

## VI. 原子核実験グループ

教授	三明康郎、小沢顕
准教授	江角晋一、笹公和
講師	中條達也
助教	Oliver Busch、坂井真吾、森口哲朗、鈴木伸司
研究員	松中 哲也
技官	加藤純雄
大学院生	福岡翔太 (D3)、木村創大 (D3)、向井もも (D3)、 中込宇宙 (D3)、田中直斗 (D3)、横山広樹 (D3)、 新井郁也 (D2)、野中俊宏 (D2)、細川律也 (D2)、 Murad Ahmed(D1)、青山遼 (D1)、杉浦哲郎 (D1)、李準一 (D1)、 伊藤喬一郎 (M2)、金秉徹 (M2)、小山亮平 (M2)、 工藤咲子 (M2)、松永一成 (M2)、福田悠裕 (M2)、 天野将道 (M1)、黒尾奈未 (M1)、細谷青児 (M1)、 佐藤 一輝 (M1)、レバザ義美 (M1)
卒業研究生	上岡大起、市沢太地、加藤浩樹、川名大地、川村陽太、 鈴木刀真、中川和也、西松巧矢、ジョン ホジュン

### 【1】低エネルギー原子核実験グループ

(小沢顕、笹公和、森口哲朗、鈴木伸司)

#### (1) 稀少 RI リング

稀少 RI リング (R3) は、約 10 年間の開発研究の末、平成 27 年 3 月に完成した。これまで 3 回のコミッションング実験を行なっている。平成 28 年度は、3 回目のコミッションング実験として、不安定核  $^{78}\text{Ge}$  周辺の質量既知核の質量測定を試みた。 $^{238}\text{U}$  の一次ビームから核分裂破断片として、 $^{78}\text{Ge}$  周辺の不安定核を生成した。生成直後に、エネルギー吸収板により、不安定核を約 180 A MeV まで減速させた。 $^{78}\text{Ge}$  を基準とし、 $^{78}\text{Ge}$  が R3 の入射ラインである BigRIPS、SHARAQ の中心軌道を通るように、ビームラインの磁場を設定した。さらに、個別入射のためのキッカー磁石のタイミングも、 $^{78}\text{Ge}$  に調整した。これらの調整により、 $^{78}\text{Ge}$  及び、その周辺の 4 つの不安定核 ( $^{79}\text{As}$ 、 $^{77}\text{Ga}$ 、 $^{76}\text{Zn}$ 、 $^{75}\text{Cu}$ ) を R3 に入射させ、さらに出射させることができた。質量測定のためには、R3 は等時性になければならない。基準となる  $^{78}\text{Ge}$  (約 180 A MeV) に対して等時性が成り立つように R3 内のトリムコイルを調整した。 $^{78}\text{Ge}$  に対する運動量と R3 内の飛行時間の相関を図 1 に示した。図 1 より、 $^{78}\text{Ge}$  では運動量の違いに対して、飛行時間の差はほとんどなく、等時性が実現できていることがわかる。入射ラインでは、各不安定核の速度も測定しており、イベントごとに、速度の補正が可能である。速度補正を施すことにより、 $^{78}\text{Ge}$  を質量の基準として、飛行時間の測定から  $^{79}\text{As}$  などの不安定核の質量が導出できる。質量導出については解析中である。平成 28 年 10 月には、重元素合成過程解明に関連して、R3 による Ni 同位体の質量測定のプロポーザルを理研 RI ビームファクトリーに提出した。プロポーザルは、12 月の PAC で審査され、採択された。平成 29 年度以降、Ni 同位体の質量測定を予定している。

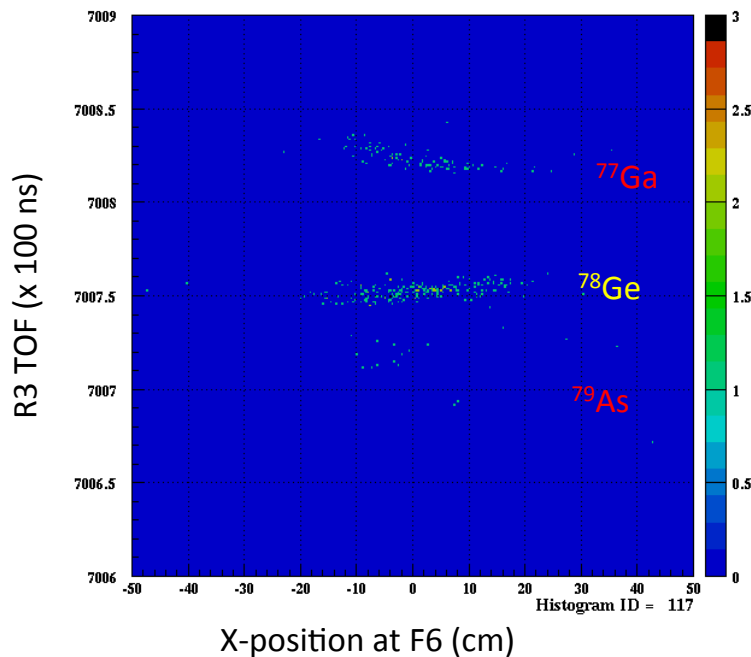


図1 R3での全飛行時間(R3 TOF)と運動量との相関。BigRIPSのF6焦点は、運動量分散を持っており、X方向の位置は運動量に対応している。

## (2) 飛行時間検出器の開発

稀少 RI リングを用いた質量測定実験では、飛行時間の測定から速度とリング内周期をそれぞれ決定して質量を求める。飛行時間測定に用いる検出器に求められる性能は、(1) 100 ps 以下の時間分解能、(2) 検出器通過による速度変化が  $10^{-4}$  以下であること、(3) 100% の検出効率、(4)  $\phi 30$  mm 以上のアクセプタンスを有することである。これらの要請を満足する飛行時間検出器の開発を行なっている。開発中の検出器は、荷電粒子が薄膜を通過した時に前方と後方に放出される二次電子を、電場と磁場を用いてマイクロチャンネルプレート (MCP) 検出器へと導き、荷電粒子を検出する。この検出器は、電磁場による二次電子の等時性輸送と薄膜を用いるため、所望の速度誤差に抑えることが原理的に可能である。重イオンの薄膜通過においては十分な量の二次電子が生成されるため、理想的な検出効率も見込める。

昨年度までは、 $\phi 25$  mm 以下の薄膜と  $\phi 15$  mm の MCP を使用した小型試作機を用いて開発を進めてきた。膜から発生した二次電子は放出角度や初期エネルギーに依らず等時性を持って MCP に到達するが、厳密には初期エネルギーの違いがわずかに影響し時間分解能に上限を与える。この効果を小さくするため、電場をこれまでよりも大きく約 700 V/mm 程度まで印加可能にした。MCP への輸送方向と垂直な方向には電磁力が働かないので二次電子の垂直方向の運動は発散し、MCP の検出領域から逃れる二次電子が存在する。この影響を小さくして検出効率を改善するため、磁場を約 180 Gauss まで大きくして早い二次電子の収集を図った。重イオンビームを用いた性能試験では、炭素薄膜 (厚さ  $50 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) を用いて時間分解能 40 ps 以下と検出効率 99% を記録し、アクセプタンス以外の性能は要求を満足した。

小型試作機での経験を生かし、今年度は、RIBF での質量測定実験に用いる大型実機の作成を行なった。大型実機では、電場と磁場の大きさは小型試作機と同程度に保ち、 $\phi 45$  mm の薄膜と  $\phi 42$  mm の MCP を備えることにより有効領域を拡大した (図 2)。重イオンビームを用いた性能試験では、炭素薄膜 (厚さ  $30 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) を用いた場合、前方放出と後方放出のどちらも時間分解能は  $\sigma \sim 60$  ps であり、検

出効率は最大 99% を得た。しかしながら二次電子の輸送時間は約 180 ps の位置依存性があり、満足できる性能ではなかった。今後は、電磁場の均一度を上げて二次電子の輸送時間が薄膜位置に依らないよう改善し、質量測定に使用できるよう完成を目指す。

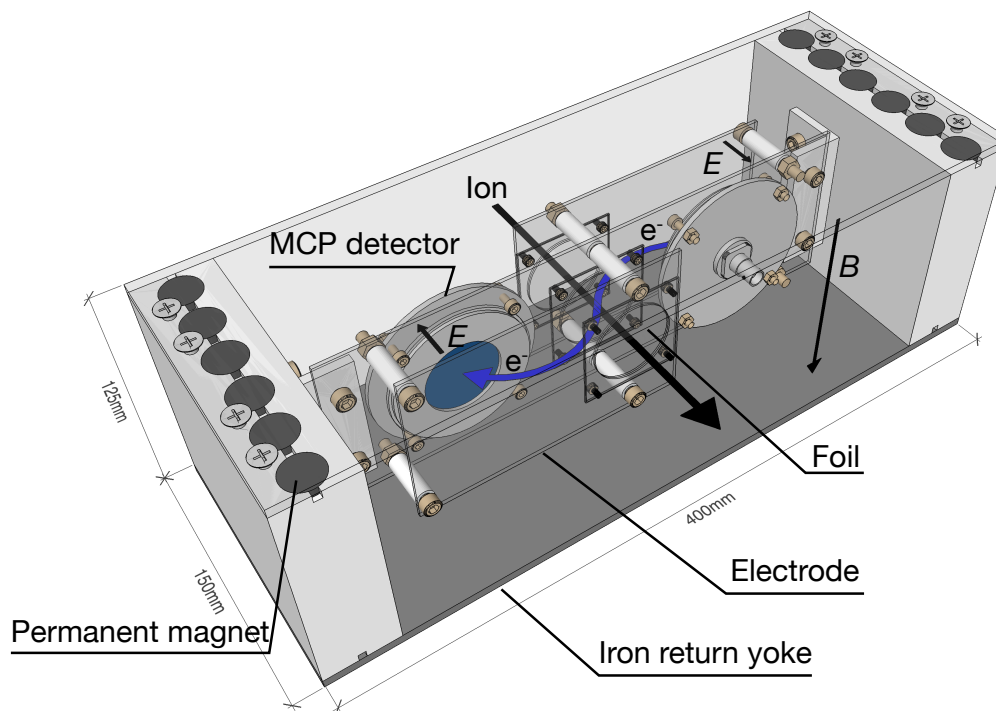


図 2 飛行時間検出器の大型実機の模式図。中心電極の薄膜から発生した二次電子を検出する。外側の電極の薄膜は、均一な電場の生成のために用いる。

### (3) 陽子吸収反応による不安定核の生成

我々は、不安定核の核モーメント測定を目標として、偏極陽子ビームによる陽子吸収反応による核偏極した不安定核の生成を試みている。これまで、1 MV タンデロンにおいて Mg と Si 標的を使用して、陽子共鳴吸収反応により不安定核の生成を試みた。Ge 検出器での  $\gamma$  線測定から、それぞれの標的で不安定核  $^{25}\text{Al}$  ( $T_{1/2}=7.1$  s) と  $^{30}\text{P}$  ( $T_{1/2}=150$  s) が生成できていることが確認できた。平成 28 年度は、平成 28 年 3 月から供用が開始された 6MV タンデム加速器に移行して、実験を行なった。平成 28 年度は、無偏極陽子ビームを使って実験を行なった。6MV タンデム加速器により 3 MeV に加速された陽子ビームを、A6 コースに置かれたチェンバー内に設置した厚さ 0.5mm の Si 標的に照射した。Si は 3 つの安定同位体を持つ ( $^{28}\text{Si}$  : 存在比 92.2%,  $^{29}\text{Si}$  : 4.7%,  $^{30}\text{Si}$  : 3.1%)。陽子ビームは、Si 標的中で止まるまでに、共鳴反応を含む陽子吸収反応を起こす。陽子吸収反応で生成され得る  $^{29}\text{P}$ 、 $^{30}\text{P}$ 、 $^{31}\text{P}$  のうち、 $^{29}\text{P}$  ( $T_{1/2}=4.1$  s)、 $^{30}\text{P}$  は不安定核であり  $\beta$  崩壊する。 $\beta$  崩壊に伴う  $\beta$  線を測定するために、標的上部に 2 枚のプラスチックシンチレーターを設置した (厚さはそれぞれ、1mm と 2mm)。2 枚のシンチレーターの信号のコインシデンスを  $\beta$  線と判断する。陽子ビーム (強度、約 50 nA) を 100 秒間照射後に観測した  $\beta$  線の時間スペクトルを図 3 に示した。 $\beta$  崩壊の早い成分と遅い成分が観測された。 $^{29}\text{P}$  と  $^{30}\text{P}$  の半減期を仮定してフィットした結果を実線で示した。フィットした結果より評価した  $^{29}\text{P}$  と  $^{30}\text{P}$  の  $\beta$  線生成量は、それぞれ、0.12 cps/nA、0.30 cps/nA となった。今後は、偏極陽子ビームを使用して、生成した

不安定核 ( $^{29}\text{P}$  と  $^{30}\text{P}$ ) の核偏極量を測定するとともに、Mg を含む標的でも実験して  $^{25}\text{Al}$  の生成量評価と核偏極生成を行う。有意な核偏極が観測できれば、 $^{30}\text{P}$  および  $^{25}\text{Al}$  などの核モーメント測定を行う。

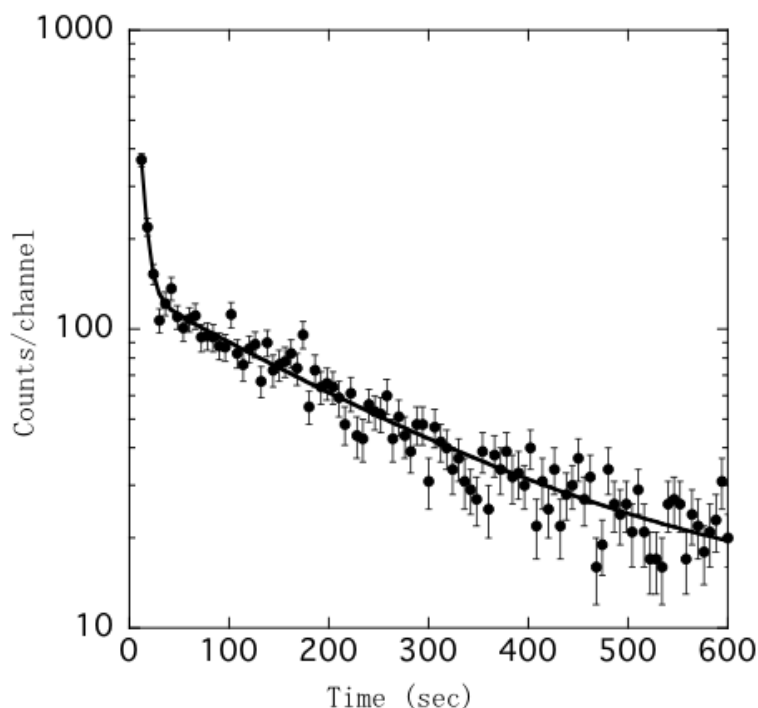


図3 3MeV 陽子、Si 標的における  $\beta$  線の時間スペクトル。実線は  $^{29}\text{P}$  と  $^{30}\text{P}$  の半減期を仮定してフィットした結果。

#### (4) KISS の開発・研究状況

KISS は天体核物理の興味から中性子数  $N = 126$  周辺核の  $\beta$  崩壊核分光を行うために、KEK により開発されている元素選択型質量分離器である。KISS ではアルゴンガス捕集型レーザーイオン源と質量分離装置を用いて、多核子移行反応による生成物から単一核種だけを引き出すことが可能である。引き出した単一核種について  $\beta$  線検出器と線検出器からなる検出器系で  $\beta$  崩壊核分光を行う。

これまでは、一次ビームが通過する薄膜内での発熱のために、20pA 以上の一次ビーム強度を使用することができなかった。未知の中性子過剰核の  $\beta$  崩壊核分光のためには、一次ビーム強度の増強が不可欠であり、このために、回転標的/エネルギー減衰板、ドーナツ型ガスセルが導入された。ドーナツ型ガスセルでは、一次ビームが貫通口を通過することにより、ガスセル内への一次ビームの影響を抑えることが可能である。9月に行ったオンライン試験では100pAまでのビームを入射することができ、不安定核  $^{199}\text{Pt}$  をこれまでの10倍の収量で引き出すことに成功した。

KISS から中性子過剰核の引き出しレートは数 cps 以下であるため、有意で効率の良い  $\beta$  崩壊核分光のためには、低バックグラウンド・高効率な  $\beta$  線検出器が必要である。KISS では新たに複数分割型のガス検出器を開発した。複数に分割した検出器のヒットパターンを解析することで、バックグラウンド事象と埋め込み位置からの  $\beta$  線とを区別できる。 $\beta$  線検出器として以前に KISS で使用していたプラスチックシンチレータと比較すると、エネルギー閾値を  $1/4$  程度に抑えることができ、検出効率は約2倍 ( $Q_\beta = 1\text{MeV}$ ) になる見込みである。本検出器の立体角は80%で、オフラインで測定した固有効率は

95% だった。実際の検出器位置で、宇宙線のための VETO カウンターによる VETO を有効にし、鉛シールドを設けた状態で測定したバックグラウンドレートは 0.1cps だった。標的周辺の核種について十分に  $\beta$  崩壊分光が行うことができる。オンライン試験で本検出器を用いて複数の核種について半減期測定を行い、先行研究の値と一致することを確認した。

