

様式6（第15条第1項関係）

平成29年 3月 31日

独立行政法人 日本学術振興会理事長 殿	研究機関の設置者の所在地	〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1	
	研究機関の設置者の名称	国立大学法人神戸大学	
	代表者の職名・氏名	(学長) たけだ ひろし 武田 廣 (記名押印)	
	代表研究機関名 及び機関コード	神戸大学	14501

平成28年度戦略的国際研究交流推進事業費補助金
実績報告書

戦略的国際研究交流推進事業費補助金取扱要領第15条第1項の規定により、実績報告書を提出します。

整理番号	R2607	補助事業の完了日	平成29年 3月31日	関連研究分野 (分科細目コード)	素粒子・原子核・宇宙 線・宇宙物理(実験) (4902)
補助事業名(採択年度) 高精度粒子線飛跡検出器が拓く新物理探索と国際共同研究(平成26年度)				補助金支出額(別紙のとおり) 20,030,000 円	
代表研究機関以外の協力機関 なし					
海外の連携機関 CERN研究所, INFNボローニャ研究所, ウェルズリー大学, オクシデンタル大学, ハワイ大学, シェフィールド大学					
1. 事業実施主体					
フリガナ 担当研究者氏名	所属機関	所属部局	職名	専門分野	
主担当研究者 ヤマザキユウジ 山崎 祐司	神戸大学	理学研究科	教授	素粒子実験	
担当研究者 クラシゲヒサヤ 藏 重久弥	神戸大学	先端融合研究環/理学 研究科(併任)	教授	素粒子実験	
ミウチケンタロウ 身内 賢 太郎	神戸大学	理学研究科	准教授	素粒子実験	
計3名					

フリガナ 連絡担当者	所属部局・職名	連絡先(電話番号, e-mailアドレス)
ナカイ フミコ 中井 富美子	国際部国際企画課国際企画(総務・ 会計)グループ・専門職員	電話番号 078-803-5045 E-mail intl-plan@office.kobe-u.ac.jp

※2頁以降は、交付決定を受けた時点の事業計画の項目に合わせて必要に応じて修正すること。

2. 本年度の実績概要

本事業は、高精度粒子飛跡検出器を軸に素粒子物理の問題に多角的に迫ることを目的としている。2つの柱があり、1つ目の柱の LHC/アトラス実験では、目標 1 として飛跡検出器を用いたミュオントリガーアップグレード、および目標 2 としてそれによる物理探索の感度向上と新物理探索を達成する。2つ目の柱の暗黒物質探索では、目標 3 として国際交流の推進による方向に感度のある暗黒物質探索の新技术開発・新展開を行う。これらの目標に対する、最終年度の本年度の実績は以下の通りである。

目標 1：ミュオントリガーアップグレード

アップグレードの基礎となるアトラス実験のトリガー系運転について、派遣研究者の前田が L1 TGC Run coordinator としてこれを主導し、その成果が認められて、主要連携研究者の Wengler 氏率いるトリガー・データ取得系 (TDAQ) の運営委員に選ばれ、トリガー装置将来計画の策定 Wengler 氏と共同で行った。関連して Wengler 氏は今年度 2 回日本を訪れ、研究協力を進めた。また、派遣研究者の清水は、MDT を用いたトリガーのアルゴリズム研究をまとめ、特に MDT を用いて簡略・高速にトリガー計算を行う際の問題点を指摘し、これを改善した。また、Corradi 氏の主導で前田氏はじめとする神戸大などが主導してアップグレードに必要な物理測定性能の仕様をまとめた。

アップグレードに用いる検出器開発・制作に関しては、今年度はマイクロメガス検出器の抵抗膜フォイル全数作成の検査を行う必要があった。昨年までの共同研究により検査装置を作成・確立したが、検査の過程で抵抗膜製造上の様々な問題が起きた。これに関して連携研究者の Iengo 氏、Oliveira 氏の全面的な協力を得てこれらの問題を解決した。

さらに 2024 年のミュオントリガーアップグレードに向けて超高精細で放射線耐性の高い飛跡検出器の開発に関して Corradi 氏が、また 10ps オーダーの超高時間分解能をもつ検出器の抵抗膜技術を用いた開発に関して、同様の検出器を開発したボローニャ大学の経験について、Boscherini 氏、Polini 氏が、特に技術的な困難点について助言を行った。また、これらの放射性耐性試験で Polini 氏が神戸大で実験を行い、Boscherini 氏が CERN での実験に協力し、Cosmo 氏が低エネルギー放射線のシミュレーションについて助言し、この点でも研究と協力関係が進んだ。

