

## VI. 原子核実験グループ

教授	小沢顕、三明康郎
准教授	新井一郎、江角晋一、笹公和
講師	中條達也
助教	Busch Oliver、森口哲朗、鈴木伸司
研究員	益井宙、水野三四郎
技官	加藤純雄
大学院生	石橋陽子 (D3)、木村創大 (D3)、中込宇宙 (D3)、Bhom Jihyun(D3)、福岡翔太 (D3)、渡邊大介 (D3)、田中直斗 (D2)、向井もも (D2)、横山広樹 (D2)、新井郁也 (D1)、野中俊宏 (D1)、細川律也 (D1)、青山遼 (M2)、李準一 (M2)、市川ゆきな (M2)、塩谷知弘 (M2)、平野勝大 (M2)、山本大貴 (M2)、伊藤喬一郎 (M1)、金兼徹 (M1)、小山亮平 (M1)、工藤咲子 (M1)、松永一成 (M1)、福田悠裕 (M1)
卒業研究生	佐藤一輝、田尻芳之、平石健太郎、細谷青児、松本拓也

### 【1】低エネルギー原子核実験グループ

(新井一郎、小沢顕、笹公和、森口哲朗、鈴木伸司)

#### (1) 稀少 RI リングプロジェクトの現状

平成 16 年 4 月以来、理化学研究所の RI ビームファクトリー (RIBF) の大型基盤実験装置の一つとして稀少 RI リング (Rare-RI Ring) の開発研究を行ってきた。稀少 RI リングは、RIBF 棟の K4 室に設置され、平成 24 年 4 月より製作が始まっている。

平成 27 年度は、加速器からのビームを使った初めてのコミッショニング実験を 2 回行った。最初のコミッショニング実験では、ビーム輸送系の確立、個別入射の確認、等時性磁場の検証などを目的とし、168 A MeV の  $^{78}\text{Kr}$  ビームを用いて平成 27 年 6 月に行った。光学計算に基づき入射軌道を調整した後、キッカー電磁石を励磁し、そのタイミング及び強度を調整することで  $^{78}\text{Kr}$  を 1 粒子毎に周回軌道にのせ、個別入射に成功した。その後、リング周回軌道に設置したビームモニタで周期的な信号を観測し、粒子がリングに入射され周回したことを確認した。さらに入射に使用したキッカー磁石により、出射を行い、リング出口に設置したプラスチックシンチレータにて信号を確認した。等時性度の確認には、図 1 に示すように、縦軸をリングの入口と出口に設置したプラスチックシンチレータの時間差 (TOF)、横軸を入射ラインの運動量分散地点で取得した運動量とした 2 次元プロットを活用した。(dB/dr)/ $B_0$  はリング内磁場の動径方向依存性を示すパラメーターで、このパラメーターを変更することにより等時性度を調整する。図 1 に示すように、0.279 で運動量に対してほぼフラットとなった。この図の TOF の幅から導出した等時性度は、 $7 \times 10^{-6}$  であり、シミュレーションの結果とほぼ一致した。

リング内には、共鳴空洞をピックアッププローブとする非破壊型のビームモニタ (共鳴空洞型ショットキーピックアップ) も設置されている。取出しを行わない蓄積モードでイベントの発生を観測した。典型的なショットキーピックアップのスペクトルを図 2 に示した。1 粒子の  $^{78}\text{Kr}$  がリング内を周波数を変えながら 4 秒程度周回したことを示している。(コミッショニング実験までの開発研究と最初のコミッショニング実験についての詳細は、文献 [1] を参照されたい。)

平成 27 年 12 月には、BigRIPS で  $^{48}\text{Ca}$  一次ビームから生成された二次ビーム ( $^{36}\text{Ar}$  と  $^{35}\text{Cl}$ ) の入射

と出射に成功した。これらの核の質量は既知であるので、TOF 測定から質量の導出が可能であり、現在解析中である。平成 28 年度は、U 一次ビームから生成した中性子過剰核の質量測定を予定している。

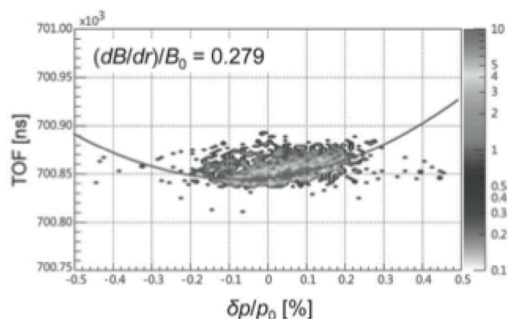


図 1 縦軸を TOF 横軸を運動量とした 2 次元プロット。(dB/dr)/B<sub>0</sub>=0.279 における結果を示した。曲線は、2 次関数でフィットした結果で、等時性の傾向の目安を示す。

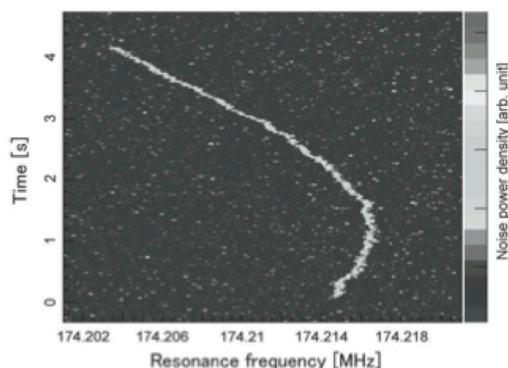


図 2 縦軸は時間経過、横軸はショットキーピークアップの共鳴周波数を示す。線が <sup>78</sup>Kr に由来する信号である。

## (2) 飛行時間検出器の開発

稀少 RI リングでは飛行時間の測定により不安定核の質量を決定する。精密質量測定を行うためには精度良く飛行時間を測定する検出器が必要であり、現在開発中である。検出器に求められる性能は 100 ps 以下の時間分解能、物質量が少ない、高い検出効率、アクセプタンスが大きいことである。これらの要求を達成するため、二次電子を発生させるためのアルミニウムマイラー膜と、マイクロチャンネルプレート (MCP) を組み合わせた検出器の開発を行っている。この検出器は、荷電粒子が膜を通過した時に放出される二次電子を電場と磁場を用いて MCP へと導き電子を増幅して信号を得る。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する。その効果を小さくするため、今年度は電場を大きくして時間分解能の向上を図った。印可する電場は 650 V/mm 程度であり、これまでより 4 倍以上大きくした。電場の増強に伴って磁場も大きくする必要があり、永久磁石を用いて約 190 Gauss の磁場を発生させた。さらに、今年度は検出効率を向上させるため MCP を二台に増設した。これまでは、ビーム進行方向と同じ方向に放出された二次電子のみを検出していたが、ビーム進行方向と反対方向に放出する二次電子も検出できるように二台の MCP を配置し、前方放出と後方放出の二次電子を独立に検出できるように改良した (図 3)。放射線医学総合研究所の HIMAC (Heavy Ion Accelerator in Chiba) から供給される <sup>84</sup>Kr ビームを用いて性能評価を行った。前方放出と後方放出のどちらも時間分解能は  $\sigma \sim 50$  ps であり、検出効率は前方放出と後方放出の OR をとることにより最大 99% の結果を得た。時間分解能と検出効率ともに目標を達成した。現在は小型試作機のため MCP の有効領域は  $\phi 14.5$  mm である。今後は有効領域のより大きな MCP を用いて大きなビームサイズに対応できるように検出器の大型化を行って実機完成を目指す。

## (3) 陽子共鳴吸収反応による不安定核の生成

安定核の陽子共鳴吸収反応は、宇宙元素合成などの興味から良く研究されている。この陽子共鳴吸収

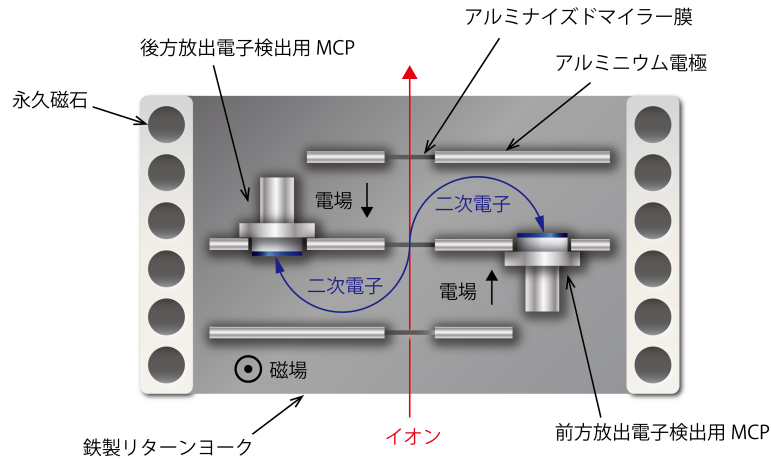


図3 両読型飛行時間検出器の模式図。

反応は、不安定核生成の観点でも興味深い。応用加速器部門の6MVタンデム加速器には、ラムシフト型偏極イオン源があり、偏極した陽子ビームの生成が可能である。偏極陽子を使用することにより、核偏極した不安定核が生成できる可能性がある。核偏極した不安定核が生成できれば、線の非対称放出を指標とした核磁気共鳴法（ $\gamma$ -NMR法）により、不安定核の核モーメントの研究を行うことができる。以上の動機から、我々は、2015年3月から応用加速部門の1MVタンデトロンにおいて、陽子共鳴吸収反応の研究を始めた。

平成27年度は、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 $^{25}\text{Al}$ ( $I=5/2^+$ ,  $T_{1/2}=7.1$  s)と $^{30}\text{P}$ ( $I=1^+$ ,  $T_{1/2}=150$  s)の生成を試みた。それぞれ、 $^{24}\text{Mg}(p, \gamma)^{25}\text{Al}$ 、 $^{24}\text{Mg}(p, \gamma)^{25}\text{Al}$ という陽子共鳴吸収反応を使用する。陽子ビームエネルギーは860keVで、平均的なビーム強度は $1\ \mu\text{A}$ であった。標的の厚さは、Mgは0.32mm、Siは0.51mmであった。この厚さでは、陽子ビームは標的中で止まってしまふ。標的中で止まるまでに、Mg標的中の $^{24}\text{Mg}$ は、3つのエネルギー（223, 419, 823 keV）で共鳴を起こし、Si標的中の $^{29}\text{Si}$ は、4つのエネルギー（333, 414, 695, 730 keV）で共鳴を起こす。陽子吸収後の $^{25}\text{Al}$ と $^{30}\text{P}$ の励起状態からは、それぞれ固有の線が放出されるが、この線は、2台のGe検出器で測定した。Ge検出器のエネルギーと検出効率の校正は、 $^{152}\text{Eu}$ 線源で行った。測定された典型的な線スペクトルを図4に示した。 $^{25}\text{Al}$ と $^{30}\text{P}$ の生成量は、測定された線のピークの積分値に検出効率を考慮し、さらに $^{25}\text{Al}$ と $^{30}\text{P}$ でそれぞれ総和をとることにより得た。得られた $^{25}\text{Al}$ と $^{30}\text{P}$ の生成量はそれぞれ180cps/ $\mu\text{A}$ と160cps/ $\mu\text{A}$ であった。MgとSi標的には、それぞれ他のアイソトープが混入している。Ep=860keVでは、他のアイソトープも陽子共鳴吸収反応を起こし得る。上と同じ方法で、他のアイソトープの生成量も評価した。 $^{29}\text{P}$ と $^{31}\text{P}$ の生成量は、30cps/ $\mu\text{A}$ と380cps/ $\mu\text{A}$ であり、 $^{26}\text{Al}$ 、 $^{26m}\text{Al}$ と $^{27}\text{Al}$ の生成量は、540cps/ $\mu\text{A}$ 、350cps/ $\mu\text{A}$ と2100cps/ $\mu\text{A}$ であった。これらの混入核のうち $\gamma$ -NMRのシリアスなバックグラウンドとなるものは、Si標的では、 $^{29}\text{P}$ ( $I=5/2^+$ ,  $T_{1/2}=7.1$  s)のみであり、Mg標的では、 $^{26m}\text{Al}$ ( $I=0^+$ ,  $T_{1/2}=6.3$  s)のみである。

