

## 課題情報シート

課題名：	浅海用 AUV の開発		
施設名：	九州職業能力開発大学校		
課程名：	応用課程	訓練科名：	生産システム技術系
課題の区分：	開発課題	課題の形態：	開発

### 課題の制作・開発目的

#### (1) 課題実習の前提となる科目または知識、技能・技術

- ・シミュレーション技術（流体力学）、機械製図、CAD/CAM 技術、精密加工技術
- ・アナログ／デジタル電子回路設計技術、センサー応用技術、計測制御技術
- ・デジタル信号処理技術、電磁場解析、リアルタイム制御技術、情報通信技術

#### (2) 課題に取り組む推奨段階

上記、課題の前提となる科目の学科及び実技の終了後

#### (3) 課題によって養成する知識、技能・技術

本課題を通して、設計から組み立てまで、一貫した物作りに関する技術、また関連する知識・技術を身に付けます。

#### (4) 課題実習の時間と人数

**人数：**12 人(生産機械システム技術科 3 人、生産電子システム技術科 3 人、生産情報システム技術科 6 人)

**時間：**生産機械システム技術科 900 時間、生産電子システム技術科 900 時間、  
生産情報システム技術科 900 時間

近年、日本各地で地震が多発し、各地に甚大な被害をもたらしています。地球内部に発生源がある地震を未然に検知するためには、その発生機構の解明が必要です。そのため、地震波動や自然電磁場変動を用い、地球内部構造を可視化する調査研究が陸域や深海域で精力的に実施されています。その結果、精密な電氣的構造解明のためには、境界領域である浅海域での電磁気観測を実現することが、最重要課題の一つであると認識され始めています。しかし、水深数 100m より浅い海底において、極微小な自然電磁場変動データを計測する機器 OBEM (Ocean Bottom Electro-Magnetometer：海底電位磁力計) は実用化されていられません。そこで、我々は、4 年前より複雑で活発な低層流のある浅海底において、高品質な自然電磁場変動データを計測する機器の開発に取り組みました。

当初、1 秒サンプリングで最大 3 か月間計測することができる長周期型の海底電位差計 OBE

(Ocean Bottom Electrometer) 開発に取り組み、その実用性が確認できた現在、より浅部地殻を詳細、かつ、広域に探査することを目標として今年度からは、浅海域において、さらに広帯域な電磁場信号を計測し、より効率的な調査を行う自律型海中ロボット (AUVEMM : Autonomous Underwater Vehicle for Electro-Magnetic Measurement) の開発に着手しています。

## 課題の成果概要

平成 18 年度から 3 カ年計画で始まった京都大学等との日本海での共同観測の最終年度である今年度は、島根沖 (図 2 の西側測線) で実施し、機器の投入・回収は、図 3 に示す気象庁舞鶴海洋気象台の清風丸 (484 トン) で行いました。

図 4 に示す観測機器 KPC-OBE を水深約 70 m の海底に設置し、6 月 14 日から 8 月 23 日までの約 2 ヶ月間に渡りデータを取得しました。

8 月 23 日の回収では、清風丸からの音響切離し信号を送信後、強制電蝕が始まり、約 5 分後に機器は離底し始め、計算通りの浮上速度 (約 0.7 m/s) で自己浮上し、2 分程度で海面にその姿を現しました。



図 3 設置・回収を行った清風丸

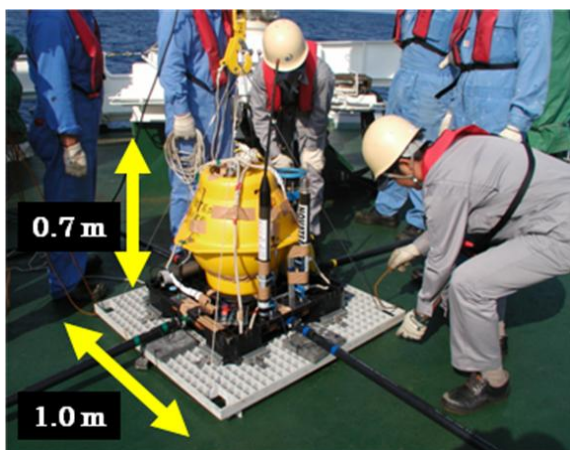


図 4 開発した機器 KPC-OBE の外観 (左図) とガラス球耐圧容器 (右図)

図 5 に示すように、水深 100m 程度の浅海においても良好な電場データが取得でき、図 6 に示すような海底下 200km 程度までの比抵抗構造が推定できました。これにより、長周期型海底電位差計 KPC-OBE の性能は実証でき、実用段階まで到達したと判断しました。

