

船舶用SCR脱硝装置向け 極小口径電磁流量計LF471形

LF471 Electromagnetic Flowmeter with Extremely Small-Diameter Measuring Pipe for Marine SCR Systems

リム ユンリー 米本 郷 北條 智

■ LIM Yunli ■ YONEMOTO Satoshi ■ HOJO Satoshi

2016年以降に造られる出力130 kWを超えるディーゼルエンジンを搭載する船舶は、国際海事機関 (IMO) の排出ガス規制により、指定海域において、選択触媒還元 (SCR: Selective Catalytic Reduction) 脱硝装置で排出ガスに含まれる窒素酸化物 (NO_x) を削減する義務がある。SCR脱硝装置は、還元剤として尿素水を使用する。尿素水の流量管理のためには、SCR脱硝装置に組み込む極小口径の流量計が必要である。

そこで東芝は、船舶用のSCR脱硝装置に組み込むために、(1) 振動や電氣的ノイズといった船舶環境への耐性の向上、(2) 狭いスペースに取付け可能なコンパクトな構造の採用、及び(3) 長期ゼロ点安定性など測定安定性の向上、といった特長を備えた電磁流量計LF471形を開発した。LF471形は更に、船舶用SCR脱硝装置に最適な使用材質の選定と製品仕様の絞り込みにより、低コスト化も実現した。

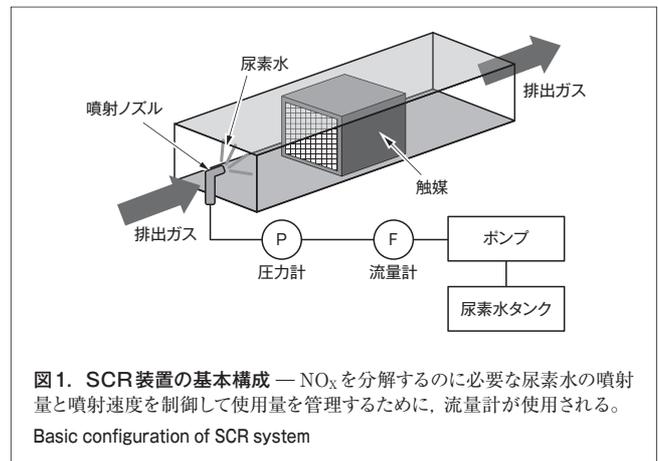
Marine vessels equipped with a diesel engine having an output exceeding 130 kW that are constructed from 2016 onward are required to have a selective catalytic reduction (SCR) system in accordance with the International Maritime Organization (IMO) regulations for the reduction of nitrogen oxides (NO_x) in exhaust gases when navigating in designated regions of the sea. In order to control the flow rate and manage the amount of urea solution, which is a reducing agent in the SCR system, an electromagnetic flowmeter for extremely small-diameter pipes is essential.

In response to this situation, Toshiba has developed the LF471 electromagnetic flowmeter for marine SCR systems. The LF471 achieves excellent environmental tolerance against electrical noise and vibration and offers improved long-term zero-point stability as well as compact dimensions to reduce the required installation space. We have also succeeded in reducing cost through the optimization of materials and narrowing down of specifications.

1 まえがき

船舶のディーゼルエンジンから放出される排出ガスには、窒素酸化物 (NO_x) や硫黄酸化物 (SO_x) などの有害物質が含まれており、大気を汚染して酸性雨や光化学スモッグの原因となり、人間の健康に影響を及ぼす。その排出ガスを削減するために、海洋環境保護の観点から国際規制が強化されてきている。特に NO_x に対して、国際海事機関 (IMO) において、大気汚染規制のマルポール条約 (1973年の船舶による汚染の防止のための国際条約に関する1978年の議定書) 附属書VIの改正により、3段階の NO_x 排出削減規制が規定されている。この規制により、出力130 kW (176.8馬力) を超えるディーゼルエンジンを搭載する船舶は指定海域において、エンジン性能の向上により、1次規制で約10%、2次規制で更に約15~22%の NO_x 削減が必要になっている。3次規制は、2016年以降に建造される船舶が対象となり、選択触媒還元 (SCR: Selective Catalytic Reduction) 脱硝装置 (以下、SCR装置と略記) により、1次規制値に対し80%の削減が要求されている⁽¹⁾。

