

## 最新フィールド計測技術

New Measuring Instrument Technologies

太尾 誠

FUTOO Makoto

東芝は、最新フィールド計測技術として、非接液電極形電磁流量計とマイクロ波濃度計を開発した。非接液電極形電磁流量計は、従来の電磁流量計では測定が困難であった低導電率流体などに適用が可能となった。またマイクロ波濃度計は、当社独自のマイクロ波位相差測定方式を用いた濃度計であり、製紙、セメント、食品業界などで使用されている。ともに今後多くの分野で活躍が期待できる製品である。

This paper introduces two new measuring instruments employing new technologies: a capacitance type electromagnetic flowmeter and a microwave density meter. The capacitance type electromagnetic flowmeter can be applied to new fields where measuring is difficult with existing electromagnetic flowmeters, such as low-conductivity fluids. The microwave density meter is based on the phase difference method using microwaves, which is a Toshiba original measuring principle, and is useful in various fields including the pulp and paper industry and the food industry. The applications for these instruments are expected to further widen in the future.

## 1 まえがき

上下水、鉄鋼、製紙、食品、化学などの各種プロセスにおいて、効率良く運転するためには流量、圧力、温度、濃度といったフィールド情報を管理することが重要なポイントである。これらのフィールド情報をとらえるセンサに対する要求としては、高精度、安定性、耐久性といった基本事項に加え、省エネルギー（低消費電力化）、メンテナンスの省力化も要求されてきている。

一方、高性能マイクロコンピュータ搭載による高度かつ複雑な信号処理技術、複合センサによる複数パラメータの検出、ICの高機能・小型・低消費電力化による製品の小型軽量・低消費電力化など、電子回路技術の進歩によりセンサの性能もユーザーの要求に応えながら飛躍的に向上してきた。

最近の動向としては、測定対象に非接触で測定するセンサ、マイクロ波を応用したセンサ、画像処理技術を駆使したセンサなどが登場してきている。

ここでは、東芝が開発した非接液電極形電磁流量計とマイクロ波濃度計について述べる。

## 2 非接液電極形電磁流量計

## 2.1 流量計

流量計は上下水道、電力、食品、製紙、石油・化学、土木、建築、空調など各種産業分野における上下水、工業用水、原料、製品、冷却水、排水などの流量制御や管理に使用されている。流量計には、その測定原理により、電磁式、絞り式（差

表1. 他方式流量計との比較表

Flowmeter comparison table

項目	電磁式 (非接液電極)	電磁式 (接液電極)	絞り式 (差圧)	容積式	面積式	超音波式	コリオリ式 (質量)	渦式
測定対象	導電性液体 0.01 $\mu\text{S/cm}$ ~	導電性液体 5 $\mu\text{S/cm}$ ~	液体・気体	液体	液体・気体	液体・気体	液体・気体	液体・気体
可動部	なし	なし	なし	あり	あり	なし	なし	なし
管路内 障害物	なし	なし	あり	あり	あり	なし	なし	あり
圧力損失	なし	なし	大	大	大	なし	やや大	大
偏流影響	小	小	大	小	小	大	中	大
精 度								
レンジ アビリティ	1 : 20	1 : 100	1 : 10	1 : 20	1 : 10	1 : 20	1 : 100	1 : 50
固形分 影響	小	小	大	大	大	中	大	大
付着影響	小	中	大	大	大	中	大	大

圧)、容積式、面積式、超音波式、コリオリ式(質量)、渦式など様々な方式のものがあり、その比較を表1に示す。

電磁流量計は高精度のうえ、測定管内部には突出物や機械的な可動部品がないため、メンテナンスフリーである。また、流体中に固形分が含まれていても(このような流体をスラリー流体という)測定できるなど様々な面で優れた特長を持ち合わせている。高精度はもとより、このような導入メリットから、従来から使用されていた差圧式や容積式流量計から電磁流量計への移行が進んでいる。

## 2.2 非接液電極形電磁流量計の特長

昨今、飲料業界の各社では、ウーロン茶、緑茶など様々なお

茶を販売している。飲料メーカーでは、従来は水道水、井戸水、天然水などの飲料水で茶葉を煮出していた。しかし、季節の違いなどで水の成分が変わるため、品質、特に味の管理が難しかった。そこで、天然水などを使用している一部のものを除き、イオン交換水やRO水(逆浸透水)などのような純水が使用されている。前述したように様々な特長を持つ電磁流量計であるが、純水のような低導電率流体の測定は困難であった。

