Laterite について

金森研究室

まえがき

"Laterite" という言葉は，ラテン語の later (煉瓦) に由来しており，この鉱石が煉瓦に似た赤色をしているところからこの名前がついた．日本語では紅土鉄鉱といっている．

この鉱石は鉄分含有率が高く，埋蔵量も極めて膨大であるが，現在のところ，技術的な問題が残されているためほとんど利用されていない．それは，この鉱石が Ni, Cr, Co を含んでおり，Cr を除くことが非常に困難とされてきたからである．また，この鉱石から Ni, Cr, Co を採ることも，これらの含有量が低いという事情のために工業的には行われていない．しかしながらひとたび世界の鉱石資源について考えるならば，Laterite の重要性は何人といえども大きく評価せざるを得ないであろう．近い将来には，Laterite は華々しく斯界に登場することが予想される．

本稿では主として，鉄鉱石としての Laterite について，またその利用法について述べよう．

1. Laterite の生成および性質

Laterite は，塩基性で，鉄分に富んだ火山岩，特にしばしば蛇紋岩と結合しており，風化作用によって珪酸とマグネシアとが分離し，鉄および礬土成分が残留したものである．したがって風化作用の旺盛な熱帯地方に Laterite 鉱床が多く見られるのである．この主成分は褐鉄鉱であるが，常に酸化 Cr，酸化 Ni 等を含んでいる．通常は粒状または土状鉱であるため，製鉄原料としては予備処理を必要とする．また一般にアルミナ分高く，結晶水も多い．代表的な鉱床の数例を第 1 表① にかかげる．

2. Laterite の埋蔵量および分布

現在知られている世界の鉄鉱石埋蔵量，種類別鉄鉱石埋蔵量をそれぞれ第 2 表②．第 3 表③ に示しておいた．

確定埋蔵量，確実性埋蔵量の合計 946 億屯は，現在から推定すれば．今後約 400 年で枯渇してしまうといわれている．しかし，この中には現在利用不可能といわれている Laterite 200 億屯が含まれているから，実際は約 300 年余りということになる．全鉄鉱石にたいする Laterite の割合は 22 %に達している．第 4 表④ は世界の

第 1 表　著名なラテライト鉱床の例　(成分%)

鉱床名	位置	Fe	SiO_2	Al_2O_3	NiO	Cr_2O_3	C. W.	Mn	P	S	Cu
Surigao	フイリッピン，ミンダナオ島 Surigao 州	51～50	1.3	6.8	0.61	3.58	11	0.45	0.01	0.15	0.01
Soengei Doewa	Borneo 東南端	49	4.7	10.2	0.75	1.7	12	0.6	0.03	0.06	0.01
Seboekoe	南 Borneo の東南 Pulo Laut 島	50～74	1.65	11.84	0.46	2.58	10	0.2	0.07	0.09	0.01
Larona	中央 Celebes 島	50	1.0	8.0	0.3	3.5	10	0.3	0.05	0.02	tr.
Bonne Anse および Goro	仏領 New Caledonia 島	53	2.0	—	—	4	12	0.5	0.01	0.05	tr.

第 2 表　世界における大陸別鉄鉱石埋蔵量

大陸	確定及び確実性埋蔵量 (億屯)	推定埋蔵量 (億屯)
アメリカ	309	1222
ヨーロッパ	279	2632
アフリカ	156	316
アジア	192	174
オーストラリヤ	10	10
計	946	4354

確定埋蔵量：確定的であって採掘の価値ある鉱石
確実性 〃：確実に推断されてかつ採掘の価値ある鉱石
推定 〃：確実に推断できない鉱石，あるいはたとえ確定的でその量を正確に計ることができても目下のところ未だ採掘する価値のない鉱石

