

平成 22 年 5 月 31 日現在

研究種目：基盤研究 (S)  
 研究期間：2005～2009  
 課題番号：17101006  
 研究課題名 (和文) 海底ステーションを基地とする海中観測ロボットによる  
 自動海底地殻変動観測手法の開発  
 研究課題名 (英文) Development of unmanned seafloor geodetic observation system based  
 on technologies of underwater robotics and seafloor platform  
 研究代表者  
 浅田 昭 (ASADA AKIRA)  
 東京大学・生産技術研究所・教授  
 研究者番号：60323648

研究成果の概要 (和文)：海底地殻変動観測の高精度化、効率化を目指し、海中ロボットを観測プラットフォームとする次世代観測システムの開発に成功した。水中でコネクタ接続を不要とする非接触充電、音響 LAN、高精度の AUV 海底地殻変動観測装置の開発を中心とした将来システムを構成する各要素基盤技術を完成させた。更に、当初目標を越える世界で初となるオンライン海底音響基準局を豊橋沖海底ケーブル接続設置、小型自律式観測プラットフォーム (海中ロボット) を使った高精度の実海域観測を実施し、観測精度の向上と将来への研究開発に有用であることが実証された。

研究成果の概要 (英文)：We have developed a new-generation observation system for seafloor geodesy. This system utilizes autonomous underwater vehicle, seafloor platform and submarine cable technologies, and it provides opportunities for highly efficient geodetic observations with improved accuracy. Key constitutive technologies for the system have been developed successfully, and we integrated the technologies to construct an observation system. A seafloor acoustic benchmark station with a submarine cable transponder was constructed 70km off Toyohashi-city as a prototype of the newly developed system. Trial observation using this submarine cable transponder and a semi-autonomous observation platform revealed that the system were at the level of practical use.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	16,000,000	4,800,000	20,800,000
2006年度	17,000,000	5,100,000	22,100,000
2007年度	18,700,000	5,610,000	24,310,000
2008年度	21,300,000	6,390,000	27,690,000
2009年度	11,100,000	3,330,000	14,430,000
総計	84,100,000	25,230,000	109,330,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 ・ 自然災害科学

キーワード：海洋科学, 地震, 津波, 知能ロボティクス, 防災

## 1. 研究開始当初の背景

海溝型巨大地震の発生メカニズムを解明する上で、地震発生域となる海底の変動を把

握することは必要不可欠である。東京大学生産技術研究所と海上保安庁海洋情報部の研究グループが開発を行ってきた、KGPS と水中

音響測距手法を組み合わせた海底地殻変動観測システムは、そうした海底の変動を直接検知する数少ない手法の1つである。現在ではこのシステム技術に基づいて海上保安庁が18の観測点を日本周辺の海溝域を中心に設置し、定常的な観測を行って来ている。ひずみの解放から次なるひずみの蓄積過程に至るまで、海溝型地震にかかる一連のプロセスを海底の変動として世界で初めて検出するなど、成果を得るに至っている。

現行システムでの観測は、測量船を観測域に派遣して実施される。事前に決められた測量船の年間運行計画に従って観測が行われるために、荒天などの観測環境の変化、突発的な地震等のイベント発生に対し、即応した対応をすることができず、割り当てられたシフトタイムを有効に利用できないことが多々生じている。また、測量船の運航にあたっては、船長以下観測要員まで含めて20余名の陣容を配する大掛かりなものとなっている。地殻変動のように比較的長い時定数の現象を観測しようとした場合には、それに見合った長期にわたる観測の継続、短期集中観測が必要であり、観測態勢が維持できるように、観測の効率化や省力化の方策を打ち出していく必要がある。

## 2. 研究の目的

上述の、現行の海底地殻変動観測システムが内包する問題を打破する、次世代の海底地殻変動観測システムを開発するのが本研究である。これまでの測量船に代えて、海底ステーションを基地とする自律行動型の海中ロボット(AUV: Autonomous Underwater Vehicle)を基にした観測システム(図1)の開発を考えている。

海中ロボットと海底ステーションの利用は、海況、GPS衛星配置等の観測好条件時を選んでの観測を可能にし、ノイズの少ない高品質データを安定して得ることができる上に、無人で観測が実施されるのでより頻度の高い観

