

# グローバル市場に対応する最新のフィールド計測技術

Latest Field Measurement Technology Meeting Global Market Requirements

米本 郷                      飯島 拓也                      中村 隆樹

■ YONEMOTO Satoshi                      ■ IIJIMA Takuya                      ■ NAKAMURA Takaki

上下水道及び、鉄鋼、製紙、化学などの一般産業分野をはじめとして、あらゆるプラントのプロセス状態を監視するフィールド機器（センサ）には、高精度、高信頼性であることに加え、優れた耐環境性が求められている。

東芝は、これらの要求に応え、かつ成長市場である海外への拡販に対応できる新型の電磁流量計 LF650/LF620を開発した。このLF650/LF620は、幅広い適用流体範囲や、極低温環境対応などの高い耐環境性があり、更に、当社独自の技術である“関数磁界分布”を採用することで、プロセス配管の上流直管長を他社よりも短くでき配管スペースや設置コストをミニマム化できるなど、グローバルな要求に応えた電磁流量計である。

Intelligent field devices for sensing various processes of plants including water supply and sewerage systems and general industries such as iron and steel, paper manufacturing, chemicals, and so on are required to have high accuracy, high reliability, and high robustness against the installation environment.

To meet such global market requirements, Toshiba has developed the LF650/LF620 type electromagnetic flowmeter. The LF650/LF620 is designed to measure a wide variety of fluids and to operate under low-temperature conditions. In addition, it satisfies the global need for installation of process piping in a small area and reduction of construction costs due to a decrease in the length of the upstream straight pipe of the flowmeter, through the use of our unique functional magnetic field distribution technology.

## 1 まえがき

電磁流量計は、上下水道及び、鉄鋼、製紙、化学などの一般産業分野をはじめとして、あらゆるプラントのプロセス状態を監視する基幹センサとして多く用いられている。これは流体の流れである流量を検出し、その出力を直流（DC）4～20 mAを代表とする各種電気信号に変換し伝送するものである。

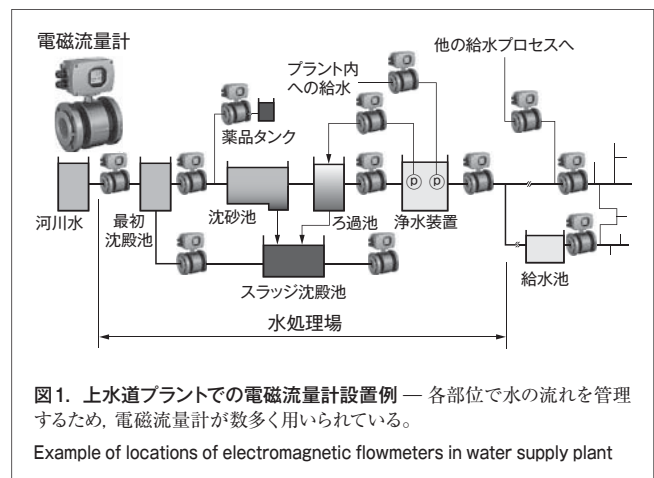
近年、この電磁流量計には、高精度化と低コスト化が求められるだけでなく、耐環境性に優れること、及び多種の通信プロトコルへ対応することなどが求められている。

東芝は、このような市場のニーズに応えるため電磁流量計の開発を行ってきた。ここでは、この電磁流量計の新機種であるLF650/LF620の技術に加え、検出器の測定管内部に電極が露出しない独特の非接液電極式と、近年普及し始めた上位システムとのデジタル通信機能について述べる。

## 2 電磁流量計の概要

### 2.1 電磁流量計の応用分野

電磁流量計は様々な分野で使用されている。その代表として上水道プラントでの設置例を図1に示す。図1に示すように、プラント内のあらゆる部位の測定に数多くの電磁流量計が用いられるため、設置（配管）スペースの削減が求められている。



また、環境が決して良いとは言えない場所に設置されることも多く、電磁流量計を安全に、安心して使用するために、高精度や高信頼性に加え、耐環境性の向上が求められている。

### 2.2 開発・設計のコンセプト

前節のような要求に応えるため、新型の検出器・変換器一体形電磁流量計LF650/LF620を開発した（図2）。LF650/LF620はハイエンドモデルであり、開発・設計にあたっては、測定可能な導電率範囲や周囲温度仕様を他社より拡大するなど高い耐環境性を追求した。更に、当社の強みである、配管の上流直管長を短くできる高性能な“関数磁界分布”と、長年

