マイクロウェーブ式濃度計 MCA の操業経験

バルメットオートメーション株式会社メジャーメント事業部 牧 秀一郎

Microwave based Consistency Transmitter MCA

Shuichiro Maki

Valmet Automation K. K. Measurements Div.

MCA's representative in-line measurement occurs between two sensor heads in the process line. The measurement is based on the knowledge of the process medium's dielectric properties. Such mediums in pulp stock include water and solid matter, whose dielectric constants are different. In technical terms the measurement is carried out by measuring the time of propagation as microwaves pass through the stock.

Thanks to its measurement principle, MCA is insensitive to process-induced turbulence. Common process variables, such as flow rate or pressure, do not affect the reliability of the results within the application range. Nor, do application-specific factors—freeness, fiber length, brightness, and color—affect the measurement.

MCA is linear relative to consistency. A single point calibration is enough to tune the MCA to measure with a repeatability of $\pm 0.01\%$ Cs.

1. はじめに

紙パルプ業界ではここ数10年間剪断力に基づいたパルプ濃度計が幅広く使われている。本稿で紹介する濃度計はフィンランドのKAJAANI ELECTRONICS社で開発された新しい測定原理（マイクロ波式）に基づくパルプ濃度計である。この濃度計を開発するにあたりフィンランド及び北米の顧客から広範囲な聞き取り調査を行い、現状のパルプ濃度計にどのような問題があるかをまとめた。その結果次の様な特徴が製品開発の目標として定められた。

- ・測定精度
- ・測定を阻害する一般的なプロセスからの外乱の影響を受けないこと（材種、パルプグレード、繊維

- 長、濾水度、色相、填料、薬品、圧力、流速等）
- ・測定の安定性
- ・キャリブレーションが容易でありまた早く出来る事
- ・メンテナンスが容易であり、かつ、その必要度が少ない事

KAJAANI MCA 濃度計の工場でのテストは1991年6月に始まり、1995年8月迄にフィンランド、スウェーデン、ドイツ、フランス、USA、カナダ、日本、韓国等全世界18ヶ国で使用されている。その適用範囲もパルプ工場、紙・板紙工場、機械パルプやDIPに及ぶ。設置例の大半でMCAは濃度コントロールに使われており、低レベルのコントロールだけでなく例えばペーパーマシンの坪量コントロールの様な高レ

ベルのコントロールシステムの一部としても使われている。

2. MCA の測定原理

MCA の測定はマイクロ波の伝播速度に基づいている。パルプけんだく波は水と木材繊維から成るが、これらの成分の誘電特性は著しく異なる（水の比誘電率 $\epsilon_r=80$ 、木材繊維の比誘電率 $\epsilon_r=3$ ）。従って、けんだく液中のマイクロ波の伝播速度を測定する事により、その水分含有量（又逆に固形分含有量）を算出する事が出来る。

測定原理は次の数式(1)で表わす事が出来る。

$$V = \frac{C}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad \dots\dots(1)$$

ここで V =マイクロ波の速度 (m/s)

C =光速 (m/s)

ϵ_r =その物質の比誘電率

換言すると MCA はマイクロ波がパルプけんだく液を通過する時間を測定している。この測定原理は従来のマイクロ波を使った技術（減衰）より優れた点を有する。

KAJAANI MCA で使われているマイクロ波の技術は単に水と繊維のみを測定するのではなく、灰分のような他の固形分も測定する。MCA は実際に、けんだく液の全濃度を測定する。表 1 は MCA の濃度測定に与える填料の影響を示す。

これらの填料の与える影響は補正される；MCA には濃度範囲やレベルに関係なく填料の影響を補正するソフトが搭載されている。

表 1 MCA の全濃度測定において填料含有率が 10% 変わって受ける影響；運転濃度は 3 %

填 料	プロセス実測全濃度と MCA 測定濃度との (% 濃度)
クレー	-0.11
タルク	-0.09
CaCO	-0.16
TiO ₂ (アナターゼ)	-0.27
TiO ₂ (ルチル)	MCA は測定せず

3. MCA 濃度計の構造

KAJAANI MCA は 0~50% の濃度を測定するインライン型の濃度計である。センサーユニットには 2 つの型式がある。

・ MCA-F :

マウンティングネックを用いて設置するフォーク型センサーで 300 mm 以上の配管に適合する。

・ MCA-FT :

