

私の考える理想の技術開発のかたち

大内 隆成

東京大学生産技術研究所
t-ouchi@iis.u-tokyo.ac.jp

日時: 2024年9月20日(水) 14:00～

場所: 東京大学生産技術研究所コンベンションホール

産学連携と人材育成に関するシンポジウム

経歴

❖ 2003~2007 早稲田大学理工学部 応用化学科

❖ 2007~2011 早稲田大学先進理工学研究科
本間 敬之 研究室
ナノ理工学専攻 修士～博士課程
(応用化学科 助手兼任)

めっき、ナノ・マイクロ微細加工、電気化学

❖ 2011~2017 マサチューセッツ工科大学
Donald R. Sadoway研究室
PD～Research Scientist

大型電力貯蔵(アルミニウムの三層電解を応用)、熔融塩電気化学

❖ 2017~2021 東京大学
生産技術研究所 岡部 徹 研究室 助教

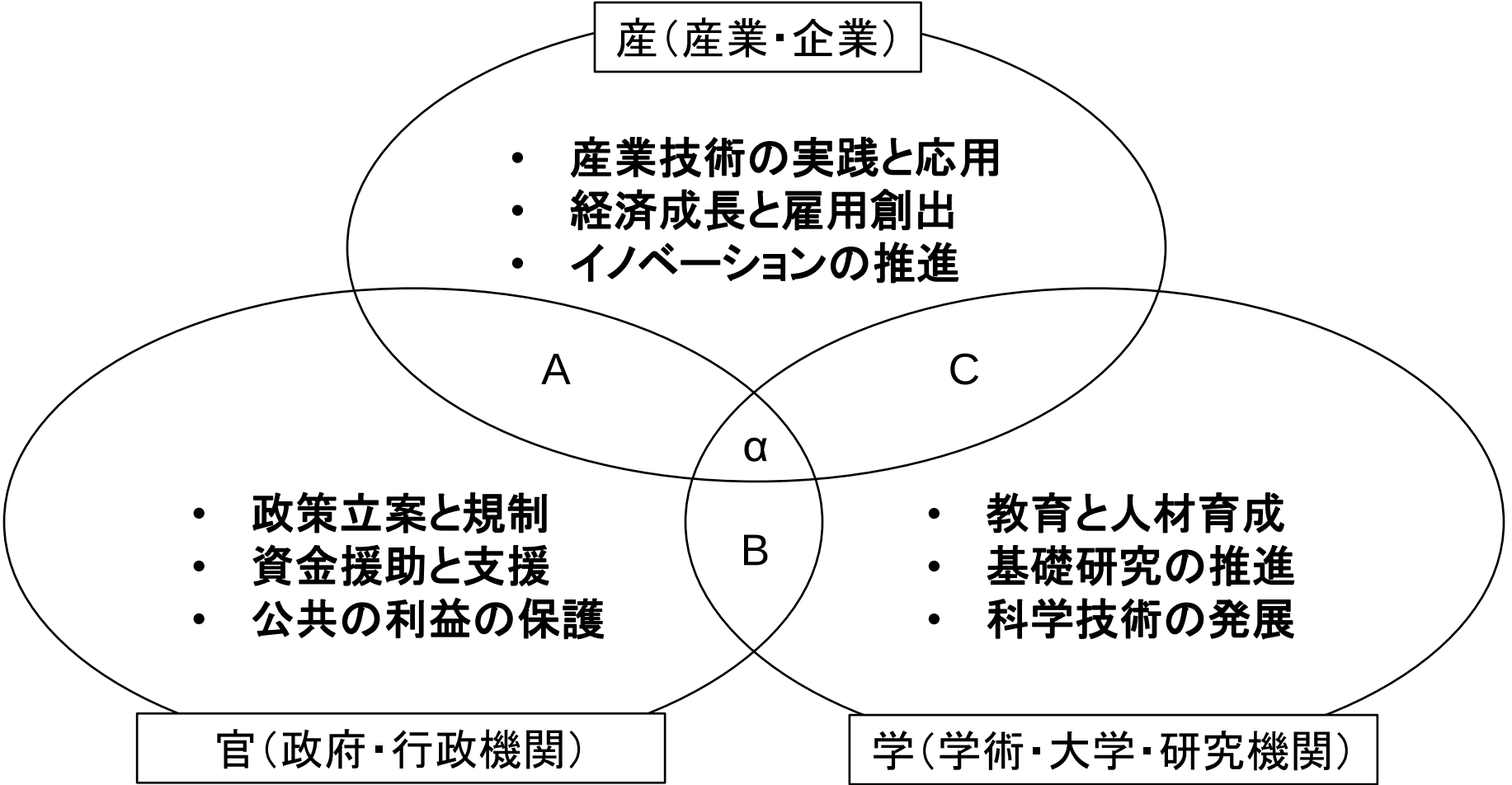
非鉄金属製錬、リサイクル

❖ 2021~現在 東京大学
生産技術研究所 講師

非鉄金属製錬、リサイクル、電気化学プロセス



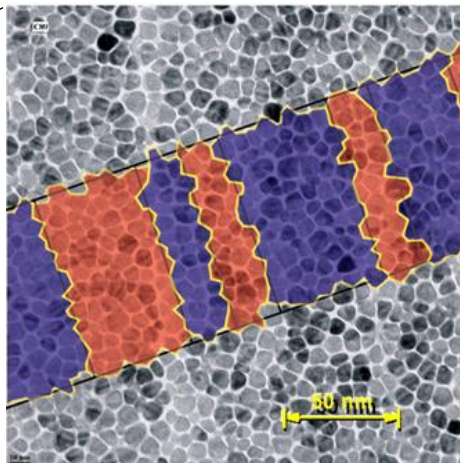
産・学・官の役割



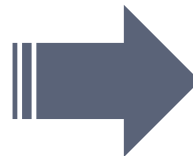
磁気記録媒体（ハードディスク）



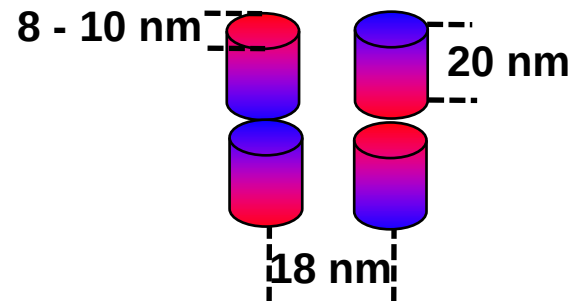
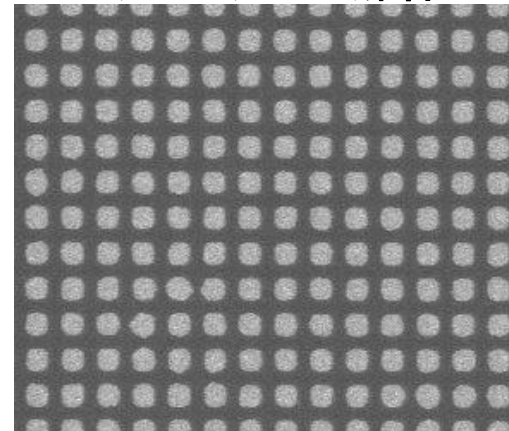
連続膜



B.D. Terris, J. Magn. Magn. Mater., 321, 512– 517 (2009).



ビットパターン媒体



磁気記録媒体(ハードディスク)

