

令和 6 年 9 月 30 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H01227

研究課題名（和文）17-18世紀光学の実像の解明：「ニュートンのプリズム」の実験学的分析を中心に

研究課題名（英文）Experimental analysis on seventeenth and eighteenth-century optics: Mainly on so-called 'Newton's prisms'

研究代表者

多久和 理実 (Takuwa, Yoshimi)

東京工業大学・リベラルアーツ研究教育院・講師

研究者番号：20814718

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 15,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、アッペ屈折計をヨーロッパの9箇所の博物館に持ち込んで、17-18世紀に製作されたプリズムの屈折率を多波長で測定した。その結果、ニュートンが1660年代に光学研究に実際に利用したと伝わるプリズムの多くはフリントガラス製であり、ニュートンの残した実験記録と合わないことが確認された。一方で、18世紀にオランダのニュートン主義者たちがニュートン光学を広めるために作ったプリズムは、ニュートンの記録よりも大幅に分散力が大きいことが判明した。イギリスで「ニュートンのプリズム」と呼ばれているプリズムは、18世紀に入ってから製造されたニュートン光学を広めるためのプリズムであることが推測される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、これまで伝承に基づいて「ニュートンのプリズム」と呼ばれてきたプリズムの光学特性を明らかにしたことである。実験学的分析によって光学特性を定量的に求めたことにより、これまでの文献に基づく歴史学的分析の研究に接続することが可能になった。

社会的意義として、これまで博物館内で行われた調査では他館が所蔵するコレクションとの比較が困難だった。本研究がアッペ屈折計を3カ国の9箇所の博物館に持ち込むという方法を使ったことにより、博物館の枠を越えて同条件での測定と比較が実現した。

研究成果の概要（英文）： In this study, we took an Abbe refractometer to nine European museums to measure the refractive indices of prisms made between the 17th and 18th centuries at multiple wavelengths. The results confirmed that many of the prisms that Newton thought to be used in his optical research in the 1660s were made of flint glass, which did not match the experimental data recorded by Newton. On the other hand, we found that prisms made by Dutch Newtonians in the 18th century to promote Newtonian optics have significantly greater dispersion than those used by Newton. We assume that the so-called 'Newton's prisms' held in the UK were actually made in the 18th century to promote Newtonian optics.

研究分野：科学技術史

キーワード：科学史 科学機器 光学 プリズム アイザック・ニュートン

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

アイザック・ニュートンが論文「光と色についての新理論」(1672)で提案した光学理論は、古代ギリシア時代以来二千年間にわたって信じられてきた光と色についての考え方を覆すものだった。しかし、ニュートンが理論を実証するために利用したプリズムについて、大きな謎が残された。ニュートンが残した実験記録を見ると、彼が利用したプリズムは伝統的なクラウンガラス製($v_D > 50$)であることが予想された。1981年のA. A. Millsの調査により、イギリス各地の博物館が所蔵している「ニュートンのプリズム」と呼ばれるプリズム3点は、全てフリントガラス製($v_D < 50$)であることが判明した。フリントガラスは1670年頃に発明され、18世紀に入ってから普及したガラス材であるため、ニュートンが光学研究に取り組んでいた1660年代に所有していたとは考え難い。さらに、本研究の研究代表者・多久和理実がニュートンの実験記録に合うプリズムを複製してシミュレーションと模擬実験を行った結果、クラウンガラス製のプリズムではニュートンの光学理論に合う実験結果が得られないことが判明した。1660年代にクラウンガラス製のプリズムを利用して考案されたはずの光学理論が、なぜ40年もの間なかなか受容されず、18世紀に入ってからフリントガラス製のプリズムとともに普及したのか。歴史家たちが実験記録や論文、著作といった文献資料からだけでは解明することができなかった17-18世紀の光学研究の困難と限界を、プリズムを実験学的に分析することで明らかにすることができると期待される。

2. 研究の目的

本研究の目的は、歴史学的分析と実験学的分析という二つの手法を融合して、アイザック・ニュートンに代表される17-18世紀の光学研究の実像を明らかにするものである。具体的には、「ニュートンのプリズム」と呼ばれるプリズム8点および、「スグラーフェサンデのプリズム」と呼ばれるプリズム11点について、史料調査と屈折率の測定を組み合わせる。これにより、当時の重要な科学機器であったプリズムの技術を定量的に分析するとともに、ニュートンの実験を追試しようとした同時代の学者たちの多くが理論と食い違う結果を得て「実験の失敗」を報告したという謎を解明する。研究に付随して、実験学的分析を他の科学機器に拡張するための基礎の構築を目指す。

