

科学研究費助成事業（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(S)

研究期間：2009～2011

課題番号：19100002

研究課題名（和文） ビジョンチップの応用展開

研究課題名（英文） Application of Vision Chip

研究代表者

石川 正俊 (ISHIKAWA, MASATOSHI)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授

研究者番号：40212857

研究成果の概要（和文）：

研究代表者らは、ビジョンチップと呼ぶ超高速集積化視覚情報処理チップを開発し、従来のビデオレート(30Hz)での処理に比べて格段に高速化された視覚情報(1kHz)を用いた高速ビジュアルフィードバックの有効性を唱えてきており、これまでの応用システム開発からその基礎は固まり、実社会への応用を目指す新たなフェーズに入った。そこで、本研究では新たな応用展開の基軸として、高速ビジョンによりリアルタイムに人間の動作を認識する**高速ビジュアルインターフェイス**と、顕微鏡画像をフィードバックすることで微小対象制御を行う**高速マイクロビジュアルフィードバック**とに注力し、新たな応用分野として革新的なシステムの構築を目指すとともに、当該分野の発展に大きく寄与することを目指すものである。

研究成果の概要（英文）：

We have developed a massively-parallel visual-information-processing chip called as Vision Chip. The developed chip has shown the effectiveness of the high-speed visual feedback at the speed of 1kHz which is largely increased in the speed compared with the conventional video-rate (30Hz). The fundamental technology for such high-speed visual feedback is now being established. This technology progress allows us to enter a new phase to challenge the application development for the real world. Based on this background, in this research project, we focus on two key applications, *High-speed Visual Interface* and *High-speed Micro Visual Feedback*. *High-speed Visual Interface* observes human motion in real-time by using high-speed vision and realizes new man-machine interaction systems. *High-speed Micro Visual Feedback* observes microorganism at high accuracy by controlling a microscope based on the feedback of the high-speed vision.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|------------|-------------|
| 2007年度 | 10,600,000 | 3,180,000 | 13,780,000 |
| 2008年度 | 9,000,000 | 2,700,000 | 11,700,000 |
| 2009年度 | 27,900,000 | 8,370,000 | 36,270,000 |
| 2010年度 | 27,200,000 | 8,160,000 | 35,360,000 |
| 2011年度 | 10,500,000 | 3,150,000 | 13,650,000 |
| 総計 | 85,200,000 | 25,560,000 | 110,760,000 |

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学，知能情報処理・知能ロボティクス

キーワード：センシングデバイス・システム，ビジュアルフィードバック

1. 研究開始当初の背景

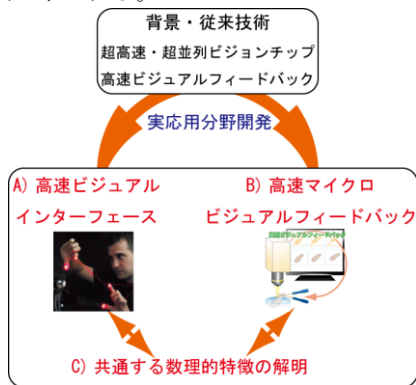
研究代表者らは、ビジョンチップと呼ぶ超高速集積化視覚情報処理チップを開発し、従来のビデオレート(30Hz)での処理に比べて格段に高速化された視覚情報(1kHz)を用いた高速ビジュアルフィードバックの有効性を唱えてきた。これまでの研究成果から、高速ビジュアルフィードバック技術が特にメカトロニクス系の高速かつ有機的な制御の実現に有効であることが理論的・実験的に解明され、高速ビジュアルフィードバック技術の基礎が固まり、実社会への応用を目指す新たなフェーズに入ったと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、新たな応用展開の基軸として、高速ビジョンによりリアルタイムに人間の動作を認識する**高速ビジュアルインターフェイス**と、顕微鏡画像をフィードバックすることで微小対象制御を行う**高速マイクロビジュアルフィードバック**とに注力し、新たな応用分野として革新的なシステムの構築を目指すとともに、当該分野の発展に大きく寄与することを目指すものである。