ドライプロセス

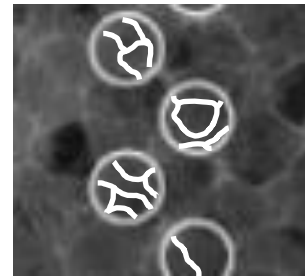
スパッタ成膜



リソグラフィ
エッチング



反応性イオンエッチング
イオンインプランテーション



不均一性

M. Aniya, ..., T. Ouchi, IEEE Transactions on Magnetics, (2009). 他1報

ドライプロセス + ウェットプロセス

リソグラフィ



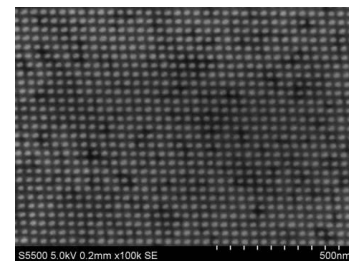
ナノインプリント
電子線描画



充填



電気めっき
無電解めっき

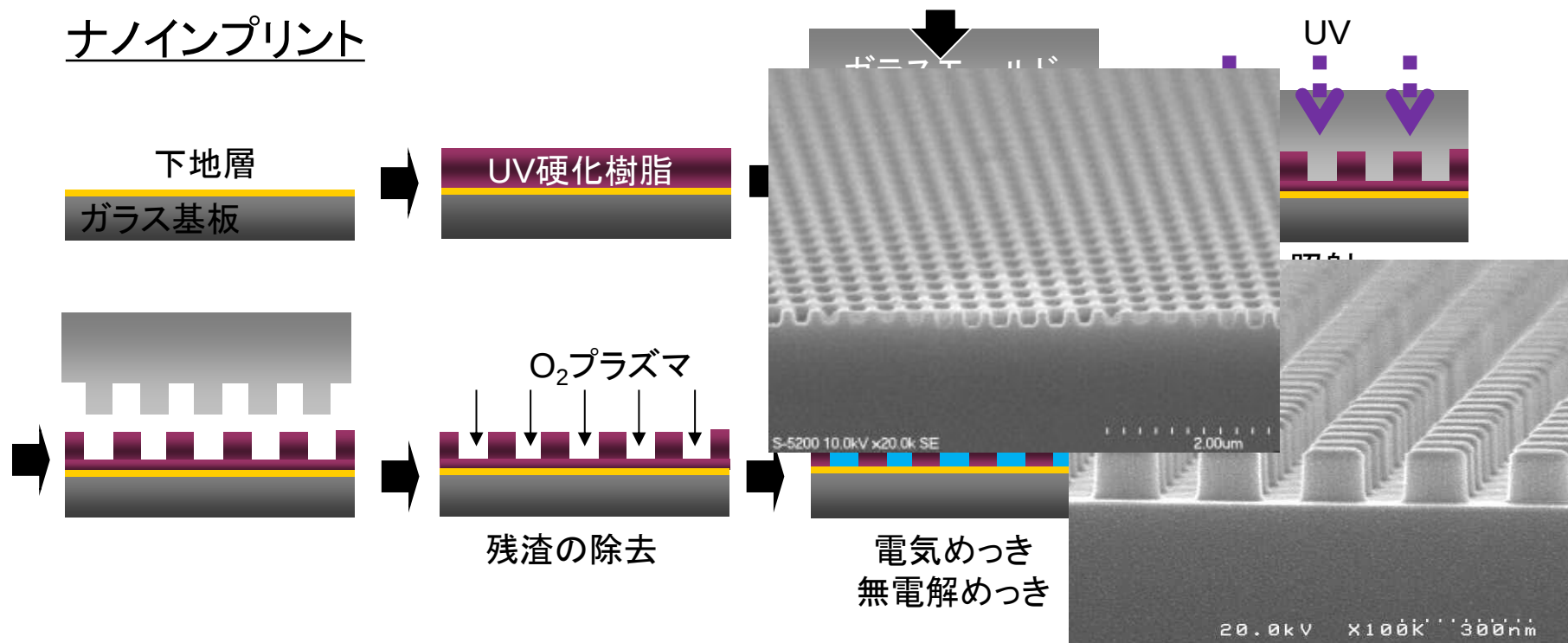


均一性

T. Ouchi et al, J. Magn. Magn. Mater. (2008). 他6報⁵

作製プロセスの開発

ナノインプリント



T. Ouchi et al, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, (2008).

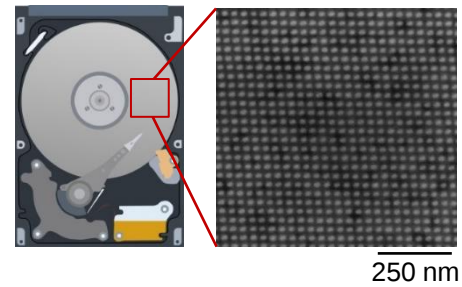
T. Ouchi et al, *IEEE Transactions on Magnetics*, (2010).

T.Ouchi et al, *Electrochimica Acta*, 56, 9575-9580 (2011).

