

NIMS-EMC 材料環境情報データ No.1
金属元素の精錬・精製段階における
環境負荷算定に関する調査

金属元素の製錬・精製段階における環境負荷算定 に関する調査

調査報告書

平成 15 年 3 月

独立行政法人 物質・材料研究機構

エコマテリアル研究センター

はじめに

本報告書は、環境省から「地球環境研究制度」に基づく委託を受け、独立行政法人 物質材料研究機構が平成 13 年度から 14 年度にかけて実施した「素材技術転換の地球温暖化防止に対する効果予測研究」における「金属元素の環境負荷算定に関する調査」の成果を取りまとめたものである。

平成 14 年 6 月に日本が京都議定書への批准を行うなど、国を挙げて地球温暖化対策への意識が高まっていく中で、製品やシステムのCO₂排出量評価に利用することのできるLCA（ライフサイクルアセスメント）のためのデータ整備が急がれている。

本調査では、これまで一元的なデータ整理が行われていなかった各種金属元素を対象にして、製錬・精製段階におけるマテリアルフローとエネルギー消費量、及びCO₂排出量に関するデータ整備を行うことを目的として実施したものである。

本報告で扱っているデータは、論文等の文献において一般に公表されているデータをもとに、物質材料研究機構が独自に推計したものである。推計に必要なデータが十分に得られなかった箇所等も多く、決して十分とは言えないデータベースである。したがって、本報告書では、推計に利用したデータや仮定条件、そして入手ができていないデータの整理も行っている。金属製錬・精製に関わる研究者や LCA 研究者を始めとする関係者の方々によって、本報告書のデータが修正・追加されていくことで、精緻で使い易い、皆様のデータベースとして進化していくことが切に期待される。その意味で、本報告書を利用する方々から、ご意見などを寄せて頂ければ誠に幸いである。

最後に、本報告書の作成に協力して当たった株式会社野村総合研究所に対しまして、心から感謝申し上げます。

平成 15 年 3 月

独立行政法人 物質材料研究機構
エコマテリアル研究センター
センター長 原田幸明

- 報告書目次 -

1	調査の目的及び内容	1
1-1	調査の目的.....	1
1-2	調査の内容.....	1
1-3	調査の方法.....	1
1-4	データシートの表記に関する注意事項など.....	4
2	元素別精製方法の一覧	6
3	主要プロセス別使用装置等一覧	14
4	溶媒抽出等の湿式プロセスについての考え方	16
5	電解プロセスにおけるエネルギー消費量の一覧	17
6	使用した原単位について	18

《個別元素データ》

(1)	Li (リチウム)	20
(2)	Na (ナトリウム)	28
(3)	Mg (マグネシウム)	32
(4)	Ti (チタン)	36
(5)	Cr (クロム)	40
(6)	Mn (マンガン)	44
(7)	Co (コバルト)	48
(8)	Ni (ニッケル)	52
(9)	Ga (ガリウム)	56
(10)	Zr (ジルコニウム)	60
(11)	Nb (ニオブ)	64
(12)	Mo (モリブデン)	68
(13)	Ag (銀)	72
(14)	Cd (カドミウム)	76
(15)	In (インジウム)	84
(16)	Sn (錫)	88
(17)	Sb (アンチモン)	92
(18)	Hf (ハフニウム)	96
(19)	Ta (タンタル)	100
(20)	W (タングステン)	104
(21)	Au (金)	108
(22)	Tl (タリウム)	112
(23)	Bi (ビスマス)	116
(24)	U (ウラン)	124

1 調査の目的及び内容

1-1 調査の目的

現在、循環型社会の構築に向けて、リサイクルや地球温暖化対策など多くの取組が行われ、そのための様々な技術が研究開発されている。現在の技術、あるいは代替が検討されている技術については、ライフサイクル全体で評価することが求められており、評価手法の一つとしてLCA（ライフサイクルアセスメント）を用いた検討が進められている。LCA 計算においては、各種素材のインベントリーのためのデータが必要となるが、金属やプラスチックを始めとして、データベースの整備も行われているところである。

このような流れの中、金属素材の環境負荷については、鉄や銅、アルミ、亜鉛など、主要な金属に対する研究が既に行われており、物質収支やエネルギーの使用量といった情報も幾つかのデータソースから入手可能となっている。しかし、レアメタルを始めとするその他の金属元素については、製錬・精製の手法に関する整理が個別に行われている程度であり、環境負荷量を把握するための基礎的な情報整備が進んでいない。

そこで本調査においては、主要金属を除く各金属元素について、製錬・精製段階におけるマテリアルフロー、エネルギー消費量、CO₂排出量を把握し、素材転換時における環境負荷算定の基礎情報として整理することを目的として行う。

1-2 調査の内容

本調査では、鉄やアルミ、亜鉛・鉛など主要金属を除く金属元素について、製錬・精製段階における主要なプロセスを対象として既存情報の収集・整理を行い、マテリアルフロー、そして環境負荷量の推計を行った。

本調査で整理した情報を以下に示す。

製錬・精製プロセスのフローチャート

各プロセスにおけるインプット（投入）・アウトプット（排出・生産）される物質名と量（マテリアルフロー）

プロセス別のエネルギー消費量、およびCO₂排出量

その他、金属製錬で使用される機器等に関する情報

既に収集・推計したデータと今後入手が求められるデータの整理

1-3 調査の方法

1-3-1 金属製錬・精製プロセス全体像の整理

既存の技術論文など各種文献の収集を行い、主要金属以外の金属について、製錬・精製における主要プロセスの一覧の作成を行った。

この一覧の作成により、元素の族などによる共通の精製方法など、それぞれの特徴の把握を

可能にした。

1-3-2 主要プロセスにおける装置等の使用状況の整理

主要な製錬・精製プロセスで使用される装置等の一覧の作成を行った。エネルギー消費量を算出する際の、機器動力、重油使用量などについてまとめている。文献資料等には、動力などのデータが記載されていないことも多いことから、機器メーカーの製品情報などからデータを一部補足している。

1-3-3 電解プロセスにおける消費電力量の例

金属製錬においては、最終段階として、電解精製、電解採取、あるいは熔融塩電解など、電解によるプロセスを取る例が多い。電解による消費電力は、金属元素の種類によっておおよそ必要量が決まるものである。本調査では、製錬・精製段階の消費電力量について把握する必要から、元素別の電解消費電力を、理論電力量および本調査で採用した値の一覧としてまとめた。

なお、実際の製錬・精製現場における電解では、操業条件によって消費電力量も変わるのが実情である。したがって、ここでまとめた電力はあくまでもおおよそのレベルを知るための一つの例であることに留意されたい。

1-3-4 各元素におけるデータシートの作成

本調査では、24種の金属元素について、詳細なデータシートの作成を行った。鉄やアルミといった主要金属については、調査の対象外として外した。また、既存文献資料において、マテリアルフローを作成するだけの十分なデータが入手できない元素については、ここでは扱わないものとして外している。

(1) プロセスフロー図

金属元素の製錬・精製のプロセスについて、エネルギー投入が行われ、物量の分配が行われるプロセスを主要プロセスとして抜き出し、フロー図として作成した。

以下、マテリアルバランスやエネルギー投入等の算定は、全てこのフロー図を基に行った。

(2) 物質収支等データ

マテリアルフロー

主要プロセス毎に、インプット及びアウトプットされる物質の把握を行った。

把握した各物質について、物量がどのように流れていくか、マテリアルフローの作成を行った。文献資料等には詳細なマテリアルフローが記載されていることはほとんどないことから、本調査では原料や中間品、生成物などの濃度や品位を用いて推計を行っている。

マテリアルフローの単位については、固体は重量（トンもしくはkg）、液体（溶媒や溶液）については体積（リットル）で統一した。その際、物量の分配が明確となるように、液体に

1-4 データシートの表記に関する注意事項など

各元素のデータシートにおいては、文献などからの引用値だけでなく、鉱石や中間品の品位や濃度などから推計値が記載されている。そこで、その数値が持つ意味を明確にするために、以下の表記規則にしたがって記載を行った。物質収支等データの表記例を図表2に示す。

【 表 記 規 則 】

- 1.文献値等引用データ ————— 「太字」フォントで表示
- 2.計算値（推計値） ————— 「通常」フォントで表示
- 3.添加物の量 ————— 「その他添加物」として「+」を表示
- 4.添加物由来として増量する分 ————— 「+」で増量があることを表示
- 5.次のプロセスに引き続き投入される物質 ——— 「網掛け」で表示
- 6.液中の金属元素等の溶解量 ————— 「()」括弧で補足表示
- 7.電力・燃料等の投入量 ————— 燃料種別にJ(ジュール)換算値で表示
- 8.CO₂排出量 ————— 排出量の合計(CO₂-tもしくはkg)を表示
- 9.原料製造に係るエネルギー投入量 ————— 硫酸、塩酸など、製錬に使用した原料類について、それらを生産する際のエネルギーを表示。なお、項目名は原料由来のエネルギーであることを明確にするため【 】付けで示す。
- 10.原料製造に係るCO₂排出量 ————— 硫酸など原料製造プロセスから排出するCO₂排出について、内訳の量を「()」括弧で補足表示（単位はt-CO₂ or kg-CO₂）
- 11.原料における繰返し（循環）————— 原料製造におけるデータにおいて、繰返し分（循環量）を除いた新規投入分みの値を計上している場合に、当該数値の右にアスタリスク「*」を表示
(. 溶媒抽出等の湿式プロセスについての考え方を参照のこと)
- 12.定量的なデータが得られなかった箇所 ——— 「(量は不明)」「(不明)」で表示

図表2 データシートにおける物質収支等データの表記(例)

プロセス	INPUT		OUTPUT		備考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
酸化焙焼	鉱石 コークス その他添加物 (その他添加物) 石灰石 電力 重油	100.0 t 0.6 t + (不明) 12,200 GJ	フェロ スラグ 【CO ₂ emission】	34.0 t+ 66.6 t+ 420 t	鉱石中 品 位：70% 5. 次工程へ 8.CO ₂ 排出量
	3.添加物内訳	3.添加物	1.文献値 2.計算値	8.CO ₂ 排出量	
溶解	フェロ 硫酸 その他添加物 (その他添加物) 母液 電力 【硫酸製造】	34.0 t 1,804 L (16.2 t) + 7 電力、燃料使用量 690 GJ 5,200 GJ*	溶解液 (うち硫酸) 沈殿物 4.添加物による増量 10.原料によるCO ₂ 排出 【CO ₂ emission】 (うち硫酸製造)	1,804 L (42.3 t+) 7.9 t+ 530 t (450 t*)	の溶解率 100%と仮定 6.溶解量 11.繰返し
	3.添加物内訳	3.添加物	4.添加物による増量 10.原料によるCO ₂ 排出	6.溶解量 11.繰返し	
合計	【energy】 (うち原料製造)	18,090 GJ 5,200 GJ*	【CO ₂ emission】 (うち原料製造)	950 t (450 t*)	

注) 表中の網掛けで示した部分は、前頁の表記規則に対応している。

2 元素別精製方法の一覧

		Li	Na	Be	Mg	Ti
		硫酸法	ダウンス法		電解 Dow 法	Kroll 法
出発原料		原料鉱石	工業塩 (NaCl)	Be(OH) ₂	トリチウム	鉱石ルチル・合成ルチル
製錬	金属成分の分離					
	乾式					
	焙焼・溶融	硫酸焙焼			焼成	
	昇華精製					
	湿式					
	溶媒抽出 (溶媒浸出)			弗化アモニウム		
	目的金属成分からの不純物除去・精製					
	湿式					
	溶液からの不純物除去・沈澱除去 (1)	中和澱物除去		過酸化鉛 (Mn, Cr) CaCO ₃ (Al)		
	溶媒抽出					
	溶媒からの不純物除去・沈澱除去 (2)					
	蒸発・濃縮による目的金属化合物析出 (晶出)			晶出		
	乾式					
	不純物の酸化除去					
	不純物の揮発 (蒸留) 除去					
	不純物の塩化除去 (塩化除去)					
	不純物の硫化除去 (硫化除去)					
	分銀 (脱銀)					
	分離容易な形態・化合物への転換					
	アルカリ化合物への転換					
	塩化物への転換	塩化 Li に転換			塩化 Mg に転換	TiCl ₄ に転換
	酸化物への転換					
	その他の化合物への転換					
蒸留					蒸留	
溶媒抽出						
単体金属 (粗金属) への転換						
置換析出 (湿式)						
置換還元 (乾式)				Mg による還元	Mg による還元	
精製	粗金属の精製					
	不純物の酸化除去 (酸化除去)					
	分銀 (脱銀)					
	脱銀炉 (ロ-タ-バ-ナ-使用)					
	不純物の硫化除去 (硫化除去)					
	不純物の塩化除去 (塩化除去)					
	溶媒による不純物溶解除去					
	酸化物等への転換及び還元					
	電解					
	隔膜電解					
	溶融塩電解採取	溶融塩電解	溶融塩電解		溶融塩電解	
	電解採取					
	不純物の揮発 (蒸留) 除去					
	昇華精製による不純物除去					
	真空蒸留・真空融解			真空融解 (Mg)		真空蒸留 (Mg)
	ビーム溶融					
帯域溶融						
アルカリ溶解						

表中の () 内は分離・除去対象となる元素を示す

Zr	Hf	V	Nb	Ta
Kroll 法				
ジルコンサンド鉱石	Zr 製錬工程の副産物	V 鉱石 V_2O_5	タンタライト等精鉱	タンタライト等精鉱
		焙焼		
			弗酸 HF	弗酸 HF
		水	MIBK(Fe, Mn, Si) 希硫酸(Nb) 水	MIBK(Fe, Mn, Si) 希硫酸(Nb) 水
アーク炉による酸化除去(Si)				
ZrCl ₄ への転換		アルカリ化合物へ転換	NH ₃ 添加による転換	
	酸化 Hf への転換	V_2O_5 への転換 塩化物への転換	Nb ₂ O ₅ への転換	K ₂ TaF ₇ への転換
MIBK(Hf)				
Mg による還元	還元	Mg による還元	アルミリット法	Na による置換還元
				王水, HF 等(Fe, Ni, Cr)
				ガス成分除去(真空下)
真空蒸留(過剰 Mg の除去)	真空蒸留		エレクトロンビーム溶融	

表中の () 内は分離・除去対象となる元素を示す

元素別精製方法の一覧（つづき）

	Cr	Mo	W	
	テルミット法			
出発原料	Cr 鉄精鉱	二硫化Mo精鉱 (MOS ₂)	鉄Mn重石MnWO ₄	
製錬	金属成分の分離			
	乾式			
	焙焼・溶融	コーク還元	焙焼（酸化）	焙焼（省略している例もあり）
	昇華精製			
	湿式			
	溶媒抽出（溶媒浸出）	硫酸		NaOHによるアルカリ抽出
	目的金属成分からの不純物除去・精製			
	湿式			
	溶液からの不純物除去・沈澱除去（1）	硫酸アンモニウム(Fe)		
	溶媒抽出		アンモニア(Fe, Cu)	
	溶媒からの不純物除去・沈澱除去（2）			CaCl ₂ 溶液 高濃度塩酸+硝酸 アンモニア溶液
	蒸発・濃縮による目的金属化合物析出（晶出）	再結晶		晶出(A.P.Tの析出)
	乾式			
	不純物の酸化除去			
	不純物の揮発（蒸留）除去			
	不純物の塩化除去（塩化除去）			
	不純物の硫化除去（硫化除去）			
	分銀（脱銀）			
	分離容易な形態・化合物への転換			
	アルカリ化合物への転換			
	塩化物への転換			
	酸化物への転換			
	その他の化合物への転換			
	蒸留			
	溶媒抽出			
	単体金属（粗金属）への転換			
	置換析出（湿式）			
置換還元（乾式）		水素気流中での還元	水素気流中での還元	
精製	粗金属の精製			
	不純物の酸化除去（酸化除去）			
	分銀（脱銀）			
	脱銀炉（ロ-タ-リ-バ-ナ-使用）			
	不純物の硫化除去（硫化除去）			
	不純物の塩化除去（塩化除去）			
	溶媒による不純物溶解除去			
	酸化物等への転換及び還元			酸化・イオン交換精製及び水素還元
	電解			
	隔膜電解			
	溶融塩電解採取			
	電解採取	電解採取		
	不純物の揮発（蒸留）除去			
	昇華精製による不純物除去			
	真空蒸留・真空融解			
	ビーム溶融			
	帯域溶融			
アルカリ溶解				

表中の（ ）内は分離・除去対象となる元素を示す

Mn	Co	Ni	Ag	Au
MnO ₂	Ni-Co 混合硫化物	硫化 Ni 浮選精鉱	銅・鉛電解スライム	破碎鉱石
焙焼(還元)		溶融		
硫酸	水		硫酸	青化ソーダ
	アンモニア(Fe)			
	NaHS(Cu)			
	D2EHPA			
	Phosphonic 酸			
	Co 電解尾液			
アンモニア(Fe,As,Al,Si)		Cu 電解尾液(Cu)		
硫化アンモニウム		塩素によるCo(OH) ₃ 除去		
			酸化除去(Se)	
			揮発除去(Sb)	
			塩化除去(Pb)	
			分銀(Bi,Te)	
				亜鉛末による置換析出
				酸化除去
			電解(Au)	電解
電解採取(隔膜)	電解採取	電解採取		

表中の()内は分離・除去対象となる元素を示す

元素別精製方法の一覧（つづき）

		Cd	Ga	In
	出発原料	亜鉛・鉛精鉱の焼結煙灰	亜鉛精鉱の浸出残さ	銦鉄ダスト
製錬	金属成分の分離			
	乾式			
	焙焼・溶融			
	昇華精製			
	湿式			
	溶媒抽出（溶媒浸出）	硫酸	硫酸	硫酸
	目的金属成分からの不純物除去・精製			
	湿式			
	溶液からの不純物除去・沈澱除去（1）		硫化水素(Cu)	
	溶媒抽出		第3級脂肪酸(Zn, Fe, Al) エーテル(In)	
	溶媒からの不純物除去・沈澱除去（2）	硫酸(As)	NaOH(Fe)	亜鉛電解尾液(ZnO) 希硫酸(Pb) 硫化トリウム(Cu, Sn)
	蒸発・濃縮による目的金属化合物析出（晶出）			
	乾式			
	不純物の酸化除去			
	不純物の揮発（蒸留）除去			
	不純物の塩化除去（塩化除去）			
	不純物の硫化除去（硫化除去）			
	分銀（脱銀）			
	分離容易な形態・化合物への転換			
	アルカリ化合物への転換			
	塩化物への転換			
	酸化物への転換			
	その他の化合物への転換			
	蒸留			
	溶媒抽出			
	単体金属（粗金属）への転換			
	置換析出（湿式）	亜鉛による置換析出		亜鉛板, Al による置換
置換還元（乾式）				
精製	粗金属の精製			
	不純物の酸化除去（酸化除去）			
	分銀（脱銀）			
	脱銀炉（ロータリーバーナー使用）			
	不純物の硫化除去（硫化除去）			
	不純物の塩化除去（塩化除去）			
	溶媒による不純物溶解除去			
	酸化物等への転換及び還元			
	電解			電解
	隔膜電解			
	溶融塩電解			
	電解採取		電解採取	
	不純物の揮発（蒸留）除去	蒸留(Pb, Fe, Ta)		
	昇華精製による不純物除去			
	真空蒸留・真空融解			真空蒸留
	ビーム溶融			
帯域溶融				
アルカリ溶解	アルカリ溶解(Zn)			

表中の（ ）内は分離・除去対象となる元素を示す

Tl	Tl	Si	Ge	Sn
鉛電解液	Cd 製錬からの Tl 滓	硅石SiO ₂	Ge浮選選鉱GeO ₂	錫滓
				焙焼
	温水			
硫酸 (Pb)	NaOH			
			蒸留除去(S)	
			GeCl ₄ への転換 GeO ₂ への転換	
	亜鉛板による置換			
		炭素による還元(アーク電気炉)	水素気流中での還元	コークス還元
電解	電解			電解 隔膜電解(ステルスカソード)
			帯域溶融	

表中の () 内は分離・除去対象となる元素を示す

元素別精製方法の一覧（つづき）

		As	As	Sb
	出発原料	銅製錬煙灰中As ₂ O ₃	高純度 As(7N)製造 銅製錬煙灰中As ₂ O ₃	輝安鉱
製錬	金属成分の分離			
	乾式			
	焙焼・溶融	焙焼	焙焼	焙焼
	昇華精製	昇華精製	昇華精製	
	湿式			
	溶媒抽出（溶媒浸出）			
	目的金属成分からの不純物除去・精製			
	湿式			
	溶液からの不純物除去・沈澱除去（1）			
	溶媒抽出			
	溶媒からの不純物除去・沈澱除去（2）			
	蒸発・濃縮による目的金属化合物析出（晶出）			
	乾式			
	不純物の酸化除去			
	不純物の揮発（蒸留）除去			
	不純物の塩化除去（塩化除去）			
	不純物の硫化除去（硫化除去）			
	分銀（脱銀）			
	分離容易な形態・化合物への転換			
	アル化合物への転換			
	塩化物への転換		AsCl ₃ への転換	
	酸化物への転換			（転炉）三酸化 Sb
	その他の化合物への転換			
	蒸留			
	溶媒抽出			
	単体金属（粗金属）への転換			
	置換析出（湿式）			
置換還元（乾式）	炭素による置換還元	水素による置換還元	（反射炉）還元	
精製	粗金属の精製			
	不純物の酸化除去（酸化除去）			酸化除去
	分銀（脱銀）			
	脱銀炉（ロータリーバーナー使用）			
	不純物の硫化除去（硫化除去）			硫化除去(As)
	不純物の塩化除去（塩化除去）			
	溶媒による不純物溶解除去			
	酸化物等への転換及び還元			
	電解			
	隔膜電解			
	溶融塩電解			
	電解採取			
	不純物の揮発（蒸留）除去			
	昇華精製による不純物除去		昇華精製	
	真空蒸留・真空融解			
ビーム溶融				
帯域溶融				
アルカリ溶解				

表中の（ ）内は分離・除去対象となる元素を示す

3 主要プロセス別使用装置等一覧

選鉱における使用装置一覧

プロセス	使用装置名	動力	寸法等 (単位 mm)	データ出所
破 碎	ブレーキクラッシャ	187kW	176rpm ノチヨ-ク型 60" × 48"	日本鉱業会誌,86 985('70-増),307
		75kW	261rpm 760 × 380	日本鉱業会誌,86 985('70-増),307
		37kW	610 × 360	資源と素材 109(1993) No.12
	コーンクラッシャ	75kW	264rpm, 1,200	資源と素材 109(1993) No.12
粉 碎	コニカルミル	225kW	2,400 × 1,500L	日本鉱業会誌,86 991('70-10),800
		131kW	2,400 × 900L	資源と素材 109(1993) No.12
		55kW	1,800 × 750L	日本鉱業会誌,86 991('70-10),721
		37kW	1,800 × 450L	日本鉱業会誌,86 991('70-10),721
	インペラブレーカ	75kW		日本鉱業会誌,86 991('70-10),800
	シリンダリカホ-ルミル	400kW	18.5rpm, 3,000 × 3,000	日本鉱業会誌,86 985('70-増),304
	チューブミル	169kW	1,800 × 4,200L	資源と素材 109(1993) No.12
選 別	ジャイレックススクリーン	5.6kW	1,200W × 3,000L	資源と素材 109(1993) No.12
	タイロックススクリーン	5kW	1,200 × 2,400	資源と素材 109(1993) No.12
	分級機	7.5kW	2,400 × 6,000	資源と素材 109(1993) No.12
	パウル分級機	7.5kW	5,500 × 3,600W × 9,500L	日本鉱業会誌,86 985('70-増),303
	分級機 (トロンメル)	75kW	20rpm, 1,550 × 2,350	日本鉱業会誌,86 985('70-増),303
	エリプ テックススクリーン	11kW	20rpm, 1,560 × 3,660	日本鉱業会誌,86 985('70-増),303
	サイクロン	37kW	782rpm	日本鉱業会誌,86 985('70-増),304
	磁選機 (湿式)	1.5kW	2 ドラム 600 × 1,700L	日本鉱業会誌,86 985('70-増),307
	ウイルフレテーブル	2kW	1,800 × 4,500	日本鉱業会誌,86 991('70-10),800
	ミネラルジグ	2kW	400 × 600	日本鉱業会誌,86 991('70-10),800
	浮選機	3.7kW	255rpm 1,100W × 1,100L × 1,956H	日本鉱業会誌,86 991('70-10),781
22kW		255rpm 1,400W × 1,400L × 1,700H	日本鉱業会誌,86 991('70-10),781	
水 洗	ドラムウォッシャー	7.5kW	1,200 × 1,500 × 1,400L,	資源と素材 109(1993) No.12
沈降分離・濃縮	シクナー	3.7kW	10,000 × 2,900H	日本鉱業会誌,86 991('70-10),781
		3kW	6,600 × 2,400H	日本鉱業会誌,86 991('70-10),800
脱 水	オリバーフィルタ	3.7kW	2,400 × 4,300L, 6t/h	日本鉱業会誌,86 991('70-10),781
		2kW	1,800 × 2,400L	日本鉱業会誌,86 991('70-10),800
	ドラムフィルター	3.7kW	3,250 × 4,112L, 12t/h	日本鉱業会誌,86 991('70-10),781
搬 送	シャトルコンベヤ	5kW		日本鉱業会誌,86 991('70-10),800
	ベルトフィーダ	3kW		日本鉱業会誌,86 991('70-10),800

精練・精製プロセスにおける使用装置等一覧

プロセス	機器名称	サイズ・容積	能力等	動力等	出典
粉 碎	コニカルボールミル	2,400 × 1700	21rpm	150kW	日本鉱業会誌/86 985 ('70増) P.305
		2,400 × 1200	20rpm	150kW	日本鉱業会誌/86 985 ('70増) P.307
		3,200 × 1200	19rpm	350kW	日本鉱業会誌/86 985 ('70増) P.307
	チューブミル	1,800 × 4,200		169kW	資源と素材 109(1993)No.12 p.1058
		1,800 × 4,500		150kW	メーカーホームページなどを参考とした
		1,200 × 2,400		37kW	メーカーホームページなどを参考とした
シリンドリカルボールミル ロッドミル	3,000 × 3000	18.5rpm	400kW	日本鉱業会誌/86 985 ('70増) P.305	
	1,300 × 3,000	30rpm	45kW	メーカーホームページなどを参考とした	
分 級	レーキ分級機	2,450 × 6,700	21spm,ストローク300mm	7.5kW	日本鉱業会誌/86 985 ('70増) P.305
	サイクロン	円筒部内径380,高さ470	ホップ回転数782rpm	37kW	日本鉱業会誌/86 985 ('70増) P.305
浸 出	浸出槽 シクナー	2.5m ³		5.5kW	資源素材学会誌 106 (1990) No.5 289
		内径21,000 × 深さ2,800			日本鉱業会誌/96 1106 ('84-84) P.267
		10,000 × 2,900		3.7kW	日本鉱業会誌/86 991 ('70-10) P.781
		12m 150m ³		1.5kW	日本鉱業会誌/88 1011 ('72-75) P.311
		18m		2.2kW	日本鉱業会誌/86 985 ('70増) P.317
		20,000 × 3,048		2.3kW	資源と素材 109(1993)No.12 p.1058
固液分離 (脱水)	フィルタプレス 遠心脱水機 オリバフィルタ ドラムフィルタ ベルトフィルタ	32in 900 × 900	ろ過面積2.33m ²		日本鉱業会誌/96 1106 ('84-84) P.257 日本鉱業会誌/96 1106 ('84-84) P.259 資源素材学会誌 106 (1990) No.5 289
		770 × 4,500 × 1,300 600 × 2,500 × 1,200	ケーキ発生量1,200 ~ 3,600/h 700rpm	1.5kW 90kW	メーカーホームページなどを参考とした メーカーホームページなどを参考とした
		2,400 × 4,300	6t/h,0.25rpm	55kW	資源と素材 113(1997)No.6 p.455
		3,250 × 4,112	6t/h,0.25rpm	3.7kW	日本鉱業会誌/86 991 ('70-10) P.781
		1,830 × 1,220	ろ過面積6.87m ² ケーキ発生量720 ~ 1,200/h	0.75kW	日本鉱業会誌/88 1011 ('72-75) P.311
				3.7kW	メーカーホームページなどを参考とした
浸出・抽出	ミキサ(攪拌機) アジテーター 攪拌機	80L		2.2kW	日本鉱業会誌/96 1106 ('84-84) P.257
		8,500 × 6,700		3.7kW	資源と素材 109(1993)No.12 p.1058
		120rpm,羽根500 × 2段		1.5kW	日本鉱業会誌/96 1106 ('84-84) P.267
		120rpm,羽根500 × 2段		2.2kW	日本鉱業会誌/96 1106 ('84-84) P.267
		120rpm,羽根500 × 2段		3.7kW	日本鉱業会誌/96 1106 ('84-84) P.267
			43m ³ 循環槽内攪拌	3.7kW	資源と素材 116(2000)No.5 p.451
乾 燥	バンドドライヤ スーパードライヤ 熱風炉		有効面積1.5Bm × 12Lm	3.7kW	日本鉱業会誌/88 1011 ('72-75) P.311
			有効面積5.5m ² 乾燥効率24.5%	1.5kW	日本鉱業会誌/88 1011 ('72-75) P.311
			乾燥効率72.1	重油265L/t-H ₂ O	資源と素材 115(1999)No.5 p.340
			熱風量19,400Nm ³ (350)	重油85L/t-H ₂ O	資源と素材 115(1999)No.5 p.340
			熱風量19,500Nm ³ (280)	重油250L/h	日本鉱業会誌/88 1011 ('72-75) P.311
				重油170L/h	日本鉱業会誌/88 1011 ('72-75) P.311
ポンプ	循環ポンプ		2.17m ³ /min	5.5kW	日本鉱業会誌/88 1011 ('72-75) P.311
			3.0m ³ /min	37kW	日本鉱業会誌/88 1011 ('72-75) P.311
			13.0m ³ /min	110kW	資源と素材 116(2000)No.5 p.451
	給液ポンプ 真空ポンプ		5.0m ³ /min	90kW	資源と素材 113(1997)No.6 p.455
			710mmHg 7.0m ³	15kW	日本鉱業会誌/88 1011 ('72-75) P.311
			3.0m ³ /min	37kW	日本鉱業会誌/88 1011 ('72-75) P.311
圧縮機	コンプレッサ				
ファン	排ガスファン		20,000Nm ³ /h(200)	37kW	日本鉱業会誌/88 1011 ('72-75) P.311
			9,000m ³ /h	5.5kW	日本鉱業会誌/88 1011 ('72-75) P.311
			35,000Nm ³ /h(120)	150kW	日本鉱業会誌/88 1011 ('72-75) P.311
	空気ファン		10,000Nm ³ /h	55kW	日本鉱業会誌/88 1011 ('72-75) P.311
	バグフィルタ		ろ過面積75m ²	22kW	資源と素材 109(1993)No.12 p.1058
炉	ロータリーキルン	内寸法3.5m × 4.3mL		55kW,C重油180 ~ 800L/h	日本鉱業会誌/88 1011 ('72-75) P.311
鑄造	鑄造機	1,880 × 4,000 × 1,650	100t/h	181kW	資源と素材 113(1997)No.6 p.479

4 溶媒抽出等の湿式プロセスについての考え方

鉱石からの浸出処理や溶媒抽出など、湿式の金属製錬においては、硫酸、塩酸、有機溶媒等、各種の溶媒を多量に使用するケースがある。

これらの溶媒については、全量がその場で消費されるとは限らず、実際には大部分が循環利用されている。例えば溶媒抽出において、目的金属を抽出した抽出液は、逆抽出後に回収され、再度利用される。逆抽出に利用された溶媒も同様に回収・再利用が行われている。この時、必要量を維持するために外部から新たに供給される量が実際の「消費量」に相当する。

循環量も含めた全必要量のうち、実際に消費された量については文献値等による情報が限られており、湿式処理を行う全元素について正確な状況を把握することは困難である。しかし、使用された硫酸、塩酸等の製造段階に係るエネルギー消費量、CO₂排出量を考える場合、循環量まで含めると、値を過大に評価してしまう恐れがある。

そこで、本調査における湿式処理のデータについては、以下の扱いとしてまとめた。

マテリアルフロー

原則として実際の消費量に循環量も含めた値として記載し、循環量が存在する場合はマテリアルフローのデータにアスタリスク(*)を付記する。(例: 50.2 kL*)

エネルギー消費、CO₂排出量

銅の湿式製錬プロセスを参考として、以下にしたがう。

図表 湿式プロセスにおけるエネルギー消費、CO₂排出量の扱い

データ項目	エネルギー消費、CO ₂ 排出量
溶媒の攪拌、循環に係るデータ	消費量に循環量を含めた全液量に対するエネルギー消費等を考慮
溶媒の加熱に係るデータ	消費量に循環量を含めた全液量に対するエネルギー消費等を考慮
消費される溶媒等の製造に係るデータ	全液量のうち循環量を除いた、溶媒の消費量分の製造時データを考慮 (下記の比率は銅製錬プロセスを参考として) (1) 鉱石からの浸出工程における溶媒使用の場合 エネルギー消費量、CO ₂ 排出量 = 循環量も含む全液量に対する値 × 1 / 200 (2) 溶媒抽出における溶媒使用の場合 エネルギー消費量、CO ₂ 排出量 = 循環量も含む全液量に対する値 × 1 / 50 (1)、(2)の場合、いずれとも、循環量を除いた値を記載していることを明記するため、数値データにアスタリスク(*)を付記

参考:成田 暢彦ら,電気銅生産システムにおけるCO₂排出のライフサイクルインベントリ分析,資源と素材 Vol117, No.1 p49-55(2001)

5 電解プロセスにおけるエネルギー消費量の一覧

電解における消費電力量は、各元素の反応式に固有の理論電気量、電解槽電圧、そして電流効率によって理論的に導かれる。

各種文献に記載されている各元素の電解における槽電圧、電流効率をもとに、消費電力を推計した結果を以下に示す。

尚、ここで推計した値は、あくまでも槽電圧、電流効率を以下のように設定した時の理論値であることに留意する必要がある。ただし、文献値などによる実際の電力量と比べても大きな差はないことから、目安の値として利用可能と考えられる。

図表 電解プロセスにおける消費電力量の例

電解方法	物質名		理論電気量Q kAh/t	電解槽電圧Vt V	電流効率 f	消費電力 kWh/t
電解精製	銀	Ag	248	1.7	93%	453
	インジウム	In	700	0.35	93%	263
	スズ	Sn	903	0.15	85%	159
	金	Au	408	1.0	99%	412
	鉛	Pb	259	0.46	93%	128
	ビスマス	Bi	385	0.2	93%	83
電解採取	クロム	Cr	1,546	4.2	45%	14,429
	マンガン	Mn	976	4.7	60%	7,645
	コバルト	Co	910	3.1	92%	3,066
				3.5	91%	3,500
	ニッケル	Ni	913	1.9	90%	1,927
				3.0	93%	2,945
				3.9	83%	4,290
	亜鉛	Zn	820	3.3	90%	3,007
	ガリウム	Ga	1,153	3.5	30%	13,452
	カドミウム	Cd	477	2.4	94%	1,218
	テルル	Te	420	1.7	95%	752
	タリウム	Tl	393	1.2	90%	525
熔融塩電解	リチウム	Li	3,862	7.0	80%	33,793
	ナトリウム	Na	1,166	6.9	83%	9,693
	マグネシウム	Mg	2,204	6.0	80%	16,530
	アルミニウム	Al	2,980	4.2	90%	13,907
				4.0	90%	13,377
カルシウム	Ca	1,338	25	74%	45,510	

注) 単位生産量である「t」は、電解金属の量として
出典) 電気化学便覧等の文献資料を参考に NRI 作成

$$\text{物質製造に伴う電気エネルギー消費量 } W \text{ (kWh/t)} = Q \times Vt \div f$$

6 使用した原単位について

本調査では、エネルギー消費、CO₂排出量等の計算を行う上で、下記に示す原単位を利用した。ただし、文献等において、エネルギー換算もしくはCO₂排出量換算として、具体的なデータを把握できた場合は、以下の原単位を使用せず、文献値等の利用を行っている。

図表 使用した主な原単位一覧

項目	原単位	備考	出典
【エネルギー】			
電力	9,449 kJ/kWh 発電効率 38.1%	発熱量	総合エネルギー統計
A重油	38,911 kJ/L	発熱量	総合エネルギー統計
灯油	37,238 kJ/L	発熱量	総合エネルギー統計
コークス	30,125 kJ/kg	発熱量	総合エネルギー統計
オイルコークス	35,564 kJ/kg	発熱量	総合エネルギー統計
硫酸	1,174 kJ/kg	製造時	物質・材料研究機構データベース
塩酸	2,728 kJ/kg	製造時	物質・材料研究機構データベース
苛性ソーダ	11,493 kJ/kg	製造時	物質・材料研究機構データベース
アンモニア	13,375 kJ/kg	製造時	物質・材料研究機構データベース
MIBK	56,579 kJ/kg	製造時	物質・材料研究機構データベース
フッ酸	19,444 kJ/kg	製造時	物質・材料研究機構データベース
塩素	7,720 kJ/kg	製造時	物質・材料研究機構データベース
項目	原単位	備考	出典
【CO₂排出】			
電力	0.3454 kg-CO ₂ /kWh	発電	1999年 電気年鑑年報
A重油	2.6977 kg-CO ₂ /L	燃焼	環境省資料
灯油	2.5284 kg-CO ₂ /L	燃焼	環境省資料
硫酸	0.087 kg-CO ₂ /kg	製造時	物質・材料研究機構データベース
塩酸	0.222 kg-CO ₂ /kg	製造時	物質・材料研究機構データベース
苛性ソーダ	0.938 kg-CO ₂ /kg	製造時	物質・材料研究機構データベース
アンモニア	1,365 kg-CO ₂ /kg	製造時	物質・材料研究機構データベース
MIBK	8.377 kg-CO ₂ /kg	製造時	物質・材料研究機構データベース
フッ酸	1,722 kg-CO ₂ /kg	製造時	物質・材料研究機構データベース
塩素	0.630 kg-CO ₂ /kg	製造時	物質・材料研究機構データベース

cal (カロリー) から J (ジュール) への換算は 4.184 kJ/kcal で行った。

コークス・オイルコークスのCO₂排出量は、固定炭素分を 80%、燃焼で全てCO₂に転化するとして別途計算

環境省資料: 地球温暖化対策の推進に関する法律 第8条第1項に係る実行計画策定マニュアル
平成 11 年 8 月

(*Note*)

(1) Li (リチウム)

1) 製錬の状況

製錬の方法

リチウムの製錬は、かん水を出発原料とする方法が一般的である。原料鉱石から生産する方法（溶媒抽出法 = 通常は硫酸法）は、中国の一部で行われているに過ぎない。リチウム資源の産出量は、チリが1位、アメリカが2位であり、いずれもかん水からの生産を行っている。

製錬法	出発原料	主な生産者 「企業名、()内は国名」	本報告書で対象 とした製錬法
かん水法	かん水	Chemetal Foote (米)、FMC (米)、 Chemetal GMBH (独) など	
溶媒抽出法 (硫酸法)	リチウム鉱石	State Owned (中)	
溶媒抽出法 (石灰法)	リチウム鉱石	-	×

出典) 2000年金属データブックより作成

国内での利用状況

利用形態	最終製品としての主用途	国内需要量 (1998年)
炭酸リチウム Li ₂ CO ₃	特殊ガラス添加、陶磁器上薬、二次電池等	4,700 t
臭化リチウム LiBr	吸収式冷凍機の冷媒吸収剤、医薬用等	3,600 t
水酸化リチウム LiOH	鉄鋼、自動車関連 그리스、電池の電解液添加、 石鹼等出発原料、炭酸ガス吸収剤等	1,340 t
塩化リチウム LiCl	軽金属溶接用フラックス、除湿装置用吸収剤、 医薬用等	900 t
金属リチウム Li	Li 電池の負極材、合成ゴム重合触媒、合金、 宇宙用原子炉の冷却材、還元剤等	180 t
水素化リチウム LiH	還元剤、重合触媒等	1 t 未満
フッ化リチウム LiF	溶接用フラックス、ロケット燃料、中性子遮蔽材、 フッ素電解用、電極等	不明
酸化リチウム Li ₂ O	核融合ブランケット材等	不明
ヨウ化リチウム LiI	燃料電池用固体電解質等	不明
珪酸リチウム LiSiO ₃	塗料ビヒクル等	不明
次亜塩素酸リチウム LiOCl	漂白剤、プール消毒剤等	不明

