会場 C

素粒子実験，実験核物理領域

C-1 LHC-FASER 実験での AHCAL 検出器におけるニュートリノ測定の現状と HL-LHC に向けた開発の展望

九州大学 [A], 千葉大学 [B], 名古屋大学 [C], 東京大学 [D], 新居浜高専 [E], 東北大学 [F] 田中翔琉[A], 有賀昭貴 [B], 有賀智子 [A], 稲田知大 [A], 大橋健 [B], 音野瑛俊 [A], 五島征一朗 [A], 酒井了 [A], 佐久間幹人 [C], 佐藤修 [C], 高津大誠 [D], 田窪洋介 [E], 中野敏行 [C], 丸谷晏大 [A], 毛受弘彰 [C], 六條宏紀 [A], 吉川大智 [A], 渡邉和宏 [F]

FASER 実験では、LHC の陽子衝突でビーム軸超前方方向に生成される高エネルギーニュートリノを測定している。超前方領域では、陽子内部の極小 Bjorken-x におけるグルーオンと大きな x を持つパートンとの相互作用によってチャームクォークを含んだハドロンが生成され、その崩壊により高エネルギーニュートリノが生成される。このため、チャームハドロン起源のニュートリノの測定は、極小 x 領域におけるグルーオン飽和など、核子内部構造に関わる未解明減少を調べる新たな手段として期待されている。

特に、ビーム軸からわずか数 mrad 外れたオフアクシス領域では、背景事象となる軽ハドロン起源ニュートリノに対してチャームハドロン起源ニュートリノ割合が相対的に増大する。この特徴を利用し、2026 年 1 月に高粒度ハドロンカロリメータである AHCAL 検出器を LHC のオフアクシス領域に設置し、6 月までデータ取得を行った。AHCAL は、多数のシンチレータセルと鉄吸収体の層が交互に配置され、約 3.3 トンの鉄吸収体がニュートリノの反応標的として機能し、シンチレータが反応で生じたレプトンやハドロンシャワーを検出する。

LHC は 6 月に運転を休止し、現在は高輝度化に向けた準備を進めている。それに伴い、FASER 実験においても AHCAL 検出器の改良を検討している。本講演では、6 月までに AHCAL 検出器で取得したデータの現在の解析状況、および 2030 年以降に予定される高輝度 LHC に向けた改良計画について紹介する。

C-2 ミュオグラフィに於けるエネルギー損失量を付与した計数法の改善

鹿児島工業高等専門学校 A　水野航太朗A, 津野総司 A

ミュオグラフィは、宇宙線ミュオンを利用して物体の内部構造を調べる技術である。本研究で扱う計数法では、材質が既知で一様な物体を通過したミュオンの数から、その物体の厚さを推定する。物体の厚さは、通過するミュオンの数に加え、通過後のエネルギー分布にも影響する。そこで、物体を通過したミュオンが検出器内で失うエネルギーに着目し、その情報を計数に加えることで厚さの変化をより精度よく推定できるかを検討する。純アルミニウム平板の下方に多層シンチレータを配置し、平板の厚さを変えてミュオンの通過と検出をシミュレーションする。エネルギー損失量の指標には、シンチレータ内の単位飛跡長当たりのエネルギー付与量を用いる。本発表では、観測時間をそろえ、計数のみを用いる場合と、この指標の分布を併用する場合とで、基準の厚さからの変化量の推定精度を比較する方法を述べる。

C-3 桜島火山のミュオグラフィ透視実験に於ける山体構造を用いた補正法、及び、海側のミュオン・フラックスについて

鹿児島工業高等専門学校 A　川元太智A, 坂田龍志 A, 津野総司 A

本研究では、宇宙線ミューオンを利用して火山内部の密度構造を調べるミュオグラフィ技術を用い、桜島のマグマの動きの把握や噴火予測に向けた研究を行っている。桜島には 12 セットのミューオン観測器が設置されており、これらの観測データを活用することで、火山内部の変化をより短い時間間隔で捉えることを目指している。

まず、複数の観測器のデータを統合することで、30 分単位での観測を可能にすることを目標としている。しかし、各観測器は設置角度が微妙に異なるため、観測データをそのまま統合することはできない。そこで、ミューオンの観測データから得られた桜島のプロットを用いて山の輪郭を抽出し、山頂付近に共通して見られる 3 つの特徴点を基準として、観測器間の位置のずれを補正する。その後、位置合わせを行った複数の観測データを統合し、噴火前後における火口付近のミューオン到来数の変化を解析することで、マグマの動きの把握や噴火予測への応用を目指す。