目標 2：新物理探索

派遣者の清水はこれまでの活動が認められ、分野で権威のある 2 つの国際会議で重要な役割を果たした。DIS2016 国際会議では標準模型のハドロン終状態精密測定セッションのコンビーナを勤め、Blois 国際会議ではコライダー実験での量子色力学全般について招待基調講演を行った。

また、派遣者の前田はトップクォーク対共鳴による新物理探索解析に携わっている。ここでは高い運動量に感度のあるブースト（加速）されたトップクォークのハドロン崩壊を選別する技術を中心に研究を行った。派遣者の清水、主担当の山崎はトップクォーク生成断面積の精密測定のためのデータ解析を、同じブーストされた場合の事象選別技術を用いて行った。2016 年夏までのデータで暫定結果をこれらチームが共同で出した。その後最終論文作成に向けてデータ解析の改良を行っているが、連携研究者の Marino Romano 氏ほか、他のボローニャ大出身の研究者もチームに加わり論文作成に向けて作業を続けている。このようにボローニャ大との研究協力で、この 1 年で神戸大はトップクォークの解析に対して大きく国際的な存在感を増すことができた。Polini 氏は米国で計画中の新型電子・陽子衝突型加

速器に関する研究会で山崎を関連研究者に紹介し、新たな研究協力の方向性を付けた。

目標 3：方向に感度を持つ暗黒物質の探索

本年度は、技術的には2点での協力関係をもとに2つの結果を得た。一つは方向感度を持つ検出器に必要な検出器・信号読み出しの他チャンネル化で、種々の方法をレビューした論文（論文3）を主連携研究者の Battat 氏主導のもとに完成させたことである。そこにはガス検出器を用いた神戸大・身内の取り組みが大きく盛り込まれた。また、主連携研究者の Spooner 氏の協力により、安全な陰性ガスを用いて3次元飛跡再構成を精度よく行う方法を神戸大でも確立した。身内はハワイ大学でも Sven Vahsen 氏と協力して進めた。

また、これらを含む過去3年間の本事業の活動、すなわち身内を中心とする方向感度を持つ暗黒物質研究の国際交流が呼び水となり、2016年9月に CYGNUS proto-collaboration として将来の新実験での協力体制確立のための覚書を締結した。これには Battat, Spooner, Snowden-Ifft, Vahsen が参加しており、うち Spooner, Vahsen, 身内は Steering Committee メンバーとして計画を主導するに至った。

3. 到達目標に対する本年度の達成度及び進捗状況

前項で述べた具体的な3目標の達成度は以下の通りである。

目標 1：ミュオントリガーアップグレード

進捗状況：当初の目標であるアトラス実験でのトリガー安定化、高輝度化に対応するトリガー系のアップグレード、アルゴリズム開発については、トリガー運転では前田が L1 TGC run coordinator として主導、アップグレードでは前田、Wengler が 2020 年からのトリガー系仕様策定を行い、清水、Corradi がアルゴリズム開発をまとめ、**目標を達成した**。さらに前田がアップグレード計画で主導的な役割を果たし、これら派遣若手を中心とした活動が神戸大のプレゼンスを想定以上に高めた。

またバックグラウンド対策のハードウェア開発、製作、量産手法確立については、必要数全品の生産・検査にこぎつけ、**予想を上回る成果を達成した**。

また新しい検出器開発（前方ミュオン検出器、高時間分解能 RPC）についても神戸大と Boscherini, Polini が協力して放射線耐性の試験を行った。また Cosmo がこれら開発に必要なシミュレーションについて助言を与えた。このように新検出器開発について協力関係が確立され研究が大きく進行し、**目標を達成した**。

目標 2：新物理探索

派遣若手の前田、清水およびボローニャの研究者が共同でトップクォーク解析に当たっている。現在最終論文に向けてボローニャと神戸が共同で解析を行っている。協力関係を持つことで解析が飛躍的に進み、**目標は達成され、今後の更なる共同研究に発展した**。

目標 3：方向に感度を持つ暗黒物質の探索

共著論文の執筆、陰性ガスを用いた感度向上、新実験での協力体制確立のための覚書締結と、招へい者との共同研究によりこの領域での国際化を大きく進め、**目標を上回る成果を達成し、今後の更なる共同研究に発展させた**。現在さらなる共著論文の準備を進めている。また、全体を通し、派遣若手の清水は主要学会で評価され、前田は業績が認められ平成28年10月1日付で理学研究科講師に昇進するなど、派遣若手は本事業により予想以上の成果を得た。

