

海外市場に対応した フランジ形電磁流量計検出器 LF650

LF650 Electromagnetic Flowmeter Detector Fulfilling Global Market Requirements

飯島 拓也

■ IIJIMA Takuya

電磁流量計は、上下水道水や薬品など、導電性がある流体の体積流量を測定する工業計器である。成長が期待できる海外市場では、低温環境下で使用できる優れた耐環境性、様々な流体への適用性、及び設置環境下でのロバスト性などが求められる。

東芝は、このような海外市場のニーズに応えるために、フランジ形^(注1)電磁流量計検出器 LF650を開発した。LF650は、 -40°C でも鉄鋼が脆性(ぜいせい)破壊しないような構造設計と溶接を実施することで、北欧やカナダなどの -20°C 以下となる低温環境下においても優れた耐環境性を備えている。また、絶縁物のフッ素樹脂を配管内部が負圧になっても内面からはがれない工夫をしてはり付けることで、高温、高腐食性、付着性、及び低導電率といった性状の流体に幅広く適用できるとともに、設置環境下でのロバスト性を実現した。

Electromagnetic flowmeters are a type of industrial instrument that can measure the volumetric flow rate of conductive fluids such as water, sewage, chemicals, and so on. There is growing demand in overseas markets for electromagnetic flowmeters that provide high performance in low-temperature environments, applicability to a wide variety of fluids, and robustness against the installation environment.

To meet these requirements, Toshiba has developed the LF650 flange-type electromagnetic flowmeter detector. The LF650 can successfully operate in temperatures of -40°C or below in northern Europe and Canada due to the adoption of appropriate structural design and welding techniques to prevent the brittle destruction of steel. In addition, fluorine resin, an electrical insulating material, has been applied to the inside wall of the measurement pipe, making it possible to measure various types of fluids, including those at high temperature or with high erosion, high adhesion, or low conductivity, even under negative pressure.

1 まえがき

電磁流量計の歴史は、ファラデーが1831年に電磁誘導現象を発見した翌年、ファラデー自身がテムズ川の流れを地磁気を使って測定しようと試みたことから始まる。ファラデーの電磁誘導の法則(フレミング右手の法則)を応用した測定原理は現在でも同じで、液体が流れるパイプにコイルで磁界をかけ、パイプ内に磁界と直角の方向に一对の電極を露出しておいて、この電極間に発生する、流速に比例した起電力を測定している。液体が流れるパイプ部分の内径は2.5 mmから3,000 mmまであり、小さい物は薬品の注入など、ぼたぼたとたれる程度の測定に、大きい物はダムの放水やかんがいなどに使用され、上下水道などの公共分野だけでなく、食料、飲料、鉄鋼、製紙、ビル空調など、あらゆる産業分野で幅広く使用されている。

成長が期待できる海外市場で電磁流量計は、低温環境下で使用できること(優れた耐環境性)、高温・高腐食性・付着性・低導電率といった性状の流体でも測定できること(様々な流体への適用性)、及び配管内部が減圧(負圧)となっても内

部にはり付けてある絶縁物がはがれないこと(設置環境下でのロバスト性)などが必要である。

東芝は、このような優れた耐環境性、様々な流体への適用性、及び設置環境下でのロバスト性という海外市場でのニーズに応えるため、フランジ形電磁流量計検出器 LF650を開発した。

ここでは、このフランジ形電磁流量計検出器の概要と特長について述べる。

2 電磁流量計と検出器 LF650の概要

電磁流量計の外観を図1に、検出器 LF650の主な仕様を表1に示す。

電磁流量計は、配管に接続され流量に比例した微小信号を得るための検出器と、検出器のコイルに電流を供給し検出器からの信号を処理する変換器で構成される。

電磁流量計は、羽根車式や差圧式などの流量計と比較して下記のような特長があり、需要が伸びている。

- (1) パイプ内に障害物がないため本質的な圧力損失がなく、モータやポンプなどの小容量化が可能
- (2) 可動部がないため構造が簡単であり、故障が起きにくくメンテナンスが容易

