

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成30年6月6日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2014～2017

課題番号：26709068

研究課題名(和文) 海洋化学・生物環境の多次元可視化を目指す光ファイバ化学センサシステムの開発と展開

研究課題名(英文) Development and deployment of multipoint optical fiber chemical sensor system towards multidimensional visualization of marine bio/chemical environment

研究代表者

福場 辰洋 (FUKUBA, TATSUHIRO)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・海洋工学センター・技術研究員

研究者番号：80401272

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、深海も含めた海中環境において生物の生息などに影響を及ぼす海水pH等の化学パラメータを多次元に可視化することを目指し、複数の計測部を有する光ファイバセンサシステムを開発し、評価することで基盤技術を確立することを目的とした。本研究の成果として、ヘテロコア光ファイバ技術を応用することで、約23m毎4点のpHを同時に計測可能な全長約90mの多点計測光ファイバを実現できた。さらに耐圧容器に収納可能な小型OTDR装置、現場計測用光ファイバケーブル及び展張装置を組み合わせることで、10m毎、全長50mの多点計測光ファイバセンサシステムの構築が可能になった。

研究成果の概要(英文)：In this research, we have aimed to develop and evaluated the optical fiber sensor system with multiple measurement points to establish fundamental technology for visualizing chemical parameters such as pH of seawater and other factors that may affecting ecosystems in the underwater environments including the deep-sea. As a result of this research, it has become possible to realize a multipoint optical fiber chemical sensor with a total length of about 90 m, which can simultaneously measure pH of 4 points at every 23 m by applying heterocore optical fiber technology. Furthermore, by combining the sensor fiber with the compact OTDR device, the underwater optical fiber cable, and the deployment device, it has become possible to construct a multipoint measurement optical fiber sensor system with a total length of 50 m every 10 m.

研究分野：海洋計測工学

キーワード：化学センサ 深海 光ファイバ 現場計測 pH

1. 研究開始当初の背景

光ファイバを用いた各種センサは、計測部に電源が不要で電氣的ノイズに強く故障しにくい、狭隘な空間で使用可能、分散型センサネットワーク構築が可能等、多くの利点があり、今日では光ファイバを用いた歪みセンサや振動センサ等は建築物のヘルスマonitoring、防災モニタリング等への応用が始まっている。さらに、ファイバ先端等に感応膜を付加することで蛍光・吸光・表面プラズモン共鳴法等を応用した多様な生物・化学センサも実現されており、今後光ファイバ化学センサの応用範囲がますます広範になってくることは間違いない。

海洋環境での光ファイバセンサの展開については、光ファイバ音響センサ（ハイドロホン）や光ファイバジャイロ等が実用化されている他、船上・海表面等の限定的な環境で各種化学センサ等が使用されてきている。また光ファイバを用いた分散型温度センサを構築し、海洋や湖沼における水温分布の長期計測もしくは連続鉛直プロファイルの取得などが試みられており一定の成果を挙げてきている。しかしながら海洋環境の化学パラメタを計測する光ファイバ化学センサを開発、実展開されるには至っていない。これは(1) 単点計測では従来型の化学センサで十分な性能が得られる、(2) 高信頼で点計測可能な光ファイバ化学センサが開発されていない等の理由がある。一方で、近年では水温だけでなく pH や各種栄養塩類といった溶存イオン種、酸素や二酸化炭素の溶存ガス種、DNA 等生体関連物質等の環境パラメタも、光ファイバセンサを用いて計測できる技術が登場している。

2. 研究の目的

本研究では、海洋環境計測に資する新たな現場型光ファイバ化学センサシステムの構築と評価を目指した。海底資源の探査や開発に伴う環境影響評価、自然災害・地球環境変動に伴う海洋の化学パラメタ変動の多次元モニタリングを可能にする基盤技術の確立を目指した。具体的には、バンドル型の並列光ファイバセンサや、ヘテロコア光ファイバ技術の応用によって、複数の測定部を有する全長数十 m から数百 m 規模の多点計測光ファイバ化

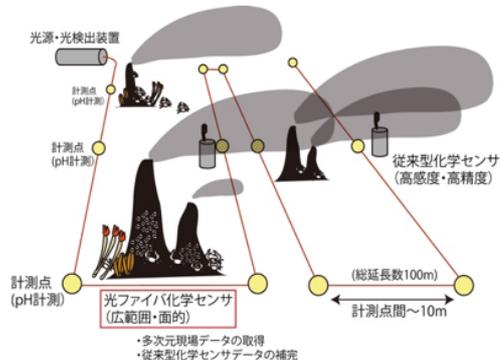


図1 多点計測光ファイバ化学センサのイメージ

学センサシステム (図1) を開発し、評価することを目指した。それにより数 m から数十 m 毎の海水 pH、溶存酸素等の化学パラメタ計測を実現する。特に、深海底熱水鉱床周辺等、環境変動の著しい現場の化学パラメタの状態を多次元可視化するための技術開発に挑戦した。以上の研究によって、これまでにない海洋の姿を明らかにし、次世代の海洋科学、海洋工学の発展に寄与することを目指した。