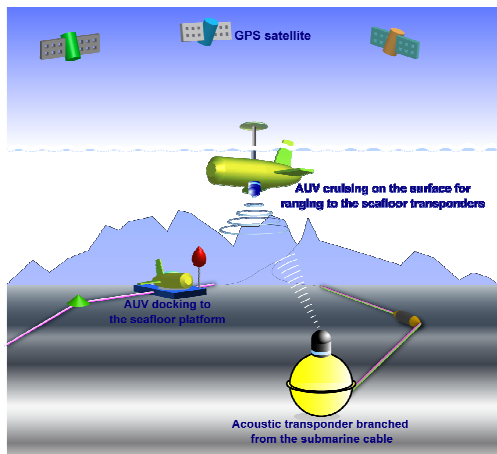


図1 次世代の海底地殻変動観測

測、高い即時性を持った観測が出来るようになる。

研究参加チームがこれまでに培ってきた、GPS・音響海底測地、海中ロボット、海底ケーブルの技術を本システム開発に集中させ、本システムのキーとなる、基盤要素技術の開発を実施する。

## 3. 研究の方法

研究全体を以下の4項目に分け、研究代表者を筆頭に、研究分担者および連携研究者として参加した者が各項目の実施責任者となり、平行して研究開発を進め、最終システムでできる限り一体化する。各項目毎に開発すべき細目を定めており、これが開発を目指す海底地殻変動観測システムのキーとなる基盤要素技術にあたる。各基盤要素技術の開発を進めてそれぞれのプロトタイプとなるものを製作し、それらを組み合わせてシステム化を実施。個々の基盤要素技術としてだけではなく、システムとしても正常に機能することを目指し、室内実験、実海域での実験を通じて実用化への調整を行う。

### (1) 海底測地観測システムの開発

目指すべき観測システムの中核となる部分である。①AUVの限られたスペースに搭載することを前提とした超小型の精密音響測位システム(海上局)の開発、②海底音響基準局(海底局)の高精度化・高度化、が開発細目となる。

### (2) 海底ステーションに関する開発

本観測システムにおいて、海底ステーションと海底ケーブルが具備すべき機能開発を行う。①AUVへの電力供給システム、②AUVとのデータ伝送技術(LAN)、③GPS同期信号の伝送技術、等を開発細目とする。

### (3) AUVのナビゲーションおよびドッキングに関する開発

観測プラットフォームとなるAUVの航走技術の開発が中心となる。既存のAUVを使った水槽実験、実海域実験を通じて実施する。①観測プラットフォームとしての航走技術の確立、②海底ステーションへのホーミングおよびドッキングを目的とした航走技術の確立、等を開発細目とする。

### (4) 海底測地観測手法の開発

取得データを基にした、観測システムの評価および新観測システムでの測位解析手法の開発が中心となる。①観測システムの精度評価(GPS測位および音響計測)、②GPS精密測位技術の導入、③測位手法の開発、等が実施細目である。



図2 小型音響精密測位システム

#### 4. 研究成果

計画当初より、本研究の目的を、次世代の海底地殻変動観測システムを構築する上で必要となる、基盤要素技術の開発においていた。計画半ばには、すでに各開発要素のプロトタイプが出来上がり、AUV 実機を使う実海域実験の中でブラッシュアップされ、実用レベルの技術に到達した。開発された要素技術の中には、現行の観測システムの高精度化のために、すでに実用化され、取り入れられているものもある。

海洋研究開発機構(JAMSTEC)の協力もあり、インフラとしてのオンライン海底音響基準局を整備し利用するという、当初計画を遙かに超える成果をも得ている。

最終年度には自律航行可能な小型の海上プラットフォーム(海中ロボット)の構築を行い、開発した小型精密音響測位システムを搭載し、前述のオンライン海底音響基準局に対して測位観測を実施するに至っている。これは、次世代の海底地殻変動観測(図1)として念頭に描いていた観測形態に他ならず、当初の目的である基盤要素技術の開発にとどまらず、実用化の目処が立つところまで開発を進めることが出来た。

