

住友金属鉱山と 東北大学多元物質科学研究所の 非鉄金属製錬環境科学共同研究部門 の取組み

2023年9月8日

住友金属鉱山株式会社

執行役員 技術本部長

岡本秀征

1. 設立の背景と目的
2. 活動内容
3. 成果①共同研究（乾式関係）
4. 成果②共同研究（湿式関係）
5. 共同研究の成果報告
6. 成果③特別講義
7. 成果④現場見学、企業交流
8. 成果⑤非鉄金属業界への採用状況
9. 第二期の課題と展望

1. 設立の背景と目的

非鉄金属産業の現状

非鉄金属製錬産業における国際情勢の変化

- 資源ナショナリズムの高まり
- 鉱山の高地化・奥地化
- 鉱石の品位低下や不純物の増加

資源確保は
さらに困難に！

資源開発の高コスト化
世界の資源メジャーとの競争激化

資源を安定的に確保し、高品質の素材を提供していくには、資源開発や製錬事業における技術革新および優秀な技術者が必要

1. 設立の背景と目的

共同研究部門設立の背景

国内非鉄金属製錬業界の問題点

- 資源・製錬を専門とする学部・講座・教授の激減
⇒ 非鉄金属製錬技術者の枯渇の恐れ
- 社会での認知度が低く、最先端産業でないイメージ
⇒ 学生の人気が高い



非鉄金属製錬業界全体の問題

1. 設立の背景と目的

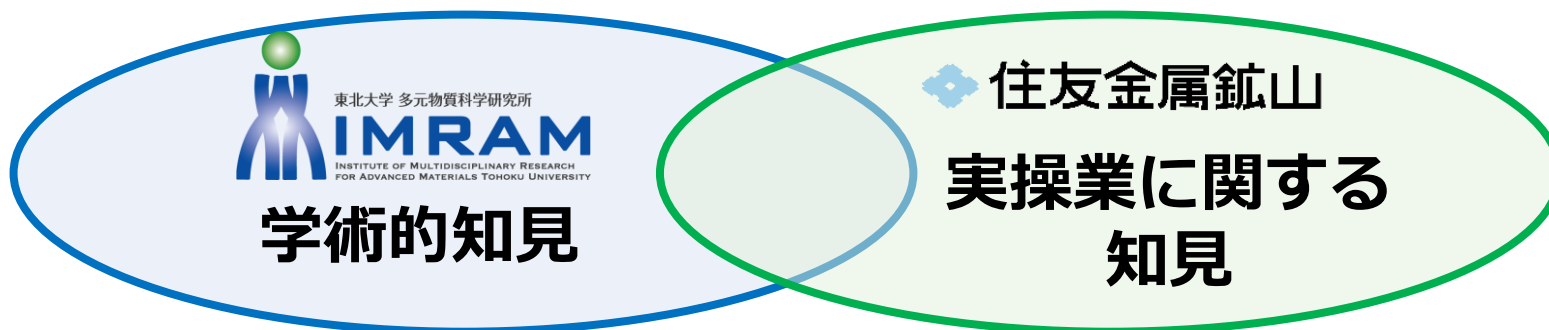
設立の目的

国内非鉄金属製錬業の持続的な発展のために

- 非鉄金属製錬操業の先進化技術の確立
- スクラップなどの社会循環技術の確立
- 次世代非鉄金属製錬業を担う人材の育成

産学が連携・課題を共有

効率的・実用的な研究開発



2. 活動内容

① 日本の非鉄金属製錬業界全体の利益に資する共同研究の推進

1. 各種スクラップを含めた製錬原料に含有する多様な金属を効率的に分離回収する方法、およびその金属の用途開発に関する研究
2. 非鉄金属製錬操業の先進化技術に関する研究
3. 非鉄金属製錬中間物および廃棄物の有効利用と再資源化に関する研究

⇒ ・ 日本の非鉄金属製錬業の国際競争力アップ
・ 共同研究を通じた人材育成

2. 活動内容

② 非鉄金属製錬各社と大学との連携

1. 企業による講義や共同研究を通じた学生への非鉄金属製錬業の啓蒙活動
 2. シンポジウム・座談会等での成果の公表、非鉄金属製錬各社の事業紹介や工場見学開催による非鉄金属製錬の魅力のアピール
- ⇒ ・ 非鉄金属製錬関連の講座・教授/教員の維持・拡大支援
非鉄金属製錬学／技術に興味を持つ学生の増加
・ 非鉄金属製錬業界を志望する学生の確保

