

往還型深海探査機「江戸っ子 1 号」開発計画

土屋 利雄 海洋研究開発機構
松浦 正己 海洋研究開発機構
三輪 哲也 海洋研究開発機構
小栗 一将 海洋研究開発機構
「江戸っ子 1 号」開発プロジェクト推進委員会

The round trip type deep sea investigation vehicle "Edokko No. 1" development project

Toshio Tsuchiya JAMSTEC
E-mail: tutiyat@jamstec.go.jp
Masami Matsuura JAMSTEC
Tetsuya Miwa JAMSTEC
Kazumasa Oguri JAMSTEC
Committee of "Edokko No.1" development project

Abstract

The presidents of the small factory in Tokyo downtown area are planning for the "Edokko No. 1" development project to challenge the deep sea of the world deepest part. They desire development of the round trip type probe which performs 3D video and various observations in the deep ocean floor to the depth of of 8000 m. A commercial glass sphere is used and a resisting pressure container will develop the product of low cost with easy handling by limiting a function. JAMSTEC performed technical advice to them and has cooperated in development.

1 はじめに

往還型深海探査機「江戸っ子 1 号」開発計画は、東京下町の町工場の社長たちが世界最深部の深海にチャレンジしようと計画された。具体的には、水深 8000m までの深海底での 3D ビデオ撮影や採泥を行うことができる往還型の探査機を開発を目的とし、耐圧容器に市販のガラス球を使い、さまざまな機能を限定することで取り扱いが容易な低コストの製品を目指している。システム開発には、大田区、葛飾区、墨田区などの中小企業 4 社を中心に各社担当するパートを決め、JAMSTEC と大学（東京海洋大、芝浦工大）が様々な技術協力するという形態をとっている。実用機として、2014 年までの完成を目指している。将来の製品販売などの事業化への取り組みが評価され、JAMSTEC の事業化促進プログラムに採択された。ここでは、この計画の概要と開発状況を報告する。

2 江戸っ子 1 号計画

2.1 計画の経緯

「江戸っ子 1 号」プロジェクトは、葛飾区の小企業「杉野ゴム (株)」の杉野社長が大阪の中小企業が行った人工衛星プロジェクト「まいど 1 号」計画に触発され、東京下町の企業を活性化したいということを目的とスタートした。彼は、未知の世界である「深海」を調査することのできる無人探査機をつくりたいということから、まず、話を海洋研究開発機構 (JAMSTEC) に持ち込んだ。しかし、深海の無人探査機を製作するには、大きな技術力や資金力が必要であり、既に多くに機材が販売されている現状から断念せざるを得なかった。そこで、JAMSTEC は、構造が単純だが実用的なシステムとして、

「往還型深海探査機」の開発を提案した。¹⁾ これは、超深海域でビデオを撮影し、採泥などを行う装置であり、耐圧容器に市販のガラス球を用いることで最も大きな技術的な問題を回避し、中小企業が持っている優れた技術力を結集することができると考えた。

異業種分野の中小企業が集まって新しい分野（海洋機器開発）のプロジェクトを立ち上げるメリットとしては、以下のようなことが考えられる。

- (1) それぞれ得意分野の技術を活用できる
- (2) 大企業と違い取り組みに対するフットワークが軽い
- (3) 失敗をあまり恐れていない
- (4) 製品開発で大学との大きなチャンネルがある、

逆にデメリットとして、

- (1) 計画を立て取りまとめる人がいない
- (2) 海洋に対する知識がない (3) 資金力が小さい

などの問題あるが、ここでは各社の得意分野を結集できるように地元の銀行を中心にマネージメントを行う人材を確保し、資金を集めることとなった。そして、「江戸っ子 1 号」プロジェクトを JAMSTEC が毎年募集する「実用化展開促進プログラム」に応募した。審査の結果、将来の製品販売などの事業化への取り組みが評価され、採択された。それにより、JAMSTEC が本格的に技術的なサポートを行えるようになり、所有する試験機材や船舶を利用させることも可能となった。