今回の実験で、陽子共鳴吸収反応は、 $^{25}\text{Al}$ および $^{30}\text{P}$ の生成に対してきわめて効果的であることがわかった。今後は、6MVタンデム加速器で研究を進めていく。

#### (4) KISSの開発状況

KISSでは平成27年度、(i)三段RFイオンガイドの導入、(ii)ガス検出器の開発を行った。平成27年

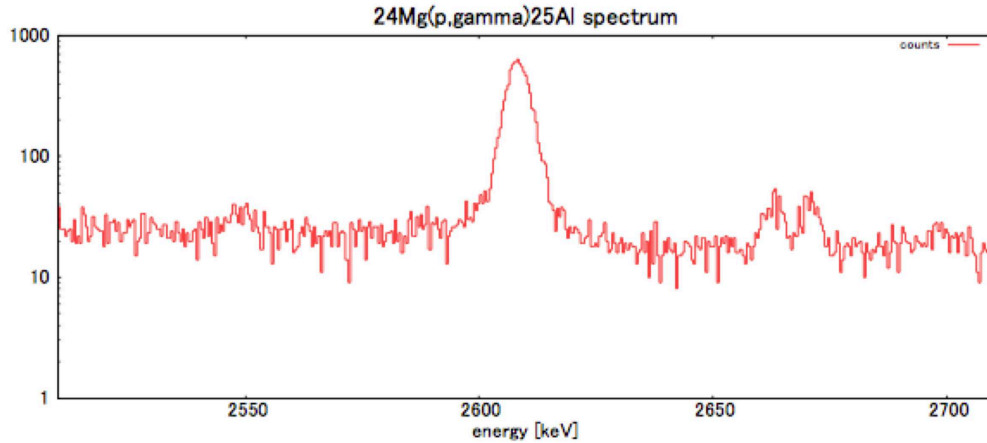


図4 Mg 標的の陽子共鳴吸収反応で観測された 2610 keV の線のスペクトル。これは、 $^{24}\text{Mg}(p, \gamma)^{25}\text{Al}$  により生成した  $^{25}\text{Al}$  の 3062keV の励起状態から放出された線である。

度後半のオンライン試験では、新たに (iii) ドーナツガスセルを導入した。また、(iv) $^{199}\text{Pt}$  の磁気モーメント及び荷電半径の同位体シフト測定に成功した。

(i) 三段 RF イオンガイドの導入：短寿命核の中性原子輸送時間の短縮化に向けて、ガスセル出口穴径の大口径化を計画しており、それに伴う下流のイオン輸送系改造に着手した。出口穴径が大きくなるとガスジェットによるイオンビームの広がりが従来よりも大きくなるため、現在の 2 段構成の六重極 RF イオンガイドの上流に、内径の大きな八重極 RF イオンガイドを導入した。Ir フィラメントを用いたオフライン試験で、ガス圧に応じてイオンガイドの RF 強度・DC 電圧を最適化した。このイオン輸送系では、イオンガイド間に微小な電位差を与えて分子状イオンを乖離し、単原子イオンの収量を改善できる。2015 年 9 月のオンライン試験で分子乖離の試験を行い、全引き出し量に対して、90% 以上の割合で単体の  $^{198}\text{Pt}$  イオンを引き出せた。ガスセル出口穴の大口径化による輸送速度の変化については今後確認を行う。

(ii) ガス検出器の開発：未知核種の寿命測定には、バックグラウンド計数率が 0.01cps 以下の検出器が要求される。この条件を満たすために、低密度物質で構成されたガス検出器 (図 5) の開発を始めた。陽極線と台形型の陰極箔でできた微小検出器ユニットを同心円状に 2 層配置して、内・外層ユニット間の同時計数信号による位置選択的な  $\beta$  線検出を行う。周囲に配置される Ge 検出器の立体角を確保するためコンパクトな設計になった。高効率 (100%) かつ長時間安定動作を実現するため、P10 ガスを用いて比例計数領域で使用する予定である。試作機の性能試験では、ユニット検出器の効率は 95% 以上で、一週間以上の安定動作を確認した。夏には実機を完成させて、9 月の寿命測定実験で使用する予定である。(iii) ドーナツガスセルの導入：これまでのガスセルでは、ガスセルと真空チェンバー間の真空隔離膜 (ハーバー、厚さ  $2.5\mu\text{m}$ ) がビームによる熱で破損するのを防ぐため、最大入射強度を 20pnA に制限していた。今後の 10 倍以上のビーム強度による中性子過剰未知核種生成に向けて、ビームをガスセル内に入射させず、多核子移行反応生成物のみをカプトン薄膜 ( $5\mu\text{m}$ ) を通して打ち込めるドーナツ型ガスセルを開発した。2016 年 1 月と 3 月のオンライン試験では、従来のガスセルと同等の引出し効率を確認できた。今後は、回転標的を準備し、ビーム強度を 250pnA まで増やす予定である。

(iv) $^{199}\text{Pt}$  の磁気モーメント測定：2016 年 1 月と 3 月のオンライン試験では、励起レーザーの波長スキャンにより  $^{199}\text{Pt}(I = 5/2, \text{原子遷移 } J_{\text{gs}} = 3 \rightarrow J_{\text{ex}} = 4)$  の超微細構造のレーザー核分光に成功した (図 6)。得られた準位分布の解析から磁気モーメントおよび荷電半径の同位体シフト量を導出した。今後、核モ

デルとの比較から核構造を議論する予定である。

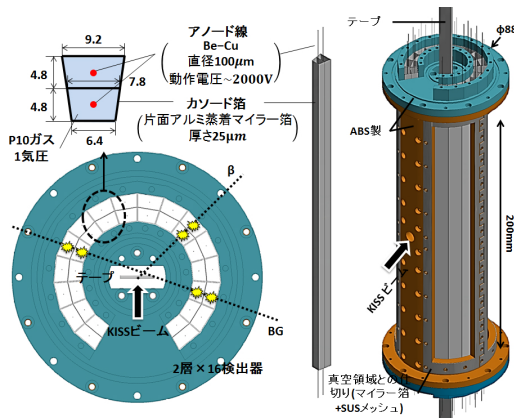


図5 ガス検出器の概略図(上から見た図)。

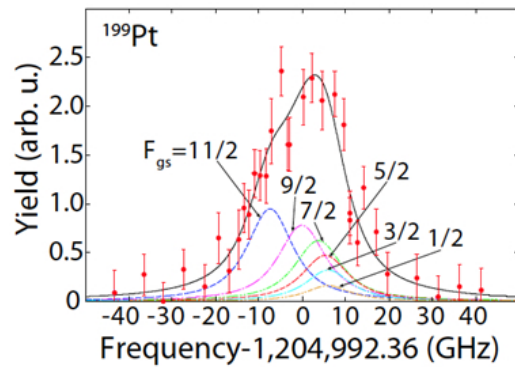


図6  $^{199}\text{Pt}$  の準位分布 ( $\lambda=248.792\text{nm}$ )。

### (5) 福島第一原発事故起源の放射性物質の環境移行研究

2011年3月に発生した福島第一原発(FDNPP)事故では、大量の放射性物質が環境中に放出された。放出時における放射性物質の形態は、環境動態研究において重要な初期情報の1つであるが、その形態として、放射性セシウムを含む粒子が確認されている。FDNPP事故における放射性粒子の実態を明らかにするため、FDNPPから北西方向の半径20km圏内の帰還困難区域において採取した土壌から放射性粒子を分離し、化学形態について分析を行った。粒子の形状は先行研究で報告されている球状に加え、断片状や複数の粒子が結合した構造のものが見つかった。線測定で、全ての粒子から $^{134}\text{Cs}$ および $^{137}\text{Cs}$ を検出した。また2つの異なるCs同位体比が観測され、2011年3月12日に1号機からも放射性粒子が放出されたことを確認した。構成元素はEDSでSi、O、Fe、Znに加え、一部の粒子からCsの存在を確認した。また、全ての粒子においてSiの割合が多かった[2]。

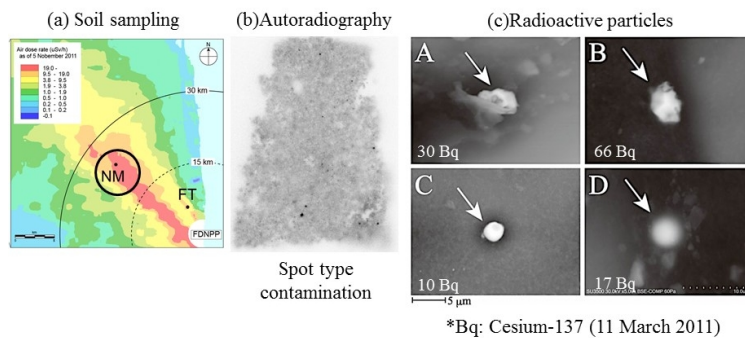


図7 (a) Sampling point. (b) Autoradiography image obtained by the imaging plate (IP) technique. Black spots indicate aggregates of radioactive atoms. (c) SEM images of four radioactive particles (arrows) isolated from the soil sample.

その他に、放射性ヨウ素の河川における挙動と沿岸環境中の分布について、調査研究を実施している。FDNPP事故によって、 $^{129}\text{I}$ (半減期: 1,570万年)と $^{131}\text{I}$ (半減期: 8.02日)を含む揮発性の核分裂生成物質が多量に放出された。環境中に放出された $^{129}\text{I}$ と $^{131}\text{I}$ は、陸域から河川および海洋環境にわたる

移行挙動を長期的に把握することが必要な核種の 1 つである。

2015 年度は、福島県浪江町新田川下流域における粒子状  $^{129}\text{I}$  の供給源と放出量の継時調査を実施した。新田川下流における月ごとの粒子状  $^{129}\text{I}$  は  $0.92 \sim 4.1 \text{ mBq kg}^{-1}$  であり、懸濁物質と強い相関性が認められた ( $R^2 = 0.88$ )。降水量の多かった月では、粒子状  $^{129}\text{I}$  の放出量は  $7.6 \sim 9.0 \text{ kBq month}^{-1}$  と推定され、放射能汚染の比較的強い上流域から粒子状  $^{129}\text{I}$  が多量に輸送されていることが判明した [3]。

#### (6) 筑波大学 6 MV タンデム加速器システムの導入

筑波大学研究基盤総合センター応用加速器部門において、震災復興計画により開発をおこなった 6 MV タンデム加速器が 2015 年度に完成した。6 MV タンデム加速器は、2016 年 1 月に放射線発生装置としての施設検査に合格しており、2016 年 3 月より本格的な運用を開始した。図 8 に筑波大学 6 MV タンデム加速器の概略図を示す。加速器システムとしては、5 台の負イオン源と 12 本のビームラインを有している。加速器本体は、ペレトロン型タンデム (National Electrostatics Corp., USA 製, 18SDH-2) であり、全長 10.5 m、直径 2.7 m の加速タンク内に強化アクリルガラス支柱に保持されたコンプレスト型加速管を設置している。なお、加速器の最高到達電圧としては、6.5 MV を記録している。電圧制御は GVM 制御とスリット電流負帰還制御の 2 方式により、 $\Delta V/V=10^{-4}$  以下の電圧安定性を得ている。ラムシフト偏極イオン源による偏極陽子と重陽子から、重イオン用 Cs スパッタ負イオン源による Au までの多種のイオンを加速可能である。加速エネルギー範囲は、1 keV 分解能で陽子は 1.5 MeV から 13 MeV まで、Au イオンでは 90 MeV までとなっている。高度に制御されたイオンビームは、イオンビーム物質分析法や加速器質量分析法、宇宙環境用半導体のイオン照射実験などに適用可能である。

