

大強度高品質ミュー粒子ビームによる宇宙の起源の解明と新しい科学分野の開拓

① ビジョンの概要

素粒子であるミュー粒子を軸とした基礎物理学研究および先端技術の究極的な発展を基に、国内を中心としたミュー粒子素粒子物理学プラットフォームを形成、発展させ、連携した研究開発によって新型の大強度高品質ミュー粒子ビームを実現し、宇宙の起源の解明を目指す。さらにはそうした技術、プラットフォームの分野拡大を基に物質科学・地球科学等の応用研究とも融合し、新たな分野創成も目指す。

② ビジョンの内容

宇宙の起源の解明は、現代の素粒子物理学における最終目的の一つである。我々の宇宙は、素粒子の熱いスープである「ビッグバン」から始まったと考えられており、この時代に起こっていた高エネルギーの素粒子現象を詳細に調べることが解明への鍵となる。こうした現象の調査のため、素粒子衝突型加速器によってより高いエネルギー状態を再現し、新物理を直接探索する研究のさらなる発展が期待されている。一方、素粒子の振る舞いを非常に精密に測定すると、量子力学の高次効果を通して、遥に高いエネルギーで起こる未知の現象を間接的に垣間見ることができ、直接探索と相補的に発展を加速させることが望まれている。特にミュー粒子は他の素粒子よりこの量子効果に高い感度を持ち、これまでの技術開発により大量に生成でき

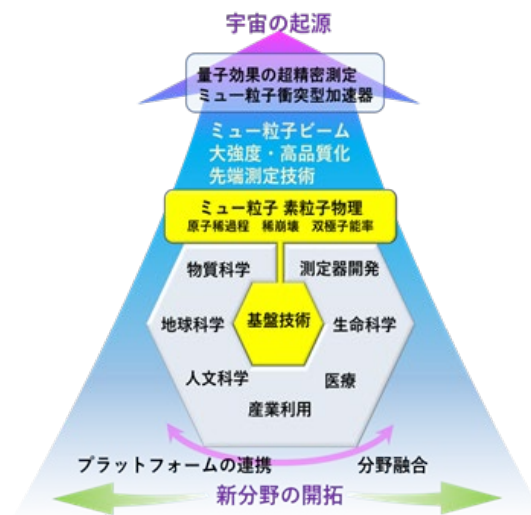


図1 本ビジョンの概要

て、かつ寿命も長いため、精密測定に最適な粒子である。このミュー粒子を最大限に活かすために、次世代の大強度で高品質なミュー粒子ビームを実現させ、それを用いた新時代の精密測定研究へと進めることを目指す。さらには、こうした技術を基に国内外で議論・検討が進められているミュー粒子を利用した高エネルギー衝突型加速器開発も進め、多角的に未踏物理領域にアクセスすることを目指す。

一方で、大強度高品質ミュー粒子ビームの実現は、様々な研究との連携や融合への応用が考えられる。これまでの発展よりミュー粒子の有用性は理解されており、素粒子物理学分野に留まらず、加速器や物質科学、地球科学、工学、情報、さらには考古学といったより広い分野においての利用や連携研究が進められつつあり、こうした更なる分野融合研究を加速させることで、新たな分野開拓が期待される。そこで、本提案によって歴史的にもミュー粒子科学の大きな原動力となってきた素粒子物理学に携わる若手を中心としたプラットフォームの連携を強化・拡大し、ミュー粒子ビームの大強度化、高品質化、および先端測定技術開発を有機的に連携しながら進めることで、その実現を目指す。その上で、このプラットフォーム自身をより広い分野へ拡大させ、分野間ネットワークを構築することによって更なる融合研究や新たな科学分野創出を目指す。

③ 学術研究構想の名称

大強度高品質ミュー粒子ビームによる宇宙の起源の解明と新しい科学分野の開拓

④ 学術研究構想の概要

昨今、ミュー粒子を用いた基礎科学研究が分野の枠を超えて世界的に飛躍的な発展をしようとしている。更なる研究の加速や他分野との連携、融合の推進のためには、ミュー粒子ビームの大強度化、高品質化、そしてそういったミュー粒子を測定するための測定技術を同時に向上させることがポイントとなる。こうした技術は、世界最高感度での荷電レプトンフレーバー保存則の破れの探索やミュー粒子双極子能率の謎の解明といった素粒子物理実験や新規のミュー粒子加速技術開発を通して更なる発展が可能となる。そこで、それぞれの研究開発を進めると共に、それらを結びつけるための連携体制を強化・拡大し、各研究を融合させることによって、次世代大強度高品質ミュー粒子ビームの実現および先端測定技術の確立のための基盤を形成する。これらの着実な実現と、有機的な研究協力により、基礎研究と先端技術のさらなる発展へとつながり、結果的に新型大強度高品質ミュー粒子ビームのための基礎となる。さらに、新たな測定技術の開発も進めることで、超精密測定を可能とする。こうした技術や連携基盤を基に、他分野との連携、融合も期待できる。

