

わが国の輸入アルミニウム新地金のLCIデータの概要

2022 年 3 月

一般社団法人 日本アルミニウム協会

委託先：株式会社 産業情報研究センター

目次

(まとめ)	1
1. はじめに	3
2. 調査方法	3
2.1 システム境界	3
2.2 データの出典	4
2.3 調査手法	5
2.4 輸送の計算の前提	6
2.5 バックグラウンドデータ	6
3. 前提条件および計算方法	7
3.1 インベントリの算出	7
3.2 国別のボーキサイト	8
3.3 国別のアルミナ	8
3.4 Anode/Paste	8
3.5 国別のアルミニウム新地金	8
4. わが国の輸入新地金の LCI	8
5. ライフサイクルインベントリ分析結果	15
5.1 ボーキサイト	15
5.2 アルミナ	18
5.3 アルミニウム地金	21
5.4 Anode/Pasteのインベントリ	25
5.5 アルミニウム新地金のライフサイクルインベントリ（加重平均値）	26
6. 考察	27
6.1 インベントリの内訳	27
6.2 過去の調査結果との比較	27
6.3 輸送の影響	29
7. 作成した資料一覧	30

(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 ; 国際アルミニウム協会、以下、IAIと記す) による2010年、2015年のデータを基に作成した。

表 i に、輸入アルミニウム新地金 1 kg 当たりのライフサイクルインベントリを示す。同表に示したデータはボーキサイトの採掘～アルミナ生産～アルミニウム製造までの累積データで、アノード/ペースト (以下、Anode/Pasteと記す) の生産を含むものである。

前回調査 (IAI調査データ2010年ベース) に対してアルミニウム 1 kg 生産当たりの 1 次エネルギーをライフサイクルエネルギー (Life Cycle Energy) ベースで示した係数 (以下、LCEと記す) は、8.1%増加して165MJとなった。CO₂発生係数は同8.2%増加して10.8kg、地球温暖化係数 (Global Warming Potential、以下、GWPと記す) は同7.7%増加して12.0kgとなった。

GWPは、IAI調査でリストアップされているCO₂、メタン (CH₄)、一酸化二窒素 (N₂O)、パーフロオロメタン (PFC)、パーフロオロエタン (PFC)、ハイドロクロロフルオロカーボン (HCFC-141b)、ハイドロフルオロカーボン (HFC-134a、同-125、同-152a、同-23、同-32)、六ふっ化硫黄ガス (SF₆ガス) を対象に算定した。

表 i 輸入アルミニウム新地金1kg当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	
			2015年	2010年
資源消費	ボーキサイト	kg	5.77E+00	5.61E+00
	石炭	kg	2.14E+00	2.50E+00
	石油	kg	6.16E-01	6.01E-01
	天然ガス	kg	1.05E+00	5.00E-01
	ウラン鉱石	kg	1.21E-06	1.37E-06
	一次エネルギー (LCE)	MJ	1.65E+02	1.53E+02
大気圏排出物	CO ₂	kg	1.08E+01	1.00E+01
	NOx	kg	1.43E-02	1.57E-02
	SOx	kg	3.90E-02	2.93E-02
	粒子状物質	kg	4.84E-04	4.93E-03
	PFC	kg	1.02E-02	9.56E-05
	地球温暖化係数 (GWP)	kg-CO ₂ eq	1.20E+01	1.11E+01
陸域排出物	固形廃棄物	kg	4.14E-03	5.31E-02
再掲	一次エネルギー (LCE)	MJ	165	153
	CO ₂	Kg	10.8	10.0
	GWP	kg-CO ₂ eq	12.0	11.1

表 ii に、わが国の輸入アルミニウム新地金の輸入先別LCEおよびGWPを示す。ここでは、国名を記述する場合、略称とカタカナ表記を併記した。表中のアルミニウム製造国をピンクで表示した国は製錬所の電力が石炭火力発電100%、水色で表示した国は水力発電100%、若草色で表示した国は天然ガス発電100%の国である。ARG (アルゼンチン) は水力発電と天然ガス発電が50% : 50%、RUS (ロシア) は水力発電94% : 石炭火力発電5% : 原子力発電1%である。

輸入先の変化についてみてみると、2010年ベースでリストアップされていたBHR (バーレン)、TJK (タジキスタ

ン) が圏外となり、同年にはリストアップされていなかったMYS (マレーシア)、SAU (サウジアラビア)、QAT (カタール)、OMN (オマーン) が登場している。湾岸諸国が複数登場してきたこと、かつアルミニウム製錬所の電源構成が石炭火力100%、天然ガス火力100%といった火力発電採用国であることが特徴である。

この結果、表 iii に示したように、製錬所の電源構成は水力発電と石炭火力発電が合計ベースで90%から74%へと低下し、天然ガス火力発電が10%から25%へと2.5倍に増加しており、CO₂発生係数およびGWPの変化に影響を及ぼしている。

表 ii 各国の輸入アルミニウム新地金 1kg当たりの LCE および GWP

年次	2015年			2010年			
	製造国	輸入比率	LCE	GWP	輸入比率	LCE	GWP
			MJ	kg-CO ₂ eq		MJ	kg-CO ₂ eq
IDN	0.6%	1.16E+02	5.42E+00	8.8%	1.14E+02	4.86E+00	
IND	0.9%	2.06E+02	2.08E+01	0.9%	1.94E+02	1.88E+01	
OMN	1.0%	2.14E+02	1.30E+01	-	-	-	
MYS	1.5%	1.98E+02	1.95E+01	-	-	-	
QAT	2.3%	2.14E+02	1.31E+01	-	-	-	
CAN	2.4%	1.14E+02	5.24E+00	1.4%	1.16E+02	5.19E+00	
ARG	2.5%	1.61E+02	9.06E+00	3.9%	1.42E+02	7.74E+00	
SAU	4.6%	2.17E+02	1.34E+01	-	-	-	
ZAF	7.8%	1.95E+02	1.90E+01	12.2%	1.78E+02	1.71E+01	
NZL	10.6%	1.10E+02	4.98E+00	9.4%	1.10E+02	4.67E+00	
BRA	12.0%	1.00E+02	4.68E+00	11.8%	1.11E+02	4.82E+00	
RUS	12.3%	1.32E+02	8.03E+00	15.2%	1.43E+02	9.05E+00	
ARE	16.2%	2.15E+02	1.31E+01	3.8%	1.84E+02	1.21E+01	
AUS	25.4%	1.82E+02	1.73E+01	31.1%	1.71E+02	1.61E+01	
BHR	-	-	-	0.8%	1.84E+02	1.21E+01	
TJK	-	-	-	0.7%	1.23E+02	5.40E+00	
合計	100.0%	1.65E+02	1.20E+01	100.0%	1.53E+02	1.11E+01	

再掲	165	12.0	再掲	153	11.1
----	-----	------	----	-----	------

注：国名の略称は、ISO 3166-1で定められた世界各国のアルファベット表記による国名コードで記した。

ARG	アルゼンチン	ARE	アラブ首長国連邦	AUS	オーストラリア	BHR	バーレン
BRA	ブラジル	CAN	カナダ	IDN	インドネシア	IND	インド
MYS	マレーシア	NZL	ニュージーランド	OMN	オマーン	QAT	カタール
RUS	ロシア	SAU	サウジアラビア	TJK	タジキスタン	ZAF	南アフリカ

表 iii 輸入アルミニウム新地金 1 kgの LCI のこれまでの報告値との比較

項目	単位	2000年	2005年	2010年	2015年
LCE	MJ	141	146	153	165
LCCO ₂	kg	9.2	9.0	10.0	10.8
GWP	kg-CO ₂ eq	-	10.7	11.1	12.0
電解電源構成 (%)	水力	70%	56%	47%	41%
	石炭	25%	37%	43%	33%
	ガス	5%	7%	10%	25%

注1：電源構成石油、原子力は0.2%以下で省略

注2：アルミニウム輸入新地金の電力消費原単位（輸入比率で加重平均したもの）

2010年：15.26kWh/アルミニウム輸入新地金-kg

2015年：15.01 kWh/アルミニウム輸入新地金-kg

1. はじめに

日本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；欧州アルミニウム協会）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て以降、IAIのLife Cycle Inventory and Environmental Metrics for the Primary Aluminium Industry（以下、LCI調査）を活用してアルミニウム新地金のライフサイクルインベントリ（以下、LCI）分析を実施している。

2003年：IAIのLCI調査結果（2000年実績ベース）に基づく分析。

2007年：IAIのLCI調査結果（2005年実績ベース）に基づく分析。

2013年：IAIのLCI調査結果（2010年実績ベース）に基づく分析。

本報告書は、2013年分析データを見直した結果をまとめたものである。ベース・データとして、IAIのLCI調査結果（2015年実績ベース）を活用した。

2. 調査方法

2.1 システム境界

わが国の輸入新地金を対象に、海外立地によるボーキサイト採掘からアルミニウム製造までと、これらが東京港に輸入されるまでのフローをシステム境界かつ計算範囲とした（図1）。原料受給に基づく実際の計算フローの構成と流れを図2に示す。

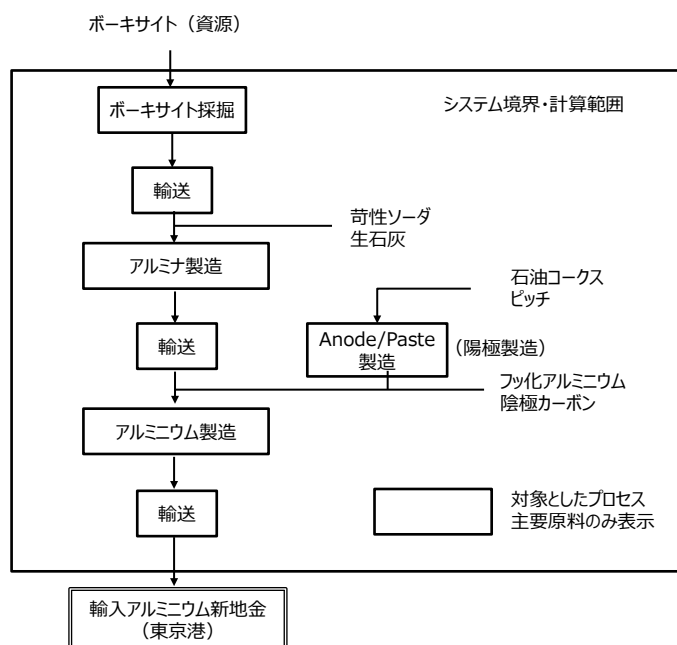


図1 輸入アルミニウム新地金のシステム境界

アルミナ生産国	アルミニウム生産国のアルミナの輸入先	
Other Asia	India	Australia
	Korea	Australia, China, Brazil, Netherlands, Germany, Republiek Suriname
	JAPAN	Australia, India, Korea
Gulf Cooperation Council	UAE	Australia, India
	Saudi Arabia	国内調達
	Qatar	国内調達
	Oman	国内調達
North America	USA	国内調達
South America	Brazil	Brazil, USA, Jamaica, Republiek Suriname, Venezuela
	Republiek Suriname	Brazil, Australia
	Jamaica	Germany, China, Republiek Suriname, Hong Kong, Netherlands, Bahrain, USA, France, Austria
	Venezuela	Ukraine, Australia, Kazakhstan, Jamaica, Brazil, Ireland
Europe	Netherlands	China, India, Netherlands, France, Germany, USA
	Germany	Australia
	France	
	Ukraine	
	Kazakhstan	
	Ireland	
China	China	
	Hong Kong	
Oceania	Australia	

← 遡及計算

アルミニウム輸入先 (生産国)		輸入量 (日本) t/Y	輸入比率
Africa	South Africa	139,352	8%
Other Asia	India	15,787	1%
	Indonesia	10,244	1%
	Malaysia	27,014	2%
Gulf Cooperation Council	The United Arab Emirates	291,716	16%
	Kingdom of Saudi Arabia	83,180	5%
	The State of Qatar	40,492	2%
	Sultanate of Oman	18,415	1%
North America	Canada	43,269	2%
South America	Argentina	45,783	3%
	Brazil	215,711	12%
Europe	Russia	220,169	12%
Oceania	Australia	455,945	25%
	New Zealand	189,597	11%
-	合計	1,796,675	100%

アルミナ生産国のボーキサイト輸入先	ボーキサイト探掘	備考
Other Asia	Guinea, Brazil, Malaysia, Pakistan, China	Africa Guinea all Africa適用
	Guinea, Brazil, Malaysia, Pakistan, China	India -
	-	Other Asia Malaysia -
Gulf Cooperation Council	100%国内調達	Pakistan -
	100%国内調達	China China -
	100%国内調達	Hong Kong -
	100%国内調達	Brazil -
North America	Jamaica, Brazil, Guinea, Guyana	South America Guyana 隣国Surinameを適用
South America	China	Jamaica -
	China	Germany -
	Brazil	Greece -
	Brazil	Netherlands -
Europe	Guinea, Brazil, China, Greece, Guyana, Jamaica	Oceania Australia -
	Guinea, Netherlands, Brazil, China	UAE 自国生産 (国際平均を適用)
	Guinea, Greece, China	Saudi Arabia 自国生産 (国際平均を適用)
	Guinea, Guyana, Brazil, Jamaica	Qatar 自国生産 (国際平均を適用)
	Guinea, Netherlands, Brazil, China, Greece, Guyana, Jamaica	Oman 自国生産 (国際平均を適用)
	-	
China	Malaysia, Australia, India, Brazil	
	Malaysia, Australia, India, Brazil	
Oceania	China, Germany, Hong Kong, Guyana	

図2 国ベースの原料供給実態に基づくアルミニウム、アルミナ、ボーキサイトの遡及計算の流れ

2.2 データの出典

出発データとしたインベントリ（報告書末尾の参考資料1）の出典は、IAIが5年に1度取り纏めているLCA調査データ（Life Cycle Inventory and Environmental Metrics for the Primary Aluminium Industry 2015 Data）である。またIAIは、Alumina Energy Survey、Aluminium Energy Survey、Anode Effect Surveyなどを例年実施しているほか、5年に1度Bauxite Residue Surveyを実施しており、内容ベースで2015年のデータを必要に応じて活用した。これらを含めて、本調査で使用したデータの出典を表1に整理した。なお、出発データとしたインベントリが2015年実績であるため、各種統計データはこれに合わせて2015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 2015	IAI : "2015 Life Cycle Inventory Data for the Worldwide Primary Aluminium Industry", http://www.world-aluminium.org/publications/tagged/life%20cycle/	<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 2015 年度世界平均
IAI 統計 2015	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 2015	日本アルミニウム協会資料 「2.4日本の新地金の国別輸入状況」 財務省通関統計 2015年	<ul style="list-style-type: none"> 新地金の国別輸入量
JAA 資料-2 2015	日本アルミニウム協会資料「2.7 アルミナの調達、2.8ボーキサイトの調達」 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 2015	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 2015	日本アルミニウム協会資料「アルミ製錬所の能力と電源構成」	<ul style="list-style-type: none"> 製錬所別設備能力、電源構成、電極方式
IDEA	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 安全科学研究部門 IDEA ラボ	<ul style="list-style-type: none"> LCA データベース

2.3 調査手法

IAIの調査結果は、「Summary (Region & Unit Process)」(以下Summary) と、世界平均 (以下、Global : GLO) および地域別平均データであるアフリカ平均 (以下、Africa : AFR) 、中国平均 (以下、Shina : CNA) 、他のアジア地域平均 (以下、Other Asia : OAS) 、北アメリカ平均 (以下、North America : NAM) 、北アメリカの内カナダ (以下、Canada : CAN) 、南アメリカ平均 (以下、South America : SAM) 、湾岸諸国 (以下、Gulf Cooperation Council : GCC) 、欧州平均 (以下、Europe : EUR) 、ロシア他 (以下、Russia and Other Europe : ROE) 、オセアニア平均 (以下、Oceania : OCA) から構成されている。

