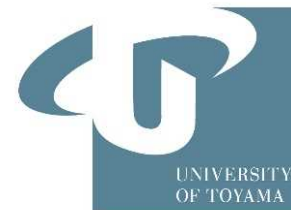


アルミニウムの アップグレードリサイクル

富山大学 先進アルミニウム国際研究センター
都市デザイン学部 材料デザイン工学科
小野英樹



- 研究背景とシーズ紹介
- アルミニウムのアップグレードリサイクル

製錬 (Extractive Metallurgy) の意味

鉱石から「物理的」
「化学的」に工業的、経済的に成り立つ手法で金属を取り出す

乾式製錬 (Pyrometallurgy) ... 高温下で反応の促進と相間の分離をはかる

研究内容

- ・ 鉱石の酸化・還元反応
- ・ 粗金属中不純物元素の除去
- ・ 金属の精製・高純度化、高純度化
- ・ リサイクル

研究テーマ:

- 水素還元製鉄
- 高純度鋼の溶製プロセス
- 鉄鋼のリサイクル
- アルミニウムのリサイクル

「金属製造プロセスにおけるカーボンニュートラルの実現」

金属1トンを製造するために必要なエネルギー

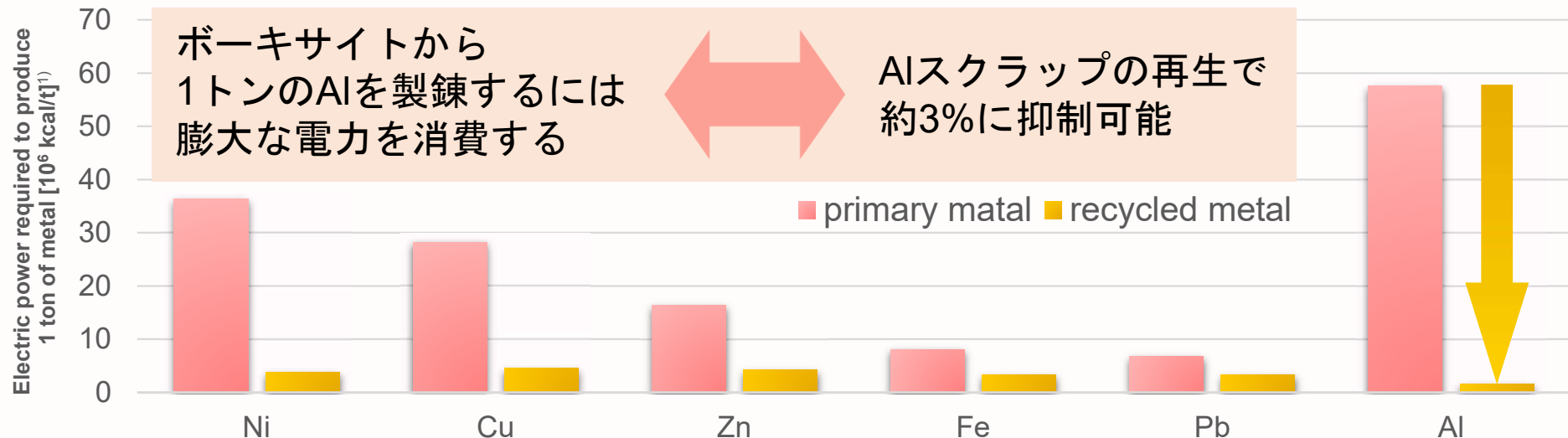


Fig. 1 Electric power required to produce metals.

CO₂排出量/ 1t Al

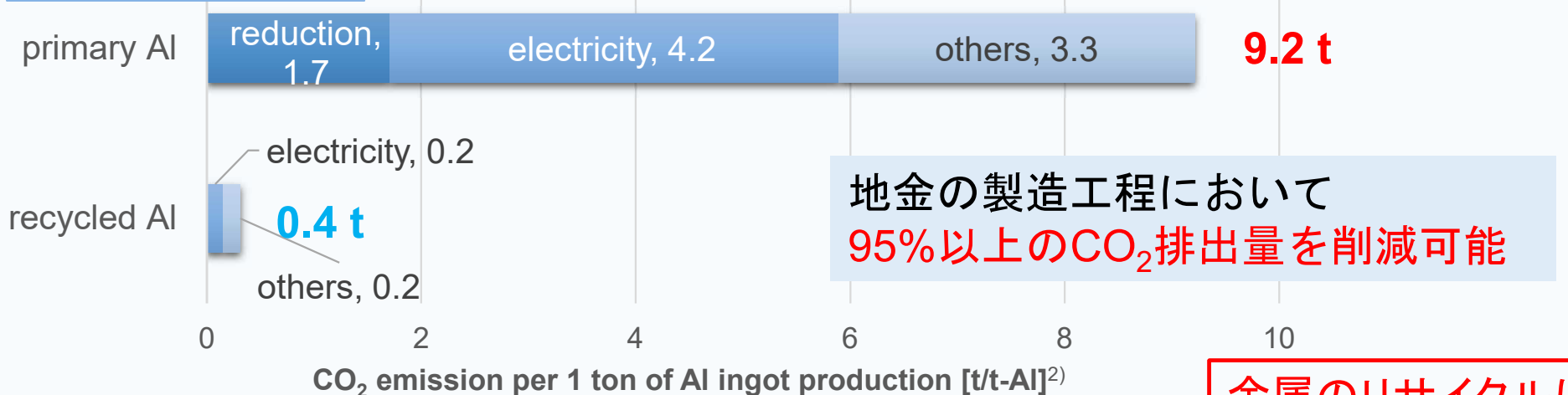
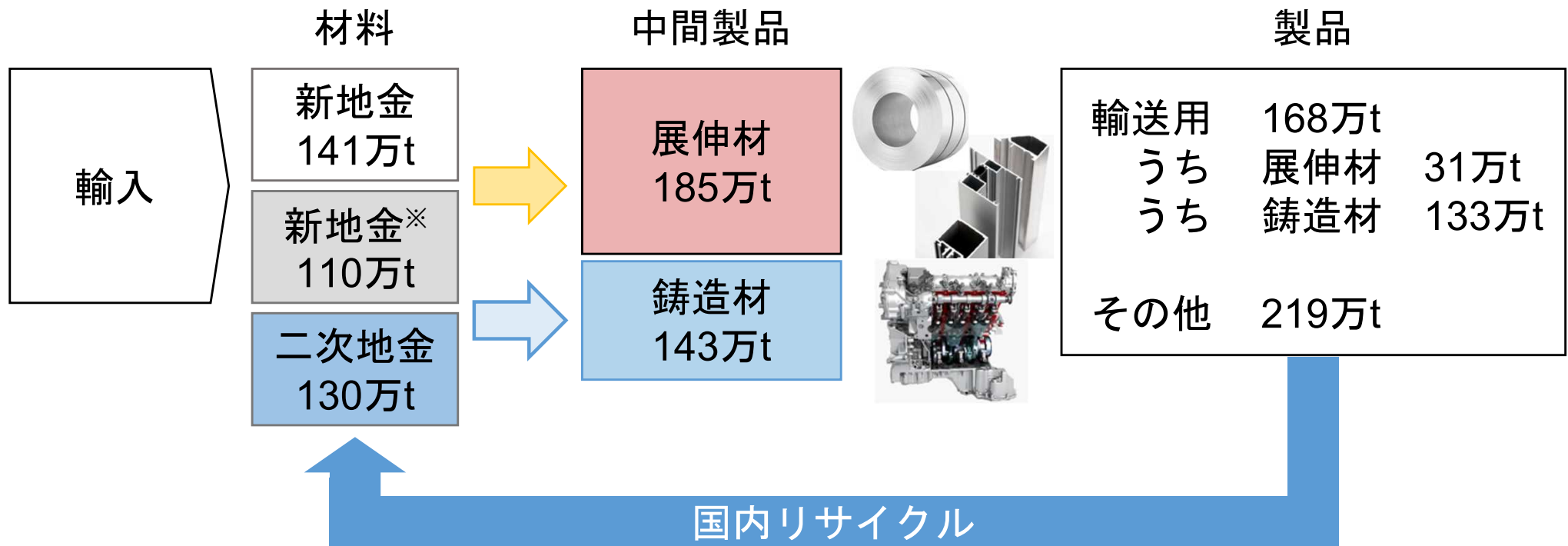


