

新型ドップラ・スピードログの開発

Development of New Doppler Speed Log

八木 佑輔 堀内 秀樹 森下 雅透
Yusuke Yagi Hideki Horiuchi Masayuki Morishita

笠井 浩二 児玉 研二
Koji Kasai Kenji Kodama

要 旨

ドップラ・スピードログ（対水船速距離計）は、超音波を用いて船の速度と航程距離を計測する装置である。当社は、従来型のドップラ・スピードログにおいて課題となっていた計測精度向上を実現するとともにユーザインタフェースを改良した新型モデル（以下、本装置）を開発した。本装置は、当社が強みとするデジタル信号処理技術の採用により対水船速の計測精度および船速追従性を向上させた。また、当社独自の気泡検出機能を搭載し、センサ表面への気泡流入により船速の計測精度が低下していることを操作者へ知らせ、不要な保守点検作業の誘因となる誤診断を回避する。さらに、リモートメンテナンス機能による遠隔診断を可能とするとともに、多彩な機器構成により大型船舶から小型船舶まで対応した。

Abstract

The Doppler Speed Log (ship speed through water and distance measuring equipment) is equipment that measures the ship speed through water and trip distance using ultrasonic waves. JRC has developed a new model (hereafter referred to as this equipment) that has improved in measurement accuracy which was a problem with conventional Doppler speed logs while realizing improvement the user interface. As for this equipment, JRC has improved the measurement accuracy of ship speed through water and the ship speed tracking performance by adopting the digital signal processing technology, which is one of our strengths. In addition, it is equipped with JRC's original bubble detection function, which informs the operator that the accuracy of ship speed measurement has deteriorated due to the inflow of bubbles into the sensor surface, and the incorrect diagnosis leading to unnecessary maintenance and check work is avoided. Furthermore, it enables remote diagnosis by the remote maintenance function and supports from large-sized ships to small ships by various equipment configurations.

1. まえがき

船速距離計には、潮流に対する船速（対水船速）を計測するドップラ・スピードログと、船舶と海底面（水底）との相対速度（対地船速）を計測するサテライトログ（対地船速距離計）がある。船速距離計は、SOLAS(海上人命安全)条約により、国際航海に従事する300 GT以上の船舶への装備が義務付けられており、本装置はIMO MSC.96(72)の性能基準に適合する。また、サテライトログと併せて装備することにより、50,000 GT以上の船舶に適用されるIMO MSC.334(90)（独立した対地および対水船速距離計の装備要件）を満足する。ドップラ・スピードログとサテライトログの表示器は横並びに装備されるため、ユーザインタフェースの共通化により操作性の向上を図る。

船速距離計が計測する船速と航程距離は、船舶の低燃費化および定時運行に必要な情報である。当社製の従来型ドップラ・スピードログ（JLN-205MK2）において散見された、超音波信号の受信レベル低下時に船速計測が不可能となる問題、あるいは計測精度が低下する問題の解決において、当社が強みとする信号処理技術およびセンシング技術が有用である。

本稿では、本装置の開発において適用した技術および本装置の特長について紹介する。

2. 概要

本装置は、以下の特長を持つ。

1. 高分解能周波数検出方式を用いた新信号処理技術による、高い計測精度と船速追従性の両立
2. 気泡検出機能（船速計測精度低下通知機能）
3. リモートメンテナンス機能
4. ブリッジデザインに合わせた多彩な機器構成
各々の特長について以下に述べる。

3. 新信号処理による高精度・高速応答

ドップラ・スピードログは、海中のターゲット（プランクトンや漂流物など）で超音波が反射する際に発生する反射エコー信号のドップラ周波数を観測することにより対水船速を計測している。このイメージを図1に示す。

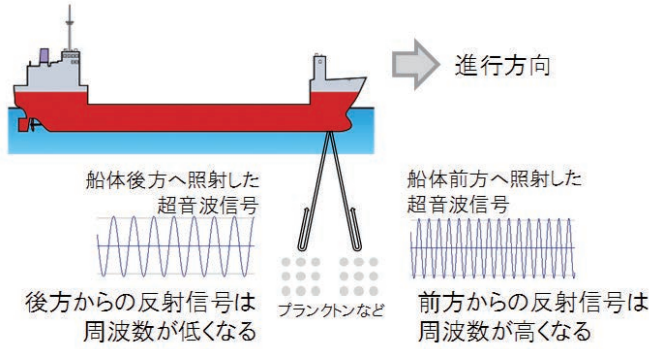
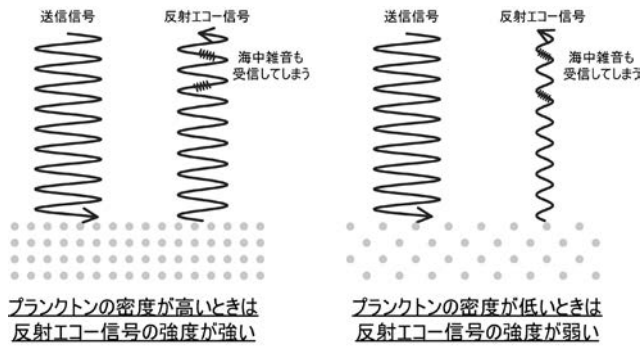


図1 ドップラ方式による対水船速計測の原理

Fig.1 Principle of measurement for ship speed through water by Doppler method

ここで、図2に示すように反射エコー信号の強度はプランクトンの密度や大きさなどにより瞬間的に大きく変化し、計測精度に大きな影響を与える。また、海中にも自然界の音響雑音が存在する。このため、ドップラ周波数の観測においては、反射エコー信号の信号レベルに左右されずに反射エコー信号と海中雑音を分離する必要がある。



海中プランクトンの密度などによって、反射エコー信号の強度が瞬間的に大きく変わってしまう。

図2 反射エコー信号の強度と海中雑音の影響

Fig.2 Influence of reflected echo signal strength and underwater noise

上記の課題を解決するために、それぞれの回路に適用した技術について以下に述べる。

(1) 送信回路

図3に示すように、新開発したスイッチングアンプ回路に対してCPUからのキャリア信号とパワー制御を入力し、高周波雑音を抑制した超音波出力信号波形を合成することでドップラ周波数の計測精度を向上させた。また、合成した超音波送信信号波形をフィードバック制御することで、超音波振動子への入力電力も適正化し、過大入力による振動子故障を軽減させた。

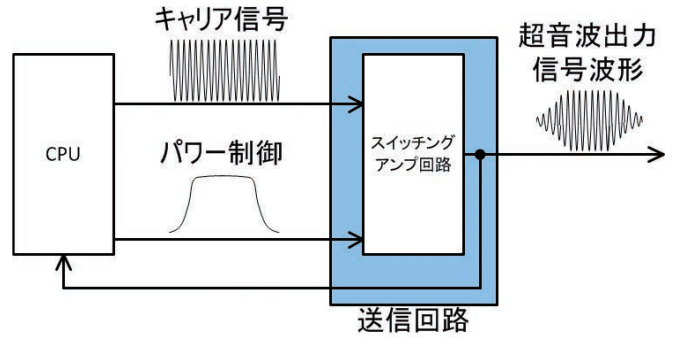


図3 スwitchングアンプ回路による送信信号制御

Fig.3 Transmitting signal control by switching amplifier circuit

(2) 受信回路

受信回路のブロック図を図4に示す。受信した反射エコー信号をADC (Analog-Digital Converter) でダイレクトサンプリングした後にデジタル信号処理 (NCOによるIF変換, デジタルフィルタ, 高分解能周波数検出) を施し、サンプリング処理後の雑音混入を排除することにより信号分解性能を向上させた。

(3) デジタル信号処理

新開発の高分解能周波数検出方式を採用し、受信エコー信号の強度変化の影響を受けにくく、刻々と変化するドップラ周波数の計測精度を向上させることに成功した。これにより、受信エコー信号の強度が弱いときに船速計測が不可能となってしまう従来型ドップラ・スピードログ (JLN-205MK2) の問題を解決した。また、1秒あたりの計測回数を従来の4倍に増やし、対水船速計測値を平滑化するための時定数を小さくすることにより、船速追従性を向上させた。

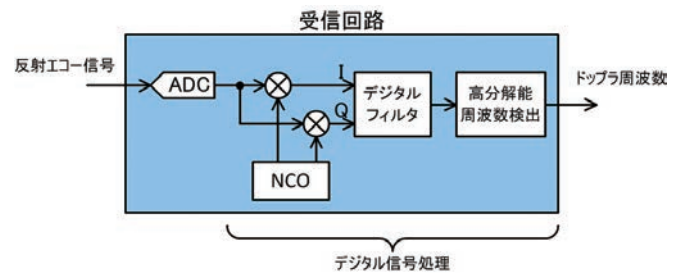


図4 受信回路とデジタル信号処理のブロック図

Fig.4 Block diagram of receiving circuit and digital signal processing

ドップラ・スピードログとサテライトログの両方を装備した船舶を用いて、対水船速と対地船速の計測比較実験を行った。実験の結果、図5に示すとおり、計測精度、応答性能共に両者が同等であることが確認できた。さらに、従来型ドップラ・スピードログ (JLN-205MK2) と比べて下記のとおり性能を大幅に向上していることを確認した。なお、対地船速と対水船速の差は潮流により生じたものである。

- (1) 船速計測精度 : 5倍 (0.05 [kn] → 0.01 [kn])
- (2) 船速応答性能 : 約8倍 (21~27 [秒] → 3 [秒])
- (3) 計測回数 : 4倍 (5 [回/秒] → 20 [回/秒])

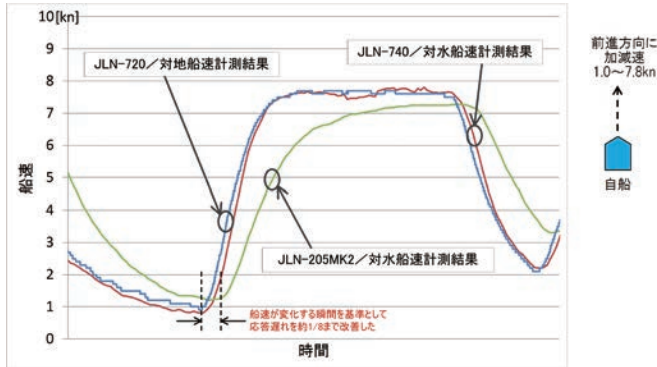


図5 対水船速計測と対地船速計測の比較実験結果
 Fig.5 Results of comparative experiment between the measurement of ship speed through water and measurement of ship speed over ground

4. 気泡検出機能 (船速計測精度低下通知機能)

ドップラ・スピードログは、超音波振動子の輻射面が気泡に覆われると受信信号強度が低下する。気泡の発生原因は船体構造、周辺の地理的な影響、他船の航跡の影響など複数の要素が存在し、これらの影響を除去することはドップラ・スピードログにおける永年の課題となっていた。「AWA (あわ) センサ (JDN-1)」の開発において確立した当社独自の気泡検出技術 (※特許出願中) を応用し、気泡検出機能として本装置に適用した。この機能は、特殊な送信信号波を用いて気泡を検出し、船速の計測精度が低下していることを操作画面に表示するもので、不要な保守点検作業の誘因となる誤診断を回避する。

気泡が生じている他船の航跡上を横断した船舶の対水船速と気泡検出の様子を図6に示す。他船の航跡上を通過するときに船速の計測値が不安定となり、この時に本装置が気泡を検出している。

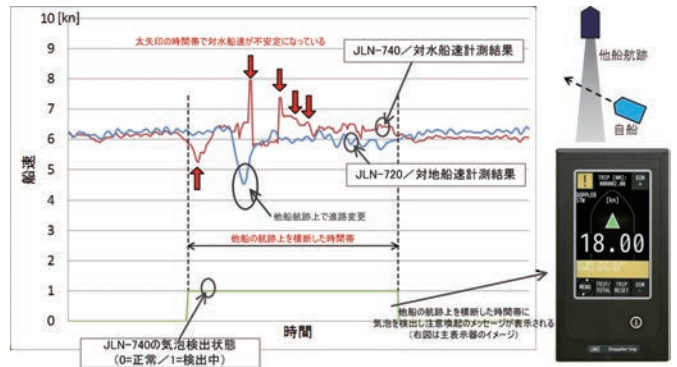


図6 他船の航跡上を横断した船舶の対水船速と気泡検出の様子
 Fig.6 Ship speed through water and bubble detection state when a ship crossing the track of another ship

5. リモートメンテナンス機能

本装置は、当社製VDR装置と接続することによりリモートメンテナンスが可能である。リモートメンテナンスの主な機能は、陸上から本装置 (船上) の動作状態の確認、本装置の最新ファームウェアへのリモートアップデート、本装置の遠隔診断である。これにより、故障要因の早期究明に役立つ。

6. ブリッジデザインに合わせた多彩な機器構成

本装置は、図7に示すように、ブリッジデザインに合わせて2種類の主表示器の組み合わせおよび分配処理器の有無を選択できる。

主表示器は、当社製のサテライトログ (JLN-720 対地船速距離計) とデザインを共通化した「Aモデル」と、4.5インチ小型表示器 (NWZ-4610) とデザインを共通化した「Nモデル」の2種類から選択できる。

また両モデル共に、RADARやECDISなど複数の航法装置と接続するための分配処理器を含む大型船舶向けの「JLN-740」タイプと、小型船向けの「JLN-741」タイプをラインアップし、4通りの構成から用途に応じて選択できる。

