

持続可能開発目標達成支援事業（aXis）

Bタイプ研究分野「環境エネルギー」

研究課題名

「充放電高電流密度を確保するための亜鉛空気2次電池用  
実用電極触媒の開発」

## 終 了 報 告 書

研究期間

2020年4月1日から2022年3月31日まで

研究代表者： 米澤 徹

北海道大学・教授

## I. 国際共同研究の内容 (公開)

### 1. 当初の研究計画に対する進捗状況

#### (1) 研究の主なスケジュール(実績)

研究題目・活動	2020年度				2021年度			
	4~6月	7~9月	10~12月	1~3月	4~6月	7~9月	10~12月	1~3月
1. ワークパッケージ1 充放電高電流密度を確保するための垂鉛空気2次電池用実用電極触媒の開発	酸化物触媒、ペロブスカイト触媒合成技術確立			触媒合成技術確立				
	電池モジュール作製				電池モジュール作製			
	まとめ				まとめ			
					まとめ			

\* 1 コロナ禍により研究が延長になった。初年度に合金酸化物に適切な触媒系を発見したため、その系についてさらに耐久性等追及した。

\* 2 電池モジュールについて、プラスチックセルで触媒の電流密度試験、耐久性試験を繰り返して電流密度の向上と耐久性の向上を達成できた。そしてフロー電池モジュールを作製した。コロナ禍の影響で相手国への渡航ができず、試行錯誤期間を要した。

\* 3 研究延長にともない、まとめ期間が2021年度となった。

#### (2) プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

酸化物触媒のうち合金触媒系で電流密度を向上できることを見出した。

## 2. プロジェクト成果の達成状況とインパクト（公開）

### (1) 成果目標の達成状況とインパクト等

鉛空気電池の触媒について検証を重ねてきた。アクリル板を図1のように加工して、テストセルを作製した。亜鉛板と触媒を乗せたニッケルフォーム（穴があけられたニッケル板、図1）を電極として用いた。ガス拡散層としてカーボン層を利用し、PTFEで押さえている。触媒は、Fe、Co、Niなどの遷移金属系の合金酸化物電極触媒を用いて検討している。具体的には、合金酸化物触媒として FeCo 系触媒を用いることとした。ほかに NiCo 系触媒などについても検討を行った。適切な系の選択、最適化された電極作製条件、さらには合金での求められる元素比および触媒量について検討を行った。当初の研究成果目標の電流密度  $100 \text{ mA/cm}^2$  を可能とする触媒を得ることが目標であり、研究としてそのレベルに達した（図2）。今後、産業化にも持っていきたい。

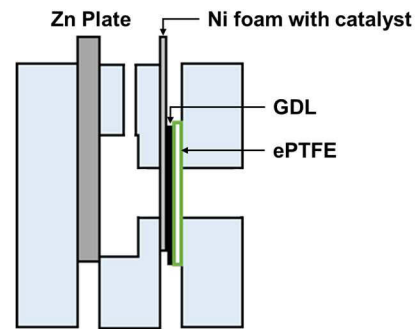


図1 亜鉛空気電池用テストセルの模式図。

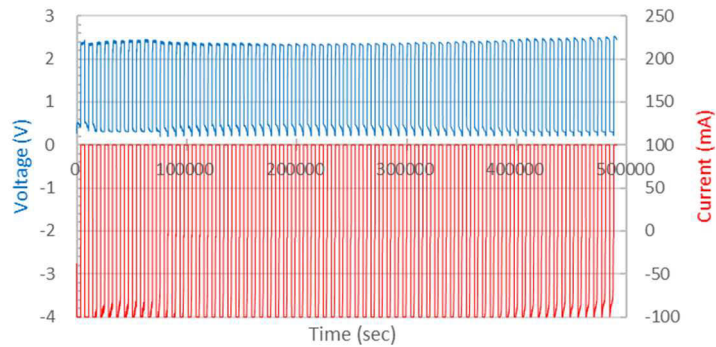


図2. 亜鉛空気電池テストセルの充放電サイクルの実験例。電流密度が目標値を満たしている例。

### (2) プロジェクト全体のねらい（これまでと異なる点について）

本研究では、ナノ粒子製造能力、解析能力に優れた日本において触媒の合成ならびに解析を担当した。日本において得られた触媒の微細構造解析と最適化を継続して行ってきた。残念ながら本研究期間においてタイを訪問することができず、共同での実験をタイで行うことはできなかった。そこで、日本でさらに大きな電池モジュールやフロー電池系の構築を可能とできる条件を整えるべく努力した。たとえば、図3のような亜鉛フロー電池を作製した。こうした系に作製した触媒系を搭載することによって、産業化を目指せる亜鉛空気系電池の構築を目指していく。また、搭載するための触媒の比較的大量での合成についても、粉末法での合成により可能としている。(1)に示した合金酸化物触媒での性能向上が可能であることが認識されたので、この触媒を中心に微細構造および金属の電子状態の解析、触媒の耐久性評価を行い、大型電池への適応性について検証した。



図3 亜鉛フローセルの写真。

- (3) SDGs 達成に向けた重要性、科学技術・学術上の独創性・新規性（これまでと異なる点について）

本研究では、タイで産出する亜鉛を使って、電力平準化用の大型電池を可能とする大電流密度を得ることができる触媒系の構築を図ってきた。電力平準化用の大型電池では、個人宅用の電池などとはことなり、メンテナンスが少なく、大きな入出力を実現する必要がある、大きな電流密度を可能とする触媒が必須である。そこで、触媒には多元素合金酸化物を考えており、組成について考えた。さらに作製した触媒の構造・組成と、触媒性能との相関について検証し、学術的にも貢献を行いたい。タイでは大型電池に向けたモジュールの設定などを行っており、よい触媒を提供することで、亜鉛空気電池の実用化のバックアップをしたいと思い、本研究を熱心に遂行した。

