

様式6（第15条第1項関係）

2017年 4月 7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	〒351-0198 埼玉県和光市広沢2-1	
研究機関の設置者の名称	国立研究開発法人理化学研究所	
代表者の職名・氏名	理事長・松本 紘 (記名押印)	
代表研究機関名及び機関コード	国立研究開発法人理化学研究所	82401

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	R2804	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)	4902
------	-------	----------	-------------	---------------------	------

補助事業名（採択年度） 超伝導ミリ波センシングと広天域・多帯域観測で宇宙創成の謎に迫る国際研究網（平成28年度）	補助金支出額（別紙のとおり） 27,770,000円
---	-------------------------------

代表研究機関以外の協力機関
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構、国立大学法人埼玉大学

海外の連携機関
スペイン・カナリア天体物理研究所、オランダ宇宙研究所、オランダ・デルフト工科大学

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 オオタニ チョウ 大谷 知行	国立研究開発法人理化学研究所	光量子工学研究領域	チームリーダー	テラヘルツ工学、超伝導工学
担当研究者 タイノ トオル 田井野 徹	国立大学法人埼玉大学	大学院理工学研究科	准教授	超伝導検出器、テラヘルツ波光学
タジマ オサム 田島 治	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構	素粒子原子核研究所	准教授	宇宙素粒子実験
オグリ シュウゴ 小栗 秀悟	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構	素粒子原子核研究所	日本学術振興会特別研究員(PD)	宇宙素粒子実験
ミマ サトル 美馬 寛	国立研究開発法人理	光量子工学研究領域	特別研究員	超伝導デバイ

計 5 名	化学研究所			ス工学
-------	-------	--	--	-----

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）
マツオ ヨウイチロウ 松尾 洋一郎	国立研究開発法人理化学研 究所・主査	048-467-2634、gaisui-jsps@riken.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

平成 28 年度は、オランダ・デルフト工科大の Endo 氏のもとに若手研究者 2 名を派遣した。デルフト工科大とオランダ宇宙研究所は電車で 1 時間の距離にあるため、実際には研究上の必要に応じて両機関を行き来したほか、オランダ宇宙研究所の Baselmans 氏が定期的にデルフト工科大に来訪し、最先端の超伝導検出器である MKID (Microwave Kinetic Inductance Detector) の宇宙観測への実装に関して双方の指導を受けた。

具体的には、成瀬雅人氏がチリにあるサブミリ波望遠鏡である ASTE 望遠鏡に搭載する分光検出器である DESHIMA の開発に参画し、究極性能を有する超伝導検出器のデバイス作製技術、デバイス性能評価技術、及び、システム化技術を習得した。また、鈴木淳也氏は、究極性能を有する超伝導検出デバイスからの信号読み出し・データ処理技術を習得するとともに、ソフトウェア開発も行って効率的なデータ処理法について Endo 氏、Karatsu 氏、Baselmans 氏らと議論を行いながら最適な構成の検討を進めた。また、オランダ・デルフト工科大から A. Endo 氏、K. Karatsu 氏を招へいし、日本側拠点（理研、KEK）を訪れて GroundBIRD 望遠鏡の開発に関する議論を行った。

以上のことから、平成 29 年度から実施する GroundBIRD 望遠鏡による実観測、及び、データ解析を行うための準備を進めることができた。

3. 到達目標に対する本年度の達成度及び進捗状況

平成 28 年度は、本研究で用いる望遠鏡の開発・製作を進めるとともに、超伝導検出器のマスプロダクションに向けた開発を進めることを目標とし、海外の協力者との議論を進めて概ね目標を達成することができた。一方、デバイス作製に用いていた国立天文台のステップ装置が約半年間故障のために使えなくなり、不測の事態ではあったが、デバイス作製に支障が生じた。このトラブルに対処すべく、SRON・デルフト工科大学において、成瀬氏が技術とノウハウを習得して翌年度に行うマスプロダクションの準備を行うとともに、鈴木氏を派遣して信号読み出し・データ処理に関する技術を習得した。このため、当初予定していたスペインの QUIJOTE 実験のデータ解析については短期間の滞在にて議論を行うにとどまったが、QUIJOTE 実験についてはサイト利用の条件として共同ポスドクを雇用することとなっており、その準備を進めることによってそのデータ解析の部分を補う体制を構築できた。