Fig. 2 CO₂ emission to produce Al ingot.

1) T. Ohnishi: *Journal of Japan Foundry Engineering Society*, 69 (1997) 12, pp. 995-1002.

2) Japan Aluminum Association: *Summary of LCI Data for New Aluminum Ingots and Recycled Ingots*(2005).

金属のリサイクルは非常に重要!!



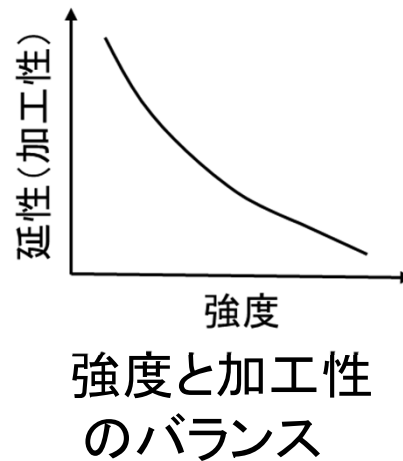
日本におけるアルミニウムのマテリアルフロー(2016)¹⁾

※ 二次地金、二次合金地金を含む

- 国内のアルミニウム地金需要は約400万t/年
- 国内での新地金製造はなし(251万t/年を海外から輸入)
- 国内リサイクルによる二次地金の製造は130万t/年
(国内の地金需要の30~40%)
- 最終製品から発生するAIスクラップは、ほぼ全量鋳造材にリサイクルされている。

1) NEDO 技術戦略研究センター:TSC Foresight Vol.35(2019)

展伸材



鋳造材



強度、硬さ

Al合金組成(mass%)

	Si	Fe	Cu	Ti	Mn	Mg	Cr	Zn
鋳造材	10.8	1.0	2.5	0.15	0.30	0.2	0.20	0.05
展伸材	0.70	0.15	0.20	0.02	0.20	0.60	0.02	0.05
	0.60	0.4	0.28	0.02	0.10	1.00	0.20	0.15