(注1) ボルトなどで配管どうしを接続する部分(フランジ)を持つタイプ。

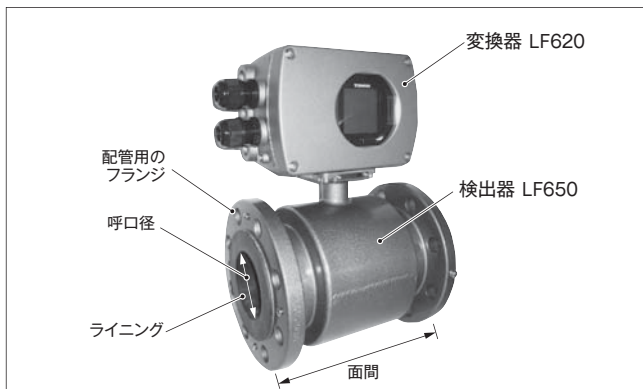


図1. 検出器と変換器が一体形の電磁流量計 — 配管に接続され、流量に比例した微小信号を得るための検出器と、検出器のコイルに電流を供給し、検出器からの信号を処理する変換器で構成される。

Combined-type electromagnetic flowmeter consisting of LF650 detector and LF620 converter

表1. 検出器 LF650の主な仕様

Main specifications of LF650

項目	仕様	
呼口径	15 ~ 450 mmの範囲で11種類 (一部の口径は、現在開発中)	
測定範囲	0-0.1 m/s ~ 0-10 m/s	
測定精度	±0.4 %FS (フルスケール)	
流体圧力	-0.1 MPa ~ フランジ呼び圧力	
流体温度	-20 ~ 120 °C	
導電率	3 μS/cm以上	
周囲温度	-40 ~ 60 °C	
面間	JISフランジ：東芝独自面間 海外規格フランジ：ISO規格面間	
上流直管長	5 D以上 (Dは呼口径の値) *実力値は図5参照	
ライニング	材質	フッ素樹脂 PFA PU (現在開発中)
	構造	PFAには負圧時はく離防止板入り
電極	材質	SUS316L (JISフランジの標準) ハステロイC (海外規格フランジの標準) タンタル、白金 (オプション)
	構造	内挿形気密構造
アースリング	SUS316 (標準) ハステロイC、タンタル、白金 (オプション)	
塗装	PU塗装	
湿度対策	首部分にエポキシ樹脂充てん	

JIS：日本工業規格 PU：ポリウレタン
PFA：テトラフルオロエチレン・パーフルオロアルキルビニルエーテル共重合体

(3) 測定対象が幅広く、測定流体の性状に最適な材質の選定が可能

(4) 温度、圧力、密度、及び粘度など流体の性状の影響を原理上受けないため、パラメータ設定や補正などが不要で制御が容易

最近、電磁流量計は、機能を限定して低価格化した廉価モデルと、流体への適用範囲が広くオプション選択肢が多い高機能モデルを中心にラインアップされる傾向にある。

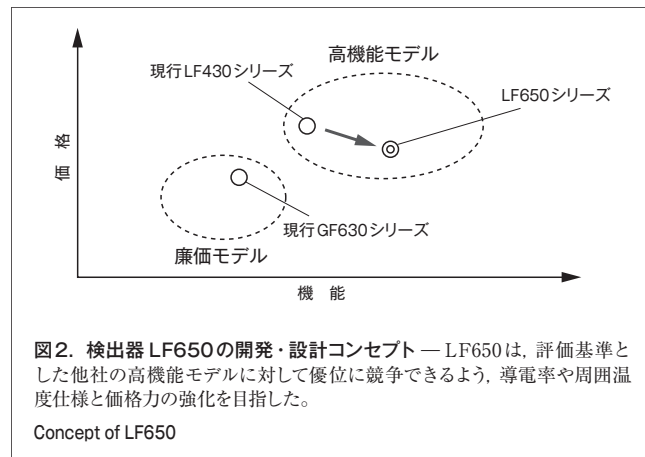


図2. 検出器 LF650の開発・設計コンセプト — LF650は、評価基準とした他社の高機能モデルに対して優位に競争できるよう、導電率や周囲温度仕様と価格力の強化を目指した。