##### (1) 基盤要素技術の確立

###### ① 小型精密音響測位システム(船上局)

AUV の限られた小スペースに搭載することを想定し無駄な機能を省いた、高精度、小型、低消費電力に設計されている。直径 30cm 余のシリンダー2 つに、音響計測、GPS 測位、動揺計測のすべてのシステムが収められている(図2)。AUV が深海底で待機することを想定し GPS アンテナ用の耐圧ケースも開発が行われた。全体として極めて小型で、耐水性を持ち合わせているので、AUV への搭載に限



図3 海底音響基準局

定することなく、小型船舶への搭載など、観測プラットフォームを選ぶことなく利用出来るシステムになったと言える。このシステムの開発により、観測の高頻度化、機動的観測への適応などが期待できる。

更にこの新システムを基にして、cm オーダーの測位精度達成を目指す、リアルタイム音響測位技術の新たな研究が立ち上げられた。新システムの開発からの波及効果の1つである。

###### ② 海底音響基準局

海底音響基準局は、新たに開発した球形の 4,000m 耐圧セラミック振動子を有するトランスデューサーを備えている(図3)。頂点より 120° 全周囲に発信音波の位相を揃えることが出来るため、この海底音響基準局と海上局との位置関係によって生じる測距誤差を無くすることが可能となり、音響測距計測の精度向上に大きく寄与している。また、計測システムのブロードバンド化を図り、従来の計測分解能を1桁縮小し mm を達成し、この新型トランスデューサーは、観測の高精度化のために現行システムに取り入れられている。18ある海底音響基準点のうち、初期段階に設置されたものは10年余が経過しており、バッテリーの寿命から考えて更新の時期をむかえている。更新のために準備した海底音響基準局はすべてこの新型トランスデューサーを備えたものになっている。

また、この海底音響基準局には海底ケーブルに接続し、海底ケーブルを介して、給電、時刻同期、制御を行う機能を開発実装した。現行システムの海底音響基準局が、展開性、機動性に優れたスタンドアロン型であるのに対し、この新型海底音響基準局は、恒久的な実使用性能のみならず、研究基盤としての優れた性能を備えている。

###### ③ 水中非接触給電システム

海底ステーションに関する基盤要素技術である。海底で待機する AUV への給電を行うもので、送電部と受電部を近接させるだけで給電が出来る非接触型の給電システムを開



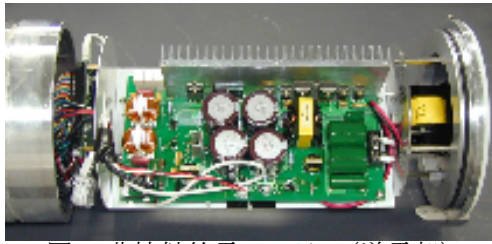


図4 非接触給電システム(送電部)

発した(図4)。水中着脱式のコネクタを介した給電方法に比して、AUVの海底ステーションへのドッキングに大きなゆとりを与えてくれる。実際にAUVを使った試験水槽での3日間の連続実験で電力伝送450W、効率86%という結果を得ている。海底ステーション、海底ケーブルの利用において十分な給電性能である。このシステムを利用することにより、ほとんどすべての海洋観測機器を水中に置いたままで充電することが可能となり、長期観測や電力消費の大きい大型の海洋観測機器への技術利用が期待できる。

#### ④水中音響LANシステム

データの伝送においても、直接的な結線の必要がない手法が、システムの安定運用を図っていく上で必要になる。近距離で振動子を向き合わせることで、高速のデータ伝送を可能にする水中音響LANシステムを開発した(図5)。PPPプロトコルによる通信実験を行い、3MHzの搬送波で600kbpsの伝送速度を達成するに至っている。技術革新とともにデータの大容量化が進んでいる海洋観測機器において、高速データ伝送技術は必須のものと言える。多くの海洋観測機器の利用形態や観測対象を広げることの出来る技術である。