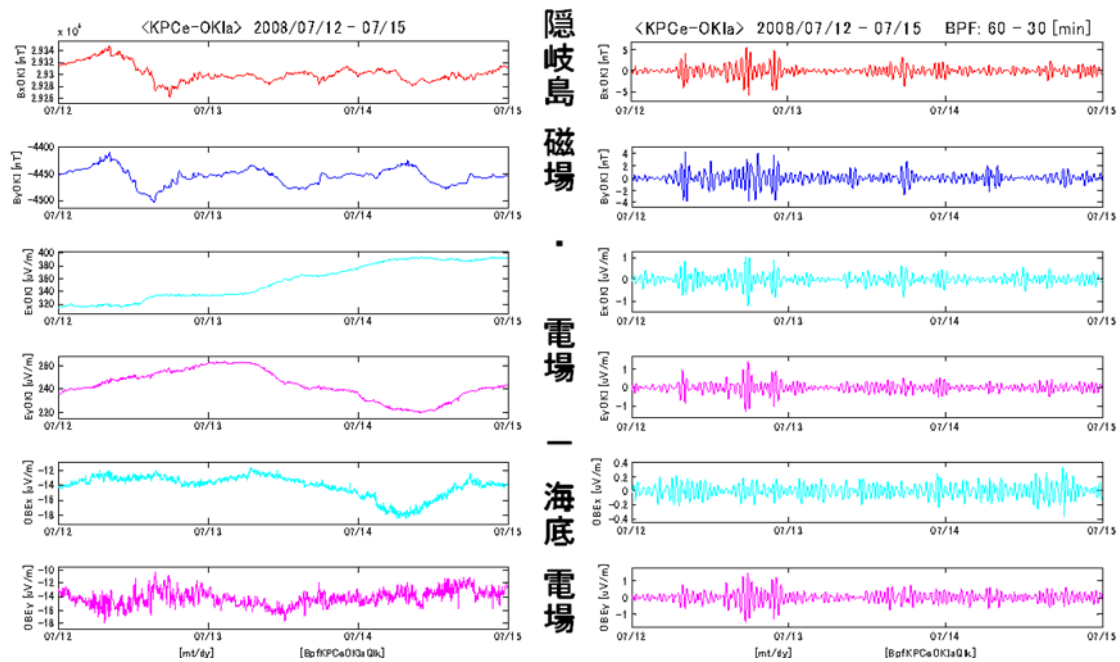


図5 観測した電磁場変動データ (左: 生データ、右: バンドパスデータ)  
2008/07/12 から 07/15 までの4日間のデータ例

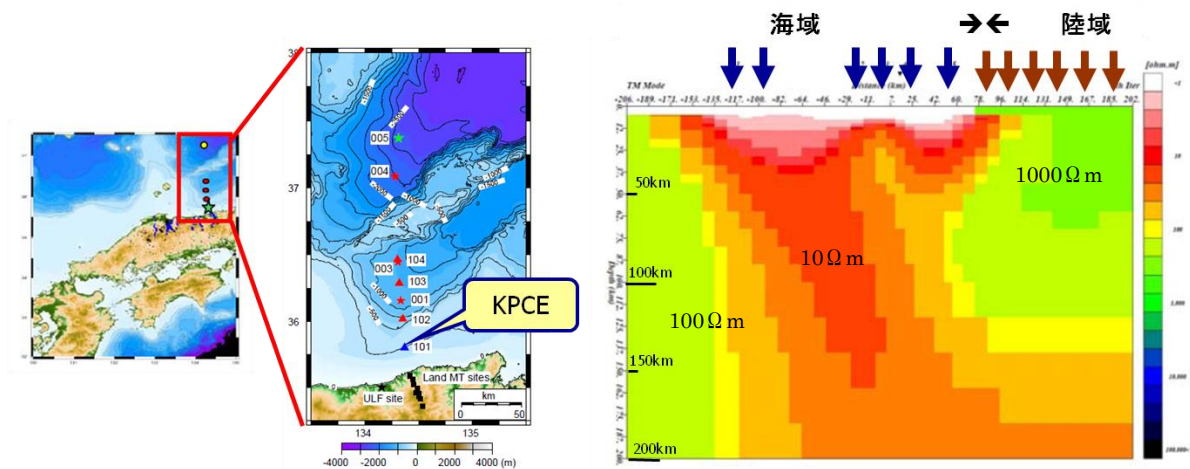


図6 東側測線の解析結果

上記の長周期型機器では耐圧容器として耐圧3000m級のガラス球を採用しましたが、数100m程度の浅海ではその水圧だけでなく、取り扱い性から考えても金属製が望ましいと考えるようになりました。幸い、共同観測での機器設置・回収航海において、海域実験を行う機会を頂きました。そこで、図6に示すアルミ製耐圧容器を製作し、耐圧性を確認するため、容器内に歪測定器を設置し、蓋部 (A5052材、41mm厚)、円筒部 (A6063材、5mm厚) の歪をそれぞれx、y成分として耐圧実験を行いました。図7に示すように、耐圧容器を入れたコンテナをワイヤで吊し、約0.5m/秒の送り速度で深度200mまで沈めていき、5分停止後、同程度の速度で海上まで巻き上げます。これを連続して2回実施した結果を、図8に示します。歪データから求めた海中での応力