SCR装置の基本構成を図1に示す。還元剤の尿素水が排出ガス管路に噴射され、熱によりアンモニアガスに分解される。排出ガスに含まれる NO_x は、このアンモニアガスと触媒と



の化学反応により、分解される⁽²⁾。

SCR装置では、触媒との反応を良くするために、アンモニアガス発生量の調整を効率的に行う必要がある。アンモニアガス発生量の調整は、尿素水の温度に加えて、尿素水の噴射量と噴射速度を制御する必要がある。尿素水を制御するとともにその使用量を管理するためには、流量計が必要になる。

一般的な流量計には、コリオリ式や、羽根車式、差圧式などがあるが、内部の突起で圧力損失が生じることや、可動部

のメンテナンス性や耐振性が悪いというデメリットがあり、内部に突起がなく、耐振性の優れている電磁流量計への置換えが進んでいる。

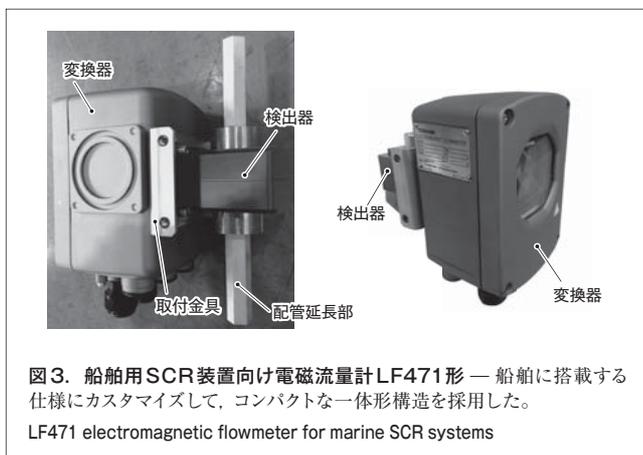
東芝は、電磁流量計の特長を生かし、船舶用SCR装置向けに極小口径の電磁流量計LF471形を開発した。ここでは、電磁流量計LF471形の概要と特長について述べる。

2 LF471形の概要

当社の電磁流量計は、液体が流れるパイプの内径が2.5 mmから3,000 mmまでのラインアップがあり、上下水や、食品、薬品、鉄鋼、製紙、ビル空調など、幅広い産業分野で使用されている。

2.1 LF471形の仕様

従来の極小口径電磁流量計LF470/LF622形(図2)に基づき、船舶に搭載するSCR装置用として仕様をカスタマイズすることで、電磁流量計LF471形(図3)を実現した。LF470/LF622形は検出器と変換器の間をケーブルでつなぐ分離形であるが、LF471形はよりコンパクトな一体形構造を採用している。



LF471形の仕様を表1に示す。

2.2 測定原理

電磁流量計はファラデーの電磁誘導の法則を利用し、導電性の液体の体積流量を測定する(図4)。内径 D の絶縁性測定管の上下にあるコイルで発生する磁束密度 B の磁界内に導電性液体を流すと、磁界及び液体の流れ方向に対して直角方向に置かれた2個の電極間に、流れの平均流速 V に比例した信号起電力 E が発生する。 E は式(1)で表される。

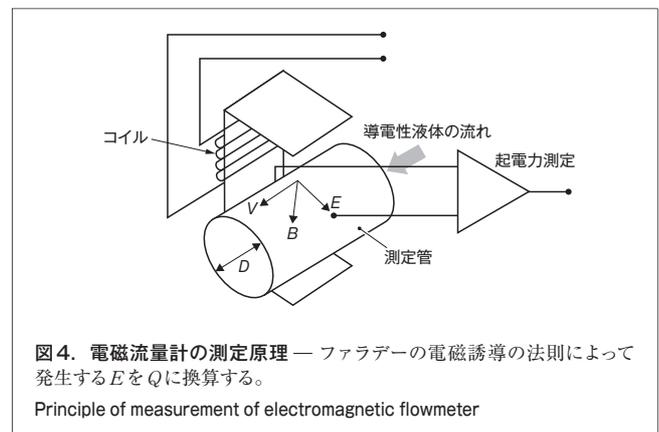
$$E = K \times B \times D \times V \quad (1)$$

