

令和 3 年 6 月 16 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04593

研究課題名(和文) 流体構造連成を考慮した船首スラミングと船体動的構造応答の連成影響解明に関する研究

研究課題名(英文) Research on the interaction mechanism between bow slamming and dynamic hull girder response considering fluid-structure coupling

研究代表者

山田 安平 (Yasuhiro, Yamada)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：90443241

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、船首スラミングとハルガーダ動的構造応答の連成影響解明を目的として、流体・構造連成を考慮した実用的3次元非線形解析手法の開発・検証を実施した。防撓板のスラミング衝撃解析に係る国際ベンチマーク解析等を実施し解析手法の有用性及び適用限界を検証した。また、whippingによるコンテナ船の折損解析において、荷重周期が構造応答に与える影響を系統的に明らかにした。当該論文が2018年の国際学会において、Best Paper Awardを受賞した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

コンテナ船の折損解析において、荷重周期やモデル化範囲等が動的構造応答に与える影響を明らかにした。流体・構造連成影響を考慮した最先端の実用的3次元非線形解析手法を用いて、解析手法の有効性・妥当性を検証した。数値水槽と全船モデルに、本解析手法を適用することにより、流体構造連成・材料非線形性等の実現象を考慮した規則波中の船体動的構造応答解析の現実的な計算時間内での再現可能性を検証した。本手法を用いることで、船舶の実現象に即した波浪中構造応答シミュレーションが可能となることを示した。今後、デジタル・ツインを含め、様々な現象解明にこのような手法が有効であることの第一ステップを築いたと考えている。

研究成果の概要(英文)：In this study, in order to investigate interaction between slamming and dynamic hull girder response, 3-dimensional non-linear hull structural analysis method is developed and validated where fluid-structure interaction as well as material nonlinearity are considered. A series of slamming impact analysis including international benchmark is carried out and effectiveness and limitation of the proposed method is investigated. The paper received Best Paper Award in international conference in 2018 where effect of load duration on structural response is investigated in collapse analysis of container ship due to bending moment.

研究分野：船体構造、船舶の衝突・座礁、リスク評価、構造信頼性

キーワード：流体構造連成 スラミング 船体最終強度 whipping 水面衝撃 数値水槽

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

2013年に発生した大型コンテナ船の船体折損・沈没事故は社会に大きなインパクトを与えた。船首スラミングについては、これまで様々な研究が実施されてきているが、船首部凹損が発生することがあり、船体構造設計上の重要な課題の1つとなっている。特に、スラミング損傷防止のために外板を増厚すると、外板の内側の部材が損傷する事例もあり、そのメカニズムの解明及び実用的・効果的損傷防止対策が必要とされている。また、船体の大型化に伴って一発大波によるスラミングが誘起する **whipping** によるハルガーダ振動、ひいては、船体折損の可能性も指摘されていた。このようにスラミング荷重によって、①ローカルな凹損（ローカル応答）、②グローバルな船体振動（グローバル応答）が発生することが指摘されていた。上述のような背景から、流体・構造の連成に加え、船体凹損・折損を評価するためには「材料の非線形性」までも考慮した実用的な3次元数値解析手法の確立が必要であった。このような解析手法を用いて、船体の動的構造応答並びに構造安全性評価が可能なツールを整備し、船首船底凹損や船体折損事故を防止するための対策検討が必要であった。

2. 研究の目的

本研究では、最先端の数値解析技術を用いて、スラミング荷重とハルガーダ振動（上記①②）のメカニズム・連成影響を明らかにすることを目的として研究を実施した。具体的には、次の項目を研究目的とする。

- (1) 動的荷重に対する船体ハルガーダの動的構造応答の解明（グローバル応答）
- (2) 最先端の数値解析技術を用いた流体・構造連成並びに材料非線形性を考慮した実用的波浪中船体応答解析手法の開発。解析手法の船首スラミング解析への適用性・妥当性の検証（ローカル応答）
- (3) 数値水槽を用いた波浪中の船体応答解析手法の開発、船体のローカル損傷とグローバル変形との連成影響解明

3. 研究の方法

本研究では、下記のような方法で研究を実施した。

(1) 非線形構造解析法を用いた動的荷重に対するコンテナ船ハルガーダの動的応答評価。複数のコンテナ船モデル（1 Trans モデル、1 Hold モデル、全船モデル（図 1））に正弦波状の時系列荷重を与え、大波高下の船体ハルガーダの動的構造応答評価を行った。船体が海水面に浮揚している状態で、船首船底にスラミング荷重を付加する。

