

SBE-911plusの特長

1. 高精度のセンサーを使用

近年、日本国内だけでなく各国間でもデータの交換が行われるようになり、高精度のセンサーが測定に不可欠となっております。**SBE-911plus** は、各国の海洋学者が最も信頼をよせている CTD システムで、高精度の水温、電導度センサーに加え、塩分の換算の時に重要なファクターとなる水圧センサーにクォーツ型圧力センサーを使用しています。高品質のデータを得るために各センサーは次の能力を有します。

水温の精度：±0.001

電導度の精度：±0.0003 S/m

水圧の精度：0.015 % (フルスケールの)

2. TCダクトと水中ポンプを使用

水産分野では水温やく層付近の塩分データは特に重要ですが、従来の他の CTD では、水温が急激に変化する所ではノイズが発生し正確な値を得ることができませんでした。その理由は、塩分計算のもとになる水温と電導度センサーが同じ水を測定できないからです。SBE-911plus では、水温と電導度センサーをパイプ (TCダクトと呼びます。) でつなぎ、一定のスピードでセンサー内を水が流れるように専用ポンプで水を引きます。この方法により、水の入口は水温センサーだけとなり、同じ水を水温、電導度センサーが測定することができます。また、ポンプで水を引くことにより、センサー内に流れる水のスピードは常に一定に保たれます。

この方式は SBE-911plus だけが使用できる方法です。

別紙のグラフ通り、水温やく層付近でも、塩分ノイズは全く発生しておりません。

3. 高速精度 (1秒間に24回)

SBE-911plus は、1秒間に24回水温、電導度、水深の測定記録を行うことができます。仮に、センサーを毎秒1mで降ろしたとすると、水深4cm毎に1回の測定となり、非常にきめの細かい観測ができます。

(他のCTDでは1mに1回や、50cmに1回というような測定しかできません。)

911plus CTD システム

卓越した測定性能、比類なき信頼性、シンプルな操作性などの特徴により、シーバード社の SBE9/11plus CTD 測定システムは世界の主な海洋研究機関の調査船に搭載され今や海洋における最も重要な調査機械の 1 つとなっています。

その機能と性能を更に高めようと推進してきました開発プロジェクトが完成し、ここに 911plus CTD が誕生しました。911plus CTD は従来の 9/11 CTD が保有する性能をすべて継承し、更に新しい機能が追加されています。

特 長

- 高精度で安定した電導度センサーと水温センサーを使用
- Paroscientific 社の水晶発振型高感度水圧センサーを使用
- TCダクトと水中ポンプによって塩分スパイクを最小限に押さえている
- 1秒間に24回の高速測定
- CTDのデータが途切れることなくロゼットサンプラーによる採水ができる
(注：オプションのロゼット・コントロール・モデムが必要)
- 耐圧は6800m(耐食アルミ)、オプションで10500m(チタン合金)も可能
- 絶対値を得るためにダブルで水温センサーと電導度センサーを取付けることが可能
- オプションセンサーのために8つのA/Dチャンネルを標準装備
- オプションセンサーのための電源を標準装備
- SBE9plus(水中部)はどのSBE11plus(船上局)にも接続して使用が可能
- メモリーロガーをオプションで装備可能
- 高品位なデータ処理ソフトを用意

システムの概要とCTDの測定精度理論

911plus CTD は現在到達しうる最高の絶対精度で水温、塩分、密度の鉛直測定を可能としています。その理由としては静状態 (static) および動状態 (dynamic) においてこの CTD の性能が完璧であるからです。静状態 (センサーを検定する恒温水槽での誤差) における高い精度は深海での微細変動が正確であるということを証明すると同時に、不特定の研究者が任意の時間に任意の場所で取得したデータを有効に比較検討できることを証明しています。動状態 (センサーが下降もしくは上昇することによる誤差) における高い精度は鮮明に細部にわたる海水の鉛直構造を知る上で必要なことですが、水質が均一ではない海洋において絶対精度を保持することは非常に困難です。この理由は塩分、密度、そして他の海洋パラメータの計算の基礎となる水圧、水温、電導度の測定が同時にそして同じ水でな

されなければならないからです。それぞれのセンサーの応答時間の違いや位置的なずれは塩分や密度のデータに大きなスパイクを発生させるだけでなく、平均化できないがゆえに静状態における誤差と区別することができないバイアスエラーを生んでしまいます。たとえば、もし水温センサーの応答速度が遅いと、水温勾配での測定値を平均化すると水温勾配と逆向きのバイアスエラーが発生します。同様に水温センサーと電導度センサーの応答速度が一致しないために発生するスパイクは、データ処理においてタイムラグ（応答時間差）の補正がなされない限り、計算結果にバイアスをかけてしまいます。

タイムラグの補正は各センサーの応答速度が一定の場合のみ可能です。ポンプ方式ではないためにセル内を流れる測定水の流速を一定化できない電導度センサーではタイムラグの修正は不可能です。センサーの降下スピードによって測定セル内を流れる水のスピードが変わるようなセンサーの応答速度は、降下スピードが船のピッチング・ローリングによって変化するために非常に不安定です。