KISS では、励起用レーザーの波長走査と  $\beta$  線検出器での  $\beta$  線計数を組み合わせることで、レーザー共鳴イオン化法による超微細構造測定が可能である。平成 28 年度に行われたオンライン試験では、 $^{199}\text{Pt}$ 、 $^{199\text{m}}\text{Pt}$ 、 $^{196-198}\text{Ir}$  について超微細構造測定を行った。図 4 に  $^{196}\text{Ir}$  の測定結果を示す。超微細構造と同位体シフトから、核磁気モーメントと荷電半径の変化を導出する。結果を理論計算と比較し、これらの核種の基底状態及びアイソマー状態の核構造を明らかにする。

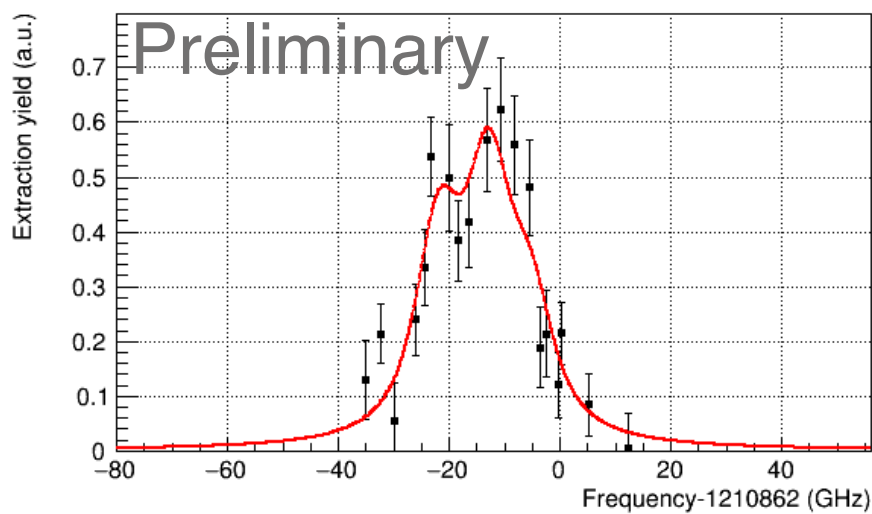


図 4  $^{196}\text{Ir}(I^\pi = (0, 1)^-)$  の超微細構造測定結果。赤線は  $I = 1$  を仮定した場合のフィッティング結果

#### (5) MRTOF を用いた中性子欠乏核の精密質量測定

陽子過剰側な原子核の質量は I 型 X 線バーストを駆動する早い陽子捕獲過程 (rp 過程) において重要な役割を演じており、高精度 ( $\delta m/m < 10^{-7}$ ) の質量データが求められている。そこで現在理化学研究所で開発が進められている多重反射型質量測定器 MRTOF とガス充填型反跳核分離装置 GARIS-II を組み合わせた SHE-mass facility を用いての中性子欠乏な中重核の精密質量測定を行なった。実験は理研重イオンリニアックより供給された  $3\text{ }\mu\text{A}$  の高強度  $^{36}\text{Ar}$  ビームを用い、標的については Ti バッキングサポートの  $\text{Mo}^{\text{nat}}\text{S}_2$  標的を使用した。質量測定は二つの融合蒸発反応、 $^{\text{nat}}\text{S}(^{36}\text{Ar}, \text{X})$  および  $^{\text{nat}}\text{Ti}(^{36}\text{Ar}, \text{X})$  の反応生成物に対して行い、質量数  $A=65-67$  および  $A=79-81$  の範囲で計 25 種類のイオンについて測定を行なった。質量決定にはシングルリファレンス法を採用した。図 5 に本実験の測定結果を示す。本実験の測定精度は  $\delta m/m \sim 10^{-8} - 10^{-7}$  の範囲にわたり、最も高精度で測定された  $^{65}\text{Ga}$  の場合  $1.9 \times 10^4$  イベントで  $\delta m/m = 3.5 \times 10^{-8}$  ( $\delta m = 2.1\text{ keV}$ ) の相対質量精度を持って質量を決定した。また従来間接的手法を用いて質量が評価されてきた  $^{67}\text{Ge}$  および安定核である  $^{81}\text{Br}$  について初めて直接測定を行い従来の値からそれぞれ  $-17\text{ keV}$  および  $+22\text{ keV}$  異なっていることを示した。

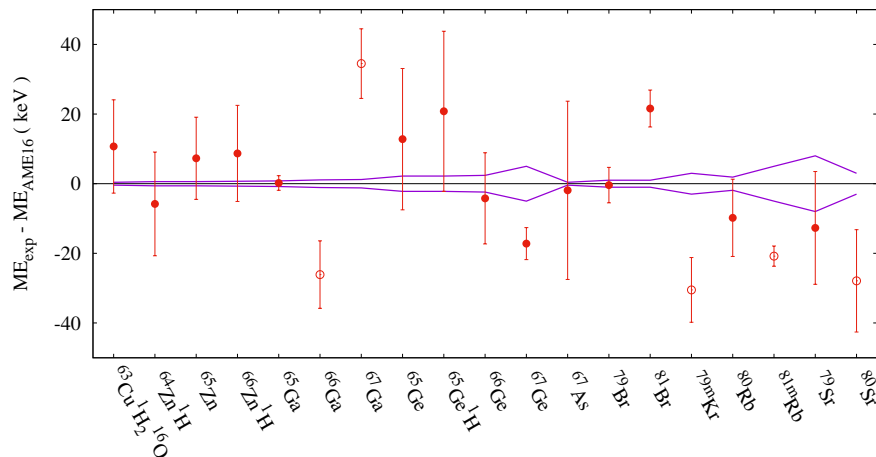


図5 測定された質量超過値と文献値の差。紫の実線は文献値、The 2016 Atomic Mass Evaluationの誤差を表している。解析から得られた質量超過値の確度が低いと判断したものについては白丸で示している。

#### (6) 宇宙用素子照射試験装置の開発

宇宙用機器や原子力施設及び原発の廃炉作業等で使用する機器に搭載する民生用半導体素子について、放射線耐性試験の需要が高まっている。筑波大学では、JAXA との共同研究により、宇宙用素子照射試験装置の開発を進めている。

放射線環境におけるデバイスのシングルイベント発生頻度は、LET の低い数  $10 \text{ MeV}/(\text{mg}/\text{cm}^2)$  以下の領域に閾値があり、タンデム加速器による加速粒子エネルギー範囲と一致する。開発した宇宙用素子照射装置は、筑波大学 6 MV タンデム加速器の L2 コース ( $\text{ME}/q^2 = 176 \text{ amu MeV}$ ) に設置しており、ビーム拡散用の散乱体を導入可能な微弱ビーム形成部と直径 1,020 mm の真空槽からなる照射試験部、集中制御・計測部と真空排気系システム部から形成されている。照射試験部には、遠隔操作で XY の 4 軸が駆動する A5 版サイズ (148 × 210 mm) の試料ホルダーが設置されている (図 6)。半導体素子への照射では、照射粒子を均一に分散させる必要がある。また、照射量としては微弱な  $10^2\text{-}10^4 \text{ ions}/\text{cm}^2/\text{s}$  程度であり、現在、大面積の均一照射野を形成するイオン照射技術の開発を実施している。イオン照射試験では、加速電圧 5 MV を用いて、 $\text{C}^{4+}$ 、25 MeV での照射試験を実施した。2  $\mu\text{m}$  の Au 散乱体を用いて、57 × 57 mm のほぼ正方形のビーム照射野が得られた。Au 散乱体と集束用四重極電磁石のビーム拡散調整により、ビーム均一度は約 90% を達成した (図 7)。本照射装置は、民生用半導体素子を宇宙転用できるかの一次評価試験において、有用な設備になると期待されている。

#### (7) 構造材料計測用マイクロビーム分析装置の開発

産業イノベーション創出において重要な航空機等で使用される構造材料の革新的開発推進において、未活用情報を明らかにする先端計測技術の開発が求められている。2016 年 3 月より稼働を開始した筑波大学 6 MV タンデム加速器において、構造材料計測用マイクロビーム分析装置の開発整備を進めている (図 8)。マイクロビーム形成用レンズとして Oxford Microbeams 社製 OM-2000 を用いており、ビーム収束径としてサブミクロンの MeV 級イオンビームの形成を目指している。マイクロビーム分析装置



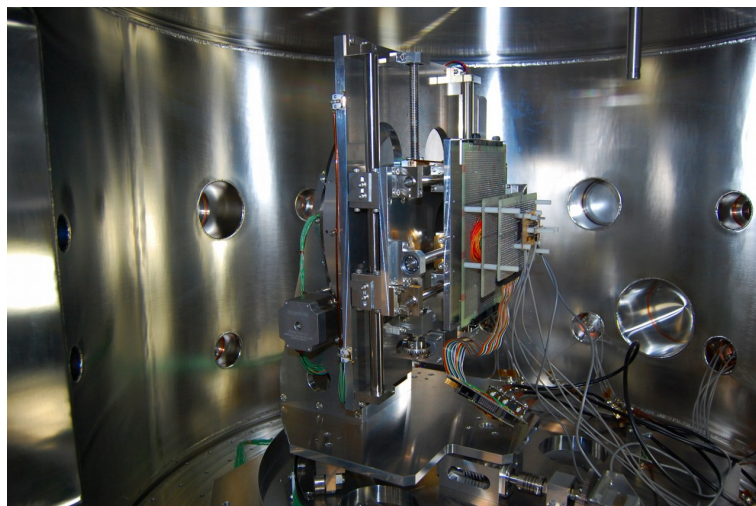


図 6 宇宙用素子照射装置の試料照射台。

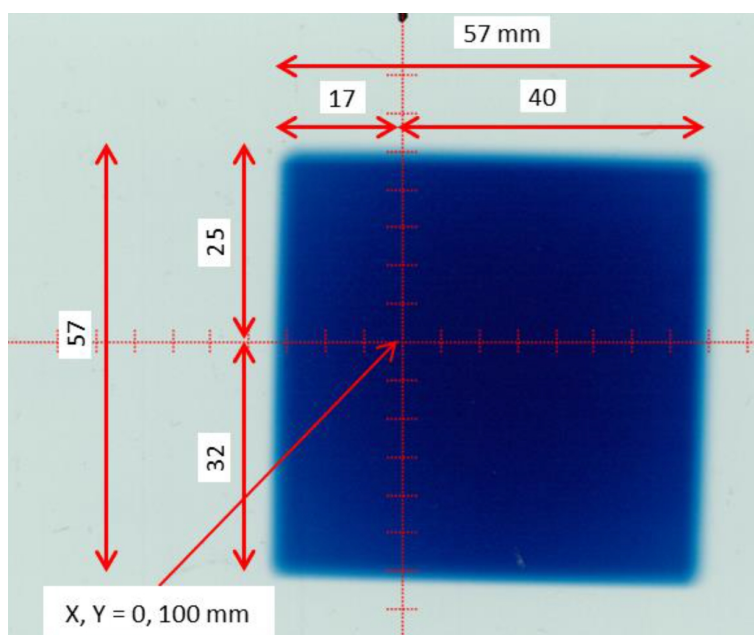


図 7 ガフクロミックフィルムを用いたビーム照射面内形状の測定（JAXA 共同研究）。

では、BGO 検出器を用いた NRA による水素分析の他に、PIXE を用いた構造材料中の軽元素と微量添加元素の分析及び元素分布イメージング測定を実施する。ホウ素・炭素等の軽元素の特性 X 線を計測できる検出器としては、シリコンドリフト型検出器を導入している。また、より高い検出効率を目指して、産業技術総合研究所において超伝導トンネル接合 (STJ) 検出器の開発も進めている。その他、標的のビーム照射野に対して、ビーム軸に沿って正面から試料を観察可能な実験真空槽の設計と開発も実施した。

現在、マイクロビーム分析装置は調整試験を実施しており、ビーム径として  $2\text{ }\mu\text{m}$  までのビーム収束に成功している。また、2 次元イメージング試験測定にも成功しており（図 9）、今後、サブミクロンのビーム収束径の形成を図り、構造材料中の水素・軽元素及び添加微量元素のイメージング測定を実施す

る予定である。

本研究は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の SIP「革新的構造材料」の支援により実施している。

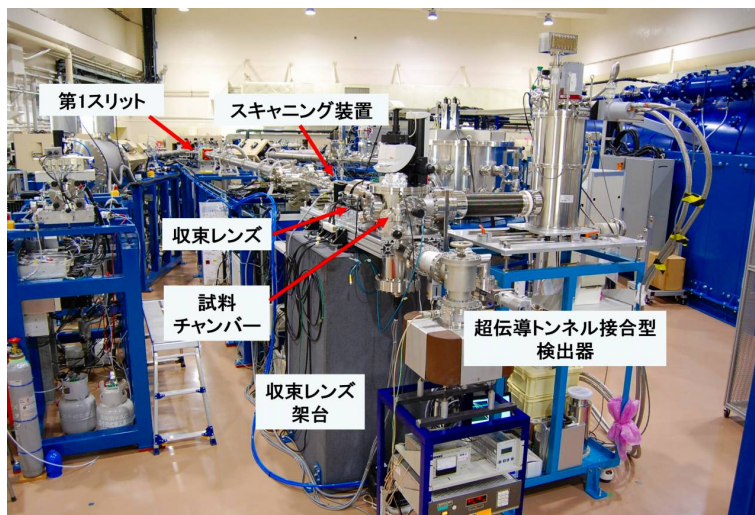


図 8 構造材料計測用マイクロビーム分析装置。

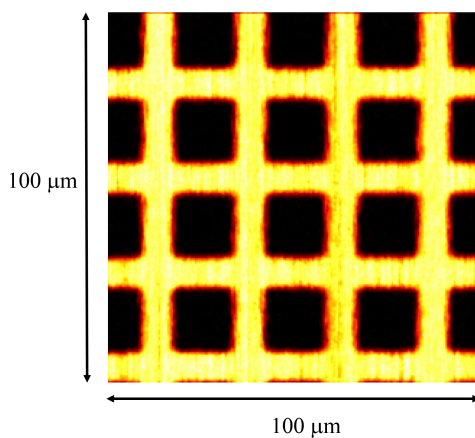


図 9 銅メッシュ（1000 メッシュ/インチ）の STIM 測定で得られた画像（100  $\mu\text{m}$   $\times$  100  $\mu\text{m}$ ）

#### (8) 加速器質量分析法による長寿命放射性核種 $^{41}\text{Ca}$ の超高感度検出

加速器質量分析法 (AMS) は同位体  $10^{-16}$  程度まで検出可能な超高感度分析手法である。 $^{41}\text{Ca}$  (半減期:  $1.03 \times 10^5$  年) は長寿命放射性核種であり、主に  $^{40}\text{Ca} (n, \gamma) ^{41}\text{Ca}$  で生成される。他にも Fe, Ni, Ti などの核破砕反応で生成される場合もある。つまり、 $^{41}\text{Ca}$  は宇宙線生成核種であるので、隕石や地表岩石の表面照射年代、落下年代の測定に用いられる。また生体トレーサーや原子力施設の廃棄物におけるクリアランス対象核種としても重要な核種である。しかし、 $^{41}\text{Ca}$  は同重体  $^{41}\text{K}$  が検出に影響する。また、Ca は電子親和力が低いいため単原子負イオンではビームが取り出せないという問題が存在する。そのため、国内では測定手法が確立されていない核種であり、測定手法が確立されれば放射化学、地球環境科



学などの幅広い分野での発展が期待できる。そこで、筑波大学 6MV タンデム加速器における AMS システムを用いて  $^{41}\text{Ca}$  の AMS 測定開発を行った。まず、同重体  $^{41}\text{K}$  については重イオン粒子輸送計算コード (PHITS) を用いて、5 枚電極型電離箱内での荷電粒子の挙動を再現し、 $^{41}\text{Ca}$  と  $^{41}\text{K}$  のスペクトルの分離が最大になる条件を検討した。PHITS の計算結から、入射膜は窒化シリコン膜 75 nm を用いて、検出器にイソブタンガスを 25 Torr を封入することによって 2 核種のスペクトル分離が最大になる結果を得た。また、ビーム引き出しの問題に対しては  $\text{CaF}_2$  試料から  $\text{CaF}_3$  を引き出すことによって最大 500 nA のビーム電流を得た。また、タンデム加速器における荷電変換分布の測定を行い、最も多く生成される  $^{41}\text{Ca}^{5+}$  を選択することによって、測定効率の向上と検出限界を引き下げる試みを行った。以上の試みによって、検出限界は  $^{41}\text{Ca}/^{40}\text{Ca} \sim 3 \times 10^{-15}$  を達成し、3 % の測定精度を得た。 $^{41}\text{Ca}$  の AMS 測定は国内初であり、国外の他施設とも比較しても高い電流値、低い検出限界を達成した。