- (4) 研究運営体制、日本人人材の育成(若手、グローバル化対応)、人的支援(研修、若手の育成)およびネットワーク構築等

残念ながら両国の国境はなかなか十分にオープンになることなく事業期間が終了した。しかしながら、タイ側とは様々な協議を行って、研究を進めてきた。今回、直接的な交流はできなかったが、触媒関係でタイの新たなパートナーを得た。今後、アジアにおける共同グラントなどにアプライすることの検討を開始している。JST 殿が日本側の受付窓口にあるようなグラントの存在を確認しており、準備を開始した。

## II. 今後のプロジェクトの進め方、および成果達成の見通し（公開）

人が生活するために欠かすことのないエネルギーであるが、その供給はこれまで石油、石炭や天然ガスなどの化石燃料を原料とした発電で賄われてきた。このこと自体はしばらく変わらないであろうし、ベース電力は原子力がこれから担う部分が出てくるかもしれない。しかし、新興国のさらなる経済発展などを背景として、世界のエネルギー需要は大きく増大するとともに、一方で、化石燃料資源の枯渇問題やその市場価格の大きな変化が問題視されるようになってきている。その結果、多くの国で電力料金は高騰しており、さらに化石燃料からの発電はCO<sub>2</sub>排出の大きな問題となり、その削減も期待される。バイオマスや水力発電なども再生可能エネルギーとして利用可能である。しかしながら、今後、太陽光や風力などの、時々刻々と発電能力が変化する再生可能エネルギーを、ベース電源に近い形としてできるだけ安定的な供給を持続可能に行うためには、その電力を平準化できるシステムの構築が不可欠である。タイ王国でも、我が国においてもこうした再生可能エネルギーの導入を積極的におこなっている。太陽光発電はその候補の一つであるが、太陽光パネルは高温時には発電力が落ちるため、タイで発電量が多くなるのは高需要期の夏場では必ずしもなく、年末年始のころとなる。一方、東南アジアではまだ導入が遅れているものの、タイでは風力発電はFIT制度で優遇されている。風力発電は夜間、夏季でも十分発電可能であるが、天候による出力変動、台風に対する安全性対策などの問題はあある。しかしながら、直近では、タイの風力発電会社ウインド・エナジーHDによって150万kWまで風力発電での出力を目指す（2020/10）など大きなプロジェクトが発表され、注目を浴びている。

このように再生可能エネルギーを実用的に利用するためには、発電量が必ずしも利用量とマッチングしない状況を打破するため、また、比較的急激に変動する再生可能エネルギーによる発電の出力を平準化して、電力ネットワーク系統に供給するために、電気をどこかにためておくための大型の電池が必要となる。こうした電力平準化用蓄電池は、比較的巨大な容量を持つ2次電池であって、大きな電力密度が必要となる。また、メンテナンスも楽であることが求められる。そして、その電力を有効にためると同時に使えるようにしなくてはならないため、充放電密度を高める必要がある。こうした要求に対応できる触媒を検討することが本研究の目的である。

亜鉛空気電池の簡易テストセル（図1）を用いて、複合金属酸化物系触媒と炭素担体との組み合わせを用いて触媒検討を行った。このテストセルにおける充放電の電流密度は複合金属酸化物の微粒子を触媒として用いることにより、本研究の目標値である100 mA/cm<sup>2</sup>に達した。また、複合金属の金属比を最適化し、サイクル特性の向上も可能としている。さらに、充放電密度の向上を目指し、現時点では、最大120 mA/cm<sup>2</sup>に到達し、100 mA/cm<sup>2</sup>の密度は安定的に可能となることが示された。触媒金属は、貴金属を用いずにFeNiなどの汎用的な金属を用いてきた。

また、実用化に向けた大型セルの設計も行い、そのための触媒の大量合成への試みも行っている。例えば、筒形の亜鉛フローセル（図3）について、その電極作製に必要な材料系を製作、触媒の合成などを行い、検証した。

今回の研究期間では、残念ながらタイへの渡航、またタイからの渡航による共同実験は出来なかった。一方で、タイのグループとの議論は活発に行い、本研究の終了後、さらに産業化に向けたグラントへのアプライについて検討を開始している。今後、研究をさらに進め、社会実装まで持ち上げることを可能としたい。

### Ⅲ. 社会実装に向けた課題とそれを克服するための工夫、教訓など（公開）

- (1) 研究成果を社会実装につなげるための課題、現状および課題解決に向けて取り組んだこと

本研究では大型で充放電密度の高い亜鉛空気電池に関する研究成果を社会実装につなげるために、貴金属などの高価な金属を用いず、安価で目的通りに充放電電流密度が高まる触媒についての開発に尽力した。基本的には鉄、ニッケル、コバルトなどの元素を含む複合金属酸化物系触媒を合成し、その構造解析・電気化学測定などを行うとともに、担持体の改善により、 $100 \text{ mA/cm}^2$  となる大きな電流密度を得ることに成功した。さらには、この触媒性能のさらなる向上を検証し、20%大きな電流密度を獲得し、 $100 \text{ mA/cm}^2$  でのサイクル特性の向上を確認した。と、長期安定性の確保、さらにはより大きい電池として亜鉛フロー電池の設計を行った。さらに、日本企業を含んだタイとの共同研究が開始された。

