

令和5年度 特許出願技術動向調査

－量子計算機関連技術－

2024年7月

特許庁総務部企画調査課



はじめに

- **量子計算機（量子コンピュータ）**とは：
 - ✓ 原子や電子などの「**量子**」の持つ性質を利用して情報処理を行うコンピュータ
 - ✓ 汎用的な計算を可能とする**量子ゲート方式**と、特定の計算問題に特化した**量子アニーリング方式**の2つに大別される
 - ✓ 単位ビットを実現する手段毎に、多くの種類が提案されている（超伝導、光など）
- 量子シミュレーション、最適化問題、人工知能、量子通信・インターネット、量子計測・センシングなどへの応用で、**古典計算機では膨大な時間のかかる計算を可能**とする計算能力を提供することにより、今後大きな発展が期待される

調査目的

- 量子計算機関連技術に関する特許の動向を調査し、
 - 1)国内外の技術発展状況、研究開発状況を含む技術動向を明らかにすること、
 - 2)日本及び外国の技術競争力、産業競争力を明らかにすること、及び、
 - 3)本テーマにおいて日本企業・政府機関が取り組むべき課題を整理し、今後目指すべき研究・技術開発の方向性を明らかとすること、を目的とする。

- 1 市場・政策動向
- 2 特許・論文動向の調査方法
- 3 特許・論文全体動向
- 4 技術区分別出願動向
- 5 特許・論文件数ランキング
- 6 総合分析

1 市場・政策動向

2 特許・論文動向の調査方法

3 特許・論文全体動向

4 技術区分別出願動向

5 特許・論文件数ランキング

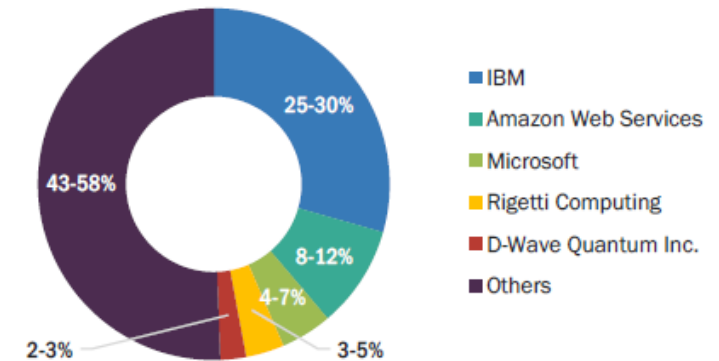
6 総合分析

1. 市場・政策動向 量子計算機の世界市場動向

量子計算機関連の世界市場動向（実績値及び予測値）

- 2020年の企業別シェアは、IBMやAWSなど、**北米企業が大半を占めている**
- 2022年の全世界の市場規模は約**6.3億ドル**で、2028年までにおいても高い成長が期待されている
- 2022年の地域別市場規模は北米が最大だが、**アジア・太平洋の市場規模は北米を超えると予測**

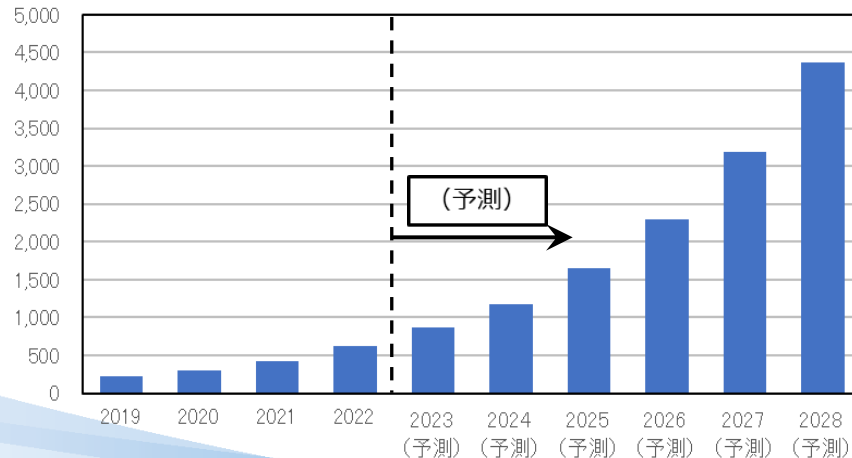
企業別市場シェア（2020年）



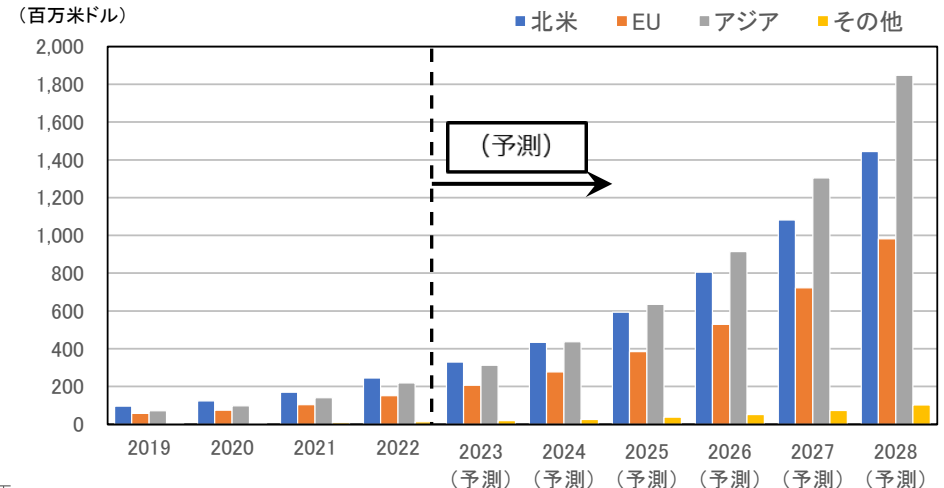
（注：Googleは非公開のため含まれていない）

世界市場規模（全世界・地域別）

（百万米ドル）



（百万米ドル）



出典：MarketsAndMarkets 「Quantum Computing Market - GLOBAL FORECAST TO 2028」を基に作成

1. 市場・政策動向 日本国内の政策動向

• 「量子技術イノベーション戦略（2020年1月）」

将来の産業・ビジネス構造の変化等を見据えて目指すべき社会像を設定した上で、その実現に向けた、短期的な技術開発と産業・イノベーションを念頭に置いた10～20年の中長期的な視点に立った国家戦略

• 「量子未来社会ビジョン（2022年4月）」

量子技術による成長機会創出や社会課題解決等の量子技術による社会変革を定め、生産性革命など産業の成長機会の創出やカーボンニュートラル等の社会課題の解決のために量子技術を活用し、社会全体のトランスフォーメーションを実現していくため、量子技術により目指すべき未来社会ビジョンやその実現に向けた戦略

• 「量子未来産業創出戦略（2023年4月）」

目指すべき産業の方向性として量子技術の実用化・産業化の3つの視点を定めており、これらの視点から見た実用化・産業化の主な課題と、それに対する基本的対応方針を設定



1. 市場・政策動向 米国・欧州の政策動向

米国の政策

- 米国は2018年に「**国家量子イニシアチブ法**」を制定し、早くから量子計算機関連技術に取り組む方針を打ち出し、エネルギー省（DOE）に基礎研究を推進する「**国家情報量子科学センタ**」を設立。また、国家科学財団（NSF）も従来からの枠組みのなかで研究・教育活動を推進している。
- 国家量子イニシアチブ法に基づく量子情報科学研究開発への予算支出は、2019年度の約4.5億ドルから増額傾向にあり、2024年度に要求された予算は**約9.7億ドル**となっている。

欧州の政策

- 欧州委員会は「**Horizon 2020**」の一部として量子技術に関する大型の研究開発プログラム「**Quantum Flagship**」を始動。**10年間で10億ユーロ**が拠出されることとなり、量子コンピューティング、量子シミュレーション、量子通信、量子計測・センシング、これらを補完する基礎量子科学の5領域を対象に支援が行われている。2018年10月時点で合わせて20のプロジェクトが立ち上げられ、3年間で最大1,000万ユーロの資金が注入される。
- 2023年4月に**Qu-Test** 及び**Qu-Pilot**プロジェクトが開始された。これらのプロジェクトは、ヨーロッパにおけるコンピューティング、通信、センシングにおける量子デバイスの製造及び評価のインフラを欧州各地に整備し、量子サプライチェーンの中小企業をサポートすることにより、量子計算機、量子センシング、量子イメージング、量子通信分野における製造技術の確立とアプリケーションの開拓につなげることを目的としている。

