



中国の希土類金属資源

金子 秀 夫*

Rare Earth Resources Profile in China

Hideo KANEKO

1. はじめに

希土類金属の工業的利用が始まったのは 1880 年代で、当時はガスマントルのような原始的用途のみであった。その後この用途は少しずつ拡大して来たが、第 2 次大戦後になつて、電子工業、原子力産業、エネルギー工業、鉄鋼材料等の分野の新需要が急速に広がるようになった。このように需要が拡大すると、希土類金属が希で高価なものであるというイメージから脱却する必要性が生じてくる。そのためには豊富な資源、安価な製造法、新需要の開拓などの問題があり、将来 21 世紀にわたつての展望を行い、適切な予測を立てねばならぬ。この中におのずから中国の希土類金属資源の位置づけの重要性がわかつてくるであろう。

結論から言えば、従来の統計の上では米国が世界一の希土類金属の資源国とされていたのであるが、最近中国の実情が明らかになるにつれて、中国は群を抜いて世界

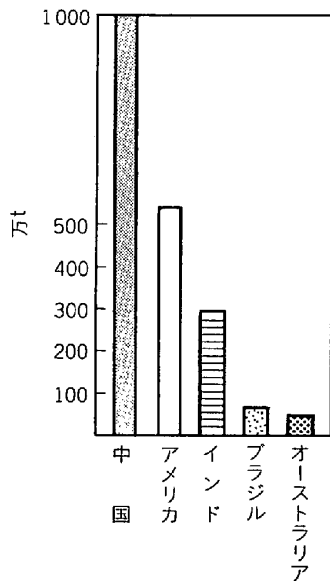


図 1 各国希土類物理蔵量 (酸化物換算)

第 1 位の希土類金属の資源を保有することが判明した。これらの状況を示せば図 1 のごとくである。筆者は自分の手でこの中国の鉱山を調査する機会にめぐまれ、また米国内第 1 位のマウンテンパスの鉱山も自らの目で視察することができ、両者を実感を以て対比することができた。

よつてここに中国の希土類金属資源の状況をのべ、関係方面の参考となれば幸と考える次第である。が中国のことをのべる前に、現在の世界全体の希土類金属資源の状況をのべ、さらに将来にわたつての需要の動向を予測し、これら全体の把握の中で中国の資源の意義を見出すこととしよう。

2. 世界の希土類金属資源

希土類金属はその名が示すような希な金属では決してない。地殻中に広く豊富に存在する。その様子を示したものが表 1 で、希土類全体 (RE) としては、Ni や Cu のような通常の金属よりも多量に存在していることがわかる。一般に Ce グループは Y グループよりも多く存在し、最も多いのは Ce, Nd, La などである。最も少ないのは Pm で、これは人工的にのみ作り出されるものと考えられていたが、1965 年にフィンランドのアパタイト (リン灰石) 中に天然のものが存在することが見出されている¹⁾。

希土類金属を含む鉱石は 100 種以上も存在するが、工

表 1. 地殻中に存在する金属の量 (太字は希土類金属)

金属	量 (ppm)	金属	量 (ppm)	金属	量 (ppm)
RE	106	Cb	24	Gd	6.4
Ni	80	Nd	24	Pr	5.5
Cu	70	Co	23	B	3.0
Li	65	La	18	Sb	1.0
Ce	46	Pb	16	Cd	0.15
Sn	40	Sm	6.5	Pt	0.005
Y	28				

昭和 56 年 8 月 3 日受付 (Received Aug. 3, 1981) (依頼技術資料)

* 井上ジャパックス研究所 工博 (INOUE JAPAX RESEARCH INC., 5289 Nagatsuda-cho Midori-ku Yokohama 227)

業的に用いられる鉱石としては数種類で、その中ではつぎの3種類が主要なものである。

モナザイト (monazite) RPO_4 R: 軽希土

バステナサイト (bastnaesite) $RFCO_3$ R: 軽希土

ゼノタイム (xenotime) RPO_4 R: 重希土

この他アパタイトも希土類金属、Yの重要資源である。カナダ産のU鉱石には希土類金属が含まれ、Uを採取した残渣が重要資源となつている。また鉄鉱石はしばしば希土類金属を含むことがあり、米国アイダホの鉄鉱石、中国の白雲鉱山の鉄鉱石などこの例である。

