

3.1.E 環境・エネルギー分野

3.1.E1 電力のゼロエミ化・安定化

3.1.E1.1 火力発電

領域の定義

本領域は、石油・石炭・天然ガス（LNG）・廃棄物などの燃料の燃焼熱エネルギーを電力へ変換する火力発電に関する研究開発動向を含む領域である。今後も依然として重要な役割を果たすと考えられる天然ガス火力発電と石炭火力発電のほか、カーボンニュートラルなバイオマス火力発電、カーボンフリー燃料として注目が集まる水素、アンモニア火力発電等の二次燃料に係る研究開発動向を主な対象とする。脱炭素化に向けた発電に関するより新しい科学技術動向も含める。

ポイント

- ・ エネルギー源の転換が指向される中において、中国、インドなど電力需要の高まる国で論文数、論文執筆者数とも増加傾向にあるが、先進国では維持もしくは減少している（図3.1-E1.1-1、図3.1-E1.1-3 c））。
- ・ Top 論文数や論文数上位機関、h5-indexの上位研究者数などは、論文数の増加に対応して、中国で増加しているものの、突出した国、機関は見られなくなっている（図3.1-E1.1-2）。
- ・ 論文数の多い中国、米国は多くの国との共著率が高い傾向が見られている。日本の共著先も同様である。（図3.1-E1.1-3 a））
- ・ 特許ファミリー件数は中国に次いで韓国で増加しているが、米国、日本、ドイツでは安定した推移を見せている。これに対応するように Patent Asset Index も推移しており、中国の評価が高くなっている。（図3.1-E1.1-4）
- ・ Patent Asset Index の上位オーナーには日本、米国の発電設備関連メーカーが多いが、中国からは研究機関も上位にランキングされている（図3.1-E1.1-4 e））。

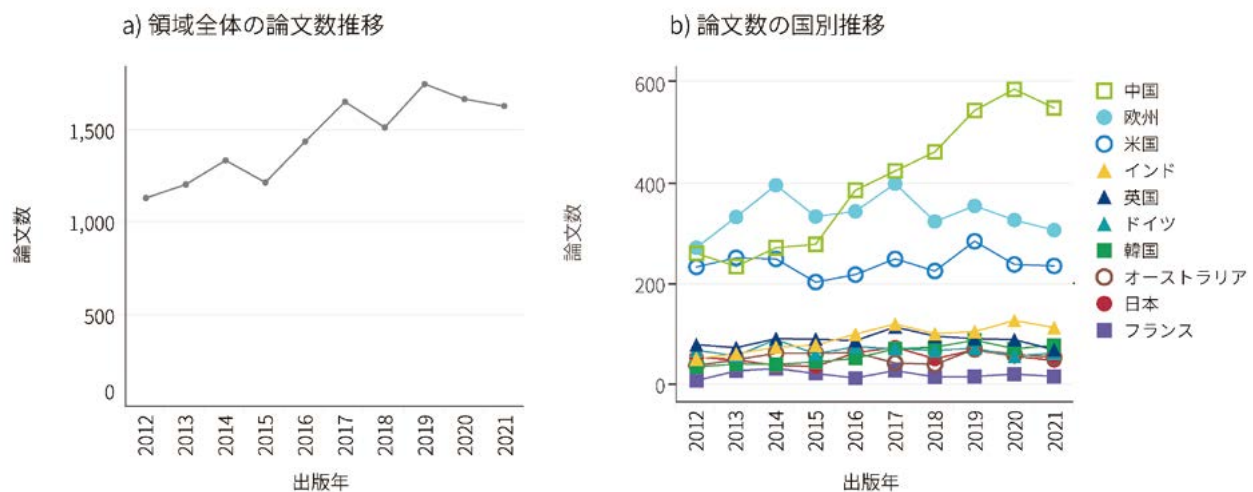


図3.1-E1.1-1 火力発電領域における論文数の動向①

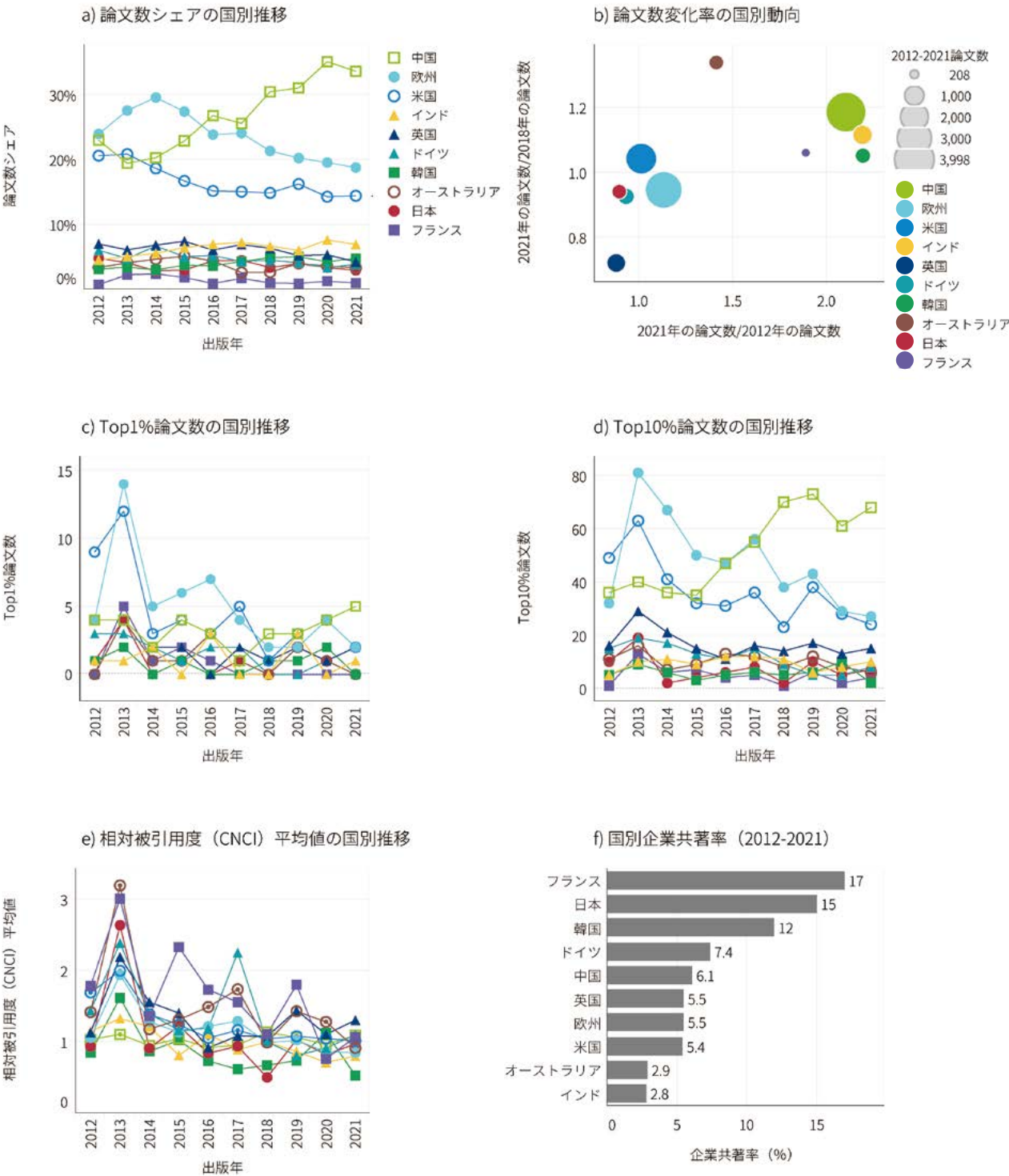


図 3.1-E1.1-2 火力発電領域における論文数の動向②

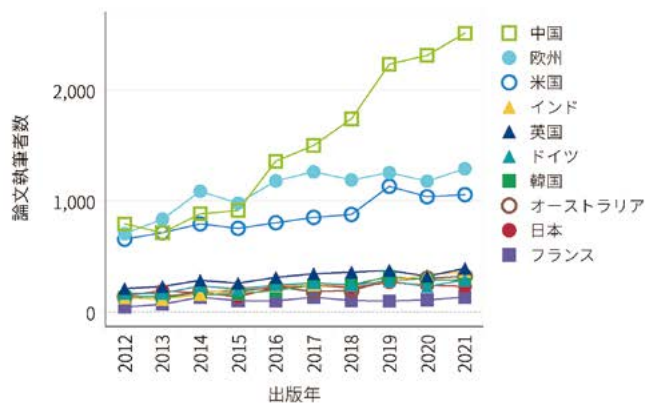
a) 各国間の共著率（2012-2021）

(%)	中国	米国	インド	英国	ドイツ	韓国	オーストラリア	日本	カナダ	フランス	論文数 (件)
中国	\	9	0.27	4.1	0.77	0.67	3.6	1	2.4	0.45	4,024
米国	15	\	2	3.6	2.3	1.8	1.6	1.5	2.8	1.1	2,395
インド	1.2	5.1	\	1.3	1.4	1.4	1.6	0.96	1.4	0.53	940
英国	19	9.7	1.4	\	4.6	1.2	2.8	1.5	2	2.4	889
ドイツ	4.5	7.8	1.9	5.9	\	1.5	1.9	2.3	1.9	3.5	690
韓国	4.5	6.9	2.2	1.8	1.7	\	1.7	1.8	1.2	0.83	605
オーストラリア	26	7.1	2.7	4.5	2.4	1.8	\	1.6	1.8	0.54	551
日本	7.7	6.6	1.6	2.4	2.9	2	1.6	\	0.73	0.91	548
カナダ	20	14	2.7	3.7	2.7	1.4	2	0.82	\	1.4	490
フランス	8.7	13	2.4	10	12	2.4	1.4	2.4	3.4	\	208

b) 論文数上位機関（世界上位10機関+日本1位機関、2012-2021）

研究機関	国	ランク	論文数	Top1%論文数	Top10%論文数
North China Electric Power University	中国	1	664	1	74
Tsinghua University	中国	2	298	8	73
Xi'an Jiaotong University	中国	3	221	5	38
Huazhong University of Science & Technology	中国	4	202	1	27
Zhejiang University	中国	5	196	3	24
Southeast University - China	中国	6	171	0	21
Helmholtz Association	ドイツ	7	124	2	23
University of Chinese Academy of Sciences, CAS	中国	7	124	2	19
Norwegian University of Science & Technology (NTNU)	ノルウェー	9	109	4	21
China University of Mining & Technology	中国	10	107	1	20
Central Research Institute of Electric Power Industry - Japan	日本	41	56	0	10

c) 論文執筆者数の国別推移



d) h5-index上位100位内研究者数（2017-2021）

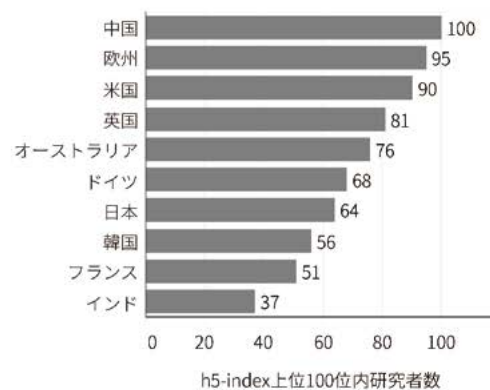


図 3.1-E1.1-3 火力発電領域における論文数の動向③

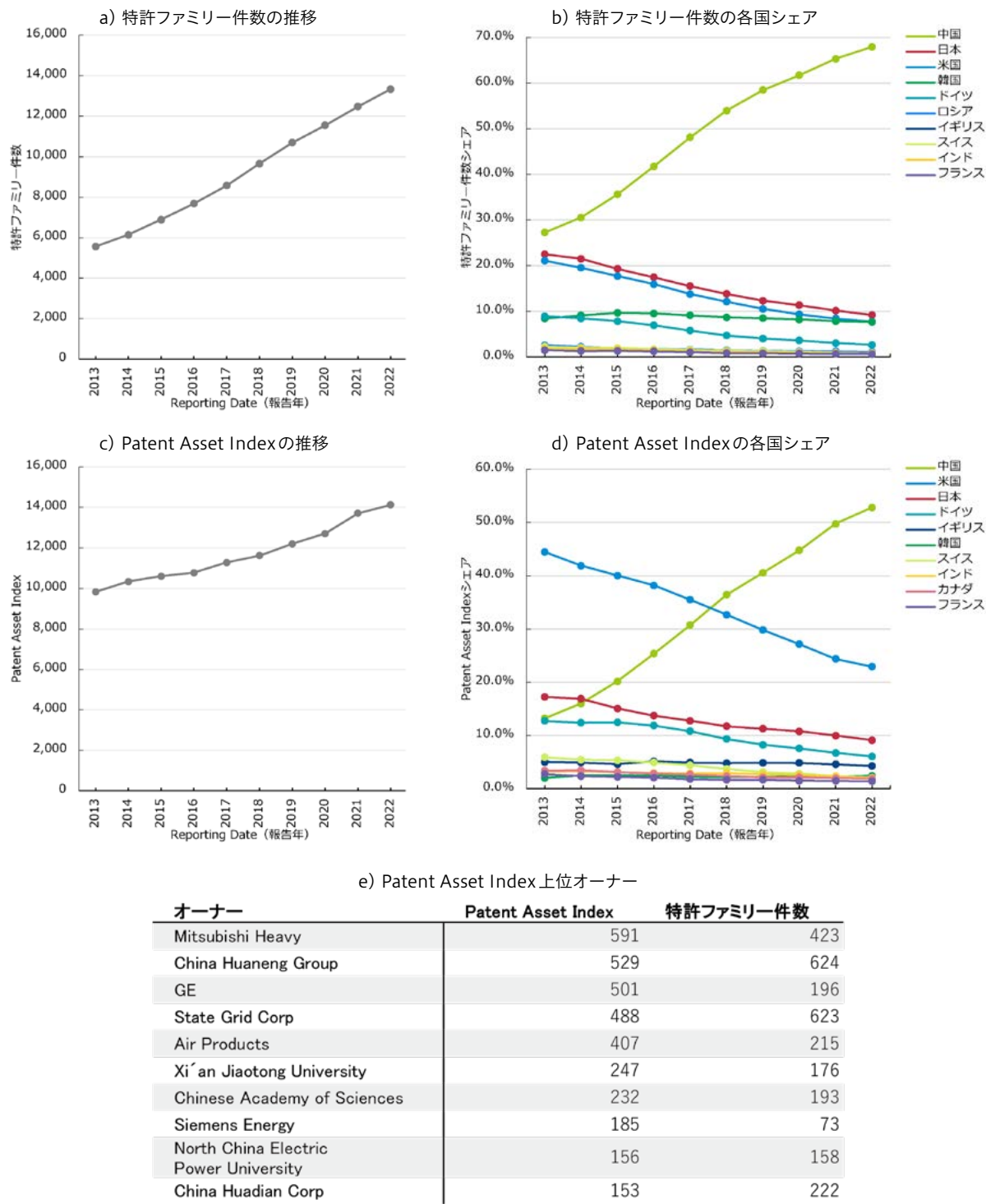


図 3.1-E1.1-4 火力発電領域における特許数の動向

3.1.E1.2 原子力発電

領域の定義

原子力を利用した発電に関する新しい切り口からの研究アプローチや、新しい手法・技術の導入等に係る動向を含む領域である。以下の4領域を対象とする。

- ①新型原子炉：第4世代原子炉、将来の原子力エネルギーシステムや核燃料技術など
- ②核融合炉：核融合炉工学に関する材料、機器、システム設計、国際熱核融合実験炉プロジェクトの動向など
- ③原子力安全：制度面を含めて安全上の研究開発を幅広く対象とし、検査制度、安全性向上、リスク評価/安全評価、事故時の影響低減、シビアアクシデント対応、緊急時対応、ヒューマンファクターなど。
- ④使用済燃料等の処理・廃止措置：使用済燃料・放射性廃棄物の再処理・リサイクル技術、廃止措置および安全評価など

■原子力（①新型原子炉、③原子力安全、④使用済燃料等の処理・廃止措置）

ポイント

- ・近年、エネルギー安全保障や脱炭素に向けて原子力政策を見直した国もある。論文数では統計データの範囲において中国、インド、ロシア、韓国で増加傾向にあるが、それ以外は停滞もしくは減少している。（図3.1-E1.2.1-1）
- ・各国間の共著率では米国との共著率が高くフランスがそれに次いでいる。日本も米国との共著率が高い。日本との共著率は低くないものの、主要な相手国とはなっていない。（図3.1-E1.2.1-3 a）
- ・論文数の上位機関は大学よりも日本のJAEA、フランスのCEA、韓国のKAERIなど専門の研究機関が占めており、本領域の特殊性がみられる（図3.1-E1.2.1-3 b）。
- ・特許ファミリー件数では調査範囲の初期において日本が1位であったが、中国、韓国が他国と比べて有意に増加し、1位、3位となっている（図3.1-E1.2.1-4）。

