

The PRAWLER, a Vertical Profiler

Powered by Wave Energy

Timothy James Osse
Joint Institute for the Study of Atmosphere and Ocean,
University of Washington
and NOAA Pacific Marine Environmental Laboratory
Seattle, WA USA

Christian Meinig and Scott Stalin
NOAA Pacific Marine Environmental Laboratory
Seattle, WA USA

Hugh Milburn
Sole Proprietor
Seattle, WA USA

要約 - 低価格、簡単な投入・回収、外洋係留システムなどをコンセプトに設計された新しい波力利用のプロファイリング機器を説明します。PRAWLER (PRofiling crAWLER の造語) は小型、15 Kg の観測機器で通常的水上ブイの動揺を一組のカムクリートで鉛直動に修正することで最大500メートル表層の係留索を昇降します。予め指定された表層深度に到達した後、自由落下で最大速度約30 cm/秒で連続的に海洋データプロファイルしながら降下します。太平洋・大西洋における展開において、20から30プロファイル/日のデータが取得されております。2セットの相対するカムクリートは二つの異なるモード、固定と降下させることができます。係留索で固定させる時、観測機器は個別の機器と同じように連続するオイラー時系列データを取得でき、電源消費を抑える、生物付着から観測機器を保護するなど不必要なプロファイル取得することを避けるためにある深度で止めたりすることも可能です。PRAWLER はまた係留系の重量を圧倒し引きずる力が大きい赤道海流が係留系を片側に引っ張られる場合に機器は係留索をはい降りることもできます。4つのカムクリートの位置は超低電源マイクロコントローラとモーターで制御され、プロファイル当たり約5ジュールの小電力で動作します。

PRAWLER は現在、Seabird 社ポンプ式 CTD と Aanderaa 社溶存酸素センサー Optode が搭載可能です。

PRAWLER データとコマンドは海上ブイへインダクティブモデムを経由して送信され、Iridium/RUDICS によってブイに搭載されている気象データと共に送られます。搭載されたリチウムバッテリーにより、1年間係留で1日当たり8プロファイルを維持する電源容量があります。

投入後の動作結果と観測結果は機器回収後、提供されます。

キーワード : PRAWLER, PICO, ETD, プロファイラー, CTD, 係留、海洋観測、簡単に展開



Fig. 1. 投入準備完了状態の PICO 係留系

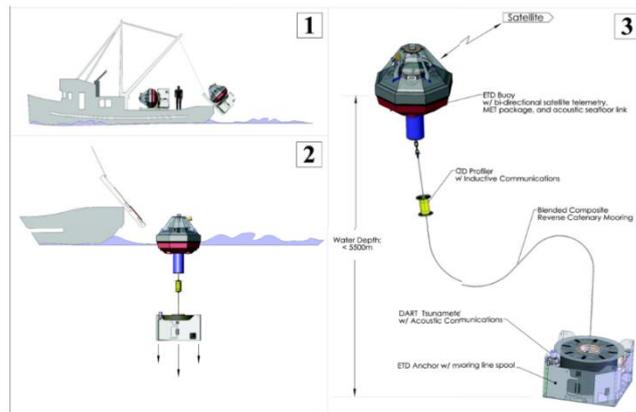


Fig. 2. PICO Easy To Deploy (ETD) 係留システム

I. 背景

2002年初頭、NOAAの太平洋海洋環境研究所(PMEL)は劇的にコストを下げ、外洋の複雑な動向を深海係留系で意欲的なプログラムに乗り出しました。数十年来活用されてきた大きさの係留系、伝統的な方法による係留系、外洋クラスの海洋調査船から投入されてきたが、様々な船から係留系を展開できる、係留系の組み立てやその投入作業のトレーニングを受けていない乗船員により投入が可能になる様な進化した設計を目指し、PICO

