

科学研究費補助金研究成果報告書

平成24年6月12日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2008～2010

課題番号：20240021

研究課題名（和文） 暗黙知伝達のための高臨場ライフログの記録・再生

研究課題名（英文） High Definition Lifelog Recording and Display for Transferring Tacit Knowledge

研究代表者

廣瀬 通孝 (HIROSE MICHITAKA)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授

研究者番号：40156716

研究成果の概要（和文）：

産業構造の変化や少子高齢化が進む中で多くの伝統技能が存亡の危機に瀕しており、伝統技能の保存伝承が急務となっている。このような状況を踏まえて、本研究では保存対象の伝統技能として截金と紙漉を取り上げて、ハイビジョンカメラを用いた映像情報・加速度等の道具情報・筋電データ等の作業者情報を統合的に取り扱う伝統技能の保存・伝承を試みた。その上で、既存の方法では直接伝達することが不可能であった、身体感覚としての熟練者のコツを伝えるための技能教示システムを開発し、その効果を確認した。

研究成果の概要（英文）：

Methods for the archiving and transferring of traditional artisanship are needed, now that most of these skills are on the verge of extinction because of aging skilled craftspeople and few successors. With the aim of developing a novel digital archiving and skill-transferring system, we carried out an analysis and visualization of skills on a traditional Japanese traditional art, Kirikane and Kamisuki, focusing on the interaction between an artisan and his tools. Our analysis revealed the difference between experts and non-experts on the basis of the information obtained from high-definition cameras and multiple sensors attached to the artisan's body and the tools. Furthermore, the developed visualization software proved to be effective in bringing new insights to both experts and learners. The findings of this research suggest the utility of our approach for archiving and skill transfer.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	16,500,000	4,950,000	21,450,000
2009年度	15,200,000	4,560,000	19,760,000
2010年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
年度			
年度			
総計	35,600,000	10,680,000	46,280,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：感性計測評価・バーチャルリアリティ

1. 研究開始当初の背景

少子高齢社会においては、熟練者の技術・技能の効率的な伝達、とりわけ暗黙知に関する知識の世代間伝達は産業的にも重大な問題となる。多くの技術は、外界から観察可能な「形」とどまらず、その動作の内側にある暗黙知を身に付けることで洗練されていく。暗黙知伝達のメディアとして完成するためには、動作主の内側の情報である暗黙知の伝達に踏み込んだ記録・再生技術を構築することが不可欠である。もちろん、これまで人の動作に関するアーカイブの試みとして、ビジョンやモーションキャプチャ技術を用いた外に出る動作の記録、ロボット技術をもちいた再生を行った研究がいくつか存在する。しかしながら、人間が動作を習得するには、呼吸や人体の筋肉の使い方といった外からは取得できない人間内部の情報を含めて学習することが重要である。視覚情報だけでなく生体信号まで取得可能なライフログ技術を応用することで、動作の模倣にとどまらない習得が可能になる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、技能の伝達において、熟練者本人さえも意識していない知識を、最新のメディア技術を用いて疑似追体験可能な形でデータベース化し、学習者に効率的に伝達するための方法論を明らかにすることである。本研究の特色は、行為の形だけを伝達することではなく、力の入れ具合、体の緊張の具合、手先の調節など内部的な情報をも統一的に取り扱う点にある。

3. 研究の方法

伝統工芸である、「截金」と「紙漉」を対象として技能の抽出、保存、伝承支援を行うシステム構築に取り組んだ。本研究は以下の4つのサブテーマから構成される。

(1) ウェアラブルコンピュータによる人間の主観的情報を含んだ体験の記録

作業者の内部状況を記録するためのシステムについて研究を行う。内部情報としては心理系と身体系の双方を考える。どこに注目しているかは視線計測、作業のどこで緊張しているかは心拍変動や呼吸、力の入れ具合は筋電などによって記録する。それらを統合して記録するウェアラブルなシステムを構成する。

(2) ユビキタスカメラによる多視点映像データを含む客観的記録

作業者の外部的な状況を記録するためのシステムについて研究を行う。単純な動作点の軌跡の記録だけでは不十分であるため、画像記録による客観的記録手法を中心に据える。多数台のカメラにより撮影された多視点映像から、外部から見た動作記録を作成する。