国内最大規模となる 6 MV 加速器質量分析 (AMS) システムの極微量核種検出ライン (L4 ライン) は  $22.5^\circ$  静電分析器と 5 電極型ガス  $\Delta E$ -E 検出器からなっており、 $^{10}\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{41}\text{Ca}$ ,  $^{129}\text{I}$  等の多核種の高感度 AMS 測定が可能である [4]。2015 年度に 6 MV AMS システムでは、 $^{14}\text{C}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{41}\text{Ca}$ ,  $^{129}\text{I}$  等の試験測定に成功した。 $^{14}\text{C}$ -AMS では、加速電圧 5.0 MV により荷電数 4+ を用いて 25.0 MeV での試験測定をおこなった。試験測定結果として、 $^{14}\text{C}$ -AMS では、マシンバックグラウンドが  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  比で  $2.4 \times 10^{-16}$  となり、測定精度は 0.4% であった。また、 $^{129}\text{I}$  の試験測定では、 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  比で  $10^{-13}$  位の測定が可能であり、測定精度として約 1% の評価となった。

#### (7) 難測定核種 AMS 開発に向けた PHITS シミュレーションの適用

AMS (Accelerometer Mass Spectrometry) は同位体比  $10^{-16}$  の測定が可能な超高感度な質量分析法である。しかしながら、目的の核種以外の核種 (妨害核種) が検出器に共に入りこみ度々検出の妨害となる。このため、重イオン・粒子輸送コード (Particle and Heavy Ion Transport code System: 以下 PHITS) を用いて検出器内のビームの挙動を再現し、実際に測定する前に妨害粒子が分離される条件を決定することを本研究の目的とする。本研究では、その第一段階として筑波大学 6MV タンデム加速器での測定と同条件で PHITS によるシミュレーションを行い、実際の測定結果と比較する。今回の AMS 測定については 5 枚電極型 (dE1, dE2, dE3, dE4, dE5) の電離箱を用いており、シミュレーションと実測の比較については図 9 に示す。両者を比較してみると、スペクトルの位置関係は再現できていることが分かる。しかし実際の測定結果の方がスペクトルの広がりが大きくなっている。シミュレーションでのスペクトルの広がりはビームのエネルギー分散のみによる広がりであるが、検出器のエネルギー分解能は考慮されていない。そのため、実際の測定のスぺクトルの広がりは、検出器のエネルギー分解能による広がりだと考えられる。よって、実際の測定のほうがシミュレーションよりスペクトルの分離が悪くなってい

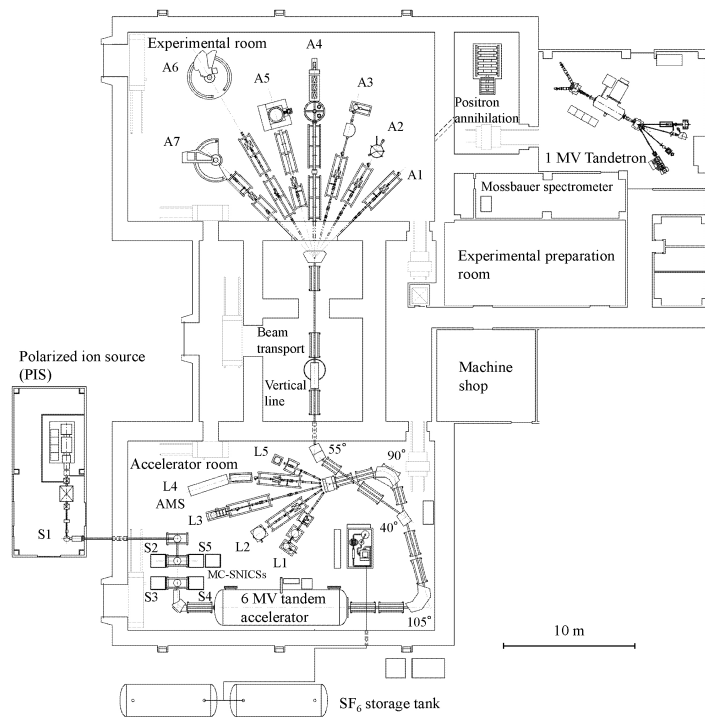


図8 Layout of the 6 MV tandem accelerator at the University of Tsukuba.

る。また、 $dE1+dE2$  プレートでのエネルギー損失量は良い一致を示すが、 $dE4+dE5$  プレートでのエネルギー損失は実測と約 1.0 MeV の差異があった。この原因として、 $dE4+dE5$  プレートではビームが止まる寸前、すなわちエネルギーが非常に低い領域であるので PHITS などその領域では計算が正しくできていない可能性、若しくは検出体系の設定に再検討が必要であることが考えられる。以上の比較より、PHITS シミュレーションはまだ改善の余地が考えられるが、AMS 測定に有用である可能性を見出した。今後は検出器のガス種、ガス圧、入射膜の材質などの検討を行い、AMS 測定に最適なパラメータを決定していく。

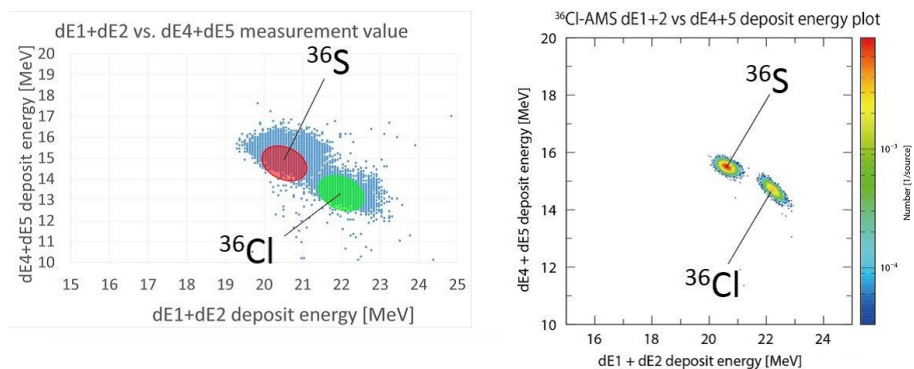


図9  $^{36}\text{Cl}$ -AMS 測定についてのシミュレーションと実測の比較。右がシミュレーション結果で左が実測結果である。縦軸が  $dE4+dE5$ 、横軸が  $dE1+dE2$  でのエネルギー損失量を表している。加速電圧は 5.9 MV で価数は 7 価。電離箱のガスについてはイソブタンガス 24 Torr、入射窓窒化シリコン膜 ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) 膜 75 nm を用いており、シミュレーションもその条件に従って計算している。

## (8) Lamb シフト型偏極イオン源のビーム試験

筑波大学研究基盤総合センター応用加速器部門では Lamb シフト型偏極イオン源 (PIS) を所有しており、これまでに偏極分解能や核モーメントの測定に PIS は使用されてきた。東日本大震災で大きな損害を受けた PIS は、元々設置されていた加速器棟の 9 階から新規に建設された PIS 棟へ移設され、再構築が行われた。平成 26 年度末までに再構築に関する作業はほぼ完了し、平成 27 年度は主にビーム試験とその準備を行った。準備としては、PIS を制御するための EPICS や CSS の導入、静電レンズの電源交換、前段加速電源の放電対策等を行った。ビーム試験は PIS からの無偏極陽子ビームを 6MV タンデム加速器によって 12 MeV まで加速させ、ビームラインに設置されているファラデーカップ (FC) でビーム電流を測定し、そのトランスミッションを調べた。前段加速電圧は 75 kV に設定した。静電レンズや四重極電磁石等の調整後、PIS の直線コース最下流におけるビーム電流は 800 nA だった。電源を新しくしたことによりアーク放電が一定に維持され、以前に比べビーム電流は安定していた。静電球形電極アナライザー (ESA) によって 90 度曲げられたビームは加速器棟へと輸送された。加速器棟入ってすぐに設置されている FC でビーム電流は 430 nA と測定され、PIS 棟から加速器棟までのトランスミッションが悪いことが確認された。また、加速直前と直後のビーム電流はそれぞれ 360 nA と 230 nA であり、この加速前後のトランスミッションは他のイオン源と同程度だった。加速されたビームは最終的に測定室の A7 コースへと輸送され、A7 コースの FC でビーム電流は 200 nA だった。今後、PIS から加速器までのビームトランスポートの改善が必要であり、核モーメント測定に向けた偏極ビームによるビーム試験も予定している。



## 【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、Busch Oliver)

### (1) 銅 + 金衝突における指向型、楕円型、三角形型の方位角異方性測定の研究

クォーク・グルーオン・プラズマ (QGP) は原子核物質状態の一つであり宇宙初期に存在していたとされ、米国ブルックヘブン国立研究所 (BNL) では相対論的重イオン加速器 (RHIC) を用いて QGP の研究が行なわれている。QGP のプローブとして生成粒子分布の方位角異方性がある。方位角異方性は衝突関与部の幾何学的な形状を起源とし、QGP の膨張を経て測定される為、衝突初期モデルや QGP の粘性に敏感である。これまで対称系である金 + 金や銅 + 銅衝突での異方性測定が行なわれてきたが、2012 年に非対称系の銅 + 金衝突の実験が行なわれた。銅 + 金衝突では、銅側と金側の衝突関与部の厚みが違う事からくる指向型の異方性が期待され、衝突初期モデルの検証を目的としている。

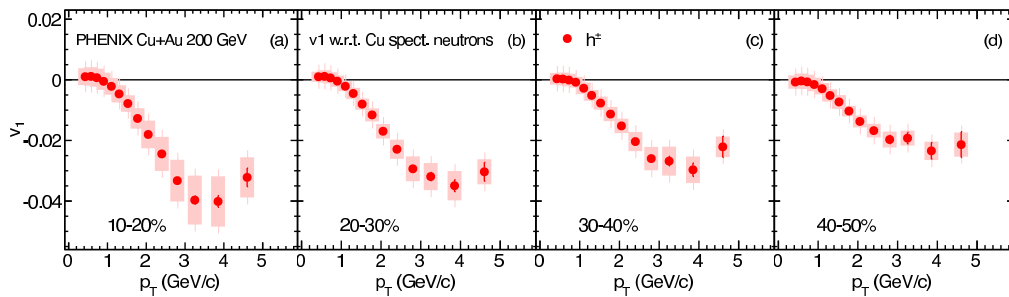


図 10 銅 + 金衝突における荷電粒子  $v_1$  の  $p_T$  依存性

図 10 は銅 + 金衝突における指向型の異方性の横運動量依存性である [5]。パネルの違いは中心衝突度を表し、左側が中心衝突で右側がかすり衝突を表す。低運動量領域では統計誤差のため  $v_1$  の正負が分からないが、高運動量領域では  $v_1$  が負であるため、高運動粒子が金側に多く生成されている事を示す。また、かすり衝突側の方が  $v_1$  の絶対値の最大値が小さい、これはかすり衝突側の方が銅側と金側の衝突関与部の大きさの違いが小さくなっている事から来るものと考えられる。図 11、図 12 は楕円型、三角形型の方位角異方性の横運動量依存性の実験データと理論計算の比較を表す。この比較から銅 + 金衝突での方位角異方性は従来の衝突初期モデルと粘性値 0.08 – 0.16 で理論的に再現する事が出来る事が分かった [5, 6]。