1 市場・政策動向

2 特許・論文動向の調査方法

3 特許・論文全体動向

4 技術区分別出願動向

5 特許・論文件数ランキング

6 総合分析

2. 特許・論文動向の調査方法 調査対象技術(技術俯瞰図)

- 量子計算機に関連する技術を、〈方式〉、〈課題〉、〈量子計算機ハードウェア・ミドルウェア技術〉、〈量子計算機用ソフトウェア技術〉、〈用途・実問題〉に大別し、要素技術の抽出や相関関係を整理

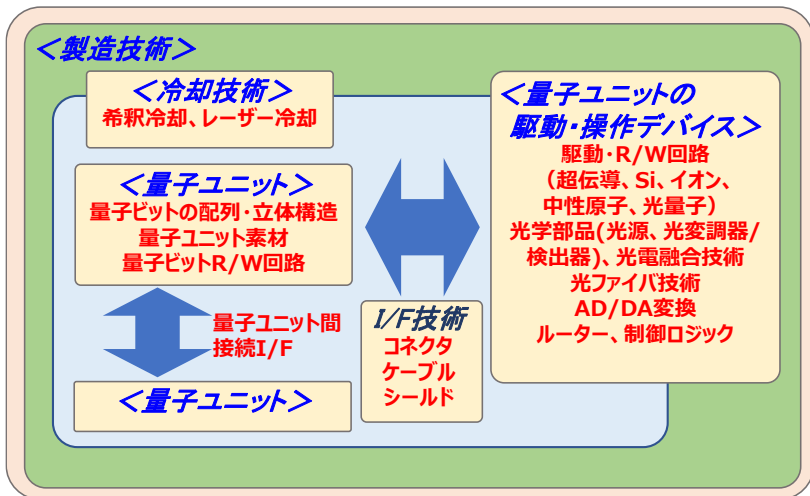
〈方式〉

〈汎用量子計算機〉 超伝導、イオントラップ、中性原子、光量子、Si量子ドット、トポロジカル、ダイヤモンド欠陥
 〈イジングマシン・アニーラ〉 超伝導、レーザーネットワーク

〈課題〉

・スケラビリティ向上 ・演算スピード向上 ・計算忠実度向上 ・コヒーレンス時間向上 ・量子誤り訂正 ・製造の高精度化
 ・冷却技術の効率化 ・実問題の量子モデル化

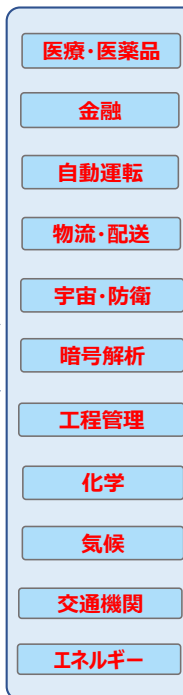
〈量子計算機ハードウェア・ミドルウェア技術〉



〈量子計算機用ソフトウェア技術〉



〈用途・実問題〉



※本調査は、本スコープに含まれる全ての特許・論文をもれなく抽出するものではない。

2. 特許・論文動向の調査方法 調査範囲・用語について

- 本調査で作成した技術俯瞰図に基づき、量子計算機及び関連技術に関する特許出願動向、研究開発動向を調査した。

- 特許出願動向
 - 調査対象文献：特許文献 … **約19,000件**
 - 使用した検索データベース：Derwent World Patent Index(DWPI) (Clarivate社)
 - 調査対象期間：**2010年-2021年**（出願年（優先権主張年））
 - ※2020年以降は、データベース収録の遅れ、PCT出願の各国移行のずれ等で全データを反映していない可能性がある。

- 研究開発動向（論文発表動向）
 - 調査対象文献：国際的な主要論文誌掲載の論文 … **約7,500件**
 - 使用した検索データベース：Scopus (Elsevier社)
 - 調査対象期間：**2010年-2022年**（発行年）

- 本発表で用いる用語について
 - **発明件数**：いずれかの国・地域に出願された発明の数。ある発明を一つの国・地域のみへ出願した場合も、二つ以上の国・地域へ出願した場合も1件と数える。
二つ以上の国・地域へ出願した場合の出願のまとまりは、「Patent Family」とも称される。

 - **国際展開発明件数**：発明件数のうち、二つ以上の国・地域へ出願された発明、欧州特許庁（EPO）へ出願された発明又はPCT出願された発明の数。
「International Patent Family (IPF) 件数」とも称される。
⇒ 出願人にとって重要度の高い発明と考えられる

2. 特許・論文動向の調査方法 **有識者委員会**

- 有識者委員会を計4回開催し、調査方針、調査結果の解釈、及び提言について議論を行った。

<委員名簿（敬称略、所属・役職等は令和6年2月現在、委員は五十音順）>

委員長 **川畑 史郎**

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

量子・AI融合技術ビジネス開発グローバル研究センター 副センター長

委員 **嶋田 義皓**

科学技術振興機構 研究開発戦略センター

システム・情報科学技術ユニット フェロー

寒川 哲臣

日本電信電話株式会社 先端技術総合研究所

常務理事 基礎・先端研究プリンシパル

松岡 智代

株式会社QunaSys 最高執行責任者（Chief Operational Officer, COO）

山本 俊

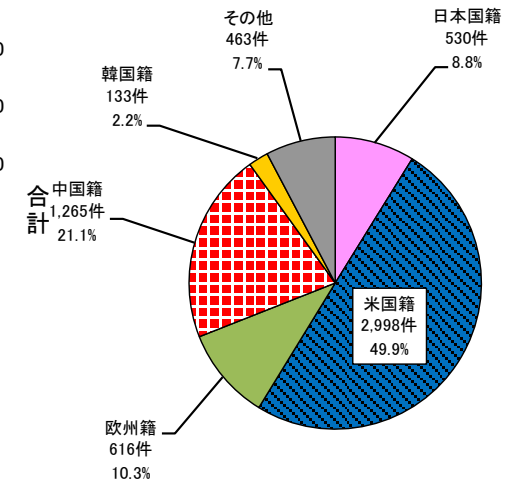
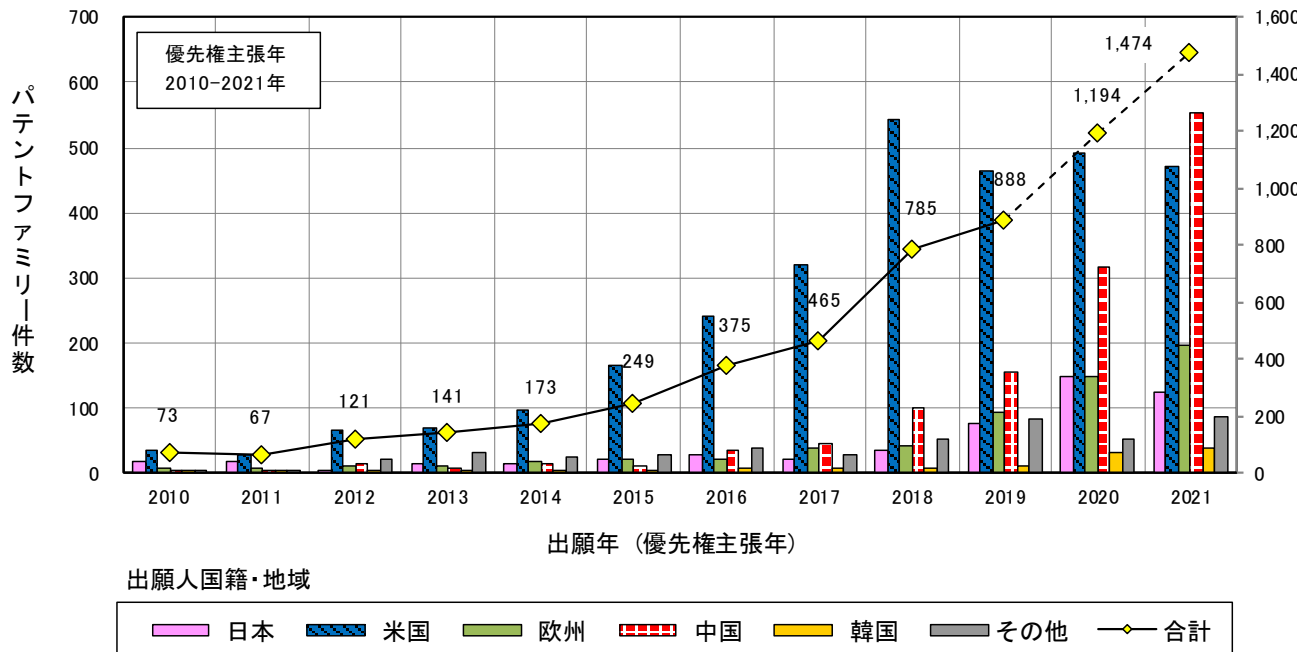
大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授/