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	H. Watanabe, ※ <u>S. Mima</u> , <u>S. Oguri</u> , M. Yoshida, M. Hazumi, H. Ishino, H. Ishitsuka, A. Kibayashi, <u>C. Otani</u> , N. Sato, <u>O. Tajima</u> , N. Tomita, “Development of Novel Optical Coupling with Ground-side Absorption for Antenna-coupled Kinetic Inductance Detectors,” <i>IEICE Trans. Electron.</i> vol. E100-C , in press (2017).
2	
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"> ・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	※ <u>R. Koyano</u> , <u>K. Kiuchi</u> , <u>S. Mima</u> , H. Myoren, <u>M. Naruse</u> , <u>S. Oguri</u> , <u>C. Otani</u> , M. Semoto, <u>O. Tajima</u> , <u>T. Taino</u> , “Development of large-scale array of superconducting detectors for the CMB polarization measurement,” 29th International Superconductivity Symposium (ISS2016), 2016.12.14, Funabori, Tokyo, Japan（ポスター, 審査有）
2	※ <u>小栗秀悟</u> , “室温エレクトロニクス・安い KID 読み出し装置,” TIA かけはし・ブレインストーミング研究会, つくば市, 2017 年 1 月（口頭, 招待講演）
3	※ <u>鈴木惇也</u> , “GroundBIRD - quest for the begin of the Universe by using cutting-edge superconducting detectors, KIDs,” 東京, 2016 年 12 月（口頭, 審査有）
○ 4	※ <u>小栗秀悟</u> , 石塚 光, 内田智久, <u>大谷知行</u> , <u>木内健司</u> , 沓間弘樹, 古谷野凌, <u>鈴木惇也</u> , 関本裕太郎, 瀬本宗久, <u>田井野 徹</u> , <u>田島 治</u> , <u>Jihoon Choi</u> , <u>Thushara Damayanthi</u> , 富田望, 永井 誠, 長崎岳人, 羽澄昌史, 服部 誠, 蓑輪 眞, <u>美馬 覚</u> , 吉田光宏, <u>Kyungmin Lee</u> , <u>Eunil Won</u> , “GroundBIRD 望遠鏡での検出器読み出しの評価,” 日本物理学会第 72 回年次大会, 大阪市, 2017 年 3 月（口頭、審査無）
○ 5	※ <u>沓間弘樹</u> , 石塚 光, 内田智久, <u>大谷知行</u> , <u>小栗秀悟</u> , <u>木内健司</u> , 古谷野凌, <u>鈴木惇也</u> , 関本裕太郎, 瀬本宗久, <u>田井野 徹</u> , <u>田島 治</u> , <u>Jihoon Choi</u> , <u>Thushara Damayanthi</u> , 富田 望, 永井 誠, 長崎岳人, 羽澄昌史, 服部 誠, 蓑輪 眞, <u>美馬 覚</u> , 吉田光宏,

