

# 最新のフィールド計測技術

## Latest Field Measurement Technology

金子 裕行

中村 隆樹

菊池 宏

■ KANEKO Hiroyuki

■ NAKAMURA Takaki

■ KIKUCHI Hiroshi

各種製造プロセスのフィールドで使用されるセンサは、量的センサと質的センサに分類される。量的センサとしては、流量と圧力、レベル、温度のセンサがある。質的センサとしては、濃度計などの水質計器がある。この分野における東芝の主力機種は、電磁流量計とマイクロ波濃度計である。

今回、マイクロ波汚泥濃度計の検出部の着脱が容易な挿入形を開発し、メンテナンス性を大幅に向上させた。また、電磁流量計については、世界的に普及が進んでいるデジタル通信方式のフィールドバス<sup>(注1)</sup>であるPROFIBUSを採用した機種を開発し、今後ほかの製品への適用を拡大していく。

Sensors used in the field for various manufacturing processes can be classified into quantitative sensors and qualitative sensors according to the objects of detection. Examples of quantitative sensors include sensors of gas and liquid flows, pressure, level, and temperature, while examples of qualitative sensors include water quality meters such as density meters. Toshiba's main products in the industrial sensor market are electromagnetic flowmeters and microwave density meters.

In order to improve the maintenance of microwave density meters, we have developed a new insertion type meter whose antenna is easy to disassemble. Moreover, the new model adopts PROFIBUS, the globally popular fieldbus for digital communication of process control.

## 1 まえがき

各種製造プロセスのフィールドで使用されるセンサには、用途や測定対象物の様相によって様々なものがあるが、量的センサと質的センサに大きく分類される。量的センサとしては、流量と圧力、レベル、温度のセンサがある。質的センサとしては、一酸化炭素濃度を測定する気体系の大気センサやpH（水素イオン濃度指数）を測定する液体系の水質センサがある。

東芝は、流量と圧力、レベル、温度のセンサのほか、水質センサやタービンの振動などを検知するセンサを製品化している。これらのなかで主力機種は、電磁流量計と水質の固形濃度を測定するマイクロ波濃度計である。マイクロ波濃度計には、同じ原理で一般産業向け（製紙や食品、コンクリート、化学）と水処理を対象とした製品がある。

ここでは、新たに開発した水処理場を対象としたマイクロ波汚泥濃度計と、電磁流量計で採用したフィールドバス的一种であるPROFIBUSの対応状況について述べる。

## 2 メンテナンス性を重視した マイクロ波汚泥濃度計の開発

下水処理場の汚泥処理プロセスにおける汚泥濃度の測定

(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。

及び管理は、汚泥資源の有効利用や汚泥処理プロセスの省エネルギーの観点で重要である。汚泥濃度を正確かつ連続的に測定し、その値を指標として、薬品注入や、脱水、焼却など汚泥処理プロセスの効率良い運転が要求されている。

通常、下水は、処理の最終工程で河川放流水と脱水汚泥に分離している。この下水処理プロセスの中では、返送汚泥や余剰汚泥、脱水機供給汚泥、脱水汚泥などの濃度測定が行われている。汚泥濃度の測定に用いるセンサは、検出部の汚れや気泡の影響を受けず、メンテナンスの頻度が少ない製品とする必要がある。

当社は、マイクロ波位相差測定方式により、配管中を流れる汚泥の濃度を連続的に測定するマイクロ波汚泥濃度計を製品化してきた。新たに製品化したマイクロ波汚泥濃度計LQ165F形について、以下に述べる。

### 2.1 マイクロ波汚泥濃度計の概要

測定原理は、汚泥濃度に応じてマイクロ波の伝わる速度が変化することを利用し、その速度変化を位相変化として検出することを基本原理とした“マイクロ波位相差測定方式”を採用している。清水（濃度0%）中を伝搬したマイクロ波の受信波の位相遅れと被測定物質中を伝搬したマイクロ波の受信波の位相遅れとの差を求めると、この位相差と被測定物質濃度との間には非常に良好な直線関係がある。これを利用して被測定物質の濃度を測定している<sup>(1)</sup>。

マイクロ波汚泥濃度計は、ほかの超音波式や光学式に比

べ、主に次のような特長がある。

- (1) 汚れに強い 汚れや付着の影響を受けにくい
- (2) 測定範囲が広い 50%の高濃度域まで良好な直線性がある
- (3) 機械的可動部がなく、消耗部品がない
- (4) 測定原理上、流速の影響を受けない
- (5) 高精度である 繰返し性はフルスケール (FS) が2% TS (Total Solids: 全固形分=溶解性物質+非溶解性物質) 以上のとき $\pm 2\%$  FS