- (2) 各種課題を踏まえ、研究プロジェクトの妥当性・有効性・効率性・インパクト・持続性を高めるために実際に行った工夫

研究プロジェクトの有効性・妥当性を高めるために、相手国機関との連絡は十分密にとった。今回は、FeCo、NiCo 系合金酸化物触媒の組成の最適化、担持体の工夫を行っている。これによって、最大  $120 \text{ mA/cm}^2$  の高電流密度を達成することができた。このため、 $100 \text{ mA/cm}^2$  でのサイクル特性も向上した。フローセルなども設計し、触媒も固相反応で比較的少量合成可能なスキームとした。今後、さらにインパクトの向上のため、大きなセルを作製する方向で検討をし、共同研究プロジェクトの構築を目指す。

- (3) プロジェクトの自立発展性向上のために、今後相手国（研究機関・研究者）が取り組む必要のある事項

相手国の研究機関でも、タイ政府などからの支援のもと研究の推進が行われており、研究成果から、プロジェクトも進行し始め、さまざまな亜鉛系2次電池の構造を提案しているところである。日本での触媒検討結果について議論を重ねていき、大型化に向けて邁進するとともに、ジョイントリサーチグラントを今後取っていきたい。

- (4) 諸手続の遅延や実施に関する交渉の難航など、進捗の遅れた事例があれば、その内容、解決プロセス、結果

残念ながら研究機関内で両国では行き来ができなかった。日本側の障壁もまだ高い。一方で、Zoom によるミーティング、各種バーチャルミーティングに双方が参加し、情報交換は引き続き行った。本来であれば、実際にタイにて日本の触媒性能を一緒に検討し、その状況を見ながらの議論を行いたかった。実験とリアルタイムの議論は研究進展には欠かせないものであると実感した。

しかしながら、材料のやりとりや、実験系のすり合わせなども行い、日本側での実用電池作製レベルの向上などは十分図られた。また、今後のプロジェクトの進め方などについても議論をし、相手国側からの提案もあり、今後準備を行っていく。

#### IV. 日本のプレゼンスの向上 (公開)

我が国において nano tech 2020 展に出展し、今回の研究成果の一部について公表した。今後、さらに学会発表などを通じて、プレゼンスを向上させたい。また、nano tech 2022 にも出展し、今回の研究成果の一部について公表する予定である。

#### V. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】 (公開)

別紙に記載

以上



# 1 論文発表等

## Publication of Articles etc.

### 1. 1. 1 原著論文(相手側研究チームとの共著論文)

#### Original Publications (Articles co-authored with the Partner Research Teams)

年度 (西暦を入れてください) Japanese Fiscal Year	全著者名、題目、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年 All Authors' Names, Title, Journal Name, Volume, Edition, Page, Year of Publication	DOIコード DOI Code ※"doi:"は不要	和文/英文 Language	出版済み Status	特記事項 (トップレベル雑誌への掲載など) Remarks (e.g. publication in top level journals etc.)
2020	Ryan Dula Corpuz, Lyn Marie De Juan-Corpuz, Mai Thanh Nguyen, Tetsu Yonezawa, Heng-Liang Wu, Anongnat Somwangthanoj, Soorathep Kheawhom "Binder-Free $\alpha$ -MnO <sub>2</sub> Nanowires on Carbon Cloth as Cathode Material for Zinc-ion Batteries" International Journal of Molecular Sciences, 21(9), 3113 (2020).	10.3390/ijms21093113	英文(English)	出版済み(published)	
2020	Pemika Teabnamang, Wathanyu Kao-ian, Mai Thanh Nguyen, Tetsu Yonezawa, Rongrong Cheacharoen, Soorathep Kheawhom "High Capacity Dual-electrolyte Aluminum-air Battery with Circulating Methanol Anolyte" Energies, 13(9), 2275 (2020)	10.3390/en13092275	英文(English)	出版済み(published)	
2020	Sonti Khamsanga, Mai Thanh Nguyen, Tetsu Yonezawa, Patchanita Vatakul, Rojana Pornprasertsuk, Prasit Pattanauwat, Adisorn Tuantranont, Siwaruk Siwamogsatham, and Soorathep Kheawhom "MnO <sub>2</sub> Heterostructure on Carbon Nanotubes as Cathode Material for Aqueous Zinc-ion Batteries" International Journal of Molecular Sciences, 21(13), 4589 (2020)	10.3390/ijms21134689	英文(English)	出版済み(published)	
2020	Tanawat Phusittananan, Wathanyu Kao-ian, Mai Thanh Nguyen, Tetsu Yonezawa, Rojana Pornprasertsuk, Ahmad Azmin Mohamad, Soorathep Kheawhom "Ethylene glycol/Ethanol Anolyte for High Capacity Alkaline Aluminum-Air Battery with Dual Electrolyte Configuration" Frontiers in Energy Research, 8, 189 (2020)	10.3389/fenrg.2020.00189	英文(English)	出版済み(published)	
2020	Ramin Khezri, Soraya Hosseini, Abhishek Lahiri, Shiva Rezaei Motlagh, Mai Thanh Nguyen, Tetsu Yonezawa, Soorathep Kheawhom "Enhanced cycling performance of rechargeable zinc-air flow batteries using potassium persulfate as electrolyte additive" International Journal of Molecular Sciences, 21(19), 7303 (2020).	10.3390/ijms21197303	英文(English)	出版済み(published)	
2021	Nikdalila Radenahmad, Ramin Khezri, Ahmad Azmin Mohamad, Mai Thanh Nguyen, Tetsu Yonezawa, Anongnat Somwangthanoj, and Soorathep Kheawhom "Highly Stable Rechargeable Zinc-ion Battery using Dimethyl Sulfoxide Electrolyte" Materials Today Energy, 21, 100738 (2021).	10.1016/j.mtener.2021.100738	英文(English)	出版済み(published)	
2021	Nikdalila Radenahmad, Ramin Khezri, Ahmad Azmin Mohamad, Mai Thanh Nguyen, Tetsu Yonezawa, Anongnat Somwangthanoj, Soorathep Kheawhom "A durable rechargeable zinc-air battery via self-supported MnO <sub>x</sub> -S air electrode" Journal of Alloys and Compounds, 883, 160935 (11 pages) (2021).	10.1016/j.jallcom.2021.160935	英文(English)	出版済み(published)	
2021	Natta Jaikrajang, Wathanyu Kao-ian, Tatsuki Muramatsu, Rungroj Chanajaree, Tetsu Yonezawa, Zakaria Y. Al Balushi, Soorathep Kheawhom, and Rongrong Cheacharoen "Impact of Binder Functional Groups on Controlling Chemical Reactions to Improve Stability of Rechargeable Zinc-Ion Batteries" ACS Applied Energy Materials, 4(7), 7138-7147 (2021).	10.1021/acsaem.1c01214	英文(English)	出版済み(published)	Impact factor=6.024
2021	Mohammad Etesami, Ahmad Azmin Mohamad, Mai Thanh Nguyen, Tetsu Yonezawa, Rojana Pornprasertsuk, Anongnat Somwangthanoj, and Soorathep Kheawhom "Benchmarking superfast electrodeposited bimetallic (Ni, Fe, Co, and Cu) hydroxides for oxygen evolution reaction" Journal of Alloys and Compounds, 889, 161738 (2022).	10.1016/j.jallcom.2021.161738	英文(English)	出版済み(published)	
2021	Mohan Gopalakrishnan, Ahmad Azmin Mohamad, Mai Thanh Nguyen, Tetsu Yonezawa, Jiaqian Qin, Patchanita Thamyongkit, Anongnat Somwangthanoj, and Soorathep Kheawhom "Recent advances in oxygen electrocatalysts based on tunable structural polymers" Materials Today Chemistry, 23, 100632 (2022)	10.1016/j.mtchem.2021.100632	英文(English)	出版済み(published)	Impact factor = 8.301
2021	Mai Thanh Nguyen, Tatsuki Muramatsu, Soorathep Kheawhom, Chularat Wattanakit, Tetsu Yonezawa "Impact of Morphology and Transition Metal Doping of Vanadate Nanowires without Surface Modification on the Performance of Aqueous Zinc-Ion Batteries" Bulletin of the Chemical Society of Japan, in press.	DOI:10.1246/bcsj.20210427	英文(English)	in press	Impact factor = 5.488

