最近の計装技術(II)

本州製紙㈱ 本 間 忠 一

Recent Development of Instrumentation in Pulp & Paper Industry

Chuichi Honma
Honshu Paper Co., Ltd.

This paper describes latest instrumentation in pulp & paper industry, especially this month in sensors followed last month.

Keywords : Instrumentation • Sensors

2.2.3.12 (前号からの続き)

イメージセンサ方式のスポットディテクタは今後のスポットディテクタの主流を占めるものと思われるので以下詳細に述べる。

CCD, すなわち Charged Coupled Device, 電荷結合度素子を使用されているが, この CCD は 1 個の LSI の中に 256 個の光電子が図 1 に示すように配列されている。セル 1 個のサイズは $17\mu \times 13\mu$ であり, 従来のスポットディテクタの受光セル 1 個に相当する。このセルが外部からの電気的なシフトパルス (駆動パ

ルス) により, 順次左から右に 1, 2, 3, …… , 256 とスキャン (走査) され, 光量が電圧に変換されて出力が外部に取り出される。取り出された電圧波形は図 2 に示すごとく, 均一な光を当てた場合と不均一な光を当てた場合との様子が画かれている。シフトパルスは 2.5 MHz であり, 図 3 に示すスキャン速度になる。したがって, セルの信号周期は 110.4μ 秒になる。

最近の CCD には 1 個の LSI に 256 個セルの 2 倍, 4 倍のものすなわち 512 個, 1,024 個のものが市販され, 他の分野ではスポットディテクタ用として使用さ

図 1 CCD 1 個とセル 256 個との関係

図 2 CCD に均一な光, 不均一な光を当てた場合の出力電圧概要図

図3 CCD 1個のスキャン周期

図4 m倍の場合の概要図

れつつあるが、わが紙パルプの分野では抄紙の速度が

図5 イメージセンサ概要図

速くなると無理である。すなわち、1個のLSI(以下素子という)の幅方向の大きさはセルの数が256個の場合、1素子の幅方向の大きさは $13\mu \times 256 \approx 3.3\text{mm}$ である。従来のスポットディテクタのごとく現寸法にて使用すれば高感度な測定は可能であるが、非常に高価であり、実用的でない。現状ではレンズによる光学系の拡大により図4に示すごとくm倍に拡大して使用している。ユーザから見たポイントは最高m/分までOK.であるかということであるが、シート流れ方向の速度 $V(\text{m/分}) = (\text{セル1個の流れ方向の長さ } d) \times (\text{レンズによる拡大倍率 } m) \div (1\text{個の素子の信号周期 } T) \times$

60(秒を分単位に変換)、今ここにm

穴出力 = 30, すなわち1個素子によるスキャン幅 $= 3.3\text{mm} \times 30 \approx 100\text{mm}$ の場合

$$Vm/\text{分} = (17 \times 30 \times 60) \div 110.4 = 277.2\text{m/分}$$

汚れ出力 <ポイント>

- 1) 倍率mを大きくすればより速いシート用に適用できるが、分解能が悪くなる。
- 2) 実務から見て、mが30のとき分解能は $\phi 0.1 \sim 0.2\text{mm}$ の黒点である。

図5はCCDを使用したイメージセンサの概要図(前号では図34)、図6はブロック図を示したものである。ユーザから見たイメージセンサの特長は次の通りである。

図6 イメージセンサ・ブロック図

<ポイント>

1) 欠点信号の中、光量が多くなる欠点である穴、光量が少なくなる欠点である汚れ等に対して検出設定値を独自に設定できる。さらに、それらの設定値は重欠点、軽欠点に分けることができ、合計4つの欠点分離が可能である。

