

3.1.E2 産業・運輸部門のゼロエミ化・炭素循環利用

3.1.E2.1 蓄エネルギー技術

領域の定義

本領域はエネルギーを一旦貯蔵して、電気エネルギーの形態で戻す科学、技術、研究開発の領域である。電力系統、電気自動車（EV）、家庭用などで最終的に電力として利用されるエネルギー貯蔵装置・システム（水素等化学物質による貯蔵、電氣的/物理的原理による二次電池、キャパシタ、圧縮空気エネルギー貯蔵（compressed air energy storage：CAES）、発電用熱貯蔵、等）を対象とする。

水素の製造技術については「E2.2 水素・アンモニア」で扱う。熱利用については「E2.4 産業熱利用」、 「E3.1 地域・建物エネルギー利用」で扱う。なおナノテクノロジー・材料分野の「N1.1 蓄電池」で関連した調査を行っている。

ポイント

- ・ 再エネの変動性を補完する技術として、また移動体の電動化の動きから、電力供給と機器産業の両面から研究開発が活発な分野である。
- ・ 各国の論文数は、いずれの国とも年ごとに堅調に増やしている。シェアでは中国、米国が高い。増加率は中国、インドが高い。日本の論文数は、増加はしているもののシェアは低い。（図3.1-E2.1-1 b）、図3.1-E2.1-2 a）、b）
- ・ 相対被引用度ではオーストラリアが高い傾向が見られる（図3.1-E2.1-2 e）。
- ・ 論文の企業共著率は日本が最も高い（図3.1-E2.1-2 f）。
- ・ より多くの国と共著関係にあるのは、中国、米国である。日本の共著相手国は中国、次いで米国となっているが、他の国から見たとき日本が共著相手国となる割合は低い。（図3.1-E2.1-3 a）
- ・ 特許においては日本の優位性が見られる。ただし特許ファミリー件数シェアは2010年代前半は日本が首位であったが、その後中国が逆転をしている。（図3.1-E2.1-4 b）
- ・ Patent Asset Indexのシェアに関しても中国の伸びが顕著であるが、日本は2位を維持している。複数の日本の自動車メーカー、電機メーカーがPatent Asset Index上位オーナーに入っている。（図3.1-E2.1-4 d）、e）

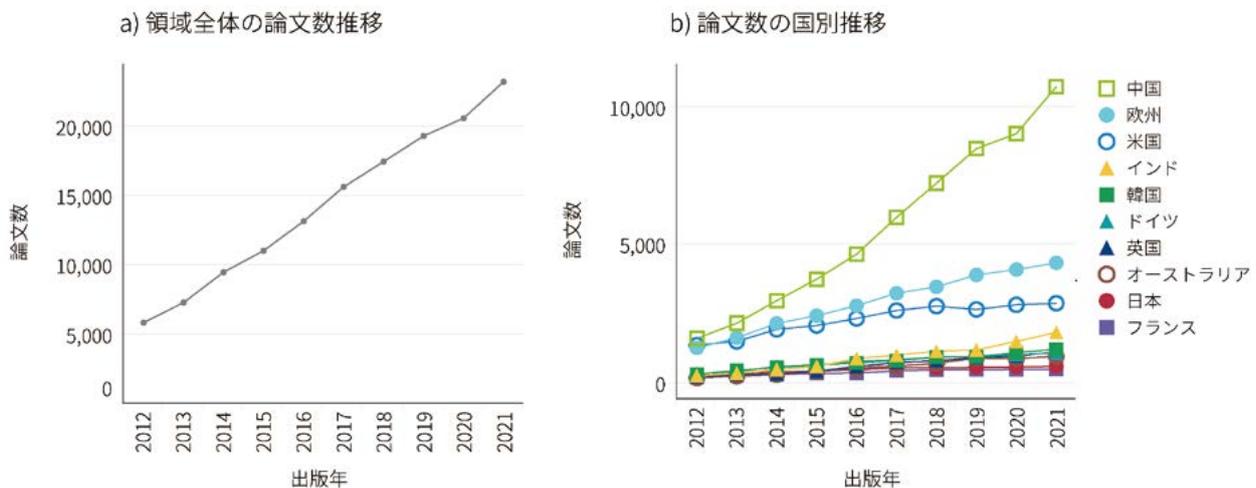
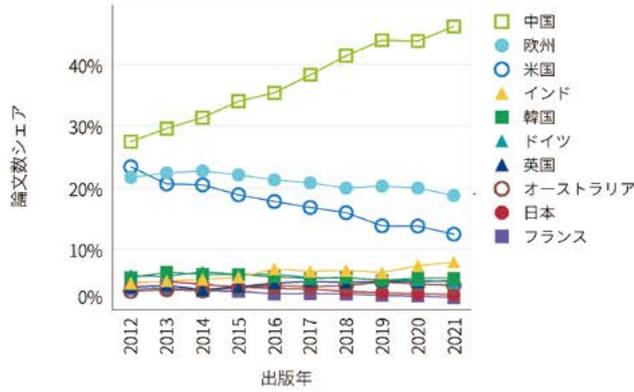
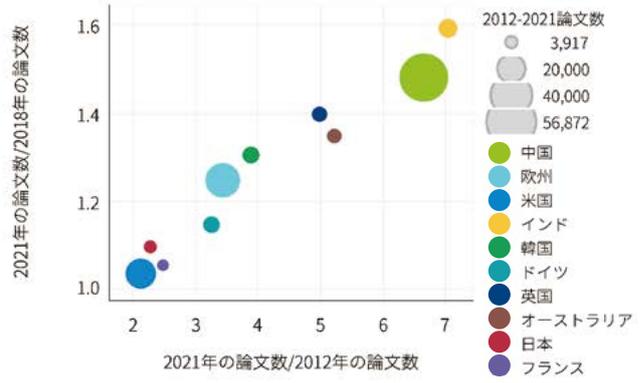


図3.1-E2.1-1 蓄エネルギー技術領域における論文数の動向①

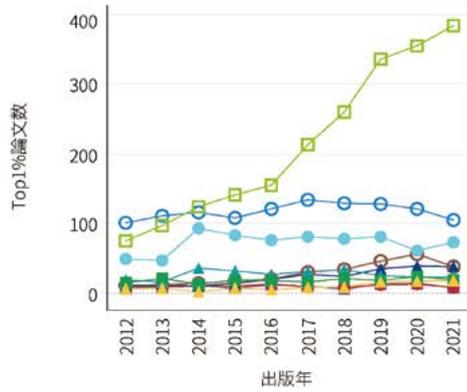
a) 論文数シェアの国別推移



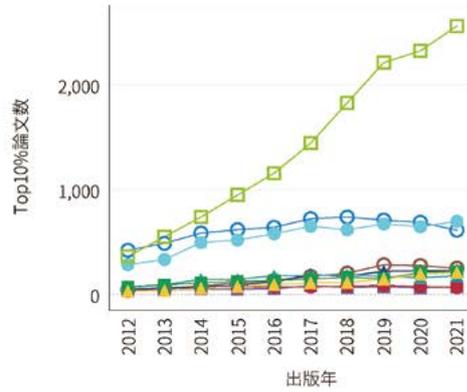
b) 論文数変化率の国別動向



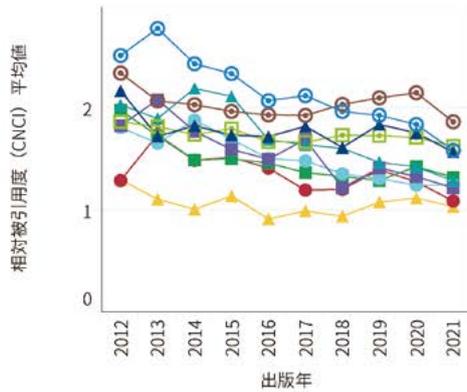
c) Top1%論文数の国別推移



d) Top10%論文数の国別推移



e) 相対被引用度 (CNCI) 平均値の国別推移



f) 国別企業共著率 (2012-2021)