(Platform and Instrumentation for Continuous Observation) 係留系用のプラットフォームと観測機器が生み出されました。漂流観測機器やグライダーでは特定の位置に固定できないので、それは海上と海洋表層の特質を高い頻度の取得データが本質的な価値があることを認めています。既に長期間観測を続けている2,3のサイト、OceanSITES時系列:PAPA,WHOTS,KEO,BATS(1)はそれらが指定された場所、取得されたデータよりもむしろ長寿命であることは注目すべきである。係留系は他のプラットフォームにない耐久性、海上の気象データ、24時間週7日データ送達及び制御能力をいつも提供します。足りなかったものは連続する2次元データと予算であった。シングルセンサー組で得られるプロファイルは個々の装置を同等に一系列に構成するより安価であります。現在の設計コストは~\$15K/個プラスCTDと溶存酸素センサーの費用です。PICO係留系は図2にある通り、ワンパッケージにアンカー、係留索、海上フロートが一体になっています。それは簡単に表現すれば水中に放り込める状態で工場から出荷されます。フレームが無い、コンポーネント用容器からアンカー、最上部の海上ブイ間の組み立てる必要がない:パレットを水中に向けて傾斜させ、その係留系を投入するだけです。特許権が取得された係留ラインは張力が掛かった状態でスチールリール上に巻き取られ、リールとブイが保持されたパレットの中に配置されています。アンカー、スプール、フロートは分離しており、アンカーとスプールは底側に配置され、XBTのような巻き取りラインが繰り出され、抗破損のブイは海上に浮かびます。DART-ETD(The Deep-Ocean Assessment and Reporting of Tsunami)と別形の設計、PRAWLERが除かれたシステムはSAIC(Science Applications International Corporation)から5年前に商品化されております。完全なシステムの未来像はPRAWLER(PProfiling crAWLER)機器が完全なパッケージに内挿された子式になり、アンカー・スプール及びブイが分けられたそれぞれが簡単に展開します。現在まで、この配置でいくつかのテスト展開は将来性を示す結果であります。本論文ではPRAWLERそれ自身について説明します。PRAWLERは多重タイプの海上ブイと伝統的な係留系を使用して展開することもできます。PRAWLERは波エネルギーで係留索を昇り、前もって指定した深度まで自由落下しながらセンサーでデータ取得し、次のサイクルが繰り返されます。機器は不変の周期的なストレスの厳しさに耐えることができる信頼性のある電氣的に接続するブイと係留索の終端の開発を含む

PRAWLERは移動、データロギング、通信機能を含む統合された低電力の”運搬車”です。最終結果はリアルタイムデータが得られ科学的なニーズによって制御でき、並外れた耐久性を持った低コストプロファイリング機器となりました。我々はPRAWLER機器の開発に注力したと同時に海洋データ収集に掛かるコストを大幅に下げるためにデータシステム部分もより小型、安全性、より費用効果のある観測システムになる様に設計しました。ブイ動力係留プロファイラー装置のコンセプトは新しいものではありません。

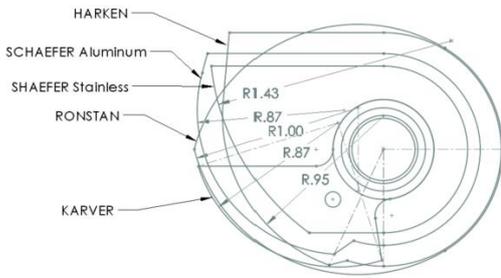


Fig. 3. 市場入手のカムクリート構造

どの様に分離するかは大きさ、コスト及び制御性であります。Wirewalker や Seahouse のように我々はセーリングライン用のストッパーに使用されるようなものではなく、一対のカムクリートで係留索の動きを調整します。セーリング用 (Fig3) の5社の異なるカムクリートを比較しました。5の内の4つは半径の形状が共通で回転角度のカム形状の相関を示した。それらより我々は平均的な形状を選択しました。PRAWLER は一方向に係留索をつかむために二つの向かい合う鋸歯状のカムを使用すると同時に反対方向へは自由に係留索を通過することができます。負の浮力である機器を海上ブイが波で上昇した時に係留索を昇らせませす。波の上で海上ブイの位置によりケーブルの動きの方向が変わった際、PRAWLER が効果的にワイヤーを昇れるようにケーブルはクリートをすり抜けます。2, 3メートルの指定された最小深度に昇りつめた後、カムクリートはコンピュータ制御によって解放され、装置は指定された深度まで自由落下します。ほぼ一定の速度で自由落下する際に内蔵センサーは連続する時系列データが取得されます。PRAWLER は昇り、自由落下に加え、停止、這い下りる、の異なる二つのフェーズを加えた二対の相対するカムクリートを使用することでより能力を持たせた。四つの状態は図4の通りです。クリートはカム中央部のピンク色によって描かれている部分で、それらは複数の引張コイルバネによって係留索に対して保持されます。PRAWLER を係留索上で固定させるために、上下の動きを防ぐために両方のクリートでロックされます。これにより我々は連続するオイラー式時系列と同様の個別の装置を固定して観測する連続するオイラー式時系列データが得られる装置を手に入れました。PRAWLER はまた、ワイヤーを這い下りることができる有用な能力を持っていることです。噛み合わされた上部セットのカムクリートのみで、海流が係留索をたるませる十分に強い時は係留索をPRAWLER は這い下ることが出来ます。赤道海流は機器が自由落下を妨げる位強い流れであるが、PRAWLER は通常の降下ができる海流になる深さまで自身で引き下げる事が出来ます。昇る、自由落下、停止及び這い下りる4つのモードは二対のカムを一つのカムと一つのモーターが回転することで制御されます。システム固有の特長は搭載されているエネルギーほぼ100%がセンサー及びデータテレメトリーに使用される事実です。圧倒する係留系を引っ張る流れと勾配密度から海上近傍の表層における機器の浮力に変えることはプロファイル機器の負担になります。無限の波のエネルギーを源とすることは劇的な利益となります。水中グライダーで示された利益、例えば等密度ハル技術を使用するなどしても、まだ内蔵エネルギーの60から70%消費して水柱を通過する。Seaglider は1000mプロファイルを得るために7000ジュール以上消費するが、PRAWLER は500mプロファイルデータを得るための消費量はたった5ジュールです。次のセクションでは現状の世代における機械的と電子的に精巧に作り上げる事、その設計のいくつかと外部カムクリート機能へモーターを連結する重要なシャフト密封のテスト、そしてピュージェットサウンドまた、Chukchi Sea、メキシコ湾でのテスト実行予定について説明します。

