最近の計装技術 (IV)

——操作端の動向——

紙パルプ技術協会 自動化委員会

Recent Development of Instrumentation in Pulp & Paper Industry

Process Control and Automation Committee, JAPAN TAPPI

This serial report describes current topics in pulp and paper making process instrumentation technology, and this paper is reviewed of actuators.

Keywords : Instrumentation, Actuator

コントロールバルブのための電子式アクチュエータ

プロセス制御システムにおける電子式バルブアクチュエータの採用比率は、ここ1～2年の間に急速に高まってきた。コンピュータで集中管理する場合に電子式アクチュエータを使えば、電気⇄空気の信号変換や空気系の応答遅れを気にすることなく、電気系統のみでシステムを構成できるため、密度の高い制御システムの構築が可能になる。それでは電子式アクチュエータとは如何なるものか図1, 2, 3に示す(株)エム・システム技研の「サーボトップ」を中心に空気式アクチュエータなどと比べながら紹介してみよう。

Q——電子式アクチュエータの構成はどうなっているか？

A 大きく分けるとサーボコントロールユニット部、モータ駆動部、位置検出部およびボディ部から構成されている。

図1 電子式アクチュエータ・ブロック図

図 2 直線型アクチュエータ外観図

図 3 回転型アクチュエータ外観図

サーボコントロールユニット部はアクチュエータの頭脳に相当する部分で、外部から入力信号をうけて位置検出部のフィードバック信号と比較演算し、速やかに所定の位置に動かすようモータ駆動部に指令をだす役割をもっている。

モータ駆動部は心臓に相当する部分で、タフで加減速特性のよいブラシレス DC モータと精度のよいギヤヘッドからなっており、ボディ部にパワーを伝える役割をする。位置検出部は神経に相当する部分で、差動トランスを用いており、そのコア軸を最終移動部に直結する取り付け方法を取っているので、バルブの開度をノーバックラッシュで検出できる。

Q——電氣的にメンテナンスフリーというのは？

A 電子式アクチュエータの主要構成部では、全く電氣的接触部をもたない方式をとっているため、電氣的トラブルの大半を占める接触不良にまつわる問題は無い。

すなわち、サーボコントロールユニットはソリッドステート式のため電氣接点は全くなく、ブラシレス DC モータは当然ながら定期的にメンテナンスを必要とする様なブラシはない構造であり、差動トランスも通常のポテンショメータにある様なブラシを持っていない。

Q——差動トランスを使うメリットは？

A 差動トランスはリニア位置検出用として非常に優れたセンサーであり分解能、直線性、ヒステリシスも良く温度係数も小さいだけでなく、何といてもブラシを持たない非接触構造であることから、長期間使用の際に悩まされるブラシの摩耗や接触不良によるトラブルから開放されるだけでなく、異物による誤接触も起こりえないのがあるがたいところである。

Q——電子式アクチュエータの温度上昇は？

A 通常、回転体を急速に加速・減速させるためには大きなエネルギーを必要とし、これを頻繁に繰り返すと温度上昇を伴うのは周知の通りである。よく使われるモータでは表面温度が 100℃ 程度になっても十分耐えられる構造になっているが、アクチュエータとしては内蔵しているサーボコントロールユニットやセンサーにとって、或いは機械構造部にとってあまり好ましいことではない。

DC モータは AC モータに比べて制御が容易にできる大きなメリットを持っている。加速・減速を負荷の状況にあわせて滑らかに、しかも素早く行わせる様な制御も可能である。これによればモータの発熱は低く押えることができるのでアクチュエータ自体も温度上昇が小さくなる。これは AC モータを用いたアクチュエータと比べると顕著な差が見られる。

Q——電子式アクチュエータの出力トルクは？

A 電子式アクチュエータ（ロータリタイプの場合）では、駆動モータの回転数を所定のバルブ開閉速度になる様に歯車機構で減速している。したがって、出力トルクは駆動モータのトルクと減速比の逆数及び機械効率との積で求められる。ここでは、駆動モータのトルクとして定格トルクを適用するのを基準にしているので、ロック停止する寸前の最大トルクに達するまでには10～15%の余裕があることになる。電子式アクチュエータを選定する場合に留意することの一つは、メーカーによっては最大トルクを基準にして表示していることである。アクチュエータにとっての負荷の大きさは、バルブの種類、口径、流体の条件のほかに機械的接合の仕方や外的条件などにも影響されることから、このような最大トルク基準のアクチュエータでトルクの的に余裕の少ない選定をすると、バルブを十分に制御できないケースもでてくることになる。

