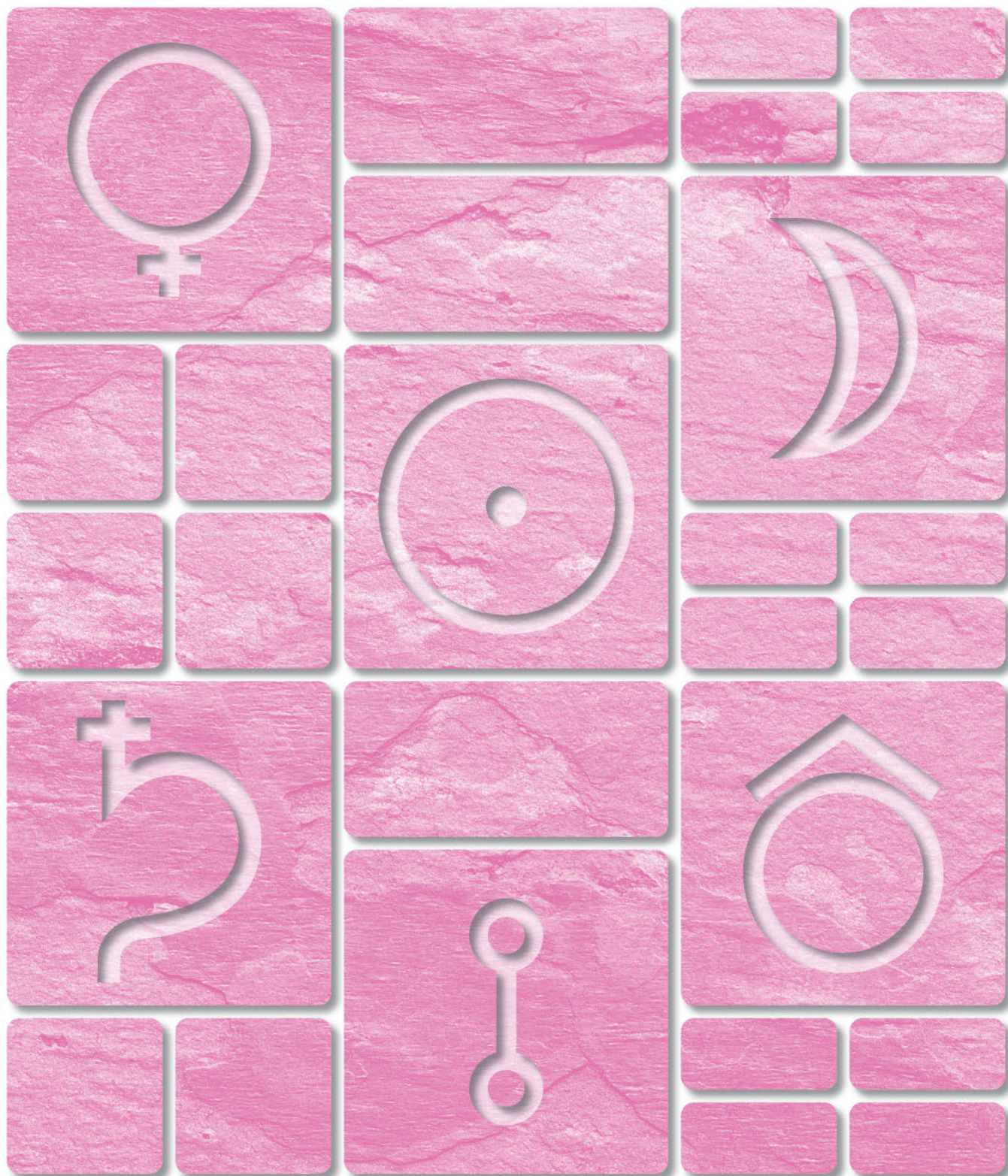


金広山

7
2023



2023 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	野崎 明	…… (7)
見学会「A 班見学記（資源部門）」	日鉄鉱業株式会社	青島 優生	…… (9)
見学会「B 班見学記（製錬部門）」	東邦亜鉛株式会社	石橋 克幸	…… (12)
見学会「C 班見学記（分析部門）」	三井金属鉱業株式会社	遠藤 哲	…… (15)
見学会「D 班見学記（工務部門）」	DOWA テクノロジー株式会社	長谷川大地	…… (18)
見学会「E 班見学記（新素材部門）」	日鉄鉱業株式会社	新井 翔	…… (20)

新材料部会講演

グリーン水素製造および二酸化炭素資源化のための人工光合成光触媒

……東京理科大学理学部 総合研究院カーボンバリュー研究拠点 工藤 昭彦…… (26)

★日本鉱業協会の動き	…… (35)
★主 な 出 来 事	…… (36)
★関 係 法 令 情 報	…… (38)

★編集部より

7 月に入り沖縄・奄美地方は梅雨明けとなりましたが、九州地方は豪雨被害が報道されています。被害に遭われた皆様には心よりお見舞い申し上げます。

今月号では「全国鉱山・製錬所現場担当者会議」の全体報告と協会会長挨拶を掲載しております。また 4 年ぶりに現場見学会が再開され各班の見学記を報告しております。大盛況のうちに会議を終了することができました。どうもありがとうございました。

（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: 03-5280-2341 Fax: 03-5280-7128

2023 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

2023 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 7 日（水）～ 9 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 75 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、懇親会および見学会は 2019 年度以来 4 年振りの実施となった。6 月 7 日（水）の午前、8 階大ホールにて、野崎 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、引き続き一般財団法人 日本エネルギー経済

研究所 戦略研究ユニット 担任補佐 国際情勢分析第 1 グループマネージャー 研究理事 久谷一朗氏による特別講演「新たなエネルギー安全保障問題」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 302 名、オンライン視聴者 281 名の合計 583 名（協会関係者除く）で、過去最多となりテーマへの関心の高さがうかがえ大好評であった。

2. 特別講演「新たなエネルギー安全保障問題」の概要

2・1 エネルギー安全保障問題の再興

2022 年 2 月に始まったロシアによるウクライナ侵攻は、世界にエネルギー安全保障問題を改めて認識させることになった。ロシアの侵攻に対して欧州やアメリカ、日本などはロシアに経済制裁を課すことを決め、制裁の一つとしてロシアからの化石燃料輸入を禁止した。ロシアは天然ガスを武器にこれに対抗しており、欧州諸国向けの天然ガス供給を減らす、または停止する措置を講じた。まさに「エネルギー戦争」と言える状態にある。ただし、西側諸国による



野崎会長 会長挨拶



有馬鉱物資源課長 来賓挨拶



特別講演（エネ研 久谷研究理事）



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

（2020 年度は会場開催中止（書面開催））

禁輸措置は必ずしも成功しているとは言えず、現実にはロシア産化石燃料の輸出を止めるのは容易でない。

従来、欧州とロシアはエネルギー貿易を通じて相互依存の関係を構築してきた。経済的な相互依存関係が双方にとっての安全保障措置であったが、ロシアのウクライナ侵攻によってこの関係が崩れた。エネルギーの安定供給を失った欧州はロシアのリスクを強く認識し、政策の優先順位を変化させるに至った。その結果、気候変動対策を主眼とした従来の政策の下ではタブーであった新たな石油・天然ガスの開発や、時限措置とはいえ石炭火力の運転制限を緩和することなどが行われた。また、脱原子力を定めていた国では、その稼働を延長させる決定がされた。このように、ロシアによるウクライナ侵攻とその後の対立は、欧州のエネルギー・気候政策に大きな変化をもたらした。

欧州のロシアからの天然ガス輸入量は、欧州の省エネや燃料転換の努力に加え、ロシアによる戦略的な禁輸措置によって大きく減少した。

欧州では天然ガスが暖房や産業で多く利用されており、その供給は是が非でも維持する必要がある。ロシア産天然ガスの代替として目を付けたのが LNG（液化天然ガス）であり、欧州は世界中から LNG を買い漁っている。このことが世界の LNG 需給を緊張させ、スポット価格はこれまでにない異常な高値を付ける事態となった。エネルギー価格の上昇は食料とともに世界経済にインフレを巻き起こす原因となり、世界の経済を下押ししている。

ただしエネルギー価格の上昇には良い側面もある。例えば、効率改善や節約によるエネルギー料金の削減効果が大きくなり、省エネルギー投資を行いやすくなる。再生可能エネルギーをはじめとしたクリーン・エネルギーも、化石燃料に対する価格競争力が向上する。またエネルギー安全保障を重視する現在の状況は、原子力発電にとっても追い風といえる。

ロシアのウクライナ侵攻を起点として、世界のエネルギー安全保障環境が変化した。今後を見通すうえで最も注目すべきは、世界の「分断」

の行方であろう。現在世界では、日本を含む西側諸国と中露との間で政治的な軋轢が強まっている。また両陣営とも、様々な手段を駆使してインドなど諸国を自陣に取り込もうとしている。こうした分断の構造が世界の発展にとって好ましくないのは明らかである。自由貿易体制が損なわれることによるコスト増の副作用はあらゆる国に及び、世界経済に悪影響を及ぼす。一方、地域間の完全な分断が不可能であることも認識されており、2023年5月のG7広島サミットでも分断（デカップリング）でなくリスクの低減（デリスキング）という言葉が使われた。

2・2 新たな安全保障問題

2050年のエネルギー需給見通しには高い不確実性がある。しかし、そのようななかでも比較的高い確度で起こると考えられるのが、利用するエネルギーの電力へのシフトと、電力供給における再エネの拡大である。そして、利用するエネルギーの変化は安全保障問題の所在も変えていく。化石燃料を中心としたエネルギーシステムではその確保が最も重要であり、そのため中東からの石油輸入を主眼とした安全保障対策が講じられてきた。ところが、再生可能電力を主軸としたシステムではエネルギーの輸入依存が低下するはずであり、逆に電力の安定供給やサイバーセキュリティが重要性を増す。

加えて、クリーン・エネルギー技術やその製造に必要な重要鉱物の供給がエネルギー安全保障の要諦となっていく。最も分かりやすい太陽光発電を例にすると、ウェハーやセル、モジュールの製造能力で、中国は世界の8割かそれ以上を占めている（2021年時点）。中国が良き隣人であればこのことは何らリスクとならないが、残念ながら（領土、軍事的な）安全保障の懸念を抱えているのが現実である。本質的には、中国との間で良好な関係を構築するための努力をすべきである。一方、これが奏功しない可能性を踏まえ、公正な貿易を維持するための国際ルールや、技術とその供給国の多様化など、リス

クの存在を前提とした対策も進めるべきである。

重要鉱物の供給では、資源の生産と下流工程の両面で偏在性があり、多くの重要鉱物で特定国への偏在を確認することができる。資源国のなかには政治・経済情勢が不安定な国も含まれ、生産活動や増産投資が適切になされないリスクがある。また極端な場合には、ロシアが欧州向け天然ガス供給で行ったように、自国が有する重要鉱物を外交上の武器として利用する可能性も否定できない。さらに、重要鉱物のなかには将来の供給不足が懸念されるものもある。こうした鉱物資源は、追加の資源開発や新たな省資源技術の開発がなければ深刻な供給不足や価格高騰に見舞われ、結果として気候変動対策のボトルネックとなるリスクがある。

2・3 まとめ

ロシアによるウクライナ侵攻は、世界のエネルギー市場に大きな混乱をもたらしている。このことは、それまで気候変動対策一辺倒であった政策議論を一変させ、エネルギー安全保障の重要性を再認識させることとなった。

今後の見通しという点では、エネルギー市場の混乱は市場メカニズムを通じていずれ沈静化する。一方、世界の分断の行方を注視すべきである。

長期的には、脱炭素化したエネルギーシステムでは新たなエネルギー安全保障問題が生じると考えられ、そのことへの対策が必要である。

3. 各部門の講演会

6月7日（水）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、ハイブリッド方式（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 45 件，リモート講演 1 件の合計 46 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



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）

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 2 名，オンライン 2 名），派遣された先生方が一般講演から最大 6 件を選定し，資源・素材学会 2024 年度春季大会（2024 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 4 回目となる。

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	8	1	9
製錬部門	11	0	11
分析部門	8	0	8
工務部門	11	0	11
新素材部門	7	0	7
合 計	45	1	46

4. 懇親会および見学会

6月7日の会議終了後、ホテルグランドヒル市ヶ谷 東館3階「瑠璃」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。



矢島副会長 乾杯音頭



懇親会 風景

各部門の会議終了後、6月8日（木）および9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）：

三井串木野鉱山株式会社 赤石鉱山、春日鉱山株式会社

B 班（製錬）：

JX 金属製錬株式会社 佐賀関製錬所

C 班（分析）：

アジレント・テクノロジー・インターナショナル株式会社 本社

日本電子株式会社 本社

D 班（工務）：

東邦契島製錬株式会社 契島製錬所

三井金属鉱業株式会社 竹原製錬所

E 班（新素材）：

岐阜大学 工学部

自然科学研究機構 核融合科学研究所

国立研究開発法人産業技術総合研究所 中部センター

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1085名（会場343名、オンライン視聴者742名）と過去最多となり、2年連続で1000人超えの大台を記録し、2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、2023年度のハイブリッド開催の部門ごとの参加者数実績は表3のとおりで大幅な増加となった。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、2024年6月12日（水）～14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

(2020年度は会場開催中止（書面開催）)