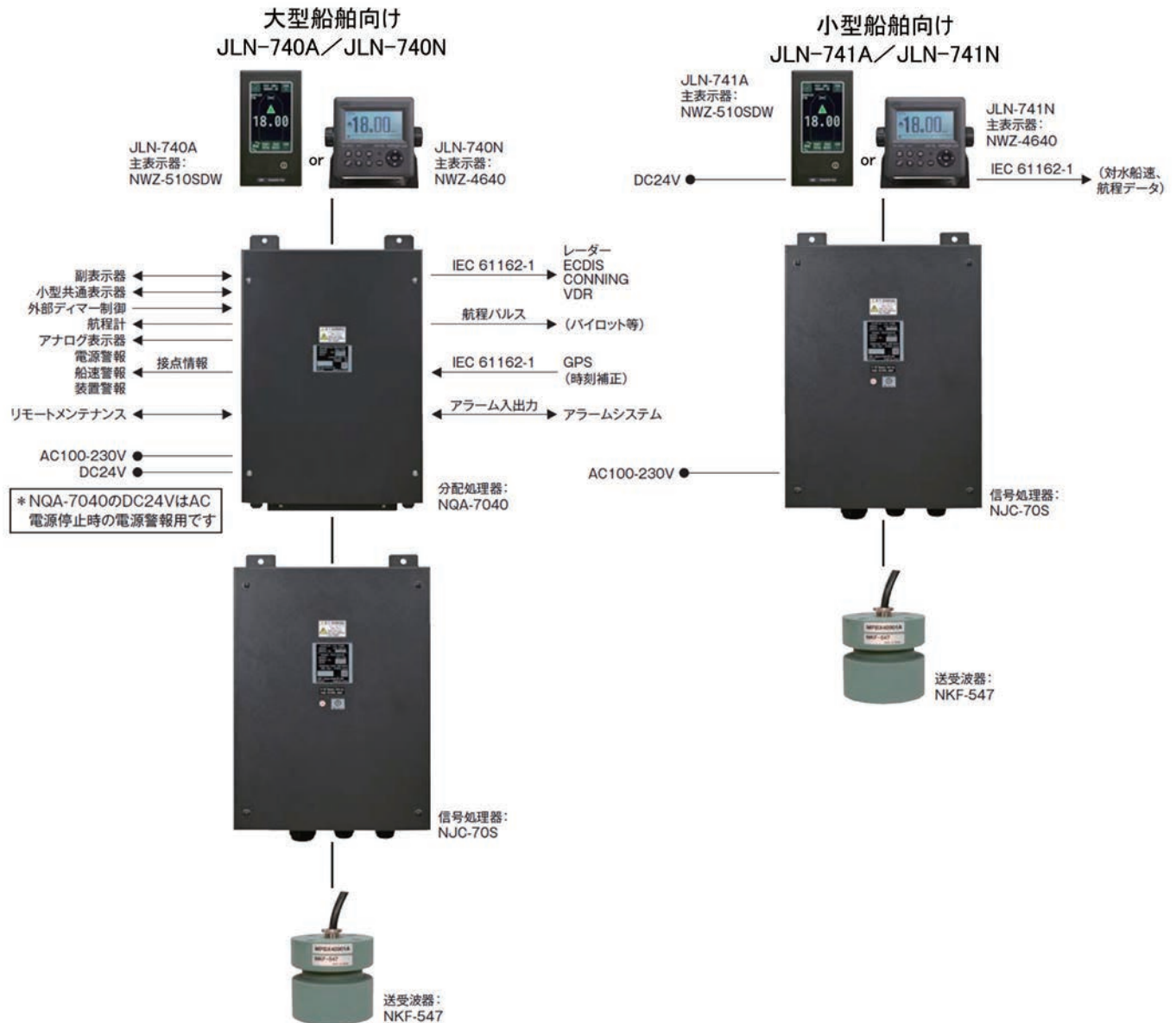


図7 新型ドップラ・スピードログJLN-740シリーズの機器構成バリエーション
Fig.7 Equipment configuration variation of new Doppler speed log JLN-740 series

性能基準

本装置は、以下のIMO性能基準を満たす。

- IMO Resolution MSC.96(72) : 船速距離計の性能基準
- IMO Resolution A.694(17) : 船用無線設備の一般要件
- IMO Resolution MSC.191(79) : 航海情報表示関連
- IMO Resolution MSC.302(87) : ブリッジアラート管理

7. あとがき

本稿では、新型ドップラ・スピードログ (JLN-740シリーズ) の特長および開発にあたり適用した技術について紹介した。さらに、計測した船速値に対する信頼性やユーザインタフェースの共通化による操作性、陸上からのメンテナンス性を向上した本装置が、船舶の低燃費化や定時運行に貢献することを大いに期待する。

用語一覧

- ADC: アナログ-デジタル変換器 (Analog-Digital Converter)
- ECDIS: 電子海図情報表示装置
(Electronic Chart Display and Information System)
- GT: 総トン数 (Gross Tonnage)
- IF: 中間周波数 (Intermediate Frequency)
- NCO: 数値制御発振器 (Numerically Controlled Oscillator)
- RADAR: 船舶用レーダ装置
- SOLAS: 海上における人命の安全のための国際条約
(International Convention for the Safety of Life at Sea)
- IMO: 国際海事機関 (International Maritime Organization)
- VDR: 航海情報記録装置 (Voyage Data Recorder)
- ドップラ周波数: ドップラ効果 (波の発生源が移動する、あるいは観測者が移動することで観測される周波数が変化する現象) により、送信波と異なって観測される周波数
- 対水船速: 船舶と潮流の相対速度 (Speed Through Water)
- 対地船速: 船舶と地表面 (水底) との相対速度 (Speed Over Ground)