第 3 表　世界における種類別鉄鉱石埋蔵量

鉱石の種類	確定及び確実性埋蔵量	推定埋蔵量
磁鉄鉱	242 億屯	302 億屯
ヘマタイト，赤鉄鉱	337	3565
褐鉄鉱	13	203
赤色及び褐色卵状鉱石	135	175
紅土鉄鉱 (Laterite)	200	100
菱鉄鉱及び炭酸塩	5	4
炭質炭酸鉄鉱	12	—
球状菱鉄鉱	1	1
計	945	4350

し，電気炉に使用すると，Cr 27 %の Ferro-Cr ができる．

(ロ) 転炉滓を粉砕し，レトルト炉に入れ，鉄の40%を取り去り，Cr 含有量を 3.44 %から 5.2 %に高める．これに Cr 鉱石を加え，電気炉で Ferro-Cr を作ると Cr 30 %になる．

Conakry 転炉滓は 15 %の Cr を含んでいるので，Cr 鉱石の添加も，レトルト炉による処理も不必要であった．

しかしながら，Laterite 中の Cr については，Cr を採取するよりもむしろ製鉄原料として Cr が有害であるという点から，いかにして経済的に，しかも簡単に Cr を除去するかというところに問題があるのである．

(2) Ni について

世界の Ni 鉱石は，カナダが 90 %を，残り 10 %をニューカレドニアで産出している状態であって，その他の国々はいずれもこの両者から供給をうけている．Laterite は Ni 含有率は高くはないけれども，その埋蔵量が極めて多量であるので，この鉱石から Ni を採取することは当然着目されるわけである．Laterite から Ni を抽出する方法としては，大別すれば次の 4 方法⑦ となる．

(イ) Ammonia-Ammonium carbonate 浸出法

(ロ) カーボニル揮発法

(ハ) 選択塩化法

(ニ) 選択硫酸化法

以上の 4 方法のうち実際に工業化されたのは (イ) の方法であって，1924年 3 月に M. H. Caron 氏が特許を得たもので，第 2 次大戦中，米国の Freeport Sulphur 社が Cuba 産の 1.3 % Ni 含有 Laterite 鉱を対象として工業化試験を行った結果，2 ケ年にわたり世界 Ni 産額の 10 %を生産した．

この方法は，原鉱を 800～900°C にて還元焙焼をおこなった後 ammonia-ammonium carbonate 溶液を使用して Ni および Co を浸出するのである．これも戦後，経済的な理由から中止されたが，最近また 1952 年 1 月から関係 4 社が合同して再開し，生産費引下げのための操業合理化をはかっているということである．

第 2 次大戦中，日本が Ni を採るためかなりの量のスリガオ鉱石を採掘したといわれており，国内および南方の Laterite から大々的に含 Ni ルッペ，フェロニッケル，ニッケル銑鉄を製造した．京都府大江山鉱石を用いたニッケルルッペ製造法の 1 例はつぎの通りである⑧．大江山 Laterite は，水分 45～50 %を含んでいるので，これをロータリードライヤーで水分35%まで乾燥する．この粉状原鉱に 5 mm 程度の大きさに砕いた無煙炭，石灰石を，鉱石に対してそれぞれ 40%，5 %の割合で配合し，これをロータリーキルンで還元する．還元された装入物は海綿状となり粒鉄の形成帯にすすみ，ルッペを形成する．半熔融状態の鉱滓とともに炉外に排出されたものは直ちに水砕され（熔成物という），ボールミルで処理し，磁選してルッペを分離する．できたルッペの成分は

Ni 2.35%，Co 0.3%，Cr 0.89%，Fe 94%，S 0.037 %，P 0.047%，SiO_2 0.02%

であった．含ニッケルルッペ 1 ton を得るに要する原鉱は乾量で 5 ton であり，戦時中は年間 8 万 ton のルッペを製造したといわれている．

Ni は Cr と同じように熔鉱炉では全部還元されて銑鉱中に入るが，酸化精錬を行っても Cr と異り酸化されないから，含 Ni 滓を作って，これから Ni を採るというわけにはいかないのである．したがって Ni の場合は，熔鉱炉に装入する前に採取しなければならないことになる．