K : 定数

表1. LF471形の仕様
Specifications of LF471

項目	仕様	
変換器との組合せ	一体形	
呼口径	2.5 mm	
測定範囲	0~0.3 m/s ~ 0~5 m/s*1	
測定精度	設定した測定範囲に対する流量	精度
	50~100 %	±2.0 % of rate*2
	0~50 %	±1.0 % FS*3
導電率	50 μS/cm以上	
液体温度	0~+60 °C	
周囲温度	-10~+55 °C	
構造	IP67*4	
流体圧力	0~1 MPa	
配管接続部	G1/4*5 めねじ	
主な材質	測定管 : PTFE 電極 : チタン 配管接続部 : チタン (オプションの配管延長部: ステンレス鋼) 本体ケース : アルミニウム	
出力信号	電流信号 : DC 4~20 mA デジタル出力 : 2点	
通信信号	DC 4~20 mAの信号線にデジタル信号を重畳 (HART™ プロトコルに準拠)	
電源	DC 24 V	
耐振性	10~150 Hz, 加速度9.8 m/s ² , 共振点なし。 各方向に30 Hz, 29.4 m/s ² の振動を4時間ずつ加えて異常なし	

PTFE: 四フッ化エチレン樹脂 DC: 直流
*1: 下限は0 m/s, 上限は0.3 ~ 5 m/sの範囲で可変
*2: 読み値に対する値
*3: 設定最大流量値(フルスケール)に対する値
*4: JIS C 0920 (日本工業規格 C 0920)で規定される。外郭による保護等級の一つ
*5: JIS B 0202 で規定される。ねじの呼び(形式)の一つ



また、流体の体積流量 Q は式(2)で表される。

$$Q = [(\pi \times D^2) / 4] \times V \quad (2)$$

式(1)と式(2)より、 Q と E の関係として式(3)が得られる。

$$E = [(4 \times K \times B) / (\pi \times D)] \times Q \quad (3)$$

式(3)から、 E は Q に比例することがわかる。電磁流量計ではこの原理を利用して、 E を測定して Q に換算する。

3 製品の特長

船舶の中で、SCR装置が設置される場所はエンジンの近くであり、振動が激しく、周辺にも電氣的ノイズを発生する機器が多く設置されている。また、流量計を設置するスペースも限られており、かつ、低流量域での測定安定性も必要である。

LF470/LF622形に対し、LF471形は船舶内の振動や電氣的ノイズなどに対する性能と低流量測定時の測定安定性を向上させ、更に検出器と変換器を一体形の構造とすることで配線作業と設置スペースの削減を可能にしたうえ、検出器の構造を最適化してコストを低減した。

3.1 振動への対応

分離形の電磁流量計の検出器と変換器はケーブルで接続されている。ケーブルは、配管及び船舶自体の振動や、設置環境などの影響を受け、測定流量値がばらつくことが想定される。この対策としてLF471形は、検出器と変換器を一体形とすることで狭いスペースに配線を収納できる構造を実現し、検出器内部にケーブルを固定するようにした。LF471形の耐振性評価として、振動周波数5～150 Hzの範囲で共振点がないことを確認している。

また、静水(流量ゼロ)の状態と同じ振動周波数帯域での振動

試験を行い、流量計出力が安定していることも確認した(図5)。

3.2 電氣的ノイズへの対応

電氣的ノイズは、電磁流量計のケーブルやシールドされていないケースなどの部品から信号回路に入り込み、信号に重畳し、測定値がふらつく原因となる。この電氣的ノイズに対し、LF471形は、分離形で必要な外付けのケーブルをなくしたうえに、構造的な対策を施し、耐電氣的ノイズ性を向上させた。船舶の電氣的ノイズ規格である一般財団法人 日本海事協会 ClassNKのEMC(電磁環境適合性)規格を満足し、船舶内の電氣的ノイズに対応できるようになった。

