

拠点構想の概要

拠点名：量子場計測システム国際拠点

ホスト機関：高エネルギー加速器研究機構

ホスト機関の長名：山内正則、機構長

拠点長候補者：羽澄昌史、高エネルギー加速器研究機構、教授

事務部門長候補者：徳宿克夫、高エネルギー加速器研究機構、教授

1) 拠点形成の全体像

物理学は、素粒子から宇宙に至る自然の階層構造にあらわれる多彩な物理現象の背後に潜む法則を本質的かつ統一的に理解する学問である。ノーベル賞が授与されたこれまでの研究を見れば明らかなように、物理学では統一を可能にするための新しい研究方法・手段にこそ意味があると言って良い。本拠点は、その物理学の本質に立ち返り、加速器の国際拠点であるKEKの研究基盤資源を最大限活用し、「方法・手段の融合」に挑むものである。現代物理学では、生成・消滅する粒子や準粒子と付随する物理量を持つ時空を「量子場」と呼び、それがしるがう基礎方程式の探究が理論・実験の両面から行われている。本拠点名の「量子場計測システム」とは、量子場「を」計測するという意味と、（多彩な準粒子を含む）量子場「で」計測するという二つの意味を含めた新しい概念である。本拠点は、近年大きな革新を迎えつつある量子場計測システムに焦点をあて、素粒子物理、宇宙物理、物性物理、計測科学、システム科学の学際研究により、革新的な発展を目指す。これはいわば人類が新しい「眼」を得る事を意味し、物理学にとどまらない広い学問分野への応用・発展と巨大かつ高次の融合研究をもたらす。さらに、スマートシティに代表されるような、未来社会への実装の道を切り拓く。以上を踏まえて、以下に本拠点の基本理念（国民に向けたスローガン）、ミッション、アイデンティティ、目標を以下に記す。



まず、本拠点の基本理念（国民に向けたスローガン）を、新しい「眼」を人類にもたらし、この美しい世界の成り立ち（時空と物質の真の姿）を見つめると定める。

本拠点のミッションは、以下の通りである。

- 素粒子物理、宇宙物理、物性物理、計測科学、システム科学を**融合**し、
- 量子場（生成・消滅する粒子や準粒子と付随する物理量を持つ時空）を計測する新しいシステムを**発明・開発**し、
- 宇宙観測や素粒子実験における計測に**革新**をもたらし、時空と物質の真の姿を**解明**する。
- 以上の実践を通して手段の科学として新しい計測学（量子場計測システムロジー）を**確立**し、
- さらに、物理学にとどまらず広い分野への応用と社会実装を通して、より**高次の融合研究**と新たな社会的価値を**創出**する。

本拠点のアイデンティティとしては、以下の点が挙げられる。

- I) 宇宙・素粒子の新測定原理の**発明**から、それを実現するシステムの**開発**、**プロジェクト実行までを一気 通貫に行う世界唯一の拠点**
- II) これまでの WPI 拠点とは異なり、量子場計測システムという「手段」に関する**融合という新機軸**により、学術的価値のみならず社会的価値の還元も含む、**より高次の融合領域における価値創出・展開を先導**
- III) KEK の誇る加速器施設が供給する**多彩な量子ビーム**を活用した計測システムの実証が可能
- IV) 基礎研究分野の**大規模国際共同実験のホストとしての経験**を活かし、桁違いの国際共同研究を実施
- V) **大学共同利用研究機関としての経験**を活かし、拠点として世界をリードしつつ、国内外の大学・研究機関の研究・教育に大きく貢献

本拠点の目標は、上記のミッションとアイデンティティに基づき、以下のとおり定める。

- 1) 理論的に予言された新奇の量子場を探索する新しい原理、計測システムの発明
- 2) 新しい量子場計測システムの開発・実装を LiteBIRD 衛星計画や、衝突型加速器（以下、コライダーと記す）実験などの国際プロジェクトで実施し、宇宙・素粒子研究のグランドチャレンジで世界をリード
- 3) 新しい量子場計測システムに基づく新しいプロジェクトの提案と推進
- 4) 計測システムの「脳」に相当するデータ解析の新しい手法を開発し、宇宙・素粒子研究へ応用
- 5) 以上の実践を通して「手段の科学」として新しい計測学（量子場計測システムロジー）を確立
- 6) 社会還元を第一目標とする研究者を置き、社会実装（スマートシティ、自動運転、医療、その他）を実現し、同時に、他学問分野への応用を積極的に開拓
- 7) システム科学を使いこなし、かつ深い専門性を備えた次世代の人材育成を達成

2) 世界を先導する卓越研究と国際的地位の確立

2) -1. 研究内容

上記（1）拠点形成の全体像）で述べた7つの目標のうち、人材育成を除く6点を達成するために、革新的な量子場計測システムの発明、開発、実装を行う。主たる例としては、準粒子を用いた新しい計測システム、従来のものより放射線耐性を2桁以上向上させた新型半導体検出器、新センサー開発と集積回路開発の一体化、アナログ集積回路開発の自動化、LiteBIRD衛星搭載用超伝導検出器アレイなどがある。それぞれの研究を担当するPIが、5年後および10年後の明確な目標とプロジェクト計画を準備し、進めていく。全ての活動にシステム工学的手法を導入することにより、実践を通じてノウハウの蓄積・共有を加速し、システムロジーを育てていく。

2) -2. 融合研究

本拠点では、素粒子物理・宇宙物理、物性物理、量子ビーム科学、計測科学、システム科学の研究者

が一堂に会し、融合研究を行い、量子場計測システムに革新をもたらす。この第一レベルの融合研究により本拠点が創り出す新しい「眼」は、宇宙・時空・素粒子に関するブレークスルーにつながると共に、物理学にとどまらず、化学、生物学、医学、考古学、（神経）美学といった広い学問分野への応用・発展と巨大かつ高次の融合研究をもたらす。この第二レベルの融合研究では、学術的価値のみならず社会的価値の還元も含む、より高次の融合領域における価値創出・展開を先導する。特に社会実装に向けた取り組みに関しては、トヨタグループの研究協力を得て、産学の垣根を超えた融合研究を進めて行く。

2) -3 研究のアウトカム

本拠点からは多彩な研究成果が期待されるが、その中から3つの期待されるアウトカムを以下に示す。

- (a) インフレーション仮説が予言する原始重力波を発見する。
- (b) 新しい量子場（例：アクシオン）を発見する。
- (c) カシミア効果によるゼロ摩擦非接触シャフトベアリングの発明によりモビリティに革新を起こす。

これらのミッションは、LiteBIRDよりもはるかに幅広く、非加速器素粒子物理学実験、実験的宇宙論、社会実装に向けた活動など、KEKでは扱われていない分野をカバーしている。しかし、真に期待しているのは、予期せぬ発見である。元プリンストン高等研究所長のピーター・ゴダード教授の言葉を借りれば「何をどうやって、いつまでにやるのかがわかっていれば、本当の意味でのオリジナルな研究にはならないのです。想像もつかないようなことがわかってくるのです」。

3) 国際的な研究環境と組織改革

3) -1. 国際的な研究環境

拠点のPIは外国籍が20%以上、女性の比率が約40%という国際性とダイバーシティを持つ陣容である。国際公募により、拠点の研究者の外国人比率は30%以上になるよう構成する。本拠点の公用語は英語とする。KEKは大型国際共同研究実験をホストし、国内外から多数の共同利用研究者を受け入れている。そのノウハウをさらに発展させて、研究者の研究・生活の支援・便宜を提供することで、研究者が研究に専心できる環境を作る。

3) -2. 拠点運営・システム改革

拠点長のリーダーシップの下、コアメンバーが拠点会議を開き、拠点長の目標・方針を理解し、人事、予算などの重要事項を審議する。システムロジック支援セクションを設けてPIの進めるプロジェクトに対してシステム科学的支援を行う。海外サテライトを含む3つのサテライトを置き、効率良い開発研究を実行すると共に、COVID-19による移動の制限にも強い拠点を築く。ホスト機関であるKEKは、拠点に対するコミットメントを中期計画に追記する。

4) 次代を先導する価値創造

4) -1. 基礎研究の社会的意義・価値の創出・発信

宇宙・時空・素粒子の極限を探る研究は、科学を超えたセンス・オブ・ワンダーを国民に呼び覚ます。本拠点が日本主導で創造する新たな知的価値は、国民に自信と誇りをもたらすとともに、我が国が諸外国から一目置かれ、一流国として存在し続けることに大きく貢献できる。本拠点では、JAXA宇宙科学研究所、カブリIPMU、産総研などとも連携し、ウェブ上でのアウトリーチ、講演会、一般公開、SNSなどによる発信を通じて、このような知的価値を広く国民と共有していく。アウトリーチ担当のURAと事務職員を置くことにより、継続的な発信を行っていく。

4) -2. 高等教育とも連動した次代の人材育成

本拠点では、システム科学を使いこなし、かつ深い専門性を備えた次世代の人材育成を目標とする。そのために、KEKの優れた施設を利用して、関連分野の大学院生を対象に、毎年、量子場計測システムロジック研修・実習コースを開催する。若手研究者は、本拠点で、センサー、ASIC、計算機、データ解析、それらを統合するシステムロジックを学ぶことにより、アカデミックポストは勿論、広く産業界でも活躍できる科学者となる。本拠点では、大学院、任期付研究員から任期なし常勤職へ至る各段階での育成とキャリア形成支援を行う。

4) -3. 自立化を見据えた拠点運営、拠点形成後の持続的发展

本拠点は、世界最高水準の拠点の形成に資する特別な組織として、KEK内の他の研究組織とは区別された独立した研究組織とする。拠点の恒久化に向けて、KEKは本拠点が独自の財政基盤を確立することを援助する。それに付随して、6年目以降にWPIで雇用したシニア研究者と、技術職員の一部のテニユア化を目指すと共に、利用施設の高度化を推進する。

拠点構想

* Compile in English within 25 A4 pages.

拠点名：

量子場計測システム国際拠点(QUP)

ホスト機関： 高エネルギー加速器研究機構 (KEK)

ホスト機関の長： 機構長：浅井祥二

拠点長：

羽澄昌史（高エネルギー加速器研究機構 特任教授）

事務部門長：

徳宿克夫（高エネルギー加速器研究機構 特任教授）

1) 拠点プロジェクトの全体的な枠組み

* WPI 拠点としてのミッションステートメント、アイデンティティ、WPI プログラムの目的達成に向けた目標を明確かつ簡潔に記述すること。



まず、本拠点の基本理念（国民に向けたスローガン）を、新しい「眼」を人類にもたらし、この美しい世界の成り立ち（時空と物質の真の姿）を見つめる、と定める。

本拠点のミッションは、以下の通りである。

- 素粒子物理、宇宙物理、物性物理、計測科学、システム科学を融合し、
- 量子場（生成・消滅する粒子や準粒子と付随する物理量を持つ時空）を計測する新しいシステムを発明・開発し、

- 宇宙観測や素粒子実験における計測に**革新**をもたらし、時空と物質の真の姿を**解明**する。
- 以上の実践を通して手段の科学として新しい計測学（量子場計測システムロジー）を**確立**し、
- さらに、物理学にとどまらず広い分野への応用と社会実装を通して、より**高次の融合研究**と新たな社会的価値を**創出**する。

本拠点のアイデンティティとしては、以下の点が挙げられる。

- I) 宇宙・素粒子の新測定原理の**発明**から、それを実現するシステムの**開発**、**プロジェクト実行までを一気 通貫に行う世界唯一の拠点**
- II) これまでの WPI 拠点とは異なり、量子場計測システムという「手段」に関する**融合という新機軸**により、学術的価値のみならず社会的価値の還元も含む、**より高次の融合領域における価値創出・展開を先導**
- III) KEK の誇る加速器施設が供給する**多彩な量子ビーム**を活用した計測システムの実証が可能
- IV) 基礎研究分野の**大規模国際共同実験のホストとしての経験**を活かし、桁違いの国際共同研究を実施
- V) **大学共同利用研究機関としての経験**を活かし、拠点として世界をリードしつつ、国内外の大学・研究機関の研究・教育に大きく貢献

本拠点の目標は、上記のミッションとアイデンティティに基づき、以下のとおり定める。

- 1) 理論的に予言された新奇の量子場を探索する新しい原理、計測システムの発明
- 2) 新しい量子場計測システムの開発・実装を LiteBIRD 衛星計画や、衝突型加速器（以下、コライダーと記す）実験などの国際プロジェクトで実施し、宇宙・素粒子研究のグランドチャレンジで世界をリード
- 3) 新しい量子場計測システムに基づく新しいプロジェクトの提案と推進
- 4) 計測システムの「脳」に相当するデータ解析の新しい手法を開発し、宇宙・素粒子研究へ応用
- 5) 以上の実践を通して「手段の科学」として新しい計測学（量子場計測システムロジー）を確立
- 6) 社会還元を第一目標とする研究者を置き、社会実装（スマートシティ、自動運転、医療、その他）を実現し、同時に、他学問分野への応用を積極的に開拓
- 7) システム科学を使いこなし、かつ深い専門性を備えた次世代の人材育成を達成

