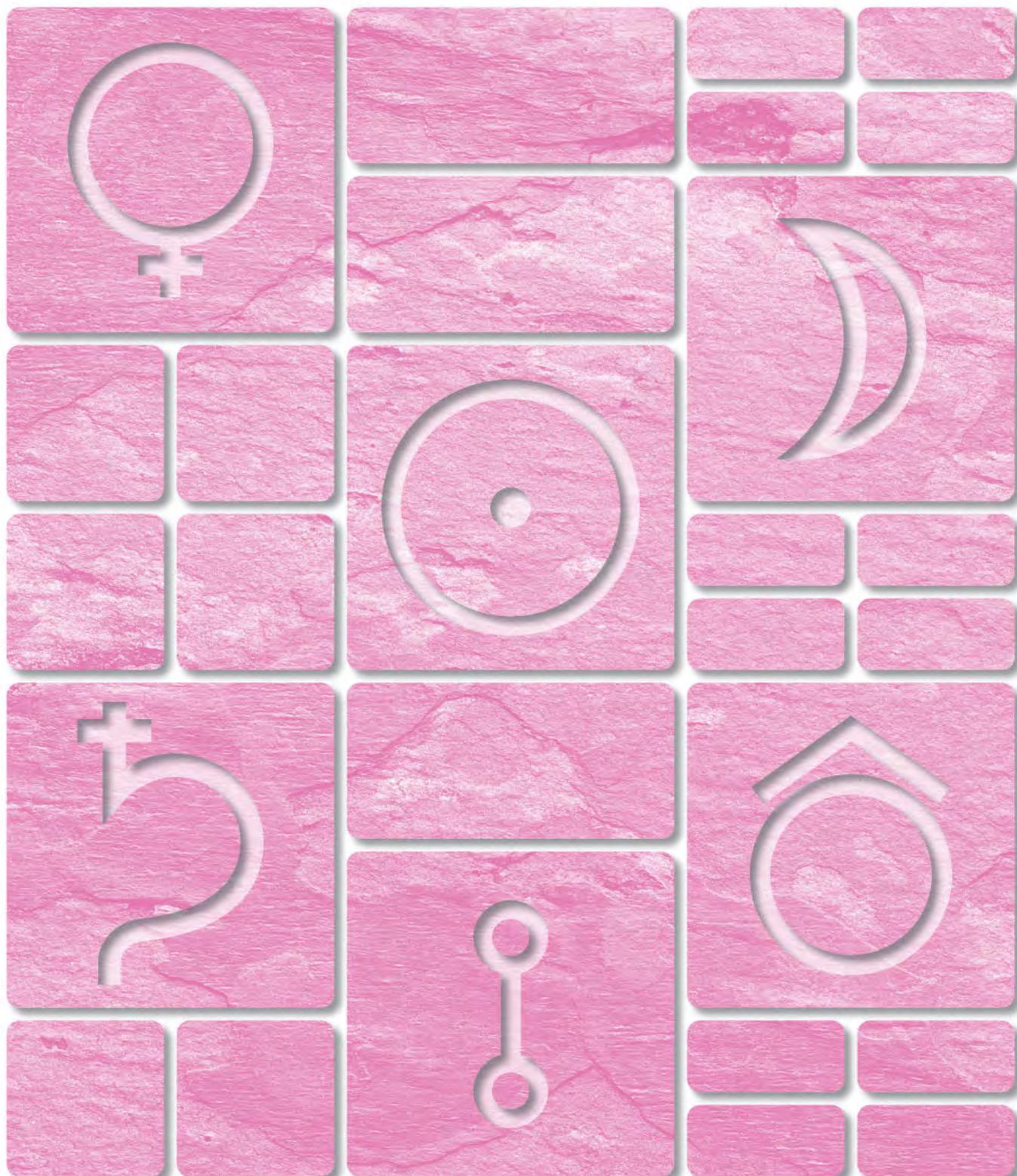


金広山

2・3
2023



2022年度「日本鉱業協会賞」紹介

……日本鉱業協会…… (1)

政策動向

2023(令和5)年度税制改正について(税制改正大綱の概要)

……日本鉱業協会 総務部…… (12)

新材料部会講演

太陽電池・光電極用インタースタック銅酸化物光電変換材料と電気化学的形成技術

……豊橋技術科学大学 大学院工学研究科 伊崎昌伸…… (15)

トピックス

石原産業によるスリメダン鉱山開発と運搬設備の建設

……常磐会学園大学 井上敏孝…… (26)

★日本鉱業協会の動き	…… (33)
★主な出来事	…… (35)
★関係法令情報	…… (38)

★編集部より

今冬は少雪で、穏やかな冬の傾向にあったと思います。関東近辺では時折気温が一気に上昇し、春を間近に感じています。気象庁は2月10日に、「2021年秋から続いているラニーニャ現象は終息しつつあり、今冬の終わりまでには終息し平常の状態になる可能性が高い」と発表しています。また政府はコロナ対応を5月上旬に2類から5類へ見直し、マスクの着用についても3月中旬からはリスクに応じて判断と、緩和に向けた措置を発表しました。協会関係を含めて様々な行事再開に向けての計画がなされています。今号では2022年度(第73回)の日本鉱業協会賞を紹介しています。5分野10件の論文、計25名の執筆者の方々が表彰される予定です。受賞の皆様、おめでとうございます。

(図書室のご案内)

主に資源関係の図書(論文、学術書、法規、統計、定期刊行物等)を過去から継続して幅広く収集、蔵書としており、資源関係者は勿論、多くの方々に閲覧・貸出ししています。尚、閲覧・貸出しは予約制としておりますので、希望される方は事前にご連絡お願い致します。

場 所：東京都千代田区神田錦町3丁目17番11号(榮葉ビル6階)

問合せ：(一財)日本鉱業振興会 E-mail: kozan@kogyo-kyokai.gr.jp (担当：早川、富田)

Tel : 03-5280-2341 Fax : 03-5280-7128

2022 年度「日本鉱業協会賞」紹介

日本鉱業協会

2022 年度（第 73 回）「日本鉱業協会賞」は、審査委員会での慎重な審査を経て、2 月 17 日（金曜日）に開催された日本鉱業協会理事会において正式決定されました。

今回の受賞者は、10 件 25 名であり、来る 3 月 29 日（水曜日）日本鉱業協会の会議室において開催される表彰式にて、納協会長より表彰状及び記念品が授与されます。

今回の受賞者及びその功績の概要を紹介します。

2022 年度（第 73 回）日本鉱業協会賞 受賞者一覧

（注）所属は推薦日時点で記載

No.	論文名	会社名 ※ 非会員会社	事業所名	氏名	推薦母体
1	菱刈鉱山における充填直下クラウンピラー採鉱技術の開発	住友金属鉱山株式会社	資源事業本部 技術部	永江 純一	資源部会
		住友金属鉱山株式会社	資源事業本部 菱刈鉱山	武本 信也	
		※ 日特建設株式会社	直轄グラウト部	阿部 秀樹	
		※ 日特建設株式会社	直轄グラウト部	水野 学	
		※ 日特建設株式会社	直轄グラウト部	倉ヶ崎 正人	
2	アタカマコーザン浮選プラントにおける金回収改善検討	日鉄鉱業株式会社	研究開発部	斉藤 瑞稀	資源部会
		日鉄鉱業株式会社	研究開発部	蛭子 陽介	
		日鉄鉱業株式会社	研究開発部	三觜 幸平	
		※ アタカマコーザン鉱山特約会社		川崎 堯	
3	小坂製錬でのアンチモン回収	小坂製錬株式会社	小坂製錬所	小池 智	製錬部会
4	佐賀製錬所におけるリサイクル原料の処理について	※ JX 金属製錬株式会社	佐賀製錬所	武田 翼	製錬部会
		※ JX 金属製錬株式会社	佐賀製錬所	相馬 悠紀	
		※ JX 金属製錬株式会社	佐賀製錬所	横岩 巨盛	
		JX 金属株式会社	日立事業所	池田 亮	
5	廃 LIB 処理液の Ni, Co, Cu 現場迅速分析法開発	住友金属鉱山株式会社	技術本部 評価技術部 新居浜評価技術室	金子 雅子	分析部会
6	燃焼-イオンクロマトグラフ法による銀粉中の塩素分析	※ 株式会社産業公害・医学研究所	八戸分室	源田 哲也	分析部会
		三井金属鉱業株式会社	基礎評価研究所	葭原 達也	
7	セラミックビーズ入りエポキシ材の活用	住友金属鉱山株式会社	金属事業本部ニッケル工場	真鍋 勝耐	工務部会
8	電気部品屑焼却設備における増強工事	※ JX 金属製錬株式会社	佐賀製錬所	渡邊 祥広	工務部会
		※ JX 金属製錬株式会社	佐賀製錬所	岡村 博春	
		※ JX 金属製錬株式会社	佐賀製錬所	堀 広人	
		※ JX 金属製錬株式会社	佐賀製錬所	松浦 芳幸	
		※ JX 金属製錬株式会社	佐賀製錬所	諫山 恭平	
9	MEMS 向けチタン酸ジルコン酸鉛薄膜の高特性化	三菱マテリアル株式会社	イノベーションセンター	土井 利浩	新材料部会
10	難溶性元素の水溶液「レアメタル溶液」の開発	三井金属鉱業株式会社	機能性粉体事業部 開発統括部 三池開発室	佐藤 理子	新材料部会
計	10 件			25 名	

菱刈鉱山における充填直下クラウンピラー採鉱技術の開発

住友金属鉱山株式会社	資源事業本部	永江純一
住友金属鉱山株式会社	資源事業本部	武本信也
日特建設株式会社	直轄グラウト部	阿部秀樹
日特建設株式会社	直轄グラウト部	水野学
日特建設株式会社	直轄グラウト部	倉ヶ崎正人

功績の概要

菱刈鉱山は、鹿児島県伊佐市に位置する浅熱水性鉱脈型金銀鉱床の坑内掘り鉱山である。採鉱法は、坑道間の鉱画を階段状に採掘するベンチストーピング法を採用しており、採鉱後に生じる空洞は開発坑道掘進等によって発生するズリで充填される。

一部の鉱脈では、充填ズリ直下に厚さ3~6mのクラウンピラー（鉱柱）を残し、坑道探鉱及び採鉱を実施している。この充填直下クラウンピラーの採鉱実収率を最大化するような採鉱技術の確立は、昨今の金価格の上昇も相まって重要性が高いため、充填直下クラウンピラー中の鉱石全量回収を目的とし、菱刈鉱山で現場試験を実施した。

複数工法の比較検討をした結果、採鉱実収率が最も高いと期待できる、充填ズリにグラウトを注入して改良する工法（充填跡改良法）の技術開発に取り組むこととした。発破後に露出した改良部が破断しないよう応力計算を適切に実施し、グラウト材料の選定・配合検討・物性試験を実施した。

グラウト注入施工は日特建設株式会社へ委託した。注入時の圧力を監視することで、設計の鍵となる改良部の厚さを管理した。発破作業は菱刈鉱山で行い、改良部を損傷しないよう設計・実施した。

その結果、改良部を損傷することなく、充填直下クラウンピラー（鉱石）の97%を回収することができた。今後はコスト削減・作業効率化を図り、採鉱法としてより洗練させていく予定である。

実施時期

2020年3月~2021年11月

成果

1. 従来の採鉱法では難しかった、充填直下クラウンピラーの鉱石全量回収を目指した採鉱試験を実施し、97%の鉱石を回収することができた。
2. 保安上懸念のある作業もなく、充填直下クラウンピラーを安全かつ全量回収する技術を開発することができた。

アタカマコーザン浮選プラントにおける金回収改善検討

日鉄鉱業株式会社	研究開発部	齊 藤 瑞 稀
日鉄鉱業株式会社	研究開発部	蛭 子 陽 介
日鉄鉱業株式会社	研究開発部	三 觜 幸 平
アタカマコーザン鉱山特約会社		川 崎 堯

功績の概要

南米チリ共和国第Ⅲ州コピアポ市の南南東約 16km に位置する、IOCG 型銅鉱床を持つアタカマコーザン(当社 60%出資)では、金及び銀を含む銅鉱床より採掘される銅鉱石から、浮遊選鉱により黄銅鉱を主とする銅精鉱を回収している。同浮選プラントでは、高い銅実収率が得られているが、その一方で低く推移している金実収率の向上を目的に、本検討を実施している。

事前調査として実施したマテリアルバランス解析及び MLA 解析の結果、金は微粒の状態、プラントの精選尾鉱中に黄鉄鉱片刃、脈石片刃及び単体粒子として存在していることが分かった。この結果より、単体粒子及び黄鉄鉱片刃粒子をターゲットとし、下記の方策を挙げ、ラボでの粗選試験及び精選試験を実施した。

- ・粗選及び精選工程での金回収のための二次捕収剤の添加
- ・精選工程でのパルプ pH 低下
- ・精選工程でのマイクロバブル導入

その結果、粗選での二次捕収剤の添加、また精選ではマイクロバブル導入、パルプ pH 低下及び二次捕収剤の添加の組み合わせにより、金実収率の向上が示唆された。

今後は、マイクロバブル導入条件の最適化及びプラントでの実機試験による効果検証を実施する。

実施時期

2021 年 1 月～2022 年 3 月

成 果

1. 金回収用の二次捕収剤候補試薬の粗選添加試験を実施し、混合チオリン酸系試薬である S11769 が金の回収に有用である可能性と、適切な添加量を確認した。
2. コンパクトラボカラム試験機を用いた精選試験により、マイクロバブル導入、パルプ pH 低下及び二次捕収剤の添加を組み合わせることで、実施条件の中で金及び銅の実収率が最も高くなった。
3. プロセスシミュレータを用いた解析により、粗選段階に二次捕収剤を添加し、精選段階にマイクロバブル導入、パルプ pH 低下及び二次捕収剤添加を適用することで、最終精鉱における金の実収率が従来に比べ 8.1pt. 向上する計算結果が得られた。

小坂製錬でのアンチモン回収

小坂製錬株式会社 小坂製錬所 小 池 智

功績の概要

小坂製錬所は銅製錬と鉛製錬を併設する製錬所である。2008年にリサイクル原料を主体とした TSL 炉方式へと転換し、複合リサイクル原料製錬所を構築している。そのため、硫酸製造プラントにおける一層の操業効率化と最適運転の達成とを目指し、以下の施策を実施した。

この転換に伴って原料由来のアンチモンインプット量が増加し、鉛製錬工程でのアンチモン処理能力を超える量となってアンチモン含有半製品が滞留していた。そのため 2011 年にアンチモン回収工程を立ち上げ、さらに 2016 年に鉛電解工場の増強によりアンチモン回収能力の向上を行い、アンチモン含有半製品の解消に成功した。

