第2回グリーンイノベーション戦略推進会議ワーキンググループ

資料４－２

論文数動向に着目した
モビリティ/水素に関する研究開発動向

2020年8月21日（金）

国立研究開発法人科学技術振興機構

経営企画部エビデンス分析室

研究開発戦略センター

低炭素社会戦略センター

未来創造研究開発推進部

Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

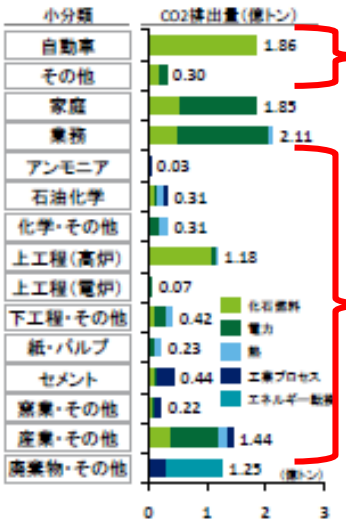
モビリティ/水素　の位置づけ

1．CO_2の大量排出源とその原因

- 2016年度の我が国のセクター別CO_2排出量を示している。総排出量は12.0億トンであり、家庭・業務以外の大量排出セクターとしては、運輸（2.16億トン、18%）、化学（0.65億トン、5%）、鉄鋼（1.66億トン、14%）、窯業・土石（0.65億トン、5%）、電力（4.6億トン、38%）が挙げられる。

（単位：億トン）

セクター	大分類	小分類	石油等	電力	熱（高炉等）	工業プロセス等	廃棄物	総排出量	割合
運輸	自動車	自動車	1.86	-	-	-	-	1.86	18%
	その他	その他	0.21	0.09	-	-	-	0.30	
家庭	家庭	家庭	0.56	1.29	0.001	-	-	1.85	15%
業務	業務	業務	0.53	1.55	0.04	-	-	2.11	18%
産業	化学	アンモニア	0.003	0.004	0.005	0.02	-	0.03	5%
		石油化学	0.12	0.06	0.11	0.03	-	0.31	
		その他	0.05	0.18	0.09	-	-	0.31	
	鉄鋼	上工程（高炉）	1.08	0.08	0.02	-	-	1.18	14%
		上工程（電炉）	0.01	0.06	-	-	-	0.07	
		下工程・その他	0.14	0.20	0.08	-	-	0.42	
	紙・パルプ	紙・パルプ	0.01	0.13	0.09	-	-	0.23	2%
	窯業・土石	セメント	0.14	0.04	-	0.26	-	0.44	5%
		その他	0.07	0.06	0.01	0.08	-	0.22	
	その他	その他	0.38	0.84	0.15	0.08	-	1.44	12%
廃棄物・その他	廃棄物・その他	廃棄物・その他	-	-	-	0.33*1	0.93*2	1.25	10%
計			5.15	4.57	0.58	0.79	0.93	12.0	100%



*1)内訳：焼却などの廃棄物処理（0.29億トン）、農業+燃料からの漏出+間接CO2（0.03億トン）
*2)内訳：事業用自家発電（0.44億トン）、石油精製（0.34億トン）、および石炭製品＋ガス製造＋地域熱供給＋誤差。

【出典】国立環境研究所「日本の温室効果ガス排出量データ」、資源エネルギー庁「総合エネルギー統計2016年」を基にDeloitte作成

5

運輸部門からの
CO2排出の大幅削減

転換部門、産業部門
における脱化石資源化

出典：エネルギー・環境技術のポテンシャル・実用化評価検討会報告書（概要）、
https://www.meti.go.jp/press/2019/06/20190610002/20190610002-2.pdf

Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

対象とする技術領域について

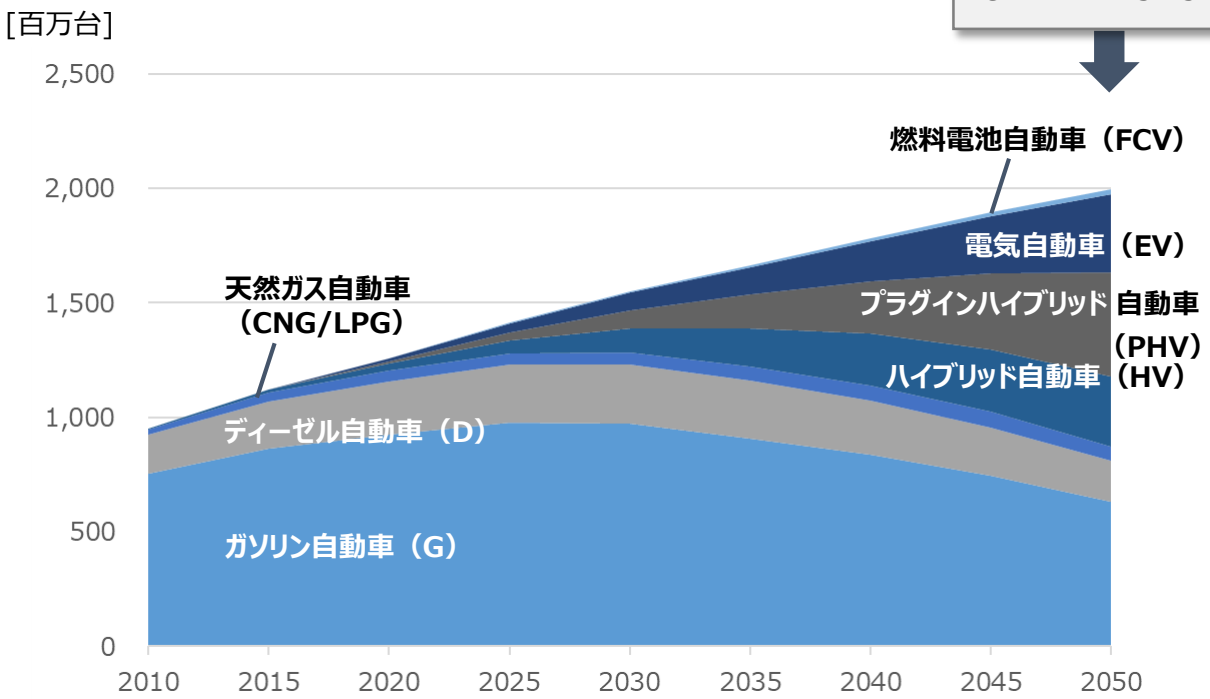
イノベーションアクションプランで設定された「16の技術課題」および「39テーマ」のうち今回該当のもの		対象技術領域
「6. 多様なアプローチによるグリーンモビリティの確立」 →運輸部門からのCO2排出の大幅削減 「3. 低コストな水素サプライチェーンの構築」 「7. 化石資源依存からの脱却（再生可能エネルギー」 →転換部門、産業部門における脱化石資源化	⑦ 製造：CO2フリー水素製造コスト1/10の実現 ⑧ 輸送・貯蔵：圧縮水素、液化水素、有機ハイドライド、アンモニア、水素吸蔵合金等の輸送・貯蔵技術の開発 ⑨ 利用・発電：低コスト水素ステーションの確立や、低NOx水素発電の技術開発 ⑬ 自動車、航空機等の電動化の拡大（高性能蓄電池等）と環境性能の大幅向上 ⑭ 燃料電池システム、水素貯蔵システム等水素を燃料とするモビリティの確立 ⑯ 水素還元製鉄技術等による「ゼロカーボン・スチール」の実現 ㉔ 低コストな定置用燃料電池の開発	CO2フリー水素（水電解） エネルギーキャリア 内燃機関 電気自動車（蓄電池） パワーエレクトロニクス 燃料電池

Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

対象とする技術領域について

（参考）パワートレイン別長期見通し

IEAの「2℃シナリオ（2DS）」の下での見通し



2050年時点	[%]
FCV:	1.2
EV:	17.1
PHV:	22.7
HV:	15.4
CNG/LPG:	3.0
D:	9.0
G:	31.5

対象技術領域

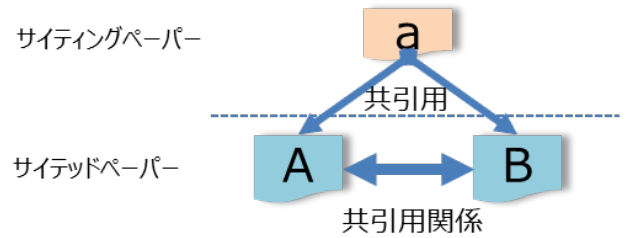
- CO2フリー水素（水電解）
- エネルギーキャリア
- 内燃機関
- 電気自動車（蓄電池）
- パワーエレクトロニクス
- 燃料電池

図.「International Energy Agency (2017)、Energy Technology Perspectives 2017, OECD/IEA, Paris」に基づき作成

Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

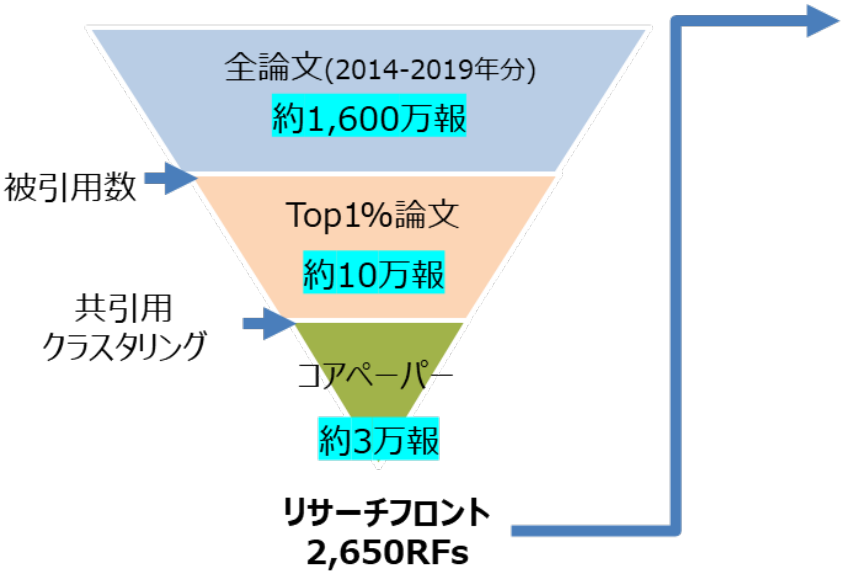
論文数動向からみる研究開発動向：リサーチフロント2019（RF2019）からの検討

- Top1%論文を共引用関係でクラスタリングを行う分析ツール「クラリベイト リサーチフロント」を用いて、全論文（6年で約1,600万報）から新興・融合領域を見出す。
- 各リサーチフロントは、５報～50報の「コアペーパー」により構成され、コアペーパーの内容を分析することで、各リサーチフロントを特徴語によりラベリングが可能。



共引用関係とは

「後に出版された文献 (a)によって一緒に引用されている文献 (A) と (B) は共引用の関係」



分野	RF数
材料	409
ライフサイエンス	881
臨床医学	820
環境科学／地球科学	360
工学	630
コンピュータ科学／数学	337
物理学	462
化学	530

