

3.1.S システム・情報科学技術

3.1.S1 人工知能・ビッグデータ

3.1.S1.1 知覚・運動系のAI技術

領域の定義

知能を知覚・運動系と言語・知識系という2面で捉え、本領域は前者を対象とする。本領域には主に、機械学習技術をベースとしたパターン認識と動作生成、および、それらを統合した即応的のループが含まれる。また、機械学習技術は、人工知能 (Artificial Intelligence : AI) の研究分野全般にわたって用いられる共通技術となっているが、その主要な取り組みは本領域に含める。

ポイント

- ・ 本領域は、AI分野全般で共通技術として使われる機械学習技術を含むため、論文数・特許数とも、他領域と比べて1桁以上多い (図3.1-S1.1-1 a)、図3.1-S1.1-4 a)。
- ・ 論文数・特許数とも国別では中国と米国が二強状態である (図3.1-S1.1-1 b)、図3.1-S1.1-4 b)。
- ・ 以前は米国が1位だったが、論文数シェアは2014年、Top10%論文数は2019年、Patent Asset Indexも2019年に中国が米国を抜いて1位になった (図3.1-S1.1-2 a)、d)、図3.1-S1.1-4 d)。
- ・ 欧州の論文数は米国を若干上回っているが、Top1%論文数・Top10%論文数は米国の方が多い (図3.1-S1.1-1 b)、図3.1-S1.1-2 c)、d)。
- ・ 論文数上位10位機関には中国から8機関 (すべてアカデミア) が入っているのに対して、米国からはゼロである (図3.1-S1.1-3 b)。
- ・ ただし、機械学習分野で知られる主要システムは米国、特に米国の産業界から生まれている (図3.1-S1.1-5)。2014年まではアカデミア中心だったが、2015年以降は産業界 (特に米国のビッグテック企業) が先導しており、この傾向はますます強まっている (図3.1-S1.1-5)。
- ・ なお、論文統計は2021年までのデータであり、2022年以降に大ブームとなった生成AIの動向 (米国ビッグテック企業による先導傾向がさらに強まる) は含まれていないことに留意する必要がある。

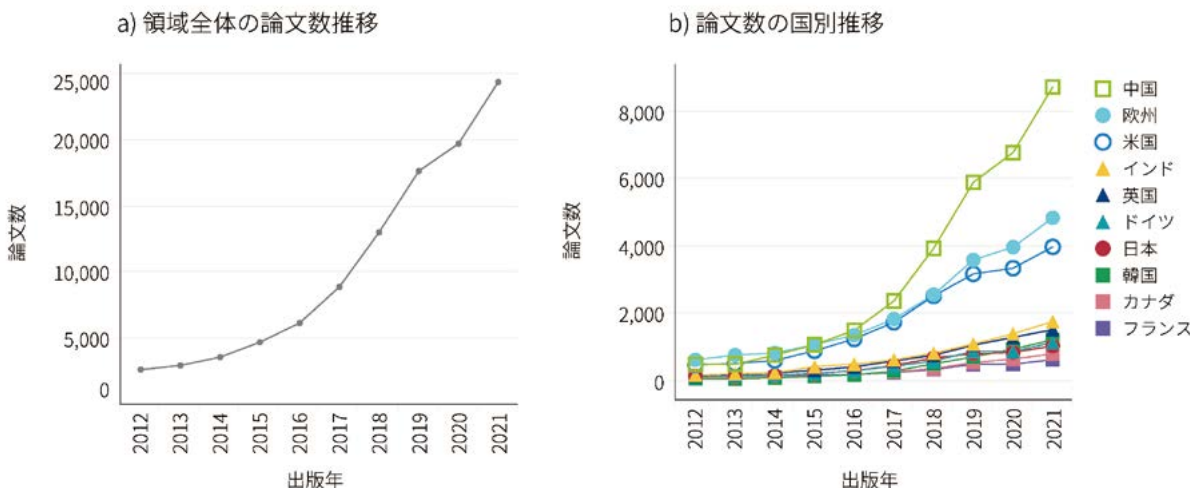


図3.1-S1.1-1 知覚・運動系のAI技術領域における論文数の動向①

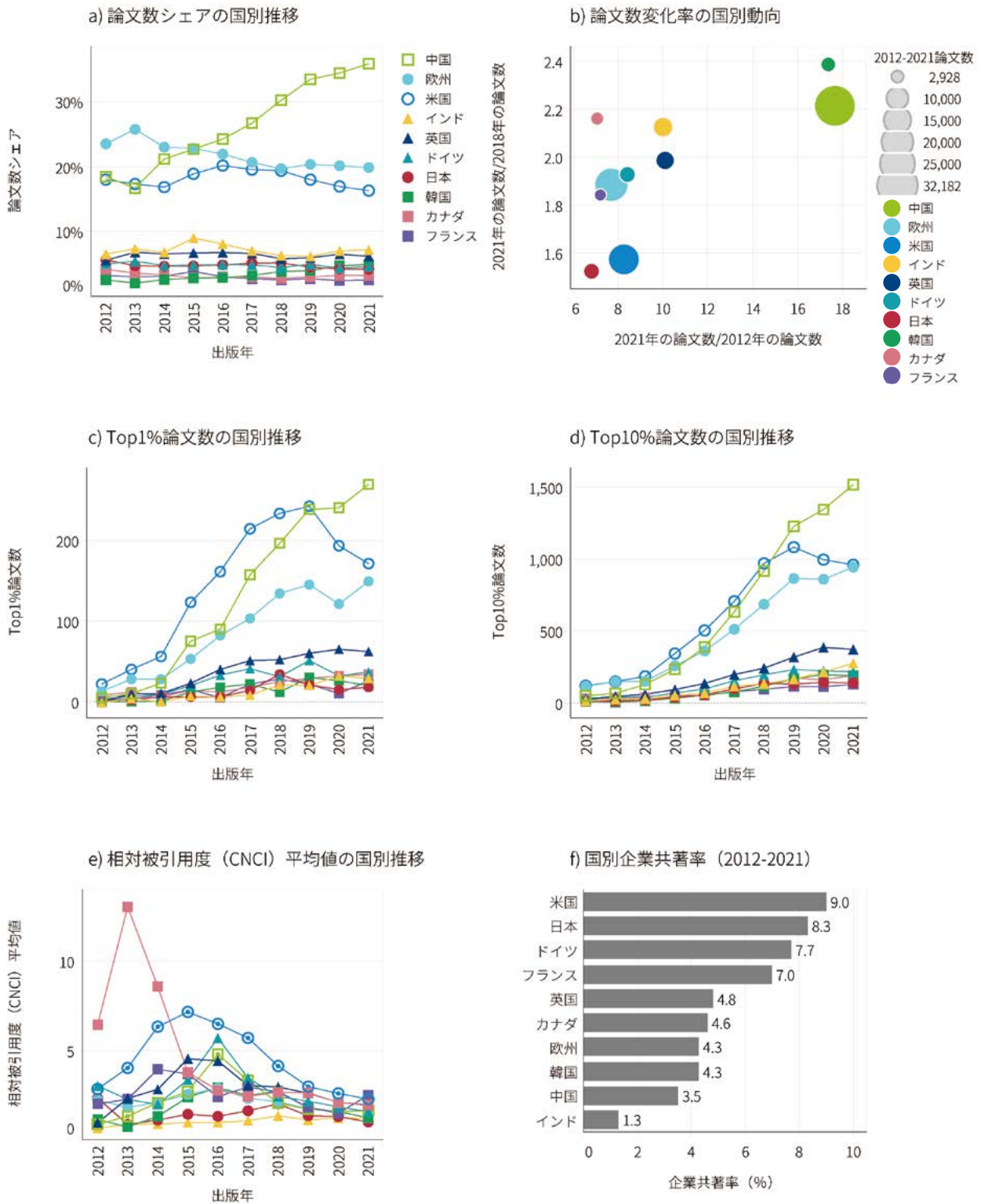


図3.1-S1.1-2 知覚・運動系のAI技術領域における論文数の動向②

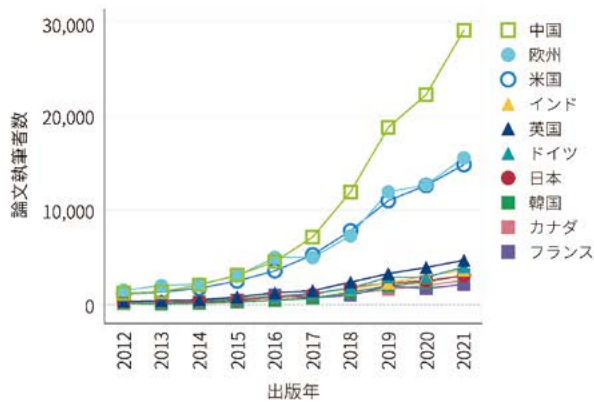
a) 各国間の共著率 (2012-2021)

(%)	中国	米国	欧州	インド	英国	ドイツ	日本	韓国	カナダ	フランス	論文数 (件)
中国	\	8.9	2.5	0.54	4.3	0.86	1.5	0.71	2	0.55	32,847
米国	16	\	6.6	2.2	4	3	1.7	1.9	2.9	1.7	18,615
欧州	5.3	8.1	\	1.9	7.5	5.6	1.5	0.79	1.9	3.6	15,194
インド	2.4	5.6	3.9	\	2.3	0.83	0.8	1.1	0.9	0.6	7,356
英国	21	11	17	2.5	\	6.9	2.4	1.3	2.6	3.4	6,624
ドイツ	5.7	11	17	1.2	9.2	\	2.1	0.88	2.2	4.3	4,986
日本	10	6.6	4.6	1.2	3.2	2.2	\	1.2	1.5	1.6	4,877
韓国	5.5	8.4	2.8	1.8	2	1	1.3	\	1.1	0.52	4,272
カナダ	20	16	8.5	2	5.2	3.3	2.2	1.3	\	3.6	3,350
フランス	6.2	11	19	1.5	7.6	7.3	2.6	0.75	4.2	\	2,928

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	1,473	94	393
Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	フランス	2	1,212	65	316
Tsinghua University	中国	3	1,209	98	376
Shanghai Jiao Tong University	中国	4	956	46	248
Institute of Automation, CAS	中国	5	825	81	264
University of Electronic Science & Technology of China	中国	6	814	43	209
Zhejiang University	中国	7	805	41	190
Harbin Institute of Technology	中国	8	779	23	153
Beihang University	中国	9	724	27	155
Nanyang Technological University	シンガポール	10	695	67	276
University of Tokyo	日本	34	474	17	83

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)

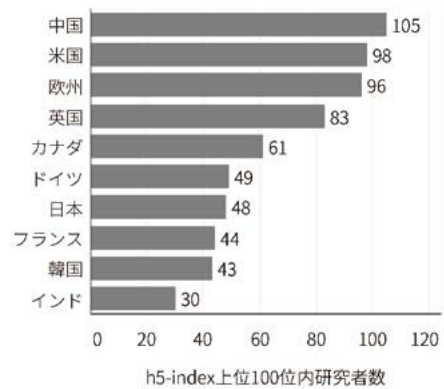


図 3.1-S1.1-3 知覚・運動系のAI技術領域における論文数の動向③

3
アウトプットの分析
(研究開発領域別)

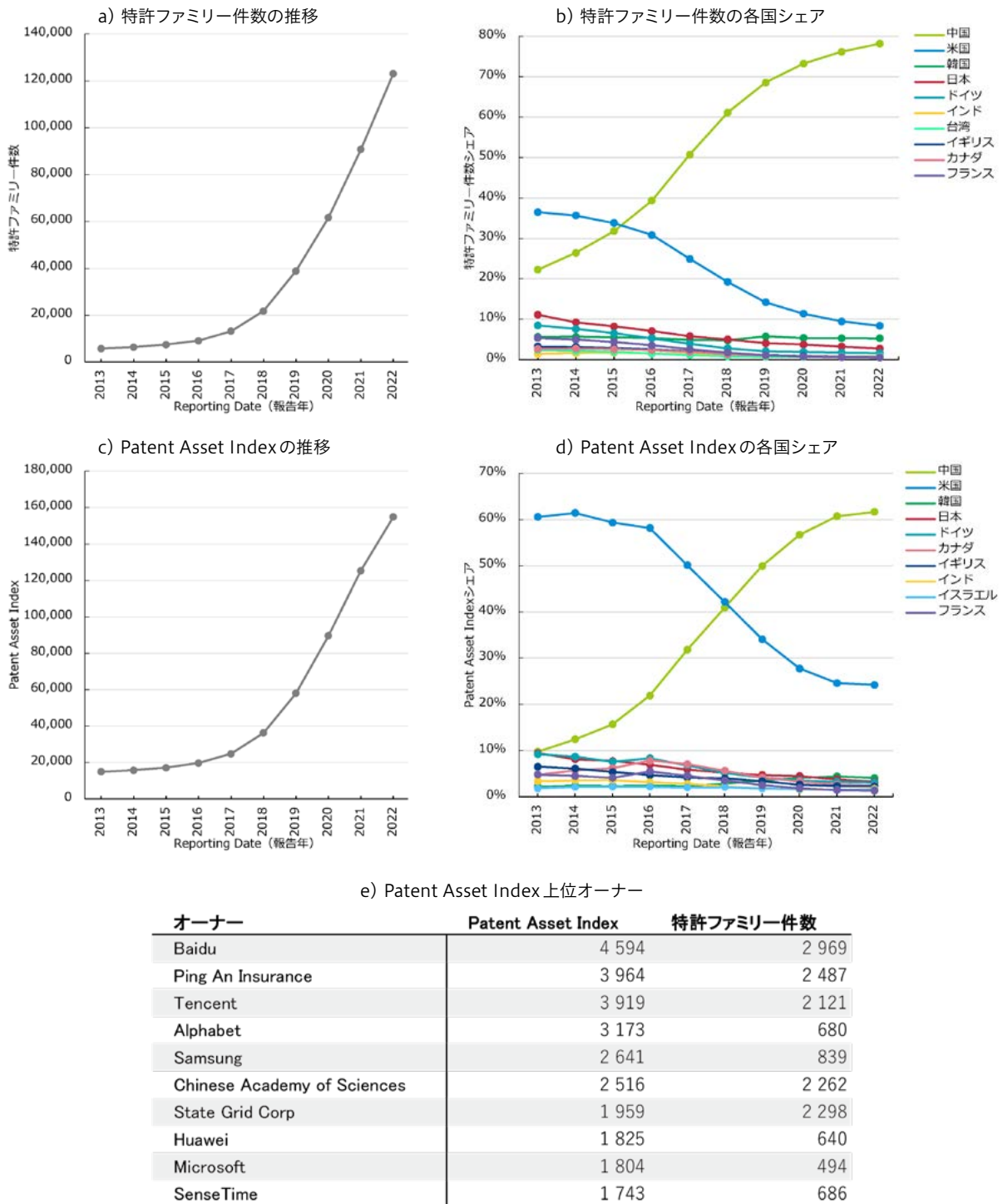


図3.1-S1.1-4 知覚・運動系のAI技術領域における特許数の動向

Number of Significant Machine Learning Systems by Country, 2022
Source: Epoch and AI Index, 2022 | Chart: 2023 AI Index Report

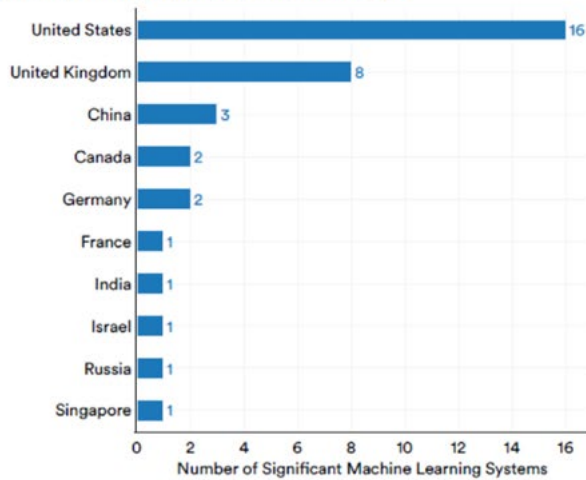


Figure 1.2.3

Number of Significant Machine Learning Systems by Select Geographic Area, 2002–22
Source: Epoch and AI Index, 2022 | Chart: 2023 AI Index Report

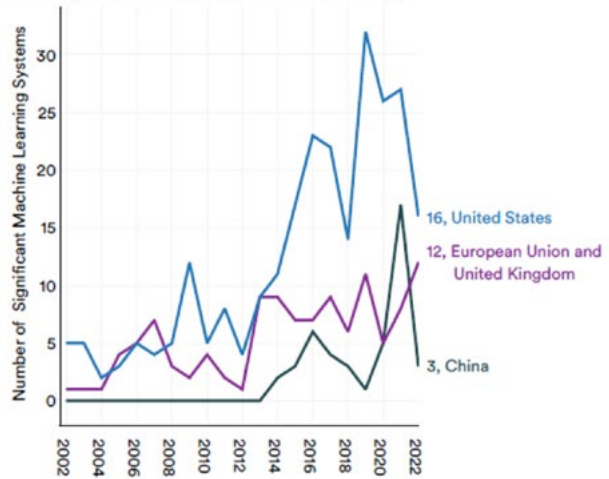


Figure 1.2.4

Number of Significant Machine Learning Systems by Sector, 2002–22
Source: Epoch, 2022 | Chart: 2023 AI Index Report