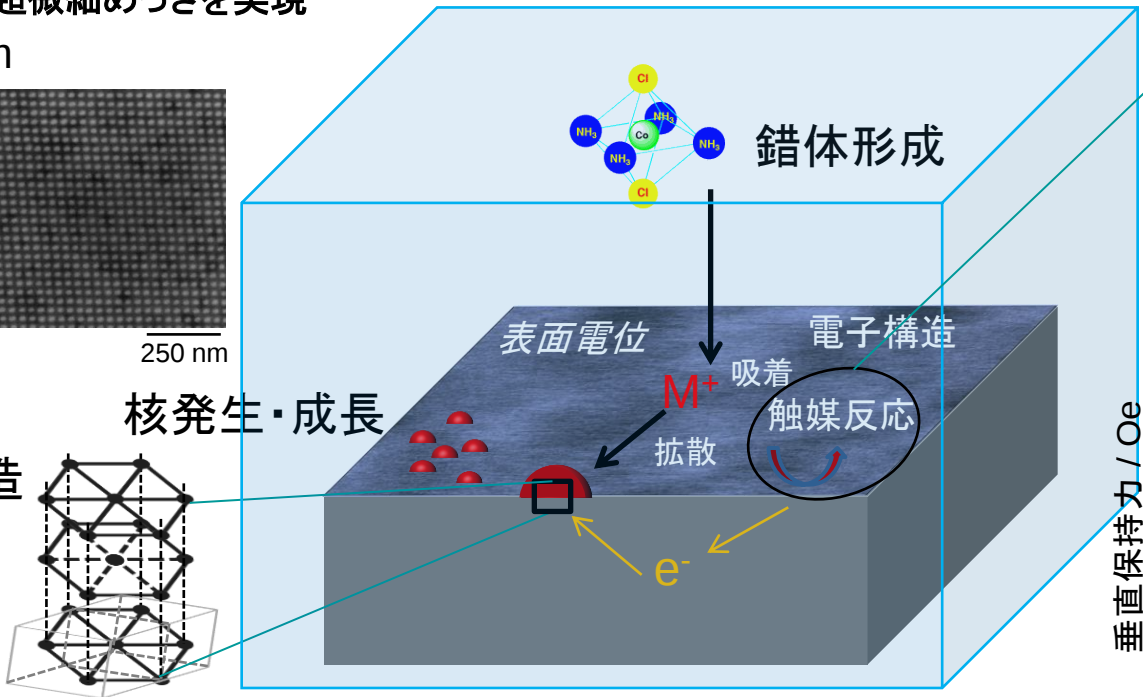
高記録密度磁気記録媒体の開発



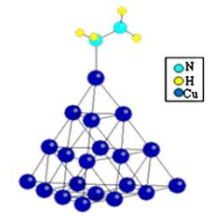
❖ 高精度の超微細めっきを実現
<10 nm



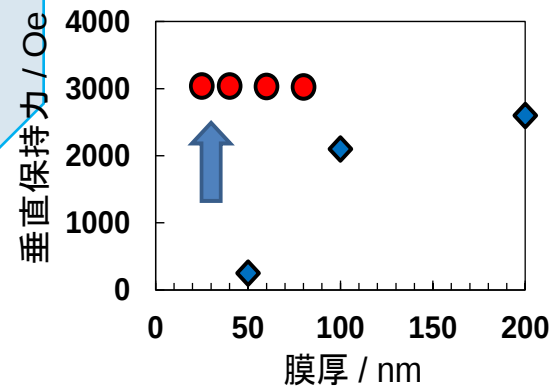
- 形状
- 結晶構造
- 組成



❖ 分光法を組み合わせた反応設計と解析

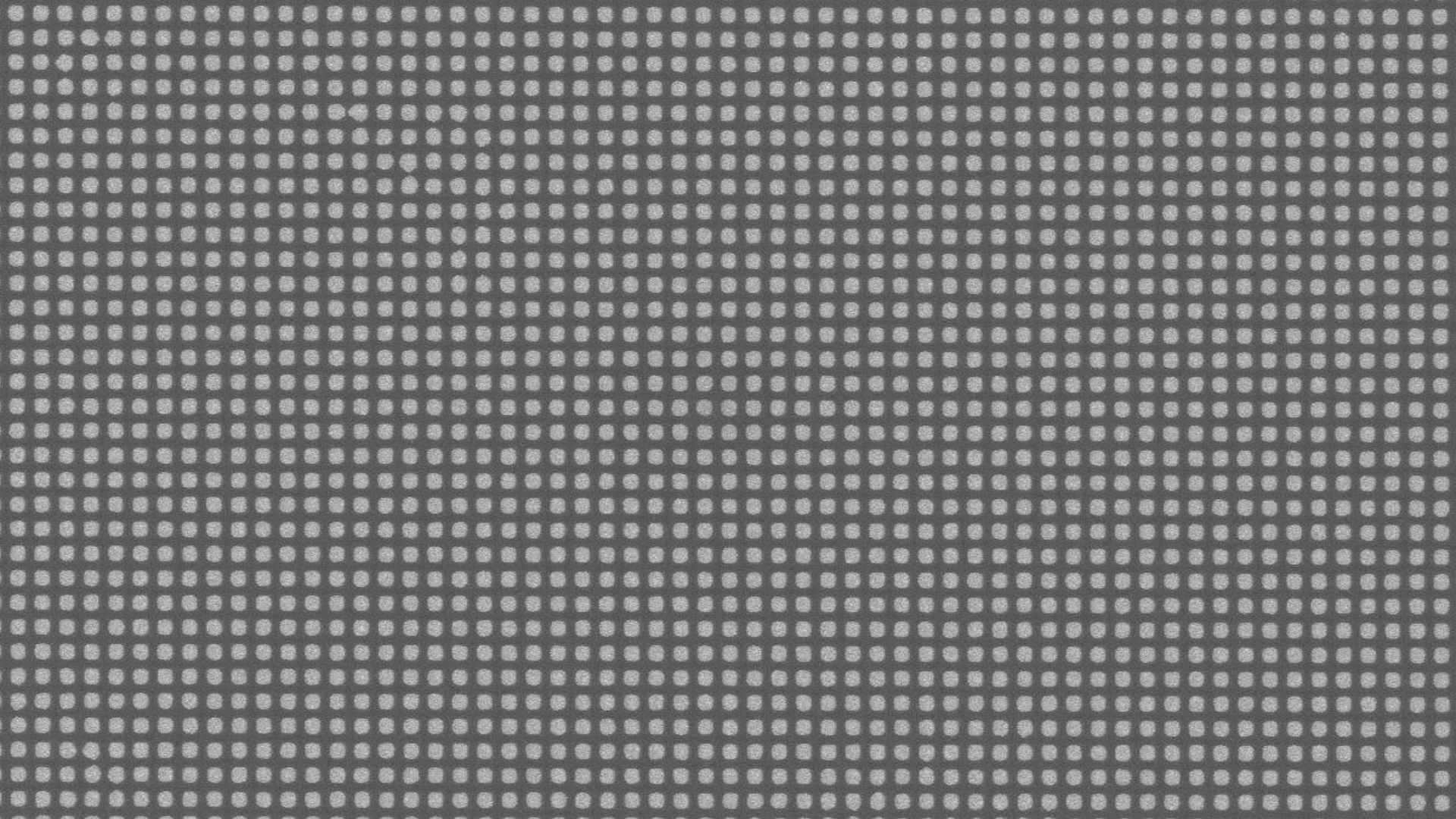


❖ 世界最高性能の無電解めっき膜の開発