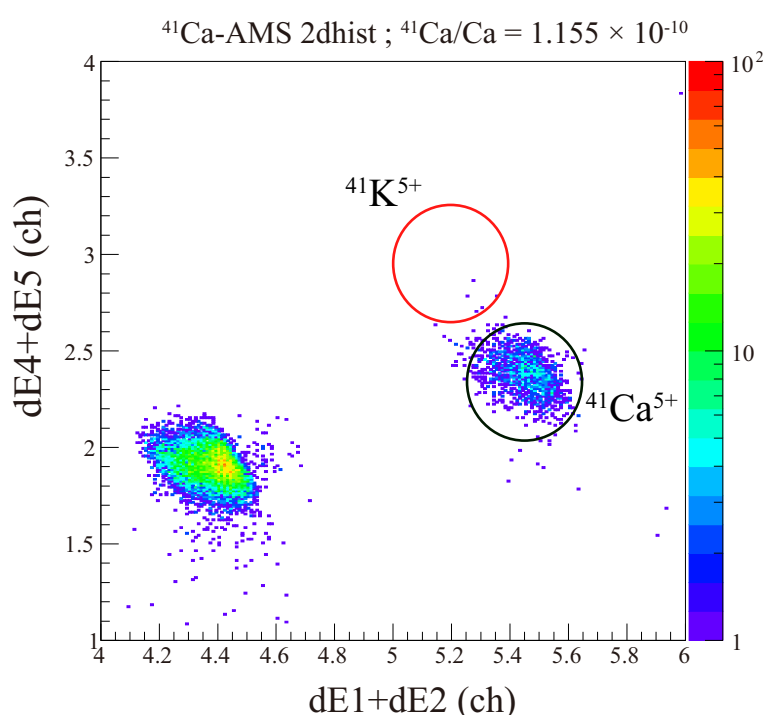


図 10  $^{41}\text{Ca}$ -AMS における標準試料 ( $^{41}\text{Ca}/\text{Ca} = 1.155 \times 10^{-10}$ ) 測定の測定結果。標準試料には  $^{41}\text{K}$  の汚染はほぼ見られなかった。

#### (9) Lamb シフト型偏極イオン源の偏極ビームの生成

筑波大学研究基盤総合センター応用加速器部門の Lamb シフト型偏極イオン源 (PIS) は、東日本大震災による大きな被害を受けたが、平成 26 年度末までに再構築を終え、平成 27 年度には PIS からのビーム加速試験を行った。平成 28 年度は、主に、偏極ビームの生成試験を実施した。

PIS における核偏極の生成にとって、スピフィルター (SF) は重要なデバイスである。SF は、(1) ビーム方向の一樣磁場、(2) 1610 MHz のビーム方向の振動電場、(3) ビームに垂直方向の静電場、をかけることができる。これらのパラメータを適切に設定することで、陽子および重陽子において核スピンの揃った状態のビームを取り出すことができる。我々は、初めに SF の磁場測定や共振周波数などの確認を行い、その後、偏極ビームの生成試験を行った。

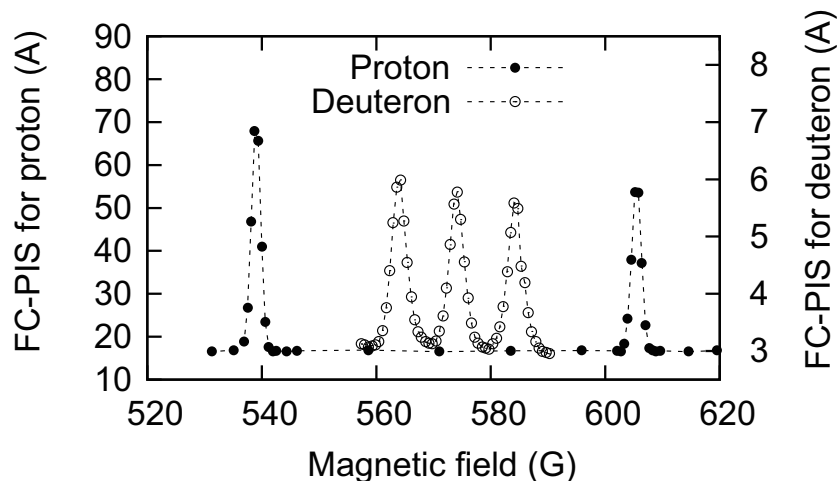


図 11 SF の磁場を変化させ、PIS 末端におけるファラデーカップで測定したビーム電流の絶対値。

SF の磁場測定では、磁場と電流との間には良い直線性があり、偏極生成にとって必要な磁場がかかることを確認した。振動電場をかけるための電源の発振周波数は 1610 MHz であり、特に問題はなかった。一方、SF の共振周波数を調べたところ、1609.475 MHz であり、発振周波数である 1610 MHz からのシフトが確認された。SF のコイルへの通電を止めてから 2 時間後の共振周波数は 1609.875 MHz であり、発振周波数に近づく方向へ変化した。このことから、我々は通電による SF の温度上昇が共振周波数のシフトを生じさせると考えた。そこで、我々は、大型ファン 2 台を用いて SF を外部より冷やしながら、核偏極の生成試験を実施した。図 11 は、SF の磁場を変化させた時の PIS 末端におけるファラデーカップ (FC-PIS) で測定したビーム電流である。実際は、陽子および重陽子は 1 荷の負イオンとして引き出されるので、FC-PIS では負の電流値として測定される。陽子の場合、SF の磁場を 540 G と 605 G に設定した時に、それぞれ、核スピンの磁気量子数  $m_1 = +1/2$  と  $m_1 = -1/2$  に対応する共鳴ピークを観測した。このとき、540 G のピークにおいて、クエンチング法による偏極陽子ビームの偏極度は約 80% だった。また、重陽子の場合、SF の磁場が 565 G、575 G、585 G の時に、それぞれ、 $m_1 = +1, 0, -1$  に対応する共鳴ピークを観測した。冷却用の大型ファンを用いない場合、陽子や重陽子におけるこれらの共鳴ピークは見られなかったことから、核偏極の生成にとって SF の冷却は重要であることがわかった。今後は、SF の冷却システムを改善すると共に、ビームコース末端にポラリメータを設置し、核反応を用いた核偏極度測定を進める予定である。

#### (10) 固体水素標的を用いた不安定核のスキン厚導出手法の開発

不安定核にはスキン構造と呼ばれる安定核に見られない現象がある。スキンとは不安定核の表面に現れる過剰の中性子もしくは陽子の層を指す。不安定核におけるスキン厚の実験値は、これまで、オプティカルアイソトープシフト (OIS) の測定と反応断面積の測定から導出してきた。ところが、OIS の測定は実験的な制限により測定可能な同位体が限られており、不安定核のスキン厚の実験データは乏しいのが現状である。本研究は、反応断面積測定だけから不安定核の陽子密度分布と中性子密度分布を別々に求め、それらからスキン厚を導出することを目的とする。

本研究にとって、固体水素標的は重要である。核子核子全断面積は約 100 MeV 以下のエネルギー領域で同種粒子間よりも陽子-中性子間の方が約 3 倍大きいという特徴を持つ。これは、入射核の中性子密度分布の情報を引き出すために水素標的が有効なツールであることを意味する。既に、我々は先行研

究において、中性子過剰核  $^{11}\text{Li}$  を対象に、固体水素標的を用いた反応断面積測定を実施し、 $^{11}\text{Li}$  の陽子密度分布と中性子密度分布の導出に成功した。本研究はこれを発展させるものであり、特に、陽子過剰核の陽子スキン厚の導出を試みる。研究対象としては、初めに  $^{17}\text{Ne}$  を考えている。 $^{17}\text{Ne}$  は陽子ドリップライン核であり、既にスキン厚の実験値は報告されている。そのため、本研究で得た実験値との比較が可能であり、本手法の妥当性を評価できる。

実験は放射線医学総合研究所の HIMAC を用いて行った。一次ビームとして核子当たり 180 MeV の  $^{20}\text{Ne}$  を利用した。平成 28 年度は、初めての実験ということで、 $^{20}\text{Ne}$  の荷電変換断面積（反応によって陽子数が変化する確率）を測定し、検出器系やデータ収集系等の測定システムの確認を行った。また、次回以降のマシントimeに繋げるよう、 $^{20}\text{Ne}$  ビームから生成される  $^{17}\text{Ne}$  の収量の確認を行った。

本実験によって得られた  $^{20}\text{Ne}$  の断面積データは、これまでの先行研究と同様の傾向を示し、測定システムは問題無いことを確認した。また、実際に実験で得られた  $^{17}\text{Ne}$  の収量は予想値の約 3 分の 1 であることがわかり、今後の実験計画を立てる上で重要な情報を得ることができた。今後は、 $^{17}\text{Ne}$  の反応断面積測定を実施し、スキン厚を導出することで、本手法の妥当性を確認する。その後、スキン厚が未知の不安定核を対象とした反応断面積測定に進む予定である。

## 【2】高エネルギー原子核実験グループ

(三明康郎、江角晋一、中條達也、Oliver Busch、坂井真吾、加藤純雄)

### (1)LHC-ALICE 実験 陽子 + 陽子、鉛 + 鉛衝突における荷電粒子ジェット生成量測定

本研究では、以下の 2 点を主目的として、2015 年に LHC-ALICE 実験において収集された重心系衝突エネルギー 5.02 TeV での陽子-陽子実験における荷電粒子ジェットの生成量測定を行った。

1. 摂動論的量子色力学 (pQCD) による理論計算及び高エネルギー粒子衝突実験に用いられるモンテカルロ (MC) イベントジェネレータのテスト
2. 同じ重心系衝突エネルギーにおける重イオン衝突実験に対して基準となる結果の確立

図 12 はジェット半径  $R=0.4$  として測定した荷電粒子ジェット生成微分断面積である。pQCD 計算に基づく MC イベントジェネレータを用いたシミュレーション (PYTHIA 及び POWHEG) は実験結果をよく再現し、特に、NLO の精度での計算 (POWHEG) は非常によく実験結果と一致した。また、図 13 はジェット半径  $R=0.4$  及び  $R=0.2$  として測定した荷電粒子ジェット生成微分断面積の比である。この量は生成されたジェットの空間的発展に鋭敏な量の一つであり、高横運動量を持つジェットほど収束した形となることが示されている。加えて、この高横運動量ジェットの収束及びその割合もシミュレーションによってよく再現された。以上を測定するにあたり、実験データに含まれる検出効率や運動量分解能といった検出器効果は、Geant3[16] を用いたシミュレーションによって検出器応答を見積もり、SVD unfolding method[17] を用いて補正した。これらの結果は同じ重心系衝突エネルギーでの鉛-鉛衝突実験における測定結果との比較を合わせ、Hard Probes 2016 及び Quark Matter 2017 国際会議において発表された。

重イオン衝突を用いたクォーク・グルーオン・プラズマ相 (QGP) の物性探索において、衝突初期に作られる高横運動量パートンは有用なプローブとなりうる。このパートンは QGP との相互作用を経てジェッ

ト事象として観測されるため、重イオン衝突におけるジェットの形状変化測定はパートンを用いた QGP のトムグラフィーと考えられる。本年は、LHC にて 2015 年 11 月より行われた  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02\text{TeV}$  の陽子 + 陽子及び鉛 + 鉛衝突実験でのデータを用いて、QGP に起因する荷電粒子ジェット抑制の測定を行った。重イオン衝突実験における、ジェット形状変化を示唆する測定量として、陽子 + 陽子衝突と鉛 + 鉛衝突での生成量比 ( $R_{AA}$ , 式 1) が代表的である。

$$R_{AA} = \frac{dN_{jets}^{AA}/dp_T}{\langle T_{AA} \rangle d\sigma_{jets}^{pp}/dp_T}. \quad (1)$$

本研究にて得られた  $R_{AA}$  の中心衝突度依存性を図 14 に示す。ここで、鉛 + 鉛衝突の中心衝突において、ジェットの強い収量抑制が観測された。この結果に関して、国際会議 (Hard Probes 2016, 中国武漢, 2016 年 9 月) にて議論を行った。その後、ジェットの広がり方の評価のため、ジェット半径依存性の評価を開始した。

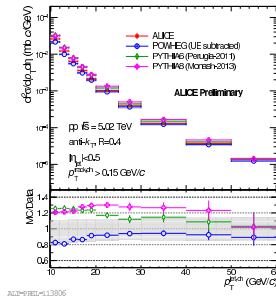


図 12 ジェット生成微分断面面積 ( $R=0.4$ )

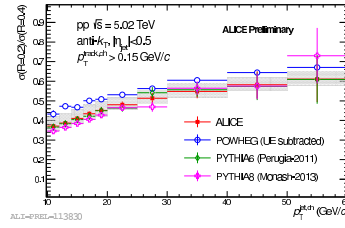


図 13 ジェット生成微分断面面積の比 ( $\sigma(R = 0.2)/\sigma(R = 0.4)$ )

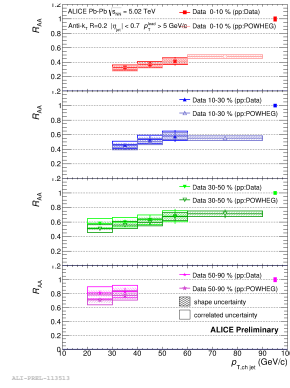


図 14  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02\text{TeV}$  鉛 + 鉛衝突、荷電粒子 Jet の  $R_{AA}$

## (2)LHC-ALICE 実験 $\sqrt{s_{NN}} = 2.76\text{ TeV}$ Pb+Pb 衝突における HBT 測定のイベント平面依存性

相対的重イオン衝突により、誕生した直後の宇宙に存在したとされるクォーク・グルーオン・プラズマを再現し  $\pi$  中間子を用いた HBT 測定から、クォーク・グルーオン・プラズマの集団運動的な発展や粘性、初期幾何学的形状が関係する終状態の系の幾何学的形状を調べた。しかし、HBT 半径は終状態の幾何学的形状だけでなく系の膨張にも敏感な測定量である。そこで、近年注目されている方位角異方性の強度を示すベクトルを用いて衝突毎に方位角異方性の強い(または弱い)事象を選ぶ手法 (Event Shape Engineering)[18] を HBT 測定と組み合わせ、終状態の形状と系の膨張に敏感である方位角異方性との関係を調べた。

図 15 に、HBT 測定より求めた終状態における系の楕円形状(赤・黄)と三角形形状(青・緑)の中心衝突度依存性を示した。黄、緑はそれぞれ 2 次、3 次の方位角異方性が大きな事象における形状である。楕円形状は中心衝突度に大きく依存し周辺衝突ではより楕円形状となる。また、方位角異方性が大きな事象では終状態の形状がより楕円形となる。三角形形状は中心衝突度にはあまり依存しない。 $R_{side}$  は 2 次のイベント平面依存性と異なり、負の値を持つ。また 3 次の方位角依存性の大きな事象を選んででも大きな変化は観測できなかった。

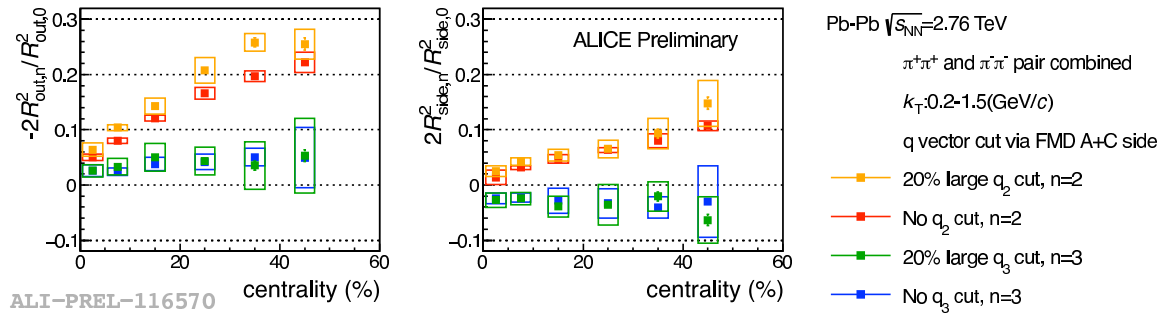


図 15  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76\text{TeV}$  鉛 + 鉛原子核衝突における HBT 半径の 2 次・3 次の振幅の中心衝突度依存性

### (3)LHC-ALICE 実験にでの重いクォーク (charm と beauty quark) の測定

チャームクォークやボトムクォークは質量が大きいため、主に衝突初期の hard scattering によって生成される。高エネルギー原子核衝突では衝突初期に作られたチャームクォークやボトムクォークは、衝突によって生成される高温高密度物質 (QGP) を通過してくるため、その測定は QGP の性質を調べる上で有用なプローブだと考えられている。チャームクォークやボトムクォークはその重い質量のため、 $u, d, s$  などの軽いクォークと比べて QGP 中での振る舞いが違うことが予想されている。図は LHC-ALICE 実験での鉛 + 鉛衝突 5.02TeV における D meson と D meson 及び B meson から崩壊してくる電子の  $R_{AA}$  (陽子 + 陽子衝突と鉛 + 鉛衝突の比) の測定結果である。測定結果はともに  $R_{AA}$  が 1 より小さく、これは鉛 + 鉛衝突において D meson 及び B meson の生成量が抑制されていることを示唆している。この原因はチャームクォークやボトムクォークが QGP 中でエネルギーを失うためだと考えられている。今後は電子の測定においてチャームクォークとボトムクォーク起源の電子を分けることによりボトムクォークのエネルギー損失の研究、 $\Lambda_c$  などのチャームクォークを含む粒子、さらにチャームクォークとボトムクォーク起源の jet を測定することによりパートンレベルでの重いクォークを用いた QGP の研究を行う予定である。