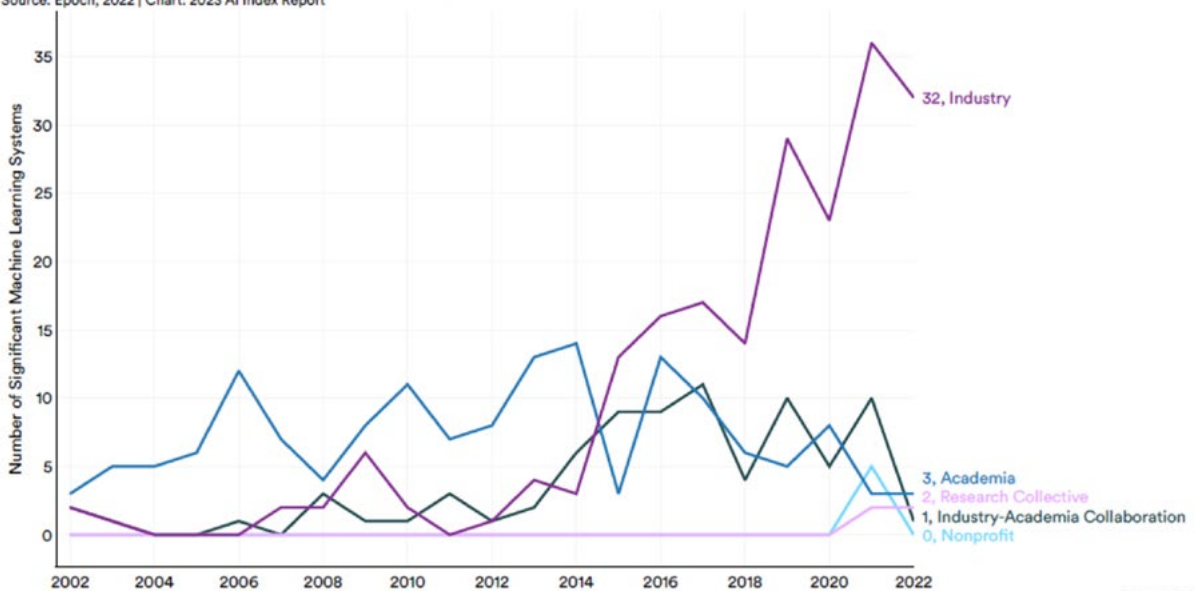


Figure 1.2.2

図3.1-S1.1-5 主要な機械学習システム数の動向

(出典：Artificial Intelligence Index Report 2023 – by Stanford University Human-Centered Artificial Intelligence)

3.1.S1.2 言語・知識系のAI技術

領域の定義

知能を知覚・運動系と言語・知識系という2面で捉え、本領域は後者を対象とする。本領域では、自然言語の解析・変換・生成などを行う自然言語処理（Natural Language Processing）、知識の抽出・構造化・活用を行う知識処理（Knowledge Processing）などが中心的に取り組みられてきた。知覚・運動系と言語・知識系の処理方式の共通性が高まり、それらを統一的に扱う枠組みも研究されるようになってきた。そこで、本領域には、自然言語処理・知識処理そのものの研究開発に加えて、知覚・運動系と言語・知識系を統合して熟考的ループを構成するための研究開発も含める。

ポイント

- 論文数・特許数ともますます増加の傾向にあり、その中で米国・中国が二強となっている（図3.1-S1.2-1 a）、図3.1-S1.2-4 a））。
- 論文数シェア、Patent Asset Indexとも、中国が米国に迫っているが、米国が1位をキープしている（図3.1-S1.2-2 a）、図3.1-S1.2-4 b））。また、Top10%論文数では、1位の米国と2位の中国との間にまだ開きがある（図3.1-S1.2-2 d））。欧州は総論文数・Top1%論文数で3位（Top10%論文数では中国とほぼ同程度）である（図3.1-S1.2-2 c）、d））。
- S1.1知覚・運動系のAI技術領域（特に図3.1-S1.1-5）で示したように、機械学習技術分野を先導する主要システムは米国から生まれており、その適用分野として言語分野が中心であることから、中国と比べて、本領域における米国の優位性が維持されている（図3.1-S1.2-5）。
- そのため、論文数上位10位機関では、米国が6機関、中国が3機関と、米国が中国を上回っている（図3.1-S1.2-3 b））。

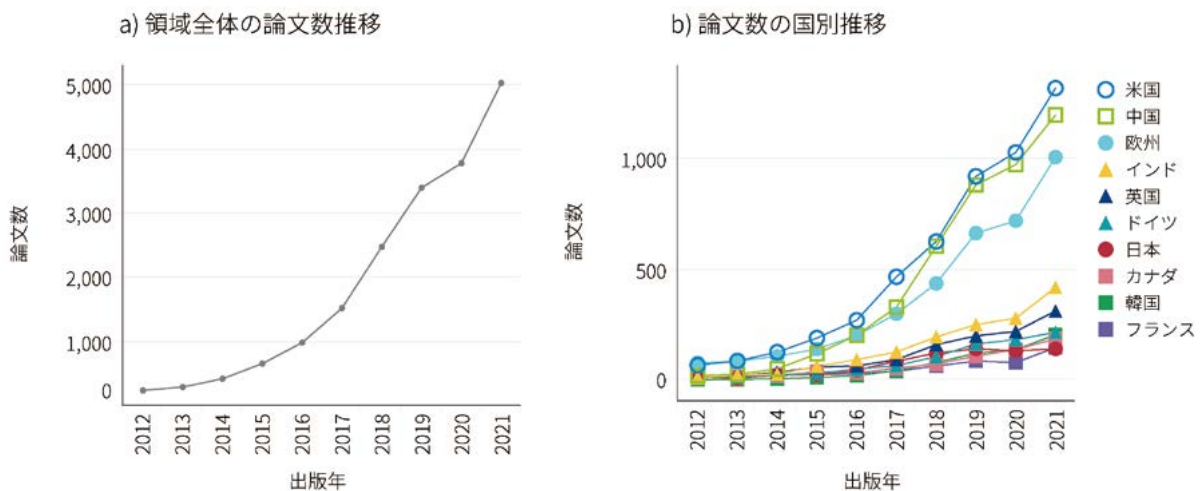


図3.1-S1.2-1 言語・知識系のAI技術領域における論文数の動向①

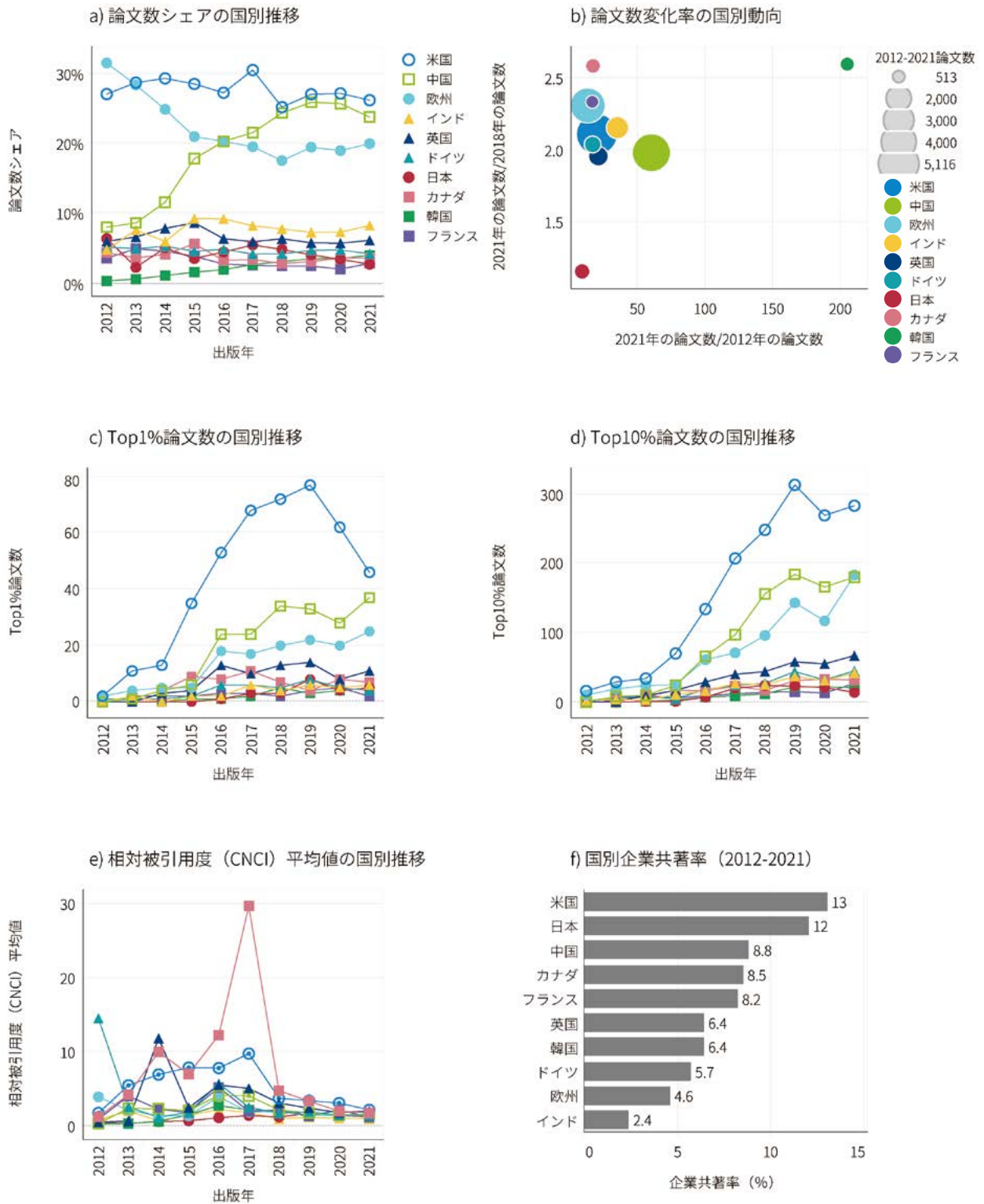


図 3.1-S1.2-2 言語・知識系のAI技術領域における論文数の動向②

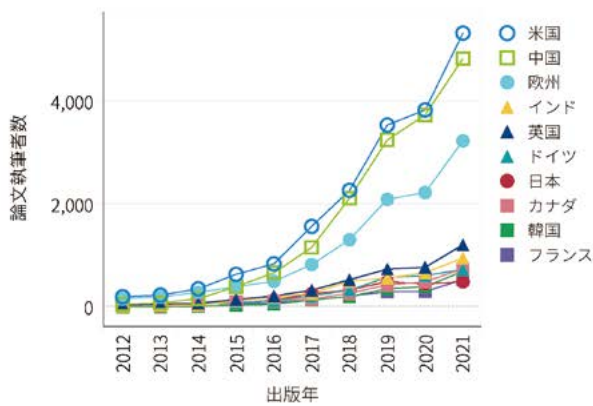
a) 各国間の共著率 (2012-2021)

(%)	米国	中国	欧州	インド	英国	ドイツ	日本	カナダ	韓国	フランス	論文数 (件)
米国	\	11	5.1	1.8	3.5	2	1.2	2.9	1.2	1.1	5,116
中国	12	\	2	0.51	3.4	0.55	1.7	1.5	0.53	0.4	4,545
欧州	10	3.4	\	1.7	7.5	4.7	1.3	1.7	0.46	3.2	2,595
インド	6.1	1.6	3	\	1.8	0.67	0.34	0.87	0.74	0.27	1,488
英国	15	13	17	2.2	\	5.1	2.5	3.9	0.26	2.9	1,176
ドイツ	12	2.9	14	1.2	6.9	\	0.93	2.1	0.58	3.5	864
日本	8.3	11	4.6	0.68	4	1.1	\	1.4	0.68	1.8	734
カナダ	22	10	6.7	2	6.9	2.7	1.5	\	0.45	4.9	668
韓国	9.5	3.9	1.9	1.8	0.48	0.8	0.8	0.48	\	0.16	623
フランス	11	3.5	16	0.78	6.6	5.9	2.5	6.4	0.2	\	513

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
Microsoft	米国	1	299	56	150
University of Chinese Academy of Sciences, CAS	中国	2	279	12	56
Tsinghua University	中国	3	269	16	72
International Business Machines (IBM)	米国	4	205	23	73
Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	フランス	5	203	13	45
Google Incorporated	米国	5	203	43	111
Carnegie Mellon University	米国	7	195	27	90
Peking University	中国	8	191	21	76
Stanford University	米国	9	185	27	72
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	米国	10	183	21	79
University of Tokyo	日本	63	61	1	5

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)

