

Title	アジア・太平洋の主な国と地域における電気化学分野からみる研究動向
Author(s)	三田, 雅昭; 齊藤, 至; 松田, 侑奈; 小林, 義英; 安順, 花; 福田, 佳也乃
Citation	年次学術大会講演要旨集, 38: 74-79
Issue Date	2023-10-28
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/19163
Rights	本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management.
Description	一般講演要旨

1 B 0 2

アジア・太平洋の主な国と地域における 電気化学分野からみる研究動向

○三田雅昭、斉藤至、松田侑奈、小林義英、安順花、福田佳也乃
(JST アジア・太平洋総合研究センター) ※ masaaki.mita@jst.go.jp

はじめに

科学技術振興機構 (JST) は、科学技術の振興を図ることを目的とする国立研究開発法人である。自らの研究開発戦略立案機能を活用し、研究助成機能を発揮することにより、大学・公的研究機関・企業等と協働した推進体制を構築するネットワーク型研究所として、我が国の研究開発成果の最大化に貢献してきた。2050年のカーボンニュートラル実現に向けて、アカデミアによる基礎研究力の蓄積と高いポテンシャルを生かし、革新的なグリーントランスフォーメーション (GX) 技術の抜本的な強化を図ると同時に、国際共同研究を通じて研究者同士を結びつけ、国内外研究者の知の循環を推進している。[1]

オープンサイエンス (OS) の推進は、2023年5月G7科学技術大臣会合 (仙台) でも大きく取り上げられているように、今後国際的な協調の下で重点的に取り組むべき課題と言える。OS推進のためには、従来型の科学との違いを考慮した評価システムの確立やインテグリティ[5]の担保が不可欠となる。OSの動的な性質を考慮するならば、より良い研究開発エコシステム構築のために、研究インプット・アウトプット・アウトカムなど、研究開発に関連する各種情報を収集・分析するインパクト・サイエンスの活動が必要となる。[2]

本稿では、技術分野と地域について焦点を絞った上で、OS推進の基盤となる諸課題について調査研究事例を共有し、今後の方向性について議論したい。

1. 研究インプット

再生可能エネルギー・水素の利用に欠かせない、電気化学分野 (蓄電池・燃料電池・水電解) を対象として情報を整理する。成長が著しいアジア・太平洋の代表的な国/地域に焦点を当てて、インパクト・サイエンスに関連する情報をご紹介します。

1. 1 電気化学分野

蓄電池・水電解・燃料電池 (battery・electrolysis・fuel cell) の3つは、再エネの変動吸収・電力の水素への変換・水素の利用に必要な技術分野であり、電極触媒・電解質膜などが共通する電気化学デバイスある (図1)。数値は2013-2022文献数。

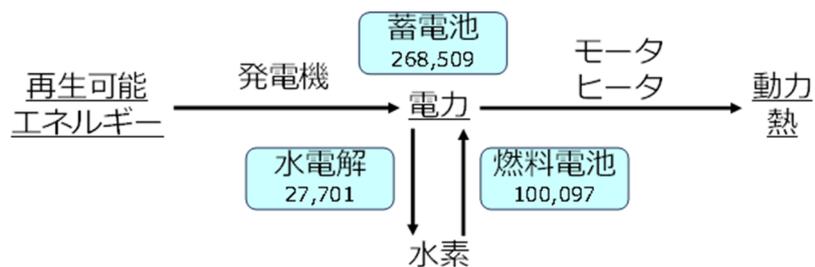


図1 再生可能エネルギー・水素利用と3つの電気化学デバイス

1. 2 文献数からみる上位25の国/地域

Web of Science Core Collection (WOS)[3]の絞り込み機能 (Countries/Regions 国/地域、All Fields) を利用して、世界上位25の国/地域を抽出した(表1)。3デバイス共通で中国が首位、2位が米国、日本・韓国・ドイツ・インドが3-6位、そして欧州各国とアジア・太平洋地域ではオーストラリア・台湾などが上位である。本稿では成長が著しいアジア・太平洋の国/地域(水色)に注目して分析を進める。