3. 研究の方法

研究の方法は、アッペ屈折計をヨーロッパの9箇所の博物館に持ち込んで、17-18世紀に製作されたプリズムの屈折率を多波長で測定するというものである。

準備段階として、アッペ屈折計を準備した。アッペ屈折計(ATAGO DR-M2)の形状を歴史的な三角柱プリズムにダメージを与えずに測定できるように改良し、各地の博物館に持ち込めるように軽量化した。測定波長を決める干渉フィルターについては、当初予定していた5色に、検討の結果さらに5色を追加して、可視光領域の全ての基準波長10色(405nm, 436nm, 442nm, 486nm, 546nm, 589nm, 633nm, 656nm, 707nm, 768nm)での屈折率測定を可能にした。

試験測定として、国内の博物館でプリズムの測定を行った。アッペ屈折計を姫路科学館に持ち込んで1920年代製のプリズムを試験測定することで、歴史的なプリズムにダメージを与えずに測定するという実績を作った。

簡易判定を行って、博物館に本測定を行うための交渉を行った。簡易判定とは、低出力(1mW)の一般的なレーザーポインターを用いて、正三角柱プリズムがクラウンガラス製かフリントガラス製か判定するというものである。この簡易判定によって「ニュートンのプリズム」あるいは「スグラーフェサンデのプリズム」の材質が予想できたことにより、博物館のコレクション担当者間で他の博物館が所蔵するプリズムと光学特性を比較したいという動機が共有されて、結果として本測定に進む許可が得られた。

本測定として、アッペ屈折計を下記の博物館に持ち込んで、可視光領域の基準波長10色での屈折率を測定した。

- イギリス・大英博物館
- イギリス・ウィップル科学史博物館
- イギリス・レン図書館
- イギリス・王立医科協会
- イタリア・トレヴィーゾ市立博物館
- イタリア・パドヴァ大学博物館
- オランダ・プールハーフェ博物館
- オランダ・タイラース美術館
- オランダ・ユトレヒト大学博物館

また、上記の実験学的分析と並行して、ニュートンに関する歴史学的分析を行い、光学だけでなく数学、力学、錬金術などを含むニュートンの世界観への理解を深めた。シンポジウムやオーガナイズド・セッションを開催して文献調査の結果を共有し、歴史研究者と博物館のコレク

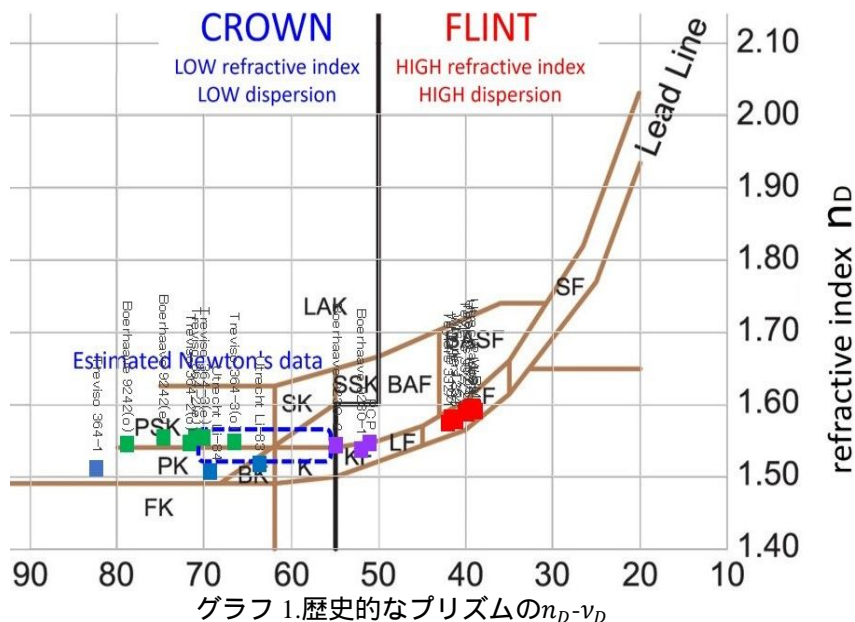
ション担当者の交流を図った。

4. 研究成果

本研究の成果として、アイザック・ニュートンが所有していたと言われるプリズム 8 点および、ニュートンの光学理論を実証するために作成されたプリズム 12 点について、正確な屈折率と逆分散率が測定された。代表的な基準波長である D 線(589nm)を中心にした結果を、以下の表 1 とグラフ 1 に示す。

