

■ シリーズ特集 ■ 明日を支える資源(7)

# 世界のアルミニウム資源

## Aluminium Resources in the World

葉袋精一\*

Seiichi Minai

### 1. 緒言

歴史的にみると、アルミニウムは非常に新しい金属で、元素が発見されてから170年、アルミニウムの製錬方法が工業化されてからはわずか90年余に過ぎない。

このように開発が遅れた理由としては、アルミニウムは地球上にほとんど酸化物として存在しており、古くから利用されている銅、鉄等と比較して酸素の親和力が強く、簡単に還元して金属アルミニウムをとりだすことができなかつたためである。

その後、1886年に、M. HallとP. L. T. Héroult がほとんど同時にアルミナ(アルミニウム酸化物)を溶融氷晶石に溶解し、電気分解する方法で金属アルミニウムを製錬する方法を発明し現在もこの方法がアルミニウム製錬の主流となっている。

アルミニウム製錬に用いる原料であるアルミナは純粋な状態で天然に存在せず、純粋なアルミナを得るためには、アルミナ酸化物とその他の金属酸化物の混合体である、ボーキサイトをアルカリ処理(バイヤー法)して製造する方法が、世界の主流となっている。

その他、ソ連を中心とする東欧圏では、かすみ石(N epehelite)を原料としてアルミナを製造しているが、本稿では、現在世界のアルミニウム資源の主流となっている、ボーキサイト、アルミナについて述べる。

### 2. アルミニウムの生産と消費

アルミニウム資源の動向を眺める前に、アルミニウムの現状並に将来の見通しについて簡単に述べてみたい。表1は自由世界のアルミニウム消費量である。

1973年から1983年の10年間に約20%伸び現在は16.4百万トンの消費になっている。

国別でみるとアメリカが圧倒的に多く、自由世界の

表1 アルミニウムの総消費量(千年/年)

国名	1973	1978	1983
アメリカ	6,203	6,496	6,238
日本	1,975	2,096	2,444
西独	1,141	1,336	1,555
フランス	585	683	756
イタリア	532	668	755
英国	688	568	437
カナダ	337	414	351
ブラジル	177	290	310
オーストラリア	178	208	297
ベネルックス	226	258	273
自由世界計	13,789	15,334	16,355

出典; Metal Statistics, 1973~1983年版

消費量の38%をしめており、日本は2位に位置している。

又、1人当りの消費量をみてもアメリカが26.0kg/人・年、西独が21.9kg/人・年、日本が3位で19.4 kg/人・年となっている。

次に消費の内訳であるが、アメリカでは消費量としてはこの10年間でほとんど変化がないが従来主流であった輸送、土木建築分野が減少し缶類を主体とした、包装容器関係が大きく伸びている。(表2)

一方日本においては、消費量の伸びは世界の平均より若干上廻り、需要構造はアメリカと若干異なり自動車を中心とした、輸送部門での利用が大きくなっている。次に生産であるが大きな変動が起っている。

一番目として、世界の主要生産国(第3位)であった日本の大きな後退と、水力あるいは石炭資源の豊富な国での生産開始である。

アルミニウムは、1トン生産するのに約14kWhの電気を必要とし、オイルショック以降重油による発電にたよってきた日本においては、1977年に1,180千トン生産を境に1983年には256千トンに激減し、一方アメリカにおいても表3にあるように、1978年と比較

\* 日軽苦小牧鋼取締役管理室長

〒053 苦小牧市晴海町43

表2 日本、アメリカのアルミニウム消費の内訳(%)

	1973		1978	
	アメリカ	日本	アメリカ	日本
輸送	20.4	18.2	16.4	25.5
土木・建築	24.4	34.6	18.4	29.0
包装容器	14.0	4.5	29.4	6.0
その他	41.2	42.7	35.8	39.5
計	100	100	100	100

出典；OECD年報 1973, 1978年

表3 新地金生産量(千t/年)