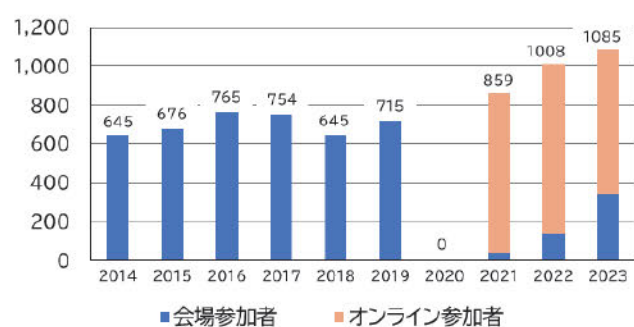
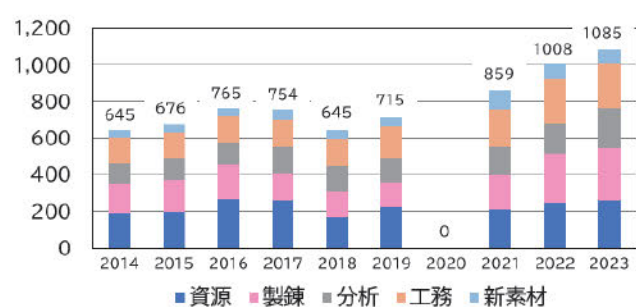
図1 一般講演参加者数（会場参加とオンライン参加）
単位：人

図2 一般講演参加者数（部門別）単位：人

2023 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 野崎 明



日本鉱業協会 会長の野崎でございます。2023 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を、心から歓迎いたします。それとともに、現場における皆様の日頃の努力に対しまして、深く敬意を表したいと思います。

本会議は、1949 年に開始されて以来、今回で 75 回目を迎える大変歴史のある会議です。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 1 度、こうして一堂に会し、日頃の研鑽や研究成果を発表して、お互いの交流を深めることにより、業界全体の技術レベルの向上を図ることを目的としています。

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、この場を借りて感謝申し上げます。

昨年度より、オンライン・対面を併用したハイブリッド方式で開催しており、鉱山、製錬所、工場や研究所などから、合わせて約 1,300 名もの皆様にご参加いただいております。これは過去最大規模となります。皆様の積極的なご発言、意見交換によって、活発な技術交流の場とな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。有馬様におかれては、平素より行政のお立場から、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、一般財団法人 日本エネルギー経済研究所 戦略研究ユニット担任補佐 国際情勢分析第 1 グループマネージャー 研究理事 久谷 一郎様に「新たなエネルギー安全保障問題」と題した特別講演をお願いしております。

久谷様は、エネルギー安全保障政策をご専門に、政策分析に従事されております。エネルギー政策を中心に、天然ガス市場や電力市場、石炭利用技術に関する分析など、多彩なご経験を元に幅広い地域・分野を俯瞰した、多角的な政策分析をされております。

本日の特別講演では、ロシアのウクライナ侵攻に端を発したエネルギー安全保障問題、そして今後の見通しとして、クリーン・エネルギー技術とその製造に必要とされる重要鉱物に関してもお話しいただけるとのことで、まさに当業界と密接に関係するテーマであり、大変興味深く感じているところです。

特別講演に引き続き、資源、製錬、分析、工務、新素材の各部会に分かれ、合計 46 件の一般講演を予定しております。また、2019 年度以来 4 年振りに懇親会および見学会を実施いたします。見聞を広め、交流を深める機会を再び持つことができ、たいへん嬉しく感じております。

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 2022 年度決算は、下落基調であった非鉄金属相場、エネルギー価格の高騰、電子・機能材料製品の減販などの影響を受け、純利益で 7 社が減益となり、合計で対前年度比 51% の減少となりました。2023 年度も、非鉄金属価格の下落、エネルギー価格の高止まりなどを背景に、22 年度比で減益の見通しとなっています。

一方で、非鉄金属は、カーボンニュートラルの達成や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、今後もその需要は高まっていくと見られています。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などから、昨今では経済安全保障問題において重要鉱物として脚光を浴びており、G7 広島サミットにおいても重要な議題の一つとなるなど、中長期的に、当業界が果たすべき役割は、より一層高まるものと考えます。

業績が厳しいこのような時でも、コスト削減や工程改善等による競争力の強化は極めて重要であり、中長期で社会課題の解決に貢献していくための基礎となると考えます。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、そして、これらの素材の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には、技術改善や研究開発が欠かせません。日頃より現場の最前線にてこれらの活動に尽力されている皆様が、その原動力であると考えております。

本日のプログラムを通して得られた成果を、職場に持ち帰られ、現場の力をいっそう高めていただくことが、非鉄金属業界のみならず、社会全体の発展につながると確信しております。皆様にとりまして実り多い会議となりますことを祈念いたしまして、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

三井串木野鉱山株式会社赤石鉱山・ 春日鉱山株式会社春日鉱山 見学記

日鉄鉱業株式会社 資源開発部 青島 優生

1. はじめに

2023 年度の現場担当者会議見学会 A 班（資源部門）は、鹿児島県枕崎市にて含金珪酸鉱山を見学するプログラムでした。参加者は総勢 12 名で、1 日目は三井串木野鉱山（株）赤石鉱山を、2 日目は春日鉱山（株）春日鉱山及び岩戸鉱山、枕崎港を見学しました。尚、1 日目は台風 3 号の接近による悪天候のため、残念ながら現場見学はできませんでした。以下に見学会の内容をご報告いたします。

2. 枕崎周辺の地質概要

鹿児島県枕崎地域は薩摩半島南西端に位置し、周辺の地質は下位から四万十帯、南薩火山岩類、阿多火砕流堆積物、河川堆積物等に分けられる。四万十帯は薩摩半島の基盤岩であり、白亜紀付加体起源の砂岩及び砂岩泥岩互層が分布する。南薩火山岩類は新第三紀の火山岩類であり、主に安山岩-デイサイト溶岩及び火砕岩が分布す

る。阿多火砕流堆積物は主に約 11 万年前に噴出したデイサイト質溶結凝灰岩である。

赤石鉱山及び春日鉱山に代表される含金珪酸鉱床は、南薩火山岩類中の凝灰岩類及び安山岩-デイサイトを原岩とする珪化帯であり、一般的に南薩型金鉱床と呼ばれている。珪化帯は東北東-西南西方向に配列し、春日鉱山は 400～500 万年前、赤石鉱山は約 350 万年前にそれぞれ形成された塊状鉱床である。

3. 三井串木野鉱山（株）赤石鉱山

1) 概要

枕崎市街地から北東約 9km に位置する赤石鉱山は、1890 年に高良裕二郎氏により発見され、1906 年に宮内敬二氏が鉱業権を獲得、1912 年から赤石鉱山と改称し、本格的に採掘された。その後、1968 年に有限会社宮内赤石鉱業所が設立され、1987 年に三井串木野鉱山（株）が共同鉱業権を獲得し、以来同社による操業管理が続い



見学会位置図



赤石鉱山事務所

ている。

2) 鉱床

鉱床の規模は上下方向に少なくとも 270m 程度連続し、深部ほどやや狭くなる形状であるとされている（中村ほか, 1994）。以前は Au 品位が高い部分のみを坑内採掘していたが、現在は珪化岩全体を露天採掘しており、珪化岩は全て鉱石として生産していると説明があった。

3) 生産体制

現在の採掘切羽は海拔約 180m を 0mL 基準面として設定し、ベンチ高：約 10m、犬走幅：3m 以上、平均傾斜：60° 以下の条件で採掘が行われている。発破の後、切羽内でブレイカーにより小割されてから破碎設備に投入され、0 次～4 次破碎処理を経て 50mm, 20mm, 3mm の製品に分けられるとのことである。

悪天候のため現場見学できなかったことは残念であるが、生産工程を詳細に説明していただき、地質を専門としている私にとっては馴染みの少ない話であったので、大変貴重な機会となった。

4. 春日鉱山（株）春日鉱山・岩戸鉱山

1) 概要

春日鉱山は枕崎市街地から西に約 4km に位置する。1901 年に鉄鉱山としての試掘で鉱床が発見され、1929 年から日本鉱業株式会社（現 JX 金属株式会社）により本格的な採掘が開始された。1943 年の金鉱業整備令に際し休止したが、1947 年に採掘が再開され、1962 年に春日鉱山（株）として独立、以来同社による操業管理が続いている。

岩戸鉱山は枕崎市街地から東に約 3km に位置する。1937 年に宮内敬太郎氏により採掘が開始されたが、1943 年の金鉱業整備令に際し休止したその後、1965 年に採掘が再開され、2008 年に春日鉱山（株）が共同鉱業権を獲得し、以来同社による操業管理が続いている。

2) 鉱床

春日鉱山の鉱床は 500m×150m の範囲であり、以前は発達した割れ目に沿った Au 品位が高い部



春日鉱山採掘切羽



岩戸鉱山採掘切羽 荒平鉱体

分のみを坑内採掘を実施していたが、1963 年以降は珪化岩全体を鉱石として露天採掘していると説明があった。

岩戸鉱山の鉱床は東西約 800m×南北 200～400m の範囲であり、岩下・荒平・丸山の主に 3 鉱体からなり、春日鉱山と同様に珪化岩全体を露天採掘している。

3) 生産体制

現在の採掘切羽はベンチ高：5～10m、犬走幅：3m 以上、フェイス角：70～80° の条件で採掘が行われている。発破の後、切羽内でブレイカーにより小割されてから破碎設備に投入されているが、春日鉱山にしか破碎設備がないため、岩戸鉱山の鉱石は全て春日鉱山に運搬されている。

破碎設備にはジョークラッシャー、コーンク



春日鉱山破碎設備



枕崎港野積場及び出荷船

ラッシャー，ロールクラッシャーがあり，1～4次破碎処理を経て20mmと3mmの製品に分けられる。採掘切羽で見た鉱石には硬く緻密なものもあり，それらがガラガラと大きな音を立てながら破碎されており，破碎設備の十分なメンテナンスも必要だろうという印象を受けた。

また，出荷製品の金品位をおよそ一定に保ちつつ，春日・岩戸の両鉱山から生産しているとのことで，品質管理と採掘計画の両方に細やかな注意が払われていると感じた。

5. 枕崎港

枕崎市は古来よりカツオの一本釣り漁業が盛んな港町で，漁港周辺には生産量日本一を誇る鰹節の香ばしい香りが漂っていた。枕崎港は全国に13港しかない特定第3種漁港の1つに指定されており，水産物流通の拠点にもなっている。漁港内で水産物を扱うエリアから東側に離れた場所に野積場があり，珪酸鉱のほか碎石や砂の出荷及び搬入が10tダンプで常時行われていた。限られた狭いスペースで且つ野積という条件の中で，防塵や風雨による流出にも注意する必要がある，周囲への環境面の配慮がなされていると感じた。



お魚センターでの昼食

2日目の見学後は枕崎港内のお魚センターにて昼食となった。お弁当はカツオの刺身等，新鮮な魚介類が詰め合わされた豪華なセットであり，大変美味しくいただいた。

6. 謝辞

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，三井串木野鉱山社生産部採鉱課の原田様，春日鉱山社生産部の仲井様，是枝様，並びに引率していただいた日本鉱業協会の吉澤様・井阪様に厚く御礼申し上げます。

JX 金属製錬株式会社 佐賀関製錬所 見学記

東邦亜鉛株式会社 小名浜製錬所 石橋 克幸

2023 年 6 月 7 日に令和 5 年度現場担当者会議の本会議が開催されました。今年度も現地と WEB のハイブリッド開催となりましたが、新型コロナウイルスの分類が 5 類に下げられるなど、徐々にその影響が小さくなる中での開催とあって会場には多くの参加者が集い、活発な議論が行われました。

製錬部会では 11 件の講演があり、私も発表者の 1 人として登壇する機会をいただきました。緊張しながらも、様々な職場の皆様と意見交換ができ、大変貴重で有意義な時間となりました。また 4 年ぶりの開催となった懇親会においても質疑応答の時間ではできなかったお話をたくさんすることができ、大いに懇親を深めることができました。

翌 8 日は移動日となっており、9 日に見学させていただく JX 金属製錬株式会社様の佐賀関製錬所のある大分県大分市まで見学参加者は各自移動しました。私にとって初めての大分県ということで、午前中に移動して午後は地獄巡りでもしてみようかと期待しておりましたが、羽田空港での混雑により飛行機が遅れ、大分空港に到着するとざあざあと音を立てて雨が降っており、別府温泉で体を温めて次の日の見学に備えることとなりました。

当日は雨予報が嘘のように晴れ、前日とは打って変わって暖かい朝日が差していました。大分駅に朝 8 時 30 分集合でしたが、私が小走りで 5 分前に集合場所に到着するとすでに他の見学参加者はバスに乗り込んでおり、予定通り佐賀関製錬所に向け出発しました。

道中は大分市内の街並みや透き通るような海を眺めながらの移動となりました。道路の混雑もなく、時間調整のために道の駅での休憩を挟みながら、大分駅から約 1 時間で佐賀関製錬所の大煙突が見えてきました。

到着して会議室に案内していただき、竹林所長を始め、スタッフの方々に快く受け入れていただきました。

まず初めに竹林所長からご挨拶いただいた後、佐賀関製錬所の工程についてご説明いただきました。佐賀関製錬所は 1916 年に操業を開始して、今では電気銅生産年間 45 万トンに供する粗銅生産を誇る世界最大級の銅製錬所です。銅の原料としては JX 金属㈱が権益を持つカセロネス鉱山を始めとする海外の銅鉱山から輸入した銅精鉱に加え、電線・プリント基板等のリサイクル原料に含まれる銅も製錬し、資源のリサイクルにも貢献されています。このリサイクル原料の増処理には精鉱中硫黄等の自溶炉での酸化反応余剰熱が利用されていて、製錬所での化石燃料使用量を低減しながら銅製錬におけるリサイクル原料比率を上げる「グリーンハイブリッド製錬」を推進しています。2040 年には銅製錬時のリサイクル原料投入比率を 50% まで高めることを目標としているとのことでした。カーボンニュートラル社会の実現に向けて、リサイクル原料増処理によって低カーボンフットプリントのサステナブルな銅を作るという大きな目標に向かう佐賀関製錬所様の情熱が伝わってきました。精鉱やリサイクル原料といった銅製錬原料は、搬送されて自溶炉に供給されます。搬送工程は発