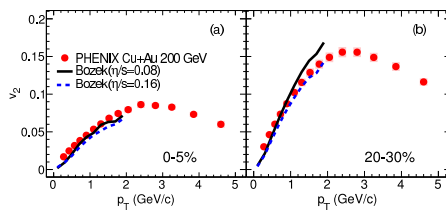


図 11 荷電粒子  $v_2$  と流体計算との比較

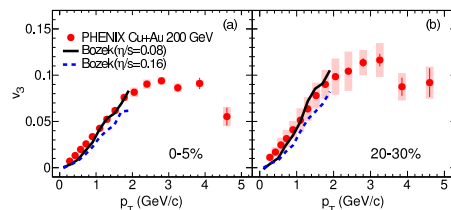


図 12 荷電粒子  $v_3$  と流体計算との比較

## (2) RHIC エネルギーにおける $d+Au, ^3\text{He}+Au$ 等の小さい高密度系での集団運動

欧州共同原子核研究機構 (CERN) の大型ハドロン衝突型加速器 (LHC) における世界最高エネルギーでの陽子・陽子 (p+p) 衝突実験や原子核・原子核 (A+A) 衝突実験が数年前から始まり、p+p 衝突や p+A 衝突のような小さな衝突系においても、終状態の生成粒子数が多い高多重度事象においては、集団運動的膨張を表す結果が報告された。RHIC 加速器ではその多彩な粒子加速技術を生かし、p+p や A+A 衝突実験に加えて、p+A, d+A,  $^3\text{He}+A$  衝突実験や、d+A 衝突における衝突ビームエネルギー走査実験を近年行っている。図 13 は  $\sqrt{s_{NN}} = 200 \text{ GeV}$  の  $^3\text{He}+Au$  原子核の中心衝突における荷電粒子の  $v_2, v_3$  の測定結果と流体力学計算等との比較を示している [7]。これは小さな衝突系においても、これまで行ってきた大きな原子核同士の衝突系と同じように、初期密度が十分大きくなるような高多重度事象においては  $v_2$  が  $v_3$  が QGP の流体的膨張によって発展していることを示唆する結果である。これらの小さな衝突系における系統的測定 (衝突の大きさや形状に対する依存性、ラピディティ依存性、衝突ビームエネルギー依存性) を今後詳細に測定し研究する予定である。

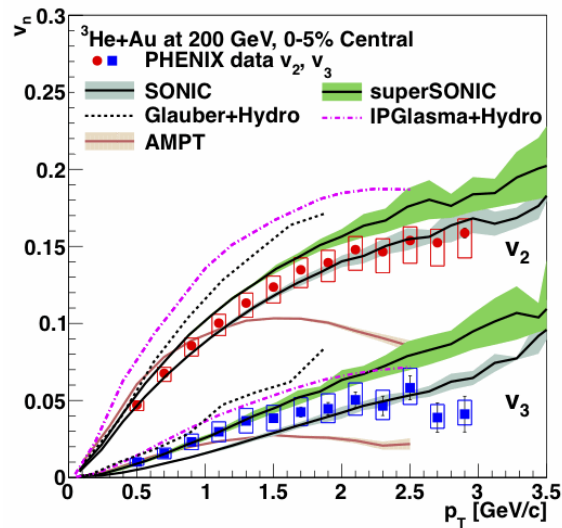


図 13  $\sqrt{s_{NN}} = 200 \text{ GeV}$  の  $^3\text{He}+Au$  原子核の中心衝突における荷電粒子の  $v_2, v_3$

## (3) RHIC-STAR 実験における QCD 臨界点探索

RHIC では QCD 相図の臨界点探索を目的として Beam Energy Scan が行われ、STAR 実験において net-proton 分布の高次キュムラントが測定された [8]。本研究では、その結果 [8] における検出効率補正法の妥当性を吟味した。通常、ビームパイプ等との相互作用により、陽子と反陽子の検出効率には有限の差が生じるが、その解析 [8] においては、それらの検出効率の平均値を補正に用いていた。それらを独立に補正した場合、その結果 [8] が本来どうあるべきかを、簡単な統計モデルを用いて見積もった [9]。図 14 は横軸にビームエネルギー、縦軸に両補正方法の差をプロットしたものである。差は衝突エネルギーと共に大きくなり、200 GeV では偶数次キュムラントが約 20% ずれることを確認した。

## (4) RHIC-STAR 実験 金 + 金衝突における高次方位角異方性のエネルギー依存性

RHIC 加速器を用いて Beam Energy Scan 実験を行い QCD 相図を理解するために高密度領域の QGP

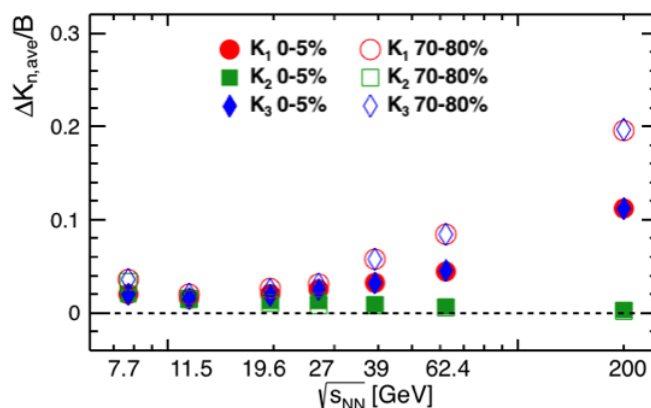


図 14 検出効率の平均補正と独立補正の差の衝突ビームエネルギーに対する依存性

研究を推進している。STAR 実験では初期の核子分布のゆらぎを主な起源とする 3 次の方位角異方性 ( $v_3^2\{2\}$ ) のビームエネルギー依存性が測定された。 $v_3^2\{2\}$  は主に衝突初期の粘性の小さい QGP 相で発展するとされ、QGP の生成および衝突初期の QGP 相での圧力勾配について調べるためのいいプローブである。図 15 は横軸をビームエネルギー  $\sqrt{s_{NN}}$ 、縦軸に  $v_3^2\{2\}/n_{ch,PP}$  ( $n_{ch,PP}$  は衝突核子対あたりの荷電粒子数の擬ラピディティ密度) をプロットしたものである。LHC の  $\sqrt{s_{NN}}=2.76\text{TeV}$  鉛 + 鉛衝突での結果も合わせて表示されている。 $v_3^2\{2\}$  を衝突核子対あたりの粒子多重度で規格化すると、 $\sqrt{s_{NN}}$  が 15-20GeV 付近で最小となるという結果が得られた。

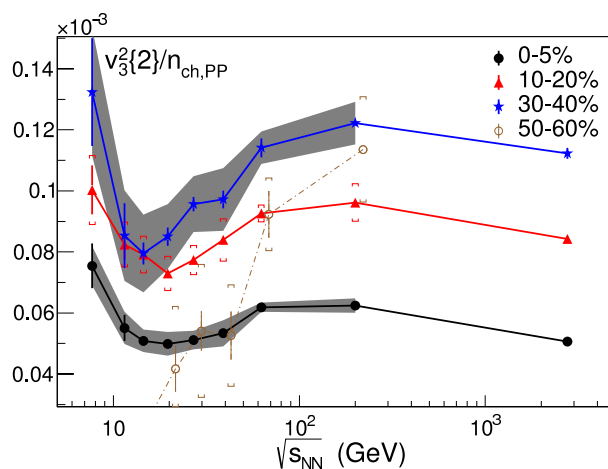


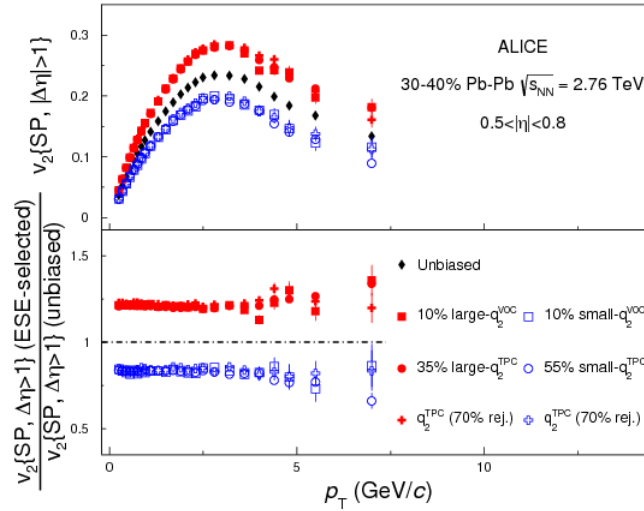
図 15  $v_3^2\{2\}/n_{ch,PP}$  の衝突エネルギー依存性

#### (5) LHC-ALICE 実験 2.76 TeV Pb+Pb 衝突における HBT 測定のイベント平面依存性

スイス欧州原子核研究機構 (CERN) の ALICE 実験では、LHC 加速器を用いた重イオン衝突実験により、クォーク・グルーオン・プラズマ (QGP) の物性研究が進められている。原子核衝突により、衝突関与部は高温高密度状態となり QGP が生成すると考えられている。また、生成された QGP は流体的に膨張しハドロン物質へ相転移する。終状態における粒子の密度分布や膨張時間を詳細に調べることは QGP の粘性や初期状態を調べるための良いプローブである。RHIC-PHENIX 実験では 2 次および 3 次のイベント平面 (楕円および三角的膨張方向軸) に対して HBT 測定をすることで終状態における系の形

状が  $\cos$  または  $\sin$  の振幅であることが観測された [11]。

また近年、方位角異方性の強度を示すベクトル (Q vector) を用いて衝突毎に方位角異方性が強い (または弱い) 事象を選ぶ手法 (Event Shape Engineering) が用いられている [12]。図 16 は ALICE で測定された 2 次の方位角異方性  $v_2$  の横運動量依存性であり、Q vector が大きな (小さな) 事象を選ぶことにより、 $v_2$  がより大きく (小さく) なることが観測された。また、全事象で求めた  $v_2$  に対する比は、横運動量によらずほぼ一定の値をとっている。これは、この事象選択が Jet など高運動量で特徴付けられるものでないことを示唆している。本研究では、 $\pi$  中間子を用いて 2 次および 3 次のイベント平面に対し HBT 測定をすることにより、LHC-ALICE 実験における終状態の系の形状の詳細測定を行っている。さらに Event Shape Engineering の手法を用いることにより、2 次または 3 次の方位角異方性と終状態の系の形状がどのように関係しているのかを調べている。



ALI-PUB-95339

図 16  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV Pb+Pb 衝突における  $v_2$  の横運動量依存性

## (6) Centrality dependence of charged jet in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV

In heavy-ion collisions at the LHC, jet quenching is observed in central Pb-Pb collisions; the yield of hadrons and jets is strongly modified compared to the expectation from pp collisions scaled by the average number of binary collisions  $\langle N_{Coll} \rangle$ . This observation is attributed to the formation of a QGP in the collision, due to gluon radiation induced by the hot and dense medium. p-Pb collisions are important to investigate cold nuclear initial and final state effects. In minimum bias p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=5.02$  TeV the production of jets [13] is consistent with the absence of a strong final state suppression. However, multiplicity dependent studies in p-Pb collisions on the production of low  $p_T$  identified particles and long range correlations [14] show similar features as measured in Pb-Pb collisions, where they are attributed to the collective behavior following the creation of a QGP. These features in p-Pb collisions become more pronounced for higher multiplicity events. The ALICE collaboration has measured the centrality dependence of charged jet production in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=5.02$  TeV for jet resolution parameters  $R=0.2$  and  $0.4$  in the  $p_T$  range from 20 to 120 GeV/c [15]. Charged jets are reconstructed with the anti- $k_T$  algorithm using charged particle tracks reconstructed with the ALICE Inner Tracking System (ITS) and Time Projection

Chamber (TPC). The event centrality classes are defined by the zero-degree energy measured in the lead-going neutron detector ZNA.  $N_{\text{Coll}}$  is estimated from a Glauber model and the mean measured amplitude in the V0 detector on the Pb-going side for each centrality class.

The nuclear modification factor  $Q_{\text{pPb}}$ , obtained by dividing the measured spectra in p-Pb collisions by a pp reference constructed from charged jet spectra at  $\sqrt{s}=7$  TeV scaled with  $\langle N_{\text{Coll}} \rangle$ , is shown in Fig.17. Both for  $R=0.2$  (upper panel) and  $R=0.4$  (lower panel) the nuclear modification factor is compatible with unity in all centrality classes, indicating the absence of centrality-dependent nuclear effects on the jet yield in the kinematic regime probed by our measurement. The ratio of jet production cross sections reconstructed with  $R=0.2$  and  $0.4$  (not shown) is consistent with the result obtained in minimum bias p-Pb collisions, which agrees with the jet cross section ratio in pp collisions. Within present uncertainties, no effects of parton energy loss or jet broadening in small systems created in p-Pb collisions is observed.

