

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2004 年度～2008 年度

課題番号：16100001

研究課題名（和文） 超高速体感型シミュレーションシステムの研究

研究課題名（英文） Real-Time Sensable Simulation Systems

研究代表者

富田 眞治 (TOMITA SHINJI)

京都大学・大学院情報学研究科・教授

研究者番号：40026323

研究成果の概要：

本研究では、人間がシミュレーションサイクルの中に入り視覚、触覚を通して相互作用を行い、シミュレーションのモデル変更やパラメータ変更を行い、その結果を実時間で体験することのできる超高速シミュレーションシステムの実現にむけた基盤技術の開発と、その典型的な応用問題としての手術シミュレーションシステムの開発を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2004 年度	32,200,000	9,660,000	41,860,000
2005 年度	13,800,000	4,140,000	17,940,000
2006 年度	14,700,000	4,410,000	19,110,000
2007 年度	14,400,000	4,320,000	18,720,000
2008 年度	9,800,000	2,940,000	12,740,000
総計	84,900,000	25,470,000	110,370,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：計算機システム・ネットワーク

キーワード：スーパーコンピュータ、実時間処理、シミュレーションステアリング、可視化・可触化、投機処理、手術シミュレーション、触診シミュレーション、バーチャルリアリティ

1. 研究開始当初の背景

従来のスーパーコンピュータを用いた数値シミュレーションでは実時間応答性に関しては殆んど関心が向けられていない。シミュレーションの途中経過の可視化によるモニタリング技術がようやく可能になりつつある段階であり、ましてや、人間がシミュレーション系の中に入り、五感を通して相互作用をし、系自体のモデル変更や境界値などのパラメータ変更を伴うシミュレーションを実時間で実現するシステムは皆無であった。

2. 研究の目的

実行中のシミュレーションに対して人間が対話的に介入可能な実時間性と計算の正確性の両立が求められる領域の問題に対して、実時間性と人間の五感における知覚の分解能のレベルでの計算精度の両立を可能にする仮想体感型シミュレーションシステムの構築と、その典型的な応用分野として期待される手術シミュレーションシステムの実現に向けた基盤技術の開発および実証システムを構築することが目的である

3. 研究の方法

本研究では「超高速体感型シミュレーション環境」の実現に向けて、要素技術を確率する第一フェーズとこれらを統合し次世代のシミュレーション環境の構築を目指す第二フェーズに分けて研究を行った。第一フェーズでは第二フェーズでの統合を意識しつつも比較的独立した研究テーマで研究を分担し推進した。第二フェーズでは、第一フェーズの研究を継続しつつ統合システムの構築に向けて分担者全員が協調して研究を推進した。以下、概要を説明する。

(1) 能動的仮想体感型シミュレーションサーバの研究

数値シミュレーションと結果の可視化・可触化による提示、また、提示結果に対するユーザの応答に対応した数値シミュレーションといった、実時間で人間が介入する体感型システムの実現にむけて、シミュレーションサーバの構成方式、サーバで使用するプロセッサのアーキテクチャ、数値計算あるいは可視化処理を高速化する専用・準専用のハードウェアアクセラレータに関する研究を行った。

(2) マルチスケール・シミュレーション技術 を応用した実時間シミュレーション手法 の研究

人間が「仮想体感」するための必要最低限の精度を維持しつつ実時間性の制約の中で可能な限り高精度なシミュレーションを実現するための要素技術の開発を行う。インタラクションに伴う境界条件の対話的変更手法、人間の知覚特性を考慮した近似計算を許容する高速計算アルゴリズムの開発、注目領域を考慮した詳細度制御可能にする臓器モデリング手法などの研究・開発を行った。

(3) 実時間触覚フィードバックを伴うシミュレーション提示システムの研究

触診、切開、剥離などの手術手技における触覚フィードバックを伴う手術シミュレーションにおける、視覚情報、触覚情報を医療現場あるいはトレーニング環境において体験者に効率よく情報提示する技術開発を行った。

(4) 統合システムの実現に向けた研究

ネットワーク利用を前提とした体感型シミュレーションサーバに対する遠隔操作環境の構築、また、動的に変動する通信遅延を隠蔽し操作者が違和感なく体感するためのローカル・リモート連携型の協調シミュレーションモデル（シミュレーションキャッシング）の開発、操作者の操作の連続性を利用した投機計算を並列に事前実行することで実時間性を保障する投機計算手法、血管内の拍動流と血管壁の相互作用と触診にともなう血管壁の変形を考慮した構造・流体連成シミュレーションシステムの開発などを行った。