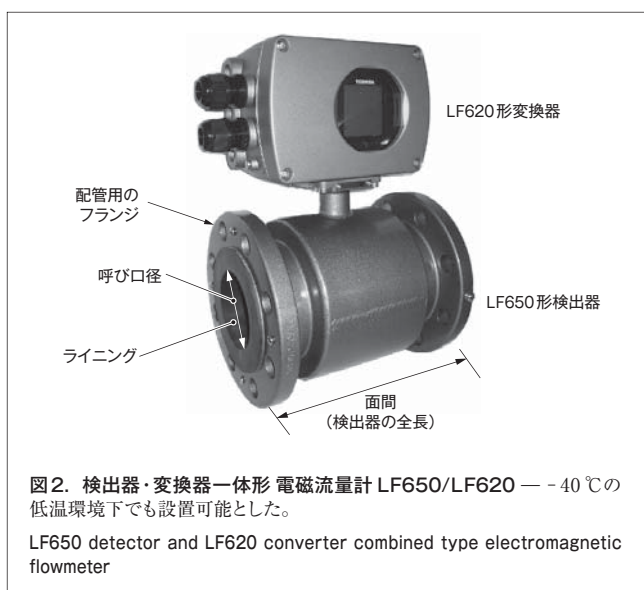


図2. 検出器・変換器一体形 電磁流量計 LF650/LF620 — -40℃の低温環境下でも設置可能とした。

LF650 detector and LF620 converter combined type electromagnetic flowmeter

実績のある電極気密構造を踏襲し、設備のコンパクト化と長期信頼性の確保を訴求した。

また、表示画面の大型化や、すべての配線作業を正面から安全に行え、かつ着脱可能な端子台を採用するなど使う人に優しい機能を充実させるとともに、上位の制御システムとの接続をフレキシブルにするため、世界的に普及しているフィールドバス<sup>(注1)</sup>(HART<sup>®</sup><sup>(注2)</sup>, PROFIBUS, Modbus)を選択できるようにした。

### 3 要素技術

#### 3.1 操作性と作業安全性の向上

設定スイッチには赤外線スイッチを採用し、変換器のケースを開けることなく窓越しにスイッチ操作を行うことができるようにした。また、スイッチの配置を最適化し、操作性を向上させた。光学式のスイッチのため、蛍光灯などの外乱光に対する誤動作防止と操作有効性判別のアルゴリズムを組み込むことにより、誤動作なく操作できるようにしている。

また、電源や出力信号線などを配線する端子台を前面(表示の正面)に配置して十分な作業スペースを確保するとともに、業界初<sup>(注3)</sup>となる着脱可能なコネクタ式端子台を採用することで、手が大きい人でも無理なく安全に配線できるよう、作業性と安全性を向上させた(図3)。

更に、当社従来機種比2.4倍の、128×128フルドットの大画面液晶ディスプレイ(LCD)を採用し、バーグラフや警報などの各種表示を同一画面に見やすく表示できるようにした。また、正方形のLCDと、表示方向をソフトウェアで自由に回転

(注1) 工場内などでの計測・制御用機器に用いるデジタルネットワーク。  
(注2) HARTは、HART Communication Foundationの登録商標。  
(注3) 2009年8月時点、当社調べ。



図3. LF620形変換器の内部構造 — 着脱可能な端子台を採用し、配線の作業性と安全性を向上させた。

Internal structure of LF620 converter

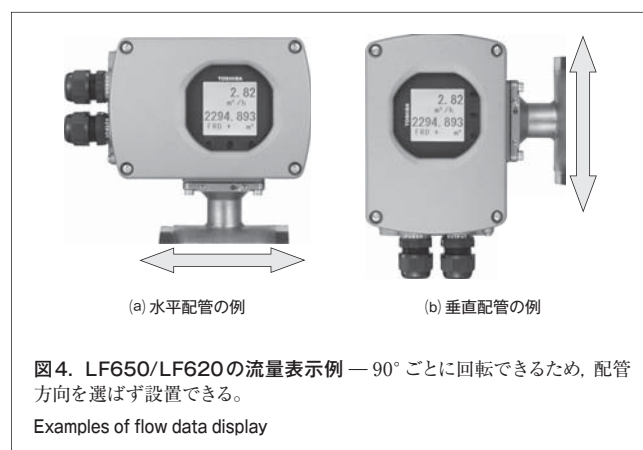


図4. LF650/LF620の流量表示例 — 90°ごとに回転できるため、配管方向を選ばず設置できる。

Examples of flow data display

できる機能を採用し、流量計の設置方向(水平又は垂直配管)にかかわらず、ワンタッチ操作で常に見やすい表示方向に設定できるようにした(図4)。

#### 3.2 新技術の採用

**3.2.1 検出器の低温対応構造設計<sup>(1)</sup>** 北欧やカナダなど、周囲温度が-20℃以下となる環境に対応する検出器のボディには、通常、オーステナイト系ステンレス鋼(SUS300系)が用いられる。キルド鋼などの特殊な場合を除いて、これ以外の金属では低温下で急速に脆化(ぜいか)し、容易に割れてしまうためである。しかし、SUS304などのオールステンレスボディは非常に高価であり、オプション対応となっていた。そこで、鉄鋼を使用した低コスト構造の設計を検討し採用することで、標準仕様で低温環境に対応することができた。この構造の実現には、当社の高度な溶接技術が支えとなっている。

**3.2.2 ライニング技術<sup>(1)</sup>** 金属の測定管を腐食性流体から保護するため、測定管内面にはライニングと呼ばれる絶縁性物質をはり付ける。ライニングは適用流体の範囲を決めるうえで重要な要素となるため、LF650形検出器では、高機能タイプのフッ素樹脂(PFA)を採用した。

負圧対策は、従来のようにライニングを測定管内面に接着するのではなく、図5で示すような円筒多孔板をライニングの中に入れることで対応した。仕様上の最高流体温度仕様(PFA

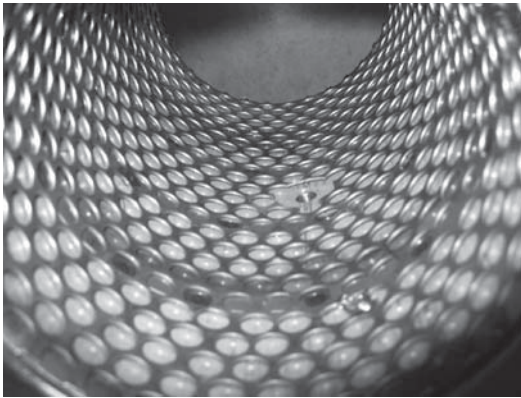


図5. フッ素樹脂による負圧対策 — 円筒多孔板を測定管内面にはり付けた後、ライニングを実施した。

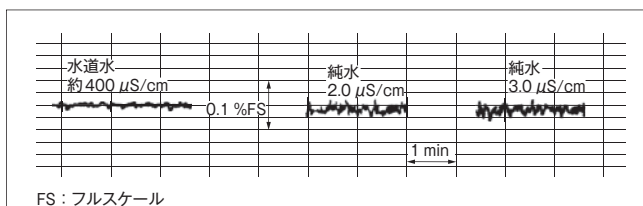
Structure protecting against negative pressure

の場合(120℃)で測定管内に負圧が発生してもはく離や変形がないことを確認した。

**3.2.3 低導電率流体への対応<sup>(1)</sup>** 導電率が低い流体では、電極間に発生する起電力が微弱になるため、変換器へ送られる信号比(S/N)が低下する。したがって、常に重畳している流体ノイズにより発生するが無視できないレベルとなり、指示がふらつくようになる。また、電極と変換器を結ぶ信号線の配線作業時の位置ずれや対称性のずれ、コイルとの静電結合などによるノイズレベルも指示のふらつきの原因となる。

一般的な電磁流量計は導電率 $5\mu\text{S}/\text{cm}$ が下限であるが、低導電率の液体でも安定して測定できるよう、LF650形検出器では信号線の配線を工夫して、信号線に直接重畳するノイズを低減した。また、LF620形変換器においては、高性能なノイズ除去回路を踏襲するとともに、低ノイズな回路構成を新規に採用した。更に、入力インピーダンスを十分大きくし、流体導電率の変動が精度に影響しないようにした。これらの工夫により、図6で示すように、純水に近い $2\mu\text{S}/\text{cm}$ でも安定した測定ができ、適用流体の範囲を拡大することができた(製品仕様は $3\mu\text{S}/\text{cm}$ 以上)。