3. 成果__共同研究

第1期(5カ年)テーマ選定

原則：非鉄製錬業各社になるべく共通するテーマとする

⇒主として銅製錬関連テーマを選定し、研究手段を大学と相談して決定した

乾式 4 テーマ

湿式 4 テーマ

第2期(5カ年)テーマ選定

非鉄製錬業各社へヒアリングをし、ニーズの多いテーマにつき大学と相談して決定した

乾式 3 テーマ

湿式 3 テーマ

3. 成果①共同研究（乾式関係）

乾式製錬のテーマ名と大学側の担当者

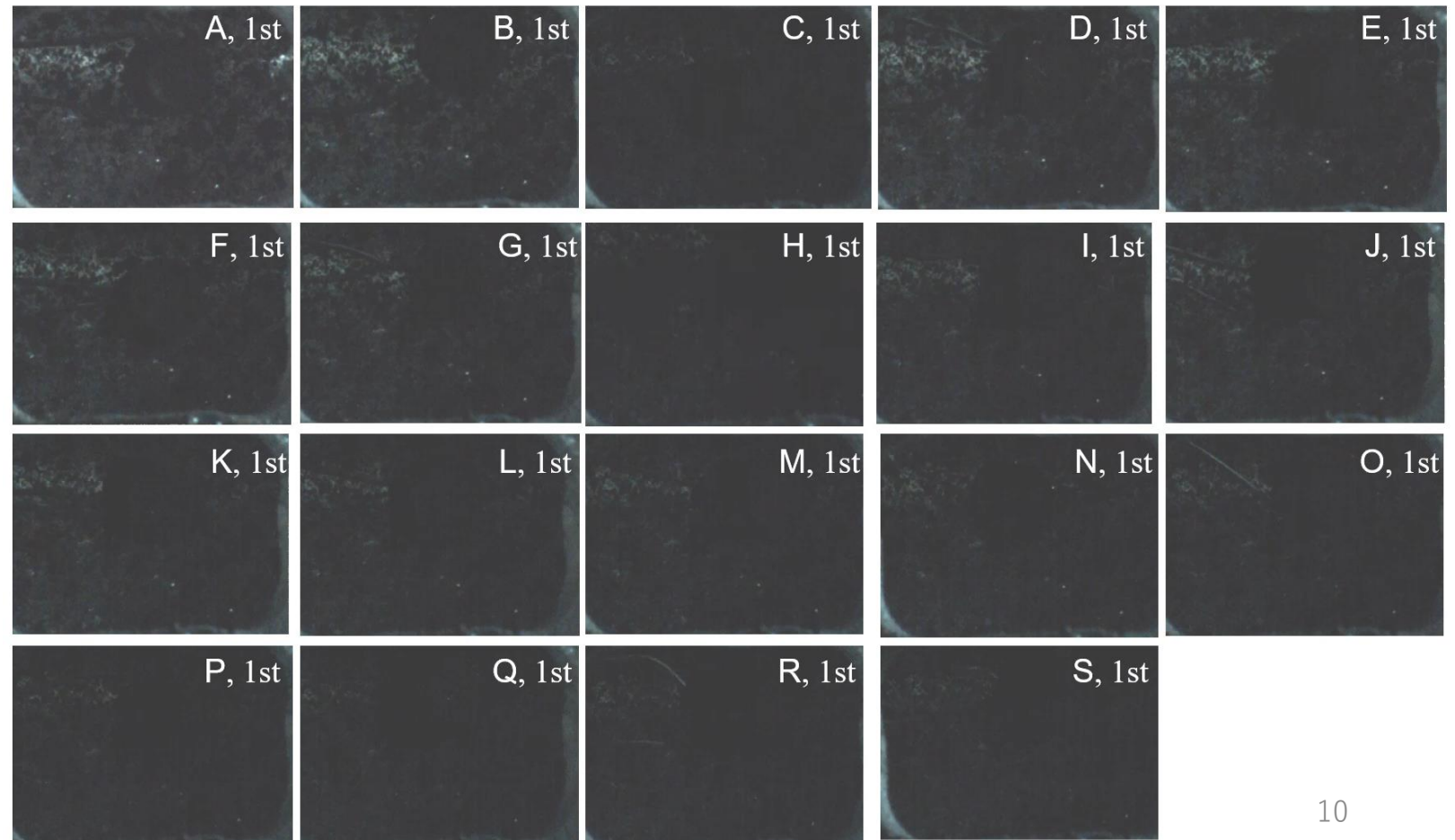
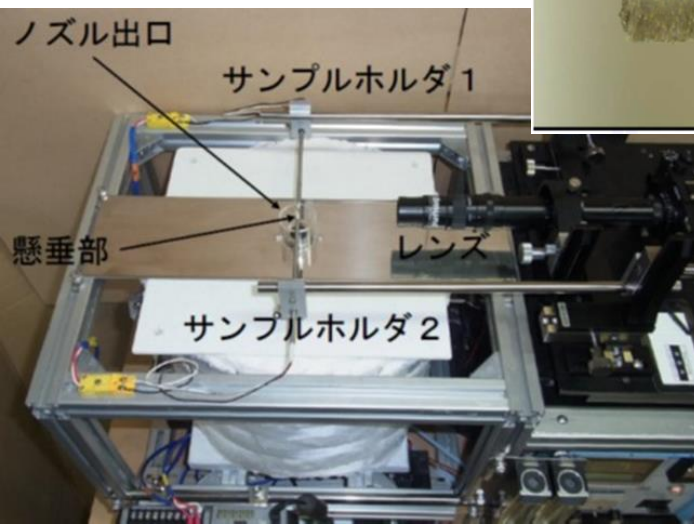
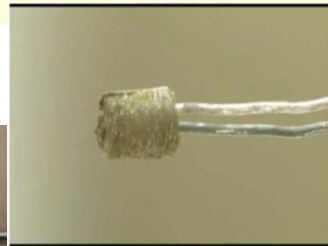
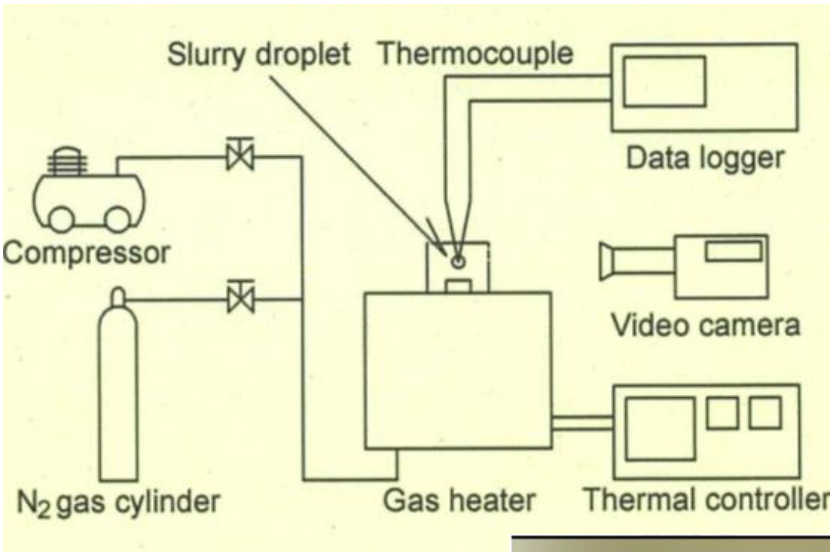
目的	テーマ名	研究担当者
生成マグネタイト量低減のための銅精鉱燃焼メカニズム詳細解明	ガス流中の精鉱燃焼反応の目視観察	埜上洋教授、夏井俊悟准教授
精度の高いマットの表面張力測定	マット融体の熱物性測定	安達正芳講師、大塚誠准教授、福山博之教授
自熔炉スラグ粘性低下に向けた上昇原因調査	鉄ケイ酸塩スラグの物性・構造への影響調査	川西 咲子講師*現京都大准教授、助永壮平准教授、柴田浩幸教授
マットによるマグネタイト消滅反応への生成ガスの影響調査	マグネタイト/マット間の反応解析に向けたその場観察	助永壮平准教授、川西 咲子講師*現京都大准教授、柴田浩幸教授

