品質センサの基礎と最新の BM 計 (QCS)*

ハネウェル株式会社 紙パルプ営業技術部 渡 辺 憲 幸

Basic Principle of Quality Measurement Sensor & New QCS Da Vinci

Noriyuki Watanabe

Pulp & Paper Industry Group Honeywell K. K.

At present, though QCS is used in paper process normally, it was originally developed for the purpose of the measurement and quality control. After that, MD control, CD control and various optimization control have been added, and then, QCS is becoming to be unified with DCS, and MES as well today.

This time, I would like to think about the composition and principle of quality measurement sensor, a basic part of QCS, again.

分類：V₂ 紙パルプ工程制御システム，M₁₁ 駆動装置および付属装置

1. はじめに

紙パルプ業界向けの品質センサに関しては、今までご紹介する沢山の機会を頂いてきたが、その多くは最新の技術を使用した新型センサであり、また、それを利用した目新しい制御であった。今回、ご要望頂いたテーマは「品質センサの基礎と最新の BM 計」である。我々としても、もう一度原点に戻り、現在当たり前のようになっている「基本品質センサの原理とその技術」について紹介させて頂くこととする。

2. 坪 量 計

坪量計は単位面積当たりの製品重量を計測するウェイト・センサである。世の中で一般的に使用されている重量計として計りがあるが、これを抄紙工程内で使用することはおそらく不可能であろう。ここで要求されているものは、オンライン・センサであり、当然、非破壊検査である。従って、各センサ・メーカーは当

社を含めて、放射線（測定する坪量範囲により、プロメシウム、クリプトン、ストロンチウム等より最適な線源を選択）の質量による減衰を利用した間接測定を用いている。

図 1 の坪量計構成図をご覧いただきたい。上側センサ・ヘッド線源ボディのロータリシャット機構には、クリ

図 1 坪量計構成図

*第 6 回製紙技術セミナー講演

図 2 坪量計検量線のフルレンジ校正法

プトンガスを封入した線源カプセルが取り付けられており、測定時にはカプセルが真下を向き、ベータ線を被測定物（抄造紙）に照射する。紙に照射されたベータ線は、紙の内部を透過し、補償板を経て電離箱に到達すると、微弱電流となる。この微弱電流は、アンプを介して0～10 Vの信号に変換され、本体システムに取り込まれる。この信号は、システム内の測定プログラム（検量線）によって、坪量測定値に変換された後に、所望の処理が成されることとなる。線源照射口には、センサ校正用の可動式内臓サンプルが設置され、必要により、センサの間隙に挿入される。これで、一通りの信号の流れはイメージ頂けると思うが、次にその処理方法について少し触れておきたい。冒頭でお話した重量計でも、測定する前にゼロ点調整を実施するが、本センサでもそれと似た処理を行う。まず、電子系のドリフト補償のため、暗電流の計測（8時間周期）がロータリーシャッター機構が閉の状態（線源カプセルが斜め下を向いた状態：この位置では、ベータ線は照射されない。）で行なわれる。次に測定中は30分～1時間周期で内臓サンプルの計測を行い、センサ生信号から坪量測定値に変換するための検量線の自動補正が行われる。これにより、センサ測定窓の汚れや、放射線源の減衰による測定値ドリフトの補償が行われる（特許フルレンジ校正法、図2）。

システム内に登録されている検量線はセンサ取り付け時のものとなる。ところが、実際の坪量を計測する際には、測定窓の汚れ、放射線源の減衰等により、検量線に若干のズレが生じてくる。そこで、正しい検量線を求めるため、前述の内臓サンプルを一定時間毎に計測させ、検量線が内臓サンプルの坪量でどれだけズレたかを調べる。この点とゼロ点、無限大点の3点で

補正を行い、実際の正しい検量線を推定する。（検量線は曲線のため、3点なければそのドリフト状態を静定することができない。）

検量線の数式は、一般的なベールの法則を基本に手が加えられたものとなるが、工程内にそのまま取り付けられるこの種のオンライン・センサには、種々の外乱要素が存在するため、その他にもまだまだ測定精度を向上させるための各種補正が存在する。例えば、センサ間隙空気層の温度補正。オンラインセンサ間隙プロファイル補正（Z軸補正）等、お話ししなければならないことは数多いが、紙面に限りもあるため、詳細については別の機会にお話することとしたい。