## 2.2 新形マイクロ波汚泥濃度計の製品化

マイクロ波汚泥濃度計は市場で良い評価を得ている。しかし、顧客からメンテナンス性をもっと良くしてほしいとの要望が出ていた。具体的には、計器校正時に大量の水と時間が必要なこと、アンテナの汚れや摩耗が点検しにくいこと、検出部が着脱できず点検や修理に出しにくいなどである。そこで新形マイクロ波汚泥濃度計LQ165F形では、メンテナンスフリーに近づけるため検出器の構造を見直し、検出部の着脱が容易な挿入形とするよう開発に着手した。

開発の条件としては、配管の口径が80~300 mmと変わっても検出部を同一とし、配管中のアンテナによる圧力損失が少なく、汚泥の付着や繊維状混入物の絡み付きがない構造とすることが必要である。そのためには、マイクロ波を送受信するアンテナ自体の小型化と、二つあるアンテナ間の距離短縮が課題となった。

アンテナはアンテナ素子とその周辺部から構成される。“アンテナ自体の小型化”については、従来製品と比べ小型のアンテナ素子を採用するとともに、周辺で使用していた材質を見直した。アンテナの寸法は、一般に $\sqrt{\epsilon_r}$  ( $\epsilon_r$ :比誘電率)に反比例することが知られている。つまり、アンテナ素子周辺に高誘電率の材料を採用することで、アンテナサイズを縮小することができる。従来、製品のアンテナ素子周辺は樹脂材料を使用していたが、樹脂材料を比誘電率が高い誘電体セラミックに変更した。その結果、樹脂材料を使用したときに比べ、アンテナ長を約1/3にすることができた。

マイクロ波位相差測定方式の場合、マイクロ波が汚泥中を伝搬する距離を長くして、マイクロ波の位相変化を大きくとらえたほうが外乱に強い安定した濃度測定が行える。したがって、製品の直線性や分解能などを向上させるためには、マイクロ波を送受信する2本のアンテナ間の距離をできるだけ長く確保する必要がある。従来製品では配管の左右両極の管壁にアンテナを設置していた。しかし、今回の開発では、両アンテナ部分を一度に着脱できる挿入形にすることと、挿入部分が取り扱いしやすいようにできるだけ小型化する必要がある。“アンテナ間距離の短縮”を図った。そのためには、配管内壁の反射波の受信ノイズの低減とマイクロ波強度の確保が必要である。マイクロ波の放射角度を絞りノイズを低減すると、マ

イクロ波強度の確保ができなくなるため、アンテナの長さやマイクロ波を送受信する窓の最適な形状が開発のポイントとなった。開発の結果、従来の1/2のアンテナ間距離を達成することができた。

更に、汚泥の付着や繊維状混入物の絡み付きがない構造とするため、アンテナカバーは流線形として汚泥の抵抗を小さくし、アンテナとしての最終形状が決定された。

今回開発したマイクロ波汚泥濃度計LQ165F形の検出器の内部写真を図1に、検出部の着脱のようすを図2に示す。

検出部の着脱が可能となり、以下の効果が得られた。

- (1) ゼロ点校正が容易 従来のゼロ点校正は配管中の汚泥を抜き取り、その後清水で満たす必要があった。検出部を容易に外せるようになったことで、清水を満たした容器などに浸すことでゼロ点校正が容易に実施できる。



図1. マイクロ波汚泥濃度計LQ165F形の検出器内部 — 小型のアンテナ素子の採用と周辺の材質を見直すことで、配管中の突起部を最小限にすることができた。

Detector of LQ165F microwave density meter

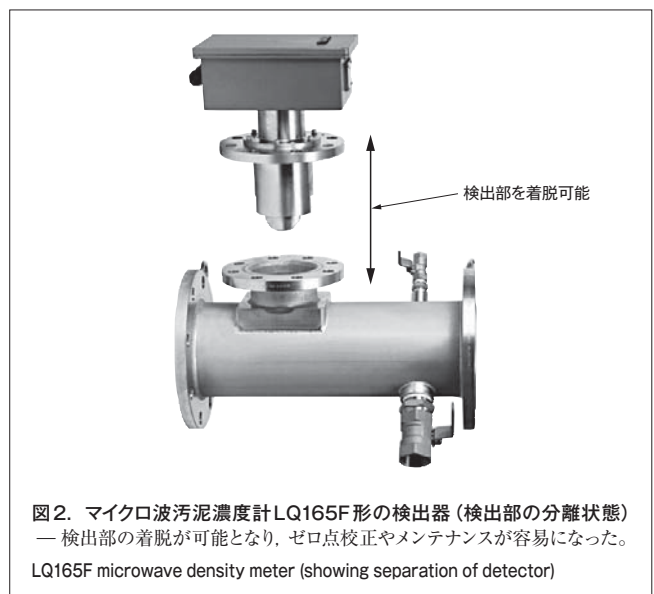


図2. マイクロ波汚泥濃度計LQ165F形の検出器 (検出部の分離状態) — 検出部の着脱が可能となり、ゼロ点校正やメンテナンスが容易になった。

LQ165F microwave density meter (showing separation of detector)