4. 研究成果

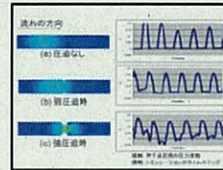
(1) 体感型シミュレーションサーバの構築

2004年の段階で国内最大級のGPUクラスターシステムを開発し、GPUベースのアクセラレーション技術の先鞭を着けた。また、数値計算と計算結果の可視化処理をネットワーク上での通信競合を抑えて同時並行処理可能なネットワークポロジを提案した。

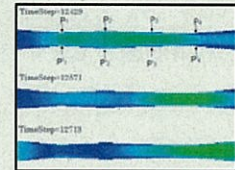


(2) 構造・流体連成シミュレータの構築

CPUとGPUの機能分散、ならびに、GPUをベクトルプロセッサと見なした計算アクセラレーションにより、対話性を確保する構造・流体連成シミュレータを構築した。これにより、拍動流に伴う壁の構造変化や、外力（あるいは狭窄などの病変）による壁の変形が拍動流に与える影響等、流体・構造連成計算の結果が対話的に観測可能となった。



壁面押下時の流体への影響と応力の変化



拍動流からの応力による管壁の変形

(3) 遠隔インタラクティブ流体攪拌シミュレータ

遠隔地の大規模サーバ上のシミュレーションに対して手元の操作端末から実時間インタラクションを行い操作者が実行中のシミュレーションを体感できる遠隔シミュレーションフレームワークの構築を行った。この際、遠隔地のサーバと操作端末との間の通信遅延を隠蔽するため、操作端末側にも小規模なローカルサーバを設け、両サーバ間に弱い連携を持たせることで、計算精度の確保と通信遅延の隠蔽を行うシミュレーション・キャッシングと呼ぶシミュレーションモデルを実装し、流体攪拌シミュレーションを用いてその有効性を検証した。

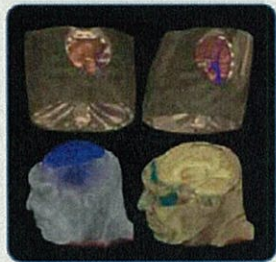
(4) 手術手技の連続性を考慮した投機計算モデル

剥離手技や切開手技などの破壊変形をともなう手術シミュレーションでは、剛性マトリクス自体が変化するため従来法による高速化が不可能である。そこで、応力分布に基づいた破断要素群の一括処理による破断計算回数の削減と処理の効率化を図るとともに、剛性マトリクスの高速部分更新により弾性率や境界条件の変更時に生じる計算コストを大幅に削減する破壊計算アルゴリズム

を設計し実装を行った。また、クライアントサーバ型分散シミュレーションアーキテクチャを設計し、投機処理と部分剛性マトリクス伝送により伝送量を抑え、力覚応答の更新レートを確保する手法を構築した。さらに、直接法では実時間性の保障が困難な、より大規模な問題に対しては、CG法ベースの反復型解法を用いた高速化手法の検討を行った。ここでは、破壊を伴わない構造変形に対しては、反復回数を制限することで実時間性を保障した。一方、破壊を伴う構造変形にたいしては、破壊発生後に前処理行列を導出するのではなく、実際の破壊変形が発生する前に、操作の連続性を考慮して複数の構造変形パターンに対して投機的に前処理行列を計算しておくことで、実際の破壊変形が発生した時点で最尤な前処理行列をもちいて直ちに反復計算を行う手法を提案した。

(5) ボリューム像の実時間対話操作手法

手術時に想定される軟組織の物理的な変化をシミュレートし、インタラクティブにボリューム像上に描出する方法論を開発した。

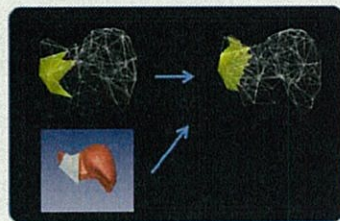


体表に対する切開と開創、触診や圧排などによる臓器変形を有限要素法に基づいてシミュレートできる。開発システムに患者実測 CT データを適用し、外科医と共に術前計画を想定した実験を行った結果、数例の術式に対する手術時の視野をシミュレートすることができた。

