

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03565

研究課題名（和文）スペクトル情報に基づく高齢者など色弱者の知覚色予測と視認性評価

研究課題名（英文）Perceptual Color Prediction and Visibility Evaluation for the Elderly and Color Vision Deficiency Based on Color Spectrum Information

研究代表者

坂本 隆（Sakamoto, Takashi）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員

研究者番号：90357111

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 8,500,000円

研究成果の概要（和文）：2020年以降の新型コロナウイルス感染拡大の影響により、特に高齢者を対象とした視覚実験や実験データに基づくモデル構築が制限された。この状況を考慮し、研究計画を変更した上で、高齢者色覚の理論的モデル構築に取り組んだ。具体的には、加齢による色覚の変化について、3種類の錐体と3刺激値理論だけでは予測困難という仮説のもと、JIS標準色票のスペクトル情報に着目し、高齢者の色の知覚を予測するモデルを構築した。本研究では、高齢者を対象とした視覚実験は実施することができなかったが、この研究成果を基に、将来得られるであろう心理物理データを考慮することで、カメラなどを使用した視認性評価の自動化などが期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

この研究以前は、視覚対象物のスペクトル情報が入手しにくく、スペクトル情報をベースとする色覚の検証も難しかった。しかしマルチスペクトル画像技術が普及するなど、近年の研究進展を背景に、本研究では従来の3刺激値ベースの理論から離れ、スペクトル情報がどのように修飾され、それがどのようにして3刺激値へ縮退するか、その過程を高齢者色覚の理論的モデルに取り入れた。本研究成果は、スペクトル情報に基づく視認性評価の技術的基盤を提供するものであり、これまでにない技術応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：Due to the impact of the COVID-19 pandemic since 2020, visual experiments targeting the elderly, and research based on experimental data, have been limited. Taking these circumstances into consideration, we modified our research plan to focus on constructing a color vision model. Specifically, we focused on the spectrum information of the JIS standard color chart, as it is available and took into account the hypothesis that the changes in color vision associated with aging cannot be predicted by the three cone types and the three-stimulus value theory. We constructed a model to predict how colors are perceived by the elderly. While visual experiments with the elderly could not be conducted, based on the findings of this study, it is anticipated that by incorporating psychological and psychophysical data that can be obtained in the future, visibility evaluations can also be predicted using tools such as cameras.

研究分野：福祉情報工学，感性情報学

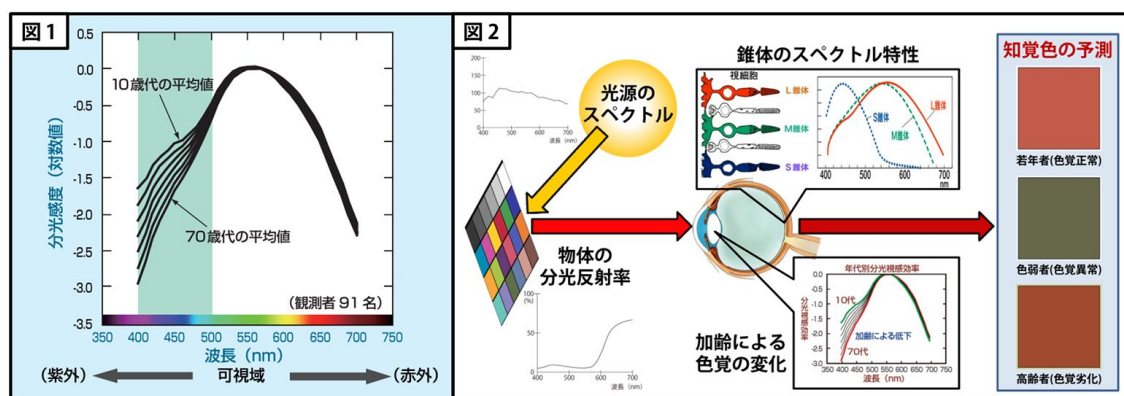
キーワード：高齢者 色弱者 視認性 知覚色 スペクトル スペクトル情報 印象 色彩感覚

1. 研究開始当初の背景

(1) 加齢に伴い色覚特性は大きく変化する。具体的には、可視光域の短波長側の感度が悪くなる(図1)。その影響として、青や紫色が暗く沈んで見えることが予想される。本研究開始当初、こうした高齢者色覚をモデル化し、見えを模擬する研究報告は幾つか散見された。これらの報告の欠点は、ヒトが識別可能な色は3刺激値レベルへ縮退をさせた上で一意に表現できるという理論的背景のもと、可視光域のスペクトル輝度分布データが各波長ごとに修飾される過程を、そのまま計算するレベルにまでは至っていないことであった。

