

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 研究代表者: 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 主たる共同研究者: 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の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 主たる共同研究者: 阪口 豊 (電気通信大学大学院情報システム学研究科・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

- ・ 運動の実験計画と遂行および計測データの解析
- ・ 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

(4) 下条グループ

① 主たる共同研究者: 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 主たる共同研究者: 篠田 裕之 (東京大学情報理工学系研究科・准教授)

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 主たる共同研究者: 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

(7) 小室グループ

① 主たる共同研究者: 小室 孝 (埼玉大学大学院理工学研究科・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)



図 1 8 台の高速ビジョンモジュールと顔の高速追跡

「**高速視覚センシングサブシステムの開発**」では、平成 22 年度までに開発した高速ビジョンモジュールに対して、FPGA や GPU の併用を可能とする開発環境の整備を行った上で、様々な高性能な高速ビジョンアルゴリズムの実装を行った。FPGA を用いた回路実装としては、色ヒストグラム計算に基づく CamShift 追跡法を回路実装に適した形で改良した上で  $512 \times 512$  画素画像に対する 2000fps での実時間追跡を実現した[1]。また画像内の複数対象に対する 25 個の高次自己相関特徴量を高速計算する回路を開発し、画像内の数百個以上の対象に対する形状認識を 2000fps で瞬時に可能とした[2,11,9]。GPU を用いた処理実装としては、高速化に対応した形で Haar 特徴に基づく boosting-based 顔追跡アルゴリズムを GPU 上に並列実装することにより、 $512 \times 512$  画素画像に対し 500fps での実時間顔追跡を実現し、実環境での人間の動きを頑強かつ高速に追跡可能とした[13]。また昨年度に引き続き、FPGA に画像特徴計算回路を新たに実装した 8 台以上の高速ビジョンモジュールの連動実験を行い、高速運動時における人間の動きを 2000fps で検出可能であることを確認した。人間の高速な動きの速度・加速度分布の実時間検出法として、フレーム間の画像変化が小さいという高速ビジョンの特性を生かしたオプティカルフロー法を提案し、輝度勾配計算といった単純な計算のみで、人間の高速な運動における速度分布を高精度に実時間検出可能とした[10,6,8]。またダイナミクスパラメータの瞬時検出に向けて、人間の目には見えない高速現象をカメラ情報のみで瞬時自動検出・記録[4,12]を可能とするとともに、計測対象が持つ周波数ドメインのダイナミクスパラメータの瞬時検出[5,14,15,7]を実現した。また 1000fps レベルで動作する高速 DMD プロジェクタと高速ビジョンモジュールの連動実験など、他要素技術との連動実験を試み、その一例として、空間コード化パターン投影法に基づく実時間 3 次元イメージングが、 $512 \times 512$  画素画像に対し 500fps で基本動作することを確認した。

「**高速 2.5 次元触覚センシングサブシステムの開発**」では、本研究課題の 2.5 次元触覚は、接触情報を検出する触覚部と近接情報を検出する近接覚部とから構成される。平成 23 年度は、検出速度の高速化と、検出距離の対象物依存に対する補正法について研究開発を行った。