本調査では、SummaryおよびGLOのデータを精査し、SummaryのRegion & Unit Processデータの各地域別データで「nd」表記となっている箇所について、すべてGLOデータと見做してデータを処理している。

必要となる個々の国のデータは、インド、インドネシアなどアジア地域のデータはOASのデータ、ドイツ、オランダなど欧州地域のデータはEURのデータ、アメリカ、カナダなど北米地域のデータはNAMのデータブラジル、ジャマイカ、スリナムなど南米地域のデータはSAMのデータ、アラブ首長国連邦、サウジアラビアなど中東地域のデータはGCCのデータ、オーストラリア、ニュージーランドなどオセアニア地域のデータはOCAのデータをそれぞれ適用し、計算に際して電力のみを個々の国の系統電力データで計算した。

ただし、アルミニウムについては、製錬所の電源構成に基づいてデータを処理すべく、日本アルミニウム協会調べによる製錬所の電源構成によって決定した。決定した電源構成が石炭火力100%、天然ガス火力100%、水力100%の電力についてはIDEAの収録データを適用し、石炭火力、天然ガス火力、水力などの複数電源の構成を持つ製錬所については、IDEAの各100%の電力データを用いて必要なデータを算出し、これを計算に適用した。

また、アルミニウムにおけるアルミナ、アルミナにおけるボーキサイトなど遡及原料の計算は、当該国のアルミナおよびボーキサイトの国別輸入量を調べ、その輸入構成比に基づいて輸入原料のインベントリデータを計算して連結した。

輸入における輸送データは、必要となる個別ケースについて、IDEAから輸出港 (積出港) 、輸入港 (積降港) 間の海上輸送距離を算出した。使用船型および鉄道貨物による負荷はIDEAの船舶および鉄道のtkm (貨物の輸送量を表わ

す単位で、「輸送量・t×輸送距離・km」で表わす)の係数を用いて計算した。輸送データの考え方については、次項に整理した。

以上によって、積算したわが国の輸入アルミニウム新地金のインベントリ分析結果は、最終的に輸入比率によって加重平均し、アルミニウム新地金のライフサイクルインベントリ(以下、LCI)データとした。なお、鑄造(Casting)は対象範囲外とした。

2.4 輸送の計算の前提

輸送の計算の前提は、前回調査と同じとした。具体的には、以下のとおりである。

- (1) 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工程を計算の対象とする
- (2) 海上輸送(国間輸送)
 - 1) アルミニウム: バルク運搬船 混載、距離は片道で計算。
 - 2) アルミナ、ボーキサイト: 専用船 片荷、距離は往復で計算。
- (3) ボーキサイトの国内輸送
 - 1) 採掘国内でアルミナを製造する場合
鋳山からアルミナ製造所まで100km ⇒ 専用車両(鉄道)
片荷、距離は200km(往復)で計算。
 - 2) 海外に輸出する場合の国内輸送
輸出側: 鋳山から積出港までの100kmの輸送。⇒ 専用車両(鉄道)
片荷、距離は200km(往復)で計算。
輸入側: 輸入国内での輸送は0km(製造所に直送)。
- (4) アルミナの国内輸送
 - 1) アルミナ製造国内でアルミニウム製錬をする場合
輸送はないものとする(アルミナ製造所=アルミニウム製錬所)。
 - 2) 海外に輸出する場合
輸出側: アルミナ製造所から積出港までの輸送は50km ⇒ 専用車両(鉄道)
片荷、距離は100km(往復)で計算。
輸入側: 輸入国内での輸送は0km(製錬所に直送)。
- (5) アルミニウムの国内輸送
輸出側、輸入側ともアルミニウムの国内輸送は0kmとする。

なお、海上輸送において、海域に面していない内陸国からの輸出は、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。一方、内陸国への輸出は近隣の国の港までを海上輸送とし、同港から鉄道輸送を適用することとした。また、ロシア、米国など、海港が2か所ある場合には、距離の近い方を選択して距離を算出した。

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、Anode/Paste製造およびアルミニウム製錬の物質収支に係るデータは、すべて[IAI-LCI 2015]によるプロセスデータの調査結果を適用した。そこで使用される副資材、電力、燃料や輸送などについて、IDEAのデータベースにあるものはそのデータを適用した。ない場合は、IDEAのデータベースを用いて新たにデータを作成、または同データベースにあるデータの中から代用データを選択した。これらIDEAのデータを適用し

たバックグラウンドデータの代表的なものを表2に示した。

表 2 使用したバックグラウンドデータ（IDEA収録データを使用）

区 分		適用項目
電力	電解製錬用電力	100%石炭火力、100%天然ガス火力、100%水力等はIDEAのデータを適用した。石炭火力20%、水力80%など複数の電源構成からなる電力は、IDEAのデータを用いて新たに作成した。
	その他の電力	系統電力の地域別データは、IDEAのデータを適用した。
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）（標準データ）
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)（標準データ）
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（標準データ）
	ピッチ	ピッチ（標準データ）
	陰極炭素	その他の炭素質電極（標準データ）
	ふっ化アルミニウム	ふっ化アルミニウム（標準データ）
	耐火材	その他の耐火物(人造耐火物を除く)（標準データ）
	鋼材	普通鋼（最終鋼材）（標準データ）

3. 前提条件および計算方法

3.1 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 2015] による図 3 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って算出した。殆どのケースにおいて、各原料の調達先となる国別のボーキサイトおよびアルミナは、複数の国から輸入されているため、輸入先別の国別インベントリを算出し、わが国が2015年に輸入したアルミニウム新地金の国別輸入比率を基準に加重平均したインベントリデータを算出し、積み上げた。

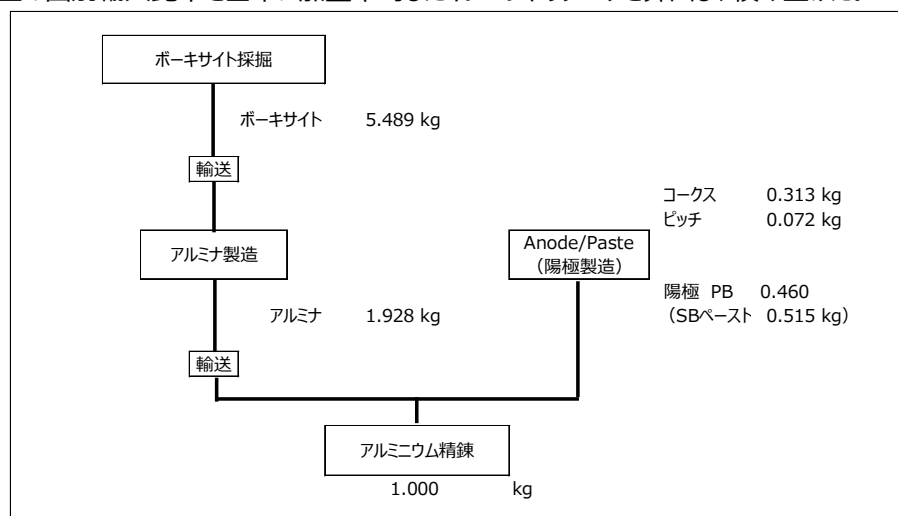


図 3 アルミニウム 1.000kg あたりの原材料投入量（IAI-LCA2015）

出典：IAI 2015 Life Cycle Inventory Summary by Region and Unit Process
Process Flow Diagram

3.2 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 2015] のインベントリをそのまま使用し、電力のみ各国の系統電力を適用して計算した。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。

3.3 国別のアルミナ

アルミナ製造のインベントリには [IAI-LCI 2015] のインベントリを使用し、電力のみ各国の系統電力を適用して計算した。

原料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2015] から調達先国を特定し、IDEAの地域間輸送（海上輸送および一部の陸上輸送）によって、輸送距離を算出した。自国調達の場合、国間輸送は結果的に計算対象から除外されることとなる。

3.4 Anode/Paste

プリバ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は [IAI-LCI 2015] のインベントリを使用した。電力は各国の系統電力を適用して計算した。輸送の影響は小さく、無視した。

3.5 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 2015] のプリバーク電解およびゼーダベルグ電解のインベントリ（各国のプリバーク電解／ゼーダベルグ電解の比率に応じて算出された平均値）を用いた。

電力については、日本アルミニウム協会から提供を受けた「世界のアルミ製錬工場と生産能力（2015年）」に示されている電源構成別生産能力から推定した電源構成比に基づいて発電の種類を特定し、IDEAから燃料種別電力データ（石炭火力発電・天然ガス火力発電・水力発電・原子力発電・これら複数の発電の組み合わせによる発電データ）を算出し、計算に適用した。

この計算において、石炭火力、天然ガス火力などの火力発電のデータを算出するには発電効率を考慮しなければならないが、この際、一般的な9.0 MJ/kWhを用いてMJ当たりのデータに換算した。

原料アルミナの輸送については、[JAA 資料-2] および [国連統計 2015] より調達先国を特定し、IDEAの地域間輸送（海上輸送および一部の陸上輸送）によって輸送距離を算出した。自国調達の場合の国間輸送は、結果的に計算の対象外となる。

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個別あるいは企業レベルで特定することは難しいため、ここでは [JAA 資料-2] および [国連統計 2015] によって国別の扱いとした。

わが国の2015年のアルミニウム新地金の国別電力原単位、電源構成、電極方式、わが国の輸入量を表3に示す。また、アルミニウム生産国におけるアルミナの調達国を表4に示した。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を算出し、[JAA 資料-2]、[国連統計 2015] 等の輸出入統計に基づいて国別輸入量を推定した。

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 2015] 等から推定した。この推定に際しては、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、各種文献資料やSNSのサイト情報を参考にした。表5に、アルミナ製造国のボーキサイト調達先を示した。

表3 アルミニウム新地金の国別電力原単位、アルミニウム製錬所の電源構成、電極方式、わが国の輸入量

輸入対象国	電力原単位 kWh/ t	電源構成					電極方式		輸入量 Kt	比率
		Hydro	Gas	Coal	Nuclear	Total	PB	SB		
2015年										
South Africa	14,550			100%		100%	100%	0%	139	8%
India	15,065			100%		100%	100%	0%	16	1%
Indonesia	15,065	100%				100%	100%	0%	10	1%
Malaysia	15,065			100%		100%	100%	0%	27	2%
The United Arab Emirates	14,555		100%			100%	100%	0%	292	16%
Kingdom of Saudi Arabia	14,555		100%			100%	100%	0%	83	5%
The State of Qatar	14,555		100%			100%	100%	0%	40	2%
Sultanate of Oman	14,555		100%			100%	100%	0%	18	1%
Canada	15,130	100%				100%	98%	2%	43	2%
Argentina	15,518	50%	50%			100%	77%	23%	46	3%
Brazil	15,518	100%				100%	77%	23%	216	12%
Russia	16,468	94%		5%	1%	100%	33%	67%	220	12%
Australia	14,701	11%		89%		100%	100%	0%	456	25%
New Zealand	14,701	100%				100%	100%	0%	190	11%
Total(対象)	15,010	41.2%	25.4%	33.3%	0.1%	100%	-	-	1,797	100.0%
Total(全輸入)	-	-	-	-	-	-	-	-	1,809	-

出典：電力原単位、Primary-Aluminium-Smelting-Power-Consumption（IAI統計2015）から作成。

出典：電源構成は、「世界のアルミ製錬工場と生産能力、2015年」（日本アルミニウム協会資料）から推定。

出典：電極方式（％）は、「IAI 2015 Life Cycle Inventory」から適用。

出典：輸入量は財務省・日本貿易月表。

注：輸入対象国は2015年の年間輸入量に対する比率が0.5%以上の国をリストアップしたもの。同輸入総量は同年の全輸入量の99%である。

表4 わが国のアルミニウム輸入先のアルミナの調達先①

日本のアルミニウム輸入先（生産国）										アルミナの輸入量・輸入先（調達先）			
地域略称	地域区分	生産国・日本の輸入先	アルミニウム生産量 (kt/Y) ①	日本のアルミニウム 輸入量 (kt/Y) ②	アルミニウムのアルミナ消費 原単位 (アルミナ t / アルミニウム t) ③	アルミナ所要量 (kt/Y) ④=①×③	アルミナの自国生産量 (kt/Y)	輸入量 (kt/Y)	アルミナ所要量に占 める輸入品比率	輸入先（生産国）	輸入量 (kt/Y)	輸入比率	輸入比率 (補正)
AFR	Africa	South Africa	695	139	1.928	1,340	0	1,407	100%	Australia	1,380	98%	100%
OAS	Other Asia	India	2,355	16	1.928	4,541	5,512	889	20%	Australia	730	82%	84%
										China	51	6%	6%
										Brazil	3	3%	3%
										Netherlands	23	3%	3%
										Germany	19	2%	2%
										Republiek Suriname	16	2%	2%
		Indonesia	168	10	1.928	324	70	597	100%	Australia	503	84%	89%
										India	48	8%	9%
										korea	15	2%	3%
Malaysia	400	27	1.928	771	0	794	100%	Australia	750	94%	98%		
								India	15	2%	2%		
GCC	Gulf Cooperation Council	The United Arab Emirates	2,464	292	1.928	4,751	0	4,751	100%	Australia	2,375	-	50%
										Brazil	2,375	-	50%
		Kingdom of Saudi Arabia	682	83	1.928	1,315	846	469	36%	Australia	234	-	50%
										Brazil	234	-	50%
		The State of Qatar	638	40	1.928	1,230	0	1,230	100%	Australia	615	-	50%
										Brazil	615	-	50%
		Sultanate of Oman	377	18	1.928	727	0	727	100%	Australia	363	-	50%
										Brazil	363	-	50%
NAM	North America	Canada	2,880	43	1.947	5,608	1,561	4,251	76%	Brazil	2,430	57%	57%
										USA	797	19%	19%
										Jamaica	566	13%	13%
										Republiek Suriname	328	8%	8%
										Venezuela	107	3%	3%

注1：アルミナ製造国内でアルミニウムを製錬するケースの輸送はないものとする（全ケースが、アルミナ製造所＝アルミニウム製錬所と仮定）。

注2：アルミナを輸出する場合、アルミナ製造所から積出港までの距離は一律50kmとし、鉄道輸送の往復評価とし、輸入先での輸送はないものと仮定した。

注3：輸出の際の海上輸送は専用船が使用されるため評価は往復とし、使用船型は8万DWT以上の船とした。

注4：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は鉄道輸送、以降を海上輸送とした。ロシア、米国など海港が2か所ある場合は、距離の近い方を適用した。

表4 わが国のアルミニウム輸入先のアルミナの調達先②

日本のアルミニウム輸入先 (生産国)										アルミナの輸入量・輸入先 (調達先)			
地域略称	地域区分	生産国・日本の輸入先	アルミニウム生産量 (kt/Y) ①	日本のアルミニウム輸入量 (kt/Y) ②	アルミニウムのアルミナ消費原単位 (アルミナ t / アルミニウム t) ③	アルミナ所要量 (kt/Y) ④ = ①×③	アルミナの自国生産量 (kt/Y)	輸入量 (kt/Y)	アルミナ所要量に占める輸入品比率	輸入先 (生産国)	輸入量 (kt/Y)	輸入比率	輸入比率 (補正)
SAM	South America	Argentina	433	46	1.891	819	0	985	100%	Brazil	543	55%	58%
		Brazil	772	216	1.891	1,460	10,452	44	3%	Australia	397	40%	42%
			Germany	8	19%	21%							
			China	8	18%	19%							
			Republiek Suriname	7	15%	16%							
			Hng Kong	4	9%	9%							
			Netherlands	4	9%	10%							
			JAPAN	3	7%	8%							
			Bahrain	3	6%	6%							
			USA	2	5%	5%							
France	2	3%	4%										
Austria	1	2%	2%										
EUR	Europe	Russia	3,529	220	1.928	6,804	2,593	4,559	67%	Ukraine	1,463	32%	33%
										Australia	1,167	26%	26%
										Kazakhstan	1,027	23%	23%
										Jamaica	351	8%	8%
										Brazil	311	7%	7%
										Ireland	149	3%	3%
OCA	Oceania	Australia	1,646	456	1.916	3,153	20,097	14	0.4%	China	6	43%	46%
										India	3	22%	24%
										Netherlands	1	6%	7%
										France	1	6%	6%
										JAPAN	1	6%	6%
										Germany	1	6%	6%
										USA	1	4%	4%
		New Zealand	333	190	1.916	638	0	666	100%	Australia	642	97%	100%
合計	-	-	17,372	1,797	-	-	-	21,382	-	-	-	-	