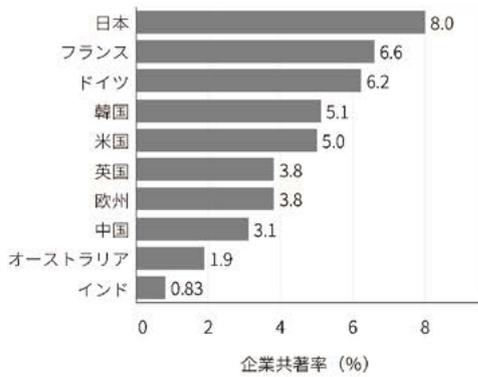


図3.1-E2.1-2 蓄エネルギー技術領域における論文数の動向②

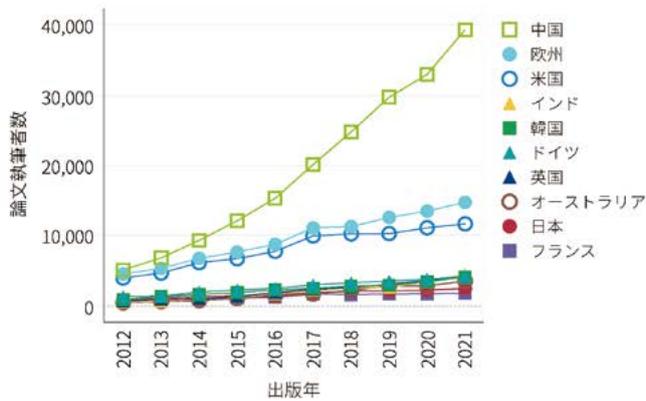
a) 各国間の共著率 (2012-2021)

(%)	中国	米国	インド	韓国	ドイツ	英国	オーストラリア	日本	カナダ	フランス	論文数 (件)
中国	\	9.1	0.37	0.9	1.5	2.8	3.9	1.5	1.4	0.47	57,639
米国	23	\	1.7	3.7	2.8	2.6	2	1.7	2.4	1.4	23,136
インド	2.3	4.1	\	4.4	1.3	2	2.2	1.5	0.92	0.72	9,334
韓国	6.6	11	5.2	\	1.6	2	2.7	2.4	0.89	0.39	7,780
ドイツ	11	8.5	1.6	1.7	\	5.2	2.3	1.9	1.8	3.9	7,677
英国	24	9.1	2.9	2.4	6.2	\	3.5	1.7	2.1	3.7	6,481
オーストラリア	38	7.8	3.5	3.6	3.1	3.9	\	3.7	1.2	0.98	5,813
日本	18	8	2.8	3.9	3	2.3	4.5	\	0.83	2	4,797
カナダ	19	13	2	1.6	3.2	3.2	1.7	0.94	\	3.9	4,250
フランス	6.9	8.2	1.7	0.77	7.6	6.1	1.5	2.5	4.3	\	3,917

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
Tsinghua University	中国	1	2,661	209	917
University of Chinese Academy of Sciences, CAS	中国	2	2,144	126	681
Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	フランス	3	2,067	72	393
Helmholtz Association	ドイツ	4	2,006	70	462
Nanyang Technological University	シンガポール	5	1,733	182	710
University of Science & Technology of China, CAS	中国	6	1,644	132	666
Huazhong University of Science & Technology	中国	7	1,566	74	496
Central South University	中国	8	1,518	80	445
Zhejiang University	中国	9	1,515	59	417
Xi'an Jiaotong University	中国	10	1,492	76	418
National Institute of Advanced Industrial Science & Technology (AIST)	日本	86	443	24	123

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)

