

2021 年 9 月 13 日

ユニットテーマ提案書

1. ユニットテーマ

「知覚の拡大」

2. 提案者（氏名・所属）

安原亮・核融合科学研究所

3. テーマと研究内容の概要

テーマの意味：計測器の性能向上は、人類の知覚能力を拡大し、自然科学の理解に貢献してきた。ガリレオが、高性能な望遠鏡を用いることで、天文学の新しい発見をしたように、現代においても未踏領域の観測による新たな物理研究領域開拓が期待される。不知の自覚を持つと、我々には、研究に対する多くのヒントが与えられる。計測器の性能（空間分解能、時間分解能など）や“測定手段そのもの”が不足しているため観測不能な現象は数多く残され、計測可能になれば、研究の（もしくは人類の）新たな地平が拓ける。

本テーマでは、「計測器の高度化による科学研究の深化」を目標にする。「知覚の拡大」はこの目標を象徴するキーワードとして設定した。

具体的な研究課題：計測器の工学要素や物理原理に立ち返って、高空間分解能化や高時間分解能化へと計測パラメータの測定可能領域をその数直線上の極限へと拡大する。また、現在測定がされていない、もしくは難しい「量」を計量可能とする。これらのテストベンチとして、核融合科学に内在する種々の現象に挑む。

10 年間のプロジェクトで達成する目標：ムーアの法則が今後も継続すると仮定すると（EUV 技術が実用化した今、10 年程度は持続可能であろう。）半導体の集積度は少なくとも 10 年後に 32 倍に向上する。既存の計測機器の性能は、半導体の集積度に比例すると考えると、10 年後には現時点よりも、32 倍の性能向上を見込める。研究者が取り組むべきは、このロードマップを凌駕し、超越することである。もしくは、ロードマップの延長にない技術の創出である。このような理念の下、プラズマ基本パラメータの高時間分解・高空間分解能・高精度計測や、現在測定が難しいパラメータ群の計測技術の開発を目指す。例えば、プラズマの電子温度・電子密度測定手法であるレーザートムソン散乱計測の繰り返し計測周期を現状の 100Hz 程度から、1000 倍以上の 100kHz 以上に向上させるといった計測器の高時間分解能化や、局所イオン密度計測手法の開拓、中性粒子計測、速度分布関数の高精度評価などの新計測技術を実現する。プラズマに限らず、磁場計測手法、超伝導体の精密計測技術やトリチウムモニタリング手法なども対象とし、計測器を構成する原理やデバイスの材料レベルから研究に取り組む。

予測される成果の学術的な意義：計測器の高性能化は、自然の見え方に質的転換を促す。近年では、レーザー光を用いた、光格子時計が一秒の定義を 18 桁の精度で実現し、時計の概念を変革した。本テーマで取り組む計測器の高性能化も核融合科学研究の理解を深める。

4. 位置づけ

研究課題の背景: 米国ローレンスリバモア国立研究所では、2021年8月に1.9MJの紫外レーザー光を三重水素で構成されたターゲットに照射し、爆縮することでレーザーから出射されたエネルギーの70%の核融合出力の取り出しに成功した。高精度な計測に基づくシミュレーション結果の検証とフィードバック、それを基にした精密な制御が成功のカギとなった。レーザープラズマ物理の更なる理解と制御のためには、計測手法の継続的な開発は重要である。磁場閉じ込めプラズマにおいても、サブミリ秒オーダーで過渡的に変化するプラズマの電子温度・密度の空間分布変化、例えばプラズマの突発的な消滅現象である「ディスラプション」、核融合反応の定常維持に必要な固体水素ペレットの溶発現象などは、十分な時間分解能と空間分解能で計測できていない。特に、ディスラプション時に高速電子が大量発生し装置を壊すが、サブミリ秒レベルの時間分解能を有する分布計測が存在しないため、計算モデルで提案される発生メカニズムの実験検証が現状で難しい。物理現象の時空間スケールをカバーする計測器の開発が求められる。「計測器の高度化」によって理解が進むこれらの例を始めとして、未踏計測領域の探索による多くの成果が予想される。

関連するテーマとの比較: 乱流、プラズマ加速等の具体的な現象を対象としたテーマ群と協同し、計測器の高性能化によって得られる新たな知見を基に研究を展開する。また計測器の高性能化で得られる種々の技術成果は、他の学術分野への展開や、産業応用を始めとした社会実装可能である。

5. 研究の方法: 非連続な高性能化のために、計測器の研究・開発は、計測原理、計測システム、デバイス、デバイスを構成する材料に立ち返り研究に取り組む。計測器の原理実証を核融合科学研究所や大学で利用可能なプラットフォームで行う。これらの高性能化した計測器によって、磁場閉じ込め核融合プラズマやレーザープラズマ装置等をテストベンチに、未踏計測領域を観測する。

6. 自己評価

1) 未来志向であること

計測機器の深化によって、現在知覚していないものを、知覚可能とする研究手法を追求するテーマである。停滞を駆逐し、新たな知的好奇心を駆動する。

2) 目標を具体的に示していること

計測器の性能向上は永遠のテーマであるが、数値目標と計測対象パラメータを定めることで、具体化可能である。

3) 10年後に学术界に輝くテーマに育つこと

時代の突き抜けた性能を持つ計測器の実現は、新しい学術分野を作ってきた。技術のロードマップ的發展から飛躍するために、基礎、応用にこだわらず研究アイデアを投入していく。

4) 多様な「個人のテーマ」を包摂できること

細胞等の微小領域を観察する光学顕微鏡と、宇宙スケールまで観察可能な光学望遠鏡は、共にレンズによって構成される光学システム（像転送光学系）で原理は同一である。このレンズ対のように優れた計測技術は自然科学全般、多くの個人テーマに適応できる。究極的には核融合科学をプラットフォームとして、広く科学一般に適応可能な計測技術の創出を目指す。高性能な計測器は人類の思考を広げ、企業や社会においても課題解決に役立つ。これが成り立てば、短期的に核融合科学からの成果物が社会実装されていく。長期に渡り継続的な研究が必要な核融合科学の学術分野形成に有効である。