2.1 モナザイト

モナザイトは通常黒褐色の単斜晶鉱物で、世界各地の海岸の重砂の中に、イルメナイト、ジルコンなどの他の鉱物と共存して産する。またTh, Uなどの放射性元素を含む場合が多い。従つて工業的には、Ti, Zr, Thなどを主目的に採鉱した副産物として得られることが多い。

モナザイトの一次鉱床の例は少ないが、南アフリカ共和国のファンラインズドルプではこの鉱床が発見されている²⁾。

米国のモナザイトの主産地は、東南部フロリダ海岸及び太平洋北西部海岸である。

インドの海岸砂は一般に80%の重要金属を含み、その中で1~20%のモナザイトを含む。インド南部海岸には140万tのモナザイトが存在し、東海岸にもそれ以上のモナザイトがあるといわれている。

ブラジルのモナザイトは、エスピリトサント、バヒア、リオデジャネイロの海岸にわたつて存在し、REO換算で35万tの資源と推定されている。

オーストラリアでは、西南部海岸の重砂は主にイルメナイトであるが、その副産物としてモナザイトが得られる。その量は80万tとされている。

マレーシアの海岸には約8万tのモナザイトがある。

エジプト海岸には約20万tのモナザイトがある。

2.2 バステナサイト

バステナサイトは黄褐色六方晶の鉱物で、炭酸ケイ酸岩鉱床中に存在し、Thなどの放射性元素を含まない特徴がある。これはCeグループ希土類金属の重要鉱物であり、前項のモナザイトは他の鉱物の副産物として得られることが多いが、バステナサイトは希土類金属の目的で採鉱される。

バステナサイトの産地としては、アメリカ、ザイール、ブラジルなどが知られているが、米国カリフォルニアのマウンテンパスの鉱山は世界最大級のバステナサイト鉱床で約500万tの鉱量がある。

2.3 ゼノタイム

ゼノタイムは褐色ないし緑色の正方晶鉱物で、Snを含むペグマタイト鉱床に産出することが多い。ゆえにマレーシア、タイなどのSn鉱石に伴つて産出する。最近

- バステナサイト
- モナザイト
- ⊙ ゼノタイム



図2 希土資源分布

中国では、毛田、龍南、尋鳥地区に良質のゼノタイムが見出されている。

以上総合して希土類金属資源の世界分布の概要を示せば図2のごとくである。そしてこれらの量は、すでに図1で示したように、中国が原鉱石の埋蔵量1億t、REO換算で1千万tで、世界第1位ということになる。

3. 希土類金属開発の歴史

1880年頃に希土類金属の利用がはじまつたが、当時の資源としては主にブラジル海岸の重砂の中のモナザイトに依存していた。

1887年になると、需要の拡大に伴い米国国内でもモナザイトの採鉱がはじまり、続いて製錬も行われるようになった。従つて当時の希土類鉱物の2大生産国は米国とブラジルで、この状態は1910年頃まで続いた。

1910年頃になると、競争がはげしくなり、品位の悪いアメリカ産のモナザイトは採鉱中止となつた。これに代わつてインドがモナザイトを採掘するようになり、従つてブラジルとインドが世界のモナザイトの市場を占めるようになった。この状態は第2次大戦終了まで続いた。

1949年になると、米国マウンテンパスの優秀なバステナサイト大鉱床が発見され、これがきっかけとなつて希土類関連の産業が一段と拡大されるようになった。これに刺激されて米国内で多くのモナザイト採鉱が復活したが、再び淘汰されて、品位のよいフロリダ海岸のモナザイト採鉱のみが残つた。

1950年代になると、採鉱のみならず、製錬工場も続々と設立され、米国内で大小合わせて10社もできるようになった。

1960年代になつて、マウンテンパスに基礎をおくモリコープ社が、採鉱から製錬までの一貫体制を確立し、マウンテンパスとサンベルナルディオに工場をもつ大希土類会社の基礎を築いた。

