抄紙機のエンベディド・ソリューション*

—性能と製品品質を向上させる製紙機械制御への新しいアプローチ—

フォイトペーパーオートメーション株式会社 内河 英臣, ○磯部 二郎

Embedded Control Solutions

—A New Approach to Paper Machine Controls That Improves Process Performance and Product Quality—

Hideomi Uchikawa and Jiro Isobe
Voith Paper Automation Japan Ltd.

磯部二郎

QCS (Quality Control System) and CD actuator suppliers have been focused on providing solutions for the existing paper machine market for the last 30 years. These systems have proved to be highly effective at reducing MD and CD variations, resulting in significant increases in production, savings in raw material and energy, and improvements in sheet quality. Almost all paper machines are now equipped with QCS and CD actuator systems. A closer examination of QCS and CD actuator systems reveals their past and present limitations.

分類：M₁ 抄紙・抄紙機一般, V₂ 紙パルプ工程制御システム

1. 品質管理の現状

QCS (Quality Control System) と CD (Cross Direction) アクチュエータのメーカーは、ここ 30 年間、既設の製紙機械を改善することに注意を向けてきた。これら QCS や CD アクチュエータは高い効果を実証してきており、MD 方向や CD 方向の変動を減少させ、生産量を大きく増加させ、省資源や省エネルギーに効果を上げ、紙の品質を改良してきた。現在、ほとんど全ての主要製紙機械は QCS や CD アクチュエータを装備している。ここでは、QCS と CD アクチュエータをより客観的に考察し、三つの問題点を上げ、現在の限界を明らかにして、次のステップに挑むこととし

たい。

1.1 時間遅れが MD 及び CD 方向の短周期変動の制御を妨げる

紙の品質変化は従来から MD (Machine Direction) と CD の変動として捉えられている。MD 制御は幅方向の平均値を用いて時系列の変動に対応する。CD 制御は幅方向の変動に対応し、その変動の平均値で制御性を評価する。よく知られていることであるが、図 1 で示すように変動の全スペクトラムを見渡すと、MD 方向の変動原因は多種に渡っている。

また、CD 変動は時間によっても変わる。今日の QCS や CD アクチュエータについて言えば、MD と CD の品質測定はプロセスの流れから見て、制御アクチュエータより下流側の離れた位置にある。例えば、図 2 のように、坪量は原紙がリールに置かれたスキャナーで

*平成 13 年度年次大会講演 (講演 No. A 7)

図 1 MD 坪量変動のスペクトラム

図 2 QCS 制御のプロセス時間遅れ

図 3 QCS で制御される変動

測定されるのに対して、MD 坪量制御はストックバルブで調節され、CD 坪量制御はスライスクチュエータで調整される。

すなわち、第 1 の問題点として、現在の MD 制御はストックバルブまたはスライスクチュエータから坪量センサーまでの長い無駄時間を含む。このことは、現在の MD 制御が長周期変動を制御していることになる (図 3 参照)。

同様に、CD 制御もゆっくりとしたプロファイル変動を制御する。それゆえ、現在の制御システムが有効であるにもかかわらず、下流に位置するセンサーが短周期の MD 及び CD 制御に限界が生まれる。

1.2 下流だけの測定と制御は隠れた問題を見落としたり、新たに問題を生じる

第 2 の問題点として、プロセスの最終位置だけの測定は、紙の最終の品質だけを制御し、隠れた品質の問題を見落とし易い。又、プロセスの上流側のみで検知でき、解決できる問題もある。下流の CD アクチュエータだけでは時々解決できない品質問題もある。当然のことながら、他の問題が発生する前に、原因に出来るだけ近いところで、問題の要因を解決するのが望ましい。

これからの新たな改善を達成するために、紙の品質や均一性を、プロセスの最終点だけでなく、むしろ、初期の位置で、あるいは重要な位置で測定されるべきである。例えば、ドライヤーでの水分加湿装置による水分プロファイル制御を考えよう。ドライヤーでの加湿はドライヤー入口での隠れた問題を改善するものではない。すなわち、それはドロウ、抄速、紙切れを改善するものではない。また、かなり下流での加湿はしわ、膨れ、及びカールが発生することもあり、光沢や多孔性を減らし、濃密化を増す。これらはコーティングや印刷、加工で新たな問題を生じる。これらの問題を解決するために、ドライヤー入口での水分プロファイルを直接測定し、かつ制御し、より強いウエット原紙を作ったうえで、これ以降での水分プロファイル調整を実現すべきだ。