表1 文献数上位の国と地域

	[Battery]		[Fuel Cell]		[Electrolysis]	
	World	367,605	World	172,958	World	42,810
1	PEOPLES R CHINA	118,525	PEOPLES R CHINA	42,626	PEOPLES R CHINA	12,608
2	USA	78,827	USA	35,831	USA	5,626
3	SOUTH KOREA	22,787	JAPAN	13,003	JAPAN	3,648
4	GERMANY	20,300	SOUTH KOREA	12,872	GERMANY	2,597
5	INDIA	20,165	INDIA	10,110	SOUTH KOREA	2,027
6	JAPAN	19,979	GERMANY	10,016	INDIA	1,854
7	ENGLAND	15,048	CANADA	7,394	RUSSIA	1,744
8	AUSTRALIA	13,708	ENGLAND	6,948	FRANCE	1,731
9	CANADA	13,067	FRANCE	6,724	CANADA	1,671
10	FRANCE	11,611	ITALY	6,205	ENGLAND	1,304
11	ITALY	11,154	SPAIN	4,623	ITALY	1,289
12	SPAIN	9,622	TAIWAN	4,567	SPAIN	1,253
13	TAIWAN	6,542	IRAN	4,313	AUSTRALIA	1,098
14	SINGAPORE	5,672	AUSTRALIA	3,539	BRAZIL	860
15	SWEDEN	4,777	RUSSIA	2,994	IRAN	756
16	NETHERLANDS	4,375	BRAZIL	2,717	TURKEY	733
17	IRAN	4,268	MALAYSIA	2,487	TAIWAN	619
18	BRAZIL	4,143	DENMARK	2,464	DENMARK	604
19	SWITZERLAND	4,112	SWEDEN	2,258	NETHERLANDS	587
20	RUSSIA	3,886	SWITZERLAND	2,183	SWITZERLAND	576
21	TURKEY	3,444	TURKEY	2,147	NORWAY	557
22	BELGIUM	3,253	NETHERLANDS	1,971	POLAND	545
23	SAUDI ARABIA	3,253	SINGAPORE	1,937	SAUDI ARABIA	426
24	POLAND	3,170	POLAND	1,902	UKRAINE	413
25	MALAYSIA	3,050	SAUDI ARABIA	1,603	SWEDEN	395

1. 3 公的研究資金

同様に、WOS 絞り込み機能 (Funding Agencies 助成金提供機関) を利用して抽出した主な国/地域の助成提供機関がリードする研究プログラム・プロジェクトの情報から、公的研究資金(蓄電池)について整理した例を図2に示す。

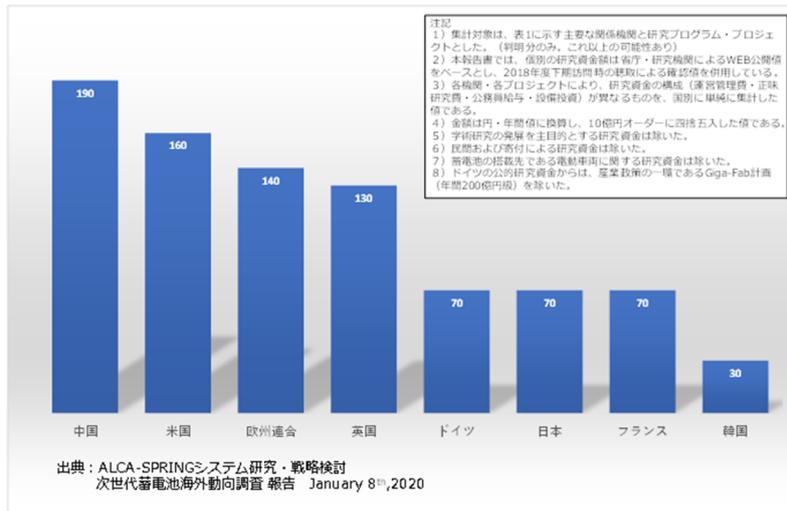


図2 蓄電池分野における主要各国の公的研究資金(億円/年 換算)

