

わが国の輸入アルミニウム新地金のLCIデータの概要

2025 年 3 月

一般社団法人 日本アルミニウム協会
エネルギー環境委員会 LCA調査委員会

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	4
2. 調査方法	4
2.1 システム境界	4
2.2 データの出典	7
2.3 調査手法	7
2.4 輸送の計算の前提	8
2.5 バックグラウンドデータ	9
3. 前提条件および計算方法	9
3.1 インベントリの算出	9
3.2 ボーキサイト採掘のインベントリ	10
3.3 アルミナ製造のインベントリ	10
3.4 Anode/Paste製造のインベントリ	10
3.5 アルミニウム新地金製造のインベントリ	10
3.5.1 適用したインベントリと電源構成	10
3.5.2 電力データについて	11
3.6 ボーキサイト・アルミナ・アルミニウム新地金の立地と輸送の位置づけ	13
4. ボーキサイト・アルミナの生産・輸出入量、アルミニウム新地金の輸入量	13
5. わが国の輸入新地金のLCI	18
6. ライフサイクルインベントリ分析結果	20
6.1 ボーキサイト	20
6.2 アルミナ	23
6.3 アルミニウム新地金	28
6.4 Anode/Pasteのインベントリ	34
6.5 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）	35
7. 考察	36
7.1 インベントリの内訳	36
7.2 過去の調査結果との比較	36
7.3 輸送の影響	40
8. 作成した資料一覧	40
9. 参考資料	42

（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2019年のデータを基に、アルミニウム新地金 1 kg生産当たりのライフサイクルエネルギー（Life Cycle Energy、以下、LCEと記す）消費原単位と温室効果ガス（Greenhouse Gas、以下、GHGと記す）排出原単位を算定した。なお、GHGについては、近年、海外文献においてもGHG emissions from life cycle perspectiveのように厳密な記述がなされるようになっている（略号でいえばLCGHG）。本報告書で報告したGHGはライフサイクルGHGであるため内容的にはLCGHGであるが、以下、単にGHGと記述したことを断っておきたい。

表 1 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2015年ベース）に対してアルミニウム 1 kg生産当たりのLCEは、29%増加して214MJとなった。CO₂排出係数は同18%増加して12.7kg、Global Warming Potential（以下、GWPと記す）を使って算出したCO₂換算によるGHG排出量は同8%増加して13.0kg-CO₂eqとなった。

GWPは、経済産業省(産業構造審議会製造産業分科会化学物質政策小委員会 制度構築ワーキンググループ)、環境省(中央環境審議会環境保健部会 化学物質対策小委員会合同会合)取りまとめ（2019年6月）およびGreenhouse Gas Protocol（Global Warming Potential Values）にリストアップされているもので、IDEAで計算可能なものすべてを対象に算定した。具体的には、以下のとおりである。

CO₂、メタン（CH₄）、一酸化二窒素（N₂O）、パーフルオロメタン・エタン（PFC-14、同-116）、ハイドロクロロフルオロカーボン（HCFC-225ca、同-123、同-124、同-141b、同-142b、同-22）、ハイドロフルオロカーボン（HFC-125、同-134a、同-143a、同-152a、同-23、同-32、同-227ea、同-245fa、同-365mfc）、六フッ化硫黄（SF₆）、クロロフルオロカーボン（CFC-11、同-12、同-113）。

表 1 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		
			2019年	2015年	2010年
資源消費	ボーキサイト	kg	4.97E+00	5.77E+00	5.61E+00
	石炭	kg	3.10E+00	2.14E+00	2.50E+00
	石油	kg	2.04E-01	6.16E-01	6.01E-01
	天然ガス	kg	1.53E+00	1.05E+00	5.00E-01
	ウラン鉱石	kg	1.44E-06	1.21E-06	1.37E-06
	一次エネルギー（LCE）	MJ	2.14E+02	1.65E+02	1.53E+02
大気圏排出物	CO ₂	kg	1.27E+01	1.08E+01	1.00E+01
	NOx	kg	2.49E-02	1.43E-02	1.57E-02
	SOx	kg	5.53E-02	3.90E-02	2.93E-02
	粒子状物質（PM2.5）	kg	4.90E-04	4.84E-04	4.93E-03
	PFC	kg	1.24E-08	1.02E-02	9.56E-05
	GHG	kg-CO ₂ eq	1.30E+01	1.20E+01	1.11E+01
陸域排出物	固形廃棄物	kg	5.41E-03	4.14E-03	5.31E-02
再掲	一次エネルギー（LCE）	MJ	214	165	153
	CO ₂	Kg	12.7	10.8	10.0
	GHG	kg-CO ₂ eq	13.0	12.0	11.1

表2に、わが国の輸入アルミニウム新地金の輸入先別LCE（MJ）およびGHG（kg-CO₂eq、CO₂換算量）を示す。なお、本報告書では、このCO₂換算量で示したGHGについて、以下、単にGHGと記す。

各国の電源構成は、表中のピンクで表示した箇所は製錬所の電力が石炭火力あるいは天然ガス火力発電100%、水色で表示した箇所は水力発電100%であることを示しており、かつ2015年と2019年で電源構成に変化がない。このほか、オーストラリアは2015年の石炭火力89.0%から2019年には石炭・天然ガス火力が81.4%と火力発電が低下し、水力・再生エネ発電が18.6%に拡大した。またマレーシアは、2015年の石炭火力100%から2019年には水力84%へと電源構成が大きく変化している。アルゼンチンも2015年の天然ガス、水力各50%から2019年には水力・再生エネ64%、天然ガス火力36%へと電源構成が非火力比率増に大きく変化した。

一方で、これらの国からの日本へのアルミニウム新地金の輸入比率に関しては、天然ガス・石炭100%国の輸入比率は2015年の32.8%から2019年には38.9%へと増加し、水力100%の国の輸入比率は2015年の25.5%から2019年には18.1%へと減少している。この変化が、アルミニウム新地金1kg製造における2019年のLCE、CO₂排出量原単位の増加に影響している。

表3に、輸入アルミニウム新地金1kgのインベントリ分析結果（LCE、LCCO₂、GHG）の変化を示した。火力発電の比率が漸増、非火力発電の比率が漸減しており、これに伴ってCO₂排出原単位が増加していることが見て取れる。なお、アルミニウム新地金のインベントリ分析結果に大きな影響を及ぼす製錬所の消費電力原単位は、2010年、2015年、2019年と減少を続けており、この間、省エネルギー化が進展していることがうかがえる。

表2 各国の輸入アルミニウム新地金1kg当たりのLCEおよびGHG（CO₂換算）

年次 製造国	2019年					2015年				
	電源	比率	輸入比率	LCE MJ	GHG kg-CO ₂ eq	電源	比率	輸入比率	LCE MJ	GHG kg-CO ₂ eq
オーストラリア	石炭	78.3%	25.9%	2.32E+02	1.73E+01	石炭	89.0%	25.4%	1.82E+02	1.73E+01
	天然ガス	3.1%				天然ガス	-			
	水力	12.0%				水力	11.0%			
	再生エネ	6.6%				再生エネ	-			
アラブ首長国連邦	天然ガス	100.0%	18.6%	2.72E+02	1.52E+01	天然ガス	100.0%	16.2%	2.15E+02	1.31E+01
ロシア	石炭	5.0%	13.3%	1.47E+02	6.35E+00	石炭	5.0%	12.3%	1.32E+02	8.03E+00
	水力	94.0%				水力	94.0%			
	原子力	1.0%				原子力	1.0%			
ニュージーランド	水力	100.0%	10.7%	1.20E+02	4.64E+00	水力	100.0%	10.6%	1.10E+02	4.98E+00
サウジアラビア	天然ガス	100.0%	6.9%	2.69E+02	1.45E+01	天然ガス	100.0%	4.6%	2.17E+02	1.34E+01
インド	石炭	100.0%	5.6%	2.45E+02	2.38E+01	石炭	100.0%	0.9%	2.06E+02	2.08E+01
ブラジル	水力	100.0%	4.8%	1.18E+02	4.08E+00	水力	100.0%	12.0%	1.00E+02	4.68E+00
南アフリカ	石炭	100.0%	4.4%	2.30E+02	2.00E+01	石炭	100.0%	7.8%	1.95E+02	1.90E+01
カタール	天然ガス	100.0%	2.6%	2.70E+02	1.50E+01	天然ガス	100.0%	2.3%	2.14E+02	1.31E+01
カナダ	水力	100.0%	2.1%	1.17E+02	4.25E+00	水力	100.0%	2.4%	1.14E+02	5.24E+00
マレーシア	石炭	16.0%	2.0%	1.44E+02	7.83E+00	石炭	100.0%	1.5%	1.98E+02	1.95E+01
	水力	84.0%				水力	-			
アルゼンチン	天然ガス	36.0%	1.8%	4.03E+02	7.31E+00	天然ガス	50.0%	2.5%	1.61E+02	9.06E+00
	水力	20.0%				水力	50.0%			
	再生エネ	44.0%				再生エネ	-			
バーレーン	天然ガス	100.0%	0.9%	2.70E+02	1.50E+01	-	-	-	-	-
インドネシア	水力	100.0%	0.5%	1.18E+02	4.60E+00	水力	100.0%	0.6%	1.16E+02	5.42E+00
オマーン	-	-	-	-	-	天然ガス	100.0%	1.0%	2.14E+02	1.30E+01
合計、加重平均	-	-	100.0%	2.14E+02	1.30E+01	-	-	100.0%	1.65E+02	1.20E+01

再掲	LCE	GHG
	MJ	kg-CO ₂ eq
	214	13.0

再掲	LCE	GHG
	MJ	kg-CO ₂ eq
	165	12.0

注1：表中の輸入比率を合計すると四捨五入の関係で100.0%にならない場合がある。実際には、該当箇所に当該国の輸入量を合計輸入量で除する式が入力されているため、合計は100.0%になっている。

注2：「再生エネ」は、「再生可能エネルギー」の略。

(参考 ; 国名コード)

国・地域名	ISO 3166-1 alpha-3表記	国・地域名	ISO 3166-1 alpha-3表記	国・地域名	ISO 3166-1 alpha-3表記	国・地域名	ISO 3166-1 alpha-3表記
アラブ首長国連邦	ARE	オーストラリア	AUS	サウジアラビア	SAU	ブラジル	BRA
アルゼンチン	ARG	オマーン	OMN	タジキスタン	TJK	マレーシア	MYS
インド	IND	カタール	QAT	ニュージーランド	NZL	南アフリカ	ZAF
インドネシア	IDN	カナダ	CAN	バーレーン	BHR	ロシア連邦	RUS

注 1 : 本報告書は国名についてカタカナ・漢字で表記することを原則としたが、グラフ他、一部、国名コードを使用している箇所がある。

注 2 : 国名コードで記述する場合は、ISO3166-1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述した。

注 3 : 本表には、主として日本のアルミニウム新地金輸入国を対象に国名コードを示した。

表 3 輸入アルミニウム新地金 1 kg のインベントリ分析結果 (LCE、LCCO₂、GHG) の変化

項目	単位	2000 年	2005 年	2010 年	2015年	2019年
LCE	MJ	141	146	153	165	214
LCCO ₂	kg	9.2	9.0	10.0	10.8	12.7
GHG	kg-CO ₂ eq	-	10.7	11.1	12.0	13.0
電解 電源構成 (%)	水力	70%	56%	47%	41%	36%
	石炭	25%	37%	43%	33%	31%
	ガス	5%	7%	10%	25%	30%
	再生エネ	-	-	-	-	3%

注 1 : 電源構成の原子力は0.2%以下で省略。

注 2 : 新地金製造工程の電力消費原単位 (輸入比率で加重平均したもの) 。

2019年 : 14.99 kWh / 新地金-kg

2015年 : 15.01 kWh / 新地金-kg

2010年 : 15.26 kWh / 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。

2005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。

2014年：IAIのLCI調査結果（2010年実績ベース）に基づく分析。

2022年：IAIのLCI調査結果（2015年実績ベース）に基づく分析。

本報告書は、IAIの2019年実績ベースのLCI調査結果を活用してまとめたものである。

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表4に示す。

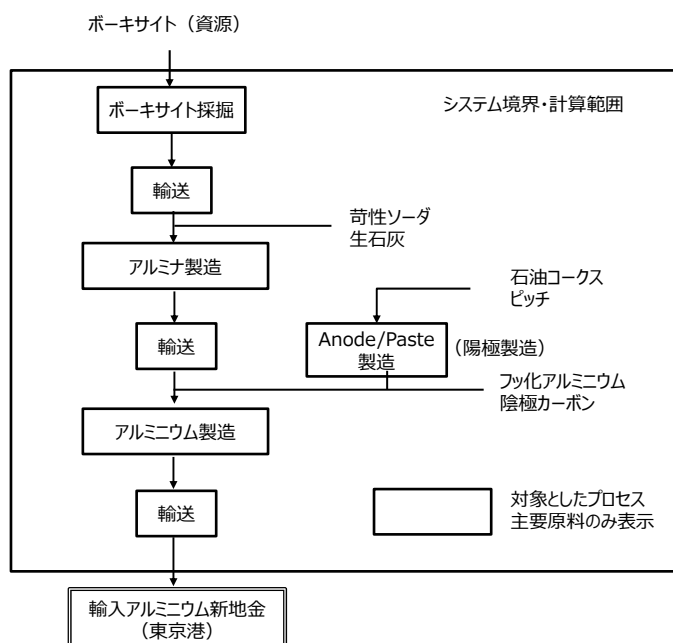


図1 輸入アルミニウム新地金のシステム境界

表4（- 1 / 2） 国ベースの原料受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

地域	輸入量 (日本) t/Y	輸入比率	わが国のアルミニウム輸入先 (生産国)	-	アルミ生産国のアルミナ輸入先	-	アルミナ輸入先（生産国）の ボーキサイト輸入先
Gulf Cooperation Council	331,013	18.6%	The United Arab Emirates	⇒遡及	100%国産品を調達（Australia）	-	-
					100%国産品を調達（India）	-	-
	122,434	6.9%	Kingdom of Saudi Arabia	⇒遡及	100%国産品を調達（ Saudi Arabia）	-	-
	45,699	2.6%	The State of Qatar	⇒遡及	100%国産品を調達（Australia）	-	-
					100%国産品を調達（India）	-	-
					100%国産品を調達（Brazil）	-	-
	16,324	0.9%	The State of Bahrain	⇒遡及	100%国産品を調達（Australia）	-	-
					100%国産品を調達（India）	-	-
100%国産品を調達（Brazil）					-	-	
Other Asia	99,118	5.6%	India	⇒遡及	100%国産品を調達（India）	-	-
	8,299	0.5%	Indonesia	⇒遡及	100%国産品を調達（Indonesia）	-	-
	35,671	2.0%	Malaysia	⇒遡及	Germany	⇒遡及	Guinea
							Netherlands
							Brazil
							China
					100%国産品を調達（India）	-	-
					China	⇒遡及	Guinea
							Brazil
							Australia
							Malaysia
							Indonesia
Ghana							
Montenegro							
Turkey							
100%国産品を調達（Australia）	-	-					
100%国産品を調達（Indonesia）	-	-					
Vietnam	⇒遡及	100%国産品を調達（Vietnam）					
South America	32,926	1.8%	Argentina	⇒遡及	Jamaica	⇒遡及	Guinea
							Brazil
							Australia
					100%国産品を調達（Brazil）	-	-
100%国産品を調達（Australia）	-	-					
85,423	4.8%	Brazil	⇒遡及	100%国産品を調達（Brazil）	-	-	
Oceania	462,539	25.9%	Australia	⇒遡及	100%国産品を調達（Australia）	-	-
	190,890	10.7%	New Zealand	⇒遡及	100%国産品を調達（Australia）	-	-
					Korea	⇒遡及	Guinea
							USA
							Brazil
Australia							
Indonesia							
Africa	78,815	4.4%	South Africa	⇒遡及	100%国産品を調達（Australia）	-	-
					China	⇒遡及	Guinea
							Brazil
							Australia
							Malaysia
							Indonesia
							Ghana
							Montenegro
Turkey							

表 4（- 2 / 2） 国ベースの原料受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

地域	輸入量 (日本) t/Y	輸入比率	わが国のアルミニウム輸入先 (生産国)	-	アルミ生産国のアルミナ輸入先	-	アルミナ輸入先（生産国）の ボーキサイト輸入先
North America	37,805	2.1%	Canada	⇒遡及	100%国産品を調達（Brazil）	-	-
					USA	⇒遡及	Turkey
							Guyana
							Guinea
							100%国産品を調達（Australia）
							Jamaica
							100%国産品を調達（Brazil）
					China	⇒遡及	China
							Guinea
							Brazil
Australia							
Malaysia							
Indonesia							
Jamaica	⇒遡及	Ghana					
		Montenegro					
		Turkey					
100%国産品を調達（Australia）	-	-					
Europe	237,231	13.3%	Russia	⇒遡及	100%国産品を調達（Brazil）	-	-
					Spain	⇒遡及	Guinea
							Australia
					Ireland	⇒遡及	China
							Australia
					Germany	⇒遡及	Guinea
							Netherlands
							Brazil
							China
					China	⇒遡及	Guinea
							Brazil
							Australia
							Malaysia
							Indonesia
							Ghana
Montenegro							
Turkey							
Ukraine	⇒遡及	Guinea					
Jamaica	⇒遡及	Brazil					
		Guinea					
		Australia					
100%国産品を調達（Australia）	-	-					
Kazakhstan	⇒遡及	Russia					
100%国産品を調達（Indonesia）	-	-					
Guinea	⇒遡及	100%国産品を調達（Guinea）					
合計	1,784,188	100%	-	-	-	-	-

注 1 : Anode/Pasteはアルミニウム新地金生産国の国産品で賄われているものと仮定し、新地金生産量に応じて必要量を加算。

注 2 : 新地金は日本への輸入に伴う輸送を計算、アルミナ、ボーキサイトは輸入（または輸出）に伴う輸送を計算している。

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（IAI 2019 Life Cycle Inventory Summary by Region and Unit Process）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2019年のデータを必要に応じて活用した。これらを含めて、本調査で利用したデータの出典を表 5 に整理した。なお、出発データとしたインベントリが2019年実績であるため、各種統計データはこれに合わせて2019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 5 調査に使用したデータの出典

略 記	出 典	内 容
IAI-LCI 2019	IAI : “IAI 2019 Life Cycle Inventory Summary by Region and Unit Process”	<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 ・ 2019 年世界平均
IAI 統計 2019	IAI Statistics : https://international-aluminium.org/statistics-overview/	<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 (CF_4, C_2F_6, PFC)
JAA 資料	出典) Light Metal Age他	<ul style="list-style-type: none"> ・ 世界のアルミ製錬所の能力と電源構成 (2019年)
JAA 資料	出典) アルミ新地金輸入量・ボーキサイト輸入量 : 財務省通関統計、アルミナ生産量 : World Metal Statistics、アルミナ輸入量 : World Metal StatisticsとGlobal trade Atlas	<ul style="list-style-type: none"> ・ 日本のアルミ新地金輸入量 (2019年) ・ アルミナ生産量 (2019年) ・ アルミナ輸入量 (2019年) ・ ボーキサイト輸入量 (2019年)
Reference Statistics	出典 1) U.S. Geological Survey (https://www.nationmaster.com/nmx/timeseries/south-africa-aluminum-production) 出典 2) GLOBAL NOTE 出典 3) 独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構 (金属資源情報) https://mric.jogmec.go.jp/wp-content/uploads/2022/08/material_flow2021_Al.pdf . 出典 4) UN Commodity Trade Statistics Database http://comtrade.un.org/db/	<ul style="list-style-type: none"> ・ アルミニウム、アルミナ、ボーキササイトの統計 <p>※ 不足情報を揃えるため、各種参考文献を活用した。</p>
IDEA ver3.3.0	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 ・ 付属資料(7)国間距離

2.3 調査手法

IAIの調査結果は、「Summary by unit process and region」（以下、Summaryと記す）と、世界平均（以下、Global ; GLOと記す）および地域別平均データであるアフリカ平均（以下、アフリカと記す）、中国平均（以下、中国と記す）、中国を除く他のアジア地域平均（以下、その他アジアと記す）、北アメリカ平均（以下、北アメリカと記す）、北アメリカの内カナダ（以下、カナダと記す）、南アメリカ平均（以下、南アメリカと記す）、ガルフ・コーポレーション・カウンシル平均（以下、湾岸諸国と記す）、欧州平均（以下、欧州と記す）、ロシア他（以下、ロシア・その他の欧州と記す）、オセアニア平均（以下、オセアニアと記す）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、GLO参照と記述されているものについては、すべてGLOデータと同じと見做してデータを処理している。