2) シートから素子までの距離を100 mm以上離せられるので、オペレータから見て操作性がよい。

3) シートから素子までの駆動をプロセスからのニーズおよび経済性に応じて選択できる。通常 100～300 mm である。

4) レンズを使用した光学系を使用しているの、特にユーザから見たシートのパタツキに対して誤差が小さい(通常シートから素子までの距離が100 mmの時、パタツキ $\pm 2 \sim 3$ m/m では誤差なし)。

5) 図7はCCDの各波長に対するスペクトル図であり、従来のスポットディテクタと比較して赤味サイドの欠点検出が弱い。

6) 図8は1素子の展開ムラを調査するため全幅300 mmにわたり、幅2 mmの黒色テープをスキャン測定した値である。セル256個の感度ムラが小さくなればより高精度な測定が可能になるので、ムラの小さなLSIをメーカに希望したい。

2.2.4 薬品回収

2.2.4.1 黒液、緑液、白液、スラッジ濃度

現在使用されているタイプとしては「差圧式」、「ガンマー線式」および「光屈折率式」がある。

<ポイント>

一般的によく使用されているのは「差圧式」であり、

図7 CCD他スペクトル図

サンプリング形とインライン・パイプ形とがある。以前は「ガンマー線式」がよく使用された。線源の固定が不完全な場合、零ドリフトを生ずるので取付には震動の少ない所に設置すべきである。また、気泡およびパイプ中のスケールに対して注意を払わなければならない。

「光屈折率式」は回収ボイラの黒液等によく使われている。接液部のガラス面がよごれた場合の温水洗浄を考慮する必要がある。また、最近では図9に示すごとく、「振動式」のものが市販された。

2.2.4.2 振動式

弦楽器の弦は両端が固定され、決められた張力で張られている。したがって、弦から発する音色は決まった周波数となる。すなわち次式で示される。

$$\text{固有振動数 } f = k \times E \times I / M \quad (1)$$

ただし k は定数、 E は材料弾性、 I はスティフネス、 M は質量である。

図8 CCD 1個、セル256個の感度ムラ実測値

図 9 振動式濃度センサ外観図

(1)式において k , E , I は一定であるので、固有振動数 f は質量 M に逆比例する。振動式センサにおいて振動素子の重量は一定であるので、振動素子の囲りに接触する流体の質量すなわち重量の変化に応じて、固有振動数が変わる。すなわち、体積が一定であれば濃度に比例して重量は変わるので、濃度測定が可能になる。

図 10 振動式濃度センサ概要図

表 1 振動式濃度センサの仕様

パラメータ	Type 7830	Type 7840
密度レンジ	0~3,000 kg/m ³	0~3,000 kg/m ³
確 度	0.2 kg/m ³ (range 300~1,600 kg/m ³)	0.5 kg/m ³ (range 600~1,600 kg/m ³)
再 現 性	0.02 kg/m ³	0.1 kg/m ³
安 定 性	0.2 kg/m ³ per year typically -0.01 kg/m ³ /bar typically +0.01 kg/m ³ /bar	0.5 kg/m ³ per year typically -0.015 kg/m ³ /bar typically +0.02 kg/m ³ /bar
温度の影響	±0.02 kg/m ³ /°C Typical ±0.04 kg/m ³ /°C Max	+0.7 kg/m ³ /°C Typical +1.0 kg/m ³ /°C Max
最大圧力	150 bar or as defined by flanges	50 bar
テスト圧力	225 bar	75 bar
温度レンジ	-50 to +110°C	-50 to +160°C*

<ポイント>

振動素子に良質な材料を選択し、構造および製作に充分注意を払い、周囲の温度、圧力の影響を受けにくくすれば、 E と I を一定に保つことができるので、精度の高い濃度（あるいは密度）の計測が可能になる。

・ソラトロン社製濃度センサ

ソラトロン社製濃度センサは上述のポイントを充分配慮して作られたもので、図 10 はその概要を示したものである。表 1 は仕様を示したものであり、非常に高精度な計測が可能である。