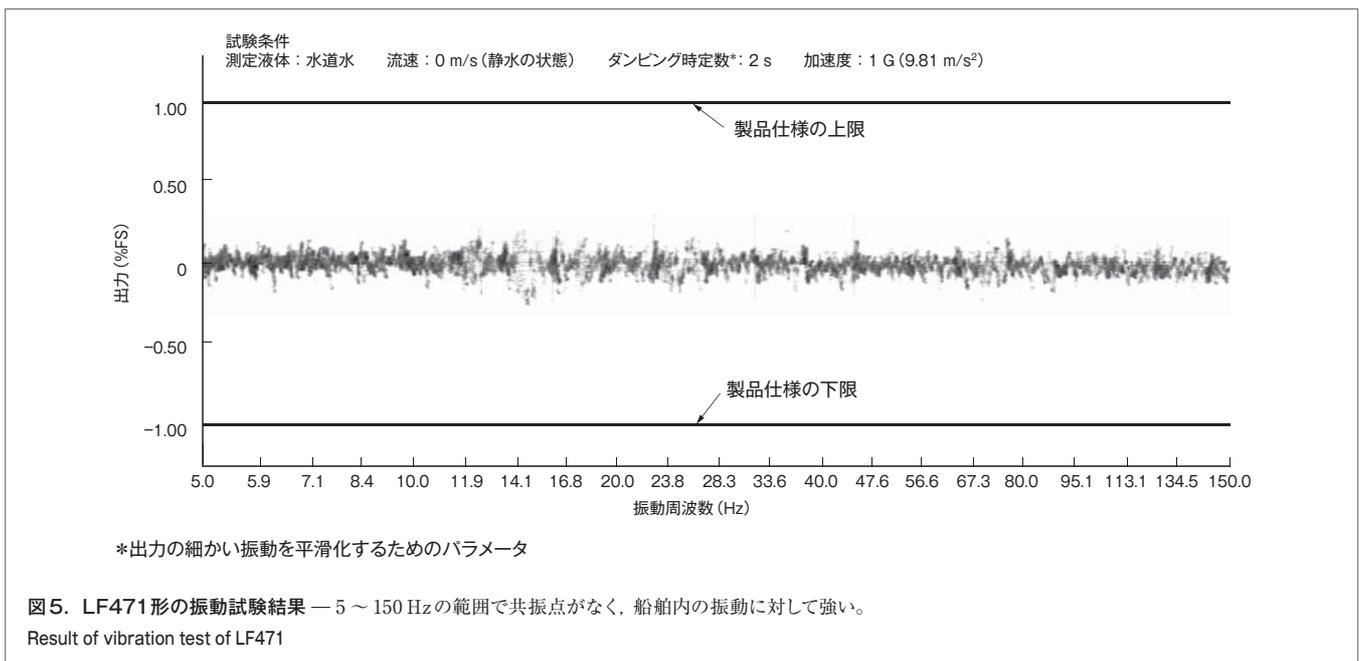
3.3 設置条件への対応

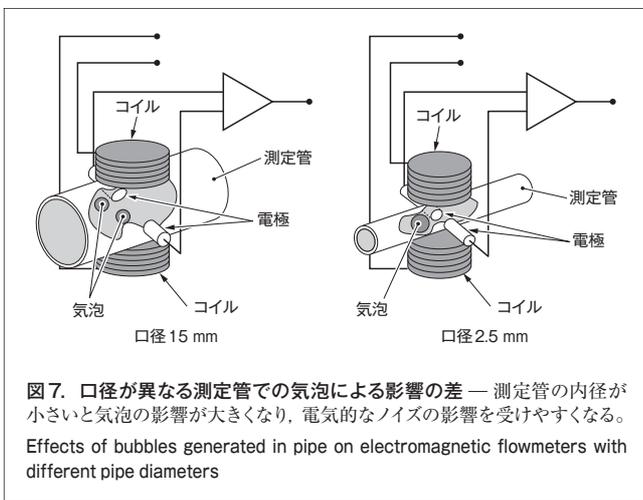
LF471形は、検出器と変換器を一体化した構造とすることで、分離形で必要な外付けのケーブルを不要にし、SCR装置周囲の狭い場所でも設置できるコンパクトな構造を実現した。