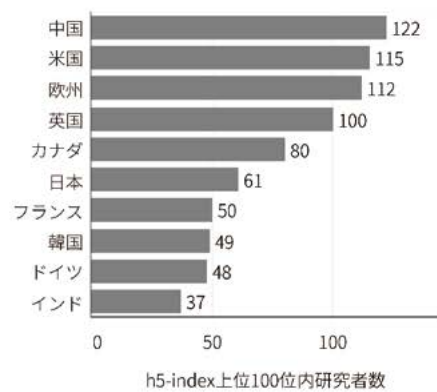


図3.1-S1.2-3 言語・知識系のAI技術領域における論文数の動向③

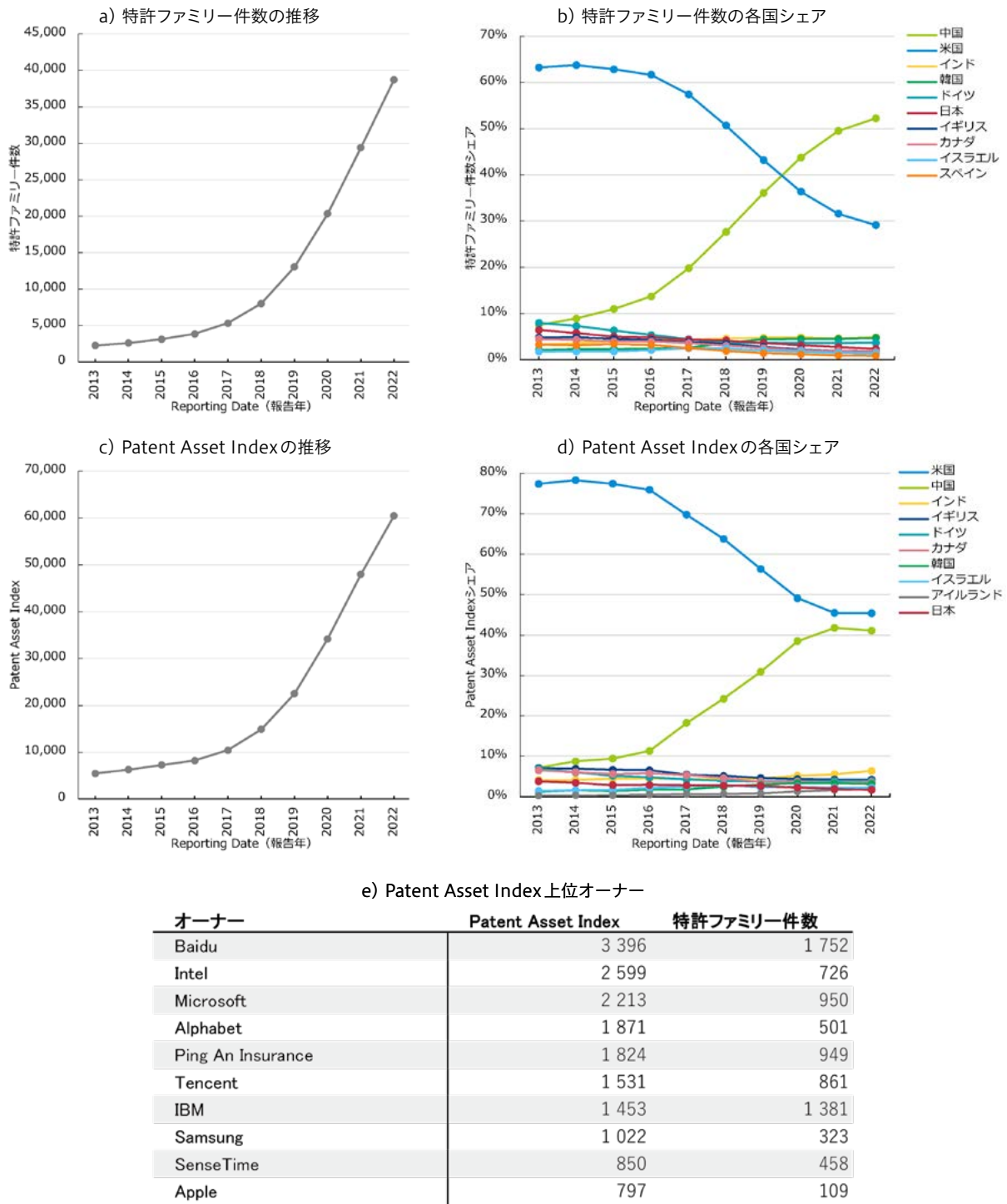


図3.1-S1.2-4 言語・知識系のAI技術領域における特許数の動向

Number of Significant Machine Learning Systems by Domain, 2022

Source: Epoch, 2022 | Chart: 2023 AI Index Report

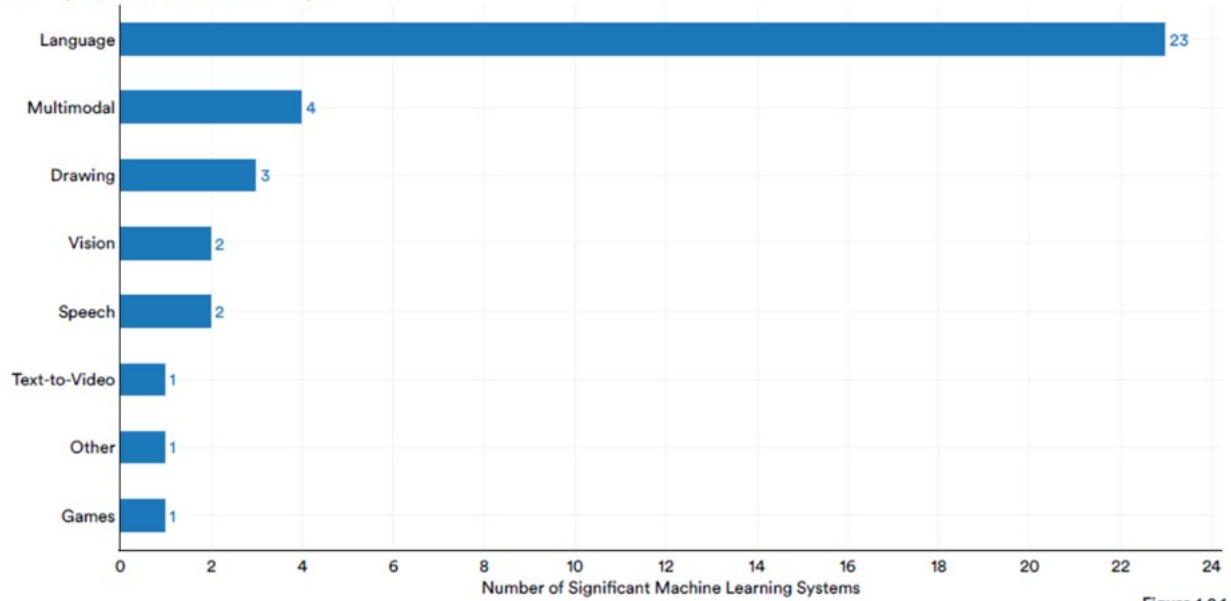


Figure 1.2.1

図 3.1-S1.2-5 主要な機械学習システムの適用分野

(出典：Artificial Intelligence Index Report 2023 – by Stanford University Human-Centered Artificial Intelligence)

3.1.S1.3 エージェント技術

領域の定義

自ら判断し行動する主体をコンピューターシステムとして実現したものをエージェントと呼ぶ。広い意味では人工知能（AI）そのものであるが、特に自律性・自発性・社会性・反射性といった特性がエージェントの特徴として取り上げられる。すなわち、「自分自身の動作の目標を設定して動作したり（自律性、自発性）、他のエージェントと協力して組織を構成して問題解決を実行したり（社会性）、種々の変化や変動を察知して適応的に動作したり（反射性）する処理体」がエージェントとみなされる。その自律的メカニズム（自律エージェント）、複数主体の協調（マルチエージェントシステム）、人間とのインタラクション（インターフェースエージェント）、社会的活動・現象のシミュレーション（マルチエージェントシミュレーション）などを実現しようとする研究開発が本領域の対象である。

ポイント

- ・ 論文数も特許数も2018年前後から急増している（図3.1-S1.3-1 a）、図3.1-S1.3-4 a）。
- ・ 国別の論文数では、米国と中国がほぼ同程度のシェアおよび論文数増加傾向を示している。欧州は米国・中国をわずかに上回っている。（図3.1-S1.3-1 b）、図3.1-S1.3-2 a）
- ・ 論文数の世界上位10機関でも米国4機関、中国4機関で並んでいる（図3.1-S1.3-3 b））。他はフランス1機関、英国1機関であり、欧州からの論文も増加している（図3.1-S1.3-1 b））。欧州は米国・中国と同程度。

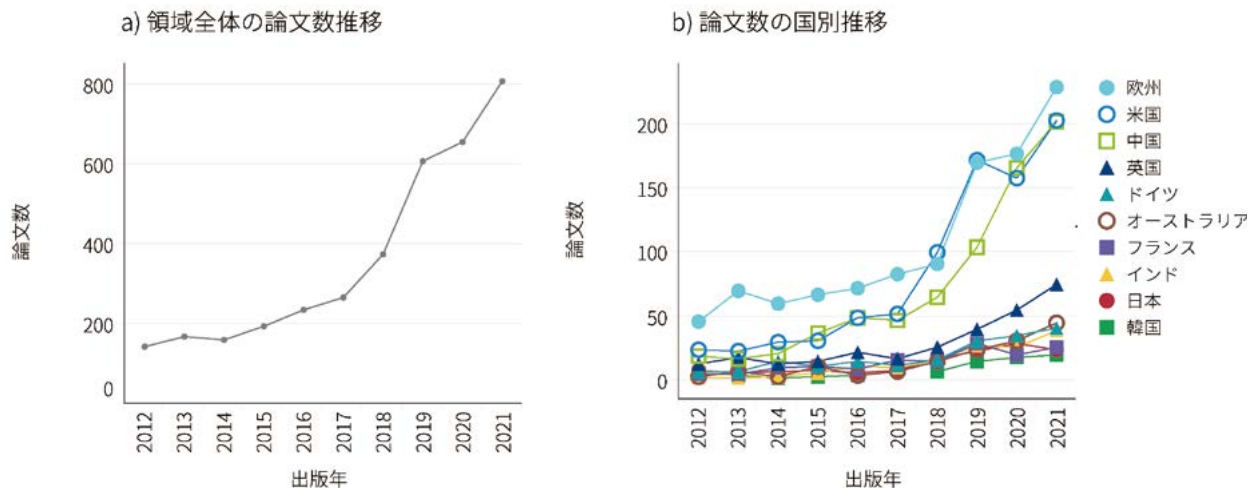


図3.1-S1.3-1 エージェント技術領域における論文数の動向①

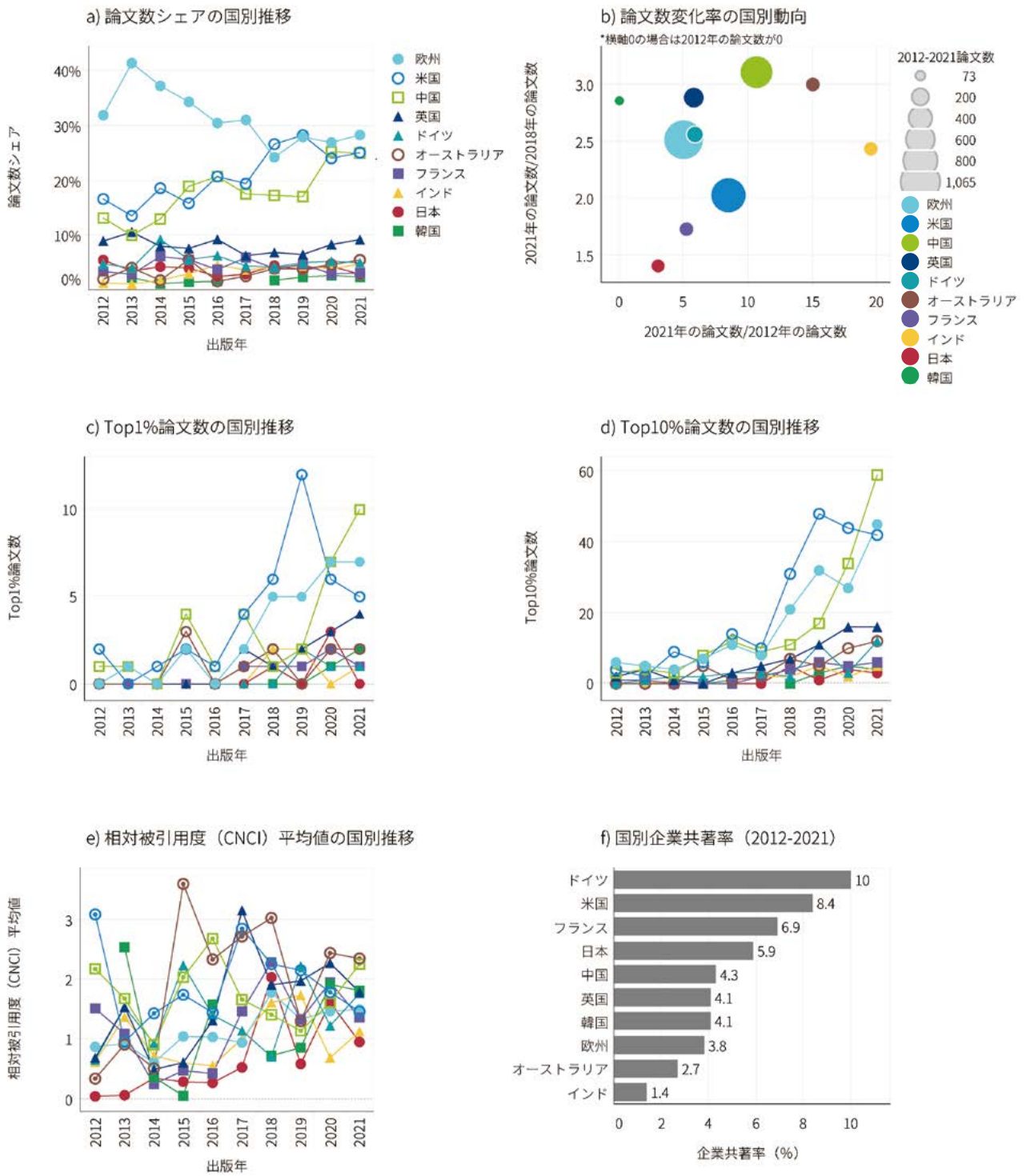


図3.1-S1.3-2 エージェント技術領域における論文数の動向②

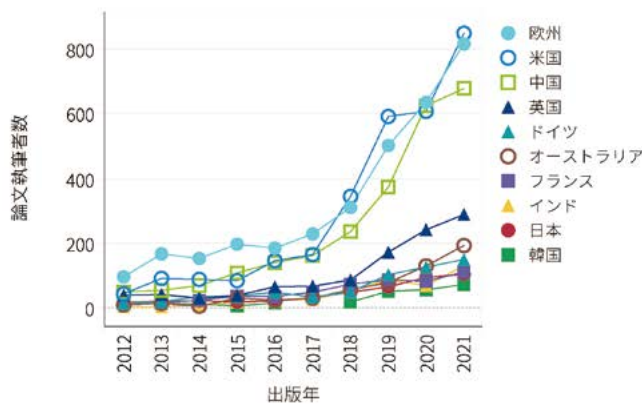
a) 各国間の共著率 (2012-2021)

(%)	米国	欧州	中国	英国	ドイツ	フランス	インド	日本	カナダ	韓国	論文数 (件)
米国	\	7.4	8.2	4.9	2.7	1.4	1.1	0.95	2.6	1.7	843
欧州	7.8	\	2.8	8.2	4.5	3.9	0.75	2.4	1.5	0.25	797
中国	9.2	2.9	\	3.6	0.94	1.1	0.4	1.2	2.4	1.3	748
英国	14	22	9.2	\	5.1	4.4	1.7	1.7	2.7	1.4	294
ドイツ	12	19	3.7	7.9	\	2.6	0.53	2.6	2.1	0.53	190
フランス	8.2	21	5.5	8.9	3.4	\	0.69	2.1	2.7	0	146
インド	6.3	4.2	2.1	3.5	0.7	0.7	\	1.4	0	4.2	142
日本	5.9	14	6.6	3.7	3.7	2.2	1.5	\	2.9	1.5	136
カナダ	17	9.1	14	6.1	3	3	0	3	\	0	132
韓国	19	2.7	14	5.5	1.4	0	8.2	2.7	0	\	73

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	48	0	2
Guangdong University of Technology	中国	2	35	5	12
Southeast University - China	中国	2	35	1	12
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	米国	4	33	1	10
Carnegie Mellon University	米国	5	32	2	13
Nanjing University of Posts & Telecommunications	中国	6	31	1	8
Georgia Institute of Technology	米国	8	27	3	6
University of Electronic Science & Technology of China	中国	8	27	3	9
University of Oxford	英国	8	27	2	12
University of Southern California	米国	8	27	0	1
Kyoto University	日本	55	13	0	2

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)

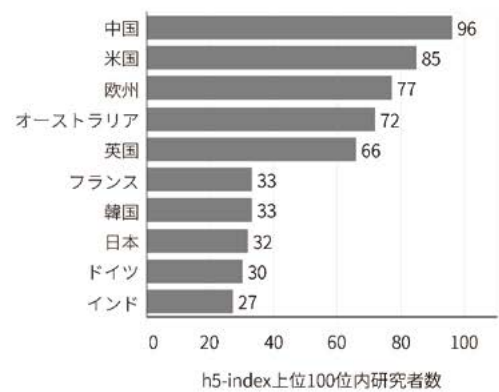


図 3.1-S1.3-3 エージェント技術領域における論文数の動向③

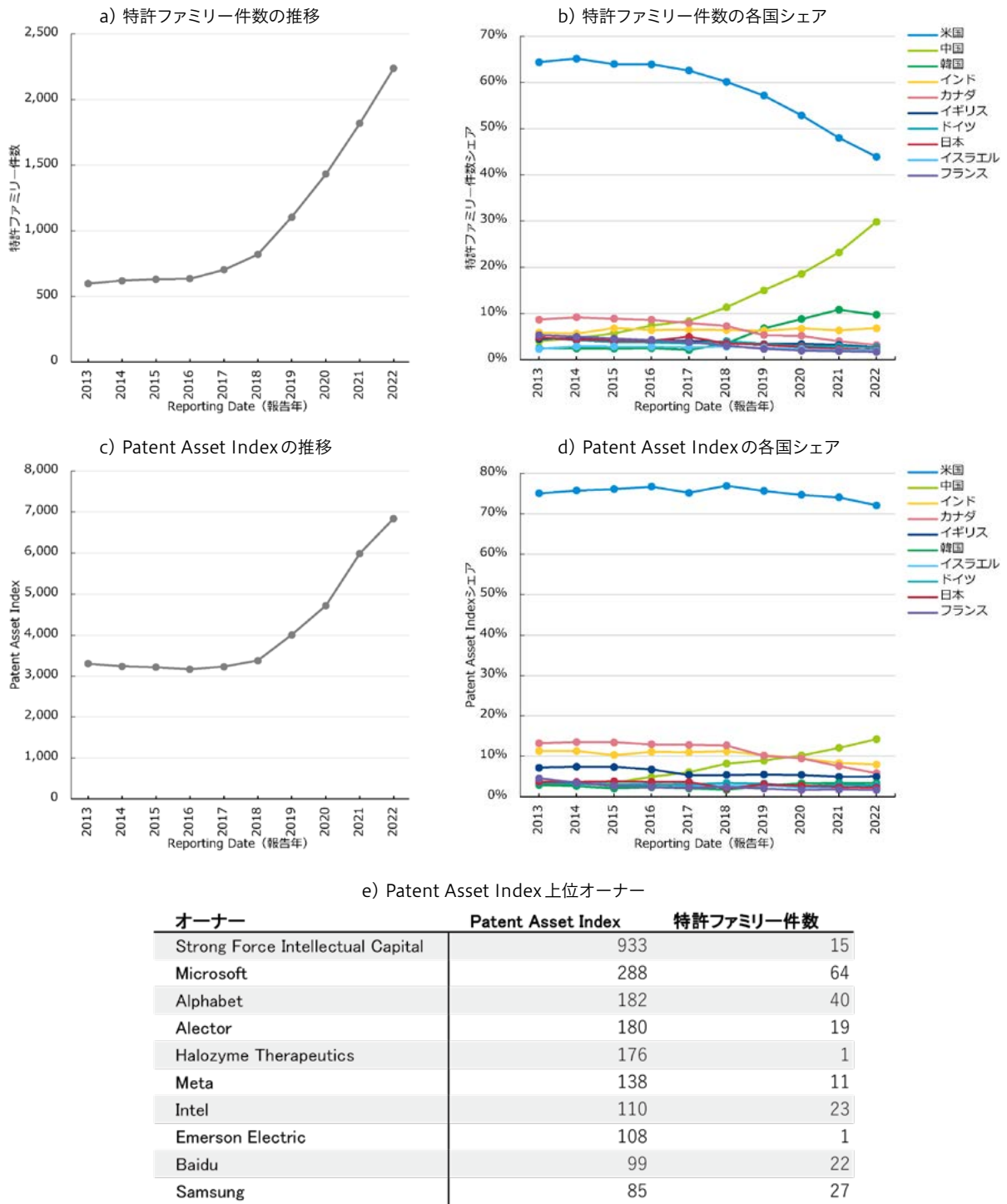


図3.1-S1.3-4 エージェント技術領域における特許数の動向

3.1.S1.4 AIソフトウェア工学

領域の定義

AIソフトウェア工学は、AI (Artificial Intelligence: 人工知能) 応用システムを、その安全性・信頼性を確保しながら効率よく開発するための新世代のソフトウェア工学を指す。従来型のシステム開発においては、安全性・信頼性を確保し、効率よくシステム開発を行うための技術体系・方法論がソフトウェア工学の中で整備されてきた。ここでいう従来型とは、プログラム (手続き) を書くという演繹型のシステム開発方法を意味する。これに対して、AI 応用システムの開発では、データを例示することによる、機械学習を用いた帰納型の開発方法が用いられる。AIソフトウェア工学は、従来の演繹型システム開発のためのソフトウェア工学から、AI 応用システム向けの帰納型システム開発にも対応したソフトウェア工学へ拡張した技術体系・方法論である。