(3) Fe について

前述の如く，鉄鉱石中で Laterite が占める割合は 22 %に達しているのであるから，現在使用されていないけれども将来においては重要な鉄鉱石資源とみなされることは間違いないであろう．ところで Laterite を製鉄原料として利用する場合にはいろいろの問題があるであろうが，最も重要視されているのはつぎの 2 つである．

(イ) 脱 Cr の問題

銑，鋼中の Cr は有害としてきらわれ，銑鉄に 0.15 %以上の Cr が入るような鉱石は現在のところ，すべての製鉄業者に拒否されている．熔鉱炉では鉱石中の Cr はほとんど全部が銑鉄中に入り，製鋼時すなわち平炉，電気炉では Cr は比較的低温で酸化され滓化するが，塩基性鋼滓中の酸化 Cr は滓の流動性を著しく悪化させ，その後の精錬を困難ならしめるだけでなく，高温度になると再び還元され完全な脱除は困難なのである．この Cr を除く時期については，

(a) 熔鉱炉に装入する前

(b) 熔鉱炉内で

(c) 製鋼時

の 3 つの時期が考えられるが，(a) は今のところ全く見通しがない．(b) については酸性低温操業等で Cr の還元を抑えることはできるが積極的な脱 Cr は不可能の一言のもとに片づけられてきたが，当研究室では鋭意この研究に努め，その曙光をみるに至った．(c) については，トーマス銑をつくり，これを塩基性転炉で吹精して Cr を除こうとするもので，前出の北ドイツ製鉄所の試みと八幡製鉄の試験とがある．これらについては後述しよう．

(ロ) アルミナの問題

Laterite は他の鉄鉱石にくらべると，非常にアルミナ含有率が高く，このアルミナが鉱滓の流動性を悪くするので操業が難しくなる．その対策としてはつぎのことがらが考えられる．

(a) 他鉱石と適当に配合して鉱滓中のアルミナ%を

調整する.

(b) 塩基度を下げて酸性操業とする.

送風温度を高めて鉱滓温度をあげる.

鉱滓の MgO を適当に調節して滓の流動性をよくする. しかしながら鉱滓成分は直ちに脱硫能力にも関係してくるし, 鉱滓温度を高めることは Cr の還元をよくすることにもなるので簡単にかたづけるわけにはいかない.

次に Laterite を利用した実験例を挙げよう.

実験例 1

Conakry 鉱石については, 最近, Fe 54 %, Cr 0.5 % の Laterite を年間 120 万 ton 採掘しているといわれるが, 恐らく他の鉱石と適当に配合して Cr 量を下げているものと思われる.

実験例 2[9]

アメリカの Pittsburgh 鉱山局は, U. S. Steel Corp. と共同して 1953 年 9 月から 1954 年 1 月までの間, 湯溜内径 2 ft 2 in の試験熔鉱炉で種々の実験を行っているが, Cuba の Laterite を用いた試験について, つぎの報告をしている.

使用された Laterite はシリカが低く (5 %), アルミナは普通鉱石よりも高かった (11 ½ %). 原鉱はロータリーキルンで nodulize されてから装入された. できた鉱滓の成分は SiO_2 17～20 %, CaO 40～45 %, Al_2O_3 30～33 %, MgO 6～10 % であった. 滓の温度は普通 1 600°C で, アルミナが高いけれども流動性はまったく良好であった.

実験例 3[10]

八幡製鉄 K. K. は過去において Laterite を使用した種々の実験をおこなっている. 最初 1 ton 試験熔鉱炉で, アルミナの害を避けかつ Cr の還元を抑制するため酸性操業をおこない, できた含 Cr 熔鉄を塩基性転炉で吹精した. 燐分を高めるため, 高炉に燐鉱石を装入している. 酸性操業であるため熔銑中の硫黄分が高いので, ソーダ灰によって脱硫した後吹精した. 第 6 表に一例を挙げておいた.