鋳造材は展伸材より
不純物の許容の幅が広い

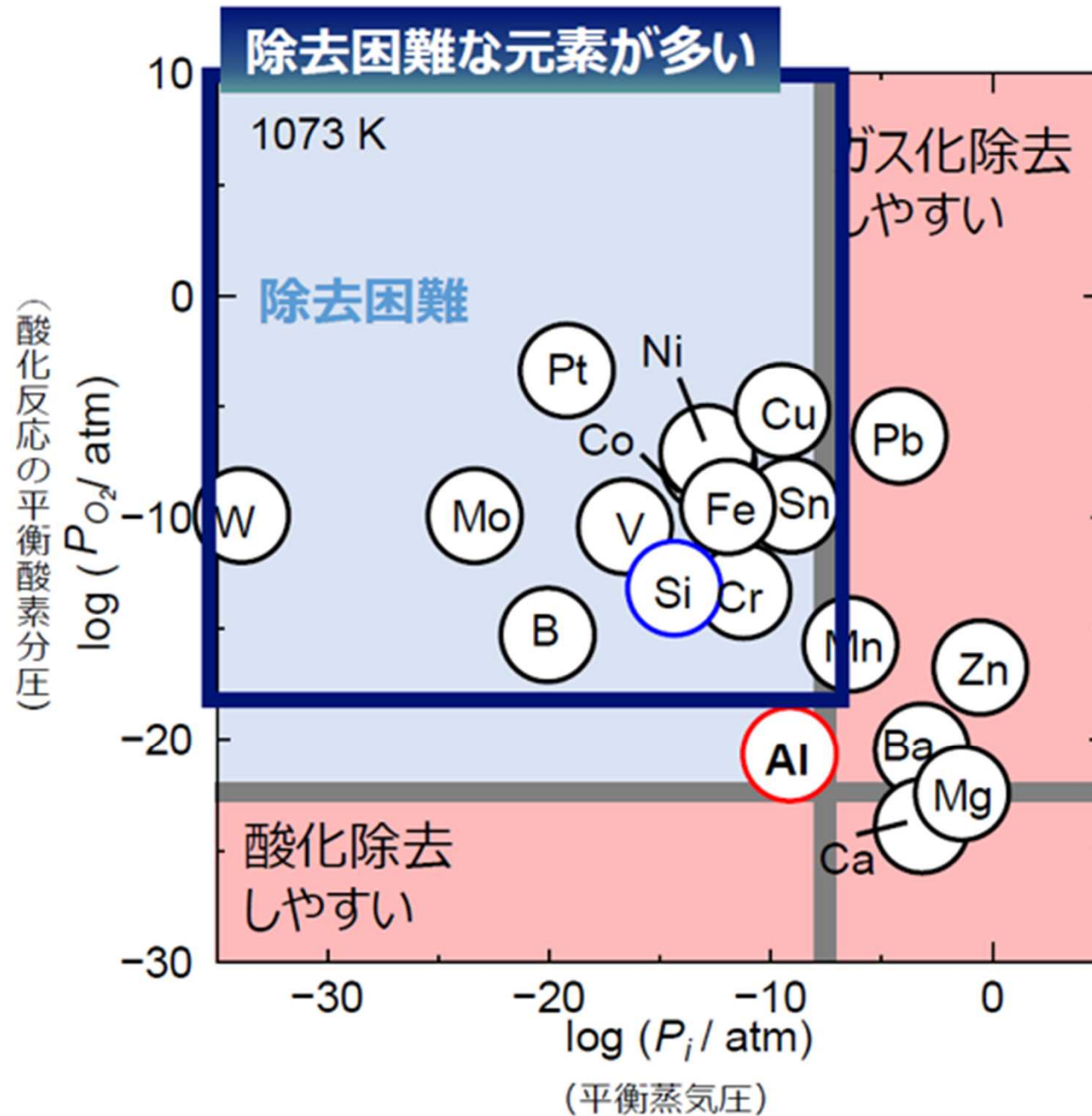


アルミニウム二次地金は
主に鋳造材へ利用
二次地金使用割合²⁾
展伸材：10%
鋳造材：100%

アルミニウムのリサイクル
はカスケードリサイクルと
なっている

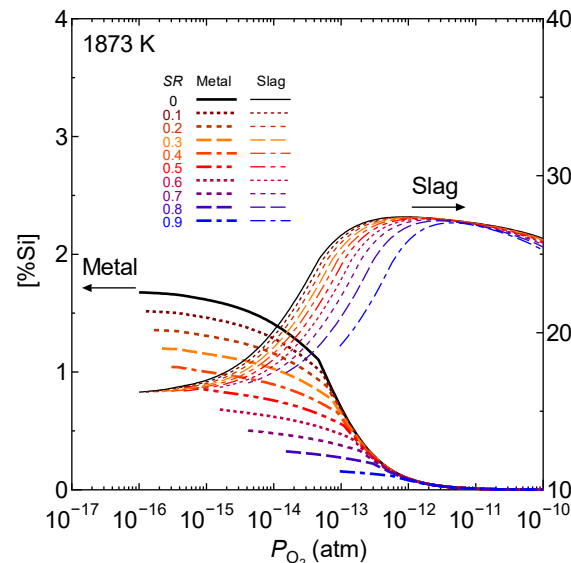
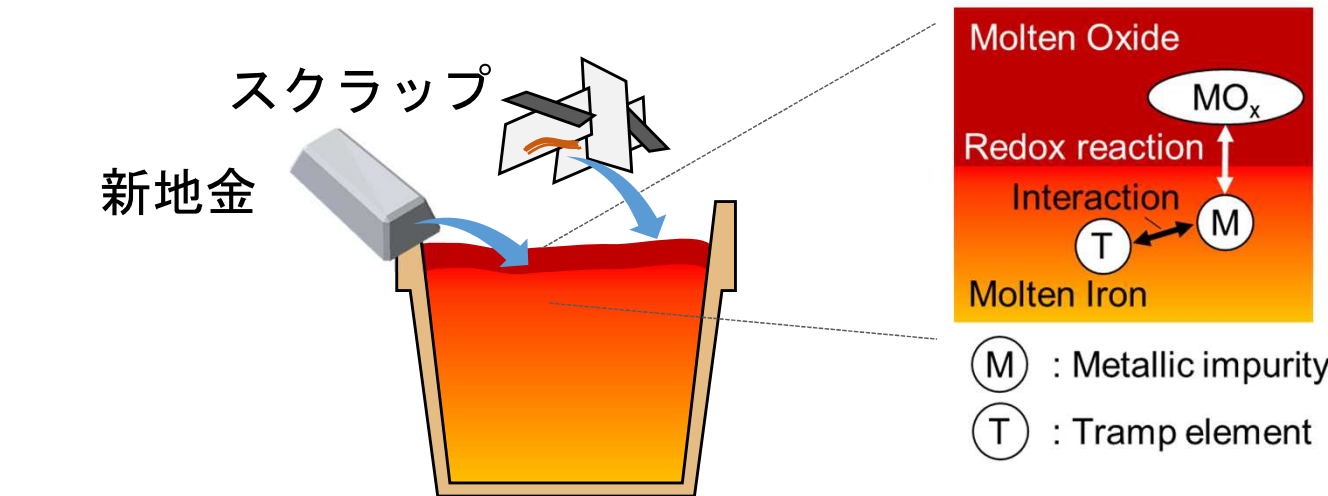
アルミニウム中の不純物は除去困難なものが多い

