

様式1【公表】

「頭脳循環を加速する戦略的国際研究ネットワーク推進プログラム」  
平成29年度事後評価資料（実施報告書）

整理番号	R2607		関連研究分野 (分科細目コード)	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)			
代表研究機関名	神戸大学			
代表研究機関以外の協力機関	なし			
主担当研究者氏名	山崎祐司			
補助金支出額	(平成26年度) 18,874,000円	(平成27年度) 25,540,000円	(平成28年度) 20,030,000円	(合計) 64,444,000円
(公募応募当初の「事業計画調書」に記載の) 若手研究者の 派遣計画	(平成26年度) 2人	(平成27年度) 2人 (2人)	(平成28年度) 2人 (2人)	(合計) 2人
若手研究者の 派遣実績	(平成26年度) 2人	(平成27年度) 2人 (2人)	(平成28年度) 2人 (2人)	(合計) 2人
(公募応募当初の「事業計画調書」に記載の)研究者 招へい計画	(平成26年度) 6人	(平成27年度) 8人 (5人)	(平成28年度) 7人 (6人)	(合計) 10人
研究者の 招へい実績	(平成26年度) 6人	(平成27年度) 10人 (5人)	(平成28年度) 11人 (8人)	(合計) 14人

(参考)

派遣期間が300日未満となり、最終的に若手派遣研究者派遣実績のカウントから除外された者(外数)	(平成26年度) 0人	(平成27年度) 0人 (0人)	(平成28年度) 0人 (0人)	(合計) 0人
---	----------------	------------------------	------------------------	------------

## 様式1【公表】

### 1. 派遣・招へいによる人的交流を通じて得られた成果の達成状況

#### (1) 事業計画調書に記載した到達目標

(事業計画調書(3-(2))に記載した「研究課題を海外の研究グループと共同して行うことにより、国際研究ネットワークの強化・拡大に関して客観的な指標に基づく到達目標」)

この計画は、次の3つの計画を研究目標としている。(詳しくは、次項2.(1)参照)

目標1. アトラス実験のミュオントリガーのアップグレード(CERN, ボローニャ)

目標2. アトラス実験での新物理探索(CERN, ボローニャ)

目標3. MPGDによる方向に感度を持つ暗黒物質の検出器開発(ウェルズリー大学等)

これらの実施のため、過去の頭脳循環プログラムでCERN 研究所と研究交流し培ったMPGD 技術を軸に、ボローニャのミュオントリガーグループ、米国・英国のMPGD-DM 暗黒物質探索グループ(ウェルズリー大学等)へ新たな連携を展開する。また、事業期間内に新たにネットワーク強化し、神戸大粒子物理研究室を世界的な素粒子物理の拠点とする。その客観的指標は以下の通り。

指標1. 共著論文の作成。2.2 のアトラス実験で若手の関連論文各2 通以上、1.2 のMPGD で開発手法に関する1 通以上の共著論文、3.1 の検出器開発で1 通以上の共著論文。

指標2. 1 研究機関以上の共同研究先との協定校締結または研究協定の締結。

指標3. 事業終了時における、CERN 若手派遣者などによる新たなネットワーク先の開拓。2 機関以上。

#### (2) 上述の到達目標に対する達成状況の自己評価とその理由

##### 【自己評価】

- 期待を上回る成果を得た
- 十分に達成された
- おおむね達成された
- ある程度達成された
- ほとんど達成されなかった

##### 【理由】

指標1については、若手派遣者が、派遣先で行った研究成果をアトラス国際共同実験(著者約2800人)の論文として6通の作成に携わった。これら共著論文はどれも著名な査読付き雑誌に掲載された(資料4①-1, 3, 6, 7, 8, 11)。内訳は目標1に関して1通、目標2に関して5通である。また特に目標2の業績が評価され、著名な国際学会での基調講演を若手派遣者の清水が行った(資料4-②-15)。事業期間後には前田も国際会議で講演を行っている(資料4-②-27)。MPGD関連では抵抗電極の開発に関して共著論文が査読付き雑誌に掲載された(資料4①-12)。目標3の暗黒物質の検出器開発で海外の連携機関との共著で論文を作成し、査読付き雑誌に掲載された(資料4①-9)。これらにより、指標1の観点から、本事業全体として目標は十分達成された。

指標2については、目標3の暗黒物質検出器開発に関して、2016年9月に、暗黒物質の将来の新実験のための国際研究協定の覚書を締結した。これには、招へい研究者であるBattat, Spooner, Snowden-Ifft, Vahsen が参加しており、担当研究者身内がこの研究協定のSteering Committeeメンバーとして締結を主導した。これは方向に感度を持つ暗黒物質の測定分野で国際協力による大規模な実験を行う初めての動きであり、本事業による活動がその呼び水となった。よって、指標2の観点からは期待を上回るレベルで達成された。

指標3については、目標1.1のミュオントリガーで独マックスプランク研究所、ローマ大学と連携を行った。マックスプランク大では実際に若手派遣研究者(清水)が滞在して研究を行った。目標1.1のMicromegas検出器に

## 様式1【公表】

関連して、越智はCERNでのアクティビティを通してINFNフラスカッティ研究所と新たに共同研究を開始し、既に共著論文としてまとめられている。また、目標2の新物理探索関連でトロント大、ロンドン大、プラハカレル大学との連携を新たに行い、現在も継続している。さらに、目標3では、国際研究協定に於いて身内がSteering Committeeとして将来の実験に関する議論を主導するとともに、gas working groupのconvenerとして技術的な協力を主導、我々が技術的にリードする体制を整えた。これらより指標3の観点から、新たな研究機関と連携を開始し、目標3に関して、本事業は期待を上回る成果を得た。

このように、本事業によって4分野（目標1.1, 1.2, 2.2, 3）の各分野で新たな国際協力を始め、うち一つは具体的に協定を結ぶなど、目標を十分達成した。

## 2. 国際共同研究課題の到達目標及びその達成状況

### (1) 事業計画調書に記載した国際共同研究課題の研究目的及び到達目標

(事業計画調書(3-(2))に記載した国際共同研究課題の研究目的及び到達目標(「研究の学術的背景」及び「当該研究領域における本研究課題の学術的な特色や独創的な点、及び事業期間内に何をどこまで明らかにしようとするのか、到達目標とその検証方法」))

