

# マイクロ波濃度計

Microwave Density Meter

平井 錬造  
HIRAI Renzo

金子 裕行  
KANEKO Hiroyuki

小林 克行  
KOBAYASHI Katsuyuki

マイクロ波濃度計とは“マイクロ波位相差測定方式”を利用し、当社が製品化した濃度計である。その原理は、測定対象の濃度変化に起因する誘電率などの変化を、マイクロ波の伝播(でんぱ)速度変化、すなわち位相差変化としてとらえることにある。従来の減衰測定を利用する超音波式、光学式に比べて付着などの汚れに強く、機械式のように可動部分を持たないため保守性に優れている。また、連続測定ができるなどの特長を持っている。既に、汚泥濃度測定をはじめ紙パルプ、セメントスラッジ、食品分野などで使用されており、将来、更に多くの分野での活躍が期待できる。

The microwave density meter is a measuring instrument that employs the microwave phase difference method. This instrument operates on the principle of capturing the change in a dielectric constant, etc. which originates in a change of density as the microwave propagation speed; that is, the phase difference.

Among the advantages of this type of density meter compared with conventional density meters are its greater strength against adhering dirt and its excellent maintainability. It is widely used in such fields as sewage treatment, the pulp and paper industry, and the food industry, and its application to further fields is expected in the future.

## 1 まえがき

フィールド情報をとらえるセンサに対する要求は、必要な情報を高精度に、かつ安定して測定するという点である。これら基本要件に加え、センサの存在を感じさせないことも求められるようになってきている。すなわち、省エネルギー化、メンテナンスの省力化も要求されてきている。

電子回路技術の進歩は、センサの性能も飛躍的に向上させた。すなわち、マイクロコンピュータの搭載による高度な信号補正技術や、画像処理技術、そしてマイクロ波領域の高周波信号の応用を可能とした。

ここではマイクロ波を利用した濃度計について述べる。



図1. マイクロ波濃度計の外観 一般用のマイクロ波濃度計LQ400形を示す。検出器配管口径は7種類(50 mm, 80 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm, 300 mm)ラインアップされている。  
LQ400 microwave density meter

## 2 マイクロ波濃度計

濃度計とは、液体中に溶け込んだり、懸濁(固体が粒状に分散した状態)した物質の濃度(量を質量%で示したもの)を測定する計器である。従来からも超音波や光の減衰、あるいは流体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、当社ではマイクロ波の位相差を測定する方式の濃度計を、当初、汚泥濃度計として開発した。その後、この方式をパルプなどの一般産業向けに応用した濃度計を開発した。一般用マイクロ波濃度計の外観を図1に示す。

### 2.1 マイクロ波濃度計の原理

マイクロ波の伝播速度は、伝播媒体の物性(誘電率、導電率、透磁率)により変化する。液体の濃度に応じて誘電率が

変化するので、マイクロ波の伝播速度変化を測定すれば流体濃度を求めることができる。伝播速度変化を位相差としてとらえる方式が“マイクロ波位相差測定方式”である<sup>(1)</sup>。

その測定原理を図2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ずる。濃度0%と見なせる水での位相遅れを $\phi_w$ 、ある濃度の液体での位相遅れを $\phi_s$ とすると、これらの差 $(\phi = \phi_w - \phi_s)$ は、濃度と直線関係になる。この関係