5 初年度

6 2年度

11 合計論文数



1. 1. 2 原著論文(相手側研究チームを含まない日本側研究チームの論文)

Original Publications (Articles by the Japanese Research Teams only, excluding the Partner Research Teams)

年度 (西暦を入れてください) Japanese Fiscal Year	全著者名、題目、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年 All Authors' Names, Title, Journal Name, Volume, Edition, Page, Year of Publication	DOIコード DOI Code	和文/英文 Language	出版済み Status	特記事項 (トップレベル雑誌への掲載など) Remarks (e.g. publication in top level journals etc.)
2020	Ikumi Akita, Yohei Ishida, and Tetsu Yonezawa "Atomic-scale Imaging of a Free-standing Monolayer Clay Mineral Nanosheet using Scanning Transmission Electron Microscopy" The Journal of Physical Chemistry Letters, 11(9), 3357-3361 (2020).	10.1021/acs.jpcclett.0c00758	英文(English)	出版済み (published)	Impact factor = 6.475
2020	Shuai Liu, Rintaro Tokura, Mai Thanh Nguyen, Hiroki Tsukamoto, Tetsu Yonezawa "Surfactant-stabilized Copper Particles for Low-temperature Sintering: Paste Preparation using a Milling with Small Zirconia Beads: Effect of Pre-treatment with the Disperse Medium" Advanced Powder Technology, 31(11), 4570-4575 (2020)	10.1016/j.appt.2020.10.004	英文(English)	出版済み (published)	
2020	Mai Thanh Nguyen, Krittaporn Wongrujipairoj, Hiroki Tsukamoto, Soorathep Kheawhom, Shuang Mei, Vipada Aupama, Tetsu Yonezawa "Synergistic Effect of Oleic Acid and Oleylamine Mixed Liquid Matrix on Particle Size and Stability of Sputtered Metal Nanoparticles" ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 8(49), 18167-18176 (2020)	10.1021/acssuschemeng.0c06549	英文(English)	出版済み (published)	Impact factor = 8.198
2020	Ikumi Akita, Yohei Ishida, and Tetsu Yonezawa "Direct imaging of individual organic molecules in supramolecular assembly strongly fixed via multivalent electrostatic interactions" The Journal of Physical Chemistry C, 125(8), 4917-4923 (2021).	10.1021/acs.jpcc.1c00738	英文(English)	出版済み (published)	
2021	Mingbei Zhu, Mai Thanh Nguyen, Yuen-ting Rachel Chau, Lianlian Deng, and Tetsu Yonezawa "Pt/Ag Solid Solution Alloy Nanoparticles in Miscibility Gap Synthesized by Co-Sputtering onto Liquid Polymer" Langmuir, 37(19), 6096-6105 (2021)	10.1021/acs.langmuir.1c00916	英文(English)	出版済み (published)	
2021	Kunihiro Narita, Yohei Ishida, Shuichi Nukui, Zhong Huang, Tetsu Yonezawa "Surface Menshutkin SN2 Reaction on Basic Gold Clusters Provides Novel Opportunities for the Cationization and Functionalization of Molecular Metal Clusters" The Journal of Physical Chemistry Letters, 12, 11761-11765 (2021)	10.1021/acs.jpcclett.1c03498	英文(English)	出版済み (published)	Impact factor = 6.475

