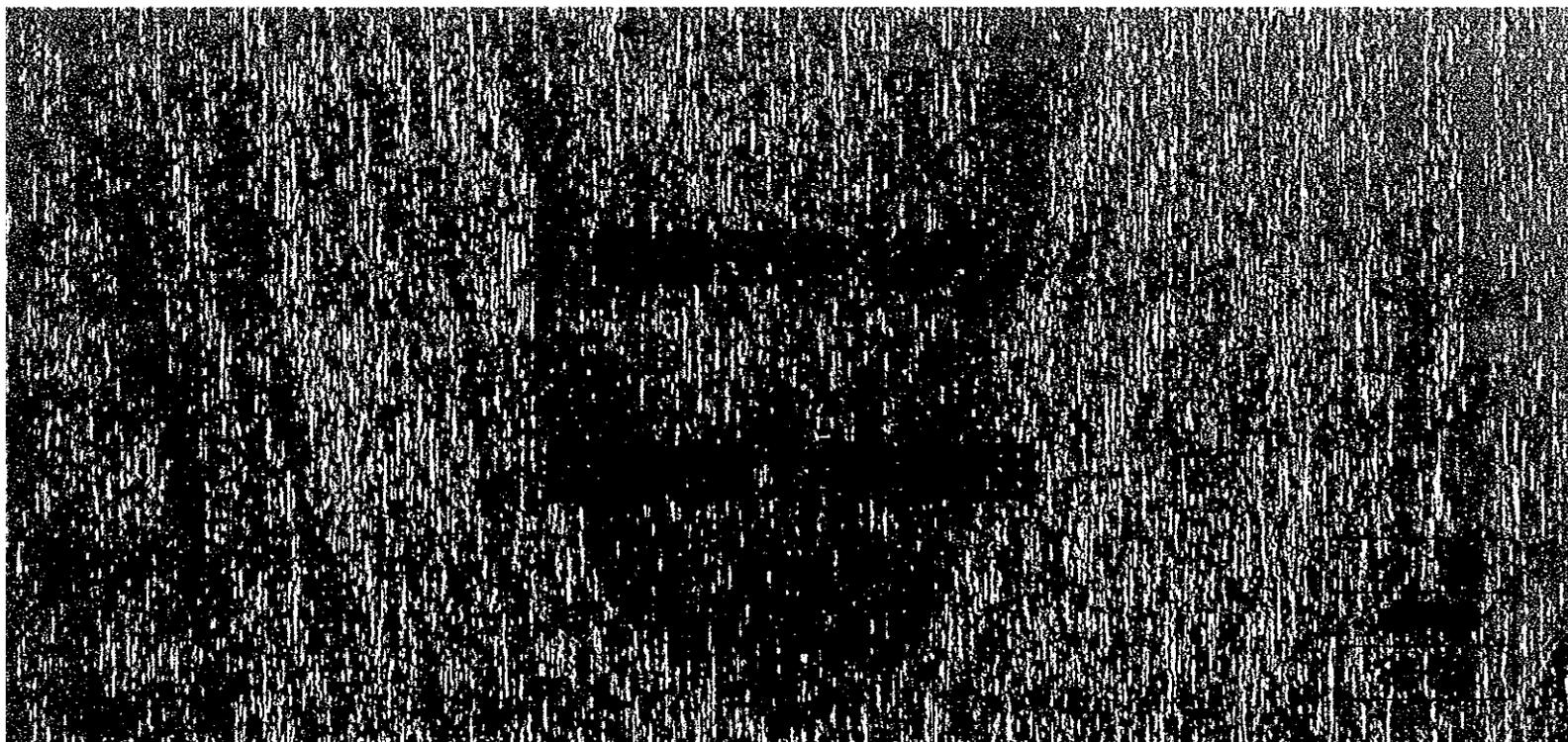


**ブラジル連邦共和国
カラジャス地域
総合開発計画調査**

第1次 プロGRESS レポート

第4巻 鋳工産品



JICA LIBRARY



1025121[3]

**ブラジル連邦共和国
カラジャス地域
総合開発計画調査
第1次 プロGRESS レポート**

第4巻 鉱工産品

昭和58年12月

国際協力事業団

國際協力事業団	
入 日 84.8.24	703
登録No. 13846	66.5
	PLC

総目次

第1巻 要約と結論

第2巻 農林産品（第1部）

〔1〕 油糧種子

〔1-1〕 調査対象品目の概要

〔1-2〕 調査対象油糧種子各論

〔1-2-1〕 オイルパーム

〔1-2-2〕 コブラ・やし油およびパーム核（油）、
パパス核（油）

〔1-2-3〕 大豆

〔1-2-4〕 その他の油糧作物

〔1-2-4-1〕 落花生

〔1-2-4-2〕 ひまわり

〔1-2-4-3〕 綿実

〔1-2-4-4〕 コーン油

〔1-2-4-5〕 ひまし

〔1-3〕 予測モデルの構造と予測結果

〔1-Appendix 1〕 油糧種子と油脂の海上輸送

〔1-Appendix 2〕 Recent World Supply and Demand
of Oilseeds

〔2〕 飼料

〔2-1〕 とうもろこし

〔2-2〕 大豆ミール

〔2-3〕 キャッサバ・ペレット

第3巻 農林産品（第2部）

〔3〕 エチルアルコール

〔4〕 工業作物

〔4-1〕 天然ゴム

〔4-2〕 その他の工業作物

〔4-2-1〕 コショウ

〔4-2-2〕 ガラナ・ブラジルナッツ

(5) 綿 花

(6) 林 産 物

(7) 牛 肉

(8) 熱帯果実

〔8-1〕 バナナ

〔8-2〕 その他の熱帯果実

〔8-2-1〕 メロン

〔8-2-2〕 パパイア

〔8-2-3〕 カシューナッツ

〔8-2-4〕 マイナップルジュース

〔8-2-5〕 パッションフルーツ・ジュース

〔8〕-Appendix Export of Fruits from Israel, Morocco,
Mexico and South Africa

第4巻 鉱工産品

〔1〕 ボーキサイト・アルミナ・アルミニウム

〔2〕 ニッケル・フェロニッケル

〔3〕 コバルト

〔4〕 マンガン鉱石・フェロマンガン

〔5〕 銅・銅精鉱

〔6〕 錫

〔7〕 銑鉄・鋼半製品

Annex

〔A〕 マンガン団塊

第4巻 鋳工産品

目 次

[1]	ボーキサイト・アルミナ・アルミニウム	[1]-	1~	[1]-	291
[2]	ニッケル・フェロニッケル	[2]-	1~	[2]-	108
[3]	コバルト	[3]-	1~	[3]-	69
[4]	マンガン鉱石・フェロマンガン	[4]-	1~	[4]-	100
[5]	銅・銅精鉱	[5]-	1~	[5]-	77
[6]	錫	[6]-	1~	[6]-	84
[7]	鉄鉄・鋼半製品	[7]-	1~	[7]-	164
Annex					
[A]	マンガン団塊	[A]-	1~	[A]-	37

〔1〕 ボーキサイト・アルミナ・
アルミニウム

〔1〕ボーキサイト・アルミナ・ アルミニウム

目 次

A. アルミニウムの資源と製造技術	〔1〕- 2
I. アルミニウムの特性と用途	〔1〕- 2
II. ボーキサイト	〔1〕- 3
1. ボーキサイトの種類、成因	〔1〕- 3
1. 1 種類	〔1〕- 3
1. 2 成因	〔1〕- 4
1. 3 鉱床の状況	〔1〕- 5
2. ボーキサイト資源の分布と埋蔵量	〔1〕- 5
III. 製造方法	〔1〕- 8
1. ボーキサイトの採掘	〔1〕- 8
1. 1 採鉱	〔1〕- 8
1. 1. 1 露天採鉱	〔1〕- 8
1. 1. 2 坑内掘り	〔1〕- 8
1. 2 選鉱	〔1〕- 8
2. アルミナ、アルミニウムの製造プロセス	〔1〕- 9
2. 1 アルミナの製造法	〔1〕- 9
2. 2 アルミニウムの製造法	〔1〕- 10
IV. 製造技術の現状と将来	〔1〕- 15
1. 最近の製錬技術	〔1〕- 15
1. 1 アルミナ製造技術	〔1〕- 15
1. 1. 1 アルミナ原料としての ボーキサイトの価値	〔1〕- 15
1. 1. 2 アルミナ製造技術	〔1〕- 16
1. 1. 3 アルミナ生産規模	〔1〕- 16
1. 1. 4 非バイヤー法	〔1〕- 17
1. 2 アルミニウム製錬技術	〔1〕- 18
1. 2. 1 プリベーク方式と ゼーダーベルグ方式の対比	〔1〕- 18

1. 2. 2 電力消費量節減	(1) - 21
1. 2. 3 機械化、自動化	(1) - 21
1. 2. 4 環境対策技術	(1) - 21
2. 新製錬法	(1) - 22
2. 1 塩化アルミニウム電解法	(1) - 22
2. 2 溶鋳炉法	(1) - 22
2. 3 新製錬法とアルミニウム原料	(1) - 25
B. 生産	(1) - 31
I. アルミニウム生産の推移	(1) - 31
1. ボーキサイト生産	(1) - 31
2. アルミナ生産	(1) - 31
3. アルミニウム新地金生産	(1) - 34
4. 最近の生産動向	(1) - 37
II. アルミニウムの産業構造	(1) - 40
1. 世界の需給バランス	(1) - 40
1. 1 ボーキサイト	(1) - 41
1. 2 アルミナ	(1) - 42
1. 3 アルミニウム新地金	(1) - 43
2. アルミニウム産業におけるメジャー	(1) - 44
3. メジャーの後退と国営化	(1) - 46
III. アルミニウムの生産コスト	(1) - 51
1. ボーキサイト	(1) - 51
1. 1 生産コスト	(1) - 51
1. 1. 1 建設費	(1) - 51
1. 1. 2 直接(採掘)費	(1) - 52
1. 1. 3 会計制度および税と鉱区使用料	(1) - 53
1. 2 輸送コスト	(1) - 53
1. 3 ボーキサイトの開発と検討項目	(1) - 56
2. アルミナ	(1) - 58
2. 1 生産コスト	(1) - 58
2. 1. 1 建設費	(1) - 58
2. 1. 2 ボーキサイト入手価格	(1) - 60
2. 1. 3 エネルギーコスト	(1) - 61
2. 1. 4 会計制度	(1) - 61

2, 2	輸送コスト	(1)- 61
2, 3	アルミナ設備の新設と検討項目	(1)- 65
3.	アルミニウム	(1)- 65
3, 1	建設費	(1)- 66
3, 2	生産コスト	(1)- 68
3, 2, 1	直接操業費	(1)- 68
3, 2, 2	間接費	(1)- 75
3, 3	生産コストの一般水準	(1)- 77
4.	アルミニウムのコストモデルと競争力	(1)- 78
4, 1	アルミニウムの生産コストモデル	(1)- 79
4, 2	競争力あるアルミニウム製錬設備の条件	(1)- 84
C.	消費	(1)- 117
I.	アルミニウム消費の推移	(1)- 117
1.	アルミニウム新地金消費の全般的経過	(1)- 117
2.	新地金消費の地域別・国別構成	(1)- 117
3.	消費増加寄与度からみた地域別動向	(1)- 120
4.	消費成長率と対 GDP 成長弾性値	(1)- 121
4, 1	世界	(1)- 121
4, 2	自由世界と計画経済圏	(1)- 122
4, 3	先進工業国と開発途上国	(1)- 122
4, 4	主要消費地域	(1)- 123
5.	1人当りアルミニウム消費量	(1)- 124
6.	アルミニウム総消費	(1)- 125
II.	アルミニウムの需要構造	(1)- 128
1.	アルミニウム加工製品別需要	(1)- 130
1, 1	アメリカ	(1)- 134
1, 2	ドイツ連邦共和国、イギリス	(1)- 134
1, 3	フランス	(1)- 134
1, 4	イタリア	(1)- 134
1, 5	日本	(1)- 134
2.	アルミニウム用途別需要	(1)- 136
2, 1	アメリカ	(1)- 136
2, 2	ヨーロッパ	(1)- 140
2, 3	日本	(1)- 140

3. 日本における需要構造とその推移	(1) - 142
III. アルミニウム需要の変動要因	(1) - 147
1. 競合材料との関係	(1) - 148
2. 応用技術の拡大と材料競争	(1) - 155
3. 再生地金と新地金需要	(1) - 158
D. 価 格	(1) - 180
I. アルミニウム市場価格の推移	(1) - 180
II. 市場価格の形成と変動	(1) - 182
1. LME への上場	(1) - 182
2. 最近の価格動向	(1) - 183
3. アルミニウムの価格秩序	(1) - 186
E. 貿 易	(1) - 188
I. 世界の貿易フロー	(1) - 188
1. ボーキサイト	(1) - 188
1. 1 ボーキサイト輸出国	(1) - 188
1. 2 ボーキサイト輸入国	(1) - 188
2. アルミナ	(1) - 188
2. 1 アルミナ輸出国	(1) - 194
2. 2 アルミナ輸入国	(1) - 194
3. アルミニウム	(1) - 194
3. 1 アルミニウム輸出国	(1) - 194
3. 2 アルミニウム輸入国	(1) - 200
II. 国際取引の実態	(1) - 200
1. 国際取引の形態	(1) - 200
2. 取引価格	(1) - 203
2. 1 ボーキサイト	(1) - 203
2. 2 アルミナ	(1) - 203
3. 海上貿易	(1) - 205
III. 国際機構とその役割	(1) - 208
IV. 主要国の政策	(1) - 211
1. 主要消費国における輸入政策	(1) - 211
2. アルミニウム産業誘致策	(1) - 211
2. 1 オーストラリア	(1) - 212

2. 2	ニュージーランド	(1) - 212
2. 3	インドネシア	(1) - 212
2. 4	ベネズエラ	(1) - 212
F. 需給予測		(1) - 225
I. 各国の開発計画		(1) - 225
1. 開発の概況		(1) - 225
1. 1	開発計画の動向	(1) - 225
1. 2	開発計画と立地	(1) - 225
1. 3	プロジェクトの形態	(1) - 225
2. 地域別の開発計画状況		(1) - 225
2. 1	南アメリカ	(1) - 232
2. 1. 1.	ブラジル	(1) - 232
2. 1. 2.	ベネズエラ	(1) - 232
2. 1. 3.	その他	(1) - 232
2. 2	オセアニア	(1) - 233
2. 2. 1.	オーストラリア	(1) - 233
2. 2. 2.	ニュージーランド	(1) - 233
2. 3	ヨーロッパ	(1) - 233
2. 4	アジア	(1) - 234
2. 4. 1.	インド	(1) - 234
2. 4. 2.	その他	(1) - 234
2. 5	アフリカ	(1) - 234
2. 6	北アメリカ	(1) - 235
2. 6. 1.	カナダ	(1) - 235
2. 6. 2.	アメリカ	(1) - 235
II. アルミニウムの需給予測		(1) - 235
1. 既発表の需給予測		(1) - 235
1. 1	OECDによるアルミニウム工業の需給予測	(1) - 236
1. 2	UNIDOによるアルミニウム需要予測	(1) - 238
1. 3	IPAIによるアルミニウム新地金生産能力予測	(1) - 241
1. 4	IBAによる1980年代のボーキサイト、 アルミナ、アルミニウム消費予測	(1) - 242
1. 5	Chase Econometricsによる1990年 までのアルミニウム需要等の予測	(1) - 242

1. 6 Stewart R. Spector氏による中期需給予測	(1)- 246
1. 6. 1 アルミニウム新地金需要	(1)- 246
1. 6. 2 アルミニウム製錬能力	(1)- 246
1. 6. 3 アルミニウム新地金の需給バランス	(1)- 250
1. 7 James A. Vais氏の子測	(1)- 250
1. 8 その他の見通し	(1)- 254
2. 既発表予測の比較	(1)- 256
2. 1 アルミニウムの需要または消費	(1)- 256
2. 2 アルミニウム新地金製錬能力	(1)- 258
2. 3 アルミニウム新地金需給	(1)- 259
3. 1990年、2000年のアルミニウム新地金需要予測	(1)- 260
3. 1 GDP弾性値を用いた予測	(1)- 260
3. 2 成長曲線を利用した予測	(1)- 264
3. 3 予測の結果	(1)- 266
G. カラジャス産品の輸出可能性	(1)- 268

〔1〕 ボーキサイト・アルミナ・アルミニウム

凡 例

1. 本編で使用している重量単位は、特に断りない限り、メトリックトンである。
2. 巻末に全世界ボーキサイト、アルミナ、アルミニウムの設備一覧表を付した。
3. 引用資料の略語は次のとおり。(順不同)

AME	.....	Australian Mineral Economics Pty Ltd.
IBA QR	.....	International Bauxite Association Quarterly Review
IPAI SS	.....	International Primary Aluminium Institute Statistical Summary
JAF	.....	Japan Aluminium Federation
MB	.....	Metal Bulletin
MS	.....	Metal Statistics issued by Metallgesellschaft
MW	.....	Metals Week
USBM	.....	U. S. Bureau of Mines

〔1〕 ボーキサイト・アルミナ・アルミニウム

A. アルミニウムの資源と製造技術

I. アルミニウムの特性と用途

工業材料としてのアルミニウムの歴史は100年程度にしかならないにもかかわらず、鉄に次ぐ第2の金属になった最も大きな要因は、その優れた特性が発揮されたため、広い用途に次のような特性が生かされている。

- a. 軽量：比重が鉄や銅の約3分の1で、軽量化の要求される航空機、車両、船舶などの構造材として適している（注1）。
- b. 強度が大きい：マグネシウム、シリコン、銅、マンガンなどの金属元素を添加し、これに熱処理や加工を施すことにより強度を高められ、かつ極低温においても強度が変わらない利点がある。
- c. 耐食性良好：空気中での自然酸化により表面に緻密な酸化皮膜が生成し、腐食が防止され、さらに陽極酸化処理を行って表面に耐食性皮膜を生成させることも可能。
- d. 加工性良好：塑性加工性が極めて優れ、これを利用して独特の加工法である押出法により複雑な形状に加工でき窓枠サッシなどに広く使われている。
- e. 電気伝導性良好：銅の約60%であるが、重量が約3分の1なので、同重量の銅に比べて2倍の電流を流すことが可能（注2）で、送電線の大部分は銅を代替した。
- f. 熱伝導性良好：鉄の約3倍の熱伝導度を有し、各種熱交換器などの用途に適している（注3）。
- g. 鋳造性良好：比重が小さく、融点が低く（注4）、熱容量が大きく、各種の鋳造法により、複雑な形状の鋳物をつくることができる。

（注1）比重	アルミニウム	2.7
	鉄	7.9
	銅	8.9

（注2）電導率：36.36 m / Ω・mm²

（注3）熱電導率：0.568 cal / cm・s・deg

（注4）溶融点：660℃

- h. 再生が容易：融点が低いため、再生が極めて容易にできる。この場合のエネルギー量は、新地金をつくる場合の約28分の1で、再生コストも安く、品質も新地金と大差ないものができる。
- したがって、再生まで含めれば、アルミニウムは、少ないエネルギーで製造され、資源の有効利用に役立っている。

これらの他にも、毒性が無い、磁気を帯びない、再生しやすい、表面処理により各種の仕上げが可能などのすぐれた諸特性を備えている。

また、アルミニウムの中間原料であるアルミナの主要用途は製錬原料であるが、融点が高い(約2,050℃)、強熱したものは化学的に安定でかつ電気絶縁性良好などの特性があり、耐火物や耐熱性を有するセラミックス成形体、電気・電子部品などに広く用いられている。また、アルミナには各種の結晶形態があり、これを利用して解媒抱体、吸着剤などにも広く用いられている。アルミニウムの酸化物は、このほかに水酸化物の状態でも、各種のアルミニウム塩(硫酸塩、塩化物、アルミン酸素ソーダなど)の原料や、プラスチック充填材などの分野にも用途が広い。これら非製錬用の用途の割合は、世界平均では、1割以上で、今後この割合は大きくなっていくものと思われる。

II. ボーキサイト

元素としてのアルミニウムは、地球上の全元素の内でも、最も豊富に存在するものの一つであって、地殻表層部の存在比率を示すクラーク数では酸素、珪素に次いで第3位(7.56%)となり、鉄の4.76%より多く、地殻を構成する主要な元素である。

アルミニウムを含む鉱物は、ほとんどが酸化物で粘土類、頁岩類、長石類、雲母、リン酸ばん土、明ばん石など各種が知られているが(Reference Table A-1)、現在の工業的アルミニウム製造法において、経済的に利用されているものは、アルミナ含有量が十分高く、シリカ分の少ないボーキサイトだけで、例外的にかすみ石やばん土頁岩が一部で利用されているにすぎない。

1. ボーキサイトの種類、成因

1.1 種類

ボーキサイトはLes Bau(フランス)で産出する赤白の岩石で、かつては粘土の一種と考えられていたが、その後アルミナが主体の鉱石であることが確認されたことから、その産出地名にならって名付けられた。現在ではラテライト鉱物の内で特にアルミナ分が多く、アルミニウム鉱石となり得るものをボーキサイトと呼んでいる。

このようにボーキサイトは、厳密な鉱物学的意味での単一な鉱物ではなく、アルミナ質の鉱物と、その他、酸化鉄、酸化チタン、酸化珪素などの成分を含む鉱石である。主成分であるアルミナ質はギブサイト(Gibbsite; $Al(OH)_3$) やベーマイト(Boehmite; $AlO(OH)$) などの結晶体を作っている場合が多い。それぞれの組成式は $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$, $Al_2O_3 \cdot H_2O$ とも表わされるため前者をアルミナの3水和物、後者は1水和物と呼ばれる。また、特殊な場合には、ダイアスポア(Diaspore, $H \cdot AlO_2$) 型1水和物が含まれることがある。