(3) 主観的記録と客観的記録の統合によ

るライフログデータの構築

(2)のデータを、(1)で得られた内部情報により修飾し、それらを統合することで技能の分析を行う。習熟レベルの異なる作業者間のライフログデータの比較分析を行うことで明文化されていない技能の抽出を試みる。

(4) 追体験者へのライフログデータの提示手法、およびフィードバック手法の構築

具体的には、バーチャルリアリティ技術によって熟練者のライフログを再生し、学習者が熟練者の作業を客観的・主観的に追体験できる環境と、ミックスリアリティ技術によって学習者が作業を行いつつ熟練者との差を体感することが可能な環境を構築する。これらの研究開発を通じて、ライフログデータを有効利用できるインタフェースの設計手法、技能の伝達効率について評価を行う。

4. 研究成果

前述の4つのサブテーマ毎にまとめる。

(1) ウェアラブルコンピュータによる人間の主観的情報を含んだ体験の記録

作業者の技能情報を計測するためのウェアラブルな計測システムを構成した。図1に截金の技能計測ウェアラブルを示す。作業者に関する情報として筋電、視線を計測し、道具とのインタラクション状況を計測するために、モーションセンサ、および力覚を道具に埋め込むことで、力の入れ具合と道具の扱い方との関連性を計測することが可能となった。図2は紙漉の技能を計測するためのウェアラブルな計測システムである。基本的に作業者に装着する装置は截金の場合と同じであるが、道具とのインタラクションに関する計測のためのセンサは作業内容に応じて取捨選択が必要となる。この場合は道具の運動を計測する加速度センサを組み込んだ。

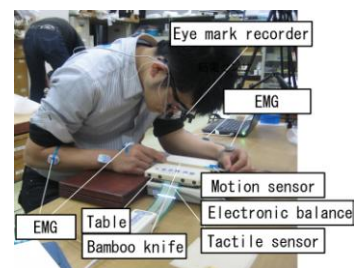


図1 截金の技能計測ウェアラブル

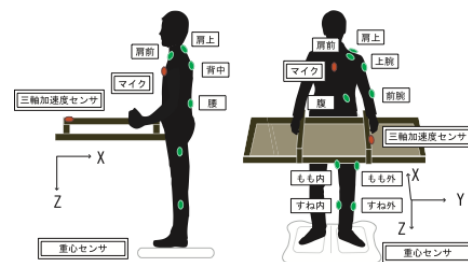


図2 紙漉の技能計測ウェアラブル

(2) ユビキタスカメラによる多視点映像データを含む客観的記録

作業者の外部的な状況を記録するためのシステムを構築した。これにより作業者の主観的な情報と客観視点からの観察データを同時に確認することが可能となった。図3に他視点映像記録システムを示す。紙漉の技能計測に関しては、多視点映像からの記録に加え、紙漉の素早い動作を見える形で計測する必要があり、よりサンプリングレートの高いレーザレンジセンサを用いて客観視点からの動きの解析を補助する計測装置を追加した。



図3 多視点映像記録システム



図4 レーザによる紙漉の細かな動作計測

(3) 主観的記録と客観的記録の統合によるライフログデータの構築

(2)によって収集されたデータを、(1)で得られた内部情報により修飾を行い技能の分析を行った。習熟レベルの異なる作業員間のライフログデータの比較分析を行うことで明文化されていない技能の抽出を試みた。截金を対象とした計測から、道具の動かし方と、加重分布、力の入れ具合に関して熟練者に特徴的なデータを見出すことができた。図5、6に結果を示す。視線の運び方についても、熟練者は瞬間の作業点だけでなく、作業対象を全体的に確認しながら作業を行っていることが分かった(図7)。