注：表4①と同じ。

表5 アルミナ生産国のボーキサイト調達先①

地域	アルミナ生産国							ボーキサイト調達			
	生産国	アルミナ製造量 (kt/Y)	ボーキサイト t / アルミナ t	ボーキサイト所要量 (kt)	ボーキサイト生産量 (kt)	ボーキサイト輸入量 (kt)	ボーキサイト所要量に占 める輸入品比率	調達先(採掘国)	輸入量 (kt)	輸入比率	輸入比率 (補正)
Africa & Asia (ex China)	India	5,512	2.847	15,692	26,383	1,337	9%	Guinea	844	63%	63%
								Brazil	265	20%	20%
								Malaysia	83	6%	6%
								Pakistan	79	6%	6%
								China	66	5%	5%
	Indonesia	702	2.847	1,999	611	1	0.1%	Netherlands	1	83%	83%
								Brazil	0.1	8%	8%
								China	0.1	7%	7%
								Germany	0.02	2%	2%
	Korea	15	2.847	42	-	42	100%	Malaysia	42	100%	100%
	JAPAN	15	2.847	43	-	1,455	100%	China	1,385	95%	95%
								India	26	2%	2%
								Germany	34	2%	2%
USA								10	1%	1%	
China	China	58,978	2.847	167,907	60,788	55,823	33%	Malaysia	23,989	43%	45%
								Australia	19,581	35%	37%
								India	7,795	14%	15%
								Brazil	1,619	3%	3%
Hng Kong	Hng Kong	4	2.847	11	-	11	100%	China	11	100%	100%
Europe	Germany	1,000	2.156	2,156	-	2,768	100%	Guinea	2,552	92%	94%
								Netherlands	72	3%	3%
								Brazil	53	2%	2%
								China	43	2%	2%
	France	432	2.156	931	70	1,527	100%	Guinea	1,175	77%	80%
								Greece	251	16%	17%
								China	46	3%	3%
	Netherlands	28	2.156	61	-	61	100%	France	61	100%	100%
	Ukraine	1,482	2.156	3,195	-	4,338	100%	Guinea	3,399	78%	78%
								Guyana	769	18%	18%
								Brazil	96	2%	2%
								Jamaica	66	2%	2%
	Kazakhstan	1,448	2.156	3,122	4,683	0	0%	100%国内	-	-	-
	Russia	2,593	2.847	7,382	5,389	102	1%	Italy	34	33%	33%
								Guyana	22	21%	21%
								China	16	16%	16%
								India	17	16%	16%
Turkey								8	8%	8%	
Netherlands								3	3%	3%	
Ukraine	2	2%	2%								
Austria	1	2.156	2	-	2	100%	Russia	2	100%	100%	
Ireland	1,983	2.156	4,276	-	5,783	100%	China	2,892	50%	50.0%	
							Australia	2,892	50%	50.0%	

表5 アルミナ生産国のボーキサイト調達先②

地域	アルミナ生産国							ボーキサイト調達			
	生産国	アルミナ製造量 (kt/Y)	ボーキサイト t / アルミナ t	ボーキサイト所要量 (kt)	ボーキサイト生産量 (kt)	ボーキサイト輸入量 (kt)	ボーキサイト所要量に占 める輸入品比率	調達先(採掘国)	輸入量 (kt)	輸入比率	輸入比率 (補正)
GCC	Bahrain	3	2.847	7	-	7	100%	Australia	7	100%	100%
	UAE	0	2.847	0	-	0	0%	-	-	-	-
	Saudi Arabia	846	2.847	2,409	3,022	0	0%	100%国内	-	-	-
	Qatar	0	2.847	0	-	0	0%	-	-	-	-
	Oman	0	2.847	0	-	0	0%	-	-	-	-
North America	USA	4,234	2.234	9,460	475	11,864	100%	Jamaica	5,227	44%	45%
								Brazil	3,478	29%	30%
								Guinea	2,477	21%	22%
								Guyana	323	3%	3%
	Canada	1,561	2.234	3,488	0	3,696	100%	Brazil	2,260	61%	62%
								Guinea	1,361	37%	37%
								USA	21	1%	1%
Oceania	Australia	20,097	3.386	68,047	80,909	4	0.01%	China	3	80%	83%
								Germany	0.4	9%	9%
								Hng Kong	0.2	4%	4%
								Guyana	0.1	4%	4%
South America	Brazil	10,451	2.395	25,027	37,057	7	0.03%	China	3	80%	100%
	Republiek Suriname	748	2.395	1,791	1,871	0	0%	100%国内	-	-	-
	Jamaica	1,865	2.395	4,466	9,629	0	0%	100%国内	-	-	-
	Venezuela	465	2.395	1,114	992	241	22%	China	120	50%	50.0%
								Australia	120	50%	50.0%

出典：アルミナ生産量はWorld Metal Statistics、ボーキサイト輸入量はWorld Metal StatisticsとGlobal trade Atlasから集計。

注1：地域はIAIのエネルギー原単位に適用されているエネルギー区分。

注2：アルミナ生産国は、わが国のアルミニウム地金の輸入に係る国のみ記載。

注3：調達先は、輸入比率3%以上をリストアップした。

注4：輸入比率はアルミナ生産国におけるボーキサイト輸入量（合計量）に対する比率で示している。輸入比率の補正には、国別輸入統計データは把握できなかったが、アルミナ生産国としてリストアップした国の輸入先として数量把握できたものを含めている。

注5：ボーキサイト調達必要量は、「IAI 2015 Life Cycle InventoryのGlobal統計」の地域別原単位（ボーキサイト t /アルミナ t）の調査結果から計算。

注6：ボーキサイトの採掘国内でアルミナを製造する場合の鉱山からアルミナ製造所までの陸上輸送は鉄道輸送とし、距離は一律100km、専用車両となるため往復評価とした。

注7：輸出の場合、鉱山から積出港までの輸送も鉄道輸送とし、距離は一律100km、専用車両となるため往復評価とした。輸入先での輸送は0 kmと仮定した。

注8：輸出の海上輸送は、専用船が使用されるため評価は往復とし、使用船型は8万DWT以上の船とした。

注9：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は鉄道輸送、以降を海上輸送とした。ロシア、米国など海港が2か所ある場合は、距離の近い方

5. ライフサイクルインベントリ分析結果

アルミニウム地金の製造フローにおいてはアルミニウム製錬所の消費電力原単位が圧倒的に高く、ボーキサイト、アルミナが結果に及ぼす影響は小さいが、ここではボーキサイト、アルミナを含めて結果を報告しておく。

5.1 ボーキサイト

表6に、ボーキサイト産出国のボーキサイト1kg当たりのライフサイクルインベントリを示した。同表に示したデータは、i) ボーキサイトの採掘、ii) ボーキサイト鉱山からアルミナ製造所まで、あるいはボーキサイト鉱山から輸出のための積出港までの輸送工程の計算結果を合算したものである。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。

ボーキサイトについて、IAIのLCI調査結果には地域別のデータがないため世界平均（GLO）のインベントリを使用しており、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、アルミニウム地金の累積データ（ライフサイクルインベントリ）への影響は小さい。

図4に、国別のボーキサイトのGWPを示した。ボーキサイトのGWPには殆ど差がなく、最も高いIndiaと最も低いFranceの差は0.001kgである。

ボーキサイトのデータには輸出に際しての鉱山から積出港までの輸送が含まれており、輸送の占めるウエートは40%前後と高い。ただし、これはボーキサイトのGWPに占める輸送のウエートが高いというより、ボーキサイトの採掘に係るGWPそのものが小さいためである。

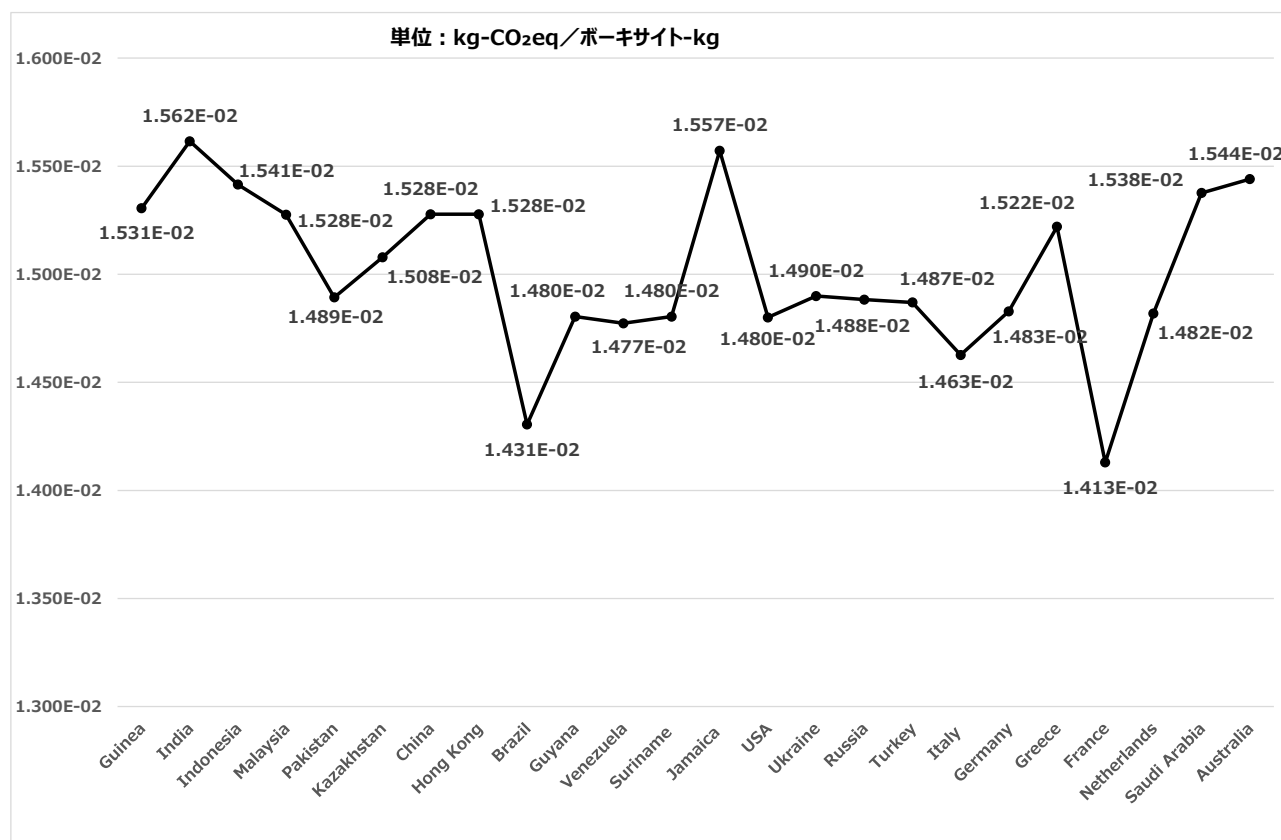


図4 ボーキサイト1kg製造の排出GWP（ライフサイクルインベントリ）

表6-1 ポークサイト1kg当たりのインベントリ ※ユニットプロセスデータ、国内輸送（鉱山から積出港あるいは国内アルミナ製造所までの鉄道輸送）を含む。

項目	単位	Africa	Asia (ex.China)					China		South America			
		Guinea	India	Indonesia	Malaysia	Pakistan	Kazakhstan	China	Hong Kong	Brazil	Guyana	Venezuela	Suriname
ポークサイト	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	1.00E+00	1.00E+00
石炭(資源)	kg	1.45E-03	1.84E-03	1.60E-03	1.47E-03	1.08E-03	1.48E-03	1.69E-03	1.69E-03	1.12E-03	1.08E-03	1.08E-03	1.08E-03
原油(資源)	kg	2.88E-03	2.84E-03	2.86E-03	2.83E-03	2.98E-03	2.83E-03	2.83E-03	2.83E-03	2.83E-03	3.04E-03	2.94E-03	3.04E-03
天然ガス(資源)	kg	8.62E-04	7.58E-04	8.24E-04	9.08E-04	8.42E-04	8.24E-04	7.47E-04	7.47E-04	7.82E-04	7.43E-04	8.46E-04	7.43E-04
ウラン(資源)	kg	1.63E-08	1.69E-08	1.56E-08	1.56E-08	1.81E-08	1.56E-08	1.68E-08	1.68E-08	1.67E-08	1.56E-08	1.56E-08	1.56E-08
用水(海水を除く)	kg	1.02E-03	1.17E-03	1.07E-03	1.02E-03	8.72E-04	1.02E-03	1.11E-03	1.11E-03	8.79E-04	8.75E-04	8.74E-04	8.75E-04
エネルギー消費	MJ	2.52E-01	2.56E-01	2.53E-01	2.50E-01	2.47E-01	2.46E-01	2.51E-01	2.51E-01	2.41E-01	2.44E-01	2.47E-01	2.44E-01
内、化石エネルギー	MJ	2.13E-01	2.16E-01	2.14E-01	2.14E-01	2.07E-01	2.09E-01	2.11E-01	2.11E-01	1.98E-01	2.04E-01	2.06E-01	2.04E-01
CO ₂	kg	1.48E-02	1.51E-02	1.49E-02	1.48E-02	1.44E-02	1.46E-02	1.47E-02	1.47E-02	1.38E-02	1.43E-02	1.43E-02	1.43E-02
NOx	kg	7.33E-06	8.41E-06	7.71E-06	7.43E-06	6.01E-06	7.13E-06	7.70E-06	7.70E-06	5.58E-06	5.74E-06	5.91E-06	5.74E-06
SOx	kg	1.26E-05	1.88E-05	1.48E-05	1.27E-05	7.11E-06	1.29E-05	1.61E-05	1.61E-05	7.34E-06	7.16E-06	6.97E-06	7.16E-06
粒子状物質	kg	7.44E-07	8.76E-07	7.52E-07	7.46E-07	6.96E-07	7.29E-07	7.79E-07	7.79E-07	8.37E-07	6.95E-07	6.94E-07	6.95E-07
PFC	kg	7.94E-08	7.94E-08	7.94E-08	7.94E-08	7.94E-08	7.94E-08	7.94E-08	7.94E-08	7.94E-08	7.94E-08	7.94E-08	7.94E-08
GWP	kg-CO ₂ eq	1.53E-02	1.56E-02	1.54E-02	1.53E-02	1.49E-02	1.51E-02	1.53E-02	1.53E-02	1.43E-02	1.48E-02	1.48E-02	1.48E-02
固形廃棄物	kg	6.22E-07	6.23E-07	6.21E-07	6.19E-07	6.24E-07	6.19E-07	6.24E-07	6.24E-07	6.30E-07	6.27E-07	6.32E-07	6.27E-07