したがって、ボーキサイトは、アルミナ水和物のタイプに応じて、3水和型(またはギブサイト型)ボーキサイト、1水和型(またはベーマイト型)ボーキサイトなどと一般に称される。珪酸分はカオリナイト(Kaolinite; $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$)、ハロイサイト(Halloysite; $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) などの粘土鉱物として存在するか、石英粒として遊離して存在することが多く、ボーキサイトをパイヤー法の原料とする場合の最も重要な不純物成分であるため、通常できるだけ少ない率が望まれる。

またボーキサイト中の鉄分は、ヘマタイト(Hematite; $\alpha-Fe_2O_3$)、リモナイト(Limonite; Fe_2O_3)、などとして存在し、ほとんどのボーキサイトに特有な赤色(場合によっては暗赤色、ないし褐色)の原因となっている。

1. 2 成 因

ボーキサイトは岩石の化学的風化分解作用によって生成されたものと言われているが、ボーキサイト化作用やラテライト化作用が進行するには、化学的風化作用が特に促進されやすい環境である必要があり、そのような風化分解作用を起こしやすい熱帯、亜熱帯地域に産出することが多い。

これを母岩別に見た場合、世界各地のボーキサイトのオリジンは概略次のとおりである。

- a. アルカリ・アルミニウム珪酸塩(かすみ石、白りゅう石など)
この種の岩石が、熱帯の起伏のゆるい地域に露出して風化されたもの。
例: ロス諸島(ギニア)、アーカンサス(アメリカ)など
- b. 石灰岩
石灰石が風化して、不純物のアルミナが残留濃縮したもの。
例: 地中海域のボーキサイト(フランス、イタリア、ハンガリー、ユーゴスラビアなど)
カリブ海地方のボーキサイト(ジャマイカ、ハイチ、ドミニカなど)
- c. 堆積粘土
例: ジョージア、アラバマ(アメリカ)
- d. 中性-塩基性火成岩(閃緑岩、輝緑岩、玄武岩)
これらの風化が進むとアルミナ分が分離し、高品位のボーキサイト帯が生ずる。
例: インドなど

- e. その他のアルミニウム珪酸塩から成る岩石（花崗岩、閃長石、片麻岩、頁岩）
これらのアルミナ含有率の比較的高い岩石が著しく風化した場合
例：ギニア、スリナム、インドネシア、マレーシア、オーストラリア

1. 3 鋳床の状況

ボーキサイトの鋳床の形は概略次の4つに大別される。

a. 毛布鋳床

この種の鋳床は平坦な台地、丘陵、高原などの地表または、地表近くを薄く被覆して存在するもので、熱帯、亜熱帯に存在し、大部分は第3紀以降に生成したものである。

b. 層間鋳床

堆積岩の中や、堆積岩と火成岩の間に層状、レンズ状に存在するもので、完全に地層の一部となっている。これはかつて形成された毛布鋳床をなしていたボーキサイト層が沈降してその上に新しい堆積物が沈積したものである。

c. 袋状鋳床

石灰岩、粘土、火成岩などの母岩のなかにポケット状に存在し、毛布鋳床や層状鋳物に随伴することが多く、鋳床の形は不規則である。

d. 破屑鋳床

上記の3つの鋳床が侵食されて機械的に分解運搬されて、再沈澱したもので、二次的鋳床である。

2. ボーキサイト資源の分布と埋蔵量

ボーキサイトの埋蔵量（確定埋蔵量と推定埋蔵量を含む）は、資源の消費によって減少するよりも、むしろ新しい鋳床が発見される度に増加しており、たとえば1945年当時には、世界の埋蔵量は僅か10億tとされていたが、1950年以降には、オーストラリア、ブラジルの大鋳床の発見やギニアにおける新鋳床の追加などにより飛躍的に増加し、現在では、250億t以上に達するものと見なされている。250億tと言え、現状の世界のボーキサイトの消費量年間約8,800万tに対して、300年近くの量を供給できることになり、多少偏在していることを除けば、資源としては非常に豊富であると言えよう。

（Reference Table A-2）にUSBMの推計による国別のボーキサイト埋蔵量およびボーキサイトのタイプを示し、（Reference Table A-3）には鋳床別の品位を示す。

地域別の分布は概略次のとおり。

アフリカ	101.6億 t
アメリカ（北、南）	63.6 "
アジア	21.8 "
西ヨーロッパ	12.6 "
オセアニア	46.2 "
（自由世界 計）	（245.8 "）
（計画経済圏 計）	（ 5.1 "）
世界合計	250.9 "

また、各地域の鉄床の概要は次のとおり。

a. アフリカ地域

(i) ギニア

世界の埋蔵量の3分の1に当る82億t近くが存在し、Boké、Tongue、Dabola、Friaなどに大鉄床があり、なかでもBokéの鉄床は鉄層が25m余りで、世界で最も大規模な単一鉄床である。アルミナのタイプはギブサイト主体で上層および下層にベーマイトを含み、アルミナ分60%と高品位である。

(ii) その他のアフリカ地区鉄床

カメルーン、ガーナ、シエラレオネなどに数億t単位の鉄床が認められているが、本格的開発は未着手である。南アフリカにもボーキサイトが発見されたとの情報もあるが、詳細不明である。

b. ラテンアメリカ地域

(i) ブラジル

アマゾン川流域(Trombetas、Paragominas)、大西洋岸(Pocos de Caldas)などに大鉄床があり、Trombetasの鉄床は比較的表土が厚く(約6m)、この下に1mのnodular ボーキサイト、1mの鉄分含有量の大きいラテライト、さらに5mのmassive ボーキサイト層がある。アルミナのタイプはギブサイト主体である。

(ii) スリナム

Moego地区のものは、鉄床が3-5mに対し鉄分が高いラテライトから成る表層があり、採掘は容易である。これに対しLelydropのものは、表層は上層6-12m、下層6-30mに達し、採掘に当ってはボーキサイトの5倍以上の表土を除かねばならない。アルミナはギブサイトである。

(iii) ガイアナ

この鉄床の特徴は表土が非常に厚いことで、East Montgomery の鉄床は 77 m に達するので、採掘に当っては種々の工夫が必要である。ボーキサイトはアルミナ分(ギブサイト主体)が高く(max. 65%)、鉄分が低いので、そのまま耐火物や研磨材の原料にも使われる。

(iv) ジャマイカ

表土は非常に薄く、鉄床はポケット状、あるいは毛布状で、非常に高密度に固まっている。アルミナは大部分がギブサイトであるが、鉄分が高いこと(18-20%Fe₂O₃)が特徴である。

c. オーストラリア

大きな鉄床として

Weipa (クイーンズランド州)

Darling Range (ウエストオーストラリア州)

Kimberley (")

Gove Peninsula (北部地方州)

などがあり、ギニアに次ぐ埋蔵量がある。このうち、Weipa の鉄床はギブサイトが多いが、ペーサイトも混在している。表土は極めて薄く(1 m 以下)、ボーキサイト層は 1-10 m に達する。Gove の鉄床は、ギブサイト主体にペーサイトを一部含み、鉄床の厚みは 3.5 m 程度である。

Darling Range (表土約 4 m) のものは、ギブサイト系で、アルミナ含有量は比較的低い(30-40%)、反応性のシリカが低いのが特徴である。Kimberley 地区には Cape Bougainville と、Mitchell Plateau とに鉄床があり、いずれもギブサイトが全アルミナの 80-85% で、表土は前者が平均 9.3 m、後者は 1 m 以下である。

d. その他の地域の鉄床

(i) アーカンサス(アメリカ): アメリカのボーキサイト資源の大部分を占める。アルミナは主としてギブサイトから成り、表土は砂および粘土から成る。

(ii) インド: デカン高原、Orissa、Andhra Pradesh 等に鉄床があり、レンズ状の鉄床がラテライト層間に存在する。

(iii) 南ヨーロッパ: ギリシア、ユーゴスラビア、ルーマニア、ハンガリー、イタリア、フランスなどに鉄床があるが大部分が石灰石と共存する。ほとんどがペーサイトであるがギブサイト(ハンガリー)やダイアスポア(ギリシア)のものもある。これらの鉄床は地下深くに位置する 경우가多く、採掘は、坑内掘りによることが多い。品位はアルミナ分 45-60%、シリカ 1-10% で鉄分が比較的高い(15-30%)。

III. 製造方法

1. ポーキサイトの採掘

1. 1 採 鋳

ポーキサイト鋳床は比較的地表に近いところに位置していることが多いので、通常は露天採鋳されるが、フランスやアーカンサスの鋳床の一部のように鋳床が極めて深い場合には坑内掘りが行われることもある。

1. 1. 1 露天採鋳

熱帯、亜熱帯地方の大規模な社会の多くは、通常 2 m 以下の表土の下に 2-15 m の層をなして存在し、この層の中で塊状もしくは球状のポーキサイトが粘土状、あるいは微砂質の基質に囲まれている。採掘法の概要は次のとおり。

まず樹木や灌木を取除いてからブルドーザーなどの重機械で表土を除く。経済的に採掘可能な表土とポーキサイト層の厚みの比は 1:15 程度といわれている。鋳床の硬さによっては爆発力の弱い爆薬（たとえば ANFO）によって鋳床を爆破する必要がある。次にポーキサイトを shovel and hauler で採掘し、大型トラック、鉄道、コンベアベルト、オーバーヘッド・ロープウェイなどを用いて搬出する。採掘は実際には、同時に混合を行っている。混合は鋳床の横方向と縦方向の品位の差をなくし一定の品位のポーキサイトを供給するために必要な操作である。そのために bench-terracing 技術が用いられることもある。なお、取除いた表土は、採掘現場に堆積しておいてポーキサイトの採掘後に埋戻し、自然環境の保全に役立てることが多い。

1. 1. 2 坑内掘り

ヨーロッパ諸国の鋳床の多くは、ポケット状またはレンズ状であって、坑内掘りされている。鋳床の深さはまちまちであるが、ソ連では 700 m、フランス、ハンガリー、ユーゴスラビアでは 300-400 m の深さから採掘されている。

1. 2 選 鋳

ポーキサイト中の不純物（たとえば、鉄、シリコン）は非常に細かく、均一に分散していることが多いため、物理的方法で分離することは難しく、破碎と水洗によって砂分や、粘土分を除く方法が用いられている。

a. 破碎による選鉱

品位向上のための一手段として、粗鉱をまず破碎し、脈石を減らし、岩状の鉱石を濃縮する。鉱石の分離には最適のメッシュの篩を用いる。篩に残った大きなものは再び破碎処理する。

b. 水洗

破碎したボーキサイトから水を使用して、粒子の細かい粘土や砂を主体とする不純分を取除き、品位を向上する。

なお、水分含有量の多いボーキサイトを長距離にわたって輸送する場合には、取扱いを容易にするためロータリーキルンを用いて比較的低温で乾燥する場合がある。

2. アルミナ、アルミニウムの製造プロセス

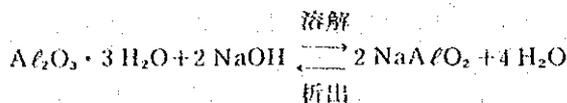
2.1 アルミナの製造法

現在、商業的に製造されているアルミナはほとんどバイヤー法によっている。このプロセスは、アルミナの苛性ソーダ内における溶解度が、温度、濃度によって変る性質に基づいているが、原料鉱石中の珪酸分も一部苛性ソーダによって溶解するため、珪酸分の多い（たとえば reactive silica 5%以上）ボーキサイトや、かすみ石などの処理には適していない(注1)。

バイヤープロセスは、基本的には、次のような工程から成っている。

- a. 粉碎：通常、苛性ソーダ液を加えて、湿式でボールミルなどで粉碎する。
- b. 溶解：ボーキサイトを苛性ソーダによって高温高圧下で処理し、アルミナ分を、アルミン酸ソーダとして抽出し、他成分は不溶性の残渣とする。
- c. 分離：沈降 (settling)、水洗 (washing)、ろ過 (filtration) などにより、残渣を分離し、清浄なアルミン酸ソーダ液を得る。
- d. 析出：アルミン酸ソーダ溶液を冷却し、さらに水酸化アルミニウムの種子を循環させて粒度を調整しながら、水酸化アルミニウムを析出させる。
- e. 焼成：高温で水酸化アルミニウムを焼成して、化学的に結合している水を分解し、安定な無水アルミナを得る。

(注1) バイヤープロセスの化学変化は次のように表わされる。



溶解工程の条件は、処理するボーキサイト中のアルミナのタイプ（結晶形態）によって変えなければならない。すなわちギブサイト（3水和型）は比較的低温（150℃前後）で溶解可能であるが、ペーマイト（1水和型）はより高温（220-250℃）でなければ処理できず、さらにダイアスポア（1水和型）はさらに高温（270℃以上）の溶解条件を必要とする。

析出工程は、比較的粒径の小さいフラワリー型アルミナと、粒径の大きいサンディー型アルミナを製造する場合においては、それぞれ条件が異なり、さらに焼成工程も、それぞれを焼成するのに適したプロセスが開発されている。Fig. A-1 にバイヤープロセスのフローシートの例を示す。

バイヤープロセスにおける原材料の必要量を次に示すが、これはボーキサイトの品位、含まれるアルミナのタイプ、操業条件などによって変る。たとえば、苛性ソーダはボーキサイトの中の反応性酸の量に大部分依存するが、洗浄水の使用量によって変動するし、蒸気消費量も熱交換の効率によって変動する。

アルミナ1t当り原料原単位

ボーキサイト	1.9 - 3.0 t
苛性ソーダ	0.09 - 0.14
石 灰	0.03 - 0.04
蒸 気	1.5 - 3.0
重 油	0.08 - 0.16

2. 2 アルミニウムの製造法

現在、商業的なアルミニウム地金は、例外なくホール・エルー(Hall-Héroult)法によって行われている。この原理は溶融した氷晶石中にアルミナを溶解し、電気分解によりアルミニウムと酸素を分離するもので、分離した酸素は、陽極の炭素と結合して一酸化炭素（および一部は二酸化炭素）となって放出される(注1)。

電気分解の工程は独特の構造を有する電解槽で行われる。その構造の例を Fig. A-2 に示すが、その主な要素は次のとおりである。

- ・炭素陽極 (Carbon anode)
- ・溶融氷晶石浴 (Molten cryolite bath)
- ・炭素陰陽 (Carbon cathode)
- ・陽極ブスバー (Anode bus bar)
- ・陰極シーネ (Cathode iron bar)

(注1) 化学変化は次のとおり。



Fig. A-1 The Process for Producing Alumina

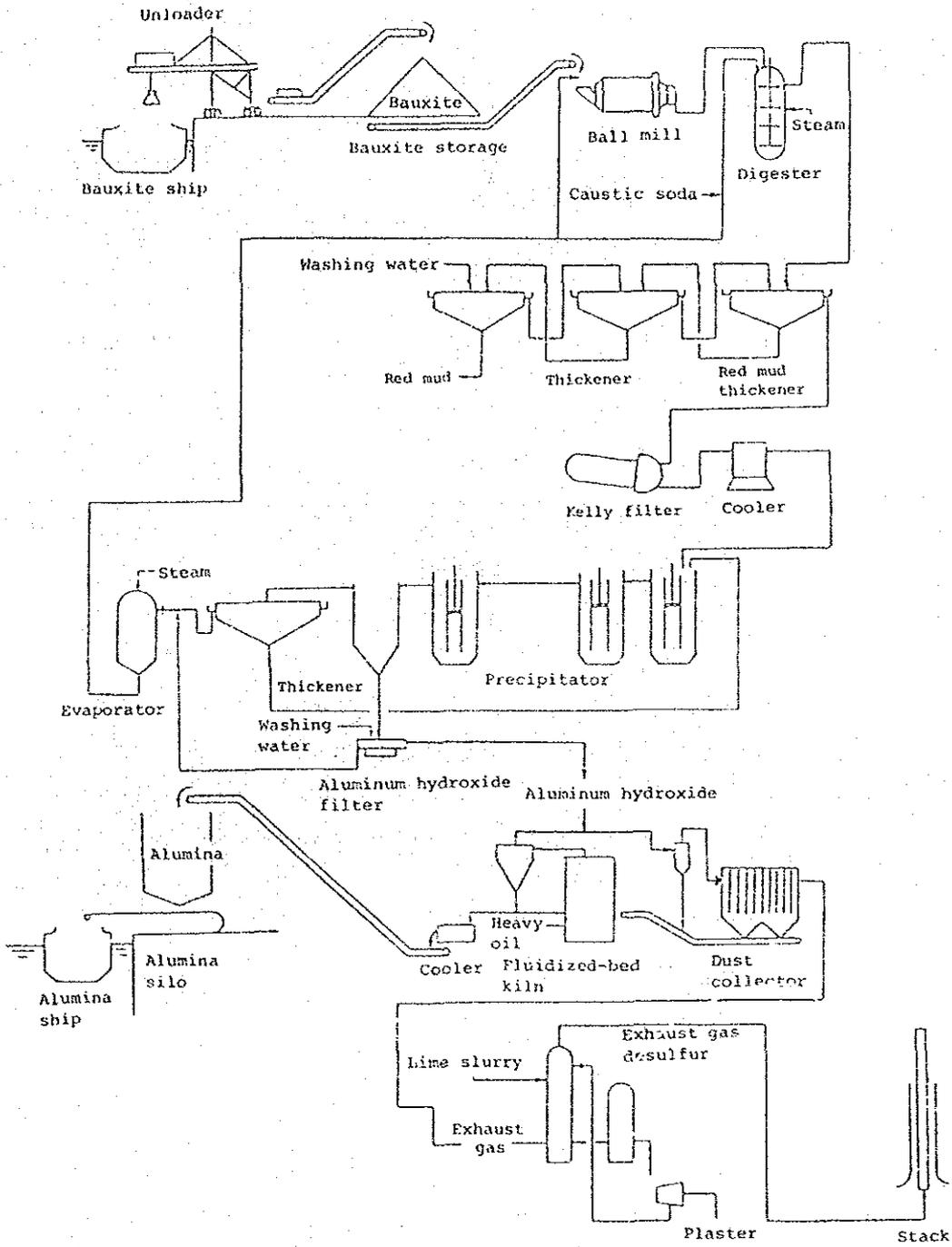


Fig. A-2(a) Soederberg Anode Cell

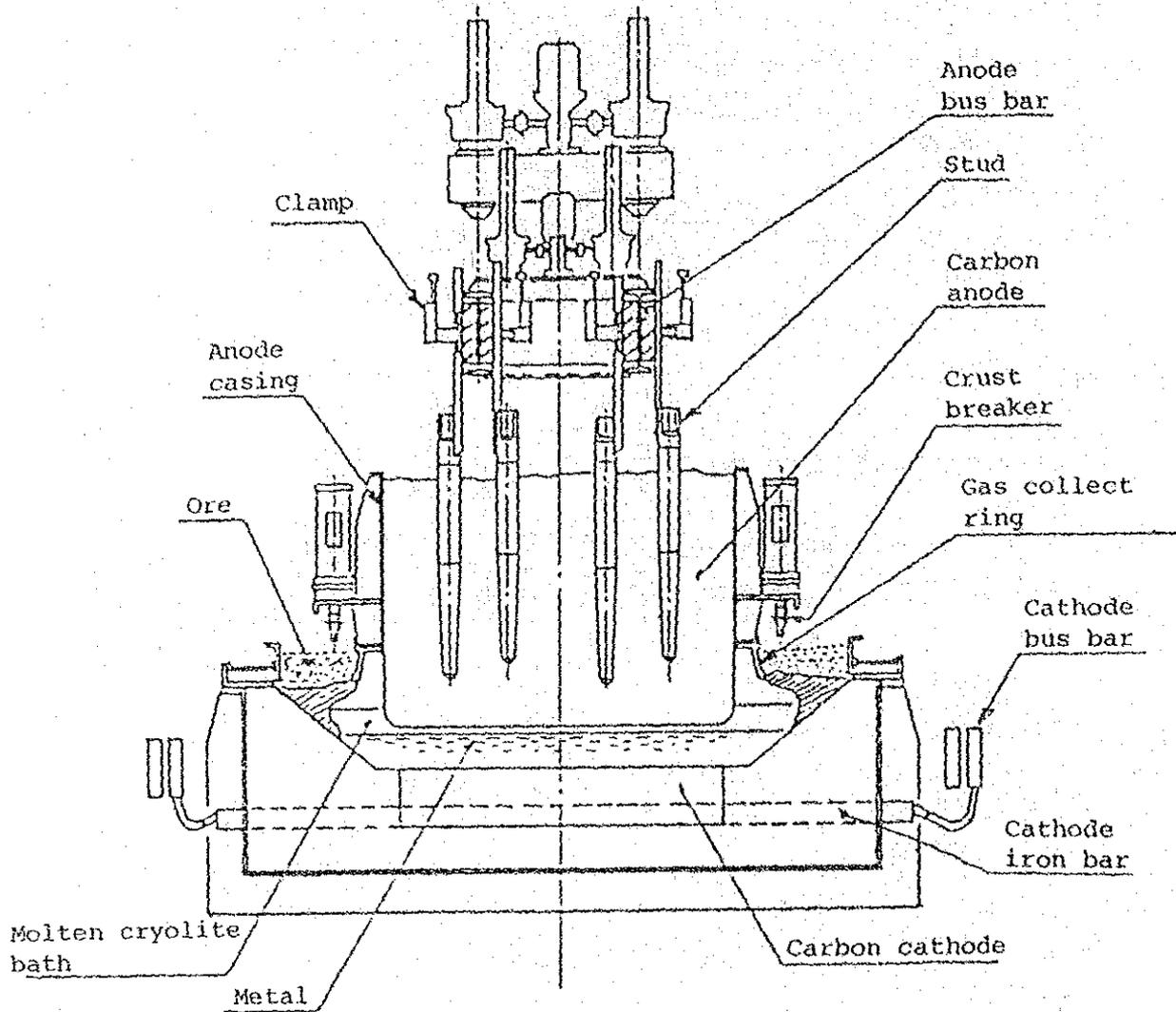
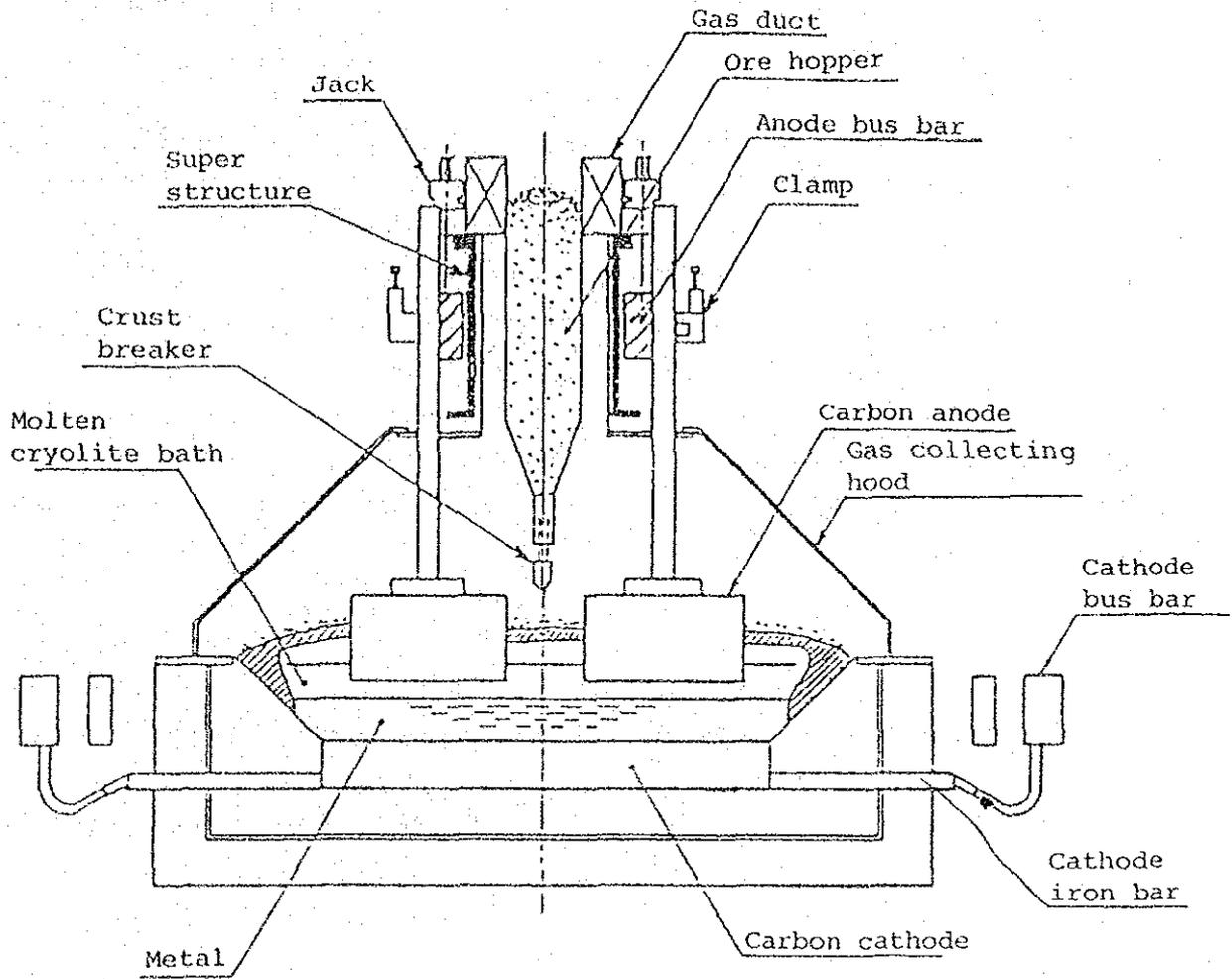