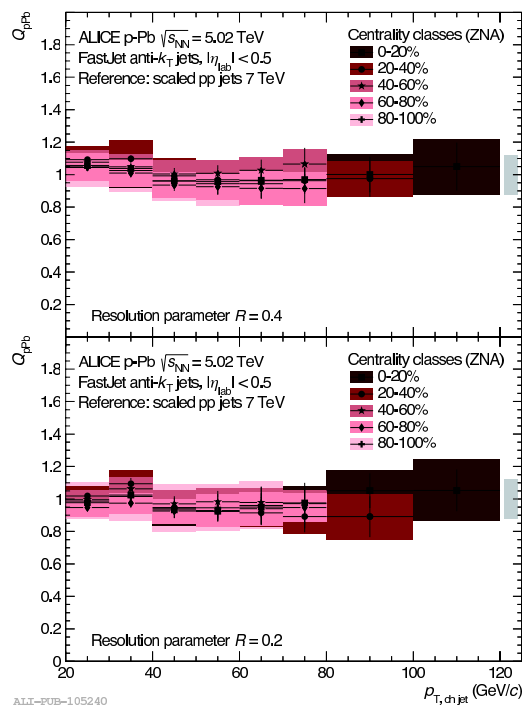


図 17 Nuclear modification factor  $Q_{\text{pPb}}$  at  $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 5.02$  TeV p-Pb collisions

### (7) 高エネルギー鉛 + 鉛衝突におけるジェット抑制効果の測定

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 のトモグラフィーと考えられる。LHC にて 2015 年 11 月より行われた  $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 5.02$  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開始した。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 ( $R_{\text{AA}}$ ) が代表的である。図 18 に、これまでに得られた  $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 2.76$  TeV の結果を示す [16]。ここでは鉛 + 鉛衝突において、ジェットの収量が抑制されることが観測された。 $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 5.02$  TeV においても、同様の測定を行い、より広いエネルギー領域において、高運動量パートン

の QGP 中での振る舞いを、系統的に理解する。

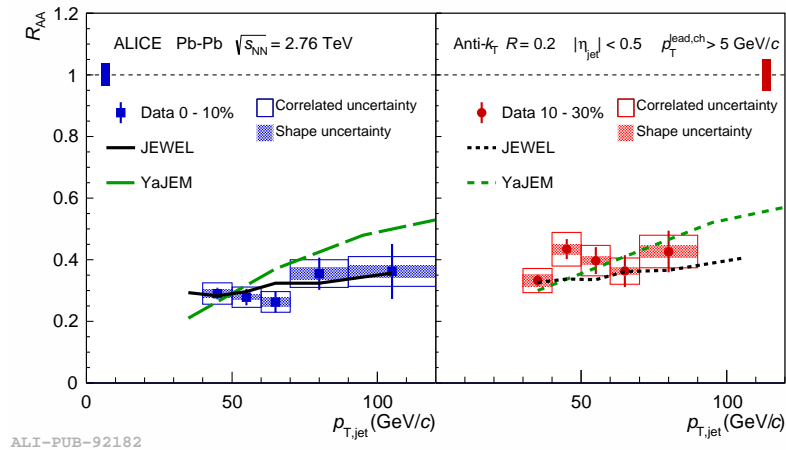


図 18  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76\text{TeV}$  鉛 + 鉛衝突における  $R_{AA}$

(8) LHC-ALICE 実験における電磁カロリメータトリガーシステムの開発

欧州原子核研究機構 (CERN) が運用を行っている大型ハドロン衝突型加速器 (LHC) では、2015 年から、核子あたりの衝突エネルギーを陽子-陽子衝突、鉛-鉛衝突それぞれについて最大 13TeV、5.02TeV までに引き上げての Run2 実験が行われている。LHC 加速器を利用する主要実験グループの一つである ALICE 実験では、我々の研究グループがその構想・開発・実験施設への導入に大きく携わった電磁カロリメータ DCAL(図 19)が増設され、これにより、先に行われた Run1 での実験と比較してクォーク・グルーオン・プラズマ物性の重要なプローブとなる高エネルギー光子及びジェットイベント測定能力の向上を目的とする。我々は新たに設置されたこの DCAL 検出器と Run1 時から稼働していた EMCAL 及び PHOS 検出器を組み合わせ高エネルギー光子・ジェットイベントを効率的に収集するためのトリガーシステム開発を行った。開発内容としては、主に、トリガー計算を行う Summary Trigger Unit(STU, 図 20) 上に実装された FPGA 用のファームウェア開発を行った。また、この検出器を運用を開始するための作業・運用システムの更新作業を行った。本システムは 2015 年冬に運用を開始し、鉛-鉛衝突実験におけるカロリメータトリガーによるデータ収集に成功した (図 21)。

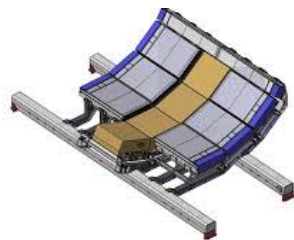


図 19 DCAL 検出器と PHOS 検出器

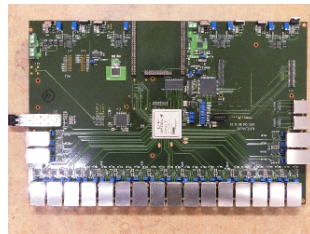


図 20 Summary Trigger Unit (STU) ボード

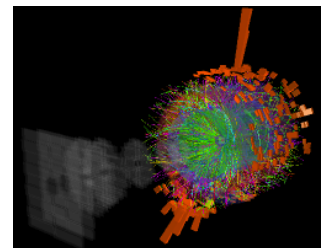


図 21 トリガーシステムを用いて収集した Di-jet 事象

(9) MRPC の時間分解能の改善を目指すガスギャップ幅の最適化

多層型ガス検出器 Multi-gap Resistive Plate Chamber(MRPC) は、比較的安価で非常に高い時間分解

能を達成できると期待されている。同機は J-PARC 加速器で開始予定の重イオン衝突実験に採用される予定であり、現在、飛行時間分解能 30ps を目指し研究開発が進められている。釣り糸をスパーサーに用いてガラス板を積み重ねることで各ガラス板の間に細く均一なギャップを形成し、さらにその上下を高電圧用電極と、シグナル読み出し電極のついた基板で挟んだ構造をしている。これを 1 段とし、今年度は、図 22 のような 4 段積み重ねた構造の MRPC を用いた。各ギャップをガスで満たしたところへ宇宙線が入射するとギャップ間で電子雪崩が発生し、電荷の移動によってパッドに誘起される。この誘起された電荷信号の時間を読み取り時間分解能を評価した。ガラス板の間隔を狭くすることで時間分解能が改善する傾向にあることが報告されている [17] ことを受け、今年度はガラス板を隔てる釣り糸より細いものにする事で時間分解能の改善を目指した。釣り糸の太さが 165 $\mu\text{m}$ 、128 $\mu\text{m}$ 、104 $\mu\text{m}$  の三種類用意して評価したところ、104 $\mu\text{m}$  に 16V/ $\mu\text{m}$  の電場をかけた時に  $50.6 \pm 4.7\text{ps}$  の時間分解能に達した (図 23)。しかし、ストリーマー現象の発生に伴い、立ち上がったタイミングを正確につかむことができない事象が増えてしまい、検出効率は 50% 程度にとどまった (図 24)。

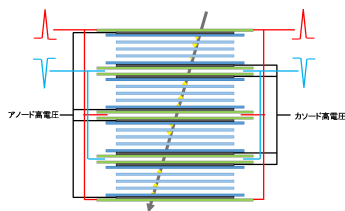


図 22 4 段型 MRPC のセットアップ

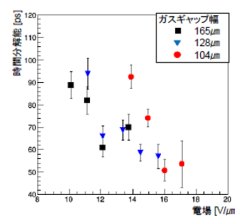


図 23 時間分解能のギャップ間電場依存性

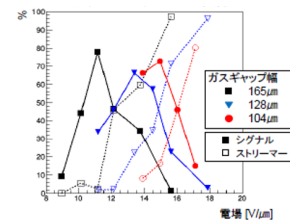


図 24 電子雪崩・ストリーマー現象の割合

## 参考文献

- [1] 山口由高他, 「加速器」 Vol. 12 (2015) 1-10.
- [2] Y. Satou *et al.*, Elsevier, Anthropocene, in press.
- [3] T. Matsunaka *et al.*, Springer, T. Takahashi (ed.), “Radiological Issues for Fukushima’s Revitalized Future” 57-63
- [4] K. Sasa *et al.*, Nucl. Instrum. Meth. Res. B 361, (2015) 124-128
- [5] A. Adare *et al.* (PHENIX Collaboration), arXiv:1509.07784
- [6] P. Bozek, Phys. Lett. B. **717** (2012) 287
- [7] A. Adare *et al.* (PHENIX Collaboration), Phys. Rev. Lett. **115** (2015) 142301
- [8] L. Adamczyk *et al.* (STAR Collaboration), Phys. Rev. Lett. **113** (2014) 092301
- [9] T. Nonaka, T. Sugiura, S. Esumi, H. Masui, X. Luo, arXiv:1604.06212
- [10] L. Adamczyk *et al.* (STAR Collaboration), Phys. Rev. Lett. **116** (2013) 112302
- [11] A. Adare *et al.* (PHENIX Collaboration), Phys. Rev. Lett. **112** (2014) 222301
- [12] J. Adam *et al.* (ALICE Collaboration), Phys. Rev. C **93** (2016) 034916
- [13] J. Adam *et al.* (ALICE Collaboration), Phys. Lett. B **749** (2015) 68-81
- [14] B. Abelev *et al.* (ALICE Collaboration), Phys. Lett. B **719** (2013) 29-41
- [15] B. Abelev *et al.* (ALICE Collaboration), arXiv:1603.03402
- [16] J. Adam *et al.* (ALICE Collaboration), Phys. Lett. B **746** (2015) 1-14
- [17] ALICE Addendum to the Technical Design Report of the Time Of Flight System, 2002, 4

