

わが国の輸入アルミニウム新地金の インベントリ

平成 26 年 3 月

一般社団法人 日本アルミニウム協会

目 次

【まとめ】	ii
1. はじめに	1
2. 調査方法	1
2.1 システム境界	1
2.2 データの出典	1
2.3 データの整理	2
2.4 輸送の扱い	3
2.5 バックグラウンドデータ	4
3. 前提条件および計算方法	5
3.1 データ収集方法および前提条件	5
3.2 インベントリの算出	5
3.2.1 国別のボーキサイト	6
3.2.2 国別のアルミナ	6
3.2.3 陽極／ペースト	6
3.2.3 国別のアルミニウム新地金	6
4. わが国の輸入新地金の LCI	7
5. 考 察	19
5.1 インベントリの内訳	19
5.2 輸送の影響	21
5.3 従来の報告値との違い	22
5.3.1 インベントリ	22
5.3.2 アルミニウム製造時の電解電力電源構成	23
5.3.3 バックグラウンドデータ	23
6. Milca によるデータ作成	24
7. まとめ	24
参考資料	25

【まとめ】

わが国の輸入アルミニウム新地金のインベントリについて、IAI (International Aluminium Institute) による 2010 年のデータをもとに作成した。

輸入アルミニウム新地金 1kg あたりのライフサイクルインベントリ

カテゴリ	物質	単位	数量
資源消費	ボーキサイト	kg	5.61E+00
	石炭	kg	2.50E+00
	石油	kg	6.01E-01
	天然ガス	kg	5.00E-01
	ウラン鉱石	kg	1.37E-06
	一次エネルギー (LCE)	MJ	153
大気圏排出物	CO ₂	kg	1.00E+01
	NO _x	kg	1.57E-02
	SO _x	kg	2.93E-02
	粒子状物質	kg	4.93E-03
	PFC	kg	9.56E-05
	地球温暖化係数 (GWP)	kg-CO ₂ eq	11.1
陸域排出物	赤泥	kg	2.69E+00
	固形廃棄物	kg	5.31E-02

エネルギー、地球温暖化に関わるもののみ表示

各国のアルミニウム地金 1kg あたりの LCE および GWP

製造国		ZAF	IND	IDN	TJK	BAH	UAE
輸入比率	%	10.2	0.8	7.4	0.6	1.4	6.8
LCE	MJ	178	194	114	123	184	184
GWP	kg-CO ₂ eq	17.1	18.8	4.9	5.40	12.1	12.1

製造国		CAN	ARG	BRA	RUS	AUS	NZL
輸入比率	%	4.4	3.5	9.8	12.7	31.3	10.0
LCE	MJ	116	142	111	143	171	110
GWP	kg-CO ₂ eq	5.2	7.7	4.8	9.1	16.1	4.7

ZAF 南アフリカ IND インド IDN インドネシア TJK タジキスタン BAH バーレーン
 UAE アラブ首長国連邦 CAN カナダ ARG アルゼンチン BRA ブラジル RUS ロシア
 AUS オーストラリア NZL ニュージーランド

輸入アルミニウム新地金の LCI のこれまでの報告値との比較

		2000 年	2005 年	2010 年
LCE	MJ	141	146	153
LCCO ₂	kg	9.2	9.0	10.0
GWP	kg-CO ₂ eq	-	10.7	11.1
電解電源構成 (%)	水力	70	56	47
	石炭	25	37	43
	ガス	5	7	10

電源構成 石油、原子力は 0.2%以下で省略

1. はじめに

アルミニウム協会では、1998年にアルミニウム新地金のインベントリをEAA（European aluminium Association）のインベントリ（原単位）および新地金輸入実績（1996年度）に基づいて取り纏めた。その後、2003年に、IAI（International Aluminium Institute）により公表された世界の平均的なインベントリ（2000年）をベースにわが国の輸入新地金のインベントリとして取り纏め、さらに2007年には、IAIによる2005年の実績値を用いてインベントリを見直した。2013年にIAIが2010年の実績をもとにインベントリを公表したのを機会に、わが国の輸入アルミニウム新地金のインベントリを見直した。

2. 調査方法

2.1 システム境界

わが国の輸入新地金について、図1に示すようにボーキサイト採掘からアルミニウム製造および東京港に輸入されるまでをシステム境界とした。

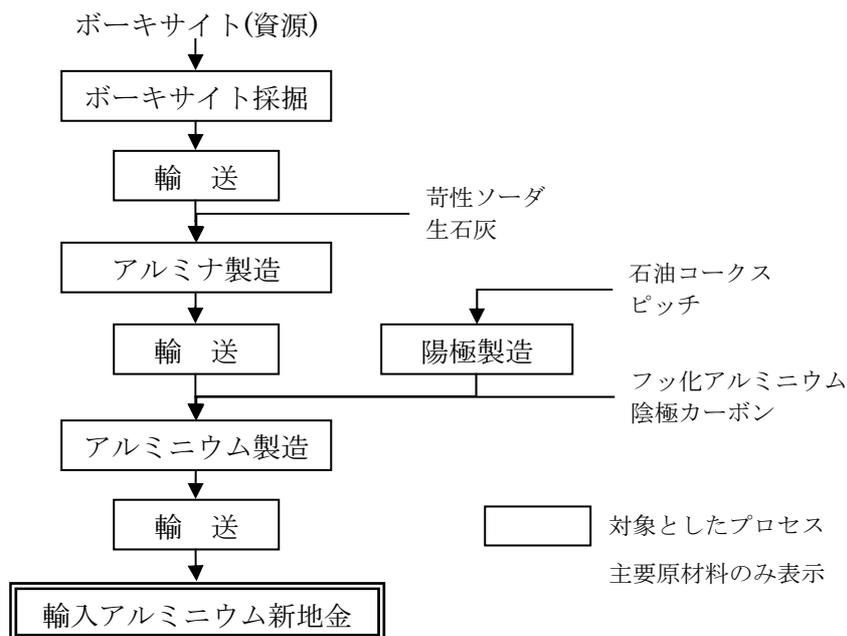


図1 輸入アルミニウム新地金のシステム境界

2.2 データの出典

IAIが取り纏めたインベントリ（参考資料1）をもとに、表1に示す各種統計データを用いた。インベントリが2010年実績のため、各種統計データは2010年のデータを基本とした。このほか、必要に応じて各国、製錬所の現状等をウェブサイトにより調査し、参考にした。

表 1 調査に使用したデータの出典

略記	出典	内容
IAI-LCI 2013 (2013)	IAI : "2010 Life Cycle Inventory Data for the Worldwide Primary Aluminium Industry", http://www.world-aluminium.org/publications	<ul style="list-style-type: none"> ボーキサイト採掘、アルミナ製造、陽極製造、アルミニウム製錬の LCI データ 2010 年度世界平均
IAI 統計 2010	IAI Statistics : http://www.world-aluminium.org/statistics	<ul style="list-style-type: none"> 地域別アルミナ製造量、製造エネルギー原単位 地域別アルミニウム製造量、製錬電力原単位 エミッション (CF₄, C₂F₆, PFC)
JAA 資料-1 通関統計 2010	アルミニウム協会資料 「日本の新地金輸入比率(2013.12.24)」 財務省通関統計 2010	<ul style="list-style-type: none"> 新地金の国別輸入量
JAA 資料-2 (2013)	アルミニウム協会資料 「2.4,2.5 アルミナ、ボーキサイト輸入量」 World Metal Statistics Global Trade Atlas	<ul style="list-style-type: none"> 調査対象国のボーキサイトの輸入量、アルミナの生産量・輸入量
国連統計 2010	UN Commodity Trade Statistics Database http://comtrade.un.org/db/	<ul style="list-style-type: none"> 輸出入統計(ボーキサイト、アルミナ)
JAA 資料-3 (2013)	アルミニウム製錬所の各種データ(2010)	<ul style="list-style-type: none"> 製錬所別設備能力、電源構成、電極方式
MiLCA	(一社)産業環境管理協会 LCA ソフトウェア MiLCA	<ul style="list-style-type: none"> LCA ソフトウェア、付属データベース (IDEA)

2.3 データの整理

本調査においては、これまでのインベントリ作成に使用した開発地金、長期契約地金、スポット購入地金等の輸入実態に基づいたデータ（丸紅調査資料：「日本の新地金輸入状況」）が得られなかったことから、通関統計をもとに輸入先の国別の平均値を使用した。

インベントリの作成に先立ち、[IAI-LCI 2013] のデータについて分析し、アルミニウム地金の製造エネルギーのうち、アルミナ製造が約 27%、電解製錬のエネルギーが約 70% を占めることから、以下の方針でデータを取り纏めることとした（参考資料 2）。

- アルミナ製造および電解製錬については、[IAI 統計 2010]（参考資料 3）による地域別^{注1}エネルギーおよび電力原単位を適用する。ただし、アルミニウム電解製錬の電源構成については、各国ごとに [JAA 資料-3] による製錬所の電源構成を設備能力により加重平均する。
- ボーキサイト採掘および電極製造については、[IAI-LCI 2013] のデータをそのま

注1 IAI の統計では、Africa, Asia (ex.China), China, GCC, North America, South America, Europe, Oceania の 8 地域に分けている。

ま適用する。

- ・ [IAI-LCI 2013]にある鋳造（Casting）は対象範囲外とする。
- ・ 輸送については、別途、集計する。

インベントリは、ボーキサイト、アルミナ、アルミニウムについて、国別に算出した。

わが国に輸入されるアルミニウム新地金については、アルミニウム新地金のほかに、一部の製錬所において成分調整された合金地金がある。[通関統計 2010]では、この一次合金地金が二次合金地金とともに合金地金として計上されているため、これを分離する必要がある。アルミニウム協会による調査の結果、インドネシア、バーレーン、アラブ首長国連邦、カナダ、アメリカ合衆国、アルゼンチン、オーストラリアおよびニュージーランドの8ヶ国については一次合金地金を含むことがわかった。そこで、これらの国については、[通関統計 2010]の合金地金を新地金扱いとし、新地金の輸入比率が0.5%以上である12ヶ国を対象国とした。これによる新地金輸入量に対する対象国の割合は98.9%である。