量子情報・量子生命研究センター 副センター長

- 1 市場・政策動向
- 2 特許・論文動向の調査方法
- 3 特許・論文全体動向**
- 4 技術区分別出願動向
- 5 特許・論文件数ランキング
- 6 総合分析

3. 特許・論文全体動向 発明件数（出願人国籍・地域別）

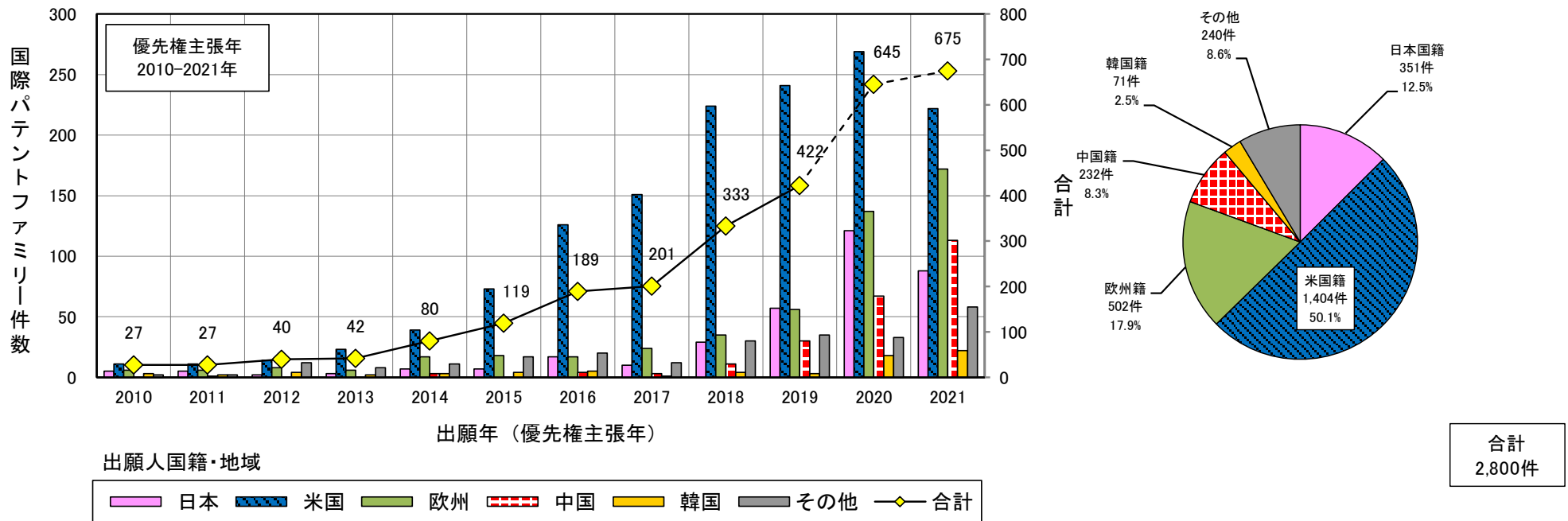
- ノイズを除いた件数は6,005件で、全体として増加傾向にある。
- 米国籍が2,998件で最も多く、**全体の約半分**（49.9%）を占める。
- 中国籍が1,265件（21.1%）、欧州籍が616件（10.3%）、日本国籍が530件（8.8%）、その他が463件（7.7%）と続く。



〔出願人国籍・地域別〕 特許・論文全体動向 発明件数年次推移及び特許・論文全体動向 発明件数比率
 (出願先：日米欧中韓WO、出願年（優先権主張年）：2010年～2021年)

3. 特許・論文全体動向 国際展開発明件数（出願人国籍・地域別）

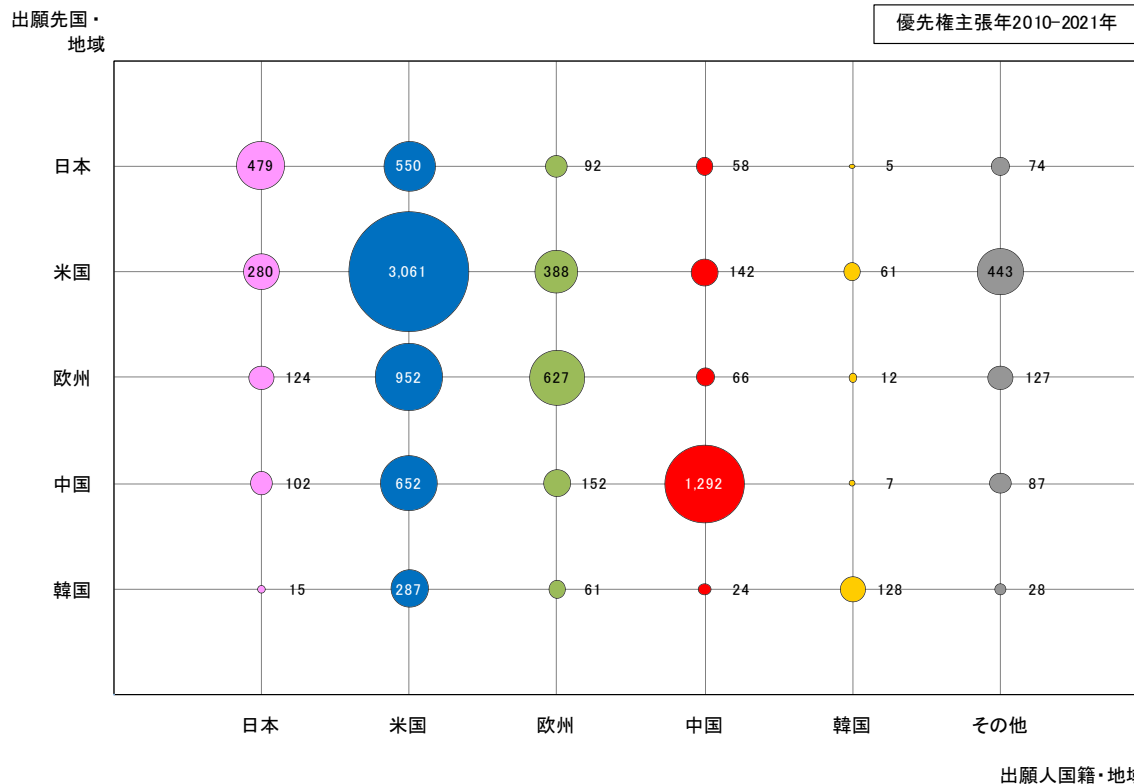
- ノイズを除いた合計は2,800件で、発明件数と同様に増加傾向にある。
- 発明件数と同様に米国籍が全体の約半分（50.1%）を占める。
- 発明件数と比較すると中国籍の割合が下がり、欧州籍と日本国籍の割合が相対的に大きくなっている。