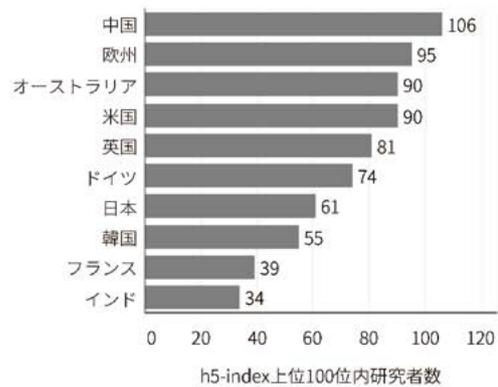


図3.1-E2.1-3 蓄エネルギー技術領域における論文数の動向③

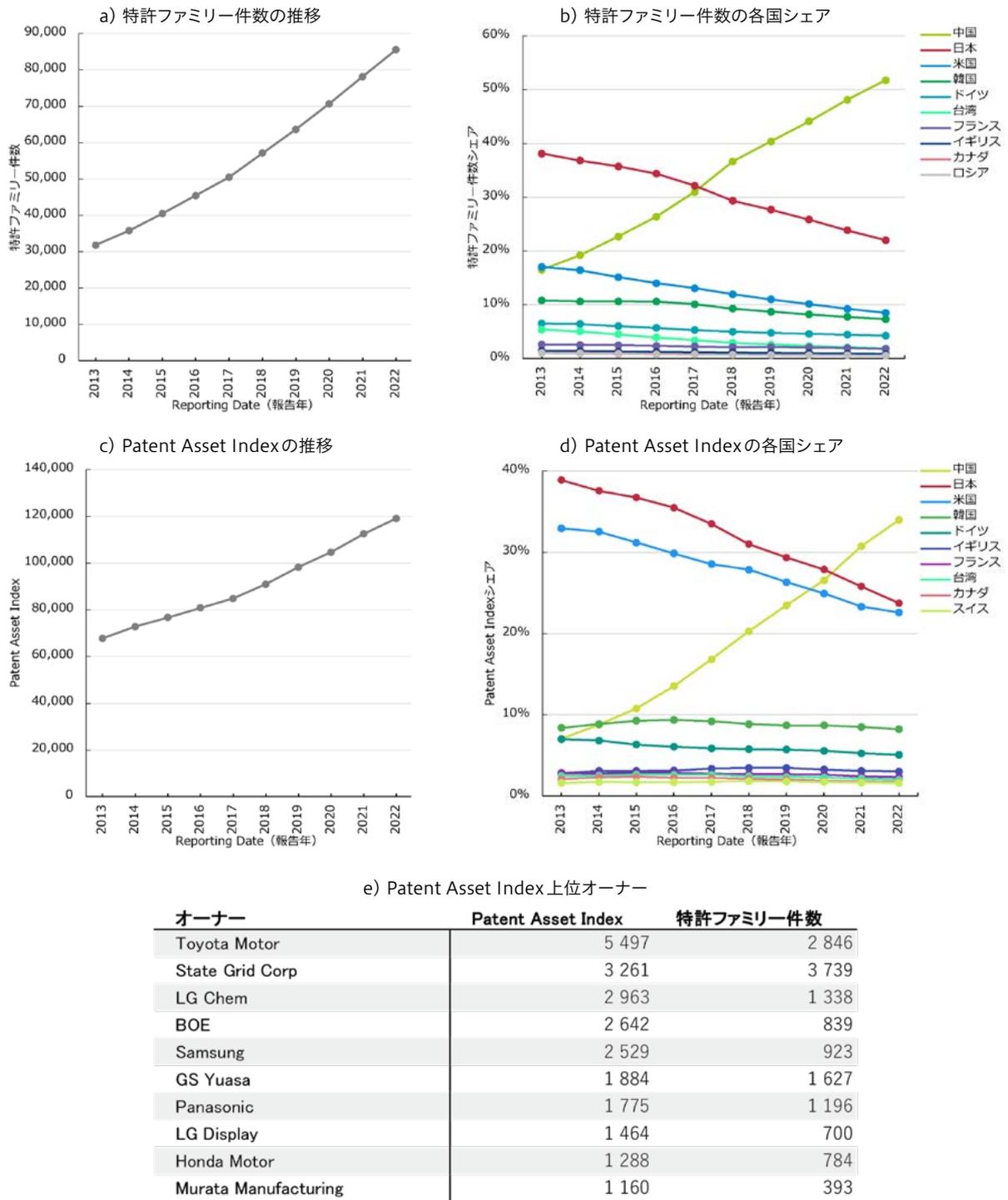


図 3.1-E2.1-4 蓄エネルギー技術領域における特許数の動向

3.1.E2.2 水素・アンモニア

領域の定義

エネルギーシステムのゼロエミッション化に向けて再生可能エネルギー（以下、「再エネ」）が主要なエネルギー源となっていくが、変動が大きい、長距離輸送が難しい、長期保存が難しいという課題がある。水素は安定なエネルギー物質として、再エネ電力や種々のエネルギー源から変換して得ることができる。水素は再び電力に変換でき、またCO₂削減が難しい製鉄や化学などの産業分野における還元剤としての利用も期待されている。本領域では水素製造技術、輸送・貯蔵のための水素キャリア製造技術、およびそのようにして得られた水素の利用技術を対象とする。アンモニアは水素キャリア（エネルギーキャリア）の一形態と捉える。なお、水素を用いてCO₂を有用な化合物に変換する技術は「E2.3 CO₂利用」、水素・アンモニアを燃焼させ発電する技術は「E1.1 火力発電」で扱う。なおナノテクノロジー・材料分野の「N1.4 電解・燃料電池」で関連した調査を行っている。

ポイント

- ・ 水素はカーボンニュートラルの実現に向けて電力用や産業用に広く活用が期待される物質であり、先進国を中心に水素戦略を立案し、経済性や安全性などの課題克服に向けて積極的な研究開発が進められている。
- ・ 論文数では中国が突出しているが、米国を除き各国とも増加傾向にある。中国、インド、韓国の増加率が高い。（図3.1-E2.2-1 b）、図3.1-E2.2 b）
- ・ 相対被引用度ではオーストラリアが高い（図3.1-E2.2-2 e）。
- ・ 論文の企業共著率は日本が最も高い（図3.1-E2.2-2 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-E2.2-3 a）。
- ・ 特許ファミリー件数シェアは、日本は相対的に減少し2022年時点で中国に次ぐ2位となっている（図3.1-E2.2-4 b）。
- ・ Patent Asset Indexシェアは、2022年時点で日本は中国、米国に次ぐ3位となっている。日本企業を含む複数の自動車メーカーがPatent Asset Index上位オーナーに現れている。（図3.1-E2.2-4 e）