考えうる最高の絶対精度を獲得するために 911plus CTD は次の重要なファクターを取り入れています。

- 応答速度が速く正確な単一水温センサー
- 電導度及び水温センサーが所定の応答速度を十分に発揮できるようポンプによるセンサー内の安定流速
- 電導度センサーと水温センサーが同じ水を測定できるダクト方式
- すばらしい性能を誇るクォーツタイプ圧力センサー
- 簡単に検定やクロスチェックができるモジュール型センサー
- 「データ上の突然のシフト」を排除したデータ収集回路

911 plus CTD に使用している耐圧サーミスターは白金抵抗体（プラチナ）センサーよりもより高精度に水温を測定することができます。サーミスターの特性である高速レスポンスは動状態での測定精度を向上させまた回路を簡素化しています。

サーミスターの高感度特性はセンサーの励起レベルを低く抑えることができるので自己発熱がほとんどありません。また形状を小型にすることが可能なのでサーミスターとセンサー回路を一体にしてモジュール化することができます。センサーをモジュール化すると水中部全体を検定槽まで持っていく必要がなくなり検定やクロスチェックが極めて容易になります。また白金抵抗体センサーと違いサーミスターはショックや震動の影響を受けません。白金抵抗体センサーはサーミスターより安定しているので、CTD の水温測定には最適であるという意見がありますが、しかし白金抵抗体センサーは感度がにぶいので複雑な回路となり測定値が突然にシフトする現象が発生しやすく、また励起レベルも高くしなければならず自己発熱エラーが大きくなってしまいます。白金抵抗体センサーはその低速レスポンスがゆえにそれを補う高速レスポンスのセンサーがさらに必要になり複雑な回路がより複雑となり信頼性が低くなっています。従って観測時に2つのセンサーのマッチングがうまく行かずノイズを誘発してしまいます。シーバード社は全域にわたって極めて安定した性能を示すサーミスターを厳選し十分なエイジングを行ったのち使用しております。

高精度の塩分と密度の測定を可能にするポンプとTCダクトが利用できる電導度センサーは電氣的測定フィールドが測定セル内にある電導度センサーだけです。

シーバードの3電極2ターミナル方式の電導度セルは世界で唯一の内部フィールド設計の測定セルで、電氣的測定フィールドが完全に測定セル内にあるため他社のCTDに見られるような保護ケージ、取り付け金具、他のセンサーなどの干渉によるエラーが発生しません。従って、小さな恒温槽でのキャリブレーションが可能です。電導度センサーと水温センサーの極めて小さい電力消費(0.15ワット)もまた小さな恒温槽でのキャリブレーションを容易にしています。特に他社の水中制御部とセンサーが一体となっているCTDが3ワット以上も消費する事実と比較するとその省力性が際立っています。

4ターミナル型の電導度セルは実験室では優れた性能を発揮しますが現場での測定には向いていません。シーバード社の電導度セルは海での観測において高精度の測定ができると共に長期間の安定性にも優れています。

水圧センサーとして他社のCTDが使用している安価なストレインゲージタイプの圧力センサーを使わずに、現在最も性能が高いParoscientific社のクォーツ型圧力センサーを使用している理由はコストより性能を最優先する当社のポリシーに基づくものです。当社はコストに左右されず常にベストのセンサーを使用します。また、温度変化による圧力センサーの誤差は効果的な断熱方法の開発によってほとんど発生しません。

センサーの検定が容易であることとセンサーの検定歴を保管することはCTDの性能を保持するために大事なことです。911plus CTDの各センサーは調理箇所がないモジュール型で基準値(恒温槽の電導度値と水温値、またデッドウェイトの圧力値)に対するセンサーからの出力周波数をプロットして検定されます。他社のセンサーはポテンションメーターで毎回微調整が必要で、検定が実施される毎のセンサーのドリフト値も記録されていません。シーバード社の検定値は係数として保管されます。結果としてシーバード社のセンサーは過去のすべての検定結果を相互に比較することができドリフト歴を記録することができます。(シーバード社は現在までに出荷した数千個にのぼるセンサーの検定歴をすべて保管しており一部のセンサーはすでに15年以上経過しています。)これらの検定歴情報は当社にとっても、より優れたセンサーの開発に非常に重要です。

CTDセンサーの出力が周波数であることはシーバード社製CTDの信号収集回路の柔軟性、信頼性そして精度にとって重要です。周波数信号は簡単なカウンターによって容易に収集することができ、収集精度を左右するマスターロックは温度補償されていますので、誤差がほとんど発生しません。また、周波数信号は本質的にすでにデジタルフォームなので接続ケーブル内での信号の減衰などは発生しません。911plus CTDで同時に収集されたC.T.P.のデジタル値はスキャンインターバル(測定間隔)の間の個々の信号の積分値です。これは従来の逐次比較型A/Dコンバータに比べ画期的な進歩といえます。(逐次比較型A/Dコンバータ:収集されたデジタル値はスキャンインターバルの間の不定の瞬間における入力信号を表します。逐次比較型の複雑な点は水温、電導度、水圧を順番に単一の収集回路へ1個ずつ送らなければならないことです。)この測定のタイミングのずれは電導度と水温の応答時間(ポンプなし)のコントロールの欠如と相まって、他社のCTDにとって大