出典) 2000年金属データブックより作成

2) 物質収支等データの整備状況

かん水法

プロセス	使用したデータ		未取得のデータ
	文献等から取得したデータ	本報告書で仮定・推計したデータ	
濃縮		<p>【INPUT】</p> <ul style="list-style-type: none"> かん水は海水の7倍の濃度と仮定(海水のNaCl濃度は2.5%、Li濃度は180ppbとした) 蒸発は濃縮池において、太陽熱を利用して行われるとし、特別にエネルギー投入は行われないものと仮定 <p>【OUTPUT】</p> <ul style="list-style-type: none"> 濃縮によって、重量ベースで水分が70%減少すると仮定 濃縮によって晶出するものは、NaClのみと仮定 晶出量はNaClの溶解度を元に推計 Liのロスはないものと仮定 	<p>【INPUT】</p> <ul style="list-style-type: none"> かん水の投入量 かん水中のLi濃度 かん水中のその他不純物元素の濃度 <p>【OUTPUT】</p> <ul style="list-style-type: none"> かん水の濃縮率 <p>【設備データ】</p> <ul style="list-style-type: none"> 濃縮に用いた設備の種類、処理能力等の仕様 稼働状況 投入エネルギーの種類と消費量
沈澱・ろ過		<p>【INPUT】</p> <ul style="list-style-type: none"> 消石灰は理論量加えると仮定 <p>【OUTPUT】</p> <ul style="list-style-type: none"> Liの収率は95%と仮定 濃縮かん水中のMgは全て除去されると仮定 	<p>【INPUT】</p> <ul style="list-style-type: none"> 消石灰の製造時のエネルギー消費量、CO₂排出量 <p>【設備データ】</p> <ul style="list-style-type: none"> 沈澱・ろ過槽の攪拌機、ポンプ等の動力等の仕様、稼働状況、設備の台数
ソーダ灰添加・ろ過		<p>【INPUT】</p> <ul style="list-style-type: none"> Liの収率は95%と仮定 炭酸Liの純度は95%と仮定 ソーダ灰は理論量加えると仮定 <p>【OUTPUT】</p> <ul style="list-style-type: none"> ソーダ灰の製造時のCO₂排出量を推計 	<p>【設備データ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ろ過槽等の設備動力等の仕様 稼働状況 設備の台数
塩化・電解採取	<p>【OUTPUT】</p> <ul style="list-style-type: none"> 金属Liの品位99.8% 	<p>【INPUT】</p> <ul style="list-style-type: none"> Liの収率を95%と仮定 塩酸は、反応に寄与した量(理論量)のみを計上した 塩酸の製造時のエネルギー消費を推計 電解における電力消費量を推計 <p>【OUTPUT】</p> <ul style="list-style-type: none"> 物質収支は、反応式に基づいて推計 炭酸リチウムの塩化の際のCO₂排出量を反応式に基づいて推計 	<p>【OUTPUT】</p> <ul style="list-style-type: none"> Liの収率 <p>【設備データ】</p> <ul style="list-style-type: none"> 電解槽の稼働状況

注) **【INPUT】** : 当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

【OUTPUT】: 当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

【設備データ】: 当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】や**【設備データ】**、**【OUTPUT】**で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が多いなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

溶媒抽出法 / 硫酸法

プロセス	使用したデータ		未取得のデータ
	文献等から取得したデータ	本報告書で仮定・推計したデータ	
比重選別 ・浮選	【INPUT】 ・原料鉱石中LiO ₂ 品位 1.5% 【OUTPUT】 ・型スボジユメンの品位 5 ~ 6%	【OUTPUT】 ・鉱石から型スボジユメンへの収率を90%と仮定	【設備データ】 ・比重選別機・浮選機の動力、処理能力などの仕様、稼働率、設備の台数
焙焼		【OUTPUT】 ・焙焼によるLiのロスはないと仮定	【INPUT】 ・焙焼炉へ投入するの燃料の種類及び消費量 【設備データ】 ・焙焼炉の動力、容量、処理能力などの仕様 ・稼働状況
溶媒抽出		【INPUT】 ・硫酸は、反応に寄与した量（理論量）のみを計上した ・硫酸の製造時のエネルギー消費を推計 【OUTPUT】 ・Liの収率を95%と仮定 ・硫酸の製造時のCO ₂ 排出量を推計	【INPUT】 ・溶媒に用いた硫酸の総量 ・溶媒の加熱に要するエネルギーの種類と消費量 【OUTPUT】 ・抽出残液の量 【設備データ】 ・抽出槽の攪拌機、ポンプ等の動力等の仕様 ・稼働状況、設備の台数
浄液		【INPUT】 ・ソーダ灰の製造時のエネルギー消費を推計 【OUTPUT】 ・Liの収率を95%と仮定 ・物質収支は、反応式に基づいて推計 ・ソーダ灰の製造時のCO ₂ 排出量を推計	【OUTPUT】 ・Liの品位、収率 【設備データ】 ・ポンプ、浄液塔の動力、処理能力等の仕様 ・稼働状況 ・設備の台数
電解採取	【OUTPUT】 ・金属Liの品位 99.8%	【INPUT】 ・Liの収率を95%と仮定 ・塩酸は、反応に寄与した量（理論量）のみを計上した ・塩酸の製造時のエネルギー消費を推計 ・電解における電力消費量を推計 【OUTPUT】 ・物質収支は、反応式に基づいて推計 ・炭酸リチウムの塩化の際のCO ₂ 排出量を反応式に基づいて推計	【INPUT】 ・使用した塩酸の総量 ・電解槽の加熱に要するエネルギーの種類と消費量 【OUTPUT】 ・残液（塩酸）の量 ・金属Liの収率 【設備データ】 ・電解槽の稼働状況

注) **【INPUT】** : 当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

【OUTPUT】: 当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

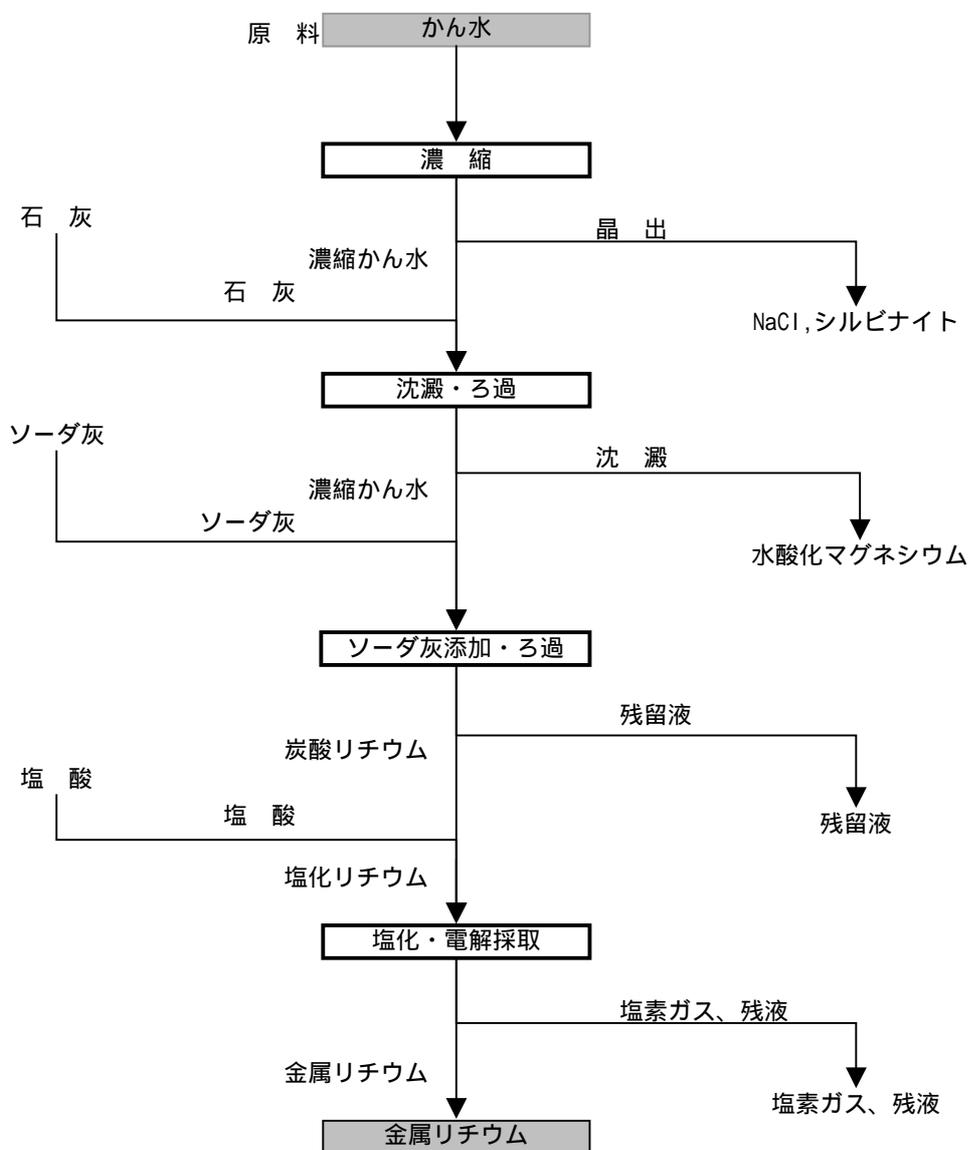
【設備データ】: 当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】や**【設備データ】**、**【OUTPUT】**で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が多いなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

(*Note*)

3) プロセスのフロー及び物質収支データの整理

プロセスのフロー (かん水法)



注) シルビナイト : NaCl+KCl

出所) 金属データブックを元に NRI 作成

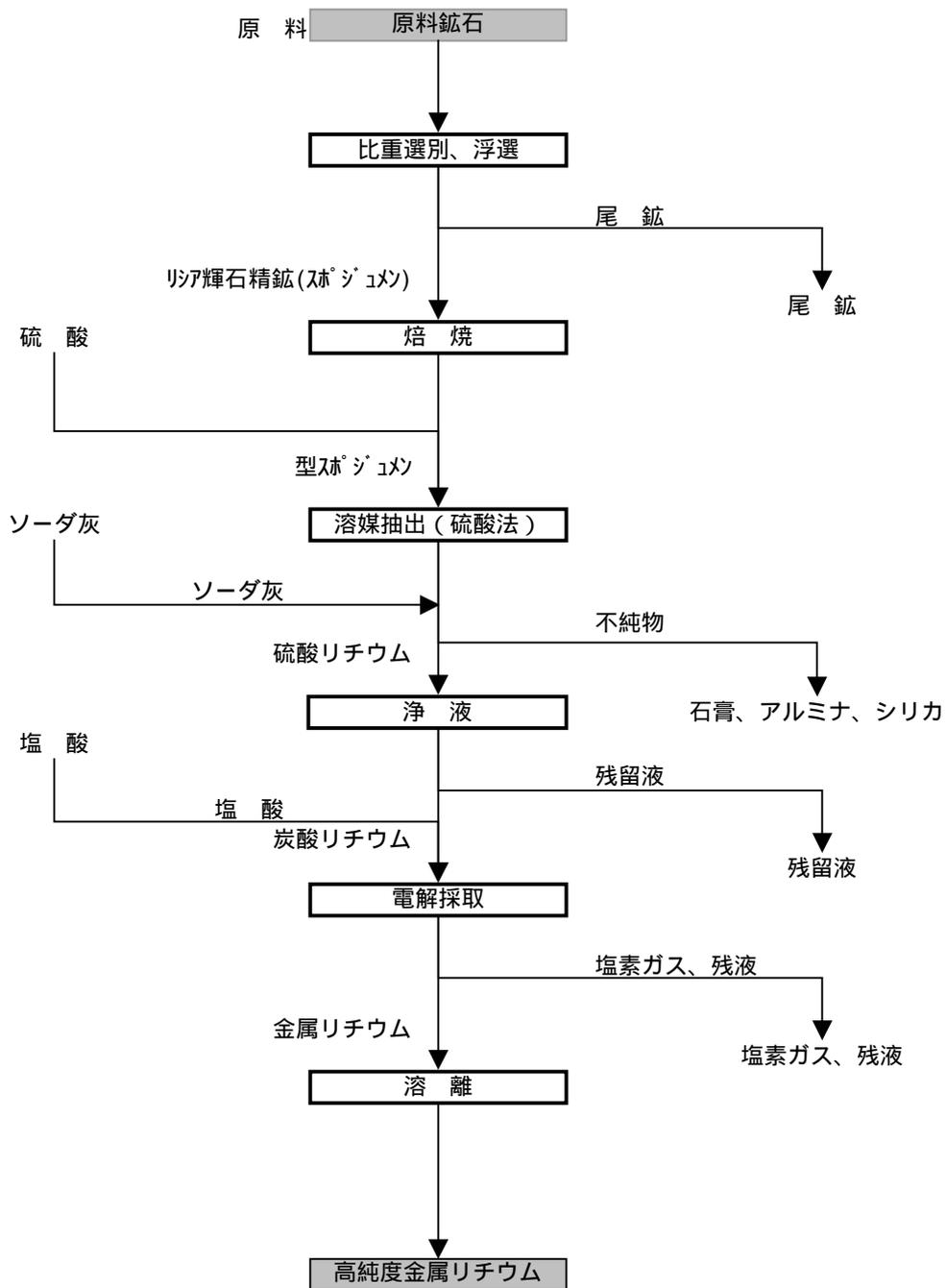
物質収支等データの整理 (かん水法)

物質・エネルギー量は原料鉱石を 10,000 t とした時の値

プロセス	INPUT		OUTPUT		備考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
濃縮	かん水 (うち Li) 電力	10,000 t (12.6 t) (不明)	濃縮かん水 (うち Li) 晶出 NaCl 蒸発水 【CO ₂ emission】	3,336 t (12.6 t) 870 t 5,793 t (不明)	かん水は海水の 7 倍の濃度と仮定 Li のロスはないと仮定 蒸発は太陽熱を利用して行う 晶出は、NaCl のみと仮定
沈澱・ろ過	濃縮かん水 (うち Li) Ca(OH) ₂ 電力	3,336 t (12.6 t) 277 t (不明)	濃縮かん水 (うち Li) Mg(OH) ₂ 【CO ₂ emission】	3,395 t (12.6 t) 218 t (不明)	Li のロスはないと仮定 消石灰は理論量加えるとする Mg は全て除去されると仮定
ソーダ灰 添加・ろ過	濃縮かん水 (うち Li) ソーダ灰 電力 【ソーダ灰製造】	3,395 t (12.6 t) 96 t (不明) 962 GJ	炭酸リチウム (うち Li) 残留液 【CO ₂ emission】 (うちソーダ灰製造)	67 t (12.0 t) 3,425 t 78.6 t (78.6 t)	Li の収率を 95% と仮定 炭酸リチウムの純度は 95% と仮定 ソーダ灰は理論量加えると仮定 ソーダ灰製造の環境負荷を考慮
塩化 ・電解採取	炭酸リチウム (うち Li) 塩酸 その他添加物 (その他添加物) 溶融塩 電力 【塩酸製造】	67 t (12.0 t) 151 kL (180 t) +α 3,761 GJ 490 GJ	金属リチウム CO ₂ 塩素ガス 残液 【CO ₂ emission】 (うち塩酸製造)	11.4 t 36.04 t 61.0 t 151 kL (138 t+) 213 t (39.9 t)	電解採取前に炭酸リチウムを塩化 (この時CO ₂ 発生) 反応式に従って物質収支を算出 塩酸は反応に寄与した量のみ Li 収率を 95% と仮定 金属 Li の純度は 99.8% と仮定 塩酸製造の環境負荷を考慮 溶融塩：塩化リチウムと塩化カリウ ムの等モル比からなる 電解による消費電力: 35,000kWh/t-電解 Li 電解槽電圧 7V,電流効率 80%と仮定 反応によるCO ₂ 排出量を含む
合計	【energy】 (うち原料製造)	5,213 GJ (1,453 GJ)	【CO ₂ emission】 (うち原料製造)	292 t (118 t)	

出所) 各種データより NRI 作成
参考) 金属データブック

プロセスのフロー (溶媒抽出法 / 硫酸法)



出所) 金属データブックを元に NRI 作成

物質収支等データの整理 (溶媒抽出法 / 硫酸法)

物質・エネルギー量は原料鉱石を 100 t とした時の値

プロセス	INPUT		OUTPUT		備 考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
比重選別、 浮選	原料鉱石 (うち Li)	100.00 t (0.35 t)	型ホジウム (うち Li)	27.27 t (0.31 t)	Li の収率を 90% と仮定 原料鉱石 Li ₂ O 品位: 1.5% 程度 型ホジウム Li 品位: 5~6%
	電 力	(不明)	尾 鉱 【CO ₂ emission】	72.73 t (不明)	
焙 焼	型ホジウム (うち Li)	27.27 t (0.31 t)	型ホジウム (うち Li)	27.27 t (0.31 t)	型を 型に転移させるために行う
	燃 料	(不明)	【CO ₂ emission】	(不明)	
溶媒抽出	型ホジウム (うち Li) 硫 酸 その他添加物 (その他添加物) 消石灰 石 灰 電 力 【硫酸製造】	27.27 t (0.31 t) 7.48 kL (13.76 t) +α (不明) 16.2 GJ	硫酸リチウム (うち Li) 石膏、アルミナ、 シリカ等 【CO ₂ emission】 (うち硫酸製造)	4.76 t-dry (0.30 t) 6.28 t 1.2 t (1.2 t)	硫酸は理論量より若干多めに混合 Li の収率を 95% と仮定 反応式に従って物質収支を算出 硫酸は反応に寄与した量のみ 消石灰: 浄液用 石 灰: 中和用 硫酸製造の環境負荷を考慮
浄 液	硫酸リチウム (うち Li) ソーダ灰 電 力 【ソーダ灰製造】	4.76 t-dry (0.30 t) 4.59 t-dry (不明) 45.9 GJ	炭酸リチウム (うち Li) 残留液 【CO ₂ emission】 (うちソーダ灰製造)	3.07 t (0.29 t) 6.28 t 3.8 t (3.8 t)	Li 収率を 95% と仮定 反応式に従って物質収支を算出 ソーダ灰製造の環境負荷を考慮
溶融塩 電 解	炭酸リチウム (うち Li) 塩 酸 その他添加物 (その他添加物) 溶融塩 電 力 【塩酸製造】	3.07 t (0.29 t) 6.91 kL (8.23 t) +α (不明) 90.6 GJ 22.4 GJ	金属リチウム CO ₂ 塩素ガス 残 液 【CO ₂ emission】 (うち塩酸製造)	0.27 t 1.74 t 2.80 t 6.91 kL (6.49 t+) 6.9 t (1.8 t)	電解採取前に炭酸リチウムを塩化 (この時CO ₂ 発生) 反応式に従って物質収支を算出 塩酸は反応に寄与した量のみ Li 収率を 95% と仮定 塩酸製造の環境負荷を考慮 溶融塩: 塩化リチウムと塩化カリウ ムの等モル比からなる 電解による消費電力 = 35,000kWh/t-電解 Li 電解槽電圧 7V, 電流効率 80% と仮定 反応によるCO ₂ 排出量を含む
合 計	【energy】 (うち原料製造)	175.1 GJ (84.5 GJ)	【CO ₂ emission】 (うち原料製造)	11.8 t (6.8 t)	

出所) 各種データより NRI 作成

参考) 金属データブック

(2) Na (ナトリウム)

1) 製錬の状況

製錬の方法

現在の金属ナトリウムの生産は、全て溶融した食塩を直接電解するダウンス (Downs 法) によって行われている。溶融苛性ソーダを原料とするカストナー法については、理論電流高率が理論上 50% に制限されることから、現在では全てダウンス法に置き換わっている。

製錬法	出発原料	主な生産者 「企業名、() 内は国名」	本報告書で対象 とした製錬法
カストナー法 (溶融苛性ソーダ の電解法)	溶融苛性ソーダ	現在は生産されていない	×
ダウンス法 (溶融食塩の直接 電解法)	工業塩	日本曹達 (日)、東ソー (日) など	

出典) 2000 年金属データブックより作成

国内での利用状況

最終製品としての主用途

【化学工業原料】

【金属還元剤】

【熱伝導媒体】

高速増殖炉用冷却材、ヒートパイプ、自動車用エンジンバルブ等

【電気用】

ナトリウムランプ、永久ヒューズ、ナトリウム硫黄電池等

【原子炉用】

高速増殖炉用冷却材

出典) 2000 年金属データブックより作成

2) 物質収支等データの整備状況

プロセス	使用したデータ		未取得のデータ
	文献等から取得したデータ	本報告書で仮定・推計したデータ	
溶解精製	【INPUT】 ・工業塩（食塩）の濃度 99.0% ・工業塩の投入量	【INPUT】 ・食塩の溶解度を 35.9g/100g-水(at25)、39.3g/100g-水(at100)とした ・水は 20%過剰に加えると仮定 ・水の加熱（25 から 100 ）に要するエネルギーを重油使用と仮定の上、推計 ・塩の溶解熱については考慮していない 【OUTPUT】 ・水の蒸発はないものと仮定	【設備データ】 ・攪拌機、ポンプ等の動力、処理能力等の仕様 ・稼働状況
蒸発・乾燥	【OUTPUT】 ・精製 NaCl の量	【INPUT】 ・消費エネルギーとして、水の蒸発潜熱分を計上 ・使用燃料は A 重油と仮定	【設備データ】 ・蒸発槽、ドライヤ等の動力、処理能力等の仕様 ・稼働状況 ・投入エネルギーの種類と消費量
熔融塩電解	【設備データ】 ・浴温度：約 600 ・電解槽電圧：6.9V ・電流効率：83% ・電解消費電力：10,600kWh/t-電解 Na	【INPUT】 ・電解槽の加熱に要したエネルギーは考慮していない 【OUTPUT】 ・金属 Na 品位を 99.5%と仮定 ・Na の回収率を 95%と仮定	【INPUT】 ・電解槽の加熱に要したエネルギーの種類と消費量 【OUTPUT】 ・生産した金属 Na の品位、収率
精製	【OUTPUT】 ・精製 Na の量 ・精製 Na 品位 99.8% ・不純物は金属 Ca 及び酸化 Na が主体	【OUTPUT】 ・金属 Na 品位の収率は 100%と仮定	【OUTPUT】 ・金属 Na の収率 【設備データ】 ・精製に用いた設備の種類 ・設備の動力、処理能力等の仕様、稼働状況 ・投入エネルギーの種類と消費量

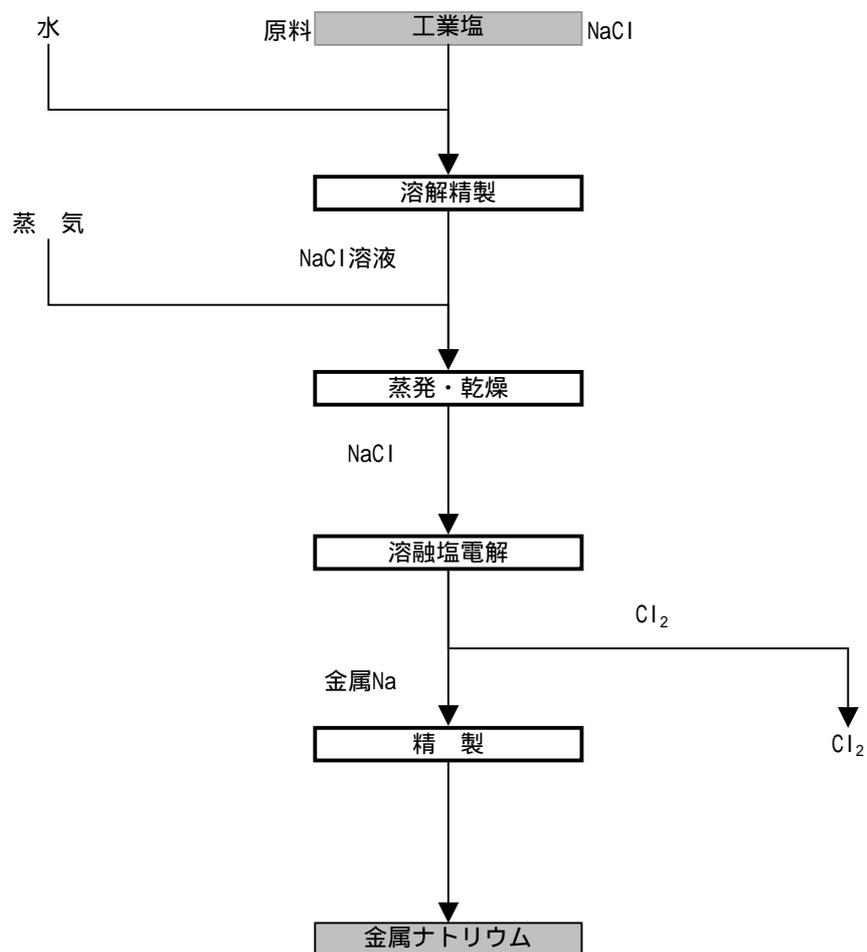
注) **【INPUT】** : 当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

【OUTPUT】: 当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

【設備データ】: 当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】 や **【設備データ】**、**【OUTPUT】** で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が大いなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

3) プロセスのフロー及び物質収支データの整理

プロセスのフロー

出所) 電気化学便覧

物質収支等データの整理

物質、エネルギー量は生産する精製金属ナトリウムを 1,000kg とした時の値

プロセス	INPUT		OUTPUT		備考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
溶解精製	工業塩 水	3,000 kg 9,069 kg	塩化ナトリウム溶液	12,069 kg	工業塩（食塩）濃度 99.0% 食塩の溶解度： 39.3g/100g-水と仮定（at100） 水は 20%過剰に加えると仮定 水を 25 から 100 まで加熱するエ ネルギーを計上（重油使用と仮定） 塩の溶解熱は考慮していない
	燃料	1.3 GJ	【CO ₂ emission】	0.09 t	
蒸発・乾燥	塩化ナトリウム溶液 蒸気	12,069 kg (量は不明)	精製 NaCl 水(蒸発分) 残溶液	2,600 kg 8,009 kg 1,460 kg	消費エネルギーは、水の蒸発潜熱分 を計上（重油使用と仮定）
	燃料	18.1 GJ	【CO ₂ emission】	1.25 t	
熔融塩 電解	精製 NaCl	2,600 kg	金属ナトリウム Cl ₂ ガス 未回収 Na 等	1,003 kg 1,539 kg 58 kg	品位 99.5%と仮定 ナトリウムの回収率を 95%と仮定 浴温度：約 600 電解槽電圧：6.9V 電流効率：83% 電解消費電力：10,600kWh/t-電解 Na
電力	100.0 GJ	【CO ₂ emission】	3.65 t		
精製	金属ナトリウム	1,003 kg	精製ナトリウム 不純物残さ	1,000 kg 3.0 kg	品位 99.8% 不純物は金属 Ca 及び酸化 Na
	電力	(不明)	【CO ₂ emission】	(不明)	
合計	【energy】	119.3 GJ	【CO ₂ emission】	5.00 t	

出所) 各種データより NRI 作成

参考) 電気化学便覧

矢島ら, 日本曹達二本木工場におけるナトリウム製造, 日本鋳業会誌/97 1122('81-8)881, p.879-

(3) Mg (マグネシウム)

1) 製錬の状況

製錬の方法

製錬原料としては、海水、ドロマイト、マグネサイトが主要である。MgCl₂濃度の高いかん水を原料とした製錬法もアメリカで採用されている。

海水は、およそ 0.13%の濃度でMgを含有する最大のリソースであり、MgCl₂の溶融塩電解によってMg製錬が行われる。

ドロマイト (MgCO₃・CaCO₃) は、Mg品位は 10～12.5%とされ、マグネサイト (MgCO₃) は、Mg品位 26～28%である。

製錬法	出発原料	主な生産者 「企業名、()内は国名」	本報告書で対象 とした製錬法
電解法 (I.G.法)	海水/ドロマイト マグネサイト	Norsk Hydro (ノルウェー) Norsk Canada (カナダ) ロシア企業など	×
電解法 (Dow法)	海水	米国企業など	
電解法 (新電解法)	かん水	Magnesium Corp. of America (米) Dead sea magnesium (イスラエル) など	×
熱還元法 (ピジヨ法)	ドロマイト	Timmincco (カナダ) 中国企業など	×
熱還元法 (マグネシウム法)	ドロマイト	Northwest Alloys (米) Sofrem (仏) 中国企業など	×

出典) 2000年金属データブックより作成

国内での利用状況

最終製品としての主用途	国内需要量 (1998年)
アルミニウム合金の添加剤 (国内需要の7割程度)	19,707 t
ノジュラー鉄用添加剤	1,659 t
Mgダイカスト	2,602 t
航空機・自動車部品、電気・電子部品等の構造材等	
Mg 鋳物	228 t
粉末、防食用、その他	2,647 t
鉄鋼の脱酸、脱硫剤	
チタン、ジルコニウム製造時の還元剤	
花火、火薬、有機合成時の触媒	
石油タンク、パイプライン、ボイラー等の防食アノード	

出典) 2000年金属データブックより作成

2) 物質収支等データの整備状況

プロセス	文献等から取得したデータ	使用したデータ		未取得のデータ
		本報告書で仮定・推計したデータ		
焼成	【設備データ】 ・石灰焼成炉を使用	【INPUT】 ・A重油を使用すると仮定 ・石灰焼成炉でのエネルギー消費は、4,000 kJ/kg-石灰石と仮定して推計 【OUTPUT】 ・石灰石から生石灰に転換する際のCO ₂ 排出量を反応式に基づいて推計	【設備データ】 ・石灰焼成炉の処理能力等の仕様 ・稼動状況 ・投入するエネルギーの種類と消費量	
消化		【INPUT】 ・水の使用量は理論量として計上 【OUTPUT】 ・物質収支は反応式に基づいて推計	【設備データ】 ・使用する設備の種類 ・動力、処理能力等の仕様 ・稼動状況 ・投入するI _{燃料} '-の種類と消費量	
反応・ろ過	【INPUT】 ・海水中のMg濃度0.13wt%	【INPUT】 ・Ca(OH) ₂ は理論量の20%過剰と仮定 【OUTPUT】 ・Mgの収率を95%と仮定 ・Mg(OH) ₂ の品位は95%と仮定	【設備データ】 ・使用する設備の種類 ・動力、処理能力等の仕様 ・稼動状況	
中和	【OUTPUT】 ・MgCl ₂ 濃度15wt%	【INPUT】 ・中和熱は考慮していない ・塩酸の製造時のエネルギー消費を推計（塩酸回収分を除く新規投入分を対象として） 【OUTPUT】 ・Mgのロスはないと仮定 ・塩酸の製造時のCO ₂ 排出量を推計	【設備データ】 ・中和槽、攪拌機、ポンプ等の動力、処理能力等の仕様 ・稼動状況	
蒸発・脱水		【INPUT】 ・エネルギーは水の蒸発潜熱分を推計 ・燃料はA重油を利用すると仮定 【OUTPUT】 ・Mgのロスはないと仮定	【OUTPUT】 ・塩化Mgの水和物の品位と量 【設備データ】 ・蒸発器、脱水機等の動力、処理能力等の仕様 ・稼動状況 ・投入するI _{燃料} '-の種類と消費量	
熔融塩電解	【OUTPUT】 ・電解Mg品位99.9% ・電解炉消費電力：16.5～22kWh/kg-電解Mg	【INPUT】 ・塩化Mgの水和物の品位を99%と仮定 ・電解炉の消費電力は20kWh/kg-電解Mgと仮定 【OUTPUT】 ・消費された黒鉛Cは全量CO ₂ として排出されるものと仮定	【INPUT】 ・塩化Mgの水和物の投入量 ・電解槽の加熱に要するI _{燃料} '-の種類と消費量 【OUTPUT】 ・電解Mgの収率	
塩酸回収		【OUTPUT】 ・熔融塩電解で発生した塩素と水素の量から反応式に基づいて塩酸回収量を推計	【設備データ】 ・使用した設備の種類、動力、処理能力等の仕様 ・稼動状況 ・投入するI _{燃料} '-の種類と消費量	

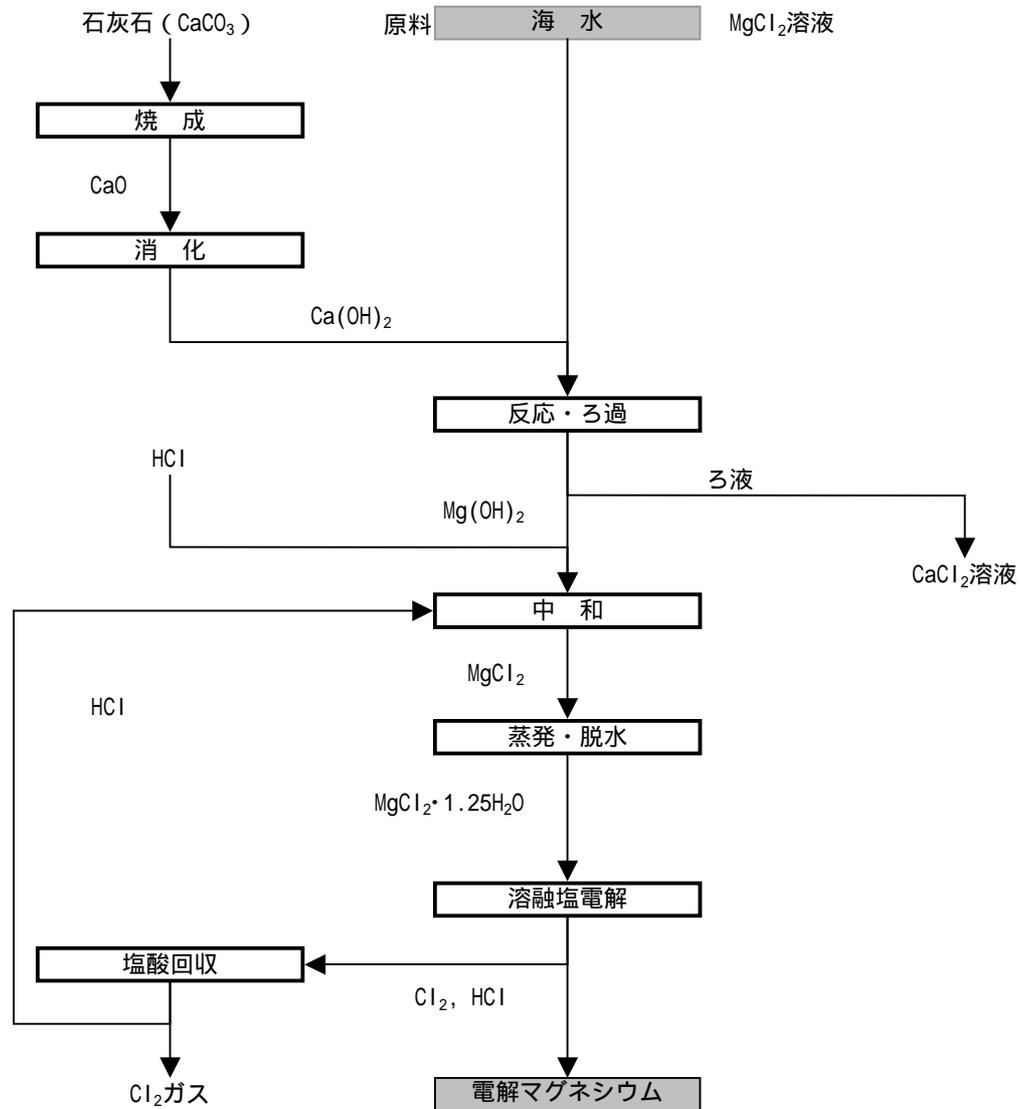
注) 【INPUT】：当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

【OUTPUT】：当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

【設備データ】：当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】や【設備データ】、【OUTPUT】で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が大いなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

3) プロセスのフロー及び物質収支データの整理

プロセスのフロー

出典) 新金属データブック 2000

物質収支等データの整理

物質、エネルギー量は海水を 100,000t とした時の値

プロセス	INPUT		OUTPUT		備 考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
焼 成	石灰石	642 t	CaO CO ₂ ガス	360 t 282 t	生石灰生産 A 重油使用と仮定 石灰焼成炉でのエネルギー消費 4,000 kJ/kg-石灰石として算出
	燃 料	2,569 GJ	【CO ₂ emission】	461 t	
消 化	CaO 水	360 t 116 t	Ca(OH) ₂	475 t	消石灰生産
	電 力	(不明)	【CO ₂ emission】	(不明)	
反応・ろ過	海 水 (うち Mg) Ca(OH) ₂	100,000 t (130.0 t) 475 t	Mg(OH) ₂ (うち Mg) CaCl ₂ 溶液	312 t (123.5 t) 100,164 t	海水中の Mg 濃度を 0.13wt%と仮定 Mgは全てMgCl ₂ の形で存在すると仮定 Mg の回収率を 95%と仮定 Ca(OH) ₂ は理論量の 20%過剰と仮定
	電 力	(不明)	【CO ₂ emission】	(不明)	
中 和	Mg(OH) ₂ (うち Mg) HCl 溶液	312 t (123.5 t) 2,913 t	MgCl ₂ 溶液 (うち Mg)	3,225 t (123.5 t)	MgCl ₂ 濃度 15wt% Mg のロスはないとする HCl 製造の環境負荷を考慮 (の塩酸回収分を除いた新規投入分として)
	電 力 【塩酸製造】	(不明) 28 GJ	【CO ₂ emission】 (うち塩酸製造)	2.3 t (2.3 t)	
蒸発・脱水	MgCl ₂ 溶液 (うち Mg)	3,225 t (123.5 t)	MgCl ₂ ・1.25H ₂ O (うち Mg) 水(蒸発分) 水(脱水分)	604 t (123.5 t) 2,331 t 290 t	Mg のロスはないものと仮定 蒸発器使用 脱水炉使用 エネルギーは水の蒸発潜熱分として 計上(A 重油利用と仮定)
	燃 料	5,262 GJ	【CO ₂ emission】	365 t	
溶融塩 電 解	MgCl ₂ ・1.25H ₂ O (うち Mg) 黒鉛電極	604 t (123.5 t) 60 t	電解 Mg HCl, Cl ₂ その他(ガス等)	124 t 360 t 181 t	電解 Mg 品位 99.9% 電解炉消費電力 16.5 ~ 22kWh/kg-電解 Mg (ここでは 20kWh と仮定) 消費された黒鉛Cは全量CO ₂ として 排出されるものと仮定
	電 力	23,362 GJ	【CO ₂ emission】	1,076 t	
塩酸回収	HCl, Cl ₂	360 t	HCl Cl ₂	(量は不明) (量は不明)	Cl ₂ の除去
	電 力	(不明)	【CO ₂ emission】	(不明)	
合 計	【energy】 (うち原料製造)	31,221 GJ (28 GJ)	【CO ₂ emission】 (うち原料製造)	1,903 t (2.3 t)	

出所) 各種データより NRI 作成

参考) 新金属データブック 2000

(社) 日本機械工業連合会および(財) 金属系材料研究開発センター

金属素材産業における LCA 手法に関する調査研究報告書 平成 8 年 3 月

(4) Ti (チタン)

1) 製錬の状況

製錬の方法

金属チタン（スポンジチタン）の主要な原料は、天然のルチル鉱石（TiO₂が主成分）と合成ルチルである。合成ルチルはTiO₂分を人工的に濃縮したものであり、他にチタンスラグを原料に加える場合もある。

金属チタンの製錬法としては、大規模な工業生産を可能にした Mg 還元によるクロール法が、現在でも主流の方法となっている。

尚、酸化チタンの生産においては、イルメナイト鉱石（FeTiO₃が主成分）を主原料としている。

スポンジチタンの製錬法	出発原料	状況	本報告書で対象とした製錬法
Na 法 (ハンター法)	ルチル / カボン / スラグ	クロール法に取って変わられている	×
Mg 還元法 (クロール法)	ルチル (合成ルチル) / カボン	現在の主流な製錬法である (米国、CIS、中国、日本等で利用されている)	

出典) 2000 年金属データブックより作成

国内での利用状況

スポンジチタンの最終製品としての主用途	
航空・宇宙分野	ジェットエンジン部品、機械部品、ロケット・人工衛星等部品
化学・石油化学	プロセス装置の材料として（熱交換器、反応槽、反応塔、蒸留塔等）
電力・造水	原子力、火力、地熱発電プラントの電熱管、復水器等
海洋・エネルギー	石油・ガス掘削部品、石油精製、LNG 精製のプロセス装置材料
建築・土木	屋根、ビル外装、金具等
輸送機器	自動車部品等
民生品	通信・光学機器（磁気ディスク等）、医療用材料、その他