Brooke Ocean 社製 Seahorse [2]は上層海洋動きを海上ブイに変換したうねりの動きを使用している商業上購入可能なユニットです。McLane Moored Profiler (MMP) [3]は係留索に沿って移動するモーター駆動の移動装置です。MMP は耐久性があり一定の速度で複雑な動作を行い、水中ブイや氷で覆われた海でも動作する能力を有しています。けん引駆動は連続する波浪環境の海上ブイのエネルギーを利用しません。Scripps 海洋研究所の Wirewalker[4]は PRAWLER と同じ特長をいくつかを持っています。Scripps 製 Wirewalker と Brooke Ocean's Seahouse からこの機器

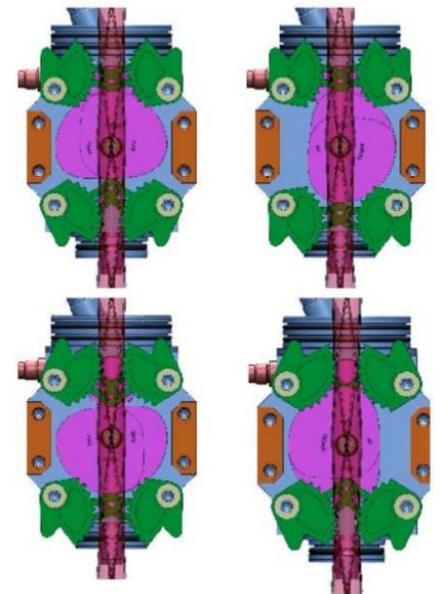


Fig. 4. PRAWLER の4つのモード:
左上から上昇、下降、自由落下、停止モード

II. PRAWLER 機械的設計

PRAWLER はたった直径 20cm、72cm 長、重量 15kg で扱いやすい小型の移動体です。先端には 35cm 直径の抗力ディスクがあります。この設計は 500m プロファイルを取得しつつ、直接レーザー焼結法 3D で作成されたパーツとプラスチックをローコストで複合された圧力ハルを活用されており、バッテリーの液漏れ耐性を持たせるために 4 区画に分けられたバッテリーホルダーを使用しています。共通エンドキャップに統合されたカスタム設計の電磁誘導モデムを使用しており、4 つに分割している耐圧ハルで構成され、そのうちの一つは SeaBird 社 CTD へ接続されています。図 5 はコアシステムを搭載した二つはほぼ同じファイバーグラスシェルあるいはフェアリングを示しています。両サイドのフェアリングはシタクティックフォームシリンダーによって覆われます。二つの対の対比するカムクリートとそれらの位置を制御するシングルカムは一つのエレクトロニクスハウジングと共に一体化されます。残っている 4 つのチューブにはリチウムバッテリーと接続しているリード線が含まれています。カムクリートの位置は一つのカムによって制御されます：各々のカムクリートは車内のロッカーアームのようにカム従動節があり、カムの動きに追従します。カムは一つの共通するシャフト上に二つのカム軸歯形で構成されます。二重カムの回転は 50:1 比に変換するカスタムウォームギヤー駆動に変換する 19:1 比の遊星ギヤーヘッド小型 3.2 ワット Maxon ギヤーモーターによって制御されます。作動していない際、2 条ウォームギヤーは位置を保持する為の本来のブレーキ機能を提供するのみではなく、非常に小型のモーターでこのシステムを駆動するために必要とされる減速ギヤーでもあります。状態の変更には約 1.5 秒掛かります。PET 樹脂モーターハウジングはシャフトとギヤーモーターアッセンブリーが含まれます。二つの複合チューブはトップ（全てのエレクトロニクス）からボトム（Aanderaa Optode）を繋ぎます。小さなハウジング内に正しい角度でウォームギヤーをセットする事が求められる‘ボトルシップ’の様なもの。シャフト出口の内部エンド側には選択による 4 つの小型マイクロスイッチ引外し装置である別のカムがあります：これらはシャフトの位置、回転の状態をソフトウェアに提供します。連続する位置表示器は必要とせず、費用の追加、複雑さありません。：簡易スイッチカム表示システムの位置決め許容誤差は十分に満足できる結果でした。