3. 成果①共同研究（乾式関係）

ガス流中の精鉱燃焼反応の目視観察

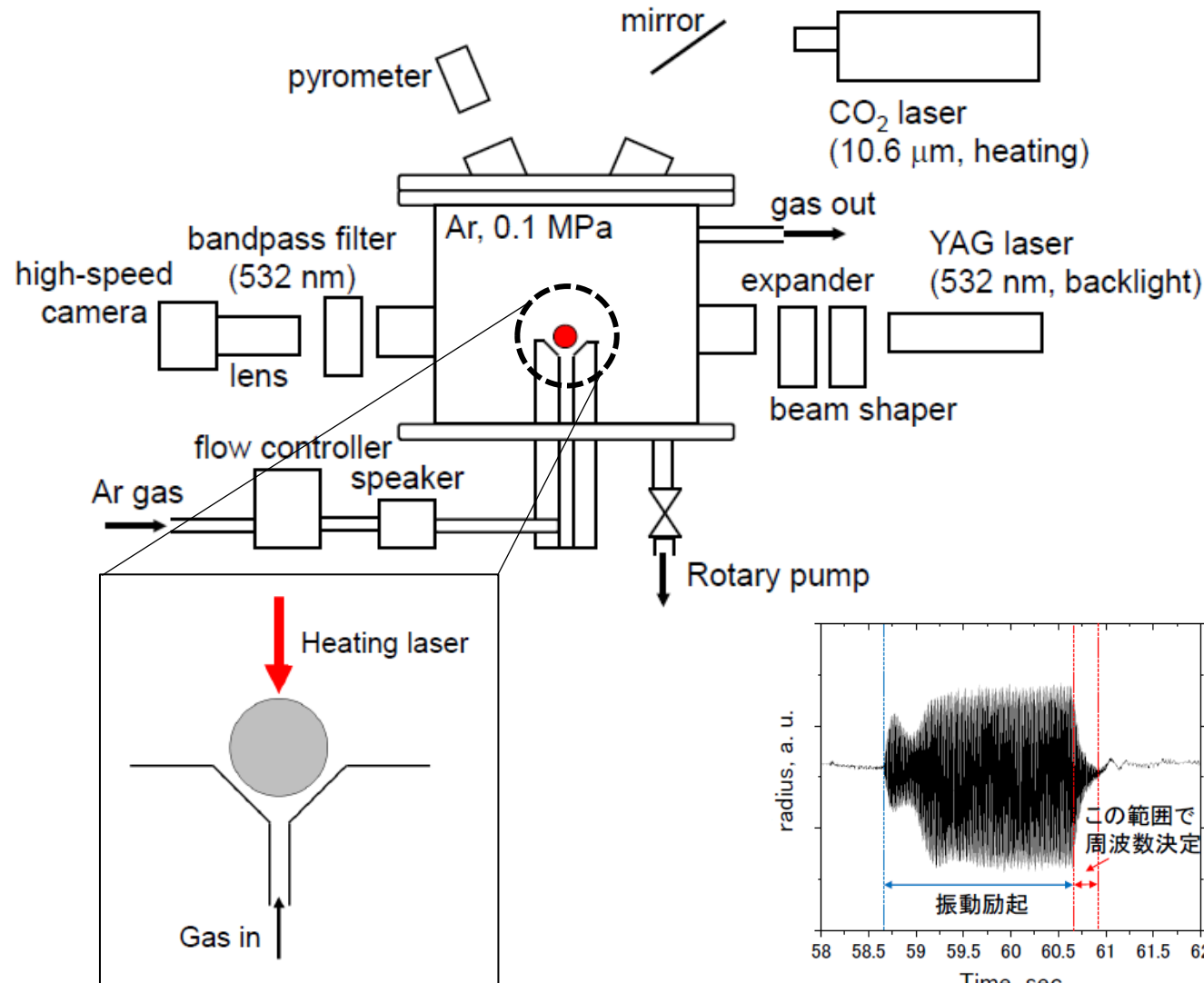
○銅精鉱着火・燃焼反応を詳細に解析する

19種の精鉱燃焼試験：精鉱毎の燃焼性の違いが明確化

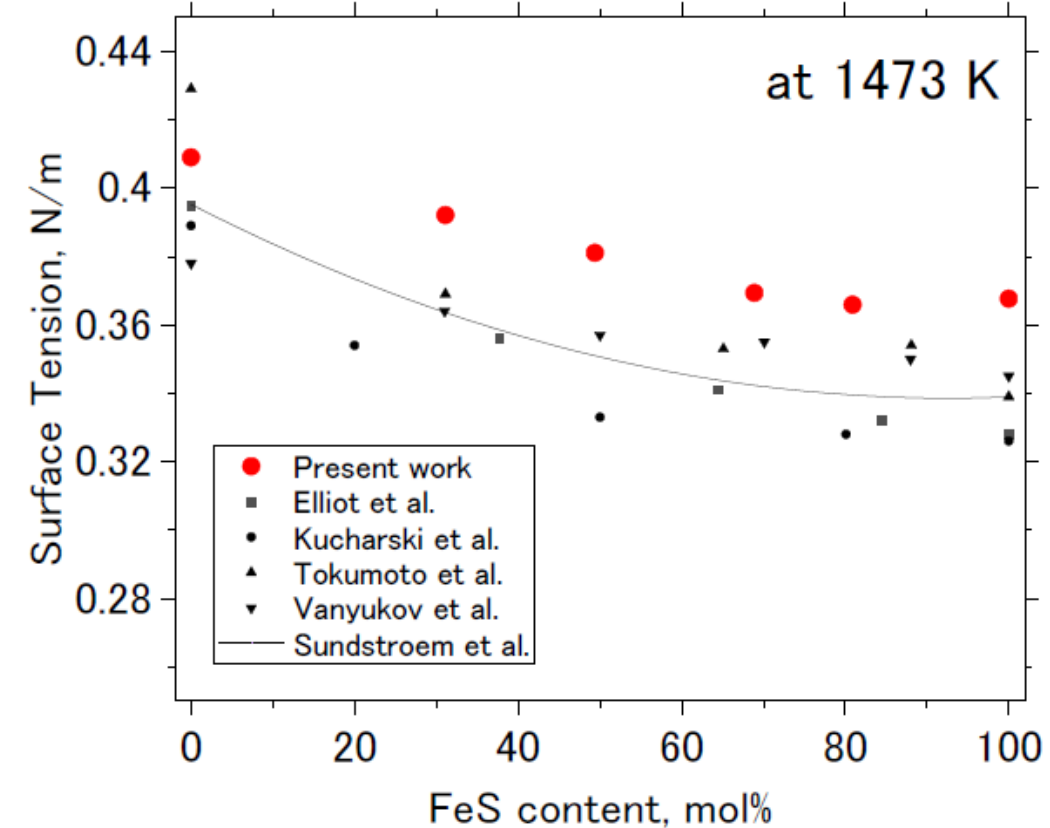


3. 成果①共同研究（乾式関係）

マット融体の熱物性測定



銅マットの表面張力測定結果

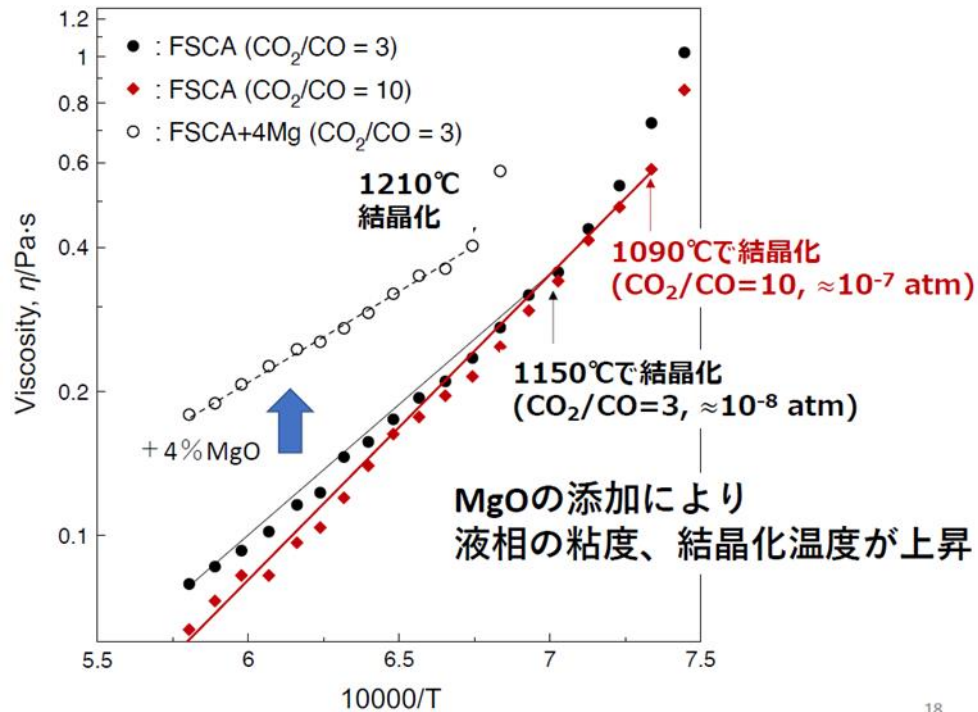


るつぼとの非接触測定状態(高精度)で
 得られた銅マットの表面張力値は従
 来の測定結果よりも高い値となった

