グローバル量子技術エコシステムの「PESTEL」分析

マイケル・バチク

フォトニクスは、量子技術の進歩を補助する段階を超え、いまやその中核産業の１つとなりつつある。

量子技術の発展に伴い、光学・フォトニクス業界には、課題とともに新たな機会が創出されている。光学技術は量子システムを実現する不可欠な基盤技術であり、量子コンピューティング、量子通信、量子センシング技術の各分野において中核的な役割を担うものである。本稿では、米グローバル・クオンタム・インテリジェンス社（GQI：Global Quantum Intelligence）によるPESTEL（ペステル）フレームワーク分析に基づき、世界の量子技術情勢を探る。政治的・経済的・社会的・技術的・環境的・法的要因が量子産業に与える影響を解明し、光学およびフォトニクス分野における量子産業の意義を考察する。

政治的要因：地政学および国家戦略

量子技術は主要諸国にとって戦略的優先事項となっている。米国、中国、欧州はいずれも、数十億ドル規模の国家量子プログラムを立ち上げている。

米国政府は、2018年に制定された「国家量子イニシアチブ法（QIA）」により、複数の機関にわたって量子研究開発体制を整備し、5年間で12億7500万ドルを割り当てた。2022年の「CHIPS・科学法」によってさらに資金を拡大しており、2024年の「国防量子加速法」といった新たな施策も打ち出し、超党派の強固な支援を得ている。

欧州連合（EU）は、「EuroQCIイニシアチブ」などのプログラムにより、各国の取り組みを調整し、量子要素をさらに広範な技術戦略に組み込んでいる。中国政府は、量子技術を5か年経済計画に組み込み、ミチウス量子衛星などの主要プロジェクトに官民双方のリソースを投入している。

英国、カナダ、日本、オーストラリアなど各国も、国家量子技術力の構築に多大なリソースを投入している。

このような国家プログラムでは、技

術的主導権の確保が重視されており、各国政府は国家安全保障および経済競争力の強化を目的として、量子技術の研究開発に投資している。米国と中国は、特に量子コンピューティングおよび量子通信の分野において、主導権をめぐる競争を繰り広げている。一方、欧州は、強固な官民連携による技術的自立を目指している。地政学的な緊張の高まりを背景に、西側諸国は、自国のサプライチェーンを確保するべく、特に中国に対して量子技術の輸出規制を強化している。このような環境は、グローバルに事業展開する企業にはリスク要因となる一方で、各国の量子エコシステム内では、資金調達や業務提携の機会を生み出す要因ともなっている。

経済的要因：投資および商業化の動向

量子技術への官民による資金投入は着実に拡大されており、ベンチャーキャピタルや政府補助金が、スタートアップ企業から大手テクノロジー企業までを資金援助している。米国は民間投資において主導的地位を占めており、IBM、Google、Microsoftなどの大手企業が量子コンピューティング分野へ本格的に参入している。欧州は政府資金による学術・産業連携に依拠しており、中国は国家主導のアプローチで量子研究を産業戦略に組み込んでいる。

量子コンピューティングの商業化も加速しており、量子コンピューティング企業は、製薬から金融に至るさまざまな業界の企業と業務提携を進めている。量子センシング技術は、医療画像診断や地球物理学などに応用され、初期市場への参入が進められている。量子通信技術は、衛星ネットワークの構築や安全な暗号プロトコルの実装を通じて進展している。このような市場の拡大に伴い、特にレーザ、クライオジェニクス（極低温技術）、フォトニクスコンポーネントなどの基盤技術を提供する企業には、新たなサプライチェーンの機会がもたらされる。