A. シャフト密封

ほとんどの明らかな不具合箇所はモーターハウジングの仕切り壁を貫くシャフトです。磁気カップリングが検討されると同時に空間制約や直結駆動設計で駆動させる低回転での高いトルク得る必要性です。動的なシャフト密封要求の持続時間は静的な密封と比較して短かった。表面密封は大きすぎるので、最も重要な設計の一つである伝統的なリップシールが使用された。我々は油付けの圧力平衡した中間貯蔵方式で二重密閉を採用しました。周辺の海水圧力と内部大気圧の間の圧力差の原理はオイルと空気の中に存在する、そしてまた海水と空気ではない。我々は海水を遮断するワイパーシールを技術があるが、0 圧力差で運用する必要がある。それらは PTPTE 材で満たされたカーボングラファイトのパネ励磁リップ密封と同じである。海水側の一方が開かれた小さなボアプラスチックチューブは油で充満され、リザーバーを提供します。そのアッセンブリーの最終的な段階として真空チャンバーに全体システムを埋め込みます。シャフトの片側は海水で、圧力インターフェイス側では無いとしてもシャフトの片側は海水です。それでも、この重要なインターフェイスで電蝕を危惧しました。スーパー二相ステンレス鋼と同様に窒素チタン (TiN) でコーティングされたチタン Gr 2 シャフトを見つけました。両シャフトは良く機能したが、最終的にはリップシール部が良く磨かれ、安価なステンレス鋼を選択した。TiN にコーティングすることは非常に困難で細かな傷は全体のミッションを通して存在したのに、わずかに柔らかい良く磨かれたスーパー二相 Ferralium 255 を使用した。

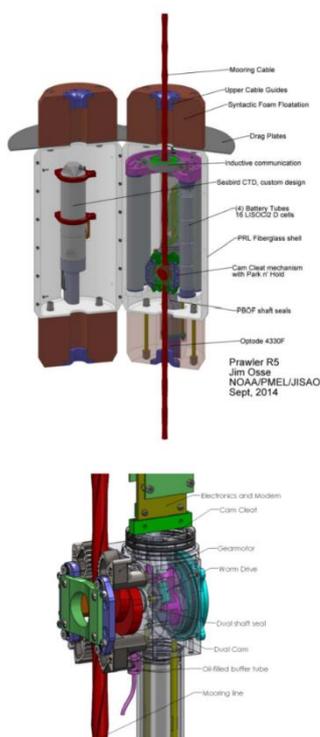


Fig. 5. 概略の配置とカムクリート詳細

PMEL テスト施設で数回の昇降耐久試験を行った。設計目標の 1 万周期を超えて 10 万周期以上繰返しデータを獲得しましたが、失敗はありませんでした。図 7 の右グラフは相対的に安定した 750 Psi でモーター電流対周期を表しました。密封—シャフトカウォーム—ウォームギアのつり合いが取れた際の試運転の結果です。スラスト軸受のボールベアリングは小さな軸荷重を受けます。消費される電流を最小限にする為、各々のウォームギア—アセンブリのバランスを取ります。圧力はモーター電流の小さな効果のみを持っている。圧力の 1000 psi スパンはたった 20%モーター電流を変化させる。