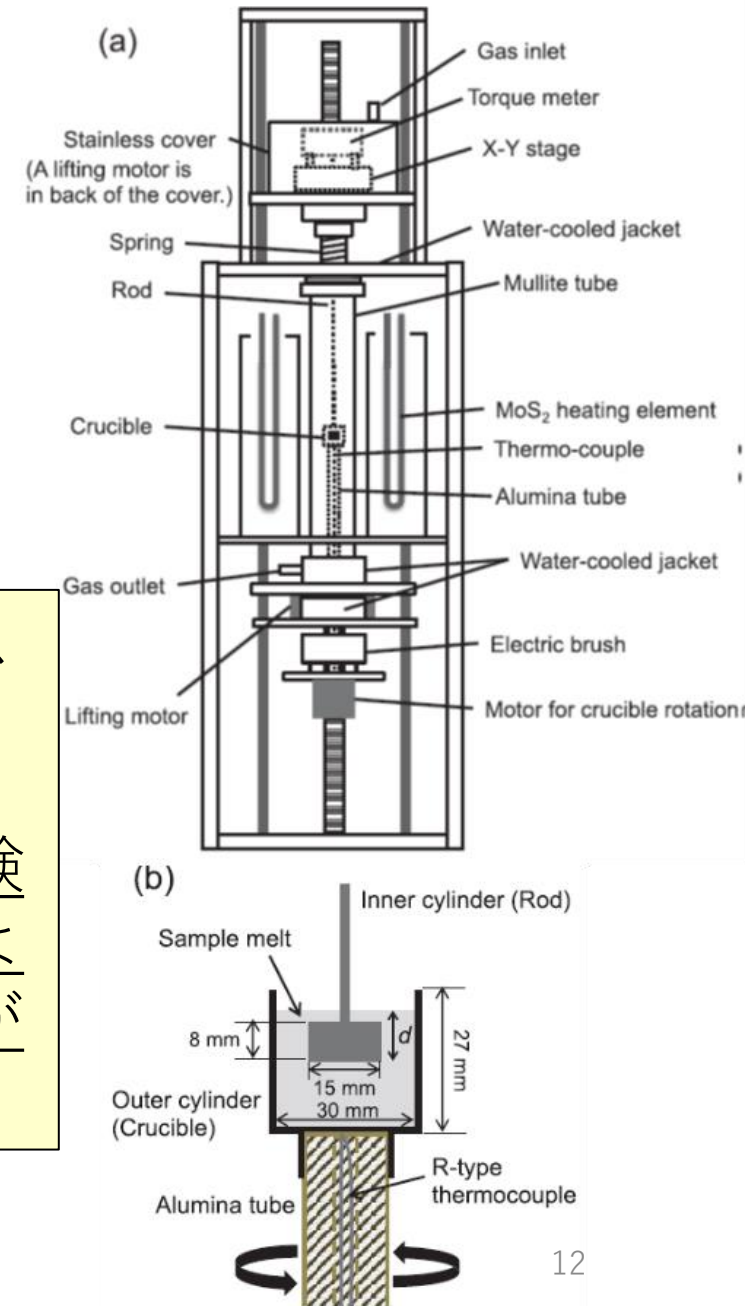
3. 成果①共同研究（乾式関係）

鉄ケイ酸塩スラグの物性・構造への影響調査

- ・ ガラス化するファイヤライトスラグ組成の粘度に及ぼす $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 影響調査
- ・ MgO 量の影響調査(固相析出組成の把握)

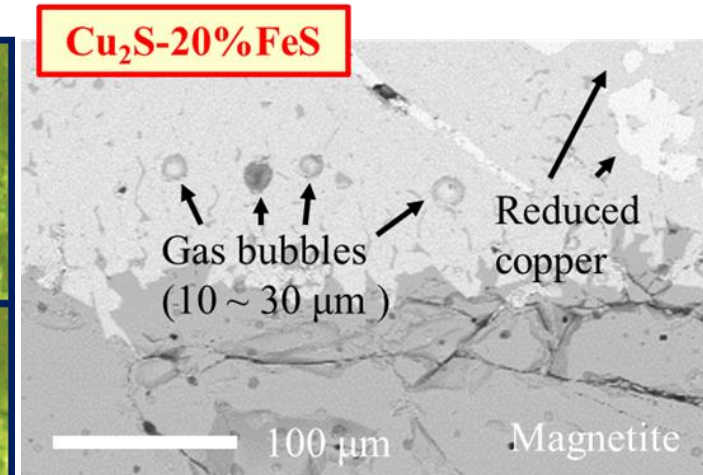
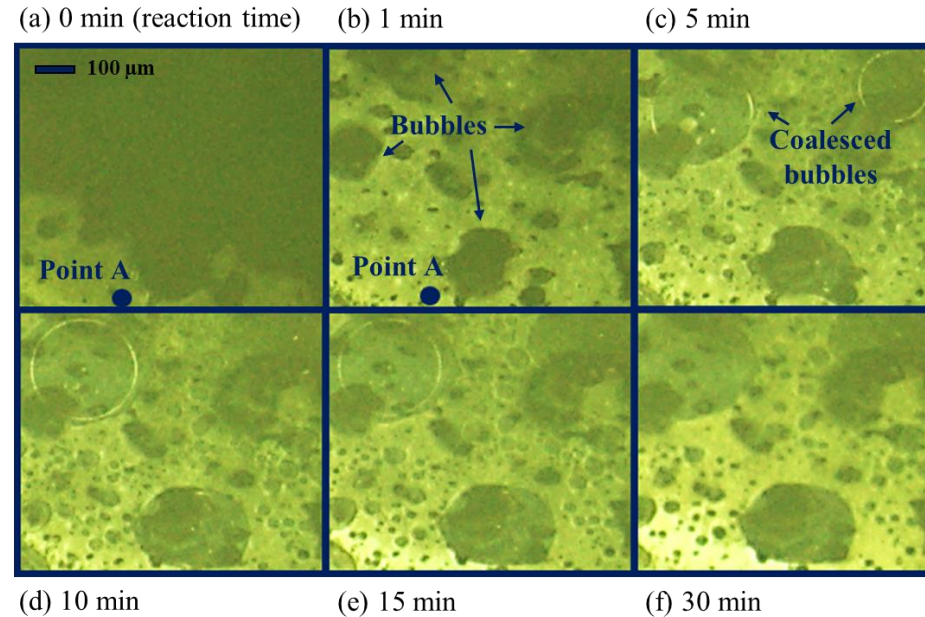
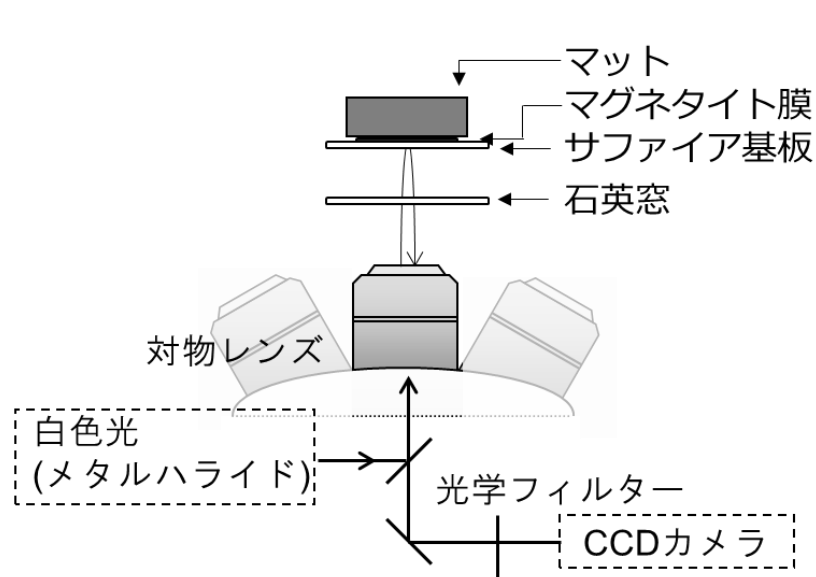


