

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 25 年 4 月 5 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2009～2012

課題番号：21246128

研究課題名（和文）波浪衝撃による強非線形流体・構造連成応答解析法とその応用研究

研究課題名（英文）Research on Strongly Nonlinear Fluid-Structure Interactions by Wave Impact and Its Applications

研究代表者

柏木 正 (KASHIWAGI MASASHI)

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：00161026

研究成果の概要（和文）：直交格子・CIP法をベースとした水波と剛浮体の強非線形相互作用に関する数値計算法を、弾性浮体の計算へ拡張できるように種々の検討を行った。また、3次元ランキンパネル法と有限要素法を用いたハイブリッド計算法を開発し、弾性振動モードの影響を調べるとともに、時間領域非線形境界要素法に基づいて、衝撃波と弾性垂直平板の相互作用や非線形波発生のシミュレーションを可能にする流体構造連成計算法を確立した。実験的には、高速度カメラを用いて青波衝撃による船首近傍の複雑な水波の挙動を調べた。

研究成果の概要（英文）：

The CIP-based Cartesian-grid calculation method for strongly nonlinear wave and rigid-body interaction problems was extended to treat the case of elastic-body motions in waves. A hybrid method was also developed, combining a 3D Rankine panel method for the hydrodynamic analysis and a finite-element method for computing elastic vibration modes, and the effect of elastic modes on wave-induced ship motions was investigated. Furthermore, a time-domain nonlinear calculation method based on the boundary element method was studied, which enabled us to simulate the interaction of wave impact and elastic motion of a vertical plate. Experimental studies were also done, measuring complicate fluid motion near the ship bow caused by the green-water impact by use of a high-speed camera.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	10,000,000	3,000,000	13,000,000
2010年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
2011年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
2012年度	3,100,000	930,000	4,030,000
年度			
総計	29,900,000	8,970,000	38,870,000

研究分野：波浪中船舶耐航性能，浮体流体工学，流体・構造連成

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：流体・構造連成問題，数値流体力学，波浪衝撃，非線形境界要素法，ランキンパネル法，有限要素法

1. 研究開始当初の背景

荒天波浪中では、青波による波浪衝撃によって船の上部構造物が破壊されたり、船底や船首フレア部でのスラミングによって船体が損傷を受け沈没するという海難事故が現在でも数多く発生している。そのため、主要な船級協会は構造設計基準の検討・見直しのために、強非線形波浪荷重の高精度推定法に関心をもち、研究の飛躍的發展を切望している。

水波と浮体の強非線形相互作用に関するこれまでの研究は、その殆どが実験的なものであり、数値解析法の開発は現象の複雑さ、数値計算の困難さのために立ち遅れていた。しかし近年、研究代表者の研究グループが世界の船舶海洋工学分野における「強非線形流れ」の研究をリードする形で精力的に研究を行い、著しい研究の發展が見られるようになった。

強非線形流れに対する数値解析法として、現在大きく二つの流れがある。一つは直角格子を使った差分法であり、その代表例が CIP 法ベースの直角格子法による研究である。もう一つは粒子法、すなわち MPS 法あるいは SPH 法による研究である。研究代表者の研究グループは両手法ともに実績があり、これまでに多くの論文を発表してきている。

これまでの研究は流体力学的解析に重点が置かれ、浮体は殆ど剛体として取り扱われている。しかしながら冒頭でも述べたように、実際の船舶海洋工学分野で必要とされるのは、青波衝撃・スラミングによる強非線形波浪荷重とそれによる構造応答を高い精度で計算できるようにすることであり、そのためには強非線形流体・構造連成問題としての取り扱いが必要である。構造物を弾性体と見なして解析するいわゆる「流力弾性問題」に対しては、これまでに研究例がいくつかあるが、座屈・塑性変形をも含めた強非線形流体・構造連成問題の解析法に関する研究は殆どなく、まだ緒についたところである。

2. 研究の目的

上に述べた研究背景を受け、本研究では以下の研究項目に取り組む。

- (1) まず任意形状の 3 次元弾性浮体に対して、強非線形波浪荷重が高精度に計算できるよう、CIP 法ベースの計算法および非線形境界要素法を拡張し、その検証を行う。
- (2) 最先端有限要素法による弾塑性構造解析と CIP 法ベースの強非線形流体計算法を合体させ、流体・構造連成解析法を構築・確立する。また基礎的および実際的な実験を通して解析法の妥当性を検証する。
- (3) 開発した流体・構造連成解析法が大振幅波浪中での船舶の運動・構造安全性評価や設計基準検討ツールとして役立つよう解析プログラムを整備し、実際の問題へ適用する。