また、更に低い導電率の流体に適用するために、独特な構造を持つ非接液電極形電磁流量計LF511/LF541(図7)をライ



FS: フルスケール

図6. 低導電率液体の測定結果 — 水道水と比較し、純水でも安定した出力が得られる(呼び口径80mm、静水、ダンピング1秒)。

Output signal of flowmeter in pure water

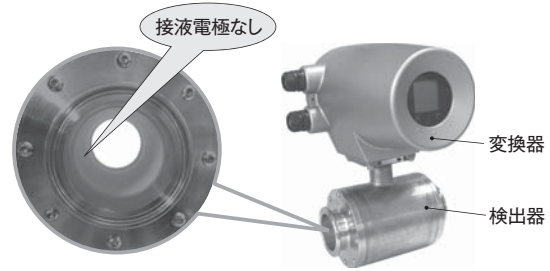


図7. 非接液電極形電磁流量計LF511/LF541 —  $0.1\mu\text{S}/\text{cm}$ の純水の測定を可能にした。

LF511/LF541 capacitance type electromagnetic flowmeter

ンアップしている。これは、セラミック製測定管の外側に電極を形成し、電極が流体に接触しない構造となっており、セラミックを介した静電容量で流量を測定するものである。 $0.1\mu\text{S}/\text{cm}$ の純水を安定して測定できる。

### 3.3 高性能の継承

当社の強みである、上流直管長を短くでき偏流の影響をほとんど受けない高性能な関数磁界分布と、長年実績のある電極気密構造を採用し、設備のコンパクト化と長期信頼性の確保を訴求できるようにした。

流体中に発生する起電力は、電極近傍のほうが電極から離れた位置よりも高いため、左右の電極付近の流れ状態が変わる偏流が発生すると誤差の原因となる。

そこで当社独自の技術として、関数磁界分布と呼ばれる、管内の起電力がどこでも一定となるように磁界強度分布を工夫する技術をLF650/LF620に採用し、図8のような上流直管長1.6Dの配管においても、図9に示すような精度を確保できる実力を持っている。これは、日本工業規格(JIS)の解説に記載されている偏流仕様 $\pm 2.5\%$ に対し、十分余裕のある値である。

上流直管長を短くできる利点は、配管スペースや施設規模をコンパクトにすることができ、装置や工事の総コスト圧縮を訴求できることである。当社の電磁流量計は、“関数磁界分布”

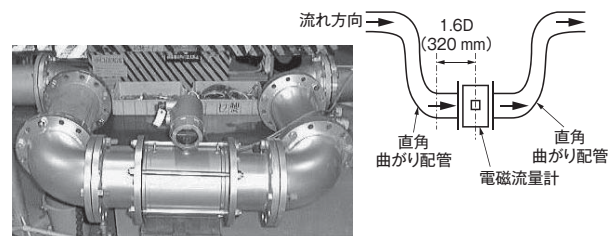
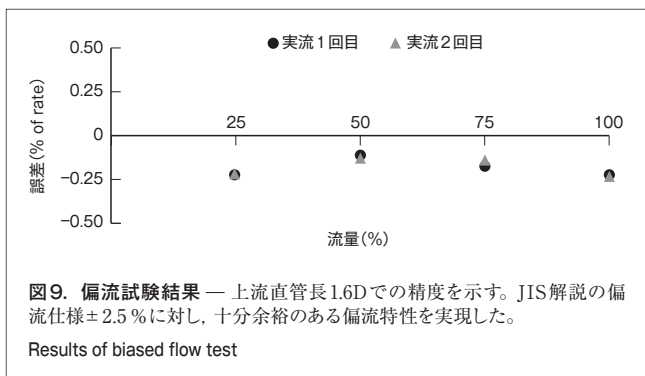