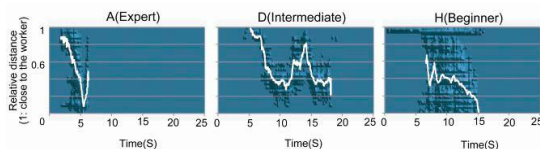


図5 截金の竹刀を扱う技能分析結果：熟練者は金箔の端から端に荷重中心を動かしていることに対し初級者は全体に荷重をかけてしまっているため切れない

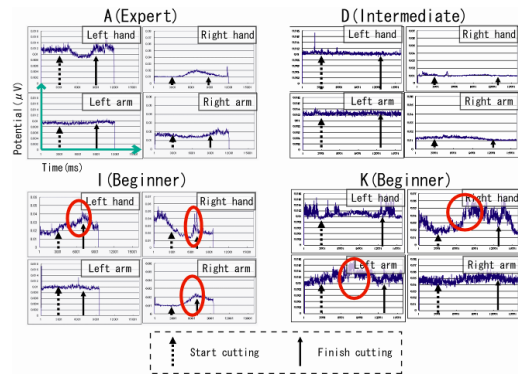


図6 截金における筋活動の違い：熟練者は全体的に力を抜いて作業を行っていることが示された。

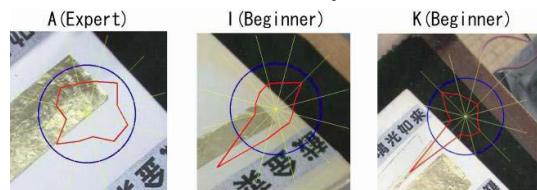


図7 截金における視線移動の違い：熟練者は作業空間全体に対して視線を運んでいる。

紙漉の技能計測に関しては、文部科学省認定の選定保存技術保持者であり約30年の経験を持つ被験者A、約10年の経験を持つ被験者Bに対して計測実験を行った。図8のビューワで得られたデータに対して解析した結果、被験者A、Bに共通する要素として揺動動作に関して前後方向の漉桁の動きに高い周期性(2.8-2.9Hz)が確認された。以下、選定保存技術保持者である被験者Aの結果を中心に述べる。図9に揺動動作中の加速度と筋電値のグラフを示す。X軸(前後)方向の加速度データには極めて高い周期性が見られた。また、上半身に関しては、極めて高い頻度で背中→肩前部→上腕へと向かう力の流れが確認された。出現頻度は約90%であった。さらに、紙の均質性に寄与する技能の抽出を行うため、レーザにより計測した詳細な道具の運動との関係を分析したところ、肉眼では確認できない道具の運動の熟練者の持つ特徴が確認された(図10)。物理シミュレーションにより道具と紙の繊維の沈殿の様子を確認した。その結果、運動が紙の均質性に寄与していることが示唆された(図11)。

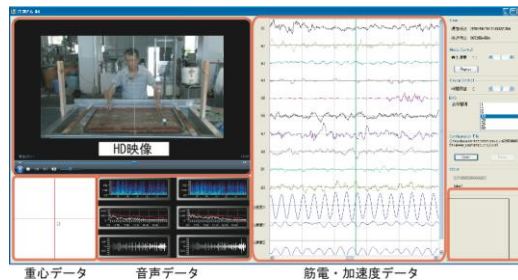


図8 紙漉の技能分析ビューワ

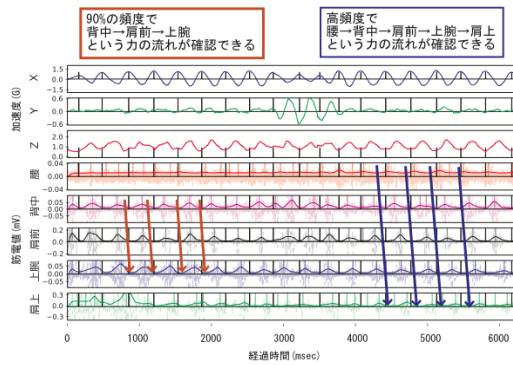


図9 熟練者の紙漉リズムと筋活動の流れ

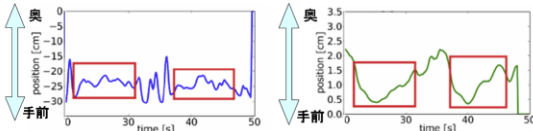


図10 紙の均質性に寄与する漉桁の動き

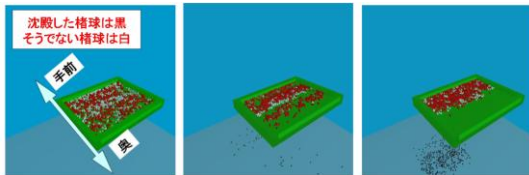


図11 紙の均質性物理シミュレーション (4) 追体験者へのライフログデータの提示手法、およびフィードバック手法の構築

バーチャルリアリティ技術によって熟練者のライフログを再生し、学習者が熟練者の作業を客観的・主観的に追体験できる環境と、拡張現実感技術によって学習者が作業を行いつつ熟練者との差を体感することが可能な環境を構築した。これらの研究開発を通じて、ライフログデータを有効利用できるインタフェースの設計手法、技能の伝達効率について評価を行った。