したがって、インド、インドネシア、マレーシアなどはいずれも「その他アジア」のデータとなり、オーストラリア、ニュージーランドは「オセアニア」、ブラジル、アルゼンチンは「南アメリカ」のデータとなるため、同一地域の国のマテリアルインプット、エネルギーインプットなどのデータはいずれも同じである。ただし、電力データ (kWh/アルミニウムあるいはアルミナあるいはボーキサイトあるいはAnode/Paste各 1 t) の計算に際しては、IDEAの各国別・公共電力データを適用し、かつアルミニウムについては、国

別電源構成を反映させたデータで計算した。なお、製錬所の電源構成は、日本アルミニウム協会調べによるデータに基づいて決定した。

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の「付属資料（７）国間輸送距離」を用いて輸出港（積出港）、輸入港（積降港）間の海上輸送距離を算出し、計算した。海に面していない内陸国については、出発地と到着地を仮定し、IDEAの「付属資料（７）国間輸送距離」から鉄道あるいは貨物車による輸送距離を求め、計算した。ロシア、米国など、海港が２カ所ある場合には、経済配船を前提に距離の近い方を選択して距離を算出した。

また、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）の係数を計算に適用した。輸送データの考え方については、次項に記述した。

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、鋳造（Casting）は算定の対象外とした。

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。混載輸送、距離は片道、で計算。

２）アルミナ、ボーキサイト：専用船(バルク運搬船、> 8万DWT)。片荷輸送、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

鋁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：鋁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0 km（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0 kmとする。

（６）内陸国について

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。内陸国の場合、結果的に海上輸送は不要のケースがある。

(7) その他

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。

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 2019] 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て計算した。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て計算した。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6に示した。

表6 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の電力 1 MJの係数と発電効率から新たに作成した。
	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		各種燃料のデータは、IDEAのデータを適用した
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）
	苛性ソーダ	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製造のインベントリは、[IAI-LCI 2019] 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2019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。

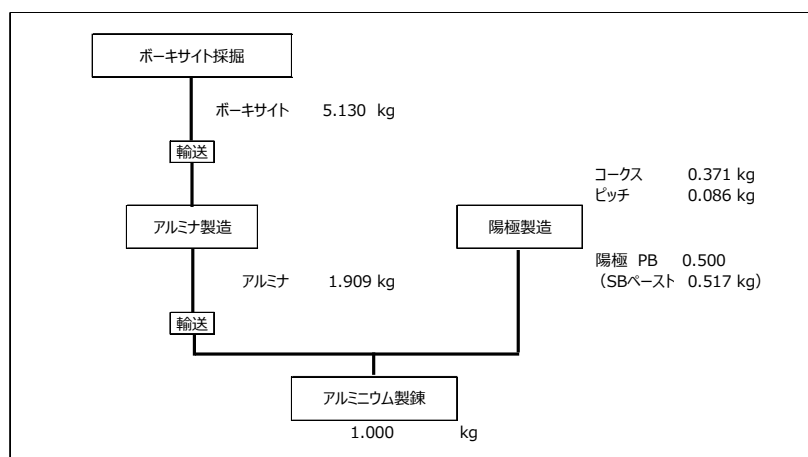


図2 アルミニウム1.000kgあたりの原材料投入量 (IAI-LCA2019)

出典 : IAI 2019 Life Cycle Inventory Summary by Region and Unit Process
Process Flow Diagram

3.2 ボーキサイト採掘のインベントリ

ボーキサイト採掘のインベントリには [IAI-LCI 2019] 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。湾岸諸国、アジア、ヨーロッパなどの地域区分は、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を適用した。

3.3 アルミナ製造のインベントリ

アルミナ製造のインベントリには [IAI-LCI 2019] 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。湾岸諸国、アジア、ヨーロッパなどの地域区分は、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を適用した。

3.4 Anode/Paste製造のインベントリ

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 2019] のインベントリを使用した。電力はIDEAの各国の系統電力を適用して計算した。湾岸諸国、アジア、ヨーロッパなどの地域区分は、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を適用した。

3.5 アルミニウム新地金製造のインベントリ

3.5.1 適用したインベントリと電源構成

アルミニウム新地金製造のインベントリには [IAI-LCI 2019] 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。湾岸諸国、アジア、ヨーロッパなどの地域区分は、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を適用した。

アルミニウムの製錬工程は電力が分析結果に及ぼす影響が特に大きいと、対象国別に電源構成を特定して分析した。電源構成は、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 (2019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を適用した (表 7)。電力はIDEAのデータを用いることとし、IDEAから燃料種別電力 (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) データを算出して計算に適用した。

表7 アルミニウム新地金の電力消費原単位（kWh／地金 t）、電源構成、輸入量

輸入先（分析対象国）	2015年										2019年											
	電力原単位 kWh／地金 t	電 源 構 成				電極方式				輸 入		電力原単位 kWh／地金 t	電 源 構 成 (2019年)				電極方式				輸 入	
		水力	天然ガス火力	石炭火力	原子力	PB	SB	数量 (kt)	構成比	水力	天然ガス火力		石炭火力	原子力	再生エネ	PB	SB	数量 (kt)	構成比			
サウジアラビア	14,555	-	100.0%	-	-	100%	0%	83	4.6%	15,126	-	100.0%	-	-	-	100%	0%	122	6.9%			
カタール	14,555	-	100.0%	-	-	100%	0%	40	2.3%	15,126	-	100.0%	-	-	-	100%	0%	46	2.6%			
アラブ首長国連邦	14,555	-	100.0%	-	-	100%	0%	292	16.2%	15,126	-	100.0%	-	-	-	100%	0%	331	18.6%			
バーレーン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,126	-	100.0%	-	-	-	100%	0%	16	0.9%			
ロシア	16,468	94.0%	-	5.0%	1.0%	33%	67%	220	12.3%	15,987	94.0%	-	5.0%	1.0%	-	44%	56%	237	13.3%			
カナダ	15,130	100.0%	-	-	-	98%	2%	43	2.4%	14,788	100.0%	-	-	-	-	100%	0%	38	2.1%			
オーストラリア	14,701	11.0%	-	89.0%	-	100%	0%	456	25.4%	14,501	12.0%	3.1%	78.3%	-	6.6%	100%	0%	463	25.9%			
ニュージーランド	14,701	100.0%	-	-	-	100%	0%	190	10.6%	14,501	100.0%	-	-	-	-	100%	0%	191	10.7%			
マレーシア	15,065	-	-	100.0%	-	100%	0%	27	1.5%	14,900	84.0%	-	16.0%	-	-	100%	0%	36	2.0%			
インドネシア	15,065	100.0%	-	-	-	100%	0%	10	0.6%	14,900	100.0%	-	-	-	-	100%	0%	8	0.5%			
インド	15,065	-	-	100.0%	-	100%	0%	16	0.9%	14,900	-	-	100.0%	-	-	100%	0%	99	5.6%			
オマーン	14,555	-	100.0%	-	-	100%	0%	18	1.0%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
ブラジル	15,518	100.0%	-	-	-	77%	23%	216	12.0%	15,510	100.0%	-	-	-	-	71%	29%	85	4.8%			
アルゼンチン	15,518	50.0%	50.0%	-	-	77%	23%	46	2.5%	15,510	20.0%	36.0%	-	-	44.0%	71%	29%	33	1.8%			
南アフリカ	14,550	-	-	100.0%	-	100%	0%	139	7.8%	14,527	-	-	100.0%	-	-	100%	0%	79	4.4%			
全体（または平均）	15,010	41.1%	25.4%	33.3%	0.1%	-	-	1,797	100.0%	14,985	35.7%	30.4%	31.3%	0.1%	2.5%	-	-	1,784	100.0%			

出典：電源構成は、「世界のアルミ製錬工場と生産能力、2015年・2019年」（日本アルミニウム協会資料）から作成。

出典：電力原単位、電源構成比は、Primary-Aluminium-Smelting-Power-Consumption（IAI統計2015・2019年）から作成。

出典：電極方式（%）は、「IAI 2015・2019年 Life Cycle Inventory」から適用。

出典：輸入量（2015年・2019年）は財務省・日本貿易月表から作成。

3.5.2 電力データについて

IDEAには水力発電、原子力発電、石炭火力発電、天然ガス火力発電について、国・地域別の1 kWh当たりの係数（原単位データ）は収録されておらず、海外データとしては無煙炭火力、瀝青炭火力、亜瀝青炭火力、亜炭火力、コークス火力、コークス炉ガス火力、原油火力、液化石油ガス火力、ナフサ火力、ガソリン火力、灯油火力、軽油火力、重油火力、天然ガス火力、原子力、水力、地熱、太陽光、風力などの発電について、1 MJ当たりの発電用エネルギーが収録されている。

本分析では、これらデータから発電効率を用いて1 kWh当たりの電力係数を算出して計算に適用した。具体的には、水力発電および原子力発電は国際エネルギー機関（International Energy Agency、以下、IEAと記す）が定義している発電効率100%（水力発電）、33%（原子力発電）から算出した。

石炭火力発電、天然ガス火力発電についてはIEAが発電効率を定義していないので、両発電の国別発電効率のデータ（表8）から、最も新しい年次である2011年のデータを用いて1 kWh当たりの電力係数を算出し、計算に適用した。本分析で必要な国の発電効率がないものは、同一地域または世界平均の発電効率を代用して1 kWh当たりの電力係数を算出し、計算に適用した。

表8 世界の石炭火力・ガス火力発電の発電効率の推移

①石炭火力発電効率（発電端・LHV基準）

国・地域	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
中国	29.4%	29.9%	30.6%	30.2%	31.0%	30.0%	28.8%	31.5%	30.8%	31.8%	32.2%	32.2%	31.8%	31.7%	31.6%	32.3%	32.8%	34.5%	34.4%	34.7%	35.4%	35.6%
米国	36.9%	37.4%	36.3%	36.4%	36.3%	35.5%	35.7%	35.2%	36.0%	36.7%	36.6%	34.0%	36.5%	36.6%	36.5%	36.9%	37.1%	36.3%	37.1%	37.1%	37.1%	37.1%
インド	29.6%	29.8%	29.2%	28.8%	29.0%	28.3%	27.3%	27.7%	27.4%	27.3%	27.7%	27.8%	28.8%	28.6%	27.1%	26.7%	26.6%	25.7%	26.7%	26.9%	27.9%	28.4%
日本	39.5%	39.7%	40.2%	39.9%	40.2%	40.2%	40.4%	40.9%	41.2%	41.4%	41.3%	41.4%	41.7%	41.7%	41.5%	41.6%	41.5%	41.4%	41.5%	41.5%	41.4%	41.4%
ドイツ	35.7%	35.5%	35.4%	35.7%	35.8%	36.3%	36.2%	36.8%	37.8%	38.0%	38.8%	37.6%	37.9%	39.6%	37.8%	39.6%	38.2%	38.3%	38.6%	37.7%	38.9%	38.3%
南アフリカ	37.1%	37.1%	36.8%	36.3%	36.2%	35.3%	36.2%	35.6%	33.2%	34.9%	34.8%	37.7%	38.5%	37.0%	36.0%	37.1%	38.0%	38.4%	33.2%	34.7%	34.0%	36.0%
韓国	注）統計データ不備			30.5%	33.9%	35.8%	33.3%	34.9%	36.8%	36.3%	35.9%	35.9%	38.8%	37.3%	35.3%	35.6%	35.2%	38.8%	38.7%	36.5%	36.5%	35.2%
豪州	36.2%	36.1%	36.1%	36.5%	37.2%	36.8%	36.7%	36.7%	35.4%	35.0%	35.6%	35.5%	31.9%	32.6%	33.3%	34.6%	34.6%	34.6%	34.6%	34.4%	34.5%	33.3%
ロシア	26.2%	26.5%	25.3%	29.4%	31.9%	31.3%	26.5%	29.4%	30.7%	29.1%	31.4%	30.7%	30.9%	30.1%	30.0%	28.5%	28.4%	29.0%	32.4%	32.1%	30.4%	29.4%
ポーランド	30.1%	30.3%	30.6%	31.1%	31.5%	34.0%	34.1%	34.2%	34.8%	35.0%	35.5%	35.4%	35.7%	35.8%	36.4%	36.3%	36.3%	36.2%	36.1%	36.2%	36.3%	36.3%
英国	37.2%	37.9%	36.3%	37.8%	38.2%	38.4%	38.5%	37.0%	36.7%	37.1%	37.4%	37.2%	37.1%	36.8%	36.9%	36.8%	36.9%	36.8%	37.0%	36.9%	37.0%	37.0%
EU 27ヶ国	34.6%	35.0%	34.6%	35.0%	35.1%	35.7%	35.9%	35.9%	36.4%	36.9%	37.3%	36.9%	37.1%	37.6%	36.9%	37.3%	36.7%	36.8%	36.8%	36.6%	37.1%	36.7%
世界計	33.9%	34.1%	33.6%	33.8%	34.1%	33.7%	33.3%	34.0%	34.0%	34.5%	34.7%	33.9%	34.6%	34.5%	34.1%	34.4%	34.3%	34.7%	34.8%	34.8%	35.4%	35.2%

②ガス火力発電効率（発電端・LHV基準）

国・地域	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
米国	36.6%	34.7%	34.7%	35.8%	36.3%	36.3%	34.3%	33.7%	34.6%	34.6%	40.5%	41.2%	42.3%	43.3%	43.5%	44.0%	46.7%	46.3%	47.4%	48.1%	48.0%	48.1%
ロシア	34.4%	30.8%	31.2%	32.7%	30.4%	31.1%	30.8%	30.8%	30.4%	31.0%	31.3%	31.0%	31.0%	31.6%	31.9%	31.7%	31.9%	32.4%	32.5%	32.6%	33.0%	31.3%
日本	43.2%	43.4%	43.4%	43.1%	43.5%	43.8%	44.3%	44.8%	45.1%	45.8%	46.1%	46.3%	46.6%	46.6%	46.5%	46.5%	46.6%	46.6%	47.2%	47.7%	48.5%	47.6%
英国	38.6%	41.1%	41.2%	41.9%	47.2%	47.1%	46.3%	49.0%	48.9%	50.3%	50.7%	50.4%	51.3%	51.0%	51.2%	51.2%	50.3%	51.8%	52.0%	51.5%	52.3%	53.1%
イラン	39.8%	37.9%	39.6%	37.4%	38.4%	38.3%	39.1%	38.7%	38.3%	38.5%	40.8%	39.4%	39.1%	40.3%	40.0%	38.7%	39.1%	39.8%	39.2%	39.4%	40.1%	41.8%
イタリア	42.3%	42.0%	42.3%	42.4%	44.0%	43.1%	43.8%	45.5%	45.1%	45.7%	46.6%	50.0%	46.2%	47.8%	46.0%	47.2%	48.6%	49.0%	49.6%	49.6%	49.1%	49.2%
メキシコ	36.2%	38.1%	39.6%	42.1%	40.2%	39.1%	40.9%	41.7%	41.7%	41.0%	41.1%	43.9%	46.2%	48.4%	47.9%	47.9%	47.0%	47.8%	48.2%	50.2%	47.9%	49.7%
タイ	40.0%	34.8%	38.0%	41.0%	40.8%	42.9%	42.2%	39.3%	41.1%	41.9%	41.6%	39.9%	40.4%	42.5%	43.2%	43.6%	43.9%	43.7%	45.2%	45.9%	46.1%	48.1%
スペイン	37.1%	37.2%	40.2%	39.3%	39.2%	39.1%	41.9%	39.7%	38.4%	38.8%	43.6%	42.3%	44.5%	52.9%	54.4%	58.1%	54.2%	56.6%	55.9%	55.1%	55.3%	56.4%
サウジアラビア	24.3%	24.4%	24.4%	25.3%	25.5%	25.4%	25.7%	25.8%	25.9%	26.6%	27.8%	29.0%	29.2%	29.4%	30.2%	30.4%	29.6%	29.7%	29.8%	30.2%	31.6%	31.4%
韓国	40.5%	40.6%	40.3%	42.3%	42.3%	42.2%	44.8%	45.2%	49.3%	47.1%	46.7%	45.4%	50.1%	50.9%	50.1%	50.4%	51.1%	50.8%	50.8%	50.8%	51.0%	51.2%
ドイツ	36.6%	33.4%	34.4%	36.0%	35.7%	40.0%	38.0%	38.6%	40.8%	40.1%	43.2%	42.2%	39.6%	44.2%	44.1%	44.8%	45.8%	45.4%	46.2%	45.4%	47.2%	48.5%
EU 27ヶ国	36.5%	35.6%	36.2%	37.5%	39.8%	41.5%	41.7%	43.9%	44.7%	45.6%	46.4%	46.8%	46.3%	46.1%	47.1%	47.9%	47.9%	49.9%	50.2%	50.0%	49.2%	49.8%
世界計	35.0%	33.2%	33.6%	34.6%	34.8%	35.7%	35.4%	35.8%	36.3%	37.1%	38.6%	38.7%	39.1%	39.8%	40.2%	40.2%	40.7%	41.5%	41.9%	42.2%	42.0%	42.2%

注：スペインは電気事業者によって運営されている発電所のみを対象としたもの（自家発電や熱電併給システム・CHPなど、電気事業者以外が運営する発電所は含まれていない）。

出典：(公財)地球環境産業技術研究機構（RITE）システム研究グループによる作成

また、IAIの2019年のLCI調査報告から、電源ソースに「再生可能エネルギー」が加わったのでこれを評価基準に追加することとした。この際、地域的特性の影響が比較的小さいと考えられる太陽光発電を代用することとした。太陽光発電の効率については、発電効率とエネルギー変換効率の2つの基準があるが、システム全体でみる発電効率に関する情報は少なく、ここではエネルギー変換効率で計算することとした。年次的には特定年次の情報を収集することが困難であるため、本調査で必要なオーストラリア、アルゼンチン、インドの最近の状況について情報を収集した。

ja.renovablesverdes.com、www.jetro.go.jp、www.hkd.meti.go.jp、ideahack.me、www.renewable-ei.org、uchi.tokyo-gas.co.jpなどの情報によれば、オーストラリアが最近エネルギー変換効率40%の施設を建設したといった例もあるが、これら3か国のほかドイツ、アメリカに関する情報を含めて平均的にはいずれも15～20%の水準にあるとする情報が多くみられる。これを踏まえ、本調査では太陽光発電のエネルギー変換効率を17.5%で計算し、これを再生可能エネルギー 1 kWh当たりの電力係数として計算に適用した。表 9 に発電効率と一次エネルギー換算係数、表10に計算対象国の電源構成を示した。

表 9 発電効率と一次エネルギー換算係数

所要データ区分	発電効率	一次エネルギー換算係数	備考
水力発電（海外・基本データ）	100.0%	3.6MJ	カナダ、ブラジル、インドネシア、ニュージーランド
原子力発電（海外・基本データ）	33.0%	10.9MJ	-
石炭火力発電（海外・基本データ）	29.4%	12.2MJ	ロシア
石炭火力発電（海外・基本データ）	33.3%	10.8MJ	オーストラリア
石炭火力発電（海外・基本データ）	28.4%	12.7MJ	インド、マレーシア
石炭火力発電（海外・基本データ）	36.0%	10.0MJ	南アフリカ
天然ガス火力発電（海外・基本データ）	31.4%	11.5MJ	湾岸 3 か国（アラブ首長国連邦以外）
天然ガス火力発電（海外・基本データ）	42.2%	8.5MJ	オーストラリア（世界平均を適用）
天然ガス火力発電（海外・基本データ）	49.7%	7.2MJ	アルゼンチン
太陽光発電（海外・基本データ）	17.5%	20.6MJ	注1

注 1：オーストラリア、アルゼンチン、インド、アラブ首長国連邦に適用。

注 2：備考欄の赤字表記は、当該電源が電源構成において100%を占める国。

表10 計算対象国の電源構成

計算対象国	電源構成
カナダ	水力発電100%
ブラジル	水力発電100%
インドネシア	水力発電100%
ニュージーランド	水力発電100%
南アフリカ	石炭火力発電100%
サウジアラビア	天然ガス火力発電100%
カタール	天然ガス火力発電100%
バーレーン	天然ガス火力発電100%
アラブ首長国連邦	天然ガス火力発電78%、再生可能エネルギー発電22%
ロシア	水力発電94%、石炭火力発電 5 %、原子力発電 1 %
オーストラリア	水力発電 4 %、天然ガス火力発電 5 %、石炭火力発電65%、再生可能エネルギー発電26%
マレーシア	水力発電84%、石炭火力発電16%
インド	石炭火力発電100%
アルゼンチン	水力発電34%、天然ガス火力発電33%、再生可能エネルギー発電33%

3.6 ポーキサイト・アルミナ・アルミニウム新地金の立地と輸送の位置づけ

本分析では、ポーキサイト、アルミナ、アルミニウム新地金の製造プラントがどのようなパターンで立地しているかによって原料および輸送の計算方法が変わってくる。図3に、これらの製造設備の立地をパターン化して示した。なおAnode/Pasteは新地金生産国が国内調達しているケースが多く、輸送の影響は小さいと判断されるため無視することにしたので、図3においても省略した。

