

石川 正俊

東京大学 情報理工学系研究科・教授

高速センサ技術に基づく調和型ダイナミック情報環境の構築

§1. 研究実施体制

(1) 石川グループ

- ① 研究分担グループ長: 石川 正俊 (東京大学情報理工学系研究科・教授)
- ② 研究項目

感覚運動統合アーキテクチャの開発と全体システムの構築

- ・ 高速感覚情報センシングの基本設計
- ・ リアルタイム感覚運動統合アーキテクチャの提案
- ・ 高速センシング技術・高速ディスプレイ技術・人間特性モデルの3つを統合する全体システムの実現

(2) 石井グループ

- ① 研究分担グループ長: 石井 抱 (広島大学大学院工学系研究科・教授)
- ② 研究項目

高速視覚センシングサブシステムの開発

- ・ 高速対象追跡・認識機能を有する小型高速ビジョンモジュールの実現
- ・ 高速運動に対するインセンシブルダイナミクス of 瞬時検出に向けた高速視覚センシングシステムの開発

(3) 阪口グループ

- ① 研究分担グループ長: 阪口 豊 (電気通信大学大学院情報システム学系研究科・教授)
- ② 研究項目

情報環境と人間の調和に向けた人間特性モデルの構築

- ・ 適応現象における誤差フィードバックの実時間性に関する実験的検討
- ・ 聴覚フィードバックによる技能獲得支援に関する実験

- ・身体運動の協調構造の解析
- ・高速視覚情報提示に対するヒト応答特性の実験的解明
- ・エアホッケーを題材とした運動学習支援システムの開発

(4) 下条グループ

① 研究分担グループ長: 下条 誠 (電気通信大学情報理工学研究科・教授)

② 研究項目

高速 2.5 次元触覚センシングサブシステムの開発

- ・ 2.5 次元触覚センサの開発
- ・ センサ設計用光学シミュレータの開発
- ・ センサの高速化と大面積化

(5) 篠田グループ

① 研究分担グループ長: 篠田 裕之 (東京大学情報理工学系研究科・教授)

② 研究項目

無拘束高速触覚提示サブシステムの開発

- ・ フェーズドアレイによる無拘束触覚提示デバイスの開発
- ・ 提示デバイスの大規模化
- ・ 超音波の放射圧制御の設計と時空間特性の検証

(6) 山本グループ

① 研究分担グループ長: 山本 裕紹 (徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部・講師)

② 研究項目

超高速視覚情報提示サブシステムの開発

- ・ 時間-空間マッピング処理／基本画像の事前蓄積による滑らかな動画映像表示の実現
- ・ 情報表示のラグタイムの最小化
- ・ 超高速情報表示に最適化した時空間符号の構築
- ・ セキュアディスプレイ及びパーソナライズド大画面サイネージの実証

(6) 小室グループ

① 研究分担グループ長: 小室 孝 (埼玉大学理工学研究科・准教授)

② 研究項目

人間支援のための高速・非接触インターフェースの開発

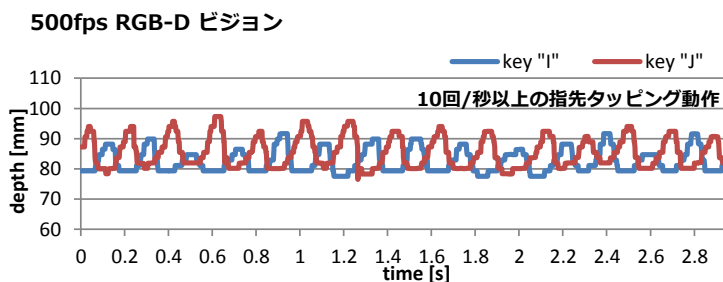
- ・ 超高速センサ・情報提示技術によるインターフェース開発
- ・ インセンシブルダイミクスを利用したマルチメディアインターフェース
- ・ 先読み・先回りによる情報提示を組み込んだコンピュータインターフェース

§ 2. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(3-1)に対応する)