表6-2 ポークサイト1kg当たりのインベントリ ※ユニットプロセスデータ、国内輸送（鉱山から積出港あるいは国内アルミナ製造所までの鉄道輸送）を含む。

項目	単位	South America	North America	Europe						Russia	GCC	Oceania	
		Jamaica	USA	Ukraine	Turkey	Italy	Germany	Greece	France	Netherlands	Russia	Saudi Arabia	Australia
ポークサイト	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	1.00E+00	1.00E+00
石炭(資源)	kg	1.08E-03	1.37E-03	1.47E-03	1.27E-03	1.42E-03	1.21E-03	1.53E-03	1.73E-03	1.10E-03	1.34E-03	1.08E-03	1.79E-03
原油(資源)	kg	3.27E-03	2.82E-03	2.82E-03	2.82E-03	2.82E-03	2.84E-03	2.83E-03	2.88E-03	2.81E-03	2.82E-03	3.04E-03	2.84E-03
天然ガス(資源)	kg	7.46E-04	8.13E-04	7.65E-04	9.24E-04	8.37E-04	8.29E-04	7.63E-04	7.81E-04	7.51E-04	8.21E-04	9.49E-04	8.10E-04
ウラン(資源)	kg	1.56E-08	2.31E-08	3.93E-08	2.35E-08	1.56E-08	1.56E-08	2.13E-08	1.56E-08	4.69E-08	1.71E-08	1.56E-08	1.56E-08
用水(海水を除く)	kg	8.84E-04	9.71E-04	1.02E-03	9.24E-04	9.73E-04	9.19E-04	1.01E-03	1.04E-03	8.72E-04	9.70E-04	8.70E-04	1.10E-03
エネルギー消費	MJ	2.54E-01	2.48E-01	2.50E-01	2.49E-01	2.50E-01	2.50E-01	2.56E-01	2.63E-01	2.44E-01	2.47E-01	2.52E-01	2.58E-01
内、化石エネルギー	MJ	2.15E-01	2.06E-01	2.06E-01	2.09E-01	2.08E-01	2.03E-01	2.07E-01	2.16E-01	1.95E-01	2.06E-01	2.16E-01	2.17E-01
CO ₂	kg	1.50E-02	1.43E-02	1.44E-02	1.44E-02	1.44E-02	1.41E-02	1.43E-02	1.47E-02	1.36E-02	1.43E-02	1.49E-02	1.49E-02
NOx	kg	6.53E-06	6.69E-06	6.83E-06	6.57E-06	6.74E-06	6.17E-06	6.85E-06	7.47E-06	5.23E-06	6.61E-06	6.61E-06	8.02E-06
SOx	kg	7.64E-06	1.15E-05	1.27E-05	9.99E-06	1.29E-05	8.75E-06	1.50E-05	1.97E-05	6.95E-06	1.08E-05	7.17E-06	1.93E-05
粒子状物質	kg	9.35E-07	7.38E-07	7.44E-07	7.09E-07	7.19E-07	7.42E-07	7.65E-07	7.41E-07	6.97E-07	7.56E-07	7.03E-07	7.72E-07
PFC	kg	7.94E-08	7.94E-08	7.94E-08	7.94E-08	7.94E-08	7.94E-08	7.94E-08	7.94E-08	7.94E-08	7.94E-08	7.94E-08	7.94E-08
GWP	kg-CO ₂ eq	1.56E-02	1.48E-02	1.49E-02	1.49E-02	1.49E-02	1.46E-02	1.48E-02	1.52E-02	1.41E-02	1.48E-02	1.54E-02	1.54E-02
固形廃棄物	kg	6.21E-07	6.13E-07	6.23E-07	6.22E-07	6.25E-07	6.28E-07	6.30E-07	6.30E-07	6.27E-07	6.22E-07	6.18E-07	6.23E-07

注1：ポークサイト生産国（輸出国）における鉱山からアルミナ製造所または積出港までの国内輸送100kmに係る負荷を含む。

注2：ポークサイト生産統計による数量把握はできなかったが、アルミナ生産国のポークサイト輸入先（調達先）として登場する国はポークサイト生産実績のある国と見做してデータを処理した。

したがって、下記の国の輸入量のセルに示した数量はその国のポークサイトの全輸入量ではない。

- i) Malaysia：India、Korea、Chinaのアルミナ生産におけるポークサイトの輸入先に含まれている。
- ii) Guineaは：India、USA、Canada、Germany、France、Ukraineのアルミナ生産におけるポークサイトの輸入先に含まれている。
- iii) Pakistan：Indiaのアルミナ生産におけるポークサイトの輸入先に含まれている。
- iv) Hong Kong：Australiaのアルミナ生産におけるポークサイトの輸入先に含まれている。
- v) Guyana：USA、Ukraine、Russia、Australiaのアルミナ生産におけるポークサイトの輸入先に含まれている。
- vi) Guinea：India、Germany、France、Ukraine、USA、Canadaのアルミナ生産におけるポークサイトの輸入先に含まれている。

- vii) Jamaica : Ukraine、USAのアルミナ生産におけるボーキサイトの輸入先に含まれている。
- viii) Turkey : Russiaのアルミナ生産におけるボーキサイトの輸入先に含まれている。
- ix) Italy : Russiaのアルミナ生産におけるボーキサイトの輸入先に含まれている。
- x) Greece : France、Canadaのアルミナ生産におけるボーキサイトの輸入先に含まれている。
- xi) Netherlands : Indonesia、Germany、Russiaのアルミナ生産におけるボーキサイトの輸入先に含まれている。

5.2 アルミナ

表7にアルミナ製造国におけるアルミナ1kg当たりのインベントリを、表8に同ライフサイクルインベントリを示した。表8に示したデータは、i) アルミナの製造、ii) ボーキサイトの輸入に伴う海上輸送および輸出国での国内輸送、輸入国での国内輸送に係る負荷を含んでいる。なお、アルミナ製造国は、アルミニウム新地金をわが国が輸入している国のアルミナ調達先のみを示している。

図5に、アルミナのライフサイクルインベントリを示した。アルミナ1kg製造におけるGWPはIndia、Indonesia、Korea、Japanの4か国が高い。いずれも、アルミナ製造における化石エネルギーの消費量が大きな国である。

この4か国に次いでGWPが高いのは、Austria、Hong Kong、Canada、Ireland、Bahrainである。これらの国のアルミナ製造工程のGWPに大きな差はなく、アルミナ1kgの生産に要するボーキサイトの製造工程のGWPにも殆ど差がみられない。これらの国のGWPの差は、アルミナ1kgの生産に要するボーキサイトの輸入工程すなわち輸送段階で生じている。

輸送は船舶輸送と鉄道輸送の2つの輸送手段のいずれか、ケースによってはその両方で評価している。本分析でGWP算出の対象とした負荷物質にはCO₂、CH₄、N₂O、PFC2種（パーフルオロメタン、同エタン）、HCFC-141b、HFC5種（HFC-134a、同-125、同-152a、同-23、同-32）、SF₆ガスなどがあり、これらの発生原単位は、いずれも船舶輸送より鉄道輸送の方が高い。こうした視点で見ると、Austria、Hong Kongについては、船舶ではなく鉄道輸送で評価していることが影響しているといえる。また、Canada、Ireland、Bahrainは船舶輸送ではあるが、他のケースに比べて輸送距離が長く（tkmが大きい）、これが結果に影響を及ぼしているといえよう。

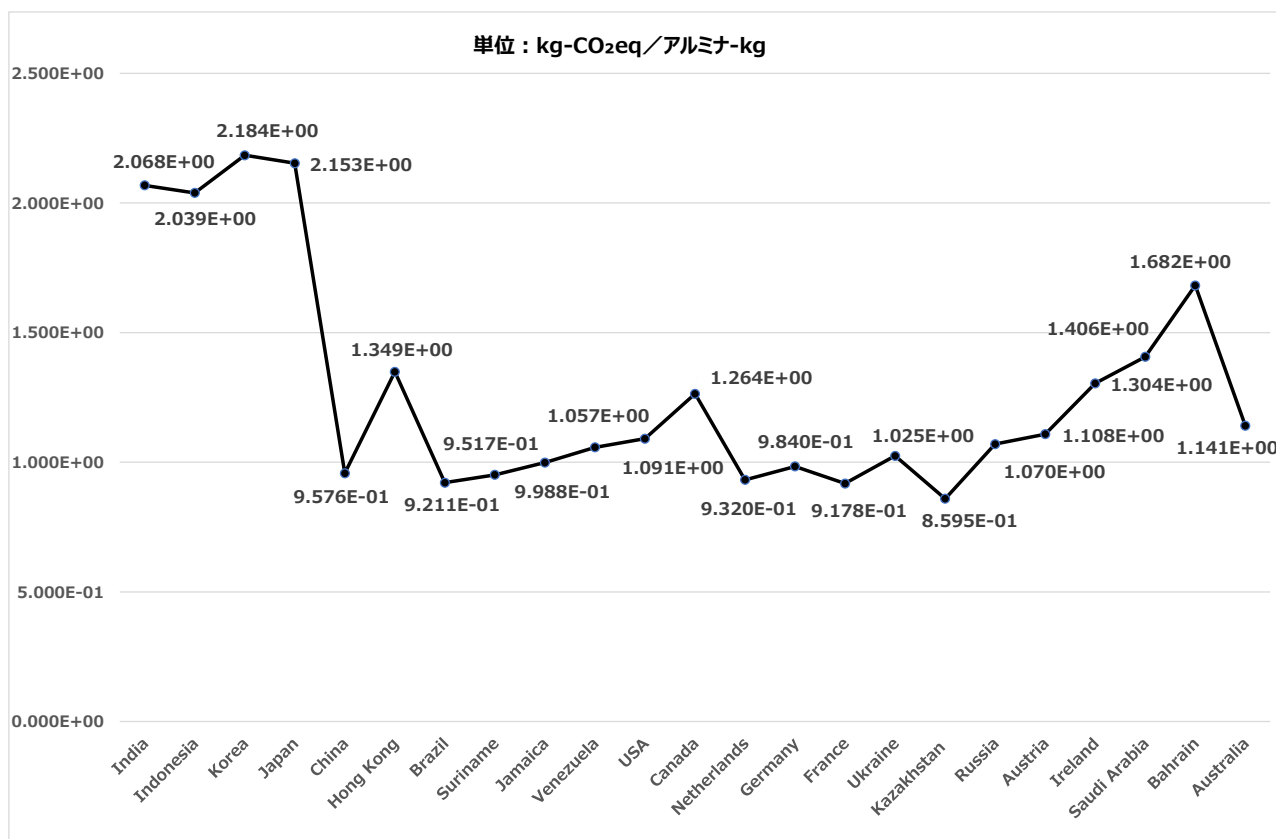


図5 アルミナ1kg製造の排出GWP（ライフサイクルインベントリ；ボーキサイト～アルミナまでの累積ベース）

表 7-1 アルミナ 1 kg 当たりのインベントリ ※ユニットプロセスデータ

項目	単位	Asia (ex.China)				China		South America				North America	
		India	Indonesia	Korea	Japan	China	Hong Kong	Brazil	Suriname	Jamaica	Venezuela	USA	Canada
石炭 (資源)	kg	6.69E-01	6.68E-01	6.67E-01	6.67E-01	3.04E-01	3.04E-01	1.18E-01	1.16E-01	1.16E-01	1.16E-01	2.73E-02	1.70E-02
原油 (資源)	kg	1.01E-01	1.01E-01	1.01E-01	1.01E-01	3.13E-02	3.13E-02	1.50E-01	1.62E-01	1.76E-01	1.57E-01	2.24E-02	2.22E-02
天然ガス(資源)	kg	9.48E-03	9.71E-03	9.58E-03	1.00E-02	6.62E-03	6.62E-03	3.01E-02	2.78E-02	2.80E-02	3.39E-02	2.72E-01	2.69E-01
ウラン(資源)	kg	8.75E-08	8.29E-08	1.24E-07	8.48E-08	2.14E-07	2.14E-07	1.61E-07	9.77E-08	9.76E-08	9.77E-08	4.44E-07	3.72E-07
用水(海水を除く)	kg	3.69E-01	3.69E-01	3.68E-01	3.68E-01	3.82E-01	3.82E-01	4.59E-01	4.58E-01	4.59E-01	4.58E-01	2.71E-01	2.67E-01
エネルギー消費	MJ	2.25E+01	2.24E+01	2.24E+01	2.24E+01	1.02E+01	1.02E+01	1.21E+01	1.22E+01	1.28E+01	1.24E+01	1.70E+01	1.67E+01
内、化石エネルギー	MJ	2.22E+01	2.22E+01	2.22E+01	2.22E+01	9.59E+00	9.59E+00	1.14E+01	1.18E+01	1.24E+01	1.18E+01	1.65E+01	1.61E+01
CO ₂	kg	1.94E+00	1.94E+00	1.94E+00	1.94E+00	8.20E-01	8.20E-01	8.64E-01	8.93E-01	9.37E-01	8.91E-01	8.54E-01	8.28E-01
NOx	kg	1.47E-03	1.46E-03	1.46E-03	1.46E-03	7.95E-04	7.95E-04	5.34E-04	5.43E-04	5.89E-04	5.53E-04	3.97E-04	3.44E-04
SOx	kg	1.70E-03	1.68E-03	1.67E-03	1.65E-03	1.61E-03	1.61E-03	9.40E-04	9.30E-04	9.58E-04	9.19E-04	3.16E-04	1.55E-04
粒子状物質	kg	1.69E-04	1.69E-04	1.69E-04	1.69E-04	6.64E-05	6.64E-05	9.88E-05	9.04E-05	1.05E-04	9.03E-05	1.85E-05	1.81E-05
PFC	kg	6.07E-11	6.09E-11	6.08E-11	6.07E-11	6.16E-11	6.16E-11	7.60E-11	7.55E-11	7.58E-11	7.55E-11	4.86E-11	4.82E-11
GWP	kg-CO ₂ eq	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	8.45E-01	8.45E-01	8.87E-01	9.16E-01	9.62E-01	9.14E-01	8.75E-01	8.48E-01
固形廃棄物	kg	7.61E-04	7.61E-04	7.61E-04	7.61E-04	7.62E-04	7.62E-04	3.38E-04	3.38E-04	3.38E-04	3.39E-04	5.99E-04	5.99E-04

注：アルミナの製造に要するボーキサイト所要量の計算分および輸入に伴う輸送工程の計算は含まれていない。

表 7-2 アルミナ 1 kg 当たりのインベントリ ※ユニットプロセスデータ

項目	単位	Europe					Russia	GCC				Oceania
		Netherlands	Germany	France	Ukraine	Kazakhstan	Russia	Austria	Ireland	Saudi Arabia	Bahrain	Australia
石炭 (資源)	kg	2.58E-02	3.64E-02	1.20E-02	3.30E-02	3.37E-02	5.40E-02	1.28E-02	1.66E-02	3.11E-01	3.11E-01	2.02E-01
原油 (資源)	kg	1.89E-02	1.91E-02	1.83E-02	1.90E-02	1.91E-02	2.55E-02	1.85E-02	1.83E-02	8.99E-02	5.73E-02	3.12E-02
天然ガス(資源)	kg	2.51E-01	2.48E-01	2.47E-01	2.48E-01	2.51E-01	3.07E-01	2.48E-01	2.55E-01	1.08E-01	1.24E-01	1.88E-01
ウラン(資源)	kg	1.35E-07	3.77E-07	1.84E-06	1.41E-06	5.27E-08	1.63E-06	5.28E-08	5.26E-08	7.98E-08	7.98E-08	7.38E-08
用水(海水を除く)	kg	2.34E-01	2.36E-01	2.28E-01	2.37E-01	2.37E-01	3.60E-01	2.29E-01	2.31E-01	3.59E-01	3.57E-01	3.36E-01
エネルギー消費	MJ	1.57E+01	1.62E+01	1.55E+01	1.58E+01	1.56E+01	2.01E+01	1.54E+01	1.54E+01	1.82E+01	1.75E+01	1.73E+01
内、化石エネルギー	MJ	1.52E+01	1.53E+01	1.46E+01	1.52E+01	1.55E+01	1.93E+01	1.47E+01	1.52E+01	1.79E+01	1.73E+01	1.69E+01
CO ₂	kg	7.93E-01	7.93E-01	7.55E-01	7.97E-01	8.07E-01	1.01E+00	7.60E-01	7.88E-01	1.33E+00	1.26E+00	1.06E+00
NOx	kg	3.76E-04	3.90E-04	2.97E-04	3.89E-04	4.06E-04	6.21E-04	3.14E-04	3.59E-04	9.83E-04	9.58E-04	7.11E-04
SOx	kg	2.99E-04	5.40E-04	7.91E-05	4.07E-04	4.21E-04	7.38E-04	9.61E-05	1.92E-04	8.61E-04	7.96E-04	1.18E-03
粒子状物質	kg	1.86E-05	1.91E-05	1.52E-05	1.79E-05	1.71E-05	2.29E-05	2.21E-05	1.55E-05	8.61E-05	8.49E-05	4.86E-05
PFC	kg	4.21E-11	4.34E-11	4.60E-11	4.47E-11	4.13E-11	6.45E-11	4.21E-11	4.13E-11	6.06E-11	6.06E-11	5.73E-11
GWP	kg-CO ₂ eq	8.12E-01	8.13E-01	7.73E-01	8.17E-01	8.27E-01	1.03E+00	7.78E-01	8.07E-01	1.36E+00	1.30E+00	1.09E+00
固形廃棄物	kg	7.20E-04	7.21E-04	7.21E-04	7.21E-04	7.20E-04	7.63E-04	7.21E-04	7.20E-04	7.62E-04	7.62E-04	1.08E-03