4	初年度
2	2年度
6	合計論文数

1. 1. 3 原著論文(日本側研究チームを含まない相手側研究チームの論文)

Original Publications (Articles by the Partner Research Teams only, excluding the Japanese Research Teams)

年度 (西暦を入れてください) Japanese Fiscal Year	全著者名、題目、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年 All Authors' Names, Title, Journal Name, Volume, Edition, Page, Year of Publication	DOIコード DOI Code	和文/英文 Language	出版済み Status	特記事項 (トップレベル雑誌への掲載など) Remarks (e.g. publication in top level journals etc.)
2020	Ali Abbasi, Soraya Hosseini, Anongnat Somwangthanaroj, Rongrong Cheacharoen, Sorin Olaru, Soorathep Kheawhom Discharge profile of a zinc-air flow battery at various electrolyte flow rates and discharge currents Scientific Data, 7(1), 1-8 (2020)	10.1038/s41597-020-0539-y	英文(English)	出版済み(published)	
2020	Phonnapha Tangthum, Jirapha Pimoei, Ahmad Azmin Mohamad, Falko Mahlendorf, Anongnat Somwangthanaroj, Soorathep Kheawhom Carboxymethyl cellulose-based polyelectrolyte as cationic exchange membrane for zinc-iodine batteries	10.1016/j.heliyon.2020.e05391	英文(English)	出版済み(published)	
2020	Woranunt Lao-Atiman, Sorin Olaru, Sette Diop, Sigurd Skogestad, Amornchai Arpornwichanop, Rongrong Cheacharoen, Soorathep Kheawhom Linear parameter-varying model for a refuellable zinc-air battery Royal Society Open Science, 7(12), 201107 (2020)	10.1098/rsos.201107	英文(English)	出版済み(published)	
2021	Jufni Abdulla, Jin Cao, Dongdong Zhang, Xinyu Zhang, Chakrit Sriprachuabwong, Soorathep Kheawhom, Panyawat Wangyao, Jiaqian Qin Elimination of Zinc Dendrites by Graphene Oxide Electrolyte Additive for Zinc-Ion Batteries ACS Applied Energy Materials, 4(5), 4602-4609 (2021)	10.1021/acsaem.1c00224	英文(English)	出版済み(published)	Impact factor=6.024
2021	Ammar Boukhari, Bahri Deghfel, Abdelhafidh Mahroug, Rabie Amari, Noureddine Selmi, Soorathep Kheawhom, Ahmad Azmin Mohamad Thickness effect on the properties of Mn-doped ZnO thin films synthesis by sol-gel and comparison to first-principles calculations Ceramics International, 47(12), 17276-17285 (2021)	10.1016/j.ceramint.2021.03.039	英文(English)	出版済み(published)	
2021	Meena Rittirum, Siritwimol Somdee, Puwit Buapin, Nuttanan Aumongpho, Nuttapat Kerdprast, Tinnakorn Saelee, Soorathep Kheawhom, Nutchapon Chotigkrai, Supareak Praserttham, Piyasan Praserttham On the deactivation mechanisms of MnO2 electrocatalyst during operation in rechargeable zinc-air batteries studied via density functional theory Journal of Alloys and Compounds, 869, 159280 (2021)	10.1016/j.jallcom.2021.159280	英文(English)	出版済み(published)	
2021	Elhadj Benrezgua, Bahri Deghfel, Abdelhafid Mahroug, Muhamad Kamil Yaakob, Ammar Boukhari, Rabie Amari, Soorathep Kheawhom, Ahmad Azmin Mohamad Experimental and theoretical studies on structural, morphological, electronic, optical and magnetic properties of Zn1-xCuxO thin films (0 ≤ x ≤ 0.125) Materials Science in Semiconductor Processing, 134, 106012 (2021)	10.1016/j.mssp.2021.106012	英文(English)	出版済み(published)	
2021	Govindarajan Durai, Parasuraman Kuppusami, Subramanian Arulmani, Sambandam Anandan, Shaik Khadeer Pasha, Soorathep Kheawhom Microstructural and electrochemical supercapacitive properties of Cr-doped CuO thin films: Effect of substrate temperature International Journal of Energy Research, 45, 20001-20015 (2021)	10.1002/er.7075	英文(English)	出版済み(published)	
2021	Wanchalerm Srirachat, Parnuwat Usapein, Soorathep Kheawhom, Ura Pancharoen Selective separation of trace nickel (II) and gold (I) ions via hollow fiber supported liquid membrane enhanced by synergistic extractants D2EHPA/TBP Arabian Journal of Chemistry, 13, 103427 (2021)	10.1016/j.arabjc.2021.103427	英文(English)	出版済み(published)	

3	初年度
6	2年度
9	合計論文数

1. 2. 1 その他の著作物(相手側研究チームとの共著のみ)(総説、書籍など)

Other Media, e.g. reviews, books (Co-authored with the Partner Research Teams)

年度 (西暦を入れてください) Japanese Fiscal Year	全著者名、題目、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年 All Authors' Names, Title, Journal Name, Volume, Edition, Page, Year of Publication	DOIコード DOI Code	和文/英文 Language	出版済み Status	特記事項 (トップレベル雑誌への掲載など) Remarks (e.g. publication in top level journals etc.)