この研究では、新物理・暗黒物質の性質を探るため、スイス・CERN研究所へ派遣の若手、および同研究所、イタリア・INFN(国立素粒子原子核物理研究所)ボローニャ(以下「ボローニャ」と記す)、米国・ウェルズリー大、オクシデンタル大、ハワイ大、英国・シェフィールド大からの招へい者と国際協力研究で、以下の目標を達成する。

目標1. アトラス実験のミュオントリガーのアップグレード(CERN, ボローニャ)

- 1.1 アトラス実験ミュオンレベル1トリガーおよび高段ソフトウェアトリガーの改良。ルミノシティ向上に対しするトリガー頻度上昇を抑え、物理事象の取得効率を維持・向上する。また、重い荷電粒子の探索トリガーを開発する。実験が安定運用できたことをもって検証とする。
- 1.2 Micromegasミュオン検出器の品質コントロール手法・装置の開発、放射線耐性試験。検査によって製造法を確立したことをもって検証とする。

目標2. アトラス実験での新物理探索(CERN, ボローニャ)

- 2.1 標準模型を超える新物理の探索。特に、モデルに依存しない暗黒物質の探索、暗黒物質を説明する理論の候補となる余剰次元理論で予言される粒子の探索を行い、TeV領域に暗黒物質が存在するかを明らかにする。目標3と連携を取る。
- 2.2 標準模型の精密検証による、TeV領域新物理の存在の間接的な検証。特に、2ボゾン生成、ジェット生成について、標準模型に異常がないかどうか明らかにする。

両者とも、論文作成をもって検証とする。

目標3. MPGDによる方向に感度を持つ暗黒物質の検出器開発(ウェルズリー大学等)

- 1.1 神戸大と海外のMPGDを用いたグループ(以下MPGD-DMグループ)のノウハウを結集した、方向に感度を持つ暗黒物質検出器の開発。性能を満たした検出器の制作をもって検証とする。

### (2) 上述の到達目標等に対する達成状況の自己評価とその理由

#### 【自己評価】

- 期待を上回る成果を得た
- 十分に達成された
- おおむね達成された
- ある程度達成された
- ほとんど達成されなかった

#### 【理由】

目標1.1については、若手派遣者の前田が中心となり進めた。前田はレベル1トリガーに用いる検出器であるTGCの運転・保守を務め、トリガーの安定運転を主導した。また、トリガーモニター、トリガー論理開発によって、2ミュオンのトリガー論理削減を達成し、その成果は論文に発表された(4-①-11)。その後も、レベル1ミュオントリガー全体の統括を行い、新たに再内層ミュオン検出器をトリガーに用いてさらにトリガー頻度を下げた。派遣2年目からは L1-muon operation run coordinator(運転責任者)を務め、Trigger Menu Coordination Group 委員(トリガー論理計画委員)も兼任し、ミュオントリガーのトリガー運用の中核的人材を務めた。さらに、

## 様式1【公表】

2021年からの LHC run3におけるミュオントリガーアップグレードの統括者も務めた。これらの成果が認められ、3年目には主要連携研究者の Wengler 氏の下に組織されるトリガーデータ取得系の運営委員(TDAQ L1-TGC coordinator, TDAQ Steering group member)に選ばれた。

また、目標1.1について、清水も当時用いられていたミュオントリガー論理の改良、モニターの改良を行った。また、高輝度化後のLHC環境でトリガー頻度を抑えるハードウェアを用いた初段ミュオントリガーの開発を行った。その結果は現在準備中の技術仕様書に反映されている。このように、目標1.1 に対しては予想を大きく上回る成果を達成した。

目標1.2については、招へい者指導のもと本事業でクリーンブースを設置し、検出器の要素の一つである抵抗膜の品質コントロールに成功、製造法を確立した。これにより、ATLAS upgrade へ向けたマイクロメガス検出器生産において、週当たり約80枚（面積にして約 80m<sup>2</sup>）に当たる抵抗膜の品質チェックとデータベース作成を行う目標を達成した。

目標2.1については、前田はトップクォーク対に崩壊する新物理の探索を行い、現在論文出版準備中である。目標2.2については、清水がジェット生成、トップクォーク生成の精密測定による新物理の間接的な理解を行った。ジェット生成に関連して5通の論文を発表した（資料4①-1, 3, 6, 7, 8）。トップクォーク関連については暫定結果を発表し（資料4①-10）、現在は最終成果の論文発表に向けて準備している。これら2つのデータ解析は共通点が多く、若手派遣者同士も協力して進めた。このようにして、論文を目標通り作成した。このように、目標2.1については目標をおおむね達成し、目標2.2については予想を大きく上回って目標を達成した。

目標3については、海外の連携機関との技術交流による陰性ガスを用いた暗黒物質到来方向の精密測定、新素材を用いた検出器の低バックグラウンド検出器の開発を行った。前者の陰性ガス検出器は実用化レベルの性能評価を完了、後者の低バックグラウンド検出器も低バックグラウンド化を達成した。いずれも目標を達成、さらなる性能向上を目指した検出器の開発を続けている。このように目標3は予想を上回る成果を上げた。

よって、全体としては期待を上回る目標を達成した。

### 3. 今後の展望について

これまでの実施状況を踏まえて、事業実施期間終了後の展望について記入して下さい。

① 自己資金、若しくは他の競争的資金等による海外派遣・招へいの機会を含む若手研究者の研鑽・育成の事業の継続（又はその見込み）状況

本事業により確立した CERN-神戸大間の MPGD 開発協力をもとに、薄い RPC など新検出器の開発、その放射線耐性の試験を継続するため、平成 26・27 年の担当研究者である越智が科研費の国際共同研究強化により平成 29 年度後半より約 1 年 CERN 研究所で研究を行う。これに伴い、博士前期・後期課程の学生も CERN に滞在し若手研究者に研鑽の機会をあたえる。招へいについてイタリアとの間での二国間交流事業、新学術領域国際活動支援班を活用した招へいを計画している。また、派遣された若手研究者（前田）は科研費による長期滞在を目指して応募を計画している。さらに、INFN ボローニャとの間で新たな研究分野の連携を議論し始めている。

② 本事業の相手側を含む海外の研究機関との研究ネットワークの継続・拡大（又はその見込み・将来構想）状況（組織において本事業で支援した若手研究者に期待する役割も含めて）