RF2019工学分野について分析した

※リサーチフロント2019の内訳

Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

工学分野の「モビリティ/水素」関連のリサーチフロント（RF）分析

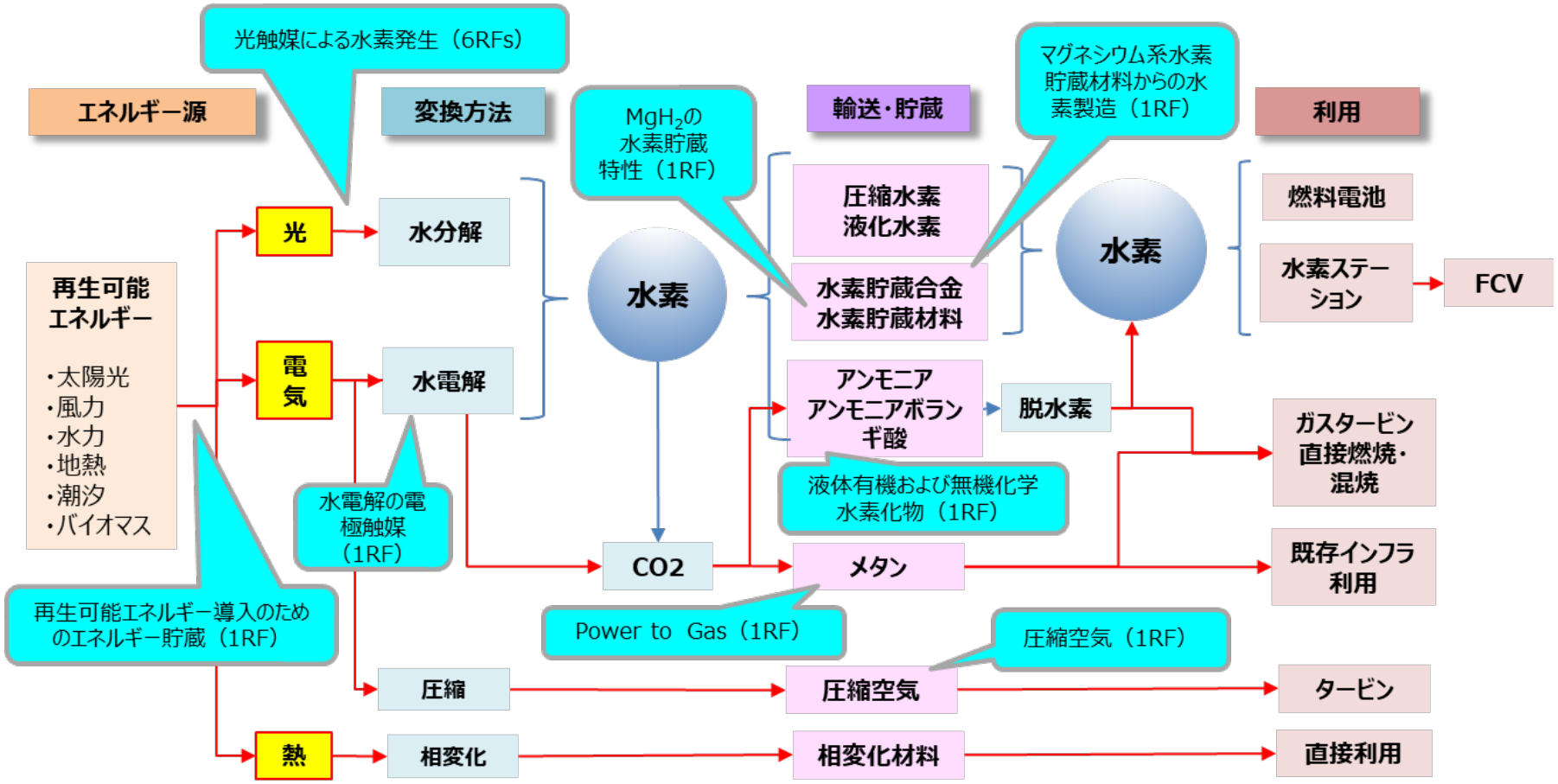
- **2019年の工学分野のRF**（630RFs）を16の大グループ、121の中グループに分類。その中から**「モビリティ/水素」**に関連する中分類として「蓄電池」、「水素発生・水電解」、「エネルギー貯蔵（蓄電池以外）」、「燃料電池」、「GaN・Ga_2O_3」、「内燃機関」の6領域をピックアップしてRFを構成するコアペーパー(CP)を分析。

2019年RF大分類	中分類（RF数）	主なRF
エネルギー	エネルギー管理(17)	経済成長とCO_2排出のデカップリング
	太陽電池(16)	ペロブスカイト太陽電池，シリコンヘテロ接合
	蓄電池(15)	Li-ion蓄電池，Na-ion蓄電池，アノード材料
	送配電(15)	マイクログリッド管理，コンバーター
	バイオマス(13)	バイオマスの熱分解，水熱液化，嫌気性消化
	水素発生・水電解(8)	光触媒水素発生，電解触媒
	エネルギー貯蔵(蓄電池以外)(5)	水素貯蔵，Power to Gas，圧縮空気利用
	燃料電池(3)	イオン交換膜，固体酸化物セル
	太陽熱(3)	太陽光熱発電システム，太陽熱蒸気発生
	風力発電・波力発電(1)	波力エネルギー利用
	原子力(1)	軽水炉耐事故燃料
	地熱・地中熱(1)	低温廃熱回収のための有機ランキンサイクル
	エネルギーハーベスト(1)	ナノ発電機
材料	GaN・Ga_2O_3(2)	GaNデバイス(FET、パワーTr)，Ga_2O_3デバイス
機械システム	内燃機関(3)	超臨界CO_2パワーサイクル、スクラムジェット

Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

水素関連のRFの俯瞰

➢ RF2019の工学分野で水素関連のRFは合計13RF：「**水素発生・水電解**」（8RFs）と「**エネルギー貯蔵（蓄電池以外）**」（5RFs）。その内訳は、下図のとおり。



Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

水素関連のRF：「水素発生・水電解」（8RFs）

■ 各RFを構成するコアペーパ（CP）の最終著者所属国のTOP3

RFラベル	CP数	1位		2位		3位	
		国	CP数	国	CP数	国	CP数
光触媒による水素生成	5	中国	5	-	-	-	-
光触媒による水素生成	6	マレーシア	5	パキスタン	1	-	-
光触媒としてのペロブスカイト量子ドットによる水素発生	6	中国	3	米国	1	韓国 シンガポール	1 1
ナノシート構造光触媒水素発生	7	中国	4	米国	3	-	-
$BiVO_4$光アノード太陽光駆動水分解	12	米国	6	**日本**	**4**	中国 韓国	1 1
水素発生のためのNi_2P修飾g-C_3N_4ナノシート光触媒	6	中国	2	シンガポール	2	米国 ドイツ	1 1
水素発生反応のための電極触媒MoSx膜	11	中国	11	-	-	-	-

- 中国、米国を中心にRFが形成されている。
- 光触媒に関するRFが大勢を占めている。
- 光触媒では日本の東大・堂免ら、北森らがBiVO4ナノ構造光アノード関連のRFに合計4報入っている。
- 光触媒の中でもナノ構造、ナノシートヘテロ接合がトレンドとして見られる。

Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

水素関連のRF：「エネルギー貯蔵（蓄電池以外）」（5RFs）

■ 各RFを構成するコアペーパ（CP）の最終著者所属国のTOP3

RFラベル	CP数	1位		2位		3位	
		国	CP数	国	CP数	国	CP数
Power to Gas（CO_2メタン化）	21	ドイツ	6	イタリア	3	中国 スイス マレーシア	2 2 2
再生可能エネルギー導入のためのエネルギー貯蔵	5	フィンランド	4	米国	1	-	-
大容量水素貯蔵用の液体有機および無機化学水素化物(アンモニアボラン等)	6	中国	3	**日本**	**3**	-	-
MgH_2の水素貯蔵特性	7	マレーシア	3	ドイツ	1	イタリア	1
圧縮空気，液体空気エネルギー貯蔵	7	英国	5	中国	1	スウェーデン	1
酸化マグネシウム複合材料の加水分解による水素製造性の向上	9	中国	8	豪州	1	-	-

- Power to Gasをはじめとする再生可能エネルギー貯蔵についてドイツ、イタリア、フィンランドなどの欧州勢がRFの上位に登場。主として電力と触媒を利用したCO2のメタン化に関する論文で構成されている。
- 水素吸蔵合金のMgH_2は水素取り出しのための触媒に関する論文で構成されている。
- 日本からはアンモニアボランなどエネルギーキャリアからの脱水素触媒に関する論文が2報、液相化学水素貯蔵材料についてのレビュー論文1報がCPに入っている。

Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

内燃機関のRF：「内燃機関」（3RFs）

■ 各RFを構成するコアペーパ（CP）の最終著者所属国のTOP3

RFラベル	CP数	1位		2位		3位	
		国	CP数	国	CP数	国	CP数
バイオディーゼル混合のディーゼルエンジン特性	30	インド	18	トルコ	3	米国	3
超臨界CO_2パワーサイクル技術（超臨界CO_2ブレイトンサイクル）	12	中国	9	韓国	2	スペイン	1
スクラムジェット	7	中国	3	イラン	3	ニュージーランド	1

- バイオディーゼル燃料を用いた際のディーゼルエンジン特性に関するもの、超臨界CO2パワーサイクルに関するもの、超音速推進向けのスクラムジェットに関するものの３つがRFとなっている。

Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

蓄電池のRF：「蓄電池」（15RFs）のうち車載用途は13RFs

■ 各RFを構成するコアペーパ（CP）の最終著者所属国のTOP3

RFラベル	CP数	1位		2位		3位	
		国	CP数	国	CP数	国	CP数
二次電池用有機電極材料	11	中国 ドイツ	3 3	–	–	シンガポール	2
ナトリウムイオン電池，リチウムイオン電池の可逆生向上ためのナノカーボン	5	中国	5	–	–	–	–
LiおよびNaイオン電池用のアノード材料	13	中国	13	–	–	–	–
充電式電池用のリチウム金属アノード	32	中国 米国	16 16	–	–	–	–
高エネルギーリチウムイオン電池用のカソード	14	韓国	7	米国	5	ドイツ イスラエル	1 1
リチウム電池のイオン伝導率の向上	5	中国	3	米国	2	–	–
リチウムイオンバッテリーの充電管理	5	中国	3	ドイツ	1	スウェーデン	1
電気自動車のリチウムイオン電池の充電状態推定	6	中国	5	米国	1	–	–
リチウムイオン電池の熱管理	20	中国	11	シンガポール	3	カナダ	2
使用済みリチウムイオン電池のリサイクル	15	中国	12	韓国	1	インド	1
充電式空気亜鉛電池	9	中国	6	米国	2	カナダ オーストラリア	1 1
Naイオン電池用アノード材料	19	中国	9	韓国	4	米国 シンガポール	2 2
水性亜鉛イオン電池	43	中国	25	米国	8	韓国	4

蓄電池のRF：「蓄電池」（15RFs）のうち車載用途は13RFs

■ 各RFを構成するコアペーパ（CP）の最終著者所属国のTOP3

RFラベル	CP数	1位		2位		3位	
		国	CP数	国	CP数	国	CP数
二次電池用有機電極材料	11	中国 ドイツ	3 3	－	－	シンガポール	2
ナトリウムイオン電池，リチウムイオン電池の可逆生向上ためのナノカーボン	5	中国	5	－	－	－	－
LiおよびNaイオン電池用のアノード材料	13	中国	13	－	－	－	－
充電式電池用のリチウム金属アノード	22	中国	16				
充電式空気亜鉛電池	9	中国	6	米国	2	オーストラリア	1
Naイオン電池用アノード材料	19	中国	9	韓国	4	米国 シンガポール	2 2
水性亜鉛イオン電池	43	中国	25	米国	8	韓国	4

- 主に車載用途の小型，軽量，大容量を目指した論文で形成されるRFをピックアップした結果，蓄電池全体15RFのうち13のRFが抽出された.
- 9RFがリチウムイオン電池に関するものであり、依然としてリチウムイオン電池の性能改善が蓄電池分野での主たる課題となっている。
- リチウムイオン電池に関する9RFの中で5RFが電極に関するものであり、充電サイクル寿命の延長を主な課題とした電極の改良がリチウムイオン電池の主たる課題となっている。
- 中国が圧倒的に強く、次いで米国だが、韓国やドイツも上位に入ってきている。
- リチウムイオン電池以外では、充電式亜鉛空気電池、Naイオン電池、水性亜鉛イオン電池がそれぞれRFを形成している。