表 1. 歴史的なプリズムと測定結果

通称	所蔵先	コレクション番号	簡易判定	屈折率 n_D	逆分散率 v_D	最終結果
ニュートンのプリズム	大英博物館	1927:0608.1	フリント	1.5899	38.8	フリント
	ウィップル科学史博物館	1105	フリント	1.5800	41.7	フリント
		1254	フリント	1.5791	41.1	フリント
	レン図書館	not numbered	フリント	1.5939	39.1	フリント
	王立医科協会	X654	不明	1.5455	51.0	中間
	トレヴィーゾ市立博物館	AMI 364-1	クラウン	1.5105	82.3	クラウン
		AMI 364-2	不可	1.5443	約 70	水晶
AMI 364-3		不可	1.5456	約 70	水晶	
スグラフェットのプリズム	プールハーフェ博物館	V09230-1	不可	1.5357	52.0	中間
		V09230-2	不可	1.5425	54.8	中間
		V09242	不可	1.5440	約 70	水晶
	タイラース美術館	fk0332-01	フリント	1.5726	42.1	フリント
		fk0332-02	フリント	1.5892	40.1	フリント
		fk0332-03	フリント	1.5858	39.9	フリント
		fk0333	不可	1.5760	41.4	フリント
	ユトレヒト大学博物館	Li-83	クラウン	1.5156	63.7	クラウン
		Li-84	クラウン	1.5057	69.3	クラウン
		Li-86	フリント	1.5940	39.6	フリント
		Li-87	フリント	1.5953	39.2	フリント
	パドヴァ大学博物館	not numbered	フリント	1.5956	39.2	フリント



(1) ニュートン光学に関する成果

ニュートンが残した実験記録から、彼が利用したプリズムの光学特性は屈折率 n_D が 1.54-1.55 程度、逆分散率 v_D が 55-70 程度であると予想されていた。頂角や大きさの点でニュートンの記録に一致するプリズムが現存しないだけでなく、光学特性の点でも一致するプリズムが現存しないという結果となった。ニュートンが記録した屈折率のデータは、古くから存在するクラウンガラス(グラフ 1 の領域 BK と領域 K、 n_D が 1.48-1.54)よりも大きいことが問題だったが、今回測定した 3 点のクラウンガラスは n_D が 1.51 の前後に収まっていた。ニュートンが実験に利用した

プリズムが全て例外的な光学特性だったとは考えにくいので、彼が残した屈折率の測定データが系統的に上振れていたと考えるほうが妥当である。

先行研究では、一部のプリズムの材質が水晶だと指摘されていたが、水晶製のプリズムは表面の歪みが大きいため過去の測定は失敗していた。今回、小さな平面でも測定できるアッペ屈折計を利用したことにより、各波長における通常屈折率と異常屈折率が水晶のデータと一致することが確認され、プリズムの材質が水晶であることが確定できた。フリントガラス製だと確定したプリズムについては、残念ながら、ニュートンが光学研究に取り組んでいた1660年代のものではないという仮説を裏付ける結果となった。フリントガラス製のプリズムの光学特性は類似しており、同じ製法で作られた可能性が高い。

「スグラーフェサンデのプリズム」と呼ばれているプリズムは、スグラーフェサンデの著書『実験によって確証された自然学の数学的原理』(1720)とともにヨーロッパ各地に普及してニュートン光学を広めた実験装置である。本研究の測定により、スグラーフェサンデのプリズムは、ニュートンが利用していたものよりも大幅に分散力が大きいことが判明した。スグラーフェサンデらニュートン主義者が、ニュートンの光学理論に合うように実験装置を調整していたことが確認できた。また、イギリスで「ニュートンのプリズム」と呼ばれているプリズムは、光学特性が「スグラーフェサンデのプリズム」に類似していることから、18世紀に入ってから製造されたニュートン光学を広めるためのプリズムであることが推測される。

(2) 実験学的分析を他の科学機器に拡張するための成果

正三角柱プリズム(頂角が3個ともに約 60°)については、事前に低出力(1mW)のレーザーポインターを利用して屈折率が大きい小さいか判定した。正三角柱プリズムについては、アッペ屈折計を用いた測定により、簡易判定が正しいことが検証された。簡易判定はプリズムに負担をかけずに、どこにでもある装置で行うことができるので、実験学的分析に取り組むための一歩目として有効な手段であることが確認できた。