3. 研究の方法

本研究は、大阪大学船舶海洋工学部門と九州大学応用力学研究所が中心となっていく共同研究であり、研究代表者は両方の研究機関の研究分担者と密な連携関係にある。そのメリットを十分に発揮しながら、本研究の目的を達成するために、以下の研究課題を行う。

- (1) CIP 法ベースによる 3 次元弾性浮体に働く波浪荷重計算法の確立
- (2) MPS 法・境界要素法のハイブリッド法による 3 次元青波衝撃荷重計算法の確立
- (3) 大振幅波浪中での弾性浮体の応答に関する水槽実験
- (4) 強非線形波浪荷重による船体弾塑性構造解析法の研究
- (5) 流体・構造強非線形連成解析法の確立に関する研究

4. 研究成果

(1) 直交格子・CIP 法をベースとした水波と浮体の強非線形相互作用に関する数値計算法 (RIAM-CMEN) を、弾性浮体の計算へ拡張できるように種々の検討を行った。まず流体計算を RIAM-CMEN で行い、次に構造応答を既存の有限要素法で解くという ‘weakly coupling’ 法の数値安定性を調べたが、非線形度が強い場合には解が発散するので、別解法を開発する必要があることが分かった。

(2) 青波衝撃による船首甲板上・垂直壁面上での圧力の時系列ならびに船体運動を計測するとともに、高速度カメラによって青波衝撃による船首近傍での複雑な水波の挙動を観察した。また、それに対応する数値計算を、直交格子・CIP 法をベースとした水波と浮体の強非線形相互作用に関する数値計算法 (RIAM-CMEN) によって行った。圧力変化と水波の挙動の対応について考察するとともに、数値計算結果と実験計測結果との違いについて検討し、今後、数値計算法で改良すべき点、検討すべき点を明らかにした。

(3) 時間領域非線形境界要素法に基づいて、孤立波が垂直弾性板に衝突したときの (波浪衝撃による) 板の弾性振動、それによる非線形波の発生をシミュレーションするために、「陰境界条件法」を使った流体構造連成計算法を確立した。それによって、弾性板の端部境界条件の違いによる影響や動的な圧力の成分が流体力の計算にどのように寄与しているかを調べ、流体構造連成の重要性を調べた。

(4) 流体・構造連成解析に関する実用的数値計算プログラムを開発し、それによる計算結果と数値流体力学的手法による強非線形解析法による計算結果を比較することは、非線形性の重要

度を認識する上で大切であるので、線形ポテンシャル理論の枠内で 3 次元影響、前進速度影響を正確に取り扱ったランキンパネル法と弾性変形の固有モード解析に有限要素法 (NASTRAN) を適用したハイブリッド計算プログラムを開発した。弾性振動モードで強制動揺させたときに造られる波形および波浪中での弾性振動モードの振幅を計算し、その妥当性について検討した。

(5) 自由表面上の非定常波形や波浪荷重の計算に対するランキンパネル法の計算精度、非線形影響について考察するために、波浪中で前進しながら動揺する模型船が造る非定常波形の計測・解析 (非定常波形解析) を入射波の振幅を変えながら系統的に行った。その結果、船の動揺を固定した diffraction 問題での船首付近の波形において実験と計算に有意な差が見られ、また、船の動揺振幅が大きくなる周波数域では入射波振幅の違いによる非定常波形での非線形性が顕著に見られた。

(6) CIP 法ベースの数値流体力学的計算法 (RIAM-CMEN) によって上記の波形に対する非線形影響が説明できるかどうかを見極めるため、実験に対応する数値計算を実行した。入射波振幅が比較的大きいときの結果は、明らかにポテンシャル理論による計算結果より実験値に近い傾向を示しているが、自由表面上での計算メッシュの依存性が強く、計算結果の信頼性を更に高める必要がある。