アルミニウム製造国におけるアルミナの調達、アルミナ製造国におけるボーキサイトの調達は、[JAA資料-2]および[国連統計 2010]をもとに算出した。当該国でのそれぞれの生産量が必要となるが、不明の場合はアルミナあるいはボーキサイト必要量から推算した。いずれの場合も、調達比率が1%以上の国を対象とした。

炭素電極および陽極ペーストについては、日本等の先進国から輸入しているケースがあるが、実態を把握することが困難であること、その製造エネルギーの全体に対する割合が2%程度（電力はその1/10）とその影響が小さいことから、当該国で製造されるものと仮定した。

LCI計算は、産業環境管理協会LCAソフトウェアMiLCAにより行う。MiLCAでは国別の計算が可能となっているが、各国のデータが整備されておらず、電力以外のエネルギー、副資材等は標準プロセスで計算される。ボーキサイトおよびアルミナ製造時の電力については、各国の系統電力を用いて計算した。

2.4 輸送の扱い

本調査では、主原料であるボーキサイト、アルミナおよびアルミニウムについてのみ輸送を考慮した。

ボーキサイト鉱山からアルミナ製造所または積出港までの輸送、アルミナの製錬所または積出港までの輸送など、陸上輸送について個別に調査することは難しく、一律に以下のように設定した。

<ボーキサイトの国内輸送>

- ・ 同国内でアルミナ製造 → 100 km（鉱山～製造所）
- ・ 海外に輸出 → 100 km（鉱山～積出港）
- ・ 輸入国での輸送 → 0 km（製造所に直送）

<アルミナの国内輸送>

- ・ 同国内でアルミニウム製錬 → 0 km（製造所～製錬所）
- ・ 海外に輸出 → 50 km（製造所～積出港）

- ・ 輸入国での輸送 → 0 km (製錬所に直送)

<アルミニウムの国内輸送>

- ・ 製錬所=積出港として国内輸送は考慮せず

国内輸送は鉄道輸送(貨物)とし、専用車両となるため片荷(往復)輸送とした。

一方、貿易に伴う輸送は主として海上輸送であり、MiLCA ソフトウェアの国間(拠点間)距離を適用した。海域に面していない内陸国については、最寄りの国の積出港まで鉄道輸送、積出港から海上輸送とした。また、ロシア、米国など、海港が2か所ある場合には、距離の近い方とした。

輸送形態について、ボーキサイトおよびアルミナは専用船が使われるために片荷(往復)輸送とした。アルミニウム新地金の日本(東京港)への輸送については、バルク運搬船による混載(片道)輸送とした。

2.5 バックグラウンドデータ

ボーキサイト採掘、アルミナ製造、陽極/ペースト製造およびアルミニウム製錬については[IAI-LCI 2013]によるプロセスデータを用いるが、そこで使用される副資材、電力、燃料や輸送などについてはMiLCAに搭載のIDEAデータベースを用いて資源採取まで遡及した。

使用するバックグラウンドデータを表2に示す。

表2 使用したバックグラウンドデータ (MiLCAに搭載のIDEAを使用)

区 分		適用項目
電力	電解製錬用電力	別途調査した製錬所電源構成(国別平均)をもとに燃料種別電力を適用
	その他の電力	系統電力の地域別データ。一部、別途調査
燃料		各種燃料の標準データ
陸上輸送	ボーキサイト、アルミナ	鉄道輸送(貨物)
海上輸送	ボーキサイト、アルミナ アルミニウム	その他バルク運搬船輸送(<8万DWT)
副資材	生石灰	生石灰(標準データ)
	か性ソーダ	水酸化ナトリウム(標準データ)
	焼成コークス	オイルコークス
	ピッチ	ピッチ
	陰極炭素	その他の炭素質電極
	フッ化アルミニウム	フッ化アルミニウム
	耐火材	その他の耐火物(人造耐火物を除く)
	鋼材	普通鋼(最終鋼材)

3. 前提条件および計算方法

3.1 データ収集範囲および前提条件

システム境界は図 1 に示したとおりであるが、各プロセスのデータ収集範囲および前提条件を纏めて表 3 に示す。

表 3 各プロセスのデータ収集範囲および前提条件

プロセス	データ収集範囲	前提条件
ボーキサイト採掘	・ ボーキサイト採掘(選鉱)	ボーキサイト鉱山を特定せず 国別とする
ボーキサイト輸送	・ 陸上輸送：鉱山～積出港、取卸港 ～アルミナ製造所 ・ 海上輸送：積出港～取卸港	陸上輸送は 100 km、鉄道輸送 海上輸送は国間貿易をとする
アルミナ製造	・ アルミナ製造	地域別エネルギー原単位適用
アルミナ輸送	・ 陸上輸送：アルミナ製造所～積出 港、取卸港～アルミニウム製錬所 ・ 海上輸送：積出港～取卸港	陸上輸送は 50 km、製錬所へは 0 km 海上輸送は国間貿易とする
陽極製造	・ プリバーク (PB) 電極製造 ・ ゼーダベルグ (SB) 電極用ペー スト製造	自国調達とする。輸送は影響小 さく考慮せず
アルミニウム製錬	・ PB 電解製錬 ・ SB 電解製錬	地域別電力原単位を適用 PB/SB 比率を考慮
新地金輸送	・ 積出港～日本(東京港)	バルク運搬船の片道輸送

3.2 インベントリの算出

アルミニウム新地金のインベントリは、[IAI-LCI 2013] による図 2 の原材料投入量について各プロセスおよび輸送のインベントリを積み上げることにより算出する。そのために調達先となる国別のボーキサイト、アルミナおよびアルミニウムのインベントリを算出する必要がある。

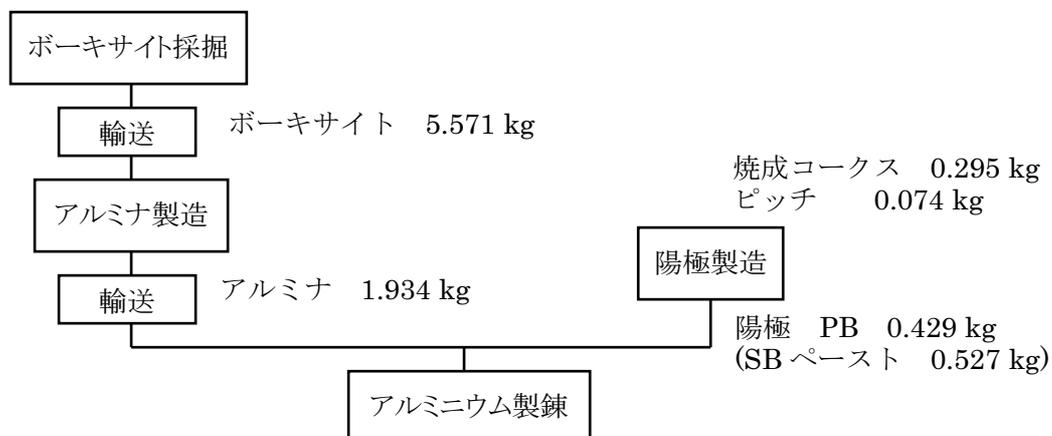


図 2 アルミニウム 1,000kg あたりの原材料投入量 (IAI-LCA2013)

3.2.1 国別のボーキサイト

ボーキサイト採掘のインベントリには [IAI-LCI 2013] のインベントリをそのまま適用し、電力のみ各国の系統電力を用いた。

アルミナ製造所または積出港までの輸送は一定とし、ボーキサイトのインベントリに含めた。

3.2.2 国別のアルミナ

アルミナ製造のインベントリには [IAI-LCI 2013] のインベントリを使用するが、エネルギーについて [IAI 統計 2010] の地域別エネルギー原単位を適用した。電力は各国の系統電力を用いた。

ボーキサイトの輸送については、[JAA 資料-2] および [国連統計 2010] より調達先国を特定し、MiLCA の地域間輸送（海上輸送および一部の陸上輸送）により算出した。自国調達の場合の輸送は考慮していない。

3.2.3 陽極／ペースト

プリベーク電極およびゼーダベルグ用ペースト製造のインベントリには [IAI-LCI 2013] のインベントリを使用した。電力は MiLCA の系統電力（標準プロセス）を適用し、輸送の影響は小さく無視した。

3.2.4 国別のアルミニウム新地金

アルミニウム製造のインベントリには [IAI-LCI 2013] のプリベーク電解およびゼーダベルグ電解のインベントリを用い、それぞれの国のプリベーク電極／ゼーダベルグ電解の比率に応じて算出した。

電力については、[IAI 統計 2010] の地域別電力原単位を適用し、製錬所の電源構成（[JAA 資料-3]）に応じて燃料種別電力を用いて算出した。ここで火力発電については、発電効率を考慮しなければならないが、一般的な 9.0 MJ/kWh を用いて MJ に換算した。アルミナの輸送については、[JAA 資料-2] および [国連統計 2010] より調達先国を特定し、MiLCA の地域間輸送（海上輸送および一部の陸上輸送）を含めた。自国調達の場合の輸送は考慮していない。

4. わが国の輸入新地金の LCI

アルミニウム地金のインベントリ作成に当たっては、主原料であるボーキサイトおよびアルミナの調達先を特定する必要がある。ボーキサイト鉱山およびアルミナ製造所を特定することが難しいため、ここでは [JAA 資料-2] および [国連統計 2010] により、国別の扱いとした。