2. 研究アウトプット

Web of Science Core Collection (WOS)を利用して[3]、文献数の経年推移、高被引用文献における国際共著状況、そして報告期間による国際共著の変化について報告する。

2. 1 文献数の経年推移

まず、WOS 絞り込み機能 (Countries/Regions 国/地域) により、中韓日印豪台の6つの国/地域を対象に、3デバイス(蓄電池・燃料電池・水電解)について、1993年以降の経年変化を整理した(図3)。2022年総文献数では、蓄電池:燃料電池:水電解=およそ8:2:1である。中国の文献数は2000年初頭から増加し始め、燃料電池では2005年、蓄電池では2010年、水電解では2015年を変曲点として急増している。また、インドが2015年には蓄電池と燃料電池、2020年には水電解で日本と肩を並べ、現在は追い越している。

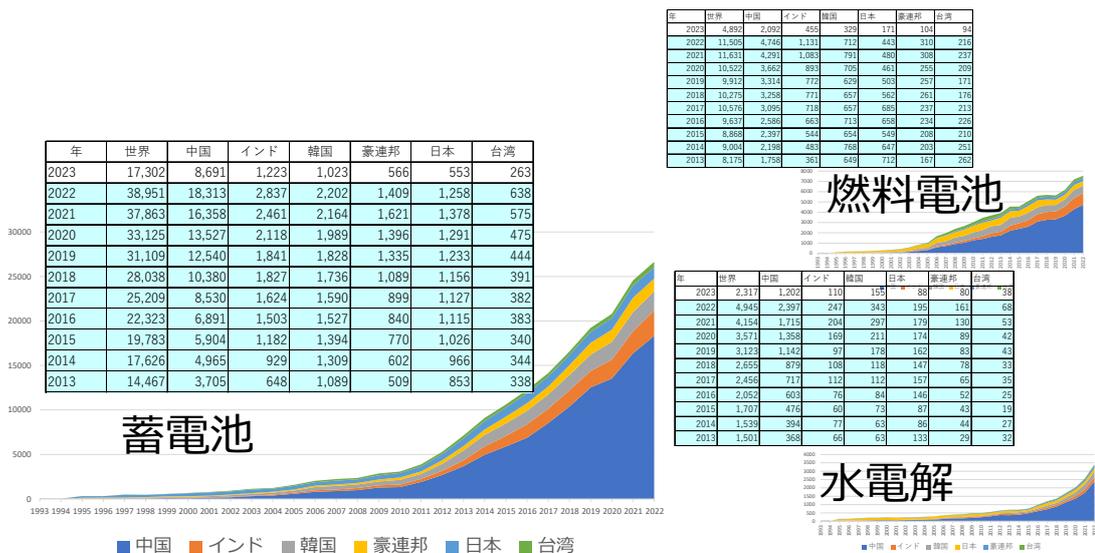


図3 文献数上位の国/地域(蓄電池・燃料電池・水電解)

2. 2 国際共著（蓄電池）

WOSを利用して、2013-2022の10年間と2020-2022の3年間について、Highly Cited Papers 高被引用文献[4]（各分野・各年度で被引用数がトップ1%）について、各国/地域それぞれの共著相手国（蓄電池）を比較した。