	Kyungmin Lee, Eunil Won, "GroundBIRD 望遠鏡での磁気シールドの考察," 日本物理学会第 72 回年次大会, 大阪市, 2017 年 3 月 (口頭、審査無)
○ 6	※ <u>木内健司</u> , 石塚光, 内田智久, <u>大谷知行</u> , <u>小栗秀悟</u> , 沓間弘樹, 古谷野凌, <u>鈴木淳也</u> , 関本裕太郎, 瀬本宗久, <u>田井野徹</u> , <u>田島治</u> , Jihoon Choi, Thushara Damayanthi, 富田望, 永井誠, 長崎岳人, 羽澄昌史, 服部誠, 蓑輪眞, <u>美馬覚</u> , 吉田光宏, Kyungmin Lee, Eunil Won, "GroundBIRD 望遠鏡に用いる超高感度ミリ波検出器アレイの開発・研究," 日本物理学会第 72 回年次大会, 大阪市, 2017 年 3 月 (口頭、審査無)
7	※富田 望, 長崎岳人, <u>小栗秀悟</u> , <u>鈴木淳也</u> , 井上慶純, 蓑輪 眞, <u>田島 治</u> , "冷却式ミリ波スペクトロメータを用いた 10-4eV 領域における暗黒光子の探索," 日本物理学会第 72 回年次大会, 大阪市, 2017 年 3 月 (口頭、審査無)
○ 8	※ <u>Kenji Kiuchi</u> , Jihoon Choi, Thushara Damayanthi, Makoto Hattori, Masashi Hazumi, Hikaru Ishitsuka, <u>Satoru Mima</u> , Ryo Koyano, Hiroki Kutsuma, Kyungmin Lee, Makoto Minowa, Makoto Nagai, Taketo Nagasaki, <u>Shugo Oguri</u> , <u>Chiko Otani</u> , Yutaro Sekimoto, Munehisa Semoto, <u>Jun'ya Suzuki</u> , <u>Tohru Taino</u> , <u>Osamu Tajima</u> , Nozomu Tomita, Eunil Won, Tomohisa Uchida, Mitsuhiro Yoshida, "Development of horn coupled superconducting kinetic inductance detectors array," 3rd International Workshop of Superconducting Sensors and Detectors (IWSSD 2016), Tsukuba, Japan, 2016 Nov (ポスター、審査無)
○ 9	※ <u>木内健司</u> , 石塚光, 内田智久, <u>大谷知行</u> , <u>小栗秀悟</u> , 沓間弘樹, 古谷野凌, <u>鈴木淳也</u> , 関本裕太郎, 瀬本宗久, <u>田井野徹</u> , <u>田島 治</u> , Jihoon Choi, Thushara Damayanthi, 富田望, 永井誠, 長崎岳人, 羽澄昌史, 服部 誠, 蓑輪 眞, <u>美馬 覚</u> , 吉田光宏, Kyungmin Lee, Eunil Won, CMB 偏光観測実験 GroundBIRD 実験に向けたミリ波望遠鏡の開発、第 3 回理研 NICT 合同テラヘルツ ワークショップ、小金井市、ポスター発表、2017 年 2 月 (ポスター、審査無)
○ 10	※ <u>S. Mima</u> , Jihoon Choi, Thushara Damayanthi, Makoto Hattori, Masashi Hazumi, Hikaru Ishitsuka, <u>Kenji Kiuchi</u> , Ryo Koyano, Hiroki Kutsuma, Kyungmin Lee, Makoto Minowa, Makoto Nagai, Taketo Nagasaki, <u>Shugo Oguri</u> , <u>Chiko Otani</u> , Yutaro Sekimoto, Munehisa Semoto, <u>Jun'ya Suzuki</u> , <u>Tohru Taino</u> , <u>Osamu Tajima</u> , Nozomu Tomita, Eunil Won, Tomohisa Uchida, Mitsuhiro Yoshida "Development of focal plane detectors for GroudBIRD experiment", The 10th International Symposium on Intrinsic Josephson Effects and Plasma Oscillations in High-Tc Superconductors (Plasma+2016), Nanjing, China, 2016 Oct. (口頭、招待講演)

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28年度	平成29年度	平成30年度	合計
派遣人数	2 人	4 人 (2 人)	4 人 (4 人)	4 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：成瀬 雅人・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）

平成28年度は、平成28（2016）年12月3日より平成29（2017）年3月31日までオランダ・デルフト工科大の Endo 氏のもとに派遣した。デルフト工科大とオランダ宇宙研究所は電車で1時間の距離にあるため、実際には研究上の必要に応じて両機関を行き来したほか、オランダ宇宙研究所の Baselmans 氏がほぼ毎週デルフト工科大に来訪し、最先端の超伝導検出器である MKID（Microwave Kinetic Inductance Detector）の宇宙観測への実装に関して双方の指導を受けた。また、超伝導フィルタの設計において超伝導特性を精度よく反映させることができるような電磁界解析法について議論を行った。