わが国の 2010 年におけるアルミニウム新地金の輸入量およびアルミナの調達国を表 4 に示す。輸入量は財務省通関統計 (JAA 資料-1) による。アルミナの調達については、アルミニウム生産量から必要なアルミナ量に対して、[JAA 資料-2]、[国連統計 2010] 等の輸出入統計をもとに推定した。前回対象となっていたモザンビーク (Mozal)、ベネズエラ (Alcasa、Venalum) は輸入量が少なく、含まれていない。

表 4 アルミニウム輸入量およびアルミナの調達

輸入先 (国)		輸入量 (kt)	比率 (%)	アルミナ調達先	
国名	主な供給者			調達先国	比率(%)
South Africa	Bayside Hillside	207	10.2	Australia	100
India	Balco Hindalco Nalco VAL	16	0.8	India Australia China	89 10 2
Indonesia	Inalum	150*	7.4	Australia China	98 2
Tajikistan	Tajikaky	12	0.6	Ukraine	100
Bahrain	Alba	28*	1.4	Australia	100
UAE	Dubal EMAL	139*	6.8	Australia	100
Canada	Rio Tinto Alcan Alouette ABI Lauralco Baie Comeau	90*	4.4	Canada Brazil USA Australia Jamaica Suriname Venezuela	25 39 13 8 7 5 4
Argentina	Aluar	72*	3.5	Brazil Australia	58 42
Brazil	Albras Almar CBA Alcominas	201	9.8	Brazil	100

Russia	RUS AL	258	12.7	Russia Ukraine Australia Kazakhstan Guinea Ireland Finland Jamaica	41 18 17 9 7 3 3 2
Australia	Comalco Kurri Kurri Alcoa Aus Tomago	638*	31.3	Australia	100
New Zealand	NZAS	203*	10.0	Australia	100

* 通関統計の合金地金（新地金扱い）を含む

アルミナ製造国のボーキサイト調達については、同様に[JAA 資料-2]、[国連統計 2010]等から推定したが、自国におけるボーキサイト産出量を考慮する必要があり、各種資料や情報も参考にした。アルミナ製造国のボーキサイト調達先を表 5 に示す。

表 5 アルミナ製造国のボーキサイトの調達先

地域*	アルミナ製造		ボーキサイト調達		
	製造国**	製造量(kt)	調達先国	産出/輸入量(kt)***	調達比率(%)
Africa & Asia (ex China)	Guinea	597	Guinea	17,695	100
	India	3,000	India	13,000	100
	Kazakhstan	1,639	Kazakhstan	5,495	100
China	China	29,065	China	53,376	64
			Indonesia	23,213	28
			Australia	6,587	8
			India	513	1
North America	Canada	1,417	Canada	706	18
			Brazil	1,678	42
			Guinea	1,574	39
			Italy	61	2
	USA	3,950	USA	4,054	36
			Brazil	2,375	21
			Jamaica	2,253	20
			Guinea	2,222	20
			Guyana	198	2
			Greece	104	1
South America	Brazil	9,433	Brazil	33,695	100
	Jamaica	1,591	Jamaica	10,189	100
	Suriname	1,485	Suriname	3,236	100
	Venezuela	1,244	Venezuela	2,455	100

Europe	Finland		Finland	0	0
			Italy	7	71
			China	3	29
	Ireland	1,864	Ireland	1,259	23
			Guinea	3,216	60
			Brazil	887	17
	Russia	2,857	Russia	5,888	100
	Ukraine	1,534	Ukraine	0	0
Oceania			Guinea	3,173	71
			Guyana	798	18
			Brazil	471	11
	Australia	19,991	Australia	69,997	100

* IAI のエネルギー原単位に適用されている地域区分

** わが国のアルミニウム地金に関わるアルミナ輸出(製造)国のみ記載

*** 輸入量 ([JAA 資料-2]、[国連統計 2010] による)

イタリックはボーキサイト産出量 (<http://www.teikokushoin.co.jp/statistics/world> による)

アルミナ製造エネルギーに関しては、表 6 に示す [IAI 統計 2010] の地域別アルミナ製造の消費エネルギーと生産量から算出した原単位を用いた。このうちの電力について、IEA 統計を基にした MiLCA (IDEA) の国別の系統電力を適用した。その他エネルギー (Others) については、燃料種不明のため、エネルギー (MJ) のみ計上した。

表 6 地域別アルミナ製造エネルギー原単位 (2010 年)

	Africa & Asia (ex China)	China	North America	South America	Europe	Oceania
Energy consumption (MJ/t)	15,907	18,581	12,775	9,814	14,081	10,041
- Coal (kg/t)	272.7	577.6	0.0	81.5	0.2	57.9
- Oil (kg/t)	150.8	19.8	0.0	133.3	67.4	32.7
- Gas (m ³ /t)	8.3	61.6	227.0	49.3	172.3	159.2
- Electricity (MJ/t)	221.3	1,741.0	612.7	393.6	1,077.4	220.5
- Others (MJ/t)	2,314	186	3,241	0.0	3,657	1,126

注) [IAI 統計 2010] ではエネルギー消費量 (TJ) および生産量 (t) で示されており、調査要領の地域別単位変換係数 (kJ/kg, kJ/m³) をもとに換算した。電力については、各国の系統電力を適用するため MJ 表示とした

一方、アルミニウム製造については、[IAI 統計 2010] では表 7 に示す地域別電力原単位 (電解電力原単位に対応) を発表している。アルミニウム製錬においては、電力に使用する燃料種の影響が大きい。そこで、より詳細に評価するために、電解電力原単位には表 7 の地域別電力原単位を適用し、電源構成には [JAA 資料-3] による製錬所の電源構成を製錬設備能力に対して加重平均した表 8 に示す国別の平均電源構成を適用した。表 8 には、2010 年の輸入量に基づいて加重平均した輸入地金の電源構成を併せて示した。

表7 地域別アルミニウム製造電力原単位 (kWh/t) (2010年)

	Africa	Asia (ex China)	China	North America	South America	Europe	Oceania
Power consumption	14,591	15,441	13,979	15,111	15,717	15,919	15,009
- Hydro	6,371	2,597	1,398	11,341	13,187	12,187	3,379
- Coal	8,219	4,406	12,581	3,625	0	1,736	11,626
- Oil	0	74	0	2	0	30	4
- Natural gas	0	8,363	0	71	2,530	628	0
- Nuclear	0	0	0	72	0	1,338	0

注) [IAI 統計 2010] では電力消費量 (GWh) および生産量 (t) で示されており、これを原単位化した。電力には、電解用電力 (直流変換を含む)、出湯等までの補助電力 (公害防止設備、工場内電力等) を含む。ただし、この地域別電源構成は使用しない。

表8 輸入地金の電解製錬時の国別電源構成

輸入対象国	電力原単位 (kWh/t)	電源構成(%)				電極方式(%)		輸入量	
		Hydro	Gas	Coal	Nuclear	PB	SB	(kt)	比率 (%)
South Africa	14,591			100		100		207	10.3
India	15,441			100		71	29	16	0.8
Indonesia	15,441	100				100		150	7.4
Tajikistan	15,441	100				100		12	0.6
Bahrain	15,441		100			100		28	1.4
UAE	15,441		100			100		139	6.9
Canada	15,111	100				89	11	90	4.5
Argentina	15,717	59	41			100		72	3.6
Brazil	15,717	100				63	37	201	10.0
Russia	15,919	74.7		24.6	0.7	21	79	258	12.8
Australia	15,009	9		91		100		638	31.7
New Zealand	15,009	100				100		203	10.1
Total(対象)		47.1	9.8	43.0	0.1			2,015	100.0
Total(全輸入)								2,038	

これらのデータをもとに算出したボーキサイト産出国のボーキサイト 1kg あたりのライフサイクルインベントリを表 9 に示す。ボーキサイトの採掘のほかに、アルミナ製造所あるいは輸出のための積出港までの輸送を含んでいる。なお、ボーキサイト産出国はわが国の輸入アルミニウム地金に関わる国のみを示した。ボーキサイトの採掘については、地域別のデータがなく同じインベントリを使用しているために国別の系統電力の差のみが反映されているが、ライフサイクルエネルギー（LCE）、地球温暖化係数（GWP）ともに極めて小さく影響はほとんどない。

アルミナ製造国におけるアルミナ 1kg あたりのライフサイクルインベントリを表 10 に示す。ボーキサイトの輸入に伴う海上輸送を含んでいる。なお、アルミナ製造国はわが国の輸入アルミニウム地金に関わる国のみを示した。中国の GWP が突出しているが、アルミナ製造の燃料原単位が大きく、しかも石炭によっているためである。

アルミニウム製造国におけるアルミニウム地金 1kg あたりのライフサイクルインベントリを表 11 に示す。アルミナの輸入に伴う海上輸送を含んでいる。なお、アルミニウム製造国は 2010 年にわが国が輸入している国のみを対象とした。また、GWP の内訳を図 3 に示す。参考までに、図には輸入比率に基づいたわが国のアルミニウム地金についても示した。