ここで、電磁流量計で測定が困難なアプリケーションの例をあげる。

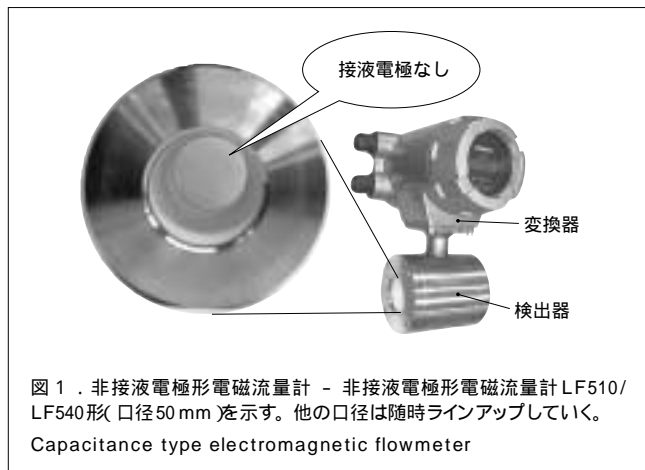
- (1) 低導電率流体の流量測定 原理上、測定流体は導電性のものに限られ、水道水程度の導電性があればまったく問題ないが、低導電率である純水、アルコール、油などの流体は安定して測定できない。
- (2) 高濃度スラリー流体の流量測定 紙の原料液(パルプスラリー液)のように流体中の固形分を含み、接液する電極とこの固形分が衝突するときに発生するノイズにより指示が不安定になる。

もっとも、スラリー流体は他方式の流量計でも測定自体困難なものであるうえ、当社の電磁流量計は従来からスラリーノイズ除去技術で他社より優れた特長を持っており、パルプスラリー液、セメントミルク、果肉入りヨーグルトなどといった流体の流量測定で実績がある。

- (3) 付着性流体の流量測定 接液する電極表面が油膜など絶縁性付着物で覆われると起電力を検出することができなくなり、測定できなくなる。

スラリー流体を除き、これらのアプリケーションの場合は、容積式流量計を用いることが多いが、機械的可動部があるため定期的なメンテナンスが必要である。メンテナンスフリーである電磁流量計を改善し、これらの測定が困難であったアプリケーションに適用できるようにしたのが非接液電極形電磁流量計LF510/LF540形である(図1)。

従来の電磁流量計は電極が接液する構造であるのに対し、非接液電極形電磁流量計は、起電力測定部をセラミック

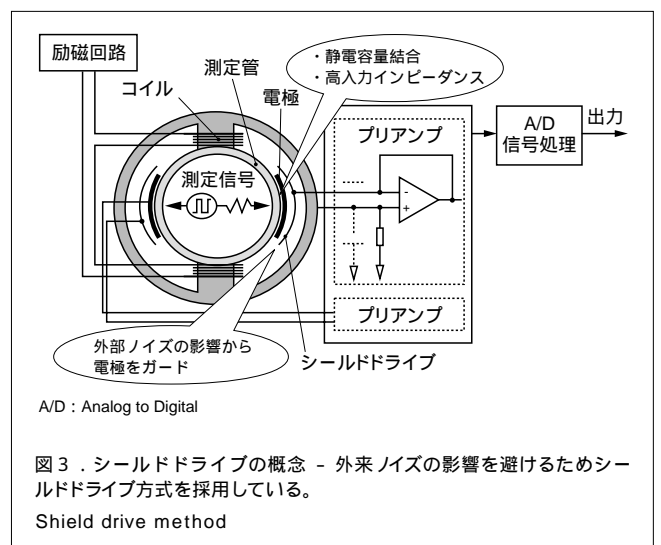
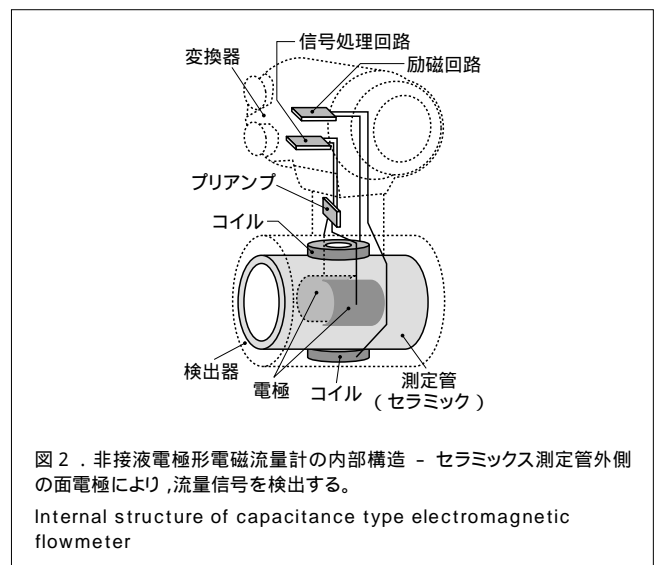