出典) 2000 年金属データブックより作成

2) 物質収支等データの整備状況

プロセス	使用したデータ		未取得のデータ
	文献等から 取得したデータ	本報告書で仮定・推計 したデータ	
塩化	【INPUT】 ・原料のTiO ₂ 品位： 90～96% 【OUTPUT】 ・TiCl ₄ 品位：98% 【設備データ】 ・塩化流動炉を使用 ・設備稼働率： 40.4% (1992年) ・反応温度 1,000	【INPUT】 ・塩素は回収分を除いた新規 投入分のみの製造原料 ^{*)} を 推計 ・コークス使用量は反応式に 基づき理論量を推計 【OUTPUT】 ・Tiの収率を90%と仮定 ・コークス燃焼によるCO ₂ 排出量 を推計	【INPUT】 ・コークス消費量 ・コークス以外のエネルギー投入 量 【OUTPUT】 ・TiCl ₄ の収率
蒸留	【OUTPUT】 ・精製TiCl ₄ 品位：99.9% 【設備データ】 ・30段式 ・処理能力： Max:72,000t/year	【OUTPUT】 ・精製TiCl ₄ の収率を95%と仮 定	【OUTPUT】 ・精製TiCl ₄ の収率 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・稼働状況 ・投入する原料 ^{*)} の種類と消費量
マグネシウム 還元	【OUTPUT】 ・スポンジ Ti 品位：99.92 ～99.99% ・スポンジ Ti 収量 【設備データ】 ・還元分離一体炉使用 ・稼働率：39.5% (1992年) ・1,000 に加熱 ・電力消費量： 3,000kwh/t-Ti スポンジ ^{*)} ・1バッチ 10t:180hour ・処理能力：炉1基当たり Max:380t/year	【OUTPUT】 ・スポンジ Ti の品位を 99.93% と仮定	【OUTPUT】 ・スポンジ Ti の収率
精製	【設備データ】 ・消耗電極式真空アーク溶 解炉を使用 ・電力消費量： 2,000kWh/t-Ti スポンジ ^{*)}	【OUTPUT】 ・不純物のみ除去され、Tiの ロスはないものと仮定	【OUTPUT】 ・Ti インゴットの収率 ・インゴットの品位
マグネシウム 電解	【OUTPUT】 ・塩素、Mg のロス量 【設備データ】 ・炉は 40 基使用 ・電力消費量： 12,000kwh/t-Ti スポンジ ^{*)}		

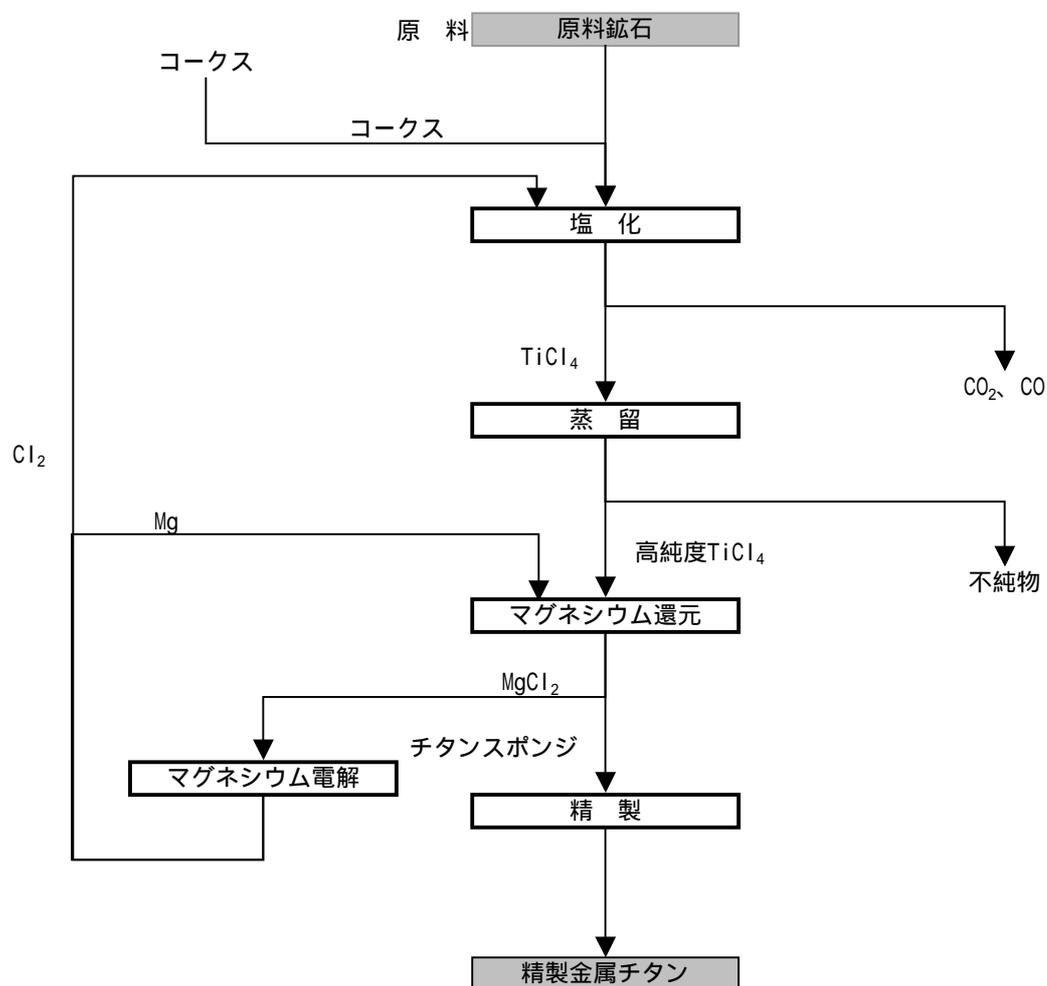
注) **【INPUT】**：当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

【OUTPUT】：当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

【設備データ】：当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】や**【設備データ】**、**【OUTPUT】**で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が大いなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

3) プロセスのフロー及び物質収支データの整理

プロセスのフロー

出典) 守屋 惇郎ら, 住友シチックス(株)のチタン製造, 資源と素材 109 (1993) No.12 1064-

物質収支等データの整理

物質質量、エネルギー量は月当たりの値

プロセス	INPUT		OUTPUT		備考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
塩化	原料鉍石 (うち Ti) コークス Cl ₂	1,032 t (585 t) 165 t 1,592 t	TiCl ₄ (うち Ti) CO ₂ CO	2,129 t (526 t) 385 t 141 t	原料鉍石：ルチル、合成ルチル Ti の収率を 90% と仮定 稼働率：40.4%(1992 年) 原料のTiO ₂ 品位：90～96% TiCl ₄ 品位：98% 約 1,000 で反応させる Max:60,000t-TiCl ₄ /year 塩素は回収分を除いた新規投入分の みの製造エネルギーを考慮 コークスからのCO ₂ 発生を含む
	コークス 【塩素製造】	4,985 GJ 1,580 GJ	【CO ₂ emission】 (うち塩素製造)	514 t (129 t)	
蒸留	TiCl ₄ (うち Ti) その他添加物 (その他添加物) 鉍物油 電力	2,129 t (554 t) +α (不明)	高純度TiCl ₄ (うち Ti) 不純物 【CO ₂ emission】	1,982 t (500 t) 146 t+ (不明)	TiCl ₄ 品位：99.9% 収率 95% 蒸留塔：30 段式 Max:72,000t/year
マグネシウム還元	高純度TiCl ₄ (うち Ti) Mg 電力	1,982 t (500 t) 761 t 14,173 GJ	チタンスポンジ (うち Ti) MgCl ₂ Cl ₂ Mg(未反応) 【CO ₂ emission】	500 t (500 t) 1,940 t 37 t 266 t 518 t	還元分離一体炉使用 稼働率：39.5%(1992 年) Ti 品位：99.92～99.99% 真空蒸留によって分離 1,000 に加熱 電力消費量：3,000kwh/t-Ti スポンジ 1 炉につき 10t:180hour 炉 1 基当たり Max:380t/year
精製	チタンスポンジ (うち Ti) その他添加物 (その他添加物) 工程内スクラップ 電力	500 t (500 t) +α 9,449 GJ	チタンスポンジ 不純物残さ 【CO ₂ emission】	500 t 0.4 t+ 345 t	消耗電極式真空アーク溶解法 不純物のみ除去され、Ti のロスはないものと仮定 電力消費量：2,000kWh/t-Ti スポンジ
マグネシウム電解	MgCl ₂ Cl ₂ Mg(未反応) 電力	1,940 t 37 t 266 t 56,693 GJ	Mg Cl ₂ Mg ロス Cl ₂ ロス 【CO ₂ emission】	756 t 1,387 t 5 t 125 t 2,072 t	Mg:マグネシウム還元へ Cl ₂ :流動塩化炉へ チタンスポンジ製造までの精製工程における全電力消費量の 70%以上を占める 炉 40 基: 電力消費量 12,000kwh/t-Ti スポンジ
合計	【energy】 (うち原料製造)	86,880 GJ (1,580 GJ)	【CO ₂ emission】 (うち原料製造)	3,450 t (129 t)	

出所) 各種データより NRI 作成

参考) 守屋 惇郎ら, 住友シチックス(株)のチタン製造, 資源と素材 109 (1993) No.12 1064-

福山 尚志ら, 東邦チタニウム(株)のスポンジチタンとインゴットの製造, 資源と素材 109(1993)No.12

1057-

(5) Cr (クロム)

1) 製錬の状況

製錬の方法

クロムの主要な原料鉱石はクロム鉄鉱等であり、金属クロムの状態では存在しない。

製錬法としては、乾式法と湿式法に分かれるが、現在工業的に利用されているのは、アルミニウム還元法（乾式）と電解法（湿式）である。

アルミニウム還元法は、テルミット反応を利用したものであり、得られる金属クロムの純度は97～99%程度である。

電解法は、乾式法で得られない高純度クロムの生産を可能とする方法である。

金属クロムの製錬法	出発原料	主な生産者 「企業名、()内は国名」	本報告書で対象とした製錬法
アルミニウム還元法 (乾式法)	クロム鉄鉱 (クロム鉄鉱)	日本電工(日)、Delachaux(仏)、 London & Scandinavian Metallurgical (英)	×
ケイ素還元法 (乾式法)	クロム鉄鉱 (クロム鉄鉱)	現在は工業利用されていない	×
炭素還元法 (乾式法)	クロム鉄鉱 (クロム鉄鉱)	現在は工業利用されていない	×
硫酸電解法 (湿式法)	クロム鉄鉱 (クロム鉄鉱)	Elkem Metals(米) Eramet(仏)が買収	
珪酸電解法 (湿式法)	クロム鉄鉱 (クロム鉄鉱)	不明	×

出典) 2000年金属データブックより作成

国内での利用状況

金属クロムの最終製品としての主用途	
スーパーアロイ	航空機、原子力機器、タービン、エンジン部品等
非鉄合金	自動車部品、航空機部材、構造物の部材等
溶接棒	化学プラント等
ターゲット材	ハードディスク、液晶等
その他	染料、顔料、接着剤、磁気ヘッド等

出典) 2000年金属データブック、金属鉱業事業団ホームページ

2) 物質収支等データの整備状況

プロセス	使用したデータ		未取得のデータ
	文献等から取得したデータ	本報告書で仮定・推計したデータ	
炭素還元	【INPUT】 ・ 40t 鉍石のCr ₂ O ₃ 品位：68% 【OUTPUT】 ・ 7t 40t の Cr 品位：68.5% 【設備データ】 ・ 電気炉使用	【INPUT】 ・ コークスの投入量は、反応に寄与した量（理論量）のみを計上した ・ コークスの固定炭素分を 80%と仮定 【OUTPUT】 ・ Cr の収率を 90%と仮定 ・ コークス還元の際のCO ₂ 発生量を推計（完全燃焼すると仮定）	【INPUT】 ・ コークスの投入量 【OUTPUT】 ・ 7t 40t の収率 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 稼動状況
溶解	【設備データ】 ・ 溶解は 100 以上で行われる ・ 攪拌機、ボールミル使用	【INPUT】 ・ 硫酸投入量は、循環量を除いた純消費分として推計（物質収支は銅の湿式製錬を参考とした） ・ 消費した硫酸の製造時I _補 -を推計 【OUTPUT】 ・ Cr は全て分離されると仮定 ・ 消費した硫酸の製造時に排出するCO ₂ 量を推計 【設備データ】 ・ 攪拌機については、1 基（定格出力 2.2kW）使用と仮定 ・ ボールミルについては、1 基（定格出力 150kW）使用と仮定 ・ 処理量を基に 10 日（24 時間/日）稼動と仮定	【INPUT】 ・ 硫酸の投入量、循環量、硫酸の濃度 ・ 電解採取工程からの廃液再利用量 【OUTPUT】 ・ 溶解後の溶液量 ・ 溶解後の溶液中の Cr 濃度 ・ Cr の抽出率 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 稼動状況
除鉄		【INPUT】 ・ 投入した硫酸アモニウムは、反応に寄与した分（理論量）を推計 【OUTPUT】 ・ Cr は全て分離されると仮定	【INPUT】 ・ 投入した溶解液の量、Cr 濃度 ・ 投入した硫酸アモニウムの投入量、及び製造時のI _補 -消費 【OUTPUT】 ・ 除鉄後の残液量、Cr 濃度 ・ Cr の収率 ・ 投入した硫酸アモニウムの製造時に排出されるCO ₂ 量 【設備データ】 ・ 使用した設備の種類 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入するI _補 -の種類と消費量
電解採取	【OUTPUT】 ・ 金属 Cr 品位：99.47% 【設備データ】 ・ 所要電力量：18,500kWh/t- 金属 Cr ・ 電解時間:72hour	【OUTPUT】 ・ 炭素還元以降の製錬工程全体における Cr 収率を 85%と仮定	【INPUT】 ・ 電解採取時の投入溶液量 【OUTPUT】 ・ 溶解工程に再利用される陽極廃液の量 ・ 消費される溶液量 ・ 電解採取時の Cr 収率

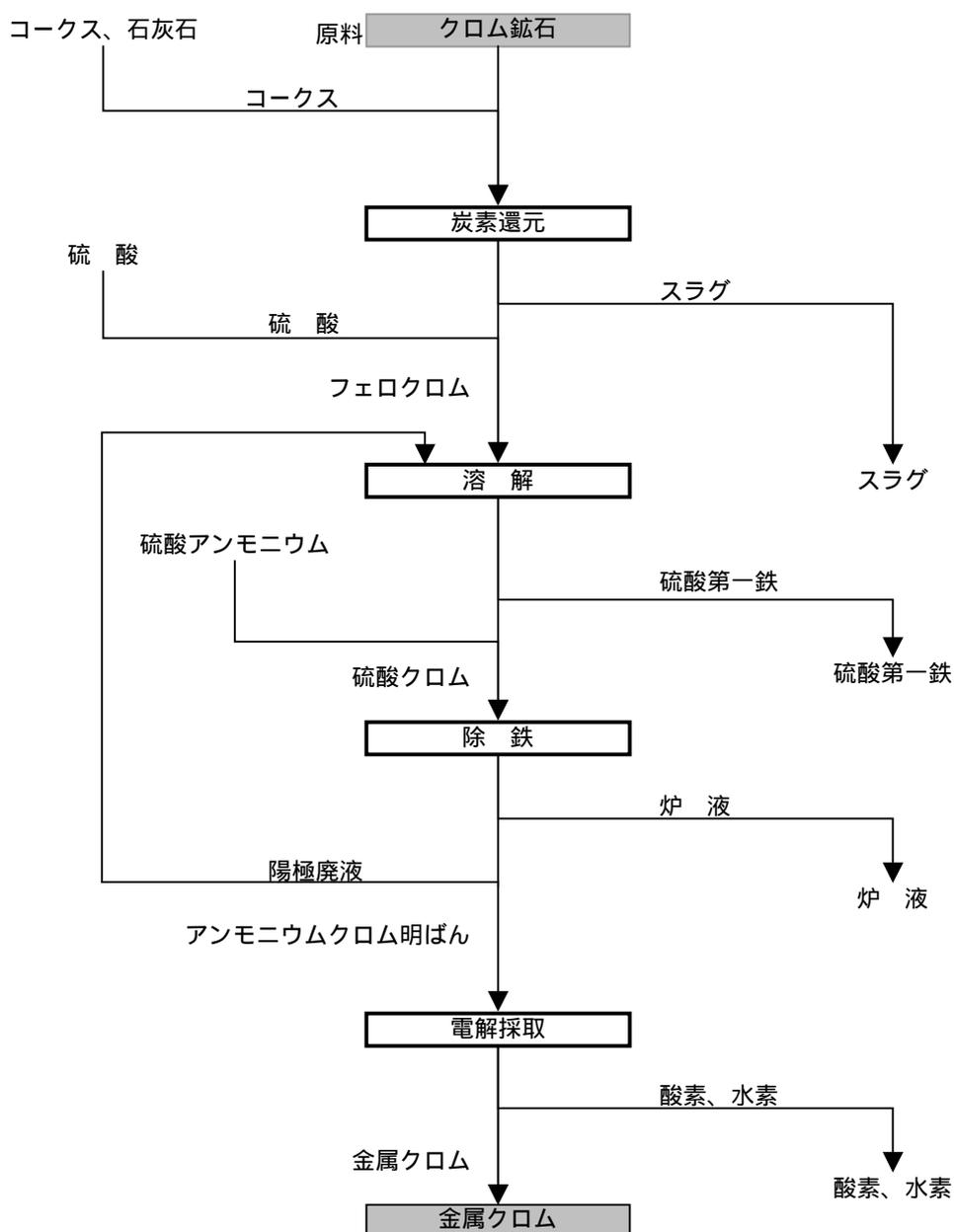
注) **【INPUT】** : 当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

【OUTPUT】: 当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

【設備データ】: 当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】や**【設備データ】****【OUTPUT】**で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が大きいなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

3) プロセスのフロー及び物質収支データの整理

プロセスのフロー

出典) 杉森 正敏, 金属クロムの電解採取, 11種産業のための特殊金属と製錬技術, (株)化学工業社

物質収支等データの整理

物質・エネルギー量は原料鉻石を 100 t とした時の値

プロセス	INPUT		OUTPUT		備 考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
炭素還元	クロム鉻石 (うち Cr) コークス その他添加物 (その他添加物) 石灰石 コークス 電 力	100.0 t (46.5 t) 16.1 t +α 485 GJ (不明)	フェロクロム (うち Cr) スラグ 【CO₂emission】	61.1 t (41.9 t) 42.1 t+ 47.2 t	クロム鉻石のCr ₂ O ₃ 品位：68% フェロクロムの Cr 品位：68.5% コークスは、反応に寄与した量のみ コークスの炭素分は全て CO ₂ として 排出すると仮定 Cr の収率を 90%と仮定 電気炉使用 コークスの固定炭素分を 80%と仮定 コーク還元によるCO ₂ 排出を計上
溶 解	フェロクロム (うち Cr) 陽極廃液 硫 酸 その他添加物 (その他添加物) 鉬明ばん母液 電 力 【硫酸製造】	61.1 t (41.9 t) 9.17 t 2.90 kL* (5.3 t) +α 345 GJ 0.03 GJ*	溶解物 (うち Cr) 残 さ 【CO₂emission】 (うち硫酸製造)	72.0 t-dry + (41.9 t) 3.67 t 12.6 t 0.002 t*	溶解物には硫酸クロム・硫酸第一鉄 を含む Cr は全て分離されると仮定 非金属の除去を目的とした溶解 100 以上で溶解 攪拌機使用(1 基 2.2kW と仮定) ポンプ使用(1 基 150kW と仮定) 10 日(24 時間/日)稼働として計算 硫酸製造は、循環量を除いた消費分 として計上(銅製錬データを参考)
除 鉄	溶解物 (うち Cr) 硫酸アンモニウム 電 力	72.0 t-dry (41.9 t) 3.00 kL (5.31t) (不明)	アンモニウム クロム明ばん (うち Cr) 炉液中残さ 【CO₂emission】	74.9 t-dry (41.9 t) 2.36 t-dry (不明)	Cr は全て分離されると仮定 硫酸アンモニウムは反応に寄与した 量のみ
電解採取	アンモニウム クロム明ばん (うち Cr) 電 力	74.9 t (41.9 t) 6,913 GJ	金属クロム (うち Cr) 水 素 酸 素 陽極廃液 【CO₂emission】	39.8 t (39.5 t) 1.5 t 24.5 t 9.17 t 253 t	金属クロム品位：99.47% 製錬工程全体における Cr 収率を 85%と仮定 陽極廃液は溶解工程へ再利用される 所要電力量 18,500kWh/t-金属 Cr 電解時間:72hour
合 計	【energy】 (うち原料製造)	7,743 GJ (0.03 GJ*)	【CO₂emission】 (うち原料製造)	313 t (0.002 t*)	

出所) 各種データより NRI 作成

参考) 杉森 正敏, 金属クロムの電解採取, ハイテク産業のための特殊金属と製錬技術, (株)化学工業社

(6) Mn (マンガン)

1) 製錬の状況

製錬の方法

金属マンガンの主要な原料鉱石は酸化マンガン鉱、炭酸マンガン鉱、ケイ酸マンガン鉱であり、酸化マンガン鉱石の使用が一般的である。

製錬法としては、電解法（湿式）が大半であり、その他テルミット反応（アルミニウム還元）や電炉を使用した方法がある。

金属マンガンの製錬法	出発原料	主な生産者 「企業名、()内は国名」	本報告書で対象とした製錬法
電解法 (湿式法)	酸化マンガン鉱石	Elkem Metals (米)、Kerr Mcgee (米)、Manganese Metal (南ア)、その他、ロシア・中国企業等	
電炉法 (乾式法)	マンガン鉱石 (酸化マンガン鉱石等)	不明	×
テルミット/アルミニウム還元法(乾式法)	酸化マンガン鉱石	不明	×

出典) 2000年金属データブックより作成

国内での利用状況

金属マンガンの最終製品としての主用途	備考
鉄鋼特殊鋼添加 (大口径管、厚板用鉄鋼等)	国内需要は19,700t(98年)であり、金属マンガンのうち最も多い
アルミ・非鉄合金添加	-
溶接棒	-
化学用	-
その他	-

出典) 2000年金属データブック

2) 物質収支等データの整備状況

プロセス	使用したデータ		未取得のデータ
	文献等から取得したデータ	本報告書で仮定・推計したデータ	
還元焙焼	【INPUT】 ・ MnO ₂ 鉱石の品位：48.85% ・ 還元炉、ロータリル使用	【INPUT】 ・ コークスの投入量は、反応に寄与した量（理論量）のみを計上した ・ コークスの固定炭素分を 80%と仮定 【OUTPUT】 ・ Mn の収率を 90%と仮定 ・ コークスの燃焼に伴うCO ₂ 排出量を推計	【INPUT】 ・ コークスの投入量 【OUTPUT】 ・ Mn の収率 ・ 還元鉱の Mn 品位 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 稼動状況 ・ 投入するI補給 [*] の種類と消費量
浸出		【OUTPUT】 ・ Mn の収率を 99%と仮定 ・ 鉄のみが除去されると仮定 【設備データ】 ・ 攪拌機については、1 基（定格出力 2.2kW）使用と仮定 ・ フィルタプレス使用と仮定 ・ フィルタプレスについては、1 基（定格出力 150kW）使用と仮定 ・ 設備は 25 日/月(1 日 24 時間)稼動と仮定	【INPUT】 ・ 使用する浸出液の量 【OUTPUT】 ・ 浸出後の溶液濃度 ・ Mn の収率 【設備データ】 ・ 使用した設備の種類 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 稼動状況 ・ 浸出液の加熱等に要するI補給 [*] の種類と消費量
浄化		【OUTPUT】 ・ Mn の収率を 99%と仮定 ・ 分離される対象は Zn、Ni、Co、As、Mo と仮定 【設備データ】 ・ 攪拌機については、1 基（定格出力 2.2kW）使用と仮定 ・ フィルタプレス使用と仮定 ・ フィルタプレスについては、1 基（定格出力 0.4kW）使用と仮定 ・ 設備は 10 日/月(1 日 24 時間)稼動と仮定	【OUTPUT】 ・ 浄化後の Mn 溶液の濃度 ・ Mn の収率 【設備データ】 ・ 使用した設備の種類 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 稼動状況
電解採取 (隔膜使用)	【OUTPUT】 ・ 金属 Mn 品位:99.96% ・ 月当たり生産量 【設備データ】 電力効率：60～63% 電解時間:72～96hour 電解消費電力： 8,000kWh/t-電解 Mn	【OUTPUT】 ・ 電解廃液の浸出工程への戻し量は、粗製錬の電解時データを参考として推計	【INPUT】 ・ 電解時の加熱に要するI補給 [*] 【OUTPUT】 ・ Mn の収率 ・ 電解廃液の浸出工程への戻し量

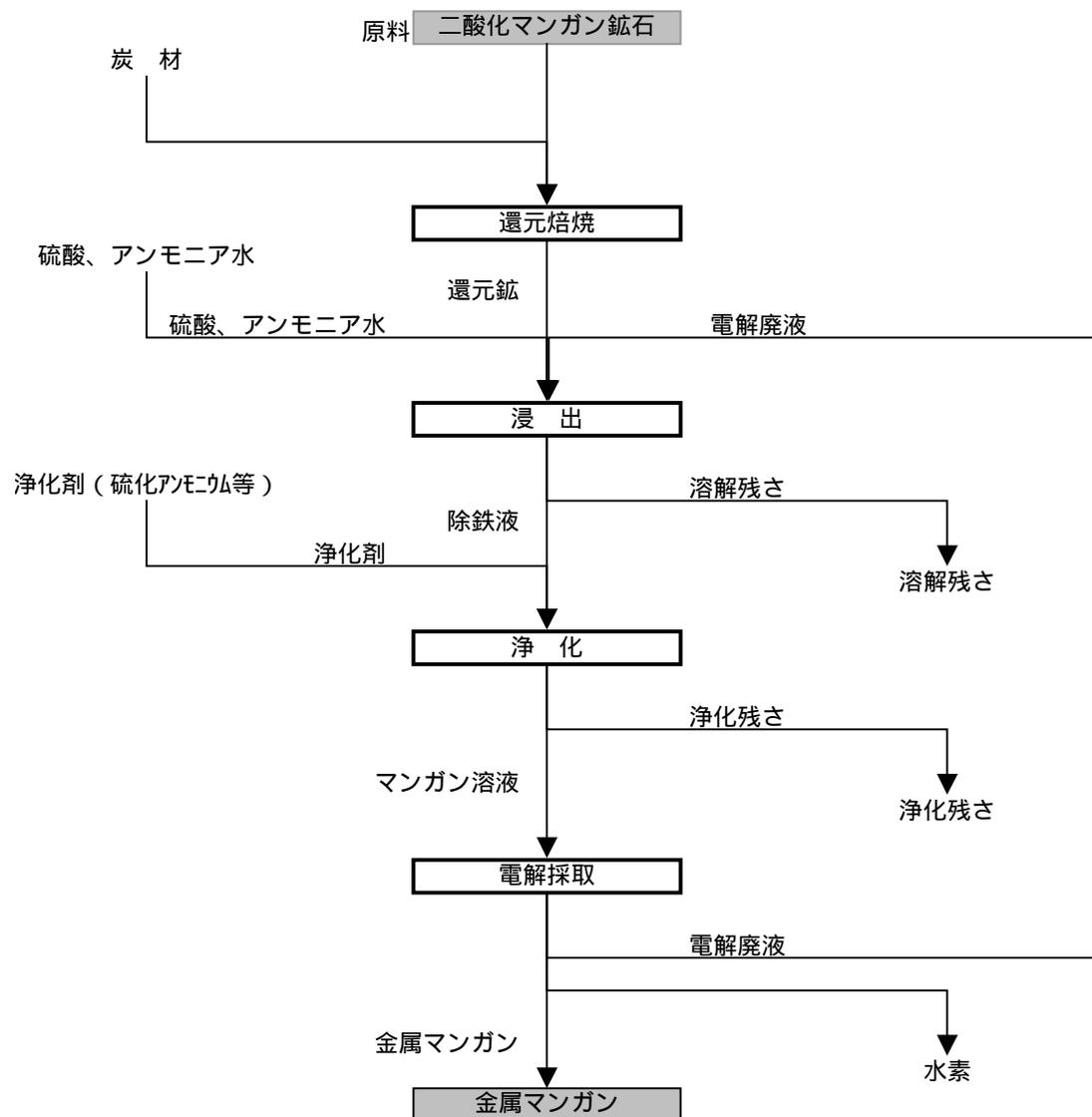
注) **【INPUT】**：当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

【OUTPUT】：当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

【設備データ】：当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】や**【設備データ】**、**【OUTPUT】**で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が多いなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

3) プロセスのフロー及び物質収支データの整理

プロセスのフロー

出典) 築田 裕, 中央電気工業㈱における電解金属マンガンの製造, 資源と素材 109 (1993) No.12
P.1091-

物質収支等データの整理

物質、エネルギー量は月当たりの値

プロセス	INPUT		OUTPUT		備考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
還元焙焼	二酸化 Mn 鉱石 (うち Mn) 炭 材 (コークス) コークス 電 力 燃 料	802 t (392 t) 108 t 3,260 GJ (不明) (不明)	還元鉱 (うち Mn) スラグ 【CO ₂ emission】	530 t (353 t) 294 t 317 t	MnO ₂ 鉱石の品位:48.85% 製錬工程全体における Mn 収率を 85%と仮定 Mn の収率を 90%と仮定 炭材は、反応に寄与した量のみ 反応した炭素は全てCO ₂ として排出 すると仮定 還元炉・ローラミル使用 コークス燃焼によるCO ₂ 排出を考慮
浸 出	還元鉱 (うち Mn) 電解廃液 その他添加物 (その他添加物) 硫 酸 アンモニア水 酸化剤 電 力	530 t (353 t) 73 t +α 14.7 GJ	除鉄液 (うち Mn) 溶解残さ 【CO ₂ emission】	572 t (349 t) 31 t+ 0.54 t	Mn の収率を 99%と仮定 鉄のみが除去されると仮定 硫酸、アンモニア水は、電解廃液不 足分の補給に用いる 酸化剤としては、電解採取時陽極に 生成するスライムもしくは二酸化マ ンガン鉱石を使用 電解廃液のロスはないと仮定 攪拌機 2.2 kW 使用と仮定 フィルタプレス 0.4kW 使用と仮定 25 日/月(1 日 24 時間)稼働とする
浄 化	除鉄液 (うち Mn) 浄化剤 電 力	572 t (349 t) +α 5.9 GJ	マンガン溶液 (うち Mn) 浄化残さ 【CO ₂ emission】	572 t (346 t) 0.2 t+ 0.22 t	浄化剤としては硫化アンモニウム等を使用 する Mn の収率を 99%と仮定 分離される対象は Zn、Ni、Co、As、 Mo と仮定 攪拌機 2.2 kW 使用と仮定 フィルタプレス 0.4kW 使用と仮定 10 日/月(1 日 24 時間)稼働とする
電解採取 (隔膜使用)	マンガン溶液 (うち Mn) 電 力	572 t (346 t) 25,197 GJ	金属マンガン (うち Mn) 電解廃液 水 素 酸 素 【CO ₂ emission】	333 t (333 t) 73 t 8 t 158 t 921 t	金属マンガン品位：99.96% 電解廃液は 浸出工程へ クロム製錬における電解採取時の物 質収支データを使用して算出 電力ロス分は全て水素の反応に寄与 していると仮定 電力効率：60～63% 水素は一部金属 Mn に吸蔵 電解時間:72～96hour 電解消費電力：8,000kWh/t-電解 Mn
合 計	【energy】	25,338 GJ	【CO ₂ emission】	934 t	

出所) 各種データより NRI 作成

参考) 築田 裕, 中央電気工業(株)における電解金属マンガンの製造, 資源と素材 109(1993)No.12 P.1091-
重村 均ら, ニッケルの電解精製について, ハイテク産業のための特殊金属と製錬技術 58-,
(株)化学工業社

(7) Co (コバルト)

1) 製錬の状況

製錬の方法

金属コバルトの原料は、銅・コバルト硫化鉱もしくは酸化鉱、コバルトを含む黄鉄鉱、そしてニッケル精錬時に発生するコバルト澱物が主なものである。

銅・コバルト硫化鉱（酸化鉱）からの製錬は、銅と併産される。コンゴ、ザンビアなどにおいて行われており、全世界のコバルト生産量のおよそ1/3を占めるとされる。

ニッケル製錬時のコバルト澱物からの製錬は、住友金属鉱山などが行っており、全世界のコバルトのうち約1/2を占めるとされる。

金属コバルトの製錬法	出発原料	主な生産者 「企業名、()内は国名」	本報告書で対象とした製錬法
硫酸化焙焼法 (銅と併産)	銅・コバルト硫化鉱	ZCCM (ザンビア)	×
酸化鉱からの電解法 (銅と併産)	銅・コバルト酸化鉱	Gecamines (コンゴ)	×
溶媒抽出 / 電解採取法 (Ni と併産)	ニッケル製錬時の不純分	住友金属鉱山 (日)	
加圧浸出製錬法 (シェリット法、Ni と併産)	ラテライト鉱石	西オーストラリアの企業など	×
(不明)	含コバルト黄鉄鉱	OMG (フィランド)	×
酸化焙焼法	ひ化鉱	INCO (カナダ)	×
ハイチーリング法	含コバルト硫化鉄	カセセ (ウガンダ)	×

出典) 2000年金属データブックより作成

国内での利用状況

金属コバルトの最終製品としての主用途	具体的な製品	国内需要量 (1998年)
特殊鋼	高速度鋼、一般工具、工作機械部品、航空機エンジン部品、ガスタービン部品等	682 Mt
磁性材料	永久磁石、テレビ、音響部材、磁気ディスク等	334 Mt
超硬工具	切削工具、耐磨工具等	344 Mt
触媒	-	214 Mt
管 / 板 / 棒 / 線	-	425 Mt
その他	顔料、ハウロウの下塗等	420 Mt

出典) 2000年金属データブック、金属鉱業事業団ホームページ等

2) 物質収支等データの整備状況

プロセス	使用したデータ		未取得のデータ
	文献等から取得したデータ	本報告書で仮定・推計したデータ	
浸出	【INPUT】 ・ Co 澱物 Ni 品位：29.3% Co 品位：6.5%	【INPUT】 ・ 硫酸投入量は、循環量を除いた純消費分として推計（物質収支は銅の湿式製錬を参考とした） ・ 消費した硫酸の製造時I補給 [*] -を推計 【OUTPUT】 ・ 消費した硫酸の製造時に排出するCO ₂ 量を推計 【設備データ】 ・ 攪拌機については、1基（定格出力2.2kW）使用と仮定 ・ フィルプレスについては、8基（定格出力0.4kW）使用と仮定 ・ 25日/月（24時間/日）稼動と仮定	【INPUT】 ・ 硫酸の投入量、循環量、硫酸の濃度 【OUTPUT】 ・ Coの回収率 ・ 浸出液の量 ・ 浸出液中のCo濃度 ・ 浸出残さの量 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入するI補給 [*] -の種類と消費量 ・ 浸出液の加熱等に要するI補給 [*] -の種類と消費量
溶媒抽出 (1),(2)		【INPUT】 ・ 塩酸、アンモニア水投入量は、循環量を除いた純消費分として推計（物質収支は銅の湿式製錬を参考とした） ・ 消費した硫酸、アンモニア水の製造時I補給 [*] -を推計 【OUTPUT】 ・ Coは全て分離されると仮定 ・ 消費した塩酸、アンモニア水の製造時に排出するCO ₂ 量を推計 【設備データ】 ・ 攪拌機については、2基（定格出力2.2kW）使用と仮定 ・ 25日/月（24時間/日）稼動と仮定	【INPUT】 ・ 塩酸、アンモニア水の投入量、循環量、液濃度 【OUTPUT】 ・ Coの回収率 ・ 抽出液（塩化コバルト液）の量 ・ 抽出液中のCo濃度 ・ 抽出残液の量 ・ 抽出残液中のCo濃度 ・ 抽出液のうちCo電解採取に回す量 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入するI補給 [*] -の種類と消費量 ・ 抽出液の加熱等に要するI補給 [*] -の種類と消費量
電解採取	【OUTPUT】 ・ 電気 Co 品位：99.92% ・ 電気 Co の月当たり生産量 【設備データ】 電解消費電力：3,400kWh/t- 電解 Co	【OUTPUT】 ・ Coの収率は99%と仮定	【OUTPUT】 ・ Coの回収率 ・ 電解後残液の量、Co濃度

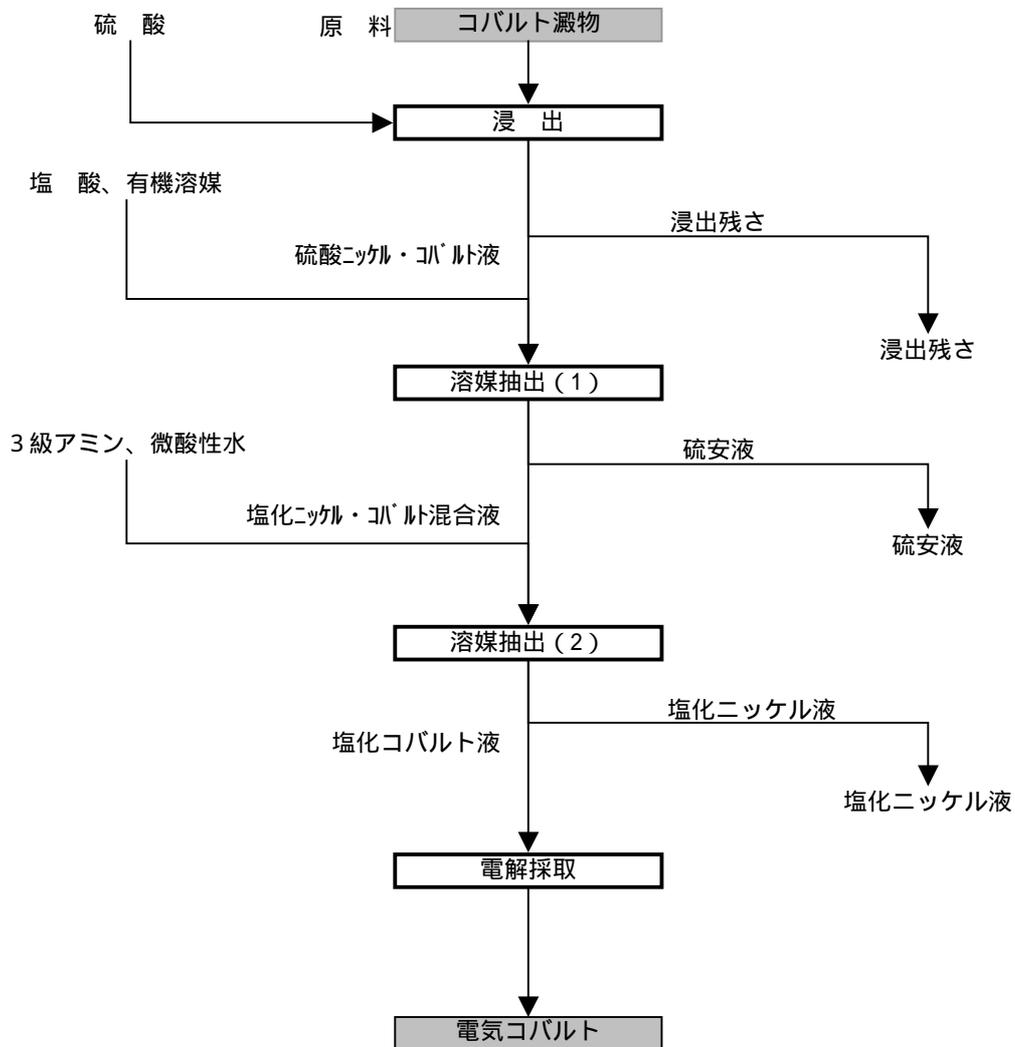
注) **【INPUT】**：当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

【OUTPUT】：当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

【設備データ】：当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】や**【設備データ】**、**【OUTPUT】**で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が大いなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