2.2.4.3 その他の濃度センサ

差圧式、ガンマー線式、光屈折率、式振動式に続きその他の実用的な濃度センサとしては「コリオリ式」、「超音波式」などがある。コリオリ式はコリオリの原理により、U字管のねじれ角が流体の濃度（密度）により変化することを利用したものであり、高価な薬品濃度の測定に適していると思われる。超音波式は被測定液中に空気が含まれないこと、被測定液の物質の粒度の分布が一定であることがポイントであり、バルブ濃度用には不適である。

また、今後の濃度センサとしては紫外線式、電気伝導度式、さらに低価格な浮子式なども使用されるものと思われる。

2.3 省エネルギー・省資源 センサ

省エネルギー・省資源用センサとコストダウン用セ

図 11 カルマン渦の発生原理図

ンサとの区別は困難であるが、省エネルギー・省資源が叫ばれた時代に出現したコストダウン用センサ等につき述べる。

2.3.1 渦流量センサ

流れの中に障害物を置くと流体の粘性の影響で、その物体の両側から渦が交互に規則正しく発生する。この渦はカルマン渦と言われ、図 11 に示すごとく発生する。渦の発生周波数を f 、流速を V 、渦発生体の流れに対向する幅を d とすると、

$$f = S_f \cdot V \cdot d \quad (2)$$

ここで S_f はストローハル数と言われ、レイノルズ数 R_e と図 12 に示すごとく関係にある。図 12 において、ストローハル数は平坦な範囲が計測範囲であり、流速は渦の発生周波数に比例する。

次に渦発生体により渦が発生すると、それに比例して図 13 に示す方向に交互に変わる揚力を渦発生体は受ける。この揚力を渦発生体を受けるとその中に埋め込まれた管外の圧電素子に応力として伝わり、圧電効果により周期的な電気信号に変換され、流速が計測される。

<ポイント>

センサは導圧口や可動部はなく、非常にシンプルである。図 14 に示すごとく、渦流量センサ (Yew Flo) の圧力損失は従来のオリフィス等の絞り機構のセンサと比較して非常に小さい。

2.3.2 超音波ドップラ式流量センサ

省エネ化が叫ばれた時、プロセスからのニーズは温水の有効利用をはかるため、各所の流量を配管を加工することなく、配管の上から計測することであった。

このニーズに応じたセンサは、従来の超音波透過型・ドップラ方式の流速センサではなく、図 15 に示すごとく反射型のものであった。このセンサは国産品はなく、すべて欧米製であり、当初の 2~3 メーカーのものは上手にいく場合といかない場合があった。

現在実用化されているものは米国ポリソニック社製のものであり、図 16 はその概要図である。

<ポイント>

パルプ流量用に使用する場合には、センサ前後に十分な直管部が必要である。最近では図 17 に示すごとく、清水用のものもポリソニック社から市販された。

2.3.3 光学パターン式パルプ流量センサ

図 12 ストローハル数とレイノルズ数との関係

図 13 渦により揚力の概要図

図 14 各種流量センサと圧力損失との関係

図 15 反射型ドップラ流量センサ外観図

光学パターン式パルプ流量センサは図 18 に示すごとく 2 つの光学式光線検知器 A および B が、流れ方向

図 16 超音波・反射型・ドップラ方式流量センサ概要図

図 17 ポリソニック社製清水用超音波流量センサ概要図

図 18 光学式パルプ流量センサ概要図

に対してパイプの前後にそれぞれ一定間隔 d に取付けられている。A, B 2つの検知器から発する光は流動するパルプ液に伝達される。パルプ液中のパルプ繊維は2つの光線を反射し、反射光はそれぞれホトダイオードにより電気信号に変換される。図 19 に示すごとく A および B の信号パターンはほぼ同一であり、時間差のみ Δt である。したがって、 $d/\Delta t$ から流速を求める方式が本センサの測定原理である。

