



アジア・太平洋総合研究センター
Asia and Pacific Research Center

アジア・太平洋主要国・地域の量子技術動向

Policy and R&D trends of quantum technology in the leading countries of the Asia and Pacific regions

2022 年 12 月

2021 年 4 月に発足した国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）のアジア・太平洋総合研究センター（Asia and Pacific Research Center:APRC）は、調査研究、情報発信、交流推進を 3 本の柱として、アジア・太平洋地域における科学技術分野の連携・協力を拡大・深化し、我が国のイノベーション創出の基盤構築に貢献することを目指します。

本報告書は、アジア・太平洋地域における科学技術・イノベーション政策、研究開発動向、および関連する経済・社会状況について調査・分析を行う調査研究の一環としてまとめたものとなります。政策立案者、関連研究者、およびアジア・太平洋地域との連携にご関心の高い方々等へ広くご活用いただきたく、APRC ホームページおよびポータルサイトにおいて公表しておりますので、詳細は下記ホームページをご覧ください。

（APRC ホームページ）

<https://www.jst.go.jp/aprc/index.html>



（調査報告書）

<https://spap.jst.go.jp/investigation/report.html>



目次

はじめに	1
1 論文・特許情報から見たアジア・太平洋の量子研究開発動向	3
1.1 論文・特許データベースと量子研究の分類	3
1.2 論文情報から見た量子研究動向	5
1.3 特許情報から見た量子技術動向	9
1.4 各国・地域動向で注目する組織と研究者	9
2 中国の量子技術動向	11
2.1 量子技術政策の動向	11
2.2 研究開発動向	13
2.3 注目研究機関・大学	22
2.4 注目企業	27
2.5 注目研究者	33
2.6 国際協力・国際共同研究	34
2.7 量子イノベーションエコシステム	37
3 インドの量子技術動向	38
3.1 量子技術政策の動向	38
3.2 研究開発動向	42
3.3 注目研究機関・大学	47
3.4 注目企業	50
3.5 注目研究者	52
3.6 国際協力・国際共同研究	53
3.7 量子イノベーションエコシステム	56

4	オーストラリアの量子技術動向	57
4.1	量子技術政策の動向	57
4.2	研究開発動向	59
4.3	注目研究機関・大学	61
4.4	注目企業	67
4.5	注目研究者	71
4.6	国際協力・国際共同研究	72
4.7	量子イノベーションエコシステム	74
5	韓国の量子技術動向	75
5.1	量子技術政策の動向	75
5.2	研究開発動向	77
5.3	注目研究機関・大学	80
5.4	注目企業	85
5.5	注目研究者	87
5.6	国際協力・国際共同研究	89
5.7	量子イノベーションエコシステム	91
6	シンガポールの量子技術動向	92
6.1	量子技術政策の動向	92
6.2	研究開発動向	93
6.3	注目研究機関・大学	97
6.4	注目企業	99
6.5	注目研究者	102

6.6	国際協力・国際共同研究	103
6.7	量子イノベーションエコシステム	105
7	台湾の量子技術動向	106
7.1	量子技術政策の動向	106
7.2	量子技術の研究開発動向	109
7.3	注目研究機関・大学	113
7.4	注目企業	116
7.5	注目研究者	118
7.6	国際協力・国際共同研究	119
7.7	量子イノベーションエコシステム	121
	調査企画・執筆者	122

はじめに

量子コンピュータや量子暗号通信、量子計測・センシングといった「量子技術」が注目されている。量子技術は産業、情報セキュリティ、国防、金融などに大きな影響を及ぼすため、欧米先進国や日本、中国などは相次いで量子技術開発を重点化し、世界的な研究開発競争が展開されている。

国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）は、このような量子技術の内外の動向を把握するため、研究開発戦略センター（CRDS）を中心に情報収集・調査分析を行っている。¹ 2021年度のCRDS調査報告書『論文・特許マップで見る量子技術の国際動向』²は、そのような取り組みによる成果の1つであり、同報告書の中でアジア・太平洋総合研究センター（APRC）は、急展開する中国の量子技術動向を追った。

中国の動向を調査する中で明らかになってきたのは、量子技術の研究開発におけるアジア・太平洋地域の重要性の高まりである。量子技術分野の論文数の平均伸び率トップはインドであり、2位中国を台湾、韓国、シンガポールが追いかけている。量子論文の地域別シェアは欧州が最大であり4割を占めるが、現在3割を占めるアジア・太平洋地域が急迫している。先進国に遅れをとってはいるものの、アジア・太平洋の主要国・地域の政策当局は近年、量子技術振興のための取り組みを強化している。欧米と親和性の高い研究コミュニティを持つオーストラリアは、以前から量子技術の研究レベルの高いことで知られている。

本報告書は、着実に重要性を増しつつあるアジア・太平洋主要国・地域、すなわち、中国、インド、オーストラリア、韓国、シンガポール、台湾の6カ国・地域の量子技術動向を把握することを目的としている。そのため、各国・地域の量子技術政策動向と研究開発動向、および主要な組織（研究機関・大学・企業）と有力研究者について、オープンソースから収集した情報を整理・分析した。研究開発における国際協力の重要性に鑑み、各国・地域における海外との連携事例についても情報収集に努めた。

2022年のノーベル物理学賞は、量子情報科学の開拓に貢献した3人の研究者に贈られた。受賞者の1人であるオーストリア人研究者は、中国で「量子の父」と呼ばれる指導的研究者の恩師としても著名である。量子情報科学を中心とした社会的注目の高まりも相まって、量子技術分野の国際競争は一層加速していくと見られる。本報告書は、アジア・太平洋地域における量子技術分野の国際競争の一端を明らかにするものである。

¹ 科学技術振興機構 研究開発戦略センター「特集 量子技術」（2022年5月）

² 科学技術振興機構 研究開発戦略センター『論文・特許マップで見る量子技術の国際動向』（2022年3月）

本報告書の調査結果概要

	中国	インド	オーストラリア	韓国	シンガポール	台湾
量子論文数 1990-2021	27987	5956	4223	3443	2399	2116
量子政策 の起点	国家ハイテク研究開発計画(1986)、国家重点基礎研究開発計画(1997)	量子応用情報科学技術プログラム(2017)	量子研究CoE採択(2014)	量子情報通信中長期推進戦略(2014)	スマート・ネイション構想の敷衍(2018)	量子コンピュータ・プロジェクト(2018)
主要政策	国家科学技術イノベーション計画(2016)、第14次5カ年計画(2021)	量子技術とその応用に関する国家ミッション(NMQTA)	CSIRO量子技術産業化ロードマップ(2020)、重要技術青写真(2021)	量子コンピューティング技術開発推進計画(2019)	量子工学プログラム(QEP)、工学のための量子技術(QTE)	量子研究拠点建設、産学官連携17研究チーム結成
量子戦略 文書	なし	なし	国家量子戦略(作成中)	「量子技術開発投資戦略」(2021)	なし	なし
予算・投資	量子都市ネットワーク構築4000億円、科技部量子予算26億円(2020)	NMQTAに5年間約1400億円	9つの重要技術の1つとして商用化促進に94億円、ハブ設立に60億円	量子コア技術開発に5年45億円、量子R&D予算60.3億円(2022)	国立大学(NUS)の2拠点形成に4年間240億円、2年間50億円	全体像不明。台南の拠点形成に5年間350億円。
重点研究 開発分野	量子通信、量子コンピューティング	量子コンピューティング、量子材料、量子通信、量子センサ	量子コンピューティング	量子通信、量子コンピューティング	2次元材料、イオントラップ型コンピューティング、広域通信	シリコンベースの量子コンピューティングサブシステム開発
人材育成	清華大学に学部新設。深圳量子研究院と深圳市格致中学に協力枠組み	量子関連学生から研究者・技術者含め25000名を育成	若手研究者支援の枠組み「シドニー量子アカデミー」を中心に注力	STI人材育成(量子情報科学)、情報通信放送人材育成	A*STAR、NUSなど主要拠点を中心に注力	大学、研究拠点での教育に重点
主な研究 拠点	安徽省合肥と北京に集積	NMQTAにおいて量子技術開発センターを建設	商用化ハブ設置中、CSIROに商用化促進プラットフォーム設置	未来量子融合フォーラム	特になし	台南市に量子研究基地を建設中
代表的 研究機関	中国科学技術大学、中国科学院	インド科学教育研究大学ブネ校I-Hub量子技術財団、インド理科大学院	ニューサウスウェールズ大学、ANU、メルボルン大学	韓国科学技術研究院、韓国情報通信研究院、ソウル大、KAIST	NUS量子技術C・NUS2次元高度材料グラフェン研究C	中央研究院、台湾大学IBM Qハブ、清華大学量子技術センター
代表的企業	国盾量子、本源量子、山東量子科学技術研究院など	QNu Labs、QpiAIなどのスタートアップ	Q-CTRL、Quantum Brillianceなどのスタートアップ	サムスン、大手通信3社	SpeQtral、Horizon Quantum Computingなどのスタートアップ	鴻海研究院量子コンピューティングセンター、TSMC
代表的 研究者	潘建偉、郭光灿(ともに中国科学技術大)	Urbasi Sinha(ラマン研究所)	A.S. Dzurak(ニューサウスウェールズ大) L. Hollenberg(メルボルン大)	チョン・ヒョンソク(ソウル大) チョ・ミンヘン(IBS)	V. Vedral A.K. Ekert A.H. Castro-Neto(全てNUS)	果尚志(清華大) 張慶瑞(台湾大) 張文豪(陽明交通大)
注目の(若手)研究者	陸朝阳、張強、陳宇翱、王治俊(全員が中国科学院)	Rajamani Vijayaraghavan(タタ基礎研究所)	M.J. Biercuk(シドニー大) S.J. Devitt(シドニー工科大)	キム・セグオン(KAIST)	高微博(南洋理工大)	林新(中央研究院) 張泰榕(成功大) 謝明修(鴻海研究院)
海外連携 事例	ウィーン大学との量子テレポーテーションや、中韓量子情報WS開催	イスラエル・豪・BRICSと政府間研究協力。仏とは量子教育支援に合意	米英を中心に政府連携、安全保障枠組みもパートナーシップ	米韓共同研究推進、米英と大学間研究協力	英国とは広域通信で政府連携、仏・豪とも大学間で研究協力	スロバキアを通じた欧州連携を模索

1 論文・特許情報から見たアジア・太平洋の量子研究開発動向

本章では、各国・地域の分析に先立つ共通認識として、学術誌などの論文情報と公開の特許情報から見たアジア・太平洋地域の量子研究開発動向を概観する。CRDS の 2021 年度調査報告書（以下、CRDS 報告書）¹ で用いたデータに基づいて、量子技術の全体的な動向と分野別動向を把握し、各国の量子技術動向分析で注目すべき組織や研究者の手掛かりを得る。

1.1 論文・特許データベースと量子研究の分類

1.1.1 本報告書で用いる論文・特許データ

1990 年から 2021 年までに全世界で発表された量子技術関係の論文は、147853 件であった。また同時期に全世界で発行された特許は、27067 件であった。

論文データは、エルゼビア社が提供する世界最大級の学術論文データベース Scopus を、特許データは、LexisNexis 社が提供し 96 カ国の特許情報を収録する、世界最大級の特許データベース TotalPatent を使用している。いずれも 1990 年以降 2021 年までに発表・発行された情報であり、特許の発行国・機関はアメリカ、欧州、WIPO、中国、日本、韓国、ドイツ、フランス、イギリス、カナダである。

1.1.2 量子研究の主要 4 分野と研究開発課題

本調査で想定している量子科学技術の 4 研究分野、「量子コンピューティング・シミュレータ」「量子通信・コミュニケーション」「量子材料」「量子基盤技術（量子計測・量子センシング）」の各々の検索条件において頻出する研究開発課題を図表 1-1 に掲げた。更なる詳細は、CRDS 報告書の表 3-1、および CRDS 戦略プロポーザル『量子 2.0』を参照されたい。²

(1) 量子コンピューティング・シミュレータ

量子コンピュータとは、「量子重ね合わせ」や「量子もつれ」といった量子力学の現象（量子状態）を利用して並列計算を実行し、従来型のコンピュータと比べ遥かに短時間で解の導出を実現するコンピュータである。現時点では、量子状態を十分に制御することが困難であり、誤り耐性量子コンピュータ実現にむけた構造全体の強化が主な研究テーマとなっている。実機の開発では、量子ビット（Qbit）方式およびイオントラップ方式を構成要素としたものなど、複数の方式で開発競争が繰り広げられている。

また量子シミュレータ（量子シミュレーション）とは、極低温下で冷却原子を用いて制御性の高い量子力学的な振る舞いの強相関関係を人工的に組み立て、模擬実験を用いてその性質を理解するものである。

¹ 科学技術振興機構 研究開発戦略センター『論文・特許マップで見る量子技術の国際動向』2022 年 3 月。

² 科学技術振興機構 研究開発戦略センター 戦略プロポーザル『量子 2.0——量子科学技術が切り拓く新たな地平』2020 年 1 月。

図表 1-1 量子研究の主要 4 分野における検索条件と研究開発課題

研究分野	研究開発課題
量子コンピューティング・シミュレータ "quantum comput*"	量子もつれ、トポロジカル絶縁体、幾何学的位相、超伝導量子ビット、希薄磁性半導体、ランダムオラクルモデル、セル・オートマトン、ボーズ-アインシュタイン凝縮、ダイヤモンド、イメージ、単一分子磁性、電磁誘導透明体、ブロック暗号、励起子、分子間通信、粒子群最適化、二硫化モリブデン、ジョセフソン接合、グラフェン、加法性数理
量子通信・コミュニケーション "quantum commun*"	量子もつれ、軌道角運動量、超伝導量子ビット、励起子、ダイヤモンド、電磁氣的透明性、二硫化モリブデン、メタマテリアル、計算可能性、可視光通信、シリコンフォトニクス、ジョセフソン接合、トポロジカル絶縁体、フォトンエコー、希薄磁性半導体、CMOS イメージセンサ、フォトリック結晶ファイバ、ランダムオラクルモデル、ボーズ-アインシュタイン凝縮、ネットワーク符号化
量子基盤技術 "quantum measurement" OR "quantum sens*"	量子もつれ、ダイヤモンド、超伝導量子ビット、ボーズ-アインシュタイン凝縮、電磁氣的透明性、エントロピー、ダークエネルギー、二硫化モリブデン、ジョセフソン接合、励起子、対称性、SERS、画像暗号化、希薄磁性半導体、重力波、幾何学的位相、トポロジカル絶縁体、軸索、単一分子磁性、高次高調波発生
量子材料 "quantum material*"	トポロジカル絶縁体、二硫化モリブデン、銅酸化物、スピングャップ、体積弾性率、鉄系超伝導体、グラフェン、マンガン酸化物、近藤効果、超伝導量子ビット、交換バイアス、ペロブスカイト太陽電池、二酸化バナジウム、ボーズ-アインシュタイン凝縮、フェロエレクトリックス、量子ドット、高次高調波発生、励起子、熱電物性、電子線トモグラフィー

注：Web of Science にキーワードを指定して検索し、Incites Benchmarking の "Citation Topics, level Micro" の下で、2015-2021 年の「Web of Science Documents」を指定して抽出した。

(2) 量子通信・コミュニケーション

量子状態を用いることで、従来の通信方法では実現できないプライバシーや安全性を確保するのが量子通信技術である。

量子暗号鍵配送（QKD: Quantum Key Distribution）は 1984 年の BB84 プロトコルの提案に始まり、精力的な研究により 2010 年頃までに理論的基礎が確立され、装置の不完全性があっても成立する安全性理論も開拓された。一方で、暗号鍵の伝送距離や速度には限界がある。例えば、BB84 プロトコルでの光ファイバを用いた場合の現性能としては、距離は光子が届く距離に制限を受けるため約 100 km、そのときの速度は約 1kbps である。さらなる距離や速度の延伸・向上にむけた研究開発が続けられており、小型衛星を用いた広域通信の基礎実験も進められている。また鍵提供プラットフォームの研究開発も進められている。

離れたノード間の量子もつれの形成は量子通信の長距離化に必須の技術である。その実現の鍵を握るのは隣接しているノード間の量子もつれを離れたノード間の量子もつれに変換する「量子中継技術」である。

また、量子コンピュータや量子センサなどの量子情報処理機器をノードとして、量子データをやりとりする「量子インターネット」の検討も進められている。暗号鍵の安全な配送に加えて、クラウド量子コンピュータへの安全なアクセス、分散型の量子計算の実現、光格子時計の同期、量子センサーネットワークの構築など、様々な応用が期待されている。

(3) 量子基盤技術（量子計測・量子センシング）

科学技術の基盤である計測・センシングの限界を、温度や磁場といった環境変化に脆弱であるという量子状態の特性を逆手にとって制御することで、環境の敏感な計測・センシングを試みる技術である。ジャイロスコープ（航法応用）、光格子時計、量子センサ（脳磁計測、心磁計測、細胞内計測、タンパク質構造解析などのバイオセンサーから金属の欠陥検出まで様々な分野への応用）の研究開発が進められている。また、光あるいは物質の量子もつれを利用した計測技術（量子もつれセンシング）も開発が進んでおり、代表例には「量子もつれ顕微鏡」があり、量子光干渉断層計（量子 OCT）というイメージング応用も知られている。スタートアップも多数立ち上がり、産業化の観点でも今後徐々に市場が確立されていくと見られる。

(4) 量子材料

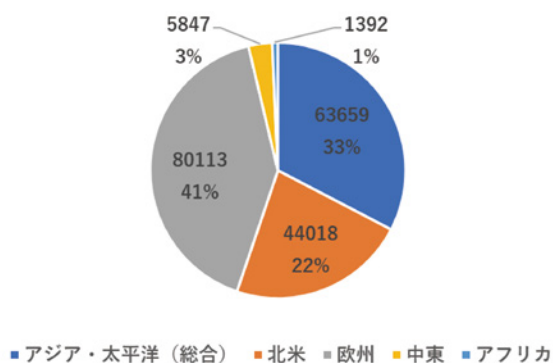
物性物理学、量子情報、化学・材料工学などの多分野にわたる概念として「量子材料」が注目されている。もとは固体物理学における新奇な量子現象や量子相などを強調するために導入されたが、現在では、新物質やその上で実現される量子状態が量子情報の研究の舞台として提供されたり、その逆の、量子情報の概念や手法を用いて物質における量子多体系のふるまいを理解したりと、相互に行き来できる学際的な分野へと変化しつつある。

1.2 論文情報から見た量子研究動向

1.2.1 量子技術に関する全世界の論文分析

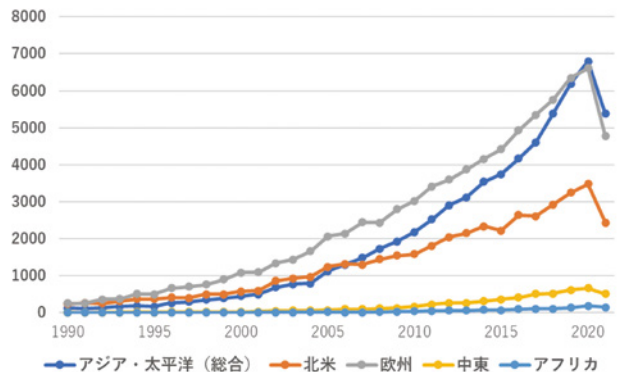
1.1.1 で述べた通り、量子研究論文は、1990～2021年に全世界で147853件出版されている。うち各地域の割合を見ると、アジア・太平洋地域は63659件（33%）、北米は44018件（22%）、欧州は80113件（41%）となっている³（図表 1-2）。このように、累積の出版論文数が一番多いのは欧州だが、近年、アジア・太平洋地域で論文数の著しい伸びが伺える（図表 1-3）。とりわけ、最近10年間（2011～2021年）での論文数平均伸び率を見ると、アジア・太平洋地域では11%で、欧州、北米、全世界のそれよりも高くなっている（図表 1-4）。このうち、中国が論文数でアジア・太平洋地域に占める割合は27987件（約44%）である。

図表 1-2 世界に占める各地域の論文数シェア



出典：APRC 作成

図表 1-3 論文数の各地域の経年推移



出典：APRC 作成

³ 地域区分は外務省の示している基準に拠った。

⁴ なおここで論文数は整数法で示しているが、各割合は別途分数法で算出したものである。

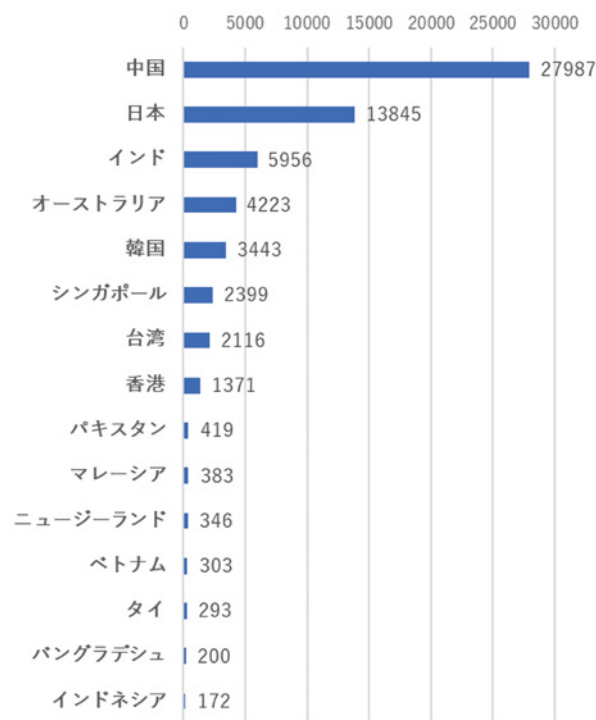
図表 1-4 主要地域の論文数の平均伸び率（2011 ～ 2021 年）

地域	論文数（2011）	論文数（2021）	平均伸び率
全世界	8249	13813	7%
アジア・太平洋	2527	5384	11%
北米	1817	2440	3%
欧州	3412	4771	4%

出典：APRC 作成

続いて全世界と同様に、アジア・太平洋地域内の主要国・地域で発表される論文数の内訳を見たい。各国地域の論文数は図表 1-5 の通りである。アジア・太平洋地域で、日本以外に量子技術の論文を多く出しているのは、多い順に、中国、インド、オーストラリア、韓国、シンガポール、台湾である。日本を含むこの 7 カ国・地域でアジア・太平洋地域の総論文数（63659 件）の 9 割超（59969 件）を占めている。このような結果から、アジア・太平洋地域では、論文数上位 6 カ国・地域（中国、インド、オーストラリア、韓国、シンガポール、台湾）の動向を検討することが重要と推定される。

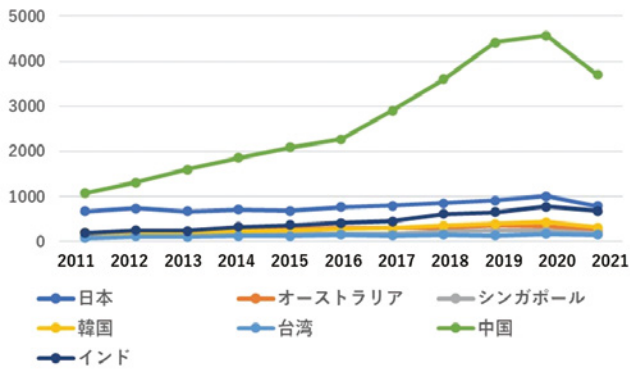
図表 1-5 アジア・太平洋地域主要国・地域の論文数



出典：APRC 作成

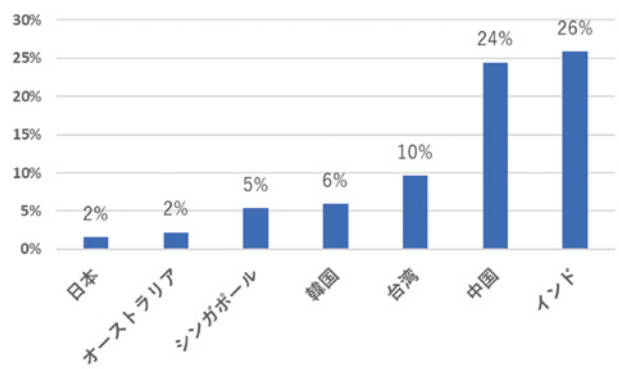
各国で 2011 ～ 2021 年に出版された論文数を見ると、図表 1-6 から、中国が群を抜いて大きいものの、インドの論文数も韓国とオーストラリアを凌いで多くなっていることが分かる。また各国の最近 10 年間の論文数平均伸び率で見ると、図表 1-7 から、中国、インドの伸び率が特に高いことが分かる。他方で、日本をアジア・太平洋の主要国・地域と比べた場合、論文数は中国に次いで 2 位に位置するものの、論文数伸び率は他国と比べて低かった。

図表 1-6 6 カ国・地域と日本の論文数経年推移



出典：APRC 作成

図表 1-7 論文数の平均伸び率

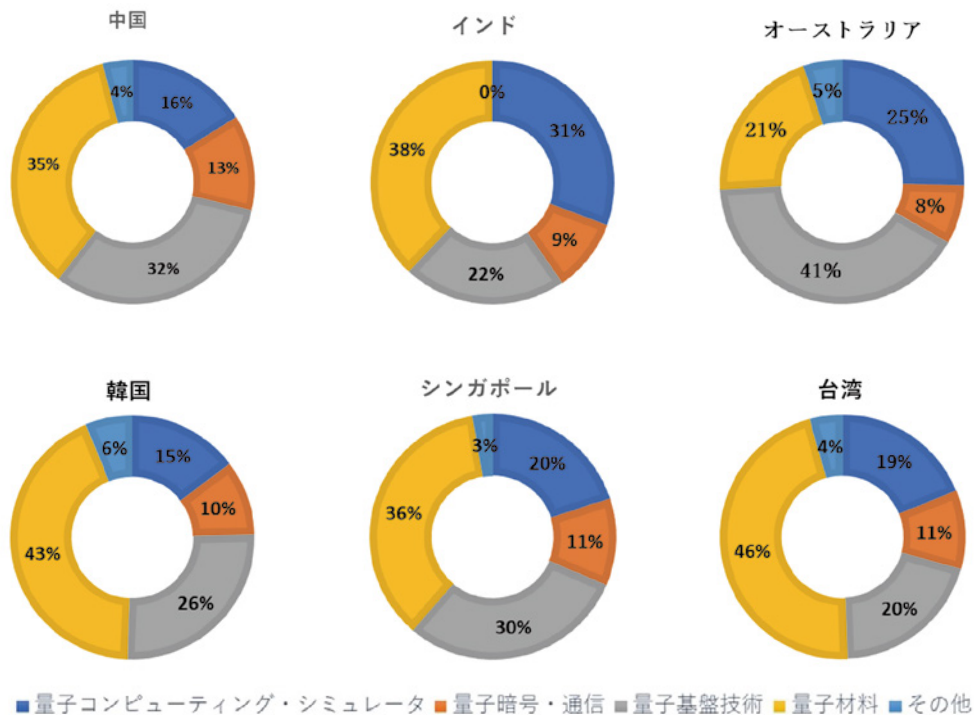


出典：APRC 作成

1.2.2 分野別の分析

本節では、1.1.2 で述べた 4 研究分野に沿って、2011 年から 2021 年の論文数の各国・地域論文総数に占める割合を示す（図表 1-8）。中国、インド、韓国、シンガポール、台湾では、「量子材料」の論文数割合が最も高くなっている。一方で、オーストラリアは「量子基盤技術（計測・センシング）」の論文数割合が最も高い。

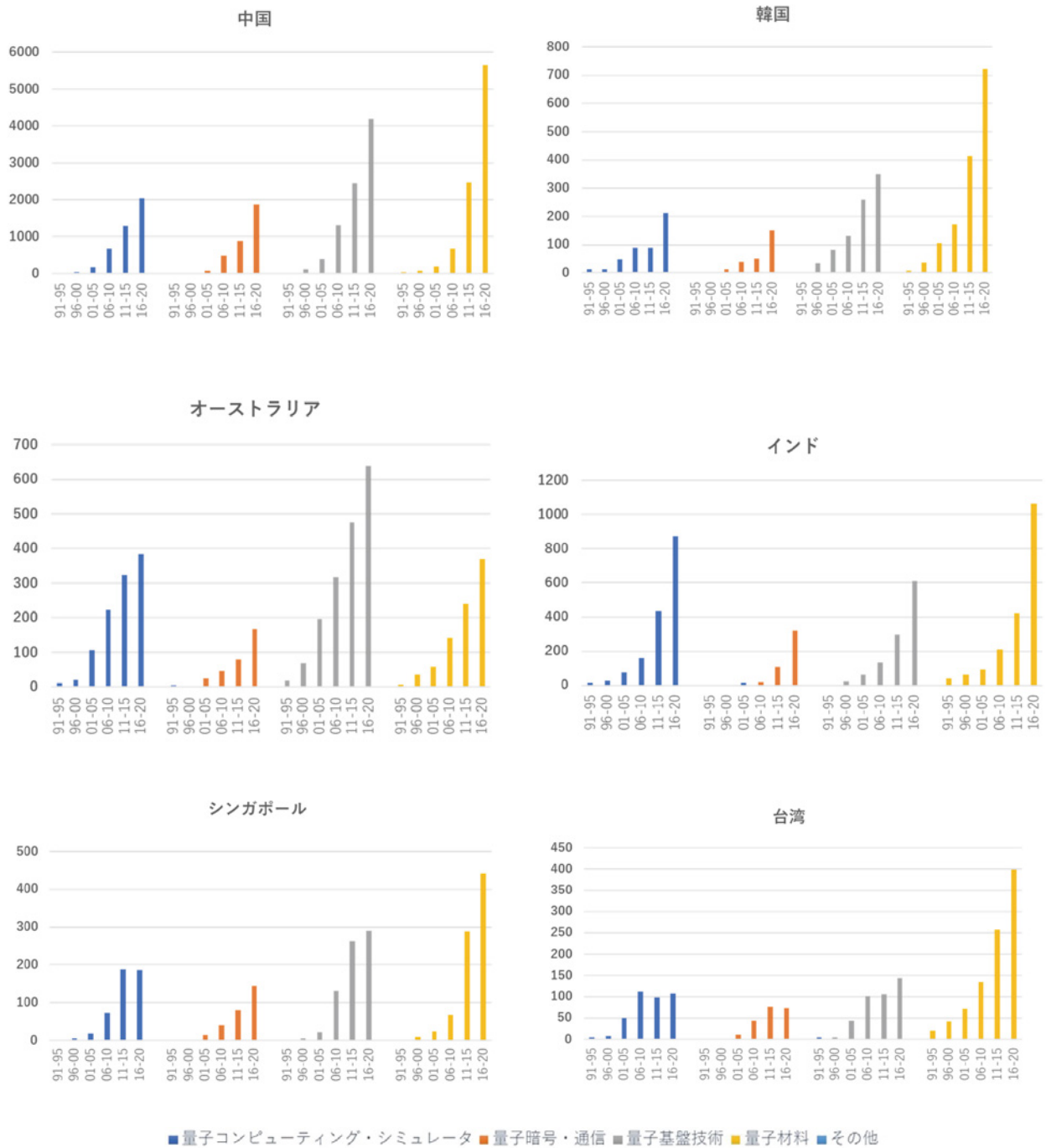
図表 1-8 国・地域別、技術区分別の論文数



出典：APRC 作成

続いて、同じ 4 分類に基づいて論文出版数の 5 カ年毎の変化を見た（図表 1-9）。どの国・地域も直近 5 年では「量子材料」の論文数の伸びが著しく、インドは「量子コンピューティング・シミュレータ」、オーストラリア、シンガポール、中国は「量子基盤技術」で著しい伸びが見て取れる。

図表 1-9 論文の技術区分別出版数の 5 カ年毎の変化

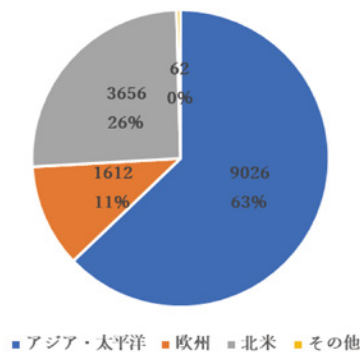


出典：APRC 作成

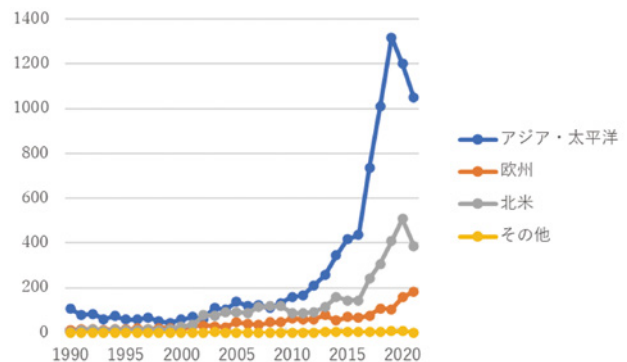
1.3 特許情報から見た量子技術動向

1.1 で述べた通り、量子技術に関する特許の公開数は、1990 年から 2021 年の間に全世界で 27067 件となっている。この総数で各地域の割合を見ると、アジア・太平洋地域は 9026 件（63%）、北米は 3656 件（26%）、欧州は 1612 件（11%）となっており、総数ではアジア・太平洋地域が圧倒的に多い（図表 1-10）。とりわけ、最近 10 年間（2011 ～ 2021 年）での特許出願数の経年推移を見ると、北米でも一定の伸びが見られるが、アジア・太平洋地域では、2016 年以後に一層急激な伸びが見られる（図表 1-11）。

図表 1-10 世界に占める地域別の特許出願数シェア



図表 1-11 地域別に見た特許出願数の経年推移



出典：APRC 作成

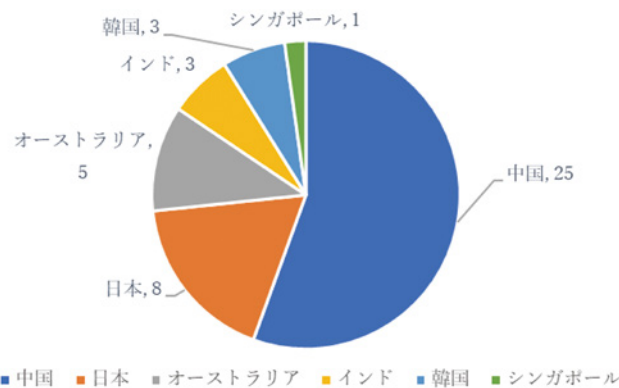
1.4 各国・地域動向で注目する組織と研究者

本節では、対象 6 カ国・地域の研究機関・大学、企業、研究者動向を論文情報と特許情報から概観する。

1.4.1 注目研究機関・大学

論文著者の所属する研究機関に着目してその所属国・地域で見ると、論文発表数の多い世界トップ 100 には、中国の研究機関が 25 ランクインしており、全体の 56% を占める（図表 1-12）。少数ではあるが、シンガポール国立大学 (NUS) とインド工科大学 (IIT) も量子技術分野の論文を多く出版している。対象国・地域のうち、台湾のみが世界トップ 100 に入らなかった。

図表 1-12 6 カ国・地域と日本のトップ研究機関（世界トップ 100 以内）



出典：APRC 作成

1.4.2 注目企業

一方、特許の出願人で見ると、世界トップ100を占めたのは、ほぼ中国と日本の企業であった（図表1-13）。韓国のサムスン電子(Samsung Electronics)は第16位に位置したが、台湾は台湾積体回路製造(TSMC)の1社のみで、シンガポール、オーストラリア、インドからは上位進出がなかった。

図表 1-13 世界トップ100 特許出願人の国・地域別内訳

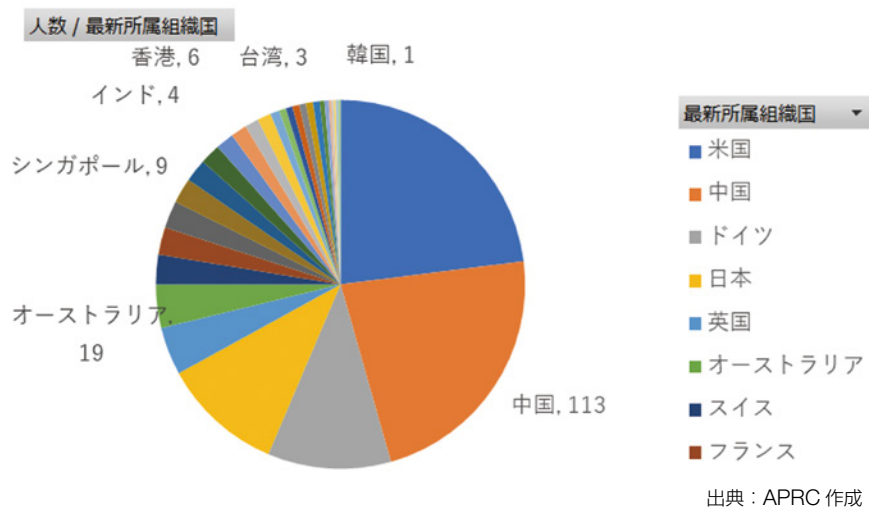
特許出願人の国・地域	人数
中国	53
日本	15
韓国	7
台湾	1
総計	76

出典：APRC 作成

1.4.3 注目研究者

注目研究者は、論文・特許情報を念頭に置きつつ、政府や拠点的な研究機関における要職、国際的な知名度などを総合的に加味して国・地域ごとに5名を選んだ。図表1-14に、世界で論文数上位の研究者500名を選び出し、国・地域（最新所属組織国）の人数分布を示した。今回の調査対象とした国・地域は全て上位500名に入っていることが分かる。

図表 1-14 論文数順上位 500 研究者の国・地域別分布



2 中国の量子技術動向

中国における量子研究は1990年代後半から本格化し、2006年頃からは様々な国家計画の中でも重点的に位置付けられてきた。自然科学研究基金をはじめとするファンディングの額もこの時期から急増し、2016年頃からは、量子科学実験衛星の打上げや量子コンピュータの開発など、技術開発においても常に世界の動向を牽引してきた。研究開発費や論文発表数も圧倒的であり、米国や欧州と並んで世界の量子研究の最先端を走り続けている。

2.1 量子技術政策の動向

中国における量子技術に関する研究は、「国家ハイテク研究開発計画(863計画)」¹や「国家重点基礎研究開発計画(973計画)」²などの資金援助を受けながら進んできた。1998年に中国国家自然科学基金(NSFC)が北京で開催した量子情報科学フォーラムを契機に、中国科学技術大学(USTC)、山西大学、中国科学院物理研究所などの大学や研究機関が量子情報分野の実験研究を皮切りに開始されたと、中国科学技術大学(USTC)の張強(張強、ZHANG Qiang)³は述べている。また、1999年には、80年代前半から量子光学の研究を始めていたUSTCの郭光灿(GUO Guangcan)が、中国科学院(CAS)に量子情報専門の研究室を開設した。2001年には、オーストリアで学位を1999年に取得し、のちに“中国量子の父”と呼ばれる潘建偉(潘建偉、PAN Jianwei)が留学先より帰国し、若くしてUSTCに量子物理・量子情報研究室を開設した。よって、この頃から中国における量子技術に関する研究が本格化したと考えられる。

2006年には国務院が、科学技術イノベーション政策の長期的な基本方針である「国家中長期科学技術発展規画綱要(2006～2020年)」を発表し、推進すべき重大研究4領域の一つとして初めて「量子制御」を指定した⁴。「綱要」は「2020年までに中国を世界トップレベルの科学技術力を持つイノベーション型国家とする」という目標を掲げ、研究開発投資の拡充や重点分野の強化を図るとしている。具体的には、量子に関わる研究を短期間に技術突破できる可能性のある項目、戦略製品、基盤技術、工学に係る国家戦略の空白領域を埋める、次世代のハイテク産業の基礎となる技術から中国の国際競争力を顕著に高める世界トップレベル技術に引き上げるとしている⁵。

中国政府は第12次5カ年計画(2011～2015年)⁶期から、量子情報の急速な発展と安全な通信への影響の可能性を考慮し、支援を強化しはじめた。2015年に発表された「中国製造2025」⁷においては、次世代情報技術産業の優先事項として、量子コンピューティング開発の積極推進が盛り込まれた。また、2016年を計画

¹ 中华人民共和国科学技术部(1986)「国家高技术研究发展计划(863计划)」

² 中华人民共和国科学技术部(1997)「国家重点基础研究发展计划(973计划)」

³ Zhang, Q., Xu, F., Li, L., Liu, N. and Pan, J. (2019) Quantum information research in China. *Quantum Science and Technology*, Volume 4, No.4, 040503

⁴ 国务院(2006)「国家中長期科学技術発展規画綱要(2006-2020年)(国家中长期科学和技术发展规划綱要(2006-2020年))」[国务院]

⁵ 岡山純子(2008)「中国の科学技術政策と知的財産戦略」『日本大学知財ジャーナル』, Volume 1, pp. 53-60.

⁶ 国务院「中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划綱要」2011年3月16日

⁷ 国务院「国务院关于印发《中国制造2025》的通知」国发(2015)28号、2015年5月8日

初年度とする第13次5カ年計画(2016~2020年)⁸においても、量子技術に明確な焦点が当てられている。さらに同年、第13次5カ年計画を受けて策定された「135国家科学技術イノベーション」⁹において、戦略的先見性をもち取組むべき科学的課題として「量子制御と量子情報」が、新しく展開する大型科学技術プロジェクトとして「量子通信と量子コンピューティング」が、科学技術イノベーション2030の主要プロジェクトとして「量子通信と量子コンピュータ」が示されている。また、「国家イノベーション駆動型発展戦略要綱(2016~2030年)」¹⁰においても同様に、科学技術イノベーション開発の新たなダイナミクスの把握として「量子異常ホール効果や量子通信」が、新世代の情報技術開発として「クラウドコンピューティング、量子コンピューティング」が、産業変革をリードする革新的技術の開発として「量子情報」が、航空・宇宙の探査・開発・利用技術の開発として「量子ナビゲーション」が取り上げられている。さらに、第14次5カ年計画(2021~2025年)¹¹においては、社会主義近代化の全面的建設の新たな道程の開始およびイノベーション駆動発展の堅持および発展の新たな優位性の全面的形成として「量子情報」が、デジタル化発展の加速およびデジタル中国の建設として「量子コンピュータ」や「量子通信」が重点化されており、国防と軍隊の近代化の加速および富国と強軍の統一の実現として、量子科学技術等の発展を目指すとして明記されている。

これに加え、習近平政権が進める軍民融合戦略において、量子技術は重点強化対象の一つとなっている。2017年8月の「第13次5カ年科学技術研究開発軍民融合特別プロジェクト計画」によると、衛星(広域通信)を含む量子通信とコンピューティングがプロジェクトに含まれており、先進国防科学技術産業システム、軍人養成システム、軍事安全社会化システム、国防動員システムの構築が強力に推進するとしている¹²。続いて山東省の「新旧動力エネルギー転換推進計画」¹³に従った「山東省量子技術革新発展計画」¹⁴は量子技術イノベーションの発展を加速する計画であり、この中には「量子情報技術を中心とした軍民の科学技術成果の双方向の転換と応用、軍民の革新資源の共同構築と共有を推進」と明言している。また、山東省の省都である済南市においても、「山東省重点研究計画(軍民科学技術融合)」¹⁵が発出されており、量子技術のみならず明確に科学技術における軍民融合を明示している。

また、上記の政策と連動した財政的支援には、1998年から2006年はNSFCにより0.1億米ドル(約14億円、1米ドル=140円)規模の助成があり、2006年から2010年には科学技術部(MOST、以後科技部とする)、NSFCおよび中国科学院(CAS)より1.5億米ドル(約210億円)が、2011年から2015年までは科技部、NSFC、CASおよび国家発展改革委員会より4.9億米ドル(約686億円)が助成され、2016年から2019年においては3.4億米ドル(約476億円)が科技部より助成されていた¹⁶。なお中国の量子技術に関する予算を、Kania and Costello(2018)¹⁷は数十億米ドル、Brennen et al.(2021)¹⁸も10億米ドル規模、Kung and

⁸ 国务院「中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要」2016年3月17日

⁹ 国务院「国务院关于印发“十三五”国家科技创新规划的通知」国发(2016)43号、2016年7月28日

¹⁰ 注9に同じ。

¹¹ 「中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要」2021年3月13日

¹² 科技部;中央军委科学技术委员「“十三五”科技军民融合发展专项规划」国科发资(2017)85号

¹³ 山東省人民政府「山東省人民政府关于印发山东省新旧动能转换重大工程实施规划的通知」鲁政发(2018)7号

¹⁴ 山東省科技厅「山東省量子技术创新发展规划(2018-2025年)」16p.

¹⁵ 山東省人民政府ウェブサイトより。最終確認日:2022年8月31日。2022年12月20日時点ではアクセスできなくなっている。

¹⁶ 注3および科技部より。

¹⁷ Kania, E.B., and Costello, J. (2018) *Quantum Hegemony? China's Ambitions and the Challenge to U.S. Innovation Leadership*, Center for a New American Security, 46p.

¹⁸ Brennen, G., Devitt, S., Roberson, T., and Roh, P. (2021) *An Australian strategy for the quantum revolution*, Policy Brief Report No. 43, Australian Strategic Policy Institute, 33p.

Fancy(2021)¹⁹ は国家研究所の建設も含めた予算として5年間で153億米ドル(約2兆1420億円)、Parker et al.(2022)²⁰ らは年間8400万米ドル(約117億6000万円)から30億米ドル(約4200億円)近くと推測しており、いずれの著者も中国政府が発表している数字とは大きく異なっている。

最後に、各地方政府による動向の一部を示す。2021年に人材資源・社会保障部は、専門技術人材の知識更新事業2021年度上級研修のテーマ募集についての通知を発出したことで、安徽省は高いレベルの科学技術の自立と自己改善として、量子分野の理論研究と最先端研究に総額20億2000万元(約410億円、1人民元=20.3円)を投資し、新世代の「合肥量子都市ネットワーク」の構築を開始するとしている。また、詳細なプロジェクト数や予算の記載はないものの、量子技術に関する政策動向として、天津市²³、河北省²⁴、黒竜江省²⁵、山西省²⁶、広西壮族自治区²⁷においても量子技術に関するプロジェクトを推進すると明記した文書を出している。なお、2022年に河南省が、量子通信に関する研究プロジェクト1件に対して1150万元(約2億3350万円)の予算を投じている^{28, 29}。

2.2 研究開発動向

2.2.1 量子技術による主要プロジェクト

第1章の論文・特許分析によると、中国における論文数(27987件)は、アジア・太平洋地域の総数(63659件)のうち44%を占めている。また、2016年頃から顕著な増加をみせており、平均伸び率では24%とインドに続いて2位であり、依然高い水準を保っている。特許出願数(約6000件)は、アジア・太平洋地域の総数(約9000件)のうち66%を占め、かつアメリカ(約3600件)を大きく引き離して首位にある。このように、中国の量子研究の規模は世界でも最大級とみることができる。

本節では2000年代以降の研究開発動向、特に主要な研究プロジェクトについて紹介する。USTCの張強によると、2006年から2010年までの第11次5カ年計画の期間中、量子情報に焦点を当てた大規模な研究プロジェクトがいくつか開始されたという³¹。例えば、科技部は「量子制御」国家プロジェクトを発表し、

¹⁹ Kung, J., and M. Fancy (2021) *A Quantum Revolution: Report on Global Policies for Quantum Technology*, Toronto, ON: CIFAR, 56p.

²⁰ Parker, E., Gonzales, D., Kochhar, A.K., Litterer, S., O'Connor, K., Schmid, J., Scholl, K., Silbergliet, R., Chang, J., Eusebi, C.A., and Harold, S.W. (2022) *An Assessment of the U.S. and Chinese Industrial Bases in Quantum Technology*, Santa Monica, CA: RAND Corporation, 124p.

²¹ 人力资源和社会保障部「[关于征集专业技术人才知识更新工程2021年高级研修项目选题的通知](#)」人社厅函(2021)2号

²² 安徽省人民政府「[我省奋力打造具有重要影响力科技创新策源地](#)」最終確認日:2022年8月31日。2022年12月20日時点ではアクセスできなくなっている。

²³ 天津市人民政府「[天津市人民政府办公厅关于印发天津市智慧城市建设“十四五”规划的通知](#)」津政办发(2021)52号

²⁴ 河北省人民政府「[河北省人民政府办公厅关于印发河北省建设全国产业转型升级试验区“十四五”规划的通知](#)」冀政办字(2021)143号。最終確認日:2022年8月31日。2022年12月20日時点ではアクセスできなくなっている。

²⁵ 黑龙江省人民政府「[黑龙江省人民政府关于印发黑龙江省中长期科学和技术发展规划\(2021-2035年\)的通知](#)」黑政发(2021)11号

²⁶ 山西省人民政府「[山西省人民政府关于印发山西省“十四五”未来产业发展规划的通知](#)」晋政发(2021)16号

²⁷ 广西壮族自治区商务厅「[广西壮族自治区人民政府办公厅关于印发广西大众创业万众创新三年行动计划\(2021-2023年\)的通知](#)」桂政办发(2021)10号

²⁸ 河南省人民政府「[河南省人民政府办公厅关于印发河南省加快传统产业提质发展行动方案等三个方案的通知](#)」豫政办(2022)4号

²⁹ [河南省科学技术厅ウェブサイト](#)より。

³⁰ 国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター(2022)『論文・特許マップで見る量子技術の国際動向』CRDS-FY2021-RR-08, 97p. (特に31~32ページを参照)

³¹ 注3に同じ。

NSFC は「単一量子状態の検出と相互作用」主要研究プロジェクトを立ち上げた。CAS は「長距離量子通信」と「宇宙規模での量子実験のキーテクノロジー研究および検証」プロジェクトを開始し、当時の総支援額は約 1 億 5000 万米ドル (約 210 億円) であった。科技部は量子情報の急速な発展と安全な通信への影響の可能性を考慮し、国家重点プロジェクトである「量子制御」の支援を継続し、NSFC は、「量子計測」に関する大型研究プロジェクトと「国家重点科学研究機器・装置開発」に関するプロジェクトを発表した。また、CAS は、かつての宇宙量子プロジェクトに基づいた「宇宙規模における量子実験」、「量子システムのコヒーレント制御」、「原子システムにおける計量物理学」といった戦略的先導科学技術プロジェクトを開始した。また、国家発展改革委員会 (NDRC) は量子鍵配送 (QKD) の産業応用を発展させるため、安徽省、山東省、CAS とともに「北京 - 上海量子安全通信バックボーン」プロジェクトを開始し、2011 年から 2015 年の間の資金調達総額は 4 億 9000 万米ドル (約 686 億円) と推定されている。

2010 年 1 月には、科技部主導による量子研究における初の国家重点科学研究プログラムとして「量子状態に基づく量子情報研究」プロジェクトが、山西省の省都である太原市において正式にスタートした。³² そこには、政府側から山西省政府副省長、科学技術部副部長、山西省科学技術部部長と副検事が、研究機関側からは南京大学、華東師範大学、復旦大学、山西大学のプロジェクト専門委員会メンバー、主担当者および関連学術チームが参加していた。^{33, 34} また、2009 年の国家重点科学研究計画では、「量子制御研究」分野で 6 件のプロジェクトがあり、「光分野の量子状態に基づく量子情報研究」プロジェクトだけは、地方機関が主導する研究プロジェクトであった。

2014 年に潘らのグループは、量子暗号鍵配送システムの安全な通信距離を更新し、2016 年には世界初となる量子科学実験衛星「墨子号」を用いた量子もつれ光子の配送および量子テレポーテーション実験を成功させた。³⁵ 2017 年には世界初となる宇宙・地上一体型の広域量子通信ネットワークとなる「京滬幹線」を構築するなど、量子通信分野における中国の研究開発力は一歩抜きん出ている。³⁶ また、2021 年に USTC は、プログラム可能な 66 量子ビット超伝導量子コンピュータのプロトタイプ「祖冲之 2 号」の構築に成功した。ランダム量子回路サンプリングの計算速度は当時の世界最速のスーパーコンピュータの 1000 万倍以上ともいわれ、次世代情報革命の鍵とされる量子超越性を 2 つの物理系 (超伝導量子の系と光量子の系) をもって実験実証したと主張している。³⁷

2021 年には、CAS 精密測量科学・技術創新研究院の馬芒 (馮芒、FENG Mang)³⁸ が、量子情報の読み取り速度が量子系のエントロピーの変化で決まることおよび量子精密測定技術や量子操作効率の向上に必要なエネルギー消費に関する原理を証明した。これが、量子操作の速度と精度を同時に高める方法の発見に繋がり、量子コンピュータの開発に新たな道筋を示したと評価されている。^{39, 40, 41}

³² 科技部 (2010) 「国家重大科学研究计划 “基于光场量子态的量子信息研究” 项目正式启动」

³³ 注 30 に同じ。

³⁴ 王海、彭堃堉、谢常德、张宽收、郜江瑞、韦联福 (2014) 基于光场量子态的量子信息研究. 科技纵览 (11), 3.