「高速視覚サブセンシングシステムの開発」では、平成 23 年度までに確立した小型高速ビジョンモジュールをステレオ動作させた上で、複数標点の高速対象抽出を可能とするセルベースドラベリングに基づいた集積化アルゴリズム及びその並列回路実装を行った[1][8][10]. これにより、3次元空間の高速運動対象に対し、数百個以上の対象の形状・色パターン等を 2000 コマ/秒で検出可能とする高速ジェスチャー認識システムが実現され、従来ビデオ画像(NTSC 30 コマ/秒)では計測不可能であった、様々なインセンシブルダイナミクスに対応した速度・加速度分布情報を瞬時検出可能なことを確認した[3][5][6][7][9]. また GPU ボード(NVIDIA Tesla C1060 等)と連動した高速ビジョン[4]と 1000fps レベルで動作するプロジェクタが連動した高速三次元ビジョンの開発[2][11]を行い、8 ビットグレイコードに基づく空間コード化パターン光投影法の並列実装により、512×512 画素の RGB-D 画像を 500fps で実時間取得及び処理を実現することにより、秒間十数回といった、目視では正確に観測することが難しい人間の指先85高速ビジョンジャンピング動作についても正確な三次元情報を計測可能とした. また高速ビジョンにおける輝度値フィードバック制御、繰り返し動作における先読みに基づく先回り提示実験等の検討を行い、人間の高速な動作に対応した最終的な調和型ダイナミック情報環境プラットフォームへ高速ビジョンモジュールを実装するためのアルゴリズム的な知見を収集した.

「高速 2.5 次元触覚センシングサブシステムの開発」では、前年度までに、2.5 次元触覚の近接の検出素子として応答速度に優れるフォトダイオード型フォトリフレクタを使用し、従



指先位置(中指,人差指)でのデプス時間変化

来構成に対して 100 倍高速となる μ 秒オーダーで動作する試作モデルを開発した(図 2(a)).

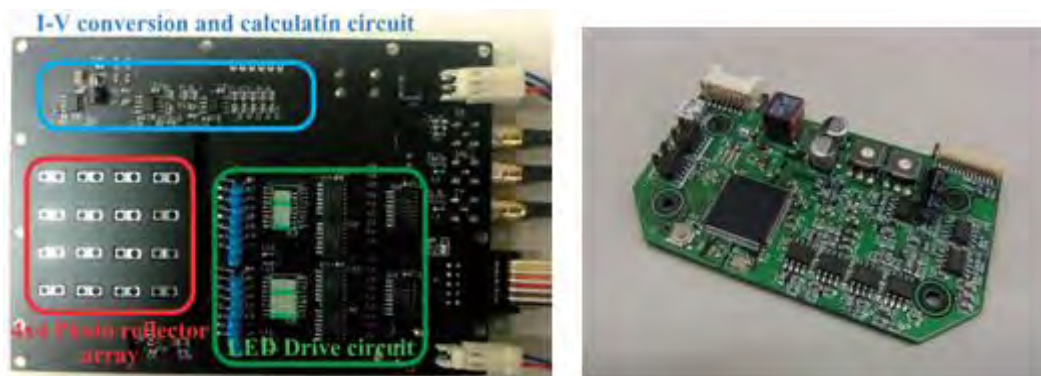


図 1. 高速視覚サブシステムの成果

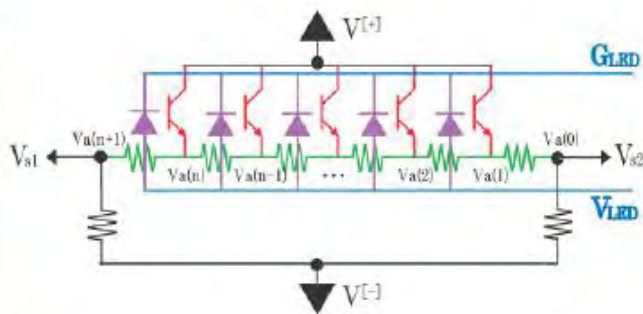
図 2 (a)高速応答型 2.5 次元触覚 (b)センサ信号処理用スペクトラム拡散回路基板
 但し、本センサは近赤外線を用いているため、環境光や他のセンサ機器からの外乱光の影響を受けやすい。このため、H24 年度はこれら外乱についてロバストとなるようセンサ信号処理にスペクトラム拡散方式を導入した。図 2(b)には、このための信号処理用回路を示す。本年度は、設計試作と動作確認を行った。その性能として、外乱光源 (TOF カメラ Softkinetic DS325) からの直接光照射で、距離が 1m 離れた位置での S/N 比が 50dB(外乱光なし:61.5dB)となり、十分実用的であるとの結果を得た。また同様に、複数の 2.5 次元触覚センサ利用環境での相互干渉が無く、センサとして利用可能なことも確認した。