塵などの環境への影響を考慮して全て密閉されたベルトコンベアで輸送されます。自溶炉では酸素と共に供給された精鉱が自らの反応熱によって自燃し、銅品位 60～65%の熔融マットと熔融スラグの 2 層に分かれ、マットは転炉に送られます。転炉は円筒形の横型回転炉で側面にある 56 本の羽口から酸素富化空気を吹き込んでマット中から鉄や硫黄を除去し、銅品位約 99%の粗銅を生産します。転炉 1 回当たりの粗銅生産量は約 220～230 トンとのことでした。転炉で生産した粗銅は精製炉で銅品位を約 99.5%まで高めます。精製炉ではブタンガスを還元剤として粗銅中から酸素を除去しています。精製炉によって品位を高めた粗銅をアノードに铸造します。铸造したアノードは、佐賀関製錬所と茨城県日立市の日立工場の電解工場において電解精製を行い、銅品位 99.99%以上の電気銅になります。カソードにステンレス板を用いたパーマネントカソード法での電解精製は、国内では初めて JX 金属製錬(株)の日立工場を導入した方法とのことでした。また電解工程で電解槽の底に溜まる殿物には金や銀、PGM にセレン、テルルなどの有価金属が含まれており、これらのうち佐賀関製錬所では金とセレンを生産しています。銀などの残りの金属は分離して半製品として日立工場に送られて製品化しています。この殿物処理工程はかつて乾式法で行われていましたが、金などの高価な金属の製品化までのリードタイムを短縮し、かつ高品質化するための湿式製錬プロセスを開発するなど技術改善を行いました。また自溶炉、転炉ガスから発生する SO₂ ガスは硫酸として製品化し、排ガス処理が終わったクリーン排ガスは佐賀関製錬所のシンボルである大煙突から大気に放出しています。

以上の説明を受け、佐賀関製錬所の銅製錬について教えていただいたところで、次はいよいよ実際に見学です。

事前に準備いただいた保護具を身に着けて見学参加者はバスに乗り込みました。2 班に分かれてバスで所内を移動しながら、アノード铸造工

程と電解工程ではバスを降りて見学させていただける予定になっており、私の班はまずアノード铸造工程を見学しました。

工場内に入ると目の前に精製炉から注がれる真っ赤な銅の溶湯や、円形のテーブルが回る铸造機の光景が飛び込んできました。普段私の職場では見ることもない光景に目を奪われながら、工程の説明を伺いました。アノードは 1 時間当たり 100～110 トンほど生産しており、2 つの铸造のテーブルのうち、1 つのテーブルで生産できるサイクルが 6 時間とのことでした。自溶炉と転炉で出たガスについては亜硫酸ガスが含まれているため硫酸製造工程に送られますが、精製炉からのガスには亜硫酸ガスがほとんど含まれておらず硫酸製造には送らないそうです。しかし精製炉では自溶炉、転炉では使用しない重油を使用しているため、精製炉での高温ガスは自溶炉へ送ることによって熱回収していました。こうして回収した熱もグリーンハイブリッド製錬につながっているのかと感心するばかりでした。

続いて向かったのは電解工程です。佐賀関製錬所では電解工場が 2 つあり、合わせて 768 槽の電解槽があるそうです。見渡す限りの電解槽で電気銅が生産されていました。1 槽当たりのアノード 50 枚、カソード 49 枚のセットで、アノード 18 日、カソード 9 日のサイクルで電極の交換を行い、電流密度 325A/m² で電解をしているとのことでした。見学日はメンテナンス中とのことでした。電気銅の剥ぎ取りなど一部の工程はビデオにて作業の様子を見せていただきました。剥ぎ取りのロボットがカソードを機械で押して電気銅の上端を剥がしたところに爪を差し込んできれいに剥ぎ取っていました。

電解工程を出た我々は原料受入バースを通り船から精鉱を受け入れる様子を眺めつつ、大煙突を目指して移動しました。所内を案内していただきながら思ったのは、安全に対する表示が細かくされているということです。正門から入場した際も「安全は全てに優先する」と大きく書かれた看板が目に入り飛び込んできましたが、広

い製錬所内で働く全ての人が災害なく安全に働けるよう、使用する薬剤の危険性や過去の災害事例の注意喚起が至る所でされており、安全意識の高さに感銘を受けました。

大煙突は海拔 130m の丘の上にあり、高さ 200m の大煙突の頂上は東京タワーとほぼ同じ高さとのことです。隣には現在の大煙突の前に使用されていた旧大煙突跡が残されていました。使用されていた鉄筋が現在とは違う四角柱であるという点からも、佐賀関製錬所のもつ 100 年以上の歴史を感じながら、見学者全員で写真を撮っていただきました。

集合写真を撮り終え現場見学は終了し、会議室に戻って質疑応答の時間となりました。見学参加者の手は上がり続け質問が途切れることなく、帰りのバスの時間となり司会の金澤課長からやむなくストップがかかるほどでした。見学させていただいた工程に限らず佐賀関製錬所

に関する様々な質問がありましたが、どの質問にも永戸副所長以下スタッフの皆様に丁寧に回答いただきました。

最後に見学参加者全員で対応いただいた皆様にお礼を言い、佐賀関製錬所を後にして昼食会場に向かいました。

昼食会場では見学参加者同士親睦を深めながら事務局で用意していただいた大分名物の関サバやクロメを堪能しました。昼食を終えると大分空港へ向かうバスと大分駅へ向かうバスに分かれて、名残惜しくも解散となりました。雨の心配もありましたが、大分空港からの飛行機は定刻通り羽田空港に到着し、私は無事福島への帰路につきました。

最後に今回の見学を受け入れていただいた佐賀関製錬所の皆様並びに本企画を計画して下さった日本鉱業協会のご担当者の皆様に、この紙面をお借りして厚く御礼申し上げます。



アジレント・テクノロジー株式会社 本社・八王子事業所及び 日本電子株式会社 本社 見学記

三井金属鉱業株式会社 基礎評価研究所 遠藤 哲

世界中を覆っていた暗雲に光が差し、世間が日常を取り戻した今日。第 73 回 全国鉱山・製錬所現場担当者会議 分析部会でも 4 年ぶりに見学会が開催されました。梅雨の間隙を縫って燦々と降り注ぐ太陽光の下、我々分析部会三十余名は、再開に相応しくキラリ輝く技術を持った分析メーカー 2 社を訪問しました。

1 社目に訪問したのは、元素分析を語る上では欠かせない質量分析計のトップメーカーであるアジレント・テクノロジー（株）の本社・八王子事業所（以下、Agilent）です。

Agilent は化学・先端材料分野で事業展開しているイメージが強かったのですが、実際には化学・先端材料分野の他に、食品、診断・臨床、環境・法医学、製薬・バイオフーマ、アカデミア・政府など、あわせて 6 分野で業務展開し、そのうち化学・先端材料分野の売上は全体の約 20% との事。更に、世界 110 개국, 265,000 ラボで製品が使われている事からも、如何に世界的な企業であるかが分かります。

世界展開してはおりますが、ICP-MS の開発拠点が東京にあるという強みがあります。「本国に問い合わせしておりますが、時差もあるので、もう少しお時間を…」外資系企業にありがちな時差による回答待ちが発生しないのは、ユーザーにとって非常に心強いですね。見学会では、LC や GC-MS, TOF-MS など最新の分析装置をご紹介頂きましたが、その中でも興味を惹かれたのは、やはり ICP-MS です。製錬各社でも、環境分析や製品分析で活躍し、現場担当者会議でも度々発

表されています。当日は、シングル四重極 ICP-MS に加え、干渉成分の影響を限りなく除去し高感度な元素分析を可能にした、トリプル四重極 ICP-MS が紹介されました（図 1）。

近年は、Single Particle（以下、SP）モードを搭載した ICP-MS も引き合いが多い様です。SP モードでは、粒子 1 粒 1 粒をプラズマに噴霧することで、元素毎に粒度を測定することが出来ます。特徴としては、レーザー回折法や動的光散乱法の様な光を使った粒度分布計と異なり、粒子全体の大きさではなく、質量毎（元素毎）に粒度分布を求められる事です。10~200 nm 径の粒子が測定可能であり、ナノ粒子の新たな測定法として注目されています。SP では、高感度、低バックグラウンド、干渉イオン除去が求められます。これら条件を満たす Agilent の ICP-MS が、SP で威力を発揮するのも頷けます。

更に ICP-MS のオプションとして近年の学会でも注目されているのが Laser Ablation（以下、LA）です。固体試料を、そのまま LA で蒸発させ

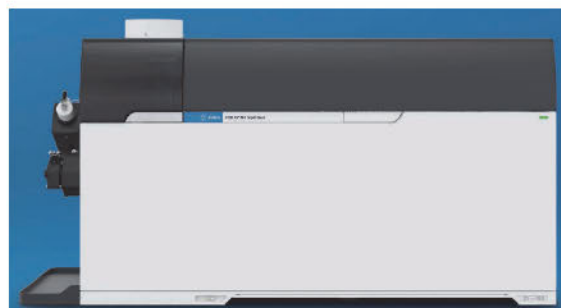


図 1 Agilent 8900 トリプル四重極 ICP-MS
(Agilent 社 HP より)

て煌々と輝くプラズマへ導入するので、酸やアルカリを使った前処理が不要です。業務効率化や品質保証への貢献は勿論、廃液も生じないので環境負荷も低減出来ます。また、フェムト秒でのパルスレーザーとガルバノ光学系を組み合わせる事で、レーザー照射点の高速移動が可能となりました。これにより定量性が改善され、標準試料と測定試料のマトリックスが異なっても、精確に定量出来る様になりました。

装置本体の進化と共にオプション拡充にも注力する、Agilent の本気を目の当たりにした見学会でした。

続いての見学先は、日本が誇る電子顕微鏡メーカーの雄である日本電子（株）の昭島本社（以下、JEOL）です。

代名詞とも言える電子顕微鏡は、卓上型走査電子顕微鏡（SEM）の様なお手軽な物から 1 nm 以下の空間分解能を持った透過型電子顕微鏡（TEM）の様な超高性能な物まで幅広いラインナップを有しています。特筆すべきは、卓上型から高性能機種まで全ての装置の操作性が良く、簡単に操作出来ることです。FE-SEM では、Auto Focus での迅速な像観察やサンプル導入してから最短 3 クリックで EDS を取得出来る物もあります。また、“コト” のサービスにも力を入れており、保守付きレンタルや Web 立会、人材育成などのサービスも展開。装置を所有するだけではなく利活用に向けたきめ細かいサービスを背景として、世界 130 か国で 65,000 台の電子顕微鏡が稼働しています。

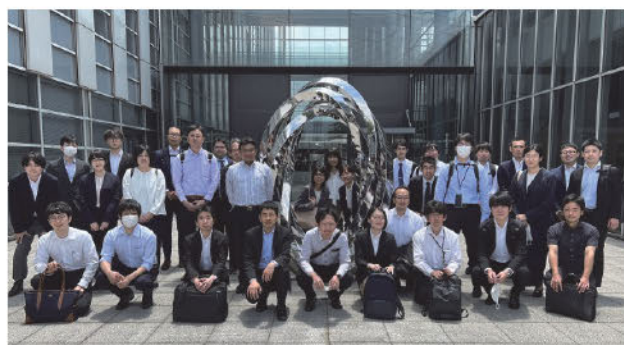


図2 Agilent 本社・八王子事業所での1枚

見学会では、想像を超えた進化も紹介されました。電子顕微鏡は、強磁場に試料を入れる為、磁石や鉄鋼などは磁場で構造が壊れ、観察は困難というのが常識でした。しかし、JEOL は東京大学などと共同で原子分解能磁場フリー電子顕微鏡を開発し、磁石の原子磁場を直接観察することに成功。これにより、永久磁石や磁器記録媒体など先端材料への活用が期待されています。

更には、米国 IDES 社を買収し、今まで TEM では不可能だった、nm という空間分解能かつ、フェムト秒レベルでの物質の動的観察を目指しています。動画撮影により、材料の格子や分子運動や相転移の様子が観察出来る様になります。

進化を遂げるのは顕微鏡だけではありません。TEM 試料の作製に用いられる FIB-SEM（図3）の説明では、見学者から感嘆の声が上がりました。縦横 130 mm という大きな稼働範囲がある試料ステージを持ちながら、試料導入後 2 分で SEM 像観察が可能というこの装置。ステージが 360° 回転するのは当たり前で、傾斜は何と -40 ~ 93° と広範囲。微細な加工を可能にすると共に、シームレスで STEM 観察へ移行できます。薄片加工と STEM 観察を交互に行えるので納得の行く試料作製が可能です。

また、二軸傾斜カートリッジを使うことで TEM グリッドにワンタッチで装着が可能です。「苦勞して作った薄片試料が FIB から TEM へ移設する際に何処かへ消えた…」そんな悲劇からも解放



図3 JIB-PS500i FIB-SEM システム
(JEOL 社 HP より)

してくれますね。

電子顕微鏡やその前処理装置以外にも、真空系や光学技術等を活かし、様々な装置が開発されています。広範囲な像観察と定量性に優れた波長分散型 X 線分光法を取り入れた EPMA、材料の表面状態を分析する XPS や Auger マイクロプローブ。更には、核磁気共鳴装置や電子スピン共鳴装置、質量分析計も取り揃えています。

この中で興味を惹かれたのは、GC-MS 専用の未知物質構造解析ソフトウェア msFineAnalysis AI です。飛行時間質量分析計 (TOFMS) の結果から、AI を使って未知物質の分子式推定から構造式推定まで行えるというもの。世の中には 1 億個以上の有機化合物が存在していると言われますが、データベースに掲載されているスペクトルは 35 万データほど。圧倒的にデータベースに載っていない化合物の方が多い訳ですが、TOFMS とソフトイオン化法を組み合わせる事で、AI による自動解析を実現しました。化合物特定には、試料をソフトにイオン化して分子イオンのスペクトルを得る事が重要ですが、JEOL はソフトイオン化法を得意としており、JEOL にしか出来ないイオン化技術 (FI : Field Ionization 法) も有しているとの事です。