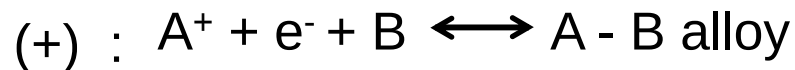
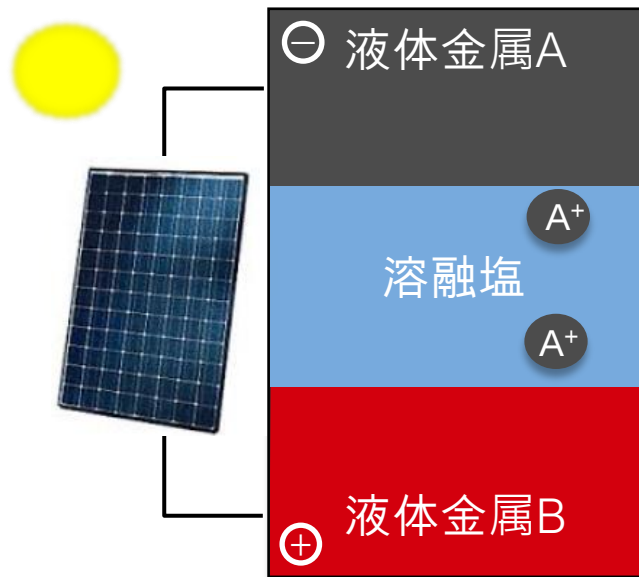


T. Ouchi, et al, Electrochimica Acta, 56 (2011) 9575– 9580.

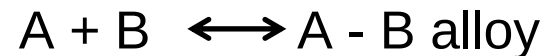
B. Jiang, T. Ouchi, et al., Electrochimica Acta, 100, (2013) 317–320.