³⁵ 中国科学院 (2016) 「揭秘全球首颗量子卫星」。

³⁶ 中国科学院 「京沪干线」。

³⁷ 中国科学院 (2021) 「“祖冲之二号” 实现量子计算优越性」。

³⁸ 「冯芒」中国科学院大学

³⁹ 中国科学院精密测量科学与技术创新研究院 (2021) 「精密测量院等演示非循环非绝热的几何量子逻辑门」。

⁴⁰ Yan, L.-L., Zhang, J.-W., Yun, M.-R., Li, J.-C., Ding, G.-Y., Wei, J.-F., Bu, J.-T., Wang, B., Chen, L., Su, S.-L., Zhou, F., Jia, Y., Liang, E.-J., and Feng, M. (2022) Experimental Verification of Dissipation-Time Uncertainty Relation. *Physical Review Letters*, Volume 128, 050603.

⁴¹ Wei, J.-F., Guo, F.-Q., Wang, D.-Y., Jia, Y., Yan, L.-L., Feng, M., and Su, S.-L. (2022) Fast multiqubit Rydberg geometric fan-out gates with optimal control technology. *Physical Review A*, Volume 105, Issue 4, 042404.

2022年にはUSTCの郭光灿(GUO Guangcan)院士の研究室員である李傳鋒(李传锋、LI Chuanfeng)と周宗権(周宗权、ZHOU Zongquan)が、量子ネットワークにおける集積型量子記憶の適用を大きく前進させた。⁴² この研究は光子の偏光自由度を集積型量子ストレージの分野に応用し、偏光符号化に基づく量子ネットワークを構築するための基礎を提供するものであり、偏光の自由度は、集積型デバイスのノイズ抑制に有効なフィルタリングの自由度を提供し、集積型量子ストレージの実用化にとって重要であると述べている。⁴³

2022年には更に、量子通信分野で幾つかの顕著な成果がみられ、以下で報告順に紹介する。2022年5月、USTCの潘建偉院士らは、「墨子号」を利用して、地球上の1200km離れた2つの地点の間において、量子状態の遠隔転送に成功した。これまで、量子もつれの距離と質はチャンネルや量子デコヒーレンス等による影響を受けるため、テレポーテーションの距離の限界をいかに打破するかが、世界の量子通信研究の中心的な問題の一つとなっていた。⁴⁴ 2022年7月、世界初の量子マイクロ・ナノ衛星「済南1号」が、「利建1号」キャリアロケットに搭載され、打上げに成功した。本衛星の開発の成功により、世界で初めてマイクロ・ナノ衛星と小型化された地上局との間のリアルタイムの衛星地上量子鍵配送を実現することができると述べた。本プロジェクトは合肥に拠点を有する研究所および、中国科学技術大学、済南量子技術研究所、中国科学院マイクロ衛星イノベーション研究所、上海工業物理学研究所等の共同研究である。⁴⁵ 潘建偉院士らは、杭州科学技術大学高等研究院の王建宇らと共同で2016年9月に打上げられた「天宫二号」と4つの衛星地上局でコンパクトな量子鍵を渡し、宇宙と地上の量子安全通信ネットワークの実験的実証を実現したと報告した。天宫二号の適度に傾斜した軌道により、1つの地上局を一晩で複数回通過できるために生成できる鍵の数が増加することで、グローバルな量子通信ネットワークを作成するための最も有望な手段の1つになりうると報告している。⁴⁶ 2021年8月に正式に始まった中国最大規模の量子都市域ネットワーク(合肥量子都市域ネットワーク)が9月に正式に開通したと、21世紀経済報道が報じた。量子鍵配送ネットワークの光ファイバーの全長は1147kmであり、8つのコアサイトと159のアクセスサイトが含まれている。市・区2級の党・政府機関に量子安全アクセスサービスとデータ伝送暗号化サービスを提供でき、電子政務のセキュリティ保護水準を全面的に高めとし、将来的には、合肥市は合肥量子都市圏ネットワークに基づく豊富な量子セキュリティ・アプリケーション製品をさらに展開、調査および開発を進めるとしている。⁴⁷

さらに、USTCの沈奇(SHEN Qi)らは、世界で初めて100km級の自由空間における高精度の時間・周波数転送実験を行なったところ、時間転送の安定度がフェムト秒レベルに達し、周波数転送の安定度が従来はE-19レベルであったものの、4E-19(時計による誤差が約1000億年で1秒以下)を上回り、現在の最高精度の光学時計の時間転送の要求に応えることを可能とした報告をおこなった。⁴⁸ USTCの杜江峰(Du Jiangfeng)らは、トポロジカル相転移の量子シミュレーションの進歩、ハイスピンイオントラップシステム制御技術の

⁴² 中国科学院量子信息与量子科技创新研究院(2022)「中国科大实现光子偏振态的可集成固态量子存储」。

⁴³ Jin, M. Ma, Y.-Z., Zhou, Z.-Q., Li, C.-F., Guo, G.-C. (2022) A faithful solid-state spin-wave quantum memory for polarization qubits. *Science Bulletin*, Volume 67, Issue 7, pp.676-678.

⁴⁴ 中国科学技術大学(2022):「墨子号」实现1200公里地表量子态传输, 中国科学技術大学。

⁴⁵ 済南量子技術研究院(2022): 世界首顆量子微納衛星“済南一号”成功发射入軌, 済南量子技術研究院。

⁴⁶ 中国科学院(2022): “量子星座”研究首次披露“天宫二号”曾立大功, 中国科学院。

⁴⁷ 21世紀経済報道(2022): 合肥量子城域网开通, 21世紀経済報道。

⁴⁸ Shen, Qi., Guan, Jian-Yu., Ren, Ji-Gang., Zeng, Ting., Hou, Lei., Li, Min., Cao, Yuan., Han, Jin-Jian., Lian, Meng-Zhe., Chen, Yan-Wei., Peng, Xin-Xin., Wang, Shao-Mao., Zhu, Dan-Yang., Shi, Xi-Ping., Wang, Zheng-Guo., Li, Ye., Liu, Wei-Yue., Pan, Ge-Sheng., Wang, Yong., Li, Zhao-Hui., Wu, Jin-Cai., Zhang, Yan-Yan., Chen, Fa-Xi., Lu, Chao-Yang., Liao, Sheng-Kai., Yin, Juan., Jia, Jian-Jun., Peng, Cheng-Zhi., Jiang, Hai-Feng., Zhang, Qiang., Pan, Jian-Wei.(2022): Free-space dissemination of time and frequency with 10⁻¹⁹ instability over 113 km, *Nature*, Volume 610, pp.661-666. DOI: 10.1038/s41586-022-05228-5

開発により、三重縮退トポロジカルモノポールの量子シミュレーションを実現し、トポロジカル電荷の異なるモノポール間の相転移が観測の観測中にスピントensorを実証したと報告した。⁴⁹ なお、Physics World は 2022 年のブレイクスルー・オブ・ザ・イヤー・トップ 10 の一つに、ZHAO Bo, PAN Jianwei および USTC、中国科学院を挙げた。⁵⁰

同年、USTC の張浩然 (张浩然, ZHANG Haoran) らは、位相量子状態とタイムスタンプ量子状態を用いた量子通信における新システムを構築し、これまでの量子直接通信の最長距離である 18km を大きく超え、世界最長距離となる 100km の量子直接通信の実現に成功した。⁵¹

近年、中国では大学学部以下の課程でも量子技術の教育が始まっている。以下に具体例を 2 つ紹介する。

2021 年、清華大学において量子情報に関する学部生向けのコースが正式に設立され、チューリング賞受賞の学者である姚期智 (Andrew Chi-Chih Yao) が主任教授に就任した。これは清華大学初の量子情報分野の学部における人材育成プログラムである。なお、姚が設立した革新的なトップ人材を育成するプロジェクトとしては、コンピュータサイエンスの実験クラス、人工知能クラスに次いで 3 番目のものであり、学生の育成にも大きく寄与している。⁵² また、2022 年 5 月 22 日には、深圳国際量子研究院と深圳市格致中学の戦略的協力枠組み協定の調印式と、学士号銘板の除幕式、量子計算センターの開所式が行われた。⁵³ この提携は、「デジタル龍華、アーバン・コア」の発展戦略を全面的に実施し、教育の質の高い発展を促進する試みであり、学生の先端技術産業に対する理解、科学技術に対する強い関心を育成し、量子技術によって学生の未来を支援し得るとしている。

2.2.2 ファンディング

中国における科学技術研究開発に対するファンディングは、主に下記の 3 つに分類される。

- ①**中央政府が拠出する競争的研究資金**：国家自然科学基金 (NSFC)、国家重点研究計画 (科技部) が挙げられ、共にトップダウンおよびボトムアップによる研究プログラムがある。なお、中央政府による科学技術計画は国家ハイテク研究開発計画 (863 計画)、国家重点基礎研究開発計画 (973 計画)、国家科学技術支援計画、国際科学技術協力・交流特別プロジェクト、国家発展改革委員会と工業情報化部等といったものがあつたが、財政資金の使用効率をより一層高めることを目的に、國務院により国家自然科学基金、国家科学技術重大特別プロジェクト、国家重点研究開発計画、技術革新導入特別プロジェクト (基金)、基地・人材特別プロジェクトの 5 種類に統合された。⁵⁴

⁴⁹ Zhang, M., Yuan, X., Li, Y., Luo, X., Liu, C., Zhu, M., Qin, X., Zhang, C., Lin, Y., Du, J., (2022): Observation of Spin-Tensor Induced Topological Phase Transitions of Triply Degenerate Points with a Trapped Ion, *Phys. Rev. Lett.* 129, 250501

⁵⁰ <https://physicsworld.com/a/physics-world-reveals-its-top-10-breakthroughs-of-the-year-for-2022/>

⁵¹ Zhang, H., Sun, Z., Qi, R., Yin, L., Long, G., Lu, J.(2022) [Realization of quantum secure direct communication over 100km fiber with time-bin and phase quantum states](#). *Light: Science & Applications*, Volume 11, No.83.

⁵² 清华大学 (2021) 「[清华大学成立量子信息班 姚期智院士领衔](#)」

⁵³ 深圳量子科学与工程研究院 (2022) 「[量子研究院与格致中学签订战略合作框架协议，建设大湾区第一个高中量子计算中心](#)」

⁵⁴ [国家自然科学基金委员会ウェブサイト](#)より。

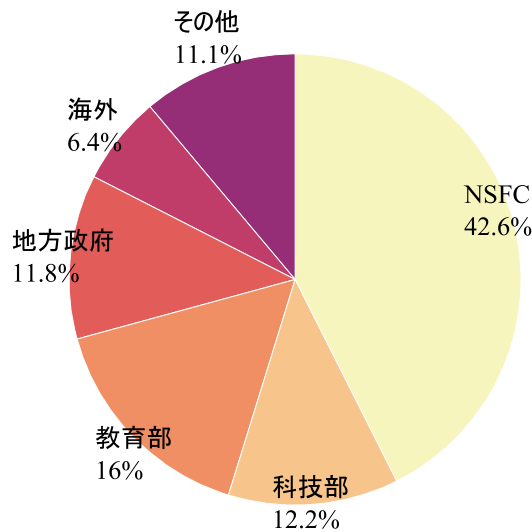
⁵⁵ [中华人民共和国科学技术部ウェブサイト](#)より。

⁵⁶ 国务院 (2014) 「[国务院印发关于深化中央财政科技计划（专项、基金等）管理改革方案的通知](#)」国发（2014）64 号

- ②**教育部による資金提供**：大学の資金は基本的に教育部から配分される。重点大学等に指定されると多くの資金が配分される。また、中国科学院等の機関については、各機関の傘下の研究機関等内部的な競争的研究資金がある。
- ③**地方政府が拠出する競争的研究資金**：省や市といった地方政府は中央政府による大きな政策に基づき、大学、研究機関および企業等へ競争的研究資金を提供している。

また、論文調査から得られた結果として、主要なファンディングは NSFC によるものが多く、続いて教育部、科技部や地方政府によるものが大きいことを確認した(図表 2-1)。

図表 2-1 中国の論文に対する主要ファンディング機関の割合



出典：Web of Science (2010-2021 のデータより)

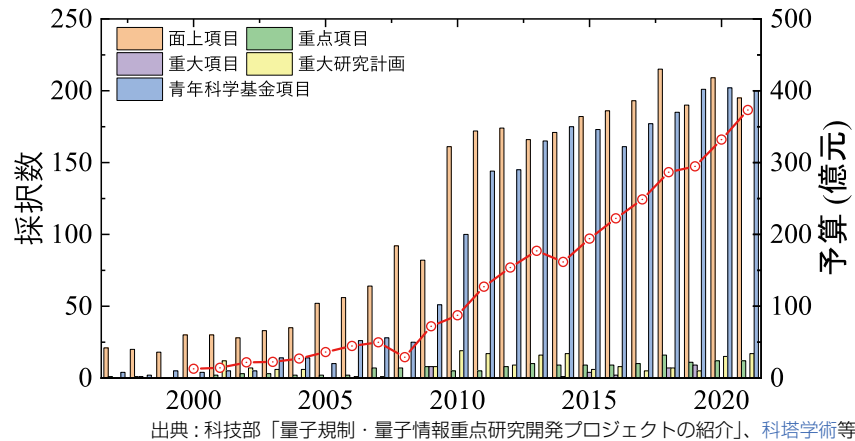
まず、ここでは NSFC に着目し、キーワードを”量子”として各プログラムにおける採択数等について整理した(図表 2-2)。重大研究計画は国の発展戦略に基づいて特定の研究領域を長期にわたり支援するものであり、重大項目および重点項目も、ほぼ中央政府によるトップダウン型のプロジェクトである。一方で、面上項目(一般プログラム)や青年科学基金項目はボトムアップ型のプロジェクトである。ちなみに、青年科学基金項目は大学院生による申請も多い。

図表 2-2 NSFC により採択されたプロジェクトと全体予算の推移 (1997-2021 年)

	面上項目		重点項目		重大項目		重大研究計画		青年科学基金项目	
	採択数	全採択数	採択数	全採択数	採択数	全採択数	採択数	全採択数	採択数	全採択数
1997	21	1,242	1	85	0	43	0	0	4	318
1998	20	1,229	1	95	1	95	0	0	2	352
1999	18	1,217	0	54	0	35	0	0	5	344
2000	30	1,288	0	43	0	3	0	0	4	380
2001	30	3,507	2	124	0	1	12	122	5	716
2002	28	2,373	3	95	0	14	7	194	5	570
2003	33	2,665	3	104	0	37	6	68	14	648
2004	35	3,282	2	94	0	52	6	160	14	787
2005	52	3,866	2	120	0	19	0	53	10	920
2006	56	4,206	2	117	0	0	1	109	26	1,099
2007	64	4,417	7	155	0	0	1	235	28	1,523
2008	92	5,025	7	185	0	56	0	181	25	2,478
2009	82	5,652	8	159	8	27	8	236	51	3,444
2010	161	13,174	5	444	0	69	19	444	100	8,334
2011	172	15,478	5	518	0	69	17	432	144	13,103
2012	174	16,865	8	536	0	93	9	333	145	13,865
2013	166	16,154	10	562	0	114	16	368	165	15,310
2014	171	14,983	9	604	1	115	17	453	175	16,369
2015	182	16,680	9	624	4	105	6	512	173	16,109
2016	186	16,915	9	612	2	122	8	501	161	16,072
2017	193	18,127	10	667	0	210	5	535	177	17,504
2018	215	18,938	16	701	7	185	7	513	185	17,658
2019	190	18,995	11	742	9	247	5	526	201	17,965
2020	209	19,357	12	737	0	0	15	449	202	18,273
2021	195	ND	12	ND	0	ND	17	ND	200	ND

2010 年頃より、全体的に採択数が急増していることが図表 2-2、図表 2-3 よりわかる。図表 2-3 は図表 2-2 を図化したものであり、NSFC 全体の予算の推移を追記している。

図表 2-3 量子研究に関する国家重点研究計画の一覧



以下に、2017年から2020年までに採択されたプロジェクトの一覧を示す(図表2-4～図表2-7)。

図表 2-4 2017年に採択された国家重点研究計画の一覧

序号	プロジェクト番号	プロジェクト名	所属機関	代表者名	経費 (万元)	期間 (年)
1	2017YFA0302900	量子効果と相関電子の制御	中国科学院物理研究所	向涛	11,057	5
2	2017YFA0303000	新規二次元層状非通常型超伝導体の探索と機構解明	中国科学技术大学	陈仙辉	2,800	5
3	2017YFA0303100	重い電子系における進化的量子状態とその制御機構	浙江大学	袁辉球	2,652	5
4	2017YFA0303200	トポロジカル磁気構造およびそのヘテロ接合の物理・デバイス研究	南京大学	王伯根	2,801	5
5	2017YFA0303300	トポロジカル複合小量子系におけるスピンと電荷の制御	北京大学	孙庆丰	2,747	5
6	2017YFA0303400	低次元固体極性構造における量子状態の制御とそのプロトタイプデバイス	中国科学院半导体研究所	林海青	2,737	5
7	2017YFA0303500	局所磁場下における小量子系閉じ込めの量子制御	中国科学技术大学	罗毅	2,814	5
8	2017YFA0303600	複雑な酸化物表面界面の量子力学的制御とダイナミクス	中国科学院物理研究所	郭建东	2,777	5
9	2017YFA0303700	人工微細構造および機能集積型フォトニックチップにおける量子および量子的な効果	南京大学	陆延青	10,039	5
10	2017YFA0303800	空間光場の生成、変調、トポロジカル特性を有する微細構造との相互作用	南开大学	陈志刚	2,877	5
11	2017YFA0303900	宇宙・地球集積型広域量子通信ネットワーク技術	中国科学技术大学	彭承志	11,184	5
12	2017YFA0304000	高性能単光子検出技術	中国科学院上海微系统与信息技术研究	尤立星	5,584	5
13	2017YFA0304100	固体量子メモリー	中国科学技术大学	李传锋	4,751	5
14	2017YFA0304200	光学格子過冷却量子ガスに基づく量子シミュレーション	山西大学	肖连团	3,873	5
15	2017YFA0304300	量子誤り訂正・量子記憶機能を有する多重超伝導量子ビット集積システム	中国科学技术大学	朱晓波	5,298	5
16	2017YFA0304400	高精度原子光時計	中国科学院武汉物理与数学研究所	高克林	6,308	4.5
17	2017YFA0304500	原子、イオン、光子の少数体との会合に基づく精密測定	中国科学院武汉物理与数学研究所	管习文	2,797	5
18	2017YFA0304600	新規二次元非通常型超伝導膜/ヘテロ接合の作製と異常な物理探索	清华大学	宋灿立	477	5
19	2017YFA0304700	相関電子システム用材料・物性・デバイス	中国科学院物理研究所	谌志国	465	5
20	2017YFA0304800	リードバークアトムを用いた量子情報の実験的研究	中国科学技术大学	丁冬生	485	5
21	2017YFA0304900	量子リファレンスの超高分解能マイクロ波測定の研究	清华大学	谢锋	466	5
22	2017YFA0305000	超長コヒーレンス時間を持つ単一スピンの室温での調製に関する実験的研究	中国科学技术大学	王亚	465	5
23	2017YFA0305100	人工微小構造体における光・音響トポロジー特性の研究	南京大学	何程	466	5
24	2017YFA0305200	集積型フォトニックデバイスに基づく量子情報の基礎研究	中山大学	周晓祺	440	5
25	2017YFA0305300	III-V族低次元狭帯域半導体におけるスピン量子制御機構	中国科学院半导体研究所	魏大海	459	5
26	2017YFA0305400	トポロジカル量子材料における電子構造のチューニングとデバイス開発	上海科技大学	柳仲楷	440	5
27	2017YFA0305500	III-V族半導体3次元不均一系ナノワイヤのその場構築と赤外検出への応用	山东大学	杨再兴	488	4

出典：科技部 ハイレベル技術研究発展センター

図表 2-5 2018 年に採択された国家重点研究計画の一覧

序号	プロジェクト番号	プロジェクト名	所属機関	代表者名	経費 (万元)	期間 (年)
1	2018YFA0305600	トポロジカル超伝導などの相関系における量子状態	北京大学	王健	1,806	5
2	2018YFA0305700	新規相関電子材料と包括的極限環境下での量子状態制御	中国科学院物理研究所	靳常青	1,852	5
3	2018YFA0305800	新規二次元量子機能材料の理論設計、制御可能な調製、高精度キャラクタリゼーション、プロトタイピングの実現高圧下におけるマルチスケール小量子複雑系の量子効果とその制御	中国科学院大学	苏刚	1,771	5
4	2018YFA0305900	分子磁性量子材料・デバイスの研究	吉林大学	刘冰冰	1,804	5
5	2018YFA0306000	半導体複合量子構造における量子輸送機構と量子デバイスの研究	南京大学	左景林	1,811	5
6	2018YFA0306100	中赤外光電結合機構とアバランシェ検出器デバイスの研究および人工微細構造の応用に関する研究	中国科学院半导体研究所	牛智川	1,859	5
7	2018YFA0306200	新しい超高速光場とマイクロ・ナノシステムにおける量子状態のコヒーレントな制御	中国科学院上海技术物理研究所	陈效双	1,889	5
8	2018YFA0306300	高性能な量子暗号鍵配布のためのキーテクノロジーに関する研究	华东师范大学	吴健	1,813	5
9	2018YFA0306400	異核量子シンプレックス混合気体の多体効果の研究	中国科学技术大学	韩正甫	1,838	5
10	2018YFA0306500	ダイヤモンドカラーセンターの量子コヒーレント制御とその応用	清华大学	尤力	3,658	5
11	2018YFA0306600	量子プログラミングの理論、手法、ツール	中国科学技术大学	杜江峰	7,163	5
12	2018YFA0306700	2次元トポロジカル量子材料の創製、特性評価およびデバイス探索	中国科学院软件研究所	应明生	858	5
13	2018YFA0306800	二次元量子機能材料とそのヘテロ構造の作製、輸送特性	南京大学	张翼	436	5
14	2018YFA0306900	変調および関連する量子デバイス	北京大学	叶堉	465	5
15	2018YFA0307000	極限環境下における強いスピン軌道相互作用による新規量子物性とその統合的マルチフィールド制御	华中科技大学	徐刚	447	5
16	2018YFA0307100	量子異常ホール効果に基づくトポロジカル量子状態制御とその応用探索	清华大学	张金松	471	5
17	2018YFA0307200	光学格子中の超低温量子気体の多体系物理学的研究	浙江大学	顔波	441	5
18	2018YFA0307300	ファンデルワールスヘテロ接合人工微細構造中赤外検出器の室温動作と集積化	南京大学	王肖沐	440	5
19	2018YFA0307400	光通信帯域における多チャンネル量子チャネルの実験的研究	电子科技大学	周强	474	5
20	2018YFA0307500	全光束縛イオンの量子状態の作製とその応用	中国科学院武汉物理与数学研究所	黄焱	470	5
21	2018YFA0307600	異核単純気体における不純物物理と新規量子状態	中国科学院物理研究所	崔晓玲	456	5

出典：科技部 ハイレベル技術研究発展センター

図表 2-6 2019 年に採択された国家重点研究計画の一覧

序号	プロジェクト番号	プロジェクト名	所属機関	代表者名	経費 (万元)	期間 (年)
1	2019YFA0307700	原子-分子過渡量子過程の精密測定	吉林大学	袁建民	1,875	5
2	2019YFA0307800	2次元超伝導・磁性量子材料のマルチフィールド制御、微視的メカニズム探索、量子プロトタイプデバイス構築	中国科学院大学	毛金海	476	5
3	2019YFA0307900	低次元磁電結合材料における強誘電体ドメインとトポロジーのマルチフィールド制御とプロトタイピング	中国科学技术大学	殷月伟	468	5
4	2019YFA0308000	二次元超伝導材料における量子的挙動の探索と変調	中国科学院物理研究所	黄元	478	5
5	2019YFA0308100	スピン系における集団励起の量子コヒーレント制御	浙江大学	王大伟	416	5
6	2019YFA0308200	ニオブ酸リチウム薄膜を用いた量子光集積チップと量子情報物理学の実験的研究	山东大学	遼鶴	475	5
7	2019YFA0308300	アト秒サブÅにおける原子分子の超高空間・時間分解能精密測定	华中科技大学	周月明	478	5

出典：科技部 ハイレベル技術研究発展センター

図表 2-7 2020 年に採択された国家重点研究計画の一覧

序号	プロジェクト番号	プロジェクト名	所属機関	期間 (年)
1	2020YFA0308800	低次元スピン量子機能材料とその超高速チューニング	北京理工大学	5
2	2020YFA0308900	低次元固有磁性体のトポロジカル状態変調とデバイス探索	南方科技大学	5
3	2020YFA0309000	低次元グラフェン材料における量子多体効果の変調	上海交通大学	5
4	2020YFA0309100	新規自己支持型低次元システムの量子由来現象と多電界による制御	中国科学院物理研究所	5
5	2020YFA0309200	低次元スピン・相関電子系におけるテラヘルツ光変調とプロトタイプデバイス開発	南京大学	5
6	2020YFA0309300	多電界変調下におけるトポロジカルスピン構造の超高速ダイナミクス	南开大学	5
7	2020YFA0309400	スピン系を用いた量子強調磁束計の研究	山西大学	5
8	2020YFA0309500	冷たい原子を用いた高効率な高次元量子ストレージの研究	华南师范大学	5
9	2020YFA0309600	コーナグラフェンなどモル超格子物質のエキゾチックな物性の研究	香港科技大学	5

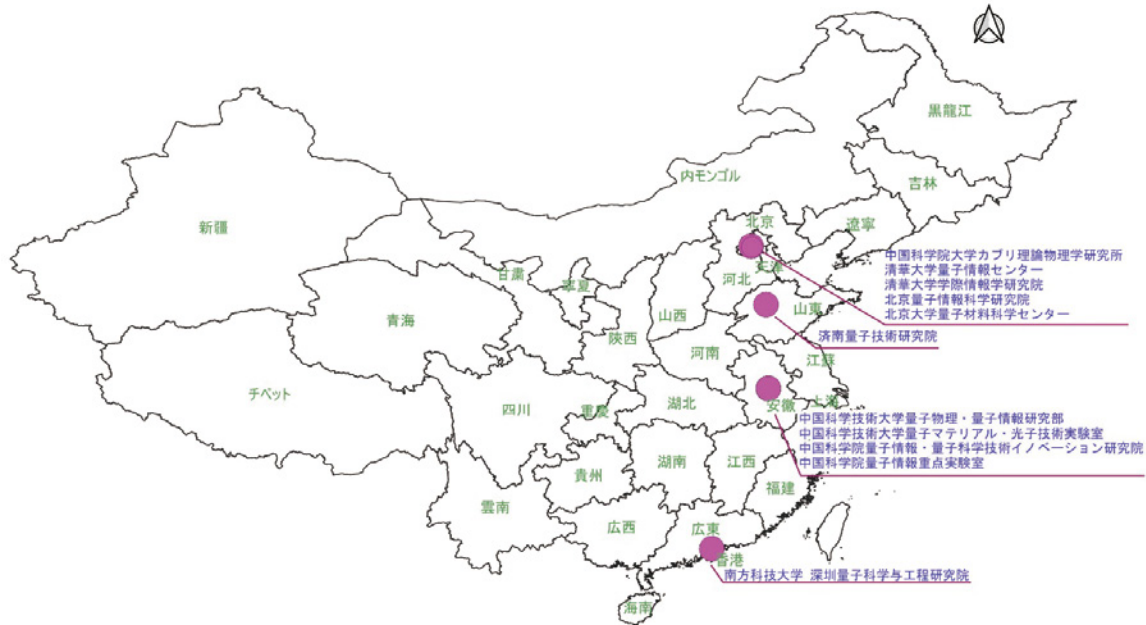
出典：科技部 ハイレベル技術研究発展センター

いずれの年も、CAS や 2.6 に後述する国際共同研究を実施している機関において、多く採択されていることがわかる。詳細にみると、中国科学技術大学は 3 割ほどの予算を獲得しており、中国科学院物理研究所、南京大学がそれぞれ 1 割ほどの予算を取得している。また、中国科学院系列をまとめると、6 割以上を取得しており、南京大学、清華大学、北京大学、山西大学と続いている（但し、2020 年に採択されたプロジェクトの予算はデータがないので含めていない）。採択数では、中国科学技術大学、南京大学、中国科学院物理研究所と続いており、中国科学院系列をまとめると、4 割強を占めている。

2.3 注目研究機関・大学

注目研究機関および大学について、以下および図表 2-8 に一例を示す。⁵⁷

図表 2-8 注目研究機関・大学



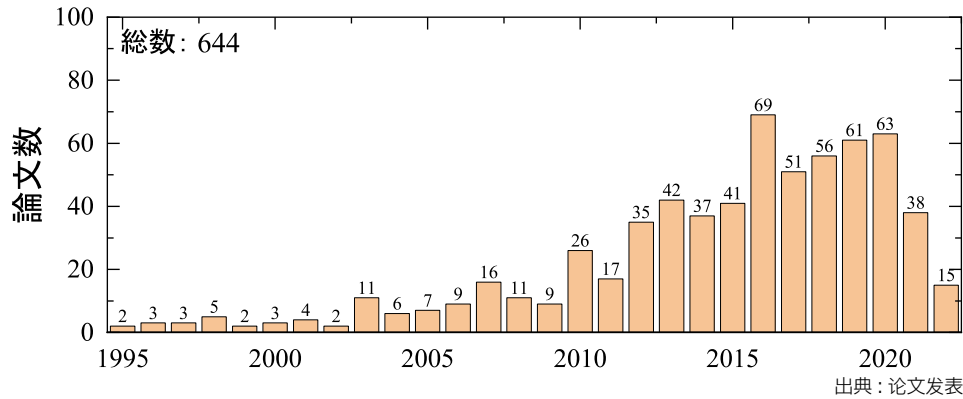
2.3.1 中国科学技術大学量子物理・量子情報研究部 (Division of Quantum Physics and Quantum Information, USTC)

2.2 で示したように、郭や潘を中心として研究が進められており、量子科学実験衛星「墨子号」の打上げにも関与する、中国における量子研究を世界レベルで牽引する機関である。2001 年に CAS が、USTC の潘の研究室等に重点実験室の位置づけを与えて設立した。完全な空中統合広域量子通信システムを構築し、国防・国政分野で幅広い汎用性を牽引することを戦略的目標に掲げており、量子科学実験衛星である「墨子号」の打上げに関しては、他研究機関の研究者を主任・チーム長に加え、実験に関わる研究活動の組織化と調整を進めている。「量子力学」、「光ファイバーに基づく大都市間量子通信」、「衛星ベースの広域量子通信」、「量子ストレージと量子リレー」、「光量子コンピューティング」、「超伝導量子コンピューティング」、「超低温原子量子の基本原則」を主要な研究分野としている。

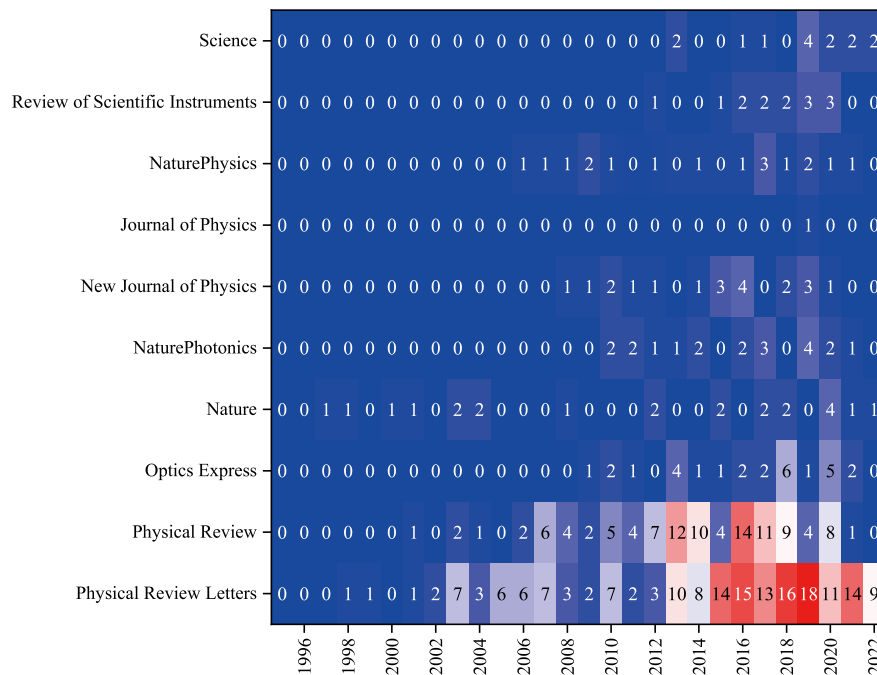
なお、研究室設立時からの投稿論文数とトップ 10 の投稿先を、下記に示す (図表 2-9、図表 2-10)。1997 年には *Nature* (IF: 49.96) で発表されるなど、毎年必ず多くの論文を公表している。これまでの総数は 644 であり、2010 年頃より大きく増加している。これは、2006 年に発出された中長期計画や、図表 2-3 に示すように、中国における科学技術に対する予算の増加も影響していることも考えられる。*Physical Review Letters* (IF: 9.185) のみならず、*Science* (IF: 47.73) にも多く論文が発表されており、量子力学の世界において少なからずインパクトを与えているとみられる。

⁵⁷ 詳細は国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター (2022) の 5.3 を参照願う。

図表 2-9 研究室設立時からの論文の投稿数



図表 2-10 研究室設立時からの論文の投稿先トップ 10



2.3.2 中国科学技術大学量子材料・光子技術実験室 (Quantum Materials and Photonic Technology Laboratory, USTC)

USTC の量子機能材料研究グループを前身として陸亜林⁵⁸ (陆亚林、LU Yalin) によって 2016 年正式に設立された。高度な光学および電子分光特性評価技術により、マルチパラメータ複合量子機能材料を用いて、量子情報プロセス、エネルギー、環境の科学的フロンティアに対峙し、主要な量子の作成を実現、デバイス機能への機能性材料デモンストレーションのブレークスルーを目指している。科技部の承認で設置された研究センターや CAS から USTC に委託された業務の実施機関でもあり、後述の「量子情報・量子科学技術イノベーション研究院」のほかに「マイクロスケール物質科学国家研究センター」や「ハイエンド科学技術安徽省実験室プラットフォーム」からも業務を委託されている。

⁵⁸ 「陆亚林 中国科学技术大学杰出讲座教授」

2.3.3 中国科学院量子情報・量子科学技術イノベーション研究院 (CAS Center for Excellence in Quantum Information and Quantum Physics)

中国科技部がUSTCに委託し、「国家実験室」の設置を先行探索中の機関である。2016年8月に安徽省とCASによって「量子情報科学国家実験室建設連合会議」が設立され、包括的なイノベーション協力協定が締結された。そのうち「量子協同イノベーションセンター」と「量子情報・量子科学技術センター・オブ・エクセレンス」の統合により、2017年7月、合肥研究拠点の中核施設として安徽省とCASによって設立された。中国全土の大学、研究機関、関連企業の革新的要素と有利な資源の有効活用、USTCとの中国科学技術の共同構築を目的としている。「量子通信研究部」「量子コンピューティング研究部」「量子精密計測研究部」「エンジニアリングサポート部」の4つの研究ユニットが設置されており、CAS上海技術物理研究所、半導体研究所、光電子技術研究所、物理研究所、上海マイクロシステム情報技術研究所、マイクロ衛星イノベーション研究所、武漢物理数学研究所、中国科学院大学、CAS国家情報通信センターなど、CAS外の共同イノベーションユニットには北京大学、清華大学、復旦大学、上海交通大学、南京大学、国防技術大学、浙江大学、北京航空航天大学、華東師範大学、北京計算科学研究センター、その他高等教育機関や研究機関の関連チームなどと共同研究を実施している。

2.3.4 中国科学院量子情報重点実験室 (CAS Key Laboratory of Quantum Information)

量子情報研究の重要な人材育成拠点の1つである。1983年設立の「中国科学院量子光学研究組」を前身とし、99年そのサポートで「中国科学技術大学量子通信及量子計算開放実験室」に改組。2001年に科学院の承認下で「中国科学院中国科学技術大学量子情報重点実験室」、05年には「中国科学院量子情報重点実験室」と改名され、量子通信と量子コンピューティングの理論的・実験的研究に長年携わり、革新的な科学研究結果を出し続けている。USTCが管理するため所在地は安徽省合肥市キャンパス中に位置するが、行政的にはCASの所属となっており、「固体量子コンピューティング」、「量子もつれネットワーク」、「量子統合光学チップ」、「新しい量子暗号プロトコルおよび実用的量子デバイスの開発」、「量子理論」を研究の主体としている。2005年には世界初の、実際の通信光路を介し125kmの単一ベクトルサブ鍵配送を実現し、2009年には世界初の量子政府ネットワークを呉湖に建設した。2011年には8光子の量子もつれを発生させることに成功し、同年に光子偏光状態を99.9%の忠実度で固体量子記憶することに初めて成功した。また、2013年には光子軌道角運動量の量子メモリを冷却原子研究ユニットで初めて実現した。

2.3.5 中国科学院大学カブリ理論物理研究所 (Kavli Institute for Theoretical Sciences)

2006年にCASと米国のカブリ財団(Kavli Foundation)からの基金および中国科学院大学(UCAS)の共同支援を受け設置された機関であり、世界に20あるカブリ研究所の1つとして、中国の理論物理学研究の促進と、物理学および関連する学際分野の国際プログラムの開催に重要な役割を果たしている。はじめはCASの理論物理研究所(ITP)と連携し、中国カブリ理論物理研究所(KITPC: Kavli Institute for Theoretical Physics, China)として設立されたが、改組等を経て今に至る。第一研究室、第二研究室、KITS、理論物理学フロンティア重点研究室、の4つの機関を有しており、理論科学における国際的な拠点としての地位を確立することをミッションとしている。また、理論物理学とそれに関連する学際的な科学に従事しており、ポストドクトラル・フェローシップ、ビジタープログラム、アウトリーチ・プログラム、準会員制度など様々な学術プログラムを実施している。

2.3.6 清華大学量子情報センター (Tsinghua University Center for Quantum Information)

姚期智が中心となり 2011 年 1 月 6 日に設立され、中国における量子情報の教育と研究のための世界的なプラットフォームを構築することを目的としている。清華大学学際情報学研究院の下に位置しており、「量子コンピューティングと制御理論」、「量子計算機と実験」、「量子デバイスと量子通信」を主要な研究対象とし、国家重点基礎研究発展計画の「完全量子ネットワーク」、教育部の「清華量子情報センター建設プロジェクト」、科技部の「量子コンピューティング重点研究開発プロジェクト」等といった主要国家プロジェクトにも取り組んでいる。

2.3.7 清華大学学際情報学研究院 (Institute for Interdisciplinary Information Sciences, Tsinghua University)

中国初の学際情報学研究に特化した研究・教育ユニットである。上述の清華大学量子情報センターと同様に姚期智が中心となって 2011 年 1 月に設立された。中国における世界最高水準の学際情報学研究機関を構築し、国際競争力のある革新的人材を育成することを目的としている。「量子光学」、「量子通信」、「超伝導量子コンピューティング」、「実践的な量子情報研究」、「量子人工知能」、「トポロジカル物性物理学」を主要な研究テーマとし、2005 年設立の「清華学堂コンピュータ科学実験教室」と 2019 年設立の「清華学堂人工知能教室」および 2021 年設立の「清華学堂量子情報教室」は、それぞれコンピュータ科学と人工知能および量子情報分野の人材育成拠点としての地位を確立している。また、研究教育部局としてはほかに、CQI(量子情報センター)と IFTI(インテリジェント・フィンテック研究所)が、産学連携部局としては清華大学-南京大学学際知能共同研究センター、清華大学・西安大学学際情報学共同研究センター、清華大学-Ant デジタル・フィンテック金融共同研究室、清華大学・西安大学学際金融工学共同研究センターがある。なお、本研究院が設立されたと同時に、上述の清華大学量子情報センターも正式に開設され、姚は学際情報学研究院を率い、量子情報学分野においてさまざまな重要国家プロジェクトを担い、量子情報センターを量子コンピューティングおよび量子ネットワークの重要先端研究基地に押し上げた。なお、2020 年 7 月時点で、清華大学姚班の卒業生は 407 人を数え、うち 355 人は研究の道に残り、52 人は大手計算機企業に入社している。⁵⁹

2.3.8 北京量子情報科学研究院 (Beijing Academy of Quantum Information Sciences)

研究院の院長、南方科学技術大学の学長でもあり院士でもある薛其坤(XUE Qikun)が設立に関わった機関である。2017 年 12 月 24 日に首都北京を代表する量子研究拠点として、北京市が清華大学、北京大学、CAS など、北京市内の複数のトップ学術機関と共同で設立した新しいタイプの研究開発機関である。世界における量子物理学と量子情報科学技術の最前線に立ち、量子情報技術分野における国家の戦略的ニーズに応えるために、量子物質科学、量子コンピューティング、量子コミュニケーション、量子材料・デバイス、量子精密測定などの分野における北京の既存のリソースを統合し、量子情報科学技術の包括的な実験・研究開発プラットフォームを構築、世界中から優れた科学技術者とその革新的チームを集めるとしている。5つの研究部(量子物性科学研究部、量子材料・デバイス研究部、量子計算研究部、量子通信研究部、量子精密測定研

⁵⁹ 澎湃 (2021) 「清華成立量子信息班：姚期智任首席教授，今年首届招生 20 人」

究部)と、各研究部を支援する2つのプラットフォーム(ナノ加工プラットフォーム、総合測量試験プラットフォーム)、および量子工学研究部から構成されており、「量子状態」「量子計算」「量子通信」「量子材料・デバイス」「量子精密測定」の5つの主要研究分野と、これらの研究を支援するための2つの実験プラットフォームに注力している。大学や国の研究機関のみならず、百度等の民間企業とも人的交流などを図っている。

2.3.9 北京大学量子材料科学センター (International Center for Quantum Materials, Peking University)

2010年に物性物理学と量子材料科学のフロンティア問題を研究するために設立された。基礎研究のための学術基盤を築き、量子科学に基づく高度技術開発を促進するため、最先端の実験施設の導入など世界水準の技術を取り入れることで、国際的な影響力を持つ研究チームを育成することを目指している。「低温および量子輸送実験」、「スピントロニクスと低次元磁性実験」、「高分解能分光実験」、「AMO 実験と精密測定」、「理論的な物性物理学」、「計算物理学」の6部門で編成されており、17の実験研究所と、物理特性測定のための公的支援研究所、ナノ微細加工の公的実験プラットフォーム、ヘリウムセンターを有している。

2.3.10 深圳量子科学工学研究院 (南方科学技術大学)(Shenzhen Institute for Quantum Science and Engineering)

北京量子情報科学研究院の院長でもある薛其坤(XUE Qikun)が学長であり、量子材料研究の第一人者である俞大鹏を中心に、量子情報技術の研究と人材育成に注力している。2017年初頭に発表された国家重点発展戦略で示された量子技術を扱う「十大基礎研究機関」の最初の3つとして、2018年1月に南方科学技術大学内に設置された。施設設備の委託を南方科学技術大学に、意思決定は深圳市の基礎研究機関理事会にあり、研究院院長は両者を統括する立場にあり、「量子材料」「量子精密測定」「量子コンピューティング」「量子工学」の4つに重点を置いている。

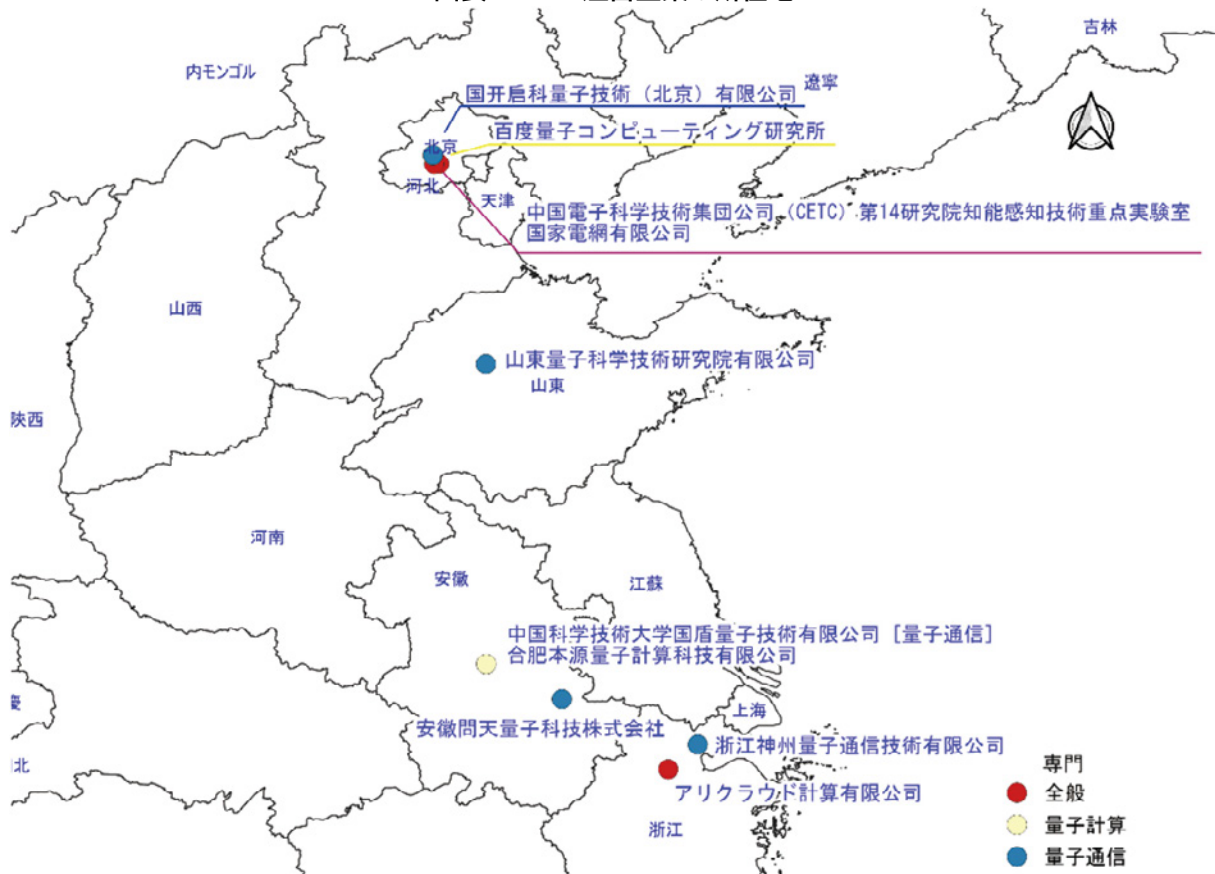
2.3.11 済南量子技術研究院 (Jinan Institute of Quantum Technology)

2011年5月に設立された済南量子技術研究院は、山東省済南市管轄の機関である。主に量子科学の基礎と応用の基礎研究を行っている。量子科学研究成果の転換の技術支援を行い、量子科学技術の公共研究開発プラットフォームの構築と量子機密通信テストネットワークの構築を組織し、省内の量子科学技術人材の紹介を担当している。また同研究所は、国家量子計算・測定標準化技術委員会の事務局を引き受けており、省ポストイノベーション実践基地、省科学教育基地、省新型研究開発機関に認定されている。CASおよび中国工程院の院士15名を含む学術委員会を設置し、国や自治体の有力学者、優秀な若手学者、合計113名の人材を有している。量子通信分野で世界記録を樹立するなど、国家、省、市の大型研究プロジェクトを数多く手がけ、100以上の国家特許を申請し、*Nature*、*Physical Review Letters*などの国際的に有名な学術誌に150以上の論文を発表している。

2.4 注目企業

中国の量子研究関連企業は、2021年時点で46程度であり、各企業の情報は2022年5月30日時点のものである⁶⁰。その内訳は、量子通信(19)、量子計算(14)、量子測量(3)、暗号鍵通信(7)、その他(3)である。2002年に設立された国家电网有限公司は中国政府が直接管掌する電力会社である一方で、設立当初より量子研究を進めていたようである。CASと関係を有する企業も多く、当初は北京・山東省・安徽省で設立されたが、2015年以降急激に増加し、その他地域においても増加してきた。図表 2-11 に、スタートアップや、CASと関係を有するなど、注目度の高い企業の一例を示す。⁶²

図表 2-11 注目企業の所在地



⁶⁰ 光子盒研究院 (2021) 「国内量子科技公司全览 (2021 更新版)」。

⁶¹ 国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター (2022) の 5.4 および 5.5 より引用している。

⁶² 注 22 に同じ。なお「有限公司」は「有限責任公司」の略書で、上場を許されていない会社である。「股份有限公司」は日本の株式会社と同じ、上場を許される会社である。このため「有限公司」と「有限責任公司」は「有限公司」、「股份有限公司」は「株式会社」とした。

2.4.1 浙江神州量子通信技術有限公司 (Zhejiang Shenzhou Quantum Communication Technology Co., Ltd.)

所在地	浙江省嘉興市桐郷市高橋街道高橋大道1156号3棟18階	会社規模	50人未満
資本金	8500 万人民币元	起業年	2015/11/10
法定代表人	裘高尧(QIU Gaoyao)	被保険者数	14人

馬雲 (马云、JACK Ma) の「達摩研究所」が量子技術に注目していた 2015 年以前より、量子通信の第一号銘柄の座を持つなど、歴史のある会社であった。しかし、業績の悪化等により杭州敦義投資組合による買収などを経て、現在の体制となっている。⁶³ 業務内容として、量子通信のバックボーン、ウェブサイトの構築・運営、付加価値通信事業、量子通信技術、一般量子技術、情報システム技術の技術開発、技術サービス、技術相談、技術成果の移転、ネットワーク通信セキュリティのソフトウェア・ハードウェア製品の開発、コンピュータシステムインテグレーションサービス、量子通信エンジニアリングの構築・総合請負、量子通信、古典通信、ネットワークセキュリティのハードウェア・ソフトウェアシステムの販売、電子製品の販売、工業デザインがある。

2.4.2 安徽問天量子科技株式会社 (Anhui Qasky Quantum Technology Co. Ltd.)