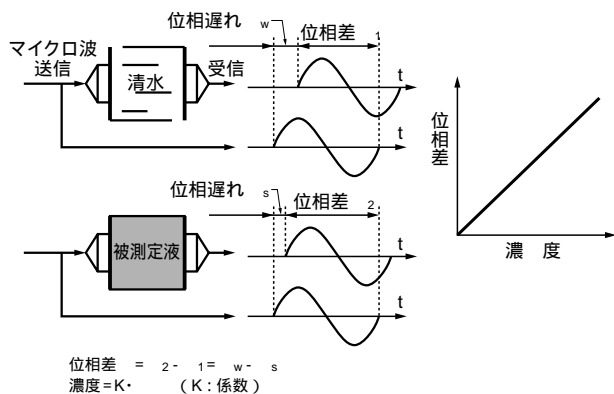


図2. マイクロ波濃度計の測定原理 測定対象液中を伝播するマイクロ波は速度が変化するため、位相遅れが生ずる。この位相遅れから濃度を測定する。

Principle of microwave density meter

から濃度を求めることができる。

## 2.2 マイクロ波濃度計の特長

マイクロ波位相差測定方式は次のような特長を持つ。

- (1) 汚れの影響を受けにくい 超音波式や光式では信号の減衰を利用しているため、図3に示すように、受信窓面の汚れなどによる異常減衰で誤差を生ずる。マイクロ波位相差方式の場合、汚れなどによる減衰があっても、位相差を測定しているため影響を受けにくい。
- (2) 高精度である マイクロ波式で接液境界面のマイクロ波反射強度から濃度を求める方式もあるが、これは境界面近傍の局所的な測定しかできず、偏流など濃度分布がある場合には誤差が大きくなる。また、付着などによる接液境界面の状態変化による影響を受け、正しい測定ができないおそれがある。

これに対して位相差方式の場合は、濃度計検出器パイプの両側面に対向する位置に取り付けられたアンテナ間を伝播するマイクロ波の位相差を測定するので、配管横断方向全体の濃度をとらえることができ、偏流な

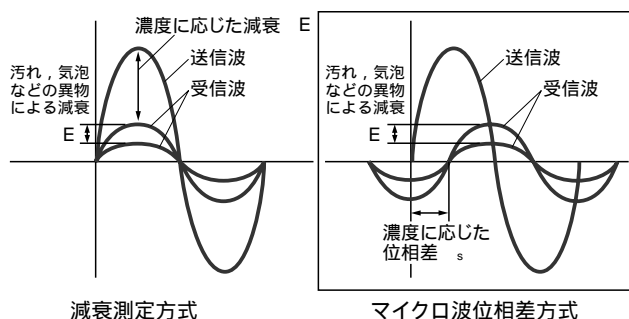


図3. マイクロ波濃度計の特長 信号減衰を測定する方式は、受信窓面の汚れなどにより誤差を生ずる。マイクロ波式の場合、汚れなどによる減衰があってもマイクロ波の位相差を測定しているため影響を受けにくい。

Advantage of microwave phase difference method

どの濃度分布の影響や、接液面境界面の影響を受けにくく高精度に測定できる。

- (3) 高信頼性である 濃度計検出器には機械的可動部がないため、定期的な部品交換は不要で、保守性に優れている。また突起もないため、異物の絡み付きや付着が少なくメンテナンスも容易である。
- (4) 流速の影響を受けない 流体応力を測定する濃度計は流速の影響を受けるが、マイクロ波式の場合には原理上流速の影響を受けない。
- (5) 溶解性成分にも感度がある マイクロ波濃度計は液体中の誘電率変化を検出する計器であるため、液体中の懸濁物質 (Suspended Solids) 濃度と溶解物質 (Dissolved Solids) 濃度の両方に感度を持っている。

## 3 濃度測定例

マイクロ波濃度計による測定例を図4、図5に示す。

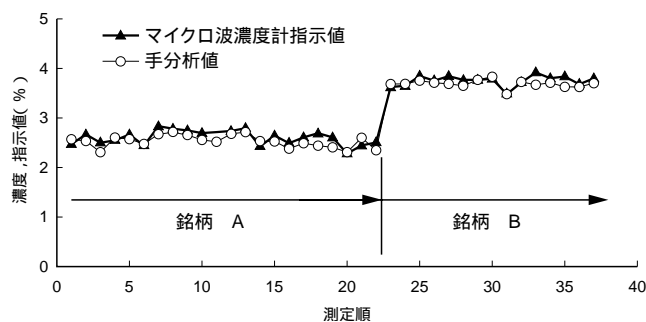


図4. プラントでの測定例1(古紙プラント) 銘柄変更の前後で、マイクロ波濃度計指示値と手分析値は良好な相関関係を示している。これは操業条件変化にかかわらず、マイクロ波濃度計が安定して測定できていることを示している。

Example of online measurement (1)