Liquid metal battery (液体金属電池)



全反応



$$\Delta E_{cell} = -\frac{RT}{zF} \ln \left(\frac{a_{A \text{ in } B}}{a_A} \right) \approx 1 \text{ V}$$

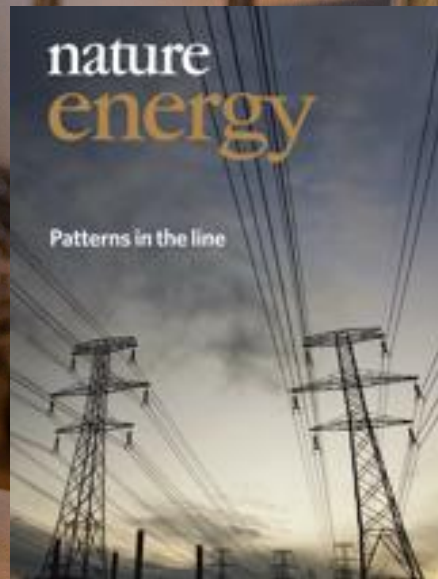
超長寿命の電池



カルシウム金属電池



新規コンセプト



hockey puck

7.5 cm

20 Wh

shotglass

2 cm

1 Wh

saucer

15 cm

200 Wh

K. Wang, K. Jang, B. Chung, T. Ouchi, et al., *Nature* (2014).
T. Ouchi, et al., *Nature Communications* (2016).
T. Ouchi, et al., *Nature Energy* (2018).

Liquid Metal Batteryプロジェクト



基礎研究
(1人～)



TOTAL
COMMITTED TO BETTER ENERGY

エネルギー省
arpa-e



Start up
AMBRI

実用化へ

2006年

2009年

2010年

2011年

2013年

2017年

非鉄金属資源循環工学寄付研究部門 (JX金属寄付ユニット)

新たな環境調和型リサイクル技術の開発、次世代の研究者・技術者の育成
一般社会、特に小中高生やその両親および先生方への啓発、SDGs、STEAM教育

第3期： 2022年1月～2026年12月
(5年間、第1期から計11年目)

**レアメタルの
新規リサイクル技術の開発**

**特任教授
岡部 徹**

将来需要の増大が見込まれるチタン、タングステン、コバルト、レニウム、白金族金属などに注目し、新規な高効率かつ環境調和型のリサイクル技術の開発を行っています。

廃棄物や難処理鉱物を「資源」として
利用するための分離濃縮技術の開発

**特任教授
所 千晴**

廃棄物や鉱石を固体のまままで分離濃縮する省エネルギー型プロセスの研究開発を行っています。このような固体分離濃縮技術は、高温や薬剤で溶かして高純度の金属を生産するプロセスの「前処理」あるいは「中間処理」に位置しています。

非鉄金属製錬プロセスの最適化

**特任教授
黒川 晴正**

非鉄金属製造プロセスにおける消費エネルギーの最小化、および目的元素を最大限回収する廃棄物の発生量低減を目指して、様々な金属の、低消費エネルギー・低環境負荷・低コストプロセスの研究開発を行っています。

**知的財産から新たな価値を創造し、
より良い未来へ**

**特任教授
菅野 智子**

技術やアイデアを社会に実装していくためには、知的財産が重要なカギになります。最先端の研究現場で知財の視点を持ち、社会実装のための知財保護の在り方を考えます。また知財をツールに、新しい協創の場を生み出します。知的財産は多くの「人」をつなげ、新たな「知」を生み出し、新しい「場」を創り、より良い未来社会を拓きます。

**デザインエンジニアリングに基づく
非鉄金属製品開発と次世代教育**

**特任教授
山中 俊治**

先端デバイスやクリーンテクノロジーに非鉄金属は不可欠な材料です。非鉄金属を用いる製品のデザインとプロトタイプングを通じて、広く社会に対して非鉄金属の価値を表明する新しい試みに取り組めます。同時にこうしたプロジェクトを通じて、技術知識と美的感覚を併せ持つ新しいタイプのデザインエンジニアを育てていきます。

**高効率金属製造・
リサイクルプロセスの開発**

**特任講師
大内 隆成**

大内研究室では、「エネルギーの高効率利用と資源循環への挑戦」という標語を掲げ、非鉄金属の新しい製錬プロセスおよびリサイクルプロセスの研究開発に取り組んでいます。エネルギーを金属へと高効率に変換し、先端技術の発展に寄与するとともに、資源循環を実現する革新的リサイクルプロセスを開発し、持続型社会の実現に貢献していきます。

リチウムイオン電池中の資源のリサイクルと高効率精錬

2022年1月26日 産学連携研究協力協定締結: 2年間, 企業研究者派遣有(柔軟な新しい枠組み、岡部教授: ニチコン、日本航空電子工業)



内容の詳細はお話できませんが、新連携に向けて調整中。



東京大学
生産技術研究所
Institute of Industrial Science,
The University of Tokyo

リチウムイオン電池中の資源のリサイクルと高効率精錬

本プロジェクトの 運営と大学側統 括



専門分野 エネルギー貯蔵材料工学

持続可能な社会を実現するためには、効率的なエネルギーの貯蔵・変換技術が不可欠です。当研究室では、電気化学・材料科学的観点から、新しい発想に基づく蓄電池、ありふれた元素で構成される高性能な電気化学触媒、既存製品の長寿命化や新たな付加価値を生み出す防食技術・表面処理技術の研究を行っています。

准教授
八木 俊介
Yagi Shunsuke



専門分野 循環資源・レアメタルプロセス工学

私たちは日常生活において、多種多様なレアメタルに囲まれて生活しています。電子機器、ハイブリッド自動車の高性能モーターやインバータ、蓄電池、太陽光発電用のパネルや制御器などの省エネ機器にもレアメタルは不可欠です。当研究室では、スマート社会の実現に不可欠なレアメタルをはじめとする、非鉄金属材料の製造やリサイクル技術の開発に関する研究を行っています。

教授・所長
岡部 徹
Okabe Toru

レアメタル リサイクル

製錬・精錬



専門分野 非鉄金属生産工学

銅、鉛、亜鉛などのベースメタルに加え、レアメタル、レアアース、貴金属を含む多岐にわたる金属は、現代社会の発展に必要な不可欠な素材であり、今後ますますその重要性は高まっています。生産プロセスにおける消費エネルギーの最小化、および目的元素を最大限回収することによる廃棄物の発生量低減を通じて、低消費エネルギー・低環境負荷・低コストプロセススキームを実現することを目指しています。