(6) 詳細度制御を導入した臓器モデリング法の開発

応力分布に基づいた破壊進展モデルに、任意外力に対する応力拡大係数を近似的に求める手法を導入した剥離手技シミュレータを開発し、作用する外力と操作位置や向きの相関関係による違いが表現できることを確認した。さらに、計算量を増加させずに弾性値分布などのパラメータ情報の空間分解能を関心領域に合わせて詳細度制御する臓器モデリング法を開発した。

本モデルにより、シミュレーション全体のスケーラビリティを制御することが可能となった。



左上：メッシュ形状データ、
左下：データ分布、
右：データ分布を反映したメッシュ形状とパラメータ設定

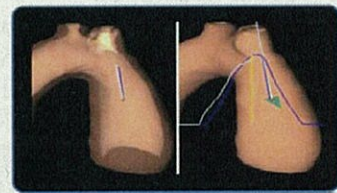
レートを確保する手法を構築した。さらに、直接法では実時間性の保障が困難な、より大規模な問題に対しては、CG法ベースの反復型解法を用いた高速化手法の検討を行った。ここでは、破壊を伴わない構造変形に対しては、反復回数を制限することで実時間性を保障した。一方、破壊を伴う構造変形にたいしては、破壊発生後に前処理行列を導出するのではなく、実際の破壊変形が発生する前に、操作の連続性を考慮して複数の構造変形パターンに対して投機的に前処理行列を計算しておくことで、実際の破壊変形が発生した時点で最尤な前処理行列をもちいて直ちに反復計算を行う手法を提案した。

(7) 手術シミュレーションにおける多指力覚提示法に関する研究

複数点接触時の反力計算による多指に対する力覚提示と、FEM 計算に基づく臓器表面の圧分布の表示が可能な圧排シミュレータを構築した。訓練実験の結果、教示すべき圧力を色分布表示する手法が訓練初期には特に効果的であることがわかった。次に、技能伝達のためシナリオ編集が可能な直腸指診シミュレータを開発した。重要な手技に対して医師が力の使い方に関する注釈付けを行い、手袋型センサーを教示インタフェースとして用いた教示実験を行った結果、手技の要点習得に有効であることを確認した。

(8) 直腸指診を対象とした熟練医の運指評価と医学生に対する教示

三次元再構成された直腸形状モデルを用いて直腸指診を対象とした熟練医の動作を記録・再生するシステムを開発した。触診時の臓器変形と反力の提示をおこないつつ、操作を記録できる。また、記録した動作に基づき、実際にはみることのできない指診時の熟練医の運指を触覚を通じて訓練医に教示するシステムを開発した。運指の特徴量を抽出して動作の補助としてアノテーションをつけて教示する。医学生を対象とした触診訓練を行い、動作教示において、三次元的な運指だけではなく特徴量を伝えることで、学習のスピードと持続性を向上させることができた。



力覚アノテーションを用いた運指の教示 (左：反力、右：速度)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 21 件)

[すべて審査付論文]

1. M. Nakao and K. Minato, "Physics-based Interactive Volume Manipulation for Sharing Surgical Process", IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 2009. (in press)
2. 桑直人, ミッコ・リッサネン, 黒田嘉宏, 中尾恵, 竹村匡正, 吉原博幸, 黒田知宏, 森眞一郎, 富田眞治, 吉村耕治, "力覚に関する注釈付きのVRシミュレータを用いた直腸触診の教示効果の評価," VR