また、検出器に付いている配管延長部により、相手配管をねじ込むことで簡単に配管できる構造とした。更に、製品を支えるための取付金具をオプションで付けられるので、設置作業の際も、壁などに簡単に固定できる(図6)。

3.4 測定安定性の向上

極小口径電磁流量計は、本来流量が少ないため、特に低流量時に流体内に気泡が発生しやすくなる。気泡が発生すると測定精度に大きく影響する。口径が異なる測定管での気泡による影響の差を、図7を用いて説明する。口径15 mmの測定管に直径2 mmの気泡が混入しても影響が少ないが、口径2.5 mmの場合は測定用の電極間が気泡だけで満たされてしまい、電極間に導電性液体がほとんどない状態が起こりうる。このような状態が起こると、電極間抵抗が大きくなる。この結果、外乱などの電氣的ノイズが測定結果に影響しやすくなり、





発生した信号と電気的ノイズの比率 (S/N比) が悪くなる。

また、コイルと信号線が接近すると、静電結合が強くなり、ゼロ点の安定性に影響する可能性もある。口径15 mm以上の電磁流量計は内部スペースがLF471形より大きいため、コイルと配線の静電結合は弱いですが、LF471形は限られているスペースで配線するため、静電結合が強くなる可能性があった。

これらの問題に対し、LF471形では配線ルートや使用するケーブルなどの最適化により、S/N比を高め、電気的ノイズの影響を小さくしたうえで、測定安定性の向上を実現した。

3.5 低コストの実現

汎用のLF470形は主に薬品測定に使用されるため、耐食性の高い材質として、高価なセラミック測定管や白金電極などを使用している。LF471形では、低コストを実現するためにSCR装置に最適な材質を選定し、DFM (Design for Manufacturability) とDFA (Design for Assembly) により、造りやすく組み立てやすい構造を採用した。LF471形は、仕様をSCR装置向けに絞り込み、測定管をPTFE (四フッ化エチレン樹脂) に、電極をチタンに変更し、材質や構造を最適化することで低コスト

を実現した。

4 あとがき

SCR装置の設置環境や実際に使用する液体などに対応したカスタマイズを行い、電磁流量計の特長を生かしながら他方式の流量計よりも優れた特長を持つ船舶用極小口径電磁流量計LF471形を実現した。また、SCR装置で排出ガスを削減するとともに、LF471形自体の環境性能も東芝グループのECP (Environmentally Conscious Products: 環境調和型製品) 基準に基づいて向上させ、環境に対してより優しい製品を提供した。

今後も、当社独自の技術を高め、測定性能、信頼性、及び環境性能を更に向上させ、ユーザーニーズに適應した製品を提供していく。

文献

- (1) 海上技術安全研究所. NO_x削減への研究開発. 海技研ニュース 船と海のサイエンス, 2011 Winter, 2011, p.4-9. <<http://www.nmri.go.jp/main/publications/newsletter/fy2011/2011-winter-m.pdf>>, (参照 2014-12-08).
- (2) 平田宏一 他. 海上技術安全研究所における船舶用SCRシステムに関する研究. 海上技術安全研究所報告. 11, 2, 2011, p.71-89. <<https://www.nmri.go.jp/main/publications/paper/pdf/21/11/02/PNM21110202-00.pdf>>, (参照 2014-12-08).

• HARTは、HART Communication Foundationの登録商標。



リム ユンリー LIM Yunli

社会インフラシステム社 府中社会インフラシステム工場 計測制御機器部。電磁流量計検出器の設計・開発に従事。
Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems



米本 郷 YONEMOTO Satoshi

社会インフラシステム社 府中社会インフラシステム工場 計測制御機器部主務。電磁流量計変換器及び圧力差圧伝送器の設計・開発に従事。
Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems



北條 智 HOJO Satoshi

社会インフラシステム社 府中社会インフラシステム工場 計測制御機器部主務。電磁流量計検出器の設計・開発に従事。
Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems