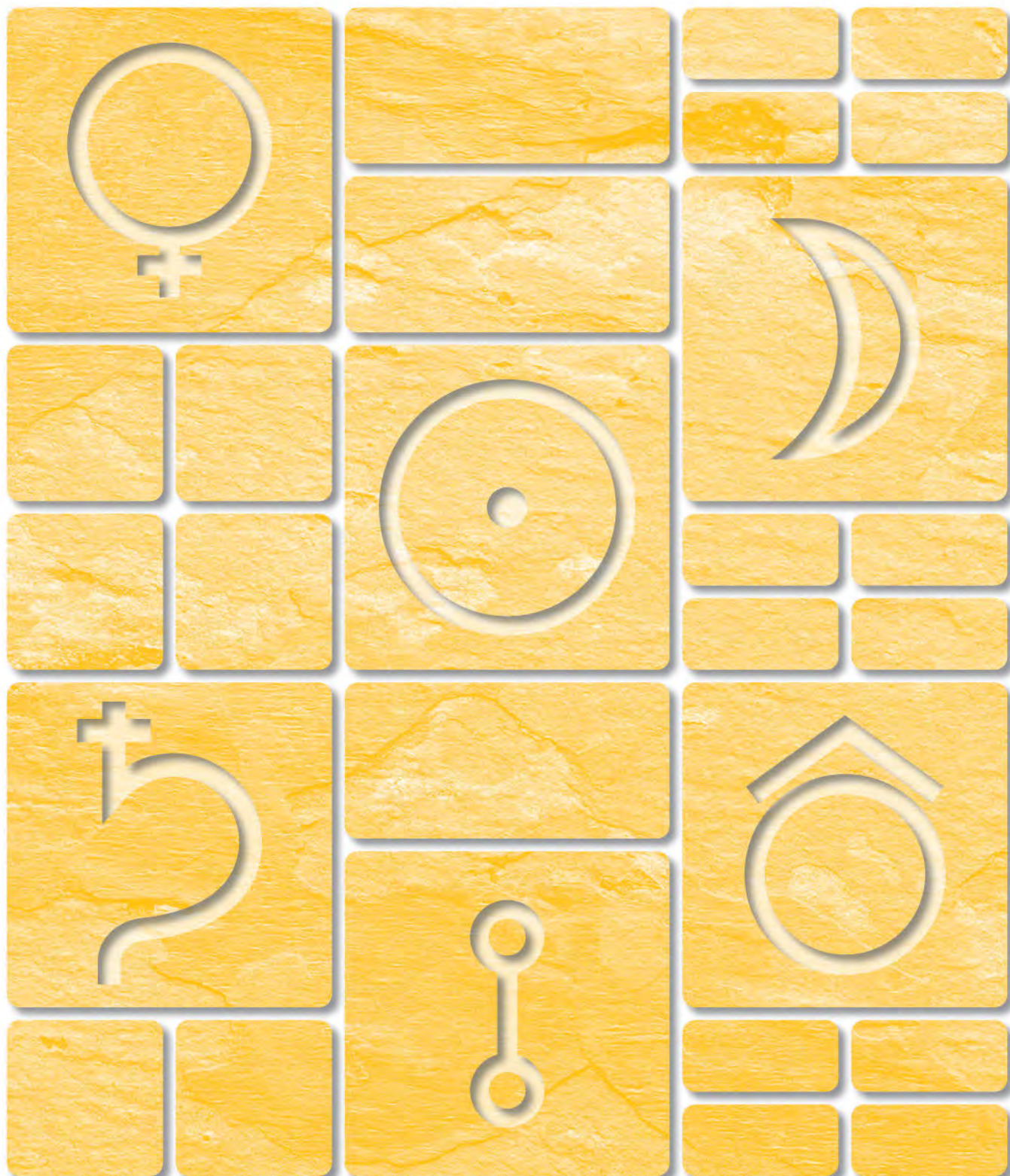


金広山

7
2024



2024 年度「全国鉱山・製錬所現場担当者会議」報告

全体報告	日本鉱業協会 技 術 部…… (1)
協会会長挨拶	日本鉱業協会 関口 明…… (7)
見学会「A 班見学記 (資源部門)」	日鉄鉱業株式会社 島田 光・島田 雄樹・西川 謙吾 日鉄鉱コンサルタント株式会社 高山 隼…… (9)
見学会「B 班見学記 (製錬部門)」	古河産機システムズ株式会社 島田 開…… (13)
見学会「C 班見学記 (分析部門)」	DOWA テクノロジー株式会社 吉田 美和…… (16)
見学会「D 班見学記 (工務部門)」	三井金属鉱業株式会社 宮田 浩正…… (19)
見学会「E 班見学記 (新素材部門)」	住友金属鉱山株式会社 飯田 潤二…… (22)

国際情報

MAD 参加と鉱山製錬業の最近の課題

……日本鉱業協会 企画調査部 吉田 直人…… (25)

新材料部会講演

新規熱伝導性フィラーの開発と電界整列による放熱シートの機能付加

……九州大学 大学院システム情報科学研究所 助教 稲葉 優文…… (31)

★日本鉱業協会の動き	…… (40)
★主 な 出 来 事	…… (41)
★関 係 法 令 情 報	…… (42)

★編集部より

梅雨時期の 7 月初旬においても各地で猛暑日を記録する報道がなされております。いよいよ本格的な夏を迎えますが、暑さに体力・気力が削がれないよう日々過ごしていきましょう。また、今月下旬からパリオリンピック、パラリンピックが開催されます。日本人アスリートを皆で応援し、またそこから様々な感動を味わえればと願っています。

今月号では 6 月に開催されました「全国鉱山・製錬所現場担当者会議」の全体報告、協会会長挨拶、見学会報告を掲載しております。改めて皆様方からのご支援・ご協力に対し本紙上をお借りし御礼申し上げます。引き続き来年の本会についてもよろしく願い申し上げます。

(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：五十嵐，富田)

Tel : 03-5280-2355 Fax : 03-5280-7128

2024 年度「全国鉱山・製錬所

現場担当者会議」報告

日本鉱業協会 技術部

1. はじめに

2024 年度 全国鉱山・製錬所現場担当者会議（以下、現場担当者会議）は、日本鉱業協会並びに資源・素材学会の共催、資源地質学会の後援により、6月12日（水）～14日（金）に開催された。現場担当者会議は会員各社の現場担当技術者を中心に技術交流の場として毎年開催されており、今年度が第76回の開催となった。

2019 年度までは対面開催であったが、コロナ禍の影響により2020年度は書面開催（会場開催中止）、2021年度はオンライン開催、2022年度以降はハイブリッド開催（対面＋オンライン（Zoom ウェビナー））としている。今年度の現場担当者会議は、2017 年度から会場となっているTKP 市ヶ谷カンファレンスセンター（新宿区市谷八幡町）をホスト会場とするハイブリッド開催とし、昨年度に引き続き懇親会および見学会実施となった。6月12日（水）の午前、8階大ホールにて、関口 明 日本鉱業協会会長の会長挨拶の後、有馬伸明 経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部 鉱物資源課長の来賓挨拶、引き続き東北大学 国際放射光イノベーション・ス

マート研究センター 教授／一般財団法人光科学イノベーションセンター 理事長 高田昌樹氏による特別講演「いよいよ運用開始 次世代放射光施設ナノテラスー 鉱業界の研究開発における新次元の活用 ー」が行われた。特別講演の参加者数は、表1に示すように会場290名、オンライン視聴者234名の合計524名（協会関係者除く）と多くの参加があり、テーマへの関心の高さがうかがえ大盛況であった。

2. 特別講演「いよいよ運用開始 次世代放射光施設ナノテラスー 鉱業界の研究開発における新次元の活用 ー」の概要

NanoTerasu（ナノテラス）が、2024年4月1日に運用開始され、4月9日から企業（戸田工業、住友ゴム工業、TDC、マルニ食品）、学術（東工大、東北大他）による本格的な利用が7本のビームライン（回折、散乱、イメージング、分光）で始まった。東北大学青葉山新キャンパス（仙台市）に建設された3GeV高輝度放射光施設のことである。放射光施設といえば、1997年に運用開始した兵庫県のSPRING-8（スプリングエイト）



関口会長 会長挨拶



有馬鉱物資源課長 来賓挨拶



特別講演（東北大 高田教授）



特別講演（会場）

表 1 特別講演参加者数実績（協会関係者を除く）

	開催形式	参加者数		
		会場参加	オンライン参加	合計
2019 年度	対面開催	387	—	387
2021 年度	オンライン開催	—	380	380
2022 年度	ハイブリッド開催	118	463	581
2023 年度	ハイブリッド開催	302	281	583
2024 年度	ハイブリッド開催	290	234	524

（2020 年度は会場開催中止（書面開催））

が、一般にはよく知られている。放射光の産業利用の嚆矢となり、学術研究と共に幅広い分野で利用されてきた。“はやぶさ”の持ち帰った試料の分析、携帯電話のディスプレイ、省エネタイヤの開発、次世代磁石、燃料電池、Li イオン電池、航空機・自動車に用いる炭素繊維材料、軽量コンクリートなどの開発に貢献したことはよく知られている。それから約四半世紀を経て、国が整備運営する新たな放射光施設ナノテラスが、“ナノを照らす”施設として登場したのである。しかし、その性能と使い道は、スプリングエイトと異にする、

まず、光源性能が異なる。硬 X 線の利用に強い 8GeV 光源であるスプリングエイトに対して、3GeV 光源のナノテラスは軟 X 線領域で最大 100 倍の輝度を持つ。これまで、スプリングエイトでカバーできなかった Li, C, O, S, Mg, Al, Si などの化学状態や Fe, Co, Ni 等のスピン状態を見るための軟 X 線の本格的な活用が始まっている。ソフトマテリアル、ゴム、CFRP 等の高分子

複合材料、スピントロニクスデバイス、非鉄金属材料の構造と機能の相関を探索する強力なツールとなることが期待されている。

利用の仕方も異なる。ナノテラスは、産業界をも巻き込み、研究力、国際競争力の強化に貢献すること、そして、リサーチコンプレックスの形成加速を具体化することがミッションとして与えられている。そのため、「官民地域パートナーシップ」という新しい施設整備の方法が導入された。国側の主体である量子科学技術研究開発機構（QST）とともに、光科学イノベーションセンター（PhoSIC）を代表とする地域パートナー（宮城県、仙台市、東北大学、東北経済連合会）が役割を分けて施設の整備を行ってきた。建設費の総額 380 億円のうち、国側は、加速器と、3 本の共用ビームラインの建設費、200 億円を負担した。一方、地域パートナー側は、基本建屋と 7 本のビームラインを建設した。地域パートナー側の 180 億円の財源は、自治体および、ナノテラスを利用する企業や大学の機関によっ

て拠出された資金を活用した。その際に、放射光に馴染みの薄い企業や、非専門家が、施設にアプローチし、活用できる“コアリション（有志連合）”という新しい利用システムを創出した。

この“コアリション”は、従来の産業利用とは、全く考え方を異にするものである。単なる“先端計測分析”がゴールではない。計測結果を基に課題解決する産学共創がゴールである。放射光だけでは課題解決はできないからである。そのために、資金を拠出した放射光の非専門家（企業・学術）が、放射光およびサイエンスの専門家（学術）と競争領域と協調領域を分けて、それぞれのプロが役割に専念し課題解決する制度としている。北海道大学、東北大学、筑波大学、東京大学、東京工業大学、東京理科大学、芝浦工業大学、名古屋大学、名城大学、大阪公立大学、物質材料研究機構（NIMS）など10を超える学術機関も、建設資金を拠出して、コアリションメンバーに加わった。それぞれの機関は、放射光分野、モノづくり、データ科学、AI等の卓越した研究人財リストを基に、コアリションメンバー企業の様々なコアな課題解決とのマッチングに参加する。現在コアリションに参画する企業は、企業名を公開した戸田工業、メニコン、日本特殊陶業、ブリヂストン、エプソン、住友ゴム工業、NTT、中外製薬、ポーラ化成工業、アイリスオーヤマ、理研ビタミン、日本高純度化学、長瀬産業（商社）、ポエックを含む150社に上る。すでに、スプリングエイトを活用したフィージビリティスタディで、課題解決による社会実装への道を拓いたマッチングの例もある。先の4月9日の運用開始直後に行われた住友ゴムの利用実験を基に、5月9日に、協調領域の内容で学術論文も発表された。

ナノテラスの立地も重要である。仙台市内の東北大学青葉山新キャンパスのサイエンスパークに立地し、リサーチコンプレックス形成を目指す。東京から、新幹線で仙台まで90分、仙台駅から地下鉄で青葉山駅まで9分、そこから、シャトルバスで施設まで9分という利便性は他

に例を見ない。サイエンスパークでは、ナノテラスに近接して、SRIS棟と青葉山ユニバースの2棟の建物が建設された。東北大学国際放射光イノベーションセンター（SRIS）、東大、QST、PhoSIC、コアリション企業、東北大学グリーンクロステック研究センターなどが入居しナノテラス活用と連携した活動を始めている。ナノテラスで計測された膨大なデータを処理するために、青葉山キャンパスにある東北大学のスパコンAOBAとナノテラスをつなぐ専用回線も接続された。第3期戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の課題「サーキュラーエコノミーシステムの構築」（担当研究推進法人ERCA）のプロジェクトも始まり、再生プラスチックの循環性向上のための品質分析データバンク構築の役割をナノテラスが担う。その他にも、産学プロジェクトの検討も始まっている。

一方、海外でも、同様の動きがある。Horizon Europeによるフランス・グルノーブルのGIANTというリサーチコンプレックスに立地するヨーロッパ共同体の放射光施設ESRFで始まった、航空宇宙用アルミニウム合金の組成と熱機械加工における損傷進展に関する利用プロジェクトはその一例である。コンステリウム社のC-TEC研究センターは、CIFREというフランスの博士課程大学院生の雇用制度を利用し、リサイクルAI合金の損傷などを、放射光や計算科学、AIを活用して研究する人材の獲得に乗り出している。ナノテラスでは、コアリションメンバーの企業と学術の共創による本格的な課題解決に向けたイノベーション利用が始まっている。ナノテラスの概要とその活用について展望する。

3. 各部門の講演会

6月12日の午後からは、資源、製錬、分析、工務、新素材の5部門に分かれて分科会形式で、ハイブリッド形式（対面+オンライン（Zoomウェビナー））により一般講演が行われた。講演者は資源部門の1件を除き会場講演となった。

各部門でそれぞれの現場におけるこれまでの

業務の成果や研究成果，業務の改善などが報告され，熱心な質疑応答が会場参加者を中心に行われた。各部門の一般講演件数は表 2 のとおり

で会場講演 43 件，リモート講演 1 件の合計 44 件となった。各部門の一般講演について，当日または後日，日本鉱業協会賞候補推薦のための投票が部門ごとに行われた。

また，資源・素材学会から一般講演への若手大学研究者の派遣が2006年度に開始されており，今年度は4名派遣され（会場3名，オンライン1名），派遣された先生方が一般講演から最大9件を選定し，資源・素材学会 2025 年度春季大会（2025 年 3 月開催予定）の企画講演に招請される予定である。招請は5回目となる。



一般講演（資源部門）



一般講演（製錬部門）



一般講演（分析部門）



一般講演（工務部門）



一般講演（新素材部門）

表 2 各部門の一般講演件数

	会場講演	リモート講演	合計
資源部門	7	1	8
製錬部門	10	0	10
分析部門	10	0	10
工務部門	9	0	9
新素材部門	7	0	7
合計	43	1	44

4. 懇親会および見学会

6月12日の会議終了後、TKP市ヶ谷カンファレンスセンター8階「大ホール」および「バンケットホール8A」において全部門合同の懇親会が開催され、会員各社および大学・学会関係者など大勢の参加を得て活発な意見交換が行われた。

各部門の会議終了後、6月13日（木）および14日（金）に部門ごとに見学会が行われた。今年度の各部門の見学先は以下のとおりである。

A班（資源）：

住友金属鉱山株式会社 菱刈鉱山、九州電力株式会社 大霧地熱発電所、日鉄鉱業株式会社 蒸気供給設備



懇親会（大ホール）



懇親会（バンケットホール8A）

B班（製錬）：

光和精鉱株式会社、彦島製錬株式会社

C班（分析）：

株式会社共立理化学研究所、地方独立行政法人東京都立産業技術センター

D班（工務）：

JFEスチール株式会社東日本製鉄所千葉地区

E班（新素材）：

九州電力株式会社 新小倉発電所、九州大学 水素材料先端科学研究センター／カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所／九大OIP株式会社

5. まとめ

今年度も各社、各機関それぞれの現場での資源開発、坑廃水処理技術の開発、製錬技術の改善、分析技術の開発、製錬設備の改善、新素材の研究開発等への関心が高く、一般講演参加者数は5部門合計で1083名（会場407名、オンライン視聴者676名）となり、3年連続で1000人超えの大台を記録し、3回目のハイブリッド開催となった現場担当者会議は大盛況のうちに終了することができた。2018、2019年度の対面開催、2021年度のオンライン開催、2022年度以降のハイブリッド開催の部門ごとの参加者数実績は表3のとおりでハイブリッド開催では増加となった。図1に最近10年間の会場参加者数とオンライン参加者数推移、図2に最近10年間の部門別参加者数推移を示す。

なお、来年度の全国鉱山・製錬所現場担当者会議は、2025年6月11日（水）～13日（金）にハイブリッド形式で開催することを予定している。

以上

表3 一般講演参加者数実績（協会関係者を除く）

		資源	製錬	分析	工務	新素材	合計
2018年度 対面開催		168	139	137	149	52	645
2019年度 対面開催		221	138	129	174	53	715
2021年度 オンライン 開催	会場参加	14	6	3	11	4	38
	オンライン参加	200	177	153	189	102	821
	合計	214	183	156	200	106	859
2022年度 ハイブリッド 開催	会場参加	36	24	26	28	20	134
	オンライン参加	211	246	137	216	64	874
	合計	247	270	163	244	84	1,008
2023年度 ハイブリッド 開催	会場参加	92	78	67	81	25	343
	オンライン参加	170	208	145	171	48	742
	合計	262	286	212	252	73	1,085
2024年度 ハイブリッド 開催	会場参加	113	91	95	81	27	407
	オンライン参加	160	177	138	158	43	676
	合計	273	268	233	239	70	1,083

（2020年度は会場開催中止（書面開催））

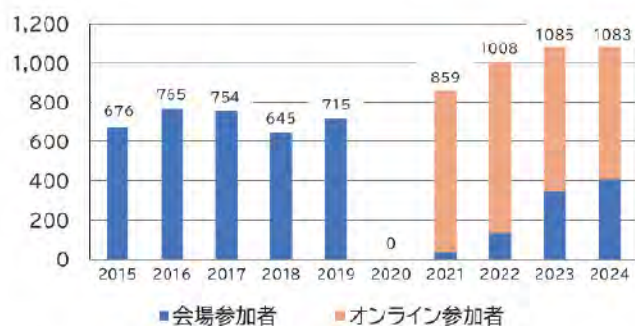


図1 一般講演参加者数（会場参加とオンライン参加）
単位：人

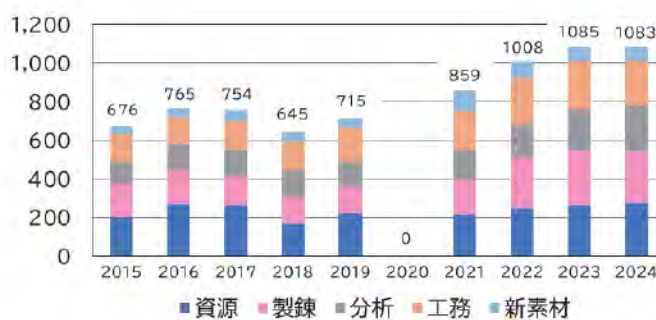


図2 一般講演参加者数（部門別）単位：人

2024 年度「全国鉱山・製錬所 現場担当者会議」会長挨拶



日本鉱業協会 会長 関口 明

日本鉱業協会会長の関口でございます。2024 年度「全国鉱山・製錬所現場担当者会議」の開催にあたりまして、一言ご挨拶申し上げます。

はじめに、本日こうして全国各地からご参加いただきました皆様に心から歓迎いたします。それとともに、現場において日々研鑽を積み、たゆまぬ努力をなさっている皆様に深く敬意を表します。

本会議は 1949 年に始まり、今年で 76 回目を迎える大変由緒ある会議です。現場の第一線で活躍されている技術者や研究者の皆様が、年に一度、こうして一堂に会し、日頃の研究成果を発表され、互いに交流を深めることにより、業界全体の技術レベル向上を図ることを目的としております。

また、一般社団法人 資源・素材学会様との共催であり、資源地質学会様から後援を頂いております。まさに産学連携の賜物であり、この場を借りて改めて御礼申し上げます。

本会議は、2 年前より、オンライン・対面を併用したハイブリッド方式にて開催し、鉱山、製錬所、工場や研究所などから、1,000 名以上もの皆様にご参加いただいております。皆様の積極的なご発言、意見交換により、活発な技術交流の場が形成されることを期待しております。

本日は、ご来賓として経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部 鉱物資源課 課長の 有馬 伸明様にもお越しいただいております。有馬様におかれましては、平素から行政のお立場より非鉄金属業界に対して、一方ならぬお力添えを頂いており厚く御礼申し上げます。

また、午後の一般講演に先立ち、東北大学国際放射光イノベーション・スマート研究センター教授 一般財団法人光科学イノベーションセンター 理事長 高田 昌樹様に「いよいよ運用開始 次世代放射光施設ナノテラス 鉱業界の研究開発における新次元の活用」と題した特別講演をお願いしております。

高田様は、本年 4 月に運用を開始した「ナノテラス」の中核的責任者でいらっしゃいます。ナノテラスでは、太陽光の 10 億倍以上の明るさを持つ放射光である「軟 X 線」を用いて、物質の電子状態や変化をナノ（10 億分の 1）レベルで可視化し、また既存設備と比較して約 100 倍の輝度で軟 X 線を発生させることが出来ることから、3 次元モデルなどで物質を視覚的に把握することを可能にするとのことです。まさに非鉄金属素材の発展に繋がる重要な施設であり、本日の特別講演をご参加の皆様同様私自身も非常に楽しみにしておりました。

特別講演を頂いた後は、資源、製錬、分析、工務、新素材の各部会に分かれ、合計 44 件の一般

講演を予定しております。また、昨年同様、懇親会および見学会の開催を予定しております。講演の場以外でも、見聞を広め、交流を深める機会を持っていただければ幸いです。

さて、ここで非鉄金属業界の現況について申し上げたいと思います。

非鉄大手 8 社の 2023 年度決算は、非鉄金属相場の下落やエネルギー価格の高止まりによる製錬コスト上昇などの影響を受け、当期純利益で対前年度比 19%の減少となりました。2024 年度も、中国経済の不透明感やエネルギー価格の高止まりなどを背景に、対 2023 年度比で減益の見通しとなっております。

一方で、非鉄金属は DX や GX、循環型社会を構築していくうえで欠かせない基礎素材であり、今後もその需要が高まっていくことは社会の電動化などの動きを見ても明らかです。資源獲得競争の激化、地政学リスクや資源ナショナリズムの高まりといった経済安全保障の観点からも非鉄金属の重要性は増しており、今後、当業界が果たすべき役割は、ますます大きくなっていくと考えられます。

非鉄金属業界の競争力の礎は皆様が日々進められているコスト削減や工程改善によって築かれ、そうした努力が現在および将来の社会課題の解決にも貢献していると考えております。たゆまぬ技術改善や研究開発が、非鉄金属資源の確保、非鉄金属素材の安定供給や新素材の開発、リサイクルや環境保全といった社会的使命を継続的に果たしていくための大きな原動力となっており、そうした活動に日々ご尽力されている皆様が今後さらに成長していかれることを心から願っております。

最後になりますが、本会議が、皆様にとりまして実り多い会議となりますことを改めて祈念いたしまして、私の開会の挨拶にかえさせていただきます。

ありがとうございました。

以 上

鹿児島県菱刈鉱山・大霧発電所 見学記

日鉄鉱業株式会社 島田 光・島田 雄樹・西川 謙吾
日鉄鉱コンサルタント株式会社 高山 隼

1. はじめに

2024 年度現場担当者会議見学会 (資源部門) は菱刈鉱山・大霧発電所を 2 日間 (6/13~6/14) にかけて訪れるプログラムであり、参加者は 16 名であった。以下に見学会の概要を報告する。

2. 菱刈鉱山 (住友金属鉱山株式会社)

(1) 鉱山概要

菱刈鉱山は鹿児島空港の北方約 30km、鹿児島県伊佐市菱刈地区東部に位置し、その歴史の始まりは、1750 年頃に発見された旧山田金山である。1969 年には、布計鉱山株式会社が鉱業権を取得し、その後 1975~81 年に金属鉱業事業団が実施した各種地表探査・試錐調査により、高品位の金鉱脈が発見された。これをきっかけに、住友金属鉱山 (株) が 1982 年に菱刈鉱山を組織的に発足させ、1985 年に開山し、現在に至る。

(2) 地質・鉱床

菱刈鉱山は、泥岩と砂岩主体の先第三系の地質体である四万十累層群を基盤としており、そ

の上位に不整合で第四系の火山岩・火山砕屑岩類及び沖積層が分布する。火山岩・火山砕屑岩類の詳細は下位から上部にかけて、菱刈下部安山岩類、黒園山石英安山岩類、菱刈中部安山岩類、獅子間野石英安山岩類、菱刈上部安山岩類である (例えば、岡田 2004)。

鉱床は、四万十累層群や菱刈下部安山岩類の割れ目を充填する浅熱水性含金銀石英-氷長石脈からなる。主な脈石鉱物は石英・氷長石・粘土鉱物であり、鉱石鉱物は主としてエレクトラム、ナウマン鉱、硫セレン銀鉱、濃紅銀鉱、黄銅鉱、黄鉄鉱、白鉄鉱を伴う (Izawa et al., 1990)。

今回訪れた鉱脈は 42.5mL に位置する山田鉱床の成泉 7 脈である (図 2)。約 4.1×4.1m の坑道内において、鉱脈群は凝灰角礫岩中に NW-SE 走向でほぼ垂直な傾斜をなす。高品位の金や銀を含むエレクトラムは、白色石英脈中の数 mm 程度の黒色縞状部に含まれる。



図 1 見学会位置図



図 2 山田鉱床見学箇所 (成泉 7 脈)

(3) 採鉱

採鉱法については、起砕高さ 11.0mを標準として、打ち落としを併用した後退式のベンチストレーピング法を採用している。坑内はトラックレス（軌道を使わず大型重機車両が自由に坑道を走行する）方式で、坑内環境を維持するため、毎分約 20,000 m³の空気を送風し、加えて作業場では毎分約 2,000l の冷水により空気を冷却している。採掘サイクルと各サイクルで使用される重機車両は以下のとおりである。

- ① 穿孔（ジャンボ、長孔穿孔機）
- ② 装薬・発破
- ③ 積込（ロードホルダダンプ、以下 LHD）
- ④ 運搬（ダンプトラック）
- ⑤ 支保・充填（湿式コンクリート吹付機、LHD）
- ⑥ 鉱石坑外運搬、受入ビン投入

本年度の一般講演において「遠隔自動走行 LHD の試験導入」の紹介があったが、鉱山の DX 化の取り組みの一つとして、コントロール室から遠隔操作する無人 LHD を見学することができた（図 3）。

(4) 選鉱

選鉱関連施設は今回の見学コースではなかったが、ビデオや資料でご説明頂いた。坑内で採取した鉱石は有人運転のダンプで地上まで運搬され、受入ビンに投入される。破碎された鉱石は二段の篩で分級し、大きな粒は手選、中サイズの粒はオアソータで選別する。金は主に白色部分（石英脈）に含有されるため、黒色粒をズ



図 3 遠隔自動走行 LHD の操作見学

リとして取り除く。篩を通った小サイズの粒は全て残し、不要なズリを取り除いた鉱石は加治木港で船積みされ、愛媛県東予工場まで輸送されることのであった。

3. 大霧発電所

(1) 概要

大霧発電所は鹿児島県霧島連山の西部山麓の丘陵地に位置する地熱発電所であり、1973 年から日鉄鉱業株式会社（以下「日鉄鉱業」と省略）により地表地熱調査や物理探査が実施され、並行して国の地熱調査も行われ、地熱有望地域と確認された。1979 年からは新日本製鐵株式会社（現：日本製鐵株式会社、以下「新日本製鐵」と省略）と日鉄鉱業の共同で調査井掘削調査が実施され、1989 年に新日本製鐵・日鉄鉱業と九州電力株式会社との間で基本協定が締結された。その後、1994 年に発電所の建設工事が着工し、1996 年 3 月に操業が開始された。

現在は蒸気供給部門を日鉄鉱業が、発電部門を九電みらいエナジー株式会社が担当し、共同で発電所が運営されている。

(2) 地質・地熱貯留層

大霧地区の地質は、白亜紀～古第三紀の四万十累層群を基盤とし、その上部を不整合で覆う第四紀火山岩類と湖成堆積物等により構成される。地熱貯留層は、典型的な断裂型貯留層であり、地下に存在する「銀湯断層」及び、「大霧深部断層群」に貯留された地熱熱水を用いて発電を行っている。両貯留層ともおよそ ENE-WSW 走向、約 70 度北傾斜である。また、NW-SE 方向の断層群も存在し、前述の貯留層を結ぶ熱水経路となっていることが示唆されている。

(3) 蒸気生産設備

地熱熱水は断裂型地熱貯留層に掘削された 18 坑の生産井（現在使用中は 13 坑）によって蒸気・熱水を二相流体として生産している。二相流体は気水分離機で分離され、蒸気は発電施設に、熱水は 13 坑の還元井（現在使用中は 5 坑）を通じて貯留層に還元されている。蒸気生産設備で

は、生産基地のA基地を見学させていただき、5坑の生産井と2基の気水分離器を見ることができた。地下では約210℃の熱水が、地上では約130℃の二相流体（蒸気：熱水=1：5）となって生産されている。また、スケールによる閉塞対策として硫酸を連続的に添加することでpHの調整を行っているとのことである。なお、還元井から地下に戻される熱水は、生産貯留層を冷却する懸念があるため、還元井の位置や生産井との距離については細心の注意を払い、日々検討を行っているとの説明を受けた（図4）。

（4）発電設備

発電設備は、シングルフラッシュ方式が採用されており、二相流体から分離された蒸気を用いてタービンを回し、発電が行われている。発電された電気は、変圧器、遮断機を経由し、送電鉄塔から各地に送られる。発電に使われた蒸気は復水器にて、冷却水により冷却され温水に



図4 D基地還元井



図5 蒸気タービン及び発電機

変えられる。温水は冷却塔で外気によって冷却され、復水器に冷却水として戻される。

実際にはタービンが動いている中身は見えないものの、設備の近くに寄ると、大きな音で駆動しており、まさに蒸気力で動いていることが実感できた。また、タービンは1分間におよそ3,600回転しているとのことであり（図5）、復水器・冷却塔の見学では、外気に触れた温水から立ち上る水蒸気が、冷却塔の天井のファンから上空へ上昇していく様子が印象的であった。

4. 美味堪能

2日目の見学後は鹿児島空港の隣の「霧島麴蔵GEN」で昼食となった（図6）。ここでのメインメニューは麴を使った発酵飼料を食べて育った麴豚のかつとじで、大変美味しくいただいた。また、お店の敷地内には、麴作りの資料館や、多様な麴を用いて作られた焼酎の販売・試飲、地元鹿児島の食材の販売があり、大いに楽しませてもらった。

5. 謝辞

本見学会では、通常では見ることの出来ないような生産現場の姿を見ることができ、また貴重な現場の方々のご説明を受け、大変有意義な2日間であった。この貴重な経験を活かし、今後の業務に向けて日々精進していく所存である。最後に、本見学会を受け入れていただき、懇切丁寧なご案内・ご説明をしていただいた住友金



図6 集合写真 霧島麴蔵 GENにて

属鉱山（株）、九電みらいエナジー（株）、日鉄
鉱業（株）の関係各位、そして見学会のアレン

ジ及び現地での引率の労を取っていただいた日
本鉱業協会町田晶一様に厚く御礼申し上げます。

光和精鋇株式会社および彦島製錬株式会社 見学記

古河産機システムズ株式会社 島田 開

2024年6月12日、TKP市ヶ谷カンファレンスセンターにて、2024年度全国鋇山・製錬所現場担当者会議が開催されました。今年も昨年同様に、現地とオンラインのハイブリッドでの開催となり、現地には日本の鋇業を担う多くの方々が集まりました。まず日本鋇業協会の関口会長と、経済産業省、資源エネルギー庁、資源・燃料部、鋇物資源課の有馬課長のご挨拶から始まり、その後東北大学の高田教授より、放射光施設ナノテラスに関する特別公演をしていただきました。

特別講演の後は昼食休憩を挟んで、各部門に分かれての一般講演が行われました。私の参加した製錬部門では10件の講演があり、各製錬所の最近の取り組みについて発表していただきました。発表は、金属ロスを極力無くし、より効率的に製錬するための研究や、工場設備の改修、改善についてなど興味深い内容ばかりで、質疑応答も活発に行われました。講演の後は懇親会があり、各々交流を深めました。



製錬部門講演会 発表者の方々

2日目の13日は福岡県に移動して光和精鋇株式会社様を見学させていただきました。当日の福岡は非常に暑かったものの快晴で、絶好の見学日和となりました。福岡に到着した後は集合時間まで時間があつたため、福岡名物である豚骨ラーメンと明太子を食べ、その後集合場所である小倉駅に向かいました。集合場所に早く着きすぎて、待機していた別のバスに乗りそうになるハプニングもありましたが、見学者全員が時間通りに集合し、バスで光和精鋇（株）様に向かいました。

八幡の製鉄所を眺めながらバスに揺られていると、バスは光和精鋇（株）様のinfoセンターに到着し、光和精鋇（株）様の香西課長に出迎えていただきました。バスから会議室に移動し、まずは光和精鋇（株）様の歴史や事業について説明していただきました。光和精鋇（株）様は、硫酸と高炉用ペレットの製造、鋇石に含まれる有価金属の回収を目的として、1961年に設立されました。現在は産業廃棄物処理に力を入れ、「循環型社会の構築」に向けた取り組みを行っています。光和精鋇（株）様の特徴は主に4つで、1つ目は塩化揮発法です。塩化揮発法は、非鉄金属酸化物に塩化カルシウムを反応させることで、非鉄金属塩化物にし、沸点が下がった非鉄金属を揮発、その後冷却し回収する光和精鋇（株）様独自のプロセスです。これにより鉄と非鉄金属が混ざった粉体から非鉄金属を分離、回収することが可能になっています。2つ目は独自の産業廃棄物処理プロセスを活かし、ほぼ全ての産業廃棄物に対して処理業許可を取得されて

おり、特に塩素系廃棄物に関しては国内トップレベルの処理量を誇ります。3つ目は低濃度 PCB の無害化です。PCB はポリ塩化ビフェニルといい、かつては主に電気機器に使用されていましたが、体内に蓄積し様々な健康被害を引き起こすことが報告され、現在では新たな製造、使用が禁じられています。光和精鉱（株）様は低濃度 PCB において無害化処理認定を取得し、日本全国の低濃度 PCB の無害化処理を行っています。4つ目は製鉄ダストの受け入れです。製鉄所から出た製鉄ダストを、前述の塩化揮発法などを用いて、セメント用の原料や、高炉用ペレットとして再利用しています。

説明を受けた後は、用意していただいたヘルメットや安全ゴーグルなどを装着し、バスで製錬所内に向かいました。まず事務所前に移動し、全員で記念撮影を行いました。その後、3日目に見学させていただく彦島製錬（株）様が海の向こうに見える海岸にバスで移動し、2班に分かれて海岸沿いを歩きながら設備の説明を受けました。その中で、瀬戸内法という厳しい排水基準に準拠しているという話を聞き、塩化揮発法を用いた資源のリサイクルを含め、非常に環境に配慮した取り組みを行っているという印象を受けました。その後は、現在定修中とのことで塩化揮発法のプロセスなどは外観からの見学となりました。バスで製錬所から出る途中で、日本製鉄（株）様の高炉の設備内に列車が入っていき、炉から専用貨車に赤熱した熔融鉄を流し込む様子を見ることができ、私がなかなか見ることのできないスケールの大きい設備、作業に感動しながら、光和精鉱（株）様を後にしました。

光和精鉱（株）様を出発したバスは、下関の関門海峡のそばに店を構える平家茶屋に移動し、そこで製錬部門としては初となる懇親会が開かれました。会場は、3日目に見学させていただく彦島製錬（株）様にセッティングいただきました。懇親会は美味しい料理とお酒で大いに盛り上がり、各々交流を深められた非常に良い懇親会になりました。



光和精鉱株式会社様での集合写真

3日目の14日はまず下関駅に集合しました。前日の懇親会が大いに盛り上がったこともあり、時間までに全員が揃うか不安でしたが、無事全員が時間内に集まり、予定通り彦島製錬株式会社様に向けて出発しました。

彦島製錬株式会社様に到着し、まず会議室にて彦島製錬株式会社様の歴史や事業について説明していただきました。彦島製錬株式会社様は1915年、当時日本最大級の商社である鈴木商店から日本金属株式会社として設立されました。その後三井鉱山株式会社様に引き継がれ、現在では三井金属鉱業株式会社様の100%子会社として分離独立しました。現在では創業100周年と同時に稼働したメガソーラー「SOLAR彦」による発電事業や、タブレットによる操業データの遠隔表示といったDXの推進などにも注力されています。彦島製錬株式会社様の事業は主に3つに分かれます。1つ目は金属事業です。彦島製錬株式会社様は操業当初から金属亜鉛、亜鉛合金の生産を行っています。生産工程では、まず硫化亜鉛を加熱処理することでZnOとSO₂に分解します。分解したZnOを硫酸で溶解し、不純物を除去した後、電気分解によって亜鉛を回収します。またSO₂については硫酸として回収しています。2つ目は機能性粉体事業です。電子部品などに用いられる金属粉や、導電性酸化粉末を、化学反応を利用して製造しています。3つ目は硫酸亜鉛事業です。亜鉛の生産工程で発生した硫酸を利用して、国内で唯一、工業用七水塩としての

硫酸亜鉛を製造しています。硫酸亜鉛は家畜の飼料用ミネラルや除菌剤など幅広い分野で使用されています。製造には晶析法と呼ばれる製法が用いられ、硫酸亜鉛溶液を蒸発・結晶化することで製造します。

これらの説明を受けた後、2班に分かれて工場を見学しました。初めに硫酸亜鉛事業で結晶化までに必要となる濃縮のための設備を見学しました。亜鉛製造で発生した硫酸を、広大な敷地を通してこの槽に送るということを考えると、製錬所における設備整備の難しさが感じられました。次に、製造した硫酸を送る巨大なパイプ、硫化亜鉛を処理する流動焙焼炉を見学しました。巨大な炉と定期的に響くポンプの音に驚きつつ、またこの炉が二交替制で24時間運転にあることに対し、操業状況把握のための遠隔監視手段を保有されている点からDX推進による業務効率改善は重要であると感じました。その後は亜鉛を

電気分解によって回収する電解槽と、亜鉛の鋳塊を製造するロボットを見学しました。亜鉛が電析したカソード板が電解工場を循環搬送する様子や、ロボットが熔解した亜鉛を鋳型に流し込む工程などを見て省人化の重要性を感じました。見学後、質疑応答を行い、最後に事務所前で記念撮影を行いました。その後バスで小倉駅に移動し、解散となり3日間の行程を終えました。

この3日間を通じて、より環境に配慮した処理や、省人化に向けた設備の更新など、現在の社会情勢に合わせた取り組みの重要性を感じることができました。

最後に、今回の見学を受け入れてくださいました、光和精鉱株式会社、彦島製錬株式会社の皆様、並びに企画、運営していただいた日本鉱業協会のご担当者の皆様に厚く御礼申し上げます。



彦島製錬株式会社様での集合写真

株式会社共立理化学研究所及び 地方独立行政法人東京都立産業技術センター一見学記

DOWA テクノロジー株式会社 関東テクノセンター 吉田美和

2024年6月13日、第74回全国鉱山・製錬所現場担当者会議分析部会で昨年に続き見学会が開催されました。35名の参加者が2社を訪問しました。

1社目に訪問したのは、水質分析を行う者には馴染み深いパックテストを提供している株式会社共立理化学研究所です。

（株）共立理化学研究所は誰でもどこでもできる水質の簡易分析製品の開発、製造、販売を行っています。「ブンセキをもっと身近にする」という、世界中の誰でも気軽に水質分析ができる手段を提供し、ブンセキという文化として浸透させることで理想的な社会創造に貢献することを企業理念として掲げています。（株）共立理化学研究所の代表的な製品がパックテストです。

（図1）

パックテストは、測定項目ごとに調合した試薬をポリエチレンチューブに封入したもので、使用時に測りたい液体を一定量吸い込み、指定



図1 パックテスト
（株式会社共立理化学研究所 HP より）

時間後のチューブ液内の色を標準色と見比べることで測りたい成分の測定値を知ることができます。当社でも液体サンプルの含有成分濃度測定時の濃度の目安としたり、廃液処理の際の簡易チェック方法として活躍しています。必要な操作は先端のラインを抜いて液体を吸う、という簡単なもののため、熟練度によらず、誰でも使用することができます。そのため、産業だけではなく、学校の化学・環境の授業や環境調査、行政の上下水道の管理にも使用されています。毎年6月に行われる「身近な水環境の全国一斉調査」では子供から大人まで幅広い世代の人々が共立理化学研究所の水質調査キットを使用しているとのことで、まさに企業理念に掲げている通り世界中の誰でも気軽に水質分析が出来る手段であると感じました。

会社説明では様々なシリーズのパックテストの紹介があり、中でもデジタルパックテストに興味を持ちました。通常のパックテストでは標準色とチューブ内の試薬の色を目視で見比べるため、標準色の中間値を示す値であると測定値の判断が少々難しい印象がありましたが、デジタルパックテストではパックテストで発色させた検水を専用カップに移して測定することで値がデジタル表記されるため、中間色であっても測定値が簡単に分かります。実際にデジタルパックテストの使用方法を見学しましたが、難しい操作はなく、こちらも誰でも簡単に測定できるものでした。SDカードにデータを残しておき、excel データとして解析することが出来るとい

う点も、濃度のトレンド管理をする際にとっても便利であると感じました。また、他にも発色したチューブと標準色をスマートフォンで撮影することで測定値をアプリが判断してくれるというパックテストのアプリも開発されています。測定値の判断時の個人差の解消や、データをメモせずにアプリ内に保存できるというメリットの他、スマートフォンという誰でも持ち歩いているもので簡単に測定できるのはパックテストがより身近な存在になっているように感じました。

製造現場の見学では、試薬調合から袋詰めまでの工程をご紹介いただきました。チューブの試薬充填場への移動、試薬充填、外袋への封入まですべて機械が行っており、限られた時間で数千本から数万本生産する秘訣を知ることができました。パックテストは正確な測定値を提供するために、湿度管理が重要とのことで、常にフレッシュエアが吹き込むような構造になっていたり、封入前の製品が湿度管理された箱に入っていたりと品質へのこだわりも感じました。製造現場の後に本社も見学させていただきました。本社は複数部署が同じフロアにあり部署間に仕切りがなく、壁には職員の写真が貼ってあったりと円滑なコミュニケーションのできる風通しの良い職場である印象を受けました。

続いての見学先は、中小企業を技術支援と研究開発で支える東京都立産業技術研究センターです。東京都立産業技術研究センター、通称都産技研は東京都が設置した公設試験研究機関で

す。幅広い分野の技術面の無料相談や、製品の試験依頼、最新の測定機器や高度な分析機器の利用といった技術支援や、企業との共同開発、環境や技術の急激な変化に対応するための「新産業創出」と「社会的課題解決」に特化した事業に取り組む戦略的支援を行っています。技術相談は年間8万件、依頼試験は年間11万件、機器利用は年間13万件とのことで、多くの中小企業を支えた実績があり、依頼者も安心して相談、依頼することができると感じました。

見学では、本部に所属するプロセス技術グループの研究内容の紹介、DX推進センターでのロボット産業活性化事業の紹介、技術支援の中の金属粉末積層造形装置（金属3Dプリンター）の紹介をしていただきました。

プロセス技術グループでは、ICP、イオンクロマトグラフ質量分析計といった依頼試験に使用する装置の紹介だけでなく、東京都の地場産業であるめっき排水処理に関連する技術の開発についてご紹介いただきました。めっき工程に使用される薬品濃度を推定する技術や、排水処理を妨害する薬品を使用しない洗浄技術、処理が困難なホウ素排水の処理技術としてホウ素を処理するための吸着剤の開発といった様々な視点からの環境負荷低減につながる研究をしており、依頼試験だけではなく事業を支える技術開発にも力を入れている印象を受けました。

DX推進センターではロボット産業活性化事業についてご紹介いただきました。案内支援、産



図 2 株式会社共立理化学研究所での1枚



図 3 DX推進センター見学中の1枚

業支援、点検支援、介護支援といった4分野で利用するサービスロボットについて、技術開発だけではなく、ロボットの試作、実証実験支援や、人との共存の中でロボットが安全に機能するかの評価支援、ロボット産業人材育成を行っているとのことで、実際にサービスロボットを見せていただきました。

東京オリンピックに向けて開発された案内ロボットが実際に案内してくれるという、サービスロボットの技術開発グループならではのユニークさに見学者一同顔がほころぶ場面もありました。また、センター内には介護施設のバスルームやコンビニを模したセットがあり、サービスロボットの実証実験ができるようになっているのも珍しい光景で印象に残っています。ロボットを導入する企業からしても、実証実験により安全性を確認できるのは安心して導入に踏み出すことができる重要なポイントだと思います。他にも見守り機能付きの服薬支援ロボットや人を認識して追従する運搬ロボットの紹介もあり、思いつかないような様々なニーズに対応したサービスロボットが存在することを知ることができました。

金属粉末積層造形装置（金属3Dプリンター）の紹介では、見慣れない金属3Dプリンターに見学者一同興味津々で様々な質問が投げかけられていた印象でした。金属3Dプリンターは企業が部品の鋳型を作る前の試作部品を作製するのに使われているとのことで、企業の開発コスト削



図4 都産技研での1枚

減に貢献しているという事実に驚きました。

センター内には多くの相談室があり、その相談のしやすさと多岐にわたる技術内容が多くの中企業から依頼、相談を受ける所以であると感じました。

今回見学させていただいた2社はどちらも独自の技術によって事業を支えています。その支えられている事業は多岐にわたり、そのうち想像していなかった分野まで到達するかもしれません。私自身分析という仕事が好きなのは、その業務によって様々な分野をサポートすることが可能性を秘めており、やりがいを感じる事ができるという点が大きく、改めて影から支える仕事の素晴らしさを再認識した見学会でした。

末筆ながら、本見学会を快くご承諾頂きご尽力頂きました（株）共立理化学研究所ならびに東京都立産業技術研究センターの皆様へ、厚く御礼申し上げます。

JFE スチール株式会社 東日本製鉄所（千葉地区）見学記

三井金属鉱業株式会社 宮田 浩正

I. はじめに

日本鉱業協会・工務部門の見学会が開催された JFE スチール（株）東日本製鉄所（千葉地区）は千葉市中央区の臨海地区に位置し、日本で戦後最初に建設された銑鋼一貫の製鉄所です。最寄りの蘇我駅周辺は千葉市の副都心にあたり、ウォーターフロント開発が進んだこの地区では商業地区や居住地区の再開発が行われています。また、サッカー J リーグのジェフユナイテッド千葉・市原の本拠地であり、野外フェスが開催される蘇我スポーツ公園は工場に隣接され、多くの利用者が集う場所となっています。

開催日である 6 月 13 日の朝、多くの企業より見学者が集まり 43 名がバスで蘇我駅を出発しました。今回は午前 DX の取り組みについてご講演いただき、午後工場見学を実施する 2 本立てとなります。

II. 午前の部～ご講演

講演場所となった JFE みやざき倶楽部は蘇我駅からすぐ近くの坂の上に建つ複合施設です。会社問わずどなたでも会議やパーティなどに最大 400 名まで利用できる大きな建物で、その 1 室をお借りし講演が行われました。

講演題目は「JFE スチールにおける DX 活用事例と人材育成戦略 ～インテリジェント製鉄所実現に向けて～」となり、会社概要、鉄鋼業を取り巻く環境と課題、DX 戦略、デジタル技術による革新的な生産性向上、リスクリングに関する取り組みの項目について説明いただきました。

講演終了後に活発な質疑応答が行われましたが、講演内容で興味深かった事項を紹介いたします。

1. DX 戦略を社全体で取り組む

今後 DX を推進し業務の変革を積極的に進めていくことを社長が提言し、24 年度に DX 戦略本部を新設されました。今までデータや IT など個別にあった DX 関連部署を一体化し、取り組みの推進力を増す体制を構築されています。組織体を変えて実行していくところに力強さを感じました。

2. サイバーフィジカルシステムによる高炉制御

仮想モデルの Cyber と実プロセスの Physical のリアルタイム融合化として高炉のシステム事例を踏まえて説明いただきました。従来は熟練オペレータの経験に基づいた操業しかできなかったところ、本システムの導入によって最大 12 時間先の炉の状態を 8 割の精度で予測できるようになっています。そのデータ量は膨大でセンサ約 2000 個の情報を取り入れ、物理、熱力学などを用いたモデル化、AI による予測を行い現場にフィードバックし、操業の高効率化、安定化を実現しています。

3. ロボットの自社開発

「既存技術は導入し、市販品に無いものは自社開発する」という方針のもと開発された難条件対応型自走式清掃ロボットは LiDAR センサを搭載し、SLAM 技術^{*1}によって自己位置を推定する機械です。従来は人でしか作業できなかった

粉塵の清掃作業を機械に置き換えることができたという事例は技術力の高さがうかがえました。JFE スチール（株）の YouTube で、その動作を見ることができます。

※1 SLAM：Simultaneous Localization and Mapping（位置特定と地図作成の同時実行）

4. DX 人材の育成

DX を推進していくため、理解度・技術レベルをもとに全社員をステージで分類し、ステージ別の教育機会を設けています。併せて役員や部長、所属長にマインドセットし DX を進めていくという職場内風土の醸成を図っています。また、データサイエンス活用テーマの成果報告会が社全体で実施される取組みについては大変興味深かったです。

Ⅲ. 午後の部～東日本製鉄所見学

午後に入り参加者は JFE みやざき倶楽部より工場敷地内にある見学センターにバス移動し、その場で工場概要について説明を受けました。その内容としては次の通りです。

- ・製鉄所は総面積 765 万 m² と広大な敷地。
- ・シンプルな設備、効率的なプロセスで操業。
- ・薄板製品に特化、自動車鋼板、高機能製品を製造。
- ・商業地、住宅地の近傍であり、環境に配慮



講演後の質疑応答

したクリーンな都市型製鉄所。

説明を受けた後、参加者は高炉，転炉，連続鋳造，圧延工程におよぶ原料から鉄ができるまで、製鉄のプロセスを見学しました。

1. 高炉

材料から鉄分を取り出す溶鉱炉では炉の上から材料を投入し溶かすことで、上に不純物を浮かべ、重い鉄を下から取り出す工程です。製品の素となる銑鉄を生み出す心臓部であり、炉内は 2000℃～2200℃、出鉄温度は 1500℃ と高温ですが、多くのセンサ情報によって制御されています。見学した第 6 溶鉱炉は 1998 年に第 2 次改修工事を実施し、2023 年 1 月に第 3 次改修工事を行っています。約 25 年もの間、一度入れた火を消すことなく常に管理し続けてきたことになりませんが、外観の大きさだけでなく、長期間に渡ってメンテナンスし続けることにスケールの違いを感じました。

2. 転炉

溶鉱炉で取り出した銑鉄はトーチカーと呼ばれる魚雷形の貨車によって運ばれます。運ばれた先の転炉では銑鉄をスクラップと一緒に炉に入れ、不純物を燃やすことで鋼を取り出します。見学の場では投入時の様子を確認しましたが、炉の近傍が危険であるが故に投入時は大きくサイレンが鳴り、人が安全エリアまで退避する必要がありました。

3. 連続鋳造

溶けた鋼を鋳型に入れ冷やすことでスラブと呼ばれる厚い板状に固める工程です。固形化する前に鍋から一度タンディッシュと呼ばれる受け皿で溶鋼を一時的に受け止め、不純物を浮かせて除去し鋳造に入るプロセスとなっていて、品質を上げていくための工夫がされていることを確認できました。工場見学の過程でこの場が一番溶鋼に近く、その熱を感じることはできましたが、より近いところでは耐炎服を着て制御

盤を操作される方がいるなど、現場の大変さが伝わってくる場でもありました。

4. 圧延

鑄造されたスラブは一度スラブヤードで仮置きされた後に圧延し、鋼板に形状加工されます。鑄造から出来上がったスラブをそのまま圧延せずに仮置きするのは、時間をかけて熱を冷まし、圧延する前に不良がないか確認するためです。スラブは自動クレーンで移動されており、一見無作為にヤードに置かれているように見えても、システムで管理されているとのことでした。

今回は残念ながら圧延工程は停止しており、その動作が見られませんでした。圧延するための製造ラインが工場内で一直線に数百メートル設置されていることは特筆すべきところです。スラブを薄く延ばす工程には数多くの機械が設置され、幅の調整や厚さの均一化、接合処理や仕上げ後の板厚・幅の検査など鋼板を造るために多くの技術が取り入れられていることを確認できました。



東日本製鉄所（千葉地区）全景の模型

5. 工場内の移動

工場の敷地面積は東京ディズニーランドの約15倍、東京ドームの約164倍と比較されており、その広さを例えることも難しいのですが、工場の移動は常にバスとなりました。あまりの広さから徒歩、自転車で移動する人が見受けられなかったこと、敷地内のみ走行できる自動車や特殊車両の往来、専用鉄道が印象に残っています。

IV. 見学を終えて

今回の見学ではDXの取組みに始まり、製鉄所の製造プロセスを学ぶ大変良い機会をいただきました。また、見学を通して普段の生活を支える上でステンレス、鉄は無くてはならない製品であることを再認識した次第です。

最後に、この見学の場を企画いただいた日本鉱業協会工務部会の皆様、見学会を快くお引き受けいただきましたJFEスチール（株）様をはじめ、ご講演いただきました山口様、工場見学でご説明いただいた小松様、受け入れていただいた東日本製鉄所（千葉地区）の皆様に深く感謝申し上げます。



見学終了後の集合写真

九州電力株式会社 新小倉発電所 九州大学 水素材料先端科学研究センター／ カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所／ 九大 OIP 株式会社 見学記

住友金属鉱山株式会社 技術本部 飯田 潤二

1. はじめに

今年度の新素材部門現場担当者会議・見学会では6月13日に九州電力株式会社 新小倉発電所を、6月14日にカーボンニュートラル分野の研究では国内トップクラスの九州大学を訪問いたしました。カーボンニュートラル分野の見学ということで参加人数17名と盛況でした。

2. 九州電力株式会社 新小倉発電所

九州電力㈱の電力供給は、原子力、水力、地熱がベース電力を担っています。風力、太陽光も大きな割合を占めますが、安定した発電量を確保することが難しいため、電力調整能力の高い火力発電で需要と供給のバランスを調整しています。

新小倉発電所は、九州電力㈱では初めてのLNG

専焼の火力発電所で、現在2機が稼働しており、1200MWの発電能力があります。この発電量で、100万人程度の需要を賄えるとのことでした。

発電所についてご説明頂いた後に、残念ながら2機とも発電停止中でしたがボイラー、タービン、発電機、排煙脱硝装置の見学をいたしました。

見学の最後に5号機屋上に案内して頂き、隣接する北九州LNG基地を説明して頂きました。屋上から見ると広い発電所敷地内には樹木が多く、優しい環境づくりに努めていることが分かりました。

発電停止理由を尋ねたところ、燃料費の経済合理性の観点から、燃料費の安い原子力や石炭火力を優先して運転し、燃料費が高い新小倉発電所のようなLNG火力は、夏や冬など電力需給



写真1 新小倉発電所屋上にて集合写真



写真2 新小倉発電所玄関にて集合写真

が厳しい時期に稼働しているとのことでした。一方、LNG コンバインドサイクル発電を採用している新大分発電所は発電効率が高く、新小倉よりも燃料費負担が少ないため、稼働しているとのことでした。

3. 九州大学

カーボンニュートラル研究拠点 2 か所と産学連携を担当する九大 OIP 株式会社を訪問しました。

3-1. 水素材料先端科学研究センター

松永センター長から本センターについてご紹介頂きました。

本センターは、経済産業省の水素・燃料電池研究は基礎に立ち返るべしという考えのもと2006年に設立され、多くの国内外の機関と連携しています。

高圧水素ガス中での金属材料、高分子材料、摩擦材量および水素の熱物性の研究をしており、研究成果を報告書にまとめるだけでなくデータベースとして公開しています。

水素活用を伸ばすためには材料や設備メンテナンスの低コスト化が重要とのことでした。また、海外に負けないスピード感のある研究開発を行うために高圧ガスに関する法整備も重要とのことでした。本センターを研究拠点として維持するためにNEDO事業だけに頼らない安定した財源確保が課題とのことでした。

ご説明の後、材料の強度評価設備、材料中に含まれる水素量分析設備などを見学しました。

3-2. I²CNER (カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所)

チャップマン事務部門長から本研究所についてご紹介頂きました。

本研究所は世界トップレベル研究拠点の一つで、在籍研究者の過半数が海外研究員です。

カーボンニュートラルに資する幅広い研究を進めており、ペロブスカイト太陽電池、プロトン伝導性酸化物、Direct Air Capture 技術、水

素インフラに関わる技術のご紹介を頂きました。

現時点では、I²CNER の研究成果により 2050 年カーボンニュートラルに向けた二酸化炭素削減の 5.85% に貢献することが出来るとのことでした。

また、松島准教授から、太陽電池、発光材料などで活用が期待されるペロブスカイトの環境特性劣化を改善し耐久性を伸ばす研究のご紹介を頂きました。

その後、部局共有設備を見学しました。多くの設備を保有されており、学生も含め研究者が活発に活用している様子が分かりました。

3-3. 九大 OIP 株式会社

冒頭に橋本ディレクターより、令和 6 年度より産学官連携業務を大学の子会社として運営開始したことの説明があり、その後、原田教授から新たな産業課題解決プラットフォームである KOINE についてご紹介頂きました。従来とは異なり分野の異なる多様なメンバーによる産業課題解決に向けた取り組みとして新鮮な印象を受けました。

4. 謝辞

九州電力(株)新小倉発電所の皆様には、ご説明および設備のご案内を頂き大変お世話になりました。

また、九州大学 松永センター長、チャップマン事務部門長、松島准教授、原田教授には取



写真 3 九州大学銘板にて集合写真

り組みをご紹介頂き、知見を深めることができました。各先生方、見学の案内をして頂いた皆様、見学全般のコーディネートをして頂いた橋

本ディレクターに大変お世話になりました。

今回の見学に際しご尽力を頂いた関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

MAD 参加と鉱山製錬業の最近の課題

日本鉱業協会企画調査部 吉田 直人

1 MAD（各国鉱業協会対話）と関連行事概要

2024年6月4日（火）から6月7日（金）にかけてブルガリア共和国の首都ソフィアで開催された MAD（各国鉱業協会対話）、および同時期に開催された EMBF 2024（ヨーロッパ鉱山業ビジネスフォーラム 2024）に参加した。MAD は、ICMM（国際金属鉱業評議会）の賛助会員となっている欧米や南米、豪、日本などの旧西側諸国の鉱業協会の国際間テーマ担当者どうしが、じっくりとオフレコで直近の取組課題や将来テーマを話し合う非公開の討議の場である。今回は、コロナ禍前の 2019 年にチリ共和国で開催されて以来、5 年ぶりの会合であった。アメリカ合衆国、カナダ、ブルガリア、スウェーデン、オーストリア、スペイン、日本の 7 カ国と、ユーロマイنز、ICMM の 2 団体の合計 9 組織が参加し、それぞれ 1 名ずつがソフィアに集まった。なお、MAD 討議に儀式的要素は皆無なので参集メンバーは関連テーマを論議できればよく、若い世代の参加者もあればカナダのように各国鉱業協会の重鎮の参加者もいる。鉱山製錬業の討議テーマは長年にわたることが多いので顔ぶれの変化も少なく、私レベルでも 3 名はすでに顔見知りであった。

MAD は、コロナ禍前もアメリカやヨーロッパの国際的なイベントの前後に開催されていたが、今回も、EMBF 2024（ヨーロッパ鉱山業ビジネスフォーラム：European Mining Business Forum 2024）につなげる日程を選んでソフィアで開催された。MAD 初日の 6 月 4 日（火）は、夕食会を兼ねて参集メンバーの顔合わせ、翌日 6 月 5 日（水）は終日 EMBF に参加、6 月 6 日（木）は鉱

山・製錬所見学を行った。最終日の 6 月 7 日（金）にブルガリア鉱山地質協会事務所の会議室にて終日討議を行い、同日夜も残ったメンバーにて夕食会を兼ねた情報交換を行った。MAD の開催にあたっては、ヨーロッパ地区での開催に際しての慣例に従ってユーロマイنزと会場提供国のブルガリアが幹事国となり、各国への案内や諸行事の準備をした。ブルガリア鉱山地質協会のイヴァン・ミトフ代表と、ユーロマイنزのロルフ・クビー事務局長の効率の良い進行役ぶりに、この場でも言葉に尽くせぬ感謝の気持ちを改めて表したい。

日本は、関連メンバー国の間では地理的に隔絶しているため MAD 開催場所になることは想定されていないが、MAD は最大 10 名程度でのビジネス実務討議や見学会であり、ちょっとした海外来訪者程度の会議室準備と数回の会食費並びに参加者の見学会移動費を予算化すれば、インバウンドで人気上昇中の日本開催による PR 効果、相互理解促進効果が大きいことは間違いない気



EMBF 開会あいさつ

がする。

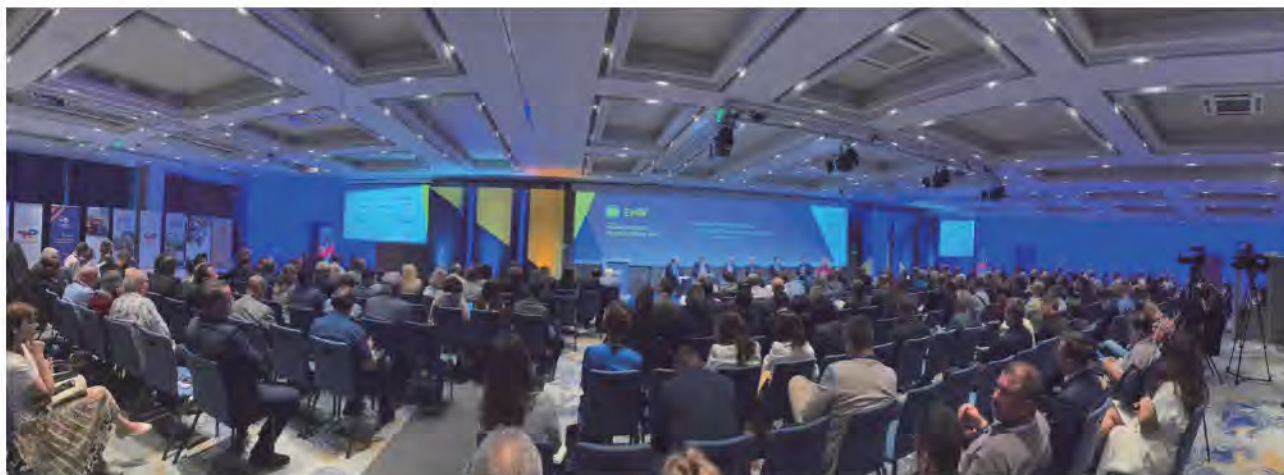
2 EMBF とヨーロッパの鉱山製錬業政策

EMBF 2024（ヨーロッパ鉱山業ビジネスフォーラム 2024）は、EU 諸国を含むヨーロッパ圏の鉱山製錬業界の定期的な会合で、政策アピールや地域の特性アピールが主の様相である。2024 年のテーマの中心は、何と云ってもクリティカルミネラルの欧州内における確固たるサプライチェーンの確立に向けた EU 委員会の政策転換であった。開会の祝辞を述べたブルガリア国エネルギー省大臣や副大臣以下、政治家全員が EU の鉱業政策に同調した自国の資源政策を転換、投資促進、行政手続きのスピードアップなどを強調した。午前中から午後の最初のセッションにかけては、政治家、EU 委員会の鉱業政策担当リーダーなどのパネル討論が行われたが、いずれも現在の金属資源の低自給率アップのためにはどこがポイントかを述べていた。具体的には、環境アセスメント評価期間を 2 年あるいは 3 年にして、だらだら審査という手法で鉱山開発を事実上ストップさせるような行政手続きを改善すること、鉱山開発や操業申請に要する書類を圧縮し、しかも要求記載内容を明確化すること、申請受理後の許諾回答期限を明確化すること、新規鉱山開発投資への財政支援や優遇措置の導入などである。どのプレゼンも類似の内容で、GDP における鉱山製錬業のシェア、雇用割合、地

質学的にみた各国、各地域における資源の賦存可能性などに触れては、それをいかに事業化し、経済貢献度を高めていくかを強調していた。

このような鉱業政策転換に関して、ある出席者より「昨年までは環境保護、外資による地域経済破壊反対を唱えていた政府が、踵を返したように鉱山促進を唱えるのは有権者への裏切り、あるいはご都合主義ではないか」という厳しい口調の質問があった。回答側は「環境や地域の持続的発展と鉱山業の両立は可能」と回答していた。

また、中国という具体的国名を出さない表現で、特定の資源エネルギー供給国への過度の依存を下げるという流れも異口同音に述べられた目標であるが、具体的な内容に乏しく、どの鉱種の鉱工業製品や原材料について中国他への依存度を下げたいのか不明である。一見、中国からのレアメタル等の輸入シェアを下げれば問題解決のように感じるが、現実の事業状況は複雑である。現実的には、メタル関連「輸出」で中国に依存している場合もあれば、セルビアのように中国の紫金鉱業公司による同国のボル銅鉱山、および銅製錬所への大規模投資受入れによって地域経済が活性化している例、アフリカ、南米などで欧米企業と中国企業が共同出資して資源開発を進めている例などを考えた場合、政治プロパガンダ的なこの政策は、かなり脇の甘い内容に感じた。実際、午後に行われた、地域



EMBF 2024 会場全景



米欧鉱業協会関係者によるパネルディスカッション風景

経済と鉱山業の貢献を論じたパネルにおいては、セルビアの中国資本受入れに対して不信感を示した質問者に対して、セルビア側より「過去、英米からセルビア政府が人権蹂躪政権として制裁されて投資を渋られたときには他の欧州諸国も付和雷同して投資を止め、その苦しい時代に手を差し伸べてくれた中国からの資本提供があって昨今の銅鉱山、製錬所の発展があるのに、それを今更に批判できる立場か」という猛烈な反論があった。EMBF という場が祝祭的なイベントに終始せず、自由な発言もどンドンできる場であることが分かったことは個人的には収穫であった。ちなみにセルビアは現在も EU 加盟国ではない。

3 チェロペック金銀銅鉱山およびピルドップ銅製錬所見学

3-1 チェロペック金銀銅鉱山

6月6日(木)は、EMBFの鉱山製錬業直接関係者とMAD関係者を含んだ総勢20名ほどでソフィアの東80~100kmほどの場所にある鉱山、製錬所を見学した。

はじめに訪れたのは、カナダ系列のダンディ・プレシャス・メタルズ・ブルガリア社(以下「ダンディ社」と記す)が操業中のチェロペック金銀銅鉱山であった。チェロペック金銀銅鉱山一帯は、ローマ時代から金銀銅鉱床があることが知られ、現代的な経営改善が進んでいるとは言い難い鉱山が断続的に操業していたが、

ダンディ社が旧鉱山の権益を取得して経営再編に乗り出し、2003年に現体制による操業を開始して以来、安全性と操業効率の良い最新鋭の鉱山に生まれ変わったとのことである。坑内は、大きく「希望坑」と「信頼坑」の2つに分かれていて見学したのは前者の「希望坑」であった。会社の公式サイトにも各種データが公表されているが、粗鉱平均品位は銅0.4%前後、金10g/トン程度で、計画的な探査活動の結果、稼行可能年数はおおむね10年から15年程度を維持で



ダンディ社本部前と見学者



チェロペック鉱山坑内でEV式ローダーの説明を聞く見学者

きていて、今のところ鉱量枯渇の心配はないとのことであった。ここ数年間の精鉱含有量ベースの生産量は、銅 15 千トン、金 4~5 トン、銀は少量で、金主体の中の下くらいの規模ながらも安定的な操業を着実にこなしている印象であった。

また、最近、注目されているテーリング管理については、隣接地の浅い谷間に広大なテーリングダムがあり 20 年~30 年分の受入れ容量が残っているため、現時点では追加の処分場の検討は行っていない。

私たち一行は、最初に管理棟にてイリヤ・ガルコフ副社長以下から鉱山全体の簡単な説明を受けたあと、鉱山事務所に移動し、安全保護具一式を装着して坑口から 400~500m ほど下がった場所にある採掘現場を見学した。会社側がアピールしていたのは、二酸化炭素排出抑制のため最近 1 年以内に導入したバッテリー式の坑内用鉱石運搬車、ドローン利用の無人坑内監視装置、遠隔操作も可能な碎石用ドリル装置であった。また、地上に戻ったあとは全構内の操業状態や排水などをモニタリングしている管理ルームへ導かれ、24 時間体制での監視やデータ収集、生産活動実態の解析が行われているとの説明があった。

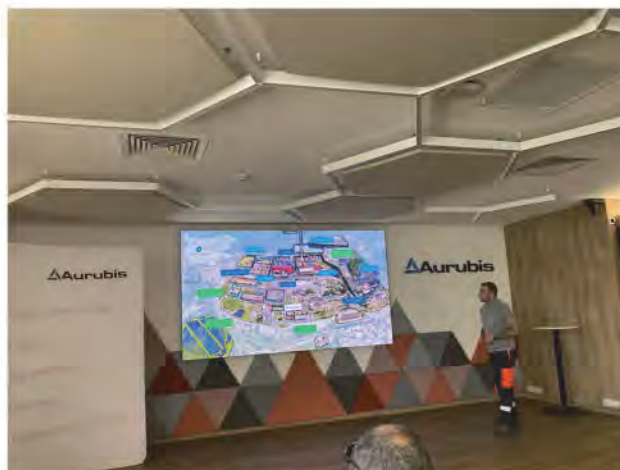
3-2 ピルドップ銅製錬所

6 月 6 日（木）午後は、チェロペック鉱山から

東へ 10 km ほど進んだ場所にあるドイツのアウルビス社が運営するピルドップ銅製錬所を見学した。

ピルドップ銅製錬所では自熔炉方式の精鉱溶解と電気分解による銅地金生産を行っている。現自熔炉方式は 1987 年開始であるが、それまでは地場の会社による旧式の銅製錬所があった。現在の銅地金年産能力は 30 万トンであるが、酸素富化装置を装着している自熔炉の精鉱溶解能力にはかなり余裕があるため、アノードをドイツ国内の自社製錬所に出荷している。

ピルドップ製錬所の将来像については、足元で電解キャパ増強起業に取り組んでいて 2025 年をめどに地金生産能力を年産 34 万トンに高める予定だとのこと。また、グリーン電力化計画も大幅に進め、周囲の空き地や新規の購入用地に



ピルドップ銅製錬所説明風景



ピルドップ銅製錬所本館他風景



転炉建屋前で見学者記念撮影

太陽光発電装置を設置して消費電力の半分以上をグリーン電力で賄いたいとの長期構想説明があった。

現場見学は、転炉および隣接のアノード精製炉の見学から始まり、建屋外に遠望できる硫酸プラントの説明を受けたあと、電解建屋に入った。1987年操業開始の比較的新しい設備のため、電解用の母板はステンレス製でありコスト低減への弛まぬ努力がうかがえた。

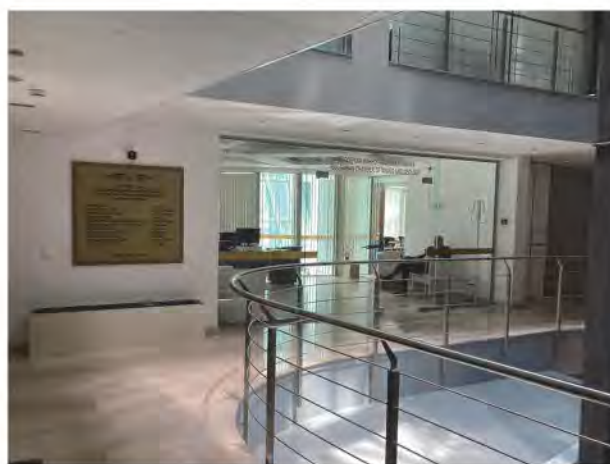
4 MAD 討議と国際規格導入問題

6月7日（金）は、ブルガリア鉱業地質協会事務局の会議室において終日 MAD メンバーによる情勢報告と関連討議を行った。2024年の討議テーマは、クリティカルミネラルの安定確保と、その国際秩序作りをいかに進めるかの2点に集約された。

日本も含めた各代表者は、異口同音にクリティカルミネラルあるいは鉱物資源の安定確保策が直近の政府ならびに業界の中心課題であることをアピールした。ヨーロッパ各国は、2024年5月から施行された、いわゆるEUクリティカルミネラル指令に沿って、自国の国内鉱山開発を推進するための法体系の整備、所要の予算措置の説明などを行った。その他の国々も、各国別の鉱業政策や鉱山製錬業の対応などを紹介した。また、ヨーロッパ各国は6月9日予定（当時）の欧州議会選挙の動静に注目している旨を強調したが、やや右寄りの勢力が欧州議会の多数派

を占める場合は足元の鉱山製錬業推進に追い風になるからとのことであった。

第2のテーマは、クリティカルミネラルの採掘から精製、流通、最終製品の生産に至る全プロセスを包含するようなISO規格を定めて透明性の高いルールのもとで持続的発展を狙おうとする議論に、どのように対応するかという点である。この議論は、一見すると合理的であるように感じられるものの、提案者がEUの法令や商慣行こそ世界標準に最適と関係者にオフレコでしばしば語っていることから類推できるように、自国経済圏に有利なルール作りを強引に押し進めようとしているとの強い批判を受けている。従来、このような議論には日本は受け身であり、議論の表面的な成り行きと政治的駆け引きを含んだ議論の実態の多面性について、関係者の理解を増進することが難しいことが多かった。し



ブルガリア鉱業地質協会事務局



MAD 参加者



MAD 会議室風景



日本経済新聞：2024年5月23日記事

かしながら、2024年5月に政府も今後は国際標準化議論へ積極的に参画し、国際ルールの面でも我が国の国益を守る政策転換を行う内容の新聞報道があった。今後は、各種の国際ルール作りの議論への参画や議論の方向性への理解が進み、MADのような実務レベルも含む対話においても、継続的に深い話し合いができるようになることを期待している。

5 世界の鉱山製錬業協会の趨勢

MAD に集まるのは世界の鉱山製錬業界団体のごく一部であり、ヨーロッパと北米の鉱業協会どうしの対話であるとも言える。2000年代後半から、MAD 関連諸国の鉱業政策は、持続的な鉱山製錬業のスローガンを柱にしてカーボンニュートラル、環境保護、人権尊重、地域社会との共生、合理的で透明な政策、経営方針の決定を訴えてきた。その後、2022年2月にロシアがウクライナに侵攻すると、業界の関心事はエネルギーや資源確保および中国を念頭においた安定的なサプライチェーンづくりに移り、かつてのアピールポイントは少し影の薄い存在に後退した。

今回の MAD においても、各国の政策課題は資源の安定供給確保のために、どのようなやりか

たで、いつまでに自国あるいは EU 全体の鉱山製錬業を拡充、発展させられかが関心の中心であった。そのための前提条件として、環境問題、人権その他の要素が求められるならば配慮するという姿勢であり、かつてのように自由貿易体制を堅持することが経済発展につながり、中国経済との共存による相互発展を望む雰囲気は皆無に近くなった。クリティカルミネラルを指定して、国や地域ごとに手厚い産業奨励政策を打ち出したり、適正な生産、取引慣行の維持拡大の名のもとに自国に有利な規格、規程を主張している感が強まっている。この点ではヨーロッパ諸国は、これらの流れが世界共通の内容であるとみなす傾向が強く、北米や南米、オーストラリア、日本などと利害対立が生じるリスクがあることも感じた。MAD を通して、このような肌感覚レベルでの意識に触れたことは日本側にとっては重要な体験である。