Fig. A-2(b) Prebaked Anode Cell



アノードのタイプにより、電解炉の形式はゼーダーベルグ式とブリベーク式に大別される。

前者は、未焼成アノード（アノードペースト）を、電解電流の抵抗熱で加熱焼成するもので連続操業が可能である。後者は、アノードの焼成を専用の工場で別途に行い、焼成済のアノードブロックを電解炉に取付ける方式で、アノードの操業に関しては、非連続式となる。

電解浴の主成分は氷晶石で、これにフッ化アルミニウム、フッ化カルシウム、フッ化リチウムなどを加えて電流効率の向上を図っている。操業温度は960-1,000°Cで行われ、アルミナの溶解量は3-6%程度である。各電解炉に加わる電圧は、アルミナの分解電圧の他に、導体、アノード、カソード、電解浴における電圧降下を含み、通常4-5Vであるが、最近のプラントでは4V以下の例もあり、電力消費量の節減が図られている。

また、1炉当りの電流容量は数万-20万A以上と幅があり、新鋭プラントほど大型化している。

アルミニウム地金のコスト要素の中では、電力コストの占める割合が大きく、その消費量の削減が重要な技術的課題となっている。比較的新しいプラントにおいては、1t当り13,000-15,000 kWh（直流換算）と見なされているが、旧式の工場では17,000-20,000 kWh程度のところも存在する。電力以外の主要な原材料の所要量は、概略次のとおりである。

アルミニウム1t当り原料原単位

アルミナ (Alumina)	1.90-1.98 t
氷晶石 (Cryolite)	0.02-0.03
フッ化アルミ (Aluminium fluoride)	0.03-0.04
コークス (Coke)	0.40-0.45
コールタールピッチ (Coal tar pitch)	0.10-0.15

IV. 製造技術の現状と将来

1. 最近の製錬技術

1. 1 アルミナ製造技術

1. 1. 1 アルミナ原料としてのボーキサイトの価値

バスター工程に用いられるボーキサイトの価値は、アルミナおよび珪酸などの不純物の含有量、およびそれらの結晶形態によって定まる。すなわち反応性の高い珪酸分、たとえばカオリナイト ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) のような形態が存在する場合、珪酸分は溶解工程においてアルカリに一旦溶解したあと、不溶性のソーダライト化合物となって析出するため、苛性ソーダおよびアルミナの損失につながる。こうした各種ボーキサイトの価値評価を試みるため、まず Table A-1 に代表的なボーキサイトについて、アルミナおよび珪酸等不純物の組成データを示す。次いで Table A-2 にてアルミナ製造に必要な主要原材料所要量を算出した上、これをもとにボーキサイトの価値をビンタン鉱を 100 とし、相対的に比較したものが Table A-3 である。すなわち、製造されるアルミナ原価が等価となるようにボーキサイト価格を対比してみると、たとえばボケ鉱はビンタン鉱に比べ、価格が 2.14 倍高くてもよいとの評価が得られる。

Table A-1 Compositions of Typical Bauxites (examples)

Com- position	Type	(%)							
		Gibbsite				Boehmite			Diaspore
		Bintan	Surinam	Trombetas	Jamaica	Weipa	Boke	Arkansas	Greece
Al ₂ O ₃		53	55	54	49	55	60	49	56
SiO ₂		5	4	5	1	5	1	15	4
Fe ₂ O ₃		12	9	11	18	11	6	7	22
TiO ₂		1	1	1	2	3	4	2	3

Table A-2 Raw Material Consumptions in Alumina Production

Material (kg)	(per tonne of alumina)								
	Bintan	Surinam	Trombetas	Jamaica	Weipa	Boke	Arkansas	Gove	Guyana
Bauxite	2,180	1,980	3,100	2,290	2,050	1,760	2,810	2,200	1,910
Caustic soda	102	72	101	29	97	25	313	70	86
Steam	1,560	1,490	1,490	1,600	1,550	1,410	1,810	1,610	1,480
Red mud	680	460	600	780	610	280	1,540	820	431

Table A-3 Comparative Value of Bauxites

	Bintan	Surinam	Trombetas	Jamaica	Weipa	Boke	Arkansas	Gove	Guyana
Bauxite value	100	144	110	135	108	214	67	118	138

1. 1. 2 アルミナ製造技術

バイヤー法によるアルミナ製造技術の今後の傾向の中心は、次のような方向と思われる。

a. 電解用アルミナの品質のサンディー型への移行

近年、製錬工程の排ガス処理技術の主流がアルミナの吸着性を利用した dry-scrubbing 方式に移行するにつれて、物性上、より吸着性の大きいアルミナ、すなわちサンディー型が製造の中心になりつつある(注1)。

b. バイヤー工程各ステップの改良

省エネルギーを目指した工程改良の主な事項は次のとおりである。

- ・溶解工程：蒸気消費量を節約できる tube reactor 方式や、Double Tube によるボーキサイトスラリー予熱方式などの開発
- ・析出工程：析出効率向上のため、中間冷却法、2段析出法、および工程内の有機物を除去する各種の方法の開発
- ・焼成工程：燃料消費量節約のため、従来のロータリーキルンに代って、流動焙焼方式などが実用化

1. 1. 3 アルミナ生産規模

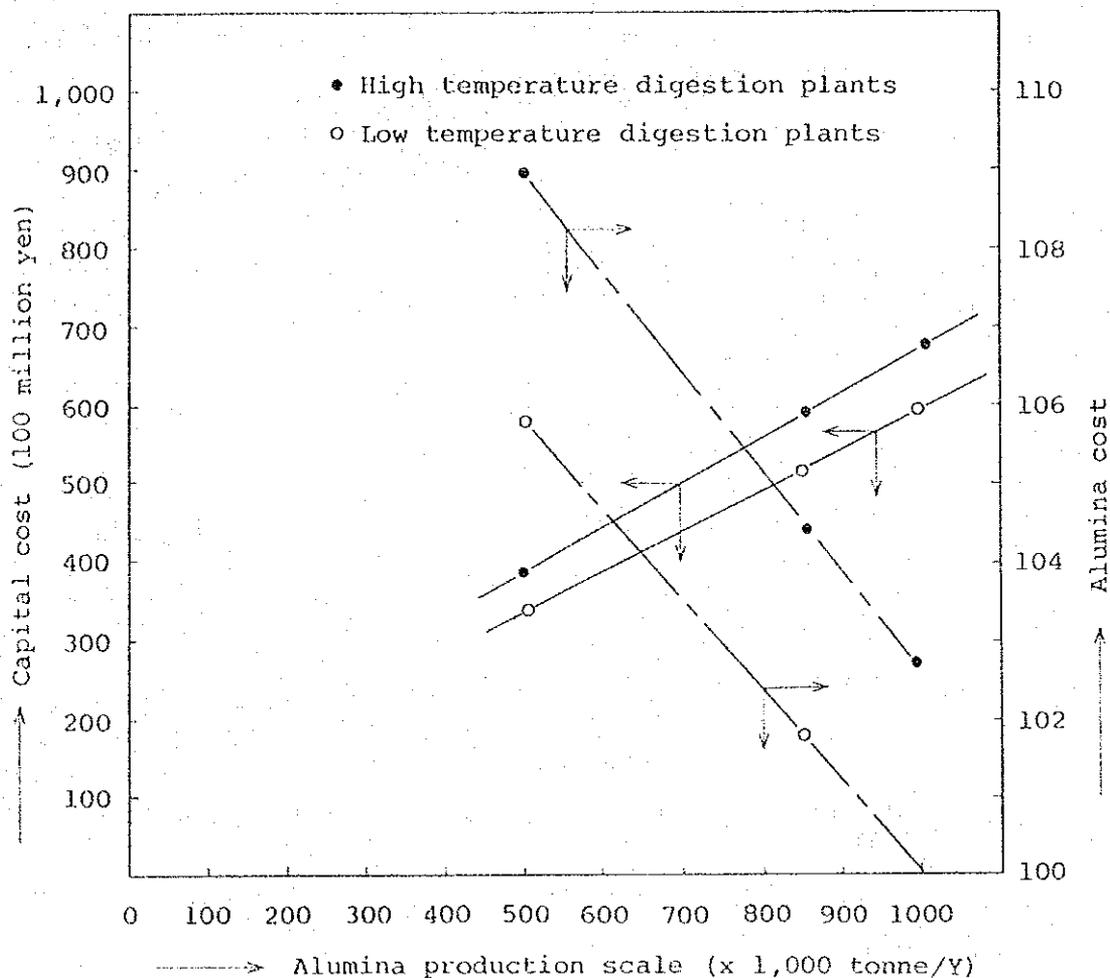
アルミナ工場の生産規模と建設費の関係を Fig. A-3 に示すが、生産規模を大きくするほど、製造コストは下り、またもし建設費が同一規模であれば、系列数についても一列の能力が大きい方が得策である。既にオーストラリアにおいては、年産の能力 250 万 t 前後のプラントが稼動している。

(注1) フラワリー型とサンディー型の特性の比較

	〔フラワリー〕	〔サンディー〕
中心粒径	約50ミクロン	約80ミクロン
安息角	40°以上	40°以下
α-アルミナ含有量	80%以上	50%以下

Fig. A-3 Relationship of Alumina Production Scale, Capital Cost and the Cost of Alumina

(The alumina cost at 1 million tonnes per year capacity with low temperature digestion is taken as 100.)



1. 1. 4 非バイヤー法

バイヤー法によらないアルミナの製造法は、ソ連のかすみ石を原料とするソーダ・石灰法が工業規模で稼働している数少ない例の一つである。この他にも近年、ボーキサイトを使用しないアルミナ製造法が各種提案され、中間規模のテストまで行われたものもあるが、技術的、経済的にバイヤー法に対抗できるところまで進んでおらず、実用化に至っていないようである。Table A-4には、非ボーキサイトからのアルミナ製造法の例を示す。

Table A-4 Non-Bauxite Alumina Production Processes

Process	Alkali Hydrochloric acid	H ⁺	Alunite	Nitric Acid
Raw material	Clay Anorthosite	Clay, Shale	Alunite	Clay, Alunite
Develop- ment progress	<ul style="list-style-type: none"> o Improved Bayer process, pilot plant construction planned o Information exchange with Anaconda and ALCOA 	<ul style="list-style-type: none"> o Cooperation with Alcan; 7000 tonne/year plant started in August 1976 o Capital cost 20% higher than for the Bayer process o Joint development with Pechiney and ALCAN 	<ul style="list-style-type: none"> o 10 tonne/day pilot plant construction o Development by Alumet Co. with finance from National Steel Corp., Southwire Corp. and Earth Science Inc. 	<ul style="list-style-type: none"> o 300 kg/day pilot plant in operation o Full-scale plant construction planned for 1990 or later o The U.S. Bureau of Mines plus 8 smelters

1. 2 アルミニウム製錬技術

本項では、近年の製錬技術傾向および問題点について述べる。

1. 2. 1 プリベーク方式とゼーダーベルグ方式の対比

近年建設されるプラントは、プリベーク方式が主流になりつつあるが、その理由は大略次のとおりである。

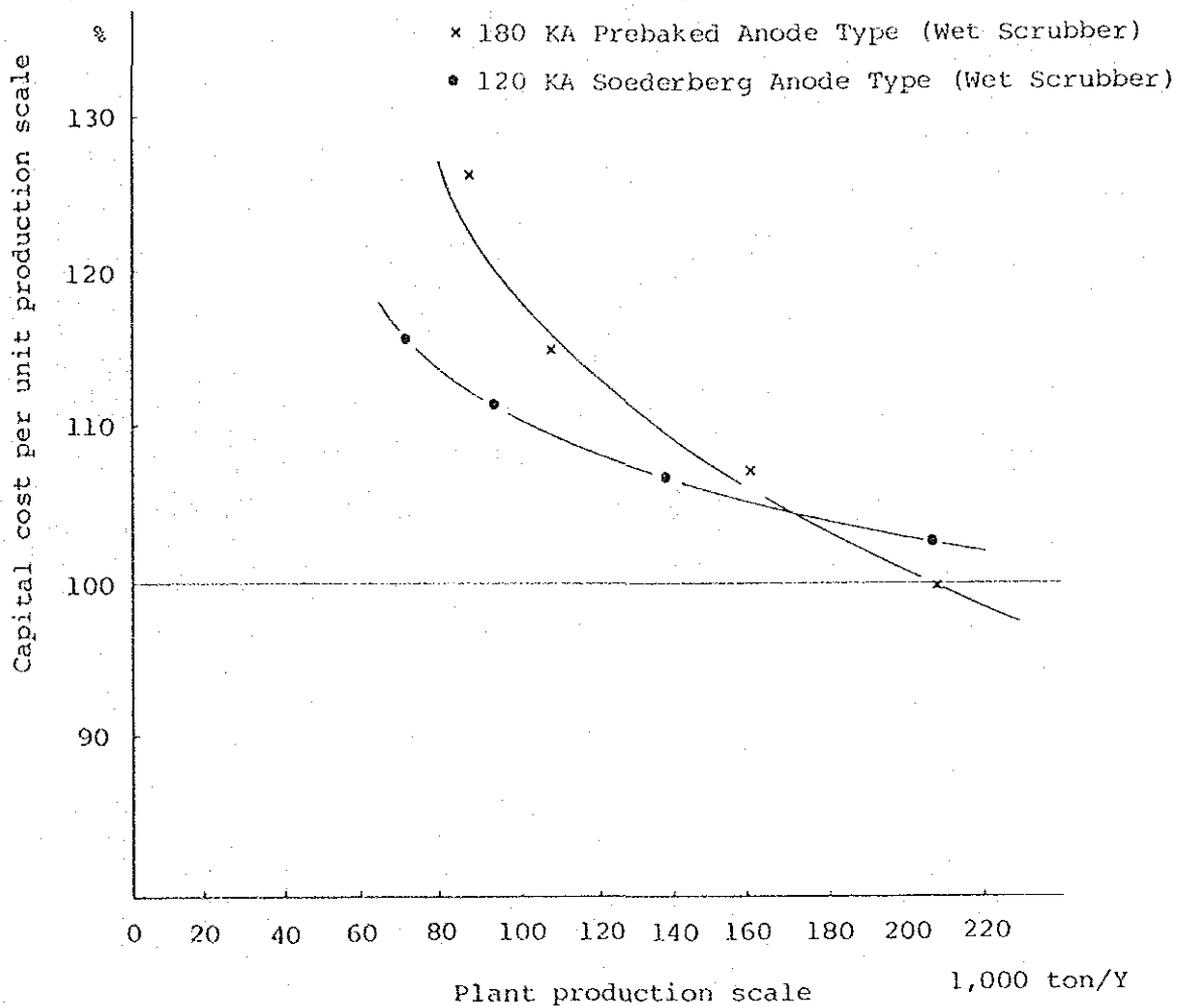
- ・電解炉の大型化が可能（22万-23万Aのものが開発されている）
- ・操業の自動化、機械化が容易
- ・プラントの大きさが、ある規模に達すると、コスト面で有利となる
- ・労働環境が良好

これに伴って、サンディー・アルミナを吸着剤として利用して製錬の排ガスを除外する乾式のプロセスが、特にプリベーク方式のプラントによく採用されている。一方、ゼーダーベルグ方式においては、電解炉の大型化には、アノードの構造から制約があり、10万-12万Aが主流となっている。しかし、ゼーダーベルグ方式においても、従来見られた tar-fume による労働環境不良の問題は、dry-anode 方式などの新技術の開発により、ほとんど解決できるようになった。

両方式をコスト面で比較してみると、まず設備費については、生産規模があるレベルを

越え、電解炉が大型化すると(注1)、単位生産能力当りでは、プリベーク式の方が安くなると言われる。Fig. A-4に日本立地での設備費と生産規模との関係についての試算例を示す。これによると、両方式の単位設備費のクロスポイントは、年産17万-18万しであるが、排ガス処理設備にdry-scrubbing方式を採用すると、この点が下方に移動する。

Fig. A-4 The Relationship between Production Scale of Plant and Capital Cost (excluding the casting shop) per unit Production Scale

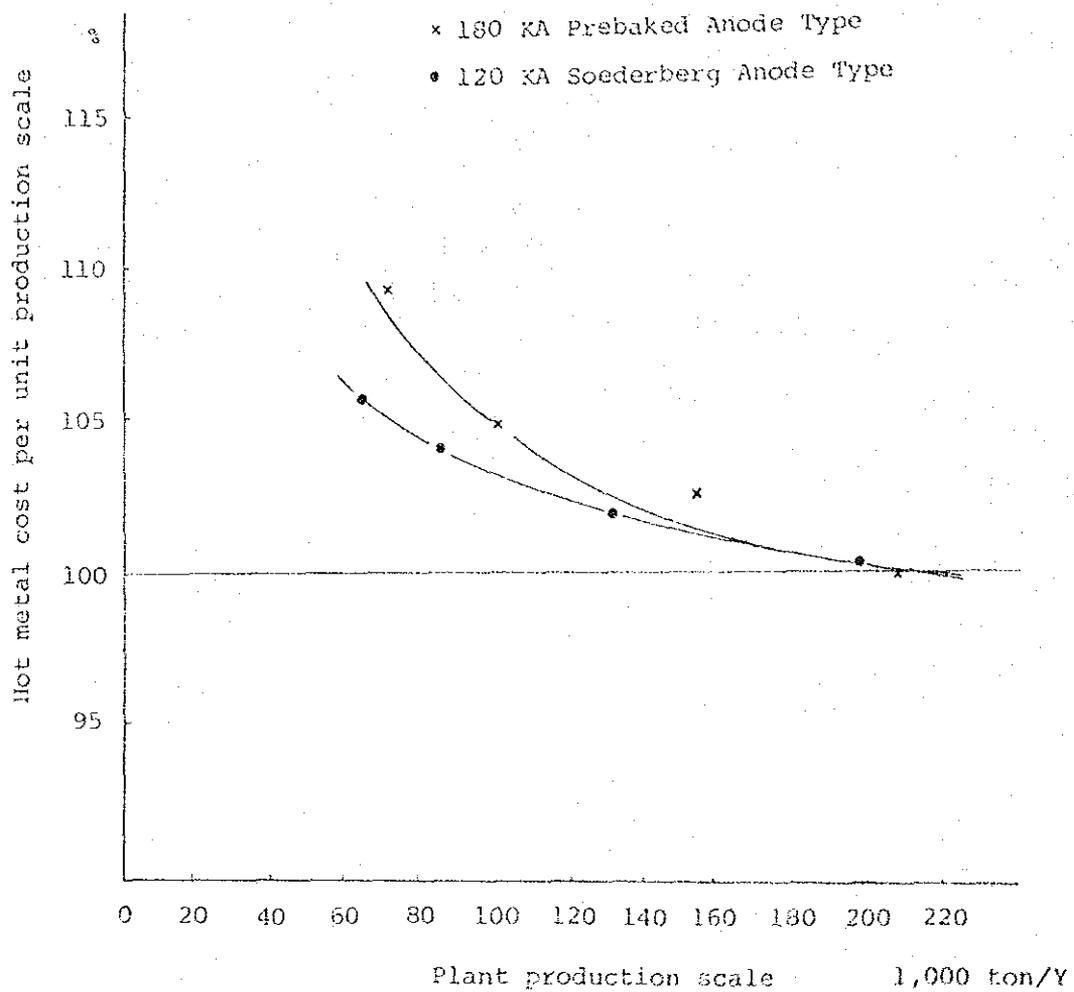


(注1) 150-180 kA が主流。さらに 220-230 kA のものも実用化されている。

(Messana 工場, ALCOA ; Hyanger 工場, ASV)