7

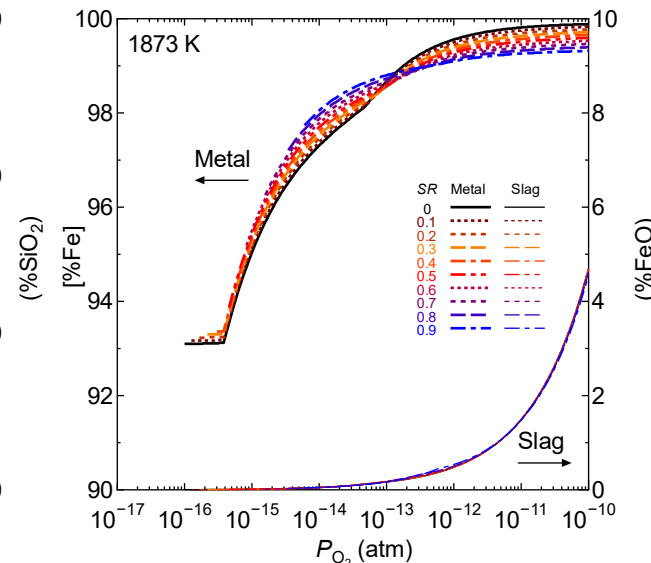


リサイクル時に混入しやすいFe, Cuや鋳造材に多く含まれるSiは全て除去困難

原料から混入し、合金中で共存する元素間の相互作用を考慮して、溶融合金の酸化精錬プロセスにおける合金中不純物濃度、スラグ中不純物濃度を解析



1873 Kにおける溶鋼中Si濃度およびスラグ中SiO₂濃度におよぼす酸素分圧の影響



1873 Kにおける溶鋼中Feの純度およびスラグ中FeO濃度におよぼす酸素分圧の影響

酸素分圧を上昇させると

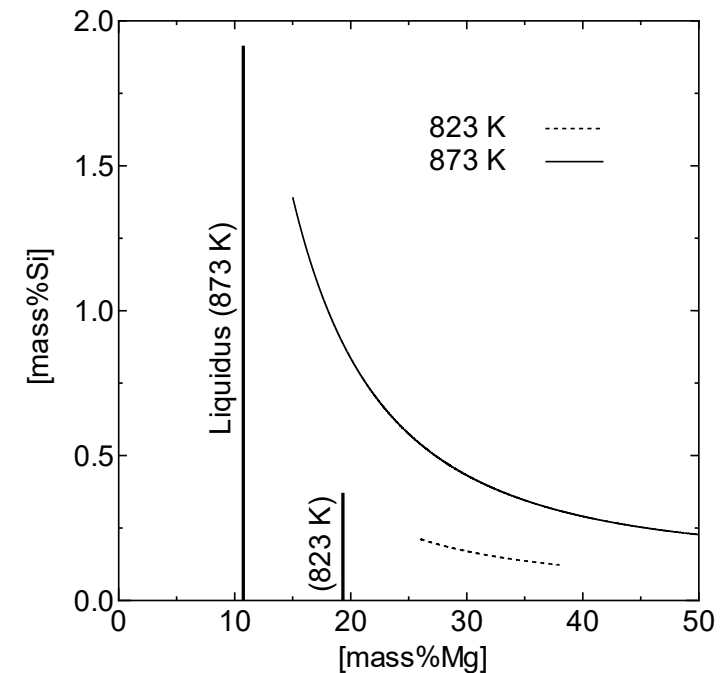
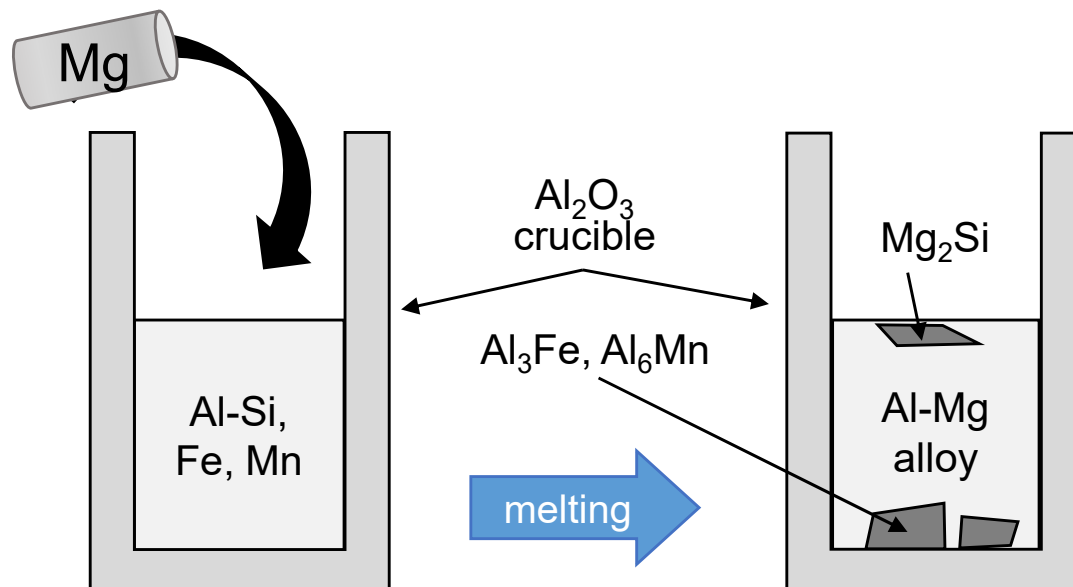
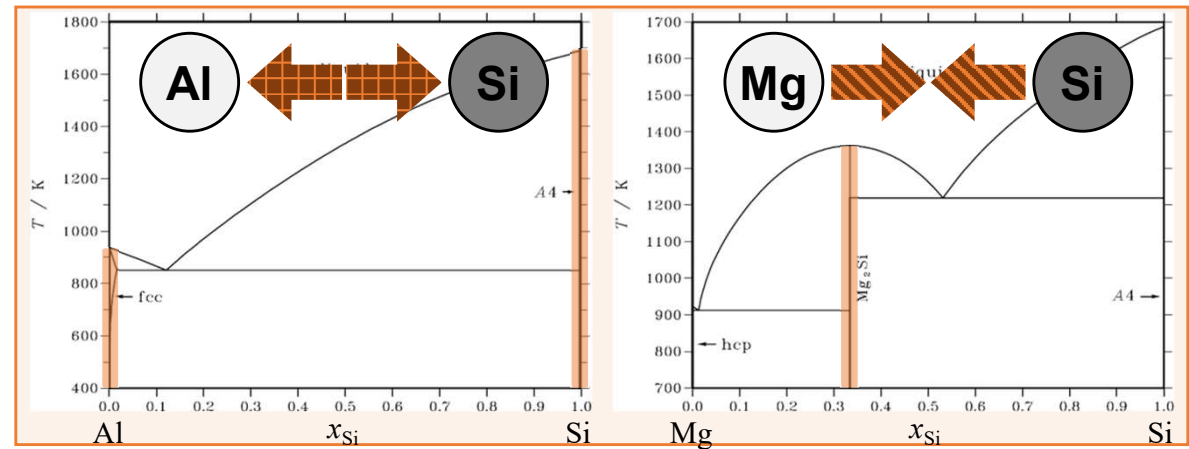
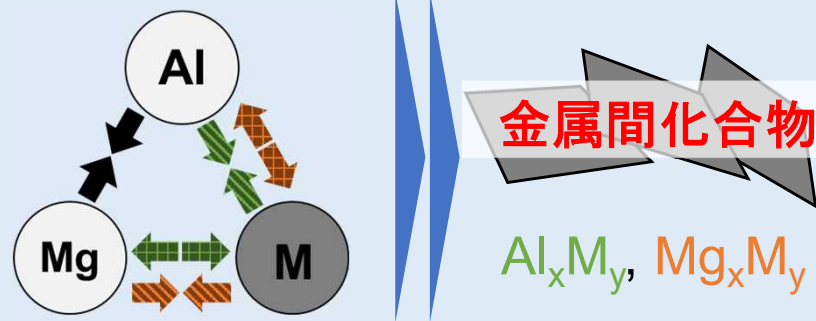
- Fe(l)中Siが酸化されて濃度が低下
- Feの純度が上昇
- スラグ中に損失したFeOの濃度が上昇

