

様式6（第15条第1項関係）（採択年度＝平成26年度以降）

平成27年4月9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 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26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27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) 18,874,000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	自然科学先端融合研究 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 太朗	神戸大学	理学研究科	准教授	素粒子実験
オチアツヒコ 越智 敦 彦	神戸大学	理学研究科	助教	素粒子実験
計4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)
フジイ ジュンヤ 藤井 淳也	国際部国際企画課国際企画グループ ・専門職員	電話番号 078-803-5043 E-mail intl-plan@office.kobe-u.ac.jp

## 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本年度の実績は以下の通りである。

### 目標 1：アトラス実験のミュオントリガーアップグレード

LHC の 13-14TeV（これまでの 2 倍近いエネルギー）での運転開始 (Run-2) を来年度に控え、その準備を主に行った。

1. ミュオントリガーの維持作業およびトリガー性能向上のための新機器開発（派遣若手・前田）。これによりミュオントリガーを Run-2 の安定動作に間に合わせた。
2. 遅い粒子がカロリメーターを粒子が通る時間の測定で検出するアルゴリズムを見据えた、ミュオンのカロリメーター中での応答の研究を行った。（派遣若手・清水）
3. ボローニャ (Corradi) と清水による RPC (ATLAS 実験のバレル部で用いられる時間分解能のよい飛跡検出器) を用いた遅い粒子トリガーの共同開発計画を決めた。
4. ボローニャ (Boscherini, Corradi) と藏重による ATLAS 実験バレル部・エンドキャップ部境界でのトリガー論理開発計画を決めた。
5. ボローニャ (Bosscherini) の協力を得た、越智による高精細検出器の高放射線下耐性の試験計画について議論した。
6. CERN (Iengo, Oliveira) の神戸訪問期間中における、2019 年の運転に向けて量産試作中の Micromegas 検出器の一部である高抵抗膜の検査装置（神戸大設置）の設計。このためにクリーンブースを設置し、また表面検査のためのスキャナーを導入した。

### 目標 2：LHC 実験における新物理探索

今年度は Run-2 への準備のため、目標 1 に主に注力した。その中でもジェット生成の断面積の精密測定（論文 1, 清水）を行った。これにより、標準模型理論でのジェット生成率の理解が進み、Run-2 でのジェット生成率の不定性を大きく抑えた。

また、ボローニャグループ (Lorenzo) と清水・前田がトップクォークの Run-2 での測定に当たって共同で行うことで合意した。具体的にはトップクォークの生成断面積測定、トップクォーク対の共鳴測定などについて、特にボローニャグループの得意とするレプトン・ハドロン崩壊について共同して進めることとした。

### 目標 3：方向に感度を持つ暗黒物質の探索

今年度、Snowden-Ifft 氏の招へい、また関連学会での招へい予定研究者 (Vahsen, Spooner ら) との意見交換により、更なる感度向上のためには検出器そのものから出る放射線物質の低減、データ解析によるバックグラウンドの 2 点で本事業を進めることを確認した。具体的には、Snowden-Ifft 氏より、装置製作で薄いフィルムを用いること、二硫化炭素を暗黒物質検出の標的として用いることがブレークスルーになるとの助言を受けた。

これを受けて、次年度以降は招へい者が極力同時に集まって、具体的な検出器デザインに

向けて設計を固める予定である。

### 3. 到達目標に対する本年度の達成度及び進捗状況

以下に各目標に対して各派遣・招へい計画ごとに達成度・進捗状況を示す。

#### 目標 1： ミューオントリガーアップグレード

派遣若手は、前回は予想以上に研究および現地における作業の効率向上が進んでおり、次年度以降も中核的にミューオントリガーの運転、アップグレードに役割を果たす下地ができた。また、清水は新物理探索に予定通りの成果を出した。また派遣期間の終わりに新プロジェクトとして 2023 年に運転開始予定のデジタルエレクトロニクスを用いた高速高精度飛跡検出開発に参加する可能性を現地の研究者と話し合い、来年度に新しい研究機関との共同研究も含めた新展開を構想している。これらから、派遣若手の研究は予定通り進み、本年度は目標を十分達成している。

ボローニャグループとのミューオントリガー・飛跡検出器共同開発は、予定していた研究について研究計画を立てた。今年度の目標はおおむね達成しているが、来年度以降の招へいでそれらを大きく進める必要がある。このため、来年度はより実務に近い招へい者を呼ぶことも検討している。