(7) RIAM-CMEN の計算精度を精査するために、船体運動方程式における付加質量、減衰係数を求めるための、上下揺・縦揺の強制動揺試験を行い、それに対応する数値計算を RIAM-CMEN で行った。この試験では入射波は全く関係していないが、実験結果と計算結果は非常に良く一致していることを確認した。一方、船体運動を固定したまま入射波中を一定速度で前進するとき船に働く波強制力の計測、対応する数値計算も RIAM-CMEN で行ったが、これに関しての実験結果と計算結果の一致度は、前者に比べると余り良くなかった。したがって、入射波そのもののシミュレーションの精度について再検討すべきであることが分かった。

(8) アメリカ・カリフォルニア工科大学で開催された船舶流体力学に関する国際会議 ONR-2010 において、水波と浮体の強非線形相互作用に関する最近の研究成果について招待講演を行った。また、海洋極地工学に関する国際会議 (ISOPE-2010) では、スロッシングに関するシンポジウムを企画し、流体構造連成問題に関する研究の現状把握、今後の研究の方向についてリーダーシップを執った。

(9) 2011 年 11 月に開催されたドイツ船舶海洋工学会において招待講演 (34th Weinblum Memorial Lecture) を行い、非定常波形解析および波浪荷重に関する最新研究成果を紹介した。また 2012 年 9 月に開催した Hydroelasticity 国際会議の国際技術委員として開催の成功に協力・貢献した。

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 27 件)

- 1) Guanghai He and Masashi Kashiwagi: Time Domain Calculations for the Forward Speed Diffraction and Radiation Problems of a Wigley Hull, *Proc. of 10th International Conference on Hydrodynamics* 査読無, Vol.2, (2012), pp.201~206
- 2) Masashi Kashiwagi, Daisuke Nakagawa and Kenta Yamamoto: Analysis of Unsteady Waves and Added Resistance Using CIP-based Cartesian Grid Method, *Proc. of 2nd International Conference on Violent Flows* 査読無, (2012), pp.238~245
- 3) Changhong Hu, Cheng Liu and Masashi Kashiwagi: Validation of CIP-based Method for Strongly Nonlinear Wave-Body Interactions, *Proc. of 2nd International Conference on Violent Flows* 査読無, (2012), pp.112~117
- 4) Masashi Kashiwagi and Takuya Hara: A Method for Ship Hydroelastic Analysis by Means of Rankine Panel Method, *Proc. of Hydroelasticity in Marine Technology 2012* 査読有, (2012), pp.41~50
- 5) Kenta Yamamoto, Tomoki Wakabayashi and Masashi Kashiwagi: Experimental Study on Ship-generated Unsteady Waves and Added Resistance, *Proc. of 6th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics - APHydro2012* 査読無, (2012), pp.501~506
- 6) Daisuke Nakagawa, Kenta Yamamoto and Masashi Kashiwagi: Investigation of Nonlinear Effects on Ship-Generated Unsteady Waves and Added Resistance Using CFD Simulations, *Proc. of 6th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics - APHydro2012* 査読無, (2012), pp.263~268
- 7) Guanghai He and Masashi Kashiwagi: Nonlinear Analysis on Hydroelastic Behavior of Vertical Plate due to Solitary Waves, *Journal of Marine Science and*