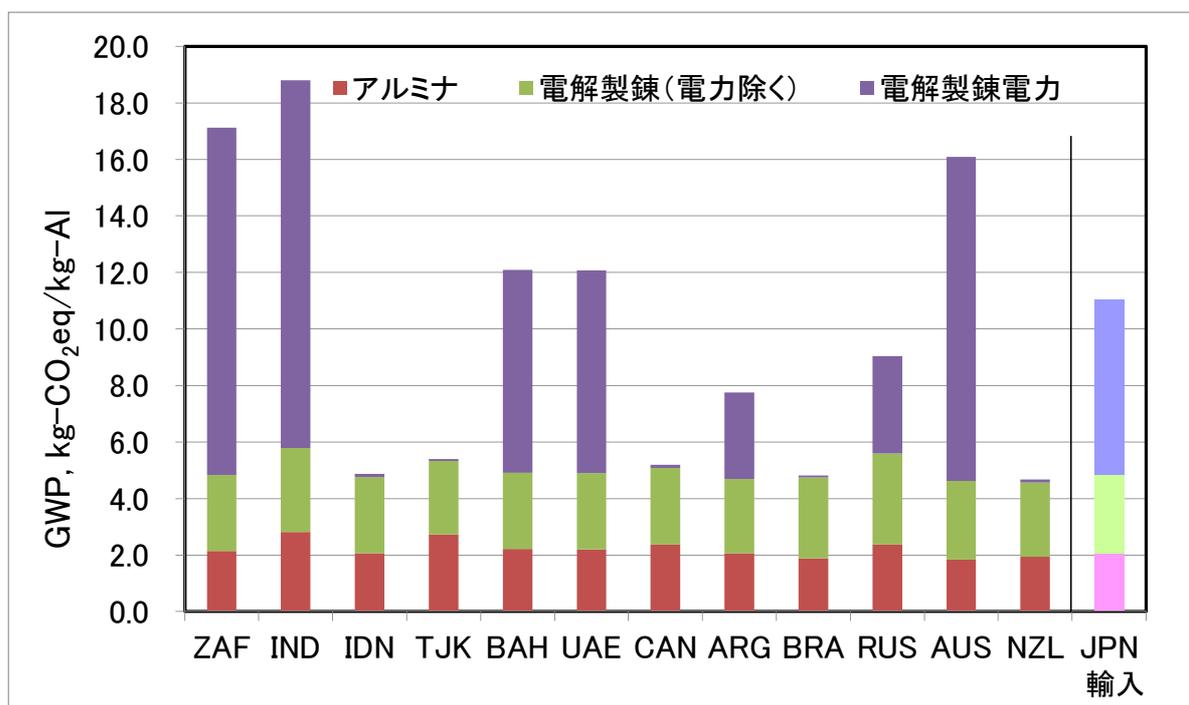


図 3 各国のアルミニウム地金の GWP (地球温暖化係数) 注)

注) ZAF 南アフリカ IND インド IDN インドネシア TJK タジキスタン BAH バーレーン
 UAE アラブ首長国連邦 CAN カナダ ARG アルゼンチン BRA ブラジル RUS ロシア
 AUS オーストラリア NZL ニュージーランド JPN 日本 (輸入に伴う輸送は含まない)

表9 各国のボーキサイト1kgあたりのライフサイクルインベントリ

	単位	Africa		Asia (ex.China)			China	North America		South America	
		Guinea	India	Indonesia	Kazakhstan	China	Canada	USA	Brazil	Gyana	
ボーキサイト	kg	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	
石炭 (資源)	kg	1.54E-04	6.45E-04	3.47E-04	8.31E-04	5.42E-04	2.22E-04	3.57E-04	1.68E-04	1.53E-04	
原油 (資源)	kg	9.62E-04	9.43E-04	9.88E-04	9.42E-04	9.31E-04	9.30E-04	9.31E-04	9.33E-04	1.00E-03	
天然ガス(資源)	kg	2.24E-04	2.42E-04	2.48E-04	2.63E-04	2.25E-04	2.37E-04	2.57E-04	2.31E-04	2.24E-04	
U(資源)	kg	4.26E-09	5.68E-09	4.27E-09	4.28E-09	5.17E-09	1.15E-08	1.27E-08	5.79E-09	4.26E-09	
用水	kg	4.98E-01	4.98E-01	4.98E-01	4.98E-01	4.98E-01	4.98E-01	4.98E-01	4.98E-01	4.98E-01	
エネルギー消費	MJ	6.35E-02	7.60E-02	8.87E-02	8.07E-02	7.11E-02	6.71E-02	7.07E-02	6.53E-02	6.31E-02	
化石エネルギー	MJ	5.92E-02	7.20E-02	6.66E-02	7.78E-02	6.78E-02	6.01E-02	6.48E-02	5.86E-02	6.09E-02	
CO ₂	kg	3.98E-03	5.13E-03	4.59E-03	5.62E-03	4.80E-03	4.07E-03	4.45E-03	3.95E-03	4.12E-03	
NOx	kg	1.80E-06	2.41E-06	2.47E-06	2.82E-06	2.04E-06	1.72E-06	2.09E-06	1.66E-06	2.14E-06	
SOx	kg	2.19E-06	1.86E-06	2.99E-06	1.92E-06	1.50E-06	1.30E-06	1.40E-06	1.39E-06	3.38E-06	
粒子状物質	kg	1.70E-04	1.70E-04	1.70E-04	1.70E-04	1.70E-04	1.70E-04	1.70E-04	1.70E-04	1.70E-04	
PFC	kg	1.13E-13	1.13E-13	1.13E-13	1.13E-13	1.13E-13	1.13E-13	1.13E-13	1.13E-13	1.13E-13	
GWP	CO ₂ eq	4.11E-03	5.28E-03	4.74E-03	5.78E-03	4.19E-03	4.19E-03	4.58E-03	4.07E-03	4.26E-03	
固形廃棄物	kg	6.57E-05	6.52E-05	6.44E-05	6.45E-05	6.49E-05	6.89E-05	6.74E-05	6.78E-05	6.40E-05	

注) 鉱山～アルミナ製造所/積出港の国内輸送 (100km) を含む。

(つづき)

	単位	South America				Europe					Oceania
		Jamaica	Suriname	Venezuela	Greece	Ireland	Italy	Russia	Ukraine	Australia	
ボーキサイト	kg	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
石炭 (資源)	kg	1.53E-04	1.54E-04	1.54E-04	3.98E-04	2.60E-04	2.20E-04	2.97E-04	3.50E-04	2.97E-04	5.22E-04
原油 (資源)	kg	1.20E-03	9.60E-04	9.70E-04	9.65E-04	9.52E-04	9.57E-04	9.39E-04	9.30E-04	9.39E-04	9.29E-04
天然ガス(資源)	kg	2.27E-04	2.24E-04	2.63E-04	2.51E-04	2.93E-04	2.97E-04	3.73E-04	2.71E-04	3.73E-04	2.49E-04
U(資源)	kg	4.26E-09	4.26E-09	4.26E-09	4.27E-09	4.26E-09	4.26E-09	1.29E-08	2.90E-08	1.29E-08	4.27E-09
用水	kg	4.98E-01	4.98E-01	4.98E-01	4.98E-01	4.98E-01	4.98E-01	4.98E-01	4.98E-01	4.98E-01	4.98E-01
エネルギー消費	MJ	7.23E-02	6.35E-02	6.77E-02	7.10E-02	6.98E-02	7.48E-02	7.56E-02	7.45E-02	7.56E-02	7.13E-02
化石エネルギー	MJ	7.00E-02	5.91E-02	6.17E-02	6.71E-02	6.52E-02	6.46E-02	6.99E-02	6.54E-02	6.99E-02	6.85E-02
CO ₂	kg	4.76E-03	3.98E-03	4.12E-03	4.65E-03	4.40E-03	4.33E-03	4.66E-03	4.47E-03	4.66E-03	4.82E-03
NOx	kg	3.71E-06	1.79E-06	2.24E-06	2.39E-06	2.52E-06	2.54E-06	3.17E-06	2.15E-06	3.17E-06	2.23E-06
SOx	kg	8.87E-06	2.16E-06	2.41E-06	2.40E-06	1.97E-06	2.11E-06	1.55E-06	1.30E-06	1.55E-06	1.45E-06
粒子状物質	kg	1.70E-04	1.70E-04	1.70E-04	1.70E-04	1.70E-04	1.70E-04	1.70E-04	1.70E-04	1.70E-04	1.70E-04
PFC	kg	1.13E-13	1.13E-13	1.13E-13	1.13E-13	1.13E-13	1.13E-13	1.13E-13	1.13E-13	1.13E-13	1.13E-13
GWP	CO ₂ eq	4.95E-03	4.11E-03	4.25E-03	4.79E-03	4.54E-03	4.47E-03	4.80E-03	4.60E-03	4.80E-03	4.96E-03
固形廃棄物	kg	6.41E-05	6.57E-05	6.71E-05	6.44E-05	6.41E-05	6.45E-05	6.80E-05	7.36E-05	6.80E-05	6.42E-05

注) 鉱山～アルミナ製造所/積出港の国内輸送 (100km) を含む。

表 10 各国のアルミナ 1 kg あたりのライフサイクルインベントリ

	単位	Africa		Asia		China	North America		South America	
		Guinea	India	Kazakhstan	China	Canada	USA	Brazil	Jamaica	
ボーキサイト	kg	2.88E+00	2.88E+00	2.88E+00	2.88E+00	2.88E+00	2.88E+00	2.88E+00	2.88E+00	2.88E+00
石炭 (資源)	kg	3.03E-01	3.39E-01	3.53E-01	6.97E-01	2.43E-02	3.87E-02	1.02E-01	1.01E-01	1.01E-01
原油 (資源)	kg	1.80E-01	1.82E-01	1.82E-01	7.23E-02	1.91E-01	7.95E-02	1.60E-01	1.83E-01	1.83E-01
天然ガス(資源)	kg	1.58E-02	1.21E-02	1.39E-02	4.89E-02	1.74E-01	1.75E-01	4.14E-02	4.10E-02	4.10E-02
U(資源)	kg	1.27E-07	1.33E-07	3.63E-07	2.10E-07	8.10E-07	9.43E-07	1.57E-07	1.84E-07	1.84E-07
用水	kg	7.56E+00	7.56E+00	7.56E+00	7.49E+00	7.58E+00	7.49E+00	7.55E+00	7.56E+00	7.56E+00
エネルギー消費	MJ	1.92E+01	2.00E+01	2.04E+01	2.43E+01	2.25E+01	1.77E+01	1.25E+01	1.31E+01	1.31E+01
化石エネルギー	MJ	1.67E+01	1.75E+01	1.80E+01	2.38E+01	1.87E+01	1.41E+01	1.21E+01	1.30E+01	1.30E+01
CO ₂	kg	1.37E+00	1.45E+00	1.49E+00	2.03E+00	1.19E+00	8.81E-01	9.14E-01	9.84E-01	9.84E-01
NOx	kg	1.62E-03	1.90E-03	1.81E-03	4.67E-03	1.58E-02	6.29E-03	1.41E-03	1.52E-03	1.52E-03
SOx	kg	3.84E-03	4.05E-03	3.93E-03	5.74E-03	1.41E-02	6.39E-03	3.46E-03	4.06E-03	4.06E-03
粒子状物質	kg	1.28E-03	1.28E-03	1.28E-03	1.42E-03	1.27E-03	1.13E-03	1.17E-03	1.18E-03	1.18E-03
PFC	kg	9.23E-11	9.44E-11	9.13E-11	9.61E-11	1.02E-10	9.92E-11	1.01E-10	8.98E-11	8.98E-11
GWP	CO ₂ eq	1.40E+00	1.48E+00	1.52E+00	2.10E+00	1.39E+00	1.07E+00	9.70E-01	1.05E+00	1.05E+00
赤泥	kg	1.37E+00	1.37E+00	1.37E+00	1.37E+00	1.37E+00	1.37E+00	1.37E+00	1.37E+00	1.37E+00
固形廃棄物	kg	8.19E-03	8.19E-03	8.14E-03	8.28E-03	8.62E-03	8.46E-03	8.43E-03	8.09E-03	8.09E-03