つぎに東田 No. 6 の 400 ton 熔鉱炉を用いて約 20 日間 Laterite による試験操業を試みたが良い結果を収めることができた. スリガオ鉱石を約 27 % 他の鉱石に配合した. かくして得られた銑鉄を用いて, 予備精錬炉 (200 ton), 回転式平炉 (100 ton), 固定式平炉 (100 ton) および転炉等について実験をおこない, さらに圧延に関する試験をおこなった. 八幡製鉄が得た多くの結論を要約すればつぎのようになる.

(i) スリガオの Laterite は焼結して用いるべきであり, Laterite 79 % に硫酸滓 21 % を加えればよい焼結鉱が得られる.

(ii) アルミナと作用するに充分な石灰を加えれば Laterite 焼結鉱だけで操業できる. しかし Cr を含まない鉱石に Laterite を 28 % 以下配合すれば, 熔鉱炉作業は極めて順調となり, 銑鉄は Cr 約 0.87%, Ni 0.20 % を含む.

(iii) 塩基性転炉を使用すれば Cr を除くことができる.

(iv) 製鋼中随時排滓することができるような平炉作業であれば, Cr 0.8 % を含む銑鉄を精錬すると Cr 0.1 % 以下の鋼ができる.

(v) このようにして得られた Cr 0.1 % 以下のインゴットを圧延したがなんらの障害もひきおこさなかった.

また八木博士 (九大, 元八幡製鉄) は, 含 Cr 鉄鉱石を熔鉱炉に使用する場合, 塩基性操業においては, Cr は 90 % 以上が銑鉄中に入るが, 平炉銑吹製時に酸性低温操業をおこなえば約 75 %, トーマス銑吹製時に酸性低温操業をおこなえばこれを 65 % 程度にとどめることができたと報告している.

実験例 4

東京大学生産技術研究所金森研究室は, 高炉湯溜に空気または酸素富化空気を吹きこみ, 湯溜温度を上昇させ, 脱硫をはかる試験を昭和26年, 27年に八幡製鉄 K. K. と共同して, 三屯試験炉でおこなったが, この過程において, 一度酸化された Si は非常に還元され難いことを観察したので, 27年12月にはこの方法を脱 Cr にも適用した. Cr の酸化には低温が有利であることが知られているので, N_2 gas, CO_2 gas, 水等を吹きこみ湯溜の温度を下げ, 酸素富化空気を吹きこみ Cr の酸化脱除をはかった. 脱 Cr に有利な低温酸性操業は硫黄の増加をともなうのであるけれども, 還元性雰囲気のもとでの脱 Cr という最初の試みでもあり, また試験期間の関係もあるので試験の主眼を脱 Cr のみにおいた.

この試験に使用された原料は第 7 表に示してあるが, 試験設備その他詳しいことは生研報告第 4 巻第 4 号[11] (昭和30年 3 月発刊予定) を参照していただきたい.

第 6 表 試 験 転 炉 成 績 (%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	重量 kg	備 考
転炉装入原料銑	3.15	1.05	1.29	2.126	0.072	1.57	710	脱硫後 Fe-Mn を加えて熔銑炉で熔解
10 分間吹精後	0.06	tr.	0.25	0.070	0.048	tr.	—	石灰添加量 110 kg
挿物投入後	0.35	tr.	0.95	0.072	0.049	tr.	568	Fe-Mn 8 kg, コークス 3 kg 添加後

試験当時の炉床部は, 使用されていたカーボン煉瓦が一部脱落し湯溜部の形状が変っていたと考えられ, したがって炉内不均一のため, 炉内試料を採取してもそれが炉内熔銑の代表的試料となりうるかどうか危ぶまれたのであるが, 他にそれ以上の判定の基礎にな