- Technology 査読有, Vol.17, No.2, (2012), pp.154~167
- 8) Guanghua He and Masashi Kashiwagi: Time Domain Simulation of Steady Ship Wave Problem by a Higher-Order Boundary Element Method, *Proc. of 22nd Intl Offshore and Polar Engineering Conference* 査読有, (2012), Vol.3, pp.1149~1155
 - 9) Guanghua He and Masashi Kashiwagi: Wave Pattern Analysis by a Higher-order Boundary Element Method, *Proc. of 27th International Workshop on Water Waves and Floating Bodies* 査読有, (2012), pp.73~76
 - 10) Tomoki Wakabayashi and Masashi Kashiwagi: Study on Added Resistance with Unsteady Wave-Pattern Analysis, *Proc. of 7th International Workshop on Ship Hydrodynamics* 査読無, (2011), pp.28~32
 - 11) Guanghua He, Tomohiko Isshiki and Masashi Kashiwagi: Prediction of Radiation Forces by Means of a CIP-based Cartesian Grid Method, *Proc. of 21st International Offshore and Polar Engineering Conference* 査読有, (2011), Vol.3, pp.633~638
 - 12) Masashi Kashiwagi, Takuma Sasakawa and Tomoki Wakabayashi: Hydrodynamic Study on Added Resistance by Means of Unsteady Wave Analysis Method, *Proc. of 21st International Offshore and Polar Engineering Conference* 査読有, (2011), Vol.3, pp.581~587
 - 13) 岩下英嗣, Muniyandy Elangovan, 柏木正, 笹川拓真: 波浪中を前進する船の非定常波形解析について, 査読有, (2011), Vol. 13, pp.95~106
 - 14) Masashi Kashiwagi, Takuma Sasakawa and Tomoki Wakabayashi: Hydrodynamic Consideration on Added Resistance and Ship-generated Unsteady Waves, *Proc. of 26th International Workshop on Water Waves and Floating Bodies* 査読有, (2011), pp.69~72
 - 15) Guanghua He and Masashi Kashiwagi: Nonlinear Analysis on Wave-Plate Interaction due to Disturbed Vertical Elastic Plate, *Proc. of 9th International Conference on Hydrodynamics (ICHHD)* 査読有, (2010), pp.507~512
 - 16) Masashi Kashiwagi, Takehiro Ikeda and Takuma Sasakawa: Effects of Forward Speed of a Ship on Added Resistance in Waves, *International Journal of Offshore and Polar Engineering* 査読有, (2010), Vol.20, No.3, pp.196~203
 - 17) Masashi Kashiwagi and Changhong Hu: Strongly Nonlinear Computations for Seakeeping of Ships, *Proc. of 28th Symposium on Naval Hydrodynamics* 査読有, (2010), PDF file in CD-ROM
 - 18) Hisako Kubo, Masashi Kashiwagi and Changhong Hu: Numerical Study on Ship Motions and Added Resistance in Waves by Strongly Nonlinear Three-Dimensional Code, *Proc. of 5th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics - APHydro2010* 査読無, (2010), pp.5~8
 - 19) Masashi Kashiwagi and Changhong Hu: 3-D Effects on Measured Results Using a 2-D Model in a Narrow Wave Channel, *International Journal of Offshore and Polar Engineering* 査読有, (2010), Vol.20, No.2, pp.88~94
 - 20) Changhong Hu, Makoto Sueyoshi and Masashi Kashiwagi: Numerical Simulation of Strongly Nonlinear Wave-Ship Interaction by CIP based Cartesian Grid Method, *International Journal of Offshore and Polar Engineering* 査読有, (2010), Vol.20, No.2, pp.81~87
 - 21) Masashi Kashiwagi: Prediction of Added Resistance by Means of Unsteady Wave-Pattern Analysis, *Proc. of 25th International Workshop on Water Waves and Floating Bodies* 査読有, (2010), pp.69~72
 - 22) Guanghua He, Masashi Kashiwagi and Changhong Hu: Nonlinear Solution for Vibration of Vertical Elastic Plate by Initial Elevation of Free Surface, *International Journal of Offshore and Polar Engineering* 査読有, (2010), Vol.20, No.1, pp.34~40
 - 23) Guanghua He and Masashi Kashiwagi: Nonlinear Solution for Vibration of a Vertical Plate and Transient Waves Generated by Wave Impact, *International Journal of Offshore and Polar Engineering* 査読有, (2009), Vol.19, No.3, pp.189~197
 - 24) Guanghua He and Masashi Kashiwagi: Full-Nonlinear Solution for Vibration of Vertical Elastic Plate Due to Wave Impact, *Proc. of 5th Hydroelasticity in Marine Technology* 査読有, (2009), pp.131~140
 - 25) Masashi Kashiwagi, Takehiro Ikeda and Takuma Sasakawa: Effects of Forward Speed of a Ship on Added Resistance in Waves, *Proc. of 19th International Offshore and Polar Engineering Conference* 査読有, (2009), Vol.3, pp.818~825
 - 26) Changhong Hu and Masashi Kashiwagi: Two Dimensional Numerical Simulation and Experiment on Strongly Nonlinear Wave-Body Interactions, *Journal of Marine Science and Technology* 査読有, (2009), Vol.14, No.2, pp.200~213
 - 27) Takashi Mikami and Masashi Kashiwagi:

Time-Domain Strip Method with Memory-Effect Function Considering Body Nonlinearity of Ships in Large Waves (2nd report), *Journal of Marine Science and Technology* 査読有, (2009), Vol.14, No.2, pp.185~199