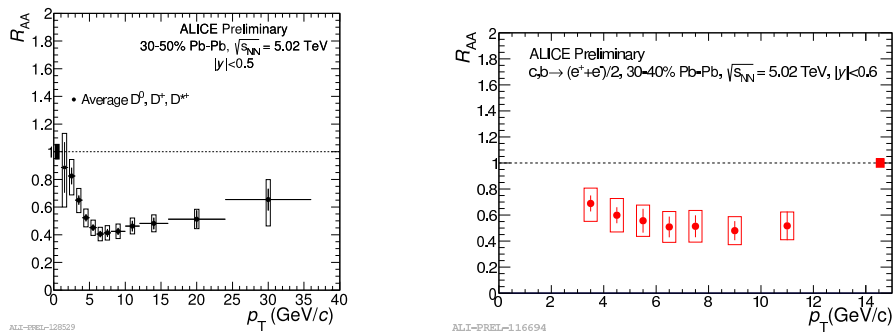


図 16 D meson(右) と D 及び B meson 起源の電子の  $R_{AA}$

### (4)RHIC-PHENIX 実験における銅・金衝突での方位角異方性測定

米国 BNL の RHIC-PHENIX 実験では、相対論的速度での重イオン衝突実験が行なわれており、QGP



物性の研究が進められている。重イオン衝突での QGP 研究に有効なプローブとして発生粒子の方位角異方性測定がある。衝突後の系は、衝突初期形状が崩れる前に中のパートンが激しく散乱し熱平衡状態に達し、初期形状に起因した内部圧力を生み膨張する。衝突初期形状が楕円型ならば楕円型の膨張をし、三角形型ならば三角形型の膨張をするため、発生粒子の方位角異方性は衝突初期形状を起源とし QGP の膨張に影響を受ける測定量となる。RHIC ではこの衝突初期条件形状の為に、非対称系の銅・金衝突が行なわれた [19]。銅・金衝突では金と銅原子核の衝突関与部の形状が異なるため、銅 / 金原子核が進む領域（前方 / 後方）での衝突初期形状が異なる可能性がある。図 17 の左の図は前方 / 後方領域での楕円型異方性の強度  $v_2$  の多重度依存性を示す。横軸の多重度は中心衝突度事に決まる平均値を表しており、金側の方が銅側よりも  $v_2$  及び多重度が同一イベントで平均的に大きい。共に高多重度から低多重度にかけて  $v_2$  が大きくなっており、これは初期の形状が中心衝突からかすり衝突にかけて円型から楕円型へ変化している事から来ると考えられる。右の図は  $v_2$  を初期形状の楕円型異方性強度  $\varepsilon_2$  で割った値の多重度依存性を表す。この図では、金側と銅側の  $v_2$  は共通の  $\varepsilon_2$  で割っており、綺麗にスケールしている。これは前方 / 後方ともに共通の初期形状の異方性を表しており、3 次元的初期形状の理解に向けた結果となる。

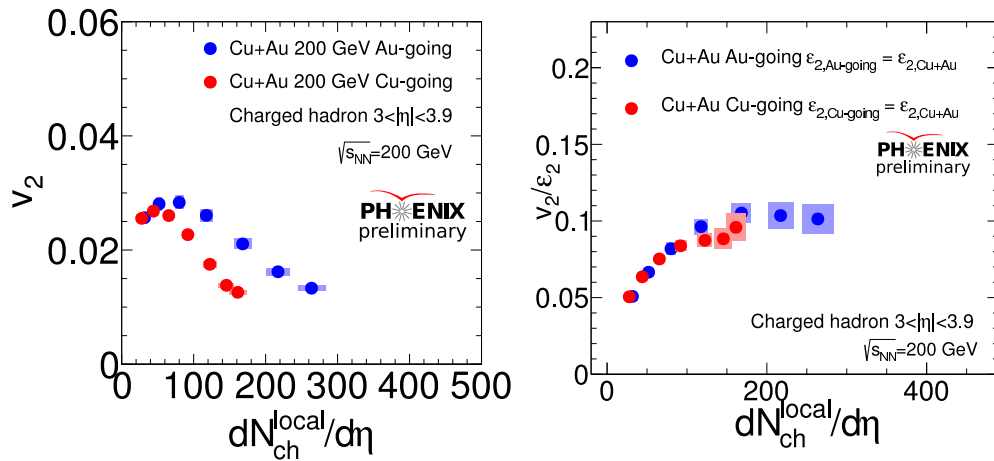


図 17 銅・金衝突における前方 / 後方領域での楕円型異方性強度  $v_2$  と初期形状の楕円型異方性強度  $\varepsilon_2$  との比の多重度依存性

#### (5) RHIC-PHENIX 実験における重陽子・金原子核衝突での方位角異方性の衝突エネルギー依存性

高エネルギー原子核衝突実験における課題の一つに重陽子・金原子核衝突等の小さな系での方位角異方性の起源の理解がある [20]。これまで方位角異方性は原子核衝突においてのみ観測される現象であると考えられていたが、高多重度の小さな衝突系でも同様な強度の異方性が測定された。原子核衝突での方位角異方性は衝突初期形状を起源に流体的な集団運動の結果観測されるが小さな系での方位角異方性の起源は分かっていない。RHIC-PHENIX 実験では、この小さな系での方位角異方性理解の為に、重陽子・金原子核衝突の衝突エネルギー走査実験が行なわれた。図 18 は重陽子・金衝突での衝突エネルギーの楕円型方位角異方性強度  $v_2$  の横運動量依存性の図である。実験データが黒いデータ点を示し、その他の橙色と紫色の線が流体モデル、緑の線がパートンカスケードモデルの計算結果となる。200GeV と 62.4GeV の領域では  $v_2$  は同程度の大きさ及び似た様な横運動量依存性を示しているが、39GeV 以降では振る舞いが異なっている。低横運動量では  $v_2$  の強度はたいして変わらないが、高運動

量領域では横運動量とともに線形的に大きくなっている。これは、ジェットなどの集団運動以外の寄与から来ていると考えられており、理論計算とも高横運動量の領域では合っていない。PHENIX 実験ではさらにこの小さな系での集団運動を理解する為に、多粒子相関や前方 / 後方領域での異方性測定も進められている。

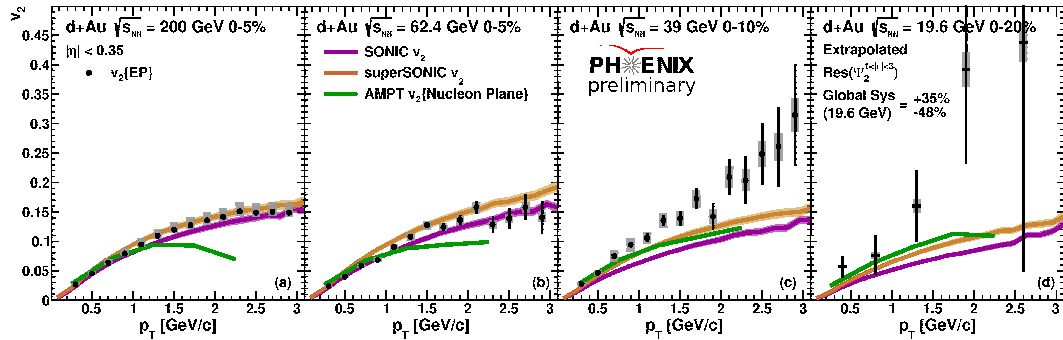


図 18 重陽子・金衝突における楕円型異方性強度  $v_2$  の横運動量依存性

#### (6) RHIC-STAR 実験における net-proton 分布の 6 次キュムラント測定

QCD 相構造、特に QGP 相からハドロン相への相転移の仕組みを明らかにするために、理論的・実験的に様々なアプローチで研究が行われてきた。格子ゲージ理論によると、バリオン密度が小さい領域での相転移は、明確な境界の無いクロスオーバーであると言われている。しかし、いまだ直接的に相転移を示す実験結果は無い。そこで、相転移に敏感な観測量として net-charge 分布および net-baryon 分布の高次ゆらぎが提唱された [21]。

近年 RHIC-STAR 実験において、QCD 臨界点を探すために、保存量分布の 4 次までのゆらぎが測定されている [22]。しかし、金 + 金衝突  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV において、4 次ゆらぎは  $C_4/C_2 \approx 0.92$  であり、ハドロンガスからのずれは観測されていない。一般的に、より高次のゆらぎほどより相関長に敏感になるため、6 次ゆらぎを測定することによって相転移の信号が観測されることが期待される。

図 19 は、 $C_6/C_2$  の中心衝突度依存性である。周辺衝突から中心衝突にかけて、ポアソン分布の予測値である 1 からのずれが見え始め、負の値を示していることがわかる。しかし、中心衝突では統計誤差が大きくなり、系統的な議論は難しい。引き続き実験を行い、誤差を減らす努力が必要である。

#### (7) RHIC-STAR 実験における横運動量分布のエネルギー依存性測定

RHIC 加速器を用いた STAR 実験において、2010 年から 2014 年にかけて Beam Energy Scan 1 (BES1) が行われた。BES の目的は QGP の物性の理解と QCD 相図の解明である。今回金 + 金衝突における衝突エネルギーが  $\sqrt{s_{NN}} = 7.7, 11.5, 19.6, 27, 39$  GeV の  $K, p$  とその反粒子それぞれについて粒子数分布が測定された。[23] 中央ラピディティにおける粒子多重度密度と平均横運動量、そして粒子種ごとの粒子数の比がそれぞれのエネルギーについて報告された。また粒子の  $p_T$  分布や粒子数比をフィットすることで、QGP 物性を理解する上で重要となるフリーズアウト時の温度や化学ポテンシャル、平均膨張速度などのパラメータが測定された。図 20 は横軸が衝突エネルギー、縦軸が上下それぞれフリーズアウト時の温度と膨張速度を表している。運動学的凍結温度は BES のエネルギー領域ではほぼ一定であり、化学的凍結温度はエネルギーとともに上昇するが、11.5 GeV 以降緩やかになることがわかった。

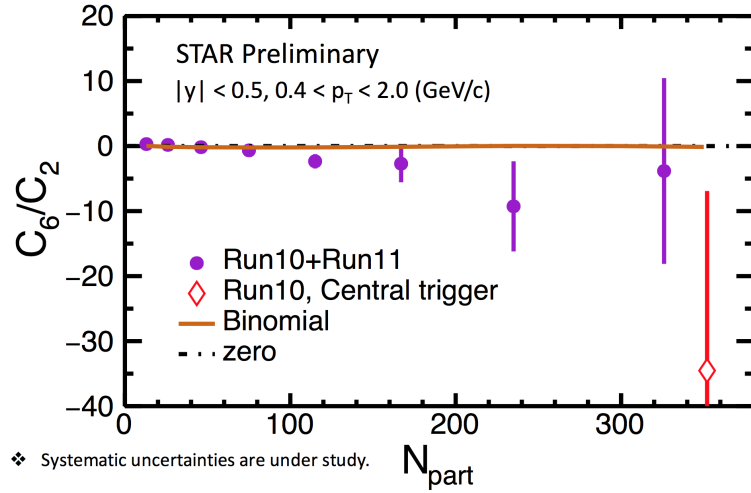


図 19  $C_6/C_2$  の中心衝突度依存性

また、平均膨張速度はエネルギーとともに上昇する傾向があるが、BES のエネルギー領域では一定に近い振る舞いがみられた。

(8) RHIC-STAR 実験  $\sqrt{s_{NN}}=200\text{GeV}$  直接光子および中性パイ中間子 trigger による Jet-like 相関の測定

STAR 実験の  $\sqrt{s_{NN}}=200\text{GeV}$  の金 + 金中心衝突および陽子 + 陽子衝突において直接光子 ( $\gamma_{dir}$ ) および中性パイ中間子 ( $\pi^0$ ) と荷電粒子との方位角相関が測定された。クォークは媒質中で相互作用してエネルギーを損失するが、光子は色荷を持たないため、高温高密度物質とは相互作用せずに検出器まで到達する。そのため、パイ中間子、光子をトリガー粒子とした時のアソシエイト粒子の、トリガー粒子と反対方向 (away-side) における粒子の収量を比較することで、ハドロンが媒質中を通過した距離と色荷による効果を見積もることができる。金 + 金中心衝突において、1 トリガー粒子あたりの荷電粒子の収量が陽子 + 陽子衝突に比べて抑制されていることが確認された [24]。トリガー粒子と反対方向 (away-side) における、直接光子 1 粒子に対する荷電粒子の収量の抑制は、直接光子の運動量は依存していなかった。一方で、荷電粒子の運動量が小さくなると収量の抑制が小さくなることが明らかになった (図 21)。直接光子と中性パイ中間子との間の抑制の割合の違いは誤差の範囲内であった。この研究結果は、低運動量領域ではエネルギーの再分配が支配的であり、トリガー粒子のエネルギーには依存しないという STAR 実験の以前の結果を支持するものである。

(9) RHIC-STAR 実験における  $\Lambda, \bar{\Lambda}$  粒子のグローバル偏極の測定

RHIC 加速器をもちいた STAR 実験において  $\Lambda$  粒子と、 $\bar{\Lambda}$  粒子の反応平面に対する偏極を測定し、それらがともに正の偏極を示し、衝突ビームエネルギーを下げる程大きくなる事を観測した。これは、原子核衝突の角運動量による渦の生成を史上始めて観測した事に対応する。また、 $\bar{\Lambda}$  粒子の偏極が、 $\Lambda$  粒子の偏極よりも僅かに大きい事は、原子核衝突による角運動量と同じ方向に生成される可能性のある強磁場による寄与である可能性を示唆しているが、統計及び系統誤差の範囲で有意な差があるとは言えないため、今後の実験による高統計で高精度の測定に期待が寄せられる。図 22 は、原子核衝突の反応領域の角運動量による渦の生成と、 $\Lambda$  粒子の偏極の方向を模式的に表している。図 23 は、 $\Lambda$  粒子と、 $\bar{\Lambda}$

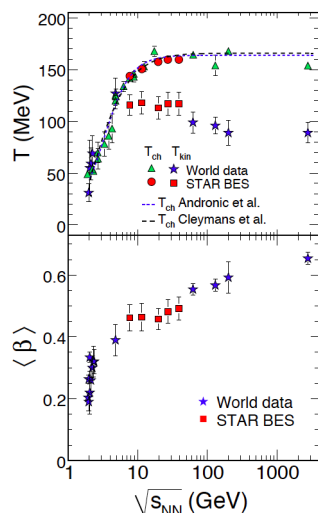


図 20 凍結温度と平均膨張速度の衝突エネルギー依存性

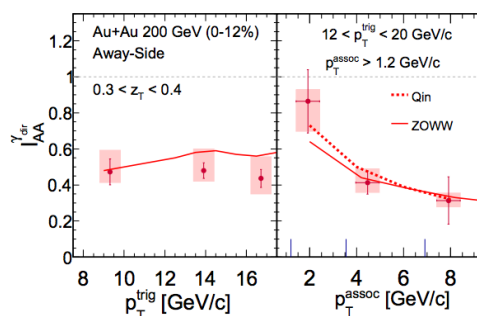


図 21 直接光子 Trigger に対する、Associate 荷電粒子の  $I_{AA}^{\gamma_{dir}}$

粒子それぞれの偏極度の衝突ピームエネルギー依存性に関する測定結果を示す [25]。

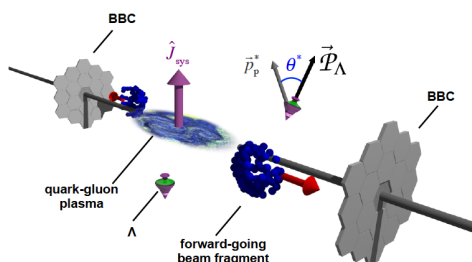


図 22 反応平面による QGP の角運動量と  $\Lambda$  粒子のグローバルな偏極

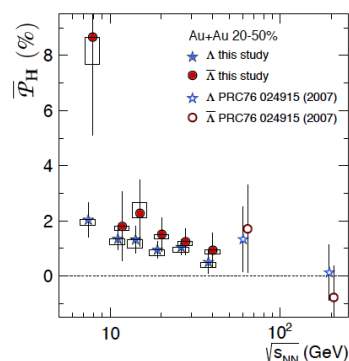


図 23  $\Lambda, \bar{\Lambda}$  粒子の偏極の衝突ピームエネルギー依存性

#### (10)ALICE 実験高度化に向けた超前方光子測定用検出器 (FoCal) の開発

欧州原子核研究機構 CERN の LHC 加速器を用いた ALICE 実験において、超前方領域 (擬ラピディティ領域  $3.5 < \eta < 5.3$ ) における光子測定のために FoCal(Forward Calorimeter) 検出器を導入する計画がある。光子は色荷を持たず QGP 中を相互作用せずに通過するため、衝突初期の情報を含んでいると予想されている。また前方で直接光子を検出することで、QGP 早期熱化の原因の解明やカラーグラス凝縮理論の検証、重イオン衝突初期条件の決定などが期待できる。FoCal 検出器は電磁カロリメータ (FoCal-E) とハドロンカロリメータ (FoCal-H) から構成され、FoCal-E はエネルギー測定を行う  $1 \times 1 \text{ cm}^2$  の Si PAD 部と、シャワーの位置・形状を観測する  $30 \times 30 \mu\text{m}^2$  の Si pixel 部からなる。平成 27 年度までに 2 度のテストビーム実験を実施し、ノイズレベルの削減や 50 GeV までのエネルギーに対する性能評価を行ってきた。