酸化精錬における金属中の不純物濃度、歩留まり等を定量的に解析・評価できる

化合物晶出法によるアルミニウム中不純物の除去

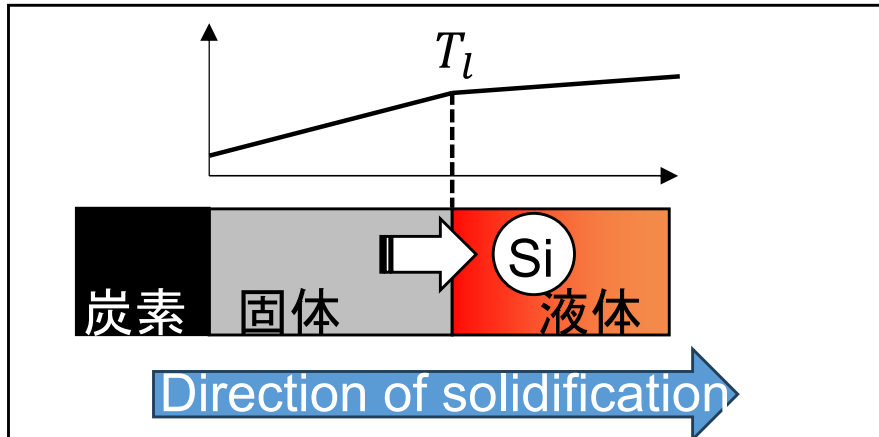
9

溶融Al合金へMgを添加することで
不純物を金属間化合物として晶出
させて分離

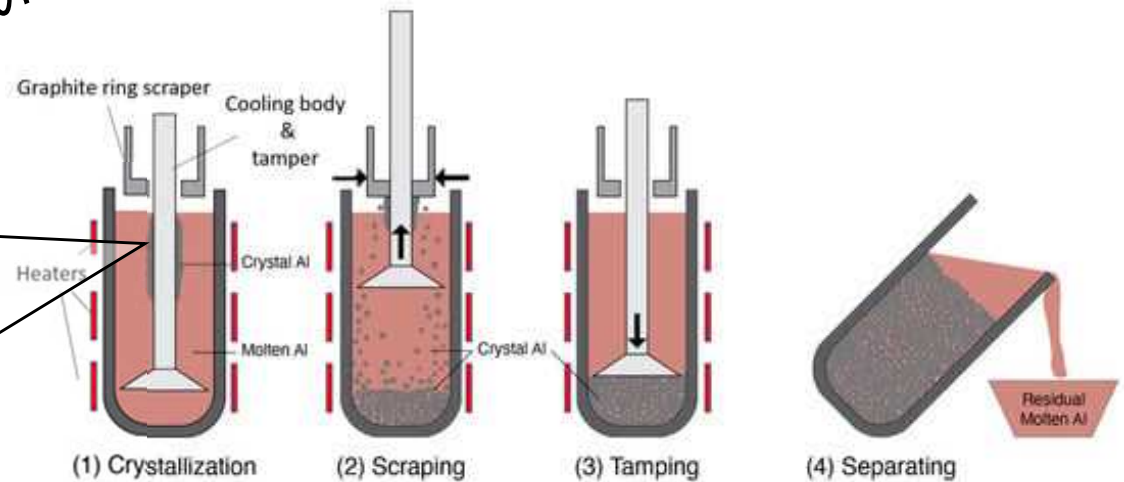
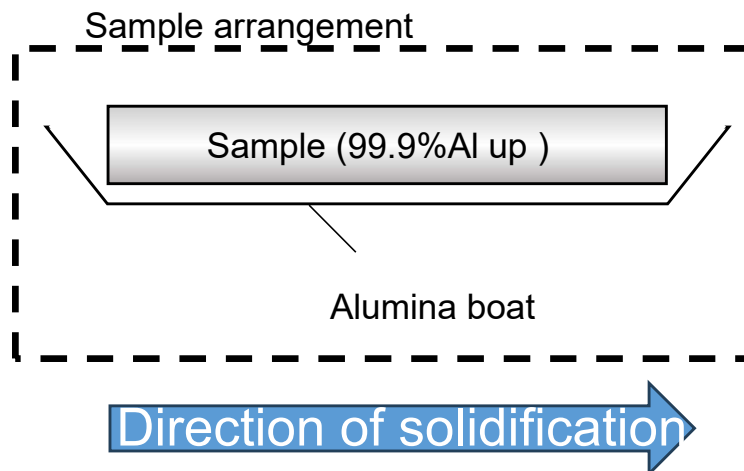


Al-Mg合金中のSi濃度

金属の凝固時において不純物元素濃度が固相中と液相中で異なること(偏析)を利用してアルミニウム中不純物を除去

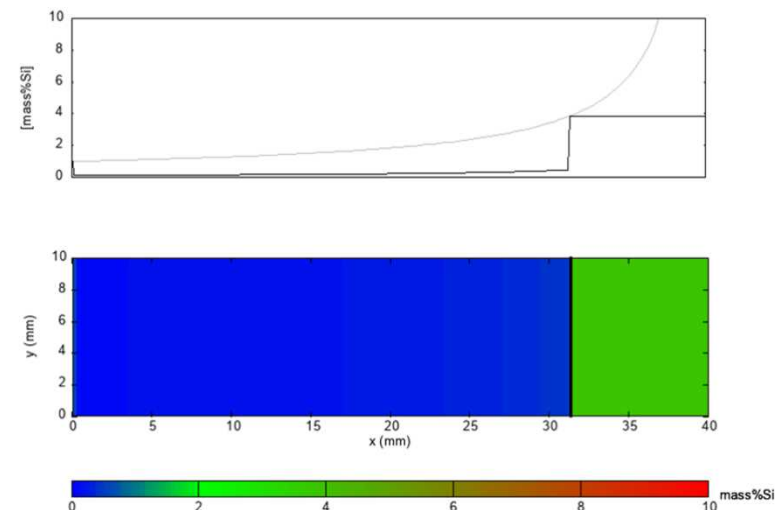


アルミニウムの一方向凝固実験を行い、不純物の偏析のしやすさ(固液間分配係数)を評価



ペシネー法 (偏析法) によるアルミニウムの精製プロセスの概要¹⁾

偏析法における不純物の挙動を解析



- 研究背景とシーズ紹介
- アルミニウムのアップグレードリサイクル

鑄造材のスクラップを展伸材へ再生したい

Al合金組成(mass%)

	Si	Fe	Cu	Ti	Mn	Mg	Cr	Zn
鑄造材	10.8	1.0	2.5	0.15	0.30	0.2	0.20	0.05
再生材	0.70	0.15	0.20	0.02	0.20	0.60	0.02	0.05
	0.60	0.4	0.28	0.02	0.10	1.00	0.20	0.15