0	初年度
0	2年度
0	合計論文数

1. 2. 2 その他の著作物(相手側研究チームを含まない日本側研究チームの総説、書籍など)

Other Media, e.g. reviews, books (by the Japanese Research Teams only, excluding the Partner Research Teams)

年度 (西暦を入れてください) Japanese Fiscal Year	全著者名、題目、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年 All Authors' Names, Title, Journal Name, Volume, Edition, Page, Year of Publication	DOIコード DOI Code	和文/英文 Language	出版済み Status	特記事項 (トップレベル雑誌への掲載など) Remarks (e.g. publication in top level journals etc.)
2021	Shilei Zhu, Mai Thanh Nguyen, and Tetsu Yonezawa "Micro and Nano Encapsulated Metal and Alloy Based Phase Change Materials for Thermal Energy Storage" Nanoscale Advances, 3(16), 4626-4645 (2021).	<a href="https://doi.org/10.1039/D0NA01008A">10.1039/D0NA01008A</a>	英文(English)	出版済み(published)	
2021	Mai Thanh Nguyen, Lianlian Deng, and Tetsu Yonezawa "Control of nanoparticles synthesized via vacuum sputter deposition onto liquid: a review" Soft Matter, 18(1), 19-47 (2022)	<a href="https://doi.org/10.1039/D1SM01002F">10.1039/D1SM01002F</a>	英文(English)	出版済み(published)	

0	初年度
2	2年度
2	合計論文数

1. 2. 3 その他の著作物(日本側研究チームを含まない相手側研究チームの総説、書籍など)

Other Media, e.g. reviews, books (by the Partner Research Teams only, excluding the Japanese Research Teams)

年度 (西暦を入れてください) Japanese Fiscal Year	全著者名、題目、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年 All Authors' Names, Title, Journal Name, Volume, Edition, Page, Year of Publication	DOIコード DOI Code	和文/英文 Language	出版済み Status	特記事項 (トップレベル雑誌への掲載など) Remarks (e.g. publication in top level journals etc.)

0	初年度
0	2年度
0	合計論文数

## 2 学会等発表(セミナー、ワークショップ、シンポジウム等) Presentations at Academic Conferences etc. (Seminars, Workshops, Symposia)

### 2.1 学会発表(相手側研究チームと連名の発表) Conference Presentations (Joint Presentations with Partner Research Teams)

年度 (西暦を入れてください) Japanese Fiscal Year	日本語/英語/その他 Language	発表者、「題目」、学会等名、場所、月日等 Speaker, "Title", Conference Name, Location, Date etc.	招待講演、口頭発表、ポスター発表の別 Type of Presentation
2020	英語(English)	A3 Foresight & 5 Star Alliance Joint Workshop on "Organic/Inorganic Hybrid Nano Materials and Bio Imaging" Tatsuki Muramatsu, Wathanyu Kao-lan, Mai Thanh Nguyen, Tetsu Yonezawa, Soorathep Kheawhom "Binder Effect on Performance and Stability of Rechargeable Aqueous Zinc-ion Batteries with Manganese Oxide Cathode" On line, 2020/12/2-3	口頭発表(Oral Presentation)
2020	日本語(Japanese)	第56回応用物理学会北海道支部・第17回日本光学会北海道支部合同学術講演会 村松 樹, Soorathep Kheawhom, Mai Thanh Nguyen, 米澤 徹 バインダー利用による $\alpha$ -MnO <sub>2</sub> ベース亜鉛イオン電池の性能向上 オンライン、2021.1.9	口頭発表(Oral Presentation)

2	初年度
0	2年度
2	合計発表数

### 2.2 学会発表(相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表) Conference Presentations (by Japanese Research Teams, excluding Partner Research Teams)

年度 (西暦を入れてください) Japanese Fiscal Year	日本語/英語/その他 Language	発表者、「題目」、学会等名、場所、月日等 Speaker, "Title", Conference Name, Location, Date etc.	招待講演、口頭発表、ポスター発表の別 Type of Presentation
2020	日本語(Japanese)	2020年日本金属学会秋期第167回公演大会 戸倉凜太郎・米澤 徹 界面活性剤で保護した低温焼成銅微粒子の分散 (2020.9.15-18 On Line)	口頭発表(Oral Presentation)
2020	英語(English)	A3 Foresight & 5 Star Alliance Joint Workshop on "Organic/Inorganic Hybrid Nano Materials and Bio Imaging" Tetsu Yonezawa Structural strategy for low temperature sintering of copper On line, 2020/12/2-3	招待講演(Guest/Invited Speaker)
2020	日本語(Japanese)	第30回 電子デバイス実装研究委員会 米澤 徹 「銅微粒子の高濃度分散と電子部品部材への応用」 (2020.10.16, On Line)	招待講演(Guest/Invited Speaker)
2020	日本語(Japanese)	日本化学会秋季事業第10回CSJ化学フェスタ2020 戸倉凜太郎・米澤 徹 「界面活性剤で保護した低温焼成銅微粒子の分散と表面の影響」 (2020.10.21, オンライン)	口頭発表(Oral Presentation)
2020	日本語(Japanese)	日本ディスパージョンセンター設立記念Webセミナー 米澤 徹【招待】 「銅微粒子の分散・ペースト化と低温焼結性」 (2020.10.23, On Line)	招待講演(Guest/Invited Speaker)
2020	日本語(Japanese)	九州大学 材料科学セミナー 米澤 徹【招待】 「収差補正走査透過電子顕微鏡による自立型単層粘土 鉱物ナノシートの原子スケールイメージング」 (2020.10.30, 九州大学・鉄鋼研究センターホール)	招待講演(Guest/Invited Speaker)
2020	英語(English)	A3 Foresight & 5 Star Alliance Joint Workshop on "Organic/Inorganic Hybrid Nano Materials and Bio Imaging" 米澤 徹 "Structural strategy for low temperature sintering of copper" (2020.12.2-3, On Line)	招待講演(Guest/Invited Speaker)