図8. 実流試験装置 — 上流直管長1.6D配管での実流試験装置を示す。1.6Dの配管においても、JISの偏流仕様に対して十分余裕のある精度を確保できる。

Actual flow test device

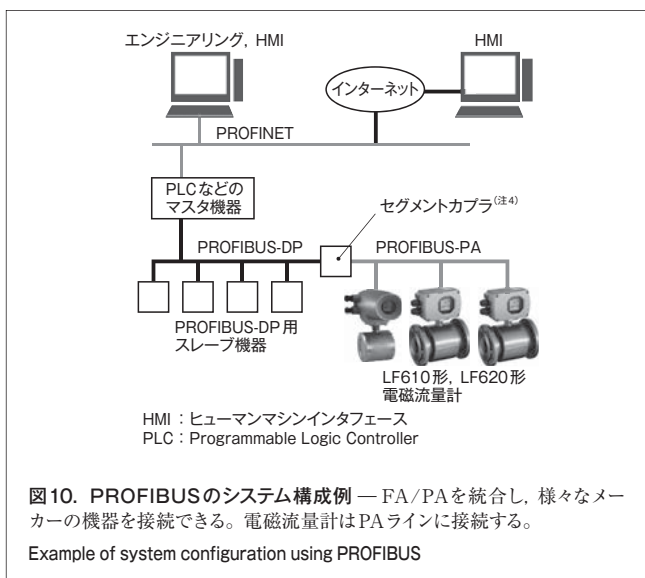


により上流直管長が短くできることが市場で広く知られており、他社との差異化の大きな要因となっている。

### 3.4 拡張性 — 多種のデジタル通信機能

デジタル通信技術の進歩に伴い、FA/PA (Factory Automation/Process Automation) 分野においてもデジタル通信を用いたフィールドバスの普及が世界的に進んでいる。LF650/LF620では、フィールドバスとして、4~20 mA DCのアナログ信号にデジタル信号を重畳するタイプのHART®と、完全なデジタル通信方式を採用したPROFIBUS, Modbus (RS485) を選択することができ、上位のシステムに接続できる拡張性を持っている。PROFIBUSは欧州と中国, Modbusはアジアを中心に普及している。

日本国内では依然として4~20 mA DCのアナログ信号が主流であり、一般産業や公共分野ともフィールドバスの要求が少ない状態であるが、新設の工場などではPROFIBUSを標準プロトコルとして採用するところもあり、今後いっそう普及していくと予想される。



(注4) DPラインとPAラインの異なるネットワークを接続するためのゲートウェイ機能とPAラインへの電力供給機能を持つ。

PROFIBUSには、FA分野向けの高速度・大容量通信が可能なPROFIBUS-DP, PA分野向けの2線式通信を採用したPROFIBUS-PA, 及び産業用Ethernetを使用するPROFINETなど様々な種類がある。

当社の電磁流量計ではPROFIBUS-PAを採用しており、この電磁流量計を使用したシステム構成例を図10に示す。また、PROFIBUS製品は、PROFIBUS協会の認証試験に合格することで、インタオペラビリティ (相互接続性) が保証される。

## 4 あとがき

電磁流量計 LF650/LF620は、成長市場である海外の競合他社をベンチマーク (比較のための指標) にして、海外市場で競争力のある高性能、高機能、高品質を実現した。今後は、故障の少ないメンテナンスフリーという特長を武器に、国内外市場へのいっそうの拡販を図っていく。

また、従来は測定困難であった流体が測定できるようになり、設置困難であった場所や電源の引けない場所にも適用できるようになるなど、電磁流量計の技術は着実に進歩している。当社は今後、更に適用範囲を広げた電磁流量計をラインアップし、あらゆるプラントにおけるプロセス状態の測定と管理に貢献していく。

## 文 献

- 飯島拓也. 海外市場に対応したフランジ形電磁流量計検出器LF650. 東芝レビュー. 64. 7. 2009. p.64 - 67
- 電磁流量計 JIS B 7554-1997. (財)日本規格協会 (JSA), 2003. 62p.



米本 郷 YONEMOTO Satoshi

電力流通・産業システム社 府中事業所 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 Complex



飯島 拓也 IIJIMA Takuya

電力流通・産業システム社 府中事業所 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。日本技術士会、機械学会会員。技術士 (機械部門)。

Fuchu Complex



中村 隆樹 NAKAMURA Takaki

電力流通・産業システム社 府中事業所 計測制御機器部。電磁流量計変換器のソフトウェア設計・開発に従事。

Fuchu Complex