2) -1 研究分野

- * 目標とする研究分野を記入する。
- * 対象とする研究分野の重要性について、その研究領域や周辺分野の国内外の研究開発動向を含めて記述し、その分野の科学的・社会的意義を記述する。
- * WPI 拠点として当該分野の研究を行うことの価値（対象分野における日本の優位性、世界レベルの科学的課題に挑戦する取り組みとしての国際性、研究の将来性など）を記述する。
- * 自拠点と類似した分野で研究を進めている国内外の拠点を 5 つまで挙げ、それらの拠点との研究レベルを評価する。
- * 付録 4：「拠点のプロジェクトとそのリストに密接に関連する英文論文（レビュー論文も可）を 10 本まで」（添付すること）

2) -1 -1 対象となる研究分野

主な対象研究分野は、数理物理学、特に素粒子物理学と宇宙論である。しかし、本拠点で発明・開発された新しい量子場計測システムは、物理学にとどまらず、さまざまな研究分野の新たな融合につながる。関連する研究分野としては、化学、生物学、医学、考古学、さらには神経美学などが挙げられる。

2) -1 -2 対象となる研究分野の重要性と、その分野でWPI拠点として研究を行うことの価値について

量子力学を起源とする素粒子物理学は、過去半世紀にわたり、粒子量子化を超えた場の量子化によってのみ記述可能な「量子場」の基礎研究を行ってきた。宇宙、素粒子、生命などの大きな謎を解く実験的アプローチの核心は、主に量子場の測定にあると言っても過言ではないだろう。例えば、KEKのB-factory実験では、ボトムクォークがチャームクォークや電子などの複数の粒子に崩壊する現象を詳細に調べた。その結果、場の量子論との正確な一致が見られ、小林・益川両教授のノーベル賞受賞につながった。量子場に基づく素粒子物理学の研究成果は、これまでに多くのノーベル物理学賞を受賞している。そこで培われた計測技術は、宇宙から物質の根源である素粒子まで、自然界のすべてを表すウロボロスの大蛇〔図1〕基底形成の全体像〕の頭から尻尾までを解明するための重要な技術である。例えば、宇宙の起源や物質の根源的な姿など、科学の壮大な課題にアプローチしようとする理論的提案は、一貫して未知の素粒子の存在を预言する。

KEKは加速器科学の世界的な拠点となっている。計測技術の急速な発展の場としても、世界的に優位な地位を占めている。しかし、KEKの計測技術の実態は、個々の研究者の勇猛果敢な努力の賜物であり、体系化されているとは言えない。その意味で、KEKはまだ計測科学の中心地とはいえない。それがさらなる進歩を妨げる障害となっている。これらの探求を新たな段階に昇華させるためには、手持ちの計測技術だけでは手詰まりとなっており、新しい計測システムのアイディアが切実に求められている。人間の活動が、目、手、脳といった器官の優れた連携によって実現されているように、量子場の計測システムは、目に相当するセンサー、手に相当する操作機構、脳に相当するコンピュータで構成されている。個々の開発研究を統合し、最先端のシステムロジー（システム科学）のもとで第一原理から見直す。そうすれば、まったく新しい装置を発明したり、まったく新しい物理を発見したりすることができる。それは、「計測」という観点から実験科学を再構築する試みである。そうすれば、見落とされていた測定の可能性や、測定方法の最適解を見出すことができる。素粒子物理学と物性物理学の学際的な研究の例では、これまで電子で測定していたものをフォノンで測定した方が良い結果が得られることがあるかもしれない。

このように、本提案では、**宇宙や素粒子の探求に革命を起こすという目標を達成するために、「手段の科学」として、量子場計測システム学という新しい分野を創設する。**これにより、宇宙、素粒子、凝縮系物質、生命など、さまざまな分野の謎を解く基盤となる、次世代の基礎量子技術が生まれる。さらに、しばしば指針を失って右往左往するイノベーションにおいて、先を照らす頼もしい灯台の役割を果たし、基礎科学への応用にとどまらず、より広範な応用と社会への還元を自然に行うことができる。

2) -1 -3 世界の他のセンターとの比較

KEKには、計測器や低温に関連した共同研究を支援するグループがあり、教員10名、技術スタッフ10名ほどが所属している。しかし、前述したように、KEKは計測科学の世界的な中心地にはなっていない。一方で、素粒子・原子核研究のための世界有数の加速器センターの中には、計測科学のセンターもある。CERNの中期計画では、「R&D for future detectors」と題して、5年間で42.7FTE、48MCHF（約6,000万USドル）の費用（人件費を含む）をかけて大規模な開発を行うとしている。欧州をはじめとする大学や研究機関のハブとしての地位を確立している。ドイツのDESY、FNAL、アメリカのBNLでは、KEKと同様に、加速器物理学、天体物理学、放射光を利用した科学などの研究が幅広く行われている。各機関とも測定器の開発を積極的に行っている。また、将来の計画からもこの開発の重要

性がうかがえる。彼らはテストビーム施設を設立し、世界中のユーザーにビームを提供しているが、これは我々がこの提案で目指しているものと同様である。しかし、本提案のように、量子場計測とシステムロジックに基づくシステムを統合した組織の例はない。本提案では、これらの組織に匹敵する規模の一大拠点を作り、ユニークな研究を生み出すことを目指す。この規模であれば、他のセンターとの緊密な連携も可能になる。

2) -2 研究目的と計画

- * 助成期間終了後（10 年後）に達成しようとする研究目的を、一般の人にもわかりやすく記述してください。その際、世界レベルのどのような科学技術課題を解決しようとしているのか。その際、世界レベルでどのような科学技術課題を解決しようとしているのか？
- * これらを達成するための研究計画と、応募に関連する過去の実績を具体的に記述してください。

素粒子物理学の標準モデルは、4つの重大な謎を解決できない。インフレーションと呼ばれる宇宙初期の加速膨張、暗黒物質、暗黒エネルギー、宇宙には反粒子が存在せず、粒子だけで構成されているように見えること、の4点であるこれらの謎を解決するために、理論家たちは、インフラトン、アクシオン、超対称性粒子などの新しい量子場の存在を予測している。**このような新奇な量子場が一つでも発見されれば、ノーベル物理学賞の受賞につながる。**これが本拠点の原動力であり、上記の研究目標はこの目的のために設定されている。当拠点では、上記の目標を達成するために、革新的な量子場計測システムの発明・開発・導入を行なう。主な例としては、準粒子を用いた新しい測定システム、従来よりも2桁以上耐放射線性を向上させた新しい半導体検出器、新しいセンサー開発と集積回路開発の統合、アナログ集積回路開発の自動化、LiteBIRD衛星用の超伝導検出器アレイなどがある。それぞれの研究を担当するPIは、5年後、10年後の明確な目標とプロジェクト計画を作成して進めていく。一般的に、10年後の目標を正確かつ定量的に設定することは難しい。拠点からの新しい発明がゲームチェンジャーになる可能性があることを考えると、我々の場合は不可能に近いであろう。しかし、例えば、LiteBIRD衛星は、WPIの助成期間が終わる前に打ち上げられる可能性が高く、大きな発見があるかもしれない。また、新しい実験を設計してから新しい結果が出るまでの期間が10年というのは、大発見のチャンスが増えるという意味でも、妥当な期間と言える。

1) で述べた7つの目標のうち、人材育成を除く6つの目標については、以下で詳しく述べる（人材育成については、4-2で述べる）。

2) -2 -1 理論的に予測される新奇な量子場を探索するための新しい原理と測定システムの発明 場の量子論や先端素粒子物理学に基づく新しい測定法の発明

物理学上の最大の謎の一つであるダークマターの正体はまだ発見されてすらおらず、従来の探索方法に固執しない革新的なアイデアが求められている。インフラトン、アクシオン、超対称性粒子などの新しい量子場についても状況は同様である。現在の問題を克服するためには、他の研究分野と積極的に交流・融合する必要がある。これまで、物性物理学と素粒子物理学の連携は見過ごされてきた。しかし、様々な物理系には準粒子の様々な量子場が存在しており、これらの場は物質中の素粒子の量子場と共存しているはずである。固体中のフォノン、マグノン、アクシオンなど、凝縮系の量子場の特性を積極的に利用することで、新しい粒子の探索に新たな地平を切り開くことができる。また、素粒子物理学の観点から理想的な材料設計を提案し、それを全く新しい検出器として利用したり、素粒子の理論的手法を凝縮系の理解に応用することも可能である。本拠点は、物性物理学者と素粒子物理学者のコラボレーションを促進し、新しい学術分野の創出に貢献する。実験家のシステム科学の手法を

用いて、すべてのケースを例外なく探求する精神でこの研究を進めていく。

新しいセンサーや集積回路の開発

半導体検出器は、素粒子物理学における中核的な測定装置の一つである。本拠点では、従来の半導体検出器に比べて耐放射線性を2桁以上向上させた新しいタイプの半導体検出器を開発する。これにより、より厳しい放射線環境下での素粒子物理学実験が可能になる。また、放射線量が高すぎて実施できなかった加速器のビーム診断や、原子炉内での使用に耐えられるカメラの開発などへの応用も期待される。半導体デバイスの耐放射線技術開発には2つの方向性がある。1つ目は、シリコンに代わるCIGSなどの新しい半導体を導入する方向である。CIGSセンサーは、当初、太陽電池用に開発された。SIGSは、イオンによって生じた欠陥を補償することで、放射線損傷から回復することができる。この回復機能に着目してCIGSで粒子検出器を作るのは初めての試みとなる。また、ダイヤモンド、GaN、AlNなどのワイドギャップ半導体材料の研究も行い、放射線損傷のメカニズムを包括的に理解することを計画する。

2つ目の方向性は、耐放射線性の高い読み出しチップの開発である。RD53コラボレーションは、高輝度LHC検出器のアップグレードのための次世代ピクセルリードアウトチップを開発するために2013年に設立された。現在、この作業は完了に近づいている。しかし、新たな使命として、より高度なCMOS技術ノードである28nmでの次世代ピクセル読み出しチップの開発に向けて、新たな技術開発サイクルに乗り出すことが明示されている。CERNは、最先端の素粒子物理学プロジェクトのための次のIC技術として、このノードを追求している。我々は、この拠点がRD53の新しいメンバー機関として参加することを提案する。PIの Garcia-Sciveresは、現在の共同スポークスマンであり、RD53の共同設立者であり、PIの Bortolettoは、RD53の最新のメンバー機関（オックスフォード）のリーダーである。WPIは、RD53の日本初のメンバー機関となる。この新世代チップは、新たに開発される半導体センサーにも使用することができる。

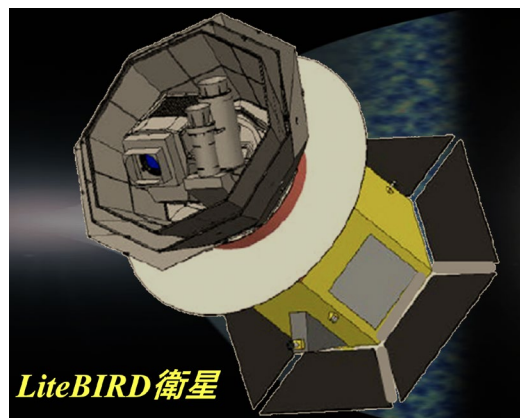
宇宙観測では、厳しい観測性能が求められるため、超伝導検出器が中心的な測定器となる。本拠点では、宇宙での使用を想定し、宇宙線由来の高レベルのノイズを抑制するために、独自の設計と極低温読み出し回路を備えた新しい超伝導転移端センサーアレイを開発する。エイドリアン・リー、羽澄昌史、長谷川雅也の3名のPIは、LiteBIRD衛星プロジェクトのためのTES焦点面システムの開発と評価を行う。LiteBIRDでは、システムにノイズを入射させる一次宇宙線が大きな障害となっている。この影響を軽減するためには、宇宙線によってシリコン基板上に作られる熱振動の量子場であるフォノンを、TESボロメーターから効率的に遮断する独自の設計を発明する必要がある。我々のチームは、この特殊なアプリケーションで世界をリードしている。この研究開発は本質的に「フォノン工学」であるため、他の分野への応用の可能性も広い。また、X線観測やダークマター探索のための新しいタイプの超伝導検出器の開発も行う。これらに加えて、国内外の研究者の協力を得て、新しい読み出しを持つ新種の気体検出器、光センサー、シンチレーターなどを発明していく。**本拠点の他に類を見ない特徴の一つは、KEKの各種量子ビームを用いた幅広いビーム試験設備を利用できることである。これにより、上述の検出器開発の効率とスピードが飛躍的に向上する。**

センサーの性能を向上させるには、膨大な信号を処理する集積回路の性能を向上させる必要がある。新しいセンサーと集積回路の開発をシステム科学の手法で統合することで、世界をリードする計測システムを発明する。先ほどのRD53はその一例となる。また、実験者からの要求に基づいて、アナログ回路設計やASICのレイアウトを自動的に作成する新しい手法の開発も、システムロジックの概念に基づいた例である。現在、ASIC開発のボトルネックとなっているのは、熟練したASIC設計者の人員

数である。私たちが開発する自動設計ツールは、この問題を解決し、設計能力を向上させる。

2) -2 - 2 LiteBIRD衛星プロジェクトやコライダー実験などの国際的なプロジェクトにおいて、新しい量子場計測システムを開発・導入し、宇宙・素粒子研究のグランドチャレンジで世界をリードする。