[出願人国籍・地域別] 国際特許ファミリー件数年次推移及び国際特許ファミリー件数比率（出願先：日米欧中韓WO、出願年（優先権主張年）：2010年～2021年）

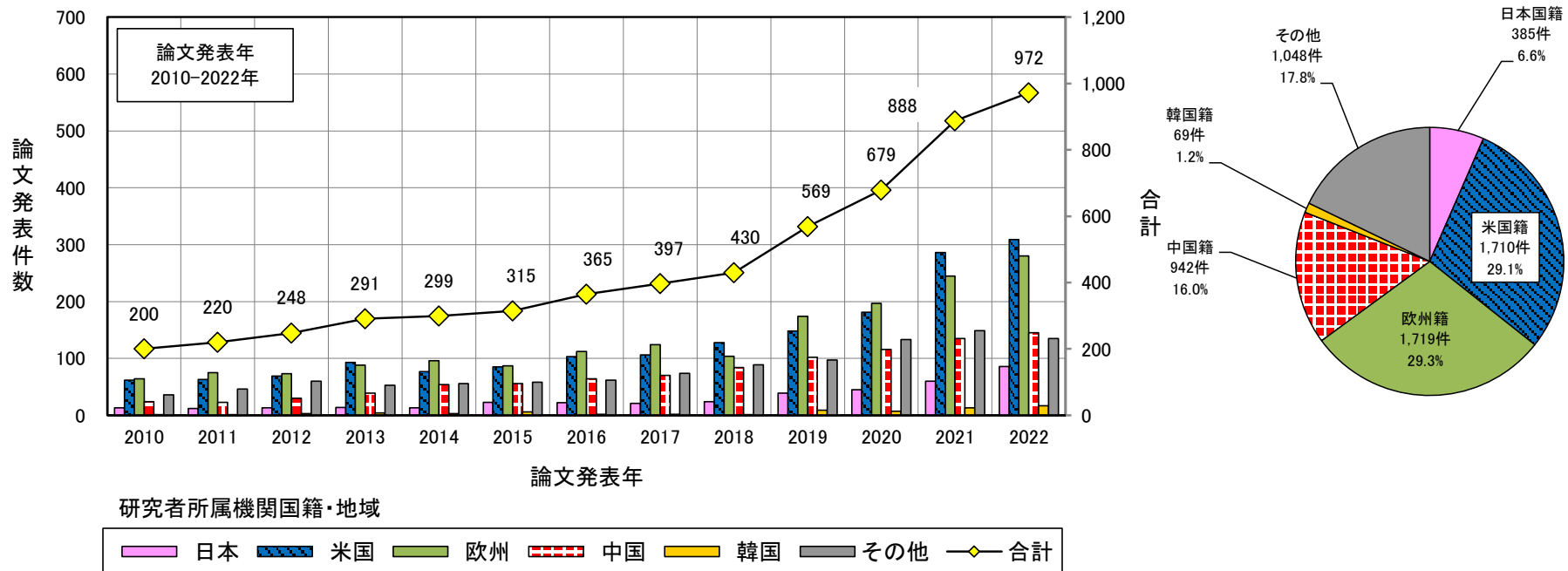
3. 特許・論文全体動向 出願先国・地域別-出願人国籍・地域別出願件数

- 各国籍・地域とも、自国籍・地域からの出願件数が最も多い。
- 米国籍は、中国以外の各国・地域において、**自国籍・地域出願人を超えて**最も出願件数が多い。
- 日本国籍、欧州籍、韓国籍は、自国・地域の次に米国への出願件数が多い。
- 中国籍は、約9割（89.9%）が自国向けの出願で、自国・地域の次に日本への出願件数が多い。



3. 特許・論文全体動向 論文発表件数（国籍・地域別）

- 論文発表件数は増加傾向にあるが、近年、**米国籍**と**欧州籍**が特に増加している。
- 特許では**米国籍**が圧倒しており半数を占めるが、論文では**米国籍**と**欧州籍**がほぼ同じ割合である。
- 特許では**中国籍**が近年急激に伸びてきているが、論文ではその傾向は見られない。



研究者所属機関国籍・地域別論文発表件数年次推移及び論文発表件数比率（論文発表年：2010年～2022年）

- 1 市場・政策動向
- 2 特許・論文動向の調査方法
- 3 特許・論文全体動向
- 4 技術区分別出願動向**
- 5 特許・論文件数ランキング
- 6 総合分析

4. 技術区分別出願動向 大区分 (発明件数)

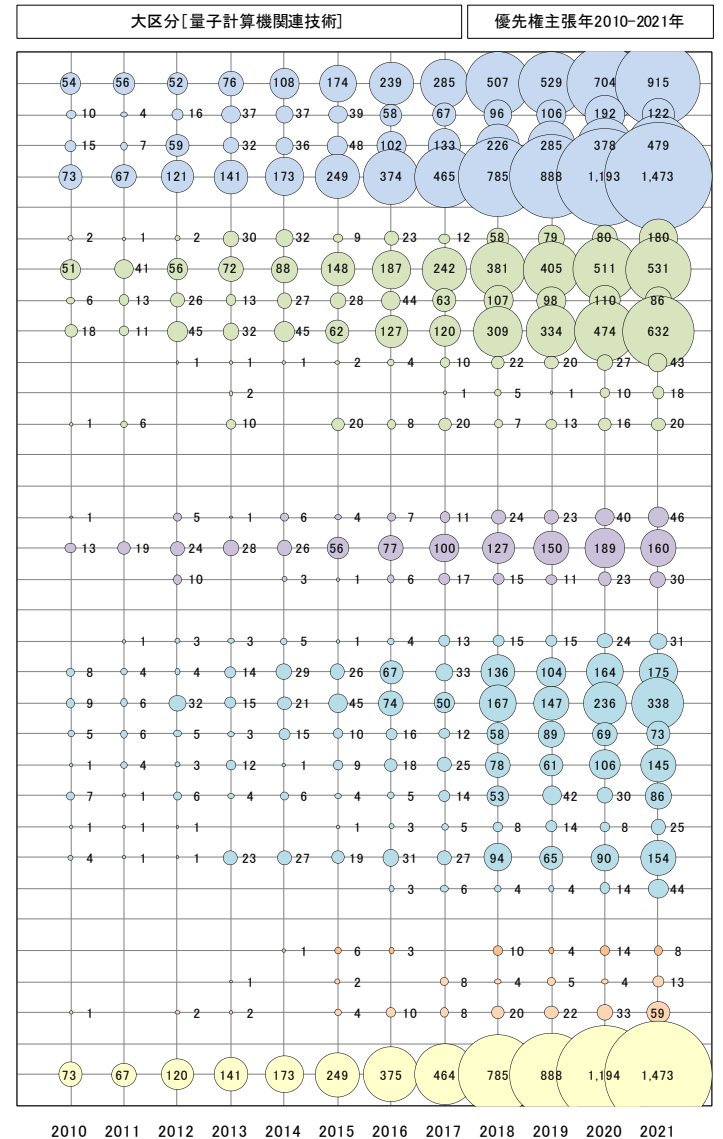
調査対象を整理した技術俯瞰図(P.3)をもとに、

- 量子計算機的方式
- 発明の課題
- ハードウェア・ミドルウェア技術※
- 設計・製造方法
- ソフトウェア技術
- 評価技術
- 応用分野

の7つの大区分を設定するとともに、それぞれに下位区分を作成した。

※「ハードウェア・ミドルウェア技術」は紙面の都合から省略

量子計算機的方式・量子ビットの結合
汎用量子計算機
イジングマシン・アニーラ
方式に特定がない
量子ビットの結合方式
発明の課題・主題
システム構造に関する課題・主題
ハードウェア・ミドルウェア要素に関する課題・主題
設計・製造方法に関する課題・主題
ソフトウェア技術に関する課題・主題
評価技術に関する課題・主題
その他
課題・主題が不明、把握できない
設計・製造方法の発明、設
設計技術
量子ユニットの製造方法
量子ユニット以外の製造方法
ソフトウェア技術
量子誤り訂正技術
量子計算モデル
アルゴリズムの効率化
古典計算機との融合
SDK(古典計算機の前処理含む)
マイクロアーキテクチャ(ミドルウェア)
古典計算機による後処理
オーケストレーション
その他
評価技術
ハードウェアに特徴
ソフトウェアに特徴
評価内容に特徴
応用分野の記載のあるもの
応用分野