一方、ミューオンの到来数は火山内部の密度変化だけでなく、太陽活動や大気状態などの外部要因によっても変動する。そのため、これらの影響を把握することは、ミュオグラフィによる火山内部の変化を正確に評価するうえで重要である。そこで、2019 年から 2025 年までの観測データを用いて、ミューオン飛来量の長期的な時間変動を解析する。特に、太陽活動に伴う年単位の長期変動と、大気状態の季節変化に伴う年周期変動に着目し、正弦波フィッティングによって各周期成分の振幅や位相を推定する。これにより、桜島の観測データに含まれる周期的な変動の特徴を定量的に評価し、火山内部の密度変化と外部環境による変動を区別するための基礎情報を得ることを目指す。

C-4 シンチレーション・ファイバー検出器の信号到達時間を用いた位置決定精度の検証

鹿児島工業高等専門学校 [A]　伊藤槙祐[A], 津野総司 [A]

ミュオグラフィは、宇宙線ミュオンの高い透過力を利用して、火山やピラミッドなどの大型構造物の内部を非破壊で可視化する技術である。従来のミュオン検出器は、シンチレータを XY 方向に重ねた平面構造をとり、数百個のシンチレータそれぞれに光検出器と読み出しチャンネルが必要となるため、装置が高額であることが課題である。この高コストが、多地点での計測や用途の拡大を妨げている。本研究では、シンチレーション・ファイバーを円筒形筐体に巻き付け、ファイバー内を伝わる光信号の到達時間からミュオンの通過位置を推定する新型検出器を提案する。本方式では、わずか 32 本（16 本× 2 層）のファイバーで構成でき、32 チャンネル程度の商用読み出し装置を利用できるため、従来型と同等の検出性能を維持しつつ、製造コストの大幅な削減が見込める。安価で設置が容易な検出器を多地点に配置できれば、地下水構造の把握や老朽化したインフラの点検など、防災や社会基盤の維持管理への貢献が期待される。本研究では、提案する検出器の原理実証に向けた第一段階として、信号の到達時間に基づく位置決定精度を検証する。現在、ファイバー端で得られる光信号を光検出器で電気信号に変換し、FPGA ボードで読み出すシステムを構築している。本発表では、2 本のファイバーを直角に交差させ、交差位置を変えながら信号の到達時間と強度を測定し、それらが位置に応じてどのように変化するかを調べた結果を報告する。

C-5 高輝度 LHC ATLAS 実験に用いるシリコンピクセル検出器モジュールの外観検査手法および品質の評価

九大理 [A], KEK[B], お茶大理 [C]　稲田知大 [A], 生出秀行 [B], 音野瑛俊 [A], 河野能知 [C], 佐伯直哉 [A], 榊原麻希[A], 調翔平 [A], 張皓瑞 [A], 東城順治 [A], 外川学 [B], 中村浩二 [B], 花垣和則 [B], 本多玲士 [A], 山川結美 [C]

高輝度 LHC で行われる ATLAS 実験では、次世代シリコンピクセル検出器の量産が進められている。検出器モジュールの組立工程では、接着時の位置ずれや回転、接着剤のはみ出しなどが生じる可能性があり、組立後の外形を正確に把握することが重要である。本研究では、冷却系への取り付け部材を接着した後のモジュールを対象として、画像解析を用いた外観検査手法の信頼性およびモジュールの品質を評価する。特に、繰り返し測定による再現性や人依存性を調査し、測定結果のばらつきやその要因を明らかにする。さらに、得られた結果をもとに検査手法の改善を図り、測定の再現性向上および人依存性の低減を目指す。また、外観検査の結果から不良モジュールの特徴や発生傾向を評価する。これらを通じて、量産工程に適した外観検査手法の確立と品質管理の信頼性向上を目指す。