厳密な条件(酸素分圧制御、 $\text{FeO-SiO}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$ 系スラグ)下にて MgO を添加することにより、従来の実験で得られなかった粘度および結晶化開始温度の上昇が測定された



3. 成果①共同研究（乾式関係）

マグネタイト/マット間反応のその場観察



- ◆ マグネタイト/マット界面では SO_2 ガスが生成し、反応を阻害する
- ◆ SO_2 ガスの界面からの脱離および浮上過程には、必要な臨界ガスサイズが存在し、凝集・拡大の進行により浮上に至る
- ◆ 自熔炉内でのマグネタイトの溶解促進には、攪拌等による反応界面積の確保が必要

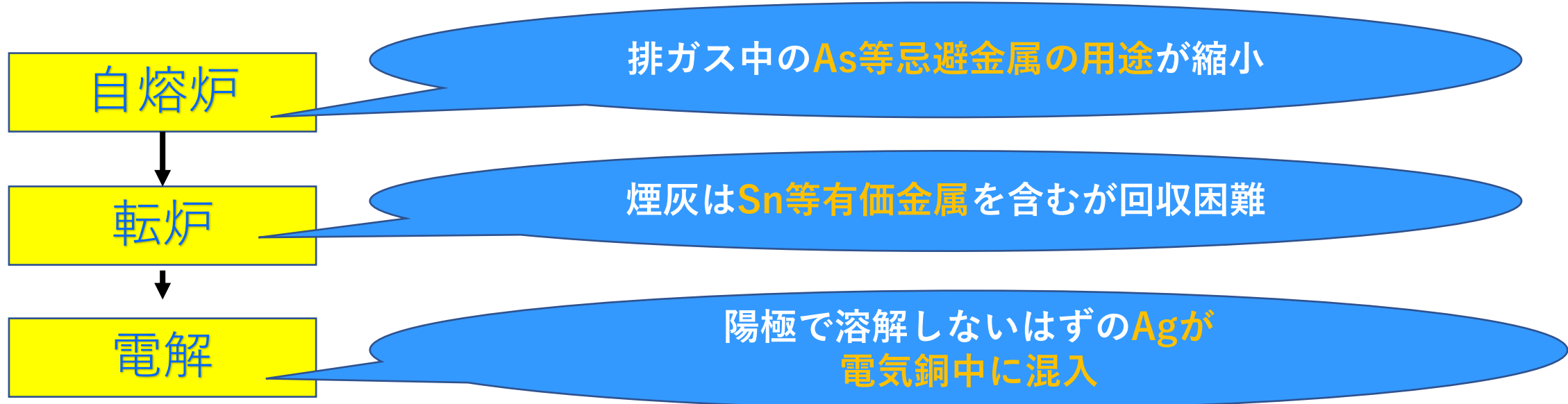
4. 成果②共同研究（湿式関係）

湿式製錬テーマの選定

- 銅の電解精製プロセスは既に確立
- 電流効率改善、不働態化防止など操業改善は各社独自に検討



各社課題感があるが、**メカニズム不明、解決の糸口がつかめないテーマ**について共同研究で検討



4. 成果②共同研究（湿式関係）

湿式製錬のテーマ名と大学側の担当者

目的	テーマ名	研究担当者
As等忌避金属 の用途開発	副産物の有効利用に向けた機能材料 開発	鈴木 一誓講師、 小俣 孝久教授
転炉煙灰の Sn回収	電気力分離による銅製錬工程未回収 有価金属の選別手法の開発	久志本築助教、 石原真吾助教、 加納純也教授
電気銅への Ag混入防止	陰イオン交換カラム法による銅電解 液からの銀の回収	打越 雅仁准教授
	イオン液体による銅電解液からの銀 の回収	蟹江澄志教授、 村松淳司教授

4. 成果②共同研究（湿式関係）

副産物の有効利用に向けた機能材料開発

【対象用途】 発生量に見合った需要(市場規模)が必要

用途	対象元素	WW発生量 (t/y)	WW市場規模
太陽電池	As, Cd	As 25,000, Cd 25,000	3500GWp/y (最大出力)
固体電解質	As	As 25,000	1.6兆円/y (硫化系2035年予想)

いずれの用途
も発生量見合
いの需要あり

発生量、市場規模：当社調べ

【化合物の形態】

用途	化合物	判定
太陽電池	Cu_3AsO_4	Enargite型は光吸収、バンドギャップ、有効質量より光吸収層として有望
	Cd_3As_2	トポロジカル半導体で需要限定
	$\text{Cd}(\text{S}, \text{Te})$	揮発、薄膜化に専用装置が必要
固体電解質	Li_3AsS_4	純物質は Li_3PS_4 より劣るが複合塩で改善

種々の合成法に
挑戦するも单相
合成には至らず

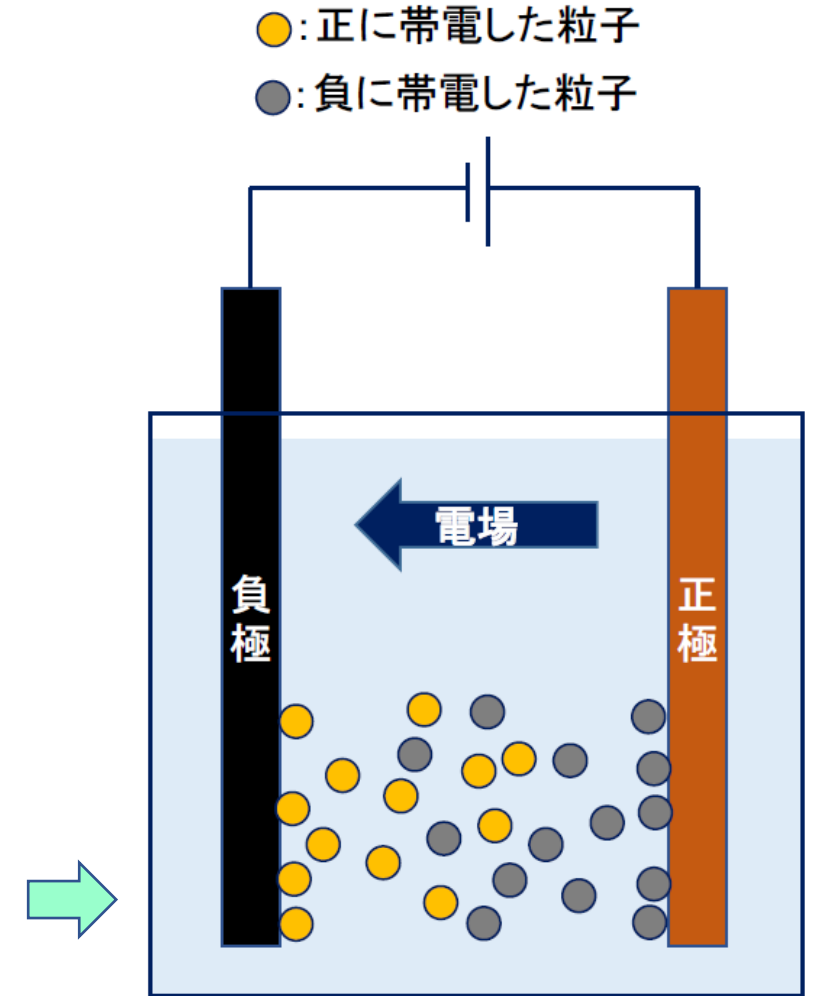
市場拡大中

4. 成果②共同研究（湿式関係）

電気力分離による銅製錬工程未回収有価金属の選別手法の開発

転炉煙灰中のSnの濃縮分離法の研究経緯

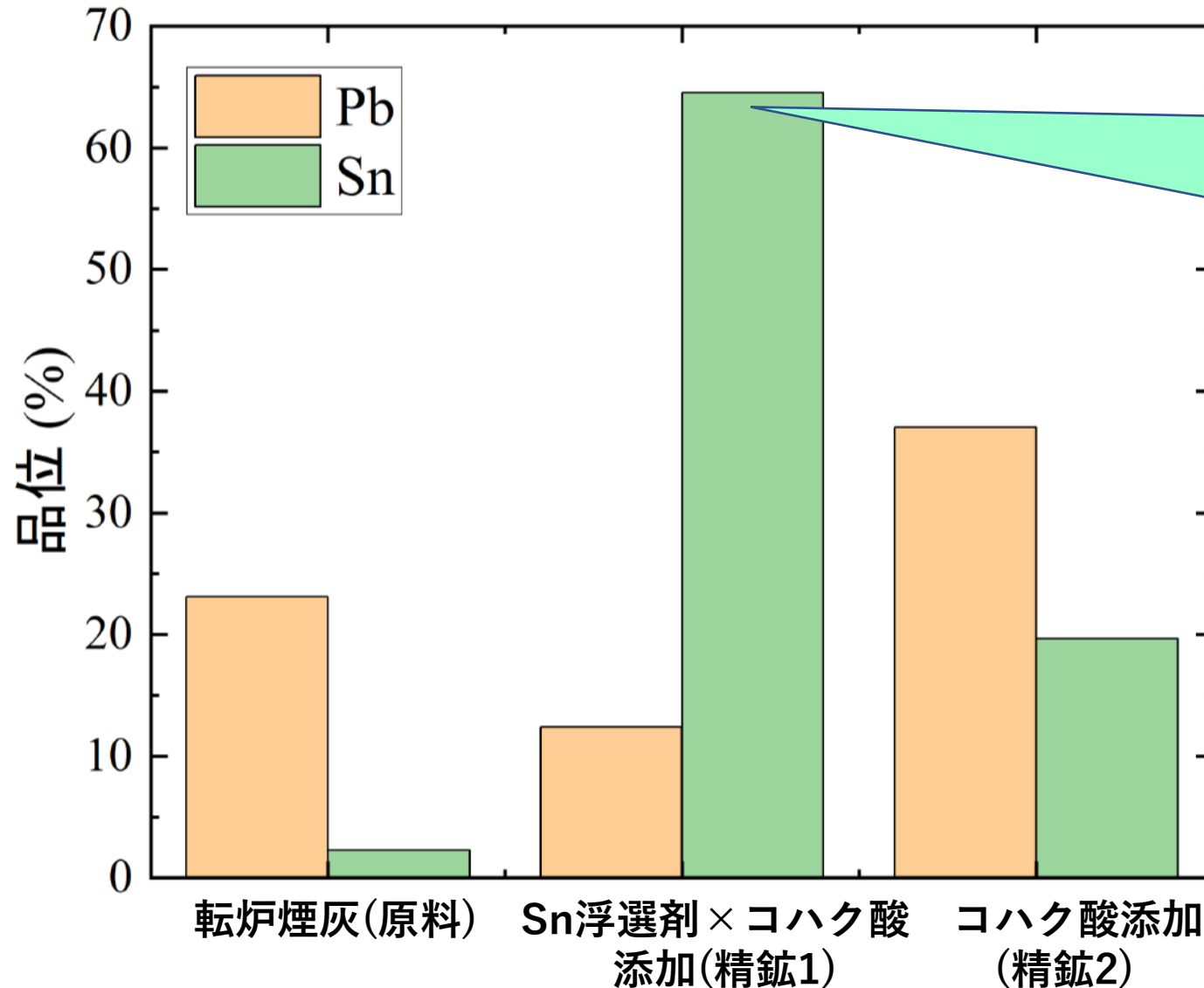
研究手法	結論
選択浸出	SnO ₂ 以外がSnより可溶性で、 Snの選択浸出は困難
篩別	Cu(粗大)は分離できるが、酸化物間の 相互分離は不可
浮選	Cu/SnO ₂ /他の酸化物間の相互分離は 可能だが、Sn濃縮率に限界あり (分離係数小)
電気力分離	- 酸化物の表面電荷の違いにより分離 - 浮選よりも高い相互分離が可能



