

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

令和5(2023)年度拠点構想進捗状況報告書

ホスト機関名	高エネルギー加速器研究機構	ホスト機関長名	浅井 祥二
拠点名	量子場計測システム国際拠点 (QUP)		
拠点長名	羽澄 昌史	事務部門長名	徳宿 克夫

作成上の注意事項:

※令和6(2024)年3月31日現在の内容で作成すること。

※文中で金額を記載する際は円表記とすること。この際、外貨を円に換算する必要がある場合は、使用したレートを併記すること。

拠点構想進捗状況の概要 (2ページ以内に収めること)

1-1. 世界最高レベルの先端研究: QUP のビジョンは、素粒子物理学と宇宙論のための新しい量子場計測システム、すなわち「新しい目」を発明し、開発することであり、長期的にはより広範な社会的応用を目指す。プロジェクト開始時に提出した QUP の拠点構想で述べられているように、「量子場計測システム」という用語には2つの意味がある: 1) 新しい量子場を測定すること、2) 既知の量子場を「用いて」測定すること、である。このビジョンを実現するために、QUP は研究課題とマイルストーンを設定した (セクション 1-1)。組織的には、4つの研究クラスターと理論グループからなる。アプローチはそれぞれ異なるが、宇宙論と素粒子物理学のゲームチェンジャーになるという意図は共通している。2023年には54本の論文を発表した (関連論文を含めると282本)。この数は2022年の数 (16本と149本) を大きく上回っている。研究の進展と成果の一部を以下に紹介する。

[量子検出器] まさに場の量子概念から出てくる引力であるカシミール力を除去する新しい方法を提案し、それを用いて新しい力を探索できる可能性について議論した[Phys. Rev. D, App1:1]。その実証に向けた一歩として、新しい実験装置を準備した。2023年2月[arXiv:2302.12756]に提案した NV ダイヤモンド量子検出器を用いた新しい光量子場 (アクシオン) 探索法に関して、23年度は既存の装置を用いて実証した。また、NV ダイヤモンド量子検出器を冷却し、感度を大幅に向上させる新しい実験装置も開発中である。

[新しい量子場探索のための放射線に強い検出器システム] アニールングにより放射線損傷から回復する新しい半導体検出器の開発を継続した。世界で初めて CIGS 半導体のアニールングの効果の詳細を観測した[Jpn. J. Appl. Phys., App1:11]。

[低温検出器] QUP の主要プロジェクトである SpaceTES は、LiteBIRD 用の新しいプロトタイプ検出器を設計・製作した。LiteBIRD の測定原理の実証として、トランジションエッジセンサー (TES) を用いた宇宙マイクロ波背景 (CMB) の地上観測により、軽いアクシオン様粒子に関する厳しい探索限界を発表した[App1:6][arXiv:2403.02096]。QUP-神岡-ダークマター(DM)プロジェクトは、次の主要な候補であり、液体ヘリウムをターゲットとする第1フェーズのコンセプトを明確にし、QUP で開発された TES を用いて第2フェーズの研究開発を行っている。この2つの研究は、システモロジー支援部門(SSS)の支援を受けている。その他、太陽アクシオン探索用 TES[App1:13,58]やオプティカル TES[App1:2] など、様々な用途の TES 開発が進行中である。

[新量子場探索のためのデータ収集・解析] 様々な計測システムの「視力を良くする」ことが目的である。標準モデルを超える新しい物理を探索するための新しい機械学習 (ML) 手法を開発し、RPV SUSY 探索 [Phys. Rev. D 109, L011702][JHEP,App1:25]、重い新粒子の探索[App1:77,282]、ヒッグス粒子崩壊研究[Phys. Rev. D, App1:31][Phys.Lett.B,App1:28]の成果を発表した。

[理論] 量子ビットとその量子もつれの利用を含む、軽い量子場 (例えばアクシオン) を探索する新しい方法に関する論文を発表した[App1:1,14,18,23,24,43]。また、LiteBIRD 衛星や XRISM 衛星を用いた