所在地	安徽省蕪湖市高新技術産業開発区峨山路宇盛商務センター	会社規模	100-199人
資本金	5854 万人民币元	起業年	2009/7/15
法定代表人	韓正甫(韩正甫、HAN Zhengfu)	被保険者数	114人

郭光灿院士 (中国科学技術大学) を研究開発リーダーとし、現在、アカデミックワークステーション、安徽省の量子安全工学技術研究センター、蕪湖と合肥の 2 つの研究開発センター、量子情報イノベーションプラットフォームを構築しており、180 人以上の従業員を擁している。その中には、アカデミックワークステーションの学術担当者 1 人、蕪湖と合肥の研究開発センターの 90 人以上の研究開発スタッフ、2 人のポスドク、6 人の博士号取得者、34 人の修士号取得者以上の人材が含まれている。

2.4.3 国家电网有限公司 (State Grid Corporation of China)

所在地	北京市西城区西長安街86号	会社規模	900-999人
資本金	8295 億人民币元	起業年	2002/12/29
法定代表人	辛保安(XIN Baoan)	被保険者数	968人

中央政府直轄の完全国有企業である。2021 年には、Fortune Global 500 の第 2 位に選ばれた。過去 20 年間、世界で最も長く安全なメガグリッドの記録を打ち立て続け、数々の超高压送電プロジェクトを建設し、送電容量では世界最強の電力網、新エネルギーの送電網接続では最大規模の送電網となった。フィリピン、ブラ

⁶³ 「中国量子通信技术国际领先 预计普及性应用还需 5 年」 毎日経済新聞、2017 年 10 月 17 日。

ジル、ポルトガル、オーストラリア、イタリア、ギリシャ、オマーン、チリ、中国・香港など9つの国と地域で基幹エネルギーネットワークへの投資と運営を行っており、国務院国有資産監督管理委員会の業績評価では17年連続でAランク、国際的な3大格付機関であるスタンダード&プアーズ、ムーディーズ、フィッチの3社からは9年連続で国家ソブリン格付けを受けている。

2.4.4 アリクラウド計算有限公司 (Alibaba Cloud Computing)

所在地	浙江省杭州市西湖区転塘科技経済区12号	会社規模	1000-1999人
資本金	10億 人民元	起業年	2008/4/8
法定代表人	張建鋒 (張建鋒、ZHANG Jianfeng)	被保険者数	1112人

世界最大のeコマース企業の1つであるAlibaba Groupに属している。また、エコシステム内の売り手やその他のサードパーティに包括的なクラウドコンピューティングサービスを提供している。2015年7月30日に中国科学院との量子分野における共同研究に関する署名を発表した。新しい研究所は、古典的なコンピューティングアルゴリズム、アーキテクチャ、クラウドコンピューティングにおける技術的利点と、量子コンピューティングとシミュレーション、および量子人工知能におけるCASの利点を組み合わせて、次世代の超高速を探索するといったことを目的としている。

2.4.5 科大国盾量子技術有限公司 (QuantumCTek)⁶⁴

所在地	安徽省合肥市高新区望江西路800創新産業園D3ブロック1、3、4、5、6、7階	会社規模	—
資本金	8000 万人民币元	起業年	2009/5
法定代表人	彭承志(PENG Chengzhi)	被保険者数	232人

商業化された量子情報技術(QIT)の中国のパイオニアかつリーダーであり、QIT対応のICTセキュリティ製品およびサービスの世界最大のメーカーおよびプロバイダーの1つになっている。国盾量子は、継続的なイノベーションと量子科学およびテクノロジーのオープンコラボレーションに基づいて、テレコムインフラストラクチャ、エンタープライズネットワーク、クラウドコンピューティング、およびビッグデータテクノロジーとサービスにおける量子セキュアソリューションの競争力のあるQITポートフォリオの提供に取り組んでいる。国盾量子のソリューション、製品、およびサービスは、政府、金融、エネルギー業界などで使用されており、多数のユーザーに長期的な量子安全性を保証している。これまでに1000を超える量子セキュア製品が製造され、6000kmを超える通信リンクを保護している。

⁶⁴ 中国人民解放軍の量子コンピュータへの取組みを支援しているとして、米国商務省は2021年11月24日付で公表のエンティティリストに同社を登録した。

2.4.6 山東量子科学技術研究院有限公司 (Shandong Institute of Quantum Science and Technology Co., Ltd)

所在地	山東省済南市高新技术区新朗街 1768号齐鲁ソフトウェアパークビルBブロック7階	会社規模	50-99人
資本金	7049.06 万人民币元	起業年	2010/3/2
法定代表人	趙勇(赵勇、ZHAO Yong)	被保険者数	65人

山東省政府と中国科学技術大学の間の戦略的協力に基づいた機関である。自社開発の量子セキュア通信システムおよび光電子デバイスシリーズ製品は、政府、金融、政治の分野で広く使用されており、法律および情報セキュリティのニーズが高い電気、運輸、その他の業界にまで展開されている。現在、山東省企業アカデミックワークステーションと州工学技術研究センターを設立し、「ハイテク企業」、「ソフトウェア企業」、CMMI L4、品質管理システム、情報システム統合、サービスの3レベルの資格に合格している。多数の国家「863」計画、主要な州レベルの科学研究プロジェクト、州レベルの戦略的新興産業プロジェクト、および州レベルの科学技術革新プラットフォームの構築に着手しており、独立した知的財産権を持つ技術や製品の数は、国内業界で一番多い。

関係機関

中華人民共和国科学技術省、中国科学技術大学、山東省科学技術部、山東情報通信技術研究所、済南量子技術大学、科学技術大学国盾量子技術株式会社

2.4.7 合肥本源量子計算科技有限公司 (Hefei Origin Quantum Computing Technology Co., Ltd)

所在地	合肥市高新技术区革新大道2800号革新工業園2号館E2棟6階	会社規模	100-199人
資本金	627.3767 万人民币元	起業年	2017/9/11
法定代表人	張輝 (张辉、ZHANG Hui)	被保険者数	100人

中国における量子コンピューティングのリーディングカンパニーであり、合肥ハイテクゾーンに本社を置き、北京、上海、成都、深圳に支社がある。合肥本源量子計算科技有限公司の技術は、中国科学院量子情報重点実験室を起源とし、量子コンピュータの研究開発、普及、応用に焦点を当て、量子コンピュータのフルスタック、各種ソフトウェア、ハードウェア製品の開発に注力し、中国の技術指標をリードしており、400件以上の知的財産権の成果を上げている。2020年9月、量子コンピューティングの科学研究から工学実装までの第一目標を完成し、国内の独立制御可能な超伝導量子コンピューティングクラウドプラットフォームをリリースし、量子コンピューティング産業実装の目標に向かって進んでいる。

関係者

郭光灿、郭国平、張輝 (张辉、ZHANG Hui)、孔偉成 (孔伟成、KONG Weicheng)、趙勇傑 (赵勇杰、ZHAO Yongjie)、賈志竜 (贾志龙、JIA Zhilong)、陳昭昀 (陈昭昀、CHEN Zhaoyun)

2.4.8 百度量子計算研究所 (Baidu Institute of Quantum Computing)

所在地	北京市海淀区北坨王東路10号百度科技园	会社規模	—
資本金	—	起業年	2018/3/8
法定代表人	—	被保険者数	—

量子コンピューティングの時代に備えて、量子技術の準備、量子人材の育成、新たな量子ビジネスの開拓を広範囲に展開し、量子人工知能の世界的な研究機関を構築するとともに、量子コンピューティングを Baidu のコア技術やビジネスと継続的に統合し、量子技術のイノベーションビジネスを模索している。百度量子計算研究所は、現在、百度研究院 (Baidu Research Institute) の一部となっており、量子 AI、量子アルゴリズム、量子アーキテクチャを中心に、量子ソフトウェアや情報技術の応用に注力している。百度の量子プラットフォームは、包括的な量子インフラのサービスを提供するように設計されており、大学 / 研究機関との連携、トップカンファレンスの開催 / スポンサー、関連産業の強化などを通じて、量子コンピューティング分野の発展と繁栄に貢献し、「Quantum for All」というビジョンの実現を目指している。

2022 年 8 月 25 日に開催された量子開発者会議において、同社は 10 量子ビットのプロセッサを搭載した同社初の超伝導量子コンピュータ「乾始 (Qianshi)」と世界初のオールプラットフォーム量子ソフトウェアおよびハードウェアソリューション「量義 (Lianxi)」を公開した。外部ユーザーの利用も可能としており、既に 36 量子ビットの量子チップの設計を進めていると発表した。また、その会議において潘建偉は、「量子コンピュータの実用化・産業化にはまだ長い道のりがあり、政府、産学、研究、利用の各方面の積極的な参加と密接な協力が必要である」と述べた。

2.4.9 中国電子科学技術集团公司 第 14 研究所 (14th Research Institute's Intelligent Sensing Technology Key Laboratory, China Electronics Technology Group Corporation's)

所在地	北京市海淀区万寿路27号	会社規模	—
資本金	200億人民幣元	起業年	2002/2/25
法定代表人	陳 肇 雄 (陈 肇 雄 、 CHEN Zhaoxiong)	被保険者数	199人

中央政府が直接管理する重要な国有基幹企業であり、国内の軍用電子機器・ネットワーク情報事業に大きく関与しており、国家戦略科学技術の集団ともいわれている。電子・情報分野の科学技術革新システムが比較的充実している CETC は、軍用電子機器やネットワーク情報の分野で圧倒的な地位を占めており、科学技術の自立と向上を支援し、国防の近代化を促進し、デジタル経済の発展を加速させ、国民の生活に貢献するという重要な責任を担っている。現在、47 の国立研究機関と 11 の上場企業を含む 500 以上の企業・機関、11 万人の研究者を含む 20 万人以上の従業員、35 の国家重点研究室、研究センター、イノベーションセンターがある。長年にわたり Fortune Global 500 に掲載されており、2020 年には 381 位にランクインしている。

⁶⁵ 百度量子計算研究所、CCTV(北京で量子開発者会議を開催)などを参照。

⁶⁶ 第 14 研究所の HP にアクセスすることができなくなり、中国電子科技集团公司の紹介となっている (2022 年 5 月 30 日確認)。

2.4.10 国开启科量子技術 (北京) 有限公司 (QUDOOR / Qike Quantum)

所在地	北京市海淀区西北王東路10号東 区5号ビル1F 108-1	会社規模	50人未満
資本金	3500 万人民币元	起業年	2016/4/14
法定代表人	陳柳平(陈柳平、CHEN Liuping)	被保険者数	26人

量子情報技術分野における技術チームの20年にわたる優れた技術の蓄積と豊富な製品経験を活かして、量子通信機器の製造と量子コンピュータのフルスタック開発に注力している。また、量子コンピュータ、量子通信のコア技術の蓄積と製品開発能力を併せ持つ中国初の革新的技術企業となっている。

启科量子は量子コンピュータの分野で、2020年に分散型イオントラップ量子コンピュータの研究開発を開始した。また、イオントラップチップ、精密レーザーシステム、量子ビット光電計測制御システム、高速電子タイミング制御システム、量子プログラミング言語、量子クラウド、量子アルゴリズムライブラリ、量子アプリケーションなどの各種システムの研究開発も進めており、2021年に中国初のイオントラップ量子コンピュータ AbaQ-1 を立ち上げ、2023年に完成予定の量子ボリューム1億以上であり、100量子ビットの分散型イオントラップ量子コンピュータの基礎を固めるとともに、中国国内の保険、証券、新薬研究開発、暗号・復号などの分野のトップ企業との協力関係を構築し、産業応用の深い東ね方を実現し、市場のエコロジーを構築している。

なお現在、100件以上のコア特許を申請・取得しており、年内には150件に達する見込みである。また、非特許のコア技術も多数保有しており、10件の国家標準や業界標準、国家標準の研究作業を行っている。

最後に、量子コンピューティング分野で存在感を示すベンチャー企業として、上述の本源量子 (Origin Quantum) と启科量子 (Qudoor) に加え、量旋科技 (SpinQ) と云稻量子 (Yuntao Quantum) が挙げられる。図表 2-13 に4社の概要をまとめた。

図表 2-13 中国の量子コンピュータスタートアップ



https://d-maps.com/carte.php?num_car=11576

量旋科技 Spinq

www.spinq.cn

深圳量旋科技有限公司。2018年8月設立。本社：深圳。
教育・研究用のデスクトップ量子コンピュータを開発。約1テスラの永久磁石を用いたNMR方式。2量子ビットを備えた第一世代製品「Spinq Gemini」(70×40×80cm、55kg)を5万ドルで販売し、中国、台湾、カナダの機関に出荷済みと報じられている[4]。今後5000ドル未満の新型機を販売する計画も発表されている。
<https://www.discovermagazine.com/technology/a-desktop-quantum-computer-for-just-usd5-000>

启科量子 Qudoor / Qike Quantum

<http://www.qudoor.cn/>

国开量子技术有限公司。2016年4月設立。本社：北京。
中関村ハイテクパークを拠点とする量子通信企業。量子暗号鍵配送や量子乱数発生などのコア技術を持有する。2020年に、分散型イオントラップ量子コンピュータの研究開発を開始、プログラミング言語やクラウドプラットフォームまで含めたフルスタック開発に注力。中国初のイオントラップ量子コンピュータAbaQ-1を2021年に発売予定。
<https://mmxx.news/ja/science/10a688451a3c62757e0b4f92649e03b1.html>

本源量子 Origin Quantum

<https://qcloud.originqc.com.cn/>

合肥本源量子計算科技有限责任公司。2017年9月設立。本社：合肥。
中国で初となる量子コンピューター企業。中国科学院量子情報研究所（中科院量子信息重点实验室）からのスピンオフ。量子コンピュータのフルスタック開発とクラウドプラットフォーム運用事業を展開。超伝導量子ビットを用いた量子プロセッサを10種類以上発表しており、クラウド利用する企業は100社超と報じられている[3]。
<https://36kr.jp/114294/>

云韬量子 Yuntao Quantum

深圳市云韬量子科技有限公司。2018年4月設立。本社：深圳。
量子計算の商用アプリケーション開発[5]。2018年に「Bayesforge量子AI開発環境」をリリースし、研究・教育機関との戦略的協力を進めている。量子古典ハイブリッド計算による化学薬品開発と財務リスク最適化を主なターゲットとする。創業者の殷涛(Tao Yin)はフランクフルト大で博士号取得。カナダの「量子機械学習」起業家PJ退出。
<https://www.qtmist.com/post/9842>

出典：科学技術振興機構 研究開発戦略センター (CRDS) 作成

2.5 注目研究者

本節では、第1章における論文・特許データを基に、中国の量子研究コミュニティにおけるポジション等を勘案し、注目研究者として5名選出し、簡単なプロフィールを紹介する。

2.5.1 潘建偉 (潘建伟, PAN Jianwei)

中国科学技術大学 量子物理・量子情報研究部部長・教授、中国科学院量子情報・量子科学技術イノベーション研究院理事長・院長、中国科学院院士。実験物理学博士(ウィーン大学)。主に量子光学、量子情報、量子力学の基本的な問題の検証に関する研究に従事し、「中国量子の父」と呼ばれる。量子通信、量子コンピュータ、多光子もつれ操作などの研究で成果を上げ、中国のみならず量子情報実験研究を最も急速な発展に導いた国際的先駆者の一人である。1999年に発表された潘らの量子不可視化に関する研究は、レントゲンのX線発見やアインシュタインの相対性理論確立と並んで、イギリスの雑誌*Nature*の「物理学における世紀の名論文21選」に選ばれ、*Nature*の「今年の重大科学事件」、*Science*の「今年の科学的進歩トップ10」、英米物理学会の「今年の物理学上の重大進歩」、「中国における今年の科学的進歩トップ10」に選ばれた。2001年にオーストリアより帰国し、USTCに量子物理・量子情報の研究室を設立し、中国科学院より重点実験室の指定を受けた。2015年よりUSTC常務副学長を、2016年より中国科学院量子情報・量子科学技術イノベーション研究院理事長・院長に就任している。2012年と2014年に潘らは世界最大の量子通信ネットワーク「合肥市量子通信実験実証ネットワーク」と「済南量子通信実験ネットワーク」を構築し、大容量都市量子通信ネットワーク技術の成熟を示したことで、CASによる量子情報および量子科学技術のフロンティ

アにおける卓越性センターの設立に関わった。これまでの功績により、中国政府より国家自然科学一等賞、軍科学技術進歩一等賞、未来科学賞物質科学賞、香港科学技術財団優秀科学者賞、和霊李財団科学技術功績賞、中国科学院優秀科学技術賞を受賞している。

2.5.2 薛其坤 (XUE Qikun)

北京量子情報科学研究院院長、南方科技大学学長、中国科学院院士。1994年に中国科学院物理研究所で博士号を取得。国際的に有名な実験物理学者であり、2012年末に磁気トポロジカル絶縁体膜を用いて世界で初めて量子異常ホール効果を発見した。

2.5.3 郭光灿 (GUO Guangcan)

中国科学院量子情報重点実験室室長、教授、中国科学院院士。1980年代から量子光学の研究に着手し、中国における量子通信・量子コンピューティングの理論と実践を拓いた第一人者。2.5.2で紹介した安徽問天量子科技株式会社の研究開発チーム長であり、当実験室の技術を起源とする合肥本源量子計算科技有限公司(2.5.7参照)においても研究開発グループの一員を務めている、なお、両社の株主でもある。

2.5.4 郭国平 (GUO Guoping)

中国科学院量子情報重点実験室副室長、教授、マイクロエレクトロニクス学部副学部長。物理学博士(2005年、中国科学技術大学)。実践的な量子コンピュータの開発と応用。郭光灿の研究室の卒業生⁶⁷。青年基金「万人計画」リーダー、長江学者特聘教授。合肥本源量子計算科学技術有限責任公司の研究開発グループの一員であり、同社の株主でもある。

2.5.5 俞大鹏 (YU Dapeng)

南方科技大学教授、量子科学工学研究所所長、中国科学院院士。固体物理学博士(1993年、パリ南大学、パリ第11大学)。量子材料研究を牽引する第一人者である。約2億元の研究費が投じられた「深圳量子科学工学研究所」の創設に携わり、2018年1月、600平方メートルの国際第一級の量子デバイスおよび量子チップ処理センターを同市に設立、量子コンピューティングの研究に従事している。

2.6 国際協力・国際共同研究

科技部や他の政府機関が主導するような量子分野における国際協力事例は特定できなかったが、研究者同士による国際協力や国際共同研究はよくみられる。なにより、中国における量子研究の国際共同研究となると、米国において計算と通信の基礎理論を構築した清華大学学際情報学研究院院長の姚や、量子通信の実験をウィーン大学でおこなっていたUSTCの潘がすぐにも連想される。姚は2010年から清華大学の高等研究院(CATSU)の教授になるまで米国で研究をしていた。また、2015年にアメリカ市民権を放棄し、中華人民

⁶⁷ 中国科学院(2022)「郭国平：做量子领域的“孤勇者”」

共和国籍を取得した一方で、米国科学アカデミーの会員、アメリカ芸術科学アカデミーのフェロー、アメリカ科学振興協会のフェローなども務めているため、国際共同研究は継続していることが推察される。潘はUSTCの助教となった一年後の1996年に、オーストリアにあるインスブルック大学のアントン・ツァイリンガー (Anton Zeilinger) の指導を受けた。ツァイリンガーは量子物理学者であり、米国のグリーンバーガー (Daniel M. Greenberger)、ホーン (Michael A. Horne) とともに量子もつれの状態「グリーンバーガー＝ホーン＝ツァイリンガー状態」⁶⁸についての論文を1989年に公表した量子科学研究の先駆者である。なにより、複数光子の量子もつれの生成、それを用いたベルの不等式の破れの検証、そして量子情報科学を開拓し基礎づけた業績により、2022年のノーベル物理学賞を受賞した。⁶⁹

本節では、研究者コミュニティにおける国際共同研究に着目することとし、以下で最近の国際共同研究事例を紹介する。

- 2020年7月、南京大学物理学部の王雷とコロンビア大学物理学部が共同で、二層構造遷移金属ダイカルコゲナイド (WSe₂) のねじれにおいて電子相関状態を発見し、スピン液体や強相関によって引き起こされる絶縁状態の探索に新しい方向を拓いた^{70,71}。
- 2021年3月に、USTCの潘、朱曉波 (朱晓波, ZHU Xiaobo)、陳ら、清華大学の馬雄峰 (马雄峰, MA Xiongfeng) らとオックスフォード大学等が、共同で超伝導量子ビットを用いた5量子ビット誤り訂正符号の実験探索を実施した⁷²。校正と対ゲートパラメータの最適化により、1ビットゲートの平均忠実度を0.9993、2ビットゲートの平均忠実度を0.986とした。また、1量子ビット回転ゲートと2量子ビット制御フェーズゲートを使用するだけで、ロジック状態のエンコーディングとデコーディングを実現させた⁷³。
- 21年4月、USTCの潘と張および南方科技大学の范靖 (FAN Jing) が、それぞれヨーク大学のRoger Colbeck、清華大学の馬と共同で、異なる理論アプローチを用いて、国際舞台で初めてデバイス独立型の量子乱数展開を達成し、デバイス独立型量子乱数の実用化への確固たる基礎を築いた^{74,75,76}。

⁶⁸ Greenberger, D.M., Horne, M.A., and Zeilinger, A. (1989) [Going beyond Bell's theorem](#). In *Bell's Theorem, Quantum Theory, and Conceptions of the Universe*, edited by M. Kafatos Dordrecht: Kluwer Academics, pp. 73-76.

⁶⁹ [The Nobel Prize in Physics 2022](#) のサマリーより。

⁷⁰ 南京大学科学技术处 (2020) 「[物理学院王雷教授在双层转角过渡金属硫化物输运测量研究中取得重要进展](#)」

⁷¹ Wang, L., Shih, E.M., Ghiotto, A., Xian, L., Rhodes, D.A., Tan, C., Claassen, M., Kennes, D.M., Bai, Y., Kim, B., Watanabe, K., Taniguchi, T., Zhu, X., Hone, J., Rubio, A., Pasupathy, A.N., Dean, C.R.(2020) [Correlated electronic phases in twisted bilayer transition metal dichalcogenides](#). *Nature Materials*, Volume 19, pp.861-866.

⁷² 中国科学院 (2021) 「[【科技日报】中外科学家实现量子纠错“完美编码”](#)」

⁷³ Ming G., Yuan, X., Wang, S., Wu, Y., Zhao, Y., Zha, C., Li, S., Zhang, Z., Zhao, Q., Liu, Y., Liang, F., Lin, J., Xu, Y., Deng, H., Rong, H., Lu, H., Benjamin, S.C., Peng, C.-Z., Ma, X., Chen, Y.-A., Zhu, X., and Pan, J.-W. (2021) [Experimental exploration of five-qubit quantum error-correcting code with superconducting qubits](#). *National Science Review*, Volume 9, Issue 1, nwab011

⁷⁴ 中国科学技术大学 (2021) 「[中国科大实现设备无关量子随机性扩展实验](#)」

⁷⁵ Liu, W.-Z., Li, M.-H., Ragy, S.H., Zhao, S.-R., Bai, B., Liu, Y., Brown, P., Zhang, J., Colbeck, R., Fan, J., Zhang, Q., Pan, J.-W.(2021) [Device-independent randomness expansion against quantum side information](#). *Nature Physics*, Volume 17, pp.448-451.

⁷⁶ Li, M.-H., Zhang, X., Liu, W.-Z., Zhao, S.-R., Bai, B., Liu, Y., Zhao, Q., Peng, Y., Zhang, J., Zhang, Y., Munro, W.-J., Ma, X., Zhang, Q., Fan, J., and Pan, J.-W. (2021) [Experimental Realization of Device-Independent Quantum Randomness Expansion](#). *Physical Review Letters*, Volume 126, 050603.

- 21 年 9 月には、USTC の潘と張らが、マサチューセッツ工科大学の Frank Wilczek と共同で、済南量子技術研究所で開発した周期分極ニオブ酸リチウム導波路を用いて色消し強度干渉計を製作し、システムの高い空間分解能イメージング能力を検証することに成功した。⁷⁷この技術は、天体観測、宇宙リモートセンシング、スペースデブリの検出などへの応用が期待されている。⁷⁸
- 21 年 11 月、CAS 微小磁気共鳴重点研究所の彭新华 (PENG Xinhua) らとドイツ・ヘルムホルツ研究所の Dmitry Budker らは、新しい超高感度量子精密測定技術を開発した。⁷⁹この新しい技術は暗黒物質の実験的直接探索において、これまでの国際最高値を少なくとも 5 桁も上回り、宇宙天文学の境界を初めて突破した。⁸⁰
- 21 年 12 月、北京大学物理学部の王剑威 (WANG Jianwei) が、ブリストル大学およびデンマーク工科大学の研究者と共同で、リソース効率の高いフォトリソグラフィアーキテクチャを用いて量子誤り訂正符号化を実装し、それによって量子アルゴリズムの性能を向上できることを示した。^{81, 82}また、アジア、北米、ヨーロッパ、オーストラリアにおける光量子チップ分野の研究優先順位、資金援助や成果もまとめており、光量子チップは、大規模集積光学技術と量子情報技術を完全に統合し、量子コンピューティング、シミュレーション、通信、精密計測に新しい変化をもたらすと期待すると述べている。⁸³

なお、2021 年 11 月には、USTC、韓中科学技術協力センター (KOSTEC) と高等科学院が、中国と韓国の量子情報分野の交流を促進し、双方の国際研究協力プラットフォームの構築を促すために、「2021 中国 - 韓国量子情報ワークショップ」を共催した。2021 年は中国と韓国が国交 30 周年を迎える年であり、両国で国際協力のプラットフォームを構築する等、学生交流、人材交流、研究協力を促進し、革新と統合の新たな発展を模索するとしている。

また、中国はパキスタンとの科学技術に関する協定を 1976 年に結んでおり、いまでも継続されている。また、2022 年 7 月には中国・パキスタン技術投資会議が行われ、その中でパキスタン技術特区庁 (STZA) のジャヴェイド・イクバル (Javaid Iqbal) 氏は「パキスタンの人口的優位性は、中国のテクノロジー企業や研究機関にとって独自の投資基盤となり、特に人工知能、クラウド、量子コンピュータ、半導体、モノとインターネット、スマート機器の設計・製造などの新興技術で、両国は共同研究開発により多大な利益を得られる」と述べた。⁸⁴また、中国共産党第 20 回全国代表大会においてモイン・ハク中国駐在パキスタン大使は、宇宙

⁷⁷ 中国科学技术大学量子物理与量子信息研究部 (2021) 「中国科大完成基于颜色擦除强度干涉的高空间分辨成像」

⁷⁸ Liu, L.-C., Qu, L.-Y., Wu, C., Cotler, J., Ma, F., Zheng, M.-Y., Xie, X.-P., Chen, Y.-A., Zhang, Q., Wilczek, F., Pan, J.-W. (2021) [Improved Spatial Resolution Achieved by Chromatic Intensity Interferometry](#). *Physical Review Letters*, Volume 127, Issue 10, 103601.

⁷⁹ 中国科学技术大学物理学院 (2021) 「我院彭新华研究组在量子精密测量和暗物质探测领域同时取得重大进展」

⁸⁰ Jiang M., Su H., Garcon, A., Peng, X., and Budker D. (2021) [Search for axion-like dark matter with spin-based amplifiers](#). *Nature Physics*, Volume 17, pp.1402-1407.

⁸¹ 北京大学人工微结构和介观物理国家重点实验室 (2021) 「王剑威研究员和龚旗煌院士课题组与合作者在光量子计算芯片研究中取得重要进展」

⁸² Vigiari, C., Paesani, S., Ding, Y., Adcock, J.C., Wang, J., Morley-Short, S., Bacco, D., Oxenløwe, L.K., Thompson, M.G., Rarity, J.G., Laing, A. (2021) [Error-protected qubits in a silicon photonic chip](#). *Nature Physics*, Volume 17, pp.1137-1143.

⁸³ Pelucchi, E., Fagas, G., Aharonovich, Igor., Englund, D., Figueroa, Eden., Gong, Q., Hannes, H., Liu, J., Lu, C.Y., Matsuda, N., Pan, J.-W., Schreck, F., Sciarrino, F., Silberhorn, C., Wang, J., and Jöns, K.D. (2022) [The potential and global outlook of integrated photonics for quantum technologies](#). *Nature Reviews Physics*, Volume 4, pp.194-208.

⁸⁴ パキスタン技術特区庁ニュース「4500 社の中国テック系企業、STZA と在北京パキスタン大使館主催の中国・パキスタン技術投資会議に参加」2022 年 7 月 20 日。

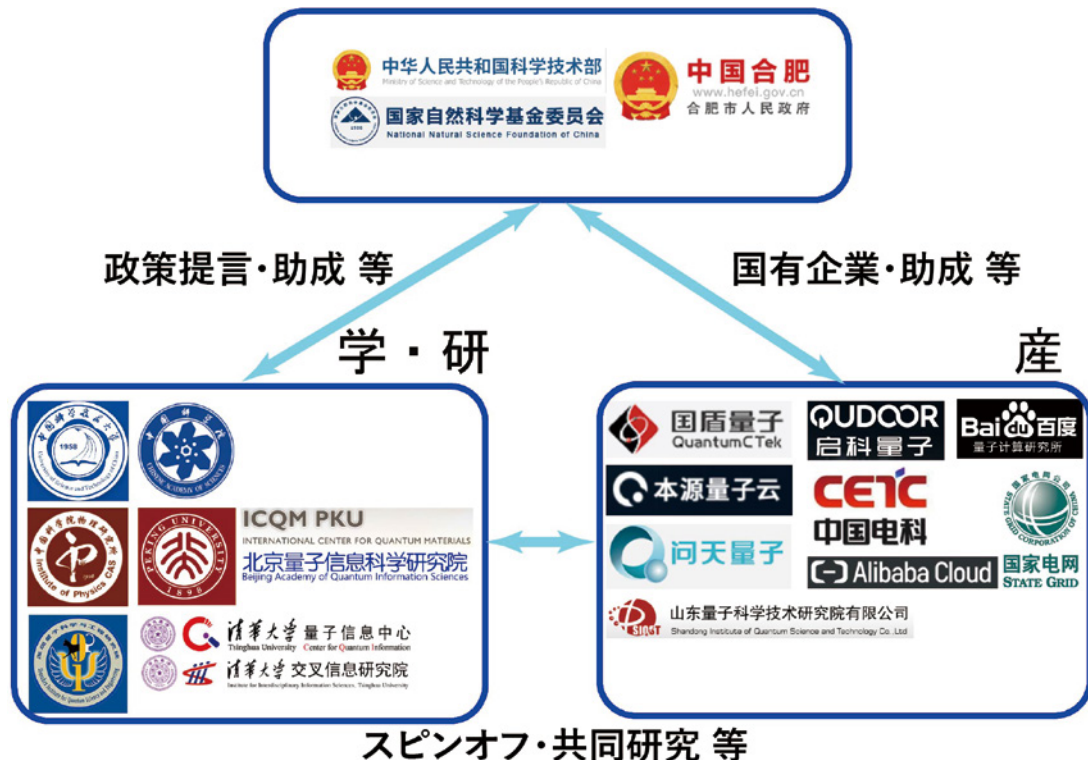
技術や量子コンピューティングといった科学研究の成果から、「引き続き中国側と緊密に協力し、中国・パキスタン経済回廊の質の高い建設を加速することを楽しみにしている」と述べた。⁸⁵さらに、シャバズ・シャリフ首相は環球時報（環球時報，Global Times）における寄稿で「中国の急速な技術進歩を評価し、量子コンピュータ、ロボット、人工知能、ビッグデータなどの新興・スマート技術において中国との協力を拡大する用意がある」と述べていた。⁸⁶

2.7 量子イノベーションエコシステム

これまで示した各機関や研究者および中国の政策の在り方を考慮すると、プロジェクトごとによっては異なるものの、USTC と CAS を中心としたコミュニティが大きな影響力を有している。なにより、科学技術に関する政策は国務院等といった中央政府が発出するものの、CAS は政策策定時において政策提言を実施する機関でもあるため、CAS を中心とした構図が容易に想像できる。以上より、中国における量子イノベーションエコシステムは下記のようなものと推察される（図表 2-14）。

なお、各地方政府も大きな予算を出しているものの、中央政府発出の政策に従っており、大きな特色もみられないために、国家・市政府レベルのものは科技部、国家自然科学基金と合肥市に留めている。また、研究機関や大学は多くあるため、2.3 に示したものに留めている。また、企業についても同様に、2.4 に示したものに留めている。

図表 2-14 中国の量子イノベーションエコシステム



出典：APRC 作成

⁸⁵ 新华社 (2022) 「中共二十大将推动中国向着民族复兴迈出坚实步伐」——专访巴基斯坦驻华大使莫因・哈克」新华社，

⁸⁶ 夏巴兹・谢里夫 (2022) 「巴基斯坦总理谢里夫在《环球时报》撰文：巴中友谊——信任与爱始终不渝」环球时报，

3 インドの量子技術動向

インドの量子技術政策は2017年から始まった。科学技術庁による投資を中心に、インド宇宙研究機関、国防研究開発機構、ラマン研究所やタタ基礎研究所といった公的研究機関と、インド科学教育研究大学プネ校、インド理工科大学、インド工科大学マドラス校などの有力大学が研究開発を主導している。2019年には、政府が5年間で約1300億円を投じる国家ミッションを発表した。これにより、政府は米中に並ぶ巨額投資により研究開発コミュニティを急速に拡大し「自立したインド」にむけた量子技術の国産化を目指す。

3.1 量子技術政策の動向

世界的な量子技術の開発競争において、インドは後発の参加者である。政策としての量子技術開発は、2017年、インド科学技術庁（DST: Department of Science and Technology）による量子応用科学技術プログラム（QuEST: Quantum Enabled Science and Technology program）が始まりであった。米国・英国・中国といった量子技術政策の先進国との競争に参加すべく、政府は2019年に量子技術開発を大型国家的ミッションの1つと位置づけ、2020年-21年度予算において米国、欧州、ロシアと並ぶ大規模な投資を発表した。第1章で見た論文数の高い伸び率にも示されるように、インドは今まさに量子技術開発の拡大期にある。

インドはこれまで国家としての科学技術イノベーションに関する中・長期目標について、政策文書を4度定めている。それぞれ「科学政策決議1958（S&T policies, Scientific Policy Resolution, 1958）」、「技術政策声明1983（Technology Policy Statement, 1983）」、「科学技術政策2003（Science and Technology Policy 2003）」、「科学技術イノベーション政策2013（STIP2013: Science, Technology and Innovation Policy 2013）」である。しかしSTIP2013までは量子技術に関する言及はなく、現在策定中の次期政策文書「科学技術イノベーション政策2020（STIP2020: Science, Technology and Innovation Policy 2020）」¹で初めて、2カ所において言及されている。まず、量子技術は社会、経済、環境を変革する破壊的な新興技術であり、革新的な戦略、開発、ガバナンス等が必要な分野として、量子Internet of Things (IoT) がブロックチェーンやAIと共に取り上げられている。また、ナレンドラ・モディ首相が掲げる「自立したインド（Atmanirbhar Bharat Abhiyaan）」という大目標に向けて、「大型国家的ミッション」により技術の自立と国産化を追求する分野として、「量子フロンティア」が深海探査やAIと共に提言されている。前者の「量子IoT」についての具体的な施策は明らかになっていないが、後者の「量子フロンティア」の大型国家的ミッションについては、その具体的な施策が示されている。

大型国家的ミッションは、科学技術イノベーションに関する首相のアドバイザーである主任科学顧問(PSA: Principal Scientific Adviser)が組織する「首相の科学技術イノベーション諮問委員会」(PM-STIAC: Prime Minister's Science and Technology Innovation Advisory Council)により、重要性が高く国家的に研究開発を促進すべき9分野²について定められている³。そのうち、STIP2020にも明示されている4分野、深海探査、国家言語翻訳、AI、量子フロンティアは具体的な施策が承認されている。以下では、この量子分野の大型国家的ミッションを中心にインド政府によるこれまでの量子技術研究開発に関する政策を概観する。

¹ DST, “Science Technology Innovation Policy 2020” (2020年12月ドラフト版)。

² 国家言語翻訳、量子フロンティア、AI、国家生物多様性ミッション、電気自動車、人間の健康のためのバイオサイエンス、Waste to Wealth、深海探査、AGNli (Accelerating Growth of New India's Innovations) の9分野。

³ PSA 室「首相の科学技術イノベーション諮問委員会」最終アクセス：2022年6月16日。

3.1.1 量子技術とその応用に関する国家ミッション（NMQTA）

先の9分野のうち「量子フロンティア」に関する大型国家的ミッションは“量子技術とその応用に関する国家ミッション”（NMQTA: National Mission on Quantum Technologies and Applications）と呼ばれており、ミッションを主導する機関は、DST の他、インド宇宙研究機関（ISRO: India Space Research Organisation）、原子力庁（DAE: Department of Atomic Energy）、国防研究開発機構（DRDO: Defence Research and Development Organisation）、電子情報技術省（MEITY: Ministry of Electronics and Information Technology）が定められている。幅広い量子技術の開発と、量子技術研究領域におけるエクセレンスを目指したインフラ環境及び人材基盤の構築を目標に、2020～2021年度予算として5年間で800億ルピー（1376億円、1ルピー＝1.72円）を割り当てることが2020年2月にインド政府より発表された。しかしながら実際には、その後世界的な新型コロナの大流行もあり、当初想定された予算の支出の目処は立っていない。

NMQTA の公式政策文書はなく、DST の下部組織である技術情報予測・評価協議会（TIFAC: Technology Information Forecasting and Assessment Council）が、コンセプトノートドラフトを作成（2019年6月12日版）している⁴。コンセプトノートドラフトに基づき NMQTA の概要を紹介する。

NMQTA がターゲットとする活動は以下の通りである。

①基礎研究・技術開発・実証

量子コンピュータと量子シミュレーション、量子材料と量子デバイス、量子通信、量子センサと量子計測など、幅広い量子技術及び関連分野について基礎研究、技術開発・橋渡し研究といった研究開発を促進する。特に、量子コンピュータ、量子通信（光ファイバー、自由空間）、量子鍵配送については実証を行う。また、国家的優先事項に関連する技術、プロトタイプを開発し、関連するアプリケーションを実証する。

②量子技術開発センター（C-DOQ: Centre for Development of Quantum Technology）の創設

NMQTA ミッションの中核として C-DOQ を創設する。C-DOQ は全ての NMQTA の活動を管理する中核拠点として機能し、全てのミッションはこのセンターを通じて実施する。技術開発、橋渡し研究、応用、運用、商業化の5つの部門からなり、インド国内外の研究機関との連携や協力関係を構築するほか、政府、産業界、業界団体、スタートアップエコシステム、規制団体等とも連携し、世界レベルの製品開発実現を目指す。

③人材育成

大学院生レベルから教員レベルまでの量子技術の先端分野における人材を育成する。インドのシンクタンクであるオブザーバー研究財団（Observer Research Foundation）がインドの現状を、「量子コンピュータ分野の研究者、業界関係者、学術関係者、起業家についても数百人程度しかおらず、中国や米国と比べると大きく遅れをとっている」と述べるように⁵、人材育成はインドの量子技術政策として重要な課題の1つである。NMQTA では、急速に成長する量子情報科学分野において高度な技術をもつ人材を確保するため、人材育成として、開始から5～7年の間に、ソフトウェア、ハードウェアにまたがる約25000人の人材を育成することが目標とされている。その内訳は図表3-1の通りである。

⁴ TIFAC 「[DRAFT Concept Note National Mission on Quantum Technology & Applications \(NM-QTA\)](#)」

⁵ Observer Research Foundation 「[India's race to quantum supremacy](#)」2021年12月6日。

図表 3-1 育成される人材の割合予想

対象	割合
学生（科学者・技術者）を含む熟練・準熟練労働者	48%
学部生および大学院生フェローシップ	40%
博士号取得者/ポスドク	8%
量子技術および関連応用の中核研究者	4%

出典：TIFAC

④国際協力

既存の DST の二国間協力の枠組みを利用して、国際共同研究を実施し、国際的なベストプラクティスをインドに取り込む。20 件以上の国際共同研究の実施と、8 回以上の国際会議の開催、50 名以上の海外専門家の参画を目指す。

⑤アントレプレナーシップ、イノベーションとスタートアップエコシステム開発

研究成果の応用において、特にベンチャー企業や中小企業（SMEs）を対象に、産業界を支援する。DST は技術開発庁と連携し、アントレプレナーシップに関するコンサルティング、教育、訓練等を通じて、量子技術における起業家を育成する。12 件以上の産学連携プロジェクトの実施、100 件以上のアントレプレナーシップコンサルティングの実施等を目指す。

NMQTA の予算に関して、現在計上されている 800 億ルピー（1376 億円）は DST により今後 5 年間で投入される計画になっており、その具体的な配分割合については図表 3-2 の通りと予想されている。

図表 3-2 NMQTA の資金配分予想

項目	配分割合
量子技術開発センター	41%
基礎研究・技術開発・実証	37%
人材育成	9%
イノベーションとスタートアップのエコシステム	9%
国際共同研究	3%
ミッション管理	1%

出典：TIFAC

これら NMQTA の実施を通じて期待されている、より具体的な技術的目標は以下の通りである。⁶

①国産量子コンピュータの開発

- ・2026 年までに 50 量子ビットの量子コンピュータを構築する

②量子ソリューションの商業化

- ・量子シミュレータやセンサなど小規模なデバイスを発売する
- ・量子鍵配送システムをフィールド実装可能な製品へ適用する

③長距離量子通信の確立

- ・人工衛星やファイバーを通じて数百 km に及ぶ量子鍵配送（QKD）、長距離量子通信を実現する

3.1.2 国家ミッション以前の主なファンディングプログラム

インドにおける量子関連プロジェクトの 92% は政府支援であり、残りの 8% は、スタートアップ・コミュニティや独立非営利組織が運営している。⁷ 2020 年 2 月の NMQTA の立ち上げ以前にも、いくつかの量子技術関連のプログラムにより支援されてきた。DST 配下のプログラムは以下の通り。⁸

(1) 量子応用情報科学技術プログラム（QuEST: Quantum Enabled Information Science and Technology）

2017 年に立ち上がった量子技術に関する先駆的なプログラムであり、インドが 10 年以内に量子コンピュータと通信システムを作成するための技術的能力を備えることを目指し、コア量子技術の開発・実装と人材の基盤構築に焦点を当てたプログラム。2019 年 1 月に IIT ハイデラバード校で開催された会合において、約 130 の提案から 51 のプロジェクトが採択された。採択されたプロジェクトのテーマは大きく次の 4 つに分けることができる。

- ①フォトニクスデバイスを用いた量子情報技術による量子通信システムの開発
- ②ダイヤモンド NV センターと NMR による量子計算
- ③イオントラップ・光格子デバイスによる量子情報技術
- ④超伝導・量子ドットデバイスによる量子情報技術

当初は 3 年間にわたって 20 億ルピー（34.4 億円）を支出することが予定されていたが、配分額の縮小、配分時期の遅延が発生し、2020-21 年度予算により DST が向こう 3 年間で 8 億ルピー（13.8 億円）を支出することが決定した。これは当初の計画の 50% に満たない。

2022 年 4 月には、IIT ハイデラバード校の量子科学技術センター（CQST: Centre of Quantum Science and Technology）が主催した初の国内シンポジウムが、QuEST のナショナルコーディネーターであるハリシュチャンドラ研究所（HRI: Harish-Chandra Research Institute）のアルン・K. パティ（Arun K. Pati）教授と、QuEST のコーディネーターであるインド理科大学院（IISc: Indian Institute of Sciences）のアポルバ・パテル（Apoorva Patel）教授によって開催された。

⁶ AVASANT, NASSCOM 「The Quantum Revolution in India Betting Big on Quantum Supremacy」 2022 年 2 月。

⁷ 注 [6] に同じ。

⁸ DST 以外にも、ISRO、MEITY、DRDO などがファンディングを実施している。

QuEST プログラムにおいて期待されている成果は以下の通りである。⁹

コア量子技術開発

- ・ 8 量子ビット量子コンピュータ、量子通信（ファイバ、自由空間）、量子暗号の開発・実証
- ・ アプリケーションに特化した量子アルゴリズムの開発
- ・ 量子情報システムに関する高度な数学的量子技術、アルゴリズム、理論の開発

人材育成

- ・ 100 名程度の量子工学博士の育成。
- ・ 量子システムを用いた高度なアルゴリズムやアプリケーション開発に関する学部生、大学院生の 2000 人規模の育成

なお、QuEST による成果が得られた場合、3 年後には Phase 2 として、DRDO、ISRO、DAE が共同で 30 億ルピー（51.6 億円）を出資することも当初計画されていたが、現状を見る限り実施は不透明であろう。

(2) 学際的サイバーフィジカルシステムに関する国家ミッション¹⁰ (NM-ICPS: National Mission on Interdisciplinary Cyber Physical Systems)

サイバーフィジカルシステム（CPS）技術の基盤とシームレスなエコシステムの構築のため国内の大学や研究機関に 25 のイノベーション・ハブを設置することを目的として、2018 年に開始したミッション。5 年間で 366 億ルピー（629.5 億円）が計上されている。次に示す革新的融合応用研究プログラム（TFAR: Technology Fusion & Applications Research Program）と同様に、量子技術研究支援に特化したプログラムではないが、このプログラムによりインド科学教育研究大学（IISER: Indian Institute of Science Education and Research）プネ校に I-Hub 量子技術財団（I-HUB: I-Hub Quantum Technology Foundation）という名の量子コンピュータ研究所が設置された。I-HUB は、量子コンピュータ、量子材料、原子時計、量子暗号通信などの開発・応用をめざして IISER プネ校の物理学部門から 13 グループが参加し、国内外の大学・研究所と連携を進める。技術開発だけでなく、技術移転やインキュベーション、人材育成を促進する。

(3) 革新的融合応用研究プログラム¹¹ (TFAR: Technology Fusion & Applications Research Program)

2020 年 1 月に開始した量子、IoT、サイバーセキュリティ、データサイエンスなどの新興技術の融合に向けた研究を後押しするためのプログラム。研究者、学生を支援対象とし、プログラム全体で、3 年間で 25 億ルピー（43 億円）が投じられる予定となっている。

3.2 研究開発動向

第 1 章の論文・特許分析によれば、最近 10 年間にインドでは 5956 報の関連論文が出版され、中国、日本に続いて 3 番目に多く、論文数平均伸び率は中国を超えてトップの 26%となっている。日本の伸び率が 2%であることを考慮すると、冒頭に述べた通り、まさにインドは量子研究の拡大期にあり、アジアにおいて中国に次ぐ存在になることが想像される。インドは分野別の論文数を見ると、「量子材料」（38%）、と「量

⁹ 注 [6] に同じ。

¹⁰ 科学工学研究委員会「学際的サイバーフィジカルシステムに関する国家ミッション」最終アクセス：2022 年 6 月 16 日。

¹¹ DST Technology「革新的融合応用研究プログラム」最終アクセス：2022 年 6 月 16 日。

子コンピュータ」(31%)が多く、次いで「量子基盤技術」(22%)、「量子暗号・通信」(9%)となっており、他の主要国・地域と比較すると「量子コンピュータ」への割合が高いことが特徴と言える。5か年毎の論文数変化を見ると、2010年頃までは「量子材料」の割合が大きかったが、2011年以降には「量子コンピュータ」「量子暗号・通信」が伸び始め、2016年以降は、いずれの分野においても著しく伸びていることがわかる。

つまり、量子技術政策が開始した2017年以前でも、本稿で挙げたような注目研究者をはじめとしてインドの研究者は、独自に量子技術関連の研究開発を実施しており、2017年以降の量子技術振興着手に伴い、幅広い分野において量子技術研究が急速に拡大したと考えられる。

以降本節では、インドの量子技術政策が始まった2017年以降の主要な研究開発成果と動向を中心に紹介する。研究開発実績の中心となる分野は、①量子コンピューティング、②量子通信と量子衛星、③量子暗号である。量子コンピューティングについては電子情報技術省(MEITY: Ministry of Electronics & Information Technology)が、量子通信と量子衛星はISROが、量子暗号についてはDRDOが、それぞれ研究開発をリードしており、DSTはこれら全般を幅広く支援している。

図表 3-3 量子コンピュータに関する主な研究成果と動向

実施時期 主な機関	概要
2019 年 8 月 C-DAC	MEITY 配下の <u>先端計算機開発センター</u> (C-DAC: Center for Development of Advanced Computing) は、 <u>仏 Atos 社と量子コンピューティング、人工知能、エクサスケールコンピューティングのグローバルな発展のための協力協定を締結</u> 。 ¹² C-DAC に <u>量子コンピューティング体験センターを設立</u> し、Atos 社が量子学習マシンの提供を含む量子教育を支援することとなった。
2021 年 1 月 MEITY	量子コンピューティング主導の研究開発を加速するため、 <u>MEITY がアマゾン・ウェブ・サービス (AWS) と共同で「量子コンピューティング応用ラボ」を設立</u> 。 ¹³ クラウド上の AWS の量子コンピュータ開発環境である「Amazon Braket」への無償アクセスを科学、研究、学術、ベンチャー企業などのコミュニティに対して提供する。2021 年 3 月に開始した。
2021 年 3 月 IISER プネ校	NM-ICP に基づき、DST と <u>IISER プネ校の 13 の研究グループが、量子技術開発のための I-Hub 量子技術財団を設立</u> 。
2021 年 5 月 IBM	量子技術分野での人材育成のため、 <u>IBM がインドの主要大学や研究組織に同社の量子コンピュータシステム (IBM Q) へのクラウドアクセスを提供すると発表</u> 。 ¹⁴ 量子教育 (IBM Quantum Education) プログラムの一環。IBM がアクセスを許可するのは、IISER、IISc、IIT、インド統計大学 (ISI)、インド情報技術大学 (IIIT)、タタ基礎研究所 (TIFR: Tata Institute of Fundamental Research)、およびコルカタ大学。これらの施設では、IBM の量子システム、量子ラーニングリソース、量子ツールに IBM クラウドを介してアクセスし、Qiskit (量子コンピューティング用オープンソースフレームワーク) を使用して、量子コンピュータでの作業、プログラミングを体験できるようになる。
2021 年 7 月 DIAT/C-DAC	<u>防衛省先端技術研究所 (DIAT: Defence Institute of Advanced Technology) と C-DAC が、量子コンピュータの共同開発に関する協定を締結</u> 。
2021 年 8 月 MEITY	<u>MEITY が、インド初となる量子コンピュータシミュレーション (QSim) のツールキットを発表</u> 。 ¹⁵ 研究者や学生が効率よく量子コンピューティングの研究を行えるようになる。MEITY の支援を受けて、IBM のオープンソースフレームワークをベースに IISc、IIT ルールキー校、C-DAC が共同で実施したプロジェクトの成果。Google や IBM など他のシミュレータと比べた特徴として、QSim は現実的なデバイスで起こりうる様々な種類のエラーを含むシミュレーションが可能。
2021 年 9 月 IIT デリー校	<u>IIT デリー校は、量子技術に関するセンター・オブ・エクセレンスを設立</u> 。 ¹⁶ 量子コンピューティング、量子通信、量子センシングと計測、量子材料とデバイスに焦点を当てている。新しい量子材料の設計・開発とともに、量子プロセッサや極低温コントローラ、半導体量子ビットのモデリングや技術開発、CMOS や 2 次元材料に関する研究活動も実施している。

¹² ProjectQ ウェブサイト「[India Races Toward Quantum Amid Kashmir Crisis](#)」2020 年 4 月 7 日。¹³ NNA「[MeitY が AWS と協力して量子コンピュータ研究施設を設置する計画](#)」2021 年 1 月 21 日。¹⁴ INDIAai「[IBM to make quantum computers accessible to leading institutions for research & training](#)」2021 年 5 月 26 日。¹⁵ Science Portal Asia and Pacific「[インド初の量子コンピュータシミュレーションのツールキット発表](#)」2021 年 10 月。¹⁶ IIT Delhi「[IIT Delhi Establishes Centre of Excellence \(CoE\) on Quantum Technologies](#)」2021 年 9 月 27 日。