注：アルミナの製造に要するボーキサイト所要量の計算分および輸入に伴う輸送工程の計算は含まれていない。

表 8 - 1 アルミナ 1 kg 当たりのライフサイクルインベントリ ※累積データ

項目	単位	Asia (ex.China)				China		South America				North America	
		India	Indonesia	Korea	Japan	China	Hong Kong	Brazil	Suriname	Jamaica	Venezuela	USA	Canada
ボーサイト	kg	2.85E+00	2.85E+00	2.85E+00	2.85E+00	2.85E+00	2.85E+00	2.39E+00	2.39E+00	2.39E+00	2.39E+00	2.23E+00	2.23E+00
石炭 (資源)	kg	6.74E-01	6.73E-01	6.75E-01	6.74E-01	3.10E-01	3.90E-01	1.21E-01	1.19E-01	1.19E-01	1.20E-01	3.23E-02	2.22E-02
原油 (資源)	kg	1.18E-01	1.09E-01	1.50E-01	1.32E-01	5.93E-02	7.24E-02	1.57E-01	1.70E-01	1.84E-01	1.96E-01	8.25E-02	1.44E-01
天然ガス(資源)	kg	1.20E-02	1.21E-02	1.48E-02	1.45E-02	9.82E-03	6.08E-02	3.20E-02	2.96E-02	2.98E-02	3.68E-02	2.76E-01	2.74E-01
ウラン(資源)	kg	1.39E-07	1.27E-07	2.12E-07	1.77E-07	2.76E-07	1.43E-06	2.01E-07	1.35E-07	1.35E-07	1.43E-07	5.15E-07	4.43E-07
用水(海水を除く)	kg	3.73E-01	3.72E-01	3.75E-01	3.74E-01	3.87E-01	4.37E-01	4.61E-01	4.60E-01	4.61E-01	4.62E-01	2.77E-01	2.77E-01
エネルギー消費	MJ	2.36E+01	2.32E+01	2.53E+01	2.45E+01	1.20E+01	2.01E+01	1.26E+01	1.28E+01	1.34E+01	1.45E+01	2.02E+01	2.28E+01
内、化石エネルギー	MJ	2.32E+01	2.28E+01	2.49E+01	2.40E+01	1.12E+01	1.66E+01	1.19E+01	1.23E+01	1.29E+01	1.39E+01	1.96E+01	2.20E+01
CO ₂	kg	2.01E+00	1.98E+00	2.12E+00	2.06E+00	9.23E-01	1.30E+00	8.97E-01	9.27E-01	9.73E-01	1.03E+00	1.06E+00	1.23E+00
NOx	kg	1.49E-03	1.49E-03	1.50E-03	1.49E-03	8.25E-04	9.70E-04	5.47E-04	5.57E-04	6.05E-04	5.80E-04	4.33E-04	4.02E-04
SOx	kg	1.75E-03	1.72E-03	1.73E-03	1.72E-03	1.67E-03	1.92E-03	9.58E-04	9.47E-04	9.77E-04	9.50E-04	3.55E-04	2.11E-04
粒子状物質	kg	1.83E-04	1.71E-04	2.22E-04	1.99E-04	9.31E-05	8.27E-05	1.01E-04	9.20E-05	1.07E-04	1.32E-04	8.59E-05	1.63E-04
PFC	kg	2.44E-07	2.26E-07	4.52E-07	2.38E-07	3.01E-07	6.00E-06	1.90E-07	1.90E-07	1.90E-07	2.11E-07	3.55E-07	3.55E-07
GWP	kg-CO ₂ eq	2.07E+00	2.04E+00	2.18E+00	2.15E+00	9.58E-01	1.35E+00	9.21E-01	9.52E-01	9.99E-01	1.06E+00	1.09E+00	1.26E+00
固形廃棄物	kg	7.63E-04	7.63E-04	7.65E-04	7.65E-04	7.65E-04	8.10E-04	3.40E-04	3.40E-04	3.39E-04	3.40E-04	6.02E-04	6.02E-04

注：アルミナの製造に要するボーサイト所要量の計算分および輸入に伴う輸送工程の計算が含まれている。

表 8 - 2 アルミナ 1 kg 当たりのライフサイクルインベントリ ※累積データ

項目	単位	Eurppe					Russia	GCC			Oceania	
		Netherlands	Germany	France	Ukraine	Kazakhstan	Russia	Austria	Ireland	Saudi Arabia	Bahrain	Australia
ボーサイト	kg	2.16E+00	2.16E+00	2.16E+00	2.16E+00	2.16E+00	2.85E+00	2.16E+00	2.16E+00	2.85E+00	2.85E+00	3.39E+00
石炭 (資源)	kg	3.05E-02	4.18E-02	1.76E-02	3.83E-02	3.69E-02	5.71E-02	6.77E-02	2.26E-02	3.14E-01	3.19E-01	2.09E-01
原油 (資源)	kg	4.95E-02	6.51E-02	5.59E-02	7.64E-02	2.52E-02	3.31E-02	4.59E-02	1.65E-01	9.86E-02	1.67E-01	4.08E-02
天然ガス(資源)	kg	2.55E-01	2.52E-01	2.51E-01	2.52E-01	2.53E-01	3.09E-01	2.84E-01	2.61E-01	1.11E-01	1.30E-01	1.91E-01
ウラン(資源)	kg	2.70E-07	4.46E-07	1.91E-06	1.47E-06	8.64E-08	1.68E-06	8.58E-07	1.21E-07	1.24E-07	1.68E-07	1.27E-07
用水(海水を除く)	kg	2.38E-01	2.42E-01	2.34E-01	2.43E-01	2.39E-01	3.63E-01	2.65E-01	2.42E-01	3.61E-01	3.67E-01	3.39E-01
エネルギー消費	MJ	1.75E+01	1.88E+01	1.77E+01	1.89E+01	1.62E+01	2.08E+01	2.18E+01	2.26E+01	1.89E+01	2.32E+01	1.82E+01
内、化石エネルギー	MJ	1.69E+01	1.77E+01	1.67E+01	1.82E+01	1.59E+01	1.98E+01	1.98E+01	2.22E+01	1.85E+01	2.27E+01	1.76E+01
CO ₂	kg	9.08E-01	9.58E-01	8.95E-01	9.98E-01	8.39E-01	1.04E+00	1.08E+00	1.25E+00	1.37E+00	1.59E+00	1.11E+00
NOx	kg	4.00E-04	4.23E-04	3.28E-04	4.25E-04	4.21E-04	6.37E-04	4.27E-04	4.28E-04	1.00E-03	1.02E-03	7.38E-04
SOx	kg	3.27E-04	5.84E-04	1.24E-04	4.51E-04	4.49E-04	7.63E-04	2.91E-04	2.69E-04	8.81E-04	8.84E-04	1.24E-03
粒子状物質	kg	4.98E-05	6.94E-05	5.53E-05	8.23E-05	1.86E-05	2.56E-05	3.28E-05	1.91E-04	8.81E-05	2.12E-04	5.12E-05
PFC	kg	3.42E-07	3.40E-07	3.38E-07	3.43E-07	1.71E-07	1.93E-07	4.06E-06	2.58E-07	2.26E-07	4.52E-07	2.69E-07
GWP	kg-CO ₂ eq	9.32E-01	9.84E-01	9.18E-01	1.02E+00	8.60E-01	1.07E+00	1.11E+00	1.30E+00	1.41E+00	1.68E+00	1.14E+00
固形廃棄物	kg	7.22E-04	7.24E-04	7.23E-04	7.23E-04	7.22E-04	7.64E-04	7.52E-04	7.23E-04	7.64E-04	7.65E-04	1.09E-03

注：アルミナの製造に要するボーサイト所要量の計算分および輸入に伴う輸送工程の計算が含まれている。

5.3 アルミニウム地金

表9にアルミニウム製造国における新地金1kg当たりのインベントリを、表10に同ライフサイクルインベントリを示す。

ボーキサイト～アルミナ～アルミニウム新地金の一連の製造工程およびAnode/Pasteの製造工程における主要な投入エネルギーである電力の消費量において、アルミニウム新地金製造（製錬工程）における消費比率は圧倒的に高い。

このことをIAIの調査結果からみておくと（表11）、ボーキサイト～アルミナ～アルミニウム、Anode/PasteのGLOベースのデータにおいて、アルミニウム製錬工程の消費電力が全体に占める比率は97%と高い。

図6に、アルミニウムのライフサイクルインベントリにおけるアルミニウム1kg製造の国別GWPを示した。South Africa, India, Malaysia, Australiaの4か国のGWPが突出している。このうちSouth Africa, India, Malaysiaの製錬所の電源は100%火力発電であり、Australiaも比率が89%と高い。一方、GWPが低いIndonesia, Brazil, Canada, New Zealand, Russiaのうち、Indonesia, Brazil, Canada, New Zealandの製錬所の電源構成は100%水力発電であり、Russiaも水力発電の比率が94%と高い。

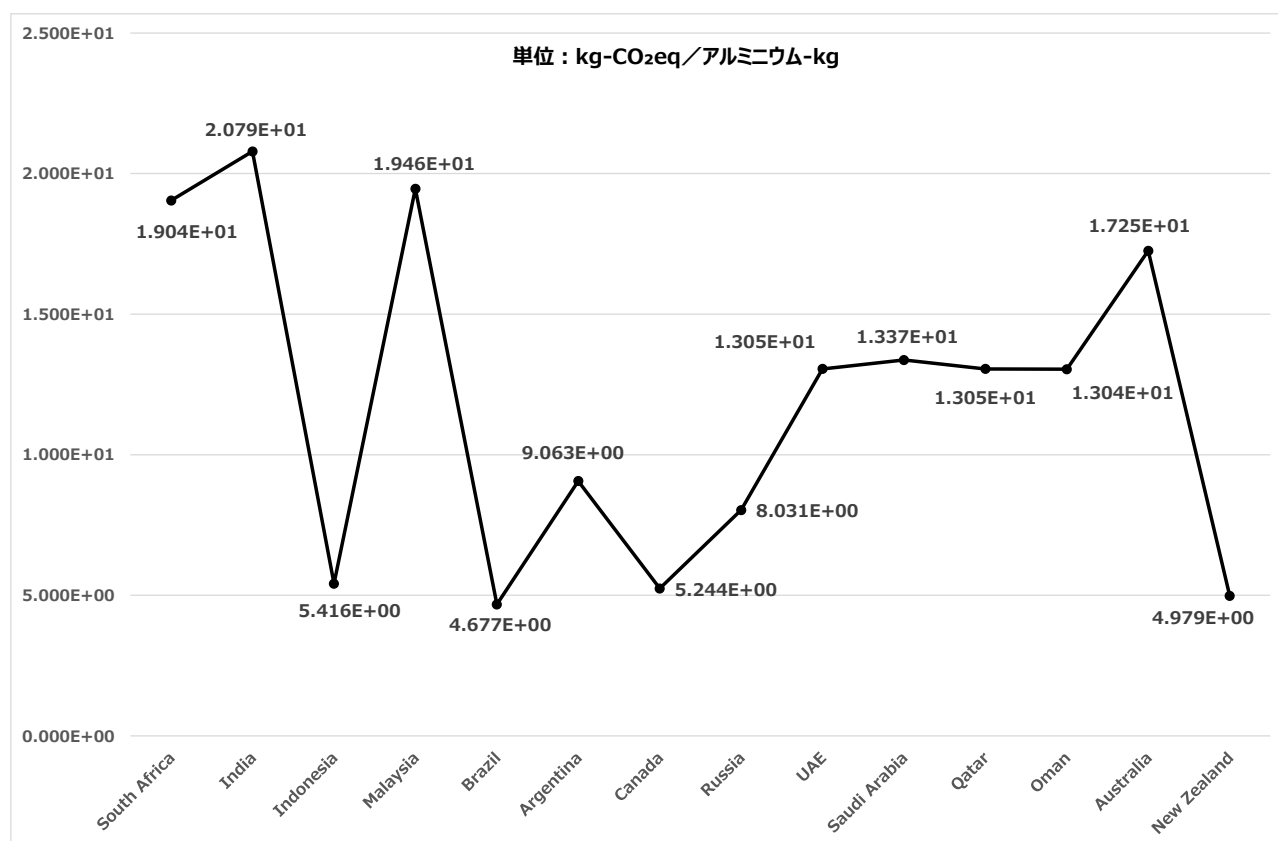


図6 アルミニウム1kg製造の排出GWP（ライフサイクルインベントリ；ボーキサイト～アルミナ～アルミニウムまでの累積ベース；Anode/Pasteの生産を含む）

表9-1 アルミニウム1kgのインベントリ ※ユニットプロセスデータ

項目	単位	Africa		Asia (ex.China)			South America		North America
		South Africa	India	Indonesia	Malaysia	Brazil	Argentina	Canada	
石炭(資源)	kg	4.95E+00	5.13E+00	2.89E-02	5.13E+00	2.85E-02	2.28E-02	3.14E-02	
原油(資源)	kg	1.79E-01	1.84E-01	4.22E-02	1.84E-01	2.09E-02	1.77E-02	4.22E-02	
天然ガス(資源)	kg	1.82E-02	1.85E-02	1.28E-02	1.85E-02	1.29E-02	1.53E+00	6.28E-02	
ウラン(資源)	kg	1.50E-07	1.52E-07	1.20E-07	1.52E-07	1.13E-07	1.05E-07	1.28E-07	
用水(海水を除く)	kg	3.11E+00	3.22E+00	3.61E-01	3.22E+00	3.89E-01	3.46E-01	3.51E-01	
エネルギー消費	MJ	1.37E+02	1.41E+02	5.79E+01	1.41E+02	5.94E+01	1.13E+02	5.97E+01	
内、化石エネルギー	MJ	1.36E+02	1.41E+02	3.36E+00	1.41E+02	2.41E+00	8.49E+01	6.16E+00	
CO ₂	kg	1.51E+01	1.55E+01	1.73E+00	1.55E+01	1.90E+00	5.89E+00	1.88E+00	
NO _x	kg	2.86E-02	2.97E-02	8.59E-05	2.97E-02	6.25E-05	6.36E-03	1.49E-04	
SO _x	kg	1.08E-01	1.12E-01	1.17E-04	1.12E-01	8.36E-05	9.25E-05	1.76E-04	
粒子状物質	kg	6.81E-04	7.05E-04	1.06E-05	7.05E-04	8.23E-06	6.96E-05	1.90E-05	
PFC	kg	8.95E-11	8.98E-11	9.91E-11	8.98E-11	9.47E-11	8.75E-11	1.05E-10	
GWP	kg-CO ₂ eq	1.55E+01	1.59E+01	1.74E+00	1.59E+01	1.90E+00	5.99E+00	1.89E+00	
固形廃棄物	kg	1.99E-03	1.99E-03	2.12E-03	1.99E-03	2.06E-03	1.98E-03	2.81E-03	