平成 28 年度は CERN-SPS 加速器において FoCal-E 試作機のテストビーム実験を行い、新たに高エネルギー領域 (50 ~ 130 GeV) における検出器の性能評価実験を行った。課題であった高エネルギービームにおける信号の飽和を加算回路においてシグナルの波高を減衰させることにより解決し、130 GeV/c までのシグナルの取得に成功した (図 24)。不感領域の影響を考慮したシミュレーションを行い、取得したシグナルとの整合性を確認した (図 25)。また、トリガー情報を共有させることにより独立の DAQ を持つ PAD 部と pixel 部のイベントデータ照合をし、同一のイベントを観測することに成功した (図 26)。加算回路を変更したことにより今後は FoCal-E 実機の開発に向けて、実機製作やデザインの最適化を物理シミュレーションと並行して行い、ALICE 実験への導入を目指す。

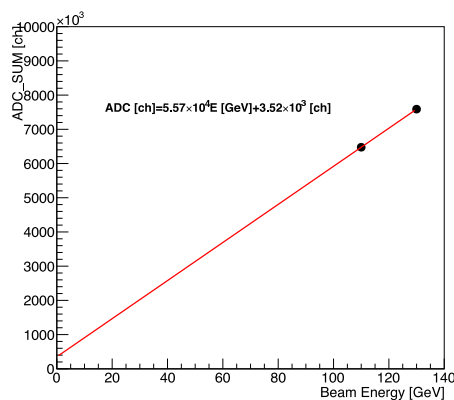


図 24 PAD 部におけるシグナルのエネルギー依存性

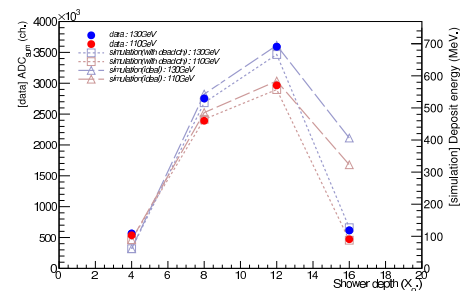


図 25 PAD 部における縦方向のシャワープロファイルとシミュレーションとの比較

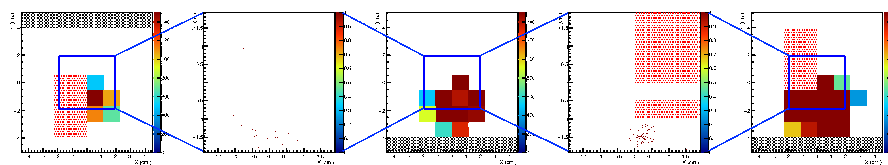


図 26 PAD 部及び pixel 部のイベントデータ照合によるヒットマップ

## (11) 陽電子ビームを用いた MRPC の性能評価

Multi-gap Resistive Plate Chamber(MRPC) というガス検出器は現在 TOF 検出器として広く浸透しており、非常に安価でかつ単純な構造で設計の自由度が高く優れた時間分解能を持っているという特徴を持つ。現在、日本の J-PARC においても重イオン衝突実験を行う計画が進んでおり、MRPC はその TOF 検出器として採用される見込みとなっている。今年度は、ソニーグローバルマニュファクチャリング&オペレーションズ株式会社による電磁界シミュレーションを元に制作した、読み出しパッド形状の最適化により高い時間分解能を追求する機体と、J-PARC への導入を見据えた 20×30 cm<sup>2</sup> の基板を用いた機体 (以降大型 MRPC とする) について 2016 年 11 月に東北大学電子光物理学研究センター (ELPH) で行われた陽電子ビームを用いた実験により性能評価を行った。前者の機体についてはパッドの幅が 2.4 cm のものと、1.2 cm のものを制作し、評価を行った。前者については図 27 にあるようにパッド幅が細い方で時間分解能  $78.9 \pm 1.8$  ps を達成した (1 段型)。一方大型 MRPC について、パッド部分と読み出しの間のインピーダンス整合が取れず、シグナルが反射してしまう影響が強く見られ図 28 にあるよう



に時間分解能は  $79.5 \pm 1.8$  ps であった (4 段型)。

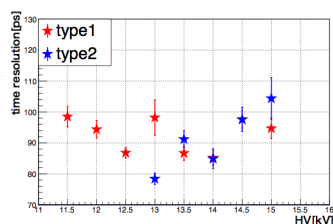


図 27 時間分解能の印加電圧依存性。  
type1(赤) がパッド幅の太い方、type2(青)  
がパッド幅の細い方を示している。

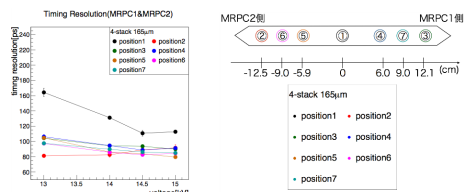


図 28 大型 MRPC の時間分解能の印加電圧依存性。右はパッドに対するビームの入射位置を表している。

## (12)RHIC-STAR 実験における EPD(Event Plane Detector) の導入に向けたアップグレード

RHIC では QCD 相図の解明を目的として Beam Energy Scan phaseII が 2018 年に行われる予定である。EPD は半径方向に 16 個のセグメント、方位角方向に 24 個のセクターで構成されているシンチレーション検出器であり。BBC(Beam Beam Counter) よりも粒子の位置分解能が良いこと、中心ラビディティ領域での測定における CTB(Central Trigger Barrel) との自己相関が軽減されるなどの理由から、BBC に替わって稼働する予定である。現在、East 側に全方位角の 1/4 を覆うように proto-type が図 29 のように置かれ、 $pp$  衝突において ADC(図 30) 等のデータが取られており、EPD の本格的な稼働に向けて読み出しの調整が行なわれている。

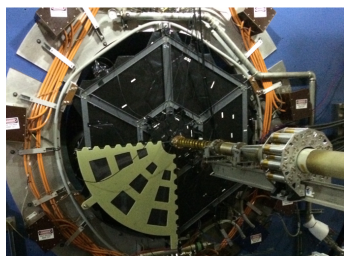


図 29 EPD の proto-type

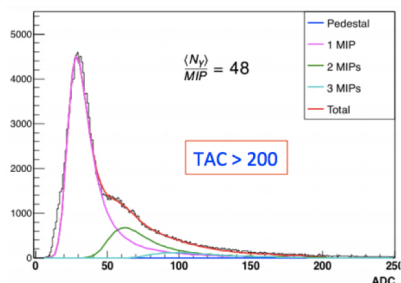


図 30 EPD の Tile4 で測定された ADC 分布

## 原子核実験グループ研究業績リスト

### < 原著論文 >

1. First direct mass measurements of stored neutron-rich  $^{129,130,131}\text{Cd}$  isotopes with FRS-ESR R. Knobel, M. Diwisch, F. Bosch, D. Boutin, L. Chen, C. Dimopoulou, A. Dolinskii, B. Franczak, B. Franzke, H. Geissel, M. Hausmann, C. Kozhuharov, J. Kurcewicz, S.A. Litvinov, G. Martinez-Pinedo, M. Matos, M. Mazzocco, G. Munzenberg, S. Nakajima, C. Nociforo, F. Nolden, T. Ohtsubo, A. Ozawa, Z. Patyk, W.R. Plaß, C. Scheidenberger, J. Stadlmann, M. Steck, B. Sun, T. Suzuki, P.M. Walker, H. Weick, M.-R. Wu, M. Winkler, T. Yamaguchi *Physics Letters B* 754 (2016) 288293.
2. Magnetic moment of the  $13/2^+$  isomeric state in  $^{69}\text{Cu}$ : Spin alignment in the one-nucleon removal reaction A. Kusoglu, G. Georgiev, C. Sotty, D. L. Balabanski, A. Goasduff, Y. Ishii, Y. Abe, K. Asahi, M. Bostan, R. Chevrier, M. Chikamori, J. M. Daugas, T. Furukawa, H. Nishibata, Y. Ichikawa, Y. Ishibashi, R. Lozeva, H. Miyatake, D. Nagae, T. Nanao, M. Niikura, T. Niwa, S. Okada, A. Ozawa, Y. Saito, H. Shirai, H. Ueno, D. T. Yordanov, and N. Yoshida *PHYSICAL REVIEW C* 93, 054313 (2016).
3. New results from isochronous mass measurements of neutron-rich uranium fission fragments with the FRS-ESR-facility at GSI R. Knobel, M. Diwisch, H. Geissel, Yu.A. Litvinov, Z. Patyk, W.R. Plaß, C. Scheidenberger, B. Sun, H. Weick, F. Bosch, D. Boutin, L. Chen, C. Dimopoulou, A. Dolinskii, B. Franczak, B. Franzke, M. Hausmann, C. Kozhuharov, J. Kurcewicz, S.A. Litvinov, M. Matos, M. Mazzocco, G. Munzenberg, S. Nakajima, C. Nociforo, F. Nolden, T. Ohtsubo, A. Ozawa, J. Stadlmann, M. Steck, T. Suzuki, P.M. Walker, M. Winkler, and T. Yamaguchi *Eur. Phys. J. A* (2016) 52: 138 (11 page).
4. Proton-proton correlations in distinguishing the two-proton emission mechanism of  $^{23}\text{Al}$  and  $^{22}\text{Mg}$  D. Q. Fang, Y. G. Ma, X. Y. Sun, P. Zhou, Y. Togano, N. Aoi, H. Baba, X. Z. Cai, X. G. Cao, J. G. Chen, Y. Fu, W. Guo, Y. Hara, T. Honda, Z. G. Hu, K. Ieki, Y. Ishibashi, Y. Ito, N. Iwasa, S. Kanno, T. Kawabata, H. Kimura, Y. Kondo, K. Kurita, M. Kurokawa, T. Moriguchi, H. Murakami, H. Ooishi, K. Okada, S. Ota, A. Ozawa, H. Sakurai, S. Shimoura, R. Shioda, E. Takeshita, S. Takeuchi, W. D. Tian, H. W. Wang, J. S. Wang, M. Wang, K. Yamada, Y. Yamada, Y. Yasuda, K. Yoneda, G. Q. Zhang, and T. Motobayashi *PHYSICAL REVIEW C* 94, 044621 (2016).
5. Identification of the Lowest  $T = 2$ ,  $J_\pi = 0^+$  Isobaric Analog State in  $^{52}\text{Co}$  and Its Impact on the Understanding of  $\beta$ -Decay Properties of  $^{52}\text{Ni}$  X. Xu, P. Zhang, P. Shuai, R. J. Chen, X. L. Yan, Y. H. Zhang, M. Wang, Yu. A. Litvinov, H. S. Xu, T. Bao, X. C. Chen, H. Chen, C. Y. Fu, S. Kubono, Y. H. Lam, D. W. Liu, R. S. Mao, X. W. Ma, M. Z. Sun, X. L. Tu, Y. M. Xing, J. C. Yang, Y. J. Yuan, Q. Zeng, X. Zhou, X. H. Zhou, W. L. Zhan, S. Litvinov, K. Blaum, G. Audi, T. Uesaka, Y. Yamaguchi, T. Yamaguchi, A. Ozawa, B. H. Sun, Y. Sun, A. C. Dai, and F. R. Xu *Physical Review Letters*, 117, 182503 (2016).
6. Charge-changing cross-section measurements of  $^{12}\text{C}$  at around 45 A MeV and development of a Glauber model for incident energies 10 A2100 A MeV D. T. Tran, H. J. Ong, T. T. Nguyen, I. Tanihata, N. Aoi, Y. Ayyad, P. Y. Chan, M. Fukuda, T. Hashimoto, T. H. Hoang, E. Ideguchi, A. Inoue, T. Kawabata, L. H. Khiem, W. P. Lin, K. Matsuta, M. Mihara, S. Momota, D. Nagae, N. D. Nguyen, D. Nishimura, A. Ozawa, P. P. Ren, H. Sakaguchi, J. Tanaka, M. Takechi, S. Terashima, R.

- Wada, and T. Yamamoto PHYSICAL REVIEW C 94, 064604 (2016).
7. Development of the detector system for b-decay spectroscopy at the KEK Isotope Separation System S. Kimura, H. Ishiyama, H. Miyatake, Y. Hirayama, Y.X. Watanabe, H.S. Jung, M. Oyaizu, M. Mukai, S.C. Jeong, A. Ozawa Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 376 (2016) 338340.
  8. First online multireflection time-of-flight mass measurements of isobar chains produced by fusion-evaporation reactions: Toward identification of superheavy elements via mass spectroscopy P. Schury, M. Wada, Y. Ito, D. Kaji, F. Arai, M. MacCormick, I. Murray, H. Haba, S. Jeong, S. Kimura, H. Koura, H. Miyatake, K. Morimoto, K. Morita, A. Ozawa, M. Rosenbusch, M. Reponen, P.-A. Soderstrom, A. Takamine, T. Tanaka, and H. Wollnik PHYSICAL REVIEW C 95, 011305(R) (2017).
  9. Investigations of charge-changing processes for light proton-rich nuclei on carbon and solid-hydrogen targets K. Sawahata, A. Ozawa, Y. Saito, Y. Abe, Y. Ichikawa, N. Inaba, Y. Ishibashi, A. Kitagawa, S. Matsunaga, T. Moriguchi, D. Nagae, S. Okada, S. Sato, S. Suzuki, T. Suzuki, Y. Takeuchi, T. Yamaguchi, J. Zenihiro Nuclear Physics A 961 (2017) 142153.
  10. Search for efficient laser resonance ionization schemes of tantalum using a newly developed time-of-flight mass-spectrometer in KISS M. Mukai, Y. Hirayama, H. Ishiyama, H. S. Jung, H. Miyatake, M. Oyaizu, Y. X. Watanabe, S. Kimura, A. Ozawa, S. C. Jeong, T. Sonoda Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 376 (2016) 73-76.
  11. Seiji Hosoya, Kimikazu Sasa, Tetsuya Matsunaka, Tsutomu Takahashi, Masumi Matsumura, Hiroshi Matsumura, Mark Sundquist, Mark Stodola, Keisuke Sueki, Optimization of a  $\Delta E - E$  detector for  $^{41}\text{Ca}$  AMS, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, (2017) in press.
  12. A. Yamazaki, K. Sasa, S. Ishii, M. Kurosawa, S. Tomita, Y. Shiina, S. Shiki, G. Fujii, M. Ukibe, M. Ohkubo, A. Uedono, E. Kita, Development of the microbeam PIXE system for additive light elements in structural materials, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, (2017) in press.
  13. Kenji Kawamura, Ayako Abe-Ouchi, Hideaki Motoyama, Yutaka Ageta, Shuji Aoki, Nobuhiko Azuma, Yoshiyuki Fujii, Koji Fujita, Shuji Fujita, Kotaro Fukui, Teruo Furukawa, Atsushi Furusaki, Kumiko Goto-Azuma, Ralf Greve, Motohiro Hirabayashi, Takeo Hondoh, Akira Hori, Shinichiro Horikawa, Kazuho Horiuchi, Makoto Igarashi, Yoshinori Iizuka, Takao Kameda, Kokichi Kamiyama, Hiroshi Kanda, Mika Kohno, Takayuki Kuramoto, Yuki Matsushi, Morihiro Miyahara, Takayuki Miyake, Atsushi Miyamoto, Yasuo Nagashima, Yoshiki Nakayama, Takakiyo Nakazawa, Fumio Nakazawa, Fumihiko Nishio, Ichio Obinata, Rumi Ohgaito, Akira Oka, Jun 'ichi Okuno, Junichi Okuyama, Ikumi Oyabu, Frdric Parrenin, Frank Pattyn, Fuyuki Saito, Takashi Saito, Takeshi Saito, Toshimitsu Sakurai, Kimikazu Sasa, Hakime Seddik, Yasuyuki Shibata, Kunio Shinbori, Keisuke Suzuki, Toshitaka Suzuki, Akiyoshi Takahashi, Kunio Takahashi, Shuhei Takahashi, Morimasa Takata, Yoichi Tanaka, Ryu Uemura, Genta Watanabe, Okitsugu Watanabe, Tetsuhide Yamasaki, Kotaro Yokoyama, Masakazu Yoshimori, Takayasu Yoshimoto, State dependence of climatic instability over the past 720,000 years from Antarctic ice cores and climate modelling, Science Advances, 08 Feb 2017, Vol. 3, no. 2, e1600446. DOI: 10.1126/sciadv.1600446
  14. Yukihiro Satou, Keisuke Sueki, Kimikazu Sasa, Kouji Adachi, Yasuhito Igarashi, First successful isolation of radioactive particles from soil near the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, Anthro-