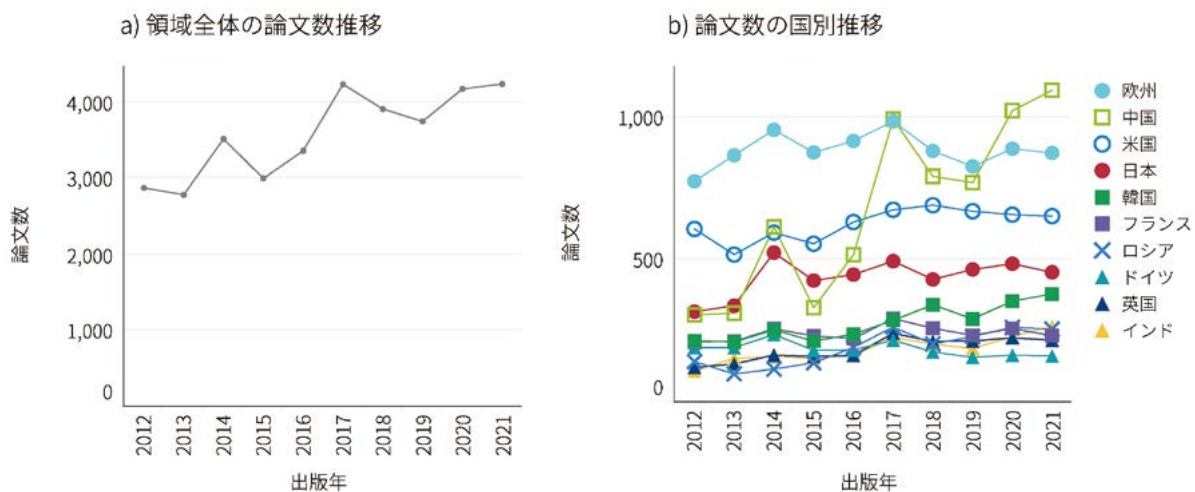


図3.1-E1.2.1-1 原子力発電（原子力）領域における論文数の動向①

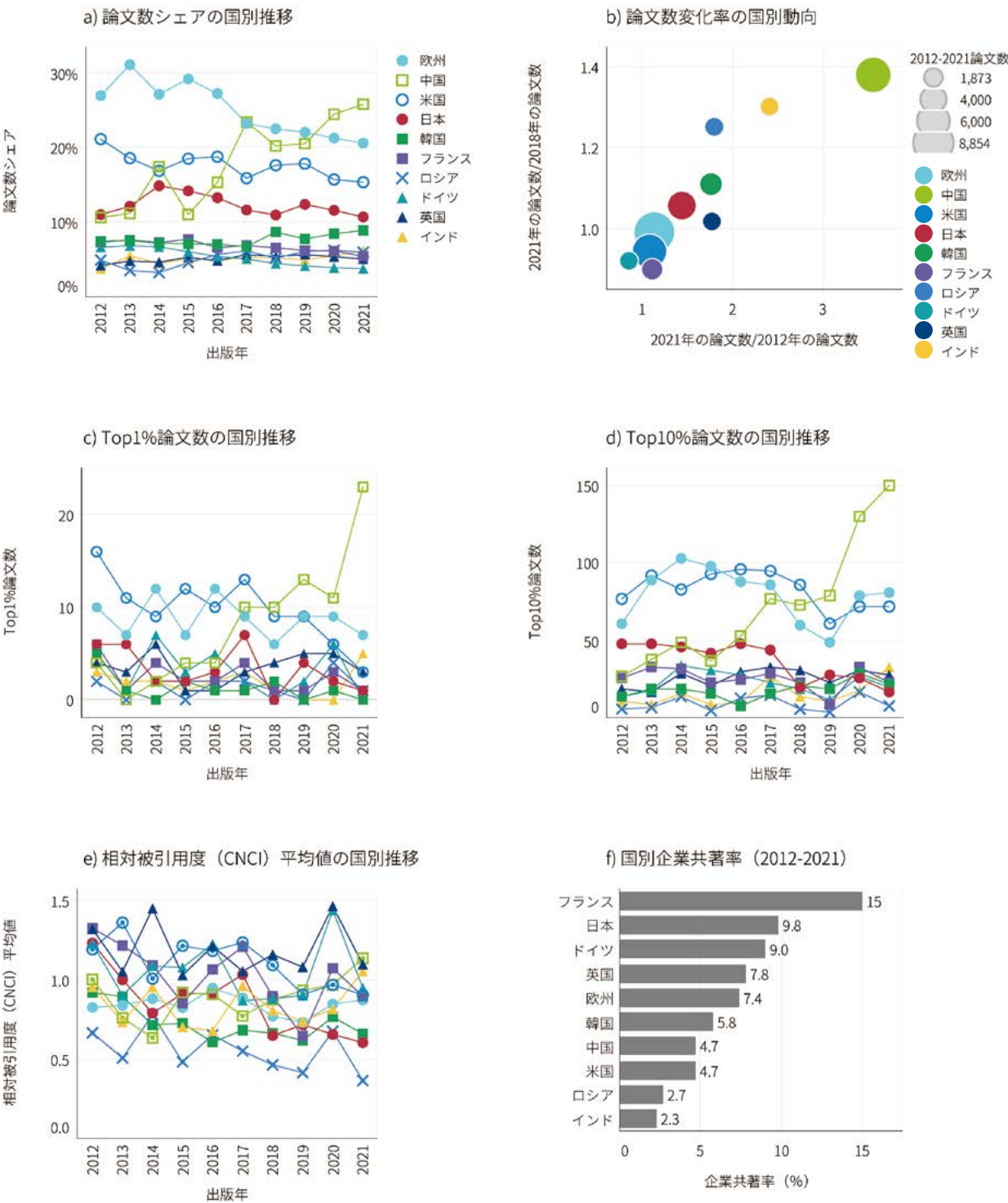


図 3.1-E1.2.1-2 原子力発電（原子力）領域における論文数の動向②

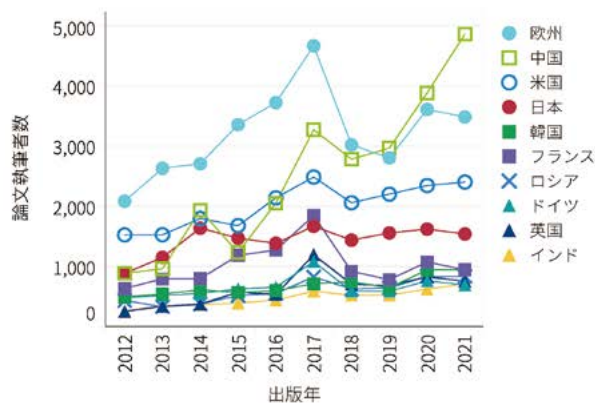
a) 各国間の共著率（2012-2021）

(%)	中国	米国	日本	韓国	フランス	ドイツ	英国	インド	カナダ	オーストラリア	論文数 (件)
中国	\	6.3	3.1	0.86	1.8	1.6	1.6	0.32	1.1	1.2	6,833
米国	6.8	\	5.1	3.6	4.2	3.3	4.1	1.4	2.8	1.4	6,266
日本	4.8	7.3	\	1.7	3.8	2.9	3.7	1	1.2	0.98	4,401
韓国	2.1	8.1	2.7	\	2.5	1.4	1.3	0.96	1	0.36	2,804
フランス	4.9	11	7	2.9	\	12	8.3	2.1	2.8	1.4	2,433
ドイツ	5.7	11	6.8	2	16	\	9.9	3.1	2.3	1.8	1,882
英国	5.7	14	8.6	1.9	11	9.9	\	3.8	3.2	3.5	1,876
インド	1.2	4.6	2.5	1.4	2.7	3.1	3.8	\	0.75	1.2	1,873
カナダ	7.1	17	5.2	2.7	6.7	4.2	5.7	1.4	\	1.5	1,038
オーストラリア	16	17	8.5	2	6.7	6.7	13	4.6	3	\	505

b) 論文数上位機関（世界上位10機関+日本1位機関、2012-2021）

研究機関	国	ランク	論文数	Top1%論文数	Top10%論文数
Japan Atomic Energy Agency	日本	1	904	10	108
CEA	フランス	2	884	12	118
Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI)	韓国	3	822	6	59
Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	フランス	4	808	15	97
Tsinghua University	中国	5	746	11	74
Universite Paris Saclay	フランス	6	673	6	81
Bhabha Atomic Research Center (BARC)	インド	7	638	1	28
Helmholtz Association	ドイツ	8	564	11	89
University of Tokyo	日本	9	557	5	48
Xi'an Jiaotong University	中国	10	515	10	80

c) 論文執筆者数の国別推移



d) h5-index上位100位内研究者数（2017-2021）

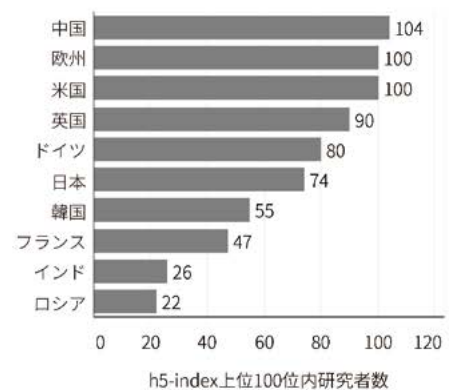


図 3.1-E1.2.1-3 原子力発電（原子力）領域における論文数の動向③

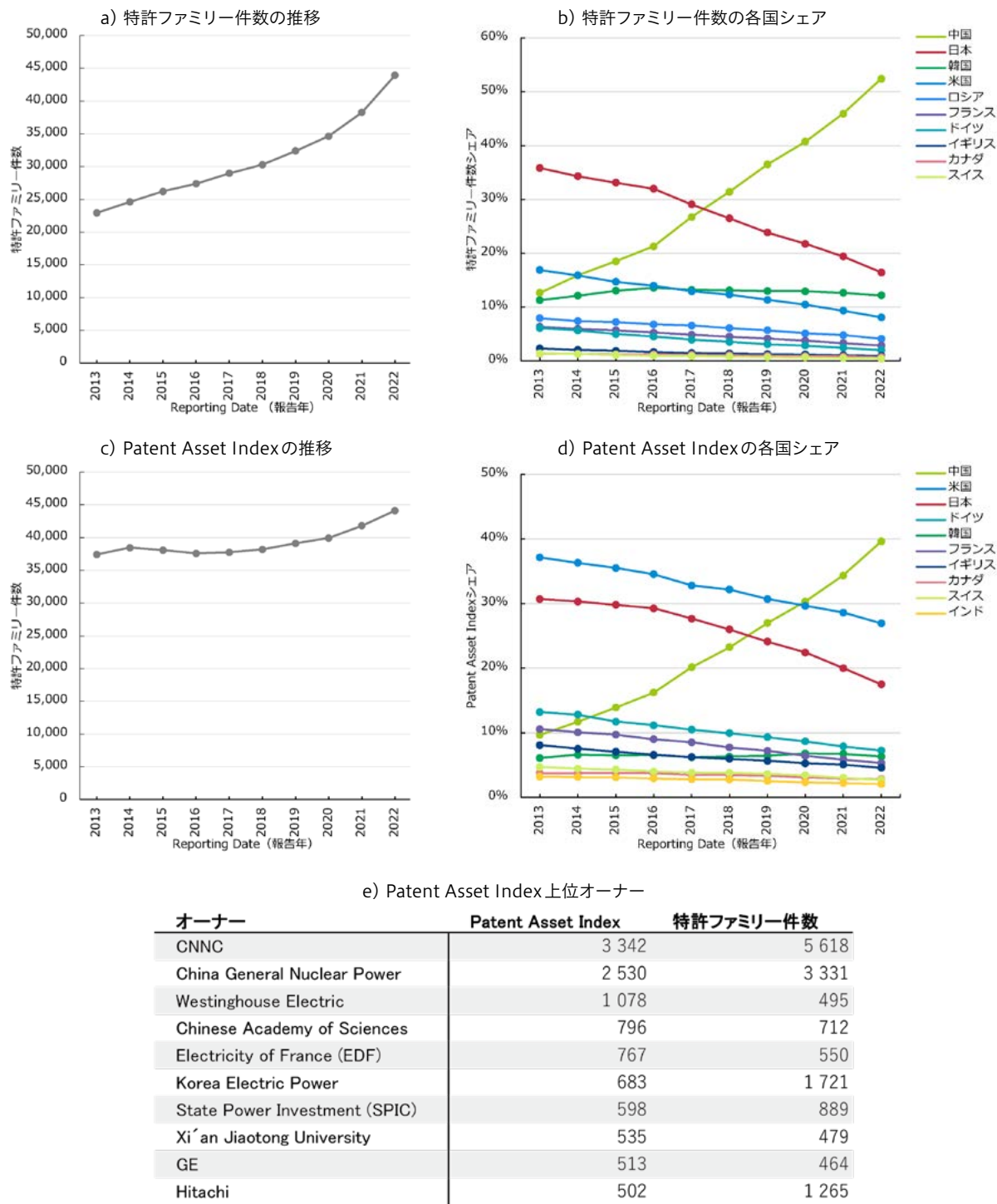


図 3.1-E1.2.1-4 原子力発電（原子力）領域における特許数の動向

■核融合（②核融合炉）

ポイント

- 論文数は各国とも緩やかな成長が見られるが、日本は2016年から積極的な論文数の増加が見られ、国別では1位となっている。中国は近年の増加が著しい。日本では核融合研究所をはじめとした取り組みや、国際会議の日本国内開催などが一つの要因とみられる。（図3.1-E1.2.2-1）
- 一方で、Top1%およびTop10%論文数では日本は欧米に比べて目立たなくなっている（図3.1-E1.2.2-1 c）、d））。
- 国別企業共著率において、日本は下位となっており、他のエネルギー関連領域とは異なった傾向を示す（図3.1-E1.2.2-2 f））。
- 各国間の共著率は他のエネルギー関連領域と比べると全般に高い傾向にある。日本は米国との共著率が高いが、欧州各国の日本との共著率は相対的に低い。（図3.1-E1.2.2-3 a））
- Patent Asset Index 上位オーナーには小型で早期の実用化を目指し、独自の開発を進めているスタートアップが多数みられる（図3.1-E1.2.2-4 e））。
- なお、論文執筆者数が欧州において2016年から2019年の間で特異に高いが、JET（欧州トーラス共同研究施設）に関して、共著者が1,000名を超える論文が含まれる影響と思われ、論文数動向と一致しない特性となっている（図3.1-E1.2.2-3 c））。

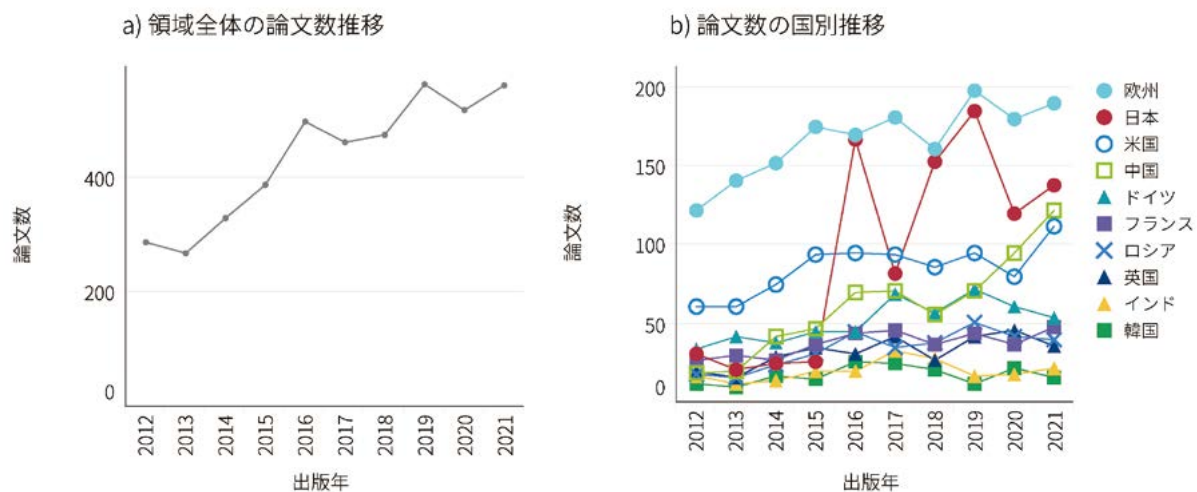


図3.1-E1.2.2-1 原子力発電（核融合）領域における論文数の動向①

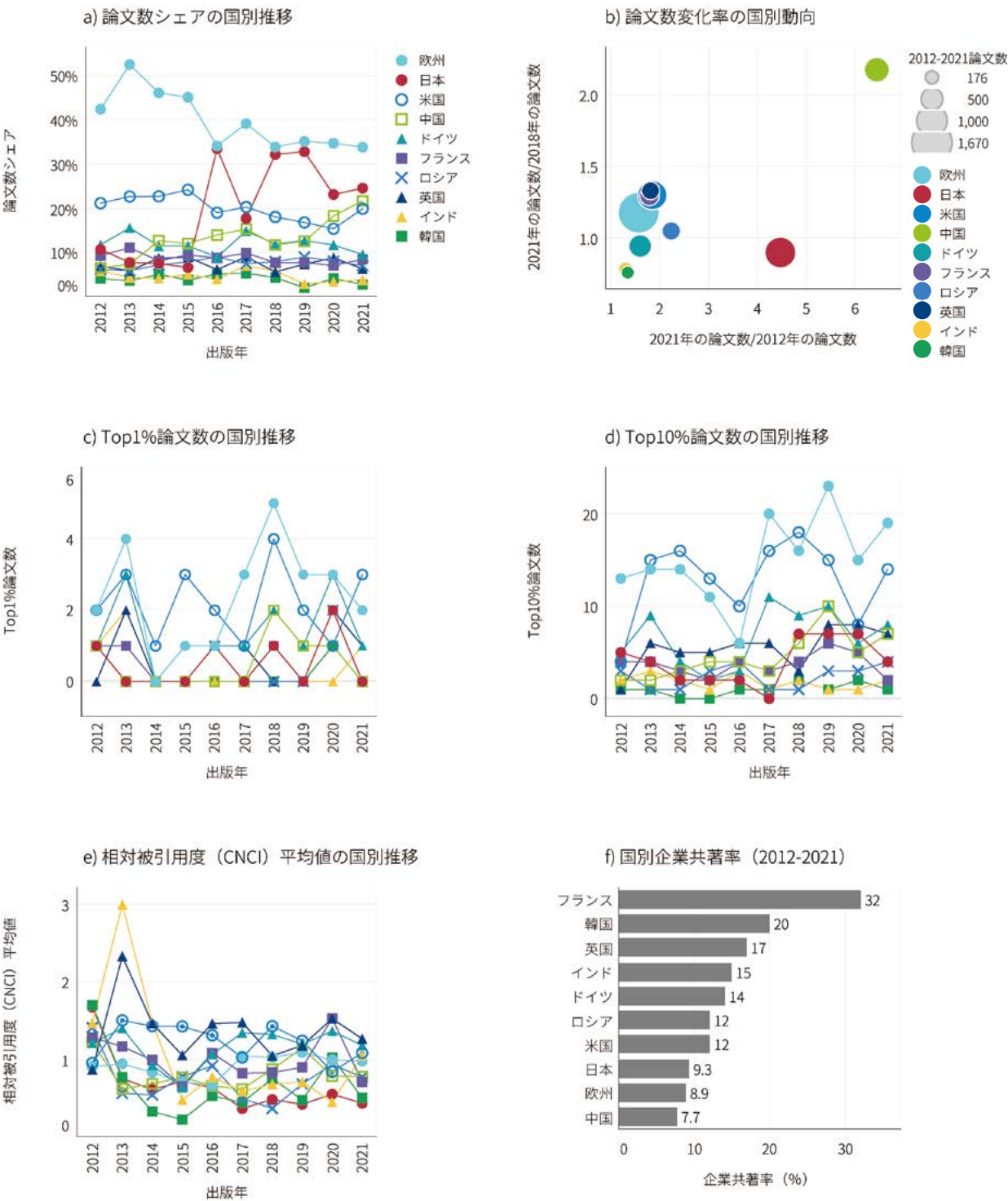


図 3.1-E1.2.2-2 原子力発電（核融合）領域における論文数の動向②

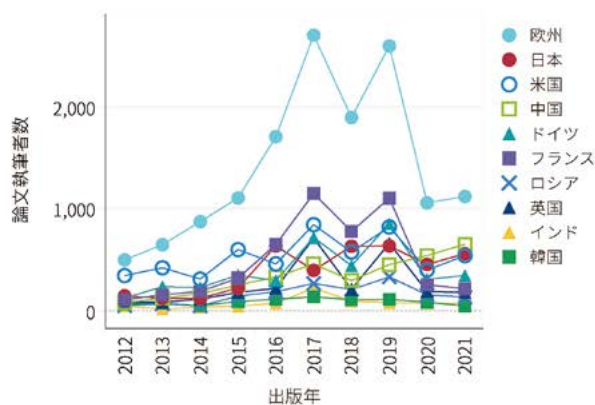
a) 各国間の共著率（2012-2021）

(%)	日本	米国	中国	ドイツ	フランス	英国	インド	韓国	オーストラリア	カナダ	論文数 (件)
日本	\	12	8	7.5	6.7	4.1	3.8	4.1	0.32	0.63	948
米国	13	\	10	11	10	10	4	4.7	2.2	2.6	853
中国	12	14	\	8.6	7.8	7.5	4.5	6.2	1.8	0.81	617
ドイツ	14	17	10	\	21	18	6.6	5	2.7	1.7	517
フランス	17	24	13	29	\	21	8	9.8	2.1	2.9	377
英国	12	27	14	28	24	\	7.4	6.8	3.4	2.2	324
インド	18	17	14	17	15	12	\	11	3.5	0	201
韓国	22	23	22	15	21	13	13	\	0.57	2.3	176
オーストラリア	4.6	29	17	22	12	17	11	1.5	\	1.5	65
カナダ	9.8	36	8.2	15	18	11	0	6.6	1.6	\	61

b) 論文数上位機関（世界上位10機関+日本1位機関、2012-2021）

研究機関	国	ランク	論文数	Top1%論文数	Top10%論文数
National Institutes of Natural Sciences (NINS) - Japan	日本	1	353	0	9
National Institute for Fusion Science (NIFS) - Japan	日本	2	349	0	9
Helmholtz Association	ドイツ	3	271	9	39
Max Planck Society	ドイツ	4	174	4	28
Karlsruhe Institute of Technology	ドイツ	5	166	5	20
CEA	フランス	6	163	2	22
Hefei Institutes of Physical Science, CAS	中国	7	160	2	11
Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	フランス	8	147	2	17
Kyushu University	日本	9	142	0	8
UK Atomic Energy Authority	英国	9	142	4	23