また、2021 年からはアンチモンインゴットのほかにアンチモンショットの生産を開始し、生産性向上のために歩留まり改善の取組みを実施した。

実施した内容は以下のとおりである。

1. アンチモン負荷増に対応し、鉛電解のスライム処理能力の向上
2. フッ酸原単位削減と品質改善のため、浄液工程を追加
3. ユーザーニーズに対応し、アンチモンショット製造工程を追加
4. アンチモンショット工程の出湯方法改善により、生産性を向上

実施時期

2016 年～2021 年

成 果

1. アンチモン回収工程の回収能力を向上させることで生産量を 400t/年から 700t/年に向上させた。
2. アンチモン工程の能力向上により、アンチモン含有半製品の滞留量を 5,000t から 800t まで減少させた。
3. アンチモンショットを製造する工程を立ち上げ、20t/月以上のショット生産を行った。
4. アンチモンショット工程の改善により、歩留まりの低下を 75%から 85%に改善し、生産性を向上させた。

佐賀関製錬所におけるリサイクル原料の処理について

JX 金属製錬株式会社	佐賀関製錬所	武 田 翼
JX 金属製錬株式会社	佐賀関製錬所	相 馬 悠 紀
JX 金属製錬株式会社	佐賀関製錬所	横 岩 巨 盛
JX 金属株式会社	日立事業所	池 田 亮

功績の概要

佐賀関製錬所では、銅製錬のスケールメリットや反応熱を活用してリサイクル原料の効率的な処理を行ってきたが、近年電気部品屑などは低品位化の傾向であり、さらなるリサイクル原料の増処理に取り組んでいる。

増処理のため以下の対策を行った。

1. リサイクル原料受入工程の改善

大分リサイクル物流センターの設置

2. 焼却前処理能力の増強

キルンストーカー炉の増設

増設に際しては、排ガス処理設備の能力増強や炉内の鑄付き対策を行い、設備稼働率の向上を図った。

実施時期

2021 年 10 月～

成 果

1. 所内の交通インフラが上限であったので、製錬所外に物流拠点を設置することで、効率的な原料受入れを可能とした。
2. 増設した新炉は既設炉より設備稼働率を約 3%向上できる。
3. 電気部品屑の最大処理量能力を JX 金属グループ全体で約 60%向上させた。

廃 LIB 処理液の Ni, Co, Cu 現場迅速分析法開発

住友金属鋳山株式会社 技術本部評価技術部 金子雅子

功績の概要

リチウムイオン電池（以下「LIB」という）の需要増加に伴い、リサイクル技術の開発が注目されている。日本国内でも廃 LIB のリサイクル技術の開発が活発に進められている。当社は、廃 LIB 等の二次電池からニッケル、コバルト及びリチウムを回収し高純度化により、LIB 用正極材の原料として再資源化する能力を備えた新リサイクルプロセスを確立した。

新リサイクルプロセス開発において重要な管理項目の一つである、浸出液中のニッケル、コバルト及び銅濃度を迅速に評価したいというニーズが発生した。

精度・正確さが、ICP 発光分光分析法と同等以上で、現場でより迅速に分析できる手法が要望され、検討の結果、吸光光度法によって、目的を達成する分析方法を確立することができた。さらに、共存元素が相互に干渉し合う課題を、元素間補正法によりクリアした。

簡便・迅速かつ正確な分析方法を確立し、開発現場へ移管することで、プロセス開発のスピードアップに貢献し、移管後も開発現場で、問題なく運用されている。

また、将来的に事業化された際にも現場で簡単に管理分析を行うことで、操業の安定化にも大きく貢献できる方法である。

実施時期

2019 年 8 月～2021 年 8 月

成 果

- LIB リサイクルプロセス湿式製錬工程の硫酸浸出液について、ニッケル、コバルト及び銅濃度の迅速分析法を検討し、元素間補正を適用した吸光光度法による三元素同時定量法を確立した。簡便・迅速かつ正確さを有し、ランニングコストも比較的安価な分析方法である。
- 本方法を開発現場へ移管し、問題なく運用できている。タイムリーに結果が判明することで、研究開発のスピードアップに貢献できた。
- 今後、新 LIB リサイクルプロセスが事業化された際には生産現場での適用を予定しており、迅速かつ正確な分析結果を管理することで、安定操業に貢献できる。

燃焼-イオンクロマトグラフ法による銀粉中の塩素分析

株式会社産業公害・医学研究所 八戸分室 源 田 哲 也
三井金属鉱業株式会社 基礎評価研究所 葭 原 達 也

功績の概要

三井金属グループでは、電子材料向けの金属粉を数多く製造しており、特に塩素の存在は、電気抵抗の増大や金属腐食の促進など材料の特性を悪化させるため、高感度かつ精確に塩素を定量できる技術が求められている。

燃焼-イオンクロマトグラフィー (以下「CIC」という) は、マトリックス成分からハロゲンや硫酸成分を分離抽出することで、これら測定成分の高感度かつ精確、簡便な分析を可能にした装置である。しかし、燃焼分解を伴う CIC 法を融点の高い無機試料や金属粉に適用するためには、測定条件の検討が必要である。有機試料を対象とした公定法は存在するものの、無機試料に関する知見は少ないのが現状であったため、金属粉である銀粉中の微量塩素分析について、CIC 法による精確な分析方法を確立することを目的とし本研究を行った。

塩素濃度が 10~30ppm になる様に調製した銀粉 3 検体を実験に供し、湿式法と比較することで、CIC 法での精確な測定条件を検討した。

無機試料向けの一般的な CIC 測定条件を用いて塩素分析を行ったところ、湿式法の分析値に対して 20% も低い結果だった。そこで、分析値が低めに出る原因を解明するため、IC 測定条件及び燃焼条件について調査を行った。

実施時期

2021 年 4 月~2022 年 3 月

成 果

1. イオンクロマトグラフィー測定時の妨害成分や内標準元素の妥当性、燃焼時の助燃剤や燃焼温度と Ag 揮発量との関係性等を調査した結果、高濃度の銀を融点以上で燃焼させると、揮発した銀が燃焼経路へ析出し塩素を捕捉することによって分析値が低下することが推察された。そこで、燃焼温度による助燃剤の効果、試料との反応性について調査を行い、銀粉を分解しつつ銀揮発を抑制する方法を明らかにした。調査を基にした最適条件では、湿式法と同等の分析値が得られ、繰返し精度は RSD 2% 以下であり、銀粉中の微量塩素を精確に分析できる条件を確立した。

セラミックビーズ入りエポキシ材の活用

住友金属鋳山株式会社 金属事業本部ニッケル工場 真 鍋 勝 耐

功績の概要

ニッケル工場には、液体中に固体粒子が分散しているスラリーを扱う設備が多く、早期に摩耗が進行し問題になっている。さらに塩酸酸性溶液を取り扱っているため、金属も容易に使用できない。

チタンは耐食性の点では使用できるが、耐摩耗性が低く、また高価である。そこで、摩耗、腐食対応でゴムライニングを施した設備を多く使用しているが、特に高スラリー濃度、大粒径を取り扱う場合は、ゴムライニングの摩耗により修繕費が増加するだけでなく、さらに母材の腐食が進行すると設備が使用不能となり、操業が停止するリスクがある。そこでセラミックビーズ入りエポキシ材（以下「セラエポ」という）を使用し耐摩耗性を向上させ、修繕費削減、寿命延長した。

実施時期

2012年2月～2022年7月

成 果

1. 粉砕機スクリーにおいて、ゴムライニングでは3か月でゴムが無くなり、芯金が激しく摩耗する状態であったが、セラエポを使用することで、半年周期の定期整備で補修すれば問題無く運転可能になった。
2. 浸漬試験、引張試験等各種試験を行い、運転条件に最適な材質を選定することによって修繕費削減を行った。
3. ゴムライニング施工している攪拌機の翼にセラエポを塗布し、設備寿命を5～16倍に延長した。
4. セラミックライニング管の代用として塩ビ配管内面にセラエポを塗布し、低コスト、短納期で現地に復旧でき、操業を停止させないようにできた。
5. 遠心分離機のバスケット補修で溶接補修していたところをセラエポ塗布に変更することで、短時間での補修が可能となり、溶接の際発生していた広範囲の熱影響を無くすことができた。

電気部品屑焼却設備における増強工事

JX 金属製錬株式会社	佐賀関製錬所	渡 邊 祥 広
JX 金属製錬株式会社	佐賀関製錬所	岡 村 博 春
JX 金属製錬株式会社	佐賀関製錬所	堀 広 人
JX 金属製錬株式会社	佐賀関製錬所	松 浦 芳 幸
JX 金属製錬株式会社	佐賀関製錬所	諫 山 恭 平

功績の概要

佐賀関製錬所では、銅製錬のスケールメリットや反応熱を活用したリサイクル原料の処理を行うことで、大規模かつエネルギー消費の少ない効率的な処理が可能なりサイクルプロセスを確立し、更なりサイクル原料の増処理に取り組んでいる。

今回の電気部品屑焼却設備の増強工事において、既設で培った技術改善を設計製作に反映し、建設工程の最適化を図った。

1. ストーカー炉の鑄付きによる閉塞対策

ストーカー落口の絞りをなくす設計とし鑄付きの成長防止及び鑄付き除去作業の低減

2. 排ガス処理設備の目詰まり荷電悪化対策

洗浄塔・ミストコットレル前段にウェットスクラバーを導入し、洗浄塔充填物の交換周期の延長及びミストコットレル内部のダスト付着を減少

3. 建設工程の最適化

設計・製作・施工の契約形態変更による建設工程の短縮による 2022 年 1 月設備稼働目標

実施時期

2020 年 4 月～2022 年 1 月

成 果

1. ストーカー落口閉塞による除去周期の延長

2. 洗浄塔目詰まりによるテラレット入替周期の延長

3. ミストコットレルダスト洗浄時間の低減

4. 2022 年 1 月の操業開始

・基礎工事、機器据付工事のエリア分割化による短縮 (1 ヶ月)

・大型機器分割数最適化による現地溶接工程の短縮 (1 ヶ月)

・3D モデルを活用した作業エリアの可視化による試運転工程の短縮 (1 ヶ月)

MEMS 向けチタン酸ジルコン酸鉛薄膜の高特性化

三菱マテリアル株式会社 イノベーションセンター 土井利浩

功績の概要

ゾルゲル事業は 1999 年に研究所から三田工場へ移管され、FeRAM や薄膜キャパシタ用強誘電体薄膜用材料を供給している。本開発では近年需要が増大している圧電 MEMS 用途の PZT 成膜プロセス開発を行った。ゾルゲル液の塗布、乾燥、結晶化過程に着目し、結晶化とともに残留応力が解放される機構を見出した。この機構に着目し、プロセスを改良することにより膜厚方向のジルコニウム/チタン組成偏析を減らし圧電特性を大幅に向上させることに成功した。

1. 薄膜応力測定と XRD 解析によるプロセス中の膜応力変化機構の解明
2. プロセス改良による焼成膜厚増大の検討
3. 改良プロセスの評価

実施時期

2018 年 4 月～2019 年 9 月

成 果

1. ゾルゲル法による PZT 成膜において、結晶化温度である 550℃前後でプロセスに由来する内部応力が解放されることを見出した。
2. 通常 300℃前後で行う仮焼成を 550℃前後で行うことにより、焼成膜厚を従来比 2 倍以上の 800nm まで向上させることに成功した。また、膜の結晶配向性が劇的に良化した。
3. 開発プロセスでは膜厚方向のジルコニウム/チタン組成偏析が小さくなり、圧電特性が 25%向上することを確認した。

難溶性元素の水溶液「レアメタル溶液」の開発

三井金属鉱業株式会社 機能性粉体事業部 開発統括部 佐藤 理子

功績の概要

レアメタルは、スマートフォンや自動車など、産業の様々な分野で使用され、我々の日常生活に欠かせない材料である。

これらの元素及び化合物は、粉体での取扱いが主であるが、加工条件によっては反応に高温が必要となるほか、未反応の原料不純物が残る可能性がある。

三井金属鉱業ではレアメタル・レアアースを水に溶かした「レアメタル溶液」を開発した。金属元素又はその化合物、水及び溶解剤で構成される。適切な保管条件であれば1年以上安定である。

溶液とすることで、粉体に比べ、より均一に混合することができ、低温で反応が完了する。

ニオブやタンタルをはじめとした、本来フッ酸にしか溶けない難溶性金属元素を含んでいることが最大の特徴である。

レアメタル溶液を用いることで、薄膜形成、粒子コーティング、複合化合物の作製を容易に行うことが可能となった。

実施時期

2020年1月～現在も継続実施中

成 果

1. 難溶性元素であるニオブ、タンタルを溶解した新規の水溶液原料であるレアメタル溶液を開発した。
2. 粉体に代わる新しい原料として、粉体では実現できない低温での複合酸化物の作製やコーティング膜の作製を可能にした。
3. 全固体電池・液系 LIB 向けのニオブ酸リチウム水溶液は、電池正極材に適用することで、電池性能が向上した。

2023（令和5）年度税制改正について （税制改正大綱の概要）

日本鉱業協会 総務部

令和5年度税制改正大綱が、2022年12月23日に閣議決定されました。以下に、当業界に特に影響のある主要な項目についてのみ、その概要を記します。なお、今後の国会における改正法案審議の過程において、一部項目の修正・削除・追加などが行われる可能性があることにご留意下さい。

I 令和5年度税制改正の基本的な考え方

家計の資産を貯蓄から投資へと積極的に振り向け、資産所得倍増につなげるため、NISAの抜本的拡充・恒久化を行うとともに、スタートアップ・エコシステムを抜本的に強化するための税制上の措置を講ずる。また、より公平で中立的な税制の実現に向け、極めて高い水準の所得について最低限の負担を求める措置の導入、グローバル・ミニマム課税の導入及び資産移転の時期の選択により中立的な税制の構築を行う。加えて、自動車重量税のエコカー減税や自動車税等の環境性能割等を見直す。租税特別措置については、それぞれの性質等に応じ適切な適用期限を設定する。また、防衛力強化に係る財源確保のための税制措置について決定する。

II 各税制の概要

1. 鉱業関連税制

(1) 探鉱準備金又は海外探鉱準備金制度及び新鉱床探鉱費又は海外新鉱床探鉱費の特別控除制度（減耗控除制度）

- ・適用期限未到来のため、今次改正なし

(2) 海外投資等損失準備金制度

- ・適用期限未到来のため、今次改正なし

2. 他産業に共通するもの

(1) 研究開発税制の見直し

①税額控除率・税額控除上限のメリハリ強化

- ・研究開発費の増加インセンティブを更に強化するため、試験研究費の増減率に応じた税額控除率のカーブを見直す。（税額控除率の下限を1%（現行：2%）に引き下げた上、その上限を14%（原則：10%）とする特例の適用期限を3年延長する）