- 医学, Vol. 7, No. 1, pp. 24-36, Mar 2009.
3. Jun Yao, Shinobu Miwa, Hajime Shimada, and Shinji Tomita, "A Dynamic Control Mechanism for Pipeline Stage Unification by Identifying Program Phases," IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, Vol. E91-D, No. 4, pp. 1010-1022, April 2008.
 4. 中尾 恵, 河本 敏孝, 杉浦 忠男, 湊 小太郎, "弾性変形モデルに対する頂点数を保存した切開方法", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 12, No. 4, pp. 585-594, Dec 2007.
 5. 黒田嘉宏, 平井真, 中尾恵, 佐藤寿彦, 黒田知宏, 長瀬啓介, 吉原博幸, "多指力覚提示装置を用いた臓器圧排シミュレータに関する研究", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 日本バーチャルリアリティ学会, Vol. 11, No. 4, pp. 515-525, Dec. 2006.
 6. ミッコ・リッサネン, 黒田嘉宏, 中尾恵, 糸直人, 黒田知宏, 長瀬啓介, 吉原博幸: 外科手術教育を目的とした注釈つきVRシミュレーション記録の研究 - 力のかけ方の実時間可視化における利点の評価 -, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 日本バーチャルリアリティ学会, Vol. 11, No. 4, pp. 527-536, Dec. 2006.
 7. M. Nakao, T. Kuroda, H. Oyama, G. Sakaguchi and M. Komeda, "Physics-Based Simulation of Surgical Fields for Preoperative Strategic Planning", Journal of Medical Systems, Vol. 30, No. 5, pp. 371-380, Oct. 2006.
 8. 竹村匡正, 黒田嘉宏, 糸直人, 岡本和也, 堀健太, 中尾恵, 黒田知宏, 吉原博幸, "手術手順書からの知識抽出による教育用手術VR環境の要件抽出", 医療情報学, 日本医療情報学会, Vol. 25, No. 6, pp. 457-462, 2006.
 9. M. Nakao, T. Kuroda, M. Komori, H. Oyama, K. Minato and T. Takahashi, "Transferring Bioelasticity Knowledge through Haptic Interaction", IEEE Multimedia, Vol. 13, No. 3, pp. 50-60, Jul. 2006.
 10. 高山征大, 森眞一郎, 中島康彦, 富田眞治: セル投影型並列ボリュームレンダリングのEarly Ray Terminationによる高速化, 情報処理学会論文誌: コンピューティングシステム, Vol. 47, No. SIG7 (ACS14), pp. 123-136 (2006).
 11. 箕輪 弘嗣, 中尾 恵, 佐藤 哲大, 杉浦 忠男, 湊 小太郎, "光ピンセット操作における反力提示システムの開発", システム制御情報学会論文誌, Vol. 19, No. 1, pp. 40-42, Jan 2006.
 12. Y. Kuroda, M. Nakao, T. Kuroda, H. Oyama and M. Komori, "Interaction Model between Elastic Objects for Haptic Feedback considering Collisions of Soft tissue", Computer Methods and Programs in Biomedicine (Elsevier Science), Vol. 80, No. 3, pp. 216-224, Dec 2005.
 13. 中尾 恵, 黒田 知宏, 湊 小太郎, "ボリュームインタラクションのためのマスキングとその実時間処理方法", バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 10, No. 4, pp. 591-598, Dec 2005.
 14. 糸直人, 中尾恵, 黒田知宏, 吉原博幸, 小森優, "VRシミュレータを目指した生体軟組織の剥離シミュレーション", 生体医工学, Vol. 43, No. 1, pp. 76-84, Jan 2005.
 15. 丸山悠樹, 中田智史, 篠本雄基, 高山征大, 五島正裕, 森眞一郎, 中島康彦, 富田眞治: 汎用グラフィックスカードを用いた並列ボリュームレンダリングシステム, 情報処理学会論文誌: コンピューティングシステム, Vol. 45, No. SIG11 (ACS7), pp. 332-345 (2004)
- 他6件
- 〔学会発表〕(計 152 件)
国際会議 (52 件)
- [すべて査読付論文]
1. Y. Kuroda, H. Kanamori, H. Takiuchi, M. Tanooka, T. Kuroda, O. Oshiro: Dynamic Transparency Control of Augmented Surgical View for Interoperative Navigation. Proc. International Forum on Medical Imaging in Asia, Taipei/ROC, 495-498 (2009)
 2. N. Kume, Y. Kuroda, M. Nakao, T. Takemura, H. Yoshihara, T. Kuroda, S. Mori, S. Tomita: Virtual Organ Modeling by Reflecting the Tone Fit of Multiple Attributes. Proc. International Forum on Medical Imaging in Asia, Taipei/ROC, 617-621 (2009) Taipei/ROC.
 3. T. Asano, T. Yoshimura, H. Shimada, S. Mori, S. Tomita: Large Scale Volume Rendering on the Sensable Simulation System, Int'l Workshop on Super Visualization(IWSV 2008), Kos/Greece,