3) プロセスのフロー及び物質収支データの整理

プロセスのフロー

出典)石川 幸男ら,別子事業所におけるニッケル・コバルト製錬(住友金属工業株),資源と素材 109 (1993) No12 p.p.1072-1076

物質収支等データの整理

物質・エネルギー量は月当たりの量

プロセス	INPUT		OUTPUT		備考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
浸出	コバルト澱物 (うち Co) 硫酸 その他添加物 (その他添加物) 硫化水素 苛性ソーダ 電力 【硫酸製造】	209.4 t (13.6 t) 82.9 kL (152.5 t) +α 30.6 GJ 0.9 GJ*	浸出液 (うち浸出物) (うち Co) 浸出残さ 【CO ₂ emission】 (うち硫酸製造)	82.9 kL (86 t+) (12.5 t) 276 t-dry + 1.2 t (0.07 t*)	コバルト澱物の Ni 品位：29.3% Co 品位：6.5% フィルプレス：8 基(1 機 0.4kW と仮定) 攪拌機 1 基 2.2kW 使用と仮定 25 日/月(1 日 24 時間)稼働とする 硫化水素：脱銅剤 苛性ソーダ：脱鉄剤 硫酸製造は循環分を除く新規投入分を計上
溶媒抽出 (1),(2)	浸出液 (うち浸出物) (うち Co) アンモニア水 塩酸 その他添加物 (その他添加物) VA 酸,3 級アミン 微酸性水 電力 【塩酸製造】 【アンモニア水製造】	82.9 kL (86 t+) (12.5 t) 115.9 kL (108.3 t) 36.9 kL (43.9 t) +α 24.9 GJ 0.6 GJ* 7.2 GJ*	塩化コバルト (うち Co) 抽出残液 (うち塩化ニッケル) (うち硫酸アンモニウム)	22.9 t-dry + (12.5 t) 235.7 kL (31.8 t+) (68.6 t) 1.7 t (0.05 t*) (0.73 t*)	塩化コバルト液の一部は酸化コバルト製錬工程へ Co は全て抽出されると仮定 塩酸、アンモニアは、反応に寄与したものをだけを計上(循環のみの液量は含めず) 反応式から物質収支を算出 ミキサーセトラ：13 基(攪拌機 2.2kw を 2 基使用と仮定) 25 日/月(1 日 24 時間)稼働とする VA 酸、アミンは抽出剤として使用 VA 酸の希釈にはケロシン、アミン希釈にはキシレンを使用
電解採取	塩化コバルト (うち Co) 電力	8.0 t-dry (4.4 t) 139 GJ	電気コバルト (うち Co) 塩素ガス 残液	4.3 t (4.3 t) 3.6 t 0.08 t-dry 5.1 t	電気コバルト品位：99.92% コバルトの収率を 99% と仮定 塩素ガスは、Ni 製錬工程に再投入 25 日/月(1 日 24 時間)稼働 電解消費電力：3,400kWh/t-電解 Co
合計	【energy】 (うち原料製造)	203 GJ (8.7 GJ*)	【CO ₂ emission】 (うち原料製造)	8.0 t (0.8 t*)	

出所) 各種データより NRI 作成

参考) 石川 幸男ら, 別子事業所におけるニッケル・コバルト製錬(住友金属工業株), 資源と素材 109 (1993) No12 p.p.1072-1076

小野 長城, ニッケル・コバルトの溶媒抽出法による分離精製の工業化, 日本鉱業会誌/95 1098 ('79-8) p.p.441-44

注) 溶媒抽出工程におけるアンモニア水は、抽出時の pH 調整のために供給するものであり、硫酸液として回収されたのち、アンモニアとして回収・再利用される。

(8) Ni (ニッケル)

1) 製錬の状況

製錬の方法

金属ニッケルの原料としては、埋蔵量の多いラテライト鉱(酸化鉱)の他、硫化鉱などがある。ラテライト鉱については、ニカロ法や加圧硫酸浸出法といった多様な湿式製錬が開発されている。一方、硫化鉱は乾式製錬されることが多い。

金属ニッケルの製錬法	出発原料	主な生産者 「企業名、()内は国名」	本報告書で対象とした製錬法
ヒピネット法 (Hybinette 法)	硫化鉱	INCO 社(カナダ)、住友金属鉱山(日)等	×
シェリット法 (Sherritt Gordon 法)	硫化鉱	WMC(豪)等	×
エルケム法等	酸化鉱(ガーニイト)	Morro de Nickel(ブラジル)等	×
ニカロ法等	酸化鉱(ラテライト)	Nicar Freeport Queens Nickel()等	×
自溶炉法 / マット電解法	ニッケル硫化精鉱	-	×
MCLE 法	ニッケルマット	住友金属鉱山(日)	
カーボニル法	Ni-Cu 精鉱	INCO 社(カナダ)	×
加圧硫酸浸出法	酸化鉱(ラテライト)	豪州企業等	×

出典) 2000 年金属データブック等より作成

国内での利用状況

金属ニッケルの最終製品としての主用途	具体的な製品	国内需要量 (1998 年)
特殊鋼	航空機部品、建材、耐熱材部品等	41,404 t
磁性材料	スピーカー、モーター等	3,464 t
非鉄合金	電子・通信機器等	3,494 t
めっき	自動車用鋼板、家電部材、自転車部材等	5,624 t
触媒	石油精製、油脂加工等	605 t
蓄電池	ニッケル・水素電池、燃料電池等	4,160 t
その他	磁気カード等	6,643 t

出典) 2000 年金属データブック、金属鉱業事業団ホームページ等

2) 物質収支等データの整備状況

プロセス	使用したデータ		未取得のデータ
	文献等から取得したデータ	本報告書で仮定・推計したデータ	
浸出	【INPUT】 ・ニッケルマットの Ni 品位：73.6% ・ニッケルマットの月当たり投入量 【OUTPUT】 ・残さの Ni 品位:1% 【設備データ】 ・温度：60 ・滞留時間 6～8hour	【設備データ】 ・攪拌機については、1基（定格出力 5.5kW）使用と仮定 ・フィルタプレスについては、1基（定格出力 0.4kW）使用と仮定 ・25日/月（24時間/日）稼動と仮定	【INPUT】 ・塩化ニッケル溶液の投入量 【OUTPUT】 ・浸出液の量 ・残さの量 ・Niの回収率 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するエネルギーの種類と消費量 ・浸出液の加熱等に要するエネルギーの種類と消費量
塩素浸出	【INPUT】 ・残さの Ni 品位:1% 【OUTPUT】 ・浸出液中 Ni 品位:50% 【設備データ】 ・温度：110℃ ・滞留時間：4～6hour	【OUTPUT】 ・Ni 浸出率：99% 【設備データ】 ・攪拌機については、1基（定格出力 2.2kW）使用と仮定 ・フィルタプレスについては、1基（定格出力 0.4kW）使用と仮定 ・25日/月（24時間/日）稼動と仮定	【INPUT】 ・塩素の投入量 【OUTPUT】 ・Niの浸出率 ・浸出液後残さの量、Ni品位 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するエネルギーの種類と消費量 ・浸出液の加熱等に要するエネルギーの種類と消費量
脱 Cu 電解	【OUTPUT】 ・Cu 粉中 Ni 品位:1% 【設備データ】 ・電流密度:300～400A/m ² ・電解消費電力:346MWh/月	【OUTPUT】 ・電解で発生する塩素ガスの再利用は考慮していない	【INPUT】 ・塩素進出液の投入量 【OUTPUT】 ・塩化ニッケル液の量、Ni品位 ・Cu 粉の量 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・電解液の加熱等に要するエネルギーの種類と消費量
塩素酸化	【OUTPUT】 ・脱 Co 後ニッケル液の Co 品位:0.004%	【OUTPUT】 ・ニッケル収率を 99%と仮定 ・余剰塩素ガスから塩酸を生成する際のエネルギーは考慮していない 【設備データ】 ・攪拌機については、1基（定格出力 2.2kW）使用と仮定 ・フィルタプレスについては、1基（定格出力 0.4kW）使用と仮定 ・25日/月(24時間/日)稼動と仮定	【INPUT】 ・塩素ガスの投入量 【OUTPUT】 ・脱 Co 後ニッケル液の量、Ni品位 ・ニッケル回収率 ・Co 澱物の量 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するエネルギーの種類と消費量
電解採取	【OUTPUT】 ・電解 Ni 品位:99.98% 【設備データ】 ・電解消費電力:2,000kWh/t-電解 Ni	【OUTPUT】 ・ニッケル収率を 99%と仮定	【INPUT】 ・塩素ニッケル液の量 【OUTPUT】 ・ニッケルの収率 ・塩素ガス発生量 ・電解後の残液量、Ni品位

注) **【INPUT】**：当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

【OUTPUT】：当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

【設備データ】：当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】や**【設備データ】**、**【OUTPUT】**で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が大きいなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

物質収支等データの整理

物質質量、エネルギー量は月当たりの値

プロセス	INPUT		OUTPUT		備考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
浸出	ニッケルマット (うち Ni) 塩化ニッケル溶液 その他添加物 (その他添加物) マット 電力	2,744 t (2,020 t) 334 t-dry +α 33 GJ	浸出液 (うち Ni) 残さ 【CO ₂ emission】	2,525 t-dry (2,017 t) 553 t+ 1.22 t	ニッケルマットの Ni 品位：73.6% 浸出液は工程へ 温度：60 滞留時間 6～8hour 添加物は脱銅剤として 攪拌機 5.5 kW 使用と仮定 フィルタプレス 0.4kW 使用と仮定 25 日/月(1 日 24 時間)稼働とする
塩素浸出	残さ 塩素ガス 電力	553 t 271 t 15 GJ	塩素浸出液 残さ 【CO ₂ emission】	547 t-dry 276 t 0.54 t	残さの主成分は硫黄 残さの Ni 品位：1% 温度：110℃, Ni 浸出率：99% 滞留時間：4～6hour 攪拌機 2.2 kW 使用と仮定 フィルタプレス 0.4kW 使用と仮定 25 日/月(1 日 24 時間)稼働とする
脱 Cu 電解	塩素浸出液 電力	547 t-dry 3,269 GJ	塩化ニッケル溶液 Cu 粉 塩素ガス 【CO ₂ emission】	334 t-dry (浸出へ) 101 t 112 t 120 t	塩素浸出液 Ni 品位：50% Cu 粉 Ni 品位 1% 電流密度：300～400A/m ² 電解消費電力：346MWh/月
塩素酸化	浸出液 (うち Ni) 塩素ガス その他添加物 (その他添加物) 活性ニッケル粉 炭酸ニッケル 電力	2,525 t-dry (2,017 t) 2,022 t +α 15 GJ	脱 Co 後ニッケル (うち Ni) コバルト澱物 【CO ₂ emission】	4,338 t-dry (1,997 t) 209 t+ 0.54 t	Ni の収率を 99%と仮定 ニッケル純液の Co 品位：0.004% コバルト澱物は、Co 製錬工程へ 余剰の塩素ガスから塩酸を生成 攪拌機 2.2 kW 使用と仮定 フィルタプレス 0.4kW 使用と仮定 25 日/月(1 日 24 時間)稼働とする
電解採取	脱 Co 後ニッケル (うち Ni) 塩化ニッケル その他添加物 (その他添加物) 塩化浴 電力	4,338 t-dry (1,997 t) 31.8 t-dry +α 37,370 GJ	電気ニッケル (うち Ni) 塩素ガス 【CO ₂ emission】	1,978 t (1,977 t) 2,392 t+ 1,366 t	電気ニッケル品位：99.98% Ni の収率を 99%と仮定 塩化ニッケル液は、Co 製錬工程より 発生した残液 電解消費電力：2,000kWh/t-電解 Ni
合計	【energy】	40,702 GJ	【CO ₂ emission】	1,488 t	

出所) 各種データより NRI 作成

参考) 石川 幸男ら, 別子事業所におけるニッケル・コバルト製錬(住友金属工業株), 資源と素材 109 (1993) No12 p.p.1072-1076

(9) Ga (ガリウム)

1) 製錬の状況

製錬の方法

ガリウムは、独自の鉱石がない。金属ガリウムの主な原料としては、ボーキサイト由来の原料（アルミナ製造工程で発生するバイヤー液）、亜鉛鉱由来の原料（湿式製錬で発生する残さ）がある。ボーキサイトには $10^{-2} \sim 10^{-3}\%$ のガリウムが含まれており、閃亜鉛鉱には、 $10^{-2} \sim 10^{-4}\%$ のガリウムが含有される。

国内では、同和鉱業が国内で算出する亜鉛鉱から、選択性イオン交換樹脂（キレート樹脂）を利用してガリウムの回収を行っている例がある。

金属ガリウムの製錬法	出発原料	主な生産者 「企業名、()内は国名」	本報告書で対象とした製錬法
炭酸ガス法	アルミナ製造工程におけるバイヤー液	Alcoa (米) 等	×
樹脂吸着法	アルミナ製造工程におけるバイヤー液	住友化学 (日) 等	×
エルケム法	Al 電解から発生する回収ダスト	Elkem (米) 等	×
アマルガム法	含 Ga 鉄泥 (湿式亜鉛製錬工程から)	Eagle Picher Industries Inc. (米) 等	
同和鉱業改良法	亜鉛鉱 (黒鉱)	同和鉱業 (日)	×
塩素化法	GaAs スクラップ	住友金属鉱山 (日)	×

出典) 2000 年金属データブックより作成

国内での利用状況

金属ガリウムの最終製品としての主用途	具体的な製品
半導体分野	デバイス材料、発光ダイオード、トランジスタ、集積回路、半導体レーザー、太陽電池等
マイクロエレクトロニクス分野	マイクロ波用電子デバイス等
合金分野	低融点合金、歯科用合金、超伝導材料等
その他	スキー用ワックス等

出典) 2000 年金属データブック、金属鉱業事業団ホームページ等

2) 物質収支等データの整備状況

プロセス	使用したデータ		未取得のデータ
	文献等から取得したデータ	本報告書で仮定・推計したデータ	
浸出	【OUTPUT】 ・残さ中 Ga 品位:0.09% ・浸出液中 Ga 濃度:0.27g/L	【OUTPUT】 ・浸出率 90%と仮定 【設備データ】 ・遠心分離機 1 基(定格出力 55kW) ・攪拌機 1 基(2.2 kW)使用と仮定 ・25 日/月(1 日 24 時間)稼動と仮定	【INPUT】 ・硫酸の投入量、循環量 【OUTPUT】 ・Ga の浸出率 (回収率)、浸出残さ量 【設備データ】 動力、処理能力等の仕様、投入するエネルギーの種類と消費量
脱銅		【OUTPUT】 ・Ga のロスとゼロと仮定、銅が全て CuS として除去されるとして物質収支を計算 【設備データ】 攪拌機 1 基(定格出力 2.2 kW)、フィルター 1 基(0.4kW)使用と仮定 ・25 日/月(1 日 24 時間)稼動と仮定	【INPUT】 ・硫化水素の投入量 【OUTPUT】 ・脱銅ケーキの量、脱銅後浸出液の量 【設備データ】 動力、処理能力等の仕様、投入するエネルギーの種類と消費量
溶媒抽出 (1)	【OUTPUT】 ・Ga 抽出率: 90% ・抽出尾液 Ga 濃度: 0.027g/L	【INPUT】 ・VA 酸投入量は抽出液量(推計)を元に推計 【OUTPUT】 ・抽出液中 Ga 濃度を 2.5g/L と仮定して抽出液量を推計 【設備データ】 攪拌機 1 基(2.2 kW)使用と仮定、25 日/月(1 日 24 時間)稼動と仮定	【INPUT】 ・VA 酸の投入量、循環量 【OUTPUT】 ・抽出液中 Ga 濃度 【設備データ】 動力、処理能力等の仕様、投入するエネルギーの種類と消費量
逆抽出		【INPUT】 ・塩酸投入量は、循環量を除いた純消費分として推計(物質収支は銅の湿式製錬を参考とした)、塩酸の製造時エネルギーを推計 【OUTPUT】 Ga 抽出率を 95%と仮定 【設備データ】 攪拌機 1 基(1.5kW)使用と仮定、15 日/月(1 日 24 時間)稼動と仮定 ・塩酸製造時のCO ₂ 排出量を推計	【INPUT】 ・塩酸の投入量、循環量 【OUTPUT】 ・逆抽出液の量、尾液の量 ・Ga 濃度 【設備データ】 動力、処理能力等の仕様、投入するエネルギーの種類と消費量
溶媒抽出 (2)		【OUTPUT】 ・Ga 抽出率を 95%と仮定 ・I-液液中 Ga 濃度 30g/L と仮定 【設備データ】 ・攪拌機 1 基(1.5kW)使用と仮定 ・10 日/月(1 日 24 時間)稼動と仮定	【INPUT】 I-液の投入量、循環量 【OUTPUT】 ・I-液液量、抽出尾液量、Ga 濃度 【設備データ】 動力、処理能力等の仕様、投入するエネルギーの種類と消費量
逆抽出		【OUTPUT】 Ga 抽出率を 97%と仮定 ・逆抽出中 Ga 濃度 35g/L と仮定 【設備データ】 攪拌機 1 基(1.5kW)使用と仮定、5 日/月(1 日 24 時間)稼動と仮定	【INPUT】 逆抽出水の投入量、循環量 【OUTPUT】 抽出液、残液量、Ga 濃度 【設備データ】 動力、処理能力等の仕様、投入するエネルギーの種類と消費量
脱鉄・ろ過		【INPUT】 ・苛性ソーダ量は 20%過剰として推計 ・苛性ソーダの製造時エネルギーを推計 【OUTPUT】 ・Ga のロスとゼロと仮定	【INPUT】 ・苛性ソーダ量の投入量 【OUTPUT】 ・脱鉄ケーキ量、含 Ga 液量、Ga 濃度 【設備データ】 動力、処理能力等の仕様、投入するエネルギーの種類と消費量
逆中和	【OUTPUT】 ・水酸化 Ga 中 Ga 品位: 34%	【OUTPUT】 ・Ga のロスとゼロと仮定	【INPUT】 硫酸の投入量、循環量 【OUTPUT】 水酸化 Ga 量、残液量、Ga 濃度、Ga 収率 【設備データ】 動力、処理能力等の仕様、投入するエネルギーの種類と消費量
電解採取	【OUTPUT】 ・金属 Ga 品位: 99.99% 【設備データ】 ・電解消費電力:15,000kWh/t-電解 Ga	【OUTPUT】 ・Ga 収率 97%と仮定	【INPUT】 ・電解液量 【OUTPUT】 ・電解後残さ量 【設備データ】 動力、処理能力等の仕様、投入するエネルギーの種類と消費量

注) **【INPUT】** : 当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

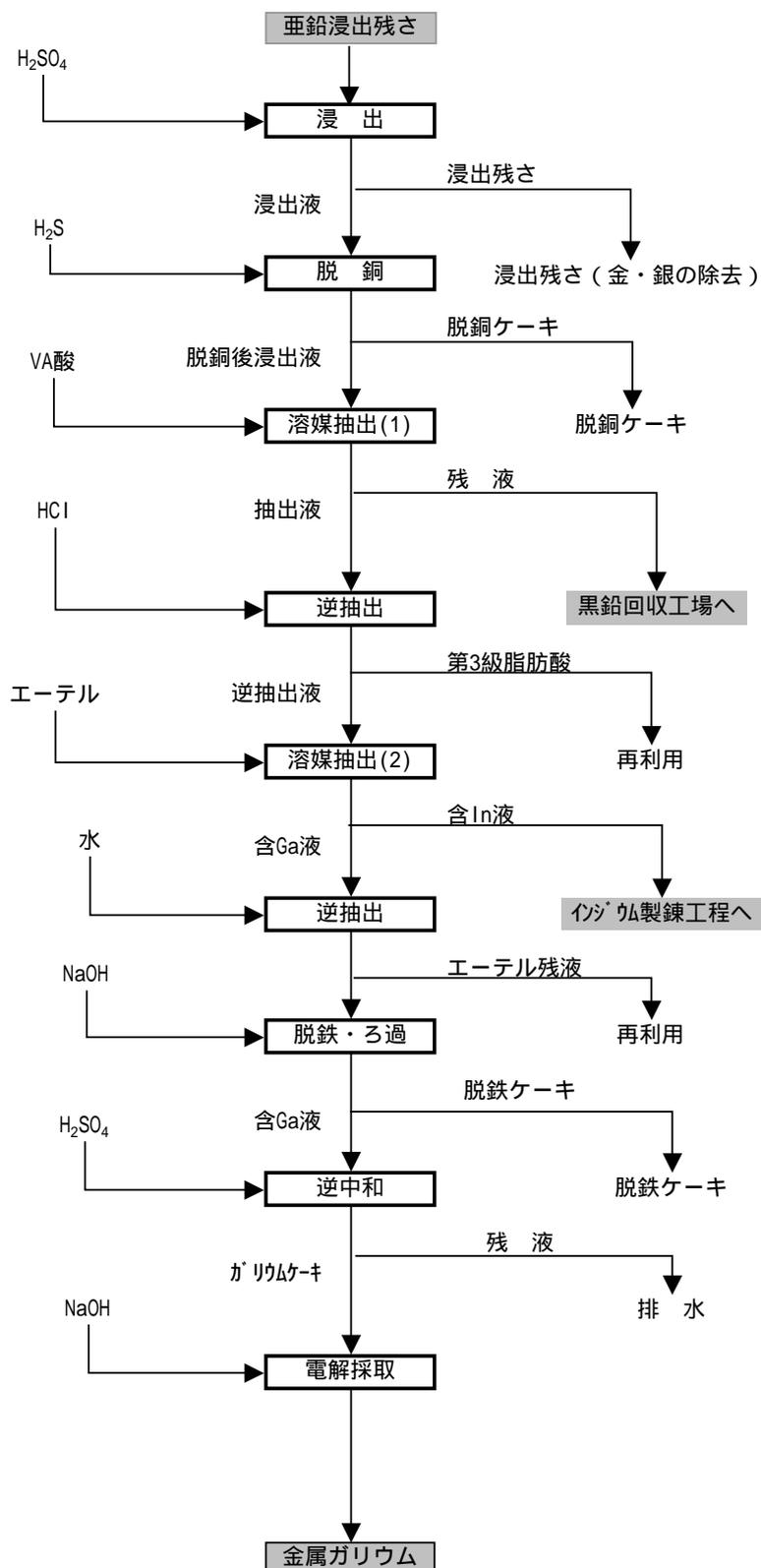
【OUTPUT】: 当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

【設備データ】: 当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】 や **【設備データ】**、**【OUTPUT】** で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が大いなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

3) プロセスのフロー及び物質収支データの整理

プロセスのフロー



出典) 阿部 秀来, "ガリウム,インジウムの製錬", 日本鉱業会誌 93 1070 ('77-4) 323-

物質収支等データの整理

物質質量、エネルギー量は月当たり

プロセス	INPUT		OUTPUT		備考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
浸出	亜鉛浸出残さ (うち Ga) 硫酸 電力 【硫酸製造】	323 t (291 kg) 969 kL 24.9 GJ 1.4 GJ*	浸出液 (うち Ga) (Gaを除く浸出量) 浸出残さ 【CO ₂ emission】 (うち硫酸製造)	969 kL (262 kg) (291 t) 32 t 1.02 t (0.11 t*)	残さ中 Ga 品位 0.09% 浸出率 90%と仮定 浸出液中 Ga 濃度: 0.27g/L 遠心分離機 1 基 (55kW とする) 攪拌機 2.2 kW 使用と仮定 25 日/月(1 日 24 時間)稼働とする 硫酸製造の環境負荷を考慮
脱銅	浸出液 (うち Ga) 硫化水素 電力	969 kL (262 kg) 2.1 t 14.7 GJ	脱銅後浸出液 (うち Ga) 脱銅ケーキ 【CO ₂ emission】	969 kL (262 kg) 5.8 t 0.54 t	Ga の損失はゼロと仮定 銅を硫化物として除去 攪拌機 2.2 kW 使用と仮定 フィルタレス 0.4kW 使用と仮定 25 日/月(1 日 24 時間)稼働とする
溶媒抽出 (1)	脱銅後浸出液 (うち Ga) VA 酸 アンモニアガス 電力	969 kL (262 kg) 94 kL +α 12.5 GJ	抽出液 (うち Ga) 抽出尾液 【CO ₂ emission】	94 kL (236 kg) 969 kL 0.46 t	VA 酸: パーサスチック酸 抽出率: 90% 亜鉛が除去される 攪拌機 2.2 kW 使用と仮定 25 日/月(1 日 24 時間)稼働とする VA 酸製造の環境負荷は考慮せず
逆抽出	抽出液 (うち Ga) 塩酸 電力 【塩酸製造】	94 kL (236 kg) 75 kL 5.1 GJ 0.4 GJ*	逆抽出液 (うち Ga) 逆抽出尾液 【CO ₂ emission】 (うち塩酸製造)	75 kL (224 kg) 94 kL 0.22 t (0.03 t*)	抽出率 95%と仮定 攪拌機 1.5kW 使用と仮定 15 日/月(1 日 24 時間)稼働とする 塩酸製造の環境負荷を考慮
溶媒抽出 (2)	逆抽出液 (うち Ga) エーテル 電力	75 kL (224 kg) 7.1 kL 3.4 GJ	エーテル液 (うち Ga) 抽出尾液 【CO ₂ emission】	7.1 kL (213 kg) 75 kL 0.12 t	抽出率 95%と仮定 E-テル中 Ga 濃度 30g/L と仮定 攪拌機 1.5kW 使用と仮定 10 日/月(1 日 24 時間)稼働とする E-テル製造の環境負荷は考慮せず
逆抽出	エーテル液 (うち Ga) 水 電力	7.1 kL (213 kg) 5.9 kL 1.7 GJ	逆抽出液(水相) (うち Ga) エーテル液 【CO ₂ emission】	5.9 kL (206 kg) 7.1 kL 0.06 t	E-テル: IPE(イブロン)E-テル 抽出率 97%と仮定 攪拌機 1.5kW 使用と仮定 5 日/月(1 日 24 時間)稼働とする
脱鉄・ろ過	逆抽出液(水相) (うち Ga) 苛性ソーダ 電力 【苛性ソーダ製造】	5.9 kL (206 kg) 1.7 t (不明) 19.6 GJ	含 Ga 液 (うち Ga) 脱鉄ケーキ 【CO ₂ emission】 (うち苛性ソーダ製造)	5.9 kL (206 kg) 1.2 t 1.60 t (1.60 t)	Ga の損失はゼロと仮定 高温・高圧下で脱鉄される。除去されるのは鉄のみ 苛性ソーダは 20%過剰 苛性ソーダの生産に係るエネルギーを考慮
逆中和	含 Ga 液 (うち Ga) 硫酸 電力	5.9 kL (206 kg) +α (不明)	水酸化ガリウム (うち Ga) 残液 【CO ₂ emission】	606 kg (206 kg) 5.9 kL + (不明)	pH 調整により Ga(OH) ₃ を沈澱分離 水酸化 Ga 中の Ga 品位:34% Ga の損失はゼロと仮定
電解採取	水酸化ガリウム (うち Ga) 電解液 電力	606 kg (206 kg) 1.5 kL 28.3 GJ	金属ガリウム その他 【CO ₂ emission】	200 kg 406 kg 1.04 t	金属ガリウム品位: 99.99% Ga 収率 97%と仮定 電解液: 苛性ソーダ 槽電圧 3.5V, 電流密度 2,000A/m ² , 電流効率平均 30%, 電解温度 45~50 電解消費電力: 15,000kWh/t-電解 Ga
合計	【energy】 (うち原料製造)	112 GJ (21 GJ*)	【CO ₂ emission】 (うち原料製造)	5.1 t (1.7 t*)	

出所) 各種データより NRI 作成

参考) 阿部 秀来, "ガリウム, インジウムの製錬", 日本鉱業会誌 93 1070 ('77-4) 323

栢田 均, "ガリウム, インジウムの電解", (株) 化学工業社 別冊化学工業 30-8 p.72

(10) Zr (ジルコニウム)

1) 製錬の状況

製錬の方法

金属ジルコニウムの主原料となる鉱石としては、ジルコンサンド ($ZrO_2, SiO_2, ZrSiO_4$) とバデライトの2種がある。通常はジルコンサンドを原料として利用する。

製錬法としては、ハフニウムの分離法によって区別され、塩酸-MIBK系の溶媒抽出による分離法、または塩化物(四塩化ハフニウム)の蒸留による分離法(Kroll法)がある。

得られた金属ジルコニウムの95%程度は原子力用途で利用されている。

金属ジルコニウムの製錬法	出発原料	主な生産者 「企業名、()内は国名」	本報告書で対象とした製錬法
塩酸-MIBK法	ジルコンサンド	Oremet-Wah Cheng (米) Westinghouse Electric Company (米)	
塩化物蒸留法 (Kroll法)	ジルコンサンド	CEZUS (仏)	×

出典) 2000年金属データブックより作成

国内での利用状況

金属ジルコニウムの最終製品としての主用途	具体的な製品	国内需要量 (2000年推定)
管 材	燃料被覆管、燃料部材等	450 t
板 材	チャンネルボックス等	180 t
棒 材	端栓棒等	50 t

注) 原子力発電用合金の需要として

出典) 2000年金属データブック、金属鉱業事業団ホームページ等

2) 物質収支等データの整備状況

プロセス	文献等から 取得したデータ	使用したデータ		未取得のデータ
		本報告書で仮定・推計 したデータ		
珪加溶融		【INPUT】 ・ジルコナイト中ZrO ₂ 濃度を64%として計算 ・消費した苛性ソーダの製造時IHP ¹⁾ -を推計 【OUTPUT】 ・SiO ₂ は全て分離されると仮定 ・Zrの収率を98%と仮定 ・消費した苛性ソーダの製造時に排出するCO ₂ 量を推計	【INPUT】 ・ジルコナイトの投入量、Zrの品位 ・水酸化Naの投入量 【OUTPUT】 ・ジルコニアソーダの量、Zr品位 ・分離されるケイ酸ソーダの量 【設備データ】 使用した設備の種類、動力、処理能力等の仕様、投入するIHP ¹⁾ -の種類と消費量、溶融時の加熱等に要するIHP ¹⁾ -の種類と消費量	
硫酸溶解		【INPUT】 ・硫酸投入量は、循環量を除いた純消費分として推計(物質収支は銅の湿式製錬を参考とした) ・消費した硫酸の製造時IHP ¹⁾ -を推計 【OUTPUT】 ・ジルコニアソーダは全て溶解すると仮定 ・消費した苛性ソーダの製造時に排出するCO ₂ 量を推計 【設備データ】 ・攪拌機1基(出力1.5kW)使用と仮定、5日/月(24時間/日)稼動と仮定	【INPUT】 ・硫酸の投入量、循環量 【OUTPUT】 ・ジルコニアソーダの溶解量 ・溶液の量、Zr濃度 【設備データ】 ・使用した設備の種類 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するIHP ¹⁾ -の種類と消費量 ・溶解時の加熱等に要するIHP ¹⁾ -の種類と消費量	
溶媒抽出		【OUTPUT】 ・物質収支は、Ta製錬における溶媒抽出のデータを参考にして推計 ・Zr抽出率を99%と仮定 【設備データ】 ・ミキサーにおいて攪拌機1基(定格出力1.5kW)使用と仮定 ・5日/月(24時間/日)稼動と仮定	【INPUT】 抽出液の投入量、循環量 【OUTPUT】 ・抽出液の量、Zr濃度 ・抽出尾液の量、Zr濃度、Zrの抽出率 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するIHP ¹⁾ -の種類と消費量 ・加熱等に要するIHP ¹⁾ -の種類と消費量	
沈殿・焙焼	【設備データ】 ・約800	【OUTPUT】 ・Zrの収率を98%と仮定	【INPUT】 アンモニア水の投入量 【OUTPUT】 ・酸化ジルコニウムの量、Zr品位 ・液蒸発量、残渣の量、Zr濃度 ・Zrの収率 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するIHP ¹⁾ -の種類と消費量	
塩化	【設備データ】 ・1,000 ~ 1,300 で流動塩化	【INPUT】 ・消費した硫酸の製造時IHP ¹⁾ -を推計 【OUTPUT】 ・物質収支は、Ti製錬における塩化工程のデータを参考にして推計 ・酸化Zrの品位を93%と仮定 ・四塩化Zrの品位を98%と仮定 ・消費した塩酸の製造時に排出するCO ₂ 量を推計	【INPUT】 ・塩素、炭素の投入量 【OUTPUT】 ・四塩化Zrの量、Zr品位 ・不純物量、Zr濃度 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するIHP ¹⁾ -の種類と消費量	
還元・蒸留分離	【OUTPUT】 ・Zr品位: 99.6% 【設備データ】 ・電熱炉使用 ・800~850	【OUTPUT】 ・物質収支は、Ti製錬における還元工程のデータを参考にして推計 ・酸化Zrの品位を93%と仮定 ・製錬工程全体のZr収率を90%と仮定	【INPUT】 ・Mg投入量 【OUTPUT】 ・塩化Mg量、塩素発生量、Mg回収量、Zr収率 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するIHP ¹⁾ -の種類と消費量	

注) **【INPUT】** : 当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

【OUTPUT】: 当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

【設備データ】: 当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】や**【設備データ】**、**【OUTPUT】**で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が大いなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

物質収支等データの整理

物質、エネルギー量は月当たりの値

プロセス	INPUT		OUTPUT		備考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
アルカリ溶融	ジルコンサンド (うち Zr) 水酸化ナトリウム その他添加物 (その他添加物) 水 電力 【苛性ソーダ製造】	16.5 t (7.8 t) 11.0 t +α (不明) 126.6 GJ	ジルコニアソーダ (うち Zr) ケイ酸ソーダ 【CO ₂ emission】 (うち苛性ソーダ製造)	16.5 t (7.7 t) 11.1 t+ 10.3 t (10.3 t)	ジルコニウム製錬全体における収率を90%と仮定 アルカリ溶融工程における収率を98%と仮定 SiO ₂ を全て除去すると仮定 水リーフingによってケイ酸ソーダを分離 苛性ソーダ生産に係る環境負荷を考慮する
硫酸溶解	ジルコニアソーダ (うち Zr) 硫酸 電力 【硫酸製造】	16.5 t (7.7 t) 5.6 kL (10.3 t) 1.7 GJ 0.06 GJ*	硫酸ジルコニア溶液 (うち Zr) (その他) 【CO ₂ emission】 (うち硫酸製造)	5.6 kL (7.7 t) (19.1 t) 0.1 t (0.004 t*)	全て溶解すると仮定 攪拌機 1.5 kW 使用と仮定 5日/月(1日24時間稼動と仮定 硫酸生産に係る環境負荷を考慮 (循環分を除く新規投入分について 銅製錬データを参考に計算)
溶媒抽出	硫酸ジルコニア溶液 (うち Zr) (その他) 抽出溶媒 電力	5.6 kL (7.7 t) (19.1 t) 3.4 kL 1.7 GJ	抽出液 (うち Zr) (その他) 抽出尾液 【CO ₂ emission】	3.4 kL (7.6 t) (18.1 t) 5.6 kL (1.1 t) 0.1 t	抽出溶媒としては、アミノトリメチルエーテルをメタノールとアルコールで希釈したものを使用 Ta 製錬における溶媒抽出をもちいて物質収支を算出 Zr の収率 99%と仮定 ミキサ使用(攪拌機 1.5 kW と仮定) 5日/月(1日24時間稼動と仮定)
沈殿・焙焼	抽出液 (うち Zr) (その他) アンモニア水 【燃料】	3.4 kL (7.6 t) (18.1 t) +α (不明)	酸化ジルコニウム (うち Zr) 残滓 【CO ₂ emission】	10.1 t (7.5 t) 8.0 t+ (不明)	Zr の収率を98%と仮定 約 800
塩化	酸化ジルコニウム (うち Zr) 塩素 炭素 電力 【塩素生産】	10.1 t (7.5 t) 11.0 t 1.1 t (不明) 85.3 GJ	四塩化ジルコニウム (うち Zr) 低沸点不純物 【CO ₂ emission】 (うち塩素製造)	18.1 t (7.1 t) 4.2 t 7.0 t (7.0 t)	Ti 製錬における塩化工程を用いて物質収支を算出 酸化ジルコニウムの品位：93%と仮定 四塩化ジルコニウムの品位：98%と仮定 1,000～1,300 で流動塩化 塩素生産に係る環境負荷を考慮
還元・蒸留分離	四塩化ジルコニウム (うち Zr) マグネシウム 電力	18.1 t (7.1 t) 5.7 t (不明)	ジルコニアボーン (うち Zr) MgCl ₂ 塩素 Mg (未反応) 【CO ₂ emission】	7.1 t (7.1 t) 14.5 t 0.3 t 2.0 t (不明)	Ti 製錬における還元工程を用いて物質収支を算出 Zr 品位：99.6% 800～850 で還元 電熱炉使用
合計	【energy】 (うち原料製造)	215 GJ (212 GJ*)	【CO ₂ emission】 (うち原料製造)	17.4 t (17.3 t*)	

出所) 各種データより NRI 作成

参考) 小窪 勇平, 日本鋳業(中央研究所)におけるジルコニウム, ハフニウム製錬, 日本鋳業会誌/97

1122 (81-8) p877-

のマグネシウム還元では、相当の熱量を加熱に要する。

(11) Nb (ニオブ)

1) 製錬の状況

製錬の方法

金属ニオブは、タンタルと同一鉱石中に含有されることがある。現在では、パイオクロア鉱石（タンタルとニオブの両方を含有）が供給源として主流となっている。この他、コロムバイト、タンタライトの各鉱石が金属ニオブの原料となる。ニオブは、これらの鉱石中においてNb₂O₅の形で含有される。

金属ニオブの製錬法としては、パイロクロア鉱石を粉砕・磁選鉱、浮遊選鉱等を経て精鉱とした後、溶媒抽出によって高純度酸化物に転換し、テルミット還元する方法などが採られている。

金属ニオブの製錬法	出発原料	製錬の状況	本報告書で対象とした製錬法
溶媒抽出 / NbC またはCによる還元法	パイオクロア鉱石、タンタライト鉱石等	最も一般的に行われている	
テルミット還元 / 塩化法	パイオクロア鉱石	Teledyne Wah Chang Albany (米) 等	×

出典) 2000年金属データブックより作成

国内での利用状況

金属ニオブの最終製品としての主用途	具体的な製品
超伝導用途	Nb-Ti合金、Nb ₃ Sn化合物等
耐食材料用途	ハフニウム添加ニオブ合金等
電子工業用途	ナトリウムランプ等

出典) 2000年金属データブック、金属鉱業事業団ホームページ等

2) 物質収支等データの整備状況

プロセス	使用したデータ		未取得のデータ
	文献等から 取得したデータ	本報告書で仮定・推計 したデータ	
フッ酸溶解	【INPUT】 ・ 鉱石中 Nb 品位：14% ・ 鉱石中 Ta 品位：41% 【OUTPUT】 ・ フッ酸溶液中 Ta 濃度：17.3g/L 【設備データ】 ・ 溶解温度：60	【INPUT】 ・ 鉱石は、高・中品位鉱と仮定 ・ フッ酸投入量は、循環量を除いた純消費分として推計（物質収支は銅の湿式製錬を参考とした） ・ 消費したフッ酸の製造時Iレギ-を推計 【OUTPUT】 ・ Ta と Nb の平均溶解率を 90%と仮定 ・ 消費したフッ酸の製造時に排出するCO ₂ 量を推計	【INPUT】 ・ フッ酸投入量、循環量 ・ 硫酸投入量 【OUTPUT】 ・ Nb 溶解率 ・ 溶解液量 ・ 溶解残さ量 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入するIレギ-の種類と消費量 ・ 溶解液の加熱等に要するIレギ-の種類と消費量
溶媒抽出		【INPUT】 ・ MIBK 投入量は、循環量を除いた純消費分として推計（物質収支は銅の湿式製錬を参考とした） ・ 消費した MIBK の製造時Iレギ-を推計 【OUTPUT】 ・ Ta 抽出率を 95%と仮定 ・ Nb 抽出率を 90%と仮定 ・ 消費したMIBKの製造時に排出するCO ₂ 量を推計	【INPUT】 ・ MIBK 投入量、循環量 【OUTPUT】 ・ Nb 抽出率 ・ 抽出液量、Nb 濃度 ・ 酸廃液量、Nb 濃度 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入するIレギ-の種類と消費量 ・ 抽出液の加熱等に要するIレギ-の種類と消費量
逆抽出		【OUTPUT】 ・ Ta と Nb は、完全に分離されると仮定 ・ Ta、Nb の逆抽出率を共に 95%と仮定	【INPUT】 ・ 希硫酸、水の投入量 【OUTPUT】 ・ Nb 水溶液量、Nb 濃度、Nb 収率 ・ Ta 水溶液量、Ta 濃度 ・ 抽出尾液量、Nb、Ta の各濃度 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入するIレギ-の種類と消費量 ・ 抽出液の加熱等に要するIレギ-の種類と消費量
中和沈殿 ・ 焼		【OUTPUT】 ・ Nb 収率を 95%と仮定	【INPUT】 ・ アンモニア水の投入量 【OUTPUT】 ・ Nb の収率 ・ 五酸化 Nb の量、Nb 品位 ・ 残液量、液蒸発量、Nb 濃度 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入するIレギ-の種類と消費量
還元	【OUTPUT】 ・ Nb 粉末品位：99.7% 【設備データ】 ・ 1,700～2,300 で還元を 2 回実施	【OUTPUT】 ・ Nb 収率を 95%と仮定	【OUTPUT】 ・ Nb の収率 ・ その他ガス等の量 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入するIレギ-の種類と消費量