（具体的な成果）

本年度は、チリにあるサブミリ波望遠鏡である ASTE 望遠鏡に搭載する分光検出器である DESHIMA の開発に参画した（図1）。特に、超伝導バンドパスフィルタの電磁界解析手法の開発、及び、デバイス作製方法の検討を行った。超伝導バンドパスフィルタの電磁界解析手法の開発では、超伝導膜の表面インピーダンスを3次元モデル（CST Microwave studio）へ含める方法を開発し、従来の2.5次元での解析手法（Sonnet）と整合性があることを示した（図2）。この結果を用いてフィルタの高性能化を検討した結果、幅0.3 μm のコプレナ線路を作製することで所望の周波数分解能（R~500）を300 GHz から700 GHz の広帯域で実現できることを明らかにした。この微細構造を実現するためには、従来の光学リソグラフィではなく最先端の電子線プロセスが必要なため、その手法を現在習得中である。これらの技術・ノウハウは、GroundBIRD 望遠鏡の開発、高性能化において必要不可欠であり、平成29年度に実施するマスプロダクション、及び、GroundBIRD 実験の実施を行うための準備を進めることができた。

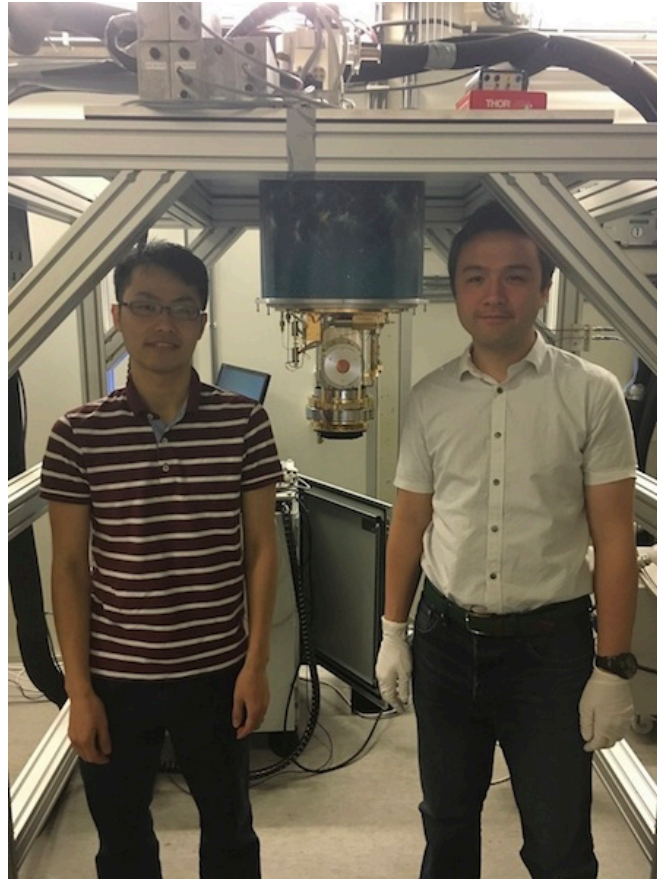


図 1. DESHIMA と成瀬氏（左）、Endo 氏

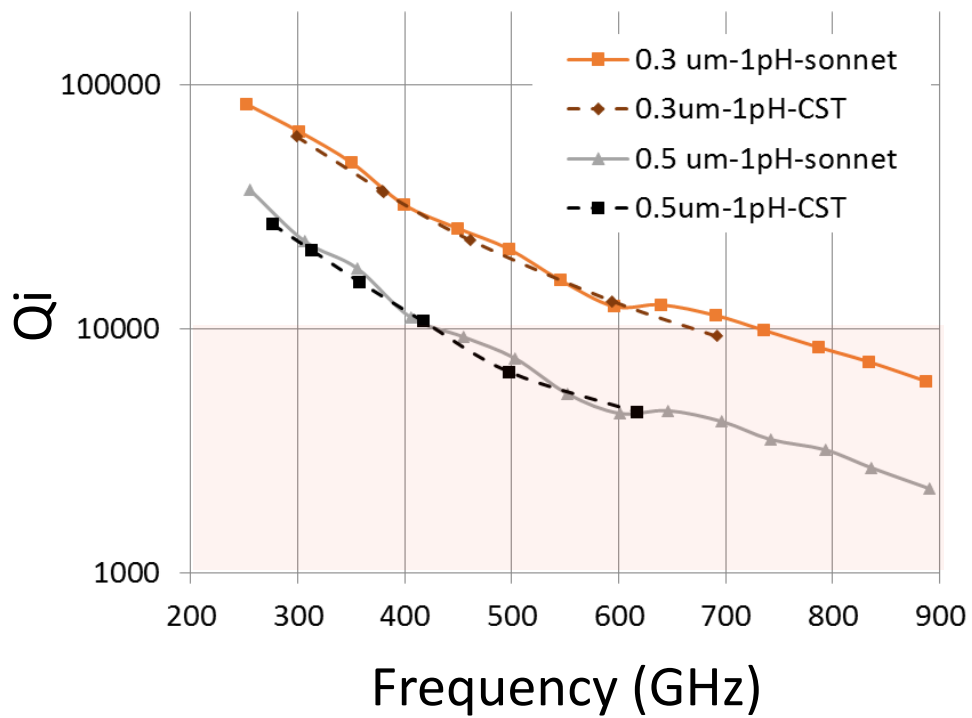


図 2. 超伝導フィルタに用いるサブミリ波共振器の Q 値の比較

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 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	
オランダ、デルフト工科大学、電気工学数学計算科学部、Akira Endo	119 日	120 日	100 日	339 日
オランダ、オランダ宇宙研究所、技術開発部、Jochem Baselmans	0 日	30 日	15 日	45 日

派遣者②の氏名・職名：鈴木 惇也・日本学術振興会特別研究員 (PD)

(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)