前年度までに、2.5 次元触覚の近接の検出素子としてフォトランジスタを使用したセンサを開

発し 1[ms] の応答速度を達成した。しかし、フォトランジスタの増幅作用に伴う応答速度の遅さから、高速化には限界があり、そのため、発光パターン変更による多物体同時検出や、外乱光除去のための信号処理と 1[ms] の更新レートを両立することが困難であった。そこで平成 23 年度では、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検出素子として使用することで、従来構成に対して 100 倍高速、マイクロ秒オーダーで動作する試作モデルを開発した。開発したセンサの検出回路を図 2 に示す。従来と同様に 2 層の抵抗ネットワークを構成し、両者の間を検出素子で接続する。このような構成をとることで、フォトダイオードは、“光導電性モード”で高速に動作させた。これは逆電圧を加えたフォトダイオードに生じる光電流を検出する方式で、ネット状センサによるアナログ演算に適していると考えられる。以下、フォトダイオードとトランスインピーダンス回路による設計と試作について述べる。フォトダイオード応用回路では  $\mu\text{A}$  オーダーの微小電流を取り扱う必要があり、増幅器には高速・低ノイズな応答特性が要求される。このような増幅回路としては、トランスインピーダンス回路と呼ばれる回路構成が知られている。この回路方式は、従来のセンサ方式とは境界条件が異なるため、改めて解析を行った。その結果、従来と同様の信号が取得できることが確認できた。なお、本方式の重要な特徴として、素子数  $n, m$  や内部抵抗  $r$  がこれらの値に影響しなくなることが挙げられる。また、抵抗値選択の制約条件が少なくなる、ダイナミックレンジの予測が容易、出力電圧・電流モーメントの換算が容易になるため、定数設計の作業が容易になる特徴がある。

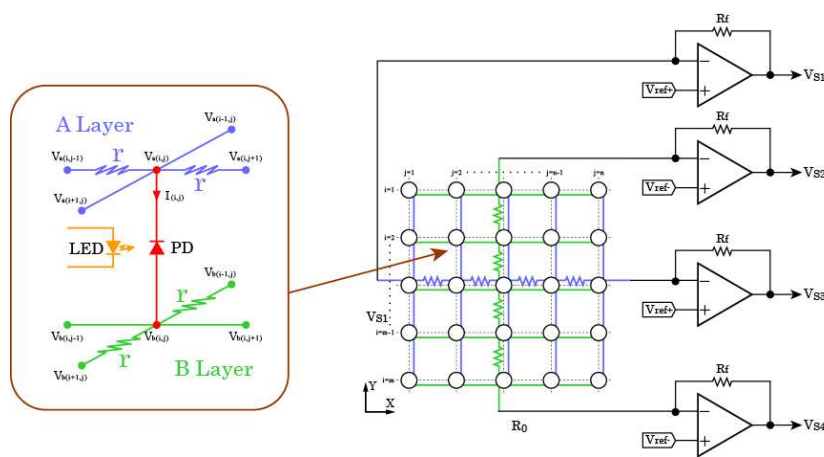


図 2 フォトダイオード型ネット状近接覚センサ

近接覚はフォトリフレクタによる光反射強度から距離を求めめるため、対象物の影響を受ける問題点がある。これに対して今年度 2 つの方式を用いてこの問題に対処する手法の検討を行った。一般的な赤外線反射型のセンサでは光電流量  $I$  は、対象物表面の反射率を  $\alpha$ 、検出素子の感度を  $S$ 、LED の発光量を  $P_t$ 、センサ表面から対象物までの距離を  $x$  とし、 $I = \alpha \cdot S \cdot P_t \cdot F(x)$  で表される。 $F(x)$  は距離  $x$  のみによる関数であり、単調減少の関数である。今回検討した方式は図 2 に示すように、2 組の既知の光路差のある検出素子を用いて、その比を取ることで対象物表面の反射率  $\alpha$  によらない計測を行う方式を開発した。図 3(a)はオフセットを与える方式であり、図 3(b)は検出素子に角度差をつけることによって光路差を作り出す方式である。今年度は、この手法を