研究協定を結んだ MPGD を用いた暗黒物質探索は、今後の大規模実験に向けて共同研究協定を結んだが、具体的な共同実験に向けて議論を進めている。また、前項で述べた越智による海外研究計画では、高頻度粒子線の検出器開発を目指して、今後フラスカッティ研究所との関係も強化する。若手派遣者により切り開かれたローマ大、トロント大、ロンドン大等とは、若手派遣者を軸に今後も研究協力を続ける。

これに加えて、前項に述べた前田の海外渡航計画により、新規に研究協力関係を開拓する予定である。

相手側は、特に CERN、INFN ボローニャの招へい研究者が、本事業で行った共同研究の発展（トリガー、トップクォーク物理）を切望しており、日本の他大学も含めた交流の可能性を探っている。また招へい者のうち Polini 氏は次期電子・陽子加速器計画 LHeC に携わっており、それを呼び水として主担当研究者が関連した研究を共同で行う計画を立案中である。また、方向に感度のある暗黒物質の共同研究は他経費により継続され、次期の実験計画策定に向けて具体的な協議が続けられている。

③ 本事業で支援した若手研究者の研究人材としての将来性について

若手派遣者の清水はただいま産休中で復帰後すぐに神戸大学の任期が切れるが、そののちヨーロッパで研究員職に就くことを予定している。派遣中に論文、学会発表の成果を上げたことにより、特にヨーロッパでの知名度が高い。また、標準模型のジェット物理の専門家はヨーロッパで特に求められている研究スキルであり、今後のヨーロッパでの活躍が期待される。また、そこでのさらなる成長により、将来国内で新研究室を開いて独立した研究を行うに足る人材である。

若手派遣者の前田は、将来性が買われ、本事業中に神戸大学講師（任期なし）に採用された。事業終了後も積極的に教育研究を行っており、この分野の代表として将来が期待されている。

資料1 実施体制

① 日本側研究グループ事業実施体制

フリガナ 担当研究者氏名	所属機関	所属部局	職名 (身分)	専門分野	備考
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	
オチアツヒコ 越智敦彦	神戸大学	理学研究科	准教授	素粒子実験	(H28.3.31まで)
若手研究者 シミズシマ 清水志真	神戸大学	先端融合研究環	助教	素粒子実験	(H28.9.30まで)
マエダジュンペイ 前田順平	神戸大学	先端融合研究環 理学研究科	助教 講師	素粒子実験	(H28.10.1より)
計6名					

② 相手側となる海外の研究グループ(海外の連携機関)

研究機関名	相手側研究者氏名 (招へいた研究者は※印 を表示)	職名 (身分)	備考	派遣した 若手研究者氏名
CERN研究所	Thorsten Wengler※ Paolo Iengo※ Rui de Oliveira※ Gabriele Cosmo※	Research Staff Research Staff Research Staff Research Staff	(H28.4.1追加)	清水志真 前田順平
INFNボローニャ研究所	Lorenzo Bellagamba※ Massimo Corradi※ Davide Boscherini※ Alessia Bruni※ Alessandro Polini※ Marino Romano※	Senior Researcher Researcher Senior Researcher Senior Researcher Senior Researcher Postdoctoral Fellow	(H27.4.1追加) (H28.4.1追加) (H28.4.1追加)	
ウェルズリー大学	James Battat※	Assistant Professor		
オクシデンタル大学	Daniel Snowden-Ifft※	Professor		
ハワイ大学	Sven Vahsen※	Assistant Professor		
シェフィールド大学	Neil Spooner※	Professor		
計6機関				

## 資料2 双方向の人的交流にかかる資料

## (1) 若手研究者の選抜方針・基準、選抜方法の概要

選抜した若手研究者は、

- これまでの研究で、素粒子実験に関連して一定の成果を上げていること
- 以前に短期海外渡航の経験があり、英語によるコミュニケーションに大きな支障がなく、スムーズな研究開始ができること
- 渡航開始時点で任期付きの職にあり、海外研究経験によりキャリアアップが見込めることを選抜の条件とした。選抜は担当研究者により行った。

## (2) 派遣及び招へいの支援体制の概要

(日本側からの派遣者及び連携機関からの招へい者に対して組織としてどのようなバックアップ体制をとったかについて記載してください。)

## 【派遣者に対する支援体制】

清水、前田は両者とも26年10月の時点で教育義務はなかったため、派遣に大きな障壁はなかったが、今後のキャリアを考え国内での発表の機会を減らさぬよう配慮した。また、28年10月から教育義務の生じた前田に対しては、非常勤講師を雇いこれを軽減した。また派遣研究者の事務作業について、本事業の事業管理経費で雇用した事務補佐員が補佐した。

## 【招へい者に対する支援体制】

招へい者の航空券予約、渡航手続き等について、本事業の事業管理経費で雇用した事務補佐員が英語で対応を行った。

## (3) 若手研究者の海外派遣計画及び研究者の招へい計画の見直し(増減)状況とその理由

## 【派遣計画】

変更なし。

## 【招へい計画】

人数は10名から14名に増えた。これはCERN研究所から1名、INFNボローニャから3名の増である。前者はミューオントリガーの放射線バックグランドシミュレーションの研究の強化のためである。ボローニャの3名はそれぞれ主にトリガーモニターの研究協力、MPGD放射線耐性試験の協力体制強化、トップクォーク解析強化のために招へいした。いずれも当初から研究計画が発展したこと、当初は研究渡航の時間がないとされていた研究者の都合が付き、渡航できるようになったことの両者が理由である。



## (4) 若手研究者が果たした役割にかかる成果の概要

## ① 派遣された若手研究者の成果

(資料4に記載するような研究成果の発信状況等だけではなく、国際共同研究における役割を含め、将来的に当該研究領域において中核的な役割を担う活躍が見込まれるか等の観点も含めて記載してください。)

清水は、ミューオントリガーに関してはLHCの高輝度化に対応したハードウェアによる高速演算ミューオントリガーの開発を行い、マックスプランク研究所の研究者と連携して開発を行った。また、標準模型のジェットに関する精密測定による標準模型検証および新物理探索に関する5通の論文作成で主たる著者となり、論文のデータ解析、執筆をアトラス実験の共同研究者とともに行った。特に後者では標準模型のジェット物理に関して著名国際会議でコンペナー、基調講演を行うなど、世界的に知られており、今後、内外での活躍が期待されている。