CERN グループの研究者の招へいは、先方の急用などにより期間が短くなってしまったが、非常に密度の高い活動ができた。招へい者は神戸大の学生らとともに高抵抗薄膜の光学検査装置を立ち上げ、抵抗値検査の電極の形状を決めるにあたり助言するなど、具体的な研究活動が始まっている。来年度以降もできるだけ長い期間の招へいにより検査体制を確立する。これらについても、本年度は目標を十分達成した。

#### 目標 2： 新物理探索

前述のように、今年度は目標 1 に注力するなかで、論文発表などの成果を上げた。進捗状況は予定通りである。今後データ取得とともに進める。

#### 目標 3： 暗黒物質探索

招へいおよび招へい者との国外での会議により、神戸大学が核となり新しい低バックグラウンド検出器を製作・試験実験を行う機運が大きく高まっている。試作品の神戸での製作も進んでおり、来年度神戸に集まって具体的に実験を始める準備がほぼ整った。研究の進捗は目標を十分達成している。

#### 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"> <li>・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。</li> <li>・さらに数がある場合は、欄を追加して下さい。</li> <li>・著者名について、主著者に「※」印を付して下さい。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>を付して下さい。</li> <li>・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「○」印を付して下さい。</li> </ul>	
◎ 1	<p>“Measurement of the inclusive jet cross-section in proton-proton collisions at <math>\sqrt{s}=7</math> TeV using 4.5 fb<sup>-1</sup> of data with the ATLAS detector”, G. Aad, <u>H. Kurashige</u>, <u>J. Maeda</u>, <u>A. Ochi</u>, ※<u>S. Shimizu</u>, <u>Y. Yamazaki</u> 他 2889 名, Journal of High Energy Physics, 巻 2015, 記事番号 153 (ページ数 53), 2015.</p>
◎ 2	<p>“Performance of the ATLAS muon trigger in pp collisions at <math>\sqrt{s}=8</math> TeV”, G. Aad, <u>H. Kurashige</u>, <u>J. Maeda</u>, <u>A. Ochi</u>, <u>S. Shimizu</u>, ※<u>Y. Yamazaki</u> 他 2893 名, The European Physical Journal C, 巻 75, 記事番号 120 (ページ数 31), 2015.</p>
3	
4	

##### 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"> <li>・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、主たる発表者名は「※」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>を付して下さい。</li> <li>・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。</li> <li>・さらに数がある場合は、欄を追加して下さい。</li> <li>・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○印を付して下さい。</li> </ul>	
1	<p>“NEWAGE”, <u>K. Miuchi</u>, 7th international symposium on “large TPCs for low-energy rare event detection”, 15-17 December 2014, Paris, France, 審査なし。共同発表ではないが、頭脳循環の招へい者の参加する国際会議であった。また、本事業の研究分野では、国際学会発表が連名で行われることはまれである。</p>
2	<p>“Production of resistive foils for Atlas/NSW”, 15<sup>th</sup> RD51 workshop, 18-20 March 2015, CERN, Switzerland, 審査なし。共同発表ではないが、頭脳循環の招へい者の参加する国際会議であった。また、本事業の研究分野では、国際学会発表が連名で行われることはまれである。</p>
3	
4	
5	

## 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 A 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）

ミュオントリガー改良と標準模型精密検証を主に行う。ミュ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）

高段トリガーの遅い粒子トリガーをカロリメーターの時間情報で計算するアルゴリズムを開発し、まずまずの時間解像度が出ることがわかった。また今滞在中に、2023 年からアトラス実験の精密ミュオン飛跡検出器を用いたハードウェアによる高速判定トリガーのデザインを行う計画に参加するよう現地研究者から打診があり、現在どのようなアルゴリズムを担当するかなど、研究の大枠について議論している。物理データ解析ではジェット生成の論文（論文 1）を執筆、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	6 7 日	3 2 0 日	3 2 0 日	7 0 7 日

派遣者 B の氏名・職名：前田 順平・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)

ミューオントリガー運転のために、大型検出器の維持のためのハードウェア交換・不具合の解決に関する作業、検出器運転ソフトウェア開発を行い、27年度から実験再開するLHC 実験に向けた準備に大きく貢献した。同時にトリガーデータ解析のソフトウェアの開発を行った。また、2019年からのトリガーのハードウェア計画を策定し、CERN 研究所でまとめの講演を行い、長期的な実験の見通しを立てた。トップクォークについては解析グループに参加するとともに、招へい研究者の Lorenzo Bellagamba 氏と散乱断面積の測定で協同することで合意した。

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	68日	320日	320日	708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	8 人 ( 5 人)	7 人 ( 6 人)	10 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）