鑄造材



展伸材



鑄造材に含まれるSi, Fe, Cu, Ti, Crなどの元素を除去する必要がある



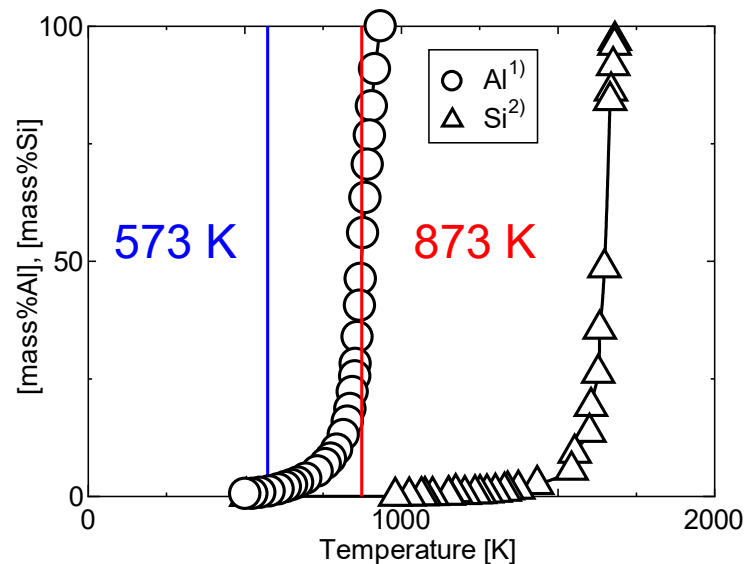
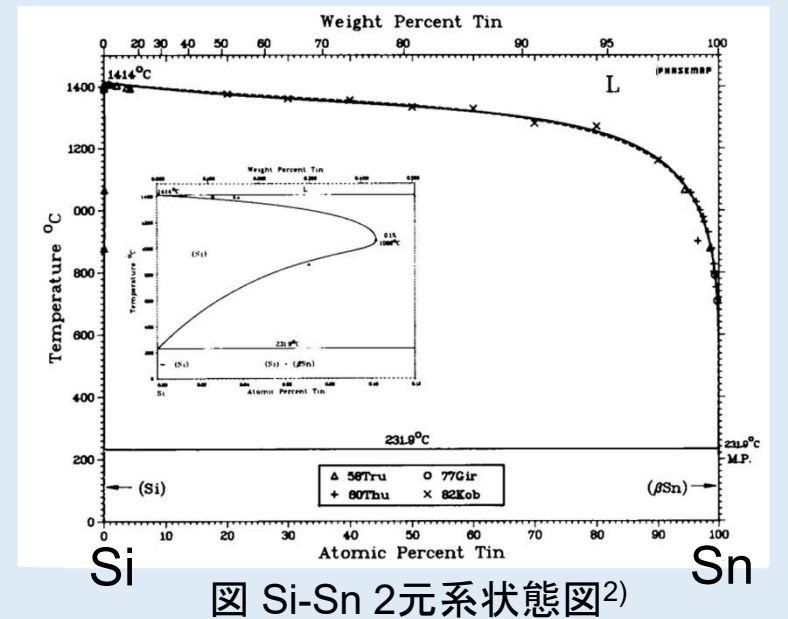
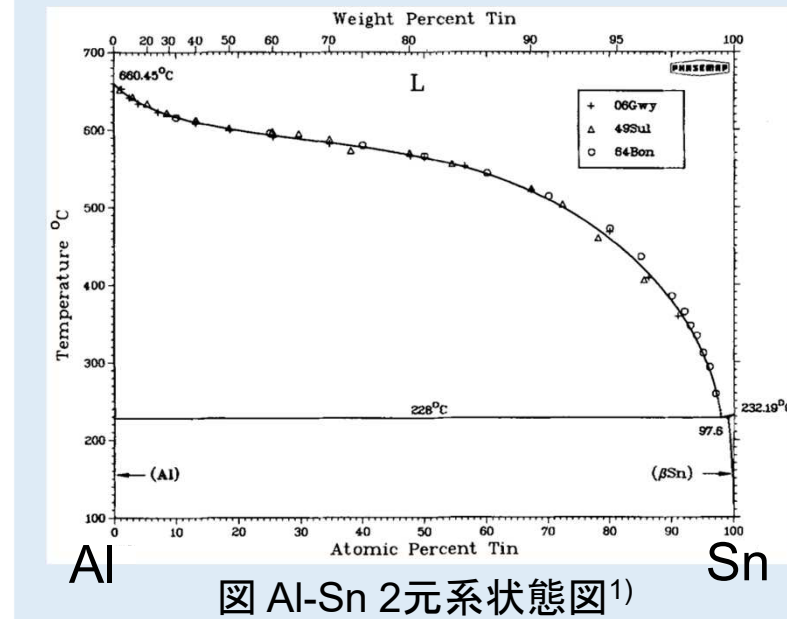
アップグレードリサイクルの壁