極微の技術に魅せられ、数々のノーベル賞受賞者が歴訪している JEOL 本社で、飽くなき探求



図 4 JEOL 昭島本社での 1 枚

心を目の当たりにした見学会でした。

今回訪問した 2 社は、CSR や SDGs という言葉が叫ばれるずっと前から社会貢献活動にも力を入れていました。

Agilent では、社員の寄付に対し同額を会社から上乗せ寄付し、年 6 日相当のボランティアタイムも認められています。JEOL では、豊かな自然環境を子供達へ継承する活動を続けており、近年は理科離れを防ぐ為の理科支援授業を、東北の被災地にも拡大し取り組んでいます。

技術的な進化だけではない 2 社の理念や取組に、頭が下がるばかりです。

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アジレント・テクノロジー (株) ならびに日本電子 (株) の皆様に、厚く御礼申し上げます。

三井金属鉱業株式会社竹原製煉所および 東邦契島製錬株式会社見学記

DOWA テクノロジー株式会社 北部生産技術センター 長谷川大地

1. はじめに

工務部門見学会では、三井金属鉱業（株）竹原製煉所および東邦契島製錬（株）を見学した。この二つの製錬所は、昭和鉱業から 1943 年に三井鉱山（株）が、1950 年に東邦亜鉛（株）が買収し、操業を行っている。両製錬所とも非常に歴史のある製錬所である。

2. 三井金属鉱業（株）竹原製煉所

三井金属鉱業（株）竹原製煉所は、広島県竹原駅からほど近い海沿いの市街地に位置し、三井金属グループの中核をなす工場である。敷地面積は約 40 万 m² で、マツダ Zoom-Zoom スタジアム 8 個分と広大な敷地である。金属工場、化成品工場、機能性粉体工場、薄膜材料工場を中心に総合研究所、金属開発センターなどから構成されている。当日はあいにくの雨模様であったが、広島空港からの道すがら見える煙突や、工場の敷地の広さは圧巻であった。今回見学した金属工場では、銅や鉛をはじめとした多種多様

な素材を生産している。また、廃棄物に含まれる有用な金属成分の回収も行っている。

三井金属全体の概要ビデオを視聴した後、金属工場を中心に見学した。プロセスの説明を受けながら、2018 年に更新した溶鉱炉をはじめ、アンチモン電気炉、電解工程を見学した。見学では、災害現場付近への過去事例の掲示や、機器点検窓への南京錠の取り付けなど、安全面で見習うところが多いと感じた。

見学後には金のインゴットに触れさせてもらうなど、その金額（現在の相場で 5,000 万円はするだろうか）、重さを体感できるよい体験をした。質疑時間は活発な討議が行え、時に我々の要領を得ないであろう質問に対しても親切、丁寧に説明していただいた。

3. 東邦契島製錬所（株）

東邦契島製錬所（株）は、瀬戸内海国立公園内の契島に位置し、古くから鉛の生産を行っている。島全体が製錬所で、竹原市からはフェリー乗場から船での往来となる。島内（工場内）には鉛を製錬するための各工場から、硫酸工場、物流センター、社宅まで備わっている。操業形態は 4 直 2 交代で、台風等悪天候の場合は、島内で宿泊し操業を行う場合もあるということであった。

瀬戸内海を運行中に姿を見せた製錬所は世界遺産の長崎県の軍艦島のように、それと負けず劣らず壮観であった。

工場へ到着すると、概要説明をしていただい



写真 1 金 地金



写真2 契島製錬所全景（パンフレットより）

た後、工場見学では焼結工程、熔鉱铸造工程、鉛電解工程および製品バースを見学した。焼結工程では、焼結機排ガスダクトに、ハンマリング装置を付け替えた跡がいくつかあり、現場の試行錯誤の跡がみられ設備改善意識の高さがうかがえた。固有技術の堅型铸造機は小スペース化、省力化を両立しており、限られたスペースを有効活用し、省力化を実現する上で、生産技術職の私には、非常に興味深いものであった。

見学後の質疑時間も活発に討議ができ、親切丁寧に対応いただけた。残念ながら帰りの船便の時間の都合で、質疑はタイムアップとなったが、非常に有意義な見学会となった。

4. 終わりに

見学一日目の夜、弊社の訪問メンバーと共に竹原市内の飲食店へ出かけた際、従業員の方と両製錬所の工場見学会のため竹原市に滞在しているという話になった。そこでは、竹原製錬所は三井さん、契島製錬所は契さん（竹原のことばだと、「ちきり」と聞こえた）と親しみを込めて呼ばれていた。市街地に立地する製錬所、瀬戸内海国立公園に立地する製錬所として地域に密着・共生し、愛されていることが感じられた。

最後に、日本鉱業協会工務部会の見学会を快くお引き受けいただき、ご丁寧な説明とご案内をいただきました三井金属鉱業（株）竹原製錬所および、東邦契島製錬所（株）の皆様に深く感謝申し上げます。

僭越ながら、工務部会においては、非鉄業界特有の悩み（排水問題、腐食問題、設備老朽化問題）についても、可能な範囲で社を跨いだ技術交流の場が設けられればより非鉄産業の設備技術の向上に寄与できるものと思い、提案いたします。

以上



写真3 集合写真

岐阜大学 工学部 自然科学研究機構 核融合科学研究所 産業技術総合研究所 中部センター 見学記

日鉄鉱業株式会社 研究開発部 新素材開発課 新井 翔

1. はじめに

今回の新素材部門現場担当者会議見学会では、6月8日に岐阜大学工学部を訪問し、産学官連携に力を入れる最新の材料研究についてラボ見学を行いました。翌9日は自然科学研究機構核融合科学研究所を訪問し、大型ヘリカル装置（LHD）関連施設を見学した後、産業技術総合研究所中部センターを訪問し、マテリアル・プロセスイノベーション（MPI）プラットフォームを見学しました。参加人数は14人でした。

2. 岐阜大学 工学部

2-1. 産学官連携の概要：矢部富雄 産学官連携推進部門長、応用生物科学部 教授

矢部先生より、岐阜大学の産学官連携推進のための取り組みについてご説明をいただきました。岐阜大学は、2020年に国立大学法人岐阜大学と国立大学法人名古屋大学との統合により新たに発足した国立大学法人東海国立大学機構によって運営され、複数大学を運営する国立大学法人としては日本初です。産業界との共同研究やリカレント教育制度を積極的に展開し、ライフサイエンスや物質・材料の分野を中心に、2022年度は370件、約7.3億円の共同研究を実施しているとのことでした。

2-2. 研究シーズのプレゼンテーション・ラボツアー

今回は4名の先生方より研究シーズのご説明を受けるとともに、「ラボツアー」として研究室／実験室を直接訪問し、意見交換させていただきました。

2-2-1. 電気電子・情報工学科 尹己烈 准教授

「抵抗スポット溶接を用いた異材接合および透磁率調整できる圧粉鉄心」

異材接合は、強くて軽い材料を作る方法として運送手段の省エネルギー化への貢献が期待されています。尹先生は接合面の界面抵抗をなくすことでFe-Al、Cu-Al間等の強固なスポット溶接に成功しており、溶接された試験片を実際に手に取って接合の硬さが実感できました。磁性材料の分野では、EVの性能向上に欠かせないモーターの磁気特性評価や、新たなドラッグデリバリーに関する研究も行っているとのこと。また、モーターや変圧器の高効率化のため、非晶質シリカを被覆した鉄粉を圧粉成型してコアを作製する際、樹脂バインダーがなくてもコアが固まり密度が7.70g/cm³を超えると同時に渦電流損もほぼゼロになった、というお話には驚きの声が上がりました。

2-2-2. 化学・生命工学科 入澤寿平 准教授

「炭素繊維によって描かれるサステナブルな輝く未来」

入澤先生が今最も注力するのは、省エネルギー、新エネルギー分野での活用が期待される炭素繊維複合材料（CFRP）です。2030 年までの低コスト化が必須と言われ、世界ではある程度性能を犠牲にしてコストダウンを図る中、入澤先生は性能を維持したコストダウンを目指しており、原料やプロセスがその鍵となるとのこと。炭素繊維の製造装置を有するのは国内で岐阜大学のみとのことで、1 本（約 5 μm ）なら 5 GPa という驚異的な強度をもつ炭素繊維を試作しているとのことです。別件でベンチャー企業を立ち上げており、最先端の繊維を使ったテニスラケット用のガットを学生のために安価に販売している、また、ゆくゆくは開発した炭素繊維を使ったテニスラケットを開発したいというお話が印象的でした。

2-2-3. 化学・生命工学科 高井千加 准教授

「粉の魅力を引き出す粉体技術～昆虫糞から得た材料設計のヒント」

高井先生は、シリカナノ粒子やセルロースナノファイバー（CNF）からカブトムシの幼虫の糞まで、幅広く粉体工学として研究されています。シリカナノ粒子は立方体形状の稜のみにシリカが堆積した独特の構造と、凝集・分散によって光の透過や散乱の程度が制御可能です。CNF につ

いては、食品系廃棄物の資源化や簡便な評価方法の確立に取り組み中とのこと。構造と機能の関係を解明するという観点では、カブトムシの幼虫の糞の形状を解析し、機械学習によって雌雄差をもたらす因子を割り出すという研究がユニークでした。幼虫は粉末状の腐葉土をペレット状の糞に「造粒」するため、粉体工学的なプロセスに寄与するパラメータ抽出への応用が期待されます。

2-2-4. 化学・生命工学科 早川幸男 助教

「プラズマ処理・紫外線照射技術の環境浄化・エネルギー分野への応用」

早川先生は、2050 年までのカーボンニュートラルに向けた要素研究に取り組まれています。アンモニア燃料を用いた水素発電については、アンモニアの分解と水素の分離を同時に行うことができるプラズマ膜レンリアクターを開発。従来技術より高純度の水素ガスが得られ、アンモニア蒸留塔、触媒反応器と組み合わせることで 1%のアンモニア排水から精製した水素で燃料電池による発電にも成功しました。大気圧プラズマでの二酸化炭素の分解・還元は、現在 50%の分解率で CO へと還元が可能であり、更に還元を進行させることで DLC（ダイヤモンドライクカーボン）に近い炭素として金属板上に回収できるとのこと。実験室では実際にプラズマを発生させ、色鮮やかな発光現象を見学させていただきました。



写真 1 岐阜大学工学部での集合写真

3. 自然科学研究機構 核融合科学研究所

「大型ヘリカル装置 (LHD)」見学

大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 核融合科学研究所では、海水を使った核融合発電の実現を目指し、核融合反応に必要なプラズマに関する基礎研究が行われています。核融合反応のためには、地上では 1 億℃以上のプラズマを安定的に閉じ込める必要があります、それを担う装置が大型ヘリカル装置 (LHD) です。LHD は超伝導コイルを用いた磁場の容器 (磁力線のカゴ) であり、らせん状のヘリカルコイルでドーナツ状のカゴを作ることによって、無限に周回する磁力線の中でプラズマを安定化させることができます。プラズマの更なる高温・高密度化のため、専用のスーパーコンピューターによるシミュレーションに基づいて、LHD によるプラズマ生成実験が行われています。

90 分コースの施設見学では、まず LHD の仕組みを理解する上で重要な「真空」と「超伝導」について、子供でも直感的に楽しめるような参加型の実験を見せていただきました。真空実験での減圧されたデシケーター内のマシュマロや水の挙動や、超伝導実験で実際に超伝導体を使った小さな列車模型がピン止め効果で磁石のレールの上を勢いよく走る様子は、大人でも歓声が上がるほど見ごたえがありました。

研究プロジェクトや設備についての詳細は、超高流束協奏材料ユニット長の長坂琢也教授に

ご説明をいただきました。ドラマ撮影でも使用された制御室には、LHD 内部を映し出す大きな画面と「実験番号 187365」の表示があり、実際に通電を行う試験の累積回数に相当する通電番号はこの日 2096 でした。超伝導コイルは液体ヘリウムで -269℃ に冷却されますが、常温からの冷却、プラズマ生成実験、常温への復帰にそれぞれ約 1 カ月、すなわち 1 サイクルに約 3 カ月かかる実験が、過去 25 年間で合計 24 サイクル行われてきたとのこと。LHD 内部はクライオポンプで 10^{-7} Pa まで減圧されており、良いプラズマは目に見えない (外壁から空気がコンタミすると可視光が出る) とのことですが、電磁波による加熱とエネルギーを持った中性粒子の注入、最後は自発する熱により、プラズマの温度は 1 億℃を超えるそうです。

LHD はあくまで高温・高密度のプラズマを安定的に発生させる装置です。核融合発電のためには、プラズマの周りをブランケットと呼ばれる箱で囲み、その中で核融合燃料であるトリチウムの製造と核融合反応を行います。ブランケット内では、まずプラズマから得た中性子をリチウムに当て、得られたトリチウムと重水素を核融合反応させることで熱を取り出します。現在 LHD では目標値であったイオン温度 1 億 2,000 万℃が達成されていますが、10 億℃まで上げることができれば、トリチウムを必要とせず重水素のみでの発電が可能とのことでした。



写真 2 核融合科学研究所での集合写真

施設内には1/20スケールのLHDの模型がありましたが、実機はドーナツ状のプラズマの直径が約8mと巨大な装置で、LHDの入る本体棟の面積はサッカーコート1面分、高さは東大寺の大仏殿ほど。核燃焼に必要なプラズマの密度は空気の1/100,000程度とさほど高くないため、もっとコンパクトにできるのでは？という疑問もありました。しかし、磁場のカゴを作ってエネルギーを取り出すのにある程度の大きさが要る、プラズマが暴走しにくい等の理由があり、むしろ100万kWの出力（現在の原子力発電所程度）を得るためには今の2倍以上の大きさが要ることでした。LHDと壁1枚を隔てる液化機室には、LHD真空容器の実寸モデル（ドーナツ状を輪切りにした一部）が展示されており、その大きさが体感できました。実機では真空容器の内側は7,200枚の保護板（SUS／銅製）で覆われており、その外側にニオブチタン合金の超電導線からなるコイルが巻き付けられています。

