

技術報告 (Technical Note)

技術分類: 水中ロボティクス、自律型水中ロボット (AUV)、遠隔操作型水中ロボット (ROV)、浅海域・インフラ点検

発行元: 株式会社クローネ 営業部第四課 大井拓磨

水中ロボティクスにおけるデジタル深度計測技術の革新

～RS-485/Modbus RTUインターフェース搭載型『PR3930』による防水信頼性向上とシステム簡素化の検討～

1. 概要 (Abstract)

近年の水中ロボティクス分野、特に浅海インフラ点検や水産養殖分野における水中ロボット (ROV/AUV) の開発では、オープンソースハードウェアの普及に伴う機体コストの劇的な低減が進んでいます。しかし、深度制御に不可欠な静水圧測定 (深度計) において、安価なホビー用センサの耐久性不足と、学術用超高精度水晶センサの過剰なコスト・サイズとの二極化が技術的課題となっていました。本報告では、シリコンオンサファイア (SoS) 技術およびチタン合金筐体を採用し、RS-485/Modbus RTUデジタルインターフェースを搭載した水中圧カトランスミッター『PR3930』が、水中ロボットの防水信頼性向上 (ペネトレータの削減)、耐ノイズ性の確保、およびシステム統合にいかに寄与するかを学術的・技術的観点から評価・報告します。

2. 背景および解決すべき技術的課題

海中において、ロボットの鉛直方向 (Z軸) の状態量は、以下の静水圧の方程式に基づいて決定されます。

$$P = \rho \times g \times d + P_0$$

(ここで、 P は測定絶対圧、 ρ は海水の密度、 g は重力加速度、 d は水深、 P_0 は海面の大気圧を表します)

この水圧 P を高精度かつ連続的に測定するにあたり、既存のシステム設計では以下の3つの課題がエンジニアを悩ませてきた。

1. 耐圧容器の貫通部(ペネトレータ)増加による浸水リスク
水中ロボットにおいて、浸水はシステムの全ロストに直結する致命的インシデント(「浸水式」の悲劇)です。アナログ(4-20mA)センサや個別の通信インタフェースを採用した場合、センサごとに耐圧シェル(エンドキャップ)へ貫通穴を開け、高価な水中バルクヘッドコネクタを配置せねばならず、防水信頼性が著しく低下します。
2. スラスタ等の高出力駆動系からの電磁ノイズ(EMI)
船底清掃ロボットや産業用ROVは、限られた筐体内にAC240Vなどの動力線や高出力スラスタ、ブラシモータが近接して配置されます。I2CやSPIといった基板間デジタル信号や微弱なアナログ信号は、これらの電磁ノイズに極めて弱く、深度データのバタつきや制御の不安定化(ハンチング)を誘発します。
3. コストと信頼性のデッドロック
低価格オープンソースROVで広く採用される低コストのセンサは、数万円と安価ですがポッティング樹脂シーリング構造のため、物理的接触や過圧パルス(ウォーターハンマー)に弱い可能性があります。一方、学術用の超高精度水晶振動式深度計は数百万円と高価であり、機体の複数展開(マルチAUV)や低コスト機への導入は予算的に困難です。

3. 技術的解決策:PROTRAN® PR3930の物理特性

英国ESI Technology社が開発したデジタル水中圧カトランスミッター『PR3930』は、これらのトレードオフを打破する産業用ハイエンドスペックを有しています。

- シリコンオンサファイア(SoS)構造と超高耐圧特性
人工単結晶サファイア基板上にシリコン歪みゲージを分子結合させたSoS技術により、ヒステリシスを極限まで排除し、極めて高い温度安定性と長期ゼロ点安定性を実現しています。最大2,000 barの過圧耐性を有し、衝撃圧や過酷なウォーターハンマー現象から感圧部を保護します。
- 接液部・チタン筐体と水深6,000m定格
海水が直接接触する受圧面およびポート部はSAE316ステンレスおよびチタン合金で完全構成されています。長期の海底設置や電蝕、フジツボ等の生物付着に対する高い耐食性を誇り、外部圧力は最大水深6,000m(600bar)の深海潜航環境に耐えうる耐久性を誇ります。

4. RS-485 / Modbus RTUがもたらすシステムアーキテクチャの変革

(1) デイジーチェーン接続による「貫通穴1本化」の実現

PR3930が採用する**RS-485/Modbus RTU**デジタル通信規格は、最大1,200mの長距離・高速デジタル通信能力を持っています。さらに、各センサに固有のアドレスを割り振ることで、1つの通信バスライン上に複数台のトランスミッターや別種センサーを並列接続(デイジーチェーン)できます。

これにより、エンドキャップ of 穴(ペネトレータ)を「わずか1本」に抑えつつ、正確な深度(および温度)を含むマルチノードデジタルデータを機体内部のコンピューターへ安全に伝送可能となり、耐圧シェル設計の大幅な簡素化と防水信頼性の飛躍的向上が達成されます。

(2) 産業レベルの耐ノイズ性の担保

RS-485は「差動信号伝送」方式であるため、外部からの電磁コモンモードノイズに対して極めて強い特徴を持ちます。スラストの大電流駆動ラインと同一のケーブル束内に深度データ線を配線してもデータの破損が起きず、作業用水中ロボットの過酷なノイズ環境下で1ミリのブレもない安定した深度保持 (Depth Hold) 制御を可能とします。

(3) オープンOSへの容易なインテグレーション

今日の水中ロボットのデファクトスタンダードであるオープンOSとの統合をも可能にするデジタルI/F。

機体外のPR3930から引き込まれたRS-485ラインは、安価な「USB-RS485変換アダプター」を介してRaspberry Piの拡張基盤に直結されます。チタン製SoSセンサのリアルタイムデジタル深度データを直接表示・オーバーレイさせることが可能です。

5. 結言 (Conclusion)

『PROTRAN® PR3930』は、従来の水中ロボット開発における「安価だが脆弱な実験用センサ」と「高価すぎる学術用水晶センサ」の間に存在する広大なミドルレンジ・産業用実務市場を埋めるキーデバイスです。

RS-485 / Modbus RTU通信インターフェースによる貫通穴の極小化と、SoS・チタン合金がもたらす物理的堅牢性の融合は、日本国内の沿岸点検、水産、環境調査用水中ロボットの実用化（商用化・商業運用）フェーズへの移行を力強く加速させるソリューションとして、極めて有意義です。

【製品技術・仕様に関するお問い合わせ】

株式会社クローネ

〒124-0023 東京都葛飾区東新小岩3-9-6

URL: <https://www.krone.co.jp/>

※本技術資料に関するお問い合わせ、および評価用デモ機・仕様選定のご相談は弊社担当営業までお気軽にお申し付けください。