図表 3-4 量子通信・量子衛星に関する主な研究成果と動向

実施時期 主な機関	概要
2021 年 3 月 ISRO	<u>2021 年 3 月 19 日、ISRO がインドで初めて 300m 以上の自由空間量子通信を実証¹⁷</u> 。宇宙応用センター（SAC）内の 2 つの建物の間で、QKD によるライブビデオ会議が行われた。送信モジュールと受信モジュールの時間同期に ISRO が開発した衛星測位システムである NAVIC（Navigation Indian Constellation）の受信機を使用し、光学アライメントに大型の大口径望遠鏡の代わりにジンバル機構システムを使用するなど、この実証には多くの独自技術が使われた。
2022 年 1 月 DOS	<u>2022 年 1 月 27 日、宇宙開発局（DOS）が量子もつれを用いた 300m 自由空間での量子通信とリアルタイム暗号アプリケーションの実証実験に成功¹⁸</u> 。アーメダバードにある DOS の 2 つの主要研究所、SAC と物理研究所（PRL）が共同で、量子もつれを用いた 300m の大気圧チャネルでのリアルタイム QKD、量子安全テキスト、画像送信、量子支援双方向ビデオ通話を実証。この実験は、アーメダバードの SAC において、300m 離れた 2 つの建物間で実施された。BBM92 プロトコルに基づく量子通信リンクの実験も行われた。
2022 年 2 月 DRDO	<u>DRDO と IIT デリー校は、国内で初めて、100km 以上離れた 2 都市での QKD 実証に成功¹⁹</u> 。ウッタルプラデーシュ州のプラヤーグラージとヴィンディヤチャールを結ぶ 100km 以上離れた 2 都市において、商用の光ファイバーを用いて、QKD リンクの実証実験に成功。この成功により、インドは軍用レベルの安全な鍵配送の固有技術を実証。

上記以外にも、衛星通信では、パルス光源に比べて連続した波長では同期が取りにくいいため、テレポーテーションには珍しい 800 ～ 900nm の波長を持つ赤外線通信をラマン研究所が研究している。費用対効果の高い光子の検出方法の展開を目指している。

¹⁷ ISRO 「ISRO makes breakthrough demonstration of free-space Quantum Key Distribution (QKD) over 300m」 2021 年 3 月 22 日。

¹⁸ ISRO 「Department of Space demonstrates entanglement based quantum communication over 300m free space along with real time cryptographic applications」 2022 年 1 月 31 日。

¹⁹ インド政府プレス情報局 「DRDO and IIT Delhi scientists demonstrate Quantum Key Distribution between two cities 100 kilometres apart」 2022 年 2 月 23 日。

図表 3-5 量子暗号・量子鍵配送 (QKD) 等に関する主な研究成果と動向

実施時期 主な機関	概要
2020 年 6 月 ラマン研究所 (RRI)	<u>ラマン研究所 (RRI: Raman Research Institute) は、エンドツーエンドの QKD シミュレーションツールキットである qkdSim を発表。</u> ²⁰ アーバシ・シンハ教授のチームがカルガリー大学 (カナダ) と共同開発。このツールキットは、デバイスやプロセスにおけるさまざまな実験の不完全性が網羅されており、高い精度で実際の現象を再現することが可能。ISRO が主導する衛星量子通信プロジェクトの成果の一部。
2020 年 12 月 DRDO	<u>DRDO の量子技術のための若手科学者研究室 (DYSL-QT: Young Scientist Laboratory for Quantum Technologies) が、量子乱数発生器 (QRNG) を開発。</u> ²¹ 光ファイバー分岐路を用いた QRNG であり、NIST による国際標準を 150kbs の速度で満たした。
2020 年 12 月 DRDO	<u>DRDO が QKD 通信に成功。</u> ²² DRDO の 2 つの研究所、防衛研究開発研究所 (DRDL: Defence Research & Development Laboratory) と研究センター・イマラート (RCI: Research Centre Imarat) の間で試験を行い、QKD によるセキュアな通信を実証。QKD 技術はベンガルールの人工知能・ロボット研究所 (CAIR: Centre for Artificial Intelligence & Robotics) と認知技術のための若手科学者研究室 (DYSL-CT/DRDO Young Scientist Laboratories with Cognitive Technologies) というインドの 2 つの防衛関連研究所が開発。
2021 年 12 月 インド陸軍	国家安全保障会議事務局 (NSCS) の支援を受けて、 <u>インド陸軍は、マディヤ・プラデーシュ州マウの軍事工学研究所に量子コンピューティング研究所と AI センターを設立。</u> ²³ 主な推進分野は、量子鍵配送、量子通信、量子コンピューティング、耐量子計算機暗号。
2021 年 10 月 C-DOT	インド通信局の研究機関である <u>テレマティクス開発センター (C-DOT: Centre for Development of Telematics) は、量子通信ラボを開設し、標準的な光ファイバーで 100km 以上対応できる独自に開発した QKD ソリューションを公開。</u> ²⁴

また、2021 年 7 月には、IIT ハイデラバード校が PSA などと共同でオンライン開催した国家量子科学技術シンポジウムにて、非営利組織としてインド量子エコシステム技術評議会 (QETCI: Quantum Ecosystems Technology Council of India) が発足した。QETCI は政府、学界、産業界、新興企業、投資家にまたがる量子エコシステムのさまざまなメンバーを連携させ、インドにおける量子エコシステムを加速させることを目的としている。2022 年 8 月には、PSA 室、IEEE、AWS、マイクロソフト社などとのパートナーシップの下、量子エコシステムの開発、スキル開発や量子科学技術において人類が直面する課題の解決を目指し、量子科学技術ハッカソン 2022 を立ち上げた。

²⁰ インド政府プレス情報局「[RRI comes up with simulation toolkit to ensure safety in secure quantum communication platforms](#)」2020 年 6 月 30 日。

²¹ インド政府プレス情報局「[DRDO Young Scientists Laboratory Develops Quantum based technology for Random Number Generation](#)」2020 年 12 月 29 日。

²² インド政府プレス情報局「[Quantum Communication between two DRDO Laboratories](#)」2020 年 12 月 9 日。

²³ INDIAai「[Indian Army sets up quantum computing lab and AI centre in MP](#)」2021 年 12 月 30 日。

²⁴ インド政府プレス情報局「[Secretary Telecom Shri K. Rajaraman visits C-DOT; Inaugurates futuristic Quantum Communication Lab Indigenously developed Quantum Key Distribution \(QKD\) solution by C-DOT unveiled QKD solution can support a distance of more than 100 kilometers on standard optical fiber Development of indigenous QKD solution is essential to address security threats of data posed by rapid advancement in Quantum Computing](#)」2021 年 10 月 10 日。

3.3 注目研究機関・大学

政府の支援により量子研究に必要な資金が投入される一方で、量子研究コミュニティも多様化してきている。RRI の量子情報計算ラボ（QuIC: Quantum Information and Computing Lab）は単一光子、量子もつれ光子など光量子技術にいち早く取り組んだ研究グループの1つである。このラボは量子通信、量子計算、量子基礎、量子情報処理などにも力を入れている。チェンナイにある数理科学研究所と HRI は量子情報と量子光学の理論研究に注力している。また IISc、IISER モハリ校、IIT ムンバイ校、IIT マドラス校などの研究機関は、実験・理論の両面から研究を進めている。

ムンバイにある TIFR や IISER プネ校は、量子ビットの実験的研究に力を入れている。特に TIFR には、ヴィジャヤラガヴァン教授を中心とする超伝導量子ビットの実験グループがある。IISER プネ校には、NMR ベースの量子ビットやイオントラップシステムを研究する専門の実験グループがある。IISER プネ校にはインド政府により量子技術の技術革新ハブ I-HUB が設置された。ここに挙げていない大学も含めて、現在では 40 ~ 50 の大学が量子技術研究に取り組んでいる。

以下注目機関を機関名のアルファベット順に紹介する。

3.3.1 ハリシュチャンドラ研究所（HRI: Harish-Chandra Research Institute）

ウッタラプラデーシュ州アラハバードにある数学と理論物理学の研究を専門とする機関。研究所には、30 人以上の教員、80 人の大学院生、30 人のポスドクフェロー等が在籍。インド政府の原子力省（DAE）から資金提供を受けている。物理学部門は、天体物理学、物性物理学、高エネルギー物理学、量子情報・計算、および弦理論の 5 つのサブグループからなる。

特にインドにおいて論文数、被引用数上位に位置するアディディ・セン・デ、ウジワル・セン教授の量子情報・計算（QIC: Quantum Information and Computation）グループは、量子アルゴリズム、量子通信、量子暗号、量子もつれの理論など量子情報・計算に関する理論研究を行っている。最近では、量子多体系物理学と量子情報の境界領域、また超低温ガス中や量子光学系での量子コンピュータにも取り組む。

また物性物理学グループでは、物性物理学における場の理論的手法、量子液体、重い電子系、メゾスコピック系、量子モンテカルロ法による電子構造およびスピントロニクスなどに関する研究を行っている。

3.3.2 インド理科大学院（IISc: Indian Institute of Science）

ベンガルールにあるインド理科大学院（IISc）は、2018 年にインド政府より「卓越研究機関」（Institute of Eminence）と認められ、その支援により、2020 年 9 月に量子技術に関するイニシアティブを立ち上げた。量子技術分野における研究所の専門知識を活用すると同時に、産業界や戦略的パートナーと積極的に関わり、経済的利益や社会的インパクトをもたらす技術を創造することを目的として、学際的な「量子技術エクセレンスセンター」（CEQT: Center for Excellence in Quantum Technology）を設立。多様な教授陣と一緒に働いておりインド科学教育研究大学プネ校に続き、インドで 2 番目に大きな量子技術の研究開発グループである。²⁵

²⁵ QKRISHI 「Top Universities in Quantum Technologies in India」 2021 年 9 月 27 日。

アポルバ・パテル (Apoorva Patel) 教授が率いる CEQT は、理論・実験の両面から研究を実施している。実験プログラムでは、超伝導量子ビットデバイス、量子通信用単一光子源および検出器、統合フォトニクス量子ネットワーク、量子センサに重点を置く。実験プログラムをサポートする理論的な取り組みは、特に量子アルゴリズムやシミュレーション、耐量子計算機暗号など。パテル博士のチームは、2021 年 8 月に MEITY が立ち上げた量子コンピュータシミュレータツールキット「QSim」の開発でも重要な役割を果たした。Nature Index では、インドの研究機関として国内 1 位に位置する。

3.3.3 インド科学教育研究大学プネ校 (IISER Pune: Indian Institute of Science Education and Research, Pune)

インド科学教育研究大学プネ校(IISER プネ校)は、2006 年にプネに設立された研究集約型の教育研究機関。5 年の修士コースと PhD コースがある。130 人以上の教員、130 名以上のスタッフ、1600 名以上の修士課程以上の学生が在籍する。PhD コースは、生物学、化学、地球気候科学、人文社会学、数学、物理学からなる。プネは古くから「インドのオックスフォード」と呼ばれる教育・研究の中心地であり、現在は IT 産業を中心にめざましい発展を遂げ、多くの IT 関連企業の本部がある。

IISER プネ校は、量子情報、場の理論、量子材料、量子光学、量子制御、量子化学など、量子技術のさまざまな分野での研究が行われ、インド国内最大の量子技術関連の教授陣を擁する機関となっている。²⁶ 量子カオスや量子情報の理論グループのほか、NMR ベースの量子計算とイオントラップ型システムの両方を研究する専門の実験グループがある。

IISER プネ校には、NM-ICPS プログラムに基づく DST からの支援を受けて、2021 年 4 月に I-Hub 量子技術財団 (I-HUB) が設立されている。I-HUB は IISER の非営利企業であり、物理学部の教授陣が中心となり、日常的に利用できる量子コンピュータ、新規量子材料などの開発を目的としており、高度なコンピュータシステムの開発や、精密センサ、全地球測位システム用ナビゲーション装置、地質学的マッピング、原子時計、暗号通信、新材料など、より身近な用途への応用を目指している。IISER プネ校から 13 の研究グループが参加し、国内 20 以上の研究機関や海外の大学や研究機関とのネットワークを構築する予定である。プロジェクトディレクターのウマカント・ラポルは 5 年以内に 10 ~ 30 量子ビットの量子コンピュータの開発を目指すとしている。この拠点には 5 年間で 17 億ルピー (約 29.3 億円) が計上され、2021 年に約 8 億ルピー (約 13.8 億円) が支出されている。技術移転、インキュベーション、人材育成の支援も行っている。²⁷

3.3.4 インド工科大学マドラス校 (Indian Institute of Technology Madras)

IIT マドラス校は、量子技術に取り組む研究者がインドで 3 番目に多い機関。²⁸ 物理学科と電気工学科において量子研究が活発である。物理学部門では、量子メモリやダイヤモンド NV-Center ベースの量子センサの構築に重点を置いた実験が行われている。一方、電気工学科では、光量子通信と量子計算アーキテクチャを扱うグループが、位相変調された微弱コヒーレントパルスを用いた QKD プロトコルの実証に成功し、セキュアな量子通信ネットワークの構成要素となることが期待されている。理論面では、量子誤り訂正、量子

²⁶ 注 [25] に同じ

²⁷ THE TIMES OF INDIA 「[Quantum tech hub with 13 research groups at IISER](#)」 2021 年 4 月 17 日。

²⁸ 注 [25] に同じ。

もつれ、量子カオス、量子計測など、量子コンピューティングと量子情報理論のさまざまな側面を網羅する大規模な研究グループがある。物性理論や量子光学の研究も行っており、国内で最も多様性に富んだグループの1つとなっている。²⁹ また、量子計算、量子情報理論、量子材料に特化したセンター・オブ・エクセレンス（CQuICC: Centre for Quantum Information, Communication and Computing）も設立されている。

電気工学科のアニル・プロバカー（Anil Probhakar）教授は、後述する QKD のスタートアップ企業、QNu Labs の創設者の1人である。

3.3.5 ラマン研究所（RRI: Raman Research Institute）

1948年にノーベル物理学賞受賞者である C.V. ラマンによって設立された、ベンガルールにある研究所。当初は C.V. ラマンが個人所有する研究所であったが、現在はインド科学技術省（DOST）から資金提供を受けている。研究部門は、天文学と天体物理学、光物性物理学、ソフトマター物性物理学、理論物理学の4部門に分かれている。

2012年に光物性物理学部門のアーバシ・シンハ教授により立ち上げられた量子情報・コンピューティングラボラトリー（QuIC）は光量子科学技術に特化した研究を行っており、量子もつれ状態にある単一光子源の製造とその利用法を確立したインドで最初の研究室の1つである。³⁰ 研究分野は、自由空間、ファイバー、集積フォトニクスによる量子鍵配送（QKD）、量子テレポーテーション、デバイス独立型乱数生成などを含む実験的セキュア量子通信、フォトニック量子コンピュータや量子もつれの静的・動的特性に関する研究などがある。2020年、QuICはインドで初めて自由空間 QKD プロトコルを開発した。また「qkdSim」と名付けられた完全なエンドツーエンド・シミュレーション・ツールキットの開発も行っている。³¹ 同年、更にもう1つの大きな成果として、量子干渉による新しい量子状態推定プロトコルを開発し、実験実証に成功している。³²

現在ラマン研究所が主導する重要なプロジェクトは3つある。インド宇宙研究機関（ISRO）と2017年に開始した、インド初の衛星長距離量子通信に関するファンディングプロジェクトでは成果として、2021年3月の ISRO による 300m 以上の自由空間における量子通信実証に先立ち、同年2月に 50 メートル離れた2つの構造物間の量子通信を QuIC が実証した。この実験では量子鍵配送技術も使用された。その他、DST の QuEST プログラムによるファイバーでの量子通信に関するプロジェクト、インドとイタリアの2国間で進められている、インド・トレント先進研究プログラム（ITPAR: India-Trento Programme on Advanced Research）による統合光学システムに基づく量子鍵配送のプロジェクトが実施されている。

²⁹ DWHI NEW DELHI「INDIA: MAKING STRIDES IN THE SECOND QUANTUM REVOLUTION」最終アクセス:2022年8月1日。

³⁰ 注 [29] に同じ。

³¹ R. Chatterjee, K. Joarder, S. Chatterjee, B. C. Sanders and U. Sinha (2020) "qkdSim: An experimenter's simulation toolkit for QKD with imperfections, and its performance analysis with a demonstration of the B92 protocol using heralded photons," *Physical Review Applied* 14, 024036.

³² S. N. Sahoo, S. Chakraborti, A. K. Pati, and U. Sinha (2020) "Quantum State Interferography," *Physical Review Letters* 125, 123601.

3.3.6 タタ基礎研究所 (TIFR: TATA Institute of Fundamental Research)

TIFRは、DAE傘下の国立研究センターであり、修士・博士号を授与する教育機関でもある。1945年、ホミ・バーバの構想のもと、サー・ドラブジ・タタ・トラストの支援を受けて設立³³された。TIFRでは、物理学、化学、生物学、数学、コンピュータサイエンス、科学教育の分野で基礎研究が行われている。ムンバイのメインキャンパスのほか、プネ、ベンガルール、ハイデラバードにもセンターがある。Nature Indexでは、インドの研究機関として国内3位に位置する。

ヴィジャヤラガヴァン (R. Vijayaraghavan) 博士が率いる量子計測・制御研究ラボ (QuMaC: Quantum Measurement and Control Laboratory) の主な研究分野は、量子誤り訂正、量子シミュレーション、新しい量子ビットの設計、量子限定パラメトリック増幅器、量子の弱測定などが挙げられる。QuEST プログラムからファンドを獲得し、超伝導回路を用いた量子プロセッサのスケールアップについての研究を実施している。トランスモン量子ビットを研究しており、最近では3量子ビット全てがお互いに結合する量子プロセッサを開発し、その特性を明らかにした³⁴。現在は、量子アルゴリズムの開発等に取り組むインドの大手ITサービス企業であるタタコンサルタンシーサービス社や DRDO と協力し、7量子ビットのプロセッサ開発を目指している³⁵。NM-ICPS、DST から広範な資金援助を受けて、すでに人工原子のように振る舞う回路を確立しており、こうした量子システムの構築と制御を目指している。

3.4 注目企業

インドにおいても、IBM や Microsoft などの世界的に有名なハイテク企業のほか、多くの企業やスタートアップが量子コンピューティングのソフトウェアやハードウェア開発への参入を始めている。インド初の量子コンピューティング・スタートアップである Qulabs、ベンガルール拠点の QpiAI tech、セキュアな量子暗号製品に取り組む QNu Labs、チェンナイ拠点の Quantica Computacao、ビライ拠点の BosonQ、Automatski、Taqbit Labs、コルカタ拠点の QRDLab など、複数の量子コンピュータ分野で研究、教育、コンサルティングを推進する取り組みが進められており、インドには15以上のスタートアップが立ち上がっていると言われている³⁶。以下では特に注目すべき5社について詳述する。

3.4.1 QNu Labs

IIT マドラス校で創業された量子暗号製品に取り組むインド初のスタートアップ。IIT マドラス校のアニル・プロバカー教授が2016年に創業し、テクニカルアドバイザーとして参画する。約40名のメンバーが所属し、ベンガルールに拠点を置く。乱数発生器、量子鍵分配器、鍵管理のための量子セキュアプラットフォームを提供している。銀行、通信、IT インフラ、防衛、OEM (相手先ブランド製造) などの業界を主なターゲットとし、IoT 機器、POS 機器、モバイル機器のセキュリティを確保するための量子技術を構築している。15社以上の顧客を持ち、2022年の収益見込は200万米ドルである。

³³ タタ基礎研究所「沿革とビジョン」最終アクセス：2022年6月10日。

³⁴ Tanay Roy, Sumeru Hazra, Suman Kundu, Madhavi Chand, Meghan P. Patankar, and R. Vijay “Programmable Superconducting Processor with Native Three-Qubit Gates,” Physical Review Applied 14, 014072.

³⁵ AnalyticsIndiaMagazine 「India fast-tracks quantum research, joins han2d with Finland」2022年4月29日。

³⁶ 注 [6] に同じ。

3.4.2 QpiAI

CEO でもあり、英国コベントリー大学で機械学習、AI の博士号を持つナゲンドラ・ナガラジャ（Nagendra Nagaraja）が 2019 年に創業した。10 社以上の顧客を持ち、2022 年の収益見込は 200 万米ドルである。複数の関連会社を持ち、量子技術関連の他、AI、ナノテクノロジー、超伝導、材料、超伝導モーター、固体電池／量子電池など様々な分野で技術革新を進めている。QpiAI 社は AI モデリングプラットフォーム、AI と量子のマーケットプレイス、AI を利用した量子モデリングプラットフォームを提供するほか、古典と量子のハイブリッド型の計算機チップを開発し、様々な最適化問題に対するソリューションを提供する。2021 年 5 月には IISc と共同での AI・量子の認証プログラムを開講。8000 人以上の登録があり、約 300 人の受講生がいる。2022 年 4 月には、フィンランドを拠点としオックスフォード大学スピナウトスタートアップである QuantrolOx と 25 量子ビット量子コンピュータのテストベッド開発と、欧州、インド、アジア向け量子ソリューションの提供に合意したばかりである。³⁷ 加えて、フィンランドに新オフィスを開設する計画もある。

3.4.3 Qulabs.ai

インド初の量子コンピューティング・スタートアップである。2017 年に設立され、ハイデラバードとコルカタ、ニュージャージーに拠点を持つほか、IIT ハイデラバード校、IIT コルカタ校、IIT ルールキー校と共同研究ラボを持つ。量子機械学習、量子通信、量子計算、量子アルゴリズムとシミュレーションなどのサービスを提供することを目指している。25 名の研究者が在籍し、IITs、ISI、IISc の科学者やエンジニアからなる学際的なグループを擁する。また、このスタートアップは、新しい量子技術のトレーニング、開発、橋渡しを提供する QuAcademy を設立している。

3.4.4 Automatski

ロサンゼルス、ニューヨーク、ロンドン、ベンガルールに拠点を持つ研究開発企業。複数の分野で研究を行っており、量子コンピューティングもその 1 つである。2014 年にロンドンで創業され、2016 年にインドに拠点を設置した。回路モデル量子計算、断熱量子計算、量子アニーリングなど様々な量子計算モデルに関するソフトウェア及びシミュレータに関する研究を行う。2018 年には 10 万量子ビット以上の断熱的量子コンピュータとアニーリング量子コンピュータをリリースした。³⁸

3.4.5 BosonQ Psi

米ラトガス大学宇宙工学専攻出身のアビシェーク・チョープラー（Abhishek Chopra）とルト・ラインスワラ（Rut Lineswala）により 2020 年 8 月にチャッティースガル州ビライに設立された。計算流体力学、計算構造力学、計算熱伝導、複合領域最適化、計算空力音響学等向けの世界トップレベルの量子コンピューティング・ソフトウェア・ソリューションを開発し、航空宇宙、自動車、発電、化学製造、ポリマー加工、石油探査、医療研究、気象学、天体物理学といった分野への貢献を目指す。

³⁷ Businesswireindia「QpiAI と QuantrolOx がインド初の 25 量子ビット量子コンピューティングのテストベッドと欧州およびインド市場向け製品の共同開発に関する MoU に調印」2022 年 4 月 13 日。

³⁸ Automatski「QUANTUM COMPUTING」2022 年 6 月 13 日。

3.5 注目研究者

第1章で紹介した論文・特許データをベースに、インドの量子研究コミュニティにおけるポジションや研究受賞歴等を加味して、注目研究者を選出した。

3.5.1 アーバシ・シンハ (Urbasi Sinha)

量子国家ミッションの提唱者。ケンブリッジ大学にて高温超伝導の研究で博士号を取得し、2007年の加ウォータールー大学の量子コンピューティング研究所のポスドクリサーチフェローを経て、2012年にベンガルールにあるラマン研究所の光物性物理学部門の准教授として着任し、現在は教授として、光量子科学・技術にインドで初めて取り組んだ、量子情報・コンピューティングラボ (QuIC) を率いる。トロント大学の量子情報・量子コンピューティングセンターとウォータールー大学量子コンピューティング研究所の准教授でもある。2017年から2019年までホミ・バーバ・フェロー、2020年以降はカナダのペリメーター研究所でサイモンズ・エミー・ノーター・フェローを務めている。2019年には Asian Scientist によるアジアのトップ100研究者に選ばれた³⁹。ISROと共同で実施するインドで初めての衛星量子通信のプロジェクトを主導している。現在の関心テーマは、実験的量子情報、量子コンピューティング、量子暗号の実験的研究、量子もつれの研究、量子インターネットに向けた衛星を用いた量子鍵配送、単一光子源、偏光や他の新しい自由度に基づくエンタングル光子源。

3.5.2 ラジャマニ・ヴィジャヤラガヴァン (Rajamani Vijayaraghavan)

タタ基礎研究所 (TIFR) 物性物理・材料科学科 准教授であり量子計測・制御研究所 (QuMaC) を率いる。2008年にイェール大学にて応用物理学博士号を取得。カリフォルニア大学バークレー校博士研究員を経て、2012年よりTIFRの超伝導量子ビットの実験グループに在籍する。トランスモン量子ビットを研究しており、最近では3量子ビットの量子プロセッサを開発し、その特性を明らかにした⁴⁰。

3.5.3 ウマカント・ラポル (Umakant Rapol)

IISER プネ校准教授として原子物理学と量子光学のグループを率いる。超低温原子やイオンを用いた基礎研究および量子技術の研究を行っている。現在は、量子センシング、量子シミュレーション、精密計測のためのコヒーレント量子物質の利用を中心とした研究に取り組んでいる。2003年にベンガルールの IISc で博士号を取得後、パリの高等師範学校と独インスブルック大学で客員研究員として勤務。GE Research Bangalore で約4年間研究開発に従事した後、2009年より現職。DSTによるNM-ICPSによりIISER プネ校に設立された非営利企業、I-Hubの所長でもある。

³⁹ Asian Scientist 「2019 Edition Of Asian Scientist 100 Announced」2019年3月4日。

⁴⁰ 注[34]に同じ。

3.5.4 ウジワル・セン (Ujjwal Sen)

論文数・被引用数で上位に位置する有力な研究者。ハリシュチャンドラ研究所物理学部門量子情報計算グループ教授。量子情報計算と多体物理学との境界部分を専門として、量子もつれ、量子情報、超低温ガスや凝縮系、量子光学との相互作用による量子計算を研究する。物理学博士（ポーランド・グダニスク大学理論物理学・天体物理学研究所）を取得後、2009年7月より同研究所の物理学部門に従事。

3.5.5 アディティ・セン・デ (Aditi Sen De)

量子情報通信に関する研究により2019年、インドの優れた研究に贈られるシャンティ・スワラップ・バトナガー科学技術賞を物理学分野において女性で初めて受賞した研究者。論文数・被引用数でも上位に位置する。当時量子もつれの理論に関する世界的な拠点であったポーランド・グダニスク大学にて、夫で同じ量子情報計算グループ教授のウジワル・センと共に物理学を学び、2004年に博士号を取得。ウジワル・センと共に2009年にハリシュチャンドラ研究所に移り、物理学部門教授として量子情報計算グループを発足。量子情報と通信の理解、特に計算可能な量子もつれ測定と新しい密度行列再帰法の定式化に大きく貢献。関心分野は量子チャネルの理論、量子暗号のセキュリティ、および量子相関の定量化。

3.6 国際協力・国際共同研究

インド量子技術政策においては、イノベーションを実現するための研究開発力の向上と、人材や研究開発環境などインフラストラクチャの構築が大きな課題である。様々な施策を通じて人材育成を強力に進める一方で、限られた研究コミュニティにおいて効果的に研究開発力を向上させるため、技術的に進んだ国々との国際協力も積極的に進めている。各国との具体的な協力状況を時期の古い順に以下に示す。

(1) イタリア

DST がトレント大学と実施するインド-トレント先端研究プログラム (ITPAR: India-Trento Programme for Advanced Research) の Phase 4 において、シンハ教授 (RRI) による統合光学システムに基づく QKD のプロジェクト (2019 年～) が実施されている。⁴¹

(2) フランス

2019 年 8 月に両国政府は量子、AI に関する技術協力に署名した。プネにある C-DAC 本部に量子コンピューティング体験センターを設立し、フランスの IT サービス企業 Atos 社が商用量子学習マシンのほか、関連リソースやトレーニングを提供し、インドにおける量子教育を支援することとなっている。⁴²

⁴¹ シンハ教授ウェブサイト「[Research](#)」

⁴² 注 12 に同じ。

(3) イスラエル

2019年に次世代太陽光エネルギー、量子デバイス（センシング、通信）を対象にDSTがイスラエルMOSTと共同研究プロジェクト公募を実施し、2年プロジェクトを8件採択した。1プロジェクトあたり4000万ルピー（6880万円）を支援することとなっている^{43,44}。

また2022年4月にはDRDOがIITデリー校と共同で、イスラエル国防研究開発局（DDR&D）と両国共同の量子技術ロードマップと技術開発計画を作成することを目的に、イスラエルとの二国間WSを開催し、フォトンクスを用いた量子コンピューティング、センシング、暗号化、量子磁力計、原子時計、自由空間量子通信などについて議論した。IISc、TIFR、IITムンバイ校、IITマドラス校、IITキャンプール校、IITカラグプル校、IITティルパティ校、ISER、C-DAC、C-DOTなどが参加した⁴⁵。

(4) BRICS

BRICS STI Framework Programmeの2019年公募⁴⁶において光量子技術が公募テーマの1つとされ、インド、ロシア、中国、南アの4カ国による共同プロジェクト「量子衛星とファイバー通信」が採択⁴⁷されている。光ファイバーを用いた1万km以上の大陸間衛星量子通信路構築を計画しており、光ファイバー通信のモデル化をインドが担当することになっている。

(5) オーストラリア

2020年6月の首脳サミットで合意された両国外務省間の豪印包括的戦略パートナーシップ（Australia-India Comprehensive Strategic Partnership）に基づいて、1270万豪ドル（約12億700万円）の豪印サイバー・重要技術パートナーシップ（AICCTP: Australia-India Cyber and Critical Technology Partnership）が設置されている。AICCTPは2020～2024年まで実施され、両国の企業や研究者がAI、量子コンピューティング、ロボティクス等振興技術や重要技術に関する共同研究を行うための資金を提供する。オープンで自由かつ、ルールに基づくインド太平洋地域という両国の共通ビジョンに合致するグローバルな技術環境の形成に貢献する事を目的としている。これまでに二度の公募が実施され、量子技術関連のプロジェクトとしては、2021年2月の第1回公募でシドニー大学とObserver Research Foundation（ORF）による「新興量子技術に関する倫理的枠組みとベストプラクティス開発」のプロジェクトが、2021年1月の第2回公募ではビクトリア大学とグジャラート国立立法科大学による「豪印間の越境データ流通—データ、サイバーセキュリティ、AI、量子、新技術の法・政策・倫理基準の理解」が採択されている。2022年9月に第3回公募の実施が予定されている⁴⁸。

⁴³ DST「[Annual Report2020-2021](#)」

⁴⁴ DST「[INDIAN-ISRAELI JOINT RESEARCH COOPERATION Call for Project Proposals 2020-2022](#)」

⁴⁵ インド政府プレス情報局、[Indo-Israel bilateral workshop on Quantum Technologies concludes](#).

⁴⁶ DST「[2019 BRICS Calls for Proposals for Multilateral R&D](#)」

⁴⁷ DST「[Provisional List of scientifically recommended Projects for BRICS CALL 2019 under BRICS STI Cooperation](#)」

⁴⁸ オーストラリア外務省「[Australia-India Cyber and Critical Technology Partnership Grants](#)」2022年4月22日。

(6) ロシア

インドの量子技術研究をリードする IIT マドラス校や IIT ムンバイ校など、IIT はインド全土で 23 の分校がある。それら 23 校の卒業生からなる世界最大の卒業生ネットワークを有する IIT 同窓会は、ロシアのロモノソフ・モスクワ大学 (MSU) およびロシアのソフトウェア開発企業団体であるラスソフトと 2020 年 8 月、世界最大最速のハイブリッド量子コンピュータをインドに構築することを目的として、重要技術の移転を受ける MOU を締結した。IP の所有者であるロシアの国営企業が、極低温技術、暗号技術、モジュール化されたクラウド管理技術などの重要なモジュールを IIT 同窓会に移転する予定である。⁴⁹

(7) EU

EU とインドは、2021 年 5 月のインド EU 首脳会議において、人工知能に関する共同タスクフォースの早期運用開始と、量子・高性能コンピューティングを中心とした技術協力のさらなる拡大に合意している。⁵⁰ また、2022 年 4 月のインド EU 首脳会議では、インド-EU 貿易・技術評議会を発足させている。これは、地政学的環境の変化を踏まえ、貿易、技術、安全保障において共通の課題に取り組む、お互いの協力を深めるための戦略的メカニズムである。共同声明には明示的に記載されていないが、インド側では 5G や AI に加えて、量子コンピュータについてもこの枠組みで議論の進むことが期待されている。⁵¹⁵²

(8) フィンランド

フィンランドとは 2021 年 3 月に首脳レベルのバーチャルサミットにおいて、二国間の協力強化が期待される分野として量子技術・量子コンピュータに言及。2022 年 4 月に両国政府は量子コンピューティングに関するヴァーチャルネットワークセンターを設立することに合意し、インド DST とフィンランド雇用経済省が中心となり、両国内の研究機関・企業を繋ぐ仕組みを構築する。IIT マドラス校、IISER プネ校、C-DAC が参加する予定。製品志向の研究協力を産学で実施する。⁵³

(9) 日本

日本との関係においては、2022 年 3 月の岸田文雄首相のインド訪問における首脳共同声明「平和で安定し繁栄した新型コロナ後の世界のためのパートナーシップ」⁵⁴において、両国間で協力を進める分野として量子通信が挙げられた。それを受け、2022 年 5 月にオンライン開催された日印 ICT 協力枠組みに基づく「第 7 回日印合同作業部会」では、5G、Beyond 5G、海底ケーブルシステム等とならび量子通信について協力関係の強化に向けた議論がなされている。また、富士通株式会社は 2022 年 4 月、インドの優秀な人材を獲得し AI や量子ソフトウェアの開発を中心とした研究開発を加速することを目的に、ベンガルルールに研究拠点を設置した。

⁴⁹ Adda247 「IIT Alumni Council signs MOU with Russia for building Quantum Computers」2020 年 8 月 28 日。

⁵⁰ EU 理事会「欧印首脳共同声明」2021 年 5 月 8 日。

⁵¹ 欧州委員会プレスリリース「EU-India: Joint press release on launching the Trade and Technology Council」2022 年 4 月 25 日。

⁵² ヒンドゥスタントाइムズ「India, EU launch new body to tackle challenges in trade, tech」2022 年 4 月 25 日。

⁵³ インド政府プレス情報局「Visiting Finland Minister of Economic Affairs Mika Lintila meets Union Minister of State (Independent Charge) Science & Technology, Dr Jitendra Singh: The two Ministers announce the decision to establish an Indo-Finnish Virtual Network Centre on Quantum Computing.」2022 年 4 月 18 日。

⁵⁴ 外務省 日印首脳共同声明「平和で安定し、繁栄した新型コロナ後の世界のためのパートナーシップ」2022 年 3 月 19 日。

(10) カナダ

カナダとインドは2022年5月19日にオタワで第7回インド・カナダ共同科学技術協力委員会（JSTCC）会合を開催し、DSTが締結しているカナダ自然科学・工学研究会議（NSERC）およびカナダ国家研究会議（NRC）との2つのMOUを更新した。今回の重点分野には、国家ミッション、量子コンピュータ、人工知能（AI）、サイバーフィジカルシステムなどが含まれており、両国の共同研究の促進が期待されている。⁵⁵

(11) 米国

2022年5月24日に東京で開催されたクアッド首脳会議の際、モディ首相はジョー・バイデン米国大統領と二国間協議を行い、「重要技術・新興技術に関するインド・米国イニシアティブ（iCET）」を立ち上げている。インドの国家安全保障会議事務局と米国の国家安全保障会議が共同で主導するiCETでは、AI、5G/6G、バイオテクノロジーなどと並び、量子コンピュータも対象とされており、両国の政府、学界、産業界のさらなる連携が期待されている。⁵⁶

3.7 量子イノベーションエコシステム

インドにおける量子イノベーションエコシステムに関わっている組織は、加速度的に増えており、政府系機関（10～15 機関）、大学（40～50 機関）、サービスプロバイダー（15～20 機関）、スタートアップ（15～20 機関）⁵⁷と言われている。図表 3-13 に本章で示した主な機関を記載する。

図表 3-13 インドの量子イノベーションエコシステム



出典：APRC 作成

⁵⁵ インド政府プレス情報局「Renewed MoUs articulate new strategic direction for Indo-Canada S&T co-operation」2022年5月23日。

⁵⁶ インド外務省「Prime Ministers meeting with President of the United States of America」2022年5月24日。

⁵⁷ 注6に同じ。

4 オーストラリアの量子技術動向

オーストラリアは、各大学で1990年代初頭から高水準の基礎研究を蓄積し、量子技術の基礎を築いてきた。2011年からは量子専門のCoEが立ち上がり、応用研究も含んだ重点化が進行するとともに、大学発スタートアップも多く設立されている。産業基盤としては、企業個々の事業活動から、ソフト・ハード両面をカバーして発展し、CSIRO支援の下で商業化の取り組みも進んでいる。政府のあらゆるレベルからの継続的かつ実質的な支援もある。現在、連邦政府の主導により国家量子戦略の作成が進んでいる。

4.1 量子技術政策の動向

1990年代に第二世代量子技術が出現して以来、オーストラリアはその進歩に重要な役割を果たしてきた。ロバーソンとホワイトによれば、その基礎研究は主に、H. ベイチャー（Hans Bachor, オーストラリア国立大学）とG. ミルバーン（Gerard Milburn, オーストラリア国立大学を経てクイーンズランド大学）の両教授が主導する量子光学と、R. クラーク（Robert Clerk, ニューサウスウェールズ大学）教授が主導する物性物理学の二分野で進んできたという（いずれも所属は当時）¹。1990年代初頭には、関連する研究機関として国立磁気研究所（National Magnet Laboratory）と半導体ナノ加工施設（Semiconductor Nanofabrication Facility）が設立されていた。

量子光学と物性物理学は当初お互いに交流こそなかったが、20世紀末、B. ケイン（ニューサウスウェールズ大学ポスドク研究員 [当時]）がシリコンベース量子コンピューティングに関する論文を著し、先述のミルバーンらが線形光学を用いた量子コンピューティングを理論的に提唱した。これらが契機となり「量子コンピュータ技術のためのオーストラリア研究評議会特別研究センター（Australian Research Council Special Research Centre for Quantum Computer Technology [CQCT]）」の設置につながった。

こうした基礎研究の蓄積が今日の応用研究や技術の商用化を支えていると考えられ、同国の研究開発力を世界トップ水準へと高めている要因だと言ってよい。

2003年にはオーストラリア連邦政府研究評議会（ARC: Australian Research Council）主導でファンディングプログラムとして卓越研究拠点（CoE: Centre of Excellence）事業が始められ、重点分野で研究開発の拠点化が推進された²。量子分野では、2011年に開始した工学量子システムCoE（ARC Centre of Excellence for Engineered Quantum Systems）において、ミルバーンの研究室に2450万豪ドル（約23.3億円、1豪ドル＝約95円）が投じられ、2018年に終了した。これを皮切りに、2014年には1つ、2017年には5つのCoEが設置され現在も進行中であり、今日の特色を形成している。

2010年代後半、世界の量子技術市場の急速な成熟を受け、再びその研究開発に注力しなければ開発競争に劣後するという危機感から、オーストラリアは量子技術に注力する戦略を打ち出す。この時期の国家イノベーション戦略を見ると、2015年の国家イノベーション・科学アジェンダでは「サイバーセキュリティ成長センター（Cyber Security Growth Centre）を新設し、2600万豪ドル（約24億7000万円）を投じたシ

¹ Roberson, T.M. and White, A.G. (2019) "Charting the Australian quantum landscape," *Quantum Science and Technology*, 4, 020505.

² オーストラリア連邦政府研究評議会（ARC）"ARC Centres of Excellence."

リコン量子回路を構築するとうたわれている³。これは2017年に産業成長戦略の一環で「AustCyber」⁴として設置され、国内230超の専門企業と専門家が参画している。

更に近年になると、政府の関係諸機関は相次いで将来のロードマップを提示し、連邦政府を中心に強化策を講じるようになっていく。

2020年5月、オーストラリア連邦科学産業研究機構（CSIRO: The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation）は、量子技術の産業化に関するロードマップとして「**オーストラリアの量子技術産業の成長**（Growing Australia's Quantum Technology Industry）」を発表した。この中に示された「2040年量子技術産業ビジョン」によると、量子技術の世界市場は、2012年から18年の間で約4倍に成長し、2040年までに860億豪ドル（約8兆1700億円）に達すると予測されている。CSIROは、量子技術の応用が見込める産業分野として、ヘルスケア・医療、防衛、天然資源、金融サービスの4つを挙げ、それぞれ、量子センシング・計測（メトロロジ）、量子コンピューティング、量子通信の応用可能性について言及している。

CSIROロードマップは、オーストラリアが量子技術分野で過去20年間、世界トップクラスの研究蓄積を有するとし、世界の量子技術市場が急速に成熟する今、その地位を堅守し産業化競争に参入すべきと提言している。これに続く2021年には機構内にプラットフォーム（後述）を設置した。一方で同ロードマップでは、成長戦略策定に際し、技術支援とビジネスチャンス追求のバランス、基礎と応用のバランス、産学連携の方法、社会課題への対応などを引き続きの課題として指摘している。

他の科学技術と比べても量子技術は重視されている。2021年11月17日、スコット・モリソン首相（当時）は、**重要技術青写真**（Blueprint for Critical Technologies）を発表し、政府が重点的に取り組む9つの技術⁵の1つに量子技術を挙げた。その商用化や利活用を推進するため、1億1100万豪ドル（約105億5000万円）の投資計画も発表された。国内企業による新市場や投資家へのアクセス支援に7000万豪ドル（約66億5000万円）を投じて量子商用化ハブを設置し、有志国との戦略的パートナーシップを促進するとしており、産業界と政府の取り組みを調整するとともに、後述する国家量子戦略の策定で更なる民間投資を呼び込む予定である。

安全保障との関連では、国防省が**2016年防衛白書**（2016 Defence White Paper）で、量子コンピューティングを「革新的兵器製造、超音速、指向性エネルギー兵器、無人システムなどと並び、今後20年間で新兵器として導入する可能性」を示唆している（p.52, 2.43）。**防衛科学技術戦略2030**（Defence Science and Technology Strategy 2030）では、量子技術を利用した「PNT（紛争環境下での位置ナビゲーション・タイミング）」の実装に言及している⁶。なお陸軍も同様の趣旨で2021年4月、独自に**量子技術ロードマップ**を作成している。

³ オーストラリア連邦政府「**国家イノベーション・科学アジェンダ（National Innovation and Science Agenda）**」2015年。

⁴ 概要は**オーストラリア連邦政府ウェブサイト**、詳細は**オーストラリア産業・科学・資源省ウェブサイト**を参照。

⁵ 主に取り組む技術は重要鉱物の採掘と加工（critical minerals extraction and processing）、高度通信（5G・6Gを含む。advanced communications [including 5G and 6G]）、人工知能（artificial intelligence）、サイバーセキュリティ技術（cyber security technologies）、ゲノム・遺伝子工学（genomics and genetic engineering）、新規抗生物質・抗ウイルス剤・ワクチン（novel antibiotics, antivirals and vaccines）、低排出ガス代替燃料（low emission alternative fuels）、量子技術（quantum technologies）、自律走行車、ドローン、群ロボット、協調ロボット（autonomous vehicles, drones, swarming and collaborative robotics）。

⁶ PNTが必要とされる背景に関しては、オーストラリアの**国防省ウェブサイト**も参照のこと。概略すれば「全球ナビゲーション衛星システム（GNSS）の劣化ないし利用不能な状況下で、傍受・妨害を受けずに指揮命令を実施できるシステムを確保する必要」から、解説の事実上不可能な量子暗号・通信システムの応用・導入が必要と考えられている。

インフラ整備との関連では、2022年4月7日、オーストラリア教育・技能・雇用省が「**2021年国家研究インフラストラクチャロードマップ** (2021 National Research Infrastructure Roadmap National Infrastructure)」を公開し、ハイパフォーマンス・コンピューティング(HPC)、エクサスケールコンピューティング、量子コンピューティング、ビッグデータ、商用・非商用クラウドサービス(Nectar Research Cloud, AARNet CloudStor など)を将来に必須の技術インフラとして挙げている。

しかしオーストラリアは過去30年間、体系的な国家戦略を持たず、量子技術の恩恵を社会に還元し繁栄と安全に資するよう期待されてきた⁷。これを受けて連邦政府は「国家量子戦略課題文書(National Quantum Strategy Issues Paper)」をオンラインで公開し、2022年4月6日から6月3日まで公開ヒアリングを実施し、産学官はじめ幅広いステークホルダーの意見を収集した⁸。現在、首相科学顧問(Chief Scientist)を務めるキャシー・フォーリー(Dr. Cathy Foley)の指導のもと、国家量子戦略を策定中であり、9月23日付で、研究開発、商用化、投資、サプライチェーン、国家安全保障等に精通した産業界・学術界・政府機関の専門家15名で構成する「国家量子諮問委員会(National Quantum Advisory Committee)」の設立を発表した¹¹。

4.2 研究開発動向

第1章の論文・特許分析によれば、オーストラリアの論文数は4223件で、アジア・太平洋地域の4位になり、特許数は3位である。量子技術の中では、量子基盤技術(41%)がもっとも多く、次いで量子コンピューティング(25%)にも注力している(図表1-8)。またオーストラリア連邦政府の発表によると、量子コンピューティング分野で、オーストラリア国立大学は世界第6位、シドニー工科大学は世界第15位の研究成果を上げている。ベンチャーキャピタルの投資額では、米国、カナダ、英国に次いで世界第6位である。

大学・研究機関では、先述のように1990年代から基礎研究が多く蓄積されていた。また重点化に関しては、ARCが資金提供するCoEが2011年に量子技術でも開始し共同研究が進んだ。中でも、量子計算通信技術研究センター(CQC²T: ARC CoE for Quantum Computation and Communication Technology)は、シリコンベースの量子コンピュータ設計・構築を目指し、1999年に創設された前身のCQCT以来、国内で最も注目を集め、最も多くの資金が投入されている。これらのCoEが参加大学相互の協力を促し、各量子技術分野では高水準の成果が得られている。また、2017年から2024年まで進行中の工学量子システム(EQUS: ARC CoE for Engineered Quantum Systems)は、量子マシンに分類される様々な量子技術で画期的な研究成果を上げている。また2018年8月にはこれらCoEのうち4拠点が連携し、産官学はじめ多様なステークホルダーがオーストラリアの量子技術の将来を議論する大規模な会議をグレートバリアリーフで開催した。

⁷ カナダ先端研究院(CIFAR) *A Quantum Revolution - Report on Global Policies for Quantum Technology*, 2021年4月。

⁸ 注1で引用したロバーソンとホワイトの論考でも、結語に「今後期待されること」として言及されている。

⁹ 産業・科学・エネルギー・資源省(DISER, 発表当時)「**国家量子戦略課題文書(National Quantum Strategy Issues Paper)**」2022年4月。ニュース記事としては「**量子技術の成長に向けた「国家量子戦略(National Quantum Strategy)」を策定** 豪政府」『Science Portal Asia Pacific』も参照。公開ヒアリングの結果を取り入れた戦略の最終的な公開日は未公表である。

¹⁰ 産業・科学・エネルギー・資源省「**オーストラリアの量子ビジョン**」2022年4月。

¹¹ 「**量子産業の強化へ「国家量子諮問委員会」を設立 オーストラリア政府**」『Science Portal Asia Pacific』2022年11月1日付。

¹² オーストラリア重要技術政策調整室(Critical technologies policy coordination office)「**量子コンピュータ**」2021年11月。文献数や特許数の集計は何らかの外部情報源に拠っていると思われる、全体の枠組は、ARCがまとめた「**研究インパクトの原則とフレームワーク**」に基づいて分析された結果と推測される。

以下では、近年の個別研究成果をいくつか紹介する。

●シリコン量子ビットの実現に向けた重要なステップ¹³

2010年、CQC²Tのアンドレア・モレッロらは、シリコン中の電子スピンをシングルショットで時間分解的に読み出すことに成功した。これは、リンのドナー原子を、現在のマイクロエレクトロニクス技術と完全に互換性のある単電子トランジスタと呼ばれる電荷検出デバイスの近くに配置することで実現した。今回実証された高忠実度の単発スピン読み出しは、シリコンにおける新世代の量子コンピューティングおよびスピントロニクスデバイスの開発への道を開くものである。この研究成果は *Nature* に掲載された。

●フリップフロップ型量子ビット (Flip-flop qubits)¹⁴

2018年2月にニューサウスウェールズ大学の研究者らは「フリップフロップ型量子ビット」に基づいた、量子コンピューティングのための根本的な新しいアーキテクチャを発明した。この研究成果は *Nature Communications* に掲載され、他のアプローチで必要とされる原子の正確な配置を必要とせずに、シリコン量子プロセッサの規模を拡大することができるようになった。重要なのは、量子コンピュータの情報の基本単位である量子ビットを数百 nm 離して配置しても、結合を維持できることである。

●シリコンベースの量子プロセッサで 99% 以上の精度を達成¹⁵

2022年1月20日にニューサウスウェールズ大学シドニー校の研究者らが、量子コンピューティングの誤りを1%以下に減らすことが可能だと証明し、現在の半導体技術で製造できるシリコンベースの量子デバイスの実現に向けた道を開いたと発表した。研究成果は科学誌 *Nature* に掲載され、表紙にも採用された。シリコンの半導体スピン量子ビットは、量子情報を長時間保持できる安定性を持ち、既存の先端半導体製造技術を利用できることから、信頼性の高い量子コンピュータの基盤として有望視されている。

●世界初、弁当箱並の小サイズで室温稼働する量子コンピュータを開発¹⁶

オーストラリア国立大学のスピノフ企業であるクオントム・ブリリアンス (Quantum Brilliance) は、弁当箱に入るほど小型の室温量子コンピュータを世界で初めて開発した。クオントム・ブリリアンスの量子コンピュータは、サイズが画期的に小さいだけでなく、希釈冷凍機や真空チャンバーのような極低温環境を必要とせず、室温で動作できる点が画期的であり、情報保存の問題を解決できると期待されている。

●トランジスタの消費電力を 10 倍以上削減できる方法を発見¹⁷

2021年12月11～15日に米サンフランシスコで開催された2021年度国際電子デバイス会議 (International Electron Devices Meeting) でウーロンゴン大学の研究者らが組織する研究チームが、負の静電容量を持つトランジスタにより、電子機器や演算処理のエネルギー使用量を大幅に削減できる可能性を発見した。内部は電気を流さないが表面では電気を流す性質を持つトポロジカル絶縁体は、シリコンに代わる新たな量子材料として注目されている。「ARC 未来の低エネルギー電子技術に関するセンター・オブ・エクセレンス」(ARC Centre of Excellence in Future Low-Energy Electronics Technologies) の研究チームは、トポロジカル絶縁体を用いたトランジスタに、負の静電容量を持つキャパシタとして機能する強誘電材料を組み合わせ、低電圧でのスイッチングを可能にし、エネルギー消費量を10倍以上削減できることを発見した。

¹³ Molllello, A. et al. (2010) "Single-shot readout of an electron spin in silicon," *Nature*, 467, pp.687-691.

¹⁴ ニューサウスウェールズ大学基礎量子技術ラボ・プレスリリース "Flip-flop qubits: radical new quantum computing design invented," February 15, 2022.

¹⁵ University of New South Wales, "Quantum computing in silicon hits 99 per cent accuracy," January 20, 2022.

¹⁶ Australia Government, "World-first quantum computers that can fit inside a lunchbox," September 3, 2021.

¹⁷ University of Wollongong, "Research discovery could reduce computing's unsustainable energy use," December 20, 2021.