(3) ニュートン理論の理解に向けた成果

2021年7月に開催された国際科学史技術史会議において、シンポジウム「アイザック・ニュートンの光学機器に関する包括的な研究」を開催し、歴史的なプリズムを所蔵する博物館である、ウィップル科学史博物館、王立医科協会、プールハーヴェ博物館、ユトレヒト大学博物館にコレクションの現状についての報告してもらい、博物館の枠を越えた研究協力体制を築いた。また、国内の日本科学史学会年会や科学技術社会論学会年次研究大会において、計4回のシンポジウムと計4回のオーガナイズド・セッションを企画し、ニュートンの世界観への理解を深めた。特に、ニュートンの理論面についての成果は *Historia Scientiarum* 誌のニュートン特集号として、論文2本、総説2本が掲載された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yoshimi TAKUWA	4. 巻 32
2. 論文標題 Isaac Newton Overview of the Trends in Newtonian Studies in Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Historia Scientiarum	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.34336/historiascientiarum.32.1_1	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Niccolo GUICCIARDINI	4. 巻 32
2. 論文標題 On Newton's Mathematical Writings: Disciplinary Boundaries and Circulation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Historia Scientiarum	6. 最初と最後の頁 5-16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.34336/historiascientiarum.32.1_5	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Naoki OSADA	4. 巻 32
2. 論文標題 Newton's De Anlysi and the Priority Dispute	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Historia Scientiarum	6. 最初と最後の頁 17-29
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.34336/historiascientiarum.32.1_17	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Riki KUDO	4. 巻 32
2. 論文標題 Newton's Musical Symmetry Reconsidered	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Historia Scientiarum	6. 最初と最後の頁 30-52
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.34336/historiascientiarum.32.1_30	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 多久和理実	4. 巻 61
2. 論文標題 シンポジウム「新たなニュートン像」を越えて：数学、音楽、光学そしてニュートン主義における試み	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 科学史研究	6. 最初と最後の頁 154-157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34336/jhsj.61.302_154	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 平野葉一, 吉田欣吾, 井上岳人, 穴倉和弥	4. 巻 26
2. 論文標題 博物館を考える (1)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 文明	6. 最初と最後の頁 46-56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoichi HIRANO	4. 巻 33
2. 論文標題 Study on practicality in the historical development of mathematics	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Civilization	6. 最初と最後の頁 33-39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計31件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 中島秀人
2. 発表標題 ニュートンはマグス (術者) か? : 近代科学とヘルメス主義
3. 学会等名 日本科学史学会第69回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長田直樹
2. 発表標題 ニュートンの「解析について」と先取権論
3. 学会等名 日本科学史学会第69回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野澤聡
2. 発表標題 「運動の第二法則」から運動方程式へ：問題と解法の連鎖
3. 学会等名 日本科学史学会第69回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長尾伸一
2. 発表標題 経験科学と2次元世界のニュートン：トマス・リード「薔薇十字団員アネピグラフィスの月世界旅行」
3. 学会等名 日本科学史学会第69回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 多久和理実
2. 発表標題 歴史的なガラス機器の多波長屈折率測定：「ニュートンのプリズム」と「旧制姫路高等学校コレクション」を事例として
3. 学会等名 日本科学史学会第69回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 阿部善也
2. 発表標題 歴史的なガラス製品の理化学的分析と起源推定の事例
3. 学会等名 日本科学史学会第69回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 早川尚志
2. 発表標題 ニュートン書簡集とマウンダー極小期：18世紀初頭の太陽地球環境変動の事例研究
3. 学会等名 日本科学史学会第69回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小西次郎
2. 発表標題 1850年代の沖縄の気候の再現に向けて
3. 学会等名 日本科学史学会第69回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Joshua Nail
2. 発表標題 Newton's prisms in the Whipple Museum
3. 学会等名 26th International Congress of History of Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Lowri Jones
2. 発表標題 Newton's prism in the Royal College of Physicians
3. 学会等名 26th International Congress of History of Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tiemen Cocquyt
2. 発表標題 's Gravesande's prisms in the Boerhaave Museum