注) **【INPUT】**：当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

【OUTPUT】：当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

【設備データ】：当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】や**【設備データ】**、**【OUTPUT】**で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が多いなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

物質収支等データの整理

物質、エネルギー量はタンタル鉱石を 10t とした時の値

プロセス	INPUT		OUTPUT		備考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
フッ酸溶解	タンタル鉱石 (うち Ta) (うち Nb) フッ酸 硫酸 電力 【フッ酸製造】	10 t (4.1 t) (1.4 t) 213 kL +α (不明) 20 GJ*	Nb,Ta 混合溶液 (うち Ta) (うち Nb) (上記以外) 溶解残さ 【CO ₂ emission】 (うちフッ酸製造)	213 kL + (3.7 t) (1.3 t) (4.1 t) 1.0 t 1.8 t (1.8 t*)	タタリ鉱石は、高・中品位鉱石と仮定 鉱石中 Ta 品位：41% 平均溶解率 90%と仮定 硫酸は pH 調整のために使用 フッ酸中 Ta 濃度:17.3g/L 溶解温度：60 フッ酸製造のエネルギーを考慮(循環分を除く新規投入分について銅製錬データを参考に計算)
溶媒抽出	Nb,Ta 混合溶液 (うち Ta) (うち Nb) MIBK 電力 【MIBK 製造】	213 kL (3.7 t) (1.3 t) 346 kL (不明) 314 GJ*	抽出液 (うち Ta) (うち Nb) 酸廃液 【CO ₂ emission】 (うち MIBK 製造)	346 kL (3.5 t) (1.1 t) 213 kL 46 t (46 t*)	Ta 抽出率:95%と仮定 Nb 抽出率:90%と仮定 連続運転操作 MIBK 製造のエネルギーを考慮(循環分を除く新規投入分について銅製錬データを参考に計算)
逆抽出	抽出液 (うち Ta) (うち Nb) 希硫酸 水 電力	346 kL (3.5 t) (1.1 t) (量は不明) (量は不明) (不明)	ニオブ水溶液 (うち Nb) タンタル水溶液 (うち Ta) 抽出尾液 【CO ₂ emission】	(量は不明) (1.1 t) (量は不明) (3.3 t) 346 kL (不明)	Ta,Nb は酸濃度の違いによる溶解度の差を利用して完全に分離されるものとする 逆抽出率は Ta,Nb とも 95%と仮定 希硫酸:Nb 逆抽出用 水:Ta 逆抽出用 連続運転操作
中和沈殿・か焼	ニオブ水溶液 (うち Nb) アンモニア水 電力	(量は不明) (1.1 t) +α (不明)	五酸化ニオブ (うち Nb) 残液 【CO ₂ emission】	3.0 t (1.0 t) (量は不明) (不明)	本プロセスでの収率を 95%と仮定
還元	五酸化ニオブ (うち Nb) その他添加物 (その他添加物) 還元剤 電力	3.0 t (1.0 t) +α (不明)	ニオブ粉末 その他(ガス等) 【CO ₂ emission】	1.0 t 2.0 t + (不明)	ニオブ粉末品位:99.7% 還元(真空加熱)は二度行われる。 (1,700~2,300) ここでは 2000 と仮定 本プロセスでの収率を 95%と仮定
合計	【energy】 (うち原料製造)	334 GJ (334 GJ*)	【CO ₂ emission】 (うち原料製造)	48 t (48 t*)	

出所) 各種データより NRI 作成

参考) 三浦 利夫, 三金レア・アース(株)におけるタンタル・ニオブの製錬, 日本鉱業会誌/97 1122 (81-8) p.869-

金属工学講座 非鉄製錬

レアメタル, 金子 秀夫ら, 森北出版株式会社

(12) Mo (モリブデン)

1) 製錬の状況

製錬の方法

金属モリブデン原料となる主な鉱石は、輝水鉛鉱、黄鉛鉱、水鉛鉱であり、このうち輝水鉛鉱が最も一般的に利用されている。この他、銅鉱山からの副産物や使用済みの石油精製触媒からもモリブデンが生産されている。

モリブデン鉱石（輝水鉛鉱等）からは、焙焼して酸化物を得た後、アンモニア溶解、硝酸沈澱等を経て、還元（水素還元等）によって金属モリブデンを得る。

金属モリブデンの製錬法	出発原料	主な生産者「企業名」	本報告書で対象とした製錬法
焙焼 / 酸化抽出 / 水素還元法	輝水鉛鉱	日本新金属、東芝等	

出典) 2000年金属データブックより作成

国内での利用状況

金属モリブデンの最終製品としての主用途	具体的な製品
電 球	白熱電球のタングステン線の支持体 自動車用ハロゲンランプ 等
真空管用材料	電子管(陽極)、ジルコニウム被覆ゲッター、 X線管用材料、マグネトロン材料 等
その他	半導体材料等

出典) 2000年金属データブック、金属鉱業事業団ホームページ等

2) 物質収支等データの整備状況

プロセス	文献等から 取得したデータ	使用したデータ		未取得のデータ
		本報告書で仮定・推計 したデータ		
焙 焼		【INPUT】 ・酸素は反応に寄与した分（理論量）として計算 【OUTPUT】 ・Mo 収率を 90%と仮定 ・物質収支は反応式に基づいて計算	【INPUT】 ・鉬石投入量、鉬石品位 【OUTPUT】 ・酸化 Mo の量、品位 ・SO ₂ ガスの発生量 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するI ₁ 補 [*] の種類の消費量	
酸化抽出		【INPUT】 ・アンモニア水投入量は、循環量を除いた純消費分として推計（物質収支は銅の湿式製錬を参考とした） ・消費したアンモニア水の製造時I ₁ 補 [*] を推計 【OUTPUT】 ・Mo 収率を 99%と仮定 ・物質収支は反応式に基づいて計算 ・不純物量は Fe、Cu、S のみと仮定して計算 ・消費したアンモニア水の製造時に排出するCO ₂ 量を推計 【設備データ】 ・攪拌機については、1基（定格出力 2.2kW）使用と仮定 ・25 日/月（24 時間/日）稼動と仮定	【INPUT】 ・硝酸、アンモニア水投入量、循環量 【OUTPUT】 ・抽出液の量、Mo 濃度 ・パラモリブデン酸アンモニウムの量 ・不純物量 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するI ₁ 補 [*] の種類の消費量 ・抽出液の加熱等に要するI ₁ 補 [*] の種類の消費量	
か 焼		【OUTPUT】 ・物質収支は反応式に基づいて計算 ・Mo のロスはずゼロとして計算	【OUTPUT】 ・モリブデン酸化物の量、Mo 品位 ・Mo の収率 ・煙灰の量 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するI ₁ 補 [*] の種類の消費量	
水素還元	【OUTPUT】 ・Mo 粉末の品位: 99.8%	【OUTPUT】 ・製錬工程全体における Mo 収率を 85%と仮定	【INPUT】 ・水素投入量 【OUTPUT】 ・残滓量 ・Mo 収率 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するI ₁ 補 [*] の種類の消費量	

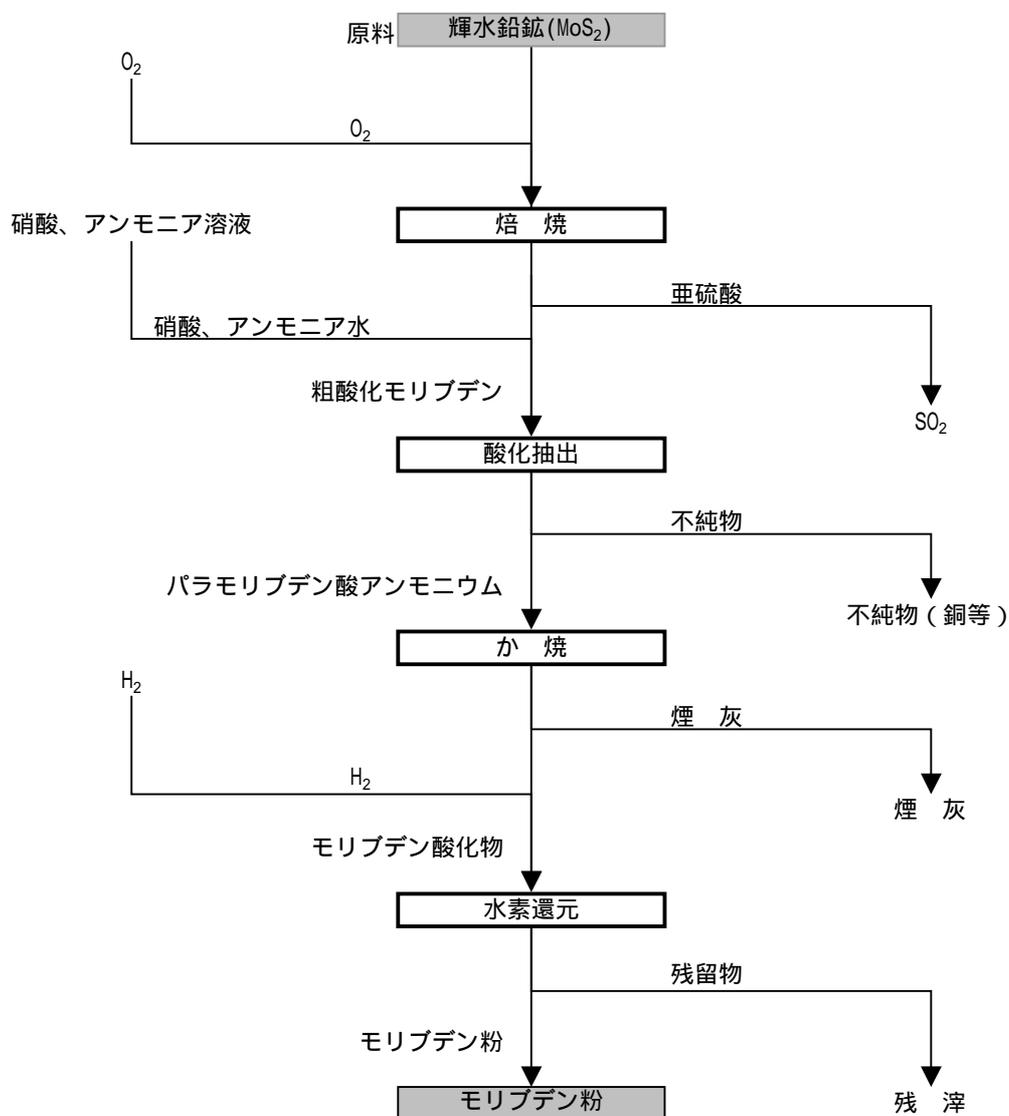
注) **【INPUT】** : 当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

【OUTPUT】: 当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

【設備データ】: 当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】や**【設備データ】**、**【OUTPUT】**で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が大いなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

3) プロセスのフロー及び物質収支データの整理

プロセスのフロー

出典) 土井 博司, 日本新金属(株)におけるタングステンとモリブデンの製造, 資源と素材 109 (1993)
No.12 p.1150-

物質収支等データの整理

物質質量、エネルギー量は月当たりの値

プロセス	INPUT		OUTPUT		備考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
焙 焼	輝水鉛鉱 (うち Mo) O ₂ 燃 料	25.0 t (11.7 t) 12.8 t (不明)	粗酸化モリブデン (うち Mo) SO ₂ 【CO ₂ emission】	18.8 t (10.6 t) 19.0 t (不明)	製錬工程全体における Mo 収率を 85%と仮定 Mo 収率を 90%と仮定 反応式に従って物質収支を算出 酸素は反応に寄与した量のみ
酸化抽出	粗酸化モリブデン (うち Mo) 硝 酸 アンモニア溶液 (10%溶液) 電 力 【アンモニア製造】	18.8 t (10.6 t) (量は不明) 40.6 kL (38.8 t) 12.5 GJ 1.3 GJ*	ハモリブデン酸 アンモニウム 不純物(Cu等) アンモニア 水 【CO ₂ emission】 (うちアンモニア製造)	18.6 t-dry (10.5 t) 13.2 t 2.2 t 2.1 kL (2.1 t) 0.59 t (0.13 t*)	反応式に従って物質収支を算出 硝酸：不純物除去 不純物は Fe、Cu、S のみと仮定して 算出 Mo 収率を 99%と仮定 攪拌機 2.2kW,1 基使用と仮定 25 日(24 時間/日)稼働として計算 アンモニア製造の環境負荷を考慮(循環 分を除き新規投入分を銅製錬を参考 に計算)
か 焼	ハモリブデン酸 アンモニウム (うち Mo) 燃 料	18.6 t-dry (10.5 t) (不明)	モリブデン酸化物 (うち Mo) 煙 灰 【CO ₂ emission】	15.0 t (10.5 t) 3.6 t (不明)	反応式に従って物質収支を算出
水素還元	モリブデン酸化物 (うち Mo) 水 素 燃 料	15.0 t (10.5 t) 0.6 t (不明)	モリブデン粉 (うち Mo) 残 滓 【CO ₂ emission】	10.0 t (10.0 t) 5.7 t (不明)	Mo 粉品位 99.8%
合 計	【energy】 (うち原料製造)	13.8 GJ (1.3 GJ*)	【CO ₂ emission】 (うち原料製造)	0.59 t (0.13 t*)	

出所) 各種データより NRI 作成

参考) 土井 博司, 日本新金属(株)におけるタングステンとモリブデンの製造, 資源と素材 109(1993)

No.12 p.1150-

(13) A g (銀)

1) 製錬の状況

製錬の方法

銀鉱石は、金・銀鉱床や鉛・亜鉛、銅鉱床に伴って産出されることが多い。

国内では、銅や鉛、亜鉛鉱石の製錬・精製における副産物として生産されることが多く、現在では銅電解スライムから精製されるケースが一般的であると見られる。

金属銀の製錬法	出発原料	主な生産者「企業名」	本報告書で対象とした製錬法
銀鉱石からの製錬	銀鉱石	-	×
銅電解スライムからの製錬	銅電解スライム	住友金属鉱山等	

出典) 2000年金属データブックより作成

国内での利用状況

金属銀の最終製品としての主用途	国内需要量(2001年)
写真用硝酸銀	1,663 t
その他の硝酸銀	150 t
接点	202 t
銀ろう	111 t
メッキ	-
銀展伸材	194 t
宝飾用	-
その他	637 t

出典) 2001年 経済産業省 資源統計年報

2) 物質収支等データの整備状況

プロセス	使用したデータ		未取得のデータ
	文献等から取得したデータ	本報告書で仮定・推計したデータ	
溶媒抽出・ろ過・乾燥	【INPUT】 ・銅電解スライム中 Ag 品位:10.5% 【OUTPUT】 ・脱銅率:90%	【INPUT】 ・抽出液の 10wt%分の水分を乾燥蒸発させるとして、蒸発潜熱分を推計 【OUTPUT】 ・Cu のみが除去されると仮定 ・スライムからの Ag 収率を 90%と仮定 【設備データ】 ・バンド乾燥機 1 基(3.7kW)、フィルター 1 基(1.5kW)、攪拌機 1 基(2.2kW)の電気消費量を推計。20 日/月(24 時間/日)稼動と仮定(出力は全て仮定)	【INPUT】 ・希硫酸の投入量、循環量 【OUTPUT】 ・Ag 収率、液物の量、Ag 品位 ・液物の水分量、水分蒸発量 ・抽出液量、Ag 濃度 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するエネルギーの種類と消費量 ・抽出液の加熱等に要するエネルギーの種類と消費量
焙焼 (酸化精製)	【設備データ】 ・ロータリーキルン使用	【OUTPUT】 ・セレンのみが除去されると仮定して物質収支を計算	【OUTPUT】 ・焙焼液物の量、Ag 品位 ・Ag 収率、二酸化セレンの量 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するエネルギーの種類と消費量 ・抽出液の加熱等に要するエネルギーの種類と消費量
熔滲 (還元溶解)	【INPUT】 ・鉛電解スライム中 Ag 品位:16% 【設備データ】 ・ジロー式電気炉 ・二次電圧:73V ・二次電流:7,230A ・2,760kWh/バッチ	【設備データ】 ・2 バッチ/日,25 日/月稼動と仮定 【OUTPUT】 ・Ag 収率 95%と仮定	【INPUT】 ・鉛電解スライム投入量 【OUTPUT】 ・Ag 収率 ・貴鉛の量、Ag 品位 ・熔滲スラグ量、Ag 濃度 【設備データ】 ・稼動状況
揮発	【設備データ】 ・ロッキングタイプ揮発炉	【OUTPUT】 ・Ag のロスはないものと仮定 ・Sb のみが揮発除去されると仮定して物質収支を計算 ・消費エネルギーとして貴鉛の加熱(25 2000)及び Sb の蒸発熱を計上(貴鉛の比熱は Ag の値を代用)	【OUTPUT】 ・Sb 除去量 ・脱 Sb 貴鉛の量 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するエネルギーの種類と消費量
鉛の塩化除去	【INPUT】 ・装入貴鉛中 Ag 品位:21.7% 【OUTPUT】 ・脱鉛貴鉛中 Ag 品位:28.4%	【OUTPUT】 ・Ag のロスはないものと仮定 ・鉛のみが除去されると仮定して物質収支を計算	【INPUT】 塩化ガス投入量 【OUTPUT】 Ag 収率、脱鉛貴鉛の量 ・除去PbCl ₂ 量 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するエネルギーの種類と消費量
分銀	【OUTPUT】 ・銀アノード品位:92.5% ・Bi 密陀中 Bi 品位:70% 【設備データ】 ・BOC 炉(灯油使用) ・15GJ/t-Ag アノード ・20 日/月(22 時間/日)稼動	【OUTPUT】 ・品位等に基づいて物質収支を計算	【OUTPUT】 ・Ag 収率 ・銀アノードの量 ・滓、ビスマス密陀の量
電解	【OUTPUT】 ・電気銀品位:99.99% 【設備データ】 ・電解炉消費電力: 500kWh/t-電解 Ag ・25 日/月(22 時間/日)稼動	【OUTPUT】 ・品位等に基づいて物質収支を計算	【INPUT】 ・アノード投入量 【OUTPUT】 ・Ag 収率 ・液物の量、Ag 品位

注)【INPUT】: 当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

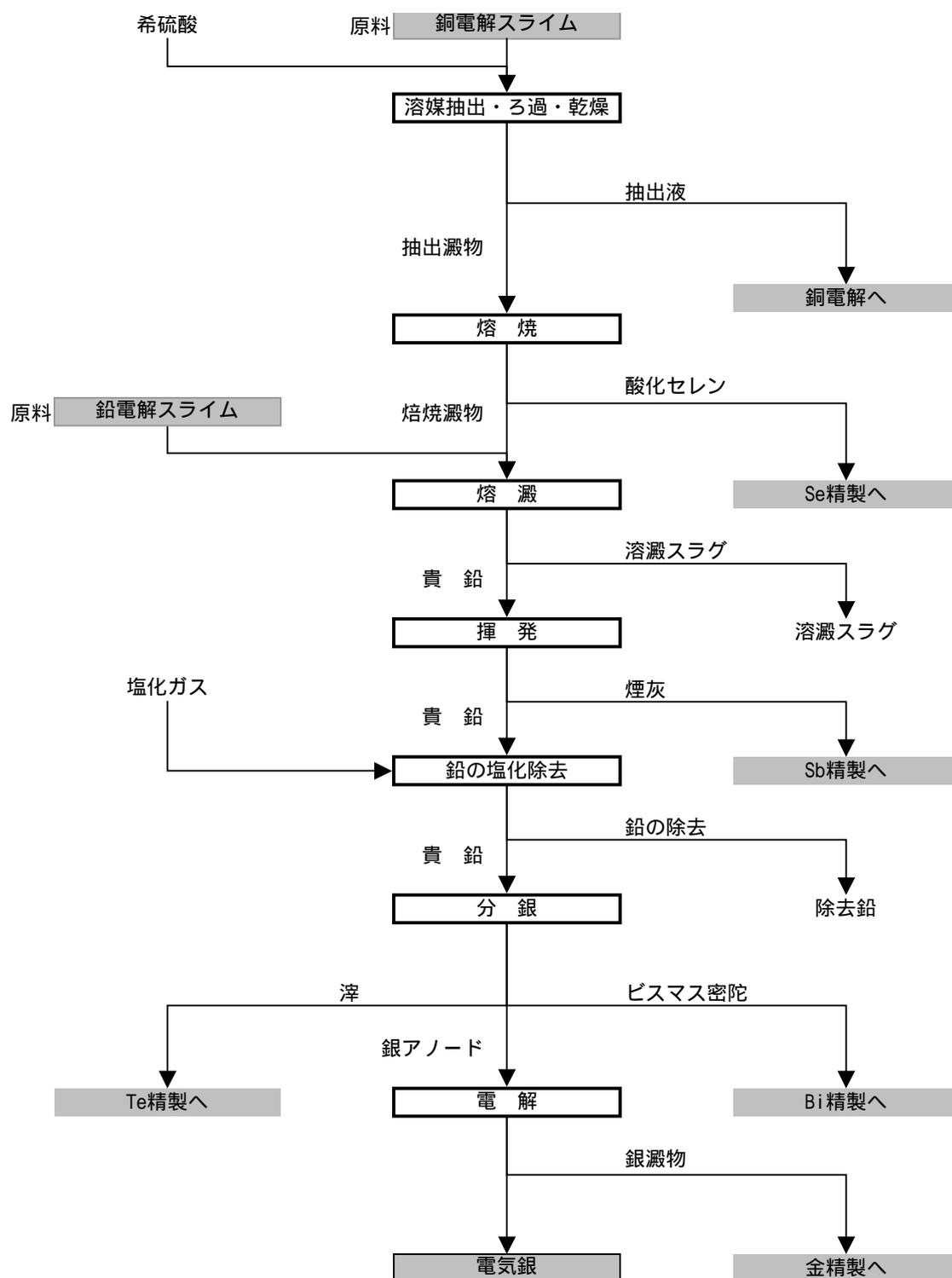
【OUTPUT】: 当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

【設備データ】: 当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】や【設備データ】、【OUTPUT】で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が大いなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

3) プロセスのフロー及び物質収支データの整理

プロセスのフロー



出典) 森山健一、「精銅工場における貴金属精錬」(住友金属鉱山株)、資源と素材 109(1993) No.12

物質収支等データの整理

物質・エネルギー量は月当たり

プロセス	INPUT		OUTPUT		備 考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
溶媒抽出・ろ過・乾燥	銅電解スライム (うち Ag) 希硫酸 電 力 重 油	120 t (12.6 t) (量は不明) 33.6 GJ 23.9 GJ	抽出液 (うち Ag) 抽出液 (脱銅量) 【CO ₂ emission】	106 t (12.6 t) (量は不明) (14.1 t) 2.9 t	脱銅率：90% 銅電解スライム中 Ag 品位:10.5% Cu のみが除去されると仮定 スライムからの Ag 実収率 90%と仮定 液物重量の 10%分の水分を乾燥蒸発 させるとして、蒸発潜熱分を計上 バンド 乾燥機：(3.7kW と仮定) フィルプレス：(1.5kW と仮定) 攪拌機：(2.2kW と仮定) 20 日/月(1 日 24 時間) 稼動と仮定
焙 焼 (酸化精製)	抽出液 (うち Ag) 電 力 重 油	106 t (12.6 t) (不明) (不明)	焙焼液 (うち Ag) 二酸化セレン 【CO ₂ emission】	100 t (12.6 t) 6.2 t (不明)	ロータリーキルン使用 セレンのみが除去されると仮定
熔 澱 (還元溶解)	焙焼液 (うち Ag) 鉛電解スライム (うち Ag) 電 力	100 t (12.6 t) 70 t (11.2 t) 1,304 GJ	貴 鉛 (うち Ag) 溶澱スラグ 【CO ₂ emission】	110 t (22.7 t) 60 t 47.7 t	(ジロー式)電気炉 2,760kWh/バッチ 2 バッチ/日,25 日/月稼動 二次電圧：73V 二次電流：7,230A
揮 発	貴 鉛 (うち Ag) 重 油	110 t (22.7 t) 216.9 GJ	脱 Sb 貴鉛 (うち Ag) 除去 Sb 【CO ₂ emission】	105 t (22.7 t) 5 t 15.0 t	ロッキングタイプ揮発炉 Ag のロスはないものと仮定 Sb のみが揮発除去されると仮定 エネルギーとして貴鉛の加熱(25 2000)及び Sb の蒸発熱のみを計上 エネルギーは考慮していない 貴鉛の比熱は Ag の値を代用
鉛の塩化 除去	脱 Sb 貴鉛 (うち Ag) 塩化ガス 重 油	105 t (22.7 t) 8 t (不明)	脱鉛貴鉛 (うち Ag) 除去鉛 (PbCl ₂) 【CO ₂ emission】	80 t (22.7 t) 33 t (不明)	Ag のロスはないものと仮定 鉛のみが除去されると仮定 装入貴鉛中 Ag 品位:21.7% 脱鉛貴鉛中 Ag 品位:28.4%
分 銀	脱鉛貴鉛 (うち Ag) 電 力 灯 油	80 t (22.7 t) (不明) 363.0 GJ	銀アノード (うち Ag) 滓 ピスマス密陀 【CO ₂ emission】	24 t (22.4 t) 51 t 5 t 24.6 t	銀アノード 品位：92.5% Bi 密陀中 Bi 品位：70% 出所)資源と素材 110(1994),No.5 422- BBOC 炉使用：15GJ/t-Ag アノード 20 日/月(1 日 22 時間) 稼動 灯油使用
電 解	銀アノード (うち Ag) 電 力	24 t (22.4 t) 101.2 GJ	電解銀 銀液物 【CO ₂ emission】	21 t 3 t 3.7 t	電気銀品位：99.99% 25 日/月(1 日 22 時間)稼動 電解炉消費電力:500kWh/t-電解 Ag
合 計	【energy】	2,042 GJ	【CO ₂ emission】	93.9 t	

出所)各種データより NRI 作成

参考)森山健一、「精銅工場における貴金属精錬」(住友金属鉱山株)、「資源と素材 109(1993) No.12
安部幸紀ら、「竹原精錬所貴金属工場における諸改善について」、「資源と素材 110(1994) No.5
422-

(14) Cd (カドミウム)

1) 製錬の状況

製錬の方法

硫カドミウム鉱が主要鉱石であるが、産出量が少ない。

金属カドミウムの大半は、亜鉛精鉱の製錬における副産物として煙灰やダスト等を原料として生産される。

金属カドミウムの製錬法	出発原料	主な生産者「企業名」	本報告書で対象とした製錬法
乾式法	亜鉛製錬時に得られる浄液残滓	東邦亜鉛、三井金属鉱業、日鉱金属等	(本報告書では、乾式法と室式法の組合わせ)
湿式法	亜鉛製錬時に得られる Zn-Cd メタル		

出典) 2000 年金属データブックより作成

国内での利用状況

金属カドミウムの最終製品としての主用途	国内需要量 (1998 年)
めっき	1 t
合金	52 t
顔料	20 t
塩ビ安定剤	0 t
電池	2,016 t
その他	162 t

出典) 2000 年金属データブック

2) 物質収支等データの整備状況
 焙焼なしのケース

プロセス	文献等から 取得したデータ	使用したデータ		未取得のデータ
		本報告書で仮定・推計 したデータ		
浸出	【INPUT】 ・煙灰中 Cd 濃度：4.0% 【設備データ】 ・攪拌機使用	【OUTPUT】 ・浸出率 85%と仮定		【INPUT】 煙灰の投入量 ・硫酸の投入量、循環量、液濃度 【OUTPUT】 浸出液量、Cd 濃度 ・浸出残さ量、Cd 濃度、Cd の浸出率 【設備データ】 動力、処理能力等の仕様、投入するI1機 [*] の種類と消費量 ・浸出液の加熱等に要するI1機 [*] の種類と消費量
濃縮沈澱		【INPUT】 ソダ灰は、炭酸化に必要な理論量として推計 ・消費したソダ灰の製造時I1機 [*] を推計 【OUTPUT】 Cd 収率を 90%と仮定 ・消費したソダ灰の製造時に排出するCO ₂ 量を推計 【設備データ】 ・シッケ-1基(定格出力 3.7kW)使用と仮定 ・25日/月(24時間/日)稼動と仮定		【INPUT】 ソダ灰の投入量 【OUTPUT】 ・炭酸 Cd の量、Cd 濃度 ・残液量、Cd 濃度 ・Cd の回収率 【設備データ】 動力、処理能力等の仕様、投入するI1機 [*] の種類と消費量 ・浸出液の加熱等に要するI1機 [*] の種類と消費量
溶媒による不純物除去	【設備データ】 ・攪拌機使用	【OUTPUT】 ・Cd 収率を 95%と仮定		【INPUT】 ・硫酸の投入量、循環量、液濃度 【OUTPUT】 溶液量、Cd 濃度 ・不純物除去量、Cd 濃度 ・Cd の回収率 【設備データ】 動力、処理能力等の仕様、投入するI1機 [*] の種類と消費量 ・浸出液の加熱等に要するI1機 [*] の種類と消費量
置換還元	【設備データ】 ・フィルタ [*] 使用 ・攪拌機使用	【OUTPUT】 ・Cd 収率を 97%と仮定 ・Cd 灰 [*] の品位を 94%と仮定		【OUTPUT】 Cd の回収率 ・Cd 灰 [*] 量、Cd 品位 【設備データ】 動力、処理能力等の仕様、投入するI1機 [*] の種類と消費量 ・浸出液の加熱等に要するI1機 [*] の種類と消費量
溶解		【OUTPUT】 ・Cd 収率を 75%と仮定 ・溶融 Cd 品位を 95%と仮定		【OUTPUT】 溶融 Cd 量、Cd 品位 ・Cd の回収率、ド [*] の量及び Cd 品位 【設備データ】 動力、処理能力等の仕様、投入するI1機 [*] の種類と消費量
溶融	【OUTPUT】 ・溶融炉 [*] 60t/月生産	【OUTPUT】 ・Cd のロスはゼロと仮定		【INPUT】 Zn-Cd 合金の投入量 【OUTPUT】 溶融炉 [*] の Cd 品位 ・Cd 回収率 【設備データ】 設備の種類、動力、処理能力等の仕様 ・投入するI1機 [*] の種類と消費量
蒸留	【OUTPUT】 ・粗 Cd の品位:97% 【設備データ】 ・小型精留塔使用 ・月間 15 日稼動 ・処理量：4t/日 ・蒸留温度：600	【OUTPUT】 ・仮定した Cd の品位を基に物質収支を計算		【OUTPUT】 ・粗 Cd の量、Cd 回収率 ・残さの量、Cd 品位 【設備データ】 ・投入するI1機 [*] の種類と消費量
アルカリ溶融	【OUTPUT】 ・Cd 品位：99.998%	【OUTPUT】 ・Cd の品位を基に物質収支を計算		【INPUT】 NaOH の投入量 【OUTPUT】 金属 Cd の量、Cd 回収率 ・不純物量、Cd 濃度 【設備データ】 設備の種類、動力、処理能力等の仕様 ・投入するI1機 [*] の種類と消費量

注) **【INPUT】** : 当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

【OUTPUT】: 当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

【設備データ】: 当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】 や **【設備データ】**、**【OUTPUT】** で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が大きいなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

焙焼有りのケース

プロセス	使用したデータ		未取得のデータ
	文献等から取得したデータ	本報告書で仮定・推計したデータ	
焙 焼	【INPUT】 ・原料ダスト量 360t ・硫酸投入量 120t 【設備データ】 ・ローリ-キルン ・焙焼温度:430 ・滞留時間:2hour ・重油 36kL/月 ・電力 95,000kWh/月 ・トータルエネルギー-原単位: 431 Gcal/t-Cd 地金	【INPUT】 ・消費した硫酸の製造時エネルギー-を推計 【OUTPUT】 ・Cd 収率を 95%と仮定 ・消費した硫酸の製造時に排出するCO ₂ 量を推計	【OUTPUT】 ・焙焼ケーキ量、Cd 品位 ・Cd の回収率 ・残さ・ガス等の発生量
浸 出	【OUTPUT】 ・浸出液の Cd 濃度: 50g/L 【設備データ】 ・浸出温度:40 ・浸出時間:5hour/回 ・フルットミル使用	【OUTPUT】 ・Cd 浸出率を 90%と仮定 【設備データ】 ・攪拌機 1 基 (定格出力 2.2kW) 使用と仮定 ・フルットミル 1 基 (150kW) 使用と仮定 ・25 日/月(1 日 24 時間)稼動と仮定	【INPUT】 ・水の投入量 【OUTPUT】 ・浸出液の量 ・Cd の浸出率 ・残さの量、Cd 濃度 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するエネルギー-の種類と消費量 ・浸出液の加熱等に要するエネルギー-の種類と消費量
浄 液	/	【OUTPUT】 ・Cd のロスはずゼロと仮定	【OUTPUT】 ・浄液の量、Cd 濃度 ・ケーキの量、Cd 濃度 ・Cd の回収率 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するエネルギー-の種類と消費量
置 換 還 元	【OUTPUT】 ・スポンジ Cd 品位: 98.4% 【設備データ】 ・亜鉛板置換 ・置換時間:42hour	【OUTPUT】 ・Cd の品位を基に物質収支を計算	【OUTPUT】 ・Cd スポンジの量、Cd 収率 ・残液量、Cd 濃度 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するエネルギー-の種類と消費量
溶 解 ・ 蒸 留	【OUTPUT】 ・Cd 品位:99.999% 【設備データ】 ・連続真空蒸留	【OUTPUT】 ・Cd の品位を基に物質収支を計算	【OUTPUT】 ・不純物の量 ・Cd 収率 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するエネルギー-の種類と消費量

注) **【INPUT】** : 当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

【OUTPUT】: 当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

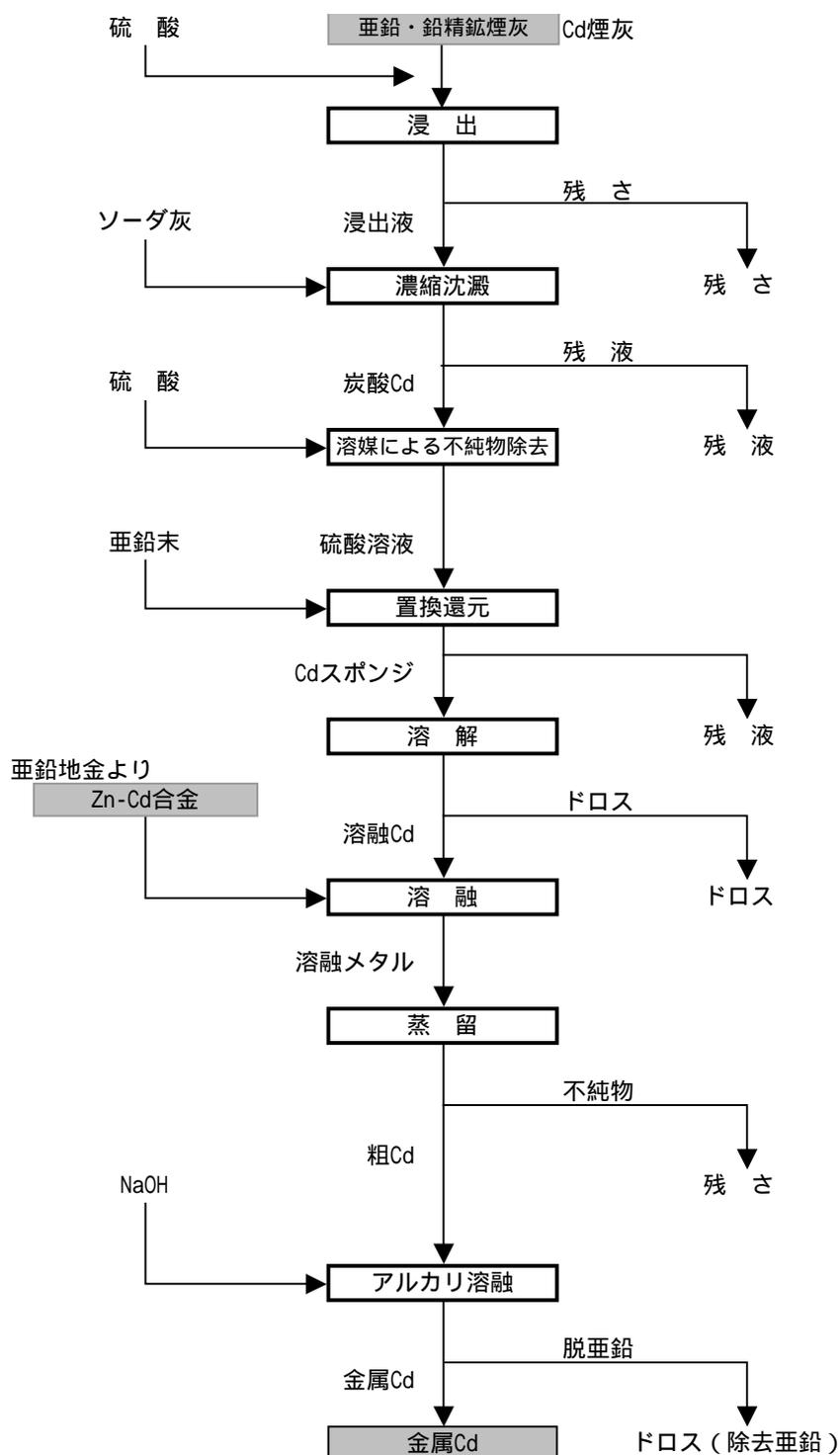
【設備データ】: 当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】や**【設備データ】**、**【OUTPUT】**で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が大いなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

(*Note*)

3) プロセスのフロー及び物質収支データの整理

プロセスのフロー (焙焼なしのケース)



出典) 谷川 幹也, 乾式法による高純度カドミウムの製造について, 日本鋳業会誌 90 1035 ('74-75) 359-

物質収支等データの整理 (焙焼なしのケース)