前田は、ミューオントリガーの運転・保守、トリガー頻度低減のためのトリガー論理開発、モニターのためのハードウェア開発など、多岐にわたってミューオン初段トリガーの性能向上のために活動した。これにより、派遣2年目にはL1-muon operation run coordinator(運転責任者)、Trigger Menu Coordination Groupの委員(開発コーディネーター)を務め、ミューオントリガーを統括した。これらの活動が認められ、3年目には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、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。これに加えてトップクォークに崩壊する新粒子探索も行っている。本事業中に神戸大講師(任期なし)に昇任し、LHC実験のアップグレード(2026年)で中核を担う人物となった。

## ② 派遣・招へいした機関・組織の成果

(機関等として組織的に若手研究者や招へい研究者を支援する枠組みが構築されたか、機関等の研究者の評価において、海外での研究実績を重視するシステムが構築されたか、また本事業による派遣・招へいが今後も維持・継続されるか等の観点も含めて記載してください。)

主担当・担当研究者の所属する神戸大学理学研究科・物理学専攻では、専攻サバティカル制度を設け、特に若手教員に1年間の教育義務免除を行い、海外渡航を推進する方策を平成28年度に発足させた。

海外での研究実績は、当該分野である素粒子物理学ではすでに重視されているが、本事業により、素粒子分野の教員のほぼ全員に海外研究経験がある状況となり、これによって理論、物性分野でも海外経験がより当然のこととして重視されるようになってきている。今後は、本事業の研究継続を他経費などで引き続き行う一方、飛跡検出器を用いない暗黒物質探索、宇宙素粒子理論など隣接分野での国際交流の強化を図っていく予定としている。

また神戸大学は伝統的に欧州との結びつきが強いが、今後は米州との研究協力を強化する戦略を打ち出し、本事業はそのさきがけとなった。

(5) 若手研究者の派遣実績の詳細【氏名のみ非公表】 ※派遣者毎に作成すること。

派遣者①：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)

ミューオンの高段トリガーの開発は当初の予定を変更し、2026年からの高輝度LHC運転に対応したハードウェアを用いたミューオントリガーの開発、および現状の高段トリガーのRPCおよびカロリメーターの時間情報を使って改善する方法を開発した。ハードウェアによる高速判定アルゴリズムの改良は要求された性能がおおむね出ていること、高輝度化によるパフォーマンスの低下を見積もるべきであることを指摘して派遣期間終了後後任に引き継いだ。派遣中の成果は高輝度LHCトリガー装置の提案文書に反映された。28年度にはデータ解析とトリガーの接点であるトリガー論理の標準模型解析グループ責任者を務めた。その標準模型のジェット関連の解析では、5通の論文で主著者または論文審査員を務め(資料4①-1, 3, 6, 7, 8)、これらの成果が認められて主要な国際会議のコンビナー、およびもう一つの主要な会議で基調・招待講演を務めるなど、その成果がコミュニティから認められた。また、トップクォークの解析などで他大学との新しい研究連携を積極的に行った。

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	274日	19日	360日
アメリカ合衆国, BNL研究所 (国際会議発表)	0日	5日	0日	5日
ドイツ, マックスプランク研究所, 物理研究部 (研究成果発表, 研究打合せ)	0日	18日	0日	18日
イタリア, INFN ボローニャ研究所, 粒子物理研究部 (研究打合せ)	0日	5日	0日	5日

派遣者②：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年度にはトッポクォーク対の共鳴状態の探索を行う。両トッポクォークがハドロンのみに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，トッポ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）

派遣開始後すぐに，ミュオン検出器維持のためのハードウェア交換，不具合解決に関する作業，ソフトウェア開発などで精力的に活動した。その成果を買われて平成27年度には L1 ミュオン検出器運転コーディネータとなり，他の研究者を率いてトリガー系の安定運転に貢献した。この間招へい者の Corradi 氏と運転計画で密に連携したことが好結果につながった。その後，トリガー論理の計画委員を経て，平成28年度にはトリガー・データ取得系(TDAQ)全体の運営委員となり，CERN 側担当研究者の Wengler 氏とともに TDAQ 運転および将来計画を主導している。これらトリガー運転の成果のうち，平成27年度の成果については資料4-①（論文11）に掲載された。また，新物理探索として，新粒子のトッポクォーク対のハドロン崩壊チャンネルを用いて行う解析を進めた。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

(6) 研究者の受入実績の詳細【氏名のみ非公表】 ※招へい者毎に作成すること。

招へい者①：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，トッポ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ポクォーク対共鳴，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。

<p>(具体的な成果)</p> <p>初年度には INFN ボローニャの研究をグループリーダーとして神戸大に紹介し、予定した研究を発展させる方策について、招へいおよび神戸の担当研究者の訪問で話し合った。その結果、トックオークの散乱断面積測定にもボローニャが経験を持つことがわかり、その後はトックオークの断面積測定を中心に、招へい者として若手の <b>Marino Romano</b> 氏を加え、若手派遣者の清水とも連携して具体的なデータ解析作業での手法について情報交換しながら研究協力を進めた。その結果、ボローニャ出身の研究者が主導するトックオークのハドロン対崩壊を用いた散乱断面積の暫定結果を神戸の研究者とともにまとめることができた(資料4①-10)。</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)	受入期間			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: Researcher

<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 1.1 のミュ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若手派遣者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の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。</p>				
<p>(具体的な成果)</p> <p>若手派遣者の清水が取り組む時間情報トリガーに関して技術的な助言をした。また、山崎が開発する高段トリガーのアルゴリズム改善について、RPC を用いたパターン認識手法について助言した。また、若手派遣者の前田にもミュオントリガー運転について助言した。さらに、清水が開発していたハードウェアを用いた高ルミノシティ運転用のミュオントリガーアルゴリズムについて、新たに用いる予定の MDT 検出器に加え、現在すでに用いられている TGC 信号を活用して性能を上げる方法を提案し、これらの統合案を前田らと共同で文書にまとめた。</p> <p>また、アトラス実験で神戸大の技術を用いた超前方ミュオン検出器をアトラス検出器に設置する場合の問題点を指摘するなど、実現に向けての助言を行った。</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)	受入期間			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： Senior Researcher