標準の電子式アクチュエータ（ロータリタイプ）は、8 kgf・m タイプ、20 kgf・m タイプ、50 kgf・m タイプの3種類があり、かりにワンダーバルブを例にとってみると、めやすとしてそれぞれ80 A、125 A、200 A まで適用できる。なおそのほかに、リニヤタイプ電子式アクチュエータとして、推力300 kgf タイプ、500 kgf タイプの機種がある。

Q——電子式アクチュエータは省エネになるか？

A 電子式アクチュエータと空気式アクチュエータのランニングコストを使用電力料で比較することは、システムの大きさや種類、稼働率そのほか色々な要素が絡み合ってきて単純ではないが、通常は電子式アクチュエータを採用した方が空気式アクチュエータの場合のおよそ十数分の1から四十数分の1ですむとわれている。

Q——電子式アクチュエータの分解能は？

A 電子式アクチュエータの分解能は、通常は負荷に特定せずに1/200 以上になるように調整して出荷されているが、特定の負荷と組み合わせで調整すれば1/1,000 程度にすることもできる。

すなわち、コンピュータや調節計からの入力信号をうけてアクチュエータが追従していくわけであるが、所定の位置近傍で1/1,000 の分解能を得るためには、それに匹敵する幅の不感帯内で安定して停止させることが必要である。そこで不感帯の外側に比例帯を設け、ここでPID 制御を行わせて高精度の位置決めを可能にしている。

Q——コンピュータとの結合は？

A 最近のシステムはコンピュータ集中管理が普通になっている。そのためにアクチュエータとしては、コンピュータからの指令に素早く応答し、その結果をフィードバックできる機能を持たなければならない。また、異常事態では入力信号の値によらず緊急対応が取られなければならない。アクチュエータが停止している場合に、バルブは開位置にあるか閉位置にあるか、或いは異物を噛み込むなどしてロックしているのかを知らせることも重要である。このように高速かつ多彩な機能は空気式アクチュエータでは対応不可能であり、電子式アクチュエータの求められる所以でもある。

Q——電子式アクチュエータの今後は？

A コンピュータの機能がさらに進歩し、さらにきめ細かいコントロールが行われる様になれば、当然ながら電子式アクチュエータに対してもより高度な機能を求められるだろう。その時の電子式アクチュエータの姿の一つは、フィールドバスつきでマイコン内蔵コントロールユニットを搭載しているだろう。コンピュータからダイレクトにバルブの開度指令をうけるだけでなく、アクチュエータの特性値のリモート設定、或いは一寸したシーケンスを組んだり簡単な計算をさせることも可能になるだろう。

Q——ところで自動化委員会として、電動式調節弁に対してどのようなアクションを計画しているか？

A 弁と駆動部の接続規格の標準化について提案する予定です。すなわち、電動式調節弁の採用が増加して来ているが、弁メーカーと駆動部メーカーが異なるケースがなり、次の様な事項が問題となっている。

(1) 発注先を駆動部メーカーか弁メーカーによって下記が異なる場合

- ① 組立て方
- ② 駆動部トルク選定
- ③ 調整方法（特にリーク量とシート、ジスクの接圧による駆動トルクの関係）

(2) メンテナンス

- ① 同じ弁メーカーでも駆動部メーカーが異なるケース
- ② 納入後のクレーム先

従って、駆動部と弁本体の接続規格を標準化することにより駆動部互換性及び保守の容易さを確保したい。

Q——標準化に対する駆動部、弁メーカーへのアンケート先は？

A 北村バルブ製造㈱(KTM)、日本工装㈱(工装)、巴バルブ㈱(巴)、日本ダイヤバルブ㈱(ダイヤ)、日本ジェームスバリー㈱(ジェームス)、西部電気㈱(西部)、㈱Mシステム技研(Mシステム)、コーエイ工業㈱(コーエイ)の8社である。

Q——アンケート結果の要約は？

A (1) ヨークとのフランジ接続規格はISO-5211ではどうかとの間に対して

ジェームス：主にJISとANSIを採用している

コーエイ：ISO規格は寸法ステップが広過ぎる

その他6社は賛成又は問題なし

はめ合いについては

北村	工装	巴	西部	Mシステム	ダイヤ
H9,e9	H9,f8	H8,f7	-,f8	-,h8	H10,e9

(2) 軸コネクターは割カップリングではどうか(角軸)との間に対して

KTM：トルク200kg-m以上はキーとしたい

工装：F16以下(400kg-m)以下は割カップリングF25以上(800kg-m)以上はキーとしたい

巴：割カップリングが良いが、規格化とコストアップになるので反対、量産化カップリングの追い加工にしたい
その他5社は賛成又は問題なし

(3) ヨーク迄を弁メーカー持ちとしてはどうかとの間に対して

ジェームス：駆動と弁とセットする所としたい

コーエイ：駆動部メーカーとしたい

その他6社は賛成又は問題なし

(4) 割カップリングに基準があるかとの間に対して

社内基準あり：KTM、工装、巴、ジェームス

社内基準なし：西部、Mシステム、ダイヤ、コーエイ

(5) 電動駆動軸のフランジ面からの突出し量と軸寸法(トルク区分毎)に基準があるかとの間に対して

コーエイ：弁メーカー毎に弁サイズ別に基準表あり(省略)