#### (2)観測・解析手法

##### ①AUVナビゲーションおよびドッキング手法

東京大学生産技術研究所が開発、所有するAUVを用いて、実験水槽および実海域において手法開発を実施した。海底地形データベ-

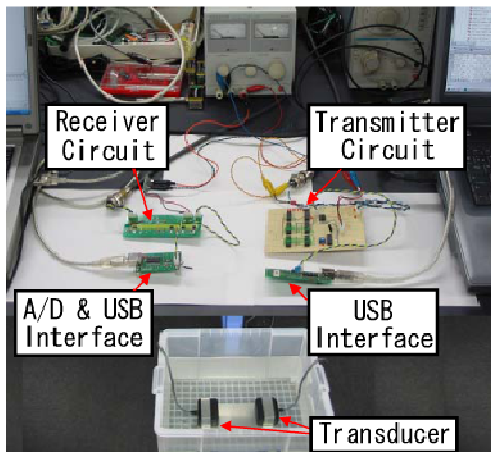


図5 水中音響LANシステム

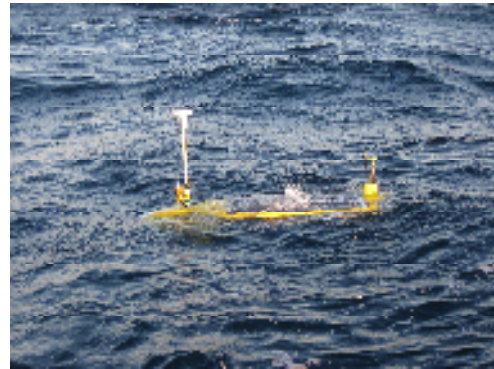


図6 小型海上観測プラットフォーム

スを基に、AUV自身の現在位置を確認しながらルートを辿る航走手法、海底の地形および海底に置かれたターゲット形状を判断し着底する手法が開発された。

##### ②海底測地観測手法の開発

実海域での実観測、実解析を行うなかで、取得データを基に観測システムの評価を行い、修正を促すとともに、新たな観測、測位解析手法の導入を行った。

研究協力者であるColombo博士(NASA)が開発した超長期線KGPS測位手法、およびリアルタイム高精度GPS測位手法の本観測システムへの導入を行い、海上における測位の高精度化、高度化を行った。

##### (3)インフラの整備

##### ①自律航行可能な小型海上観測プラットフォーム

システム開発のテストベッドとして、既存のAUV「r2D4」を利用してきた。海底地殻変動観測の観測プラットフォームとして申し分のないものであるが、より本研究の理想に近い形態の、設置・回収に大型船舶を必要とせず、少人数で運行を行うことが可能な、AUVに準じた自律航行可能な小型海上観測プラットフォームの開発を行った(図6)。これに合わせて搭載するシステムも改良を行い、高精度化と省スペースを実現することになった。実際に海域での運用を行い、実験を実施した結果、観測精度向上を示す測位結果を得ている。現行システムの観測プラットフォームである測量船に代えて利用することも可能となっており、機動的な観測、即時性を必要とする観測での利用が期待できる。

##### ②世界初のオンライン海底音響基準局

開発した海底音響基準局を、JAMSTECが開発した海底ケーブル観測システム(Tokai SCANNER)へ接続をし、常時計測可能なオンライン海底音響基準局として運用を開始した(図7)。この海底ケーブル観測システムは愛知県豊橋市の沖合60kmの地点にあり、東南海地震と東海地震の震源域を見渡す格好の

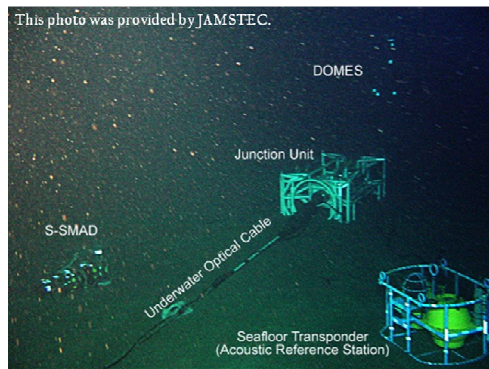


図7 オンライン海底音響基準局

地点にある。想定される海溝型巨大地震の発生に先んじて、その震源域の海底に、地殻変動観測の基準点を設置できた意義は極めて大きい。

今後は、本研究において実用化された観測システムによる観測を可能な限り継続し、地震発生に先行する海底挙動の変化の検出、海上保安庁の定常観測における海中ロボット観測の実用化へのフォローを行いながら、更に実用化及び発展研究を行っていく。