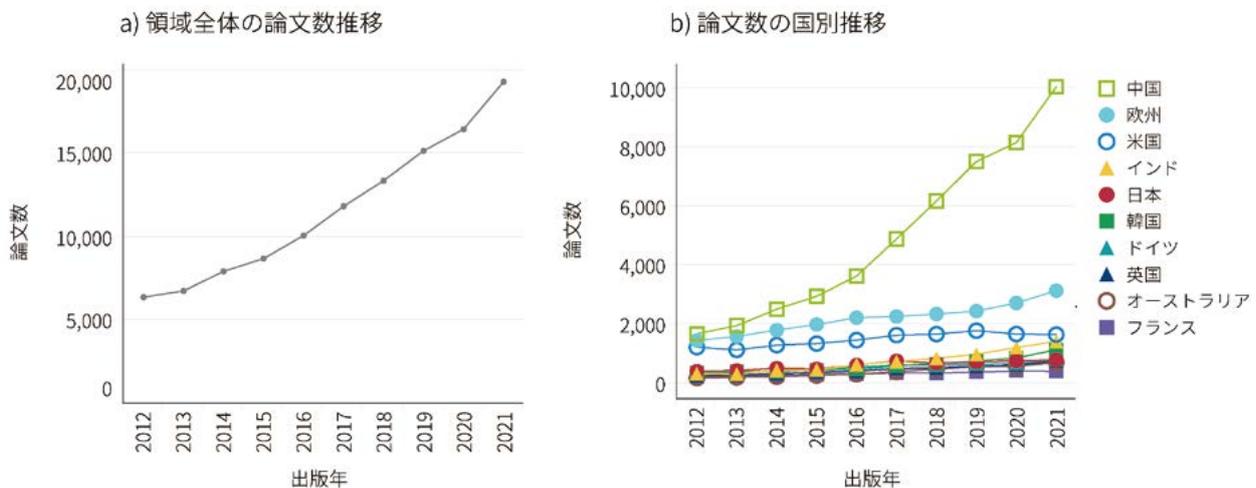


図3.1-E2.2-1 水素・アンモニア領域における論文数の動向①

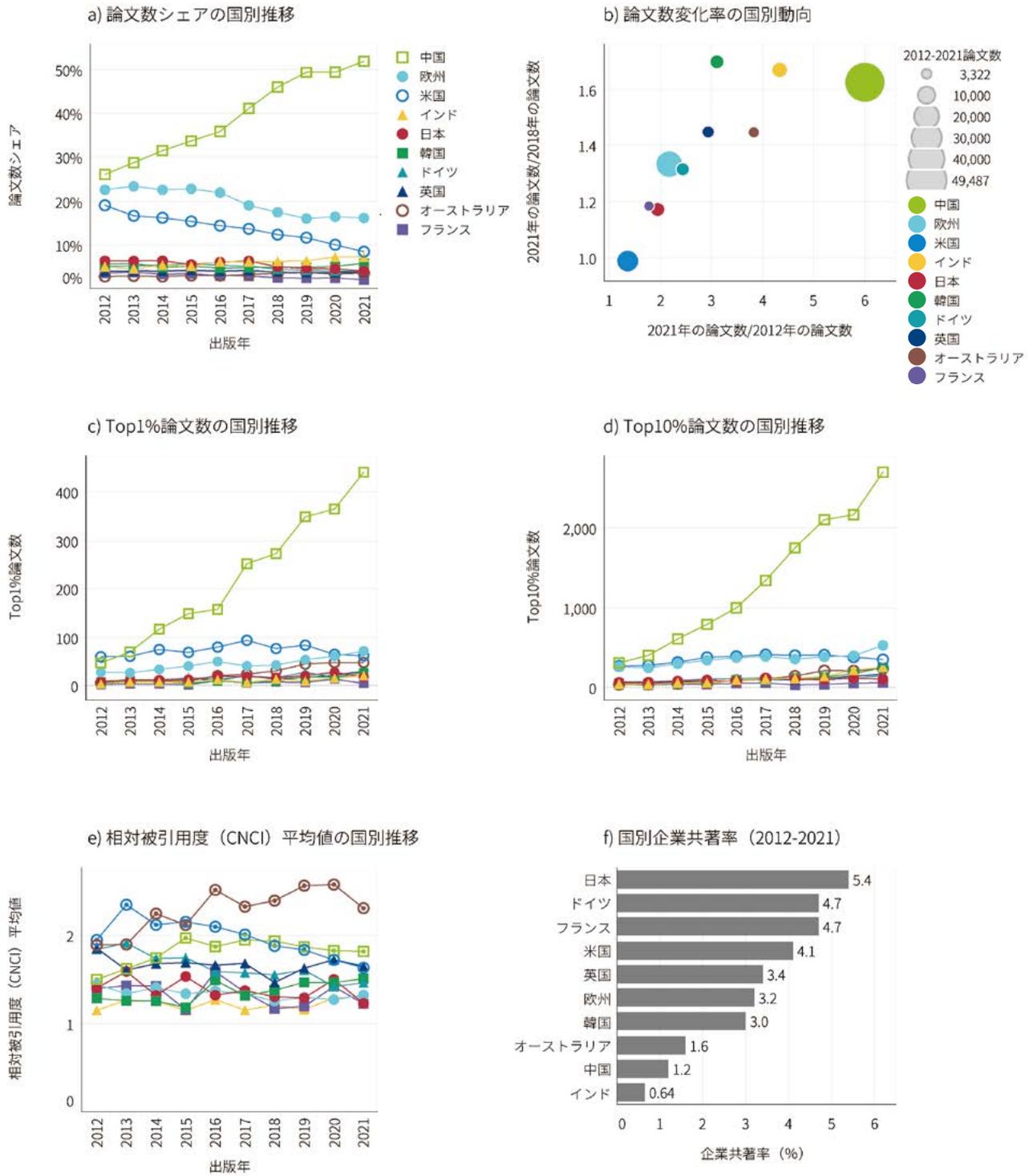


図3.1-E2.2-2 水素・アンモニア領域における論文数の動向②

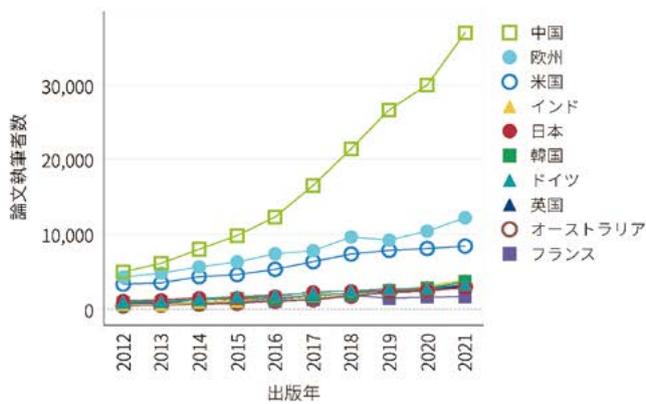
a) 各国間の共著率 (2012-2021)

(%)	中国	米国	インド	日本	韓国	ドイツ	英国	オーストラリア	フランス	カナダ	論文数 (件)
中国	\	7.3	0.53	2.2	1	1.4	2.2	3.7	0.56	1.3	49,823
米国	24	\	2.2	2.2	3.7	3.5	2.9	2.5	1.6	2.3	14,883
インド	3.6	4.5	\	2.6	6.4	1.8	2.5	2.4	0.74	1.3	7,394
日本	18	5.3	3	\	4.1	2.6	2	3.1	1.9	0.66	6,220
韓国	8.3	9	7.7	4.2	\	1.5	1.6	2.2	0.49	0.8	6,128
ドイツ	13	9.3	2.4	2.9	1.6	\	5.2	2.7	5.4	1.9	5,562
英国	23	9.3	4	2.6	2.1	6.3	\	4.4	4.2	2.4	4,652
オーストラリア	47	9.2	4.4	4.9	3.4	3.8	5.2	\	1.6	1.1	3,960
フランス	8.4	7.2	1.7	3.5	0.9	9.1	5.9	1.9	\	2.7	3,322
カナダ	21	11	3	1.3	1.5	3.3	3.5	1.3	2.8	\	3,212

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	2,268	51	377
University of Chinese Academy of Sciences, CAS	中国	2	2,181	116	660
Tsinghua University	中国	3	1,599	112	488
University of Science & Technology of China, CAS	中国	4	1,535	142	593
Tianjin University	中国	5	1,407	98	480
Xi'an Jiaotong University	中国	6	1,382	39	329
Helmholtz Association	ドイツ	7	1,362	37	228
Zhejiang University	中国	8	1,346	50	314
Harbin Institute of Technology	中国	9	1,261	34	311
South China University of Technology	中国	10	1,232	51	330
National Institute of Advanced Industrial Science & Technology (AIST)	日本	44	587	36	132

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)

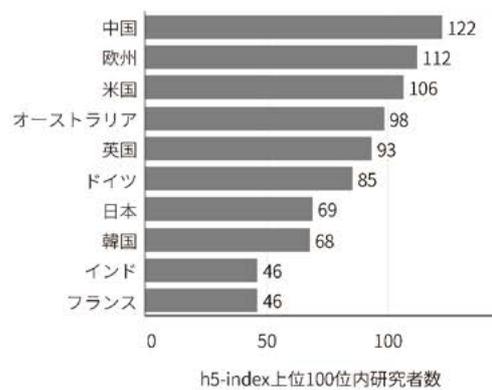


図 3.1-E2.2-3 水素・アンモニア領域における論文数の動向③

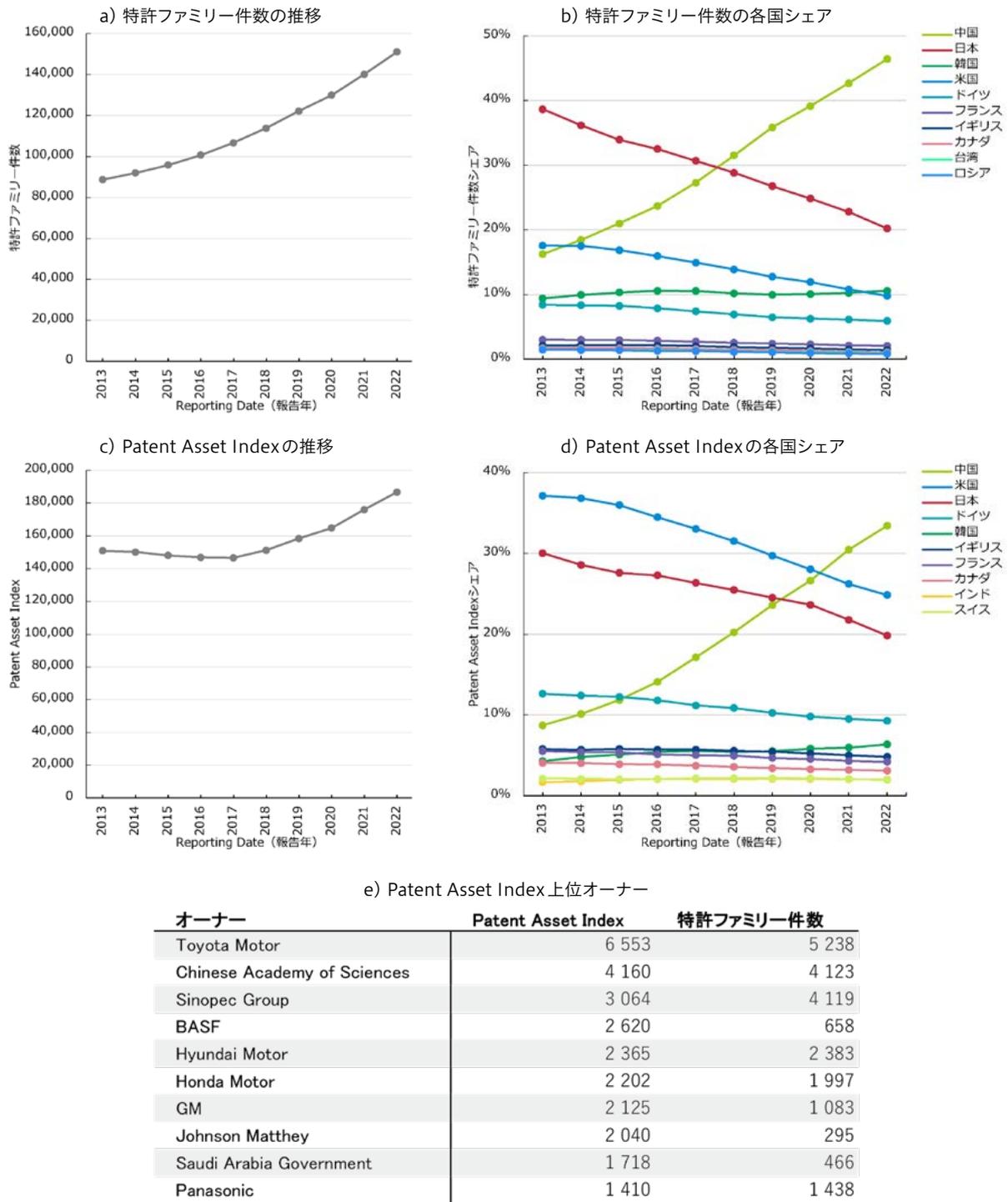


図 3.1-E2.2-4 水素・アンモニア領域における特許数の動向

3.1.E2.3 CO₂利用

領域の定義

二酸化炭素 (CO₂) を回収し有効利用する方法はCCU (Carbon dioxide Capture and Utilization) と呼ばれる。排ガスや大気から回収したCO₂をグリーン水素 (H₂) または再生可能電力を用いてメタン、液体系燃料、化学品を製造する技術が中心である。産油国ではCCUは石油増進回収 (Enhanced Oil Recovery : EOR) を意味することも多いが、日本、EUでは幅広いCO₂有効利用全般を指す。