- June 2008. (CD-ROM)
4. K. Hashimoto, S. Mori, A. Yamaguchi, M. Komatsubara, S. Tomita: Interactive Fluid Simulation and its remote steering framework with Visual and Haptic Feedback, Proc. Int'l Conf. Modeling, Simulation and Visualization Methods, Las Vegas/USA, pp. 53--57, July 2008.
 5. M. Nakao, K. Minato, N. Kume, S. Mori and S. Tomita, "Vertex-preserving Cutting of Elastic Objects", IEEE Virtual Reality, p. 377-378, Reno/USA, Mar. 2008.
 6. Y. Kuroda, M. Nakao, T. Kuroda, O. Oshiro, "Haptic Rate for Surgical Manipulations with Fingers and Instruments", Medicine Meets Virtual Reality, pp. 230-232, Long Beach/USA, Jan. 29 - Feb. 1, 2008.
 7. M. J. Rissanen, N. Kume, Y. Kuroda, T. Kuroda, K. Yoshimura and H. Yoshihara, "Asynchronous Teaching of Psychomotor Skills Through VR Annotations: Evaluation in Digital Rectal Examination", Medicine Meets Virtual Reality 16, pp. 411-416, Long Beach/USA, January 1-February 3, 2008.
 8. M. Nakao, S. Yano, T. Matsuyuki, T. Kawamoto and K. Minato, "Interactive Volume Manipulation for Supporting Preoperative Planning", Stud. Health Tech. Inform. (MMVR), Long Beach/USA, Vol. 125, pp. 316-321, Jan 2008.
 9. Y. Kuroda, T. Takemura, N. Kume, K. Okamoto, K. Hori, M. Nakao, T. Kuroda and H. Yoshihara, "Semi-automatic Development of Optimized Surgical Simulator with Surgical Manuals", Medicine Meets Virtual Reality 15, pp. 250-255, Newport Beach/USA, February 6-9, 2007.
 10. T. Yoshimura, K. Saito, H. Shimada, S. Miwa, Y. Nakashima, S. Mori, and S. Tomita: Three Quads: An Interconnection Network for Interactive Simulations, Proc. Asian Simulation Conference, pp. 362-366, Tokyo, 2006.
 11. N. Kume, M. Nakao, T. Kuroda, H. Yoshihara and M. Komori, "FEM-Based Soft Tissue Destruction Model for Ablation Training Simulator, Proc. 10th International Conference Virtual Systems of MultiMedia, Ogaki, pp. 670-677, 2004.

他41件

国内シンポジウム (18件)

[すべて審査付論文]

1. 依藤逸, 野田裕介, 糸直人, 嶋田創, 中尾恵, 森眞一郎, 中島浩, 富田眞治: 操作の連続性を考慮した投機計算を利用するインタラクティブシミュレータ, 先進的計算基盤シンポジウム SACSIS 2009, 広島市, (採録決定)
2. 橋本健介, 手塚俊作, 森眞一郎, 富田眞治: シミュレーションキャッシングと遠隔インタラクティブ流体シミュレーションへの応用, 先進的計算基盤シンポジウム SACSIS 2009, 広島市, (採録決定)
3. 中尾恵, 河本 敏孝, 湊 小太郎, "柔らかい物体に対する切開の実時間シミュレーション方法", Visual Computing/グラフィクスと CAD 合同シンポジウム, pp. 125-128, 枚方市, June, 2007.
4. 黒田嘉宏, 中尾恵, 黒田知宏, 小山博史, 吉原博幸, "触診スキルにおける指操作と知覚精度に関する考察", ヒューマンインタフェースシンポジウム 2005, pp. 101-104, 藤沢市, Sep. 2005.
5. 糸直人, 中尾恵, 黒田知宏, 吉原博幸, 小森 優, "生体軟組織の剥離シミュレーション", 生体医工学シンポジウム 2004 講演論文集, 北海道, p. 48, Sep. 2004.
他13件

口頭発表 (82件)