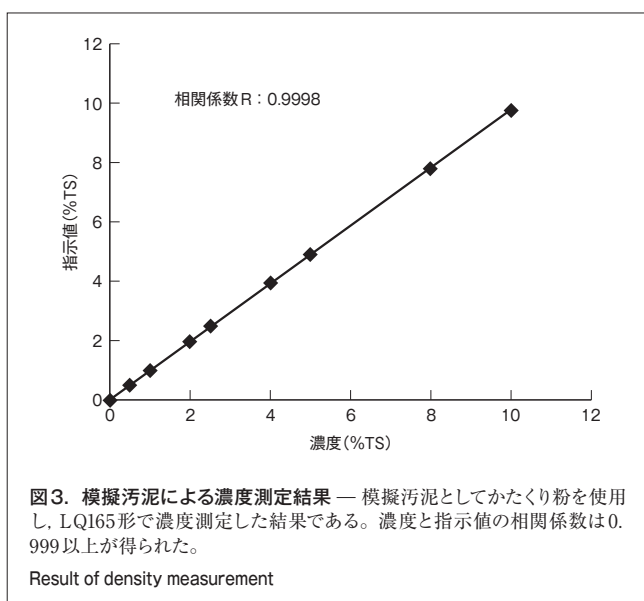
(2) 検出部の修理，目視点検や洗浄が容易 検出部だけを外せるので，検出部を修理に出すことができ，またアンテナ部分の汚れの目視点検やアンテナ部分の洗浄が容易にできる。

(3) リプレースが容易 従来形の間面距離（製品の配管の長さ）と合わせた専用短管を準備している。また，LQ165Fのリプレースは検出部だけを交換することで実施できる。

従来，口径を大きくすると電気伝導率仕様を低下させていた（口径300A：6 mS/cm以下）が，配管口径によらずアンテナ間距離が同一となったため，電気伝導率仕様は20 mS/cm以下に統一することができた。

### 2.3 評価結果

製作したマイクロ波汚泥濃度計LQ165F形を用いて，模擬汚泥にかたくり粉を使用した濃度測定の試験結果を図3に示す。清水にかたくり粉を加えていき，濃度10% TSまで測定した結果，相関係数0.999以上という良好な結果が得られた。



### 2.4 開発終了状況

配管口径に左右されない，同一の検出部を持つ挿入形マイクロ波汚泥濃度計の開発ができた。従来，マイクロ波を使用した濃度計は測定原理から汚れに強く，メンテナンスの頻度が低いため，必ずしもアンテナの目視点検や洗浄のしやすさを考慮した製品ではなかった。一方で，光学式の濃度計は測定原理から汚れに弱いため，メンテナンスが容易にできることが必要な製品であり，メンテナンスしやすいところがセールスポイントであった。

今回の開発でマイクロ波汚泥濃度計は，光学式並みのメンテナンス性を達成することができた。仕様上，ほとんどの項目でマイクロ波の優位性が示されている。

## 3 PROFIBUS対応

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。フィールドバスとして，DC4～20 mAのアナログ信号にデジタル信号を重畳するタイプのHART<sup>(注2)</sup>と完全なデジタル通信方式を採用したF.F. (Foundation Fieldbus) 又はPROFIBUSを選択することができる。F.F.は北米中心に普及しており，PROFIBUSは欧州が主体である。

日本国内では依然として，DC4～20 mA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況である。デジタル通信方式のF.F.とPROFIBUSにおける国内メーカーの採用については，すみ分けが進みつつあり，どちらかに一本化するような状況ではなく，普及にはもう少し時間が掛かる状況である。

現在，HARTについては電磁流量計だけでなく，圧力伝送器や，マイクロ波濃度計で対応できる。デジタル通信方式については，今回，電磁流量計LF600形をPROFIBUSに対応させた。

LF600形はグローバルを視野に入れた戦略的製品であり，海外では必須となりつつあるフィールドバスに対応させる必要があった。フィールドバスのなかでPROFIBUSを採用したのは，将来大きなマーケットになる中国の要求仕様にPROFIBUSを指定されることが増えているからである。最終的な製品コストや開発コスト，開発期間などを考慮するとPROFIBUSが優位であることも採用の要因である。