ポイント

- ・ 論文数も特許数も大きく増加している。特に論文数は2018年前後から急激に増加している。(図 3.1-S1.4-1 a)、図 3.1-S1.4-4 a)
- ・ 国別の論文数シェアでは、米国が20%弱でトップ、次いで10%弱に中国とドイツが付けている。欧州は米国を上回っている。(図 3.1-S1.4-2 a))
- ・ Top10% 論文での順位もほぼ同様の傾向である (図 3.1-S1.4-2 d))。
- ・ 日本は論文数シェアでは国別9位だが (図 3.1-S1.4-2 a))、h5-index 上位100位以内の研究者数が、国別で、中国、米国、英国に次いで4位である (図 3.1-S1.4-3 d))。

3
アウトプットの分析
(研究開発領域別)

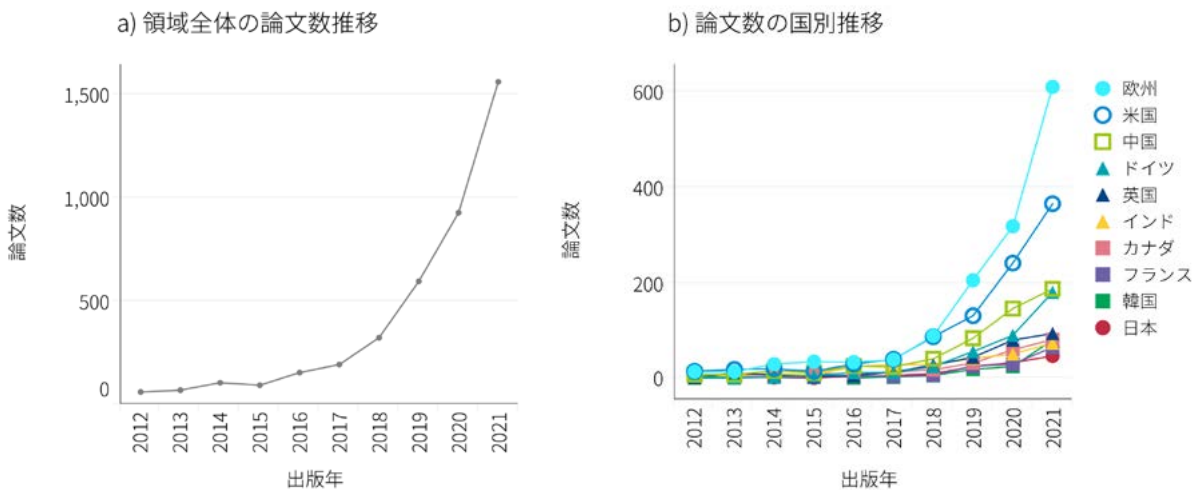


図 3.1-S1.4-1 AIソフトウェア工学領域における論文数の動向①

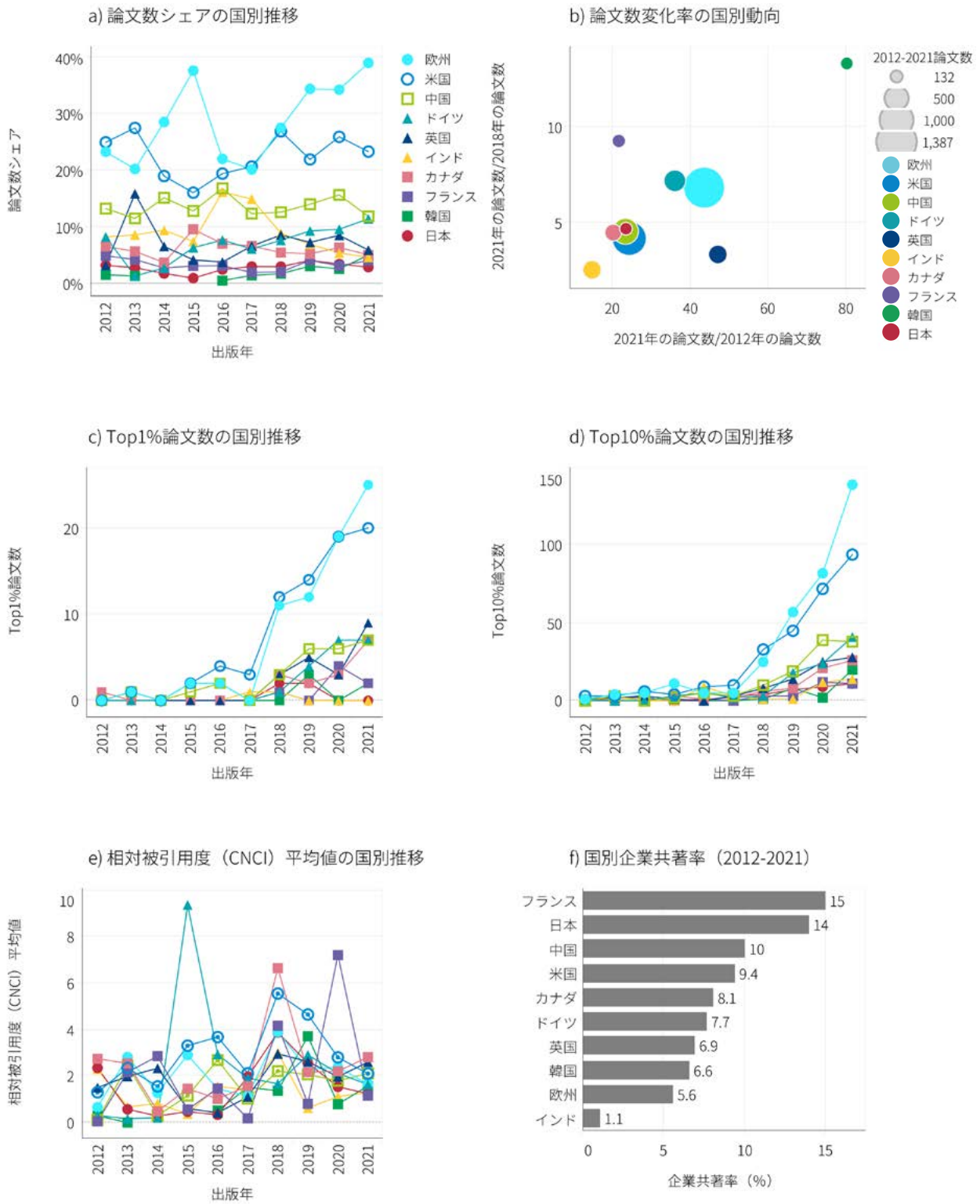


図3.1-S1.4-2 AIソフトウェア工学領域における論文数の動向②

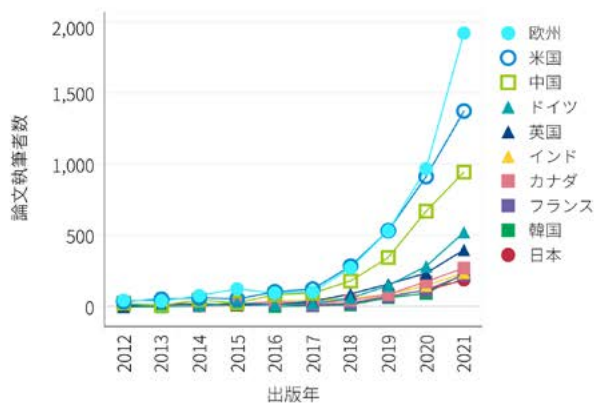
a) 各国間の共著率 (2012-2021)

(%)	欧州	米国	中国	ドイツ	英国	インド	カナダ	フランス	韓国	日本	論文数 (件)
欧州	\	7.9	2.2	8.5	5.8	0.92	4.7	4.3	0.51	1.1	977
米国	8	\	9.5	3.1	4.1	1.9	3.1	2.4	1.6	0.73	963
中国	3.7	16	\	0.7	4	0.53	2.6	1.4	0.53	0.88	571
ドイツ	21	7.7	1	\	7.2	0.26	3.3	3.3	1.3	0.51	390
英国	20	13	8	9.7	\	1	4.2	4.2	0.69	1.4	289
インド	3.2	6.5	1.1	0.36	1.1	\	1.4	0	0.72	0.72	278
カナダ	19	13	6.4	5.5	5.1	1.7	\	4.7	1.3	3.4	236
フランス	28	16	5.4	8.8	8.1	0	7.4	\	0	3.4	148
韓国	3.7	11	2.2	3.7	1.5	1.5	2.2	0	\	1.5	136
日本	8.3	5.3	3.8	1.5	3	1.5	6.1	3.8	1.5	\	132

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	49	3	8
International Business Machines (IBM)	米国	2	46	4	16
Monash University	オーストラリア	3	39	5	19
Microsoft	米国	4	38	9	18
Carnegie Mellon University	米国	5	30	3	8
University of Toronto	カナダ	5	30	1	9
Huawei Technologies	中国	7	29	1	11
Tsinghua University	中国	7	29	0	8
University College London	英国	9	28	2	8
Nanyang Technological University	シンガポール	10	27	2	12
Technical University of Munich	ドイツ	10	27	1	4
Waseda University	日本	62	13	1	2

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)

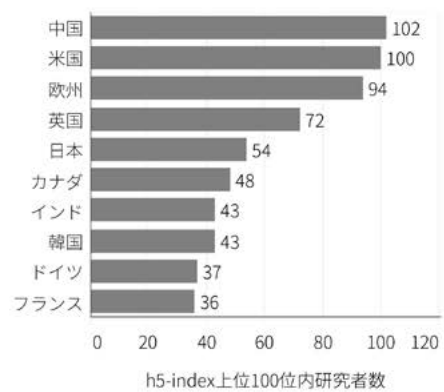


図 3.1-S1.4-3 AIソフトウェア工学領域における論文数の動向③

3
アウトプットの分析
(研究開発領域別)

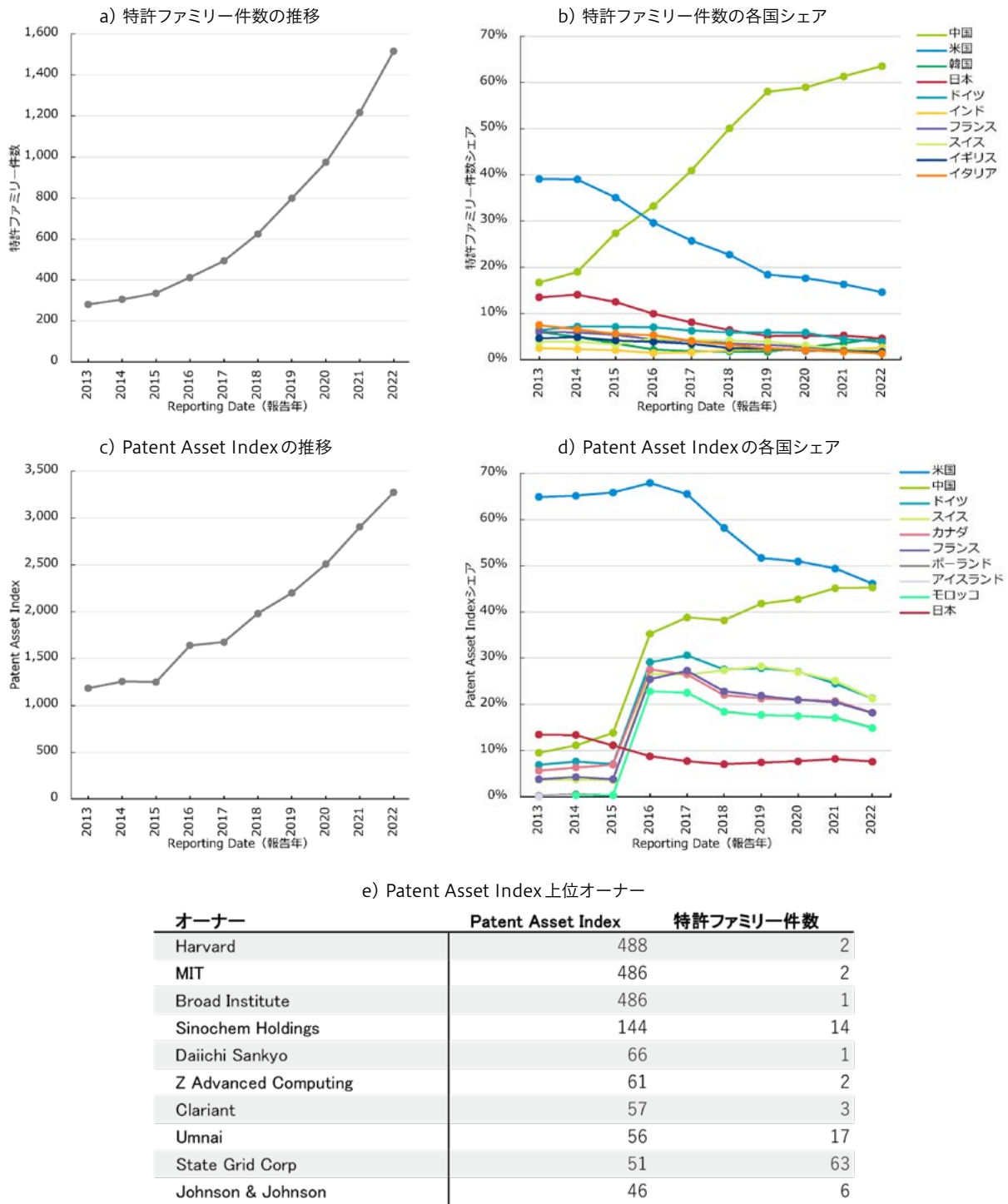


図 3.1-S1.4-4 AIソフトウェア工学領域における特許数の動向

3.1.S1.5 人・AI協働と意思決定支援

領域の定義

本領域は、「人・AI協働」のための、より良い枠組みと、そこで必要とされる技術開発、および、「意思決定支援」のためのAI技術活用を含む。

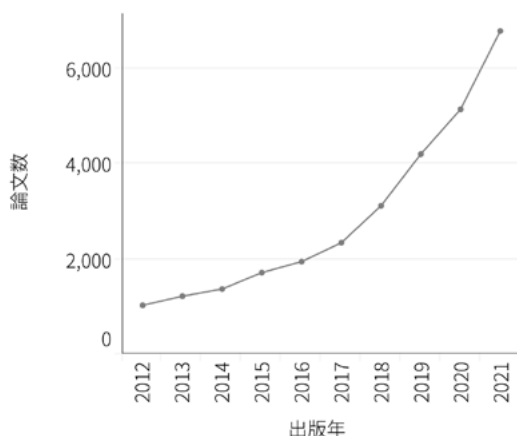
「人・AI協働」は、何らかの目的達成に向けて、人とAIが協力して取り組むことを指す。国際規格であるISO/IEC 22989:2022「Artificial intelligence concepts and terminology」において、Human-Machine Teaming (HMT) という概念が「Integration of human interaction with machine intelligence capabilities」と定義されており、これが「人・AI協働」とほぼ同義である。

「意思決定」は、個人や集団がある目標を達成するために、考えられる複数の選択肢の中から一つを選択する行為である。その選択では個人の価値観がよりどころとなるが、集団の意思決定では、必ずしも関係者（メンバーやステークホルダー）全員の価値観が一致するとは限らない。関係者内で選択肢に関する意見が分かれたとき、その一致を図るためには「合意形成」も必要になる。近年、情報氾濫による可能性の見落としやフェイク生成などを用いた情報操作といった問題が顕在化し、意思決定ミスを起こすリスクが高まっている。このような問題・リスクを軽減するため、AI技術を活用した「意思決定支援」が期待されている。