●量子コンピュータのエラー要因を AI で特定 シドニー大学とスタートアップ企業¹⁸

2021 年 8 月 2 日にシドニー大学と量子技術スタートアップ Q-CTRL が共同で、人工知能（AI）の機械学習を用いて量子コンピュータのエラーの要因を特定する画期的技術を開発した。研究成果は『Physical Review Letters』誌に掲載された。この技術により、性能低下の原因を従来にない精度で特定し、量子コンピュータの開発期間を短縮できる可能性がある。量子コンピュータの欠点は、環境によるノイズに弱く、性能低下を引き起こしやすいことである。Q-CTRL の CEO を務める同大学のマイケル・ビアクック（Michael Biercuk）教授が率いる研究チームは、このノイズによるエラーに注目した。そして、イオントラップと超伝導量子コンピューティングハードウェアを用いて、量子アルゴリズムの実行に必要な条件からのわずかな逸脱を検知する技術を開発した。Q-CTRL の研究チームは、測定した逸脱の原因を正確に特定するために、独自の機械学習アルゴリズムを用いて測定結果を処理する手法を開発した。さらに同社の既存の量子制御技術も使い、実際のノイズと、測定で生じる「見かけ上の誤り」（phantom artefact）を容易な区別を可能にした。

4.3 注目研究機関・大学

オーストラリアのほとんどの主要大学では、量子技術に関する教育課程、研究室が存在する。また先述の通り、研究評議会が選定し資金を拠出して立ち上げた 6 つの ARC CoE¹⁹ が参加大学相互の協力を促し、総じて量子技術分野では高水準の研究成果を上げている。また、ARC CoE 以外にも多くの研究機関、大学が、独自に研究拠点や教育拠点を設置し、特徴的な量子技術研究および教育を実施している。その量と質は、量子技術分野で先を行くアメリカやヨーロッパ諸国、および本報告書第 2 章で扱った中国に迫る水準と見て差し支えないと思われる。

以下では国内最大規模の研究機関である CSIRO、続いて量子技術を重点的に研究する 6 つの CoE、そして量子技術専門の研究室・研究部局を擁する大学の順に紹介する。

¹⁸ University of Sydney, “Q-CTRL unveils machine learning technique to pinpoint quantum errors,” August 2, 2021.

¹⁹ ARC は 3 年ごと（2011、2014、2017、2020 の各年）に様々な研究分野を CoE として選定し、概ね 7 年間の時限付きでグラントを拠出している。各 CoE の受給額など詳細はオーストラリア研究評議会センター・オブ・エクセレンスのウェブサイト²⁰を参照した。

²⁰ 個別大学の基本情報は JST/CRDS「科学技術・イノベーション動向報告 オーストラリア編（2016 年度版）」を参照した。

図表 4-2 量子技術に関する CoE と主な研究分野

ARC CoE	開始年	主導大学	主な研究分野
ARC CoE for Quantum Computation and Communication Technology (CQC ² T)	2017	ニューサウスウェールズ大学	光量子計算 シリコン量子計算 量子通信 量子情報処理 アーキテクチャ・アルゴリズム スケールアップ工学
ARC CoE for Engineered Quantum Systems (EQUS)	2017	クイーンズランド大学	量子材料 量子診断・イメージング 量子エンジン・量子計測器
ARC CoE in Future Low-Electronics Technologies (FLEET)	2017	モナシュ大学	トポロジカル材料 励起子超流動 光変成材料 原子レベルの薄さの材料 ナノデバイス作製
ARC CoE in Exciton Science	2017	メルボルン大学	量子・古典力学的励起子理論・モデリング 分光学 太陽電池、照明、セキュリティ、励起子制御のための材料とデバイスの設計と製造
ARC CoE for Gravitational Wave Discovery (OzGrav)	2017	スوينバン工科大学	重力波天文学における量子スクイズ ブラックホールと中性子星からの重力波データ収集 重力波検出を天体物理学的探査に役立てる
ARC CoE for Nanoscale BioPhotonics	2014	アデレード大学	光子を用いた先進的なセンシングツール 生体など動的な生体システムのイメージング向上 化学物質、ナノ材料、ファイバーベースの光反応ツールの発見を実現

出典：各種資料から APRC 作成

4.3.1 量子技術未来科学プラットフォーム (Quantum Technologies Future Science Platform) - CSIRO

2021 年、CSIRO に設立。初代ディレクターはジム・ラボー (Jim Rabeau, 元シドニー大学教授、産業・イノベーション・商業化のためのシドニーナノ研究所副所長) が務めている。このプログラムでは、政府の「Modern Manufacturing Priorities」に沿った様々なアプリケーションや、農業や環境分野を対象とした量子技術開発を行い、量子センシング、量子通信、量子コンピュータに注力して研究に取り組んでいる。

4.3.2 量子計算・量子通信技術研究拠点 (CQC²T: ARC CoE for quantum Computation and Communication Technology)

量子コンピューティング分野で高水準の研究成果を上げる CoE。グローバルな量子コンピューティング情報ネットワーク (超高速量子計算、絶対的な量子セキュア通信、分散型量子情報処理) の技術開発に焦点を当てている。オーストラリア研究評議会 (ARC)、米国陸軍研究局、半導体研究公社、国防総省、ニューサウスウェールズ州政府およびオーストラリアの参加機関から多額の資金提供を受け、2011 年に設立。ARC の報告書によれば、第 1 期の受給額は 2450 万豪ドル (約 23 億 3000 万円) となっている。²¹ ニューサウスウェールズ大学 (UNSW: The University of New South Wales) に本部を置き、オーストラリア国立大学、メルボルン大学、グリフィス大学、クイーンズランド大学、UNSW キャンベラ校、シドニー大学の各機関から

²¹ ARC CoE 2011 年次報告書の表 3 による。

200 名以上の研究者が参加し、19 の組織的プログラム、9 の共同ワークパッケージを展開している。

UNSW は、もとは工科大学として建学され、ARC CoE の前身である量子コンピューティング技術特別研究センター (SRC) の創設 (2000 年) に関わった研究機関である。CQC²T には他に、クイーンズランド大学、メルボルン大学、グリフィス大学、UNSW キャンベラ校、マッコーリー大学、シドニー大学が参加し、半導体微細加工ファシリティ、結晶成長、イオン注入、界面解析、レーザー物理学、強磁場・低温環境を主要研究分野としている。

4.3.3 工学的量子システム研究拠点 (EQUUS: ARC CoE for Engineered Quantum Systems)

2017 年設立、ARC からの受給額は 3190 万豪ドル (約 30 億 3000 万円、2017 年から 7 年間)。量子技術の工学的応用に注力し、量子状態を現実社会に役立てる量子マシンを構築し、未来をデザインすることをミッションに掲げる。量子状態において、基礎物理学と工学の境界で最も困難な研究課題を解決するとともに、産業界のパートナーと協力しつつ、科学的発見を実用的なアプリやデバイスとして開発し、最先端の研究、革新、起業家精神に富む新しい世代の科学者を育成するとしている。クイーンズランド大学、シドニー大学、マッコーリー大学、西オーストラリア大学、オーストラリア国立大学が参加している。

クイーンズランド大学は、EQUUS を主導すると共に、CQC²T のノードをホストする研究機関である。²² Edurank では物理と量子分野で国内 1 位、世界 60 位にランクされている。²³ 最新の Excellence in Research Australia の評価では、量子物理学で「5: 世界標準を大きく上回る」という最高の評価を得た。また、多くのスタッフが ARC の研究員である。

4.3.4 将来の低電子化技術研究拠点 (FLEET: ARC CoE in Future Low-Electronics Technologies)

2018 年 6 月 12 日設立。ARC からの受給額は 3340 万豪ドル (約 31 億 7300 万円、2017 年から 5 年間) となっている。物質のトポロジカル状態、原子レベルの薄さの材料、冷原子ガス、超高速レーザー科学といった異質な科学的要素を首尾一貫した全体へと統合し、新しい量子系における無散逸伝導を用いて計算で消費するエネルギーを節減するビジョンを描いている。モナシュ大学、UNSW シドニー校、オーストラリア国立大学、RMIT、スインバン工科大学、クイーンズランド大学、ウーロンゴン大学が参加している。

ホスト研究機関であるモナシュ大学は、海外 (中国・インド・イタリア・マレーシア) も含め全 9 キャンパスから成り国内最多のコース数を有する。[モナシュ量子情報科学拠点](#) (Monash Quantum Information Science) では、記憶と制御・幾何と過程・ノイズなど理論と技術の両面から量子コンピュータ技術を研究している。²⁴

²² クイーンズランド大学量子技術ラボラトリを参照。

²³ 量子・物理ランキングを参照。183 カ国、14134 の大学を対象に 246 のトピックを独自の指標に基づいて順位付けしている。

²⁴ ウェブサイトは 2019 年を最後に更新情報が途絶えている。

4.3.5 励起子科学研究拠点 (ARC CoE in Exciton Science)

2014 年設立、ARC からの受給額は 2300 万豪ドル（約 21 億 8500 万円、2014 年から 7 年間）。この CoE は、国際的パートナーとの協力で、光エネルギーの高度な分子材料による吸収・輸送・変換過程を操作し、エネルギー供給・利用の新しいアプローチ発見を目指す。産業界と協力し、再生可能エネルギーのための革新的な解決策を見出すために、太陽エネルギー変換エネルギー効率の高い照明とディスプレイセキュリティ・ラベリング、防衛用光学センサ・プラットフォームなどの課題に取り組んでいる。メルボルン大学のポール・マルヴァニー（Paul Malvaney）が主導し、モナシュ大学、RMIT、ニューサウスウェールズ大学、シドニー大学が参加している。

メルボルン大学のチームには、CQC²T の副所長であるロイド・ホレンバーグ（Lloyd Hollenberg）とデビッド・ジェイミソン（David Jamieson）という 2 人のプログラムマネージャが所属している。メルボルン大学では、CoE の中で 2 つのプログラムを実施している。ホレンバーグ教授が率いる量子プロセッサ開発プログラムと、ジェイミソン教授が率いる直接イオン注入プログラムである。

メルボルン大学の David Caro Building にある CQC²T のメルボルンノードには、決定論的イオンビーム施設があるクリーンルーム施設、材料加工・製造研究所、共焦点顕微鏡を備えた量子センシング研究所など、充実した実験施設がある。メルボルン大学はまた、IBM Q Network²⁵ の初期メンバーとして参加している。

4.3.6 重力波発見研究拠点 (ARC CoE for Gravitaitonal Wave Discovery <OzGrav>)

2017 年設立、ARC からの受給額は 3130 万豪ドル（約 29 億 7400 万円、2014 年から 7 年間）。スインバン工科大学がホスト研究機関として主導し、[西オーストラリア大学物理学研究室](#)に本部を置いている。重力波の歴史的な初検出を活かして、ブラックホールや時空の歪みといった極限物理現象の理解を通じ、宇宙物理学への理解を広めることを使命に掲げる。宇宙空間での計測ツールとして、LIGO、[スクエアキロメートルアレイ](#)²⁶、次世代重力波検出器の装置開発を行っている。ディレクターを務めるマッシュュー・ペイルズは 2022 年、オーストラリア科学アカデミーのフェローに選出されている。

4.3.7 ナノスケールバイオ光子研究拠点 (CNBP: ARC CoE for Nanoscale BioPhotonics)

アデレード大学（The University of Adelaide）がホスト研究機関として主導し、マッコーリー大学および RMIT と連携している。ARC からの受給額は 2300 万豪ドル（約 21 億 9000 万円、2014 年から 7 年間）。生体プロセスの信号を識別するための非侵襲的光学モニタリングなど、身体の基本的化学反応のモニタリング分野における基礎科学を開発している。同センターは、新しいバイオイメーシングやバイオセンシングの方法を開発する研究者と、生命科学や医学のエンドユーザーとの知識のギャップを埋める役割を担っている。

²⁵ IBM Q Network は、フォーチュン 500 の主要企業、研究機関・大学が IBM と協力し、ビジネスと科学への量子技術応用を模索するネットワーク。量子に関する専門知識とリソースを参加組織に提供し、最先端の汎用量子コンピューティングシステムと技術スタックへのクラウドベースのアクセスを提供する。

²⁶ オーストラリアに建設される集光面積 1km² の電波望遠鏡。

ホスト研究機関であるアデレード大学は農学、環境科学、健康科学、鉱物・エネルギー、光工学・先端計測の研究で強みを有する。2021年12月1日に開始した「量子材料戦略」では以下の目標を掲げる。①最先端の基礎研究と、新しい量子対応技術の実現に焦点を当て世界最高水準の研究能力の確立、②産業界や国防総省との信頼あるパートナーシップ構築、③量子材料の分野で世界トップ5入りの目標、④量子材料への特化、⑤将来の産業、防衛、学術環境に対応した人材育成。²⁷

4.3.8 オーストラリア国立大学 (ANU: Australia National University)

1946年に建学された、国内唯一の国立大学。当初は大学院大学で、1960年にキャンベラ・ユニバーシティ・カレッジ (Canberra University College) との合併で学部が増設され、現在は工学・情報学、医学、生物学・環境学、物理・数学をはじめとする7つの学部を有する総合大学。2011年にノーベル物理学賞を受賞したブライアン・シュミット (Brian Schmidt) が学長 (Vice Chancellor) を務め、教授陣、卒業生には6人のノーベル賞受賞者を輩出するなど他の大学と比べ研究が盛んである。QS世界大学ランキング2022では全体で27位。

ANUは、6拠点あるARC CoEのうち4拠点でパートナーを担い、基礎研究から技術的な応用まで、国内で最も多く量子技術研究を実施している大学の1つである。ANUはまた、関連する新興企業への技術移転にも優れている。

4.3.9 シドニー大学量子制御研究室 (QCL: Quantum Control Laboratory, University of Sydney)

1850年に建学された国内最古の大学。初代首相のエドモンド・バートン (Edmund Barton)、第25代首相のジョン・ハワード (John Howard) をはじめ多くの政治家や著名文化人を輩出している名門校である。シドニー圏内に8つのキャンパスを持ち、QS世界大学ランキング2022では、全体で38位である。基礎物理学、量子情報科学から技術開発まで幅広い。

同大学の量子科学研究グループは、量子情報 (イオントラップ方式のコンピューティング)、化学・材料のための量子シミュレーション、量子センシング・計測、および量子制御工学に分かれて活動している。Microsoft Station Q Network のグローバル研究ノード (ライリー教授が主導) をホストしており、オーストラリア初の量子技術スタートアップ Q-CTRL (ビアクック教授が創業・主導) の設立につながった。同大学はマイクロソフト社と複数年のパートナーシップを締結し、1億5000万豪ドル (約142億5000万円) を投じて、シドニー・ナノサイエンス・ハブ内に、シドニーとオーストラリアにおける量子研究のための環境と基盤を構築した。²⁸

²⁷ アデレード大学「量子材料でより良い世界を実現」2021年12月。

²⁸ シドニー大学「マイクロソフト・量子コンピューティング研究」2017年。

4.3.10 西オーストラリア大学ポージー・スーパーコンピューティング研究センター (Pawsey Supercomputing Research Centre, The University of Western Australia)

1911 年建学。メルボルン大学、モナシュ大学、クイーンズランド大学に次いで、高被引用数を持つ研究者の多く所属する研究力の高い大学。2014 年連邦政府と州政府の支援を受け、前身の iVEC を「電波天文学の父」の名にちなんで改称し「ポージー・スーパーコンピューティング研究センター」(Pawsey Supercomputing Research Centre, 以降ポージーと略) が開設された。オーストラリアが高速計算機分野のビジネスチャンスを生かせるよう、量子コンピューティング・イノベーション・ハブで研究を推進している。

ポージーは、2022 年前半にこのハブでパイロットプログラムを実施し、約 30 名の同大学量子コンピューティング専攻の学部 3 年生に実機を直接体験させる予定である。この試験的プログラムを通じて、学生がどのように量子コンピュータを使用するかを追跡し、ハードウェアの利用しやすさを長期的に向上させる予定である。このハブには、2 量子ビットの SpinQ Gemini と 3 量子ビットの Triangulum という 2 台の量子コンピュータがある。これらは室温で機能し、完全な量子制御設計能力を備えている。

4.3.11 シドニー工科大学量子ソフトウェア・情報センター (QSI, University of Technology Sydney)

シドニー工科大学では、将来の量子技術に必要なソフトウェアと情報処理基盤の開発を目的として研究を行っている。量子ソフトウェアと情報技術の方法論と機能に焦点を当て、これらの技術の新しいアプリケーションの開発に取り組む。研究課題は、以下の 6 つの主要な研究プログラムから構成されている。①量子アルゴリズムと複雑性、② AI の応用と量子コンピューティング、③中間量子コンピューティングとアーキテクチャ、④量子プログラミングと検証、⑤量子情報理論およびセキュリティ、⑥量子実験とハードウェア。大学内にもスタートアップ企業のコミュニティがあり、起業アイデアを持った現地の学生たちも多く集まる環境を形成している。博士課程奨学生プログラムを含む人材育成プラットフォームである [シドニー量子アカデミー \(Sydney Quantum Academy\)](#) と共に、シドニー市の量子イノベーションエコシステム醸成に貢献する優秀な学生の獲得・育成を目指している。

4.3.12 グリフィス大学量子ダイナミクス研究センター (Centre for Quantum Dynamics, Griffith University)

2003 年設立。同センターは、理論グループと実験ラボの両方で構成されており、研究者間の強力なコラボレーションを特徴としている。超高速量子プロセス、量子コンピューティング、量子ネットワーク、量子計測、量子基礎、量子生物物理学など、最先端の研究を行っている。また、オーストラリア研究評議会 (ARC) の CQC²T のノードがあり、オーストラリア国内で唯一、原子、分子、物質をフェムト秒以下の時間スケールでプローブできるオーストラリア・アトセカンド・サイエンス・ファシリティも併設されている。

4.3.13 マッコーリー大学マッコーリー量子工学センター (MQCQE: Macquarie Centre for Quantum Engineering, Macquarie University)

量子もつれ、重ね合わせ、量子干渉など、量子科学のより複雑な側面の解明と活用に焦点を当て、現実の量子性をより深く探求し、古典物理学の法則では不可能な、新しいタイプの機能を提供する量子世界のエンジニアリングに着手することを目指し、量子センサ、量子シミュレーション、量子コンピュータなどの研究を行っている。²⁹

4.3.14 ロイヤルメルボルン工科大学ダイヤモンド量子材料研究ハブ (Research Hub for Diamond Quantum Materials, Royal Melbourne Institute of Technology [RMIT])

2022年4月21日設立。ダイヤモンドベースの量子コンピュータを研究・開発するために、キャンベラに拠点を置くオーストラリア・ドイツの量子コンピューティング企業「クオンタム・ブリリアンス」(後述)とラ・トロブ大学 (La Trobe University) とが RMIT 内に共同設立した。ダイヤモンド材料科学において世界最高水準の専門性とリソースを基に、次世代の量子コンピューティング構築を目指す。³⁰ RMIT は ARC の量子計算・通信技術センター (CQC²T) のノードの1つであり、量子計算と情報の研究を行う QuRMIT グループがある。³¹

4.4 注目企業

オーストラリアでは、大学の教授らが数多く創業に携わり、量子コンピュータ技術に注力している。とりわけ、シドニー大学発のスタートアップ企業 Q-CTRL は、同分野で世界的に著名である。

オーストラリアの量子スタートアップは近年、投資家の間でも注目されている。量子サイバーセキュリティ・ベンチャーの Quintessence Labs は 2021 年 10 月、CSIRO の VC ファンド Main Sequence が主導するシリーズ B ラウンドで 2500 万豪ドル (約 23 億 8000 万円) を調達したと発表した。また、2021 年 8 月には Quantum Brilliance が、やはり Main Sequence の支援を受け、1300 万豪ドル (約 12 億 4000 万円) のシード資金を調達している。³² また、2021 年 11 月にはニューサウスウェールズ州の出資でシドニー市スタートアップハブの Tech Central 内に「[The Quantum Terminal](#)」が開設された。³³ シドニー量子アカデミー (4.3.11 で言及) のほか、企業では Q-CTRL と Quantum Brilliance の 2 社が入所している。

政府の助成金だけでなく、テック系の大手企業もオーストラリアの量子技術に投資を行っている。世界最大のマイクロソフト社は、シドニー大学のデビッド・ライリー教授 (EQUUS) の量子工学研究に数千万ドルもの投資を行っている。一方、オーストラリアの金融機関や通信会社は、量子コンピュータの開発・実用化に取り組んでいるシリコン・クオンタム・コンピューティング社を支援している。現在、世界には量子関連のスピンオフ企業やスタートアップ企業が 70 社以上あり、そのうち 5 社がオーストラリアを拠点として

²⁹ [The Macquarie Centre for Quantum Engineering \(MQCQE\)](#)

³⁰ “New hub to make diamond-based quantum computers.” リリース以降、[リサーチ・ハブ専用ウェブサイト](#)も開設された。

³¹ [QuRMIT \(Ker-Mit\) 研究グループのウェブサイト](#)

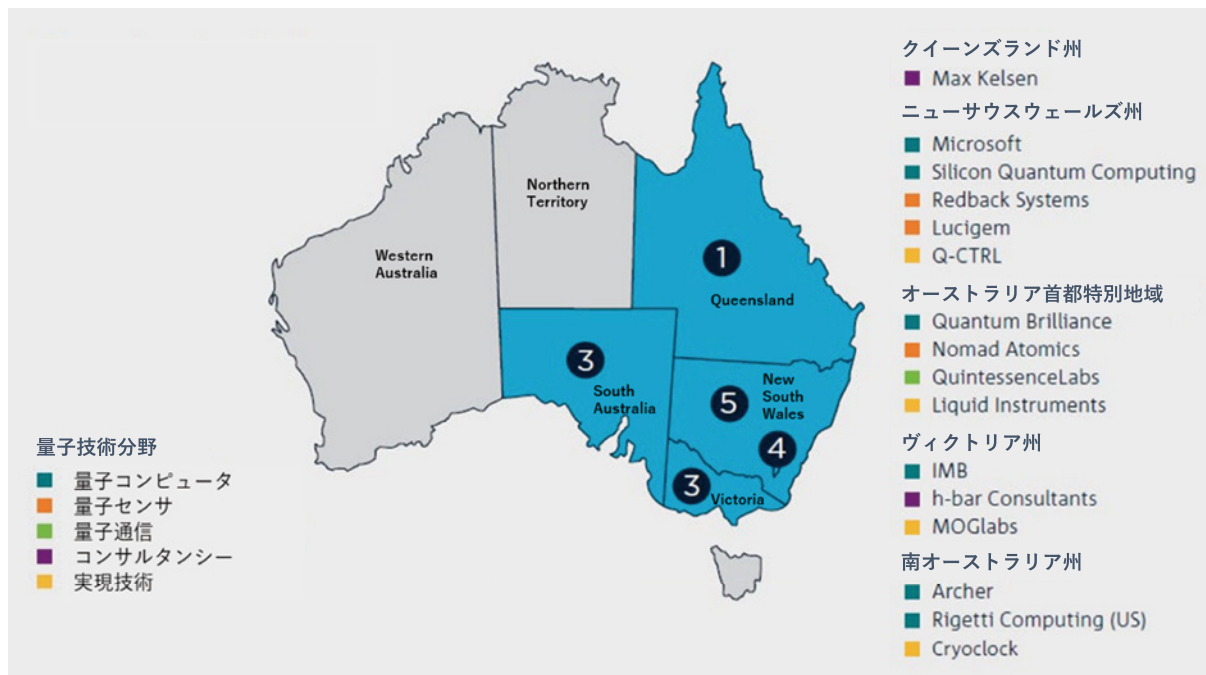
³² “Australia ramps up quantum computing focus with \$70 million commercialisation hub,” *Startup Daily*, November 17, 2021.

³³ ニューサウスウェールズ州プレスリリースより

いる。4.1 で引用したロバーソンとホワイトが述べる「この分野へ注いだ多大な支援の結果として、明確な科学的レガシーが存在する」という自己評価は、適切なものと考えてよい。³⁴

図表 4-3 で、CSIRO ロードマップに示された国内の量子関連企業 14 社について、州別・分野別の分布を示した。●の数字は州内に存在する企業数を表し、図に示された通り、首都圏とニューサウスウェールズ州で特に多く、それぞれ 4 社、5 社となっている。本節ではこの 14 社を注目企業として捉え、アルファベットの順に事業概要と主力商品を簡潔に紹介する。

図表 4-3 オーストラリアにおける量子関連企業



出典：CSIRO ロードマップ，p.10 の図を APRC 翻訳

4.4.1 Archer

量子情報処理を可能にする材料を提供する企業。国内およびアジア、EU、米国で特許認可された¹² CQ 量子ビット・プロセッサ・チップを開発し、社会で普及する電子機器に組み込み一般所有を可能にするソリューションを提供する。シドニー工科大学構内にナレッジ・ハブを設置し、アデレードにも拠点を置く。

4.4.2 QuantX Labs

2016 年に CryoClock として創業、後に改称し現社名となる。旗艦商品である量子時計 C-ROC や Cryoclock をはじめ、PNT や位置情報システムへの応用が見込まれる超高精度時間・周波数ソリューションを主に開発している。超高純度サファイアクリスタルは、市販の既存システムと比べ 1000 倍も純粋な信号を生成できる。また超低ノイズ合成技術により、HF 帯から X 帯までのあらゆる周波数を発生できる究極のシステムである。

³⁴ 注 1 に同じ。

4.4.3 H-bar consultants

量子物理学と量子技術の世界的な専門家によって設立された、量子技術に特化したコンサルタント企業。シドニー工科大学上級講師のサイモン・デビットが共同設立者兼マネージング・ディレクターを務める。

4.4.4 Liquid Instruments

実験的計測・制御のための再構成可能なハードウェアを販売・開発する企業。ANU 教授でもあり量子計測を専門とする D. シャドック (Daniel Shaddock) が CEO を務める。

4.4.5 LuciGem

2019 年 11 月創業。量子工学、生命科学、生体医学への応用を目指した蛍光性ナノダイヤモンドを販売・開発。CSIRO 量子技術未来科学プラットフォームの量子技術ディレクターである J. ラボー (James Rabeau) が共同創業者兼 CEO を務める。

4.4.6 Max Kelsen

機械学習・人工知能 (AI) のソリューションとコンピューティングコンサルティングを提供する企業。AWS、デロイト、ドミノ等の米国グローバル企業によるテック系アワードで多数受賞し、ブリスベンに本社を置く。

4.4.7 MOGlabs

2007 年、メルボルン大学の研究者であるショルテン (Robert Scholten) らにより創業。波長可変レーザー、レーザー電子機器、光増幅器、無線周波数合成装置、レーザー波長測定装置など、量子技術に不可欠な高性能レーザー技術を研究機関向けに適価で販売・提供する。ARC CoE EQUUS の参加メンバーでもある。

4.4.8 Nomad Atomics

フィールドでの使用に適して設計された小型量子センサを製造する企業。デコヒーレンスとエラーを低減する量子制御ソリューションを提供する。

4.4.9 Quantum Brilliance

ANU のポスドク研究員や講師らが 2019 年 10 月に興したスピンオフ企業。ダイヤモンドを用いた量子コンピューティング技術を開発し、簡単な制御で常温動作と高性能の発揮を共に実現する。4.2「研究開発動向」で述べたように、最近はその超小型化にも成功した。

4.4.10 QuintessenceLabs

2008年にキャンベラで創業。量子サイバーセキュリティ製品 Trusted Security Foundation (TSF)400、1ギガビット/秒の速度で稼働する乱数生成器などを製造・販売する。ビジネス・インテリジェンス・グループのイノベーションアワード（2022年）、米国化学会・量子コンピューティング分野優勝（2021年）など受賞が多数ある。

4.4.11 Redback Systems

2019年創業。高解像度広帯域イメージング用のシングルモード・ファイバー小型給電分光器 RS40kを開発・販売する企業。紫外から近赤外までの幅広い波長域で、顧客のニーズに応じた分光ソリューションを提供し、詳細なスペクトル解析のためのソフトウェア開発にも対応する。

4.4.12 Rigetti computing (US, previously QxBranch)

元 IBM の量子コンピューティング研究者であるチャド・リゲッティ（Chad Rigetti）が創業者兼 CEO を務める。米国に本社を置き、オーストラリア支社は、量子コンピュータのアプリケーション開発に注力する。

4.4.13 Silicon Quantum Computing

連邦政府、ニューサウスウェールズ州政府、ニューサウスウェールズ大学、連邦銀行、テルストラによる合同ベンチャー。CQC²T のディレクターでもあるミシェル・シモンズが創業者兼 CEO を務める。シリコンベースの量子コンピュータの 2023 年完成を目指し、シリコン製の 10 量子ビット量子集積回路プロトタイプを開発中である。CQC²T での開発成果をベースに、原子レベルで量子ビットを製造し、シリコン最速の 2 量子ビットゲートを実現する技術の開拓、低ノイズのデバイス、固体で最高精度の量子ビットなど多くの技術ブレークスルーを創出。当初は 8300 万豪ドル（約 78 億 8500 万円）の資金が提供された。

4.4.14 Q-CTRL

シドニー大学の物理学者マイケル・J・ビアック（Michael J. Biercuk）教授が 2017 年に創業し、量子ハードウェアの安定性を高めるためのソリューションを提供している。同社が量子コンピュータの量子誤りの特徴化・制御技術を基に開発した量子スケールのセンシング技術は、実環境でのパフォーマンスを最大 500 倍改善可能である。

4.5 注目研究者

第1章で紹介した論文・特許データをベースに、オーストラリアの量子研究コミュニティにおけるポジションや研究受賞歴等を加味して、注目研究者を選出した。

4.5.1 アンドリュー・S. スラック (Andrew S. Dzurak)

シリコンベースの量子コンピューティングとナノエレクトロニクスの専門家。ニューサウスウェールズ大学の理学部教授および ARC ローリエイト・フェローであり、シリコン CMOS 技術に基づく量子プロセッサチップの開発に力を注いでいる。2006 年からは、オーストラリア国立製造施設の NSW ノードである ANFF-NSW のディレクターを務めている。このネットワークは、大学を設置基盤とする研究所が研究者や産業界に最先端の製造施設を提供するためのものである。また、シドニーにある4つの大学の研究・教育資源を結集し、量子経済の発展を促進・支援する「シドニー量子アカデミー」の理事会および技術諮問委員会のメンバーでもある。主な研究分野は量子計算、ナノ加工技術、シリコンナノエレクトロニクス、単一電子デバイスと計測。2010 年以降、*Science* と *Nature* に 20 件以上の論文を発表しており、そのうちの 6 件は、シリコンチップデバイスにおける 1 量子ビットと 2 量子ビットの量子論理計算の世界初実証を含み、合計で 200 件以上の科学論文を発表しており、13 の特許ファミリーの共同発明者でもある。2011 年にはオーストラリア・ユーレカ賞の科学研究部門を、2012 年にはニューサウスウェールズ科学技術賞の工学および情報通信技術部門の優秀賞を受賞している。

4.5.2 ジェラード・ミルバーン (Gerard Milburn)

クイーンズランド大学名誉教授。研究テーマは量子情報理論、量子基礎、量子光学、量子制御、量子計測理論。1982 年にワイカト大学で理論物理学の博士号を取得し、光のスクイーズ状態と量子非破壊測定に関する研究を行った。現在、オーストラリア科学アカデミー、ロンドン王立協会、アメリカ物理学会のフェローでもある。

4.5.3 ミシェル・シモンズ (Michelle Simmons AO)

CQC2T のディレクター、またオーストラリア研究評議会 (ARC) の桂冠フェローである。世界最小のトランジスタ、極細導電線、3D 原子エレクトロニクス、原子ベースの量子ビットを用いた初の 2 量子ビットゲートなど、原子スケールでシリコンに電子デバイスを構築する独自の技術を国際的に先駆けて開発してきた。シリコン・クオントム・コンピューティング社の創設者兼 CEO として、シリコンベースの量子コンピュータ開発の最前線にいる。

4.5.4 ピーター・ターナー (Peter Turner)

シドニー量子アカデミーの CEO を務める傍ら、マッコーリー大学物理学・天文学部の名誉教授を務め、マッコーリー大学量子工学研究センターのメンバーとして活躍している。カナダ・トロント大学で物理学の修士号と博士号を取得した後、カルガリー大学量子情報科学研究所のアルバータ・インジェニユイティ・フェ

ローシップを経て、東京大学で物理学の助教を務め、約 20 年間にわたり量子情報分野で活躍している。ブリストル大学の量子工学博士課程センターのディレクターとして、新興の量子技術産業に向けて卒業生を直接輩出することを目的とした、おそらく世界初のプログラムを設立した。このセンターでは、斬新な大学院教育を提供するだけでなく、政府や産業界のパートナーとの連携も監督している。英、米、日本、カナダから 1550 万豪ドル（約 14 億 7300 万円）以上の競争的資金を獲得した幅広い研究実績を持っている。

4.5.5 ロイド・ホレンバーグ (Lloyd Hollenberg)

メルボルン大学教授。1989 年に同大学で物理学の博士号を取得し、その後、日本学術振興会の特別研究員としてつくばの KEK 加速器研究所に留学。ポスドク期間終了後、物理学部に戻り、研究・教育職に就いた。数理物理学と格子ゲージ理論の初期の研究は、量子コンピュータへの興味の出発点として自然なものであった。2001 年からは、シリコン量子コンピュータのビジョンを推進し、デバイス物理学から量子誤り訂正、スケールアップに至るまで理論的裏付けを提供している。また、理論的な量子コンピューティングと、半導体中のスピン量子ビットを用いた量子センシングの実験的実装の両方で貢献し、量子技術の国際的な推進者として知られている。*Science*, *Nature*, *Nature Physics*, *Nature Nanotechnology*, *Nature Materials*, *Physical Review Letters* などの一流誌を含む査読付き学術誌に 250 以上の論文を発表している。2001 年から 2010 年のトムソン・ロイター社による国勢調査では、量子コンピュータへの貢献で世界第 6 位にランクインしている。ARC ローリエイト・フェローシップ (2013-2018 年) のもと、ナノ・バイオの垣根を越えた量子センシングおよびイメージング技術を開発した。ARC 専門家の一員でもあり、2008 年には物理学、化学、地球科学のパネルで議長を務めた。

4.6 国際協力・国際共同研究

オーストラリアでは近年、政府レベルでの国際協力に再び力が注がれている。もともとオーストラリアは 21 世紀初頭、量子技術で世界レベルの基礎研究を蓄積していた。しかしオーストラリア戦略政策研究所 (ASPI: The Australian Strategic Policy Institute) の報告書によると、2010 年代の技術投資額は、先進諸国と比べると少なかったという (ASPI は、各国の量子研究への公的投資を、中国が 130 億ドル以上、ドイツが 31 億 5000 万ドル、フランスが 26 億ドル、米国が 26 億ドル、日本が 13 億ドル、豪が 3 億 5000 万ドル [すべて米ドル概算] と試算している)。加えて同報告書では、有力人材が相次いで国外機関へと移籍し「頭脳流出」が生じたと指摘されている。J. オブライエンと T. ルドルフが米シリコンバレーのスタートアップ企業 PsiQuantum へ、謝明修が台湾の鴻海研究院へ引き抜かれるなど、5 名が米国、中国、台湾の研究機関・企業に移籍したと例示している³⁵。これらの要因が、量子技術分野での中国の大きな躍進をもたらすと共に、オーストラリアの立場から見れば、グローバルな量子技術競争に後れを取る状況になったと指摘されている³⁶。

³⁵ Brennen, G., Devitt, S., Roberson, T. and Rohde, P. (2021) *An Australian strategy for the quantum revolution*, Policy Brief Report No. 43, Canberra: Australian Strategic Policy Institute, p.14.

³⁶ Jackett, J. "Realising Australia's quantum potential," Analysis, Australian Institute of International Affairs, December 15, 2021. 類似の評価は、注 32 で引いた ASPI の報告書でも見られる。なお著者のジャケットによれば、量子関連技術に「GPS が劣化した環境や拒否された環境での位置、ナビゲーション、タイミングソリューションなどのプロジェクトが含まれる可能性がある」としている。

また 2021 年 9 月には、米国・英国との地域安全保障枠組みである AUKUS が締結された。この新たなパートナーシップは、適切な国際協力により、量子技術をはじめ重要技術・機密技術を保護する必要性を示唆している。

以上に述べた背景から、幾つかの諸外国と協力枠組みが模索されている。

アメリカとの政府間協力に関しては、国務省が 2021 年 11 月 17 日、量子科学技術協力に関して共同声明³⁷を発表した。両国のパートナーシップ促進と国家間協力の実現を目的として、「両国へ相互に利益をもたらす有意義な実用化のための協力」「研究インテグリティの共通原則に裏打ちされた共同研究、共同開発、共同利用の推進」「信頼できる量子技術市場と安全なサプライチェーンの構築」「国家安全保障に関わる機密技術の取決による保護」を掲げている。協力を実現する手法として、豪政府は「量子政策対話」を挙げている。これは両国代表者が共同議長を務め、技術担当の政府高官による定期会合を開催し、情報交換、実践的取組みの確認、および本共同声明に基づく協力の見直しを行うものである。また、本共同声明に基づく特定のトピックを推進するために、追加の実務者会議を招集するとしている。

また、インドとは、両国の共同研究を推進する基盤として、連邦政府が「豪・印戦略研究ファンド (AISRF: Australia-India Strategic Research Fund)」³⁸を 2006 年に創設し、以後毎年、研究プロジェクトを募集している。最新の第 14 次募集では、量子技術、重要鉱物、感染症防止・制御を含む諸分野に約 520 万豪ドル（約 49 億 4000 万円）の拠出が予定されている。具体的には「センシング機能改良のための量子を用いた原子重量測定」で、オーストラリア国立大学に 100 万豪ドル（約 9500 万円）が割り当てられている。

その他諸外国との協力に関して、オーストラリア科学技術担当相は 4 月 7 日、「グローバル科学技術外交ファンド (GSTDF: Global Science and Technology Diplomacy Fund)」の「戦略的要素 (strategic element)」³⁹の初年度における優先分野と、特定パートナー (Identified partners) として指定する国を発表した。人工知能 (AI) および量子コンピューティングの分野で、日本、イギリス、フランス、スペイン、アメリカとの共同研究が期待されている。

³⁷Department of Industry, Science and Resources, Australian Government. “Australia signs quantum technology cooperation agreement with United States.” 米国の声明は以下抄訳記事も参照した。科学技術振興機構 研究開発戦略センター (CRDS) 「米豪が量子科学技術協力に関する共同声明を発表」2022 年 2 月 21 日。

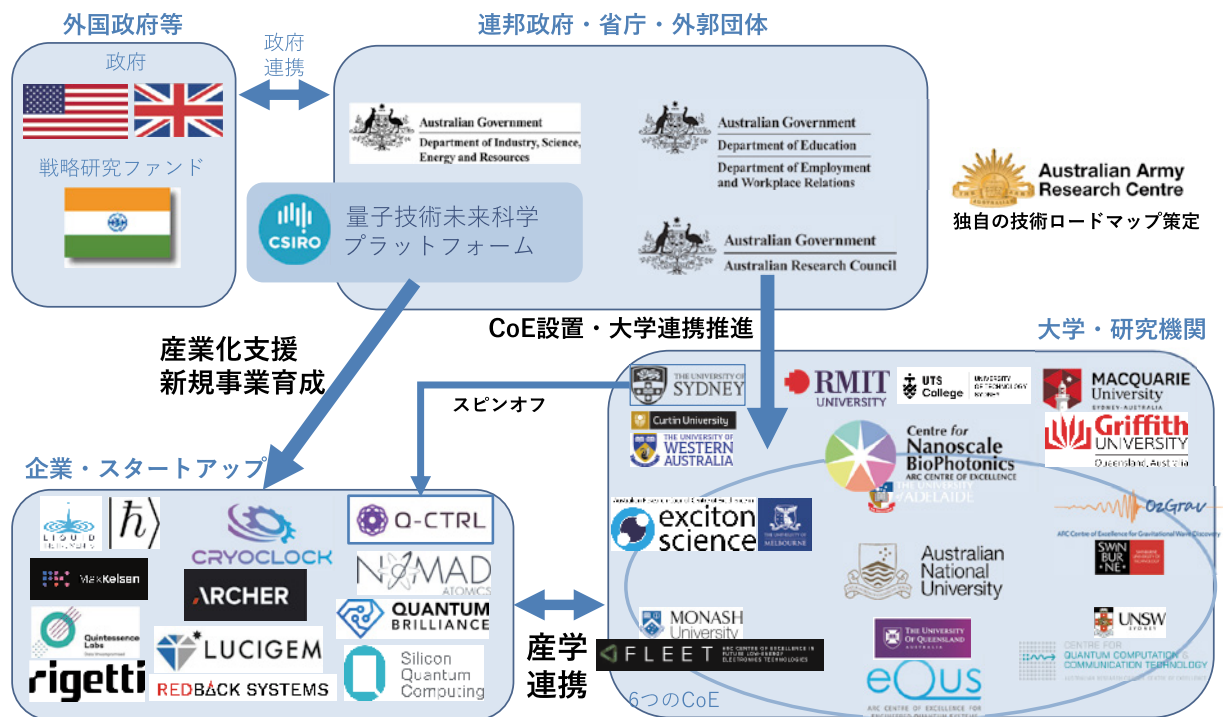
³⁸ AISRF の概要はインド科学技術省「第 10 次募集にあたってのガイドライン」を参照した。最新の第 14 次募集に関しては、メリッサ・ブライス科学技術担当相、メディアリリースを参照のこと。

³⁹「科学技術の国際共同研究の支援でファンドの優先分野とパートナーを発表 豪政府」『Science Portal Asia Pacific』2022 年 5 月 11 日。

4.7 量子イノベーションエコシステム

オーストラリアには、量子技術に関する幅広いエコシステムがあり、学界と産業界との強い連携がある。CQC²T や EQUUS などの CoE を通じて、政府から産学共同研究支援が行われている。2017 年には、量子に特化した2つの新しい CoE として、モナシュ大学にある FLEET (Future Low-Energy Electronics Technologies) とメルボルン大学にある Exciton Science が5年計画として設立された。各 CoE はオーストラリアの複数の大学を結び、研究者間の強力なネットワークを構築しており、大学からスピンオフした、もしくは大学と連携したベンチャー企業も数多く存在する。

図表 4-12 オーストラリアにおける量子イノベーションエコシステム



出典：APRC 作成

5 韓国の量子技術動向

韓国政府は、2019 年より量子技術への振興政策を打ち出している。民間では、サムスン電子、大手通信 3 社が政府よりも早い段階で量子技術に注目し、有望企業への投資を展開している。韓国の量子戦略の重点は量子通信分野であり、量子コンピューティングにも力を入れている。科学技術情報通信部は、産学官連携を強調し、韓国を代表する企業、大学、研究機関が参加する未来量子融合フォーラムを 2021 年に立ち上げた。全体として、量子技術関連のプロジェクトは、ソウル大学、KAIST、科学技術研究院、情報通信研究院などの大学、研究機関が中心となって取り組んでいる。

5.1 量子技術政策の動向

韓国政府が、量子技術に本格的に投資を始めたのは、2019 年からである。国際的に見てスタートが早いとは言えないが、その額は年々大幅に増加し続けている。

歴代政権の動きを見ていくと、李明博政権では 2012 年、知識経済部（当時）が、量子情報通信技術を「情報技術（IT）10 大革新技術」として選定した。また、朴槿恵政権では 2014 年に未来創造科学部（当時）が、「2005 年から一部で基礎研究が進んでいるものの、それを支える政策が存在しない」ことを指摘し、2020 年までに分野を先導するとのビジョンを提示しつつ、「量子情報通信中長期推進戦略」を公開した。この推進戦略は、①核心技術の開発、②研究基盤の構築、③継続的な成長を実現するための基礎作り、を主要内容としている。

戦略の具体化に向け、文在寅政権では科学技術情報通信部（MSIT: Ministry of Science and ICT, 以下 MSIT とする）が、2017 年と 2018 年、2 度にわたり「量子情報通信中長期技術開発予備妥当性調査」を企画財政部に依頼したところ、いずれも却下となり、予算の投入が行われなかった³。2018 年 4 月から、国家研究開発事業における予算の予備妥当性調査権限が、企画財政部から MSIT に移管され、ようやく量子技術への投資が実現した。

2019 年、MSIT は、量子コンピューティング技術開発事業推進計画と 2019 年度次世代情報コンピューティング技術開発事業推進計画を相次ぎ策定し、2019 年から 5 年をかけ、量子コンピュータハードウェアなど核心技術の開発およびコンピューティングの新しいアーキテクチャ、量子アルゴリズム、基盤ソフトウェアなどの有望技術の研究開発に 445 億ウォン（45 億円、1 ウォン＝0.1 円）を投資するとした。また、次世代コンピューティング技術開発事業を通じ、システムソフトウェア、ソフトウェア工学、情報および知能システム、ヒューマンコンピュータインタラクション（HCI）など 4 つの核心技術の開発に 134 億ウォン（13.4

¹ 韓国科学技術情報研究院「量子コンピュータ研究開発政策の現状と展望」（2019 年 5 月）を参照。

² 予備妥当性調査とは、SOC、研究開発、情報化など、大規模な財政投入が予想される新規事業について財政当局が予算編成と基金運用計画を策定する前に、事業推進に対する妥当性を検証・評価する手続きを指す。

³ 却下の理由としては、①事業目標が不明確である、②研究開発プロジェクトの目標や内容が抽象的である、③事業の優先順位が不明確である、④経済性（利益）が保障される可能性が低い、⑤量子コンピュータの民間需要度が高いとは言えない、などがあげられていた。詳細は、「量子情報通信 12 の核心課題を導出 グローバル先導技術 11 件を確保」『電子新聞』（2017 年 7 月 31 日）を参照。

⁴ 詳細は、科学技術振興機構 研究開発戦略センター デイリーウォッチャー（海外機関発表ニュース）「予備的妥当性評価 企材部から科学部へ移管」（抄訳公開：2018 年 7 月 11 日）を参照。

億円) を投入することを明らかにした。⁵

なお、量子技術における政府の研究開発予算の投資は、2019 年の 106 億ウォン (10.6 億円) から、2021 年には 328 億ウォン (32.8 億円)、2022 年には 603 億ウォン (60.3 億円) と大幅に増えた。額の規模を比べるとアメリカや中国には及ばないが、増加率に注目すると、2022 年は前年比 83.8% も増加している。603 億ウォン (60.3 億円) のうち、量子コンピューティング技術の開発に 197 億ウォン [19.7 億円、前年度は 96.3 億ウォン (9.63 億円)]、量子暗号通信集積化および転送技術の引き上げに 136 億ウォン (13.6 億円、前年度は 73 億ウォン [7.3 億円])、量子センサ核心技術の開発に 58 億ウォン (5.8 億円、前年度も同額) が拠出される⁶。なお、2022 年 5 月に発足した尹錫悦新政権が 6 月に公開した 2023 年度の MSIT R & D 予算案によると、量子技術に 953 億ウォン (95.3 億円) が投資される予定で、これは前年度比で 36.3% の金額増加となる。

続いて 2021 年 4 月 MSIT は、「これからは、デジタルの先にある量子の時代になる」とし、「量子技術研究開発投資戦略」を公開した。この戦略は先進国の技術開発動向を分析しつつ、韓国の技術開発における課題を提示し、短期目標として、2024 年まで 50 量子ビット級の量子コンピューティングシステムを構築するとしている。また、2030 年までに量子研究人材を 1000 人程度に増やすため、理論と実習のほか、企業との連携プロジェクトへの参加 (インターンシップに相当) をカリキュラムとする専門課程 (博士レベル) を新設するとした。人材育成の一環として、博士課程を修了した研究者を先進国に派遣し経験を積ませるだけでなく、海外の優秀な研究者を招き、先進技術を習得できる制度を構築するとした。韓国政府は、活発な官民協力を十二分に生かして、先進国に追随し、日々激化する量子技術開発競争で勝ち抜くべく戦略を立てている。

図表 5-1 量子技術研究開発投資戦略

ビジョン	デジタルを超え量子の時代へ (from digital to quantum)		
目標	2030 年代に量子技術 4 大強国になる一産業イノベーションを促進、国家の安保を強化		
段階別目標	(2021-2024 年) 人材育成、要素技術開発 (基盤を作る段階)	(2025-2030 年) 学問的・産業的活用の可能性 (成功事例) を提示	(2031-2035 年) 量子技術商用化を本格的に推進
	50Qbit 量子プロセッサ確保 - 超小型有線暗号通信確保 - 要素技術 (空間分解能、精度など) を高める	- NISQ 量子コンピューティングシステムを確保 - 超高速精密無線量子暗号通信 (量子ドローン・航空機) 確保 - 量子センサー産業 (産業半導体、医療) 活用	- 誤り訂正汎用量子コンピューター確保 - 量子インターネット技術確保 - 量子センサー応用領域拡大 (超長距離望遠鏡、量子顕微鏡など)
投資戦略	1. 基礎研究強化 ① 既存コンピューティングの限界を超える超高速量子コンピューティング技術を開発 ② 高度の保安環境で量子正解を結ぶ超信頼量子通信技術を開発 ③ 産業競争力を画期的に高める超精密量子センサー技術を開発		
	2. 人材確保及び国内外の協力基盤を構築 ① 拠点中心の協力体系を構築、グローバル協力を強化 ② 技術競争力を確保するための人材育成を支援		
	3. 研究インフラを拡充し連携を強化 ① 研究用量子コンピューティングインフラを段階的に構築 ② 量子素子製作支援インフラを構築し連携を強化		
	4. 量子技術の活用及び産業技術を促進 ① 経済・社会的に役に立つ技術や情報を発掘 ② 民官のパートナーシップに基盤を置いた成果事例を作る ③ 量子市場創出のための産業化を支援		
	5. 量子 R & D 事業投資の戦略性を強化		

出典：量子技術研究開発投資戦略

⁵ 「量子コンピュータ、核心技術の本格的開発へ 5 年間で 445 億ウォンを投資」『韓国政策ブリーフィング』(2019 年 1 月 31 日) を参照。
 なお、両計画の全文は非公開となっている。

⁶ 韓国科学技術情報通信部「2022 年度国家予算開発事業予算案結果」(2021 年 10 月) を参照。

⁷ 2023 年度の予算は、「2023 年度 R & D 予算配分調整案確定」『政策ブリーフィング』(2022 年 6 月) を参照。

更に2021年6月、韓国政府は「**情報通信の振興及び融合活性化などに関する特別法**（情報通信融合法）」を改正し、量子技術に関する内容を追加した。それぞれ2条・7条・27条にて、定義、研究開発及び人材育成、国際協力に関する規定を設けることで、量子技術の研究及び開発を支援できる法的根拠を明示した。

これと同時期の注目すべき動きに、2021年6月に、MSITが主導し、韓国最大の通信事業者KTのキム・イハン院長と高等科学院キム・ジェワン教授が共同議長を務める「**未来量子融合フォーラム**」を設立したことが挙げられる。このフォーラムは、量子分野の研究開発および産学研連携を主導することが期待されている。参加メンバーは、大手通信3社をはじめ、現代自動車、LG電子など12の大企業、IDQ、AhnLab、CRYPTOLABなど19の中小企業、ソウル大学、韓国科学技術院（KAIST）、韓国科学技術研究院など40の大学および研究機関である。すなわち、韓国のステークホルダーがほぼ全員参加しており、量子技術のグローバル競争において、特に「官民協力」を強調してきた韓国政府の戦略が具体化したと見ることができ、今後の動向も引き続き注目に値する。

なお、尹錫悦新政権は、「110の国政課題」⁸を公開し、科学技術への投資とイノベーション人材育成を通じ、世界の科学技術を先導できる国家への変容を表明した。その主要戦略として、量子暗号通信ネットワーク、スーパーコンピュータなどを中心とする科学技術インフラの構築を挙げている。また、2022年10月25日、2023年度の予算案および基金運用計画に対する国会スピーチで「これから量子コンピューティング、宇宙・航空、人工知能、先端バイオなどの核心技術に4兆9000億ウォン（4900億円）の投資を行う予定」と明らかにした。⁹

5.2 研究開発動向

「**量子技術研究開発投資戦略**」によれば、韓国は、アメリカやヨーロッパ諸国に比べ、量子への注力が遅れている分、「選択と集中」の戦略で、技術競争に立ち向かっている。その強みは量子通信分野といえる。これは、第1章でみた論文や特許出願の動向からもうかがえるが、**国家科学技術情報サービス NTIS**によれば、韓国で近年（2017年より5年間）出版された量子関連論文は6059件であり、韓国科学技術情報研究院（KISTI）のR&Iレポート¹⁰によれば、文献データベースWeb of Scienceに掲載されている韓国の量子関連論文は計246件（2016～2020年）であるという。分野別割合では、量子通信が50.8%、量子コンピューティングが41.9%、量子センシングが7.3%となっている。