6 その他感想

MAD は、非公開で参加者全員が自分自身の考え方も入れて討議し合う場であるので、具体的な内容を理解している事業関連知識と参加者個人のテーマ意識があれば、鉱業協会の業務に携わるスタッフとして相互の信頼醸成と業務能力研鑽の場となることは間違いない。

日本は、MAD では唯一、ブルガリアの東よりやってきた参加メンバー国であるが、過去の鉱山業の隆盛、現在の非鉄製錬業の事業規模、レベルの高い製錬および環境関連技術、内外の投資先での事故や地域住民とのトラブルが少ないことなどを考えると、もう少し、日本式の鉱山製錬事業管理哲学あるいは現場ノウハウを世界にアピールしても良さそうである。

以上

新規熱伝導性フィラーの開発と電界整列による放熱シートの機能付加

九州大学 大学院システム情報科学研究所 助教 稲葉優文

1. はじめに

半導体デバイスの高性能化、高集積化に伴い、電子デバイスの発熱が問題になっているため、小さい素子から効率よく熱を逃がす、サーマルマネジメントの重要性が増している。放熱技術の向上は、デバイスの損失低減や長寿命化、冷却効率向上に伴う省エネ化、冷却機能の簡素化によるシステムの小型化など、高い経済効果がある。昨今の電子デバイスでは、半導体素子のモールド内の熱抵抗は低減されてきているものの、最終的なヒートシンクへの熱伝達を担う熱界面材料 (Thermal interface material: TIM) の高性能化が未達である。富士経済研究所のレポート[1]によれば 2023 年の TIM 関連放熱関連の経済規模は 10 万ドル程度で、今後も増加傾向

と予想され、国内では化学メーカーなどが研究開発を進めている。現状では TIM は放熱系全体の半分程度の熱抵抗に相当している。この熱抵抗低減には、TIM の熱伝導率の向上が急務である。

デバイスとヒートシンクなどの放熱構造の間には、表面の粗さに起因する空隙層が存在するため、熱が伝わりにくい。これを克服するには、凹凸に追従する柔軟性、面直の熱輸送方向に高い熱伝導性、高周波・パワー用途ではさらに高い絶縁性を同時に満たした TIM の 1 種として、高熱伝導・高絶縁・フレキシブルな放熱シートが要求される (図 1)。放熱シートは絶縁・高熱伝導性のフィラーと柔軟な樹脂母材により構成される複合材料である。シリコンやエポキシなどの典型的な弾性樹脂基材の熱伝導率は～

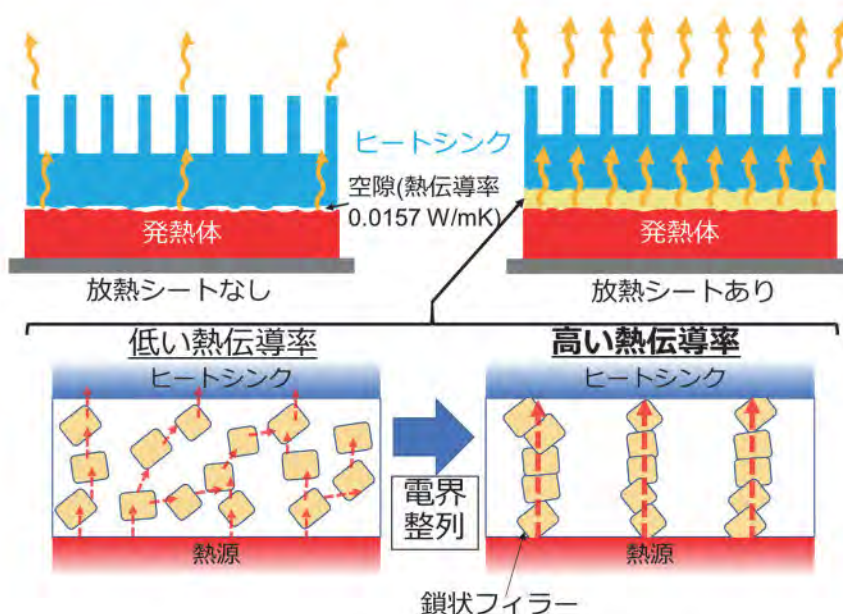


図 1 研究のコンセプト。放熱シートへの電界整列技術の適用で高熱伝導率化を図る

0.2 W/mK と低く、他の多くのポリマー材料も一般に熱伝導率が低い。これまで、放熱シートの高熱伝導率化は、熱伝導性フィラーの高充填化により実現されてきたが、高充填化は柔軟性の低下、フィラーの使用量増加による高コスト化、比重の大きいフィラーによる重量化につながり好ましくない。しかし、フィラー充填量を低下させれば熱伝導性が低下する。現状の製品では、柔軟性をある程度犠牲にした高熱伝導率化が行われているが、作業時のリワーク性低下、経年時のクラック発生などの課題がある。このトレードオフを解決するには、高熱伝導率のフィラーを、充填率を抑えつつ混入し、高い熱伝導率と柔軟性、さらに特にパワーデバイス用途ではデバイスとの電気絶縁（電動自動車では 1200 V 以上、低誘電損）を同時に達成する必要がある。その手段としては、フィラー形状の変更とフィラーの配置制御、フィラー・樹脂間の界面制御・異径粒子の複合による内部の熱抵抗低減などが挙げられる。

フィラーの配置制御においては、主にフィラーの鎖状構造を形成すること（ここでは整列と呼ぶ）が試みられている。フィラーの整列には、剪断場による整列、磁界整列、電界整列等が考案されている。剪断場による整列は、主に二次元材料などを面内方向に整列することに用いら

れるが、面直方向への整列が困難である。磁界整列は、高磁場により粒子を配向させることは可能であるが、整列した鎖状構造の形成には向かない。磁性微粒子をフィラーに付加し、磁石として整列させることは可能であるが、工程が増えるデメリットがある。電界整列は、フィラーの誘電分極を利用した整列方法であり、材料を選ばないメリットがある。

筆者は、高熱伝導・高絶縁・フレキシブルな放熱シートの開発にむけて、樹脂中における絶縁・高熱伝導性フィラーの電界整列に取り組んでいる。ここではその一部として、電界整列の基礎原理と、電界整列技術の高度化、新規二次元フィラーの開発について紹介する[2]。

2. 電界整列の原理

フィラーのような粒子が、樹脂の溶液中に 1 個存在し、それを平行電極で挟んだ状況を仮定する（図 2 (a)）。平行電極に電圧を印加すると、電気力線が (a) 上図のように発生する。これにより、粒子の誘電率が樹脂溶液よりも高ければ、電極の正側には正電荷が、負電極側には正電荷が粒子の誘電分極により発生する（(a) 中図）。この分極電荷により粒子は引っ張られ、回転トルクが発生し、粒子の長軸が電気力線の方向に沿うように回転する（(a) 下図）。これがいわゆ

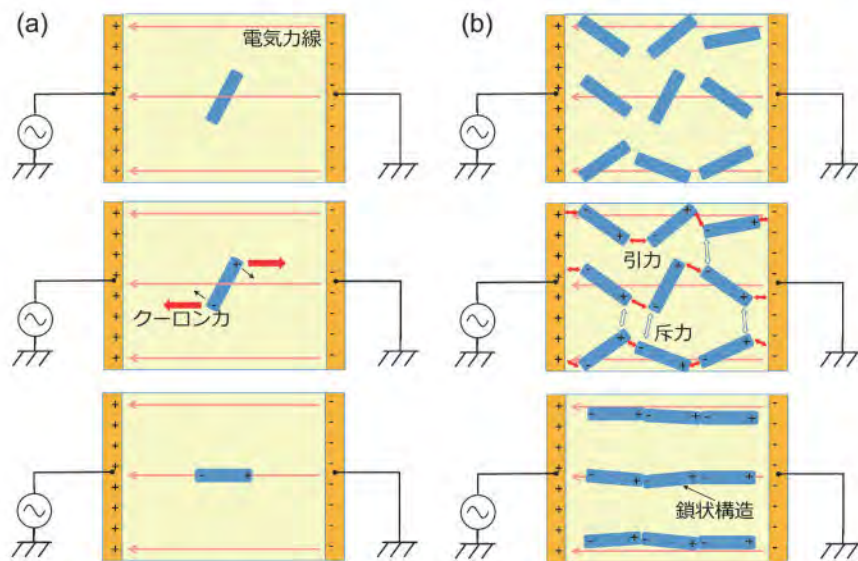


図 2 電界整列の模式図 (a) 1 粒子系 (b) 多粒子系

る電場配向である。

次に、多数の粒子が樹脂溶液中に存在する場合を考える（図2（b）上図）。この際も、1粒子の場合と同様に、粒子は回転トルクを受けるが、これに加え、近隣の粒子の分極電荷と引力・斥力を受ける（（b）中図）。すると電気力線に沿った粒子同士で鎖状構造（パールチェーン）を形成する（（b）下図）。これが電界整列である。

電界整列の発生条件としては、フィラーと樹脂溶液の誘電率が異なること、樹脂溶液の導電性が小さいこと、平行電界を印加することが挙げられる。フィラーと樹脂溶液の誘電率は、どちらが大きくても整列は発生する。電界を発生させるための電圧は直流でも交流でも良いが、直流の場合は電圧を印加する1回だけの整列となる。直流をオン・オフするスイッチング直流などもある。交流では分極方向を変えながら継続的に整列の駆動力が発生する。筆者のグループでは交流電圧印加を採用している。このとき、誘電分極は電極とフィラーの容量結合により発生するため、溶液は電極に直接接触しなくてもよい。

粒子の電界整列の基礎理論は、Jones[3]が詳しくまとめているので、詳細な解説はそちらに

譲ることとする。

3. 回転電極電界整列技術への高度化

これまでの研究において、比重の大きな熱伝導微粒子は、樹脂溶液中での電界整列の最中に沈降してしまい、効果的に電界整列することが難しい問題があった。そこで、フィラーの沈降を抑制する機構を導入することで、電界整列の効果を促進することを試みた。フィラーの沈降を抑制するには、重力をゼロにすればよいことになるが、単純にこれをやろうとすると無重力実験が必要になり、コスト的に見合わない。沈降を現実的な手段で抑制するには、系全体を回転させ、フィラーを樹脂内で円形に回転させ、元の位置に戻すことができればよい。放熱シート作製における電界整列には、高電界印加のための平衡電極系、樹脂の効果のための加熱機構が必要である。これらに加え、沈降抑止のための回転機構を備えた、図3のような装置を構築した[4]。

樹脂溶液とフィラーによって構成される系全体が回転しているときの粒子の挙動について考える。粒子が球形の場合、層流における重力による粒子の飽和沈降速度 v [m/s] は、ストーク

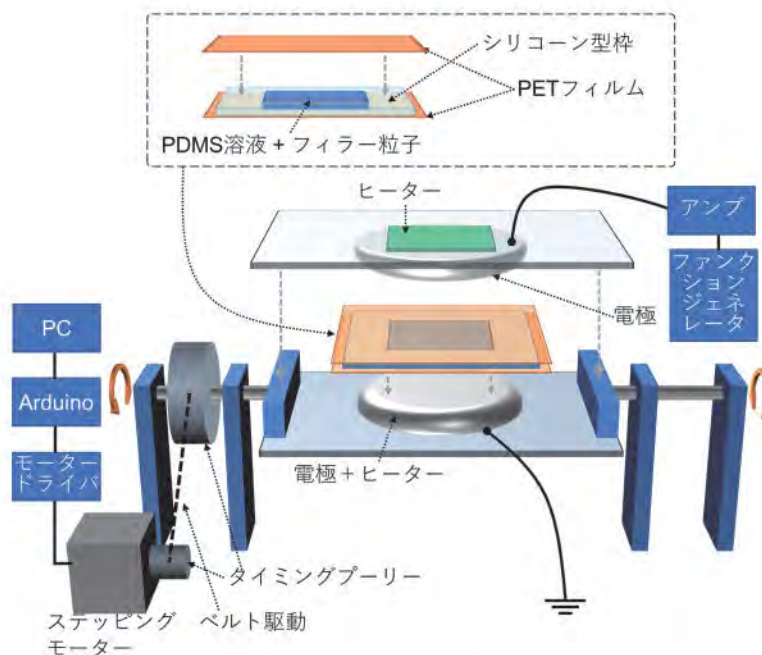


図3 回転電極を備えた電界整列システム

スの式で記述できる。

$$v = \frac{(\rho_p - \rho_f)g}{18\eta} d^2$$

ここで、 η [Pa·s]、 ρ_p [kg/m³]、 ρ_f [kg/m³]、 g [m/s²]、 d [m] はそれぞれ溶液粘度、粒子の質量密度、液体の質量密度、重力加速度、粒子半径である。さらに、粒子の回転半径 r [m]、系全体（電極）の回転角速度 ω [rad/s] を用いて

$$v = r\omega$$

と表せることから、

$$r = \frac{(\rho_p - \rho_f)g}{18\eta\omega} d^2$$

となる。電極の回転速度 ω は、遠心力による粒子の偏りを押さえるために小さくする必要があり、筆者のグループではこれを 1.5 rpm (~0.16 rad/s) としている。直径 50 μ m のダイヤモンド粒子、粘度 4 Pa·s のポリジメチルシロキサン (PDMS, Sylpot184, Dow coning) 母材として計算すると、 $r=4 \mu$ m となる。これは粒子半径よりも小さく、粒子はほとんど元の位置を維持すると予想できる。もちろん、樹脂の粘度、回転角速度などを変化させると回転半径は変動するが、概ね重力によるフィラー沈降の影響を抑止できたといえるだろう。

電界整列のサンプルとしては、フィラーとしてダイヤモンド粒子と、樹脂としてシリコーン

系の PDMS を用いた。ダイヤモンドは室温でおよそ 2000 W/mK という絶縁体中最高の熱伝導率を持っており、本実験で用いたもの（トーメイダイヤ社製）は主に砥粒として使用されるものである。ダイヤモンド粒子を PDMS に投入し、ミックスローターを用いて攪拌した。ポリエチレンテレフタレート (PET) フィルム上に、シリコーン樹脂をくりぬいた型枠を貼り付け、そこにダイヤモンド懸濁 PDMS 溶液を滴下した。その後、もう一枚の PET フィルムをかぶせ、試料とした。試料を電極に挟み、電極を回転させつつ、交流電圧 (60 Hz, 5 kVpp (=振幅 2.5 kV)) を印加した。3 分後、電極回転・電圧印加を継続させつつ樹脂硬化のための加熱を開始した。15 分程度で加熱温度の 80°C に達し、合計 50 分加熱を継続した。試料を取り出し、断面の光学顕微鏡観察と定常熱流法による面直方向の熱伝導率計測から、電圧印加の有無、回転の有無の効果を比較した。

まず、電極回転の効果を比較する。図 4 に電圧を印加しないときの試料の断面像を示す。電界整列無しで電極を回転しない場合、フィラーは試料の底部に沈降しているのに対し、電極回転した場合はフィラーの位置は初期の分散状態を維持している。ここから、電極回転によりフィラー沈降の影響を大きく抑制できたことがわ