測定管の外側に面電極として形成しており、流体と容量結合することで起電力を検出する(図2)。したがって、電極は流体に接することがない。

このため、前記した高濃度スラリー流体も測定でき、付着に対しても影響を受けにくくなっている。

また、流体と容量結合することによって入力インピーダンスを高くすることができ、より低導電率の流体を測定することができる。導電率で0.01  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以上の流体が測定可能であり、純水、アルコール類など低導電率流体への適用が考えられる。

非接液電極構造を実現するにあたり、技術的課題の一つはノイズの影響低減である。非接液電極は、流体と容量結合しているため入力インピーダンスが数Gと非常に高い(従来100M)。外来ノイズの影響を避けるため、入力回路には電極を同電位のガードで覆うシールドドライブ方式を採用している(図3)。

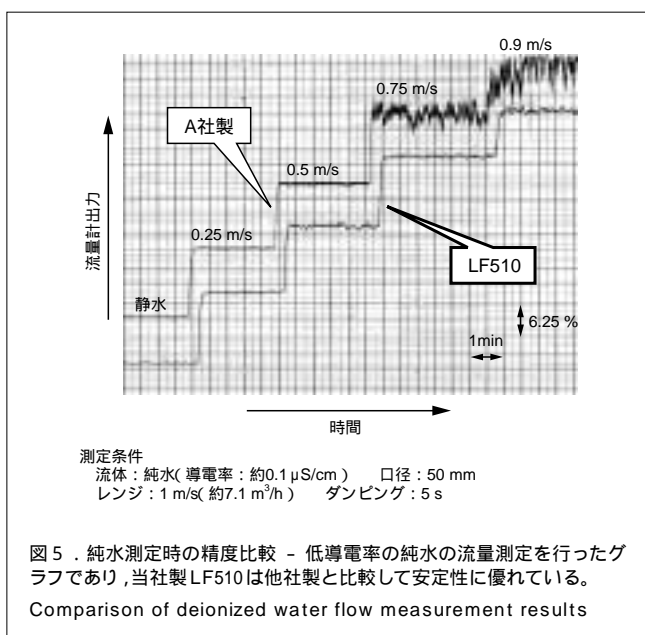
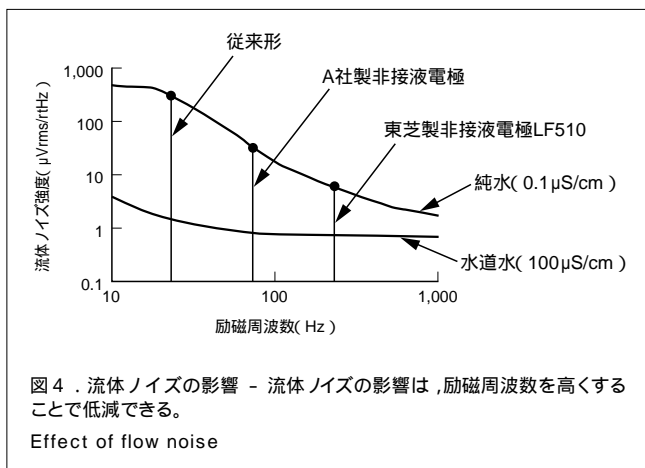


### 3 マイクロ波濃度計

一方、流体が流れるときに測定管と流体との接触で発生する流体ノイズは、流体の導電率が低くなると大きくなり、指示の不安定要因となる。図4に示すように、流体ノイズは励磁周波数(磁界を印加する周波数のこと)を高くすると影響が小さくなる。したがって対策としては、励磁周波数を従来形の約8倍とすることで、流体ノイズの影響を低減している。