(2) 人は網膜にある3種類の錐体で色光を感受し、可視光域の色を数学的には3次元座標の値として表現する。一方、目に入射する色光はスペクトル輝度分布を有しているため、高齢者や色弱者(色覚異常を有する者)の色覚を考える場合、3種類の錐体のスペクトル特性、分光視感効率の加齢変化、照明のスペクトル輝度や被写体の分光反射率などを考慮する必要がある(図2)。本研究開始当初、高齢者・色弱者色覚のシミュレーションは、いずれもスペクトル輝度分布の情報を考慮するものではなかった。スペクトル情報を考慮しない高齢者・色弱者シミュレーションの問題は、例えば3次元座標値が同じ値になる2色であっても、色弱者には異なる2色として見えることを説明できないなど、高齢者や色弱者が知覚する色を正しく推定することができないことであった。

(3) 高齢化が進む現代社会において、高齢者がより安心・安全に暮らせる環境づくりは大きな課題である、65歳以上の高齢者の事故の77.1%が住宅内、さらにその内の18.7%が階段(居室に次いで2番目に高い割合)で発生しており、階段での事故は高齢者の快適な生活を守る上で軽視することのできない問題である。階段で転落事故が発生する原因のひとつは、階段の踏み外しばかりでなく、手すりの掴み損ねにもあると推測される。加齢に伴う視覚変化によって、階段や手すりが見え難くなくなったことが事故発生の一因として考えられるが、薄暮下における手すりの見えやすさに関する調査や、配色を変えた場合の手すりの見えの予測などに関する統一的な報告はなかった。



2. 研究の目的

(1) 高齢者・色弱者の色覚特性は、錐体のスペクトル特性だけではなく、目に入射する光のスペクトル輝度分布を、どのように修飾(あるいは加工)するかによってモデル化される(図2参照)。既往研究の高齢者・色弱者色覚シミュレーション手法は殆ど全て、RGBで表現可能なカラー画像(スペクトル情報が縮退しているため、スペクトル情報の復元ができない画像)を処理対象としており、高齢者・色弱者の色覚を精緻に反映することはできない。本研究ではこれらの問題を解決するために、スペクトル情報のレベルでの高齢者・色弱者の色覚特性をモデル化する。

(2) (1)で述べたように、既存のカラー画像を処理対象とするのではなく、高齢者・色弱者の色覚特性をスペクトルで扱い、かつ目に入射する光のスペクトル輝度分布が、どのように修飾(あるいは加工)されるかモデル化するためには、「光源のスペクトル」と、その光を「物体の分光反射率」に従って反射するプロセス、つまり物体色として人に知覚されるプロセスをモデル化する必要がある。これを実現するためには、「光源のスペクトル」と「物体の分光反射率」が必要となるが、これらの情報はRGBで表現可能なカラー画像にはもちろん存在しない。これらの情報を取得するためには、カラー画像をスペクトルのまま取得可能な装置が必要であり、その装置は一般的にハイパースペクトルカメラと呼ばれる。このようにして入手した被写体からのスペクトル情報を用いて、高齢者・色弱者の色覚特性をモデル化する。

(3) 65歳以上の高齢者の転倒事故の77.1%が住宅内、さらにその内の18.7%が階段（居室に次いで2番目に高い割合）で発生している事実を鑑み、同様の環境下での高齢者の見えを検証することによって、転倒事故を起こした状況が、若年者と高齢者ではどのように異なって見えるのか、客観的に（統計的に）比較することができるようになる。特に手すりの色と背景色との配色が視認性に与える影響と、視環境の明るさの影響について、高齢者と若年者を対象とした視覚実験を実施して、見え方の比較とその影響を評価する。

3. 研究の方法

(1) 可視光域の短波長側の感度が悪くなることは従来から知られていたが、実際に心理物理実験を各年齢層の高齢者を対象に実施して、短波長側の感度がどの程度低下しているのかをデータとして確認することを計画していた。また得られたデータに基づく「加齢効果関数」を定義し、スペクトル分布への修飾・加工を「加齢効果関数」に一元化してモデル化することができると考えた。これを数式で表すと以下ようになる：

$$L = c_1 \int S(\lambda) R(\lambda) \bar{l}(\lambda) A(\lambda) d\lambda$$

$$M = c_2 \int S(\lambda) R(\lambda) \bar{m}(\lambda) A(\lambda) d\lambda$$

$$S = c_3 \int S(\lambda) R(\lambda) \bar{s}(\lambda) A(\lambda) d\lambda$$

ここで λ は周波数（スペクトル分布の横軸）を表す。変数 L, M, S はそれぞれ L 錐体, M 錐体, S 錐体が捕捉した光強度（積分値）を表しており、 $\bar{l}(\lambda), \bar{m}(\lambda), \bar{s}(\lambda)$ はそれぞれ L 錐体, M 錐体, S 錐体のスペクトル特性を表す。また $S(\lambda)$ は光源のスペクトル分布を、 $R(\lambda)$ は物体の分光反射率を表す（図2を参照）。そして $A(\lambda)$ が今回新たに導入する加齢効果関数であり、この関数のフィルタリングを介すことにより、図1のスペクトル分布に近い色覚特性が実現される。

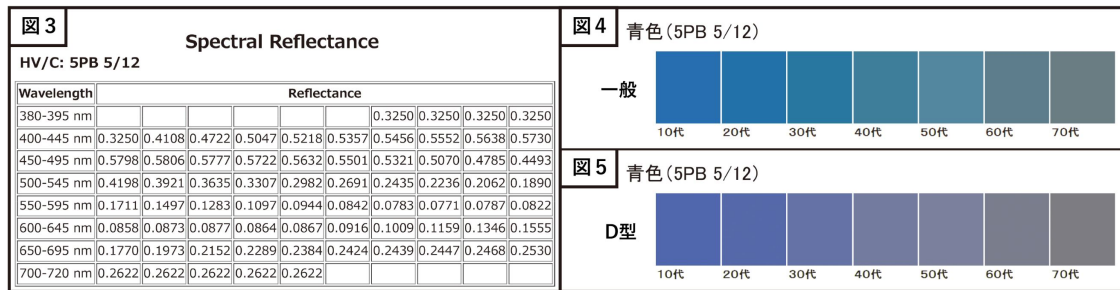
（補足）2020年より蔓延したコロナ感染症予防のために、高齢者を被験者とする視覚実験を実施することができなくなり、本研究の終了までその状況は改善されなかった。本研究では当初、加齢効果関数 $A(\lambda)$ を、高齢者を対象とする視覚実験によって算定する予定であった。しかし本研究終了まで視覚実験は困難であったため、代替手法として、JIS S 0031として公開されている年代別視感効率の減衰特性を $A(\lambda)$ の代用として使用した。

(2) 当初計画では、図2に記載した「光源のスペクトル」と「物体の分光反射率」に該当するスペクトル分布のデータを、ハイパースペクトルカメラを利用して取得し活用することを想定していた。しかし2020年より蔓延したコロナ感染症予防のために、実験室実験が困難となり、本研究の終了までその状況は改善されなかった。そこで本研究では、光源のスペクトルと物体の分光反射率に相当するスペクトルデータを模索した。代替手法として採用したのは、まず CIE 国際標準として公開されている標準光源（例えば D65）の分光分布データを $S(\lambda)$ として用いる方法である。一方、本研究を進める上で解決が難しかったのが $R(\lambda)$ の入手であった。なぜならば $R(\lambda)$ が既知の物体は殆ど存在しないからである。本研究ではこの問題を解決する方法として、JIS 標準色票に対する分光反射率データが、JIS Z 8722として数値データで提供されていることに着目をした。本研究では、JIS Z 8722のJIS 標準色票に対する分光反射率を、 $R(\lambda)$ として用いる方法を代替として採用した。

(3) 本実験のみ、コロナ感染症が蔓延する以前である2017年と2018年に被験者実験を実施し、データ解析のみ本研究課題の一環として2019年に実施した。明るい視環境として50ルクスを、薄暮の視環境として0.5ルクスの視環境を想定し、一般家庭で用いる木目、介護施設でみられる赤、白、オレンジを対象色として取り上げた。また金属製の手すりを模擬するために銀色も調査対象とした。その他に、薄暮下における高齢者の視認性を上げる可能性に着目し、LED照明付きの木目手すり（照明は下向き）と、蛍光テープを添付した木目の手すりも調査対象に加えた。手すりの背景となる壁は、白、木目、灰（コンクリート）とした。70歳から85歳の高齢者15名（男女問わない）が実験参加した。