核融合発電は今、日本、欧州、米国、ロシア、中国、韓国、インドが参加するITER（イータ）計画で2035年の核融合運転が計画されており、フランスに核融合実験炉が建設されています。上手くいけばこの計画で2050年頃から発電が可能とのことですが、米英を中心に核融合のベンチャー企業も出てきており、化石燃料に依存しない新エネルギーとして、ますます関心を集めそうです。

4. 産業技術総合研究所 中部センター

4-1. 中部センターの概要：産学官連携推進室

早川由夫 室長

まず、産総研中部センターと産学官連携の概要について、早川室長よりご説明いただきました。産総研は地域研究拠点（センター）ごとに研究分野が分かれており、中部センターが主として扱うのはセラミックス、金属系のテーマです。3つの研究ユニットがあり、極限機能材料研究部門では世界初のSOFC（固体酸化燃料電池）ドローンやSmFeN磁石の開発等、マルチマ

テリアル研究部門ではマグネシウム合金と異種材料のマルチマテリアル化やパワー半導体用セラミックス絶縁放熱基板の製法開発等、窒化物半導体先進デバイスオープンイノベーションラボラトリ（GaN-OIL）では窒化ガリウム半導体の社会実装を目指した技術開発を行っています。民間企業との連携メニューとしては、共同研究と技術コンサルタント（知財が生じないと想定される場合）がメインとなります。2022年度の中部センターへの技術相談は約300件で、産総研全体の約13%とのこと。また、大学と連携した研究シーズの探索も行っているそうです。

4-2. MPI プラットフォームの概要：高尾泰正 連携オフィサー

マテリアル・プロセスイノベーション（MPI）プラットフォームでは、最先端の製造プロセス装置や評価・分析装置群が整備されており、原料粉体合成から部素材の製造、評価・分析に至るまでのプロセス全体の開発が可能です。例えば、セラミックスの物性予測等、マテリアルズ・インフォマティクス（MI）が活用可能とのこと。また、所望の物性を有する組織画像を生成するAI技術等、プロセス・インフォマティクス（PI）も研究開発が進んでいました。一方、一般に多くの企業が利用することでデータが蓄積されAIの学習が進みますが、利用側としては自社のノウハウの流出が懸念されるところです。産総研では、暗号技術を用いて分散的に処理・記録するデータベース等の情報管理の研究開発を行っているそうです。

4-3. 研究紹介：マルチマテリアル研究部門 軽量金属設計グループ 細川裕之 研究グループ長

「磁石材料におけるインフォマティクスの取り組みについて」

EVシフトによる磁石材料の需要増に伴い、高価なネオジム磁石に代わる磁石材料が求められる中、同グループではMI、PIを使った磁石材料



写真3 産総研中部センターでの集合写真

のプロセス開発に取り組んでいます。例えば、膨大な原料組成、プロセス条件から SmFe 系磁石の特性を予測しモデル作成に成功（ニューラルネットワーク（NN））、結晶配向性の高い多結晶粉末が得られるプロセス条件を少ない実験回数で探索（ベイズ最適化+データスクリーニング）、材料情報から磁化曲線を描画（NN+データ増幅）、組織情報から機械的特性の予測と影響因子の提示（畳み込み NN+データ増幅）、等が挙げられました。基本的には実験結果との比較検証によって予測の精度向上を図るため、外挿する際には実験データを外側に増やして試行錯誤することになるとのことでしたが、プロセス条件の決定に役立つ革新的なツールになると感じました。

4-4. 実験室見学と MPI プラットフォーム見学

細川研究グループ長には、磁石材料やマグネシウム合金などの材料を扱う実験室を見学させていただきました。試料作製、評価、モデル化のサイクルのうち、試料作製を行う装置として、熔融金属を凝固させる単ロール型の急冷装置や、グローブボックスと管状炉が連結した窒化装置等が設置されていました。より多くのプロセス情報を取得するため装置に取り付けられた多数のセンサー類が、PI を体現しているようで印象的でした。

連携オフィサーの高尾様には、MPI プラットフ

ォームの設備をご紹介いただきました。粉体複合化装置、噴霧凍結造粒装置、ナノ粒子フロー合成装置、大幅シート作製装置、低温焼結装置、固体 NMR、AFM ラマン、固体燃料電池評価装置等、最先端の装置が多数導入されており、データ集約や使用状況確認のため IoT 化されていました。各装置に関して高い専門性を持ったスタッフがおおり、GaN の焼結だけで 30 年、というような職人の技を体験できるのも、このプラットフォームの魅力の一つと感じました。

5. 謝辞

今回の見学会で、岐阜大学産学官連携推進部門長の矢部教授には積極的な共同研究のお話や、工学部の尹准教授、入澤准教授、高井准教授、早川助教には、最先端の研究に関する大変興味深いお話を伺い、知見を深めることができました。また、コーディネーターの市浦様、吉本様、日比様、築城様、吉兼様にも、研究室へのご案内などお世話になりました。

自然科学研究機構 核融合科学研究所の長坂教授には、大型ヘリカル装置（LHD）について丁寧に説明いただき、最新の核融合発電技術について知見を得ることができました。また、兼松様には細かな質問にご対応いただき、足立様、梅村様には簡明な実験を見せていただきました。

産業技術総合研究所 中部センターの早川室

長，細川研究グループ長，高尾様には，最新の
研究紹介から MPI プラットフォームの見学まで
ご対応いただき，インフォマティクスに関して

見聞を広めることができました。

改めて，ご多用の中，今回の見学会にご協力
いただきました各位に，厚く御礼申し上げます。

グリーン水素製造および二酸化炭素資源化のための人工光合成光触媒

東京理科大学理学部，総合研究院カーボンバリュー研究拠点 工藤 昭彦

1. はじめに

カーボンニュートラルの実現，および資源・エネルギー・環境問題解決の観点から，水素社会の構築が切望されている。水素は，燃料電池や水素エンジンに使えるクリーンエネルギーとしてだけではなく，化学工業における基幹原料として重要である。ここで，水素社会を構築するためには，水と再生可能エネルギーのみから得られるグリーン水素の製造法を確立することが必要である。そのグリーン水素製造のために，太陽電池＋水電解システム，半導体光電気化学システムなどの研究が行われている。これらのシステムは，太陽エネルギーの水素エネルギーへの変換に比較的高い効率を与えるものの，コストなどの観点から商用化は必ずしも容易ではない。これに対して，人工光合成型粉末光触媒を用いた水分解によるグリーン水素製造は，現時点では効率が低いものの，今後の伸び代が期待でき，低コスト，大面積化が容易な技術となりうることから，近年注目されている^{1,2)}。昨今，新聞やネットで人工光合成という言葉を目にする。このように，人工光合成は，サイエンス・テクノロジーの分野に留まらず，社会的・政治的にも重要なキーワードとなっている。

本稿では，水分解によるグリーン水素製造および二酸化炭素の資源化といった人工光合成の定義・基礎および粉末光触媒開発の動向について解説する。

2. 人工光合成とは

人工光合成とは，太陽光エネルギーを用い，安定な分子である H_2O , CO_2 , N_2 などを原料として，われわれの生活に役立つ燃料や化学製品を作る化学反応である。代表的な人工光合成として，1) 水を分解してグリーン水素を製造する反応，2) 水と二酸化炭素をそれぞれ水素源（電子源）と炭素源として有用物質を合成する反応，3) 水を水素源（電子源）として窒素をアンモニアに変換する反応，4) 水を水素源や酸素源とした高エネルギー有機化合物合成などがあげられる。

天然の光合成は，太陽光エネルギーを使って二酸化炭素と水からデンプンと酸素を生成する（図 1）。この反応が意味する重要な点は，太陽光エネルギーを注入して，化学的に非常に安定な水と二酸化炭素から，化学エネルギーを蓄えたデンプンと酸素を生成することである。すなわち，ギブズの自由エネルギー変化が正のアッ

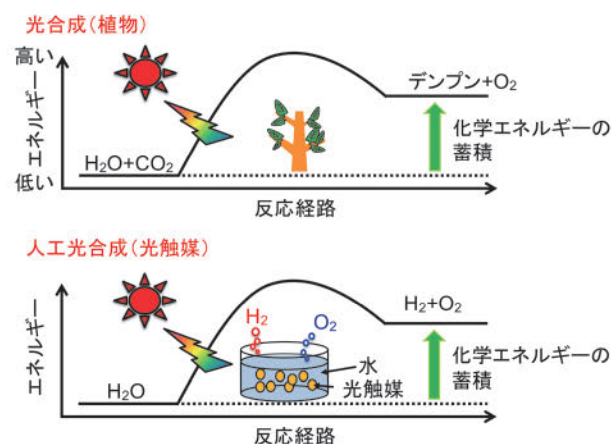


図 1 天然の光合成と人工光合成

uphill reactionである。このような反応は、常温常圧下の熱触媒反応では進行しない。次に、人工光合成による水分解を見てみよう。水分解もギブズの自由エネルギー変化が正のアップヒル反応である。このように、両光合成とも、太陽光エネルギーを蓄積可能な化学エネルギーに変換するという共通点を持っている。ここで、人工光合成で得られたグリーン水素を用いれば、光エネルギーを使わずに、二酸化炭素を熱触媒反応でガソリン、オレフィン、アルコールなどいろいろな燃料や化学製品に変換できる。言い換えれば、安くて豊富なグリーン水素があれば、二酸化炭素を炭素源として、いろいろな有機化合物を合成できる。

3. 人工光合成システムのタイプ

人工光合成による代表的な水分解システム系を図2に示す。図2 (a), (b) の系において、太陽光を吸収するパーツは太陽電池材料である。図2 (a) の太陽電池と水電解槽を組み合わせた系では、メガソーラーを使った大規模な実証試験が世界中で行われている。この系では、太陽電池のみならず水電解槽のコストや効率が重要であり、まだ商用化には至っていない。また、水を還元して水素を発生する電極触媒、酸化して酸素を生成する電極触媒には、主に貴金属が

使われている。そのような背景で、水の酸化や還元、さらに二酸化炭素の還元に必要な過電圧で大きな電流を取りだすことができる高効率な電極触媒の開発が盛んに行われている³⁾。図2 (b) は、太陽電池材料の表面を電極触媒で覆ったタイプのデバイスであり、Artificial Leaf⁴⁾と呼ばれている。これらの系とは異なり、太陽電池を用いない光触媒や光電極系がある。もっとも簡便な系は、粉末の懸濁系である (図2 (c))。また、金属、ガラス、プラスチックなどの基板に粉末光触媒を固定した光触媒シートがある (図2 (d))⁵⁾。これらの系では、 H_2 と O_2 の混合ガスが得られることになる。したがって、そのためのガス分離技術の開発も行われている²⁾。一方、透明電極などの電極基板に粉末光触媒を固定したものが光触媒電極である (図2 (e))。これらの系では、光触媒自体が光吸収体であり、その表面に電極触媒作用を持つ反応場を兼ね備えている。図2 (c), (e) の光触媒および光電極系を用いることにより、水の酸化による酸素生成ではなく、付加価値が高く工業的に重要な過酸化水素などの生成も可能となってきた⁶⁾。

光触媒を用いた人工光合成技術の社会実装を見据えた経済性や将来性の議論が重要となっている。図2 (c), (d) の粉末光触媒系は、その簡便性から大面積化において低コストなシステムを構築できると期待されている²⁾。

次に、粉末光触媒を用いた図2 (c), (d) の人工光合成系について見ていく。

4. 水分解光触媒の効率

光触媒性能を評価する指標として「量子収率」と「太陽エネルギー変換効率」がある。

半導体光触媒で用いられる量子収率とは「光触媒が吸収した光子のうち、どの程度が反応に使われたのかをあらわす効率」である。

[量子収率] = [水素 (酸素) の生成に要した電子 (正孔) 数] / [吸収された光子数]

一方、太陽エネルギー変換効率とは「照射された太陽エネルギーのうち、生成物としてのエネ

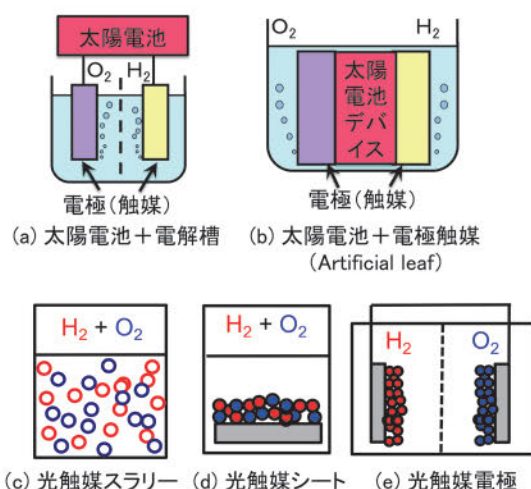


図2 グリーン水素製造のための人工光合成システムのタイプ

ルギーがどの程度蓄えられたかをあらわす効率」である。これは、太陽電池の効率と同様に、人工光合成の効率を評価する上で重要な指標となる。水分解の場合には、この効率はSTH (Solar to Hydrogen) と呼ばれ、下記の式により求められる。

$$[\text{太陽エネルギー変換効率}] = [\text{反応で蓄積されたエネルギー}] / [\text{照射された太陽エネルギー (AM-1.5G)}] = [\Delta G^{\circ} (\text{H}_2\text{O}) / \text{J mol}^{-1}] \times [\text{水素生成速度} / \text{mol s}^{-1}] / ([\text{太陽エネルギー密度 (AM-1.5G)} / \text{W cm}^{-2}] \times [\text{照射面積} / \text{cm}^2])$$

量子収率と太陽エネルギー変換効率は全く別物であるので、混同しないよう注意することが必要である。水分解によるグリーン水素製造の実用化を判断する上で、「どのぐらいの面積の太陽光を使って、実際にどのぐらいのグリーン水素が得られるか」が重要なポイントになる。

5. 光触媒を用いた水分解の反応機構

5.1 半導体光触媒粒子を用いた水分解の反応機構

水分解に活性を示す固体の不均一系光触媒は、図3に示すような半導体的なエネルギーバンド構造を持っている。電子で満たされた価電子帯と電子が空の伝導帯が、適当なエネルギー幅の禁制帯（バンドギャップ）で隔てられている。粉末半導体光触媒を用いた水分解では、まず半導体光触媒粒子にバンドギャップ（BG）より大きなエネルギーを持つ光を照射すると、電子が価電子帯から伝導帯に光励起され、価電子帯に正孔が生じる。ここで、水分解が進行するためには、伝導帯に励起された電子が水の還元電位

よりも負側のポテンシャルを、価電子帯に生成した正孔が水の酸化電位よりも正側のポテンシャルを持っていることが熱力学的に重要である。ここで、太陽光中の可視光を利用するためには、3eV（約415nmの光エネルギーに相当）より狭いバンドギャップ（BG）が必要である。次の過程では、光照射により生成した電子および正孔が粒子表面へ移動する。このとき、光触媒粒子の結晶性などが、光生成したキャリアの動きやすさや寿命などを支配する。良い結晶性を有する粒子では、光生成した電子と正孔の再結合中心として働く欠陥が少ないため、電子および正孔が表面へたどり着く確率が高くなり、光触媒反応効率が増大する。そして、光触媒粒子の表面に到達した電子が水を還元して水素、正孔が水を酸化して酸素を生成する。すなわち、光触媒粒子の表面には、それらの酸化還元反応活性点の存在が不可欠である。そのため、反応活性点として働く助触媒を光触媒表面に担持することがしばしば行われる。また、光触媒粒子の表面積も重要な因子となる。これらの光励起、キャリア移動、表面反応過程が連続して完結することにより、初めてアップヒル反応である水分解活性が発現する。

5.2 水分解半導体光触媒のタイプ

水分解光触媒は、単一粒子型光触媒とZスキーム型光触媒に分類される（図4）。単一粒子型光触媒では、光励起により生成した電子と正孔が、同一光触媒粒子表面で水を酸化還元し酸素と水素を生成する。一方、単一粒子型光触媒としては水分解に活性を示さないが、水の分解の

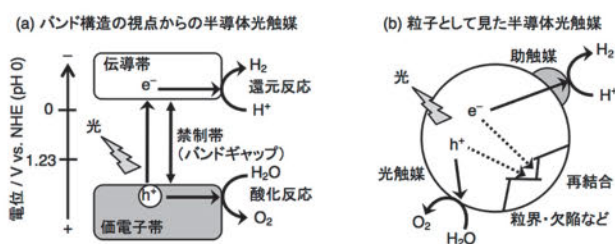


図3 半導体光触媒粒子を用いた水分解の反応過程

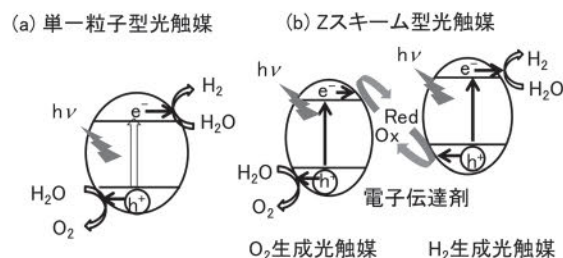


図4 単一粒子型光触媒とZスキーム型光触媒を用いた水分解

半反応である水素もしくは酸素生成に活性を示す光触媒も開発されている。これらの光触媒とその粒子間で電子のやり取りを行う電子伝達剤を組み合わせることにより、Z スキーム型光触媒を構築することができる。図 4 では縦軸がエネルギーを示しているが、エネルギー軸を横軸にすると電子の流れが Z 方向になっているので、Z スキームと呼ばれている。これは天然の光合成と同じような電子の流れである。

6. 水分解光触媒材料開発動向

6.1 紫外光照射下で高い量子収率を示す水分解光触媒

1960 年代後半にホンダ・フジシマ効果が発見されて以来⁷⁾、水分解のための光触媒材料の開発が長年研究されてきた^{8,9)}。1970-80 年代前半において、研究対象となった主な水分解光触媒材料は TiO_2 や CdS であった。この時期に水分解に関して数多くの論文が発表されたが、酸素生成の欠如や極端な活性の低さから、多くの発表に対しては信頼性が乏しかった。また、遷移金属などのドーピングによる可視光応答化なども検討されたが、ポジティブな結果は得られていなかった。1980 年代後半から $\text{K}_4\text{Nb}_6\text{O}_{17}$ 、 $\text{K}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ 、 ZrO_2 、 Ta_2O_5 などの新しい光触媒が見いだされた⁸⁾。しかし、可視光で効率良く働く光触媒が見いだされなかったため、1990 年代にはこの研究領域は低迷していた。しかし、1990 年代後半から、タンタル系複合酸化物光触媒をはじめとし、数多くの新しい高効率光触媒材料が開発された。そのなかでも、 $\text{NiO}/\text{NaTaO}_3:\text{La}$ (図 5)¹⁰⁾、 $\text{RhCrO}_x/\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Zn}$ ¹¹⁾、 $\text{RhCrO}_x/\text{AgTaO}_3$ ¹²⁾ が、高い水分解活性を示す光触媒であることがわかった。さらに、最近では、量子収率 96%を示す非常に高性能な $\text{RhCrO}_x/\text{SrTiO}_3:\text{Al}$ 光触媒が開発された^{13,14)}。これにより、粉末光触媒でも極限の高性能が得られるということが実証された。この光触媒を用いて、世界に先駆けて 100 m^2 規模での粉末光触媒材料を用いたソーラー水分解による水素製造の実証試験が行われた (図 6)¹⁴⁾。こ

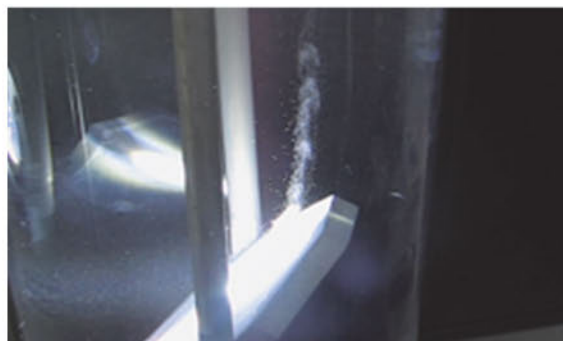


図 5 $\text{NiO}/\text{NaTaO}_3:\text{La}$ 粉末光触媒による水分解



図 6 $\text{RhCrO}_x/\text{SrTiO}_3:\text{Al}$ 光触媒を用いた 100 m^2 規模でのソーラー水分解による水素製造の実証試験。粉末光触媒を塗布したパネルが複数並べられている。ガス分離システムも備えている。

こで、粉末光触媒を用いた水分解では、水素と酸素が 2:1 の混合ガス (爆鳴気) として得られるため、ガス分離や安全性が重要な課題となる。この実証試験では、これらの課題についても検証している。しかし、 $\text{SrTiO}_3:\text{Al}$ 光触媒のバンドギャップは 3.2 eV (約 390 nm の光エネルギーに相当) であるため、太陽光の一部の紫外線しか使えない。したがって、量子収率がほぼ 100% といえども、STH は約 0.76% に留まってしまう。したがって、次のステップとして、長波長の可視光を使えて、かつ高い量子収率を示す光触媒材料の開発が必須となってくる。

6.2 可視光照射下で働く水分解光触媒

可視光照射下での水分解に活性な単一粒子型光触媒 (図 4 (a)) として、 $\text{SrTiO}_3:\text{Rh}, \text{Sb}$ (応答波長: 500 nm)、 $\text{SrTiO}_3:\text{Ir}, \text{Sb}, \text{Al}$ (660 nm)、 $\text{KTaO}_3:\text{Ir}, \text{La}$ (600 nm) のような金属酸化物、 $(\text{Ga}_{0.58}\text{Zn}_{0.42}) (\text{N}_{0.58}\text{O}_{0.42})$ (480 nm)、 TaON (500 nm)、 $\text{LaMg}_{1/3}\text{Ta}_{2/3}\text{O}_2\text{N}$ (600 nm)、 Ta_3N_5 (600 nm) のような

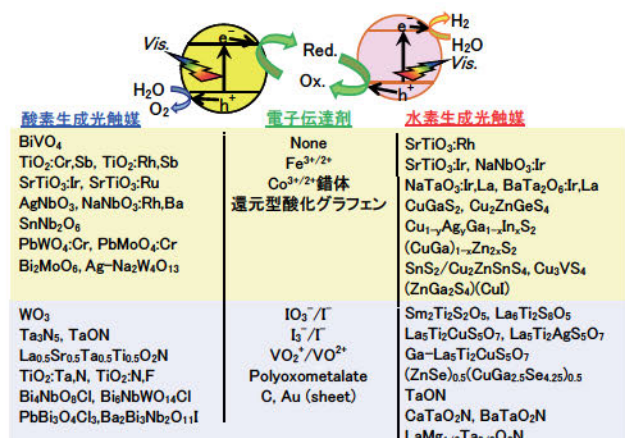


図 7 いろいろな水素・酸素生成光触媒と電子伝達剤を組み合わせた可視光水分解のための Z スキーム系光触媒

(酸) 窒化物, Y₂Ti₂O₅S₂ (640nm) のような酸硫化物が報告されている^{8,9)}。これらの光触媒では, N³⁻や S²⁻のアニオンや, ドーピングされた遷移金属イオンが価電子帯やそれに相当するエネルギー準位を形成し, 可視光応答性を発現している。また, Z スキーム型光触媒 (図 4 (b)) として, 図 7 のような組み合わせの系が報告されている。

このように, 2000 年代になって可視光を使える水分解光触媒が, 数多く開発された。しかし, 実用化に対しては, いずれも効率が十分でないという問題点がある。

単一粒子型光触媒では, 730nm ぐらいまでの光を使えて, かつ 20–30% の量子収率を示す光触媒材料が必要である。このような光触媒が開発されれば, この研究分野が飛躍的に進展し, 光触媒を用いた水分解によるグリーン水素製造技術の商用化が期待される。

7. 水を電子源とした二酸化炭素の資源化のための光触媒材料

7.1 単一粒子型半導体光触媒粉末を用いた水を電子源とした二酸化炭素還元

代表的な紫外応答性金属酸化物光触媒である TiO₂ を用いた二酸化炭素還元は古くから盛んに研究されてきたが, 二酸化炭素還元活性が低く, 酸素生成の定量も欠如していた。そのなかで,

1993 年に佐山らによって, ZrO₂ (BG : 5.0eV) 光触媒が水を電子源とした二酸化炭素還元活性を示すことが実証された¹⁵⁾。ZrO₂ 上に Cu 助触媒を担持することで二酸化炭素還元活性および一酸化炭素生成選択率 ([一酸化炭素]/[一酸化炭素+水素]×100) が大きく向上する。しかし, その選択率が約 11% であるということが課題であった。また, 生成物も 2 電子還元体である一酸化炭素に留まっていた。このような背景のもと, 近年, 二酸化炭素を還元する十分なドライビングフォースを有する高活性な単一粒子型水分解金属酸化物光触媒をベースとした人工光合成二酸化炭素還元光触媒が開発されている。次に, その例を紹介する。

7.1.1 二酸化炭素還元における Ag 助触媒の担持および炭酸水素塩添加効果

層状ペロブスカイト構造を有する BaLa₄Ti₄O₁₅ に NiO 助触媒を担持した光触媒 (BG : 3.9eV) は紫外光照射下ではあるが, 高い水分解活性を示す¹⁶⁾。NiO 助触媒の代わりに Ag 助触媒を担持した本光触媒は二酸化炭素還元の高い活性を示し, 約 70% という高い一酸化炭素生成選択率を与える¹⁷⁾。水溶液中での反応でありながらも, このように水の還元による水素生成を上回って一酸化炭素を高選択的に生成することは特筆に値する。還元生成物および酸素も化学量論的 (e⁻/h⁺=1) かつ定常的に生成し, 1 を超えるターンオーバー数 (TON) が得られていることから, 本反応は光触媒的に進行している。さらに, 同位体である ¹³CO₂ を用いた実験により, 二酸化炭素を炭素源として一酸化炭素を生成していることが確認されている。このように, Ag 助触媒が二酸化炭素還元における一酸化炭素生成に優れた活性点として機能することが見いだされている。

La³⁺ やアルカリ土類金属イオン (Ca²⁺, Sr²⁺, Ba²⁺) をドーピングした NaTaO₃ 光触媒 (ペロブスカイト型構造) は, BaLa₄Ti₄O₁₅ よりも広い 4.1eV のバンドギャップを有し, BaLa₄Ti₄O₁₅ 同様に高い水分解活性を示す^{18,19)}。NaTaO₃ の伝導帯は

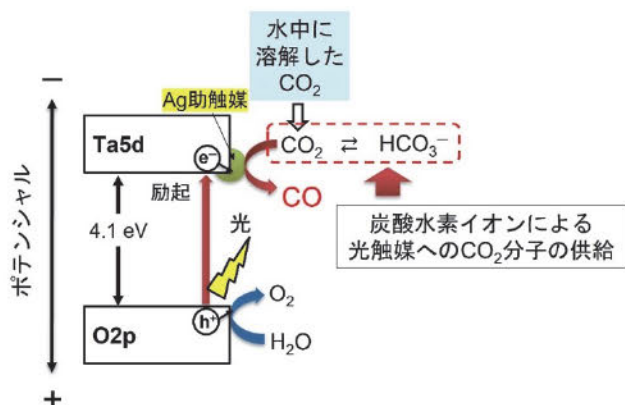
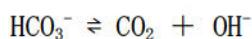


図 8 Ag 助触媒を担持した Ba ドープ NaTaO₃ を用いた炭酸水素ナトリウム水溶液中での水を電子源とした二酸化炭素還元

BaLa₄Ti₄O₁₅ よりも高い位置にあるため、二酸化炭素還元に対して有利に働く光触媒材料であると言える。この光触媒に Ag 助触媒を担持すると、高い二酸化炭素還元活性が発現し、その一酸化炭素選択率はおよそ 50%を与える²⁰⁾。さらに、反応水溶液に炭酸水素塩を添加することで、一酸化炭素生成速度と生成選択率も大きく向上する。そのなかでも、Ba ドープ NaTaO₃ はもっとも高い活性を示し、その一酸化炭素生成選択率は 90%にまで達する。この反応水溶液の pH では、炭酸水素イオンは、下記の平衡式のように CO₂ を遊離している。



したがって、反応基質である二酸化炭素分子が活性点付近で消費されても、炭酸水素イオンによってすみやかに光触媒表面上へ二酸化炭素分子が供給されるために、二酸化炭素還元活性が向上すると考えられている (図 8)。

7.1.2 水を電子源とした二酸化炭素還元による CH₄ 生成における Rh-Ru 複合助触媒担持効果

これまで述べてきたように、多くの光触媒は水を電子源とした二酸化炭素還元によって 2 電子還元体である一酸化炭素やギ酸を生成する。それに対して、水を電子源とした 8 電子還元体であるメタンを得ることは難しく、これを達成した例はほとんどない。そのなかで、Rh-Ru 複合助触媒を担持した Sr ドープ NaTaO₃ 光触媒は、酸

素の生成を伴いながら二酸化炭素を還元してメタンを生成する²¹⁾。現状の反応電子数ベースでのメタン生成選択率はおよそ 10%と低いですが、助触媒担持法の改良や助触媒種の検討によって更なる高活性化が期待される。また、メタンに留まらずにエチレンやプロパンなどの C-C 結合を持つ炭化水素生成にも期待が持てる。

7.2 水を電子源とした Z スキーム型可視光二酸化炭素還元光触媒系

上で紹介した光触媒は水を電子源とした単一粒子型光触媒的二酸化炭素還元活性を示すが、バンドギャップが広いので、紫外光を照射する必要がある。太陽光の利用を考えた場合、可視光で駆動する系が求められる。そこで次に、種々の Z スキーム型光触媒系を用いた可視光照射下における水を電子源とした二酸化炭素還元について紹介する。

7.2.1 粒子間電子伝達を利用した Z スキーム系

Rh ドープ SrTiO₃ (SrTiO₃:Rh)²²⁾ および BiVO₄²³⁾ は可視光応答性光触媒であり、それぞれ水素および酸素生成半反応に高い活性を示す。Ag もしくは Au 助触媒を担持した SrTiO₃:Rh および BiVO₄ 光触媒を組み合わせることで、水を電子源とした Z スキーム型可視光二酸化炭素還元が進行する²⁴⁾。この系の大きな特徴は、イオンや固体電子伝達剤を用いなくても反応が進行する点にある。水溶液中に二酸化炭素が溶けると水溶液の pH が 4 程度の酸性になり、表面電荷の関係で光触媒粒子が互いに凝集する。この自発的な凝集体の形成がスムーズな粒子間電子伝達を可能にしている。SrTiO₃:Rh の伝導帯下端はおよそ -0.61V vs NHE (pH7) に位置しており、先に述べた BaLa₄Ti₄O₁₅ や NaTaO₃ と比較すると二酸化炭素を還元するドライビングフォースは大きくないが、それでも二酸化炭素還元が進行することを示す重要な結果である。光触媒粒子、水、二酸化炭素を用いだけで、他の添加物を用いなくても Z スキーム型可視光二酸化炭素還元が進行する点におい

でも大変興味深い系である。

7.2.2 固体電子伝達剤 RGO（還元型酸化グラフェン）を用いた Z スキーム系

可視光水素生成に高い活性を示す材料群として、金属硫化物光触媒がある。これらは高い伝導帯を有するものが多いため、二酸化炭素還元には有用な光触媒材料であると考えられていた。しかし、反応水溶液中に S^{2-} などの強い還元剤が存在しない条件下では、光触媒の自己酸化（自己腐食）が起こるため、水を電子源とした二酸化炭素還元の単一粒子型光触媒として使用するの当初困難であった。そのなか、 $CuGaS_2$ - ZnS の固溶体である $(CuGa)_{1-x}Zn_{2x}S_2$ は、Z スキーム型還元用光触媒として機能する（図 9）。 $(CuGa)_{1-x}Zn_{2x}S_2$ 固溶体は、固相法（SSR）によって調製され、粒径が約 $1\ \mu m$ と粗大である。ここで、光触媒微粒子を得るための有用な手法としてフラックス（Flux）合成がしばしば利用される。 $(CuGa)_{1-x}Zn_{2x}S_2$ においても、フラックス合成は微粒子化に有用であり、数百 nm の微粒子を得ることができる²⁵⁾。この $(CuGa)_{1-x}Zn_{2x}S_2$ 微粒子を二酸化炭素還元用光触媒として Z スキーム系に適用すると、固相法によって調製されたものを用いたときよりも二酸化炭素還元活性が大きく向上する。さらに、本 Z スキーム系においても炭酸水素ナトリウムを添加することで二酸化炭素還元活性が大きく向上する²⁶⁾。還元用金属硫化物光触媒上に

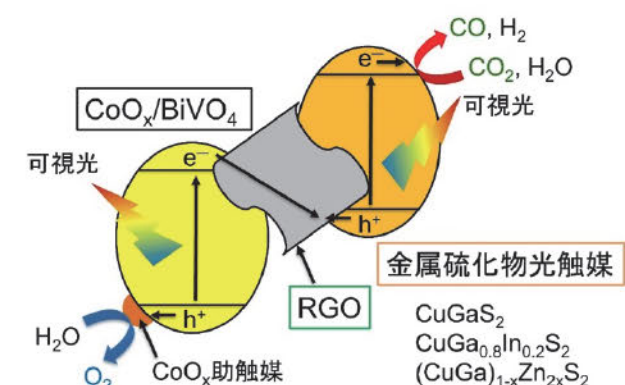


図 9 金属硫化物光触媒および RGO を修飾した CoO_x 担持 $BiVO_4$ 光触媒による可視光照射下での粒子間電子伝達系 Z スキーム型二酸化炭素還元

金属助触媒を担持させなくても、水を電子源とした Z スキーム型二酸化炭素還元活性を示すことは特筆に値する。

7.2.3 金属錯体をイオン電子伝達剤および二酸化炭素還元活性サイトとして用いた Z スキーム系

金属錯体は、選択的二酸化炭素還元触媒として盛んに研究されている^{27, 28)}。さらに、金属錯体は、Z スキーム系におけるイオン電子伝達剤としても機能する。そこで、半導体光触媒と金属錯体を組み合わせた人工光合成型二酸化炭素還元系の開発が行われている^{28, 29)}。 $[Ru(dpbpy)]$ 錯体で表面修飾した $(CuGa)_{1-x}Zn_{2x}S_2$, $BiVO_4$ および電子伝達剤として $[Co(tpy)_2]^{3+/2+}$ を用いた Z スキーム系が、水を電子源とした二酸化炭素還元活性を示す²⁹⁾。この系では、 Co 錯体が電子伝達剤として、 Ru 錯体が効率的な二酸化炭素還元活性点として機能している（図 10）。本系は一酸化炭素のみならず、ギ酸も定常的に生成し、一酸化炭素およびギ酸の生成選択率は 60% を与える。この選択率は $[Ru(dpbpy)]$ 錯体が存在しない系よりも高いことから、その錯体が二酸化炭素還元反応場として有効に働いていることがわかる。さらに、 $[Co-dmbpy]$ 錯体、 $(CuGa)_{1-x}Zn_{2x}S_2$ および $BiVO_4$ を組み合わせた系は驚異の一酸化炭素生成選択率 98% を与える³⁰⁾。 $[Co-dmbpy]$ 錯体はイオン電子伝達剤および二酸化炭素還元活性サイ

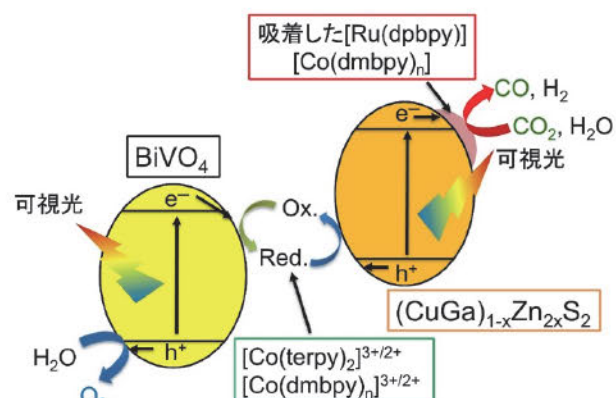


図 10 Ru もしくは Co 錯体を吸着させた $(CuGa)_{1-x}Zn_{2x}S_2$ および $BiVO_4$ による水を電子源とした可視光照射下での Z スキーム型可視光二酸化炭素還元

トとして複合的に機能している。酸素の生成量が化学量論よりも少ないことが課題ではあるが、単一のCo錯体種が水溶液中でイオン電子伝達剤および二酸化炭素還元活性サイトとしてバイファンクショナル的に機能することは興味深い結果である。

8 おわりに

光触媒を用いた水分解によるグリーン水素製造はまだ実用化されていないが、ソーラー水分解システム構築も含めて着々と研究開発が進んでいる。紫外線しか使えないが高い量子収率を示す光触媒や、長波長の可視光線を使えるが量子収率が低い光触媒というように、一長一短の光触媒はすでに開発されている。また、水を電子源とした二酸化炭素還元光触媒において、Ag (CO生成)、Rh-Ru (メタン生成)などの新たな助触媒や、可視光応答性Zスキーム光触媒系が開発された。さらには、金属錯体と半導体光触媒を組み合わせたハイブリッド型光触媒が二酸化炭素還元の高い選択性を示すこともわかってきた。今後は、これまでの経験的な材料開発に加えて、最先端計測技術、計算科学、AIなどのデータサイエンスを活用したメカニズム解析や材料開発も重要な研究分野となる。高いSTHを示す光触媒材料が開発できれば、実用化に向けた大きなブレイクスルーが成し遂げられることは疑いのないことである。これにより、新たな産業が創生され、資源・エネルギー・環境問題が解決に向かうと期待される。

参考文献

- 1) 光化学協会編, 井上晴夫監修, 夢の新エネルギー「人工光合成」とは何か 世界をリードする日本の科学技術, (2016), 講談社.
- 2) 堂免一成・瀬戸山亨, 光触媒/光半導体を利用した人工光合成 ~最先端科学から実装技術への発展を目指して~, (2017), エヌ・ティ・エス.
- 3) Z. N. Zahran, Y. Tsubonouchi, E. A. Mohamed, M. Yagi, *ChemSusChem*, **2019**, *12*, 1775.
- 4) S. Y. Reece, J. A. Hamel, K. Sung, T. D. Jarvi, A. J. Esswein, J. J. H. Pijpers, D. G. Nocera, *Science*, **2011**, *334*, 645.
- 5) Q. Wang, T. Hisatomi, Q. Jia, H. Tokudome, M. Zhong, C. Wang, Z. Pan, T. Takata, M. Nakabayashi, N. Shibata, Y. Li, I. D. Sharp, A. Kudo, T. Yamada, K. Domen, *Nature Mater.*, **2016**, *15*, 611.
- 6) K. Fuku, K. Sayama, *Chem. Commun.*, **2016**, *52*, 5406.
- 7) A. Fujishima, K. Honda, *Nature* **1972**, *238*, 37.
- 8) A. Kudo, Y. Miseki, *Chem. Soc. Rev.* **2009**, *38*, 253.
- 9) Q. Wang, K. Domen, *Chem. Rev.* **2020**, *120*, 919.
- 10) H. Kato, K. Asakura, A. Kudo, *J. Am. Chem. Soc.*, **2003**, *125*, 3082.
- 11) Y. Sakata, Y. Matsuda, T. Nakagawa, R. Yasunaga, H. Imamura, K. Teramura, *ChemSusChem*, **2011**, *4*, 181.
- 12) K. Watanabe, A. Iwase, A. Kudo, *Chem. Sci.*, **2020**, *11*, 2330.
- 13) T. Takata, J. Jiang, Y. Sakata, M. Nakabayashi, N. Shibata, V. Nandal, K. Seki, T. Hisatomi, K. Domen, *Nature*, **2020**, *581*, 411.
- 14) H. Nishiyama, T. Yamada, M. Nakabayashi, Y. Maehara, M. Yamaguchi, Y. Kuromiya, H. Tokudome, S. Akiyama, T. Watanabe, R. Narushima, S. Okunaka, N. Shibata, T. Takata, T. Hisatomi, K. Domen, *Nature*, **2021**, *598*, 7880.
- 15) K. Sayama, H. Arakawa, *J. Phys. Chem.*, **1993**, *97*, 531.
- 16) Y. Miseki, H. Kato, A. Kudo, *Energy Environ. Sci.*, **2009**, *2*, 306.
- 17) K. Iizuka, T. Wato, Y. Miseki, K. Saito, A. Kudo, *J. Am. Chem. Soc.*, **2011**, *133*,

- 20863.
- 18) H. Kato, K. Asakura, A. Kudo, *J. Am. Chem. Soc.*, **2003**, *125*, 3082.
- 19) A. Iwase, H. Kato, A. Kudo, *ChemSusChem*, **2009**, *2*, 873.
- 20) H. Nakanishi, K. Iizuka, T. Takayama, A. Iwase, A. Kudo, *ChemSusChem*, **2017**, *10*, 112.
- 21) S. Yoshino, T. Takayama, Y. Yamaguchi, A. Iwase, A. Kudo, *Acc. Chem. Res.*, **2022**, *55*, 966.
- 22) R. Konta, T. Ishii, H. Kato, A. Kudo, *J. Phys. Chem. B*, **2004**, *108*, 8992.
- 23) A. Kudo, K. Omori, H. Kato, *J. Am. Chem. Soc.*, **1999**, *121*, 11459.
- 24) S. Yoshino, K. Sato, Y. Yamaguchi, A. Iwase, A. Kudo, *ACS Appl. Energy Mater.*, **2020**, *3*, 10001.
- 25) S. Yoshino, A. Iwase, Y. H. Ng, R. Amal, A. Kudo, *ACS Appl. Energy Mater.*, **2020**, *3*, 5684.
- 26) S. Yoshino, A. Iwase, Y. Yamaguchi, T. M. Suzuki, T. Morikawa, A. Kudo, *J. Am. Chem. Soc.*, **2022**, *144*, 2323.
- 27) H. Takeda, C. Cometto, O. Ishitani, M. Robert, *ACS Catal.*, **2017**, *7*, 70.
- 28) T. Morikawa, S. Sato, K. Sekizawa, T. M. Suzuki, T. Arai, *Acc. Chem. Res.*, **2022**, *55*, 933.
- 29) T. M. Suzuki, S. Yoshino, T. Takayama, A. Iwase, A. Kudo, T. Morikawa, *Chem. Commun.*, **2018**, *54*, 10199.
- 30) T. M. Suzuki, S. Yoshino, K. Sekizawa, Y. Yamaguchi, A. Kudo, T. Morikawa, *Appl. Catal., B*, **2022**, *316*, 121600.