1. 山口明德, 三輪忍, 嶋田創, 森眞一郎, 富田眞治: インタラクティブ流体シミュレータにおける力覚提示モデルに関する検討, 日本バーチャルリアリティ学会第12回大会, CD-ROM 予稿集(講演番号 1D2-4), 福岡市, 2007年9月.
2. 山崎勇輔, 森眞一郎: 収束過程の可視化によるアルゴリズム設計支援 - インタラクティブシミュレーションの高速化 -, 第35回 可視化情報シンポジウム, 東京, 2007年7月24日
3. 糸直人, 黒田嘉宏, 中尾恵, 黒田知宏, 長瀬啓介, 吉原博幸, 小森優, "軟組織破断 VR シミュレータによる力覚提示を目的とした投機実行手法の提案", 医療情報連合大会, pp. 1151-1153, 札幌, November 1-3, 2006.
4. ミッコ・リッサネン, 黒田嘉宏, 中尾恵, 糸直人, 黒田知宏, 長瀬啓介, 吉原博幸, "VR 手術シミュレーションにおける手技操作記録の編集時の特徴量保存に関する研究", 医療情報連合大会, pp. 1157-1160, 札幌, November 1-3, 2006.
5. 吉村知晋, 三輪忍, 嶋田創, 中島康彦, 森眞一郎, 富田眞治: 中規模コモディ

ティクラスト向け相互結合網 Three Quads の提案, 情報処理学会研究報告, 2006-ARC-167, 札幌, Mar. 2006.

他 7 7 件

[産業財産権]

○出願状況 (計 5 件)

1. 名称: 情報処理装置等

発明者: 中尾 恵, 湊 小太郎

権利者: 奈良先端科学技術大学院大学

種類: PCT

番号: JP2006/314148

出願年月日: 平成18年7月17日

国内外の別: 国外

2. 名称: 情報処理装置およびプログラム

発明者: 中尾 恵, 黒田 知宏

権利者: 京都大学

種類: PCT

番号: JP2005/014024

出願年月日: 平成18年8月1日

国内外の別: 国外

他3件

[その他]

講演、解説記事など (3 3 件)

1. 中尾 恵, "リアルタイム術前ボリューム手術シミュレーション", 阪神内視鏡手術勉強会 講演, Feb 2008.

2. 黒田嘉宏, "ハプティクスの腹腔鏡手術への応用", 阪神内視鏡手術勉強会, Feb. 2008.

3. S. Mori, K. Hashimoto, A. Yamaguchi, M. Komatsubara, S. Tomita : Interactive Fluid Simulation and its remote steering framework with Visual and Haptic Feedback, Int'l Symp. on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration, December 2007.

4. 森眞一郎, 山崎勇輔, 依藤逸, 野田祐介, 桑直人, 富田眞治, "操作の連続性を考慮した手術シミュレーションの高速化", 九州大学情報基盤研究開発センター線形計算フォーラム, Sept. 2007.

5. 中尾 恵, "リアルタイムボリュームグラフィクス", MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY, Vol. 25, No. 3, pp. 203-206, Jul. 2007.

6. 富田眞治: コンピュータシステムの発展と今後の動向, 京大総合博物館第 19 回公開講座, 「コンピュータに感覚をー京大情報学パターン情報処理の系譜ー」, 2006年7月.

7. 黒田嘉宏, "臨床教育の質を向上させる

ためのトレーニングシミュレータ", 病院, Vol.65, No.3, 医学書院, Mar. 2006.

8. 中尾 恵, 黒田 知宏, 小山 博史, 湊 小太郎, "術前 VR リハーサル", 第 17 回 VR-Lab. シンポジウム講演, Mar 2005.

9. 黒田 知宏, "医療VRシステムとその周辺技術", VR工学部会講演会, Nov 2004. 他24件

6. 研究組織

(1) 研究代表者

富田 眞治 (TOMITA SHINJI)

京都大学・大学院情報学研究科・教授

研究者番号: 40026323

(2) 研究分担者

嶋田 創 (SHIMADA HAJIME)

京都大学・大学院情報学研究科・助教

研究者番号: 60377851

桑 直人 (KUME NAOTO)

京都大学・大学院医学研究科・助教

研究者番号: 00456881

五島 正裕 (GOSHIMA MASAHIRO) (H16~H16)

京都大学・大学院情報学研究科・助手

(現: 東京大学・情報理工学研究所・准教授)

研究者番号: 90283639

黒田 知宏 (KURODA TOMOHIRO)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授

研究者番号: 10304156

黒田 嘉宏 (KURODA YOSHIHIRO)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・助教

研究者番号: 30402837

森 眞一郎 (MORI SHIN-ICHIRO)

福井大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 20243058

中島 康彦 (NAKASHIMA YASUHIKO)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授

研究者番号: 00314170

中尾 恵 (NAKAO MEGUMI)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教

研究者番号: 10362526