適用し製作した近接覚センサの基礎特性実験を行い、対象物の反射率によらないセンシングを可能としたことを示した。

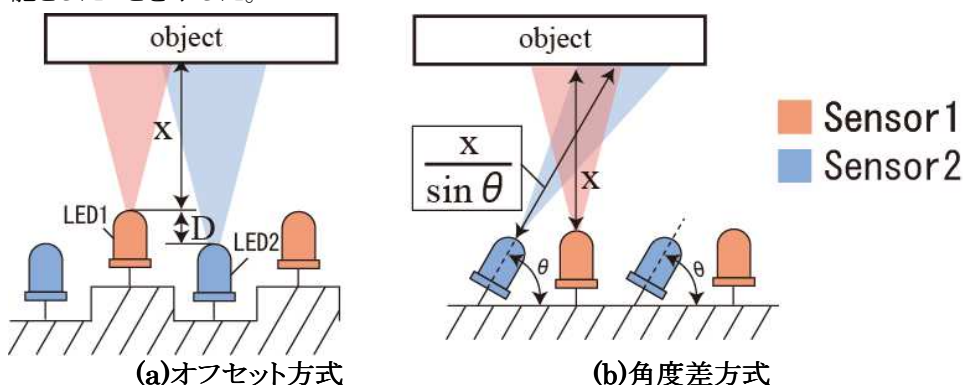


図 3 光路差を用いた距離検出方式

「**超高速視覚情報提示サブシステムの開発**」では、前年度までに開発した毎秒 480 フレームの超高速 LED パネルを用いて、時空間ステガノグラフィにおける復号帯域を明らかにするとともに、潜像化の時空間符号化法の改良を行った[28]。また、完全無拘束での 3D 空間への視覚情報提示を実現するために、液晶やミラーアレイなどの光学素子を利用した指向性制御に基づく空中情報提示を行う光学ハードウェアの製作を行った[27, 29, 24]。情報共有型セキュアディスプレイに関する複数枚のシェア画像を用いる光暗号の構成とディスプレイ応用[19, 20]を行った。さらに、統合システムの実現に向けて高速ビジョンモジュールによる位置検出に基づく運動視差による奥行き呈示実験、6 ミリピッチ LED を用いた高速表示モジュールの試作を行った。図 4 は、空中表示の様子である。LED アレイを空中に結像するために、短冊状のミラーが直交した構造の反射型結像素子(直交ミラーアレイ:CMA)を製作し、LED 像の空中結像に成功した。



図 4 直交ミラーアレイにより空中に L, E, D が表示されている様子。

「**無拘束高速触覚提示サブシステムの開発**」では、隙間なく大面積を被覆できる超音波放射圧ディスプレイユニットを完成し、動作を確認した。1 ユニットは  $14 \times 18$  個の超音波振動子が配置される  $15 \times 19\text{cm}$  のボード状デバイスであり、これを 1,000 ユニット以上接続できる。各ユニット間の信号の遅延は 30ns 以下であり、各ユニットに対する信号伝送スループットは 5Mbps までを保証することで、当初予定の最小遅延触覚刺激デバイスを実現した。また各瞬間での発生力については 8 bit までの PWM 変調を可能とし、触覚提示と同時に音響の変調も可能な仕様を実現した。

さらに本デバイスを用いた非接触での触覚刺激と皮膚に投影された映像とを融合する情報提示法を提案し、その実現のために必要となる人間の触覚の基礎特性に関する知見を得た。具

体的には視触覚弁別閾、すなわち視覚情報と触覚を皮膚に同時提示する際に、それらの空間的な位置ずれが知覚されないための最大ずれ量を測定し、視触覚提示の位置合わせ精度の指標が得られた。本年度研究によれば、手掌部での視触覚弁別閾は 10~13 mm であった。

「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、人間特性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、後者の応用として左右の踏み出し運動を先読みするシステムを構築したほか、エアホッケーを題材とした運動習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はどのタイミングで誤差情報を提示すればよいのかを検証する実験を継続し、昨年度に見出した「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傾向」について、さらに多くの実験条件で検証した(論文投稿準備中)。この実験で得られた「適応ゲインが高くなる時刻が複数現れる」という結果は、適応に必要な誤差を受け取るチャンネルが複数存在することを示唆する。このほか、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必要であるか否かを検証する実験を行ない、着弾点の視覚情報がなくても適応が進行することを示した[31]。この結果は、「的に球を命中させる」課題における視覚運動変換の適応において「的に球があたる瞬間の視覚情報」が必須ではないことを示しており、上述の結果とともに、適応に必要な誤差情報を受け取るタイミングが単一でないことを示している。

身体運動の時空間協調構造の解析においては、全身運動中に身体パーツの動きを計測し、それらの時間関係を解析して、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を例題として、踏み出す方向を予測するために有効な身体パーツの動きを分析した。その結果、踏み出す側の足が地面を離れる時刻から約 500ms 先行して体幹の回転が始まることが明らかになった。これにより、体幹の回転を検出することで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[88]。