4. 研究成果

(1) 研究の方法(1)と(2)の成果をまとめて記載する。加齢効果関数 $A(\lambda)$ として、JIS S 0031の年代別視感効率の減衰特性を便宜的に使用した。また光源のスペクトル分布 $S(\lambda)$ として標準光源 D65のスペクトル輝度分布を、また物体の分光反射率 $R(\lambda)$ として、JIS Z 8722として公表されているJIS 標準色票 5PB 5/12に対する分光反射率（図3）を用いた。これらを用いて得られた高齢者色覚をモデルによる計算結果の一例を図4と図5に図示した。図4はJIS 標準色票 5PB 5/12の色の見え方が加齢と共に変化の様子を、図5はD型（2型2色覚）の色弱者を想定した加齢による見え方の変化のシミュレーション結果である。



コロナ感染症予防のために、高齢者を対象とする心理物理実験を実施できなかったことに起因して、加齢効果関数 $A(\lambda)$ を実験的に検証することはできなかった。また色覚の時間変化(色順応、色恒常性)もモデル化することも、心理物理実験ができなかったために未解決となっている。これらの要素を取り入れた高齢者色覚モデルを構築することが、今後の課題の一つである。またハイパースペクトルカメラから取得した入力信号に対し、高齢者色覚モデルをあてはめ、様々な被写体の見えをシミュレーションすることも今後の課題の一つである。これらの残された課題へ取り組むことによって、例えば $R(\lambda)$ が互いに異なる2つの被写体が条件等色(メタメリズム)となる光源条件を想定した上で、加齢効果のシミュレーションを試験してみるなど、学術的にも興味深い検証が可能になるとと思われる。

(2) 薄暮下における手すりの見えの実験結果から、興味深い結果が得られたので総括する。具体的には、物体が見えること(視認性が良いこと)と、物体が認知できること(手すりと判断ができること)は、異なっている可能性が示唆された。まず薄暮下における手すりの視認性を高齢者を対象に実験的に検証した結果、LED照明付きや、蛍光テープを添付した手すりは、群を抜いて視認性が良いと評価された。しかし、薄暮下で見ている対象物が「手すりである」と認識できたかどうかを尋ねると、LED照明付きでは約90%の実験参加者が、また蛍光テープの添付では約70%の実験参加者が、「対象物は明確に見えるが、対象物が手すりであるとは認識ができない」と回答した。つまりLED照明付き、あるいは蛍光テープを添付した手すりは、他の手すりよりも認識し難いことが分かった。本実験結果からは、白、オレンジ、明るい木目などの手すりが、視認性の点からも、認知のしやすさの点からも、優れていることが示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Sakamoto Takashi, Ichihara Yasuyo G.	4. 巻 11786
2. 論文標題 Exploring Color-Universal Design Considering Kansei Differences: Color-Vision Types and Impressions of Color Images	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 62~72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-30033-3_6	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 Sakamoto Takashi, Kato Toshikazu	4. 巻 1
2. 論文標題 Kansei-Word Recall Model: Recall Frequency and Memory Retrieval Pathways*	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Xplore Digital Library (2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics)	6. 最初と最後の頁 1121-1124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SMC.2019.8914269	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 Sakamoto Takashi, Yoshizawa Yuki, Ichihara Yasuyo G.	4. 巻 779
2. 論文標題 Colors of Handrails Considering the Visibility of Elderly People: An Experimental Evaluation Using Handrail Photographs	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advances in Human Factors and Ergonomics in Healthcare and Medical Devices	6. 最初と最後の頁 338-343
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-94373-2_37	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 Takashi Sakamoto, Saki Tomita, Toshikazu Kato	4. 巻 1
2. 論文標題 Impressions of a Combination of Two Colors Are More Frequently Represented by Nouns Than Adjectives: In the Japanese Case	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the International Colour Association (AIC) Conference 2018	6. 最初と最後の頁 711-716
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 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 TAKAHASHI Naoki、SHOJI Hiroko、SAKAMOTO Takashi、Kato Toshikazu	4. 巻 4
2. 論文標題 An Analysis on Color Characteristics of Website Images of Restaurants According to Price Range	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Symposium on Affective Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 B1-5 (1-4)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5057/isase.2018-C000037	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 SAKAMOTO Takashi	4. 巻 4
2. 論文標題 A Tentative Theory of Primitive Kansei : Social Skills in Ancient Human Society	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Symposium on Affective Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 B2-2 (1-4)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5057/isase.2018-C000038	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 ICHIHARA Yasuyo G.	4. 巻 4
2. 論文標題 Impression Evaluation between Color Vision Types	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Symposium on Affective Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 B4-4 (1~4)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5057/isase.2018-C000033	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 ICHIHARA Yasuyo G.	4. 巻 24
2. 論文標題 Impression evaluation between color vision types	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Electronic Imaging 2019 Color Imaging XXIV: Displaying, Processing, Hardcopy, and Applications	6. 最初と最後の頁 COLOR-092
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 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 Sakamoto Takashi、Saki Tomita、Kato Toshikazu
2. 発表標題 Age and Gender Differences Found in Verbalized Impressions for Two-Color Combinations
3. 学会等名 ACA2019 (The 5th Asia Color Association Conference) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sakamoto Takashi
2. 発表標題 VISIBILITY OF HANDRAILS UNDER 500 LUX AND 0.5 LUX FLUORESCENT LIGHT: SUITABLE RAILING-COLORS FOR ELDERLY PEOPLE
3. 学会等名 CIE2019 (The 29th Session of the CIE) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sakamoto Takashi、Yuri Kajimura、Akiko Kubo、Masafumi Yoneda、Hiroyuki Hagiwara、Koji Kitamura、Yoshifumi Nishida、Ichihara Yasuyo G.
2. 発表標題 Experimental comparison between elderly colour vision and colour vision simulated with the lens ageing model: Visibility of handrails under photopic and mesopic vision environment
3. 学会等名 ICVS2019 (The 25th Symposium of the International Colour Vision Society) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤大樹，坂本隆，市原恭代
2. 発表標題 少数色覚者の美的感覚
3. 学会等名 社団法人日本色彩学会（視覚情報基礎研究会第35回研究発表会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小島陸，坂本隆，市原恭代
2. 発表標題 少数色覚者における画像の印象と色選択の相違
3. 学会等名 社団法人日本色彩学会（視覚情報基礎研究会第35回研究発表会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山下淑恵，市原恭代
2. 発表標題 色刺激と色名についての印象評価実験 - 高齢者は青色をにぎやかな色として見る -
3. 学会等名 社団法人日本色彩学会（平成30年度研究会大会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 市原恭代
2. 発表標題 カラーユニバーサルデザイン
3. 学会等名 社団法人日本色彩学会（色彩記念日特別イベント）（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤源希，市原恭代
2. 発表標題 JIS 改正後の安全色及び安全標識の印象変化について
3. 学会等名 社団法人日本色彩学会（色覚研究会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山内彩結実, 市原恭代
2. 発表標題 色覚の違いと赤色の見え方
3. 学会等名 社団法人日本色彩学会 (色覚研究会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sakamoto Takashi, Yoshizawa Yuki, Ichihara Yasuyo G.
2. 発表標題 Colors of Handrails Considering the Visibility of Elderly People: An Experimental Evaluation Using Handrail Photographs
3. 学会等名 The 9th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Sakamoto, Saki Tomita, Toshikazu Kato
2. 発表標題 Impressions of a Combination of Two Colors Are More Frequently Represented by Nouns Than Adjectives: In the Japanese Case
3. 学会等名 The International Colour Association (AIC) Conference 2018, Colour & Human Comfort (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 TAKAHASHI Naoki, SHOJI Hiroko, SAKAMOTO Takashi, Kato Toshikazu
2. 発表標題 An Analysis on Color Characteristics of Website Images of Restaurants According to Price Range
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Affective Science and Engineering ((国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 SAKAMOTO Takashi
2. 発表標題 A Tentative Theory of Primitive Kansei : Social Skills in Ancient Human Society
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Affective Science and Engineering ((国際学会))
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 ICHIHARA Yasuyo G.
2. 発表標題 Impression Evaluation between Color Vision Types
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Affective Science and Engineering ((国際学会))
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 ICHIHARA Yasuyo G.
2. 発表標題 Impression evaluation between color vision types
3. 学会等名 Electronic Imaging 2019 Color Imaging XXIV: Displaying, Processing, Hardcopy, and Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔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	市原 恭代 (Ichihara Yasuyo G.) (10301813)	工学院大学・情報学部(情報工学部)・准教授 (32613)	

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0件

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
---------	---------