pocene, 14 (2016) 71-76. DOI:10.1016/j.ancene.2016.05.01

15. Masanori Kurosawa, Kimikazu Sasa, Ki-Choel Shin, Satoshi Ishii, Trace-element compositions and Br/Cl ratios of fluid inclusions in the Tsushima granite, Japan: Significance for formation of granite-derived fluids, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 182 (2016) 216239. doi:10.1016/j.gca.2016.03.015
16. R. Brun *et al.*, "GEANT: Detector Description and Simulation Tool", CERN-W5013 (1994)
17. A. Hoecker, V. Kartvelishvili, "SVD Approach to Data Unfolding", *Nucl. Instrum. Meth.* **A372** 469 (1996)
18. J. Schukraft, A. Timmins, and S. A. Voloshin, "Ultra-relativistic nuclear collisions: event shape engineering," *Phys. Lett.* **B719** (2013) 394-398
19. A. Adare *et al.* (PHENIX Collaboration), "Measurements of directed, elliptic, and triangular flow in Cu+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV", *Phys. Rev. C* **94** (2016) 054910
20. A. Adare *et al.* (PHENIX Collaboration), "Measurement of long-range angular correlation and quadrupole anisotropy of pions and (anti)protons in central d+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV", *Phys. Rev. Lett.* **114** (2015) 192301
21. B. Friman, F. Karsch, K. Redlich, V. Skokov, "Fluctuations as probe of the QCD phase transition and freeze-out in heavy ion collisions at LHC and RHIC", *Eur. Phys. J. C* (2011) 71:1694
22. L. Adamczyk *et al.* (STAR Collaboration), "Beam energy dependence of moments of the net-charge multiplicity distributions in Au+Au collisions at RHIC", *Phys. Rev. Lett.* **113** (2014) 092301
23. L. Adamczyk *et al.* (STAR Collaboration), "Bulk Properties of the Medium Produced in Relativistic Heavy-Ion Collisions from the Beam Energy Scan Program", arXiv:1701.07065v1
24. L. Adamczyk *et al.* (STAR Collaboration), "Jet-like correlations with direct-photon and neutral-pion triggers at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV", *Phys. Lett. B* **760** (2016) 689
25. L. Adamczyk *et al.* (STAR Collaboration), "Global hyperon polarization in nuclear collisions: evidence for the most vortical fluid", arXiv:1701.06657
26. S. He, X. Luo, Y. Nara, S. Esumi, N. Xu, Effects of Nuclear Potential on the Cumulants of Net-Proton and Net-Baryon Multiplicity Distributions in Au+Au Collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=5$ GeV, *Phys. Lett. B* **762** (2016) 296-300
27. J. Adam *et al.* (ALICE collaboration), Higher harmonic flow coefficients of identified hadrons in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=2.76$  TeV, *JHEP* **1609** (2016) 164
28. J. Adam *et al.* (ALICE collaboration), Elliptic flow of electrons from heavy-flavour hadron decays at mid-rapidity in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=2.76$  TeV, *JHEP* **1609** (2016) 028
29. J. Adam *et al.* (ALICE collaboration), Pseudorapidity dependence of the anisotropic flow of charged particles in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=2.76$  TeV, *Phys.Lett. B* **762** (2016) 376-388
30. D. Adamov *et al.* (CERES/NA45 collaboration), Triangular flow of negative pions emitted in PbAu collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=17.3$  GeV, *Nucl. Phys. A* **957** (2017) 99-108
31. T. Nonaka, T. Sugiura, S. Esumi, H. Masui, X. Luo, Importance of separated efficiencies between positively and negatively charged particles for cumulant calculations, *Phys. Rev. C* **94** (2016) no.3, 034909
32. J. Adam *et al.* (ALICE collaboration), Anisotropic flow of charged particles in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=5.02$  TeV, *Phys. Rev. Lett.* **116** (2016) no.13, 132302
33. A. Adare *et al.* (PHENIX collaboration), Single electron yields from semileptonic charm and bottom

- hadron decays in Au+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV, Phys. Rev.C93 (2016) 034904
34. S. Esumi, Collective flow measurements at RHIC energies, EPJ Web Conf. 141 (2017) 05001
  35. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Flow dominance and factorization of transverse momentum correlations in Pb-Pb collisions at the LHC, Phys.Rev.Lett. 118 (2017) no.16, 162302
  36. C. Aidala et al. (PHENIX collaboration), Measurements of  $B^- \rightarrow J/\psi$  at forward rapidity in p+p collisions at  $\sqrt{s}=510$  GeV, Phys.Rev. D95 (2017) no.9, 092002
  37. A. Adare et al. (PHENIX collaboration), Angular decay coefficients of  $J/\psi$  mesons at forward rapidity from p+p collisions at  $\sqrt{s}=510$  GeV, Phys.Rev. D95 (2017) 092003
  38. J. Adam et al. (ALICE collaboration), W and Z boson production in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, JHEP 1702 (2017) 077
  39. L. Adamczyk et al. (STAR Collaboration), Measurement of the cross section and longitudinal double-spin asymmetry for di-jet production in polarized pp collisions at  $\sqrt{s} = 200$  GeV, Phys.Rev. D95 (2017) no.7, 071103
  40. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Determination of the event collision time with the ALICE detector at the LHC, Eur.Phys.J.Plus 132 (2017) no.2, 99
  41. Y. Akiba, S. Esumi, K. Fukushima, H. Hamagaki, T. Hatsuda, T. Hirano, K. Shigaki, Proceedings, 25th International Conference on Ultra-Relativistic Nucleus-Nucleus Collisions (Quark Matter 2015) : Kobe, Japan, September 27-October 3, 2015, Nucl.Phys. A956 (2016) pp.1-974
  42. H. Sako et al. (J-PARC Heavy-Ion Collaboration), Studies of high density baryon matter with high intensity heavy-ion beams at J-PARC, Nucl.Phys. A956 (2016) 850-853
  43. A. Adare et al. (PHENIX collaboration), Measurement of the relative yields of  $\phi(2S)$  to  $\phi(1S)$  mesons produced at forward and backward rapidity in p+p, p+Al, p+Au, and 3He+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV, Phys.Rev. C95 (2017) no.3, 034904
  44. A. Adare et al. (PHENIX collaboration), Non-perturbative-transverse-momentum effects and evolution in dihadron and direct photon-hadron angular correlations in p+p collisions at  $\sqrt{s}=510$  GeV, Phys.Rev. D95 (2017) no.7, 072002
  45. C. Aidala et al. (PHENIX collaboration), Measurement of long-range angular correlations and azimuthal anisotropies in high-multiplicity p+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV, Phys.Rev. C95 (2017) no.3, 034910
  46. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Jet-like correlations with neutral pion triggers in pp and central PbPb collisions at 2.76 TeV, Phys.Lett. B763 (2016) 238-250
  47. L. Adamczyk et al. (STAR Collaboration),  $\phi$  production in U + U collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 193$  GeV measured with the STAR experiment, Phys.Rev. C94 (2016) no.6, 064904
  48. L. Adamczyk et al. (STAR Collaboration), Charge-dependent directed flow in Cu+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV, Phys.Rev.Lett. 118 (2017) no.1, 012301
  49. L. Adamczyk et al. (STAR Collaboration), Direct virtual photon production in Au+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV, Phys.Lett. B770 (2017) 451-458
  50. J. Adam et al. (ALICE collaboration),  $J/\psi$  suppression at forward rapidity in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=5.02$  TeV, Phys.Lett. B766 (2017) 212-224
  51. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Enhanced production of multi-strange hadrons in high-multiplicity proton-proton collisions, Nature Phys. (2017)
  52. A. Adare et al. (PHENIX collaboration), Measurements of double-helicity asymmetries in inclusive



- J/ production in longitudinally polarized p+p collisions at  $\sqrt{s} = 510$  GeV, Phys.Rev. D94 (2016) no.11, 112008
53. J. Adam et al. (ALICE collaboration), D-meson production in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV and in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV, Phys.Rev. C94 (2016) no.5, 054908
  54. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Measurement of azimuthal correlations of D mesons and charged particles in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV and p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, Eur.Phys.J. C77 (2017) no.4, 245
  55. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Correlated event-by-event fluctuations of flow harmonics in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys.Rev.Lett. 117 (2016) 182301
  56. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Measurement of transverse energy at midrapidity in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys.Rev. C94 (2016) no.3, 034903
  57. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Centrality dependence of charged jet production in pPb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, Eur.Phys.J. C76 (2016) no.5, 271
  58. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Centrality dependence of  $\phi(2S)$  suppression in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, JHEP 1606 (2016) 050
  59. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Measurement of D-meson production versus multiplicity in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, JHEP 1608 (2016) 078
  60. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Particle identification in ALICE: a Bayesian approach, Eur.Phys.J.Plus 131 (2016) no.5, 168
  61. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Anisotropic flow of charged particles in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, Phys.Rev.Lett. 116 (2016) no.13, 132302
  62. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Production of  $K^*(892)^0$  and  $(1020)$  in pPb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, Eur.Phys.J. C76 (2016) no.5, 245
  63. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Multiplicity dependence of charged pion, kaon, and (anti)proton production at large transverse momentum in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, Phys.Lett. B760 (2016) 720-735
  64. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Multipion Bose-Einstein correlations in pp, p-Pb, and Pb-Pb collisions at energies available at the CERN Large Hadron Collider, Phys.Rev. C93 (2016) no.5, 054908
  65. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Multi-strange baryon production in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, Phys.Lett. B758 (2016) 389-401
  66. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Centrality dependence of the charged-particle multiplicity density at midrapidity in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, Phys.Rev.Lett. 116 (2016) no.22, 222302
  67. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Charge-dependent flow and the search for the chiral magnetic wave in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys.Rev. C93 (2016) no.4, 044903
  68. A. Adare et al. (PHENIX collaboration), Inclusive cross section and double-helicity asymmetry for  $\phi$  production at midrapidity in p+p collisions at  $\sqrt{s} = 510$  GeV, Phys.Rev. D93 (2016) no.1, 011501
  69. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Measurement of an excess in the yield of J/ at very low pT in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys.Rev.Lett. 116 (2016) no.22, 222301
  70. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Pseudorapidity and transverse-momentum distributions of

- charged particles in protonproton collisions at  $\sqrt{s} = 13$  TeV, Phys.Lett. B753 (2016) 319-329
71. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Inclusive quarkonium production at forward rapidity in pp collisions at  $\sqrt{s} = 8$  TeV, Eur.Phys.J. C76 (2016) no.4, 184
  72. A. Adare et al. (PHENIX collaboration), Azimuthally anisotropic emission of low-momentum direct photons in Au+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV, Phys.Rev. C94 (2016) no.6, 064901
  73. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Charged-particle multiplicities in protonproton collisions at  $\sqrt{s} = 0.9$  to 8 TeV, Eur.Phys.J. C77 (2017) no.1, 33
  74. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Measurement of electrons from heavy-flavour hadron decays in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, Phys.Lett. B754 (2016) 81-93
  75. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Azimuthal anisotropy of charged jet production in  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV Pb-Pb collisions, Phys.Lett. B753 (2016) 511-525
  76. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Direct photon production in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys.Lett. B754 (2016) 235-248
  77. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Centrality evolution of the charged-particle pseudorapidity density over a broad pseudorapidity range in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys.Lett. B754 (2016) 373-385
  78. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Measurement of  $D_s^+$  production and nuclear modification factor in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, JHEP 1603 (2016) 082
  79. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Multiplicity and transverse momentum evolution of charge-dependent correlations in pp, pPb, and PbPb collisions at the LHC, Eur.Phys.J. C76 (2016) no.2, 86
  80. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Transverse momentum dependence of D-meson production in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, JHEP 1603 (2016) 081
  81. A. Adare et al. (PHENIX collaboration), Scaling properties of fractional momentum loss of high-pT hadrons in nucleus-nucleus collisions at  $\sqrt{s_{NN}}$  from 62.4 GeV to 2.76 TeV, Phys.Rev. C93 (2016) no.2, 024911
  82. A. Adare et al. (PHENIX collaboration), Transverse energy production and charged-particle multiplicity at midrapidity in various systems from  $\sqrt{s_{NN}} = 7.7$  to 200 GeV, Phys.Rev. C93 (2016) no.2, 024901
  83. A. Adare et al. (PHENIX collaboration), meson production in the forward/backward rapidity region in Cu+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV, Phys.Rev. C93 (2016) no.2, 024904
  84. A. Adare et al. (PHENIX collaboration), Forward J/  $\psi$  production in U+U collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 193$  GeV, Phys.Rev. C93 (2016) no.3, 034903
  85. A. Adare et al. (PHENIX collaboration), Dielectron production in Au+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV, Phys.Rev. C93 (2016) no.1, 014904
  86. A. Adare et al. (PHENIX collaboration), Single electron yields from semileptonic charm and bottom hadron decays in Au+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV, Phys.Rev. C93 (2016) no.3, 034904
  87. A. Adare et al. (PHENIX collaboration), Centrality-dependent modification of jet-production rates in deuteron-gold collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV, Phys.Rev.Lett. 116 (2016) no.12, 122301
  88. A. Adare et al. (PHENIX collaboration), Study of cosmic ray events with high muon multiplicity using the ALICE detector at the CERN Large Hadron Collider, JCAP 1601 (2016) no.01, 032
  89. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Event shape engineering for inclusive spectra and elliptic flow

- in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=2.76$  TeV, Phys.Rev. C93 (2016) no.3, 034916
90. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Elliptic flow of muons from heavy-flavour hadron decays at forward rapidity in PbPb collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=2.76$  TeV, Phys.Lett. B753 (2016) 41-56
  91. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Production of light nuclei and anti-nuclei in pp and Pb-Pb collisions at energies available at the CERN Large Hadron Collider, Phys.Rev. C93 (2016) no.2, 024917
  92. J. Adam et al. (ALICE collaboration),  $\phi$ -meson production at forward rapidity in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV and in pp collisions at  $\sqrt{s} = 2.76$  TeV, Phys.Lett. B768 (2017) 203-217
  93. J. Adam et al. (ALICE collaboration),  ${}^3_{\Lambda}H$  and  ${}^3_{\Lambda}\bar{H}$  production in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys.Lett. B754 (2016) 360-372
  94. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Differential studies of inclusive  $J/\psi$  and  $\psi(2S)$  production at forward rapidity in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=2.76$  TeV, JHEP 1605 (2016) 179
  95. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Forward-central two-particle correlations in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, Phys.Lett. B753 (2016) 126-139
  96. A. Adare et al. (PHENIX collaboration), Measurement of higher cumulants of net-charge multiplicity distributions in Au+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=7.7 - 200$  GeV, Phys.Rev. C93 (2016) no.1, 011901
  97. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Search for weakly decaying  $\bar{\Lambda}\bar{n}$  and  $\Lambda\Lambda$  exotic bound states in central Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys.Lett. B752 (2016) 267-277
  98. J. Adam et al. (ALICE collaboration), Centrality dependence of the nuclear modification factor of charged pions, kaons, and protons in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=2.76$  TeV, Phys.Rev. C93 (2016) no.3, 034913
  99. A. Adare et al. (PHENIX collaboration), Measurement of parity-violating spin asymmetries in  $W^{\pm}$  production at midrapidity in longitudinally polarized p+p collisions, Phys.Rev. D93 (2016) no.5, 051103

#### < レビュー、解説、書籍等 >

1. 笹 公和、入門講座 精密同位体分析「加速器質量分析装置の原理」、日本分析化学会学会誌「ぶんせき」2016 年 6 月号 (2016) 196-202.