截金の技能伝承に関しては作業情報を記録し、客観映像に重畳表示を行う拡張現実感技能提示システムを構築した(図12)。構築したソフトウェアを実際の截金の学習を行っている学習者に体験してもらった結果、具体的にどのようにすると金箔を切ることができるようになるかが分かりやすいという評価を得られた。

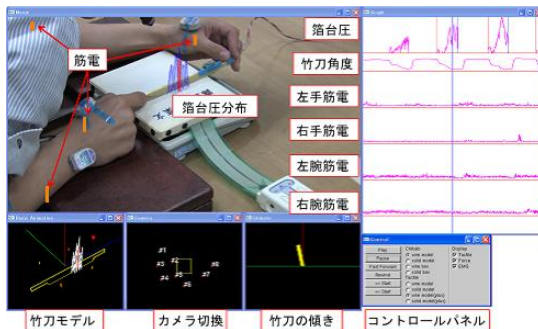


図12 紙漉の拡張現実感技能提示 紙漉の技能伝承に関しては、データによる技

能の特徴を頭で理解することはできても、実際に行うことになるとダイナミックな全身運動の中で、動作の確認を行う困難性を伴っていた。そこで、熟練者の視点から熟練者になりきった形で作業を主観的に追体験することができる拡張現実感ウェアラブルコンピュータを構築することで、熟練者の視覚・聴覚・力覚の感覚そのものを追体験して学習するシステムを構築した(図13)。成人男性10名を被験者として構築したシステムの評価実験を行った。経験10年程度の上級者1名と(被験者B)、初級者9名(被験者C-K)に対してそれぞれ異なるメディアによって被験者Aの作業データを提示し、被験者Aの動作を模倣するように指示した。安定振動時の加速度のパワースペクトルのピーク値を取り、各試行に被験者Aのデータの平均値との差の平均と分散をとって評価した。結果を図15に示す。グラフの原点に近いほど被験者Aの振動周期に近づいていることを示す。全体的には、学習後の平均・分散値は力覚有りの主観システム(拡大図F1-F2, D2, C1)・力覚無し的主観システム(拡大図H1-H2, D1, E3)・客観映像(拡大図J1-J2, C2, E2)の順に原点に近づいていく傾向が見てとれた。

より高度な紙漉の技能である、紙の均質化に関しては、漉桁の動きのコツを教えるシステムの開発を行った。コツを伝えるシステムとして、作業時に学習者が持っている漉桁をスクリーンと見立て、そこに上級者の模範的な漉桁の動きを示す画像を投影する技能情報投影システムを構築した(図14)。被験者4人ずつを、群1(コツを口頭により説明)と群2(投影ARシステムで学習)に分け、教示データと被験者データの間で漉桁の動きの波形の模倣度(=相互相関係数)を比較したところ、群2のほうが上級者の模倣に優れる結果を得ることができた。相互相関係数の値(0.0~1.0)は、群1の平均は0.56、群2の平均は0.63であった。初級者の平均が0.53、中級者の平均が0.62であることを考慮すれば、既存の口頭説明によるコツ学習より、提案システムのほうが、より上級者のコツの模倣を教示しやすいことが分かった。



図13 ウェアラブル熟練者体験

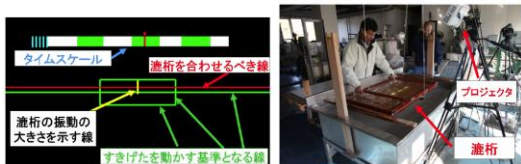


図 1 4 拡張現実感技能教示

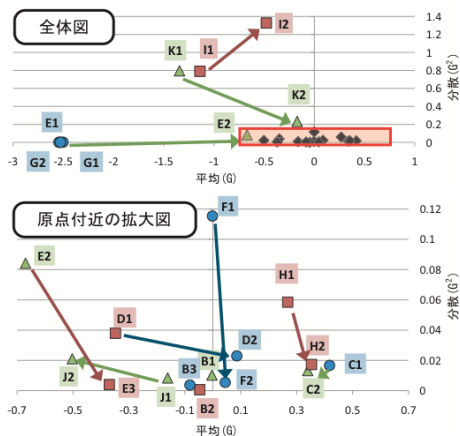


図 1 5 教示による紙漉の技能向上

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

1. 檜山 敦, 土山裕介, 宮下真理子, 江渕栄貫, 関正純, 廣瀬通孝: "一人称視点からの多感覚追体験による伝統技能教示支援", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 16, No. 4. 査読有り
2. 檜山 敦, 浅田和宏, 並木秀俊, 宮廻正明, 廣瀬通孝: "伝統技能継承のための主観視点を含んだ支援映像の生成", ヒューマンインタフェース学会論文誌, pp. 249-258, Vol. 12, No. 3, 2010. 査読有り