かくして希土類の世界の体制は、米国のモリコープ社、フランスのローヌプーラン社が酸化物を主体に製造しており、ドイツのゴールドシュミット社は希土類金属化合物を主体に製造している。日本国内では、三徳工業、信越化学、日本イットリウム、住友金属鉱山、三井

金属鉱業などがあり、三菱化成はマレーシアと合併で現地で生産を開始した。

4. 世界の希土類金属の需給関係

希土類金属の世界の需給関係を見ると、資源産出国必ずしも製品消費国ではない。すなわち資源産出国は中国、アメリカ、オーストラリア、インド、マレーシア、ブラジルなどであるが、希土類製品消費国はアメリカ、日本、英国、ドイツ、フランスなどである。

希土類の鉱石としては、アメリカ、オーストラリア、インド、マレーシア、ブラジルの5ヶ国で全世界の95%を産出している。この中でアメリカは1/2のシェアを占める。ただしYに着目すると、アメリカの需要量は年間120tであるが、アメリカ国内のY生産は60tであり、不足分は輸入している。アメリカのY資源鉱物として従来カナダのウラン鉱石の製造残渣に依存していたが、1978年カナダはこの資源の輸出を禁止したので、アメリカのY資源はその後マレーシアのゼノタイムに依存せねばならなくなった。

問題の中国は資源としては莫大にあるが、採鉱製精は少量である。

ソ連の事情は明らかでないが、内蒙古と地続きのシベリアに大きな希土類の鉱山が発見されたという情報がある。

米国は希土類その他の重要資源を長期的国家計画に基づいて、政府のGSA(General Service Administration)で、戦略物資として備蓄を行っており、その時の実情で放出も行っている。

マレーシア、オーストラリアはゼノタイム鉱石を産出するが自国内では消費せず、専ら輸出している。

日本やヨーロッパ主要国は専ら外国資源を用いて希土類化合物、金属などを製造し、国内消費及び輸出を行っている。

資源輸出国の事情として注意すべきことは、インド、ブラジルはモナザイト中に含まれるThを国内重要物資として保存するため、鉱石を外国へ輸出することを禁止するようになった。同じことがカナダのウラン鉱石残渣の輸出禁にもある。こういう傾向は広がるおそれがあるが、我が国の立場よりすれば、我が国の原子力工業ではThサイクルは確立していないので、Thそのものは不要である。ゆえに各国がThを分離して自国内に保存した後の残渣を日本へ輸出するような態勢をとることを希望するものである。

以上の希土類の工業製品としては、精鉱、中間化合物、高純度化合物、高純度金属などの種類で流通している。例えばモリコープのバステナサイトは60%精鉱、70%精鉱、85%精鉱で商品となっている。モナザイトは55~65%REOが商品として一般である。インド、ブラジルなどのモナザイトは46%REOの粗塩化希土とし

て商品となっている。ゼノタイムは25%Y₂O₃の精鉱で商品として流通し、その他の製品は、Y₂O₃%で評価される。

5. 世界の希土類金属需要の将来予測

現在の希土類の需要はREO換算で全世界年間約4万t、その中でアメリカが2万t、日本は約4千tである。

2000年における将来予測としては、アメリカの需要はREO換算で年間33000~72000tである。この数値の高い方が実現するのは、目下開発中の希土類の用途が2000年までに完成するか否かにかかっている³⁾。

全世界の需要は上記アメリカの需要の約2倍で、2000年には約14万tに達すると見込まれる。

かくして2000年になつても、アメリカは全世界の需要の1/2を占めて第1位を保つことに変わりなく、残りを日本、ECで1/2ずつ分けあうことになる。

以上の状況を示せば図3のごとくである。

将来の希土類の主要用途の変化はつぎのように予測される。石油の世界的節約の影響で、石油精製用の希土類の減少が見込まれるが、鉄鋼用の需要増大でカバーされるであろう。鉄鋼分野の希土の需要として伸びの大きいものは、HSLA(High Strength Low Alloy)鋼及び鋳鉄である。蛍光体、水素貯蔵用、電子材料用などの用途は