2.1 江戸っ子 1 号のコンセプト

「江戸っ子 1 号開発プロジェクト委員会」での検討の結果江戸っ子 1 号は、水深 8000m の海底において 3D 画像の長時間

撮影を行い更に採泥などの作業を実施し、自力で海面に戻ってくる装置と定義された。最大水深を 8000m としたのは、

- (1) 市販のガラス球容器が安全に取り扱える水深である。
- (2) 脊椎動物が 7700m で確認されているがそれを超える。
- (3) 東日本大震災での震源域が「しんかい 6500」の潜航深度を超えており更に大深度で詳細な調査が期待されている。
- (4) 日本海溝の最深部が約 8000m である。

などの理由からである。システムの動作の概念図を Fig. 1 に示す。これは、基本的な動作として JAMSTEC の海底観測システムの「ランダーシステム」を参考にしてしている。²⁾

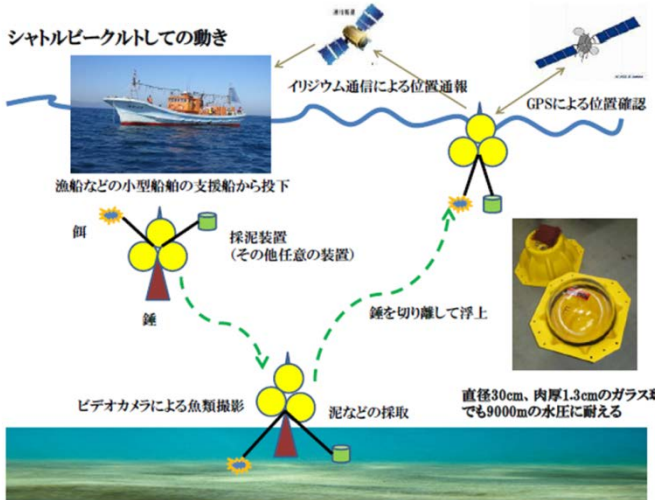


Fig. 1 江戸っ子1号システムの動作概念図

システムの動作シナリオは、以下のとおりである。

- (1) 100kg 程度の吊り下げクレーンを装備した、小型船舶（釣船）で、実験海域に搬送 2~3 人程度で操作を行い、海中に投下
- (2) 機体は 60m/分の速度で落下、落下途中も小型ガラス球に入れたビデオで撮影
- (3) 約 4 時間で 8000m の海底に着底トランスポンダにより、海底に着底を確認する。
- (4) 5~6 時間海底にてビデオ撮影（間欠動作で長時間にすることも考慮する）
- (5) 一定時間後に採泥装置を稼働させ、海底の泥を採取
- (6) 第 2 日目朝に錘切り離しをトランスポンダにより指示遅くとも正午までに海面に浮上 (60m/分以上の速度で浮上)
- (7) 1 時間以内に回収 (GPS と衛星通信で位置確認)
- (8) 翌朝までに、データ回収、電池充電し、再投入

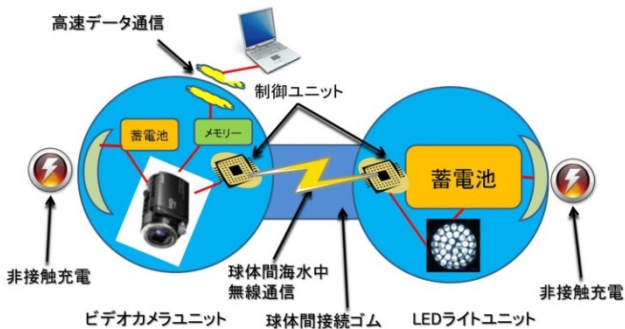


Fig. 2 基本技術コンセプト

2.2 各コンポーネントの開発

各コンポーネントは、すべて市販（ドイツ製）の外径 13 インチ（36cm）ガラス球に封入され、基本的に船上で開封する必要のないメンテナンスフリーのシステムを志向している。

このための必須技術としては、

- (1) ガラス球間海中通信技術確立
- (2) LED ライトの作成
- (3) 非接触充電装置開発
- (4) 高速データ通信技術開発
- (5) GPS+イリジウム通信システム

