

**製紙産業の発展に大きな影響を与えた技術
幅方向品質向上のための幅方向アクチュエータ技術**

紙パルプ技術協会 製紙産業技術遺産保存・発信
紙パルプ技術協会自動化委員会(まとめ:王子板紙(株)河田克哉)

紙パルプ設備のなかで、最終品質を維持管理する代表的かつ抄紙機特有の計装機器として坪量・水分制御システム(最近ではQCS(品質制御システム)と呼ばれるが、以下BM計と記す)がある。このBM計がリール前に設置され造られる紙の坪量、水分の測定データが時々刻々と得られ、それまで「勘と経験」に頼っていた抄紙技術に大きな変革をもたらせた。その後、測定技術・部品の向上により幅方向の位置対応による測定データが、リアルタイムに数多く取得でき幅方向のバラツキが正確に把握できるようになった。その結果、手動操作による対応もしやすくなるとともに、操作端に自動調整可能な駆動部を実装することにより自動化が可能となった。

駆動部付きの幅方向アクチュエータの導入により、幅方向のバラツキ減少による品質均一化および省力化(作業軽減)に大きな効果をもたらされた。本稿は、幅方向アクチュエータの技術開発に関して年代を追ってまとめた。

1. 1960年代 - 手動操作時期(オペレータの「勘と経験」による幅方向調整) -

1960年代は、オペレータが太くなっていくリール巻取を幅に沿って棒で叩いてその音を聞き分け、幅方向のわずかに厚いところ、水分の多いところなどを、紙が巻き重ねられるうちに判断していた。この棒が打音棒と呼ばれ、単なる棒が立派な計測器の役割を果たしていた。

1968年に、大昭和製紙吉永工場のライナー抄紙機に米国インダストリアル・ニューレオニクス社製のアキュレイシステムが導入された。O型フレームで、坪量計と水分計が併設され、流れ方向の坪量・水分制御を実装したわが国最初の本格的BM計である。1969~1971年にかけて、王子製紙春日井工場で横河電機製アナログ式BM計に自前での流れ方向の坪量と水分制御を実現した。幅方向の品質は、アクチュエータ手動操作によるオペレータの「勘と経験」に委ねられていた。

2. 1970年代 - 開発時期(スライスリップ坪量制御アクチュエータ開発) -

1970年中頃米国で幅方向の坪量を、スライスリップの操作端に自動調節するアクチュエータを取り付けて制御する幅方向制御が構築された。しかし、スライスリップでは人手で行っても、ある箇所を操作すると、その影響が両隣、さらにその先の両隣にも現れ非常に調整が難しい。しかも、リール前のBM計で問題となる幅方向の位置と、それに対するスライスリップの位置との特定が難しく高度な制御が望まれていた。

1970年の後半頃から、水分の幅方向制御と乾燥効率を高めるウエットプレスでの蒸気加温によるスチームシャワーが普及した。さらにドライヤ内で水を噴霧し水分幅方向制御が構築されたが噴霧水によるストリーク、ノズルの目詰まりなど問題は多かったが改良が進められ、品質とエネルギー効率改善に貢献した。

1978年に導入された冷風方式の紙厚プロファイル装置は、操作ゲイン不足、応答の遅さがあり制御は、積分(I)制御で、制御周期の長い(10~20SCAN)制御であった。

3. 1980年代 - 導入時期(電磁誘導加熱方式の紙厚制御アクチュエータ開発) -

1983年に熱膨張タイプの幅方向坪量制御アクチュエータが、王子製紙春日井工場で稼動して以来、上質紙・中質紙を抄造する長網抄紙機を主に積極的に導入が進んだ。この当時の使用状況は、抄出し時などの原料や