次に製造コストの点では、やはりプリベーク方式が、大規模なプラント(注1)ほど有利となり、生産コストと生産規模との関係を示した Fig. A-5 によれば、年産21万t以上の場合には、プリベーク方式が有利となる。

Fig. A-5 The Relationship between Production Scale and Hot Metal Cost



(注1) 新規プラントは、年産20万t以上のものが多い。

1. 2. 2 電力消費量節減

電力消費を節減する手段としては、電解炉の保温強化、カソード・カーボン材料の改良、アノードの改良など、炉構造を進歩させて操業電圧を下げる方法があり、一方、コンピューター・コントロール技術の進歩により、操業管理を改善し電流効率を向上させる方法が取られている。

最新の技術によれば、電力消費量はプリベーク、セーダーベルグいずれもほとんど差はなく、13,000-13,500 kWh/t(直流換算)程度である。現行のプロセスの電力消費量の現実的な下限値は、各種の制約条件より12,300 kWh/t(直流換算)と言われている。

1. 2. 3 機械化、自動化

最近の10-15年間に、電解工程は特殊クレーンによる極替作業やメタル汲取り(プリベーク方式)、コンピューター・コントロール・システムとの組合せによるアルミナ自動供給、陽極効果の予知およびコントロール、炉電圧の管理、異常の検出等々により大幅に機械化、自動化が進んだ。セーダーベルグ特有の操作でも、ベグ交換、およびベグ孔へのアノードペースト充填作業などを、特殊クレーンで行う技術も実用化されている(注1)。

1. 2. 4 環境対策技術

製錬工場の排ガス除外技術における画期的な変化は、サンディー・アルミナを吸着材に用いるdry-scrubbing方式の出現で、設備費が比較的安く、排ガス中のフッ化物が、フッ化アルミニウムの形で回収できること、排水が発生せず、洗浄効率が高いことなどの理由により、新規プラントに広く普及した。しかし、硫酸化物規制の厳しい地域では、その除去のために、wet-scrubber、あるいはdry/wetの併用方式とすることが必要な場合もある。Table A-5には、電解炉排ガス捕集率とフッ素排出量の最近の水準を示す。

Table A-5 Furnace exhaust gas collection efficiency and Fluoride Emission Level

	Levels of 10-15 years ago		Recent levels	
	Soederberg	Prebake	Soederberg	Prebake
Collection efficiency	80%	90%	95%	98%
Fluoride emission				
- Without roof scrubbing	3-5 kg/T-Al	1-3 kg/T-Al	0.9 kg/T-Al	0.4-0.5 kg/T-Al
- With roof scrubbing	0.8-1.2 "	0.7-1.1 "		

(注1) 所要工数低減の例(日本全体の製錬プラントの平均)。

1965年	2.60人・日/t
1970年	1.82 "
1980年	0.91 "

2. 新製錬法

アルミニウム製錬法としては、Table A-6に示すように各種の方法が提案されているが、ホール・エルー法の確立以降、同法以外で実質的に実施されているものはほとんどない。これらの内、近年本格的にかなりの規模で研究されたもの、あるいは継続中であるものは、1960年代のモノクロライド法、カーバイド法などがあり、1970年代に入ってから、塩化アルミニウム電解法がアメリカにおいてパイロットプラント規模で運転中である（注1）。他方、電力を用いない溶鋳炉による炭素還元法が、アメリカおよび日本で近年提案され、注目を集めている。本項では塩化アルミニウム電解法と、今後開発が期待されている溶鋳炉法を中心に述べる。

2.1 塩化アルミニウム電解法

このプロセスはアルミナの製造、塩化アルミニウムの製造、およびこれの電気分解から成っている。この方法では、まず大量の塩化アルミニウムを製造するため、アルミナ粒子を重質油の熱分解炭素で被覆し、流動床で塩素化反応を行う。これに続く電解工程では、水平または傾斜電極式マルチセル方式電解槽を使用し、塩化ナトリウム-塩化アルミニウム系を基本浴とし、塩化リチウム、塩化マグネシウムなどを添加して、700℃で電解し、発生する塩素は、塩化アルミニウム工程へ循環する。塩化アルミニウム電解法と現行のホール・エルー法との比較を、Table A-7に示す。

本法の特徴は、

- a. ホール・エルー法に比べ、約25%電力消費量が少ない
- b. 単位設備当りの生産性が高い
- c. 電解槽が密閉され、労働環境が良い

などであるが、

- a. 耐浴性の電解槽材料の開発
- b. 塩化アルミニウムの吸湿性
- c. リチウム塩の価格および資源
- d. 大量の塩化アルミニウム製造技術の確立

などの問題点があり、今後の研究開発の課題となっている。

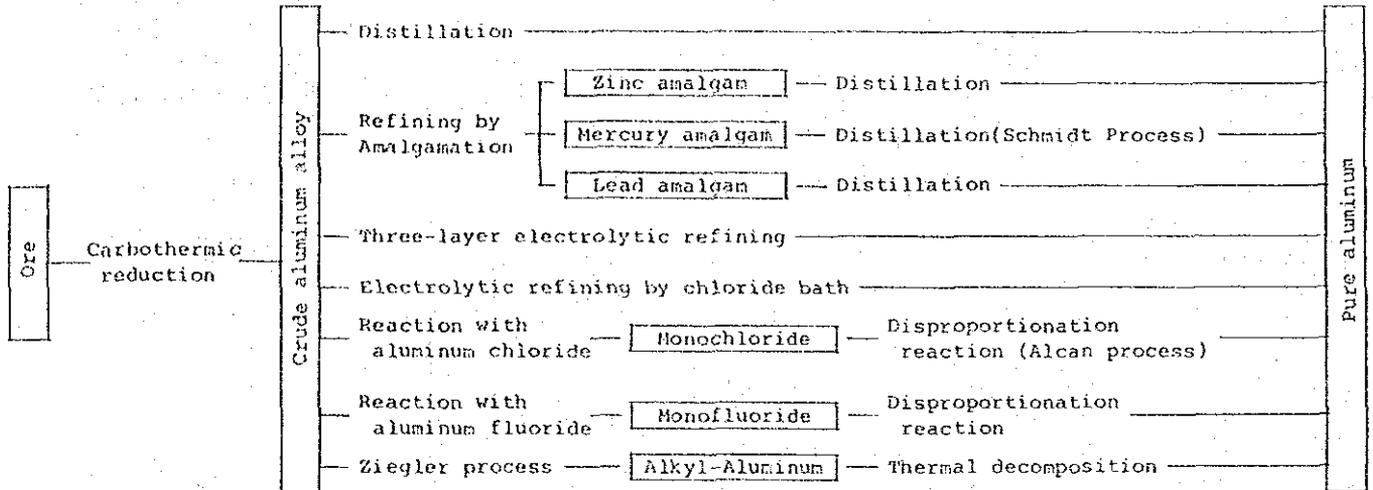
2.2 溶鋳炉法

アルミニウム鉱石を炭素で還元するには、2,000℃以上の高温を要するため、従来は電気を使うアーク炉で行い、アルミニウムを含む粗合金を得る試みがなされていた。溶鋳炉法

(注1) ALCOA社が、年産7,500t規模で、Anderson, Texasで運転中。

Table A-6 Classification of Aluminum Smelting Processes

(I) Methods: reduction operations precede



(II) Methods: refining operations precede

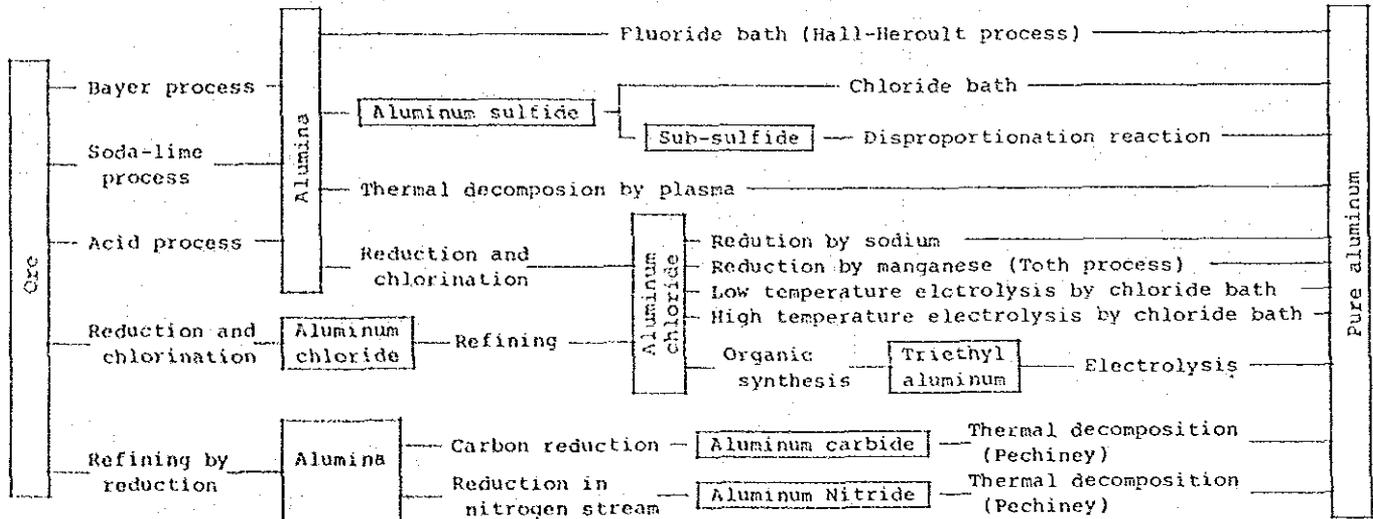


Table A-7 Comparison of Aluminum Chloride Electrolysis and Hall-Héroult Electrolysis

		Aluminum Chloride Process	Hall-Héroult Process
Furnace Design		Multi-Cell	Single-cell
Electrolysis Temperature	°C	700	960
Ore Concentration	%	~ 5% AlCl ₃	2 - 7% Al ₂ O ₃
Bath Composition		AlCl ₃ -NaCl-LiCl	Al ₂ O ₃ -Na ₃ AlF ₆ - AlF ₃
Current Density	A/cm ²	0.8 - 2.3	0.6 - 1.0
Interpolar Distance	cm	1 - 2.5	4
Decomposition Voltage, (Theoretical)	V	1.8	1.2
Operating Voltage (Theoretical)	V	2.2	1.9
Anode Overvoltage	V	~ 0	0.5
Difference in Specific Gravity, Bath/Metal		0.8	0.2
Electrical Conductivity of Bath	Ω ⁻¹ cm ⁻¹	1.7 - 2	2.3
Vapour Pressure of Bath	Torr	< 30	2
Viscosity of Bath	cp	< 1.5	4
Viscosity of Aluminum	cp	3	0.6
Anode Consumption Rate	cm/day	~ 0	1
Voltage per Cell	V	3	4
Current Efficiency		0.85	0.89
Voltage Efficiency		0.74*	0.47*
Energy Efficiency		0.63*	0.42*
Electricity Consumption	kWh/t Al	10,500	13,400
Production Capacity (Per day per cell)	tonne	10 - 30	1
Anode Material		Graphite	Carbon

* Voltage efficiency and energy efficiency are based on theoretical operating voltage and theoretical electricity consumption respectively.

は、アーク炉の代わりに溶鋳炉を用いて、コークスなどの炭素材料を酸素で富化した空気で燃焼し、高温を発生して、同時に炭素還元を行うもので、アーク炉のように電力を使用しない点に特徴がある。

そこで得られた粗合金(Al-Si-Fe系)からアルミニウムを精製する方法としては、近年2つの方法が提案されている。第1の方法は、溶鋳炉で得られた粗合金を約1,200°Cの溶融した金属鉛に接触させて、アルミニウムを抽出後、減圧蒸溜して鉛を分離するものであ

る。第2の方法は、粗合金を偏析操作して、Fe-Siを大部分除去後、残るAl-Si合金を、塩化物浴（たとえば、塩化リチウム-塩化ナトリウム-塩化アルミニウム系）および多孔質の黒鉛などの隔膜を経由して電解精製し、アルミニウムを得る方法である。本プロセスの実用化には、溶鋳炉でのAl-Si-Fe系合金の製造技術、この粗合金からのアルミニウムの抽出技術、副産する多量の一酸化炭素、副生したFe-Si合金の有効利用技術など、今後の研究開発により解決すべき問題が多い。

2.3 新製錬法とアルミニウム原料

ボーキサイトは、何種類もあるアルミニウム含有鉱物のうちの1種にすぎないが、現在はほとんど唯一のアルミニウム資源として使われている。ボーキサイトがアルミニウム原料として使われなくなるケースは、次のように考えられる。

- a. アルミナが、バイヤー法以外のプロセスで製造され、粘土などの鉱物が利用されるようになった場合。
- b. アルミニウムの製造がアルミナを経ないプロセスに転換された場合。直接還元法では、原料にボーキサイト以外に粘土などの鉱物が利用可能となる。

しかし、ボーキサイトの埋蔵量は非常に豊富で、資源量としては将来とも問題はなく、またボーキサイトから得られるアルミナのコストの優位性は、ボーキサイト価格が政策的に極端につり上げられない限り、ほとんど変ることはないであろう。

一方、ホール・エルー法に代るプロセスが必要なのは、これが電力多消費型のプロセスであるためで、電力価格が高騰した地域では、電力を用いない、あるいは消費の少ないプロセスが真剣に検討されている。しかし、水力、石炭、天然ガスなどによる安い電力が得られる立地におけるホール・エルー法と、経済的に対抗できるまで、非ホール・エルー法を確立するには、今後なお相当の年数を要するであろう。

したがって、上記a、b、のケースが、短期間に具現する可能性はまだまだ少なく、今後ともボーキサイトはアルミニウムの原料として必要な役割を果たすであろう。

Reference Table A-1 Mineralogy and Alumina Content of Non-Bauxite Rocks and Materials that are Possible Sources of Aluminum

Rock Mineral	Major Aluminous Minerals and Formula	Theoretical % of Al ₂ O ₃ in Mineral	% of Mineral in Whole Rock or Material	% of Al ₂ O ₃ in Whole Rock or Material
Aluminum phosphate rock	wavellite Al ₃ (PO ₄) ₂ (OH) ₃ ·5H ₂ O	37.1	-	-
	millisite (NaK)CaAl ₆ (PO ₄) ₄ (OH) ₉ ·3H ₂ O	37.4	variable	5-15
	kaolinite (OH) ₈ Si ₄ Al ₄ O ₁₀	39.5	-	-
Aluminous shale	illite (OH) ₄ K ₂ (Si ₆ Al ₂) ·(Mg,Fe) ₆ O ₂₀	38.5	variable	15-30
Alunite rock	alunite KAl ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	37.0	15-40	5.5-14.8
Coal washings	illite and kaolinite	38.5-39.5	variable	25-30
Coal ash	mullite Al ₆ Si ₂ O ₁₃	84.0	minor	5-35
Dawsonite in oil shale	dawsonite NaAl(OH) ₂ CO ₃	35.4	8±	3
High-alumina clay	kaolinite	39.5	75-95	> 30-35
Igneous rocks	plagioclase			
	feldspar			
Anorthosite	NaAlSi ₃ O ₈ *	19.4	65-95	22-30
	CaAl ₂ Si ₂ O ₈ **	36.6		
Nepheline syenite	nepheline (Na,K)(Al, Si) ₂ O ₄	35.9	-	-
	alkalic feldspar KAlSi ₃ O ₈	18.4	80±	20-25

* Albite Na₂O·Al₂O₃·6SiO₂

** Anorthite CaO·Al₂O₃·2SiO₂

Source: AME

Reference Table A-2 Estimates of World Bauxite Reserves
(million tonnes bauxite)

Country	USBM 1976a)	USBM 1978b)	Other ^{c)}	Main Bauxite Type	Grade Al ₂ O ₃ (%)
WEST BLOC:					
Africa:					
Cameroon	762	1,016		gibbsite	44
Guinea	4,572	8,332	8,200 IBA Mar. 1979 3,572 Measured IBA June 1980	gibbsite	44-62
Ghana	335	580	780 IBA Sept. 1977 450 MB 11 May 1976	gibbsite	50-54
Sierra Leone	122	132	100 ACDC 1978	gibbsite	52
South Africa	nas	nas	20 Min J 14 Oct. 1977 50 ACDC 1978		
Other nas	102	102			
Total	5,893	10,162			
USA:	40	40		gibbsite	50-58
Latin America:					
Brazil	2,540	2,540	3,072 Measured IBA June 1980 2,500-5,000 MB 5 Dec. 1980	gibbsite	40-59
Costa Rica	nas	nas	136 ACDC 1978		
Colombia	nas	nas	400 Reuters 22 Mar. 1979		
Dominican Republic	nas	nas	32 Measured IBA Mar. 1977	gibbsite/ boehmite	25
Guyana	152	1,016		gibbsite	35-65
Haiti	nas	nas	7 IBA Dec. 1975	gibbsite/ boehmite	50av.
Jamaica	1,016	2,032	2,000 EMJ Nov. 1977 >1,500 IBA Sept. 1976	gibbsite/ boehmite	50av.
Surinam	508	498		gibbsite	45-60
Venezuela	nas	nas	37 Measured IBA June 1980 500 EMJ Nov. 1977	gibbsite	49av.
Other nas	213	234			
Total	4,429	6,320			

Reference Table A-2 (cont'd.)

Country	USBM 1976 ^{a)}	USBM 1978 ^{b)}	Other ^{c)}	Main Bauxite Type	Grade Al ₂ O ₃ (%)
<u>Asia:</u>					
India	305	1,422	1,600 Ind Min Nov. 1978 122 Measured IBA June 1980	gibbsite	52-58
Indonesia	406	711	700 IBA Dec. 1975	gibbsite	53av.
Malaysia	nas	nas		gibbsite	56-58
Philippines	nas	nas	63 MW 7 Apr. 1980 100 ACDC 1978		40-50
Turkey	nas	nas	21 Measured IBA June 1980		60
South Korea	nas	nas	10 Min Mag June 1976		
Other nas	50	50			
Total	761	2,183			
<u>Western Europe:</u>					
France	nas	nas	25-30 IBA Sept. 1978	boehmite (some gibbsite and diaspore)	55-60
Greece	762	762	119 Measured IBA June 1980 1,000 Min Mag Dec. 1980 900 Ind Min Dec. 1979	boehmite (some gibbsite and diaspore)	53-65
Yugoslavia	203	406	200 Measured IBA June 1980		
Other nas	102	91			
Total	864	1,259			
<u>Oceania:</u>					
Australia	4,572	4,572	4,600 IBA June 1980 4,443 Aus Min Ind Quart 32 (1979) 4,440 BMR 1980	gibbsite (minor boehmite)	30-62
Other nas	50	50			
Total	4,622	4,622			
<u>Total</u>					
Free World:	16,609	24,586			

Reference Table A-2 (cont'd.)

Country	USBM 1976 ^{a)}	USBM 1978 ^{b)}	Other ^{c)}	Main Bauxite Type	Grade Al ₂ O ₃ (%)
<u>The Centrally Planned Economies</u>					
China	152	152	100 EMJ Aug 1978	diaspore/ boehmite	
Hungary	152	203	230-240 Min J 28 May 1976	boehmite/ gibbsite/ diaspore	45-60
Romania	nas	nas		boehmite/ gibbsite/ diaspore	45-60
USSR	152	152	250 ACDC 1978	boehmite/ diaspore	26-52
				(some gibbsite)	
Total	456	507			
<u>World Total</u>	17,268	25,093			

a) USBM, 1976. Mineral Facts and Problems

b) USBM, 1978. Aluminum (Mineral Commodity Profiles MCP - 14)

c) ACDC = Aluminum Conductor Development Corp.; for other abbreviations, see the list at the beginning of Part A.

