

大深度潮流計の開発

Development of Deep Doppler Current Meter

篠原 修 前田 賢哉 宮本 久生
Osamu Shinohara Kenya Maeda Hisao Miyamoto

要 旨

潮流計は、各水深における潮流の方向・速度を計測し、グラフィック画面にベクトルや数値で表示する漁業機器であり、巻き網船が魚網を投入する位置、タイミングを決定する上で重要な役割を担っている。漁獲を上げるためには、魚網を目的の水深で展開する必要があるため、そのためには、投入前に海面付近から目標とする魚網到達深度までの潮流を把握することが重要となる。近年、巻き網船以外にも底引き船や底刺し網船などで大深度潮流測定ニーズが高まっている。当社は受信信号処理の改善と表示方法の工夫により海面付近から大深度まで、ほぼ連続的に潮流を把握することができる潮流計JLN-650を開発したので以下に紹介する。

Abstract

The Doppler current meter is a fishery instrument that measures the direction and the speed of tidal current in each depth, and displays it on the graphics screen by the vector and the numerical value, and the key role is borne in deciding the position and timing that the round haul netter throws the fishing net. It is necessary to expand the fishing net at the depth of the aim to raise the haul. Therefore, before throwing the fishing net, it becomes important to grasp the tidal current from the vicinity of sea surface to the aim depth that the fishing net arrives at. Recently, needs of the tidal current measurement of large depth had risen in the trawler and the gill netter, etc. besides the round haul netter.

Our company devised the improvement of the receiving signal processing and the display method, and have developed Doppler current meter JLN-650 that was able to confirm the tidal current from the vicinity of the sea surface to large depth almost continuously, and introduce it as follows.

1. まえがき

潮流は、発信源と反射物間に相対速度がある場合、その受信周波数は周波数偏移を受けるというドップラー効果に基づいて計測される。

潮流計測の原理を以下に示す。

- ・船底に取り付けられた超音波振動子からバースト状の超音波を海中斜めに発射し、海中のプランクトンや小魚群などから反射してきた超音波を再び超音波振動子で受信する。
- ・受信周波数を解析して、船を基準としたプランクトンなどに対する相対的な速度（相対速度）を計測する。
- ・計測対象の深度（潮流層）は、バースト状の超音波を発射してから受信するまでの時間を管理することで、特定深度の相対速度として分解する。
- ・海底から反射してきた超音波信号を受信し、その周波数から海底に対する船の絶対速度を計測する。
- ・先に得られた特定層の相対速度から船の動きである絶対速度を減じたものが潮流として計算される。

ここでは、プランクトンや小魚群自体の動きは潮の流れより十分小さいと定義している。

大深度の潮流測定においては、超音波の伝搬距離による

減衰が大きいことにくわえ、プランクトンや小魚群の密度が非常に低い場合があり、計測に必要な受信信号のS/Nを確保することが困難であった。

今回開発した潮流計では受信信号処理のS/N改善を行い、深度200m以上の潮流を計測可能とした。大深度の潮流測定が可能なことより、巻き網船の魚網下端の潮流を把握することができる。また、100層以上の潮流層を同時に測定することで、海面付近から深度200m以上に渡り、ほぼ連続的な潮流として把握することを可能とした。連続した各層毎の潮流値を水深軸上に3次元的にベクトル表示することで、深度による潮流の逆転層の存在やねじれの様子が視覚的に判り易い表示とした。

2. 装置概要

JLN-650は漁船向けの大深度潮流測定と多層潮流測定の特長を持った潮流計である。

本装置は小型船にも搭載するため、表示器と操作部のみ操舵室に装備できるよう処理器は別体構造とした。送受波器は、船底に突出して装備された場合でも船速低下の要因とならないように、前方からの投影面積を減らした縦長構造にした。図1に装置の外観を示す。