3. 水分計

水分計には特定波長の赤外線が水分子の分子運動に共鳴吸収される特性を利用した赤外線水分計と、紙の含有水分量によって変化する静電容量を計測するマイクロ波水分計がある。ここでは、最も一般的な赤外線水分計について触れることにしたい。図3に水分計の構成図を示すが、その測定方法は次の通りとなる。光源（タングステン・ハロゲン・ランプ）より照射された光は、反射板（凹面鏡）により集光され、570 Hzで振動するチューニング・フォークを経て、被測定物（紙）に照射される。ここで、一部直進する光が紙の散乱係数測定用の受光部で取り込まれるが、ほとんどの光は紙による透過と散乱板による反射を繰り返し、散乱光測定窓より取り込まれる。この光はさらに、半鏡を用いたビームスプリッターで2方向へ分けられ、それぞれ規準信号（1.8 μm ）および測定信号（1.9 μm ）の受光部へ至り電流信号に変換される。ここで、赤外線の振る舞いを説明しておく必要があると思うが、赤

図3 赤外線透過型水分計構成図

図4 赤外線の波長と紙への透過量

外線の紙への透過量は波長帯によって大きく異なる。

図4は、赤外線の波長とその紙への透過量を示したものであるが、水によって1.9 μ m付近の赤外線がかなり吸収される（共鳴吸収）のがご覧頂けると思う。この波長帯の赤外線は、水による吸収の他に紙自身による散乱もするため、ほぼ同等のエネルギーを有し、水による吸収を受けない近接波長帯（1.8 μ m付近）も同時に取り込み、ふたつの波長帯の透過量比をもって紙に含有される水の量を測定するようにしている。水分計に対しても、坪量計同様多くの外乱要素が存在する。その中でも、光学特性の異なる製品銘柄に対して

は、別の検量線を持たせなければならないことは、古くから種々の場で議論されてきた。これは紙の光学特性の一つである散乱係数の違いにより発生していたものである。紙には目的によって添料/染料/蛍光染料等の添化や、塗料の塗布等が行なわれることが多いが、これは正に紙の光学的特性を大きく変化させるものである。その他にも、古紙原料に含まれる残カーボン量も、水分計のような光学センサからすれば大敵となることは間違いない。本センサでは、紙の光学特性をそれ自身で直接測定し、これらのものが検量線に与える影響をモデル化し取り除く手法を採用し、殆どの銘柄に対して一つの検量線で測定することを可能にしている。

4. キャリバ計

弊社の標準型キャリバ計の構造は図5に示す通りである。上下のセンサ接触部は、ジンバル・スキー板とダイアフラムにより支持され、上下両面が紙に接触する方式を取っている。センサ可動部は上下それぞれ3～8gと非常に軽いこと、その支持機構として3本のシャフトを採用していることより、紙面のトレースを確実なものとしている（図6）。これはレーシングカーのバネ下重量を減らし、サスペンション機構の支持点数を増やし、路面のトレース性能を向上させている

図 5 キャリパ・センサ構成図とセンサ接触部

図 6 キャリパ・セン支持機構と紙面のトレース

のと同様のアプローチといえよう。

標準型の接触部の形状は上下ともに 16 mm φ の円形をしているが、高速マシンや低坪量紙向けのユニフォーム型キャリパを選択することも可能である。また、接触部の材質は上側がサファイア、下側がフェライトとなるのが標準であるが、下側のフェライト・ディスクにサファイアをコーティングしたものもある。

測定原理は上側接触部に埋め込まれたコイルに発振器が接続され、LC 発信をしている。下側から磁性体であるフェライトを近づけると上側コイルからの漏れ磁束により、上側のコイルのリアクタンスが変化し、LC 発信の周波数が変化する。システムはこの周波数を読み込み、上側コイルと下側磁性体の距離、つまり紙の厚みを計測することになる。なお、一定時間毎にセンサは退避位置へ移行し、開閉時の発信周波数を読み込み校正を実施している。

5. 灰 分 計

図 7 の灰分計の構成図をご覧頂くと、その構成が坪量計に良く似ているのに気づかれることであろう。灰

図 7 灰分計構成図

分計の線源が放射線源ではなく X 線管であることを除き、その他のものは坪量計とほぼ共通のものである。

坪量計は被測定物の紙質によってできるだけその吸収係数を変えずに、1つの検量線で全ての銘柄を測定させようと工夫しているのに対し、灰分計は被測定物中の成分に対し、その吸収係数の違いを使用して、紙

に含まれる成分の分析をしようとするまったく異なったアプローチをしている。X線管から照射されたX線は、坪量計と同様に紙の内部を透過し電離箱に到達すると、微弱電流となる。この微弱電流は、アンプを介して0~10 Vの信号に変換され、本体システムに取り込まれる。この信号は、システム内の測定プログラムによって灰分重量に変換され、それを坪量測定値で除算すると、灰分率になる。X線の選択吸収は照射するX線のスペクトラムを絞り込むことにより、セン