注) ボーキサイトを輸入する場合、積出港からの国間輸送を含む。

(つづき)

	単位	South America		Europe				Oceania	
		Suriname	Venezuela	Finland	Ireland	Russia	Ukraine	Australia	
ボーキサイト	kg	2.88E+00	2.88E+00	2.88E+00	2.88E+00	2.88E+00	2.88E+00	2.88E+00	
石炭 (資源)	kg	1.05E-01	1.01E-01	3.06E-02	2.96E-02	3.42E-02	3.94E-02	1.04E-01	
原油 (資源)	kg	1.61E-01	1.62E-01	2.34E-01	1.59E-01	9.16E-02	2.09E-01	5.43E-02	
天然ガス(資源)	kg	4.57E-02	4.42E-02	1.37E-01	1.40E-01	1.49E-01	1.39E-01	1.22E-01	
U(資源)	kg	1.21E-07	1.87E-08	1.38E-06	3.51E-08	1.10E-06	2.88E-06	1.96E-08	
用水	kg	7.55E+00	7.55E+00	7.61E+00	7.54E+00	7.50E+00	7.59E+00	7.47E+00	
エネルギー消費	MJ	1.26E+01	1.26E+01	2.29E+01	1.95E+01	1.73E+01	2.25E+01	1.30E+01	
化石エネルギー	MJ	1.24E+01	1.23E+01	1.87E+01	1.55E+01	1.31E+01	1.80E+01	1.18E+01	
CO ₂	kg	9.35E-01	9.27E-01	1.24E+00	1.02E+00	8.50E-01	1.19E+00	8.14E-01	
NOx	kg	1.34E-03	1.39E-03	1.35E-02	7.13E-03	1.71E-03	1.14E-02	1.55E-03	
SOx	kg	3.41E-03	3.50E-03	1.26E-02	7.47E-03	3.00E-03	1.09E-02	2.80E-03	
粒子状物質	kg	1.16E-03	1.17E-03	1.27E-03	1.17E-03	1.09E-03	1.24E-03	1.11E-03	
PFC	kg	9.30E-11	9.97E-11	9.73E-11	1.03E-10	9.78E-11	1.00E-10	9.12E-11	
GWP	CO ₂ eq	9.92E-01	9.84E-01	1.40E+00	1.17E+00	9.97E-01	1.35E+00	9.47E-01	
赤泥	kg	1.37E+00	1.37E+00	1.37E+00	1.37E+00	1.37E+00	1.37E+00	1.37E+00	
固形廃棄物	kg	8.20E-03	8.36E-03	8.65E-03	8.10E-03	8.59E-03	9.20E-03	8.10E-03	

注) ボーキサイトを輸入する場合、積出港からの国間輸送を含む。

表 11 各国のアルミニウム地金 1 kg あたりのライフサイクルインベントリ

	単位	Africa		Asia (ex.China)			GCC		North America
		South Africa	India	Indonesia	Tajikistan	Bahrain	UAE	Canada	
ボーキサイト	kg	5.62E+00	5.61E+00	5.62E+00	5.62E+00	5.62E+00	5.62E+00	5.61E+00	
石炭 (資源)	kg	5.35E+00	6.07E+00	2.90E-01	1.21E-01	2.20E-01	2.20E-01	2.00E-01	
原油 (資源)	kg	5.67E-01	7.26E-01	5.33E-01	7.89E-01	5.67E-01	5.60E-01	7.46E-01	
天然ガス(資源)	kg	2.74E-01	8.07E-02	2.68E-01	3.01E-01	2.80E+00	2.81E+00	2.20E-01	
U(資源)	kg	4.75E-07	5.68E-07	6.70E-08	5.59E-06	4.80E-08	4.25E-08	1.78E-06	
用水	kg	2.15E+01	2.23E+01	2.20E+01	2.23E+01	2.15E+01	2.15E+01	2.25E+01	
エネルギー消費	MJ	1.78E+02	1.94E+02	1.14E+02	1.23E+02	1.84E+02	1.84E+02	1.16E+02	
化石エネルギー	MJ	1.77E+02	1.93E+02	4.60E+01	5.49E+01	1.84E+02	1.84E+02	5.06E+01	
CO ₂	kg	1.60E+01	1.76E+01	4.01E+00	4.51E+00	1.11E+01	1.10E+01	4.30E+00	
NOx	kg	1.82E-02	1.22E-02	9.50E-03	2.30E-02	3.76E-02	3.72E-02	1.93E-02	
SOx	kg	3.16E-02	2.82E-02	2.72E-02	3.80E-02	3.03E-02	2.99E-02	3.55E-02	
粒子状物質	kg	4.09E-03	6.07E-03	4.00E-03	4.16E-03	4.04E-03	4.03E-03	4.86E-03	
PFC	kg	8.01E-05	1.11E-04	8.01E-05	8.01E-05	8.01E-05	8.01E-05	9.22E-05	
GWP	CO ₂ eq	1.71E+01	1.88E+01	4.86E+00	5.40E+00	1.21E+01	1.21E+01	5.19E+00	
赤泥	kg	2.69E+00	2.69E+00	2.69E+00	2.69E+00	2.69E+00	2.69E+00	2.69E+00	
固形廃棄物	kg	2.97E-02	2.78E-02	8.05E-02	8.38E-02	2.71E-02	2.71E-02	8.07E-02	

注) アルミナを輸入する場合、積出港からの国間輸送を含む。

(つづき)

	単位	South America		Europe	7: Oceania	
		Argntina	Brazil	Russia	Australia	New Zealand
ボーキサイト	kg	5.62E+00	5.61E+00	5.60E+00	5.62E+00	5.62E+00
石炭(資源)	kg	2.35E-01	2.49E-01	1.62E+00	5.02E+00	2.53E-01
原油(資源)	kg	6.38E-01	6.96E-01	7.41E-01	4.70E-01	4.99E-01
天然ガス(資源)	kg	1.23E+00	1.06E-01	2.75E-01	2.76E-01	2.71E-01
U(資源)	kg	5.89E-07	5.21E-07	8.09E-06	1.87E-07	6.05E-08
用水	kg	2.19E+01	2.32E+01	2.41E+01	2.14E+01	2.20E+01
エネルギー消費	MJ	1.42E+02	1.11E+02	1.43E+02	1.71E+02	1.10E+02
化石エネルギー	MJ	1.02E+02	4.34E+01	8.99E+01	1.65E+02	4.37E+01
CO ₂	kg	6.98E+00	3.88E+00	7.60E+00	1.50E+01	3.83E+00
NOx	kg	1.90E-02	3.84E-03	1.56E-02	9.83E-03	7.28E-03
SOx	kg	2.74E-02	2.39E-02	3.12E-02	2.50E-02	2.53E-02
粒子状物質	kg	4.05E-03	6.26E-03	8.88E-03	3.97E-03	3.95E-03
PFC	kg	8.01E-05	1.19E-04	1.64E-04	8.01E-05	8.01E-05
GWP	CO ₂ eq	7.74E+00	4.82E+00	9.05E+00	1.61E+01	4.67E+00
赤泥	kg	2.69E+00	2.69E+00	2.69E+00	2.69E+00	2.69E+00
固形廃棄物	kg	5.98E-02	8.31E-02	7.26E-02	3.18E-02	7.93E-02

注) アルミナを輸入する場合、積出港からの国間輸送を含む。

アルミニウム地金の GWP についてみると、アルミナの調達により若干差があるが、電解製錬の電源構成により左右される。石炭火力が大半を占める南アフリカ、インド、オーストラリアの地金で 16~19 kg-CO₂eq と大きく、一方ほとんどが水力によるインドネシア、カナダ、ブラジル、ニュージーランドなどの地金は 5 kg-CO₂eq 程度である。地域別電力原単位の影響は電源構成の影響が大きいためには明らかでない。

ライフサイクルエネルギー（一次エネルギー）についても電源構成の違いが反映されており、石炭火力発電、ガス火力発電による国々で大きい。なお、電力のエネルギー変換は、一般的に用いられている火力発電 9.0 MJ/kWh（発電効率 40%）、水力発電 3.6 MJ/kWh（同 100%）および原子力発電 10.91 MJ/kWh（同 33%）で評価した。

わが国の輸入新地金のインベントリは、表 4 に示す輸入量に応じて各国のアルミニウム地金のインベントリを積み上げることで求めた。ライフサイクルインベントリとして表 12 に示す。