以上の成果のほかに、エアホッケーを題材として相手の動きを先読みして効果的に身体を動かす技法の学習を支援する実験を計画し、来年度から実験開始に向けて、高速度カメラ画像の信号処理および高速度ディスプレイでの画像提示方法の準備など、実験環境の構築を行なった。



図 5 マルチスケールマップビューワー

「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、人間支援のための高速・非接

触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、一つは携帯機器の入力を支援する三次元入力インターフェースシステム、もう一つは三次元ディスプレイに表示された仮想物体とインタラクションを行うシステムを開発した。

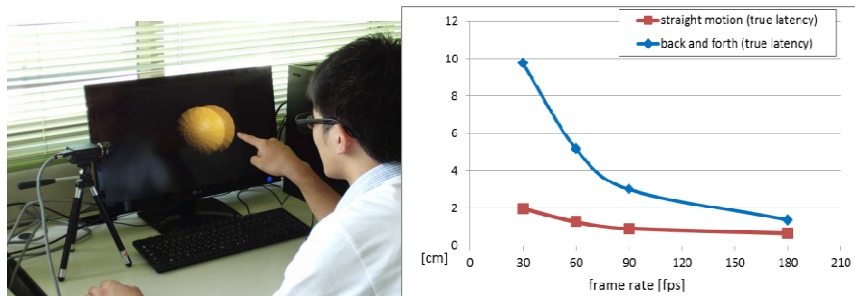


図6 構築したシステム

図7 予測精度の比較

図5は、開発した三次元入力インターフェースシステムを元に作成した、指先の奥行きを基に地図の拡大縮小を行うアプリケーションである。ズームの途中で指を水平方向に移動することにより、現在の拡大中心とは異なる点が新たな拡大中心となる。また、拡大率が大きくなるにつれてより精細な地図に画像が変更される。これにより、広い表示範囲と精査な表示を両立させることができる。また、図6に構築した仮想物体とインタラクションを行うシステム、図7に予測精度の比較結果を示す。直線的な動き、反復的な動きともにフレームレートが高くなるにつれて予測がより正確になった。主観評価実験では、仮想物体が指と連動して動くアプリケーションにおいて、25名中16名がフレームレートが高いほうが実体感があると回答した。



図8 全体システム試作に向けた構想の実験

「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、全体システムの開発に向けて基本設計を行った。まず、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つを統合する情報環境の基本設計を行い、予備的なシステムを試作した。基本構想としては、日常生活における様々な物体に、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し、情報インターフェースとして活用させようとするものである。これは、コンピュータインターフェースの新しい方向性を顕在化しようとするものである。我々はこれを**Invoked Computing**と呼んでいる[109]。本年度は、同システムの予備的なシステムを具体化するとともに、簡単なデモンストレーションを行うための予備的な試作を行った。ここでは、アクティブにヘッドが稼働するプロジェクタとカメラを天井に設置し、部屋内での人間の行動に合わせて、適応的に機能を提供する実験を行った。具体的には、ピザの箱をノートパ

ソコンに、バナナを電話に見立てて機能させることを行った。このように、日常生活下のあらゆる物体に対して、人間の動作に合わせた情報機能を先回りして提示することが有効であることを実証した。ただし、本システムは予備的なものであり、まだセンシングとディスプレイ技術の速度が低かったため(通常の30Hzのカメラ等)、高速な動作に対応できない問題や、システムによる情報提示の遅延が致命的である問題があった。この実験の結果に基づき、これらの問題を解決するためのデバイスを新たに開発するための検討を行うとともに、この予備実験の結果を反映させた形でInvoked Computingの構想を基盤として、高速版の全体システムの設計と開発に着手している。また、チームメンバーの成果も全体システムの中に組み入れることを想定しており、それらの活用により、更に広範囲の展開を企図している。