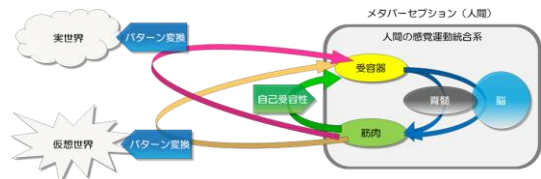
3. 研究の方法

本研究は、研究代表者らのこれまでの実績から応用分野として非常に実用性の高い高速ビジュアルインターフェイスと高速マイクロビジュアルフィードバックとに集中して推進し、これらの理論的特徴から応用実験までを包括的に研究することで、両者の基盤技術を構築すると同時に、共通の特徴を解明することを目的とする。



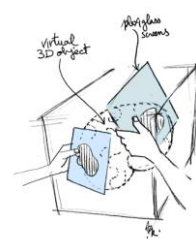
4. 研究成果

メタパーセプション: 高速ビジュアルインターフェイスの核となる概念として、“メタパーセプション”を提唱した。これは、ビジョンチップを始めとする高速センシングなどの先進的技術を用いて、通常では得られない感覚情報を取得し、人間に提示する方法を探求するものである。図に示されるように、機器による提示を人間の感覚運動系の中に



取り込むことで、直感的かつ自在に知覚を拡張することができると考えている。このようなメタパーセプションの思想のもと、独創的なインタラクションのデザイン、デバイスの新構造の提案、人間の知覚の新しい可能性の探求を生み出しながら、機械と人間の新しい対話の形を創造した。

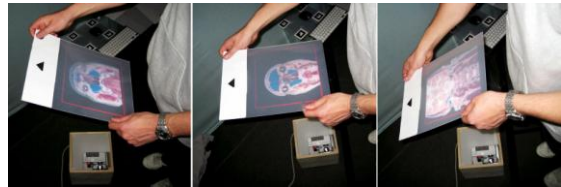
Volume Slicing Display: Volume Slicing Displayは、タンジブルスクリーンを用いて、



仮想物体の切断面を提示するユーザインターフェースである。左図にコンセプト図を示す。スクリーンの位置と姿勢が、実際の切断面として機能することで、インタラクティブかつ直感的に、物体の内部の構造を捉えることができると考えられる。

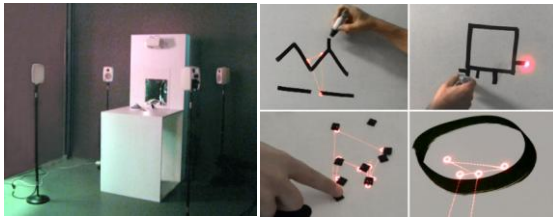
Volume Slicing Displayは、医学(MRI等)で撮られた体内断層写真の観測)、建築(建造物の構造把握)、科学データ(複雑データの多面的解析)などの分野で強力な役割を果たすと考えられる。

開発したシステムは、カメラを用いてスク



リーンの3次元位置と姿勢を取得し、対応する断面像を半透明なスクリーンの背面から投影する構成となっている。下図にシステムの動作の様子を示す。また、スクリーン上でのユーザのジェスチャを認識し、操作を提供する機能も備えている。実装した機能には、提示された断面像の向きを操作する機能や、3次元の自由度で断面像に描画する機能がある。開発したVolume Slicing Displayの完成度は高く、数日のデモンストレーションを行う学会発表においても安定して動作し、多くの来場者の興味を引くことができた。その結果、LAVAL VIRTUAL 2009 Prix in the section Medicine and Healthを受賞した。

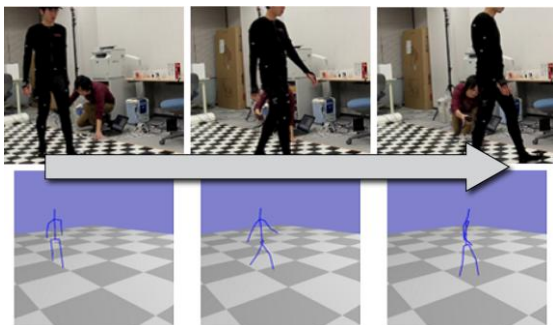
Sticky Light / Score Light: Sticky Light / Score Lightは、実世界に投影された光と人間がインタラクティブに協調する環境を創出するものである。人間は、光に触れ、光を自在に操作する能力を手に入れたような