サの測定感度を向上させることも可能であるが、この灰分計では逆に添料の成分が変化しても、センサの測定値が変化しないように工夫されている。図8のX線のエネルギーと各成分による吸収量を見ると、横軸のエネルギーの増加に伴い、各成分のX線吸収量は減少してくる。ところが成分毎に、ある特定エネルギー帯で極端に吸収量が増加する部分があることに気がつくことと思う。これは金属原子の核外電子が励起する際に必要となる、励起エネルギーであり、このエネルギーを境

図 8 X線のエネルギーと各成分による吸収量

図 9 色彩計の構成図

図 10 蛍光増白度の計測

に高エネルギー帯域ではその成分による吸収量が多く、逆に低エネルギー帯では吸収量が少なくなる。X 線管から照射される連続 X 線の最大エネルギーを調整すると、2 成分の混合比が変化してもトータルでの X 線吸収量が同等となることがご理解頂けると思う。また、同様の現象を利用し灰分率計を添料率計とすることも可能となる。

6. 色 彩 計

色彩の計測には光源、被測定物の反射率スペクトラム、目の特性の 3 要素が必要となるが、分光分析計の多くは、センサにより紙の反射スペクトラムのみを測定し、光源、目の特性 (3 刺激値) はデジタル・データとしてメモリ内に格納している。実際の物理現象である「光が照射され、紙面で反射し、目に到達し色彩として認識する。」工程は、行列式の演算で処理するようにしている。これにより標準光の変化や、受光部の感度特性の変化による測定値ドリフトのリスクは、最小限に押さえられている。

図 9 の色彩計の構成図をご覧頂ければご理解頂けると思うが、このセンサにはハロゲン・ランプ及びキセノン・ランプの 2 種類の光源が搭載されている。これらの光源から照射した光はコニカルミラーで 360 度方向に拡散し、ミラーリングで再び被測定物の測定部付近に集光する。これにより、360 度方向から集まってくる光となり、被測定物に影を作らない理想光源となる。これらの光は紙面に照射され紙面から反射した後、白色板及び黒色板で裏打ちされた 2 式の光ファイバー・プローブで取り込まれ、それぞれのスペクトロメータつまりカラーセンサに至り、紙面からの反射

光スペクトラムとして取り込まれる。通常試験室での色彩計測では、被測定物を何層にも重ねあわせ、パッド上にしたものをサンプルとし、紙の不透明度の違いによる測定値への影響を回避しているが、この種のオンライン・センサでは、試験室と同様の重ねあわせは実施することができない。本センサではこの 2 式のスペクトラムを取り込むことにより、紙の不透明度補正を実施し対応している。この不透明度補正を施したスペクトラムは、さらに種々の補正が加えられ、紙の反射率スペクトラムとして表示される。この後、デジタル・データとして登録されている標準光源スペクトラム、3 刺激値が乗算され、X、Y、Z 値となり、所望の表色系の L、a、b/L^{*}、a^{*}、b^{*}/x、y、Y 等に変換され、色彩の計測値として表示される。また、測定スペクトラム上の 457 nm での反射率も取り込まれ、白色度として取り扱われる。

本センサには、2 種の光源が搭載されていることは、全述の通りであるが、そのうちハロゲン・ランプは可視光領域を主体にした連続光源であるのに対し、キセノン・ランプは紫外光をふんだんに含んだパルス光源となる。センサはキセノンが 20 m 秒毎に点灯した際に、被測定物を蛍光させたスペクトラムを測定し、消灯した時にハロゲン・ランプのみの比較的蛍光量の少ないスペクトラムを測定する。この二つのスペクトラムを用いて、D 65 光源を使用し、蛍光量を非常に多くしたスペクトラムを演算する。また、蛍光分を完全に除去したスペクトラムも演算し、それぞれの演算スペクトラムにおける白色度の差を計算し、蛍光増白度として表示する (図 10)。本色計は従来の色彩計の枠から外れ、多くの色彩パラメータを計測するもので

あるが、センサ内部に32ビットCPUが搭載され、前述の4種類のスペクトラムを1秒間に50回測定する。従って、色彩のパラメータのプロファイル表示等も非常に細かく実施することが可能となっている。

7. 最新のBM計(QCS)：DaVinci システム

現在、これらの品質センサを搭載する新型のBM計としてご紹介しているシステムは「DaVinci システム」と称され、昨年末から国内販売を開始したものである。「ダビンチ」はシステムの名称としては今までのシリーズとは趣きを殊にするものであるが、その名の通り、画家、彫刻家、建築家、科学者として多彩な才能を発揮したイタリアの巨匠であるレオナルド・ダビンチに由来するものである。