(2) 流体構造連 (FSI) 成を考慮した3次元スラミング大規模数値解析手法の確立。提案手法の船首スラミング解析への適用検証のための、球の落下解析、防撓板のスラミング衝撃解析、バウフレアのスラミング解析。

(3) 数値水槽及びコンテナ船全船モデルを用いた波浪中（規則波）の船体応答解析手法の開発、連成影響解明。

4. 研究成果

(1) 非線形構造解析法を用いて動的荷重に対する船体ハルガーダの動的構造応答評価を実施した。その結果、荷重周期と船体構造応答の関係があることが明らかになった（図 3）。船体の固有周期に近い荷重が作用すると構造応答が増加することが分かった。モデル影響については、部分モデルでは、最終強度を過大評価する可能性があり、少なくとも1 Hold モデル又は全船モデルを用いることで安全側の結果を与えることが分かった。さらに、静水圧を考慮した解析モデル（図 4）を開発し、スラミング荷重を模擬した動的構造応答評価手法の検証を行った。

(2) 流体構造連 (FSI) 成を考慮した3次元スラミング大規模数値解析手法の確立

最先端の数値解析技術を用いて、流体構造連成を用いた大規模数値解析技術の確立・検証を行った。妥当性検証として、球の3次元落下解析を実施し（図 5）、本解析手法が、実験結果及び粒子法による結果と比較的良好な相関を有することを確認した。また、国際船体構造物会議 (ISSC) が主導で実施する国際ベンチマーク（スウェーデン、韓国）に参加し、防撓版のスラミング衝撃解析を実施した。その結果、本解析手法は、若干高めの荷重を与えるが、他の解析手法と比較して、同等の推定精度を与えることを確認した。ただし、本解析手法は、現時点で、空気をモデル化することができないため、衝撃角が比較的小さい場合には高めの荷重・圧力を与えることが分かった。空気のモデル化は今後の検討課題であるが、球や船首など完全にフラットではない場合には、実用上、比較的良好な精度を与え有用であると考えられる。なお、国際ベンチマーク解析の成果は、国際共著論文となった。

(3) 数値水槽及びコンテナ船全船モデルを用いて規則波中の船体応答解析手法を検証し、実用的計算時間内での解析実施可能性を確認・検証した。正面向波に加え、斜波中の解析実施可能性も確認した。

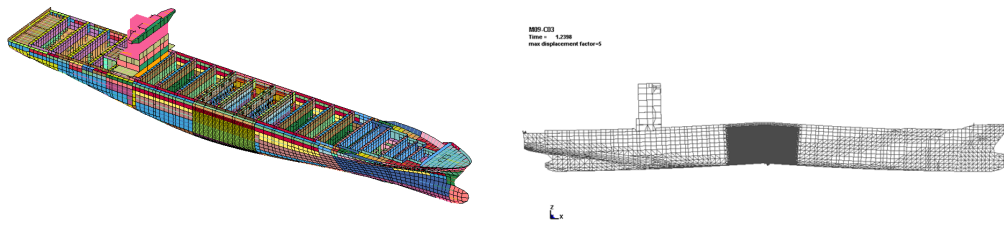


図 1 対象船舶（コンテナ船）及び縦曲げモーメントによる折損状態（解析結果例） [1]

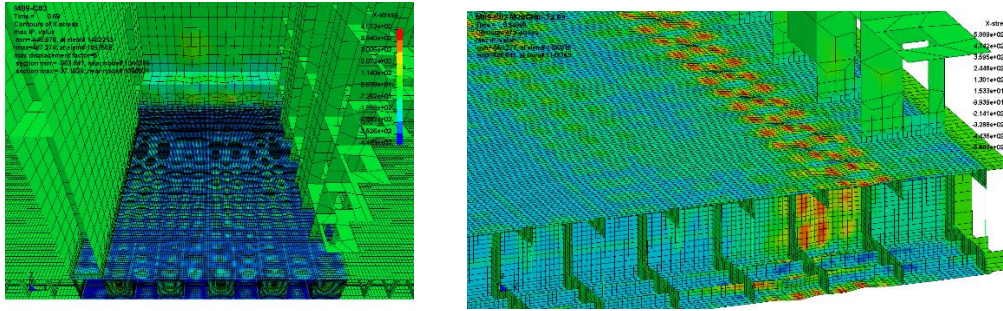


図 2 縦曲げモーメントによる船体ハルガードの座屈・崩壊解析例[1]