CO₂の回収プロセスはCCU、CCS (Carbon Capture and Storage) 共通のプロセスであり「E1.9 CO₂回収・貯留 (CCS)」で扱う。CCUにおいては、CO₂の還元エネルギーとして水素が用いられるが、水素の製造技術については「E2.2 水素・アンモニア」で扱う。

ポイント

- ・ 各国とも論文数を増やしているが、中でも中国が顕著で2012年から2021年の間で10倍以上の伸びを示しており、Top1%論文、Top10%論文の比率も突出している。日本の伸び率は他の国より小さい。(図3.1-E2.3-1 b)、図3.1-E2.3-2 a)、d))
- ・ 論文の企業共著率は、日本がもっとも高い (図3.1-E2.3-1 f))。
- ・ 各国間の共著率は、中国、米国との共著率が高い。日本の共著相手国としては中国、米国との共著率が高いが、それ以外の国との共著率は低い。オーストラリアは中国との共著率が高い。(図3.1-E2.3-3 a))
- ・ 論文数上位機関の多くは中国となっている。フランス、ドイツの機関も見られる (図3.1-E2.3-3 b))。
- ・ 特許ファミリー件数シェアは、日本は中国、米国に次いで3位となっている。日本のシェアは低下傾向にある。(図3.1-E2.3-4 b))
- ・ Patent Asset Indexシェアでは、2022年時点では中国と米国が拮抗し、日本は4位となっている。Patent Asset Index上位オーナーには、中国科学院、サウジアラビア政府などの公的機関の他、欧米の企業が多く挙がっている。(図3.1-E2.3-4 d)、e))

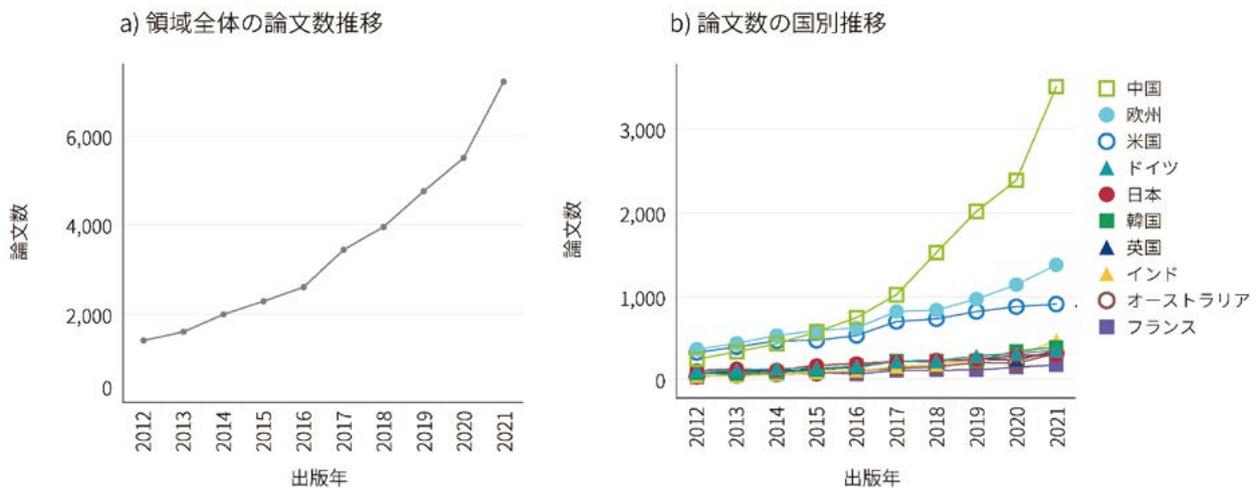


図 3.1-E2.3-1 CO₂利用領域における論文数の動向①

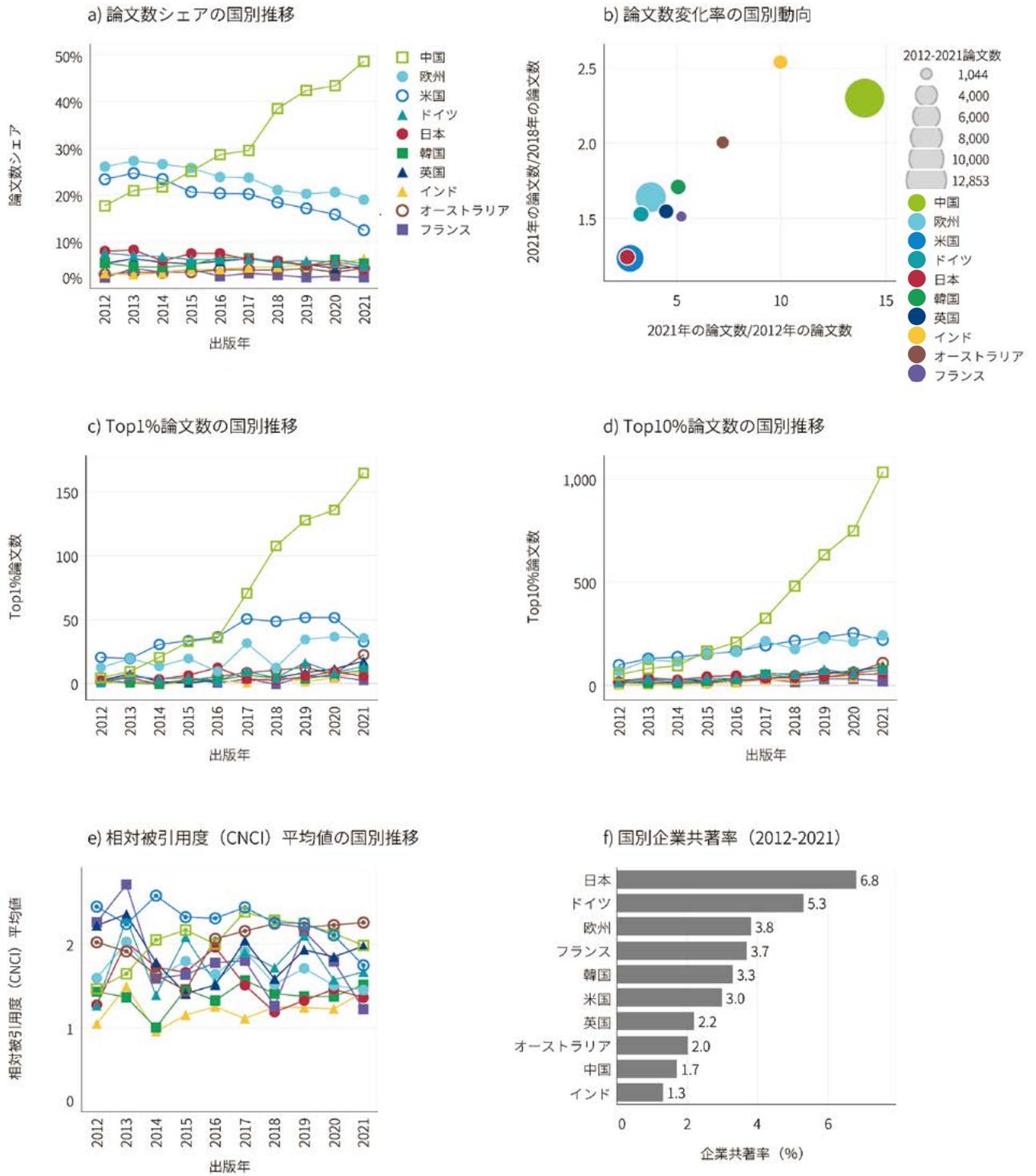


図 3.1-E2.3-2 CO₂利用領域における論文数の動向②

3
アウトプットの分析
(研究開発領域別)