パワーエレクトロニクスのRF：「GaN・Ga_2O_3」（2RFs）

■ 各RFを構成するコアペーパ（CP）の最終著者所属国のTOP3

RFラベル	CP数	1位		2位		3位	
		国	CP数	国	CP数	国	CP数
GaNデバイス（トランジスタ，パワーダイオード）	6	米国	4	**日本**	**2**	–	–
Ga_2O_3デバイス	37	米国	20	**日本**	**11**	ドイツ	4

- GaN、Ga2O3が１つずつRFを形成。
- いずれのRFでも米国に次いで日本のCPが入っており本分野での日本の強さが見える

Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

燃料電池のRF：「燃料電池」（3RFs）

■ 各RFを構成するコアペーパ（CP）の最終著者所属国のTOP3

RFラベル	CP数	1位		2位		3位	
		国	CP数	国	CP数	国	CP数
燃料電池用イオン交換膜	28	米国	10	中国	6	イスラエル	4
固体酸化物セル（SOFC）（電解↔燃料電池）	5	デンマーク	3	英国	2	-	-
プロトン性セラミック燃料電池（PCFC）	6	米国	5	サウジアラビア	1 1	-	-

- イオン交換膜やPCFCで米国の研究者を中心にRFを形成している。
- イオン交換膜については、車載用に限らず、燃料電池、電解槽、レドックスフローバッテリーなどへの応用に関する論文も含まれている。
- SOFCについても、車載用に限らず、高温動作でのSOFCにおけるセルのナノ構造による劣化抑制や効率向上を論じた論文でクラスターが形成されている。
- PCFCは、低い温度での動作、燃料の汎用性などを目指して固体酸化物電解セル（SOEC）へのプロトン伝導性電解材料とすることを提案している。

Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

論文数動向からみる研究開発動向：
学術文献DBからの検討と個別トピックス

- 学術文献DB（Web of Science Core Collection、SCOPUS）を用いて論文数動向を調査。
- 期間は基本的に2000年～2019年を対象としたが、調査時期の違いから技術領域ごとで多少の差異あり。同様にドキュメントタイプの指定も多少の差異あり。

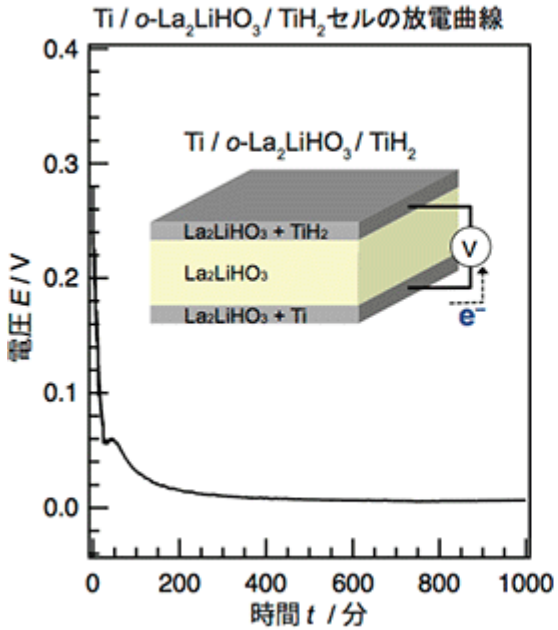
Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

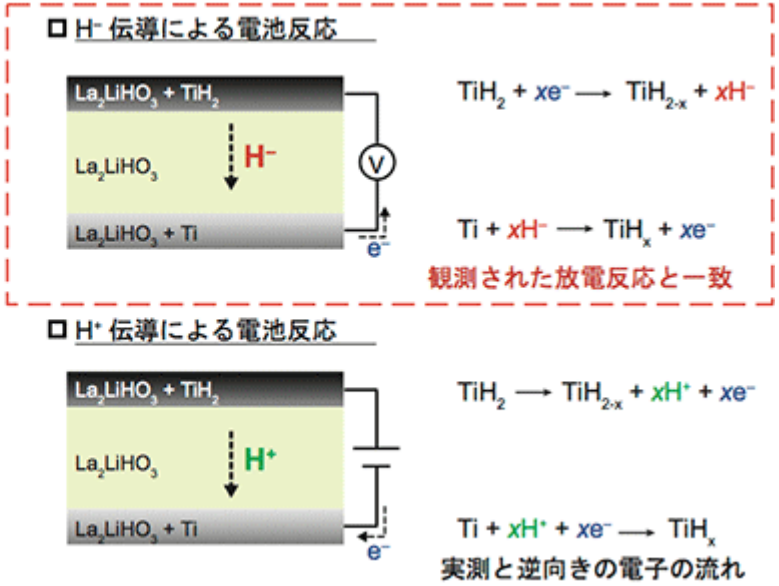
論文数動向からみる研究開発動向：水素・エネルギーキャリア

■ トピックス：ヒドリドイオン「H^-」伝導体の発見

小林ら（Science, 2016）

- リチウム（Li）、ストロンチウム（Sr）、ランタン（La）の酸化物と水素化物を出発物質にして、水素の陰イオンであるヒドリド（H-）伝導性の固体電解質を開発。
- またこの新しいヒドリド伝導体を固体電解質に用いた全固体電池を作製し、電気化学反応が可能であることを明らかにした。
- これらによりヒドリドのイオン伝導を利用することにより、従来の蓄電池や燃料電池の延長線上ではない新しい作動原理を持つエネルギー貯蔵・変換デバイスを開発できる可能性を示した。





出所：JSTプレスリリース（平成28年3月18日）
https://www.jst.go.jp/pr/announce/20160318-2/index.html

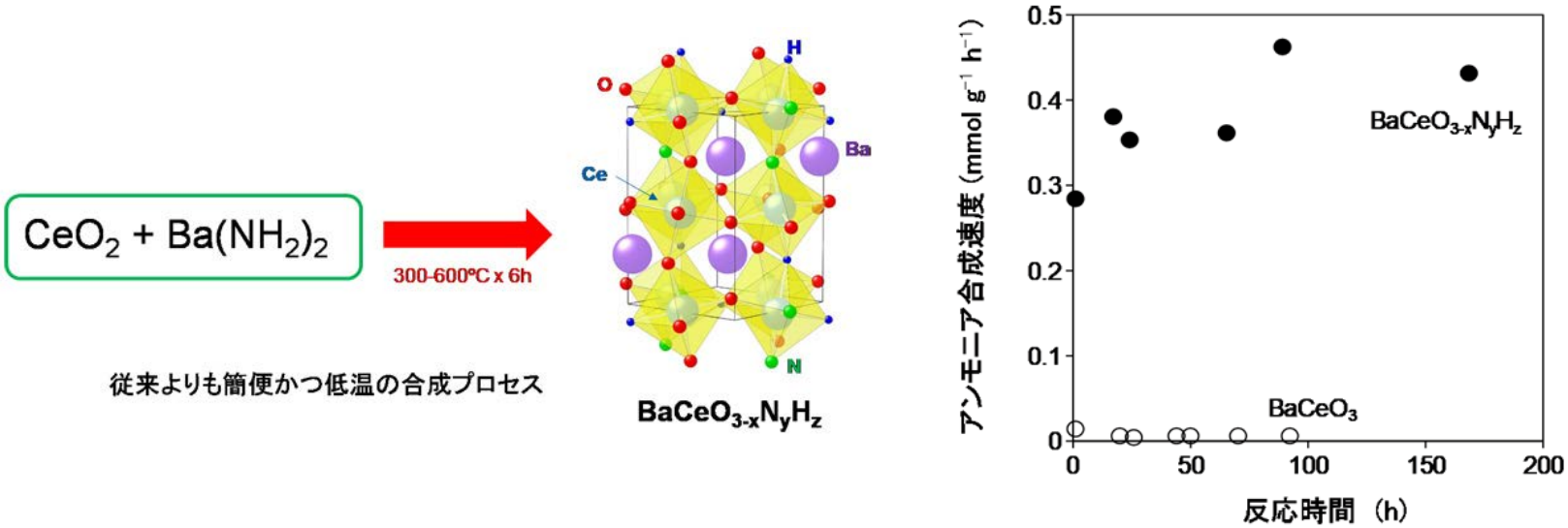
Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

論文数動向からみる研究開発動向：水素・エネルギーキャリア

■ トピックス：アンモニア合成研究での成果

- アンモニア合成研究で日本発の成果が近年続出：東大・西林ら（Nature, 2019）、早大・関根ら（Chem. Comm., 2020）、東工大・原ら（Nature Comm., 2020）、東工大・北野ら（J. Am. Chem. Soc., 2019 ※）など

※（例）「貴金属使わずアンモニア合成触媒となる新物質発見」（2019年11月）
＞ペロブスカイト型酸化物（BaCeO3）の酸素の一部を窒素と水素（ヒドリドイオン）に置き換えた新物質（BaCeO3-xNyHz）の一段合成に成功
＞この新物質がルテニウムなどの貴金属を使わずとも安定的にアンモニア合成活性を示すことを発見

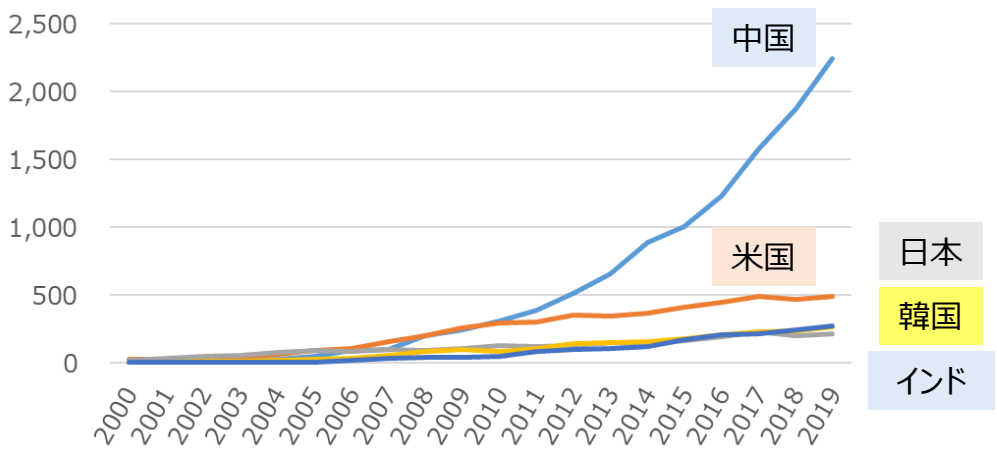


出所：JSTプレスリリース（令和元年11月22日）
https://www.jst.go.jp/pr/announce/20191122/index.html

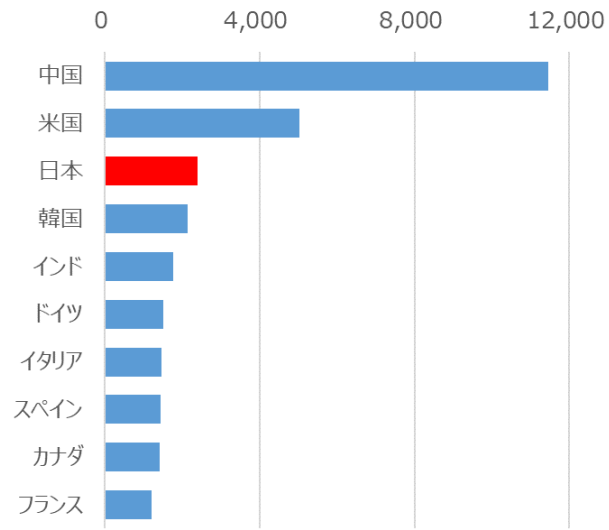
Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

