

# m-TRITON ブイ用 pH-CO<sub>2</sub> ハイブリッドセンサーの開発

○中野善之・横田牧人・植木巖（海洋研究開発機構），江頭毅・木下勝元（紀本電子工業株式会社）

## 1. はじめに

大気・海洋間の二酸化炭素吸収／放出量の分布を全球規模でより正確に把握するためには、海洋において詳細なデータを得ることが必要となる。海洋における二酸化炭素観測の空白域を少なくし、時空間的に高密度で正確な観測を行うためには、船舶による観測には限界があり、継続的に測定可能な現場型の海洋表層二酸化炭素測定装置が求められている。これまでも係留ブイ（DeGrandpre et al., 1999; Hales et al., 2004）や漂流ブイ（Merlivat et al., 1995; Nakano et al., 2006）用の現場型二酸化炭素測定装置が開発されてきた。係留と漂流の観測手法にはそれぞれ長所と短所が存在する。係留観測では気象観測機器や高精度の水温塩分センサーと共に観測することができ、ブイが大型のため電源についてもそれほど厳しくないが、係留機材と設置に多大なコストが必要となる。漂流観測では、比較的安価に漂流ブイが製作でき、専用の航海を仕立てる必要がないため、投入までのコストはそれほどかからずに多数展開しやすいが、基本的に海水の水温、塩分、pCO<sub>2</sub> のみのデータしか得られず、回収が難しいためセンサーの状態が最後までわからない。

海洋研究開発機構では太平洋とインド洋の熱帯域に観測ブイ（TRITON ブイ）網を配置し、海上気象・海洋データを長期にわたって取得してきた。これまで TRITON ブイには、試験的に pCO<sub>2</sub> センサーや pH センサーが取り付けられて観測したことはあったが、ブイの回収までデータが確認できなかつたり、単独でデータの送信を行う必要があつたりとスタンドアロンでの運用をしなければならなかつた。本研究開発では、m-TRITON ブイ用の大気と海水の CO<sub>2</sub> 濃度と海水の pH を同時に測定できる pH-CO<sub>2</sub> ハイブリッドセンサー（HCST）を開発した。HCST から TRITON ブイ本体のシステムにデータを渡して陸上へ送信してもらうことで、海上気象や海洋の水温塩分データと共に pH は 1 時間、大気と海水の CO<sub>2</sub> 濃度は 6 時間間隔のデータをほぼリアルタイムで得ることが可能となった。

## 2. 搭載機器について

CO<sub>2</sub> センサーには非分散型赤外吸収（NDIR）法（紀本電子工業製）を採用した。大気の導入ポートを設けて、大気中の CO<sub>2</sub> 濃度を測ることができるようにしたほか、海水中の気液平衡器を 2 個にして、海面直近と水深約 1.5m の 2 層の pCO<sub>2</sub> が測定できるようになった。従来はガスを循環させ、分析部内の全てのガスを海水と平衡にして測定していたが、HCST では、平衡器内で平衡になったガスをキャリアガスで押し出し測定するインジェクションフロースルー法を採用した。この方法によって、連続的に pCO<sub>2</sub> を測定することはできなくなったが、従来は 1 測定に 20～30 分を要していた測定時間が数分と短くなり、消費電力軽減に貢献した（表 1）。この方法のため、気液平衡器には 10m のメンブレンチューブを用い、チューブ内で CO<sub>2</sub> 平衡になるガスの量を十分に確保している。

pH センサーには応答性に優れ小型、省電力で温度ドリフトの少ないガラス電極を採用した（岡村ら、2012）。校正には海水ベースの pH 緩衝液（Tris、AMP）の他、汎用性を高めるため市販の pH 標準溶液（フタル酸、りん酸）を用いることができる。この 2 つのセンサーを一体化させた結果、HCST の仕様

は表2のようになり、小型で消費電力の少ないセンサーとなった（図1）。

電源には制御基板にリチウム1次電池を専用で使用し、1年半程度の動作を保証する一方、電力消費の大きいNDIRやポンプ、バルブなどの測定系には、充放電効率のよいリチウムイオンキャパシタ（LIC：JM エナジー製）と太陽電池パネルを組合せた2次電池のシステムを開発した。LICは太陽電池パネルへ太陽光が効率よく当たらなくても、さらに曇りの日でも電気を蓄えることができるため、ブイへ搭載する2次電池に向いている。この2次電池システムにより、pHは1時間間隔、pCO<sub>2</sub>は6時間間隔で毎日測定できるようになり、pHとpCO<sub>2</sub>データの時間分解能は飛躍的に向上した。

表1 循環法とインジェクションフロースルー法の比較

	循環法（従来法）	インジェクションフロースルー法（新方式）
測定方法	ガスを循環させ、分析部内の全てのガスを海水と平衡にして測定する	平衡器内で平衡になったガスをキャリアガスで押し出し測定する
時間	20～30分	数分
測定間隔	連続	1時間～
特徴	連続測定が可能 測定時間が長い	測定時間が短い キャリアガスによるコンタミの可能性がある

表2 HCSTの仕様

項目	pH	CO <sub>2</sub>
測定範囲	6.0～8.3pH	0～600 $\mu$ atm
精度（分解能）	0.01pH（0.001pH）	6 $\mu$ atm（1 $\mu$ atm）
分析方法	ガラス電極	非分散型赤外吸収（NDIR）法
応答速度	20秒以内（90%応答、25℃）	—
測定間隔	1秒	1時間
補助測定項目	温度0～40℃（分解能0.01℃）	
1測定あたりのAh	0.10Ah	
本体大きさ	直径140mm×700mm	
本体重量	7.5kg（空中）、-0.2kg（水中）	



図1 HCSTの写真（写真の下はボールペン）