<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 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。</p> <p>(具体的な成果)</p> <p>神戸大の開発するガス飛跡検出器の放射線耐性の検査に CERN 研究所の GIF++ を用いるときの注意点について助言を受けた。また、ボローニャが 27 年に参入を検討していたレベル 1 トリガーエレクトロニクス作成について、担当研究者の藏重らが助言した。山崎には RPC トリガーの開発について助言を行った。また、神戸大が研究する薄いギャップを持つ高抵抗膜を用いた RPC について、神戸大の試作機をもとに製作上の注意点について助言を行った。また、これら検出器開発で今後も CERN 研究所の装置を使った神戸大開発装置の試験、神戸大の加速器を用いたボローニャ開発の検出器の中性子耐性試験について、協力を続けることで合意した。</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）	受入期間			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	15 日	34 日

招へい者④： 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>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得る。</p> <p>(具体的な成果)</p> <p>神戸大の進める低バックグラウンド飛跡検出器による暗黒物質探索について、薄いフィルムを用いて物質量を減らすこと、陰性ガスを用いることなどの助言を受け、その後の協力体制について方向性を得た。また、Battat 氏とともに低バックグラウンド検出器の開発、その具体的な手法の研究を共同で進めることを 26 年度に確認した。</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）	受入期間			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： Research Staff

<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 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。</p> <p>(具体的な成果)</p> <p>Iengo 氏はアトラス実験に導入予定の Micromegas 検出器の CERN 研究所における実質的な生産責任者である。その一部となる神戸大が生産している高抵抗ストリップ膜の高抵抗インク印刷検査について、検査に必要なチェック項目、クリーンブース中での検査方法、部品の選別などの具体的な指導を行った。さらに、量産段階で大量の印刷・検査を行ったところ、試作段階とは異なる問題が出た。これらの対策も滞在中に集中的に議論し、また品質検査の基準について他の生産地との整合性を取った。</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）	受入期間			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： Research Staff

<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 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 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・藏重と共同で行う。</p> <p>(具体的な成果)</p> <p>Oliveira 氏は CERN において電子機器基板作製工房を統括している。Iengo 氏が具体的な検出器の製作、検査を専門にしているのに対し、Oliveira 氏は検出器を基板製作技術を用いて製作することを専門としている。招へい時には高抵抗印刷時の問題点を工場で見直し改善した。また検査環境についても助言を行った。これに加えて高抵抗膜や基板製作における日本企業の技術を応用した新しい検出器開発について可能性を探り、今後も協力することで合意した。</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）	受入期間			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： 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関し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>方向に感度を持つ暗黒物質探査実験の様々な手法について議論を行い、今後の方向性を探った。また、現在ある様々な信号読出し手法についてまとめる論文を共同で執筆した(*)。現在この分野で先行する Drift 実験の一員としてセミナーを行い、また同時に招へいした Spooner 氏、Vahsen 氏と協力していくことを確認し、これらが呼び水となり将来の国際共同実験に向けた準備のための国際協力覚書の締結に結びつき、将来に向けての実験の準備を開始した。</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）	受入期間			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⑧： 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>方向に感度を持つ暗黒物質検出器の共同開発を行う。</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。Vahsen 氏は、ガス検出器での読出しにピクセル IC を利用した原理実証を行うなど、検出器の精度向上に関しての研究を進めている。NEWAGE グループでもピクセル IC の開発を行っており、招へいによって実際に共同研究を行い、開発を加速する。平成 27 年度の Vahsen 氏の教育義務のない期間を利用して、10 日間の招へいを行い、神戸大学で上記共同研究を進める。</p> <p>(具体的な成果)</p> <p>計画していた長期滞在はサバティカル休暇が取得できず実現できなかったが、方向に感度を持つ暗黒物質探査実験のうち、Vahsen 氏が得意とする飛跡検出器の高精細信号読出しについてセミナーを行うとともに、特にピクセル読出し IC などの技術交流に向けて議論を行った。また、上記の Battat 氏、Spooner 氏と共著の論文を準備するとともに、共同研究覚書に向けて議論を続け、締結に至る原動力となった。</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）	受入期間			合計
	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	
ハワイ大学、物理・天文学科、アメリカ合衆国、身内賢太郎（神戸大学）	0 日	6 日	0 日	6 日

招へい者⑨： 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)

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。Spooners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。

(具体的な成果)

方向に感度のある暗黒物質研究で先行する Drift 実験の代表者として、低バックグラウンド化、陰性ガスを用いる際のノウハウについて様々な助言を得た。特に、これまで主流であったが有害な CS<sub>2</sub> ガスの代わりに SF<sub>6</sub> ガスでも同等の位置解像度が得られることが判明し、これについて技術供与を得て、神戸大でも使用を開始し、神戸大での実験感度の向上に向けて方向性があった。また、上記のように Battat 氏、Vahsen 氏らと共著の論文を執筆するとともに、共同研究覚書を締結した。

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）	受入期間			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： 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 研究所で若手派遣者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、若手派遣者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 氏の開発するトリガー中央演算装置 (CTP) について、神戸大の進めるミュオントリガー演算装置から送る信号の選択、最適化について議論し、2021 年からの実験で物理信号のトリガー効率低下しないような手法について開発、研究の継続を行うことで合意した。また、2026 年での高輝度化運転でのトリガーについて、特にそこで重要となる中央飛跡検出器の初段トリガーの扱い、それによるミュオントリガーのデザインに



対する影響について、中心人物である Wengler 氏の意見を聞き、また神戸大学の開発状況について情報提供をし、意見交換をした。今後も氏の率いる CERN トリガーグループと神戸大が密に連絡を取ることで合意した。また、CERN 研究所での若手派遣者受け入れ研究員として、清水、前田の指導を行った。

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）	受入期間			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⑩： 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）  
清水が行っている、ボローニャ、神戸大で独立して開発しているアトラス実験のムーオントリガーのモニターを山崎らとともに統合する計画を担当する。27年度の1週間強の日本への滞在で集中作業することにより一気にこれを完成させる。

（具体的な成果）  
神戸大のムーオントリガーのトリガーモニターの改良を Bruni 氏の RPC でのモニターをもとに改良する作業を山崎とともに行った。これに加えて、物理解析でも協力体制をとることとし、標準模型で理解の難しい陽子の前方散乱に対しての名古屋大学で行われた研究会とともに参加し、前方散乱において今後も協力体制を継続することを確認した。

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）	受入期間			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	11 日	0 日	11 日

招へい者⑪： 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の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 Cosmo 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）	受入期間			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： 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 27 年招へいの Bruni 氏とともに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大に紹介した。

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）	受入期間			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： 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ググラ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）  
 神戸大の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。資料 4 ①-10 で暫定結果を発表したデ

