×長1.8m 篩目 1.2mm
		振動篩	5	25 Dt/h		
		ハルジ	6	10 Dt/h		
		磁選機	6系列 18基	12.5 Dt/h		1.5mφ×長10m
分級機	1	250 m ³ /h				
6	排水処理設備	排水シット	1	3 000 m ³ /h		32mφ 容積 2 400m ³ 20mφ 容積 630m ³
		排水シット	1	600		

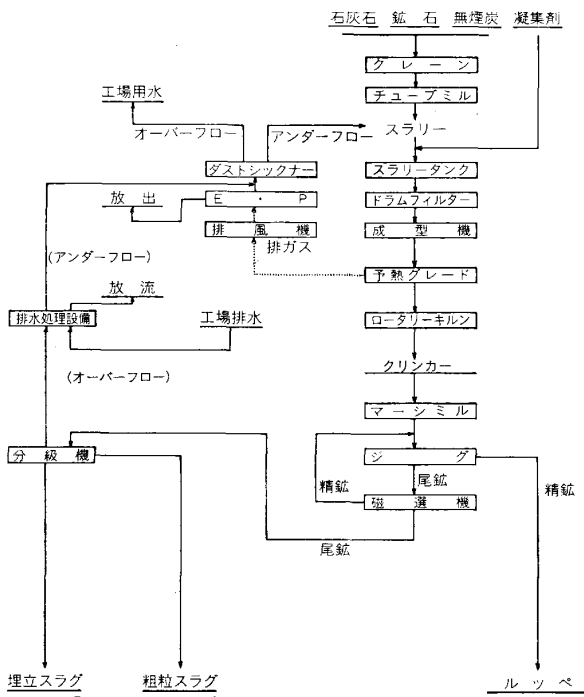


図 6 日本冶金・大江山フローシート(全湿式)

操業フローシートを図8, 主要設備仕様を表8に, 産出物の組成例を表9に示す。

鉱石は, 電気炉排ガス (600~700°C) と電気炉スラッグの熱回収設備から得た熱風 (400~500°C) を用いて, インパクトドライヤーとロータリードライヤーによつて乾燥 (水分 20%), 破碎を行い, 破碎, 篩別工程を経て 10 mm 以下に整粒する。還元材配合後, ペレタイザーで混合し, 微粉部分を造粒したのち, ロータリーキルンに装入する。

表 7 クルップレン法産出物組成例(%)
(日本冶金・大江山)

ルッペ	Ni	Co	C	Si	P	S	Cr	スラッグ	水分
		23.87	0.68	0.03	0.353	0.017	0.01	0.16	2.2
スラッグ	Ni	Fe	SiO ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃			
		0.22	6.2	53.9	28.0	5.3	2.5		

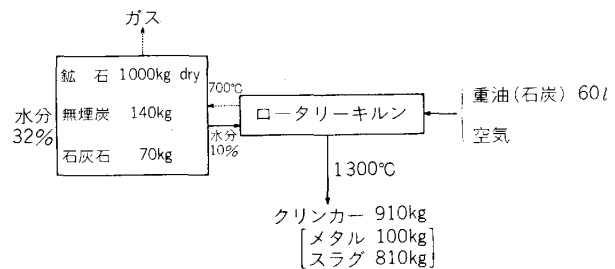


図 7 ロータリーキルン物量バランス(概略)
(日本冶金・大江山)

キルンでは, 附着水全量と, ほぼ全量の結晶水を除去し, 赤熱状態で排出される仮焼鉱 (800~900°C) を電気炉に熱装入する。主熱源は, キルン排出端のバーナーで燃焼させる微粉炭(補助燃料は重油)である。仮焼・還元用キルンでは, 配合物を排熱利用による予熱後装入するが, これにはキルン内高温帯を長く保持するため, スクープフィーダー, エアポート, サイドバーナーを装備し, ニッケルの 80% 以上, 鉄の 60% 以上を還元し, 次の工程である電気炉における電力消費削減に効果をあげている。キルン出口の仮焼鉱温度も, 1 050°C と高い。