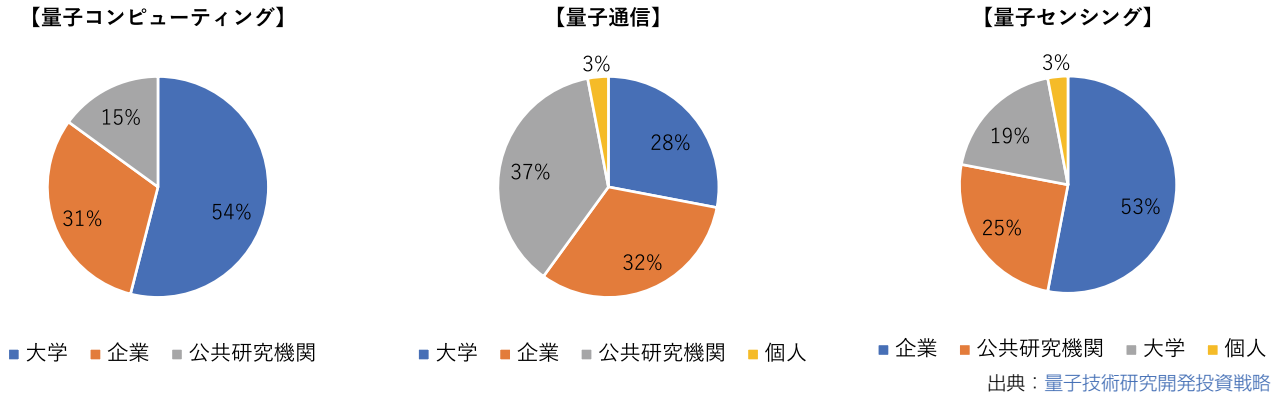
なお、MSITの「量子技術研究開発投資戦略」によれば、量子通信分野での韓国の全世界における特許出願の占有率は7.9%であり、これは3.3%を占める量子コンピューティング分野や4%を占める量子センシング分野を大きく上回る数字である。日本やアメリカ、ヨーロッパでは、企業からの特許出願が多数を占めるが、韓国の場合、大学や公的研究機関からの出願が多いのも特徴の1つである。量子通信分野で顕著な特許出願人として、韓国のSKテレコム、韓国科学技術研究院（KIST）、電子通信研究院が世界のトップ10入りを果たしている。なお、量子コンピューティング分野ではKAISTが29位、量子センシング分野では韓国標準科学研究院が15位にランクされている。量子コンピューティングでは、量子ビットやプロセッサに出願が集中しており、量子通信分野では量子素子、量子モジュール、量子センシング分野では光センサにフォーカスが当てられている。

⁸ 詳細は、「尹錫悦政権はこう動く——自律と創意で作る大胆な未来」『韓国政策ブリーフィング』（2022年6月8日）を参照。

⁹ 「尹大統領—半導体、量子コンピューティング、人工知能などに投資する」『産業日報』（2022年10月25日）を参照。

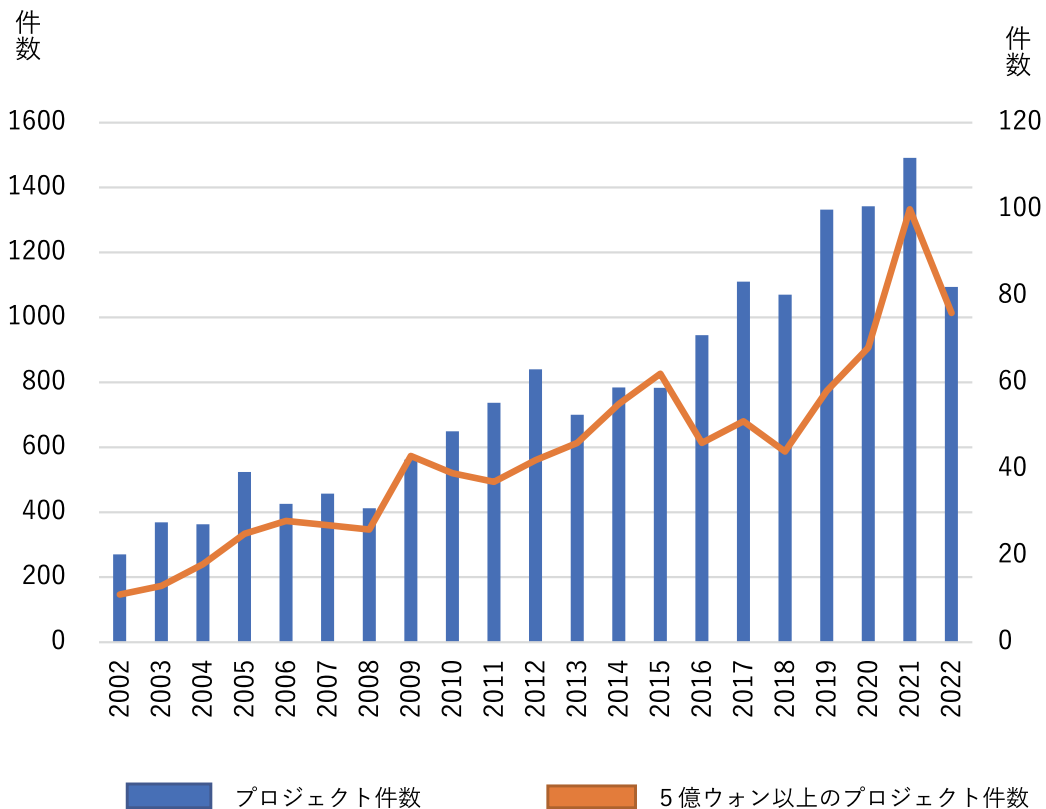
¹⁰ 詳細は、KISTI R&I Report「量子技術科学・技術・産業分析」（2022年3月2日）pp.58-76を参照。

図表 5-2 特許の出願人別に見た割合



国立科学技術知識情報サービス（NTIS）では、2002 年以降の国家が支援している研究開発プロジェクトを公開しているが、「量子」というキーワードで表示されたプロジェクトは、計 16260 件であり、ここ数年ではそれぞれ、2019 年に 1332 件、2020 年 1342 件、2021 年に 1491 件、2022 年に 1094 件（2022 年 6 月 10 日時点）となっている。2002 年からの年度別プロジェクト件数は、図表 5-3 の通りである。また、5 億ウォン（5000 万円）以上の高額プロジェクトの件数は、折れ線グラフで示した通りであり、2019 年から急増していることが明らかである。

図表 5-3 量子関連プロジェクト件数の年度別推移



出典：韓国国家科学技術情報サービス NTIS のデータに基づき筆者作成
 注：棒グラフの縦軸は左軸に、折れ線グラフの縦軸は右軸になる。また 2022 年は 6 月 10 日までの数字を表す。

プロジェクト件数の多い研究機関・大学には、ソウル大学（1058 件）、KAIST（912 件）、浦項工科大学（509 件）などがある。それぞれの研究成果の詳細は、5.3「注目研究機関・大学」で後述していく。

民間における研究開発投資では、以下の動きに注目すべきである。

延世大学と IBM が 2022 年 7 月 15 日に「延世—IBM 量子コンピューティングセンター」の構築のための契約を締結した。これで、韓国は、アメリカ、ドイツ、日本、カナダに次ぎ、5 番目の IBM 量子コンピューティングセンター設置国となった。延世大学は IBM 量子コンピューティング技術を基盤に、量子分野の産業・研究の活性化、量子コンピューティングを活用したソフトウェアの開発に注力する¹¹とした。

また、サムスンと大手通信事業者 3 社（SK テレコム、KT、LGU+）の動きである。サムスン総合技術院を中心とする量子コンピューティング研究チームは、米企業の IBM が主導する量子コンピュータ研究拠点 IBM Q Network に参加しているだけでなく、米シカゴ大学との共同研究も推進中である。また、SK テレコムや KT（通信事業者）、WOORIRO や WOORINET（設備および部品開発メーカー）は量子暗号システムの設備と部品の開発に取り組んでいる。「量子技術研究開発投資戦略」では、研究開発投資の現状について以下のように評価している。「量子技術は宇宙開発や国防技術と同じく、トップダウン方式で長期かつ安定した支援が必要であるが、韓国はまだその体制が整っていない。また、先進国は既に 15 年以上投資を続けているが、韓国が遅れているため、選択と集中が必要である。企業に頼るとリスクが大き過ぎるので、政府が先頭に立ってリードする必要がある。」

上述したように、2019 年から政府の研究開発投資が増え、量子素子の製作、量子コンピューティングサービスの需要も増加傾向にあるが、韓国国内における素子製作の工程インフラは強化が必要な状況にある。強みである半導体産業で使われていた設備は、容量と工程の違いから量子素子の生産には活用できておらず、量子に特化した生産インフラの構築が求められている。また韓国の研究者は、量子アルゴリズム及びソフトウェア開発を海外量子コンピューティングサービスに依存しているが、アメリカをはじめとする先進国は戦略技術の保護を強化しており、韓国としては、国産コンピューティング・ハブ構築などを急がねばならない状況である。政府は、研究開発事業とは別に、2020～21 年に 290 億ウォンを投資して量子暗号通信ネットワークを構築し、実証およびレファレンス確保のための量子暗号通信インフラ構築テストベッド事業を推進している。

他方で、量子技術の総体的なレベルは、先進国と比べまだ差がある。情報通信企画評価院（IITP: Institute for Information & Communication Technology Planning & Evaluation, MSIT 傘下の韓国研究財団の附属研究機関）が毎年発行する「[ICT 技術水準調査および技術競争力の分析報告書](#)」2020 年版によれば、量子技術が最も優れているヨーロッパの技術力を 100 とした場合、韓国の技術力はその 85.2% 相当と評価している（なお他の順位は、ヨーロッパ>アメリカ 99.7%>中国 99.0%>日本 91.9%>韓国 85.2%）。分野別に内訳を見ると、量子センサの技術力が 86.7%、量子通信の技術力が 85.7%、量子コンピューティングの技術力が 77.4% である。なお、韓国 ICT 技術の平均値が 88.6% なので、量子技術は、韓国国内の ICT 技術力の中でも下位にある。量子理論、超伝導、量子材料などの技術基盤とハードウェア／ソフトウェア全般において、技術水準が低い。初期バージョンの商品をリリースしている先進国に比べ、韓国企業はまだ模索段階にあり、産学官連携を通じたシナジー効果創出が必要である。

技術の発展状況を見ていくと、2019 年より韓国標準科学研究院（KRISS）が超伝導技術、ソウル大学が量子ドット、韓国科学技術研究院（KIST）が NV センターによる量子ビット技術の開発とシステム技術および SW 技術の開発を進めている。また、2020 年から韓国知能情報学社会振興院（NIA）が「量子暗号通信

¹¹ 「延世大学、IBM と量子コンピューティングセンター構築に向け契約を締結」『延世大学報道資料』（2022 年 7 月 15 日）参照。

インフラ構築事業」の一環で、医療や産業に量子暗号通信ネットワークを構築する事業を展開しており、国家安保技術研究所、電子情報通信研究院 (ETRI)、韓国科学技術研究院 (KIST)、韓国標準科学研究所 (KRISS) は小型量子鍵配送、量子ネットワーク、量子直接通信などの基礎及び応用研究を推進している。広州科学技術院は、量子レーザーの量子 LIDAR 応用も手掛けており、サムスン・SKT はその初期結果を得ている。その他の企業では quantum sensing も量子 LIDAR の開発に取り組み、ガスセンシングへの使用を推進している。なお、2022 年からは、大手企業らが実際の問題を解決できる量子シミュレータ技術の開発にも取り組むとしている。

なお、**国家科学技術知識情報サービス (NTIS)** の登録情報によれば、量子を研究テーマとしている研究者は 127 人 (2022 年 6 月 10 日時点) であるが、「量子技術研究開発投資戦略」では、2030 年頃までには最低 1000 人規模に増やさねばならないとしている。これに対し現段階では、着手している人材育成事業が少なく、海外から優秀な研究人材を誘致・招聘する優れた政策も見当たらない。

図表 5-4 進行中の量子人材育成事業

事業名	支援内容	育成している人数 (年間)
2018～2023年、情報通信放送人材育成 (ITRC)	実務能力向上のための産学連携 R&D プロジェクト、起業家精神教育など。	修士・博士：30名
2020年～科学技術イノベーション人材育成 (量子情報科学)	海外ポスドク2年、修士・博士インターンシップ6か月、委託教育 (修士) 2～4 か月	6か月以上：15名 6か月未満：35名

出典：量子技術研究開発投資戦略

5.3 注目研究機関・大学

ここからは、韓国で量子技術の研究を行っている、代表的な研究機関と大学を紹介する。研究予算、規模などと合わせ、主な研究内容と成果についても述べる。

図表 5-5 注目研究機関・大学一覧

性格	名称	研究機関及び研究員数	研究費 (20年)	研究内容及び成果
公共研究機関	韓国標準科学研究所 (KRISS)	・量子技術研究所 ・研究員14名、博士課程/ポスドク：4名	40億ウォン	・超伝導量子コンピューティング素子設計 (8量子ビット超伝導チップの製作と作動が可能) ・光格子超低温原子量子シミュレーター
	韓国科学技術研究院 (KIST)	・量子情報研究チーム ・研究員：9名、修士・博士課程/ポスドク：2名	54億ウォン	・格子欠陥スピン量子ビット及び量子インターフェース生成抑制技術 ・工学基盤量子シミュレーション
	韓国情報通信研究院 (ETRI)	・量子技術研究団超性能コンピューティング研究本部 ・研究員：20名、ポスドク：4名	47億ウォン	・量子コンピューティング活用基礎技術 (演算アルゴリズム) ・量子コンピューティングシステム技術 (プログラム言語、コンパイラ、合成器、運営体制、信号処理抑制技術) ・半導体基盤量子コンピューティング技術
大学	高等科学院 (KIAS)	・計算科学部、量子宇宙研究センター ・教授：2名、修士・博士課程：6名	8億ウォン	・量子情報科学理論全般 ・量子コンピューティング、量子機械学習
	ソウル大学	・物理天文学部、コンピューター工学部、電気電子工学部 ・教授：7名、修士・博士課程/ポスドク：55名	27億ウォン	・5量子ビット級半導体スピン量子プロセッサチップを設計、量子測定 ・20量子ビット同時生成が可能 ・格子基盤、中性原子基盤量子コンピューティング、誤り訂正技術など
	KAIST	・物理学科、電気及び電子工学部 ・教授：9名、修士・博士課程/ポスドク：43名	30億ウォン	・超伝導量子ビット測定、ナノ級単一原子顕微鏡、量子計算、リュードベリ量子シミュレーションなど
	高麗大学	・物理学科 ・教授：2名、修士・博士課程：6名	5億ウォン	・ダイヤモンドNVセンター基盤量子情報研究 ・分子量子ビットの基盤量子技術を開発
	POSTECH	・物理学科、電気電子工学部 ・教授：8名、修士・博士課程/ポスドク：43名	50億ウォン	・量子もつれ及び量子デコヒーレンス抑制、超伝導素子、極低温量子輸送 ・量子コンピューティングシステム半導体設計 ・イオントラップ量子コンピュータープロセッサ設計
	成均館大学	・成均館ナノ技術院 ・教授：2名、修士・博士課程：4名	2億ウォン	・5量子ビット超伝導量子コンピューティング素子設計及び工程を可能にした ・極低温高周波超精密技術開発量子コンピューティングシステム統合技術

5.3.1 韓国標準科学研究院 (KRISS: Korea Research Institute of Standards and Science)

1975 年韓国標準研究所として設立され、1991 年より韓国標準科学研究院と名称が変わった。1999 年の「国家標準基本法」により国家測定標準代表機関として位置づけられ、現在は科学技術情報通信部所属の国家科学技術研究会所管研究機関となっている。院長の傘下に監査部、政策戦略部、研究業務審議会が置かれ、副院長の傘下に、量子技術研究所、素材融合測定研究所、国家参照標準センターなど 8 つの研究所と物理標準本部、化学バイオ標準本部など 5 つの部署が設置されている。ビジョンは、「世界の基準を作る KRISS」であり、①国家測定標準の確立及び向上、②測定科学技術の研究開発、③測定標準と測定科学技術普及及びサービスの提供、をミッションとしている。日本の計量標準総合センター (NMIJ) 及び情報通信研究機構 (NICT) と国際協力関係を保っている。

量子技術研究所 (Quantum Technology Institute) は 2017 年に発足し¹²、14 人の研究者と 4 人のポスドク・博士課程の研究者で構成され、光子、原子、電子、フォノン（音響量子）など量子化された物理量を測定して制御する技術とともに、量子ビット、量子もつれなど量子力学的効果を生成し制御する技術の開発を主要業務とする。これらの 18 人の研究者は、量子スピンチーム、超伝導量子システムチーム、量子情報チーム、量子磁気測定チーム、量子磁気イメージングチーム、ファブ（fabrication facility）インフラチーム、超低温原子量子研究チームに分かれている。2020 年の研究予算は 40 億ウォン（4 億円）であり、以下のような研究成果が挙げられる。①超伝導量子コンピューティング素子設計と工程において、8 量子ビットの超伝導チップの製作・作動を実現、及び 20 量子ビットレベルの設計と製作。②光格子冷却原子量子プラットフォームを基盤に量子シミュレータを実現。③独創的なズームレンズ光学系とレーザーシステムを活用して世界最高水準の原子輸送効率（90%）を達成。

5.3.2 韓国科学技術研究院 (KIST: Korea Institute of Science and Technology)

1966 年に財団法人韓国科学技術研究所として発足し、1981 年に韓国科学院と統合されたが、1989 年に独立し今日に至る。韓国初の政府出捐研究機関（法人の運営に必要な経費の一部または全部を政府で出資した機関）で、大学院生を含め計 2743 人（研究職 2234 人）が所属する大手研究院。政府からの助成金 191 億ウォン（19.1 億円）、その他委任事業などからの予算 143 億ウォン（14.3 億円）を合計した 335 億ウォン（33.5 億円）の予算で運営されている。

組織体制としては、院長の傘下に監査部、研究機関委員会、研究審議委員会があり、副院長の下に脳科学研究所、次世代半導体研究所など 17 の部署がある。また、江原道江陵市と全羅北道に分院があり、ドイツにグローバル研究拠点として KIST ヨーロッパ研究所も設立している。「今日で明日を作る KIST」がビジョンであるように、最先端素材技術、クリーンテクノロジー、次世代半導体、AI（人工知能）とロボットなど、最先端技術の開発と研究に注力している。

次世代半導体研究所に 2012 年より量子情報研究センター (Center for Quantum Information) が置かれており、量子現象を情報処理に適用した量子コンピューティングのコア技術の開発及び通信セキュリティを保証する量子通信技術の開発を主要な研究分野としている。所属している研究者は 9 人、院生・ポスドク研究員が 2 人で、計 11 人である。量子情報研究センターの予算は 54 億ウォン（5.4 億円）で、格子欠陥ス

¹² 量子研究の重要性に鑑み、2017 年に量子測定センターから量子技術研究所にグレードアップした。

ピン量子ビット及び量子インターフェース生成制御技術の開発と工学基盤、量子シミュレーションの実現を主要成果としている。究極の目標は、長距離量子ネットワークおよび大規模量子情報処理を可能にする核心技术の確保であり、基礎研究寄りの研究を行っているのが特徴である。まだ日本の大学や研究機関と共同で行っている研究プロジェクトはないが、東北大学と東京工業大学と協力協定を締結している。

5.3.3 韓国情報通信研究院 (ETRI: Electronics and Telecommunications Research Institute)

1976年に韓国電気機器実験研究所として設立され、1997年に電気通信基本法に従い韓国情報通信研究院に名称を変更した。「未来社会を作る国家の知能化総合研究機関」をビジョンに、ICT技術の研究開発を主導する政府出捐研究機関である。この研究院で勤務している人は計2298人で、そのうち研究職（技術職も含む）が2011人である。この5年間で担当した研究開発プロジェクト数は2961件（2020年は650件）で、年平均研究費は612億ウォン（61.2億円）である。ICT研究を主導する研究機関らしく、ETRI出身のIT専門家は3800人にのぼる。組織体制としては、院長の傘下にグローバル・広報部、監査部などがあり、副院長の下にICT創意研究所、通信メディア研究所、人工知能研究所など7つの部門が置かれている。

量子技術研究センター¹³は、ICT創意研究所の所属部署であり、量子通信、量子センシング、量子コンピューティング技術の研究を主要任務とする。ここには、研究者20人、ポスドク4人、計24人が所属しており、予算は47億ウォン（4.7億円）である。最近の成果としては、国内外の研究チームとともに耐量子計算機暗号（ポスト量子暗号：Post-Quantum Cryptography）において重要とされる線型LWE格子暗号問題を解決できる世界最高レベルの量子アルゴリズムを開発した点である。その他、量子コンピューティング活用基盤技術（演算アルゴリズム）、量子コンピューティングシステム技術（プログラム言語、コンパイラ、信号処理制御技術）、半導体基板量子コンピューティング技術（半導体量子ドット量子ビット、超伝導量子ビットを実現）を開発した点も成果として挙げられる。

5.3.4 基礎科学研究院 (IBS: Institute for Basic Science)

上記3つの研究機関よりは、歴史が浅く、2011年に「国際科学ビジネスベルト助成および支援に関する特別法」により設立された。「Making Discoveries for Humanity & Society」をビジョンに、数学、物理、化学、生命科学などの分野の基礎研究を行う研究機関であり、傘下の**量子ナノ科学研究センター (Center for Quantum Nanoscience)**は2017年に新設された。ダイバーシティを重視し、研究室を引率するマネージャ2人は外国人であり、チームメンバーも約4割が外国籍である。職員は計40人で、そのうち研究者が8人、ポスドク研究者が7人、大学院生が15人、一般職員が10人である。

研究分野は主に5つで、それぞれ①表面での個別スピンの量子の一貫制御、②絶縁体でのスピンにおける量子の一貫性、③界面で回転する希土類元素、④界面の分子量子ビット、⑤界面上の量子システムに対する理論研究である。研究成果としては、量子ドットを用いた光電子デバイスの効率低下につながるオージェ再結合（Auger recombination）という過程を抑制するための新たな方法を発見した点¹⁴と、量子オットー熱機関（quantum Otto engine）に対する、測定による影響を最小限に抑える手法を考案したことが挙げられる¹⁵。

¹³ 設立時期は、公開されている情報がないため不明。

¹⁴ 詳細は、「量子ドットのオージェ再結合を抑制する新たな方法発見——韓国 IBS」『Science Portal Korea』（2022年3月2日）を参照。

¹⁵ 詳細は、「量子オットー熱機関への測定による影響を抑える方法を考案——韓国 IBS」『Science Portal Korea』（2021年12月2日）を参照。

5.3.5 ソウル大学 (SNU: Seoul National University)

韓国最初の国立大学として1946年に開校し、現在では世界中で知名度の高い大学として、QS ランキング 2022 ではアジア 18 位、世界 36 位となっている。教員 5410 人、学生 27924 人が在籍し、学部は 15 (73 の学科)、修士課程のある学科は 70、博士課程のある学科は 72、専門大学院は 12 と規模の大きい大学である。

量子技術は、物理天文学部、コンピュータ工学部、電気電子工学部で研究されており、教員と研究者は 7 人、院生及びポスドク研究者は 55 人である。2020 年量子研究で使われて研究費は 27 億ウォン (2.7 億円) で、成果としては、5 量子ビット級半導体スピン量子プロセッサチップを設計し、量子測定を可能にした点と、20 量子ビットの同時生成に成功した点 (但し量子ビット間のもつれは解決できず)、光子基盤技術、中性原子基盤量子コンピューティング技術、誤り訂正技術などを確保した点が挙げられる。

5.3.6 韓国科学技術院 (KAIST: Korea Advanced Institute of Science and Technology) & 高等科学院 (KIAS: Korea Institute For Advanced Study)

1960 年代、先進国に留学した人材の帰国率があまりにも低く、人材流失を防ごうと KAIST の前身である韓国科学院 (KAIS) が 1971 年に設立された。1980 年、韓国科学技術研究所 (KIST) と統合し、KAIST となった。KAIST は複数回の合併や分離が行われたため、非常に複雑な歴史を持っている研究機関でもあるが、公式には、開校は 1971 年となっている。2009 年には韓国情報通信大学 (ICU) と統合し、さらに大きい規模となった。韓国科学技術院法により、KAIST は特定研究機関となっており、大学とは異なり、教育部ではなく、科学技術情報通信部の傘下に置かれているため、入試も独特といわれている。

KAIST は、科学技術の人材育成、科学技術イノベーションのための基礎研究、融合・複合研究、産学研連携を主要任務とする。教員 (研究者) 1590 人、在学生 10793 人、7 の学部 (27 の学科)、43 のプログラムが設置されている。附属機関としては、後述する高等科学院、ナノ総合技術院、韓国科学英才学校がある。

量子の研究は、物理学科と電子および電気工学部で行われており、研究者 (教員) は 9 人、ポスドク及び院生研究者は 47 人である。量子研究の規模は 30 億ウォン (3 億円) であり、超伝導体量子ビット測定、ナノ級単一原子顕微鏡、量子計算、リユードベリ量子シミュレータなどを研究開発している。

なお、傘下にある高等科学院は、韓国の基礎科学のレベル向上を目指し、1996 年に設立された、韓国初の純粹の (理論) 基礎科学を研究する機関である。¹⁶ [The Institute for Advanced Study \(IAS\)](#) をロールモデルに、基礎研究を行う研究者が、研究だけに専念できる環境を作るのを最優先タスクとしている。また、基礎研究に強い研究人材の育成にも力を入れている。同院には、3 つの学部 (数学部、物理学部、計算科学部) と 4 つの研究センター (量子宇宙センター、数学難題研究センター、AI 基礎科学センター、巨大数字計算研究センター) が置かれている。2013 年に国内外の研究機関と大学の優秀な研究者との協力を基盤とする「Open KIAS Center」も設立した。

[KIAS の量子宇宙センター \(Quantum Universe Center\)](#) は、2014 年に設立され、宇宙論と天体物理学、情報理論、量子重力、素粒子物理、物質の量子状態を研究分野とし、物質とその相互作用の特徴、凝集物質と創発現象、量子情報、量子数学などの分野の可能性を提示・共有することを目標としている。また、計算科学部でも量子情報科学の研究を行っている。ここで量子研究をしている研究者は 2 人 (計算科学部と量子

¹⁶ 2009 年に、「科学技術強国になるには、基礎研究の強化が必要」との声が上がり、一時には KAIST からの独立が議論されたが、反対勢力が強く失敗に終わった。

宇宙研究センターに所属)で、院生は6人いる。量子情報科学理論全般、量子コンピューティングと量子機械学習を研究しており、予算は8億ウォン(8000万円)である。

5.3.7 浦項工科大学 (POSTECH: Pohang University of Science and Technology)

1986年に浦項製鉄(POSCOの前身)の支援で設立された、科学技術研究を中心とする大学である。歴史は比較的浅いが、開校当時から破格の奨学金と立派なキャンパスでエリートが多数入学し、1期入学生の平均点数は300点(大学入試試験満点340点)を超えと言われている。科学技術分野での研究実績は国内トップレベルであり、少数精鋭でも圧倒的なパフォーマンスを見せており、固体物理学、生命科学、材料科学、バイオプリンティング分野が特に強い。「Dare to be Different! 科学と国家の未来を先導する POSTECH」がスローガンであり、在籍教員は280人、年間研究費は2000億ウォン(200億円)前後を保っている。SCI掲載雑誌での出版論文数は、毎年1500件前後、特許出願数は300~500件となっている。18の学部、大学院には21の学部や課程が置かれており、102の付属研究所を有している。

量子研究は、物理学科、電気電子工学部で行われ、研究者(教員)は8人、ポスドクや院生の研究者は43人となっている。2020年の量子研究費は50億ウォン(5億円)であり、量子もつれ及び量子デコヒーレンス制御、超伝導素子、極低温量子輸送を研究し、量子コンピューティングシステム半導体の設計とイオントラップ量子コンピュータプロセッサの設計に成功した。

5.4 注目企業

政府が量子技術に投資を行う前から、サムスンやSKテレコム等の大手企業は、量子技術にいち早く注目し、技術の研究開発に取り組み、有望ベンチャー企業に投資を行った。ここでは、量子技術分野に積極的に取り組んでいる大手企業と、注目を浴びている中小企業をいくつかピックアップして紹介する。

図表 5-6 注目企業一覧

分野	主体	企業の量子技術・投資
量子コンピューティング	サムスン	2017年からIBMの量子コンピューティング共同研究に参加。2019年Aliro TechnologiesとIONQに65億ウォンを投資。2021年イスラエル量子コンピューティングスタートアップ「Quantum Machines」に579億ウォンを投資。
	企業全般	8量子ビットプロセッサを開発、素子と基盤技術(冷凍工学、超伝導など)が先進国に比べ遅れている。SW・アルゴリズムも初期段階。
量子通信	SKテレコム	2011年から量子暗号通信研究を開始。2017年7月、量子乱数生成チップ製品を開発。2018年3月、暗号通信関連スタートアップ企業IDquantiqueを買収。
	KT	2017年、KISTと韓国ナノ技術院に量子通信応用研究センターを設立、量子暗号通信の実用化を研究中。国内外の暗号通信標準化に力を入れている。
	LGU+	2020年、IoT端末用量子保安チップを開発。2021年PQC技術力を確保。
	EYL	2021年、世界初、量子乱数を活用した盗聴防止ソリューションを商用化。
	WOORIRO	2020-2023年スパッドセンサを利用し、単一光子で転送された信号を復元する超小型単一光子検出器(SPD)を開発する予定。
	企業全般	SKT(5G、韓国一大田一大邱380km)、KT(全羅南道一海軍司令府45km)など一部優先(試行)サービス運営の初期商用化技術を確認。生産性向上、既存研究インフラとの連動、長距離量子転送、有線・無線チャンネル研究が必要。
量子センサ	企業全般	超小型原子時計、量子磁場、ジャイロセンサADD製品などを開発。韓国標準科学研究院(KRIS)が慣性・磁場を、ソウル大学が磁場を、SKTが量子ライダ、WOORIROが単一光子を研究、関連技術を開発している。

5.4.1 サムスン (SAMSUNG)

量子の研究開発と投資に一番積極的な企業は、1938年に創業されたサムスンである。サムスンは韓国最大規模の多国籍企業であり、財閥順位、時価総額を含む企業評価要素すべてにおいて1位であり、2位との差も圧倒的である。経済のみならず、韓国の政治、社会、文化にも絶大な影響を及ぼしている企業である。

サムスンは、量子コンピューティングを成長可能性の最も高い技術の1つと選定し、有望企業に投資を行っている。2019年ハーバード大学量子情報科学研究所出身の研究者らが創業した量子コンピュータソフトウェア企業 **Aliro** に270万米ドル（3.5億円、1米ドル＝128円）を、米国量子コンピュータハードウェア企業 **IonQ** にも5500万ドル（71億円）を、2021年には、quantum machines社に5000万ドル（59億円）を投資した¹⁷。quantum machines社は2018年にイスラエルで設立されたが、初となる量子コンピュータ標準プログラミング言語を開発し、量子コンピュータの構築と運営に役立つハードウェアプラットフォーム「Quantum Orchestration (QOP)」を作った企業で注目を浴びている。

また、2020年の上半期に、サムスンは、世界初、量子暗号装置を搭載したスマートフォン「Galaxy Quantum」をリリースした。

なお、2013年から独自出資で「サムスン未来技術育成事業」を展開しており、国家的な支援が必要な未来科学技術分野を選定し、テーマを指定して支援を行っている。計706のプロジェクトが推進され9237億ウォン（923.7億円）が使われている。この事業の支援で展開された研究のうち、1241件が国際学術誌に掲載され、*Science* や *Nature* などの国際学術誌に紹介された論文も93件ある。

これらのファンディングプロジェクトには、2018年頃から量子関連テーマも含まれるようになり、「量子コンピューティング実用化のための技術開発」、「6G及び量子コンピューティングアプリケーションのためのTHz速度のトランジスタの開発」、「量子ネットワークのための拡張性のある半導体基板量子中継器」などの研究が行われている。量子研究に使われる予算は、123億ウォン（12.3億円）程度となっている。開始間もなくして成果は多く、特に量子暗号通信、次世代イメージセンサの分野で頭角を現している¹⁸。2018年に支援を受けて研究を展開したPOSTECH化学工学科チョン・デジョン教授の研究チームは、既存に比べ14.7倍アップグレードした光検出技術開発に成功し、次世代イメージセンサにおける革新的な研究成果として認められた¹⁹。また、2020年に支援を受けた高麗大学パク・ホンギウ教授の研究チームは、世界初の電気で稼働できる単一光子源を開発し、国際学術誌 *Science Advances* に「Electrically driven strain-induced deterministic single-photon emitters in a van der Waals heterostructure」のタイトルで掲載された。

5.4.2 大手通信3社 (KT・SKテレコム・LGU+)

KT、SKテレコム、LGU+ 3社が韓国の移動体通信事業を独占しており、シェアはそれぞれ、SKテレコムが44.1%、KTが31%、LGU+が24.9%である（2022年2月基準）。3社とも「未来量子融合フォーラム」のメンバーであり、量子技術に関心を示しており、特に量子暗号通信の標準化に力を入れている。

SKテレコムはSKグループの通信企業であり、2011年から量子暗号通信研究を開始している。2017年

¹⁷ 詳細は、「サムスン電子、イスラエル量子コンピューティング企業へ投資」『毎日経済』（2021年9月7日）；「サムスン電子 曰く：量子コンピュータの勝負はこれからだ」『韓経新聞』（2019年10月24日）を参照。

¹⁸ 成果の詳細は、「サムスン未来技術育成事業が支援した研究成果の発表」『サムスンニュースルーム』（2021年11月24日）を参照。

¹⁹ 国際学術誌 *Advanced Materials* に「Interfacial electrostatic interaction-enhanced photomultiplication for ultra-high external quantum efficiency of organic photodiodes」のタイトルで掲載された。

には量子乱数発生チップ製品の開発に成功し、翌年に、スイスにある量子通信関連スタートアップ企業 ID quantique²⁰ を買収した。

KT は、2017 年に韓国科学技術研究院と共同で韓国ナノ技術院に量子通信応用研究センターを設立して、量子暗号通信の実用化を研究している。大手通信 3 社のうち、量子暗号通信の標準化にもっとも注力している企業である。2022 年 2 月、KT が独自開発した量子暗号通信サービス品質評価基準が国際電気通信連合 (ITU) から世界で初めて国際標準の承認を受けた。この基準は、応答遅延 (Response Delay)、応答遅延変異 (Response Delay Variation)、損失率 (Loss Ratio) によって構成されたパラメータを適用し、サービス品質を測定することができる²¹。

LGU + は、2020 年に IoT 端末用量子保安チップを開発し、翌年には耐量子計算機暗号技術も確保した²²。また、2022 年 10 月 22 日、耐量子コンピュータ暗号技術 (PQC) と物理複製防止機能 (PUF) を同時に適用し、CCTV のセキュリティを大幅に強化する「PQC PUF VPN」技術を世界初で開発したと公表した²³。

5.4.3 WOORIRO

1998 年に設立された WOORIRO は、量子的に振る舞う光子を扱う光産業企業であり、「韓国光産業 1 号企業」と呼ばれている。韓国国内では、光パワー調整技術、単一光子検出器、超高速光検出器などで有名である。大手ではないが、国内初超小型スプリッタの開発・量産に成功した、光通信分野では世界トップレベルの実力を見せている企業である。WOORIRO は、超高速光検出器チップとモジュールを生産して、国内外の LTE および 5G 網に供給しているが、これらは超高速光通信網構築に必須とされているので、上述した通信 3 社には欠かせないものである。

また、長距離光通信を可能にさせるのが光分配器であるが、WOORIRO は光分配器チップとこれを利用した光モジュールを生産している。これらの技術力を基に、WDM (Wavelength Division Multiplexing) 素子分野にも手を伸べ、海外市場を攻略している。WOORIRO が開発した SPAD (Single Photon Avalanche Diode) は、光子を検出できる超高感度光学センサをチップにしたものであるが、暗号解読が不可能とされ、量子暗号通信においては不可欠な部品と言われている。SPAD の性能は、WOORIRO が世界トップレベルであり、韓国のみならず、アメリカ、中国、ヨーロッパ、インドの諸企業、日本では東芝が使用している。

5.4.4 EVERYWHERE IN YOUR LIFE(EYL)

2015 年に設立されたスタートアップ企業であるが、量子乱数生成器で知名度が高まった。「世界で最も小さくて早い、かつ、最も安くエネルギー使用が効率的である量子乱数生成器及び応用プログラムを提供する」ことがビジョンである。2017 年にはアメリカにも法人設立をし、2017 年に「破壊的な潜在力をもっているグローバルベンチャー企業 Disrupt 100」に選定され、2018 年には「Startup Grind Silicon Valley 20」に選ばれた実力を有する。

²⁰ 2001 年設立、量子鍵配送システム、量子安全ネットワーク暗号化、単一光子カウンタ、ハードウェア乱数発生器を研究開発する企業。詳細は企業 web サイトを参照。

²¹ 詳細は、「KT 開発の量子暗号通信サービス品質評価基準、ITU 国際基準に初承認」『亞洲経済』(2022 年 2 月 24 日)を参照。

²² 3 社の動きに関する詳細は、「量子コンピュータを恐れるな、事業化を目前にした KT、SKT、LGU +」『BLOTTER』(2022 年 2 月 24 日)を参照。

²³ 「LGU +、耐量子コンピュータ暗号で CCTV セキュリティを強化」『NEWSIS』(2022 年 10 月 20 日)を参照。

2021 年世界初となる、量子乱数生成技術を搭載した保安ソリューションでアメリカ政府の保安認証を取得した。この保安ソリューションは、「USB 型量子鍵生成器」となっているが、アメリカ連邦情報処理規格「FIPS140-2」の基準、アメリカ暗号モジュール認証（CMVP）の取得に成功したとされている。²⁴

5.5 注目研究者

注目研究者として、第 1 章で紹介した論文・特許データを基に、学界での知名度及び貢献度・成果などを総合的に考慮し、以下の 5 人を紹介する。

5.5.1 イ・ヘウン (이해웅, LEE Haiwoong)

KAIST 物理学科名誉教授。韓国で最初に量子情報学の研究を始めた、量子研究の第一人者である。研究分野は、量子工学、原子工学、量子物理である。1970 年にソウル大学物理学部を卒業し、1977 年にアメリカピッツバーグ大学で量子光学をテーマに博士号を取得した。博士号取得後は、アメリカロチェスター大学、アリゾナ大学、ニューメキシコ大学でポスドク研究員として業績を積み、1981 年からアメリカオークランド大学で助教・副教授として 8 年間勤務し、1989 年より KAIST 教授となった。量子もつれと量子情報をテーマに、量子情報学、量子光学、原子物理学に関わる論文を 100 報以上発表している。これらの業績が認められ、2006 年には 3.1 文化賞学術賞（自然科学部門）、2008 年には KAIST 優秀講義賞を受賞した。代表著書には、「光の量子理論」、「量子情報学講義」、「グーグル神はすべてを知っている」などがある。

5.5.2 チョン・ヒョンソク (정현석, JEONG Hyunseok)

ソウル大学物理学部教授。近年韓国国内では、量子研究をもっとも活発に行う研究者の一人である。原子および分子と光物理学、とりわけ量子力学の基礎、量子情報理論、光を利用した量子情報処理、量子光学を主な研究内容としている。1996 年に西江大学物理学部を卒業し、2003 年にイギリスのクイーンズ大学ベルファストで物理学の博士号を取得した。博士号取得後は、2003 年からクイーンズランド大学でポスドク研究員、2005 年より同大学の量子コンピュータ技術センターでリサーチフェELLOW、2008 年よりソウル大学助教を経て現在に至る。近年でも活発に量子研究を行っており、量子関連の多くの論文を発表している。代表的なのは、「Quantum Metrological Power of Continuous-Variable Quantum Networks (2022)」、「Quantum one-time tables for unconditionally secure qubit-commitment (2021)」、「Universal compressive tomography in the time-frequency domain (2021)」、「Resource-efficient topological fault-tolerant quantum computation with hybrid entanglement of light (2020)」などである。

5.5.3 チョ・ミンヘン (조민행, CHO Minhaeng)

基礎科学研究院（IBS）分子および分光学と動力学の研究チームのリーダーと高麗大学現代・起亜自然科学碩座教授（named endowed chair professor）を務めている。1987 年にソウル大学化学学部を卒業し、1993 年シカゴ大学で物理化学博士号を取得した。博士号取得後は、マサチューセッツ工科大学でポスドク

²⁴ 詳細は、「スタートアップ EYL の量子乱数生成技術搭載の保安チップ、アメリカの保安認証を取得」『ETNEWS』（2012 年 4 月 23 日）を参照。

研究員として在籍し、1996 年より高麗大学化学学部の助教を務めていた。訪問教授として 1997 年には日本の分子科学研究所、2000 年にはオックスフォード大学化学部、2004 年にはカリフォルニア大学バークレー校で研究を行っていた。

2005 年より基礎科学研究院 (IBS) 分子および分光学と動力学の研究チームのリーダーを務めるようになり、高麗大学では化学部教授から現代・起亜自然科学碩座教授に所属が変わった。

2021 年に、量子力学の難題とされる「相補性原理」を検証した。量子物体の波動一粒子定量における相補性について新しいモデルを提案・実現し、国際誌 *Science Advances* に掲載された。これは、1928 年に相補性原理が提示されてから約 100 年ぶりの新発見であり、学界における意味が大きいとされる。チョ氏は、1999 年に科学技術部若い科学者賞、2011 年に韓国科学技術翰林院学術賞、2012 年韓国学術院賞など多数の賞を受賞した。また、2002 年には、世界初となる「多次元分光法学会国際会議 (International Conference on Multidimensional Spectroscopy)」を韓国で開催した。2014 年より科学技術情報通信部の支援を受け、研究開発プロジェクトである「分子分光学および動力学研究」を展開している (PM を担当)。直近 5 年の論文は少ないものの、過去には 148 報の論文を発表し、活発に研究活動を進めている。

5.5.4 イ・ヨンヒ (이영희, Lee Younghee)

成均館大学物理学部・エネルギー科学部の教授及び SKKU フェローであり、同大学基礎科学研究所のナノ構造統合物理学センター長を 2012 年より務めている。全北大学卒業後、1986 年、アメリカのケント州立大学で物理学博士号を取得した。帰国後、全北大学物理学部で教えつつ (1987 ~ 2001 年)、ミシガン州立大学 (1996 ~ 1997 年)、スイスのチューリヒ IBM 研究所 (1993 年)、エイムズ国立研究所 (1989 ~ 1990 年) で客員教授などを務め、2001 年より現職に着任。研究テーマは材料科学・物性物理学。材料では大面積単結晶グラフェン CVD、酸化グラフェン、遷移金属二カルコゲナイドを、物性では原子・電子構造、光・熱・光熱変換特性、励起子キャリア多重化、多機能ナノ構造・デバイス、エネルギーハーベスティングを主な研究対象とする。

5.5.5 チョ・ドンヒョン (조동현, Cho Donghyun)

高麗大学の理学部長である。1990 年にイェール大学物理学科の博士号を取得し、同大学のポストドク研究員を経て 1994 年に帰国した。高麗大学の物理学科の助教を務めはじめ、勤務 10 年目となる 2004 年に理学部長となった。2002 年の「量子干渉現象および量子情報通信に関する研究」をはじめ、17 の研究開発プロジェクトを担当してきた。量子情報学をテーマに執筆した以下の論文「Line shape of a transition between two levels in a three-level Lambda configuration (2011)」、「Coherent transition between adjacent Zeeman sublevels in an alkali-metal atom without populating other sublevels (2013)」、「Magic Polarization for Optical Trapping of Atoms without Stark-Induced Dephasing (2013)」は、物理学分野の最高学術誌とされる *Physical Review Letters* に掲載された。

チョ氏は、高麗大学が毎年学生の評価に基づき、高評価の講義 (上位 5%) を行った教員に授与する「石塔講義賞」を 10 回も受賞するほど、高水準の講義で知られている。また、量子コンピュータに対しネガティブな意見を示す、数少ない量子学研究者としても有名である。2020 年に行った週刊朝鮮とのインタビュー²⁵

²⁵ インタビュー全文は、「量子コンピュータ懐疑論——チョ・ドンヒョン高麗大学物理学科教授」『週刊朝鮮』(2020 年 1 月 14 日)を参照。

でチョ氏は、「量子コンピュータの開発は永遠に不可能である。」とし、「グーグルが、一般コンピュータが1万年かけて行う計算を量子コンピュータが3分でクリアするとしたが、時間ではなく、計算結果が大事である。行いたい計算に対し、どれだけ正確な結果を算出できるのかがポイントである。ただ量子コンピュータはエラーが多すぎて正確な結果を算出できていない。だからグーグルは計算ではなく、乱数を作っただけである。」と批判した。また、「ホットテーマ」だからといって、まともな検証もせず、量子研究に巨額の資金を投じている諸国の動きに対しても批判を行った。

5.6 国際協力・国際共同研究

2021年MSITは、6G、人工知能、量子技術など中心とするICT国際共同研究に予算を、2021年の58億ウォンから2022年の117億ウォンへと倍以上に増やすことを表明し、特に量子技術においては、アメリカ、ヨーロッパ、イギリスとの協力を強化する方針を明らかにした。²⁶

韓国の未来量子融合フォーラムは、2022年1月、アメリカのアルゴンヌ国立研究所と量子暗号通信 LOI を締結し、今後技術交流や共同研究を推進するとし、駐韓フィンランド貿易代表部とは2022年6月にMoUを締結した。²⁷ また、2022年5月21日に開かれた米韓首脳会談では、量子技術、人工知能、バイオなどの核心技術において両国の協力を強化する旨を明らかにした。²⁸ 産業通商資源部は、2022年8月9日にアメリカで開催された「米韓標準フォーラム」で、米韓が量子技術・次世代半導体・人工知能など最先端技術における技術政策と標準化戦略を共有したと明かした。²⁹

アジア・太平洋地域では、未来量子融合フォーラムが日本の量子技術による新産業創出協議会 Q-Star と2021年5月に共同ワークショップを開催し、日本との量子技術協力に向けスタートを切った。³⁰ また2022年9月28日、MSITの研究開発政策室長とオーストラリアの国家主席科学者が面談を行い、量子技術での国際協力について議論を行った。研究開発政策室長は「オーストラリアは量子技術のロードマップを制定し、量子技術を強化しており、両国が共に力を入れている量子分野では技術協力の強化を図っていく」と述べた。³¹

企業では2021年にLG電子がオランダの量子コンピューティング開発企業である Qu & Co と多重物理シミュレーションのための研究協約を締結した。企業、政府問わず、量子技術における国際協力に力を入れているが、ここでは、政府の支援を受け進めた、最近5年間の国際協力プロジェクトに絞って紹介する。³²

POSTECH は、アメリカとマサチューセッツ工科大学（MIT）とBBNテクノロジー（Raytheon BBN Technologies）と2020年8月から2年間、2億ウォン（2000万円）規模の「量子情報のためのグラフェン基盤マイクロ波単一光子検出器の開発」プロジェクトを進めている。

蔚山科学技術院は、アメリカのペンシルバニア大学と「量子光源及びメモリ用の人工素材」プロジェクト

²⁶ 詳細は、「科技部、主要国と6G、AI、量子技術共同研究を拡大」『亜細亞経済』（2021年12月21日）を参照。

²⁷ 「未来量子融合フォーラム、アメリカのアルゴンヌ国立研究所と量子暗号通信 LOI を締結」『未来量子融合フォーラム告知子事項』（2022年3月8日）を参照。

²⁸ 「未来量子融合フォーラム1周年、量子技術の国際協力が拡大」『EDAILY』（2022年7月1日）を参照。

²⁹ 詳細は、「韓米首脳会談——宇宙・サイバー・量子技術・バイオなどで協力強化」『連合ニュース』（2022年5月21日）を参照。

³⁰ 「アメリカと量子技術・次世代半導体・人工知能など先端技術分野における標準協力を強化」『政策ブリーフィング』（2022年8月9日）を参照。

³¹ 「未来量子融合フォーラム1周年、量子技術の国際協力が拡大」『EDAILY』（2022年7月1日）を参照。

³² 「韓国、オーストラリアと量子技術などの科学技術協力を議論」『EDAILY』（2022年9月28日）を参照。

³³ 詳細は、韓国科学技術企画評価院 KISTEP 「国際協力研究開発分野」（2021年12月）及び量子技術開発投資戦略を参照。

を、メリーランド大学と「ハイブリッド量子フォトニック収集回路素子」プロジェクトを2020年8月から2年にかけて進めている。いずれも研究費は2億ウォン（2000万円）程度である。なお、ソウル市立大学は、アメリカのハーバード大学、ニューヨーク市立大学、ミネソタ大学と手を組んで、2次元ファンデルワールス材料量子コンピューティング国際共同研究センターを立ち上げ、2020年9月から2023年3月まで、67.5億ウォン（6.75億円）を投資して共同研究を進めている。

アメリカ以外にも、KAISTの場合、京都大学と「原子及び分子基盤量子シミュレータ開発のための国際協力事業」を推進しており、2020年9月から2023年3月まで、67.5億ウォン（6.75億円）が使われる見込みである。西江大学は、インペリアル・カレッジ・ロンドン、清華大学、デューク大学、インスブルック大学とともに「量子技術開発のための国際共同研究チーム」と立ち上げ、同じく2020年9月から2023年3月まで、67.5億ウォン（6.75億円）が投資される予定である。

韓国電気通信研究院（ETRI）とイタリアのブルーノ・ケスラー財団（Fondazione Bruno Kessler）は、2020年7月から2024年3月まで「小規模量子コンピューティングシステム最適化型制御及び性能評価技術開発」プロジェクトを展開するが、563億ウォン（56.3億円）規模の研究費が使われる予定である。2018年に開催された「量子コンピューティング保安技術国際ワークショップ」で、韓国電気通信研究院は、イギリスのクイーンズ大学、アメリカの標準技術研究所（NIST）と量子保安技術分野で協力を強化すると明かした。³⁴

なお、慶熙大学は、ドイツのライブニッツ固体・材料研究所（IFW-Dresden）と2020年7月から3年間、「低次元熱電及び衛星素材開発と熱電気／スピン量子物質測定技術研究」を共に行うため、99.9億ウォン（9.99億円）の研究費を確保している。標準科学技術研究院は、ドイツの国立研究機関「物理工学連邦機構（PTB: Physikalisch-Technische Bundesanstalt）」と「グラフェン基盤の量子インターフェース原器開発」プロジェクトを2019年7月から3年にかけて進めていく予定であり、予算は、45億ウォン（4.5億円）である。