注1：反応由来のCO₂を含む。

注2：Anode/Pasteの生産工程、アルミナの輸入およびアルミニウムの輸入に係る輸送工程の計算は含まれていない。

表9-2 アルミニウム1kgのインベントリ ※ユニットプロセスデータ

項目	単位	Europe	Gulf Cooperation Council				Oceania	
		Russia	UAE	Saudi Arabia	Qatar	Oman	Australia	New Zealand
石炭(資源)	kg	2.97E-01	1.69E-02	1.69E-02	1.69E-02	1.69E-02	4.44E+00	2.57E-02
原油(資源)	kg	1.87E-02	1.48E-01	1.48E-01	1.48E-01	1.48E-01	1.39E-01	1.66E-02
天然ガス(資源)	kg	3.24E-03	2.81E+00	2.81E+00	2.81E+00	2.81E+00	1.41E-02	9.21E-03
ウラン(資源)	kg	3.99E-06	9.17E-08	9.17E-08	9.17E-08	9.17E-08	1.16E-07	8.87E-08
用水(海水を除く)	kg	3.14E-01	2.74E-01	2.74E-01	2.74E-01	2.74E-01	2.77E+00	2.99E-01
エネルギー消費	MJ	6.53E+01	1.61E+02	1.61E+02	1.61E+02	1.61E+02	1.27E+02	5.49E+01
内、化石エネルギー	MJ	8.67E+00	1.61E+02	1.61E+02	1.61E+02	1.61E+02	1.21E+02	1.94E+00
CO ₂	kg	2.61E+00	9.47E+00	9.47E+00	9.47E+00	9.47E+00	1.36E+01	1.63E+00
NO _x	kg	1.64E-03	1.19E-02	1.19E-02	1.19E-02	1.19E-02	2.57E-02	5.08E-05
SO _x	kg	6.12E-03	3.11E-04	3.11E-04	3.11E-04	3.11E-04	9.69E-02	6.56E-05
粒子状物質	kg	4.33E-05	1.37E-04	1.37E-04	1.37E-04	1.37E-04	6.09E-04	7.04E-06
PFC	kg	3.51E-11	7.52E-11	7.52E-11	7.52E-11	7.52E-11	6.53E-11	7.34E-11
GWP	kg-CO ₂ eq	2.64E+00	9.66E+00	9.66E+00	9.66E+00	9.66E+00	1.39E+01	1.64E+00
固形廃棄物	kg	2.54E-03	2.14E-03	2.14E-03	2.14E-03	2.14E-03	1.51E-03	1.63E-03

注1：反応由来のCO₂を含む。

注2：Anode/Pasteの生産工程、アルミナの輸入およびアルミニウムの輸入に係る輸送工程の計算は含まれていない。

表10-1 アルミニウム 1 kgのライフサイクルインベントリ ※累積データ

項目	単位	Africa	Asia (ex.China)				South America		North America
		South Africa	India	Indonesia	Malaysia	Brazil	Argentina	Canada	
ボーキサイト	kg	6.53E+00	5.64E+00	6.41E+00	6.51E+00	4.53E+00	5.32E+00	4.54E+00	
石炭 (資源)	kg	5.48E+00	6.37E+00	6.44E-01	5.66E+00	3.59E-01	4.18E-01	2.98E-01	
原油 (資源)	kg	6.43E-01	7.59E-01	5.30E-01	6.61E-01	6.09E-01	5.53E-01	7.26E-01	
天然ガス(資源)	kg	4.24E-01	1.12E-01	3.55E-01	3.88E-01	8.81E-02	1.73E+00	3.35E-01	
ウラン(資源)	kg	5.12E-07	5.32E-07	4.25E-07	4.51E-07	6.10E-07	5.97E-07	1.14E-06	
用水(海水を除く)	kg	3.84E+00	3.99E+00	1.09E+00	3.94E+00	1.30E+00	1.17E+00	1.17E+00	
エネルギー消費	MJ	1.95E+02	2.06E+02	1.16E+02	1.98E+02	1.00E+02	1.61E+02	1.14E+02	
内、化石エネルギー	MJ	1.93E+02	2.04E+02	6.00E+01	1.97E+02	4.16E+01	1.30E+02	5.88E+01	
CO ₂	kg	1.79E+01	1.96E+01	4.66E+00	1.83E+01	4.09E+00	8.37E+00	4.52E+00	
NO _x	kg	3.04E-02	3.26E-02	2.03E-03	3.15E-02	1.32E-03	7.81E-03	1.40E-03	
SO _x	kg	1.11E-01	1.16E-01	3.33E-03	1.15E-01	2.19E-03	2.42E-03	1.88E-03	
粒子状物質	kg	9.00E-04	1.08E-03	2.26E-04	9.02E-04	2.73E-04	3.30E-04	3.64E-04	
PFC	kg	5.95E-07	4.96E-07	6.00E-07	5.94E-07	4.04E-07	4.98E-07	5.54E-07	
GWP	kg-CO ₂ eq	1.90E+01	2.08E+01	5.42E+00	1.95E+01	4.68E+00	9.06E+00	5.24E+00	
固形廃棄物	kg	4.11E-03	3.58E-03	4.17E-03	4.10E-03	2.77E-03	3.27E-03	3.73E-03	

注1：反応由来のCO₂を含む。

注2：Anode/Pasteの生産工程、アルミナの輸入およびアルミニウムの輸入に係る輸送工程の計算は含まれていない。

表10-2 アルミニウム 1 kgのライフサイクルインベントリ ※累積データ

項目	単位	Russia	Gulf Cooperation Council				Oceania	
		Russia	UAE	Saudi Arabia	Qatar	Oman	Australia	New Zealand
ボーキサイト	kg	5.06E+00	5.57E+00	5.52E+00	5.57E+00	5.57E+00	6.48E+00	6.49E+00
石炭 (資源)	kg	6.80E-01	4.32E-01	6.17E-01	4.32E-01	4.32E-01	4.95E+00	5.17E-01
原油 (資源)	kg	6.17E-01	7.56E-01	7.10E-01	7.58E-01	7.53E-01	5.48E-01	4.40E-01
天然ガス(資源)	kg	4.94E-01	3.07E+00	3.07E+00	3.07E+00	3.07E+00	4.13E-01	4.09E-01
ウラン(資源)	kg	6.39E-06	4.68E-07	4.09E-07	4.68E-07	4.68E-07	4.02E-07	3.87E-07
用水(海水を除く)	kg	1.04E+00	1.11E+00	1.06E+00	1.11E+00	1.11E+00	3.48E+00	1.01E+00
エネルギー消費	MJ	1.32E+02	2.15E+02	2.17E+02	2.14E+02	2.14E+02	1.82E+02	1.10E+02
内、化石エネルギー	MJ	7.27E+01	2.13E+02	2.15E+02	2.13E+02	2.13E+02	1.75E+02	5.56E+01
CO ₂	kg	5.26E+00	1.21E+01	1.24E+01	1.21E+01	1.21E+01	1.62E+01	4.26E+00
NO _x	kg	3.58E-03	1.34E-02	1.38E-02	1.34E-02	1.34E-02	2.74E-02	1.69E-03
SO _x	kg	8.03E-03	2.68E-03	2.39E-03	2.68E-03	2.68E-03	9.99E-02	2.68E-03
粒子状物質	kg	2.63E-04	4.21E-04	3.80E-04	4.24E-04	4.17E-04	7.50E-04	1.66E-04
PFC	kg	8.35E-02	5.19E-07	4.66E-07	5.19E-07	5.19E-07	5.16E-07	5.91E-07
GWP	kg-CO ₂ eq	8.03E+00	1.31E+01	1.34E+01	1.31E+01	1.30E+01	1.73E+01	4.98E+00
固形廃棄物	kg	4.06E-03	4.46E-03	4.53E-03	4.46E-03	4.46E-03	4.47E-03	4.59E-03

注1：反応由来のCO₂を含む。

注2：Anode/Pasteの生産工程、アルミナの輸入およびアルミニウムの輸入に係る輸送工程の計算は含まれていない。

表11 アルミニウム製造の原料フローと工程別消費電力（IAI LCI調査結果、GLOベース）

項目	単位	ポークサイト	⇒	アルミナ	}	⇒	アルミニウム	合計
原料フロー	kg	5.49		1.93			1.00	-
消費電力	kWh	8		421			15,590	16,070
構成比	-	0.05%		2.62%			97.01%	100.00%
				Anode/Paste	}			
				0.46				
				51				
				0.32%				

出典：IAI LCI調査 2015年

5.4 Anode/Pasteのインベントリ

表12に、Anode/Paste1kgのインベントリを示した。Anode/Paste1kgのGWPは0.87~1.21kg、アルミニウム新地金1kgのAnode/Paste所要量は0.4~0.5kgである。アルミニウム新地金のライフサイクルインベントリベースのGWPに占めるAnode/Paste消費由来のGWPの比率は、Indonesia、Brazil、Canada、New Zealandの製錬所のように100%水力発電の国では約10%、水力発電の構成比が94%と高いRussiaで8%を占めているのに対して、100%火力発電の国および火力発電の構成比が高い国では2%~5%に留まる。

表12 Anode/Paste 1 kgのインベントリ ユニットプロセスデータ

項目	単位	Asia (ex.China)				South America
		South Africa	India	Indonesia	Malaysia	Brazil
アノード/ペースト	kg	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
石炭(資源)	kg	2.84E-01	2.99E-01	2.70E-01	2.68E-01	2.04E-01
原油(資源)	kg	7.18E-01	8.34E-01	8.36E-01	8.31E-01	5.56E-01
天然ガス(資源)	kg	8.54E-02	2.04E-02	2.84E-02	1.82E-02	1.81E-02
ウラン(資源)	kg	2.38E-07	2.50E-07	9.45E-08	9.45E-08	2.10E-07
用水(海水を除く)	kg	1.45E-01	1.61E-01	1.49E-01	1.58E-01	1.02E-01
エネルギー消費	MJ	4.51E+01	4.74E+01	4.71E+01	4.59E+01	3.27E+01
内、化石エネルギー	MJ	4.47E+01	4.67E+01	4.65E+01	4.57E+01	3.17E+01
CO ₂	kg	1.05E+00	1.12E+00	1.10E+00	1.10E+00	8.11E-01
NO _x	kg	7.46E-04	9.13E-04	8.28E-04	8.66E-04	4.36E-04
SO _x	kg	1.45E-03	2.14E-03	1.66E-03	2.02E-03	5.98E-04
粒子状物質	kg	5.73E-05	9.75E-05	8.25E-05	8.23E-05	7.66E-05
PFC	kg	7.03E-11	7.07E-11	7.48E-11	6.96E-11	6.16E-11
GWP	kg-CO ₂ eq	2.57E+00	2.74E+00	2.71E+00	2.72E+00	1.94E+00
固形廃棄物	kg	4.87E-05	4.75E-05	4.72E-05	4.68E-05	1.09E-04
項目	単位	South America	North America	Europe	GCC	
		Argentina	Canada	Russia	UAE	Saudi Arabia
アノード/ペースト	kg	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
石炭(資源)	kg	2.02E-01	2.45E-01	4.14E-01	2.31E-01	2.31E-01
原油(資源)	kg	5.62E-01	7.69E-01	8.47E-01	7.82E-01	7.82E-01
天然ガス(資源)	kg	3.27E-02	6.41E-02	3.01E-02	9.20E-02	9.20E-02
ウラン(資源)	kg	3.28E-07	1.02E-06	5.37E-07	1.07E-07	1.07E-07
用水(海水を除く)	kg	1.01E-01	1.32E-01	1.76E-01	1.50E-01	1.50E-01
エネルギー消費	MJ	3.32E+01	4.64E+01	5.19E+01	4.69E+01	4.69E+01
内、化石エネルギー	MJ	3.27E+01	4.49E+01	5.14E+01	4.66E+01	4.66E+01
CO ₂	kg	8.63E-01	1.01E+00	1.03E+00	1.04E+00	1.04E+00
NO _x	kg	4.96E-04	5.86E-04	6.34E-04	6.18E-04	6.18E-04
SO _x	kg	5.70E-04	7.99E-04	7.97E-04	5.31E-04	5.31E-04
粒子状物質	kg	6.56E-05	7.10E-05	7.84E-05	6.24E-05	6.24E-05
PFC	kg	6.12E-11	7.72E-11	1.15E-10	7.93E-11	7.93E-11
GWP	kg-CO ₂ eq	1.99E+00	2.58E+00	2.94E+00	2.65E+00	2.65E+00
固形廃棄物	kg	1.08E-04	1.31E-04	8.84E-05	2.27E-03	2.27E-03
項目	単位	GCC		Oceania		
		Qatar	Oman	Australia	New Zealand	
アノード/ペースト	kg	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	
石炭(資源)	kg	2.31E-01	2.31E-01	2.61E-01	2.18E-01	
原油(資源)	kg	7.81E-01	7.82E-01	7.62E-01	7.60E-01	
天然ガス(資源)	kg	8.66E-02	9.20E-02	8.28E-02	8.08E-02	
ウラン(資源)	kg	1.07E-07	1.07E-07	9.90E-08	9.87E-08	
用水(海水を除く)	kg	1.50E-01	1.50E-01	1.44E-01	1.29E-01	
エネルギー消費	MJ	4.66E+01	4.69E+01	4.65E+01	4.60E+01	
内、化石エネルギー	MJ	4.63E+01	4.66E+01	4.60E+01	4.47E+01	
CO ₂	kg	1.03E+00	1.04E+00	1.06E+00	9.81E-01	
NO _x	kg	5.94E-04	6.18E-04	6.85E-04	5.18E-04	
SO _x	kg	5.29E-04	5.31E-04	1.30E-03	5.16E-04	
粒子状物質	kg	6.21E-05	6.24E-05	6.33E-05	5.90E-05	
PFC	kg	7.93E-11	7.93E-11	7.37E-11	8.45E-11	
GWP	kg-CO ₂ eq	2.63E+00	2.65E+00	2.62E+00	2.54E+00	
固形廃棄物	kg	2.27E-03	2.27E-03	2.11E-03	2.11E-03	

注：反応由来のCO₂を含む。

5.5 アルミニウム新地金のライフサイクルインベントリ（加重平均値）

表13に、輸入比率で加重平均したアルミニウム1kg製造のライフサイクルインベントリを示した。分析結果は、アルミニウム新地金1kg製造当たり、LCEが165MJ、排出CO₂は10.8kg、GWPは12.0kgであった。

アルミニウムのGWPはボーキサイトの採掘、アルミナの製造工程に比して電解製錬の消費電力が非常に大きいため、累積ベースにおいてもユニットプロセスの項で述べたと同様に、その電源構成が結果に大きな影響を及ぼす。

LCE（一次エネルギー）についても、電源構成の違いがストレートに反映されており、電解製錬所に石炭火力発電、天然ガス火力発電を導入している国々の消費エネルギーが大きい。なお、電力のエネルギー変換は、一般的に使用されている火力発電9.0MJ/kWh（発電効率40%）、水力発電3.6MJ/kWh（同100%）、原子力発電10.91 MJ/kWh（同33%）を用いた。

表13 輸入比率で加重平均したアルミニウム1kg製造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	kg	5.77E+00
石炭（資源）	kg	2.138E+00
原油（資源）	kg	6.156E-01
天然ガス（資源）	kg	1.054E+00
ウラン（資源）	kg	1.205E-06
用水（海水を除く）	kg	1.996E+00
エネルギー消費（LCE）	MJ	1.654E+02
内、化石エネルギー	MJ	1.404E+02
CO ₂	kg	1.082E+01
NO _x	kg	1.434E-02
SO _x	kg	3.900E-02
粒子状物質	kg	4.840E-04
PFC	kg	1.023E-02
GWP（CO ₂ eq）	kg	1.196E+01
固形廃棄物	kg	4.137E-03
再掲		
エネルギー消費（LCE）	MJ	165
CO ₂	kg	10.8
GWP（CO ₂ eq）	kg	12.0

注：アルミニウム電解製錬およびAnode/Paste製造工程の反応由来の発生CO₂を含む。

6. 考察

6.1 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14に示す。表には、有効数字3桁で示したが、分析に用いたIAIの基礎データの取り扱い方本分析のデータ処理法（特に、地域データを国別データに適用している点）を踏まえると、実質は2桁程度と考えるのが妥当と判断される。