仮焼鉱は, 保温コンテナで電気炉に運搬され, 保温ビン・シュートを経て電気炉内に連続装入される。電気

炉内には、1~3mの赤熱鉍層が形成される。仮焼鉍の温度は、電気炉内に至るまでにおよそ100°C低下するが、炉内で生成するCOの燃焼によつて再加熱され、電極近傍から迅速に熔融還元が進み、Ni、CoとFeの一部からなるフェロニッケル粒子は凝集し、スラグ層を沈降し炉床にたまる。大量に生成するスラグは、スラグ孔から間欠的に抜き出し、フェロニッケルも炉内貯湯量

に応じ、出銑孔から抜き出す。(出銑温度1400~1450°C) このフェロニッケルは、同工場内のステンレス製造工場には溶湯のまま送り、市販分は回転翼脱硫装置でカルシウムカーバイド等を用いて脱硫後、需要に応じインゴットもしくはショットとする。また一部は、需要家の要望に応じ、LD転炉で脱Si、C、Pを行い、低炭素フェロニッケル(通常品、高Ni品)としている。

電気炉内で、熱鉍層を通過上昇してきたガス(鉍層表面で約1000°C)は、集約後上述のように鉍石子備乾燥に利用する。

1550~1600°Cでタップされるスラグは、以前は全量丘流しを行っていたが、その顕熱を有効利用すべく、1電気炉に熱回収設備を設けた。熔融スラグを高圧空気で風砕し、ストレージタンクを経て、回転熱交換機で熱風(400~500°C)を得、これを鉍石乾燥に活用している⁹⁾~5)7)9)11)。

キルン-電気炉法は、重油、電力という簡便なエネルギーを使用できるということもあつて広く採用されたが、重油価格高騰に対処するため、重油は石炭(微粉炭)に転換した。電力も極めて高価であり、ニッケル1tあたり20~24MWhと大量を必要とするので、各工場とも様々な省電力、省電力料金策を講じている。

3.5 溶鉍炉法

溶鉍炉法は、日本鉍業(株)佐賀製錬所において、昭和27年、15t-dry-ore/日処理の角型木炭炉で第一歩を踏み出した。以後木炭をコークスに切り替え、排ガスによる自家発電設備、蓄熱式熱風炉の導入、6次にわたる大型化を含め、数々の合理化を進めてきた。現在稼動中

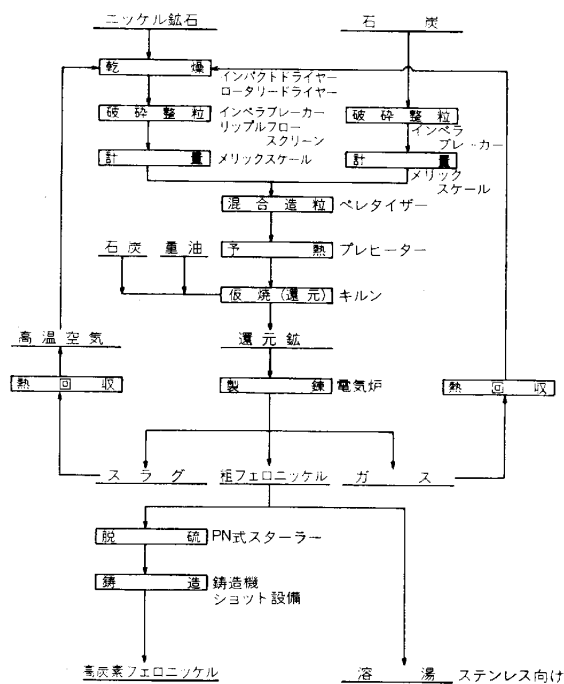


図8 キルン-電気炉法操作フローシート (大平洋・八戸)

表8 キルン-電気炉主要設備仕様 (大平洋・八戸)

設備名	能力	設備仕様	(基数)
ロータリードライヤ	100 t/h	3.15 mφ×30m ^l	(1)
インパクトドライヤ	35 t/h	100 t/h	(2)
ロータリーキルン	40 t/h (仮焼用) 65 t/h (") 100 t/h (") 45 t/h (仮焼還元用)	3.5mφ×75m ^l 4.7mφ×100m ^l 5.5mφ×115m ^l 3.0mφ×15m ^l +4.6mφ×12m ^l	(1) (1) (1) (1)
密閉型電気炉	40MWh (実負荷 14MW) 25MWh (" 23MW) 40MWh (" 36MW)	(休止中)	(1) (1) (1)
P N 脱硫装置	20~30 t		(2)
L D 転炉	30 t		(1)
鑄造機	40 t/h, 60 t/h		(3)
ショット設備	1000 "		(1)

