

技 術 資 料

ラテライト鉱石の処理法*

小 菅 高**・古 井 健 夫***

Beneficiation of Lateritic Iron Ores.

Takashi KOSUGE and Takeo FURUI

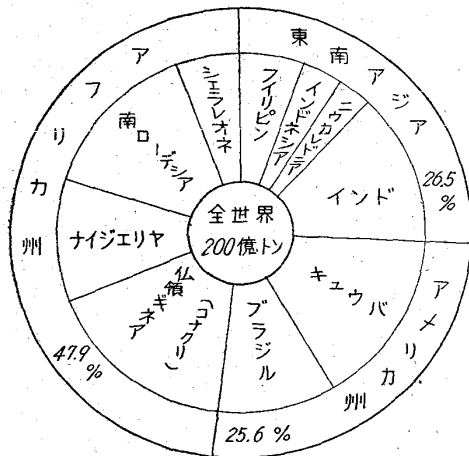
I. 緒 言

橄欖岩や蛇紋岩などの超塩基性岩石を起源とするラテライトは Dr. Gustav EINECKE¹⁾によれば、確定埋蔵量だけでも約 200 億 t あり、世界の鉄鉱石埋蔵量の約 20% を占めている。この鉱石は主に熱帯および亜熱帯地方に賦存し第 1 図に示す通り東南アジアにもかなりの分布が知られており、鉄品位が 40% を越すものも少なくない。しかし通常の鉄鉱石と比較すれば鉄分は低く水分は高く、かつ製鉄作業上および成品品質上に支障をおよぼす恐れのある Cr, Ni, Al などの諸元素をとめない、これらが複雑な形態で存在して鉄との分離を困難ならしめている。したがってラテライトは過去において幾度か利用が試みられまた関心を持たれながら今日まで製鉄原料として稼行の対象とはなり得なかつた。このような鉱石を処理して製鉄原料として多量にまた完全に利用する方法を確立するためには、地質、鉱物学的な基礎研究から冶金学的研究にわたる広範囲な総合的な研究が必要であり、一朝一夕に成果が期待できるようなものではない。八幡製鉄株式会社は将来の製鉄事業の発展と、これ

に利用する資源に関して見通した結果、ラテライトの利用ということが将来重要な問題となることは必至と考えそのためには総合的かつ組織的な研究が必要であると認識し、でき得る限りの周到な研究態勢を整えて、次のときラテライト処理に関する二項目の研究に着手した。すなわちラテライトから Ni, Cr および Al などを分離回収し、不純物の少ない製鉄原料を得るいわゆる①法と Ni, Cr などをそのまま活用して低合金鋼などにするいわゆる N-R 法との二つの異なる処理法に関する研究である。その結果ラテライトは追々と実態が明らかとなり、処理方法についての研究も緒口を得て遂次進展の道が開け、それらの集積によつて一連のフローシートを作成するに到つた。①法については後述するフローシートを基とし、各部門別に各研究グループが担当して研究を継続している。技術研究所は各研究グループの一員として基礎研究を実施すると同時に基礎研究によつて得られた成果の工業化の可能性を確めるために、現在 1 t/hr 程度の能力を有する中間工業化設備を建設中である。設備は本年 10 月に完成の予定であり、これにより工業化試験を行なつて、①法の経済性の検討と将来の scale up の資料を得る所存である。本稿はラテライトの処理に関する内外の状況と当所で開発した①法および N-R 法の概略を報告するものである。

II. ラテライト研究の状況

ラテライトは通常の製鉄作業では Al₂O₃ 含有率が高いために CaO や SiO₂ 分を加えて Al₂O₃ ratio を整えねばならず、これは鉱石の鉄分低下と同結果を招く。また製錬の際に生ずる鉱滓は流動性が悪くなるので鉱石使