電気力分離(電気泳動)の概念図

4. 成果②共同研究（湿式関係）

電気力分離による銅製錬工程未回収有価金属の選別手法の開発



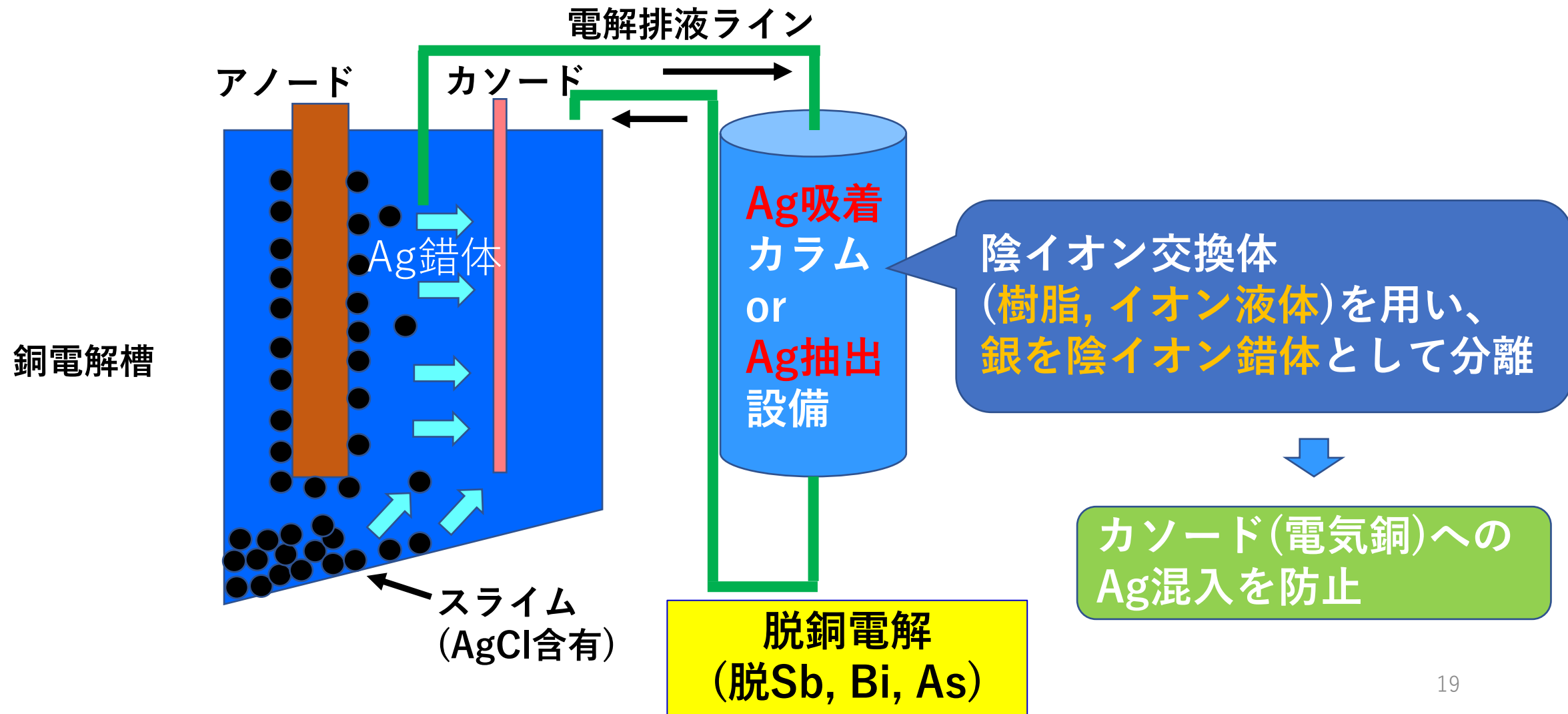
添加剤による表面電荷の
 コントロールにより
Snを高度に濃縮可能
 (原料:2%→処理後:66%)



収率、品位改善に向けて
分離効率改善因子に
 ついて継続調査中

4. 成果②共同研究（湿式関係）

陰イオン交換 / イオン液体による銅電解液からの銀の回収



4. 成果②共同研究（湿式関係）

陰イオン交換 / イオン液体による銅電解液からの銀の回収

【主な研究成果】

	イオン交換法	イオン液体
Ag回収率	> 99%	> 99%
媒体からのAg回収率	ほぼ溶離可能	> 99% (固体として回収)
不純物との選択性	溶離時に分離可能	不純物抽出 < 10%
主な課題	塩酸使用量大	新規合成が必要

* 微量(～0.1mg/L)のAg分析技術も開発

アノードやスライムから銀が溶出する速度が極めて高速
(Ag溶出速度 >> Ag回収速度)

電解精製におけるAg低減は困難

湿式製錬におけるAgの選択回収技術として利用を検討

5. 共同研究の成果報告

• 資源・素材学会 企画講演：公開

- 2018(福岡) 非鉄金属製錬における産学連携の推進
- 2019(京都) 非鉄金属製錬業における課題と解決に向けた取り組み
- 2020(仙台) ポストコロナ新時代の非鉄金属製錬研究への期待と展望
- 2021(札幌) 銅製錬未踏領域への挑戦 – 製錬反応の理解から未利用副産物の活用まで –
- 2022(福岡) 環境親和性を指向する銅製錬研究の成果と今後の展望

• 中間報告会および成果報告会（2回/年）：招待制

参加：東北大学、住友金属鉱山株式会社

JX金属株式会社、三菱マテリアル株式会社、DOWAメタルマイン株式会社

三井金属鉱業株式会社、東邦亜鉛株式会社

日本鉱業協会、資源・素材学会

(参考) 共同研究成果

❖ 論文 4報

- ▶ S.-H Shin, S. Kawanishi, S. Sukenaga, M. Ohtsuka, J. Takahashi, and H. Shibata: *Metall. Mater. Trans. B*, **52**, 3720-3729 (2021)
- ▶ I. Suzuki, S. Kawanishi, N. Ohashi, A. Gomi, J. Kano, H. Watanabe, S. Asano, and T. Omata: *Mater. Trans.*, **63**, 73-81 (2022)
- ▶ Seung-Hwan Shin, Sakiko Kawanishi, Sohei Sukenaga, Junichi Takahashi, and Hiroyuki Shibata: *Journal of Sustainable Metallurgy*, **9** (2023), 884-895.
- ▶ Shungo Natsui, Yuko Goto, Jun-ichi Takahashi, and Hiroshi Nogami: *Chemical Engineering Science*, **276** (2023), 118822.

❖ 特許

2018年度	1件	2020年度	4件
2021年度	1件	2022年度	1件
計 7件			

❖ 教育

- ▶ 申 勝煥 君が博士学位を取得
- ▶ 申 勝煥 君が The Copper Club 奨学金を獲得



(参考) 共同研究に参画いただいた東北大学教官

- 2018年度：12名
- 2019年度：15名
- 2020年度：16名
- 2021年度：16名
- 2022年度：16名
- 2023年度：14名

6. 成果③__特別講義

1	非鉄金属製錬概論	東北大学 (小俣 孝久教授)
2	熱力学基礎	東北大学 (福山博之教授)
3	浮遊選鉱基礎理論	東北大学 (村松淳司教授)
4	選鉱とヒープリーチング	住友金属鉱山(株)
5	乾式製錬	住友金属鉱山(株)
6	湿式製錬	住友金属鉱山(株)
7	製錬事業実例	パンパシフィック・カッパー(株)
8	非鉄製錬プロセスを利用した 金属リサイクルについて	三菱マテリアル(株)
9	亜鉛事業と熱力学	三井金属鉱業(株)
10	鉛製錬プロセスについて	東邦亜鉛(株)
11	DOWAグループにおける 貴金属の製錬・リサイクルについて	DOWAメタル マイン(株)
12	亜鉛事業と熱力学	三井金属鉱業(株)
13	選鉱とヒープリーチング	住友金属鉱山(株)
14	ニッケル製錬	住友金属鉱山(株)

延べ講義数：32講義

- ・ 授業科目：
非鉄金属製錬環境科学特論
- ・ 専門科目、1 単位
- ・ 講義日程(2023年度の例)
1学期 1 Q(水)13:00～14:30
(全8回)
@マテリアル開発系講義室



7. 成果④現場見学、企業交流

非鉄金属製錬セミナー

- ❖ 第1回（2018年9月）参加学生16名
 - ▶ JOGMEC金属資源技術研究所
- ❖ 第2回（2019年9月）参加学生19名
 - ▶ 住友金属鉱山東予工場
 - ▶ 三菱マテリアル直島製錬所
- ❖ （2021年3月予定）→ コロナ禍により中止
- ❖ 第3回（2021年6月）オンラインセミナー
- ❖ 第4回（2022年7月）オンラインセミナー
- ❖ 第5回（2023年3月）参加学生9名
 - ▶ 住友金属鉱山東予工場
 - ▶ 三井金属鉱業竹原製煉所