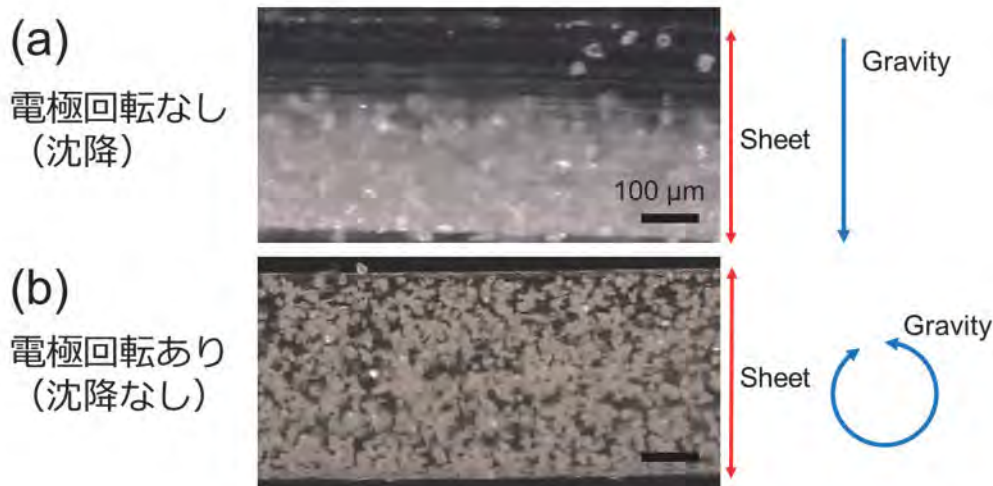


図 4 電極回転の有無による断面光学顕微鏡象の違い
(粒子径 20 μ m, 充填率 20 wt% (6.7 vol%), 電圧印加なし)

かる。

次に、電界整列した場合の試料の断面像を図5に示す。電界整列した場合、低充填率では電極回転無し的时候にはフィラーは鎖状構造を形成しているものの、シートの上部まで架橋するには至らず、上部に樹脂のみの層が生じている。充填率を上げると、粒子鎖はシートの上下を架橋しているように見える。電極回転ありの場合には、鎖状構造は充填率によらずシートの上下を架橋した。この傾向は粒径を20 μm, 50 μmで変化させても同様であった。

面直方向の試料の熱伝導率は、定常熱流法により評価した。シート厚1 mm, 5 kVpp, 60 Hz の

条件で、50 μmの粒子を用い、フィラー充填率を変化させた試料の熱伝導率を図6に示した。電界整列していない場合、熱伝導率は電極回転よっては変化しなかった。電界整列により熱伝導率は上昇したが、電極回転した場合の方が熱伝導率が高い傾向が得られた。これは、フィラーの鎖状構造がより放熱シート面の直方向に架橋したことを反映している。6.7 vol% (20 wt%), 30.5 vol% (60 wt%), 54 vol% (80 wt%) と充填率が増加するにしたがって電圧印加なしの場合も熱伝導率が上昇しているが、これは粒子同士のパーコレーションにより自然に熱伝導率のパスが形成されたためである。電圧印加無し

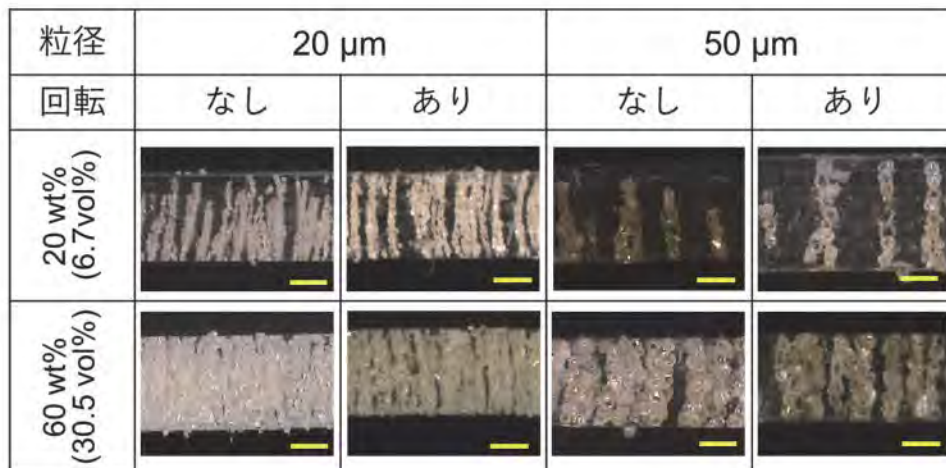


図5 電極回転の有無、粒径、充填率を変化させたときの電界整列した試料の断面光学顕微鏡像の違い

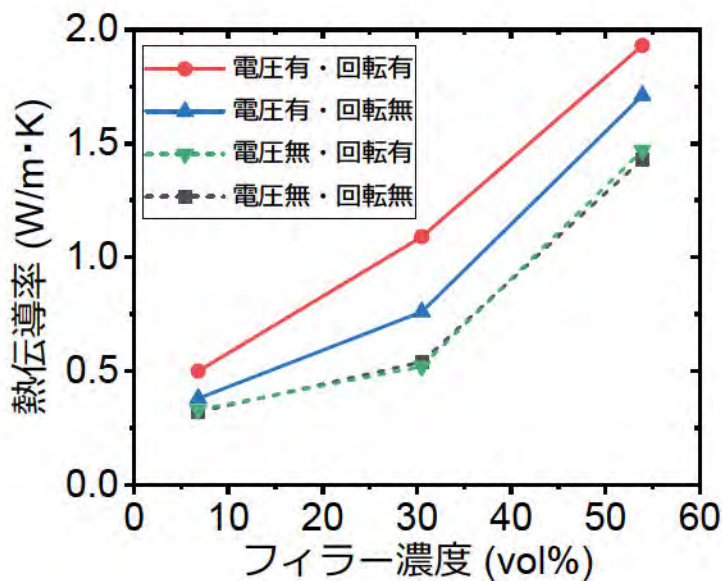


図6 試料の熱伝導率のフィラー濃度依存性

では、電極回転による熱伝導率の差は確認できなかった。

電圧印加したとき、回転無しの場合でも回転ありの場合でも熱伝導率は広い充填率領域で向上した。回転の有無で比較した場合、回転ありの電界整列でより高い熱伝導率が得られた。充填率 54 vol%において、熱伝導は本測定で最高の 1.9 W/mK が得られた。電界整列では、低充填の場合は粒子が鎖状構造を形成するが、高充填の場合は周囲の粒子が立体干渉を起こして大きく動かない。この場合でも熱伝導率の向上効果が確認できるのは、電界整列により粒子の配置が変化し、面直方向の熱伝導パスの形成を促進するためであると予想される。より高充填の場合は粒子が動かず、熱伝導率の向上効果が弱まることが予想されるが、これについては現在調査中である。

4. 多結晶ダイヤモンドフレークの開発

放熱シートの高熱伝導率化の別のアプローチとして、フィラー形状を球状から二次元構造や一次元構造に変更することが検討されている。放熱用途に用いられる代表的な二次元フィラーとしては、板状アルミナや六方晶窒化ホウ素な

どが挙げられる。一方で、絶縁体中最高の熱伝導率をもつダイヤモンドは、その成長様式の影響で球形やブロック状になりやすく、二次元的な形状はこれまで作製されてこなかった。そこで、筆者らは、大面積合成が可能な多結晶ダイヤモンド (Poly-crystalline diamond; PCD) 薄膜に着目した。PCD 薄膜を砕いてフィラーとすることで、ダイヤモンド由来の二次元熱伝導フィラーを世界に先駆けて作製した[5]。余談であるが、この PCD 薄膜は、ホウ素などのドーピングにより導電性を持たせることで、電気化学電極の応用が期待されている[6, 7]。

PCD フレークは、以下の 4 つのステップで作製した (図 7)。まず、ナノダイヤモンド懸濁溶液 (0.5 wt%, uDiamond Amine D, Carbodeon Ltd. Oy, Finland) を 3 インチの Si ウェハー上にスピコートし、成長核を分散させた (図 7 (a))。

PCD 膜は、熱フィラメント化学気相成長法によって Si ウェハー上のダイヤモンド核から成長させた (図 7 (b))。ダイヤモンドの成長条件は一般的な条件を用いた[8]。フィラメントとウェハー間の距離は 15 mm、フィラメント温度は 2200°C とした。H₂ の流量は 2000 sccm に固定した。CH₄ の流量は最初の 1 時間は 30 sccm であったが、

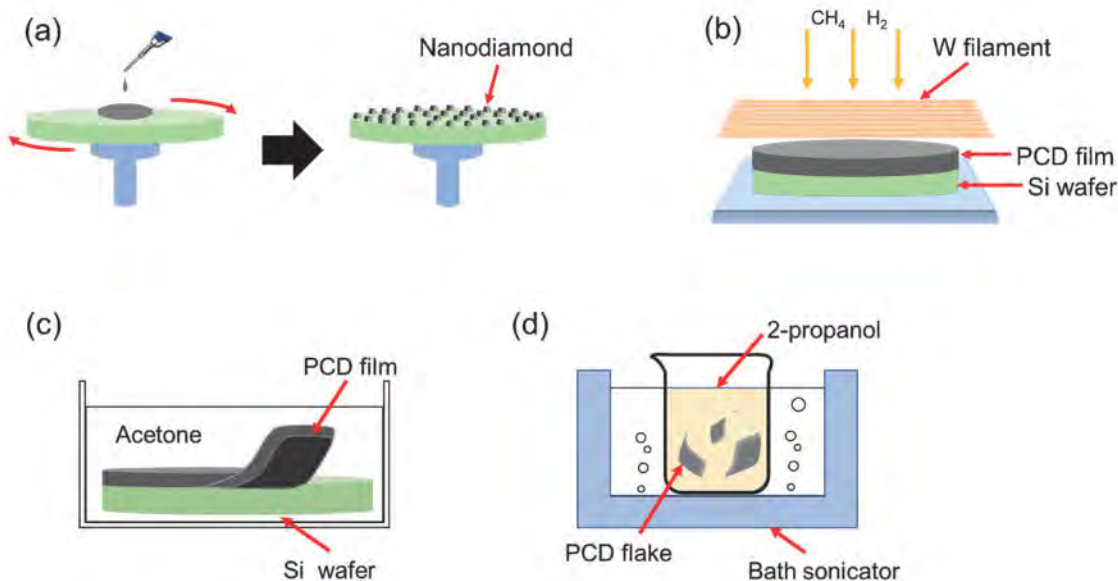


図 7 (a) 成長核を形成するためのナノダイヤモンドのスピコート (b) 熱フィラメント化学気相成長法による PCD 膜の成膜 (c) アセトン中での PCD 膜の剝離 (d) 2-プロパノール中での PCD 膜の粉砕

その後9時間は60 sccmに変更した。PCD膜の平均膜厚は1 μm であった。PCD膜の形態を走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察した。

PCD膜をアセトンに浸し、Si基板から剥離した (図7 (c))。剥離は基板の外縁から始まり、アセトンがPCD膜とSi基板の界面に浸透し、膜全体が剥離した。

剥離したフィルムを2-プロパノールに浸し、超音波洗浄機を用いて1時間粉碎し、PCDフレークとした。(図7 (d))。粉碎後、PCDフレークを

光学顕微鏡とSEMで特性評価し、ImageJ (<https://imagej.net/ij/index.html>) を用いて粒度分布を評価した。図8にPDCフレークの写真を示す。PCDフレークは円換算直径35 μm 、厚み1 μm 程度の大きさであった (図8 (a))。

電場下でのPDMSマトリックス中のPCDフレークと粒状ダイヤモンドの挙動を図9に示す。このときの観察系は図9 (a) のようになっており、重力の影響を受けて粒子は溶液中で沈んでいる。電圧印加前 (図9 (b), (d))、フィラーは電極間

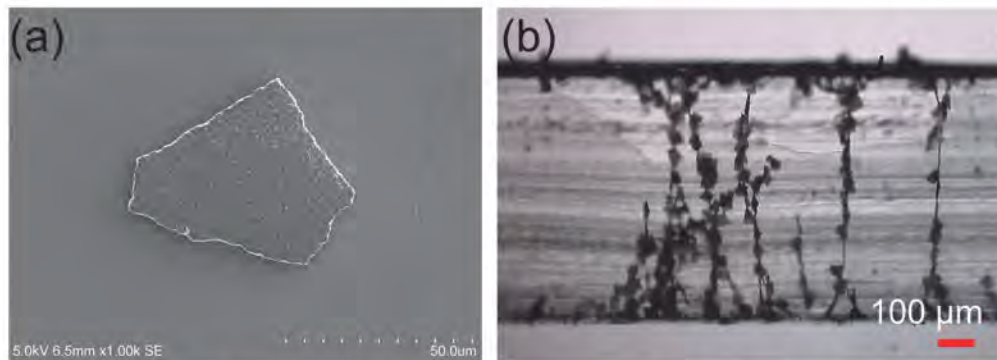


図8 (a) PCD フレークの SEM 像 (b) PCD フレークを PDMS 中で電界整列させたときの断面光学顕微鏡像

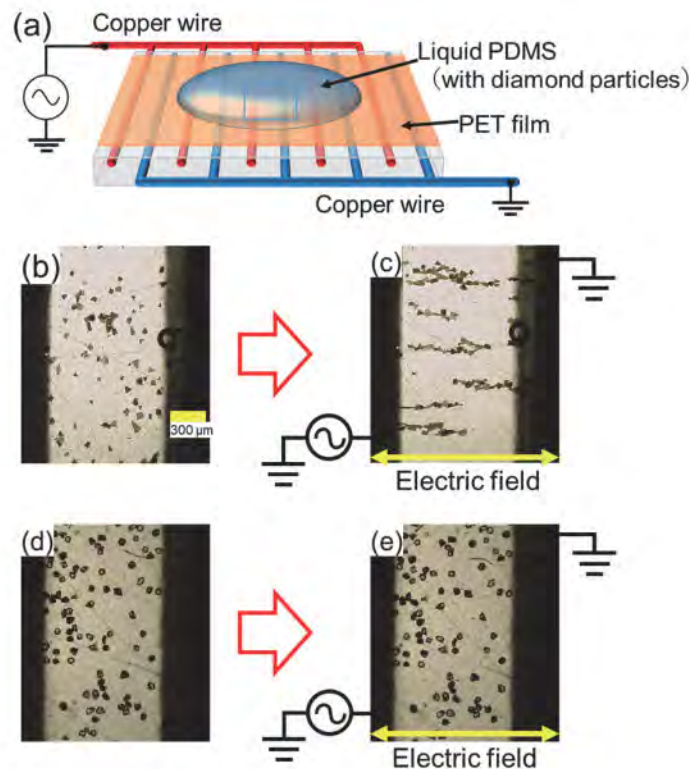


図9 (a) 電界整列挙動の観察系。電圧印加前 ((b), (d)) と印加2分後 ((c), (e)) の (b), (c) PCD フレークと (d) (e) ダイヤモンド顆粒の電界整列挙動観察。スケールバーは300 μm

にランダムに分散していた。電圧印加 2 分後、PCD フレークは電気力線（垂直方向）に沿ってパールチェーン状の整列を形成した（図 9(c)）が、ダイヤモンド顆粒では有意な整列は観察されなかった（図 9 (e)）。このとき、フィラー粒子は重力により下部の PET フィルムに接触しており、疎な分布により球形粒子は周囲の粒子との引力の影響が PET フィルムとの摩擦を上回っていないため、動かなかったと考えられる。PCD フレークでは、PET フィルムとの摩擦を粒子間引力が大きく上回り、速やかに整列が進行した。この 2 種類のダイヤモンドフィラー粒子の違いは、分極によって誘起される粒子周囲の電場の大きさの違いによるものと考えられる。薄片は 1 μm と薄く、エッジがギザギザしているため、薄片のエッジの電界は、直径 20 μm のほぼ球状のダイヤモンド粒子周囲の電界よりも高くなるはずであり、その結果、薄片間の引力が顆粒間の引力よりも大きくなった。このとき、フィラー粒子は沈降して PET フィルムの底面に接触するため、フィラー粒子は、フィラー-フィラー間の引力が底面の PET フィルムからの摩擦力を上回ったときにのみ移動する。