### §3. 成果発表等

#### (3-1) 原著論文発表

##### ●論文詳細情報

- 1) Idaku Ishii, Tetsuro Tatebe, Qingyi Gu, and Takeshi Takaki :  
Color-histogram-based tracking at 2000 fps, Journal of Electronic Imaging, 21, 013010, 2012. (DOI: 10.1117 / 1.JEI.21.1.013010)
- 2) Qingyi Gu, Takeshi Takaki, and Idaku Ishii : A Fast Multi-Object Extraction Algorithm Based on Cell-Based Connected Components Labeling, IEICE Transactions on Information and Systems Vol.E95-D No. 2 pp. 636-645, 2012. (DOI: 10.1587 / transinf.E95.D.636)
- 3) Idaku Ishii, Taku Taniguchi, Kenkichi Yamamoto, and Takeshi Takaki :  
High-Frame-Rate Optical Flow System, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 22, no. 1, pp. 105-112, 2012. (DOI: 10.1109 / TCSVT.2011.2158340)
- 4) Yao-Dong Wang, Idaku Ishii, and Takeshi Takaki : HFR-Video-Based Machinery Surveillance for High-Speed Periodic Operations, Journal of System Design and Dynamics, Vol. 5, No. 6, pp. 1310-1325 (2011) (DOI: 10.1299 / jsdd.5.1310)
- 5) Hua Yang, Takeshi Takaki, and Idaku Ishii : A Structural Damage Quantification Method for HFR-Video-Based Modal Testing, Journal of System Design and Dynamics, Vol. 5, No. 4, pp. 624-641 (2011) (DOI: 10.1299 / jsdd.5.624)
- 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) (in press)



- 7) 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 (accepted)
- 8) Lei Chen, Hua Yang, Takeshi Takaki, and Idaku Ishii : Real-Time Optical Flow Estimation Using Multiple Frame-Straddling Intervals, *Journal of Robotics and Mechatronics* (accepted)
- 9) Qingyi Gu, Takeshi Takaki, and Idaku Ishii : Fast FPGA-Based Multi-Object Feature Extraction, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* (accepted)
- 10) Lei Chen, Hua Yang, Takeshi Takaki, and Idaku Ishii : Real-Time Frame-Straddling-Based Optical Flow Detection, *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics*, pp. 2447-2452, 2011. (Phuket, Thailand, 2011/12/10)
- 11) Qingyi Gu, Takeshi Takaki, and Idaku Ishii : 2000-fps Multi-Object Recognition Using Shift-Invariant Features, *Proc. Int. Symp. on Optomechatronics Technologies*, 2012. (Hong Kong, China, 2011/11/3)
- 12) Idaku Ishii, Yang-Dong Wang, and Takeshi Takaki : Visual Machinery Surveillance for High-Speed Periodic Operations, *Proc. IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp.1208-1213, 2011. (San Francisco, USA, 2011/9/27)
- 13) Idaku Ishii, Hiroki Ichida, and Takeshi Takaki : GPU-based Face Tracking at 500 fps, *Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing*, pp.565-568, 2011. (Brussels, Bergium, 2011/9/12)
- 14) Idaku Ishii, Ikuya Ohara, Tetsuro Tatebe, and Takeshi Takaki : 1000 fps Target Tracking Using Vibration-based Image Features, *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp.1837-1842, 2011. (Shanghai, China, 2011/5/10)
- 15) Hua Yang, Takeshi Takaki, and Idaku Ishii : Dynamics-based Visual Inspection through Real-time Modal Analysis, *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp.5979-5984, 2011. (Shanghai, China, 2011/5/10)
- 16) H. Hasegawa, Y. Suzuki, A. Ming, M. Ishikawa, M. Shimojo, Robot Hand Whose Fingertip Covered with Net-Straped Proximity Sensor /-Moving Object Tracking Using Proximity Sensing-, *J. of Robotics and Mechatronics*, vol.23, no.3, pp.328-337, 2011
- 17) 寺田一貴, 鈴木陽介, 長谷川浩章, 曾根聡史, 明愛国, 石川正俊, 下条誠, 全方位検出・高速応答可能なネット状近接覚センサの開発, *日本ロボット学会誌*, vol.29, no.8, pp.683-693, 2011
- 18) Terada, K.; Suzuki, Y.; Hasegawa, H.; Sone, S.; Ming, A.; Ishikawa, M.; Shimojo, M.. Development of Omni-directional and Fast-responsive Net-structure Proximity