第 1 図 世界におけるラテライトの分布

* 昭和38年 8 月 15 日 受付
 ** 八幡製鉄株式会社八幡製鉄所技術研究所, 工博
 *** 八幡製鉄株式会社八幡製鉄所技術研究所 特殊製鉄研究室

第1表 わが国のラテライト処理研究例

年 月	研 究 項 目	研 究 者
昭和 3 年 4 月	塩基性平炉におけるクロム銑使用試験	八 幡 技 研
昭和 11 年 8 月	低クロム鋼の製錬およびその材質研究	〃
昭和 12 年 12 月	含クロム銑鉄の製鋼ならびに圧延試験	〃
昭和 12 年 〃	クロム含有鉄鉱石精錬方法	八 幡 製 鉄 所
昭和 13 年 7 月	溶銑炉におけるスリガオ鉄鉱石の製錬	八 幡 技 研
昭和 17 年 10 月	トーマス転炉による含 Cr 銑の吹錬	〃
昭和 19 年 〃	銑鋼一貫作業によるラテライトの実験	重 金 属 研 究 所
昭和 19 年 〃	ラテライトの完全利用法の研究	〃
昭和 26 年 4 月	① 研究開始	八 幡 技 研
昭和 27 年 〃	ラテライト事前処理の研究	日 本 鋼 研 究 所
〃	Ni および Cr 含有銑鉄管製造の研究	久 保 田 鉄 工 業
〃	ラテライト処理方法	東 北 電 気
昭和 28 年 3 月	含クロム、ニッケル鉱石の精錬	八 幡 技 研 東 大 生 研 金 森 研
昭和 28 年 〃	低ニッケルラテライト銑の処理方法	住 友 金 属 鉱 山 研 究 所
昭和 29 年 12 月	横吹試験転炉による含 Cr 銑吹錬	八 幡 技 研
昭和 30 年 〃	①委員会発足	〃
昭和 31 年 〃	Midway 鉱石の研究	川 崎 製 鉄 工 業
昭和 32 年 〃	Midway オモンホン鉱石の研究	富 士 村 製 鉄 工 業
昭和 31~34 年 〃	低ニッケルラテライト銑の研究	志 村 製 鉄 工 業
昭和 34 年 9 月	N-R 法研究開始	八 幡 技 研
昭和 36 年 〃	インドネシア産ラテライト利用特別研究連絡会設立	科 学 技 術 庁 通 産 省
昭和 37 年 5 月	優先精錬技術研究会設立	富 士 製 鉄 高 桑 徳 一 大 同 製 鋼
昭和 37 年 4 月	日本鉄鋼協会鉄鋼技術共同研究会ラテライト研究部会での研究	

第2表 世界各国のラテライト研究開発

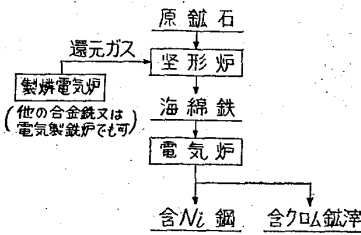
国 名	研 究 開 発 項 目	年 月
豪	ニュー・カレドニア産ラテライト鉱石の高炉への使用	
米	キューバ産ラテライト鉱石の製鉄用研究	1901 年以降数年間
米	キューバ産ラテライトのニッケル資源としての開発、ニカロ法の確立。 Moa Bay 銑のニッケル、コバルトの生産	1942~1947年 および 1952年 1957年~
米	Raddle 銑の研究利用および Fe-Ni の生産 Cle Elum 銑の研究試験, Fe-Ni および Ni 鋼の生産試験	1951 年~ 1942 年~
米	Strategic-Udy 法の研究	
西独	コナクリ (南ア) 銑より Fe-Cr 生産 コナクリ (南ア) 銑の製鉄業への利用, ウェストファーレン	1938 年~
ソ連	国産ラテライト (ハリロスキー・ラテライト鉱石など) の開発利用	
比	米国の Bureau of Mines に依頼しスリガオの処理研究オルバニーオレゴン州	1960 年
ギリシャ	Larymna Process によるラテライト処理	

用量には限度がある。一方銑鉄中には Ni の全部が、また Cr は 90% 以上が還元して入るが、これをそのまま原料として製鋼作業を行なうと普通鋼材としては品質的に使用できぬものをも生ずる。一方その鋼滓は Cr 含有率が高く難溶で固くなり流動性が悪く製錬作業は困難となる。したがってラテライトの処理法としては予備処理によつて Cr, Ni および Al_2O_3 などの成分を分離して溶銑炉用原料とする方法と、溶銑炉によらぬ製錬法で含 Ni・Cr 銑あるいは含 Ni 鋼などを得る方法の 2 つが考

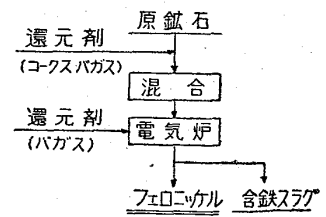
えられ従来の研究もそのいずれかに属している。

第1表に現在までのわが国におけるラテライト処理の研究状況をまた第2表に海外のものを示した。各国共に各種の試験研究を行なつており、ラテライトの経済的開発を目論んでいる模様である。わが国では昭和12年に八幡製鉄所でラテライトの研究が開始され、その後一時中断したが昭和26年①研究として再開されて現在に到っている。また最近他社においてもラテライトの研究に対する機運が活発となり、鉄鋼協会にラテライト共同研究部

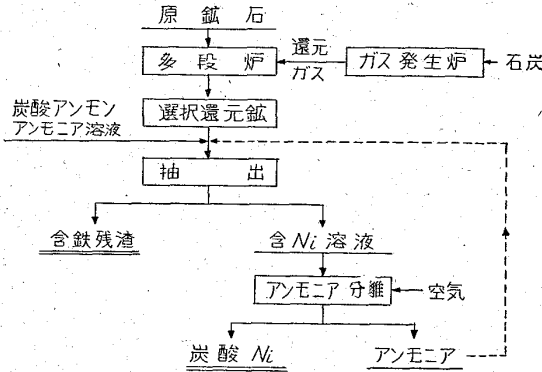
会の発足などを見るにおよんでいる。第2図から第8図に①法およびN-R法以外の現在迄に発表されたラテライト処理に関する主なフローシートを示した。この中で企業化されているのは第2図の Nicaro 法および第3図の Freeport Sulphur 社法のみで、しかも両者共に Ni 製造に重点が置かれ、製鉄原料としてのラテライトの処理を対象としたものではない。その他の高桑法、第5図の上島法、第6