一タ解析の内容を最終結果としてまとめるため，引き続き協力関係を続けている。				
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）	受入期間			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

## 資料3 国際共同研究の計画概要・方法

(1) 実施期間中における研究のスケジュールと実施内容の概要

(各目標の内容については、様式1の2.「(1) 事業計画調書に記載した国際共同研究課題の研究目的及び到達目標」を参照)

**平成26年度**

若手派遣者の清水はミュオントリガー開発準備，前田はミュオントリガー運転準備をCERN研究所で行う。招へいは，ボローニャの招へい者とミュオントリガー関連の共同研究テーマについて具体的に詰めるとともに，データ解析で協力できる分野についても議論する。また，CERNの招へい者と，Micromegas抵抗薄膜の抵抗値測定開発を行う(目標1.2)。

**平成27-28年度**

27年度にデータ取得を開始するアトラス実験で，清水・前田はデータ解析を行う(目標2)。前田はトリガー運転・モニター，清水はボローニャと協力してトリガー論理の開発を行う(目標1.1)。

CERNの招へい者と抵抗薄膜の検査法を完成させる。またボローニャのBoscheriniとCERNのガンマ線照射装置GIF++で放射性耐性の試験を行う(目標1.2)。

大容量ガス検出器を用いた暗黒物質検出器開発を，招へい者からのノウハウを受けて行う(目標3)。

## (2) 成果の概要

目標1.1のトリガー運転，改良に関して，派遣した前田が安定運転に貢献し，招へい者と神戸大との協力により，トリガーモニターの安定運用も達成した(関連学会発表：(資料4②-5)。また将来に向けてトリガー頻度を下げる研究を清水が行い，提案した内容が技術提案書(現在準備中)に反映された。前田は今後もトリガーの運転，改良を続けていく。目標1.2の検出器用高抵抗薄膜の品質コントロールは，招へい者の助言を受けて神戸大に検査装置を完成させ，また生産についてもアドバイスを受けた。これにより品質を満たした全数の半分以上を生産・納入することができた。現在も残りについて進めている。これらの成果を関連学会で発表した(資料4②-2,13,14)。また，放射線耐性の検査を28年度および現在もCERNのGIF++で行っており，高放射線環境で運転するための改良すべき点が明らかになりつつある。高抵抗膜を使用した検出器開発で，新たな研究協力が始まった(1件)。

目標2の新物理探索は，若手派遣者の前田がトップクォーク対に崩壊する新粒子探索を行い，その成果を事業終了後の29年7月に米国の国際学会で発表した。また目標2.1の標準模型精密検証について，清水がLHCでのジェット生成精密測定に関して論文4通および関連コンファレンスノート1通を(国際学会発表のための準備段階の暫定結果概要)にまとめた。またその成果が認められ，著名な国際学会でコンビナー，招待講演を務めた。また，3年目には清水，山崎が中心となって，招へい研究者および紹介された研究者とトップクォーク散乱断面積の測定を行い，その結果をコンファレンスノート1通として発表した。現在結果を論文にまとめている。これにより多くの新しい研究機関との協力関係が広がった(1件)。主担当の山崎はその成果と関連して8月に著名な国際会議で招待基調講演を行う予定である。

このように，本事業によって若手派遣者は検出器開発・運用，実験データ解析の2分野でバランスよく成果を上げ，将来の実験の中核を担う若手に成長している。また，若手派遣

者，招へい者との連携で，研究が大きく進み，本事業関連研究者が次々と国際学会の講演を依頼されるなど，アトラス実験の中で神戸大学の粒子物理研究室のプレゼンスを大きく上げた。

目標3の飛跡検出器を用いた暗黒物質の探索では，本事業の身内の招へい者との研究交流により，陰性ガスによる位置精度の向上，バックグラウンド抑制のための検出器作成などについて，先行研究である英ドリフト実験（招へい者3名が参加）から実験技術の供与を受けた。また，神戸大の強みである高精細検出器の製作と読出し，ハワイ大学の信号読出し技術などを含めた検出器の信号読出し手法をまとめたレビュー論文を共同執筆した。身内のこれらの活動により，新しい世代の大型実験を共同で検討する共同研究覚書締結に至った。これをもとに将来の実験感度を大幅に向上させる準備が本事業によって整えられた。新しい共同研究（イタリア・フラスカッティ研究所）も始まり，到来方向に感度のある暗黒物質実験の国際化に大きく貢献し，神戸大がその中心の一つとなることに成功した。

(3) 本事業を契機として新たに始まった国際共同研究

(件)

合計	うち、相手先機関以外
4	4

資料4. 共同研究成果の発表状況

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

	<p>論文名・著書名 等                  (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。)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>・本事業の研究成果で、DP(ディスカッション・ペーパー)、Web等の形式で公開されているものなど速報性のあるものも、3件以内で付記することができます。</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、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>、担当研究者には<u>下線</u>、派遣した若手研究者には<u>波線</u>、海外の主要連携研究者には<u>斜体・太下線</u>、連携研究者には<u>斜体・破線</u>を付してください。</li> <li>・共同研究の相手側となる海外の研究機関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については番号の前に「○」印を付してください。速報性のあるものについては番号の前に「□」印を付してください。</li> <li>・当該論文の被引用状況について特筆すべき状況があれば付記してください。</li> <li>・上記のうち、主な発表論文のコピー(A4版)を2件以内で添付し、添付したコピーの表紙等の右上にそれぞれに「事業番号」を記入するとともに、当該論文の番号の前に「★」印を付してください。</li> </ul>
◎ 1	<p>投稿論文 “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”, ATLAS Collaboration: G. Aad, <u>H. Kurashige</u>, <u>J. Maeda</u>, <u>A. Ochi</u>, ※<u>S. Shimizu</u>, <u>Y. Yamazaki</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 2872 名, JHEP 02 記事番号 153 (53 ページ), Erratum JHEP 09 記事番号 141 (38 ページ), 発表年 2015, 査読あり</p>
◎ 2	<p>投稿論文 “Performance of the ATLAS muon trigger in pp collisions at <math>s\sqrt{=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>, <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 2885 名, The European Physical Journal C, 巻 75, 記事番号 120 (ページ数 31), 2015, 査読あり</p>
◎ ★ 3	<p>投稿論文 ”Measurement of four-jet differential cross sections in sqrt(s)=8 TeV proton-proton collisions using the ATLAS detector”, ATLAS collaboration: G. Aad, <u>H. Kurashige</u>, <u>J. Maeda</u>, <u>A. Ochi</u>, ※<u>S. Shimizu</u>, <u>Y. Yamazaki</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 2844 名 J. High Energy Phys., 巻 1512 記事番号 105 (ページ数 75) 発表年 2015, 査読あり</p>
◎ 4	<p>論文 "Measurement of the inclusive-jet cross section in proton-proton collisions at 13 TeV centre-of-mass energy with the ATLAS detector", アトラス共同実験国際会議発表要録 ATLAS-CONF-2015-034, July (2015), 査読なし (※<u>清水志真</u>が主著者)  <a href="https://atlas.web.cern.ch/Atlas/GROUPS/PHYSICS/CONFNOTES/ATLAS-CONF-2015-034/">https://atlas.web.cern.ch/Atlas/GROUPS/PHYSICS/CONFNOTES/ATLAS-CONF-2015-034/</a></p>
5	<p>投稿論文 "Direction-sensitive dark matter search with gaseous tracking detector NEWAGE-0.3b", ※<u>Kiseki Nakamura</u>, <u>Kentaro Miuchi</u>, Toru Tanimori, Hidetoshi Kubo, Atsushi Takada, Joseph D. Parker, Tetsuya Mizumoto, Yoshitaka Mizumura, Hironobu Nishimura, Hiroyuki Sekiya, Atsushi Takeda, Tatsuya Sawano, Yoshihiro Matsuoka, Shotaro Komura, Yushiro Yamaguchi, and Takashi Hashimoto, Progress of Theoretical and Experimental Physics 記事番号 043F01s, 発表年 2015, ページ数 14, 査読あり</p>