などが考えられ、それぞれ得意とする企業や大学が分担することとし、それぞれが、メールなどで開発状況を確認し、定期的（月 1 回）に開発進捗状況を報告するプロジェクト会議を開催し開発作業を推進させることとした。

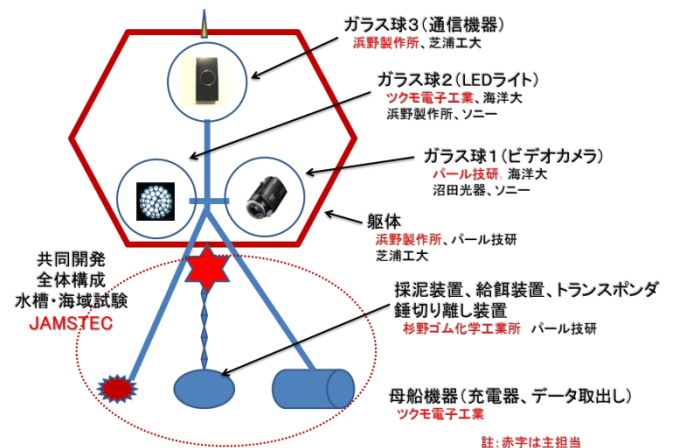


Fig. 3 システム開発担当

3.基本的な技術開発の現状

3.1 非接触充電システム

通常ガラス球を耐圧容器とした深海システムは、電子機器の電源として電池が使われる。一次電池の場合は、開封して電池を取り替える必要がある。二次電池の場合は、充電用のコネクタ穴を開ける必要があることから、ガラス球の劣化が懸念されるため、非接触充電技術を応用することとした。開発中の非接触充電装置を Fig. 4 に示す。送電コイルと受電コイルは、内径 110mm、外径 130mm で約 25mm の間隔でガラス球の内側と外側に配置され、約 6-8 時間で充電を終了させるために大電流化に必要な発熱等の問題解決を行っている。

ガラス球の前提(外径=36cm、内径=33cm)

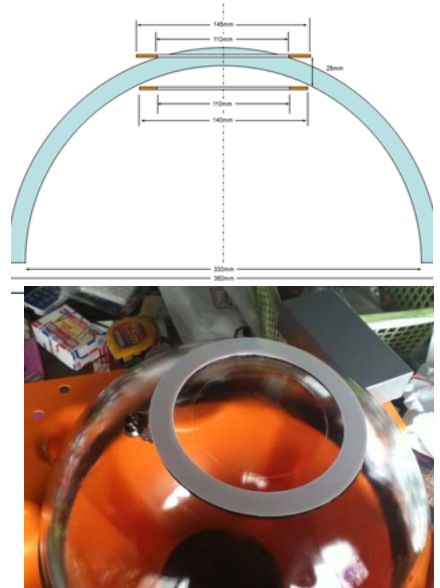


Fig. 4 非接触充電送受電コイル配置

3.2 海中でのガラス球間無線通信技術

海中では電磁波が通過できず、特に無線 LAN などで行われる数 GHz 帯の高い周波数では減衰が極端に大きくなるため使用することができない。しかし、「江戸っ子1号」では、それぞれのガラス球の間で制御信号のやり取りが必要となる。勿論、超音波や光通信などの利用も考えられるが市販の無線 LAN システムが利用出来れば、特別な機材を必要とならず、開発が極めて容易となる。確かに海中では、電磁波の減衰が大きいが生体（誘電性のゴム）を介することにより電磁波を伝搬させることができることが分かった。通信システムのプロトタイプを Fig. 5 に示す。(特許出願中)



Fig. 5 ガラス球間通信システム

このような通信システムにおいて、Fig.6 に示したように高圧水槽で海水を介して通信試験を実施し、5000m 相当の圧力下でも -45dBm の受信信号が得られることを確認することができた。

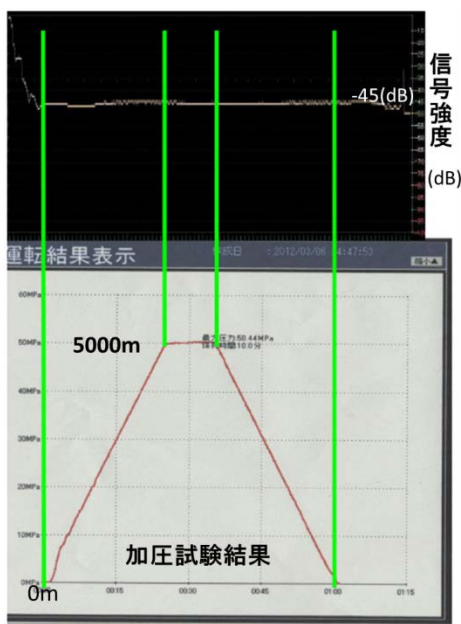


Fig. 6 高圧水槽での加圧通信試験結果

4. 各コンポーネントの開発

4.1 ビデオ球

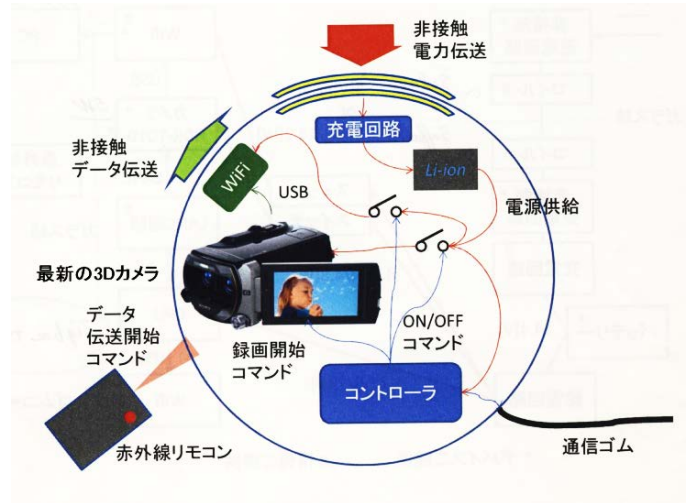


Fig. 7 ビデオ球の概要

ビデオ球には、Fig. 7 のように市販の 3D ビデオカメラ（ソニー製）をガラス球に封入し、取得したビデオデータを高速無線 LAN によりガラス球を開封しないでダウンロードできる。また、非接触充電装置により、次の投入までに充電を完了するように設計する。

2012 年 5 月には JAMSTEC のプールで基本的な性能確認試験を行い、同 6 月には後江ノ島水族館で実際の魚類の撮影を行い基本的な性能が確保されていることを確認した。

4.2 LED ライト球

LED ライト球は、市販の白色 LED をアレーとして組み合わせ非接触充電装置と組み合わせてユニット化している。

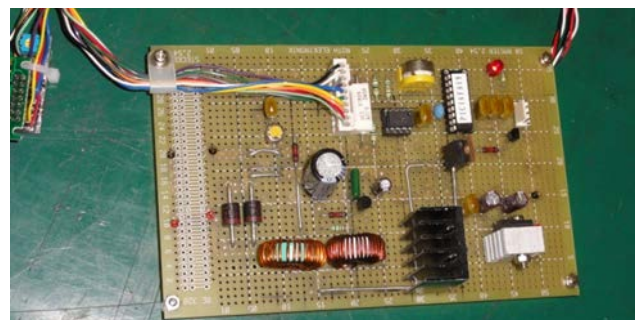
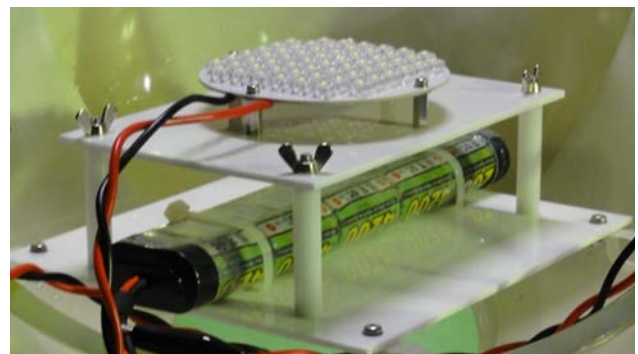


Fig. 8 LED ライトアレー（上）と充電制御回路（下）



Fig. 8 ビデオカメラ球とライト球を使った撮影試験

Fig. 8 に撮影試験の様子を示す。この試験から 1m の撮影距離において良好な 3D 画像が得られることが分かった。また、ガラス球の光学的な歪を補正するための基礎データが得られた。

4.3 その他のコンポーネント

4.3.1 採泥器

採泥器は初期モデルとしてコンタミネーションの影響を考慮せずに海底付近の軟泥を吸い込んでくるものを考案した。これは、ゴムとパネだけで構成され電蝕レリーサ（米国製）により一定時間が経過したら作動するようにしている。

4.3.2 ガラス球ハードハット

市販のガラス球に付属しているハードハットは浮力体（ブイ）として利用するには適しているが、本システムのように何個かのユニットを組み合わせるようには設計されていない。そこで、新たに、Fig. 9 のようなハードハットを真空成形によりいくつか試作して、組み合わせについて検討中である。



Fig. 9 真空成形により試作したハードハット

4.3.3 制御プログラム

制御プログラムは、ワンボードマイコンによって動作し、主にタイマによる時間制御が中心になる。しかし、廉価な加速度センサーによるデータから、落下中の姿勢や回転を検出し、非接触で海底に着底したら直ちに撮影を開始できるようなアルゴリズムを検討中である。

5. システム形状デザイン

本システムは、水深 8000m で使用することが大前提であり、

短時間で海底に到達し、できるだけ長時間の撮影等作業を行い、短時間で回収できるようにするのが望ましい。しかしながら、システムを単純化するために海底付近で減速ができないため、落下速度については、海底に衝突しないようにするために制限があるため、浮上速度を向上させるような形状が望ましい。落下速度の検討は、JAMSTEC などが行なっているランダーシステムなどのデータを集めて行った。この結果、錘を含む重量が 100kg くらいの装置と仮定して、毎分 60m くらいを目標にしている。この場合、8000m に到達するのに約 2.5 時間程度を要するが、浮上時は、浮力をできるだけ稼いで、毎分 90m 程度を目指している。このため、本体のデザインは、もっとも高速で落下できるように検討した想像図であるが、実用化までに数種類の形状を選定し、水槽等において落下・浮上試験を実施する予定である。

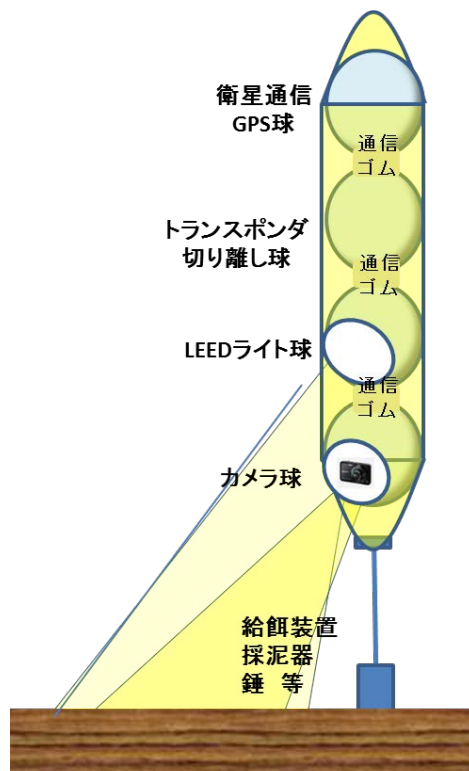


Fig. 10 落下・浮上速度を優先したデザイン例

6. 今後の開発スケジュール

2012年6月現在各コンポーネントの水槽試験を実施中である。今年度中に実際の浅海において撮影試験を実施する。2013年度には、JAMSTEC の船舶により日本海溝域の水深 8000m において、撮影や採泥試験を実施する予定である。また、実用機の完成までに商品化のための方策を検討することとしている。

参考文献

- 1) 橋本 惇, 服部 陸男, 名執 薫, 青木 太郎: フリーフォーム方式耐圧ガラス球入り深海カメラシステム, 日海洋科学技術センター試験研究報告, 第3号, pp. 24-128, 1979
- 2) 小栗一将: 海底から海と地球を探る, Blue Earth 第9号, pp. 22-25, 2009年