平成 28 年度は、平成 28 (2016) 年 12 月 25 日より平成 29 (2017) 年 2 月 26 日までオランダ・デルフト工科大の Endo 氏のもとに派遣した。デルフト工科大とオランダ宇宙研究所は電車で 1 時間の距離にあるため、実際には研究上の必要に応じて両機関を行き来したほか、オランダ宇宙研究所の Baselmans 氏がほぼ毎週デルフト工科大に来訪し、最先端の超伝導検出器である MKID の宇宙観測の実施に必要な信号読み出し・データ処理技術に関して双方の指導を受けた。本年度は、チリにあるサブミリ波望遠鏡である ASTE 望遠鏡に搭載する分光検出器である DESHIMA の開発に参画し、究極性能を有する超伝導検出デバイスからの信号読み出し・データ処理技術を習得するとともに、ソフトウェア開発も行って効率的なデータ処理法について Endo 氏、Karatsu 氏、Baselmans 氏らと議論を行いながら最適な構成の検討を進めた。

(具体的な成果)

本年度は、チリにあるサブミリ波望遠鏡である ASTE 望遠鏡に搭載する分光検出器である DESHIMA の開発に参画した。DESHIMA は MKID を検出器として採用しており、その運用を学ぶことで GroundBIRD 実験へと活かすことを目標とした。

DESHIMA は平成 29 年に ASTE 望遠鏡へ搭載するため、派遣期間中は性能評価の試験を行っていた。派遣者はその過程にデータ解析・ソフトウェア開発・ハードウェア開発の点で参画し、Endo 氏、Karatsu 氏、Baselmans 氏らと議論を行いながら最適な構成の検討を進めた。派遣の主たる成果は以下のとおりである。

1. データ解析

DESHIMA は超伝導チップ上に分光器を多数並べた分光検出器であり、周波数応答性の評価が重要となってくる。DESHIMA では TOPTICA 社のテラヘルツ光源を検出器へと導入して周波数応答性を測定していた。派遣者はその測定データの解析を行った。具体的には、光源の強度を変えた時の検出器応答の変化、スペクトルに表れる定在波の典型スケール究明などを行った。この種の測定は GroundBIRD 実験でも必須であり、今回の派遣によって解析の手法を学び、またどのようなことが問題となりうるか、という知見を得ることができた。

2. ソフトウェア開発

平成29年秋のASTE望遠鏡への搭載を控え、DESHIMAは性能評価のための測定を多数行っていた。測定したデータの数が増大になると、その整理が問題となってくる。派遣者はその測定データを系統的に取り扱うため、データベースを用いたシステムを構築し、実際にそれを運用する解析ソフトウェア・閲覧用Webインターフェースを開発した(図1)。こうしたシステムは効率的に装置の運用を進める上で重要であり、今回開発したシステムはGroundBIRD実験にも転用し活用していく。

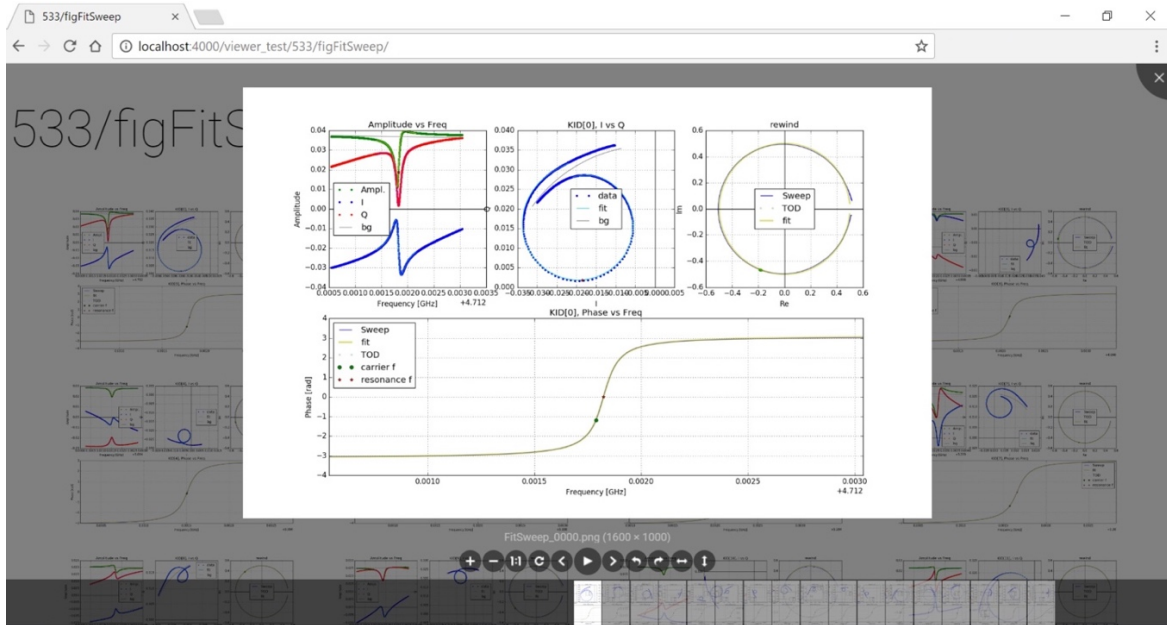


図1. 解析結果を表示するWebインターフェースのスクリーンショット

3. ハードウェア開発

DESHIMAでは偏光板を回転させるための装置を開発しており、派遣者はそのモータードライバの制御を担当した(図2)。RaspberryPiを用いた安価な制御方法を確認することができ、これはGroundBIRD実験の各種センサの読み出しやモーターの制御にも活用可能である。