<ポイント>

流量は通常マグナフローにて測定されているが、口径が大きいと高価であり、本センサも実用に供することができる。

2.3.4 低空気比燃焼制御用センサ

省エネ化が叫ばれている近年、わが紙パルプ工業においても積極的な省エネ化への対策が図られているが、その1つがボイラ排ガスによる熱損失の減少である。

ボイラ排ガスの過不足は、通常 O_2 ガスセンサおよびばい煙濃度センサにより許される値まで、排ガスを絞る

ことにより行われている。 O_2 センサは磁気式からジルコニヤン式へ、サンプリング型からインライン挿入型へと進展した。

しかしながら、 O_2 センサは燃料の種類により最適設定値が移動するという欠点がある。そこでクローズアップされたのが CO ガスセンサである。 CO ガスセンサは、サンプリング型(国産品)と光学方式のインライン型(米国製)がある。特にインライン型は煙道横断・瞬時平均値計測であり、0.5% 以下の O_2 制御

図 19 前後の光学光線検知器で検知された光線

図 20 米国メジャレックス社製 CO, CO₂ ガスセンサ概要図

図 21 米国メジャレックス社製オパシティセンサ概要図

を可能にした。

図 20 は米国メジャレックス社製の CO, CO₂ ガスセンサ, 図 21 はオパシティ (黒煙濃度) センサの概要図である。

<ポイント>

図 22 は米国 エコーニク 社製のセンサである。このセンサにて測定されるプロセス値は CO, オパシティ, 排ガス温度およびハイドロカーボン (HC) である。このハイドロカーボンセンサはオパシティセンサと組み合わせられ、バーナーのエアレジスタの空気比の最適

図 22 米国エコーニックス社製センサ概要図

図 23 赤外線方式 SO₂ センサ概要図

チューニングに有力なセンサとしてクローズアップされつつある。

2.4 環境保全用センサ

現在法的に義務づけられているセンサとしては煙道排ガス用として「SO₂ センサ」、「N O_x センサ」、一部の地域では「O₂ センサ」があり、排水水質用としては「排水流量センサ」、一部の地域では「COD センサ」、「UV センサ」、「pH センサ」などがある。

2.4.1 SO₂ センサ

1971年4月電気事業法にもとづき、発電ボイラ1缶に1台のSO₂センサの設置が義務づけられた。測定方式としては当初溶液電算率法が使用されたが、現在ではメンテナンスから見て有利な赤外線方式のものが多く使用されている。また、紫外線方式のものもある。図23は赤外線方式の概要を示したものである。

<ポイント>

ユーザから見たポイントはメンテナンス・フリーのためのガス・サンプリング・システムであり、屋外にあるサンプリング配管は電熱ヒータなどで加温し、ドレン発生を防止するべきである。

2.4.2 NO_x センサ

大気汚染防止法の施行令の改正により、N O_x の排ガス基準が定められた。そこで、使用されているNO_xセンサの測定法は、当初は低レンジでは高精度である化学発光法であったが、その後赤外線方式も高精度になり、さらにメンテナンスから見て有利になったので使用されるようになった。また、紫外線吸収法もある。

ユーザから見たポイントは、SO₂センサの場合と同様、試料ガスのサンプリング・システムのドレン発生防止のためのヒータ加温である。

2.4.3 排水汚濁用センサ

水質汚濁計測用として使用されているCODセンサは現在東京湾、伊勢湾、瀬戸内海へ流れる河川に工場排水を流す工場、事業所などはすべて設置が義務づけられている。

CODとは、化学的酸素要求量すなわち水中の被酸化物が酸化する際に消費される酸素量（mg/l, ppm）を言う。測定法としては各種のものがあるが、図24にその一例の概要