- Sensor, 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2011) pp. 1954-1961, San Francisco, CA, USA, 25-30 Sept. 2011. (DOI: 10.1109/IROS.2011.6048174)
- 19) H. Yamamoto, K. Harada, K. Matsushita, T. Imagawa, and S. Suyama, "Polarization Encoding Using Number of Stacking Sheets as Additional Key Information," Proc. of 2011 ICO International Conference on Information Photonics, IOT-Poster-19-3, 2011.
  - 20) H. Yamamoto and Shiro Suyama, "Secure Display by Use of Multiple Decoding Masks Based on Visual Cryptography," Proc. of 2011 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 2011-ILDC-333 (2011).
  - 21) K. Uehira and H. Yamamoto, "New Display Technology for Unconscious Information," Proc. of 2011 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 2011-ILDC-335 (2011). 2011 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 10 Oct., 2011. Orlando, FL (USA).[招待講演]
  - 22) H. Yamamoto, "Three-dimensional digital signage by use of full color LED panel," Proc. The First Korea-Japan Workshop on Digital Holography and Information Photonics (DHIP 2011), pp. 17-18 (2011).
  - 23) K. Imai, H. Bando, C. Maeda, S. Suyama, and H. Yamamoto, "3-D Viewer with Conversion of Side-by-side Images into Stacked Virtual Images," Proc. The First Korea-Japan Workshop on Digital Holography and Information Photonics (DHIP 2011), pp. 69-70 (2011).
  - 24) T. Sonoda, Y. Okada, H. Yamamoto, and S. Suyama, "Floating volumetric 3-D display using multi-varifocal lens and high-speed 2-D display," Proc. The First Korea-Japan Workshop on Digital Holography and Information Photonics (DHIP 2011), pp. 71-72 (2011).
  - 25) C. Maeda, S. Toyama, N. Saka, H. Yamamoto, and S. Suyama, "Active Liquid-Crystal Device for Arc 3D Display", Proc. IDW '11, vol. 1, pp. 279-282 (2011).
  - 26) H. Sonobe, K. Sadakuni, H. Yamamoto, and S. Suyama, "Perceived depth change in protruding DFD (Depth-fused 3D) display", Proc. IDW '11, vol. 1, pp. 303-306 (2011).
  - 27) H. Bando, S. Suyama, and H. Yamamoto, "Floating Display of LED Signage by Use of Crossed Mirrors", Proc. IDW '11, vol. 2, pp. 935-938 (2011).
  - 28) S. Farhan, S. Suyama, and H. Yamamoto, "Hand-Waving Decodable Display by Use of a High Frame Rate LED panel," Proc. IDW '11, vol. 3, pp. 1983-1986 (2011).
  - 29) H. Yamamoto, H. Bando, R. Kujime, S. Suyama, "Design of crossed-mirror array to

form floating 3D LED signs," Proc. SPIE, Vol. 8288, 828820 (2012).

<http://dx.doi.org/10.1117/12.909879>

- 30) Masahiro Fujiwara, Kei Nakatsuma, Masafumi Takahashi, and Hiroyuki Shinoda: Remote Measurement of Surface Compliance Distribution Using Ultrasound Radiation Pressure, Proc. IEEE World Haptics Conference 2011, Oral, 21-24 June, Istanbul, Turkey, pp. 43-47, 2011.
- 31) Takumi Ishikawa. and Yutaka Sakaguchi.: Visual information of endpoint position is not required for prism adaptation of shooting task, Proceedings of 18th International Conference of Neural Information Processing (ICONIP2011), LNCS 7064, 95–102, 2011. (DOI: 10.1007/978-3-642-24965-5\_11)

### (3-2) 知財出願

- CREST研究期間累積件数(国内 1件)