その他4社は基準なし

メーカー	トルク	A ^φ	B [□]	C	D
KTM	5	20	15	20	20 + α
	20	28	23	30	30 + α
	50	39	30	40	40 + α
	100	50	24	40	40 + α
工装	5	20	16	30	65
	20	28	21	30	65
	25	35	26	35	75
	50	42	32	40	85
	100	54	41	50	85
	200	70	50	55	100
	400	80	60	80	130
Mシステム	5	20	15	30	39
	15	30	23	32	40
	50	35	丸	丸	54

α は数 mm

Q——自動化委員会としての「標準化提案」について？

A 標準化の範囲を暫定的に駆動部と調節弁 (90° 回転) の接続に限定し下記を提案する。

- (1) 調節弁メーカーの範囲をヨークまでとする
- (2) ヨークと電動駆動の接続規格は ISO-5211 (別表 1, 2) とする。
- (3) 弁と駆動部の回転軸芯が機械的に合うこと
フランジはめ合い規格 H 8, f 8
- (4) 軸コネクターは割カップリングとする
- (5) 暫定的に駆動部トルク 200 kg-m 以下について標準化する (10 B 程度の弁まで含まれる)
- (6) 駆動部出力軸, 割カップリング寸法 (別表 3)

別表 1 最大トルク

Flange type	Torque N·m
F 05	125
F 07	250
F 10	500
F 12	1,000
F 14	2,000
F 18	4,000
F 25	8,000
F 30	16,000
F 35	32,000
F 40	63,000
F 48	125,000

別表 2 フランジ寸法

Flange type	Dimensions, mm					Number of studs or bolts
	d_1	d_2	d_3	d_4	h max.	
F 07	90	55	70	M 8	3	4
F 10	125	70	102	M10	3	4
F 14	175	100	140	M16	4	4
F 16	210	130	165	M20	5	4
F 25	300	200	254	M16	5	8
F 30	350	230	298	M20	5	8
F 35	415	260	356	M30	5	8
F 40	475	300	406	M36	8	8

別表 3 出力軸，割カップリング寸法

出力軸

割カップリング

フランジ	トルク kg-m	出 力 軸				割 カ ッ プ リ ン グ											
		A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R
F 05	12.5	(20)	16	30	65	58	48	注	24	9	40	19	10	20	11	16	M 8
F 07	25	(35)	26	35	75	80	60	30	15	12	60	32	10	36	15	28	M10
F 10	50	(42)	32	40	85	100	65	35	15	14	76	40	15	48	19	37	M12
F 12	100	(54)	41	50	85	122	100	56	22	18	90	52	15	59	21	43	M16
F 14	200	(70)	50	55	100	150	105	61	22	22	110	64	20	76	26	54	M20

注) ボルト本数は 2 本，従って寸法はなし

水分幅方向制御用操作端

Q——水分幅方向制御用操作端の方式は？

A 下記の方式がある。

- スチーム方式
- 熱風方式
- 赤外線電気ヒータ方式
- 加湿方式

Q——赤外線電気ヒータ方式とは？

A 代表的なタイプはインパクトシステムズ社製インフラパックである。

図4 プロファイラフレームの断面図（赤外線の輻射熱は軽質紙を透り抜け、その一部はドライヤーカンに反射、あるいは吸収され再度紙に伝わる）

Q——その技術性は？

A 図4はインフラパックのプロファイラ・フレームの断面図を示したものである。従来の赤外線ヒータに比較して異なる点は図4において石英チューブの中に入っているハロゲンガスとタングステンワイヤでできているランプから赤外線が放出されることである。タングステンのフィラメントは約2,100℃で作動する。このプロファイラフレームは放熱面は狭いが、発熱温度は2,100℃と高く、発熱は絶対温度の4乗に比例するので、現在一般的に使用されている800℃から1,000℃の範囲で作動する赤外線発生装置と比較して5～10倍のエネルギー密度を持っている（エネルギー密度は約0.45 ジュール/秒/m²）。