Reference Table A-3 Range of Chemical Constituents (% content) of Bauxite

(from Shaffer, 1975; EMJ Nov. 1975 for Trombetas; IBA QR Mar. 1979 for Guinea; IBA QR Mar. 1977 for Dominican Republic; and IBA QR Sept. 1980 for Jamaica)

Country and Location of Deposit	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	LOI*
Australia:					
Cape York	52-60	2-10	5-13	2.1-3.1	21-29
Gove	48	3-4	17	3-4	26
Darling Ranges	30-48**	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Kimberley	47-50	2.5-3.5	n.a.	n.a.	n.a.
Brazil:					
Trombetas Nodular	47.1	7.1	8.2	1.3	27.9
Trombetas Massive	49.9	4.8	9.3	1.4	28.6
Minas Gerais	55-59	1.6-5.6	6.9-9.6	1.1-2.0	25-30
China	50-70	9-15	1-13	2	n.a.
Dominican Republic	50	5	20	n.a.	25
France	55-70	3-16	4-25	2-3.5	n.a.
Ghana:					
Awaso	48-61	0.4-2.4	4-22	0.8-2.1	26-33
Kibi	32-60	0.3-2.9	6-45	2.0-6.2	13-30
Nyinahin	41-63	0.3-3.1	1.2-30.9	1.5-5.3	
Guinea:					
Fria	48	2.5	21	2.2	25
Sangaredi	60-61	0.3-0.7	2-4	3-5	30
Guyana	51-61	4-6	1-8	2-3	25-32
Haiti	48.6	3.4	21.9	2.8	24.1
Hungary	50-60	1-8	15-20	2-3	13-20
India	45-60	1-5	3-20	5-10	22-27
Indonesia	53	4-5	12	n.a.	n.a.
Jamaica:					
St. Ann	47.3	1.3	19.8	2.4	27.9
Clarendon	48.5	0.5	18.8	2.4	26.4
Average Jamaica	49-51	0.7-1.6	19-21	2.5-2.7	25-27
Malaysia	38-60	1-13	3-21	1.2	n.a.
Sierra Leone	51-55	1.5-2	10-18	1.5	27-31
Surinam	50-60	2-6	2-15	2-3	29-31
Turkey	55-60	5-7	15-20	2-3	12-14
USA:					
Arkansas	45-57	5-24	2-12	1.6-2.4	22-28
Oregon & Washington	31-35	5-11	33-35	5-6	16-20
Southeast states	51-56	12-15	1-5	1.5-3.5	22-30
USSR	26-52	2-32	1-45	1.4-3.2	n.a.
Yugoslavia	48-60	1-8	17-26	2.5-3.5	13-27
Romania	55	5	22	1-2	n.a.

* loss on ignition

** available

B. 生 産

I. アルミニウム生産の推移

1. ボーキサイト生産

1965年の全世界ボーキサイト生産量は3,729万2,000 tであったが、1980年には9,262万3,000 tと1965年に比べ約2.5倍に増加した。年平均成長率にして6.3%の伸びである。Reference Table B-1には全世界国別ボーキサイト生産量の推移を示した。

このようなボーキサイト生産の伸長に見られる最大の特徴は、上位生産国が入れ換っていること、それにもかかわらず上位生産国の生産シェアが増加し、特定国に生産が集中しつつあることである。たとえば1965年時点の上位生産5カ国はジャマイカ、ソ連、スリナム、ガイアナ、フランスで、5カ国の合計シェアは62.4%であったが、1980年現在、それはオーストラリア、ギニア、ジャマイカ、ソ連、スリナムの順となり、この5カ国合計シェアは68.9%に達している。Table B-1は、5年毎の上位5カ国および10カ国の全世界生産に占める生産シェアの推移を表わしたものである。この表にも明らかのように、1960年代の後半に本格生産を開始したオーストラリアの伸長ぶりには目ざましいものがあり、1965年には僅か110万t強であったものが1980年には実に2,700万t以上を生産するようになった。同様にギニアの生産も伸びており、1965年160万tであったものが1980年には1,300万tを超えるに至っている。これに次ぐのがジャマイカで、1965年には860万t強であったものが、1980年には1,200万tとなった。しかしかつて世界第1位を誇ったジャマイカも、オーストラリアとギニアの伸長に押され、現在第3位の地位に留まっている。Reference Fig. B-2には、主要生産国の生産推移を表わした。

以上で明らかのように、現在ボーキサイトの最大生産国はオーストラリアである。次いでギニア、ジャマイカ、ソ連、スリナム、ブラジル、ギリシア、ユーゴスラビアがこれに続く。この上位8カ国で全世界の80%以上を生産している。中でもオーストラリアの生産力は圧倒的で、全世界の約30%を単独で生産する。これに次ぐギニアが14%、ジャマイカが13%である。世界のボーキサイト生産9,200万tの内、この上位3カ国の生産は実に5,200万t、約57%に達する。自由世界だけを取ればこのシェアはさらに上昇し、約65%にもおよぶ。このように、ボーキサイトの生産は特定少数の資源保有国に集中していることを最大の特徴とするといえるだろう。

2. アルミナ生産

前述したようにアルミナの需要には、製錬用アルミナと非製錬用アルミナの2分野があ

Table B-1 Changes in Production Share of Major Bauxite Producing Countries
(Percentage share of total world production)

Figures shown in () indicate the ranking.

	1965	1970	1975	1980
Australia	-	(2) 15.2	(1) 27.2	(1) 29.3
Guinea	4.3	4.1	(3) 11.0	(2) 14.4
Jamaica	(1) 23.2	(1) 19.8	(2) 15.0	(3) 13.0
USSR	(2) 12.6	(3) 10.7	(4) 8.5	(4) 6.9
Surinam	(3) 11.7	(4) 9.9	(5) 6.1	(5) 5.3
Brazil	-	-	-	4.5
Greece	3.4	3.8	3.9	3.5
Yugoslavia	4.2	3.5	3.0	3.4
Guyana	(4) 7.8	(5) 7.3	5.0	3.3
Hungary	4.0	-	3.7	3.2
France	(5) 7.1	5.0	3.3	-
USA	4.5	3.5	-	-
Total share of the first 5 major producers	62.4	62.9	67.8	68.9
Total share of the first 10 major producers	82.8	82.8	86.7	86.8

Source: Metal Statistics, 1965-75, 1970-80

る。非製錬用アルミナの需要量は全アルミナの約10%と目されるが(注1)、活用し得る有効なデータがないので、ここでは全アルミナの生産動向について概観することにする。

1966年(注2)の全世界アルミナ生産量は1,478万4,000tであったが、1980年には3,505万3,000tと、1966年比約2.4倍に増加した。年平均成長率にしてボーキサイトと同じ6.3%の伸びである。

Reference Table B-2には、全世界国別アルミナ生産量の推移を示した。

アルミナ生産の推移に見られる特徴は、Table B-2に示されているとおり、生産上位国が1970年以來全く変化していないことである。1966年における上位5カ国は、アメリ

(注1) IPAI・SS 1981によれば1981年の自由世界アルミナ生産量は2,664万8,000tで、うち製錬用(Metallurgical uses)が2,446万1,000t、非製錬用(Other than metallurgical uses)が218万7,000tとなっている。

(注2) MS 1965-1975には1965年のアルミナ生産量が記載されていないので、1966年を基準とした。

Table B-2 Changes in Production Share of
Major Alumina Producing Countries
(Percentage share of total world production)

Figures shown in () indicate the ranking.

	1966	1970	1975	1980
Australia	2.1 (3)	10.2 (2)	19.2 (1)	20.7 (1)
USA	(1) 35.9	(1) 28.5	(1) 19.2	(2) 20.0
USSR	(2) 17.6	(2) 12.7	(3) 11.2	(3) 9.3
Jamaica	(5) 5.4	(4) 8.1	(4) 8.5	(4) 6.8
Japan	4.5	(5) 6.1	(5) 5.9	(5) 6.3
Germany, Fed. Rep.	4.1	3.6	4.7	4.6
Surinam	2.8	4.9	4.3	4.1
France	(4) 5.7	4.7	4.1	3.8
Yugoslavia	-	-	-	3.6
Canada	(3) 6.1	5.2	4.3	3.4
Hungary	-	-	2.8	-
Guinea	3.6	2.9	-	-
Total share of the first 5 major producers	70.7	65.6	64.0	63.1
Total share of the first 10 major producers	87.8	86.9	84.2	82.6

Source: Metal Statistics, 1965-75, 1970-80

カ、ソ連、カナダ、フランス、ジャマイカであったが、1970年以來それはアメリカ、ソ連、ジャマイカ、日本、オーストラリアとなり、以降現在までこの5カ国の地位はゆらいでいない。しかしこの5カ国の中での順位は入れ換った。中でもオーストラリアの成長ぶりは目ざましく、1966年には僅か30万t強の生産であったものが、1980年には725万tを生産するに至っている。こうしてオーストラリアは、ボーキサイトと同じく今や世界最大のアルミナ生産国となった。そのシェアは全世界の約20%、自由世界の約25%を占めるといふ圧倒的なものである。これに次ぐアルミナ生産大国アメリカとソ連の生産も伸びはしたが、オーストラリアの急成長に押され、そのシェアは減少した。しかしアメリカは依然としてオーストラリアに対抗するアルミナ大国の地位を失っていない。この両国のみで実に全世界の約40%、自由世界の約50%を生産しているのである。Reference Fig. B-3にはこうした主要生産国の生産推移を示した。

このように世界のアルミナ生産は、ボーキサイトと同じく上位生産国の集中度が非常に

高い。ボーキサイトでは上位10カ国で全世界の約87%を生産しているが、アルミナの場合にはこれとほぼ等しい約83%である。しかもアメリカ、日本、ドイツ連邦共和国のようにボーキサイトを僅かしか産出しないか、あるいは全く産出しない国を除けば、ボーキサイト生産大国は同時にアルミナ生産大国ともなっている。アルミナは工業生産品目であり、ボーキサイトという単純な一次資源生産から一步進んで付加価値を高めようとする傾向がうかがわれよう。

だがここで注意しておきたいのは、ボーキサイトと異なり、上位生産国の集中度が1966年以來一貫して減少していることである。1966年時点、上位5カ国と10カ国の生産集中度はそれぞれ約71%、約88%であったが、年を追って集中傾向が弱まり、1980年には各々約63%、83%となった。こうした傾向は次に述べるアルミニウム新地金と同じく、世界の工業生産の分散化を示すものと考えられる。

3. アルミニウム新地金生産

いうまでもなくボーキサイトおよびアルミナの生産は、アルミニウム新地金の生産にはほぼ見合うものである。そこでアルミニウム新地金生産の推移については少しくわしく観察して見ることにしたい。

1965年、アルミニウム新地金の生産は658万6,000tであったが、1980年には1,606万4,000tと、1965年比約2.4倍に成長した。年平均成長率は同じく6.3%である。

Reference Table B-3には、全世界国別アルミニウム新地金生産の推移を示した。

この15年間、最も伸び率の高い地域(注1)はラテンアメリカで、約15.5倍にもなった。次いでアフリカの約8.7倍、南アジアの約6.2倍である。逆に伸び率の最も低い地域は北アメリカの約1.8倍、また計画経済圏の約2.2倍である。Fig. B-1には世界の地域別生産シェアの推移を表わした。

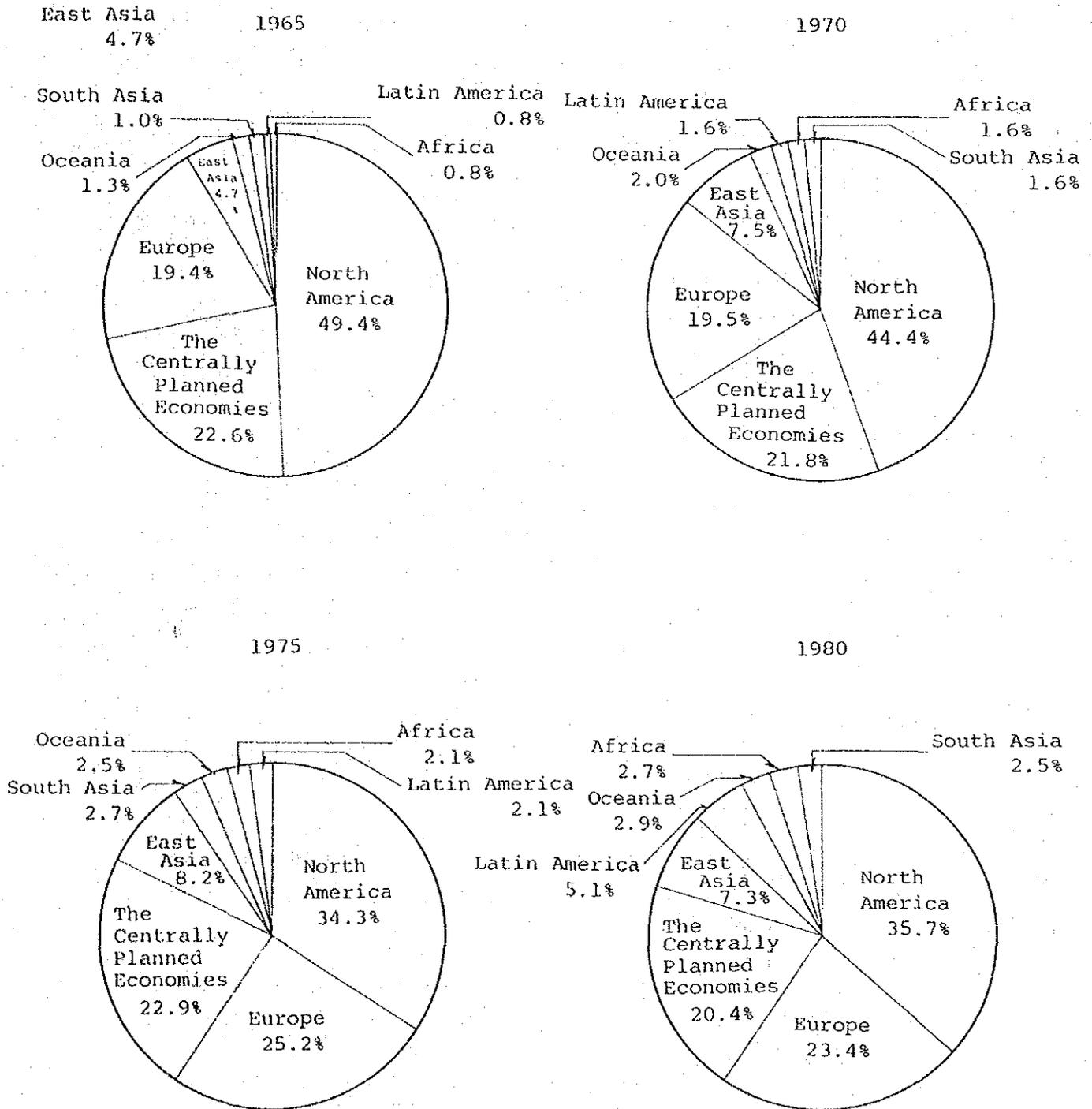
このように急成長してきたアルミニウム新地金生産に特徴的な事実は、先進工業国にその生産が集中していることである。自由世界における先進地域を北アメリカ、ヨーロッパおよび東アジア(主として日本)と仮定すれば、その生産シェアは自由世界において次のように推移している。

1965年	95%
1970	91%
1975	88%
1980	83%

中でもアメリカの生産量は圧倒的で、アルミニウム製錬産業が誕生して以來、首位の座

(注1) 地域区分はIPAI分類による。IPAIは自由世界を7地域に分割しており、これに計画経済圏を加えれば8地域となる。Reference Fig. B-5定義(Definitions)参照。

Fig. B-1 Percentage Share of World Primary Aluminum Production by Geographical Area



Source: Metal Statistics, 1965-75, 1970-80

を譲っていない。他国産業の発展とともにそのシェアは年々低下してきているが、1980年現在なお全世界生産の30%弱を単独で生産する。これにカナダを加えれば36%弱、年産能力にして600万t強にもおよぶ。これに次ぐ生産大国はソ連、日本、ドイツ連邦共和国、ノルウェー、フランス等で、いずれも上位シェアを安定的に守っている。このようにアルミニウム新地金の生産上位国は、アルミナと同じくほとんど変化していない。Table B-3にはこうした傾向を示す上位生産国の生産占有率推移を、また Reference Fig. B-4には主要生産国の生産推移を示した。

Table B-3 Changes in Production Share of Major Primary Aluminum Producing Countries (Percentage share of total world production)

Figures shown in () indicate the ranking.

	1965	1970	1975	1980
USA	(1) 37.9	(1) 35.0	(1) 27.4	(1) 29.0
USSR	(2) 18.2	(2) 16.5	(2) 16.7	(2) 15.1
Japan	(5) 4.4	(4) 7.1	(3) 7.9	(3) 6.8
Canada	(3) 11.4	(3) 9.3	(4) 6.8	(4) 6.7
Germany, Fed. Rep.	3.6	3.0	(5) 5.3	(5) 4.5
Norway	4.2	(5) 5.1	4.6	4.1
France	(4) 5.2	3.7	3.0	2.7
Spain	-	-	-	2.4
UK	-	-	2.4	2.3
China (mainland)	1.4	1.7	2.3	2.2
Netherlands	-	-	2.0	-
Australia	1.3	2.0	-	-
India	-	1.6	-	-
Italy	1.9	-	-	-
Total share of the first 5 major countries	77.1	73.0	64.1	62.1
Total share of the first 10 major countries	89.5	85.0	78.4	75.8

Source: Metal Statistics, 1965-75, 1970-80

ところで Table B-3 から読み取れるもう1つの事実は、主要生産国のシェアが年々低下していることである。先進地域の生産シェアが下がっているのと同様に、上位生産10カ国のシェアも少しずつ低下している。1965年上位10カ国のシェアは約90%であったが、

1980年現在それは約76%に落ちた。この傾向は、アルミニウム新地金生産においても、アルミナと同じく世界の工業生産が分散しつつあることを示すものであろう。

それでは、伝統的な主要生産国に代ってどのような国々が台頭してきたのであろうか。Reference Fig. B-5は1960年以降スタートした主なアルミニウム新地金生産国をリストアップしたものである。

これによると1960年から1970年にかけて新地金生産に新規参入した国々は、

アフリカ	ガーナ
ラテンアメリカ	メキシコ、スリナム、ベネズエラ
ヨーロッパ	ギリシア、オランダ、アイスランド
計画経済圏	ルーマニア、ポーランド

となっている。

また1971年から1982年にかけて新規参入した国々は

アフリカ	南アフリカ、エジプト
ラテンアメリカ	アルゼンチン
東アジア	大韓民国、インドネシア
南アジア	バーレーン、イラン、トルコ、アラブ首長国連邦
オセアニア	ニュージーランド

である。

これ以外にも、ブラジルやインド、またスペインやオーストラリア、ユーゴスラビアのように着実に生産を伸ばしている国々がある。

このようにして見ると、新地金生産がいわゆる開発途上国において活発に行われつつある経過が明らかであろう。上記の国々の生産能力を合計すると、およそ400万t(1982年全世界生産能力の約20%)に達し、今やその勢力は巨大なものとなった(注1)。そして実はこうしたアルミニウム新地金生産の拡散傾向こそが、世界のアルミニウム生産の地図を塗り変え、その産業構造に大きな構造変化を呼ぼうとしているのである。

4. 最近の生産動向

以上のように概観してみると、アルミニウム新地金の生産はアルミナ、ボーキサイトとともに戦後いかに順調に伸長して来たかのように見える。たしかに、1974年まではアルミニウム新地金の生産は止まるところを知らずに伸び続け、アルミナ、ボーキサイトもこ

(注1) UNCTAD Reportは開発途上国をアルゼンチン、ブラジル、ベネズエラ、ユーゴスラビア、エジプト、ガーナ、バーレーン、インド、その他とし、これら開発途上国の生産シェアを次のようにトレースしている。

1960年—2.6%、1965年—3.5%、1970年—5.7%、1975年—7.9%、
1977年—8.3%、1979年—10.4%

れにつられて増産に追われた。

ところが、1975年第1次石油危機後の世界的景気後退のあおりを受けて、アルミニウム産業は史上初めて大規模な減産に直面する。1975年における自由世界のアルミニウム新地金生産は前年比11%も落ち込み、1972年のレベルまで押し戻された。操業率は1974年の92%から、1975年には一挙に81%まで下った。

だが、この時点における減産はまだ比較的傷が浅かったといえる。1975年を底にして景気は再び上向きはじめ、1977年には過去のピークであった1974年のレベルに回復したからである。増産の上昇カーブも過去のラインに復帰し、その上昇は1980年まで約4年間続いた(Reference Fig. B-1参照)。

しかし実はこうした上昇の間にも、世界のアルミニウム製錬産業にとって基本的な変化が進行しつつあったことに注目しなければならない。すなわち、1975年の落ち込みにもかかわらず新規プロジェクトが次々にスタートし、生産を開始したのである。とりわけ、開発途上国における生産開始には目ざましいものがあった。1975年から1980年の間に新規生産を開始した開発途上国の年産能力だけでも82万tに達し、先進国のそれを上回るに至っている(注1)。このため、自由世界における年産能力は1975年は1,200万tであったものが、1980年にはこれを15%も上回った1,383万tとなった。この結果、自由世界の設備操業率が1974年のレベルに戻ったのはようやく1980年のことにすぎない。

こうした状況の中でアルミニウム産業は、第2次石油危機の後をひく世界景気の同時後退に突入したのであった。1981年の前半から自由世界の新地金生産は月を追って減少をはじめ、急坂を下る様相を示した。この様相はあまりに急激であり、1982年7月現在、自由世界の設備操業率は平均して1975年の落ち込みをはるかに下回る73%にまで下ってしまっている。生産実績量を瞬間風速でみた場合、現在の生産水準は6年前の1976年、ないし9年前の1973年のレベルに等しい。最近の自由世界の年産能力と生産実績量、および設