特任教授
黒川 晴正
Kurokawa Harumasa



専門分野 産業エコロジー・ライフサイクル評価・物質フロー分析

現在の材料は、有限な天然資源を採掘し、化石燃料を用いて生産し、使用済み材料の一部は散逸するなど、持続可能な材料の使い方になっておらず、社会全体の材料のフローやストックもほとんど定量されていません。当研究室では、持続可能な資源・エネルギー利用を目指した物質ストック・フローモデルを構築することで、材料の持続可能な生産・消費・リサイクルのあり方の提示を目指しています。

准教授
醍醐 市朗
Daigo Ichiro

LCA

リサイクル エネルギー



専門分野 エネルギー・材料物理化学

金属の天然資源は、限られた地域に偏在しており、我が国の安定的な資源供給のためには、使用済みの電子デバイスなどからのリサイクルプロセスが極めて重要です。しかしながら、貴金属やレアメタルのリサイクルは、一般的に、強力な酸などを用いた水溶液への溶解を基本的な手法とする、複雑な処理によって行われており、環境負荷という課題があります。簡便で有害廃液が発生しない、効率性と環境調和性を兼ね備えた新規リサイクルプロセスの開発に取り組んでいます。

講師
大内 隆成
Ouchi Takanari



東京大学生産技術研究所

【パンフレット資料より】



東京大学
生産技術研究所
Institute of Industrial Science,
The University of Tokyo

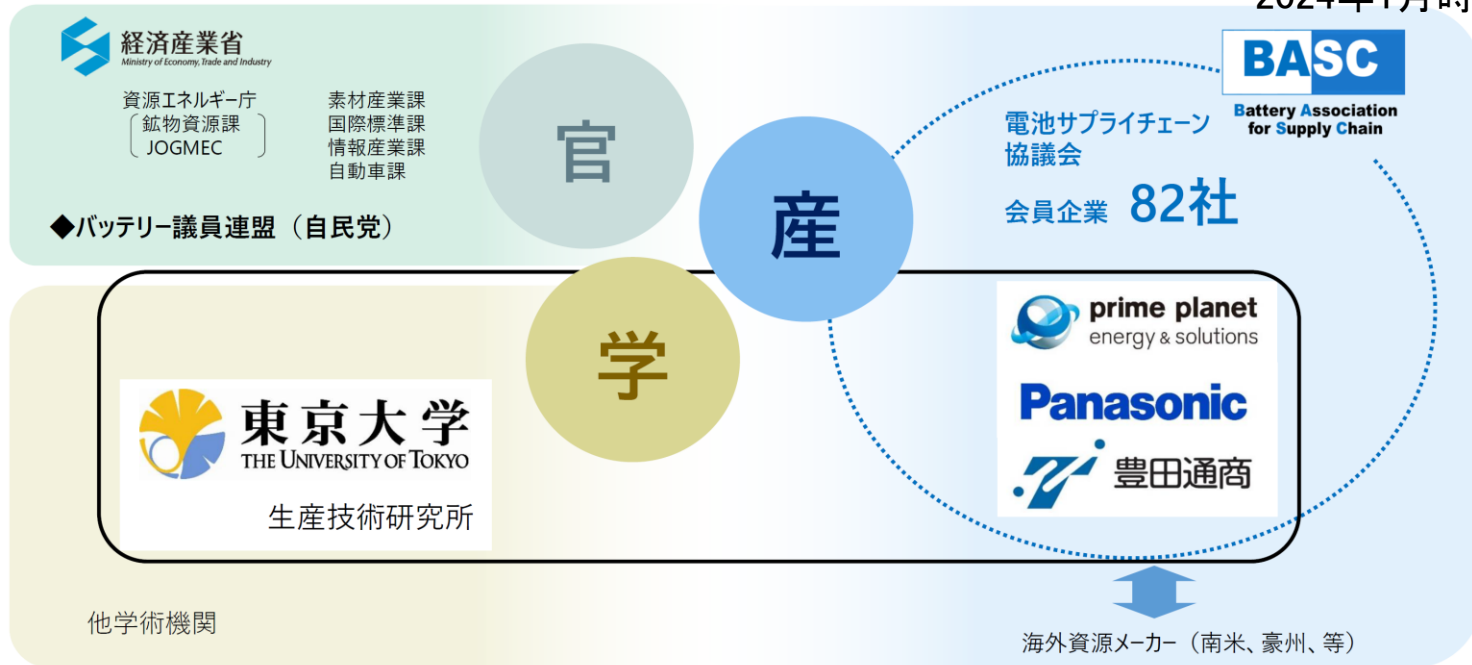
カーボンニュートラルと国際競争力の強化

6

- ・欧州による規制
- ・中国企業シェア拡大

One Teamで電池産業全体の強化

2024年1月時点 185社



© 2022 Prime Planet Energy & Solutions, Inc.