また2,100℃のエネルギー波長のピークは1.2 ミクロンである。この波長は紙への浸透力が高いので板紙にも最適である。100 g/m²以下の紙では若干のエネルギーは紙を透り抜けるので、ヒータユニットは通常、ドライヤの表面より約25 mm 離して据えつけられる。紙を透り抜けたエネルギーは、ドライヤの表面で反射、または表面に吸収されるが、熱伝導によって直ぐに紙に再伝達されるためエネルギーはムダにならない。

さらに技術的に考慮している点は、熱容量の小さいタングステンフィラメント、ランプ後方の熱容量の小さいタイル、冷却用エアシャワーの組み合わせの効果で、ヒータユニットが作動している時でも、プロファイラフレームの表面温度は紙の発火温度以上になることはない。

またシステムの信頼性の向上のために、ホコリ対策として、プロファイラフレームに冷却用空気をパージしている。

図5にシステムの概要を示した。

図5 水分幅方向制御システム「インフラ・パック」概要図

坪量幅方向制御用操作端

Q——坪量幅方向制御用操作端について多くのメーカーから各種のタイプのものが市販されているが、代表的な例示として、山武アキュレイ「マイクロセット・リニア・ステッパ・スライス・アクチュエータ」について説明をお願いします。

A 図6は制御システムの概要を、図7に操作端の概要を、図8には操作端のうち、特にバックラッシュを大幅に小さくした駆動部について示した。

この駆動部は小容量の圧縮空気により、「ハーモニック・ギア」のステップ回転にて作動する。この回転はスラ

図6 坪量幅方向制御システム「マイクロセット・リニア・ステッパ・ベース・システム」概要図

図7 坪量幅方向制御用操作端概要図

図 8 駆動部「ハーモニックギア」概要図

イスリップの上下直線動作に変換される。

アクチュエータに入った空気は4個の電磁弁に加わり、この電磁弁のシーケンス動作を介して空気は内側の可変性ギアの中にある圧力ダイアフラムに流入する。ダイアフラムは円形をしており、1個のゴム膜によりシールされている。電磁弁から互いに点対象の位置にある1組のダイアフラムに空気をいれると、ペアのダイアフラムの圧力は高くなり、その可変性ギアに長円形の変形が生ずる。この動作により、内側の可変性ギアと外側の出力ギアの間に歯のかみ合せが生ずる。

内側の可変性ギアは「160 歯」、外側の出力ギアは「162 歯」あるので1回転により2歯の相対的な動きが生じる。

この外側の出力ギアの回転(内側160に対して2)は、直進変換機構を介して直線的な動きに変換される。出力ギアの1回転は、ロッド4mmの直線的な動きを与えるようになっており、また電磁弁のステップとしては1296に設計されている。したがって、1ステップによるスライスの動きは3ミクロンと非常に高分解能、かつバックラッシュが小さくなるように設計されている。

Q———その他のタイプのものは?

図 9 ダイナステップの概要図

A 熱膨張式のものがある。応答速度は遅いが、分解能は非常によい。

また図9にはインパクト・システムズ・アジア㈱のダイナステップの概要を示した。

キャリパ・幅方向制御用操作端

Q——キャリパ・制御用アクチュエータの種類は？

A 図10に示すごとく

- 冷氣ノズル方式
- 誘導コイル方式
- サーマ・ジェット方式

等がある。

Q——先ず誘導コイル方式について願います。

A 三菱電機・堀川製作所製「三菱プロファイル・コントロール」について説明しよう。

図11に示すごとく高周波電源ユニットから加熱コイルに高周波電流を流すと、加熱コイルからローラへ「鎖交磁束」が発生する。この磁束により図12に示すごとくロール表面近くに渦電流が電磁誘導の作用により流れる。

この渦電流とロールのもつ電気抵抗により、ジュール熱が発生しロール表面温度は上昇する。

ロール表面温度はコイルの中心部が上昇し易いが、周りへの熱伝導により、図に示すごとく幅方向の温度パターンは平滑化される。

図10 キャリパ・制御用操作端、各種タイプ比較概要図

図11 誘導コイル方式概要図

図12 渦電流とロール温度パターンとの関係図

図 13 サーマ・ジェット概要図

図 14 誘導コイル型との比較によるサーマ・ジェットによる急速加熱及び急速冷却特性図

図 15 サーマ・ジェット操作端外観図

Q——次にサーマ・ジェットについて願います。

A インパクト社製について説明しよう。

インパクト社製は従来の「熱冷風方式」より一段と効率的な方法で、カレンダーロールの温度を制御する方式がある。図 13 に示すごとくサーマ・ジェットは幅方向に 75 mm の高分解能をもち、75 mm 幅ごとに制御可能である。

また誘導コイル方式との比較を図 14 に、外観図を図 15 に示した。

(本州製紙株 本間忠一)