また本センサシステムのヒューマンインターフェース等への応用について、非接触での手指動作による情報機器の操作実験を行った。本年度試作した装置は、図 3(b)に示す構造のライン状 2.5 次元触覚センサ 2 個を、図 3(a)に示すように X・Y 軸にそれぞれ配置したものである。ライン状センサから、対象物の位置と距離が計測できることから、X・Y 面を通過する手腕の動作を検出することで操作情報を取得することができる。動作は、既存の非接触インタフェースで多く用いられている腕を振る、振り下ろす、回すといった動作を 15 通り行い、時のセンサ出力から、いくつかの動作で特徴的な出力を確認することが可能であることを確認した。

この他更なる試みとして、3 次元対象物に 2.5 次元触覚センサ系を組み込み、対象物へ近づく手指等の動作を捉え、操作入力に利用する装置の開発を検討している。本年度までに既に設計試作を行い、基本動作の計測を開始している。



図 3 (a)非接触型操作入力装置外観



(b)ライン状 2.5 次元触覚センサの構造

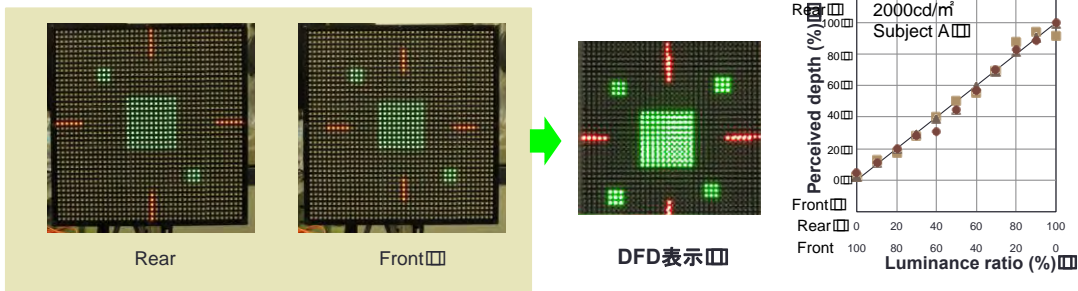


図4 開発したLEDパネルを用いたDFD表示の観察映像。 図5 DFDによる奥行き知覚。

「超高速視覚情報提示サブシステムの開発」では、毎秒960フレームでフルカラー映像を更新する超高速LEDディスプレイを開発し、パーソナライズド大画面サイネージを実現する手振り復号型ステガノグラフィを実現した。また、セキュアディスプレイ用には3層の液晶パネルの積層により指向性を制御する手法を開発し、画素情報の分散により3視点表示ならびに2視点暗号表示を実現した。

空中結像による無拘束3次元空間表示においては、前年度までに設計したLED向けの直交ミラーアレイを用いた結像性能を調べるとともに、直交ミラーアレイによる空中像を観察時の眼の調節応答を測定した。結果、両眼観察下においては眼のピント調節が空中像の場所に誘導される結果を得た。

また、無拘束かつ連続的な運動視差を提示可能な3D表示方式であるDFD(Depth-Fused 3-D)方式をLEDパネルで実現した。図4は50cm離れた2面のLEDへの表示画像と奥行き融合される位置での観察結果である。図5に示すように、前面LEDと後面LEDの輝度比の調整により連続的な奥行きが知覚される結果が得られた。

高速ビジョンモジュールを利用した観察者の位置情報を取得し、運動視差画像の提示による単眼運動視差による3D表示システムを構築した。

「無拘束高速触覚提示サブシステムの開発」では、平成23年度までに設計・検証された超音波フェーズドアレイを9台連携動作させ、超音波放射面から60cm離れた地点で超音波波長程度の直径のスポットに放射圧を集中できることを確認した。19×15cm²を1ユニットとし、それを3×3=9台結合した。焦点において4.2gf/cm²の放射圧が発生し、明瞭な触覚が感じられることを確認した。なおこれらのユニットは1,000台デジチェーン接続しても信号遅延が50μs以内に収まるように設計してある。この触覚提示システムを、石川グループの人間行動計測システムおよび映像投影システムと結合した。人間の素早い動きの中で手の位置を計測し、動きに応じた映像と触覚を皮膚の所定の箇所に提示するシステムを共同で試作した。

「情報環境と人間の調和に向けた人間特性モデルの構築」では、同モデルの構築に向けて、運動学習における適応ゲインの特性の検証、身体運動の時空間協調構造の解析を行なった。また、後者の応用として身体パーツの協調構造から運動を先読みするシステムを構築したほか、高速視覚情報提示に対するヒト応答特性の実験的解明、エアホッケーを題材とした運動学習支援実験環境の構築を進めた。