c) 論文執筆者数の国別推移



d) h5-index上位100位内研究者数（2017-2021）

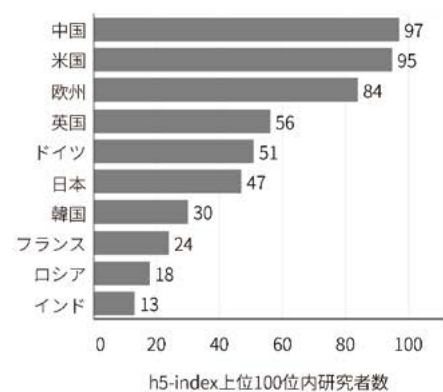


図 3.1-E1.2.2-3 原子力発電（核融合）領域における論文数の動向③

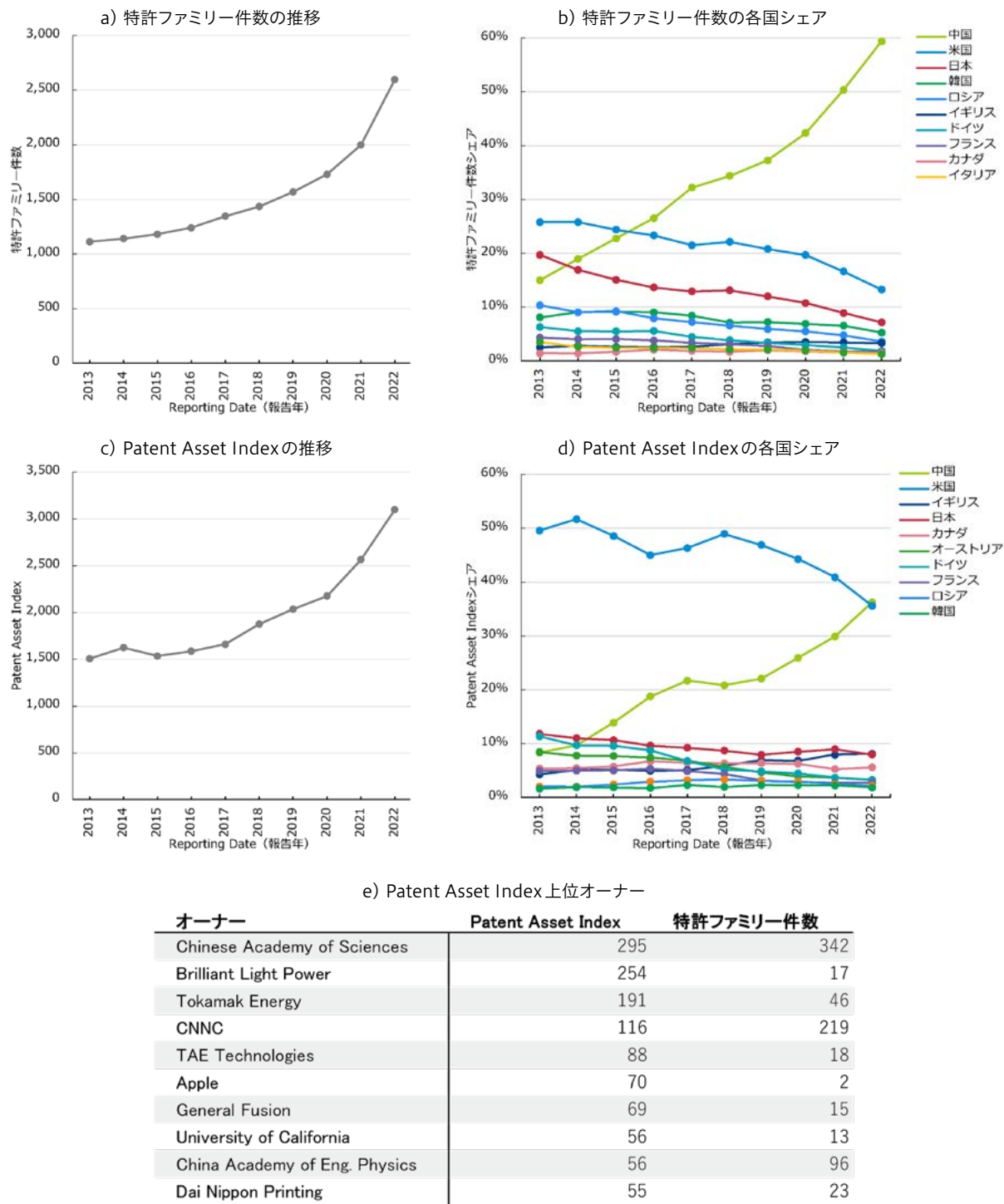


図 3.1-E1.2.2-4 原子力発電（核融合）領域における特許数の動向

3.1.E1.3 太陽光発電

領域の定義

太陽光発電に関する科学、技術、研究開発。特に発電システムとしての低コスト化、効率向上、長寿命化、従来の未利用地での利用のためのモジュール技術、大量導入のためのシステム技術、運用技術を対象とする。なおナノテクノロジー・材料分野の「N1.3次世代太陽電池」で関連した調査を行っている。

ポイント

- ・ 世界で導入が進む主たる再生可能エネルギー源であり、発電容量増加の為の研究開発が広く進められている。現状、太陽光モジュールの製造能力は中国企業が高いシェアを誇っている。
 - ・ 本領域の論文数は継続的に増加しているが、日本は論文数、執筆者数ともに減少がみられる。米国、欧州の各国においても論文数は増加していない。論文数の伸び率は中国、インドが顕著に高い。オーストラリアは、論文数は多くないものの高い伸び率を示している。（図3.1-E1.3-1 b）、図3.1-E1.3-2 a）、b）、図3.1-E1.3-3 c））
 - ・ 論文の企業共著率は日本が最も高い（図3.1-E1.3-2 f））。
 - ・ 各国間の共著率では総数が多い中国、米国との共著が多く、日本との共著は相対的に低調である（図3.1-E1.3-3 a））。
 - ・ 特許ファミリー件数シェアにおいて、2010年代初め、日本は首位であった。その後、中国が急速に台頭し、2022年時点では中国が首位、日本は韓国、米国に次ぐ4位となっている（図3.1-E1.3-4 b））。
 - ・ Patent Asset Index のシェアにおいても日本は中国、米国に次ぐ3位と順位を下げている。Patent Asset Index の上位オーナーでも中国が存在感を見せている。（図3.1-E1.3-4 d）、e））
- （注）特許検索結果には一部、太陽光発電システムと基本原理の共通する半導体素子やイメージセンサ技術が含まれる。

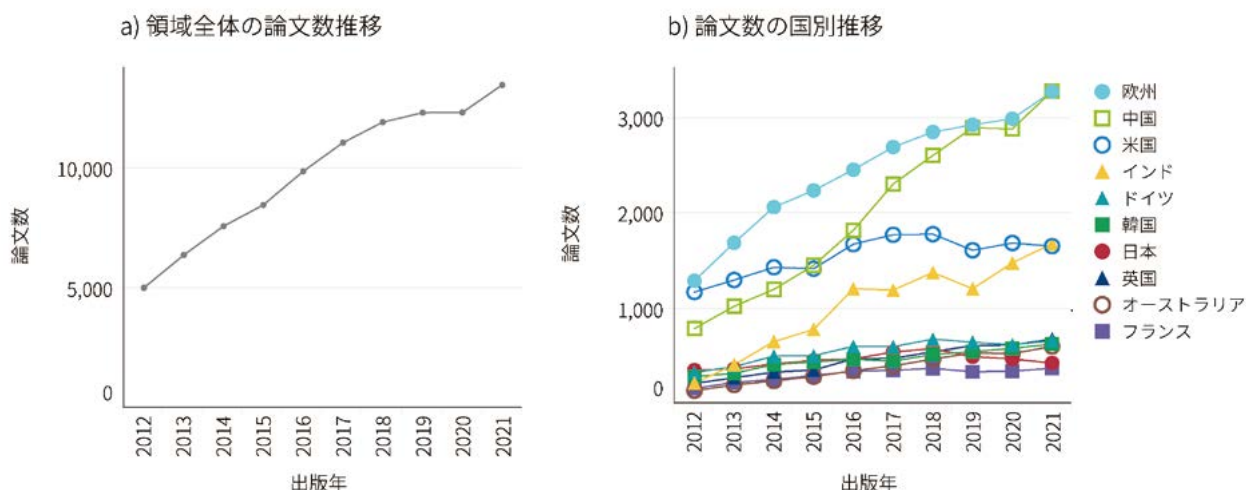


図3.1-E1.3-1 太陽光発電領域における論文数の動向①

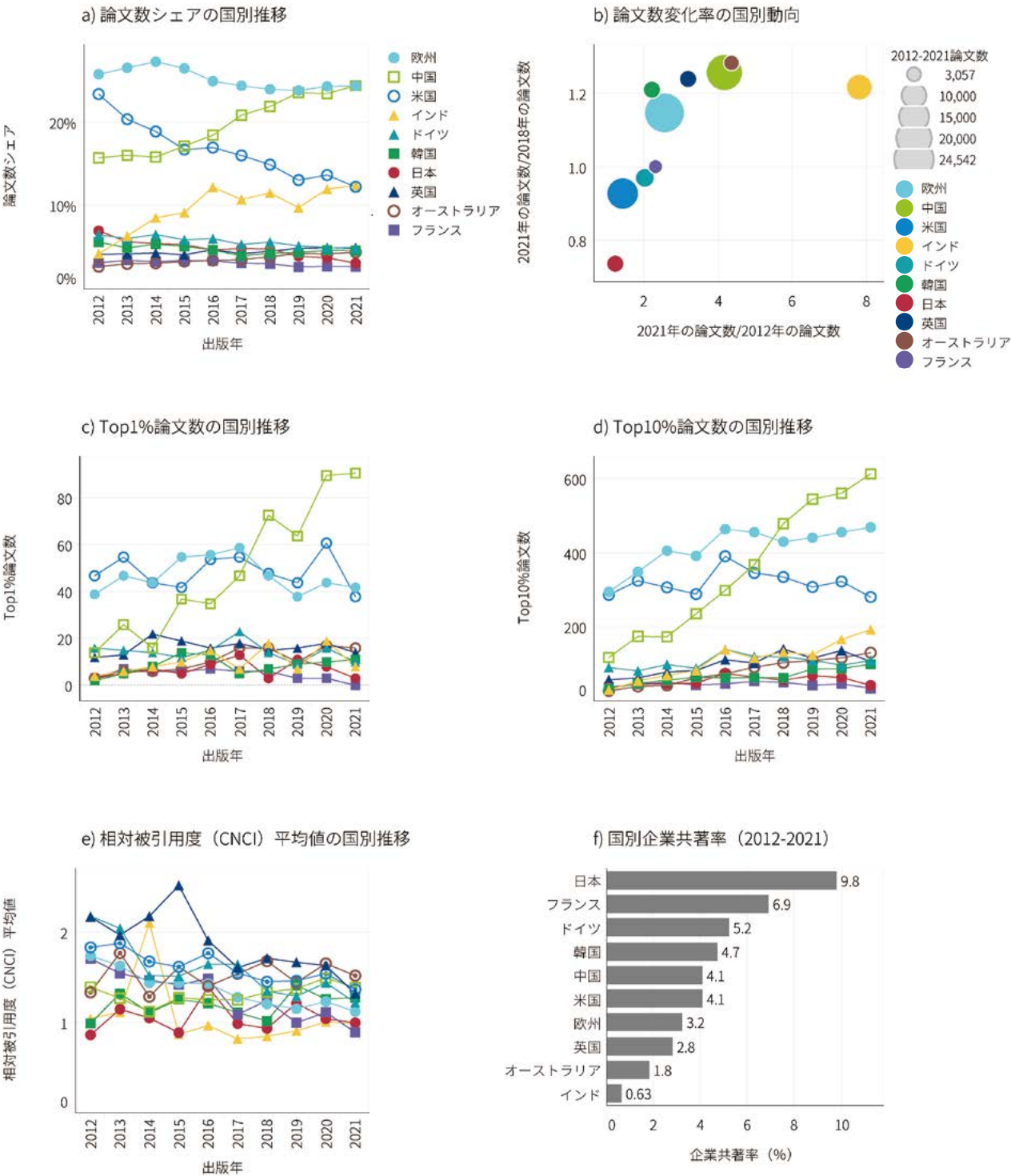


図 3.1-E1.3-2 太陽光発電領域における論文数の動向②

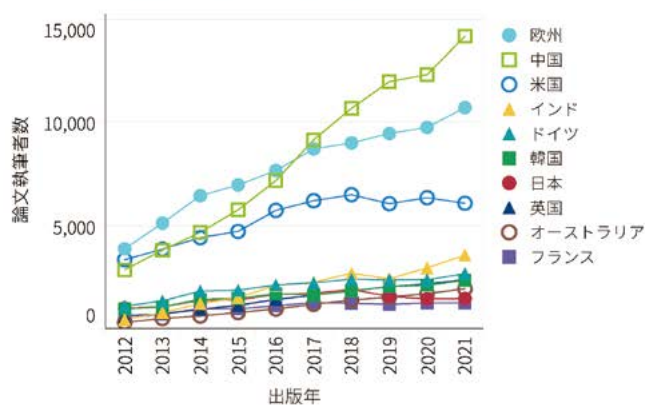
a) 各国間の共著率（2012-2021）

(%)	中国	米国	インド	ドイツ	韓国	日本	英国	オーストラリア	フランス	カナダ	論文数 (件)
中国	\	9.2	0.62	1.7	1.2	1.8	3.6	3.4	0.55	1.3	20,804
米国	12	\	2.3	3.4	3.4	2	3.1	2	1.3	1.9	15,539
インド	1.3	3.4	\	0.71	1.8	1.1	2.1	1.5	0.32	0.88	10,227
ドイツ	6.4	9.5	1.3	\	1.3	2	7.4	2.9	4.1	1.5	5,542
韓国	5.4	11	4	1.6	\	2.7	2.4	1.4	0.58	0.88	4,656
日本	8.3	6.9	2.4	2.5	2.8	\	1.9	2	1.8	0.57	4,588
英国	16	11	4.7	9	2.4	1.9	\	4.9	3.6	1.4	4,584
オーストラリア	19	8.4	4.1	4.2	1.7	2.4	6	\	1.6	1.1	3,747
フランス	3.7	6.8	1.1	7.5	0.88	2.7	5.4	1.9	\	2.6	3,057
カナダ	11	12	3.7	3.4	1.7	1.1	2.7	1.7	3.3	\	2,454

b) 論文数上位機関（世界上位10機関+日本1位機関、2012-2021）

研究機関	国	ランク	論文数	Top1%論文数	Top10%論文数
Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	フランス	1	1,530	26	228
National Renewable Energy Laboratory - USA	米国	2	1,173	47	295
Helmholtz Association	ドイツ	3	979	21	175
Indian Institute of Technology (IIT) - Delhi	インド	4	913	10	112
North China Electric Power University	中国	5	886	20	150
University of Chinese Academy of Sciences, CAS	中国	6	883	24	198
University of New South Wales Sydney	オーストラリア	7	875	32	220
Fraunhofer Gesellschaft	ドイツ	8	700	25	155
Ecole Polytechnique Federale de Lausanne	スイス	9	676	58	251
State Grid Corporation of China	中国	10	650	5	46
University of Tokyo	日本	20	519	12	91

c) 論文執筆者数の国別推移



d) h5-index上位100位内研究者数（2017-2021）

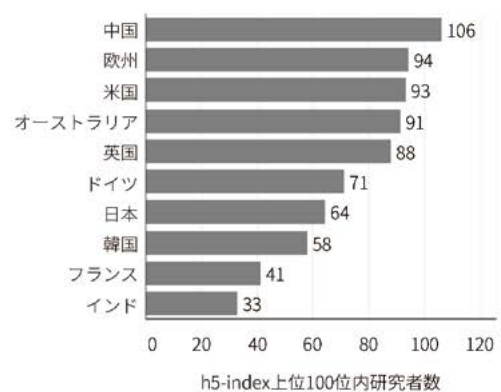


図 3.1-E1.3-3 太陽光発電領域における論文数の動向③

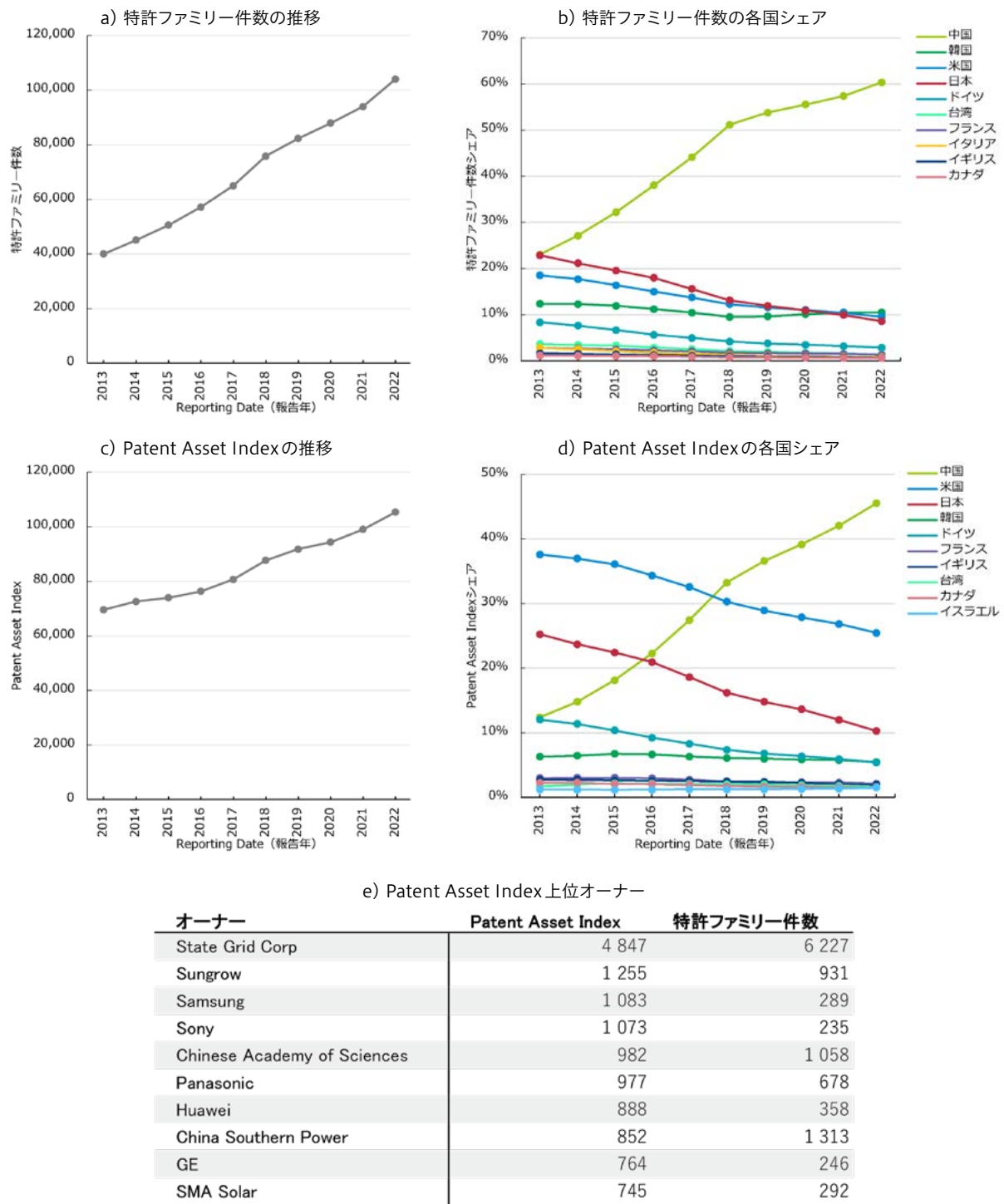


図 3.1-E1.3-4 太陽光発電領域における特許数の動向

3.1.E1.4 風力発電

領域の定義

風力発電に関する科学、技術、研究開発を含む領域である。風力発電は、風の運動エネルギーを風車（風力タービン）により回転力に変換し、発電機により電力へ変換する発電方式である。設置する場所で陸上風力、洋上風力（浮体式、着床式）に分かれる。ここでは、風力発電に係る各要素技術、出力平準化等の周辺技術などを対象とする。

ポイント

- 論文数では中国が多く米国、英国とインド、ドイツがそれに次ぐが、米国、ドイツでは近年は増加が見られない。イランが特筆する増加を見せているが、風力発電を含む電力系統が主体である。（図 3.1-E1.4-1、図 3.1-E1.4-2 b））
- 各国の共著率では中国、米国および英国の三カ国が主要な共著先となっている（図 3.1-E1.4-3 a））。
- 特許ファミリー件数は各国とも緩やかな増加傾向にあるが、論文動向と同様に中国の存在感が強くなっている。有力風車メーカーのあるデンマーク、スペインがリストに入っている。（図 3.1-E1.4-4）
- Patent Asset Index の上位オーナーでは欧米企業が多いが、中国企業も登場している（図 3.1-E1.4-4）。

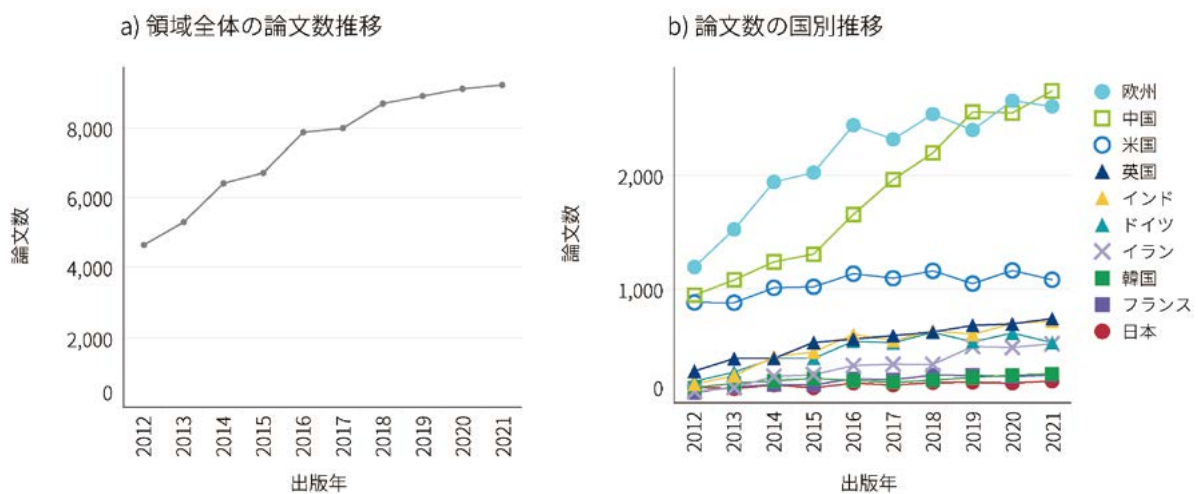


図 3.1-E1.4-1

風力発電領域における論文数の動向①

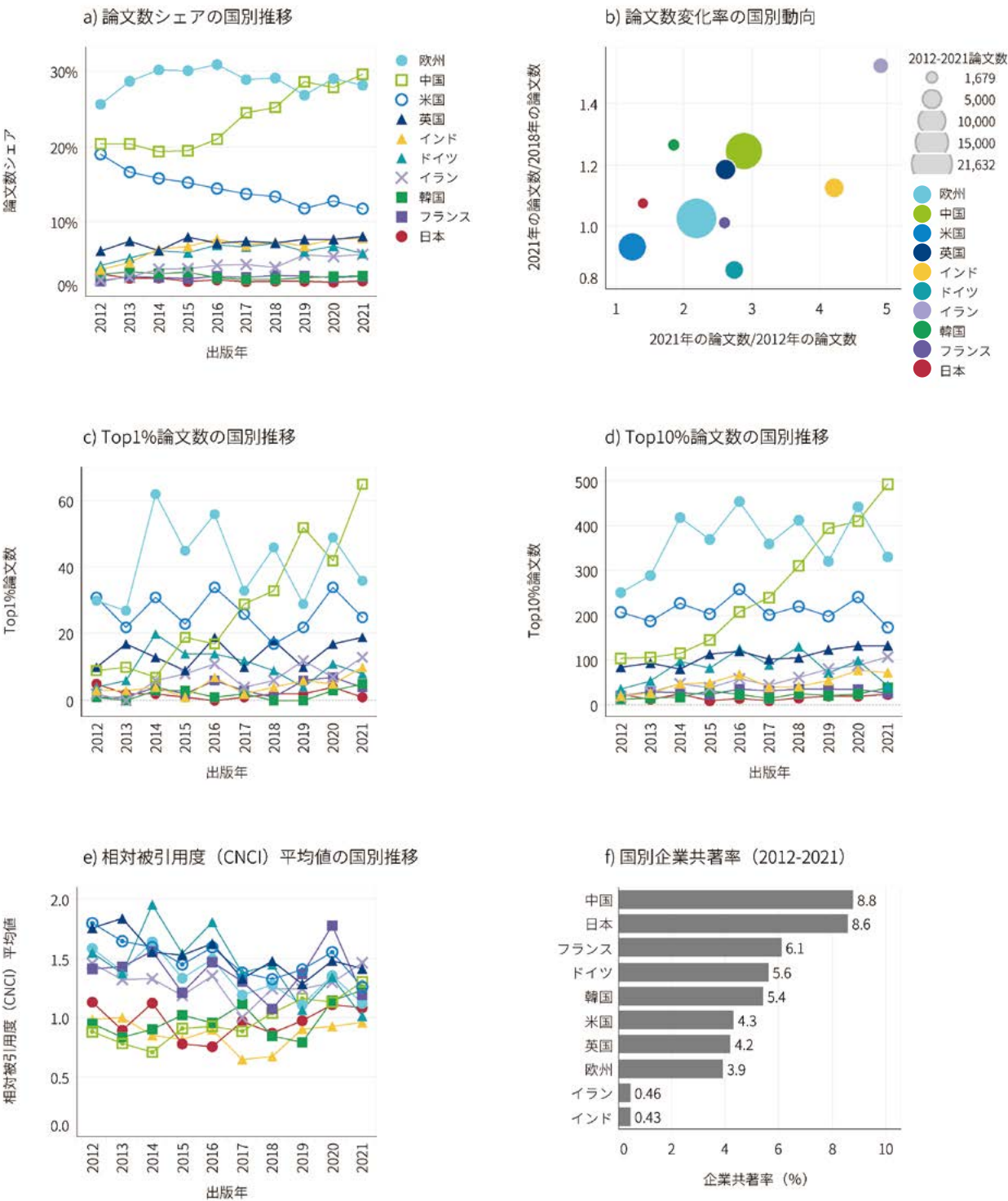


図 3.1-E1.4-2 風力発電領域における論文数の動向②

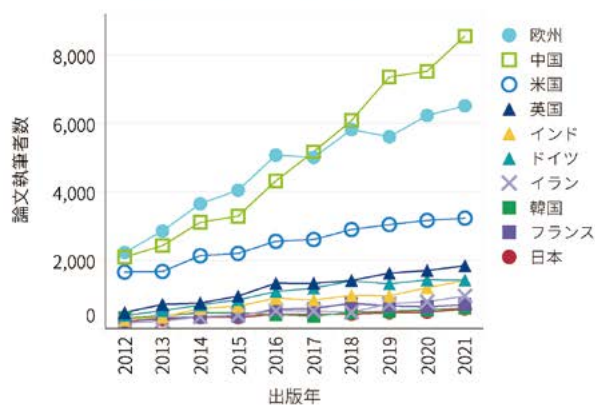
a) 各国間の共著率（2012-2021）

(%)	中国	米国	英国	インド	ドイツ	カナダ	オーストラリア	韓国	フランス	日本	論文数 (件)
中国	\	7.9	5.3	0.24	0.83	1.5	2.6	0.54	0.76	0.88	18,548
米国	14	\	3.2	0.83	3	2.7	1.5	2.2	1.4	1.2	10,518
英国	18	6	\	1	4.6	1.4	2	0.67	2.4	0.83	5,539
インド	0.88	1.7	1.1	\	0.33	0.72	1	0.61	0.41	0.43	5,115
ドイツ	3.3	6.8	5.5	0.36	\	1.7	1.3	0.62	2.2	0.73	4,672
カナダ	11	11	3	1.5	3	\	2.1	0.91	1.5	0.47	2,538
オーストラリア	21	7.1	5	2.4	2.7	2.3	\	1.3	1.3	1.7	2,240
韓国	4.8	11	1.8	1.5	1.4	1.1	1.4	\	0.86	2.2	2,083
フランス	7	7.2	6.7	1.1	5.1	2	1.5	0.9	\	1	2,000
日本	9.8	7.6	2.7	1.3	2	0.71	2.2	2.7	1.2	\	1,679

b) 論文数上位機関（世界上位10機関+日本1位機関、2012-2021）

研究機関	国	ランク	論文数	Top1%論文数	Top10%論文数
North China Electric Power University	中国	1	1,992	19	239
State Grid Corporation of China	中国	2	1,310	6	100
Tsinghua University	中国	3	1,106	21	235
Norwegian University of Science & Technology (NTNU)	ノルウェー	4	873	36	260
Shanghai Jiao Tong University	中国	5	734	8	121
Islamic Azad University	イラン	6	723	26	133
Huazhong University of Science & Technology	中国	7	693	22	161
National Renewable Energy Laboratory - USA	米国	8	689	44	220
University of Strathclyde	英国	9	670	18	132
University of Tokyo	日本	60	196	5	27

c) 論文執筆者数の国別推移



d) h5-index上位100位内研究者数（2017-2021）

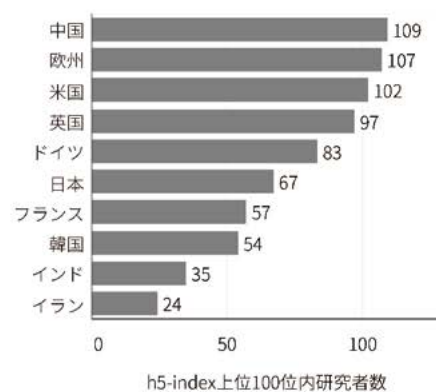


図 3.1-E1.4-3 風力発電領域における論文数の動向③

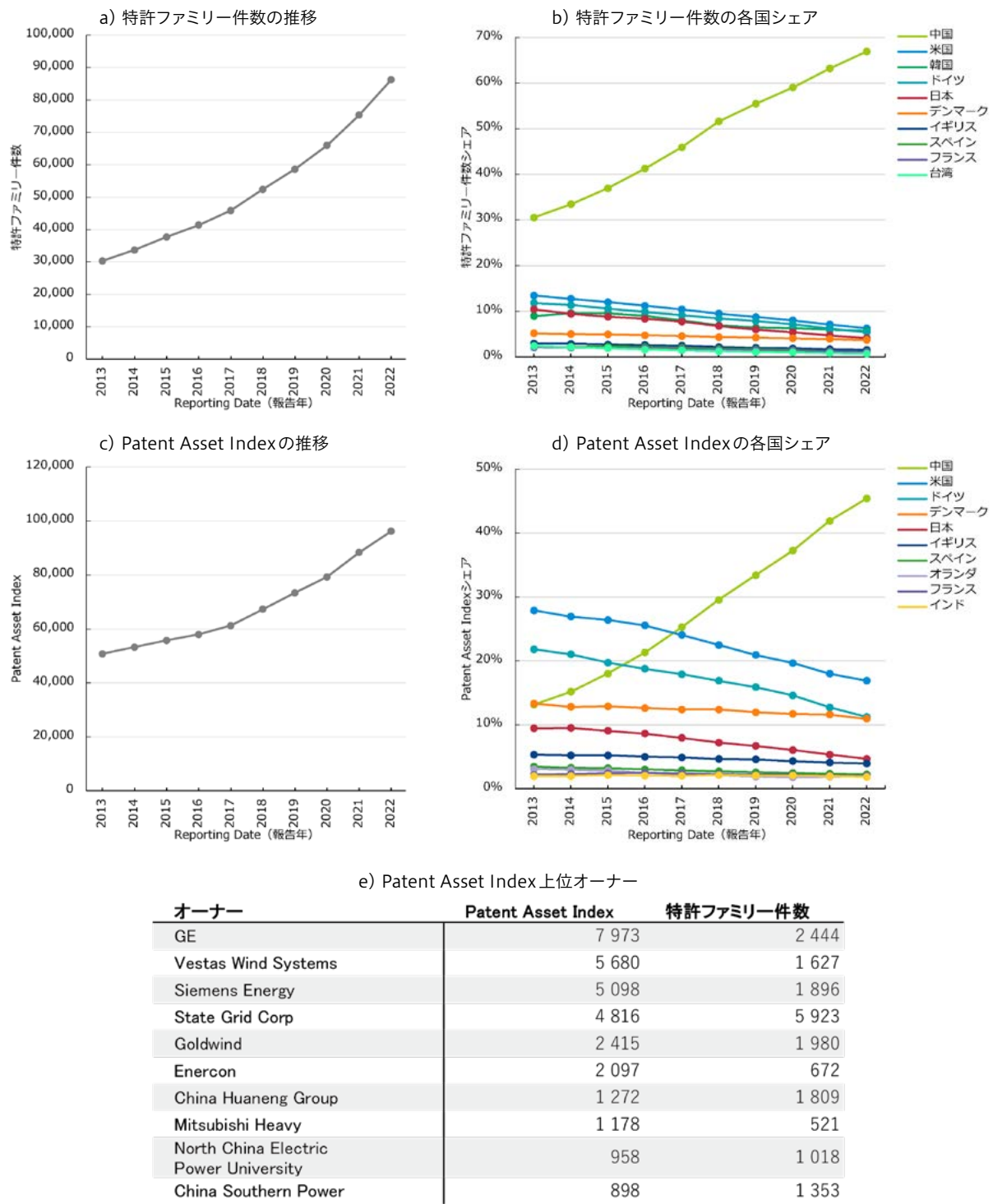


図 3.1-E1.4-4 風力発電領域における特許数の動向

3.1.E1.5 バイオマス発電・利用

領域の定義

本領域はバイオマスのエネルギー利用や化学品などの物質利用に関わる領域である。バイオマスを燃料や電力等に利用する技術とシステム、その副産物として多様な製品を生産する技術、バイオリファインリーとしてバイオガス・液体燃料のコプロダクション、熱電併給コジェネレーション、ならびにカーボンリサイクルやバイオマスによるカーボン除去や貯蔵を対象とする。バイオマスには廃棄物系バイオマスも含める。

ただし、バイオマスから化学品への物質利用については、「L2.1 微生物ものづくり」、「L2.2 植物ものづくり」で扱う。

ポイント

- ・ 本領域のバイオマス発電は、安定的なベースロード電源として、またバイオマスの運輸燃料としての利用は化石燃料に変わるサステナブル燃料として注目されてきた。
- ・ 領域全体の論文数推移は2012年以降増加傾向にある。国別に見ると、米国、欧州各国、日本といった先進国の伸び率は低い。他方、中国やインドなどの新興国の増加傾向は顕著である。（図3.1-E1.5-1 a)、b)）
- ・ 領域全体の論文シェアについても、米国や欧州など先進国は減少傾向にあり、中国やインドは増加傾向にある（図3.1-E1.5-2 a)）。
- ・ Top1%、Top10%の論文数の国別推移では、中国の伸び率が他国に比べて圧倒的に高い（図3.1-E1.5-2 c)、d)）。
- ・ 特許ファミリー件数は、2013年以降、全体で増加傾向にある。しかし、各国シェアは、中国のみ顕著な増加傾向にある一方、米国は緩やかに減少傾向にあり、日本、イギリスも僅かに減少傾向を示している。（図3.1-E1.5-4 a)、b)）
- ・ Patent Asset Index上位オーナーは、デンマークのNovozymes、中国科学アカデミー、ドイツBayerである（図3.1-E1.5-4 e)）。

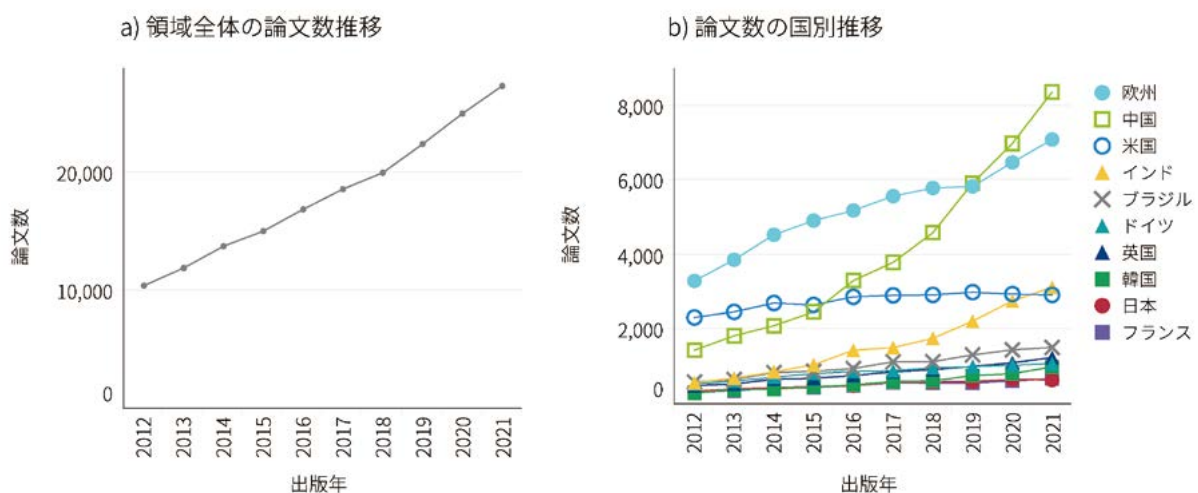


図3.1-E1.5-1 バイオマス発電・利用領域における論文数の動向①

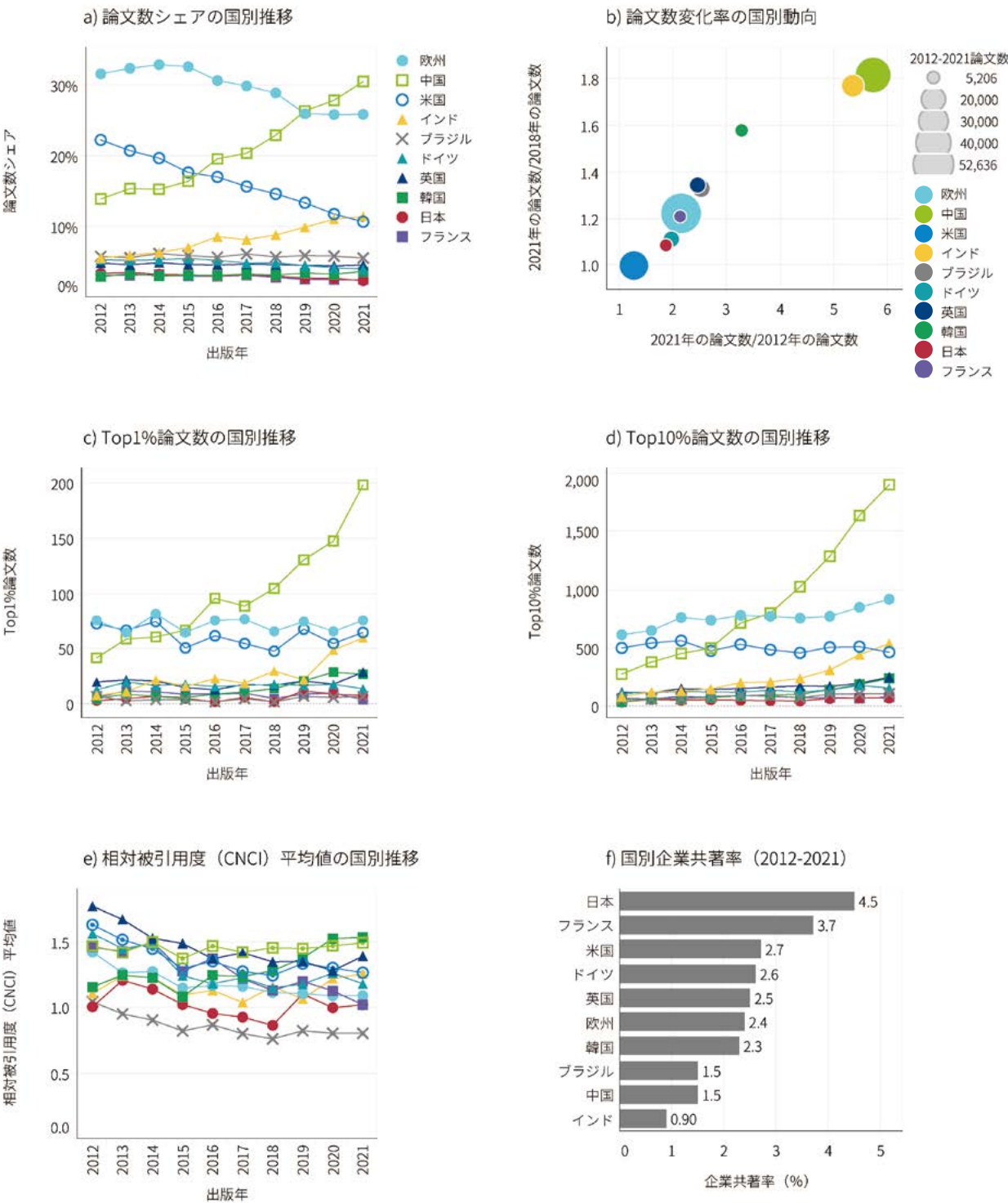


図 3.1-E1.5-2 バイオマス発電・利用領域における論文数の動向②

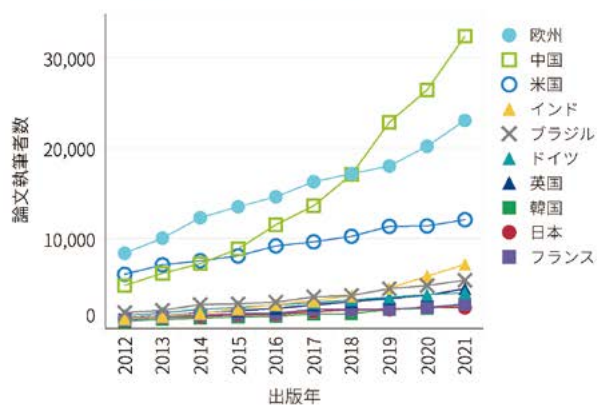
a) 各国間の共著率（2012-2021）

(%)	中国	米国	インド	ドイツ	英国	カナダ	韓国	オーストラリア	日本	フランス	論文数 (件)
中国	\	11	1.3	1.8	3.1	2.4	1.7	2.9	1.8	0.7	41,438
米国	17	\	2.7	2.9	3.4	3.5	2.6	2.3	1.3	1.7	27,873
インド	3.2	4.6	\	0.79	2.1	1.5	3.4	2.1	0.86	0.62	16,173
ドイツ	8.5	9.2	1.5	\	7.1	2.6	2.2	3.1	1.3	4.1	8,734
英国	15	11	3.9	7.4	\	3.3	1.7	4.9	1.4	4	8,469
カナダ	16	16	3.8	3.6	4.5	\	2.1	2.8	1.3	3.1	6,187
韓国	12	12	9.1	3.3	2.4	2.1	\	3.5	3	0.71	6,033
オーストラリア	22	11	5.9	4.7	7.3	3	3.8	\	2.3	2.5	5,658
日本	13	6.7	2.6	2.1	2.2	1.5	3.3	2.4	\	1.5	5,422
フランス	5.6	9	1.9	6.9	6.5	3.7	0.83	2.7	1.6	\	5,206

b) 論文数上位機関（世界上位10機関+日本1位機関、2012-2021）

研究機関	国	ランク	論文数	Top1%論文数	Top10%論文数
Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	フランス	1	2,636	39	433
University of Chinese Academy of Sciences, CAS	中国	2	2,233	45	497
United States Department of Agriculture (USDA)	米国	3	2,055	39	301
Universidade de Sao Paulo	ブラジル	4	1,631	8	172
Council of Scientific & Industrial Research (CSIR) - India	インド	5	1,630	37	298
Helmholtz Association	ドイツ	6	1,454	20	218
Zhejiang University	中国	7	1,450	54	366
Tsinghua University	中国	8	1,406	40	325
Universidade Estadual de Campinas	ブラジル	9	1,051	9	122
Tianjin University	中国	10	1,046	14	209
Kyoto University	日本	114	433	4	53

c) 論文執筆者数の国別推移



d) h5-index上位100位内研究者数（2017-2021）

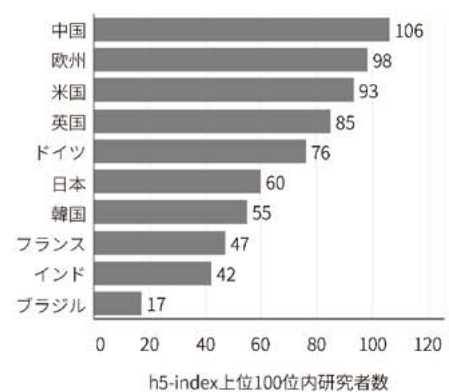


図 3.1-E1.5-3 バイオマス発電・利用領域における論文数の動向③

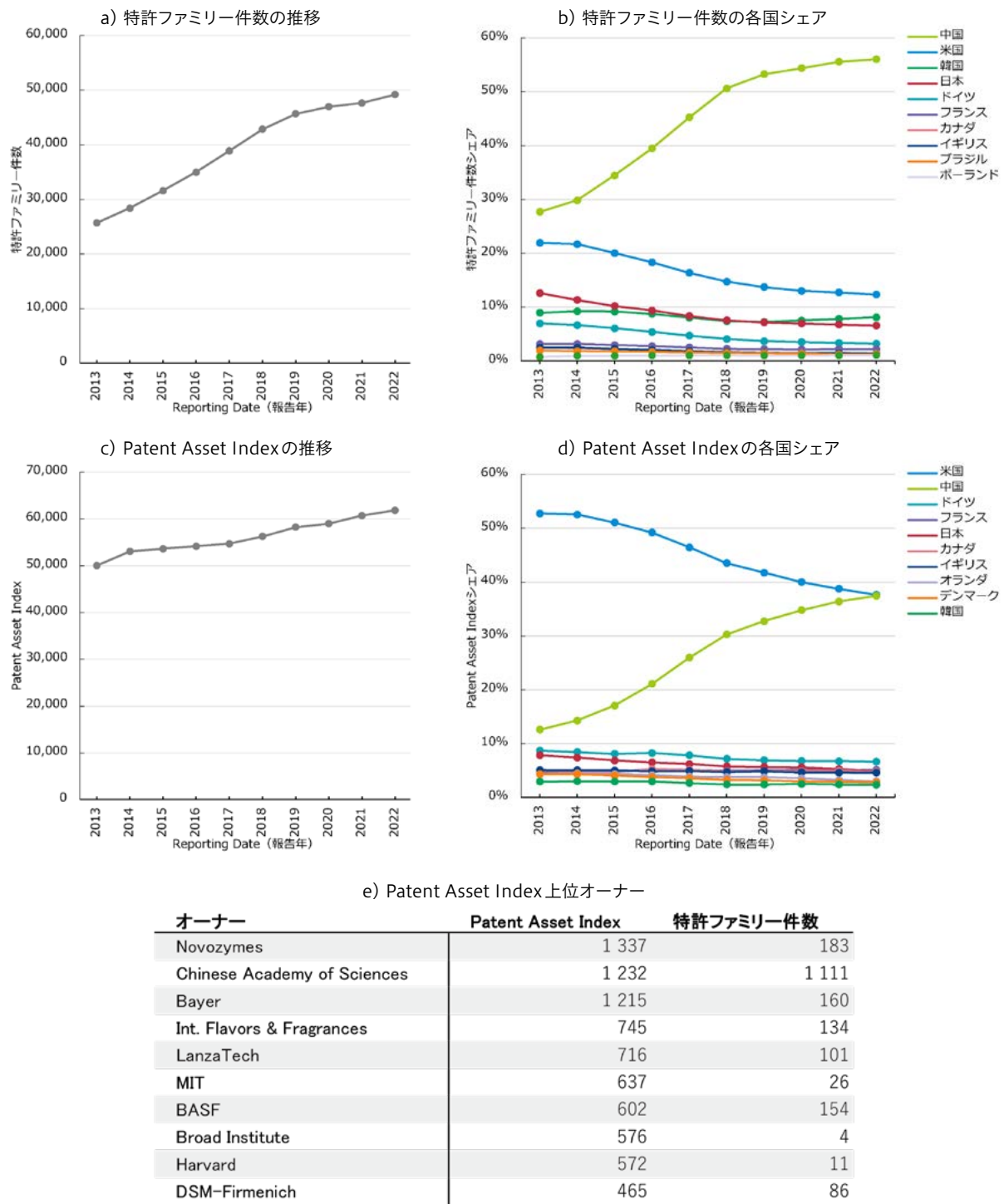


図 3.1-E1.5-4 バイオマス発電・利用領域における特許数の動向

3.1.E1.6 水力発電・海洋発電

領域の定義

再生可能エネルギー発電のうち、以下を対象とした領域である。

- (1) 水力発電：水の位置エネルギーを利用した発電及び揚水。ダム式、水路式、中小水力など。
- (2) 海洋発電：海流、波、潮汐、塩分濃度、海水の温度差による再生可能な運動エネルギーを利用した発電方式を対象とする。波力発電・潮流発電・海流発電・潮汐発電・海洋温度差発電・塩分濃度差発電など。

■水力発電

ポイント

- ・ 本領域は論文、特許ともに増加傾向にある研究領域である。水力発電は天候に左右されにくく長期的に優れた安定供給性を持つエネルギー源であり、エネルギー安全保障面からも重要視されている事が理由の一つであると考えられる。（図3.1-E1.6.1-1 a））
- ・ 論文数の国別推移、シェアは中国、米国が高い。韓国、ブラジルが論文数を伸ばしており、特にインドの伸びが著しい（図3.1-E1.6.1-1 b）、図3.1-E1.6.1-2 b））。
- ・ 論文の国別企業共著率はフランスが首位で中国、日本と続く（図3.1-E1.6.1-2 f））。
- ・ 日本との論文共著率が最も高い国は米国、中国である（図3.1-E1.6.1-3 a））。
- ・ 総論文数、およびTop論文数は中国の大学が多く、強い存在感を示している。水力発電が盛んなノルウェー、フランスの研究機関が上位に位置している。（図3.1-E1.6.1-3 b））
- ・ 特許動向に関しては、緩やかな増加傾向から2020年を起点に急激に特許件数を増やしている。国別では中国の特許件数が多く、Patent Asset Indexも高い水準にある。（図3.1-E1.6.1-4 a）、b）、d））
- ・ 中国企業による有力特許の保有が際立つ（図3.1-E1.6.1-4 e））。

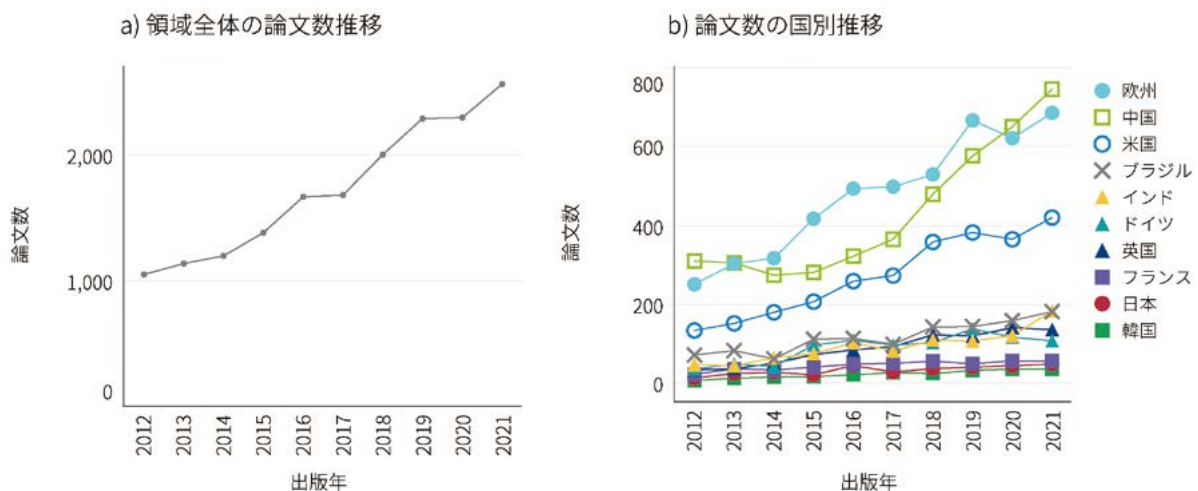


図3.1-E1.6.1-1 水力発電・海洋発電（水力発電）領域における論文数の動向①

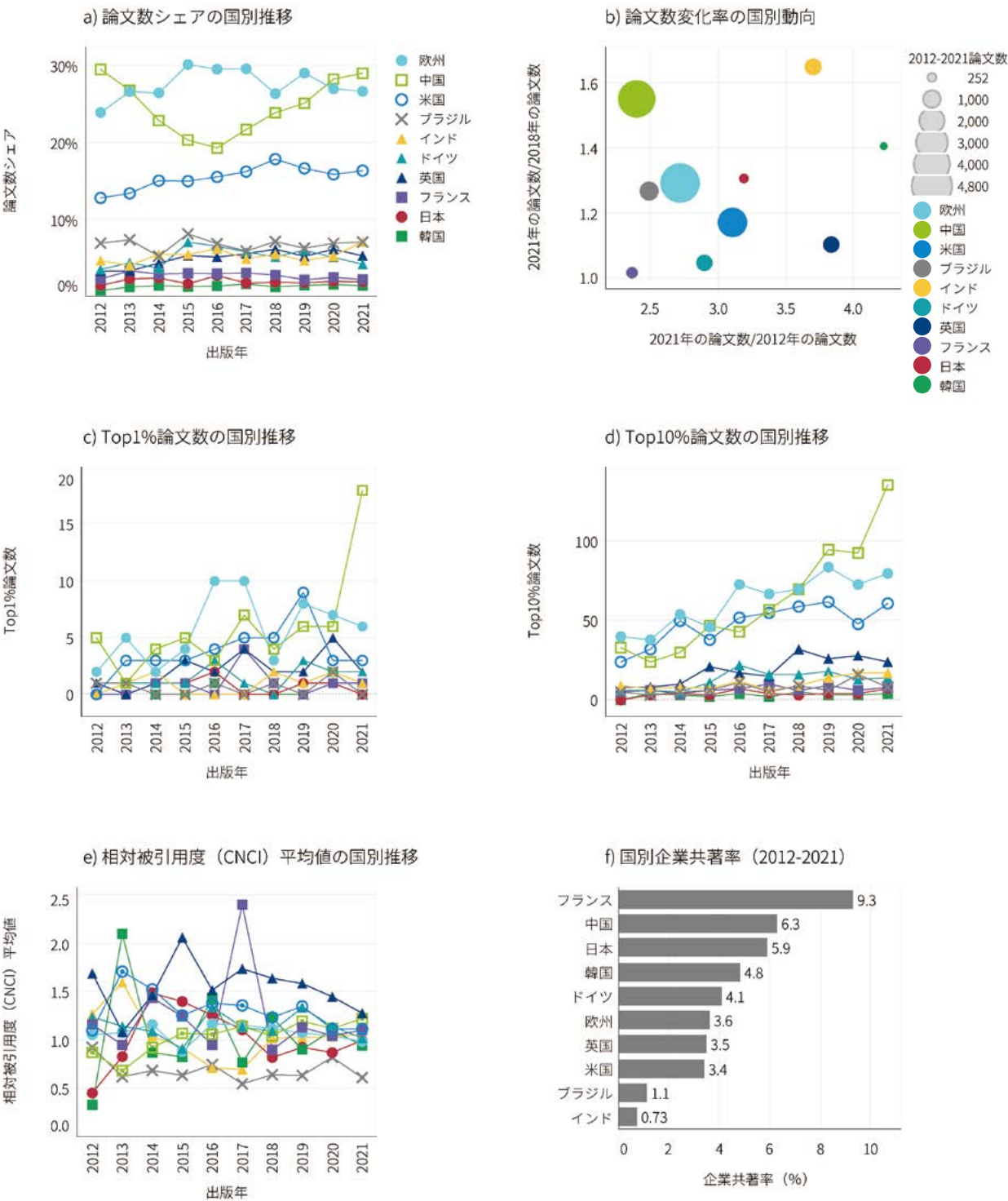


図 3.1-E1.6.1-2 水力発電・海洋発電（水力発電）領域における論文数の動向②

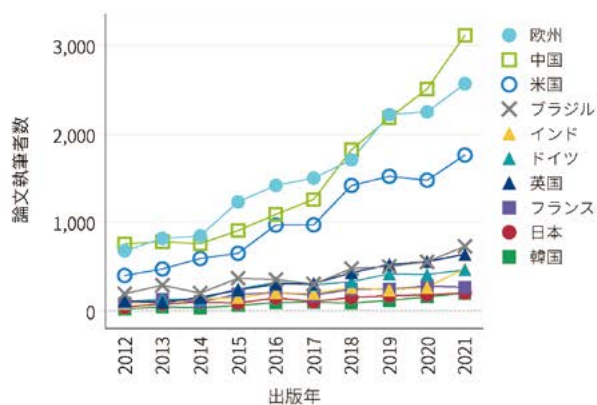
a) 各国間の共著率（2012-2021）

(%)	中国	米国	インド	ドイツ	英国	カナダ	オーストラリア	フランス	日本	韓国	論文数 (件)
中国	\	9.2	0.53	0.89	3.3	2.4	3.1	1.3	1.1	0.73	4,374
米国	15	\	1.5	3.8	5.6	3.8	2.8	2.8	1.8	1.2	2,750
インド	2.4	4.2	\	1.4	2.2	0.83	1.3	0.83	1.3	0.31	959
ドイツ	4.3	11	1.4	\	9.3	2.9	2	4.7	1.4	0.33	917
英国	16	17	2.3	9.3	\	3.7	5.9	4.6	1.5	0.66	913
カナダ	16	16	1.3	4.3	5.4	\	2.5	3.7	1.4	0.79	631
オーストラリア	26	15	2.3	3.4	10	3	\	3	2.7	3.2	528
フランス	12	16	1.7	9.1	8.8	4.8	3.4	\	2.3	0.84	475
日本	13	14	3.4	3.7	3.9	2.5	3.9	3.1	\	4.2	355
韓国	13	13	1.2	1.2	2.4	2	6.8	1.6	6	\	252

b) 論文数上位機関（世界上位10機関+日本1位機関、2012-2021）

研究機関	国	ランク	論文数	Top1%論文数	Top10%論文数
Hohai University	中国	1	365	4	40
Wuhan University	中国	2	320	1	41
Sichuan University	中国	3	246	4	32
Tsinghua University	中国	4	240	2	56
Norwegian University of Science & Technology (NTNU)	ノルウェー	5	206	1	17
Huazhong University of Science & Technology	中国	6	192	4	35
Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	フランス	7	188	3	33
Beijing Normal University	中国	8	181	1	44
Wuhan Institute of Rock & Soil Mechanics, CAS	中国	9	171	5	31
Dalian University of Technology	中国	10	169	0	23
University of Tokyo	日本	89	47	1	6

c) 論文執筆者数の国別推移



d) h5-index上位100位内研究者数（2017-2021）

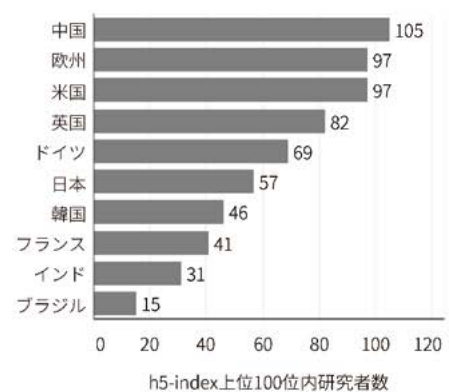


図 3.1-E1.6.1-3 水力発電・海洋発電（水力発電）領域における論文数の動向③

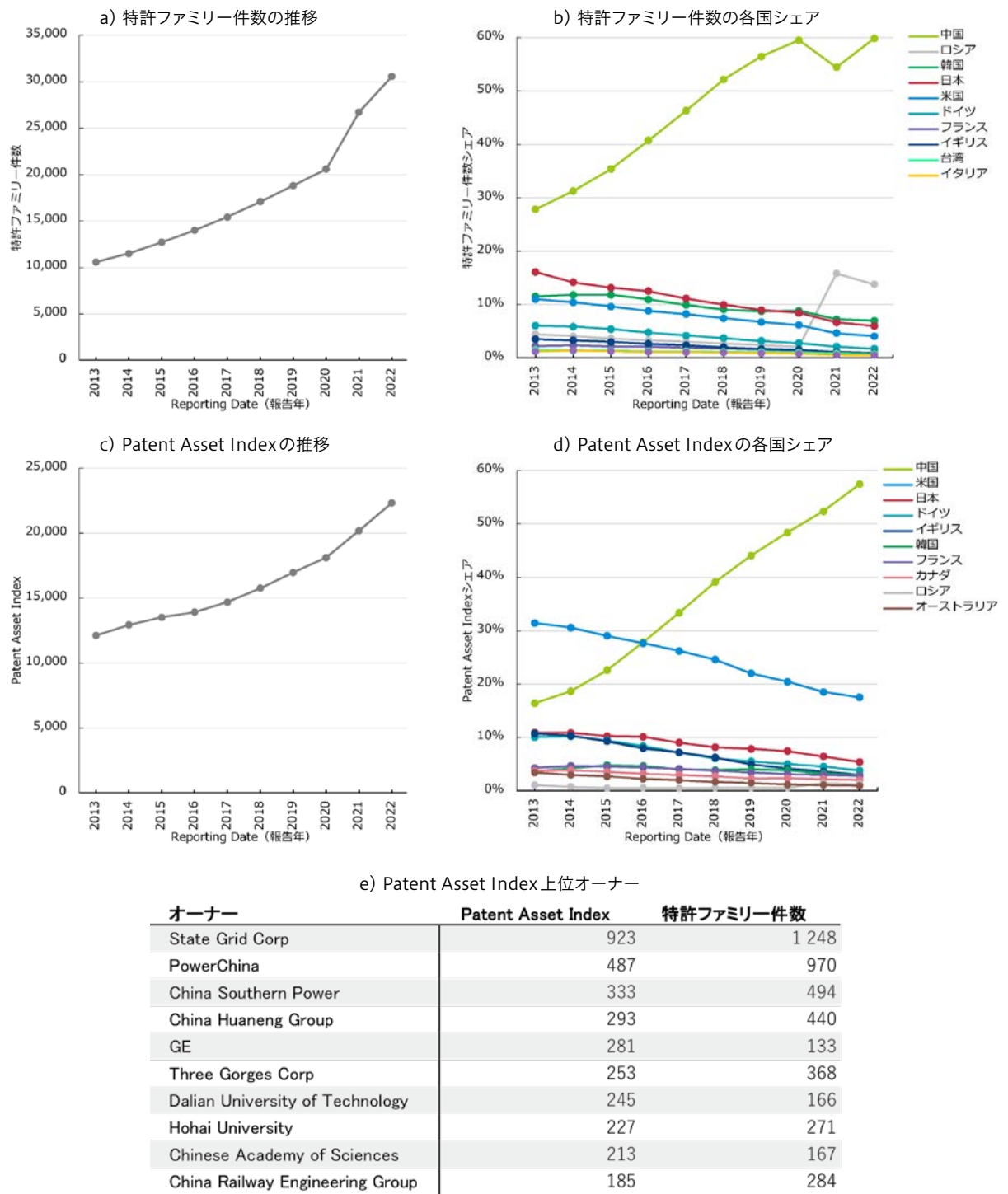


図 3.1-E1.6.1-4 水力発電・海洋発電（水力発電）領域における特許数の動向

■海洋発電

ポイント

- ・本領域は論文、特許ともに増加傾向にある研究領域である。エネルギー源の多様化を目指す動きが強まるなか、潜在力を秘めた海洋エネルギーへの関心が高まっている事が理由の一つであると考えられる。（図3.1-E1.6.2-1 a））
- ・論文数の国別推移、シェアは中国、米国、英国が高い。インドの論文数の伸びが著しく、過去3年ではオーストラリア、ドイツ、韓国の増加が際立つ。（図3.1-E1.6.2-1 b）、図3.1-E1.6.2-2 b））
- ・論文の国別企業共著率は日本が首位でドイツ、フランスと続く（図3.1-E1.6.2-2 f））。
- ・日本との論文共著率が最も高い国は米国である（図3.1-E1.6.2-3 a））。
- ・総論文数、およびTop論文数は欧米の公的研究機関、大学が多い。特にジョージア工科大学（米国）はTop1%および10%論文数が突出している。（図3.1-E1.6.2-3 b））
- ・特許動向に関して、日本はかつて米国と共に高いレベルにあったが、2014年から中国の特許件数シェアが日本を上回り、拡大を続けている。Patent Asset Indexも高い水準にある。（図3.1-E1.6.2-4 b）、d））

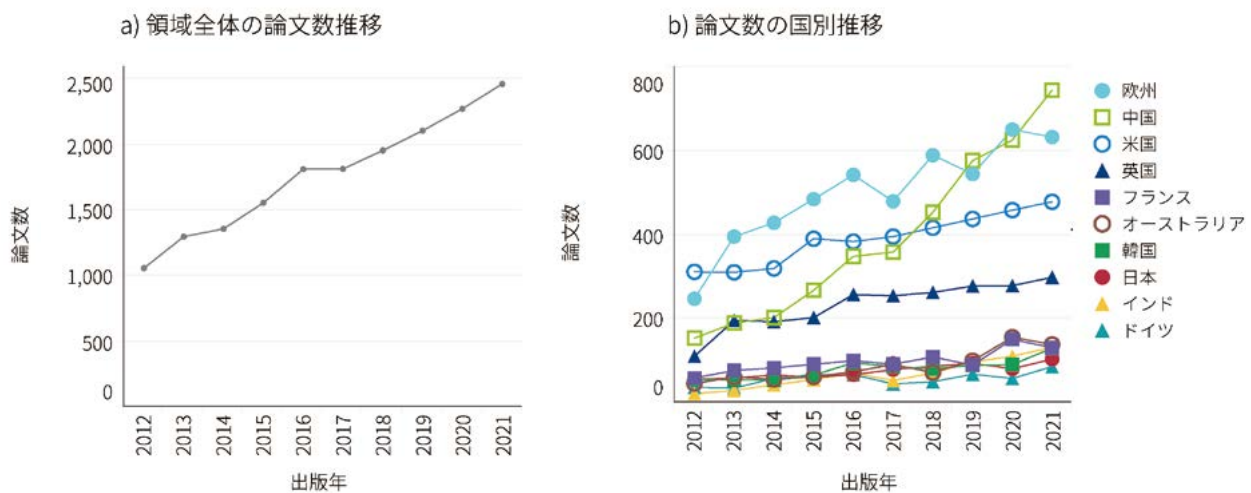


図3.1-E1.6.2-1 水力発電・海洋発電（海洋発電）領域における論文数の動向①

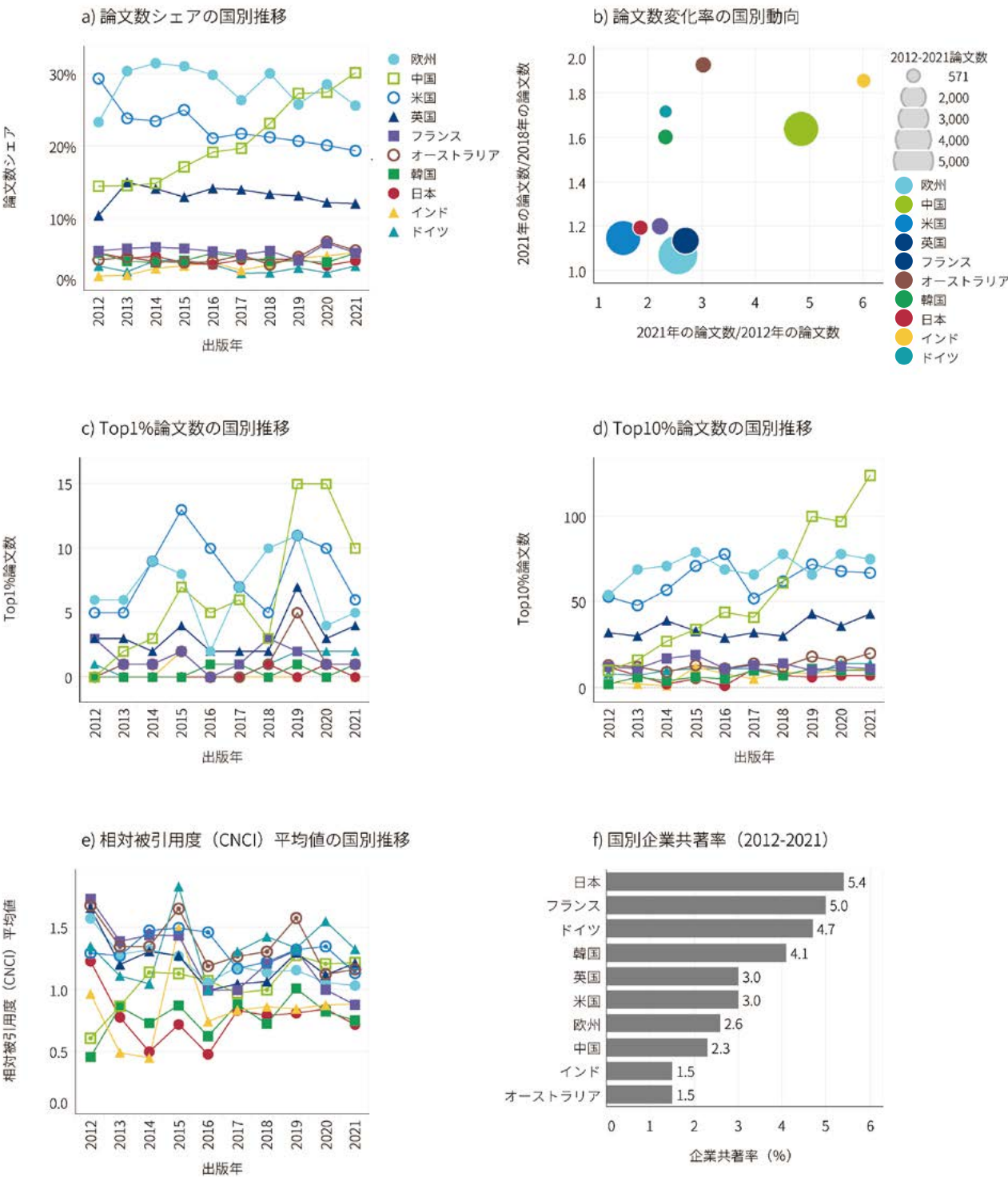


図3.1-E1.6.2-2 水力発電・海洋発電（海洋発電）領域における論文数の動向②

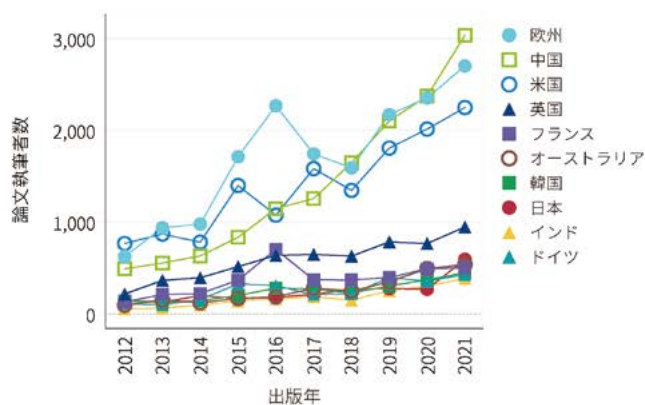
a) 各国間の共著率（2012-2021）

(%)	中国	米国	英国	フランス	オーストラリア	韓国	日本	インド	カナダ	ドイツ	論文数 (件)
中国	\	13	6.9	2.6	2.9	1.3	1.7	0.28	1.6	1.1	3,980
米国	13	\	7.5	3.8	3	2.4	2	0.82	4	3.4	3,907
英国	12	13	\	5.6	5.5	0.94	1.8	1.1	3.1	4.1	2,335
フランス	11	15	13	\	3.6	1.3	2.2	1.1	2.3	5.3	984
オーストラリア	13	14	15	4.1	\	2.5	3.7	2.6	4.2	3.2	857
韓国	6.4	12	2.7	1.6	2.6	\	4.7	2.1	1.8	1.6	802
日本	8.9	10	5.7	2.9	4.2	5	\	2	1.9	2.8	754
インド	1.6	4.7	3.7	1.6	3.2	2.5	2.2	\	1.9	2.5	684
カナダ	10	27	12	3.9	6.1	2.4	2.4	2.2	\	3.4	594
ドイツ	7.4	23	17	9.1	4.7	2.3	3.7	3	3.5	\	571

b) 論文数上位機関（世界上位10機関+日本1位機関、2012-2021）

研究機関	国	ランク	論文数	Top1%論文数	Top10%論文数
Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	フランス	1	505	10	69
University of Edinburgh	英国	2	281	2	21
Ocean University of China	中国	3	257	1	19
University of Plymouth	英国	4	253	7	51
Georgia Institute of Technology	米国	5	247	29	130
Dalian University of Technology	中国	6	214	1	46
University of Chinese Academy of Sciences, CAS	中国	7	199	12	70
Harbin Engineering University	中国	8	191	2	23
Zhejiang University	中国	9	181	7	31
University of Strathclyde	英国	10	174	1	21
University of Tokyo	日本	15	153	0	14

c) 論文執筆者数の国別推移



d) h5-index上位100位内研究者数（2017-2021）

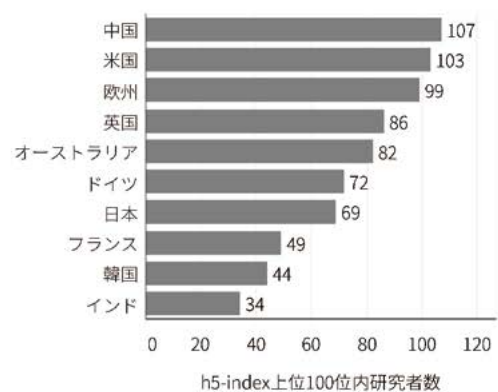


図 3.1-E1.6.2-3 水力発電・海洋発電（海洋発電）領域における論文数の動向③

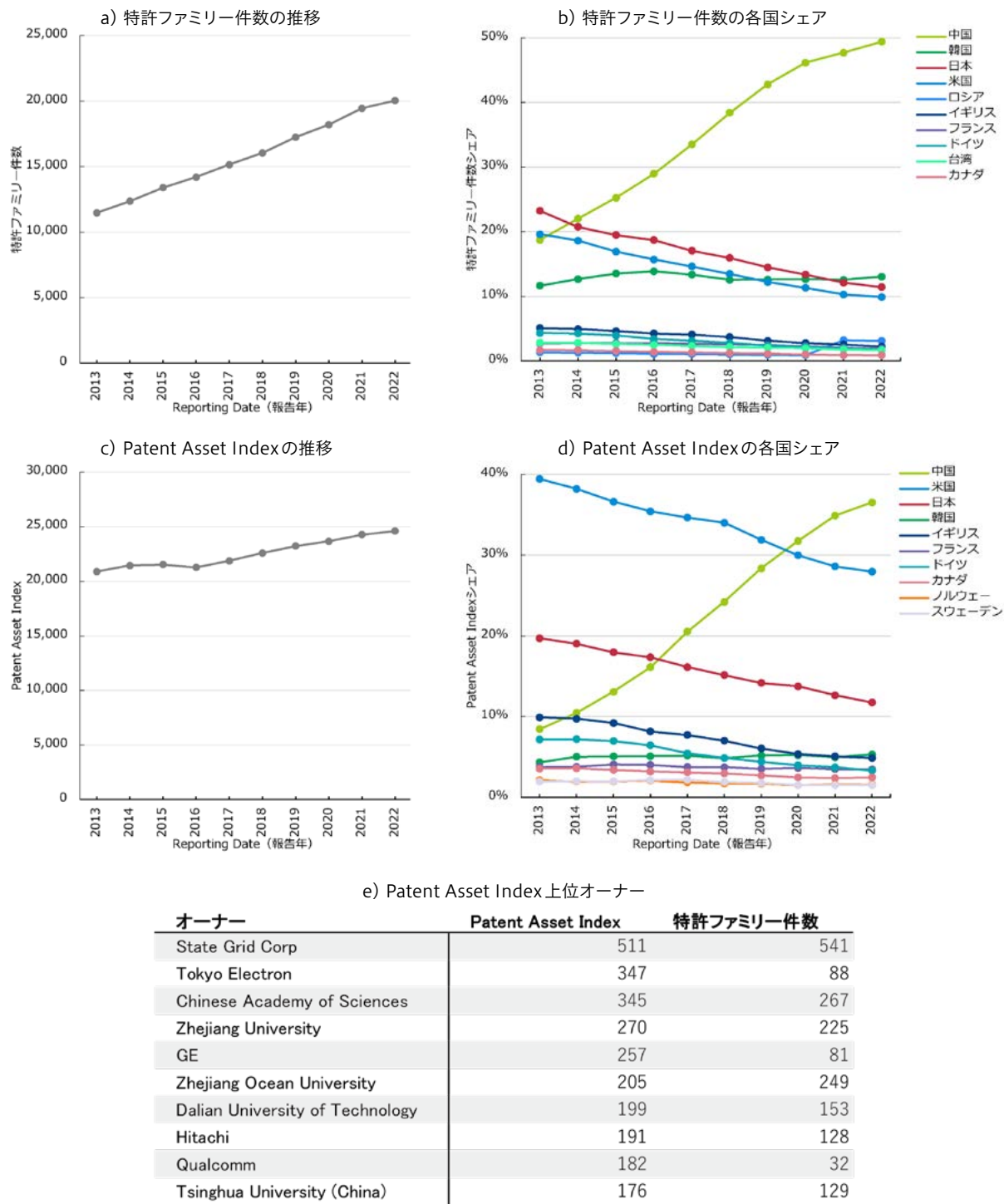


図 3.1-E1.6.2-4 水力発電・海洋発電（海洋発電）領域における特許数の動向

3.1.E1.7 地熱発電・利用

領域の定義

地熱発電とは、高温の地熱によって生成された水蒸気や熱水により直接あるいは水や低沸点媒体と熱交換して蒸気タービン発電機を駆動して電力を発生させるものである。

ここでは、地熱資源の探査（地質調査や物理探査、地化学探査など）および特性把握技術、掘削技術、地熱発電技術（ドライスチーム式、フラッシュサイクル、バイナリーサイクルなど）の他、地下の諸特性を人工的に改質してエネルギー回収を促進する技術（地熱増産システム：EGS（Enhanced/Engineered Geothermal System）、涵養地熱システム、高温岩体発電など）や超臨界地熱資源のような非在来型資源の調査・開発、環境や社会との調和を図る各種技術（合意形成手法、景観保全技術など）も対象となっている。

ポイント

- ・ 地熱発電は、地熱という純国産天然資源を活用した発電であり、天候によらず安定した発電量が得られる特徴があることから、地球温暖化対策とエネルギー安全保障の観点から、地熱資源を有する国では利用拡大が図られている。
- ・ 領域全体の論文数は増加傾向にある。国別推移でも概ね各国が増加傾向にあるが、中国の増加傾向が群を抜いている。（図 3.1-E1.7-1a）、b））
- ・ 各国の論文シェアを見ると、中国は2015年より増加傾向にある。米国は減少傾向にあり、日本及び欧州諸国は停滞気味である。（図 3.1-E1.7-2 a））
- ・ Top1%、Top10%論文は、2019年以降中国が欧州を抜き、首位となっている（図 3.1-E1.7-2c）、d））。
- ・ 特許ファミリー件数は全体で増加傾向にある。国別の特許ファミリー件数シェアでは中国が増加傾向にあるが、米国、日本、ドイツは減少傾向にある。（図 3.1-E1.7-4 a-b））

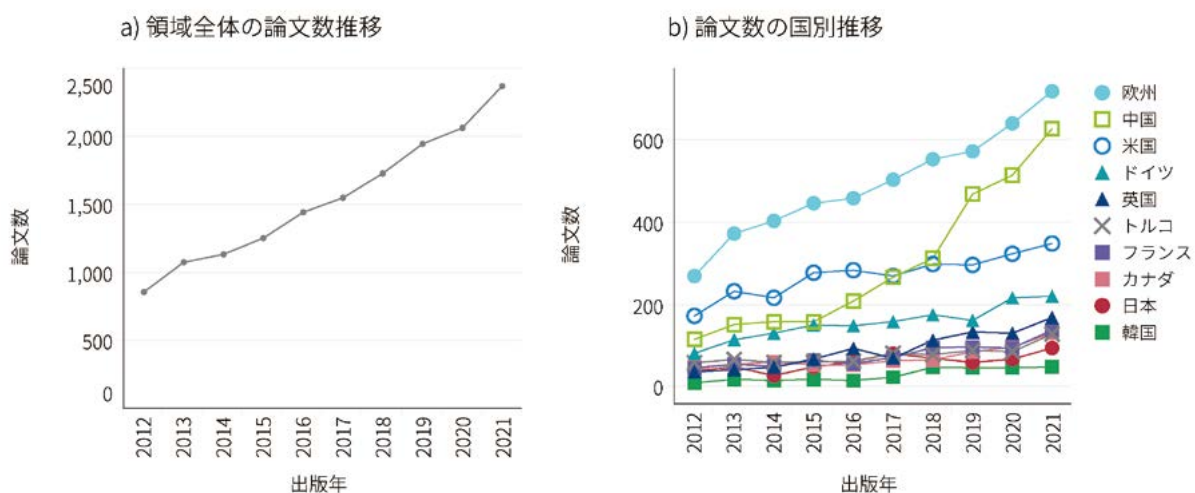


図 3.1-E1.7-1 地熱発電・利用領域における論文数の動向①

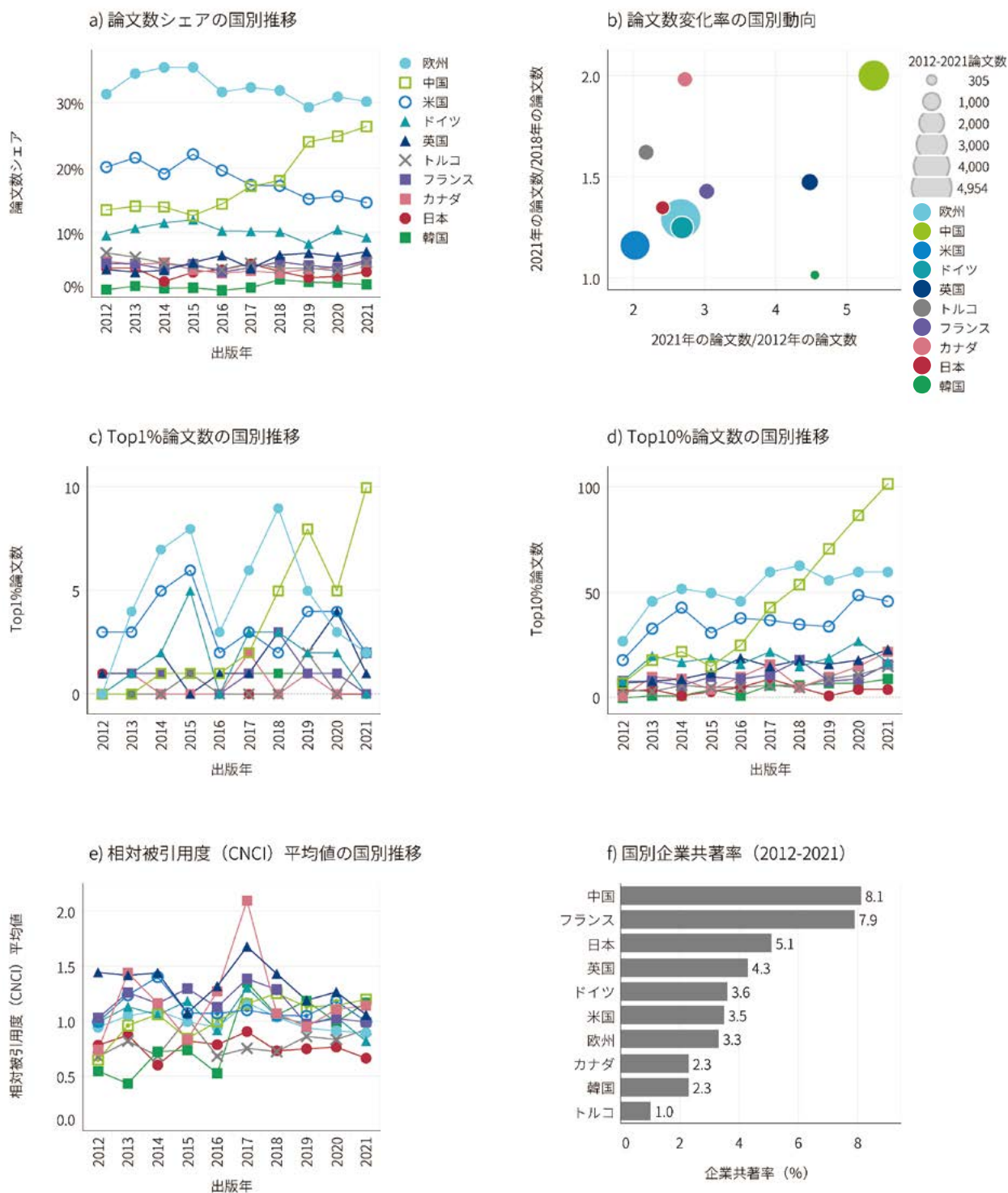


図3.1-E1.7-2 地熱発電・利用領域における論文数の動向②

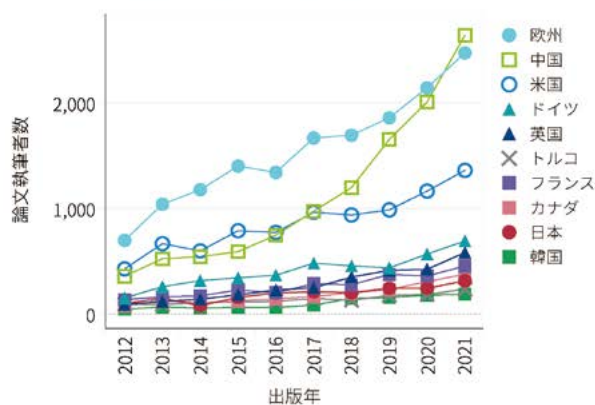
a) 各国間の共著率（2012-2021）

(%)	中国	米国	ドイツ	英国	フランス	カナダ	オーストラリア	日本	インド	韓国	論文数 (件)
中国	\	10	2.6	2.9	1	2.5	4.3	1.7	0.3	0.83	3,016
米国	11	\	6.8	6	3.8	5.4	4.3	2.7	1.2	1.3	2,734
ドイツ	5	12	\	8.5	6.9	3.8	3.1	2.2	0.64	0.7	1,573
英国	9.4	18	15	\	8.2	4.7	7.2	2.5	1.5	1.3	917
フランス	4	13	14	9.6	\	7.3	4.2	3.1	0.64	0.26	781
カナダ	10	20	8.1	5.9	7.8	\	4.5	2.3	1.1	1.2	727
オーストラリア	19	17	7	9.7	4.8	4.8	\	1.9	4.4	1	683
日本	8.2	12	5.6	3.8	3.9	2.8	2.1	\	1.5	2.3	612
インド	1.7	6.1	1.9	2.6	0.93	1.5	5.6	1.7	\	0.93	538
韓国	8.2	12	3.6	3.9	0.66	3	2.3	4.6	1.6	\	305

b) 論文数上位機関（世界上位10機関+日本1位機関、2012-2021）

研究機関	国	ランク	論文数	Top1%論文数	Top10%論文数
Helmholtz Association	ドイツ	1	607	8	73
Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	フランス	2	462	7	72
China University of Geosciences	中国	3	347	2	46
Helmholtz-Center Potsdam GFZ German Research Center for Geosciences	ドイツ	4	345	7	49
China University of Petroleum	中国	5	343	5	72
ETH Zurich	スイス	6	258	5	63
University of Iceland	アイスランド	6	258	2	24
University of Chinese Academy of Sciences, CAS	中国	8	220	3	21
China Geological Survey	中国	9	201	1	22
CNRS - National Institute for Earth Sciences & Astronomy (INSU)	フランス	10	195	5	39
Kyushu University	日本	27	118	0	8

c) 論文執筆者数の国別推移



d) h5-index上位100位内研究者数（2017-2021）

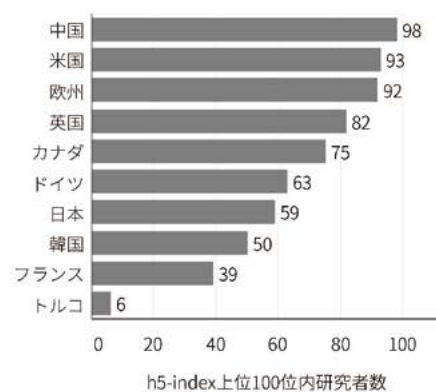


図 3.1-E1.7-3 地熱発電・利用領域における論文数の動向③

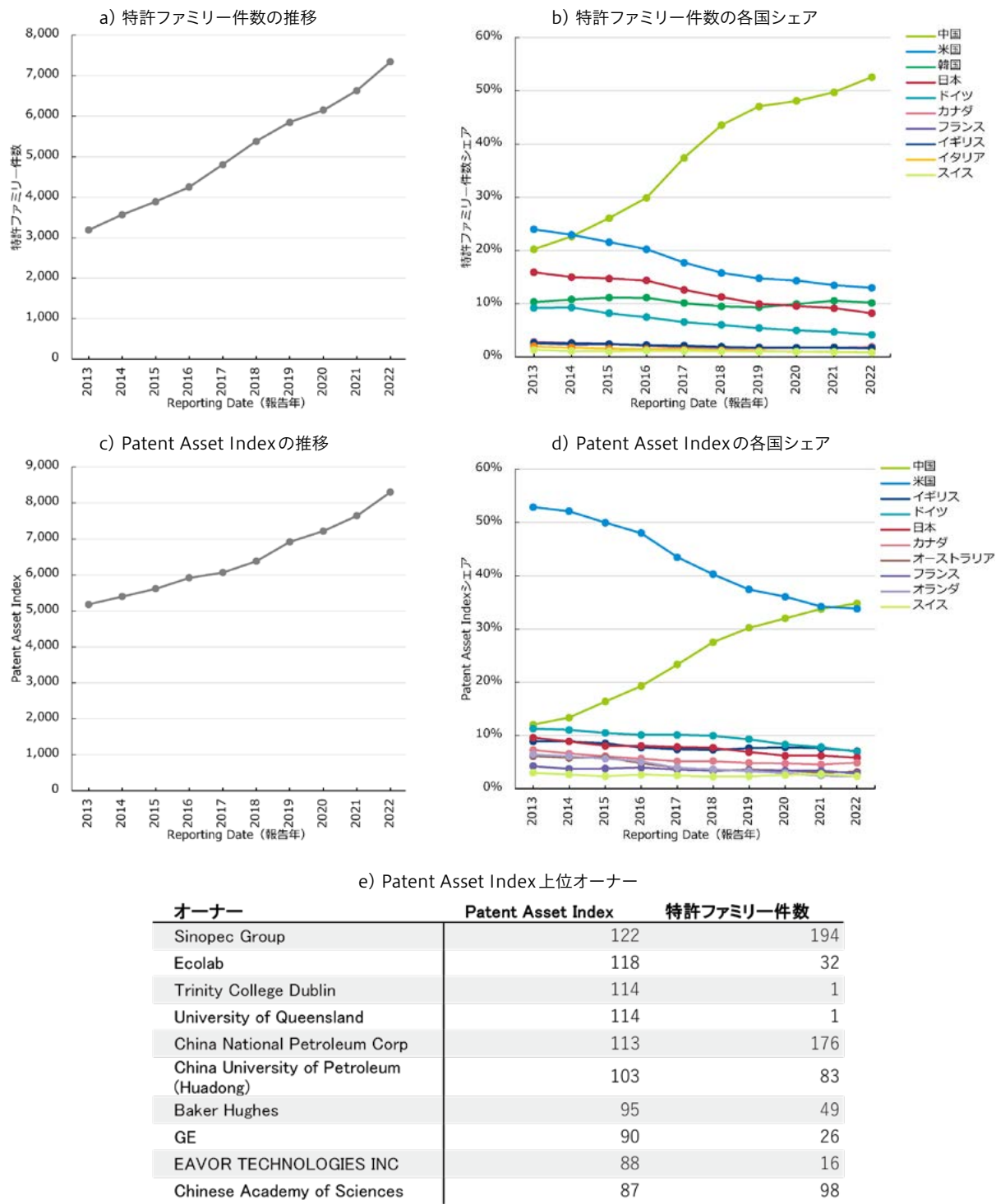


図 3.1-E1.7-4 地熱発電・利用領域における特許数の動向

3.1.E1.8 太陽熱発電・利用

領域の定義

太陽熱発電システムとしての低コスト化、効率向上、用途開発などの動向を対象とする。

ポイント

- ・ 本領域は論文、特許ともに増加傾向にある研究領域である。蓄熱機能を有した太陽熱発電は、夜間でも発電可能な再生可能エネルギーであり、需要調整力の高さが注目されている。（図 3.1-E1.8-1 a））
- ・ 論文数の国別推移、シェアは中国が高い。インド、イランの論文数の伸びが著しく、過去3年では韓国の増加が際立つ（図 3.1-E1.8-1 b）、図 3.1-E1.8-2 b））。
- ・ 論文の国別企業共著率は日本が首位で米国、フランスと続く（図 3.1-E1.8-2 f））。
- ・ 日本との論文共著率が最も高い国は中国である（図 3.1-E1.8-3 a））。
- ・ 総論文数、およびTop 論文数は欧州、中国の公的研究機関、大学が多い。イランやサウジアラビアといった中東の国の研究機関が上位に位置している。（図 3.1-E1.8-3 b））
- ・ 特許動向に関しては、中国の特許件数が多く、Patent Asset Index も高い。米国の Patent Asset Index は緩やかな低下傾向にあるが、高い水準を維持している（図 3.1-E1.8-4 b）、d））。

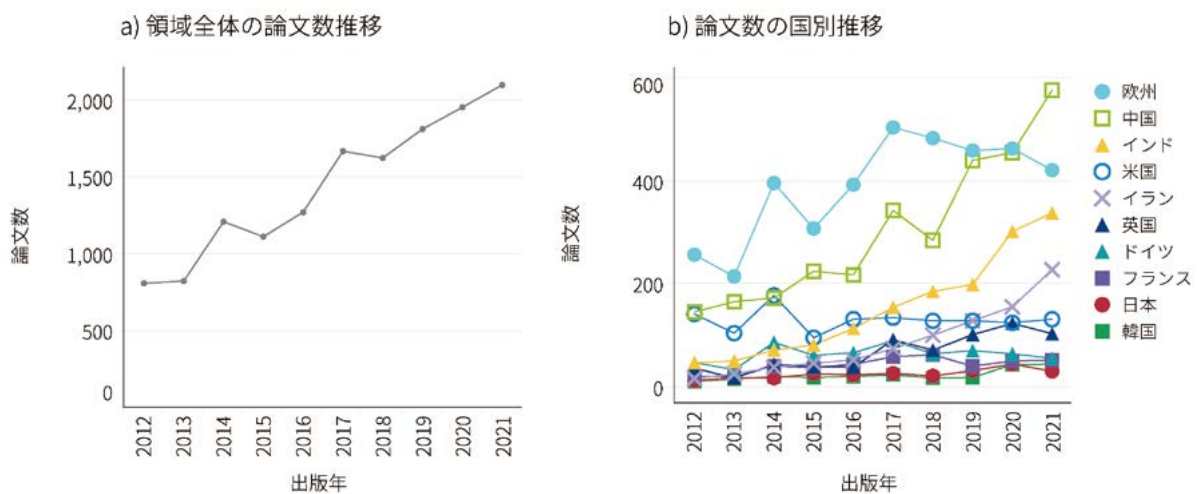


図 3.1-E1.8-1 太陽熱発電・利用領域における論文数の動向①

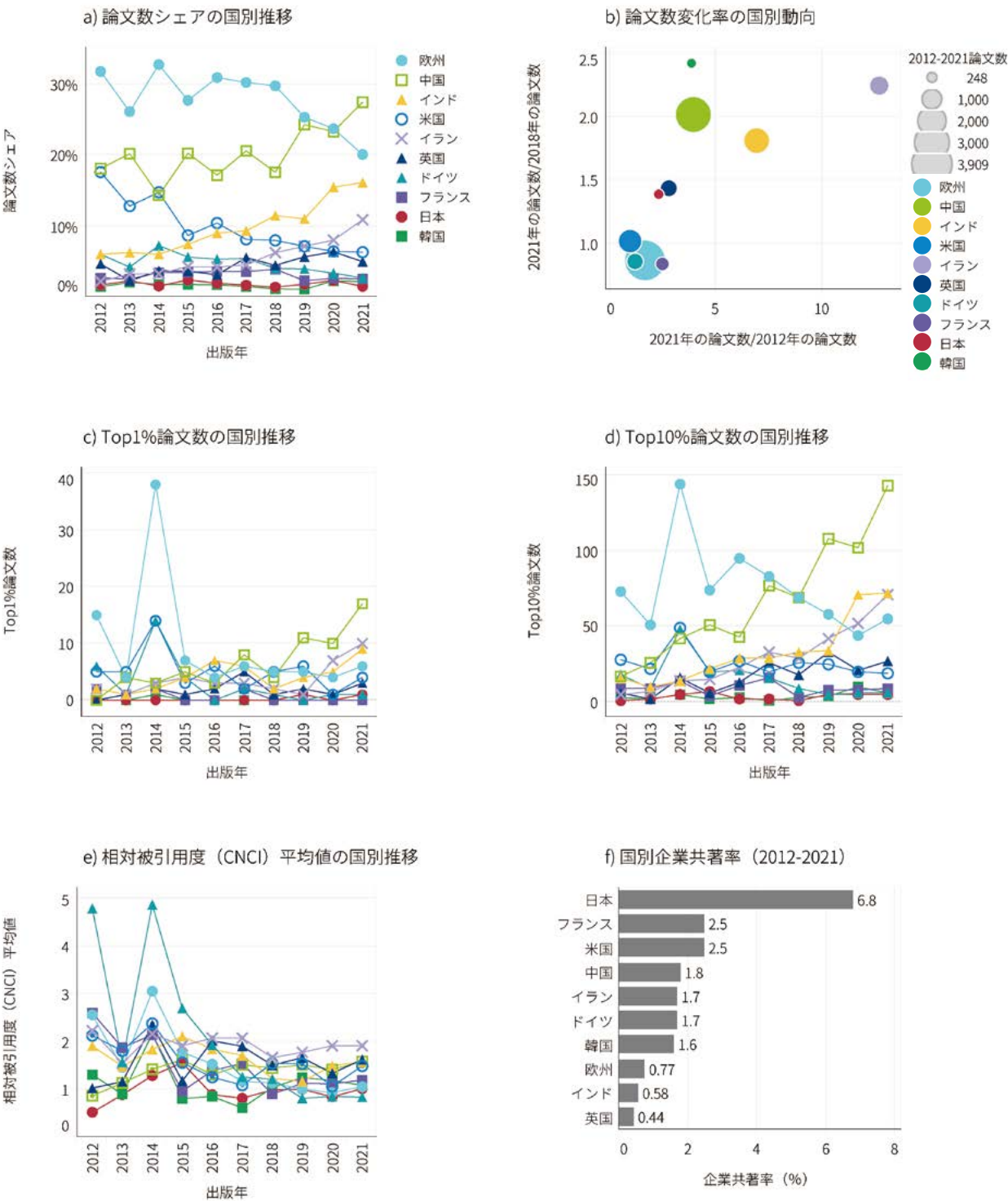


図 3.1-E1.8-2 太陽熱発電・利用領域における論文数の動向②

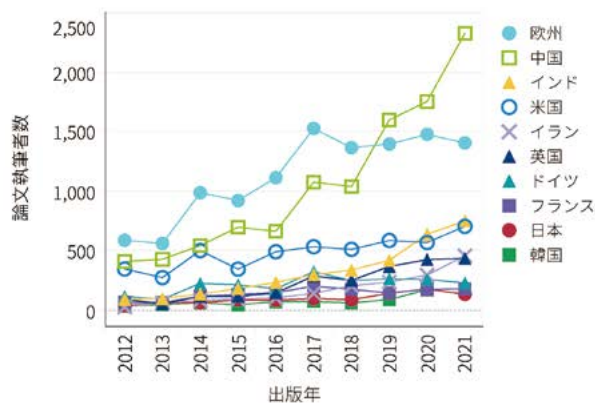
a) 各国間の共著率（2012-2021）

(%)	中国	インド	米国	英国	ドイツ	オーストラリア	フランス	カナダ	日本	韓国	論文数 (件)
中国	\	0.58	4.9	6.4	0.58	2.7	0.68	0.78	1.6	0.62	3,075
インド	1.2	\	2.6	3.3	0.32	1.5	0.32	0.39	0.45	1	1,557
米国	11	3.1	\	1.6	1.6	3.7	0.69	2.2	0.61	1.8	1,313
英国	29	7.6	3.1	\	3.5	3.4	0.88	1.3	0.44	0.44	682
ドイツ	2.8	0.76	3.2	3.7	\	2.1	1.8	1.1	0.3	0	655
オーストラリア	14	4.1	8.3	3.9	2.4	\	0.51	1	0.51	0.17	593
フランス	4.8	1.1	2	1.4	2.7	0.68	\	2	0.68	0.68	442
カナダ	6.3	1.6	7.7	2.4	1.9	1.6	2.4	\	0.53	0.79	379
日本	19	2.6	3	1.1	0.75	1.1	1.1	0.75	\	2.6	266
韓国	7.7	6.5	9.7	1.2	0	0.4	1.2	1.2	2.8	\	248

b) 論文数上位機関（世界上位10機関+日本1位機関、2012-2021）

研究機関	国	ランク	論文数	Top1%論文数	Top10%論文数
Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	フランス	1	225	3	45
Helmholtz Association	ドイツ	2	217	8	59
North China Electric Power University	中国	3	209	4	44
Shanghai Jiao Tong University	中国	4	192	8	54
German Aerospace Centre (DLR)	ドイツ	5	184	8	50
Islamic Azad University	イラン	6	180	9	59
University of Tehran	イラン	7	172	7	75
Xi'an Jiaotong University	中国	8	170	8	58
King Fahd University of Petroleum & Minerals	サウジアラビア	9	150	14	55
Universiti Malaya	マレーシア	10	141	10	53
Kyushu University	日本	79	41	0	10

c) 論文執筆者数の国別推移



d) h5-index上位100位内研究者数（2017-2021）

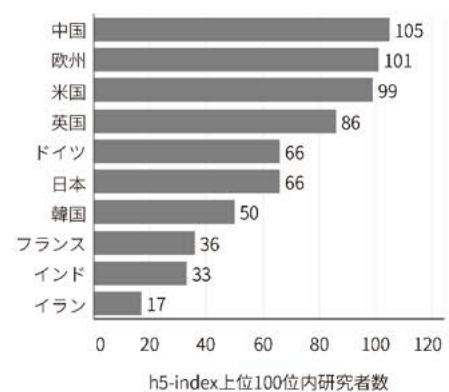


図3.1-E1.8-3 太陽熱発電・利用領域における論文数の動向③

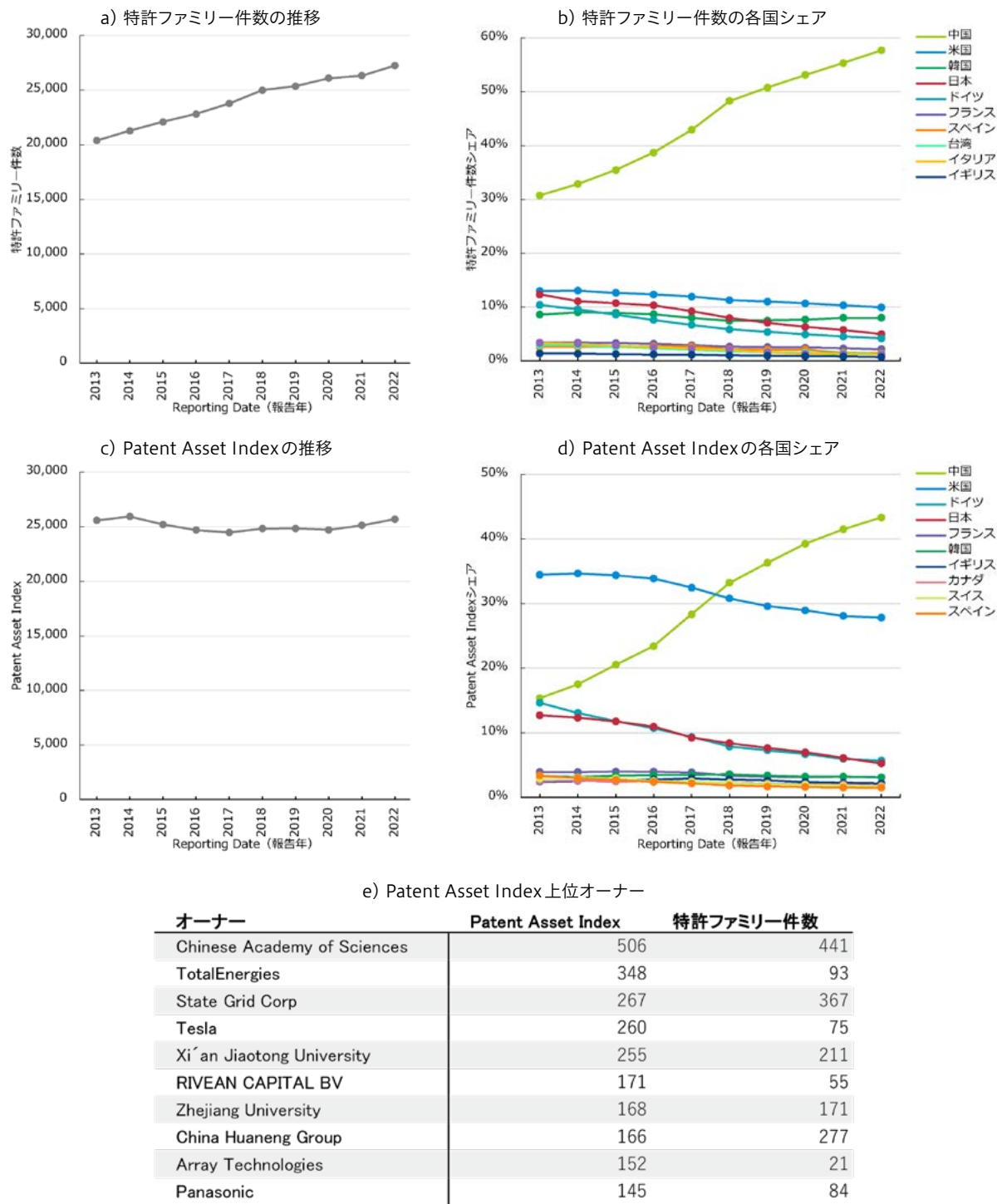


図3.1-E1.8-4 太陽熱発電・利用領域における特許数の動向

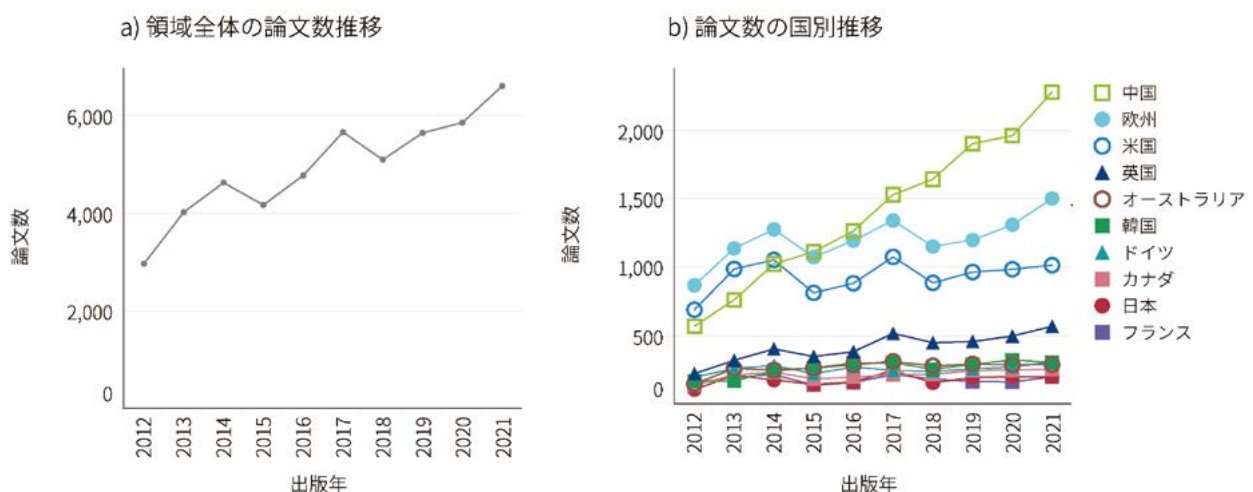
3.1.E1.9 CO₂回収・貯留（CCS）

領域の定義

火力発電所、製鉄所およびセメント工場などの排ガスあるいは空気中から二酸化炭素（CO₂）を分離回収する技術（Carbon dioxide Capture）およびそれに引き続いて行う貯留技術（Storage）を扱う。分離回収から貯留までの一連の工程をCCSと呼ぶ。貯留については地下深部の塩水性帯水層、枯渇油・ガス田へのCO₂圧入に加え、生産性が低下した油田へのCO₂圧入に伴う石油増進回収（EOR）のように地下資源を回収しつつCO₂を封入する技術も含める。分離回収したCO₂を利用するCCU（Carbon Capture and Utilization）は「E2.3 CO₂利用」にて扱う。

ポイント

- ・各国の論文数は概ねゆるやかに増加しているが、中では中国や英国の伸び率が高い。2021年のシェアでは中国が首位となっており、CCSの適地のポテンシャルが高いと考えられる米国は2位となっている。（図3.1-E1.9-1 b）、図3.1-E1.9-2 a）、b））
- ・フィールド試験が重要となる分野であり論文の企業共著率は総じて他分野よりも高い。中でも日本が最も高い。（図3.1-E1.9-2 f））
- ・各国間の共著率では中国、米国、英国との共著が多く、日本との共著は相対的に低調である（図3.1-E1.9-3 a））。
- ・特許ファミリー件数シェアは中国が首位、日本は米国に次いで3位となっている。Patent Asset Indexシェアは米国、中国、日本の順になっており、上位オーナーに日本の企業が複数社挙がっている。日本はCO₂貯留のフィールドには恵まれていないものの、CO₂分離・回収技術で存在感を見せけているものと考えられる。（図3.1-E1.9-4 b）、d）、e））

図3.1-E1.9-1 CO₂回収・貯留（CCS）領域における論文数の動向①

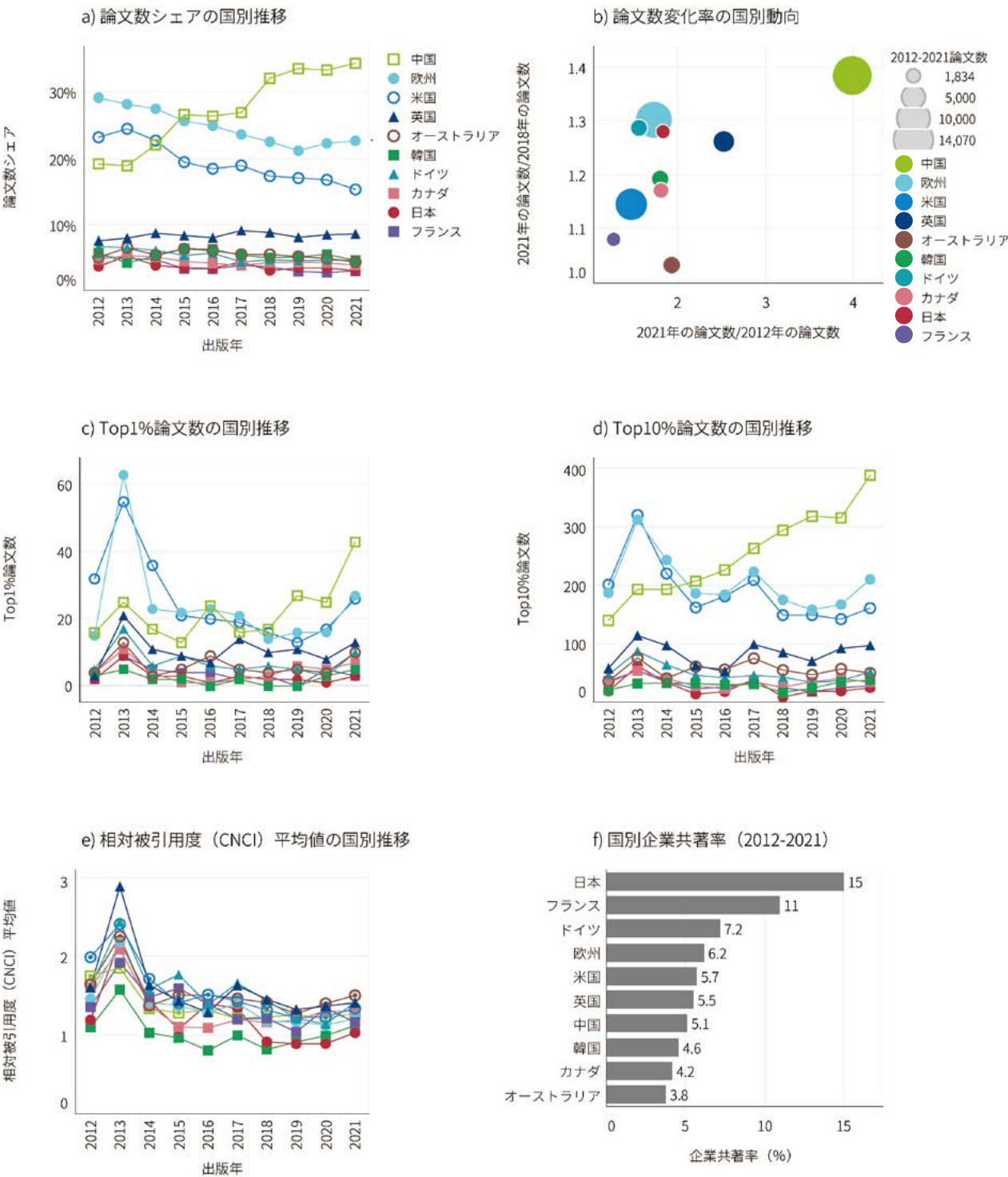


図3.1-E1.9-2 CO₂回収・貯留（CCS）領域における論文数の動向②

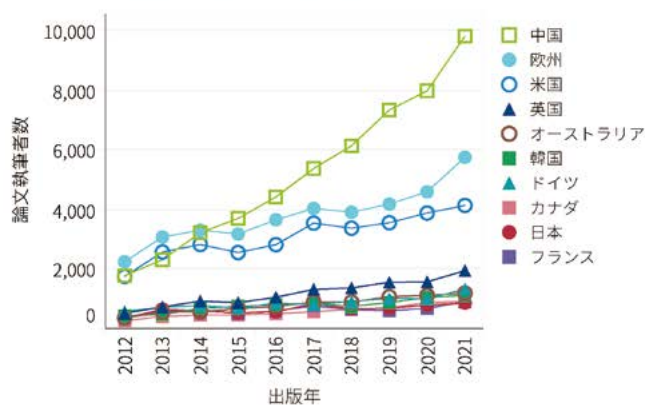
a) 各国間の共著率（2012-2021）

(%)	中国	米国	英国	オーストラリア	韓国	ドイツ	カナダ	インド	日本	フランス	論文数 (件)
中国	\	10	4.5	4.9	1	1.6	2.3	0.4	1.5	1	14,132
米国	16	\	5.6	3.1	2.6	3.1	3	1.3	1.6	2.5	9,382
英国	15	13	\	5.9	1.7	6.7	3.3	1.2	1.6	5.8	4,205
オーストラリア	25	11	9.1	\	2.3	2.7	3.4	3.4	2.7	2.6	2,713
韓国	5.3	9.1	2.7	2.3	\	1.3	0.9	2.8	1.5	0.68	2,661
ドイツ	8.9	11	11	2.8	1.4	\	2.3	1.5	2.1	5.2	2,597
カナダ	15	13	6.2	4.2	1.1	2.7	\	1.6	0.91	3.1	2,195
インド	2.7	5.9	2.4	4.4	3.5	1.8	1.7	\	2.5	1.1	2,124
日本	11	7.9	3.8	4	2.1	3	1.1	2.9	\	2.2	1,842
フランス	7.8	13	13	3.9	0.98	7.4	3.7	1.3	2.2	\	1,834

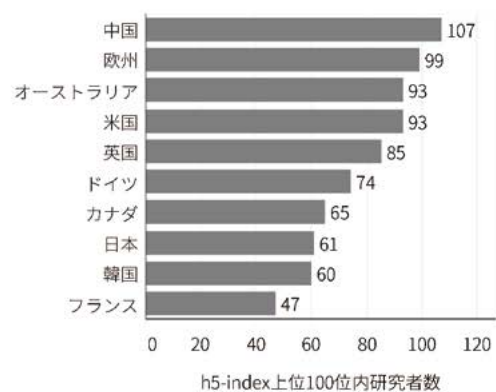
b) 論文数上位機関（世界上位10機関+日本1位機関、2012-2021）

研究機関	国	ランク	論文数	Top1%論文数	Top10%論文数
Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	フランス	1	986	20	177
China University of Petroleum	中国	2	910	13	142
University of Chinese Academy of Sciences, CAS	中国	3	665	10	134
Commonwealth Scientific & Industrial Research Organisation (CSIRO)	オーストラリア	4	638	15	135
University of Texas Austin	米国	5	620	18	123
Helmholtz Association	ドイツ	6	613	21	114
SINTEF	ノルウェー	7	599	18	109
Imperial College London	英国	8	598	29	152
Norwegian University of Science & Technology (NTNU)	ノルウェー	9	591	20	112
Tsinghua University	中国	10	573	11	105
Kyushu University	日本	85	186	0	30

c) 論文執筆者数の国別推移



d) h5-index上位100位内研究者数（2017-2021）

図 3.1-E1.9-3 CO₂回収・貯留（CCS）領域における論文数の動向③

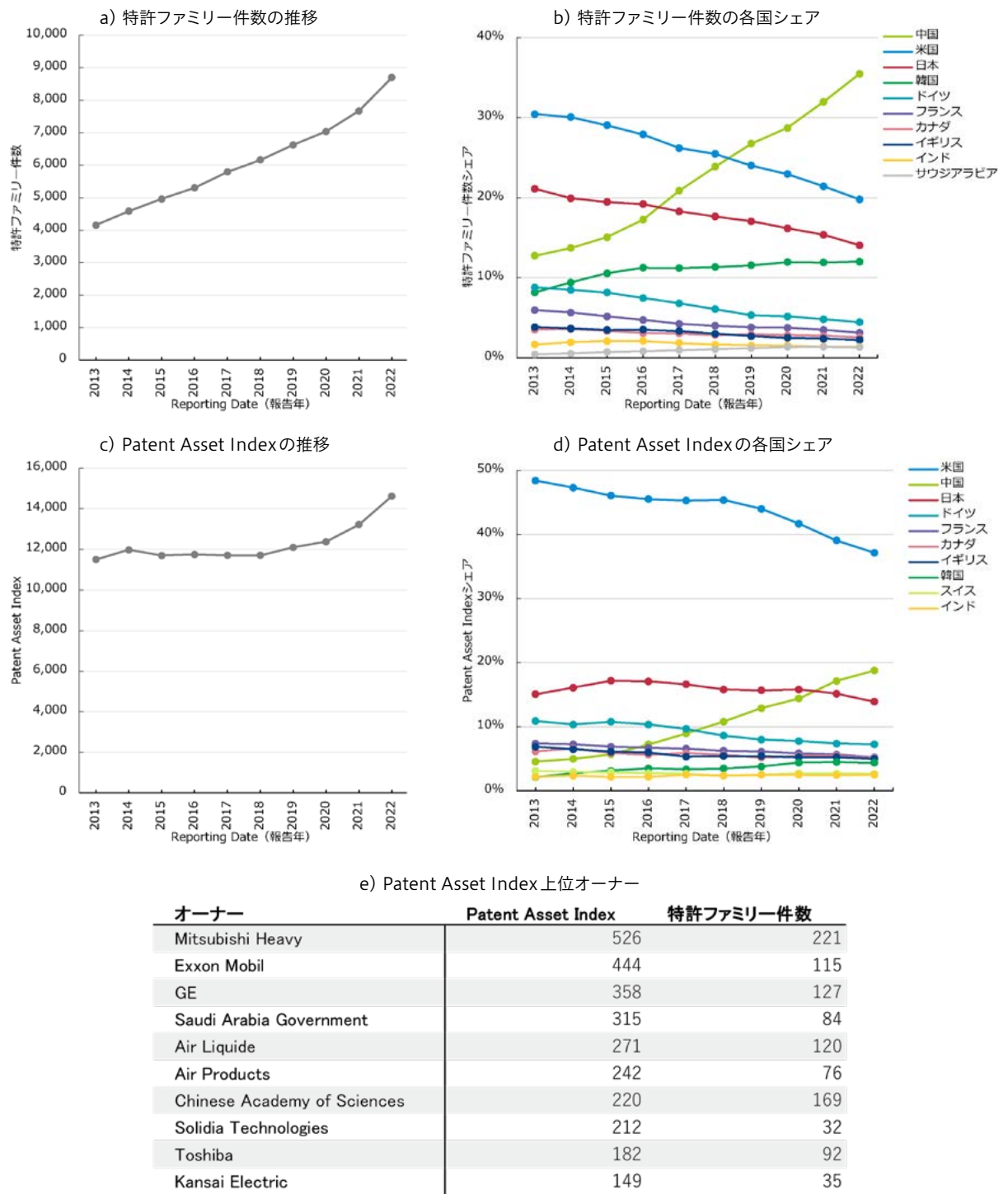


図 3.1-E1.9-4 CO₂回収・貯留（CCS）領域における特許数の動向