変化は、水深200mにおいて、円筒部で約40MPa、蓋部で約8MPaでした。各部の弾性変形限界は、それぞれ約240、70MPaであり、実測値はその1/6程度でしたので、適用最大水深200mの場合には、この厚さよりもさらに薄くする事も可能であることがこの実験で分かりました。

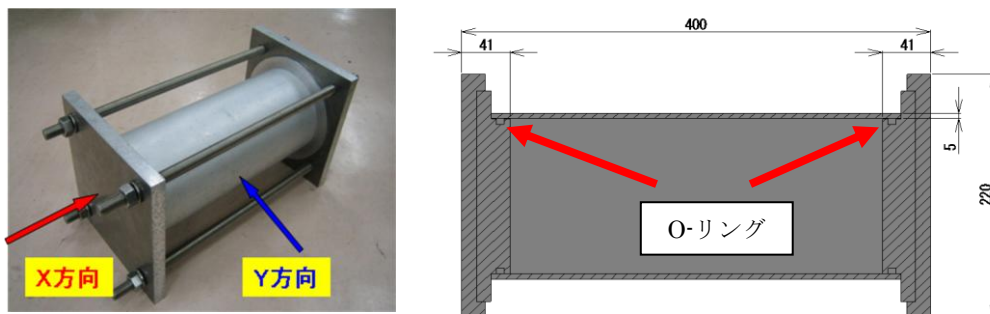


図6 製作したアルミ製耐圧容器



図7 アルミ製耐圧容器の耐圧・耐水性実験風景

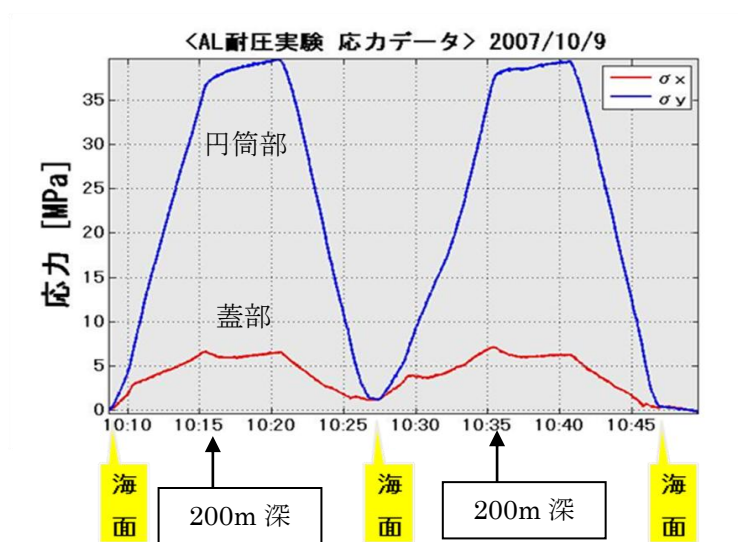


図8 水深による応力変化データ

このような実海域実験により、耐圧・耐水性の点から浅海用耐圧容器としてアルミ製円筒容器が使用可能であることは確認できましたが、数か月にも渡る海中環境下での使用には電蝕などまだまだクリアしなければならない問題点があります。しかし、数時間程度の使用の場合には、なん

ら問題点はないと考えられます。そこで、我々は、短周期型機器の耐圧容器として、このアルミ製耐圧容器を採用する事にしました。そして、これを、自律して計測を行う海中ロボットとして実現するの案が出され、現在、この実現に向けて取り組んでいます。

海中ロボット実現で一番鍵となる点は、高圧下で動作可能な推進器の開発ですが、本年度は、ブラシレス DC モータを採用し、これを図 9 に示すような油漬け均圧方式で実現しました。この円筒形状でも、目標である航行速度 1 ノット ( $\sim 0.5\text{m/s}$ ) は実現出来ましたが、水流の影響でロスが多く、まだまだ改善の余地が残っている状況です。これらは、次年度以降の課題となります。