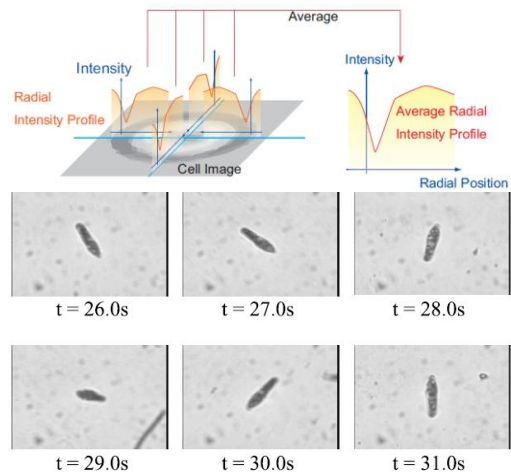
感覚を得ることができる。Sticky Light と Score Light は、Smart Laser Projector と呼ばれる独自のシステムを利用して開発された。本システムは、レーザダイオード、2つの走査ミラー、及び単一の光検出器から構成されている。通常のシステム構成と異なる点は、カメラやプロジェクタを利用していない点である。このため、コンパクトなシステムを構成するとともに、高速で高精度の動作を保証することができる。Score Light / Sticky Light は、Ars Electronica を始めとする一般公開で、多くの人に体感して頂いた。特に、子供は、本システムが生み出す光を生きた物体として錯覚し、追いかける場面もあり、実世界への溶け込みが十分な完成度で達成されていることを確認できた。第13回文化庁メディア芸術祭エンターテインメント部門優秀賞を受賞した。

ウェアラブルカメラを用いた人間の歩行状態推定:

屋外環境で実行可能なモーションキャプチャーのニーズが高い。これまでのような監視カメラ型では、場所の制限や視野の制限によって問題がある。そこで、歩行動作に着目し、ウェアラブルセンサによる問題の解決に着手した。提案する技術のポイントは、センシングシステムの構成、歩行表現とその解析手法、階層的な方向推定手法の3つである。キーポイントは、ウェアラブルセンサによる限られた情報から、原情報となる動作をどのようにして復元するか、にある。実験の結果、提案手法が正常に動作することを確認した。



三次元微生物トラッキング顕微鏡: 三次元空間内で遊泳する微生物やその周囲の環境を顕微鏡下で計測するためには、対象の詳細な観察が必要になる。だが顕微鏡の特性によって、高倍率で観察しようとすればするほど

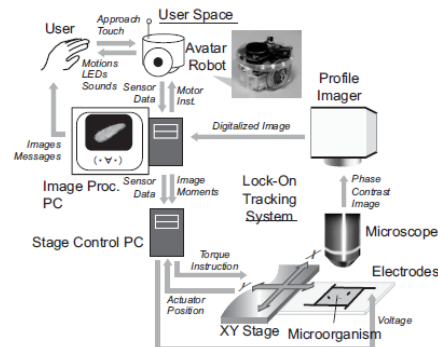


に視野は狭く、被写界深度は浅くなり、対象を焦点の合った状態で継続的に観察することが難しくなる。これを解決するためには、焦点も含めて対象を三次元的にトラッキングする顕微鏡システムの開発が必要である。

そこで、Radial Intensity Profile と呼ばれる画像特徴量を基に改良した高速オートフォーカスアルゴリズムを構築した。さらにそれをゾウリムシの三次元トラッキングに応用し、微生物の観察やその制御においてその有効性を実証した。その結果を右に連続写真として示す。ICRA2008 において IEEE RAS Japan Chapter Young Award を受賞した。

人間と微生物との実世界インタラクション:

マイクロ・バイオ分野の発展によりマイクロ世界とのインタラクションの必要性が高まっているにも関わらず、マイクロ世界とのインタフェースは未だ顕微鏡のレンズをのぞき込むことが主流であり、ユーザビリティは著しく低い。そこで本研究ではこのスケールの壁を取り払い、マイクロ世界とマクロ世界をつなぐ新しいインタフェースを提案し、その第一歩として、微生物との物理的な触れ合いを等価的に体験できるインタラクション



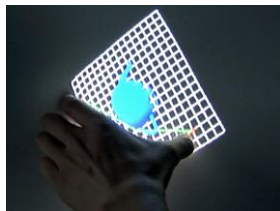
システムを構築し、まるでペットと遊ぶように微生物と触れ合えるシステムを実現した。