[学会発表] (計 28 件)

- 1) Kenta Yamamoto, Tomoki Wakabayashi and Masashi Kashiwagi: Experimental Study on Ship-generated Unsteady Waves and Added Resistance, *6th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics - APHydro2012*, 2012年9月3日(Malaysia)
- 2) Daisuke Nakagawa, Kenta Yamamoto and Masashi Kashiwagi: Investigation of Nonlinear Effects on Ship-Generated Unsteady Waves and Added Resistance Using CFD Simulations, *6th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics - APHydro2012*, 2012年9月3日(Malaysia)
- 3) 原 拓也, 柏木 正: 3次元ランキンパネル法を用いた船の流力弾性応答解析法について, 日本船舶海洋工学会春季講演会, 2012年5月18日(神戸)
- 4) Guanghua He and Masashi Kashiwagi: Simulation of Linear Radiation Problem of a Modified Wigley Hull with Forward Speed, 日本船舶海洋工学会春季講演会, 2012年5月18日(神戸)
- 5) Guanghua He and Masashi Kashiwagi: Wave Pattern Analysis by a Higher-order Boundary Element Method, *27th International Workshop on Water Waves and Floating Bodies*, 2012年4月25日(Copenhagen, Denmark)
- 6) Masashi Kashiwagi: Hydrodynamic Study on Added Resistance Using Unsteady Wave Analysis, *The 34th Weinblum Memorial Lecture*, 2011年11月15日(Rostock, Germany)
- 7) 柏木 正, 若林友輝, 山本健太: 波浪中抵抗増加と非定常波の非線形性の関係について, 日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2011年11月8日(神戸)
- 8) Guanghua He and Masashi Kashiwagi: Fully-nonlinear Simulation on Wave Radiation Problem by a Higher-order Rankine Method, 日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2011年11月8日(神戸)
- 9) Guanghua He and Masashi Kashiwagi: Validation of Linear Time-domain Higher-order Rankine Panel Method by a Ship Motion Study, 日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2011年11月8日(神戸)
- 10) Tomoki Wakabayashi and Masashi Kashiwagi: Study on Added Resistance with Unsteady Wave-Pattern Analysis, *7th International Workshop on Ship Hydrodynamics*, 2011年9月18日(Shanghai, China)
- 11) Guanghua He, Tomohiko Isshiki and Masashi Kashiwagi: Prediction of Radiation Forces by Means of a CIP-based Cartesian Grid Method, *21st International Offshore and Polar Engineering Conference*, 2011年6月22日(Maui, USA)
- 12) Guanghua He and Masashi Kashiwagi: Validation of a New Rankine Panel Code by Wave Radiation Problem, 日本船舶海洋工学会春季講演会, 2011年5月19日(福岡)
- 13) Guanghua He, Tomoaki Isshiki, Masashi Kashiwagi and Changhong Hu: Simulation of Diffraction and Radiation Problems by a CIP-based Cartesian Grid Method, *9th Numerical Ship Hydrodynamics*, 日本船舶海洋工学会春季講演会, 2011年5月19日(福岡)
- 14) 若林友輝, 笹川拓真, 柏木 正: 非定常波形解析による波浪中抵抗増加の造波抵抗成分について, 日本船舶海洋工学会春季講演会, 2011年5月19日(福岡)
- 15) Guanghua He and Masashi Kashiwagi: Response of Vertical Elastic Plate due to Solitary Wave, *4th PAAMES and AMEC2010*, 2010年12月3日(Singapore)
- 16) 笹川拓真, 若林友輝, 柏木 正, 岩下英嗣: 前進しながら動揺する船によって造られた非定常波形と抵抗増加の実験的考察, 日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2010年11月15日(神戸)
- 17) Guanghua He and Masashi Kashiwagi: Nonlinear Analysis on Wave-Plate Interaction due to Disturbed Vertical Elastic Plate, *9th International Conference on Hydrodynamics*, 2010年10月13日(Shanghai, China)
- 18) Masashi Kashiwagi and Changhong Hu: Strongly Nonlinear Computations for Seakeeping of Ships, *28th Symposium on Naval Hydrodynamics*, 2010年9月14日(Pasadena, USA)
- 19) 柏木 正, 笹川拓真, 若林友輝, 岩下英嗣: C 波浪中を前進しながら動揺する船の造る非定常波と抵抗増加について, 日本流体力学会年会 2010 講演会, 2010年9月10日(北海道大学)
- 20) Guanghua He, Masashi Kashiwagi and Yuka Yamada: Hydroelastic Analysis on Interaction of Vertical Plate with Soliton-like Wave, *5th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics - APHydro2010*, 2010年7月3日(Osaka, Japan)

- 21) 柏木 正, 久保尚子, 胡 長洪: CIP 法ベース非線形計算法による船体運動・抵抗増加の計算, 日本船舶海洋工学会春季講演会, 2010年6月2日(東京)
- 22) 柏木 正, 笹川拓真, 若林友輝: 非定常波形解析法を用いた波浪中抵抗増加の研究, 日本船舶海洋工学会春季講演会, 2010年6月2日(東京)
- 23) Masashi Kashiwagi: Prediction of Added Resistance by Means of Unsteady Wave-Pattern Analysis, 25th International Workshop on Water Waves and Floating Bodies, 2010年5月11日(Harbin, China)
- 24) Guanghua He, Yuka Yamada and Masashi Kashiwagi: Comparative Study on Response of Vertical Elastic Plate Due to Different Initial Deflections, 日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2009年11月6日(大阪)
- 25) Guanghua He and Masashi Kashiwagi: Full-nonlinear Analysis on Hydroelastic Vibration of Vertical Plate Due to Wave Impact, 日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2009年11月6日(大阪)
- 26) 柏木 正, 笹川拓真: 非定常波形解析法を用いた浅喫水時の波浪中抵抗増加に関する研究, 日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2009年11月6日(大阪)
- 27) Guanghua He and Masashi Kashiwagi: Full-Nonlinear Solution for Vibration of Vertical Elastic Plate Due to Wave Impact, 5th Hydroelasticity in Marine Technology, 2009年9月9日(Southampton, UK)
- 28) 柏木 正, 笹川拓真, 池田剛大: 波浪中抵抗増加に対する前進速度影響とその補正に関する研究, 日本船舶海洋工学会春季講演会, 2009年5月29日(神戸)

[図書] (計 2 件)

- 1) 柏木 正, 岩下英嗣: 船体運動・耐航性能編(船舶海洋工学シリーズ4), 成山堂書店(株)2012年10月, 301頁(第5章以外のすべてを担当)
- 2) Masashi Kashiwagi, Changhong Hu and Makoto Sueyoshi: Advances in Numerical Simulation on Nonlinear Water Waves (Editor: Qingwei Ma) Chapter 12: Numerical Computation Methods for Strongly Nonlinear Wave-Body Interactions, in the series of Advances in Coastal and Ocean Engineering, Vol.11, 2010年, The World Scientific Publishing Co., 690頁

[その他]

ホームページ等

<http://www.naoe.eng.osaka-u.ac.jp/kashi/kashi.ht>

ml

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柏木 正 (KASHIWAGI MASASHI)
大阪大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 00161026

(2) 研究分担者

藤久保 昌彦 (FUJIKUBO MASAHIKO)
大阪大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 30156848

飯島 一博 (IJIMA KAZUHIRO)

大阪大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 50302758

(3) 連携研究者

胡 長洪 (HU CHANGHONG)

九州大学・応用力学研究所・准教授
研究者番号: 20274532

何 広華 (HE GUANGHUA)

大阪大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 50625382

(4) 研究協力者

笹川 拓真 (SASAKAWA TAKUMA)

大阪大学・大学院工学研究科・大学院学生
2009年度～2010年度まで

若林 友輝 (WAKABAYASHI TOMIKI)

大阪大学・大学院工学研究科・大学院学生
2009年度～2011年度まで

中川 大輔 (NAKAGAWA DAISUKE)

大阪大学・大学院工学研究科・大学院学生
2010年度～2012年度まで

山本 健太 (YAMAMOTO KENTA)

大阪大学・大学院工学研究科・大学院学生
2011年度～2012年度まで

原 拓也 (HARA TAKUYA)

大阪大学・大学院工学研究科・大学院学生
2011年度～2012年度まで

酒井 克弘 (SAKAI KATSUHIRO)

大阪大学・大学院工学研究科・大学院学生
2011年度～2012年度まで