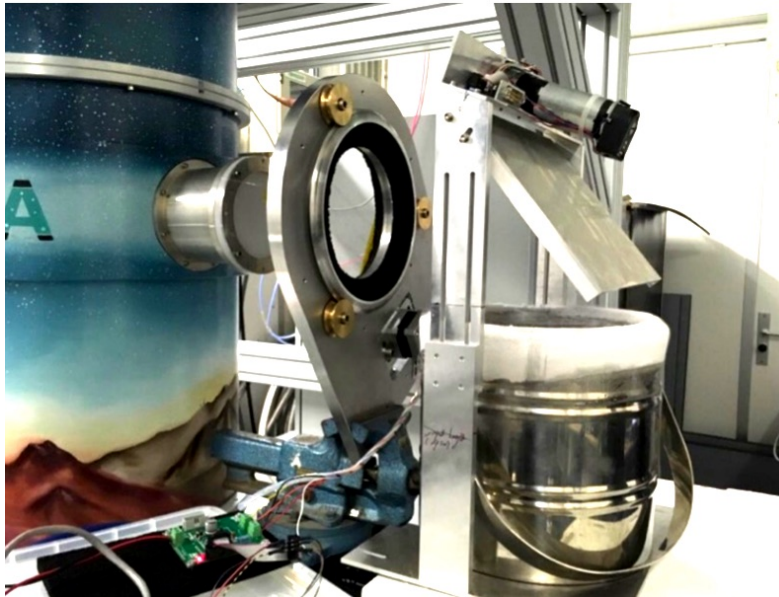


図 2 . 偏光板を回転させる装置を使った測定の写真

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 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	
オランダ、デルフト工科大学、電気工学数学計算科学部、Akira Endo	64 日	0 日	0 日	64 日
オランダ、オランダ宇宙研究所、技術開発部、Jochem Baselmans	0 日	0 日	0 日	0 日
スペイン、カナリア天体物理研究所、天体物理学部、Ricardo Tanausu Genova Santos	0 日	180 日	330 日	510 日

※ デルフト工科大とオランダ宇宙研究所は電車で 1 時間の距離にあるため、実際には研究上の必要に応じて両者を行き来する。

※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 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	合計
招へい人数	2 人	5 人 (3 人)	3 人 (3 人)	5 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③の氏名・職名：Akira Endo・助教

（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）

本年度は、最先端の超伝導検出器である MKID の宇宙観測の実施に必要なデバイス作製、信号読み出し、データ処理技術等に関して、成瀬雅人氏と鈴木淳也氏を受け入れた。また、平成 29（2017）年 3 月 13 日より平成 29（2017）年 3 月 27 日まで来日して、国立研究開発法人理化学研究所が受け入れを行った。

（具体的な成果）

チリにあるサブミリ波望遠鏡である ASTE 望遠鏡に搭載する分光検出器である DESHIMA の開発を通じて、成瀬氏と鈴木氏を受け入れ、究極性能を有する超伝導検出デバイスの性能評価技術、システム化技術、信号読み出し・データ処理技術、ソフトウェア開発について指導を行った。これらの技術・ノウハウは、GroundBIRD 望遠鏡の開発、及び、運用において必要不可欠である。また、また、日本側拠点（理研、KEK）を訪れて GroundBIRD 望遠鏡の開発に関する議論を行った。以上のことから、平成 29 年度から実施する GroundBIRD 望遠鏡による実観測、及び、データ解析を行うための準備を進めることができた。

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 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	
オランダ、デルフト工科大学、電気工学数学計算科学部、大谷知行（国立研究開発法人理化学研究所）	15 日	20 日	20 日	55 日

招へい者⑤の氏名・職名：Kenichi Karatsu・ポスドク

（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）

本年度は、最先端の超伝導検出器である MKID の宇宙観測の実施に必要なデバイス作製、信号読み出し、データ処理技術等に関して、成瀬雅人氏と鈴木淳也氏を Endo 氏とともに指導した。また、平成 28（2016）年 12 月 15 日より平成 28（2016）年 12 月 27 日まで来日して、国立研究開発法人理化学研究所が受け入れを行った。

（具体的な成果）

チリにあるサブミリ波望遠鏡である ASTE 望遠鏡に搭載する分光検出器である DESHIMA の開発を通じて、成瀬氏と鈴木氏に対して、究極性能を有する超伝導検出デバイスの性能評価技術、システム化技術、信号読み出し・データ処理技術、ソフトウェア開発について指導を行った。これらの技術・ノウハウは、

GroundBIRD 望遠鏡の開発、及び、運用において必要不可欠である。また、また、日本側拠点（理研、KEK）を訪れて GroundBIRD 望遠鏡の開発に関する議論を行った。以上のことから、平成 29 年度から実施する GroundBIRD 望遠鏡による実観測、及び、データ解析を行うための準備を進めることができた。

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 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	
オランダ、デルフト工科大学、電気工学数学計算科学部、大谷知行（国立研究開発法人理化学研究所）	13 日	20 日	20 日	53 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

※ 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。