論文数動向からみる研究開発動向：水素･エネルギーキャリア

■ 国別の文献数の年次推移（水素製造）



■ 国別順位（累積文献数上位10ヵ国）



■ 日本の文献数上位機関

機関名	文献数	機関名	文献数
東京大学	252	**東京工業大学**	164
産業技術総合研究所	208	**九州大学**	154
東北大学	184	**大阪大学**	134
JST	179	**JAEA**	129
京都大学	173	**NIMS**	107

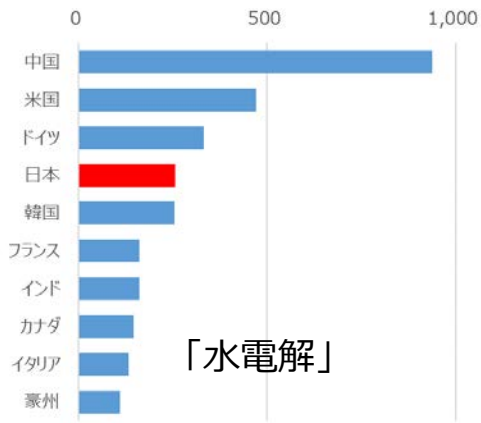
● 日本は中国、米国に次ぐ３位と、水素製造に関する研究開発分野での強みを見せている

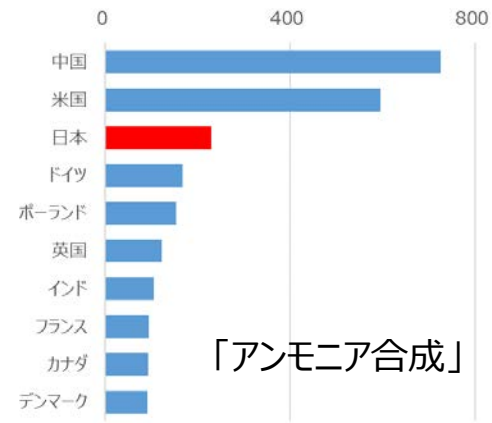
- 文献データベース：Web of Science Core Collection
- 対象期間：2000年～2019年
- ドキュメントタイプ：Article、Review、Early Access

Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

論文数動向からみる研究開発動向：水素・エネルギーキャリア

■ 国別順位（累積文献数上位10ヵ国）





■ 日本の文献数上位機関

機関名	文献数
東京大学	248
JST	178
東京工業大学	131
東京理科大学	130
NIMS	108
京都大学	90
大阪大学	72
北海道大学	66
産業技術総合研究所	65
九州大学	49

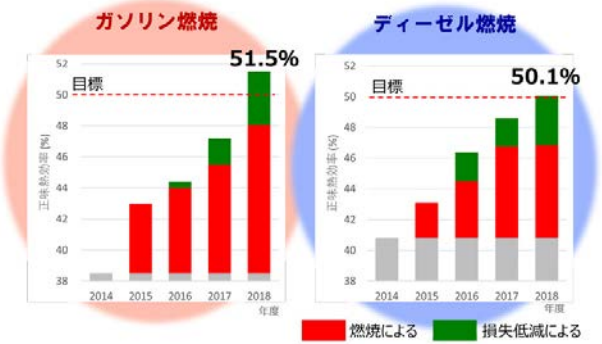
機関名	文献数
京都大学	35
産業技術総合研究所	30
九州大学	22
東京工業大学	21
東京大学	17
北海道大学	14
パナソニック	13
東北大学	13
山梨大学	9
JAXA	8

機関名	文献数
東京工業大学	76
JST	39
東京大学	27
京都大学	25
NIMS	15
九州大学	14
高エネルギー加速器研究機構	12
北海道大学	12
産業技術総合研究所	12
大阪大学	10

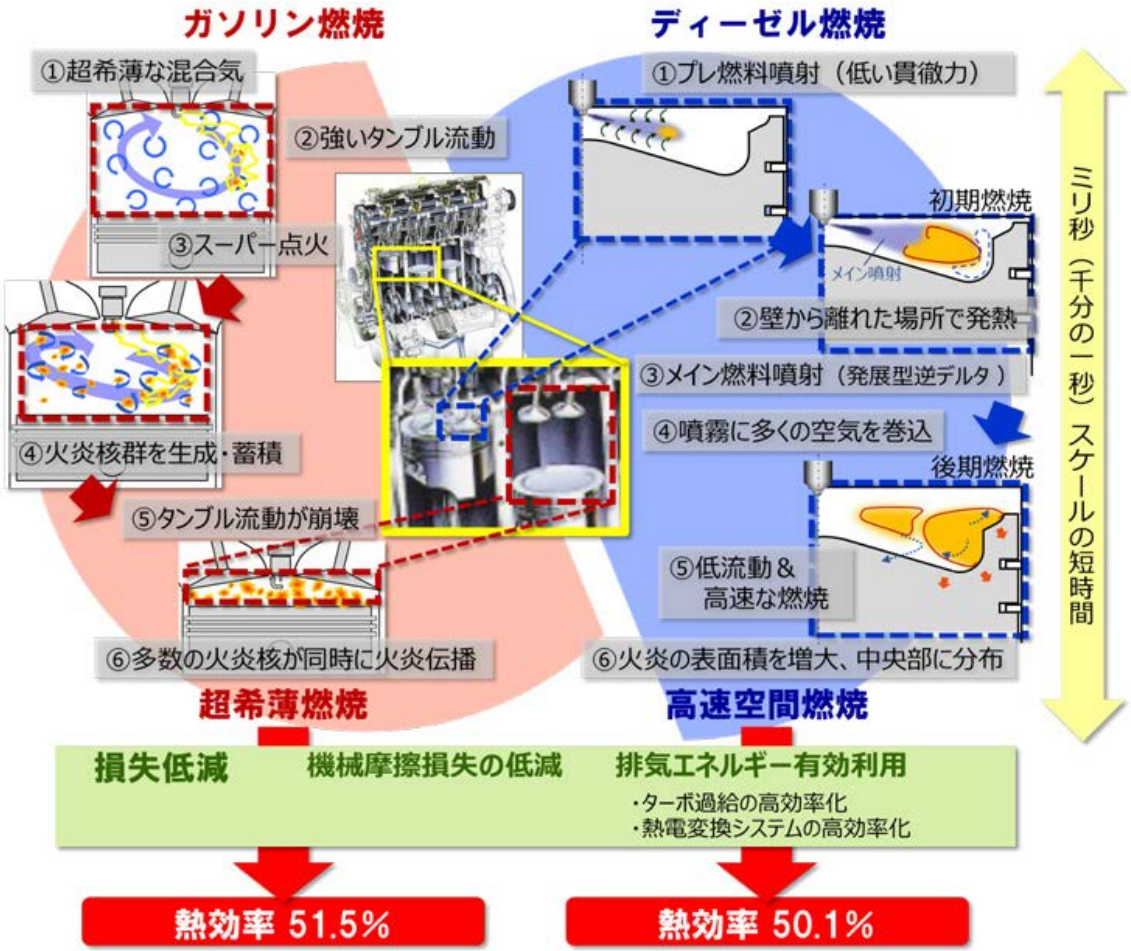
Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

論文数動向からみる研究開発動向：内燃機関

■ トピックス：燃焼効率の大幅向上



- SIP「革新的燃焼技術」（杉山雅則PD（トヨタ自動車株式会社））において慶應義塾大学の飯田 訓正特任教授、京都大学の石山拓二教授、早稲田大学の大聖泰弘特任研究教授らが、乗用車用のガソリンエンジンおよびディーゼルエンジンともに正味最高熱効率50%を上回ることに成功。
- 燃焼技術として超希薄燃焼（ガソリン）と高速空間燃焼（ディーゼル）、損失低減技術として機械摩擦損失の低減技術ほかを開発。

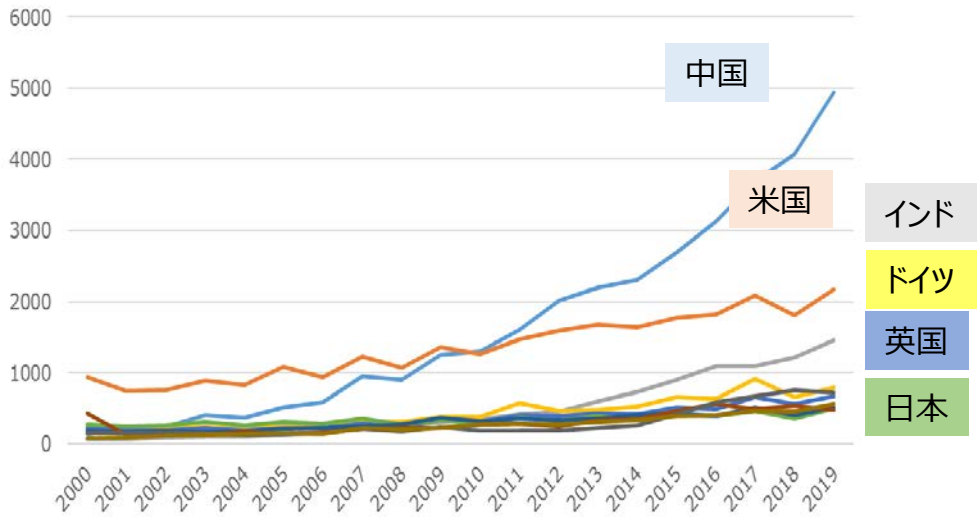


出所：JSTプレスリリース（平成31年1月16日）
https://www.jst.go.jp/pr/announce/20190116/index.html

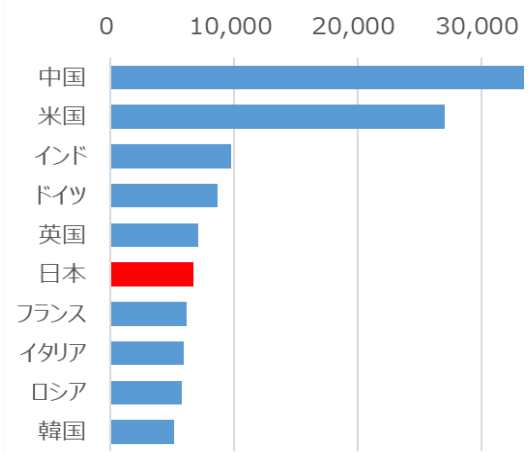
Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

論文数動向からみる研究開発動向：内燃機関

■ 国別の文献数の年次推移（燃焼）

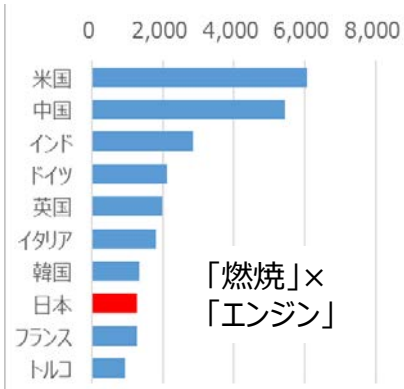


■ 国別順位（累積文献数上位10ヵ国）



- 燃焼分野は依然として活発。特に中国の伸びが顕著
- 上位10ヵ国の顔ぶれは概ね固定しており、産業界の競争力を背景に日本もその一角を占める。学術分野としては流体で強み