電磁流量計LF600形のPROFIBUS対応状況について，以下に述べる。

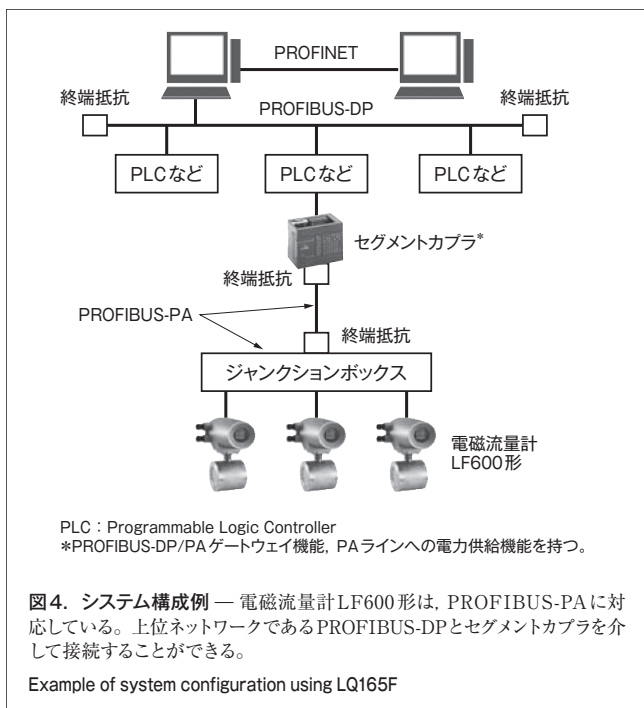
### 3.1 電磁流量計LF600形のPROFIBUS対応

PROFIBUSは，FA分野向けの高速度・大容量通信が可能なPROFIBUS-DPや，PA分野向けの2線式通信を採用したPROFIBUS-PA，産業用Ethernetを使用するPROFINETなど様々な種類がある。電磁流量計LF600形は，フィールド機器用のPROFIBUS-PAに対応させた。システム構成例を図4に示す。

電磁流量計LF600形では，PROFIBUS機能をオプションボードで対応させることで，電磁流量計変換器メイン基板を標準仕様品と共通化させるとともに，変換器本体のソフトウェアも共通化させた。

端子台接続については，PROFIBUS機能付きの場合，アナログ出力用端子をそのままPROFIBUS用に流用し，内部で切り替える方式とした。PROFIBUS機能付きの場合，アナログ出力機能は使用できなくなるが，PROFIBUSによる測定デー

(注2) HARTは，HART Communication Foundationの登録商標。



タの通信が可能になるため問題はない。

### 3.2 インタオペラビリティ

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。電磁流量計LF600形はオランダにあるPROCENTECで認証試験を実施し, 合格している。

これらの接続試験のほか, 東芝統合コントローラのPROFIBUSマスタ機器であるPF611形との接続試験を実施した。ピーアンドエフ社製のセグメントケーブルを使用することで, データ交換ができることを確認している。

また, 日本プロフィバス協会主催の技術セミナー PROFIBUS DAY 2006, 2007ではデータ通信展示に出展し, 好評を得た。

## 4 あとがき

マイクロ波汚泥濃度計に関する汚泥処理プロセスでは, 濃度監視を必要とする場所が多くある。濃度の自動測定は手分析作業を軽減するとともに, 連続的な濃度測定が可能となり, 汚泥処理プロセスの運転管理を最適にするための指標とすることができる。今後もマイクロ波汚泥濃度計の特長を生かし, メンテナンスフリーに近づく, 使いやすい製品の開発を進める。

電磁流量計に採用したPROFIBUSについては, 開発で得たノウハウを基に, 他製品のPROFIBUS対応を検討する。今後も, PROFIBUS以外の通信への適用も積極的に行い, 最先端技術に対応する製品をタイムリーに供給していく。

## 文献

- (1) Yamaguchi, S. New Type of Sludge Density Meter Using Microwaves for Application in Sewage Treatment Plants. Wat.Sci.Tech. 33, 1, 1996, p.53 - 60.



金子 裕行 KANEKO Hiroyuki

産業システム社 府中事業所 計測制御機器部。  
マイクロ波濃度計の開発・設計業務に従事。  
Fuchu Complex



中村 隆樹 NAKAMURA Takaki

産業システム社 府中事業所 計測制御機器部。  
計測機器全般の変換器及びソフトウェアの開発・設計業務に従事。  
Fuchu Complex



菊池 宏 KIKUCHI Hiroshi

産業システム社 府中事業所 計測制御機器部。  
計測機器の開発・設計業務に従事。  
Fuchu Complex