

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：12614

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25870237

研究課題名(和文) 海洋ビッグデータの価値を高めるロバストな船舶精密位置決定の研究

研究課題名(英文) Study on the robust precise positioning for ship to raise the value of marine big data

研究代表者

久保 信明 (Kubo, Nobuaki)

東京海洋大学・海洋科学技術研究科・准教授

研究者番号：80343169

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：今後の利活用が期待される約10cm精度の精密単独測位(衛星からの情報だけで高精度を達成できる手法)の船舶での実証実験を数回にわたり実施することができた。リアルタイムでの精度は少なからず飛びが見られるものの、安定時に10cm程度の精度であることがわかった。また、移動体の数cmの精密測位で問題となっていた搬送波位相追尾(数cmの位置を決定するための観測データ)のロバスト性について、本研究の提案手法により、高架下等での遮断復帰時により素早く正しい搬送波位相を追尾することが確認できた。

研究成果の概要(英文)：Precise point positioning is expected for many applications. In this study, several experiments with precise point positioning using ship were conducted. the test results indicated that the decimeter accuracy was achieved even in the real-time application although the several jumps can be seen.

Regarding the robustness of carrier phase measurement, our proposed method could enhance the robustness of carrier phase measurement in terms of a few seconds blocking due to the elevated road. In particular, our software based receiver could output the carrier phase measurement several seconds quicker than the current world class GNSS receiver.

研究分野：GPS/GNSS

キーワード：GPS GNSS RTK PPP 信号追尾

1. 研究開始当初の背景

ICTの世界でビッグデータの活用が注目されており、データを適切に分析すれば大きな価値を生み出す可能性がある。航海に関しても、ビッグデータを分析する時機であり、新しい航海の安全モデルや次世代の運航支援モデルが創造される期待が高まっている。気象・海象やAISデータ、蓄積した運航中の画像データ等はビッグデータにあたり、これらデータ自身の価値を高めておくことが重要である。現在船舶位置の水平精度はDGPSで1m程度であり高度方向は2m程度である。船舶の位置精度を向上させることは上記のデータの価値を高めることに直結し極めて重要である。例えば、船舶の高度方向の揺れを数cmで特定できると、船舶画像処理に必要な水平線特定に寄与でき、船舶の高度方向の正確な揺れ情報は、正確な波浪を予測可能とする。遠洋の多くの船舶データが、気象・海象の重要な基礎データとなる可能性を秘めている。津波検知や海洋探査においても船舶の位置高精度化が強く期待されている。背景となるイメージを下の図1に示した。

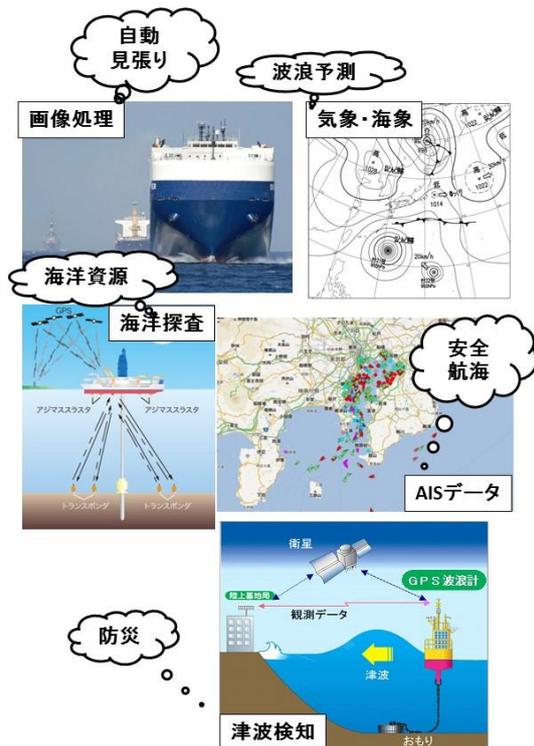


図1 研究背景のイメージ図

次に船舶のGNSS高精度測位技術に着目すると、基線長の長さによる大気圏遅延量等の影響もあり、リアルタイム性と精度が確保できないケースが多々ある。東日本大震災においても、地殻変動の推定結果が発表されたのは信頼性も考慮され数時間後であった。このような背景もあり、中長基線