運動学習における適応ゲインの特性の検証では、視覚運動変換の適応についての誤差情報

の提示タイミングに関する実験結果、「身体運動終了と課題終了の両方においてそれぞれ適応ゲインが大きくなること」について成果をまとめた[33]。さらに、投擲運動を課題とする視覚運動変換の適応において、投げた球の着弾点の視覚情報がない場合でも適応が進行することを示した[34]。以上の結果は、適応に必要な誤差情報を受け取るタイミングが単一ではなく複数チャネルによることを示している。

身体運動の時空間協調構造の解析では、全身運動中の身体パーツの動きを計測し、それらの時間関係を解析することで、その協調構造の抽出を試みた。具体的には、立位の状態から左右いずれかに一歩踏み出す動作から、踏み出す方向の予測に有効な身体パーツについて分析した。その結果、踏み出す側の足が地面を離れる約 500 ms 前に体幹の回転が開始することが明らかとなり、足を踏み出す前に体幹の回転を検出することで、足を踏み出す方向とそのタイミングを先読みできることを示した。さらに別の身体運動として立位において壁のターゲットを指差す動作(到達運動)の解析を行い、肩の動きに着目することで左右どちらのターゲットを指差すかを事前に判別できることを見出した。一方、肩の動きだけでは上下方向に関する精度がやや低いことも示された。そのため、肩とそれ以外の身体部位との協調関係を探ることによって、先読み精度がさらに向上する可能性を示す結果を得た。

また、相手の動きを先読みすることによって運動学習を支援することを目指し、エアホッケーの技能学習についての実験環境を構築した。身体動作の解析を行うため、高速度カメラを用いて画像信号の処理を行うシステムを実装し、エアホッケーをプレイしている最中の身体動作の抽出、対戦相手の動きの情報が技能学習に与える効果について検討するための予備実験を行った。一方、学習の手がかりとなる情報提示を最適化するため、特に、人間の時間情報に対する応答特性の心理行動実験による検討、こうした行動実験を行うための高速ディスプレイによる刺激提示環境を構築した。ヒトは 60 Hz 以上の時間周波数でフリッカする光に対してはちらつきが知覚されず、時間処理の限界であると考えられている(臨界融像周波数)。しかし、170 Hz の垂直同期周波数を持つディスプレイに提示した定常光と 85 Hz の物理的フリッカを連続提示すると、それらの変化が知覚できる現象を見出した。このことはヒトの視覚系が臨界融像周波数を超えた時間情報を抽出できることを示す。また、このとき用いた定常光、物理的フリッカ光からはちらつきを知覚することができないことから、この現象の発見を元に人間の意識に上らない情報提示が可能であることが示唆され、技能学習を妨害することなく、自然な状況を設定して学習の手がかりを提示できる新たな可能性を示した。

「人間支援のための高速・非接触インターフェースの開発」では、平成 24 年度は、超高速センサ・情報提示技術によるインターフェース開発の一例として、高フレームレートカメラで人間の手の動きを取得し、裸眼立体視ディスプレイで表示した立体映像を手の動きに連動して動かすことで、仮想オブジェクトに実体感を感じられるようにした三次元タッチパネルインターフェースを開発した。さらにその発展として、素手で多数の仮想オブジェクトを触って操作できるテーブルトップ型のインターフェースシステムを開発した。

図 6 は開発した三次元タッチパネルインターフェースの写真である。8.4 インチ、裸眼立体視デ

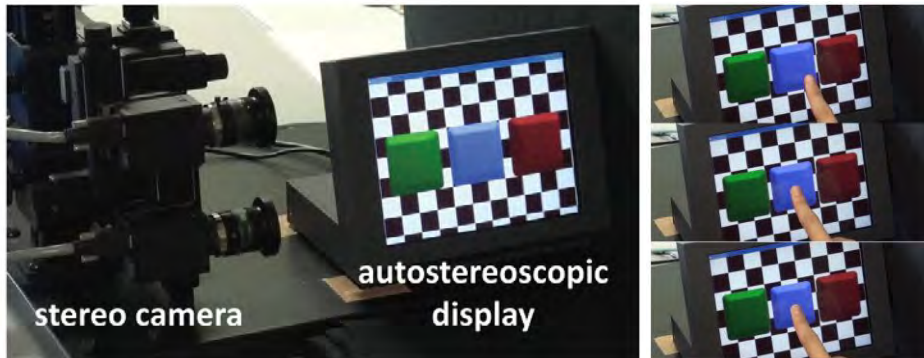


図 6 三次元タッチパネルインターフェース

ディスプレイ(8.4 inch, 5 views)と2台の高フレームレートステレオカメラ(120fps)で構成されている。ユーザがボタンに指を近づけていくと、ある位置からボタンに接触したと判定され、指を押しこむことでボタンも連動して奥に押し込まれる。