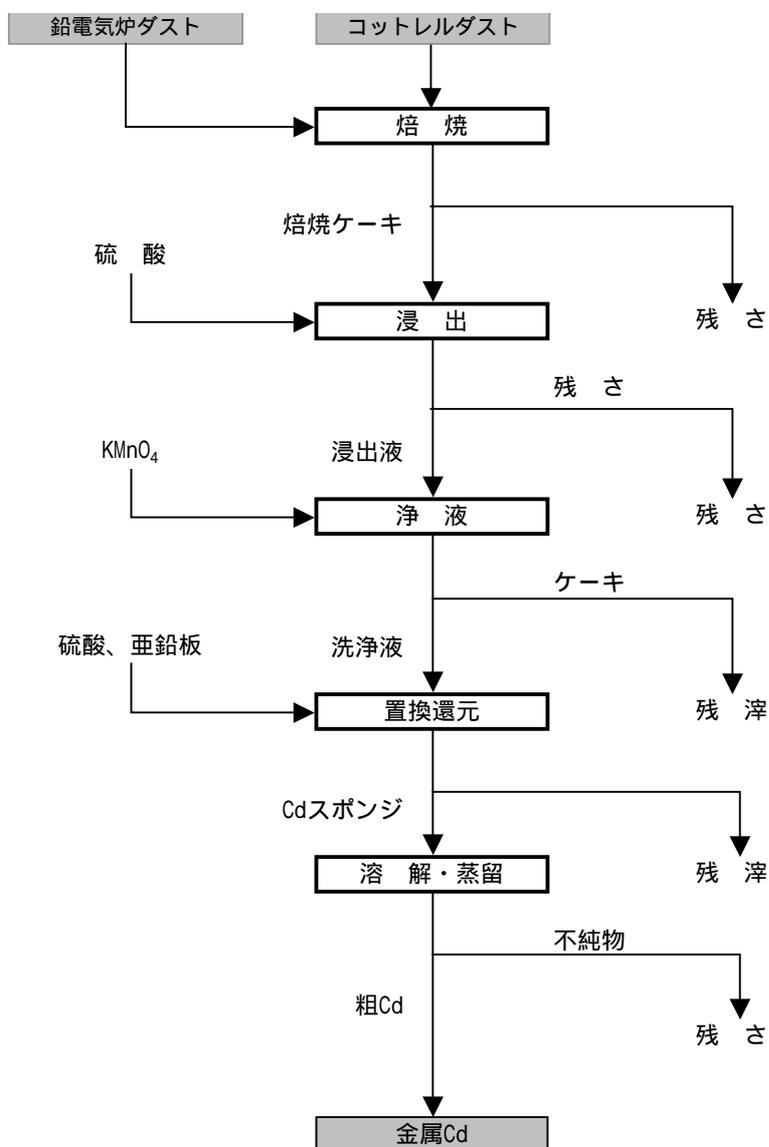
物質、エネルギー量は月当たり

プロセス	INPUT		OUTPUT		備 考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
浸 出	亜鉛・鉛精鉱煙灰 (うち Cd) 硫 酸 電 力	1,500 t (60.0 t) (量は不明) (不明)	浸出物 (うち Cd) (Cd 以外浸出物) 残 さ 【CO ₂ emission】	(量は不明) (51.0 t) (1,224 t) 225 t (不明)	煙灰中 Cd 濃度：4.0% 浸出率 85%と仮定 攪拌機使用
濃縮沈澱	浸出物 (うち Cd) ソーダ灰 電 力 【ソーダ灰製造】	(量は不明) (51.0 t) 48.1 t 21 GJ 481 GJ	粗炭酸 Cd 残 液 【CO ₂ emission】 (うちソーダ灰製造)	78.2 t (量は不明) 40.1 t (39.3 t)	Cd 収率を 90%と仮定 シッカー(1基 3.7kW)使用と仮定 ソーダ灰製造の環境負荷を考慮 25 日/月(1 日 24 時間)稼働
溶媒による不純物除去	粗炭酸 Cd 硫 酸 電 力	78.2 t (量は不明) (不明)	硫酸溶液 (うち精製炭酸 Cd) 【CO ₂ emission】	(量は不明) (70.4 t) (不明)	Cd 収率を 95%と仮定 As の除去 攪拌機使用
置換還元	硫酸溶液 (うち精製炭酸 Cd) 電 力	(量は不明) (70.4 t) (不明)	Cd スポンジ 残 液 【CO ₂ emission】	45.0 t (量は不明) (不明)	Cd 収率を 97%と仮定 亜鉛末を使用 フィルタ使用 攪拌機使用
溶 解	Cd スポンジ 電 力	45.0 t (不明)	溶融 Cd ドロス 【CO ₂ emission】	33.4 t 11.6 t (不明)	収率を 75%と仮定
溶 融	溶融 Cd Zn-Cd 合金 電 力	33.4 t 26.6 t (不明)	溶融メタル 【CO ₂ emission】	60.0 t (不明)	溶融 Cd 品位 95%と仮定
蒸 留	溶融メタル 電 力	60.0 t (不明)	粗 Cd 残 さ 【CO ₂ emission】	31.7 t 28.3 t (不明)	ベビーカー(小型精留塔)使用 粗 Cd 品位：97% 月間 15 日稼働 処理量：4t/日 蒸留温度：600
添加溶解	粗 Cd NaOH 電 力	31.7 t (量は不明) (不明)	金属 Cd 不純物 【CO ₂ emission】	30.7 t 0.9 t (不明)	Cd 品位：99.998% 脱亜鉛プロセス
合 計	【energy】 (うち原料製造)	502 GJ (481 GJ)	【CO ₂ emission】 (うち原料製造)	40.1 t (39.3 t)	

出所) 各種データより NRI 作成

参考) 谷川 幹也, 乾式法による高純度カドミウムの製造について, 日本鉱業会誌 90 1035 ('74-75) 359-

プロセスのフロー (焙焼有りのケース)



出典)草薙 昭ら,三日市製錬所におけるカドミウム製錬工程の合理化,日本鉱業会誌 93 1070 ('77-4) p.319-

物質収支等データの整理 (焙焼有りのケース)

物質、エネルギー量は月当たり

プロセス	INPUT		OUTPUT		備考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
焙 焼	(コックガス) (鉛電気炉ガス) ダスト計 (うち Cd) 硫 酸 電 力 重 油 【硫酸製造】	(216 t) (144 t) 360 t (51.0 t) 120 t 898 GJ 1,401 GJ 42 GJ	焙焼ケーキ (うち Cd) 残さ・ガス等 【CO ₂ emission】 (うち硫酸製造)	362 t (48.5 t) 118 t 133.1 t (3.1 t)	CdO, PbO の選択硫酸化を行う Cd 収率を 95%と仮定 25 日/月(1 日 24 時間)稼動 焙焼温度: 430 滞留時間: 2hour ロータリーキルン: 重油使用 重油 36kL/月 電力 95,000kWh/月 トータルエネルギー-原単位: 431 Gcal/t-Cd 地金 硫酸製造の環境負荷を考慮
浸 出	焙焼ケーキ (うち Cd) 水 電 力	362 t (48.5 t) 872 kL 863 GJ	浸出液 (うち Cd) (Cd 以外浸出物) 残 さ	872 kL (43.6 t) (182 t) 136 t 31.5 t	硫酸鉛の除去を行う 浸出温度: 40 浸出時間: 5hour/回 Cd 浸出率 90%と仮定 攪拌機(1 基 2.2kW)使用と仮定 フリットミル (1 基 150kW) 使用と仮定 25 日/月(1 日 24 時間)稼動 水加熱に要するエネルギーは考慮していない
浄 液	浸出液 (うち Cd) その他添加物 (その他添加物) KMnO ₄ 電 力	872 kL (43.6 t) +α (不明)	浄 液 (うち Cd) ケ ー キ	872 kL + (43.6 t) 1.6 t (不明)	TI の除去を行う Cd のロスはないと仮定
置換還元	浄 液 (うち Cd) 電 力	872 kL (43.6 t) (不明)	Cd スポンジ (うち Cd) 残 液 (うち Cd)	44.3 t (43.6 t) 872 kL (0.02 t) (不明)	亜鉛板置換を行う 置換時間: 42hour スポンジ Cd 品位: 98.4%
溶解・蒸留	Cd スポンジ (うち Cd) 電 力	44.3 t (43.6 t) (不明)	製品 Cd 不純物など	40.0 t 4.3 t (不明)	製品 Cd 品位: 99.999% 連続真空蒸留方式
合 計	【energy】 (うち原料製造)	3,204 GJ (42 GJ)	【CO ₂ emission】 (うち原料製造)	164.6 t (3.1 t)	

出所) 各種データより NRI 作成

参考) 草薙 昭ら, 三日市製錬所におけるカドミウム製錬工程の合理化, 日本鉱業会誌 93 1070 ('77-4) p.319-

(15) In (インジウム)

1) 製錬の状況

製錬の方法

In を主成分とした鉱物は知られていない。多くの場合、In は鉛・亜鉛等の鉱物に随伴して産出するため、これらの製錬における副産物として生産される。

金属 In の製錬法としては、溶媒抽出法による方法がある。

金属インジウムの製錬法	出発原料	主な生産者 「企業名、()内は国名」	本報告書で対象とした製錬法
溶媒抽出法	亜鉛製錬ダスト	Metaleurop.SA (仏)、Indium Corp.of America (米)、日鉱金属、住友金属鉱山、同和鉱業等	

出典) 2000 年金属データブックより作成

国内での利用状況

金属インジウムの最終製品としての主用途	具体的な製品	国内需要量 (1998 年)
化合物半導体	半導体レーザー、赤外線探知機 等	5 t
透明電極	液晶テレビ、太陽電池 等	58 t
蛍光体	モノクロブラウン管 等	4 t
ボンディング材	スパッタリング・ターゲット用接着剤 等	6 t
低融点合金	ハンダヒューズ 等	3 t
歯科合金	-	2 t
接点材料	-	4 t
ベアリング	航空機、自動車 等	1 t
バッテリー	-	4 t

出典) 2000 年金属データブック、金属鉱業事業団ホームページ等

2) 物質収支等データの整備状況

プロセス	使用したデータ		未取得のデータ
	文献等から取得したデータ	本報告書で仮定・推計したデータ	
浸出	【INPUT】 ダスト投入量:800t/月 ・ダスト中 In 品位:0.2% 【OUTPUT】 ダスト平均浸出率:92.5%、In 浸出率85%、浸出液の In 濃度:2g/L	【INPUT】 ・希硫酸量は、In 浸出濃度より逆算して算出。循環量は考慮していない。 【OUTPUT】 ・In 収率を85%とした 【設備データ】 ・攪拌機を1基(定格出力2.2kW)、フィルタプレスを1基(0.4kW)25日/月(24時間/日)稼動と仮定	【INPUT】 希硫酸の量 【OUTPUT】 In の回収率 ・浸出液の量 ・浸出残さの量 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するIn ⁺ の種類と消費量 ・浸出液の加熱等に要するIn ⁺ の種類と消費量
溶媒抽出	【OUTPUT】 ・In 抽出率97% ・抽出液中 In 濃度:30g/L 【設備データ】 ・攪拌機2.2kW(ミキサ7槽)使用	【INPUT】 ・抽出液D ₂ EHPAの生産に係るIn ⁺ は考慮していない 【OUTPUT】 ・抽出液濃度より液量を逆算して算出 【設備データ】 ・25日/月(24時間/日)稼動と仮定	【INPUT】 抽出液の量 ・抽出液の製造時In ⁺ 【OUTPUT】 抽出液の量 ・残液の量、液濃度 【設備データ】 ・抽出液の加熱等に要するIn ⁺ の種類と消費量
逆抽出	【OUTPUT】 ・逆抽出率97% ・逆抽出液中 In 品位:35g/L	【INPUT】 ・消費した希硫酸の製造時In ⁺ を推計(産濃度は250g/Lとして計算) 【OUTPUT】 ・消費した希硫酸の製造時に排出するCO ₂ 量を推計 【設備データ】 ・攪拌機については、1基(出力1.5kW)15日/月(24時間/日)稼動と仮定	【INPUT】 逆抽出液の量 【OUTPUT】 ・逆抽出液の量 ・残液の量、液濃度 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するIn ⁺ の種類と消費量 ・逆抽出液の加熱等に要するIn ⁺ の種類と消費量
硫化物分離・置換	【OUTPUT】 尾液中 In 量:0.8g/L	【INPUT】 消費した水硫化ソーダの製造時In ⁺ を推計 【OUTPUT】 ・抽出液中As品位を0.05g/Lとして、AsがAs ₄ S ₄ となって全て除去されるという条件で残さ量及び必要な水硫化ソーダ量(理論量)を推計 ・消費した水硫化ソーダの製造時に排出するCO ₂ 量を推計 【設備データ】 ・攪拌機を1基(定格出力1.5kW)15日/月(24時間/日)稼動と仮定	【INPUT】 ・水硫化ソーダの量 【OUTPUT】 ・As ⁺ In の品位と量 ・残さの量、In 品位 ・尾液量 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するIn ⁺ の種類と消費量 ・液の加熱等に要するIn ⁺ の種類と消費量
鑄造	【OUTPUT】 ・In 品位99.5%以上 ・In 収率:75%	【INPUT】 ・消費した苛性ソーダの製造時In ⁺ を推計 【OUTPUT】 ・消費した苛性ソーダの製造時に排出するCO ₂ 量を推計	【INPUT】 苛性ソーダの量 【OUTPUT】 アノード In の量 ・残滓量、残滓中 In 品位 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するIn ⁺ の種類と消費量
電解	【OUTPUT】 In 品位:99.98%以上 ・In 収率:95% 【設備データ】 ・電解炉消費電力:300kWh/t-電解 In	【OUTPUT】 ・In 収率、品位を基に物質収支を計算	【OUTPUT】 ・電解 In の量 ・スラムの量、In 品位
真空精製	【OUTPUT】 In 品位99.99%以上 【設備データ】 ・減圧下1,000に加熱	【INPUT】 消費In ⁺ は、電解 In の加熱に要するIn ⁺ として。但しIn ⁺ は考慮していない 【OUTPUT】 ・In 収率、品位を基に物質収支を計算	【OUTPUT】 金属 In の量 ・不純物の量、In 品位 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するIn ⁺ の種類と消費量

注) **【INPUT】** : 当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

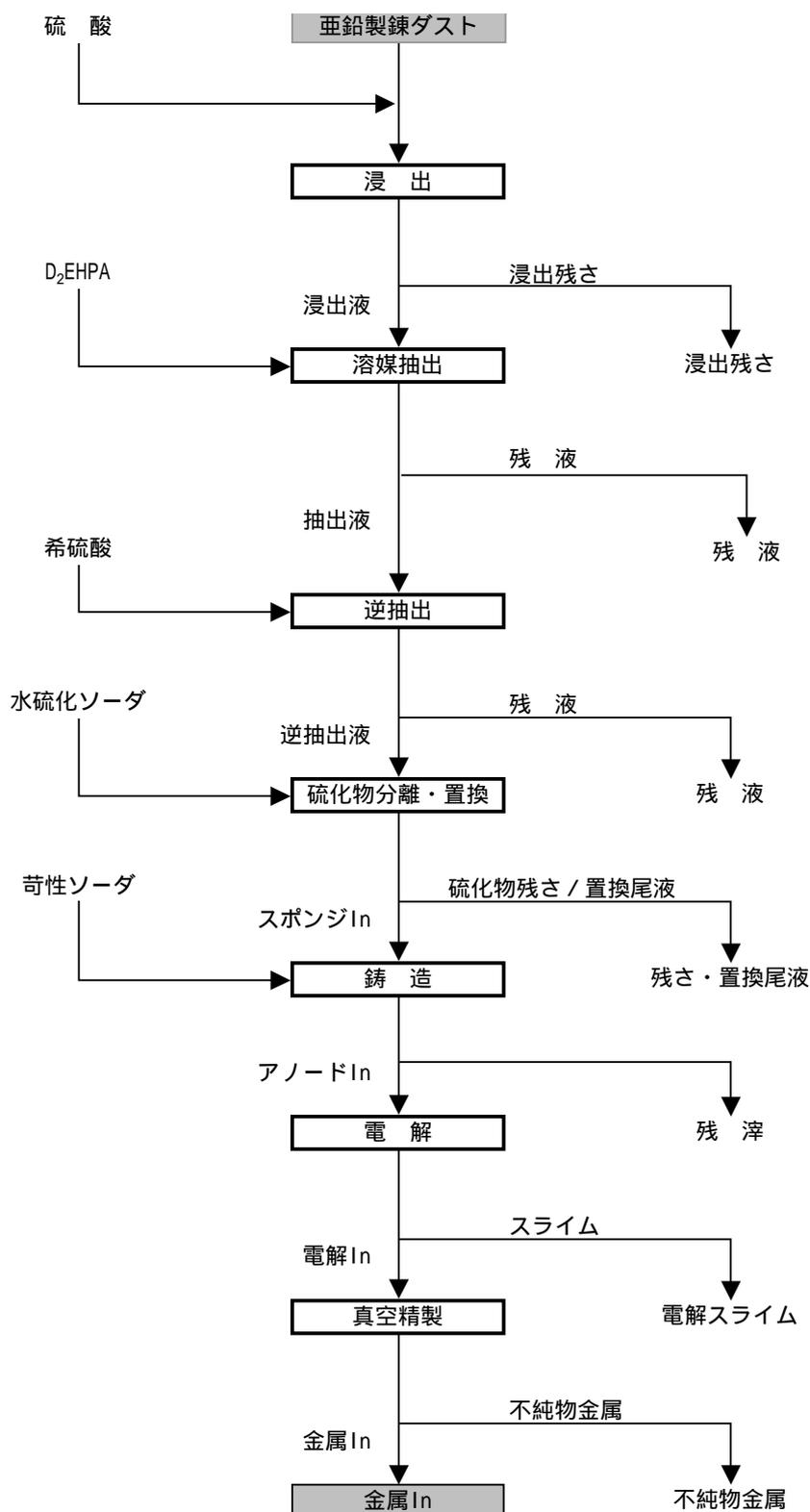
【OUTPUT】: 当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

【設備データ】: 当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】や**【設備データ】**、**【OUTPUT】**で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が大いなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

3) プロセスのフロー及び物質収支データの整理

プロセスのフロー



出典) 山口 浩二ら, 溶媒抽出法によるインジウムの製造, 日本鉱業会誌 96 1106 ('80-84) 257-

物質収支等データの整理

物質、エネルギー量は月当たり

プロセス	INPUT		OUTPUT		備考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
浸出	亜鉛製錬ダスト (うち In) 希硫酸 (亜鉛電解尾液) 電力	800 t (1,600 kg) 740 kL 12.5 GJ	浸出液 (うち In) (In を除く浸出量) 浸出残さ 【CO ₂ emission】	740 kL (1,360 kg) (739 t) 60 t 456 kg	ダスト中 In 品位：0.2% ダスト平均浸出率：92.5% In 浸出率：85% 25 日/月(1 日 24 時間)稼働 攪拌機 2.2 kW 使用と仮定 フィルター:0.4kW(1 基)使用と仮定
溶媒抽出	浸出液 (うち In) 抽出液 電力	740 kL (1,360 kg) 44 kL 12.5 GJ	抽出液 (うち In) 残液 【CO ₂ emission】	44 kL (1,319 kg) 740 kL 456 kg	抽出率：97% 抽出液：D2EHPA 抽出液中 In 濃度：30g/L 攪拌機 2.2 kW (ミキトラ7 槽) 25 日/月(1 日 24 時間)稼働とする D ₂ EHPA生産に係るエネルギーは考慮していない。液加熱は考慮していない
逆抽出	抽出液 (うち In) 逆抽出液 電力 【硫酸製造】	44 kL (1,319 kg) 37 kL 8.5 GJ 0.21 GJ*	逆抽出液 (うち In) 残液 【CO ₂ emission】 (うち硫酸製造)	37 kL (1,280 kg) 44 kL 327 kg (16 kg*)	逆抽出率：97% 逆抽出液：希硫酸 (酸濃度 250g/L) 攪拌機 1.5kW と仮定 15 日/月(1 日 24 時間)稼働とする 硫酸生産に係る環境負荷を考慮する 液加熱は考慮していない
硫化物 分離・置換	逆抽出液 (うち In) 水硫化ソーダ 電力 【水硫化ソーダ製造】	37 kL (1,280 kg) 1.4 kg 2.2 GJ 0.02 GJ	スポンジ In 硫化物残さ 置換尾液 【CO ₂ emission】 (うち水硫化ソーダ製造)	1,250 kg 3 kg 37 kL 80 kg (1.4 kg)	As、Bi 等の除去 アルミ板置換 攪拌機 1.5kW と仮定 フィルター:0.4kW(1 基)使用と仮定 液加熱は行わないとする 10 日/月(1 日 12 時間)稼働とする 水硫化ソーダ (NaSH)生産に係る環境負荷を考慮する
鑄造	スポンジ In 苛性ソーダ (フラックス) 電力 【苛性ソーダ製造】	1,250 kg 625.2 kg (不明) 7.2 GJ	アノード In 残滓 【CO ₂ emission】 (うち苛性ソーダ製造)	938 kg 938 kg 586 kg (586 kg)	品位 99.5%以上 収率：75% 苛性ソーダ 生産に係る環境負荷を考慮する 鑄造に要するエネルギーは含まれない
電解	アノード In 電力	938 kg 2.5 GJ	電解 In スライム 【CO ₂ emission】	887 kg 51 kg 92 kg	品位 99.98%以上 収率：95% 電解炉消費電力 300kWh/t-電解 In
真空精製	電解 In 電力	887 kg 0.2 GJ	金属 In 不純物 【CO ₂ emission】	887 kg 0.1 kg 7.3 kg	品位：99.99%以上 減圧下 1,000 に加熱し、亜鉛等を揮発除去する (電気使用と仮定)
合計	【energy】 (うち原料製造)	45.7 GJ (7.4 GJ*)	【CO ₂ emission】 (うち原料製造)	2,004 kg (604 kg*)	

出所) 各種データより NRI 作成

参考) 小野 俊太郎ら, 安中製錬所におけるインジウムの回収について, 日本鋳業会誌 90 1035 ('74-75) 377-
山口 浩二ら, 溶媒抽出法によるインジウムの製造, 日本鋳業会誌 96 1106 ('80-84) 257-
榎田 均, "ガリウム, インジウムの電解", (株) 化学工業社 別冊化学工業 30-8 p.72

(16) Sn (錫)

1) 製錬の状況

製錬の方法

金属Snの原鉱は、錫石 (SnO₂) である。錫石の精鉱を、溶鉱炉、反射炉、電気炉等で乾式法によって処理し、得られた粗Snを電解する方法が一般的に行われている。

金属錫 の製錬法	出発原料	主な生産者 「企業名、()内は国名」	本報告書で対象 とした製錬法
乾式法 / 電解法	錫石、錫滓	三菱マテリアル、三井金属等	

出典) 2000 年金属データブックより作成

国内での利用状況

錫の最終製品 としての主用途	国内需要量 (2001 年)
ブリキ	-
電線	296,303 t
伸銅品	1,658,928 t
はんだ・銅合金塊	10,537,841 t

出典) 平成 13 年度 経済産業省 資源統計年報

2) 物質収支等データの整備状況

プロセス	使用したデータ		未取得のデータ
	文献等から取得したデータ	本報告書で仮定・推計したデータ	
焙 焼	【設備データ】 ・ロータリー使用 ・重油 35L/hour(平均)	【INPUT】 ・焙焼によって、錫滓の1割が澱物・ガス等として排出されるとして物質収支を計算 【設備データ】 ・4日/月(1日24時間)稼動として計算	【INPUT】 ・錫滓の投入量、錫の品位 【OUTPUT】 ・錫の回収率 ・焙焼物の量、錫の品位 ・澱物の量、錫の品位 ・ガスの量 【設備データ】 ・稼動状況
還元溶解	【OUTPUT】 ・荒錫中 Sn 品位: 90% ・からみ中 Sn 品位: 12.5% 【設備データ】 ・電気炉使用 ・バッチ式 ・1サイクル 3hour, 1,350kWh/サイクル	【INPUT】 ・焙焼物中の Sn 品位を 65%と仮定 【OUTPUT】 ・焙焼物からの錫収率は 70%と仮定 【設備データ】 ・1日2サイクル、20日/月稼動と仮定	【OUTPUT】 ・荒錫の量 ・からみの量 ・錫の回収率 【設備データ】 ・稼動状況
精 製	【OUTPUT】 ・荒錫中 Sn 品位: 90% ・精製滓中 Sn 品位: 65%	【OUTPUT】 ・粗錫の品位を 95%と仮定して物質収支を計算	【OUTPUT】 ・粗錫の量、錫の品位 ・精製滓の量 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するI補給-の種類と消費量
鑄造ポット	【OUTPUT】 ・アノード中 Sn 品位: 97.55% ・ポット滓中 Sn 品位 85% 【設備データ】 ・鑄造機使用	【OUTPUT】 ・錫の品位を基に物質収支を計算	【OUTPUT】 ・アノードの量 ・ポット滓の量 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するI補給-の種類と消費量
電 解	【INPUT】 ・重油使用量: 60L/t-電気錫 (熱風剥離機) 【OUTPUT】 ・電解錫の品位: 99.996% ・スライム中錫品位: 27.4% 【設備データ】 ・電解による消費電力: 200kWh/t-電解 Sn	【OUTPUT】 ・錫の品位を基に物質収支を計算	【OUTPUT】 ・スライムの量

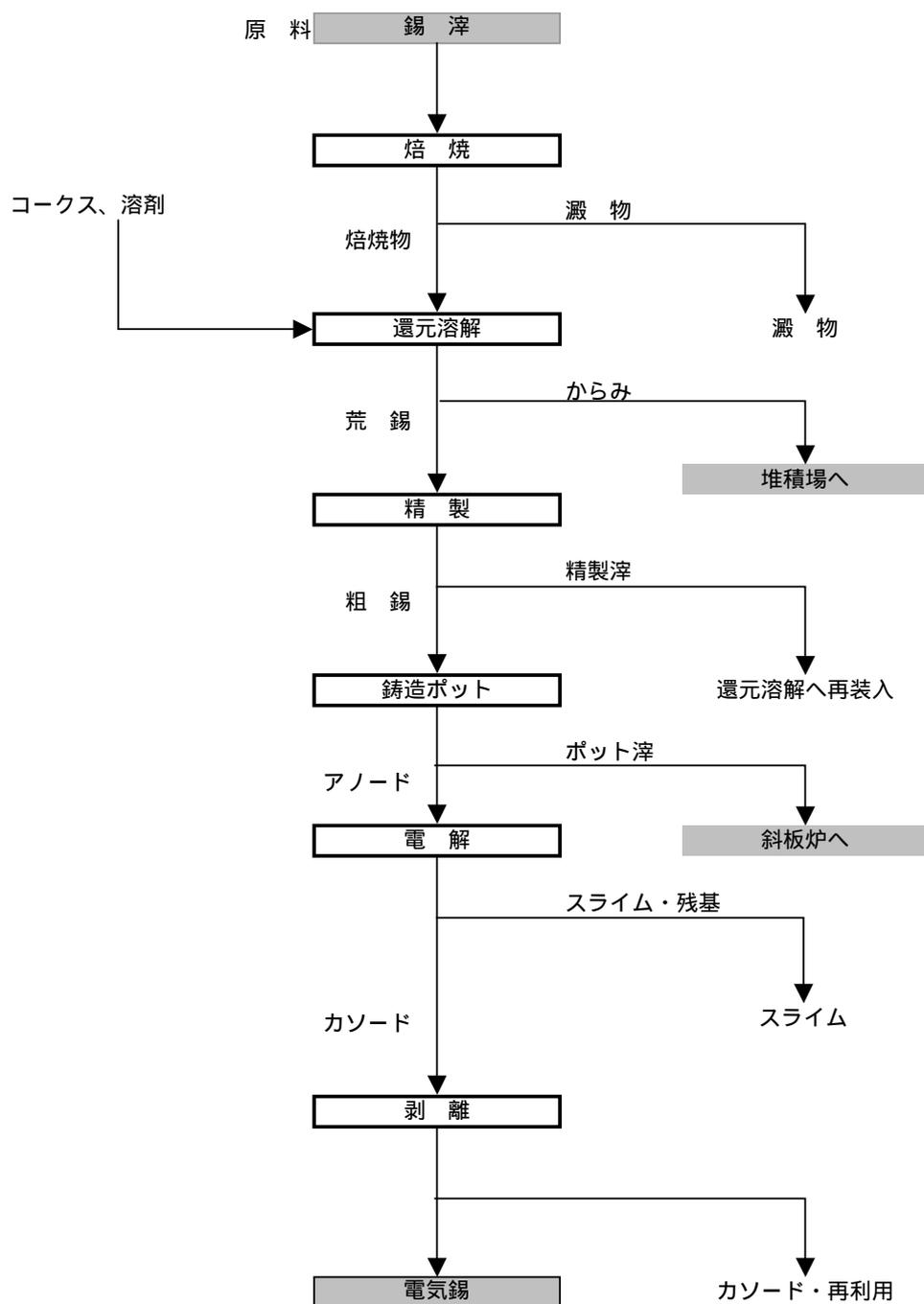
注) **【INPUT】** : 当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

【OUTPUT】: 当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

【設備データ】: 当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】や**【設備データ】**、**【OUTPUT】**で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が大いなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

3) プロセスのフロー及び物質収支データの整理

プロセスのフロー

出典) 斎藤 英臣ら,生野製作所における錫製錬,資源と素材 109 (1993) No.12 141-

物質収支等データの整理

物質量、エネルギー量は月当たり

プロセス	INPUT		OUTPUT		備考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
焙 焼	錫 滓	188.3 t	焙焼物 澱物・ガス等 【CO ₂ emission】	169.5 t	ローリ-キ使用 重油 35L/hour (平均) 錫滓のうち一割を処理すると仮定 4日/月(1日24時間)稼動
	重 油	131 GJ		18.8 t	
還元溶解	焙焼澱物	169.5 t	荒 錫 からみ 【CO ₂ emission】	85.7 t	電気炉：バッチ式 1 サイクル 3hour, 1,350kWh/サイクル 1日2サイクル、20日/月稼動と仮定
	電 力	510 GJ		83.8 t	
精 製	荒 錫	85.7 t	粗 錫 精製滓 【CO ₂ emission】	71.4 t	荒錫の品位：90%
	重 油	(不明)		14.3 t	
鑄造ポット	粗 錫	71.4 t	アノード ポット滓 【CO ₂ emission】	56.9 t	アノード中 Sn 品位：97.55% ポット滓中 Sn：品位 85%
	電 力	(不明)		14.5 t	
電 解	アノード	56.9 t	電気錫 スライム 【CO ₂ emission】	55.0 t	品位：99.996% 電解による消費電力： 200kWh/t-電解 Sn 重油使用量(熱風剥離機) =電気錫 1t 当たり 60L 日本鉱業会誌,97 1122('81-8),P.775
	電 力	104 GJ		1.9 t	
重 油	128 GJ				
合 計	【energy】	873 GJ	【CO ₂ emission】	40.4 t	

出所) 各種データより NRI 作成

参考) 齋藤 英臣ら, 生野製作所における錫製錬, 資源と素材 109 (1993) No.12 141-

(17) Sb (アンチモン)

1) 製錬の状況

製錬の方法

金属Sbの主な原料鉱物は、硫化鉱、酸化鉱である。最も重要な鉱石は、輝安鉱 (Sb_2S_3) であり、ほとんどのSb製錬が Sb_2S_3 を原料として行われる。製錬方法としては、乾式法と湿式法があるが、現在は乾式法が主流となっている。乾式法としては、酸化Sb還元法が最も一般的である。

金属アンチモンの製錬法	出発原料	本報告書で対象とした製錬法
乾式法 (酸化Sb還元法)	硫化鉱	
乾式法 (鉄沈澱法)	高品位硫化鉱	×
乾式法 (溶鉱炉法)	硫化鉱	×
湿式法	硫化鉱	×

出典) 2000年金属データブックより作成

国内での利用状況

アンチモンの最終製品としての主用途	具体的な製品	国内需要量 (2001年年)
特殊鋼	-	116,301 t
蓄電池	自動車用 等	203,787 t
硬鉛鋳物	化学装置 等	99,132 t
電線・ケーブル	-	10,338 t
その他	潤滑材、合成樹脂難燃助剤 等	200,648 t

出典) 平成13年度 経済産業省 資源統計年報、金属鉱業事業団ホームページ等

2) 物質収支等データの整備状況

プロセス	文献等から 取得したデータ	使用したデータ		未取得のデータ
		本報告書で仮定・推計 したデータ		
乾燥	【INPUT】 ・ 鉱石中 Sb 品位: 61.5% 【設備データ】 ・ バンドドライヤ使用	【INPUT】 ・ 水の蒸発潜熱を推計の上、消費I補 ギ-として計上。ロス分は考慮せず ・ 加熱は重油で行うとした	【INPUT】 ・ 鉱石投入量 【OUTPUT】 ・ Sbの回収率 ・ 乾燥精鉱の量、Sb品位 ・ 蒸発した水分量 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入するI補ギ-の種類と消費量	
鉱石転炉	【OUTPUT】 ・ 三酸化 Sb 品位: 79.48% ・ カミ中の Sb 品位: 40% 【設備データ】 ・ 回転炉:LPG 使用 ・ 転炉処理能力: 30t/30hour	【INPUT】 ・ 水の蒸発潜熱を推計の上、消費I補 ギ-として計上。ロス分は考慮せず ・ 加熱は重油で行うとした ・ 酸素は、酸化によって消費された量 として計算	【OUTPUT】 ・ Sbの回収率 ・ 三酸化 Sb の量 ・ Sb含有カラミの量 【設備データ】 ・ 動力等の仕様 ・ LPG消費量	
電気炉	/	【OUTPUT】 ・ Sbの収率を99%として仮定	【OUTPUT】 ・ Sbの回収率 ・ 三酸化 Sb の量 ・ カラミの量 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 電気消費量及びその他投入I補 ギ-の種類と消費量	
還元	【OUTPUT】 ・ 金属 Sb の品位: 98.79% ・ 三酸化 Sb 品位: 71.75% 【設備データ】 ・ 反射炉:重油使用	【INPUT】 ・ 三酸化 Sb は鉱石転炉、電気炉の合 計値として計上 ・ コークスの固定炭素分を80%とし、全量 がCO ₂ として排出されると仮定 ・ 消費したソーダ灰の製造時I補ギ-を推 計 【OUTPUT】 ・ 消費したソーダ灰の製造時に排出する CO ₂ 量を推計	【OUTPUT】 ・ Sbの回収率 ・ カラミの品位 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入I補ギ-の種類と消費量	

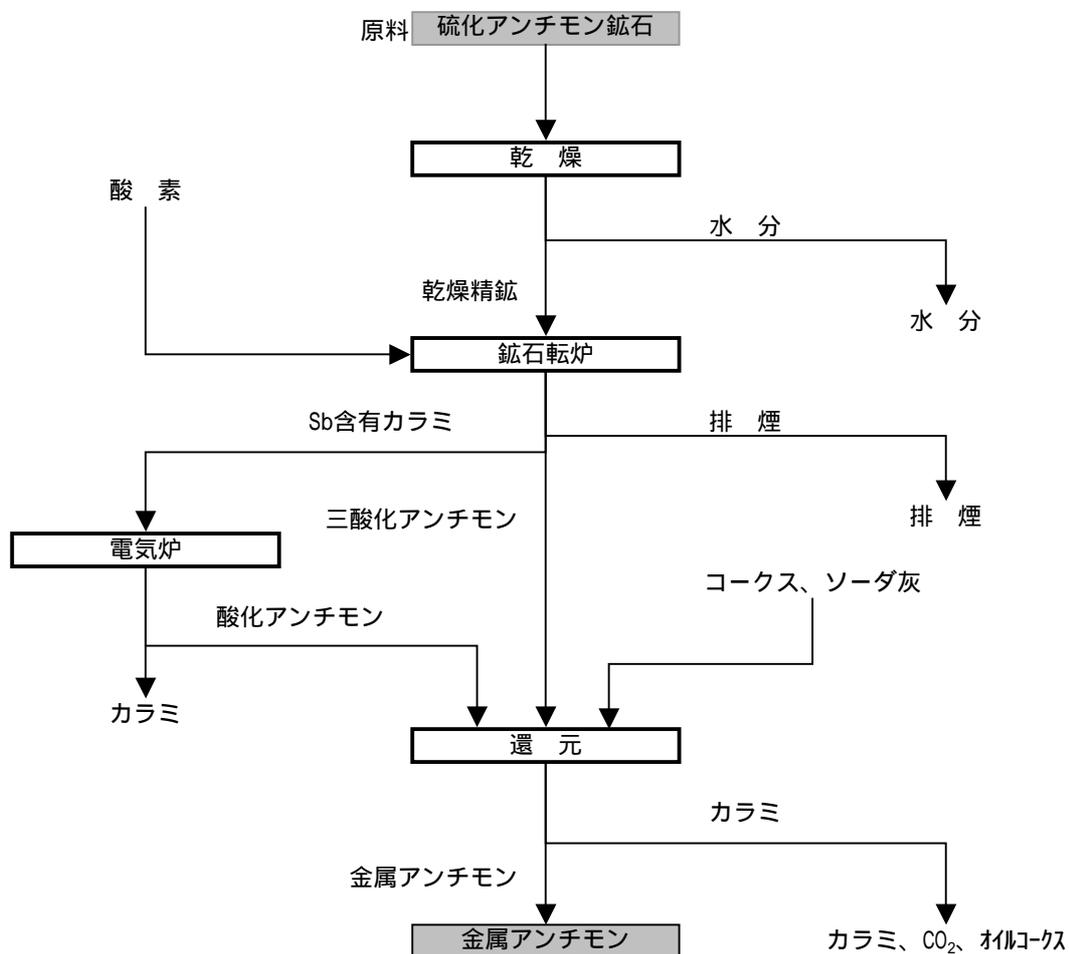
注)【INPUT】：当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

【OUTPUT】：当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

【設備データ】：当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】や【設備データ】、【OUTPUT】で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が大いなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

3) プロセスのフロー及び物質収支データの整理

プロセスのフロー

出典) 溝口 准市, 中瀬精錬所におけるアンチモン化合物の製造 (日本精鉱株), 資源と素材 109 (1993) No.12 p.1198-

物質収支等データの整理

物質、エネルギー量は反射炉1バッチ当たりの値

プロセス	INPUT		OUTPUT		備考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
乾燥	硫化アンチモン (うち Sb) その他添加物 (その他添加物) 消石灰 重油	3.9 t (2.4 t) +α 0.50 GJ	乾燥精鉱 (うち Sb) 水分 【CO ₂ emission】	3.7 t + (2.4 t) 0.22 t 34.4 kg	Sb品位：61.5% バンドドライヤ使用 水の蒸発潜熱をErefに計上。加熱は重油とする
鉱石転炉	乾燥精鉱 (うち Sb) 酸素 LPG	3.7 t (2.4 t) 1.1 t (不明)	三酸化アンチモン (うち Sb) Sb含有カラミ 排煙 【CO ₂ emission】	2.7 t (2.2 t) 0.60 t 1.42 t (不明)	鉱石転炉の1サイクル操業当たりの処理能力は30t/30時間で、そのたびに傾転してカラミを取り除く 三酸化アンチモン品位：79.48% カラミ中のSb品位：40% 回転炉：LPG使用
電気炉	Sb含有カラミ (うち Sb) 電力	0.60 t (0.23 t) (不明)	三酸化アンチモン (うち Sb) カラミ 【CO ₂ emission】	0.29 t (0.23 t) 0.31 t (不明)	Sb含有カラミ中のSb収率99%と仮定 三酸化アンチモン品位：79.48%
還元	三酸化アンチモン (うち Sb) オイルコークス ソーダ灰 その他添加物 (その他添加物) 苛性ソーダ 電力 オイルコークス 重油 【ソーダ灰製造】	3.0 t (2.4 t) 0.22 t 0.10 t +α (不明) 7.82 GJ (不明) 1.00 GJ	金属アンチモン (うち Sb) カラミ 三酸化アンチモン (うち Sb) CO ₂ オイルコークス (未反応) 【CO ₂ emission】 (うちソーダ灰製造)	2.2 t (2.2 t) 0.32 t + 0.27 t (0.19 t) 0.49 t 0.03 t 1,120 kg (82 kg)	三酸化アンチモンは鉱石転炉、電気炉の合計 オイルコークス：還元剤として ソーダ灰：溶剤として 金属アンチモン品位：98.79% 生成した三酸化アンチモン品位：71.75% 苛性ソーダ：高純度メタル製造の場合使用 反射炉：重油使用 ソーダ灰製造の環境負荷を考慮 コークスの固定炭素分を80%とし、全量がCO ₂ として排出されると仮定。 Sb還元で生じるCO ₂ を排出量に計上。
合計	【energy】 (うち原料製造)	9.32 GJ (1.00 GJ)	【CO ₂ emission】 (うち原料製造)	1,154 kg (82 kg)	

出所) 各種データより NRI 作成

参考) 溝口 准市, 中瀬精錬所におけるアンチモン化合物の製造 (日本精鉱株), 資源と素材 109 (1993) No.12 p.1198-

(18) Hf（ハフニウム）

1) 製錬の状況

製錬の方法

ハフニウムは、ジルコニウム鉱石にHfO₂として含有する。金属ハフニウムは、ジルコニウム製錬における副産物として生産される。

金属ハフニウムの製錬法	出発原料	主な生産者 「企業名、()内は国名」	本報告書で対象とした製錬法
ジルコニウム製錬の副産物として	Zr 製錬における抽出 尾液（硫酸ハフニル）	Wah Chang（米）、Westinghouse （米）、CEZUS（仏）等	

出典) 2000年金属データブックより作成

国内での利用状況

金属ハフニウムの最終製品としての主用途	具体的な製品
原子炉材	制御棒材 等
電極チップ	金属材料の切断、溶接用電極チップ 等
添加剤	Ta,Mo,W,Nb等の超強力耐熱合金 等 (航空機用エンジン部品等)
耐食材	化学プラント、化学機器 等
電子機器材	X線管、整流管、高圧放電管の陰極、光ファイバー材料 等