RTKと基線長に依存しない精密単独測位(衛星経由でグローバルな補正データを入力)の開発が世界で活発に行われており、申請者も国土院と近未来GNSSに対応した共同研究を行っている。一部精密単独測位を市販化した製品もあるが、残念ながら実運用で水平数10cm程度である。本研究では、将来性ある精密単独測位に焦点をあて、本技術が抱える問題点を従来の観測データの複雑な数式処理だけに頼らず、受信機の信号処理部分を改良しロバストにすることで克服することと、実際に船舶航行で実験を行い、その精度を実証することを目的とした。

2. 研究の目的

研究背景で述べたように、ICTの世界でビッグデータの活用が注目されており、データを適切に分析すれば大きな価値を生み出す可能性がある。船舶の安全運航にかかわる気象・海象やAISデータ、運航中の画像データの精度は、観測時の船舶の位置や揺れの精度によっており、その高精度化は、上に掲げた運航中各データ群の一層の高精度化をもたらし、その結果、例えば正確な波浪予測につながったり、津波検知や海洋資源探査の精密化、新しい航海の安全モデルや次世代の運航支援モデルの開発の端緒を生み出す。本研究では、この船舶の位置や揺れのさらなる格段の高精度化を複雑な数式処理によらず、受信機の信号処理の改良によって導き、実際の船舶運航によってその成果を実証するものである。

3. 研究の方法

以下の流れで研究を実施した。

- ① 本研究の目的にあるように、精密単独測位の試験船での精度検証を最初に実施した。さらに車両による移動体でも同様の検証を実施した。
- ② 上記の結果を踏まえて、大きな橋の下を通過する箇所での精度劣化が見られたため、当初の予定通り、そのような場所での信号追尾処理の改善を検討した。具体的には、研究室で開発しているソフトウェアGNSS受信機で安定した時計(小型原子時計)とINS(移動体の方位等が事前に分かる)を入力したときの信号追尾能力の向上について検証した。
- ③ ②で提案した方法を利用して、実際に搬送波位相追尾のロバスト性が向上するかどうか、移動体での高精度測位実験で実証した。提案手法の船舶での実証実験が間に合わなかった点が課題であるが、車両での実験で提案手法により、高精度測位の利便性が改善されることが確認され

た。

#### 4. 研究成果

本研究で得た成果について、3節の研究手法の詳細と合わせて報告する。①を4.1節で②と③を4.2節で紹介する。

##### (1) 精密単独測位の現状

図1は実験船(海洋大汐路丸)で勝どきを出航し館山に向かう最初の1時間のリアルタイム測位誤差である。レファレンスは近接の基準点でのRTKの結果とした。JAXAで運用している精密単独測位方式でインターネット経由でも精密暦や精密クロックのデータを入手できるため、この時はインターネット経由で補正データを入力していた(実際には準天頂衛星経由で補正データを受信できる)。この結果をみるとわかるように、勝どき周辺では周囲の高層ビル街による影響を受けながら解が収束し、再度レインボーブリッジを超えるところで搬送波位相が一度遮断され、収束に時間を要している。その後は測位が安定しており、標準偏差で10cm以内程度の精度(水平高度ともに)であった。また途中飛んでいる箇所はEmobileの通信回線の問題であった。東京湾といえども海上ではデータ通信機器の接続性は担保されていないためしょうがない部分ではあった。以上より、現状のJAXAで運用されている高精度単独測位は水平、高度方向ともに標準偏差で10cm以内程度の精度を有していることがわかる。10cmレベルの変位を正しくとらえることはやや困難であるが、20-30cm以上の変位を正しくとらえることはできるといえる。

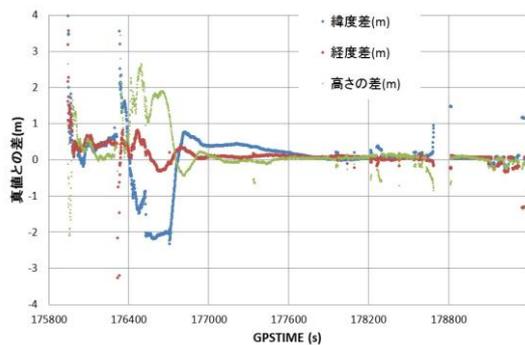


図1 精密単独測位の海洋上でのリアルタイム測位結果

図2は開けた場所(江東区晴海)を車両で実験したときの水平方向の精密単独測位の誤差結果である。青がGPSのみで緑がGPS+GLONASSの結果となる。レファレンスはRTK解とした。GPSのみでは数10cmの誤差がみられるが、GPS+GLONASSにより精度が大きく改善されていることがわかる。