#### < 学位論文 (博士) >

1. 数理物質科学研究科・博士 (理学) 中込 宇宙 (Hiroshi Nakagomi), Measurements of 1st, 2nd and 3rd azimuthal anisotropy in  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV Cu+Au collisions at RHIC-PHENIX (RHIC-PHENIX 実験における  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV 銅・金衝突での 1 次、2 次、3 次方位角異方性の測定)

#### < 学位論文 (修士) >

1. 数理物質科学研究科・修士 (理学) 伊藤 喬一郎、LHC-ALICE 実験  $\sqrt{s} = 7$  TeV 陽子・陽子衝突における直接光子-ハドロン方位角相関の研究

2. 数理物質科学研究科・修士(理学) 工藤 咲子、RHIC-PHENIX 実験  $s_{NN} = 200 \text{ GeV}$  3He+Au 衝突におけるシリコン崩壊点検出器を用いた高横運動量荷電ハドロン測定
3. 数理物質科学研究科・修士(理学) 小山 亮平、LHC-ALICE 実験  $s = 5.02 \text{ TeV}$  陽子・陽子衝突における電磁カロリメータを用いた中性パイ中間子の測定
4. 数理物質科学研究科・修士(理学) 福田 悠裕、RHIC-PHENIX 実験  $s = 510 \text{ GeV}$  陽子・陽子衝突における長距離方位角相関の粒子多重度依存性に関する研究
5. 数理物質科学研究科・修士(理学) 松永 一成、LHC-ALICE 実験  $s_{NN} = 5.02 \text{ TeV}$  鉛・鉛衝突における中性中間子測定による電磁カロリメータの性能評価
6. 数理物質科学研究科・修士(理学) 金 秉徹、LHC-ALICE 実験  $s_{NN} = 5.02 \text{ TeV}$  鉛・鉛衝突における電磁カロリメータを用いたジェットの研究

#### < 学位論文 ( 学士 ) >

1. 物理学類・学士(理学) 上岡 大起 (Daiki Kamioka)、薄膜からの二次電子放出を利用した RI ビーム飛行時間検出器の大型化 (Developments of time-of-flight detector using secondary electrons from thin foil)
2. 物理学類・学士(理学) 市沢 太地、飛行時間測定器 Multi-gap Resistive Plate Chamber (MRPC); J-PARC 実験に向けた  $30 \times 20 \text{ cm}^2$  大型試作機の陽電子ビームを用いた性能評価
3. 物理学類・学士(理学) 加藤 浩樹、飛行時間測定器 Multi-gap Resistive Plate Chamber (MRPC) の開発; 陽電子ビームと宇宙線を用いた読み出しパッド形状の最適化に向けた性能評価
4. 物理学類・学士(理学) 川名 大地、LHC-ALICE 実験 超前方光子測定用 Si-W 電磁カロリメータ Si PAD 及び Si Pixel 統合型試作機のテストビーム実験による性能評価
5. 物理学類・学士(理学) 川村 陽太、LHC-ALICE 実験 超前方光子測定用電磁カロリメータ Si PAD 試作機の高エネルギー領域 ( $60\text{--}130 \text{ GeV}/c$ ) における性能評価
6. 物理学類・学士(理学) 鈴木 刀真、LHC-ALICE 実験 超前方光子測定用電磁カロリメータ試作機のシミュレーションによる検出器デザインの最適化と性能評価
7. 物理学類・学士(理学) 中川 和也、RHIC-STAR 実験  $s_{NN} = 200 \text{ GeV}$  金・金衝突における反応平面検出器導入のための前方後方領域での反応平面測定
8. 物理学類・学士(理学) 西松 巧矢、LHC-ALICE 実験 超前方光子測定用電磁カロリメータ製作に向けた Si PAD の基礎特性評価
9. 物理学類・学士(理学) ジョン ホジュン、ALICE 実験・超前方光子検出器のシミュレーションによる中性 中間子の識別能力の評価

#### < 国際会議 ( 招待講演 ) >

1. T. Moriguchi et al., "Density distribution of  $^{14}\text{Be}$  from reaction cross-section measurements", Nuclear chemistry 2016, San Antonio, Texas, USA, 8- 9 December 2016.
2. O. Busch, "Jet Physics at ALICE", seminar PBM 70th birthday "QCD thermodynamics - pressure and passion", Mainz, Germany, August 24-26 2016
3. O. Busch, "Jets in Pb-Pb collisions at ALICE", XII Quark confinement and the hadron spectrum, Makedonia Palace conference centre, Thessaloniki, Greece, August 28 - September 4 2016
4. S. Sakai, "Heavy-flavour productions in the relativistic heavy ion collisions at the LHC", XII Quark

confinement and the hadron spectrum, Makedonia Palace conference centre, Thessaloniki, Greece, August 28 - September 4 2016

5. S. Esumi, "Collective flow measurements at RHIC energies", XLVI International Symposium on Multi particle Dynamics (ISMD2016), Jeju island, South Korea, August 29 - September 2, 2016
6. S. Esumi, "Experimental Research On Quark Gluon Plasma With Relativistic Heavy-ion Collisions At RHIC", 26th International Nuclear Physics Conference (INPC 2016), Adelaide Convention Centre, Adelaide, Australia, 11-16 September 2016
7. O. Busch, "Strangeness Production and Nuclear Modification at LHC energies", Hard Probes 2016, Wuhan, China, Sep 22-27 2016
8. S. Esumi, "Collective flow measurements at RHIC energies", Korean Physics Society meeting, Gwangju, Korea, 19 - 21 October 2016
9. S. Esumi, "Beam Energy Scan studies at RHIC and Flow studies in small system", Heavy-Ion Meeting, Chonnam National University, Gwangju, Korea, 22 October 2016
10. T. Chujo, "Forward Calorimeter upgrade in ALICE", France-Japan SAKURA Workshop on small-x physics at the LHC, The University of Tokyo, Komaba campus, 2016-Oct-29

#### < 国際会議発表 >

1. S. Suzuki, "Development of Secondary Electron Time Detector for Ion Beams", International Nuclear Physics Conference (INPC2016), Adelaide Convention Center, Australia, 11-26 September 2016 ( Oral presentation )
2. T. Moriguchi et al., "Density Distributions of  $^{11}\text{Li}$  Deduced from Reaction Cross Section Measurements", International Nuclear Physics Conference(INPC2016), Adelaide Australia, 11-16 September 2016. ( Poster )
3. S. Suzuki, "Development of time-of-flight detector for mass measurements of short-lived nuclei with the rare-RI ring", International Symposium on Neutron Star Matter (NSMAT2016), 21-24 November 2016 (Poster)
4. T. MATSUNAKA, K. SASA, T. TAKAHASHI, M. MATSUMURA, K. SUEKI, A. GOTO, T. WATANABE, Y. TUCHIYA, N. HIRANO, M. KURI, M. TAKAHASHI, K. KAZAHAYA, I. MIYAGI AND H. MATSUZAKI, Decrease of iodine isotope ratio observed in crater lake and geothermal area at Zao volcano, Japan, Goldschmidt2016, Pacifico Yokohama, Yokohama, 26 June-1 July, 2016.
5. Y. SATOU, K. SUEKI, K. SASA, I. NAKAI, Y. ABE, Y. IIZAWA, T. ONO, K. ADACHI AND Y. IGARASHI, Overview of the radioactive particles in the Fukushima accident, Goldschmidt2016, Pacifico Yokohama, Yokohama, 26 June-1 July, 2016.
6. M. HONDA, K. SUEKI R. TOMITA, A. SAKAGUCHI, K. SASA, Analysis for chlorine and iodine in natural samples by SEC coupled with ICP-QQQ, Goldschmidt2016, Pacifico Yokohama, Yokohama, 26 June-1 July, 2016.
7. Kimikazu Sasa, Tsutomu Takahashi, Tetsuya Matsunaka, Masumi Matsumura, Seiji Hosoya, Maki Honda, Keisuke Sueki, Mark Stodola, Mark Sundquist, Isobar separation performance of the Tsukuba 6 MV AMS system, 12th European Conference on Accelerators in Applied Research and Technology (ECAART12) , Jyväskylä, Finland on 3 - 8 July 2016.



8. Seiji Hosoya, Kimikazu Sasa, Tetsuya Matsunaka, Masumi Matsumura, Tsutomu Takahashi, Mark Sundquist, Mark Stodola, Keisuke Sueki, Optimization of  $\Delta E - E$  detector for  $^{41}\text{Ca}$  AMS measurement using PHITS code simulation, 12th European Conference on Accelerators in Applied Research and Technology (ECAART12) , Jyväskylä, Finland on 3 - 8 July 2016.
9. A. Yamazaki, K. Sasa, S. Ishii, M. Kurosawa, S. Tomita, S. Shiki, G. Fujii, M. Ukibe, M. Ohkubo, A. Uedono, E. Kita, Development of the microbeam PIXE system for additive light elements in structural materials, 15th International Conference on Nuclear Microprobe Technology and Applications (ICNMTA) ( IMP-CAS Lanzhou, China), 31July - 5August, 2016.
10. Kimikazu Sasa, Akiyoshi Yamazaki, Shigeo Tomita, Masanori Kurosawa, Satoshi Ishii, Hiroshi Naramoto, Masao Sataka, Hiroshi Kudo, Eiji Kita, Akira Uedono, Construction of an Ion Beam Analysis Facility for Structural Materials at the University of Tsukuba, 2nd International Symposium for Innovative Measurement and Analysis for Structural Materials (SIP-IMASM2016), AIST Tsukuba Campus, Japan, 27-28 Sep., 2016.
11. A. Yamazaki, K. Sasa, S. Ishii, M. Kurosawa, S. Tomita, S. Shiki, G. Fujii, M. Ukibe, M. Ohkubo, A. Uedono, E. Kita, Present Status of Development of the Ion Microbeam System for Additive Light Elements in Structural Materials at the University of Tsukuba, 2nd International Symposium for Innovative Measurement and Analysis for Structural Materials (SIP-IMASM2016), AIST Tsukuba Campus, Japan, 27-28 Sep., 2016.
12. T. Chujo, "Operation and Plan, Hiroshima and Tsukuba", Sixth Annual ALICE Tire-1/Tire-2 Workshop, the Bergen University College, Bergen, Norway, April 18-20, 2016
13. O. Busch, "Jet Properties in Pb-Pb collisions at ALICE", LHC seminar, CERN, May 10 2016
14. T. Chujo, "Measurements of Jets and Photons in Heavy Ion Collisions at the Highest Beam Energy during the LHC-Run 2 by ALICE", 2016 Joint Workshop of the France-Korea (FKPPL) and France-Japan (TYL/FJPPL) Particle Physics Laboratories, Korea Institute for Advanced Study (KIAS), Seoul, May 18, 2016
15. T. Chujo, "Forward Calorimeter upgrade in ALICE", ALICE Calo meeting, NRC Kurchatov Institute, 12-13 September 2016, NRC Kurchatov Institute, Moscow, Russia
16. R. Hosokawa, "Recent jet spectra mesurent results and future prospects in ALICE with analysis level QA", ALICE Calo meeting, NRC Kurchatov Institute, 12-13 September 2016, NRC Kurchatov Institute, Moscow, Russia
17. K. Ito, "Isolated photon-hadron correlations in pp collisions at 7 TeV in ALICE with EMCAL", ALICE Calo meeting, NRC Kurchatov Institute, 12-13 September 2016, NRC Kurchatov Institute, Moscow, Russia
18. O. Busch, "Strangeness production and nuclear modification at LHC energies", TGSW 2016, Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Sep 17 - 19 2016
19. T. Nonaka, "Fluctuation of Conserved Quantities to look for a Critical Point in Phase Diagram", TGSW 2016, Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Sep 17 - 19 2016
20. H. Yokoyama, "Measurement of Inclusive Charged Jet Production in pp and Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV with ALICE", Hard Probes 2016, Wuhan, China, Sep 22-27 2016
21. H. Nakagomi, "Forward/Backward asymmetry of  $v_n$  in Cu+Au at RHIC-PHENIX", Quark Matter 2017, Hyatt Regency Chicago, USA, February 6-11, 2017

#### < 国内会議発表（招待講演） >

1. 笹 公和, 「最新の加速器質量分析装置が拓く多核種 AMS による高精度年代測定の展望」(招待講演), 「高精度年代測定の地平-AMS と樹木年輪」第 19 回日本 AMS シンポジウム (JAMS-19)・2016 年度「樹木年輪」研究会 共同開催シンポジウム、2016 年 12 月 17 - 18 日, 国立歴史民俗博物館 講堂
2. 笹 公和, 加速器質量分析法による長寿命放射性核種の超高感度検出技術の進展とその応用 (招待講演), 第 18 回「環境放射能」研究会, つくば, 2017.3.14-16.
3. S. Esumi, "Experimental results on collective flow and correlation at RHIC and LHC", 30th Heavy Ion Cafe, June 11, 2016, RIKEN, Wako.
4. O. Busch, "Exploring the QGP with Jets at ALICE", 32nd Heavy Ion cafe, RIKEN, Wako, Jan. 23, 2017
5. 江角 晋一, 『RHIC における QCD 相転移領域の実験研究』、シンポジウム「原子核コライダーにおける QCD 物理: クォーク・グルーオンプラズマの発見を中心に」, 日本物理学会第 72 回年次大会, 大阪大学 豊中キャンパス, 2017 年 3 月 17 日-20 日

#### < 国内会議発表 >

1. 向井もも, "Development of low-background gas-counter for the beta spectroscopy at KISS" 第 9 回 停止・低速不安定核ビームを用いた核分光研究会 (2017 年 3 月、原子力機構) (口頭発表)
2. 木村 創大, "Precision mass measurements of proton-rich nuclei in  $A \sim 60 - 80$  region with the multireflection time-of-flight mass spectrometer" 第 9 回 停止・低速不安定核ビームを用いた核分光研究会 (2017 年 3 月、原子力機構) (口頭発表)
3. 松中哲也, 笹公和, 高橋努, 松村万寿美, 末木啓介, 富田涼平, 恩田裕一, 石丸隆, 谷口圭輔, 脇山義史, 松崎浩之「福島河川と沿岸海洋環境における  $^{129}\text{I}/^{137}\text{Cs}$  比から推察される放射性のヨウ素とセシウムの挙動」平成 28 年度北関東支部「若手研究者発表会」, 東海, 2016.4.15.
4. 松中哲也, 笹公和, 高橋努, 松村万寿美, 末木啓介, 富田涼平, 恩田裕一, 石丸隆, 谷口圭輔, 脇山義史, 松崎浩之, 「福島河川の土壌・水圏における  $^{129}\text{I}/^{137}\text{Cs}$  分布から推測される放射性ヨウ素と放射性セシウムの挙動」, 第 53 回アイソトープ・放射線研究発表会、2016 年 7 月 6 日 (水)~7 月 8 日 (金)、東京大学弥生講堂 (東京都文京区弥生 1-1-1)
5. 笹 公和, 石井 聡, 大島弘行, 高橋 努, 田島義一, 大和良広, 関場大一郎, 森口哲朗, 左高正雄, 檜本洋, 工藤 博, 松村万寿美, 山崎明義, 松中哲也, 喜多英治, 上殿明良, 筑波大学タンデム加速器施設 UTTAC の現状 (2015 年度), 稼働を開始した 6 MV タンデム加速器によるイオンビーム利用研究の展望, 「第 29 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会」, 2016 年 6 月 30 日 (木) ~7 月 1 日 (金), 筑波大学 大学会館
6. 森口 哲朗, 笹 公和, 大島弘行, 石井 聡, 高橋 努, 田島義一, 大和良広, 関場大一郎, 喜多英治, 上殿明良筑波大学 12UD ペレトロンタンデム加速器の廃止措置, 「第 29 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会」, 2016 年 6 月 30 日 (木) ~7 月 1 日 (金), 筑波大学 大学会館
7. 山崎 明義, 笹 公和, 石井 聡, 黒澤正紀, 富田成夫, 上殿明良, 筑波大学 6MV タンデム加速器マイクロビームラインの整備状況, 「第 29 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会」, 2016 年 6 月 30 日 (木) ~7 月 1 日 (金), 筑波大学 大学会館

8. 松村 万寿美, 笹 公和, 松中哲也, 高橋 努, 細谷青児, 末木啓介, 筑波大学 6MV タンデム加速器による I-129 測定の性能評価-TSUKUBA I-129 STD 作製に向けて-, 「第 29 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会」, 2016 年 6 月 30 日 (木) ~ 7 月 1 日 (金), 筑波大学 大学会館
9. 細谷 青児, 笹 公和, 高橋 努, 松中哲也, 松村万寿美, 末木啓介, 36Cl-AMS 測定に向けた, 妨害核種 36S 除去の検討, 「第 29 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会」, 2016 年 6 月 30 日 (木) ~ 7 月 1 日 (金), 筑波大学 大学会館
10. 松中 哲也, 笹 公和, 細谷青児, 高橋 努, 松村万寿美, 末木啓介, ガスイオン源を用いた迅速 14C 測定法の検討, 「第 29 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会」, 2016 年 6 月 30 日 (木) ~ 7 月 1 日 (金), 筑波大学 大学会館
11. 椎名 陽子, 木下 亮, 松田 誠, 今井 誠, 川面 澄, 左高正雄, 笹 公和, 富田成夫, 高速クラスター照射におけるコンバイ電子収量の標的膜厚依存性, 「第 29 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会」, 2016 年 6 月 30 日 (木) ~ 7 月 1 日 (金), 筑波大学 大学会館
12. 笹 公和, 石井 聡, 大島 弘行, 高橋 努, 田島 義一, 大和 良広, 関場 大一郎, 森口 哲朗, 喜多英治, 上殿 明良, 筑波大学複合タンデム加速器施設の現状報告, 第 13 回日本加速器学会年会, 2016 年 8 月 8 日 (月) ~ 10 日 (水), 幕張メッセ国際会議場
13. 笹 公和, Stodola Mark, Sundquist Mark, 複合イオンビーム利用研究の展開を目指した 6 MV タンデム型静電加速器の開発, 第 13 回日本加速器学会年会, 2016 年 8 月 8 日 (月) ~ 10 日 (水), 幕張メッセ国際会議場
14. 黒尾奈未, 笹公和, 細谷青児, 松中哲也, 6MV タンデム型静電加速器におけるビーム輸送設定条件の検討, 第 13 回日本加速器学会年会, 2016 年 8 月 8 日 (月) ~ 10 日 (水), 幕張メッセ国際会議場
15. 椎名陽子, 木下亮, 松田誠, 今井誠, 川面澄, 左高正雄, 笹公和, 富田成夫, 炭素薄膜への高速クラスターイオン照射における 0 度電子分光 I, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 2016 年 9 月 13-16 日, 金沢大学
16. 佐藤志彦, 末木啓介, 笹公和, 福島第一原発北西部における放射性物質と放射性粒子の関係, 2016 日本放射化学学会年会・第 60 回放射化学討論会, 2016 年 9 月 10 日 ~ 12 日, 新潟大学五十嵐キャンパス
17. 松中 哲也, 笹 公和, 細谷 青児, 高橋 努, 松村 万寿美, 末木 啓介, CO<sub>2</sub> ガスイオン源を用いた迅速 <sup>14</sup>C-AMS の開発, 2016 日本放射化学学会年会・第 60 回放射化学討論会, 2016 年 9 月 10 日 (土) ~ 12 日 (月), 新潟大学五十嵐キャンパス
18. 富田涼平, 松中哲也, 本多真紀, 佐藤志彦, 松村万寿美, 高橋努, 坂口綾, 松崎浩之, 笹公和, 末木啓介, 福島原発事故以降の 河川 における溶存態と底質土のセシウム同位体比変化, 2016 日本放射化学学会年会・第 60 回放射化学討論会, 2016 年 9 月 10 日 ~ 12 日, 新潟大学五十嵐キャンパス
19. 黒澤正紀, 笹公和, 石井聡, 対馬花崗岩の流体包有物中のチタン濃度, 日本鉱物科学学会年会, 2016 年 9 月 23 日 ~ 25 日, 金沢大学
20. 池端 慶, 服部浩一, 黒澤 正紀, 小室光世, 笹 公和, 石井 聡, 三好陽子, 島田和彦, 戸塚修平, 石橋純一郎, 中部沖縄トラフ伊平屋北海丘熱水域に産する黄鉄鉱の 微量元素組成の特徴, 日本火山学会 2016 年度秋季大会学術講演会, 2016 年 10 月 13 日 ~ 15 日, 富士吉田市民会館富士山ホール (山梨県富士吉田市)
21. 笹 公和, 左高 正雄, 檜本 洋, 工藤 博, 低 LET 加速粒子による放射線耐性試験のための宇宙用素子照射装置の開発, 日本原子力学会 2016 年秋の大会, 2016 年 9 月 7 日 ~ 9 日, 福岡県久留米シ