視覚的にボタンの表面に接触する位置でディスプレイ面に接触したと錯覚するが、そのまま指を押しこんでいく事で自身の指でボタンを押し込んでいるという実感を得ることができた。また、ディスプレイに接触することで指先に触覚感を得ることができ、ボタンを押し込み切ったという実感を得ることもできた。また、指を引く際にもボタンが指先にくっついて戻るような感覚を得た。高速カメラを利用したことにより、通常のカメラを利用した時と比較して指先の動きとボタンの動きが同期していると感ずることができた。

このほか、先読み・先回りによる情報提示を組み込んだコンピュータインターフェースを開発する上でのプラットフォームとして、タブレット端末を模したタッチパネル付小型ディスプレイにカメラを2台設置し、指の三次元位置とディスプレイとの接触の両方が検出可能なシステムを構築した。

「[感覚運動統合アーキテクチャの開発と全体システムの構築](#)」では、高速センシング・高速ディスプレイ・人間特性モデルの3つを統合する情報環境の実現に向けて、全体システムの構築に着手した。具体的には、前年度の検討をベースに、人間の行動によって発現されるアフォーダンスを超高速度で先回りして提供し、本来その物体が備えていない情報機能を付加する新しい情報環境の実現を基本的な構想とした。この実現にあたり、今回の全体システムでは、高速視覚センシング技術と高速触覚ディスプレイ技術と高速視覚ディスプレイ技術の3つを組み込む構成とした。特に、高速視覚センシング技術と高速視覚ディスプレイ技術の2つを一挙に実現するシステムとして、高速視線制御ユニット(サカードミラー)を用いる。同システムは、高速ビジョンと映像プロジェクタを同軸上に設置し、これらの視線の先に設置された鏡を制御することで、高速に運動する物体のトラッキングと、同物体への映像の投影を行うものである。また、高速触覚ディスプレイ技術として、篠田チームが開発している、超音波フェーズドアレイによる無拘束高速触覚ディスプレイを用いる。これらの連携によって、高速に動く物体を継続的に追跡するとともに、同物体へ視覚と触覚の情報を非接触かつ高速に提示することができる。具体的なシステム構成を設計するために、計測範囲や提示範囲を算出し、各デバイスの設置位置を割り出し、システムの具体的な構造を明らかにし

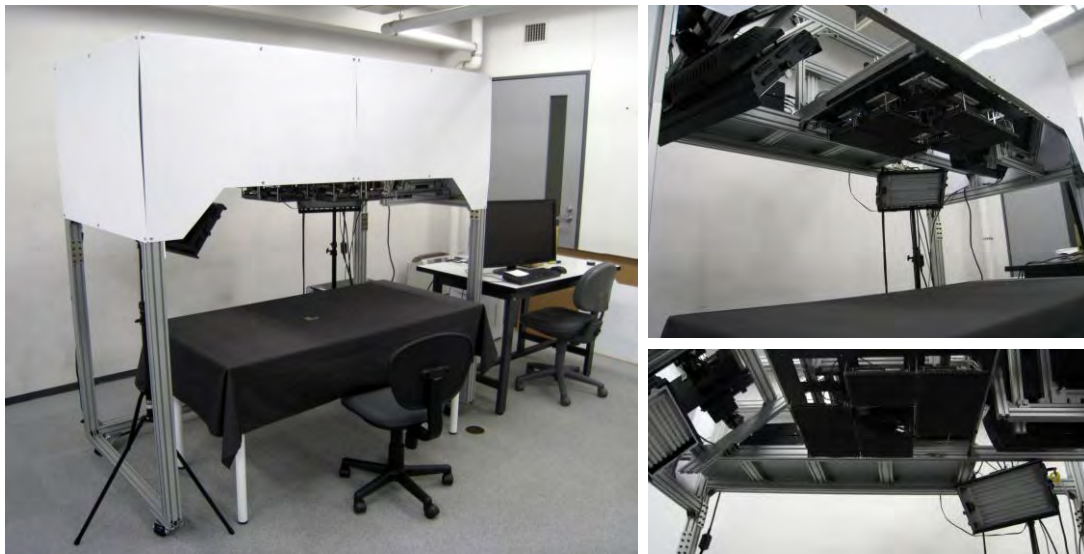


図 7. 超高速情報環境システムの試作

た. 同検討の下, 設計した構造に基づき, システムを構築した. 図 7 に構築したシステムの写真を示す. このように構築されたシステムを用いて, 次年度に動作を実装し, 情報環境として機能するデモンストレーションを実施できるレベルにまで研究開発を進める予定である.