表 12 わが国の輸入新地金 1 kg あたりのライフサイクルインベントリ

項目	単位	数値
ボーキサイト(資源)	kg	5.61E+00
石炭(資源)	kg	2.50E+00
原油(資源)	kg	6.01E-01
天然ガス(資源)	kg	5.00E-01
U(資源)	kg	1.37E-06
水(資源)	kg	2.22E+01
エネルギー消費	MJ	1.53E+02
化石エネルギー	MJ	1.19E+02
CO ₂	kg	1.00E+01
NO _x	kg	1.57E-02
SO _x	kg	2.93E-02
粒子状物質	kg	4.93E-03
PFC	kg	9.56E-05
GWP	kg-CO ₂ eq	1.11E+01
赤泥	kg	2.69E+00
固形廃棄物	kg	5.31E-02

なお、表 9~12 に示したライフサイクルインベントリは、地球温暖化に関わる主要な基本フローを中心に表示しており、これらのデータを使用して LCA 分析を行うには MiLCA に入力したデータを用いて計算する必要がある。また、表には有効数字 3 桁で示したが、実質は 2 桁程度と考えたほうがよい。

5. 考察

5.1 インベントリの内訳

輸入アルミニウム新地金のインベントリの製造段階の内訳を表 13 に示す。表には前回の結果の LCE および GWP を併せて示した。

製造段階のうち、アルミニウム製造（電解製錬）時の電力が LCE で 66%、GWP で 55% を占め、残りはアルミナ製造および電解製錬（陽極製造を含む）が占める。一方、前回の報告値と比較すると、電解製錬時の電力が大幅に増加している。図 3 でも見られたように、製錬所の電源構成が大きく影響している。詳しくは後述する。

ちなみに、輸入アルミニウム新地金の環境負荷 GWP に占める各国の地金の影響を図 5 に示す。輸入比率の高いオーストラリア（31%）、ロシア（15%）、南アフリカ（12%）の影響が大きく、とりわけ石炭火力によるオーストラリア、南アフリカの地金で 2/3 近くを占める。

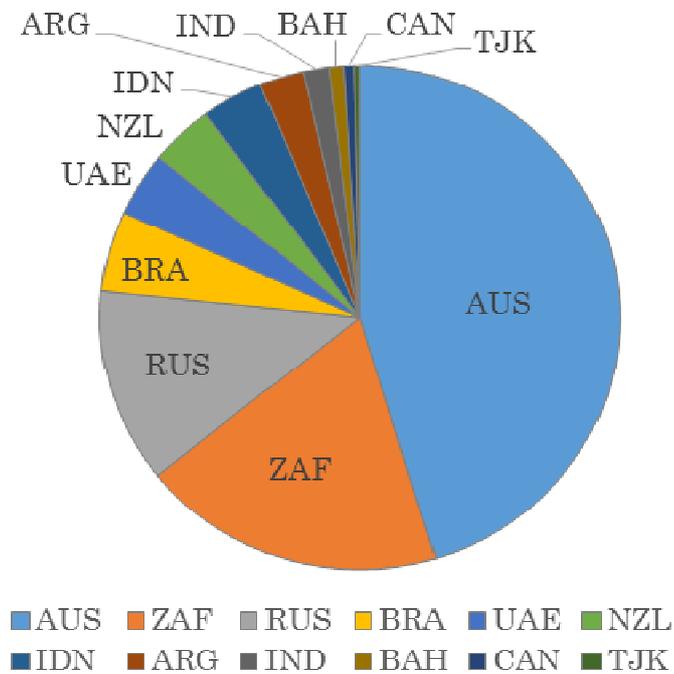


図 5 輸入アルミニウム新地金の GWP に対する各国地金の影響

表 13 輸入アルミニウム新地金のインベントリの内訳

投入原単位	kg/kg-Al	ボーキサイト 採掘*	アルミナ 製造*	電解製錬		新地金の 海上輸送	新地金の LCI
				電力	電力以外**		
ボーキサイト		5.569	1.933	1.000	1.000	1.000	
石炭	kg	5.569	0.003	0.000	0.040	0.000	5.61
原油	kg	0.002	0.197	2.254	0.048	0.001	2.50
天然ガス	kg	0.013	0.185	0.020	0.356	0.026	0.601
ウラン	kg	0.002	0.213	0.251	0.033	0.002	0.500
	kg	0.0000000	0.0000004	0.0000007	0.0000002	0.0000000	0.0000014
エネルギー消費	MJ	0.77	27.8	103.6	19.6	1.3	153
化石エネルギー	MJ	0.75	25.0	72.5	19.0	1.3	119
CO ₂	kg	0.051	1.75	6.03	2.12	0.09	10.0
NOx	kg	0.0007	0.0065	0.0055	0.0010	0.0020	0.016
SOx	kg	0.0006	0.0086	0.0014	0.017	0.0016	0.029
粒子状物質	kg	0.0010	0.0012	0.0000	0.0026	0.00003	0.0049
PFC	kg	0.00000	0.00000	0.00000	0.000096	0.00000	0.000096
GWP	CO ₂ eq	0.05	1.99	6.18	2.80	0.09	11.1
固形廃棄物	kg	0.0004	2.65	0.026	0.049	0.000	2.74

前回のインベントリ

エネルギー消費	MJ	3.0	26.4	93.1	23.9	1.2	146
化石エネルギー	MJ	3.0	24.9	62.5	23.7	1.2	114
GWP	CO ₂ eq	0.30	1.96	5.13	2.83	0.08	10.7

* ボーキサイトの国内輸送を含む

** ボーキサイト調達の国間輸送を含む

*** アルミナ調達の輸送、陽極製造を含む

5.2 輸送の影響

本調査においては、2.4 項に示したように、ボーキサイト、アルミナおよびアルミニウムについて輸送を考慮した。ライフサイクルインベントリにはそれぞれの項目に含めて計算したが、輸入アルミニウム新地金 1 kg あたりの輸送の LCE および GWP について別途算出した結果を表 14 に示す。

表 14 輸入アルミニウム新地金 1 kg あたりの輸送に関わる LCE および GWP

	LCE (MJ)	GWP (kg-CO ₂ eq)
ボーキサイトの輸送	0.79	0.054
アルミナの輸送	1.80	0.126
アルミニウム地金の輸送	1.29	0.090
輸入アルミニウム新地金 (計)	3.88	0.270

ボーキサイトおよびアルミナはバルク運搬船、片荷輸送（往復）とし、アルミニウム地金はバルク運搬船、混載輸送（片道）としたが、アルミナの輸送の比率が大きい。アルミナの輸送量がアルミニウムの約 1.9 倍必要であり、専用船としたことにもよる。一方、輸入アルミニウム新地金全体に対して、全輸送の占める割合は 2.5 %程度と小さい。

本調査においては、輸送に関して仮定や前提条件を設けたが、輸送 tkm あたりの GWP は表 15 のように輸送形態により異なる。

表 15 各種輸送形態の 1 tkm あたりの GWP (MiLCA 搭載の IDEA による)

		陸上輸送		海上輸送	
		鉄道(貨物)	20t トラック	バルク運搬船	コンテナ船
LCE	MJ	1.19E-01	1.69E+00	1.02E-01	3.69E-01
GWP	kg-CO ₂ eq	1.20E-02	1.22E-01	7.25E-03	2.63E-02

そこで、表 3 の前提条件による輸送（輸送①）に対して、ボーキサイトおよびアルミナの国内輸送を鉄道輸送からトラック輸送（輸送②）に、またアルミニウム新地金の輸入をバルク運搬船からコンテナ船（輸送③）に変更した場合の新地金 1kg あたりの輸送に関する GWP を図 6 に示す。コンテナ船の負荷が大きいため、アルミニウム新地金の輸送をバルク船とした場合に GWP は大きくなるが、前項で述べたようにアルミニウム新地金としてはその影響はわずかである。

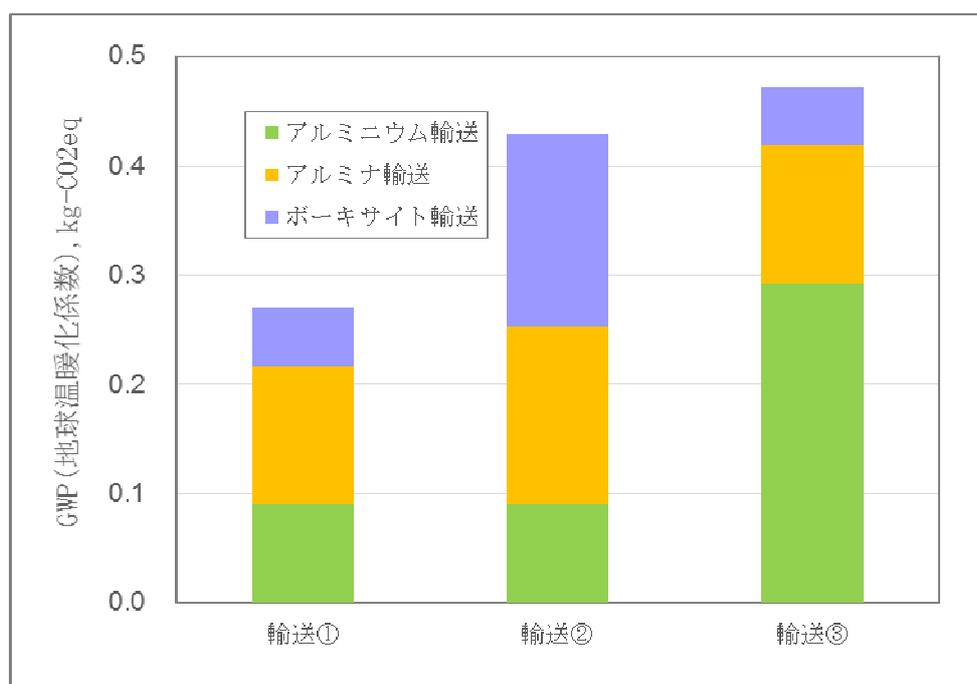


図 6 輸入アルミニウム新地金 1kg あたりの輸送条件変更による GWP

5.3 従来の報告値との違い

5.3.1 インベントリ

輸入アルミニウム新地金のライフサイクルインベントリ LCI (LCCO₂、GWP、LCE) について、これまでの報告値を表 16 に示す。2000 年、2005 年の LCI にくらべて若干大きい値となっているが、主に火力発電の比率の高い国からの輸入が増加したことによる。参考までに、表には IAI の世界平均について計算した結果も示すが、電源構成の違いによる差が認められる。なお、IAI 世界平均には輸入に伴う輸送は含まれていない。