#### 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 55 件)

- ① M. Mochizuki, A. Asada, T. Ura, Z. Yoshida, K. Asakawa, T. Yokobiki, R. Iwase, T. Goto, M. Fujita, M. Sato, O. L. Colombo, T. Tanaka, H. Zheng and K. Nagahashi, Development of seafloor geodetic observation system based on AUV and submarine cable technologies, Proc. of OCEANS' 10 Sydney, Sydney Australia, 事前審査有, 2010.05 (CD-ROM)
- ② M. N. Sangekar, B. Thornton, T. Nakatani, T. Ura, Development of a landing algorithm for autonomous underwater vehicles using laser profiling, Proc. of OCEANS' 10 Sydney, Sydney Australia, 事前審査有, 2010.05 (CD-ROM)
- ③ K. Asakawa, 他 6 名, New scientific underwater cable system Tokai-SCANNER for underwater geophysical monitoring utilizing a decommissioned optical underwater telecommunication cable, IEEE J. Ocean. Eng., 査読有, 34(4), 2009, 539-547.
- ④ A. Asada and T. Ura, Navigation system using seafloor geodetic mirror transponders and full-swath mapping system with synthetic aperture and triangle-arrayed interferometry techniques for autonomous underwater vehicle, Proc. of OCEANS09 MTS/IEEE Biloxi, 事前審査有, 2009 (CD-ROM).
- ⑤ 望月将志, 浅田昭, 浦環, 藤田雅之, 海中ロボットを利用する次世代海底地殻変動観測システムの開発, 測地学会誌, 査読有, 54(3), 189-197, 2008.
- ⑥ J. Han, A. Asada and Y. Yagita, High-speed acoustic network for seafloor geodetic observation robot system, J. Mar. Acoust. Soc. Jpn., 査読有, 35(2), 91-98, 2008.
- ⑦ M. Mochizuki, A. Akira, T. Ura, M. Fujita, M. Sato, Y. Matsumoto, O. L. Colombo, 他 3 名, Fundamental developments of new generation seafloor geodetic observation system based on AUV technology, Proc. of OCEANS08 MTS/IEEE KOBE-TECHNO-OCEAN08, 事前審査有, 2008 (CD-ROM).
- ⑧ J. Han, A. Asada, T. Ura, Y. Yamaguchi and T. Maki, Non-contact power supplier for seafloor geodetic observing robot system, J. Mar. Sci. Tec., 査読有, 12, 2007, 183-189.
- ⑨ 望月将志, 成田誉孝, 石川直史, 吉田善吾, 河合晃司, 松下優, 川井仁一, 淵之上紘和, 松本良浩, 藤田雅之, 浅田昭, 海底地殻変動観測用音響トランスデューサの音響位相中心, 海洋情報部研究報告, 査読有, 43, 29-36, 2007.
- ⑩ M. Fujita, T. Ishikawa, M. Mochizuki, M. Sato, S. Toyama, M. Katayama, K. Kawai, Y. Matsumoto, T. Yabuki, A. Asada, O. L. Colombo, GPS/Acoustic seafloor geodetic observation : method of data analysis and its application, 査読有, Earth Planets Space, 58, 265-275, 2006.
- ⑪ 浅田昭, 浦環, 望月将志, 浅川賢一, 藤田雅之, 海底ステーションを基地とする海中観測ロボットによる自動海底地殻変動観測手法の開発, 月刊地球号外「特集：沈み込み帯の科学と海洋観測技術」, 査読無, 51, 199-203, 2005.
- ⑫ 浦環, 小原敬史, 海底を観測する自立型海中ロボット-r2D4 のロタ海底火山観測と将来展望-, 月刊地球号外「特集：沈み込み帯の科学と海洋観測技術」, 査読無, 51, 245-250, 2005.
- ⑬ 浅川賢一, 白崎勇一, 三ヶ田均, 小島淳一, 歌田久司, 笠原順三, 海底通信ケーブルを再利用した海洋地球観測システム, 月刊地球号外「特集：沈み込み帯の科学と海洋観測技術」, 査読無, 51, 280-284, 2005.
- ⑭ 卷俊宏, 近藤逸人, 浦環, 坂卷隆, 自立型水中ロボットによる人工構造物の観測, 日本船舶海洋工学会論文集, 査読有, 1, 17-26, 2005.