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）

前田・清水とトップクォークについてデータ解析での協力関係を確認した。また、神戸大学でボローニャグループの研究について紹介するとともに、ボローニャの他の研究者がデータ品質モニター、暗黒物質における飛跡検出器使用などで共同研究する可能性を議論した。特にデータ品質モニター関係で山崎と共同研究できる別の研究者の派遣について、可能性の提示を受け、現在検討している。

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	20 日	20 日	48 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）

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。

（具体的な成果）

i) については、Bellagamba 氏の発案により、ボローニャの他の研究者と次年度以降進

めることで合意した。ii) については、RPC 時間校正のプログラム開発を担当することで合意し、さらに清水らと共同開発するための議論を行った。また、iii) について RPC のトリガー効率を高めるアルゴリズムの共同開発を藏重らと行うことで合意した。Corradi 氏のアイデアの中には神戸大学で担当しているハードウェアでの実現が難しいものもあり、現実的に運動量の再構成の精度を上げるアルゴリズムが次年度以降の大きな課題であることを確認した。さらに、関連して前田が開発するトリガーデータ解析プログラムについて、協力して問題の解決に当たった。

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	20 日	20 日	48 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）  
 ミュー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 ミュー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）  
 RPC のトリガー効率向上アルゴリズムについて藏重, Corradi と共同開発することで合意した。また、GIF++ 装置について現状を越智に説明し、来年度のテスト計画について打合せを行った。Boscherini 氏は GIF++ のビームライン構築に携わっている。検出器の試験エリアの利用できる広さ、ビーム利用のスケジュールなどを示し、越智氏が来年度これに合わせて検出器を持ち込んで大強度放射線照射のテスト実験を行うことで合意した。

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	20 日	20 日	48 日

招へい者④の氏名・職名：  Daniel Snowden-Ifft, Professor

（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）  
 方向に感度を持つ暗黒物質検出器の共同開発を行う。Snowden-Ifft 氏は国際共同研究 DRIFT グループの米国リーダーとして、長年低バックグラウンド検出器の開発を主導してきた。Professor であるため、若手招へいには該当しないが、平成 26 年度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いただく。



(具体的な成果)

Snowden-Ifft 氏を平成 27 年 3 月に短期招へいし、検出器の低バックグラウンド化についての助言をいただいた。具体的には、Snowden-Ifft 氏が長年取り組んできたラドン起源のバックグラウンド低減について、装置製作(薄いフィルムを用いる)と使用するガス(二硫化炭素に少量の酸素を混合する)の工夫に関して、最新の情報を合わせて助言頂き、来年度以降の研究に対して重要なインプットとなった。また、招へいとは別に Snowden-Ifft 氏、Battat 氏と身内が学会発表の場(学会等における発表 1 参照)において、本事業の期間内に 1: 低バックグラウンドの  $\mu$  PIC の開発、2: バックグラウンドを除去する方法の研究の 2 点を協力して進めて行くという方針を立案した。

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	
オクシデンタル大学, 物理学科, アメリカ合衆国, 身内賢太郎(神戸大学)	6 日	0 日	0 日	6 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)

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)

日本で生産する Micromegas 検出器の品質コントロールのために、実験で用いる CERN 側と共通の基準を持つ必要がある。今回、量産試作のための陽極抵抗フォイルが出来上がったタイミングで Iengo 氏を呼び寄せることができたことから、品質コントロールのためのチェック項目、測定手法、判断基準など多くの部分について、実際の測定結果を見ながら議論し、抵抗電極の抵抗値や形状のチェック手法について開発方針を決定した。この成果は、2015 年より日本で予定している ATLAS 実験用の Micromegas 検出器電極生産に対して大きなインパクトを与えた。次年度以降はさらに具体的な検査方法について検討、作業を共同で行う。

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 越智敦彦(神戸大学)	7 日	30 日	30 日	67 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)

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 m<sup>2</sup>オーダーの基板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と共同で行う。

(具体的な成果)

Oliveira 氏は CERN において基板作製工房を統括し、欧州における検出器開発の中枢を担っている。今回 ATLAS 用 Micromegas 検出器の抵抗性陽極フォイルの大型試作が出来上がったところで、Oliveira 氏を呼び寄せたことから、抵抗膜の品質について、生産プロセスに踏み込んだ形の議論を行った。この議論や実際の作業の中で、抵抗膜について、最終的な検出器完成までに必要な製造プロセスに耐えうる物理的強度を確認することができた。また、試作品を製作した企業（埼玉県，Raytech 社）を訪れ、Micromegas だけでなく、今後の高放射線下で用いることのできる多くのタイプの検出器を産学協同で開発・生産す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 越智敦彦（神戸大学）	7 日	30 日	30 日	67 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。