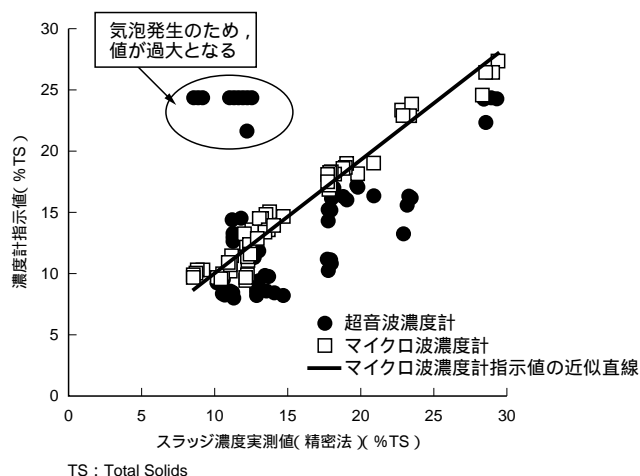


図5. プラントでの測定例2(スラッジ水濃度の測定例) マイクロ波式は、超音波式と比較して気泡の影響を受けにくい。

Example of online measurement (2)

図4は、古紙プラントでの測定例である<sup>(2)</sup>。銘柄変更の前後で、マイクロ波濃度計指示値と手分析値は良好な相関関係を示している。これは、古紙パルプに含まれている繊維の種類、添加剤など原材料変化や、流速などの操業条件変化によらず、マイクロ波濃度計が安定して測定できていることを示している。

図5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に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ずる排水で、産業廃棄物である。この処理には多額の費用が発生し、生コン生産者の負担増となっていた。これを軽減するために生コンスラッジの再利用が検討されており、このとき正確な濃度測定が求められていた。従来は、超音波濃度計が利用されていたが、気泡などの影響を受け満足な測定ができなかった。

図5で超音波濃度計の指示が過大となっているのは、スラッジ水タンク内液位が低下し、タンクへの戻り口からスラッジ水が勢いよく落下し、気泡が発生したときである。このときもマイクロ波濃度計は適正值を示した。このことから、マイクロ波式は超音波式と比較して気泡の影響を受けにくいことがわかる。

#### 4 サニタリ形マイクロ波濃度計

これはマイクロ波濃度計を食品分野に特化したもので、衛生的（サニタリ）な構造となっている。外観を図6に示す。

食品工業では生産・品質管理のため、濃度測定などを実施しているが、サンプリング式の手分析が中心であった。この濃度測定を自動化したいという要望にこたえるためサニタリ形を開発した。

サニタリ形濃度計開発にあたり、細菌による汚染、食品成分の変質、食品への汚染物の混入を防止するために、メインパイプを被測定物質が滞留するくぼみやすき間がない構造とした。また、米国3A規格<sup>(注1)</sup>に適合させている。

#### 5 あとがき

当社が開発したマイクロ波位相差測定方式を用いた濃度計についてその原理、特長を述べた。また、適用例及び食品向けのサニタリ形マイクロ波濃度計についても述べた。

（注1） もともとは乳製品製造ラインで定められた規格で、現在では多くの食品ラインで使用される機器に広く適用されている技術基準であり、世界的に通用する米国規格。配管接続部のずれ量は0.794mm以内、接液部の表面粗さは最大中心線平均粗さ0.8μm以内で設計されていないといけない。



図6．サニタリ形マイクロ波濃度計の外観　サニタリ形マイクロ波濃度計LQ400形を示す。検出器配管口径は50mmである。  
Sanitary type microwave density meter

マイクロ波濃度計は、今回述べた製紙プロセスや生コン回収水処理設備だけでなく、汚泥処理設備や食品分野などでも使用されている。現在、適用分野拡大のため、挿入形を開発している。いままでの濃度計にない優れた特長を生かし、また、いっそう機能を充実させ、より良いセンサとして育てていきたい。

#### 文 献

- (1) 山口征治, ほか. マイクロ波による汚泥濃度の測定. 環境技術. 21, 12, 1992, p.739 - 742.
- (2) 山津茂樹, 佐井行雄. 紙パルプ計装における新技術応用センサ - . 紙パルプ技術タイムス. 2, 1999, p.22 - 26.



平井 錬造 HIRAI Renzo

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 計測制御機器部主査。マイクロ波濃度計の開発・設計に従事。計測自動制御学会会員。

Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems



金子 裕行 KANEKO Hiroyuki

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。マイクロ波濃度計の開発・設計に従事。

Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems



小林 克行 KOBAYASHI Katsuyuki

社会インフラシステム社 制御・計測システム事業部 制御・計測マーケティング部。計装センサのマーケティング及び商品企画業務に従事。

Control & Measurement Systems Div.