§3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

● 論文詳細情報

- [1] Qingyi Gu, Takeshi Takaki, and Idaku Ishii: Fast FPGA-Based Multi-Object Feature Extraction, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.23, No.1, pp.30-45, 2013. (DOI: 10.1109/TCSVT.2012.2202195)
- [2] Hao Gao, Qingyi Gu, Takeshi Takaki, and Idaku Ishii: A Self-Projected Light-Section Method for Fast Three-Dimensional Shape Inspection, International Journal of Optomechatronics, Vol.6, No.4, pp.289-303, 2012. (DOI: 10.1080/15599612.2012.715725)
- [3] Lei Chen, Hua Yang, Takeshi Takaki, and Idaku Ishii: Real-Time Optical Flow Estimation Using Multiple Frame-Straddling Intervals, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.24, No.4, pp.686-698, 2012.
- [4] Idaku Ishii, Tomoki Ichida, Qingyi Gu, and Takeshi Takaki: 500-fps Face Tracking System, Journal of Real-Time Image Processing, 2012. (DOI: 10.1007/s11554-012-0255-8)
- [5] 小原生也, 高木健, 石井抱: 振動ベースド画像特徴量を用いた高速ターゲットトラッキング, 日本機械学会論文集(C編), Vol.78, No.788, pp.1143-1153, 2012.

- [6] Lei Chen, Takeshi Takaki, and Idaku Ishii: Accuracy of Gradient-Based Optical Flow Estimation in High-Frame-Rate Video Analysis, *IEICE Transactions on Information and Systems* Vol.E95-D, No.4, pp.1130-1141, 2012. (DOI: 10.1587/transinf.E95.D.1130)
- [7] Hua Yang, Gingyi Gu, Tadayoshi Aoyama, Takeshi Takaki, and Idaku Ishii: Real-Time Modal Analysis of Shell-Shaped Objects Using High-Frame-Rate Structured-Light-Based Vision, *Proceedings of the IMAC XXXI A Conference and Exposition on Structural Dynamics* (Anaheim, USA, 2013/2/14)
- [8] Qingyi Gu, Tadayoshi Aoyama, Takeshi Takaki, and Idaku Ishii: Fast Tracking System for Multi-colored Pie-Shaped Markers, *Proceedings of International Symposium on Optomechatronic Technologies* (Paris, France, 2012/10/30) (DOI: 10.1109/ISOT.2012.6403267)
- [9] Hua Yang, Takeshi Takaki, and Idaku Ishii: Real-Time Multidirectional Modal Parameter Estimation of Beam-Shaped Objects Using High-Speed Stereo Vision, *Proceedings of IEEE Sensors 2012*, pp.142-145 (Taipei, Taiwan, 2012/10/29) (DOI: 10.1109/ICSENS.2012.6411142)
- [10] Qingyi Gu, Takeshi Takaki, and Idaku Ishii: 2000-fps Multi-Object Tracking Based on Color Histogram, *Proc. SPIE 8437* (SPIE Photonics Europe / Real-Time Image and Video Processing), 8437-13, 2012 (Brussels, Belgium, 2012/5/15) (DOI: 10.1117/12.921860)
- [11] Hao Gao, Takeshi Takaki, and Idaku Ishii: GPU-Based Real-Time Structure Light 3D Scanner at 500 fps, *Proc. SPIE 8437* (SPIE Photonics Europe / Real-Time Image and Video Processing), 8437-18, 2012 (Brussels, Belgium, 2012/5/15) (DOI: 10.1117/12.922568)
- [12] Seiichi Teshigawara, Takahiro Tsutsumi, Yosuke Suzuki, and Makoto Shimojo: High Speed and High Sensitivity Slip Sensor for Dexterous Grasping; *Journal of Robotics and Mechatronics*, vol.24, no.2, pp.298-310, 2012
- [13] 鈴木健治, 鈴木陽介, 長谷川浩章, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: ロボットハンド指先に付与したネット状近接覚センサ情報に基づく把持姿勢の決定; *計測自動制御学会論文集*, Vol. 48, No. 4, pp.232-240, 2012
- [14] Kei Sadakuni, Takuya Inoue, Hirotsugu Yamamoto, and Shiro Suyama, "Perceived Depth Change Produced by Visual Acuity Difference between the Eyes," *IEICE Transactions on Electronics*, Vol. E95-C, no. 11, pp. 1707-1715, 2012 (DOI: 10.1587/transele.E95.C.1707)
- [15] H. Yamamoto, S. Farhan, S. Motoki, and S. Suyama, "Development of 480-fps LED display by use of spatiotemporal mapping," *Proc. of 2012 IEEE Industry*

Applications Society Annual Meeting, 2012-ILDC-259, 2012.