500 mm 長さの特殊短管に取り付けられており、300 mm 以下のプロセス配管に適合する。

図 1 にセンサーの各モデルを示す。

MCA 濃度計はプロセスに取り付けられるセンサーユニットとセンサーから 20 m 離れて設置される別置のセントラルユニットから成る。セントラルユニットはセンサーから送られる生信号を処理し、必要な演算、スケーリング、フィルタリングを行い 4~20 mA 電流信号を出力する。セントラルユニットはセンサーへ操

MCA-FT

MCA-F

MCA-F (in-line)
for pipelines
diam. ≥ 300 mm (appr. 12")

MCA-FT (Flow Through)
NS150/NS200/NS250/NS300,
for pipelines diam. ≤ 300 mm (appr. 12")

Central Unit
Calculations, Scaling,
Filtering, Calibration,
Power Feed

図 1 KAJAANI MCA センサーのモデル

作電源を供給する。

MCA 濃度計には可動部や消耗部品がない。測定にかかわる全ての部品は生産プロセスが動いている間にサービスや修理が可能である。更に、この濃度計には自己診断機能があるのでスタートアップが容易であり、作動状況をコントロールしている為メンテナンスの必要箇所を特定出来る。

4. MCA の設置とキャリブレーション

MCA アナライザーを設置する際の制約事項は極めて少ない。取り付けに当たって配管内に層流が必要な訳でも長い直管部がある訳でもない。しかしながら設置場所では管内にパルプが充満している必要があり次の様なプロセス条件に関する要求事項がある。

- ・プロセス圧力=1.5~16 bar
- ・導電率<10,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- ・pH=2.5~11.5

MCA アナライザーは1ヶの測定点を使ってプロセスに対しキャリブレーションする事が出来る。キャリブレーションの手順として長時間のサンプリングやプロセス変更を必要としない。信頼のできる一点のプロセス実測濃度があれば十分である。ワンポイントキャリブレーション方法は、MCA の測定がリニアであるという事実より可能である。(2)の伝播時間は濃度変化に対して一定の比率で変化する。

$$\text{傾き} = \frac{\Delta t_m}{\Delta c_s} \quad \dots\dots(2)$$

ここで Δt_m =マイクロ波の伝播時間の変化
 Δc_s =原料濃度の変化

図2はMCAのキャリブレーションのやり方および、従来からの多点式キャリブレーション法とMCAの一点式との比較を表す。

5. 紙パルプ産業への適用

測定トランスミッターがプロセスに適用できるかどうかは、本質的にはその測定精度と外乱に対する影響に大きく依存している。それらのレベルが高ければ、そのトランスミッターは最近のプロセスコントロールの要求を満たす事が出来る。KAJAANI MCA の性能は表2に示される。

パイロットプラント及び紙パルプ工場でのテストによれば、MCA の測定は少なくとも次のプロセス変数によって影響されない。

- ・材種

表 2 KAJAANI MCA の性能

制 度	$\pm 0.1\%$	濃 度
再現性	$\pm 0.01\%$	濃 度
感 度	$\pm 0.001\%$	濃 度

比較：いくつかの濃度を使ったキャリブレーション（A）と
一点を使った MCA のキャリブレーション（B）

- A：キャリブレーションには
数点の実測が必要
- ・キャリブレーションカーブを得るのに数点の濃度レベルと実測が必要。
 - ・プロセス変動の影響を受ける為数個のキャリブレーションカーブが必要。

- B：MCA のワンポイント
キャリブレーション
- ・測定値を正しいレベルに合わせるには1つの濃度測定値で十分。
 - ・ルニアな応答により全濃度レンジで傾きが一定。

キャリブレーションにはプロセスの変更と数点の実測が必要カーブを得る

キャリブレーションには1つのプロセス濃度とそれに対する1つの代表する実測値があればよい

図 2 KAJAANI MCA ワンポイントキャリブレーションの利点

- ・パルプグレード
- ・繊維長
- ・濾水度
- ・薬品
- ・色相／白色度
- ・原料流量
- ・圧力（1.5～16 bar の範囲において）
- ・pH（2.5～11.5 の範囲において）
- ・温度（補正される）
- ・填料（補正される）

図 3 はパイロットプラントでのテスト結果を示す。

図 3 パイロットプラントでのテスト結果

表 3

設置場所	適 用
クラフトパルプ工場	<ul style="list-style-type: none"> ・漂白段への供給パルプ濃度 ・材種切換のあるファイバーラインの濃度測定及びコントロール ・生産高の測定
紙・板紙工場	<ul style="list-style-type: none"> ・マシンへの供給原料の濃度測定およびコントロール ・ブロークの濃度測定およびコントロール
機械パルププラント	<ul style="list-style-type: none"> ・リファイナー濃度
DIP プラント	<ul style="list-style-type: none"> ・脱墨後パルプの濃度