蓄電池 2013-2022 二国間_高被引用_文献共著シェア%

battery World 2013-2022 6,487		中国	米国	オーストラリア	英国	シンガポール	カナダ	ドイツ	日本	韓国	台湾	インド	フランス
中国	100.0	18.7	8.5	3.3	5.9	3.8	3.0	2.2	2.5	0.7	0.6	0.6	
米国	39.3	100.0	4.1	4.1	2.3	5.2	4.3	2.1	6.3	1.0	1.4	2.5	
オーストラリア	66.1	15.2	100.0	4.8	2.8	2.2	5.4	6.4	5.4	1.4	1.4	1.8	
英国	39.2	22.9	7.2	100.0	2.7	5.1	11.7	3.3	6.6	1.2	1.8	8.1	
シンガポール	61.7	11.3	3.8	2.4	100.0	1.3	2.7	0.8	5.7	1.3	1.6	1.9	
カナダ	45.4	29.9	3.4	5.2	1.5	100.0	8.6	2.2	3.4	0.3	3.4	4.0	
ドイツ	29.3	20.0	6.8	9.8	2.5	7.0	100.0	4.8	5.8	1.3	2.8	4.8	
日本	37.7	16.9	13.9	4.8	1.3	3.0	8.2	100.0	8.7	0.9	3.9	5.2	
韓国	25.0	30.2	7.0	5.7	5.4	2.8	5.9	5.2	100.0	1.5	8.0	1.3	
台湾	51.8	33.9	12.5	7.1	8.9	1.8	8.9	3.6	10.7	116.1	7.1	1.8	
インド	15.4	15.4	4.3	3.7	3.7	6.8	6.8	5.6	19.1	2.5	100.0	5.6	
フランス	14.7	28.2	5.5	16.6	4.3	8.0	11.7	7.4	3.1	0.6	5.5	100.0	
世界シェア%	60.0	28.5	7.7	5.1	5.7	5.0	6.2	3.6	6.0	1.0	2.5	2.5	

battery World 2013-2022 6,487		中国	米国	オーストラリア	英国	シンガポール	カナダ
中国	3,894	727	331	130	229	147	
米国	727	1,850	76	76	42	97	
オーストラリア	331	76	501	24	14	11	
英国	130	76	24	332	9	17	
シンガポール	229	42	14	9	371	5	
カナダ	147	97	11	17	5	324	
ドイツ	117	80	27	39	10	28	
日本	87	39	32	11	3	7	
韓国	97	117	27	22	21	11	
台湾	29	19	7	4	5	1	
インド	25	25	7	6	6	11	
フランス	24	46	9	27	7	13	
世界シェア%	60.0	28.5	7.7	5.1	5.7	5.0	

図4 高被引用文献数 2013-2020 国際共著（緑色 30%超 黄色 40%超 桃色 50%超）

蓄電池 2020-2022 二国間_高被引用_文献共著シェア%

battery World 2020-2022 2,654		中国	米国	オーストラリア	英国	シンガポール	カナダ	ドイツ	日本	韓国	台湾	インド	フランス
中国	100.0	13.8	8.9	3.6	5.0	4.7	2.9	1.6	2.4	0.9	0.9	0.7	
米国	50.2	100.0	6.0	6.3	1.7	7.6	6.2	2.2	7.6	0.9	2.8	2.6	
オーストラリア	72.2	13.3	100.0	6.2	1.2	2.9	5.4	6.6	5.0	2.5	2.5	1.7	
英国	45.5	22.1	9.7	100.0	1.9	5.8	11.7	3.2	8.4	0.6	2.6	7.1	
シンガポール	85.8	8.0	2.7	2.7	100.0	2.7	4.4	0.9	6.2	1.8	2.7	0.9	
カナダ	63.4	28.3	4.8	6.2	2.1	100.0	6.9	2.1	3.4	0.0	6.2	3.4	
ドイツ	40.3	23.7	9.4	12.9	3.6	7.2	100.0	5.8	4.3	3.6	4.3	6.5	
日本	49.2	19.0	25.4	7.9	1.6	4.8	12.7	100.0	11.1	1.6	6.3	4.8	
韓国	33.1	29.5	8.6	9.4	5.0	3.6	4.3	5.0	100.0	3.6	13.7	0.7	
台湾	53.1	15.6	18.8	0.7	1.4	0.0	15.6	0.7	15.6	100.0	9.4	0.0	
インド	19.6	16.3	6.5	4.3	3.3	9.8	6.5	4.3	20.7	3.3	100.0	2.2	
フランス	28.9	31.1	8.9	24.4	2.2	11.1	20.0	6.7	2.2	0.0	4.4	100.0	
世界シェア%	73.4	20.2	9.1	5.8	4.3	5.5	5.2	2.4	5.2	1.2	3.5	1.7	