表9 キルン-電気炉法産出物組成例(%) (大平洋・八戸)

		Ni	Co	C	Si	P	S	Cr	注
		フェロニッケル	E F 出 L C	21.0 23.0	0.38 0.42	1.81 0.015	2.50 0.15	0.02 0.005	
スラグ	—	Ni	Fe	SiO ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃		注
		0.08	6.46	53.4	32.3	1.8	1.8		

の溶鋳炉は、昭和 56 年に改修を行つたものである。

操業フローシートを図 9 に、主要設備仕様を表 10 に、産出物の組成例を表 11 に示す。

鋳石は、溶鋳炉排ガス (B ガス) を熱源とするロータリードライヤーにより、以後の破碎、篩別が可能なる程度 (およそ 20%) に乾燥する。乾燥鋳石は、破碎・粉碎・篩別をくり返し粒度調整後、双輪式団鋳機により、約 30 cm³/個の団鋳とする。鋳石には、溶鋳炉ダスト等若干

の回収粉が混入されるが、ほかにバインダーは用いていない。

団鋳、コークス、石灰石は、自動的に切り出し、炉頂旋回シュートを経て溶鋳炉炉頂に層状装入する。溶鋳炉は概念的には製鉄用高炉に類似しているが、根本的に異なる点は、フェロニッケルの場合には装入鋳石が湿つてゐること (付着水分約 20%、結晶水約 10%—含水率 28%) と、鋳石中のスラグ成分が多く、メタル成分が少ないこ

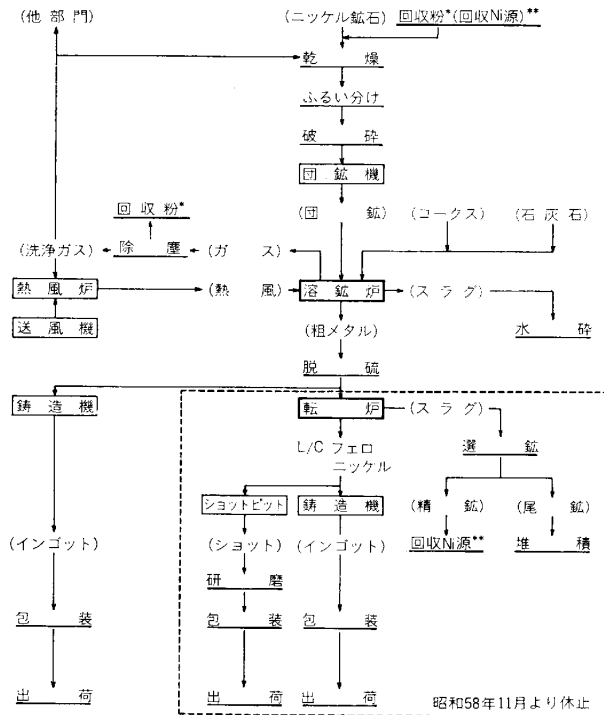


図 9 溶鋳炉法操業フローシート (日本鋳業・佐賀関)

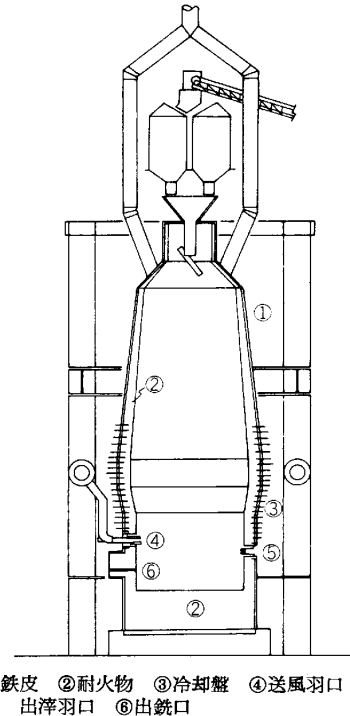


図 10 フェロニッケル溶鋳炉外形概念図 (日本鋳業・佐賀関)

表 10 溶鋳炉法主要設備仕様 (日本鋳業・佐賀関)