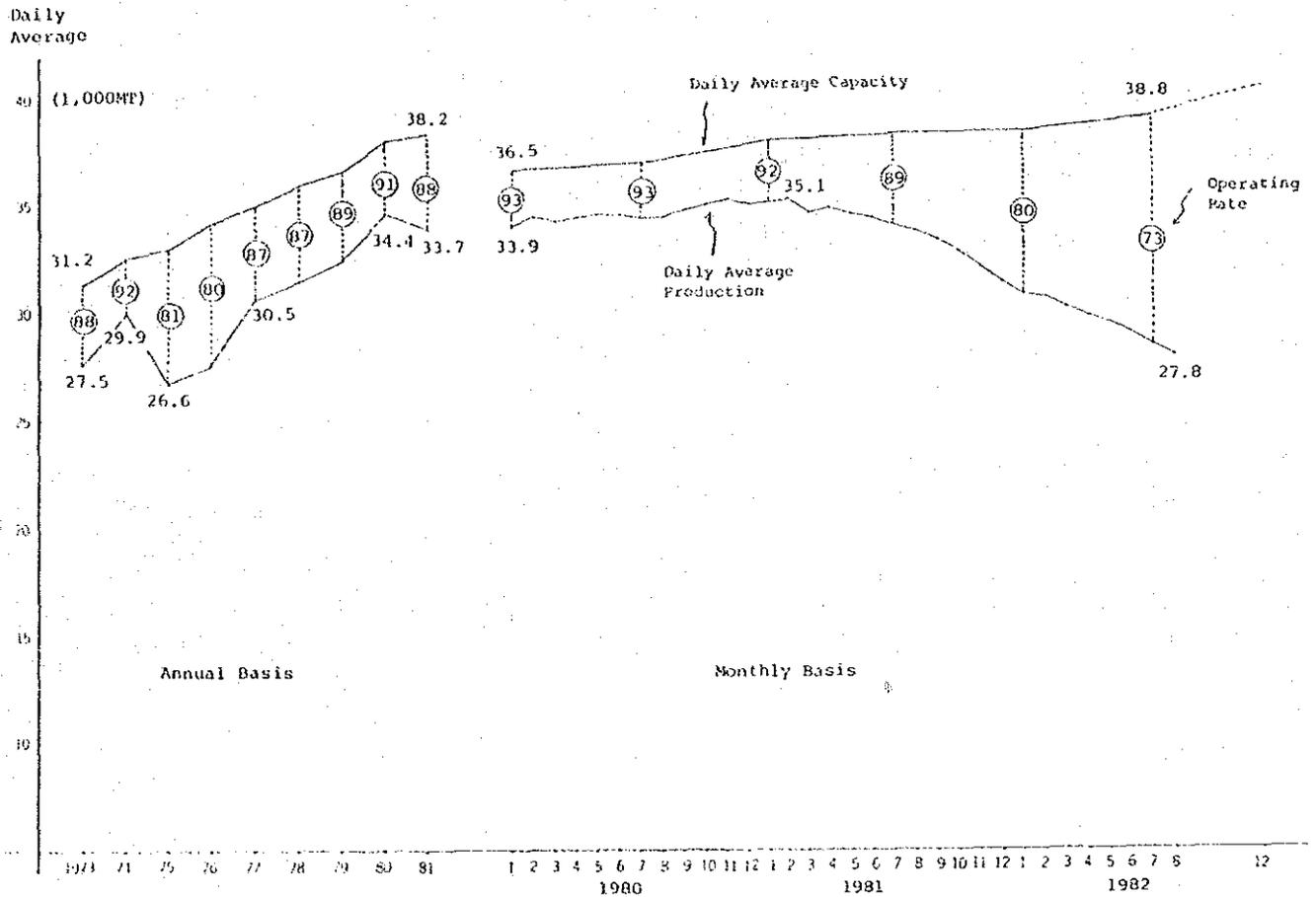
(注1) 1975-1980年の間に新規生産を開始した国々は次のとおり。

	開発途上国	生産能力	先進国	生産能力
1975年	エジプト	(166千t/年)	1975年 日本	(100千t/年)
	アルゼンチン	(140 ")	1978年 スペイン	(180 ")
	インド	(100 ")	1980年 アフリカ	(179 ")
1978年	ベネズエラ	(280 ")	カナダ	(171 ")
1979年	アラブ首長国連邦	(135 ")	(小計)	630 ")
	(小計)	821 ")		

また1981-1982年にはブラジル(86千t/年)、インドネシア(225千t/年)、オーストラリア(204千t/年)がスタートしている。

備操業率を日産量換算で示した Fig. B-2 は、こうした事情を明快に物語っている。1975年の落ち込みをようやく脱出したかに見えた自由世界のアルミニウム産業は、今や本物の失速状態に陥ってしまったといえるだろう。

Fig. B-2 Trend of Primary Aluminum Production and Capacity in Free World



Source: IPAI, Statistical Summary

ただし、こうした失速状態が単なる景気後退によってもたらされたものであるならば、問題はそう複雑ではない。だが現時点の景気後退によって自由世界のアルミニウム産業が直面せざるを得なかった諸課題が、実はアルミニウム産業の本質的構造に深く関り合っているところに、問題の重大性が存在するのである。

Reference Fig. B-6-1~Reference Fig. B-6-7 は、IPAI の地域区分に従って、最近の自由世界の生産状況を地域別にグラフ化したものである。一見して明らかなように、

北アメリカ、ヨーロッパ、東アジアの落ち込みが著しい。特に東アジア（主として日本）の陥落ぶりは絶望的であり、生産能力すら縮小の一途を辿っている。北アメリカ（主としてアメリカ）の減産もひどく、設備操業率は72%まで落ち込んだ。ヨーロッパはこれに比べると比較的安定しており、82%程度の減産で済んでいる。

これに対してアフリカ、ラテンアメリカ、南アジア、オセアニアの4地域は全く減産の気配を見せていない。一見操業率が低いように見える地域（ラテンアメリカ、南アジア）は、設備のトラブルによるもので、自主的減産ではないようである。アフリカ、オセアニアの2地域などは、この悪循環にもかかわらず依然としてフル操業を続けている。

要するに今次の景気後退は、今や相対的に不利となってしまった設備を多く持つ先進国に大きな衝撃を与え、反対に相対的に有利となった設備を持つ開発途上国に市場占拠のチャンスを与えたといえることができる。

II. アルミニウムの産業構造

1. 世界の需給バランス

生産量の推移については既にみたが、これらは実際の需要に応じて変動するので世界需給のあり得る姿を描いたものにはならない。しかし本来の世界需給は、各国の生産能力を基準とした過不足で考えられるべきである。そこで Reference Table B-1～Reference Table B-3 から抽出した主要国のボーキサイト／アルミナ／アルミニウム新地金の実需バランスと、巻末の全世界設備一覧表から抜き出した生産能力上のバランスとを、以下に比較検討してみることにする（注1）。

（注1）計算の方法は次のとおり。

〔ボーキサイト〕

生産国…生産量（能力）－自消（アルミナ生産）量（能力）×2.55＝余剰量

消費国…（アルミナ生産量（能力）×2.4＝ボーキサイト必要量）－ボーキサイト自製量＝不足量

アルミナに対するボーキサイト原単位は AME データを加重平均したもの。各国別原単位は Reference Table B-4-1 参照。

〔アルミナ〕

生産国…生産量（能力）－自消（新地金生産）量（能力）×1.95＝余剰量

消費国…（アルミニウム生産量（能力）×1.95＝アルミナ必要量）－アルミナ自製量＝不足量

ただし、算出は主要国のみとした。

1. 1 ポーキサイト

(100万t)

実需バランス			
	生産国における 余剰量	消費国における 不足量	差引
1977年	36.1	27.6	+8.5
1980年	39.6	33.6	+6
能力バランス (1981年)			
公称能力	50	33.7	+16.3
稼働率90%	45	30.3	+14.7
ストックパイル込み	42	32	+10

こうした計算にはかなりの誤差が見込まれるが、大方の傾向を把握することは可能であろう。すなわち、ポーキサイトは現在世界的に供給余力がある。稼働率を90%とし、ストックパイル(生産、消費双方に各々5%)を見込んだ少なめの数量で考えても、余力は約1,000万tにおよぶ。この需給はほとんど自由世界におけるものであり、自由世界の1980年時点の生産量を8,000万t、これが仮に年率5%で伸びたととしても、1,000万tの余力は約3年分の伸びをカバーするに足りる量である。しかし既に述べたように1981年以降需要は急激に冷え込んだので、この回復期間を見込めば、優に5-6年はカバーされると考えてよいであろう。勿論、供給大国はオーストラリア、ギニア、ジャマイカ、スリナム等である。Reference Table B-4-1には能力バランス表を示した。

1. 2 アルミナ

(100万t)

実需バランス (非製錬用込み)			
	生産国における 余 剰 量	消費国における 不 足 量	差 引
1977年	12	9.1	+2.9
1980年	14.7	11.8	+2.9
能力バランス (1981年)			
公称能力	15.9	11	+4.9
稼働率90%	14.3	9.9	+4.4
ストックパイル込み	13.6	10.4	+3.2
非製錬用除き	12.2	9.4	+2.8

アルミナについての需給はかなり難しい。まずアルミナ生産設備の稼働率にはかなりバラつきがあり、場合によっては公称能力を20%も上回って生産したりする。需要側においても製錬設備の実能力には不明なものが多く、さらに非製錬用アルミナが全アルミナの10%内外を変動する。したがって矛盾を承知で掲載したのが上表である。たとえば1981年の公称能力から算出した消費国におけるアルミナ不足量は1,100万tであるが、1980年の生産実績から算出したものは1,180万tとなっており、1980年の実績の方が多い。

だがこうした出入りはさておき、大方の傾向としていえることは、アルミナの需給においても供給余力があると見なされることであろう。その余力は大部分自由世界におけるものであり、多分300万t内外と目される。過去最大であった1980年におけるアルミナ需要が約2,700万tであり(注1)、同時期の生産能力が約3,000万tであることから、この点は裏付けられよう。

300万tの余力はボーキサイトと同じ計算をすれば、約2年分の伸び量に該当する。回復

(注1) 1980年の新地金生産量(1,280万t×1.95=製錬用アルミナ2,500万t) + 非製錬用200万t。

期間を見込めば4-5年分である。供給大国はReference Table B-4-2に示すように、オーストラリア、ジャマイカ、日本、スリナム等となっている(注1)。

1.3 アルミニウム新地金

アルミニウム新地金については、ボーキサイトやアルミナのよう算出はできない。それはもっぱら消費量との関係によるからだ。そこで主要国における生産と消費のバランスを取ってみたのがReference Table B-5-1~Reference Table B-5-2である。算出年次には1977年(1975年の落ち込みから回復して需給が平常に戻ったとみられる年)、および1981年(最近の落ち込みを示すもの)を選んだ。主な事実を拾ってみると次のとおりとなる。

- (1) 1977年、世界の需給はバランスしていたが(生産1,430万t、消費1,450万t)1981年には115万tの生産過剰となった(生産1,570万t、消費1,455万t)。
- (2) アメリカは1977年64万tの不足をきたしていたが、1981年には逆に35万tの過剰となった。
- (3) 日本は1977年23万tの不足であったが、減産の進行により1981年には80万tと不足量が急増した。
- (4) 自国消費が僅かであるか、またはほとんど消費しない国々の供給が過剰に続いている。1981年の主要な供給余力国と不足国は次のとおりである。

供給余力国

カナダ(82万t)、ノルウェー(53万t)
アメリカ(35万t)、ベネズエラ(24万t)
スペイン(19万t)、ガーナ(19万t)
オーストラリア、ニュージーランド、バーレーン
アラブ首長国連邦、エジプト、アルゼンチン
その他 余力合計 400万t

供給不足国

日本(80万t)、ドイツ連邦共和国(29万t)
ベルギー(21万t)、中国(21万t)
イタリア、フランス、大韓民国
その他 不足合計 260万t

(注1) AMEによるボーキサイトとアルミナの供給余力は次のとおり。

ボーキサイト(1980-1985年以降)	800万tから2,500万-2,600万t
アルミナ(1981年)	200万-300万t
(1985年)	500万t

このように主要国のみを抽出すると、供給過剰量は140万tに達する。この量は1975年以降生産を開始した新設備の総生産量にはほぼ等しい。

以上のデータを要約すれば、世界のボーキサイト需給は基本的に供給過剰、アルミナもやや供給過剰状態にあると見てよいだろう。アルミニウム新地金の需給は消費量次第であるが、現状では大幅な供給過剰状態にある。そして目下のところ、こうした過剰状態からの回復のきざしは見えていない。

2. アルミニウム産業におけるメジャー

アルミニウム産業は、単なる並列的な企業の集合体ではない。アルミニウム産業が今日の発展を見るに至った背景には、6大メジャーと呼ばれる big business の存在が巨大な力をおよぼしている。

中でも、C. M. Hall がそのパテントを工業化すべく1888年に設立した The Pittsburgh Reduction Company を前身とする The Aluminum Company of America (ALCOA)、およびカナダの豊富な水力発電を利用すべく ALCOA から派生した Aluminum Company of Canada (ALCAN) の両者は、1980年現在、自由世界ボーキサイト生産能力の23%、アルミナの33%、アルミニウム新地金の24%を占める巨大企業である。同じ時期に M. Héroult の技術を獲得したヨーロッパにおいても、フランスとスイスにアルミニウム産業が発展し、Aluminium Pechiney、Swiss Aluminium Company (ALUSUISSE) という2大メジャーを生んだ。1980年、両者のシェアは自由世界ボーキサイト生産能力の8%、アルミナの12%、アルミニウム新地金の13%となっている。

第2次世界大戦前、この4大企業の新地金生産能力は、ソ連を含む全世界生産のおよそ60%を占めるという巨大なものであった。しかし大戦後の経済復興とともに、アメリカにおいて Reynolds Metals Company、および Kaiser Aluminum and Chemical Corp. が新地金生産に乗り出し、北アメリカにおける ALCOA、ALCAN の独占は打ち破られた。両社はその後着実に生産を伸ばし、1980年の自由世界生産能力における両社のシェアは、ボーキサイトの13%、アルミナの19%、新地金の16%におよんでいる。

これら6大メジャーの生産能力占有率を示したのが Table B-4 である。6社の占有率を合計すると、ボーキサイトの43%、アルミナの64%、新地金の52%という膨大な量に達する。こうした数字から判断しても、世界のアルミニウム産業はまさに6大メジャーの独占的市場であるといってもよい。

こうしたメジャーの力の源泉とその戦略を考えてみると、次のような方策を挙げることができよう。

第1は、メジャーが相対的に低コストのエネルギー確保に努めてきたことである。アメリカ、カナダ、ヨーロッパにおける豊富な水力発電の利用、石炭発電といった比較的低廉なエネルギーの確保は、メジャーの利益幅を大きくし、一層その力を強める原因となった。

Table B-4 Percentage Share of Six Major Producers
in Free World Production Capacity (1980)

(Unit: Ownership percentage in production capacity)

	Bauxite	Alumina	Aluminum
ALCOA	16.6	20.7	13.3
ALCAN	6.4	11.8	10.5
Kaiser	7.8	10.2	7.7
Reynolds	4.9	8.9	8.0
Pechiney	2.7	7.5	8.1
ALUSUISSE	5.0	4.5	4.7
Total for these 6 companies	43.4	63.6	52.3

Source: Compiled from Spector Report, UNCTAD Report, etc.

第2は、安価な原料源の確保である。当初メジャーはいずれもアルミニウム製錬業として出発したが、次第にその領域を原料源にまで拡大していった。たとえばALCOAは、安価なボーキサイトを海外に求めて1912年ガイアナの土地を獲得したのを手始めに、スリナム、カリブ海諸国等の鉱区を次々に確保している。メジャーとしては後発であるKaiser、Reynoldsにしても、ジャマイカを初めとする海外ソースの積極的確保を図ったことはいうまでもない。垂直統合と呼ばれるこうした産業構造は、新規参入者に対して大きな障壁を作る結果となった。新規参入者は、メジャーから相対的に高い原料を購入せざるを得ず、反対にメジャーはコストで原料を入手することができたからである。こうして垂直統合企業は、原料から製品に到る一貫した自給体制を築き、ボーキサイト、アルミナ、アルミニウム、そしてアルミニウム製品の各次元における利益を享受することができたのであった。こうした6大企業の垂直統合状況を示すため、Reference Table B-6-1~Reference Table B-6-3には、6大企業のボーキサイト採掘会社、アルミナ製造会社、そしてアルミニウム製錬会社をリストアップした。またReference Fig. B-7-1~Reference Fig. B-7-3には、垂直統合状況を要約してある。

第3は、規模の利益である。技術水準が一定のレベルに達した場合、単位当りの生産コストを引き下げるのには、規模を拡大することが最も有効な古典的方法であり、メジャーはボーキサイト、アルミナ、アルミニウムといういずれの面においても、この利益を追及し享受してきたといえる。

第4は、製品の多様性と強大な販路の確保である。メジャーの多様な生産構造は、販売

製品の種類を増やし、その付加価値を高める。これを可能にしているのは、メジャーの持つ強大な販路であり、その販路をかいくぐって新規市場を獲得しなければならないという課題は、新規参入者にとって大きなハンディキャップであるに違いない。

こうしたメジャーの戦略と力の源泉に加えて、さらに忘れてはならない2点がある。その1つは、秀れた技術力である。潤沢な資金力と経験を背景にしたメジャーの技術開発力に匹敵する力を持つ者は、世界にも数多くはない。その2つは、豊富な資金力である。ボーキサイト、アルミナ、アルミニウムのいずれを取ってみても、その開発から生産までは数億ドルないし数十億ドルにおよぶ莫大な資金の投入を要し、新規参入者にとって最大の難関となっている。私企業規模においてこれだけの資金需要を検討できるのは、メジャーのみであろう。

しかしながら、こうしたメジャーの力をもってしても、ボーキサイトの開発、アルミナおよびアルミニウム工場の建設という事業に要する資金はあまりに巨大であり、そのリスクも大きい。そこで行われたのがメジャー同志の協同、ないしはメジャーと非メジャー企業との連携であった。水平統合ともいべきこうした協同事業は、規模の利益を追及する一方、単一会社の資金負担とリスクを軽減し、開発事業に柔軟性を与える。たとえば、ギニアにおけるボーキサイト開発においては、ALCOA、ALCAN、Pechiney、さらにアメリカの中堅会社 Martin Marietta、およびドイツ連邦共和国の Vereinigte Aluminium Werke (VAW) 等の合併事業により、単一規模としては世界最大級の900万t/年鉱山を開発している(注1)。オーストラリアにおいてもALCOAは、オーストラリアの4社との協同出資により、ボーキサイト年産1,300万t、アルミナ400万tという世界最大の事業を成功せしめた(注2)。アルミニウム製錬の分野においても、こうした水平統合の例は枚挙にいとまがない。今後ますます増大する資金需要と新規投資のリスク回避にはこうした水平統合が最も柔軟かつ有望な方法であることは確実であろう。

3. メジャーの後退と国営化

ところで、今日までのアルミニウム産業のめざましい発展は、こうしたメジャー支配の中でのさまざまな後発ハンディキャップにもかかわらず新規参入者を惹きつけるに十分なものであった。たとえばアメリカにおける新規参入者の増加とメジャーのシェア低下には目ざましいものがあり、その状況はTable B-5に示すとおりである。自由世界全体の新地金生産で見ても1970年、6大メジャーの生産能力シェアは65%であったが、1975年には56%、1980年には52%と、着実に低下している。

(注1) Halco Mining Inc.

株主はALCOA 27%、ALCAN 27%、MMA 20%、PUK 10%、VAW 10%、ALUMETAL 6%。

(注2) ALCOA of Australia

株主はALCOA 51%、Australian Interest Group 4社 49%。

Table B-5 Percentage Share of Aluminum Companies
in the USA^{a)}b)

	(%)				
	1948	1957	1964	1973	1974
ALCOA	50.7	43.1	33.0	32.1	32.0
Reynolds	29.3	26.6	27.9	19.9	19.8
Kaiser	20.0	27.1	25.0	14.5	14.7
Anaconda	-	3.3	2.6	6.1	6.1
Ormet ^{c)}	-	-	6.9	5.1	-
Howmet	-	-	-	4.4	4.4
Martin Marietta	-	-	3.3	4.1	4.2
National-Southwire	-	-	-	3.7	3.7
Conalco	-	-	1.2	3.6	7.0
Alumax	-	-	-	2.7	2.7
Revere	-	-	-	2.3	4.0
Noranda	-	-	-	1.4	1.4
Total	100	100	92.8	72.7	73.6

Notes : a) Each share may not add up to total due to rounding.
 b) Based on year-end production capacity.
 c) Ormet's production capacity in 1974, 250,000 tonnes is not shown but divided and included in the capacity of Revere (34%) and Conalco (66%), both partners in Ormet.

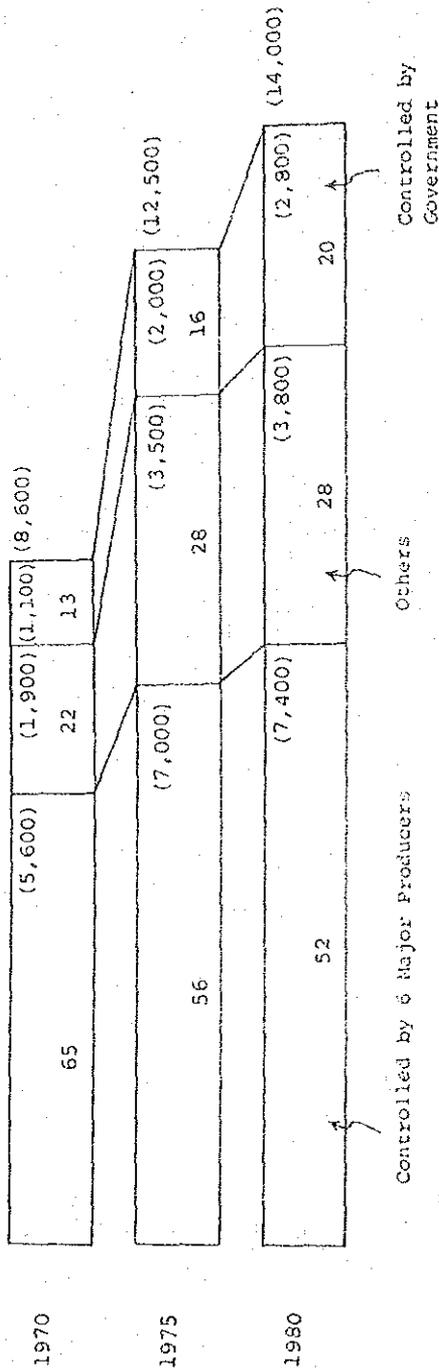
Source: The Aluminum Association, Aluminum Statistical Reviews; 1973, 1974.