8. 成果⑤非鉄金属業界への採用状況

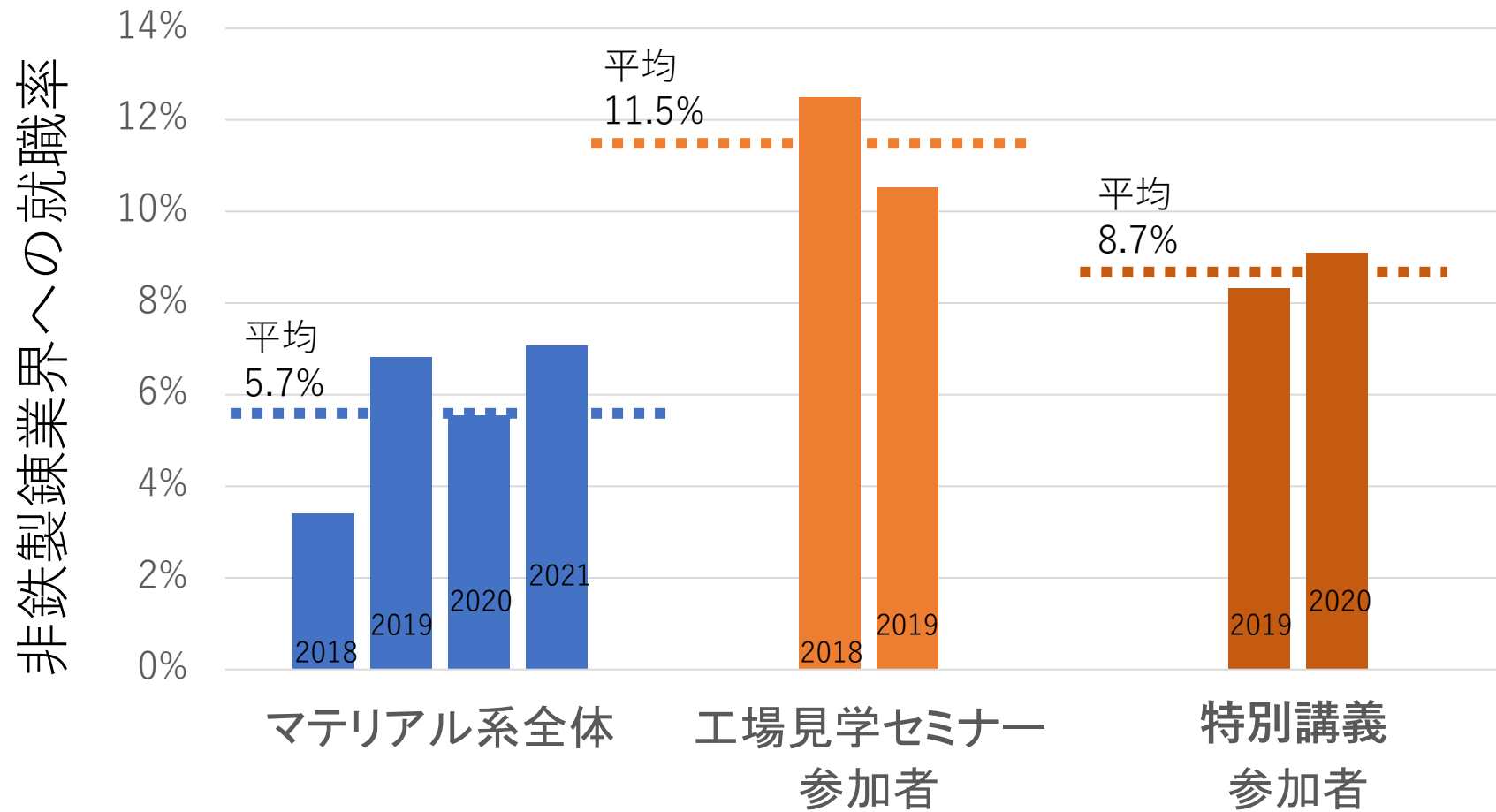


図 東北大学大学院工学研究科マテリアル系における非鉄金属製錬業界への就職率

(参考) 共研部門の活動への参加人数

年度	非鉄金属製錬 環境科学特論	非鉄金属製錬セミナー (工場見学)				共同研究に参画 いただいた東北 大学教官
	履修者数	学生	教員	その他	開催地	
2018	未開講	16	8	13	JOGMEC金属資源研究所	12
2019	80	19	7		東予工場・直島製錬所	15
2020	—	催行中止				16
2021	40	42			オンライン（東予工場）	16
2022	28	21			オンライン（東予工場）	16
		9	3		東予工場・竹原製煉所(3月)	
2023	88				東予工場・直島製錬所(11月予定)	14

計236名 計107名
(2020年度除く)

9. 第2期の課題と展望

• 第1期の活動総括

多数の東北大学教員が非鉄製錬テーマの研究に参画いただく等、一定の成果があった。しかし、日本の非鉄製錬業界の課題は依然大きく、カーボンニュートラルや環境対応への社会的な要請はますます強くなった。また、若手人材の獲得も困難さが続いている。

⇒ 第2期（2023年4月より2028年3月）を設置

• 第2期の活動計画

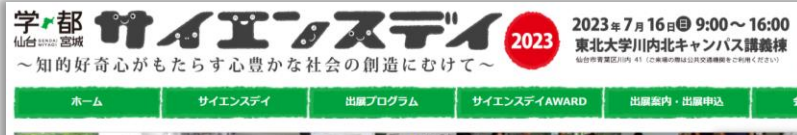
①共同研究：第1期のテーマを継続発展させるとともに新規テーマを追加。

②人材育成：第1期の活動をさらに拡大。

アウトリーチ活動：若年層向けのイベントへ参画し非鉄製錬業界の啓蒙（サイエンスデイ、片平まつり）。

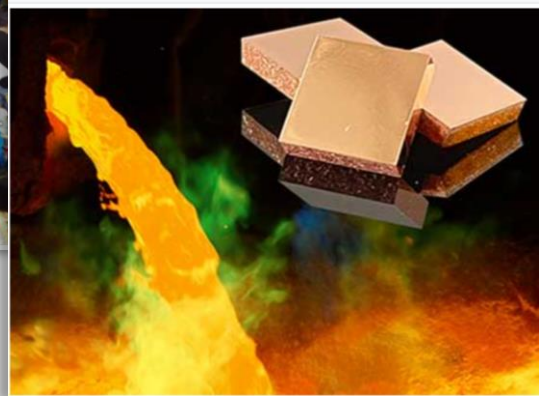
非鉄金属製錬環境科学特論：第1期は2日間の集中講義⇒第2期は週1回の通常講義とし、2024年度以降は2単位への拡大を検討

(参考) 体験型・対話型の科学イベント 『学都「仙台・宮城」サイエンスデイ2023』 7月16日



学都「仙台・宮城」サイエンス・デイ (science-day.com)

多元研・SRISサイエンスワールドの体験ブース 「銅ってすごい！活躍する金属：銅となかまたち」を出展



銅ってすごい！活躍する金属：銅となかまたち

世の中、鉄以外にもいろんな金属が活躍しています。金、銀、銅、白金、アルミ、チタン、コバルト、ニッケル、亜鉛、などなど、その数全部で50種類以上！私たちの生活になくてはならないたくさんの金属を紹介します。

B棟2F 自習室

サイエンスデイ | 東北大学多元物質科学研究所 (tohoku.ac.jp)