荷役設備	専用岸壁	1	30 000 t/h	300ml×10mD	他と共用
	アンローダー	6	700 t/h	—	—
	ドルフィン	1	300 t/h	—	—
	鋳石受入ベルコン	1	1 300 t/h	スラグ積込用	溶鋳炉専用
原料置場	屋内貯鋳場	1	50 000 t	—	—
	屋内コークスヤード	1	—	—	—
	屋内石灰石ヤード	1	—	—	—
前処理設備	ロータリードライヤー	1	60 t/h	2.8mφ×25m ^l	—
	団鋳機	3	30 Wt/h	双輪式	—
溶錬設備	溶鋳炉	1	22 000 t dry ore/月	176m ³	鉄皮自立式ベルレス
	熱風炉	3	1 050°C	—	内燃式
	硫脱低周波誘導炉	2	15 t/ch	—	機械攪拌式 ⁽¹⁾ , DM コンバーター ⁽¹⁾
	鑄造設備	2	15 t/ch	—	—
	ショット設備	1	15 t/ch	—	連続鑄鉄機

表 11 溶鋳炉法産出物組成例 (%) (日本鋳業・佐賀関)

フェロニッケル 1350°C	Ni 20.2	Co 0.33	C 2.6	Si 5.0	P 0.02	S 0.5*	Cr 1.8	注
スラグ 1450°C	Ni 0.08	Fe 3.5	SiO ₂ 51.5	MgO 30.1	CaO 9.3	Al ₂ O ₃ 1.4	—	注
溶鋳炉ガス	CO 24	CO ₂ 10	H ₂ 3	N ₂ Bal	—	—	—	注

表12 フェロニッケル製造法別操業諸元例 (推定)

(Ni 純分トン当たり)	クルップレン法	キルン電気炉法	溶 鋳 炉 法	備 考
Ni 収 率 (%)	90	98	97	
Ni 鋳 石 (t)	45.4	41.6	42.1	
エネルギー電 力 (kWh)	4 500	22 000	4 000	* 石炭転換前の数値
重 油 (kl)	2.7*	0.3	0	
石 炭 (t)	6.4	8.1	0	
コークス (t)	0	0	12.6	
有効ガス (Nm ³)	キルン排ガス 鋳石予熱	電炉排ガス 鋳石乾燥	Bガス 自己使用の他売却	
石 灰 石	3.2	0	8.0	
ス ラ グ 量 (t)	42	32	35	

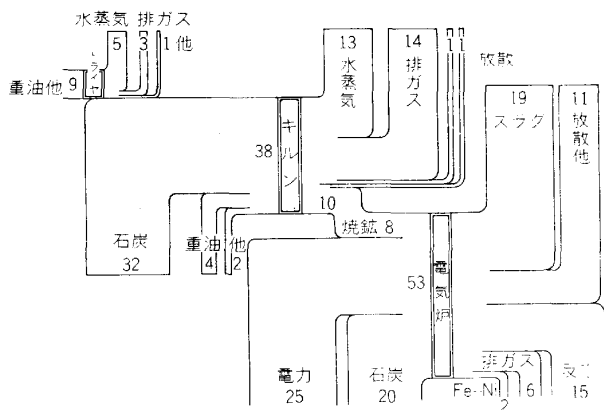


図11 キルン-電気炉, エネルギーバランス例 (%) (昭和56年 日本鋳業・佐賀関)

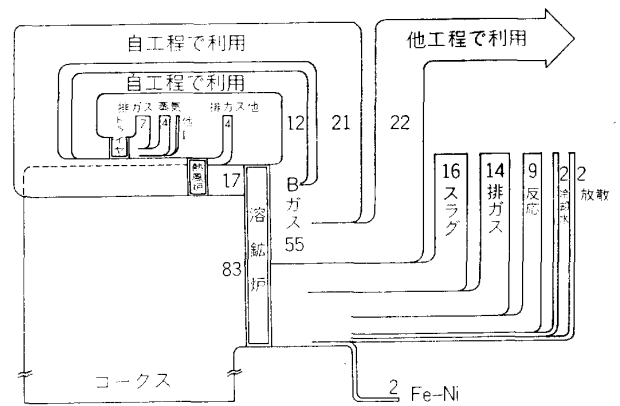


図12 溶鋳炉法エネルギーバランス例 (昭和56年 日本鋳業・佐賀関)