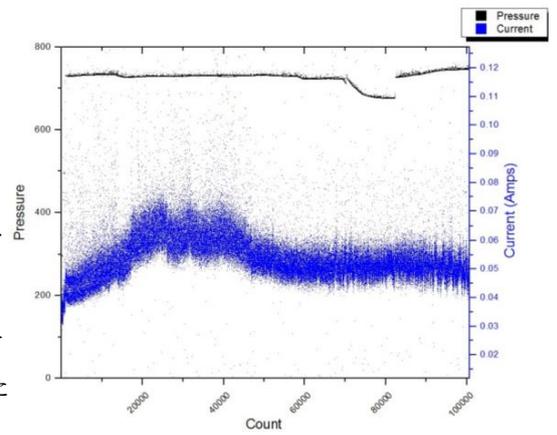


Fig. 7. シャフトテストの電流値と大気圧

B. 電磁誘導モデム

このコンパクト設計のキーとなる利益は耐圧容器の片側のエンドキャップに必要な 5 つに分離されたカスタム電磁誘導カプラーである。この第五世代の RAWLER には係留ラインに接続する電磁誘導モデムの機能は既に第五世代前の機器で検証されています。図 8 に観られます通り、電磁材の安価な環状体は半分に切断され、挿入される。スプリットコアは簡単なフィールド組み立てでき、市販の Seabird 社電磁誘導モデムボード、標準被覆海洋ワイヤーを使用して海上ブイへ一定のデータ転送できます。チャレンジ設計は係留ケーブルとブイ間の信頼性の高い接続である。PMEL は毎年約 125 係留系を提供しており、係留ケーブル終端処理について 40 年の歴史があります。この重要な接続技術の蓄積は経験から得られたものである。

C. 複合圧力ハウジング

終始この設計・目的は低価格に着目しています。我々は空気圧シリンダー工場用の複合ファイバーグラスが提供する技術を利用しています。ウェットウォード管は内径が良く、表面処理制御でき、高額な機器を使用しなくて済みます。1.5"内径 X1.7 外径 X12"長の圧力障害は 2800psi を超え、より大きな 2.5"内径 X0.125"壁面座屈の圧力障害は 2450 psi で発生しますがいずれも設計目標である 500m 耐圧以上であります。それらは長さ指定、O リングが装填できる状態で購入され、O リング付押し込み式エンドキャップとマッチさせました。価格は直径インチあたり 1 から 2 ドルです。

D. カムクリート製作

カムクリートは製造限界の 3D プリントのステンレス鋼適応性の実例です。カムクリートは立体幾何学に従属の 4 種類のカムの複雑な設計です。DMLS の最近発展で競合価格にならない相互手法による製造ができるようになった。それらのクリートは粉末状の 15-5 析出硬化ステンレス鋼から作られ、40 ロックウェル C まで熱処理されます。フィールドテストでうまく作動しました。図 9 は使用前後のクリートの状態を示しました。不動態化と表面電解研磨は電蝕に対して有益な耐性があります。

E. エレクトロニクスシステム設計

図 10 は二つの主回路基板、トラックコントローラ及びセンサーなどを含むエレクトロニクスのブロック図です。トラックコントローラは TI、MAP-430 マイクロプロセッサと C 言語で設計されています。係留期間を拡張する為にエネルギーの量を最小限に抑えるように設計されています。16 ビット超低電力マイクロコントローラは PRAWLER が必要とする機能と良くマッチする様に計算能力とマルチタスク機能があります。コントローラは 512k フラッシュメモリ、8 ch 入力 12 ビット A/D コンバータ、三つの RS232 チャネル、ワットアップハードウェア、リアルタイム時計及び 66KB RAM で構成されています。トラックコントローラの機能はピークルの全ての主要な機能とセンサー類の調整と実行します。

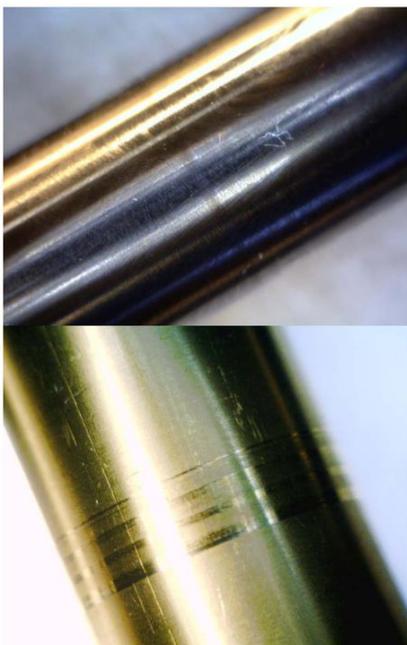


Fig. 6. Ferralium シャフト (上) と TiN コーティングシャフト (10 万サイクル後) (下)