これに代って台頭して来たのが、直接的または間接的に国家（または自治体）の統制下にある企業（以下国営企業と総称する）であり、またインデペンデントの企業であった。なかでも国営企業の伸長ぶりには著しいものがあり、自由世界新地金生産能力において1970年わずか13%のシェアだったものが、1975年には16%、1980年には20%のシェアに達した。ボーキサイト、アルミナにおいても1980年現在、国有株式のシェアはそれぞれ22%、10%に及んでいる。このシェアの状況についてはFig. B-3に示すとおりである。またReference Table B-7には自由世界各国別の国有シェアを示した。

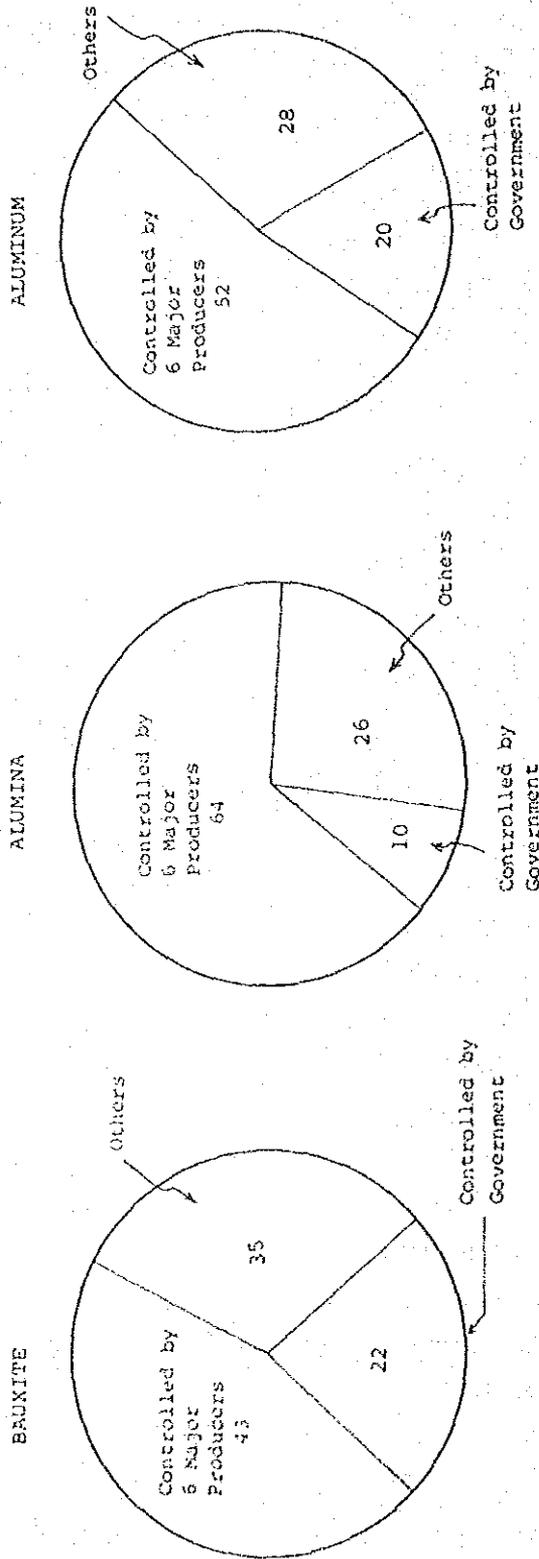
こうした国営化推進の原動力となっているのが開発途上地域である。すなわちアフリカ、南アジア、ラテンアメリカで、これらの地域の国有シェアはほぼ40%から60%に達し、その支配下にある年産能力は1982年現在およそ240万t（国有シェアでは120万t）におよぶ。ヨーロッパにおいても、国のエネルギー政策（国営電力の有効利用）との関連、またアルミニウムが戦略物質であるとの位置づけから、国営企業が珍しくなく、ドイツ連邦共和国、イタリア、ノルウェー、スペイン、オーストリア等はほぼ国営企業の支配するところとなっている。ただし北アメリカ、オセアニア、日本には国営企業はない。

Fig. B-3 Trend of Ownership Percentage in Free World Primary Aluminum Industry

(%; Figures in () show production capacity (1,000 tonnes))



Ownership Percentage in Free World Aluminum Industry, 1980



Sources: Spector Report, AME and others

ここで前述した最近の生産動向をふりかえってみると、現在の悪環境にもかかわらず、アフリカ、南アジア、ラテンアメリカの諸国は全く減産の気配を見せず、またヨーロッパの減産も比較的軽微で済んでいる訳だが、実はこれらの地域こそ、国営企業の優勢な地域であることに気付く。この一致は決して偶然ではなく、全く理にかなっている。すなわち、とりわけ開発途上国においては、国家開発計画に必要な外貨獲得、ないしその国特有の社会事情のために、とにかく生産を続行せざるを得ないという事情がそこに働いていることは明らかである。ここに国営企業の特殊性があるといつてよい。

国営企業は、私企業とは自ずと異なった戦略を有する。そこに働くマインドは、私企業ベースでの競争力マインドとは明らかに次元が違う。このような異なった事前で下される判断、すなわち市場の状態を無視した生産の続行によって、市場の需給状態と採算を考慮せざるを得ない私企業が圧迫を受けるのは、ある意味で当然であろう。

加えて、こうした傾向を助長するものとして、もう1つ見逃せない動きがある。その量はまだ僅かだが、アルミニウムの従来産業構造に一層の複雑さを与える要因として、注目に値する。それは、従来のメジャー型でもなく、かつ国営企業型でもない第3のパターンの存在である。すなわち、従来アルミニウム新地金の購入者であった需要家、ないし新地金マーケットの保持者が自ら新地金生産に乗り出したものに他ならない。自社生産能力以上の新地金需要を持つ需要家は、需要が減退した場合、自社設備の減産損失を回避するため、外部購入品の削減を行うことによって、自社生産の温存を図ろうとする。この場合、意図するとなしにかかわらず、結果的には、国営企業と同様の市場無視が発生してしまふ。国営企業の存在しないオセアニアが、現在なおフル生産を続けている事実は、こうした事情を物語るものである。こうした企業の動きは、まさにインデペンデントとでも呼ぶべきものであって、市場を圧迫する1つの要因となっている。

ここで重大なことは、こうした国営企業なりインデペンデントなりの生産続行マインドが、生産者コストと、市場価格とのバランスをある程度無視した次元で存在するという事象である。需給バランスを無視した生産の続行は、当然のことながら市場価格を混乱させる。

しかし、混乱した市場価格がたとえ生産者コストを割り込んだとしても、なお生産が継続されているところに、問題の深刻さがある。

I節でみた世界のアルミニウム生産の地域別傾斜、そして地域別設備の相対的有利不利とは、単に生産者コストの優劣だけをいうのではなく、実はこうした根源的なマインドの差を、その中に包含していることを忘れてはならない。

かくてメジャーのシェアは年々低下し、代って国営企業がその勢力を伸長して来た。インデペンデントとでも呼ぶべき企業の動きもメジャーのシェアを低下させている。こうした事情の中こそ、現在のアルミニウム産業を渦中に巻き込んでいる構造変化の大きな流れがあるといえよう。

それではこのような現象が何故可能になったのであろうか。

初めにいえることは、新規参入者が低コスト電力源の確保に努めた結果、メジャーの相対的有利性が失われたことである。特に開発途上地域においては、これまで未開発であった水力源、安価なガス源等の開発が進んだため、新規参入者にとっても充分採算のとれる事業開発が行えるようになった。

しかしながら、第2の安価な原料源の確保については、新規参入者にとって、それほど事情が好転している訳ではない。ボーキサイト開発に要する総合的な技術と企画力においてメジャーの力は傑出しており、今なおほとんど独占的な力を有している。現在国有化されている開発途上国の株式シェアにしても、かつてはその大部分がメジャーの保有していたものであり、ナショナリズムの進展とともに国有化されてきたものであって、その販路は依然としてメジャーに頼らざるを得ない。この意味で自由世界のボーキサイト資源は、今なお大部分がメジャーの配下にあるものと考えられ、新規参入者にとって充分考慮すべき仕組みを形成している。

第3に規模の利益についてみれば、新地金生産においては、相対的に安価な電力源さえあれば小規模生産でも充分太刀打ちできるという事情がある。新地金の生産は、電力コストさえ低廉であれば、大規模生産による単位当たりコストの低下に対抗できないとはいえないのであって、ここに安価な電力源を得た新規参入者の出現する1つの理由があった。

第4の販路については、これまでのアルミニウム需要の目ざましい伸びが、新規参入者の市場獲得を非常にたやすいものにした。メジャーの比較的保守的な生産拡張のテンポをはるかに上回る需要の拡大が、新規参入者の意欲を大いに喚起したのである。

以上の4点に加えて、かつてメジャーの持っていた技術力が、必ずしも独占的なものではなくなったことをつけ加える必要がある。中でも高いコスト電力に依存する非メジャー系企業は、省エネルギー技術の開発に全力を挙げて来たため、現在ではメジャー系と同等の操業技術を持つに至っている。特に日本の省エネルギー、省力技術の向上は目ざましく、これを世界のメジャーが技術導入するまでになった。しかし総合的な技術力と開発力ではメジャーの力は依然として圧倒的であり、その実力を軽視することはできない。

最後に、新規事業に必要な資金力についてみると、実はこの要素こそが、国営企業のシェアを伸ばしてきた主要な理由の1つである。新規事業開発に要する莫大な資金需要は、とても一新規参入者の負担し得るところではない。当然、それは国家的な事業となる。とりわけ開発途上国における開発事業はそのリスクの大きさに比例して、国家的事業の色彩を濃くせざるを得ない。しかしたとえ国家的事業であったとしても、それだけで全ての資金供給が可能であるとはいいい切れず、またたとえ資金力があつたとしても、それだけで開発が行い得るものではないことも明白である。そこには当然、強力な技術力と開発力を持った企業の協力が必要となる。安定した市場の確保はさらに重要である。このためには、新地金の生産者だけでなく、消費者ないし購入者の協力も必要となって来るだろう。

こうした各界の連携、水平統合として既にいくつかの実施例もあるこの連携は、先に述べた産業構造変化のギャップを埋める1つの方策であり、今後の開発事業のあり方を示唆する方向といえよう。

III. アルミニウムの生産コスト

1. ボーキサイト

1. 1 生産コスト

ボーキサイトはいうまでもなく土中から採掘される資源であり、その製造の過程はいわゆる工場のそれとは様相を異にする。

しかしコストの構成要素としてはいわゆる工場のそれと基本的に変わりはなく、これ（工場離れベース）を要素別に分類すると次のとおりになる。

直接（採掘）費	原燃料費
	労務費
	補修費
	経費
間接（採掘）費	設備金利
	減価償却費

これらのコストに、鉱区使用料、税等を含めた各国の会計制度からもたらされるコストが加えられ、ボーキサイトの生産コストとなる訳である。そこで各々の構成要素について公表されているデータをひろってみよう（注1）。

1. 1. 1 建設費

設備金利および減価償却費を決定するものは建設費であり、そのレベルはおよそ Table B-6 のとおりと推定されている。

これで見ると、ボーキサイトの建設費に特定の傾向は見出せない。このことは逆にいうと、ボーキサイトの建設費は、インフラの整備状況、また自然条件の差異によっていかようにでも左右されることを示しているといえる。

（注1）ボーキサイトは通常10%程度の水分を含んだ形（有姿）で取引されており、以下の検討は有姿状態とする。

Table B-6 Reported Capital Costs for Mines

Company and Location	Capacity (1,000 tonnes/ year)	Date of Cost Estimate	Cost/tonne annual output (US\$ 1980)
<u>Completed:</u>			
* CBG, Boko (1973)	6,000	1973	123
* Min. Rio do Norte, Trombetas, Brazil (1979)	3,350	1975	120
Guymine, E. Montgomery, Guyana (1979)	800-1,000	1979	45- 56
* Comalco, Weipa, Australia (1979)**	11,000	1979	29
<u>Under Construction:</u>			
Nat'l. Aluminium Co., Orissa, India	2,400	1979	31
<u>Planned:***</u>			
* Min. Vera Cruz, Paraogominas, Brazil	2,000-4,000	1978	95-190
ALPART, S. Coast Mines, Jamaica	1,500-2,500	1979	45- 75
* Bauxiven, Los Pijiguas, Venezuela	3,000	1980	183

* Includes cost of infrastructure.

** Costs over the period from the early 1960s.

*** Estimates based on various stages of feasibility studies.

Source: AME

1. 1. 2 直接（採掘）費

直接（採掘）費の絶対的水準に関する資料は多くない。少し古いのが、1968年の Metals Week によると、直接費として US\$ 3-10 / t と見積っていた。1975年の OPPENHEIMER REPORT では、US\$ 6 / t 程度と推定している。最近の情報としては 1980年の Metal Bulletin からのものがあり、Table B-7のとおり US\$ 4-7 / t 見当の様である。

Table B-7 Comparative Direct Mining Costs of Bauxite in Jamaica, Brazil, and Australia

Item	Costs in US\$/tonne		
	Jamaica	Brazil	Australia
Labor	1.18-1.30	1.95-2.15	1.53-1.69
Fuel oil	0.37-0.41	0.51-0.56	0.37-0.41
Internal transport	0.72-0.79	1.23-1.35	0.72-0.79
Maintenance	1.17-1.28	1.37-1.51	1.18-1.30
Misc. costs	0.83-0.91	1.32-1.45	0.86-0.94
Total direct mining costs	4.27-4.69	6.38-7.02	4.66-5.13

Source: Metal Bulletin (Sept. 1980)

1. 1. 3 会計制度および税と鉱区使用料

ボーキサイト産出国がその資源開発から利潤の一部を取得する方法としては、次の3方式がある。第1は、オーストラリア等の諸国で行われている方法で、法人税、および配当金源泉控除方式をとるものである。これに加えて、採掘鉱石の量に対し、ロイヤリティ、すなわち鉱区使用料を課しているところが多い。但しその見返りとして、たとえばオーストラリアでは投資への特典やインフラストラクチャに対する政府融資が認められており、またブラジルでは一定期間の課税免除が行われている。第2は、ジャマイカ、スリナム等の国々で実施されている方法で、ボーキサイトの生産量に対し税を課す方式である。第3は、インドネシアあるいは計画経済圏で見られるような国家による完全な経営支配ないし直接支配である。勿論、これらの方法は個別のものではなく、併用されることも多い。

こうした税や鉱区使用料の水準は各国によってかなり異なっており、各種のソースからこれをまとめると Table B-8 のような状況になっている。

以上のデータが示すように、ボーキサイトのコストは、鉱床の状態、品質、鉱量、地理等の自然条件、また開発や操業に要する諸資材、原燃料の入手手段とその価格、ならびに労働事情、さらには開発に対する政府の政策、課税方針、会計制度等によって大きく異なってくると考えられる。こうした状況を明らかにする正確なデータは少ないが、最後にこれらを総合したボーキサイトコストの推定例を Table B-9 に示す。

1. 2 輸送コスト

前章で見たように、ボーキサイトが原産地で消費される量はそう多くない。大部分のボーキサイトは、積出し港から海上輸送を経て消費地へ送り込まれる。それゆえ、消費者であるアルミナ生産者にとっては、ボーキサイトの価格は、海上輸送費用をも含めた価格として評価される必要がある。そこで上記の生産コスト以外に、海上輸送コストについてもふれておくことにしよう。

輸送コストは、輸送する貨物の量・ロット、輸送する距離、方法、港湾能力等によって大幅に差が生じる。したがってこれを一律に述べることは難しいが、大方の趨勢を示したものが Table B-10 である。

これを見ると、各々の輸送経路には相当のコスト差があるが、大略でつかめば大部分が US\$ 10 / t 以上の水準となっており、ボーキサイトコストの水準 (US\$ 10-30 / t) に較べて輸送コストがいかに大きなウェイトを占めているかがわかる。輸送ロット (船型) も輸送コストに大きな影響をおよぼす要素であり、小型船による小ロット輸送よりも大型船による大量輸送の方が割安である (注1)。

(注1) UNCTAD Report は大型船 (60,000 DWT) の方が小型船 (15,000 DWT) よりも 40-50% 割安になると想定している。

Table B-8 Bauxite Levies and Royalties in
the Main Bauxite Producing Countries

Country	Levy	Royalty	Comments
Jamaica	6.8%-5.5% US ingot price	US\$ 0.55/S. tonne	
Surinam	6.0% US ingot price	US\$ 0.50/S. tonne	Levy based on ALCOA US ingot price; conversion ratio 4.3 s. tonne = 1 s. tonne metal as in the case of Jamaica; information as of mid-1977
Haiti	8.0%	US\$ 0.50/S. tonne	Levy indexed to Reynold's ingot price; conversion ratio 5.0 s. tonne = 1 s. tonne metal
Dominican Republic	7.7%	US\$ 0.60/S. tonne	Agreement with ALCOA extend- ing to 31 Dec., 1982 for mini- mum payment of US\$17.00/tonne; ALCOA also to pay a royalty of US\$ 0.60/S. tonne on exports, compared to previous charge of US\$0.55/S. tonne (Reuters, 5 Dec., 1980).
Guyana	-	US\$ 0.04-0.10/tonne	
Guinea	Variable	n.a.	
Sierra Leone	-	US\$ 0.17/tonne	
Ghana	-	6% of realized value of ore plus mineral duty of 10% on realized ore selling price	
Indonesia	10% of f.o.b. export value	Mineral tax of US\$ 0.06/tonne	Information as of mid-1977
Australia	-	Variable range from nil to US\$ 1.00	Nil applies to ALCOA which pays alumina royalties instead

Source: AME

Table B-9 Estimated Total Bauxite Cost
(US\$/T)

Cost Item	Jamaica	New Plant
Mining cost	6.07*	6.07
Depreciation	0.66	3.31
Infrastructure cost	0.28	0.55
Interest	1	1.38
(Sub Total)	(8.01)	(11.31)
Royalty & Taxes	17.04**	3.86
(Total)	(25.05)	(15.17)

* Jamaica's mining cost is estimated at \$4.27 - \$4.69 in Table B-7, but estimated at \$6.07 in this Table, the same as new plant.

** In 1979

Source: JAF (Japan Aluminium Federation)

Table B-10 Selected Bauxite Shipping Costs

Source of bauxite	Destination of shipment	Freight cost US\$/tonne	Date of Freight cost
Australia:			
Gove, N.T.	Stade, Germany, FR	10.50-12.50	Feb.-June 1979
		20.00-21.50	Jan.-June 1980
		17.00	Nov. 1980
		18.75	Jan.-Apr. 1981
Weipa, Qld.	Gladstone, Qld.	8.00*	May 1981
	Porto Vesme, Italy	12.50-12.65	Jan.-May 1979
	Netherlands/Germany, FR	18.00	Nov. 1980
	Germany, FR	17.50	Mar. 1981
Weipa/Gove	Japan	15.00-20.00*	May 1981
Jamaica:			
Various ports	USA	4.40- 4.90**	Sept. 1980
Port Rhoades	Louisiana, USA	5.50	Dec. 1980
Dominican Republic:			
Cabo Rojo	Texas, USA	5.50	Apr. 1980
Brazil:			
Amazon	USA gulf	7.50	Nov. 1979
	USA	8.00-9.50**	Sept. 1980
Guinea:			
Port Kamsar	USA gulf	10.25*	May 1981
	Canada (Port Alfred, Quebec)	10.50*	May 1981
	W. Europe	10.50*	May 1981
	Yugoslavia	20.00	Aug. 1980
Greece:			
Itea	Taranto, Italy	5.50	Mar. 1980
Indonesia:			
Bintan Island	Rotterdam, Netherlands	14.00-14.50	Mid-1979

* Estimates by Sydney-based shipping consultants

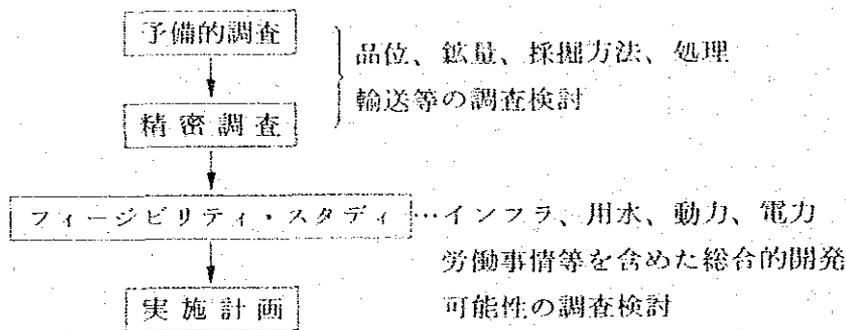
** Estimates by Met. Bull. Month., Sept. 1980

Source: AHE

このように、ボーキサイトの輸送コストはアルミナ生産原価に大きな影響をおよぼす1つの要素であって、輸送コストの低減、すなわち経済的輸送の実現には常に注意が払われなければならない。

1. 3 ボーキサイトの開発と検討項目

次に、ボーキサイトの開発プロセスと、それに伴う主要な検討項目について考えておく。ボーキサイトの鉱床を開発するには、まず対象となる鉱石の物理的、化学的性質を調査し、鉱量が確認されなければならない。次いで品位、量に適合した粉碎、水洗、乾燥等の処理、さらに搬出、積出し等について調査検討が行われるのが普通である。これに合せてインフラストラクチャ、用水、電力、労働事情等をも含めた総合的なフィージビリティ・スタディが実施され、本格的なプランが作成されることになる。これらの手順をまとめると概略次のとおりである。



こうした手順の中で開発の可能性を明らかにするためには、主として次の諸点が確認されてゆかなければならないだろう。

第1は品位である。たとえば現在最も有利な開発環境にあると考えられているオーストラリア Mitchel Plateau (Kimberley) 地区のボーキサイトは、アルミナ含有分が高いにもかかわらず、Darling Ranges の低品位鉱よりも不利だといわれている。一方、ブラジルの Trombetas から産出するボーキサイトは、処理上優れた特性を持ち、アルミナコストを引下げるのに有利であるらしい(注1)。またこうしたオリジナルの品位以外に、長期安定的に期待する品位が得られるかどうかも重要な問題である。アルミナ精製を現地で行う場