幅方向品質向上のための幅方向アクチュエータ技術開発年表
*印は、技術開発の年代がその位置に特定されている。ないものは、ほぼその年代である。

西暦(下2桁)	60	70	80	90	00	10
幅方向アクチュエータ時代区分	1960年代:手動操作時期(経験と勘による幅方向制御)	1970年代:開発時期	1980年代:導入時期 86年から本格導入	1990年代:導入評価・実用化時期	2000年代:成熟時期(マルチロール、アクチュエータ化)	2010年代:更新時期
坪量制御(国内納入年)	打音棒による経験と勘による調整 幅方向は、依然として経験と勘により、アクチュエータを手動操作 * 熱膨張タイプ幅方向坪量制御アクチュエータ(サーモド・マルチ・プレックス) * CP(Consistency Profiling)による幅方向制御(三菱/△ロイ製+MX-OPEN)	70年代中頃、スライスリップ操作端を自動調節する幅方向制御の構築(米国) * 熱膨張タイプ幅方向坪量制御アクチュエータ(サーモド・マルチ・プレックス) * CP(Consistency Profiling)による幅方向制御(三菱/△ロイ製+MX-OPEN)		板紙抄紙機へのCPの導入 * BTFシステム(川之江造機)		
水分制御(国内納入年)			蒸気加温方式幅方向アクチュエータ * 水スプレー式幅方向アクチュエータ(アクアロック) * 電気式赤外線幅方向アクチュエータ(インフラロック)			
紙厚制御(国内納入年)		* 冷風方式紙厚幅方向アクチュエータ * 電磁誘導加熱幅方向アクチュエータ(キルコル) * 温風方式紙厚幅方向アクチュエータ(サーマジェット)		カンダ・ロール内部の油圧ヒストンによる幅方向制御		
塗工量制御(国内納入年)		70年代:機械的なジャッキと電動モータによるフレートの幅方向手動調節				
幅方向制御(国内納入年)			80年代:メカトロニクスによる高度に自動化されたフレート制御 * 塗工前後のBM計の差による塗工量自動制御(オートロト)			
BM計(国内納入機種)	* オンライン坪量計開発(国内) * 流れ方向の坪量・水分制御を実装した最初のBM計 (横河電機)	* B/M700 * B/M1000 * B/M CENTUM * B/M1000 * B/M SYSTEM * B/M 7000XL * B/M 9000CS * Da Vinciシステム	* B/M800 * B/M CENTUM * B/M SYSTEM * B/M 7000XL * B/M 9000CS * VISION2002ET * MX Openシステム	(メツォオートメーション) * IQ Insight(全幅水分計測) * Paper IQ Selectシステム		
国内発売年		* B/M700 * B/M1000 * B/M CENTUM * B/M1000 * B/M SYSTEM * B/M 7000XL * B/M 9000CS * Da Vinciシステム	* B/M800 * B/M CENTUM * B/M SYSTEM * B/M 7000XL * B/M 9000CS * VISION2002ET * MX Openシステム			

インレットの大幅な温度変化による坪量の変動に対しては、オペレータが初期介入する場合もあり、また作業時にも制御不十分な場合は、オペレータの介入が必要であった。ただし、安定後は自動制御によりプロファイルの均一化が図れた。安定時には、

- 2 値が平均 BD 値の 0.5～1.0%の範囲に入りプロファイルの安定化が図れた。
- オペレータによる常時監視が不要となり、また遠隔操作ができ作業性が大幅に改善された。
- 抄物毎に BD プロファイルのパターン制御が可能となり、コーティング特性や紙品質向上に大きく寄与した。

ただし、改善すべき点も多かった。

- 鋸歯状プロファイルを防止するための自動マッピングとセルフチューニングの開発
- スライスリップの制御レンジを有効に拡大でできるようなスライスリップ歪み保護制御の見直し
- 抄出し時、紙替え時の手動介入がない全自動制御の開発と短時間に収束する制御の改善
- 耳部のアクチュエータを含めた全幅での制御投入への実現

1983年に発売されたデブロン社の電磁誘導過熱方式の幅方向紙厚制御アクチュエータは、王子製紙日南工場に国内で最初に導入された。操作ゲインが非常に大きく、制御方式はPI制御であり、制御周期1SCANと制御性が良く効果のあるものであった。

4. 1990年代 - 導入評価・実用化時期(塗工量およびCP坪量制御アクチュエータ開発) -

国内での幅方向制御の順調な導入は1985年以降であり、1990年に自動化委員会としても幅方向制御アクチュエータのアンケート調査を行い紙パルプ発表会で報告されている。評価基準も定かでなく、アクチュエータについて十分な評価がされていない状況であった。そのアンケート報告でのアクチュエータの機種と導入実績は下表のとおりであった。

(1)坪量			
Mx-TET(Thermal Expansin Tube(LVDT使用せず))	メジャレックス	28式	76式(76M/C)
TET(TET、TET+LVDT、TET+モータ(LVDT)の3種あり)	王子工営	28式	
モータ駆動	ハーモニックギヤ+モータ ウォームギヤ+モータ	アキュレー、デブロン インパクト、IHI、MHI	
(2)水分			
スチームボックス(プレスパート)	デブロン、SHI、堀川	30式	63式(54M/C)
ウォータスプレー(シングルカンバス)	デブロン、VIB、インパクト	8式	
IR(ドライヤ出口)	インパクト、IRT	23式	
不明		2式	
(3)紙厚(キャリパー)			
熱風方式	サーマジェット キャルトロール キャリバック	インパクト メジャレックス	18式
電磁誘導加熱方式	E-Cal カリコイル	MHI デブロン	73式 106式(101M/C)
冷風方式		相川(Thermoelectron社)、SHI	9式
その他			6式

1980年から10年足らずで、240式以上の幅方向制御アクチュエータが導入されたことになる。

コータでの塗工量調整は、1970年代までは機械的なジャッキと電動モータを使用しブレードを手動調整してきた。1980年代にエレクトロニクスと機械が融合したメカトロニクスが制御の主流となり、高度に自動化されたブレード制御装置が開発された。1990年代には高速、幅広化に伴いは幅方向の自動化ニーズが高まった。