- ・試験研究費の額が大きい企業を中心に、税額控除上限（法人税額の25%）に到達した企業に対してもインセンティブ強化となるよう、試験研究費の増減率に応じて、税額控除の上限も変動させる制度を新たに導入する。

⇒控除税額の上限（現行：法人税額の25%）

を、増減試験研究費割合（前3事業年度の試験研究費の平均額に対する当期試験研究費の増減割合）に応じて20%から30%の範囲での変動制とする。

②研究開発型スタートアップ企業の範囲の拡大

- ・幅広いスタートアップ企業との共同研究・委託研究を促すため、オープンイノベーション型の「研究開発型スタートアップ企業」の範囲を大幅に拡大する。

⇒スタートアップの設立年数や売上高研究開発費比率等に着目しつつ、出資者となるファンドについては認定を不要とし、対象を大幅に拡大する。（現行は、経済産業大臣が認定したベンチャーファンドから出資を受けたベンチャー企業などが対象）

③試験研究費の範囲の見直し

- ・ビッグデータやAI等を活用した「サービス開発」に係る試験研究費について、新たなサービス開発を促すため、既存のビッグデータを活用し、サービスを開発する場合の開発費用についても、試験研究費の対象に追加する。(現行は、新たなサービス開発を目的とし、ビッグデータを新たに収集することが要件となっており、既存のビッグデータの活用は制度適用対象外)

④博士号取得者等の人件費をオープンイノベーション型試験研究費の範囲に追加

- ・国際競争に資するハイレベルでオープンなイノベーションを促進するため、博士号取得者(学位取得から5年以内)や、一定の経験を有する研究人材を外部から雇用した場合、その人件費の一部を研究開発税制(オープンイノベーション型)における特別試験研究費の対象に追加する。

⇒一定の要件を満たした場合、当該人件費の20%を税額控除(一般型の研究開発税制とは別に控除上限は法人税額の10%)

(2) オープンイノベーション促進税制の拡充

- ・オープンイノベーション性等の要件を満たすベンチャー企業の既存株式を取得した場合においても、オープンイノベーション促進税制(一定の要件を満たせば、株式取得価額の25%を所得から控除できる制度)を利用できるものとする。(現行では、既存株式の取得は制度適用対象外)
- ・その際、M&Aから5年以内に「成長要件(売上高が1.7倍かつ33億円以上となったこと等の一定の要件)」を満たした場合は、減税メリットがその後も継続する仕組みとする。(但し、5年以内に成長要件が満たせない場合や、5年経過後においても株式譲渡など一定の事由に該当する場合は、特別勘定の戻し入れ(益金算入)が行われ、減税メリットが消滅する)

- ・株式取得対象の主な要件は以下の通り。

- 1) 取得価額5億円以上(上限200億円。払込みによる取得価額の上限は50億円)
- 2) 総議決権の50%超の取得
- 3) 内国法人に限る

(3) グローバル・ミニマム課税の導入

- ・軽課税国に所在する子会社等の所得に対する税負担が国際的に合意された最低税率(15%)に満たない場合、その不足分(最低税率15%と軽課税国における負担税率との差額)について、親会社の所在する国において課税を行う制度を導入する。(2024年度から適用開始)
- ・直前の4会計年度のうち2以上の会計年度において、年間総収入金額が7.5億ユーロ(約1,100億円)以上の多国籍企業グループに属する内国法人が対象。

(4) 防衛力強化に係る財源確保のための税制措置

- ・我が国の防衛力の抜本的な強化を行うに当たり、税制部分については、2027年度に向けて複数年かけて段階的に財源確保を実施することとし、2027年度において、1兆円強を確保する。具体的には、法人税、所得税及びたばこ税について、以下の措置を講ずる。(施行時期は、2024年以降の適切な時期とする)

1) 法人税

法人税額に対し、税率4~4.5%の新たな付加税を課す。中小法人に配慮する観点から、課税標準となる法人税額から500万円を控除することとする。

2) 所得税

所得税額に対し税率1%の新たな付加税を課す。併せて、復興特別所得税(税率2.1%)の税率を1%引き下げるとともに、課税期間を延長する。

3) たばこ税

3円/1本相当の引上げを段階的に実施する。

以上

太陽電池・光電極用インタースタック銅酸化物 光電変換材料と電気化学的形成技術

豊橋技術科学大学 大学院工学研究科 伊崎昌伸

酸化物光電変換層,特に Cu_2O ならびに CuO は,太陽電池や光電極用材料として研究開発が進んでおり, Cu_2O 系太陽電池の変換効率は年々向上し,9.5%に達し,Siタンデム太陽電池のトップセルとして注目されている。 Cu_2O , CuO 太陽電池の性能は,バッファ層やナノ構造の導入によって向上してきたが,我々は Cu_2O と CuO の両成分を光電変換層内に積層体やナノ混合体として内包し,高効率化の要件を満たすインタースタック光電変換層の研究開発を推進している。本解説では,インタースタック光電変換層の特徴,製造方法ならびに光電変換特性などについて概説した。

1 はじめに:背景

太陽は,太陽系の中心に位置する表面温度5772Kの恒星であり,地球上に紫外線から可視光,そして赤外線領域に渡る幅広い波長の光を照射している。p型半導体とn型半導体から構成されるp/n接合半導体素子である太陽電池に,太陽光が照射されると,p型半導体の禁制帯幅よりも大きなエネルギーを有する光は吸収され,電子と正孔の対であるエキシトン(励起子)が生成する。内蔵電界により,このエキシトンが解離して生成するキャリアが移動し,電極に到達すると,電力として取り出すことができる。また,太陽電池はp/n接合半導体素子であるが,p型半導体を水の中に浸漬し,太陽光を照射すると,太陽電池の場合と同様に,p型半導体の禁制帯幅よりも大きなエネルギーを有する光の吸収,エ

キシトン生成と解離,生成したキャリアである電子は水の中に流れ出し,水の中に存在するプロトン(H^+)を還元し,水素ガスを生成する。このp型半導体が光電極であり,水素を生成するのが光カソードである。すなわち,太陽電池においても,光電極においても,太陽光照射によるp型半導体内部での光電変換過程が関与している。

太陽電池と光電極,ならびにそれらに活用される半導体材料については,書籍・解説などが発表されているので参照されたい^(1,2)。太陽電池としては,シリコン系ホモ接合バルク型太陽電池やGaAs, CdTe , Cu(In,Ga)Se_2 (CIGS)などの化合物層を光吸収層として用いる薄膜型ヘテロ接合太陽電池が実用化されており,これらの太陽電池の高効率化,ならびに $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS)系などの新規な化合物太陽電池,さらには超高効率を実現するための量子ドットや多接合型太陽電池⁽³⁾などの研究開発が展開されている。銅酸化物,特に Cu_2O 系太陽電池⁽⁴⁻⁸⁾は,理論変換効率が15%程度と見積もられ,レアメタルや有害元素を含有せず,資源的にも豊富であることから,次世代の薄膜太陽電池として期待されており,図1に示すようにその変換効率も年々向上しており,現時点で最高変換効率9.5%が報告されている⁽⁹⁾。 Cu_2O 層の形成技術として,スパッタリング法, Cu 板の高温酸化,水溶液電気化学法が用いられていることから,分けて示した。1980年代に Cu 板の高温酸化によって形成した $\text{Cu/Cu}_2\text{O}$ 系ショットキー太陽電池から始まった

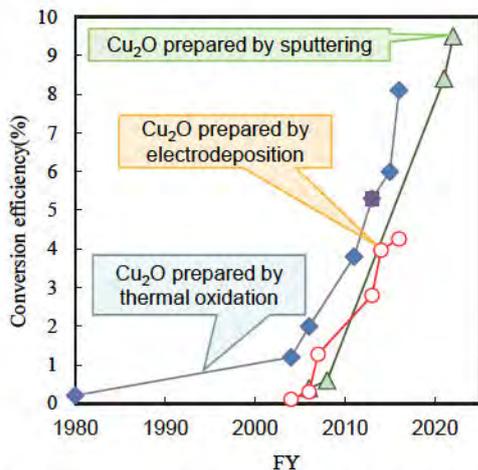


図1 銅酸化物系太陽電池の変換効率の推移

研究開発は、n型半導体と接合したヘテロ接合型太陽電池、n-Cu₂O/p-Cu₂O ホモ接合型太陽電池へと展開しており、その過程でCu₂O形成技術の開発と最適化、不純物添加による電氣的性質の制御と最適化、バッファ層導入やナノ構造導入による高性能化など、種々の側面から高性能化が図られ、現在に至っている。特に、近年は、Siタンデム太陽電池のトップセルとして、研究開発が活発となっている。また、CuO系太陽電池については、その潜在的な能力は期待されているが、未だその実力は発揮されていない。

本稿では、まずCu₂OならびにCuOなどの銅酸化物半導体の性質について概説した後、酸化物太陽電池、特にCu₂O系太陽電池の高効率化の取り組みを紹介する。さらに、p型半導体であるCu₂OとCuOから構成される積層体やナノ混合体構造を有するインタースタック光電変換層⁽¹⁰⁾の特徴と利点、形成技術ならびに現時点での特性などを紹介する。一つの光電変換層内部に異なるバンドギャップエネルギーのp型半導体であるCu₂OとCuO層を内包していることから、筆者らはインタースタック光電変換層と称している。後述するように、銅酸化物半導体の形成技術には、真空製膜法や溶液製膜法が活用されているが、本稿では筆者らが活用している熱力学に立脚した水溶液電気化学製膜反応を活用した銅酸化物ならびにインタースタック光電変換層形成技術について記述する。

2 銅酸化物半導体：Cu₂OとCuO

図2に、Cu₂OならびにCuOの単位格子とエネルギー状態の模式図を示す。Cu₂Oは、格子定数が0.42696nmの立方晶赤銅鉱型構造を有する直接遷移型のp型半導体である⁽¹¹⁾。仕事関数は約5eV、電子親和力は約3.3eV、禁制帯幅は2.0~2.1eVであり、ドナー準位が伝導帯の下約1.1ならびに1.3eV、アクセプター準位が価電子帯の上約0.4eVに存在する。また、価電子帯の上、0.25eVと0.45eVに、Cu空孔による準位が存在することが報告されている⁽¹²⁾。Cu₂Oの光吸収係数は光エネルギーと関係し、バンドギャップ付近からエネルギーの増加（波長の減少）に伴い、急激に吸収係数が増加し、2.5 eV以上で10⁵ cm⁻¹台に達する。

酸化銅(CuO)^(13,14)は、単斜晶系構造(a=0.46883nm, b=0.34229nm, c=0.51319nm, β=99.08deg)のp型半導体であり、電子親和力は4.07eVであり、禁制帯幅は1.3 eVから1.9 eV程度まで報告があるが、1.35eV程度との報告が多い。CuOは間接遷移型半導体とされているが、品質の良いCuOは直接遷移型のような挙動を示す。CuOでは、バンドギャップエネルギー付近から吸収係数は増加し、2eV以上では10⁴ cm⁻¹程度のほぼ一定値を示す。CuO層は、真空成膜法や溶液成膜法により形成されており、太陽電池や光電極作製に活用されている。

図3に、Cu-O系相図、Cu-水系電位-pH図ならびに熱力学物性値を示す^(5,15-17)。電位-pH図は、水溶液中に存在するCuの平衡状態を示す図である。図は、単純なCu-水系である。

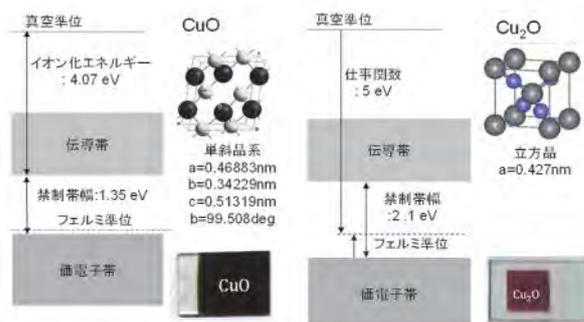


図2 Cu₂OならびにCuOの単位格子とエネルギー状態の模式図

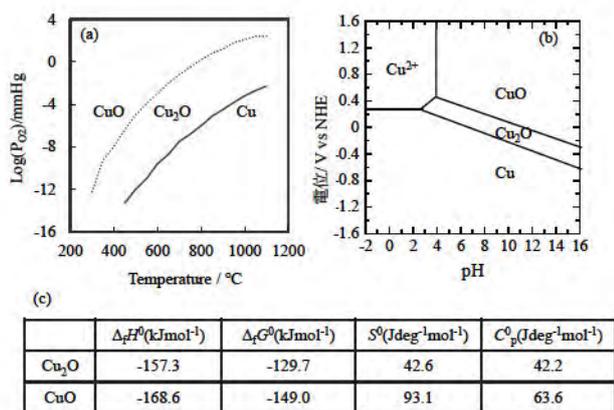
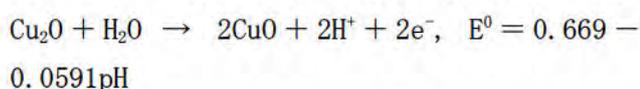
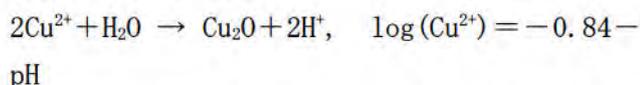


図3 Cu-O系における熱力学的性質
(a) Cu-O系相図, (b) Cu-水系電位-pH図 (300K, $a_{Zn^{2+}}=1$), Cu₂OならびにCuOの熱力学物性値

Cu-O系相図では、 $\text{Log}(P_{O_2}) = 0$ 、すなわち $P_{O_2} = 1 \text{ mmHg}$ である場合、 800°C より低温ではCuO、 800°C 以上ではCu₂Oが安定となるが、CuO、Cu₂O、Cuの共存曲線は酸素分圧 (P_{O_2}) の低下により低温側にシフトする。Cu板の大気中酸化によりCu₂Oを作製する場合、 $P_{O_2}=1\text{mmHg}$ では 800°C 以上の高温が必要であるが、室温まで冷却する過程でCu₂O表面がCuOに変化すると予想される。

銅塩を含有する単純水溶液では、 Cu^{2+} 、 Cu_2O 、 CuO の間には以下のような酸-塩基反応や酸化還元反応が生じ、その電極電位とpHの関係式は以下のように記述される。それぞれ図中の線として描画されている。



しかし、Cu₂OやCuOなどの水溶液電気化学形成に利用されている乳酸、酒石酸、アンモニアはCuイオンと錯体を形成するため、図の形状は大きく異なる。図3(c)のデータを利用して計算ならびに描画できるが、Cu乳酸錯体ではpH9以上で、またCuアンモニア錯体ではpH9~11程度でCu錯体による溶解領域が発現する⁽¹¹⁾。