2020	英語 (English)	第56回応用物理学会北海道支部・第17回日本光学会北海道支部合同学術講演会 Mingbei Zhu, Mai Thanh Nguyen, Tetsu Yonezawa "Pt/Ag solid solution alloy nanoparticles synthesized by co-sputtering onto liquid polymer" (2021.1.10, オンライン)	□頭発表 (Oral Presentation)
2020	英語 (English)	日本化学会第101回春季年会2021 Mai Thanh Nguyen and Tetsu Yonezawa "Mixed oleic acid and oleylamine as the matrix for synthesizing metal nanoparticles by sputter deposition" (2021.3.21, オンライン)	□頭発表 (Oral Presentation)
2021	日本語 (Japanese)	ナノ学会第19回大会 石田洋平, 秋田郁美, 米澤 徹 「多重静電相互作用による二次元分子配列構造制御と電子顕微鏡による可視化」 (2021.5.20, オンライン)	□頭発表 (Oral Presentation)
2021	日本語 (Japanese)	ナノ学会第19回大会 成田国広, 石田洋平, 米澤 徹 「Au <sub>25</sub> クラスター表面での面種と金反応による中性配位子のカチオン化」 (2021.5.20, オンライン)	□頭発表 (Oral Presentation)
2021	日本語 (Japanese)	第10回 JSCI/GSCシンポジウム 戸倉凜太郎, 米澤 徹 「湿式法で合成された低温焼結銅微粒子の焼結メカニズムの解明」 (2021.6.29, オンライン)	□頭発表 (Oral Presentation)
2021	日本語 (Japanese)	2021年度日本鉄鋼協会・日本金属学会両北海道支部合同サマーセッション 渡部 蓮, 米澤 徹 「低温分解性銅錯体を用いた銅微粒子インクによる導電被膜形成」 (2021.7.15, オンライン)	□頭発表 (Oral Presentation)
2021	英語 (English)	日本化学会北海道支部2021年夏季研究発表会 Mingbei Zhu, Mai Thanh Nguyen, and Tetsu Yonezawa "Composition controllable Pt/Ag alloy nanoparticles synthesized by co sputtering onto liquid polymer" (2021.7.17, オンライン)	□頭発表 (Oral Presentation)
2021	英語 (English)	The 5th A3 Foresight Symposium on Organic/Inorganic Nanohybrid Platforms for Precision Tumor Imaging and Therapy Wei Jen Sim, Mai Thanh Nguyen, and Tetsu Yonezawa "Iron cobalt oxide nanoparticles supported on reduced graphene oxide bifunctional catalyst in high current density zinc-air battery" (2021.10.14, オンライン)	□頭発表 (Oral Presentation)

9	初年度
6	2年度
15	合計発表数

**2.3 学会発表 (日本側研究チームを含まない相手側研究チームの発表)**  
Conference Presentations (by Partner Research Teams, excluding Japanese Research Teams)

年度 (西暦を入れてください) Japanese Fiscal Year	日本語/英語/その他 Language	発表者、「題目」、学会等名、場所、月日等 Speaker, "Title", Conference Name, Location, Date etc.	招待講演、口頭発表、ポスター発表の別 Type of Presentation

0	初年度
0	2年度
0	合計発表数

**3 ワークショップ・セミナー・シンポジウム等の開催**  
**Workshops, Seminars, Symposia and Other Events**

**3.1. ワークショップ・セミナー・シンポジウム(日本側研究チームおよび/または相手側研究チーム主催)**  
**Workshops, Seminars, Symposia (Organized by the Japanese and/or Partner Research Teams)**

年度 (西暦を入れてください) Japanese Fiscal Year	開催期間 Event duration	主催者名 Name of Organizer	名称 Title of the Event	場所(国名、都市名、会場名) Location (Country, City, Venue)	参加人数(チームメンバー含む) Number of Participants (Including Team Members)	概要 Overview
2021	2022/1/7	北海道大学 材料科学部門	マテリアルセミナー	札幌市	20	
2020	2020/12/4	千歳市立北斗中学校	ナノ粒子を利用するSDGs	北海道千歳市	200	啓蒙講演

1	初年度
1	2年度
2	合計開催数

**4 研究交流の実績**  
Record of Research Exchanges

**4.1 日本側の本プロジェクト関連海外出張**  
Record of Visits by the Japanese Side to Overseas

**4.1.1 日本側研究チームメンバーのみ**  
Only those by Japanese Research Team Members

年度 (西暦を入れてください) Japanese Fiscal Year	出発日 Date of Departure	帰国日 Date of Return	氏名 (1名ごとに記載) Last Name & First Name	所属機関 Affiliation	役職 Position	用務先(国名、都市名、研究機関名等) Exchange Destination (Country, City, Research Organization etc)	用務の内容 Description of Exchange Content/Purpose	出張日数(自動計算) Duration of Exchange (autocompleted)
								0
								0