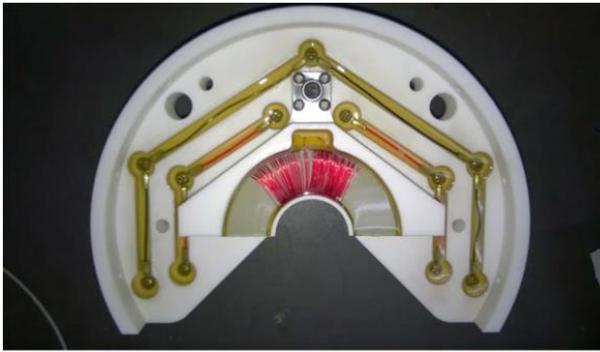


Fig. 8. ワイヤ接続と半分の電磁誘導コアを配置された上側エンドキャップ

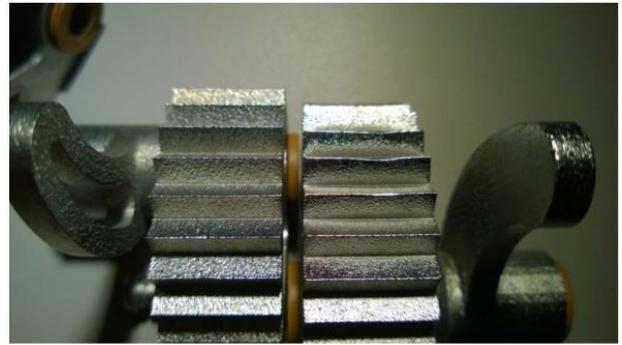


Fig 9.新(左)と使用済み(右)電解研磨、皮膜処理されたカムクリート

いくつかの主要な機能は電磁誘導モデムを介してブイへ双方向で通信を含んでいます。トラックコントローラはリジウムと電磁誘導モデムリンクを介してリアルタイムで両方向設定可能です。科学的なマイクロプロセッサは Motorola 社 68332 システム及びC言語で設計されています。この 32 ビットプロセッサは計算、同時マルチタスク能力を持っており、科学センサーが要求に見合う構成可能なように設計されています。マイクロプロセッサは 4 Mb フラッシュメモリ、8Ch 入力チャンネル 12 ビット A/D コンバータ、4つの RS232 チャンネル、ワットラックハードウェア、リアルタイムクロック及び 512 バイト RAM で構成されます。科学的なマイクロプロセッサはセンサーのデータを制御と記録する事です。4つのバッテリーチューブの各々にはその他からダイオード絶縁されています。4つのパラレルパックには 2.3MJ、12.8VDC システム用にワイヤで連結された各 4つの D サイズの塩化リチウムチオニル電池を挿入します。我々は 3 m データ分解能、500m まで 1 日あたり 8 プロファイルで 12 から 14 か月自信をもって連続データを取得できると予想しています。

F. ピュージェットサウンドテスト

総日数 240 日間もテストを行い、ピュージェットサウンドの水深 1 8 0 m で PICO ブイと PRAWLER で約 10 回の投入回収が実施されました。現場でテストする事は技術開発には重要であり、低コストの機器の開発は上昇する効果、最適な降下レート、センサーのデータ取得間隔、データ転送、ソフトウェア通信、耐久性などを実証・試験することは手助けとなります。図 1 1 は機器の規則的な方向転換を示しています。PRAWLER が通過しない上部と下部では生物付着の成長の違いを確認ください。機器は猛烈な生物付着を係留索から解放します。上昇性能は図 12 に示されており、ピュージェットサウンドの海でもその頑丈な能力が明らかになった。Smith et al. paper [6] に詳しく明記されています通り、上昇能力は機器自身/ケーブルシステムの両方の慣性と抗力との適切な相互やり取りによって実現します。ドラッグディスクは係留索上を上昇から下降方向へ変更されるときに機器の自由落下速度を落とす重要な物である。ディスク無の場合、600 g の負の浮力を持った機器は各上昇モードから急速に下降するが上昇能力は減少させます。適切な機器の調整により 70% 上昇効率が維持できることが解りました。この性能は科学的に必要とされる要求を超えており、必要とされる場所で留まり維持できる能力を有ることであります。過度なプロファイルは耐久性を減少させ、摩損が増える、機器と係留索を傷つけるだけであります。有光層の外のある深度で留まる、維持できることは生物付着を減少させる利点にもなります。