Cu₂O層形成技術としては、真空成膜法や溶液成膜法が種々提案されたが、現時点で太陽電池光電変換層形成技術として活用されているのは、スパッタリング法、Cu板の高温酸化法、水溶液電気化学成膜法である。高温酸化法の加熱方法としても種々の条件が用いられており、酸化雰囲気は大気中の他、不活性ガス雰囲気中など、加熱温度は 1000°C 付近が用いられている。 1000°C からの冷却過程でのCuO層の形成は不可避であるため、高温酸化後にエッチングにより除去される。

水溶液電気化学成膜法では、銅塩として酢酸銅や硫酸銅、カルボン酸として乳酸などが用いられている。水溶液のpHによりCu₂O層の優先方位が変化する。電位はAg/AgCl基準で -0.4V 程度で作成され、電位により電気的性質が変化し、電位が卑になりすぎると金属Cuが析出する。また、酢酸銅と酢酸ナトリウムからなるpH6.1程度の弱酸性水溶液から電気化学的にn-Cu₂O層が形成されることが報告されている。

銅酸化物太陽電池に関する研究は、特に2020年以降活発になっているが、そのほとんどがCu₂O系ヘテロ接合太陽電池による。太陽電池の開放電圧、短絡電流密度、曲線因子、変換効率などの性能は、p/nヘテロ界面に導入されるバッファ層によって大きく変化する。バッファ層は、ヘテロ界面での再結合損失を抑制する役割を持ち、i-ZnO、Ga₂O₃、Ga-Al-O、Zn-Ge-O層などが導入されており、MgF₂/Al:ZnO/Zn_{0.38}Ge_{0.62}O/Na:Cu₂O太陽電池において変換効率8.1%、ZnO:Al/Ga₂O₃/Cu₂O太陽電池において開放電圧1.2Vが報告されている。また、結晶Si太陽電池との多接合化により変換効率22%が報告されている。

3 Cu₂Oの電気的性質と不純物添加効果

熱酸化により作製したCu₂Oは、室温において、抵抗率 $10^2\text{--}10^3 \Omega\text{cm}$ 、ホール密度 $10^{13}\text{--}10^{14} \text{cm}^{-3}$ 、移動度 $100 \text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ の電気的性質が報告されている。作製条件によって、わずかに変化するが、

90–110 $\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ の大きな移動度が報告されている⁽¹⁸⁾。

電気化学的に形成した Cu_2O 層において、pH9.5 では $5 \times 10^4 \Omega\text{cm}$ 程度、pH12.5 では $10^6 \Omega\text{cm}$ 程度、キャリア密度は pH ならびに電位によらず 10^{13}cm^{-3} 程度であったが、Cu/O 比と比例関係が報告されている⁽¹⁹⁾。移動度も、pH ならびに電位によらず $1 \text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ であり、粒子径と関係している。電気化学ヘテロエピタキシャル成長により (111) 単配向に制御することによって⁽²⁰⁾、また 300°C 程度加熱によって⁽²¹⁾、移動度が向上することが報告されているが、熱酸化 Cu_2O にはおよばない。キャリアの拡散長 (D) は、移動度 (μ)、緩和時間 (τ)、電場の大きさ (E) と関係するため、キャリア拡散長増大のためには、大きな移動度が望ましい。

南らは、熱酸化により形成した Cu_2O 板に NaCO_3 もしくは NaCl を塗布し、大気中で加熱処理することによって、 Cu_2O 中への Na 添加が可能であることを示し、ホール密度を $6.72 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$ から $1.85 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ まで制御できることを示した。 $6.72 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$ から $4.01 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ の範囲では $100 \text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ を大きく超える移動度、 $9.3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ から $1.85 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ では約 $10 \text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ が報告されている⁽²²⁾。

また、 Cu_2O は p 型半導体であるが、ノンドープでも酢酸系水溶液から作製した場合、n 型を示すと報告されているが、 Cu_2O に Cl などのハロゲン、Mn, Al を添加することによって n 型半導体となり、第一原理計算による F, Cl, Br などの添加効果も検討されている^(23, 24)。

4 Cu_2O 系太陽電池

4.1 Cu_2O 系ヘテロ接合型太陽電池^(25–36)

図 4 に、 Cu_2O 系ヘテロ接合型太陽電池の開放電圧 (V_{oc}) と短絡電流密度 (J_{sc}) の年度推移を示す。開放電圧 (V_{oc}) は、2005 年には 0.4V 程度であったが、年々向上し、2014 年には 1.2V に達している。短絡電流密度 (J_{sc}) は、2000 年までは 2mAcm^{-2} 程度であったが、2012 年に約 10

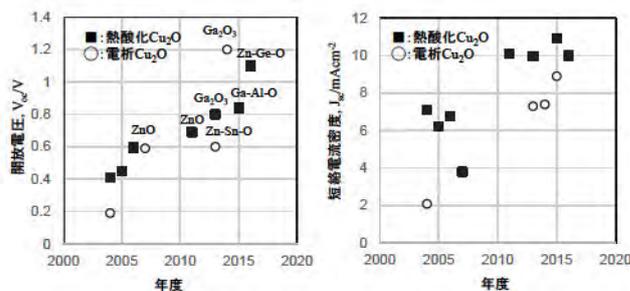


図 4 熱酸化 Cu_2O と電析 Cu_2O を用いたヘテロ接合型太陽電池の開放電圧 (V_{oc}) (a) と短絡電流密度 (J_{sc}) (b) の推移。

mAcm^{-2} 程度に達したのち、ほぼ一定となっている。 Cu_2O の禁制帯巾が 2.1eV 程度であることから、短絡電流密度 (J_{sc}) については理論限界に近づいているが、開放電圧 (V_{oc}) については向上の可能性が期待される。

ほとんどの Cu_2O 系ヘテロ接合型太陽電池の透明電極には、Al:ZnO (AZO) が用いられ、Ga:ZnO (GZO) も含め ZnO 系透明電極が用いられている。2000 年頃には、 Cu_2O 系ヘテロ接合型太陽電池の構造は主に透明電極と接合した AZO/ Cu_2O 構造であったが、変換効率が向上し始める 2006 年頃より AZO/n 型半導体層/ Cu_2O 構造、さらに透明電極/n 型半導体層/バッファ層/ Cu_2O 構造と変遷している。前者における n 型半導体層もバッファ層としてみれば、バッファ層がその性能向上に大きな役割を果たしている。

4.1.1 バッファ層効果

Cu_2O と ZnO のヘテロ界面には大きな段差があり、バンド接続はクリフ型に分類される。Cu (In, Ga) Se_2 (CIGS) 太陽電池において、性能向上のためには伝導帯オフセットの最適化が必要であり、CdS や Zn(S, O, OH) などのバッファ層が界面に導入し、ややスパイク型に調整することによって高効率化に貢献している。この伝導帯オフセットは、ヘテロ界面での再結合損失と関係し、その開放電圧や短絡電流密度に大きな影響を及ぼす。

図 4 の開放電圧 (V_{oc}) の年度推移の図中にバ

バッファ層として用いられた酸化物を記載した。禁制帯巾 3.3eV の i-ZnO を AZO と Cu₂O 界面に導入することにより、開放電圧 (Voc) は、0.2-0.4 V から 0.6 V 程度まで向上した。i-ZnO 層形成技術としては、パルスレーザー堆積法 (Pulse-Laser Deposition, PLD) や電気化学成膜法が用いられている。その後、Ga₂O₃, Ga-Al-O, Zn-Ge-O 層などがバッファ層として導入され、開放電圧 (Voc) は 0.8-1.2 V 程度まで向上し、短絡電流密度 (Jsc) は最大 10.95mAcm⁻² まで向上したが、これらのバッファ層材料では 10mAcm⁻² 程度は出力している。Ga₂O₃ は禁制帯巾 4.7eV 程度の n 型半導体であり、Ga-Al-O ならびに Zn-Ge-O 層の物性の詳細は明らかでないが、ワイドバンドギャップ材料と推察される。ワイドバンドギャップ材料をバッファ層として導入することによって、ヘテロ界面での再結合損失が低減でき、開放電圧 (Voc) ならびに短絡電流密度 (Jsc) が向上することは、CIGS 太陽電池でも報告されている。Lee らは電析 Cu₂O を用い AZO/Ga₂O₃/Cu₂O/Au 構造において、Cu₂O 系太陽電池での最高値である 1.2 V を報告している。Ga₂O₃ 層形成技術としては、原子層堆積法 (Atomic Layer Deposition, ALD) やパルスレーザー堆積法 (PLD) 法が用いられている。

4.1.2 ナノ構造導入効果⁽³⁷⁻⁴⁰⁾

太陽電池では、太陽光照射によって生成したキャリアを外部に取り出し、電力として得るが、生成したキャリアがヘテロ界面に到達しうる活性層の厚さは、キャリアの拡散長と照射された光の侵入深さと関係する。キャリア拡散長は移動度と関係することから、大きな移動度を有する熱酸化 Cu₂O 層は、大きな拡散長を持ち、厚い活性層を有することになる。一方、電析 Cu₂O では移動度が小さいために拡散長が小さく、活性層が薄い。図 5 に、均一層ならびにナノワイヤ構造の n 型半導体層を用いた場合の Cu₂O 層中の活性領域の模式図を示した。均一層析出型の場合、活性領域はヘテロ界面近傍に限定される

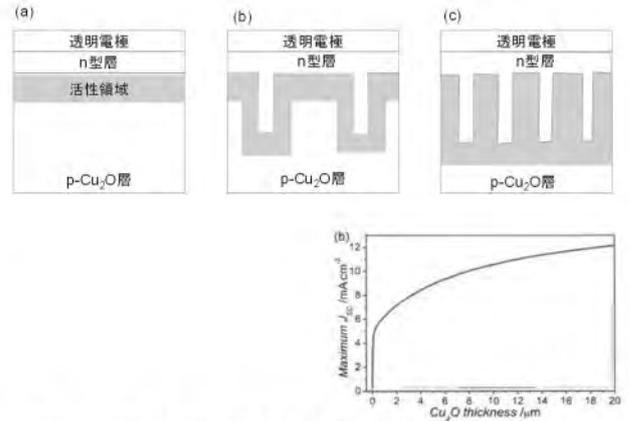


図 5 Cu₂O ヘテロ接合型太陽電池へのナノ構造導入効果, (a) 均一層, (b) 低密度ナノワイヤ, (c) 高密度ナノワイヤ, ならびに (d) 短絡電流密度に及ぼすナノ構造導入効果. K. P. Musselman, et al., *Adv. Energ. Mater.*, 22(2010), E, 254.

が、均一層状 n 型半導体層に替えて、ナノワイヤなどのナノ構造を有する n 型半導体層の活用によって、活性領域は広がり、短絡電流密度が増大する。ナノワイヤの密度や長さ、ならびにその電気的性質とバッファ層の利用などによって高効率化が図られてきた。ナノ構造導入 Cu₂O 系ヘテロ接合型太陽電池の変換効率は、2009 年には 0.053% であったが、2014 年には 1.26% まで向上した。特に、均一 ZnO 層に替えて ZnO ナノワイヤを用いることによって、短絡電流密度が約 2 倍に増加した。

4.2 Cu₂O 系ホモ接合型太陽電池

酢酸銅系水溶液から作製した Cu₂O ならびに Mn やハロゲン元素を添加した Cu₂O 層が n 型を示すことから、乳酸錯体水溶液から作製した p-Cu₂O, もしくは熱酸化 Cu₂O 層と接合したホモ接合型太陽電池が報告されている。2010 年に、Choi らは電気化学的に Cu₂O 系ホモ接合型太陽電池を形成し、開放電圧 (Voc) 0.423V, 短絡電流密度 (Jsc) 2.5mAcm⁻², 変換効率 0.29% を報告し、2012 年には開放電圧 (Voc) 0.61V, 短絡電流密度 (Jsc) 4.07 mAcm⁻², 変換効率 1.06% を示した^(41, 42)。2017 年には宮田らが、AZO/n-Zn-Ge-O/n-Cu₂O:Mn/p-Cu₂O:Na 構造において、開放電圧 (Voc) 0.84 V,

短絡電流密度 (J_{sc}) 10.1 mAcm^{-2} , 変換効率 4.74 %を報告した⁽⁴³⁾。

5 CuO 系太陽電池

CuO は禁制帯巾 1.35eV 程度で大きな光吸収係数を有することから、太陽電池光電変換層としては好適であるが、その変換効率は 0.253%程度に止まっている。CuO 層形成技術としては、スパッタリング法やパルスレーザー堆積法などの真空成膜法、Cu 酒石酸錯体や Cu アンモニア錯体を用いた水溶液電気化学成膜法などが開発されている。単斜晶系単位格子を有すること由来すると考えられるが、生成した CuO は均一な層状よりも、針状粒子として成長しやすい。Cu 板の高温酸化により形成した CuO ナノワイヤと ZnO を組み合わせたヘテロ接合型太陽電池は、開放電圧 (V_{oc}) 0.37 V, 短絡電流密度 (J_{sc}) 0.63 mAcm^{-2} , 変換効率 0.086%を報告した。また、PLD 法で作製した Glass/ITO/CuO/Mg-Zn-O 構造太陽電池は、開放電圧 (V_{oc}) 0.326 V, 短絡電流密度 (J_{sc}) 2.13 mAcm^{-2} , 変換効率 0.253%を示した⁽⁴⁴⁾。

6 インタースタック光電変換層

1対のp/n接合半導体からなる単接合太陽電池の理論変換効率は、禁制帯幅 1.3eV 付近で 30%程度の最高値となる。一方、 $\text{Al}_{0.18}\text{Ga}_{0.33}\text{In}_{0.49}\text{P}$, $\text{Al}_{0.23}\text{Ga}_{0.77}\text{As}$, GaAs, $\text{Ga}_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{As}$, $\text{Ga}_{0.66}\text{In}_{0.34}\text{As}$, $\text{Ga}_{0.42}\text{In}_{0.58}\text{As}$ からなる 6 接合太陽電池において、1sun にて 39.2%, 143sun にて 47.1%の変換効率が得られており⁽³⁾, 単接合太陽電池の理論変換効率を超えている。それぞれの半導体の禁制帯幅は、2.1eV, 1.7eV, 1.4eV, 1.2eV, 0.95eV, 0.69eV であり、異なる禁制帯幅を有する 6 種類の p/n 接合太陽電池から構成されている多接合太陽電池である。このように、単接合太陽電池の理論変換効率を超えるためには、禁制帯幅の異なる複数の p 型半導体を内包することが要件となる。