Deformable Workspace:
提案するシステムは、ユーザが操作のために触れる面を、仮想空間と実空間を隔

てるタンジブルな境界として機能する物理的な膜とみなす考え方を軸に設計されたものである。ユーザは、この境界越しに、膜面を変形させることで、仮想空間の物体を実空間から操作するタスクを行う。本論文ではこのようなシステムを“Deformable Workspace”と呼ぶ。

Deformable Workspaceは、タンジブルで変形可能な投影スクリーン、リアルタイム3次元センシング、適応的な映像補正の3つの技術を基盤として開発された。変形するタンジブルスクリーンの導入によって、知覚の整合性を補償するとともに、独自に開発した高速な3次元センシングによって、適応的な映像補正とシームレスな操作が可能となっている。また、新たな応用として、マルチタッチによる物体の3次元操作、自由曲線や曲面の3次元モデリング、物体の内部構造の表示機能を提案・実証した。第13回日本バーチャルリアリティ学会論文賞を受賞した。



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 15 件)

- 1) 石川正俊: 高速ビジョンとその応用, 応用物理, Vol.81, No.2, pp.115-120 (2012)
- 2) 奥寛雅, 石川正俊: 高速画像処理による運動細胞トラッキング, 0 plus E, Vol.33, No.3, pp.268-273 (2011)
- 3) Tomohira Tabata, Takashi Komuro, Masatoshi Ishikawa: Surface Image Synthesis of Moving Spinning Cans Using a 1000-fps Area Scan Camera, Machine Vision and Applications, Vol.21, No.5, pp.643-652 (2010)
- 4) Masatoshi Ishikawa: Is There Real Fusion between Sensing and Network Technology? - What are the Problems? (Invited Paper), IEICE Trans. Commun., Vol.E93.B, No.11, pp.2855-2858 (2010)
- 5) 渡辺義浩, アルバロカシネリ, 小室孝, 石川正俊: 変形するタンジブ

ルスクリーンへの適応的映像投影を行うインタラクティブディスプレイシステム, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.15, No.2, pp.173-182 (2010) (2011年日本バーチャルリアリティ学会論文賞受賞)

- 6) Takashi Komuro, Tomohira Tabata, and Masatoshi Ishikawa: A Reconfigurable Embedded System for 1000 f/s Real-Time Vision, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.20, No.4, pp.496-504 (2010)
- 7) 小室孝: 映像情報メディア年報 1-1. 情報センシング 2.6 特殊性能・機能 (超高速, レンジ画像, バイオ計測), 映像情報メディア学会誌 Vol. 64, No. 8, pp. 1130-1131 (2010)
- 8) 奥寛雅, 尾川順子, 石川正俊: 高速ビジョンによる微生物トラッキング顕微鏡, 生物物理, Vol. 49, pp. 11-14 (2009)
- 9) 尾川順子, 菊田恭平, 奥寛雅, 長谷川健史, アルバロ・カシネリ, 石川正俊: 微生物との実世界インタラクションシステムの提案と初期検討, 情報処理学会論文誌, Vol. 49, pp. 3546-3552 (2008)
- 10) 長谷川健史, 尾川順子, 奥寛雅, 石川正俊: 三次元空間内における微生物のマイクロロボット応用に向けた制御フレームワークの提案, 日本ロボット学会誌, Vol. 26, pp. 575-582 (2008)

[学会発表] (計 51 件)

(招待講演)

- 1) 石川正俊: 超並列・超高速ビジョンの開発とその応用展開, 第31回島津賞受賞記念講演 (京都, 2012. 2. 21)/資料, pp. 2-3
- 2) Alvaro Cassinelli, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: The Volume Slicing Display: a tangible interface for slicing and annotation of volumetric data, (invited paper), Optics & Photonics Japan 2011 (OPJ 2011) Symposium (Recent Advance of Digital Opto-electronic Systems and Their Great Applications) (Osaka, Nov.29, 2011).
- 3) Masatoshi Ishikawa: High Speed Vision for Gesture UI, Dynamic Image Control and Visual Feedback (Invited), The 2011 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials (SSDM2011) (Nagoya, 2011.9.28)/Extended Abstracts, pp. 1027-1028
- 4) Masatoshi Ishikawa: High Speed Vision Opens New Era of Applica