III. SALINITY PROCESSES IN THE UPPER OCEAN REGIONAL STUDY (SPURS)

2012/2013 年、25° N 38° W 近傍の亜熱帯大西洋に NASA 主導の SPURS (Salinity Processes in the Upper Ocean Regional Study、<http://SPURS.jpl.nasa.gov/SPURS/>) の実験研究の一部として 2 式の PRAWLER 係留系が展開、維持されております。このシステムは 2012 年 9 月に投入され、2013 年の 10 月に回収され 1 日あたり平均で 25 プロファイル、システムあたり 4000CTD プロファイル以下が得られました。定期船の CTD、Argo フロートの密集した展開及び中央部の WHOI 係留を含むデータを参照しました。データは現在、再吟味しており、Shcherbina et al. [5] では PRAWLER が 1 年間係留期間中、鉛直塩分相互特長の多くの実例を記録することができたことと報告しております。各システムは風力・風向、大気温、相対湿度、大気圧、雨を含む気象データも記録されました。そして再び 2016 年半ばに熱帯の太平洋へ PURS-2 プログラムの一部として展開される予定です。

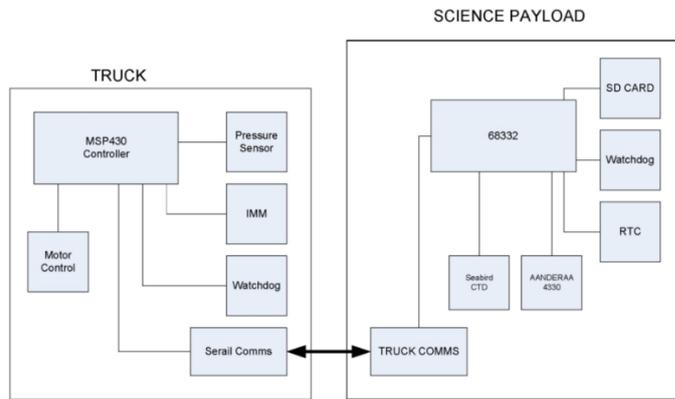


Fig. 10. エレクトロニクスブロック図

IV. メキシコ湾北部大陸棚—スロープ域における展開

2015年8月 RAWLER 係留を 29.25° N 87.7° W 近傍の大陸棚外縁の 500m 以浅のメキシコ湾に Shelf-Slope Interactions and Carbon Transformation and Transport in the Northern Gulf of Mexico program の一部分として展開されました。プログラムの目的は湾北部の炭素と栄養塩の変化と輸送を理解する上でより自由に開発する事である。PRAWLER は高い時間的、空間分解能があり、大陸棚を交差する炭素の流れを観測するためによく適しています。第一週の CTD 及び DO データは図 15 に示された通りです。2016年の SPURS-2 の一部として東部熱帯太平洋で投入を計画されている機器と共に他の科学的センサーを追加することを計画しております。Nortek 社 Aquadopp 流速計は連続するプロファイルプラットフォームにシングルポイント流速計を搭載させて計測試験をピュージェット湾で試験されています。また、その一部として CO2 Optodes 及びプロットタイプ pH センサーも同様に検討しています。

V. 結論

我々は水深500mまでの2次元及び1次元の連続する観測を提供する係留系のデータ集積能力を拡張した新しいプロファイリング機器を開発しました。係留システムの部分に関してブイの動きを利用して係留索を昇り、指定された深度まで自由落下しながら約30cmM/秒の速度で滑らかな時系列データを収集します。他の状態はシステムがシステム上の使用を最小限に止めるために係留索内のどこにでも固定された状態を保持されること unnecessary プロファイルを除去することが可能です。新しい能力は海流が強く通常の自由落下ができない場合、係留索を自力で PRAWLER が這い下りることができます。海上ブイの利益(気象データ、ソーラー電源、衛星通信など)と相まって PICO、NOAA 及び PMEL 係留系の低コスト化と EASY-DEPLOY 設計が劇的なコストの削減とデータ品質の向上を可能とし、気候の観測や漁場資源管理に用いられる重要な海洋データの利用可能とします。



Fig. 11. ピュージェットサウンドでのテスト展開.