⑤ 学術的な意義

ミュオン粒子は幅広い学術分野で必須の量子プローブとして確立している。このミュオン粒子ビーム開発の大きな原動力の一つが素粒子研究であり、宇宙線の数桁上の輝度のミュオン粒子を生み出し、その性質を徹底的に調べることで素粒子標準理論の確立と新現象の探索に大きな役割を果たしてきた。近年、ミュオン粒子に見え始めた新現象の正体を掴むため、現在は各施設・研究所で独立に要素開発が進む先端技術を融合することで、ミュオン粒子ビーム技術のブレークスルーが実現できる。

本提案で目指す大強度高品質ミュオン粒子ビームは、物質診断などの分解能や精度を桁で向上させ、新しい学術分野の創成も期待できる次世代の基盤技術となりうる。また、宇宙線に比べ短時間で高分解能の透過イメージングを得ることができるため、重大な社会問題となっている社会インフラの老朽化診断の刷新が期待できる。さらには、考えられうる他の衝突型加速器と比較して高効率・コンパクトな究極の衝突型加速器の実現により暗黒物質などの直接生成が可能となる。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

日本は RCNP(阪大)・J-PARC(KEK/JAEA)の2か所で異なる種類のミュオン粒子ビームの供給が可能な唯一の国であり、日本のビーム大強度化・高品質化技術は大強度化を実現するキーテクノロジーである大立体角捕獲ソレノイド電磁石の実証、冷却と加速によるビーム高品質化を世界で唯一実現、世界最大ミュオン粒子強度環境での高精度測定の実現など、世界をリードしている。近年ではアジア圏でもミュオン粒子施設が計画・建設が開始されており、本提案により、我が国の最先端技術の優位性を保ちつつ、世界的な研究を主導する。

⑦ 社会的価値

素粒子のような基礎研究は国民の理解のもとに成り立つものであり、そこで得られた技術を安心・安全で豊かな社会の実現に還元することは当然である。ミュオン粒子の本提案によるミュオン粒子技術の確立はリチウム電池など先端材料の物質診断、ミュオン粒子イメージングによる社会インフラの老朽化調査の刷新、小型原子炉のモニタリングなどエネルギー問題にも貢献する。

⑧ 実施計画等について

＜実施計画・スケジュール＞

本提案では、ミュオン粒子ビームの(a)大強度化、(b)高品質化と(c)先端測定技術を確立し、その後これらを(d)融合したミュオン粒子ビーム実現にむけた基盤技術を確立する。前期に各要素技術の原理実証を実施、中期に技術を実現し、後期に各技術の融合によって次世代の大強度高品質ミュオン粒子ビームの基礎開発を行う。

＜実施機関と実施体制＞

本提案はミュオン粒子素粒子物理学に携わる若手研究者を中心としたプラットフォームにより実施する。総括班と各研究項目班（大強度班、高品質班、先端測定班）、国際研究ネットワーク、および異分野研究ネットワークにより構成し、ミュオン粒子素粒子物理学のエキスパートを顧問として迎え入れる。総括班を中心として研究の遂行、連携、国際研究ネットワークや異分野研究ネットワークの構築、運営を推進する。加えて、多岐に渡るネットワークとの連携を活用し、学生の研究指導に留まらず、国内外の様々な機関への派遣やスクールなども開催し、多様性を持った人材育成にも取り組む。

＜総経費＞ 50.3 億円

＜所要経費＞

(a)大強度ミュオン粒子ビームの実現（生成標的、輸送電磁石など計 30.1 億円）、(b)ミュオン粒子ビームの高品質化（大強度ミュオン粒子冷却レーザー、ミュオン粒子専用加速器など計 8 億円）、(c)先端測定技術の確立（5.2 億円）および人件費（10 年間の研究員、技術職員の雇用）4 億円、旅費（国内外）3 億円。

⑨ 連絡先

上野 一樹（大阪大学）

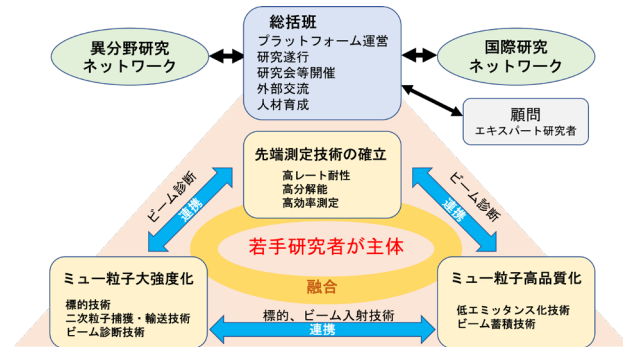


図2 ミュオン粒子素粒子物理学プラットフォーム概要