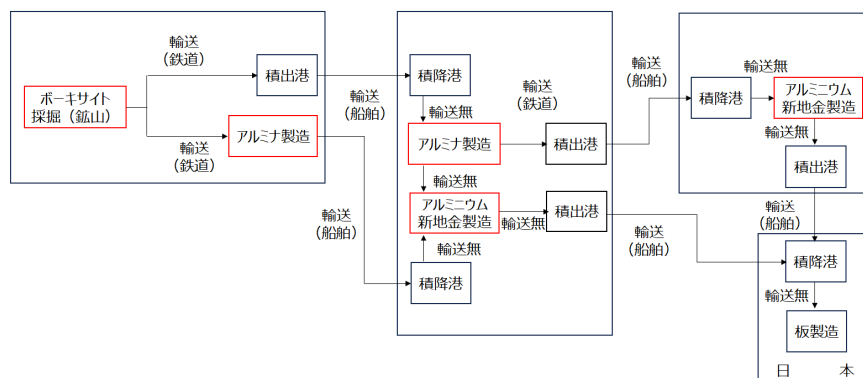


図3 ポーキサイト・アルミナ・アルミニウム新地金の立地と輸送の関係

必要な計算についてみてみると、ポーキサイト鉱山とアルミナ製造設備が同一の国にあり、かつ原料ポーキサイトの全量を自国採掘品で賄っている場合、ポーキサイトの採掘に係るデータはその国のデータで計算する。また輸送は国内輸送に係る部分だけの計算となる。これに対して、一部のポーキサイトあるいは全量を輸入している場合は、ポーキサイトの採掘に係るデータは輸入先のデータで計算する。輸入に係る輸送については、ポーキサイトの国内輸送（鉄道）および国間輸送（船舶）の計算が必要となる。

アルミナ製造設備とアルミニウム新地金製造設備の関係では、両設備が同一の国にあり、かつ原料アルミナの全量を自国生産品で賄っている場合、アルミナ製造に係るデータはその国のデータで計算することとなる。これに対して、一部のアルミナあるいは全量を輸入している場合は、アルミナの製造に係るデータは輸入先のデータで計算する。アルミナの場合、輸出国、輸入国とも国内輸送データは計算しない前提なので、計算は国間輸送（船舶）のみとなる。

なお、アルミニウム新地金の輸入に係る輸送については、輸入先の積出港から日本の積降港までの国間輸送（船舶）を計算し、輸入後の日本国内製造工場への輸送は計算しないことを前提としている。

個々の輸送距離、輸送手段の前提については、先に述べた「2.4 輸送の計算の前提」に記述しているのでこれを参照されたい。

4. ポーキサイト・アルミナの生産・輸出入量、アルミニウム新地金の輸入量

ポーキサイトおよびアルミナの2019年の生産・輸出入数量は、日本アルミニウム協会から提供を受けた「日本のアルミニウム新地金輸入元各国のポーキサイト及びアルミナの調達先の貿易統計」を使用したほか、必要なデータをインターネットで検索し、活用した。

ポーキサイト輸入量はWorld Metal StatisticsとGlobal trade Atlasから、アルミナ生産量はWorld Metal StatisticsおよびUnited States Geological Survey (USGS) Minerals Resources Programから集計した。両統計で把握できないものは、インターネットの情報を収集して活用した。アルミナ生産国におけるポーキサイトの調達について表11、わが国のアルミニウム新地金輸入先におけるアルミナの調達について表12に示す。なお、ポーキサイトおよびアルミナの調達先は、いずれも輸入比率1%以上の国を対象とした。両表には、調達国の構成比で加重平均した輸送距離を併記した。

表11 アルミナ生産国のボーキサイト調達先

地域	アルミナ生産国（数値は2019年）					ボーキサイト調達（数値は2019年） （輸入比率②は、四捨五入の影響、自国生産比率等を補正したもの）				荷重平均（tkm）	
	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)	調達先(採掘国)	輸入量（kt）	輸入比率 ①	輸入比率 ②	船舶 (往復)	鉄道 (往復)
Asia (except China)	インド	6,630	3.039	20,152	22,307	100%自国生産品	2,082	-	100%	-	200
	インドネシア	1,110	3.039	3,374	16,593	100%自国生産品	2	-	100%	-	200
	韓国	2,000	3.039	6,079	0	ギニア	輸入量は不明	20%	20%	27,529	-
						米国		20%	20%		-
						ブラジル		20%	20%		-
						オーストラリア		20%	20%		-
						インドネシア		20%	20%		-
	台湾	1,200	3.039	3,647	0	ブラジル	輸入量は不明	50%	50%	29,227	-
	オーストラリア	1,000	3.039	3,350	0	オーストラリア		50%	50%		-
	ベトナム					100%自国生産品	輸入量は不明	100%	100%	-	200
	日本	1,050	3.039	3,191	0	ブラジル		20%	20%		
						オーストラリア	輸入量は不明	20%	20%	20,345	-
						インドネシア		20%	20%		-
						フィリピン		20%	20%		-
						米国		20%	20%		-
China	中国	128,000	2.685	343,715	73,320	ギニア	99,130	57%	69%	35,821	-
						ブラジル	980	1%	1%		-
						オーストラリア	34,560	20%	24%		-
						マレーシア	980	1%	1%		-
						インドネシア	1,830	1%	1%		-
						カーナ	980	1%	1%		-
						モンテネグロ	980	1%	1%		-
						トルコ	980	1%	1%		-
						ギニア	2,370	94%	94%		-
						オランダ	28	1%	1%	13,767	-
Europe	ドイツ	1,025	2.725	2,793	0	ブラジル	109	4%	4%		-
						中国	30	1%	1%		-
						ギニア	907	64%	70%		-
						ガイアナ	14	1%	1%		-
	フランス	500	2.725	1,362	121	トルコ	24	2%	2%	10,415	-
						ギリシャ	269	19%	21%		-
						イタリア	12	1%	1%		-
						ドイツ	17	1%	1%		-
						中国	47	3%	3%		-
	スロベニア	10	2.669	27	0	ギニア	輸入量は不明	33%	33%	29,107	-
						ブラジル		33%	33%		-
						オーストラリア		33%	33%		-
	イタリア	30	2.725	82	0	ギニア	輸入量は不明	33%	33%	26,097	-
						ブラジル		33%	33%		-
						オーストラリア		33%	33%		-
	ルーマニア	50	2.669	133	0	ブラジル	輸入量は不明	50%	50%	37,786	-
						オーストラリア		50%	50%		-
	ロシア	2,755	2.669	7,353	6,641	中国	11	12%	87%	5,149	-
						オランダ	1	1%	7%		-
						ウクライナ	1	1%	7%		-
	トルコ	500	2.156	1,078	2,255	100%自国生産品	-	100%	100%	-	200
	スペイン	1,983	2.156	4,276	-	ギニア	輸入量は不明	50%	50.0%	27,524	-
						オーストラリア		50%	50.0%		-
	オーストラリア	20,239	2.725	55,142	-	ギニア	輸入量は不明	50%	50.0%	29,637	-
						オーストラリア		50%	50.0%		-
	オランダ	-	2.725	-	0	ギニア	輸入量は不明	50%	50.0%	29,637	-
						オーストラリア		50%	50.0%		-
	デンマーク	-	2.725	-	-	ギニア	輸入量は不明	50%	50.0%	31,698	-
						オーストラリア		50%	50.0%		-
	ハンガリー	-	2.725	-	-	ギニア	輸入量は不明	50%	50.0%	31,626	782
						オーストラリア		50%	50.0%		
	アイルランド	-	2.725	-	-	中国	輸入量は不明	50%	50%	48,988	-
						オーストラリア		50%	50%		-
GCC	バーレーン	1,360	2.685	3,652	0	オーストラリア	輸入量は不明	50%	50.0%	29,561	-
	ブラジル	1,051	2.685	2,822	0	ブラジル		50%	50.0%		-
	アラブ首長国連邦					南アフリカ	輸入量は不明	50%	50.0%	20,669	-
	オーストラリア					オーストラリア		50%	50.0%		-
	サウジアラビア	1,798	2.685	4,828	5,127	100%自国生産品	輸入量は不明	100%	100%	-	200
	カタール	585	2.847	1,665	0	オーストラリア		50%	50.0%		
North America	米国	1,410	2.609	3,679	475	トルコ	402	8%	8%	12,571	-
						ガイアナ	185	4%	4%		-
						ギニア	53	1%	1%		-
						オーストラリア	213	4%	4%		-
						ジャマイカ	3,292	62%	65%		-
						ブラジル	806	16%	17%		-
						中国	29	1%	1%		-
						中国	0.03	1%	1%		-
	カナダ	1,522	2.609	3,971	0	ギニア	1.00	27%	27%	38,498	-
						トルコ	0.02	1%	1%		-
						ガーナ	0.22	6%	6%		-
						ブラジル	2.36	65%	65%		-
						100%自国生産品	6	100%	100%		-
						ブラジル	302	100%	100%		-
South America	ブラジル	9,171	2.646	24,268	31,938	100%自国生産品	302	100%	100%	-	200
	ジャマイカ	1,000	2.646	2,646	9,022	ギニア	輸入量は不明	33%	33%	26,106	-
						ブラジル		33%	33%		-
Africa	南アフリカ	-	2.685	-	-	オーストラリア	輸入量は不明	50%	50%	19,124	-
						オーストラリア		50%	50%		-
その他の欧州	ウクライナ	-	2.725	-	-	ギニア	輸入量は不明	50%	50%	20,990	-
						ブラジル		50%	50%		-
	カザフスタン	-	2.725	-	-	ロシア	輸入量は不明	100%	100%	-	11,512

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

これら以外から引用したデータは、「注」以降の「補足」に記述した。

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：調達先は、輸入比率1%以上をリストアップした。

注3：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。

注4：ボーキサイト調達必要量は、IAI 2015 Life Cycle Inventory Summary by Region and Unit Process、Process Flow Diagramの原単位「ボーキサイト t /アルミナ t」（全平均データ）から計算。

<補足>

- ①2019年の中国のボーキサイトの輸入状況：mric.jogmec.go.jp。
- ②バーレーンは100%オーストラリアから調達していると仮定した（Microsoft Pilot）。
- ③オランダは100%フランスから調達していると仮定した（Microsoft Pilot）。
- ④韓国は主にオーストラリア、ブラジル、ギニア、インドネシア、アメリカ合衆国からボーキサイトを輸入しているので、5か国から所要量の各20%を輸入していると仮定した（出典：mric.jogmec.go.jp）。
- ⑤台湾は主にオーストラリア、ブラジルからボーキサイトを輸入しているので、2か国から所要量の各50%を輸入していると仮定した（出典：mric.jogmec.go.jp）。
- ⑥インドは一定量のボーキサイトを輸入しているがアルミナ生産に必要なボーキサイトを上回るボーキサイトの生産を行っているので100%自国生産品を使用していると仮定した。
- ⑦日本は主にオーストラリア、ブラジル、インドネシア、フィリピン、アメリカ合衆国からボーキサイトを輸入しているので、5か国から所要量の各20%を輸入していると仮定した（出典：mric.jogmec.go.jp）。
- ⑧スロベニアは主にギニア、ブラジル、オーストラリアからボーキサイトを輸入しているので、3か国から所要量の各1/3を輸入していると仮定した（出典：mric.jogmec.go.jp）。
- ⑨イタリアは主にブラジル、オーストラリア、ギニアからボーキサイトを輸入しているので、3か国から所要量の各1/3を輸入していると仮定した（出典：mric.jogmec.go.jp）。
- ⑩ルーマニアは主にブラジルとオーストラリアからボーキサイトを輸入しているので、両国から所要量の各50%を輸入していると仮定した。
- ⑪スペイン、オーストリア、オランダ、デンマーク、ハンガリーのボーキサイト輸入量および相手国に関する情報は得られなかったが、これらの国がボーキサイトをオーストラリア、ギニアから輸入していると定性的な情報が得られたので、これを採用し、両国から各50%を輸入していると仮定した（Microsoft pilot）。
- ⑫バーレーンは主にブラジルとオーストラリアからボーキサイトを輸入しているので、両国から所要量の各50%を輸入していると仮定した（Microsoft pilot）。
- ⑬アラブ首長国連邦は主に南アフリカとオーストラリアからボーキサイトを輸入しているので、両国から所要量の各50%を輸入していると仮定した（Microsoft pilot）。
- ⑭カタールは主にオーストラリア、ブラジルからボーキサイトを輸入しているので、2か国から所要量の各50%を輸入していると仮定した（出典：mric.jogmec.go.jp）。
- ⑮ジャマイカは主にギニア、ブラジル、オーストラリアからボーキサイトを輸入しているので、3か国から所要量の各1/3を輸入していると仮定した（Microsoft pilot）。
- ⑯カザフスタンのアルミナ生産量（139万3,000 t）から推定するとボーキサイト所要量は390万 t 程度になると推定される。これに対して同国では2019年に412万 t のボーキサイトが生産されており、受給はタイトと推察されるため、国産で80%を賄い、30万 t 程度をロシアから輸入しているものと仮定した。また、ロシアのボーキサイト鉱山はウラル山脈、シベリア地方に多いため、カザフスタンへの輸送はシベリアから陸路（ロシアのハバロフスクからカザフスタンのアスタナまでの鉄道）と仮定した。
- ⑰ギニアでは、国土西部のサンガレディ鉱山でボーキサイトが大量に産出する。産出されたボーキサイトは、ボケ鉄道を利用して沿岸部のカムサルまで運ばれ、海外へと輸出される。2016年のギニアの輸出統計を見ると、1位「金（非貨幣用）」（63.9%）、2位ボーキサイト（25.7%）となっており、鉱産資源への経済依存度は高まっている。近年、中国への輸出が活発（Microsoft Pilot）。

表12 わが国のアルミニウム新地金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）				加重平均	
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	調達先・輸入先（生産国）	輸入量 (kt/Y)	輸入比率	輸入比率 (補正)	船舶 tkm (往復)	鉄道 tkm (往復)
AFR	Africa	南アフリカ共和国	700	79	1.911	1,337	0	1,388	104%	オーストラリア	1,365	98%	99%	22,372	-
										中国	9	1%	1%		-
OAS	Other Asia	インド	3,422	99	1.688	5,776	6,630	2,407	42%	100%自国生産品	-	-	-	-	-
		インドネシア	250	8	1.688	421	1,110	536	127%	100%自国生産品	-	-	-	-	-
		マレーシア	704	36	1.688	1,188	0	1,560	131%	ドイツ	9	1%	1%	8,990	-
										インド	292	19%	19%		-
										中国	77	5%	5%		-
										オーストラリア	532	34%	34%		-
										インドネシア	463	30%	30%		-
										ベトナム	175	11%	11%		-
GCC	Gulf Cooperation Council	アラブ首長国連邦	2,835	331	1.688	4,786	1,051	-	-	オーストラリア	注 5	50%	50%	15,047	-
		サウジアラビア	853	122	1.688	1,440	1,798	-	-	インド		50%	50%		-
		カタール	697	46	1.688	1,177	585	-	-	100%自国生産品	-	-	-	-	-
										オーストラリア	注 6	33%	33%	21,248	-
										インド		33%	33%		-
										ブラジル		33%	33%		-
		バーレーン	1,017	16	1.688	1,716	1,360	-	-	オーストラリア	注 7	33%	33%	21,537	-
										インド		33%	33%		-
										ブラジル		33%	33%		-

出典：U.S. Geological Survey (<https://www.nationmaster.com/nmx/timeseries/south-africa-aluminum-production>)

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 1 %以上をリストアップした。

<補足>

①アラブ首長国連邦は主にオーストラリアとインドからアルミナを輸入しているので（Microsoft Copilotによる情報）、両国から所要量の各50%を輸入していると仮定した。

②カタールは主にオーストラリア、ブラジル、インドからアルミナを輸入しているので（Microsoft Copilotによる情報）、これらの国から所要量の各3分の1を輸入していると仮定した。

③バーレーンは主にオーストラリア、ブラジル、インドからアルミナを輸入しているので（Microsoft Copilotによる情報、<https://www.jetro.go.jp/>）、これらの国から所要量の各3分の1を輸入していると仮定した。

④中国のアルミナ生産量：独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構（金属資源情報）。

※https://mric.jogmec.go.jp/wp-content/uploads/2022/08/material_flow2021_Al.pdf

⑤2019年のベトナムのアルミナ生産量：www.hiwave.or.jp。

⑥2019年の日本のアルミナ生産量：www.meti.go.jp。

⑦ベトナムはアルミナ生産に必要な所要量を上回るボーキサイトを生産しているので、100%自国生産品で賄えると仮定した。

⑧ギニアのアルミナは100%国産品で賄われている（Microsoft Copilotによる情報）。

⑨韓国のアルミナ生産量は、インドネシアがアルミニウム生産において韓国から輸入しているアルミナを同国で生産しているものと仮定した（出典：mric.jogmec.go.jp）。

⑩オランダのアルミナ生産量はインド、ブラジル、オーストラリアがアルミニウム生産でオランダから輸入しているアルミナを同国で生産していると仮定したもの（Microsoft Copilotによる情報）。

表12 わが国のアルミニウム新地金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）				加重平均	
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	調達先・輸入先（生産国）	輸入量 (kt/Y)	輸入比率	輸入比率 (補正)	船舶 tkm (往復)	鉄道 tkm (往復)
NAM	North America	カナダ	3,256	38	1.966	6,402	1,522	3,977	62%	ブラジル	2,946	74%	74%	33,870	-
										米国	52	1%	1%		-
										中国	29	1%	1%		-
										ジャマイカ	138	3%	3%		-
										オーストラリア	805	20%	20%		-
SAM	South America	アルゼンチン	420	33	1.939	814	0	930	114%	ジャマイカ	30	3%	3%	16,582	-
										ブラジル	439	47%	48%		-
		ブラジル	685	85	1.939	1,327	9,171	36	3%	オーストラリア	452	49%	49%		-
										100%自国生産品	-	-	-	0	-
EUR	Europe	ロシア	3,554	237	1.922	6,832	2,755	5,018	73%	ブラジル	501	10%	10%	15,901	2,838
										スペイン	39	1%	1%		
										アイルランド	392	8%	8%		
										ドイツ	28	1%	1%		
										中国	41	1%	1%		
										ウクライナ	1,695	34%	34%		
										ジャマイカ	213	4%	4%		
										オーストラリア	1,263	25%	25%		
										カザフスタン	553	11%	11%		
OCA	Oceania	オーストラリア	1,440	463	1.926	2,773	20,239	18	0.6%	インドネシア	31	1%	1%	6,576	-
										ギニア	250	5%	5%		
		ニュージーランド	339	191	1.926	652	0	692	106%	100%自国生産品	-	-	-		
										オーストラリア	687	99%	99%		
合計	-	-	20,171	1,784	-	36,642	46,221	16,562	45%	韓国	4	1%	1%	-	-

出典および補足は、「表12 わが国のアルミニウム輸入先のアルミナの調達先①」と同じ。

5. わが国の輸入新地金のLCI

アルミニウム新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。これについては、前掲表11、表12に整理した。

表13に、新地金の計算に必要な主要データとして、わが国の2019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、輸入先別の日本までの輸送区間を示す。表13には輸送距離を示さず、表11および表12では輸送距離を示しているのは、アルミニウム新地金の輸入の場合、輸入国である日本と輸入先が1対1の関係になるためIDEAの特定国の輸送データが直接提示されることとなり、これはIDEA使用上の禁止行為になるためである。重複記述になるが、重ねて記述しておく、ボーキサイトやアルミナでは1国から輸入されているケースはなく、輸入量で加重平均しているためIDEAの特定国の輸送データが直接表示されることはないため、提示している。

表13 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

輸入先（分析対象国）	2015年									2019年									出発港	コード	到着港	
	電力原単位 kWh/地金 t	電 源 構 成				電極方式		輸 入		電力原単位 kWh/地金 t	電 源 構 成(2019年)					電極方式		輸 入				
		水力	天然ガス火力	石炭火力	原子力	PB	SB	数量 (kt)	構成比		水力	天然ガス火力	石炭火力	原子力	再生エネ	PB	SB	数量 (kt)				構成比
サ ウ ジ ア ラ ビ ア	14,555	-	100.0%	-	-	100%	0%	83	4.6%	15,126	-	100.0%	-	-	-	100%	0%	122	6.9%	ラスタマラ	SAU	東京港
カ タ ー ル	14,555	-	100.0%	-	-	100%	0%	40	2.3%	15,126	-	100.0%	-	-	-	100%	0%	46	2.6%	ドーハ	QAT	東京港
アラブ首長国連邦	14,555	-	100.0%	-	-	100%	0%	292	16.2%	15,126	-	100.0%	-	-	-	100%	0%	331	18.6%	ドバイ	ARE	東京港
バ ー レ ー ン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,126	-	100.0%	-	-	-	100%	0%	16	0.9%	バーレーン	BHR	東京港
ロ シ ア	16,468	94.0%	-	5.0%	1.0%	33%	67%	220	12.3%	15,987	94.0%	-	5.0%	1.0%	-	44%	56%	237	13.3%	サンクトペテルブルグ	RUS(RU2)	東京港
カ ナ ダ	15,130	100.0%	-	-	-	98%	2%	43	2.4%	14,788	100.0%	-	-	-	-	100%	0%	38	2.1%	バンクーバー	CAN	東京港
オ ー ス ト ラ リ ア	14,701	11.0%	-	89.0%	-	100%	0%	456	25.4%	14,501	12.0%	3.1%	78.3%	-	6.6%	100%	0%	463	25.9%	メルボルン	AUS	東京港
ニ ュ ー ジ ー ラ ン ド	14,701	100.0%	-	-	-	100%	0%	190	10.6%	14,501	100.0%	-	-	-	-	100%	0%	191	10.7%	オークランド	NZL	東京港
マ レ ー シ ア	15,065	-	-	100.0%	-	100%	0%	27	1.5%	14,900	84.0%	-	16.0%	-	-	100%	0%	36	2.0%	ポート・クラン	MYS	東京港
イ ン ド ネ シ ア	15,065	100.0%	-	-	-	100%	0%	10	0.6%	14,900	100.0%	-	-	-	-	100%	0%	8	0.5%	ジャカルタ	IDN	東京港
イ ン ド	15,065	-	-	100.0%	-	100%	0%	16	0.9%	14,900	-	-	100.0%	-	-	100%	0%	99	5.6%	ムンバイ	IND	東京港
オ マ ー ン	14,555	-	100.0%	-	-	100%	0%	18	1.0%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ミナカブース	OMN	東京港
ブ ラ ジ ル	15,518	100.0%	-	-	-	77%	23%	216	12.0%	15,510	100.0%	-	-	-	-	71%	29%	85	4.8%	サントス	BRA	東京港
ア ル ゼ ン チ ン	15,518	50.0%	50.0%	-	-	77%	23%	46	2.5%	15,510	20.0%	36.0%	-	-	44.0%	71%	29%	33	1.8%	ブエノスアイレス	ARG	東京港
南 ア フ リ カ	14,550	-	-	100.0%	-	100%	0%	139	7.8%	14,527	-	-	100.0%	-	-	100%	0%	79	4.4%	ダーバン	ZAF	東京港
全体（または平均）	15,010	41.1%	25.4%	33.3%	0.1%			1,797	100.0%	14,985	35.7%	30.4%	31.3%	0.1%	2.5%	-	-	1,784	100.0%	-	-	-

出典：電源構成は、「世界のアルミ製錬工場と生産能力、2015年・2019年」（日本アルミニウム協会資料）。

出典：電力原単位、電源構成比は、Primary-Aluminium-Smelting-Power-Consumption（IAI統計2015・2019年）から作成。

出典：電極方式（％）は、「IAI 2015・2019年 Life Cycle Inventory」から適用。

出典：輸入量（2015年・2019年）は財務省・日本貿易月表。

注1：輸入対象国は年間輸入量に対する比率が５％以上の国をリストアップしたもの。2015年、2019年とも同輸入総量は同年の全輸入量の99%、14カ国である。

注2：2019年はオマーンが対象国から外れ、バーレーンが加わった。

注3：2019年は、電源として再生可能エネルギーが加わったほか、電源構成が変化しているケースもある。

6. 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。

6.1 ボーキサイト

表14に、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までを合計した値を示す。なお、ボーキサイト産出国は、わが国のアルミニウム新地金の輸入先のアルミナ調達に関わる国のみをリストアップして示している。

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計算している。計算対象は投入原材料と投入エネルギーであるが、投入エネルギーでは石油、石炭系の投入がなく、結果的に電力のみが計算対象となっている。また、投入原材料の消費由来の化石資源消費量、非化石資源消費量は小さく、主として系統電力の差が調達国間の差の主たる要因となっている。

ボーキサイトのライフサイクルエネルギー（以下、LCEと記す）、地球温暖化ガスのCO₂換算排出量（以下、LCCO₂-eqと記す）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。

国別のボーキサイト 1 kg当たりのLCCO₂-eq（図4）は、殆どの国が0.05kg-CO₂-eqと殆ど差がないが、ブラジルとジャマイカの南米だけが0.02kg台である。この主たる要因は、両国を除くボーキサイトの消費電力が6.4kWh／ボーキサイト-t であるのに対して、両国が1.1kWh／ボーキサイト-t と低いことにある。

なお図4に示したボーキサイト 1 kg当たりのLCCO₂-eq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いるが、これは同じ前提で計算しているため、どの国も同じである。したがって、輸送の影響度は排出原単位の合計の大きさの違いによって変化するが、ブラジルとジャマイカを除けば概ね12%前後である。ブラジルとジャマイカの両国は輸出の影響度が30%前後と高いが、これは前述したように両国の排出原単位が他国に比べて小さいことによる。また、カザフスタンの輸送に係るLCCO₂-eqの排出量はゼロであるが、これは内陸国である同国の輸送をロシアとの鉄道輸送の直結と仮定して計算しており、計算上の国内輸送にあたる部分がないためである。

表14 ポーキサイト 1 kg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	アフリカ			アジア（中国を除く）					中国	北米			中南米		欧		州	イタリヤ
		南アフリカ	ギニア	ガーナ	インド	マレーシア	インドネシア	フィリピン	ベトナム		米国	カナダ	ブラジル	ガイアナ	ジャマイカ	フランス	ドイツ	スペイン	
ポーキサイト	kg	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00
石炭（資源）	kg	1.023E-02	7.118E-03	7.119E-03	9.834E-03	8.520E-03	9.524E-03	9.556E-03	8.704E-03	8.806E-03	7.960E-03	7.418E-03	1.917E-03	7.118E-03	1.900E-03	7.188E-03	8.388E-03	7.288E-03	7.285E-03
原油（資源）	kg	4.234E-03	4.368E-03	4.501E-03	4.247E-03	4.237E-03	4.341E-03	4.285E-03	4.237E-03	4.226E-03	4.227E-03	4.226E-03	5.017E-03	6.599E-03	5.269E-03	4.231E-03	4.233E-03	4.286E-03	4.282E-03
天然ガス（資源）	kg	6.619E-03	7.569E-03	7.294E-03	6.682E-03	7.084E-03	6.927E-03	6.840E-03	6.811E-03	6.641E-03	7.009E-03	6.760E-03	5.113E-04	6.652E-03	5.613E-04	6.682E-03	6.751E-03	6.921E-03	7.069E-03
ウラン（資源）	kg	3.489E-08	2.531E-08	2.531E-08	3.105E-08	2.534E-08	2.537E-08	2.538E-08	2.536E-08	3.319E-08	5.765E-08	5.120E-08	2.586E-08	2.532E-08	2.507E-08	1.454E-07	4.604E-08	6.249E-08	2.536E-08
用水（海水を除く）	kg	6.247E-03	3.711E-03	3.718E-03	5.825E-03	4.842E-03	5.326E-03	5.352E-03	5.034E-03	5.099E-03	4.314E-03	3.916E-03	1.915E-03	3.837E-03	1.913E-03	3.773E-03	4.513E-03	3.892E-03	3.883E-03
エネルギー消費	MJ	8.779E-01	8.503E-01	8.448E-01	8.843E-01	8.503E-01	8.943E-01	8.965E-01	8.481E-01	8.558E-01	8.601E-01	8.345E-01	3.520E-01	8.956E-01	3.617E-01	8.455E-01	9.020E-01	8.847E-01	8.614E-01
内、化石エネルギー	MJ	8.201E-01	7.981E-01	7.890E-01	8.140E-01	8.018E-01	8.237E-01	8.172E-01	7.916E-01	7.844E-01	7.829E-01	7.553E-01	3.015E-01	8.477E-01	3.150E-01	7.454E-01	7.800E-01	7.634E-01	7.713E-01
CO ₂	kg	5.601E-02	5.139E-02	5.107E-02	5.475E-02	5.310E-02	5.396E-02	5.361E-02	5.310E-02	5.267E-02	5.117E-02	4.931E-02	2.166E-02	5.606E-02	2.255E-02	4.888E-02	5.085E-02	4.991E-02	5.041E-02
NO _x	kg	1.359E-04	1.235E-04	1.226E-04	1.333E-04	1.287E-04	1.308E-04	1.300E-04	1.290E-04	1.285E-04	1.245E-04	1.208E-04	1.109E-04	1.259E-04	1.117E-04	1.198E-04	1.245E-04	1.216E-04	1.225E-04
SO _x	kg	1.865E-04	1.212E-04	1.214E-04	1.749E-04	1.505E-04	1.584E-04	1.587E-04	1.555E-04	1.564E-04	1.359E-04	1.261E-04	5.375E-05	1.256E-04	5.395E-05	1.222E-04	1.464E-04	1.244E-04	1.244E-04
粒子状物質（PM2.5）	kg	3.849E-06	3.584E-06	3.577E-06	4.291E-06	3.759E-06	4.435E-06	3.890E-06	3.991E-06	3.930E-06	3.758E-06	3.716E-06	3.282E-06	3.833E-06	3.218E-06	3.740E-06	4.001E-06	3.846E-06	3.947E-06
PFC	kg	4.025E-11	3.731E-11	3.791E-11	4.440E-11	3.845E-11	3.824E-11	4.060E-11	4.129E-11	4.307E-11	4.146E-11	3.857E-11	7.540E-12	4.074E-11	7.574E-12	4.157E-11	5.163E-11	4.413E-11	5.212E-11
GHG	kg-CO ₂ -eq	5.771E-02	5.302E-02	5.269E-02	5.645E-02	5.475E-02	5.566E-02	5.530E-02	5.474E-02	5.430E-02	5.279E-02	5.088E-02	2.247E-02	5.786E-02	2.339E-02	5.042E-02	5.247E-02	5.148E-02	5.200E-02
固形廃棄物	kg	2.758E-06	2.501E-06	2.535E-06	2.935E-06	2.600E-06	2.626E-06	2.734E-06	2.745E-06	2.831E-06	2.717E-06	2.596E-06	4.938E-07	2.633E-06	4.870E-07	2.694E-06	3.215E-06	2.839E-06	3.162E-06

項目	単位	欧								ロシア・その他の欧州				オセアニア		湾岸諸国				その他の欧州
		オランダ	英国	ベルギー	ルクセンブルク	トルコ	ギリシャ	モンテネグロ	スイス	ロシア	ウクライナ	ラトヴィア	オーストラリア	アラブ首長国連邦	サウジアラビア	カタール	バーレーン	カザフスタン		
ポーキサイト	kg	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00
石炭（資源）	kg	7.439E-03	7.201E-03	7.157E-03	7.150E-03	9.564E-03	8.678E-03	9.960E-03	7.148E-03	7.795E-03	8.143E-03	7.118E-03	8.334E-03	7.117E-03	7.115E-03	7.115E-03	7.115E-03	7.115E-03	6.715E-03	
原油（資源）	kg	4.217E-03	4.219E-03	4.216E-03	4.221E-03	4.230E-03	4.397E-03	4.232E-03	4.216E-03	4.236E-03	4.228E-03	4.223E-03	3.758E-03	4.224E-03	4.932E-03	4.212E-03	4.213E-03	4.213E-03	3.831E-03	
天然ガス（資源）	kg	7.089E-03	7.033E-03	6.845E-03	6.821E-03	6.799E-03	7.022E-03	6.618E-03	6.622E-03	7.227E-03	6.702E-03	7.030E-03	6.964E-03	7.945E-03	7.463E-03	7.933E-03	8.313E-03	6.642E-03		
ウラン（資源）	kg	3.056E-08	5.519E-08	1.021E-07	2.545E-08	2.540E-08	2.541E-08	2.539E-08	8.812E-08	5.736E-08	1.219E-07	2.531E-08	2.536E-08	2.532E-08	2.531E-08	2.530E-08	2.530E-08	8.799E-10		
用水（海水を除く）	kg	3.983E-03	3.815E-03	3.760E-03	3.947E-03	5.207E-03	4.612E-03	5.239E-03	3.748E-03	4.151E-03	4.544E-03	3.697E-03	4.348E-03	3.698E-03	3.703E-03	3.682E-03	3.687E-03	3.363E-03		
エネルギー消費	MJ	8.521E-01	8.785E-01	8.546E-01	9.674E-01	8.992E-01	9.181E-01	8.931E-01	8.237E-01	8.478E-01	8.504E-01	8.198E-01	8.251E-01	8.619E-01	8.609E-01	8.541E-01	8.748E-01	7.208E-01		
内、化石エネルギー	MJ	7.734E-01	7.643E-01	7.528E-01	7.515E-01	8.128E-01	8.096E-01	8.131E-01	7.403E-01	7.909E-01	7.709E-01	7.622E-01	7.693E-01	8.121E-01	8.174E-01	8.109E-01	8.317E-01	7.130E-01		
CO ₂	kg	5.086E-02	4.998E-02	4.943E-02	5.074E-02	5.263E-02	5.203E-02	5.185E-02	4.881E-02	5.133E-02	5.118E-02	4.949E-02	5.022E-02	5.192E-02	5.289E-02	5.185E-02	5.286E-02	4.652E-02		
NO _x	kg	1.233E-04	1.221E-04	1.207E-04	1.225E-04	1.287E-04	1.261E-04	1.275E-04	1.194E-04	1.245E-04	1.250E-04	1.213E-04	1.178E-04	1.247E-04	1.245E-04	1.246E-04	1.262E-04	9.287E-05		
SO _x	kg	1.276E-04	1.226E-04	1.215E-04	1.214E-04	1.701E-04	1.523E-04	1.775E-04	1.213E-04	1.348E-04	1.424E-04	1.209E-04	1.408E-04	1.209E-04	1.222E-04	1.209E-04	1.209E-04	1.137E-04		
粒子状物質（PM2.5）	kg	4.194E-06	4.503E-06	4.179E-06	6.674E-06	3.721E-06	3.681E-06	3.658E-06	4.005E-06	3.631E-06	3.662E-06	4.133E-06	3.410E-06	3.594E-06	3.596E-06	3.593E-06	3.609E-06	3.157E-06		
PFC	kg	4.521E-11	4.505E-11	4.572E-11	6.968E-11	4.373E-11	5.481E-11	3.772E-11	4.307E-11	3.764E-11	4.131E-11	3.741E-11	4.269E-11	4.197E-11	3.751E-11	3.730E-11	3.730E-11	3.205E-11		
GHG	kg-CO ₂ -eq	5.245E-02	5.156E-02	5.099E-02	5.232E-02	5.430E-02	5.370E-02	5.352E-02	5.035E-02	5.295E-02	5.277E-02	5.106E-02	5.180E-02	5.357E-02	5.457E-02	5.349E-02	5.454E-02	4.789E-02		
固形廃棄物	kg	2.856E-06	2.867E-06	2.874E-06	4.098E-06	2.907E-06	3.361E-06	2.676E-06	2.775E-06	2.534E-06	2.712E-06	2.502E-06	2.786E-06	2.681E-06	2.484E-06	2.473E-06	2.476E-06	2.178E-06		

注 1：ポーキサイト生産国（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：ポーキ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キサイト輸入先（調達先）として登場する国はポーキサイト生産実績のある国と見做してデータを処理した。

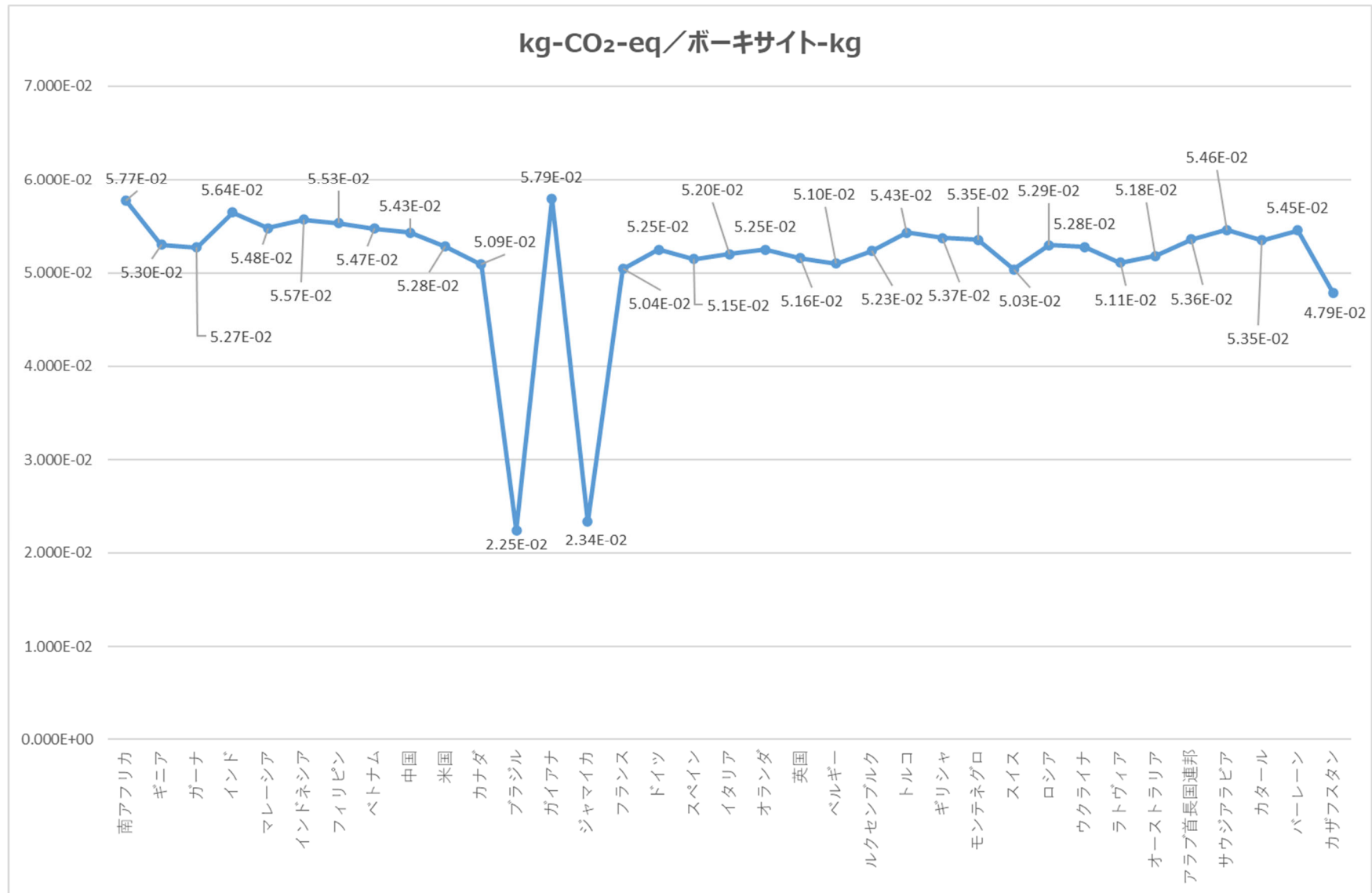


図4 ボーキサイト1kg製造の排出GHG（ライフサイクルインベントリ；ボーキサイト）

6.2 アルミナ

表15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、表16に同ライフサイクルインベントリ、図5にアルミナのライフサイクルインベントリにおけるGHG原単位を示した。また、表17にアルミナのライフサイクルインベントリにおけるGHGの大小に係る要因として考えられる要素を整理した。

表16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、アルミナ製造国には、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。

アルミナ1kg製造におけるGHGの排出規模（表17）は、大きく3つに分類される。排出量が1.3kg-CO₂eq～1.7kg-CO₂eqの規模にある国は、日本、韓国、台湾、中国、ジャマイカ、スロベニア、ルーマニア、オーストラリア、南アフリカ、アイルランドの10か国である。次いで、1.0kg-CO₂eq～1.3kg-CO₂eqの規模にある国はインド、インドネシア、ベトナム、スペイン、オーストリア、イタリア、オランダ、デンマーク、ハンガリー、ロシア、アラブ首長国連邦、カタール、バーレーン、ウクライナ、カザフスタンの15か国、1.0kg-CO₂eq未満の国は米国、カナダ、ブラジル、フランス、ドイツ、トルコ、サウジアラビアの7か国である。

以下、国によるGHG原単位の差に触れておくが、GHG排出原単位の大小の要因は複数にまたがっており、単純に分析できないことをまず断っておきたい。以下、GHG原単位の排出水準を3つにグループ分けして記述する。

GHG原単位が最も高いグループ（1.3～1.7kg-CO₂eq）に属する国は、ユニットプロセス（ボーキサイトに係る要素の計算は含まれていない）においてもGHG原単位が高い。このグループにおいて、ジャマイカとアイルランドはユニットプロセスのGHGが低いが、両国の場合、原料ボーキサイトの輸入に係る船舶輸送による航海距離（以下、国間輸送による航海距離と記す）がGHG原単位の低い国に対して相対的に高いことが影響していると考えられる。南アフリカの国間輸送による航海距離はこのグループの中では短い、同国では公共電力における石炭火力の比率が高いことが影響していると判断される。また、オーストラリアはアルミナ生産に必要なボーキサイトを全量自国産で賄っているため国間輸送による航海距離はゼロとなるが、同国は石炭・天然ガス火力の比率が高く、これが影響したものと考えられる。

GHG原単位が1.0～1.3kg-CO₂eqの水準にあるグループでは基本的にGHG原単位1.0kg-CO₂eq未満の水準の国に比べて国間輸送による航海距離が長い。ロシアは国間輸送による航海距離が短いにも関わらずGHG原単位が1.0kg-CO₂eq未満の国より高い。その理由は、公共電力の火力発電依存度が高く（アルミニウムの製錬所の電源構成では水力発電の比率が高い）、ユニットプロセスのGHG原単位がそもそも高いことにあるものと思われる。カザフスタンはGHG原単位が1.0kg-CO₂eq未満の国より輸送距離が短いにも関わらず、それらの国よりGHG原単位が高い。その要因は、同国の輸送距離がすべて鉄道であり、鉄道のGHG原単位が船舶より高いことにあると考えられる。このグループのインド、インドネシア、ベトナムは100%自国生産のボーキサイトを用いるため国間輸送による航海距離はゼロである。しかし、いずれも公共電力における火力の比率が高く、GHG原単位が1.0kg-CO₂eq未満の国より高いグループに入っている要因と考えられる。

GHG原単位が1.0kg-CO₂eq未満のグループにある国は、本調査でみる限り、自国生産のボーキサイトを用いるため国間輸送による航海距離はゼロ評価、かつ水力、再生可能エネルギー、原子力の比率が高い国が多く、これらがGHG原単位の低い要因となっている。カナダは、本調査において国間輸送による航海距離がアイルランドに次いで2番目に長い国である。しかし公共電力における水力発電の比率が非常に大きく、これがGHG原単位を押し下げていると考えられる。

表15 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	アジア (中国を除く)						中国	北米			中南米		欧 州				
		日本	インド	韓国	台湾	インドネシア	ベトナム	中国	米国	カナダ	ジャマイカ	ブラジル	フランス	ドイツ	スペイン	オーストリア	イタリア	
アルミナ	kg	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00
石炭 (資源)	kg	3.247E-01	3.318E-01	3.256E-01	3.261E-01	3.307E-01	3.277E-01	3.883E-01	1.003E-01	4.742E-02	1.378E-01	1.396E-01	2.181E-02	5.049E-02	2.420E-02	2.126E-02	2.412E-02	
原油 (資源)	kg	6.186E-02	6.171E-02	6.168E-02	6.174E-02	6.206E-02	6.168E-02	1.917E-02	5.242E-03	5.145E-03	1.545E-01	1.282E-01	6.055E-03	6.096E-03	7.365E-03	5.956E-03	7.285E-03	
天然ガス(資源)	kg	2.622E-02	2.474E-02	2.536E-02	2.578E-02	2.564E-02	2.521E-02	8.588E-03	1.391E-01	1.148E-01	4.204E-02	3.682E-02	2.241E-01	2.257E-01	2.298E-01	2.257E-01	2.333E-01	
ウラン(資源)	kg	2.030E-07	1.821E-07	3.108E-07	2.325E-07	1.612E-07	2.115E-07	2.115E-07	3.263E-06	2.634E-06	1.647E-02	2.468E-07	2.996E-06	6.209E-07	1.014E-06	1.260E-07	1.266E-07	
用水(海水を除く)	kg	8.519E-01	8.572E-01	8.524E-01	8.527E-01	8.554E-01	8.544E-01	1.371E-01	6.212E-01	5.824E-01	9.113E-01	9.116E-01	6.610E-01	6.787E-01	6.638E-01	6.611E-01	6.636E-01	
エネルギー消費	MJ	1.298E+01	1.307E+01	1.291E+01	1.293E+01	1.311E+01	1.294E+01	1.205E+01	1.396E+01	1.147E+01	1.349E+01	1.248E+01	1.469E+01	1.604E+01	1.563E+01	1.455E+01	1.507E+01	
内、化石エネルギー	MJ	1.257E+01	1.266E+01	1.253E+01	1.257E+01	1.270E+01	1.258E+01	1.131E+01	1.042E+01	7.739E+00	1.276E+01	1.135E+01	1.308E+01	1.391E+01	1.351E+01	1.315E+01	1.370E+01	
CO ₂	kg	1.114E+00	1.126E+00	1.114E+00	1.116E+00	1.123E+00	1.120E+00	1.031E+00	6.155E-01	4.341E-01	9.398E-01	8.469E-01	6.867E-01	7.340E-01	7.113E-01	6.925E-01	7.233E-01	
NOx	kg	1.818E-03	1.860E-03	1.831E-03	1.835E-03	1.851E-03	1.844E-03	1.919E-03	1.081E-03	7.242E-04	1.450E-03	1.369E-03	1.125E-03	1.239E-03	1.168E-03	1.138E-03	1.190E-03	
SOx	kg	7.391E-03	7.573E-03	7.449E-03	7.458E-03	7.512E-03	7.501E-03	8.543E-03	1.792E-03	8.341E-04	4.204E-03	4.183E-03	4.093E-04	9.866E-04	4.612E-04	3.971E-04	4.622E-04	
粒子状物質	kg	1.313E-04	1.336E-04	1.316E-04	1.318E-04	1.341E-04	1.325E-04	1.121E-04	3.084E-05	2.672E-05	1.492E-04	1.559E-04	2.065E-05	2.689E-05	2.318E-05	2.780E-05	2.560E-05	
PFC	kg	2.643E-10	2.535E-10	2.428E-10	2.378E-10	2.310E-10	2.421E-10	1.886E-10	5.433E-10	2.617E-10	2.668E-10	2.633E-10	2.622E-10	5.027E-10	3.233E-10	2.677E-10	5.143E-10	
GHG	kg-CO ₂ eq	1.115E+00	1.126E+00	1.115E+00	1.117E+00	1.124E+00	1.120E+00	1.032E+00	6.161E-01	4.345E-01	9.407E-01	8.477E-01	6.874E-01	7.347E-01	7.121E-01	6.932E-01	7.240E-01	
固形廃棄物	kg	1.815E-03	1.814E-03	1.814E-03	1.813E-03	1.813E-03	1.814E-03	2.634E-05	5.523E-04	5.405E-04	3.768E-04	3.775E-04	5.315E-04	5.439E-04	5.350E-04	5.326E-04	5.427E-04	

項目	単位	欧州				ロシア・その他の欧州			オセアニア	湾岸諸国				アフリカ	欧州	その他の欧州	その他の欧州
		オランダ	デンマーク	ハンガリー	トルコ	ロシア	スロベニア	ルーマニア	オーストラリア	アラブ首長国連邦	サウジアラビア	カタール	バーレーン	南アフリカ	アイルランド	ウクライナ	カザフスタン
アルミナ	kg	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00
石炭 (資源)	kg	2.780E-02	2.483E-02	3.874E-02	7.859E-02	3.722E-02	5.237E-02	5.866E-02	2.263E-01	3.277E-04	1.782E-04	1.537E-04	1.978E-04	3.847E-01	3.129E-02	4.463E-02	5.481E-02
原油 (資源)	kg	5.713E-03	5.841E-03	5.850E-03	6.043E-03	4.454E-03	4.205E-03	4.318E-03	2.689E-02	8.887E-04	5.541E-02	2.506E-05	4.521E-05	4.415E-02	6.185E-03	5.990E-03	5.882E-03
天然ガス(資源)	kg	2.338E-01	2.236E-01	2.280E-01	2.269E-01	3.300E-01	3.179E-01	3.206E-01	2.301E-01	2.860E-01	2.489E-01	2.850E-01	3.143E-01	1.212E-01	2.348E-01	2.246E-01	2.327E-01
ウラン(資源)	kg	2.508E-07	1.266E-07	2.065E-06	1.274E-07	7.788E-07	1.395E-06	8.235E-07	1.403E-07	1.349E-09	3.109E-10	2.201E-10	2.833E-10	3.806E-07	1.260E-07	2.434E-06	1.262E-07
用水(海水を除く)	kg	6.660E-01	6.657E-01	6.697E-01	6.952E-01	4.780E-01	4.846E-01	4.887E-01	7.415E-01	2.723E-03	3.116E-03	1.447E-03	1.863E-03	8.647E-01	6.669E-01	6.794E-01	6.873E-01
エネルギー消費	MJ	1.485E+01	1.679E+01	1.490E+01	1.597E+01	1.969E+01	1.973E+01	2.061E+01	2.039E+01	1.617E+01	1.610E+01	1.557E+01	1.717E+01	1.919E+01	1.618E+01	1.481E+01	1.478E+01
内、化石エネルギー	MJ	1.375E+01	1.312E+01	1.372E+01	1.469E+01	1.920E+01	1.891E+01	1.923E+01	1.968E+01	1.566E+01	1.607E+01	1.557E+01	1.717E+01	1.855E+01	1.392E+01	1.369E+01	1.439E+01
CO ₂	kg	7.341E-01	6.942E-01	7.165E-01	7.764E-01	1.044E+00	1.021E+00	1.038E+00	1.264E+00	7.644E-01	8.391E-01	7.587E-01	8.367E-01	1.441E+00	7.292E-01	7.417E-01	7.862E-01
NOx	kg	1.209E-03	1.150E-03	1.201E-03	1.338E-03	1.650E-03	1.628E-03	1.660E-03	2.005E-03	1.277E-03	1.268E-03	1.270E-03	1.397E-03	2.425E-03	1.203E-03	1.249E-03	1.337E-03
SOx	kg	5.374E-04	4.729E-04	7.482E-04	1.555E-03	7.065E-04	9.950E-04	1.121E-03	4.285E-03	4.407E-05	1.461E-04	3.984E-05	4.391E-05	8.093E-03	6.010E-04	8.928E-04	1.109E-03
粒子状物質	kg	3.150E-05	3.537E-05	3.366E-05	2.018E-05	2.145E-05	2.260E-05	2.301E-05	6.675E-05	1.177E-05	1.197E-05	1.166E-05	1.290E-05	1.140E-04	2.517E-05	1.878E-05	1.939E-05
PFC	kg	3.493E-10	3.108E-10	3.607E-10	3.138E-10	1.340E-10	2.054E-10	2.573E-10	6.805E-10	3.599E-10	1.709E-11	4.417E-13	5.687E-13	5.271E-10	1.713E-10	2.560E-10	1.992E-10
GHG	kg-CO ₂ eq	7.349E-01	6.949E-01	7.172E-01	7.772E-01	1.045E+00	1.022E+00	1.039E+00	1.265E+00	7.652E-01	8.400E-01	7.595E-01	8.376E-01	1.442E+00	7.299E-01	7.424E-01	7.870E-01
固形廃棄物	kg	5.354E-04	5.358E-04	5.361E-04	5.366E-04	2.012E-03	2.016E-03	2.019E-03	1.026E-03	1.699E-05	1.825E-06	9.760E-07	1.256E-06	1.250E-03	5.290E-04	5.319E-04	5.297E-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16 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	アジア（中国を除く）						中国	北米		中南米		欧 州				
		日本	インド	韓国	台湾	インドネシア	ベトナム	中国	米国	カナダ	ジャマイカ	ブラジル	フランス	ドイツ	スペイン	オーストリア	イタリア
ボーキサイト-kg/アルミナ-kg	kg	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00
石炭（資源）	kg	3.373E-01	3.417E-01	3.377E-01	3.364E-01	3.402E-01	3.364E-01	3.999E-01	1.086E-01	5.640E-02	1.488E-01	1.415E-01	3.407E-02	6.261E-02	3.712E-02	3.418E-02	3.510E-02
原油（資源）	kg	1.411E-01	6.596E-02	1.670E-01	1.732E-01	6.640E-02	6.592E-02	1.296E-01	5.518E-02	1.507E-01	2.547E-01	1.332E-01	4.594E-02	6.153E-02	1.124E-01	1.186E-01	1.074E-01
天然ガス（資源）	kg	3.427E-02	3.142E-02	3.400E-02	3.246E-02	3.256E-02	3.202E-02	1.861E-02	1.429E-01	1.213E-01	4.980E-02	3.733E-02	2.330E-01	2.350E-01	2.399E-01	2.359E-01	2.411E-01
ウラン（資源）	kg	3.034E-07	2.131E-07	4.112E-07	3.266E-07	1.867E-07	1.866E-07	2.924E-07	3.355E-06	2.728E-06	2.588E-07	2.727E-07	3.095E-06	7.149E-07	1.108E-06	2.200E-07	2.206E-07
用水（海水を除く）	kg	8.642E-01	8.631E-01	8.657E-01	8.655E-01	8.607E-01	8.594E-01	1.498E-01	6.300E-01	5.964E-01	9.237E-01	9.135E-01	6.706E-01	6.891E-01	6.772E-01	6.749E-01	6.760E-01
エネルギー消費	MJ	1.748E+01	1.396E+01	1.859E+01	1.871E+01	1.400E+01	1.379E+01	1.798E+01	1.678E+01	1.873E+01	1.885E+01	1.283E+01	1.745E+01	1.951E+01	2.138E+01	2.066E+01	2.042E+01
内、化石エネルギー	MJ	1.688E+01	1.348E+01	1.803E+01	1.819E+01	1.352E+01	1.337E+01	1.710E+01	1.308E+01	1.483E+01	1.795E+01	1.165E+01	1.567E+01	1.721E+01	1.910E+01	1.909E+01	1.889E+01
CO ₂	kg	1.409E+00	1.180E+00	1.489E+00	1.501E+00	1.177E+00	1.173E+00	1.425E+00	7.986E-01	9.196E-01	1.294E+00	8.685E-01	8.622E-01	9.581E-01	1.092E+00	1.097E+00	1.078E+00
NO _x	kg	8.220E-03	1.993E-03	1.041E-02	1.092E-02	1.981E-03	1.973E-03	1.094E-02	4.959E-03	1.263E-02	9.595E-03	1.480E-03	4.230E-03	5.643E-03	9.747E-03	1.036E-02	9.332E-03
SO _x	kg	1.259E-02	7.748E-03	1.439E-02	1.479E-02	7.671E-03	7.657E-03	1.583E-02	4.914E-03	1.041E-02	1.078E-02	4.237E-03	2.956E-03	4.569E-03	7.411E-03	7.862E-03	7.038E-03
粒子状物質（PM _{2.5} ）	kg	2.283E-04	1.379E-04	2.609E-04	2.685E-04	1.386E-04	1.365E-04	2.478E-04	9.007E-05	2.052E-04	2.719E-04	1.592E-04	6.856E-05	9.405E-05	1.523E-04	1.665E-04	1.482E-04
PFC	kg	3.192E-10	2.979E-10	2.975E-10	2.844E-10	2.692E-10	2.834E-10	2.447E-10	5.779E-10	3.019E-10	3.172E-10	2.708E-10	3.220E-10	5.593E-10	3.846E-10	3.292E-10	5.647E-10
GHG	kg-CO ₂ eq	1.422E+00	1.183E+00	1.505E+00	1.518E+00	1.179E+00	1.175E+00	1.442E+00	8.066E-01	9.401E-01	1.310E+00	8.701E-01	8.697E-01	9.677E-01	1.108E+00	1.114E+00	1.093E+00
固形廃棄物（産業廃棄物）	kg	1.818E-03	1.817E-03	1.817E-03	1.816E-03	1.816E-03	1.816E-03	3.003E-05	5.545E-04	5.431E-04	3.801E-04	3.780E-04	5.354E-04	5.477E-04	5.390E-04	5.366E-04	5.460E-04

項目	単位	欧州				ロシア・その他の欧州			オセアニア	湾岸諸国				アフリカ	欧州	その他の欧州	その他の欧州
		オランダ	デンマーク	ハンガリー	トルコ	ロシア	スロベニア	ルーマニア	オーストラリア	アラブ首長国連邦	サウジアラビア	カタール	バーレーン	南アフリカ	アイルランド	ウクライナ	カザフスタン
ボーキサイト-kg/アルミナ-kg	kg	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00	2.800E+00
石炭（資源）	kg	4.072E-02	3.775E-02	5.167E-02	8.816E-02	4.587E-02	6.335E-02	6.898E-02	2.346E-01	1.480E-02	7.293E-03	1.048E-02	1.052E-02	3.976E-01	4.506E-02	5.434E-02	1.215E-01
原油（資源）	kg	1.184E-01	1.260E-01	1.257E-01	1.027E-02	1.144E-02	1.153E-01	1.469E-01	3.065E-02	8.096E-02	6.034E-02	1.117E-01	1.128E-01	1.187E-01	1.890E-01	8.793E-02	2.247E-02
天然ガス（資源）	kg	2.440E-01	2.339E-01	2.384E-01	2.337E-01	3.374E-01	3.258E-01	3.279E-01	2.371E-01	2.952E-01	2.564E-01	2.917E-01	3.210E-01	1.308E-01	2.458E-01	2.310E-01	2.523E-01
ウラン（資源）	kg	3.447E-07	2.205E-07	2.158E-06	1.528E-07	8.432E-07	1.489E-06	9.177E-07	1.656E-07	1.000E-07	2.562E-08	9.440E-08	9.446E-08	4.745E-07	2.239E-07	2.528E-06	9.270E-07
用水（海水を除く）	kg	6.798E-01	6.798E-01	6.838E-01	7.004E-01	4.830E-01	4.976E-01	5.031E-01	7.459E-01	1.610E-02	6.820E-03	1.425E-02	1.472E-02	8.765E-01	6.849E-01	6.903E-01	7.396E-01
エネルギー消費	MJ	2.095E+01	2.324E+01	2.134E+01	1.687E+01	2.071E+01	2.558E+01	2.781E+01	2.122E+01	2.081E+01	1.696E+01	2.137E+01	2.301E+01	2.356E+01	2.549E+01	1.924E+01	1.968E+01
内、化石エネルギー	MJ	1.969E+01	1.940E+01	1.999E+01	1.551E+01	2.014E+01	2.460E+01	2.626E+01	2.045E+01	2.012E+01	1.689E+01	2.120E+01	2.284E+01	2.275E+01	2.305E+01	1.796E+01	1.792E+01
CO ₂	kg	1.138E+00	1.122E+00	1.143E+00	8.290E-01	1.106E+00	1.410E+00	1.519E+00	1.314E+00	1.069E+00	8.919E-01	1.144E+00	1.225E+00	1.726E+00	1.353E+00	1.034E+00	1.044E+00
NO _x	kg	1.043E-02	1.100E-02	1.103E-02	1.467E-03	2.006E-03	1.068E-02	1.335E-02	2.123E-03	7.781E-03	1.392E-03	1.038E-02	1.059E-02	8.454E-03	1.630E-02	7.841E-03	2.590E-03
SO _x	kg	8.002E-03	8.440E-03	8.698E-03	1.725E-03	1.033E-03	8.305E-03	1.054E-02	4.426E-03	5.354E-03	2.683E-04	7.384E-03	7.457E-03	1.299E-02	1.280E-02	6.205E-03	2.446E-03
粒子状物質（PM _{2.5} ）	kg	1.702E-04	1.833E-04	1.813E-04	2.391E-05	2.856E-05	1.588E-04	1.983E-04	7.016E-05	1.101E-04	1.557E-05	1.486E-04	1.511E-04	2.052E-04	2.513E-04	1.184E-04	3.975E-05
PFC	kg	4.107E-10	3.724E-10	4.223E-10	3.575E-10	1.752E-10	2.560E-10	3.044E-10	7.232E-10	4.221E-10	5.460E-11	4.699E-11	4.714E-11	5.878E-10	2.370E-10	2.992E-10	4.544E-10
GHG	kg-CO ₂ eq	1.155E+00	1.140E+00	1.161E+00	8.315E-01	1.110E+00	1.426E+00	1.540E+00	1.317E+00	1.082E+00	8.946E-01	1.160E+00	1.242E+00	1.739E+00	1.379E+00	1.046E+00	1.055E+00
固形廃棄物（産業廃棄物）	kg	5.394E-04	5.399E-04	5.402E-04	5.395E-04	2.015E-03	2.019E-03	2.022E-03	1.029E-03	2.110E-05	4.309E-06	3.992E-06	4.274E-06	1.254E-03	5.332E-04	5.348E-04	5.462E-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が含まれている。