- [16] Hirotugu Yamamoto, Syahmi Farhan, Kengo Sato, Shiro Suyama, "Hand-waving steganography by use of a high-speed LED display," Proc. DHIP2012 (The Second Japan-Korea Workshop on Digital Holography and Information Photonics), I008 (2012).
- [17] Atsuhiko Tsunakawa, Tomoki Soumiya, Yuta Horikawa, Hirotugu Yamamoto, Shiro Suyama, "A new method to enlarge depth range in DFD display by modulating spatial frequency distribution," Proc. DHIP2012 (The Second Japan-Korea Workshop on Digital Holography and Information Photonics), C021 (2012).
- [18] Takafumi Kurokawa, Hirotugu Yamamoto, Shiro Suyama, "Optical characteristic of birefringent lens made of calcite," Proc. DHIP2012 (The Second Japan-Korea Workshop on Digital Holography and Information Photonics), C023 (2012).
- [19] Fumito Kimura, Takuya Yamamoto, Satoshi Toyama, Shiro Suyama, Nobukazu Yoshikawa, Idaku Ishii, Hirotugu Yamamoto, "Estimation of effective refractive index difference in a liquid-crystal prism from interference fringes observed with a high speed camera," Proc. DHIP2012 (The Second Japan-Korea Workshop on Digital Holography and Information Photonics), C024 (2012).
- [20] Ryousuke Kujime, Shiro Suyama, Hirotugu Yamamoto, "Thermal 3D display by use of crossed-mirror array," Proc. DHIP2012 (The Second Japan-Korea Workshop on Digital Holography and Information Photonics), C025 (2012).
- [21] Kosuke Imai, Hiroki Bando, Chikara Maeda, Shiro Suyama, Hirotugu Yamamoto, "Influence of pictorial cue to depth perception in DFD display," Proc. DHIP2012 (The Second Japan-Korea Workshop on Digital Holography and Information Photonics), C031 (2012).
- [22] Naoki Yamada, Chikara Maeda, Hirotugu Yamamoto, Shiro Suyama, "Perceived depth dependence in cylinder arc 3-D display," Proc. DHIP2012 (The Second Japan-Korea Workshop on Digital Holography and Information Photonics), C032 (2012).
- [23] Keitaro Uchida, Shiro Suyama, Hirotugu Yamamoto, "Secure display with triple views based on polarization modulations by use of three-layered LCD panels," Proc. DHIP2012 (The Second Japan-Korea Workshop on Digital Holography and Information Photonics), C033 (2012).
- [24] Kazuki Tatehata, Shiro Suyama, Idaku Ishii, Hirotugu Yamamoto, "3D display based on monocular motion parallax using position detection with a high-speed camera," Proc. DHIP2012 (The Second Japan-Korea Workshop on