## 原子核実験グループ研究業績リスト

### < 論文 >

1. “Different mechanism of two-proton emission from proton-rich nuclei  $^{23}\text{Al}$  and  $^{22}\text{Mg}$ ” Y.G. Ma, D.Q. Fang, 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, T. Motobayashi *Physics Letters B* 743 (2015) 306309.
2. “Spatial distributions of photons in plastic scintillator detected by multi-anode photomultiplier for heavy-ion position determination” S. Omika, T. Yamaguchi, M. Fukuda, A. Kitagawa, S. Matsunaga, D. Nagae, D. Nishimura, T. Nishimura, A. Ozawa, S. Sato, K. Sawahata, T. Suzuki, Y. Takeuchi *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 797 (2015) 247254.
3. “Velocity-dependent transverse momentum distribution of fragments produced from  $^{40}\text{Ar}+^{9}\text{Be}$  at 95 MeV/nucleon” S. Momota, I. Tanihata, A. Ozawa, M. Notani, K. Yoshida, K. Morimoto, T. Yamaguchi, T. Onishi, A. Yoshida, Y. X. Watanabe, Z. Liu, and A. Ono *PHYSICAL REVIEW C* 92, 024608 (2015).
4. RI ビーム「放射化学の事典」118 120 ページ（担当、小沢顕）日本放射科学会編集、朝倉書店 2015 年 9 月 25 日初版
5. “Isochronous field study of the Rare-RI Ring” Y. Abe, Y. Yamaguchi, M. Wakasugi, T. Uesaka, A. Ozawa, F. Suzaki, D. Nagae, H. Miura, T. Yamaguchi and Y. Yano *Physica Scripta*, T166 (2015) 014047.
6. “Fast-kicker system for rare-RI ring” Y. Yamaguchi, H. Miura, M. Wakasugi, Y. Abe, A. Ozawa, F. Suzaki, A. Tokuchi, T. Uesaka, T. Yamaguchi and Y. Yano *Physica Scripta*, T166 (2015) 014056.
7. “A resonant Schottky pick-up for Rare-RI Ring at RIKEN” F. Suzaki, Y. Abe, A. Ozawa, T. Suzuki, T. Uesaka, M. Wakasugi, K. Yamada, T. Yamaguchi, Y. Yamaguchi and J. Zenihiro and Ring collaboration *Physica Scripta*, T166 (2015) 014059.
8. 「理研 RI ビームファクトリー稀少 RI リングの建設」山口由高、若杉昌徳、阿部康志、洲崎ふみ、長江大輔、大薨舜一朗、三浦宙、Naimi SARAH、Ge ZHUANG、山口貴之、小沢顕、上坂友洋、大西純一、菊池崇志、込山美咲、熊谷桂子、徳地明、藤縄雅、眞家武士、山澤秀行、柳澤善行、渡邊裕、矢野安重、日本加速器学会誌「加速器」Vol. 12, No. 3, (2015) 132-141.
9. “PERFORMANCE OF A RESONANT SCHOTTKY PICK-UP IN THE COMMISSIONING OF RARE-RI RING” F. Suzaki, Y. Abe, Z. Ge, D. Nagae, S. Naimi, T. Uesaka, T. Watanabe, M. Wakasugi, K. Yamada, Y. Yamaguchi, J. Zenihiro, Y. Yano, I. Kato, H. Miura, T. Nishimura, S. Omika, T. Suzuki, N. Tadano, Y. Takeuchi, T. Yamaguchi, K. Hiraishi, Y. Ichikawa, T. Moriguchi, A. Ozawa, S. Suzuki, Y. Tajiri, *Proceedings of HIAT2015*, 98-100, 2015.
10. “PERFORMANCE OF A FAST KICKER MAGNET FOR RARE-RI RING” H. Miura, Y. Abe, Z. Ge, K. Hiraishi, Y. Ichikawa, I. Kato, T. Moriguchi, D. Nagae, S. Naimi, T. Nishimura, S. Omika, A. Ozawa, F. Suzaki, S. Suzuki, T. Suzuki, N. Tadano, Y. Tajiri, Y. Takeuchi, T. Uesaka, M. Wakasugi, T. Yamaguchi, Y. Yamaguchi, *Proceedings of HIAT2015*, 95-97, 2015.



11. “CONSTRUCTION OF THE 6 MV TANDEM ACCELERATOR SYSTEM FOR VARIOUS ION BEAM APPLICATIONS AT THE UNIVERSITY OF TSUKUBA,” K. Sasa, S. Ishii, H. Oshima, Y. Tajima, T. Takahashi, Y. Yamato, D. Sekiba, T. Moriguchi, E. Kita, Proceedings of HIAT2015, 285-287.
12. “STATUS OF THE TANDEM ACCELERATOR COMPLEX AT THE UNIVERSITY OF TSUKUBA (UTTAC)” K. Sasa, S. Ishii, H. Oshima, H. Kimura, T. Takahashi, Y. Tajima, Y. Yamato, D. Sekiba, T. Moriguchi, E. Kita, Proceedings of the 12th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2015), 322-324, 2015.
13. “Trace-element compositions and Br/Cl ratios of fluid inclusions in the Tsushima granite, Japan: Significance for formation of granite-derived fluids”, Masanori Kurosawa, Kimikazu Sasa, Ki-Choel Shin, Satoshi Ishii, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 182 (2016) 216239.
14. “Migration Behavior of Particulate  $^{129}\text{I}$  in the Niida River System”, Tetsuya Matsunaka, Kimikazu Sasa, Keisuke Sueki, Yuichi Onda, Keisuke Taniguchi, Yoshifumi Wakiyama, Tsutomu Takahashi, Masumi Matsumura, and Hiroyuki Matsuzaki, Springer Japan 2016, T. Takahashi (ed.), Chapter 6, Radiological Issues for Fukushima’s Revitalized Future, DOI 10.1007/978-4-431-55848-4-6.
15. “Pre- and post-accident  $^{129}\text{I}$  and  $^{137}\text{Cs}$  levels, and  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  and  $^{129}\text{I}/^{137}\text{Cs}$  ratios in soil profiles near the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant”, Tetsuya Matsunaka, Kimikazu Sasa, Keisuke Sueki, Tsutomu Takahashi, Masumi Matsumura, Yukihiko Satou, Jun-ichi Kitagawa, Norikazu Kinoshita, Hiroyuki Matsuzaki, Japan, *Journal of Environmental Radioactivity*, 151 (2015) 209-217.
16. “Oxidation of  $\text{SO}_2$  and Formation of Water Droplets under Irradiation of 20 MeV protons in  $\text{N}_2/\text{H}_2\text{O}/\text{SO}_2$ ”, Shigeo Tomita, Yoichi Nakai, Shuhei Funada, Hideomi Tanikawa, Isao Harayama, Hitomi Kobara, Kimikazu Sasa, Jens Olaf Pepke Pedersen, Preben Hvelplund, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 365 (2015) 616-621.
17. “The new 6MV multi-nuclide AMS facility at the University of Tsukuba”, Kimikazu Sasa, Tsutomu Takahashi, Masumi Matsumura, Tetsuya Matsunaka, Yukihiko Satou, Daiki Izumi, Keisuke Sueki, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 361 (2015) 124-128.
18. “Measurement of long-lived radionuclides in surface soil around F1NPP accident site by Accelerator Mass Spectrometry”, Yasuto Miyake, Hiroyuki Matsuzaki, Kimikazu Sasa, Tsutomu Takahashi, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 361 (2015) 627-631.
19. “Technological developments for strontium-90 determination using AMS”, Yukihiko Satou, Keisuke Sueki, Kimikazu Sasa, Tetsuya Matsunaka, Tsutomu Takahashi, Nao Shibayama, Daiki Izumi, Norikazu Kinoshita, Hiroyuki Matsuzaki, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 361 (2015) 233-236.

#### < 学位論文 (博士) >

1. 数理解物質科学研究科・博士論文、阿部康志、Study of isochronous field in Rare-RI Ring for high-precision mass measurements (精密質量測定のための稀少 RI リングの等時性磁場の研究)
2. 数理解物質科学研究科・博士論文、Jihyun Bhom、Multiplicity dependence of two-particle correlation in  $\sqrt{s} = 7$  TeV pp collisions at LHC-ALICE
3. 数理解物質科学研究科・博士論文、渡辺大介、Measurements of  $\pi$ 0-jet correlations in  $\sqrt{s}=7\text{TeV}$  pp collisions and in  $\sqrt{s_{\text{NN}}}=2.76$  TeV central Pb-Pb collisions at ALICE experiment

#### < 学位論文 ( 修士 ) >

1. 数理物質科学研究科・修士 ( 理学 ) 青山 遼、RHIC-STAR 実験  $\sqrt{s_{NN}}=200\text{GeV}$  金 + 金衝突実験における 2 粒子相関のラピディティおよび反応平面依存性の研究
2. 数理物質科学研究科・修士 ( 理学 ) 李 準一、LHC-ALICE 実験  $\sqrt{s_{NN}}=2.76\text{TeV}$  鉛・鉛衝突での Jet-Hadron 相関分布を用いた hard-soft 相互作用の研究
3. 数理物質科学研究科・修士 ( 理学 ) 塩谷 知弘、RHIC-PHENIX 実験  $\sqrt{s_{NN}}=200\text{GeV}$   $^3\text{He}+\text{Au}$  衝突における方位角異方性の測定と長距離相関に関する研究
4. 数理物質科学研究科・修士 ( 理学 ) 杉浦 哲郎、RHIC-STAR 実験金 + 金衝突における net-charge 揺らぎの 依存性の研究
5. 数理物質科学研究科・修士 ( 理学 ) 平野 勝大、ALICE 実験高度化に向けた超前方光子測定用電磁カロリメータ SiPAD 検出器のビームテスト実験による性能評価
6. 数理物質科学研究科・修士 ( 理学 ) 山本 大貴、RHIC-PHENIX 実験における小さく高密度な衝突系での集団膨張の探索
7. 数理物質科学研究科・修士 ( 理学 ) 市川 ゆきな、交差電磁場を利用した RI ビーム飛行時間検出器の開発

#### < 学位論文 ( 学士 ) >

1. 数理物質科学研究科・学士 ( 理学 ) 佐藤 一輝、J-PARC 加速器重イオン実験計画に向けた MRPC-TOF の開発 ガスギャップ幅と時間分解能
2. 数理物質科学研究科・学士 ( 理学 ) 田尻 芳之、稀少 RI リングでの質量測定に用いる飛行時間検出器の開発
3. 数理物質科学研究科・学士 ( 理学 ) 平石 健太郎、陽子共鳴吸収反応による不安定核  $^{30}\text{P}$  の生成
4. 数理物質科学研究科・学士 ( 理学 ) 細谷 青児、PHITS を用いた AMS 測定条件の評価と宇宙線生成核種の測定
5. 数理物質科学研究科・学士 ( 理学 ) 松本 拓也、陽子共鳴吸収反応による不安定核  $^{25}\text{Al}$  の生成

#### < 招待講演 ( 国際会議 ) >

1. A. Ozawa, Mass measurements with Rare-RI Ring at RIBF 2015 SKLTP-BLTP Joint Workshop on Physics of Strong Interaction 2015, 10/30-11/2, Ronghu Lake Hotel, Guilin, China
2. Kimikazu Sasa, Tsutomu Takahashi, Masumi Matsumura, Tetsuya Matsunaka, Yukihiro Satou, Maki Honda, Daiki Izumi, Ryouhei Tomita, Seiji Hosoya, Aya Sakaguchi and Keisuke Sueki, Construction of the 6 MV tandem accelerator for multi-nuclide AMS at the University of Tsukuba, The 6th East Asia Accelerator Mass Spectrometry Symposium (EA-AMS 6), National Taiwan University, Taipei, Taiwan, October 05-08, 2015.

< 国際会議発表 >

1. A. Ozawa, Day-one experiment with R3 OEDO-SHARAQ International Collaboration Workshop 2015, 9/8-9, 東大 CNS
2. K. Sasa, M. Matsumura, T. Matsunaka, T. Takahashi, Y. Satou, N. Kinoshita, H. Matsuzaki and K. Sueki, Estimation of  $^{131}\text{I}$  deposition from  $^{129}\text{I}$  analysis in surface soils released from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, International Conference on Environmental Radioactivity (ENVIRA2015), Thessaloniki, Greece, from September 21st to 25th, 2015.
3. Kimikazu SASA, Satoshi Ishii, Hiroyuki Oshima, Yoshikazu Tajima, Tsutomu Takahashi, Yoshihiro Yamato, Daiichiro Sekiba, Tetsuaki Moriguchi and Eiji Kita, Construction of the 6 MV Tandem Accelerator System for Various Ion Beam Applications at the University of Tsukuba, 13th Heavy Ion Accelerator Technology Conference (HIAT2015), YOKOHAMA, JAPAN, SEPTEMBER 7-11, 2015.
4. K. Sueki, N. Shibayama, R. Tomita, Y. Satou, K. Sasa, T. Takahashi, T. Matsunaka, M. Matsumura, H. Matsuzaki, M. Murakami, R. Yamashita, H. Takada, Y. Koibuchi, O. Haecong, G. Mouri, , T. Oki, Time variation of iodine-129 and radioactive cesium in river water at Ohori River. The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, Honolulu, USA, 15-20 December, 2015.
5. Y. Satou, K. Adachi, T. Ono, Y. Iizawa, Y. Abe, I. Nakai, Y. Igarashi, K. Sasa, K. Sueki, Physico-chemical characterizations of radioactive particles emitted at the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, Honolulu, USA, 15-20 December, 2015.
6. R. Tomita, T. Matsunaka, M. Honda, Y. Satou, M. Matsumura, T. Takahashi, A. Sakaguchi, K. Sasa, K. Sueki and H. Matsuzaki, Environmental dynamics of dissolved radionuclides and ions in riverine water after the FDNPP accident. The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, Honolulu, USA, 15-20 December, 2015.
7. Y. Satou, K. Sueki, K. Sasa, T. Matsunaka, Takahashi, T., Kinoshita, N. and Matsuzaki, H.: Sample preparation for  $^{90}\text{Sr}$ -AMS using solid phase extraction. 6th East Asia AMS Symposium, Taipei, Taiwan, October 5-8, 2015.
8. M. Honda, K. Sueki, K. Sasa, A. Sakaguchi and H. Matsuzaki, Developments of analytical methods for  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{99}\text{Tc}$  in soil samples. 6th East Asia AMS Symposium, Taipei, Taiwan, October 5-8, 2015.
9. T. Matsunaka, K. Sasa, K. Sueki, T. Takahashi, M. Matsumura, A. Goto, T. Watanabe, N. Tsuchiya, N. Hirano and H. Matsuzaki, Iodine isotopic ratio in crater lake and geothermal area at Zao volcano, Japan. 6th East Asia AMS Symposium, Taipei, Taiwan, October 5-8, 2015.
10. T. Matsunaka, K. Sasa, K. Sueki, Y. Onda, K. Taniguchi, Y. Wakiyama, T. Takahashi, M. Matsumura, and H. Matsuzaki, Migration behavior and flux of particulate  $^{129}\text{I}$  in the river system of Fukushima. 6th East Asia AMS Symposium, Taipei, Taiwan, October 5-8, 2015.
11. M. Matsumura, M. Watanabe, K. Sasa, T. Matsunaka, T. Takahashi, K. Sueki and H. Matsuzaki, Environmental impact of the Fukushima accident on iodine-129 levels in meteoric water. 6th East Asia AMS Symposium, Taipei, Taiwan, October 5-8, 2015.
12. T. Matsunaka, K. Sasa, K. Sueki, Y. Onda, T. Ishimaru, K. Taniguchi, Y. Wakiyama, M. Honda,