0	初年度	延べ出張者数(人)	0	0	初年度	0	
0	2年度			0	2年度	0	
						延べ出張日数(人・日)	0

**4.1.2 日本側研究チームメンバー以外**  
Excluding those by Japanese Research Team Members

年度 (西暦を入れてください) Japanese Fiscal Year	出発日 Date of Departure	帰国日 Date of Return	氏名 (1名ごとに記載) Last Name & First Name	所属機関 Affiliation	役職 Position	用務先(国名、都市名、研究機関名等) Exchange Destination (Country, City, Research Organization etc)	用務の内容 Description of Exchange Content/Purpose	出張日数(自動計算) Duration of Exchange (autocompleted)
								0
								0

0	初年度	延べ出張者数(人)	0	0	初年度	0	
0	2年度			0	2年度	0	
						延べ出張日数(人・日)	0

**4.2 相手国側の本プロジェクト関連海外出張**  
Record of Visits by Partner Research Teams to Overseas including Japan

**4.2.1 相手側研究チームメンバーのみ**  
Only those by Partner Research Team Members

年度 (西暦を入れてください) Japanese Fiscal Year	出発日 Date of Departure	帰国日 Date of Return	氏名 (1名ごとに記載) Last Name & First Name	所属機関 Affiliation	役職 Position	用務先(国名、都市名、研究機関名等) Exchange Destination (Country, City, Research Organization etc)	用務の内容 Description of Exchange Content/Purpose	出張日数(自動計算) Duration of Exchange (autocompleted)
								0
								0

0	初年度	延べ出張者数(人)	0	0	初年度	0	
0	2年度			0	2年度	0	
						延べ出張日数(人・日)	0

**4.2.2 相手側研究チームメンバー以外**  
Excluding those by Partner Research Team Members

年度 (西暦を入れてください) Japanese Fiscal Year	出発日 Date of Departure	帰国日 Date of Return	氏名 (1名ごとに記載) Last Name & First Name	所属機関 Affiliation	役職 Position	用務先(国名、都市名、研究機関名等) Exchange Destination (Country, City, Research Organization etc)	用務の内容 Description of Exchange Content/Purpose	出張日数(自動計算) Duration of Exchange (autocompleted)
								0
								0

0	初年度	延べ出張者数(人)	0	0	初年度	0	
0	2年度			0	2年度	0	
						延べ出張日数(人・日)	0



**5 特許出願**  
**Patent Applications**

**5.1 日本側の単独出願**  
**Independent Applications by Japanese Research Teams**

出願年度 (西暦を入れてください) Year of Application	出願番号 Application Number	発明の名称 Name of Patent/Patent Name	出願日 Application Date	出願人(全出願人を記載) Patent Applicants (Fill in All Members)	公開番号 (未公開は空欄) Publication Number (leave blank if unpublished)	発明者 Inventor	出願国 Country of Application	登録番号 (未登録は空欄) Registration Number (leave blank if unregistered)

初年度  
 2年度  
 合計出願数

初年度  
 2年度  
 合計出願数(登録番)

**5.2 “相手国”側の単独出願**  
**Independent Applications by Partner Countries**

出願年度 (西暦を入れてください) Year of Application	出願番号 Application Number	発明の名称 Name of Patent/Patent Name	出願日 Application Date	出願人(全出願人を記載) Patent Applicants (Fill in All Members)	公開番号 (未公開は空欄) Publication Number (leave blank if unpublished)	発明者 Inventor	出願国 Country of Application	登録番号 (未登録は空欄) Registration Number (leave blank if unregistered)

初年度  
 2年度  
 合計出願数

初年度  
 2年度  
 合計出願数(登録番)

**5.3 共同出願**  
**Joint Applications**

出願年度 (西暦を入れてください) Year of Application	出願番号 Application Number	発明の名称 Name of Patent/Patent Name	出願日 Application Date	出願人(全出願人を記載) Patent Applicants (Fill in All Members)	公開番号 (未公開は空欄) Publication Number (leave blank if unpublished)	発明者 Inventor	出願国 Country of Application	登録番号 (未登録は空欄) Registration Number (leave blank if unregistered)

初年度  
 2年度  
 合計出願数

初年度  
 2年度  
 合計出願数(登録番)

## 6 受賞等 Awards

### 6.1 受賞 Awards

年度 (西暦を入れてください) Japanese Fiscal Year	賞の名称 Name of Award	受賞日 Date of Award	受賞者 Recipient	特記事項 Remarks

0	初年度
0	2年度
0	合計受賞数

### 6.2 新聞報道 Newspaper Reports

年度 (西暦を入れてください) Japanese Fiscal Year	新聞名、記事のタイトル Name of Newspaper & Title of Article	掲載日 朝刊・夕刊の別 Date of Publication (Morning or Evening Edition)	掲載者 Publisher	特記事項 Remarks

0	初年度
0	2年度
0	合計掲載数

### 6.3 その他 Other

テレビ、雑誌等に取り上げられた場合などありましたらご記入ください。

年度 (西暦を入れてください) Japanese Fiscal Year	テレビ:放送局、番組名/ 雑誌:雑誌名、巻号数、引用した箇所のページ Television: Broadcasting Station, Program Name/ Magazine: Name, Volume/Edition, Reference Page	テレビ:放映日/ 雑誌:発行年月 Television:Broadcasting Date Magazine: Date of Publication	出演者/掲載された人 Presenter/Person mentioned	特記事項 Remarks

0	初年度
0	2年度
0	合計出演・掲載数