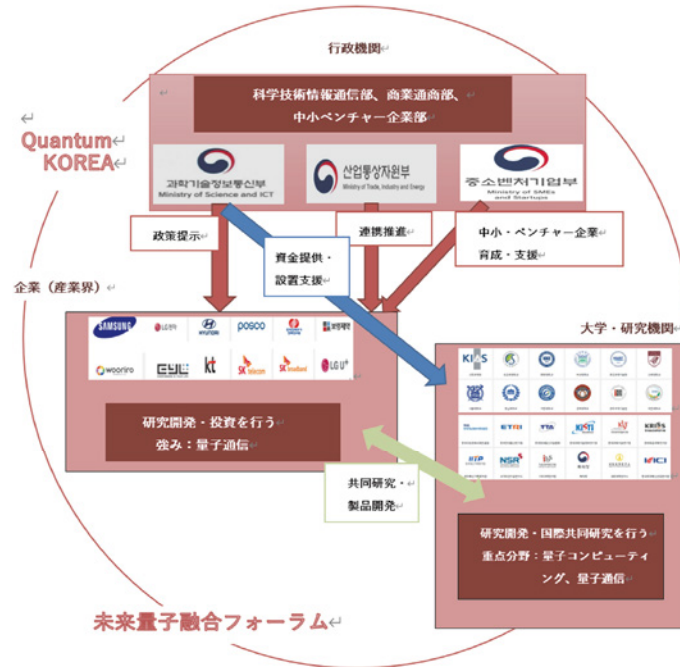
以下3件のプロジェクトは、いずれも量子通信分野に関するプロジェクトで、2017年から3年間、36億ウォン（約3.7億円）の研究費で進めたものである。高麗大学は、アメリカのイリノイ大学アーバナ・シャンペーン校と「量子情報のための2次元物質単一光子源の実現」プロジェクトを推進した。広州科学技術院は、アメリカのパデュー大学と「ランダムレーザーと光電子素子を結合した下位レベル暗号化ハードウェア」の研究プロジェクトを行い、ソウル市立大学は、アメリカのフロリダ・アトランティック大学と「衛星通信のための自由空間量子暗号システム半導の重力効果」研究を行った。なお、比較的規模は小さいが、仁川大学はアラブ首長国連邦のカリファ大学と「ビックデータ危険分析に基づいた量子保安インフラストラクチャ技術の開発」研究を共に行い、アメリカやヨーロッパ諸国中心に行われていた国際協力事業に新たな可能性を提示した。慶北大学とフランス国立科学研究センター（CNRS）は、2019年から2年半にかけ、「励起状態動力学のための新しい量子科学理論開発及び応用に関する国際協力」をテーマに共同研究を行った。また、2018年12月から2020年11月まで、南アフリカ共和国のクワズール・ナタール大学とKAISTは、「量子コンピューティングの実用のためのデジタル量子インターフェースと量子プロセスマネジメント基礎核心技術協力研究」プロジェクトを共同で実施した。

³⁴ 詳細は、「ETRI、国際量子コンピューティング技術研究の基盤を構築、イギリスクイーンズ大学、アメリカNISTと協力」『DIGITAL TODAY』（2019年9月19日）を参照。

5.7 量子イノベーションエコシステム

ここまで述べてきた量子技術のプレーヤーに関する概要と特徴を踏まえると、韓国の量子イノベーションエコシステムは図表 5-14 のように描くことができる。

図表 5-14 韓国の量子イノベーションエコシステム



出典：APRC 作成

6 シンガポールの量子技術動向

シンガポールでは21世紀初頭から量子技術の研究や政府ファンディングが始まり、2007年にはシンガポール国立大学（NUS）に研究拠点が設置された。だが研究開発が国家戦略の中に位置付けられ本格化したのは、2018年頃と考えられる。同年開始された量子工学プログラムは2022年4月に第2期を迎え、国家規模のコンピューティング・ハブやハードウェア製造拠点、通信ネットワークなどを新たな柱に、量子技術の研究開発を更に強化しようとしている。

6.1 量子技術政策の動向

シンガポールでは1990年代末から研究者個人で量子技術の研究が始められ、2002年には最初の政府ファンディングが投じられ、卓越研究拠点の設置によって組織的な研究も始められた。だが、第3次（RIE2005, 2001～2005年）から第6次（RIE2020, 2016～2020年）までの、国家科学技術計画のいずれを見ても、量子技術を重点項目とする明確な言及は見られない¹。よって研究開発政策の重点化は、2018年頃の家プログラム開始が契機であると考えられる。

シンガポールにおける科学技術政策の立案主体には、リサーチ、イノベーション、企業評議会（RIEC）²があり、政策立案主体で実施主体でもある貿易産業省（MTI）と教育省（MOE）がある。2002年には、MTI所轄で当時設立したばかりの科学技術研究庁（A*STAR）と政府系ファンドのテマセク（Temasek）が、シンガポール国立大学（NUS）の量子情報技術研究グループに最初のファンディング（500万星ドル＝約4億6500万円、1星ドル＝約93円）を投じた⁴。2007年12月、教育省とシンガポール国立研究開発基金（NRF）はNUSの同研究グループを研究センター・オブ・エクセレンス（RCE）として認定し、NUSは量子技術センター（CQT: Centre for Quantum Technologies）を設置した。CQTはコア・ファンディングとして1億5800万星ドル（約147.5億円）の資金提供を受け、その設置後ほどなく、国際的レビューを経て3690万星ドル（約34.3億円）の追加ファンディングを受けた。2017年には、CQTのコア・ファンディング（1億星ドル、約93億円）が教育省とNUSにより2022年まで延長された。

NUSに続いて、他の研究機関でも量子技術の重点的研究が開始される。2017年には、A*STARの材料工学研究所（IMRE）内で研究プログラム「工学のための量子技術（QTE: Quantum Technologies for Engineering）」が開始された（4年時限、2500万星ドル＝約23.3億円）。IMREでは、A*STARの設置以前にさかのぼる1990年代末から、材料科学分野で基礎研究に取り組んでおり、量子技術研究の重点化といえる。

シンガポールで量子技術が国家戦略の中に位置付けられたのは、確認できる限り2018年が最初である。同年11月、首相府は2014年11月発表のスマート・ネーション構想に関する最新展望「スマート・ネーション——

¹ 2001年から5カ年毎の科学技術計画を参照した。なお S&T Plan 2005、S&T Plan 2010、RIE2015、RIE2020はMTIが、RIE2025は後述の通りNRFが、それぞれ発行主体となっている。

² 2006年設立。首相直轄でトップダウン型の研究開発・イノベーション戦略の基本的方向性を審議する組織として、科学技術の政策過程で最高位に位置するとされる。未来工学研究所「主要国における科学技術・イノベーション政策の動向等の調査・分析」2020年3月、p.266。

³ JST/CRDS「シンガポールの科学技術情勢」。

⁴ 以下、政策動向とファンディング額の記述は主として Angelakis, D. et al. (eds) (2019) *Quantum Technologies in Singapore: Preparing for the Future*. Singapore: QuantumSG、および Kung, J., and M. Fancy (2021) *A Quantum Revolution: Report on Global Policies for Quantum Technology*. Toronto, ON: CIFAR, p.46 による。

更にその先へ」で、国民生活の利便性向上にむけて政府機能の94%のデジタル化を掲げ、その手段の1つとして、拡張現実（AR）・仮想現実（VR）、IoT、ブロックチェーンなどの新興技術と並び量子コンピューティングに言及した。この首相府の表明と期を同じくして2018年、NRFが2500万星ドル（約21億3000万円、5年時限）の資金を提供し、量子工学プログラム（QEP: Quantum Engineering Program）を組織した。量子セキュア通信、量子センシング、量子コンピューティングの3つを重点分野として、NUSが研究開発の実施を主導し、実施プロジェクトのプロポーザルを受け付け、国際的審査・評価を経て採否を決定する。2021年度には更に2614万星ドル（約22億2200万円）の予算が投じられ、約230名の研究者を擁している。

首相府の声明、およびNRFの出資と同時期に、アカデミアも動きを見せる。2018年には、アレクサンダー・リン（Alexander Ling）はじめNUS-CQTの主任研究者（PI）らによって、研究開発イニシアティブQuantum SGが発足した。2019年10月には、PIらの共同編集で「シンガポールの量子技術——未来への備え（Quantum SG 研究コミュニティからの提言）」が発行された。量子技術の国際的ハブとなりうる可能性に照らし、学術界の立場から将来に向けた具体的かつ実行可能な提言をまとめた文書である。

2020年にNRFが発行し、中期目標を述べた最新の5カ年計画である「**リサーチ、イノベーション、企業2025年計画**」⁵では、NUS-CQTの設立からQEPまでを回顧し、シンガポールが量子情報、光学、通信、暗号化、シミュレーションの分野で国際競争力を築いてきたと評価しつつ、スマート・ネーションとデジタル経済の柱の一部として、更に強力な支援を図るとしている。具体的には「量子通信と量子鍵配送、量子センシングとイメージング、量子アルゴリズムなどの新しい重点分野」も支援対象に含むとし、量子技術の更なる強化と国際的発展への継続的な努力を表明し、2020年からの5年間で250億米ドル（159億ユーロ、約21億8100万円）を投資すると述べている。

2022年5月31日、アジア・太平洋地域の代表的なテック系国際イベント「アジアテック x シンガポール（ATxSG）サミット」の挨拶で、ヘン・スイキャット（副首相兼シンガポール国立研究財団〔NRF〕会長）は、QEPの新たな三本柱として「国家量子コンピューティング・ハブ」と、「国家量子ファブレス・ファウンドリー」そして「量子セキュア通信ネットワーク」（いずれも6.2で詳述）の立ち上げを発表。従前の量子技術振興の取り組みを更に強化するとした。⁶

6.2 研究開発動向

第1章の論文分析によれば、シンガポールでは2399件の関連論文が出版され、論文数平均伸び率は韓国と並び5%となっている。分野別の論文数を見ると、最も多いのが「量子材料」（36%）、次いで量子センシング・計測を「量子基盤技術」（30%）、「量子コンピューティング」（20%）の順で並んでいる。5カ年毎の出版数変化を見ると、2011年以降に、量子コンピューティングと量子基盤技術で著しく伸び、続いて2016年以降に、量子暗号・通信と量子材料で著しく伸びている。

これら一連の指標から推察するに、シンガポールでの量子技術研究開発は、従来から量子材料の研究が長く続けられてきたが、研究拠点の設置等によって量子コンピューティングへの注力も見られ、近年は量子鍵配送（QKD）および光ファイバー網と小型人工衛星（キューブサット）による広域量子通信の研究も進んできたと考えられる。

⁵ 以下の記述に際しては、APRCによる日本語仮訳も参照されたい。

⁶ “Singapore boosts investments in quantum computing with 2 new programmes,” *Straits Times*, May 31, 2022, 「量子コンピューティング・安全通信・デバイス製造の能力向上へ…国家プラットフォーム立ち上げ シンガポール」『Science Portal Asia Pacific』2022年7月1日。

研究開発の実施主体である大学と研究機関は、NUS と南洋理工大学（NTU: Nanyang Technological University）、および A*STAR を中心として、図表 6-1 の通りとなっている。このほか、計算機科学分野では国立スーパーコンピューティングセンターが存在するが、量子技術との関連性に絞って 6.3 に述べる。

図表 6-1 シンガポールの研究開発を担う機関の概要

類別	名称	研究体制	研究分野
大学	シンガポール国立大学 量子技術センター (NUS-CQT)	教授 8 名、准教授 13 名、客員准教授 6 名、助教 7 名、研究員 22 名、大学院生 60 名	量子セキュア通信（量子鍵配送・量子暗号）、光ファイバーに基づく大都市間量子通信、衛星に基づく広域量子通信、量子コンピューティング・シミュレーション（主としてイオントラップ方式）、量子センシング
	南洋理工大学 量子・複雑系科学イニシアティブ (QuCSI)	准教授 1 名、客員教授・研究員 2 名、研究員 6 名、大学院生 7 名	量子情報科学と複雑系科学の学際分野。とりわけ、古典的数理モデルの制約を破る、複雑性を縮減する量子モデルの系統的構築
	シンガポール工科・デザイン大学 (SUTD)	教授・准教授・助教計 3 名、研究員数名	量子コンピューティング、量子マテリアル
公的研究機関	シンガポール科学技術研究庁 (A*STAR)	研究員約 40 名 (IMRE) 研究員約 40 名 (IHPC)	センシングと材料・デバイス (IMRE)、コンピューティングと AI、大規模複雑系システムモデリング、ソーシャル・コンピューティング、コグニティブ・コンピューティング、計算機機械工学など (IHPC)

出典：各種資料を基に APRC 作成

6.2.1 量子工学プログラム (QEP)

NRF が資金を提供し、NUS が実施を主導する研究開発プログラム。これまでの投入資金額および擁する研究者数ともにシンガポール国内最大の規模と研究水準を有し、6.5 で述べる注目研究者の大半が参画している。2018 年から 2022 年 3 月までの第 1 期を経て、2022 年 4 月からは第 2 期 (QEP2.0) に入った。

QEP を統括するのは 2 名の共同議長、ロー・テック・セン (Low Teck Seng, NRF 最高経営責任者) および ケク・ギム・ピウ (Quek Gim Pew, 防衛省 [MINDEF] シニア研究開発コンサルタント) であり、アレクサンダー・リンが 2020 年 9 月よりプログラム・ディレクターを務めている。また事業の運営と推進は、プログラム・コーディネータ計 10 名（コンピューティング／通信／センシング／国立量子ファブレス・ファウンドリー、クラウド量子コンピューティング、国立量子セキュア通信ネットワーク）が配置されている。2022 年 5 月末現在で進行中のプロジェクトは 3 つの重点分野および実現技術で総計 27 件である（図表 6-2）。

6.1 で既述の通り、本年 5 月末の副首相声明では QEP の第 2 期として 3 つの施策が発表され取組が始まった。

第一の施策である量子コンピューティング・ハブには、シンガポール初の独自の量子コンピュータが設置され、企業や政府機関がクラウドネットワーク経由でなく直接アクセスして検証できるようになるため、開発リードタイムが少なくなることが期待されている。

第二の施策として公式な設置予定が発表された国立量子ファブレス・ファウンドリー (NQFF) は、マイクロ・ナノ加工を必要とする量子デバイスの開発を通じて、量子研究コミュニティを支援する組織である。QEP の 3 本柱を重点的な対象分野とし、学術研究とその応用、および国内外の産業界との橋渡し役を担っている。

図表 6-2 QEP でファンディングを行っている事業一覧（2022 年 5 月現在）

分野	名称	主任研究者（PI）	機関
量子通信とセキュリティ	量子インターネットのためのアーキテクチャとプロトコル	ビプラブ・シクダー (Biplab Sikdar)	NUS
	古典的な光ファイバーネットワークに埋め込まれた量子ネットワークのための全透明光ルータの評価	クリスチャン・クルツィーファー (Christian Kurtsiefer)	NUS
	大都市間距離における異種量子インターフェース		
	電氣的に駆動する単一光子エミッターを用いた全国的な量子鍵配送	高微博 (GAO Weibo)	NTU
	量子時計の比較・応用のための光ファイバーの特性評価とノイズ軽減	メン・ユソン (MENG Yusong)	A*STAR
	量子同形暗号：量子インターネットのための『スイスアーミーナイフ』？	マルコ・トマミシェル (Marco Tomamichel)	NUS
量子コンピューティングとプロセッサ	動的・物性物理学の量子シミュレーションのためのスケーラブルでプログラマブルな原子アレイ・プラットフォーム	ロー・ファンキアン (Loh Huanqian)	ANU
	先進量子プロセッサ・プラットフォーム	ライナー・ダムケ (Rainer Dumke)	UNSW
	空洞量子電子デバイス (QED) の進展：材料とアルゴリズム	ダリオ・ポレッティ (Dario Poletti)	SUTD
	シリコンにおけるドナー系スピン量子ビットの原子工学的研究	クアン・エン・ジョンソン・ゴ (Kuan Eng Johnson Goh)	A*STAR
	金融のための量子コンピューティングへの計算機科学のアプローチ	パトリック・レベントロスト (Patrick Rebentrost)	NUS
	量子コンピュータによる補助的なメカノルミネッセンス材料の設計促進	ルー・ディンジー (Lu Dingjie)	A*STAR
	希少事象予測のための金融時系列データの量子拡張モデリング	マイル・グー (Mile Gu)	NTU
	トラップされたイオンを用いた量子プロセッサ	ディミトリ・マツケヴィッチ (Dzmitry Matsukevich)	NUS
	資源効率の良い量子アルゴリズムと化学、経路最適化、金融への応用	ディミトリス・アンゲラキス (Dimitris Angelakis)	NUS
	トラップされたイオンを用いたスケーラブルな量子機械学習ソリューションの実現に向けて	マナス・ムカルジー (Manas Mukherjee)	NUS
	VCSEL を基にした量子アニーラー	アーロン・ダナー (Aaron Danner)	NUS
量子センシング	原子干渉計を用いた重力測定：開発と応用	ライナー・ドゥムケ (Rainer Dumke)	NTU
	量子アシストナビゲーションと磁気センシング		
	地球科学と防衛用途のための 10fT/Hz ^{1/2} 感度の非冷媒センチメートルスケール磁力計のシンガポールでの構築	リー・ジュンイー (Lee Junyi)	A*STAR
	地震観測のための光ファイバー通信網の検討	クリスチャン・クルツィーファー (Christian Kurtsiefer)	NUS
	熱線を用いた光波距離測定	タン・ベン・キアン (Tan Peng Kian)	NUS
	プラズモニク・ナノ細孔：オンチップ量子ベースゲノムシーケンスへ	ウー・リン (WU Lin)	SUTD
	生体組織の脂質検出を例とする老化研究のための量子イメージング	アンナ・パテロバ (Anna Paterova)	A*STAR
	ダイヤモンドの NV 中心を用いた健康科学のための量子センシング	ガオ・ウェイボ (GAO Weibo)	NTU
	量子センシングおよび量子通信用単一光子検出器	ビクター・レオン (Victor Leon)	A*STAR
実用技術	高速単一光子計数用ガイガーモードアバランシェ・フォト・ダイオード制御用集積チップの開発	ガオ・ユアン (Gao Yuan)	A*STAR
	MPCVD 法による超高純度「量子グレード」ダイヤモンドの作製	エドウィン・ハン・トン・テオ (Edwin Hang Tong Teo)	NTU

出典：量子工学プログラムの事業一覧を APRC 訳出

第三の施策に関しては声明に先んじた 2022 年 2 月 17 日、QEP によって重要インフラや機密データを扱う企業に強固なネットワークセキュリティを約束する量子安全通信技術の国内試験を開始すると発表した。⁷ このプロジェクトはシンガポール NRF の支援を受け、民間企業と政府機関の 15 の組織が参加して開始する。

6.2.2 最新の研究開発動向

具体的な成果は未だ明らかでないが、近年進行中の研究開発事例として以下が挙げられている。

- **グローバル企業と国内研究機関との連携**：2022 年 4 月 28 日付プレスリリースで、キーサイト・テクノロジー社と QEP は、量子技術の研究開発および教育を加速するために協力する覚書（MoU）に調印した。⁸ この MoU の下、両者は量子計測器のパッケージや、量子システムの拡張性・展開性を実現する技術の開発で緊密に協力する。さらに、QEP に参加する研究者が、キーサイト・テクノロジー社のソフトウェア設計ツールや高度な試験・計測機器へ容易にアクセスできるよう、「量子共同イノベーション加速プログラム」を設立する。
- **宇宙放射線被ばくを自己修復する技術開発**：2022 年 3 月 7 日付 NASA 報道によると、NUS-CQT はイリノイ大学アーバナ・シャンペーン校 (UIUC) およびジェット推進研究所 (JPL) の研究チームと共同で、レーザーアニール検出器と導波路型もつれ光子資源の実験実証を行っている。これにより、人工衛星は宇宙空間における放射線被ばくによるダメージを自己修復できると期待される。⁹
- **量子アルゴリズムを拡張した新しい技術開発**：A*STAR の高性能計算機研究所 (IHPC) の研究者であるダックス・コー (Dax Koh) らは、量子アルゴリズムをスケールアップして量子優位性を実現し、実用的な問題を解決するための新しい技術開発に取り組んでいる。¹⁰ 量子デコヒーレンスを抑制し、変分量子固有値解法のアルゴリズムを高速化するため、コーの研究チームは、ベイズ推定を行う「工学的尤度関数 (ELF)」と呼ばれるフレームワークを開発した。アルゴリズムを 1 回実行するごとに得られる出力候補の情報を最大化することで、ELF は測定コストを削減しながら、モデルの解をより速く見つけることを可能にした。
- **安定性とアクセシビリティのバランスがとれた量子コンピューティングを実現する材料の探索**¹¹：A*STAR で材料工学研究所 (IMRE) の主任研究者 (PI) を務めるクアン・エン・ジョンソン・ゴー (Kuan Eng Johnson Goh) は、二硫化タングステン (WS_2) という二次元遷移金属ダイカルコゲナイド (TMDC) 半導体材料から量子ビットの作成に着目した。量子デバイスに最適なその特性を踏まえつつも、化合における技術的限界を克服すべく、研究チームは化学気相成長法 (CVD) および酸化ハフニウム (HfO_2) からなる保護誘電体層で、 WS_2 の結晶を均一に封止し、 WS_2 半導体結晶を作製することにより、 WS_2 の薄層形成を実現した。この技術により、研究チームは、従来の機械的剥離に比べて数百倍の面積で、安定したウェハー結晶の合成に成功した。

⁷ シンガポール国立大学ニュースリリース “Singapore to build National Quantum-Safe Network that provides robust cybersecurity for critical infrastructure,” February 17, 2022, および報道 “S'pore creates first quantum cryptography testbed, gets closer to building an unhackable Internet,” *Straits Times*, February 17, 2022.

⁸ シンガポール国立大学ニュースリリース “Keysight and Singapore’s Quantum Engineering Programme to accelerate research, development and education in quantum technologies,” April 28, 2022, およびキーサイト社プレスリリース、2022 年 4 月 27 日。

⁹ NASA Jet Propulsion Laboratory, “Space Station to Host ‘Self-Healing’ Quantum Communications Tech Demo,” March 7, 2022.

¹⁰ A*STAR, “Delving into a spectrum of quantum capabilities,” September 24, 2021.

¹¹ A*STAR, “A new recipe for quantum computers,” April 27, 2022.

6.3 注目研究機関・大学

シンガポールは NUS と NTU の 2 大学を中心として、各々が先端的・特徴的な研究開発活動を展開している。これらの他、2009 年創立のシンガポール工科・デザイン大学 (SUTD) では量子コンピューティング・量子材料の研究者が 3 名所属するほか、応用科学研究を振興する民間研究機関・独フラウンホーファー研究機構はシンガポールにアジア唯一の拠点を置き、量子セキュア通信の研究開発振興や、エンジニア向けに「耐量子計算機暗号」のオンライン継続教育プログラムを開講している¹²。しかしいずれも、シンガポール国内の量子技術に対して注目すべき貢献や関与は見られない。

以下では国内政策との接点の深さおよび研究規模の大きさ（研究者数、研究分野の範囲、研究開発予算）の順に、代表的な大学および研究機関について述べる。

6.3.1 シンガポール国立大学 量子技術センター (CQT: Centre for Quantum Technologies)

シンガポール国立大学 (NUS: National University of Singapore) は 1905 年に創立され、当初は医科大学として建学されたものの、1980 年にシンガポール大学 (University of Singapore) とマラヤ大学 (University of Malaya) の合併に伴い改称した。米イェール大学・デューク大学とのジョイントディグリーを含む 17 部局を有し、シンガポール国内はもとよりアジア・太平洋地域でもトップの研究開発力を誇る総合大学である。世界 100 以上の国から約 3 万 8000 名の学生が集う多様性ある研究教育環境を形成し、QS 世界大学ランキング 2022 によれば、全体で 11 位、アジア地域では 1 位である。

量子技術センター (CQT) は、1998 年に **クェック・レオン・チュアン (Kwek Leong Chuan)** ら 4 名が始めた非公式セミナーを前身とする研究グループ「quantum lah」を母体に、2007 年研究センター・オブ・エクセレンス (RCE) に認定されたのを契機に、NUS 内に設置された。国内の研究機関に存在する 40 超の研究チームのうち 26 を抱え、現在、NRF から 74.8 万米ドル (9500 万円、1 米ドル = 127 円、2017-22 年度) の支援を受けている。

主要な研究分野は、量子セキュア通信 (量子鍵配送・量子暗号)、光ファイバーに基づく大都市間量子通信、衛星に基づく広域量子通信、量子コンピューティング・シミュレーション、量子センシング、そして応用機器開発や基礎科学となっている。ホセ・イグナシオ・ラトーレ (José Ignacio Latorre) がディレクターとしてセンター内全体の研究活動を統括し、教授 8 名、准教授 (客員を含む) 約 20 名、助教 7 名を擁する。量子コンピューティング・シミュレーションに関しては 5 名 (2022 年 5 月現在) の主任研究者 (PI) が連携し、それ以外の基盤技術やセンシングに関しては原則 1 名の PI の下に、20 余名の研究員 (リサーチ・フェロー)・60 余名の大学院生が配置され、研究活動を進めている。

研究開発と共に、次世代を担う若者に量子技術への関心を誘う「量子ゲーム」開発やショートフィルムコンテストの開催、啓蒙書の出版などの活動にも取り組んでいる。

¹² フラウンホーファー・シンガポール「耐量子セキュリティ」。

6.3.2 シンガポール科学技術研究庁 (A*STAR)

同国における最大の研究開発・科学技術振興機関として国立科学技術委員会 (NSTB) を改組し 2002 年設立。医学生物学、情報工学、物理科学などの分野に特化した研究開発政策を進めている。量子技術分野では、A*STAR の設立に先行して、科学技術研究評議会 (SERC) に付置していた研究機関があり、それぞれ、物質・材料工学研究所 (IMRE: Institute of Materials Research and Engineering) と高性能計算科学研究所 (IHPC: Institute of High Performance Computing) として、多数の研究チームと研究者を擁している。

IMRE は 1997 年設立、ポリマー・有機材料、応用材料の特定と製造、複合・構造材料、光学・電磁気学に高い研究力を有している。センシングと材料・デバイスという 2 つの研究ユニットを持ち、PI のクアン・エン・ジョンソン・ゴーを中心に研究を進めている。¹³

IHPC は 1998 年 8 月設立、コンピューティングと人工知能 (AI)、大規模複雑系システムモデリング、ソーシャル・コンピューティング、コグニティブ・コンピューティング、計算機機械工学、流体力学、光学・電磁気学、材料化学に高い専門性を有している。

6.3.3 南洋理工大学 量子・複雑系科学イニシアティブ (QuCSI: The Quantum and Complexity Science Initiative, Nanyang Technological University)

南洋理工大学 (NTU: Nanyang Technological University) は 1955 年創立。理工系学部を中心に 3 万 3000 名余の学生を擁するシンガポール第二の総合大学であり、QS 世界大学ランキング 2022 によれば、全体で 12 位、アジア地域では 2 位である。AI 関連の論文で 2012-16 年の 5 年連続でトップ被引用数を記録するなど (日経・エルゼビア社 2017)、デジタル技術の研究で注目を集めている。¹⁴

同大学の量子・複雑系科学イニシアティブは 2018 年発足。南洋理工大学 (NTU) の大学院数理物理系研究科内に「Nanyang Quantum Hub」として設置されており、10 余名の研究員 (リサーチ・フェロー) と大学院生で構成され、NUS-CQT の財政的・人的支援も受けている。同大学准教授のマイル・グー (Mile Gu) がリーダーを務め、量子情報科学と複雑系科学の学際分野について研究と技術開発を進めている。とりわけ、入力情報の量が出力する予測情報の量を大幅に上回ってしまうといった、古典的数理モデルの抱える制約を破り、複雑性を縮減する量子モデルの系統的構築を進めている。

NTU では更に、量子チップ開発を進めるため、2021 年 12 月に量子科学技術センター (QSec) が設置された。¹⁵ 同センターはシンガポール教育省より学術研究基金第 3 層の支援を受け、約 30 名の研究者を擁している。学長兼教授 (President Professor) には、工学・材料科学 (バイオマテリアル) を専門とし、2018 年より同大学学長を務めるスブラ・スレシュ (Subra Suresh) が就任している。

また、NTU は NUS と共にフランスとの国際協力を持っており、2005 年に同国から客員研究員を受け入れて以降、継続的に国際共同研究を積み重ねてきた (詳細は 6.6 を参照)。

¹³ A*STAR 材料工学研究所「[工学のための量子技術](#)」。

¹⁴ 「[QS ランキング——南洋理工大学の概要](#)」。

¹⁵ 南洋理工大学ニュースリリース「[量子チップを基にした技術の発展にむけた新たな量子工学センターを開設](#)」2021 年 12 月 7 日。

6.3.4 シンガポール国立大学（NUS）高度 2 次元材料・グラフェン研究センター（CA2DM）

2010 年、NUS から 4000 万星ドル（約 34 億円）の創設資金を得て学内に付置研究所として設立。当初の呼称は「グラフェン研究センター」であったが、2014 年に発展的改組し現在の呼称となった。グラフェンのような 2 次元結晶体に基づいた概念化、理論的モデル化、および革新的技術の発展を目的とし、グラフェン、2 次元材料、2 次元デバイス、理論という 4 つの研究グループから構成される。改組過程の 2011 年で NRF より 1000 万星ドル（約 7 億 5000 万円）の競争的研究プログラム（CRP）および 5000 万星ドル（約 46 億円）のリサーチ・イノベーション・企業むけ大学プログラム（CREATE）という 2 つの資金を得ており、シンガポールの量子材料研究拠点として更なる発展が見込まれている。

6.3.5 国立スーパーコンピューティングセンター（NSCC）

2015 年設立。NRF が出資する国立の研究インフラとして、研究機関、高等教育機関、政府機関、企業など、官民の高速計算機研究開発ニーズを支援する機関。シンガポール初のペタバイト規模スーパーコンピュータである ASPIRE 1、人工知能を取り入れた高速計算を実現する AI プラットフォーム、および気候変動・環境への応用を主としたケッペン・システムという 3 つのプラットフォームを擁する。量子現象の応用とは異なる方式での高速計算機システムではあるが、量子コンピューティングとの関連では、SingAREN、NUS の QEP、フィンランドの CSC-IT 科学センターによる、フィンランドとシンガポールの国際連携（後に詳述）、および量子技術によるデータ転送のセキュアな保護方法に関する MoU に参画している。

6.4 注目企業

シンガポールで事業を展開する科学技術系の大企業は、大半がアメリカ合衆国を本社とするグローバル企業であり、国内的には自国発の企業育成が課題となっている。ベンチャー企業に関しては、NUS-CQT および NTU とともに産学連携を積極的に行っており、近年では両大学からスピンオフした量子技術ベンチャー企業が積極的に事業を展開している。先述した Quantum SG の 2019 年提言書では、とりわけ「実現技術を提供し、量子技術の潜在的な応用を模索する企業」として、有力な大学発スタートアップと科学者による新興企業を挙げている¹⁶。したがって本節では、この提言書に言及された各社を中心に、事業概要および量子技術への貢献を述べる。

6.4.1 ホライゾン・クオantum・コンピューティング（Horizon Quantum Computing）

NUS-CQT の主任研究者（PI）である **ジョセフ・フィッツシモンズ**（Joseph Fitzsimons）が創業。「量子コンピューティングは、反直感的でありコードやアルゴリズムの実装が難しい」とする産業化に際しての現実的課題を踏まえ、従来のコンピュータ言語で、ハードウェアに依存しない量子コンピュータソフトウェア開発が可能なコンパイラを開発した。製品の詳細は非公開だが、従来のプログラミングに習熟した科学者がプログラムを量子回路にコンパイルするプロセスの自動化を図ることをミッションとする。また、CSO を務めるシーフィ・タン（Si-Hui Tan）は 2021 年 11 月に SGInnovate の主催するディープテック・サミット

¹⁶ 「NUS-CQT と密接に関係した若き量子技術企業たち」シンガポール国立大学量子技術センター

の量子技術セッションにも登壇するなど、業界を横断した発信活動にも力を注ぐ。

量子コンピューティング、量子情報・通信を主要な授業分野とし、8年以上の実務経験をもつポストドク研究者ら約10名から成る学際的なチームを構成する。

6.4.2 スペクトラル (SpeQtral)

NUS-CQTの准教授であるアレクサンダー・リン (Alexander Ling) の研究室からスピンオフした量子技術ベンチャー。2016年、宇宙空間における偏光もつれ光子の小型対光源生成を実験実証した実績で著名である。量子コンピューティング、量子情報・通信、とりわけ宇宙空間での広域量子通信を主要な事業分野とする。日本企業とは、2021年8月31日、東芝デジタルソリューションズと共同で、量子鍵配送 (QKD) を政府機関や企業に導入するソリューション提供を発表した。同年11月末には、テマセクの初期段階投資プラットフォームである Xora Innovation より 830 万米ドル (10.5 億円) の資金提供を受けたことを発表した。¹⁷

2019年4月17日には、英国の科学技術施設審議会宇宙開発を振興する RAL スペースと共同で、量子技術を基盤とする 3U (1 辺 30cm の立方体) の小型人工衛星 (キューブサット) 「SpooQy-1」を打ち上げた。この「SpooQy-1」は、「SPEQS (Small Photon-Entangling Quantum Systems)」を基にしており、その様子は Computer Business Review, Laser Focus World, および Asian Scientist など複数メディアで報じられた。¹⁹

スペクトラルの事業体制は以下の通りである。CEO・共同創業者: チュン・ヤン・ルム (Chune Yang Lum)、CTO・共同創業者: ロバート・ベディングトン (Dr Robert Bedington)、従業員: 8 名。

6.4.3 エントロピカ・ラプス (Entropica Labs)

2018 年創業。NUS-CQT で若手研究者として在籍していた 2 名が起業した量子技術ベンチャー。量子最適化モデル、アルゴリズム、ツール、ソフトウェアの開発に注力し、EPOS と EQAQA という二種の商品を主に展開している。

同社の主力商品の 1 つである Entropica Physics-based Optimisation Suite (EPOS) とは、物理学を基礎にした最適化ソルバーで構成され、量子アルゴリズムと高度にカスタマイズされた古典的手法の性能を迅速に比較するツールである。古典・量子最適化アルゴリズムの実行、検証、展開、ベンチマークを行う統一的フレームワークを提供する。

もう 1 つの EQAOA とは、量子近似最適化アルゴリズム (QAOA) を用いて量子コンピュータと最適化の研究を行うための Python ライブラリである。QAOA 回路のパラメータを自由に設定でき、古典的な最適化ルーチンを幅広く選択できる。IBM Q、AWS Braket、および厳選されたシミュレータプールで実行される。

資本関係としては、wavemaker, SGInnovate, 林德利私人有限公司などから出資を受けている。2020 年 5 月にはシンガポールに拠点を置くディープテック系の VC であるエレバート (elev8) より 260 万星ドル (約 2 億 4200 万円) の資金提供を受けている。²⁰

¹⁷ 「SpeQtral が 8.3 億米ドルの調達ラウンドを終了」 SpeQtral ウェブサイト

¹⁸ 「シンガポールに対するミッション」 RAL スペースウェブサイト

¹⁹ 2021 年 10 月 16 日現在。情報は EU のポータルサイト「Spooqy-1 について」から抜粋。

²⁰ エントロピカ・ラプスのブログ記事「更なる偉業へ」2020 年 5 月 11 日。

共同創業者のトマッソ・デマリエ (Tomasso Demarie) が最高経営責任者 (CEO) を、エファン・ムンロ (Ewan Munro) が最高技術責任者 (CTO) をそれぞれ務めている。

6.4.4 アトミオニクス (Atomionics)

量子センシング分野の技術系企業。同社が開発・展開する新しい重力計「グラビオ」は、量子センシングを利用して最短時間で最適なデータを与える、費用対効果の高い方法を提供できる。1m × 1m グリッドの画像解像度を備え、調査コストを大幅削減できる。測量車両を直接利用でき操作のスキルを修得不要となるようになり、トンネルを掘削する際の最適な経路を設定、豊富なデータ量を生かした測量時間の飛躍的な短縮化、などの運用上の利点を発揮する。グラビオは、 $10 \mu \text{ gal}/\sqrt{\text{Hz}}$ の高精度とピクセルサイズの縮小により、小さな構造物や微弱な信号も検出し、地下空間を最適に把握できることにより、非常に密度の高い岩石や陥没穴を見逃すことなく、建設や掘削の計画を最適に行える。また、炭化水素や鉱物の位置を正確に把握することができ、パイプラインや鉱滓ダムなどの非侵襲的なモニタリングも可能とする。

グラビオは、10Hz の高いデータレートを持ち、非常に正確な測量を可能とする。そのため車両に搭載可能であり、測量に要する環境コストを大幅に削減し、時間を節約し、最適な計画を立案できる。

事業体制は以下の通りである。CEO・共同創業者: サhil・タピアワラ (Sahil Tapiawala)、CTO、共同創業者: ラビ・クマール (Dr. Ravi Kumar)、従業員: 10 名。

6.4.5 S フィフティーン・インストルメンツ (S-Fifteen Instruments)

量子光学・量子セキュア通信を専門とする量子技術ベンチャー。量子鍵配送 (QKD)、乱数生成機器、もつれ光子対ソースなどの量子技術機器、およびデジタル光学出力計などの各種制御・計測機器を製造・販売する。

同社の量子鍵配送システムは、BBM92 プロトコルを実装し、一般的な BB84 プロトコルに比べて脆弱性が低いことを特徴とする。量子状態を配布するために、量子もつれ光子対 (光リンクを介して各当事者に 1 つの光子を配布) を使用しており、量子もつれによって相関があるにもかかわらず、個々の光子状態は本質的にランダムである。この固有のランダム性は、準備と計測のプロトコルで一般的なアクティブな光学部品なしで達成されている。

また同社の実装システムでは、受動素子のみを使用し、システムの脆弱性監査を簡素化している。位相変調器などの能動素子を搭載すると、情報が漏洩する可能性のあることが示されており、その対策はシステムの複雑さを増し、更なるセキュリティの検証が必要になる。

全体として、BBM92 プロトコルを実装した同社のシステムは、トロイの木馬、多光子放出、信号パルスの位相相関などのセキュリティ問題を狙った攻撃に対して本質的に耐性を有する。

最高経営責任者 (managing director) はブレンダ・チン (Brenda Chng)、リサーチ・サイエンティストは シェッド・アブドゥラ・アルジュミッド (Syed Abdullah Aljunid) が務めている。

6.5 注目研究者

第1章で紹介した論文・特許データをベースに、シンガポールの量子研究コミュニティにおけるポジションや研究受賞歴等を加味して、同国における注目研究者を選出した。

6.5.1 アーサー・コンラート・エカート (Artur Konrad Ekert)

量子情報分野の大家。シンガポール国立大学 (NUS) 物理学部特別教授、同大学数理研究所教授。専門は量子情報・量子セキュア通信。1990年代中盤に量子技術の理論的基礎を相次いで発表し、現在に至るまで研究開発を第一線で牽引する。その研究成果は1992年の単著論文「量子暗号とベルの定理」(*Quantum Measurements in Optics* 掲載)をはじめ数多く引用されている。教育面ではオックスフォード大学物理系で修士課程の導入講義「量子情報科学への招待」を長く担当し、同校での門下生であるティモシー・ホスグッド (ストックホルム大学ポスドク研究員) の編集による[講義ノート](#)は電子的に頒布されている。

6.5.2 アントニオ・ヘリオ・カストロ・ネト (Antonio Helio Castro-Neto)

量子材料研究を牽引する重要人物。シンガポール国立大学 (NUS) 高度2次元材料・グラフェン研究センター (CA2DM) ディレクター・同大学特別教授。物理学博士 (イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校)。専門は量子材料、量子磁性、超伝導。2次元材料の理論研究に軸足を置きつつ、同センターを創設時から統括し、発表する研究論文は極めて高い被引用数により国内外から注目を集める。50以上の発明開示・特許を有し、2016年に2D Materials (事業内容: 高質なグラフェン創出) を、2017年にMADE Advanced Materials を、2018年にPHASE Events (事業内容: ナノマテリアル分野の産学人材イベント開催) を、2019年にGraphene Watts (事業内容: グラフェンを素材とするリチウムイオン電池の商業化) をそれぞれ起業しCEOに就任するなど、マテリアル研究の事業化にも積極的である。ブラジル出身。

6.5.3 アレクサンダー・リン (Alexander Ling)

シンガポールの広域量子通信研究を牽引する若手。シンガポール国立大学量子技術センター (NUS-CQT) 准教授。専門は量子セキュア通信・量子コミュニケーション、量子センシングとメトロロジ。同大学の研究チームでは、キューブサット (小型人工衛星) を用いた偏光もつれ量子光源の実験実証を達成すべく研究を進めている。リンの研究室からは、宇宙空間での広域量子通信を事業とする技術ベンチャー企業、スペクトラル (SpeQtral) がスピノフしている (6.4.2 参照)。

2000年理学士 (NUS)、08年物理学博士 (NUS) をそれぞれ取得。10年よりNUS-CQTで主任研究者 (PI) を務め、17年からNUS物理学部でも教鞭を執る。

6.5.4 クアン・エン・ジョンソン・ゴー (Kuan Eng Johnson Goh)

A*STARの物質・材料工学研究所 (IMRE) で、工学向け量子技術部門の部門長および主任研究員 (PI) を務める。2007年、ニューサウスウェールズ大学 (豪シドニー) 量子コンピュータ技術センターで博士号取得。2006年にA*STARに入職し、シリコン原子を用いた原子レベルの3Dプリントから、高伝導性の3Dプリ

ント可能な熱可塑性プラスチック、2次元半導体、量子デバイスに至るまで、材料科学と工学の研究に貢献した。現在は、量子情報技術、ナノエレクトロニクス、機械学習、アディティブ・マニュファクチャリングなどの学際的な研究を融合し、破壊的な量子技術の実現を目指している。

6.5.5 ジェイソン・ピン (Ching Eng [Jason] Png)

A*STAR の高性能計算科学研究所 (IHPC) 電磁気学・光学部の取締役 (ディレクター)。英国サリー大学で博士号 (2004 年)、フランスの INSEAD で MBA (2014 年)、中国の清華大学で MBA (2014 年) をそれぞれ取得後、量子、高速フォトンクス、プラズモニクス、電磁気学などの研究に従事し、2005 年に IHPC に入所した。名誉ある英国王立工学アカデミー賞、Vebleo Fellow、Vebleo Scientist Award、IET Innovation Award - Software Design、INSEAD Venture Competition Skolkovo Prize、Spring TECS Proof-of-Value grant など多数受賞。

6.6 国際協力・国際共同研究

シンガポールは量子情報分野で英国と政府間の国際協定を結び、投資を受けるほか具体的な応用についても協働している。またフランスとは拠点的な研究機関が共同研究を継続的に行ってきた。また、オーストラリアとは大学・研究機関のレベルで国際協力を行っている。その他のアジア・太平洋地域の諸国とは単発の研究事業単位で協力・共同研究を実施するのみと見られる。

英国はシンガポールの量子技術に対してたびたび投資を行い、近年は宇宙空間からの広域量子通信に関する事業といった具体的応用においても協働している²¹。2013 年には、「工学のための量子技術」に国際ファンディング (5 年時限、2 億 7000 万英ポンド、約 435.5 億円) を拠出した。そして 2018 年には、衛星による量子鍵配送 (QKD) テストベッドの構築と配備を行う事業が開始し、1800 万星ドル (約 16 億 7400 万円) が両国政府により拠出された。この協力の下、シンガポールと英国は、シンガポールの先駆的な量子鍵配送技術を使用して、地球規模の距離で暗号鍵をセキュアに配送する実験実証を行う CubeSat 規格に基づく人工衛星「QKD Qubesat」を共同開発した。この衛星は、2021 年後半から運用を開始し既に後継機も現れている (詳細は 6.4.2 も参照)。

また最近では、フィンランドとの政府協力で進展がみられる。2022 年 9 月、シンガポール国家量子局、フィンランド VTT 技術研究センター、IQM 量子コンピュータ、CSC - IT Center for Science は、量子技術分野における研究開発協力を模索・推進することに合意した²²。この MoU の下、両者は量子技術のハードウェアコンポーネント、アルゴリズム、アプリケーションの開発を加速させ、量子加速高性能コンピューティングと地上・衛星量子通信の分野で協力することを目指す。また、量子技術の両国戦略ロードマップに関して知識交換の場も設ける予定だとしている。

フランス国立科学センター (CNRS) とは、2009 年 6 月に NUS との間で MoU が締結され、2010 年 1 月には、公式な学術パートナーシップ「国際連携ラボ」(LIA FSQI: France Singapore Quantum Physics and Information Lab) が創設された。LIA FSQI では、クリスティアン・ミニアチュラ (Christian Miniatura)

²¹ シンガポール国立研究基金プレスリリース「シンガポールと英国が 1800 万星ドルの量子セキュア通信ネットワークの開発事業で協力」2018 年 9 月 27 日。

²² A*STAR プレスリリース「フィンランドとシンガポールの国家量子局が MoU を締結」2022 年 9 月 2 日、VTT 技術研究センタープレスリリース「フィンランドとシンガポール国家量子局が量子技術研究協力強化のため MoU に署名」2022 年 8 月 30 日。

とベルトルド・ジョルジュ・エングラート (Berthold-Georg Englert) がフランス側責任者を務めた。パートナーは、NUS、NTU、ニース大学非線形科学研究所 (INLN, UNS)、カストレル・ブロッセル研究所 (LKB-UNS)、パリ第 11 大学 (UP11) であった。

2014 年 5 月、両国のパートナーシップは UMI MajuLab に更新され、CNRS のほか、NUS、NTU、LKB-UNS が署名し、第 1 期を 2014 年 1 月 1 日から 2017 年 12 月 31 日までと定めた。NUS-CQT 内および NTU 物理学部研究室内に共同研究室 MajuLab を開設し、その後、2017 年 10 月に評価を受け、さらに 5 年間、2022 年末までの研究期間を更新した。

2020 年以降、UMI MajuLab は IRL (International Research Laboratory) MajuLab²³ と改称された。この科学委員会は、仏星両国大学の代表で構成され、フランスからは CNRS のほか、コートダジュール大学、ソルボンヌ大学が参加している。

両国の研究者はこの成果として、注目度の高い国際共著論文を幾つか発表している。例えば前述のミニアチュラとクエック・レオン・チュアン (NUS-CQT 准教授、MajuLab 副ディレクター) とは、量子カレントでの機械学習 (Physical Review Research 3 (1), 013034, 2021)、また冷却原子気体におけるメゾスコピック系の量子現象観測・制御を扱うアトムトロニクス of 二次元ネットワーク (Physical Review A 97 (4), 042306, 2018) および最新動向のレビュー (A VS Quantum Science 3 (3), 039201, 2021) を発表している。

オーストラリアとは大学・研究機関相互の協定にとどまり、政府同士の連携・協力に関する情報は見当たらない。研究機関では NUS-CQT が、ニューサウスウェールズ大学の量子計算・量子通信技術センター (CQC²T: ARC CoE for quantum Computation and Communication Technology) と研究拠点間の組織的パートナーシップに合意している。²⁴

このほか、将来の目標・予定にとどまり現時点での協力実績はないが、複数の外国研究機関と MoU を締結している。イタリアのカタニア大学ではマヨラナ物理学・地学部と 2019 年 9 月から 3 年間の研究協定を、タイの国立計測研究所とは、原子時計の開発および量子計測に関わる様々な側面で協働を目指している。またインドの TCG CREST、ニュージーランドのオタゴ大学とも協定を結んでいる。

教育面では、NUS が米イェール大学と、全学のリベラルアーツ教育として 2013 年に Yale-NUS College を共同で開校し、量子情報科学に関するグループを設置した。量子通信・量子コンピューティングの基礎教育を進めている。

²³ 沿革は [CNRS ウェブサイト・タイムライン](#) より。

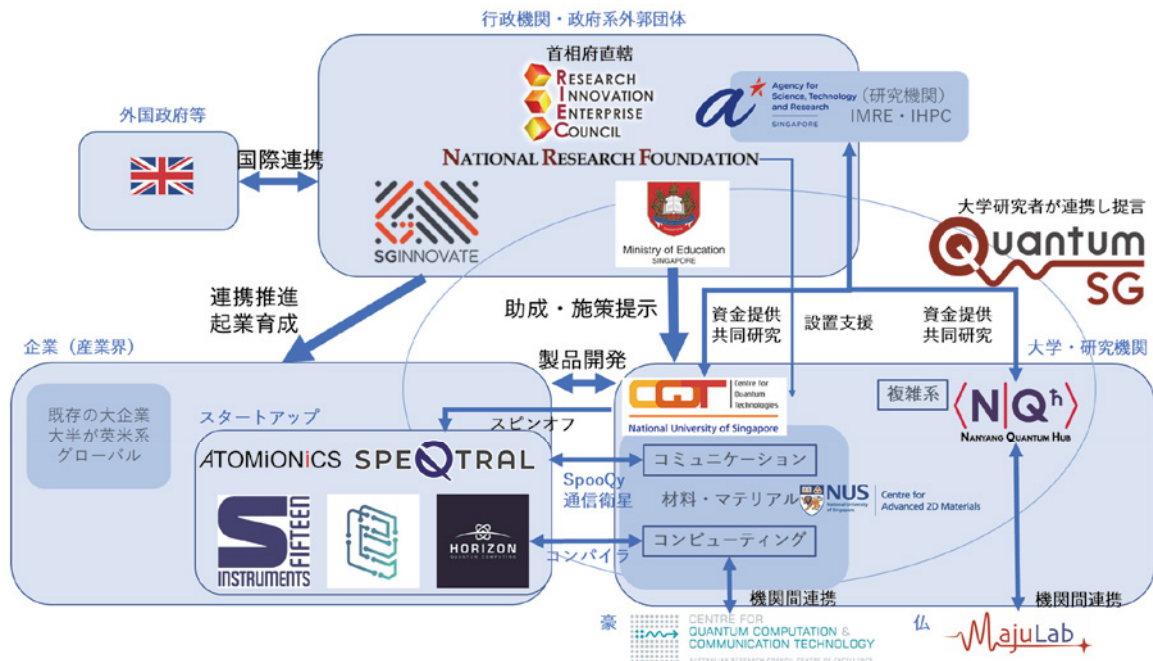
²⁴ CQC²T はオーストラリア研究評議会 (ARC)・国防総省のほか、米国陸軍研究局、半導体研究公社、ニューサウスウェールズ州政府、およびオーストラリアの参加 7 機関からの資金提供を受けた卓越研究拠点 (CoE) で、2011 年に設立され、量子セキュア通信、分散型量子情報処理を含む量子コンピューティングのグローバルネットワークとなっている。本報告書 4.3.2 も併せて参照。また連携の詳細は「[CQT の国際連携](#)」および「[CQC2T の国際連携](#)」を参照。

6.7 量子イノベーションエコシステム

A*STAR および NUS-CQT によると、シンガポール国内には 40 以上の量子技術研究グループが存在し、うち 26 は NUS の量子技術センターに集中している。量子コンピューティング、量子通信、量子材料の各分野でそれぞれ。同大学からスピンオフした企業では産学連携による製品開発が行われている。これら一連のプレーヤーによる活動を主導するのが首相府直轄の「研究、イノベーション、企業」評議会である。

本節までに述べたその主要プレーヤーに関する概要と特徴も踏まえると、シンガポールの量子イノベーションエコシステムは図表 6-10 のように描くことができる。

図表 6-10 シンガポールにおける量子イノベーションエコシステム



出典：APRC 作成

7 台湾の量子技術動向

台湾の本格的な量子研究振興政策は2018年から始まった。政府直属の中央研究院や、台湾大学、清華大学などの有力国立大学における研究開発に重点的に投資が行われている。最近、政府は5年間で350億円を投じて、産学官が連携する量子研究拠点を台南市に設置する計画を発表し、2024年の完成を目指して建設中である。台湾は、世界的な競争力を持つ半導体関連産業の優位性を生かし、量子コンピュータをはじめとする量子技術関連基幹部品のサプライチェーンに参入する機会を伺っている。

7.1 量子技術政策の動向

台湾の科学技術政策は、科学技術基本法（1999年）の下、4年ごとに作られる科学技術発展計画に基づいて基本的な方向が定められている。量子技術については、2017年9月の「第10期科学技術発展計画（2017～2020年）」¹においても言及されておらず、組織的な振興政策が始まったのは科学技術部（MOST: Ministry of Science and Technology）²が量子コンピューティングを重点化した2018年以降と考えられる。

量子技術の重要性の高まりと諸外国の振興政策の活発化を受け、MOSTは2018年4月、台湾の大学・学術機関・産業界の量子コンピュータ研究リソースを統合することを目的に、5年間の「量子コンピュータ・プロジェクト（2018年8月1日～2023年7月31日）」³をスタートさせた。年間約1億2000万ニュー台湾ドル（NTD、約5億4000万円。1NTD ≒ 4.5円で換算。以下同じ）を投じて、国立台湾大学にIBM量子コンピュータセンターを、国立清華大学に量子技術センターを設立すると同時に、台湾大、国立中央大学、清華大・国立成功大学合同チームの3研究チームに助成金を支給した。研究項目には、「量子コンポーネントと物理学、量子アルゴリズムとプログラミング、量子コンピュータ、量子通信と暗号化」に関するトピックが含まれた。プロジェクト終了までに、産学が共有できる成果指標やオープンデータ情報プラットフォーム、共同アプリケーションの開発を目指すとしている。