Concept of LF650

検出器 LF650の開発・設計コンセプトは、評価基準とした他社の高機能モデルに対して優位に競争できるよう、導電率や周囲温度仕様と価格力などを強化することにした(図2)。更に、面間の長さを当社独自の長さからISO(国際標準化機構)規格の長さとする事で、他社製品との置換えが可能になることも目指した。

一方、当社の強みである、上流直管長が短くてよいという性能と長年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できるようにした。

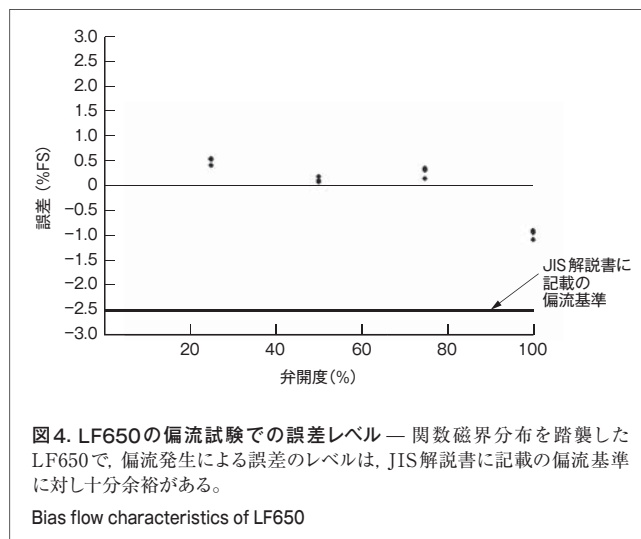
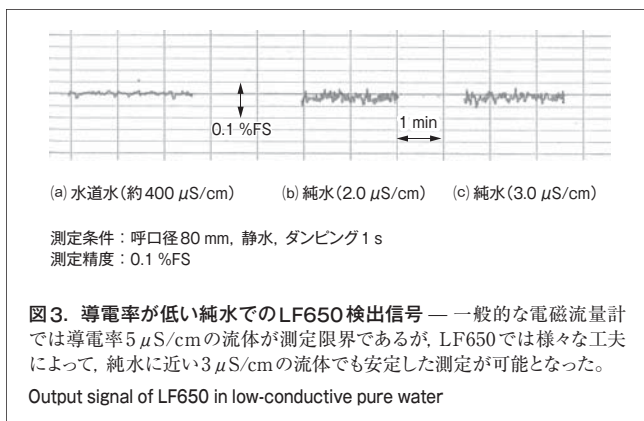
3 検出器 LF650の特長

3.1 優れた耐環境性を実現する構造

北欧やカナダなど周囲温度が-20 °C以下となる環境下では、キルド鋼などの特殊な場合を除いて、オーステナイト系ステンレス(300系)以外の金属は急速に脆化して容易に割れてしまう。しかし、SUS304などのステンレスには脆化がないため、-20 °C以下の低温環境下で使用する電磁流量計は一般にオールステンレスの場合が多く、コストが非常に高いのでオプション対応である。そこで当社は、鉄鋼を使用して低温対応設計を検討し、-40 °Cに耐えられる構造を実現した。

検出器は、配管内の圧力を受ける“圧力容器”であることから、国際的に圧力容器の設計基準となっているANSI/ASME Pressure Vessel Code(米国規格協会/米国機械学会 圧力容器規格)に準拠して設計した。低温対応には、この規格中の「フランジ呼び圧力の2.5倍の圧力が作用した場合に各部に発生する応力が、各部材料の最小引張強さの1/4以下であれば、その材料を使用して良い」という記述から、測定管の板厚や溶接部分の長さなどを含めたフランジ部全体の強度を計算し構造を決定した。この結果、一般的な溶接である隅肉溶接(注2)やV形状の溝では溶接の長さが足りず、より深い溶接となる

(注2) 直角に組んだ鋼板の継ぎ目に、肉を盛るようにして行う溶接方法。



R形状を採用した。深くなったことで多層盛りとなり、層間の融合状態や先端の溶け込み状態が良好となるような溶接条件を決定するため、溶接部分をカットして断面の状態を確認し、溶接の速度や電流値の最適条件を決定した。これにより、溶接技術の確立ができた。