図 6 に、 Cu_2O と CuO から構成される単一太陽

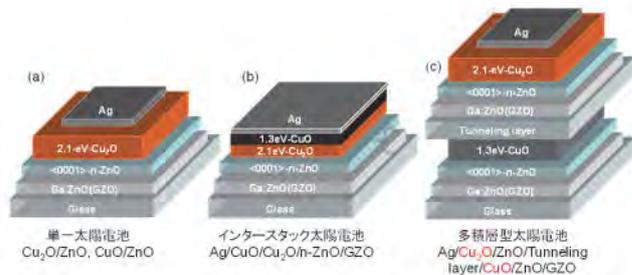


図 6 Cu_2O ならびに CuO から構成される単一太陽電池 (a), インタースタック太陽電池 (b), 多積層型太陽電池の構造模式図 (c)。

電池, インタースタック太陽電池, 多積層型太陽電池の構造模式図を示す。図 6 (c) に、 Cu_2O と CuO から構成される 2 接合太陽電池の構造模式図を示す。上部に $\text{Cu}_2\text{O}/\text{ZnO}$ 太陽電池, 下部に CuO/ZnO 太陽電池が設置されており, それらが電氣的に接合されているため, それぞれの太陽電池の構成層, 両太陽電池を電氣的に接続するためのトンネル接続層, ならびに透明電極および下部電極層などを含めて 8 層 (以上) となっている。この 2 接合太陽電池では, Cu_2O 太陽電池と CuO 太陽電池が直列接続となっているため, 2 接合太陽電池の短絡電流密度はワイドバンドギャップの Cu_2O 太陽電池による短絡電流密度 $J_{sc}^{\text{Cu}_2\text{O}}$ により規制される。開放電圧を, Cu_2O 太陽電池と CuO 太陽電池の開放電圧の和 ($V_{oc}^{\text{Cu}_2\text{O}} + V_{oc}^{\text{CuO}}$), 曲線因子を FF, 入射光のエネルギーを p とすると, 変換効率 (η) は,

$$\eta = \frac{(V_{oc}^{\text{Cu}_2\text{O}} + V_{oc}^{\text{CuO}}) \times J_{sc}^{\text{Cu}_2\text{O}} \times FF}{p} \times 100 (\%)$$

と見積もられる。図 6 (b) のインタースタック積層体太陽電池では, p 型半導体である Cu_2O と CuO が直接接合しており, CuO と n-ZnO により p/n ヘテロ接合が形成されている構造である。後述するように, Cu_2O 層と CuO 層は共に光電変換層として機能するので, 理想的には両層の短絡電流密度の和 ($J_{sc}^{\text{Cu}_2\text{O}} + J_{sc}^{\text{CuO}}$) がインタースタック太陽電池の短絡電流密度, 開放電圧は V_{oc}^{CuO} となると考えると, 変換効率 (η) は,

$$\eta = \frac{V_{oc}^{\text{CuO}} \times (J_{sc}^{\text{Cu}_2\text{O}} + J_{sc}^{\text{CuO}}) \times FF}{p} \times 100 (\%)$$

と見積もられる。ただし、CuO 層の短絡電流密度 (J_{sc}^{CuO}) は、単接合太陽電池の場合に比べ、Cu₂O 層による光吸収分だけ小さくなっている。すなわち、多接合太陽電池が開放電圧積算型であるのに対して、インタースタック太陽電池は短絡電流密度積算型と、高効率化の概念が異なると共に、それに伴い積層数が少なくなり、構造が簡単になる。また、多接合太陽電池は、複数の p/n 単接合太陽電池の集合体であるため、そのまま光電気化学水分解用光電極に適用することはできないが、インタースタック光電変換層は、p 型半導体の積層体やナノ混合体構造であるため、そのまま光電極として機能しうる特徴を有する。

6.1 加熱により作製したインタースタック（積層体・ナノ混合体）酸化物光電変換層の特徴と機能⁽⁴⁵⁾

積層体やナノ混合体構造を有する Cu₂O-CuO 系インタースタック光電変換層は、前述のような特徴を有することから、特に、光電気化学水分解光カソードや電気化学水分解用触媒として近年研究開発が活発になっている。真空製膜法や溶液製膜法によらず、CuO-Cu₂O 系インタースタック光電変換層の形成には加熱処理は不可欠となっており、Cu や Cu₂O を前駆体として加熱により積層体やナノ混合体などのインタースタック構造が形成されている。

図 7 に、Cu 乳酸錯体水溶液から電気化学的に形成した Cu₂O 層を大気加熱することにより作製したインタースタック CuO/Cu₂O 積層体の透過型電子顕微鏡 (TEM) 像、光吸収曲線と外部量子効率曲線を示す。量子効率、投入された光子が電子キャリアに変換される波長ごとの比率 (%) を示しており、インタースタック光電変換層を n-ZnO 層とヘテロ接合した光電変換素子について評価している。Cu₂O 層は、角ばった大きな結晶粒子の集合体である。禁制帯幅 2.1eV に由来する吸収端波長である約 600nm よりも長波長側では 40%以上の透過率を示すが、Cu₂O 層が光を吸収するために 600nm 以下で急激に透過率は低下する。それに伴い、光電変換機能を示す外部量子効率は、600nm 以下の短波長側で増加し、約 360nm 程度の波長で最高値である 93%を示す。

Cu₂O 層を大気加熱により酸化することにより、表面に CuO 層が生成し、その厚さは加熱温度の上昇や加熱時間の増加などにより増加する。CuO の厚さが 20nm 程度 (図 7c) と薄い場合には、CuO 層と Cu₂O 層の間で明瞭な方位関係を保ちながらヘテロエピタキシャル成長する。しかし、CuO 層が 100nm 以上 (図 7d) になると、等軸状の微細結晶粒子の集合体である多結晶体となり、Cu₂O 層との方位関係は消失する。また、Cu₂O から CuO への酸化に伴い、CuO ならびに Cu₂O 層内部、ならびに CuO/Cu₂O ならびに Cu₂O/基板界面にナノ

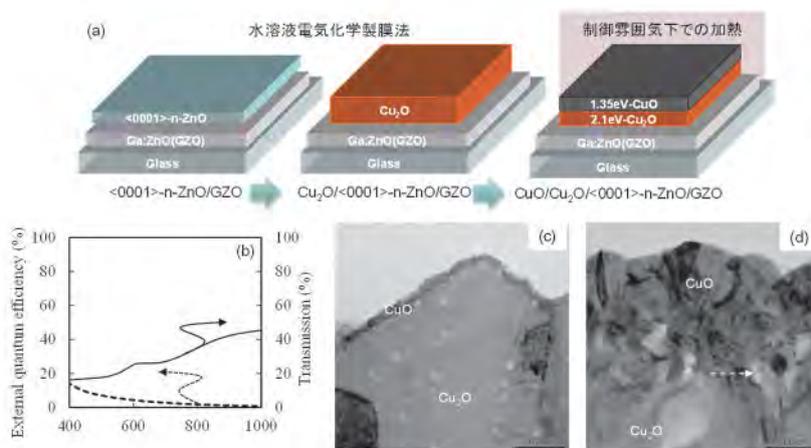


図 7 水溶液電気化学反応と加熱(A)により形成した CuO/Cu₂O 積層体光電変換層の光電変換特性 (b) と断面組織 (c, d) . M. Izaki, et al., *ACS Appl. Energ. Mater.*, 2, 4833(2019).

ポアが生成し、加熱温度などの上昇に伴い、すなわち CuO 層の膜厚増加に伴い合体し粗大化する。数十 nm レベルの厚さの半導体層であっても、高輝度光科学研究センターの放射光施設 SPring8 の高輝度 X 線を用いることによって、その半導体品質と関係する局所発光スペクトルを測定することができる。この方法を用いて解析を行うと、20nm 厚さの CuO 層は優れた半導体品質を有するが、100nm 以上に成長すると著しく半導体品質が劣化すること、Cu₂O 層も加熱により半導体品質が劣化することが明らかとなっている。形成したインタースタック CuO/Cu₂O 層は、CuO ならびに Cu₂O に由来する吸収端を吸収曲線上で観測することができ、CuO 厚さの増加に伴い CuO 層による吸収が顕著になる。20nm-CuO/Cu₂O 積層体では、図 7b に示すように、CuO 層の吸収短波長である 900nm 以下で光電変換機能が観測でき、CuO 層と Cu₂O 層が共に光電変換層として機能していることが確認できる。しかし、CuO 層が厚くなった CuO/Cu₂O 積層体では、光電変換機能は消失しており、両層の半導体品質が大きく影響している⁽⁴⁵⁾。

Y. Yang らは、筆者と類似した方法で作製した Cu₂O/CuO 積層体が、0.40V (RHE: 可逆水素電極) において -3.1 mAcm^{-2} の光電流密度を示すことを報告しており、単層よりも積層体化により光電流密度は増加している⁽⁴⁶⁾。

また、A. A. Dubale らは、水溶液中での電気化学反応により形成した Cu 層を加熱することによって、Cu₂O/CuO 構造体を形成した後、CuS や Ni により表面修飾し、光電極を形成している。加熱により形成したインタースタック層には明瞭な層構造は認められず、多くのポアを有するナノ混合体のようである。Cu₂O/CuO 構造において波長 425nm で量子効率 52.4%、光電流密度 -2.1 mAcm^{-2} を報告している。また、Ni-Cu₂O/CuO 構造で -4.3 mAcm^{-2} 、CuS-Cu₂O/CuO 構造で -5.4 mAcm^{-2} 、CuS, Pt-Cu₂O/CuO 構造で -5.7 mAcm^{-2} を報告している⁽⁴⁷⁾。

6.2 インタースタック光電変換層の光電気化学的直接形成と高性能化

Cu₂O 層も CuO 層も水溶液から電気化学的に直接形成することは可能である。しかし、積層体を形成する場合、Cu₂O 層は CuO 層を形成するための Cu-NH₃ 錯体水溶液では容易に溶解し、また CuO 層上に Cu₂O 層を形成する場合、Cu₂O 層の電気化学形成に必要な電子は少数キャリアであるなどの課題が存在する。図 8 に、光電気化学反応により形成したインタースタック Cu₂O/CuO 積層体の断面図と外部量子効率 (AM1.5G, 1sun) を示す⁽⁴⁸⁾。光電変換機能は、CuO 層の吸収端である 900nm 以下の波長領域で観測でき、CuO 層と Cu₂O 層が共に光電変換層として機能している。また、製膜した状態で約 60% の外部量子効率を示し、423K の加熱により約 90% 程度まで向上し、非常に優れた光電変換機能を示す。

CuO と Cu₂O を同時に形成する、もしくは前述のように、どちらかの層を形成したのちに、化学的もしくは熱的に形成する方法では、任意の積層体やナノ混合体などのインタースタック光電変換層を形成し、その構造を制御することは困難である。構造制御したインタースタック光電変換層を形成するためには、CuO, Cu₂O, それぞれの相成分の成長を制御する必要がある。溶液電気化学反応であれば、電位などの電気化学条件を制御することによって、構成層である CuO や Cu₂O 成分を個別に制御析出させる必要がある。しかし、既述の Cu 乳酸錯体水溶液からは Cu₂O 層、Cu-NH₃ 錯体水溶液からは CuO 層のみが電気

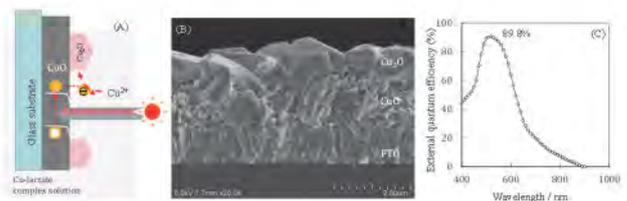


図 8 光電気化学反応により形成 (A) した Cu₂O/CuO 積層体光電変換層の断面組織 (B) と光電変換特性 (C) : 最大外部量子効率 89.8%, M. Izaki, et al., *ACS Omega*, 5, 683 (2021).

化学的に形成でき、多くの報告されている電気化学プロセスでは Cu_2O もしくは CuO のいずれかのみが析出する。これらの Cu_2O や CuO 層が形成される電気化学反応が明らかになることによって、電位制御により両者を個別に制御析出できる溶液系の設計が可能となった。

図 9 に、 Cu 酒石酸錯体水溶液から陰分極と陽分極を組み合わせた電位スイッチング法により形成した $\text{CuO}/\text{Cu}_2\text{O}$ 積層体⁽⁴⁹⁾ならびに $\text{Cu}_2\text{O}-\text{CuO}$ ナノ混合体⁽⁵⁰⁾の断面図と製膜の際の電位に対する電流密度応答を示すクロノアンペロメトリーを示す。酒石酸を含有しない単純塩水溶液では、pH5-6 程度よりも高い領域では水酸化銅による沈殿が生成する。しかし、 Cu 酒石酸錯体水溶液では、高 pH 領域において Cu 酒石酸錯体による溶解領域が存在する。反応の詳細は別紙に譲るが、この溶解領域から陰分極により Cu_2O 、陽分極により CuO が析出し、その電位は大きく異なることから、単一水溶液から Cu_2O と CuO を電位制御により作り分けることができる。 Cu_2O の電気化学析出には電子が必要であり、 CuO の析出には正孔が必要である。 Cu_2O も CuO も p 型半導体であるため、多数キャリアが正孔、少数キャリ

アが電子であることから、 Cu_2O 上への CuO 析出は可能であるが、 CuO 上への Cu_2O 形成は困難が予想される。そこで、製膜中に Cu_2O の禁制帯幅よりも大きなエネルギーを照射することによって、少数キャリアである電子の量を増加させ、 Cu_2O 析出を促進させた。電位の制御はポテンシオスタットなどの精密電源により、電位の値、周波数などを容易に制御できることから、 $\text{CuO}/\text{Cu}_2\text{O}$ ならびに $\text{Cu}_2\text{O}/\text{CuO}$ 積層体などの積層順の異なるインタースタック層を、加熱なしに光電気化学反応によって直接形成することができる。

7 終わりに

Cu_2O ならびに CuO などの銅酸化物半導体とそのヘテロ接合型・ホモ接合型太陽電池の性能について概説した後、インタースタック酸化物光電変換層について、その構造ならびに光電変換機能における特徴、 Cu_2O と CuO から構成されるインタースタック光電変換層の研究開発状況について、筆者らの研究成果も取り込みながら概説した。 Cu_2O ヘテロ接合型太陽電池において、開放電圧 (V_{oc}) 1.2 V ならびに変換効率 9.5% が得られており、2004 年以降の性能向上には目をみはる。理論変換効率は実用化されている Si 系太陽電池や $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$ 系太陽電池には及ばないので、 Cu_2O 太陽電池単独での応用は用途が限定されるが、Si 系多接合タンデム太陽電池の