- tions of Image Processing (Invited), 2011 IEEE VAIL Computer Elements Workshop (Vail, USA, 2011.6.28) [Best Presentation Award]
- 5) Masatoshi Ishikawa: New Application Areas Made Possible by High Speed Vision (Invited), 2011 Int. Image Sensor Workshop (IISW) (Hakodate-Onuma, 2011.6.9) / Proceedings, pp.189-192
 - 6) Masatoshi Ishikawa: Real Fusion between Sensing and Network Technology? - What are the Problem (Key Note), 8th Int. Conf. on Networked Sensing Systems (INS2011) (Penghu, Taiwan, 2011.6.14)
 - 7) Masatoshi Ishikawa: The Correspondence between Architecture and Application for High Speed Vision Chip (Invited), IEEE Symp. on Low-Power and High-Speed Chips (COOL Chips XIV) (Yokohama, 2011.4.22) / Proceedings
 - 8) Masatoshi Ishikawa: Dynamic Information Space based on High-speed Sensor Technology, JST Open Café (Singapore, 2011.3.21)
 - 9) Takashi Komuro: Vision-based 3D Input Interface Technologies (invited), The 17th International Display Workshops (IDW '10) (Fukuoka, 2010.12.2) / Proceedings, pp. 1739-1742
 - 10) 奥寛雅: 顕微鏡の高速制御技術とその生物学への応用, 定量生物学の会第三回年会 (東京, 2010.11.27)
 - 11) Masatoshi Ishikawa: Dynamic Hand Manipulation Using High Speed Visual Feedback (Invited), Workshop on Bridging Human Hand Research and the Development of Robotic Technology for Hands, 2010 IEEE/RAS-EMBS Int. Conf. on Biomedical Robotics and Biomechanics (Tokyo, 2010.9.26)
 - 12) Masatoshi Ishikawa: Vision Chip and Its applications to human interface, inspection, bio/medical industry, and robotics, ISSCC 2010 Forum on High Speed Image Sensor Technologies, Proceedings (2010)
 - 13) 石川正俊: ビジョンチップとその応用～ヒューマンインターフェイス、検査、医療・バイオ、ロボット～, 映像情報メディア学会情報センシング研究会 / コンシューマエレクトロニクス研究会, 映像情報メディア学会技術報告, IST2010-11/CE2010-20, Vol. 34, pp. 15-20 (2010)
 - 14) 石川正俊, アルバロ カシネリ, カーソン レノツ: メタ・パーセプション, レーザー学会学術講演会第28回年次大会, 講演予稿集, pp.199-200 (2008)
 - 15) Alvaro Cassinelli, Yusaku Kuribara, Stephane Perrin and Masatoshi Ishikawa: "Sticky Light," Ars Electronica - Tokyo University Campus Exhibition (HYBRID EGO) (2008) (国際会議)
 - 1) Yoshihiro Watanabe, Tetsuo Hatanaka, Takashi Komuro and Masatoshi Ishikawa: Human Gait Estimation Using a Wearable Camera, IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV 2011) (Hawaii, 2011.01.05) / Proceedings, pp.276-281.
 - 2) Alvaro Cassinelli, Alexis Zerroug, Yoshihiro Watanabe, Jussi Anglesleva and Masatoshi Ishikawa, Camera-less Smart Laser Projector, ACM International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH 2010) (Los Angeles, 2010.7.25-29) / Proceedings (invited to Emerging Technologies).
 - 3) Alvaro Cassinelli and Masatoshi Ishikawa: Volume Slicing Display, SIGGRAPH ASIA 2009, Emerging Technologies, p.88 (2009)
 - 4) Alvaro Cassinelli, Yusaku Kuribara, Daito Manabe and Masatoshi Ishikawa: "scoreLight: a laser-based synesthetic experience," SIGGRAPH ASIA 2009, Art Gallery (2009)
 - 5) Alvaro Cassinelli, Yusaku Kuribara, Daito Manabe and Masatoshi Ishikawa: scoreLight, Digital Content Expo 2009 Symposium (2009)
 - 6) Alvaro Cassinelli and Masatoshi Ishikawa: Volume Slicing Display, LAVAL VIRTUAL 2009, pp. 22-26 (2009) (Awarded a prix in the section on Medicine and Health)
 - 7) Hiromasa Oku, Naoko Ogawa, Kogiku Shiba, Manabu Yoshida, and Masatoshi Ishikawa: How to Track Spermatozoa using High-Speed Visual Feedback, 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2008), Proceedings, pp.125-128 (2008)
 - 8) Carson Reynolds, Alvaro Cassinelli and Masatoshi Ishikawa: "Meta-perception: reflexes and bodies as part of the interface," Conference on Human Factors in Computing Systems 2008 (2008)
 - 9) Takahiko Ishikawa, Hiromasa Oku, Masatoshi Ishikawa: Mobile microscope: A new concept for hand-held