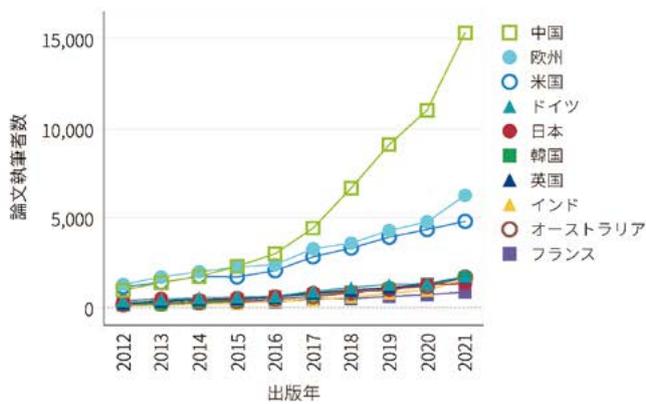
a) 各国間の共著率 (2012-2021)

(%)	中国	米国	ドイツ	日本	韓国	英国	インド	オーストラリア	カナダ	フランス	論文数 (件)
中国	\	9.9	1.8	2.8	1.5	3.2	0.67	4.2	2.3	0.66	12,966
米国	21	\	3.2	2.8	3.1	3.7	1.8	2.6	3.7	1.8	6,269
ドイツ	11	9.5	\	2.9	1.6	7.7	1.9	2.4	3.8	4.4	2,099
日本	18	8.4	3	\	2.9	2.5	1.7	3.2	1.4	1.7	2,050
韓国	9.4	9.9	1.7	3	\	1.8	4.6	1.7	0.75	0.45	1,995
英国	22	12	8.6	2.7	1.9	\	2.8	5.7	4.4	4.8	1,875
インド	5	6.3	2.3	2	5.3	3.1	\	2.7	1.3	1.5	1,734
オーストラリア	39	12	3.6	4.7	2.4	7.6	3.3	\	3.1	1.8	1,407
カナダ	23	18	6.1	2.2	1.2	6.3	1.7	3.3	\	3.8	1,296
フランス	8.1	11	8.9	3.3	0.86	8.6	2.5	2.4	4.7	\	1,044

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
University of Chinese Academy of Sciences, CAS	中国	1	1,004	71	328
Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	フランス	2	711	21	166
Tianjin University	中国	3	536	39	219
University of Science & Technology of China, CAS	中国	4	449	79	215
Tsinghua University	中国	5	389	35	137
Dalian University of Technology	中国	6	384	13	118
Zhejiang University	中国	7	368	19	107
Max Planck Society	ドイツ	8	341	18	107
Helmholtz Association	ドイツ	9	336	13	78
Dalian Institute of Chemical Physics, CAS	中国	10	331	35	135
Tokyo Institute of Technology	日本	29	233	6	60

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)

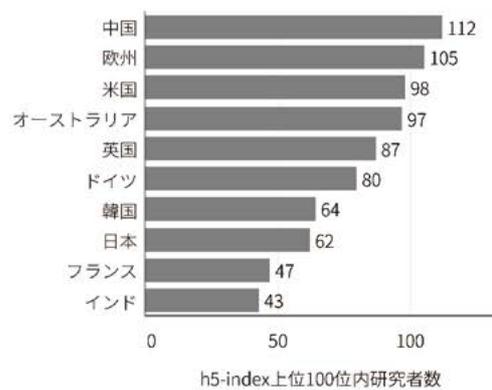


図 3.1-E2.3-3 CO₂ 利用領域における論文数の動向③

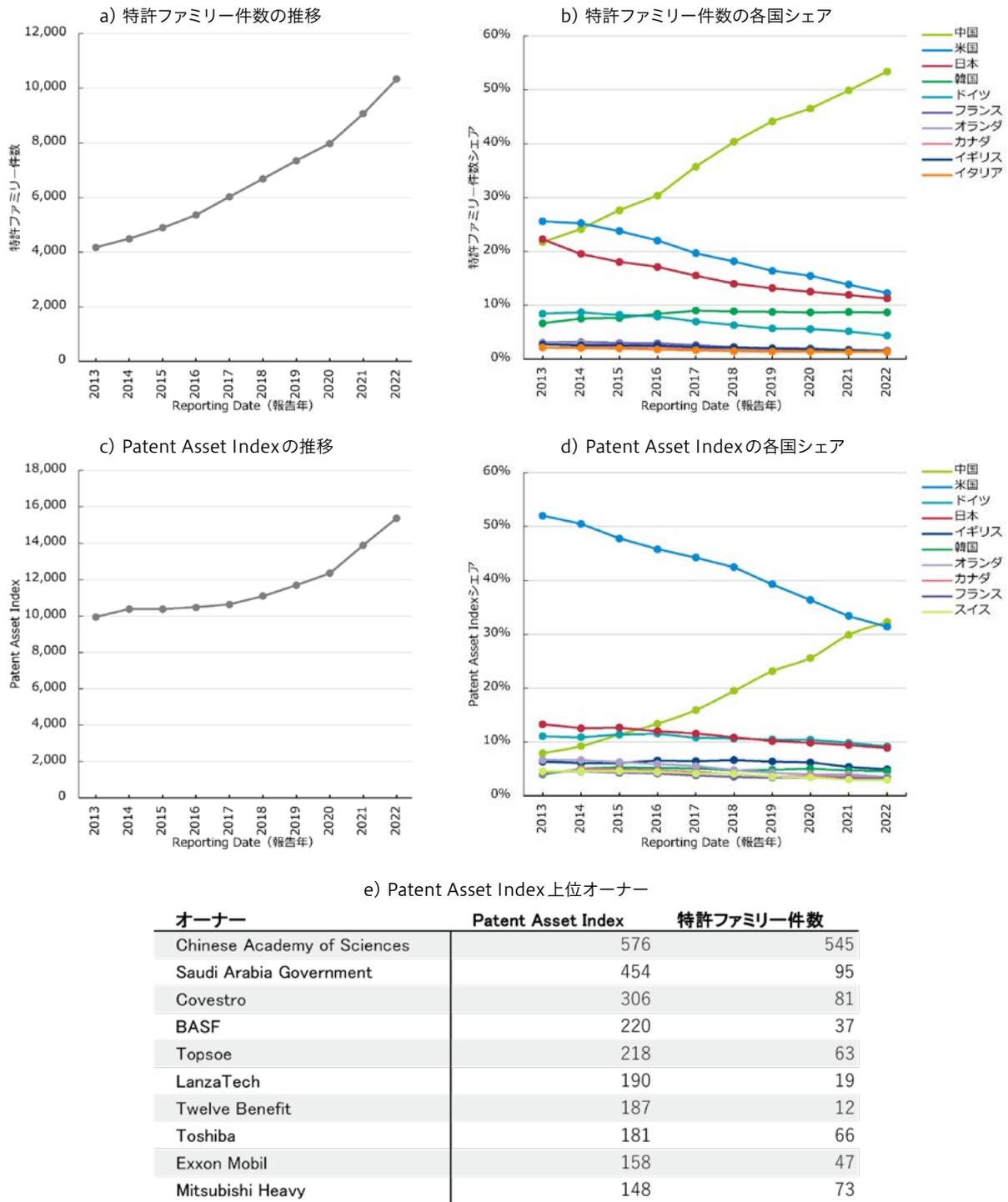


図 3.1-E2.3-4 CO₂ 利用領域における特許数の動向

3.1.E2.4 産業熱利用

領域の定義

熱エネルギー利用のうち、産業部門での熱の有効利用に関する科学、技術、研究開発を対象とする。主に、蓄熱技術と熱再生利用技術を扱う。蓄熱技術は、排熱あるいは変動型再生可能エネルギー由来の熱などを蓄え、製造プロセスの予熱、加熱、温度維持等に利用し、化石燃料消費量の削減を図るものである。ここでは、蓄熱材とそれを用いた蓄熱システムを対象とする。熱再生利用技術とは、熱需要における投入エクセルギー量を最小化するために、主として利用後の排熱を回収して、材料やプロセス流体を予熱あるいは予冷することで、エクセルギーを無駄にせず再生する技術である。これにより、化石燃料の消費を大幅に削減できる。ここでは、排熱に限らず環境熱等も熱源に含め、熱が持つエクセルギー率を高める熱再生技術の理論、およびその要素技術として、熱交換、熱輸送、ヒートポンプ（機械方式、化学方式）技術を対象とする。

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。産業熱の有効利用に資する技術の導入は、省エネやCO₂の削減、波及する経済効果などへの期待が理由の一つであると考えられる。(図3.1-E2.4-1 a)、図3.1-E2.4-4 a))
- ・ 論文数の国別推移、シェアは中国、米国が高い。論文数の増加率ではインドの論文数の伸びが著しい。(図3.1-E2.4-1 b)、図3.1-E2.4-2 b))
- ・ 論文の国別企業共著率は日本が首位で韓国、フランスと続く(図3.1-E2.4-2 f))。
- ・ 日本との論文共著率が最も高い国は中国、次いで米国である(図3.1-E2.4-3 a))。
- ・ 総論文数、およびTop論文数は欧州の公的研究機関、大学が多い。中国は複数の大学が上位に位置し、存在感を見せている。(図3.1-E2.4-3 b))
- ・ 特許動向に関して、日本はかつてトップクラスに位置していたが、中国が特許件数シェアの拡大を続け、Patent Asset Indexも高い水準にある。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-E2.4-4 b)、d))

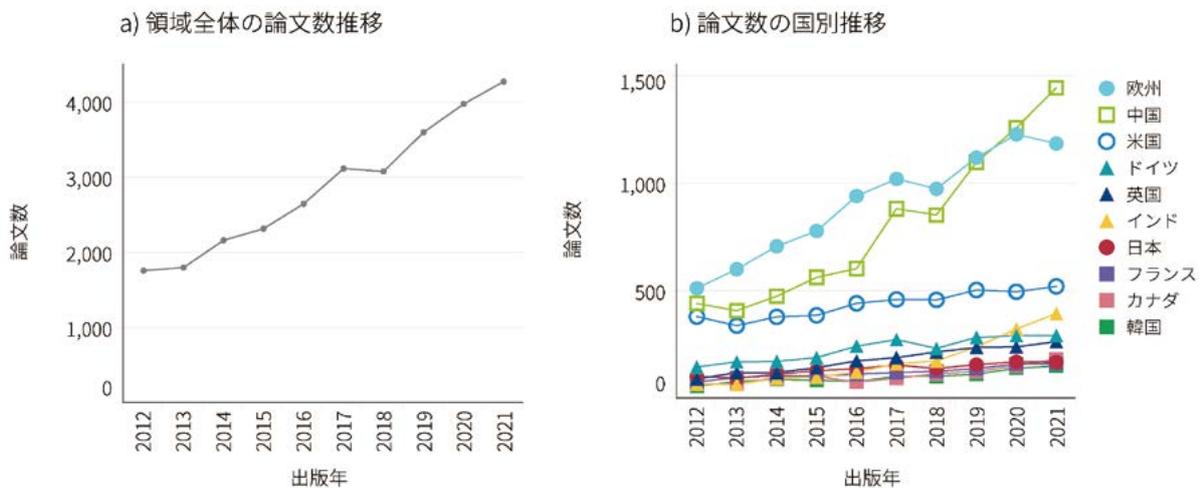


図3.1-E2.4-1 産業熱利用領域における論文数の動向①

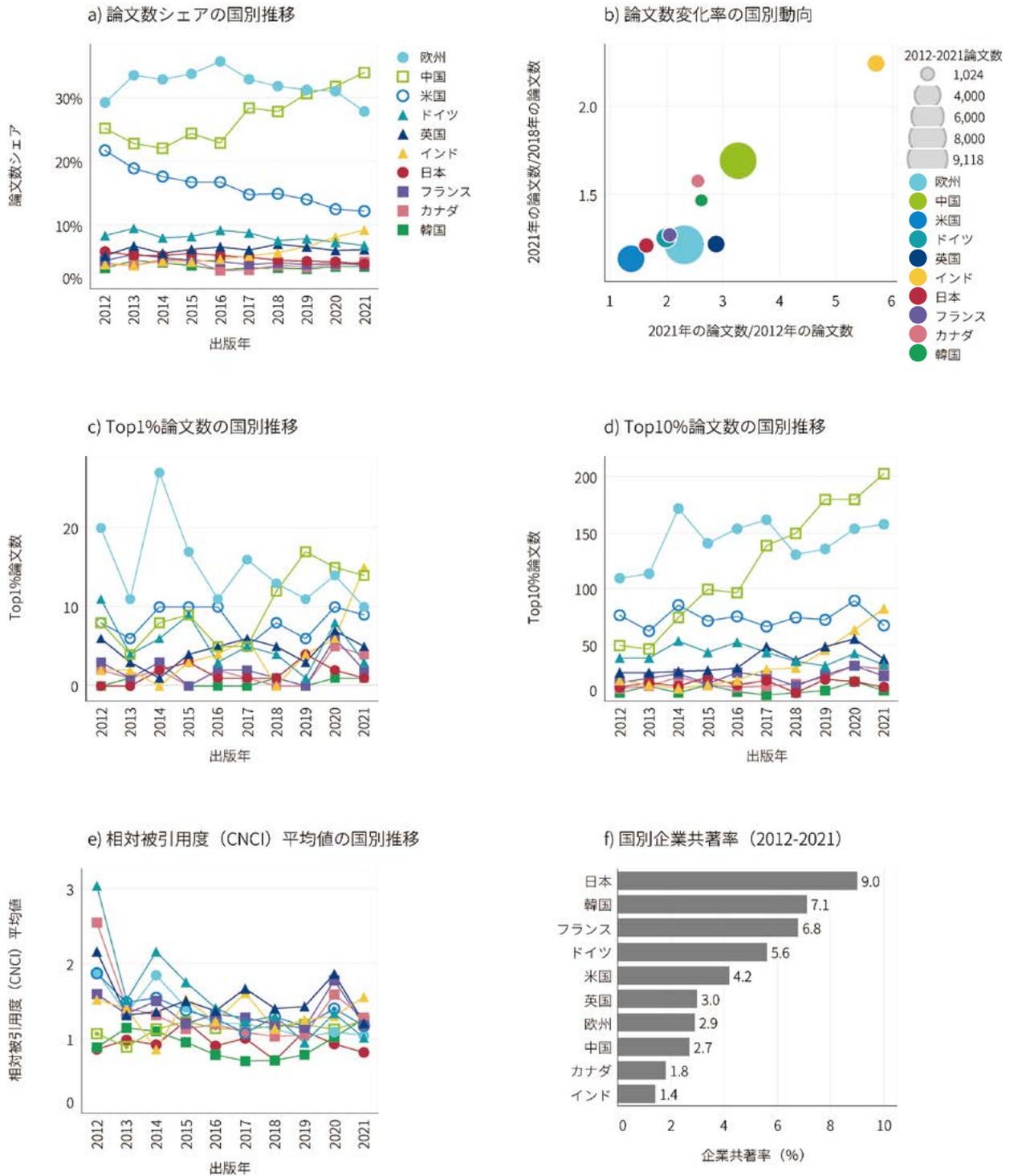


図 3.1-E2.4-2 産業熱利用領域における論文数の動向②

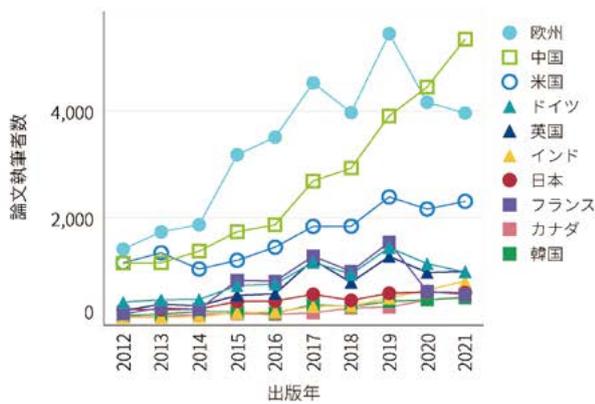
a) 各国間の共著率（2012-2021）

(%)	中国	米国	ドイツ	英国	インド	日本	フランス	カナダ	韓国	オーストラリア	論文数(件)
中国	\	8.2	1.8	4.3	0.65	2	1	1	0.71	2.5	8,182
米国	15	\	6.7	6.6	1.5	3	5.1	3.8	3.2	2.8	4,405
ドイツ	6.4	13	\	8.3	1.4	3.1	7.6	2.7	1.4	2.3	2,327
英国	19	16	11	\	2.7	3.3	8	3.1	1.8	4.2	1,824
インド	3	3.8	1.8	2.8	\	2.1	1.8	1	1.4	0.96	1,770
日本	12	9.5	5.2	4.4	2.7	\	4.8	1.8	3.3	2.2	1,395
フランス	6.9	18	14	12	2.6	5.4	\	4.9	2.2	2.8	1,232
カナダ	7.5	15	5.6	5.1	1.6	2.3	5.4	\	1.4	3.5	1,111
韓国	5.7	14	3.2	3.1	2.3	4.5	2.6	1.6	\	2	1,024
オーストラリア	27	16	7.2	10	2.3	4.1	4.6	5.3	2.7	\	740

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	730	14	142
Helmholtz Association	ドイツ	2	608	20	123
Tsinghua University	中国	3	529	7	84
Xi'an Jiaotong University	中国	4	453	8	99
Shanghai Jiao Tong University	中国	5	388	10	83
Tianjin University	中国	6	351	1	42
Max Planck Society	ドイツ	7	279	10	78
University of Chinese Academy of Sciences, CAS	中国	8	269	6	42
Harbin Institute of Technology	中国	9	243	1	24
University of Tokyo	日本	10	233	2	36

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）

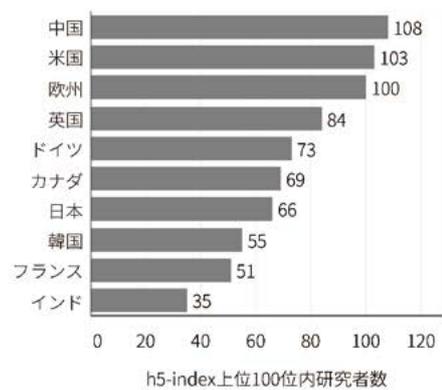


図 3.1-E2.4-3 産業熱利用領域における論文数の動向③

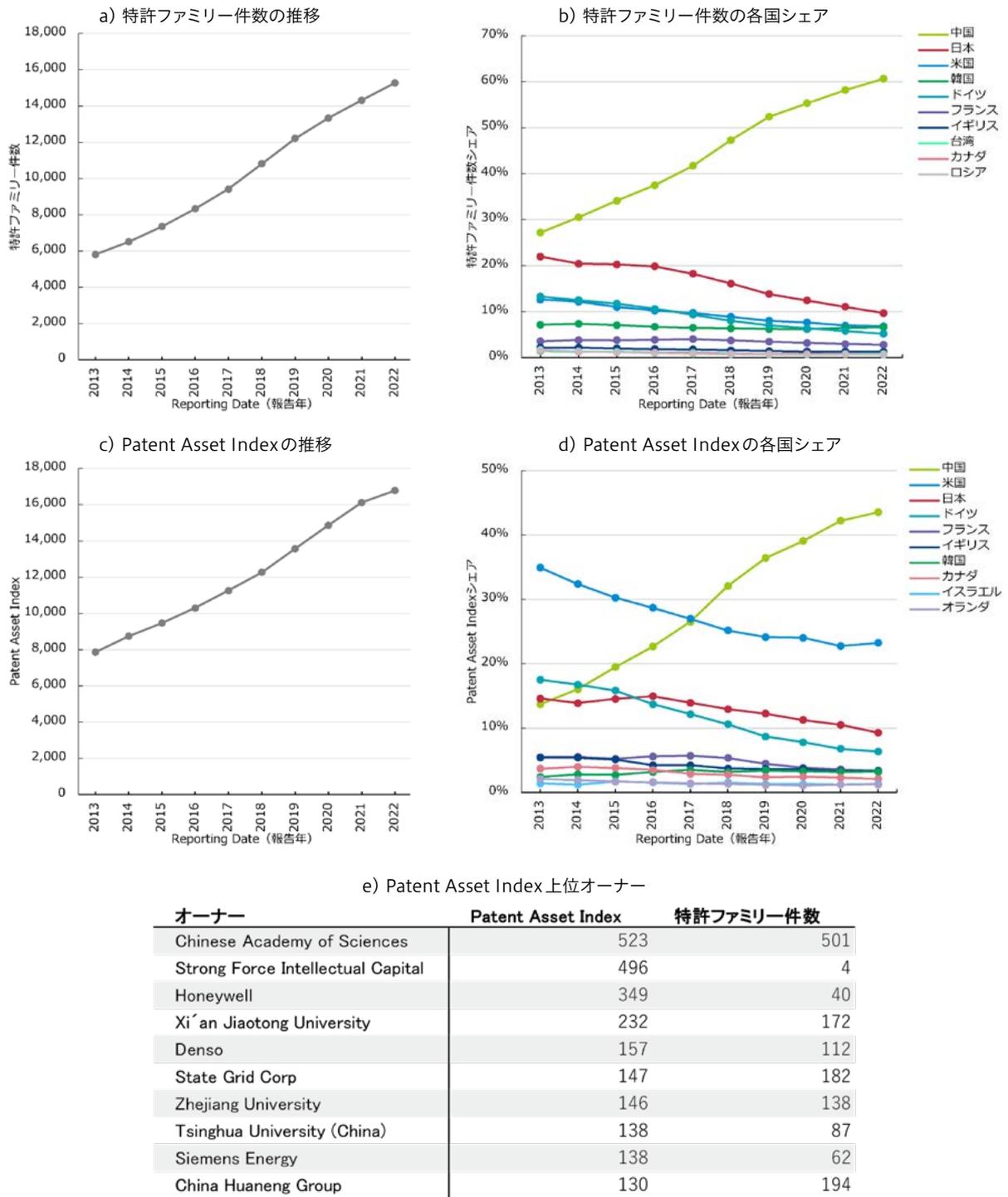


図 3.1-E2.4-4 産業熱利用領域における特許数の動向