1.3 後追的なアクチュエータによる成果は頭打ち

従来、アクチュエータは既設のマシンに追加されて、抄速変化、銘柄変更、原料変動、機械疲労、人為的エラーのような一過性の問題やマシンの問題を補償してきた。1980 年代初頭から、CD アクチュエータメカはより狭い制御ゾーンと、より大きな制御レンジを持った、ますます高性能なアクチュエータを提供してきた。しかし、ここ 5 年から 10 年の間、これらの追加型の幾つかはその性能において頭打ちとなってきており、また、幾つかはさらなる性能改善が難しくなっている。これが第 3 の問題点である。

旧来型のヘッドボックスにおけるスライスクチュエータの場合を考えると、リップの機械的柔軟性が低い場合、CD 分解能の改善を妨げている。同様に、設置スペースの制限、高価なエネルギーコスト、磁束密度の特性、熱応力の制限等が、後追的なインダクション・システムによるキャリパー制御のレンジを狭め、分解能を制限している。

このような制限を乗り越えるために、制御技術者は機械制御者と共同で作業を行い、マシンの一部としてマシンに埋め込む解決策を創造する。それはマシン自身

の機械的特性を生かし、新しいレベルの品質管理を達成する。

2. エンベディド・ソリューション

以上の問題を解決するため、短周期のMD及びCD変動を制御し、アクチュエータの制御レンジと分解能を高める。そのために、測定器やアクチュエータは、変動の発生源で、またはその近くで、プロセスやマシンと一体になって性能が発揮できるように設計されなければならない。さらにアクチュエータと測定器との間の時間おくれは削除または最少にされなければならない。すなわち、センサーやアクチュエータはプロセスやマシンの一部として、有効な位置に埋め込まれなければならない（エンベディド・ソリューション）。このエンベディド・ソリューションによって、図4に示すような短周期のMD変動を有効に制御できるようになる。

同様に、短周期のCD変動に対しても有効になる。

図4 エンベディド・ソリューションで制御される変動

図5 三次元エンベディド・ソリューション

プロセスにおける早い時点での測定や制御はウエット・エンドの稼働性を向上させ、紙切れを減少させ、さらに抄速を高められる。それも品質を安定させ、印刷性を向上させる。従って、これからは、MD方向のセンサー位置とアクチュエータ位置がそれらの応答速度やゾーン分解能幅と同様に重要なものとなる。センサーとアクチュエータが変動原因に接近して置かれる重要性は、図5で示すように、新しい第三次元のマシンの品質管理基準を与える。

かつて、マシンメーカーは主に機械とプロセスの設計に焦点を当てて、製品品質と生産効率の向上を計ってきた。さらに、近年は、自動化を取り入れ、プロセス設計の改善に努めて来た。ただし、それは自動化の専門メーカーとは分離されたもので、実用的な機能を、ユーザからの要望にあわせてマシンへ追加するものであった。

最近、世界的なマシンメーカーの考え方は劇的に変化した。今日、マシン性能の改善は、プロセス制御のスペシャリストとの協同作業によってもたらされると考えられている。すなわち、設計当初から、マシンにセンサーと制御が組み込まれたものになる。これは自動車工業と同様である。自動車工業では、新しいエンジンにコンピュータやセンサーそして制御を組み込んで馬力や燃費の点で大きな改善をなした。それは、エンジンそのものを改善するだけのものとは比べ物にならないほどである。

エンベディド・ソリューションは、QCS、DCS、PLC及びアクチュエータシステムにとって代わるとか、それらを削減するものではない。これらの制御はさらにオートメーションとして、新しいマシンで重要性を高め発展しつづけるだろう。それに対して、エンベディド・ソリューションは、図6で示すように、新しいレベルの制御を作り出す。この新しいレベルの制御は他の制御システムを補充し、結合したものとなる。それは新しいオープン・コミュニケーション技術、OPL (Ole for Process Control) や GUI (Graphical User Interface) を使い、簡単にデータや画面を工場全体の制御システムや情報システム間で共有できる。

幾つかのエンベディド・ソリューションは既に実用化されている。また、幾つかのエンベディド・ソリューションは主要なウエットエンドプロセスを既に変えている。すなわち、新しいマシンでは混合チェストや白水サイロのようなバッファを削除している。このことは単にスペースやコストを削減するだけでなく、プロセスの応答性や柔軟性を向上させている。また、スタートアップや銘柄変更時間を劇的に短くしている。

図6 エンベディド・ソリューション—制御の新しいレベル

しかし、これらの進歩に関わらず、フィールドは発展すべき個所が依然として無数に残っている。

3. エンベディド・ソリューションによる水分制御

エンベディド・ソリューションの身近な例として、図7で示されるエンパイロスキャン（水分計、紙温計内臓）によるものがある。プレスセクションやドライヤー入口に設置されたエンパイロスキャンはスチームバック（スチームボックス）と組み合わせて、ドライヤー入口水分プロファイルを制御する。プレスにおける水分プロファイルを均一にすることはウエット強度を高め、紙切れを減少させ、より高いドローを可能にして、抄速を高めることができる。この上流でのアプローチは下流での加湿量や過乾燥を削減する。また、ドライヤーをより単調な動きに留め、ドライヤーの負荷を減少させ、過乾燥によって生じるカール、しわ、ロール焼、まだらなどの問題を削減または削除できる。