表 16 アルミニウム新地金の LCI のこれまでの報告値との比較

	2000 年	2005 年	2010 年	2010 年 (世界平均)
LCCO ₂ (kg)	9.2	9.0	10.0	10.8
GWP (kg-CO ₂ eq)		10.7	11.1	11.9
LCE (MJ)	141	146	153	155
備考	<ul style="list-style-type: none"> 平均電源構成 (%) : 水力 70, 石炭 25, ガス 5 NIRE データ 	<ul style="list-style-type: none"> 平均電源構成 (%) : 水力 56, 石炭 37, ガス 7 JEMAI LCAPro 	<ul style="list-style-type: none"> 平均電源構成 (%) : 水力 47, 石炭 43, ガス 10 Milca (IDEA) 	<ul style="list-style-type: none"> 電源構成 (%) : 水力 42, 石炭 52, ガス 5, 原子力 2 Milca(IDEA)

5.3.2 アルミニウム製造時の電解電力電源構成

本調査においては、これまでインベントリ作成に使用してきたアルミニウム製錬所を基にした輸入に関するデータが得られなかったことから、通関統計をもとに輸入先の国別の平均値を使用した。したがってアルミニウム製錬所を特定できなかったことから、電源構成が当該国にある製錬設備の平均的なものとなったこと、実際の輸入実態（輸入先国）の変化などから、表 17 に示すように電解製錬の電源構成が変わった。すなわち、水力が減り、その代わりに石炭火力およびガス火力が増えている。

表 17 アルミニウム電解製錬の電源構成 (%) と LCCO₂ (kg)

	水力	石炭火力	石油火力	ガス火力	原子力	LCCO ₂ *
2005 年	55.6	36.7	0.2	7.2	0.2	0.336 [0.339]
2010 年	47.1	43.0	—	9.8	0.1	0.398 [0.401]

* LCCO₂は JEMAI-LCAPro による計算値、[] 内は MiLCA による計算値

この電源構成による電力 1 kWh あたりの LCCO₂を同表に示したが、2010 年では 20% 近く増加している。アルミニウム新地金の環境負荷に占める電解電力の比率が大きいことから、この電源構成の差が輸入アルミニウム新地金の環境負荷に大きな影響を与えている。

5.3.3 バックグラウンドデータ

ライフサイクルインベントリを算出には、バックグラウンドデータを用いて資源まで遡及する。前回報告値では JEMAI-LCA Pro に搭載のデータおよび AA (Aluminium Association) のデータを用いたが、本調査では新たに整備された MiLCA 搭載の IDEA データを用いた。使用するバックグラウンドデータの違いによる影響を調べるために、IAI のアルミニウム新地金（電解製錬のアルミニウム溶湯まで）の世界平均のインベントリを用いて、MiLCA および JEMAI LCA Pro によりライフサイクルインベントリを算出した。エネルギーおよび GWP の計算結果を表 18 に示す。両者は誤差範囲内で一致しており、バックグラウンドデータによる差はない。電解電力などのフォアグラウンドデータの割合が大きいため、バックグラウンドの影響が少なかったと考えられる。

表 18 バックグラウンドデータの違いによる新地金 1kg あたりのインベントリ

	単位	MiLCA (IDEA)	JEMAI LCA Pro
一次エネルギー	MJ	1.55E+02	1.56E+02
うち、非再生可能エネルギー	MJ	1.27E+02	1.29E+02
地球温暖化係数 (GWP)	kg-CO ₂ eq	1.19E+01	1.18E+01

注) 世界平均の電解電源構成： 水力 42.4% 石炭 52.4% 石油 0.1% ガス 5.0% 原子力 2.1%

6. MiLCA によるデータ作成

本調査では、産業環境管理協会の LCA ソフトウェア MiLCA (IDEA データ) を用いてインベントリを作成した。

MiLCA では、製品/サービス名としての [製品] とそれを製造/処理する [プロセス] により構成されている。すなわち、同一の [製品] に対して、[プロセス] により製造条件等の異なるデータを持つことができる。また、[プロセス] には標準プロセスのほかに地域別データを持つことができる (現在、電力に関して IEA による国別のデータがある)。ただし、現ソフトでは、地域別データをプロセスデータに直接取り込むことはできず、ケーススタディにおいてのみ使用できる。

そこで、本調査では、対象となる各国のボーキサイト、アルミナ、アルミニウムおよび系統電力を標準データとして作成し、さらに地域 (国) を指定して原単位化 (データ名を [CTG] で表示) することにより地域別データを作成し、これらを積み上げる方法をとった。作成したデータには、データ名に (JAA) や (国名) を付すなどして区別した。

7. まとめ

IAI による最新 (2010 年) のインベントリおよび各種統計データをもとに、産業環境管理協会の LCA ソフトウェア MiLCA (IDEA データ) を用いて、わが国の輸入アルミニウム新地金のインベントリを取り纏めた。

本調査では、これまでのインベントリ作成に使用した開発地金、長期契約地金、スポット購入地金等の輸入実態に基づいたデータが得られなかったことから、通関統計をもとに輸入先の国別の平均値を使用した。電解製錬時の電源構成に違いがみられた。水力発電が減少し、火力発電が増加したことから、輸入新地金の地球温暖化係数 (GWP) は 5% 程度増加した。

アルミニウム新地金の LCI に対して、電解製錬時の電力による環境負荷が約 60~70% を占めることから、製錬所の実態とともに、よりの確に輸入実態を把握するなど、今後の課題となろう。

参考資料 1

[IAI-LCI2013] 世界のアルミニウム新地金のライフサイクルインベントリ (2010)

		Bauxite mining	Alumina production	Prebake anode production	Söderberg paste production	Prebake electrolysis	Söderberg electrolysis	Ingot casting
Reference Flow		1 t bauxite	1 t alumina	1 t anodes	1 t paste	1 t liquid met	1 t liquid met	1 t ingots
Transport								
Average sea transport	km		5,919			14,505	4,332	
Average road transport	km		4			6		
Average rail transport	km		56			98		
Material input								
Bauxite	kg/t		2,880.587					
Caustic soda	kg/t		78.557					
Calcined lime	kg/t		40.188					
Fresh water	m3/t	0.497	2,574	1,086	4,539	3,893	3,893	3,495
Sea water	m3/t	0.662	0.557			6,856	1,144	
Petrol coke	kg/t			666.940	708.888			
Pitch	kg/t			148.452	298.511			
Refractory material	kg/t			7,319		7,283	9,861	
Steel	kg/t			6,171		3,799	5,225	
Alumina (dry)	kg/t					1,935.379	1,923.759	
Anodes (net)/Söderberg Paste	kg/t					428.589	527.236	
Cathode carbon	kg/t					5,999	6,200	
Aluminium fluoride	kg/t					15,645	20,601	
Electrolysis metal	kg/t							1,000.000
Alloy additives	kg/t							19,567
Chlorine	kg/t							0,036
Energy input								
Heavy oil	kg/t	0.171	82,973	31,482	6,903			2,676
Diesel oil	kg/t	0.280	0,077	5,628	0,433			0,739
Natural gas	m3/t		138,653	50,023	1,418			20,025
Coal	kg/t		73,732					0,960
Electricity	kWh/t	0,918	78,693	124,209	46,780	15,044.484	17,208.764	67,646
Products								
Bauxite	kg	1,000,000						
Alumina	kg		1,000,000					
Prebake anode	kg			1,000,000				
Söderberg paste	kg				1,000,000			
Liquid metal	kg					1,000,000	1,000,000	
Ingot	kg							1,000,000
By-Products (for external recycling)								
Bauxite residue	kg/t		2,268					
Spent pot lining carbon	kg/t					10,082	4,807	
Spent pot lining refractory	kg/t					4,397	31,707	
Refractory	kg/t			4,788		2,758	0,422	0,731
Steel	kg/t			7,781		6,628	8,565	
Dross	kg/t							15,877
Filter dust	kg/t							1,493
Scrap sold	kg/t							4,407
Other	kg/t		5,600	10,022	0,185			