きな塩分スパイクや密度スパイク（あとのデータ処理で修正することが不可能）の原因となっています。

シーバードのデータ収集回路はまた逐次比較方式に見られるような、測定値に比較的大きな変化があった時の「データ上の突然のシフト」を発生させません。他社のCTDに見られるこの「突然のシフト」は基本的に修正不能です。

911plus CTDはフィールドで正常な作動を確認できる設計になっています。各センサーの健康状態（電導度は空気中におけるセンサー出力周波数で確認、水温はサーミスタを既知の抵抗に置き換えるためのリレーの作動で確認、水圧は大気圧の値で確認）はデータ収集プロセスを通して確認することが可能です。他社のCTDは水圧だけが類似した方法で確認することが可能です。

他社のCTDでは測定上の問題点の一部をカバーするために一見有効と見える解決策を施すことがあります。シーバードでは全体にわたってより良い結果が得られるように解決策を施しています。水温の急激な変化や高圧環境下においても、911plus CTDはCTDの精度の本質とも言うべき空間的、時間的な補正がなされた測定を的確になしうる能力を持っています。その設計は海洋環境や海洋学者の機器操作上の要求、CTDの精度に影響を及ぼす根本的な素因などを十分に理解した上でのアイデアの集大成です。シーバードのシステム・エンジニアは“世界で最も正確なCTD”として911plus CTDを製作しました。

911plus CTDの各部の内容と作動原理

センサーの作動：

水温センサー（SBE-3）は耐圧構造型高レスポンス・サーミスタとWein-Bridge発振回路を内蔵した小型軽量のモジュール型センサーです。サーミスタは精密な抵抗と2個の超安定コンデンサーを固定要素としたWein-Bridge回路の中の変要素です。オシレータの出力は6000から12000 Hzまでの周波数でありサーミスタの抵抗値の変化に伴って変化します。

電導度センサー（SBE-4）は水温センサーと作動も構成も類似しています。相違点はWein-Bridgeの変要素が測定セル抵抗である（測定セル抵抗はセルの電導度の逆数）ということと周波数出力が3000から12000 Hzであることです。

Digiquarts圧力センサーの出力もまた36000から40000 Hzまでの周波数となります。圧力センサーには温度補償のための半導体型温度センサーが埋め込まれています。各センサーの検定時のファクターは実数値計算式の定数として使用されます。

システムの作動：

船上局（SBE11plus）はケーブルを経由して水中部に電力を供給し、水中部からケーブルを経由して送られてくるデータをレコードし、コンピュータにRS232CもしくはIEEE-488でデータを転送します。船上局は必要なチャンネルだけを選択したり、要求があればパソコンによる低速のデータ収録のために生データを平均化するようにプロ

グラムすることができます。ロゼットサンプラーを制御するボタンスイッチとステータスを示すライトがフロントパネルに、また後ろにはバックアップ用のテープレコーダを接続できるインターフェイスが用意されています。

水中部 (SBE9plus) はモジュール型水温センサーと電導度センサー、センサー内を流れる水の速度を一定に保つ水中ポンプ、そしてケーブルから電力を供給される中央部から構成されます。中央部は回路やセンサーおよびポンプに必要な数種類の電圧を供給する部分、センサー出力をデジタル化する部分、船上局との通信 (テレメータ) 部分の 3 機能から成ります。

電源の供給と制御：

他社の CTD が固定電流を供給するのと違って、SBE11plus は安定した 250v 電圧をケーブルに供給します。SBE9plus はこの電圧 (ケーブル長による電圧降下が差し引かれた) を受け取り高効率 DC/DC コンバータに供給する定電圧 170v を作ります。各回路に供給される電圧 (±15、+8、+5v) は DC/DC コンバータによって作られます。この方法の 2 つの優位点として： ケーブル内での電力ロスが大幅に少なくなる。(言い換えれば、水中部に供給される電力分が大きくなる) 水中部は無駄な電力を消費しないですむ。(ケーブルへの供給電力をモニタリングしながら調整をすることから解放される) が挙げられます。

センサー信号の収集とデータ転送：

SBE9plus の下側フランジに取りつけられている水中コネクタは水温センサーと電導度センサーへの +15v 電源供給とセンサーからの周波数信号の受け取りのためのコネクタです。水温と電導度センサー (および中央部に内蔵された水圧センサー) の出力周波数はそれぞれのセンサーの出力周波数をあらかず 24 ビット・バイナリー値に変換されるために、正確に 1/24 秒に分配されたカウンターに送られます。シーバード社のハイブリッド技術は同時積分された水温、電導度、水圧のデジタル結果を得るために周波数信号の波数をカウントし、周期の小数点以下を別のカウンターで測定し結合しています。