battery World 2020-2022 2,654		中国	米国	オーストラリア	英国	シンガポール	カナダ
中国	1,947	269	174	70	97	92	
米国	269	536	32	34	9	41	
オーストラリア	174	32	241	15	3	7	
英国	70	34	15	154	3	9	
シンガポール	97	9	3	3	113	3	
カナダ	92	41	7	9	3	145	
ドイツ	56	33	13	18	5	10	
日本	31	12	16	5	1	3	
韓国	46	41	12	13	7	5	
台湾	17	5	6	1	2	0	
インド	18	15	6	4	3	9	
フランス	13	14	4	11	1	5	
世界シェア%	73.4	20.2	9.1	5.8	4.3	5.5	

図5 高被引用文献数 2020-2022 国際共著（緑色 30%超 黄色 40%超 桃色 50%超）

Highly Cited Papers の高被引用文献において、中国の共著シェアが 50%を超えている国/地域は、2013-2022（図 4）ではオーストラリア・シンガポール・台湾であったが、2020-2022（図 5）ではカナダ・米国が加わり 5 つの国/地域に増加し、シンガポールは 85.8%、オーストラリアは 72.2%と中国の共著シェアが顕著に高い。ちなみに、蓄電池先進国の日本および韓国では、高被引用文献における中国との共著率が増加はしているが 50%未満に留まっている。

Highly Cited Papers 高被引用文献における中国の世界シェアの上昇をどう捉えるのか、素直に考えると優良な報告文献が中国で増えたと考えられる。一方、中国との共著が多い国/地域においては、中国の文献数の急増（図 3）および中国の高被引用文献数の増加が、当該国の高被引用文献数および同世界シェアを押し上げた可能性が想定される。

3. 技術開発を支える基礎研究

実際の電気化学デバイスでは、目的用途に適したデバイス系（システム）が設計（デザイン）されて実用化に向けて研究開発が進む。そこで、携帯・車載・飛行体・船舶・定置などの用途に合わせて要求機能（ニーズ）が決まり、有機・無機・複合材料とプロセスなどの技術（シーズ）が組み合わされて、目標とするデバイス系が開発されている。

3. 1 電気化学デバイス開発におけるアプローチ

電気化学デバイスの技術開発では、物理化学的な基礎研究に始まり、材料研究・プロトタイプ提案・試作評価、目的に合わせた機能設計、そして実用化開発では面積・積層数・試作数のスケールアップ、さらに工業化開発では用途に合わせた耐久性・安全性・量産性、加えて寿命・環境性などの確保が検討されている。これらの研究開発ステージを突破するためには、マルチスケール・マルチフィジックス・マルチフィールドな視点が必要である。基礎研究には、現象・構造・組成の解析を通じた原理究明・メカニズム解明などが求められ、技術開発全体の成否を左右するとも言える。

3. 2 技術開発を支える基礎研究

そこで、現象解析・構造解析に注目し、機能部位の微小領域に関する現象および構造に言及している文献数を各国/地域について調査した（図 6 右）。その結果、文献数上位（図 6 左）とは異なり、中国・韓国・日本・台湾・シンガポールの世界シェアが上昇し、仏国を除き、他の国/地域の世界シェア・文献数順位が低下する。即ち、電気化学デバイスの目的基礎研究では、アジア諸国/地域に優位性があると推察される。

379,670 results from Web of Science Core Collection for:
(battery OR (fuel cell) OR electrolysis) (Topic)