- ⑮浅田昭, 海底の動きを捉える海の GPS 構想の現状と将来, 超音波テクノ, 査読無, 17(3), 18-21, 2005.  
他 40 件 (事前審査有の学会プロシーディングも含む)

[学会発表] (計 150 件)

- ① M. Mochizuki, A. Asada, T. Ura, K. Asakawa, 他 8 名, Development and Installation of Highly-Sophisticated Observation System for Seafloor Geodesy, 6th International Symposium on Underwater Technology (UT2009), Wuxi, China, 2009. 04. 23.
- ② J. Han, A. Asada and Y. Yagita, Short Range Wide Beam-width High Speed PPP-based Underwater Acoustic Network System, 6<sup>th</sup> International Symposium on Underwater Technology (UT2009), Wuxi, China, 2009. 04. 23.
- ③ M. Mochizuki, A. Asada, T. Ura, K. Asakawa, 他 6 名, Seafloor geodetic reference station branched from submarine cable, AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, G33A-0676, 2008. 12. 17.
- ④ M. Mochizuki, A. Asada, T. Ura, K. Asakawa, 他 6 名, Installation of seafloor transponder for geodetic survey on the submarine cable system off Toyohashi, Japan, Abst. 7<sup>th</sup> General Assembly of Asian seismological Commission and the 2008 Fall Meet. of Seismological Society of Japan, Y4-226, Tsukuba, Japan, 2008. 11. 27.
- ⑤ 浅田昭, 望月将志, 浦環, 他 7 名, 最新の海中ロボット搭載型海底地殻変動観測システム, 海洋調査技術学会第 19 回研究成果発表会講演要旨集, 海上保安庁海洋情報部, 2007. 11. 16.
- ⑥ T. Ura, K. Tamaki, A. Asada, 他 14 名, Dives of AUV "r2D4" to Rift Valley Central Indian Mid-Ocean Ridge System, OCEANS' 07, Aberdeen, England, 070123-004, 2007. 06. 21.
- ⑦ A. Asada, M. Mochizuki, T. Ura, 他 5 名, Evaluation result of new seafloor mirror transponder and AUV observation system in seafloor geodetic observation, OCEANS' 07, Aberdeen, England, 061215-094, 2007. 06. 19.
- ⑧ 浅田昭, 浦環, 韓軍, 望月将志, 他 6 名, 海中ロボットを使った海底地殻変動観測試験, 海洋音響学会 2006 年度研究発表会, 東工大, 2006. 05. 26.
- 他 142 件

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)  
○取得状況 (計 0 件)

[その他]

マスコミ報道(テレビ)

- ①NHK 静岡「東海地震に備える」(2006. 05. 23)  
②NHK 総合「お元気ですか日本列島」(2006. 05. 10)

マスコミ報道(新聞、インターネット)

- ①朝雲(2006. 05. 25)  
②伊豆新聞(2006. 05. 12)  
③海上保安新聞(2006. 05. 11)  
④日本海事新聞(2006. 05. 10)  
⑤goo ニュース(2006. 05. 10)  
⑥読売新聞(2006. 05. 10)  
⑦赤旗(2006. 05. 09)  
⑧毎日新聞(2006. 05. 09)  
⑨Yahoo ニュース(2006. 05. 09)  
⑩電波タイムズ(2006. 05. 08)  
⑪日刊工業新聞(2006. 04. 28)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

浅田 昭 (ASADA AKIRA)  
東京大学・生産技術研究所・教授  
研究者番号: 60323648

### (2) 研究分担者

浅川 賢一 (ASAKAWA KENICHI)  
海洋研究開発機構・海洋工学センター先端技術研究プログラム・調査役  
研究者番号: 40344288

(H17~19: 研究分担者)

(H20~21: 連携研究者)

浦 環 (URA TAMAKI)  
東京大学・生産技術研究所・教授  
研究者番号: 60111564

(H18~19: 研究分担者)

(H20~21: 連携研究者)

望月 将志 (MOCHIZUKI MASASHI)  
東京大学・生産技術研究所・助教  
研究者番号: 60334364

(H17~19: 研究分担者)

(H20~21: 連携研究者)

能勢 義昭 (NOSE YOSHIAKI)  
東京大学・生産技術研究所・助手  
研究者番号: 10114604

(H17~18: 研究分担者)

### (3) 研究協力者

藤田 雅之 (FUJITA MASAYUKI)  
海上保安庁・海洋情報部・課長補佐  
Oscar L. Colombo  
NASA・GEST-UMBC・研究員