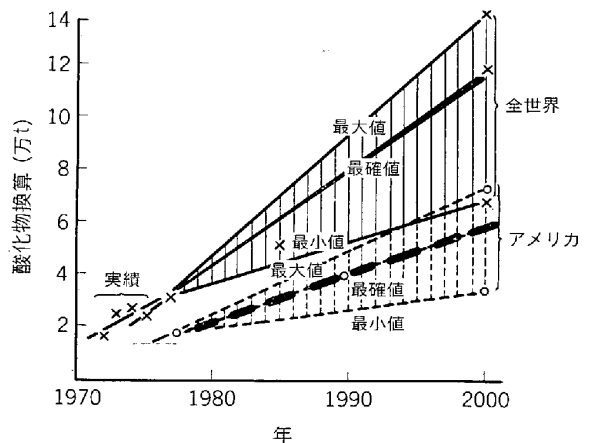


図3 希土類需要将来予測

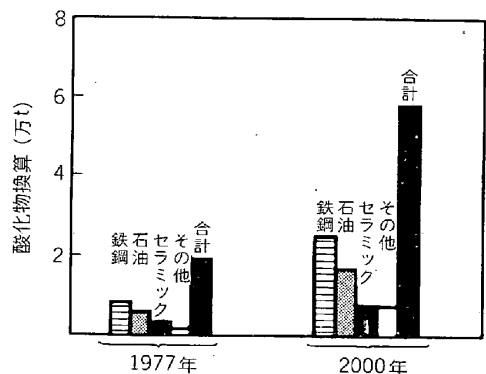


図4 希土類需要将来予測(用途別)(アメリカ)

拡大し、これらを総合すると、2000年までの伸び率は過去の伸び率を上廻る予測である。

以上の用途別の変化を示せば図4のごとくである。

6. 白雲鄂博鉍山

図5に示すように、北京の北方約830km、汽車にて16時間、シルクロードの入口付近に包頭市がある。これより北方約180kmに白雲鄂博鉍山がある。ここが目ざす世界一の希土類金属の鉍山である。ここは内蒙古の奥地で国境に近く、海拔1800mの高原の北側斜面で、半草原半砂漠で目で見るとは高地とは感じない。ここに立つてぐるりと360°見廻すとすべてが地平線となっている。気温は冬は-40°C、夏は+34°Cの大陸的气候で、降雨量は年間100~200mmと少なく、従つて川がなく、工業用水もない。乾いた町であるが、人口約2万のこの地方の中心都市となつている。

包頭から白雲まで鉄道はあるが貨車専用で、人の往復はジープに頼るしかない。道のりはジープで約5時間、道なき草原を前に通つた車のわたちの跡をたどつて走る。ただし白雲鉍山の鉍石搬出の輸送の鉄道には力を入れており、目下電化工事も行われている。

なお包頭市には近くに黄河の上流が流れており、水にはめぐまれているが、水質は黄河の名の示すごとくで、浄化を要する。また包頭白雲一帯は春期に砂あらしが多く、日本の空に飛んでくる黄砂もこの辺から舞い上がるといわれている。従つて建物は二重窓となつており、これは防寒というよりは、砂が室内に入るのを防ぐためとのことである。

白雲鉍山は国境に近いから写真撮影は禁じられている。が遠景は撮影を許可された。写真1は白雲より車で約1時間離れた地点より、はるかに白雲の山を望んだものである。この水平線上にこんもりと見える丘が全部希土類の山と思えばよい。これは近づいて見れば、幾つかのなだらかな丘の集合となつている。