■ その他の国別順位（「燃焼」と個別キーワードとの組合せ）



「燃焼」×「エンジン」

「燃焼」×「タービン」

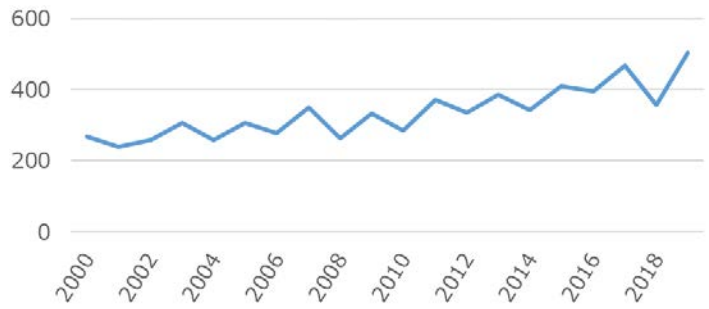
「燃焼」×「水素」

「燃焼」×「流体」

Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

論文数動向からみる研究開発動向：内燃機関

■ 日本の文献数の年次推移（燃焼）



● 日本国内の主要機関では全般的に上位に入る機関と個別の技術分野で上位に入る機関がそれぞれ存在

- 文献データベース：Web of Science Core Collection
- 対象期間：2000年～2019年
- ドキュメントタイプ：Article、Proceedings Paper、Review、Early Access
- その他：「Web of Scienceの分野」でエネルギー関連分野に絞り込み

■ 日本の文献数上位機関

「燃焼」

機関名	文献数
東北大学	472
北海道大学	458
名古屋大学	440
東京大学	420
産業技術総合研究所	377
東京工業大学	347
JAXA	310
九州大学	291
京都大学	279
大阪大学	219

「燃焼」×「エンジン」

機関名	文献数
JAXA	106
東京大学	70
東京工業大学	68
トヨタ自動車	60
広島大学	58
北海道大学	57
上智大学	56
慶応義塾大学	51
産業技術総合研究所	49
東北大学	47

「燃焼」×「タービン」

機関名	文献数
東北大学	35
産業技術総合研究所	30
JAXA	27
電力中央研究所	26
日立製作所	26
三菱重工業	24
名古屋大学	20
川崎重工業	19
東京工業大学	19
東京大学	18

「燃焼」×「水素」

機関名	文献数
東北大学	97
産業技術総合研究所	81
東京工業大学	75
東京大学	58
北海道大学	57
名古屋大学	55
JAXA	48
九州大学	41
京都大学	40
大阪大学	20
トヨタ自動車	20

「燃焼」×「流体」

機関名	文献数
東北大学	27
JAXA	23
東京大学	22
九州大学	21
名古屋大学	21
東京工業大学	13
北海道大学	11
京都大学	11
広島大学	8
IHI	8
早稲田大学	8

Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

論文数動向からみる研究開発動向：蓄電池

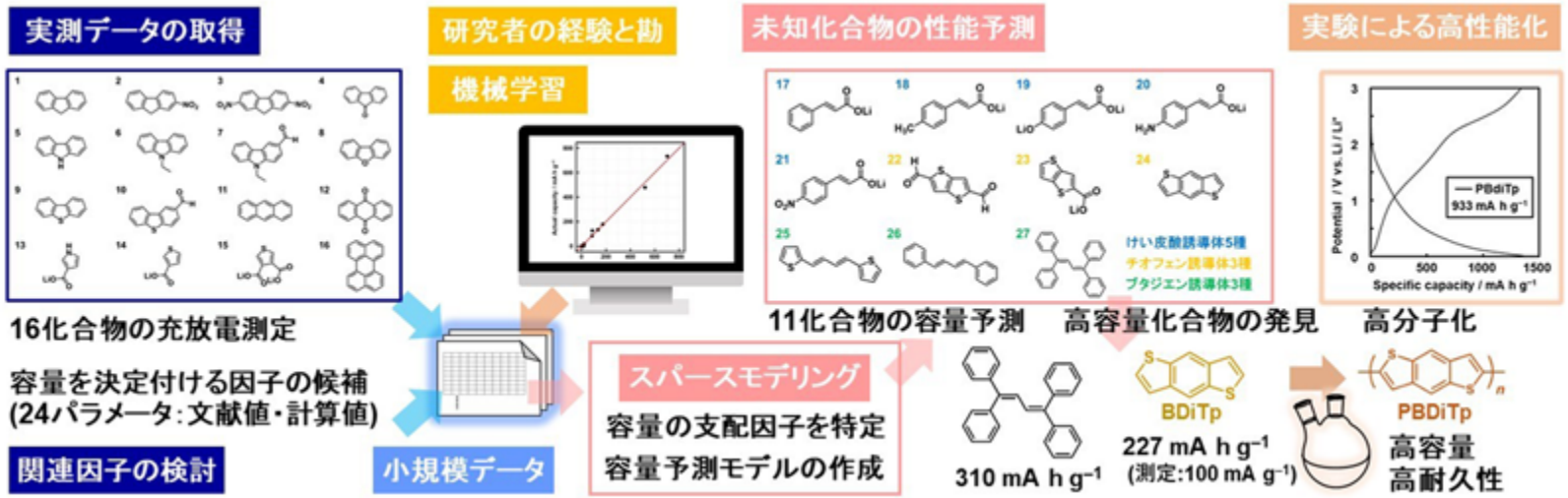
■ トピックス：マテリアルズ・インフォマティクスの活用

・**マテリアルズ・インフォマティクスを活用して**リチウムイオン電池の負極となる有機材料を設計する新たな手法を確立。特に、小規模な実験データに研究者らの経験知と機械学習を融合する「実験主導型MI」の手法の有効性を示した。

[背景] 省資源化の一環として、金属などの代わりに高容量、高耐久性、高速充放電特性を両立する新しい有機負極の探索が進められていた。

負極としての容量を実測した16個の有機化合物のデータを基にして、スパースモデリングにより容量決定因子を抽出。

予測モデルを構築し、研究者の経験と勘も交えつつ、負極として一定の容量が期待される化合物を市販のものから選び、実際に高水準のものがあることを確認。

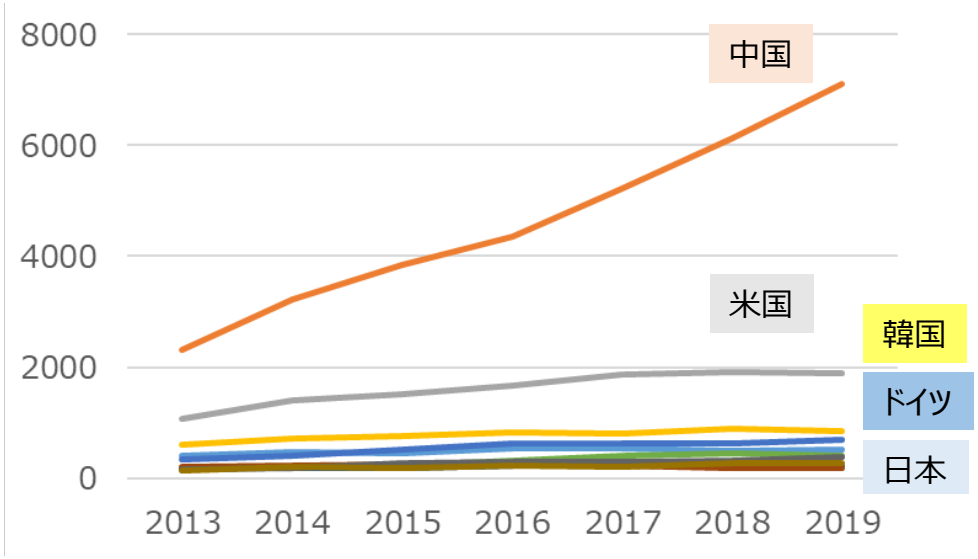


出所：JSTプレスリリース（令和元年9月6日）
https://www.jst.go.jp/pr/announce/20190906/index.html

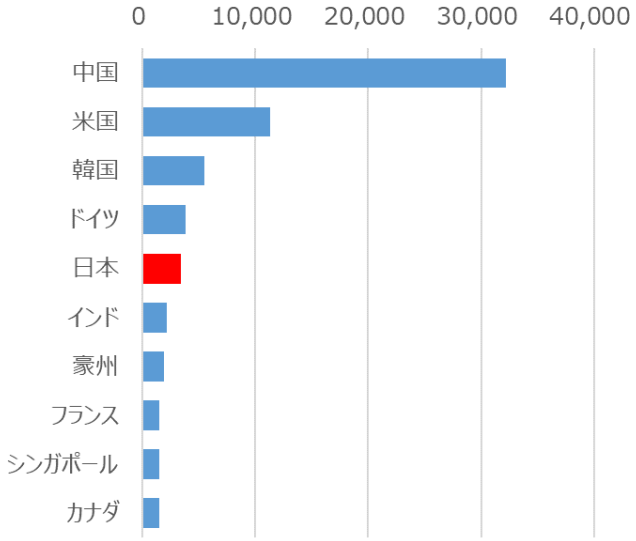
Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

論文数動向からみる研究開発動向：蓄電池

■ 国別の文献数の年次推移（リチウムイオン電池）



■ 国別順位（累積文献数上位10ヵ国）



■ 日本の文献数上位機関

研究機関名	文献数合計	研究機関名	文献数合計
京都大学	449	東京工業大学	177
産業技術総合研究所	424	大阪府立大学	153
NIMS	310	JST	135
東北大学	242	早稲田大学	124
東京大学	229	豊田中央研究所	116

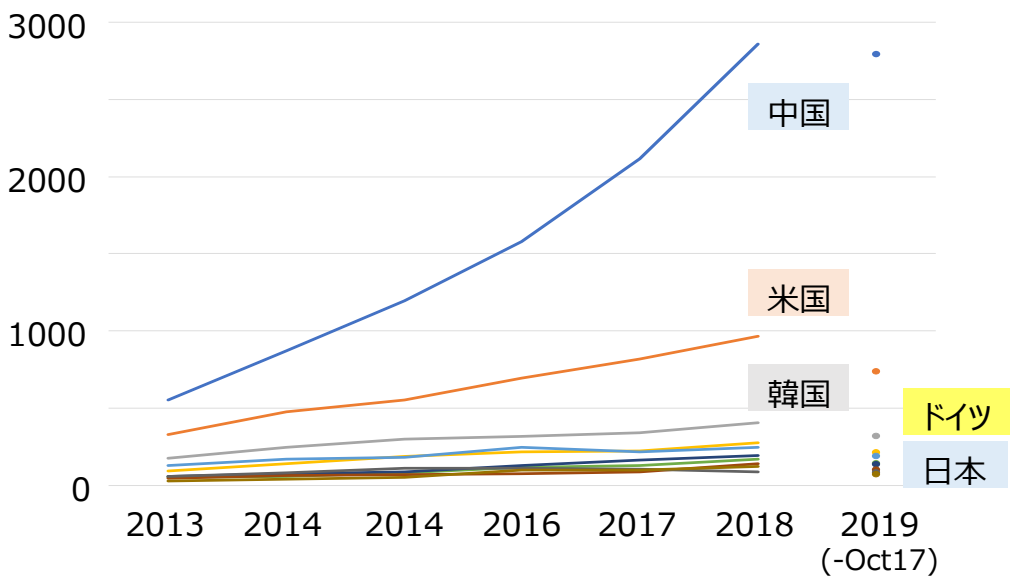
● 過去7年間（2013～2019年）の累積論文数は中国が最多で約32,000報、日本は3,424報

- 文献データベース：Web of Science Core Collection
- 対象期間：2013年～2019年
- ドキュメントタイプ：ARTICLE、PROCEEDINGS PAPER