図1 装置外観

Fig.1 Externals of JLN-650

先に述べた巻き網船のみならず、潮流情報を必要とする全ての船舶にて活用できるように、種々の画面を選択できるようにした。図2～図7に代表画面例を示す。



図2 潮流画面

Fig.2 Current screen

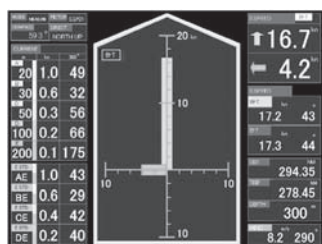


図3 船速画面

Fig.3 Ship screen

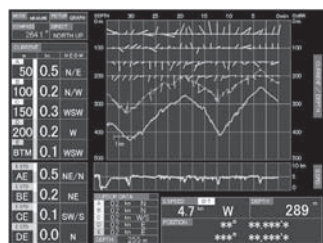


図4 経過画面

Fig.4 Graph screen

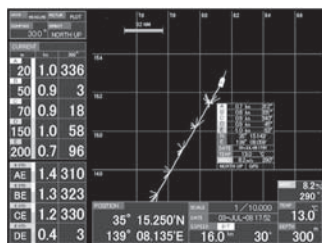


図5 航跡画面

Fig.5 Plot screen

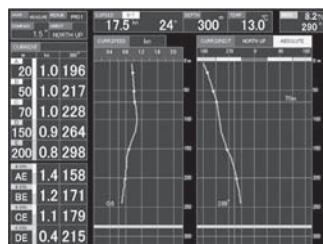


図6 多層画面

Fig.6 Profile screen



図7 魚群画面

Fig.7 Fish screen

3. 主要諸元

3.1 性能

潮流測定深度	200m以上
海底追尾水深	400m以上
潮流範囲	0～10kn
船速範囲	-10～40kn

3.2 送受波器

超音波振動子	PZT×4個使用
俯角	60°
指向角	約9°

3.3 送信機

送信出力	2.4kWピーク
送信周波数	125kHz

3.4 受信機

受信周波数	125kHz±2kHz
受信利得	58dB

3.5 信号処理

最小検出レベル	-110dBm以下
測定層数	100層以上

4. 構成

送受波器、処理器、操作部、表示器の4ユニット構成である。図8に系統図を示す。

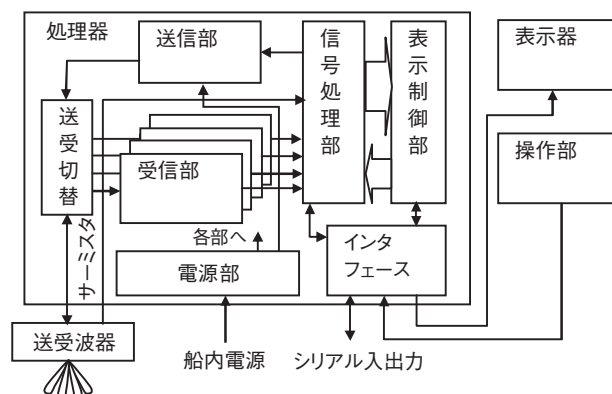


図8 JLN-650系統図

Fig.8 JLN-650 System diagram

4.1 送受波器

俯角60°の傾きの超音波ビームを持った超音波振動子を、X字の様に右前方向、これとペアを成す左後方向、同様に左前方向・右後方向に配した。この方式はペアビーム方式と呼ばれ、船のトリムやローリングによる計測誤差を減少させる効果がある。また、走航時に大きな雑音を発する船のスクリュー方向に超音波ビームを形成しない様に配置した。図9に超音波ビームの概念図を示す。

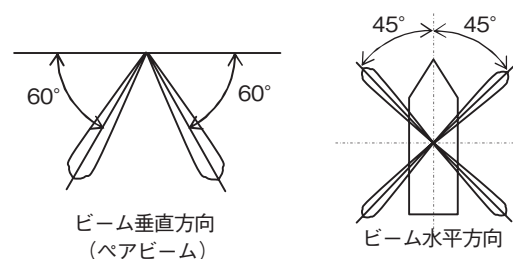


図9 超音波ビーム方向

Fig.9 Direction of ultrasonic beam

送受波器は船底から500mm程度突出して装備されるため、特に小型船の場合は船速を低下させてしまう要因になっている。このため送受波器は、船首方向から見た投影面積を小さくするために、超音波振動子を前後方向に一列になるように配置した。図10に送受波器の内部構造を示す。