ティブラザ

22. 細谷 青児, 笹 公和, 高橋 努, 松中 哲也, 松村 宏, 松村 万寿美 万寿美, 末木 啓介, 難測定核種  $^{41}\text{Ca}$  の加速器質量分析法による超高感度測定, 日本原子力学会 2016 年秋の大会, 2016 年 9 月 7 日~9 日, 福岡県久留米シティブラザ
23. 末木 啓介, 佐藤 志彦, 笹 公和, 福島第一原発から北西地域における放射性核種と放射性粒子, 日本放射線安全管理学会 第 15 回学術大会, 2016 年 11 月 30 日~12 月 2 日, 岡山大学
24. 松村万寿美, 笹 公和, 松中 哲也, 末木 啓介, 高橋 努, 渡邊 雅也, 松崎 浩之, 福島第一原子力発電所 事故前後における降水中のヨウ素 129 濃度の推移, 日本放射線安全管理学会 第 15 回学術大会, 2016 年 11 月 30 日~12 月 2 日, 岡山大学
25. 村上道夫, 荻澤貴夫, 吉兼隆生, 末木啓介, 笹公和, 芳村圭, 仮想的な原子力発電所事故における飲食物由来の被ばく量と希釈率の推定, 2016 年度第 29 回日本リスク研究学会年次大会, 2016 年 11 月 25~27 日, 大分市 ホルトホール大分
26. 笹 公和, 宇宙線生成核種の超高感度検出を実現する 6 MV タンデム加速器質量分析装置, 第 2 回 TIA 光・量子計測シンポジウム- 光・量子が繋ぐ TIA 計測連携 新しい科学と産業の創製をめざして, 2016 年 11 月 10 日, つくば国際会議場 2F 中会議室 201B 202
27. 山崎明義, 笹公和, 石井聡, 黒澤正紀, 富田成夫, 椎名陽子, 檜本洋, 左高正雄, 工藤博, 志岐成友, 藤井剛, 浮辺雅宏, 大久保雅隆, 上殿明良, 喜多英治, 筑波大学 6MV タンデム加速器イオンマイクロビームシステムの整備状況, 第 2 回 TIA 光・量子計測シンポジウム- 光・量子が繋ぐ TIA 計測連携 新しい科学と産業の創製をめざして, 2016 年 11 月 10 日, つくば国際会議場 2F 中会議室 201B 202
28. 中本尚樹, 新田紀子, 土田秀次, 富田成夫, 笹 公和, 平田浩一, 平野貴美, 山田圭介, 千葉敦也, 斎藤勇一, 鳴海一雅, 高速  $\text{C}_{60}$  フラレーンイオンビーム照射による GaSb 表面改質, 高知工科大学 総合研究所ナノテク研シンポジウム 2016, 2016 年 11 月 12 日, 高知工科大学 永国寺キャンパス
29. Y. Shiina, R. Kinoshita, M. Matsuda, M. Imai, K. Kawatsura, M. Satoka, K. Sasa and S. Tomita, Target thickness dependence of convoy electron yield observed in fast cluster ion bombardment on thin foils, 第 17 回「イオンビームによる表面・界面」特別研究会, 2016 年 1 2 月 3 日 4 日京都府立大学
30. 細谷青児, 笹公和, 高橋努, 松中哲也, 松村万寿美, 末木啓介,  $^{41}\text{Ca}$ -AMS の実用化に向けた技術開発と測定評価, 第 19 回日本 AMS シンポジウム (JAMS-19), 2016 年 12 月 17 - 18 日, 国立歴史民俗博物館 講堂
31. 本多真紀, 高久雄一郎, 大野剛, 角田伸一郎, 鹿籠康行, 松崎浩之, 坂口綾, 笹公和, 高橋努, 松中哲也, 松村万寿美, 細谷青児, 末木啓介, AMS とコリジョン/リアクションセル ICP-MS による環境試料中の  $^{129}\text{I}$  の分析, 第 19 回日本 AMS シンポジウム (JAMS-19), 2016 年 12 月 17 - 18 日, 国立歴史民俗博物館 講堂
32. 稲葉留衣, 坂口綾, 野村知哉, 山川茜, 山野博哉, 佐々木圭一, 渡邊剛, Peter Steier, 本多真紀, 笹公和, 松中哲也, 細谷青児, 高橋努, 松村万寿美, 末木啓介, サンゴコア分析による長寿命人工放射性核種の日本海導入履歴復元の試み, 第 19 回日本 AMS シンポジウム (JAMS-19), 2016 年 12 月 17 - 18 日, 国立歴史民俗博物館 講堂
33. 松村万寿美, 笹公和, 松中哲也, 高橋努, 細谷青児, 末木啓介, 筑波大学におけるヨウ素 129 標準試料作製計画, 第 19 回日本 AMS シンポジウム (JAMS-19), 2016 年 12 月 17 - 18 日, 国立歴史民俗博物館 講堂
34. Hongtao Shen, Jiang Shan, Kimikuzu Sasa, Masumi Matsumura, Tetsuya Masunaka, Tsutomu Taka-

- hashi, Seiji Hosoya, Keisuke Sueki, Study on  $^{36}\text{Cl}$ -AMS for Exposure Age Dating of Guangxi Tiankeng, 第 19 回日本 AMS シンポジウム (JAMS-19), 2016 年 12 月 17 - 18 日, 国立歴史民俗博物館 講堂
35. 松中哲也, 笹公和, 高橋努, 細谷青児, 松村万寿美, 末木啓介, 佐藤志彦, 東日本原子力施設周辺の年輪内における 1960 年以降の炭素 14 濃度変動, 第 19 回日本 AMS シンポジウム (JAMS-19), 2016 年 12 月 17 - 18 日, 国立歴史民俗博物館 講堂
  36. 末木啓介, 松尾一樹, 太田裕貴, 本多真紀, 坂口綾, 笹公和, 松中哲也, 高橋努, 細谷青児, 松村万寿美, 佐藤志彦, 福島事故由来の放射性物質における長寿命核種の AMS 測定, 第 19 回日本 AMS シンポジウム (JAMS-19), 2016 年 12 月 17 - 18 日, 国立歴史民俗博物館 講堂
  37. 松中 哲也, 笹 公和, 高橋 努, 細谷 青児, 松村 万寿美, 末木 啓介, 佐藤 志彦, 東海原子力施設の稼働状況に回答した樹木年輪内の炭素 14 濃度変動, 第 18 回「環境放射能」研究会, 2017 年 3 月 14 ~ 3 月 16 日
  38. 細谷青児, 笹公和, 松中哲也, 高橋努, 松村万寿美, Hongtao Shen, 末木啓介「長寿命放射性核種  $^{36}\text{Cl}$  の加速器質量分析法による超高感度測定」, 第 18 回「環境放射能」研究会, つくば, 2017.3.14-16.
  39. 新田紀子, 中本尚樹, 土田秀次, 富田成夫, 笹 公和, 平田浩一, 平野貴美, 山田圭介, 千葉敦也, 斎藤勇一, 鳴海一雅, 高速  $\text{C}_{60}$  フラワーイオンビーム照射による GaSb への照射効果, 日本金属学会、2017 年春期 (第 160 回) 講演大会, 首都大学東京南大沢キャンパス, 2017 年 3 月 15 日 (水) ~ 3 月 17 日 (金)
  40. 細谷青児, 笹公和, 高橋努, 松中哲也, 松村万寿美, Hongtao Shen, 末木啓介, 加速器質量分析法における  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{36}\text{Cl}$  の高感度測定のための同重体分離手法の検討とその測定性能評価, 日本原子力学会 2017 年春の年会, 東海大学湘南キャンパス, 2017. 3. 27-29.
  41. 笹 公和, 山崎明義, 石井 聡, 黒澤正紀, 富田成夫, 左高正雄, 檜本 洋, 工藤 博, 構造材料計測用イオンビーム分析装置の開発, 日本原子力学会 2017 年春の年会, 東海大学湘南キャンパス, 2017. 3. 27-29.
  42. 野中 俊宏 「Measurement of Sixth Order Cumulant of Net-Proton Multiplicity Distribution at  $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 200 \text{ GeV}$  from the STAR experiment」, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 宮崎大学木花キャンパス、2016 年 9 月 21 日 (水) ~ 24 日 (土)
  43. 田中 直斗 「LHC-ALICE 実験  $\sqrt{s_{\text{NN}}}2.76\text{TeV}$  Pb+Pb 衝突における量子力学的干渉効果のイベント平面に対する方位角依存性の研究」, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 宮崎大学木花キャンパス、2016 年 9 月 21 日 (水) ~ 24 日 (土)
  44. 細川 律也 「LHC-ALICE 実験  $\sqrt{s_{\text{NN}}}5.02\text{TeV}$  pp 衝突におけるジェット横運動量スペクトル測定」, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 宮崎大学木花キャンパス、2016 年 9 月 21 日 (水) ~ 24 日 (土)
  45. 杉浦 哲郎 「RHIC-STAR 実験金 + 金衝突における net-charge 揺らぎの 依存性」, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 宮崎大学木花キャンパス、2016 年 9 月 21 日 (水) ~ 24 日 (土)
  46. T. Chujo, "Forward Calorimeter upgrade in ALICE", CiRfSE workshop, Jan 24, 2017 Univ. of Tsukuba
  47. S. Mizuno, "Prompt identified particle spectra at RHIC-STAR", CiRfSE workshop, Jan 24, 2017 Univ. of Tsukuba
  48. S. Sakai, "Heavy flavor measurements at LHC-ALICE", CiRfSE workshop, Jan 24, 2017 Univ. of Tsukuba
  49. H. Nakagomi, "Azimuthal anisotropy in CuAu collisions at RHIC-PHENIX", CiRfSE workshop, Jan 24, 2017 Univ. of Tsukuba

50. T. Nonaka, "Fluctuations at RHIC-STAR", CiRfSE workshop, Jan 24, 2017 Univ. of Tsukuba
51. N. Tanaka, "Azimuthally sensitive HBT measurements at LHC-ALICE", CiRfSE workshop, Jan 24, 2017 Univ. of Tsukuba
52. R. Aoyama, "Multi-particle correlations at RHIC-STAR", CiRfSE workshop, Jan 24, 2017 Univ. of Tsukuba
53. R. Hosokawa, "Jet measurements at LHC-ALICE", CiRfSE workshop, Jan 24, 2017 Univ. of Tsukuba
54. J. Lee, "Jet-hadron correlations at LHC-ALICE", CiRfSE workshop, Jan 24, 2017 Univ. of Tsukuba
55. K. Sato, "MRPC-TOF development for future experiments", CiRfSE workshop, Jan 24, 2017 Univ. of Tsukuba
56. 江角 晋一, 「RHIC ビームエネルギー走査実験と STAR 実験のアップグレード計画」, 日本物理学会第 72 回年次大会, 大阪大学 豊中キャンパス, 2017 年 3 月 17 日-20 日
57. 横山 広樹, 「The nuclear modification of charged jets in  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV Pb-Pb collisions at LHC-ALICE」, 日本物理学会第 72 回年次大会, 大阪大学 豊中キャンパス, 2017 年 3 月 17 日-20 日
58. 野中 俊宏, 「Centrality and Acceptance Dependence of Sixth Cumulant of Net-Proton Multiplicity Distribution at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV at the STAR experiment」, 日本物理学会第 72 回年次大会, 大阪大学 豊中キャンパス, 2017 年 3 月 17 日-20 日
59. 杉浦 哲郎, 「RHIC-STAR 実験金 + 金衝突における net-charge 揺らぎの 依存性」, 日本物理学会第 72 回年次大会, 大阪大学 豊中キャンパス, 2017 年 3 月 17 日-20 日
60. 工藤 咲子, 「RHIC-PHENIX 実験 3He+Au 衝突における 高運動量の荷電ハドロン生成量の測定」, 日本物理学会第 72 回年次大会, 大阪大学 豊中キャンパス, 2017 年 3 月 17 日-20 日
61. 川名 大地, 「LHC-ALICE 実験 超前方光子測定用電磁カロリメータ Si PAD 及び Si Pixel 統合型試作機のテストビーム実験による性能評価」学部学生ポスターセッション), 日本物理学会第 72 回年次大会, 大阪大学 豊中キャンパス, 2017 年 3 月 17 日-20 日

#### < 科学研究費取得状況 >

1. 基盤研究 (A) 「多種の長寿命放射性核種を超高感度で検出可能な加速器質量分析法の開発」, 研究期間: 2015 - 2018 年度、研究経費: 直接経費 33,500 千円、間接経費 10,050 千円、2016 年度: 10,790 千円 (直接経費: 8,300 千円, 間接経費: 2,490 千円)、研究代表者: 笹 公和、研究分担者: 末木啓介、坂口綾、松崎浩之、松四 雄騎、松村宏、國分陽子
2. 挑戦的萌芽研究 「炭素 14 マッピング直接測定を目指したレーザーアブレーション加速器質量分析法の開発」, 研究期間: 2014 - 2016 年度、研究経費: 直接経費 3,000 千円、間接経費 900 千円、2016 年度: 910 千円 (直接経費: 700 千円, 間接経費: 210 千円)、研究代表者: 笹 公和、研究分担者: 末木啓介
3. 新学術領域研究 (研究領域提案型) 新型飛行時間検出器による Ni 同位体の質量測定、代表 (小沢顕) 2,800 千円、840 千円
4. 新学術領域研究 (研究領域提案型) 「福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態に関する学際的研究」, 「水・土砂移動に伴う放射性物質の移行過程の理解」研究期間: 2012 - 2016 年度、研究経費: 直接経費: 85,200 千円, 間接経費: 25,560 千円、研究代表者: 恩田 裕一、研究分担者: 笹 公和、分担金: 2016 年度 1,000 千円

5. 科学研究費 基盤研究 (B)「革新的な超伝導分子検出技術の開拓と宇宙における分子進化の精密評価への展開」、研究代表者：浮辺雅宏 (産総研)、研究分担者：笹公和、富田成夫、平成 27 年度～平成 30 年度 13,100 千円、分担金：2016 年度 150 千円
6. 若手研究 (B)「スキン構造理解のための不安定原子核の陽子及び中性子密度分布の研究」、研究代表者：森口哲朗、平成 29 年度～平成 31 年度、直接経費 3200 (千円) 間接経費 900 (千円)
7. 基盤研究 (B)「粒子・ジェット方位角相関測定によるグルーオン衝撃波の探索」、研究代表者：三明康郎、平成 25 年度～平成 28 年度、配分総額 14300 (千円)
8. 挑戦的萌芽研究「高エネルギー実験のための 10 ピコ秒 飛行時間測定器の開発」、研究代表者：中條達也、平成 27 年度～平成 29 年度、配分総額 3900 (千円)

#### < 外部資金取得状況 >

1. 内閣府 SIP (戦略的創造研究プログラム)「革新的構造材料」、「構造材料の未活用情報を測定する先端計測技術開発」(研究拠点型) 研究代表者：大久保雅隆 (産業技術総合研究所) 筑波大学機関代表：喜多英治、副代表：笹公和、事業参加者：12 名、平成 26 年度～平成 30 年度 配分経費：250,000 千円、2016 年度 42,922 千円
2. 日米科学技術協力事業、「相対論的重イオン加速器をもちいた PHENIX 実験」、研究代表者：江角晋一、平成 28 年度、配分総額 13800 (千円)

#### < 学内プロジェクト >

1. 平成 28 年度 TIA 連携プログラム探索推進事業「かけはし」「加速器総合技術インターンシップの構築」【調査研究代表者】代表 高エネルギー加速器研究機構 道園 真一郎【TIA 内連携機関：連携機関代表者】 筑波大学：笹公和、筑波大学配分経費 300,000 円