本拠点長が提案し、JAXA戦略的中型二号機に選定された LiteBIRD計画に搭載する超伝導転移端センサーアレイシステムを開発する。LiteBIRDは熱いビッグバン宇宙以前の宇宙を探るミッションで、その科学的重要性から日本学術会議マスタープラン2020の重点大型研究計画、および文部科学省ロードマップ2020掲載計画に選定されている。特に、インフラトンと呼ばれる新しい量子場が、宇宙の加速膨張を起こしたとするインフレーション仮説の検証ができ、宇宙・時空・素粒子に関するグランドチャレンジに真っ向から挑むプロジェクトである。本拠点のフラッグシップ計画として推進する。さらに、コライダー実験などの国際プロジェクトにも新しい量子場計測システムを実装していく。



2) -2 -3 新しい量子場計測システムに基づく新規プロジェクトの提案と推進

2-2-1で述べた発明をもとに、新しい量子場を探索する国際プロジェクトを立ち上げる。最適解がわからない以上、アイデア出しからの体系的な研究が必要である。マグノンを使ったアクシオン探索、フォノンを使ったダークマター探索などが候補に挙がっている。本拠点の総力を挙げて、システムサイエンス的に様々なアイデアのメリット・デメリットを比較検討していき、成功する可能性の高いプロジェクトを選択していく。ボトムアップの科学者の自由な発想と、トップダウンのシステムサイエンスの "グッドミックス "で、この活動を推進する。

2) -2 -4 測定システムの "脳 "に相当する新しいデータ解析法の開発と、宇宙論・素粒子物理学への応用

人間の活動が、目、手、脳といった器官の連携によって実現しているように、量子場計測システムは、目に相当するセンサー、手に相当する各種操作機構、脳に相当するコンピュータやソフトウェアで構成される。本拠点では、宇宙観測から素粒子物理学実験までの様々なデータを駆使して、新たな量子場の探索における「脳」に相当するデータの解析を推進する。新しい実験、既存の実験を問わず、既知の手法を超えた新しい計算手法や情報手法を導入する。KEK計算科学研究拠点のリソースを使ってそれらを実現していく。

2) -2-5 上記の実践を通じて、手段の科学としての新しい計測科学「量子場計測システム学」を確立する。

私たちは、すべてのプロジェクトにおいて、システムモデリング言語を積極的に導入し、システム工学的手法を実践する。そして、その教訓をフィードバックし、システムロジ（システム科学）を発展させていく。システム支援室の技術者は、このプロセスをサポートするとともに、システム学の基礎研究を推進していく。次の図は、本拠点で追求するシステムロジの基本的な考え方である。

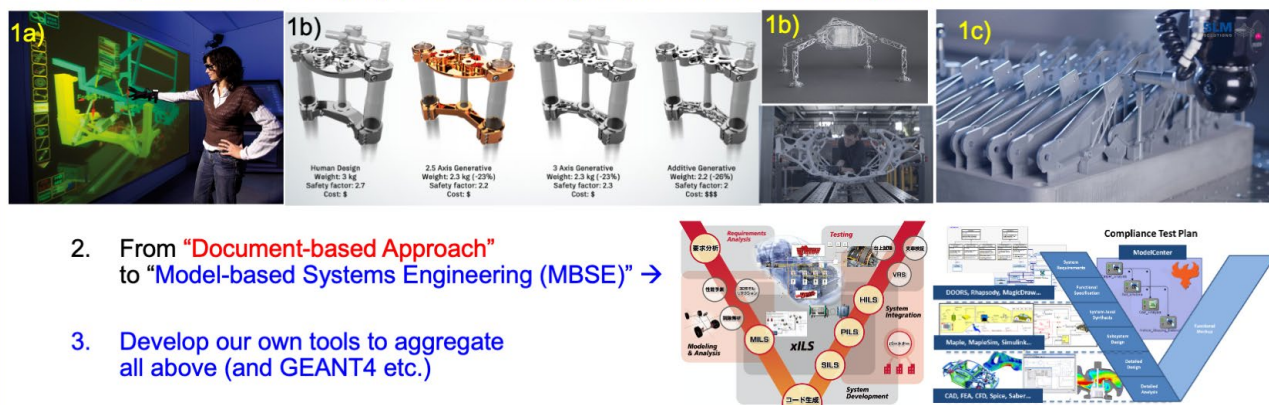
Systemology at QUP

• Goals

1. Invention: from “Art” to “Art and Methodological Approach”
2. Design: from “Experience-based Optimization” to “Mathematical and Requirements-based Optimization”
3. Development and Integration: from “Slow, Physical and Manual” to “Fast, Virtual and Automatic”
4. Outcome: from “Tacit & scattered knowledge” to “Explicit and aggregated knowledge”

• Tools

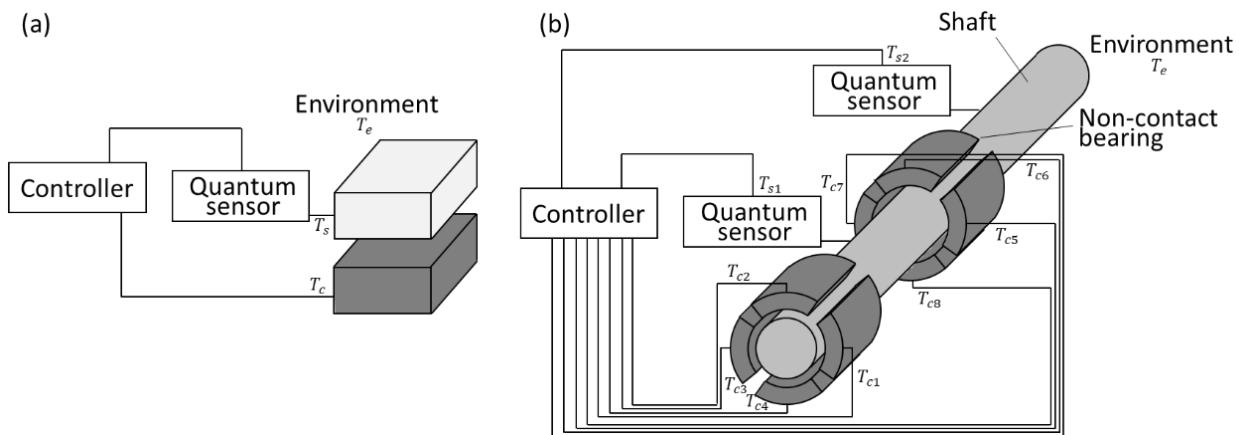
1. a) Virtual Engineering, b) Generative Design, c) Additive Manufacturing, etc.



2) -2 -6 社会実装（スマートシティ、自動運転、医療など）を実現し、社会に還元することを主目的とした研究者を採用する。同時に、他の学術分野への応用も積極的に展開する。

社会インフラ（スマートシティ）、自動車、医療などへの半導体検出器の応用を追求する。また、宇宙論や素粒子物理学以外の分野でも、半導体検出器や超伝導検出器の学術的な応用を展開していく。具体的には、構造生物学のための高精度位置検出器、ミュオン顕微鏡のためのミュオン画像検出器、脳計測のための高感度磁場計測などが挙げられる。また、全く新しい開発についても、発明志向で積極的に取り組んでいく。

課題としては、モーターなどの回転構造を持つ様々な重要な構成要素の設計を劇的に変える、非接触軸支システムの実現が挙げられる。そのためのキーテクノロジーは、(1)カシミール力と熱放射の制御、(2)超高感度の量子センシング、の2つである。カシミール力は、量子と熱のゆらぎから発生する力で、ギャップ距離が数ミクロン以下の2つの物体からなる系で測定されている。これまでのカシミール力の測定はすべて平衡状態で行われてきたが、物体と環境の温度が異なる非平衡状態のカシミール力では、熱放射が新たなチャネルとして発生するため、制御範囲の程度が大幅に拡大することが期待される。我々は最近、次図のような二体系において、熱放射が発生する非平衡カシミール力を制御するための理論的枠組みを構築した。



図(a) 熱放射が発生する二体系における非平衡カシミール力の制御。(b) カシミール力と熱放射を操作することで実現する非接触軸支システム。

制御理論を用いて、上板の温度を検出し、下板の温度を調整することで、上板は下板から一定距離を保つことができる。このシステムでは、センサーの温度測定に数十mKという高精度が求められるが、これは量子センサーで実現可能である。量子センサーとしては、これまでダイヤモンド中の窒素空孔中心が主に研究されてきたが、トヨタ車に搭載されているパワーデバイスなど、トヨタグループでは炭化ケイ素技術が確立されていることから、炭化ケイ素を用いた量子センサーを開発する。5年後には、典型的な二体系における非平衡カシミール力を世界で初めて測定する。10年後には、非接触式軸支システムを実験的に実証する（Fig.1b）。量子センサーがシャフトの数力所の温度 $T_{s1,2}$ を検出し、コントローラがベアリングの各部分の温度 T_{c1-8} を決定することができる。同時に、宇宙産業、モビリティ産業、トヨタ ウーブンシティのような未来都市で可能なアプリケーションシナリオを見つけ出し、いくつかの実験的デモンストレーションを行う。

2) -3 研究を推進するための体制

- * 拠点の研究組織（研究、支援、事務を含む）とその構築、人員配置の考え方を記述する。
- * センターの最終的な人員目標を達成するための具体的な計画を、ステップとタイムテーブルを含めて記述する。
- * 研究組織のジェンダーバランスの実現に係る最終目標を達成するための具体的計画（時期・手順など）を併せて記載すること。その際、①拠点長や事務部門長を含めた当該拠点を管理運営する者（拠点構想に示される研究推進体制の中で、当該拠点の管理運営を行うことを想定されている者）、②主任研究者（教授、准教授相当）及びその他研究者、に分けてそれぞれの計画を記載すること。
- * サテライト機能を設置して国内外の機関と連携する場合は、連携する機関の名称、役割、人員構成、センター事業との連携体制（契約締結、資源移転のスキームなど）を記載する。
- * サテライト機能を持たず、国内外の他機関と連携する場合は、連携機関名とその役割、連携内容を記載すること。
- * Appendix 5: "List of Principal Investigators" (第一次審査応募書類のPI リストから変更がある場合は、変更点と理由を記載すること。) (添付)
- * 別紙 6:「研究代表者の略歴」(添付)
- * 添付資料 7:「センターの人員構成」(添付)
- * 添付資料 8:「海外や国内の研究機関から招聘した研究者からの、センター事業への参加意思表明書」(添付)

拠点長予定者の羽澄教授は、素粒子物理学と実験的宇宙論の両方で世界的な実績を持っている。40,000以上の被引用数を持ち、過去5年間で22回の国際会議での招待講演を行っている。また、国際光工学協会（SPIE）の超伝導検出器に関する国際会議の選考委員も務めている。12カ国から約300人の研究者が参加するLiteBIRD衛星プロジェクトの世界代表PIとして、リーダーシップを発揮している。羽澄教授の持ち時間は100%拠点のために使用されると言っても過言ではない。KEKの拠点に物理的に滞在していない時間も、拠点のフラグシッププロジェクトであるLiteBIRDの世界代表PIとして

の活動、3つのサテライトでの活動、国際会議や世界の他研究機関における拠点の宣伝活動等に使われる。なお、羽澄教授のFTE管理については、拠点の顔としての役割に鑑み、また今後のLiteBIRDプロジェクトの進行と共に必要な修正を速やかにおこなっていく。

副拠点長予定の花垣教授は、半導体検出器に造詣が深く、世界最大の国際プロジェクト（ATLAS実験）に携わっているほか、KEKの新しいテストビームラインの建設を主導し、KEK測定器開発室の室長を務めています。2021年4月にIPNSの副所長に就任。本拠点とIPNSの緊密な連携の核となる人物である。事務部門長予定者の徳宿教授は、前IPNS所長としての豊富な経験と、大規模な国際プロジェクト（ZEUS、ATLAS）で培った人脈を持っている。これらの経験を生かして、拠点の管理部門を運営する。

PIの選定にあたっては、拠点のミッション、アイデンティティ、目標に合致した研究者を選んだ。能力の高さを優先した。また、多様性にも配慮し、女性のPIの比率は約40%となっている。カリフォルニア大学バークレー校のLee教授は、CMB観測用の超伝導検出器の先駆者である。羽澄教授とは10年以上の共同研究を行っている。半導体検出器の開発で有名なBortoletto教授は、オックスフォード大学の素粒子物理部門長であり、EUの検出器開発プロジェクトAIDAの副コーディネーターでもある。学術論文の引用回数は19万回を超え、雑誌 "Nuclear Instruments and Methods "の編集者でもある。Garcia-Sciverse博士は、ローレンス・バークレー国立研究所の上級研究員です。素粒子物理学実験のための装置技術の研究で世界的に有名である。バークレー素粒子物理学拠点の副拠点長や、CERNのRD53A装置開発プロジェクトの研究代表者等を務め、シリコン検出器のASIC開発を主導した。国内PIは、世界トップレベルの研究者と、これから活躍する若手研究者のバランスを考慮して選出した。山崎教授は、日本学術会議会員。中浜准教授（米沢富美子賞、湯浅年子賞）と長谷川研究機関講師（基礎物理学におけるブレイクスルー賞）は、受賞歴のある研究者です。宮原准教授は、文部科学省の卓越研究員であり、重要なジャーナルの編集委員（電子情報通信学会の英文ジャーナルの編集委員など）を務めている。また、PIの一人である豊田中央研究所の飯塚博士は、工学分野の進取の気性に富んだ研究者である。飯塚博士は、先進技術の集合体である自動運転やスマートシティへの挑戦において、低ノイズ通信技術や無線電力伝送技術などで実績を上げている。彼のグループが、本研究拠点において、新しいセンシング技術とその応用に貢献することを期待している。主任研究者の平均年齢は47歳であり、世界をリードできる働き盛りの強力な研究者集団といえる。

このPI候補者たちとは、すでに拠点の組織についての話し合いを始めている。外部PIの支援については、現在のKEKのルールの範囲内で、クロスアポイントメントによる本拠点での部分雇用や、努力に応じた報酬の支払いなど、柔軟に対応することができる。そのため、本プロポーザルが承認されれば、すぐにでも研究を開始することができる。

研究者やポスドクの採用は、センターの多様性を大いに考慮して進める。センター設立当初に定められた行動規範にも明記してある。すでに述べたように、女性主任研究者の比率は当初約40%であった。2024年4月以降、新しいメールPIが加わったため、35%に減少した。今後新しい主任研究者採用の際には、3名のうち1名を女性にすることで、少なくとも33%の水準を維持する予定である。

女性研究者比率と外国人研究者比率の目標値を再検討し、すでに2021年の年次進捗報告書で、11ページの表に示すように目標値を引き上げた（女性比率：22.4%→36%）。これは、CERNのATLAS実験のような大規模な国際共同研究において、世界平均の割合が約20%であることから、非常に野心的

な目標である。残念ながら、2024年3月時点では約17%で、人数も含めて2025年4月に達成することは困難な状況であるが、私たちはこの野心的な数字を最終目標として維持する。

現状では管理運営する者の中に女性はいない。中間評価を受けた後の2026年4月に、組織再編の一環として、副拠点長・副事務局長を増員する際に、女性の参加を検討する予定である。

また、カリフォルニア大学バークレー校ナノテックラボとJAXA宇宙科学研究所にサテライトを設置し、超伝導センサーを製作する。豊田中央研究所にもサテライトを設置し、社会実装に向けた取り組みを強力に推進していきたいと考えている。これら3つの研究機関とは、拠点設立後、速やかにMOUを締結する。サテライトの部屋の確保、リソース（センサー製作機器など）の使用手配、サテライトに関わる研究者や技術者の雇用などを行う。

PI候補者のうち、6名はKEKに所属している（中浜優氏が8月1日に准教授としてKEKに着任した。）また、できるだけ早期に4名のシニア研究者（エフォート100%）を雇用する計画である。必要に応じて、これらのシニア研究者が新しいPIになることを想定している。これらのシニア研究者は100%KEK所属になる。さらに、海外PIのそれぞれに、円滑な協力のために、エフォート100%のCO-PIを配する。拠点の主たる研究棟と実験棟としては、既存の建物を補修して利用する。実験棟はトリスタン実験のために作られた優れた大きな施設である。そこの大規模修繕により、PI、シニア研究者、研究員、大学院生などの拠点の研究者が一堂に介して研究を展開し、「目に見える研究拠点」を形成する検討を進める。

a) 研究責任者（正教授、准教授、または同等の地位にある研究者）

* 付録7の表a) に貼り付けてください

	事業開始時点	令和3年度末時点	最終目標 (2023年4月頃)
ホスト機関内からの研究者数	5	5	5
海外から招へいする研究者数	3	3	3
国内他機関から招へいする研究者数	5	5	5
主任研究者数合計	13	13	13

b) メンバーの総数

* 付録7の表b)に貼り付けてください。

			事業開始時点		令和3年度末時点		最終目標 (2025年4月頃)	
			Number of persons	%	Number of persons	%	Number of persons	%
研究者			20		20		67	
		外国人	3	15.0	3	15.0	27	40.2
		女性	6	30.0	6	30.0	24	35.8
主任研究者			13		13		13	
		外国人	3	23.1	3	23.1	3	23.1
		女性	5	38.5	5	38.5	5	38.5
その他の研究者			7		7		54	
		外国人	0	0.0	0	0.0	24	44.4
		女性	1	14.3	1	14.3	19	35.2
研究支援員数			3		3		20	
事務スタッフ			26		26		25	
構成員の合計			49		49		112	

2) -4 研究費の確保

過去の記録

* 拠点プロジェクトに参加する研究代表者が獲得した研究資金（競争的資金など）の総額を記入してください。年度別（2016～2020 年度）に項目を設けること。

以下は、本センターに参加しているPIが過去に受け取った競争的研究資金およびその他の研究費の一覧である。（日本の研究者については、間接費を含む）。

過去5年間で、国内PIのみで約1.7億円/年（間接費含む）、海外PIで約6.9億円/年。

	FY2016	FY2017	FY2018	FY2019	FY2020	Total	Annual Avg.
Japanese PIs	204,101	154,687	192,488	135,532	163,267	850,075	170,015
Overseas PIs	250,041	627,283	932,448	865,181	798,009	3,472,963	694,593
Total	454,142	781,970	1,124,937	1,000,713	961,276	4,323,038	864,608
							(K yen)

拠点設立後の資金調達の見通し

* これまでの実績をもとに、WPI助成金と同等以上の資源を確保するための具体的な見通しを述べる（2021～2025年度）。

* 研究者が拠点プロジェクトに配分する資金量をもとに、競争的資金などの研究資金の総額を算出する。資金調達の見通しは、過去の実績に基づいた現実的なものであることを確認する。

以下に、資金確保のための計画について説明する。拠点のスタッフ（首脳陣、研究者、研究支援のための技術・事務スタッフ）の総数は112名になる。このスタッフの配置とプロジェクト推進のための配分計画を以下に示す。

			(Thousand yen)											
			Financial resources	1st year	2nd year	3rd year	4th year	5th year	6th year	7th year	8th year	9th year	10th year	
				2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
P e r s o n n e l C o s t s	Director	WPI grant	7,500	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	
	Deputy Director	Funding from host institution	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000	
	Administrative Director	WPI grant	10,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	
	Principal investigator	WPI grant	18,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	
		Funding from host institution	13,300	26,600	26,600	26,600	26,600	26,600	26,600	26,600	26,600	26,600	26,600	
	Researcher	Senior Researcher	WPI grant	0	24,000	48,000	48,000	48,000	48,000	48,000	36,000	24,000	12,000	0
		Funding from host institution	10,650	42,600	42,600	42,600	42,600	42,600	42,600	54,600	66,600	78,600	90,600	
		Postdoc	WPI grant	0	166,250	245,000	245,000	245,000	245,000	224,000	203,000	182,000	161,000	133,000
	External Fund	7,000	35,000	35,000	35,000	35,000	35,000	56,000	77,000	98,000	119,000	140,000		
	Technical staff	Engineer	WPI grant	0	45,000	60,000	60,000	60,000	60,000	60,000	60,000	60,000	60,000	60,000
		Technician	WPI grant	0	26,250	35,000	35,000	35,000	35,000	28,000	21,000	14,000	7,000	0
		Funding from host institution	21,000	42,000	70,000	70,000	70,000	70,000	77,000	84,000	91,000	98,000	105,000	
	Administrative staff	Head, QUP office	WPI grant	5,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
		QUP office full-time staff	WPI grant	10,500	21,000	21,000	21,000	21,000	21,000	21,000	21,000	21,000	21,000	21,000
		Funding from host institution	4,900	8,400	3,500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	QUP office part-time staff	WPI grant	24,000	63,600	63,600	63,600	63,600	63,600	63,600	63,600	63,600	63,600	63,600	
	University Research Administrator	WPI grant	0	56,000	56,000	56,000	56,000	56,000	56,000	56,000	56,000	56,000	56,000	
Research Assistant	WPI grant	4,500	18,000	27,000	27,000	27,000	27,000	27,000	27,000	27,000	27,000	27,000		
C A P i t a l C o s t s	Startup costs	WPI grant	42,000	36,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Travel Costs	WPI grant	9,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	
	Costs of Equipment	WPI grant	76,300	223,500	123,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	
	Costs used at satellites	WPI grant	25,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	
	Costs of international conference	WPI grant	5,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	
	Rental fees for research space	Funding from host institution	23,300	46,600	46,600	46,600	46,600	46,600	46,600	46,600	46,600	46,600	46,600	
	Facility usage fee	Funding from host institution	0	122,930	122,930	122,930	122,930	122,930	122,930	122,930	122,930	122,930	122,930	
	research expenses	External Fund	100,000	300,000	300,000	300,000	300,000	300,000	300,000	300,000	300,000	300,000	300,000	
	Public relations expenses	WPI grant	4,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	
	Center director's discretionary expenses	Funding from host institution	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	
Financial resources			WPI grant	240,800	856,600	855,600	735,600	735,600	707,600	667,600	627,600	587,600	540,600	
			Funding from host institution	130,150	346,130	369,230	365,730	365,730	372,730	391,730	410,730	429,730	448,730	
			External Fund	107,000	335,000	335,000	335,000	335,000	356,000	377,000	398,000	419,000	440,000	
			Total	477,950	1,537,730	1,559,830	1,436,330	1,436,330	1,436,330	1,436,330	1,436,330	1,436,330	1,429,330	13,622,820

● WPIプログラムから 6,555.2 百万円

① 人件費（拠点の FTE に相当）

- 拠点長、事務部門長、PI、Co-PI（KEK 外の任期付き研究者）、ポスドクに対して
- 日本で採用された（KEK 以外の）ポスドク 3 名の人件費は、JFY R8（6 年目）以降、毎年度ホスト機関からの充当金（＝外部資金）に振り替えられる。
- 国内外の機関から採用する技術者・技能者。
- QUP 事務局および QUP 戦略室の URA の専任スタッフ
- リサーチアシスタント(大学院生)

② プロジェクト推進費

- スタートアップ費用（KEK の任期付き研究員を除く、1,000 千円／人、1 年目のみ）
- 国際会議参加費
- 渡航費
- 設備費（研究のためのインフラ整備、コピー機のリース料など）
- 人工衛星運用費（バークレー、JAXA、トヨタ中研）
- アウトリーチ活動に要する経費

● **ホスト機関からの配分金と外部資金（科研費等）の合計：7,067.62 百万円**

① 人件費（拠点への FTE に相当する分）

- 副拠点長、KEK で終身雇用されている PI、Co-PI
- KEK の技術者
- 拠点を支援する KEK 管理局のメンバー
- KEK は機構長のリーダーシップのもと、本拠点が独自の財政基盤を持てるように支援する観点で、スピード感を持って上級研究員や技術者のテニユアポジションを順次付与して人件費を分担する予定である。

② プロジェクト推進費

- 居住棟、実験棟のスペース使用料相当額
- 施設利用料相当額
- 研究費（3 億円/年を予定）
- 前述の通り、本拠点の国内 PI だけで平均約 1 億 7 千万円/年を獲得している。海外 PI はそれ以上を受け取っている。想定 FTE 数で計算すると、約 1 億 4 千万円/年となる。つまり、PI だけで 3 億 1,000 万円/年を見込んでいることになる。さらに、LiteBIRD 関連予算や他の国内研究者（シニア、ポスドク）が得た外部資金からの貢献も期待されるため、3 億円/年の達成は確実である。

③ 機構長裁量予算（5,000 万円/年）

● **6 年目以降の補助金の漸減への対応**

6 年目以降は、段階的に減少する補助金の規模に応じて、拠点の活動の重点分野を常に見直していく。積極的に外部資金を獲得できる分野にポスドクを採用することで、拠点の活動をさらに活性化させていく。

2) -5 学際的研究

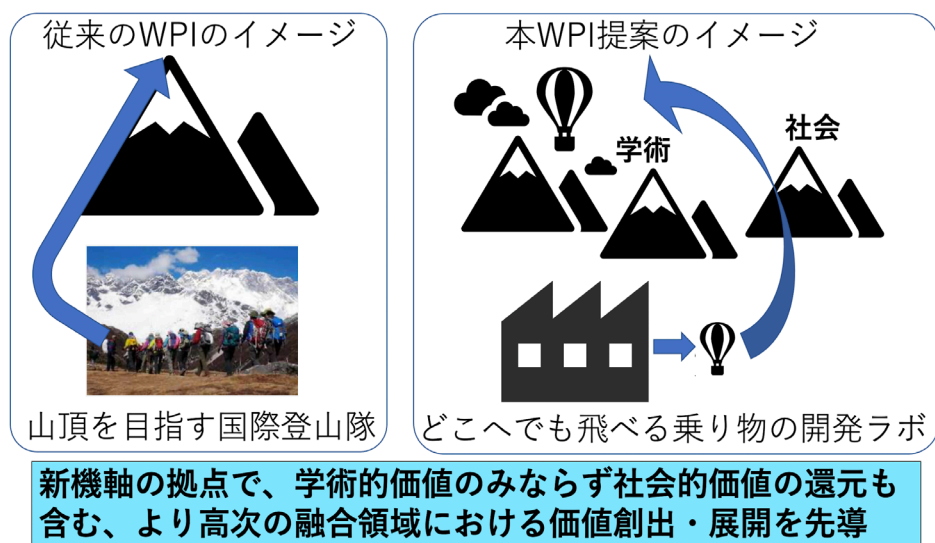
* 融合した研究領域、対象となる分野で学際的な研究が必要かつ重要である理由、本プロジェクトによってどのような新分野の創出が期待できるのかを説明する。異なる研究領域を融合させ、融合によって新たな分野を創出するための具体的な戦略を記述する。