図 26 米国 SCA コントロールシステム 社製メカニカルパルプ用繊維の長さ、太さ、その分布用センサ概要図

図 27 各種紙の比破裂強さ

有機物質は分子構造によりそれぞれ異なる紫外線吸収スペクトルを持つ。一般に二重結合を持つ環式化合

物では紫外線の吸収は大きく、二重結合を持たない鎖式化合物では小さい。

水素イオン、塩素イオン等の無機イオンは 250 nm 以上の波長での吸収は無く、有機物のみによる。

紫外線の吸収と有機物の濃度との関係は普遍的なものではなく、吸光度の係数は物質により異なる。したがって、排水の中に含まれている種々吸光度を持つ有機物の構成割合が一定であるかどうか、この低価格・メンテナンスフリーの UV センサを使用できるかどうかのポイントである。

2.5 その他のセンサ

製紙プロセスは天然資源である木材およびその繊維を取り扱い、それを主原料として狭い幅から広い幅で、低速度から高速度まで、わが国では約 1,500 台の抄紙機にてペーパーシートを抄造している。そこでの原料やペーパーシートの品質のバラツキは大きく、したがって局所的な計測のみで全体を代表させるには困難であった。以上の点がわが紙パルプ計装の進展を促した。

センサの最後の項として、これから期待されるセンサにつき展望したい。

2.5.1 ペーパーシート・全幅プロファイル・瞬時計測用センサ

筆者は抄紙機リールにて全幅の水分ムラをサーモグラフィ（熱画像）によるカラー CRT 表示に成功したが、これからは坪量等他のプロセス値も表示できることを期待したい。

2.5.2 紙の主原料である繊維の 1 本、1 本の長さ、太さ等の計測さらに一定体積中の分布計測用センサ

図 26 はスウェーデン国、SCA コントロールシステム社にて開発されたものであり、メカニカルパルプの繊維の長さ、太さ、分布の計測用センサの概要図である。

2.5.3 ペーパーシート用粘弾性テスト

筆者も十数年前ペーパーシートの超音波による紙力測定にアプローチしたが、最近では N 商事でも積極的に取り組んでいる。

ペーパーシートの応力と伸びとの関係は非直線であり、さらに一定応力では継続的にのびる。一例として、引張り試験器を使用して紙片を試験した場合、10 kg 4 秒で切れる同一サンプルを、他の条件ではそれぞれ 9 kg の場合 11 分、8 kg では 14 時間、4 kg では 200 日で裂断するというように、伸びと与える応力速度により、その関係は変化する。すなわち、紙の品質は非常に複雑な変形および流動現象を示すのでレオロジー

図 28 各種紙の引張強さ

図 29 各種板紙の圧縮強度

的アプローチが適用できる。今後のオンライン用を考慮するとセンサとしては超音波式が有利である。図 27～31 は従来の破壊試験器と本方向による超音波式非破壊方式による相関図である。

すなわち、紙中を伝わる音速 (t) を計測し、さらに紙の密度 (D)、米坪 (W)、水分 (M) にて補正演算することにより紙の弾性率を求め、この弾性率と紙の力学的強度との関係を実験により求めたものである。

今後、紙の粘性係数の計測が可能であれば、市場から見た紙の品質が数値的なニーズとなり、プロセスの管理の数値化が可能になる。

さらに最終製品の力学的性質が的確に推定可能になり、売れる製品をより安価に抄造できる有力な武器となろう。

2.5.4 アイソトープ線源である β 線を使用しない 安価な坪量センサ

β 線は放射線であり、法的にユーザから見て取扱主任技術者が必要である。現在わが国では 1,500 台の抄紙機のうち、 β 線を使用しているものは 20% 強と推定され、残りの抄紙機の大部分のものは現状では BM 計は設置されていない。

今後設置する場合は低価格であること、取扱主任技術者不要であることを望んでいる。

これらのニーズに応じるものとして赤外線、マイクロ波、限界線などのものが出現するものと思われる (一部市販されだした)。(続く)

図 30 紙の剛度

図 31 同一銘柄である「ライナー」の引張強さの相関図