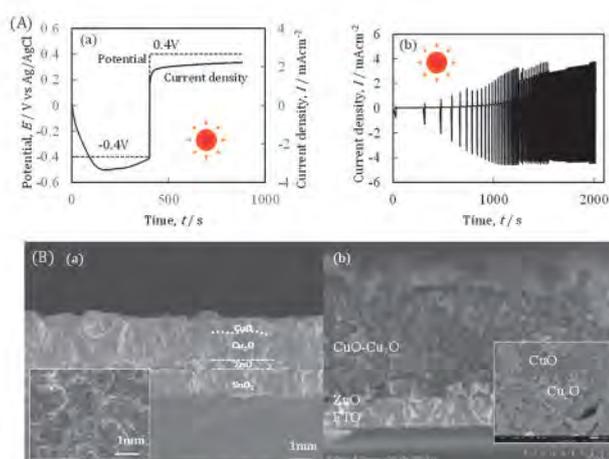


図 9 光電気化学反応による $\text{CuO}/\text{Cu}_2\text{O}$ 積層体 (a) ならびに $\text{CuO}-\text{Cu}_2\text{O}$ ナノコンジット半導体層 (b) : (A) クロノアンペロメトリー, (B) 断面 SEM 像. M. Izaki, et al., *ACS Omega*, 5(2020), 683, *J. Electrochem. Soc.*, (2023), 10. 1149/1945-7111/acb616, 伊崎, 他, 特開 2021-64739



図 10 高効率光電極・高効率太陽電池などの光利用技術のブレークスルー
CO₂ フリーオンサイト・オフサイト水素製造基地

トップセルとしての応用が期待される。光電変換層内部に禁制帯幅の異なる 2 種類の銅酸化物半導体, Cu_2O と CuO を組み込んだ積層体やナノ混合体構造を有するインタースタック光電変換層は、太陽電池に加え、光電気化学水分解水素製造用光電極にも適用できる高効率光電変換層構造に関する概念であり、太陽電池と光電極から構成される CO_2 フリー水素製造技術に貢献しうると考えている。

参考文献

- (1) A. Luque, S. Hegedus, Handbook of Photovol. Sci. Eng., John Wiley & Sons (2003).
- (2) M. G. Walter, E. L. Warren, J. M. McKone, S. W. Boettcher, Q. Mi, E. A. Santori, *Chem. Rev.*, 110, 6446 (2010).
- (3) J. F. Geisz, R. M. France, K. L. Shulte, M. A. Steiner, A. G. Norman, H. L. Guthrey, M. R. Young, S. Song, T. Moriarty, *nature energy*, 5, 326 (2020).
- (4) T. Dimopoulos, M. Lira-Cantu edited, The Future of Semiconductor Oxides in Next-Generation Solar Cells, Chapter 11 All-Oxide Solar Cells, Elsevier, 439-480 (2018).
- (5) 伊崎昌伸, 和田隆博監修, 化合物太陽電池の最新技術, シーエムシー出版, 198-206 (2007).
- (6) 南内詞, 和田隆博監修, 化合物太陽電池の最新技術, シーエムシー出版, 119-124 (2014).
- (7) 伊崎昌伸, 銅酸化物 (Cu_2O , CuO) 系太陽電池, 次世代の太陽電池・太陽光発電 (技術情報協会, 2018).
- (8) T. Minami, et al., *J. Semicon.*, 37, 014002 (2016).
- (9) 株式会社東芝, (2022) <https://www.global.toshiba/jp/technology/corporate/rdc/rd/topics/22/2209-02.html>
- (10) 伊崎昌伸, クリーンエネルギー, 31, 20-26 (2022).
- (11) M. Izaki, T. Shinagawa, K. Mizuno, Y. Ida, M. Inaba, A. Tasaka, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 40, 3326 (2007).
- (12) G. K. Paul, Y. Nawa, H. Sato, T. Sakurai, K. Akimoto, *Appl. Phys. Lett.*, 88, 141901 (2006).
- (13) F. P. Koffyberg and F. A. Benko, *J. Appl. Phys.*, 53, 1173 (1982).
- (14) M. Izaki, et al., *J. Electrochem. Soc.*, 158, D578 (2011).
- (15) M. Izaki, P. L. Khoo, T. Shinagawa, *J. Electrochem. Soc.*, 168, 112510(2021).
- (16) M. Pourbaix, Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, NACA, 384 (1974).
- (17) J. G. Speight, Lange's Handbook of Chemistry, McGROW-HILL, 1-247 (2005).
- (18) T. Minami, et al., *APEX*, 8, 022301 (2005).
- (19) K. Mizuno, et al., *J. Electrochem. Soc.*, 152, C179 (2005).
- (20) M. Izaki, et al., *Thin Solid Films*, 520, 1779 (2012).
- (21) T. Shinagawa, et al., *J. Mater. Chem. A*, 1, 9182 (2013).
- (22) T. Minami, et al., *Appl. Phys. Lett.*, 105, 212104 (2014).
- (23) X. Han, et al., *Electrochem. Solid State Lett.*, 12, H89 (2009).
- (24) Q. Bai, et al., *Appl. Phys. Lett.*, 111, 023709 (2012).
- (25) Y. Nishi, et al., *Sol. Energ. Mater. Sol. Cells*, 155, 405 (2016).
- (26) H. Tanaka, et al., *Appl. Surf. Sci.*, 244, 568 (2005). (1.2%)

- (27) A. Mittiga, et al., *Appl. Phys. Lett.*, 88, 163502 (2006). (2%)
- (28) T. Minami, et al., *APEX*, 4, 062301(2011). (3.83%, ZnO)
- (29) Y. Nishi, et al., *Thin Solid Films*, 528, 72 (2013). (4.12%, ZnO)
- (30) T. Minami, et al., *APEX*, 6, 044101(2013). (5.38%, Ga₂O₃)
- (31) T. Minami, et al., *APEX*, 8, 022301(2015). (6.1%, Al-Ga-O)
- (32) T. Minami, et al., *APEX*, 9, 052301(2016). (8.1%, Zn-Ge-O)
- (33) M. Izaki, et al., *J. Phys. D*, 40, 3326 (2007). (1.28%, ZnO)
- (34) S. W. Lee, et al., *Adv. Energy. Mater.*, 130191682014). (2.85%, Zn-Sn-O)
- (35) Y. S. Lee, et al., *Adv. Mater.*, (2014) DOI:10.1002/adma.201401054. (3.97 % , Ga₂O₃)
- (36) M. Zamzuri, et al., *J. Surf. Fin. Soc. Jpn*, 66, 544 (2015).
- (37) B. J. Yuhas, et al., *JACS*, 131, 3756 (2009).
- (38) K. P. Musselman, et al., *Adv. Mater.*, 22, E25482010).
- (39) J. Cui, et al., *J. Phys. Chem. C*, 114, 6408 (2010).
- (40) M. Izaki, et al., *ACS Appl. Mater. Interface*, 6, 1346 (2014).
- (41) C. M. Mcshane, et al., *J. Phys. Chem. Lett.*, 1, 2666 (2010).
- (42) C. M. Mcshane, et al., *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 14, 6112 (2012).
- (43) T. Miyata, et al. *ECS transaction*, 80, 639 (2017).
- (44) R. Bhardwaj, et al., *Mater. Lett.*, 185, 230 (2016).
- (45) M. Izaki, K. Fukazawa, K. Sato. P. L. Khoo, M. Kobayashi, A. Taleuchi, K. Uesugi, *ACS Appl. Energ. Mater.*, 2, 4833 (2019).
- (46) Y. Yang, D. Xu, Q. Wu, P. Diao, *Sci. Rep.* 2016, DOI:10.1038/srep35158.
- (47) A. A. Dubale, P. Chun-Jern A. G. Tamirat, H-M. Chen, W-N. Su, et al., *J. Mater. Chem. A.*, 3, 12482 (2015).
- (48) M. Izaki, S. Abe, K. Nakakita, P. L. Khoo, *ACS OMEGA*, 6, 27587 (2021).
- (49) M. Izaki, T. Koyama, P. L. Khoo, T. Shinagawa, *ACS OMEGA*, 5, 683 (2020).
- (50) S. Yamamoto, R. Yokoyama, K. Imahori, P. L. Khoo, N. Asano, S. Asahina, T. Shinagawa, M. Izaki, *J. Electrochem. Soc.*, (2023) DOI:10.1149/1945-7111/acb616.

石原産業によるスリメダン鉱山開発と運搬設備の建設

常磐会学園大学 井上敏孝

1 はじめに

本稿は戦前のアジア地域での鉱山開発や鉱山インフラ建設の歴史について明らかにする研究の一環として戦前のマレー半島で開発された鉱山に着目する。そして、そこで建設された特徴的な運搬設備の特徴について解明することを目的とする。

ここで分析の対象とするのは、1920年に石原廣一郎らによって開発されたスリメダン鉱山である。同鉱山では、産出される鉄鉱石を運び込むための特殊な設備が建設され、同設備を利用して産出された鉄鉱石の多くが、日本の八幡製鉄所に運び込まれていた。

この分野のこれまでの研究では、戦前のスリメダン鉱山開発を主として分析した研究は多くない。また、同設備について言及されたものとしては金子光晴『マレー蘭印紀行』⁽¹⁾や石原産業株式会社社史編纂委員会『創業35年を回顧して』⁽²⁾、奈倉文二『日本鉄鋼業と「南洋」鉄鋼資源』⁽³⁾、安場保吉「石原廣一郎と資源確保論」⁽⁴⁾、丹野勲「戦前日本企業の南方への投資－石原産業を事例として－」⁽⁵⁾等があるものの、いずれの史料及び研究でも、同設備の存在及び概要について言及されているのみで、同設備の特徴や歴史的意義等については依然明らかにされていない点が多い。

以上のことから本稿では、戦前に日本人によって開発されたスリメダン鉱山について概括するとともに、同鉱山で鉄鉱石の積出用として建設された設備の技術的特徴や歴史的位置づけ等について詳細にすることを試みる。

2 石原廣一郎

本稿で分析対象とするスリメダン鉱山を開発した石原廣一郎は、一代で戦前の南方コンツェルンとも呼ばれた石原産業を設立した人物であった⁽⁶⁾。彼が創設した事業は南方地域での資源開発や船舶事業、倉庫事業等多岐にわたるとともに、その事業地もマレー半島・ボルネオ島、ジャワ島・フィリピン、さらには海南島等の南方各地に加えて、兵庫県の神美金山や紀州鉱山、北松炭鉱等の日本内地にまで広がっていた⁽⁷⁾。

以上の石原氏の事業の出発点となったのが本稿で取り上げるスリメダン鉱山の発見であった⁽⁸⁾。そもそも石原氏が南方で鉱山開発に乗り出した背景には、先に渡南していた2人の弟とともに南方で事業を立ち上げるべく1916年にマレー半島に渡った石原氏が、当初試みたゴム園経営や貿易商としての経営等が事業不振に陥ったことがあった。その打開策として鉱山調査に乗り出したことが、同氏の南方地域における資源開発事業の端緒となった⁽⁹⁾。

そしてスリメダン鉱山の開発が軌道にのると、1920年には日本における事業会社として資本金10万円で南洋鉱業公司を設立した⁽¹⁰⁾。同社は現在の石原産業株式会社の起源となる会社であった⁽¹¹⁾。

3 スリメダン鉱山の沿革

スリメダン鉱山はマレー半島のジョホール王国内にあった山である。スリメダン鉱山の位置は



図 1 スリメダン鉱山位置

注) 図中●は、スリメダン鉱山の位置を指す。

図 1 を参照されたい。同鉱山は半島南部を流れるパトパハ川の河口から約 12.8km 遡ったシンパンキリ川とシンパンカナン川の分岐点から、シンパンキリ川を約 25.6km 遡った場所に位置していた。スリメダン鉱山は川岸 400m ほどの場所から丘陵地を形作っており、山の高さは約 100m で丘陵地の総面積は 1.618743km² に及んでいた⁽¹²⁾。山の上には一面に鉄鋼が露出しており、その鉱量は約 1,000 万トン以上とされた⁽¹³⁾。さらに鉄の含有量は 65% もある赤鉄鉱で、品位においても「世界的に優秀なもの」であった⁽¹⁴⁾。

加えて、同山麓を流れるシンパンキリ川の川幅は平均で 10~15m ほどであったものの、水深は比較的深く、河口から約 38km 以上離れているにもかかわらず、干満の差の影響を受けるなど流れも緩慢であった。以上のように埋蔵されている鉱石が優秀で、なおかつ山のそばには緩やかな川が流れていることから、同鉱山は「全く天恵的な鉄山であった」とされた⁽¹⁵⁾。

そもそもスリメダンという地名は、同鉱山からの鉱石積出が順調に進むようになり上述の南洋鉱業の経営が軌道に乗り始めた 1921 年 3 月に開かれた同社創立 1 周年の晩餐会の場で、ジョホール国王によって命名されたものであり、「光の野原」という意味であった。ちなみにそれまでは現地の言葉で「石の野原」を指すパトメダンという名前が通称で使われていた⁽¹⁶⁾。

4 エンドレスを代表する積込施設の建設

石原廣一郎らによって採掘が開始されたスリメダン鉱山であったが、当初、山麓に集められた採掘鉱石の搬出は山麓から河岸棧橋までの約 500m に設置された軌道を使って行われていた。しかし同輸送方法は手押式であったことから、一度に運搬できる量が限られ、搬出作業も非効率であった⁽¹⁷⁾。

そうしたことから同鉱山における生産量の拡大を図るべく石原廣一郎は八幡製鉄所の白仁武長官及び中川小一郎台湾銀行頭取らの支援を得て 250 万円の融資を受け⁽¹⁸⁾、その一部 21 万円を以て設備増強のための拡張工事が実施されることとなった⁽¹⁹⁾。

そして運搬作業の効率化を目指して同工事で建設されたのが本稿で分析対象とするエンドレスであった。

一般的にエンドレスは、循環するワイヤロープによって、鉱車などを牽引輸送する軌道運搬方式を指す⁽²⁰⁾。しかしながら、スリメダン鉱山で建設されたエンドレスは「一見すると登山電車のやうな恰好」とされる循環するワイヤロープが設置されていたもので、同設備は動力なしで自動的に動く仕組みとなっており、行きと帰りの索道が自力によって同時に逆方向に進むという構造が採用されていた⁽²¹⁾。

そしてスリメダン鉱山では、同設備が計 4 箇所設置され、山腹を貫く数本の坑道がエンドレスに接続され、産出された鉄鉱石が同エンドレスによって貯積込の栈橋まで連絡されるという構造であった。

具体的には、北区の転石層と本体区の鉱石の一部は鉱車あるいは直接第 1～3 エンドレス上部に集められ、その後、運河栈橋まで運搬された。また本体区の鉱石は主に第 5 エンドレスによって、通称旧栈橋とされた積込栈橋まで運搬された⁽²²⁾。各エンドレスの主要目及び建設位置等についてはそれぞれ表 1 と図 2・3 を参照されたい。

以上のようなスリメダン鉱山で建設されたエンドレスに対して、同時期の日本やアジア地域では同様の規模及び機能を有した設備は見る事が出来なかった。

1890 年に福岡県の鯉田炭坑での設置を嚆矢として⁽²³⁾、翌年には三池大浦斜坑⁽²⁴⁾や 1918 年には足尾鉱山で通洞坑と通洞選鉱所を結ぶエンドレスが設置されるなど日本内地の鉱山等でも鉱産物の輸送を目的としてエンドレスが建設されていた⁽²⁵⁾。しかしながら足尾鉱山において建設されたエンドレスでも 174m であるなど、これらの設備は主として短距離の鉱産物輸送を目的として建設されたものが少なくなかった⁽²⁶⁾。

また 1929 年から開始された熱海埋立工事の際には土砂運搬用として 1 km にわたるエンドレスが建設されたものの同設備はあくまで工事用の架設で建設されたものであり、恒久的な使用を目的としたものではなかった。なおかつ建設された設備も 1 基のみであった⁽²⁷⁾。

以上のように戦前期の日本で建設されたエンドレスの事例と比較しても、スリメダン鉱山で建設された同設備が、その規模や機能面においても、歴史的に意義のある建設事例となったと指摘することが出来る。

当時の英領マレーにおいて日本人の手によって開発されたスリメダン鉱山での、エンドレス運搬等を使用した効率的な作業は当時非常に注目され、日本人技術者が欧州からの帰途の際に立ち寄り同設備を見学することが少なくなかったとされる⁽²⁸⁾。

表 1 スリメダン鉱山に建設された各エンドレスの諸元一覧

	全長	巻卸能力	建設位置
第 1	約 500m	500 トン/日	①
第 2	約 500m	500 トン/日	②
第 3	約 1,000m	1,000 トン/日	③
第 5	約 1,500m	1,500 トン/日	④

出所) 石原産業株式会社社史編纂委員会『創業 35 年を回顧して』, 1956 年及び「日本鉄鋼業と「南洋」鉄鋼資源」, p. 31 から筆者が作成したもの。

注) 表中①②③④は図 2 中の①②③④を指す。

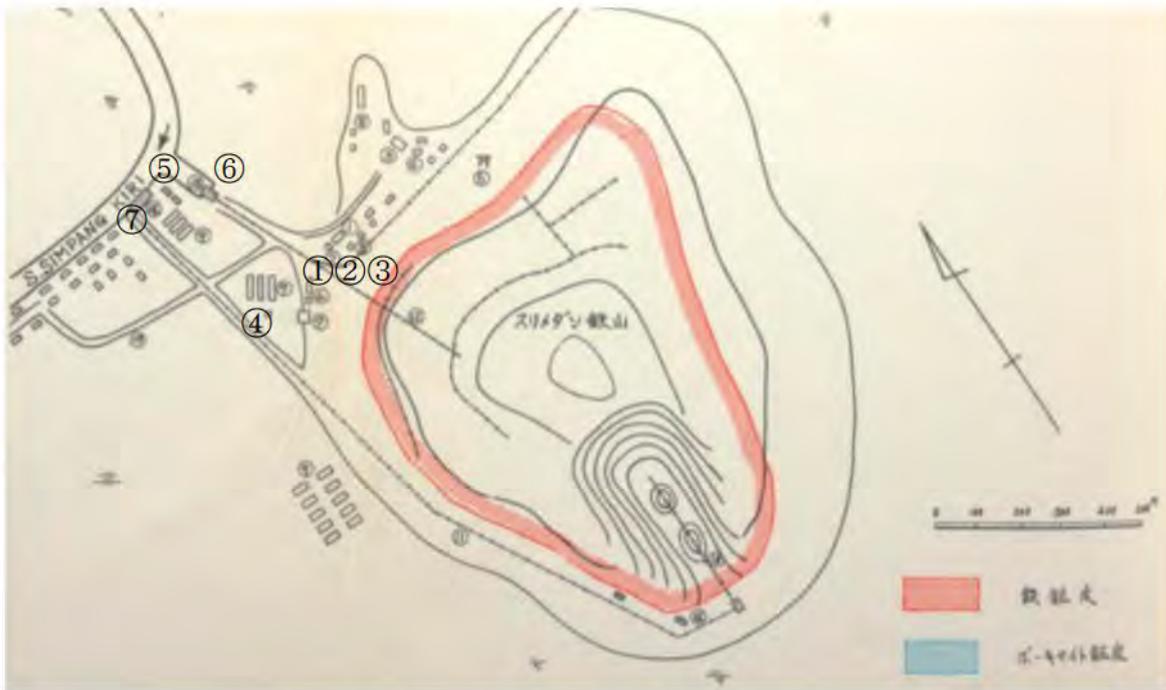


図 2 スリメダンの鉱山周辺地図

出所) 石原産業株式会社社史編纂委員会『創業 35 年を回顧して』, 1956 年から転載したもの。

注) 図中①②③④⑤⑥⑦は、それぞれ第 1 エンドレス・第 2 エンドレス・第 3 エンドレス・第 5 エンドレス・運河・運河栈橋・旧栈橋を指す。



図 3 第 1・2・3 エンドレス

出所) 石原産業株式会社社史編纂委員会『創業 35 年を回顧して』, 1956 年から転載したもの。

また 1928～32 年にかけてマレー半島等を放浪した詩人の金子光晴も、スリメダンの鉱山を訪れ、同鉱山の状態等に関して多くのページを割くとともに鉱石積出用のエンドレスについても言及していた⁽²⁹⁾。

ちなみに上述の拡張工事の際にエンドレスの整備と同時に行われたのが、運河開鑿と運河栈橋の建設であった。同栈橋の完成により、山の傾斜を利用してエンドレスによって運搬された鉱石は、エンドレスに接続された従来の河岸栈橋と運河栈橋の 2 箇所の栈橋を介して船に積み込まれ



図 4 運河棧橋

出所) 石原産業株式会社社史編纂委員会『創業 35 年を回顧して』, 1956 年から転載したもの。

ることとなった。こうして 1925 年に同工事が完成し「山元から本船積込まで間断なく『流れ作業』的に採掘・運搬・積込作業が行われた」ことで⁽³⁰⁾, スリメダンにおける輸送体系が大きく改善されることとなった。そして同拡張工事の完成により, スリメダン鉱山では年産 50 万トン以上の出鉱が可能となった⁽³¹⁾。したがって同設備の導入がスリメダン鉱山における鉄鉱石の生産量拡大に果たした役割は少なくなかったといえよう。

上述した通り, 1919 年に石原氏によって発見された同鉱山は, 最盛期には日本人 50 人, 現地人 4,000 人余りを擁して最大 75 万トンの年生産量を記録し, その後日米開戦直前の 1941 年 9 月に資金凍結により休山するまでの間に約 1,000 万トンの鉄鉱石が日本に供給されていた⁽³²⁾。1941 年以後は同鉱山の機械設備は, 英軍が撤退過程で大規模に破壊し, 稼働可能な施設は残っていない状況であった⁽³³⁾。本稿で分析を試みたエンドレスも, 同時期に撤去されたものと思われる。

5 おわりに

ここまで戦前のマレー半島のスリメダン鉱山で建設された鉄鉱石の搬出用の特殊な設備についてスポットを当て, その特徴や歴史的な位置づけ等について明らかにした。

本稿で明確にできた点は大きく次の 2 点であった。

まず 1 点目は戦前のスリメダン鉱山で建設された鉄鉱石運搬用設備の概要と導入された経緯について明らかにできた点である。

2 点目は, 同設備が当時の日本及びアジア地域においても建設事例のない特殊で効果的な設備であった点である。

ただし, 同設備で運び出された鉄鉱石の正確な量や, 同設備で採用された技術の源流や建設に携わった技術者の存在等については, 本稿では明らかにできなかった。

これらの点については今後も研究を継続し, 別稿で明らかにしていきたい。

文献

- (1) 金子光晴『マレー蘭印紀行』, 1940 年

- (2) 石原産業株式会社社史編纂委員会『創業 35 年を回顧して』, 1956 年
- (3) 奈倉文二『日本鉄鋼業と「南洋」鉄鋼資源』国際連合大学, 1980 年
- (4) 安場保吉「石原廣一郎と資源確保論」『東南アジア研究』18 卷 3 号, 1980 年, pp. 120-131
- (5) 丹野勲「戦前日本企業の南方への投資 —石原産業を事例として—」『国際経営フォーラム』No. 25, 2015 年, pp. 39-64
- (6) 『財界人物評論全集』第 2 卷, 東海出版社, 1939 年
- (7) 前掲論文 (5), p. 62
- (8) 赤澤史郎・栗屋憲太郎・立命館 100 周年史編纂室編『石原廣一郎関係文書 下巻』, 柏書房, pp. 299-302
- (9) 松村金助『南にも生命線あり一日・満・南経済プロツクの提唱—』, 森山書店, 1932 年, p. 94
- (10) 前掲書 (2), pp. 21-22
- (11) 石原産業株式会社ホームページ (令和 4 年 9 月 23 日閲覧)
<https://www.iskweb.co.jp/company/history.html>
- (12) 前掲書 (2), pp. 22-23
- (13) 「9. 馬來半島/2) 合資会社南洋鋳業公司ノ事業ニ関スル件 自大正十年十一月」JACAR (アジア歴史資料センター) Ref. B11091701500, 本邦人経営鋳業関係雑件 (B-3-5-7-43) (外務省外交史料館)
- (14) 前掲書 (2), pp. 22-23
- (15) 同上書, p. 35
- (16) 石原廣一郎『八十年の思い出』, 1970 年, pp. 33-36
- (17) 製鉄所総務部『東洋方面主要鉄鋳調』, 1929 年, p. 175 及び前掲論文 (3), p. 24
- (18) 前掲論文 (4), p. 125
- (19) 前掲書 (2), p. 43
- (20) 大牟田市市史編さん委員会『新大牟田市史』, 2019 年, p. 96
- (21) 前掲書 (9), pp. 94-95
- (22) 同上書, p. 95
- (23) 三菱鋳業株式会社『三菱筑豊炭礦史年表 (稿)』1964 年, p. 19
- (24) 大場四千男・児玉清臣「戦前期石炭鋳業の資本蓄積と技術革新 (二)」『北海学園大学学園論集』, 第 159 号, 2014 年, p. 109
- (25) 山田胖「検索鉄道 (エンドレス) による長距離輸送」『建設の機械化』No. 72, 1951 年, pp. 6-13
- (26) 高松剛毅「足尾鋳山」『日本鋳業会誌』, 83 卷 956 号, 1967 年, p. 1652 及び日光市教育委員会事務局文化財課『足尾銅山の公害防除遺産群—世界文化遺産登録を目指して—』, 2019 年, p. 28
- (27) 土木学会附属土木図書館ホームページ (令和 4 年 10 月 1 日閲覧)「熱海々面埋立工事に就て」, pp. 12-13
- (28) 前掲論文 (3), p. 31
- (29) 金子光晴『マレー蘭印紀行』中央公論新社, 1978 年, pp. 104-114
- (30) 前掲論文 (3), p. 25 及び同上書, pp. 104-105

(31) 前掲論文 (5), p. 48

(32) 前掲書 (8), pp. 299-302

(33) 『戦時月報』1942年3月末 (富集団司令部昭南・馬來軍政監部編 (2000復刻) 『戦時月報・軍政月報』第1卷, 龍溪書舎

日本鋳業協会の動き（1月）

日	総務部・企画調査部 鉛亜鉛需要開発センター	技術部・環境保安部
5日	・電線関連団体賀詞交歓会	
6日	・レアメタル研究会（オンライン）	・石灰石鋳業協会賀詞交歓会
10日	・天然ガス鋳業会 新年賀詞交歓会	
11日	・「鋳山」編集委員会 ・（一財）セメント協会 新年賀詞交歓会	・環境省「循環経済移行促進事業」説明会
12日	・日本鋳業協会賞 表彰審査委員会 ・資金専門委員会 ・一金会	・省エネルギー部会・電気委員会合同会議 ・日本規格協会 新年賀詞交歓会
13日	・二日会	
16日		・新材料部会および講演会（オンライン） ・製錬部会
17日	・経団連 幹事会（オンライン）	・工務部会
18日	・廿日会	・CEM 臨時運営委員会（オンライン）
19日	・経団連 環境委員会/資源・エネルギー対策委員会合同会合（オンライン）	・拡大安全衛生委員会
20日	・理事会（オンライン） ・八社総務部長会（オンライン） ・日本鋳業振興会 第2回鋳業助成委員会	
23日	・（一社）日本ダイカスト協会 新年賀詞交歓会	
24日	・労働部会	・経団連 環境委員会/廃棄物・リサイクル部会合同会合（オンライン）
26日	・定例記者会見 ・二八会	・車載用 LIB リサイクル有識者委員会（オンライン）
27日	・鉛遮音遮蔽板委員会 ・鉛亜鉛需要開発センター運営委員会（オンライン）	
30日		・UNEP 分科会 ・JOGMEC 金属資源セミナー（オンライン） ・経団連 経済法規委員会競争法部会
31日	・経団連 常任幹事会（オンライン）	・分析部会 ・TC183 国内委員会

日本鉱業協会の動き（2月）

日	総務部・企画調査部 鉛亜鉛需要開発センター	技術部・環境保安部
1日	・経済産業統計協会 月例会	・製造業安全対策官民協議会 SWG 田村チーム（オンライン）
2日	・一木会 ・月例懇談会 ・資金専門委員会 現地研修会	
3日	・一金会 ・鉛亜鉛需要開発センター運営委員会	・資源部会
6日	・会費算定委員会	
9日	・二木会	
10日	・JAMSTEC SIP 革新的深海資源調査技術 報告会	・スラグ委員会
13日		・革新的 CO ₂ 分離回収技術シンポジウム
14日	・税制・会計合同専門委員会	・JOGMEC 鉱害防止技術基礎研修（～16日 福岡県）
15日	・経理部会	
16日	・監査部長の会 ・日中長期貿易協議委員会 常任理事会	・日本地熱協会 情報連絡会
17日	・理事会 ・八社総務部長会 ・日本鉱業振興会 理事会 ・特許委員会	
20日		・地熱委員会
21日		・省エネ部会・電気委員会合同会議 ・再資源化部会
22日	・総合資源エネルギー調査会 第36回資源・燃料分科会（オンライン） ・銅報告会・銅友会合同会議（オンライン） ・亜鉛めっき普及専門委員会（オンライン）	・分析部会
27日	・二八会 ・亜鉛めっき普及運営委員会（オンライン）	
28日	・地金統計部会（オンライン） ・JOGMEC 銅ヒ素プロジェクト事後評価委員会（オンライン） ・海洋資源・産業ラウンドテーブル全体会合 ・ダイカスト用亜鉛合金委員会	・資源環境センター運営委員会 ・JOGMEC 高度化事業委員会

【1月出来事】

【国内関係事項】

〔4日〕 DOWA ホールディングスは、この度、経済産業省が公表した「GX（グリーントランスフォーメーション）リーグ基本構想」へ賛同したと表明した。

「GX リーグ基本構想」へは既に三菱マテリアル、JX 金属、三井金属鉱業、住友金属鉱山及び日鉄鉱業が賛同を表明している。

〔4日〕 INPEX は、地熱事業を目的とする子会社として設立した INPEX 地熱開発を通じて、インドネシア共和国におけるラジャバサ地熱事業に参画したと発表した。

〔10日〕 JX 金属は、親会社である ENEOS ホールディングスが保有する丸運の全株式（約 11 百万株、発行済株式総数に対する所有株式数の割合 38.2%）を取得することとしたと発表した。

〔10日〕 三井金属鉱業は、機能性粉体事業部が生産している SiC ウェハ用研磨材「NANOBITM」の生産能力増強を決定したと発表した。

〔11日〕 三菱マテリアルは、MSCI ESG レーティングにおいて初の「AA」評価を獲得したと発表した。MSCI ESG レーティングは、企業の環境 (Environment) 社会 (Social) ガバナンス (Governance) に関する取り組みを調査・分析し、最上位ランクの AAA から CCC まで 7 段階で格付けしたもので、ESG 投資の世界的な評価指標とされている。

〔11日〕 東邦亜鉛は、Abra 鉛鉱山の地上の選鉱プラントと周辺インフラ設備の建設が概ね完了し、又、操業開始に必要な粗鉱の地上在庫積み上げも進んだ事により、予定通り、2023 年 1 月 9 日に最初の粗鉱を投入した選鉱プラントの操業試運転を開始したと発表した。

〔11日〕 JX 金属の子会社である JX 金属製錬が運営する佐賀製錬所及び日立工場は、2022 年 12 月 15 日付で The Copper Mark 認証を取得した。The Copper Mark は、2019 年に国際銅協会 (ICA) によって設立された、責任ある生産活動を推進し、銅業界のグリーントランジションへの取り組みを示す信頼性の高い保証の枠組みである。

〔12日〕 東邦亜鉛は、電池サプライチェーン（電池の材料、部品及びその原料に関わる産業）の国際競争力強化を推進する団体「電池サプライチェーン協議会」に加入することを決定したと発表した。

〔23日〕 住友金属鉱山は、菱刈鉱山において、鉱石の積み込み・運搬を行う Sandvik 製 TOROTMLH307 地下ロードホールダンプ（以下、LHD）の自動走行と地上からの遠隔操作システムを導入した。自動走行 LHD は、海外の坑内掘鉱山で既に活用事例はあるが、菱刈鉱山のような小断面坑道の鉱山現場への導入はアジア初となる。

〔24日〕 JX 金属は、早稲田大学と「カーボンニュートラルとサーキュラーエコノミー、とりわけサステナブルカップパー・ビジョンに資する寄付チャア制度設置の契約」を締結したと発表した。

〔24日〕 古河機械金属は、同社グループの中核事業会社で、産業機械部門を担う古河産機システムズの関係会社である群馬環境リサイクルセンターが、医療廃棄物の焼却処理を行う 2 号焼却炉の新設工事に着手したと発表した。

〔25日〕 JX 金属は、茨城県ひたちなか市との間で、「将来にわたって持続可能なまちづくり」に共に取り組むことを目的とした包括連携協定の締結を行ったと発表した。

〔25日〕 JX 金属は、茨城県ひたちなか市での新工場の建設開始にあたり、1 月 25 日に起工式を執り行った。ひたちなか新工場（仮称）は同社にとっての新たな中核拠点として、半導体用スパッタリングターゲットや圧延銅箔・高機能銅合金条をはじめとした社会のデジタル化進展に欠かせない先端素材の製造・開発を担う予定である。

〔26日〕 JX 金属は、主要事業拠点である倉見工場に新たに R&D 棟を建設し、1 月 23 日に竣工式を執り行った。これは IoT・AI 社会のさらなる進展に対応すべく開発体制の強化を目指すものであり、順次設備を搬入し、2023 年 3 月より稼働を開始する。

【海外関係事項：業界】

〔9日〕 天齊リチウム (Tianqi Lithium (中国)) と IGO (豪) の JV である天齊リチウム・エナジー・オーストラリアは、豪州でリチウム鉱山プロジェクトなどを進めるエッセンシャル・メタルズ (豪) の全株式を取得することを発表した。

〔10日〕 インドネシアのジョコ大統領は、所属する闘争民主党の設立 50 周年記念式典において、2023 年半ばに未加工の銅鉱石の輸出を禁止する予定であることを表明した。

[10日] LME（ロンドン金属取引所）は、2022年3月のニッケル取引混乱に関する第三者機関の調査報告書がまとまったことを受け、2023年第1四半期末までに同報告書の提言内容に対する実行計画を示すことを発表した。

[11日] チリ当局は国内の主要港である中部のサンアントニオ港で輸送用コンテナの強盗事件があったことを発表した。CODELCO（チリ）が輸出用に出荷した440万米ドル相当の銅地金が被害にあった。

[12日] スウェーデンの国営鉱山会社LKABは、欧州最大規模のレアアース酸化物の鉱床を同国北部キルナで発見したことを発表した。

[13日] ペルーのカスティージョ大統領が2022年12月に議会より罷免されたことを受けて発生した抗議デモが、南部の州を中心に再び激化。一部の鉱山が操業を停止した。

[14日] 江蘇徳龍ニッケル業（Jiangsu Delong Nickel Industry, 中国）の現地子会社PTガンバスター・ニッケル・インドネシアは、インドネシアのスラウェシ島のニッケル製錬所において暴動が発生し、2名の従業員が死亡したことを発表した。

[17日] バッテリーメーカーのスタートアップであるブリティッシュボルト（英）が経営破綻したことが判明した。

[18日] チリのロハス環境大臣は、アンデス・アイアン（チリ）が中部コキンボ州で進めるドミンガ鉄・銅プロジェクトについて、同国の閣僚委員会が環境許可申請を却下したことを発表した。

[23日] 住友商事はボリビアで操業するサン・クリストバル銀・亜鉛・鉛鉱山の権益100%をサン・クリストバル・マイニング（加）に売却することを発表した。

[31日] カミーノ・コーポレーション（加）は、ペルー南部アレキパ州で進めるロス・チャピートス銅プロジェクトにおいて日鉄鉱業と拘束力のない基本合意書を締結し、同プロジェクトの開発を提携して進めることを発表した。

[31日] 米環境保護庁（EPA）は、ノーザン・ダイナスティ・ミネラルズ（NDM, 加）が米アラスカ州で進めるペブル銅・金プロジェクトの開発について、水質浄化法に基づき差し止めを決定したことを発表した。

[31日] 米自動車メーカーのゼネラル・モーターズ（GM）は、リチウム・アメリカズ（米）が米ネバダ州で進めるタッカー・パス・リチウムプロジェクトの開発に対して6.5億米ドルの出資を行うことを

発表した。

【海外関係事項】

[16日] 世界経済フォーラム（WEF）の年次総会であるダボス会議がスイス東部のダボスで16～20日まで開催された。

[31日] ジョンズ・ホプキンス大学の発表によると、COVID-19による死者数は683万人を超えた。これまでに世界で延べ6億7,050万人以上の感染が確認されている。

【2月出来事】

【国内関係事項】

[3日] JX金属は、国立大学法人東北大学が発行するサステナビリティボンド（第1回国立大学法人東北大学債券、愛称「東北大学 みらい創造債」）への投資を決定したと発表した。

[7日] 三井金属は、2023年4月1日付で、モビリティ事業本部傘下の子会社である「三井金属ダイカスト」と「神岡部品工業」を、三井金属ダイカストを存続会社として吸収合併することを取締役会で決議したと発表した。

[7日] 三井金属は、全固体電池向け固体電解質「A-SOLID®」量産試験用設備の生産能力増強を決定したと発表した。

[10日] 三菱マテリアルは、同社グループの温室効果ガス排出量（事業者自らによる直接排出であるScope1及び供給されたエネルギー利用に伴う間接排出であるScope2）の削減目標を見直したと発表した。

[10日] 政府は、GX（グリーントランスフォーメーション）を通じ脱炭素・エネルギー安定供給・経済成長を同時実現するための「GX実現に向けた基本方針」と、同基本方針を踏まえ必要な措置を法定するための「GX推進法案」を閣議決定した。

[13日] JX金属と双日は、2023年2月10日、JX金属が全株式を保有しているカナダ最大手のE-waste回収・処理事業者であり、同国において最大のシェアを有しているeCycle Solutions Inc.株式の34%を双日が取得し、出資参画することについて合意した。2023年4月を目途に必要な許認可の取得完了後、協業開始予定である。

[15日] DOWAホールディングスは、子会社のDOWAエコシステムが、日本製紙、日本貨物鉄道との3社で、秋田県と首都圏エリアのラウンド輸送を開始することで合意したと発表した。

[17日] 資源エネルギー庁は、2022年9月末時点

の再生可能エネルギー発電設備の導入状況を公表した。固定価格買取制度導入後の再生可能エネルギー発電設備の導入量は、累計で7,015万kWとなった。このうち太陽光発電設備は6,281万kWで89.5%を占める。固定価格買取制度導入後の再生可能エネルギーの設備認定容量の累計は10,261万kW（うち太陽光発電設備は7,780万kW）。

[21日] 三菱マテリアルは、環境省主催の第4回ESGファイナンス・アワード・ジャパンの環境サステナブル企業部門において、重要な環境課題に関する戦略などの開示が進んでいる企業として「環境サステナブル企業」に初めて選定されたと発表した。

[27日] 三菱マテリアルは、100%子会社で三菱マテリアルグループの業務受託子会社であるマテリアルビジネスサポート（以下、MBS）を、2023年4月1日付でシステム業務受託を担う三菱マテリアルITソリューションズと管理業務受託（広報、総務、経理、人事）を担うMBSの2社に再編すると発表した。

[28日] 三菱マテリアルは、連結子会社であるダイヤモンドについて、保有する株式のすべてを、IAパートナーズが管理またはサービス提供を行うIAパートナーズ1号投資事業有限責任組合等に譲渡することとしたと発表した。

【海外関係事項：業界】

[1日] アイアムゴールド（加）は、南米スリナムのローズベル金鉱山について、紫金鉱業集団（Zijin Mining Group（中国））への売却が完了したことを発表した。

[6日] 経営破綻した英バッテリーメーカーのブリティッシュボルトの管財人であるアーンスト&ヤングは、豪バッテリーメーカーのリチャージ・インダストリーズが同社買収の優先入札権を得たことを発表した。

[8日] アングロ・アメリカン（英）は、カナダ・ニッケル（加）の株式9.9%を2,400万加ドル（1,800万米ドル）で取得することに合意したことを発表した。

[9日] 資源・エネルギー商社のトラフィグラ（シンガポール）は、購入したニッケルがコンテナに積まれていないという詐欺被害に遭い、5.8億米ドル

の減損処理を行ったことを発表した。同時に取引関係先への訴訟手続きを開始した。

[10日] PTヴァーレ・インドネシア（PTVI）は、インドネシア中部のスラウェシ州モロワリ県でフェロニッケル製錬所を建設するバホドピプロジェクトに着工したことを発表した。

[12日] フリーポート・マクモラン（米）は、インドネシア東部のパプワ州で操業するグラスベルグ銅鉱山について、豪雨と泥流被害により操業を一時停止したことを発表した。

[15日] 中国五鉱集団（China Minmetals Group）子会社のMMG（豪）は、豪クイーンズランド州で操業するドウガルド・リバー壱鉛鉱山において、委託会社の作業員2名が死亡する事故が発生し、操業を停止したことを発表した。

[15日] 資源・エネルギー商社のトラフィグラ（シンガポール）は、ドイツ西部にあるシュトルベルク鉛製錬所について、英バッテリーリサイクル大手のエコバットからの買収手続きが完了したことを発表した。

[21日] テック・リソーシズ（加）は、原料炭事業を分社化して新たにエルク・バレー・リソーシズ（EVR）を設立するとともに、自社の社名をテック・メタルズに変更することを発表した。

[21日] テック・リソーシズ（加）は、チリ北部のタラパカ州で進めるケブラダ・ブランカ・フェーズ2プロジェクト（QB2プロジェクト）において試験操業を開始したことを発表した。

[22日] タセコ・マインズ（加）は、加ブリティッシュ・コロンビア州で操業するジブラルタル銅鉱山について、双日が持つ12.5%の権益を取得することに両社で合意したことを発表した。

【海外関係事項】

[6日] トルコ南部ガジアンテプ付近でマグニチュード7.8の地震が発生。トルコと隣国シリアを合わせ、5万人以上の死亡が確認されている。

[28日] ジョンズ・ホプキンス大学の発表によると、COVID-19による死者数は687万人を超えた。これまでに世界で延べ6億7,516万人以上の感染が確認されている。

関係法令情報（官報）

【告示】

[1月18日] 労働基準法施行規則別表第一の二第四号の規定に基づく厚生労働大臣が指定する単体たる化学物質及び化合物（合金を含む。）並びに厚生労働大臣が定める疾病を定める件の一部を改正する件
(厚生労働一〇)

【府令・デジタル庁令・復興庁令・省令】

[2月16日] 火薬類の運搬に関する内閣府令の一部を改正する内閣府令 (内閣府一四)

【省令】

[2月16日] 火薬類運送規則の一部を改正する省令 (国土交通三)

[2月27日] 労働基準法施行規則の一部を改正する省令 (厚生労働一四)

以 上

(鉱物標本の展示 ご案内)

一般財団法人 日本鉱業振興会では、貴重な国内の代表的な金属鉱山の鉱物標本を、榮葉ビル6階展示コーナー（神田錦町）及び科学技術館4階“Metal Factory”に展示し、広く一般に鉱物についての知識の普及に努めています。

鉱物の知識・性状や歴史を知るうえで、非常に有益なものです。是非、御覧になり参考にして下さい。

問合せ：(一財)日本鉱業振興会 E-mail kozan@kogyo-kyokai.gr.jp
Tel 03-5280-2341 Fax 03-5280-7128



鉱 山

第76巻第2号（通巻第809号）

発行 令和5年3月27日
発行所 (一財)日本鉱業振興会
〒101-0054

東京都千代田区神田錦町3丁目17番地11
榮葉ビル8階

電話 03-5280-2341

FAX 03-5280-7128

発行人 鈴木 信行

編集人 茂住 洋史

印刷所 日本印刷株