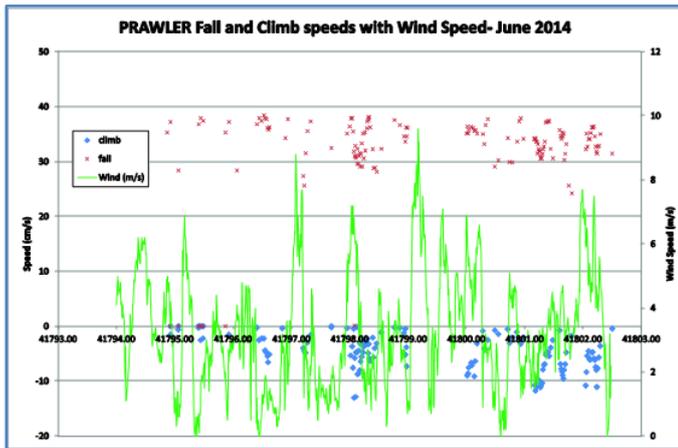


Fig. 12. 一週間の PRAWLER データ 10 cm/s の平均上昇速度と 35 cm/s の平均自由落下速度

謝意

本プロジェクトは NOAA's Office of Oceanic and Atmospheric Research Climate Observation Division と PMEL によってサポートされました。我々は本開発に支援いただいた PMEL 技術者(Dirk, Nic, Ryan)、科学的なリーダーシップに対して William Kessler (PMEL)そして SPURS 航海における Eric Lindstrom (NASA)及び Jeff Lord(WHOI) に対して深く感謝いたします。本論文は PMEL 寄稿 4375 です。

参照

- [1] Ocean Sites, <http://oceansites.jcommops.org/>.
- [2] Fowler, G. A., Hamilton, J.M., Beanlands, B.D., Belliveau, D.J., and Furlong, A.R. (1997): A wave powered profiler for long term monitoring. Oceans '97 MTS/IEEE Conference Proceedings, Vols 1 and 2, pp. 25-228.
- [3] A. T. Morrison III, J. D. Billings , K. W. Doherty and J. M. Toole "The McLane Moored Profiler: A Platform for Physical, Biological, and Chemical Oceanographic Measurements", Proceedings OCEANOLOGY International 2000, pp.397-414, 2000.
- [4] Pinkel, R., Goldin, M.A., Smith, J.A., Sun, O.M., Aja, A.A., Bui, M.N., and Huguen, T. (2011): The Wirewalker: A Vertically Profiling Instrument Carrier Powered by Ocean Waves. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 28, pp. 426-435, (doi:10.1175/2010jtecho805.1).
- [5] Shcherbina, A.Y., E.A. D'Asaro, S.C. Riser, and W.S. Kessler. 2015. Variability and interleaving of upper-ocean water masses surrounding the North Atlantic salinity maximum. Oceanography 28(1):106–113, <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2015.12>.
- [6] Smith, A.S., R. Pinkel, M. Goldin, O. Sun, S. Nguyen, T. Huguen, M. Bai, A. Aja. (2012) Wirewalker Dynamics. Journal of American Meteorological Society, (doi:10.1175/jtech-d-11-00049.1)

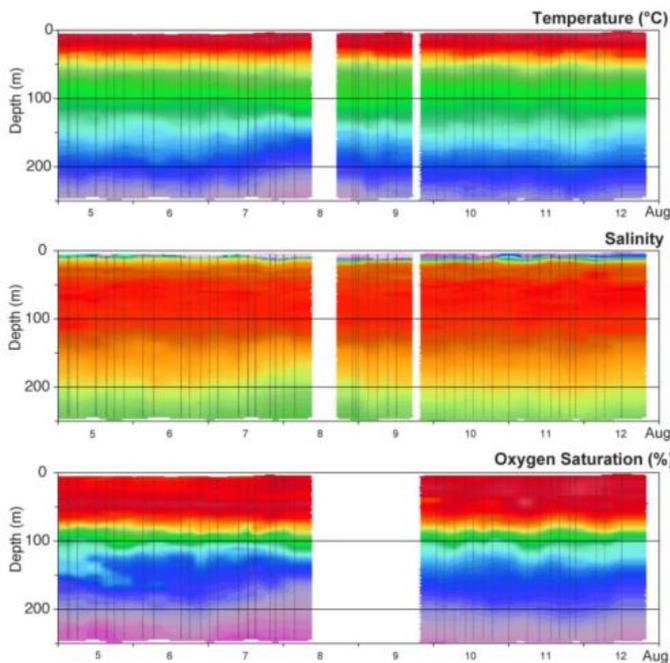


Fig. 13. メキシコ湾 CTD/O2 データ 1.7m 鉛直分解能

翻訳者：スリーエスオーシャンネットワーク株式会社 勝呂一彦

翻訳内容に関しまして、疑義が生じた場合以下のサイトで英文論文をご確認ください。

<https://mclanelabs.com/prawler-papers-media/>