- Digital Holography and Information Photonics), C035 (2012).
- [25] Yuta Horikawa, Hiroki Bando, Shiro Suyama, Hirotugu Yamamoto, "Image blur of an aerial image formed by a crossed-mirror array," Proc. DHIP2012 (The Second Japan-Korea Workshop on Digital Holography and Information Photonics), C037 (2012).
- [26] Atsuhiko Tsunakawa, Tomoki Soumiya, Yuta Horikawa, Hirotugu Yamamoto, Shiro Suyama, "Perceived depth change of depth-fused 3D display by changing distance between front and rear plane," Proc. IDW/AD'12 (The 19th International Display Workshops in conjunction with Asia Display 2012), 3Dp-1 (2012).
- [27] Naoki Yamada, Chikara Maeda, Hirotugu Yamamoto, Shiro Suyama, "Theoretical and measured evaluation of lighting and observation angle dependence of perceived depth in arc 3-D display," Proc. IDW/AD'12 (The 19th International Display Workshops in conjunction with Asia Display 2012), 3Dp-14 (2012).
- [28] Fumito Kimura, Takuya Yamamoto, Satoshi Toyama, Shiro Suyama, Idaku Ishii, Hirotugu Yamamoto, "Dynamic wavefront changes by a liquid-crystal prism," Proc. IDW/AD'12 (The 19th International Display Workshops in conjunction with Asia Display 2012), 3Dp-16 (2012).
- [29] Ryouyusuke Kujime, Shiro Suyama, Hirotugu Yamamoto, "Thermal and visual 3D display by use of crossed-mirror array," Proc. IDW/AD'12 (The 19th International Display Workshops in conjunction with Asia Display 2012), pp. 1243-1246 (2012).
- [30] Yuta Horikawa, Takuya Ogura, Tomoki Soumiya, Ryouyusuke Kujime, Hirotugu Yamamoto, Shiro Suyama, "Accommodation and Distance Perception for Floating LED Image Formed by a Crossed-mirror Array," Proc. IDW/AD'12 (The 19th International Display Workshops in conjunction with Asia Display 2012), 3Dp-35L (2012).
- [31] Keitaro Uchida, Shiro Suyama, Hirotugu Yamamoto, "Three-layered secure display based on polarization modulation," Proc. IDW/AD'12 (The 19th International Display Workshops in conjunction with Asia Display 2012), VHFp-6 (2012).
- [32] Hirotugu Yamamoto and Shiro Suyama, "Aerial 3D LED display by use of retroreflective sheeting," Proc. SPIE, vol. 8648, 86480Q, 2013 (doi:10.1117/12.2005674)
- [33] Hirotugu Yamamoto, Ryouyusuke Kujime, Hiroki Bando, and Shiro Suyama, "Aerial LED signage by use of crossed-mirror array ", Proc. SPIE, vol. 8643, 864302, 2013 (doi:10.1117/12.2005733)
- [34] Keisuke Hasegawa and Hiroyuki Shinoda: Aerial Display of Vibrotactile Sensation

- with High Spatial-Temporal Resolution using Large-Aperture Airborne Ultrasound Phased Array, IEEE World Haptics 2013 (Oral, Oral 採択率は 16%) accepted.
- [35] Kazuma Yoshino and Hiroyuki Shinoda: Visio-Acoustic Screen for Contactless Touch Interface with Tactile Sensation, IEEE World Haptics 2013 (Poster) accepted.
- [36] Masahiro Fujiwara and Hiroyuki Shinoda: Remote Grip Force Sensing based on Surface Hardness Measurement, IEEE World Haptics 2013 (Poster) accepted.
- [37] Tatsuma Sakurai, Hiroyuki Shinoda, Masashi Konyo: Sharp Tactile Sensation using Superposition of Vibrotactile Stimuli in Different Phases, IEEE World Haptics 2013 (Poster) accepted.
- [38] Takumi Ishikawa and Yutaka Sakaguchi “Both movement-end and task-end are critical for error feedback in visuomotor adaptation: A behavioral experiment”, PLoS ONE, vol. 8, No. 2, e55801, 2013 (DOI: 10.1371/journal.pone.0055801)
- [39] Takumi Ishikawa and Yutaka Sakaguchi “Error feedback is most effective both at movement end and at task end in visuo-motor adaptation of virtual shooting task”, Neuro2012 (35th Annual Meeting of Japanese Neuroscience Society), P4-f16, 2012.
- [40] Kayo Ogawa, Naoko Sakata, Tomoko Muraiso, Takashi Komuro: Input Action Classification in a 3D Gesture Interface for Mobile Devices, Proc. The 1st IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2012), pp. 423-426 (2012)
- [41] Takehiro Niikura, Takashi Komuro: 3D Touch Panel Interface Using an Autostereoscopic Display, Proc. ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces 2012 (ITS 2012), pp. 295-298 (2012)
- [42] Hikari Uchida, Takashi Komuro: Geometrically Consistent Mobile AR for 3D Interaction, Proc. 4th Augmented Human International Conference (AH 2013), pp. 229-230 (2013)
- [43] Takehiro Niikura, Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: In-air Typing Interface: Realizing 3D operation for mobile devices, The 1st IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2012) (Chiba, 2012.10.03)/ Proceedings, pp.228-232
- [44] Yoshihiro Watanabe, Atsushi Matsutani, Takehiro Niikura, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: High-Speed Estimation of Multi-finger Position and Pose for Input Interface of the Mobile Devices, The 1st IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2012) (Chiba, 2012.10.03) Proceedings, pp.233-237
- [45] Yoshihiro Watanabe, Shintaro Kubo, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: Finger Detection based on Data Fusion of Fish-eye Stereo Camera for 3D-Gesture

Input Interface, The 1st IEEE Global Conference on Consumer Electronics
(GCCE2012) (Chiba, 2012.10.03) Proceedings, pp.284-288

(3-2) 知財出願

- ① 平成 24 年度特許出願件数(国内 1 件)
- ② CREST 研究期間累積件数(国内 2 件)