

機関番号：14501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2010

課題番号：19540216

研究課題名（和文） 非線形発展方程式の最適制御とパラメータ同定問題の研究

研究課題名（英文） RESEARCH OF OPTIMAL CONTROL AND PARAMETER IDENTIFICATION PROBLEMS FOR NONLINEAR EVOLUTION EQUATIONS

研究代表者

中桐 信一（SHIN-ICHI NAKAGIRI）

神戸大学大学院・システム情報学研究科・教授

研究者番号：20031148

研究成果の概要（和文）：関数解析の手法に基づき、非線形偏微分方程式を抽象空間上の発展方程式としてとらえ、変分法および半群理論を用いて最適制御問題、パラメータ同定問題、安定化問題を考察しその解決をはかった。具体的な偏微分方程式への応用として、次の5つのタイプの方程式を研究した。

- (1) 1階非線形発展方程式 (2) 非線形波動方程式
 (3) 2階ボルテラ型発展方程式 (4) 非局所項を持つ非線形振動方程式
 (5) 移流拡散方程式

研究成果の概要（英文）：Based on the method of functional analysis, the investigator has formulated nonlinear partial differential equations as evolution equations in abstract spaces. He has solved the related optimal control, parameter identification and stabilization problems by using the method of variation and the semi-group theory. As applications of the results to partial differential equations, he has studied the following five types of equations.

- (1) First order nonlinear evolution equations. (2) Nonlinear wave equations.
 (3) Second order evolution equations of Volterra type.
 (4) Nonlinear equations of vibration with nonlocal terms.
 (5) Coupled advection-diffusion equations.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	700,000	210,000	910,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究代表者の専門分野：最適制御理論、逆問題、変分法

科研費の分科・細目：数学・大域解析学

キーワード：最適制御、非線形発展方程式、係数逆問題、非線形波動、境界制御、連続半群、ボルテラ型微分積分方程式、変形公式

1. 研究開始当初の背景

(1) 非線形工学という新たな名称で、数理工学に現れる複雑かつ多彩な非線形現象を数理的に明らかにし、その挙動を制御しようという工学的研究が、本課題申請時には盛んに

なりつつあった。非線形工学に現れる様々な制御対象は、数学的モデルとして表現すると、しばしば非線形偏微分方程式系として表現される。特に物理工学、機械工学、化学工学、環境工学、生物工学などの分野に現れる、非

線形振動、ナノ反応場、ドリフト拡散、数理生体モデルは、様々なタイプの非線形発展方程式で記述される。非線形工学における重要な問題として、これらの非線形系に現れる現象の解明と、その挙動を制御しようという問題が挙げられる。これらは多く大規模の計算機処理を伴うものであるが、その理論的な基盤はしばしば脆弱であった。

(2)非線形系の構造解析は、目覚しく進展してきたとは言え線形系に比較するとそれらの研究は現在でも不十分といえる。これは、個々の非線形系に対する基礎的な解析結果が充分でなく、さらには制御及び観測対象としての定式化がなされていないというのが主たる理由である。手法の一般性と概念の豊かさこそが、現代の応用解析で求められるべきものであり、本研究では、非線形関数解析の手法に基づき、非線形偏微分方程式を抽象空間上の非線形発展方程式としてとらえ、変分法による立場から制御問題、安定性論、逆問題としてのパラメータ同定問題を定式化したというものが当初の研究の動機であった。

(3)問題の定式化と解析手法の展開は一般的統一的に出来たとしても、具体的な問題の解決には各々非線形のタイプに応じた固有の解析が必要になってくる。実際方程式系の解の望ましい正則性を得るには、系の持つ固有な特徴により一般論的な手法が適用できない場合はしばしば起こる。この事と研究手法の違いに留意して、本研究では次の重要ステップとして具体的方程式系に関する研究を進めたようとした。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、非線形工学における基礎的かつ重要な問題として、1で述べた非線形発展方程式系の構造解析と関連する最適制御問題や安定性、さらにそのモデルの妥当性を判定する逆問題を考察することを目的として研究を開始した。

(2) 非線形関数解析の手法に基づき、非線形偏微分方程式を抽象空間上の非線形発展方程式としてとらえ、変分法による立場から制御問題、安定性論、逆問題としてのパラメータ同定問題を定式化しその理論的解決をはかろうとした。