市場の厳しい品質要求に合わせるために、最近の高性能マシンは上流側と下流側にそれぞれのアクチュエータを組み合わせて使い、水分プロファイルを均一なものにしている。すなわち、プレスセクションでスチームバックを配置し、ドライヤーセクションで加湿システムを設置し、ドライヤー最終端カールにスキャナーを配置する。この構成は制御レンジを高め、過度の加湿を避けることができる。

図7 エンパイロ・スキャン（エンベディド・ソリューション、ウエットエンド測定）

しかし、多重にアクチュエータを配置しただけでは、その潜在能力を完全に引き出しているとは言えない。なぜなら、この場合、実際のところ、ウエットエンドの水分測定なしに、制御技術者は、現実的な点を見定め、経験と感に基づき、2つのアクチュエータへの出力を適当に配分している。加えて、ウエットエンドのスチームバックとドライヤー最終端またはリールとの間の長い時間遅れのために、制御のチューニングは低レベルで止められ、応答速度は押えられた。図8に示すように、これらの制約はウエットエンドにおける水

図8 ウェットエンド水分プロファイルのエンベディド・ソリューション

分測定システム、エンバイロスキャンで解決される。すなわち、スチームバックに近いところでエンバイロスキャンを配置し、高速の短距離の制御ループを可能にし、ドライヤー入口水分プロファイルを均一にする。それによって、下流の加湿アクチュエータでは加湿水分を抑え、ドライヤー最終端またはリールでの残留変動を最少に留めて正す。

4. ま と め

今日のQCSやCDアクチュエータが持つ制限は、あたらしいエンベディド・ソリューションによって克服できる。エンベディド・ソリューションは、変動発生源かその近くでプロセスまたはマシンに組み込まれ

た測定器とアクチュエータで成り立つ。これらは以下の利点をもたらす。

- 1) 短い制御ループ（短周期制御ループ）及び高速制御（無駄時間の少ない制御）を可能にし、短周期プロセス変動や品質変動を最小化または削除し、新しい高いレベルの製品効率と、原材料とエネルギーの削減、及び紙の品質均一性を上げる。
- 2) プロセスの問題を、それがプロセス全体に広がる前に、その発生源で解決する。
- 3) 混合チェストや白水サイロのようなバッファーを削除し、スペースと経費の削減し、プロセスの応答性と高速のスタートアップと銘柄変更への柔軟性を改善する。
- 4) 問題に対する堅固な制御と高速検知のために、より良いマシンのモデリングを可能にする。

有効なエンベディド・ソリューションの1つに、濃度制御ヘッドボックスがある。最近のエンベディド・ソリューションによる水分制御は、ウェットエンドでエンバイロスキャンにより水分測定を行い、ウェットエンド近くにスチームバックを配置した水分制御を行う。ドライヤー入口での高度な水分制御は抄速を高め、ウェットエンドでの紙切れを減少させ、最終の製品品質を改善する。

過酸化水素漂白の最適化と制御

BTG パルプ アンド ペーパー センサーズ AB バーティル・オルソン

今日、過酸化水素漂白は、メカニカルパルプだけではなくケミカルパルプの脱リグニンの OP-または PO-段で使われている（この記号は酸素または過酸化物のどちらが主体であるかにより決まる）。

この論文に述べる方法は、主にメカニカルパルプ漂白のために開発されたが、原理的にはケミカルパルプの漂白にも適用できる。この漂白は、全アルカリに関して注意して最適化すれば、白色度は過酸化物の消費量で決まる。過酸化物の消費量は、基本的に漂白する際のパルプ濃度と反応時間の関数である。

Moldenius 博士が過酸化水素用に開発した数式モデルが一段および二段の漂白設備のために利用できる。いずれの場合でも、残留過酸化物を循環させる方式が使われ、新しい過酸化物の流れを安定化して、漂白塔に一定量を供給する。そのためには、漂白塔入口に戻る残留過酸化物の全量を正確に測定する必要がある。この目的のために残留過酸化水素計 RPA-5000 が用いられた。この分析装置の機能は、この論文の最初の部分で説明する。