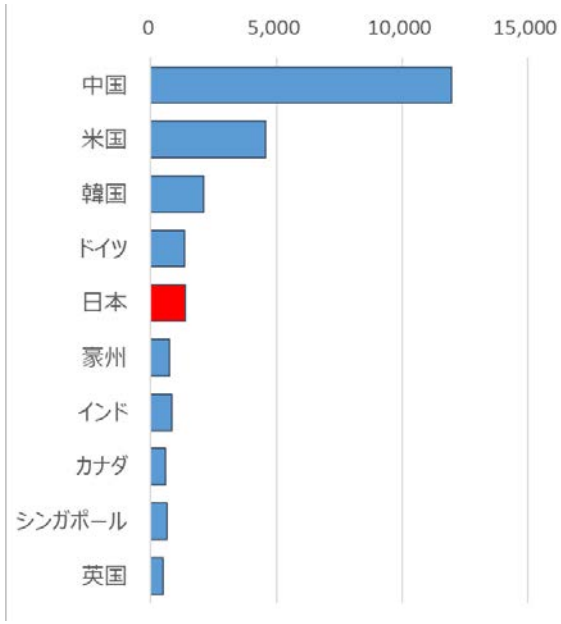
Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

論文数動向からみる研究開発動向：蓄電池

■ 国別の文献数の年次推移（次世代蓄電池）



■ 国別順位（累積文献数上位10ヵ国）



■ 日本の文献数上位機関

研究機関名	文献数合計	研究機関名	文献数合計
大阪府立大学	184	東京工業大学	54
産業技術総合研究所	150	東京農工大学	17
京都大学	99	東京大学	16
東北大学	98	トヨタ自動車	14
NIMS	71	北海道大学	10

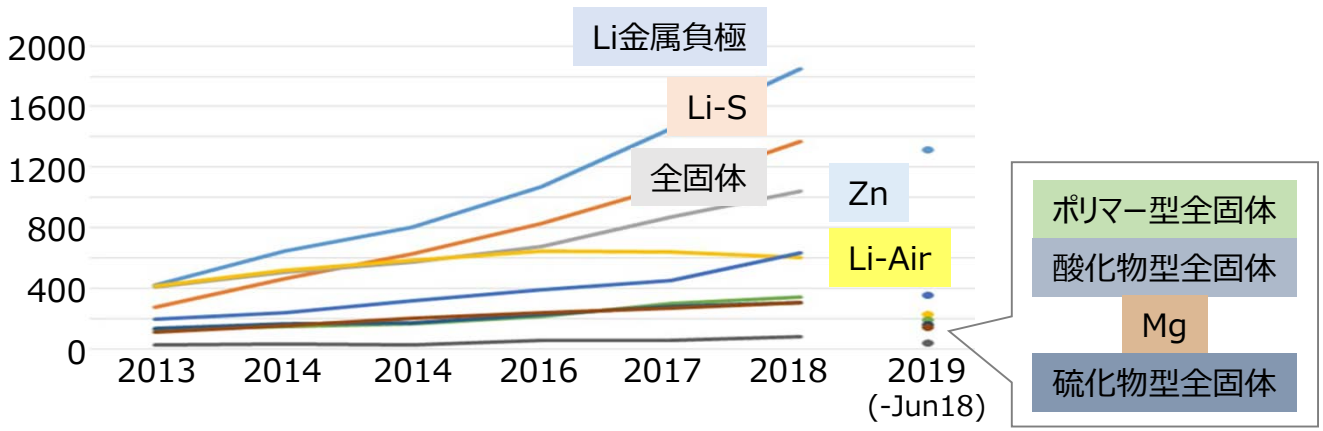
● 過去約7年間（2013～2019年10月17日）の累積論文数は中国が最多で約12,000報、日本は1,387報

- 文献データベース：Web of Science Core Collection
- 対象期間：2013年～2019年10月17日（国別比較のデータ），2013年～2019年6月18日（電池系別比較のデータ）
- ドキュメントタイプ：ARTICLE、PROCEEDINGS PAPER
- 電池系（全固体、ポリマー型全固体、酸化物型全固体、硫化物型全固体、Li-S、Li-Air、Li金属負極、Mg、Zn）ごとの集計結果を積算した

Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

論文数動向からみる研究開発動向：蓄電池

■ 電池系別の文献数推移



- 電池系別では、Li金属負極7,565報、Li-S 5,291報、全固体4,565報、Li-Air 3,628報、ポリマー型全固体1,475報、酸化物型全固体 1,444報、Mg 1,412報、硫化物型全固体298報の順
- 日本で取組みが多いのは全固体、硫化物型、酸化物型、Li-Air、Mgなど

■ 日本の文献数上位機関における電池系別の文献数内訳

電池系	大阪府立大学	産業技術総合研究所	京都大学	東北大学	NIMS	東京工業大学	東京農工大学	東京大学	トヨタ自動車	北海道大学
全固体	100	57	51	71	45	46				
硫化物型全固体	65	9	7	8	10	8			14	10
酸化物型全固体	19	17			16					
ポリマー型全固体							17			
Li-S										
Li-Air		67								
Li金属負極										
Mg			41	19				16		
Zn										
論文数合計	184	150	99	98	71	54	17	16	14	10

Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

論文数動向からみる研究開発動向：パワーエレクトロニクス

■ トピックス：EVにおける電池の高電圧化

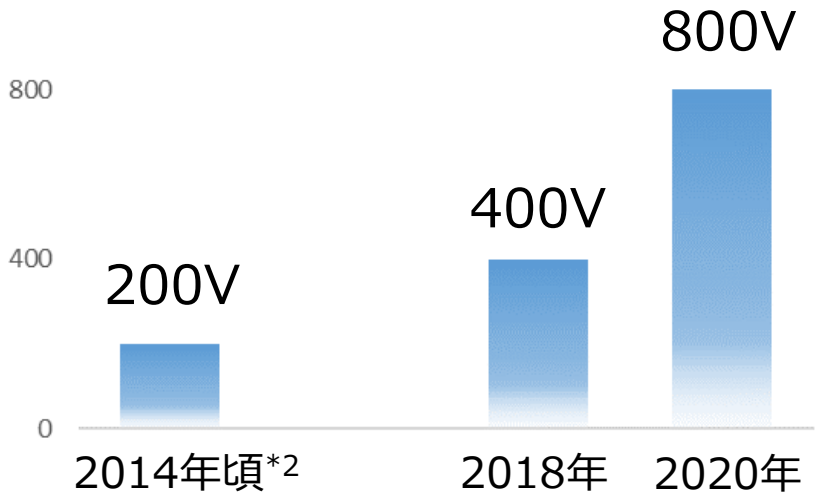
- **電池電圧を従来の400Vから800Vに倍増した新型EV**をドイツの自動車会社が2020年に発売[*1]。800V化の流れが加速すると見込んでこれに追随するメーカーも出現。また中核部品となる800V対応インバーターを巡る競争も注目されている。

＜高電圧化のメリット＞

・高出力化による充電時間の短縮
・昇圧回路の不要化
・システム全体の高効率化

▷

・高耐圧なパワエレへの需要増大
・ワイドバンドギャップ半導体のニーズの増大

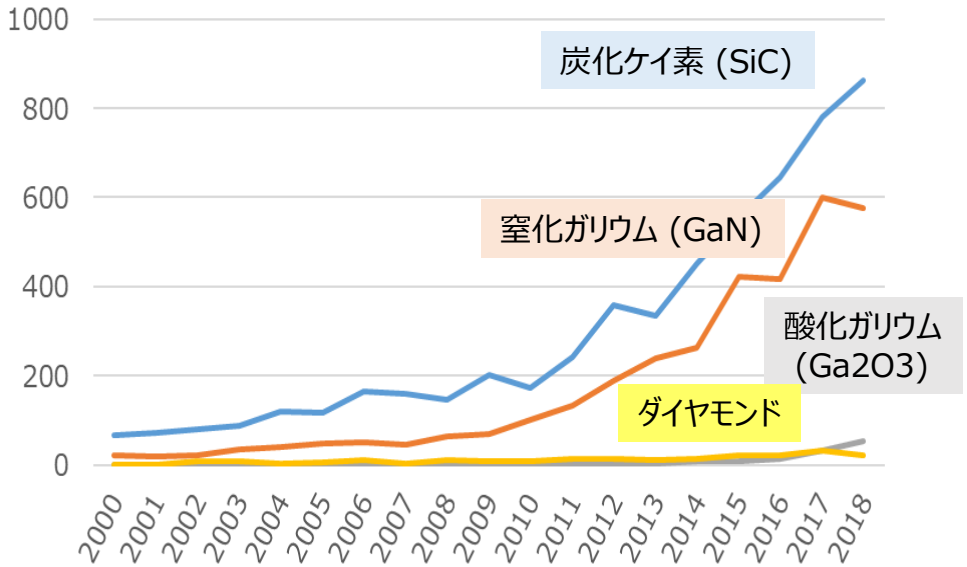


*1 日経クロステック2020年6月30日記事など参照
*2 JSTスーパークラスタープログラム紹介ページ資料を参照、https://www.jst.go.jp/super-c/index.html

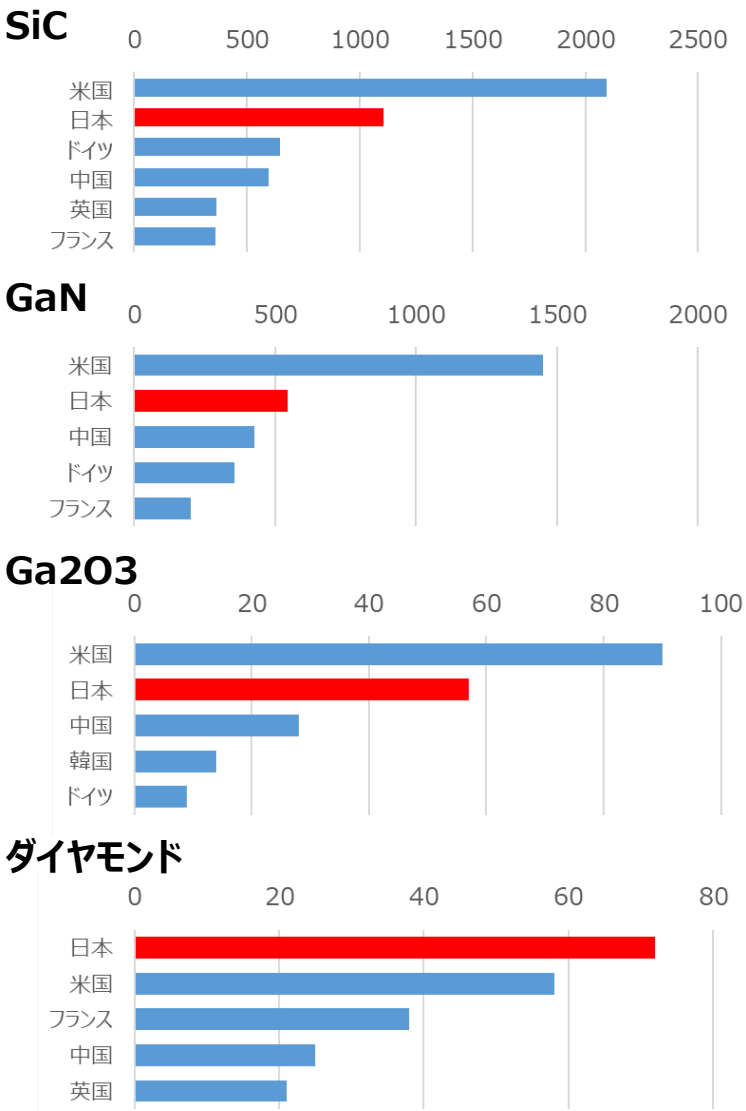
Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