SBE9plus はオプションセンサーを取りつけられるように 4 個の水中コネクタを用意しています。個々のコネクタは +15v の電源を用意し 2 つのディファレンシャル入力とローパスフィルターが付いた A/D チャンネル (0-5v 入力レンジと 12 ビットの分解能を持つ) へのアクセスを可能としています。C.T.P およびオプションセンサーのバイナリーデータは DFSK (differential-phase-shift-keyed) で 34560Hz の搬送周波数を使ってシリーズに 24 スキャン / 秒のスピードで転送されます。この通信システムは線抵抗が 350 オーム以下 (例えばゲージ 19 の単線アーマードケーブルで長さ 13000m 以上) であれば単芯、多芯いずれのケーブルにも適します。

オプションのサブキャリア・モデムとロゼット・インターフェイス：

300 ボーレート全二重モデムは船上局と水中部に内蔵されたモデムボードで構成され、柔軟なコントロール性を得ることと通信チャンネルを用意するために FSK 副搬送周波数 (船上局から水中部へは 2025/2225 Hz、その逆は 1070/1270 Hz) を使用します。モ

デムは SBE9plus にオプションで内蔵するロゼット採水器を制御するインターフェイスと共に作動します；ロゼット採水器は改造する必要はなくロゼット採水器の船上コントロール・ユニットを使用する必要もありません。採水器へのファイアリング（採水指令）は SBE11plus のフロントパネルにあるボタンスイッチで実行することもできますし、シーバード社のコントロール・ソフト（SEASOFT）を利用して SBE11plus のモデムコネクタに直接接続されたコンピュータから実行することもできます。従来の CTD システムに見られるような採水器が作動中に、CTD への電源供給やデータの転送が途切れることはありません。モデムチャンネルはまたユーザー側で独自に使用ができる汎用型 RS232C インターフェイスとしても利用することができます。

システムの構成

911plus CTD システムは水温、電導度、水圧の各センサーと水中ポンプ（およびオプションセンサー）を含む水中部（SBE9plus）と船上局（SBE11plus）で構成されます。アーマードケーブル（単芯または多芯）スリップリング付きウィンチ、データ処理および表示のためのコンピュータもシステムの構成として必要ですが、ユーザー側で用意することもできます。浅海における測定や、リアルタイムの測定が不用なユーザーにはオプションでメモリーユニット（SBE17plus SEARAM）が用意されており、メモリー式 CTD として使用することも可能です。メモリー方式では船上局、アーマードケーブル、スリップリング付きウィンチ等は不用です。

[S B E 9 p l u s 水中部]

標準仕様の水中部は耐圧 6800m のエポキシ塗装のアルミケースで TC ダクトで接続された電導度センサーと水温センサー、一定水流を作る水中ポンプ、中央部に内蔵された 10000psia レンジの温度補償付きクォーツ型水圧センサーで構成されます。もう 1 対の電導度と水温センサーが搭載できるように入力チャンネルと水中コネクタがすでに用意されています。他の標準構成としては 8 チャンネルの 12 ビット A/D チャンネル、オプションセンサー（DO センサー、透過度計、蛍光光度計、pH センサー、光量子センサー、高度計など）用電圧電源があります。

水圧センサーのレンジ変更（2000,3000,6000,15000 psia）、耐圧 10500m のチタン製耐圧ケース、副搬送周波数モデム、ロゼット採水器用インターフェイス、そして SBE17plus SEARAM メモリーユニットなどは発注時に指定が必要です。

[S B E 1 1 p l u s 船上局]

標準仕様の船上局は RS232C インターフェイスとケーブル、IEEE-488 インターフェイス、ケーブルへの電力供給、115/230v AC 電源電圧切り替え、バックアップ用テープレコーダ・インターフェイス、センサー出力周波数表示用 LED を含みます。

SBE11plus のケースは卓上キャビネットですが 19'ラックにも取付けられるよう金具が付属しています。SBE11plus はオプションの副搬送周波数モデムを取付けるための配線（フ

ロントパネルのボタンスイッチやステータス・ライト)をすでに済ましています。空中照度 (PAR) 用の 12 ビット A/D 入力チャンネルはオプションです。

[SBE17plus SEARAM]

SBE17plus SEARAM はSBE9plus CTDのデータをメモリーに記録するための1Mバイトのメモリーユニットです。SEARAMは充電式のニッカド電池パックを電源とし、使用するSBE9plusに見合った耐圧ケース(アルミまたはチタニウム)が選択されます。

SBE17plusはフルレート(24回/秒)のデータ記録で約57分の記録が可能、また長時間のレコーディングのためにデータを平均化することもできます。データ記録の開始終了は、マグネットスイッチで行います。スイッチをONにする毎に記録の開始日付、時間、キャスト番号がショートヘッダーとしてメモリーに書き込まれます。

SEARAMには一個の充電式電池パックと充電器が付属品として供給されます。

[SEASOFT Ver.4 コントロール・ソフト]

シーバード社のパワフルなSEASOFTデータ収集表示ソフトはIBM PC パソコンまたは互換機で使用するよう制作されています。観測前の機器の設定のプログラム、リアルタイムのデータ収集プログラム、観測後のデータ回収プログラム、データ処理とグラフィック・プログラムなどが含まれます。塩分、密度、音速などを含む多くのパラメータをリアルタイムもしくは収録済みのCTDデータから算出することができます。