3. 研究の方法

海洋環境で実展開可能な多点計測光ファイバ化学センサを実現する為に、本研究では単点計測型の光ファイバ化学センサを束ねて多点計測を可能にする方法と、1本の光ファイバを用いて多点計測を可能にした光ファイバ化学センサについて、それぞれ構築して評価を行うこととした。それぞれの方式について最適な光ファイバの選定とイオン感応部の膜組成・構造の最適化および計測原理の検討・評価を実施した。

また、特に1本の光ファイバを用いた多点計測を可能にするための計測装置及び光学系及び、高圧暴露部と常圧部を貫通する光ファイバフィードスルーコネクタを製作した。さらにそれらを一つの現場型システムとして海中に展開するための現場計測用光ファイバケーブルとそれを海底に敷設するための日ありファイバケーブル敷設装置を設計・製作することで、海洋環境における多点計測光ファイバセンサの実展開に不可欠な基盤技術を確立した。

4. 研究成果

まず、1本の光ファイバによる多点化学計測の実現のために、ヘテロコア光ファイバ技術を応用した光ファイバ pH センサを製作、評価した。コア径 50 μ m のマルチモード光ファイバにコア径 3 μ m のシングルモード光ファイバを接合したヘテロコア構造を有するセンサ用光ファイバ (図2) を製作し、ヘテロコア部に pH 指示薬を固定することで pH センサとすることができた。まず、海水 pH 計測に最も広く用いられているメタクレゾールパープルについて相互積層法による色素固定を試みたが、ファイバのガラス表面に長時間安定した膜を形成するに至らなかった。これについては今

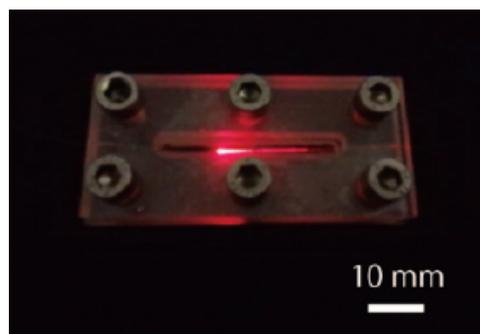


図2 ヘテロコア光ファイバ化学センサ測定部 (635nm 計測中)

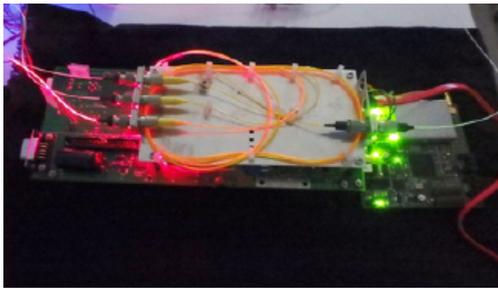


図 3 多点計測光ファイバ化学センサ用多波長 OTDR

後、相互積層膜組成を最適化すること等によって安定的に固定化することができれば、メタクレゾールパープルを使用することも可能であると考えられる。一方で相互積層法によって pH6.8~8 の範囲を計測可能なニュートラルレッドを固定した場合等において、より長時間安定して使用できる pH 官能部を得ることができた。

ヘテロコア構造を応用した多点計測 pH センサを用いてデータを取得するための装置として、専用の多波長 OTDR (Optical Time Domain Reflectometer: 時間領域反射測定装置) を製作した (図 3)。この装置は光源として 420nm、520nm、635nm のレーザダイオードを有しており、光ファイバ全長にわたって、入射した光の反射強度を計測することができる装置である。本研究では深海環境で耐圧容器に収納した状態でスタンドアロン使用することを考慮して、内径 120mm、有効長 354mm の 3,000m 級耐圧容器に格納できるものとした。製作した OTDR とヘテロコア光ファイバセン