4. 日本側研究グループ（実施主体）の研究成果発表状況（本年度分）

①学術雑誌等（紀要・論文集等も含む）に発表した論文又は著書

論文名・著書名 等	
<p>（論文名・著書名，著者名，掲載誌名，査読の有無，巻，最初と最後の頁，発表年（西暦）について記入してください。）（以上の各項目が記載されていれば，項目の順序を入れ替えても可。）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・査読がある場合，印刷済及び採録決定済のものに限って記載して下さい。査読中・投稿中のものは除きます。 ・さらに数がある場合は，欄を追加して下さい。 ・著者名について，責任著者に「※」印を付してください。また，主担当研究者には<u>二重下線</u>，担当研究者については<u>下線</u>，若手研究者については<u>波線</u>を付してください。 ・海外の連携機関の研究者との国際共著論文等には，番号の前に「◎」印を，また，それ以外の国際共著論文等については番号の前に「○」印を付してください。また，主要連携研究者については<u>斜体・太下線</u>，連携研究者については<u>斜体・破線</u>としてください。 	
◎ 1	<p>“Study of hard double-parton scattering in four-jet events in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS experiment”, ATLAS collaboration, M. Aaboud et al., <u>藏重久弥</u>, <u>前田順平</u>, <u>清水志真</u>, <u>山崎祐司</u>, <u>Lorenzo Bellagamba</u>, <u>Thorsten Wengler</u>, <u>Paolo Iengo</u>, <u>Massimo Corradi</u>, <u> Davide Boscherini</u>, <u>Alessia Bruni</u>, <u>Alessandro Polini</u>, <u>Marino Romano</u> 他, JHEP 1611 (2016) 記事番号 110 (50 ページ), 査読あり</p>
◎ 2	<p>“Measurement of event-shape observables in $Z \rightarrow \ell\ell$ events in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS detector at the LHC”, G. Aad et al., <u>藏重久弥</u>, <u>前田順平</u>, ※<u>清水志真</u>, <u>山崎祐司</u>, <u>Lorenzo Bellagamba</u>, <u>Thorsten Wengler</u>, <u>Paolo Iengo</u>, <u>Massimo Corradi</u>, <u> Davide Boscherini</u>, <u>Alessia Bruni</u>, <u>Alessandro Polini</u>, <u>Marino Romano</u> 他, Eur. Phys. J. C76 (2016) 記事番号 7, 375 (54 ページ), 査読あり</p>
◎ 3	<p>“Readout technologies for directional WIMP Dark Matter detection”, <u>J.B.R. Battat</u>, <u>身内賢太朗</u>, <u>D. P. Snowden-Ifft</u>, <u>N. J. C. Spooner</u>, <u>S.E. Vahsen</u> 他, Physics Reports Volume 662 (2016) ページ 1-46, 査読あり</p>
○ 4	<p>“Measurements of $t\bar{t}$ differential cross-sections in the all-hadronic channel with the ATLAS detector using highly boosted top quarks in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV”, <u>清水志真</u>, <u>山崎祐司</u> 他, ATLAS Collaboration Conference Note, 2016 年 9 月, 査読なし, 全 22 ページ, https://cds.cern.ch/record/2217231</p>

②学会等における発表

発表題名 等	
<p>（発表題名，発表者名，発表した学会等の名称，開催場所，口頭発表・ポスター発表の別，審査の有無，発表年月（西暦）について記入してください。）（以上の各項目が記載されていれば，項目の順序を入れ替えても可。）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・発表者名は参加研究者を含む全員の氏名を，論文等と同一の順番で記載すること。共同発表者がいる場合は，全ての発表者名を記載し，責任発表者名は「※」印を付して下さい。発表者名について主担当研究者には<u>二重下線</u>，担当研究者については<u>下線</u>，若手研究者については<u>波線</u>を付してください。 ・口頭・ポスターの別，発表者決定のための審査の有無を区分して記載して下さい。 ・さらに数がある場合は，欄を追加して下さい。 ・海外の連携機関の研究者との国際共同発表には，番号の前に「◎」印を，また，それ以外の国際共同発表については番号の前に○印を付してください。また，主要連携研究者については<u>斜体・太下線</u>，連携研究者については<u>斜体・破線</u>としてください。 	
◎ 1	<p>国際学会招待講演・基調講演 "Test of QCD at Colliders", <u>清水志真</u>, Blois 2016 for Particle Physics and Cosmology, May 29 - June 3, 2016, Blois, France, 口頭発表, 審査あり</p>
◎ 2	<p>招待講演 “Recent results on diffractive and forward physics at HERA”, <u>山崎祐司</u>, 46th ISMD 2016, International Symposium on Multi-particle Dynamics, 29 Aug – 02 Sep 2016, Jeju Island, South Korea, 口頭発表, 審査あり</p>
3	<p>”Radiation Detector Development for Direct Dark Matter Search”, <u>身内賢太朗</u>, International Symposium on Radiation Detectors and Their Uses (ISR2016), KEK, Tsukuba, Japan, 口頭発表, 審査あり</p>
4	<p>“NEWAGE”, <u>身内賢太朗</u>, IDM 2016: Identification of Dark Matter, Sheffield, UK, July 18-22, 2016, 口頭発表, 審査あり</p>