GPS+GLONASSでの標準偏差は海上と同じく数cmであった。図3は、通常の都市部(中央区晴海)を走行したときの測位誤差結果である。上記と同じくRTK解をレファレンスとした。都市部を走行すると搬送波位相が頻りに途切れるため、現状の精密単独測位のみでは満足な結果を得ることができないことがわかる。上記の結果はいずれも高精度単独測位解が30分程度で収束したとの結果である。

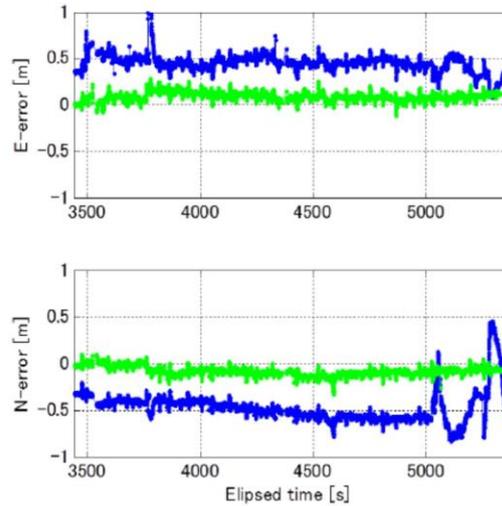


図2 高精度単独測位の移動体車両でのリアルタイム測位結果(オープンスカイ)

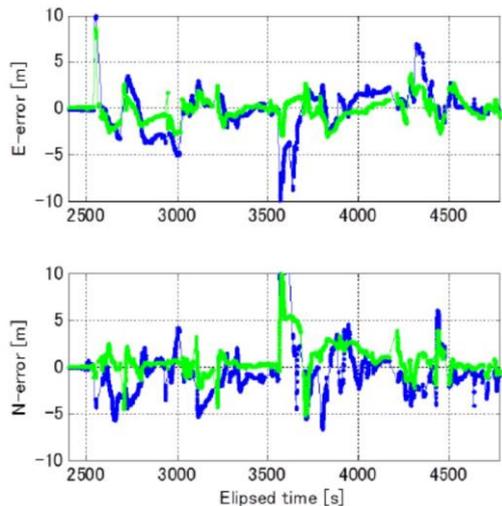


図3 高精度単独測位の移動体車両でのリアルタイム測位結果(都市部)

##### (2) 信号追尾能力と各種調査結果

まずGNSS受信機と受信機内部クロックの性能との関係を調査した。その結果概要を図4に示した。いずれも市販受信機に外部クロックを入力し、それぞれのクロックで単独測位時のクロック誤差(m)がどの程度になったかを調査している。図4の結果をみると明らかのように、コンシューマ受信機では24時間で162ms内部のクロックがずれるのに対

して、ルビジウム発信器を入力すると 0.00158ms しかずれないことがわかる。これは原子時計を入力した場合、位置精度で数 100m しかクロック誤差を生じていないという意味である。小型原子時計は CSAC 社のものを利用した。図 5 にその写真を示した。

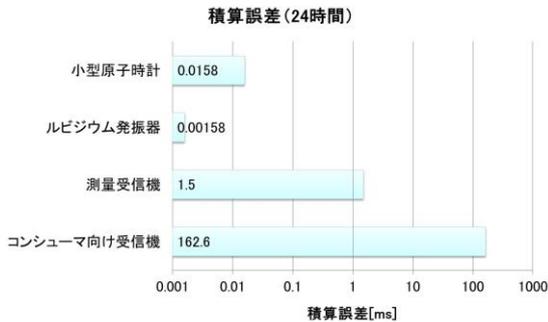


図 4 GNSS 受信機と受信機内部クロックの性能との関係



図 5 CSAC 社製小型原子時計

通常の TCXO ではクロックバイアスを生じるため、ドップラ周波数にその周波数オフセットが含まれることになるが、小型原子時計を利用すると、クロックバイアスの影響を無視でき、衛星と自身の移動体の相対運動のみに着目することができる。逆に言うと、衛星の運動はエフェメリスで正確に予測できるため、自身のダイナミクスを速度や方位から推定することができていれば（理論ドップラ周波数と呼ぶ）、ドップラ周波数を予測することができ、さらにいうとドップラ周波数の観測データの大きな誤差をチェックすることができる。