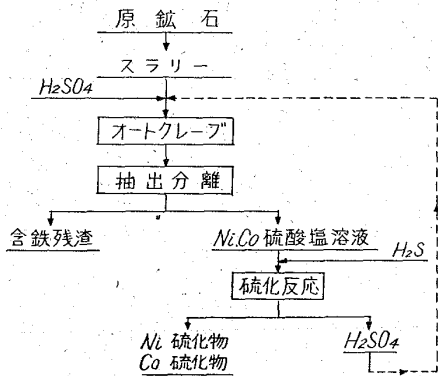
第5図 上島法フローシート



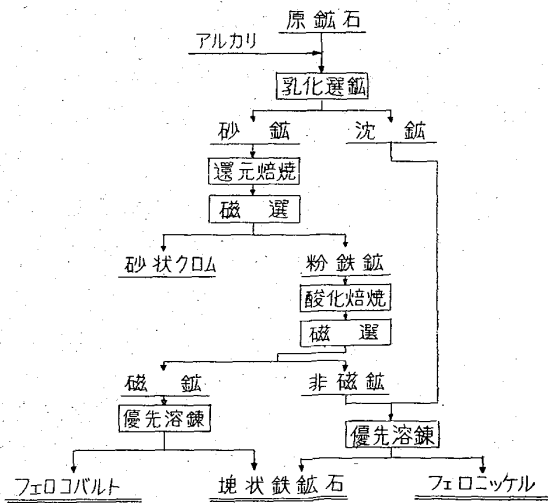
第6図 U.S. Bureau of Mines 法



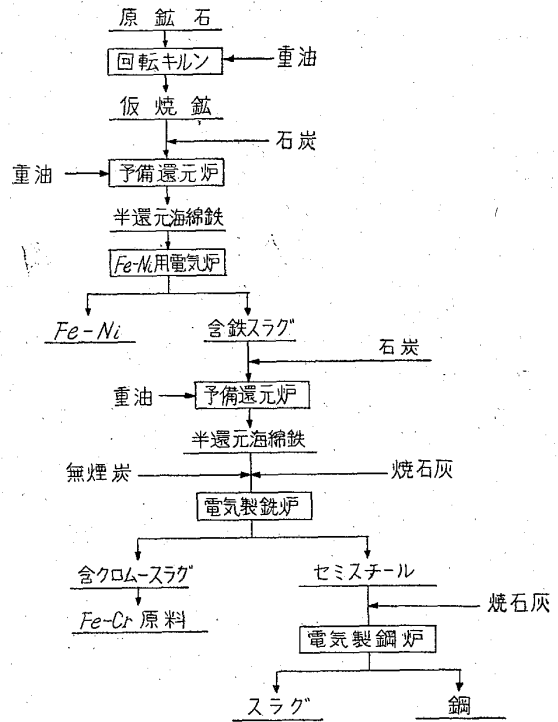
第2図 Nicaro 法フローシート



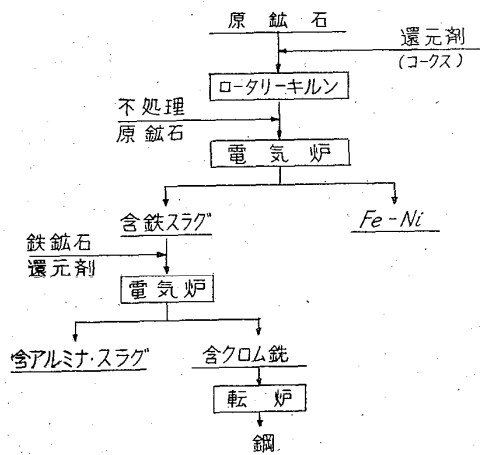
第3図 Ferr Port Sulphur 社法のフローシート



第4図 高桑法フローシート



第7図 Udy 法フローシート



第8図 Larymna 法フローシート

図の U.S. Bureau of Mines 法、第7図の Udy 法および第8図の Larymna 法はいずれも電気炉や転炉などの設備を用い Ferro Nickel, 含 Ni-Cr 鉄や含 Ni

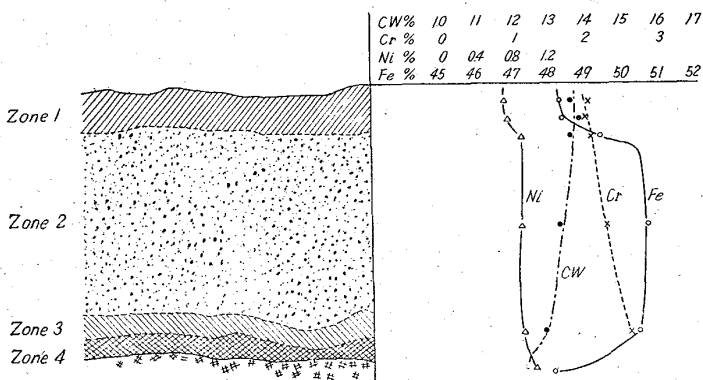
鋼などを製造するもので、処理量に乏しく、またその成品は普通鋼に比較して需要は遙かに少なく、ラテライトのごとく莫大な量で埋蔵されている鉱石の処理に対して根本的な解決を与えるものではない。ことにラテライトがこれらの方法によつて処理され、その後発生した Scrap を製鋼原料として循環利用すると Ni Cr 分は累積し、それらが鋼材の品質を不良ならしめるなどの悪影響をもたらす懸念が有る。これらの見地から八幡製鉄所においてはラテライトの完全利用を目的として、事前に Ni, Cr および Al を分離し、高品位の溶鉱炉用原料とするための①法の研究に着手したものである。