第7表　原料成分分析（%）

	Fe	Mn	Cr	Ni	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3
オモンホン焼結鉱	57.98	—	1.33	0.34	5.54	1.08	1.60	6.00
香港鉱石	42.86	0.70	—	—	11.52	4.51	10.71	1.45
マンガン鉱	2.97	30.61	—	—	24.33	2.35	0.80	1.90
石灰石	0.56	0.187	—	—	1.57	54.71	0.75	0.77

コークス成分分析（%）

灰分	揮発分	固定炭素	燃焼性硫黄	非燃焼性硫黄	潰裂強度
16.31	1.65	82.05	0.601	0.085	94.14

るものもないので一応炉内試料分析値を利用した．

試験成績は第8表に掲示しておいた．以下に簡単に説明しよう．

（i）　ブランク操業

$CaO/SiO_2=1$ の酸性操業では Cr の歩留は大体 80 % 位である．

第8表　脱クローム成績表

月日（昭27）	実験番号	方法	銑鉄成分（%） 吹精前 Cr	Si	Mn	吹精後 Cr	Si	Mn	鉱滓成分 吹精後 Cr	FeO	SiO	CaO	CaO/SiO_2	脱 Cr 率（%） (B−C)/B	(A−C)/A
		ブランク操業	1.03 (A) (炉内試料)	1.44	2.40 (B)				0.065 (C)	0.61	32.94	33.00	1.00		
12.10	No. 5	酸性高温保定吹精	0.95	0.88		1.00	0.28	1.79	0.032		33.02	31.25	0.95	—	2.9
〃	No. 6		0.97	0.70		0.70	<0.1	1.62	0.097		34.80	31.36	0.90	27.8	32.1
12.11	No. 7		0.89	1.30		0.81	〃	1.15	0.089		35.06	31.14	0.89	9.0	21.4
〃	No. 8		0.93	0.68		1.02	0.96	1.24	0.024	0.56	35.66	30.46	0.85	—	1.0
12.12	No. 9	酸性低温吹精 N_2 gas冷却	1.08	1.74	1.02	1.01	0.66	0.55	0.064	0.60	33.48	30.58	0.91	38.9	1.9
12.13	No. 10		1.10	0.94		0.65	<0.1	0.30	1.113	1.58	44.42	24.42	0.55	40.9	36.9
12.14	No. 11		1.03	1.08		0.81	〃	0.28	0.664	1.42	50.08	22.29	0.45	21.3	21.4
12.15	No. 12		1.00	1.26		0.67	〃	0.41	0.813	1.26	46.66	22.80	0.49	33.0	35.0
12.16	No. 13	酸性低温吹精 CO_2gas 冷却	0.99	1.54	—	0.13	<0.1	0.04	0.966	1.74	45.78	24.64	0.54	86.9	87.4
〃	No. 14		1.36	1.04	—	0.28	〃	0.04	1.208	1.98	46.26	25.20	0.54	79.5	72.3
12.17	No. 15		0.87	0.84	0.47	0.52	〃	0.36	1.320	2.37	40.74	25.98	0.64	40.2	49.6
12.18	No. 16		0.75	0.42	0.26	0.59	0.12	0.11	0.298	1.30	33.34	31.38	0.94	21.3	42.7
12.19	No. 17		0.94	1.34	0.56	0.52	<0.1	0.14	1.175	2.05	37.24	21.90	0.80	45.6	49.6
〃	No. 18		0.82	0.50	0.34	0.48	〃	0.15	1.224	2.85	38.30	31.47	0.82	41.5	53.4
12.20	No. 19	塩基性低温吹精 CO_2gas冷却	0.90	1.20	—	0.59	0.14	0.14	0.209	1.03	36.12	34.26	0.95	34 5	42.7
12.22	No. 20		0.98	0.97	0.82	0.62	<0.1	0.13	0.966	1.23	31.66	34.44	1.10	36.7	39.8
〃	No. 21		0.77	0.22	0.27	0.36	〃	—	—	—	—	—	—	53.5	65.0
12.23	No. 22		0.74	0.40	0.28	0.59	〃	0.10	0.588	1.42	35.58	34.44	0.97	20.3	42.7
12.24	No. 23		1.02	1.72	0.77	0.41	〃	—	0.958	1.54	37.84	34.48	0.91	60	60.2
12.24	No. 24	塩基性低温吹精水冷却	0.99	0.88	0.72	0.66	0.22	—	0.064	0.28	30.50	37.92	1.21	33.3	35.9
12.25	No. 25		0.92	0.70	0.42	0.66	<0.1	0.10	—	—	33.86	35.34	1.04	28.3	35.9