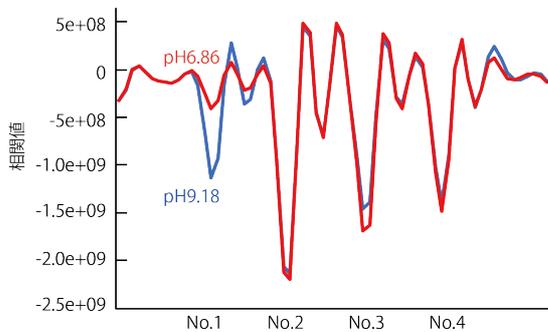


図 4 635nm 光源使用時において pH 計測部 No.1 の pH を変化させた場合の相関値変化

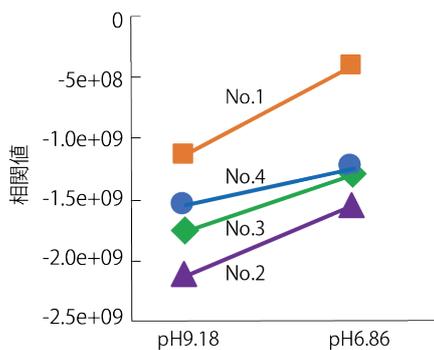


図 5 635nm 光源使用時における全 4 点の計測部の pH を変化させた場合の相関値変化

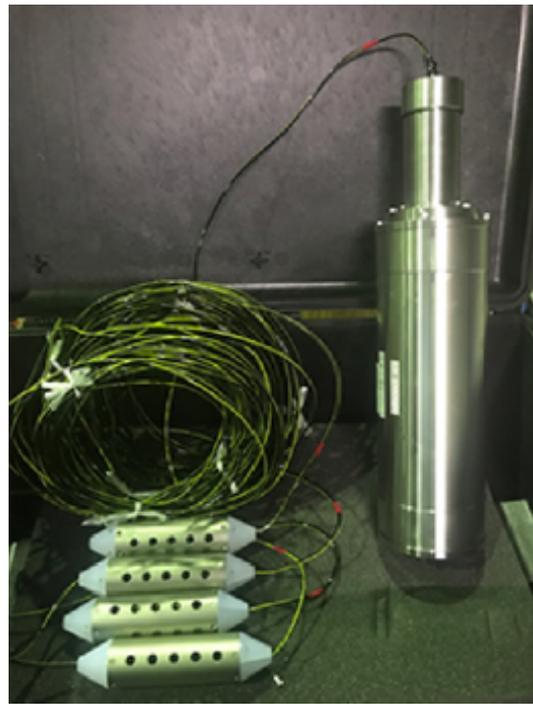


図 6 OTDR 用耐圧容器と現場計測用光ファイバケーブル

サを組み合わせ、4 点の多点 pH 計測が可能であることを確認した (図 4, 5)。

光ファイバ素線は極めて細く繊細な取り扱いを要し、また pH 計測のためのヘテロコア構造や端点 pH 計測部などは、ファイバの曲げ変形や振動がなく、確実に固定されている必要があるため、無人探査機等を用いた海中での展開のために現場計測用光ファイバケーブルを設計・製作した。外形 4mm の樹脂製シースの内部に外形 1.4mm のステンレス管を内蔵した海底敷設用のマルチモード光ファイバケーブルをベースに、pH 計測部を安全に収納し、かつ必要に応じて計測部を交換する場合に必要な光ファイバの余長分を収納することができるセンサユニットを配した現場計測用光ファイバケーブルを製作した (図 6)。

また、多点計測光ファイバセンサを海底に敷設、また回収するために敷設装置を設計・製作した (図 7)。この装置は無人探査機等を用いて深海底にシステムを展開するために、ROV が標準的に装備するマニピュレータを用いてドラムを回転させ、光ファイバセンサを繰り出し、または回収するものである。ドラムの軸部には OTDR 用耐圧容器と共に、バッテリー用耐圧容器を固定することが可能である。

そのほか、光ファイバの切断端部の単点において計測を行う単点計測型のセンサについても、市販の pH 計測用試薬パッチを固定できるホルダなどを設計・製作し基礎的な検討を行った。

以上、本研究によって、多点計測が可能な現場型光ファイバ化学センサの実現に向けた基盤技術を構築することができた。特に、1 本の光ファイバで多点計測ができるシステムの構築によって、堅牢で信頼性の高い現場計測システムの構築が可能となった。今後さら



図7 光ファイバケーブル敷設装置

に光学系の改良による同時測定点数の追加に加え、色素固定法の改善によって海水 pH 計測に最適な色素の使用等の課題が解決することで、海洋環境の多次元可視化が可能になる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- ① 福場 辰洋、三輪 哲也、深海環境モニタリングの為に現場計測センサと観測プラットフォームの開発(特集 次世代海洋資源調査技術における資源探査と環境調査の技術開発)、海洋と生物、Vol. 38、No. 2、2016、131-137 (査読無)
- ② 福場 辰洋、花谷 耕平、藤井 輝夫、マイクロ流体デバイス技術を応用した現場計測システム(特集深海環境における化学・生化学現場分析と光検出)、光アライアンス、Vol. 26、No. 5、2015、7-11 (査読無)

〔学会発表〕(計2件)

- ① 福場 辰洋、崔 鎮圭、三輪 哲也、古島 靖夫、山本 啓之、藤井輝夫、非接触給電・通信機能を有する新規ランダーと生物・化学センサによる新たな深海環境モニタリング、ブルーアースサイエンス・テク 2018 (横浜、2018. 1. 16)、2018、108-109
- ② 福場 辰洋、三輪 哲也、古島 靖夫、福原達雄、山本 啓之、海底資源調査及び環境モニタリングのための新規プラットフォームと生物・化学センサの開発、ブルーアース' 17 (東京、2017. 3. 3)、2017、157-158

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福場 辰洋 (FUKUBA, Tatsuhiko)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・海洋工学センター・技術研究員

研究者番号：80401272