	World 2013-2022	379,670	%
1	PEOPLES R CHINA	137,089	36.1
2	USA	68,478	18.0
3	INDIA	24,380	6.4
4	SOUTH KOREA	24,241	6.4
5	GERMANY	21,516	5.7
6	JAPAN	17,829	4.7
7	ENGLAND	14,936	3.9
8	CANADA	13,410	3.5
9	AUSTRALIA	13,054	3.4
10	ITALY	11,880	3.1
11	FRANCE	11,488	3.0
12	SPAIN	10,341	2.7
13	IRAN	7,205	1.9
14	TAIWAN	6,575	1.7
15	SINGAPORE	5,791	1.5

原理究明・機構解明に
関連している文献を
抽出すると

基礎研究要素を含む文献

中国・韓国・日本・台湾・
シンガポールの世界シェア
が上昇する。
仏国を除き、他の国/地域
の世界シェア・文献数順位
が低下する。

	World 2013-2022	2,984	%
1	PEOPLES R CHINA	1,365	45.7
2	USA	501	16.8
3	SOUTH KOREA	249	8.3
4	JAPAN	191	6.4
5	INDIA	174	5.8
6	GERMANY	148	5.0
7	FRANCE	100	3.4
8	ENGLAND	94	3.2
9	AUSTRALIA	92	3.1
10	CANADA	74	2.5
11	TAIWAN	66	2.2
12	SINGAPORE	56	1.9
13	ITALY	56	1.9
14	IRAN	53	1.8
15	SPAIN	51	1.7

2,984 results from Web of Science Core Collection for:
(battery OR (fuel cell) OR electrolysis) (Topic)
AND (micro OR nano OR molecule) (Topic) 微小領域
AND (electrolyte OR electrode) (Topic) 機能部位
AND (surface OR interface OR (grain boundary) OR crystal) (Topic) 構造
AND ((electron transfer) OR (ionic conduction) OR reaction OR deterioration) (Topic) 現象

図6 電気化学の3デバイスについて基礎研究要素を含む文献

おわりに

本稿では電気化学分野を例として、文献数をもとにしたインパクト・サイエンスの視点から、国/地域・研究助成・国際共著・被引用および技術開発を支える基礎研究などに関連する情報を収集・整理した。今後は、各国/地域の有力研究機関における研究リーダー・有望研究者・注力デバイスおよび基礎研究の状況などを整理する予定である。

2050年のカーボンニュートラル実現に向けて、日本のアカデミアによる基礎研究力の蓄積と高いポテンシャルを生かすことが重要である[1]。本稿の試みが、オープンサイエンスの下、研究インテグリティ[5]を確保した上で、国際共同研究を通じて研究者同士を結びつけ、国内外研究者の知の循環推進の一助となることを願う。

参考文献

- [1] <https://www.jst.go.jp/pr/intro/outline.pdf> JST 事業内容 概要／総合案内
- [2] <https://jsrpim.jp/archives/5488> 研究イノベーション学会 第38回年次学術大会 一般講演募集要領 1.講演発表の内容 (1) 課題 2)ホットイシュー B)オープンサイエンス推進のための諸課題とインパクト・サイエンスへの展開
- [3] <https://www.soubun.com/journal/web-of-science%e3%81%a8%e3%81%af/> Web of Science(ウェブ・オブ・サイエンス): クラリベイト・アナリティクス社 (旧: トムソン・ロイター) が提供する世界最大級のオンライン学術データベース。本稿において特記がない場合には、Topic: トピック (タイトル、抄録、著者キーワード、Keywords Plus を検索)、Publication Years: 出版 2013-2022 にて検索を実施した。
- [4] <https://support.clarivate.com/ScientificandAcademicResearch/s/article/000010509?language=ja> クラリベイト・アナリティクス社 Highly Cited Paper 高被引用文献: 各分野、各年度で被引用数がトップ1%の論文
- [5] https://www.mext.go.jp/a_menu/kagaku/integrity/index.html 研究インテグリティ: 研究の国際化やオープン化に伴う新たなリスクに対して新たに確保が求められる、研究の健全性・公正性を意味する。