5	“NEWAGE” , <u>身内賢太朗</u> , ICHEP 2016: International Conference on High-Energy Physics, Chicago US, August 3-10 2016”, 口頭発表, 審査あり
6	"Review of direction-sensitive dark matter search”, Physics in LHC and early universe, <u>身内賢太朗</u> 9th to 11th, Jan. 2017, Univ. of Tokyo, 口頭発表, 審査あり

5. 若手研究者の派遣実績（計画）

【海外派遣実績（計画）】

年度	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	合計
派遣人数	2 人	2 人 (2 人)	2 人 (2 人)	2 人

※当該年度は実績，次年度以降は計画している人数を記載

【本年度の海外派遣実績】

派遣者①の氏名・職名：清水 志真・助教

（当該若手研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動）

ミューオントリガー改良と標準模型精密検証を主に行う。ミューオントリガー改良ではまず高段トリガーの遅い粒子トリガーの開発を初年度に行い，27 年度のデータ取得ではそのモニターも行って，常に改良を加える。カロリメーター，およびボローニャの Corradi の担当している RPC 検出器の信号を組み合わせ，検出器のタイミングのずれをモニター，補正して精度を上げる。また，28 年度には越智，Kuger らの Micromegas 検出器の試作品が完成する。神戸大，CERN 研究所での飛跡測定性能検査をもとに高段トリガーを開発する。標準模型検証はデータ取得が始まる 27 年度からジェット生成の精密測定を中心に行う。

（具体的な成果）

本年度の研究期間は産休までの半年であったが，前年度までに行っていたハードウェアによる高速判定トリガーの開発を続け，その成果をまとめて研究者に引き継いだ。

また，清水氏のこれまでの標準模型・トップクォーク解析の実績が認められ，国際会議 DIS2016 において，ハドロン終状態ワーキンググループのコンビーナを務めた。また，Blois 国際会議では基調講演” Test of QCD at Colliders” として，アトラス実験のみならず加速器実験全体の標準模型ジェット生成等のレビューを行った。これら 2 つの会議は，どちらも会議はアトラス実験では共同研究者が公式に参加する 100 以上の国際会議の中で上位 10 位以内に位置づけられている。清水助教は分野の代表としてこれら会議によりコンビーナ，および基調講演の講演者に選ばれた。

さらに，アトラス実験の内部論文審査員を複数勤め，特に責任著者を務めた論文（論文 2）が今年度に雑誌掲載された。

派遣先 (国・地域名, 機関名, 部局名, 受入研究者)	派遣期間			合計
	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	
スイス, CERN 研究所, 物理研究部, Thorsten Wengler	67 日	302 日	19 日	388 日

派遣者②の氏名・職名： 前田 順平・助教（平成 28 年 10 月 1 日付で講師へ）

（当該若手研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動）

ミュオントリガー改良と標準模型精密検証を主に行う。初段トリガーのオンラインコントロールソフトウェア整備，改良トリガー論理の開発・実装を行い，27，28 年度での安定したデータ取得を確実にする。この安定したデータを用いて，27,28 年度にはトップクォーク対の共鳴状態の探索を行う。両トップクォークがハドロンのみならず崩壊する過程と片方がレプトンにも崩壊する過程を比較し，系統誤差を下げる。また，この崩壊を用いて事象をミュオントリガーと独立にトリガーし，トップクォーク対をトリガー効率の精密決定に用いる方法を開発する。

（具体的な成果）

本年度も Level-1 endcap muon trigger run coordinator の一人として，トリガー運転の不具合の解決に関する作業，トリガー条件の調整，他のグループとの議論等を行った。加えて，Menu Coordination Contact for the Level-1 Muon としてミュオントリガー全体の統括を行った。また，年度の後半にはこれらの活動が評価され，2017 年 3 月より TDAQ（トリガーおよびデータ取得）L1-TGC coordinator および TDAQ Steering group member となり，派遣先受入教員の Wengler 氏（2 名の TDAQ management team のうちの一人，来年度 TDAQ グループリーダー）のもとで，TDAQ（トリガーおよびデータ取得系）を主導し，意思決定を行う委員の 1 人となった。さらに，物理データ解析ではトップクォークの対に崩壊する新しい共鳴状態（新粒子）の探索を通して神戸大および他の研究者の指導を行っている。これに加えて，2020 年のトリガーアップグレードに向けての最終技術仕様書の執筆をリードした。