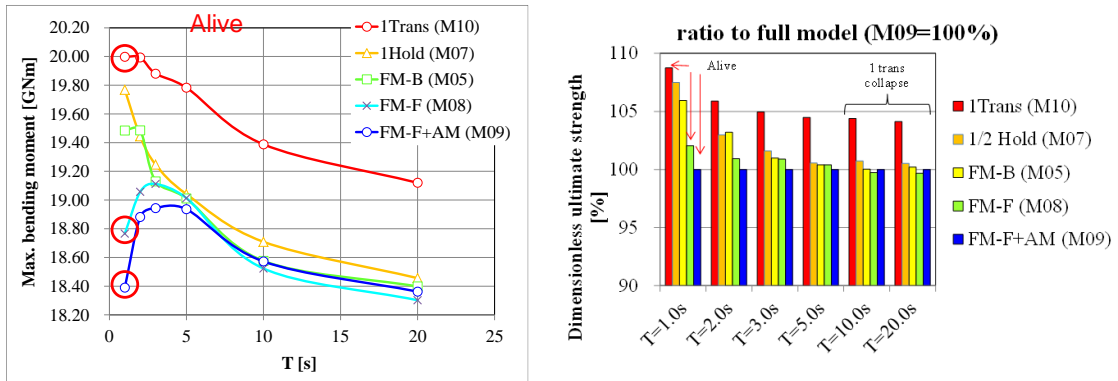


図 3 動的非線形構造解析法による解析結果（荷重周期と船体最終強度の関係） [1]

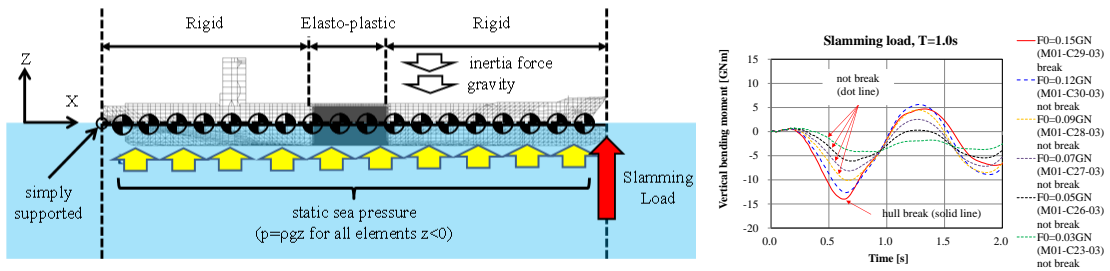


図 4 水圧を考慮したスラミングによる船体 2 節振動応答評価モデル[2]

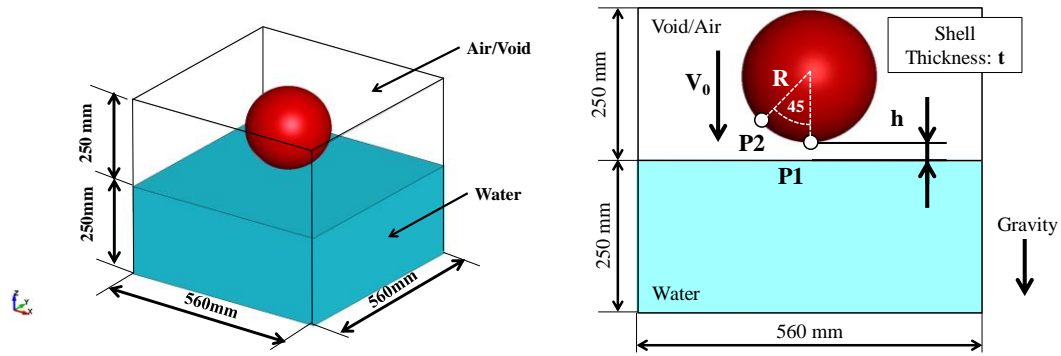


図 5 解析モデル (球の落下解析) [3]

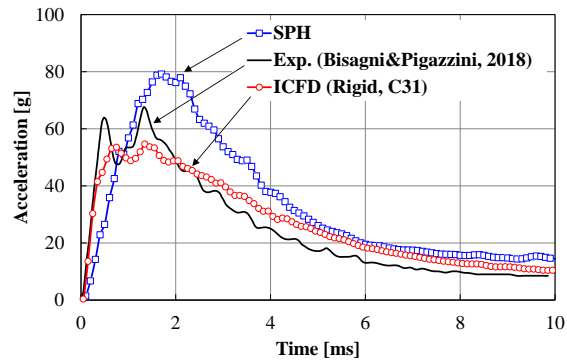
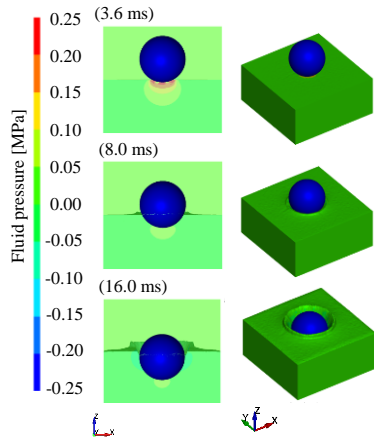


図 6 球の水面衝撃解析 図 7 解析結果と実験値との比較 (球の水面衝撃解析) [3]

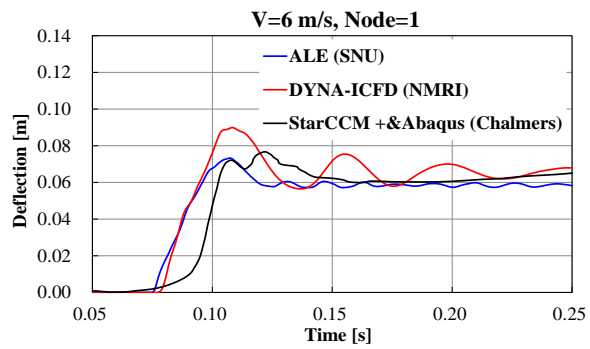
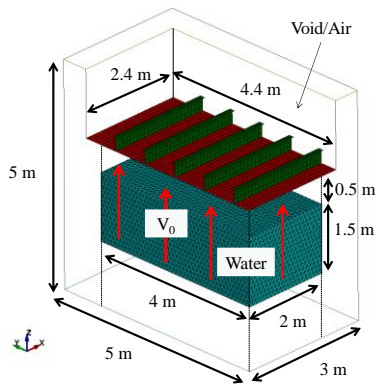


図 8 防撓版のスラミング衝撃解析モデル及び解析結果 (国際ベンチマーク) [3][4]

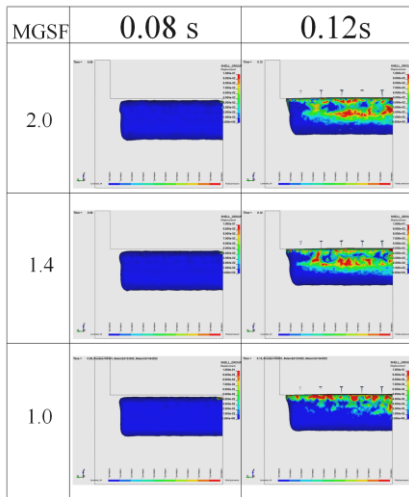


図 9 流体のメッシュ密度が与える影響検討（国際ベンチマーク、MGSF=2.0、1.4、1.0 の順にメッシュ密度大→小） [3]

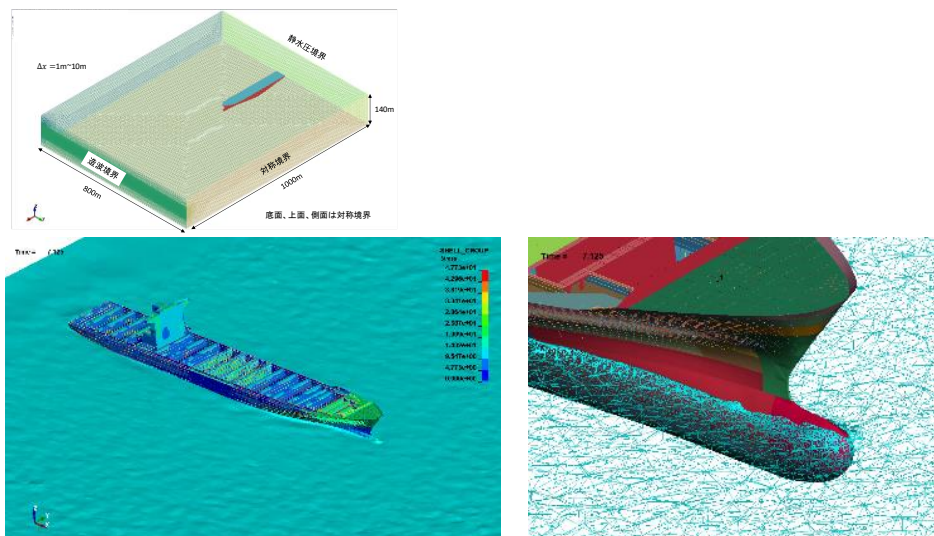


図 10 数値水槽モデル、規則波中の全船モデルによる解析結果例、船首バルブ付近拡大図

<引用文献>

[1] Yamada, Y. (2019). Dynamic Collapse Mechanism Of Global Hull Girder Of Container Ships Subjected To Hogging Moment, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol.141, 051605.