実際に移動中のある衛星のドップラ周波数観測値と理論ドップラ周波数を図 6 で比較した。良く一致していることがわかる。理論ドップラ周波数より観測ドップラ周波数の飛びを検知することにより、搬送波位相のアンビギュイティ決定における誤りを検知することができた。図 7 にその例を示した。最後のエポック（時間）は誤ったアンビギュイティにより数 m 飛んでいた箇所であったが、理論ドップラ周波数との差が 10Hz 以上ある

ため(閾値はおおよそ 10Hz 程度に設定する)、このエポックの誤った解を事前に検知可能であることになる。

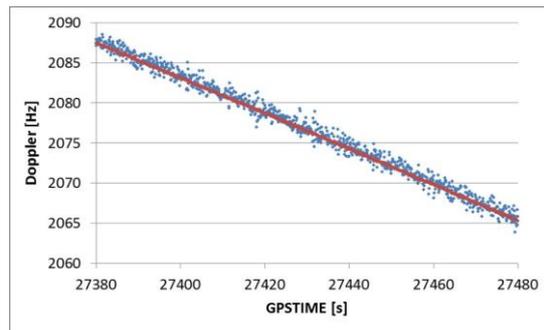


図 6 観測したドップラ周波数 (青) と理論ドップラ周波数 (赤)

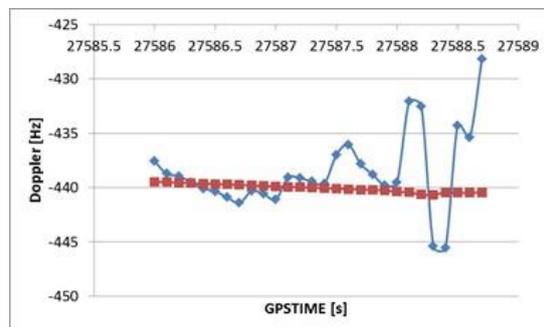


図 7 観測したドップラ周波数 (青) と理論ドップラ周波数 (赤)

次に本研究の主題である搬送波位相の遮断時の信号追尾復帰を早くする手法についてまとめた。具体的には信号遮断時にドップラ周波数を推定し、その値を元に搬送波位相を推定することにより、よい早くかつ正確な搬送波位相を出力し、高精度測位で活用できるようにする。

比較的開けた場所に車両を移動し、静止した状態でわざと鉄板をアンテナの上にかざすことにより搬送波位相に 7 回の遮断を与えた。合計 3 分の時間で、以下の図 8 のように実施した。観測データは市販受信機（世界でもトップレベルの高精度受信機）とソフトウェア GNSS 受信機用のフロントエンドに同じアンテナから分岐して取得した。



図 8 車両写真と信号遮断のタイミング

図9に実際に推定したドップラ周波数の結果を示した。図9の結果を見るとわかるように、遮断発生後の数秒間は実信号なしで推定したドップラ周波数が出力されていることがわかる。通常の信号追尾と遮断前後のスムーズな推定値への移行の部分でトラッキンググループ内の工夫を行った。実際に新たに信号が入ってくる時にスムーズに推定値が移行していることが見て取れる。