[学会発表] (計 17 件)

1. Atsushi Hiyama, Yusuke Doyama, Mariko Miyashita, Eikan Ebuchi, Masazumi Seki, and Michitaka Hirose: "Artisanry training using wearable egocentric display", In Proceedings of the 24th annual ACM symposium adjunct on User interface software and technology (UIST '11 Adjunct). ACM, New York, NY, USA, 81-82. 査読有り
2. Hiroyuki Onimaru, Atsushi Hiyama, Mariko Miyashita, Hidetoshi Namiki, Eikan Ebuchi, Masaaki Miyasako, Masazumi Seki, Michitaka Hirose: "Transferring Traditional Craftsmanship using Mixed Reality Presentation of Unobservable Skills", Proceedings of the 2011 ASIAGRAPH. 査読有り
3. Atsushi Hiyama, Yusuke Doyama, Mariko Miyashita, Eikan Ebuchi, Masazumi Seki and Michitaka Hirose: "Wearable Display System for Handing down Intangible Cultural Heritage", 14th International Conference on Human - Computer Interaction, Orlando, USA, 2011.7. 査読有り
4. Atsushi Hiyama, Yusuke Doyama, Kento Kakurai, Hidetoshi Namiki, Masaaki Miyasako, Michitaka Hirose: "Archiving and Transferring of Traditional Artisanry focused on Interaction between an Artisan and Tools", The 16th International Conference on Virtual Systems and Multimedia 2010. 査読有り
5. Yusuke Doyama, Atsushi Hiyama, Mariko Miyashita, Hidetoshi Namiki, Eikan Ebuchi, Masaaki Miyasako, Masazumi Seki, Michitaka Hirose: "Digital Archiving of Traditional Artisan Skills", Proceedings of the 2010 ASIAGRAPH. 査読有り
6. Rika Ito, Atsushi Hiyama, Hidetoshi Namiki, Mariko Miyashita, Tomohiro Tanikawa, Masaaki Miyasako, Michitaka Hirose: "Extraction and transmission of the biological implicit knowledge of artisan for skill acquisition", Proceedings of the 2009 ASIAGRAPH, Vol. 3, No. 1, pp. 104-107 Tokyo, Japan, 2009. 10. 22-25. 査読有り
7. 檜山 敦, 鬼丸寛之, 宮下真理子, 江渕栄貫, 関正純, 廣瀬通孝, "複合現実感技術を用いた伝統工芸における観察困難な技能継承支援", 第 34 回文化財保存修復学会大会, 2012 年 7 月 1 日 (予定), 東京 (採録決定) 査読有り
8. 檜山 敦, 土山裕介, 宮下真理子, 江渕栄貫, 関正純, 廣瀬通孝, "伝統技能継承支援のための多感覚情報提示による主観的追体験システム", 第 34 回文化財保存修復学会大会, 2012 年 6 月 30 日 (予定), 東京 (採録決定) 査読有り
9. 鬼丸寛之, 檜山 敦, 宮下真理子, 江渕栄貫, 関正純, 廣瀬通孝, "観察困難な高度技能を教示する複合現実型伝統技能継承支援の検討", 電子情報通信学会, マルチメディア・仮想環境基礎研究会, 2011 年 10 月
10. 土山裕介, 檜山 敦, 宮下真理子, 江渕栄貫, 関正純, 廣瀬通孝, "拡張現実感技術を用いた伝統技能保持者の身体感覚の伝送に関する研究", エンタテインメントコンピューティング 2010、京都、2010 年

- 10月
11. 鬼丸 寛之, 檜山 敦, 並木 秀俊, 宮廻 正明, 谷川 智洋, 廣瀬 通孝, "技能情報の複合現実感提示による伝統技能伝承支援に関する研究", 日本バーチャルリアリティ学会、第15回大会論文集、DVD-ROM、金沢、2010年9月
 12. 鬼丸寛之, 檜山敦, 谷川智洋, 廣瀬通孝, 並木秀俊, 宮廻正明, "身体への筋電情報の複合現実感提示による 伝統技能伝承支援に関する研究", 日本バーチャルリアリティ学会、ウェアラブル/ユビキタス VR 研究委員会第9回研究会、2010年6月
 13. 伊東里香, 加倉井健人, 浅田和宏, 檜山敦, 並木秀俊, 宮下真理子, 谷川智洋, 宮廻正明, 廣瀬通孝, "截金の技能伝達に関する基礎研究", ヒューマンインタフェース学会研究報告集、Vol. 11 No, 5、東京、2009年11月
 14. 伊東里香, 檜山敦, 並木秀俊, 宮下真理子, 谷川智洋, 宮廻正明, 廣瀬通孝, "伝統技能熟練者の内部情報伝達に関する基礎研究", 日本バーチャルリアリティ学会、第14回大会論文集、DVD-ROM、東京、2009年9月
 15. 加倉井健人, 檜山敦, 並木秀俊, 宮下真理子, 谷川智洋, 宮廻正明, 廣瀬通孝, "伝統工芸「截金」における 熟練者の道具を扱う技術の計測", 日本バーチャルリアリティ学会、第14回大会論文集、DVD-ROM、東京、2009年9月
 16. 浅田和宏, 檜山敦, 並木秀俊, 宮下真理子, 谷川智洋, 宮廻正明, 廣瀬通孝, "伝統技能継承のための主観視点と客観視点の統合の検討", 日本バーチャルリアリティ学会、第14回大会論文集、DVD-ROM、東京、2009年9月
 17. 伊東里香, 檜山敦, 並木秀俊, 宮下真理子, 谷川智洋, 宮廻正明, 廣瀬通孝, "伝統技法における技能伝達のための暗黙知抽出に関する研究", 電子情報通信学会、マルチメディア・仮想環境基礎研究会、ヒューマンインフォメーション研究会 (ITE-HI)、2009年6月

[図書] (計1件)

1. 檜山 敦, 廣瀬通孝, 日本工業出版, 画像ラボ, 2012年, "一人称視点からの多感覚追体験による伝統技能継承支援", 6ページ, (掲載決定)

[その他] (計5件)

1. 和紙文化研究会例会(第242回), 「バーチャルリアリティによる伝統技能継承支援」, 2011年6月18日
2. 「暗黙知伝達のための高臨場ライフログの記録・再生」研究成果報告会, 高知県立

- 紙産業技術研究センター, 2011年6月7日
3. 日経産業新聞 2011年2月2日『フロンティア 知恵を絞る』
 4. 芸術科学会, 「カルチュラルコンピューティング賞」受賞, 土山裕介, 檜山 敦, 宮下真理子, 江淵栄貫, 関正 純, 廣瀬通孝, "拡張現実感技術を用いた伝統技能保持者の身体感覚の伝送に関する研究", エンタテインメントコンピューティング2010、京都、2010年10月
 5. 截金紹介映像制作協力:制作工程模型展示「国宝 孔雀明王像ができるまで」, 東京国立博物館, 2010年1月~4月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

廣瀬 通孝 (HIROSE MICHITAKA)
 東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授
 研究者番号: 40156716

(2) 連携研究者

谷川 智洋 (TANIKAWA TOMOHIRO)
 東京大学・大学院情報理工学系研究科・講師
 研究者番号: 80418657

西村 邦裕 (NISHIMURA KUNIHIRO)
 東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教
 研究者番号: 70451797

檜山 敦 (HIYAMA ATSUSHI)
 東京大学・大学院情報理工学系研究科・特任助教
 研究者番号: 00466773

田淵 俊夫 (TABUCHI TOSHIO)
 東京藝術大学・大学院美術研究科・教授
 研究者番号: 20179865

宮廻 正明 (MIYASAKO MASA AKI)
 東京藝術大学・大学院美術研究科・教授
 研究者番号: 40272645

並木 秀俊 (NAMIKI HIDETOSHI)
 東京藝術大学・大学院美術研究科・助手
 研究者番号: 00535461

宮下 真理子 (MIYASHITA MARIKO)
 玉川大学・大学院美術研究科・非常勤講師
 研究者番号: 30463954