宇宙観測から、またそれを補完する形で、暗黒物質に関する手がかりを得るための新しい測定原理を提案した[App1:15-17,20-22,79,82]。

1-2. 融合分野の創出： 研究分野の融合による研究の進展のため、いくつかの取り組みを行った。1) SSS は、最先端の学際的システム工学手法で QUP プロジェクトを支援するため、23 年度から本格的に開始した。その結果、精巧なファラデーケージによる SpaceTES の新しい概念設計と、QUP-Kamioka-DM プロジェクトの実験コンセプトが生まれた。2) 産学連携のための新たな重要なプラットフォームである QUP シナジーサミットを 23 年度に発足させた。基礎法則に根ざした「ディープテック」である KEK の技術で、産業界の現実的な「課題」を解決する共生関係を育む。また、KEK の課題を産業界の技術で解決する逆のケースも検討し、協業精神を高めていく。事務局は豊田中央研究所の QUP サテライト。宇宙線によるソフトウェア問題を第 1 テーマとした。3) 素粒子理論、天体物理学実験、情報科学、材料物理学、計測科学の研究者でチームを作り、新しい計測原理を体系的に研究した。4) ML の応用について分野横断的に議論するワークショップを数回開催した。

2-1. 国際的な研究環境の実現： QUP の外国人研究者の割合は着実に増加し、23 年度には 34% に達した。女性比率は 17% で、KEK 平均 (8%) の 2 倍である。2023 年 12 月に第 2 回 QUP シンポジウム QUPosium2023 を開催し、118 名が参加した。ノーベル賞受賞者の Adam Riess 教授 (Johns Hopkins Univ.) をはじめ、Caltech、Fermilab、MIT、Oxford、Lawrence Berkeley National Lab、UCLA などのトップレベルの機関から 31 名の著名な講演者をお招きした。23 年度は 12 回の QUP セミナーを開催した。各コミュニティに広く告知し、1 回平均約 40 名が参加した。ARC Center of Excellence for DM Particle Physics (オーストラリア)、National Research Council (カナダ) からコンタクトがあり、それぞれオンラインミニワークショップを開催し、共同研究の可能性について議論した。

2-2. 組織改革： QUP の採用・給与システムでは、KEK の標準よりも魅力的な特別オファーが可能である。23 年度からは、インセンティブを高めるため、年俸更新の手続きを開始した。主任技術者 (Principal Engineer) を導入し、2023 年 5 月に最初の 1 名を採用した。KEK の大学院生の RA としての受け入れ/サポートに関する規則を見直した。これにより、QUP の下で十分なサポートを受けながら大学院生を長期間受け入れる道が開かれる。2024 年 4 月 1 日付で、花垣和則博士の後任として満田和久博士を副所長として任命した。PI を増やすという WPI プログラム委員会の提言を受けて、2024 年 4 月 1 日付で新 PI として Volodymyr Takhistov 博士を採用した。理論研究を推進し、QUP の研究クラスター間の連携を活性化する。

3-1. アウトリーチ： 23 年度のアウトリーチ活動は 22 年度より大幅に増加した。2023 年 6 月にワシントン DC で開催された JSPS 主催のフォーラム「Science in Japan」で公開講演を行った。高校生を対象とした公開講座を開始した。講演会終了後、外国人研究者と英語または通訳を交えて直接交流する機会を設けた。中学生が QUP を訪れ、QUP 研究者との活発な質疑応答が行われた。ソーシャルメディア X において、23 年度の投稿の閲覧数は 22 年度の 3 倍以上となった。QUP の YouTube チャンネルの再生回数も 10 倍に増加した。つくば市のケーブルテレビで、23 年度に QUP の研究に関する番組が 2 本放送された。

3-2. 高等教育とキャリア開発： 若手研究者が QUP に滞在し、QUP の研究者と一緒に研究できる QUP インターン制度 (QUPIP) を 2023 年度から開始した。これまでに 20 名 (国内 6 名、海外 14 名) のインターンを受け入れた。2023 年度末現在、QUP 全体で 10 名の学生を指導し、8 名の学生を雇用している。バークレーサテライトにも大学院生がおり、サテライト資金で支援している。総研大との MOU に基づき、2023 年 9 月より QUP のシニア研究員や PI は総研大大学院に所属している。

3-3. 自給自足的で持続可能な拠点開発： QUP と KEK は、WPI 助成期間終了後も QUP が持続可能であるための支援計画について広範な協議を継続し、具体的な財政計画の作成に協力することで合意した。10 年目以降も現在の活動を維持するためには 4 億円の人件費が必要となる。QUP には 2 億円の外部資金を求めるよう要請し、KEK は少なくとも 2 億円を負担することを約束した。この話し合いの結果 QUP の拠点構想を更新した。KEK は旧 KEK 施設を改修し、QUP の新しい研究棟の建設を開始した。24 年度末に完成する予定である。