◎ 6	投稿論文 “Measurement of the centrality dependence of the charged-particle pseudorapidity distribution in proton-lead collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV with the ATLAS detector, ATLAS Collaboration, G. Aad, <u>H. Kurashige</u> , <u>J. Maeda</u> , <u>A. Ochi</u> , ※ <u>S. Shimizu</u> , <u>Y. Yamazaki</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, The European Physical Journal C, 巻 76, ページ 199, ページ数 30, 査読あり
◎ 7	投稿論文 “Study of hard double-parton scattering in four-jet events in pp collisions at $s\sqrt{=7}$ TeV with the ATLAS experiment”, ATLAS collaboration, M. Aaboud et al., <u>H. Kurashige</u> , <u>J. Maeda</u> , <u>A. Ochi</u> , ※ <u>S. Shimizu</u> , <u>Y. Yamazaki</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
◎ 8	投稿論文 “Measurement of event-shape observables in $Z \rightarrow \ell + \ell^-$ events in pp collisions at $s\sqrt{=7}$ TeV with the ATLAS detector at the LHC”, G. Aad, <u>H. Kurashige</u> , <u>J. Maeda</u> , <u>A. Ochi</u> , ※ <u>S. Shimizu</u> , <u>Y. Yamazaki</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
◎ 9	投稿論文 “Readout technologies for directional WIMP Dark Matter detection”, <u>J.B.R. Battat</u> , 身内賢太朗, <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
◎10	論文 “Measurements of $tt^-$ differential cross-sections in the all-hadronic channel with the ATLAS detector using highly boosted top quarks in pp collisions at $s\sqrt{=13}$ TeV”, <u>清水志真</u> , <u>山崎祐司</u> 他, アトラス共同実験国際会議発表要録 ATLAS-CONF-2016-100, 2016 年 9 月, 査読なし, 全 22 ページ, <a href="https://cds.cern.ch/record/2217231">https://cds.cern.ch/record/2217231</a>
◎ ★ 11	投稿論文 “Performance of the ATLAS trigger system in 2015”, ATLAS collaboration, M. Aaboud, <u>H. Kurashige</u> , <u>J. Maeda</u> , <u>A. Ochi</u> , <u>S. Shimizu</u> , <u>Y. Yamazaki</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. C77, ページ 317, 2017 年, 53 ページ, 査読あり
◎12	投稿論文 “The $\mu$ -RWELL detector”, G. Bencivenni, L. Benussi, <u>R. de Oliveira</u> , P. De Simone, G. Felici, M. Gatta, P. Giacomelli, G. Morello, <u>A. Ochi</u> , M. Poli Lener, A. Ranieri, M. Ressegotti, E. Tskhadadze, I. Vai and V. Valentino, JINST 12 C06027, 2017 年, 8 ページ, 査読あり

②学会等における発表

<p>発表題名 等</p> <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。)</p> <p>(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>、担当研究者には<u>下線</u>、派遣した若手研究者には<u>波線</u>、海外の主要連携研究者には<u>斜体・太下線</u>、連携研究者には<u>斜体・破線</u>を付してください。</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>共同研究の相手側となる海外の研究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。</li> </ul>
---