政策文書で量子技術の重点化が明示されたのは、2019年7月にMOSTが発表した「技術開発戦略の青写真（2019-22）」⁴が最初と思われる。「青写真」では、「台湾はICT開発における強みを生かし、さまざまな分野の研究能力とリソースを積極的に統合して、量子、量子メモリ、半導体・超伝導量子ビット、もつれ光子などの基礎理論に関する一連の共同研究を開始する必要」があるとして、「量子制御、量子情報（量子コンピューティングおよび量子通信）、量子センサ、量子コンポーネント」に研究開発の焦点を当てるとした。

2020年12月にMOSTは、本格的な量子技術振興政策として、中央研究院、經濟部と共に、5年間で80億NTD（約360億円）を投じて、台湾南部の台南市沙崙に量子科学技術研究拠点を設置する計画を発表した⁵。2021年から2025年の間に、MOSTは40億NTD（約180億円）、經濟部は18億NTD（約81億円）、中央研究院は22億NTD（約99億円）を拠出する。そして、これまで量子分野の基礎研究を進めてきた中

¹ 科学技術部『國家科學技術發展計畫（民國106年至109年）』2017年9月7日

² 科学技術部は2022年7月27日、国家科学技術委員会（NSTC: National Science and Technology Council）に改組された。

³ 科学技術部「探索量子電腦的秘密 科技部啟動量子電腦研發專案」2018年4月27日；科学技術部「量子技術創新突破」2020年11月3日

⁴ 科学技術部『科技發展策略藍圖108-111』2019年7月25日

⁵ 科学技術部「邁向臺灣量子新世代」2020年12月7日。全国三か所に集積している台湾の産業クラスターは、北部は電子産業、中部は精密機械産業、南部は石油化学と重工業が中心である。

央研究院が、同研究院の南部院区に「量子科技研究基地」を増設し、量子デバイス、量子コンピュータ、量子演算、量子通信などの分野を重点化する計画となっている。産業化に重点を置く経済部は、①半導体分野での強みを生かした量子技術の基幹部品の開発、②量子デジタルアニーリングシステムの開発、③量子通信の暗号化技術の開発の3点を目指すことを明らかにしている。

半導体受託製造で世界の60%以上のシェアを占める台湾にとって、「半導体分野での強みを生かした量子技術の基幹部品の開発」は、量子技術振興政策の柱の1つといえる。次世代半導体技術開発についてはMOSTも2021年1月、「Å（オングストローム）世代半導体：未来の半導体と量子技術研究開発計画」⁶を発表している。同計画では「シリコンベースの量子コンピューティングサブシステムの開発」を目標として掲げ、2025年8月までに①クライオ CMOS、量子ビットの操作・駆動・読み出し回路ウェーハサブシステム、②クライオ CMOS 素子の構築、③シリコンベースの量子ビットデバイスの低温動作と回路モデルの開発で成果を出すことを目指している。

2021年5月に発表された最新の「第11期科学技術発展計画（2021-24）」⁷では、「量子技術は情報セキュリティ、産業、金融、国防などに大きな影響を及ぼす」ため、「台湾の量子技術力の強化を加速し、台湾が国際舞台で半導体産業に次ぐ量子世代の主役であり続けられるよう努力」すると明記され、量子技術振興を梃子にして新たな産業化を目指す方向が鮮明になった。

国家発展委員会（NDC: National Development Council）が所管する産業政策の文脈では、これまで蔡英文政権の重点政策として掲げられてきた「5+2 産業イノベーション計画（2016年）」⁸や、その後継施策である「六大核心戦略産業計画（2020年）」⁹に量子技術や量子分野の産業化は明記されていなかった。しかし2021年5月に更新された「6つの中核戦略産業の振興計画」¹⁰では、次世代半導体技術開発に関連して特に量子コンピュータ分野への投資の必要性が謳われている。「振興計画」では、「台湾が得意とするシリコン系半導体を組み合わせることで量子チップのキーテクノロジーを開発するための国内産学研究リソース」を統合して次世代半導体産業の発展を目指すとし、MOSTの次世代半導体開発計画と同様に、「シリコンベースの量子コンピューティングサブシステム開発」が目標として掲げられている¹¹。台湾が競争優位を持つ微細加工技術をはじめとする半導体関連技術を生かしつつ、量子コンピューティングの産業バリューチェーンへの参画を目指すという基本的方向性がここでも見て取れる。

MOSTは2021年9月、新たな研究公募プログラム「量子技術プロジェクト」を発表した。公募説明文書によるとこれは、「材料技術、量子ビット、制御・計測回路・システム統合の3つの分野において、計算能力の高い量子コンピュータを実現するためのキーテクノロジーを開発することを目的」としており、①量子コンピュータハードウェア技術、②光量子技術、③量子技術ソフトウェア技術の主要3分野について画期的な研究提案を求めるものである¹²。研究は2022年3月開始で期間は最長5年間を予定し、個人研究型は最大年間1000万NTD（約4500万円）、統合研究型は3000万NTD（約1億3500万円）が支給される。具体的な研究テーマとしては、以下が想定されている¹³。

⁶ 科学技術部『Å 世代半導体 - 前導半導体及量子技術研發計畫』; 日本貿易振興機構「半導体サプライチェーンの上流強化を目指す台湾」2021年6月21日

⁷ 『國家科學技術發展計畫（民國110年至113年）』

⁸ 国家発展委員会「協調推動産業創新計畫」

⁹ 国家発展委員会『六大核心戰略産業』2020年12月

¹⁰ 国家発展委員会『六大核心戰略産業推動方案』2021年5月

¹¹ 日本貿易振興機構『台湾における半導体産業について 台湾の関連政策と主要企業のサプライチェーン調査』2022年5月

¹² 科学技術部『科技部111年度「量子科技專案計畫」説明附件（草案）』2021年9月29日

¹³ 科学技術部『科技部「量子科技專案計畫」徵求公告』2021年9月29日

- ①量子コンピュータハードウェア技術：量子ビットと量子ビットを利用した量子コンピュータハードウェア技術の構築。「材料技術」、「量子ビット設計・製造技術」、「量子周辺制御回路とシステムインテグレーション」など。
- ②光子技術：光を用いた量子コンピュータや量子通信に関するハードウェア・ソフトウェア技術の開発。「光子量子コンピューティング」「量子通信」など。
- ③量子技術のためのソフトウェア技術：量子コンピュータに利用されるソフトウェア技術が対象。研究テーマとしては、「量子アルゴリズム」、「量子プログラミング言語」、「暗号と耐量子計算機暗号」¹⁴、「量子インスパイアード・コンピューティング」など。

また MOST は、2022 年度の年間重点プロジェクトの 1 つとして、「台湾の量子新世代キーテクノロジー開発プロジェクト」を打ち出し、MOST が 2022 年度に取り組むべき量子政策の目標、重点分野、主な施策等を公表している（図表 7-1）。

図表 7-1 MOST の 2022 年度施政計画における「台湾の量子新世代キーテクノロジー開発プロジェクト」

将来の量子世代に必要とされる量子コンピューティングや通信用ソフトウェア・ハードウェアの中核的なキーテクノロジーを進化させるため、製造・実装業界におけるリーディングポジションを維持するとともに、量子技術が情報セキュリティなどの産業や国防に与える将来の影響に対応していく。限られたリソースの中で、異なる分野の才能とチームを組み合わせ、台湾の発展に最も適したルートを作る。

1. 省庁間連携企画プロジェクトは、以下の7つの重点分野に分かれている。
 - (1) 量子コンピュータや通信ハードウェアの中核となるキーテクノロジーの開発。
 - (2) 量子ソフトウェア研究開発プラットフォームの構築。
 - (3) 産業界の交流と協力のためのプラットフォームを確立すること。
 - (4) 量子世代技術の研究開発における人材を育成する。
 - (5) 量子科学教育を推進する。
 - (6) 量子研究基盤の構築と先端的な中核施設の整備を行う。
 - (7) 量子サブシステムのための将来的なハードウェア技術の開発。
2. 科学技術部の主なインプットは上記（1）～（7）を指向しており、その戦略は以下のように構成されている。
 - (1) 研究開発エネルギーを統合し、学際的な国家チームを形成して、量子技術ハードウェアのキーテクノロジーを開発し、台湾の量子産業の基礎を構築する。
 - (2) 量子コンピュータや暗号技術の応用技術を開発するために、量子論などのソフトウェア技術の研究開発基盤を構築する。
 - (3) 学术界と研究産業界の情報交換を促進し、産官学の連携を橋渡しするため、産業界交流・協力プラットフォームを構築する。
 - (4) 量子世代の将来の変化に対応した量子研究開発人材の育成とチーム拡大を図る。
 - (5) 台湾社会における量子技術の認知度を高め、若い学生が量子技術研究に従事するよう、量子技術の科学技術に関する教育を推進する。
3. 科学技術部が中央研究院などの学術横断的な研究機関と連携し、また経済部と連携して
 - (6) 量子コア施設基盤の構築と
 - (7) 量子サブシステムのハードウェア技術に注力する。

出典：『科技部 111 年度施政計画』¹⁵から APRC 訳出

¹⁴ 政府の文書では「ポスト量子暗号」とあるが、一般的な「耐量子計算機暗号」と訳出した。

¹⁵ 科学技術部『科技部 111 年度施政計画』

MOST、經濟部、国家發展委員会が矢継ぎ早に量子振興策を打ち出し、中央研究院と有力国立大学を中心に研究の重点化が進む中、省庁間連携と産学官連携を強化するため、2022年2月、省庁横断の「量子システム推進グループ（量子系統推動小組）」¹⁶の設置が発表された。MOSTの「工学センター」との協力等により、量子技術の成果と産業応用を橋渡しすることを企図しているという。国立台湾大学にグループ事務局を置き、運営幹部として台湾における量子研究をリードしてきた果尚志教授（国立清華大学）や張文豪教授（国立陽明交通大学）を迎える一方、産業界やアカデミア、工業技術研究院（ITRI: Industrial Technology Research Institute）の専門家をプロジェクト・マネージャーとして採用し体制を整えつつある。

量子技術分野の産業交流を促す取り組みも始まった。国家科学技術委員会(NSTC、旧MOST)は22年8月、「量子科技産業平台（量子科学技術産業プラットフォーム）」¹⁷の設立を発表し、産業界における利用を促進するために、量子技術に関するフォーラムを開催するなどの活動を強化する。

台湾の量子技術振興における課題の1つは専門人材の育成である。台湾では少子化と半導体産業での需要急増を背景に、人材不足と理系人材獲得競争の激化が課題となっており、行政院は2019年に「高度人材育成及び誘致計画」を策定、国内人材育成と海外人材誘致を強化している。人材育成については2021年5月に「国家重点分野の産学連携と人材育成の革新に関する規定」が制定され、半導体、AI、スマート製造、循環型経済、金融の5つの分野において大学と企業が共同で人材育成を行う「台湾国家重点研究領域学院」¹⁸の設立を進めている。海外人材誘致については、2018年に「海外専門人材法」が制定されており、2021年には（中国籍を除く）外国人専門家が台湾で就職し滞在するためのインセンティブを強化する方向で改正されている。¹⁹量子分野に的を絞った人材育成策はまだ明らかにされていないが、上記MOSTの年度計画の重点分野として取り上げられており、今後の具体化が待たれるところである。

7.2 量子技術の研究開発動向

台湾では、1990年代半ば以降から量子研究が徐々に増加してきた。²⁰第1章の論文・特許分析²¹によると、台湾の近年の量子関係論文は2116件で、中国（27987件）、日本（13845件）とは比べるべくもなく少ない。人口4分の1のシンガポール（2399件）とほぼ同水準であるが、伸び率では10%と、インド、中国に次いで高い。分野別では、「量子材料」（46%）が最も多く、以下量子計測・量子センシングを含む「量子基盤技術」（20%）、「量子コンピューティング」（19%）、「量子コミュニケーション・通信」（11%）と続いている。前節でみたように、台湾の量子振興政策は量子コンピューティングの産業バリューチェーンに参画することを長期的戦略目標としており、競争優位を持つ半導体技術の強みを生かすことが有効な戦術として認識されている。量子材料に分類される「量子物性」「量子ビット」「トポロジカル絶縁体」などは、次世代半導体技術開発やハードウェアとしての量子コンピューティング開発と密接に関連しており、結果として量子材料系の論文数の増加に反映されていると思われる。

¹⁶ 科学技術部「量子國家隊領航員成軍 推動人才培育 掌握關鍵技術」2022年2月25日

¹⁷ 国家科学技術委員会「量子科技産業平台揭牌暨臺灣通用量子電腦論壇 攜手産業 前進量子科技未來」2022年8月24日

¹⁸ 科学技術振興機構アジア・太平洋総合研究センター（2022）『台湾の科学技術力：蔡英文政権のイノベーション政策と基礎研究動向』台湾国家重点研究領域学院は現在のところ、台湾大学、陽明交通大学、清華大学、成功大学、中山大学で設立されている。

¹⁹ 田崎嘉邦「産業界における台湾「6欠」問題の影響とその対応策」『交流』2022年5月号 日本台湾交流協会

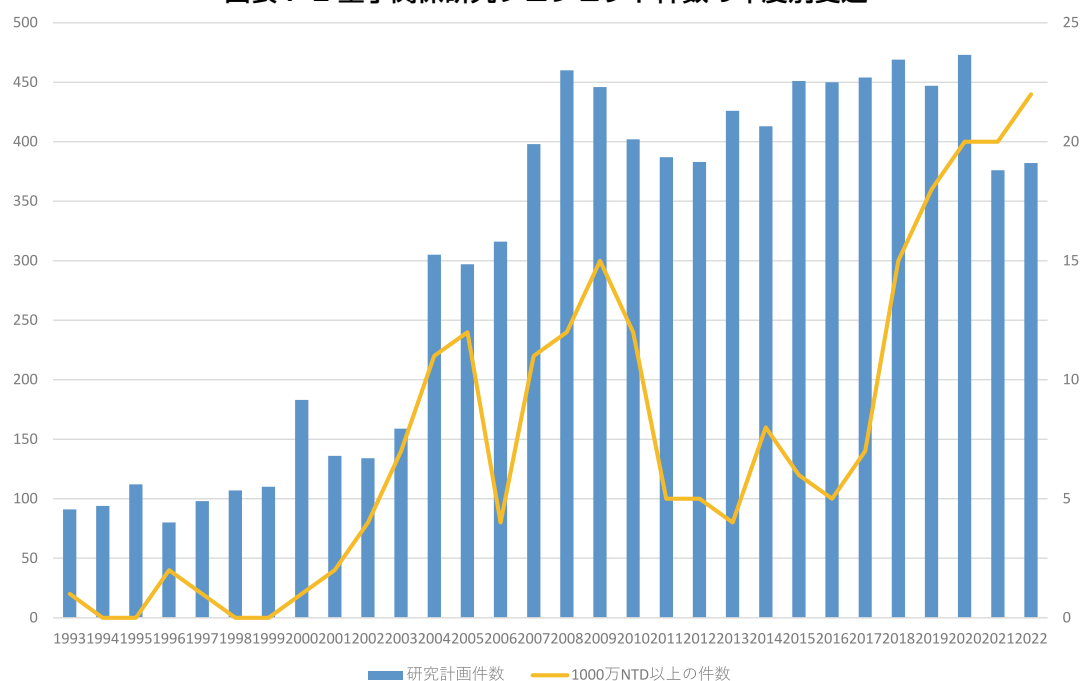
²⁰ 頼志遠『國際量子科技發展策略研析』科学技術政策研究情報センター（2021年10月）

²¹ 科学技術振興機構研究開発戦略センター『論文・特許マップで見る量子技術の國際動向』（2022年3月）

²² 台湾の政府系シンクタンクの調査では、論文総数は2743件。独自基準によりWeb of Scienceを用いて検索したもの（検索日は2020年7月24日）。頼志遠『國際量子科技發展策略研析』科学技術政策研究情報センター（2021年10月）

政府の量子研究支援状況はどうだろうか。台湾政府はMOSTが運営するサイト「政府研究情報システム (GRB: Government Research Bulletin)」²³で、1993 年以降の政府出資研究プロジェクトの情報を一般公開している。研究計画書等にキーワード「量子」を含む研究計画数は総数 9078 件で、各年度別件数は図表 7-2 の棒グラフ（左側スケール）の通りである。2000 年代後半から量子関係の研究プロジェクトが増加していることが分かる。図表 7-2 の折れ線グラフ（右側スケール）は 1000 万 NTD（約 4500 万円）以上の高額プロジェクトの件数を示しており、政府の量子振興への取り組みが始まった 2018 年以降に急増していることが看取できる。

図表 7-2 量子関係研究プロジェクト件数の年度別変遷



出典：政府研究情報システム (GRB) から APRC 作成

同サイトの集計情報によると、研究プロジェクト数が多い研究実施機関は以下の通りである（カッコ内はプロジェクト数）。台湾大学、陽明交通大学、成功大学などの有力国立大学と中央研究院傘下の関連研究所が量子科学技術研究の中心機関となっている。

- ① 国立陽明交通大学電子物理学科 (348)
- ② 国立台湾大学物理学部 (336)
- ③ 国立成功大学物理学部 (314)
- ④ 国立清華大学物理学部 (296)
- ⑤ 中央研究院物理研究所 (202)
- ⑥ 中央研究院原子・分子科学研究所 (192)
- ⑦ 国立台湾大学光電子工学研究所 (185)
- ⑧ 国立中山大学物理学部 (165)
- ⑨ 国立台湾師範大学物理学科 (163)
- ⑩ 国立陽明交通大学電子工学科 (143)

²³ 政府研究資訊系統。検索日は 2022 年 12 月 12 日。

これらの研究の中からどれほどの研究成果が出ているかは自明ではないが、近年各大学や MOST が成果としてアピールしているものとしては、例えば以下が挙げられる。

- 2019 年 11 月、MOST と教育部の共同支援を受けて、国立清華大学量子技術センターの**褚志崧**（CHUU Chihsung）准教授のグループは、台湾で最初の量子暗号通信テストに成功した。²⁴ 次の目標は、新竹サイエンスパークの隣に量子通信網を構築し、より大規模な量子ネットワークへの道を開くことである。
- 2020 年 11 月、国立台湾大学の**管希聖**（GOAN Hsisheng）教授が率いる国立台湾大学・中央研究院チームは、量子暗号とシリコンベースの量子ビットの研究で重要な進展を遂げた。²⁵ チームは米国立標準技術研究所（NIST）の耐量子計算機暗号システムの標準化に参加し、そのデジタル署名構造 Rainbow が最終選考に残った。チームは量子暗号の安全な通信暗号への応用や、利用者が量子計算結果の正しさを迅速に検証できる委任型量子計算プロトコルを開発するなど、様々な研究を行っている。
- 2021 年 3 月、国立成功大学量子フロンティア研究技術センターの**張景皓**（CHANG Chinghao）助教授と**陳則銘**（CHEN Tseming）特別荣誉教授からなる研究チームは、グラフェンを、量子特性を備えた新たな電子部品に変換する研究で大きな進展があったと発表し、共同論文「Hall effects in artificially corrugated bilayer graphene without breaking time-reversal symmetry（時間反転対称性を破ることなく人工的に波形成された二層グラフェンのホール効果）」が「Nature Electronics」2021 年 2 月号に掲載された。²⁶
- 2021 年 7 月、国立台湾師範大学化学科の**劉沂欣**（LIU Yi hsin）助教授の研究チームは、室温で巨大ゼーマン分裂を行う、原子サイズの二次元単層半導体材料の合成に成功したと発表した。²⁸ この希薄磁性材料は、量子電気力学や単一量子ドット発光体の開発に利用できる可能性があるとしてされている。

今後の台湾の量子技術の研究開発の方向性としては、前節で触れた MOST の「量子新世代キーテクノロジー開発プロジェクト」にあるように「量子コンピューティングや通信用ソフトウェア・ハードウェアの中核的なキーテクノロジーを進化させる」ことが指摘できる。具体的には前出「6 つの中核戦略産業の振興計画」で明記されている、「シリコンベースの量子コンピューティング サブシステム開発」となる見込みであり、個別研究テーマとしては以下が挙げられている。²⁹

²⁴ 科学技術部「科技部新聞稿：臺灣量子加密通訊網路 清大教授成功研發「量子加密」對抗「量子駭客」」2019 年 11 月 26 日

²⁵ 科学技術部「量子技術創新突破」2020 年 11 月 3 日

²⁶ 科学技術部「跳脫百年框架引領量子黑科技 台灣研究團隊雕塑石墨烯嶄新電子結構」2021 年 3 月 31 日

²⁷ Nature Electronics「Hall effects in artificially corrugated bilayer graphene without breaking time-reversal symmetry」2021 年 2 月号

²⁸ サイエンスポータルアジアパシフィック「台湾で巨大ゼーマン分裂を行う希薄磁性材料の合成に成功 量子技術に応用も」2021 年 9 月；国立台湾師範大学「The Discovery of Diluted Magnetic Material from Prof. Liu Yi Hsin Published on International Journal」2021 年 7 月 20 日

²⁹ 国家發展委員会『六大核心戰略產業推動方案』2021 年 5 月 p. 30-31.

- クライオ CMOS、量子ビットの回路制御・駆動・読み込みサブシステムの開発
- 複数のシリコンベースの量子ビットをサポートする 1 ～ 20GHz 制御ドライバ・アーキテクチャの評価、設計、4K 測定検証
- サブ nA を検出する機能を完備 電流変化読み出し回路アーキテクチャ評価、設計、4K 測定検証
- 高忠実度シリコン量子ビットデバイスの作製
- 28Si 同位体純化エピタキシャル技術の確立とシリコン量子ドット量子ビットデバイスの作製
- シリコン量子ドット、量子ビット素子の単一電子限界におけるクーロンブロッケイドの観測
- シリコン系量子ドットのラビ振動
- 2 量子ビットゲートを実行可能な量子コンピュータの実現に向けたサブシステムの集積化

また、台南市に量子科学技術研究拠点を設置する計画に基づき行政院科技会報辦公室（行政院科学技術事務局）は 2022 年 3 月、中央研究院、經濟部、MOST と連携し、量子技術に関する「台湾ナショナルチーム」を発足させた³⁰。チームには、学者・専門家 72 人、企業 24 社を含む、計 17 の研究チームが参加し、「量子コンポーネント」、「量子コンピュータ」、「量子アルゴリズム」、「量子通信」に焦点を当てて研究開発に取り組むとしている。

参加する大学・研究機関は、中央研究院傘下の 3 研究所（天文・天体物理学研究所、原子・分子科学研究所、情報科学研究所）、2 国立研究所（台湾半導体研究センター、高性能コンピューティングセンター）、10 の国立大学（台湾、清華、陽明交通、成功、中央、政治大学応用物理研究所、中興大学、彰化師範大学、中山大学、中正大学）、私立大学 2 校（淡江大学、長庚大学）の 17 の機関名が明らかになっている。

企業等は、ITRI 光電子工学研究所、台湾半導体研究センター、金融研究所、鴻海科技、聯發科技（MediaTek）、中華電信、台湾新思科技（Taiwan Synopsys）、致茂電子（Chroma）、日月光（ASE）、閎康科技（MAttek）、聯亞光電（Land Mark）、台湾富士通、一元素科技（E-Elements）、大江生医、Rohde & Schwarz Taiwan、祥茂光電（Applied Optoelectronics）、稜研科技（TMYTEK）、圓陵工業（Aliner）、易儀科技（EzInstrument）、量源光電、南方科技、龍彩科技（HC Photonics）、極星光電、Optilab L.L.C. の 24 社・組織である³¹。

政府発表や各種報道によれば、台南市量子研究拠点における研究開発は、汎用量子コンピュータハードウェア技術、光量子技術、量子ソフトウェア技術とアプリケーション開発の 3 分野に大きく整理することができる（図表 7-3）。最近の具体的な動きとしては、「ナショナルチーム」への参画を決めている台湾富士通が、同社の「デジタルアニーラ」技術を、台湾桃園市の中原大学が設立した「デジタルアニーラ量子インフォメーションセンター」に提供することを発表している³²。

³⁰ 科学技術部「行政院科技會報辦公室、中研院、經濟部、科技部聯合新聞稿・攜手產業 共創臺灣量子新未來」2022 年 3 月 16 日

³¹ 経済日報「量子國家隊五年投 80 億元 鴻海、聯發科、中華電都加入」2022 年 3 月 16 日

³² 「富士通、台湾の「デジタルアニーラ量子インフォメーションセンター」に「デジタルアニーラ」を提供」日本経済新聞 2022 年 11 月 1 日。「ナショナルチーム」に参加する大学・企業は流動的で、中原大学が参加するかどうかは確認できていない。

図表 7-3 台南市量子研究拠点における研究開発内容

	研究計画数	研究者数	企業数	研究トピック	関連産業
汎用量子コンピュータハードウェア技術	7	29	12	スケーラブルな超伝導量子コンピュータの構築、超伝導パラメーター増幅器の研究開発、高コヒーレンス超伝導量子回路材料、シリコンベースの量子ドット量子コンピューティング、CMOS統合ゲルマニウムキュービット、低温CMOSコンポーネントDC /RFSPICEモデル、中性原子を用いた量子計算とシミュレーション	チップ工場、回路工場、パッケージング工場
光量子技術	4	22	8	多機能量子通信ネットワーク、統合マルチチャネル量子ランダム数発生器に適用される光量子チップ、非ガウス連続変数統合光電子チップ量子コンピューティング、光ファイバ量子通信ネットワークの逆多重化における量子キー開発キーゼロコンポーネントおよびシステム統合の研究開発	太陽光発電所、電気通信会社、包装工場、防衛産業
量子ソフトウェア技術とアプリケーション開発	6	21	4	量子コンピュータ科学理論の開発、量子仮想マシン、量子プログラムの検証と変換、量子コンピューティングの最適化と金融アプリケーション、化学システム量子シミュレーションのための量子ノイズアルゴリズム、量子誤り訂正設計	ソフトウェア会社、インターネット会社、製薬会社、金融業界、ロジスティクス業界

出典：MOST 資料、報道等をもとに APRC 作成³³

7.3 注目研究機関・大学³⁴

7.3.1 国立台湾大学 IBM 量子コンピュータセンター (IBM Q Hub at National Taiwan University)

国立台湾大学 (NTU) が、MOST の量子コンピューティングプロジェクトに協力して 2019 年 1 月に設立した。IBM と契約を結んで NTU に IBM Q ネットワークハブを設置し、IBM Cloud ネットワーク経由で IBM の最先端量子コンピュータにアクセスできるようにしたもの。台湾の学術コミュニティ全体にサービスを提供する。初代センター長は物理学部教授の張慶瑞 (CHANG Chingray) が務め、現在は 2022 年 2 月から管希聖 (前出) 物理学部教授が務めている。センターのビジョンは、①台湾の学術研究コミュニティに量子コンピュータの研究および教育訓練のためのプラットフォームを提供すること、②量子コンピュータ関連分野の科学技術人材の育成に注力すること、③量子コンピュータ研究開発への参加、大学や企業の研究機関による研究開発チームの結成を推進すること、④量子コンピュータの産学協力の推進に向けた準備として、量子コンピュータのプログラミング、ソフトウェア開発、将来的な応用に関する研究開発能力強化を加速することである。

³³ 聯合新聞網「官學研攜手產業 台灣量子科技國家隊成軍」2022 年 3 月 24 日

³⁴ 台湾の大学、研究機関一般については以下を参照。科学技術振興機構研究開発戦略センター『科学技術・イノベーション動向報告台湾編 (2016 年度版)』2017 年 3 月

なお、NTU には以前から学内の量子分野研究者の研究拠点として量子科学工学センター (CQSE: Center for Quantum Science and Engineering) が設置されており、①超高速科学と高精度量子技術、②量子コンピュータと量子通信ネットワーク、③新材料における特性の量子設計、④計算科学・工学の4分野に関する研究が進められている。センター長は管希聖、副センター長は張慶瑞と電子工学部特別荣誉教授の郭斯彦 (KUO Syyen) である。

7.3.2 国立清華大学 量子技術センター (National Tsing Hua University, Center for Quantum Technology)

MOST 量子プロジェクトの支援を受けて、国立清華大学 (NTHU) 物理学部を母体として、2018 年に設立された³⁵ NTHU の原子分子光学物理学 (AMO) グループが持つ超低温原子・光子系における現在の技術の優位性と、過去に固体材料の開発で優れた研究経験を持つ物性物理学グループの融合により、量子コンピュータや量子通信の実現に必要なコア技術の開発を目指している。代表を務める物理学部の牟中瑜 (MOU Chungyu) 教授以下、研究体制は約 50 人のメンバーから構成されている。

注力する4大研究テーマは、①量子ビットの実現・操作・計算：超伝導量子ビットの加工・開発、超伝導量子ビットを用いた量子シミュレーション、②量子通信：量子通信ネットワークの構築、量子鍵配送のテストプラットフォーム、単一光子・もつれ光子源の開発、量子中継器のための関連技術（量子メモリ等）の開発、③量子計測・シミュレーション：スクイズド光の発生と連続可変量子ビットの開発、極低温原子（リュードベリ原子など）に基づく量子シミュレーション、精密計測・量子計測、④量子材料：量子ビットをホストできる可能性のある量子材料の開発、マヨラナフェルミオンをホストできるトポロジカル材料の開発、マヨラナフェルミオンを用いたトポロジカル量子ビットの開発、である。

7.3.3 国立成功大学 量子フロンティア研究技術センター (Center for Quantum Frontiers of Research & Technology)

量子フロンティア研究技術センター (QFort) は、台湾南部の台南市に位置する国立成功大学 (NCKU) の過去 10 年の量子分野の経験をベースに 2020 年に設立された。NCKU の 40 名以上の優秀な科学者を集め、量子物理学の基礎的な側面を探究するだけでなく、量子効果を利用した次世代技術の開発と応用を目指している。主な研究テーマは、①量子デバイスと量子計算のための理論、②超伝導体と半導体（およびその他の新材料）のハイブリッド量子デバイスと量子ビット、③量子材料ファウンドリーである。QFort は教育面にも力を入れており、高校から大学院、博士課程までの様々な段階の学生を対象に教育コンテンツを提供している。センター長は、物理学部の陳岳男 (CHEN Yuehnan) 教授。

³⁵ 中国語表記は「前瞻量子科技研究中心」。「前瞻」は先見性、フォーサイトといった意味。

7.3.4 中央研究院 物理研究所 (Institute of Physics, Academia Sinica)

中央研究院物理研究所は、1928年に中国・上海で設立され、1962年に台湾で再興された。現在の主要研究分野は、量子材料物理学、活性生物系の物理学、中・高エネルギー物理学の3つである。量子材料物理学関係の研究領域は、量子材料界面顕微鏡とリソグラフィ、量子材料と低温物理学、スピントロニクス、磁気ナノ構造、磁気輸送物理学、モデリング・シミュレーション・計算物理、生物物理学、粒状気体・粒状流・粒状連鎖の物理、理論素粒子物理学・宇宙論、実験核・素粒子物理学等である。所長は表面物理学を専門とする張嘉升 (CHANG Chiaseng) で、台湾大学物理学部教授でもある。研究体制は、特別研究員5名、研究員19名、準研究員11名、研究員補2名、研究技術員3名、研究員補1名、研究技術員3名の計44名の研究員および約480名の客員研究員、ポスドク、常勤・非常勤のアシスタント、大学院生が在籍している。

7.3.5 中央研究院 応用化学研究センター (Research Center for Applied Sciences, Academia Sinica)

1993年に設立された中央研究院応用化学研究センターは、バイオメディカルサイエンス、グリーンテクノロジー、量子光エレクトロニクス、量子コンピューティングの4つのセンターから成り立っている。量子光エレクトロニクスセンターでは、光エレクトロニクス材料、メタ構造、光エレクトロニクス測定、デバイス作製の分野で量子情報の基礎技術開発を目指しており、特に主要研究トピックとして、①単一光子送信機と受信機、②ウェーハレベルの量子もつれ状態の操作、③トポロジカルフォトリックシステムの開発を掲げている。センター長 (代理) は魏培坤 (WEI Peikuen)。研究体制は、特別研究員4名、研究員14名、準研究員4名、研究員補4名、研究技術者1名、研究補助技術者1名の計28名の研究員および約200名の客員研究員、ポスドク、常勤・非常勤のアシスタント、大学院生が在籍している。

7.3.6 中央研究院 情報科学研究所 (Institute of Information Science, Academia Sinica)

情報科学分野の基礎研究に取り組む中央研究院情報科学研究所は1982年に設立された。バイオインフォマティクス研究室、コンピュータシステム研究室、データマイニングと機械学習研究室、マルチメディア技術研究室、言語・知識処理研究室、ネットワークシステムおよびサービス研究室、プログラミング言語・形式手法研究室、計算理論およびアルゴリズム研究室の8つの研究室がある。計算理論・アルゴリズム研究室では、量子暗号についての研究を行っており、主要研究分野は、デバイスに依存しない量子暗号、量子コンピューティング、耐量子計算機暗号、新しい量子暗号の仮定とタスクの探求などである。研究体制は、所長の廖弘源 (Mark Liao) 以下、39名の研究員、29名のポスドク、300名近い専任の情報技術者、非常勤の研究助手が在籍している。

7.4 注目企業

7.4.1 台湾積体回路製造股份有限公司 (TSMC : Taiwan Semiconductor Manufacturing Co. Ltd.)

1987年に工業技術研究院 (ITRI) からのスピンオフとして、張忠謀 (Morris Chang) によって設立された台湾積体回路製造 (TSMC) は、新竹サイエンスパークに本社を置く世界最大の半導体受託製造企業である。TSMC は台湾の他、米国、中国 (上海)、日本に製造拠点をもち、2021年の売上高は約 573 億米ドル、世界シェアは 53% を占める。時価総額は約 5400 億米ドルと、半導体ファウンドリー専門メーカーとして世界トップ 10 を誇るグローバル企業に成長した。

TSMC はかねてから量子コンピューティング分野に投資しているとされ、³⁶ 量子関連特許も 22 件出ている (第 1 章)。MOST の量子コンピューティングプロジェクト (2018 年) に参加したとの報道もあるが詳細は確認できていない。³⁷ 政府系シンクタンクの報告書によると、TSMC は台湾大学と連携して、マイクロ波共振技術を利用してシリコンウェハー上に量子ビット部品を製造する技術や、量子コンピュータのためのシリコンベースの量子ドットの研究開発に投資しているとされるが詳細は明らかではない。³⁸³⁹

7.4.2 鴻海研究院量子コンピューティング研究センター (Quantum computing Research Center, Hon Hai Research Institute)

電子機器の受託製造サービス (EMS) の世界最大手、鴻海精密工業を中核とする鴻海科技集団 (Foxconn) は、研究開発拠点として 2020 年 6 月鴻海研究院 (HHRI: Hon Hai Research Institute) を立ち上げた。HHRI は、AI、半導体、次世代通信技術、情報セキュリティ、量子コンピュータの 5 分野に特化した研究所を傘下に設置し、鴻海が進める、電気自動車 (EV)・デジタル医療・ロボットの「3 大産業」と AI・半導体・次世代通信技術の「新興 3 大技術」の「3+3」戦略を研究開発面から支援、推進する。

量子コンピューティング研究センターは、ハードウェアとソフトウェアの両部門から構成されており、ハードウェア部門では、イオントラップ実験室を設立し、量子制御システムの開発、量子コンピュータの製造を容易にするための小型化を行っている。ソフトウェア部門では、量子最適化、量子計測、誤り耐性量子計算などの研究を行っている。

台湾大学の IBM 量子コンピュータセンター (IBM Q Hub) とは、アルゴリズムの研究やアプリケーションの最適化で連携している。⁴⁰ 22 年 11 月にはカナダの非営利組織マイタクス (Mitacs) と覚書を締結し、カナダで先端的な量子技術研究を進めると発表した。研究所長は、オーストラリアで研究を行っていた謝明修 (HSIEH Minhsiu) が就任している。【台南量子研究拠点「ナショナルチーム」参加予定企業】

³⁶ TSMC is working on creating quantum processors, Hardwaresfera, 18 December 2018

³⁷ TSMC joins forces with academia to develop quantum computer, DigiTimes, 17 December, 2018; TSMC to work with Taiwan Govt on Quantum Computer, HEXUS, 18 December, 2018

³⁸ 頼志遠『国際量子科技发展策略研析』科学技術政策研究情報センター (2021 年 10 月) P61

³⁹ Taiwan urged to accelerate quantum computing development, i-Micronews, 31 July 2020

⁴⁰ 頼志遠『国際量子科技发展策略研析』科学技術政策研究情報センター (2021 年 10 月) P61

7.4.3 日月光半導體製造股份有限公司 (ASE: Advanced Semiconductor Engineering, Inc.)

日月光 (ASE) は、世界最大の半導体パッケージングテストメーカーである。1984 年に設立され本社は台湾高雄市にある。半導体チップのパッケージングとテストサービスのリーディングカンパニーとして、前工程テスト、ウェハピンテストからパッケージング、材料、完成品テストに至るまで、一貫したサービスを半導体ユーザーに提供している。世界の電子機器企業の 90% 以上に半導体パッケージングおよびテストサービスを提供している。【台南量子研究拠点「ナショナルチーム」参加予定企業】

7.4.4 聯發科技股份有限公司 (MediaTek Inc.)

世界第 4 位のファブレス半導体メーカー (ファブレス IC 設計企業) である。本社は新竹市新竹科学工業園区にある。1997 年に設立された。デジタルテレビや音声アシスタントデバイス (VAD)、スマートフォン等の携帯電話、光学、ブルーレイ、DVD プレーヤー向けのチップセット技術で市場をリードし、携帯電話の分野では業界第 2 位である。売上構成としては、モバイル端末用 IC と、IoT/ コンピューティング / ASIC 製品が約 8 割を占めている。【台南量子研究拠点「ナショナルチーム」参加予定企業】

7.4.5 致茂電子股份有限公司 (Chroma Electronics Co. Ltd.)

1984 年に設立された半導体製造・検査装置メーカーで、21 年度売り上げは台湾 4 位。精密試験・計測機器、自動検査システム、製造実行システム、ターンキーテストの世界有数のサプライヤーであり、「Chroma」ブランドとして、世界中で販売されている。Chroma は、半導体、LED、太陽エネルギー、フラットパネルディスプレイ、パワーエレクトロニクス、電気自動車、自動光学検査、ICT と環境保護産業向けシステムなどの市場にサービスを提供している。【台南量子研究拠点「ナショナルチーム」参加予定企業】

7.4.6 閩康科技 (MA-tek: Materials Analysis Technology Inc.)

2002 年に設立された閩康科技 (MA-tek) は、材料分析 (MA) を主力サービスとする世界トップクラスの受託分析会社である。MA-tek は、事業拡大に伴って、故障解析 (FA) および製品信頼性試験 (RT) のサービスもあわせて提供している。固体電子工学および新素材分析システムの設備投資に焦点を当て、設備能力と性能特性の高い多くの設備を保有している。主な顧客としては、IC 関連産業、材料メーカー、製造装置メーカーなどである。【台南量子研究拠点「ナショナルチーム」参加予定企業】

7.4.7 聯亞光電工業股份有限公司 (LandMark Optoelectronics Corporation)

聯亞光電 (ランドマーク) は、主にエピタキシャル・ウェハの供給に従事する半導体材料メーカー。1997 年に設立され、台湾南部サイエンスパークに本社を置く。光学通信、工業用アプリケーション、特殊用途に使用するガリウムやリン化インジウムをベースにしたエピタキシャル・ウェハを製造する。光ファイバー通信、民生機器、産業機器などに幅広く利用されている。【台南量子研究拠点「ナショナルチーム」参加予定企業】

7.4.8 量源光電有限公司 (Quantaser Photonics CO., LTD.)

2013年に設立された台北市に本社を置く量子光学実験装置の開発を行うスタートアップ企業で、欧米や中国、成功大学、清華大学の量子光学研究施設に製品を販売している。主な製品は、量子メモリの実験に便利なスペクトルフィルタ用温度安定化ファブリーペローエタロンや、科学研究用の超安定・高精度温度コントローラである。【台南量子研究拠点「ナショナルチーム」参加予定企業】

7.4.9 極星光電有限公司 (Polaris Photonics, Inc)

桃園市に本社を置く、ニオブ酸リチウム材料を主とした光導波路、変調器及び多機能集積光デバイスの研究、設計、製造に特化したスタートアップ企業である。2016年設立。レーザー変調、短パルス発生、パルス整形、周波数シフト、慣性航法、光通信、光ファイバーセンシングのアプリケーションのための多機能集積光チップ(MIOC)、導波路位相変調器(PM)等を開発した。MIOCは、航空機の機体を高い精度で位置決めするための光ファイバージャイロスコープ(IFOG)の主要部品として使用されている。また、PMは、他の変調器と比較して、電力効率、環境耐性、信頼性に優れている。【台南量子研究拠点「ナショナルチーム」参加予定企業】

7.4.10 池安科技股份有限公司 (Chelpis Co., Ltd)

池安科技(Chelpis)は、デジタル世界の暗号化セキュリティ製品に特化したスタートアップで2017年に設立された。ポスト量子暗号(=耐量子計算機暗号)に焦点を当て、中央研究院等と連携して暗号技術やアルゴリズムの開発に従事し、分散型転送認証・暗号化ソリューションとしてソフトウェア企業が利用するための暗号製品「AORTA」を発表した。ブロックチェーンや情報セキュリティのスタートアップ企業がChelpisのサービスを利用しているとされる。近年、官製ファンドの行政院国家発展基金等から約5850万NTD(約2.63億円)⁴¹を調達したとの報道がある。

7.5 注目研究者

第1章で紹介した論文・特許データをベースに、台湾の量子研究コミュニティにおけるポジションや研究受賞歴等を加味して、台湾における注目研究者を選出した。

7.5.1 果尚志 (GWO Shangjr) 量子システム推進グループ召集人、国立清華大学物理学部教授

政府の量子プロジェクトを支える「量子系統推動小組」の中心人物。研究テーマは、表面物理学、凝縮系物理学、走査型プローブ顕微鏡、ナノテクノロジー。1985年国立交通大学卒業(電気工学)、1993年米国テキサス大学オースティン校で物理学博士号取得。1997年清華大学物理学部准教授、2002年から清華大学物理学部教授。主な受賞歴に、全米科学アカデミー(NAS)優秀研究賞、第59回科学技術部大臣表彰学術賞等がある。

⁴¹「台湾のポスト量子暗号スタートアップ Chelpis (池安科技)、2.63 億円を調達」BRIDGE 2022 年 5 月 4 日

7.5.2 羅夢凡 (LUO Mengfan) 科学技術部自然科学・持続可能な研究開発部門長

国立中央大学物理学部学部長で、MOST（現 NSTC）の部門長を兼務している。研究テーマは、表面科学、ナノスケール物理学。台湾大学物理学部卒業、英ケンブリッジ大学物理学博士。2000～02年まで米カリフォルニア大学アーバイン校表面界面科学研究所、2002年から中央大学物理学部に所属。2010年から教授、13年から学部長を務める。直近では、「ナノ粒子内の電荷移動が触媒特性に与える影響」等のプロジェクトに参画している。

7.5.3 張文豪 (CHANG Wenhao) 量子システム推進グループ執行長、国立陽明交通大学教授

「量子系統推動小組」の中心人物の一人。中央研究院応用科学研究センターの特別研究員兼量子光学研究センター責任者でもある。専門は半導体物理学および光学、極低温顕微分光法、超高速分光法、量子光学。1994年国立中央大学物理学部卒業、01年同理学博士、05年までポスドク研究員。05年国立交通大学電子物理学科助手、09年助教授を経て12年から教授、21年から現職。主な受賞歴は、科学技術部優秀研究賞（2018年）等。

7.5.4 張慶瑞 (CHANG Chingray) 台湾量子コンピュータ情報技術協会 (TAQCIT) 理事長

台湾大学物理学部特別教授で台湾大 IBM Q ハブの前センター長。鴻海研究院顧問も務めている。研究テーマは、物性物理学、スピントロニクス、量子コンピューティングとその応用。台湾大学物理学科卒業、1988年カリフォルニア大学サンディエゴ校で物理学博士号取得。ITRI 研究員を経て89年から台湾大学物理学科に所属、94年から教授。物理学科長、理学部長、理事・副学長、学長代行を歴任。台湾物理学会特別貢献賞、米国物理学会フェロー、IEEE フェロー。

7.5.5 管希聖 (GOAN Hsisheng) 台湾大学 IBM 量子コンピューティングセンター長、台湾大学物理学部教授

専門は、量子情報と量子計算理論、メゾスコピックおよびナノフィジカル理論、量子測定理論、単一電荷と単一スピンの測定理論、量子光学理論。1987年国立台湾師範大学物理学科卒業、清華大学大学院を経て、1999年米メリーランド大学で博士号。99年から04年まで、豪クイーンズランド大学、豪ニューサウスウェールズ大学で研究、05年から台湾大学に所属、11年から物理学部教授。

7.6 国際協力・国際共同研究

兩岸問題により台湾は、パラグアイなど南米8か国を含む14か国としか国交がない。したがって「国際」協力は官民のカウンターパート同士間で実施されている。科学技術協力については、米欧など世界13か国17か所に配置された MOST の駐在員事務所が担当しているが、（政府主導による）量子分野における国際協力は下記以外に目立った取り組みは見当たらない。

7.6.1 日本との協力

2015年6月MOSTは、物質・材料研究機構(NIMS)と台湾学術機関との共同研究支援プロジェクトに関する確認書に調印した。⁴²これは、MOSTが公募するNIMSと台湾機関との共同研究の中から毎年数件を選出してMOSTが台湾側研究者に資金提供を行うもので、現在では、機能性材料、エネルギーと環境材料、磁性とスピン材料、量子材料、構造材料、最新ICTとエネルギー材料などの分野で共同研究を行っている。⁴³

7.6.2 スロバキアとの協力

2021年10月、国家発展委員会(NDC)の龔明鑫(KUNG Minghsin)大臣とMOST(現NSTC)の呉政忠(WU Tsungtsong)大臣が率いる貿易・投資代表団が、スロバキア科学アカデミー(SAS)を訪問し、SAS幹部やスロバキア研究開発機関(SRDA)、教育省の代表者らと、科学技術や高等教育、革新的研究について意見交換を行った。⁴⁴MOSTとSASは1996年に了解覚書(MOU)を取り交わし、両国の研究機関の交流や共同研究を支援してきた。会合には、SASの量子技術研究センター所長で、EUの量子技術研究計画「量子フラッグシップ」の戦略諮問委員会メンバーでもあるウラジミル・ブゼク(Vladimir Buzek)博士も出席した。呉大臣は、台湾はICT業界の主要プレーヤーとして、量子コンピュータ開発だけでなくサイバーセキュリティのための量子通信技術にも注力する意向を示し、ブゼク博士を通じて量子分野で欧州との連携を深められることに期待を表明した。

スロバキアとの接近の背景には、リトアニア、チェコ、スロバキアといった中・東欧諸国が、世界的なサプライチェーン再編の動きの中で、台湾の強みである半導体に関心を示していることがあげられる。⁴⁵2021年秋の龔、呉両大臣の中・東欧歴訪も、台湾の半導体外交の一環とみられる。なお、スロバキア国会議員団は2022年6月、経済や科学技術の分野で交流を深めることを目的に訪台しており、両国の研究機関同士の連携の進展が期待されている。⁴⁶

⁴² 物質・材料研究機構「台湾 科学技術部との共同研究支援プロジェクト確認書に調印」2015年6月5日

⁴³ 科学技術部「科技部徴求 2023 年度臺日 (MOST-NIMS) 雙邊協議擴充加值 (add-on) 國際合作研究計畫」2022年1月17日

⁴⁴ 科学技術部「科技部吳部長訪問斯洛伐克科研機構 並增進臺斯科學園區與太空產業合作」2021年10月23日;「台湾とスロバキア、EVや航空宇宙産業等7項目のMOU締結」『TAIWAN TODAY』2021年10月25日

⁴⁵ Taiwan to use tech knowhow to build ties with other democracies, Financial Times, FEBRUARY 3, 2022;「台湾、半導体技術を携えて中・東欧諸国に接近」日本経済新聞、2022年2月4日

⁴⁶ 「スロバキア議員団が台湾到着 蔡英文総統と会談へ」日本経済新聞、2022年6月5日

7.7 量子イノベーションエコシステム

台湾の量子政策と研究開発コミュニティの特徴を踏まえると、台湾の量子イノベーションエコシステムは図表 7-7 のように描くことができる。量子イノベーション政策は MOST（現 NSTC）と経済部が主導し、研究開発は総統府直属の中央研究院と台湾大、清華大、成功大などの有力国立大学を中心に実施されている。政府は、産学官が連携した量子研究拠点を中央研究院の南部院区に設置する一方、量子システム推進グループを台湾大に置き、産学官連携を支援する体制を敷いた。産業界は、TSMC 等の半導体関連企業や、鴻海等の EMS 企業が参入を伺っているが、研究開発の動きは本格化していない。量子スタートアップ企業は少数あるものの存在感は小さい。産業界が関心を持つ量子コンピューティング分野では、**台湾量子コンピュータ情報技術協会（TAQICIT）** が産学連携を推進するため多様な活動を始めている。産業界で技術開発が進展するに従って、政府系投資ファンドの国家発展基金や、産業技術開発を支援する ITRI の役割が高まると予想される。

台湾は、半導体分野での強みを生かして量子技術の基幹部品を開発する戦略だが、半導体ビジネスの成功のゆえにこそ、量子技術開発に乗り遅れるリスクも指摘されており、今後の産業界の動向が注目される。

図表 7-7 台湾の量子イノベーションエコシステム



産学官連携による半導体分野での強みを生かした量子技術の基幹部品開発

出典：APRC 作成

調査企画・執筆者

執筆者一覧

斎藤 至	科学技術振興機構アジア・太平洋総合研究センター フェロー（1・4・6章）
小松 義隆	科学技術振興機構アジア・太平洋総合研究センター フェロー（2章）
小林 義英	科学技術振興機構アジア・太平洋総合研究センター 主査（3章）
ファム ティ ヌー	科学技術振興機構アジア・太平洋総合研究センター フェロー（4章）*
松田 侑奈	科学技術振興機構アジア・太平洋総合研究センター フェロー（5章）
川崎 幹史	科学技術振興機構アジア・太平洋総合研究センター 主査（7章）*
北場 林	科学技術振興機構アジア・太平洋総合研究センター 室長（7章）

*の執筆者は2022年6月末時点での所属

アジア・太平洋主要国・地域の量子技術動向

Policy and R&D trends of quantum technology in the leading countries of the Asia and Pacific regions

2022 年 12 月発行

ISBN 978-4-88890-821-4

本報告書に関するお問い合わせ先：

国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）アジア・太平洋総合研究センター（APRC）

Asia and Pacific Research Center, Japan Science and Technology Agency

〒102-8666 東京都千代田区四番町 5-3 サイエンスプラザ

Tel: 03-5214-7556 E-Mail: aprc@jst.go.jp

<https://www.jst.go.jp/aprc/>

Copyright © Japan Science and Technology Agency

本書は著作権法等によって著作権が保護された著作物です。著作権法で認められた場合を除き、本書の全部又は一部を許可無く複写・複製することを禁じます。転載を希望される際は、事前に上記お問い合わせ先迄ご連絡ください。引用を行う際は、必ず出典：JST/APRC 調査報告書「インドとの科学技術協力に向けた政策および研究開発動向調査」として記述願います。

This report is protected by copyright law and international treaties. No part of this publication may be copied or reproduced in any form or by any means without permission of JST, except to the extent permitted by applicable law. Any quotations must be appropriately acknowledged. If you wish to copy, reproduce, display or otherwise use this publication, please contact APRC.