これら一連の CERN 研究所での研究成果が認められ，平成 28 年 10 月 1 日付けで神戸大学理学研究科講師に昇進した（一般公募）。

派遣先 (国・地域名，機関名，部局名，受入研究者)	派遣期間			合計
	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	
スイス，CERN 研究所，物理研究部， Thorsten Wengler	68 日	187 日	176 日	431 日

※本年度の派遣者毎に作成すること。

6. 研究者の招へい実績（計画）

【招へい実績（計画）】

年度	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	合計
招へい人数	6 人	10 人 (5 人)	11 人 (8 人)	14 人

※当該年度は実績，次年度以降は計画している人数を記載

【本年度の招へい実績】

招へい者①の氏名・職名：Lorenzo Bellagamba, Senior Researcher

（当該研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動）

目標 2.1 の標準模型を超えた物理の探索について，トップクォークにジェットが随伴して生成する過程のデータ解析を行った実績を生かし，若手派遣者の前田の行うトップクォーク対共鳴，および神戸大のヒッグス粒子 W 崩壊にジェットが随伴する場合のバックグラウンドの見積もりについて共同研究を行う。目標 1.1 の新 RPC 検出器では，他のボローニャメンバーとともに神戸大の開発するエンドキャップトリガーへの組み込みについて助言する。また，アトラス実験のボローニャリーダーとして，本事業でボローニャに関連する研究を統括する。

（具体的な成果）

本年度は神戸大側でトップクォーク解析を本格的に進める準備が整い，清水が散乱断面積測定に多くの時間を割き，同様に前田がトップクォーク対に崩壊する新粒子探索により多くの時間を割いた。これを受けて今年度の招へい中にトップクォーク解析の研究会をボローニャ・神戸共同で開き，今後の協力関係を詳細に話し合った。ボローニャはトップクォーク散乱断面積の解析で幅広く人材を輩出しており，Bellagamba 氏はそれらの研究者に神戸の研究者を紹介した。これにより，神戸のトップクォーク研究がはるかに円滑に進むようになったことが最大の成果である。招へいの終わりに，今後も協力関係を結んで今後も神戸と研究協力を続けていくことを確認した。

招へい元（機関名，部局名，国名）及び 日本側受入研究者（機関名）	招へい期間			合計
	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	
INFN ボローニャ研究所，粒子物理研究部， イタリア，山崎祐司（神戸大学）	8 日	12 日	8 日	28 日

招へい者②の氏名・職名：Massimo Corradi, Researcher

（当該研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動）

目標 1.1 のミューオントリガー改良について，次の 3 点を行う。i) ボローニャ，神戸大で独立して開発しているミューオントリガーのモニターを山崎らとともに統合する。ii) 遅い重粒子のトリガーを派遣若手の清水と共同開発する。携わる RPC の時間較正のスキームを考案する。iii) Boscherini, 藏重らとともに，新 RPC 検出器を用いることによりエンドキャップとバレル領域の境界で，レベル 1 トリガーにおいて衝突由来でない粒子を落とせるかのトリガー論理を開発する。また，アトラス実験が

設置を計画している超前方ミュオン検出器プロジェクトに関して Corradi 氏はプロジェクトを監督する立場にある。神戸で開発する超前方ミュオン検出器の試作に技術的な助言を行う。

(具体的な成果)

Corradi 氏は昨年度後半からミュオントリガーアップグレード計画推進のリーダーの一人となった。今回の招へいでは、特に 2023 年からの第 2 段階アップグレードに関して、特にこれまで清水らが研究してきた MDT 検出器を用いた初段トリガーに加え、従来から用いている TGC 検出器の信号処理に改良を加えたものを用いることで性能が向上できるか議論した。また、その技術提案書を準備するにあたって、どのようなトリガー装置とするかのデザインを詳細に検討する機会を持ち、どのようなシミュレーションを用いてデザインの妥当性を確認していくかを議論した。最後に今後もこの点について神戸大が Corradi 氏と研究協力を続けていくことを確認した。

また、超前方ミュオン検出器プロジェクトについて、神戸大が今後この計画に参画するとしたらどのような可能性があるか、意見交換を行った。特に、その物理的な意義、コストとの兼ね合い、技術的な可能性について議論し、問題点を整理した。トップクォークの解析でも神戸の研究者に助言を行った。

招へい元（機関名，部局名，国名）及び 日本側受入研究者（機関名）	招へい期間			合計
	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	
INFN ボローニャ研究所，粒子物理研究部， イタリア，山崎祐司（神戸大学）	8 日	11 日	12 日	31 日

招へい者③の氏名・職名： Davide Boscherini, Senior Researcher

(当該研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動)