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
1日	・一本会 ・月例懇談会	・資源環境センター 理事会
2日	・日本鉱業振興会 理事会 ・経済産業統計協会 月例会および理事会 ・一金会	・国際金属資源循環業務 第1回検討会（オンライン） ・経団連 イノベーション委員会
5日		・産業廃棄物処理事業振興財団 産廃懇話会
7日	・日本銅センター定時総会・理事会・表彰式	・全国鉱山・製錬所現場担当者会議および見学会（～9日）
8日	・二木会	
9日	・資金専門委員会 ・日本溶融亜鉛鍍金協会 令和5年度年次総会	
12日	・「鉱山」編集委員会	・令和5年度水銀大気排出抑制対策調査検討会（オンライン）
13日	・経団連 幹事会（オンライン） ・JMEC 評議員会	
14日	・理事会 ・八社総務部長会	・経団連 カーボンニュートラル行動計画WG（オンライン）
15日	・経団連 木曜会	
19日	・資源環境センター評議員会	・燃料電池研究会セミナー（東京理科大 森戸記念館）
20日	・日本鉱業振興会 評議員会 ・ダイカスト用亜鉛合金委員会	・第1回鉱山保安推進協議会表彰実行委員会
21日	・鉱業政策懇談会 ・鉛亜鉛需要開発センター運営委員会 ・日本メタル経済研究所 監事監査	・日本地熱協会 技術交流会
22日	・経団連 地方・業種団体情報連絡会（オンライン） ・銅報告会・銅友会合同会議（オンライン）	・スラグ委員会
23日	・総合資源エネルギー調査会 第38回資源・燃料分科会	
26日		・JOGMEC 坑廃水処理の高度化技術調査事業委員会（オンライン）
27日	・二八会	
28日	・特許委員会 ・日本メタル経済研究所 企画運営委員会	
30日	・地金統計部会（オンライン）	・OECD 廃棄物部会 結果報告

【国内関係事項】

〔1 日〕 住友金属鉱山は、同社グループ「2030 年のありたい姿」を策定し、「2030 年のありたい姿」を実現するために、水の使用を最適化し、有害物質の水域への排出を削減する目標を設定しており、本方針は、同社グループの事業全体における水資源の持続可能な利用及び管理に対する同社グループの取り組みの指針となると発表した。

〔1 日〕 住友金属鉱山は、このたび公益財団法人日本国際教育支援協会（JEES）に寄付を実施し、これを原資に JEES が返済不要給付型の冠奨学金事業として「JEES・住友金属鉱山地域貢献奨学金」を設立したと発表した。

〔1 日〕 DOWA ホールディングスは、同社グループにおいて環境・リサイクル事業を展開する DOWA エコシステムと文響社のコラボレーションにより、ゴミ問題や資源循環を分かりやすく、また、楽しく学べる冊子「DOWA×うんこドリル ゴミと資源」を制作したと発表した。

〔1 日〕 三菱マテリアルは、経済産業省・東京証券取引所・独立行政法人情報処理推進機構が選定する「DX 注目企業 2023」に初めて選ばれたと発表した。

〔6 日〕 DOWA ホールディングスは、子会社の DOWA サーモテックが、国内のすべての熱処理工場で自動車産業の国際的な品質マネジメントシステム規格である IATF16949 の認証を取得したと発表した。

〔7 日〕 NEDO は、今年度から来年度までの 2 年間にわたり、次世代型の地熱として期待される超臨界地熱発電の実現・普及を目指して、同分野を支える人材育成に取り組む。従来型の地熱よりも大規模な発電出力が得られ、次世代再生可能エネルギー技術として期待されている。

〔8 日〕 三菱マテリアルは、2023 年 7 月 1 日付でサステナビリティ経営体制を刷新し、新たな体制のもと、サステナビリティへの対応を一層強化していくと発表した。

〔9 日〕 JOGMEC は、阪和興業が参画する、南アフリカ共和国リンボポ州におけるウォーターバーグ白金族探鉱事業を出資採択し、2023 年 6 月 9 日に初回の出資を実行したと発表した。

〔12 日〕 JOGMEC は、サウジアラビア王国との鉱業分野における関係強化を目的として、2023 年 5 月 31 日に一般財団法人中東協力センターと共催で、同国

のファハド・アルナイーム投資省投資開発担当副大臣及びトルキー・アルバブテイン産業鉱物資源省鉱業開発担当副大臣を日本に招聘し、日本企業や関係機関を交えた鉱業投資ラウンドテーブルを開催したと発表した。

〔14 日〕 日鉄鉱業は、ペルー共和国における銅探鉱プロジェクト「Los Chapitos プロジェクト」について、Camino Minerals Corporation と、2023 年 6 月 13 日付で参入契約を締結したと発表した。

〔21 日〕 三菱マテリアルは、SOMPO アセットマネジメントが独自に設定する「SOMPO サステナビリティ・インデックス」における 2023 年の構成銘柄に選定されたと発表した。

〔21 日〕 JX 金属は、33.4%の株式を有している大阪合金工業所の株式を、持ち分 52.6%まで追加取得したと発表した。

〔22 日〕 住友金属鉱山は、リサイクルニッケル・コバルトを使用した正極活物質がリチウムイオン二次電池のユーザー実証試験に合格したと発表した。

〔23 日〕 JX 金属は、インテルが表彰する 2023 年 EPIC Distinguished Supplier Award を受賞したと発表した。

〔23 日〕 古河機械金属は、同社グループの中核事業会社で、ロックドリル部門を担う古河ロックドリルの関係会社である Furukawa Rock Drill USA が、米国ネバダ州にサービス・物流拠点を新設したと発表した。

〔26 日〕 JX 金属は、光センシング技術の高度化に貢献する新規半導体デバイス向け材料であるケイ化マグネシウム単結晶について、茨城大学工学部との共同研究を推進しているが、このたび本製品の社会実装に向けてマーケティング活動を本格化することとしたと発表した。

〔26 日〕 東邦亜鉛は、2023 年 4 月に各部門の役員をメンバーとする事業戦略検討チームを立ち上げていたが、今回、成長・新規事業領域及び製錬事業の方向性について、2021 年 5 月にリリースした 10 年ビジョンのプロセスをより具体化すべく事業戦略を策定し、現在、社内で具体策を順次進めていると発表した。

〔27 日〕 古河機械金属は、同社グループの中核事業会社で、ロックドリル部門を担う古河ロックドリルが、国内向けに油圧クローラドリルの新シリーズ

『HCR L90 シリーズ』の販売を開始したと発表した。

〔27 日〕 石原産業は、同社及び完全子会社の富士チタン工業が、村田製作所との 3 社間で、2023 年 6 月 1 日に合併会社の設立を予定していたが、設立に向けた準備・協議の最終調整を進めていく中で、その設立の時期を延期することとし、同社取締役会において、富士チタン及び村田製作所との間で改めて合併契約を締結することを決議したと発表した。

〔28 日〕 古河機械金属グループの中核事業会社で、電子部門を担う古河電子は、半導体製造装置や通信機器、レーザー素子などの放熱絶縁部材として需要が拡大している窒化アルミセラミックスの生産能力拡充に向け、総額約 10 億円の増産投資を 2022 年 7 月からいわき工場で実施してきたが、新たに焼成炉 2 基が今春完成し、このたび、生産を開始したと発表した。

〔30 日〕 JX 金属は、取締役会において、完全子会社化を目的として、タツタ電線の普通株式を金融商品取引法に基づく公開買付けにより取得することを決議したと 2022 年 12 月 21 日付けで発表していたが、国内外の競争法に基づく必要な手続及び対応が完了していないことから、本公開買付けが開始される時期は、早くとも 2023 年 8 月以降となることを見込んでおり、引き続き早期にこれらの手続及び対応を完了すべく努めていくと発表した。

【海外関係事項：業界】

〔8 日〕 チリの環境裁判所は、ルンディン・マイニング（加）に対して 2022 年 7 月に陥没穴が発生したアルカパロッサ銅鉱山（チリ）の閉鎖を命じたことを発表した。

〔13 日〕 ボリデン（スウェーデン）は、欧州最大の亜鉛鉱山であるタラ亜鉛・鉛鉱山（アイルランド）の操業を停止することを発表した。

〔16 日〕 グレンコア（スイス）は、豪ニューサウスウェールズ州に保有する CSA 銅鉱山について、特別目的買収会社のメタルズ・アクイジション（MAC（米））への売却手続きが完了したことを発表した。

〔16 日〕 ボリデン（スウェーデン）は、スウェーデン北部で操業するロンスカー銅製錬所で発生した火災を受け、同製錬所からの出荷について不可抗力宣言を行った。

〔16 日〕 出光興産は、豪州でリチウムプロジェクトを進めるデルタ・リチウム（豪）に 4,800 万豪ドル（3,300 万米ドル）の追加出資を行ったことを発表した。

〔18 日〕 ボリビア政府は、同国内のリチウムプロジェクトに電気自動車（EV）用バッテリー世界最大手の寧徳時代新能源科技（CATL（中国））が 14 億米ドルを出資することを発表した。

〔20 日〕 米金融サービス会社 S&P グローバルの 6 月 20 日付け報道によると、アントファガスタ（英）は、2023 年 7 月～2024 年 6 月積み銅精鉱 TC/RC について、日本及び韓国の製錬所と \$88/8.8¢ で合意した。

〔20 日〕 アントファガスタ（英）は、チリ北部アントファガスタ州で操業するサルディバル銅鉱山について、操業予定期間を 2051 年まで延長する増産投資プロジェクトの環境許可申請を行ったことを発表した。

〔20 日〕 ハドベイ・ミネラルズ（加）は、カッパー・マウンテン・マイニング（加）の買収手続きが完了し、同社を完全子会社化した。

〔20 日〕 リオ・ティント（英豪）は、米ユタ州で操業するケネコット銅鉱山と製錬所において、総額約 9.2 億米ドルの増産投資を行うことを発表した。

〔20 日〕 インドネシアのジョコ大統領は、同国からの銅精鉱の輸出禁止について、PT フリーポート・インドネシア（PTFI）と PT アンマン・ミネラル・ヌサ・テンガラ（AMNT（インドネシア））の銅製錬所建設が完了次第、実施することを表明した。両製錬所は 2024 年 5 月に生産を開始する見通しであるとしている。

〔21 日〕 中国政府は、新エネルギー車（NEV）の車両購入税の減免措置を 2027 年末まで延長することを発表した。

〔22 日〕 三菱商事は、チリ北部アントファガスタ州でマリマカ銅鉱山プロジェクトを進めるマリマカ・カッパー（加）に出資することを発表した。

〔23 日〕 ニューモント・コーポレーション（米）は、メキシコで操業するペニャスキート鉱山でのストライキを受け、同鉱山からの一部の出荷について不可抗力宣言を行ったことを発表した。

〔26 日〕 コデルコ（チリ）は、チリ中部で発生した豪雨により、バルパライソ州で操業するアンディナ銅鉱山とオイギンス州で操業するエル・テニエンテ銅鉱山の一部の操業を 6 月 23 日に停止したことを発表した。その内、アンディナ銅鉱山は 6 月 25 日に操業を再開、エル・テニエンテ銅鉱山については露天掘りと一部施設の操業を依然停止しているとした。

〔26 日〕 ラグナル・メタルズ（豪）は、スウェーデンで進めるトゥルスタ・ニッケルプロジェクトを

BHP（豪）に売却することを発表した。

国際会議「夏季ダボス会議」が 27～29 日まで中国天津市で開催された。

【海外関係事項】

[27 日] 世界経済フォーラム（WEF）が主催する

関係法令情報（官報）

【省令】

[23 日] 大気汚染防止法施行規則等の一部を改正する省令

（環境一〇）

[30 日] 廃棄物の減量その他その適正な処理に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本的な方針

（環境四九）

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6号（通巻第813号）

発行 令和5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 茂住 洋史

印刷所 日本印刷(株)