(注1) キンバリー地区のボーキサイトは、 Al_2O_3 47-50%の gibbsite 系であるが、その中に数%の boehmite を含むため、高温溶解を必要とする。これに対し Darling Ranges のボーキサイトは Al_2O_3 、30-48%の低品位鉱であるが、純 gibbsite であるため低温溶解だけで済む。Trombetas のボーキサイトは Al_2O_3 、47-50%の純 gibbsite である。高温溶解プロセスは低温溶解に対し設備費、運転コストともに不利となる。

合にはある程度品位を下げても経済性が期待できるが、輸出用の場合には販売最低品位を上げ、常に安定した品位を保持する必要があることを忘れてはならない。

第2は採掘における経済性の問題である。ボーキサイトは、ヨーロッパの場合を除きほとんど露天掘りであるが、採掘に当っては表土を除去する必要があるため、除去されるべき表土の質、厚さ、表土上の植物等の状況が問題となる。通常採掘はダイナマイトで鉱脈を爆破砕した上で行われるが、その必要のない鉱床もあり（東南アジア、オーストラリアのCape York）、この方法の差異は採掘のコストに影響する。さらに採掘後のリハビリテーションや自然環境保護には充分注意を払う必要がある。

第3は輸送、積出しにおける経済性の問題である。採掘されたボーキサイトは粉砕、水洗等の処理を施した上で貯鉱場まで運搬され、積出されるが、この過程が円滑に行われるかどうかも開発の経済性を大きく左右する要素となる。特に内陸輸送に関わるコストには軽視できないものがあり、いかにこれを経済的に行えるかが開発の1つのポイントとなるほどである。これを言い換えれば、内陸輸送に要する距離の長い鉱山は極めて不利な立場に置かれるのであって、この距離の問題それ自身だけでも、開発の経済性を見分ける1つの目安となるほどの意味を持っている。

第4はインフラ、用水、電力、労働事情等の問題である。特に開発途上国においてはインフラの整備が最大問題となっており、たとえばインドネシアの西カリマンタン、ギニアのAye Koye、シエラレオネのPort Lokoにおいて提唱されているプロジェクトは、インフラ整備が最優先の課題といわれている。しかし膨大な資金と地元問題の解決を要するインフラの整備は、私企業単位でこれを行うことは到底不可能であり、国家単位での解決が要求されるであろう。

第5はスケールファクターである。ボーキサイト鉱山の開発にはスケールファクターが非常に重要な役割を果し、大スケールのそれは小スケールのそれよりも単位当たりコストが明らかに有利となる。反面、大スケール鉱山の開発には莫大な投下資金を要し、リスクも大きい。また市場の確保も困難となるので、これらを調和させた適度なスケールを見出すことが必要である。

ボーキサイト鉱山の開発に当っては、以上の5点を総合検討した上で算出された建設費、そして直接採掘費さらには各国により大幅に異なる税や鉱区使用料等を勘案して考えられるべきであろう。勿論、積出港から消費地への海上輸送コストも、競争力の1つの要件となることはいうまでもない。

2. アルミナ

2. 1 生産コスト

アルミナ製造装置は一種の化学プラントである。A章で述べたように、現在最も一般的に採用されているプロセスはバイヤー法であるが、このプロセスを前提としたアルミナの生産コストは次のように分類して考えることができる。

直接費	原料費	ボーキサイト
		苛性ソーダ
		その他
	燃料費	
	労務費	
	その他コスト（補修費、管理費、等）	
間接費	減価償却費	
	設備金利	

これらのコスト構成要素のうち、主要な項目と考えられるものは、(1)建設費、(2)ボーキサイト入手価格、(3)エネルギーコスト、(4)新規投資決定に影響をおよぼすものとしての、各国の会計制度である。そこで以下に順を追って各項目を検討する。

2. 1. 1 建設費

アルミナ精製工場の建設費を決定する要因はさまざまである。すなわち、生産規模、技術、用地の確保、用地およびその周辺の地勢、環境保全支出、インフラストラクチャの整備状態、建設期間、熟練労働者の有無、労務費、資機材確保の容易性と価格、その他産業諸関係、一般経済事情等が複雑にからみ合っこれを決定する。そこで判断を容易にするために、アルミナ年産量し当りの建設費を求めたのが Table B-11 である。

このデータでは、計画の内容(ボーキサイト開発ないしアルミ製錬とのインテグレーション関係)や、建設費の範囲(インフラの有無)が異なっており、正確な比較を行うことはできないが、大体の水準をうかがうことは可能であろう。特に最近の計画は、いずれも US \$1,000/年産以上であり、アルミナプラントがボーキサイトと違って自然条件に左右されることの比較的少ない近代工場であることを物語っている。この建設費が間接費の内償却、金利を決定する主要素である。

Table B-11 Reported Capital Costs for Alumina Refineries

Company and Location	Capacity (1,000 MT/Y)	Date of Cost Estimate	Cost/tonne annual output (US\$ 1980)
<u>Completed:</u>			
Eurallumina, Sardinia, Italy (1973)	600	1970	375
Aluminio Espanol, San Ciprian, Spain (1980)	800	1979	450
Queensland Alumina, Gladstone, Australia (1973)	2,032	1974	490
<u>Under Construction:</u>			
Alunorte, nr. Belem, Brazil	800	1978	660
Interalumina, Puerto Ordaz, Venezuela	1,000	1980	1,000-1,700
# ALCOA, Wagerup, W.A., Australia	500	1979	780
# Worsley, Worsley, W.A., Australia	1,000	1980	1,000
Auginish, Shannon, Ireland	800	1981	1,250
<u>Planned:</u>			
# Mine/refinery project, Cameroon	1,000	1979	1,130
# Mine/refinery project, Alugui, Boke, Guinea	1,000	1978	760
Sieromco, Pepel Harbour, Sierra Sierra Leone	500	1980	1,000
∅ Jamaica, S. Manchester	500	1980	830
∅ Bharat Aluminium Co., Andhra Pradesh, India	600	1977	1,130
∅ Bharat Aluminium Co., Gujarat, India	300	1980	1,230
∅ Kuala Tanjung, Sumatra, Indonesia	600	1981	1,250
Bauxite Parnasse, Kamiotissa, Greece	600	1978	730
Greek/USSR project, Greece	600	1980	1,250
# Aurukun Project, Cape York, Qld., Australia	1,200	1976	780

Includes costs of mine and infrastructure

∅ Includes cost of mine

Source: AME

2. 1. 2 ポーキサイト入手価格

アルミナの製造コストを決定する1つの要因は、いうまでもなくポーキサイトの入手価格である。ポーキサイトの生産コストは既に見てきたとおりなので、ここではアルミナ工場におけるアルミナ1当りの、ポーキサイト投入価格として Table B-12 を掲載する。

この表からも明らかなように、アルミナ原価に算入されるポーキサイト価格は、海上輸送や荷役費用を全て含み、原単位、言い換えればポーキサイトの品位評価をも加算した総費用でなければならない。このように算出してみると、世界のポーキサイト価格には、アルミナ1当り US\$ 20 から US\$ 80 位までという大きな格差が存在するようである。

Table B-12 Estimates of Costs of Bauxite at Various Destinations for 1979 - 1980

Refinery Location	Bauxite Source	Bauxite price (US\$/tonne)	Bauxite required per tonne alumina	Bauxite cost/tonne alumina (US\$/tonne)	Bauxite cost/lb aluminum (US cents/lb)	
USA, gulf	Jamaica	31.00	2.5	77.50	6.9	
	Guinea	30.50	2.1	64.00	5.7	
	Brazil	32.00	2.2	70.50	6.2	
	Surinam	38.00	2.2	83.50	7.4	
Germany, FR	Australia	28.00	2.3	65.50	5.8	
Japan	Australia	22.00	2.3	50.50	4.5	
France	Guinea	30.00	2.1	63.00	5.6	
Australia:	Domestic:					
	Gladstone	Weipa (incl. freight)	15.00	2.2	33.00	2.9
	Gove	Gove	10.00	2.4	24.00	2.1
Kwinana/ Pinjarra	Darling Ranges	6.00	3.3	19.80	1.8	
Jamaica	Domestic average					
	- before levy	5.00	2.5	12.50	1.1	
	- after levy	29.00	2.5	72.50	6.4	
Greece	Domestic	19.50	2.3	45.00	4.0	

Source: AME

2. 1. 3 エネルギーコスト

アルミナ製造に必要なエネルギーは、主としてアルミナ焼成用の重油、およびスチームと電力として用いられる。これらの総コストはアルミナ1当り US \$ 50 から US \$ 80 位におよぶものといわれ、アルミナ原価の主要な構成要素の1つである(注1)。

アルミナ焼成には製品を汚染しないクリーンな燃料源が必要であり、主として燃料油が使われているが、入手できるところでは天然ガスを用いているプラントもある(オーストラリアの Kwinana)。あるいは石炭が豊富な地域では、石炭ガスが今後経済的となる時期が来るかも知れない。一方、スチームと発電にはどんなエネルギーでも使用できるが、設備の共通性の関係上、焼成用と同じエネルギーが使用されているケースが多いようである。

2. 1. 4 会計制度

ボーキサイトのコスト計算において各国の税や鉱区使用料が重要な比重を占めるのと同様に、アルミナのコストにおいても各国の会計制度は新規の投資決定に重大な影響をおよぼす。特にボーキサイト産出諸国は加工開発からの歳入を得ることに関心を強めており、無視できない要素である。Table B-13 にはこうした会計制度について、現在アルミナ設備の新規計画を持っている国々の例を示しておいた。

以上がアルミナ生産コストの主要項目であるが、ここでこれらを総合したトータルコストの算出例を2つ掲載する。Table B-14 は IBA が Caribbean greenfield refinery について想定したものであり、Table B-15 は AME が、existing Australian refinery について推定したものである。

IBA の想定 (US \$ 277 / t) は AME の推定 (US \$ 109-156 / t) よりも相当高いが、これは主に IBA の算出が (a) ボーキサイト価格に大幅な税-鉱区使用料を上乗せしていること、(b) 建設費の高さを反映して減価償却費が高いこと、(c) 投資利益率を巨大に見込んでいること、等によるものと見られる。このように比較してみると、いずれにせよオーストラリアの既存精製工場が圧倒的な競争力を持っていることが明らかであろう。

2. 2 輸送コスト

アルミナにおいても、アルミナ製造設備とアルミニウム製錬設備が隣接していない場合、

(注1) アルミナ1当り標準的なエネルギー原単位は次のとおり。

燃料油	80-160ℓ	
蒸気	1.5-3t	(燃料油換算120-240ℓ)
電気	200-300kWh	(同 50-75ℓ)
合計燃料油換算	250-470ℓ	

Table B-13 Fiscal Regimes in Countries Planning
New Investment in Alumina Refinery Plants

Australia	Concessionary system, company tax 46%, dividend withholding tax 15%, royalty currently \$1.75 per tonne alumina in Western Australia, accelerated depreciation, some government-financed infrastructure, local equity required.
Brazil	Concessionary system, company tax, royalties at \$1.00 per tonne bauxite, tax holiday, government-financed infrastructure, local equity required.
Venezuela	Concessionary system
Yugoslavia	Collective ownership (direct equity participation)
Ireland	Concessionary system
Spain	Concessionary system
Guinea	Government equity, but bauxite levy in lieu of dividends and income tax
Greece	Concessionary system
India	Government equity and concessionary system
Turkey	Concessionary system

Source: IBA QR, August 1980

Table B-14 Bayer Alumina Production Costs — US\$ per Tonne Alumina
Undiscounted
(Caribbean Greenfield Plant, 1980 Start-up)

	Quantity	Price	Cost	Total cost
Raw Materials				
o Bauxite (incl. levy)	2.3 tonnes	31.77	73.07	26
o Caustic Soda	0.1 tonnes	140.00	14.00	5
o Other			1.00	
			88.07	32
Utilities				
o Fuel - boiler	10 GJ *	3.00	30.00	11
- Calcination	4 GJ	3.00	12.00	4
o Other			2.00	
			44.00	16
Maintenance Supplies	1.5% capital investment		10.20	4
Direct Labor	1.5% man-hrs.	6.0	9.00	3
Supervision	20% direct labor		1.80	-
Labor Overheads	33 1/3% total labor		3.50	-
Rates & Local Taxes	0.5% capital investment		3.40	-
Depreciation	5% capital investment		34.00	12
Return on Capital	10% investment post-tax		68.00	25
Sales & Administration	5% selling price		15.00	5
			145.00	52
			277.07	100

* GJ = Giga Joule (4.184 Joule = 1 cal)

Source: IBA QR, June 1980

Table B-15 Estimates of Production Costs for Australian Refineries, 1980^a) US\$/Tonne Alumina

Item and Unit	Quantity required per ton alumina		Estimated cost per unit		Estimated cost per ton alumina	
	ALCOA	QAL	ALCOA	QAL	ALCOA	QAL
Raw Materials:						
Bauxite (tonnes)	3.3	2.2	2.4	15.00 b)	19.80	33.00 e)
Caustic soda (tonnes)	0.105	0.12	0.105	195.00	20.50	23.40
Other	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1.20	1.20
Energy:						
Fuel oil (tonnes)	0.16	0.14	0.37	170.00	27.20	23.80
Natural gas (1000 m ³)	0.30	-	-	37.50	11.20	-
Coal (tonnes)	-	0.42	-	15.00	-	6.30
Diesel oil (tonnes)	0.001	0.001	0.001	200.00	0.20	0.20
Electricity (kWh)	240	240	240	0.02 - c)	n.a.	4.80
Labor:						
Employees d)	0.00074	0.00055	0.00075	24,300	18.10	13.40
					98.20	106.10
Indirect Costs:						
Depreciation					7.00	7.00
Interest					3.00	10.50
Administration, etc.					1.00	1.20
Total Production Costs					109.20	124.80
						156.20

a) A\$ 1.00 = US\$ 1.14 used in calculation

b) Includes freight from Weipa to Gladstone

c) Company power plants; cost included in other costs

d) Estimated cost per unit based on estimated average wage per employee per year; actual figures for QAL
e) QAL only toll refines bauxite for its shareholder; a bauxite cost is estimated for the purposes of comparison only.

Source: AME

製錬設備までの輸送コストは消費者側にとって無視できない要素である。特に輸出入取引においては、遠距離の海上輸送は消費者の入手価格を引上げる要因の1つとなる。勿論、アルミナのコストレベルは、ボーキサイトに比べて輸送コストを吸収する容量は大きいといえるが、それでも常に経済輸送を心がける必要があることには変わりはない。Table B-16には最近の海上輸送コストの例を示した。

Table B-16 Selected Alumina Shipping Costs

Source of alumina	Destination of alumina	Freight costs US\$/tonne	Date of freight cost	
Australia:				
Kwinana/Bunbury, WA	Geelong, Vict.	11.50 *	May 1981	
	Bahrain	26.00 *	May 1981	
	US West Coast		18.00-19.00	Feb.-Apr. 1980
			20.00-23.00	May 1980
			15.00-19.00	Sept.-Nov. 1980
	US East Coast		22.00	Jan. 1981
		23.00-28.00	Jan.-Mar. 1980	
		23.00	Dec. 1980	
Gladstone, Qld.	Bell Bay, Tasmania	16.00 *	May 1981	
	US West Coast		13.50	Oct. 1980
			22.00	May 1981
	US East Coast	29.50-32.00	Mar.-May 1980	
	Netherlands	44.00	Dec. 1979	
	Norway	42.00	May 1980	
USSR (Black Sea)	54.00	Mar. 1980		
Gove, N.T.	Iceland	31.00	Sept. 1980	
Jamaica:				
Port Kaiser	Louisiana, US	4.00- 4.25	Sept. 1980	
	Virginia, US	6.00	Apr. 1980	
	Spain	29.00	Oct. 1980	
	Bahrain	37.00	Aug. 1980	
Surinam:				
Paranam	Virginia, US	9.00	Apr. 1980	
Japan	Kitimat, BC, Canada	14.00	Dec. 1980	

* Estimate by Sydney-based shipping consultants

Source: AME

2.3 アルミナ設備の新設と検討項目

以上のコスト分析から、アルミナ設備の競争力を左右する要因はほぼ明らかであるが、最後にアルミナ精製工場を新設しようとする際の検討の主眼点をまとめておく。

第1は、ボーキサイトおよびアルミニウムとの垂直統合（インテグレーション）の問題である。ボーキサイト資源に近接して建設し得るアルミナプラントは、輸送費を削減できるという意味においてまず第1の条件を備えている。ボーキサイトの大鉱床を持つオーストラリアやブラジル、インド等はこの意味で有望といえるだろう。しかしアルミナ自身の輸送コスト削減を図るためには、やはりアルミニウム製錬設備とのインテグレーションが理想的であり、その場合、アルミニウム製錬に要する膨大な電力エネルギーの存在の有無が問題となる。豊富な石炭ないし水力を持つオーストラリアやブラジル、またベネズエラ等は、この点でも有望かも知れない。だがこうしたインテグレーションには、巨額の資金需要とリスク負担が発生することを、充分考える必要がある。

第2は、アルミナ製造に要するエネルギーの確保である。このエネルギーはアルミニウム製錬に必要なエネルギーに比べれば勿論圧倒的に少ないが、無視できるものではない。石炭、石油、ないし天然ガスに恵まれたオーストラリア、ベネズエラ等は、この意味では有力であろう。

第3は、投資環境の問題である。アルミナおよびアルミニウム製造設備の運転保全には、層の厚い技術者ないし熟練労働者、また関連諸産業の存在を必要とするが、逆にこうした環境の不在は投資リスクを増大させる。加えて政府の諸策が投資意欲に大きな影響を与えることはいうまでもない。オーストラリアのように政府の一貫した開発施策や課税方針、また事業接収のリスクがほとんどないといった国情の安定性は、投資を奨励する大きな要因である。反対に過度の政府介入や国有化は、投資の魅力を減少させるものであろう。このように、インフラの整備を含めた安定した投資環境を整えることが、何よりも必要な方策だということができる。

3. アルミニウム

A章で述べたように、現在のアルミニウム製錬法は商業的には全てホール・エルー法によっており、この方法はさらにブリベーク方式とゼーダーベルグ方式とに大別される。しかしいずれの方法も、炭素電極（陽極と陰極）を持つ電解炉に原料のアルミナを投入し、フッ化物を成分とする浴の中で電気分解することによりアルミニウムを生産するという基本的工程には変わりはない。したがってアルミニウム生産コストの主要構成要素も同一であり、これを抽出すれば次のとおりである。

直接操業費	電力 アルミナ その他原料費 アノード、フッ化物等 その他直接費 労務費、築炉費 補修費等
間 接 費	設備償却費用 設備資金金利 その他経費 工場経費、運転資金金利等

そこで以下にこの順に従って検討を進めるが、はじめに新規設備の建設費用について概観しておく。

3. 1 建設費

建設費の主要項目として挙げられるのは、次のような費用である。

建設前費用	フィージビリティ・スタディ費 土地取得費 建設工事用インフラストラクチャ費
建 設 費	工場建設費 設備費（輸送費、輸入関税等を含む）、 労務費、据付費、間接費等 インフラストラクチャ費

しかし、これらの建設費はその工場の立地条件なり投資環境によって著しく異なってくるため、一概に論ずることは難しい。

その差異を決定する第1の要因は、いうまでもなく立地条件である。すなわち、工場立地への交通手段の有無、立地の地形、気候等の自然条件の適否が挙げられる。

第2は、インフラストラクチャ、すなわち工場周辺の道路、港湾、鉄道等の設備、用水、排水、電力等の用役設備、さらに住宅、病院、学校あるいは教会等の社会的設備が整っ

ているかどうかである。こうした設備がすでに存在するか、不十分にしか存在しないか、全く存在しないか、またこうした設備の整備を政府等の公共機関が実施するのか、それとも工場側が自らの責任で実施しなければならないのか、等の問題は、建設費を左右する重大な要因となる。ちなみに、開発途上国における工場建設の費用は、質の良い労働力の不足と同時に、このインフラ未整備の由をもって先進国のそれを上回る傾向にある(注1)。第3は労働力の質および数の問題である。質の良い労働力の不足は、建設費のみならず、建設そのものにも大きな圧迫を加える。また労使関係の良好な維持も重要な要素である。

第4には工場周辺地域における公害防止規制問題を上げることができる。現在、先進国においてはその規制が厳しく、公害防止設備に十分な資金支出を必要としているが、同様の事態は次第に開発途上国にもあてはめられてゆくであろう。

こうした投資環境の差異に加えて、建設時期の違いもまた、建設費の高低を左右する要因となっている。とりわけ近年のインフレーションの昂進が、建設費の年々の上昇をもたらしていることは明らかである。

以上のようなバリエーションを念頭に置いて、次に建設費の一般的な水準を考えてみよう。

かつては、「1965年前後に建設された先進工業国のアルミニウム年産1当り建設費は、約\$1,000であるが、現在(1976年)、この地域で計画されている諸計画では、約US\$2,000と算定されている」(注2)という水準が一般的であった。しかしこの水準は年々上昇し、Chase Econometricsのレポート(注3)では米国における新規工場の建設費は以下のように想定されている。

年	建設費 / アルミナ1当り建設費 (アルミニウム1当り US\$)
1979	2,662.85
1980	2,935.79
1981	3,214.41
1982	3,527.55

(注1) この点については次のような見解が一般的である。

a. 「途上国における建設費指数は、先進工業国比1.25倍となる」

(『経団連月報 1976年4月号』p. 53)

b. AME. The consensus is that it (=the share of infrastructure in total capital costs) can account for as much as 40% of a project. (volume I p. 242)

(注2) 『経団連月報 1976年4月号』p. 53

(注3) Chase Econometrics, 1982年2月 AL-p. 102