この拠点では、素粒子物理学、宇宙物理学、物性物理学、量子ビーム科学、計測科学、システム科学の研究者が、それ自体も卓越的な研究が進んでいる KEK に集まり、分野融合的な研究を行い、量子場計測システムに革新をもたらす。我々の一つの主目標は、宇宙、時空、そして素粒子の大きな謎を解くことである。このような規模の学際的な研究を、発明から開発、プロジェクト実施まで一貫して行う例は世界にないため、世界をリードする拠点となり、さらに分野融合を加速する。このような学際的な研究では、すべての活動を支える基盤・共通言語として数理情報学が重要な役割を果たす。

本拠点の分野融合的研究により、KEK は、これまでの本務を超えた KEK にとって新しい研究領域を開拓できる。例えば、宇宙観測に関しては、本拠点が研究活動の確たる基盤を KEK に与えるため、これまで取り組んできた規模を大幅に拡張することが期待できる。KEK の周辺には、QUP の活動に興味を持つ研究グループが数多くある。そのようなグループとのコラボレーションも有益であり、QUP の成果が KEK の研究全体を大きく後押しできる。量子場計測システムという新しい眼を創り出す本拠点

の研究を、このような形でホスト機関であるKEKに取り込んでいく。

本拠点では、"手段"や"方法論"に関する分野融合的な研究を行う。それはメタレベルであり、様々



な研究分野の新しい融合を導き、学術的な価値だけでなく、社会的な価値も生み出す。新しい「目」は、他分野への応用、新しい社会実装、社会貢献につながる。下図は、私たちの基本的な考え方を示したものである。既存のWPI拠点では、学術的な謎を解くという「目的」を共有する様々な研究領域の研究者の融合を推進している。本拠点の研究スタイルが異なるのは、異分野の研究者が集まって "新しい手段" を模索することである。それは、宇宙や時空、素粒子の研究におけるブレイクスルーにつながるが、"新しい手段" は、その目標を超えた応用分野や社会貢献をも生み出す。

素粒子物理や宇宙プロジェクトの「並外れた要求」は、社会のニーズから生まれたものではないため、ユニークで破壊的なイノベーションにつながる。スマートシティ、スマートファクトリー、自動運転などの未来社会のコンセプトについては、社会インフラ、車両システム、そしてそれらを利用する人など、あらゆるところから収集した情報をAIが活用することになる。そのような新しい社会に向けたイノベーションには、社会インフラの基盤として、あらゆるモノに埋め込まれた、量子レベルで計測可能な超高感度センサーシステムが欠かせない。宇宙観測と自動運転・スマートシティの関係を例にとると、その手段には興味深い共通点がある。自動運転では、ミリ波レーダー（79GHz）の周波数をさらに上げる必要がある。一方、LiteBIRDはより高い周波数帯（最大448GHz）で観測しており、宇宙観測から自動運転への技術移転の可能性を秘めている。一方、LiteBIRDでは、観測用の超伝導センサーに地上から通信する電波の干渉を抑える必要がある。これは、スマートシティ構想における多数の電波源の干渉と本質的に同じ問題である。そのため、社会実装技術から宇宙観測への移行という研究テーマが生まれる。このように、異分野の融合によって、まったく新しい展開が生まれることがある。

3つのサテライト（バークレー、JAXA宇宙科学研究所、豊田中央研究所）によるものづくり研究所のグローバルな連携を活性化することに加えて、他のWPI拠点との連携も試みる。例えば、数学や理論物理学で宇宙を研究している東京大学のカブリ数物連携宇宙研究機構（Kavli IPMU）との連携である。私たちの試みは、WPI拠点をグループとして進化させるものである。実験科学で世界をリードする私たちの拠点と、理論と数学で世界をリードするKavli IPMUが、実験と理論の両輪となる。また、

計測システムの手段を提供することで、他のWPI拠点にも貢献し、WPIアライアンスの世界的なプレゼンス向上に大きく貢献していく。

3) グローバルな研究環境とシステム改革

3) -1 国際研究を推進するための体制

- * 外国人研究者の構成、海外サテライトの設置など、国際的な研究拠点を構築するための具体的な計画を記述する。計画のタイムスケジュールを記載する。
- * 国際公募による外国人研究者（ポスドクなど）の配置戦略を具体的に説明してください。そのための手順を記述する。
- * 国際交流が制限されている状況下で、外国人研究者が活動を維持・強化するための方策を記述する。

本拠点における外国人 PI の数は 13 人中 3 人（23%）であり、基準を満たしている。また、日本国籍の PI も積極的に国際共同研究を行っている。したがって、これらのコアメンバーがいれば、問題なく国際拠点を形成することができる。本拠点は、初年度にバークレーにサテライトを設置する予定である。

KEK での研究者の募集は、すでに国際的に行われている。本拠点でも当初から国際的にオープンな採用活動を行い、優秀な外国人研究者を積極的に採用していく。この拠点の PI は、全員が国際的に活躍している。拠点長が推進している LiteBIRD 衛星プロジェクトを例にとると、300 人のメンバーのうち約 7 割が外国人である。こうした人脈をフルに活用して、海外から優秀な研究者が続々と集まってくることが期待される。そうなれば自然と、本拠点の研究者の 30%以上が外国人という構造になっていく。

研究者の採用時期については、拠点長と各 PI が協議する。COVID-19 の影響により、採用を遅らせなければならない可能性もある。一方で、世界的な競争の中で、優秀な研究者を迅速に採用することは不可欠である。そのため、リモートで仕事を始められる研究者であれば、採用時に拠点に来なくても採用することも可能とする。KEK ではすでにそのような事例があるので、このようなアレンジは可能になる。

3) -2 国際的な研究環境の構築

- * 海外からの研究者を受け入れるための国際的な研究環境、運営体制、支援体制（スタッフの登用、スタートアップ資金の提供など）を構築するための具体的な戦略を記述する。
- * 研究者が研究・教育活動以外の業務を免除され、快適に研究に取り組める環境をどのように提供するか、また、事務処理などを行うスタッフをどのように確保するかを具体的に述べる。手順やタイムスケジュールを記載する。
- * 国際的な研究会議やシンポジウムを定期的（原則として1年に1回以上）に開催するための戦略、手順、時期を記載する。

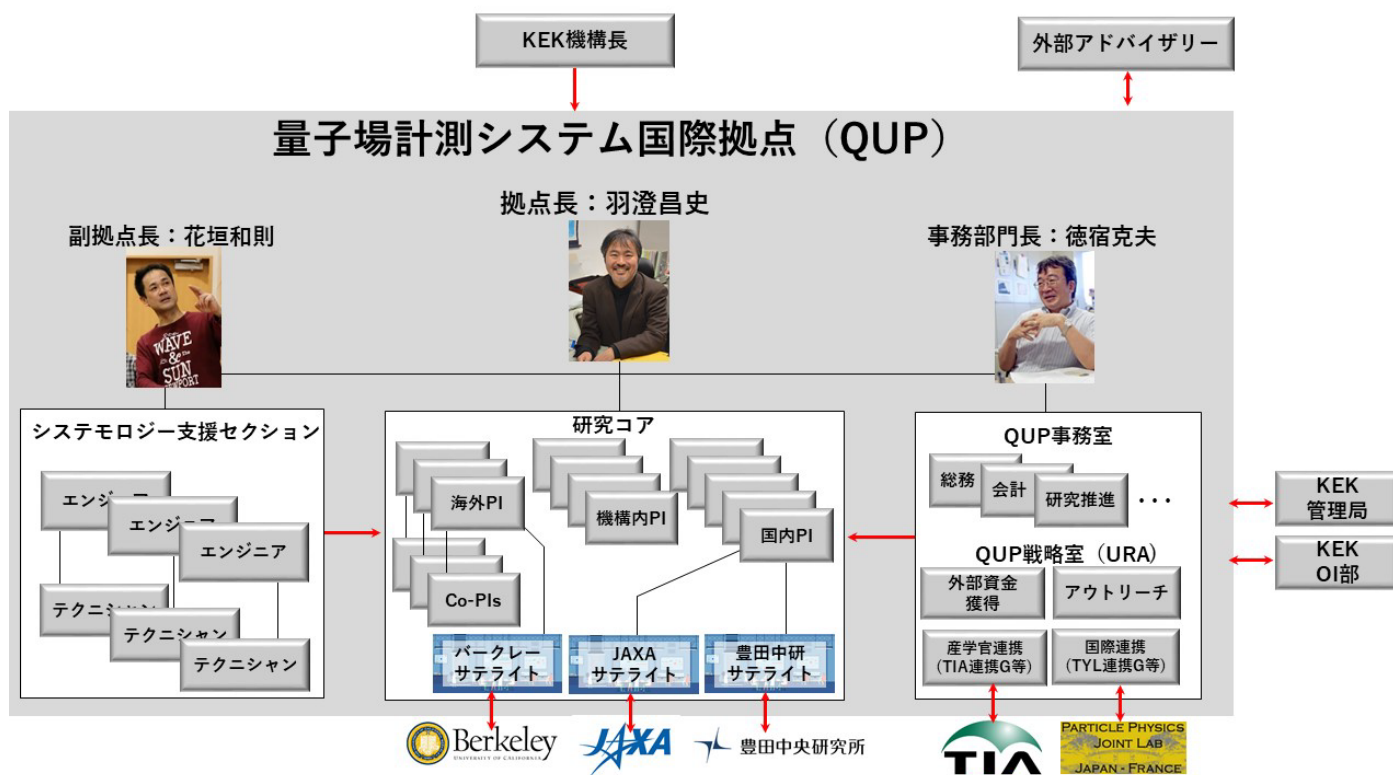
本拠点は、英語で業務を遂行し、これに対応できる事務スタッフを雇用・配置する。本拠点の 1 年目と 2 年目には、PI が研究に専念できるよう、スタートアップ研究費を提供する。PI が研究に専念できるように、QUP オフィスの事務スタッフと URA がロジスティック業務を担当する。原則として、研究・教育以外の KEK の業務は WPI の研究者には割り当てられない。拠点の会計年度の 1 年目と 2 年目に、拠点は PI にスタートアップ研究費を提供し、可能な限り早期に研究を開始できるようにする。

KEK では、Belle II や T2K などの大規模な国際共同研究を開催し、国内外から多くの共同研究者を受け入れている。毎年 8,000 人を超えるユーザーのうち、約 2,000 人が海外からである。そのため、日本ではトップクラスの英語環境が整っていると言える。しかし、海外の研究機関と比べると、まだまだ改善すべき点がある。QUP 事務局では、海外の研究者へのサポートを拡充していく。また、国際室や利用者支援を担当する KEK の共同利用支援室との連携を密にして、研究者の研究や日常生活への支援や利便性の向上を図り、相乗的な強化を目指す。

本拠点では、国際研究集会を定期的で開催する。COVID-19 の状況下では、2021 年度に対面式の会議を開催することは困難であるため、オンラインでキックオフシンポジウムを開催し、PI の計画を聞き、PI 間の共同研究や各分野のホットで新しいアイデアについて議論する。その後は、毎年、外部アドバイザー委員会の年次評価に合わせてシンポジウムを開催する。毎回、複数の PI の研究テーマに集中的に焦点を当てたテーマを設定する。そのテーマと研究分野の概要を組み合わせた内容を予定している。

3) -3 センター運営とシステム改革

- * センター長と事務部門長の役割を説明する。
- * 事務組織の構築の考え方、センターの意思決定システム、センター長とホスト機関の権限配分を具体的に説明する。(運営担当者と研究・教育担当者が異なる場合の意思決定の仕組み、両者の責任関係を具体的に記述すること)。
- * 厳格な研究評価システムの導入や、能力に応じた報酬制度(年俸制など)の導入について具体的に記述する。また、これらの制度を運用するための手順や時期についても記述する。



3) -3 -1. 意思決定メカニズム

本拠点の組織図は前図の通りである。KEK機構長は、拠点長がリーダーシップを発揮するために必要な環境を整え、KEKの研究者や事務スタッフの拠点への関与を調整する責任を持つ。拠点長は、人事、予算、研究目標や方針などの重要事項について最終的な決定を行う。副拠点長はシステムロジック支援部門を担当し、拠点長が設定した目標や方針のもと、すべてのプロジェクトにシステムロジック手法を導入し、定着させる役割を担う。また、副拠点長と拠点長は、本研究の実践を通じて、「量子場計測システム学」という新しい学問分野を創出する。事務部門長は、戦略的協力関係の拡大、外部資金獲得のための戦略立案と実行、拠点長が設定した目標を実現するための管理業務を行う責任と権限をもつ。各PIは、自分の研究グループのアプローチを決定し、外部資金の獲得を含めた自律的な運営に責任を負う。