1	国際会議発表 “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
◎ 2	国際会議発表 “Production of resistive foils for Atlas/NSW”, <u>A. Ochi</u> , 15 <sup>th</sup> RD51 workshop, 18-20 March 2015, CERN, Switzerland, 審査なし(本発表は越智氏によるものであるが, 当該分野では国際会議での発表は単名で行うことが慣例であり, 実際には頭脳循環の Iengo, Oliveira 氏を含む共同研究を基にしている)
◎ 3	国際会議発表 ※ <u>S. Shimizu</u> on behalf of the ATLAS collaboration, 発表題名 "The ATLAS jet trigger performance in LHC Run I and Run II updates", 会議名 21st International Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics (CHEP2015), 抄録 Journal of Physics: Conference Series, Volume 664 (2015) 082051, ポスター発表, 審査あり, 2015年4月
◎ 4	国際会議招待講演 <u>Shima Shimizu</u> , "First SM Results at 13 TeV, ATLAS", Brookhaven Forum 2015: Great Expectation, a New Chapter, Brookhaven National Laboratory (US), October 2015, 口頭発表, 審査なし, 2015年10月
◎ 5	国際会議ポスター発表 ※ <u>J. Maeda</u> on behalf of the ATLAS collaboration, "The ATLAS Trigger System - Ready for Run-2", The Third Annual Large Hadron Collider Physics Conference (LHCP2015), 抄録 AIP conference proceedings に掲載受理済み, ポスター発表, 審査あり, 2015年8月
6	国内会議招待講演, <u>前田順平</u> , "ATLAS 実験状況", 日本物理学会第71回年次大会シンポジウム「LHC13TeVの物理成果と今後の展望」, 東北学院大学(仙台), 口頭発表, 審査あり, 2016年3月
7	国際会議招待講演 “Particle physics from the Asian perspective”, <u>山崎祐司</u> , DIS 2015 - XXIII. International Workshop on Deep-Inelastic Scattering and Related Subjects, ダラス, 米国, 口頭発表, 審査なし, 2015年5月
8	招待講演(韓国学会) “Overview of recent ATLAS results and preparation for Run-2”, <u>山崎祐司</u> , Joint Session Korea-Japan in Korea Physics Society meeting, 大田, 大韓民国, 口頭発表, 審査なし, 2015年4月
9	国際学会招待講演 <u>Kentaro Miuchi</u> , "Radiation Detector Development for Direct Dark Matter Search", International Symposium on Radiation Detectors and Their Uses (ISR2016), KEK, Tsukuba, Japan, 口頭発表, 審査なし, 2015年10月
◎ 10	国際学会講演 Tomonori Ikeda "Study of Negative-Ion TPC using u-PIC for Directional Dark Matter search", MPGD2015, Trieste, Italy, 口頭発表, 審査あり, 2015年10月(本発表は担当研究者身内の指導学生である池田氏によるものであるが, 当該分野では国際会議での発表は単名で行うことが慣例であり, 実際には頭脳循環の目標3共同研究を基にしている)
11	国際会議招待講演 <u>Kentaro Miuchi</u> , “NEWAGE”, Mini workshop on direct search of Dark Matter, CUP, IBS, Daejeon, Korea, 口頭発表, 審査なし, 2015年7月
12	国際学会講演 <u>Atsuhiko Ochi</u> , "Recent status on MPGD developments using carbon sputtering", 3rd Academy-Industry Matching Event on Photon Detection and RD51mini-week, CERN, Switzerland, 口頭発表, 審査なし, 2015年6月
◎ 13	国際学会講演 “Development of large area resistive electrodes for ATLAS NSW Micromegas”, <u>Atsuhiko Ochi</u> , 4th International Conference on Micro Pattern Gaseous Detectors (MPGD2015), Trieste, Italy, ポスター発表, 審査あり, 2015年10月(本発表は担当研究者越智によるものであるが, 当該分野では国際会議での発表は単名で行うことが慣例であり, 実際には頭脳循環の Paolo Iengo 氏を含む共同研究を基にしている)



◎14	国際学会発表 “Development of u-PIC with resistive electrodes using sputtered carbon”, Fumiya Yamane, 4th International Conference on Micro Pattern Gaseous Detectors (MPGD2015), Trieste, Italy, 口頭発表, 審査あり, 2015年10月(本発表は担当研究者越智の指導学生である山根氏によるものであるが, 当該分野では国際会議での発表は単名で行うことが慣例であり, 実際には頭脳循環の Oliveira, Iengo 両氏を含む共同研究を基にしている)
◎15	国際学会招待講演・基調講演 "Test of QCD at Colliders", 清水志真, Blois 2016 for Particle Physics and Cosmology, May 29 - June 3, 2016, Blois, France, 口頭発表, 審査あり
16	招待講演 “Recent results on diffractive and forward physics at HERA”, 山崎祐司, 46 <sup>th</sup> 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
17	国際会議 ”Radiation Detector Development for Direct Dark Matter Search”, 身内賢太朗, International Symposium on Radiation Detectors and Their Uses (ISR2016), KEK, Tsukuba, Japan, 口頭発表, 審査あり
18	“NEWAGE”, 身内賢太朗, IDM 2016: Identification of Dark Matter, Sheffield, UK, July 18-22, 2016, 口頭発表, 審査あり
19	国際会議 “NEWAGE”, 身内賢太朗, ICHEP 2016: International Conference on High-Energy Physics, Chicago US, August 3-10 2016”, 口頭発表, 審査あり
◎20	招待講演 “Review of direction-sensitive dark matter search”, Physics in LHC and early universe, 身内賢太朗 9th to 11th, Jan. 2017, Univ. of Tokyo, 口頭発表, 審査なし(本発表は担当研究者身内によるものであるが, 当該分野では国際会議での発表は単名で行うことが慣例であり, 実際には頭脳循環の目標3共同研究を基にしている)
21	国際会議 "NEWAGE", 身内賢太朗, caastro-coepp joint workshop, 30th January - 1st February 2017, School of Physics, University of Melbourne, Melbourne, VIC, Australia, 口頭発表, 審査なし
◎22	国際会議 ”CYGNUS GAS WG report” 身内賢太朗 CYGNUS 2017 : 6th Workshop on directional detection of Dark Matter, Jun 13-15th, @Xichang, Sichuan, China, 口頭発表, 審査なし(本発表は担当研究者身内によるものであるが, 当該分野では国際会議での発表は単名で行うことが慣例であり, 実際には頭脳循環の目標3共同研究を基にしている)
23	国際会議”NEWAGE”, 身内賢太朗 The Rencontres du Vietnam on Exploring the Dark Universe, July 24-30 International Centre for Interdisciplinary Science Education (ICISE), Quy Nhon, Vietnam, 口頭発表, 審査なし
24	招待講演 “Resistive DLC foils”, 3rd Workshop on Neutrino Near Detectors based on gas TPCs, 越智敦彦, 20th to 21st May, 2017, Tokai Ibaraki, JAPAN, 口頭発表, 審査なし
◎25	国際会議 "A new design of Micro Pixel Chamber using DLC electrodes", 5th International Conference on Micro-Pattern Gas Detectors, 山根史弥, 22nd to 26th May, 2017, Temple University, Philadelphia, USA, 審査あり(本発表は担当研究者越智の指導学生である山根氏によるものであるが, 当該分野では国際会議での発表は単名で行うことが慣例であり, 実際には頭脳循環の Oliveira 氏を含む共同研究を基にしている)
26	招待講演 "Japan MPGD community", 5th International Conference on Micro-Pattern Gas Detectors, 越智敦彦, 22nd to 26th May, 2017, Temple University, Philadelphia, USA, 審査あり

◎27	招待講演 “Searches for exotic resonances with top tagging”, <u>前田順平</u> , BOOST2017 workshop, 16-21 July 2017, Buffalo, 米国ニューヨーク州, 審査あり
-----	---