白雲鄂博とはモンゴル語で宝の山という意味である。すなわちFeを主体として希土類金属、Nbなどを含ん

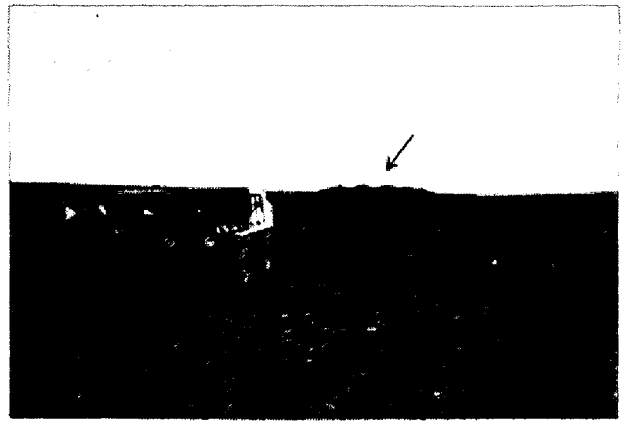


写真1 白雲鉍山遠景

だ有用な鉍石の山である。ここが有用鉍山として発見されたのは1950年で比較的新しく、初期は鉄鉍石の山として注目され、この鉄鉍石を原料とした製錬所が包頭に建設されたのは1959年のことである。

白雲で採掘された鉄鉍石は、白雲に水がないため選鉍ができず、破碎されたものがそのまま鉄道で包頭に運ばれる。包頭は前にのべたように黄河のため水は豊富なので、ここで湿式の選鉍にかけられ、製鉄用の鉄鉍石精鉍を分離する。この尾鉍の中に希土類鉍物が集積するのであるが、初期の頃はこの尾鉍には全く着目されずに捨てられていた。これが希土類資源として注目され始めたのは1960年以後のことである。

7. 白雲鉍山の鉍石

白雲の地質は中近古代地質層で、上盤はドロマイトでその下に鉄鉍石脈が走っている。走向は東西、傾斜は50~80°である。推定埋蔵量鉄鉍石として10億t、希土類鉍石として1億tとされ、希土の含有量10%としてREO換算で1千万tの資源量である。従来統計で世界一とされていたアメリカ、マウンテンパスのREO300~500万tの資源に比べれば、だんぜん白雲が世界一となる。さらに母岩であるドロマイトも有用資源であることは論をまたない。

鉍脈分布は図6に示すごとく、東西約20km、南北約

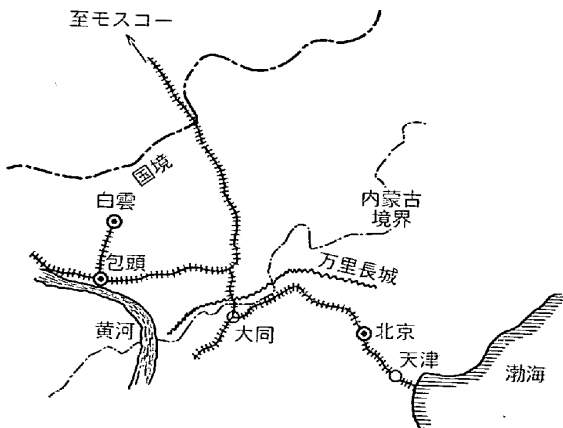


図5 包頭、白雲の位置

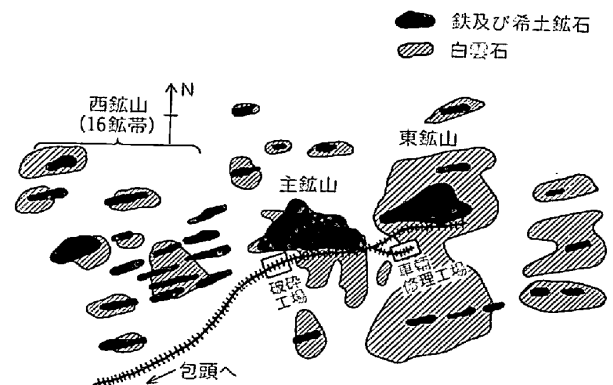


図6 鉍脈分布図 (東西18km、南北3km)

白云鄂博

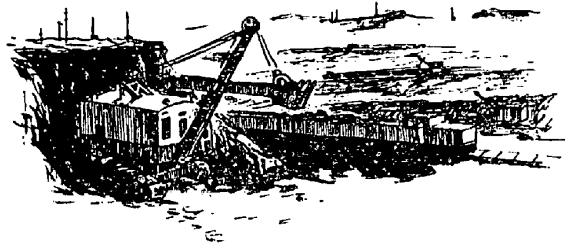


図 7 白雲鉱山オープンカット採鉱

3 km に広がり、その内に東鉱山、主鉱山、西鉱山の3地区がある。主鉱山が最大で東鉱山はこれにつき、西鉱山は細い鉱脈が約 16 本通っている。主鉱山と東鉱山は現在採掘中であるが、西鉱山の方はいまだ採掘に着手せず、ボーリング調査中である。