と (スラグは鋳石の 80% 相当, メタルは 15% 相当) である。従つて炉の構造は, 製鉄用高炉と異なり低炉である。溶鋳炉外型概念を図 10 に示す。

送風は, 除湿後熱風炉で 1050°C に昇温して, 羽口 (12 本) から炉内に送入するが, 高圧操業は行っていない。炉床部にたまったメタルは, 所定時間ごとに出銃孔から抜き出し, カルシウムカーバイド他を用い回転翼脱硫装置で脱硫後鑄造し, 高炭素フェロニッケルインゴットとする。以前は溶鋳炉出フェロニッケルのかなりの部分を LD 転炉で精製し, 低炭素フェロニッケルとしていたが, 1) 低炭素フェロニッケルが, 市場でそれだけの評価を受けないこと。2) 低炭素フェロニッケルの需要が, 急激に減少してきたこと。3) 高炭素フェロニッケルに含まれる Si, C, Cr が評価されること。4) 使用する鋳石, コークス, 石灰石および使用方法の吟味によつて, 溶鋳炉出フェロニッケル中のりんを, 0.03% 以下に保ち得る見通しがついたこと等により, 昭和 58 年 11 月以降, LD 転炉は, 操業開始以来およそ 15 年にわたる役目を果たし休止した。

溶鋳炉炉床部にたまったスラグは, 出銃孔と反対側にある 2 ケの出滓孔からほぼ連続的に交互排出し, 水砕処理する。炉頂部から排出されるガスは, 乾式除塵, 湿式除塵, ミスト除去後, ダスト含有率 0.005 g/Nm³ 以下の清浄ガス (およそ 900 kcal/Nm³) として, ガスホル

ダー, 送ガス管を経て, フェロニッケル溶鋳炉・電気炉系をはじめ, 銅製錬系の各種熱設備において, 重油代替燃料として有効活用されている^{3)~6)7)9)~11)}。

このプロセスは, コークスという地域性にとらわれないエネルギーを主とし, 高価でその上地域偏位性の強い電力消費が少ないという利点を有する反面, 大量のコークス消費を救済する B ガスの有効利用先が少ない工場には向かないこと, ある程度の原料・副原料の選好性を有すること等, 立地・立場上の制約がある。

4. 諸問題点とその解決方法

代表的なフェロニッケル製錬方式について述べてきたが, クルップ・レン法, キルン-電気炉法, 溶鋳炉法の操業諸元を表 12 に例示し, 後 2 者のエネルギーバランス例を図 11 および図 12 に示す。

いずれのプロセスも, 立地環境に応じたくふうをこらしているのので, 各プロセスの優劣は簡単には評価できない。フェロニッケル製錬が抱える諸問題点と解決方法については, 既に触れてきたが, 以下とりまとめ, 簡単に述べる。

4.1 原料鋳石について

ニッケル鋳石は, 鉄, 非鉄主要金属 (Fe, Cu, Zn, Al 等) の鋳石中では最も低品位であり, その上 20 年以前までは偏在資源とされていた。現在では, 各資源国の理解と日本のフェロニッケルスマルター各社の努力に

より、重要資源の中では最も信頼できる原料と評価されるに至った。今後も、資源国との協調友好関係を保ちつつ、安定原料としての地位を保全することが、我が国資源産業の一端を担うものつとめであろう。

しかし、「遠く南太平洋から、低品位の湿つた鉱石を運び、エネルギーコストの高い日本でフェロニッケルを製造し、製品は経済性を無視した戦略的政策価格で流入する輸入品と対抗せねばならない。」と表現できるように、フェロニッケル製錬が抱える問題は大きい。

鉱石のニッケル品位の濃縮に関しては、日本鉱業(株)、住友金属鉱山(株)、大太平洋金属(株)の各社で、セグレーション法の研究を行っているが、いまだ商業的規模の設備は稼働していない⁹⁾。

鉱石の産地で、安価なエネルギーが潤沢にあれば、現地製錬も考えられるが、原料鉱石産地は、エネルギー、立地、その他の条件をなかなか満足しない。

鉱石の輸送距離は数千 km に及ぶ。各社はそれぞれ、2~4 万 t クラスの専用船を配している。輸送コスト節約のため、10~15 万 t の船舶を用いることは、現地の立地状況からも困難である。

4.2 製錬について

4.2.1 立地

原料鉱石産地に最も近く、岸壁・陸揚げ・構内運搬をはじめ、全体のレイアウトが、フェロニッケル専用として最も整備されているのが、住友金属鉱山(株)系の(株)日向製錬所である。原料産地からの遠近、自社岸壁の有無、鉱石船からの輸送距離、輸送方法がコストに及ぼす影響は大きい。

4.2.2 生産プロセス

すでに述べたように、プロセスによつて主エネルギー源が異なる。キルン-電気炉法においては、深夜、深々夜電力を有効に活用した操業体制をとるなど、工場ごとに特性を生かしたくふうをこらしている。

ロータリーキルン用の燃料は、この数年で重油から石炭へ転換を終えた。操業条件、設備対応により石炭化率に若干の差はある。安価なエネルギーを探究し、エネルギー消費量を削減することに加え、排出物のエネルギー価値を活用することも肝要である。キルン排ガス、電気炉排ガスの顕熱それに B ガスの潜熱の有効活用については、既に述べた。

労働生産性も、生産プロセス、企業に基づく較差が大きい。詳述は略すが、1 人月当たり 3~4 t Ni から 8~10 t Ni までの開きがある。更に需要家の購入量変動により、設備生産性は大幅に上下する。適正負荷による安定操業の継続を望むためには、よりいつそうの体質強化が必要であらう。

4.2.3 産出物

最近、高炭素フェロニッケル中の Si, C は、AOD 炉における熱源として、Cr, Fe は、有効資源として評価されるようになってきた。

無視できない産出物にスラグがある。国内で年間およそ 200 万 t 産出し、土壌改良材、埋立て用、各種土建基礎工事用、製鉄造滓材として利用されてきているが、最近これが持つ特性に、土木学会、建築学会、建設省、通

産省他が注目するところとなり、業界共通の課題として活用方法開発に対応している。

4.3 その他

約半世紀の歴史を積み重ね、この間我が国ステンレス業界と共に発展してきた我が国フェロニッケル製錬業界は、昭和 50 年代に入り、一大転換機を迎えている。今まで、数々の技術的成果を挙げ、世界のトップレベルの地位を確保し続けてきたが、環境必ずしも我に味方せず、止むなく閉鎖した工場が、昭和 50 年代に入つて 3 工場(現在の稼働は 4 工場)に及ぶ。この他、現在稼働中の工場においても、休止炉は 4 基(現稼働 9 基)である。理由は既に述べた。

海外新興勢力、経済性を無視した輸入品との競合は、今後もいつそう激しくなるであらう。ある意味では、我が国のフェロニッケル製錬は存亡の危機に直面していると言えよう。

需要家との協調、公平な競争を願いつつ、同業間相互に技術の研鑽を積み重ね、斯界の期待にこたえていきたい。

5. おわりに

フェロニッケルの原料から、需給、製錬方法、諸問題について略述してきた。フェロニッケル生産者各社で、それぞれ立場は異なるが、今後も重要資源産業としての責を果たす所存である。関係各位の暖かい理解と御指導を切に願う次第である。

この解説を行うに際しては、日本鉱業協会ニッケル委員会技術分科会フェロニッケル WG および、特に大太平洋金属(株)平井技術開発部長から、貴重な資料の提供をいただいた。諸兄に深く感謝の意を表する。

文 献

- 1) J. R. LOLDT, Jr. and P. QUENEAU: The Winning of Nickel (1967) [Methuen and Co., Ltd., London]
- 2) 工業レアメタル(新市場編), No. 84 (1984), p. 95 [アルム出版社]
- 3) 奈古屋嘉茂: 学振 140 委-No. 0017 (昭和 50 年 6 月)
- 4) 日本鉱業会誌 非鉄製錬号 (1981), 1122 p. 185
- 5) 日本鉱業会誌 非鉄製錬号 (1968), 962 p. 231
- 6) 坂本和平: 日本鉱業会製錬関係西日本支部合同研究会報告資料 (1979) 12 月
- 7) 田中克芳: 第 29 回非鉄金属製錬研究懇談会一特殊金属の製錬一報告資料 (1981) 12 月
- 8) 三井物産(株)新金属部編: ニッケルデータ (1984)
- 9) 中沢元一, 岡島靖弘: 日本金属学会誌, 14(1975), p. 51
- 10) 日本鉱業(株)佐賀製錬所編: 50 年のあゆみ (1965), p. 185
- 11) 私信 ①日本鉱業協会ニッケル委員会技術分科会フェロニッケル W. G. 検討資料
② 他

引用文献中、1), 2), 3), 4), 5), 9) は、全般的に参考となる。