出典) 2000年金属データブック、金属鉱業事業団ホームページ等

2) 物質収支等データの整備状況

プロセス	文献等から 取得したデータ	使用したデータ		未取得のデータ
		本報告書で仮定・推計 したデータ		
沈殿・ 焙焼		【OUTPUT】 ・ Hf の収率を 98% と仮定 ・ Zr 抽出尾液（硫酸）の量は、ジルコニウムの物質収支を参考とし、循環量を除いた純消費分として推計した ・ 酸化 Hf の品位を 90% と仮定	【INPUT】 ・ 抽出尾液量、Hf 濃度 【OUTPUT】 ・ Hf の回収率 ・ 酸化 Hf の量、Hf 品位 ・ 残滓の量、Hf 品位 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入するIHPG-の種類と消費量	
塩化		【INPUT】 ・ Ti 製錬における塩化工程を参考として物質収支を計算 ・ 塩素量は、反応に寄与した分（理論量）とし、ロス分は考慮していない ・ 消費した塩素の製造時IHPG-を推計 【OUTPUT】 ・ Hf の収率を 97% と仮定 ・ 四塩化 Hf の品位を 93% と仮定 ・ 消費した塩素の製造時に排出するCO ₂ 量を推計	【INPUT】 ・ 塩素投入量 ・ 炭素投入量 【OUTPUT】 ・ Hf の回収率 ・ 四塩化 Hf の量、Hf 品位 ・ 不純物の量、Hf 品位 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入するIHPG-の種類と消費量	
還元・ 蒸留分離	【OUTPUT】 ・ Hf 品位: 95.3 ・ 消費した塩素の製造時に排出するCO ₂ 量を推計 【設備データ】 ・ 電熱炉使用	【INPUT】 ・ Ti 製錬における還元工程を参考として物質収支を計算 【OUTPUT】 ・ Hf の収率を 98% と仮定 ・ Hf 品位の品位を 93% と仮定	【INPUT】 ・ Mg 投入量 【OUTPUT】 ・ Hf の回収率 ・ Hf 品位の量 ・ 塩素の発生量 ・ 未反応 Mg の量 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入するIHPG-の種類と消費量	

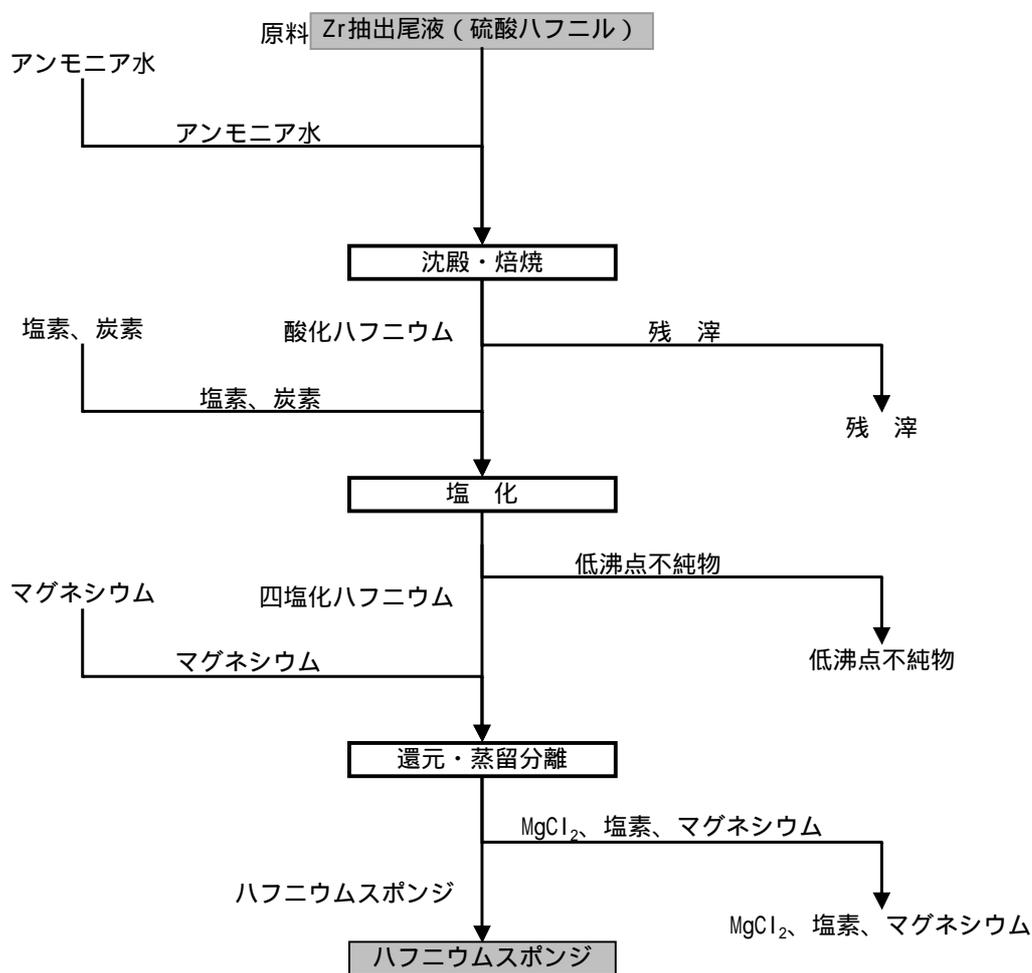
注) **【INPUT】** : 当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

【OUTPUT】: 当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

【設備データ】: 当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】 や **【設備データ】**、**【OUTPUT】** で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が大いなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

3) プロセスのフロー及び物質収支データの整理

プロセスのフロー

出典)小窪 勇平,日本鉱業(中央研究所)におけるジルコニウム,ハフニウム製錬,日本鉱業会誌/97
1122 ('81-8) p877-

物質収支等データの整理

物質・エネルギー量は月当たりの量

プロセス	INPUT		OUTPUT		備考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
沈殿・焙焼	Zr 抽出尾酒 (うち Hf) (その他) アンモニア水 電力 燃料	5.6 kL (225.3 kg) (0.8 t) +α (不明) (不明)	酸化ハフニウム (うち Hf) 残滓・水蒸気 【CO ₂ emission】	273.2 kg (220.8 kg) 779.3 kg + (不明)	Hf の収率を 98% と仮定 抽出液中の Hf は、HfO(SO ₄) ₂ イオンとして存在する
塩化	酸化ハフニウム (うち Hf) 塩素 炭素 電力 【塩素生産】	273.2 kg (220.8 kg) 178.1 kg 20.2 kg (不明) 1.3 GJ	四塩化ハフニウム (うち Hf) 低沸点不純物 【CO ₂ emission】 (うち塩素製造)	402.4 kg (213.7 kg) 69.2 kg 109.3 kg (109.3 kg)	Ti 製錬における塩化工程を用いて物質収支を算出 Hf の収率を 97% と仮定 酸化ハフニウムの品位：90% と仮定 四塩化ハフニウムの品位：93% と仮定 塩素生産に係る環境負荷を考慮する
還元・蒸留分離	四塩化ハフニウム (うち Hf) マグネシウム 電力	402.4 kg (213.7 kg) 94.0 kg (不明)	ハフニウムポンジ (うち Hf) MgCl ₂ 塩素 Mg (未反応) 【CO ₂ emission】	219.4 kg (209.0 kg) 239.5 kg 4.6 kg 32.9 kg (不明)	Ti 製錬における還元工程を用いて物質収支を算出 Hf の収率を 98% と仮定 Hf 品位：95.3% Zr 製錬における主原料「ルンガット」からの Hf 収率を 90% と仮定 電熱炉使用
合計	【energy】 (うち原料製造)	1.3 GJ 1.3 GJ	【CO ₂ emission】 (うち原料製造)	109.3 kg (109.3 kg)	

出所) 各種データより NRI 作成

参考) 小窪 勇平, 日本鋳業(中央研究所)におけるジルコニウム, ハフニウム製錬, 日本鋳業会誌/97
1122 ('81-8) p877-

(19) T a (タンタル)

1) 製錬の状況

製錬の方法

タンタルの主要鉱石は、タンタライト(Tantalite)やコロンバイト(Columbite)に代表されるが、近年ではタンタル鉱石よりも、すず製錬等からの副産物(鉱さい)や人工精鉱からの生産が一般的とされる。タンタルとニオブは、多くの場合鉱石中に並存する形で産する。

製錬法としては、鉱石を疎解するためのフッ素溶解法、原料を精製するための MIBK による溶媒抽出法、そしてタンタル粉末を得るためのアルカリ金属(金属 Na)による還元法が主流とされている。

金属タンタルの製錬法	出発原料	製錬の状況	本報告書で対象とした製錬法
フッ素溶解法 / MIBK 抽出 / アルカリ金属還元	タンタル鉱石 (低 ~ 高品位鉱)	最も一般的に行われている	
アルカリ融解 / 分別結晶法 / 電解法等	タンタル鉱石 (高品位鉱)	-	×
塩素化法 / 電解法等	すず尾鉱、すずスラグ	鉱石以外の供給源として最も一般的である	×

出典) 2000 年金属データブックより作成

国内での利用状況

金属タンタルの最終製品としての主用途	具体的な製品
コンデンサ用粉末	-
超硬工具用	炭化タンタル等
圧延加工品	-
電子工業用	線、はく等
一般工業	耐熱、耐食材料、棒、管等
その他	光学レンズ、耐熱、耐食性材料等

出典) 2000 年金属データブック、金属鉱業事業団ホームページ等

2) 物質収支等データの整備状況

プロセス	使用したデータ		未取得のデータ
	文献等から 取得したデータ	本報告書で仮定・推計 したデータ	
フッ酸 溶解	【INPUT】 ・ 鉱石中 Ta 品位: 41% 【OUTPUT】 ・ Ta、Nb の平均 の溶解率を 90% と仮定 ・ 溶解液の Ta 濃 度:17.3g/L 【設備データ】 ・ 溶解温度:60	【INPUT】 ・ 使用するタタリ鉱石は、高・中品位鉱石と 仮定 ・ フッ酸投入量は、循環量を除いた純消費 分として推計(物質収支は銅の湿式製錬を 参考とした) ・ 消費したフッ酸の製造時I ₁ を推計 【OUTPUT】 ・ Ta、Nb の平均の溶解率を 90%と仮定 ・ 消費したフッ酸の製造時に排出するCO ₂ 量 を推計	【INPUT】 ・ フッ酸投入量、循環量 ・ 鉱石投入量 【OUTPUT】 ・ Ta の溶解率、溶解液の量 ・ 溶解残さ量、Ta 濃度 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入するI ₁ の種類と消費量 ・ 溶解液の加熱等に要するI ₁ の種類と消費量
溶媒抽出	【設備データ】 ・ 連続運転操作	【INPUT】 ・ MIBK 投入量は、循環量を除いた純消費分 として推計(物質収支は銅の湿式製錬を参 考とした) ・ 消費した MIBK の製造時I ₁ を推計 【OUTPUT】 ・ Ta 抽出率を 95%と仮定 ・ Nb 抽出率を 90%と仮定 ・ 消費したMIBKの製造時に排出するCO ₂ 量 を推計	【INPUT】 ・ MIBK 投入量 【OUTPUT】 ・ Ta、Nb の抽出率 ・ 抽出液量 ・ 酸廃液の量、Ta 濃度 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入するI ₁ の種類と消費量 ・ 抽出液の加熱等に要するI ₁ の種類と消費量
逆抽出	【設備データ】 ・ 連続運転操作	【OUTPUT】 ・ Ta、Nb の抽出率をそれぞれ 95%と仮定	【INPUT】 ・ 希硫酸、水の投入量、循環量 【OUTPUT】 ・ Ta、Nb の抽出率 ・ Ta 水溶液量、Ta 濃度 ・ Nb 水溶液量、Nb 濃度 ・ 抽出尾液の量、Ta、Nb 濃度 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入するI ₁ の種類と消費量 ・ 抽出液の加熱等に要するI ₁ の種類と消費量
晶出	【OUTPUT】 ・ K ₂ TaF ₇ 中 Ta 品 位:46.3%	【INPUT】 ・ フッ化カリウムは、反応に寄与した分(理 論量)のみを計算 【OUTPUT】 ・ Ta の収率を 95%と仮定	【INPUT】 ・ フッ化カリウムの投入量 【OUTPUT】 ・ K ₂ TaF ₇ の量 ・ Ta の収率 ・ 廃液の量、Ta 濃度 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入するI ₁ の種類と消費量
金属還元	【OUTPUT】 ・ Ta 粉末の品位: 99.74%	【INPUT】 ・ 金属 Na の量は、反応式より理論量を計算 【OUTPUT】 ・ Ta の収率を 95%と仮定	【INPUT】 ・ 金属 Na の量 【OUTPUT】 ・ タンタル粉末の量 ・ Ta の収率 ・ 残さの量 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入するI ₁ の種類と消費量

注) **【INPUT】** : 当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

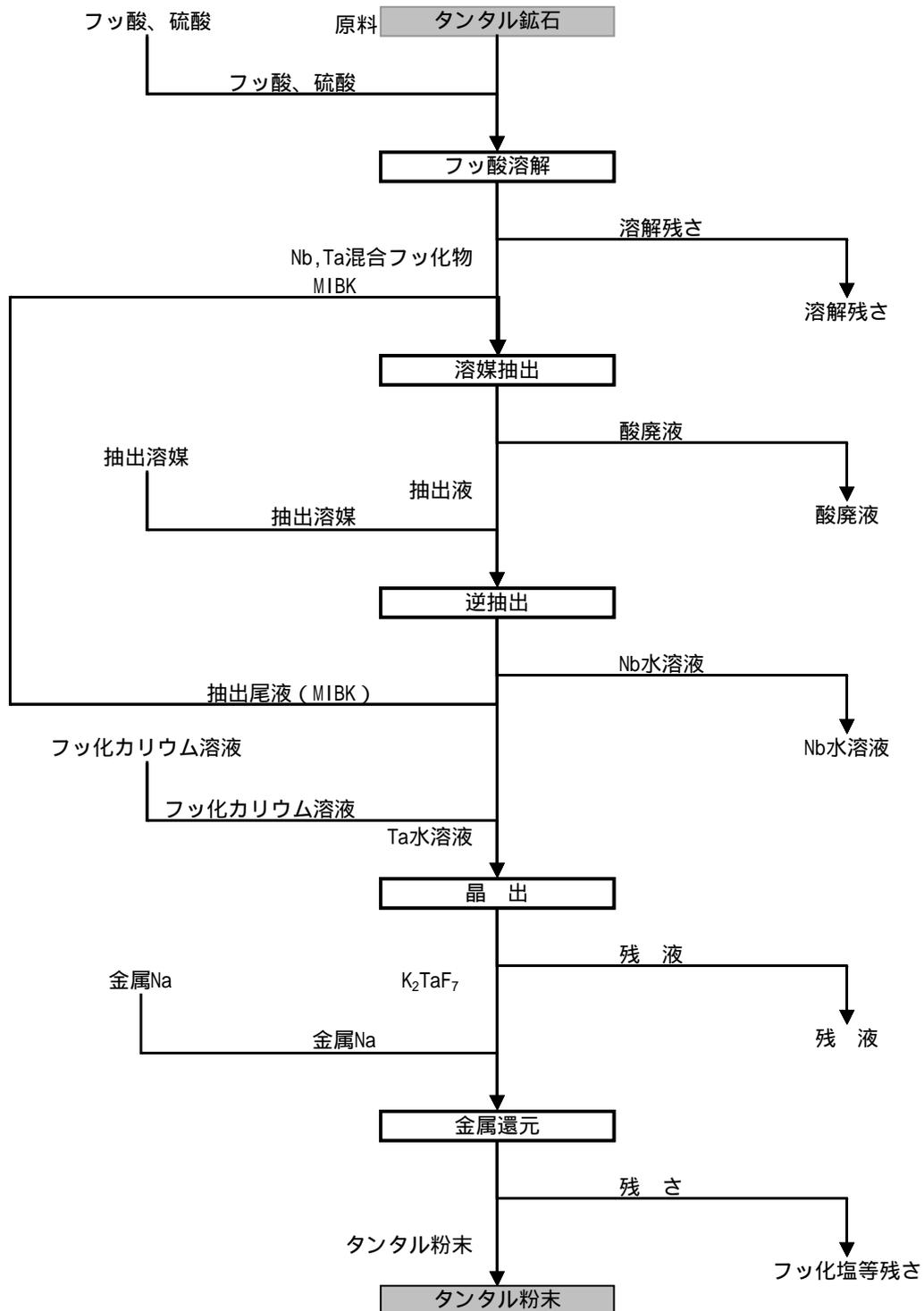
【OUTPUT】: 当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

【設備データ】: 当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】や**【設備データ】**、**【OUTPUT】**で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が大きいなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

3) プロセスのフロー及び物質収支データの整理

プロセスのフロー



出典)三浦 利夫,三金レア・アース(株)におけるタンタル・ニオブの製錬,日本鉱業会誌/97 1122('81-8)
 p.869-
 金属工学講座 非鉄製錬

物質収支等データの整理

物質・エネルギー量は原料鉱石を 10 t とした時の値

プロセス	INPUT		OUTPUT		備 考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
フッ酸溶解	タンタル鉱石 (うち Ta) (うち Nb) フッ酸 硫酸 電 力 【フッ酸製造】	10 t (4.1 t) (1.4 t) 213 kL +α (不明) 20 GJ*	Nb,Ta 混合溶液 (うち Ta) (うち Nb) (上記以外) 溶解残さ 【CO ₂ emission】 (うちフッ酸製造)	213 kL + (3.7 t) (1.3 t) (4.1 t) 1.0 t 1.8 t (1.8 t*)	タタリ鉱石は、高・中品位鉱石と仮定 鉱石中 Ta 品位：41% 平均溶解率 90%と仮定 硫酸は pH 調整のために使用 フッ酸中 Ta 濃度:17.3g/L 溶解温度：60 フッ酸製造のエネルギーを考慮(循環分を除く新規投入分について銅製錬データを参考に計算)
溶媒抽出	Nb,Ta 混合溶液 (うち Ta) (うち Nb) MIBK 電 力 【MIBK 製造】	213 kL (3.7 t) (1.3 t) 346 kL (不明) 314 GJ*	抽出液 (うち Ta) (うち Nb) 酸廃液 【CO ₂ emission】 (うち MIBK 製造)	346 kL (3.5 t) (1.1 t) 213 kL 46 t (46 t*)	Ta 抽出率:95%と仮定 Nb 抽出率:90%と仮定 連続運転操作 MIBK 製造のエネルギーを考慮(循環分を除く新規投入分について銅製錬データを参考に計算)
逆抽出	抽出液 (うち Ta) (うち Nb) 希硫酸 水 電 力	346 kL (3.5 t) (1.1 t) (量は不明) (量は不明) (不明)	タンタル水溶液 (うち Ta) ニオブ水溶液 (うち Nb) 抽出尾液 【CO ₂ emission】	(量は不明) (3.3 t) (量は不明) (1.1 t) 346 kL (不明)	Ta,Nb は酸濃度の違いによる溶解度の差を利用して完全に分離されるものとする 逆抽出率は Ta,Nb とも 95%と仮定 希硫酸:Nb 逆抽出用 水:Ta 逆抽出用 連続運転操作
晶 出	タンタル水溶液 (うち Ta) フッ化カリウム 電 力	(量は不明) (3.3 t) 3.7 t (不明)	K ₂ TaF ₇ (うち Ta) 廃 液 【CO ₂ emission】	6.8 t (3.2 t) (量は不明) (不明)	フッ化タタリ中 Ta 品位:46.3% Ta 収率 95%と仮定
金属還元	K ₂ TaF ₇ (うち Ta) 金属 Na 燃 料	6.8 t (3.2 t) 2.2 t (不明)	タンタル粉末 残さ(フッ化物等) 【CO ₂ emission】	3.0 t 6.1 t (不明)	Ta 粉末品位:99.74% Ta 収率 95%と仮定
合 計	【energy】 (うち原料製造)	334 GJ (334 GJ*)	【CO ₂ emission】 (うち原料製造)	48 t (48 t*)	

出所) 各種データより NRI 作成

参考) 三浦 利夫, 三金レア・アース(株)におけるタンタル・ニオブの製錬, 日本鉱業会誌/97 1122('81-8)
p.869-

金属工学講座 非鉄製錬

(20) W (タングステン)

1) 製錬の状況

製錬の方法

W鉱石は、シーライト(灰重石:CaWO₄)、ウォルフラマイト(鉄Mn重石)の二つに大きく分けられる。これらの原鉱の品位は一般的に低いことから、各種の選鉱法を適用・繰り返すことで、品位を高め、WO₃を経て還元することによって金属Wを得る。

金属タングステンの製錬法	出発原料	主な生産者 「企業名、()内は国名」	本報告書で対象とした製錬法
APT を経て還元する製錬法	鉄 Mn 鉱石、灰重石	Sandvikens jernverks AB (スウェーデン)、 London Scandinavian Metallurgical Co.,ltd. (英)等	

出典) 2000 年金属データブックより作成

国内での利用状況

金属タングステンの最終製品としての主用途	具体的な製品
超硬合金、及び工具	切削、耐磨耗、耐食、鉱山土木用 等
特殊鋼	高速度鋼、耐熱鋼、工具鋼 等
金属タングステン製品	照明、電気・電子部品、抵抗材料、電気化学用電極 等
合金	Ni,Co,Fe などとの合金
化成品	触媒、顔料

出典) 2000 年金属データブック、金属鉱業事業団ホームページ等

2) 物質収支等データの整備状況

プロセス	使用したデータ		未取得のデータ
	文献等から 取得したデータ	本報告書で仮定・推計 したデータ	
焙 焼	【設備データ】 ・ローリーキル使用	【INPUT】 ・鉱石中 W 品位を 55%と仮定 【OUTPUT】 ・W のロスはずゼロと仮定	【INPUT】 鉱石の投入量 ・鉱石の品位 【OUTPUT】 ・焙焼物の量、W 品位 ・残さの量、W 濃度 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するエネルギーの種類と消費量
粉碎・ 溶解	【OUTPUT】 ・W 抽出率:99.7% 【設備データ】 ・ロッドミル、ボールミル使用	【OUTPUT】 ・W の抽出率を基に物質収支を計算 【設備データ】 ・ロッドミル1基(45kW)、ボールミル1基(150kW)、 攪拌機 1 基(2.2kW)、オバフィルター 1 基 (3.7kW)を 25 日/月(1日 24 時間)稼 動と仮定	【INPUT】 NaOH の投入量 【OUTPUT】 溶解液の量、W 濃度 ・残さの量、W 品位 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するエネルギーの種類と消費量 ・溶解液の加熱等に要するエネルギーの 種類と消費量
Ca 沈澱		【INPUT】 CaCl ₂ は、反応式に基づいて理 論量として計算 【OUTPUT】 ・W の収率を 95%と仮定 【設備データ】 ・攪拌機 1 基(1.5kW)を 15 日/月(1日 24 時間)稼動と仮定	【INPUT】 CaCl ₂ の投入量 【OUTPUT】 ・沈澱物の量、W 品位 ・残液量、W 濃度 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するエネルギーの種類と消費量
酸沈澱		【INPUT】 ・塩酸は、反応式に基づき、酸濃度 35% として理論量を計算 ・消費した塩酸の製造時エネルギーを推計 【OUTPUT】 ・W の収率を 95%と仮定 ・消費した塩酸の製造時に排出するCO ₂ 量 を推計 【設備データ】 ・攪拌機 1 基(1.5kW)を 15 日/月(1日 24 時間)稼動と仮定	【INPUT】 ・塩酸の投入量、循環量、酸濃度 【OUTPUT】 ・スリ-の量、W 品位 ・残液の量、W 濃度 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するエネルギーの種類と消費量
溶 解		【INPUT】 ・アンモニア水の量は、反応式に基づいて計算。 【OUTPUT】 W の収率を 95%と仮定 【設備データ】 ・攪拌機使用 1 基(1.5kW)、フィルター使 用 1 基(0.4kW)を 10 日/月(1日 24 時 間)稼動と仮定	【INPUT】 アンモニア水の投入量 【OUTPUT】 ・溶解液の量、W 濃度 ・残さの量、W 品位 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するエネルギーの種類と消費量
晶出・分 離・乾燥		【OUTPUT】 ・反応式に基づいて物質収支を計算 ・乾燥によって、水分の 9/10 が蒸発する ものとし、蒸発潜熱をエネルギー消費分とし て計上(重油使用とした) 【設備データ】 ・攪拌機使用 1 基(1.5kW)、遠心分離機 使用 1 基(55kW)を 10 日/月(1日 24 時間)稼動と仮定	【OUTPUT】 ・APT の量、W 品位 ・アンモニアの生成量 ・残液量、液蒸発量 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するエネルギーの種類と消費量
還 元	【設備データ】 ・ローリー還元炉使用	【OUTPUT】 ・反応式に基づいて物質収支を計算	【OUTPUT】 不純物の量 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するエネルギーの種類と消費量

注) 【INPUT】 : 当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

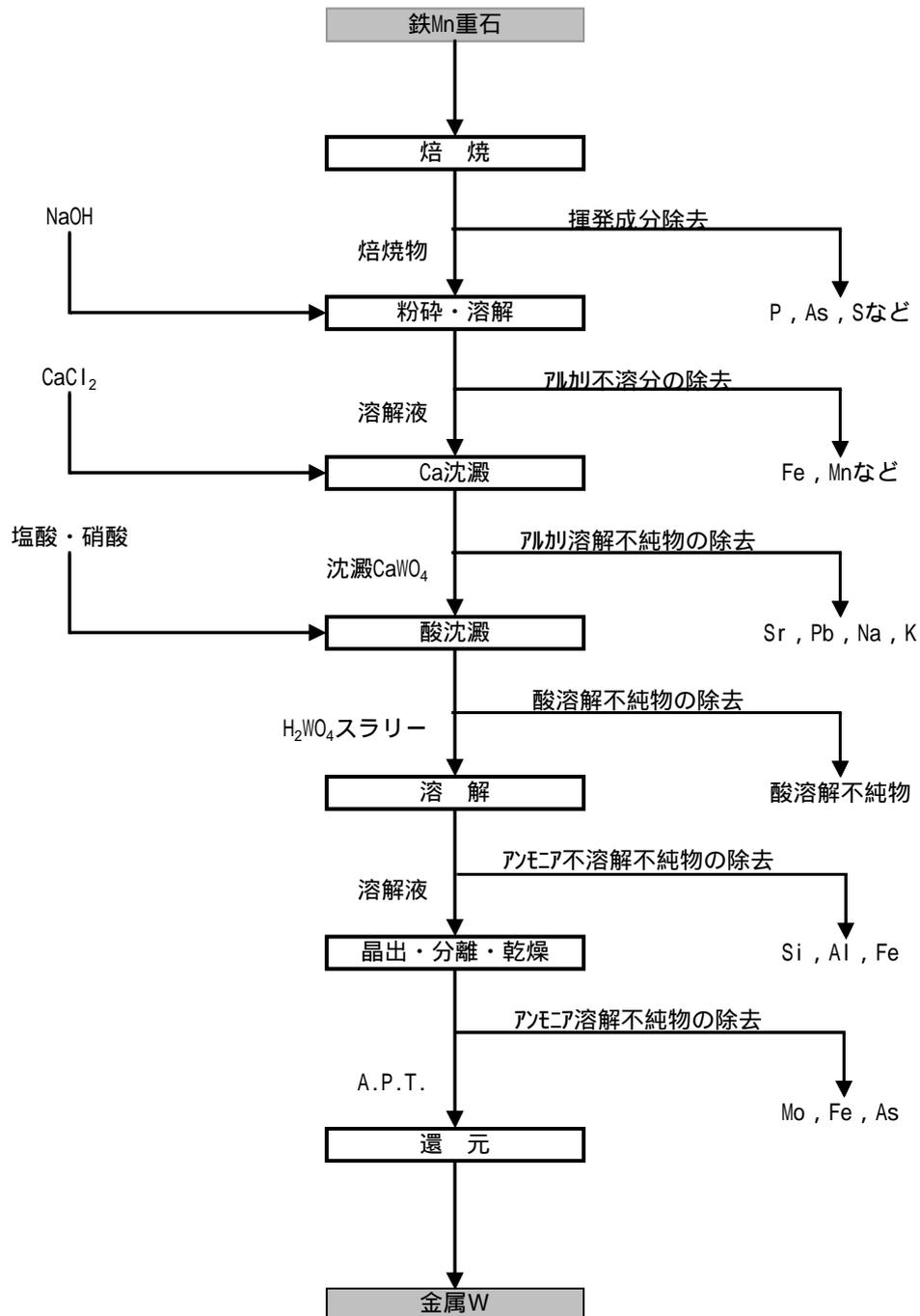
【OUTPUT】: 当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

【設備データ】: 当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】や【設備データ】、【OUTPUT】で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が大い
などの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータで
あることを示す。

3) プロセスのフロー及び物質収支データの整理

プロセスのフロー



□A.P.T. : $5(\text{NH}_4)_2\text{O} \cdot 12\text{WO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

出典) 林原 像二ら, 東芝横浜金属工場におけるタングステン精錬, 日本鉱業会誌, 97 1122 ('81-88) 243-

物質収支等データの整理

物質、エネルギー量は月当たりの値

プロセス	INPUT		OUTPUT		備 考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
焙 焼	鉄 Mn 重石 (うち W) 燃 料	63.8 t (35.1 t) (不明)	焙焼物 除去不純物 【CO ₂ emission】	57.8 t 6.0 t (不明)	鉱石品位 55%と仮定。W のロスはないものと仮定 硫黄分の除去が行われる ロータリー使用
粉碎・溶解	焙焼物 NaOH 水溶液 電 力	57.8 t (量は不明) 1,139 GJ	溶解液 (うちNa ₂ WO ₄) 残 さ 【CO ₂ emission】	(量は不明) (55.9 t) 1.9 t 41.6 t	W 抽出率：99.7% ロッドミル(1基,45kW とする) ボールミル(1基,150kW とする) 攪拌機使用(1基,2.2kW とする) カバーフィルム使用(1基,3.7kW とする) 25日/月(1日24時間)稼働と仮定
Ca 沈澱	溶解液 (うちNa ₂ WO ₄) CaCl ₂ 電 力	(量は不明) (55.9 t) 20.1 t 5.1 GJ	沈澱物 (うちCaWO ₄) 残 液 【CO ₂ emission】	57.8 t (52.1 t) (量は不明) 0.19 t	収率を 95%と仮定 攪拌機使用(1基,1.5kW とする) 15日/月(1日24時間)稼働と仮定
酸沈澱	沈澱物 (うちCaWO ₄) 塩 酸 硝 酸 電 力 【塩酸製造】	57.8 t (52.1 t) 37.7 t +α 5.1 GJ 103 GJ	H ₂ WO ₄ スラリー (うちH ₂ WO ₄) 残 液 【CO ₂ emission】 (うち塩酸製造)	47.7 t (42.9 t) 47.8 t+ 8.5 t (8.4 t)	収率を 95%と仮定 残液中の Ca 分は再利用 攪拌機使用(1基,1.5kW とする) 15日/月(1日24時間)稼働と仮定
溶 解	H ₂ WO ₄ スラリー (うちH ₂ WO ₄) アンモニア水 電 力	47.7 t (42.9 t) 6.3 kL 4.3 GJ	溶解液 (うち(NH ₄) ₂ WO ₄) 残 さ 【CO ₂ emission】	6.3 kL (46.3 t) 4.8 t 0.16 t	収率を 95%と仮定 攪拌機使用(1基,1.5kW とする) フィルム使用(1基,0.4kW とする) 10日/月(1日24時間)稼働と仮定
晶出・分離 ・乾燥	溶解液 (うち(NH ₄) ₂ WO ₄) (うち水和に消費される量) 電 力 重 油	6.3 kL (46.3 t) (1.2 t) 128 GJ 10.2 GJ	APT アンモニア 残 液 (うち乾燥・ 蒸発水分) 【CO ₂ emission】	42.6 t 5.5 t 5.0 kL (4.5 kL) 5.4 t	A.P.T. : 5(NH ₄) ₂ O · 12WO ₃ · 5H ₂ O 乾燥により、10分の1に濃縮 (重油使用と仮定) 攪拌機使用(1基,1.5kW とする) 遠心分離機使用(1基,55kW とする) 10日/月(1日24時間)稼働と仮定
還 元	A P T 燃 料	42.6 t (不明)	金属 W その他 【CO ₂ emission】	30.0 t 12.6 t (不明)	水素還元(水素は循環使用) ロータリー還元炉使用 1日24時間稼働
合 計	【energy】 (うち原料製造)	1,395 GJ (103 GJ)	【CO ₂ emission】 (うち原料製造)	56 t (8.4 t)	

出所) 各種データより NRI 作成

参考) 林原 像二ら, 東芝横浜金属工場におけるタングステン精錬, 日本鉱業会誌, 97 1122 ('81-88) 243-

(21) Au (金)

1) 製錬の状況

製錬の方法

金の製錬法としては、比重差を利用する水選法、水銀を利用する混こう法、そして青化液による溶解を行う青化法などがある。その他、国内では、珪酸質の金銀鉱を、銅や鉛の乾式製錬のフラックスとして使用し、副産物として金を産することも行われている。精製する方法としては、電解法が広く利用される。

金の製錬法	出発原料	製錬の状況	本報告書で対象とした製錬法
水選法 (重力選別法)	砂金を含む砂土	現在は例がない	×
混こう法	金銀鉱(泥鉱)	-	×
青化法 / 電解法	金銀鉱(砂鉱)	-	

出典) 2000年金属データブック等より作成

国内での利用状況

金の最終製品としての主用途	具体的な製品
電子電気・通信機器	プリント基板、パソコン、携帯電話、電装品 等
歯科医療	義歯 等
宝飾品	指輪、ネックレス 等
美術・工芸品	宗教用具、金杯 等
メダル	記念メダル 等
その他	金箔、陶磁器 等

出典) 2000年金属データブック、金属鉱業事業団ホームページ等

2) 物質収支等データの整備状況

プロセス	使用したデータ		未取得のデータ
	文献等から 取得したデータ	本報告書で仮定・推計 したデータ	
粗砕・ 摩鋳	【INPUT】 ・原料鉱石 Au 品位：7.0g/t 【OUTPUT】 ・金収率 90%	【設備データ】 ・粗砕・摩鋳工程の稼動を 15 日/月(1 日 24 時間)とし、電気消費量を推計	【INPUT】 ・水の投入量 【OUTPUT】 ・製錬汚泥の量、Au 品位 【設備データ】 ・電力消費以外の投入エネルギーの種類と消費量
溶 解	【OUTPUT】 ・溶液中 Au 濃度:3.2g/t ・ケーキ中 Au 品位: 0.33g/t ・Au 溶解率: 約 95% 【設備データ】 ・ポンプ 6 基 (3.7kW) 使用	【OUTPUT】 ・物質収支は濃度等に基づいて計算 【設備データ】 ・ホバフィルター 6 基 (3.7kW)、チューブミル 1 基 (150kW) を 15 日/月、24 時間/日使用と仮定	【INPUT】 ・青化ソーダの投入量 ・硫酸鉛の投入量 【OUTPUT】 ・溶解液量、ケーキ量 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するエネルギーの種類と消費量 ・溶解液の加熱等に要するエネルギーの種類と消費量
置換・脱水	【OUTPUT】 ・Au 収率:99% ・澱物中 Au 品位: 2.44%	【INPUT】 ・亜鉛末の投入量は、当量の 3 倍使用と仮定して計算	【INPUT】 ・亜鉛粉末の投入量 【OUTPUT】 ・澱物の量 ・溶液量 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するエネルギーの種類と消費量 ・液の加熱等に要するエネルギーの種類と消費量
乾燥・分金	【OUTPUT】 ・粗金中 Au 品位:6.1% 【設備データ】 ・ロータリー 6 基使用 ・焙焼温度 750 ・カミ分離は傾転式溶解炉を使用 ・溶解温度 1,100 ~ 1,200 ・炉は重油使用	【OUTPUT】 ・Au の収率を 95%と仮定 【設備データ】 ・乾燥は、焙焼炉の余熱で行うと仮定 ・バグフィルター 2 基 (22kW) を 15 日/月、24 時間/日稼動と仮定	【OUTPUT】 ・粗金の量 ・澱物の量、Au 品位 ・からみの量、Au 品位 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するエネルギーの種類と消費量
精 製	【OUTPUT】 ・青金中 Au 品位:19.95% 【設備データ】 ・精製炉使用 (重油使用)	【設備データ】 ・精製炉を 15 日/月、24 時間/日稼動と仮定	【OUTPUT】 ・青金の量 ・精製残さの量、Au 品位 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するエネルギーの種類と消費量
電 解	【OUTPUT】 ・電解金 Au 品位:99.99% 【設備データ】 ・電解炉消費電力： 420kWh/t-電解 Au	【OUTPUT】 ・Au 収率を 90%と仮定 ・不純物は全てスライムとして排出されるとした	【OUTPUT】 ・電解金の生成量 ・スライムの量、Au 品位

注) **【INPUT】** : 当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

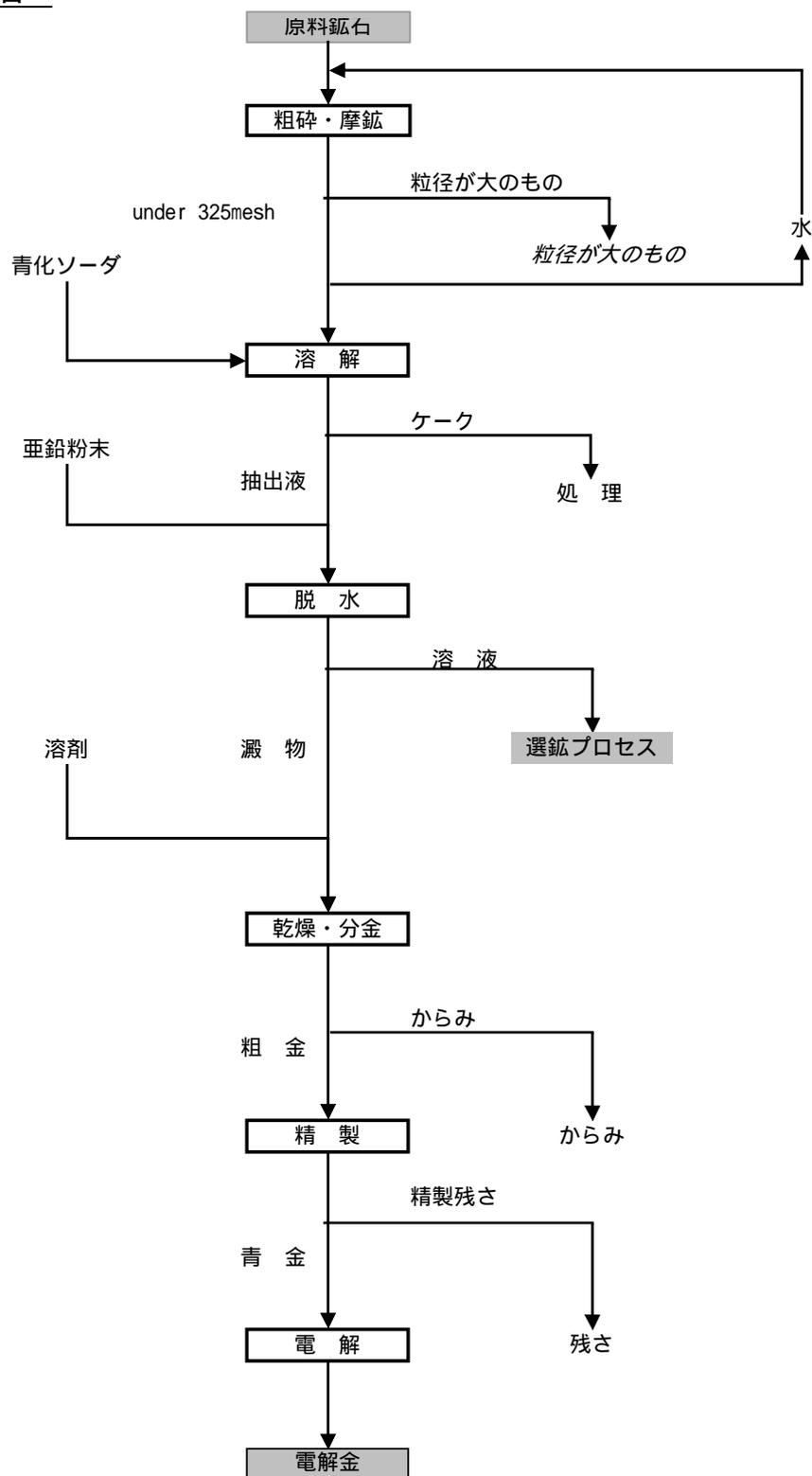
【OUTPUT】: 当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

【設備データ】: 当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】 や **【設備データ】**、**【OUTPUT】** で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が多いなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