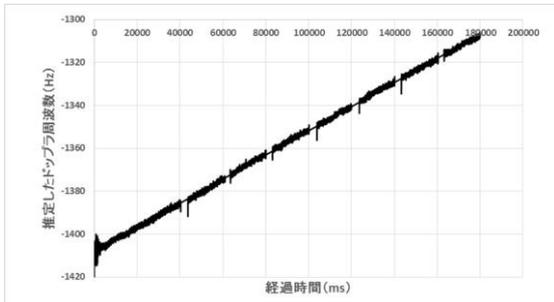


図9 ソフトウェア受信機を用いて提案手法で推定したある衛星のドップラ周波数

図10には市販受信機の観測値を用いた搬送波位相のアンビギュイティ値の推移を示した。一方、上記の提案手法でのドップラ周波数推定値を用いたときのソフトウェア受信機出力の搬送波位相のアンビギュイティ値を図11に示した。(ここでは基準局を研究室屋上とし2重位相差のアンビギュイティを示す)。図10と11を比較するとわかるように、搬送波位相の遮断が確実に起こっているにも関わらず、提案手法によるアンビギュイティ値は比較的安定していることがわかる。また遮断中も出力を継続しており、数cmの精度で追尾できていることがわかる(1cycleで約19cm)。一方、市販受信機の観測データは、特に信号追尾に特徴はなく、信号強度が落ちると普通に搬送波位相は出力されなくなり、遮断後も数秒待って出力されていることがわかった。この傾向は、本実験時の全ての衛星について同様であった。この結果より、提案する手法による信号追尾のロバスト性が確認された。他の衛星でももう少し細かく比較を行った結果を図12に示した。市販受信機よりも4.6秒早く正しい搬送波位相が追尾されていることがわかった。

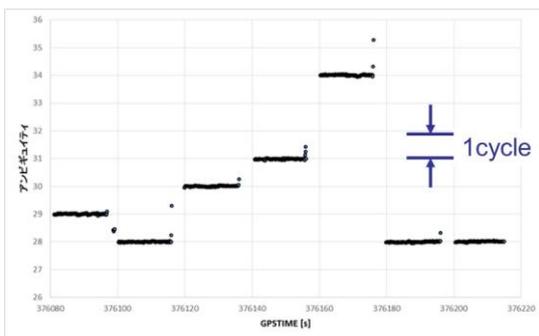


図10 市販受信機の搬送波位相二重位相差のアンビギュイティ値

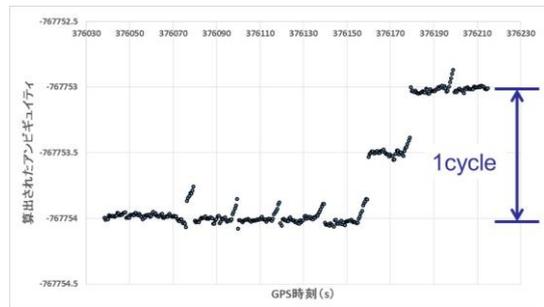


図11 ソフトウェア受信機の搬送波位相二重位相差のアンビギュイティ値

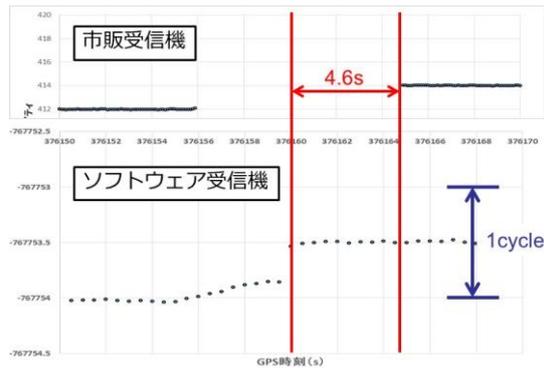


図12 遮断中前後の市販受信機とソフトウェア受信機でのアンビギュイティ値の推移比較結果

最後に本提案手法の移動体での確認実験を行ったので報告する。場所は江東区の辰巳の森海浜公園近くの道路で、直線道路を往復した。途中に高架橋があり2回衛星からの電波が完全に遮断される場所である。高架橋の写真を図13に示した。



図13 途中の高架橋

このときの市販受信機のRTKの結果を図14に示した。ミスFIXは見受けられなかったが、高架橋の下を進む際とその後数秒間搬送波位相が正しく再追尾されるまで高精度解を出せていないことがわかる。

図15に実際に推定したある衛星のドップラ周波数の結果を示した。結果を見るとわかるように、遮断発生後の数秒間は実信号なしで推定したドップラ周波数が出力されている。実際に新たに信号が入ってくる時にスムーズに推定値が移行していることが見て取れる。次に図16をみるとわかるように、市販受信機で遮断後アンビギュイティ解を出し