3. 学会等名 26th International Congress of History of Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Paul Lambers
2. 発表標題 's-Gravesande's prisms in the Utrecht University Museum
3. 学会等名 26th International Congress of History of Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 多久和理実
2. 発表標題 大学の科学史授業で歴史上の実験を再現する試み
3. 学会等名 2021年度科学技術社会論学会年次研究大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平野葉一
2. 発表標題 科学教育の場から見たレオナルド・ダ・ヴィンチの知と技
3. 学会等名 2021年度科学技術社会論学会年次研究大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉岡克己
2. 発表標題 理工系博物館における歴史的機器の公開課題
3. 学会等名 2021年度科学技術社会論学会年次研究大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野澤恵
2. 発表標題 歴史上の科学データを検証することで蘇える研究の紹介
3. 学会等名 2021年度科学技術社会論学会年次研究大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野澤聡
2. 発表標題 長野県諏訪青陵高等学校天文気象部での太陽黒点観測の歴史
3. 学会等名 2021年度科学技術社会論学会年次研究大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 千葉庫三
2. 発表標題 天文学研究の史料の利活用：野辺山観測所研究史の経験とその課題
3. 学会等名 2021年度科学技術社会論学会年次研究大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋秀裕
2. 発表標題 ニュートンの数学：流率法の変容とは
3. 学会等名 日本科学史学会第68回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 工藤璃輝
2. 発表標題 ニュートンの音楽手稿における対称性の諦め
3. 学会等名 日本科学史学会第68回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 多久和理実
2. 発表標題 ニュートンの『光学講義』：未熟な講義ノートか、あるいは科学的大著か
3. 学会等名 日本科学史学会第68回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長尾伸一
2. 発表標題 歴史的文脈の中のニュートン主義
3. 学会等名 日本科学史学会第68回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 多久和理実, 塚原東吾
2. 発表標題 イギリス・イタリア・オランダの博物館と連携した18世紀製プリズムの比較と分析
3. 学会等名 2020年度科学技術社会論学会年次学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉岡克己
2. 発表標題 旧制姫路高校物理実験機器コレクションの現状と活用
3. 学会等名 2020年度科学技術社会論学会年次学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平野葉一
2. 発表標題 数学史・科学史に関連する展示物作成とその活用
3. 学会等名 2020年度科学技術社会論学会年次学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshimi TAKUWA
2. 発表標題 Francesco Algarotti 's 'Newtonian prisms' and their experimental accuracy
3. 学会等名 9th European Society for the History of Science Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平野葉一
2. 発表標題 モノがつなく歴史、人がつなく歴史
3. 学会等名 2021 年度数学教育学会春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 多久和理実
2. 発表標題 数学的諸学の地位向上運動の流れとニュートン
3. 学会等名 日本科学史学会第70回年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 東慎一郎
2. 発表標題 16 世紀の数学論からの視点：17 世紀科学とその背景をめぐって
3. 学会等名 日本科学史学会第70回年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 平野葉一
2. 発表標題 レオナルド・ダ・ヴィンチの自然観：総合知と科学知の間で
3. 学会等名 日本科学史学会第70回年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三浦伸夫
2. 発表標題 ニュートンと年代学
3. 学会等名 日本科学史学会第70回年会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 吉岡克己, 本岡慧子, 塚原東吾, 多久和理実	4. 発行年 2020年
2. 出版社 神戸STS研究会	5. 総ページ数 208
3. 書名 姫路科学館収蔵旧制姫路高等学校コレクション物理実験機器資料	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	塚原 東吾 (Tsukahara Togo) (80266353)	神戸大学・国際文化学研究所・教授 (14501)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	平野 葉一 (Hirano Yoichi) (20189856)	東海大学・文明研究所・研究員 (32644)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	吉岡 克己 (Yoshioka Katsuki)		
研究協力者	工藤 璃輝 (Kudo Riki)		
研究協力者	長田 直樹 (Osada Naoki)		
研究協力者	長尾 伸一 (Nagao Shinichi)		
研究協力者	中島 秀人 (Nakajima Hideto)		
研究協力者	野澤 聡 (Nozawa Satoshi)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	高橋 秀裕 (Takahashi Shuyu)		
研究協力者	三浦 伸夫 (Miura Nobuo)		
研究協力者	東 慎一郎 (Higashi Shinichiro)		
研究協力者	野澤 恵 (Nozawa Satoshi)		
研究協力者	千葉 庫三 (Chiba Kurazo)		
研究協力者	早川 尚志 (Hayakawa Hisashi)		
研究協力者	阿部 善也 (Abe Yoshinari)		
研究協力者	小西 次郎 (Konishi Jiro)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計1件

国際研究集会 A comprehensive study on Isaac Newton ' s optical instruments	開催年 2021年 ~ 2021年
---	----------------------

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
英国	Whipple Museum	Royal College of Physicians	British Museum	他1機関
オランダ	Boerhaave Museum	Utrecht University Museum	Teylers Museum	
イタリア	Musei Civici di Treviso	Padova University Museum		