3) プロセスのフロー及び物質収支データの整理

プロセスのフロー



出典) 内野智, 串木野鉱山における金銀製錬および副産物製造, 日本鉱業会誌 97 1122('81-8) 757

物質収支等データの整理

物質、エネルギー量は月当たり

プロセス	INPUT		OUTPUT		備考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
粗砕・摩鋳	原料鋳石 (うち Au) 水	11,200 t (78.4 kg) 57,120 t	製錬鋳泥 (うち破碎鋳石) (うち Au) (含水量) 超 325mesh 鋳石 上澄み液	16,320 t (9,520 t) (70.6 kg) (6,800 t) 1,680 t 50,320 t	製錬鋳泥の比重:1.4 原料鋳石 Au 品位: 7.0g/t 金収率 90%() under325mesh 鋳石収率: 85% () 上澄み液は摩鋳工程へ戻す
	電力	3,274 GJ	【CO ₂ emission】	119.7 t	15 日/月,24 時間/日稼動
溶解	製錬鋳泥 (うち Au) 青化ソーダ液 硝酸鉛	16,320 t (70.6 kg) 15,412 t 4.7 t	溶解液 (うち Au) ケーキ	20,936 t (67.0 kg) 10,800 t	溶解液中 Au 濃度: 3.2g/t() ケーキ中 Au 品位: 0.33g/t Au 溶解率:約 95%
	電力	661.3 GJ	【CO ₂ emission】	24.2 t	15 日/月,24 時間/日稼動とする
置換・脱水	溶解液 (うち Au) 亜鉛粉末	20,936 t (67.0 kg) 33.4 kg	澱物 (うち Au) 溶液	2,608 kg (63.6 kg) 20,934 t	亜鉛末で置換 亜鉛末は当量の三倍使用 Au 収率: 99% 澱物中 Au 品位: 2.44%
	電力	(不明)	【CO ₂ emission】	(不明)	
乾燥・分金	澱物 (うち Au) 溶剤 (溶剤) 炭酸水素ナトリウム ホウ砂 ケイ砂	2,608 kg (63.6 kg) +α	粗金 (うち Au) 焙焼澱物 からみ	994 kg (60.5 kg) 85 kg 1,529 kg +	粗金中 Au 品位 6.1% Au 収率: 95%と仮定 乾燥は、焙焼炉の余熱にて行う 焙焼: 回転式使用 (4 基) 焙焼温度: 750 からみ分離: 傾転式溶解炉使用 溶解炉温度 1,100 ~ 1,200 焙焼・溶解とも重油使用
	電力	149.7 GJ	【CO ₂ emission】	5.5 t	15 日/月,24 時間/日稼動とする
	重油	(不明)			
精製	粗金 (うち Au)	994 kg (60.5 kg)	青金 (うち Au) 精製残さ	291 kg (58.0 kg) 704 kg	精製炉 青金中 Au 品位 19.95%
	重油	(不明)	【CO ₂ emission】	(不明)	15 日/月,24 時間/日稼動とする 重油使用
電解	青金	291 kg	電解金 スライム	52.2 kg 238 kg	電解金品位: 99.99% Au 収率: 90%と仮定 電解炉消費電力 420kWh/t-電解 Au
	電力	0.2 GJ	【CO ₂ emission】	0.01 t	
合計	【energy】	4,085 GJ	【CO ₂ emission】	149.3 t	

出所) 各種データより NRI 作成

参考) 内野智, 串木野鋳山における金銀製錬および副産物製造, 日本鋳業会誌 97 1122('81-8) 757

宮川博, 串木野鋳山(株)の金銀製錬, 資源と素材 109(1993) No.12

川崎 孝, "大口鋳業所青化製錬の現況について", 日本鋳業会誌 87 997 ('71-増) 301-

森口義道ら, "鴻之舞青化製錬工場", 日本鋳業会誌 86 991 ('70-10)749-

(22) T1 (タリウム)

1) 製錬の状況

製錬の方法

金属タリウムの生産は、鉛や亜鉛、銅などの製錬工程における副産物を出発原料として行われることが一般的である。国内においても、亜鉛製錬の残滓や鉛製錬時の電解廃液等から少量の生産が行われている。

金属タリウムの製錬法	出発原料	主な生産者 「企業名、()内は国名」	本報告書で対象とした製錬法
アルカ浸出 / 電解採取	タリウム滓 (亜鉛製錬の副産物)	日鉱金属、三井金属鉱業、住友金属鉱山 等	
電解採取	鉛電解液		x

出典) 2000年金属データブックより作成

国内での利用状況

タリウムの最終製品としての主用途	具体的な製品
硫酸タリウム	殺鼠剤 等
酸化及びフッ化タリウム	低融点ガラス 等
合金添加元素	電子材料、特殊ヒューズ、低凝固点温度計 光ファイバー光学機器 等

出典) 金属鉱業事業団ホームページ等

2) 物質収支等データの整備状況

プロセス	使用したデータ		未取得のデータ
	文献等から取得したデータ	本報告書で仮定・推計したデータ	
浸出	【OUTPUT】 ・ Tl 浸出率:90% 【設備データ】 ・ 浸出温度:80	【INPUT】 ・ タリウム滓中 Tl 品位を 45%と仮定 ・ 苛性ソーダ量は、浸出液濃度より逆算して算出 【設備データ】 ・ 攪拌機 1 基 (5.5 kW)、フィルプレス 1 基 (0.4kW) を 10 日/月 (1 日 24 時間) 使用と仮定	【INPUT】 ・ タリウム滓の投入量、Tl 品位 ・ 苛性ソーダ投入量 【OUTPUT】 ・ Tl の浸出率 ・ 浸出液の量、Tl 濃度 ・ 浸出残さの量、Tl 品位 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入するエネルギーの種類と消費量 ・ 浸出液の加熱等に要するエネルギーの種類と消費量
置換	【OUTPUT】 ・ Tl 置換率:99.7% ・ スポンジ Tl 品位: 99.3%	【設備データ】 ・ ホップ 1 基 (1kW)、フィルプレス 1 基 (0.4kW) を使用と仮定	【OUTPUT】 ・ スポンジ Tl の量、 ・ 残液の量、Tl 濃度 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入するエネルギーの種類と消費量 ・ 浸出液の加熱等に要するエネルギーの種類と消費量
溶解・ 鋳造	/	【OUTPUT】 ・ アノード Tl 品位を 99.8%と仮定	【OUTPUT】 ・ Tl の回収率 ・ アノード Tl の量、Tl 品位 ・ スライムの量、Tl 品位 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入するエネルギーの種類と消費量
電解精製	【OUTPUT】 ・ 電解 Tl 品位: 99.99% 【設備データ】 ・ 槽電圧:1.2 V ・ 電流密度: 57.5 A/m ² ・ 電解消費電力: 600kWh/t-電解 Tl	【OUTPUT】 ・ Tl 収率を 95%と仮定	【OUTPUT】 ・ 澱物の量、Tl 品位

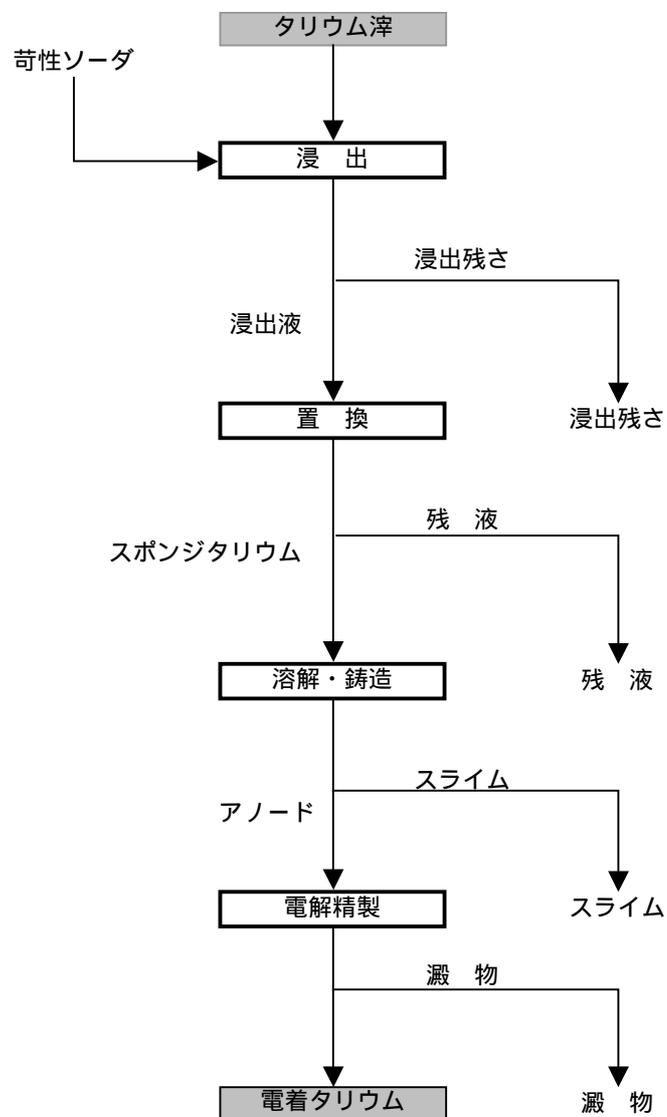
注) **【INPUT】** : 当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

【OUTPUT】: 当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

【設備データ】: 当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】や**【設備データ】**、**【OUTPUT】**で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が大いなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

3) プロセスのフロー及び物質収支データの整理

プロセスのフロー

出典) 末永 近志ら, 佐賀製錬所における金属タリウムの製造, 資源素材学会誌 106 (1990) No.5
289-

物質収支等データの整理

物質、エネルギー量は月当たり

プロセス	INPUT		OUTPUT		備考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
浸出	タリウム滓 (うち Tl の量) 苛性ソーダ液	384.1 kg (172.9 kg) 15.6 kL	浸出液 (うち Tl の量) (Tl 以外浸出量) 浸出残さ	15.6 kL (155.6 kg) (27.0 kg) 201.5 kg	Tl 浸出率：90% 浸出温度：80 攪拌機 5.5 kW フィルター:0.4kW(1基)使用と仮定 10日/月(1日24時間)稼働 苛性ソーダ製造の環境負荷は考慮していない 加温は電力で行うものと仮定 溶解熱は考慮していない
	電力	15.0 GJ	【CO ₂ emission】	547.3 kg	
置換	浸出液 (うち Tl の量) (Tl 以外浸出量)	15.6 kL (155.6 kg) (27.0 kg)	スポンジタリウム 残液 (残液中溶解量)	156.2 kg 15.6 kL (26.4 kg)	置換率：99.7% (亜鉛板置換) スポンジタリウム品位：99.3% 残液中溶解量には不純物を含む 循環ポンプ動力 1kW と仮定 フィルター:0.4kW(1基)使用と仮定 液加温は行わないとする
	電力	0.82 GJ	【CO ₂ emission】	30.1 kg	
溶解・鋳造	スポンジタリウム	156.2 kg	アノードタリウム スライム	147.6 kg 8.6 kg	アノードタリウム品位；99.8%と仮定 15日/月(1日24時間)稼働 加熱は電気で行うとする タリウムの加熱と溶解に要するエネルギーを 計上。但しエネルギー損失は考慮していない 鋳造機によるエネルギー損失等は考慮していない
	電力	0.01 GJ	【CO ₂ emission】	0.3 kg	
電解精製	アノードタリウム	147.6 kg	電解タリウム 澱物	140.0 kg 7.6 kg	電解タリウム品位：99.99% 電解による収率は95%と仮定 槽電圧：1.2 V 電流密度：57.5 A/m ² 電解による消費電力 600kWh/t-電解 Tl 出典) 電気化学便覧
	電力	0.79 GJ	【CO ₂ emission】	29.0 kg	
合計	【energy】	16.6 GJ	【CO ₂ emission】	606.8 kg	

出所) 各種データより NRI 作成

参考) 末永 近志ら, 佐賀製錬所における金属タリウムの製造, 資源素材学会誌 106 (1990) No.5 289-

(23) Bi (ビスマス)

1) 製錬の状況

製錬の方法

ビスマスは、鉛・銅精鉱の製錬工程における副産物として生産されることが一般的である。国内では、鉛製錬の副産物としてビスマスが得られる。

金属ビスマスの製錬法	出発原料	主な生産者 「企業名、()内は国名」	本報告書で対象とした製錬法
パークス・塩素法	粗ビスマス (鉛・銅製錬の副産物)	Asarco(米)、Industrials Penoles(メキシコ)、Centoromin Peru(ペルー)	
電解法	粗ビスマス (鉛・銅製錬の副産物)	東邦亜鉛、同和鉱業、三井金属鉱業等	

出典) 2000年金属データブックより作成

国内での利用状況

金属ビスマスの最終製品としての主用途	具体的な製品
金属工業分野	低沸点合金、アルミ添加剤、可鍛鉄添加剤等
化学工業分野	医薬品、化粧品、触媒等
電子工業分野	フェライト添加剤、コンデンサ添加剤、半導体等

出典) 2000年金属データブック等より作成

2) 物質収支等データの整備状況
パークス・塩素法

プロセス	使用したデータ		未取得のデータ
	文献等から取得したデータ	本報告書で仮定・推計したデータ	
一次精製	【INPUT】 ・粗 Bi 品位:93.6% 【OUTPUT】 ・一次精製メタル中 Bi 品位:95.8%	【OUTPUT】 ・精製メタルの Bi 品位を基に物質収支を計算	【INPUT】 ・粗 Bi の投入量 【OUTPUT】 ・Bi 収率 ・一次精製メタルの量 ・ドロスの量、Bi 品位 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するI値 ¹⁾ の種類と消費量
脱銀	【INPUT】 ・亜鉛投入量: 30kg/製品 Bi-t 【OUTPUT】 ・脱銀メタル中 Bi 品位:99.8%	【OUTPUT】 ・脱銀メタルの Bi 品位を基に物質収支を計算	【INPUT】 ・亜鉛の投入量 【OUTPUT】 ・Bi 収率 ・脱銀メタルの量 ・脱銀ドロスの量、Bi 品位 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するI値 ¹⁾ の種類と消費量
脱亜鉛 ・脱鉛	【INPUT】 ・塩素ガス投入量: 40kg/製品 Bi-t	【OUTPUT】 ・不純物として Pb と Zn のみが全て除去されるとして物質収支を計算	【INPUT】 ・塩素ガスの投入量 【OUTPUT】 ・Bi 収率 ・脱鉛メタルの量、Bi 品位 ・脱鉛ドロスの量、Bi 品位 ・脱亜鉛 ¹⁾ の量、Bi 品位 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するI値 ¹⁾ の種類と消費量
二次精製	【OUTPUT】 ・精製 Bi 品位: 99.99%	【OUTPUT】 ・Bi 品位に基づいて物質収支を計算	【OUTPUT】 ・ドロスの量、Bi 品位 ・Bi 収率 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するI値 ¹⁾ の種類と消費量

注) **【INPUT】** : 当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

【OUTPUT】: 当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

【設備データ】: 当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】 や **【設備データ】**、**【OUTPUT】** で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が多いなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

電解法

プロセス	使用したデータ		未取得のデータ
	文献等から 取得したデータ	本報告書で仮定・推計 したデータ	
一次精製	【INPUT】 ・粗 Bi 品位:96.5% 【OUTPUT】 ・アノード中 Bi 品位:98.2%	【OUTPUT】 ・Bi 品位を基に物質収支を計算	【INPUT】 ・粗 Bi の投入量 【OUTPUT】 ・Bi 収率 ・アノードの量 ・ドロスの量、Bi 品位 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するI補正 [*] の種類と消費量
電解	【INPUT】 ・電解液循環量: 20L/min 【OUTPUT】 ・電解 Bi 品位: 99.9% 【設備データ】 ・槽電流:850A ・電流密度: 500A/m ³ ・槽電圧:0.2V ・電流効率:93% ・25 日間連続運転 ・電解槽計 16 槽 ・電解炉消費電力 100kWh/t-電解 Bi	【OUTPUT】 ・Bi 品位を基に物質収支を計算	【INPUT】 ・硫酸の投入量 【OUTPUT】 ・Bi 収率 ・スライムの量 ・アノードスクラップ ^o の量、Bi 品位 ・硫酸鉛の量 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するI補正 [*] の種類と消費量
二次精製	【OUTPUT】 ・精製 Bi 品位: 99.99%	【OUTPUT】 ・Bi 品位を基に物質収支を計算	【OUTPUT】 ・Bi 収率 ・精製 Bi の量 ・ドロスの量、Bi 品位 【設備データ】 ・動力、処理能力等の仕様 ・投入するI補正 [*] の種類と消費量

注) **【INPUT】** : 当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

【OUTPUT】: 当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

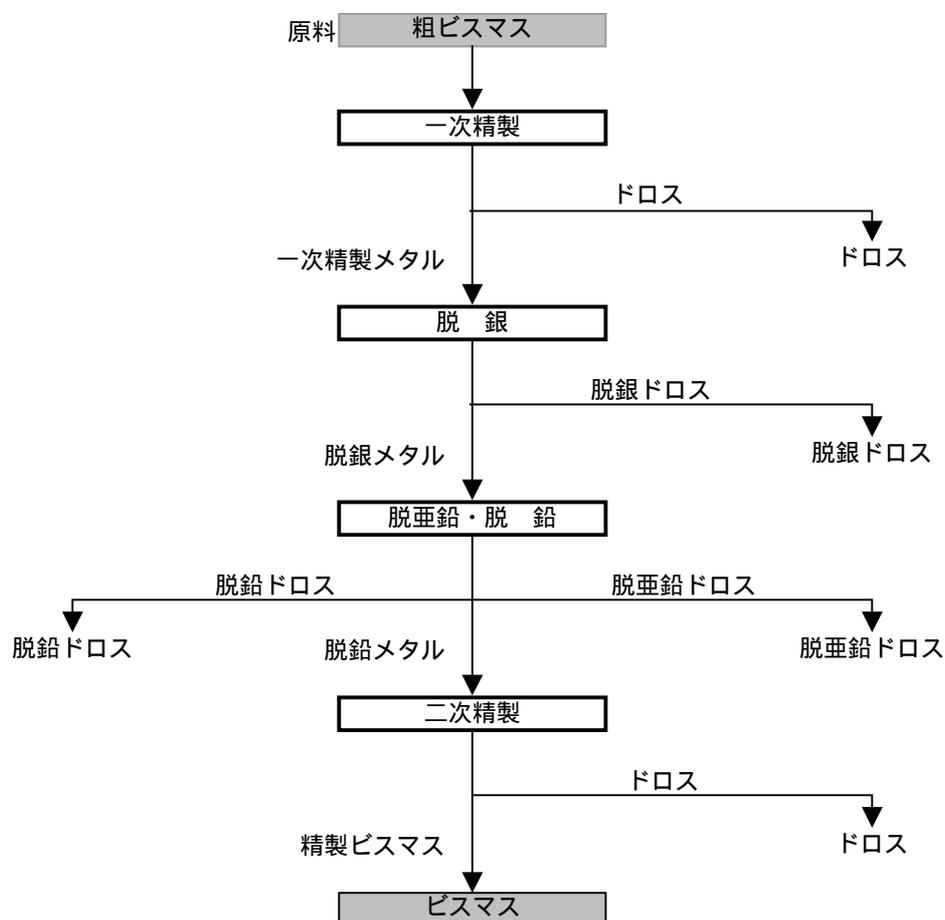
【設備データ】: 当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】 や **【設備データ】**、**【OUTPUT】** で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が大いなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

(Note)

3) プロセスのフロー及び物質収支データの整理

プロセスのフロー (バークス・塩素法)



出典) 朝比奈庄一ら, 国富製錬所におけるビスマス精製の変遷について, 日本鉱業会誌 90 1035 (1974-75) p.373-

物質収支等データの整理 (パークス・塩素法)

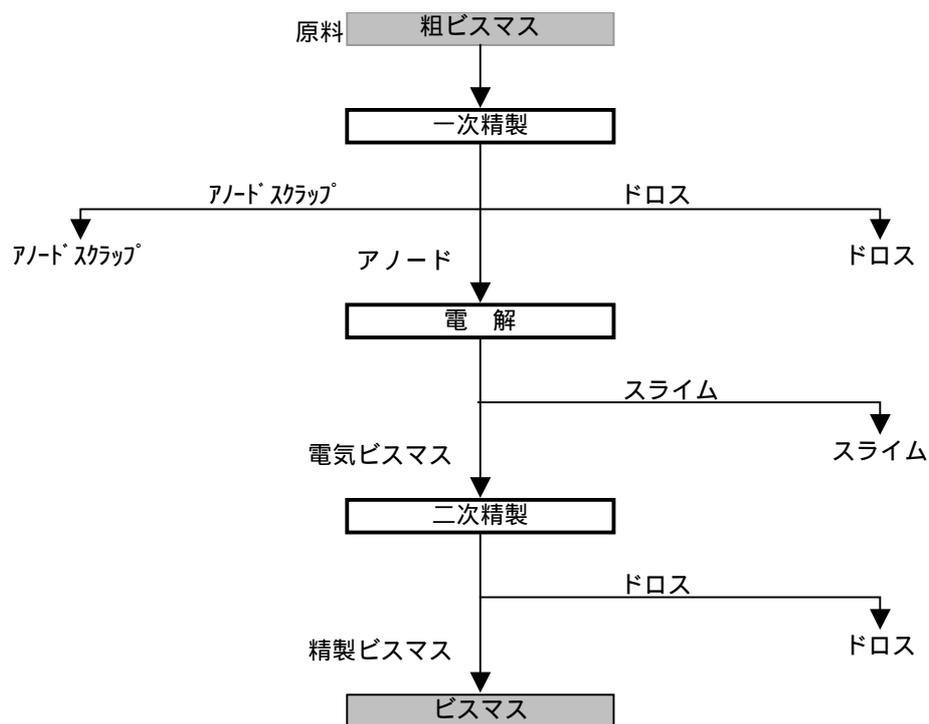
物質量、エネルギー量は月当たり

プロセス	INPUT		OUTPUT		備考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
一次精製	粗ビスマス その他添加物 (その他添加物) 苛性ソーダ 粉末硫黄 硝石 電力	33.9 t +α (不明)	一次精製メタル ドロス 【CO ₂ emission】	33.2 t+ 0.78 t+ (不明)	脱 Cu,脱 As,脱 Sb プロセス 一次精製メタル中 Bi 品位:95.8%
脱銀	一次精製メタル 亜鉛 電力	33.2 t 0.86 t (不明)	脱銀メタル 脱銀ドロス 【CO ₂ emission】	32.7 t 1.86 t (不明)	脱銀メタル中 Bi 品位:99.8%
脱亜鉛 ・脱鉛	脱銀メタル 塩素ガス 電力	32.7 t 1.14 t (不明)	脱鉛メタル 脱鉛ドロス 脱亜鉛ドロス 【CO ₂ emission】	30.7 t 1.12 t 1.95 t (不明)	Pb が全て除去されると仮定 Zn が全て除去されると仮定
二次精製	脱鉛メタル その他添加物 (その他添加物) 苛性ソーダ 粉末硫黄 硝石 電力	30.7 t +α (不明)	精製ビスマス ドロス 【CO ₂ emission】	28.6 t 2.1 t+ (不明)	精製ビスマス品位:99.99%
total	粉末硫黄 苛性ソーダ 硝石 亜鉛 塩素 電力 燃料	0.29 t 3.29 t 0.86 t 0.86 t 1.1 t 328 GJ (不明)			
合計	【energy】	328 GJ	【CO ₂ emission】	12.0 t	

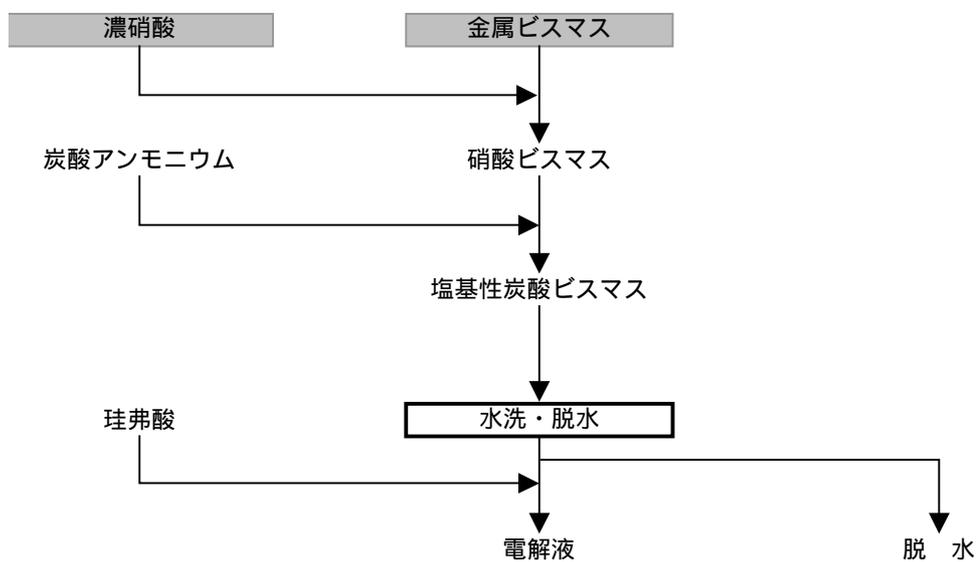
出所) 各種データより NRI 作成

参考) 朝比奈庄一ら, 国富製錬所におけるビスマス精製の変遷について, 日本鉱業会誌 90 1035(1974-75)
p.373-

プロセスのフロー (電解法)



【電解液製造プロセス】



出典) 朝比奈庄一ら, 国富製錬所におけるビスマス精製の変遷について, 日本鉱業会誌 90 1035 (1974-75) p.373-

物質収支等データの整理 (電解法)

物質、エネルギー量は月当たり

プロセス	INPUT		OUTPUT		備考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
一次精製	粗ビスマス その他添加物 (その他添加物) 粉末硫黄 苛性ソーダ 硝石 珪弗酸 硝酸 炭酸アンモニウム 重油	33.70 t +α (不明)	アノード ドロス 【CO ₂ emission】	33.12 t+ 0.58 t+ (不明)	脱 Cu,脱 As,脱 Sb プロセス 粗ビスマス中 Bi 品位:96.5%
電解	アノード 電解液からの Bi 移行量 硫酸 (鉛除去) その他添加物 電解液循環量 (その他添加物) 膠 電力	33.12 t 7.20 t 0.12 t +α 720,000 L 25 GJ	電解ビスマス スライム アノードスクラップ 硫酸鉛 【CO ₂ emission】	26.64 t 0.17 t+ 13.25 t+ 0.39 t 0.9 t	槽電流: 850A 電流密度: 500A/m ³ 槽電圧: 0.2V 電流効率: 93% 25 日間連続運転 電解槽計 16 槽 電解ビスマス品位: 99.9% 電解炉消費電力 100kWh/t-電解 Bi
二次精製	電解ビスマス その他添加物 (その他添加物) 粉末硫黄 苛性ソーダ 硝石 珪弗酸 硝酸 炭酸アンモニウム 重油	26.64 t +α (不明)	精製ビスマス ドロス 【CO ₂ emission】	26.62 t 0.02 t+ (不明)	精製ビスマス品位: 99.99%
total	粉末硫黄 苛性ソーダ 硝石 珪弗酸 硝酸 炭酸アンモニウム 電力 燃料	0.85 t 2.93 t 0.53 t 1.20 t 0.69 t 0.45 t 389 GJ (不明)			
合計	【energy】	389 GJ	【CO ₂ emission】	14.2 t	

出所) 各種データより NRI 作成

参考) 朝比奈庄一ら, 国富製錬所におけるビスマス精製の変遷について, 日本鉱業会誌 90 1035(1974-75) p.373-

(24) U (ウラン)

1) 製錬の状況

製錬の方法

U製錬は、鉱石から U_3O_8 品位が 70～80%のイエローケーキを生産する粗製錬と、主に原子力工業用途に利用するためにより高品位にするための精製錬の2段階に大きく分けられる。粗製錬は、酸あるいはアルカリ浸出を行う湿式法が一般的であるが、経済性、操作性の観点から、硫酸を用いる方法が広く行われている。

金属ウランの製錬法	出発原料	主な生産者	本報告書で対象とした製錬法
湿式法 (溶媒抽出法)	瀝青ウラン鉱(UO_2)等	仏、米、英国の企業等	×
PNC法(湿式法)	ウラン鉱(UO_2)	動燃事業団(日)等	(但しイエローケーキ以降のみ)

出典) 日本金属学会 新制金属講座 非鉄金属製錬 より作成

国内での利用状況

金属ウランの最終製品としての主用途

原子燃料

陶磁器の上薬

出典) レアメタル事典等

2) 物質収支等データの整備状況

プロセス	使用したデータ		未取得のデータ
	文献等から取得したデータ	本報告書で仮定・推計したデータ	
浸出	【INPUT】 ・ 10t-ケーキ投入量: 50t/日 【OUTPUT】 ・ 溶液中 U 濃度: 200g/L	【INPUT】 ・ 硫酸の投入量は、循環量を除いた純消費分として推計 ・ 消費した硫酸の製造時エネルギーを推計 【OUTPUT】 ・ U の収率を 90%と仮定 ・ 10t-ケーキに含まれる主要な不純物(As, Ni, Fe, Al, Nb)が全て除去されると仮定して物質収支を計算 ・ 消費した硫酸の製造時に排出するCO ₂ 量を推計 【設備データ】 ・ 攪拌機 1 基 (2.2kW)、フィルタプレス 1 基 (0.4kW) を 24 時間/日使用すると仮定	【INPUT】 ・ ケーキ中の U 品位 ・ 硫酸の投入量、循環量 【OUTPUT】 ・ 溶液量 ・ 残さ量、U 品位 ・ U の収率 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入するエネルギーの種類と消費量 ・ 浸出液の加熱等に要するエネルギーの種類と消費量
溶媒浸出	【OUTPUT】 ・ U の浸出率:86%	【INPUT】 ・ 塩酸投入量は、循環量を除いた純消費分として推計(物質収支は銅の湿式製錬を参考とした) ・ 消費した塩酸の製造時エネルギーを推計 【OUTPUT】 ・ 反応式に従って物質収支を算出 ・ 消費した塩酸の製造時に排出するCO ₂ 量を推計 【設備データ】 ・ 攪拌機 1 基 (2.2kW) を 24 時間/日稼動と仮定	【INPUT】 ・ 希釈液の投入量、循環量 ・ 塩酸の投入量、循環量 【OUTPUT】 ・ 廃液の量、U 濃度 ・ U の抽出率 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入するエネルギーの種類と消費量 ・ 浸出液の加熱等に要するエネルギーの種類と消費量
電解還元	【設備データ】 ・ U の単位 kg 当たり電力消費: 1.5kWh	【INPUT】 ・ 塩酸投入量は、反応に寄与した純消費分として推計 ・ 消費した硫酸の製造時エネルギーを推計 【OUTPUT】 ・ U のロスはゼロとして仮定 ・ 消費した硫酸の製造時に排出するCO ₂ 量を推計	【INPUT】 ・ 硫酸投入量、酸濃度、循環量 【OUTPUT】 ・ U(SO ₄) ₂ の量、純度 ・ U の収率 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入するエネルギーの種類と消費量
弗化沈殿	【OUTPUT】 ・ U の浸出率: 98.5%	【OUTPUT】 ・ U の浸出率を基に物質収支を計算	【INPUT】 ・ フッ酸の投入量 【OUTPUT】 ・ 沈殿物の量、U 品位 ・ 廃液の量、U 濃度 ・ U の収率 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入するエネルギーの種類と消費量
脱水・転換		【OUTPUT】 ・ 反応式に基づいて物質収支を計算	【INPUT】 ・ フッ素の投入量 【OUTPUT】 ・ 脱水された水の量 【設備データ】 ・ 動力、処理能力等の仕様 ・ 投入するエネルギーの種類と消費量

注) **【INPUT】** : 当該プロセスへの物質・エネルギー等の投入量

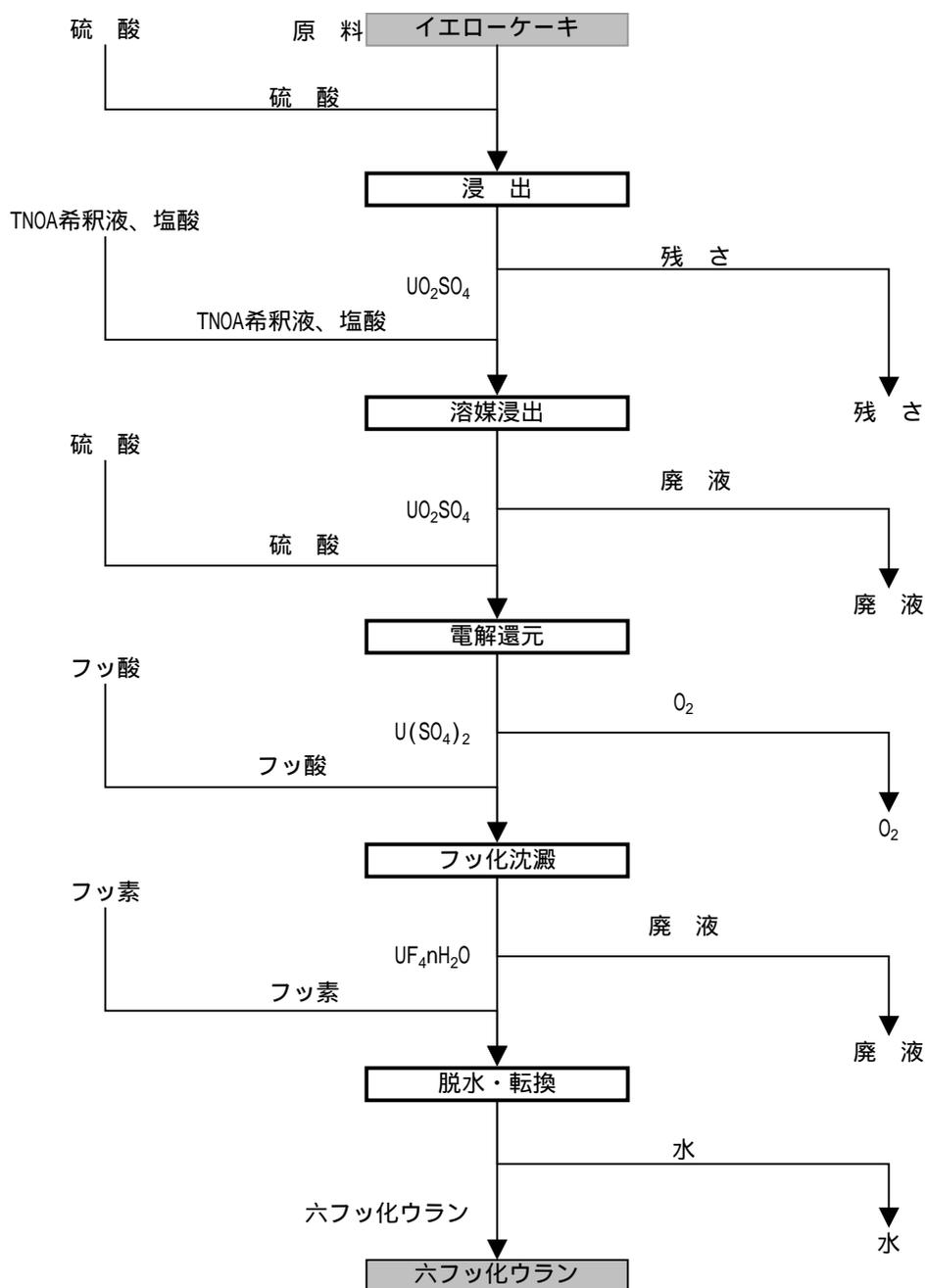
【OUTPUT】: 当該プロセスにおいて生成・排出する物質の量

【設備データ】: 当該プロセスにおいて使用される設備に関するデータ

【INPUT】や**【設備データ】**、**【OUTPUT】**で示した箇所は、エネルギー投入やCO₂排出量が大いなどの理由で、プロセス全体のエネルギー消費等の環境負荷を計算する上で影響の大きいデータであることを示す。

3) プロセスのフロー及び物質収支データの整理

プロセスのフロー



出典)天本 一平ら,人形峠事業所におけるウラン製錬と転換について,資源と素材 109(1993) No.12 1070-

物質収支等データの整理

物質質量、エネルギー量は1日当たりの値

プロセス	INPUT		OUTPUT		備考
	投入物等	投入量	生成物	生成量	
浸出	イエローケーキ (うち U) 硫酸 電力 【硫酸製造】	50.0 t-dry (0.132 t) 50.3 kL (92.6 t) 0.6 GJ 0.5 GJ*	UO ₂ SO ₄ 溶液 (うち U) (その他) 残さ 【CO ₂ emission】 (うち硫酸製造)	0.59 kL (0.12 t) (19.8 t) 122.7 t 0.06 t (0.04 t*)	U の収率を 90% と仮定 イエローケーキに含まれる主要な不純物 (As, Ni, Fe, Al, Nb) が全て除去され ると仮定 攪拌機 2.2kW 使用と仮定 フィルプレス 0.4kW 使用と仮定 24 時間稼動/日とする 硫酸製造に伴う環境負荷を考慮
溶媒浸出	UO ₂ SO ₄ 溶液 (うち U) (その他溶解物) TNOA 希釈液 塩酸 その他添加物 (その他添加物) 硫酸 電力 【塩酸製造】	0.6 kL (0.12 t) (19.7 t) 363.8 kL (69.2 t) 31.4 kL (35.8 t) +α 0.5 GJ 2.0 GJ*	UO ₂ SO ₄ (うち U) 廃液(抽出時) 廃液(逆抽出時) (廃液中残留物) 【CO ₂ emission】 (うち塩酸製造)	0.16 t-dry (0.10 t) (量は不明) (量は不明) (19.6 t) 0.18 t (0.16 t*)	反応式に従って物質収支を算出 U の浸出率: 86% 塩酸は逆抽出用 添加物は有機溶媒の洗浄のために使用 攪拌機 2.2kW 使用と仮定 24 時間稼動/日とする 塩酸製造に伴う環境負荷を考慮 (循環分を除き、新規投入される分を 銅製錬のデータを参考に計算)
電解還元	UO ₂ SO ₄ (うち U) 硫酸 電力 【硫酸製造】	0.16 t-dry (0.10 t) 0.04 t 1.4 GJ 0.05 GJ	U(SO ₄) ₂ (うち U) O ₂ 【CO ₂ emission】 (うち硫酸製造)	0.2 t (0.10 t) 0.01 t 0.06 t (0.004 t)	U は全て取り出せると仮定 硫酸は反応に寄与した量のみ 硫酸製造に伴う環境負荷を考慮
弗化沈殿	U(SO ₄) ₂ (うち U) フッ酸 電力	0.18 t (0.10 t) 0.08 t-dry (不明)	UF ₄ nH ₂ O (うち U) 廃液 【CO ₂ emission】	0.14 t (0.10 t) 0.12 t-dry (不明)	U 浸出率: 98.5%
脱水・転換	UF ₄ nH ₂ O (うち U) フッ素 電力	0.14 t (0.10 t) 0.02 t (不明)	六フッ化ウラン (うち U) 水 【CO ₂ emission】	0.15 t (0.10 t) 0.01 kL (0.01 t) (不明)	水は、脱水工程で生じる分
合計	【energy】 (うち原料製造)	5.1 GJ (2.5 GJ*)	【CO ₂ emission】 (うち原料製造)	0.3 t (0.2 t*)	

出所) 各種データより NRI 作成

参考) 天本 一平ら, 人形峠事業所におけるウラン製錬と転換について, 資源と素材 109(1993)No.12 1070-

高田 真吾, ウランの湿式製錬方法の開発, 日本鉱業会誌/95 1100(79-10) 751-

高田 真吾, 人形峠事業所におけるウラン製錬及び転換, 日本鉱業会誌/97 1122(81-8) 861-

滝 富弘ら, 吸着によるウランと不純物の分離回収方法, 資源と素材 113(1997)No.6 431-

本調査報告書において参考とした主な資料等

- 製錬法

- ・ 資源・素材学会 資源と素材 (旧 日本鋳業会誌)
- ・ 金属時評編 新金属データブック
- ・ 日本金属学会編 金属製錬工学
- ・ 日本金属学会編 新制金属講座 非鉄金属製錬
- ・ その他 関連する雑誌、書籍

- エネルギー消費原単位等

- ・ 総合エネルギー統計
- ・ 独立行政法人 物質・材料研究機構 ホームページ
<http://www.nims.go.jp/ecomatecenter/>
- ・ 環境庁 温室効果ガス排出量算定方法検討会 検討結果 平成 12 年 9 月
- ・ 社団法人 資源協会編 大都市生活のライフサイクルエネルギー
等

- 用途、需要

- ・ 金属鋳業事業団ホームページ
<http://WWW.MMAJ.GO.JP/page/index.html>
- ・ 金属時評編 新金属データブック
- ・ 金属鋳業事業団 資源情報センター 編 鋳物資源マテリアルフロー
- ・ 吉村昇監修 日刊工業新聞社 希少金属データベース
- ・ 経済産業省 資源統計年報
等