C-6 中性子電気双極子能率の精密測定のための新しい超冷中性子検出器の開発

九州大学 A, 高エネルギー加速器研究機構 B　端川祥黎A, 川崎真介 B, 吉岡瑞樹 A

宇宙に物質が反物質よりも圧倒的に多く存在する理由は未だわかっておらず、素粒子物理学の未解決問題である。その解明に向け、標準模型を超える CP 対称性の破れの探索実験が進められている。その有力な手段として、中性子の電気双極子能率（EDM）の測定が進められている。TUCAN（TRIUMF Ultracold Advanced Neutron）コラボレーションでは、高強度の超冷中性子源を開発し、現在の測定感度を一桁上回る $1 \times 10^{(}-27)e \cdot\ cm$ の感度での測定を目指している。測定精度の向上のためには超冷中性子（UCN）源が安定して稼働していることが重要となる。UCN の生成数は陽子ビーム強度や冷却条件に依存するため、UCN 生成領域の近傍で生成状況を監視する検出器が求められている。現行の検出器は放射線遮蔽の外側に設置されており、詳しい生成状況を直接把握することは難しい。放射線遮蔽内では、バックグラウンドとして高速中性子や γ 線が存在すると考えられている。そのため、それらへの耐性を持つ新しい検出器が望まれている。本研究では、UCN 源の安定性を監視するモニター検出器の開発を進めている。検出方針として、薄いシリコン半導体と中性子コンバーターを組み合わせた検出方式を採用している。シリコン半導体のみでは中性子を直接検出することができないため、半導体表面に適当な厚さを持つコンバーター膜を形成し、中性子との核反応で生じる荷電粒子を検出する仕組みである。検出器作製の第一段階として、シリコン半導体を用いた荷電粒子の検出を行った。信号の読み取りに必要な増幅回路を作製し、α 線源からの信号を読み出した。また、単位時間当たりの信号数の計測を行い、線源の放射能と立体角から見積もった信号数と比較した。本発表では、検出器の構成と測定セットアップ、各シリコン検出器による測定結果を報告し、今後の中性子検出に向けた展望を紹介する。

C-7 $\alpha(^{12}\mathrm{C},\alpha_2)$ 反応を用いたホイル状態対崩壊実験のバックグラウンド評価

九大理 A　林田昌大A, 寺西高 A, 橋本太一 A, 浜村大 A, 藤澤輝郎 A, 矢倉美祐 A

天体におけるトリプルアルファ反応率の決定には ^{12}C の第二励起状態 (^{12}C*; ホイル状態) の放射崩壊幅 Γ_{rad} が必要である。この Γ_{rad} は実験で直接測定することができないため、互いに独立な 3 つの実験値である放射崩壊分岐比 $\Gamma_{\mathrm{rad}}/\Gamma$、対崩壊分岐比 Γ_π/Γ、対崩壊幅 Γ_π から決定される。我々はこのうち最も精度の悪い対崩壊分岐比 Γ_π/Γ の精密測定を目指しており、実験は反応過程 $\alpha(^{12}\mathrm{C},\alpha_2)^{12}\mathrm{C}^*$; $^{12}\mathrm{C}^* \rightarrow {}^{12}\mathrm{C} + \mathrm{e}^+\mathrm{e}^-$ における反跳 α 粒子と、電子・陽電子対の同時測定を行う。^{12}C ビームとヘリウムガス標的を用いて、0 度の位置に設置された半導体検出器で反跳 α 粒子を、ヘリウムガス標的の周りに設置されたプラスチックシンチレーターで電子・陽電子対をそれぞれ検出する。

今回の実験では過去に行った検出器系のテスト実験結果を踏まえ、バックグラウンドの低減を目指して、0.2 気圧のヘリウムガス標的を Ta 膜で封入し、49.4 MeV の ^{12}C ビームを照射した。その結果、過去の実験と比べ、バックグラウンド量を半分以下に減らすことができた。また、バックグラウンド源を特定するための追加実験を実施した。本講演では、これらの実験結果を報告し、バックグラウンドのさらなる低減に向けた今後の実験セットアップについて展望を述べる。

C-8 CsI(Tl) シンチレータ信号波形の主成分分析による低エネルギー荷電粒子識別の性能評価

九大理 [A]　浜村大[A], 寺西高 [A], 林田昌大 [A], 橋本太一 [A], 藤澤輝郎 [A], 矢倉美祐 [A]