今回の調査結果に基づけば、製造段階ではアルミニウム製造時（電解製錬）の「電力消費由来」がLCEベースで65%、GWPで59%と過半を占めている。「電力以外」を含めた電解工程合計の比率はLCEで80%、GWPで81%となる。これは、電解工程の「電力以外」にアルミナ調達の国間輸送、アルミニウム製造における所要Anode/Paste製造分を含む比率であるが、純電解製造でみてもLCEは67%、GWPは74%と電解工程の比率が過半を占めている。本表（表14）と前掲表11とを比較すると、前者においてアルミナ調達の国間輸送、アルミニウム製造における所要Anode/Paste製造分、新地金の海上輸送、電力以外の燃料使用を含むものとなっている。

表14 輸入アルミニウム新地金のインベントリの内訳

区分	インベントリ内訳① ボーキサイト 採掘 *	インベントリ内訳② アルミナ 製造 **	インベントリ内訳③ 電解製錬		インベントリ内訳④ 電力以外 ***	インベントリ内訳⑤ 新地金の 海上輸送	総括D 新地金 LCI
			電力消費由来	電力以外			
投入原単位	kg/kg-AL	5.771	1.919	1.000	1.000	1.000	-
ボーキサイト	kg	5.771	-	-	-	-	5.771
石炭(資源)	kg	9.07E-03	3.29E-01	1.67E+00	1.30E-01	5.87E-07	2.14E+00
原油(資源)	kg	1.64E-02	1.29E-01	5.18E-02	3.99E-01	1.95E-02	6.16E-01
天然ガス(資源)	kg	4.68E-03	2.90E-01	7.18E-01	4.13E-02	3.30E-04	1.05E+00
ウラン(資源)	kg	9.32E-08	3.86E-07	5.12E-07	2.15E-07	8.47E-12	1.21E-06
エネルギー消費(LCE)	MJ	1.46E+00	3.11E+01	1.08E+02	2.43E+01	8.91E-01	1.65E+02
内、化石エネルギー	MJ	1.22E+00	3.00E+01	8.45E+01	2.38E+01	8.91E-01	1.40E+02
CO ₂	kg	8.41E-02	1.95E+00	6.45E+00	2.27E+00	6.09E-02	1.08E+01
NO _x	kg	4.21E-05	1.26E-03	1.26E-02	4.12E-04	6.58E-06	1.43E-02
SO _x	kg	8.89E-05	2.01E-03	3.64E-02	5.03E-04	4.49E-06	3.90E-02
粒子状物質	kg	4.50E-06	1.24E-04	2.59E-04	7.24E-05	2.43E-05	4.84E-04
PFC	kg	4.58E-07	1.93E-08	1.22E-11	1.02E-02	4.35E-11	1.02E-02
GWP	kg-CO ₂ eq	8.72E-02	2.00E+00	6.63E+00	3.17E+00	6.30E-02	1.20E+01
固形廃棄物	kg	3.60E-06	1.61E-03	8.35E-05	2.44E-03	4.38E-10	4.14E-03
再掲							
エネルギー消費(LCE)	MJ	1.456	31.061	107.640	24.336	0.891	165
CO ₂	kg	0.084	1.949	6.452	2.274	0.061	10.82
GWP	kg-CO ₂ eq	0.087	2.002	6.632	3.172	0.063	11.96

注：電解製錬の「電力以外」には、電解製錬での反応由来のCO₂、Anode/Paste消費ベースの反応由来のCO₂が含まれている。

- * 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。

6.2 過去の調査結果との比較

表15に、インベントリの内訳データを過去の調査結果と対比して示した。LCE-MJ当たりのGWPの推移をみると、調査年次によって大きく変化している工程はほとんどない。特に、前回調査と今回調査では、電解工程の「電力以外」を除くと同水準である。

電解工程の「電力以外」には、アルミニウム電解工程、アルミナ輸送工程、Anode/Paste製造工程が含まれており、アルミニウム電解工程およびAnode/Paste製造工程では反応由来のCO₂が計上されていること、またアルミニ

ウム電解工程ではインプット・マテリアルとして用水、陰極炭素剤、耐火材料、鋼鉄、ふっ化アルミニウムが、Anode/Paste製造工程ではインプット・マテリアルとしてペトロコックス、ピッチ、耐火材料、鋼鉄が、エネルギーインプットとして重油、軽油、天然ガスが消費されているため、年次によってこれらの投入原単位、温暖化ガスの発生原単位に変化が生じていることがLCE-MJ当たりのGWPに影響を及ぼしたものと推察される。

表15 過去の調査結果との比較

区分	単位	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 LCI
				電力消費由来	電力以外 ***		
今回のインベントリ							
エネルギー消費 (LCE)	MJ	1.5	31.1	107.6	24.3	0.9	165
内、化石エネルギー	MJ	1.2	30.0	84.5	23.8	0.9	140
GWP	kg-CO ₂ eq	0.09	2.00	6.63	3.17	0.06	12.0
前回のインベントリ							
エネルギー消費 (LCE)	MJ	0.8	27.8	103.6	19.6	1.3	153
内、化石エネルギー	MJ	0.8	25.0	72.5	19.0	1.3	119
GWP	kg-CO ₂ eq	0.05	1.99	6.18	2.80	0.09	11.1
前々回のインベントリ							
エネルギー消費 (LCE)	MJ	3.0	26.4	93.1	23.9	1.2	146
内、化石エネルギー	MJ	3.0	24.9	62.5	23.7	1.2	114
GWP	kg-CO ₂ eq	0.30	1.96	5.13	2.83	0.08	10.7
比較							
GWP/LCE	今回	0.06	0.06	0.06	0.13	0.07	0.07
GWP/LCE	前回	0.06	0.07	0.06	0.14	0.07	0.07
GWP/LCE	前々回	0.10	0.07	0.06	0.12	0.07	0.07

注：電解製錬の「電力以外」には、電解製錬での反応由来のCO₂、Anode/Paste消費ベースの反応由来のCO₂が含まれている。

- * 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。

次に、輸入アルミ新地金のGWPに占める輸入国別の影響をみておく。図7、図8に、輸入アルミ新地金のGWPに対する輸入国別の影響を示した。GWPの輸入比率による加重平均値に影響を及ぼす2大要素は輸入比率とアルミニウム製錬所の電源構成である。表16に、今回調査、前回調査の輸入比率の上位5か国をリストアップした。

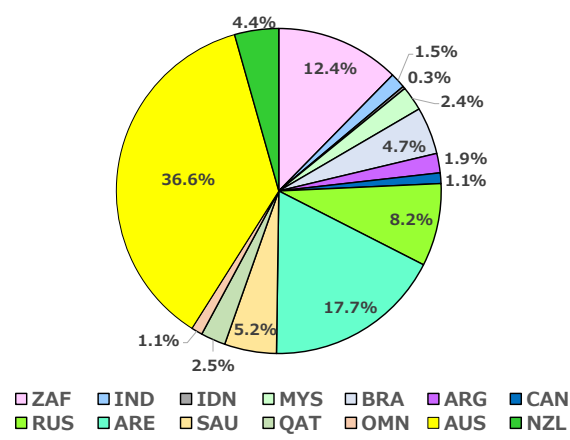


図7 GWP構成比 (今回調査)

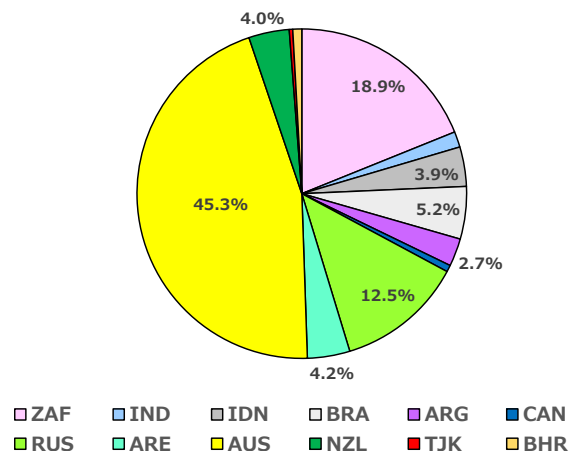


図8 GWP構成比 (前回調査)

表16 アルミニウム新地金の輸入比率、上位5か国のGWP寄与率

今回調査				前回調査			
国	輸入比率	GWP構成比	電源	国	輸入比率	GWP構成比	電源
AUS	25%	37%	石炭91・水力9	AUS	31%	45%	石炭89・水力11
ARE	16%	18%	ガス100	RUS	15%	12%	水力75・石炭25
BRA	12%	4%	水力100	BRA	12%	5%	水力100
RUS	12%	8%	水力75・石炭25	ZAF	12%	19%	石炭100
NZL	11%	4%	水力100	NZL	9%	4%	水力100
合計	76%	71%	-	合計	80%	86%	-

今回調査の輸入比率上位5か国をみると、前回調査で4位のZAF（南アフリカ）がランキング外となり、ARE（アラブ首長国連邦）が2位に登場しているほか、顔ぶれに変化はない。

アルミニウム新地金の全輸入量に上位5か国が占める比率は、今回調査で76%、前回調査で80%である。また、GWP構成比は、今回調査で71%、前回調査で86%である。

上位5か国という括りで見ると、当然ながら輸入比率の高い国のGWP構成比が高いというデータ性質が明らかである。ただし、GWPにはアルミニウム製錬所の電源を何に依存しているかという影響度の大きな要素があるため、輸入比率とGWP構成比は完全に整合する訳ではない。

今回調査でいえば、BRA（ブラジル）とRUS（ロシア）の輸入比率は同水準であり、電源も水力主体ではあるが、RUSは25%が石炭火力であるため、GWP構成比はBRAの4%に対して2倍の8%を示している。前回調査の結果にはさらに典型的な例があり、BRAとZAF（南アフリカ）の輸入比率は同水準であるが、BRAのアルミニウム製錬所の電源が水力100%であるのに対してZAFは石炭火力100%であり、GWP構成比はBRAの5%に比べてZAFは約4倍の19%を示している。

実際には、この組み合わせと電力以外にどのようなエネルギーや材料をどれだけ消費しているかが影響するため、完全な整合性はないものの、明らかな傾向はみとれる。

6.3 輸送の影響

輸送に係る消費エネルギー、GWPは以下の前提で計算した。

ポーキサイト、アルミナ、アルミニウム新地金とも海上輸送はバルク運搬船としたが、ポーキサイト、アルミナは片荷輸送（往復の距離で計算）、アルミニウム新地金は混載輸送で片道の距離で計算した。

国内輸送、国間輸送で船舶が使えないケースは鉄道輸送で計算している。距離は、国内輸送を除き、片荷輸送（往復の距離で計算）で計算している。

国間輸送は、輸入国が変わると計算内容が異なってくるほか、輸入比率も影響するため単純比較はできないが、今回調査、前回調査の結果を表17に併記した。

前回同様、アルミナの輸送比率が大きい。これは前回同様に、原料所要量の大きなアルミナの船舶を専用船（片荷輸送・往復距離で計算）としたためである。アルミニウム新地金の輸入に伴う輸送のLCEは前回より値が低くなり、合計に占める比率も前回は33%、今回は21%と低下している。GWPは前回は33%、今回は14%であった。これは、輸入先の変化が影響しているものと判断される。

輸送形態（使用船型、鉄道か船舶かなどの前提条件）の違いによる影響は相当程度あるが、アルミニウム新地金のLCIデータに占める輸送の比率は、加重平均で1.9%と低いため、輸送形態の前提の変更による影響は小さいものと判断される。

表17 輸入アルミニウム新地金1kg当たりの輸送に係るLCEとGWP

区分	今回調査		前回調査	
	LCE (MJ)	GWP (kg-CO ₂ eq)	LCE (MJ)	GWP (kg-CO ₂ eq)
ボーキサイトの輸送 (国内・国間)	0.97	0.054	0.79	0.054
アルミナの輸送 (国間)	1.66	0.310	1.80	0.126
アルミニウム新地金の輸送 (国間)	0.89	0.063	1.29	0.090
輸入アルミニウム新地金計	3.52	0.428	3.88	0.270

7.作成した資料一覧

表18に本調査で使用したデータベースIDEAによる分析用データの作製方法と作成したデータプロセスデータの一覧を、表19に同じくIDEAで作成した輸送データの一覧を示した。輸送データは、IDEAの地域間輸送データから出発地点、到着地点を指定して作成した。内陸国の輸入ルートは、輸出元となる国の積上港から中継国を仮定してその積降港を仮定し、積降港からは鉄道輸送で輸出先の指定都市まで運ぶものと仮定した。アメリカやロシアなど主要港が2つあるケースは距離的に近い港を選択した。

参考資料として示したデータは、計算に際して基本データとしたIEAの2015年のLCI調査結果のデータである。具体的には、「IAI 2015 Life Cycle Inventory Summary by Region and Unit Process」に記載されている「appendix_a (IAI 2015 Life Cycle Inventory Summary by Region and Unit Process)」のデータを基礎データとして採用している。

国別データは必要な国について地域別データを適用し、その消費電力の計算を各国のデータ (IDEAの国別系統電力データ) で計算して作成した。

ただし、アルミニウムの電解工程については、日本アルミニウム協会から提供を受けた各国別の製錬所の設備別の電源構成に関するデータから推定した電源構成別の電力データ (100%石炭火力、100%天然ガス火力、100%水力発電、火力発電X%と水力発電Y%の構成など) をIDEAから作成し、計算に適用した。電力以外の所要データの計算もすべてIDEAのデータを適用するか、IDEAから作成したデータを適用した。

表 18 本調査で作成したIDEA のプロセスデータの一覧

アルミニウム地金 1 t 当たりの地域別データ (Bauxite mining～ Alumina production～ Electrolysisの累積データ)	Summary (Region & Unit Process)	GLO	AFR	OAS	CNA	GCC	NAM
		Global	Africa	Other Asia	China	Gulf Cooperation Council	North America
		CAN	SAM	EUR	ROE	OCA	
		Canada	South America	Europe	Russia and Other Europe	Oceania	

データ内容	地域区分	IDEAで作成したデータ
Bauxite mining 製品 t 当たりのデータ	Global(product)	地域別データのND項目に適用。
	South America(product)	Brazil、Guyana、Venezuela、Suriname、Jamaica
	Oceania(product)	Australia
	North America(product)	USA
	Canada(product)	-
	Europe(product)	Germany、France、Netherlands、Greece、Italy、Turkey、Ukraine
	Gulf Cooperation C(product)	Saudi Arabia
	Russia and Other Euro(product)	Russia
	Africa (product)	Guinea
	Other Asia(product)	India、Indonesia、Malaysia、Pakistan、Kazakhstan
China(product)	China、Hong Kong	
Alumina production 製品 t 当たりのデータ	Global(product)	地域別データのND項目に適用。
	South America(product)	Brazil、Venezuela、Suriname、Jamaica
	Oceania(product)	Australia
	North America(product)	USA
	Canada(product)	Canada
	Europe(product)	Germany、France、Netherlands、Austria、Ireland、Ukraine、Kazakhstan
	Gulf Cooperation C(product)	Saudi Arabia、Bahrain
	Russia and Other Euro(product)	Russia
	Africa (product)	-
	Other Asia(product)	India、Indonesia、Korea、Japan、
China(product)	China、Hong Kong	
Electrolysis 製品 t 当たりのデータ ※Anode/ Pasteは Electrolysis工程のある国 と同じ国で生産するものと 仮定した。	Global(product)	地域別データのND項目に適用。
	South America(product)	Brazil、Argentina
	Oceania(product)	Australia、New Zealand
	North America(product)	-
	Canada(product)	Canada
	Europe(product)	-
	Gulf Cooperation C(product)	Saudi Arabia、UAE、Qatar、Oman
	Russia and Other Euro(product)	Russia
	Africa (product)	South Africa
	Other Asia(product)	India、Indonesia、Malaysia
China(product)	-	