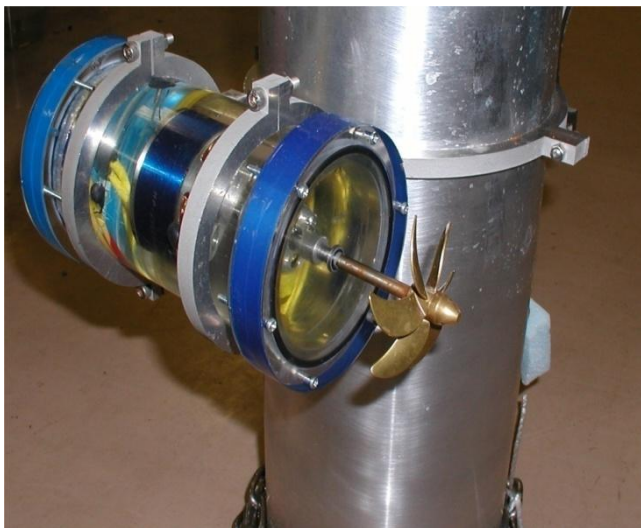


図 9 開発中の油漬け均圧方式の推進器

## 課題制作・開発の訓練ポイントおよび所見

### <製作（制作）・開発過程の概要>

本課題は、地球内部の可視化という地球物理学的な用途の観測装置の開発を行うと共に、その性能を実海域で観測を行うことで評価するというものです。学生にとっては全く経験のない分野であるとともに、共同観測に参加して実観測を行い、その性能評価が外部の研究者により行われるというかなりプレッシャーのかかるものでした。しかし、当初の我々の予想に反し、多くの優秀な学生が本開発課題へ取り組んでくれました。問題点やその解決策などは、約1週間に渡る設置・回収航海中になされた研究者とのディスカッションを通してのものも少なくはありませんでした。さらに、1年間の成果を、東京大学地震研究所や京都大学防災研究所で開催されたシンポジウムで講演し、高評価を頂いたことも学生にとっては大きな財産になり、引き継がれていった要因ともいえます。

養成する能力 (知識、技能・技術)	課題制作・開発のポイント	訓練（指導）ポイント
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 機械系 <ul style="list-style-type: none"> <li>・旋盤・フライス盤・ワイヤ放電加工機などの、加工技術が習得できます。</li> <li>・レーザー加工機を用いてアクリルを切る技能を習得できます。</li> <li>・水圧や、浮力の計算法などの海に関する知識を習得できます。</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 機械系 <ul style="list-style-type: none"> <li>・水深数 100m の海底において観測を行う為、耐圧容器の設計・製作が重要な課題となります。</li> <li>・海中での推進力の計算、及びシール等による駆動軸からの水密性対策も大事な課題となります。</li> <li>・水中重量等の浮力計算を行い、装置の材料選定が課題となります。</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 機械系 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ベアリングのはめ合いを理解させ、細いシャフトの精密加工法、</li> <li>・AUV 本体のフランジ加工の重要性を理解させ、Oリングの必要性と加工法などを指導の要点としました。</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 電子系 <ul style="list-style-type: none"> <li>・アナログ電子回路技術</li> <li>・自動制御技術</li> <li>・デジタル通信技術</li> </ul> </li> </ul> <p>などが習得できます。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 電子系 <ul style="list-style-type: none"> <li>・<math>\mu\text{V}</math> 以下のノイズレベルを実現する増幅回路設計・製作が最大の課題です。</li> <li>・電池動作のため、低消費電力化も課題です。</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 電子系 <ul style="list-style-type: none"> <li>・超低ノイズアンプの選定、基板設計、実装技術、</li> <li>・マイコンの消費電力制御などを指導の要点としました。</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 情報系 <ul style="list-style-type: none"> <li>・デジタル信号処理技術</li> <li>・シミュレーション技術</li> <li>・組み込みソフト開発</li> </ul> </li> </ul> <p>などが習得できます。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 情報系 <ul style="list-style-type: none"> <li>・電磁場データのロバストな MT 解析処理を実現するアルゴリズムと、その結果得られる MT 応答を用いたインバージョン・アルゴリズム開発が最大の課題です。</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 情報系 <ul style="list-style-type: none"> <li>・未学習内容の Maxwell 方程式の解法については、ゼミ形式で学習し、フォワードモデリングデータを用いた検証などを指導の要点としました。</li> </ul> </li> </ul>

#### <指導員に対する所見>

本課題は、普段の生活圏とは異なる海中で動作する装置の開発を行いました。特に、耐圧・耐水・腐食性などに関しては多くの予測できない問題が出てきました。これらの多くは、我々、指導者にも初めて体験するものであり、学生と一緒に調査・議論し、海中実験等を繰り返すことにより、問題解決を図る必要がありました。さらに、自然電磁場変動計測に関しても、学生には未知の事項であり、ゼミ形式による学習も必要となりました。研究者レベルまでの知識を習得させることは不可能ですが、学生なりにそのポイントを掴み、開発に生かすという体験を与えることができました。

#### 課題に関する問い合わせ先

**施設名** : 九州職業開発大学校  
**住所** : 〒802-0985  
福岡県北九州市志井 1665-1  
**電話番号** : 093-963-0125  
**施設 Web アドレス** : <http://www.ehdo.go.jp/fukuoka/kpc/>