ひとくちに励磁周波数を高めるといっても、これは磁気回路の応答性や励磁回路の駆動効率の向上、信号処理の高速化などの改良により実現したものである。

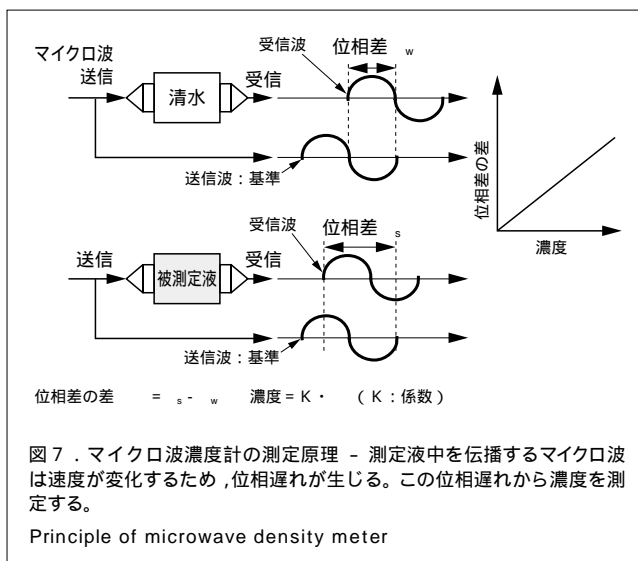
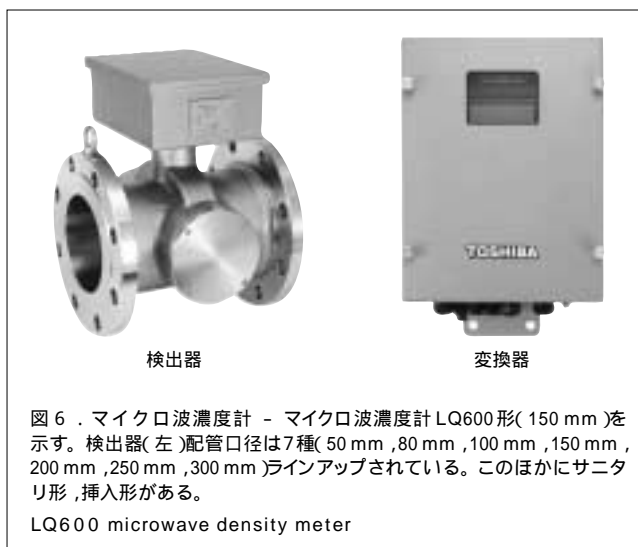
図5は導電率が約0.1 μS/cmの純水の流量測定結果である。流体ノイズは流速が増すにつれて大きくなる。しかし、当社製は前述したノイズ対策により、流速が上昇しても、安定していることがわかる。低導電率流体測定時の流速上限仕様としては、0.1 μS/cm時に3 m/sと実用流速での使用を可能としている。この仕様は、非接液電極形電磁流量計の適用範囲拡大におおいに貢献するものである。



濃度計とは、液体中に溶け込んだ物質の質量と、溶け込まない物質(固体が粒状に分散した状態)の質量との合計を質量濃度として測定する計器である。従来からも超音波や光の減衰を測定する方式(超音波式、光学式)や、流体による応力を測定する方式(機械式)の濃度計が使用されていたが、当社はマイクロ波濃度計 LQ167C を1995年に発売し、製紙(パルプ原料、パルプ汚泥など)、建材(建材ボード原料など)、食品(コンスターチ、コーヒー、製糖など)といった多数のフィールドに採用されてきた。現在はその後継機種であるマイクロ波濃度計 LQ600を製品化している(図6)。

#### 3.1 マイクロ波濃度計の原理

マイクロ波の伝播(でんぱ)速度は、伝播媒体の誘電率により変化する。また、液体の濃度に応じて誘電率が変化するため、マイクロ波の伝播速度変化を測定することで被測定対象



の濃度を求めることができる。この伝播速度変化を送信波に対する受信波の位相差としてとらえる方式が当社独自の“マイクロ波位相差測定方式”である。その測定原理を図7に示す。

マイクロ波の送信・受信アンテナは、配管と直行する方向に対向するように取り付けられている。マイクロ波は配管内部を透過し、受信アンテナでは位相遅れが生じる。濃度0%とみなせる清水での位相遅れを  $w$ 、被測定液での位相遅れを  $s$  とすると、これらの差 ( $= s - w$ ) は濃度と直線関係となる。この関係から濃度を求めることができる。

なお、誘電率は温度により変化するため、マイクロ波の伝播速度、すなわち位相差も液温の影響を受ける。これを改善するためマイクロ波濃度計内部では液温補正を行っている。

他の測定方式濃度計との比較を表2に示す。マイクロ波濃度計は測定範囲が広いうえ、原理上、付着や流速の影響を受けない。更に、測定管内部には機械的な可動部品がないためメンテナンスフリーである、といった様々な面で優れた特長を持ち合わせている。