表19 作成した輸送データ

①アルミ地金の日本への輸入

出発港	コード	出発	到着港
ダーバン	ZAF	South Africa	東京
ムンバイ	IND	India	東京
ジャカルタ	IDN	Indonesia	東京
ポート・クラン	MYS	Malaysia	東京
ドバイ	ARE	The United Arab Emirates	東京
ラス タヌラ	SAU	Kingdom of Saudi Arabia	東京
ドーハ	QAT	The State of Qatar	東京
ミナカブース	OMN	Sultanate of Oman	東京
バンクーバー	CAN	Canada	東京
ブエノスアイレス	ARG	Argentina	東京
サントス	BRA	Brazil	東京
サンクトペテルブルグ	RU2	Russia	東京
メルボルン	AUS	Australia	東京
オークランド	NZL	New Zealand	東京

②- 1 アルミ地金生産国のアルミナ輸入（アルミナ生産国→アルミ地金生産国）

アルミナ輸出国（生産国）			アルミ地金生産国	
出発港	コード	出発	到着（国・地域）	到着港
メルボルン	AUS	Australia	South Africa	ダーバン
メルボルン	AUS	Australia	India	ムンバイ
上海	CHN	China		ムンバイ
サントス	BRA	Brazil		ムンバイ
ロッテルダム	NLD	Netherlands		ムンバイ
ハンブルグ	DEU	Germany		ムンバイ
パラマリボ	SUR	Republiek Suriname		ムンバイ
メルボルン	AUS	Australia		Indonesia
ムンバイ	IND	India	ジャカルタ	
釜山	KOR	korea	ジャカルタ	
メルボルン	AUS	Australia	Malaysia	ポート・クラン
ムンバイ	IND	India		ポート・クラン
メルボルン	AUS	Australia	The United Arab Emirates	ドバイ
サントス	BRA	Brazil		ドバイ
メルボルン	AUS	Australia	Kingdom of Saudi Arabia	ラス タヌラ
サントス	BRA	Brazil		ラス タヌラ
メルボルン	AUS	Australia	The State of Qatar	ドーハ
サントス	BRA	Brazil		ドーハ
メルボルン	AUS	Australia	Sultanate of Oman	ミナカブース
サントス	BRA	Brazil		ミナカブース
サントス	BRA	Brazil	Canada	バンクーバー
ロサンゼルス	US1	USA		バンクーバー
キングストン	JAM	Jamaica		バンクーバー
パラマリボ	SUR	Republiek Suriname		バンクーバー
ラグアイラ	VEN	Venezuela		バンクーバー

②-2 アルミ地金生産国のアルミナ輸入（アルミナ生産国→アルミ地金生産国）

出発港	コード	出発	到着（国・地域）	到着港	
サントス	BRA	Brazil	Argentina	ブエノスアイレス	
メルボルン	AUS	Australia		ブエノスアイレス	
ハンブルグ	DEU	Germany	Brazil	サントス	
上海	CHN	China		サントス	
パラマリボ	SUR	Republiek Suriname		サントス	
香港	HKG	Hong Kong		サントス	
ロッテルダム	NLD	Netherlands		サントス	
東京	JPN	JAPAN		サントス	
ドーハ	QAT	Bahrain		サントス	
ニューヨーク	US2	USA		サントス	
マルセイユ	FRA	France		サントス	
コペル	SVN	Austria		サントス	
キエフ	UKR	Ukraine		Russia	モスクワ
メルボルン	AUS	Australia			ウラジオストク
アスタナ	KAZ	Kazakhstan			ハバロフスク
キングストン	JAM	Jamaica	ウラジオストク		
サントス	BRA	Brazil	ウラジオストク		
ダブリン	IRL	Ireland	サンクトペテルブルク		
上海	CHN	China	Australia	メルボルン	
ムンバイ	IND	India		メルボルン	
ロッテルダム	NLD	Netherlands		メルボルン	
マルセイユ	FRA	France		メルボルン	
東京	JPN	JAPAN		メルボルン	
ハンブルグ	DEU	Germany		メルボルン	
ロサンゼルス	US1	USA		メルボルン	
メルボルン	AUS	Australia		New Zealand	オークランド

注 1 : Kazakhstanからの輸出はスペイン・ルートと仮定した（スペインまでは鉄道輸送）。

注 2 : ペルシャ湾にあるBahrainからの輸出は近隣国であるQatarからの輸出と仮定した。QatarからBahrainまでの輸送は距離的に近いと無視した。

注 3 : Austriaからの輸出はSlovenia経由と仮定した。

注 4 : UkraineからRussiaへの輸出は、キーウ～モスクワ間の鉄道輸送と仮定した輸送距離。

注 5 : KazakhstanからRussiaへの輸出は、アスタナ～ハバロフスク間の鉄道輸送と仮定した輸送距離。

③- 1 アルミナ生産国のボーキサイト輸入（ボーキサイト生産国～アルミナ生産国）

ボーキサイト輸出国（生産国）			アルミナ生産国	
出発港	コード	出発	到着（国・地域）	到着港
上海	CHN	China	Australia	メルボルン
ハンブルグ	DEU	Germany		メルボルン
香港	HKG	Hong Kong		メルボルン
ジョージタウン	GUY	Guyana		メルボルン
ポート・クラン	MYS	Malaysia	China	上海
メルボルン	AUS	Australia		上海
ムンバイ	IND	India		上海
サントス	BRA	Brazil		上海
上海	CHN	China	Brazil	サントス
コナクリ	GIN	Guinea	Germany	ハンブルグ
ロッテルダム	NLD	Netherlands		ハンブルグ
サントス	BRA	Brazil		ハンブルグ
上海	CHN	China		ハンブルグ
上海	CHN	China	Republiek Suriname	パラマリボ
コナクリ	GIN	Guinea	India	ムンバイ
サントス	BRA	Brazil		ムンバイ
ポート・クラン	MYS	Malaysia		ムンバイ
カラチ	PAK	Pakistan		ムンバイ
上海	CHN	China		ムンバイ
ロッテルダム	NLD	Netherlands	Indonesia	ジャカルタ
サントス	BRA	Brazi		ジャカルタ
上海	CHN	China		ジャカルタ
ハンブルグ	DEU	Germany		ジャカルタ
コナクリ	GIN	Guinea	korea	釜山
サントス	BRA	Brazil		釜山
ポート・クラン	MYS	Malaysia		釜山
カラチ	PAK	Pakistan		釜山
上海	CHN	China		釜山
キングストン	JAM	Jamaica	USA	ニューヨーク
サントス	BRA	Brazil		ニューヨーク
コナクリ	GIN	Guinea		ロサンゼルス
ジョージタウン	GUY	Guyana		ニューヨーク
サントス	BRA	Brazil	Canada	バンクーバー
コナクリ	GIN	Guinea		バンクーバー
ロサンゼルス	US1	USA		バンクーバー
ピレウス	GRC	Greece		バンクーバー
サントス	BRA	Brazil	Jamaica	キングストン
コナクリ	GIN	Guinea	France	マルセイユ
ピレウス	GRC	Greece		マルセイユ
上海	CHN	China		マルセイユ
ジェノバ	ITA	Italy	Russia	サンクトペテルブルグ
ジョージタウン	GUY	Guyana		サンクトペテルブルグ
上海	CHN	China		ウラジオストク
ムンバイ	IND	India		ウラジオストク
イスタンブール	TUR	Turkey		サンクトペテルブルグ
ロッテルダム	NLD	Netherlands		サンクトペテルブルグ
オデーサ	UKR	Ukraine		サンクトペテルブルグ

③-2 アルミナ生産国のボーキサイト輸入（ボーキサイト生産国～アルミナ生産国）

出発港	コード	出発	到着（国・地域）	到着港
コナクリ	GIN	Guinea	Ukraine	オデーサ
ジョージタウン	GUY	Guyana		オデーサ
サントス	BRA	Brazil		オデーサ
キングストン	JAM	Jamaica		オデーサ
コナクリ	GIN	Guinea	Poland(経由地)	グダニスク
ワルシャワ	POL	Poland	Kazakhstan	アスタナ
アムステルダム	NLD	Netherlands	Kazakhstan	アスタナ
サントス	BRA	Brazil	Russia（経由地）	ウラジオストク
ハバロフスク	RU1	Russia	Kazakhstan	アスタナ
北京	CHN	China	Kazakhstan	アスタナ
アテナ	GRC	Greece	Kazakhstan	アスタナ
ジョージタウン	GUY	Guyana	Russia（経由地）	ウラジオストク
ハバロフスク	RU1	Russia	Kazakhstan	アスタナ
キングストン	JAM	Jamaica	Russia（経由地）	ウラジオストク
ハバロフスク	RU1	Russia	Kazakhstan	アスタナ
サントス	BRA	Brazil	Venezuela	ラグアイラ
ポート・クラン	MYS	Malaysia	Hong Kong	香港
メルボルン	AUS	Australia		香港
ムンバイ	IND	India		香港
サントス	BRA	Brazil		香港
ロッテルダム	NLD	Netherlands	Indonesia	ジャカルタ
サントス	BRA	Brazil		ジャカルタ
上海	CHN	China		ジャカルタ
ハンブルグ	DEU	Germany		ジャカルタ
上海	CHN	China	JAPAN	東京
ムンバイ	IND	India		東京
ハンブルグ	DEU	Germany		東京
ロサンゼルス	US1	USA		東京
上海	CHN	China	Ireland	ダブリン
メルボルン	AUS	Australia		ダブリン
上海	CHN	China	Venezuela	ラグアイラ
メルボルン	AUS	Australia		ラグアイラ
モスクワ	RU2	生産実績あり	Austria	ウィーン
ポート・クラン	MYS	生産実績あり	korea	釜山
メルボルン	AUS	生産実績あり	Bahrain	バーレーン
北京	CHN	生産実績あり	Hong Kong	香港
マルセイユ	FRA	生産実績あり	Netherlands	ロッテルダム
-	-	国内調達	UAE	-
-	-	国内調達	Saudi Arabia	-
-	-	国内調達	Qatar	-
-	-	国内調達	Oman	-

注1：GuineaからKazakhstanへの輸出は、Guinea（コナクリ）からPoland（グダニスク）までの海上輸送+Poland（ワルシャワ）からKazakhstan（アスタナ）までの鉄道輸送とした。

注2：BrazilからKazakhstanへの輸出は、Brazil（サントス）からRussia（ウラジオストク）までの海上輸送+Russia（ハバロフスク）からKazakhstan（アスタナ）までの鉄道輸送とした。

参考資料 1-① IAI-LCI2015 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 (2015)

		Bauxite mining	Alumina production	Paste	Anode	Electrolysis (S)	Electrolysis (P)	Casting
	Reference Flow (Material)	Bauxite	Alumina	Paste	Anode	Söderberg Liquid Metal	prebake Liquid Metal	Ingot
	Reference Flow (t product per t Al ingot)	5.5	2	0.515	0.460	1	1	1
	t product	1t Bauxite	1t Alumina	1t Paste	1t Anode	1t Liquid Metal	1t Liquid Metal	1t Ingot
Transport								
	Average sea transport	tkm/t product	2,804			757	10,833	
	Average road transport	tkm/t product	2			1	7	
	Average rail transport	tkm/t product	71			0	73	
	Average conveyor belt transport	tkm/t product	119					
Material input								
	Bauxite	kg/t product	2,847					
	Caustic soda	kg/t product	73					
	Calcined lime	kg/t product	32					
	Fresh water	m3/t product	0.5	2	5	2	28	4
	Sea water	m3/t product	0	0		2	0	42
	Petrol coke	kg/t product			702	675		
	Pitch	kg/t product			306	146		
	Refractory material	kg/t product			nd	7	3	8
	Steel	kg/t product			nd	6	5	5
	Alumina	kg/t product					2,105	1,919
	Anodes (net)/Söderberg Paste	kg/t product					515	460
	Cathode carbon	kg/t product					7	6
	Aluminium fluoride	kg/t product					21	16
	Electrolysis metal	kg/t product						1,000
	Chlorine	kg/t product						0.01
Energy input								
	Heavy oil	kg/t product	0.5	25	9	17		1
	Diesel oil	kg/t product	1.6	1	0	0		0.4
	Natural gas	m3/t product	0.0	68	0	47		21
	Coal	kg/t product	0.0	295	0	0		0.00
	Electricity	kWh/t product	1.5	218	78	111	16,951	14,066
By-Products (for external recycling)								
	Bauxite residue	kg/t product	29					
	Spent pot lining carbon	kg/t product				20.1	8.6	
	Spent pot lining refractory	kg/t product				15.3	7.0	
	Refractory	kg/t product			nd.	8	0.9	5.8
	Steel	kg/t product			nd.	4	5.6	6.2
	Dross	kg/t product						13.29
	Filter dust	kg/t product						0.53
	Other	kg/t product			0.02	6		

参考資料 1-② IAI-LCI2015 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 (2015)

		Bauxite mining	Alumina production	Paste	Anode	Electrolysis (S)	Electrolysis (P)	Casting
Reference Flow (Material)		Bauxite	Alumina	Paste	Anode	Söderberg Liquid Metal	prebake Liquid Metal	Ingot
Reference Flow (t product per t Al ingot)		5.5	2	0.515	0.460	1	1	1
		t Bauxite	t Alumina	t Paste	t Anode	1t Liquid Metal	1t Liquid Metal	1t Ingot
		t product						
Air emissions								
Particulates	kg/t product	0.1	0.5	0.0	0.2	2	1	0.04
<2.5	kg/t product		0.1	nd	0.1	nd	1	
2.5-10	kg/t product		0.1	nd	0.2	nd	0.5	
Sulfur dioxide	kg/t product		1.1	0.1	4.3	8	13.2	0.03
Nitrous oxides (as NO2)	kg/t product		0.6	0.01	0.5	0.4	0.3	0.08
Mercury	g/t product		0.12					
Particulate fluoride (as F)	kg/t product			nd	0.007	0.4	0.2	
Gaseous fluoride (as F)	kg/t product			nd	0.02	0.7	0.4	
Total polycyclic aromatic hydrocarbons	kg/t product			0.0001	0.05	0.28	0.0042	
Benzo(a)pyrene	g/t product			0.02	0.05	3.0	0.08	
Tetrafluoromethane	kg/t product					0.1	0.07	
Hexafluoroethane	kg/t product					0.008	0.004	
Hydrogen chloride	kg/t product							0.020
Dioxin/furans	kg/t product							7.00E-10
Water emissions								
Fresh water	m3/t product	0.03	2	4.2	1.7	67.22	7.76	1.89
Sea water	m3/t product	0	0	nd	1.6	0.00	41.59	
Suspended solids	kg/t product		0.04	0.11	0.09	2.00	0.18	0.27
Oil and grease/total hydrocarbons	kg/t product		1.7	0.02	0.02	nd	0.0025	0.034
Mercury	g/t product		0.0005					
Fluoride (as F)	kg/t product			0.1	0.009	1.4	0.1	
Polycyclic aromatic hydrocarbons (6 Borneff components)	g/t product			0.03	0.01	6.68	0.02	
Solid waste (for landfilling)								
Mine solid waste	kg/t product	0.1						
Bauxite residues (red mud)	kg/t product		1,231					
Spent pot lining	kg/t product					11.2	7.5	
Waste alumina	kg/t product					18.8	3.4	
Waste carbon or mix	kg/t product			3	12	25.3	8.2	
Scrubber sludges	kg/t product			0.7	0.05	18.0	2.9	
Refractory (excl. spent pot lining)	kg/t product			nd	5	0.9	0.3	0.47
Dross	kg/t product							0.75
Filter dust	kg/t product							0.03
Other solid industrial waste	kg/t product		19	1	4.2			1.05
of which hazardous waste	kg/t product		8	0.02	2.5			0.91
Calculated Emissions from fuel combustion								
Carbon dioxide (fuels)	kg/t product	7	826	14	151			46
Methane (fuels)	kg/t product	0.0003	0.0686	0.0006	0.0039			0.0009
Nitrous oxide (fuels)	kg/t product	0.0001	0.0104	0.0001	0.0006			0.0001