SEASOFTは生データをディスクに記録しASCIIまたはバイナリー形式のデータファイルを作ります。SEASOFTに含まれるすべてのデータ処理、表示、グラフ化プログラムはこのデータファイルをもとに処理します。旧バージョンで作成された*.datファイルはファイル変換ユーティリティ・プログラムでこの新しいデータファイル形式に変換することができます。

他のユーティリティ・プログラムによりテキストファイルの作成、アベレージデータの作成、任意のポイントの編集、フィルタリング、タイムラグの修正、データの図表化、カラーグラフ、グラフのハードコピーなどが可能です。データ処理プログラムはMS-DOSのコマンドラインからバッチモードでも動かすことができます。

SEASOFTはポップアップメニューが特徴です。設定の変更や変数リストが必要な時、メインメニューから選択するとポップアップメニューがアクティブになります。ユーザーは単純にカーソルバーを希望の選択肢に動かしエンターキーを押します。特別のファンクションキー、ユーザーのプロンプトライン、そしてヘルプ機能は初めてのユーザーにとって操作をやさしくしてくれます。SEASOFTプログラムはいつでもシーバードから無償でユーザーに提供されます。

一般仕様

測定レンジ：	電導度	0 to 70 mmho/cm
	水温	-5 to +35
	水圧	15,000 psia まで (選択)
	A/D 入力	0 to +5 volts
測定精度：	電導度	0.003 mmho/cm
	水温	0.001
	水圧	0.015% (フルスケールに対し)
	A/D 入力	0.005 volts
典型的な安定性 (/ 月):	電導度	0.003 mmho/cm
	水温	0.0002
	水圧	0.0015% (フルスケールに対し)
	A/D 入力	0.001 volts
分解能 (2.4 Hz 時)	電導度	0.0004 mmho/cm
	水温	0.0002
	水圧	0.001% (フルスケールに対し)
	A/D 入力	0.0012 volts
応答速度：	電導度	0.065 sec.
	水温	0.065 sec.
	水圧	0.015 sec.
	A/D 入力	5.5 Hz (2-pole Butterworth Low Pass Filter)
重量 (空中、水中):	SBE9 plus (アルミ)	25.0. 16.0 kg
	SBE9 plus (チタン)	29.4. 20.5 kg
	SBE11 plus	10.4 kg
	SBE17 plus (アルミ)	8.2. 3.7 kg
	SBE17 plus (チタン)	11.8. 7.3 kg
外形寸法：	SBE9 plus	952 × 330 × 305 mm
	SBE11 plus	132 × 432 × 432 mm
	SBE17 plus	711 × 99 mm

その他の仕様

オプションセンサーへ供給できる電源：	+14.2 v で 1amp
SBE11plus への A C 電源：	115 v.50/60Hz.130 watts
ケーブルの内部線抵抗：	0 to 350 ohms
サブキャリア・モデムのボーレート：	300 baud (全二重)

**シーバード社製CTDで使用している
TCダクトと水中ポンプによる塩分スパイク発生防止原理**

多くの科学者は海水の塩分と密度の観測に興味を持っています。しかし、塩分、密度はセンサーで直接測定することはできません。CTDのセンサーは海水の電導度(C)、水温(T)、そして水圧(P)を測定します。塩分と密度はこのC・T・Pから計算されますのでC・T・Pは同じ水で測定されなければなりません。他CTDシステムのように電導度センサーと水温センサーが違った水を測定すると、計算で出される塩分と密度は間違っただけとなり結果として大きなスパイクエラーが発生します。

多くのCTDセンサーは同じ水を測定することができません。なぜならCとTのセンサーがお互いに離れて取り付けられており、またCとTのセンサーが違った応答速度(タイム・レスポンス)を持っているからです。特に、それらのCTDの電導度センサーの応答速度はCTDの降下速度によって変化します。CTDの降下速度が既知のスピードでしかも一定でない限り(現実には船のローリング、ピッチングなどの揺れで不可能)、これらの電導度センサーの応答速度は常に変わり結果として深刻なスパイクエラーが発生します。

他のCTDではこの塩分や密度のスパイクエラーを除去するためにはデータを平均化せざるを得ません。データを平均化してしまうとデータの分解能(感度)を低下させることになります。平均化することによる分解能の低下をまねくことなく、塩分と密度のスパイクを可能な限り小さくするためにシーバード社はTCダクトと水中ポンプを利用しています。

この2つの工夫は下記の理由によって水温(T)と電導度(C)の測定が同じ水で行われることを確実にします。

- TCダクト** 水温センサーと電導度センサーで感知されるすべての水はただ1つの入口(直径0.4cm)から流入する
- 水中ポンプ** 電氣的にコントロールされた水中ポンプは水温と電導度センサーの応答速度を常に同じにするためにセンサー内の水の流量を30 cm³/sec.に保っている