[2] Yamada, Y. (2019). “Approach to Simulate Dynamic Elasto-plastic Whipping Response of Global Hull Girder of a Large Container Ship due to Slamming Load”, Proceeding of Twenty-ninth International Ocean and Polar Engineering Conference Honolulu, Hawaii, USA.

[3] Yamada, Y. Takamoto, K. Nakanishi, T. Chong, M., Komoriyama, Y (2020). “Numerical Study On The Slamming Impact Of Stiffened Flat Panel Using Icf Method - Effect Of Structural Rigidity On The Slamming Impact”, Proceedings of the ASME 2020 39th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering

[4] Truong Dac Dung, Jang Beom-Seon, Janson Carl-Erik, Ringsberg Jonas W., Yamada Yasuhira, Takamoto Kota, Kawamura Yasumi, Ju Han-Baek (2021). Benchmark study on slamming response of flat-stiffened plates considering fluid-structure interaction”, Marine Structures, 79, 103040

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yamada Yasuhira	4. 巻 141
2. 論文標題 Dynamic Collapse Mechanism of Global Hull Girder of Container Ships Subjected to Hogging Moment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering	6. 最初と最後の頁 051605 ~ 051605
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1115/1.4042267	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Truong Dac Dung, Jang Beom-Seon, Janson Carl-Erik, Ringsberg Jonas W., Yamada Yasuhira, Takamoto Kota, Kawamura Yasumi, Ju Han-Baek	4. 巻 79
2. 論文標題 Benchmark study on slamming response of flat-stiffened plates considering fluid-structure interaction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Marine Structures	6. 最初と最後の頁 103040 ~ 103040
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.marstruc.2021.103040	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yasuhira Yamada	4. 巻 1
2. 論文標題 Approach to Simulate Dynamic Elasto-plastic Whipping Response of Global Hull Girder of a Large Container Ship due to Slamming Load	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the Twenty-ninth (2019) International Ocean and Polar Engineering	6. 最初と最後の頁 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yasuhira Yamada, Kota Takamoto, Toru Nakanishi, Ma Chong, Yusuke, Komoriyama	4. 巻 1
2. 論文標題 NUMERICAL STUDY ON THE SLAMMING IMPACT OF STIFFENED FLAT PANEL USING ICFD METHOD - EFFECT OF STRUCTURAL RIGIDITY ON THE SLAMMING IMPACT	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the ASME 2020 39th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering	6. 最初と最後の頁 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yasuhira Yamada, Kyoko Kameya	4. 巻 1
2. 論文標題 STUDY ON THE DYNAMIC ULTIMATE STRENGTH OF GLOBAL HULL GIRDER OF CONTAINER SHIPS SUBJECTED TO HOGGING MOMENT	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of ASME 2018 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering	6. 最初と最後の頁 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Yasuhira Yamada
2. 発表標題 Study on the Residual Ultimate Longitudinal Strength of Hull Girder of a Bulk Carrier against a Sagging Moment after ship collision
3. 学会等名 The 1st International Symposium On Marine Structures (ISOMS) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuhira Yamada
2. 発表標題 STUDY ON THE DYNAMIC ULTIMATE STRENGTH OF GLOBAL HULL GIRDER OF CONTAINER SHIPS SUBJECTED TO HOGGING MOMENT
3. 学会等名 ASME 2018 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuhira Yamada
2. 発表標題 Approach to Simulate Dynamic Elasto-plastic Whipping Response of Global Hull Girder of a Large Container Ship due to Slamming Load
3. 学会等名 The Twenty-ninth (2019) International Ocean and Polar Engineering Conference Honolulu, Hawaii, USA, (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro Yamada
2. 発表標題 NUMERICAL STUDY ON THE SLAMMING IMPACT OF STIFFENED FLAT PANEL USING ICFD METHOD - EFFECT OF STRUCTURAL RIGIDITY ON THE SLAMMING IMPACT
3. 学会等名 ASME 2020 39th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	馬 冲 (Choung Ma) (30773197)	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員 (82627)	
研究分担者	小森山 祐輔 (Yusuke Komoriyama) (90805110)	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員 (82627)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	藤 公博 (Tou Kimihiro) (80790716)	九州大学・海洋システム工学部門・助教 (17102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------