拠点の運営については、拠点長のトップダウンで実施していく。拠点長のリーダーシップの下、拠点長、副拠点長、事務部門長、PIの代表、システモロジー支援セクションの代表をメンバーとした「**拠点会議**」を適宜（月1回を想定するが必要に応じて頻度を高める）開催し、人事、予算、研究目標・方針など、運営に関する重要事項を審議する。これにより、副拠点長、事務部門長、PIで構成される研究コア、システモロジー支援セクションが拠点長の目標・方針を理解し一枚岩となって進めていく。拠点会議メンバー、全てのPIとCo-PI*が参加できる「**PI会議**」を定期開催し、研究に必要なリソース等について議論する。PI会議では、PI（またはCo-PI）が交代で研究の進捗を報告し、PI間での具体的な研究の連携を議論する。拠点運営について大所高所からの評価を受け、有益な助言を得るために、国内外の著名な研究者（5名）から構成される「**外部アドバイザー**」を設ける。

* Co-PI制度は、コロナ禍で海外渡航な困難な状況でも、海外PIの本拠点での活動を可能にする。3名の海外PIが准教授クラスの若手研究者をCo-PIとして雇用し、Co-PIが本拠点に常駐することにより、本拠点と海外PIとの密接な関係を維持する。

3) -3 -2.支援部門

研究支援組織として、拠点内に(1) システモロジー支援室、(2)QUP戦略室、(3)QUP事務局を設置します。(1) は副拠点長、(2) と (3) は事務部門長が担当する。

システムエンジニアリング支援セクション

本セクションでは、システムモデリング言語（SysMLなど）を用いて、PIに対してシステムエンジニアリング支援やシステムサイエンス支援を行います。また、これまでに得られた教訓をもとに、量子場計測システム学という新たな学問分野を創設し、拠点長および副拠点長の監督下に置く。

QUP戦略室

QUP戦略室は、外部資金獲得、産学官連携、国際連携、アウトリーチなど、拠点運営に必要な戦略的事項を担当するURAの組織である。私たちは、産学官連携や国際連携を必須と考えている。前者については、日本のイノベーションを加速するために設立された「つくばイノベーションアリーナ（TIA）」との連携を予定している。国際連携の例としては、日本とフランスが推進している湯浅年子ラボ（TYL）がある。これは、第二次世界大戦中から戦後にかけてフランスに渡り、素粒子物理学や原子核物理学で多大な功績を残した女性物理学者、湯浅年子博士にちなんで、KEK、CNRS/IN2P3、CEA/Irfuの3者が2006年に設立した仮想研究所である。TYLでは、検出器技術から加速器技術、素粒子物理学から宇宙論まで、幅広い分野で共同研究を行っている。フランスは、機器科学において優れた人材と技術レベルを持っている。今回のWPI構想においても、フランスとの協力は有益であり、TYLとその将来の拡張は、このWPI構想の構成要素として組み込まれることになる。

QUPオフィス

QUP事務局は、本拠点の専任事務組織である。室長は、課長相当の役職とする。所管業務は、総務、経理、研究協力に区分する。各セクションには組織を設ける。これらの業務が円滑に進むように、KEK管理局が全面的に協力する。また、KEK管理局のマネージャーで構成される事務連絡会（月1回、事務事項の共有と重要事項の協議を行う）には、QUPオフィスの事務室長が参加する。

3) -4 研究環境

- * 世界最高水準の国際拠点」にふさわしい、実験室を含む設備・施設の提供方法を具体的に示す。手順や時期も含めて記載する。
- * 国際交流が制限されている状況下で、研究活動を維持・強化するために、研究環境についてどのような取り組みを行っているのかを記述する。
- * 大学院生の教育に研究者が参加することをどのように検討しているかを具体的に記述する。
- * 拠点の研究環境を最適化するために、受入機関の既存の制度や慣行を改善・廃止する新たな施策を記述する。
- * ジェンダーバランスの実現に向けた、環境整備に対するホスト機関のサポート体制や取組を具体的に記載すること。
- * 国際競争力のある環境の中で、世界のトップレベルの研究者が安心して研究に専念できるようにするための上記以外の施策を記述すること。

KEKは、基礎研究の大規模プロジェクトに対応できる圧倒的なインフラを有している。その一部を無償で提供し、世界最高水準の研究環境を提供する。詳細は「6) ホスト機関のコミットメントの概要」に記載した。

COVID-19により渡航が著しく制限される場合がある。そのような場合でも、3つのサテライトを駆使して効率的な開発研究ができるのが、本拠点の大きな特徴である。KEKには、世界最先端のDX/RXインフラがあり、COVID-19による困難な状況下でも、B-factoryなどの大規模な国際共同実験を継続してきた実績とノウハウがある。この拠点でも、そのインフラと経験が十分に生かされる。

世界有数の研究拠点として国際的な頭脳循環の実現に貢献するために、本拠点のシステムや実務を可能な限り最適化し、海外の研究者が違和感なく研究に専念できる体制を構築していく。本拠点は、大学共同利用機関としてのKEKとは異なるトップダウンの組織構造を採用するため、KEKの既存システムとは別のシステムが必要となる。具体的には、以下の点を満たす必要がある。

- 拠点長のリーダーシップを確保する仕組みとして、3)-3-1のように少人数の拠点スタッフのみによる「拠点会議」を設置する。拠点長と会議のメンバーは、人事や予算などの重要事項を議論し、拠点長のタイムリーな意思決定を支援する。
- 給与・雇用については、既存の特定有期雇用制度を利用して、拠点の特別な運用を可能にする措置をとる。
- 拠点での研究活動と事務作業の両方において、英語を公用語とすること。英語環境のさらなる整備については、3)-2でも述べたとおりである。

KEKはジェンダーバランスを改善する必要がある、その例として以下のアクションを行っている。

- 女性限定の公募を一部実施
- 女子高校生向けの教育プログラム
- 女性技術者採用のPR

QUPに5年目以降に約束しているテニユアポジションの数を、女性限定のポジションの導入で増やすことができるか議論中である。

KEKは2024年4月から、DE&I戦略推進・対応会議を設置した。QUP拠点長はこの会議のメンバーであり、副拠点長はDE&I連携会議のメンバーである。KEKとQUPはダイバーシティの向上について協力している。セクションのアクションプランは2024年度に作成する。

4) 将来に向けた価値観

4) -1 基礎研究の社会的価値の創出と普及に向けて

* 基礎研究の成果を広く社会に普及させるための方針を、具体的かつ定量的に記述する

空間や時間、素粒子の限界を探る研究は、科学を超えた不思議な感覚を一般の人々に呼び起こす。例えば、本拠点がJAXAと共同で進めているLiteBIRD衛星プロジェクトで、インフレーションのシグナルを検出したとする。その場合、CMBの観測でこれまでに受賞した2つのノーベル物理学賞を超える「科学史上最大の発見」といえる。人類にとってその知的価値は計り知れない。(エビデンス ノーベル物理学賞の受賞者であるワイス教授が組織した検討委員会の報告書：<https://arxiv.org/abs/astro-ph/0604101>)。予測と異なる結果が出れば、それは人類の世界観を一変させる可能性すらある。スーパーカミオカンデがニュートリノ振動の発見を発表したとき、アメリカのクリントン大統領は発表の翌日の演説で、"この発見は、実験室の中だけでなく、社会全体に影響を与えるだろう"と述べている。今回のLiteBIRDの観測結果も、同様に、あるいはそれ以上に大きな影響を与えることが期待される。このような知的価値を日本が率先して再び生み出すことができれば、日本国民に自信と誇りをもたらすことができる。また、日本が他国とは一線を画した一流の国であり続けることにも大きく貢献するといえる。また、本拠点は、JAXA宇宙科学研究本部、Kavli IPMU、産総研などの参加機関と連携し、ウェブ・アウトリーチ、講演会、公開プレゼンテーション、SNSなどを通じて、このような知的価値を一般の方々と共有していく。継続的な普及のためのアウトリーチは、URAと事務局員が担当する。

4) -2 高等教育と連携した次世代人材の育成

- * 豊かな国際的環境の中で、新たな学際領域を創出する研究体制を構築するための絶好のプラットフォームである。このようなセンタ一内の研究体制に参加することで、博士課程の学生を含めた若手研究者を育成するための取り組みを、具体的かつ定量的に記述してください。
- * ジェンダーバランスを実現するための次代の人材育成に関する措置、また、人材獲得に向けた国内外へのプロモーション等の取組について記載すること。

本拠点の教育目標は、システム科学に精通し、特定の分野に深い専門性を持つ次世代の人材を育成することである。本拠点でセンサー、ASIC、コンピュータ、データ解析、そしてそれらを統合するシステム学を学ぶことで、若手研究者はアカデミックなポストや幅広い産業界で活躍できる科学者になることができる。本拠点では、大学院生、ポスドク、テニュアトラック・テニュアファカルティの各段階で、以下のような育成・キャリア開発支援を行う。

大学院生

ホスト機関であるKEKは、総合研究大学院大学（総研大）や、大学院生を対象とした特別共同研究員制度を通じて、国内外の大学院教育を実践している。また、これらの大学院生を支援するために、リサーチアシスタント（RA）制度が運用されている。KEKと協力して、本拠点の研究者が大学院生を受け入れて教育できるように制度を改善していく。また、日本の大学院制度にとらわれずに、国内外の学生・Early Career Researcherを対象に教育プログラムを構築していく。量子場計測をシステム科学として体系化した教材を作成し、素粒子、宇宙論、計測科学などの大学院生を対象とした量子場計測システム学研修・実習コースを毎年開催していく。KEKでは、過去に23カ国から参加者を集めた大規模なインターナショナルスクール「EDIT」を開催しており、多くのインターナショナルスクールを開催してきた実績がある。また、KEKは国内外の研究機関との強いネットワークを持っている。それらをフルに活用してプロジェクトを実施していく。3-2) で述べたように、TYLはWomen in Science Campや湯浅年子賞などを通じて、女性研究者の拡大・育成に力を入れている。本拠点もTYLとの連携

により、日本の基礎科学における多様性の拡大に貢献する。

欧米と異なり、日本の素粒子物理学や関連コミュニティの大学院では、新しいセンサーやそのシステムに関する論文が、その重要性にもかかわらず、あまり多く出されていない。QUPはこの状況を変える画期的な試みであり、計測科学全般の振興に大きく貢献する。

若手研究者

若手研究者をバークレーサテライトに長期派遣し、"同じ屋根の下で暮らす"経験を通して、国際的な視野を持った研究者を育成する。また、オックスフォード大学などの学生をKEKに招いて共同研究を行うプログラムを開拓する。拠点では、若手研究者に研究成果を積極的に発表する機会を提供する。また、各研究ユニットの国際研究集会に加えて、拠点全体が参加する国際研究集会（QUPシンポジウム）を年1回以上開催し、学際的な研究を推進する。また、国際キャリア支援の一環として、日本の若手研究者がLiteIRDなどの国際共同実験のパートナー機関で研究職に就くことを支援する。そうすることで、長期的な頭脳循環を実現する。また、シニア研究者による若手研究者へのメンタリングシステムを構築する。若手研究者が大学等のテニユアトラック・テニユアポジションや、能力を発揮できる産業界でのポジションを得られるよう、戦略的・心理的な支援を行う。これらの取り組みにより、従来の大学共同利用研究機関の限界を打破した人材育成を行う。

多様性、公平性、包括性

QUPにおける多様性の重要性は、以下に引用するQUPの行動規範に明記されている。

「国際人権宣言に代表される人権に関する国際基準を理解し、互いに敬意をもって接します。良い環境を作るために、自分を大切にすることと同様に他人を尊重します。私たちは、個人の尊厳を侵害するようなハラスメントや虐待を許しません。人種、民族、年齢、性別、性的指向、障害、配偶者の有無、国籍などに基づくものを含め、不適切な行為、発言、差別を行いません。私たちは、人間である以上、完璧ではありません。私たちは皆、意図しない間違いを犯してしまうかもしれません。大切なのは、より良い形でお互いを尊重するために、認識をアップデートしていくことです。ハラスメントの概念自体も進化していますし、これからも進化していくでしょう。QUPのすべてのメンバーとビジターは、より良い行動をするために、常に考え方をアップデートする努力を惜しまないことに同意します。

最後になりますが、我々は、KEKが定める行動規範を遵守することを誓います。特に、研究に関する捏造、改ざん、盗用などの不正行為を決して行いません。」

様々な制約のある研究者の労働条件を改善する計画の一つとして、研究者の育児や介護をサポートする専任のリサーチアシスタントや支援員を希望に応じて1年程度配置する制度を設ける予定である。これは、女性研究者の登用にも良い影響を与えると考える。

4) -3 自立した持続可能なセンターの開発

* 資金提供期間である10年後に、自立した持続可能な拠点となることが求められる。ホスト機関の組織改革、テニユアポストを優先的に配置した人材の提供、基礎的な財政支援、土地・建物などの物的支援など、センターの発展を支援するためのホスト機関の中長期的な計画とスケジュールを記載すること。

KEKは、本拠点を世界的な活動の形成に貢献するユニークな組織として、また、KEK内の他の研究組織とは異なる独立した研究組織として位置づける。KEKは、本拠点の活動を、学際的な融合とKEKの組織改革のための布石とする。本拠点が学際的な研究拠点となることで、新たな研究分野が創出さ