TCダクトが取り付けられたシーバードの水温センサーと電導度センサーの外形図は図1の通りです。CTDが下降する時入り口から入った海水はただちに水温センサーで感知されます。海水がダクトを通過する間の0.073 secの小さな時間差の後、海水は電導度センサーに入ります。この時間差はポンプスピードが一定ですので船上局(SBE11plus)で自動的に修正することができます。

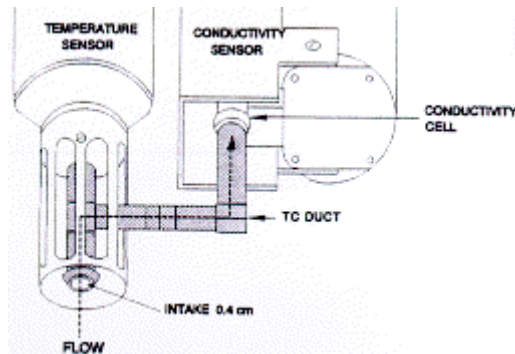


図1 . TCダクトの取り付け

ポンプの水の出口を下向きにそして水の入り口と同じレベルに保つことにより、水の通路内の流量が降下速度に影響を受けて不規則になる（ram 効果）のを防ぎます。（図 2 参照）

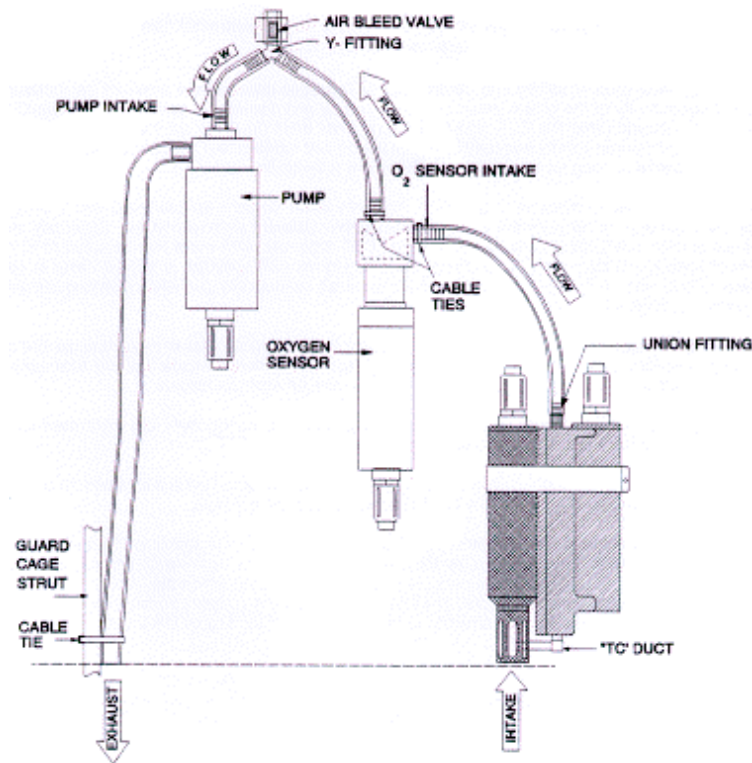


図 2 . 測定水の流れ

シーバードの CTD で測定したデータを見ると、ポンプと TC ダクトを装備することにより水温センサーと電導度センサーが同じ応答速度（タイム・レスポンス）0.060 sec になっていることがよくわかります。シーバードのセンサーの応答速度はワシントン州立大学のマイケル・グレッグ博士によって現地調査の中で実測テストが実施され確認されました。グレッグ博士のテスト結果は、ドイツ、キール大学のトーマス・ミュラー博士によって 1992 年 2 月に北大西洋での観測で再確認されています。この観測でシーバードのセンサーは 0.1 sec 以上のスピードで変化する水温と塩分の変化に正確に追従しています。（図 3 参照）