3.2 様々な流体への適用性の向上

3.2.1 低導電率への対応 流体の導電率が低い場合は、磁場に直交した一対の電極間に発生する起電力を取り出しにくくなり、変換器へ送られる信号も弱くなって、信号対雑音(S/N)比が低下する。したがって、流体が電極をこすることによって発生し常に重畳している流体ノイズのレベルが信号に近くなり、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信号に近くなり、指示ふらつきの原因となる。

一般的な電磁流量計では、測定できる流体の導電率は $5 \mu\text{S/cm}$ が下限である。LF650では、前述のような低導電率の流体でも安定して測定できるよう、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、変換器LF620では、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を与えないようにした。これらの工夫により、図3に示すように、純水に近い $3 \mu\text{S/cm}$ の導電率でも安定した測定が可能となり、流体への適用範囲を拡大できた。

3.2.2 偏流への対応 流体中に発生する起電力は、電極近傍のほうが遠い位置より強いので、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LF650では、“関数磁界分布”と呼ばれ、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、当社独自の技術を踏襲した。

曲り管や各種弁などの偏流要因に近いほど流れの乱れ度合いが大きく、直管の場合では一般的に、偏流要因から管の直径(D)の5倍離れると偏流の影響はほとんどなくなると考えられている。偏流特性は、電磁流量計の上流部分に位置する偏流要因から電磁流量計までの直管部分の長さで表され、上流の

直管長が短いほど良い。

LF650の偏流試験での誤差レベルを図4に示す。上流3.3Dの位置にバタフライ弁を設置し、測定条件は呼口径80 mm、流速1 m/sである。LF650は、関数磁界分布を踏襲したことで、JIS解説書に記載の偏流基準より良好な特性を実現した。

上流の直管長を短縮できると配管スペースや施設規模をコンパクトにでき、装置や工事の総コストを低減できる。当社の電磁流量計は、その関数磁界分布から上流直管長が短い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。

3.3 設置環境下でのロバスト性

金属の測定管を腐食性流体から保護するため、測定管内にはライニングと呼ばれる絶縁性物質をはり付ける。代表的なライニングには表2のような種類と特徴がある。

ライニングは、流体への適用範囲及びコストを決めるうえで重要な要素である。今回、高機能モデルにはフッ素樹脂のPFA(テトラフルオロエチレン・パーフルオロアルキルビニルエーテル共重合体)を採用した。一方、PU(ポリウレタン)は、溶出性の確保がゴム中では容易なため、高機能ながらコストを抑えたモデル用として開発中である。

負圧対策としては、接着でライニングがはがれないようにするものと、ライニングモールド時に内部に板を入れるものがある。PFAでは、図5に示すような円筒多孔板をライニングの中に入れた。円筒多孔板を採用した理由は、特殊な処理をしないかぎりフッ素樹脂を接着できないためであり、また、厚くすると負圧に強くなるが、高価な材料なので薄くして材料コストを低減したいためである。

負圧による評価は、LF650の最高流体温度仕様(PFAの場合は 120°C)の恒温槽中にLF650を入れ、測定管内を実際に1分間負圧にしてから大気に解放する負圧サイクルを6,000回

表2. 各種ライニング材質の特徴

Properties of lining materials

項目	フッ素樹脂		ゴム			
	PFA	PTFE	PU	CR	EPDM	硬質ゴム
耐腐食性	◎	◎	△	△	○	△
高温特性	◎	◎	△	△	○	△
低温特性	◎	◎	△	△	○	△
耐付着性	◎	◎	△	△	○	△
耐摩耗性	△	△	◎	○	△	◎
耐O ₃ 性*1	◎	◎	○	△	◎	△
溶出性*2	◎	◎	○	△	×	△
施工性	○ モールド*3	△ 接着	○ モールド*3	◎ 接着	△ 接着	◎ 接着
負圧対策	◎ はく離防止用板	△ 対応不可	○ 接着強度に依存	○ 接着強度に依存	○ 接着強度に依存	○ 接着強度に依存