- T. Takahasi, M. Matsumura and H. Matsuzaki, Study on the migration behaviour of Fukushima accident-derived iodine-129 from land area to the marine environment. International Conference Environmental Radioactivity, Thessaloniki, Greece, 21-25 September, 2015.
13. T. Matsunaka, K. Sasa, K. Sueki, T. Takahashi, M. Matsumura, A. Goto, T. Watanabe, N. Tsuchiya, N. Hirano and H. Matsuzaki, Changes in  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  ratio of crater lake and volcanic activity at Zao volcano, Japan. International Conference Environmental Radioactivity, Thessaloniki, Greece, 21-25 September, 2015.
  14. K. Sasa, M. Matsumura, T. Matsunaka, T. Takahashi, Y. Satou, N. Kinoshita, H. Matsuzaki and K. Sueki, Estimation of I-131 deposition from I-129 analysis in surface soils released from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. International Conference Environmental Radioactivity, Thessaloniki, Greece, 21-25 September, 2015.
  15. T. Matsunaka, K. Sasa, K. Sueki, Y. Onda, K. Taniguchi, Y. Wakiyama, T. Takahasi, M. Matsumura, and H. Matsuzaki, Migration behavior of particulate  $^{129}\text{I}$  in the Niida River system. International Symposium on Radiological Issues for Fukushima's Revitalized Future, Fukushima, Japan, 30-31 May, 2015.
  16. T. Matsunaka, K. Sasa, K. Sueki, T. Takahasi, M. Matsumura, Y. Satou, J. Kitagawa, N. Kinoshita, and H. Matsuzaki, Pre- and post-accident levels of  $^{129}\text{I}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in soil profile near field of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant. International Symposium on Radiological Issues for Fukushima's Revitalized Future, Fukushima, Japan, 30-31 May, 2015.
  17. Yukihiro Satou, Keisuke Sueki, Kimikazu Sasa, Kouji Adachi, Yasuhito Igarashi, Characterization study of cesium concentrated particles in the soils near the Fukushima Daiichi nuclear power plant, EGU General Assembly, 12-17 April, 2015, Vienna, Austria.
  18. Shigeo Tomita, Ryo Kinoshita, Yoko Shiina, Makoto Imai, Kiyoshi Kawatsura, Makoto Matsuda, Kimikazu Sasa, Masao Sataka, Vicinage Effect on the Generation Mechanism of Convoy Electrons, SHIM2015, Swift Heavy Ions in Matter , 18-May 21, 2015, Darmstadt, Germany.
  19. Shigeo Tomita, Yoichi Nakai, Shuhei Funada, Jens Olaf Pepke Pedersen, Preben Hvelplund, Hitomi Kobara, Kimikazu Sasa, Formation of Nanodroplets in  $\text{N}_2/\text{H}_2\text{O}/\text{SO}_2$  under Irradiation of Fast Proton Beams, SHIM2015, Swift Heavy Ions in Matter , 18-May 21, 2015, Darmstadt, Germany.
  20. A. Yamazaki, K. Sasa, D. Sekiba, T. Moriguchi, S. Ishii, M. Kurosawa, S. Tomita, E. Kita, Design of the High Resolution Ion Microbeam System for Analysis of Structural Materials on the 6 MV Tandem Accelerator at the University of Tsukuba, NIMS Conference 2015, Tsukuba International Congress Center, EPOCHAL TSUKUBA (Tsukuba, Japan), July 14-16, 2015.
  21. A. Yamazaki, K. Sasa, S. Ishii, M. Kurosawa, S. Tomita, E. Kita, Development of the Ion Microbeam System for Analysis of Light Elements in Structural Materials at the University of Tsukuba, SIP-IMASM 2015 symposium, AIST Tsukuba Central 1, The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) (Tsukuba, Japan), September 29-October 1, 2015.
  22. T. Chujo, Evolution of the ALICE computing model in Run 3, 2015 WLCG Collaboration Workshop, April 11-12, 2015, Okinawa, Japan
  23. T. Chujo, Correlation measurements with jets, Mini-workshop on jet physics in ALICE at the LHC Run2, April 14-15, 2015, Wuhan, China
  24. O. Busch, Jet Physics with ALICE from LHC run 1 to LHC run 2, same conference
  25. D. Watanabe, Jet azimuthal distribution with high pT neutral pion triggers in pp 7 TeV and PbPb

- 2.76 TeV, same conference
26. N. Tanaka, Azimuthally sensitive HBT w.r.t. jet axis in Pb+Pb collisions, same conference
  27. J. Bhom, Multiplicity dependence of two particle correlation in  $\sqrt{s_{NN}}=7$  TeV pp collisions at LHC-ALICE experiment, KPS2015, April 22-24, 2015, Daejeon, South Korea
  28. S. Mizuno, Measurement of soft photon collective flow in  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV Au+Au collisions at RHIC-PHENIX experiment, DIS2015, April 27 - May 1, 2015, Dallas, Texas, USA
  29. O. Busch, Jet fragmentation in pp and PbPb, ALICE Jet Workshop 2015, May 13-15, 2015, Yale University, USA
  30. D. Watanabe,  $\pi^0$ -jet correlations in pp and Pb-Pb collisions, same conference
  31. T. Chujo, Run2 di-jet + soft hadron & HBT measurements, same conference
  32. H. Yokoyama, EMCAL+DCAL jet triggering, same conference
  33. O. Busch, Exploring the QGP with Jets in ALICE experiment, Universe Evolution and Matter Origin, TGSW2015, Sep 28-30, 2015, Tsukuba, Japan
  34. H. Nakagomi, Flow and correlation results from RHIC-PHENIX experiment, same conference
  35. H. Nakagomi, Measurement of charged hadron anisotropic flow in Cu+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV at RHIC-PHENIX (poster), Quark Matter 2015, Sep 27- Oct 3, 2015, Kobe, Japan
  36. D. Watanabe, Jet azimuthal distributions with high pT neutral pion triggers in pp 7 TeV and Pb-Pb 2.76 TeV collisions from ALICE at the LHC (poster), same conference
  37. H. Yamamoto, Flow and correlation measurement in d+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV at PHENIX experiment (poster), same conference
  38. Y. Fukuda, Analysis methods to extract possible flow and ridge signal in small systems and application to high multiplicity events in 510 GeV p+p collisions at RHIC PHENIX experiment (poster), same conference
  39. S. Kudo, Charged hadron production and two-particle correlations in  $^3\text{He}+\text{Au}$  collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV measured with PHENIX detector (poster), same conference
  40. N. Tanaka, HBT measurements with respect to event plane and jet axis in Pb-Pb 2.76 TeV collisions from ALICE (poster), same conference
  41. M. Hirano, Detector R&D of the Forward Calorimeter with PAD readout for the ALICE upgrade (poster), same conference
  42. O. Busch, Jets in p-Pb Collisions Measured with ALICE, QCD challenges at the LHC : from pp to AA, Jan 18-22, 2016, Taxco, Mexico
  43. S. Esumi, Experimental evidences for hydrodynamic flow in heavy-ion collisions, ATHIC2016, Feb 15-19, 2016, New Delhi, India
  44. T. Nonaka, Importance of separated efficiencies for positively and negatively charged particles for cumulant calculations, same conference
  45. H. Nakagomi, Latest results of charged hadron flow measurements in CuAu collisions at RHIC-PHENIX, WWND2016, Feb 28 - Mar 5, 2016, Guadeloupe

< 国内会議発表 >

1. 小沢顕、RI ビーム飛行時間検出器の開発 H26 年度 HIMAC 共同利用研究成果発表会 2015, 4/20-21, ホテルポートプラザちば、Chiba, Japan

2. 小沢顕、固体水素標的を用いた陽子ドリップライン近傍核生成法の開発 H26 年度 HIMAC 共同利用研究成果発表会 2015, 4/20-21, ホテルポートプラザちば、Chiba, Japan
3. 小沢顕、Present status of Rare-RI Ring project at RIBF 「実験と観測で解き明かす中性子星の核物質」第 4 回研究会: 2015, 9/17-18, 湘南国際村センター
4. 森口哲朗、筑波大学 12UD ベレトロンタンデム加速器の廃止措置計画、第 14 回放射線安全管理学会第 14 回学術大会、筑波大学、2015/12/2-4.
5. 森口哲朗、筑波大学イオン加速器システムによる計測手法、第 1 回光・量子計測シンポジウム、つくば国際会議場、2015/9/9.
6. 森口哲朗、筑波大学 UTTAC におけるタンデム加速器の廃止措置計画、第 28 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会、東北大学、2015/7/3-4.
7. 鈴木伸司、「RI ビーム飛行時間検出器の開発」、日本物理学会 2015 年秋季大会、大阪市立大学、2015 年 9 月 25 28 日
8. 鈴木伸司、「質量測定用飛行時間検出器の開発」、日本物理学会第 71 回年次大会、東北学院大学、2016 年 3 月 19 22 日
9. 石橋陽子、「中性子過剰核  $^{39}\text{S}$  の磁気モーメント測定」、同上
10. 笹 公和, 高橋 努, 松中 哲也, 松村 万寿美, 坂口 綾, 佐藤 志彦, 本多 真紀, 富田 涼平, 細谷 青児, 末木 啓介: 6 MV タンデム加速器質量分析システムにおける極微量核種の検出試験, 日本原子力学会 2016 年春の年会, 仙台, 東北大学, 3.26-28, 2016 .
11. 松中 哲也, 笹 公和, 末木 啓介, 恩田 裕一, 高橋 努, 松村 万寿美, 石丸 隆, 谷口 圭輔, 脇山 義史, 松崎 浩之: 放射性ヨウ素の河川における挙動と沿岸環境中の分布, 日本海洋学会 2016 年度春季大会, 東京大学本郷キャンパス, 3.14-18, 2016.
12. 松中 哲也, 笹 公和, 末木 啓介, 高橋 努, 佐藤 志彦, 松村 万寿美, 松崎 浩之: 福島県浪江町における年輪中の炭素 14 濃度変動, 第 17 回「環境放射能」研究会, つくば, KEK, 3.8-10, 2016.
13. 細谷 青児, 笹 公和, 松中 哲也, 松村 万寿美, 高橋 努, Mark Sundquist, Mark Stodola, 末木 啓介: 難測定核種 AMS 開発に向けた PHITS シミュレーションの適用, 第 18 回 AMS シンポジウム, 東京大学, 3.4-5, 2016.
14. 笹 公和, 高橋 努, 松中 哲也, 松村 万寿美, 坂口 綾, 佐藤 志彦, 本多 真紀, 富田 涼平, 細谷 青児, 末木 啓介: 筑波大学 6 MV 加速器質量分析システムの現状と AMS 試験測定結果, 第 18 回 AMS シンポジウム, 東京, 3.4-5. 東京大学, 3.4-5, 2016.
15. 松中 哲也, 笹 公和, 高橋 努, 松村 万寿美, 末木 啓介, 松崎 浩之: 福島における西暦 2010 年の晩材に記録された  $^{14}\text{C}$  増大, 第 18 回 AMS シンポジウム, 東京大学, 3.4-5, 2016.
16. 松中 哲也, 笹 公和, 高橋 努, 松村 万寿美, 末木 啓介, 後藤 章夫, 渡邊 隆広, 土屋 範芳, 平野 伸夫, 久利 美和, 高橋 正明, 風早 康平, 宮城 磯治, 松崎 浩之: 蔵王山における火口湖と地熱帯で観測されたヨウ素同位体比の低下, 第 18 回 AMS シンポジウム, 東京大学, 3.4-5, 2016.
17. 松村 万寿美, 渡邊 雅也, 笹 公和, 松中 哲也, 高橋 努, 末木 啓介, 松崎 浩之: 福島第一原子力発電所事故によるヨウ素 129 の降水への影響, 第 18 回 AMS シンポジウム, 東京大学, 3.4-5, 2016.
18. 松中 哲也, 笹 公和, 末木 啓介, 高橋 努, 佐藤 志彦, 松村 万寿美, 松崎 浩之: 過去 7 年間にわたる福島県浪江町の年輪中の炭素 14 濃度変動, 日本放射線安全管理学会 第 14 回学術大会, つくば, 筑波大学 12.2-4, 2015.
19. 松村 万寿美, 笹 公和, 末木 啓介, 松中 哲也, 高橋 努, 佐藤 志彦, 松崎 浩之: ヨウ素 129 による経時的汚染調査 加速器質量分析用の試料処理実験室の場合, 日本放射線安全管理学会 第 14 回学術大会, つくば, 筑波大学 12.2-4, 2015.