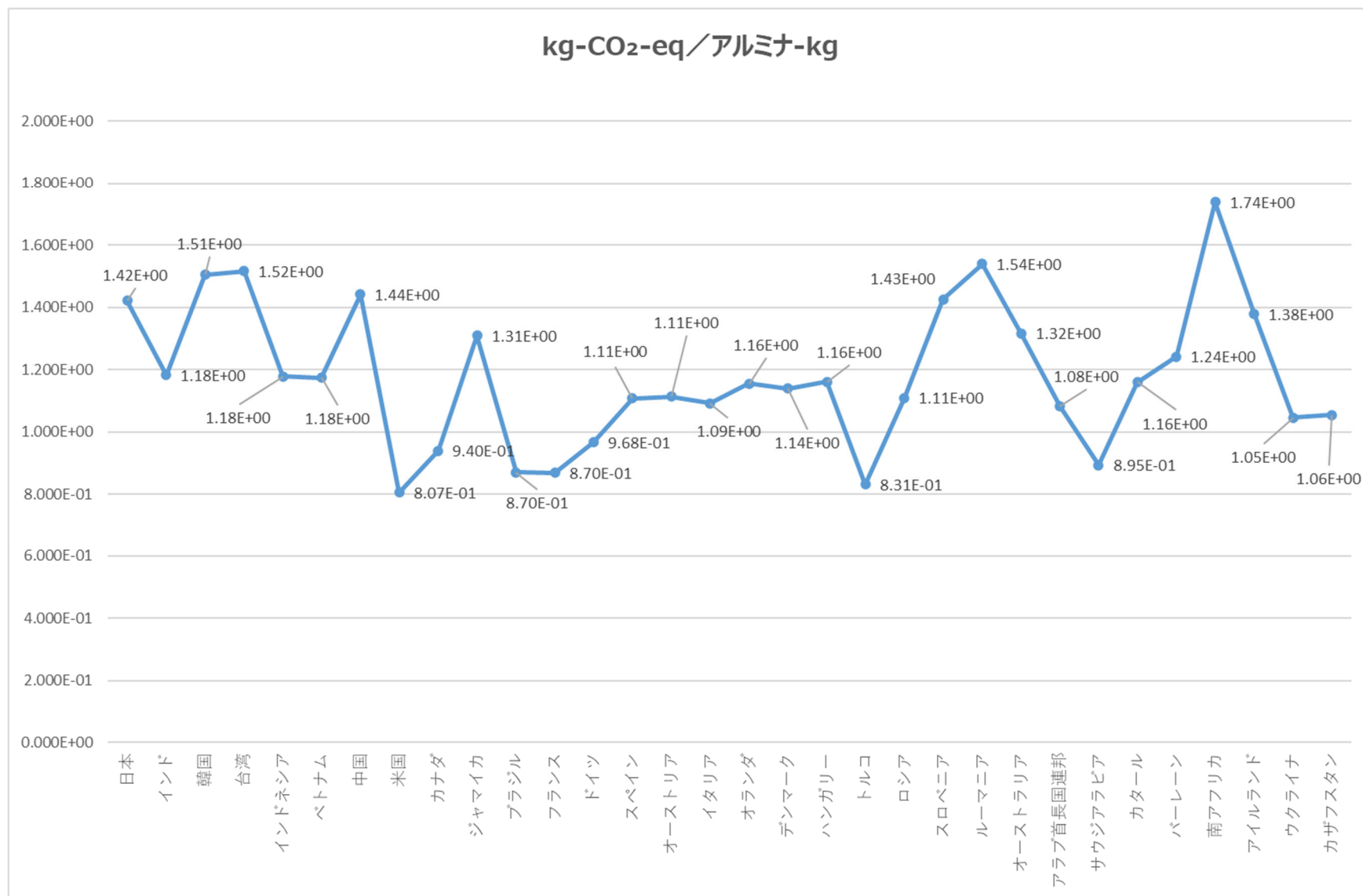


図5 アルミナ1kg製造の排出GHG（ライフサイクルインベントリ；ボーキサイト～アルミナまでの累積ベース）

表17 アルミナ 1 kg製造時（ライフサイクルインベントリ）のGHG排出原単位の差の要因と考えられる要素

アルミナ生産国	GHG (kg-CO ₂ -eq)	LCGHGが1 kg以上 で、アルミナ製造時の GHGが高い	原料ボーキサイトの輸 入に伴う船舶の航海 距離（往復）km	輸送の備考	資源 消費量 kg	公共電力の 電源構成の特徴	アルミナ生産国	GHG (kg-CO ₂ -eq)	LCGHGが1 kg以上 で、アルミナ製造時の GHGが高い	原料ボーキサイトの輸 入に伴う船舶の航海 距離（往復）km	輸送の備考	資源 消費量 kg	公共電力の 電源構成の特徴
日本	1.3～1.7	○	20,345	-	0.5	火力の比率が高い	オランダ	1.0～1.3	-	29,637	-	0.4	-
韓国	1.3～1.7	○	27,529	-	0.5	-	デンマーク	1.0～1.3	-	31,698	-	0.4	-
台湾	1.3～1.7	○	29,227	-	0.5	-	ハンガリー	1.0～1.3	-	31,626	バス鉄道782km	0.4	-
中国	1.3～1.7	○	35,821	-	0.5	-	ロシア	1.0～1.3	○	5,149	自国品が86%	0.4	火力発電の比率が高い
ジャマイカ	1.3～1.7	-	26,106	-	0.5	-	アラブ首長国連邦	1.0～1.3	-	20,669	-	0.4	天然ガス火力の比率が高い
スロベニア	1.3～1.7	○	29,107	-	0.5	-	カタール	1.0～1.3	-	29,279	-	0.4	天然ガス火力の比率が高い
ルーマニア	1.3～1.7	○	37,786	-	0.5	-	バレーン	1.0～1.3	-	29,561	-	0.4	天然ガス火力の比率が高い
オーストラリア	1.3～1.7	○	-	- 自国品（国間輸送無）	0.5	火力の比率が高い	ウクライナ	1.0～1.3	-	20,990	-	0.4	-
南アフリカ	1.3～1.7	○	19,124	-	0.6	石炭火力の比率が高い	カザフスタン	1.0～1.3	-	11,512	すべて鉄道	0.4	-
アイルランド	1.3～1.7	-	48,988	-	0.5	-	米国	1.0未満	-	12,571	-	0.3	火力60%、それ以外が40%
インド	1.0～1.3	○	-	- 自国品（国間輸送無）	0.4	火力の比率が高い	カナダ	1.0未満	-	38,498	-	0.3	水力の比率が高い
インドネシア	1.0～1.3	○	-	- 自国品（国間輸送無）	0.4	火力の比率が高い	ブラジル	1.0未満	-	-	- 自国品（国間輸送無）	0.3	水力の比率が高い
ベトナム	1.0～1.3	○	-	- 自国品（国間輸送無）	0.4	火力の比率が高い	フランス	1.0未満	-	10,415	-	0.3	原子力の比率が高い
スペイン	1.0～1.3	-	27,524	-	0.4	火力が40%弱	ドイツ	1.0未満	-	13,767	-	0.4	火力50%未満で再生エネが高い
オーストリア	1.0～1.3	-	29,637	-	0.4	水力、再生エネが90%弱	トルコ	1.0未満	-	-	- 自国品（国間輸送無）	0.3	火力の比率が高い
イタリア	1.0～1.3	-	26,097	-	0.4	火力の比率が高い	サウジアラビア	1.0未満	-	-	- 自国品（国間輸送無）	0.3	火力の比率が高い

注 1：表中、赤字は相対的に船舶輸送による航海距離が長いと考えられるケース。

注 2：資源消費量は、石炭、原油、天然ガスの消費量原単位の合計である。

6.3 アルミニウム新地金

表18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19に同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）を示した。図6は、表19から輸入先別のアルミニウム1kg製造時のGHGを取り上げ、折れ線グラフで示したものである。

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20）、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、工程別の消費電力構成比は変化しているが、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ほとんど変化しておらず97%と高い。

図6に、2019年ベースの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GHGを示した。前回調査（2015年ベース）の上位3か国は、インド（20.8kg-CO₂eq）、マレーシア（19.5kg-CO₂eq）、南アフリカ（19.0kg-CO₂eq）であったが、今回調査（2019年ベース）ではインド（23.8kg-CO₂eq）、南アフリカ（20.0kg-CO₂eq）、オーストラリア（17.3kg-CO₂eq）へと変化している。マレーシアのGHG排出量が改善されて10.0kg-CO₂eq未満に低下したことが注目される。オーストラリアは前回調査の4位から3位に上がってきたが、前回調査においても17.3kg-CO₂eqであり、水準そのものは変わっていない。また、湾岸諸国は、前回調査で13.0～13.4kg-CO₂eqを示して第5位グループを形成していたが、今回調査では14.5～15.3kg-CO₂eqとGHG排出量がやや増加し、第4位グループを形成している。

これらの国別のアルミニウム新地金1kg当たりのGHG排出原単位が変化した要因を関連する要素を整理し、表21に示した。アルミニウム新地金のGHG排出原単位の変化に影響を及ぼす要素は、製錬所（新地金ユニットプロセス）での電力消費原単位および電源構成に集約される。2015年ベースと2019年ベースの電力消費原単位は0.1kWhの上昇にとどまっており、この変化はあまり効いていないものと判断される。これに対して、電源構成の変化はGHG算定結果に大きな影響を及ぼしているものと判断される。

電源構成が大きく変化しているのは、マレーシア、アルゼンチン、オーストラリアの3か国で、マレーシアは水力発電の拡大で石炭火力のウエートが86%の低下を示している。アルゼンチンは再生可能エネルギーを活用した発電比率が44%を示しており、水力と合わせた合計でいわゆるグリーン電力の比率が64%へと拡大している（2015年ベースではグリーン電力は水力50%にとどまっていた）。オーストラリアは石炭火力89%、水力19%の構成から、水力・再生可能エネルギーで19%を賄うように変化しており、石炭火力への依存は8%ではあるが低下した。

しかし、輸入比率で加重平均したGHG排出量でみると、輸入比率の低いマレーシア（2015年、1.5%⇒2019年2.0%）、アルゼンチン（2015年、2.5%⇒2019年1.8%）電源構成改善の効果がGHG排出量の低減に反映されるまでには至っておらず、輸入比率で加重平均した2015年のユニットプロセスベース8.4kg-CO₂eq、累積ベース12.0kg-CO₂eqから2019年のユニットプロセスベース9.9kg-CO₂eq、累積ベース12.9kg-CO₂eqへとわずかながら増加している。なお、オーストラリアの輸入比率は25.4%から25.9%へとやや増加しているが、電源構成はなお火力が81%と主体を占めており、全体のGHG排出量改善に貢献するには至っていない。

なお、LCI分析では、輸送は算定結果にそう大きな影響を及ぼさないが、表22に輸送の影響度を示した。今回調査（2019年ベース）においてもアルミニウム新地金1kgの輸入でみると、輸入比率で加重平均した新地金輸入に係るGHG排出量の比率は0.7%、新地金生産国でのアルミナの輸入に係るGHG排出量の比率は0.8%、合計で1.5%にとどまる。

表18 アルミニウム新地金 1 kgのインベントリ ※ユニットプロセスデータ

項目	単位	アフリカ	アジア（中国を除く）				湾岸諸国	
		南アフリカ共和国	インド	インドネシア	マレーシア	アラブ首長国連邦	サウジアラビア	カタール
アルミニウム地金	kg	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00
石炭（資源）	kg	5.469E+00	7.122E+00	2.709E-02	1.162E+00	5.911E-02	5.911E-02	5.911E-02
原油（資源）	kg	3.989E-02	4.929E-02	7.909E-03	1.453E-02	2.288E-02	2.288E-02	2.288E-02
天然ガス（資源）	kg	1.927E-02	2.460E-02	3.767E-03	7.101E-03	3.788E+00	3.788E+00	3.788E+00
ウラン（資源）	kg	1.641E-07	2.026E-07	4.818E-08	7.289E-08	3.254E-08	3.254E-08	3.254E-08
用水（海水を除く）	kg	4.668E+00	6.050E+00	1.943E-01	1.131E+00	1.272E-01	1.272E-01	1.272E-01
エネルギー消費	MJ	1.437E+02	1.870E+02	6.062E+01	8.084E+01	2.095E+02	2.095E+02	2.095E+02
内、化石エネルギー	MJ	1.434E+02	1.866E+02	1.295E+00	3.095E+01	2.095E+02	2.095E+02	2.095E+02
CO ₂	kg	1.599E+01	2.039E+01	1.629E+00	4.630E+00	1.182E+01	1.182E+01	1.182E+01
NO _x	kg	3.103E-02	4.041E-02	1.536E-04	6.594E-03	1.660E-02	1.660E-02	1.660E-02
SO _x	kg	1.196E-01	1.557E-01	2.833E-04	2.515E-02	1.217E-03	1.217E-03	1.217E-03
粒子状物質（PM2.5）	kg	5.181E-04	6.731E-04	1.148E-05	1.173E-04	1.766E-04	1.766E-04	1.766E-04
PFC	kg	7.046E-10	8.967E-10	1.240E-10	2.476E-10	3.911E-10	3.911E-10	3.911E-10
GHG	kg-CO ₂ eq	1.630E+01	2.079E+01	1.631E+00	4.696E+00	1.214E+01	1.214E+01	1.214E+01
固形廃棄物（産業廃棄物）	kg	2.597E-03	2.731E-03	2.530E-03	2.562E-03	1.805E-03	1.805E-03	1.805E-03

項目	単位	湾岸諸国	北米	南米		ロシア	オセアニア	
		バーレーン	カナダ	アルゼンチン	ブラジル	ロシア	オーストラリア	ニュージーランド
アルミニウム地金	kg	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00
石炭（資源）	kg	5.911E-02	2.875E-02	1.072E-01	2.966E-02	3.910E-01	4.631E+00	2.394E-02
原油（資源）	kg	2.288E-02	9.054E-03	2.098E-02	9.994E-03	1.222E-02	3.607E-02	8.187E-03
天然ガス（資源）	kg	3.788E+00	4.082E-03	8.811E-01	4.148E-03	5.005E-03	1.008E-01	3.403E-03
ウラン（資源）	kg	3.254E-08	5.632E-08	6.475E-07	5.699E-08	3.921E-06	2.241E-07	4.416E-08
用水（海水を除く）	kg	1.272E-01	2.090E-01	7.699E-01	2.235E-01	4.981E-01	4.040E+00	1.824E-01
エネルギー消費	MJ	2.095E+02	6.031E+01	3.377E+02	6.325E+01	7.180E+01	1.717E+02	5.894E+01
内、化石エネルギー	MJ	2.095E+02	1.408E+00	5.192E+01	1.479E+00	1.090E+01	1.262E+02	1.202E+00
CO ₂	kg	1.182E+01	1.643E+00	4.268E+00	1.749E+00	2.786E+00	1.400E+01	1.599E+00
NO _x	kg	1.660E-02	1.639E-04	4.222E-03	1.705E-04	2.244E-03	2.662E-02	1.457E-04
SO _x	kg	1.217E-03	3.104E-04	1.572E-03	3.173E-04	8.324E-03	1.011E-01	2.603E-04
粒子状物質（PM2.5）	kg	1.766E-04	1.237E-05	6.339E-05	1.307E-05	4.712E-05	4.445E-04	1.114E-05
PFC	kg	3.911E-10	1.413E-10	1.965E-07	1.313E-10	1.285E-10	2.813E-08	9.229E-11
GHG	kg-CO ₂ eq	1.214E+01	1.646E+00	4.350E+00	1.752E+00	2.809E+00	1.426E+01	1.602E+00
固形廃棄物（産業廃棄物）	kg	1.805E-03	3.235E-03	1.095E-02	2.356E-03	2.357E-04	2.313E-03	9.964E-04

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19 アルミニウム新地金 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	アフリカ	アジア（中国を除く）				湾岸諸国	
		南アフリカ共和国	インド	インドネシア	マレーシア	アラブ首長国連邦	サウジアラビア	カタール
ボーキサイト	kg	5.091E+00	5.130E+00	5.130E+00	4.880E+00	4.814E+00	4.532E+00	3.209E+00
石炭（資源）	kg	7.20E+00	8.70E+00	1.60E+00	2.65E+00	1.42E+00	8.78E-01	1.32E+00
原油（資源）	kg	2.07E-01	2.42E-01	1.97E-01	2.07E-01	1.90E-01	1.77E-01	2.59E-01
天然ガス（資源）	kg	5.25E-01	9.36E-02	7.89E-02	2.20E-01	4.09E+00	4.32E+00	4.02E+00
ウラン（資源）	kg	8.65E-07	8.61E-07	5.63E-07	6.22E-07	5.61E-07	2.25E-07	6.14E-07
用水（海水を除く）	kg	6.67E+00	8.12E+00	2.25E+00	3.04E+00	2.02E+00	4.97E-01	2.09E+00
エネルギー消費	MJ	2.30E+02	2.45E+02	1.18E+02	1.44E+02	2.72E+02	2.69E+02	2.70E+02
内、化石エネルギー	MJ	2.27E+02	2.43E+02	5.72E+01	9.25E+01	2.71E+02	2.69E+02	2.68E+02
CO ₂	kg	1.96E+01	2.33E+01	4.54E+00	7.72E+00	1.49E+01	1.41E+01	1.47E+01
NO _x	kg	4.22E-02	4.59E-02	5.14E-03	1.44E-02	2.53E-02	2.10E-02	2.63E-02
SO _x	kg	1.35E-01	1.73E-01	1.67E-02	4.16E-02	1.67E-02	3.11E-03	1.66E-02
粒子状物質（PM2.5）	kg	7.63E-04	9.98E-04	3.33E-04	4.20E-04	4.49E-04	2.34E-04	5.04E-04
PFC	kg	2.48E-09	1.83E-09	9.04E-10	1.35E-09	1.61E-09	7.25E-10	1.45E-09
GHG	kg-CO ₂ eq	2.00E+01	2.38E+01	4.60E+00	7.84E+00	1.53E+01	1.45E+01	1.51E+01
固形廃棄物	kg	5.14E-03	6.49E-03	6.28E-03	5.61E-03	4.74E-03	2.03E-03	4.08E-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。

項目	単位	湾岸諸国	北米	南米		ロシア	オセアニア	
		バーレーン	カナダ	アルゼンチン	ブラジル	ロシア	オーストラリア	ニュージーランド
ボーキサイト	kg	4.698E+00	5.158E+00	5.148E+00	5.130E+00	5.149E+00	5.130E+00	5.134E+00
石炭（資源）	kg	1.32E+00	1.10E+00	1.35E+00	1.18E+00	1.41E+00	5.64E+00	1.02E+00
原油（資源）	kg	2.60E-01	3.19E-01	2.94E-01	3.23E-01	3.31E-01	1.30E-01	1.20E-01
天然ガス（資源）	kg	4.02E+00	1.89E-01	1.17E+00	9.84E-02	4.84E-01	5.84E-01	4.84E-01
ウラン（資源）	kg	6.14E-07	8.99E-07	1.41E-06	8.13E-07	6.12E-05	6.51E-07	4.96E-07
用水（海水を除く）	kg	2.09E+00	2.19E+00	2.75E+00	2.36E+00	2.09E+00	5.72E+00	1.86E+00
エネルギー消費	MJ	2.70E+02	1.17E+02	4.03E+02	1.18E+02	1.58E+02	2.32E+02	1.20E+02
内、化石エネルギー	MJ	2.68E+02	5.55E+01	1.15E+02	5.30E+01	7.99E+01	1.85E+02	6.00E+01
CO ₂	kg	1.47E+01	4.19E+00	7.16E+00	4.02E+00	6.07E+00	1.70E+01	4.59E+00
NO _x	kg	2.63E-02	9.68E-03	1.42E-02	4.95E-03	2.40E-02	3.21E-02	6.99E-03
SO _x	kg	1.66E-02	1.37E-02	1.53E-02	1.02E-02	2.88E-02	1.11E-01	1.11E-02
粒子状物質（PM2.5）	kg	5.04E-04	3.80E-04	4.01E-04	3.72E-04	4.54E-04	6.08E-04	1.97E-04
PFC	kg	1.45E-09	1.07E-09	1.98E-07	9.44E-10	1.14E-09	2.98E-08	1.70E-09
GHG	kg-CO ₂ eq	1.51E+01	4.25E+00	7.31E+00	4.08E+00	6.17E+00	1.73E+01	4.63E+00
固形廃棄物	kg	4.08E-03	4.36E-03	1.25E-02	3.30E-03	2.88E-03	7.63E-03	6.32E-03