採鉱は完全に機械化され、人手をほとんど使っていないことは、中国における人件費の上から見て意外のことである。採鉱はオープンカットで、パワーショベルで上盤のドロマイトを除去し、ついで約 20 本のハッパ用の穴をドリリングマシンであけ、ハッパをしかけて岩石を崩す。崩れた岩はパワーショベルですぐ側まで来ている電気貨車に積み込まれる。貨車は鉱山内の破碎工場へ運ばれ、第1次第2次クラッシャーで 30 cm アンダーまで破碎され、再び貨車に積み込まれて包頭にある選鉱工場へと運ばれる。

以上のような採鉱現場のスケッチを示せば図7のごとくである。

原鉱石の品位は、 Fe_2O_3 35%，希土類として 5~12% であり、Nb を伴うのが特徴である。希土類の鉱物としては主体はバステナサイトでモナザイトも含んでいる。従来日本に伝わっている情報の独居石（モナザイト）は誤である。希土類鉱石中の成分はつぎのようである。

Ce	La	Nb	Sm	Y	Eu	(Nb)
50	25	10	1	0.3	0.2	0.1

Sm, Y, Eu などと比較的多く含むことはこの種の鉱石としてはめずらしく、良質の鉱石といえることができる。

なお Th を 0.4% 程度含有し、この点は一つの問題であろう。

8. 選 鉱 工 場

白雲鉱山よりの鉱石は貨車で包頭にある製鉄所の選鉱工場へ運ばれる。ここで鉄の精鉱と尾鉱とに分けられる。選鉱のフローシートはあくまで鉄鉱石を主目的とした湿式選鉱がプログラムされており、希土類鉱物はこの尾鉱に集積される。

原鉱石の中には CaF_2 が含まれており、これは製鉄溶鉱炉中で有害作用を及ぼすので、その除去には力を入れている。Nb は鉄鉱石中に入りさらに溶鉱炉スラグ中に入る。ゆえに Nb 回収を目的とする場合はこのスラグが出発点となる。

9. 鉱石の顕微鏡組織

代表的鉱石の外見は写真2のごとくで、肉眼で見られるような大きさの縞状組織が発達している。この中には赤鉄鉱、バステナサイト、螢石、燐灰石、石英などが見られる。バステナサイトとモナザイトは微粒子となつて分布している。これら鉱物の量比はつぎのとおりである。

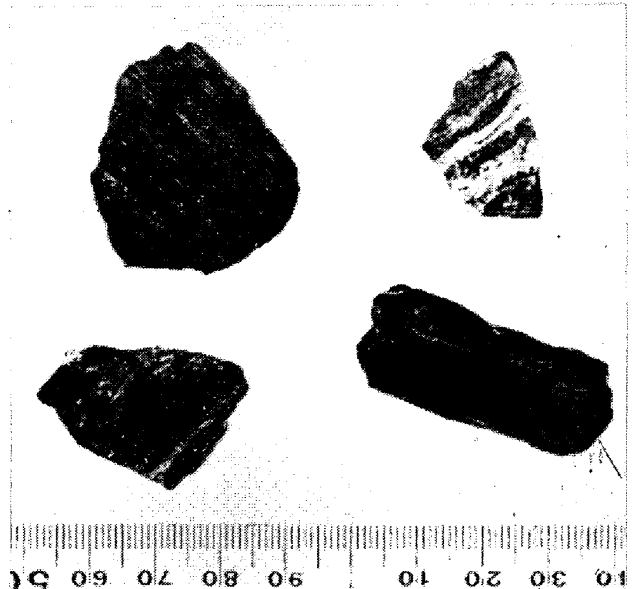


写真 2 鉱石外観（縞状組織）

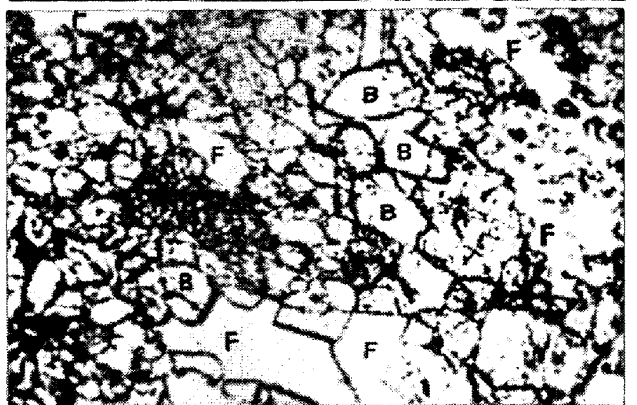


写真 3 鉱石薄片偏光顕微鏡組織
(B: バステナサイト F: 螢石
H: ヘマタイト)

る。

螢石>バステナサイト>モナザイト>赤鉄鉱>燐灰石
>石英>褐鉄鉱>方解石

この鉱石の薄片偏光顕微鏡組織は写真3のごとくである。

赤鉄鉱：最大 0.6 mm の粒として存在する。

バステナサイト：最大 0.3 mm 最小 0.02 mm の粒と

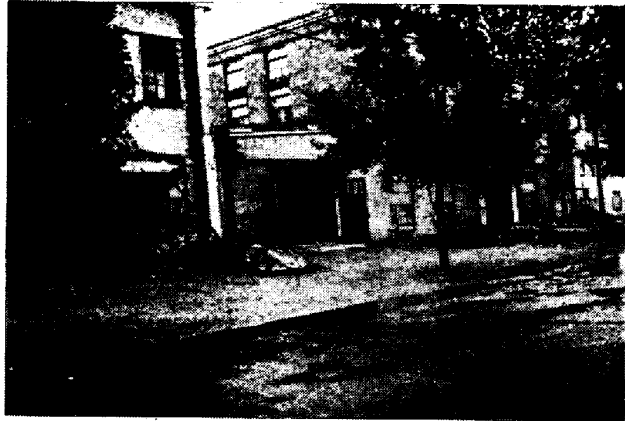


写真 4 包頭希土類製錬工場

して存在する。

モナザイト：バステナサイトと同様の粒子として存在するが、光学的にバステナサイトと区別することはむずかしい。しかし粒が大きいと、直消光を示すバステナサイトと斜消光を示すモナザイトは区別できる。

螢石：淡紫色で全体の基質をなしている。

石英：螢石中に径 0.04 mm の粒状をなして散在する燐灰石：0.1 mm 以下の粒状をなしている。

アルカリ角閃石：0.025 mm 以下の結晶となつている。

方解石：0.03 mm 以下の脈状をなして、赤鉄鉱や螢石の結晶を横切っている。

10. 希土類製錬工場

包頭市の製鉄所より車で 10 分の距離に希土類の工場がある。これは希土公司所属の小規模パイロットプラントである。ここでは製鉄所選鉱工場より出た 30% 希土を 60% 希土に上げること及びこれらを原料として硫酸法により塩化希土を製造している。一部液々抽出法により単体分離も行っている。この工場の外観を示せば写真

表 2 中国希土類製品規格 (%)

La ₂ O ₃	粉末	La ₂ O ₃	CeO ₂ +Pr ₂ O ₁₁	Fe ₂ O ₃	CaO	燃焼損失
	1 級	99.95	0.05	0.001	0.05	3
	2 級	99.90	0.10	0.001	0.05	3
Pr ₆ O ₁₁	粉末	Pr ₆ O ₁₁	CeO ₂ +La ₂ O ₃ +Nd ₂ O ₃ +Sm ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	
	1 級	99.5	0.5	0.005	0.05	
	2 級	99.0	1.0	0.01	0.1	
Nd ₂ O ₃	粉末	Nd ₂ O ₃	Pr ₆ O ₁₁ +Sm ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	
	1 級	99.95	0.05	0.001	0.03	
	2 級	99.9	0.1	0.001	0.05	
Gd ₂ O ₃	粉末	Gd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃ +Eu ₂ O ₃ +Tb ₄ O ₇ +Dy ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	
	1 級	99.95	0.05	0.001	0.03	
	2 級	99.9	0.1	0.001	0.05	
	3 級	99.5	0.5	0.005	0.05	
Dy ₂ O ₃	粉末	Dy ₂ O ₃	Tb ₄ O ₇ +Ho ₂ O ₃ +Er ₂ O ₃ +Y ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	
	1 級	99.9	0.1	0.01	0.05	
	2 級	99.5	0.5	0.005	0.05	
Ho ₂ O ₃	粉末	Ho ₂ O ₃	Dy ₂ O ₃ +Er ₂ O ₃ +Yb ₂ O ₃ +Y ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	
	1 級	99.95	0.05	0.001	0.03	
	2 級	99.9	0.1	0.001	0.05	
Er ₂ O ₃	粉末	Er ₂ O ₃	Dy ₂ O ₃ +Ho ₂ O ₃ +Tm ₂ O ₃ +Y ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	
	1 級	99.9	0.1	0.001	0.05	
	2 級	99.5	0.5	0.005	0.05	
Lu ₂ O ₃	粉末	Lu ₂ O ₃	Er ₂ O ₃ +Tm ₂ O ₃ +Yb ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	
	1 級	99.99	0.01	0.001	0.03	
	2 級	99.95	0.05	0.001	0.03	
	3 級	99.9	0.1	0.001	0.05	
Yb ₂ O ₃	粉末	Yb ₂ O ₃	Er ₂ O ₃ +Tm ₂ O ₃ +Lu ₂ O ₃ +Y ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	
	1 級	99.99	0.01	0.001	0.03	
	2 級	99.95	0.05	0.001	0.03	
	3 級	99.9	0.1	0.001	0.05	
Y ₂ O ₃	粉末	Y ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃ Gd ₂ O ₃ Er ₂ O ₃ Yb ₂ O ₃ Sm ₂ O ₃ Tb ₄ O ₇ Dy ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃			
	1 級	99.99	0.0015 0.0015 0.0015 0.001 0.0015 0.002 0.001 0.001			0.001
	2 級	99.9	<0.1	—	—	—
						0.005

4のごとくである。

11. 希土製品

中国五金公司では以上のべた結果の製品として La, Pr, Nd, Gd, Dy, Ho, Er, Lu, Yb, Y の各酸化物を出している。その規格を示せば表2のとおりである⁴⁾。

12. おわりに

金属の分野においては、普通金属はほぼ研究し尽され、今後は希土類金属を有効に利用する時代となるであろう。この時において我が国とは古き友国である中国に豊富な希土類の資源が存在することがわかり、我が国と中国が相協力してこの分野の研究開発並びに工業的生産に力を尽せば、この分野における最も強力な体制ができて上がるものと信ずる。

筆者の属する研究所においては、数年前上記白雲希土鉱山の開発を中国から依頼され、希土類に係わる従来の技術はいうまでもなく、従来と異なる製錬技術及び利用技術の研究開発を進めて来た。その結果新しい製錬技術

及び利用技術の一部についてその工業化の目途が得られると共に、希土類こそが今後の有力な原材料になり得るという確信を深めた。

一方上記のように世界最大の埋蔵量を誇る中国冶金工業部との間で、過日希土類の製錬技術から利用技術までの広範囲に及ぶ共同研究を実施することとなり、希土類精鉱粉を長期安定確保する目途も得られた。これを機会に我が国における希土類産業の発展に多少なりとも寄与できれば、中国は言うに及ばず日本の産業にとつても幸であると考えられる。

文 献

- 1) O. ERAMESA: Acta Polytech. Scand. Chem., 37 (1965), p. 21
- 2) J. PARKER: Materials Survey B. M. IC 8476 (1971), p. 92
- 3) J. ADAMS: U. S. Geological Survey, 820 (1973), p. 547
- 4) 高純金属希有金属及其化合物出口商品目録 p. 21