20. 笹 公和, 大島 弘行, 森口哲郎, 高橋 努, 松村 万寿美, 松中 哲也, 末木 啓介, 喜多 英治: 筑波大学 6 MV タンデム加速器の建設と極微量核種検出システムの開発, 日本放射線安全管理学会 第 14 回学術大会, つくば, 筑波大学 12.2-4, 2015.
21. 佐藤 志彦, 末木 啓介, 笹 公和, 箕輪 はるか, 吉川 英樹, 藤原 健壯, 中間 茂雄, 足立 光司, 五十嵐 康人: 福島第一原発周辺で見つかった放射性粒子の特徴, 日本放射線安全管理学会 第 14 回学術大会, つくば, 筑波大学 12.2-4, 2015.
22. M. Honda, K. Sueki, K. Sasa, A. Sakaguchi, H. Matsuzaki, A new extraction method for  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{129}\text{I}$  and  $^{99}\text{Tc}$  in soil samples with microwave assisted digestion equipment, 日本質量分析学会同位体比部会 2015, 大津, 11.25-27, 2015.
23. 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: 発事故以降の都市部河川における放射性核種と溶存イオンの挙動, 2015 日本放射化学学会年会・第 59 回放射化学討論会, 仙台, 東北大学, 9.25-27, 2015.
24. 本多 真紀, 末木 啓介, 坂口 綾, 笹 公和, 松崎 浩之: 難測定核種である塩素 36, ヨウ素 129, テクネチウム 99 の土壌からの抽出方法の検討, 2015 日本放射化学学会年会・第 59 回放射化学討論会, 仙台, 東北大学, 9.25-27, 2015.
25. 佐藤 志彦, 足立 光司, 小野 貴大, 飯澤 勇信, 阿部 善也, 中井 泉, 五十嵐 康人, 笹 公和, 末木 啓介: 福島第一原発事故で放出した放射性粒子の発生源による違い, 2015 日本放射化学学会年会・第 59 回放射化学討論会, 仙台, 東北大学, 9.25-27, 2015.
26. 松中 哲也, 笹 公和, 末木 啓介, 恩田 裕一, 石丸 隆, 谷口 圭輔, 脇山 義史, 高橋 努, 松村 万寿美, 松崎 浩之: 福島原発起源ヨウ素 129 の陸域から海洋への移行研究, 2015 年度日本地球化学学会年会, 横浜, 9.16-28, 2015.
27. 佐藤 志彦, 末木 啓介, 笹 公和, 小野 貴大, 飯澤 勇信, 阿部 善也, 中井 泉, 足立 光司, 五十嵐 康人: 福島第一原発事故で放出した放射性粒子の特徴, 2015 年度日本地球化学学会年会, 横浜, 9.16-28.
28. 笹 公和, 石井 聡, 大島 弘行, 木村 博美, 高橋 努, 田島 義一, 大和 良広, 関場 大一郎, 森口 哲朗, 喜多 英治: 筑波大学マルチタンデム加速器施設の現状, 第 12 回日本加速器学会年会, 敦賀, 8.5-7, 2015.
29. 笹 公和, 石井 聡, 大島 弘行, 木村 博美, 高橋 努, 田島 義一, 大和 良広, 関場 大一郎, 喜多 英治: 筑波大学タンデム加速器施設 UTTAC の現状 (2014 年度), 第 28 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会, 仙台, 7.3-4, 2015.
30. 山崎 明義, 笹 公和, 石井 聡, 黒澤正紀, 富田成夫, 喜多英治, 工藤 博, 檜本 洋, 左高正雄, 筑波大学 6MV タンデム加速器マイクロビームラインの建設計画, 第 28 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会, 仙台, 7.3-4, 2015.
31. 佐藤 志彦, 末木 啓介, 笹 公和, 足立 光司, 五十嵐 康人, 福島第一原発周辺で採取した土壌から分離した放射性微粒子の同定, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 2015 年 5 月 26 日.
32. 土田秀次, 間嶋拓也, 富田成夫, 笹公和, 平田浩一, 柴田裕実, 鳴海一雅, 斉藤勇一, 千葉敦也, 山田圭介, 的場史朗, 伊藤秋男, キャピラリー帯電効果による C60 ビームの静電偏向, 日本物理学会秋の大会, 関西大学, 2015 年 9 月 16 日 (水) ~ 19 日 (土) .
33. 佐藤志彦, 足立光司, 小野貴大, 飯澤勇信, 阿部善也, 中井泉, 五十嵐康人, 笹公和, 末木啓介, 福島第一原発事故で放出した放射性粒子の特徴, 2015 年度 日本地球化学学会年会, 横浜国立大学 教育人間科学部, 2015 年 9 月 16-18 日 .
34. 松中哲也, 笹公和, 末木啓介, 恩田裕一, 石丸隆, 谷口圭輔, 脇山義史, 高橋努, 松村万寿美, 松

崎浩之、福島原発起源ヨウ素 129 の陸域から海洋への移行研究、2015 年度 日本地球化学会年会、横浜国立大学教育人間科学部、2015 年 9 月 16-18 日。

35. Shigeo Tomita, Yoko Shiina, Ryo Kinoshita, Makoto Imai, Kiyoshi Kawatsura, Makoto Matsuda, Kimikazu Sasa, and Masao Sataka, Zero degree electron spectroscopy of fast carbon clusters through carbon foil, 第 16 回「イオンビームによる表面・界面」特別研究会、2015 年 12 月 5-6 日、奈良女子大
36. 村上道夫、葦澤貴夫、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の推定、第 2 回福島大学環境放射能研究所成果報告会、2016 年 3 月 7 日、コラッセふくしま 4 階 多目的ホール。
37. 葦澤貴夫、村上道夫、吉兼隆生、末木啓介、笹公和、芳村圭、放射性物質沈着量からの飲食物由来の被ばく量の推定、第 50 回日本水環境学会年会(2015 年度)、アスティとくしま(徳島県徳島市)、2016 年 3 月 16 日(水)~18 日(金)。
38. 平野勝大、LHC-ALICE 実験のアップグレードに向けた超前方光子測定用電磁カロリメータ Si PAD 検出器の性能評価、第 71 回年次大会、2016 年 3 月 19 - 22 日、東北学院大学 泉キャンパス
39. 塩谷知弘、Measurement of collective flow via two-particle correlation method in  $\sqrt{s_{NN}} = 200\text{GeV}$   $^3\text{He}+\text{Au}$  collisions at RHIC-PHENIX、同上
40. 金 秉徹、ALICE FoCal-E PAD 検出器の信号読み出しに向けた VMM2 チップの性能評価、同上
41. 佐藤一輝、MRPC 飛行時間測定器の時間分解能向上を目指すガスギャップ幅の最適化、同上

#### < 科学研究費取得状況 >

1. 挑戦的萌芽研究、「不安定核電気双極子モーメント測定への挑戦」、代表(小沢顕)、600 千円、300 千円
2. 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)、2,200 千円、660 千円
3. 若手研究(B)、「脳虚血性病態理解のための非侵襲的小動物 O-15 ガス PET 検査システムの構築」、代表(森口哲朗)、2000(千円)、600(千円)
4. 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、2015 年度:13,780 千円(直接経費:10,600 千円、間接経費:3,180 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
5. 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、2015 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
6. 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:2015 年度 1,000 千円
7. 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：2015 年度 500 千円

8. 三明康郎、基盤 B (2013-2016)「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」
9. 中條達也、基盤 B (2013-2015)「LHC-ALICE 実験・前方光子検出器のための高速読み出し系の開発」
10. 中條達也、挑戦的萌芽 (2015-2017)「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」

#### < 外部資金取得状況 >

1. JST/CREST「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」、平成 23 年度採択課題「安全で持続可能な水利用のための放射性物質移流拡散シミュレータの開発」、代表 東京大学 沖 大幹 CREST 移流拡散チーム 末木グループ 研究代表者 末木啓介、研究分担 笹 公和、恩田裕一、分担金：2015 年度 300 千円
2. 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、分担金：2015 年度 21,200 千円
3. 内閣府 SIP (戦略的創造研究プログラム)「次世代海洋資源調査研究」、「レアメタルを含む海底マンガン鉱床の多様性に関する地球科学研究」、研究代表者：臼井 朗 (高知大学) 筑波大学機関代表者：坂口綾、研究参加者：笹 公和、末木啓介、山崎信哉、2015 年度 筑波大学配分額 1,200 千円
4. 文部科学省「先端研究基盤共用・プラットフォーム形成事業」、「マルチタンデム加速器施設の産業・学術共用事業」、事業代表者：喜多英治、副代表者：笹 公和、事業参加者：富田成夫 他 10 名、平成 25 年度～平成 27 年度 102,265 千円、2015 年度経費：26,702 千円
5. 筑波大学・KEK 連携事業「物質 量子ビーム融合領域」、素粒子原子核分野 (原子核、加速器分野) 小沢 顕、中條達也、笹 公和、150 千円 (2015 年度)
6. 中條達也、二国間交流、日仏 (2015-2016)「ジェット・光子・ハドロン測定によるジェット抑制機構と QGP 媒質応答の解明」
7. 江角晋一、日米科学技術事業 (2011-2017)「重イオン加速器 RHIC を用いる高エネルギー原子核衝突実験 PHENIX」

#### < 学内プロジェクト >

1. 平成 26 年度筑波大学・ドイツ学術交流会 (DAAD) パートナーシップ・プログラム (筑波-DAAD 共同研究プログラム) 量子ビームを用いた高効率太陽電池の研究 Studies of high-efficiency solar cells using quantum beams 2014 年 4 月 1 日～2016 年 3 月 31 日代表 上殿明良、分担 秋本克洋、櫻井岳暁、笹公和、平成 26 年度 1,214 千円 平成 27 年度 589 千円