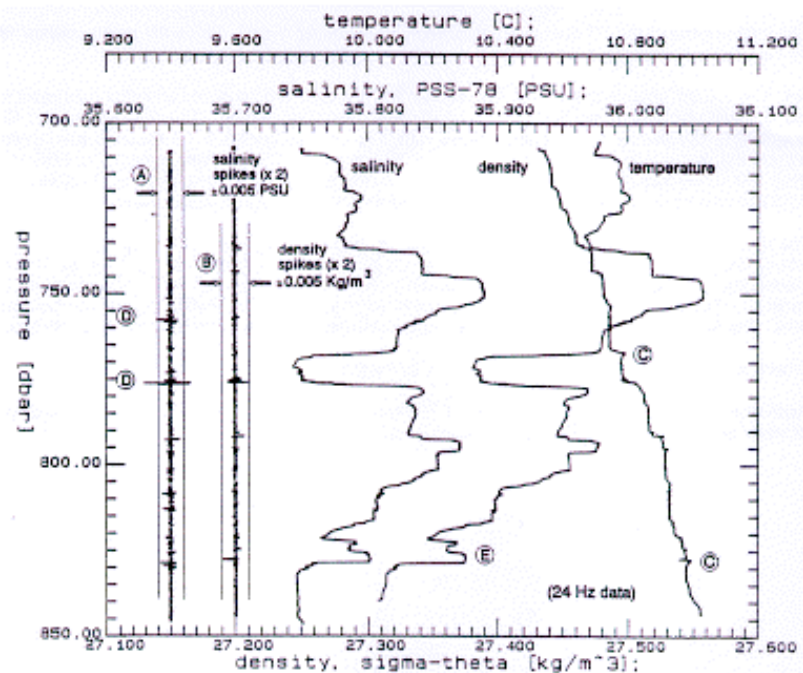


図 3 . 北大西洋での観測における鉛直プロフィール

TC ダクト / 水中ポンプ方式に対して次のような質問がよく寄せられます。

質 1. 「TC ダクトはフィルターのような働きをするのか？」

(答え) 電導度に関しては YES です。 TC ダクトの効果は電導度センサーの応答速度を 0.035sec から 0.06sec に変更します。TC ダクトを取り付けたときの水温センサーへの効果は応答速度が向上することと、CTD の降下速度に全く影響されずに応答速度が常に一定に保たれることです。

質 2. 「TC ダクトと電導度セルの容積の合計は約 6 cm³ である。ポンプの流量は 30 cm³/sec であるから、電導度センサーの応答速度は約 6/30 (0.20sec) ではないのか？」

(答え) 違います。 TC ダクトと電導度セルの最初の電極の手前までの容積 (2.2 cm³) は測定の対象外です。この容積を満たすのに必要な時間 (2.2 cm³ をポンプの流量 30 cm³/sec で割る) は 0.073sec です。この 0.073sec は水温と電導度のセンサーの測定時間差であり、どのような測定状況下 (例えば降下速度が不安定な時) でも常に一定です。

船上局 (SBE-11plus) はコンピュータに転送される水温と電導度のデータが正しく揃い、真の意味で同じ水のデータとなるようにこの時間差を自動的に修正します。電導度セルの応答速度は両電極間の測定対象エリア (2 cm³) 満たすのに必要な時間によって決まります。この測定対象エリアを満たすのに必要な時間は 2 cm³/30 cm³/sec すなわち 0.067sec です。電導度セルの電極を越えたエリア (1.8 cm³) はすでに測定対象外となり、このエリアを満たすための時間は応答速度に全く影響しません。

質 3. 「TC ダクトに流入する水はどこから来るのか？」

(答え) SBE-911plus CTD は 1 秒間に 24 回 (scan) 測定します。個々の測定 (scan) は TC ダクトの水の流入口のすぐ下の水の水温と電導度を測定します。流入する水は円柱状となります。(図 4 参照)

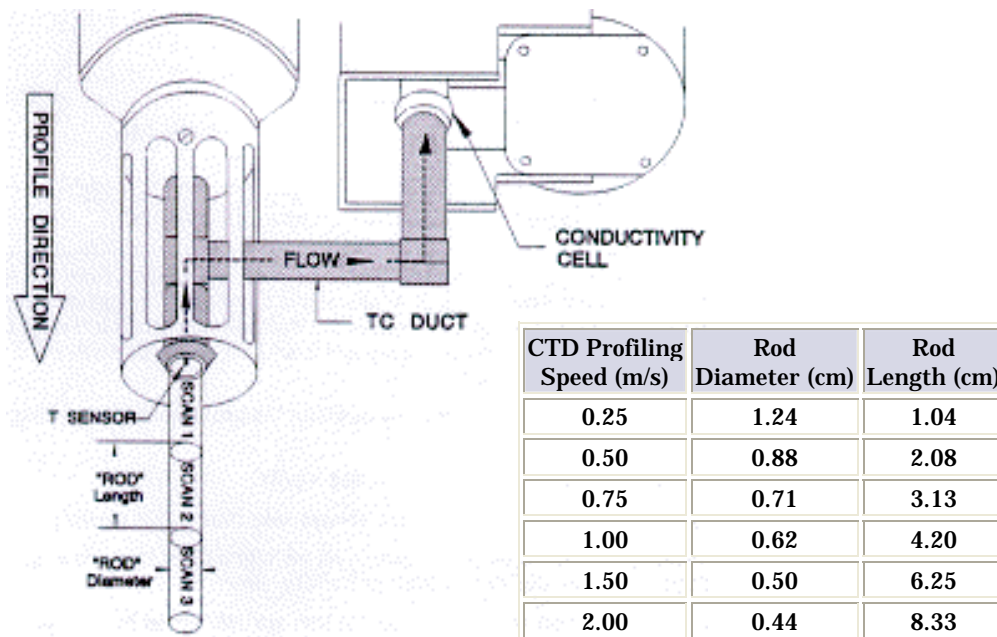


図 4. 流入する水柱

水の円柱の大きさは CTD の降下速度により下記の表のように変化します。

降下速度 (m/s)	水の棒の直径 (cm)	水の棒の長さ (cm)
0.25	1.24	1.04
0.50	0.88	2.08
0.75	0.71	3.13
1.00	0.62	4.20
1.50	0.50	6.25
2.00	0.44	8.33