論文数動向からみる研究開発動向：パワーエレクトロニクス

■ 材料別の文献数の年次推移（ワイドギャップ半導体）



■ 国別順位（累積文献数上位5ヵ国）



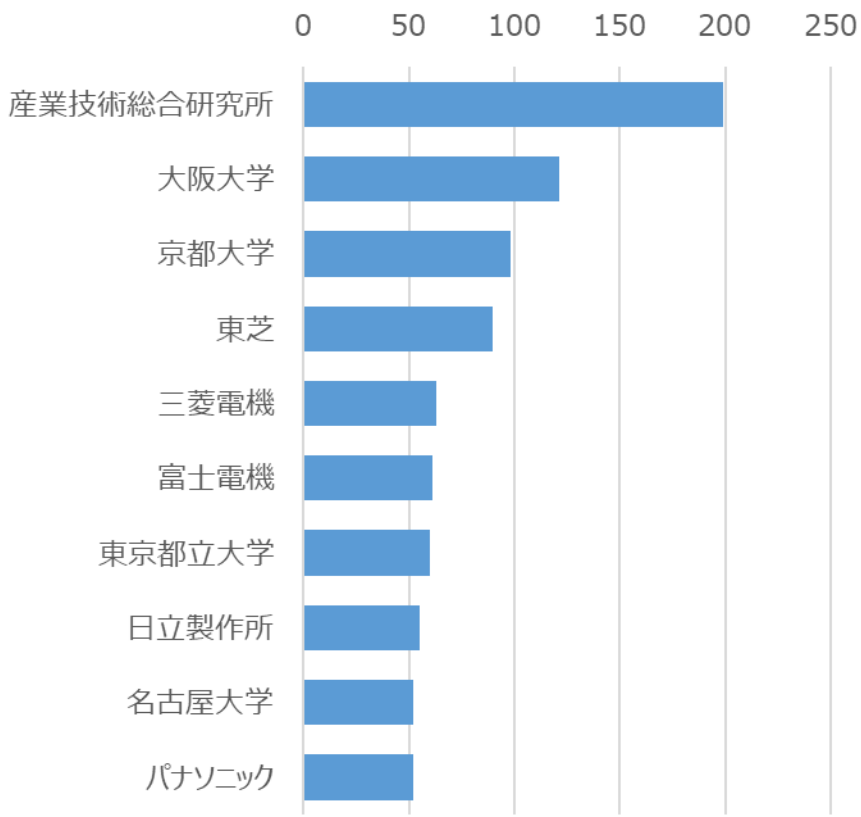
- 様々な製品群への適用、またその拡大が検討されているパワー半導体は、Siよりも原理的に高い材料特性を持つワイドギャップ半導体で新材料による性能向上を狙った研究開発が進行中。特にSiC、GaNの研究開発が一部実用化に向けた動きもあり活発
- 日本の研究は主要な材料でいずれも世界トップレベル

- 文献データベース：Scopus
- 対象期間：2000年～2019年（2020年4月時点）
- ドキュメントタイプ：指定なし

Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

論文数動向からみる研究開発動向：パワーエレクトロニクス

■ 日本の文献数上位10機関とその材料別文献数内訳



	SiC	GaN	Ga2O3	ダイヤモンド
産業技術総合研究所	161	26		30
大阪大学	100	35	1	5
京都大学	85	10	8	1
東芝	60	34		2
三菱電機	56	9	1	
富士電機	60	8		
東京都立大学	57	14		
日立製作所	48	9		
名古屋大学	19	39	1	
パナソニック	16	43		

- SiC、GaNは上位機関を中心とした活発な研究活動が見られる一方、Ga2O3やダイヤモンドはそれとは異なる顔ぶれの多様な主体が取り組む

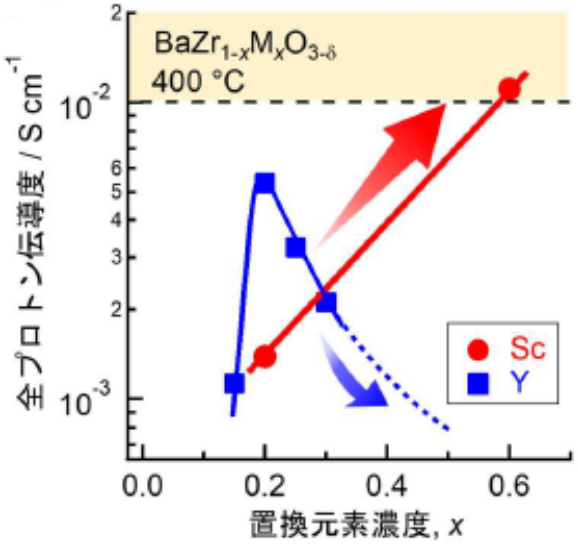
Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

論文数動向からみる研究開発動向：燃料電池

■ トピックス：固体酸化物型燃料電池（SOFC）向けの新型プロトン（H+、水素イオン）伝導体の発見

九大・山崎ら（Adv. Energy Mater., 2020）

- ジルコン酸バリウム(BaZrO3)にスカンジウムを 60%という極めて高い濃度で添加することで、燃料電池動作の目標温度である 400℃において結晶粒内と粒界を含んだ全プロトン伝導度が 0.01 Scm-1を超えることを発見



東工大・村上ら（ J. Am. Chem. Soc., 2020）

- 六方ペロブスカイト関連酸化物の一つであるBa5Er2Al2ZrO13が中低温域で高いプロトン伝導度を示すことを発見
- 中性子解析測定と結晶構造解析によりその高いプロトン伝導度の発現機構も解明

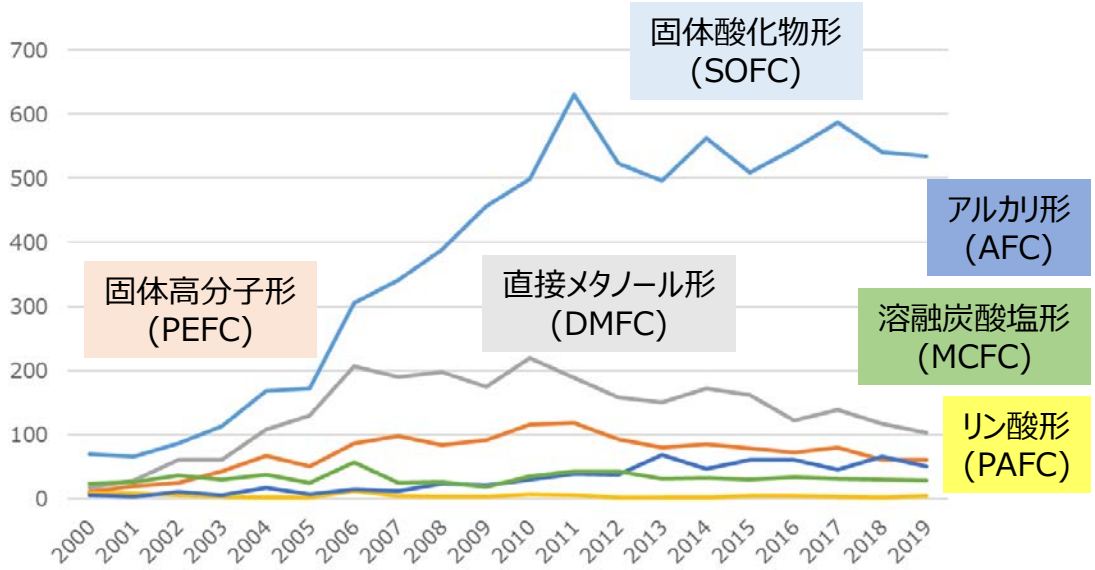
出所：東京工業大学プレスリリース（令和2年6月10日）
https://www.titech.ac.jp/news/2020/047117.html

出所：JSTプレスリリース（令和2年5月28日）
https://www.jst.go.jp/pr/announce/20200528-2/pdf/20200528-2.pdf

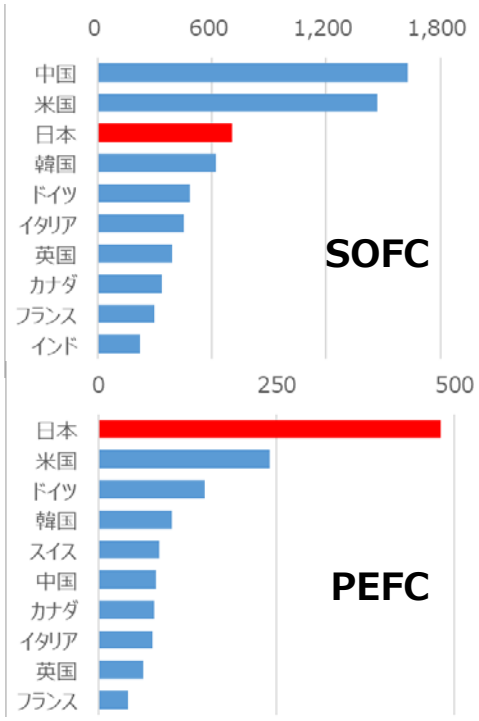
Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

論文数動向からみる研究開発動向：燃料電池

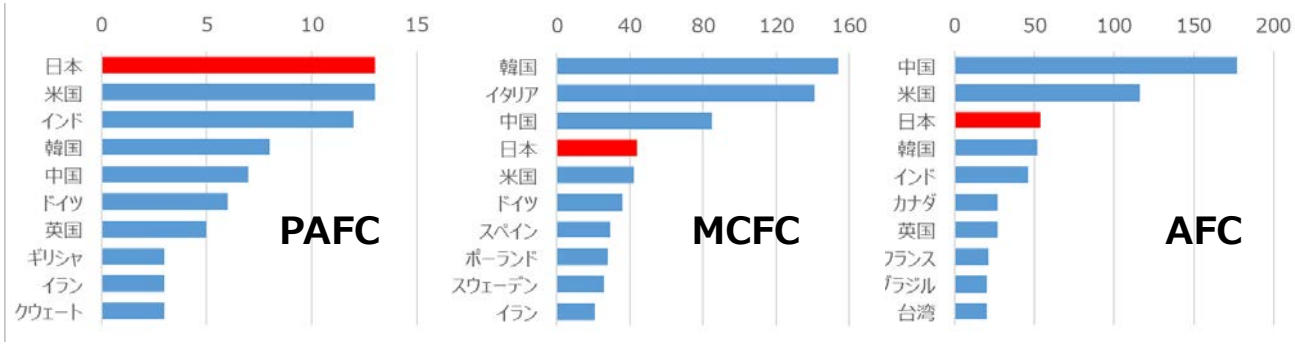
■ 種類別の文献数の年次推移

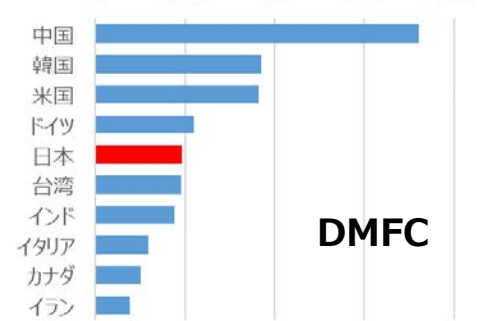


■ 国別順位（累積文献数上位5ヵ国）



- 論文数の伸びは全体的に落ち着き傾向。研究開発としてはSOFCが主流。
- 日本はいずれの種類でも上位に位置している。





Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

論文数動向からみる研究開発動向：燃料電池

■ 燃料電池全体、SOFC、PEFC、DMFCにおける日本の文献数上位10機関

全体

機関名	文献数
産業技術総合研究所	547
九州大学	372
東京工業大学	357
東京大学	304
東北大学	245
京都大学	242
山梨大学	197
JST	183
名古屋大学	172
NIMS	171

SOFC

機関名	文献数
産業技術総合研究所	173
九州大学	109
東京大学	90
京都大学	56
東京工業大学	46
東北大学	42
名古屋大学	35
東京ガス	28
ファインセラミックスセンター	27
NIMS	21

PEFC

機関名	文献数
九州大学	60
東京工業大学	50
山梨大学	40
産業技術総合研究所	30
横浜国立大学	25
電気通信大学	21
北海道大学	20
高輝度光科学研究センター	20
東京大学	20
早稲田大学	20

DMFC

機関名	文献数
群馬大学	33
産業技術総合研究 所	19
早稲田大学	15
JST	13
東京工業大学	12
長岡科学技術大学	11
静岡大学	11
山口大学	11
信州大学	7
JAEA	6

- 文献データベース：Web of Science Core Collection
- 対象期間：2000年～2019年
- ドキュメントタイプ：Article、Review、Early Access
- その他：「Web of Scienceの分野」でエネルギー関連分野に絞り込み

Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

【参考資料】

Copyright © 2020 CRDS All Rights Reserved.