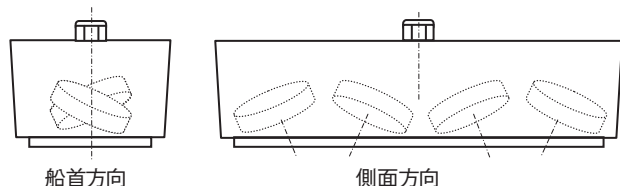


図10 送受波器の内部構造
Fig.10 Structure of transducer

4.2 送信部

送信部は要求される潮流測定深度(200m)を実現するため、2.4kWピークの送信電力を、最大バースト幅30msec、1秒周期の送信パルスにて出力することができる。終段電力増幅はプッシュプル構成のFETによるスイッチングを行い80%の送信効率を達成した。また、送信出力に同調回路を付加し高調波レベルを低減させている。

電源部は、バースト送信によるピーク電流を抑えるため、定電流特性を持たせた回路を採用している。高圧電源回路により充電コンデンサの電圧を+140Vまで充電することで、送信時には充電コンデンサから約20Aピークの電流を供給することができる。図11に送信部の系統図を示す。

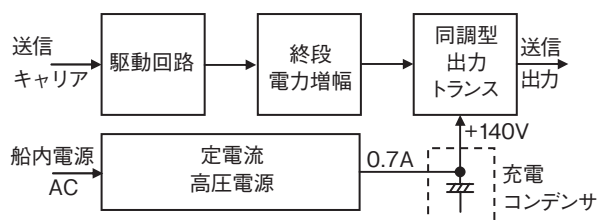


図11 送信部の系統図
Fig.11 Transmitter diagram

4.3 受信部

受信部は振動子の周波数である $125\text{kHz} \pm 2\text{kHz}$ の帯域で選択増幅し、 10kHz 帯に周波数変換している。図12に受信部の内1チャンネル分の系統図を示す。

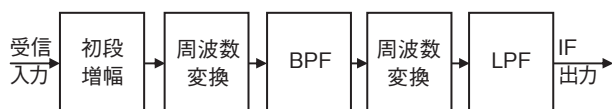


図12 受信部の系統図
Fig.12 Receiver diagram

4.4 信号処理部

信号処理部は受信部から出力されるIF信号をA/D変換することで数値化し、次の演算処理により、相対速度を算出し

ている。FFT解析による概略周波数の検出、概略周波数を中心とした狭帯域バンドパスフィルタ処理、周期検波処理、以上の手順により受信周波数が求められる。また、計測対象となる潮流層は受信周波数を求めるタイミングにより選択される。この受信周波数を解析することで、選択した潮流層の自船に対する相対速度を算出している。一方、振幅情報より海底の検索を行い、海底となる層が計測対象となるタイミングを求め、この層の受信周波数を解析することで、自船の絶対速度を算出している。これらの信号処理結果は、計測データとして表示制御部へ送られる。

その他の機能としては、振動子内部に埋め込まれているサーミスタにより水温を検出し、海水の音速変化による船速補正を行っている。図13に信号処理部の機能図を示す。

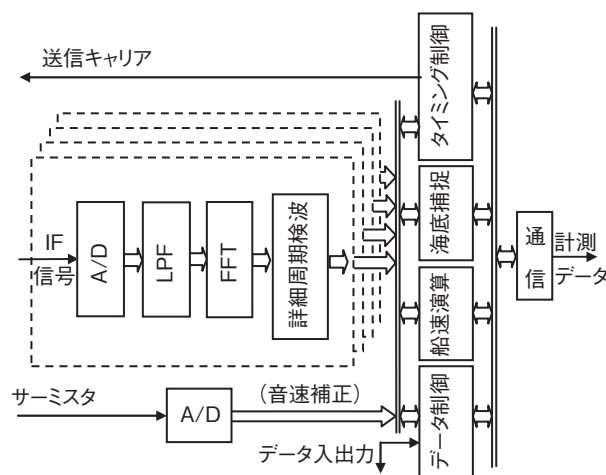


図13 信号処理部の機能図
Fig.13 Processor function diagram

4.5 表示制御部

表示制御部には主に通信処理、データ管理、演算処理、描画処理を行う機能がある。

通信処理は信号処理部からの計測データ、外部機器からの航法情報等のシリアルデータ、操作部からのキー操作データの入力処理を行う。また、船速や潮流の演算結果データを外部機器に出力する処理を行う。データ管理には計測データや設定データが共有メモリとして格納されている。

演算処理は4ビームの水深深度データから船の直下水深に変換する水深演算、船首方位データから真方位系の船速に変換する船速演算、潮流層の相対速度から船速を減算する潮流演算、船速データから航程値を積算する航程演算の処理を行う。

描画処理は選択された画面の描画を行い表示器へ映像信号を出力する処理を行う。また、経過画面や航跡画面で設定された記憶間隔でのデータ記憶処理を行う。図14に表示制御部の機能図を示す。

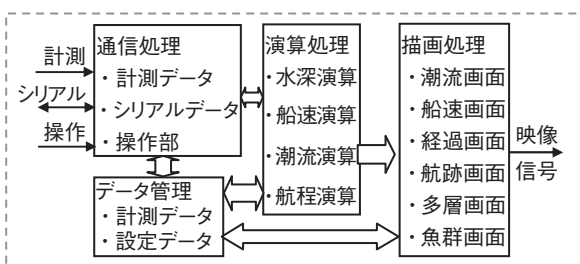


図14 表示制御部の機能図

Fig.14 Display Controller function diagram

用語一覧

A/D: Analog to Digital (アナログ・デジタル変換)
 BPF: Band Pass Filter (帯域通過フィルタ)
 FET: Field Effect Transistor (電界効果トランジスタ)
 FFT: Fast Fourier Transform (高速フーリエ変換)
 IF: Intermediate Frequency (中間周波数)
 LPF: Low Pass Filter (低域通過フィルタ)
 PZT: Pb Zirconate Titanate (チタン酸ジルコン酸鉛)

図15に多層表示例を示す。この表示例では、上層から深度130mまでが東方向へ、深度130mから下層が西方向へ流れる潮流を示している。

従来の3層～5層の潮流計測では、潮流の垂直分布を詳細に把握することは困難であったが、今回開発した潮流計では、100層以上の潮流を同時に多層表示することにより、上層と下層で潮流方向が逆転するなど、海中の潮流の様子が容易に把握できるようになった。

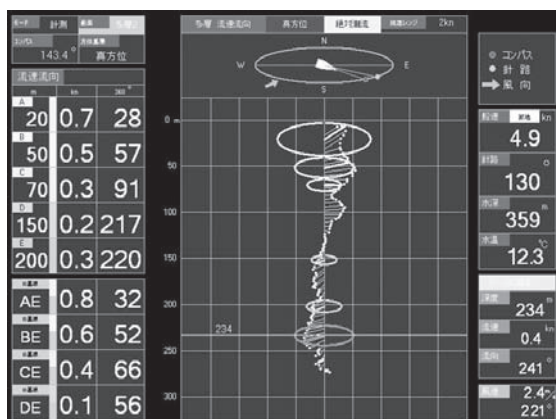


図15 多層表示の例

Fig.15 Example of current profile

5. あとがき

本報告では、これまでの製品に比べ潮流測定深度および測定層数を格段に向上させた潮流計の開発について、紹介した。多層表示画面では上層から下層まで、ほぼ連続的な潮流を把握できるので、巻き網船においては魚網の流される様子が容易に類推可能となった。また、深度200m以上で100層の潮流が計測できることから調査船等への需要も見込まれる。

最後に開発にあたりご指導、ご協力を頂いた関係各位に深く感謝いたします。