・鉄に比べて、いったん合金として混ざるとガス化除去や酸化除去がしにくい元素が多い

・Si（シリコン）やCu（銅）やその他、既存のアルミ合金でよく添加される元素は特に、一度入れると溶解しても除去が困難

Sn(錫)という第三の金属に溶かすことで、あらゆるロスを抑えてアップグレードリサイクルを行う新原理を考案

溶融SnへのAlとSiの溶解度の差を利用したAl中Siの除去原理を考案



- 873 K 溶融Sn中にAlは約50 mass%溶解するがSiはほとんど溶解しない
- 573 K 溶融Sn中にAlとSi共にほとんど溶解しない

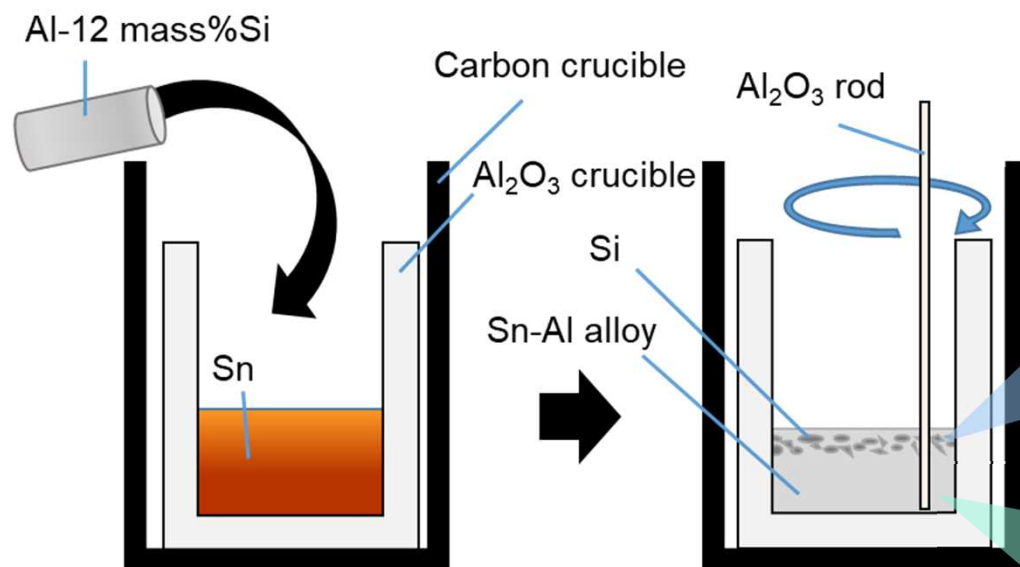


Siを晶出させて分離し、Si濃度が低いAlを回収できる可能性がある

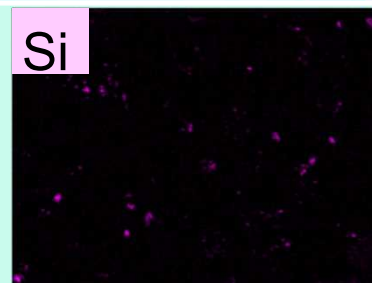
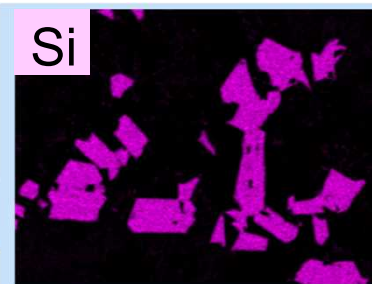
1) A. J. McAlister and D. J. Kahan: The Al-Sn(Aluminum-Tin) System, 4(1983), 410.
2) R. W. Olesinski and G. J. Abbaschian: The Si-Sn(Silicon-Tin) System, 5(1984), 273.