【メディア配布用資料より】

アルミニウムの電解製錬



Paul-Louis-Toussaint Héroult
(* April 10, 1863, + May 9, 1914)
Patent: April 23rd, 1886



Charles Martin Hall
(* Dec. 6, 1863, + Dec. 27, 1914)
Patent: July 9th, 1886

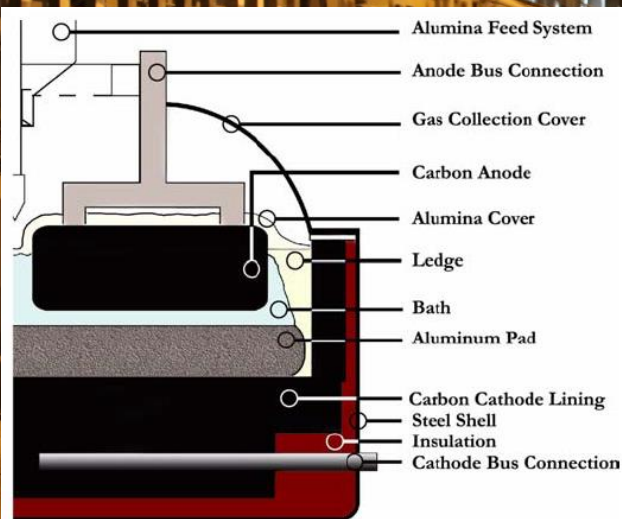
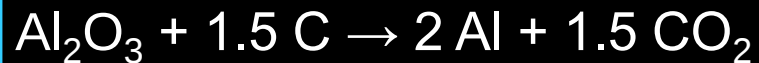


Figure 5.6: A Typical Hall-Héroult Cell



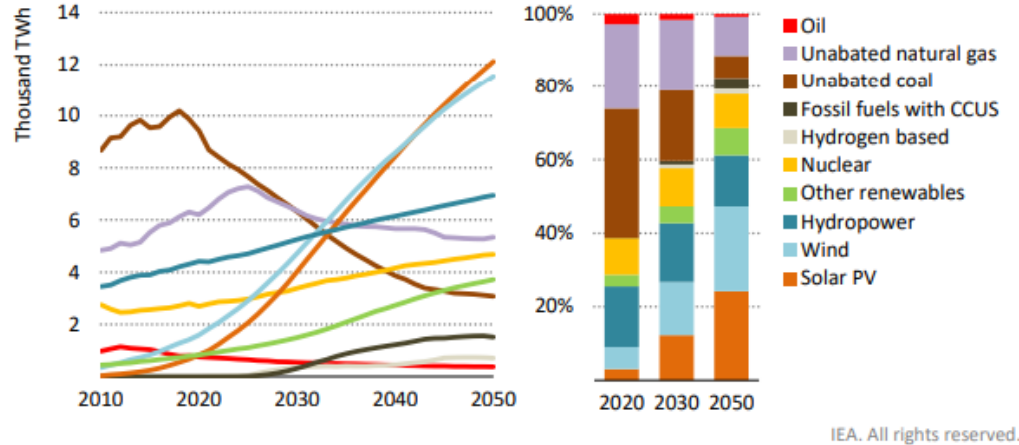
電力13 kWh / kg

生産コスト < \$1.00 / kg

Al : 99.8 %



GX: グリーントランスフォーメーション 「エネルギー転換」と「脱炭素化」



Global Electricity Generation by Source in the APC (Announced Pledges Case)

IEA Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector



1. 再生可能エネルギーの主電源化
2. エネルギー選択の多様性の確保

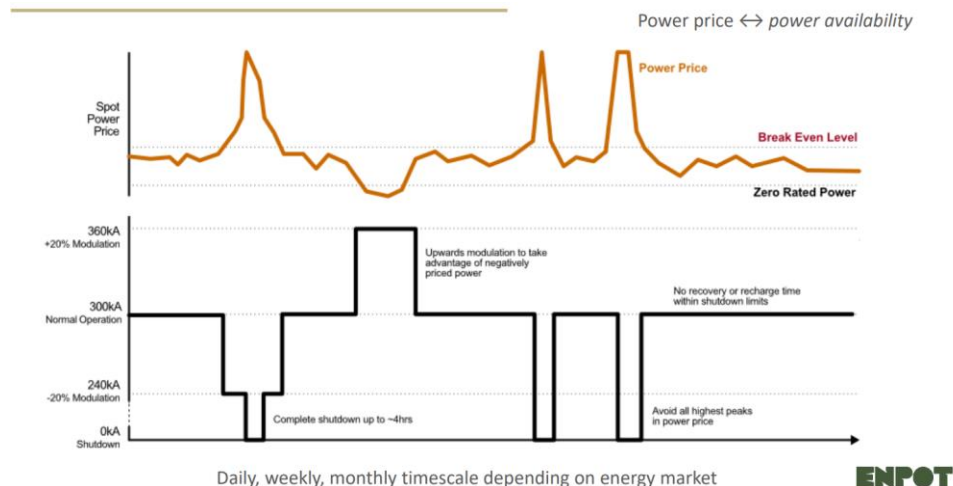


金属製錬・リサイクルプロセスを調整
力として利用する

これまでは、電気料金がプロセス選択・マテリアルフローを制限していたが、余剰電力の活用を考慮すると、プロセス設計指針が抜本的に変化する？

アルミニウム製錬による需給調整

- ・ エッセン工場の120基の炉の調整で最大2,000MW分の蓄電が可能に(中規模の揚水発電施設に匹敵)
- ・ 投入電力によらず炉内温度を一定に保つ制御可能な熱交換器を開発
- ・ 最大48時間、25%増または25%減の需要調整が可能に。(必要に応じて、最大1時間まで需要0にすることも可能)
- ・ 需給調整力を市場に供出し、電気料金抑制(セカンダリ~プライマリ(高速)予備力市場、スポット市場への対応)



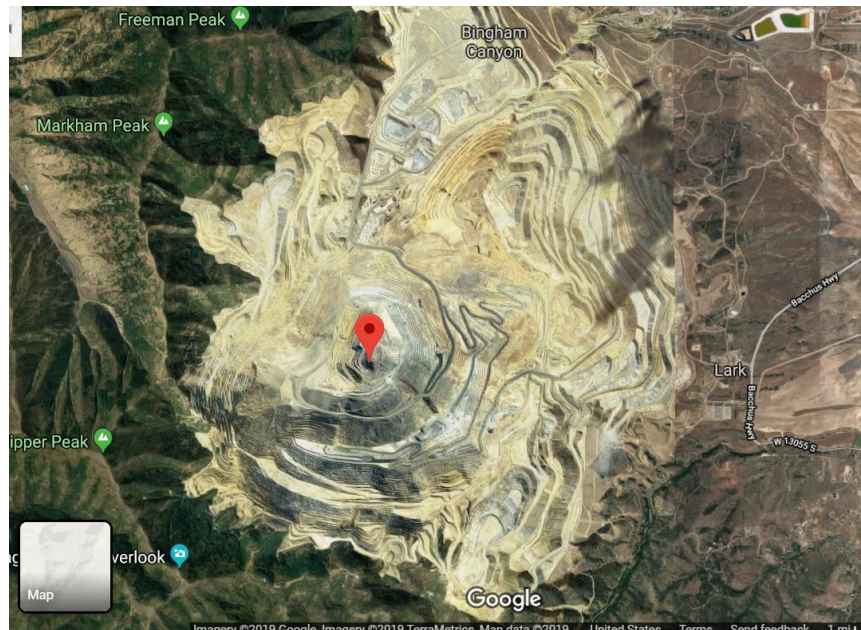
SPOT LIGHT METAL News letter(2019/6/14)
Flexible Electrolysis Process
TRIMET Starts Trial Operation of its “Virtual Battery”
<https://www.spotlightmetal.com/trimet-starts-trial-operation-of-its-virtual-battery-a-837286/>
Decarbonisation of Aluminium Production by Demand Side Response
<https://aluminiumtoday.com/content-images/news/GreenerAluminium-NDepree-220519sm.pdf>

An aerial night photograph of a dense urban landscape, likely Tokyo, with numerous skyscrapers and buildings illuminated by city lights. The Tokyo Tower is visible in the upper left quadrant. The image serves as a background for the text.

電気化学プロセスの有効性

銅鉱山 (Bingham Canyon Mine)

人工的に掘られたものとしては世界最大の規模

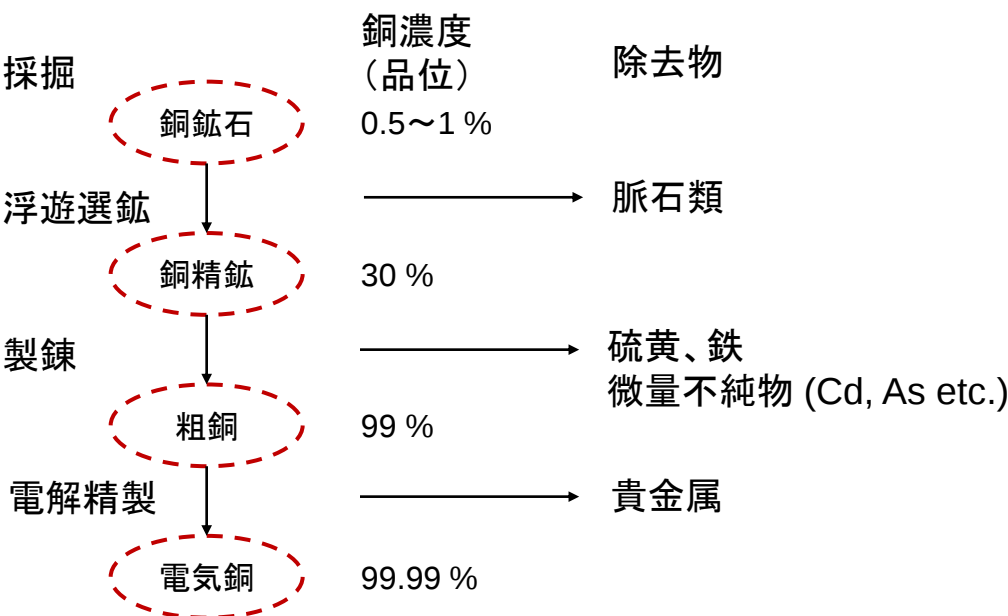


Rio Tinto Group

銅鉞山 (Bingham Canyon Mine)



銅製造プロセス



一般には知られていないが鉱石の採掘や製錬には多量のエネルギー消費、CO₂排出が伴う
⇒多量の廃棄物、海外では環境破壊が進んでいる

重要な銅鉱石

鉱物名	分子式
黄銅鉱 (Chalcopyrite)	CuFeS ₂
輝銅鉱 (Chalcocite)	Cu ₂ S
斑銅鉱 (Bornite)	Cu ₅ FeS ₄
銅藍 (Covellite)	CuS
硫砒銅鉱 (Enargite)	Cu ₃ AsS ₄
赤銅鉱 (Cuprite)	Cu ₂ O
孔雀石 (Malachite)	CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂

アルミニウムなど酸化鉱から製造される金属に比べるとCO₂発生は少ない。

金属のリサイクル

- 汚染物元素を除去する
 - 全部溶かして必要元素を取り出す(不純物は残す)
 - 不純物だけ溶かし出す
- 汚染物元素を薄める
 - バージン材料を加えて溶解
- 汚染物元素が入っていても良いアプリケーションにカスケードする
 - 劣化版の材料として利用
 - 添加剤として利用
- 汚染物元素の許容濃度範囲を拡大する材料設計をする

エネルギー・高効率利用・資源循環





課題設定

Ask the right questions

×

人材育成

Inventing inventors

||

必然

Inevitable