本システムは、従来の高精度フレーム/センサ群に、新たに新開発されたフレーム/センサ統合したものとなる。また、航空宇宙分野で多用されている多変数制御を初めて抄紙の世界に持ち込む等、最新の制御及びコンピュータ技術をふんだんに取り込み、新開発された真のオープン型システムとなる。本シリーズで新設計されたものを下記に示す。

- ① 新型メインコンピュータ：アプリケーション・サーバ
- ② 新設計スキャナ：プリジジョン・プラット・ホーム 4000 型スキャナ
- ③ 新設計センサヘッド：6 バックセンサヘッド

- ④ 新型センサ：プロメシウム・ラインソース坪量計 (5 mm 幅測定スポット)、新型水分計 (5 mm 幅測定スポット)
- ⑤ 新しいユーザ・インターフェース：ウインドウズ NT+LabView、新しいプロセッシングとI/Oプラットフォーム
- ⑥ 多変数制御：パフォーマンス・プラス流れ方向制御
- ⑦ 新しいソフトウェア構成：LabView
- ⑧ 新しいネットワーク構成：OPC, ODX

8. おわりに

本稿では、既存のセンサ群より比較的採用されることの多い、基本センサの説明と新型システム「DaVinci」の概要についてそのさわりをご紹介させて頂いたが、本システムは、新型センサだけでなく前述の既存センサも有機的に取り込み、優れた性能を発揮するものである。

抄造、計装、機械等、各技術面の進化が急速に行われている現状で、当社 QCS「DaVinci」は、ユーザー各位のニーズを網羅し、種々の用途において大きく貢献できるシステムと確信するものである。今回は紙面と時間に限りがあるため概要の説明に留めたが、今後、本システムの詳細についてご紹介する機会を頂ければと願う次第である。

できる有限整定応答法を適用し、さらに制御定数を自動的に決定するオートチューニング機能と、周期外乱に応じて自動的に制御ゲインを最適調整する適応制御機能を備えている。

ドライヤ乾燥モデルを用いた新しい蒸気圧抄替制御は、王子製紙株式会社殿と現在共同で開発中であり、抄替後の蒸気圧目標値の予測精度向上と、チューニングの簡素化を目指している。

(本文 30 ページ)

品質センサの基礎と最新の BM 計 (QCS)

ハネウェル株式会社 紙パルプ営業技術部 渡辺 憲幸

現在、抄紙工程で、当り前の様に使用されている QCS ではあるが、当初は、計測/品質管理を目的として開発されたものであった。その後、流方向制御、幅方向制御や各種の最適化制御が付加され、今日では、DCS 等の制御システムの他、生産管理システム等とも統合される様になってきている。

今回、もう一度 QCS の基本部分である品質測定センサについて説明する機会を頂き、改めてその構成、原理を振り返って考えてみたい。

(本文 40 ページ)

シート欠陥検査システムについて —シート欠陥検査システムの概要と今後の動向—

オムロン株式会社 ビジョンシステム事業部技術部 荻野 健次

シート欠陥検査システムは、1960 年代に抄紙機、コートなど製紙工程で発生する穴、汚れなどの欠陥を検査するために開発された。その後、生産ラインの高速化、大型化による生産性向上、製品高品質要求に対応するため、検査性能の向上、機能の強化が継続しておこなわれてきている。

シート欠陥検査システムの推移は、機能などから大きく 4 世代に分類でき、第 2 世代において CCD の出現により現在使用されているカメラ方式、 μ CPU の出現によりデータ処理機能と操作性改善などが実現し、現在の原型が確立した。さらに第 3 世代では、欠陥録画システムによる欠陥のビジュアル化へと発展し、現在システムとして欠陥情報と録画画像の一体化が実現し、第 4 世代へと進化してきている。シート欠陥検査システムは、人間と機械との調和を考慮しながら時代に適合した性能・機能と利用可能技術を積極的に取り込みながら進化してきた。また、製紙工程での使われ方も欠陥の検査だけでなく、欠陥録画画像により発生源への対応、後工程での事前準備など生産性改善のツールとしてその重要性が高まってきている。

今後の動向としては

- 1) センシングにおいては、人間による目視検査同様、モノクロ検査からカラー検査への発展。
- 2) 欠陥録画データの利用として、人間の頭脳に相当する判断をおこなう欠陥種類判別システムの実用化。
- 3) 急速に普及してきている IT 革命のリモートメンテナンスなどへの活用
- 4) 映像信号の欠陥検査以外への利用

などが予想され、今後とも機械にできることは機械に任せ、人間はより創造的な仕事ができるような形態で進化していくと予測される。

(本文 47 ページ)