- d microscopes with image stabilization, 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2008), Conference Proceedings, pp.3130-3134 (2008)
- 10) Takeshi Hasegawa, Naoko Ogawa, Hiromasa Oku and Masatoshi Ishikawa : A New Framework for Microrobotic Control of Motile Cells based on High-Speed Tracking and Focusing, 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2008), Conference Proceedings, pp.3964-3969 (2008) (IEEE RA S Japan Chapter Young Award)
- (国内学会)
- 1) 荒井祐介, 持地翔太, 若林憲一, 吉川雅英, 奥寛雅, 石川正俊: 暗視野顕微鏡法における遊泳細胞の三次元トラッキング, 第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2011) (京都, 2011.12.24) / 講演会論文集, pp.1577-1580
- 2) 松谷 淳史, 新倉 雄大, 渡辺 義浩, 小室 孝, 石川 正俊: 高速ジェスチャーインタラクションのための動的変形モデルを用いた指先トラッキング, 第12回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (京都, 2011.12.25) / 講演会論文集, pp.2436-2439.
- 3) 久保伸太郎, 小室孝, 渡辺義浩, 石川正俊: 3次元ジェスチャーUIのための魚眼ステレオを用いた手指検出手法, ビジョン技術の実利用ワークショップ ViEW2011(横浜, 2011.12.8) / 講演論文集, pp.79-84.
- 4) 三浦洋平, 小室孝, 渡辺義浩, 石川正俊: 高速動画像を用いた視覚音素識別手法の提案, ヒューマンインタフェースシンポジウム2011論文集 (仙台, 2011.9.14), pp.283-286, 2011.
- 5) 奥寛雅, 清川博貴, 山野隆志, 吉川雅英, 石川正俊: 位相差顕微鏡法における遊泳細胞の三次元トラッキング, 第17回画像センシングシンポジウム (SSII2011) (横浜, 2011.6.9) / 講演論文集, IS1-11
- 6) 山野隆志, 清川博貴, 奥寛雅, 石川正俊, 吉川雅英: 三次元トラッキング顕微鏡を用いた鞭毛運動の定量解析, 2011年生体運動研究合同班会議 (大阪市立大学, 2011.1.7-9) / (演題番号) 17
- 7) 奥寛雅, 石川正俊: 高速画像処理と高速光学デバイスによる光学顕微鏡の高機能化, 定量生物学の会 第2回年会, ポスター発表要旨集, 100 (2010)
- 8) 奥村光平, 長谷川健史, 奥寛雅, 石川正俊: 運動する微生物の疑似静止観

察一トラッキング映像のさらなる安定化一, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 予稿集, 1D1-04 (2008)

- 9) 奥寛雅, 石川正俊: 微生物トラッキング顕微鏡-細胞運動の定量的な計測を実現する顕微鏡-, 定量生物学の会 第一回年会, 番号95 (2009)

[図書] (計2件)

- 1) 妹尾拓, 渡辺義浩, 石川正俊: 高速ビジョン, ロボットテクノロジー (日本ロボット学会編), pp.202-205, オーム社 (2011.8)
- 2) 小室孝: 技術編 第1部門 第3章 スマートイメージセンサ, 映像情報メディア工学大事典 (映像情報メディア学会編), オーム社 (2010)

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

東京大学 石川奥研究室

<http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石川 正俊 (ISHIKAWA MASATOSHI)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授
研究者番号: 40212857

(2) 研究分担者

並木 明夫 (NAMIKI AKIO)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・講師
研究者番号: 40376611

小室 孝 (KOMURO TAKASHI)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・講師
研究者番号: 10345118

(H19→H20: 連携研究者)

奥 寛雅 (OKU HIROMASA)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・講師
研究者番号: 40401244

(H19→H20: 連携研究者)

アルバロ カシネリ (CASSINELLI ALVARO)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教
研究者番号: 60422408

(H19→H20: 連携研究者)

(3) 連携研究者

渡辺 義浩 (WATANABE YOSHIHIRO)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教
研究者番号: 80456160