カナダ政府は、「国家量子戦略（2023年）」において、2040年までに1424億カナダドル（約996億米ドル）の経済効果を見込む長期ビジョンを掲げている。オーストラリアの「国家復興基金」は、量子技術およびその他の重要技術に10億豪ドル（約6億2700万米ドル）を割り当て、自国を量子センシングおよび量子コンピューティング技術の主要拠点とする方針を打ち出している。世界各地で量子技術ハブが台頭しており、例えば、カナダのウォータールー量子バレー、ドイツのミュンヘン量子バレー、英国の量子技術ハブ、日本の国家量子技術拠点などが商業化の推進を担っている。

社会的要因：人材および労働力の課題

量子技術の進歩を阻む最大の障壁として、人材不足が挙げられる。量子技術人材の需要は供給を大きく上回っており、企業は量子ハードウエア、アルゴリズム、エンジニアリングに精通した専門家を確保するのに苦労している。各国政府は、この課題に対処するべく、教育施策を展開している。例えば、米国の「全国Q-12教育パートナーシップ」、英国の11億ポンド（約13米億米ドル）の人材育成パッケージ、ドイツの量子専門修士課程などが挙げられる。

こうした状況の中で、フォトニクス分野の専門職には、課題とともに新たな機会が創出されている。企業が量子関連事業を拡大する中で、光学、レーザ、量子力学の専門知識を備えた人材に対する需要が高まっている。量子原理を工学プログラムに組み込むことで、新たなキャリアパスが創出されるとともに、量子専門知識がますます価値あるスキルセットとして確立されるだろう。