CsI(Tl) シンチレータでは、発光の減衰時間の粒子依存性を利用した波形弁別法（PSD）が荷電粒子識別に広く用いられている。今回、多変量解析手法のひとつである主成分分析（PCA）を粒子識別に適用した。当研究室で過去に測定した、SiPM 読み出しの CsI(Tl) 検出器による陽子, 重陽子, α線, γ線の信号波形データを用い、PCA と PSD の識別性能を FoM で比較し、特に低エネルギー領域での性能を評価した。本講演では、その結果を報告し、PCA による粒子識別の利点と課題を議論する。

C-9 Xe 原子封入セルのスピン緩和時間測定装置の開発

九大理 [A], 科学大総合 [B], 科学大理 [C], 理研仁科セ [D]　武内悠仁[A], 市川雄一 [A], 清水豪太 [A], 内田遥 [A], 廣田晴音 [A], 石堂泰雅 [A], 佐藤智哉 [B], 高峰愛子 [C], 郷慎太郎 [D], 上野秀樹 [D], 旭耕一郎 [D]

永久電気双極子（EDM）は CP 対称性の破れに感度のある観測量であり、物質優勢宇宙の謎を解く鍵として注目を集めている。我々は、核スピンメーザー法という独自の手法を用いて、Xe 原子の EDM の探索を目指している。　核スピンメーザー法は、核スピンのコヒーレンスを維持する手法であり、長時間の周波数観測により、EDM によるわずかな歳差周波数の偏移をきわめて精密に測定することが可能になる。　我々の用いている能動帰還型核スピンメーザー法では、原子核の歳差運動を光学的に観測し、取得した信号の位相・振幅を元に人工的に生成したフィードバック磁場を印加することで、核スピンのコヒーレンスを維持している。　我々の EDM の測定対象は 129Xe, 131Xe であり、これらの Xe 原子ガスの他、ヘリウム、窒素がバッファガスとしてガラスセルの中に封入されている。核スピンメーザーの安定化のためには、核スピン偏極度が高く、さらに横スピン緩和時間が長いセルを制作する必要がある。　そこで、ガスセル製作系、および製作したセルの性能を評価する装置の整備を行っている製作したガスセルに対して断熱高速型核磁気共鳴（AFP-NMR）法を用い、得られた共鳴信号から、セルの縦緩和時間や核スピン偏極度を測定する。また、パルス NMR 法による横スピン緩和時間の測定を行う。　本講演では、これらのセル製作過程および性能評価の現状について報告し、今後の核スピンメーザーの開発について議論を行う。

C-10 EDM 測定のための環境磁場補正コイルの性能評価

九大理 [A], 科学大総合 [B], 科学大理 [C], 理研仁科センター [D] 清水豪太[A], 市川雄一 [A], 武内悠仁 [A], 内田遥 [A], 石堂泰雅 [A], 廣田晴音 [A], 佐藤智哉 [B], 高峰愛子 [C], 郷慎太郎 [D], 上野秀樹 [D], 旭耕一郎 [D]

永久電気双極子モーメント（EDM）は素粒子標準理論を超える CP 対称性の破れに感度のある観測量である。我々は、核スピンメーザーの手法を用いて、核スピン歳差周波数の精密測定による Xe 原子の EDM 探索を行っている。高精度な周波数測定のためには、時間的および空間的に安定した磁場環境を構築する必要がある。本研究では、実験セットアップにおける磁場環境を定量的に評価するとともに、環境磁場補正コイルによる磁場安定化性能を評価することを目的とする。核スピンメーザーの実験セットアップでは、Xe を封入しているセルが 3 重磁気シールド内に配置する。そして、磁気シールドの外側に環境磁場補正コイルがあり、内部の磁場変動を抑制するようにフィードバック電流を流すようになっている。まず、フラックスゲート磁力計を用いて実験室内の複数地点における磁場の空間成分を測定し、環境磁場の空間分布を評価した。次に、3 重磁気シールド内部の残留磁場を測定し、EDM 測定ポイント付近の磁場強度や軸方向・径方向の磁場分布、磁場勾配を調べた。また、磁気シールドの開閉による残留磁場の変化についても評価した。さらに、環境磁場補正コイルを動作させたときの磁場の時間的変動を測定し、補正コイルによる磁場安定化の効果を検証する。フィードバック制御に用いる PID パラメータを変更し、磁場変動の大きさや応答速度、長時間安定度を評価する。これらの測定結果をもとに、核スピンメーザー実験に適した磁場安定化条件について検討する。本発表では、実験室内および磁気シールド内部の磁場環境の測定結果と、環境磁場補正コイルの性能評価について報告する。