1994年王子製紙春日井工場は、コータで国内最初のメジャレックス社製の塗工量の幅方向制御を実施した。塗工量の場合は操作端と検出部の距離が短く、マッピングにも問題がないので良好な制御が実現されている。

塗工機前後のBM計のそれぞれの絶乾坪量の差から塗工量を算出し、ブレードの押付け量を操作するハンドルの代わりに減速機付きモータを取付けて自動調節するもので、機構も簡単であることから瞬く間に普及した。

アクチュエータのピッチは50～100mmである。ちなみに、塗工量計は1994年にメジャレックス社から販売された。

1995年王子製紙春日井工場6M/Cに、三菱重工/ペロイト製CP(Consistency Profiling)装置とハネウエル製MX-OPENシステムにより坪量幅方向制御を実施した。今まで坪量幅方向制御は、スライスリップの開度を調整することにより制御していたが、CP装置ではスライスジェットの濃度を幅方向に局部的に変化させて制御する。この装置では、スライスジェットの速度の方向を変えることなく、従来より細かいピッチ(IHI-Voith:64mm、住重/バルメット:60mm、三菱/ペロイト:34mm等)で坪量プロファイルを調整することが可能であり、その結果、2値が平均BD値の0.15～0.3%まで向上した。坪量の幅方向制御を濃度コントロールで行うことで、スライス開度のコントロールを配向角の制御に利用できるようになった。

導入後の課題としては、アクチュエータのピッチが細かいため、BM計センサの測定数、位置精度、測定精度の向上、マッピングの精度及び自動化が要求されていた。

5. 2000年代 - 成熟時期(マルチフレーム、マルチアクチュエータ化) -

坪量幅方向制御では、長年問題視されてきたスライスでの斜流、ドライヤ内での非対称収縮、蛇行の影響を修正する学習方式でマッピングを同定する制御がVoith社、横河電機で構築されより自動化が進んできた。さらに幅方向制御は繊維配向角にもおよび、ヘッドボックスのエッジフローとスライスリップ操作して配向角の表裏差を制御する技術が横河電機と日本製紙で共同開発され、コピー用紙、ライナー紙などのねじれカール対策としての展開が期待できる。板紙の世界でも「軽量化」が進み、同時に「美粧化」の要求も高くなってきたそのため、強度に対して密接な関係にある地合や坪量プロファイルのより高い均一性が求められ、2000年以降は板紙抄紙機にもCP化の導入が進んだ。

2003年に、川之江造機より「BTFシステム」が丸住製紙川之江工場PM3に国内第1号機が導入されている。このシステムは、既設ヘッドボックスを改造することなくCP化できるため短期間で導入できる特徴があり、2値も導入前に比べ50%以上向上している。2005年に小林製作所の「オクトパス」も板紙マシンで稼働している。カレンダーにおいて、厚み、グロス、水分の幅方向制御と緊度の最適化を図るための複合アクチュエータシステム(誘導熱、スチームシャワー)も構築されている。紙厚制御にカレンダーロール内部からの油圧ピストンによる方式が普及し出し、設備としては高価ではあるが熱による応答性の問題に改善が見られた。

今後も、更なる品質、生産性向上を目指し、1台の抄紙機のなかで、数多くのセンサと幅方向アクチュエータが設置され、それらを効果的に活用するために夫々の幅方向制御の非干渉、最適化制御の構築が望まれる。

6. 現状における課題

幅方向アクチュエータは、マルチフレーム化及びアクチュエータの小ピッチ化が進み、数多くの部品数が発生し、設置後の保全対応は事後保全の傾向が強くなり、あまり多くの手をかけてこなかったのが実情である。また、設置後20年以上経っている設備が今後数多く発生してくる。その結果、予備品確保及び部品レベルでの交換などによる保守延命と老朽化更新のニーズが増加してくる。更新にあたっては、現状の機能に付加価値を付けてのアクチュエータが望まれる。かつ、保守性の良い製品が好まれるであろう(オペレータによる保全が可能な製品、ユニット化による交換保守対応など)。

引用文献

- 第10回 紙パルプ計装技術発表会要旨集 「抄紙機のプロファイル制御について」 王子製紙(株) 岡 俊雄
- 第11回 紙パルプ計装技術発表会要旨集 「抄紙機幅方向坪量制御装置の使用状況」 王子製紙(株) 小川 正幸
- 第14回 紙パルプ計装技術発表会要旨集 「巾方向制御アクチエータ アンケート報告」 自動化委員会 飯田 英則
- 第21回 紙パルプ計装技術発表会要旨集 「ヘッドボックス希釈方式によるBDプロファイル制御」 王子製紙(株) 水野 昭夫