4. 技術区分別出願動向 大区分：発明の課題（発明件数）

- 全体として、ハードウェア・ミドルウェア技術に関する課題と、ソフトウェア技術に関する課題に関する出願が特に多い。
- 量子ユニットに関する課題の発明件数が最も多く、量子ユニットの駆動回路に関する課題の発明件数が続いている。
- ソフトウェア技術に関する課題では、実問題の量子モデル化に関する課題が最も多く、プログラム開発に関する課題、コンパイラに関する課題が続いている。



[技術区分別] パテントファミリー件数年次推移 (技術区分：【発明の課題・主題】
 [中区分]、出願先：日米欧中韓WO、出願年(優先権主張年)：2010年~2021年)

出願年(優先権主張年)

4. 技術区分別出願動向 大区分：方式①（発明件数）

汎用量子計算機（量子ゲート方式）

超伝導方式

イオントラップ方式

中性原子方式（冷却原子方式）

光量子方式

Si量子ドット方式

トポロジカル方式

ダイヤモンド欠陥方式

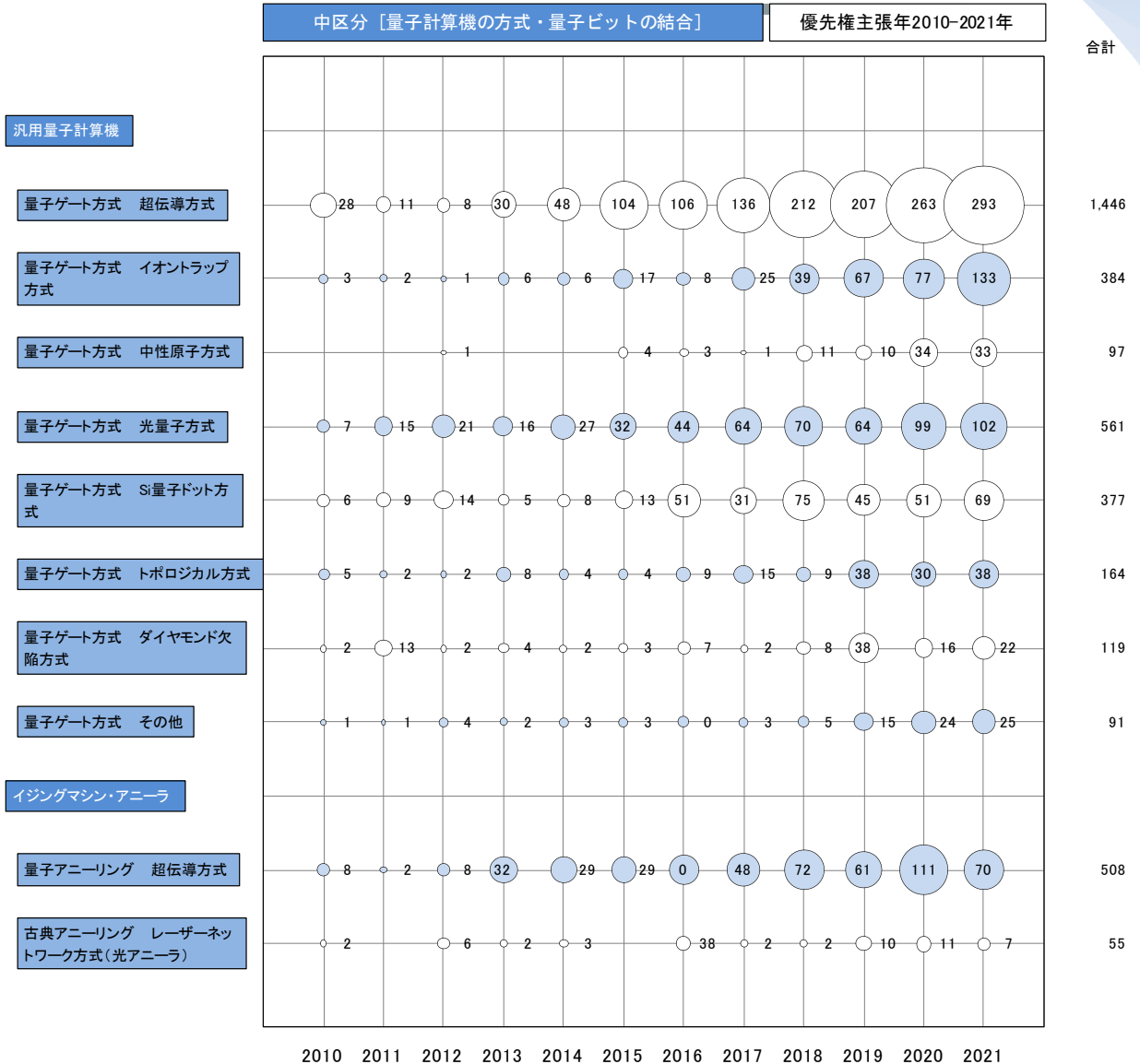
その他

イジングマシン・アニーラ

超伝導方式

レーザーネットワーク方式

- 超伝導方式（量子ゲート方式、量子アニーリング方式）、光量子方式は、2013年ごろから継続して出願があり、出願総数も多い。

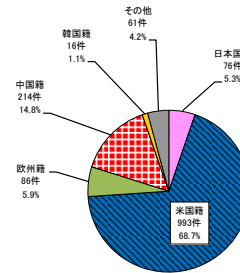


【技術区分別】 パテントファミリー件数年次推移（技術区分：【量子計算機の方式・量子ビットの結合】〔中区分〕、出願先：日米欧中韓WO、出願年（優先権主張年）：2010年～2021年）

4. 技術区分別出願動向 大区分：方式②（発明件数）

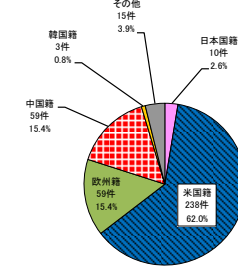
- **米国籍**は、全ての方式で最大の比率を持つが、光量子方式と超伝導量子アニーリング方式は50%未満で相対的に少ない。
- **中国籍**は、光量子方式で24.1%、イオントラップ方式で15.4%、超伝導方式で14.8%で高い比率がある。
- **日本国籍**は、量子アニーリング方式が18.7%で最も比率が高く、光量子方式（9.1%）、Si量子ドット方式（8.5%）が続いている。
- 量子アニーリング方式では、その他国籍が27.8%と多数の国の参入がある。

[超伝導量子ゲート方式]



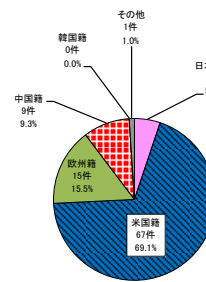
合計
1,446件

[イオントラップ方式]



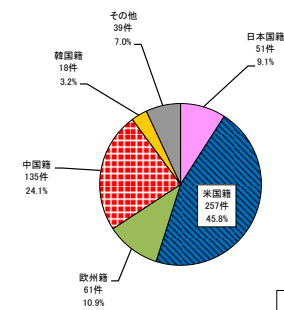
合計
384件

[中性原子方式]



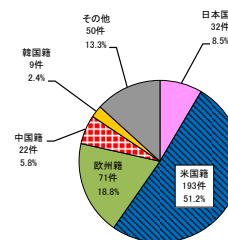
合計
97件

[光量子方式]



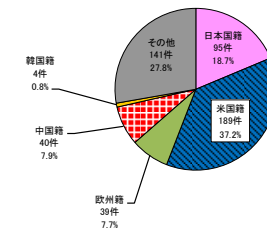
合計
561件

[Si量子ドット方式]



合計
377件

[超伝導量子アニーリング方式]



合計
508件

【技術区分別】 【出願人国籍・地域別】 パテントファミリー件数
年次推移及び比率（技術区分：【量子計算機の方式・量子ビット
の結合】 【汎用量子計算機】 【各方式】、出願先：日米欧中韓
WO、出願年（優先権主張年）：2010年～2021年）