共創の場形成支援 本格型（環境エネルギー分野）取組内容概要

- 産学官が共同し、蓄電池の新材料探索・電池設計、電池特性に係る基礎的な課題の解決や環境にやさしい蓄電池の開発等を行い、世界で勝ち続ける“令和の次世代蓄電池”の実現を目指す
- 拠点内に、産業界とアカデミアからなる「産学官共創会議」を設置し、それぞれのニーズや課題意識を共有するとともに、産学官が共同して研究開発課題を検討

他事業とも連携した研究開発を実施

JST ALCA-SPRING（2013-2022）

従来の電池の10倍のエネルギー密度、10分の１のコストの次世代蓄電池の開発
これまでに、車載用として電池種を4つに絞り込み、2022年に橋渡しを目指しており、次世代が現実になりつつある

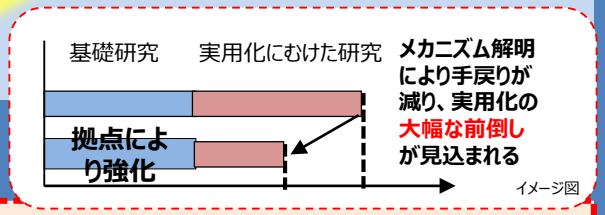
課題や研究成果の共有

他府省庁における蓄電池開発プロジェクト

課題や研究成果の共有

課題や研究成果の共有

基礎から実用化までの研究の一体的な推進



共創の場形成支援

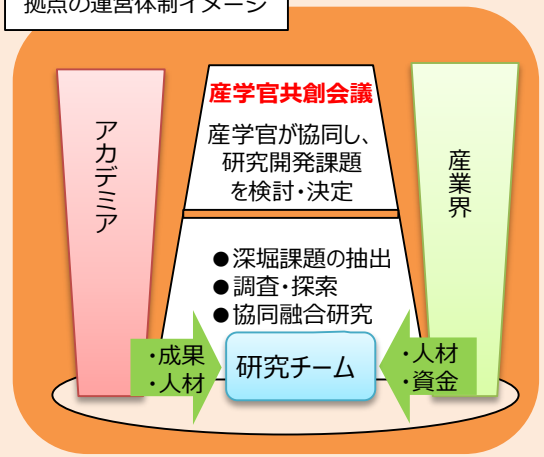
産学官が共同して、我が国が世界で勝ち続ける
“令和の次世代蓄電池”のための研究開発

取組内容例：

- アカデミアで創出された電極/電解質の新材料探索、新電池システム設計
- 論理・シミュレーション研究とオペランド観察の融合による電極・電解質の分解反応等の電池の劣化メカニズム解明による実用化の前倒しと、これに基づく新たな電池設計
- EVや電動航空機の特性にあった電池の開発
- 無害な材料選定、リサイクルやリユースなどLCA（ライフサイクルアセスメント）の結果を踏まえた環境にやさしい蓄電池の開発
- 基礎研究と実用化をつなぐ人材の育成

に取り組む

拠点の運営体制イメージ



パワーエレクトロニクス等の研究開発の在り方に関する検討会　中間まとめ（概要）

本年３月、文科省研究開発局に、パワーエレクトロニクス（GaN等の次世代半導体研究を含む。以下「パワエレ」という。）等の研究開発について、現状と今後の技術的課題を網羅的に整理し、2021年度以降に行うべき基礎基盤的な研究開発の方向性について議論する検討会を設置（主査：大森達夫三菱電機株式会社開発本部　主席技監）

【開催状況】 第１回：４月8日、第２回：４月15日、第３回：４月27日、第４回：５月15日（オブザーバー：内閣府、経産省、環境省）

現状分析と進むべき方向性

＜今起こっていること＞

•世界の通信データ量増に比例して、IT関連機器の消費電力も年々増加。
•新型コロナウイルス対応や５G普及で、さらに加速する見込み。
•EVなどのモビリティやロボット、電力ネットワークの電動化・デジタル化が進展。

＜これからの課題＞

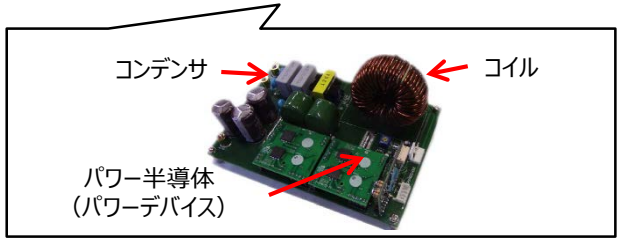
- 電力需要とともに**電力損失の総量が増加**。
- 世界のIT関連機器の消費電力は、2030年には2016年の約30倍以上となり、現在の世界の発電量を大幅に上回る可能性。
- **様々な新しいアプリケーション**を実現する電力制御技術の開発が必要。

- あらゆる機器の**超省エネ・高性能化**し、**イノベーションの鍵となる技術がパワエレ。**
- **SiC、GaN等の次世代半導体**の導入により、**大幅な省エネ・小型化**が現実化。
- 他方で、次世代半導体に対応した、**パワエレ回路システムやパワーデバイス、受動素子等の最適開発が不十分。**

次世代半導体を用いたパワエレ技術に関して、**パワエレ回路システム、パワーデバイス、受動素子等の一体的な研究開発体制**を構築し、**基礎基盤研究を実施**することにより、実用化に向けた研究開発を加速する。

※パワーエレクトロニクス（パワエレ）とは？

半導体を中心とした回路システムにより、交流→直流など効率よく電力変換する技術。
身の回りのあらゆる電力機器に用いられている。



アクションプラン（骨子）

革新的パワエレ技術

（１）パワエレ回路システム
次世代半導体を用いたデバイスを用いて、AIを活用した回路システムのデジタル制御や積層集積化など、**従来よりも超省エネ・小型**（高電力変換効率・高パワー密度の向上）**なパワー制御技術**の原理実証を行う。

（２）パワーデバイス
GaNのｐ型イオン注入に必要な超高圧雰囲気の低圧化や界面におけるチャネル移動度の向上等を目指した研究開発などを進め、**GaNの優れた材料特性を実現するパワーデバイス**を開発する。

（３）受動素子・実装材料
パワエレ用途に最適な低損失な**新たな磁性材料**やコンデンサの**誘電体**とこれらの**性能の評価技術**、高温動作にも対応した新たなセラミックスや樹脂材料、ノイズ抑制材料を開発する。

（４）次々世代技術
次々世代技術として有望と考えられる研究開発課題について、パワエレ応用を前提とした研究開発により、**技術の確立や優位性評価への見通し**を付ける。

研究開発体制／その他

- 各研究間の**交流の場の形成**や、進捗に応じて研究体制を柔軟に変更できる仕組みを設定。
- 文科省では、**学理究明などアカデミア主体の基礎基盤研究開発**を行い、関係府省庁との密な連携の下、その**成果を円滑に関係府省庁が行う研究開発プロジェクトや企業が主体となった研究開発**につなげる。
- 各研究の連携を支援するとともに、**諸外国の研究動向をリアルタイムで調査**し、日本が他国に勝る戦略を検討する体制を整備する。

未来社会創造事業（大規模プロジェクト型）研究開発課題

「磁気冷凍技術による革新的水素液化システムの開発」（物質・材料研究機構）

背景と課題

液体水素

- 気体水素の1/800の体積
- 大量輸送、大量供給、大量貯蔵、省スペース、超高純度の特長
- 高効率電力貯蔵や送電の冷媒としても有効

液体水素供給の課題

- 水素基本戦略（2030年における水素消費量30万コスト30円/Nm³）の実現には、液体水素のサプライチェーンにおける2つの研究開発課題の解決が必須

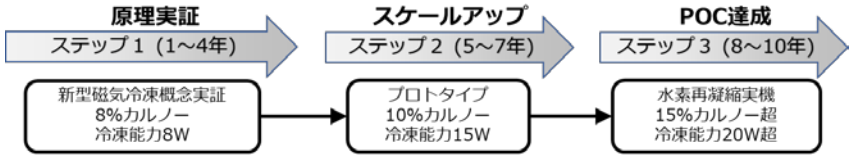
研究開発体制と開発ステップ

磁気冷凍、極低温冷凍機、材料製造、物性評価、水素脆性研究に実績のあるオールジャパンの体制
NIMS、日本イットリウム、前川製作所、金沢大、大島高専（参画機関）
九州大学、京都大学、産総研、中部電力、東芝、岩谷産業、住友重機械（連携・協力機関）

POC1：液化効率50%以上、液化量100kg/day以上を実現する中・大型高効率水素液化機

高液化効率と大冷凍能力とを両立させる水素液化コア技術の確立

POC2：液化水素ゼロボイルオフを目指した小型・省電力な冷凍機



磁気冷凍機と小型GM冷凍機を組み合わせ、小型・省電力な再凝縮冷凍システムを開発

低炭素社会戦略センター

イノベーション政策立案に向けたゼロエミッション技術・システムの定量的評価

LCS

＜第２回WGテーマと関連するLCSの政策提案書の俯瞰＞

	展望・シナリオ・ロードマップ	経済性・コスト・市場性	個別技術課題
水素・エネルギーキャリアの製造・利用	カーボンフリー水素の経済性とCO2排出量	石炭ガス化による水素、アンモニアの経済性とCO2排出量 小規模型カーボンフリー水素・NH3製造技術に向けた新規プロセス	アンモニア直接燃焼によるガスタービンシステム
蓄電池システム	蓄電池システム ー要素技術の構造化に基づく定量的技術シナリオと科学・技術ロードマップ	蓄電システムの経済性 各種蓄電池システムの効率・コスト試算 新型LiB(高容量化活物質利用) Li-S電池 Li空気電池 レドックスフロー電池システム 硫化物系全固体リチウムイオン電池	Li-S電池を実現するための硫黄/炭素複合材料の設計 LiBのエネルギー密度向上の可能性
次世代・次次世代半導体	GaN系半導体デバイスの技術開発課題と応用の展望	GaN結晶・基板製造コスト GaNパワーデバイス製造コスト GaN系半導体デバイスの市場規模と省エネルギー効果	酸化ガリウムの電子デバイス応用・実用化に向けた技術開発課題
固体酸化物形燃料電池(SOFC)システム	固体酸化物形燃料電池システム ー要素技術の構造化に基づく定量的技術シナリオと科学・技術ロードマップ 将来の電源構成におけるSOFCの役割と技術開発課題 水素製造におけるSOFC・PEFCの役割	中・大型機SPFC製造コスト評価と技術開発課題 SOFCのセルデザイン及び新型燃料電池の包括的評価 高温水蒸気電解の技術及びコスト評価	固体高分子型燃料電池用非白金触媒の特徴と課題 SOFCの水蒸気電解への適用と技術開発課題