熔融Sn-(Al-12 mass%Si合金)からのSi晶出実験

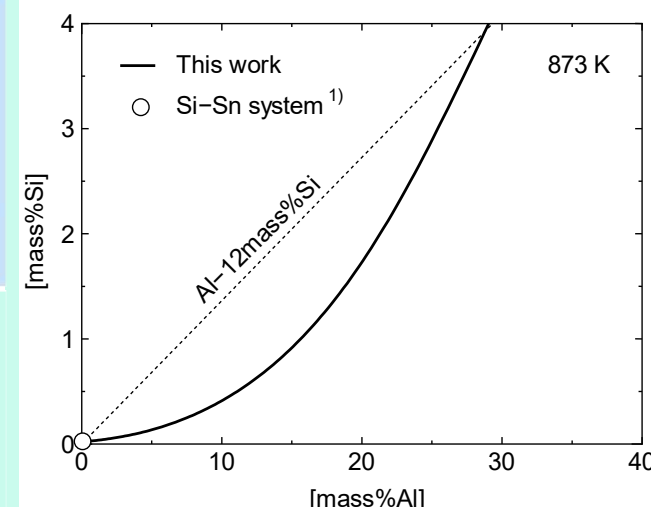
14



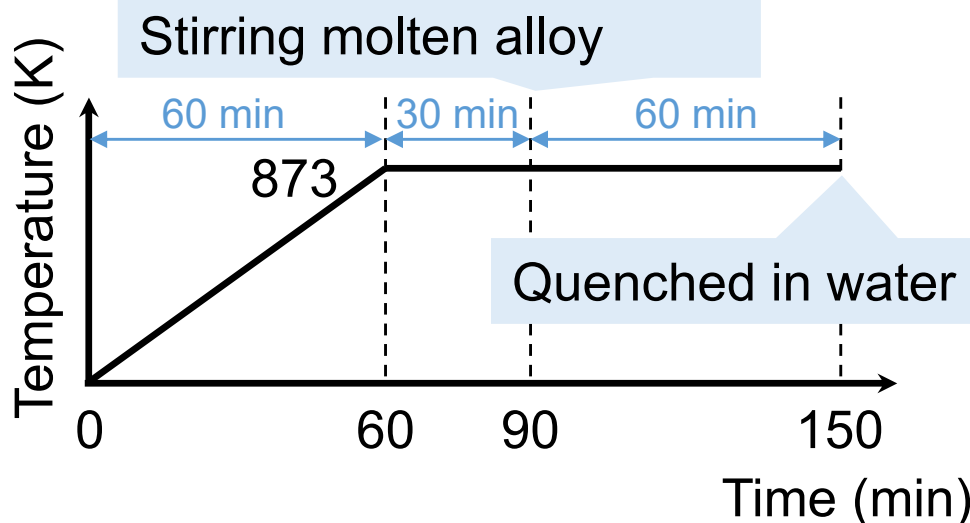
SEM-EDS



ICP-AES

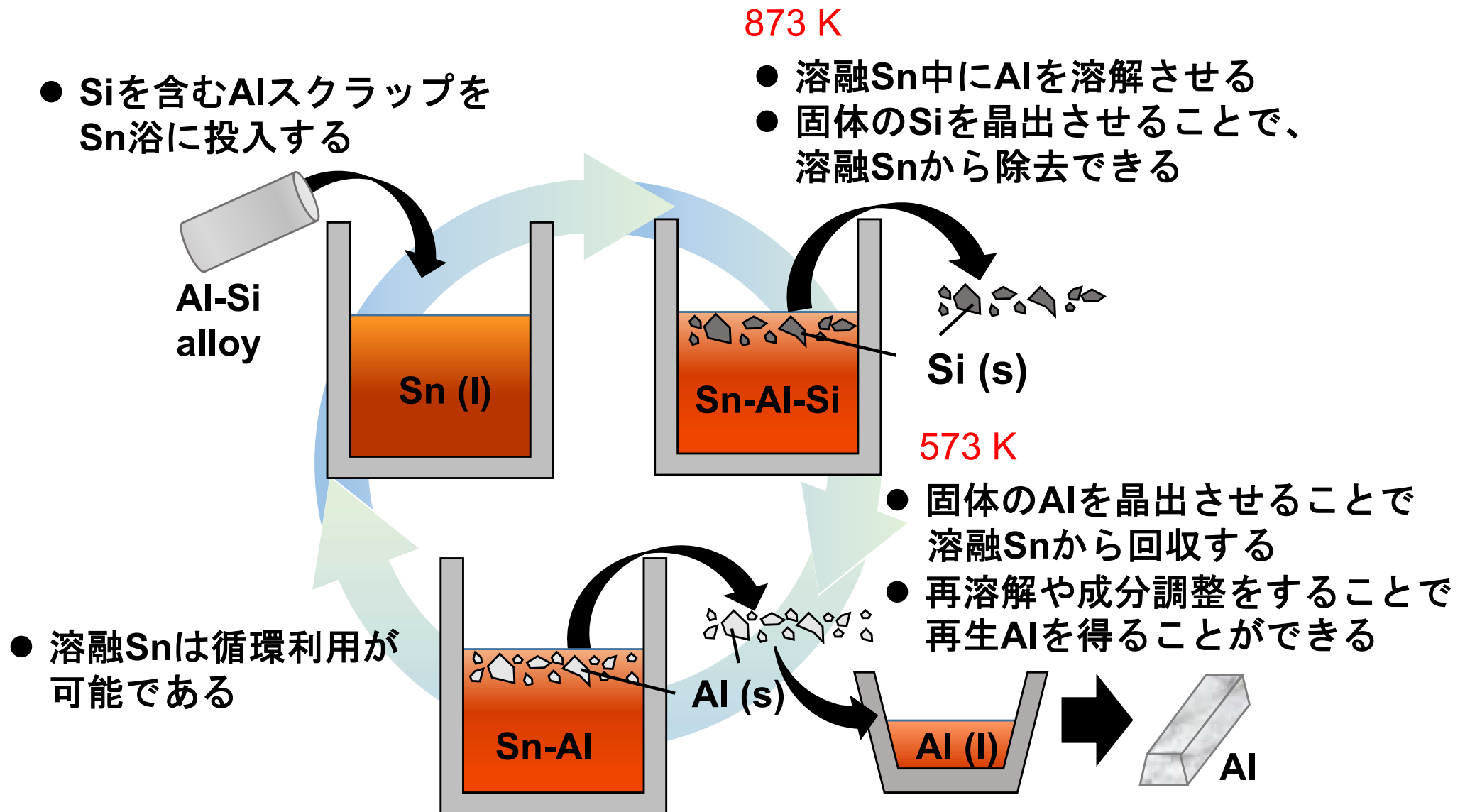


873 Kにおける熔融Sn中Si溶解度におよぼすAl濃度の影響

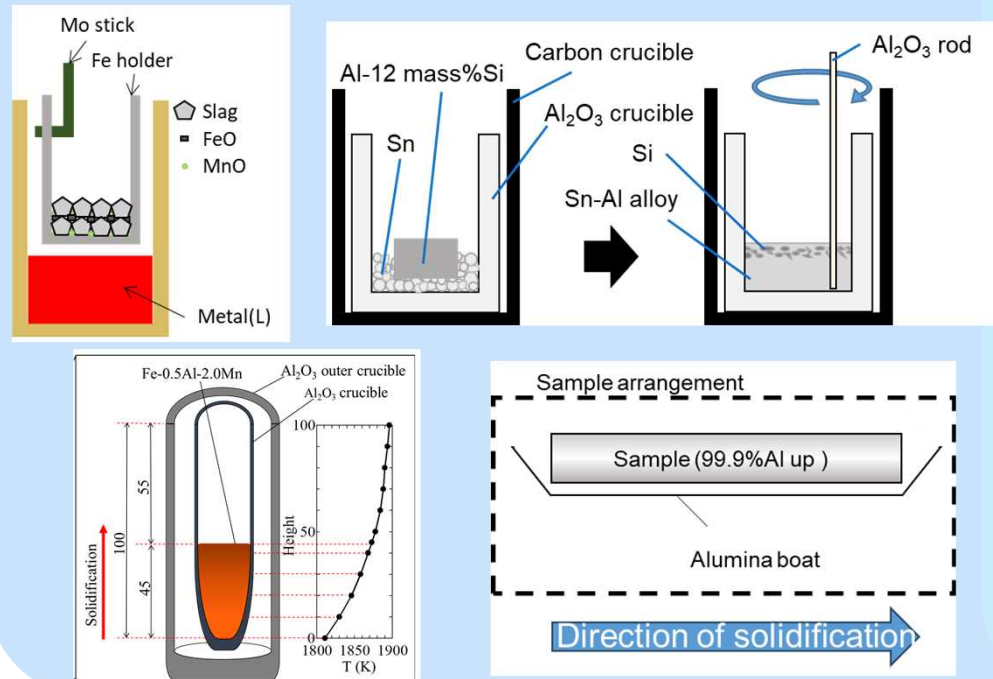


試料上部に粗大なSiが存在
試料下部には粗大なSiはみられない

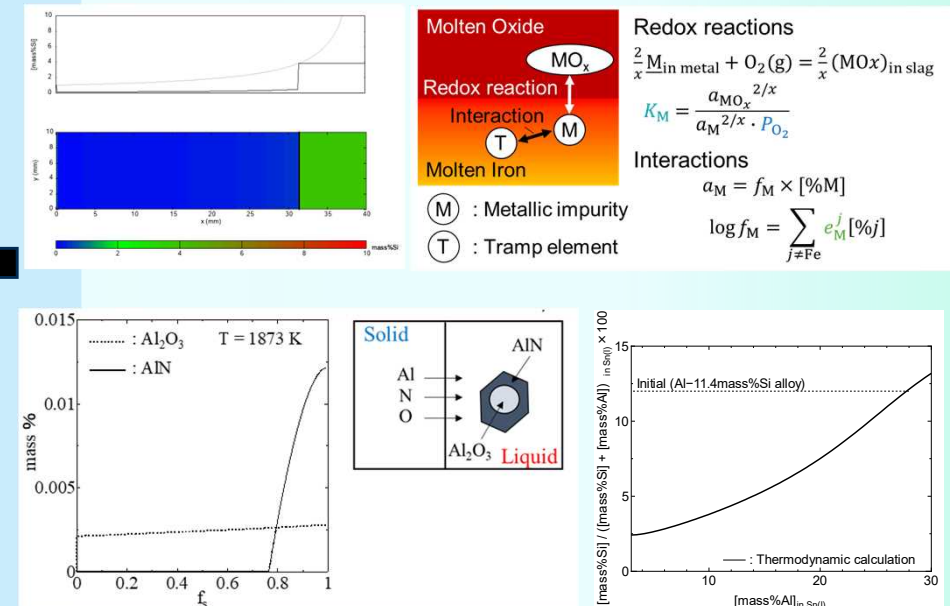
合金中Al濃度が減少するほどSi濃度も減少



温度・ガス雰囲気(酸素分圧) 制御下の高温実験



熱力学・プロセス解析 (数値解析)



- 金属の製造（製精錬）、溶解、鋳造、精製
- リサイクル（特に、スクラップ中の不純物除去）に関連がある業種
- アルミニウムのアップグレードリサイクルの社会実装

先進アルミニウム国際研究Cコーディネーター（契約職員）の募集

募集職種	コーディネーター（契約職員）
所属	富山大学先進軽金属材料国際研究機構 先進アルミニウム国際研究センター（高岡キャンパス）
募集人数	1名
仕事内容	・ 溶解炉の保守・運転に係る技術支援 ・ 精錬担当教員の教育研究活動支援 ・ 組成分析装置の保守・運転に係る技術支援

教職員採用情報

<https://www.u-toyama.ac.jp/outline/other-info/employ/>