ポイント

- ・ 論文数も特許数も大きく増加している (図 3.1-S1.5-1 a)、図 3.1-S1.5-4 a)。
- ・ 2021年の論文数・論文数シェアとも国別では、米国が1位、中国が2位、英国が3位、ドイツとインドがほぼ同程度で続く。欧州は米国を若干上回っている。(図 3.1-S1.5-1 a)、図 3.1-S1.5-2 a)
- ・ 論文数の世界上位10機関中には、米国から4機関、英国から2機関が入っているほか、フランス、イラン、カナダ、中国などが入っていて、他領域と比べて多様性が見られる (図 3.1-S1.5-3 b))。本領域のホットトピックとしてフェイク問題が含まれており、国による社会的問題・関心の高まりの差が表れている可能性がある。

a) 領域全体の論文数推移



b) 論文数の国別推移

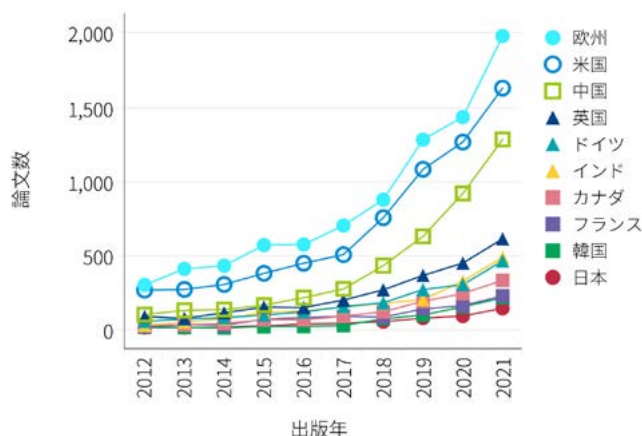


図 3.1-S1.5-1 人・AI協働と意思決定支援領域における論文数の動向①

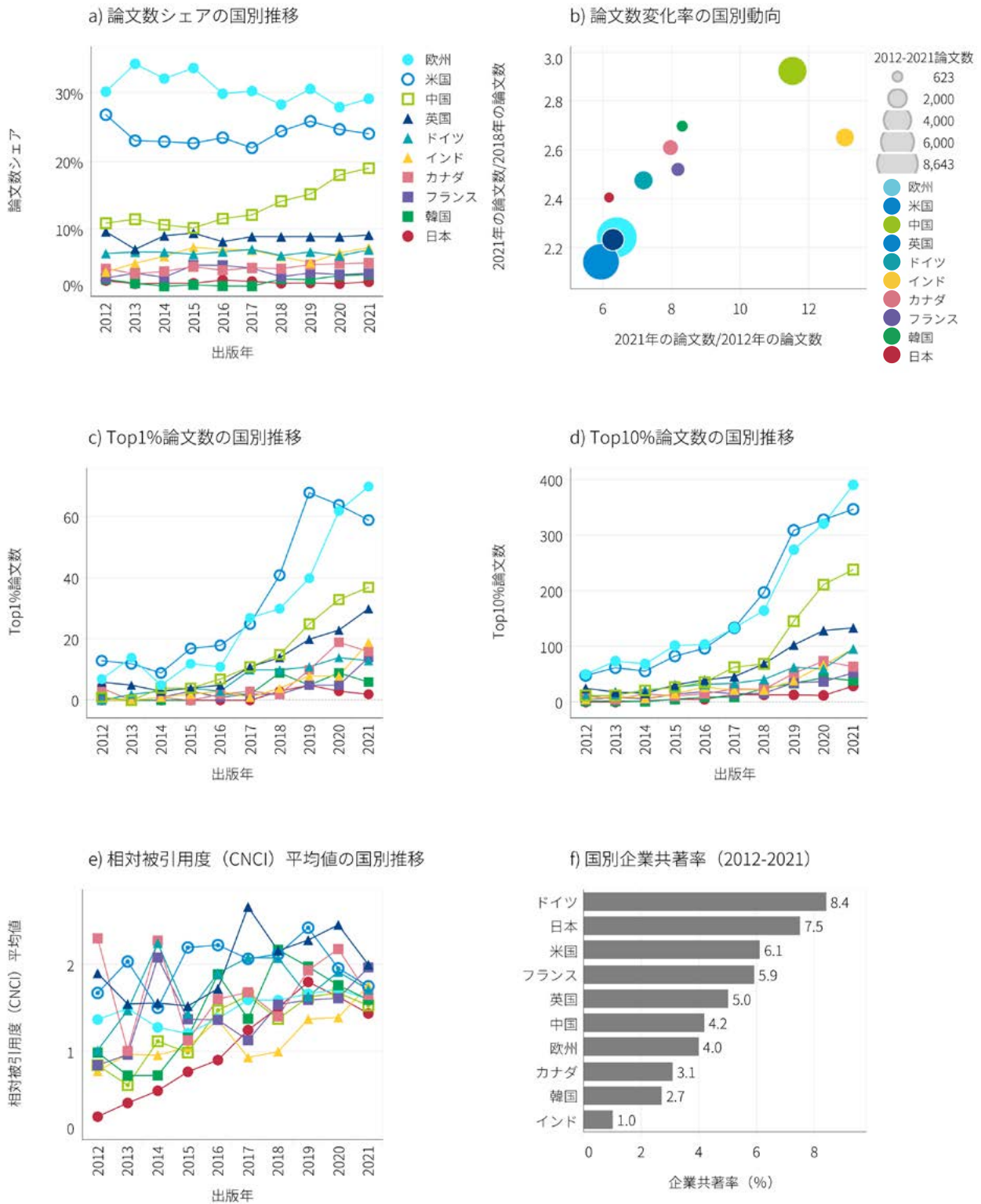


図3.1-S1.5-2 人・AI協働と意思決定支援領域における論文数の動向②

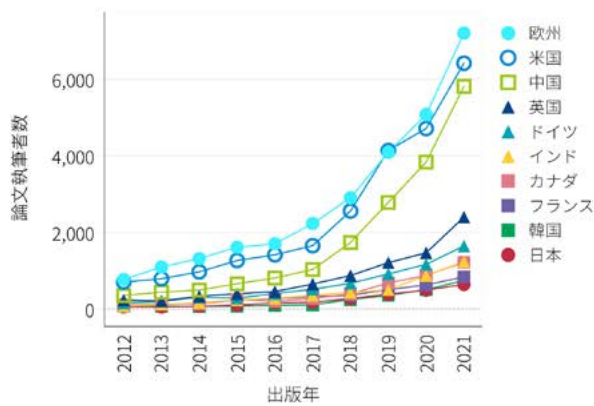
a) 各国間の共著率 (2012-2021)

(%)	米国	欧州	中国	英国	ドイツ	インド	カナダ	フランス	韓国	日本	論文数 (件)
米国	\	9.2	8.9	6.2	3.4	1.9	4	1.9	1.6	0.86	6,991
欧州	10	\	3.6	9.3	6.6	1.7	2.2	3.4	0.78	0.85	6,384
中国	14	5	\	5.5	1.1	1.2	3.2	0.77	1.1	1.2	4,573
英国	17	23	9.8	\	6.5	2.8	4.2	4	1.2	1.4	2,571
ドイツ	12	22	2.7	8.9	\	0.9	2.4	4.4	0.63	0.84	1,898
インド	7.2	6	2.9	3.9	0.92	\	1.1	0.92	1.7	0.49	1,839
カナダ	21	11	11	8.1	3.5	1.5	\	4.1	1.9	1.7	1,319
フランス	13	21	3.4	9.8	8.1	1.6	5.2	\	0.87	1.5	1,037
韓国	15	6.6	6.5	4	1.6	4.2	3.3	1.2	\	0.93	755
日本	9.6	8.7	8.5	5.8	2.6	1.5	3.5	2.4	1.1	\	623

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	338	7	64
Harvard University	米国	2	333	34	126
Stanford University	米国	3	210	24	78
United States Department of Defense	米国	4	208	5	28
University College London	英国	5	202	18	61
Islamic Azad University	イラン	6	196	7	43
University of Toronto	カナダ	7	190	8	47
University of Oxford	英国	8	186	17	57
Tsinghua University	中国	9	179	11	44
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	米国	10	178	12	52
University of Tokyo	日本	89	77	3	9

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)

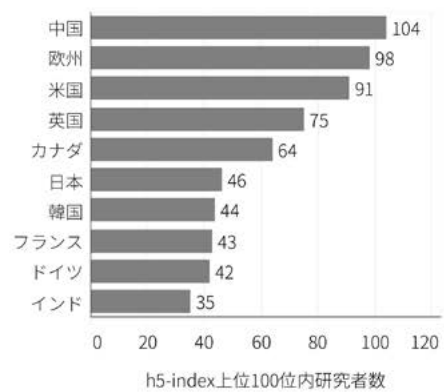


図3.1-S1.5-3 人・AI協働と意思決定支援領域における論文数の動向③

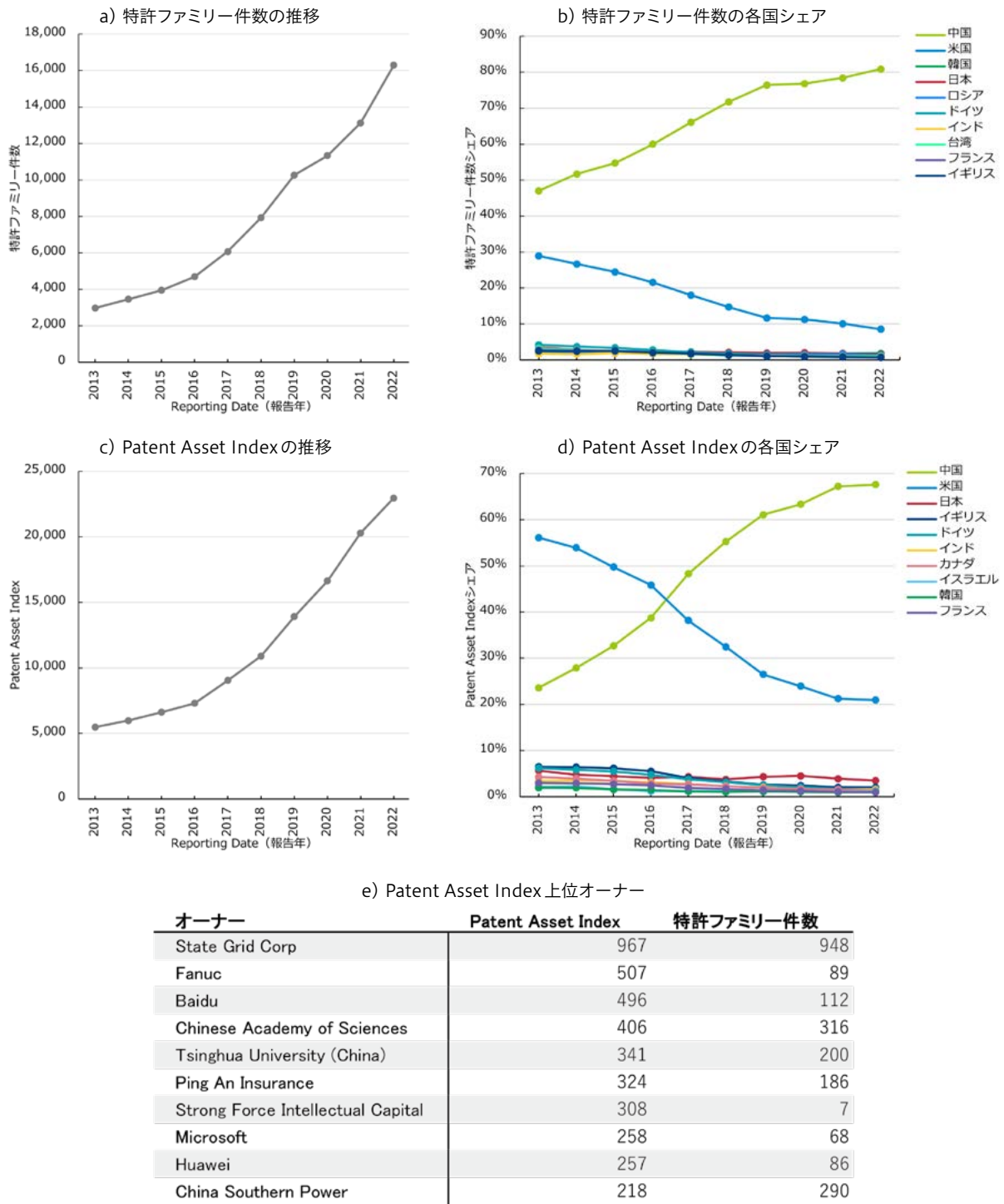


図 3.1-S1.5-4 人・AI協働と意思決定支援領域における特許数の動向

3.1.S1.6 AI・データ駆動型問題解決

領域の定義

人工知能 (Artificial Intelligence : AI) ・ビッグデータ解析が可能にする大規模複雑タスクの自動実行や膨大な選択肢の網羅的検証などによる、問題解決手段の質的变化、産業構造・社会システム・科学研究などの変革を生み出す研究開発領域である。「AI 駆動」「データ駆動」を冠して呼ばれることが多い、さまざまな問題解決に共通的な考え方やフレームワーク・基盤技術やその適用技術が含まれる。

ポイント

- ・ 論文数・特許数とも2018年前後から急増している (図3.1-S1.6-1 a)、図3.1-S1.6-4 a))。
- ・ 論文数・論文数シェアとも、国別では中国と米国が二強状態になっている。欧州についても、直近では中国・米国より若干下回る。(図3.1-S1.6-1 a)、図3.1-S1.6-2 a))
- ・ 論文数・論文シェアとも2012年当初から中国が米国を上回っている (図3.1-S1.6-1 a)、図3.1-S1.6-2 a))。本領域はAI 関連領域の中で最も応用色の強い領域であり、AI 応用において中国が勢いのあることが表れたものと考えられる。
- ・ その一方、2021年はかなり競った状況になったものの、Top1%論文数・Top10%論文数は米国優位が続いてきており、中核技術では米国が先導してきたものとみられる (図3.1-S1.6-2 c)、d))。

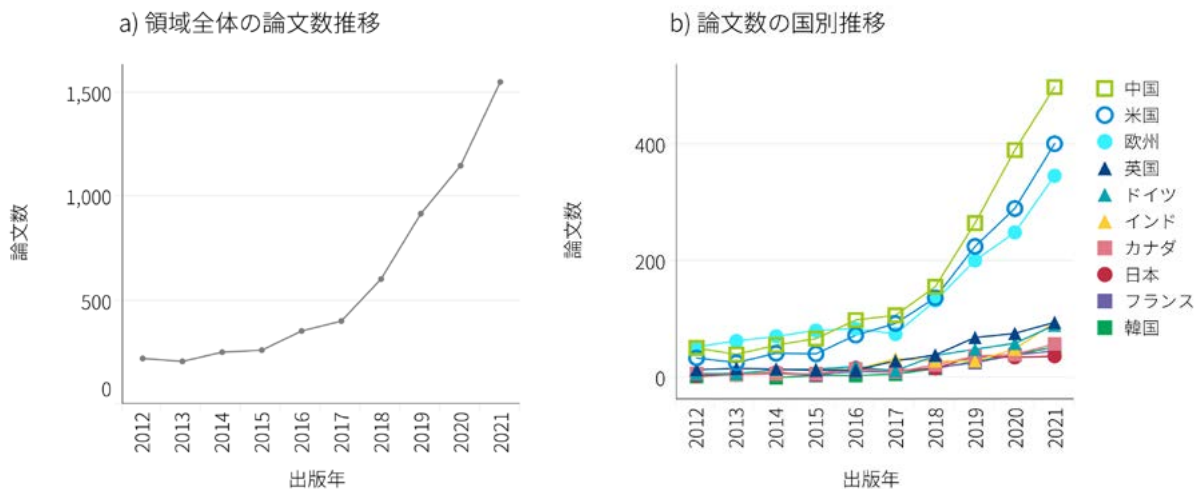


図3.1-S1.6-1 AI・データ駆動型問題解決領域における論文数の動向①

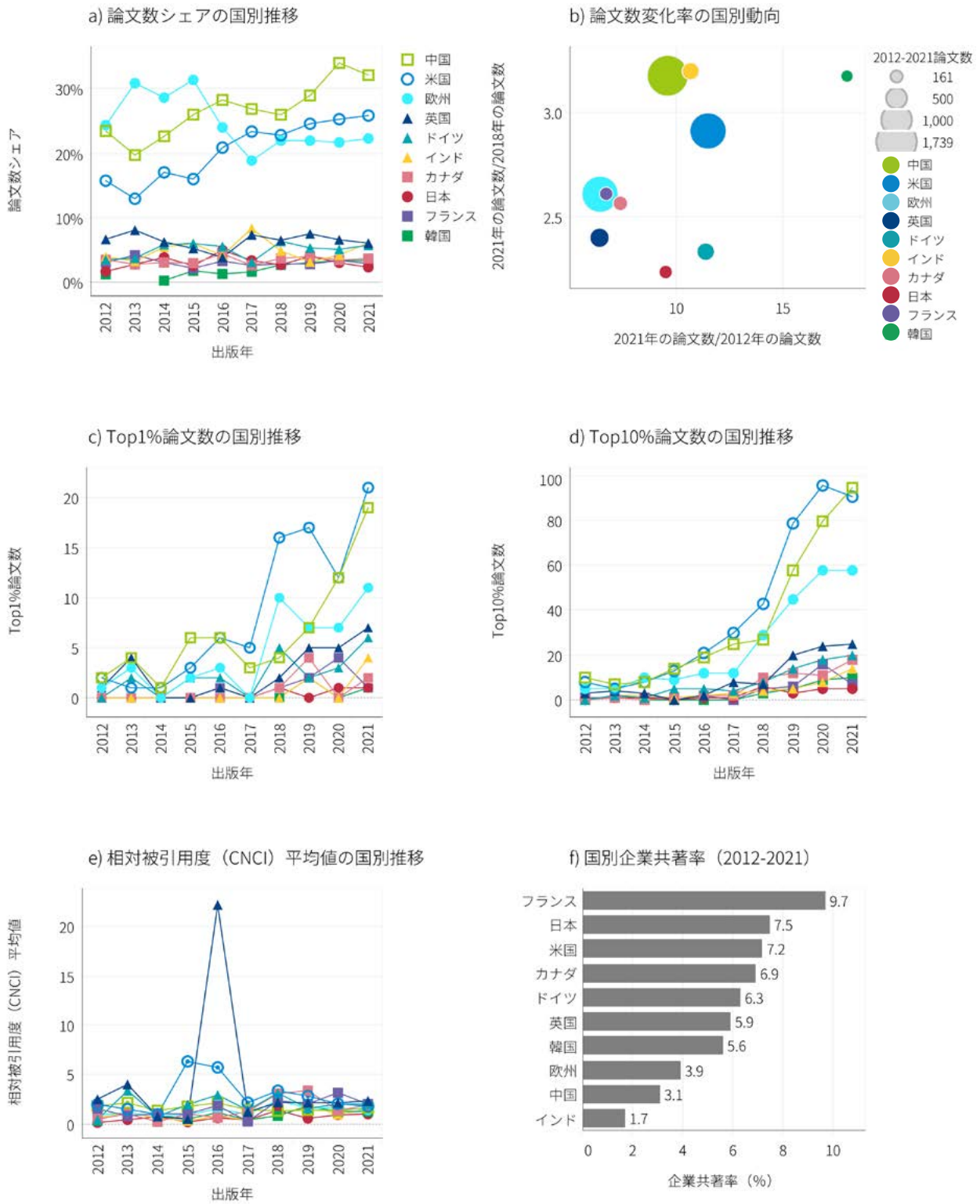


図3.1-S1.6-2 AI・データ駆動型問題解決領域における論文数の動向②

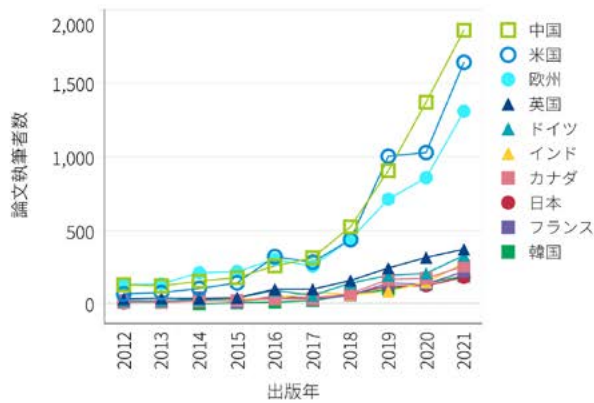
a) 各国間の共著率 (2012-2021)

(%)	中国	米国	欧州	英国	ドイツ	インド	カナダ	日本	フランス	韓国	論文数 (件)
中国	\	11	2.8	3.4	1.1	0.9	1.6	0.68	0.68	0.85	1,772
米国	14	\	6.1	5.8	3.5	1.5	3.5	0.88	2.3	1.8	1,372
欧州	5	8.5	\	8.2	6.2	1.3	1.7	1.7	4.8	0.92	975
英国	16	21	21	\	6.2	1.3	2.3	1.8	4.4	0.77	389
ドイツ	5.9	15	19	7.5	\	0.94	3.8	0.94	5.6	1.6	320
インド	5.3	7	4.3	1.7	1	\	1	0.66	0.33	1.7	301
カナダ	13	22	7.8	4.1	5.5	1.4	\	1.4	4.6	0.92	218
日本	6.4	6.4	9	3.7	1.6	1.1	1.6	\	3.7	1.1	188
フランス	6.5	17	25	9.2	9.7	0.54	5.4	3.8	\	1.1	185
韓国	9.3	16	5.6	1.9	3.1	3.1	1.2	1.2	1.2	\	161

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	80	3	16
Institute of Automation, CAS	中国	2	72	2	25
Northeastern University - China	中国	3	58	4	20
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	米国	4	57	8	22
Southeast University - China	中国	5	56	4	18
Georgia Institute of Technology	米国	6	50	3	19
University of Chinese Academy of Sciences, CAS	中国	7	49	1	9
Nanyang Technological University	シンガポール	8	46	4	14
Guangdong University of Technology	中国	10	45	6	16
Huazhong University of Science & Technology	中国	10	45	5	14
Shanghai Jiao Tong University	中国	10	45	0	10
University of Electronic Science & Technology of China	中国	10	45	6	19
University of Tokyo	日本	43	28	1	2

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)

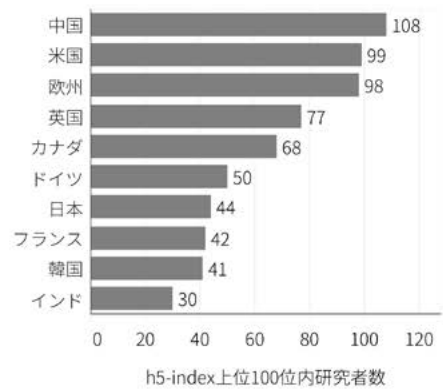


図3.1-S1.6-3 AI・データ駆動型問題解決領域における論文数の動向③

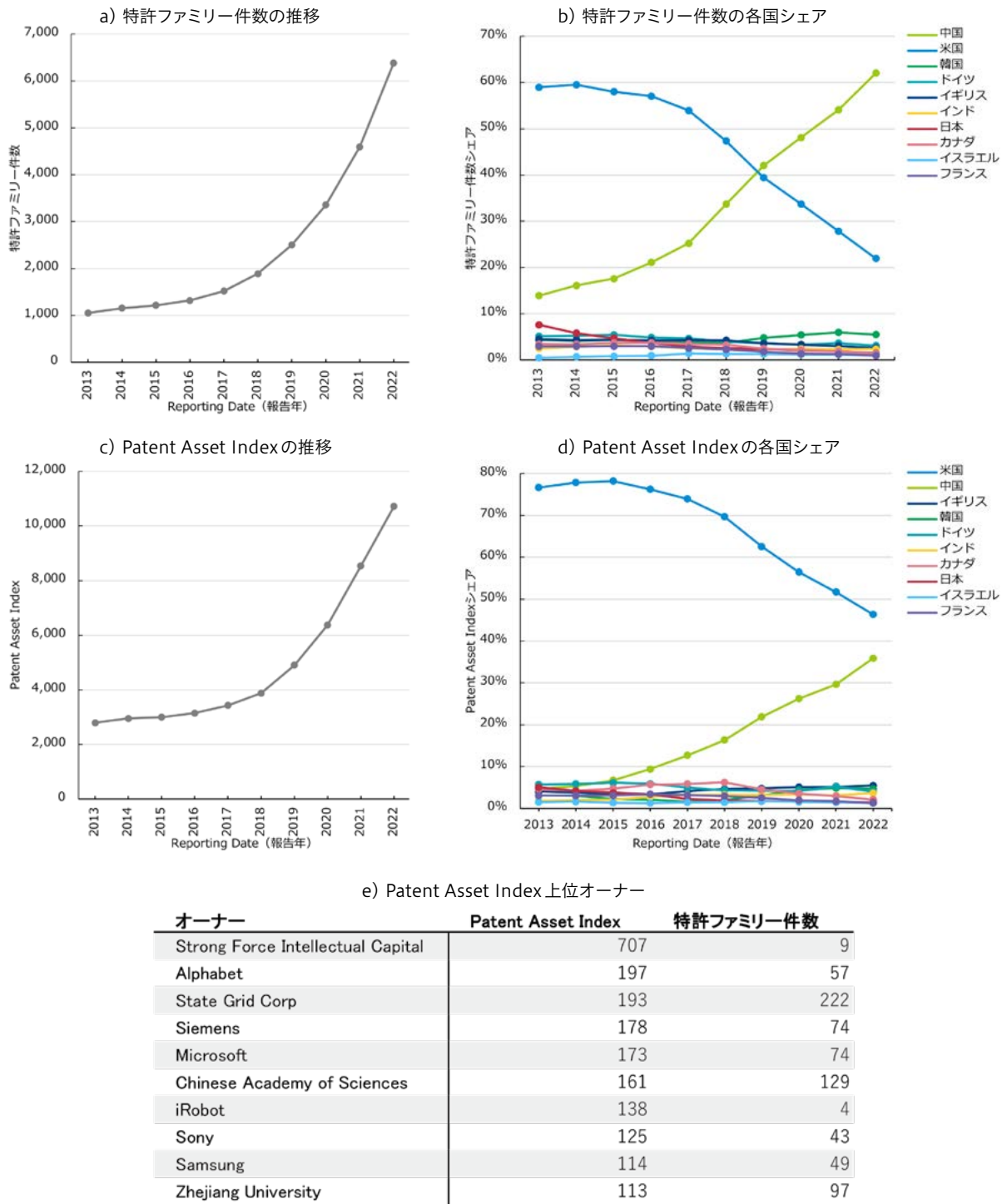


図 3.1-S1.6-4 AI・データ駆動型問題解決領域における特許数の動向

3.1.S1.7 計算脳科学

領域の定義

脳を情報処理システムとして捉えて、脳の機能を調べる研究分野である。計算論的神経科学 (Computational Neuroscience) とも称される。視覚の計算理論などで知られる David Marr は、情報処理システムを理解するにあたって、(A) 計算理論、(B) 表現とアルゴリズム、(C) ハードウェアという三つの水準を併存させた理解が重要であると述べているが、脳という情報処理システムについて、(A) の明確化を行うことで、(A) (B) (C) の三つのレベルの理解を相互に深め、脳の情報処理の機能を理解しようとするのが計算脳科学の一つの側面である。また、脳計測技術の発展によって、脳に関するさまざまな計測データが大量に取得できるようになってきた。そこで、大量の計測データに基づいて脳の情報処理を理解しようという、データ駆動科学として取り組まれているというのが、計算脳科学のもう一つの側面である。

ポイント

- ・ 論文数・特許数ともほぼリニアに増加の傾向を示している (図 3.1-S1.7-1 a)、図 3.1-S1.7-4 a))。
- ・ 国別の論文数シェアは、トップが30%前後の米国、20~10%前後に中国・英国・ドイツが付けている。特に中国の増加率が高い。欧州は米国とほぼ同程度に付けている。(図 3.1-S1.7-2 a))
- ・ Top10% 論文数においても、この傾向は同様である (図 3.1-S1.7-2 d))。
- ・ 論文数の世界上位10機関には、米国3機関、ドイツ3機関、英国2機関、フランス2機関が入っており、やはり同様の傾向が見られる (図 3.1-S1.7-3 b))。

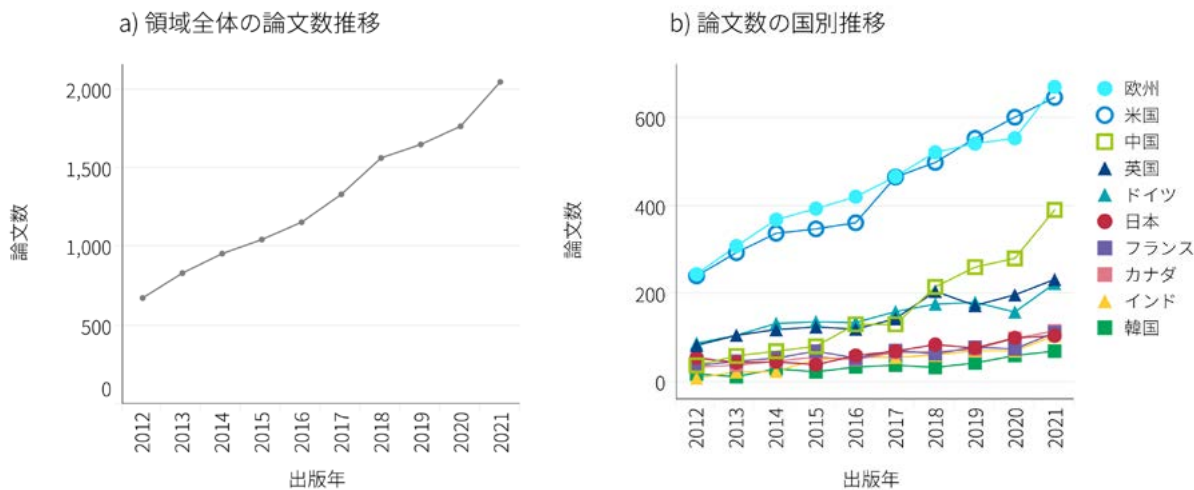


図 3.1-S1.7-1 計算脳科学領域における論文数の動向①

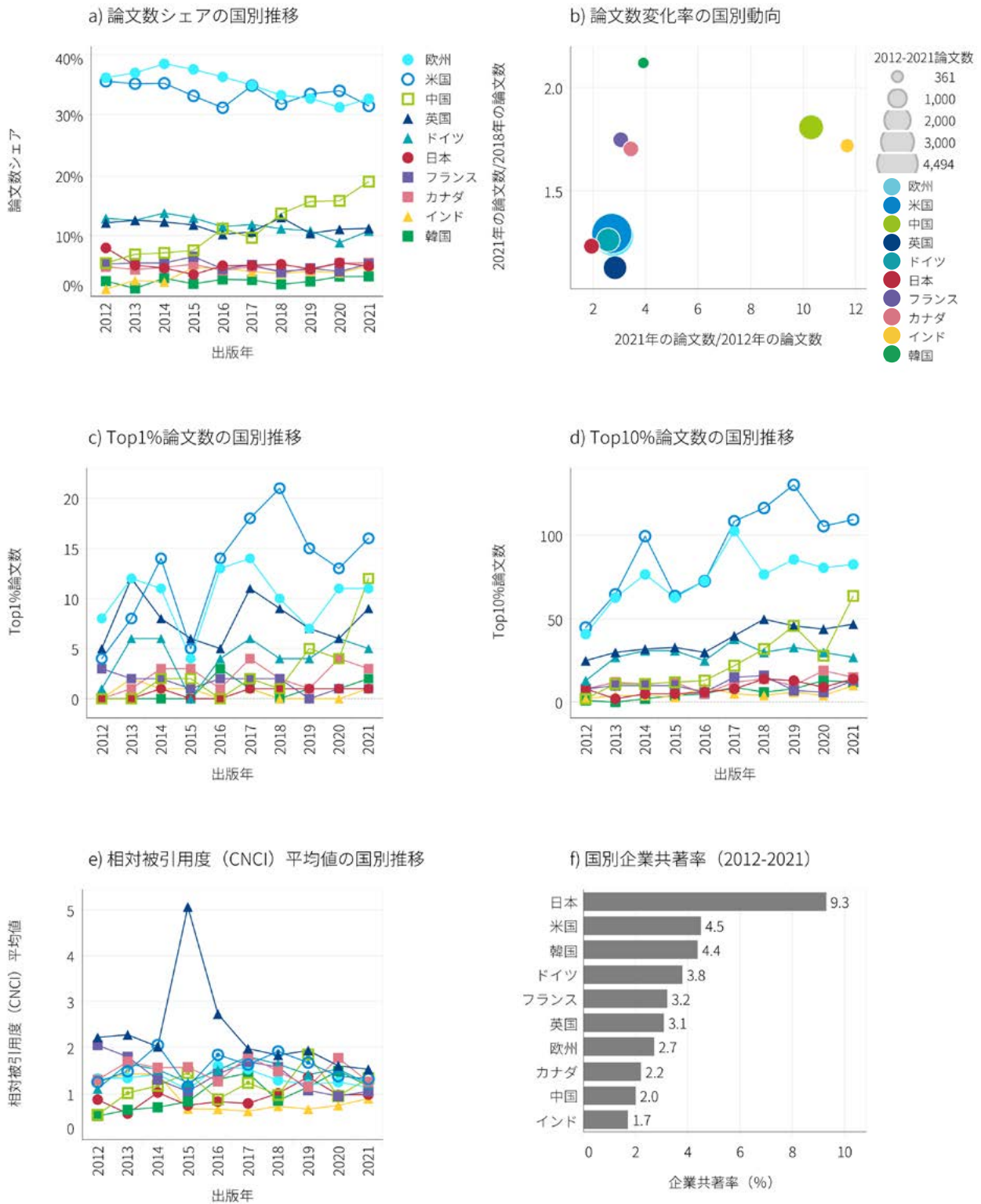


図3.1-S1.7-2 計算脳科学領域における論文数の動向②

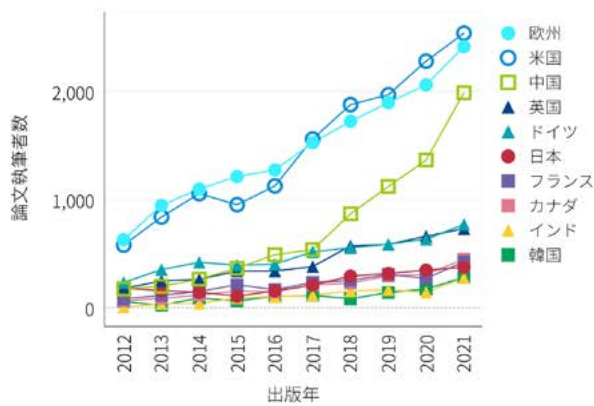
a) 各国間の共著率 (2012-2021)

(%)	米国	欧州	中国	英国	ドイツ	日本	フランス	カナダ	インド	韓国	論文数 (件)
米国	\	12	8.5	7.8	6.9	2.1	2.9	4.4	1	2.5	4,351
欧州	17	\	3.2	14	13	1.6	5.3	3.4	1.3	0.41	2,930
中国	22	5.5	\	5.9	2.9	3.2	0.87	2.4	0.35	1.2	1,722
英国	22	27	6.7	\	14	3	5.2	4.4	1.3	0.93	1,508
ドイツ	20	26	3.3	14	\	1.9	6.7	5.1	0.93	1.3	1,500
日本	14	7.1	8.1	6.6	4.3	\	2.6	1.9	0.29	1.3	681
フランス	19	23	2.3	12	15	2.7	\	8.1	0	0.75	663
カナダ	29	15	6.4	10	12	2	8.3	\	0.46	0.92	652
インド	8.4	7.4	1.1	3.6	2.7	0.38	0	0.57	\	1.1	527
韓国	30	3.3	5.8	3.9	5.5	2.5	1.4	1.7	1.7	\	361

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
Harvard University	米国	1	378	21	105
Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	フランス	2	377	9	61
Max Planck Society	ドイツ	3	276	12	69
University College London	英国	4	275	23	104
Institut National de la Sante et de la Recherche Medicale (Inserm)	フランス	5	225	9	41
Eberhard Karls University of Tubingen	ドイツ	6	213	8	51
Helmholtz Association	ドイツ	7	211	9	50
Stanford University	米国	8	202	14	77
University of Oxford	英国	9	201	16	57
Harvard Medical School	米国	10	190	8	49
University of Tokyo	日本	54	78	1	12

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)

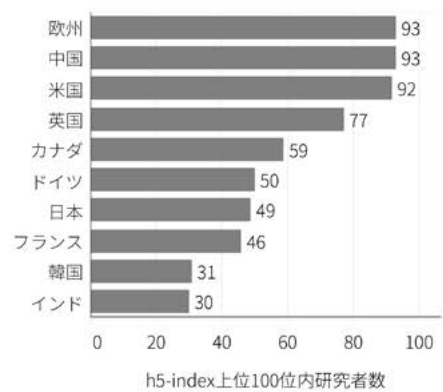


図3.1-S1.7-3 計算脳科学領域における論文数の動向③

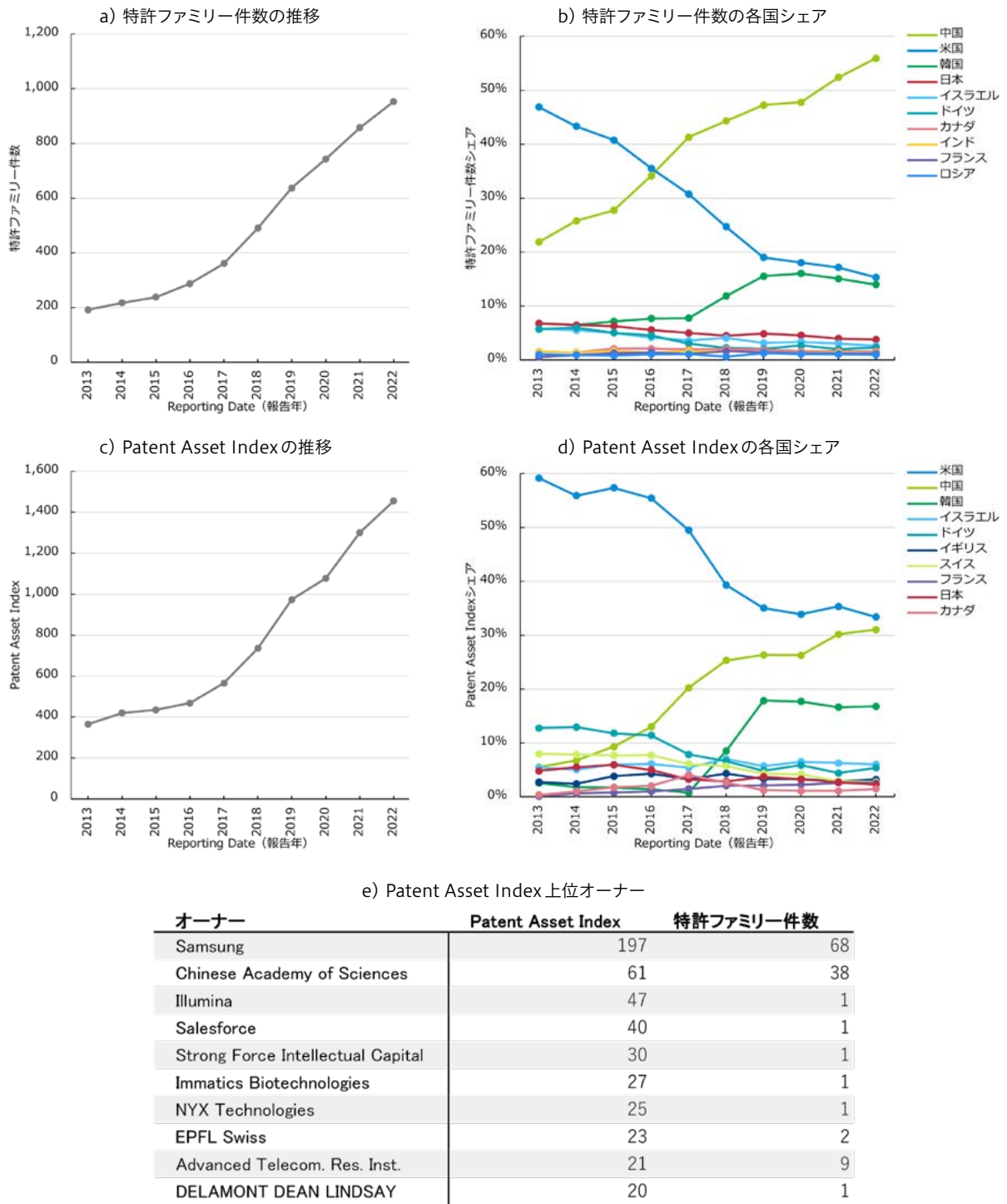


図 3.1-S1.7-4 計算脳科学領域における特許数の動向

3.1.S1.8 認知発達ロボティクス

領域の定義

認知発達ロボティクスは、ロボットや計算モデルによるシミュレーションを駆使して、人間の認知発達過程の構成論的な理解と、その理解に基づく人間と共生するロボットの設計論の確立を目指した研究領域である。発達心理学や神経科学などの経験主義的な学問分野と、人工知能 (AI) やロボティクスなどの構成論的な学問分野が融合した学際的な研究領域として取り組まれている。

ポイント

- ・ 文数はまだ多くないが、徐々に増えつつある (図3.1-S1.8-1 a))。
- ・ 国別の論文数で大きな差はまだ生まれていない (図3.1-S1.8-1 b))。国別シェアではおおむね15%に及んでいないが、欧州は30%前後のシェアがある (図3.1-S1.8-2 a))。
- ・ 認知発達ロボティクスは日本発の研究領域であり、論文数の世界上位10機関では日本が国別最多の4大学 (東大、阪大、早大、立命館大) が入っている (図3.1-S1.8-3 b))。
- ・ 国別の特許ファミリー件数シェアでは中国と米国がやや多い数を示している (図3.1-S1.8-4 b))。しかし、AI 関連技術は幅広い用途に適用されることから、特許ファミリーでは関係の薄いものまで拾う傾向が強いため、認知発達ロボティクス関連の特許が多く出されているわけではない可能性が高い。

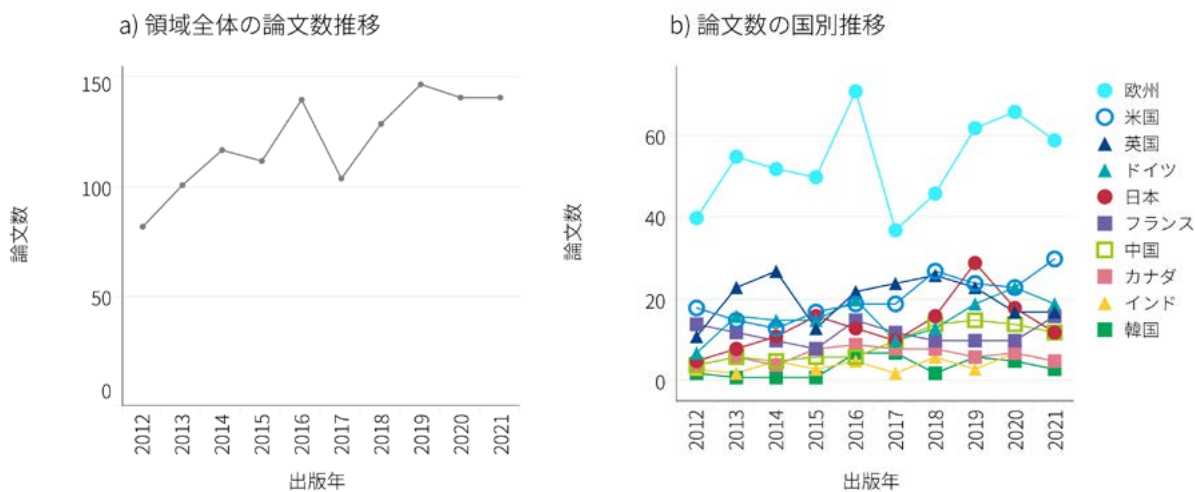


図3.1-S1.8-1 認知発達ロボティクス領域における論文数の動向①

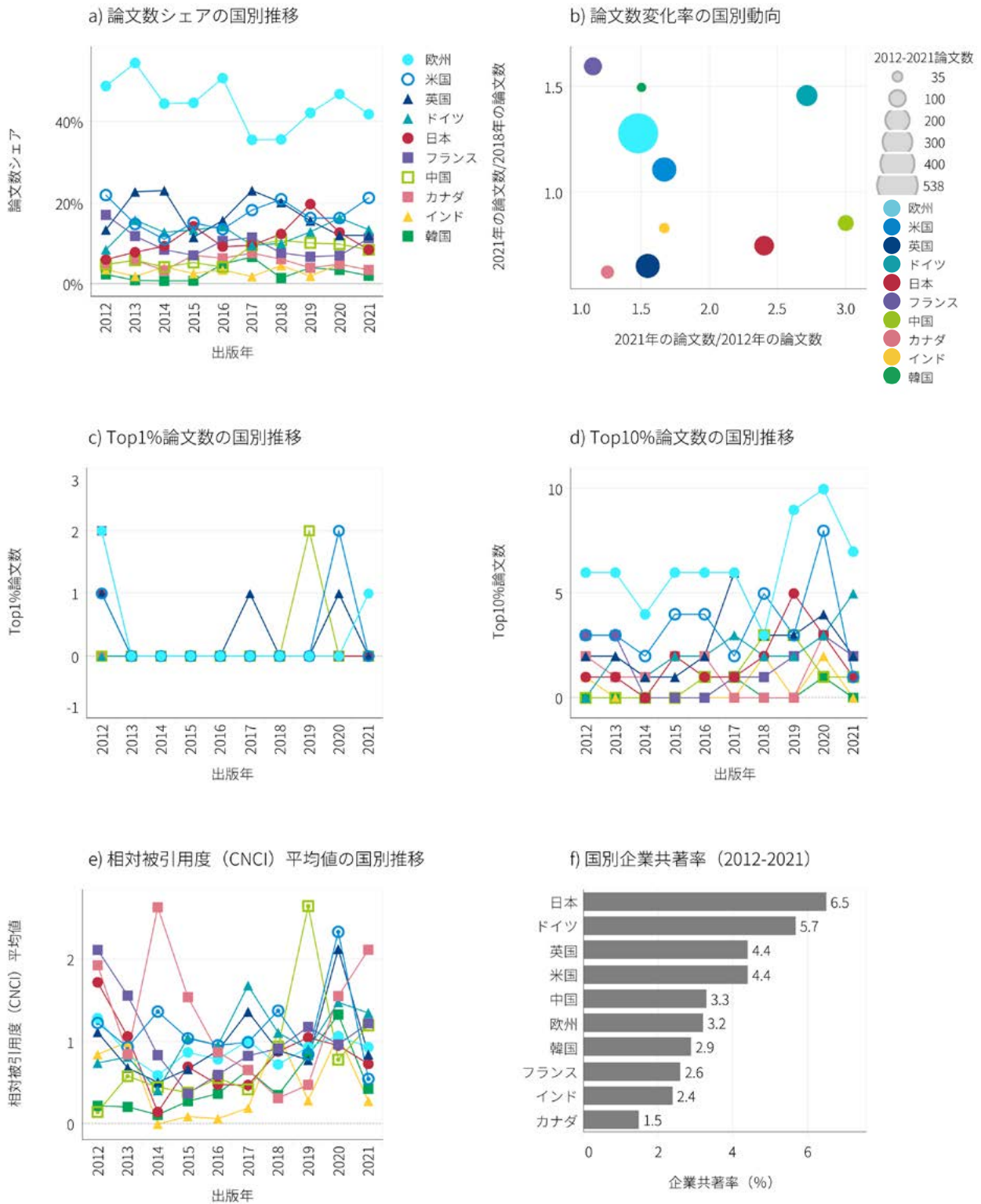


図3.1-S1.8-2 認知発達ロボティクス領域における論文数の動向②

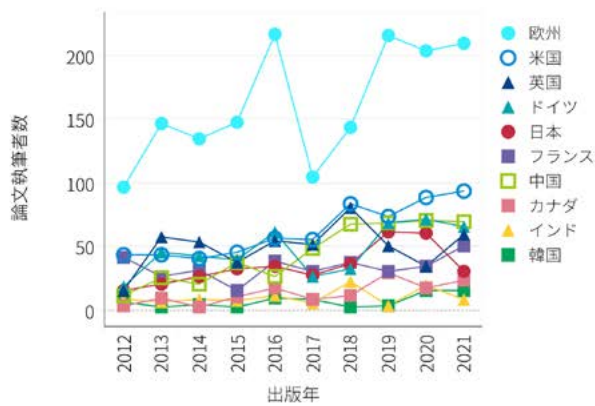
a) 各国間の共著率 (2012-2021)

(%)	欧州	米国	英国	ドイツ	日本	フランス	中国	カナダ	インド	韓国	論文数 (件)
欧州	\	7.4	24	11	5.4	7.1	2.1	4.2	0.89	0.89	336
米国	12	\	8.8	4.4	5.4	3.4	3.4	8.3	0.49	1.5	205
英国	40	8.9	\	9.9	6.4	7.4	7.4	6.4	0	0.49	203
ドイツ	24	5.7	13	\	4.5	8.9	2.6	2.6	0	0.64	157
日本	13	8	9.4	5.1	\	2.2	5.1	2.2	0	8	138
フランス	21	6	13	12	2.6	\	1.7	3.4	0	0	117
中国	7.2	7.2	15	4.1	7.2	2.1	\	7.2	0	1	97
カナダ	22	26	20	6.2	4.6	6.2	11	\	0	0	65
インド	7.3	2.4	0	0	0	0	0	0	\	2.4	41
韓国	8.6	8.6	2.9	2.9	31	0	2.9	0	2.9	\	35

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	53	2	7
University of Plymouth	英国	2	48	0	5
University of Calgary	カナダ	3	32	0	6
Sorbonne Universite	フランス	4	25	0	1
University of Manchester	英国	5	23	0	3
University of Tokyo	日本	6	20	0	2
Korea Advanced Institute of Science & Technology (KAIST)	韓国	8	19	0	1
Osaka University	日本	8	19	1	5
Waseda University	日本	8	19	0	1
Ritsumeikan University	日本	10	18	0	2
Technical University of Munich	ドイツ	10	18	0	7

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)

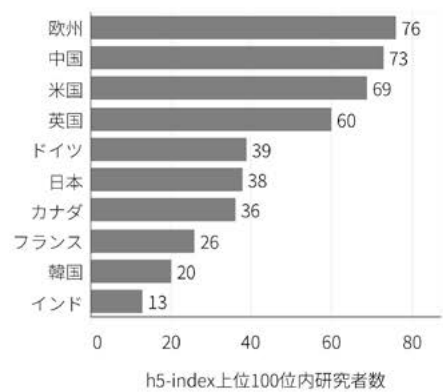


図3.1-S1.8-3 認知発達ロボティクス領域における論文数の動向③

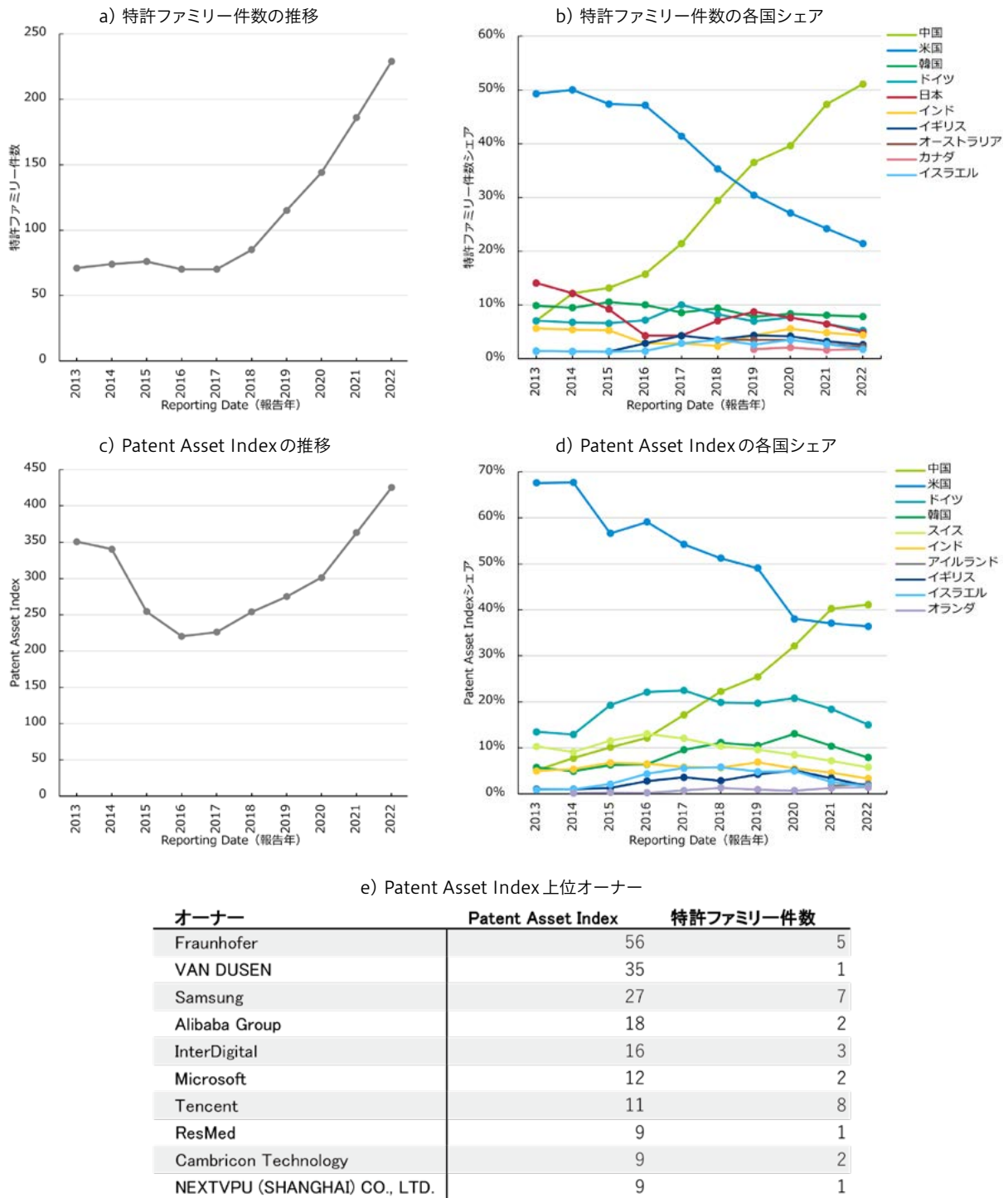


図 3.1-S1.8-4 認知発達ロボティクス領域における特許数の動向

3.1.S1.9 社会におけるAI

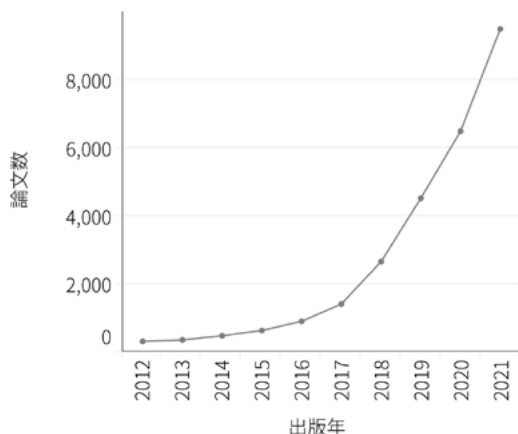
領域の定義

人工知能 (AI) 技術が社会に実装されていったときに起こり得る、社会・人間への影響や倫理的・法的・社会的課題 (Ethical, Legal and Social Issues: ELSI) を見通し、あるべき姿や解決策の要件・目標を検討し、それを実現する制度設計および技術開発を行うための研究開発領域である。

ポイント

- ・ 論文数・特許数とも、2017年頃から急激に増加している (図3.1-S1.9-1 a)、図3.1-S1.9-4 a))。
- ・ 国別の論文数シェアは、米国が30%前後で1位、中国が増加傾向で20%に近づいている。10%前後に英国とインドがあり、それ以下の各国が続いている。欧州は米国と同程度である。(図3.1-S1.9-2 a))
- ・ 論文総数、Top10%論文数における2021年の順位もほぼそれと同様である (図3.1-S1.9-1 b)、図3.1-S1.9-2 d))。
- ・ 論文数の世界上位10機関には、米国の5機関、中国の2機関が入っている (図3.1-S1.9-3 b))。

a) 領域全体の論文数推移



b) 論文数の国別推移

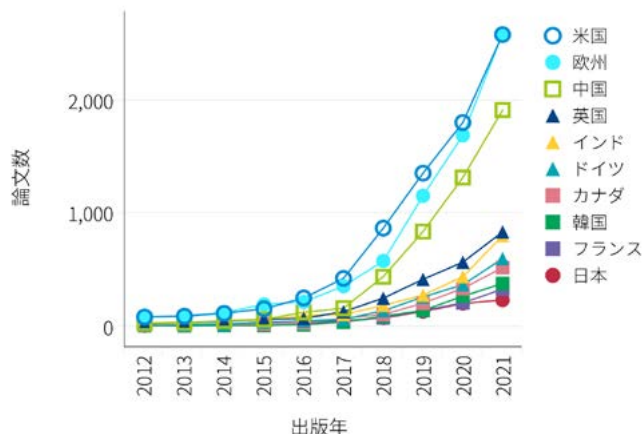


図3.1-S1.9-1 社会におけるAI領域における論文数の動向①

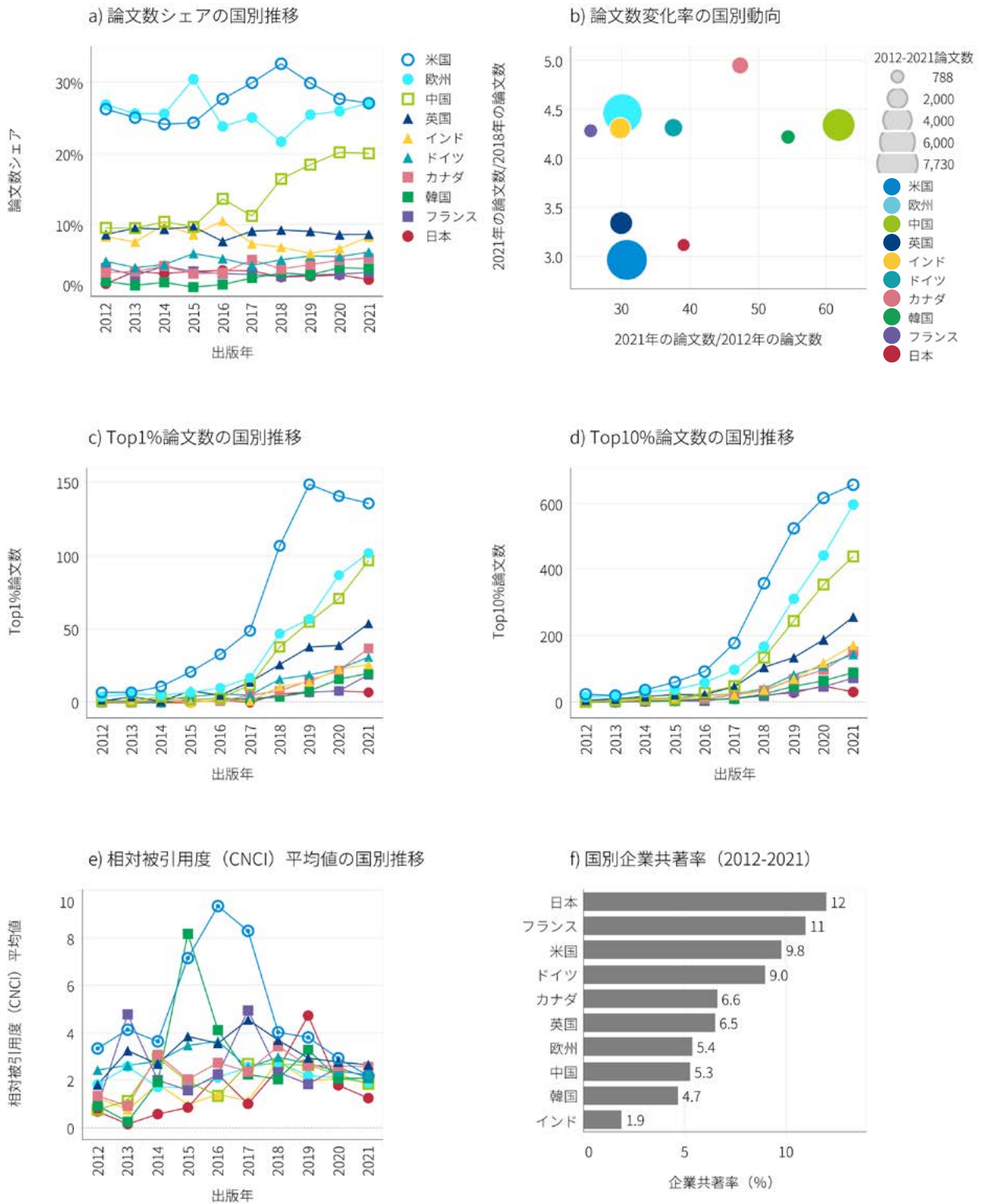


図3.1-S1.9-2 社会におけるAI領域における論文数の動向②

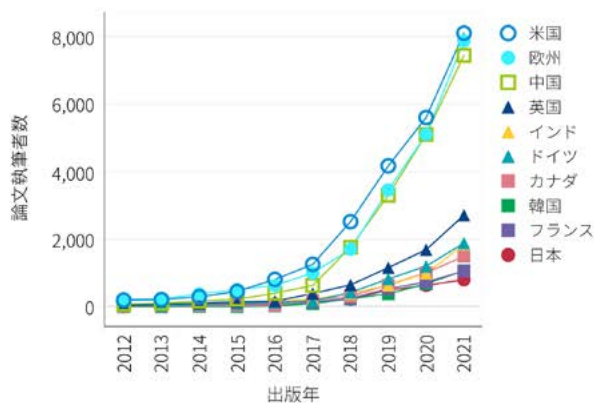
a) 各国間の共著率 (2012-2021)

(%)	米国	欧州	中国	英国	インド	ドイツ	カナダ	韓国	フランス	日本	論文数 (件)
米国	\	6.7	12	5.3	2.2	3	3.7	2	1.8	0.88	7,731
欧州	10	\	4.1	9.1	2.3	6	2.2	0.89	3.9	1	5,147
中国	18	4.1	\	5.5	1.4	0.97	3.6	1.2	0.78	1.8	5,140
英国	17	19	12	\	3	7.1	3.6	1.3	3	1.2	2,446
インド	8.3	5.6	3.6	3.5	\	0.63	1.8	2.1	1	0.58	2,069
ドイツ	15	20	3.2	11	0.83	\	3.4	1.5	4.6	1.5	1,572
カナダ	21	8.3	14	6.6	2.8	4	\	1.5	3.8	1.3	1,338
韓国	16	4.8	6.3	3.2	4.5	2.4	2.1	\	0.62	0.72	965
フランス	15	22	4.4	8.2	2.3	8.1	5.7	0.67	\	1.8	900
日本	8.6	6.6	12	3.8	1.5	2.9	2.2	0.89	2	\	788

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	292	8	69
Nanyang Technological University	シンガポール	2	256	42	112
Tsinghua University	中国	3	250	34	111
International Business Machines (IBM)	米国	4	244	24	81
University of Oxford	英国	5	228	39	109
Harvard University	米国	6	224	45	99
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	米国	7	223	33	93
Stanford University	米国	8	222	34	98
University of Chinese Academy of Sciences, CAS	中国	9	214	11	51
Carnegie Mellon University	米国	10	211	24	79
University of Tokyo	日本	84	85	1	21

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)

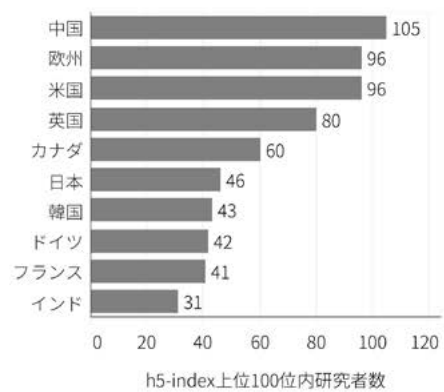


図3.1-S1.9-3 社会におけるAI領域における論文数の動向③

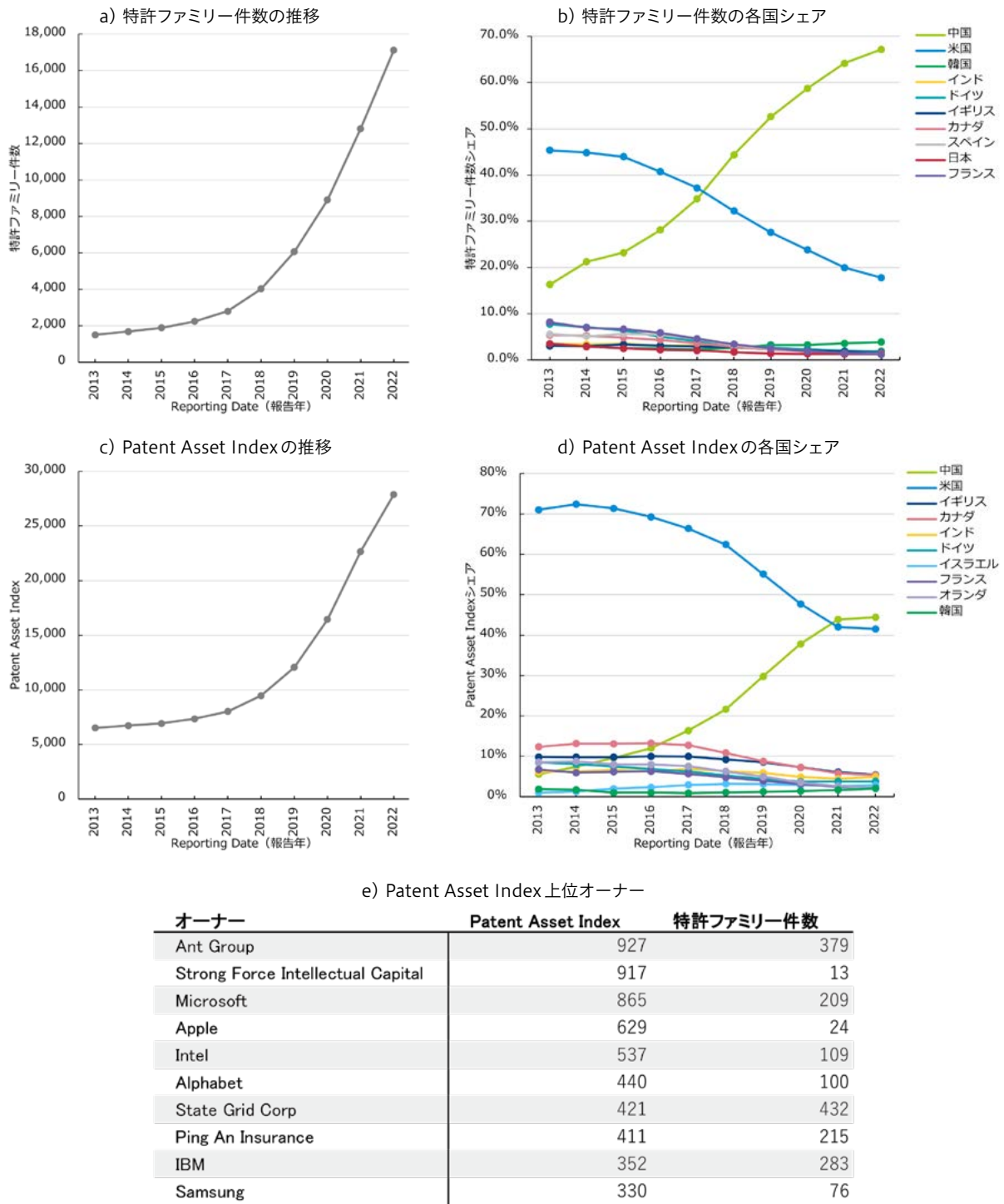


図 3.1-S1.9-4 社会におけるAI領域における特許数の動向