		Bauxite mining	Alumina production	Prebake anode production	Söderberg paste production	Prebake electrolysis	Söderberg electrolysis	Ingot casting
Reference Flow		1 t bauxite	1 t alumina	1 t anodes	1 t paste	1 t liquid met	1 t liquid met	1 t ingots
Air emissions								
Particulates	kg/t	0.170	0.555	0.212	0.097	1.941	7.702	0.037
of which < 2.5microns	kg/t		0.022	0.204		0.597	16.989	
Carbon dioxide from non-fuel combustion	kg/t			234.850		1,533.777	1,571.490	
Sulfur dioxide	kg/t		2.445	3.045	9.749	15.276	11.793	0.112
Nitrous oxides (as NO2)	kg/t		0.685	0.561	1.514	0.262	0.163	0.072
Mercury	g/t		0.245					
Particulate fluoride (as F)	kg/t			0.002		0.519	0.780	
Gaseous fluoride (as F)	kg/t			0.008		0.499	1.190	
Total polycyclic aromatic hydrocarbons	kg/t			0.051	0.007	0.009	0.434	
Benzo(a)pyrene	g/t			0.219	0.012	0.105	6.029	
Tetrafluoromethane	kg/t					0.074	0.176	
Hexafluoroethane	kg/t					0.006	0.011	
Hydrogen chloride	kg/t							0.024
Dioxin/furans	mg/t							0.000
Water emissions								
Fresh water	m3/t	0.052	1.357	0.988	4.405	3.645	3.645	3.263
Sea water	m3/t	0.662	0.557			6.369	1.144	
Suspended solids	kg/t		0.015	0.034	0.010	0.488	0.672	0.143
Oil and grease/total hydrocarbons	kg/t		0.773	0.008		0.004	0.017	0.037
Mercury	g/t		0.000					
Fluoride (as F)	kg/t			0.009		0.033	0.288	
Polycyclic aromatic hydrocarbons (6 Born	g/t			0.010	0.134	0.007	2.431	
Solid waste (for landfiling)								
Mine solid waste	kg/t	0.062						
Bauxite residues (red mud)	kg/t		1,353.720					
Spent pot lining	kg/t					6.501	17.329	
Waste alumina	kg/t					4.209	4.626	
Waste carbon or mix	kg/t			17.128	6.627	4.616	17.898	
Scrubber sludges	kg/t			0.347		5.878	9.911	
Refractory (excl. spent pot lining)	kg/t			4.569		1.321	0.450	0.467
Dross	kg/t							5.272
Filter dust	kg/t							0.459
Other solid industrial waste	kg/t		17.569	4.146	1.513			0.565
of which landfill waste	kg/t		8.529					
of which hazardous waste	kg/t		9.299	2.753	1.362			
Calculated air emissions from fuel combustion								
Methane from fuels	kg/t	0.000		0.034		0.006		0.001
Nitrous oxide from fuels	kg/t	0.000		0.005		0.001		0.000
Carbon dioxide from fuels	kg/t	1.384		695.596		207.996		25.139

[出典] <http://www.world-aluminium.org/publications/>

"2010 Life Cycle Inventory Data for the Worldwide Primary Aluminium Industry"

参考資料 2

[IAI-LCI 2013] のデータによる製造工程のエネルギー消費の算出

アルミニウム製造工程のエネルギー消費

投入エネルギー		ボーキサ イト採掘	アルミナ 製造	陽極/ペー スト製造	電解製錬
重油	kg/t Al	0.95	160.48	12.45	
軽油	kg/t Al	1.56	0.15	2.18	
天然ガス	m ³ /t Al		268.18	19.24	
石炭	kg/t Al		142.61		
電力	kWh/t Al	5.11	152.20	50.20	15,274.63

エネルギー換算 (MJ)

重油	42.53 MJ/kg	40	6825	529	0
軽油	42.53 MJ/kg	66	6	93	0
天然ガス	38.18 MJ/Nm ³	0	10240	735	0
石炭	22.29 MJ/kg	0	3178	0	0
電力	3.60 MJ/kWh	18	548	181	54989
エネルギー計 (MJ)		125	20797	1537	54989
工程エネルギー比率		0.16%	26.85%	1.98%	71.00%

輸送は含まない

参考資料 3

① IAI 統計資料： アルミナ製造エネルギー

	Unit	Africa & Asia (ex China)	China	North America	South America	Europe	Oceania	World Reported	Estimated Unreported
Alumina production	t	5,829,062	28,955,050	4,809,841	13,662,734	8,429,941	19,788,880	81,475,508	-
Reporting production	t	1,825,478	28,955,050	3,393,259	13,662,734	7,692,941	15,965,021	71,494,483	9,981,025
Coal	TJ	12,251	389,899	0	26,991	23	19,901	449,065	ND
Oil	TJ	11,570	24,533	0	76,232	21,919	21,836	156,090	ND
Gas	TJ	589	67,790	30,271	25,484	49,963	97,061	271,158	ND
Electricity	TJ	404	50,412	2,079	5,378	8,288	3,520	70,081	ND
Other	TJ	4,224	5,380	10,998	0	28,132	17,984	66,718	ND
Total	TJ	29,038	538,014	43,348	134,085	108,325	160,302	1,013,112	153,000

<http://www.world-aluminium.org/statistics/metallurgical-alumina-refining-fuel-consumption/>

Notes

Definitions:

Energy used in metallurgical alumina production is energy consumed within the plant perimeter by bauxite refining processes (including calcination) and by those auxiliary operations on site.

Source of Data:

The data included in this IAI Statistical Report have been derived from voluntary reports of IAI Member and non-Member companies. Sources outside the industry or estimates are used for "Estimated Unreported" and "China" regions only.

Data Aggregation:

The IAI Statistical System is designed to meet the requirement that, in general, individual company data be included only within appropriately aggregated totals by declared geographical areas and not be reported separately. The declared geographical areas and the primary aluminium producing countries which fall in those areas are as follows:

Africa & Asia (ex China): Azerbaijan*, Guinea, India, Iran*, Kazakhstan, Turkey

China: China

North America: Canada, United States of America

South America: Brazil, Jamaica, Suriname, Venezuela

Europe: Bosnia and Herzegovina*, France, Germany, Greece, Hungary*, Ireland, Italy, Montenegro, Romania, Russian Federation, Spain, Ukraine

Oceania: Australia

An asterisk indicates that primary aluminium production data were not reported to the IAI by the company or companies producing primary aluminium solely within that country; these constitute "Estimated Unreported", where data is available. Dates given against a country indicate that data were reported or not reported, as appropriate, for the limited period shown.

Data Integrity:

The IAI considers the figures shown to be reliable, but they may be subject to revision.

Africa & Asia (ex China)	China	China Estimated Un-reported	North America	South America	West Europe	East & Central Europe	Oceania	ROW Est. Un-reported	Total
5,711	28,071	3,000	4,446	13,609	4,005	4,199	19,647	0	82,688

Africa & Asia (ex China)	China	North America	South America	Europe	Oceania	World
16,212	18,581	12,018	9,814	14,627	10,721	14,236

② IAI 統計資料： アルミニウム製造エネルギー

	Unit	Africa	Asia (ex China)	China	GCC	North America	South America	Europe	Oceania	World Reported	Estimated Unreported
Aluminium production	t	1,745,098	5,518,929	16,194,484	ND	4,695,831	2,305,165	8,411,375	2,277,858	41,148,740	-
Reporting production	t	1,440,998	1,854,599	16,194,484	0	4,439,931	2,210,065	7,981,275	1,542,358	35,663,710	5,485,030
Hydro	GWh	9,181	4,817	22,638	ND	50,355	29,145	97,271	5,211	218,618	ND
Coal	GWh	11,844	8,171	203,745	ND	16,095	0	13,856	17,932	271,643	ND
Oil	GWh	0	138	0	ND	7	0	238	6	389	ND
Natural gas	GWh	0	15,510	0	ND	316	5,591	5,015	0	26,432	ND
Nuclear	GWh	0	0	0	ND	320	0	10,677	0	10,997	ND
Total	GWh	21,025	28,636	226,383	ND	67,093	34,736	127,057	23,149	528,079	79,976

<http://www.world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-smelting-power-consumption/>

Notes

Definitions:
Electrical power used in primary aluminium production includes power used for electrolysis by the Hall-Héroult processes (including rectification from AC to DC) and normal smelter auxiliaries (including pollution control equipment) up to the point where the liquid aluminium is tapped from the pots. It excludes power used in casting and carbon plants.

Source of Data:
The data included in this IAI Statistical Report have been derived from voluntary reports of IAI Member and non-Member companies. Sources outside the industry or estimates are used for "Estimated Unreported" and "China" regions only.

Data Aggregation:
The IAI Statistical System is designed to meet the requirement that, in general, individual company data be included only within appropriately aggregated totals by declared geographical areas and not be reported separately.
The declared geographical areas and the primary aluminium producing countries which fall in those areas are as follows:
Africa: Cameroon, Egypt, Ghana, Mozambique, Nigeria, South Africa
Asia (ex China): Azerbaijan*, India, Indonesia, Iran*, Japan, Kazakhstan, Malaysia*, North Korea*, Tadjikistan, Turkey
China: China
Gulf Cooperation Council (GCC): Bahrain, Oman, Qatar, United Arab Emirates
North America: Canada, United States of America
South America: Argentina, Brazil, Venezuela
Europe: Bosnia and Herzegovina*, Croatia*, France, Germany, Greece, Iceland, Italy, Montenegro, Netherlands, Norway, Poland*, Romania*, Russian Federation, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Ukraine, United Kingdom
Oceania: Australia, New Zealand

An asterisk indicates that primary aluminium production data were not reported to the IAI by the company or companies producing primary aluminium solely within that country; these constitute "Estimated Unreported", where data is available. Dates given against a country indicate that data were reported or not reported, as appropriate, for the limited period shown.

Data Integrity:
The IAI considers the figures shown to be reliable, but they may be subject to revision.

	Unit	Africa	Asia (ex China)	China	GCC	North America	South America	Europe	Oceania	World Reported	Estimated Unreported
Aluminium production	t	1,745,098	5,518,929	16,194,484	ND	4,695,831	2,305,165	8,411,375	2,277,858	41,148,740	-
Reporting production	t	1,440,998	1,854,599	16,194,484	0	4,439,931	2,210,065	7,981,275	1,542,358	35,663,710	5,485,030
Self-generated	GWh	0	28,623	ND	ND	23,938	12,569	8,056	1,206	74,392	ND
Purchased from supplier(s)	GWh	21,025	13	ND	ND	43,155	22,167	119,001	21,943	227,304	ND
Total	GWh	21,025	28,636	ND	ND	67,093	34,736	127,057	23,149	301,696	306,359

Power	Africa	Asia (ex China)	China	GCC	North America	South America	Europe	Oceania	World
AC	14,619	14,899	13,979	14,758	15,120	15,739	15,838	14,846	14,777
DC	13,866	14,070	13,084	13,963	14,455	14,591	14,666	14,015	13,858