KAJAANI MCA Installation Points

Pulp Mill

図 4 クラフトパルプ工場への MCA の適用

KAJAANI MCA Installation Points

Cs Control on Paper Machine

図 5 紙工場への MCA の適用

MCA は材種、パルプグレード、白色度のレベル、繊維およびフリーネスの影響を受けず出力は全濃度レンジでリニアである。

現在市場で広く使われている剪断力の測定に基づいた濃度計は、材種、パルプグレード、繊維長、濾水度、原料流量の変化の影響を受ける。更に、これらの濃度計は単に繊維から成る物質の濃度のみを測定するのにに対し MCA は繊維と填料の両方を含んだ全濃度を出力する。

KAJAANI MCA の一般的適用場所を表 3 及び図 4、図 5 に示す。

5.1 パルププラントへの適用

5.1.1 TMP での適用例

図 6 は TMP の濾水度と原料流量が変動する工場で行ったテスト結果を示す。比較の対象となった、もう一方のインライン型濃度計は、剪断力の測定に基づいたものである。濃度測定値に対する参照濃度は試験室での実測で得た値である。

5.1.2 PGW での適用例

図 7 に PGW プラントでテストした結果を示す。比較の対照となった、もう一方のインライン型濃度計

は剪断力の測定に基づいたものである。実測値との差は濾水度が変動した為生じた。

5.2 ペーパーマシンへの適用

5.2.1 ケース 1

上質紙を生産している工場のマシンチェスト直後に MCA を設置した。生産する紙の坪量を安定させるのが目的である。図 8 に多料の填料を含むブロックが原料に加えられた時の MCA と機械式濃度計の挙動を示す。図が示す様に機械式濃度計は填料を全く検知しない。

同工場では図 9 にみられる様に、あるグレードを抄造している時に坪量が特定のリズムで変動するのか観察された。左側のトレンドグラフが示す様に坪量、マシンへの供給原料、MCA によるマシンチェスト濃度に明らかな相互依存がみられる。この時濃度はマシンチェスト後の機械式濃度計でコントロールされていた。右側のトレンドはこの時の MCA と機械式濃度計の差を示す。この結果から MCA を使ってマシンチェストの濃度コントロールを行えば、坪量の安定に著しい改善が期待出来る。

フリーネスの影響

流速の影響

図 6 TMP での濃度計テスト結果

図 7 PGW での濃度計テスト結果

5.2.2 ケース 2

ウッドフリー、無灰紙を生産している工場でマシン chests に原料と希釈コントロールする為に MCA を設置した。MCA はフィードフォワードで坪量をコントロールする為に使われていた。図 10 はコントロールの方法を示している。コントロールテストは機械式濃度計と MCA の両方で行われた。原料には

短繊維と長繊維のパルプ（ユーカリ／松）が使われており、機械式濃度計はその混合比率の影響を受ける。MCA は原料配合の影響を受けないので、このマシンでは坪量のバラツキに著しい改善が見られた。

図 11 は坪量、紙質の異なる 5 つの期間から得られたテスト結果である。坪量目標値と実際坪量の相対誤差の標準偏差が MCA では 0.02% だったのに対し、機械式濃度計では 0.764% だった。この結果はマシン原料の希釈水コントロールが MCA では、より良く

図 8 填料 (CaCO_3) を含むブロックを添加。マシンチェスト後で測定した濃度

図 10 テストで行われたコントロール；ローカルの濃度コントロール（希釈）とペーパーマシン坪量のフィードフォワードコントロール

図 9 原料流量と濃度変動に同期して起きた坪量の変動（左図）、テスト時の MCA と機械式濃度計の信号（右図）

図 11 3つの異なったコントロール方法による坪量の標準偏差：

1. 機械式濃度計による希釈水コントロール
2. MCAによる希釈水コントロール
3. MCAによる希釈水コントロール及びフィードフォワードコントロール

働いた為、得られたものである。MCAを坪量コントロールの為フィードフォワードの要素として取り入れたところ更に坪量のバラツキに改善が見られた。これは通常の坪量のフィードバックコントロールではムダ時間が長い為である。

6. ま と め

最後に MCA の特徴をまとめてみると以下の様になる。

- (1) 全濃度計である（繊維と填料の両方を測定）。
- (2) 原料配合の影響を受けない。
- (3) 流速変動の影響を受けない。
- (4) ワンポイントキャリブレーションが可能（全濃度レンジでリニア出力）。
- (5) 通常のメンテナンスは不要（可動部や消耗部品がない）。