表2．他方式濃度計との比較表  
Density meter comparison table

項目	マイクロ波式	超音波式	光学式	ブレード式	回転式
測定原理	マイクロ波の伝播速度の変化	超音波の減衰	透過光の減衰	ブレードが受けるせん断応力測定	回転羽根が受けるせん断応力測定
濃度測定範囲	0～50%TS	0～10%	0～1.2%	1.5～16%	1～10%
付着の影響	影響なし	ほとんど影響なし	影響を受ける	ほとんど影響なし	ほとんど影響なし
気泡の影響	影響を受けにくい	影響を受ける	影響を受ける	ほとんど影響なし	ほとんど影響なし
流速の影響	影響なし	影響なし	影響なし	影響を受けやすい	影響を受けやすい
可動部	なし	なし	なし	あり	あり
管内突起物	なし	なし	なし	あり	あり

TS：Total Solids(全固形成分)

### 3.2 濃度測定事例

マイクロ波濃度計による測定事例と適用事例を述べる。

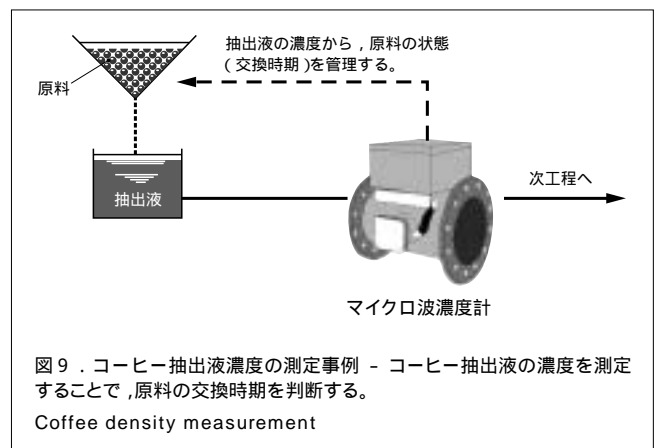
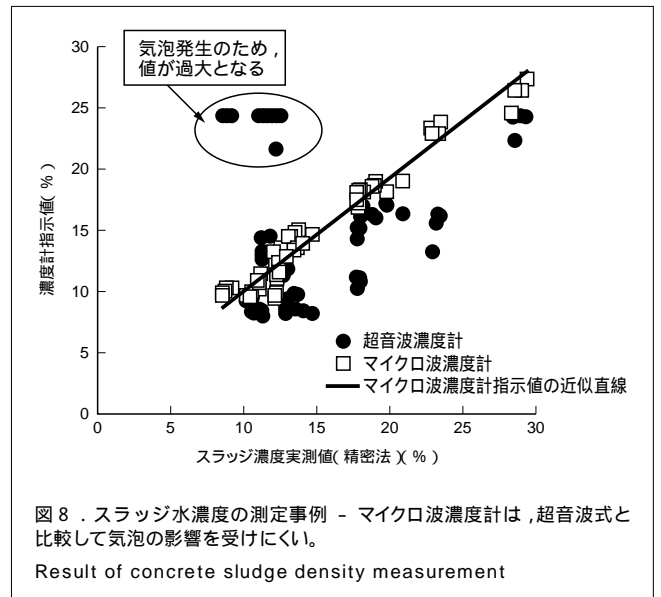
3.2.1 生コンスラッジ濃度測定事例 図8は、生コンクリート(以下、生コンと略記)回収水処理設備で生コンスラッジ水濃度をマイクロ波濃度計と超音波濃度計とで同時測定した結果である。生コンスラッジとは、戻りコンと呼ばれるコンクリートミキサー車内の余剰生コンなどを洗浄したときに生じる排水で、産業廃棄物であるが、この再利用が行われている。再利用には、生コンスラッジの正確な濃度管理が必要である。従来は超音波濃度計が利用されていたが、生コンの中に含まれる気泡の影響を受け十分な測定ができなかった。この事例から、前述したマイクロ波濃度計が気泡の影響を受けにくいことが証明されている。

3.2.2 コーヒー抽出液の濃度測定適用事例 図9は、コーヒーマーカーでコーヒー豆から抽出した液の濃度測定への適用事例である。従来は、作業員が目視又は原料の量などから原料の交換時期を判断していた。これを、マイクロ波濃度計の濃度指示値が低下したことを信号で受けて原料を交換するという、機械化した事例である。