PCD フレークを、PDMS の樹脂溶液に混合し、

前述の回転電極により電界整列させた結果を図 8 (b) に示す。電圧印加しない場合、PCD フレークは溶液内に分散しているが、電圧印加により、整列する挙動が観察された。さらに、フレーク同士の重なりや、フレークによる鎖状構造間に架橋しているネットワーク構造が観察された。

熱伝導率を PCD フレークと単結晶の球状ダイヤモンド粒子で、同充填量で比較した結果を図 10 に示す。フレーク、球状粒子とも、電界整列により熱伝導率は向上した。PCD フレークと球状粒子で、電界整列したものを比較した場合、熱伝導率はそれぞれ 0.47, 0.37 W/mK で、PCD フレークを複合したサンプルの方が熱伝導率が高かった。ダイヤモンドの熱伝導はフォノン伝導により決定される。フォノンは結晶粒界などにより散乱されるため、多結晶の場合、フォノン散乱により熱伝導率は低下する。つまり、PCD フレークは、熱伝導率が単結晶に近い球状粒子よりも低くなるにもかかわらず、放熱シート中で整列させた場合、高熱伝導率を発揮することが示唆された。これは、球状粒子ではフィラー間の接触が点接触になるのに対し、フレーク上の粒子では粒子同士の重なりがあることによりフィラー間の熱抵抗が小さくなっていることが原因

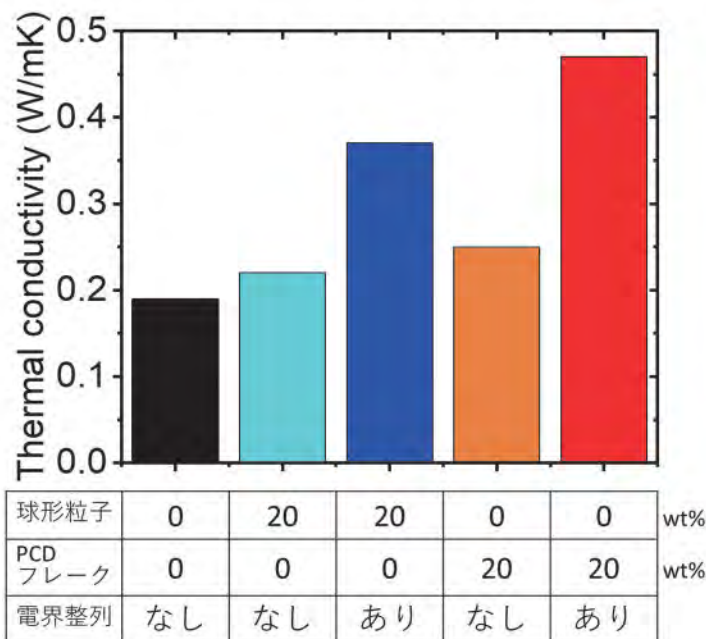


図10 PCD フレークと球形粒子を用いた試料の熱伝導率

と考えられる。前述のネットワーク構造についても、熱伝導率の向上に寄与している可能性があるが、この点は未調査である。

今後、PCD フレーク自体の熱伝導の測定や、単結晶のダイヤモンドフレークの作製を目指した研究開発を展開する予定である。

5. 結言

複合材料中の微粒子操作の手法の一つである電界整列について、原理から放熱材料における応用までを紹介した。電界整列による粒子の配置操作は、同じ充填率で熱伝導率を向上する効果と、同じ熱伝導率で充填率を低減する効果の2つが考えられる。電界整列は材料選択性が小さく様々な材料に適応可能であり、汎用性の高い技術であるため、放熱用途以外にも、異方性電気伝導の付与など、応用範囲が広いといえる。今後、熱伝導材料を含めた多様な機能性複合材料開発への貢献が期待される。

筆者のグループで開発した多結晶ダイヤモンドフレークは、熱伝導率が単結晶に近い球状粒子よりも低くなるにもかかわらず、放熱シート中で整列させた場合、高熱伝導率を発揮することが示唆された。

参考文献

1 <https://www.fuji-keizai.co.jp/report/d>

<etail.html?code=162302807>

2 https://shingi.jst.go.jp/list/list_2023/2023_kyushu-u.html#20231012X-007

3 T. B. Jones “Electromechanics of Particles” Cambridge University Press (1995).

4 M. Inaba, Y. Chen, S. Seike, J. Hirotsu, M. Nakano, J. Suehiro, “Effect of the gravitational force on electrical alignment of diamond filler particles in polydimethylsiloxane-based heat-conduction sheets”, *Diam. Relat. Mater.*, 146, 111246 (2024).

5 M. Inaba et al., submitted.

6 栄長 泰明, “ダイヤモンド電極 (化学の要点シリーズ 14)” 共立出版 (2015).

7 R. Arita, N. Morita, K. Takemura, W. Iwasaki, S. Ueda, and S. Ohmagari, “Electrochemical fingerprinting of complex solutions using boron-doped diamond electrodes: Advanced classifications by machine learning,” *Diam. Relat. Mater.* **144**, 110951 (2024).

8 S. Ohmagari, “Single-crystal diamond growth by hot-filament CVD: a recent advances for doping, growth rate and defect controls”, *Funct. Diam.* 3 (1), 2259941 (2023).

日本鉱業協会の動き（6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
3日	・日本鉱業振興会 理事会	・再資源化部会
4日	・日本メタル経済研究所 理事会（オンライン） ・JMEC 公募選定委員会 ・経済産業統計協会 月例会	・省エネ部会・電気委員会合同会議
5日	・日本銅センター定時総会・理事会・表彰式	・休廃止鉱山資格認定協会 評議員会
6日	・一木会 ・月例懇談会 ・資金専門委員会 ・総合資源エネルギー調査会 資源・燃料分科会 鉱業小委員会	
7日	・総合資源エネルギー調査会 第41回資源・燃料分科会 ・駒場リサーチキャンパス（東京大学）	・資源・素材学会 表彰・奨学委員会（オンライン） ・資源環境センター運営委員会
10日	・インターガルバ2024 ベルギー（～14日 ブルージュ）	
11日	・税制・会計合同専門委員会 ・「鉱山」編集委員会	・鉱山保安表彰実行委員会
12日		・全国鉱山・製錬所現場担当者会議および見学会（～14日）
13日	・二木会 ・一金会 ・経団連 木曜会	
14日		・経団連 カーボンニュートラル行動計画WG（オンライン） ・全国火薬類保安協会 理事会
17日	・資源環境センター評議員会	
18日	・経団連 幹事会	・スラグ委員会 ・人材育成WG
19日	・JMEC 臨時理事会	・JMEC 評議員会
20日		・NEDO「サンシャイン計画50周年記念シンポジウム」（オンライン）
21日	・理事会 ・八社総務部長会 ・鉛亜鉛需要開発センター運営委員会	
24日	・鉱業政策懇談会	・スラグ委員会 ・産業廃棄物処理事業振興財団 評議員会 ・日本地熱協会 技術交流会
25日	・日本鉱業振興会 評議員会 ・銅報告会・銅友会合同会議（オンライン） ・ダイカスト用亜鉛合金委員会	
26日	・二日会 ・二八会	・JOGMEC 坑廃水処理の高度化技術調査事業委員会及び臨時理事会（オンライン） ・令和6年度水銀大気排出抑制対策調査検討会（オンライン）
27日	・特許委員会	
28日	・地金統計部会（オンライン）	・令和6年度国際金属資源循環促進検討委員会（オンライン） ・経団連 環境委員会 「AZECに関する政府の取り組みとエネルギー政策の動向」

【国内関係事項：一般】

[26日] 2023年5月に「GX脱炭素電源法」が成立し、原子力発電所の新たな高経年化規則として30年を超える運転に対する長期施設管理計画の認可制度において、関西電力大飯原発3、4号機が初めて原子力規制委員会より認可された。九州電力川内原発1、2号機も6月24日に申請を行った。

【国内関係事項：業界】

[3日] 三井金属鉱業と東邦亜鉛は、東邦亜鉛が保有する八戸製錬の全株式（持分10.48%）の取得を決定したと発表した。株式取得日は2024年6月28日であり、これにより同社の持分は95.99%となる。

[4日] ラサ工業は、2033年の創業120周年に向けた長期ビジョン「Rasa Vision 2033」を策定し、「企業価値の向上と持続的成長の追求」と、「サステナブルな未来の実現」を軸に、企業価値の向上と成長戦略に取り組んでいくと発表した。

[4日] 住友金属鉱山は、カナダの資源メジャー企業テック・リソーシズとチリ共和国において共同で推進しているケブラダ・ブランカ銅鉱山の開発プロジェクトについて、同鉱山からの銅精鉱が東予工場に到着し、2024年5月31日に初荷役を執り行ったと発表した。

[5日] JFEミネラルは、2024年3月より機能素材製造所ニッケル超微粉第5及び第6工場において、オンサイト型PPAモデルによる太陽光発電設備を導入したと発表した。

[12日] JX金属は、タツタ電線株式会社に対する公開買付けについて、国内外の競争法に基づき必要な手続及び対応のうち、未完了となっていた中国における競争法に基づき必要な手続及び対応に関して、2024年6月11日、クリアランスの取得を完了したと発表した。

[12日] 三菱マテリアルは、使用済みエアコンの室内機を自動で解体するシステムの販売を開始したと発表した。本装置の導入により、エアコン解体に関わる省人化及び回収物の効率的な確保を実現していく。

[12日] 日本冶金工業は、世界ステンレス協会が主催する「Stainless Steel Industry Awards 2024」において、同社のステンレス床用鋼板ポルカプレー

トが、新しい分野への市場開発の取組みが高く評価され、市場開発部門の金賞を受賞したと発表した。

[18日] JX金属は、需要が拡大する次世代半導体向けCVD・ALD材料の本格供給に向け、同社日立事業所白銀地区及び東邦チタニウム茅ヶ崎工場の敷地内への生産設備及び開発設備投資を決定したと発表した。

[18日] 三菱マテリアルは、同社グループの国内の銅製錬所で生産された電気銅のカーボンフットプリントを算定し、その結果について、国際的な基準に準拠していることを示す第三者による検証を受けたと発表した。

[20日] JX金属は、タツタ電線株式会社に対する公開買付けに必要な手続及び対応が完了したことを受けて、本公開買付けの実施の前提条件がいずれも充足されたことを2024年6月20日に確認し、同日付で、本公開買付けを2024年6月21日より開始することを決定したと発表した。

[21日] JOGMECは、2024年6月14日、在日チリ共和国大使館と共催で、銅やリチウムなどの鉱物資源が豊富なチリ共和国のウィリアムス鉱業大臣をはじめとする代表団の来日に合わせて、「チリにおけるクリティカルミネラルとリチウムの持続可能な開発戦略セミナー」を開催したと発表した。

[21日] 日本冶金工業は、大江山製造所で生産する微粒フェロニッケルスラグ（製品名ナスファインサンド）が、2024年6月20日付で日本産業規格（JIS）に制定されたと発表した。これにより、微粒フェロニッケルスラグの品質に対する信頼性が高まり、公共工事での普及などの新市場の創出や資源の有効活用が期待される。

[26日] JX金属は、同社が全株式を保有する無錫日鉱富士精密加工有限公司の同社持分全てを売却することとした。機能材料事業においては、主力である精密圧延事業強靱化に経営リソースを集中することとした。

[26日] JX金属は、チリ国カセロネス銅鉱山の運営会社であるSCM Minera Lumina Copper Chileの株式の51%はLundin Mining Corporationの完全子会社であるLMC Caserones SpAへの譲渡を2023年7月に完了していたが、今般、同株式の19%を追加譲渡することについてLundin社との間で合意したと発表した。

【海外関係事項：一般】

[5日] インドの総選挙でモディ首相率いるインド人民党を中心とした与党連合が過半数を維持した。
[6日] ヨーロッパ中央銀行は独フランクフルトの本部で金融政策を決める理事会を開き、2019年9月以来となる0.25%の利下げを決定した。
[13～14日] イタリア南部のプーリア州でG7サミット（主要7か国首脳会議）が開催された。

【海外関係事項：業界】

[3日] 豪政府は、複数の中国系投資家に豪レアアース鉱山会社ノーザン・ミネラルズの株式を売却するよう命令したことを発表した。
[10日] ブエナビエンチュラ（ペルー）は、地域住民が敷地内に侵入し抗議活動を開始したことから5月22日に操業を停止したペルー中部リマ州のエル・プロカル選鉱場について、ペルー政府の仲介により地域住民と合意し操業を再開したことを発表した。
[10日] ネバダ・カッパー（加）は、米連邦破産法第11条に基づく破産を申請し、米ネバダ州に有するパンプキン・ホロウ銅鉱山の操業停止を含む経営再建プロセスを開始したことを発表した。
[12日] 中国五鉱集団（China Minmetals Group）子会社のMMG（豪）は、ボツワナで操業するコエマカウ銅鉱山の生産量を倍増させるため、7億米ドルの増産投資を行うことを発表した。

[13日] マリ鉱山連盟は、同国南部カラナ地区の違法金鉱山で崩落事故が発生し、少なくとも22人が死亡したことを発表した。

[17日] バイタル・メタルズ（豪）は、カナダ国内のレアアース鉱山で生産したレアアースについて、中国の盛和資源控股（Shenghe Resources Holding）に売却する予定を取り止め、カナダの州政府系組織に売却することを発表した。

[19日] タセコ・マインズ（加）は、労働組合がストライキを開始したことから6月1日に操業を停止した加ブリティッシュコロンビア州のジブラルタル銅鉱山について、労使協定が暫定合意に至り操業を再開したことを発表した。

[20日] ヴァーレ（ブラジル）は、ブラジルとカナダの銅・ニッケル事業において、今後4年間で33億米ドルの増産投資を計画していることを発表した。

[24日] エラメット（仏）とドイツ化学メーカーのBASFは、インドネシア北東部ハルマヘラ島のウェダベイで計画していたニッケル・コバルト製錬所の建設プロジェクトを取り止めることを発表した。

[27日] PTフリーポート・インドネシア（PTFI）は、三菱マテリアルとのJVであるPTスマルティング（PTS、インドネシア）が進めてきたジャワ島東部のグレシック銅製錬所の増産起業が完了し、試験操業を開始したことを発表した。

関係法令情報（官報）

【政令】

[28日] 経済産業省組織令及び産業構造審議会令の一部を改正する政令 (二三五)

【省令】

[3日] 労働安全衛生規則の一部を改正する省令 (厚生労働九五)
[28日] 火薬類取締法施行規則の一部を改正する省令 (経済産業三九)
[28日] 鉱山保安法施行規則の一部を改正する省令 (経済産業四〇)
[28日] 鉱業上使用する工作物等の技術基準を定める省令の一部を改正する省令 (経済産業四一)
[28日] 経済産業省組織規則等の一部を改正する省令 (経済産業四二)

【告示】

[3日] 安全衛生特別教育規程の一部を改正する件 (厚生労働二一三)
[27日] 労働基準法施行規則第三十八条の七から第三十八条の九までの規定に基づき、休業補償の額の算定に当たり用いる率の一部を改正する件 (厚生労働二三四)

- [28 日] 火薬類の容器包装の基準を定める告示の一部を改正する告示 (経済産業九五)
- [28 日] 経済産業省組織令の一部を改正する政令及び経済産業省組織規則等の一部を改正する省令の施行に伴う経済産業省関係告示の整理に関する告示 (経済産業九六)

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77巻第6号（通巻第823号）

発行 令和6年7月25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 大石 保 印刷所 日本印刷株