（ii）　酸性高温高温吹精

Cr の酸化を容易にするため Mn 鉱の装入をやめ，銑鉄中の Mn %の低下をはかり，1400°C～1500°C において Cr の酸化を行ったが 1400°C 以下に低下した場合によい成績を示した．

(iii)　酸性低温吹精

脱 Cr の条件は，Si, Mn など Cr より酸化されやすいものを速かに trace まで低下させ，しかも温度が上昇しないようにすることであると考えたので，送風温度を下げ，鉱石配合量をまして heavy charge とし，催冷剤としては N_2 gas, CO_2 gas を使用した．つまり催冷剤の吹込みと酸素富化空気の吹込みをくりかえした．吹精初期の温度が 1 300°C 以下に低下した場合に最もよい脱 Cr 率を収めたので，初期温度を 1 250°C として酸化した結果最高 90 % の脱 Cr 率が得られた．

(iv)　塩基性低温吹精

催冷剤によって強制冷却すれば，Cr の再還元を恐れる必要がないと考えて塩基性操業をおこなった．酸化温度を 1300°C～1 360°C としたが最高 60 %程度の脱 Cr 率を得た．

(iv)　水による冷却

N_2, CO_2 などの代りに最も低廉な水を催冷剤として使用する試験をおこなった．空気 2～3 m^3/min にたいし水を最高 2 l/min の割合で噴霧状にして吹き込んだ．しかし，水タンクの容量が小さいため，冷却が不充分で脱 Cr 率は 30 %台にとどまった．水の吹込みは全然危険がないばかりでなく吹精パイプの消耗が全くなくなるという注目すべき成果を収めた．

以上で試験結果の概略を終るが，当研究室ではその後，高周波炉により脱 Cr 吹精実験をおこなって，脱 Cr に及ぼす種々の factor の影響を調査しており，現在建設中の試験熔鉱炉が完成した暁には，熔鉱炉内においての脱 Cr にとり組む予定になっている．

む す び

Laterite の重要性を考えるならば，今後も種々の困難に打ち克つべく多数の研究がなされることが望ましい．特に国内に鉄鉱石資源をもたない日本にとっては，東南アジアに眠っている低廉な無尽蔵の Laterite を利用することが有望な道であるとみなしてよいであろう．また，鉄鉱石としてのみならず，Ni, Cr, Co 源として経済的に利用できる方法が見出されるならば，Laterite はますます重要性を増してくるであろう．(1954. 11. 22)

文　献

① 鉄鋼要覧
② Gustav Einecke : Die Eisenerzvorräte der Welt.
③ 〃　〃　〃
④ 〃　〃　〃
⑤ 長谷　章：製鉄原料としてのラテライト，富士製鉄技法，vol. 3, No. 2, 1954.
⑥ Gustav Einecke : Die Eisenerzvorräte der Welt.
⑦ 須藤欽吾：ニッケル鉱としてのラテライトについて，東北大学選鉱製錬研究所彙報第 9 巻第 1 号（昭和28. 6 月）
⑧ 日本鉱業会：ニッケルとコバルト，昭26.
⑨ Russell C.Buehl : Operating Experience with two-foot diameter blast furnace, Jour. of Metals, July, 1954
⑩ 八幡製鉄研究所報告自発研究第 8 号（昭 18）.
⑪ 金森九郎他：　東大生産技術研究所報告第4巻第4号