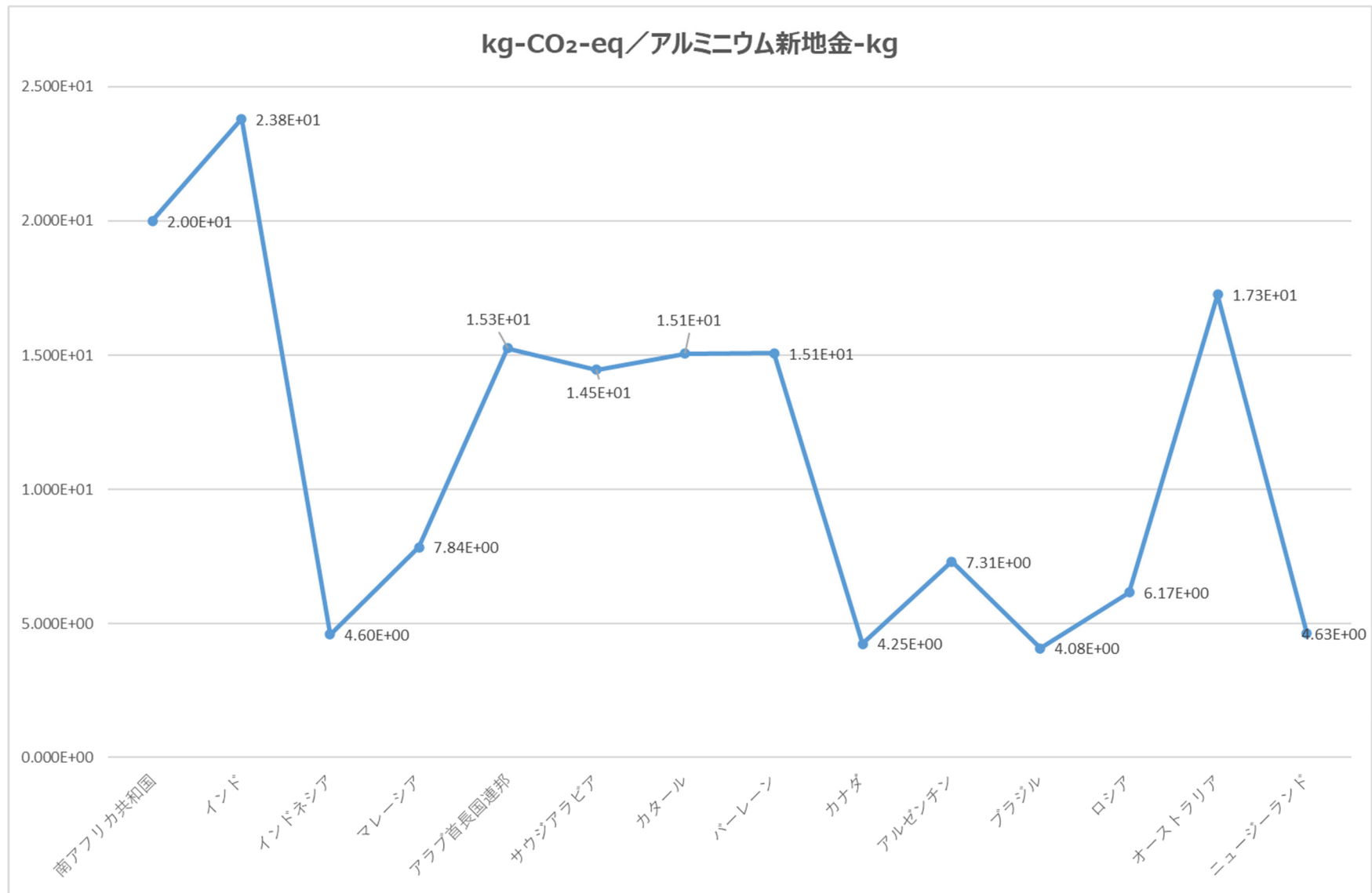


図6 アルミニウム新地金1kg製造の排出GHG(ライフサイクルインベントリ；ボーキサイト～アルミナ～アルミニウムの累積ベース；Anode/Pasteの生産を含む)

表 20 アルミニウム新地金製造の原料フローと工程別消費電力

項目	単位	ボーサイト	⇒	アルミナ	⇒	アルミニウム新地金	合計
原料フロー	t	5.130		1.911		1.000	-
消費電力	kWh	33		290		15,453	15,904
構成比	-	0.21%		1.82%		97.16%	100.00%
				Anode/Paste			
				0.500			
				128			
				0.80%			

出典：IAI LCI調査結果 2019年 グローバルベース

表21 アルミニウム新地金 1 kg製造時のGHG排出量に影響を及ぼす要素

2015年ベース	2015年ベース	2015年ベース	2015年ベース	2015年ベース	2015年ベース	2015年ベース	2019年ベース	2019年ベース	2019年ベース	2019年ベース	2019年ベース	2019年ベース	2019年ベース
アルミ新地金生産国	日本の地金輸入量	同左構成比	新地金製造の電力消費原単位	精錬所の電源構成	累積GHG kg-CO ₂ -eq/新地金-kg	ユニットプロセスGHG kg-CO ₂ -eq/新地金-kg	アルミ新地金生産国	日本の地金輸入量	同左構成比	新地金製造の電力消費原単位	精錬所の電源構成	累積GHG kg-CO ₂ -eq/新地金-kg	ユニットプロセスGHG kg-CO ₂ -eq/新地金-kg
-	kt	比率	kWh/kg	-	①	②	-	kt	比率	kWh/kg	-	③	④
南アフリカ共和国	139	7.8%	14.6	石炭火力100%	19.0	15.5	南アフリカ共和国	79	4.4%	14.5	石炭火力100%	20.0	16.3
インド	16	0.9%	15.1	石炭火力100%	20.8	15.9	インド	99	5.6%	14.9	石炭火力100%	23.8	20.8
インドネシア	10	0.6%	15.1	水力100%	5.4	1.7	インドネシア	8	0.5%	14.9	水力100%	4.6	1.6
マレーシア	27	1.5%	15.1	石炭火力100%	19.5	15.9	マレーシア	36	2.0%	14.9	水力84%、石炭火力16%	7.8	4.7
アラブ首長国連邦	292	16.2%	14.6	天然ガス火力100%	13.1	9.7	アラブ首長国連邦	331	18.6%	15.1	天然ガス火力100%	15.3	12.1
サウジアラビア	83	4.6%	14.6	天然ガス火力100%	13.4	9.7	サウジアラビア	122	6.9%	15.1	天然ガス火力100%	14.5	12.1
カタール	40	2.3%	14.6	天然ガス火力100%	13.1	9.7	カタール	46	2.6%	15.1	天然ガス火力100%	15.1	12.1
オマーン	18	1.0%	-	天然ガス火力100%	13.0	9.7	バーレーン	16	0.9%	15.1	天然ガス火力100%	15.1	12.1
カナダ	43	2.4%	15.1	水力100%	5.0	1.7	カナダ	38	2.1%	14.8	水力100%	4.2	1.6
アルゼンチン	46	2.5%	15.5	水力50%、天然ガス火力50%	9.1	6.0	アルゼンチン	33	1.8%	15.5	再生エネ44%、水力20%、天然ガス火力36%	7.3	4.4
ブラジル	216	12.0%	15.5	水力100%	4.7	1.9	ブラジル	85	4.8%	15.5	水力100%	4.1	1.8
ロシア	220	12.3%	16.5	水力94%、石炭火力5%、原子力1%	8.0	2.6	ロシア	237	13.3%	16.0	水力94%、石炭火力5%、原子力1%	6.2	2.8
オーストラリア	456	25.4%	14.7	石炭火力89%、水力11%	17.3	13.9	オーストラリア	463	25.9%	14.5	石炭火力78%、天然ガス火力3%、水力12%、再生エネ7%	17.3	14.3
ニュージーランド	190	10.6%	14.7	水力100%	5.0	1.6	ニュージーランド	191	10.7%	14.5	水力100%	4.6	1.6
加重平均または合計	1,797	100.0%	14.9	-	12.0	8.4	加重平均または合計	1,784	100.0%	15.0	-	12.9	9.9

表22 アルミニウム新地金 1 kg製造時のGHG排出量におけるユニットプロセスと輸送の影響度（2019年ベース）

2019年ベース	2019年ベース	2019年ベース	2019年ベース	2019年ベース	2019年ベース		2019年ベース	2019年ベース
アルミニウム新地金生産国	累積GHGに占めるアルミニウム地金ユニットプロセスのGHG	日本への輸入（船舶輸送）に係るGHG	新地金の輸入に係るGHGの比率	アルミニウム新地金の生産に要するアルミナの輸入（船舶輸送）に係るGHG	新地金の生産に必要なアルミナの輸入に係るGHGの比率	輸入比率	輸送に係るGHGの合計比率	アルミニウム新地金生産国のアルミナの調達
	比率	kg-CO ₂ -eq／新地金-kg	比率	kg-CO ₂ -eq／新地金-kg	比率	-	比率	
-	⑤ = ④ / ③	⑥	⑦ = ⑥ / ③	⑧	⑨ = ⑧ / ③	-	⑩ = ⑦ + ⑨	
南アフリカ共和国	81%	0.06	0.3%	0.19	0.9%	4.4%	1.2%	-
インド	87%	0.04	0.2%	0	0%	5.6%	0.2%	100%自国生産品使用
インドネシア	35%	0.03	0.6%	0	0%	0.5%	0.6%	100%自国生産品使用
マレーシア	60%	0.03	0.3%	0.08	1.0%	2.0%	1.3%	-
アラブ首長国連邦	80%	0.05	0.3%	0.13	0.8%	18.6%	1.2%	-
サウジアラビア	84%	0.05	0.4%	0	0%	6.9%	0.4%	100%自国生産品使用
カタール	81%	0.05	0.4%	0.18	1.2%	2.6%	1.5%	-
バーレーン	81%	0.05	0.4%	0.18	1.2%	0.9%	1.5%	-
カナダ	39%	0.03	0.8%	0.18	4.2%	2.1%	5.0%	-
アルゼンチン	60%	0.09	1.2%	0.14	1.9%	1.8%	3.1%	-
ブラジル	43%	0.06	1.5%	0	0%	4.8%	1.5%	100%自国生産品使用
ロシア	46%	0.12	2.0%	0.13	2.2%	13.3%	4.2%	-
オーストラリア	83%	0.04	0.2%	0	0%	25.9%	0.2%	100%自国生産品使用
ニュージーランド	35%	0.04	0.9%	0.06	1.3%	10.7%	2.1%	-
加重平均または合計	-	-	0.7%	-	0.8%	100.0%	1.5%	-

注 1：アルミニウム新地金の場合、輸入先と日本の船舶輸送によるデータとなり、IDEAのデータが直接表示されることになるため本表に輸送距離を提示することができない。

注 2：⑩は、日本のアルミニウム新地金輸入先が自国で新地金を生産する際のアルミナ輸入に係るGHG。

6.4 Anode/Pasteのインベントリ

表23に、Anode/Paste1kgのインベントリを示した。Anode/Paste1kgのGHGは0.82～1.76kg-CO₂eq、アルミニウム新地金1kgのAnode/Paste所要量はアルゼンチン、ブライルの0.582kgが最も大きく、オーストラリア、ニュージーランドの0.507kgが最も少ない。IAIのLCI調査結果は地域別に整理されているので、2019年ベースでは南米の消費原単位が最も大きく、オセアニアの消費原単位が最も小さかったといえる。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GHGに占めるAnode/Paste消費由来のGHGの比率は、再生可能エネルギー発電や水力発電への依存度が高い国（インドネシア、マレーシア、カナダ、ブラジル、ロシア、ニュージーランド、アルゼンチンなど）の製錬所では9～10%を占めているのに対して、火力発電への依存度が高い国（オーストラリア、南アフリカ、インド、湾岸諸国など）の製錬所では3～5%に留まる。

表23 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	アフリカ		アジア（中国を除く）				湾岸諸国	
		南アフリカ共和国	インド	インドネシア	マレーシア			アラブ首長国連邦	
アノード・ペースト	kg	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00			1.000E+00	
アノード・ペースト/アルミニウム新地金kg	kg	0.536	0.543	0.543	0.543			0.563	
石炭（資源）	kg	2.392E+00	1.710E+00	1.701E+00	1.670E+00			1.429E+00	
原油（資源）	kg	6.055E-02	9.737E-02	1.003E-01	9.709E-02			3.711E-02	
天然ガス（資源）	kg	1.006E-01	1.616E-02	2.366E-02	2.846E-02			7.004E-02	
ウラン（資源）	kg	6.702E-07	4.646E-07	2.912E-07	2.905E-07			2.549E-07	
用水（海水を除く）	kg	1.084E+00	7.762E-01	7.610E-01	7.462E-01			6.315E-01	
エネルギー消費	MJ	7.830E+01	5.580E+01	5.610E+01	5.476E+01			4.731E+01	
内、化石エネルギー	MJ	7.720E+01	5.448E+01	5.477E+01	5.410E+01			4.685E+01	
CO ₂	kg	1.625E+00	1.210E+00	1.186E+00	1.159E+00			8.989E-01	
NO _x	kg	1.302E-03	1.027E-03	9.511E-04	8.862E-04			5.551E-04	
SO _x	kg	2.499E-03	2.729E-03	2.224E-03	1.983E-03			4.489E-04	
粒子状物質（PM2.5）	kg	2.847E-05	8.210E-05	8.650E-05	6.587E-05			1.272E-05	
PFC	kg	7.415E-10	6.778E-10	4.899E-10	4.963E-10			4.227E-10	
GHG	kg-CO ₂ eq	1.751E+00	1.302E+00	1.278E+00	1.250E+00			9.747E-01	
固形廃棄物（産業廃棄物）	kg	1.098E-03	5.356E-04	5.262E-04	5.254E-04			3.933E-04	
項目	単位	湾岸諸国				北米		南米	
		サウジアラビア	カタール	バーレーン		カナダ		アルゼンチン	
アノード・ペースト	kg	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00		1.000E+00		1.000E+00	
アノード・ペースト/アルミニウム新地金kg	kg	0.563	0.563	0.563		0.523		0.582	
石炭（資源）	kg	1.429E+00	1.429E+00	1.429E+00		1.461E+00		1.509E+00	
原油（資源）	kg	3.965E-02	3.707E-02	3.707E-02		5.324E-02		6.777E-02	
天然ガス（資源）	kg	6.831E-02	7.000E-02	7.136E-02		6.129E-02		5.303E-02	
ウラン（資源）	kg	2.548E-07	2.548E-07	2.548E-07		5.147E-07		5.538E-07	
用水（海水を除く）	kg	6.315E-01	6.314E-01	6.315E-01		6.416E-01		6.657E-01	
エネルギー消費	MJ	4.730E+01	4.728E+01	4.735E+01		4.883E+01		5.059E+01	
内、化石エネルギー	MJ	4.686E+01	4.684E+01	4.692E+01		4.803E+01		4.962E+01	
CO ₂	kg	9.024E-01	8.987E-01	9.023E-01		9.421E-01		9.903E-01	
NO _x	kg	5.546E-04	5.547E-04	5.606E-04		6.160E-04		6.361E-04	
SO _x	kg	4.537E-04	4.487E-04	4.489E-04		6.618E-04		8.096E-04	
粒子状物質（PM2.5）	kg	1.273E-05	1.272E-05	1.277E-05		2.726E-05		4.305E-05	
PFC	kg	4.068E-10	4.060E-10	4.060E-10		4.244E-10		4.829E-10	
GHG	kg-CO ₂ eq	9.783E-01	9.744E-01	9.781E-01		1.020E+00		1.072E+00	
固形廃棄物（産業廃棄物）	kg	3.925E-04	3.925E-04	3.925E-04		2.996E-04		3.857E-04	
項目	単位	南米		ロシア		オセアニア			
		ブラジル		ロシア		オーストラリア		ニュージーランド	
アノード・ペースト	kg	1.000E+00		1.000E+00		1.000E+00		1.000E+00	
アノード・ペースト/アルミニウム新地金kg	kg	0.582		0.522		0.507		0.507	
石炭（資源）	kg	1.511E+00		1.437E+00		1.102E+00		1.076E+00	
原油（資源）	kg	6.738E-02		7.038E-02		4.532E-02		4.477E-02	
天然ガス（資源）	kg	3.892E-02		3.168E-02		5.976E-02		5.794E-02	
ウラン（資源）	kg	4.056E-07		1.081E-06		2.182E-07		2.173E-07	
用水（海水を除く）	kg	6.679E-01		6.427E-01		5.138E-01		4.966E-01	
エネルギー消費	MJ	5.050E+01		4.727E+01		3.785E+01		3.736E+01	
内、化石エネルギー	MJ	4.889E+01		4.640E+01		3.708E+01		3.629E+01	
CO ₂	kg	9.565E-01		9.460E-01		8.153E-01		7.646E-01	
NO _x	kg	5.916E-04		6.275E-04		6.687E-04		5.560E-04	
SO _x	kg	8.441E-04		1.219E-03		1.136E-03		6.354E-04	
粒子状物質（PM2.5）	kg	5.350E-05		4.277E-05		2.888E-05		2.666E-05	
PFC	kg	5.081E-10		4.825E-10		5.617E-10		4.485E-10	
GHG	kg-CO ₂ eq	1.037E+00		1.023E+00		8.763E-01		8.240E-01	
固形廃棄物（産業廃棄物）	kg	3.880E-04		1.466E-04		6.621E-03		6.616E-03	

注：反応由来のCO₂を含む。

6.5 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24に、輸入比率で加重平均したアルミニウム 1 kg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 1 kg製造当たり、LCEが214MJ、排出CO₂は12.7kg、GHGは13.0kg-CO₂eqであった。

アルミニウムのGHG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、2015年ベースの調査では、電力のエネルギー変換を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10.91MJ/kWh（同33%）を用いて行った。これに対して今回調査（2019年ベース）では、水力発電および原子力発電は同じ考え方で計算しているが、石炭火力および天然ガス火力はそれぞれの国の発電効率を反映させて計算したほか、再生可能エネルギー発電を太陽光発電に代表させて計算する考え方を取り入れたこととお断りしておきたい。

表24 わが国の輸入新地金 1 kg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	4.97E+00
石炭（資源）	kg	3.100E+00
原油（資源）	kg	2.036E-01
天然ガス（資源）	kg	1.526E+00
U（資源）	kg	1.440E-06
用水（海水を除く）	kg	3.463E+00
エネルギー消費（LCE）	MJ	2.136E+02
内、化石エネルギー	MJ	1.747E+02
CO ₂	kg	1.271E+01
NO _x	kg	2.486E-02
SO _x	kg	5.533E-02
粒子状物質（PM2.5）	kg	4.904E-04
PFC	kg	1.244E-08
GHG	kg-CO ₂ eq	1.297E+01
固形廃棄物	kg	5.411E-03
再掲		
エネルギー消費（LCE）	MJ	214
CO ₂	kg	12.7
GHG	kg-CO ₂ eq	13.0

注1：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。

注2：輸入比率で加重平均した値。

7. 考察

7.1 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25に示す。表には前回、前々回の結果のLCEおよびGHGを併記した。表には、石炭以降の算定結果について有効数字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および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70%、GWPで64%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83%、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70%、GWPは77%と電解工程の比率が50%を大きく越えている。IAIのGLOベースのアルミニウム製錬の比率97%（前掲表20）との間に差があるのは、本表（表25）は日本のアルミニウム輸入国を対象に輸入比率で加重平均したデータとなっているためである。

表25 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	インベントリ内訳②	インベントリ内訳③	インベントリ内訳④	インベントリ内訳⑤	総括D
		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 ***		
投入原単位	kg/kg-AL	4.974	1.838	1.000	1.000	1.000	-
ボーキサイト	kg	4.974	-	-	-	-	4.974
石炭（資源）	kg	4.94E-02	3.80E-01	1.93E+00	7.57E-01	1.10E-06	3.10E+00
原油（資源）	kg	2.59E-02	9.34E-02	1.99E-02	5.49E-02	1.82E-02	2.04E-01
天然ガス（資源）	kg	3.96E-02	3.26E-01	1.13E+00	4.21E-02	3.14E-04	1.53E+00
ウラン（資源）	kg	1.44E-07	5.16E-07	6.20E-07	3.24E-07	1.19E-11	1.44E-06
用水（海水を除く）	kg	1.97E-02	1.33E+00	1.74E+00	3.61E-01	9.30E-07	3.46E+00
エネルギー消費（LCE）	MJ	4.96E+00	3.32E+01	1.49E+02	2.72E+01	8.29E-01	2.14E+02
内、化石エネルギー	MJ	4.63E+00	3.18E+01	1.12E+02	2.66E+01	8.29E-01	1.75E+02
CO ₂	kg	3.06E-01	2.12E+00	8.13E+00	2.19E+00	5.66E-02	1.27E+01
NO _x	kg	7.38E-04	4.40E-03	1.58E-02	2.30E-03	1.52E-03	2.49E-02
SO _x	kg	8.60E-04	8.75E-03	4.21E-02	2.21E-03	1.22E-03	5.53E-02
粒子状物質	kg	2.32E-05	1.63E-04	2.35E-04	4.81E-05	2.26E-05	4.90E-04
PFC	kg	2.42E-10	9.00E-10	1.11E-08	3.63E-10	3.67E-13	1.24E-08
GHG	kg-CO ₂ eq	3.15E-01	2.13E+00	8.33E+00	2.23E+00	5.90E-02	1.30E+01
固形廃棄物	kg	1.59E-05	1.82E-03	1.32E-03	2.02E-03	2.39E-08	5.41E-03
再掲							
エネルギー消費（LCE）	MJ	4.956	33.160	149.052	27.222	0.829	214
CO ₂	kg	0.306	2.122	8.125	2.187	0.057	12.71
GHG	kg-CO ₂ eq	0.315	2.126	8.327	2.233	0.059	12.97