- 1 市場・政策動向
- 2 特許・論文動向の調査方法
- 3 特許・論文全体動向
- 4 技術区分別出願動向
- 5 特許・論文件数ランキング**
- 6 総合分析

5. 特許・論文件数ランキング 特許出願件数ランキング

- 発明件数上位ランキングでは、上位10社のうち6社が米国企業である。特にIBM CORP (米国) の発明件数が特に多い。
- 国際展開発明件数上位出願人ランキングでは、上位10社のうち5社が米国企業である。発明件数では2位のORIGIN QUANTUM (中国) は、国際展開発明件数は9位に後退している。

● 発明件数上位出願人ランキング

順位	出願人(国籍・地域)	件数
1	IBM CORP (米国)	745
2	ORIGIN QUANTUM COMPUTING TECH CO LTD (中国)	288
3	MICROSOFT CORP (米国)	214
4	INTEL CORP (米国)	170
5	GOOGLE INC (米国)	163
6	D WAVE SYSTEMS INC (カナダ)	158
7	NORTHROP GRUMMAN SYSTEMS CORP (米国)	110
8	BEIJING BAIDU NETCOM SCI & TECH CO (中国)	95
9	富士通株式会社	91
10	RIGETTI & CO INC (米国)	87
11	IONQ INC (米国)	75
12	PSIQUANTUM CORP (米国)	73
13	日本電気株式会社	72
14	日本電信電話株式会社	57
14	CHINESE ACAD SCI (中国)	57
16	MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECH (MIT) (米国)	55
17	RED HAT INC (米国)	50
17	UNIV TSINGHUA (中国)	50
19	UNIV CHINA SCI & TECH (中国)	46
20	UNIV MARYLAND (米国)	45

● 国際展開発明件数上位出願人ランキング

順位	出願人(国籍・地域)	件数
1	IBM CORP (米国)	316
2	MICROSOFT CORP (米国)	174
3	GOOGLE INC (米国)	128
4	INTEL CORP (米国)	98
5	NORTHROP GRUMMAN SYSTEMS CORP (米国)	83
6	富士通株式会社	80
7	日本電気株式会社	61
8	D WAVE SYSTEMS INC (カナダ)	59
9	ORIGIN QUANTUM COMPUTING TECH CO LTD (中国)	51
10	TENCENT (中国)	37
11	株式会社東芝	34
11	RIGETTI & CO INC (米国)	34
13	株式会社日立製作所	31
13	HARVARD COLLEGE (米国)	31
13	MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECH (MIT) (米国)	31
13	ZAPATA COMPUTING INC (米国)	31
17	COMMISSARIAT A LENERGIE ATOMIQUE & AUX (フランス)	30
18	PSIQUANTUM CORP (米国)	29
18	IQM QUANTUM COMPUTERS (フィンランド)	29
20	HONEYWELL INT INC (米国)	25
20	BEIJING BAIDU NETCOM SCI & TECH CO (中国)	25

5. 特許・論文件数ランキング 論文発表件数ランキング

- 上位30者中、**米国**が13者、**欧州**が7者、**中国**が4者、**日本**が2者、その他が4者である。
- 特許では**米国**・**中国**の企業が上位を占めるが、論文では各国の大学、研究機関が上位を占める。

● 論文発表件数上位研究者（筆頭著者）所属機関ランキング

順位	研究者所属機関(国籍・地域)	件数
1	UNIVERSITY OF CALIFORNIA(米国)	121
2	UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA(中国)	120
3	UNIVERSITY OF MARYLAND(米国)	106
4	MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY(米国)	91
5	TSINGHUA UNIVERSITY(中国)	82
6	UNIVERSITY OF WATERLOO(カナダ)	80
7	国立大学法人東京大学	79
8	DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY(オランダ)	73
9	UNIVERSITY OF OXFORD(イギリス)	70
10	UNIVERSITY OF SOUTHERN CALIFORNIA(米国)	67
11	ETH ZURICH(スイス)	65
12	HARVARD UNIVERSITY(米国)	64
12	CHINESE ACADEMY OF SCIENCES(中国)	64
14	UNIVERSITY OF NEW SOUTH WALES(オーストラリア)	59
15	YALE UNIVERSITY(米国)	57
16	PRINCETON UNIVERSITY(米国)	54
17	UNIVERSITY OF INNSBRUCK(オーストリア)	52
18	IBM(米国)	51
19	UNIVERSITY OF CHICAGO(米国)	45
20	CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY(米国)	44
21	国立研究開発法人理化学研究所(RIKEN)	42
21	NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY(米国)	42
21	UNIVERSITY COLLEGE LONDON(イギリス)	42
21	UNIVERSITY OF SYDNEY(オーストラリア)	42
25	UNIVERSITY OF BRISTOL(イギリス)	38
26	NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE(シンガポール)	36
27	STANFORD UNIVERSITY(米国)	35
28	LOS ALAMOS NATIONAL LABORATORY(米国)	33
29	UNIVERSITY OF BASEL(スイス)	32
30	PEKING UNIVERSITY(中国)	31

- 1 市場・政策動向
- 2 特許・論文動向の調査方法
- 3 特許・論文全体動向
- 4 技術区分別出願動向
- 5 特許・論文件数ランキング
- 6 総合分析**

6. 総合分析 提言・示唆：超伝導量子ゲート方式①

提言・示唆0：量子計算機全体動向

提言・示唆1：超伝導量子ゲート方式

超伝導量子ゲート方式の量子計算機において、技術開発で先行している米国は、「大規模集積化（スケーラビリティ）の向上」、「コヒーレンス時間の向上／損失低減」、「エラー訂正技術」への出願が他国に比べて多く、技術の蓄積があるといえる。日本は極低温で動作可能な同軸ケーブルやコネクタ等の周辺・構成部素材技術の強みをいかしつつ、今後も「大規模集積化（スケーラビリティ）の向上」「コヒーレンス時間の向上／損失低減」「エラー訂正」の要素技術開発に注力しながら、計算機システムとしてのインテグレーション技術の開発に取り組むことが重要である。

提言・示唆2：イオントラップ方式

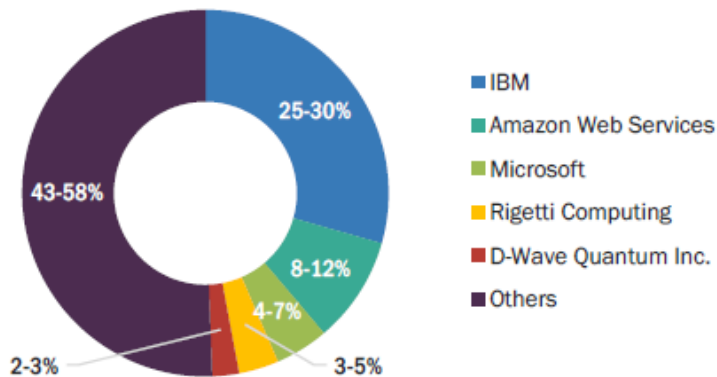
・
・
・

提言・示唆8：ソフトウェア技術

6. 総合分析 提言・示唆：超伝導量子ゲート方式②

1. 市場環境調査から、IBM、Amazon、Microsoft、Rigetti等の北米企業が上位を占めていることが分かる。上位に位置する主要量子計算機メーカーに共通する事業戦略は、**スケーラビリティの向上**である。日本では、超伝導同軸ケーブル、高周波コネクタなど**構成部品で高いシェア**をもっており強みを発揮している。

量子計算機市場の企業別シェア（2020年）



出典：MarketsAndMarkets 「Quantum Computing Market - GLOBAL FORECAST TO 2028」
 （注：Googleは非公開のため含まれていない）