TC ダクトを使用することによって、シーバード社の CTD は他のどの CTD よりも優れた空間的な分解能を有します。

流れの解折の説明はいくぶん複雑なので単純な円柱形と考えた方が次の議論が理解されやすくなると思います。

もしポンプが正確に CTD の降下速度と同じ速度で TC ダクト内の水を引くとした場合、ダクトに流入する水は TC ダクトの流入口の内径 (0.4 cm) と全く同じ直径の水の円柱から来ることとなります。この場合 CTD は常に新しい水の中を降下していると言えます。言い替えれば、CTD は水面から海底まで延びる直径 0.4 cm の円柱に沿って降下していく訳です。1 秒毎に円柱から取り込まれる水の量はポンプから排出される水の量と同じでなければなりません。SBE-9plus ではこの水の量は 30 cm³/sec となっています。CTD の降下速度が変わるにつれ円柱の直径はポンプの排出量に一致するために大きくなったり小さくなったりします。

TC ダクトに流入するすべての水はこの円柱の中から流れ込み円柱の外からは一切は入りません。加えて毎秒 24 回の測定の間、それぞれの測定は CTD が 1 秒間に動く距離の 1/24 の長さの円柱に対応しています。

図 4 あらわしているように TC ダクトを使用した水温との電導度の測定は CTD が降下する道に沿って水面から最深部まで積み重ねられた直径約 0.6 cm の水の円柱の中で行われることとなります。

従ってシーバードの CTD で測定される個々のデータは直径 1cm 以下、長さ 5cm 以下 (代表的に) の水の塊の真の水温と電導度を表しています。

質 4. 「なぜ他社の CTD は TC ダクトとポンプを使用しないのか？」

(答え) 他社の CTD システムに使用されている電導度センサーの測定セル (電極式及び電磁誘導式) は部分的に測定セルの外側に電界を持っています。これらのセルの近くに物体 (ダクト、ポンプに続くチューブなど) を持ってくると電導度値に大きなエラーが発生します。他社の CTD システムの設計者はセンサーの応答速度をマッチングさせることがいかに重要であるかを全く気付いておりません。従って、TC ダクトとポンプが使用できるセルの構成を選択しないのです。

質 5. 「シーバードの CTD がある水深で下降を停止して静止状態の時どうなるのか？ポンプは周りの水をかき回さないのか？」

(答え) ほんの少しです。停止して 15 分経過しても、TC ダクトに流入する水は最も遠くて 20cm 以内です。ドイツのキール大学による北大西洋での CTD 比較テストの結果ではシーバードの CTD は同じ水深に 40 分停止した時でさえも非常に正確で高感度であったことが証明されています。

(図5参照) 他のCTDシステムはもっと不安定でノイズも多く発生しております。CTDがある水深で停止して動かない時(例えば採水ボトルを閉じる為に海底のすぐ上で停止している状態)TCダクトに流入する水はダクトの流入口を中心とした球形を崩しながら入ってきます。この流入パターンは流体力学の文献(Batchelor, 1967)によく説明されています。そして、実験タンクでの蛍光塗料を使った流入実験でも証明されています。流量の場合はダクトの流入口において崩れていく同心の球形を見ることによって確認することができます。たとえCTDが15分間とどまっても流入する水はすべて20cm以内の水です。

キール大学のミュラー博士による北大西洋でのテストでもポンプとTCダクトは停止しているCTDにおいてエラーの原因にならないことが証明されています。

CTDは約4635mの水深で43分間停止しました。このテストの間の62,000個すべての水温と電導度データをプロットしたのが図5です。すべての測定値は移動平均値に対して水温が ± 0.002 、塩分が ± 0.0012 psu以内におさまっています。

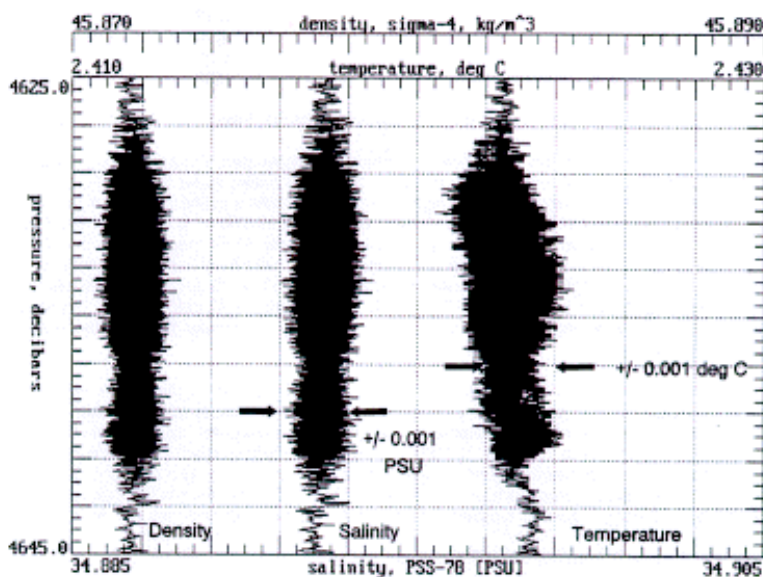


図5. 下降停止状態でのドリフト