れ、KEKの機能がさらに強化されることが期待される。本プログラムの実施期間が終了した後も、同拠点が世界的な研究拠点であり続けるために、KEKは必要な支援を行う。そのために、KEKはKEKの既存の機関とQUPの機能を継続させるための最適な役割の再編成の方法を探る。具体的な施策としては、同拠点をKEKの研究拠点の一つとして位置づけ、拠点のミッションやアイデンティティを維持することなどが挙げられる。10年後の恒久的な組織としての設立に向けて、KEKは機構長のリーダーシップのもと、本拠点が独自の財政基盤を持てるように支援していく。これに伴い、KEKは必要な施設の整備を進め、6年目以降は上級研究員や技術者のデニュアポジションを順次付与していく予定である。

QUP立ち上げ後のプログラム委員会からの助言を受け、QUPとKEKは、QUPをWPIの助成期間終了後も持続可能な研究所とするための支援計画について幅広く協議した。KEKは、QUPがKEKにとって、計測科学の変革を通じて将来の研究の新たな方向性を探るための重要な拠点であると認識している。KEKはQUPの恒久的設立に向けた具体的な資金計画の作成することを再確認した。10年目以降の活動レベルを維持するためには4億円以上の人件費が必要と試算される。KEKは、QUPが推進するプログラムのために約2億円の外部資金を積極的に獲得するようにQUPに要請するとともに、KEKに常設研究所として設立するために2億円以上の人件費を負担することを約束する。

拠点長のビジョン

本拠点の実現を想像すると、一研究者としての大きな興奮を抑えられない。私自身の研究スタイルは、素粒子物理と宇宙論にわたる大きな謎を新しい計測手段により解明するというものである。これまでに、素粒子研究において小林・益川両氏のノーベル物理学賞を決定づけたBファクトリーでのCP対称性の破れの発見を主導（その成果により第4回日本学術振興会賞を受賞）した後、宇宙論研究においてPOLARBEARプロジェクトを立ち上げ、宇宙背景放射（以下、CMBと表記）の偏光を用いた重力レンズ効果の初観測に成功した。いずれの場合にも、自然の奥底を素手で触ったような感触を持った。感動した記憶は今も鮮明である。冒頭に述べた興奮の源泉は、本拠点の形成が上記の成果を超える新しい発見をもたらすに違いないという確信である。

加速器を用いて宇宙・素粒子・生命の謎を解くというミッションを推進するKEKは、既に加速器科学の国際拠点として世界から認知されている。なぜ新たな拠点提案が必要だろうか？欧州原子核研究機構（以下、CERNと表記）等の、世界の他の加速器拠点を超えて世界をリードするためには何をすれば良いだろうか？私は、三つの理由からさらなる革新が必要と考え、そのために本拠点の提案を行う。

一つ目は、加速器の国際拠点である**KEKを、計測システムの国際拠点にする必要がある**、という点である。我が国の宇宙観測・素粒子実験の最前線では、計測システムに関して、様々なプロジェクトで海外グループの最先端計測装置に頼る状況がある。KEKでも、加速器を使って生成される粒子を精密に観測する計測システムの開発は、個々の研究者の超人的かつ職人芸的な努力に頼ってきた。一方、世界の加速器国際拠点は、より組織的、戦略的、学融合的なアプローチを既に取っている。

二つ目は、**加速器に縛られずに、宇宙・素粒子・生命の謎を解くために新たに重要となる研究に取り組む必要がある**、ということである。CERNではコスミックコネクション（宇宙と素粒子の関連）の探求という旗の下、反粒子宇宙線観測プロジェクトAMSなどへの戦略的な協力が宇宙観測の大きな成果をあげている。一方、KEKでは、宇宙観測は、私を含む個別の研究者の「個人商店」的な活動に止まっている。我が国には天文・宇宙観測を行う機関はあるが、素粒子物理の謎を解明する宇宙観測、という視点は欠けている。宇宙と素粒子がかつてないほど密接に関連している今、次の科学革命はコスミックコネクションから起きる可能性が高いと私は考える。発見のチャンスを逃さぬためには、早急に手をうつ必要がある。

三つ目は、**検出器の世界が変革を迎えており、早急な対応が必要だ**ということである。最近数年の間に、多彩な準粒子を用いた新しい検出原理や、量子効果を用いる新しいセンサー等が提案されている。半導体検出器などの既存の検出器も、次世代の実験の要求に応えるには、格段の高度化が必要な時期に来ている。新しい検出器システムが新しい宇宙・素粒子研究を拓く鍵となることは、歴史が証明している。**これらの新しい検出器や高度化された検出器のシステムをあわせて、本提案では「量子場計測システム」と総称する。量子場「を」計測するという意味と、（多彩な準粒子を含む）量子場「で」計測するという二つの意味を込めた新しい概念である。**また、センサー単体ではなく、信号を取り出す集積回路や、人であれば「脳」に対応する計算機をも含む装置全体をイメージするために「計測システム」と言う言葉を用いている。

以上を一言で表すと、「**量子場計測システムを制するものは、宇宙・素粒子の研究を制する**」ということである。それを踏まえて、本拠点についての私のビジョンを以下に示す。

基本的なビジョンは、**宇宙・素粒子の計測システム研究で世界に例のない、原理の発明から大型プロジェクト実行までを一気通貫で行う拠点を形成し、世界を一気にリードする【本拠点のアイデンティティI】**ことである。CERNや米国フェルミ国立加速器研究所など、KEKのライバルとなる国際加速器研究機関は、それぞれ検出器開発のグループを持つが、アイデアからプロジェクト実行まで一気通貫という拠点は存在しない。**世界でオンリーワンの存在となる本拠点は、CERN等との計測システムに関する競争において一歩先へ進みリードするための、我が国としての「渾身の一手」となる。**本拠点は、研究の夢を実現する量子場計測システムを志向し、発明を促す場としたい。目先の成果を追求する改良より、科学のグランドチャレンジに真っ向から挑む計測システムを志向する。研究者がアイデアを出せる環境と十分な研究時間を本拠点が提供して、これまでと桁違いのアイデアを創出し、大発見につなげたい【本拠点の目標1】。私が興奮する研究例として、理論的に予言された新奇な素粒子の量子場と、物質内の多彩な準粒子との相互作用に関する系統的、網羅的な研究と、それに基づく新しい量子場計測システムの発明がある。これまで物性物理と素粒子物理との連携は見落とされてきた。しかし、様々な物性系には様々な量子場が存在し、現実の物質の上ではそれらは素粒子の量子場と渾然一体と

QUP

なっているはずである。これは手付かずの広大な研究領域で、本拠点が初めて組織的研究に取り組むこととなる。現在の素粒子標準模型で解決できない大きな問題として、宇宙極初期の加速膨張の謎（インフレーションの謎）、暗黒物質の謎、暗黒エネルギーの謎、宇宙に反粒子がなく、粒子だけで出来ているように見える謎、がある。これらの解明のために、インフラトン、アクシオン、超対称粒子などの新奇量子場の存在が予言されている。もしそのような**新奇量子場が一つでも発見されればノーベル物理学賞につながる成果となる**。本拠点で研究者が出会いアイデアがスパークすることにより、本拠点が未来の大発見の「誕生の地」となって欲しい。

上記の「一気通貫」の精神で、拠点で発明した量子場計測システムを、実際の宇宙・素粒子研究プロジェクトに実装する【本拠点の目標2】。例として、ビッグバン以前の宇宙を探り、背後の物理法則に迫るLiteBIRD衛星計画がある。私自身が提案し、全体代表者を務める計画である。入射するCMBをフォノンに変え、さらにそれを量子磁束計で読み出す画期的な超伝導検出器アレイを米国グループと現在開発中である。これは準粒子を用いた新しい検出器の一例であり、本拠点のフラッグシップ計画として推進する。**また、新しい量子場計測システムの発明に基づく新しい宇宙観測や素粒子実験のプロジェクトを提案し推進する【本拠点の目標3】**。既に述べた通り、検出器の世界が変革を迎えつつあり、多様な新実験の提案が期待される。その中で、プロジェクトとして成功するものを厳選して推進していく。さらに、新しい量子場計測システムの既存の加速器実験のアップグレード等への適用も進めていく。計測「システム」という言葉は、人間の「脳」に相当するデータ解析手法も含む。本拠点では、新しい解析手法の発明による新展開も狙う【本拠点の目標4】。

本拠点は、素粒子や宇宙に関する謎を解くことを超えて、**量子場計測システムという「手段」に関する融合という新機軸により、学術的価値のみならず社会的価値の還元も含む、より高次の融合領域における価値創出・展開を先導する【本拠点のアイデンティティII】**。拠点が創り出す新しい「眼」は他分野への応用、新しい社会実装・社会貢献も生むに違いない。そのような社会貢献を、豊田中央研究所にサテライトを設けて連携し、人任せにせず、拠点の手で進めていく【本拠点の目標5】。さらに「ものづくり」ラボの世界的連携というビジョンで、二つのサテライト（バークレー、JAXA宇宙科学研）を加えて連携開発を推進する。

上記のビジョンは、KEKが誇る加速器施設が供給する**多彩な量子ビーム**を活用した計測システムの実証【本拠点のアイデンティティIII】、KEKの大規模国際共同実験のホストとしての経験と実力【同IV】と、これまでに培った豊富な国際人脈、大学共同利用研究機関としての実力【同V】に立脚していることを強調したい。国内屈指の世界的インフラを既に有するKEKが総力を結集して立ち上げる本拠点は、他の追随を許さない桁違いの国際拠点となる。**私自身も、LiteBIRD衛星計画の全体代表者として12か国から参加する約300名の研究者を束ねてきた経験を十全に活かして拠点の舵取りをして行きたい。**

量子場計測システム開発をシステム科学的なアプローチで行いたい。システム工学と、それを超えたシステム科学（システムロジー）の組織的な導入で開発工程が知的基盤として積上がる拠点となる。最近の人工衛星開発では、モデリング言語の組織的な導入により、プロジェクトが文書ではなくモデリング言語で記述され、ノウハウの蓄積が加速されることが示されている。本拠点では、基礎科学のプロジェクトにこの方法を応用し、10年間で大きな蓄積を生む場としていく。究極的には**「手段の科学」としての新分野である量子場計測システムロジーを創成したい**。この研究環境の中で、システム科学を使いこなし、かつ深い専門性を備えた次世代の人材を育成する【本拠点の目標7】。

最後に、私の夢を述べたい。研究者としての夢は、本拠点の活動が将来3つのノーベル物理学賞として結実することである。LiteBIRDが飛び立ち、新奇量子場探索の新実験が立ち上がり、日本からシャルバック（検出器開発でノーベル物理学賞）が生まれることによって。そして、私の人としての夢は、本拠点の研究成果が、**人類の幸福の礎となることである。**

ホスト機関の取り組み

2024年 4月 1日

文部科学省御中

高エネルギー加速器研究機構（KEK）
機構長 浅井 祥仁

「世界トップレベル研究拠点プログラム」に採択された場合、「量子場計測システム国際拠点」（以下、「拠点」）について、以下の施策を誠実かつ具体的に実施します。

具体的な施策

- 以下の要件を満たすために、ホスト機関がとる具体的な方策を記述すること。

1) WPIの支援が終了するまでに、拠点が真に「世界トップレベルの国際研究拠点」として自立するために、ホスト機関は、中長期的な戦略の中で拠点の役割を明確に定義し、助成事業開始時から包括的な支援を行うこと。

ホスト機関の中長期的な戦略の中で、拠点の役割を明確にする。

KEKは世界でもトップクラスの加速器研究機関であり、そのユニークな高エネルギー加速器は素粒子・原子核物理学、物質科学、生物学、さらには考古学を含む広大な分野の学際的研究に利用されています。KEKは、革新的な計測システムに関する新しい拠点を設置するのに最も適しています。この拠点は、KEKのインフラを効果的に利用でき、ユーザーコミュニティと密接に連絡を取ることができます。計測システムの開発はKEKの様々な研究にとっても重要なテーマであるとともに、大学共同利用機関と全く異なるトップダウンの組織の効果を享受することもでき、相互の利益が明確で相乗効果を大いに期待します。

大学共同利用機関の一つとして、KEKは国内外の研究者に様々な研究プラットフォームを提供しています。KEKロードマップとそれに続くKEKプロジェクト実施計画書（KEK-PIP）は、KEKの中期的な研究計画を示しています。KEKロードマップは2021年5月に更新され、検出器研究開発の重要性が明記されています。このWPIが採択された場合、KEKは中期計画でそのコミットメントをさらに明確にします。

KEKは、年度ごとの拠点の報告書及びフォローアップを受けるプログラム委員会やワーキンググループメンバーからの指摘をもとに、WPIの進捗状況を把握します。その過程で、より強力なコラボレーションが可能なパッケージがいくつか出てくれば、KEKはそれに応じてコミットメントを更新します。KEKのオープンイノベーション推進部は、本拠点から、より広い科学コミュニティへのスピノフと、産業的・社会的応用のために、緊密に協力します。

2) ホスト機関の組織と運営の方向性に関する計画を修正するための中長期的な方針を示す。その中には、拠点の独立性を達成し、組織内に拠点のための恒久的な場所を作る方法で、ホスト機関の既存の組織を改革することも含まれる。ホスト機関の組織を再構築するためには、具体的な計画とスケジュールを設定し、実行しなければならない。

ホスト機関の組織・運営の方向性に関する計画を変更するための中長期的な方針と、具体的な計画・スケジュールの両方を記述すること。

本拠点は、世界的な国際拠点となるべく、既存の研究所や研究室から独立したKEKの特別な組織として設立

されます。

初年度にKEKは拠点に関する大枠の規程を制定し、拠点の自律的な組織構造、職員採用方法、研究・教育への取り組みなどの規則の制定を補助し、2年度の早い時期に新たに採用した研究者で拠点の活動を効果的に開始できるようにします。KEKにはすでに採用、給与、個人評価に関する柔軟なシステムがあるため、それを基に拠点独自の規則を作ることができ、組織的な準備は遅滞なく行うことができます。

10年後の恒久的な組織としての確立に向けて、KEKは機構長のリーダーシップのもと、他のKEK研究プロジェクトと同様に、本拠点が独自の財政基盤を持てるように支援します。これに伴い、KEKは必要な施設の整備を進め、6年目以降は上級研究員や技術者のデニュアポジションを順次獲得していく予定です。

QUP立ち上げ後のプログラム委員会からの助言を受け、QUPとKEKは、QUPをWPIの助成期間終了後も持続可能な研究所とするための支援計画について幅広く協議しました。KEKは、QUPがKEKにとって、計測科学の変革を通じて将来の研究の新たな方向性を探るための重要な拠点であると認識しています。KEKはQUPの恒久的設立に向けた具体的な資金計画について作成することを再確認しました。10年目以降の活動レベルを維持するためには4億円以上の人件費が必要と試算されます。KEKは、QUPが推進するプログラムのために約2億円の外部資金を積極的に獲得するようにQUPに要請するとともに、KEKに常設研究所として設立するために2億円以上の人件費を負担することを約束します。

3) 拠点の運営や研究活動を行うために必要な人員、資金、システムなどの十分なサポートを提供すること。

KEKは、予算やスタッフの採用など、拠点運営上の重要事項について、拠点長が主要な決定を行うルール of 制定のための人員のサポートを行います。これにより、拠点長がリーダーシップを発揮して、拠点の運営と研究活動を行うことができます。(詳細は次項5)に記載します。)

KEKは人件費の点で以下の初期支援を行います。

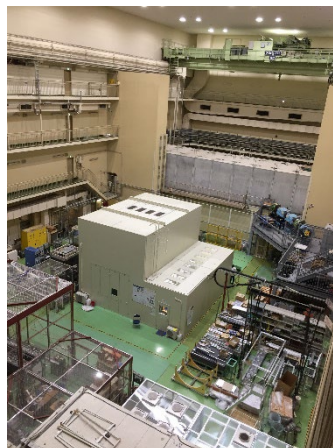
- 拠点の副拠点長。
- KEKの常勤教員のPI及びCo-PI。
- 技術・エンジニアリングスタッフ、および
- KEK管理局の事務スタッフ

一部のスタッフは、部分的に拠点で働くことになります。特に技術系、事務系のスタッフは、KEKと拠点の両方を兼務することは、業務の継続性や両者の人材循環の観点から重要であり、業務の効率化にも寄与できます。前項で述べたように、KEKは10年計画の後期において、技術者のデニュアポジションの獲得を支援します。

KEKは、KEKの支援と外部資源の合計がWPI基金からの支援と同等以上になるように、次のような財政支援を行います。以下に主な概要を示します。

- 上述の人件費（そのエフォート値に応じて）
- 拠点長の裁量経費
 - KEKから年間5,000万円の予算が提供され、拠点長がリーダーシップを発揮して研究を加速するために柔軟に使用できる。
- 施設
 - オフィススペース（～1,000 m²）
 - ラボスペース(約2,000m²)
 - KEKの加速器やテストビーム設備などの施設を無償で利用できます。

以下の写真は、オフィスとラボスペースの候補地です。現在は様々な用途に使用されていますが、KEKが再配置を行います。



さらに、専用ではありませんが、KEKには大規模なドミトリーやアパートメントがあり、フロントには英語を話すスタッフが常駐しています。これらの施設は、WPIの研究者とその訪問者の社会生活をサポートするのに役立ちます。特に、68室の新しい第5号棟は建設中で、2022年4月に運用を開始する予定です。アパートを含めた総収容数は240室となります。



Dormitory No.5

- 3 stories building
- Total floor area: Approximately 1,700 m²
- Private room type (68 rooms, with unit bath and toilet)
- Construction period: June 2021 (scheduled) -March 2022
- Start of operation: April 1, 2022

4) WPI助成期間終了後も、本拠点の独立した運営を行うこと。世界トップレベルの研究機関」として確立するために必要な人材、施設、設備、その他の資源の長期的な提供など、必要な支援を行う。また、拠点が活動を行うために必要なインフラ（土地、研究施設・設備、研究スペースなど）を、拠点設立の早い段階から確保・提供し、WPI助成期間終了後も継続的に維持することを約束すること。

KEKは、この拠点が10年後も世界最高峰の国際研究拠点としての地位を維持できるように、必要な支援を行います。KEKは本拠点を、提案されたミッションを持つKEKの研究拠点として、そのアイデンティティをもって位置づけます。

例えば、KEKは10年後も拠点が活動を展開できるように、3)項で挙げたインフラを引き続き提供します。2)で述べたように、KEKは他のKEKの研究プロジェクトと同様に、拠点が独自の財政基盤を持てるように支援します。これに伴い、KEKは必要な施設の整備を進めるとともに、6年目以降は上級研究員や技術者のテニュアポジションを順次付与していく予定です。

つまり、今後10年間は、粒子加速器や建物などの既存の研究インフラを提供すること拠点の自立を支援するとともに、WPI助成金で採用した4名の上級研究者と5名の高位技術者を中心に、KEKからの拠出金を段階的に増やしていきます。KEKの周辺には、拠点の活動に大きな関心を持つ強力な研究グループが多数あり、これらのグループとの共同研究は、KEKにこのセンターがあることの利点である自立性の確立にも非常に役立ちます。10年後は拠点のミッションを強力に継続していきます。KEKの既存機関と拠点の機能を継続させるた

めの最適な役割の再編成を行います。

KEKは、研究ニーズの絶え間ない変化に対応するために組織体制を随時刷新しており、拠点のさらなる発展に向けて意欲的に取り組んでいます。最近の例として、2019年4月に応用超伝導加速器センター（CASA）、2020年4月に量子ビーム連携研究センター（CIQus）を新たに設立しており、KEKは拠点を独立して運営するための十分な知識と経験を有していると言えます。

5) 拠点事業を実施する上で、実質的には拠点長が人員や予算を含めて決定でき、運営の自律性が確保されるようなシステムを提供する。

KEKは、優秀な研究者の世界的な循環を実現するために、拠点が世界最高峰の国際機関としての役割を果たせるように、拠点が自律的な規則を制定することを補助します。具体的には以下のようなものを想定しています。

- 拠点長のリーダーシップを確保するために、拠点長と拠点の主要メンバー数名で構成される拠点運営委員会を設置し、拠点の予算や採用などの重要事項を基本的には拠点長の主導で決定する仕組みにします。KEKは大学共同利用機関として、教員人事に関して教育研究評議会での決議が必要ですが、拠点に委任する形を検討し、研究所・研究室との連携を支援し、関連する研究コミュニティとのコミュニケーションを図っていきます。
- 既存の柔軟な採用・給与制度を十分に活用し、拠点職員の待遇の最適化を支援します。また、拠点長のリーダーシップのもと、拠点に個人評価を委任します。

6) 拠点への研究者の配置や、ホスト機関内での拠点の環境整備について、他部門との調整を行い、拠点長を支援する。そのための調整は、各部署の教育・研究活動への影響を考慮しつつ、積極的に行うこと。

KEK機構長は、拠点のビジョンを成功裏に実現するために、研究者、技術者、事務スタッフを含むKEKの人的資源を適切に配置します。

KEK管理局は、拠点の業務が円滑に進むように全面的に協力します。緊密な連携を保つために、拠点の事務室長は、各事務部門の責任者で構成される月例事務会議に出席します。

7) 従来の運営方法にとらわれない新しい運営方法（英語環境、能力主義賃金、トップダウンの意思決定、大学院教育との連携など）を効果的に実施するために、必要に応じて受入機関の内部システムを柔軟に適用、修正、補完することに協力する。

本拠点は、KEKのユーザー施設とは異なる運営スキームを有しているため、拠点の設立にあたっては、様々な新しいガバナンスの考え方を構築する必要があります。KEKはすでに研究・教育に関する柔軟なスキームと、採用手続きを含む関連規則を持っているため、新しいスキーム導入は困難ではないと考えています。英語環境については、KEKはBelle IIやT2K実験など素粒子物理学の大規模な国際共同研究を行っています。年間8,000人のユーザーのうち、2,000人が海外の大学や研究機関からのユーザーであり、KEKは新しい国際研究機関をすでに受け入れられるレベルにあります。もちろん、海外の著名な国際機関に比べればまだまだですが、この拠点の設立はKEKがさらに向上するための大きなチャンスとなります。拠点が外国人研究者の研究・生活を支援する役割を担う上で、KEKの国際室やユーザーズオフィスが全面的にバックアップすることになり、KEKと拠点の相乗効果が期待されます。

8) 拠点のコンセプトや目標を達成し、名実ともに世界最高峰の国際研究拠点になるために最大限の支援となるように、その他様々な支援を行う。

KEKは、年度ごとの拠点の報告書及びフォローアップを受けるプログラム委員会やワーキンググループメン

バーからの指摘をもとに、拠点長の一貫した中長期的なビジョンのもと、拠点が世界的な国際研究拠点に発展するよう最大限の支援を行います。

9) ホスト機関は、拠点が実現したシステム改革の成果を自己評価し、高く評価した成果を全部門に展開する。

KEKは拠点の科学的成果を確認し、該当する研究分野で活用します。前述の外部審査で拠点がもたらす優れたシステムが特定された場合、KEK首脳で評価の上、KEKの関連部分に採用します。

10) (既存の WPI 拠点及び／又はアカデミー拠点を有するホスト機関の場合) 既存の WPI 拠点及び／又はアカデミー拠点を全面的に支援・維持し、世界トップレベルの研究機関として発展させるとともに、同時に新拠点を全面的に支援することができること。

該当しません。

11) (既存のWPI拠点やアカデミー拠点を有するホスト機関の場合) 既存拠点の優れたシステム改革の成果を、ホスト機関内の他の部門に率先して広め、自らの改革に応用すること。

該当しません。

世界トップレベル研究拠点プログラム
主任研究者リスト

※ 主任研究者が10名を超える場合は、適宜行を追加してよい。
※ 「世界トップレベル」と考えられる研究者については、その氏名の右側に「＊」印を付すこと。
※ 年齢は、2021年4月1日時点とすること。
※ プログラム開始時点で、当該構想に参加できないものについては、備考欄に、参加予定時期を明記すること。
※ 外国人の氏名は英語で記載すること。
※ サテライト所属PIの場合は備考欄に「サテライト」と記載すること。

(日本語で作成)

拠点名 (仮称も可。20字以内)		量子場計測システム国際拠点				
ホスト機関名		高エネルギー加速器研究機構				
	氏 名	年齢	現在の所属、役職 (機関、部局、専攻等)	専 門	エフォート [†] (%)	備 考
1	羽澄昌史＊	56	高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 素粒子原子核研究所、教授	宇宙物理実験・素粒子物理実験	80	拠点長、LiteBIRD衛星研究開発の指揮
2	外川学	42	高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 素粒子原子核研究所、准教授	素粒子物理実験	70	スーパーラドハード半導体検出器、
3	長谷川雅也＊	42	高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 素粒子原子核研究所、研究機関講師	宇宙物理実験	70	LiteBIRD衛星検証試験、超伝導検出器システム検証技術
4	宮原正也＊	40	高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 素粒子原子核研究所、准教授	ものづくり技術、電子デバイス・電子機器	70	ASIC開発
5	谷口七重	41	高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 素粒子原子核研究所、助教	素粒子物理実験	70	ガス検出器、データ読み出し
6	Adrian T. Lee＊	56	カリフォルニア大学バークレー校物理学部、教授	宇宙物理実験	50	バークレー・サテライト、超伝導検出器
7	Daniela Bortoletto＊	62	オックスフォード大学物理学部、教授	素粒子物理実験	20	半導体検出器
8	Maurice Garcia-Sciveres＊	54	ローレンス・バークレー国立研究所、上級研究員	素粒子物理実験	20	バークレー・サテライト、エレクトロニクス
9	服部香里	39	産業技術総合研究所・物理計測標準研究部門、主任研究員	電子デバイス・電子機器	40	超伝導検出器
10	山崎典子＊	54	宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 宇宙科学研究所、教授	宇宙物理学	20	JAXA宇宙科学研サテライト、超伝導検出器、日本学術会議会員
11	中山和則	38	東京大学理学部、助教	素粒子論・素粒子論的宇宙論	30	新奇量子場の新しい探索法
12	飯塚英男	48	豊田中央研究所・ビヨンドX研究部門、シニアフェロー	波動工学	40	豊田中央研究所サテライト、応用、社会実装
13	中浜優＊	39	名古屋大学素粒子宇宙起源研究所、准教授	素粒子物理実験	20	データ解析, 米沢富美子賞, 湯浅年子賞

[†] 研究者の年間の全仕事時間（研究活動の時間のみならず教育・医療活動や兼業部分等、全ての業務等を含む）を100%としたとき、本WPI拠点の研究活動等を実施する時間の配分率