3.2.3 パルプ液濃度測定事例 図10は、製紙メーカーで行ったパルプ液濃度の連続測定結果である。ここで絶対濃度とは、サンプリングしたパルプ液を乾燥させ、水分を除いた質量を測定し算出した濃度値である。この絶対濃度とマイクロ波濃度計の指示がほぼ一致していることがわかる。このようにマイクロ波濃度計は、抄紙工程の前工程という、製造される紙の品質にかかわる重要な工程で使用されている。

### 3.2.4 焼酎(しょうちゅう)アルコール度測定事例

図11は、焼酎のアルコール度の測定結果である。ここで記載されたRは相関係数といい、アルコール度とマイクロ波濃度計の指示との相関関係を表している。一般に相関係数が0.9



より大きいと相関が良いと言い、グラフに示すように、0.9996と非常に相関が良いことがわかる。また、アルコールのように水に溶けている液体の濃度が測定できるのも、マイクロ波濃度計の特長の一つである。

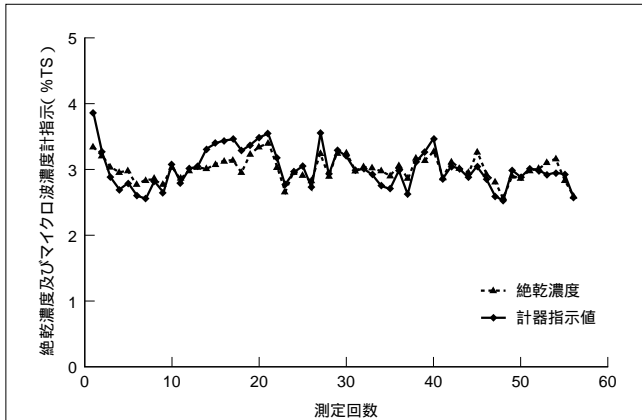


図10 . パルプ液濃度の測定事例 - パルプ液の濃度を連続測定した結果であり、絶対濃度の変化に追従している。  
Result of pulp density measurement

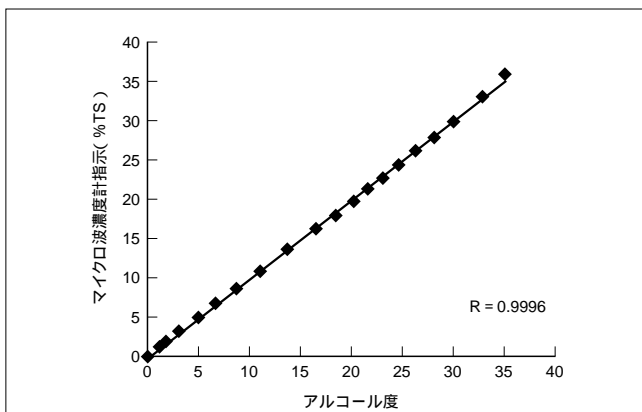


図11 . 焼酎アルコール度の測定事例 - アルコールのように水に溶け込んでいる物質の濃度を測定できるのも、マイクロ波濃度計の特長の一つである。  
Result of alcohol content measurement

## 4 あとがき

最新フィールド計装技術として、当社が開発した非接液電極形電磁流量計とマイクロ波濃度計について、その原理、特長、適用事例を述べた。

非接液電極形電磁流量計は、従来の電磁流量計では測定が困難であった分野への適用が可能である。今後、食品・医薬品分野向けのサニタリ仕様や、石油・化学分野向けの防爆仕様をラインアップしていく。また、マイクロ波濃度計は食品分野向けのサニタリ形や、配管口径が大きいラインやタンクにも適用できる挿入形もラインアップしている。

今後、フィールドでの実績を積み上げるとともに、機能を充実させ、より良いセンサとして更なる向上を図っていく。

なお、今回紹介した製品の仕様は、計装機器のウェブサイト <http://www3.toshiba.co.jp/sic/seigyo/find/> に掲載している。

## 文 献

- (1) 平井 錬造,ほか . マイクロ波濃度計 . 東芝レビュー . 56 , 10 , 2001 , p.12 - 14 .
- (2) 太尾 誠 . マイクロ波濃度計の最新技術 . 紙パルプ技術タイムズ . 2 , 2002 , p.29 - 35 .



太尾 誠 FUTOO Makoto

電力・社会システム社 電機・計測事業部 電機・計測マーケティング部。計測機器のマーケティング、商品企画、営業支援業務に従事。

Control & Measurement Div.