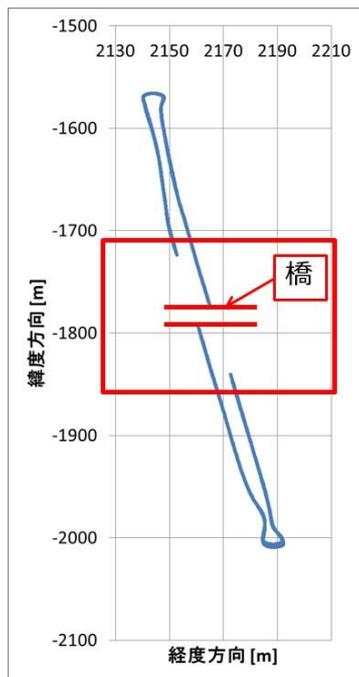


図 14 市販受信機の RTK 結果

始めた時刻より約 5 秒早くある程度の精度の搬送波位相観測値を出力できていることがわかる。以上の結果より、提案手法により、移動体でも搬送波位相の再追尾をより早くすることが可能であることがわかった。またその結果数 cm 程度の精度で遮断後すぐに測位解を出力できることもわかった。

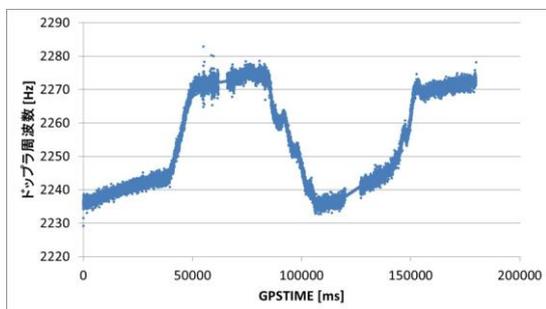


図 15 ソフトウェア受信機を用いて提案手法で推定したある衛星のドップラ周波数

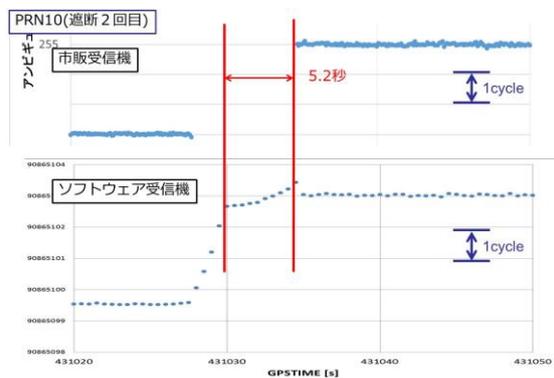


図 16 遮断中前後の市販受信機とソフトウェア受信機でのアンビギュイティ値の推移比較結果

## まとめ

本提案手法は、高架下等の短時間の遮断を念頭に置いたものであり、高架下で移動体の動きが大きく変化すると本手法は適用できない。今後の GNSS 受信機は IMU 等と統合して利用することが想定されるため、受信機クロックの精度を保持し、IMU 等のセンサデータを利用すれば、よりロバストな搬送波位相追尾が可能ではないかと思われる。また後半の提案手法による船舶実験を行うことができなかったため、今後の課題としたい。

## 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 1 件)

Shungo Shinohara and Nobuaki Kubo, “The study of fast re-tracking using theoretical Doppler frequency in GNSS”, Proceedings of ISGNSS 2014 (査読有り)

[学会発表] (計 4 件)

- ① 久保信明、篠原駿吾 「GNSS 搬送波位相の再追尾に関する研究」電子情報通信学会総合大会 2015 年 3 月 10 日 立命館大学
- ② 斉藤詠子、久保信明、霜田一将 「海上における高精度単独測位の精度評価」測位航法学会総合大会 2015 年 4 月 24 日 東京海洋大学
- ③ Taro Suzuki, Nobuaki Kubo, Tomoji Takasu, “Evaluation of Precise Positioning Using MADOCA-LEX via Quasi-Zenith Satellite System”, Proceedings of ION-ITM 2014 年 1 月 28 日 米国サンディエゴ
- ④ 篠原駿吾、久保信明 「GNSS ドップラ周波数の信頼性評価手法について」電子情報通信学会 Society 大会 2013 年 9 月 20 日 福岡工業大学

[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]

ホームページ等

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

久保 信明 (KUBO, Nobuaki)

東京海洋大学・海洋科学技術研究科・准教授 研究者番号：80343169