量子コンピュータのサプライチェーン構成とプレイヤー



出典：経済産業省 第4回 産業構造審議会 経済産業政策新機軸部会
 「イノベーション創出に向けた先端基盤技術（量子・AI）戦略について」

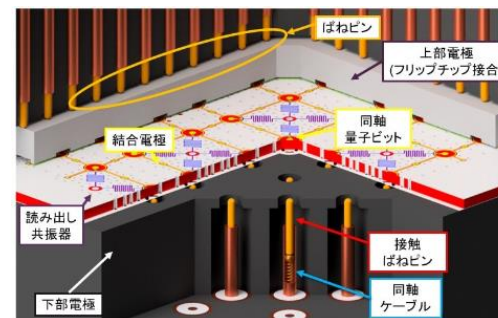
6. 総合分析 提言・示唆：超伝導量子ゲート方式③

2. 政策動向調査によると、米国は、DOEとNISTによる政府関連機関と約50の大学による重層的な研究開発体制から、**特に材料、デバイス、ソフトウェアを統合した実用的な研究開発**を実施している。トランズモンの改良に関する研究開発にも取り組んでいる。日本では、量子ビットの配列・立体構造の3次元構造化や共振器構造の最適化による**量子ビットの高性能な読み出しの研究開発、極低温環境下にある超伝導量子チップと制御回路間との接続や超伝導量子ビットチップそのものの品質向上**に取り組んでいる。

【米国における国家プロジェクトの例】

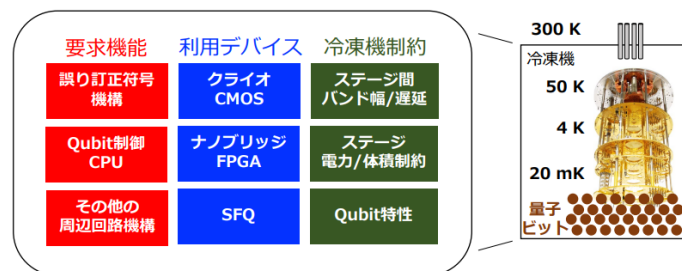
【2次元量子ビット集積化を実現する3次元立体実装配線】

主管組織	DOE		NSF	
研究機関名称 (略称)	Co-Design Center for Quantum Advantage (C ² QA)	Fermi National Accelerator Laboratory (SQMS)	Oak Ridge National Laboratory (QSC: Quantum Science Center)	Institute for Quantum Information and Matter (IQIM)
参加企業	IBM	Rigetti Computing, Goldman Sachs, Lockheed Martin	IBM, Microsoft, ColdQuanta	Caltech
技術概要	材料、デバイス、ソフトウェアを協調した研究開発を実施する。IBM Qiskit open source frameworkを使って量子計算機(超伝導)のプロトタイプを研究開発する	超伝導方式の一種であるトランズモンの改良を研究開発して、その性能を大幅に改善する	トポロジカル絶縁体の量子材料としての開発とそれを使用したシステムの研究開発を推進する	超伝導回路、冷却原子(中性原子方式)、トポロジカル材料の研究を推進している



出典：ERATO 巨視的量子機械プロジェクト HP

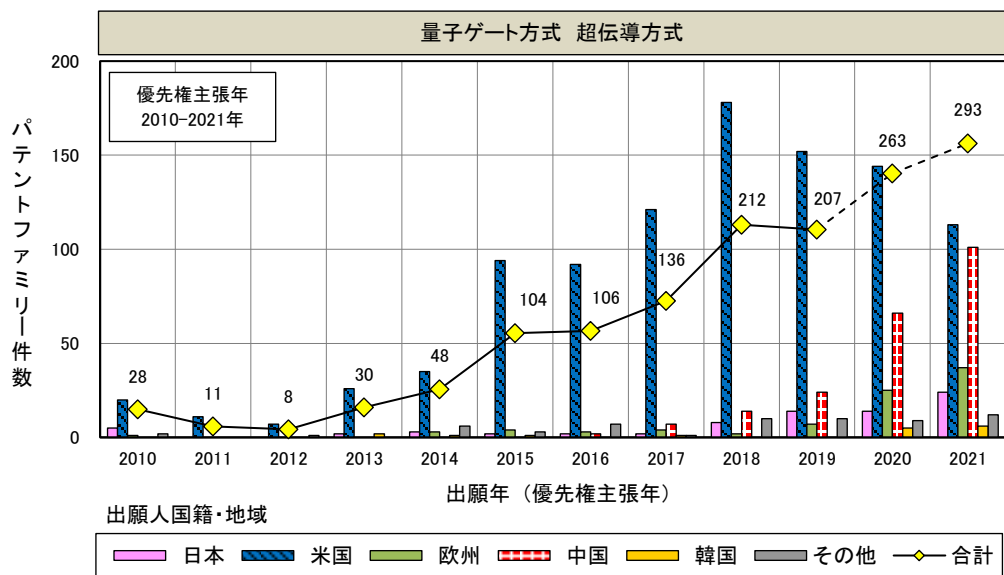
【超伝導量子ビットと周辺回路を含めた集積化の要求機能と利用デバイス、冷凍機制約】



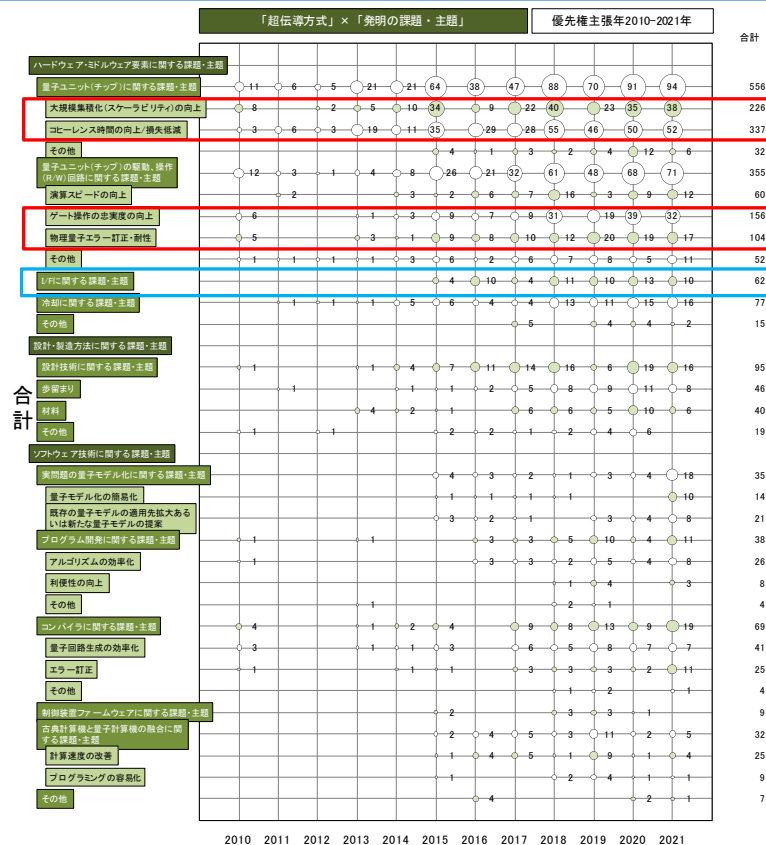
出典：ムーンショット目標6公開シンポジウム2023日本電気「超伝導量子回路の集積化技術の開発」のプロジェクト成果紹介 27

6. 総合分析 提言・示唆：超伝導量子ゲート方式④

3. 特許動向では、2014年以降、米国の件数が顕著に増加し、2020年以降では中国が増加傾向にある。「大規模集積化（スケーラビリティ）の向上」、「コヒーレンス時間の向上／損失低減」、「ゲート操作の忠実度の向上」「物理量子エラー訂正・耐性」の件数が多く増加傾向にある。「I/Fに関する課題・主題」の件数は多くない。