目標 1.1 のミュオントリガー改良において、Corradi, 藏重とともに、新 RPC 検出器を用いることによりトリガーレートが下げられるかを見る。また、招へい者が CERN 研究所の GIF++ で粒子モニターの開発を行っていることから、GIF++ の装置を用いた放射線耐性をモニターの実験立案に携わる。また、Corradi とともに、新 RPC 検出器がバレル部・エンドキャップ部の境界でどのようにバックグラウンドを落としていくのかを検討し、藏重らとそのレベル 1 ミュオントリガーのハードウェアでのトリガー論理を開発する。

(具体的な成果)

神戸大が開発している世界最高の時間分解能を目指すきわめてガス領域の狭い RPC 検出器について、最も重要な解決すべきポイントである、検出器の製作・組み立て・配線方法について、神戸で製作した試作機を視察し、ボローニャ大学で開発されている同様の検出器の開発経験から、現実的に可能な検出器の構造について議論した。これら神戸で開発中の飛跡検出器について、ガンマ線に対する放射線耐性をこれら新開発の検出器で行う実験について、今後も協力体制を続けていくことを確認し、また神戸大で中性子を用いて実験する可能性について議論した。

招へい元（機関名，部局名，国名）及び	招へい期間			

日本側受入研究者（機関名）	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	合計
INFN ボローニャ研究所，粒子物理研究部， イタリア，山崎祐司（神戸大学）	8 日	11 日	15 日	34 日

招へい者⑤の氏名・職名： Paolo Iengo Research Staff

（当該研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動）

目標 1.2 の Micromegas 製作の品質コントロールを行う。電極面に張り付けた抵抗膜の抵抗値が所期の基準を満たしているかを検査する装置を神戸大で製作するが、その装置作成・改良の助言を行う。同様の装置は CERN 研究所でも設置する予定で、同時開発で自動化の技術などを共用することにより効率的に開発する。抵抗膜の貼り付け法についても情報交換をする。装置の開発後は、製作した検出器の製造上の問題について情報交換して問題を解決していく。

（具体的な成果）

今年度は、ATLAS Micromegas 検出器の抵抗フォイルの量産フェーズにあたる。この中でフォイルの強度、抵抗値の変化など、試作の段階とは異なる問題点が出た。これらの対策検出器の品質に関わる重要なポイントについて今後の対策や方針を集中的に議論した。特に、抵抗フォイルの量産を行っている国内企業を視察し、製造上の問題点の解決や改良点について具体的な指摘を受けた。また、神戸大で行っている抵抗フォイルの品質検査について、CERN 側での検出器組立のスケジュールと効率的に整合性をとるための打合せを行った。

招へい元（機関名，部局名，国名）及び 日本側受入研究者（機関名）	招へい期間			合計
	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	
CERN 研究所，物理研究部，スイス 藏重久弥（神戸大学）	7 日	7 日	6 日	20 日

招へい者⑥の氏名・職名： Rui de Oliveira, Research Staff

（当該研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動）

目標 1.2 の Micromegas 製作および抵抗膜を用いた精細飛跡検出器の応用発展の研究を行う。Oliveira 氏は CERN 研究所での Micromegas 製作の中心人物で、検出器に用いる m²オーダーの基板の上に極板パターンを製作する技術を統括している。神戸大では Micromegas への抵抗膜貼り付け、抵抗膜作成品質向上のための開発と効率的な生産によるコスト削減を日本の製作者と共同作業で行う。また、抵抗膜の強度試験、抵抗膜を用いた検出器の高放射線下での耐性試験を越智・藏重と共同で行う。

（具体的な成果）

現在量産フェーズにある Micromegas 検出器の抵抗フォイルについて、量産を委託している国内企業を共に視察することで、製造上の問題点の解決や改良点について集中的に議論を行い、具体的な問題点の指摘を受けた。また、新たな抵抗薄膜作成方法である、DLC（ダイヤモンドライクカーボン）を大面積で作成できる国内企業を視察した。この技術を使うことで、超前方検出器などより高放射線下での動作が必要となる検出器開発が期待できる。これを念頭に置いた神戸大との共同研究を新たにスタートさせるため

の議論を行った。				
招へい元（機関名，部局名，国名）及び 日本側受入研究者（機関名）	招へい期間			合計
	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	
CERN 研究所，物理研究部，スイス 藏重久弥（神戸大学）	7 日	7 日	6 日	20 日

招へい者⑦の氏名・職名：James Battat, Assistant Professor

<p>（当該研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動）</p> <p>目標 3.1 の方向に感度を持つ暗黒物質検出器の共同開発を行う。Battat 氏は，CCD による画像検出器の技術で原子核飛跡の前後判定に関する研究では世界をリードしてきた。招へいによって共同研究を行い，我々の検出器の当該性能を向上させることを目的とする。平成 27 年度の Battat 氏の教育義務のない期間を利用して，約一か月の招へいを行い，神戸大学で上記共同研究を進める。平成 28 年度には 10 日ほどの招へいを行い，研究成果のまとめ及び将来の世界的な共同実験についての打ち合わせを行い，日本がリーダーシップをとるべく準備を進める。</p> <p>（具体的な成果）</p> <p>Battat 氏との招へいにより共著論文（論文 3）の執筆を進め，出版した。本論文では，方向感度を持つ暗黒物質直接探索実験の検出器について論じ，神戸大学で開発を進めている MPGD を用いた暗黒物質探索実験については身内が執筆を主導した。その後，2016 年 9 月に CYGNUS proto-collaboration の覚書を締結，Battat 氏らとともに将来の国際共同実験に向けての準備を開始した。</p>				
招へい元（機関名，部局名，国名）及び 日本側受入研究者（機関名）	招へい期間			合計
	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	
ウェルズリー大学，物理学科，アメリカ合衆国，身内賢太郎（神戸大学）	0 日	11 日	9 日	20 日

招へい者⑨の氏名・職名：Neil Spooner, Professor

<p>（当該研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動）</p> <p>目標 3.1 の方向に感度を持つ暗黒物質検出器の共同開発を行う。Spooner 氏は，国際共同研究 DRIFT グループの英国リーダーとして，長年放射性不純物であるラドン対策やガスの純化などの低バックグラウンド検出器の開発を主導してきた。また，英国暗黒物質グループのリーダーとして Boulby 地下実験施設の運営を行い，暗黒物質直接探索についての経験が豊富である。教授であるため，若手招へいには該当しないが，平成 27 年度前期に短期の招へいを行い，これまでの経験を活かして研究計画の方向性についての助言を得る。また，平成 27 年の成果をもとに，本事業の参加機関による新しい国際共同実験について協議するため，平成 28 年度も招へいする。</p> <p>（具体的な成果）</p> <p>Spooner 氏の招へいにより，暗黒物質直接探索について低バックグラウンド化への助言</p>			
---	--	--	--

を得た。Spooner 氏の主宰する DRIFT 実験ではこれまで CS2 と呼ばれるガスによる低バックグラウンド化に成功してきた。2015 年に SF6 というより安全なガスでも同様の効果を得られることが判明，この点に関しての技術供与を受け，神戸大学でも使用を開始，暗黒物質探索実験の高感度化に道筋をつけた。2016 年 9 月に CYGNUS proto-collaboration の覚書を締結，身内及び Spooner 氏は中心的存在（5 人の steering committee を共に務める）として将来の国際共同実験に向けての準備を開始した。

招へい元（機関名，部局名，国名）及び 日本側受入研究者（機関名）	招へい期間			合計
	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	
シェフィールド大学，物理・天文学科，英国，身内賢太郎（神戸大学）	0 日	11 日	11 日	22 日

招へい者⑩の氏名・職名： Thorsten Wengler, Research staff

（当該研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動）
 アトラス実験の副スポークパーソン（副代表）として，CERN 研究所で派遣若手を受け入れるとともに，共同研究内の参加研究機関の多くに精通していることを生かし，本事業の全体について，特にネットワーク構築，拡大について人材の紹介や助言を行う。また，トリガー全般の運営に従事していたことを生かし，派遣若手のトリガー改良に関する研究の助言を行う。招へい時には，アトラス実験のトリガー系アップグレードの将来計画，物理の将来計画について全体を俯瞰し，事業終了後のネットワーク拡大の可能性を探る。特に，遅い粒子のレベル 1 トリガーについて，既存の検出器，信号処理ハードウェアの組み合わせで実現するためのアイデアを持ち寄り，信号処理システムへの実装を目指す。

（具体的な成果）

Wengler 氏は CERN 研究所の受け入れ教員として，特にミュオントリガープロジェクトで活動する派遣若手の前田に対して研究の指導を行った。招へいでは，神戸が開発するミュオントリガー最終段トリガー装置（セクターロジック）の信号を受け取るミュオン中央トリガー装置の仕様策定とエレクトロニクス製作の現状を報告した。また，第 2 段階アップグレードで使用される初段トリガー中央演算装置について，そのデザインについて現状の案を説明した。特にイギリスなどが進めている中央飛跡検出器初段トリガーを用いた 2 ステップのトリガー決定装置に対応できるデザインについてもその案を説明し，その是非について神戸側と意見交換を行った。また TDAQ グループリーダーとして，ミュオントリガー関連の現状について神戸側が情報提供をした。今後も神戸 CERN トリガーグループが密にコミュニケーションをとって問題解決に当たることを確認した。

招へい元（機関名，部局名，国名）及び 日本側受入研究者（機関名）	招へい期間			合計
	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	
CERN 研究所，物理研究部，スイス 藏重久弥（神戸大学）	0 日	10 日	15 日	25 日

招へい者⑫の氏名・職名： Gabriele Cosmo, Research Staff

(当該研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動)
 目標 1 のトリガーアップグレードでは、平成 27 年のデータ取得により、バックグラウンドがトリガーに与える影響を取り除くアルゴリズムの開発が、アップグレード後のトリガーの品質のカギを握ることがわかってきた。それには主たるバックグラウンドである低エネルギーのハドロンシミュレーションの精度を上げる必要がある。粒子線シミュレーションの専門家である Gabriele 氏を招へいし、担当研究者の藏重と共同作業を行って、必要な改良を加える。

(具体的な成果)
 Cosmo 氏は、ATLAS の検出器シミュレーションのベースとなっている Geant4 の中心人物であり、その状況と今後の改良に関して助言を行った。特に低エネルギーのハドロン相互作用のシミュレーションについては、2016 年末にリリースされた新しいバージョンから原子核の励起状態の取り扱いが変更され精度が向上しているが、ATLAS にはまだ組み入れられてない。これについて、神戸大の今後の取り組み方について助言を行った。

招へい元（機関名，部局名，国名）及び 日本側受入研究者（機関名）	招へい期間			合計
	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	
CERN 研究所，物理研究部，スイス 藏重久弥（神戸大学）	0 日	0 日	15 日	15 日

招へい者⑬の氏名・職名： Alessandro Polini, Senior Researcher

(当該研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動)
 目標 1.1 の高輝度化に伴うトリガー改良について、本事業ではトリガー検出器データ読出しの最終段の改良を進めている。これについて、Polini 氏を招へいし、ボローニャがこれまで担当している RPC トリガーの読出しシステム，検出器コントロールシステムについての経験を聞き、神戸の開発状況に助言をするとともに、仕様策定を行う。

(具体的な成果)
 神戸大学海事科学部におけるガス飛跡検出器の中性子放射試験に参加し、検出器の放射線耐性の測定を共同で行った。神戸大でボローニャ側の製作した検出器に対する同様の試験を行う可能性を議論した。また、Polini 氏はヨーロッパでの電子・陽子衝突散乱加速器を用いた実験の検出器計画に携わっており、米国で建設計画を策定している同様の加速器である、電子・重イオン衝突散乱加速器を用いた物理の研究会に Polini 氏と山崎が参加し、両研究機関が将来この分野で協力していく可能性について議論した。また、神戸大が開発している世界最高の時間分解能を目指すきわめてガス領域の狭い RPC 検出器について、最も重要な解決すべきポイントである、検出器の製作・組み立て・配線方法について、ボローニャ大学の持つ技術で応用の効く手法を神戸に紹介した。

招へい元（機関名，部局名，国名）及び 日本側受入研究者（機関名）	招へい期間			合計
	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	
INFN ボローニャ研究所，粒子物理研究部， イタリア，山崎祐司（神戸大学）	0 日	0 日	33 日	33 日

招へい者⑭の氏名・職名： Marino Romano, Postdoctoral Fellow

(当該研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動)
目標 2 のトップクォーク解析について、ボローニャでトップクォークのハドロン（ジェット）崩壊チャンネルですでにバックグラウンド抑制の解析手法に経験を持つデータ解析を行っている Romano 氏を招へいし、山崎と集中的にデータ解析手法の作業をすることにより、トップクォーク解析を推し進める。

(具体的な成果)
トップクォーク解析に関するセミナーを招へい中に行った。また、トップクォーク解析研究会では、ボローニャで行っているデータ解析について、主に技術的な側面、特に Marino 氏が得意とする、測定量から物理量を推定する際に起きる数値計算の不安定性を抑える手法、誤差伝搬を正しく行う方法などについて講義を行い、神戸大（山崎，前田，博士後期学生）が具体的な手法を学んだ。

招へい元（機関名，部局名，国名）及び 日本側受入研究者（機関名）	招へい期間			合計
	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	
INFN ボローニャ研究所，粒子物理研究部， イタリア，山崎祐司（神戸大学）	0 日	0 日	14 日	14 日

※本年度の招へい者毎に作成すること。

7. 翌年度の補助事業の遂行に関する計画

該当なし

※ 補助事業が完了せずに国の会計年度が終了した場合における実績報告書には、翌年度の補助事業の遂行に関する計画を附記すること。