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。

7.2 過去の調査結果との比較

表26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GHG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く、少なくとも今回調査（2019年ベース）を含めて過去3回の調査結果でみる限り、電解工程の「電力以外」を除くと同水準で推移している。

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、対価材料、鋼鉄、ふっ化アルミニウムなどが、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、鋼鉄などが、エネルギーインプットとして重油、軽油、天然ガスなどが投入されているため、年次によってこれらの投入原単位、GHGの発生原単位に変化が生じていることがLCE-MJ当たりのGHGに影響を及ぼしている。

なお、電解製錬の「電力以外」に示したGHGは、IDEAによる計算結果にIAIのアルミニウム生産国すべての調査結果に表示されている「non-fuel」由来の排出CO₂を加算したものである。IAIの調査結果が実際にどのようなCO₂をカウントしているかは確認していないが、ここでは、主に電解反応中に炭素材料が消費される過程で発生するCO₂（電解製錬の陽極反応では、酸化アルミニウムから酸素イオンが電気分解によって分離され、その酸素が炭素製の陽極と反応してCO₂が生成される）と解釈した。

表26 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 ***		
2019年ベース							
エネルギー消費（LCE）	MJ	5.0	33.2	149.1	27.2	0.8	214
内、化石エネルギー	MJ	4.6	31.8	112.2	26.6	0.8	175
GHG	kg-CO ₂ eq	0.32	2.13	8.33	2.23	0.06	13.0
2015年ベース							
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
GHG	kg-CO ₂ eq	0.09	2.00	6.63	3.17	0.06	12.0
2010年ベース							
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
GHG	kg-CO ₂ eq	0.05	1.99	6.18	2.80	0.09	11.1
比較							
GWP/LCE	2019年ベース	0.06	0.06	0.06	0.08	0.07	0.06
GWP/LCE	2015年ベース	0.06	0.06	0.06	0.13	0.07	0.07
GWP/LCE	2010年ベース	0.06	0.07	0.06	0.14	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、輸入アルミニウム新地金のGHGに占める輸入国別の影響をみておく。図7（2019年ベース）、図8（2015年ベース）、図9（2010年ベース）に、輸入アルミニウム新地金のGHG加重平均値に対する輸入国別の影響を示した。GHG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27に、輸入比率上位5か国を基準にGHG寄与率、電源構成を対比して示した。なお、GHG寄与率の変化は、原料ボーキサイトやアルミナのデータの変化はもとより、火力発電の発電効率の変化も影響を受けるほか、電力以外の要素もあるため、輸入比率とアルミニウム製錬所の電源構成でのみ判断することはできないが、本項では傾向を見る上で大きな支障はないものと判断した。

輸入比率の上位5か国という括りで見ると、基本的に輸入比率の高い国のGHG寄与率が高い。オーストラリアやロシアの寄与率が高い理由は、ここにある。

アラブ首長国連邦のGHG寄与率が上昇したのは2010年には3.8%で上位5か国の圏外に位置していた輸入比率が2015年には16.2%と第2位に躍進、2019年も18.6%で第2位の位置を維持しているためである。逆に、ブラジルは2019年、輸入比率が4.8%と低下しているため、表中にはリストアップされていないが、寄与率は1.5%に留まっている。

上位5か国の合計輸入比率は2010年の79.7%から、2015年は76.4%、2019年は75.3%と漸減傾向を示

している。輸入比率上位5か国のGHG寄与率は、2010年の85.8%から、2015年は71.7%へと低下していたが、2019年には74.3%へと上昇している。オーストラリアやアラブ首長国連邦など火力発電の比率が高い国で再生可能エネルギーによる発電の拡大や火力発電の発電効率の改善等が進めば、輸入比率による順位とGHG寄与率の順位は同じ傾向を示すことになろう。

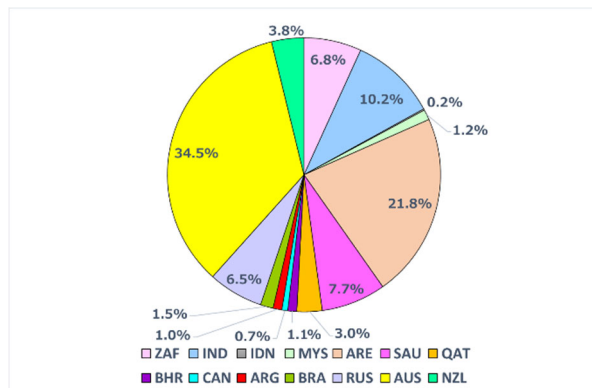


図7 GHG構成比（2019年ベース）

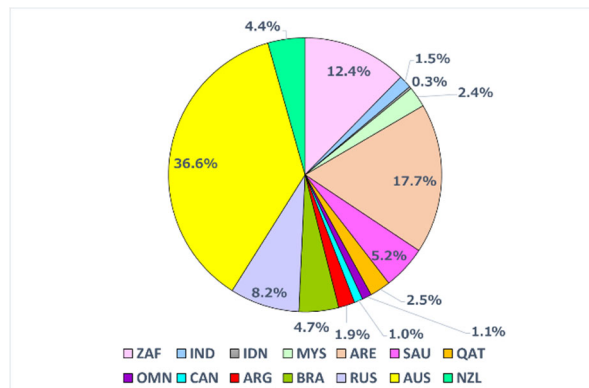


図8 GHG構成比（2015年ベース）

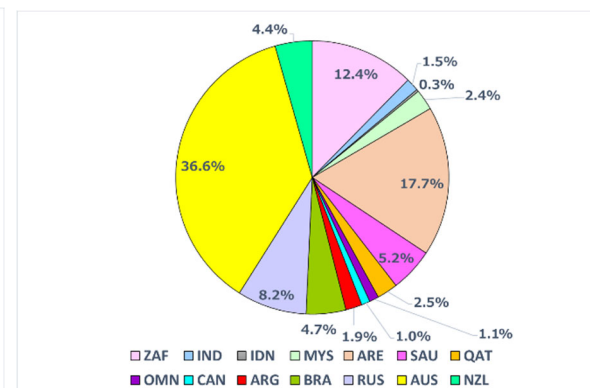


図9 GHG構成比（2010年ベース）

表27 アルミニウム新地金の輸入比率、上位5か国のGHG寄与率の推移

2019年ベース					2015年ベース					2010年ベース				
国	輸入比率	GHG寄与率	GHG順位	電源構成	国	輸入比率	GHG寄与率	GHG順位	電源構成	国	輸入比率	GHG寄与率	GHG順位	電源構成
オーストラリア	25.9%	34.5%	第1位	火力81・水力12・再エネ	オーストラリア	25.4%	36.6%	第1位	石炭89・水力11	オーストラリア	31.1%	45.0%	第1位	石炭91・水力9
アラブ首長国連邦	18.6%	21.8%	第2位	天然ガス100	アラブ首長国連邦	16.2%	17.7%	第2位	天然ガス100	ロシア	15.2%	12.7%	第3位	水力75・石炭25・原子力・1
ロシア	13.3%	6.5%	第6位	水力94・石炭5・原子力1	ロシア	12.3%	8.2%	第4位	水力94・石炭5・原子力1	南アフリカ共和国	12.2%	18.9%	第2位	石炭100
ニュージーランド	10.7%	3.8%	第7位	水力100	ブラジル	12.0%	4.7%	第6位	水力100	ブラジル	11.8%	5.2%	第4位	水力100
サウジアラビア	6.9%	7.7%	第4位	天然ガス100	ニュージーランド	10.6%	4.4%	第7位	水力100	ニュージーランド	9.4%	4.0%	第6位	水力100
合計	75.3%	74.3%	-	-	合計	76.4%	71.7%	-	-	合計	79.7%	85.8%	-	-

注1：表は、輸入比率上位5か国のGHGを示したもの。GHG順位は、GHGを輸入比率で加重平均した値の順位である。

注2：オーストラリア（AUS）、アラブ首長国連邦（ARE）、ロシア（RUS）、ニュージーランド（NZL）、サウジアラビア（SAU）、南アフリカ共和国（ZAF）、ブラジル（BRA）

注3：「再エネ」は、「再生可能エネルギー」の略。

注4：2010年のロシアの電源構成は、四捨五入しているため合計が100にならない。

7.3 輸送の影響

輸送については、アルミニウム新地金の輸送工程（輸入先から日本までの輸入に伴う輸送）は2国間の船舶輸送による航海距離だけであるため、その距離と輸入比率の違いが端的に反映される（表28）。2019年ベースと2015年ベースでみておくと、輸入先としてオマーン（2015年ベース、輸入比率1.0%）がバーレーン（2019年ベース、同0.9%）に入れ替わっているが、輸入比率がわずかに低下しているにとどまる。航海距離はIDEAの利用規約上数値を記載できないが、バーレーンが1,000kmほど長い。全体の加重平均には、両国以外の国の輸入比率の変化も影響するため、これらを計算した結果、LCEは増加、GHGは減少したといえる。

ただし、輸入アルミニウム新地金 1 kg当たりでみた累積LCE（214MJ）に占める輸送に係るLCE（4MJ）の比率は1.7%、同累積GHG（13kg）に占める輸送（0.2kg）の比率は1.8%と低く、輸送が算定結果におよぼす影響は小さいと判断される。

表28 輸入アルミニウム新地金1kg当たりの輸送に係るLCEとGHG

区 分	2019年ベース		2015年ベース		2010年ベース	
	LCE (MJ)	GHG (kg-CO ₂ eq)	LCE (MJ)	GHG (kg-CO ₂ eq)	LCE (MJ)	GHG (kg-CO ₂ eq)
ボーキサイトの輸送（国内・国間）	1.37	0.08	0.97	0.05	0.79	0.05
アルミナの輸送（国間）	1.47	0.09	1.66	0.31	1.80	0.13
アルミニウム新地金の輸送（国間）	0.83	0.06	0.89	0.06	1.29	0.09
輸入アルミニウム新地金計	3.67	0.24	3.52	0.43	3.88	0.27

8.作成した資料一覧

表29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示した。

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2019年のLCI調査結果のデータである。具体的には、「IAI 2019 Life Cycle Inventory Summary by Region and Unit Process」に記載されている「Summary by unit process and region (per tonne of Al)」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29 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/ Pastel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)	-

9. 参考資料

参考資料 1 - ① IAI-LCI2019 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（2019）

		Bauxite mining		Alumina production		Paste		Anode		Electrolysis (S)		Electrolysis (P)		Casting	
	Reference Flow (Material)	Bauxite		Alumina		Paste		Anode		Liquid Metal		Liquid Metal		Ingot	
	Reference Flow (t product per t Al ingot)	5	% global production reporting	2	% global production reporting	0.517	% global production reporting	0.500	% global production reporting	1	% global production reporting	1.00E+00	% global production reporting	1.00E+00	% global production reporting
Transport															
	Average sea transport tkm/t product			4,305	35%					2,923	9.69E-01	1.03E+04	2.74E-01		
	Average road transport tkm/t product			22	35%					0	9.38E-01	9.45E+00	2.46E-01		
	Average rail transport tkm/t product			566	35%					6,365	9.38E-01	6.68E+02	2.38E-01		
Material input															
	Bauxite kg/t product			2,685	35%										
	Caustic soda kg/t product			81	35%										
	Calcined lime kg/t product			52	34%										
	Fresh water m3/t product	0.4692	33%	5	33%	0.5	10%	0.5	19%	8	1.00E+00	5.23E+00	2.91E-01	1.84E+00	1.55E-01
	Sea water m3/t product	0.3	29%	2	28%	2.2	57%	1.8	13%	7	1.00E+00	3.93E+01	2.91E-01	6.31E+00	1.03E-01
	Calcined Coke kg/t product					707	97%	743	32%						
	Pitch kg/t product					309	97%	164	32%						
	Refractory material kg/t product					1.6	10%	2.3	20%	12	1.37E-01	5.58E+00	1.98E-01		
	Steel kg/t product					1.9	10%	1.7	13%	9	1.37E-01	4.22E+00	2.18E-01		
	Alumina kg/t product									1,924	1.00E+00	1.91E+03	3.32E-01		
	Anodes (gross)/Soderberg Paste kg/t product									517	1.00E+00	5.00E+02	6.50E-01		
	Cathode carbon kg/t product									10	1.00E+00	5.98E+00	2.34E-01		
	Aluminium fluoride kg/t product									25	1.00E+00	1.65E+01	3.32E-01		
	Electrolysis metal kg/t product													1.00E+03	3.20E-01
	Alloy additives kg/t product													1.38E+01	3.08E-01
	Chlorine kg/t product													5.48E-03	2.37E-01
	Argon kg/t product													6.56E-01	2.49E-01
	Nitrogen kg/t product													6.46E-02	1.87E-01
Water and Land Use															
	Fresh water consumption m3/t product	0.7	33%	2.8	33%	0.1	10%	0.04	19%	7.2	1.00E+00	4.99E+00	2.91E-01	5.38E-01	1.55E-01
	Sea water consumption m3/t product	0.01	29%	0.1	28%	0.8	57%	0.38	13%	5.8	1.00E+00	6.09E+00	2.91E-01	8.77E-02	1.03E-01
	Land occupation m2/t product	3.42E-01	26%	1.0	36%										
	Land use type before land use type	Other forest	30%	Pastureland	28%										
	Land use type after land use type	Forest	17%	Treated and vegetated	38%										
	Average occupation time years/t product	2.31E-07	24%	1.19E-05	27%										
Energy input															
	Heavy oil MJ/t product	5.7	36%	842	89%	470	97%	559	32%					6.92E+01	3.49E-01
	Diesel oil MJ/t product	79.4	36%	7	89%	12	97%	7	32%					3.84E+00	3.49E-01
	Natural gas MJ/t product	1	36%	2,478	89%	54	97%	2,097	32%					7.44E+00	3.49E-01
	Coal MJ/t product	21.9	36%	6,414	89%	0	97%	0	32%					0.00E+00	3.49E-01
	Electricity MJ/t product	23.0	31%	547	89%	396	97%	466	32%	60,410	1.00E+00	5.10E+04	1.00E+00	3.93E+02	3.49E-01
	Other MJ/t product	0.006	36%	168	89%	0	97%	116	32%					3.21E+01	3.49E-01

参考資料 1 -② IAI-LCI2019 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（2019）

		Bauxite mining		Alumina production		Paste		Anode		Electrolysis (S)		Electrolysis (P)		Casting	
	Reference Flow (Material)	Bauxite		Alumina		Paste		Anode		Liquid Metal		Liquid Metal		Ingot	
	Reference Flow (t product per t Al ingot)	5	% global production reporting	2	% global production reporting	0.517	% global production reporting	0.500	% global production reporting	1	% global production reporting	1.00E+00	% global production reporting	1.00E+00	% global production reporting
Air emissions															
	Particulates kg/t product	0.2	31%	0.4	33%	0.1	10%	0.3	27%	4	9.99E-01	1.37E+00	2.91E-01	3.56E-02	1.63E-01
	Sulfur dioxide kg/t product	0.0001	17%	0.7	32%	0.9	10%	1.0	26%	6	8.88E-01	1.27E+01	2.81E-01	1.14E-02	1.45E-01
	Nitrous oxides (as NO ₂) kg/t product	0.06	27%	0.7	32%	0.23	10%	0.3	24%	0.6	8.57E-01	5.52E-01	6.35E-02	1.01E-01	1.55E-01
	Mercury g/t product			0.12	12%										
	SF ₆ g/t product			0.01	18%	0.02	10%	0.01	12%	0	1.37E-01	5.09E-02	1.59E-01		
	Particulate fluoride (as F) kg/t product					0.002	10%	0.006	22%	1.1	9.99E-01	2.48E-01	2.79E-01		
	Gaseous fluoride (as F) kg/t product					0.009	10%	0.02	26%	0.8	9.99E-01	3.34E-01	2.91E-01		
	Total polycyclic aromatic hydrocarbons kg/t product					0.01	10%	0.01	21%	1.02	8.88E-01	1.49E-02	1.81E-01		
	Benzo(a)pyrene g/t product					0.01	10%	0.01	14%	1.6	8.88E-01	4.51E-02	1.32E-01		
	Tetrafluoromethane kg/t product									0.07	1.00E+00	1.06E-01	9.96E-01		
	Hexafluoroethane kg/t product									0.004	1.00E+00	3.94E-03	9.96E-01		
	Hydrogen chloride kg/t product													1.17E-02	1.86E-01
	Dioxin/furans kg/t product													3.03E-07	7.13E-02
Water emissions															
	Fresh water m3/t product	0.1	33%	2	32%	0.5	10%	0.5	15%	0.11	1.00E+00	4.04E+00	2.70E-01	1.76E+00	1.41E-01
	Sea water m3/t product	0.2	31%	2	28%	1.4	92%	1.4	19%	1.42	1.00E+00	3.32E+01	3.32E-01	6.22E+00	1.03E-01
	Suspended solids kg/t product			0.08	23%	0.003	2%	0.01	10%	0.06	1.00E+00	1.85E-01	2.01E-01	3.30E-03	1.39E-01
	Oil and grease/total hydrocarbons kg/t product			0.8	18%	0.03	2%	0.03	10%	0.00	9.64E-01	1.42E-03	1.50E-01	1.20E-02	1.28E-01
	Mercury g/t product			0.0001	14%										
	Fluoride (as F) kg/t product					0.009	10%	0.008	9%	0.1	1.00E+00	3.07E-01	1.90E-01		
	Polycyclic aromatic hydrocarbons (6 Bomeff components) g/t product					0.04	10%	0.04	10%	0.23	1.00E+00	8.75E-03	1.50E-01		
By-Products (for external recycling)															
	Bauxite residue kg/t product			12	23%					6.9	9.64E-01	4.75E+00	2.10E-01		
	Spent pot lining carbon kg/t product									1.6	9.64E-01	5.22E+00	2.04E-01		
	Spent pot lining refractory kg/t product									1.6	9.64E-01	6.23E-01	1.86E-01	1.45E-01	2.16E-01
	Refractory kg/t product					0.8	92%	2.6	26%	24.3	1.00E+00	7.61E+00	2.21E-01		
	Steel kg/t product					0.6	10%	0.7	17%					1.09E+01	3.04E-01
	Dross kg/t product													1.71E-01	2.12E-01
	Filter dust kg/t product														
	Other kg/t product			12	10%	0.57	10%	1	15%						
Solid waste (for landfilling)															
	Mine solid waste kg/t product	0.06	26%												
	Overburden kg/t product	376	29%												
	Bauxite residues (red mud) kg/t product			1,220	55%										
	Spent pot lining kg/t product									12.5	1.00E+00	2.51E+01	2.47E-01		
	Waste alumina kg/t product									0.3	1.00E+00	1.45E+00	1.81E-01		
	Waste carbon or mix kg/t product					9	92%	12	24%	21.0	1.00E+00	1.54E+01	2.24E-01		
	Scrubber sludges kg/t product					0.1	10%	0.06	16%	8.0	1.00E+00	1.96E+00	1.59E-01		
	Refractory (excl. spent pot lining) kg/t product					1	92%	2	23%	0.05	1.00E+00	3.18E-01	2.37E-01	7.75E-01	2.59E-01
	Dross kg/t product													1.28E-01	2.74E-01
	Filter dust kg/t product													1.03E-01	2.44E-01
	Other solid industrial waste kg/t product			25	30%	3	10%	3.0	16%					1.67E+00	1.45E-01
	of which hazardous waste kg/t product	0.04	26%	8	30%	2.83	10%	2.6	15%					1.61E+00	1.24E-01
Calculated Emissions		(Based on GHG Protocol Tools - Aluminium Sector GHG Workbook & Stationary Combustion Tool)													
	Carbon dioxide (non-fuel) kg/t product	9		818		39		153		1,817		1.52E+03		4.50E+01	
	Carbon dioxide (fuels) kg/t product	0.0005		0.0756		0.0015		0.0038						9.00E-04	
	Methane (fuels) kg/t product	0.0001		0.011		0.0003		0.0005						1.00E-04	
	Nitrous oxide (fuels) kg/t product														