III. ラテライトの性状について

1. 鉱床

鉄、苦土鉱物に富む超塩基性岩石すなわち橄欖岩または蛇紋岩などが風化する際に苦土と珪酸の大部分は溶解分離され、酸化鉄およびアルミナなどの不溶性成分は残留して、これに若干の酸化クロム、酸化ニッケルなどが残つてラテライトが生成される。したがつて鉱石中の構成鉱物はいずれも外的状態に対して安定な鉱物形態をとり、Fe および Al は水酸化鉄および水酸化アルミニウムとして残留し、Cr は初生鉱物である Chromite として残りまた Ni は珪酸塩あるいは水酸化物の形で存在する。このような過程を経て形成されるのでラテライトは一般に非晶質あるいは微晶質の集合体であり、塊鉱は

少なく粉状を呈している。ラテライト鉱床の表土には灌木のみが茂り椰子、パパイヤあるいはバナナなどは繁殖しないので禿山が多く、採掘は比較的容易である。第9図に Philippine のラテライト鉱床の層上下間の成分変動の一例を示した。層の厚みは 5~10 m であるが、これは通常4つの Zone に分類することができる。すなわち表土に近い Zone I は深紅色ないしは赤色を呈し、Hematite および Limonite の Grain を含む高 Fe, 低 Ni の Zone である。また Zone II は黄色ないし淡緑色で粘土質鉱石の場合が多く水分が高い、高 Fe, 低 Ni の Zone である。Zone III は淡緑色ないし緑色を示し蛇紋岩が残っている場合が多い。この Zone は低 Fe, 高 Ni の Zone の所が多いが、またラテライト化が強力に進み、かつ Magnetite や Hematite がレンズ状に薄く入っているために高 Fe, 高 Ni Zone になっているところも有る。最下層の Zone IV は蛇紋岩の風化帯で緑色を呈し低 Fe, 高 Ni の Zone である。このようにラテライトは層の上下によりかなりの成分変動を示した採掘位置によつても異なりを見せるので、局部採取の試料による研究結果からのみでラテライト処理法について云々することは非常に危険であることが判る。東南アジアの産地別ラテライトの平均品位および鉱量を第3表に示した。いずれも鉄含有率の高い部分であり、Fe は 40~55%, Ni は 0.5~1.5%, Cr は 1.5~3%, Al₂O₃ は 5~10% の範囲にあつて、化合水を 10% 程度含有している。付着水分は 20~40% であるがこれは気象状況により大幅に変動する。このように多量の水分を含み、かつ粉状であるためにラテライトは取扱いが不便であるだけでなく、輸送に当つて無駄な運賃をその水分に対して支払うことになる。したがつて山元で選鉱後乾燥あるいは焙焼して付着水分および化合水を除去するとかあるいはそのまま山元でルッペや海綿鉄などの半成品を作るのが経済的であるともいわれている。



第9図 層による成分変動の例

2. 鉱物組成

ラテライトの鉱物組成は母岩の種類、生成条件、

第3表 東南アジアにおけるラテライト成分および賦存量の例

鉱床名	所在地	Fe (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Cr (%)	Ni (%)	C. W. (%)	Moist (%)	鉱量 (万 t)
スリガオ	フィリッピン	47.8	1.08	8.7	2.8	0.75	14.0	31.0	50,000
マニカニ	〃	50.2	2.62	6.34	2.67	0.5~1.0	13.5	31.6	5,436
オモンホン	〃	50~47	2~5	6~9	1.4	0.4~0.6	11.5	15~25	5,000~6,000
ゴロ	ニューカレドニア	52	0.8~1.9	4.7~5.6	2.3~2.6	0.4~0.6	14	—	10,000
ラロナ	セレベス	50.5	0.63	7.73	2.1	0.37	15	—	18,000
セブク	ボルネオ	53	2.8	4.9	2.3	0.39	11	—	8,000

ラテライト化の程度によつて異なり、さらに同一鉱体においても位置によりまた深度により差がある上に微細な鉱粒の集合体であるために、個々の鉱物を判定することは容易ではない。そこで分級、比重選別、手選および試薬による部分溶解などの手段で、種々に群別した試料を作り、これらについて光学顕微鏡、電子顕微鏡観察およびX線解析を行なつて鉱物の確認につとめた。各銘柄のラテライト中に認められた鉱物を第4表に一括表示した。Limonite 要するに goethite がその大部分を占め次に Gibbsite および Hematite が多く存在している。Fe および Cr 鉱物の存在状態について概略記載すると次の通りである。

(i) Magnetite

鏡下では一般に反射が弱く異方性はない。多くの場合2次的酸化作用により周辺あるいは亀裂に沿い Hematite に交代されている。なお Magnetite と Hematite とは稀に格子状に共生することもあり、また Surigao や Homonhon 鉱石では Chromite と共生している部分も認められた。

(ii) Hematite

各銘柄の粗粒部分に存在し通常 Magnetite の酸化あるいは Limonite の脱水により生成される模様で両者は常に共生している。Limonite とは不規則に交代するが、稀には縞状、同心円状あるいは層状を呈することもある。

(iii) Limonite

Limonite はラテライト中の鉱物の過半を占め、一般に微晶質細粒である。これには土状の硬度の低い部分と反射の強い硬度の高いものがあるが、X線解析の結果によれば Goethite のみが確認されている。

(iv) Chromite

Chromite の共生関係は銘柄によつて若干異なり、単粒状で存在する場合と他鉱物と片刃状で存在する場合とがある。単粒状のものは塊状を呈し結晶形は風化を受け明らかでない。片刃状の場合には Magnetite あるいは Hematite と共生し、これらが Chromite 粒を貫入し、あるいは Chromite を包囲した稀には Chromite の結晶中に Magnetite が懸滴状に散在することもある。X線解析によれば、ラテライト中の Chromite は $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ よりも $\text{FeO}(\text{Cr} \cdot \text{Al})_2\text{O}_3$ あるいは $(\text{Fe} \cdot \text{Mg})\text{O} \cdot (\text{Cr} \cdot \text{Al})_2\text{O}_3$ に該当し、 Cr_2O_3 が Al_2O_3 により、FeO が MgO により一部置換された Chromite と解される。これらの事実はラテライトから Chromite を分離した際のその Chromite の利用を考究する上で重要である。

(v) 酸溶性 Cr 鉱物

Chromite は諸種の試薬に対して安定であるが、Laterite 中にはその形態は不明であるが酸溶性の Cr 鉱物が存在する。その存在割合は銘柄により多少の差はあるが一般に 150 mesh 以下の部分に酸溶性 Cr が多く、粗

第 4 表 ラテライトの鉱物組成

鉱物名	示性式	真比重 (g/cm ³)	存在量
Chromite	$\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$	4.32~4.57	● クロム鉱物
Goethite Hematite Magnetite Maghemite (Limonite)	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ Fe_2O_3 Fe_3O_4 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ $(2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O})$	3.3 ~ 4.3 4.9 ~ 5.3 5.16 ~ 5.18 3.6 ~ 4.0	○ ○ ● 鉄 鉱 物 ● ○
Gibbsite Boehmite Diaspore Halloysite Chamosite	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (Fe 1.8, Mg 0.2, Al 0.8 Si 1.3, Al 0.7) $\text{O}_5(\text{OH})_4$	2.3 ~ 2.4 3.01 ~ 3.06 3.3 ~ 3.5 2.0 ~ 2.2 3 ~ 3.45	○ ● ● アルミニウム鉱物 ● ●
Brucite or Ni (OH) ₂ Garnierite or Ni-Dewylite	$\text{Mg}(\text{OH})_2$ $\text{H}_{12}(\text{Mg}, \text{Ni})_4\text{Si}_3\text{O}_{12}$	2.38 ~ 2.4 2.3 ~ 2.8	● ● ニッケル鉱物
Calcite Magnesite Quartz Talc	CaCO_3 MgCO_3 SiO_2 $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2.71 3.0 ~ 3.1 2.65 2.7 ~ 2.8	● ● ● その他 ●

注： ○…大量，○…中量，●…少量

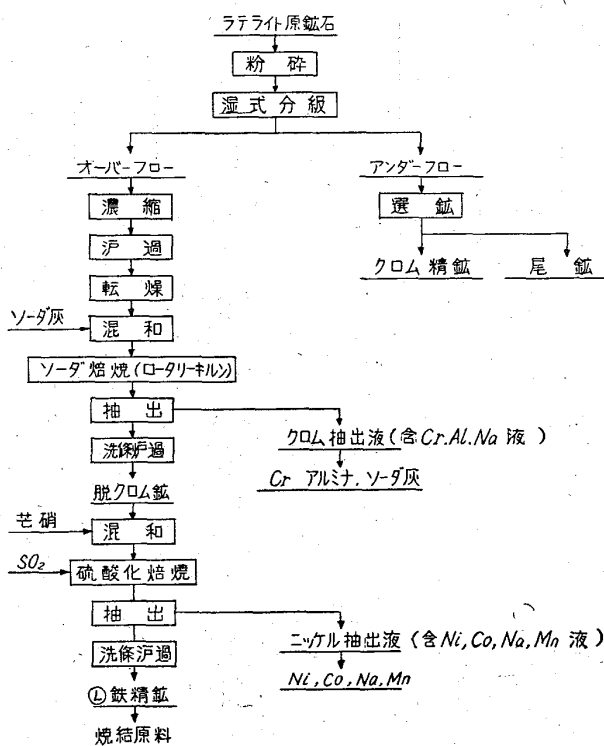
粒部には Chromite と考えられる不溶性 Cr が濃集している。

以上の鉍石中比重の大なるものとして Chromite, Hematite, Magnetite があり、いずれも粗粒部分に濃集しており、一方鉄の大部分は比重の小さい Goethite として一般に微粒部に多く存在する。また Goethite の内で塊状を呈するものも Chromite より脆く容易に粉化するので選択粉碎後比重あるいは分級などの選鉍法により Fe すなわち goethite と Cr すなわち Chromite との分離の可能性が示唆される。

IV. ①法について

1. 工程の概要

この①法は前述の通り八幡製鉄において昭和26年以来東北大学、東京大学、京都大学、京都工芸繊維大学、富山大学、九州大学および熊本大学の諸権威による指導を得て開発したもので、現在のフローシートを第10図に示した。その工程は一部を除いて本年10月には中間工業化試験の段階に入る計画である。フローシートの概要を以下に記述する。ラテライト原鉍を湿式で選択粉碎し湿式サイクロンなどで分級を行なつて、高 Cr・低 Fe のアンダーフローと低 Cr・高 Fe のオーバーフローとに分離する。アンダーフローは Chromite に富んだ Cr 粗精鉍であり、これをふたたび選鉍して Cr 精鉍を得る。オーバーフローは沝過・乾燥などを経て取扱いが容易とな



第10図 ①法フローシート

る程度に脱水する。この選鉍の操作によりラテライト中の Cr は約 50% 分離されるがもちろんこの程度の Cr 分離率では溶鉍炉用の原料としては不十分である。したがつて次の工程のソーダ焙焼抽出の操作によつて残余の Cr を分離するのであるが、あらかじめ選鉍で Cr 分離を行なうことにより高価なソーダ灰消費量の節減とまた粗粒で安定な Chromite の事前分離によりソーダ焙焼によるクロム酸ソーダ生成反応が容易に進捗するという利点がある。もちろん原鉍石の Cr 含有率および Cr の存在形態によつて選鉍の効果およびその適否が異なることはいうまでもない。オーバーフローの乾燥鉍はソーダ灰と混合しロータリーキルンなどで 1000°C 前後に焙焼する。焙焼により生成されたクロム酸ソーダおよびアルミン酸ソーダおよび未反応のソーダ灰などは水により抽出されて抽出液に移る。これらはそれぞれ処理されて重クロム酸ソーダ、水酸化アルミニウム、重曹などとして回収される。抽出残渣は十分に洗滌後沝過して脱クロム鉍となる。この際かなりの Na が鉍石中に不溶性化合物として残留し、高炉の煉瓦の侵食のおそれがあるのでソーダ焙焼抽出の操作を最終工程とすることはできない。この残留 Na は次の硫酸化焙焼抽出工程において Ni と共に分離することが可能である。すなわち脱クロム鉍に芒硝を加え、これを SO₂ あるいは SO₃ 雰囲気中で 600°C 程度に選択硫酸化焙焼すると Ni, Co, Mn および残留 Na は硫酸塩を形成して水溶性となる。これを抽出して残渣を洗滌沝過し脱ニッケル、クロム鉍要するに①鉄精鉍が得られる。この際も抽出液から Ni, Co, Mn などの有用金属を回収する。なお選択硫酸化焙焼に当つてはできるだけ硫酸鉄の生成を抑制するような条件で操業せねばならず、これの成否が本焙焼法の適否を左右するといつても過言ではない。

以上の方式により経済的なラテライトの処理を可能とするためには①安価なラテライトの供給、②添加剤の有効利用、③Al, Ni および Cr などの副産物の回収、④大量生産方式の確立、が必須の条件である。①法では今後の工業化試験を通じてこれらの技術的な問題点の解決を計りまた経済性の検討を行ないたいと考えている。以下各工程について試験データを加えて若干の説明を補足する。

2. 選鉍

フローシートの第一段階に当るもので Chromite の形で含まれる Cr を粒度および比重差を利用して goethite を主体とする鉍石から分離する工程である。これについては湿式サイクロンを初めとして乾式サイクロン、ウィルフレーターブルあるいは磁力選別など各種の

第 5 表 湿式サイクロン法の工業化試験
原 鉱 石 成 分 (%)

銘 柄	T. Fe	Ni	Cr	SiO ₂	Al ₂ O ₃	C.W	moist.
マニカニ	48.02	0.817	3.016	4.72	6.00	10.86	14.03
スリガオ	51.18	1.15	2.26	2.52	8.07	11.3	12.5
オモンホン	43.25	0.42	1.72	1.66	10.85	12.77	16.13

選 鉱 結 果 (%)

銘 柄	項 目	T. Fe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	Cr	Ni	C.W.
		オモンホン	O.F	45.41	0.48	7.94	7.19	1.65	1.15	1.46	1.05
〃	U.F	35.99	0.60	13.28	7.86	4.54	2.54	2.92	2.78	0.43	7.79
マニカニ	O.F	54.22	0.48	2.76	4.63	0.08	0.40	1.09	1.38	1.05	12.51
〃	U.F	43.25	0.48	3.55	6.46	0.06	1.75	1.80	8.80	0.54	9.13
スリガオ	O.F	46.67	0.30	3.79	4.19	0.20	0.38	0.38	1.66	1.06	14.52
〃	U.F	51.76	1.64	2.04	4.07	0.11	0.83	1.17	3.71	0.99	8.14

第 6 表 ソーダ焙焼抽出試験結果

試験番号	焙焼原料 (Wet cyclone over flow)						混 合 焙 焼 原 料							
	粒度 mm	品 位 %					配合割合 %		品 位 %					
		Cr	Fe	Ni	SiO ₂	Al ₂ O ₃	ソーダ灰	石灰	Cr	Fe	Ni	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na
1	-1	1.55	52.05	1.18	1.54	4.65	5	20						
2	-1	1.45	51.60	0.85	2.90	5.01	15	ナシ						
3	-1	1.34	51.05	1.02	3.22	6.84	10	〃	1.27	47.24	0.98	2.62	6.46	4.60
4	-3	1.34	51.55	0.99	3.02	6.66	15	〃	1.05	44.26	0.78	2.50	6.01	6.75
5	-3	1.31	51.85	1.09	3.20	6.83	10	〃	1.03	48.03	1.02	2.86	6.02	4.01

試験番号	焼 鉱							抽 出 鉱					抽 出 成 績				
	品 位 (%)						鉱石 歩留 (%)	品 位 (%)					除 去 率 (%)				
	Cr	Fe	Ni	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na		Cr	Fe	Ni	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Ni	Cr	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na
1	0.99	44.10	1.10	3.72	5.58	2.43	78.61	0.40	50.50	1.11	2.82	4.18	0.58	68.24	40.41	41.12	81.24
2	1.29	52.40	0.96	3.36	5.82	8.49	74.93	0.11	57.50	1.27	2.96	3.01	2.71	93.61	33.99	61.25	76.05
3	1.48	53.05	1.04	3.12	7.45	5.42	88.00	0.25	54.92	1.02	2.90	5.15	3.52	85.14	18.21	39.17	42.85
4	1.42	51.62	1.03	3.02	7.45	6.38	86.00	0.15	55.95	0.94	2.92	5.93	3.32	90.92	16.85	31.55	55.25
5	1.45	54.42	1.26	3.10	7.79	4.45	82.00	0.42	56.63	0.92	2.88	5.80	3.04	76.25	23.82	38.95	45.98

方法について研究した結果、湿式サイクロンが比較的小規模な設備でしかも処理能力がすぐれていることを見出した。湿式サイクロンによるラテライトの選鉱結果を第5表に示す。アンダーフローおよびオーバーフローの出口口径や流入圧力などにより分級点は適宜調節できるがマニカニ鉱石の場合オーバーフロー歩留を90%とするとCr分離率は約50%、オーバーフローのFe収率は約93%である。Cr品位は原鉱の約3%がオーバーフローでは約1.4%に減少する。湿式サイクロンによるオーバーフローは微細な粒子の水酸化鉄を主体とするので汙過・脱水がきわめて困難であり、加熱脱水では相当

量の熱量を要することが問題点として残されている。この点を避けるために乾式サイクロンが考えられ、湿式サイクロンに近い分級成績が得られたが処理能力の点で若干問題が有る。しかし湿式サイクロン・オーバーフローの中で脱水処理の困難な鉱石を対象とする時は有効な方法と考えられる。またウイフレータブルはLimoniteとChromiteとの比重差が1.0以上有り充分に使用可能であるが、製鉄原料としての多量の処理には適当でなくアンダーフローのCr品位向上を目的とした精選用に有効である。

3. ソーダ焙焼抽出

第2段階の工程であり選鉱処理後の残留Crの分離を行なうものである。第6表はマニカニ鉱石オーバーフローのソーダ焙焼抽出結果の一例であり、内径600mm×長さ6000mmのロータリーキルンで1050°Cに焙焼している。原料粒度、ソーダ灰および石灰配合率を変更したが、ソーダ灰15%の配合で約90%のCr抽出率が得られ、抽出鉱中のCr品位は0.1%に低下した。Al抽出率は30~60%である。ソーダ焙焼によるクロム酸ソーダおよびアルミン酸ソーダの生成は固体反応および高温で固一液反応であり、したがってソーダ灰と鉱石との混合がもつとも重要で、これによつてソーダ灰の節減がなされる。ソーダ灰の代わりに石灰の添加も経済的な面から検討したがCr抽出率は低下し、特に少量の石灰添加の場合Na残留率が増加し好ましくない。なお抽出操作は液中のCr、Alなどの濃度が充分に高くなるように行なうべきであり、Alは水酸化アルミニウムとして分離してアルミニウム製錬用の原料となし、Naは重曹として回収して焙焼用に循環使用し、またCrは重クロム酸ソーダあるいはその他の形態で回収する。

4. 硫酸化焙焼抽出

第3段階のNi分離工程である。第7表は各種銘柄のラテライトに芒硝5%配合し600°Cで3.5時間、SO₂ 11%の雰囲気内で多重段炉により焙焼抽出した結果である。Ni抽出率は銘柄に依り多少異なり70~85%で、Fe抽出率は1~5%であった。Ni抽出率はなお向上させることはできるが同時にFe抽出率が増加する。また焙焼温度が低いとFe抽出率は大となる傾向がある。第2段階で残留したNaは硫酸化焙焼でほとんど硫酸塩となり抽出されて、抽出鉱中のNaは0.1%前後に低下する。その他AlまたMnがこの工程で抽出され、したがって①鉄精鉱の品位は大體Fe 60%以上、Cr 0.1~0.2%、Ni 0.1~0.2%、Al₂O₃ 2~4%、SiO₂ 2%前後C.W. 0%となり、かなりの品位の鉱石が得られる。

5. その他のNi分離法

(i) 還元焙焼抽出法

ラテライトを選択還元焙焼してNiを金属となしFeを酸化物に留めて、アンモニア・炭酸アンモン溶液あるいは稀薄亜硫酸溶液で浸出し、Ni、Coのみを抽出する

方法であり、ニカロ法と同様な工程であるが、Ni分離の有力な方法と考えられている。

(ii) 還元硫化焙焼・磁選法

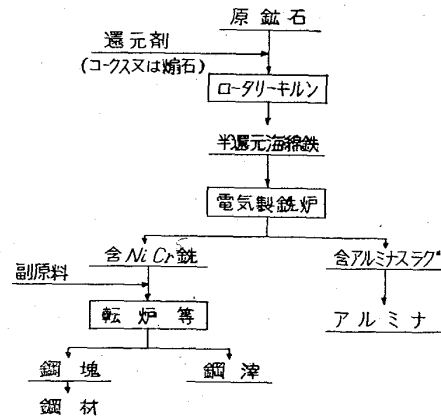
ラテライトに少量の磁硫化鉄および木炭、石炭などの還元剤を配合し、適当な還元雰囲気中に保ち焙焼するとNiとFeの一部は還元してFerro-Nickelとなり、Feの大部分はFeOに留まっている。これを碎き磁選してNiの少ない鉄精鉱とNiの多いニッケル精鉱を得る方法である。抽出操作を伴わず、乾式で行ない得る利点はあるが、焙焼雰囲気規制と、鉄精鉱中のS含有率に問題がある。

(iii) 塩化焙焼法

ラテライトに塩化物を混合し比較的低温で焙焼してNiを塩化物となし、水で抽出する方法と、1000°C付近の高温で塩素と空気との混合気圏内で焙焼しNiを塩化物として気化分離する方法とがある。後者はNi分離率90%以上を示しきわめて有効な方法であるが、Cl₂ガスの価格、材料の腐食、Cl₂ガスの循環使用ならびに毒性の面に問題が残されている。

V. N-R 法について

N-R 法 (New Refining Process) は昭和34年以来①法と平行して研究・開発されてきた方法であり、現在第11図に示すフローシートを確立している。すなわちラテライトに還元剤を加え、ロータリーキルンに入れて半還元鉱となし、これを電気炉に入れて溶解製錬すること



第11図 N-R 法フローシート

第7表 銘柄別硫酸化焙焼抽出結果

銘柄	原鉱品位		温度 (°C)	時間 (hr)	SO ₂ (%)	芒硝 (%)	抽出鉱品位		抽出率	
	T. Fe (%)	Ni (%)					T. Fe (%)	Ni (%)	Fe (%)	Ni (%)
マニカニ鉱石	50.10	0.763	600	3.5	11	5	58.29	0.170	3.4	84.3
スリガオ鉱石	49.70	0.935	600	3.5	11	5	60.45	0.173	6.3	81.5
オモンホン鉱石	44.05	0.360	600	3.5	11	5	51.50	0.117	4.9	71.9

第 8 表 N-R 法 試 験 結 果
使 用 原 料

項目 鉍石名	T. Fe %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Ni %	Cr %	S %	Ig. L.
ラテライト	45.70	4.15	10.00	0.82	1.63	0.150	15.54

半 還 元 ス ポ ン ジ

	T. C %	T. Fe %	M. Fe %	FeO %	Fe ₂ O ₃ %	Cr %	Ni %	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %
コークス還元	9.6	56.70	23.03	20.90	24.90	1.83	0.88	14.32	6.23
チャー還元	18~21	53~45	22~26	17~23	19~8	1.46~1.26	0.75	14~12	5.7~6.7

銑 鉄 成 分

T. C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %
4~4.7	0.5~0.8	0.7~1.0	0.085	0.026~0.017	2.73~2.95	1.04~1.26

により含 Ni-Cr 銑を製造する。次にこれを転炉などで製錬して Cr の大部分を除き特殊鋼用の素材または低合金鋼を作る方法である。電気製銑炉から得られる鉍滓は Al 製造に適するような成分に調整し、アルミナを回収するよう研究を行なっている。本研究の工業化試験なども現在進行中であり種々の検討が行なわれている。第 8 表に N-R 法の試験結果の一例を示した。

VI. 結 言

以上ラテライト処理の問題点および研究の方向などについて記述した。ラテライトの研究は資源的に日本がもつとも進んでおり、また比島、インドネシアはラテライトの開発にかなりの熱意を持っている模様である。したがって開発に当ってはそれら政府の政策上の問題点を慎重に検討しなければならないであろう。また最近客観状

勢がラテライト研究の促進に一段と拍車をかけ、八幡製鉄におけるラテライトの研究も中間工業化試験の段階に達したが、複雑な組成を有する鉍石であるだけに工業化の完成にはまだまだ日時を要するものと思われる。

しかしアメリカのタコナイトやフランスの高磷ミネト鉍などのかつての未利用資源がペレタイジングやトーマス転炉などの技術開発に依り鉄資源として脚光を浴びるようになった歴史を振り返れば、ラテライトも利用技術が開発された暁は、その埋蔵量と鉍床分布からいつて東南アジアの有力な鉄資源となることは論を待たず、われわれは今後も地道に最終の経済的な大量処理法の確立を目標に研究を進めていかなければならない。

文 献

- 1) Gustav EINECKE: Die Eisenerzvorräte der Welt.