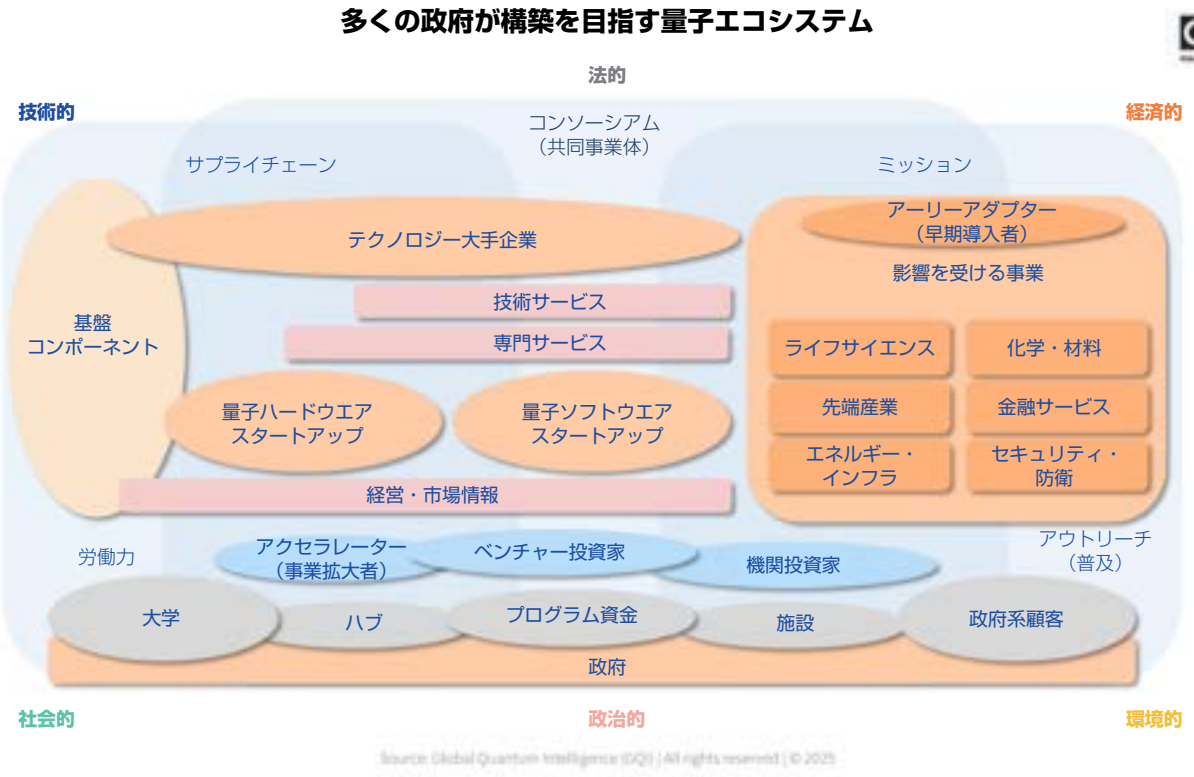
技術的要因：基盤技術および産業統合

量子コンピューティングプラットフォームの大半（例えば、イオントラップ型量子プロセッサや中性原子量子プロセッサなど）は、量子ビットの制御と読み出しに高性能レーザが不可欠である。量子通信ネットワークには高精度の単一光子源と検出器が必要であり、量子センサには極めて高感度な光学的・原子的測定技術が活用されている。

商業化の進展には、基礎研究の段階を超え、スケーラブルな製造体制の確立が鍵となる。フォトニック集積回路（PIC）、高安定レーザ源、量子型検出器などのメーカーは、業界の成長に不可欠な存在となっている。フォトニクスは、量子技術を補助する段階を超え、いまやその中核産業の1つとなりつつある。

環境的要因：持続可能性およびエネルギーに関する考慮事項

量子技術には、環境への負荷と恩恵の両側面が伴う。多くの量子コンピュータには極低温冷却技術が必要であり、これには多量のエネルギーが消費される。一方で、量子技術の飛躍的進歩によって、持続可能性や気候技術への革新的な解決策を得られるとも期待される。例えば、量子シミュレーションによって、バッテリーに適した新素材の開発を促進できる。また、量子センサによって、水位、汚染、地震活動



GQIは、厳密なデータ主導のアプローチで量子エコシステムをマッピングし、1800を超える量子テクノロジーエンティティを体系的に追跡して、各分野を発展させる複雑な相互関係のネットワークを解明している。

の変化をこれまでにない精度で検出することで、環境モニタリングを向上できると期待されている。

法的要因：知的財産および規制上の考慮事項

量子技術の急速な進歩によって、知的財産権（IP）および国際貿易規制において法的課題が顕在化している。量子技術関連の特許取得では競争が激化しており、量子通信関連の特許数では中国が先行している。一方、米国および欧州は、量子コンピューティング分野において知的財産の獲得競争を繰り広げている。

輸出規制も強化されている。米国およびEUは、特定の国々に対して、高性能な量子コンピュータおよび暗号技術の販売を制限している。量子技術を実現する基盤技術を開発する企業は、このような規制に留意する必要がある。なぜなら、このような規制は、国際的なビジネスの機会やサプライチェーンの構築に影響を及ぼす要因となり得るからだ。

量子技術分野における機会の捉え方：光学・フォトニクス業界にとっての意義

量子技術はもはや研究分野の枠を超え、グローバルな産業として発展しており、その発展には光学・フォトニクス業界の専門家が不可欠な存在となっている。量子コンピューティング、量子通信、量子センシング分野のいずれにおいても、レーザや光学コンポーネントを欠かすことはできない。量子技術を活用する機会をいち早く捉え、人材育成に投資し、拡大する量子サプライチェーンの中で地位を確立する企業は、次なる技術革新の主導権を握る上で有利な立場を築くだろう。

研究開発段階から産業規模での製造段階への移行に伴い、高品質かつ費用対効果の高い量子レベルの光学コンポーネントを供給する企業は、競争優位性を獲得することになる。世界各国政府は資金援助や規制面での支援進めており、フォトニクス業界では、最新情報の把握と、それに応じた戦略の調整が不可欠となっている。

著者紹介
マイケル・バチク（Michael Baczyk）は、量子技術分野の経営情報調査会社であるグローバル・クオンタム・インテリジェンス社（GQI）の投資アドバイザリー部門ディレクター。
e-mail：michael@global-qi.com　URL：https://global-qi.com

LFWJ