(3) (2)での定式化に基づき、非線形工学への応用上重要な非線形偏微分方程式に的を絞って、これらの問題を理論的に研究しようとした。本研究では、具体的な方程式に関する次の5つのテーマに分けて研究を進めた。

- ① 1階非線形発展方程式の数値制御問題。
量子力学やナノ反応場に現れる非線形量子方程式の数値最適制御問題の研究。
- ② 非線形波動方程式の制御同定問題。
強い減衰項を持つ非線形波動方程式やクライン-ゴールドン方程式、非線形ビーム方程式に現れるパラメータの同定問題と関連する最適制御の研究。
- ③ 2階非線形ボルテラ型発展方程式の基礎理論と制御同定問題。
抽象ボルテラ型発展方程式の解の存在と一意性および正則性の研究。長期記憶をもつ非線形粘弾性方程式の境界制御問題とパラメータ同定問題の研究。
- ④ 非局所項を持つ非線形振動方程式の制御同定問題。
非線形キルヒホッフ型振動方程式の制御同定問題の研究。
- ⑤ 移流項を持つ反応拡散方程式系の境界制御と安定化問題。
2層および3層からなる熱交換器方程式系やプラグ-フロー移流拡散方程式系に対する、境界可制御性、可観測性および境界入力による安定化問題の研究。加えて移流項についての逆問題の研究。

3. 研究の方法

(1) 本研究での制御理論、安定性論及び同定問題の定式化は、変分法に基づく広範な非線形方程式系に適用可能な定式化になっている。またこの定式化は、抽象理論からの応用をより容易にするという特色をもつ。近年の非線形解析学の発展により、強い非線形性を持つ方程式に適用できる手法や、作用素論に基づく抽象的手法が開発されつつある。本研究では、古典的解析方法と共にそれらの新手法を用いて非線形偏微分方程式の最適制御理論と同定問題の解決を図ろうとした。

(2) 2階非線形発展方程式のパラメータ同定問題について、その抽象的枠組みを構成する。作用素と非線形項にパラメータを含むとして、非線形特性についての適切な仮定の下で、方程式の解を構成し、パラメータ空間から解空間への解写像の連続性とガトー微分可能性を導く。さらにそのガトー微分を特徴づける変分方程式を求める。ここでのパラメータ同定問題を、非凸な一般的コストに対す

る最小化問題として定式化し、最適パラメータの存在と一意性を示す。さらに変分方程式を用いて、最適パラメータの満たすべき必要条件を導く。またガトー微分のパラメータに関する連続性は、最適解の鋭敏性の検証に用いる。加えてどのような場合に、フレッシュ微分可能性が従うかを調べる。

(3) 解の一意性のいえない非線形方程式系に対する、状態拘束条件付きの最適制御問題の研究を行った。ここでは、古典的な手法を拡張し、拡大ラグランジュ乗数を使用して、最大値原理を導びいた。この様な方法論により、関連する制御同定問題を再考察できた。

(4) 膜の振動方程式等の具体的半線形波動方程式に対する最適制御の新研究を行った。方程式の境界条件は、ノイマン型もしくはデレクレ型とし、制御は分布及び境界制御、観測は速度分布及び終端値観測として、転置法を用いる事により、2次積分コスト問題の一般的な解決をはかった。即ち、最適解の双対系による特徴づけを与えた。

(5) ガレルキン近似による近似同定手法と誤差評価の開発。擬スペクトル法等を用いて有限次元同定問題を定義し、近似コストに対応する近似最適解の真の最適解への収束性とそのオーダーを導こうとした。この近似手法は、量子制御の分野に適用可能で、自由素粒子の量子数値制御問題を考察できた。

(6) 移流拡散方程式系の境界可制御性と可観測性、および系の係数同定問題の研究を行った。この方程式系に対し、新たな変形公式とその変形核を構築した。変形核を用いることにより、任意の指数オーダーで収束するフィードバック解を構成できる。加えて、境界データから係数を決定するという放物型逆問題を解決することができる。これは、ゲリファント-レビタン理論の移流拡散方程式系版と考えられる。このとき、移流項とポテンシャル項同時の一意性はいえないが、新たな変形公式の使用によりそれらの間の必要かつ十分条件が見出される。その結果どちらか一方の一意性はいえることになる。さらなる議論を実行することにより、ボルグ型のスペクトル逆問題や移流項の非一意性の問題が解決できる。この変形公式は、外力および境界条件に非局所項を持つ1階および2階ボルテラ微分積分方程式系に対しても構成されることが明らかになっており、今後広大な応用が期待される。

4. 研究成果

(1) 未知パラメータを含む1階非線形発展方程式のパラメータ同定問題に対し、より一般的な非線形性の仮定の下で方程式の解を構成し、パラメータ空間から解空間への解写像の連続性とガトー微分可能性を導いた。さらにそのガトー微分を特徴づける変分方程式を求めた。関連するパラメータ同定問題を定式化し、最適パラメータの存在と一意性を示した。加えて最適パラメータの満たすべき必要条件を導いた。特に線形の場合には、自由素粒子の量子数値制御問題を考察した。すなわちシュレディンガー方程式で記述される量子系を考え、磁場と電場の無い場合の素粒子を制御するための数値アプローチを提案した。これは最新の研究成果であり、どのような展開が可能になるか予測がつかない。理論物理の方面に少なからぬインパクトを与えるのではないかと期待している。本テーマに関しては期間中2編の学術論文を出版した。

(2) 強い減衰項を持つ非線形波動方程式に対し、外力や初期値に関するフレッシュ微分可能性とその連続性を証明した。証明法は従来と異なる田邊の手法を用いて行った。その結果を利用して、空間パラメータ同定問題を解決した。まづ自由系の解の正則性を明らかにし、それに応じた形で観測のクラスと適切な2次出力コストを設定し、最適化の手法を用いて最適パラメータの存在と最適性の必要条件を導いた。この結果をサイン-ゴールドン方程式やクライン-ゴールドン方程式に適用することができた。しかし、クライン-ゴールドン方程式については、ほぼ同時期に韓国の研究グループにより類似の結果が報告されており、この方程式の最適制御理論研究が盛んになりつつあることを示している。さらに非線形性の強い構造減衰を持つ膜の方程式に対しても、拡散と減衰の未知定数パラメータ同定問題の研究を行い、最適パラメータの存在と一意性および最適性の必要条件を導いた。これらの結果は、工学的にも重要な応用を持ち、近年フランスの最適制御理論研究グループにより理論の拡張が試みられている。今後のさらなる進展が期待できる。本テーマに関し、期間中5編の学術論文を出版した。

(3) ボルテラ積分項を持つ2階の非線形発展方程式の基礎理論を構築した。すなわち、抽象空間上の2階非線形ボルテラ型微分積分方程式の解の存在や外力や初期値に関するガトー及びフレッシュ微分可能性とその連続性を調べた。その結果を用いて関連する制御同定問題を考察した。さらに応用として、非線形の長期記憶を持つ粘弾性方程式を対

象として、最適制御問題とパラメータ同定問題を研究した。議論の本質的に困難な点は、関数パラメータに関する解のフレッシュ微分可能性とその連続性を証明する事にある。その繁雑かつ困難な証明を実行することにより、最適解の必要条件を求めた。最適制御の分野においては、積分項を持つ制御方程式系への初めての成果と考えられる。今後の研究の基礎として重要な意味を持つと判断できる。アメリカおよび中国、韓国の研究者からの文献引用があり、発展の望まれる研究課題と思われる。本テーマに関しては期間中3編の学術論文を出版した。

(4) 非線形キルヒホッフ型振動方程式の最適制御問題を研究した。この方程式は、ラプラスアンの前に非局所積分項を含むものであり、塑性をもつ弦の運動方程式を記述している。この方程式に対し、制御項は外力によるものとし、観測は全空間における終値観測および分布速度観測と仮定する。最適解の存在とその最適性の条件を求めることが目的であるが、そのためには解の制御項に関する変分を取らねばならない。その際、フレッドホルム積分項を適切に評価するため、解のより強い正則性が必要となり、それを初期条件の強い正則性条件に反映させた。これにより、最適解の必要性条件を求めることができた。国内外において、この方程式の制御問題の研究は殆どなく類をみないものである。この分野の研究は、まさに始まったばかりといえる。本研究成果は、非線形最適制御理論の研究者に大きなインパクトを与えたと考えられる。本研究は、本テーマに関し、期間中2編の学術論文を出版した。

(5) 様々なタイプの移流拡散方程式系に対して、境界可制御性、可観測性および境界入力による安定化問題を研究した。系から構成される相空間上の境界制御系を適切に定義することにより、境界可制御性や可観測性のための必要十分条件を求めた。2層からなる拡散の影響を考慮した熱交換器方程式系やプラグ-フロー移流拡散方程式系に対し、境界制御安定化問題を解決した。さらに3層流拡散型熱交換器系の境界制御問題に対しても、適切な意味での境界制御系を構成し、その枠内で境界可制御性の問題を肯定的に解決した。加えて境界入力をもつ結合された移流拡散方程式系の安定化の問題を考察した。この成果は国際学会で発表され、講演終了後に活発な研究討論が行われた。その結果、作用素論を用いる数学的側面からの研究が可能であることを発見したのは大きな収穫であった。本テーマに関し、期間中5編の学術論文を出版した。この研究はさらに多層からなる反応拡散系に拡張され、様々な方向に研

究が進んでいる。

(6) (5) のテーマの研究を進めるなかで、アメリカのシステム理論研究者の最近の研究に触発され、報告者は非局所項を持つ移流拡散方程式系の研究の重要性に気がついた。かれらの議論の根本は逆問題における、いわゆる変形公式を用いることにある。そのアイデアをより広汎に拡張することにより、様々なタイプの非局所項を持つ偏微分方程式系の境界制御による安定化問題を解決することが可能となる。また変形公式自体を拡張することにより、移流項に関する逆問題を考察し一意性のための十分条件を導いた。加えて、積分境界条件をもつ拡散系に対して任意指数の指数安定性をもつ系に変換する制御則を構成した。報告者はさらに考察を進め、変形公式が1階のボルテラ型偏微分積分方程式系にも拡張でき、より広い双曲系に対して零可制御性が成立することを確かめた。さらには、関連する連続半群の構造についても研究を進めた。この研究は理論のみならず応用面においても画期的な成果になると考えられる。既に日本人研究者とロシア人研究グループの分厚い逆問題に関する研究成果が存在しており、その咀嚼と制御逆問題への応用を目指している。本テーマに関し、期間中2編の学術論文を出版した。

(7) 本研究計画で挙げたテーマ以外の研究も行った。具体的には障害物回避制御問題、ファジー微分方程式の基礎理論とファジー制御系の可制御性、および偏差分函数方程式を考察した。これらに関し、期間中4編の学術論文を出版した。

論文発表以外に、スペイン・カナリー諸島、チュニジア、インドでの国際学会からも招待講演の依頼を受け、研究成果を発表した。

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23件)

- ① J-S. Hwang, S. Nakagiri, H. Tanabe, Solutions of quasilinear wave equation with strong and nonlinear viscosity, J. Korean Math. Soc., Vol. 48 (2011), 受理済 査読有.
- ② Q-F. Wang, S. Nakagiri, Quantum numerical control for free elementary particle, Applied Mathematics and Computation, Vol.217 (2011), pp.5695-5701, 査読有.
- ③ J-S. Hwang, S. Nakagiri, Identification problems for isotropic viscoelastic materials with long nonlinear memory, Taiwanese J Math., Vol. 14 (2010), pp. 2383-2403, 査読

- 有.
- ④ J-S. Hwang, S. Nakagiri, Optimal control problems for Kirchhoff type equations with a damping terms, *Nonlinear Analysis TMA*, Vol. 72 (2010), pp. 1621-1631, 査読有.
 - ⑤ S. Nakagiri, H. Sano, Boundary reachability of a parallel-flow three-fluid diffusive heat exchange process, *Advances in Dynamical Systems and Control: Proceedings of the 6th WSAES Internat. Conference on Dynamical Systems and Control*, 2010, pp. 60-67, 査読有.
 - ⑥ H. Sano, S. Nakagiri, Stabilization of a coupled transport-diffusion system with boundary input, *J. Math. Anal. Appl.*, Vol. 363 (2010), pp. 57-72, 査読有.
 - ⑦ H. Sano, S. Nakagiri, Backstepping boundary control of first-order coupled hyperbolic partial integro-differential equations, *Recent Advances in Applied mathematics: Proceedings of the 14th WSAES Internat. Conference on Applied Math.*, 2009, pp. 112-119, 査読有.
 - ⑧ H. Sano, S. Nakagiri, Feedback control of parallel-flow heat exchanger equations using a forward-stepping Method *Recent Advances in Applied mathematics: Proceedings of the 14th WSAES Internat. Conference on Applied Math.*, 2009, pp. 106-111, 査読有.
 - ⑨ Y-C. Kwun, W-H. Kim, S. Nakagiri, J-H. Park, Existence and uniqueness of solutions for the fuzzy differential equations in n-dimension fuzzy vector space, *International J. of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, Vol. 9-1 (2009), pp. 16-19, 査読有.
 - ⑩ 佐野 英樹、中桐 信一、プラグフロー反応拡散方程式の可到達性・可観測性について、*システム制御情報学会論文誌*, Vol. 22-5 (2009), pp. 177-190, 査読有.
 - ⑪ H. Sano, S. Nakagiri, On observability of parallel-flow diffusive heat exchanger equations, *Proc. Japan. Acad.*, Vol. 85, Ser.A, No.5 (2009), pp. 61-66, 査読有.
 - ⑫ J. Vanualailai, B. Sharma, S. Nakagiri, An asymptotically stable collision-avoidance system, *International J. Nonlinear Mechanics*, Vol. 43 (2008), pp. 925-932, 査読有.
 - ⑬ J-H, Ha, S. Nakagiri, H. Tanabe, Frechet differentiability of solution mappings for semilinear second order evolution equations, *J. Math. Anal. Appl.*, Vol. 346 (2008), pp. 374-385, 査読有.
 - ⑭ J-S. Hwang, S. Nakagiri, On semi-linear second order Volterra integro-differential equations in Hilbert space, *Taiwanese J Math.*, Vol. 12-3 (2008), pp. 679-701, 査読

- 有.
- ⑮ J-S. Hwang, S. Nakagiri, Parameter identification problems for the equation of motion of membrane with strong viscosity, *J. Math. Anal. Appl.*, Vol. 342 (2008), pp. 125-134, 査読有.
 - ⑯ S. Nakagiri, Identification problems for semilinear parabolic evolution equations, *SICE Annual Conference 2007*, pp. 846-849 (CD-ROM), 査読有.
 - ⑰ S. Nakagiri, J-H Ha, J. Vanualailai, Parameter identification problems for a class of strongly damped nonlinear wave equations, *Scientiae Mathematicae Japonicae*, Vol. e-2007, pp. 585-600, 査読有.
 - ⑱ J-S. Hwang, S. Nakagiri, Weak solutions of the equation of motion of membrane with strong viscosity, *J. Korean Math. Soc.*, Vol. 44-2 (2007), pp. 443-453, 査読有.
 - ⑲ S. Haruki and S. Nakagiri, A Pexiderized wavelike partial difference functional equation, *Aequationes Mathematicae*, Vol. 74 (2007), pp. 1-6, 査読有.
 - ⑳ J-S. Hwang, S. Nakagiri, Boundary control of viscoelastic equations with long memory, *Soochow J. Math.*, Vol. 33-3 (2007), pp. 359-373, 査読有.

その他 3 編

[学会発表] (計 30 件)

- ① S. Nakagiri, Deformation formula for heat equations with nonlocal terms and its Application to boundary control problems, *International Conference on Mathematics of Date*, December 31, 2010-January 04, 2011, Allahbad, India, 2011.1.2, 招待講演.
- ② S. Nakagiri, Boundary control problem of a first-order Volterra integro-differential equation, *International Conference on Mathematics of Date*, December 31, 2010-January 04, 2011, Allahbad, India, 2011,1,1, 招待講演.
- ③ 中桐信一、非局所項をもつ熱方程式の変形公式とその制御理論への応用、夏の偏微分方程式セミナー 2010、2010.8.25 神戸大学 滝川会館.
- ④ S. Nakagiri, H. Sano, Boundary reachability of a parallel-flow three-fluid diffusive heat exchange process, *Advances in Dynamical Systems and Control*, The 6th WSAES Internat. Conference on Dynamical Systems and Control, May 3-6, 2010, Kantaoui, Sousse, Tunisia, 2010.5.5, 招待講演.
- ⑤ 中桐信一、佐野 英樹、Backstepping boundary control of first-order coupled hyperbolic partial integro-differential

- equations、2010 年度日本数学会函数解析分科会 2010.3.24 慶応大学 理工学部.
- ⑥ 佐野 英樹、中桐信一、Feedback control of parallel-flow heat exchanger equations using a forwardstepping method、2010 年度日本数学会函数解析分科会 2010.3.24 慶応大学 理工学部.
- ⑦ 中桐信一、非局所型拡散方程式の変形公式とその熱交換器システムの安定化への応用、関数方程式における線形と非線形の融合--内籾敏機先生ご退職記念研究集会 2010.3.23 電機通信大学 創立 80 周年記念会館リサーチ.
- ⑧ 中桐信一、結合された 1 階双曲型微分積分方程式のバックステップング法による境界制御、非線形発展方程式とその周辺 --丸尾健二先生退官記念研究集会、2010.3.21 神戸大学 海事科学研究科.
- ⑨ 中桐信一、フォワードステップング法による並流型熱交換器の境界フィードバック安定化、神戸における数学的制御理論ワークショップ2010.1.9 神戸大学 滝川会館.
- ⑩ H. Sano, S. Nakagiri, Backstepping boundary control of first-order coupled hyperbolic partial integro-differential equations, Recent Advances in Applied mathematics: Proceedings of the 14th WSAES Internat. Conference on Applied Math., December 14-16, 2009, Puerto De La Cruz, Tenerife, Canary Island, Spain, 2009.12.15.
- ⑪ H. Sano, S. Nakagiri, Feedback control of parallel-flow heat exchanger equations using a forward-stepping Method, Recent Advances in Applied mathematics: Proceedings of the 14th WSAES Internat. Conference on Applied Math., December 14-16, 2009, Puerto De La Cruz, Tenerife, Canary Island, Spain, 2009.12.15.
- ⑫ 王全芳、中桐信一、粒子の相互作用に関する量子制御、日本応用数理学会 2009 年度年会 2009.9.28 大阪大学.
- ⑬ 中桐信一、佐野 英樹、Boundary reachability of a parallel-flow three-fluid diffusive heat exchange process、2009 年度日本数学会函数解析分科会 2009.9.24 大阪大学.
- ⑭ 佐野 英樹、中桐信一、Boundary stabilization of a parallel-flow three-fluid heat exchange process considering diffusive effect、2009 年度日本数学会函数解析分科会 2009.9.24 大阪大学.
- ⑮ 中桐信一、膜の振動方程式に関する田邊先生の結果の一般化について、夏の偏微分方程式セミナー 2009、2009.8.29 京都市 龍谷大学セミナーハウス.
- ⑯ 中桐信一、平行 3 層流拡散型熱交換プロセスの境界可到達性、夏の偏微分方程式セミナー 2009、2009.8.27 京都市 龍谷大学セミナーハウス.
- ⑰ 中桐信一、偏微分積分方程式の変形公式とその境界制御問題への応用、微分方程式の定性的理論ワークショップ --原惟行先生退官記念研究集会 2009.3.3 大阪府立大学.
- ⑱ 中桐信一、佐野 英樹、プラグフロー反応拡散方程式の可到達性と可観測性、数理解析研究所研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」2008.11.6 京都大学数理解析研究所.
- ⑲ S. Nakagiri, Reachability and observability of a plug-flow reactor diffusion equation, Invited lecture at the University of South Pacific, Suva, Fiji. August 20, 2008, 招待講演.
- ⑳ S. Nakagiri, Volterra integro-differential equations and optimal control problems, International Symposium on Mathematical Modelling and Computational Methods in Science and Engineering MCom 2007, Kobe, Japan, October 24, 2007, 招待講演.

その他 10 件

[図書] (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.research.kobe-u.ac.jp/csi-applmath/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中桐 信一 (NAKAGIRI SHIN-ICHI)
神戸大学大学院・システム情報学研究科・教授
研究者番号：20031148

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

八木 厚志 (YAGI ATSUSHI)
大阪大学大学院・工学研究科・教授
研究者番号：70116119