（本文 21 ページ）

板紙用紙力剤について

—高クローズド化環境における共重合系紙力剤の効果—

ハリマ化成株式会社 製紙用薬品事業部技術開発部第 1 G 林田 裕一

最近の製紙業界では、抄紙機の合理化や高速化などの生産性向上を押し進めると共に、厳しいコストダウンへの取り組みを行っている。また、地球環境問題の高まりにより、資源である「紙」のリサイクルは社会全体として更に進められていくと思われる。

このような社会情勢から、近年の板紙工場における抄紙環境も変化しており、雑誌古紙の配合量増加や古紙全般の低グレード化と共に、工業用水の削減と排水の抑制により水の再利用が進み、高度にクローズド化された抄紙環境が現れている。

このような高クローズド化された抄紙条件では、系の状態悪化（電気伝導度の上昇）が顕著であり、これに伴う色々な弊害が取り沙汰されている。抄紙系で使用される製紙用薬品にとっても、その効果の面から極めて厳しい環境であると言え、より高性能な薬品が求められている。

本報では、高度にクローズド化された抄造系における共重合系紙力剤の効果について、これまで行っている色々な改良への取り組みとその効果に関して検証し、クローズド化された板紙抄紙系に適した共重合系紙力剤の方向を明確にすることができた。

（本文 27 ページ）

抄紙機のエンベディド・ソリューション

—性能と製品品質を向上させる製紙機械制御への新しいアプローチ—

フォイトペーパーオートメーション株式会社 内河 英臣、磯部 二郎

QCS（Quality Control System）と CD（Cross Direction）アクチュエータのメーカーは、ここ 30 年間、QCS や CD アクチュエータの高い効果を実証してきた。ここでは、QCS と CD アクチュエータの現在の限界を明らかにして、より高いレベルへ進む提言をする。すなわち、センサーやアクチュエータ

をプロセスやマシンの一部として、有効な位置に埋め込む（エンベディド・ソリューション）。このエンベディド・ソリューションによって、より高い制御を可能にする。

最近、世界的なマシンメーカの考え方は変化した。今日、マシン性能の改善は、プロセス制御のスペシャリストとの協同作業によってもたらされると考えている。すなわち、設計当初から、マシンにセンサーと制御を組み込んだものにする。これらは以下の利点をもたらす。

- 1) 短い制御ループ及び高速制御を可能にし、プロセス変動や品質変動を最小化または削除し、高いレベルの製品効率と、原材料とエネルギーの削減、品質均一性を上げる。
- 2) プロセスの問題を、それがプロセス全体に広がる前に、その発生源で解決する。
- 3) バッファを削除し、スペースと経費を削減し、プロセスの応答性と高速のスタートアップと銘柄変更への柔軟性を改善する。
- 4) 堅固な制御と高速検知のために、より良いマシンのモデリングを可能にする。

（本文 35 ページ）

製紙業界に於ける最新ロボット導入事例

マロール株式会社 技術部 加藤 公一

これまでに製紙各社の製造ラインに導入して頂いている装置の中から次の 3 種類の自動機について、導入前の問題点と導入による効果・改善点を紹介していく。

1) 感圧紙のハンドリングロボット

ロール状の感圧紙の外径を把持しても発色させることなく搬送できるロボットで、様々なサイズや質量のワークがランダムに供給されて来ても段取りの変更を加えることなくデータリンクにより選ばれたパレットまで搬送できる装置である。

2) バッキングロール自動サンディング装置

塗工機のバッキングロールの表面に付着したラテックス等の汚れ落としやロールの傷取り・段落としての作業を行う装置で、ラインが稼働中でも使用できるのが特徴である。導入によりロールの寿命が延びて交換・補修間隔が長くなり、またドクターナイフの偏摩耗が少なくなった。

3) ヒートロール自動サンディング装置

ソフトカレンダー設備のヒートロール表面のクリーニング作業を行う装置で、ロール表面に付着するラテックス等による紙の品質の低下をきたさないよう常に運転できるのが特徴である。発生するスラッジは集塵機で吸引し飛散を防いでいる。導入により紙の品質安定に寄与したばかりでなく、今までの手作業による危険で過酷な作業を軽減することができた。

（本文 40 ページ）

BM 計とマシンモニタリングとの統合による新たな展開

ハネウェル株式会社 営業開発部 中濃礼二郎

近年抄紙機の合理化に対する要求はさらに高まり、これに伴う高速化による生産性向上や稼働率を上げるための予防保全、トラブルの早期原因究明に至るまで要求は広範囲にわたり、如何に最大効率を維持しながら、かつ品質及び生産を高めるかが重要な課題となっている。従来の BM 計による測定だけではこれらの課題への対応は困難であり、計測制御システムにも新たな展開が望まれる。

これらの要求を実現するために不可欠なコンピュータは、PC（パーソナル・コンピュータ）が目覚ましい発展を遂げていることにより、低コスト、高性能なものを多目的に利用することが可能になった。