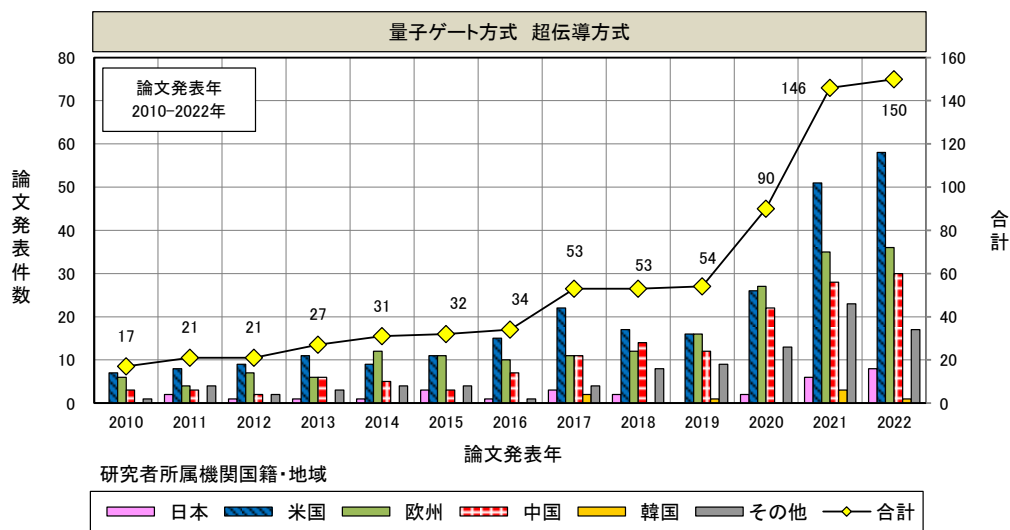
【技術区分別】 【出願人国籍・地域別】 パテントファミリー件数年次推移及び比率（技術区分：【量子計算機の方式・量子ビットの結合】
【汎用量子計算機】 【量子ゲート方式 超伝導方式】、出願先：日米
欧中韓WO、出願年（優先権主張年）：2010年～2021年）



【技術区分別】 パテントファミリー件数年次推移（技術区分：「超伝導方式」×「発明の課題・主題」、出願先：日米欧中韓WO、出願年（優先権主張年）：2010年～2021年） 28

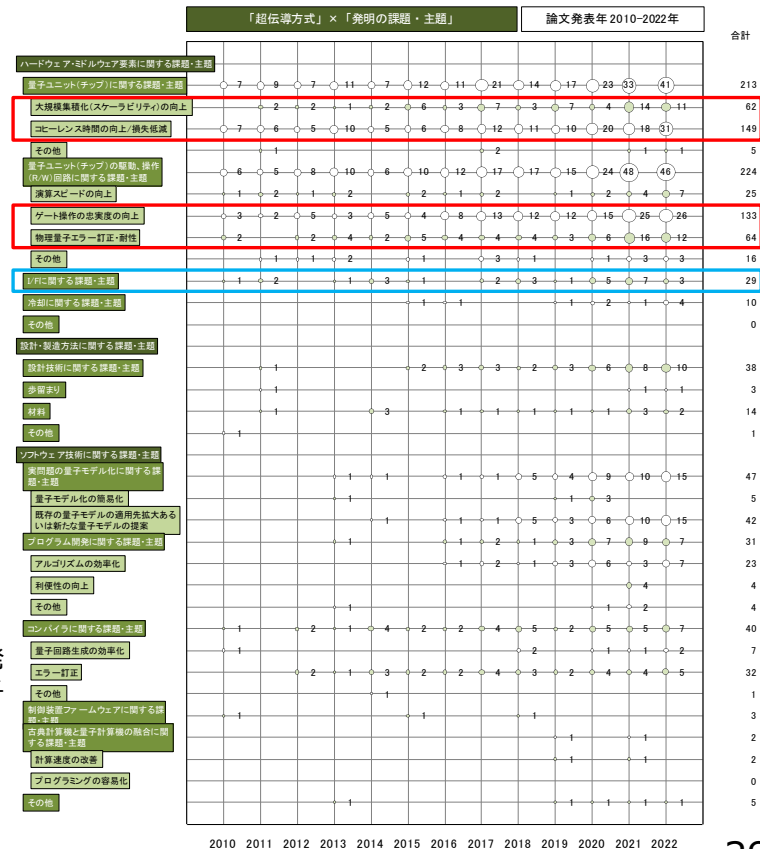
6. 総合分析 提言・示唆：超伝導量子ゲート方式⑤

4. 論文発表件数からみた研究開発動向では、2020年以降、米国、欧州、中国の件数の増加が顕著である。論文発表件数上位20者ランキングでは、米国は大学が5者、研究機関が1者、企業が3者（IBM、Rigetti、Google）である。中国は大学が8者、欧州は大学が5者、企業が1者である。米国は大学、研究機関、企業でそれぞれ研究開発が盛んであることが分かる。また、「**大規模集積化（スケーラビリティ）の向上**」、「**コヒーレンス時間の向上／損失低減**」、「**ゲート操作の忠実度の向上**」「**物理量子エラー訂正・耐性**」の件数が多く増加傾向にある。



【技術区分別】研究者所属機関国籍・地域別論文発表件数年次推移及び論文発表件数比率（技術区分：【量子計算機の方式・量子ビットの結合】〔汎用量子計算機〕〔量子ゲート方式 超伝導方式〕、論文発表年：2010年～2022年）

【〔技術区分別〕論文発表件数年次推移（技術区分：「超伝導方式」×「発明の課題・主題」、論文発表年：2010年～2022年）】



6. 総合分析 提言・示唆：超伝導量子ゲート方式⑥

提言・示唆 1：超伝導量子ゲート方式

超伝導量子ゲート方式の量子計算機において、技術開発で先行している米国は、「大規模集積化（スケーラビリティ）の向上」、「コヒーレンス時間の向上／損失低減」、「エラー訂正技術」への出願が他国に比べて多く、技術の蓄積があるといえる。日本は極低温で動作可能な同軸ケーブルやコネクタ等の周辺・構成部素材技術の強みをいかしつつ、今後も「大規模集積化（スケーラビリティ）の向上」「コヒーレンス時間の向上／損失低減」「エラー訂正」の要素技術開発に注力しながら、計算機システムとしてのインテグレーション技術の開発に取り組むことが重要である。

- 市場動向調査によると、他の方式と比較して超伝導方式は成長率が高いと予想され、北米企業がシェア上位を占めている。米国はスケーラビリティの向上による量子ビット集積化で世界をリードしている。
- 政策動向によると、研究開発で先行している米国は政府関連機関と約50の大学の研究開発体制で材料、デバイス、ソフトウェアを統合した実用的な研究開発を実施している。
- 特許動向、研究開発動向からも、今後も超伝導方式の研究開発にとって、「大規模集積化（スケーラビリティ）の向上」、「コヒーレンス時間の向上／損失低減」、「エラー訂正技術」は重要であることが確認できた。
- 日本は周辺・構成部素材技術の中でも同軸ケーブルやコネクタ等でシェアが高く強みを持っている（28頁参照）。超伝導量子ビットの3次元実装技術などの研究開発等も進んでおり、周辺制御回路を含めた超伝導量子計算機の集積化に関する研究開発がされている。日本が強みを有している周辺・構成部素材技術（同軸ケーブルやコネクタ等）は、誤り耐性汎用量子計算機の実現に向け装置・システムインテグレーションにおいて今後重要度が増すと思われる。しかしながら特許の件数は少なく、将来大きな差別化が可能な技術である。
- 超伝導量子計算機は技術が進展している方式であるが、100万量子ビット級の誤り耐性汎用量子計算機の実現にはまだまだ数十年の研究開発が必要となる。そのため、今後、QPU(量子プロセッシングユニット)だけでなく、クライオCMOS、希釈冷凍機、同軸ケーブルやコネクタ等の低温部素材要素技術の開発を我が国でも地道かつ長期的にすすめる事が肝要である。しかしながら要素技術の開発だけでは、製品化に繋がらない。計算機としてのシステム化のための開発をし、さらに、これらの要素技術を「装置インテグレーション」、「システムインテグレーション」することが今後益々重要となる。
- これらのことから、日本は、「大規模集積化（スケーラビリティ）の向上」「コヒーレンス時間の向上／損失低減」「エラー訂正」の研究開発に注力しつつ、極低温で動作可能な同軸ケーブルやコネクタ等の周辺技術の強みをいかしつつ、誤り耐性汎用量子計算機に向けた要素技術及びシステム開発を続けていくことが重要である。

ありがとうございました

特許庁企画調査課