◎：優れている ○：やや優れている △：劣る ×：対応不可

PTFE：四フッ化エチレン樹脂 CR：クロロプレンゴム

EPDM：エチレンプロピレンゴム

硬質ゴム：天然ゴムに硫黄を加えたもの。別名エポナイト。

*1：高度水処理で使用されるオゾン(O₃)に対する特性。

*2：米国の公衆安全衛生に関する基準NSF/ANSI 61 (Drinking Water System Components - Health Effects) への対応可能性。

*3：溶融した材料を金型のすき間に流し込むこと。

表3. 各地域で要求される規格と基準

Required specifications and standards in each region

地域	対応が必要な規格, 基準
日本	溶出基準：平成12年厚生省令第15号
北米	防爆構造：FM (Factory Mutual) 防爆 (FM 3611 Division 2) 溶出基準：NSF/ANSI 61 (Drinking Water System Components - Health Effects)
欧州	CE (European Conformity) マーキング：圧力容器指令 (PED：Pressure Equipment Directive)

規格に適合するように開発し、規格取得までの期間短縮を図った。特に、溶出基準については十分な検討を行い、接液部であるライニング材を選定した。これは、ここ1、2年で北米の公衆安全衛生に関する市場の要求が、米国FDA (Food & Drug Administration) に登録された材料を使用していればよいという考えから、材料自体の溶出特性だけでなく、製造時に使用される接着剤などを含めた電磁流量計全体として、NSF規格^(注3)に準拠した溶出試験に合格することが求められるようになったためである。

5 あとがき

海外市場のニーズに応えるために、フランジ形電磁流量計検出器 LF650を開発した。LF650は、北欧やカナダなどの-20℃以下となる低温環境下でも、鉄鋼がぜい性破壊しない構造設計と溶接を実施することで優れた耐環境性を持ち、絶縁物であるフッ素樹脂が負圧になってもはがれない工夫をしてはり付けることで、様々な流体への適用性と設置環境下でのロバスト性を実現した。

今後は、高品質を維持しながら早急にこの電磁流量計の製造を立ち上げ、故障が少なくメンテナンスフリーをセールスポイントに、海外だけでなく国内の市場へも提供していく。

文献

- (1) JIS B 7554：1997. 電磁流量計. 日本規格協会.
- (2) 野沢雅人, ほか. 電磁流量計の技術動向. 計測技術. 10, 2008, p.16-19.
- (3) 小川 胖. 電磁流量計の歴史. 計測技術. 5, 2004, p.48-51.

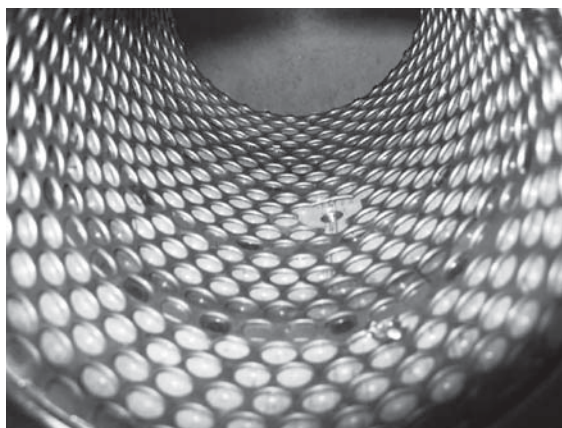


図5. 負圧対策の構造 — LF650では負圧対策として、ライニングモールド時に内部に円筒多孔板を入れ、測定管内面からはがれないようにした。

Structure protecting against negative pressure

実施して、はく離や変形がないことを確認した。6,000回は、1日に朝夕2回負圧になったとして約10年分に相当する。

4 グローバル規格への対応

この電磁流量計をグローバルに事業展開するためには、世界の各地域ごとに要求される各種規格(表3)に適合する必要がある。

LF650は、設計段階から構造や材料などがこれらの各種

(注3) 様々な製品に対する公衆衛生や安全にかかわる要求事項を規定し、多くがANSIに採用され、全米規格となっている。



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