	1973	1978	1983
アメリカ	4,109	4,358	3,353
カナダ	930	1,049	1,091
西独	533	740	743
ノルウェー	618	657	715
オーストラリア	207	263	475
ブラジル	112	186	401
フランス	359	391	361
スペイン	160	212	358
ベネチエーラ	25	84	335
日本	1,097	1,058	256
自由世界計	10,129	11,612	11,067
再生地金自由世界計	2,820	3,592	4,369

出典；Metal Statistics 1973~1983年

して1983年は1,000千トン少くなり3,353千トンになっている。これに対して石炭の豊富なオーストラリア、水力発電の開発が可能なブラジル、ベネチエーラ、インドネシア等での生産は増加している。

2番目としては、スクラップを原料とする再生地金の増加である。1978年~1983年の5年間をみると消費量の増加にもかかわらず、新地金の生産量は減少しているが再生地金の生産量は22%増加している。又全アルミニウムの生産量のうち再生地金の生産量は1978年に23.6%であったものが、1983年には28.3%と約5%増加している。

この理由として再生地金を生産するのに必要なエネルギーは新地金のそれと比較すると、1/28以下で、又品質的にみても特に劣ることがないためである。

今後品種別のスクラップの回収、あるいはアルミニウムメタルを清浄化する技術が向上すれば、スクラップは重要な資源に位置づけられるであろう。

次に新地金生産予測について述べてみる。図-1は世界銀行の調査による1995年迄の生産予測であるが、工業国では年率2%以下の伸びに対して、発展途上国で

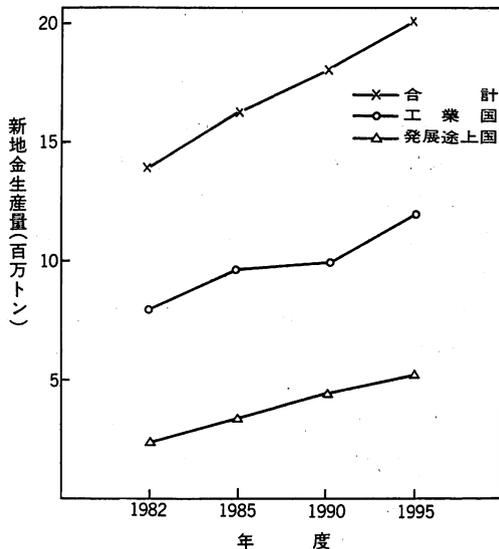


図-1 新地金生産予測

は5~10%、世界全体でも2~3%の伸びが予測されており1995年には200万トンの新地金が生産される模様である。

### 3. ボーキサイト鉱床

#### 3.1 アルミニウム資源としてのボーキサイト

Hall-Héroult法によるアルミニウム製錬はアルミナを原料としており、このアルミナはボーキサイトよりバイヤー法で生産されている。

このバイヤー法はボーキサイトをか性ソーダ処理することによりボーキサイト中のアルミニウム酸化物を、か性ソーダ中に溶解させ、不純物を分離した後、水酸化アルミニウムを再結晶させ、この水酸化アルミニウムを焼成して純度の高いアルミナを製造するプロセスである。

ボーキサイト中に含まれているアルミニウム酸化物は各種あるが、か性ソーダへの溶解度の関係からバイヤー法で処理可能なものはベーマイト( $Al_2O_3 \cdot H_2O$ )とギブサイト( $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ )に限られている。その他ダイアスポア( $Al_2O_3 \cdot H_2O$ )が含まれているボーキサイトもあるが、特殊な処理を必要とする。

#### 3.2 ボーキサイトの成因

ボーキサイトが最初に発見したのはフランスの化学者、M.P.Perthierで、1821年南フランスのLes Bauxで赤色をしているが、粘土とは少し違う泥を発見しこれを分析したところ $Al_2O_3$ が53.0%、 $Fe_2O_3$ が27.6%、 $Ig-loss$ が20.4%の鉱石であることがわかった。

その後 Clair-Deville は 1861 年に、この鉱石を発見場所になんで Bauxite と命名した。

このように最初に発見されたボーキサイトは、地中海沿岸地域のカルスト台地に賦存していることから、その成因として岩石中に含まれているアルミニウム分が、炭酸、硫化水素、石灰水等の酸、アルカリによって溶解し、石灰石と置換しながら再沈澱して成生されたとする説が有力で、カリブ海沿岸のジャマイカ、ドミニカ等のボーキサイトもこの説でほぼ説明できてきた。その後熱帯地方にボーキサイトと大鉱床が発見されるにつれ、この化学沈澱説ではその成因を説明することは困難となり風化残留説が台頭してきた。

この風化残留説はラテライト研究の副産物であり、この説によると、

- i) 熱帯的気候、すなわち高温多湿である。
- ii) 雨期、乾期がはっきりしており、同時に地下水水位が変化する。
- iii) 地形は平坦な台地で母岩に地下水が、循環で

きるような割れ目が数多く存在する。

- iv) 長期間にわたって造山運動がなく安定している。

等をボーキサイトの生成条件としており、近年発見されたオーストラリア、ギニア、ブラジル等の大鉱床はこれらの条件を満足している。

そのためボーキサイトの成因としては、従来の化学沈澱説だけでなく、風化残留説を唱える研究者が多くなり、ボーキサイトの種類としては成因の異なる、カルスト型とラテライト型の 2 種類があるとみて良いであろう。

### 3.3 ボーキサイト鉱床の分類

ボーキサイトの成因からみて、鉱床は 2 種類に大別できる。まず袋状鉱床でカルスト型がこれに相当し、生成時期としては、中世代から第 3 紀初期といわれている。次に横臥鉱床であるが、鉱床は一般的に規則正しく平面的に存在し、鉱床の最上部は鉄酸化物が濃縮して、Iron Crust でおおわれており、その下部にボー

表 4 ボーキサイトの分類

ボーキサイトのタイプ	含有鉱物		主要鉱山
	酸化鉄	酸化アルミ	
(ラテライト系)			
(1) Suriname型	10%以下	Gibbsite+ 3% Boehmite	Trombetas(ブラジル) Linden(ガイアナ) Moengo(スリナム)
(2) Weipa型	10%以下	Gibbsite + 5~20%Boehmite	Weipa(オーストラリア) Sangardi(ギニア) Gujarat states(インド)
(3) Darling Range型	10%以上	Gibbsite+ 3% Boehmite	Jarrahdale(オーストラリア) Gove(オーストラリア) Bintan (インドネシア)
(4) Ghana型	10%以上	Gibbsite+ 5~20%Boehmite	Awaso(ガーナ) Pradesh(インド)
(カルスト系)			
(1) Jamaica-1		Gibbsite+ 3%Boehmite	Williamsfield(ジャマイカ) Lydford(ジャマイカ)
(2) Jamaica-2		Gibbsite+ 5~20%Boehmite	Mocho(ジャマイカ) Pochelois Plateau(ハイチ)
(3) Jamaica-3	20%Goehmite	Gibbsite+ 5~20%Boehmite	Magotty(ジャマイカ)
(4) 地中海型-1		Gibbsite+ 10~50%Boehmite	Obravac(ユーゴスラビア) Provence(フランス)
(4) 地中海型-2		5% Diaspore + Boehmite	Parnus(ギリシャ) Arkaluk(ソ連)

出典: I. B. A レポート vol7, No.2

キサイト層が2~10mで賦存する。

以上は成因からみた分類であるがI・B・AのV.G. HillとS. Ostojicは、ボーキサイト中のアルミナ鉱物より表4のように分類している。

この分類はボーキサイトからアルミナ分をか性ソーダ中に抽出する際の難易度によっている。

先に述べたように、ボーキサイト中のアルミナ含有鉱物はギプサイト、ペーサイト、ダイアスポアの3種類があり、各か性ソーダに対する溶解度が違う。

ギプサイトの場合120~140℃位で抽出可能であるが、ペーサイトになると230℃以上の抽出温度を必要とする。又、ダイアスポアになると、さらに高温にする必要があるが、工業的には石灰によって前処理をおこなってから抽出する方法がとられている。

### 3.4 ボーキサイトの産地並に埋蔵量

表5はタイプ別の埋蔵量で確定鉱量としては、314億トンになる。1995年の予想ではアルミニウム新地金の生産が200万トンであるので、1億トンのボーキサイトを生産すれば充分であることより、300年以上採掘可能である。

次に国別の埋蔵量を表6に記す。これは世界銀行の調査による値で、表5のI・B・Aの値と若干異っている。この表で特筆すべきことは、過去20年で埋蔵量が約4倍になっていることである。

この中で特に増加している国はブラジル、ギニアで将来この両国がオーストラリヤに並んで世界の主要産出国になるであろう。

表5 世界のボーキサイト資源 (100万t)

ボーキサイトの種類	開発済鉱床		未開発鉱床	
	確定	推定	確定	推定
ラテライト系				
Suriname	3,750	10	90	
Weipa	1,710			
Darling Range	3,350	3,500	15,450	97,000
Ghana	120	300	1,800	3,400
合計	8,930	3,810	17,340	100,400
カルスト系				
Jamaica 1 & 2	1,624	5	565	50
Jamaica 3	200		60	
地中海型 1, 2	1,230		60	1,600
" 3	1,460			1,700
合計	4,514	5	685	3,350
総計	13,444	3,815	18,015	103,410

出典：I. B. Aレポート Vol.10, No.2

表6 ボーキサイト埋蔵量 (100万トン)

国名	1963	1983
ギニア	1,100	5,900
オーストラリア	2,060	4,600
ブラジル	40	2,300
ジャマイカ	600	2,000
インド	58	1,200
ガイアナ	150	900
インドネシア	25	700
ギリシャ	84	650
ベネチエーラ	—	500
ユーゴスラビア	290	400
世界計	5,698	22,610

出典：World Bank レポート1984年9月

## 4. ボーキサイト鉱山とアルミナ工場

### 4.1 ボーキサイト生産の現状

表7は1973年と1984年のボーキサイト生産量である。この10年間で非常に大きな変化をしている。以下主要産出国の動向について若干解説してみる。

表7 ボーキサイト生産量 (千t/年)

	1973		1983	
	順位	生産量	順位	生産量
オーストラリア	1	17,596	1	24,539
ギニア	4	3,800	2	12,986
ジャマイカ	2	13,600	3	7,682
ブラジル	14	849	4	5,239
ユーゴスラビア	8	2,167	5	3,000
スリナム	3	6,976	6	2,978
ギリシャ	7	2,748	7	2,422
インド	10	1,251	8	1,850
フランス	6	2,970	9	1,662
ガイアナ	5	3,622	10	1,087
自由世界計	—	63,144	—	67,115

出典：Metal Statistics 1973, 1983年

#### 4.1.1 オーストラリア

オーストラリアのボーキサイトは、Weipa地区、Gove地区、Darling Range地区の3地区にわかれている。この3地区で最大の生産量をだしているのは、Darling Range地区で1983年には120万トンの生産をおこない、隣接している、アルコア社の2工場に供給している。なお同地区のボーキサイトの品位はAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>で35~42%と低いため輸出はおこなわれていない。さらに1984年にはWegerup並にWorsleyにアルミナ工場が新設され、ボーキサイト

の生産量はさらに増加している。

次にWeipa地区であるが、開発は一番古く1961年に採掘を開始し、1983年の生産量は6.7百万トンで、日本並に西独を中心としたヨーロッパに輸出すると同時にクインズランド社のQ. A. L社Gladstone工場に供給している。

この地区のボーキサイトは他の2地区と違って、ベーマイトの含有量が多く、この鉱石を使用するアルミナ工場では高温抽出をおこなっている。

第3番目のGove地区はNABALCO社によって開発され、5.1百万トンの生産のうちGoveアルミナ工場では2.1百万トン消費し残りはWeipa地区同様日本、ヨーロッパに輸出している。

以上のように同国のボーキサイトは3地区で生産されており、この10年間で7百万トン増産となったが、この増産量のほとんどは、新設工場を含めて国内のアルミナ工場での消費増となっている。

#### 4.1.2 ギニア

過去10年間でボーキサイトの生産の伸びが一番大きかったのはギニアで約9百万トンの増産となっている。同国のアルミナ工場としてはFria1ケ所で、ほとんど輸出となっている。

特に最近新設された、スペイン、アイルランドの工場に供給が開始された現在、さらに増産となるであろう。

#### 4.1.3 ジャマイカ

1970年項迄世界第1位の産出国であったが、1983年には第3位となっている。同国のボーキサイト鉱床はアルキャン、アルコア、カイザー、レイノルズの4社が支配しており、各社がアメリカ及びカナダの自工場へ輸出する他、現地子会社でアルミナ生産してきた。しかしオイルショック後ジャマイカ政府の関税引き上げによりジャマイカの鉱石が割高になったこと及び各社のアメリカの工場が古くなりコスト高になったこと等によりアルミナ工場の減産、閉鎖があいつぎ、ボーキサイトも大巾に減産となってきている。

#### 4.1.4 ブラジル

ジャマイカの減産にひきかえブラジルは世界のトップクラスの産出国になろうとしている。この原因はアルキャンを中心としたアマゾン河上流のTrombetas鉱山の開発である。現在はカナダを中心として輸出が主体となっているが、アルコア社によるサンルイスにアルミナ工場の建設、日本のプロジェクトであるアルミナ工場建設のアルノルテ計画が完成すれば、さらに増

産になるであろう。

#### 4.1.5 スリナム、ガイアナ

1970年代の主要産出国であったスリナム、ガイアナも大巾に減産となっている。これらの国は鉱量が枯渇したわけではなく、政情が不安定のため、購入していた国が他とソースに変更したためと思われる。

今後政情が安定すれば、ブラジル、ジャマイカを含めたカリブ海沿岸諸国はオーストラリア、ギニアと肩を並べる産出国になると思われる。

### 4.2 世界のアルミナ工場

アルミニウムの直接の原料はボーキサイトではなくアルミナである。1960年の前半迄は1つの会社又は系列においてアルミナーアルミニウムは一貫して生産されてきた。そしてアルミナ工場は必ずしもボーキサイト鉱山に隣接してはいなかった。

しかし1960年代の後半に入ると、オーストラリアのアルコア社はDarling Range鉱床の近くのKwinanaに大型工場を建設し、その後続々と鉱区に隣接して工場が建設され、1984年には同国の生産能力は9.2百万トンになり自由世界のアルミナ工場の26%を占める迄となった。

オーストラリア以外ではスペインのSan Cipirian工場、アイルランドのAughinish工場、ブラジルのAlumar工場、ヴェネネゼーラのInteralumina工場等の大型工場が建設されたが、これらの工場はボーキサイト鉱区に必ずしも隣接していない。

これら最近の工場の特徴は、大型工場にすることによりコストを安くすることねらっており、アルミニウム製錬工場と切離して建設する場合が多く、アルミナ

表8 アルミナ生産量 (千t/年)

	1973		1983	
	順位	生産量	順位	生産量
オーストラリア	2	4,089	1	7,231
アメリカ	1	6,662	2	4,220
ジャマイカ	3	2,506	3	1,907
西独	8	922	4	1,583
日本	4	1,987	5	1,378
スリナム	5	1,380	6	1,146
カナダ	6	1,134	7	1,116
ユゴ	—	275	8	1,010
フランス	7	1,112	9	1,009
スペイン	—	0	10	732
自由世界計	—	22,719	—	24,628

出典：Metal Statistics 1973, 1983年

製造を独立したビジネスとして考えるようになり、世界のアルミナ工場の57%はこの様な形態をとるようになってきている。

このような動きを国別の生産量でみると表8のようになる。この表からわかるようにオーストラリアとアメリカが一番大きな動きをしている。アメリカについては先に述べた様に古い非効率な工場を閉鎖したために大巾な減産となっているが、これを償っているのがオーストラリアである。

最後に日本であるがアルミニウム製錬工場の閉鎖に伴い、アメリカ同様に大巾な減産となっている。

なお世界で生産されているアルミナの約10%はアルミニウム製錬以外に使用されていることを附記しておく。

### 5. 結 言

アルミニウム資源としてのボーキサイトは、アルミニウムの消費が極端に増加しない限り300年以上は充分にある。しかし賦存している場所が熱帯地方に限られており、未開発地域が主体となっているため、開発による自然破壊をいかに少なくするかは今後の大きな課

題になるであろう。又他の資源と同様に資源産出国と消費国は必ずしも一致しておらず、両者間の調和をはかることも重要である。

一方アルミナについては、古い工場のスクラップ化は進むことと思われるが、今後は同じ場所に再建設されるよりは、鉱床に隣接しなくても、ボーキサイト資源国の同一国内に建設されるケースが増加するものと思われる。

その他技術的にみた場合、ボーキサイト以外の資源、例えばばん土頁岩、粘土の利用の研究は今後各所でおこなわれるであろうが、工業的に利用されるのは時間がかかるのではないだろうか。

### 参 考 文 献

- 1) I. Valetton; BAUXITES.
- 2) 佐藤定幸; 米国アルミニウム産業
- 3) 西尾 滋; 海外アルミニウム資源の開発
- 4) Hill, V. G.; Light Metals, TMS-AIME, P 3-12, 1982
- 5) Hill, V. G.; Light Metals, TMS-AIME, P1633-1652, 1984

## 新刊図書

## 太陽エネルギー利用ハンドブック

日本太陽エネルギー学会編  
(編集委員長 東大工学部 松尾 陽)

<p><b>目 次</b></p> <p>第I編 太陽エネルギーの基礎</p> <p>第1章 太陽と地球</p> <p>第2章 熱力学・流れ学</p> <p>第3章 伝熱・物質移動</p> <p>第4章 集光・集熱理論</p> <p>第5章 蓄エネルギー</p> <p>第6章 材料工学</p> <p>第7章 建築と居住環境</p> <p>第8章 冷暖房空気調和</p> <p>第9章 生物による物質固定</p> <p>第10章 農(林・水産)業と生物環境</p> <p>第11章 計 測</p> <p>第12章 太陽エネルギー利用の歴史</p>	<p>第II編 直接利用技術</p> <p>第1章 集熱装置</p> <p>第2章 動力発生と発電</p> <p>第3章 光 発 電</p> <p>第4章 給湯・給熱システム</p> <p>第5章 暖房とソーラーハウス</p> <p>第6章 冷凍・除湿装置</p> <p>第7章 冷 暖 房</p> <p>第8章 蓄熱技術</p> <p>第9章 乾 燥</p> <p>第10章 淡 水 化</p> <p>第11章 工業用プロセス加熱</p> <p>第12章 農林水産施設</p> <p>第13章 地中蓄熱</p>	<p>第14章 ソーラーボンド</p> <p>第15章 太 陽 炉</p> <p>第16章 小規模の直接利用技術</p> <p>第III編 間接利用技術</p> <p>第1章 海洋温度差発電</p> <p>第2章 波浪・海流発電</p> <p>第3章 濃度差発電</p> <p>第4章 風力利用</p> <p>第5章 バイオマス</p> <p>◇資料編</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 単位換算表</li> <li>● 索 引</li> <li>● 製品、技術資料</li> </ul>
---	--	--

**体 載** A 5判, 1,200頁, 上製本, ケースつき **発 行** 日本太陽エネルギー学会

**申 込** 下記へTELかハガキにて申込むこと。

〒160 東京都新宿区高田馬場3-1-5

**定 価** 27,500円(送料共)

サンパティオ322

電 話:東京(03) 368-7527