



# 電空レギュレータ技術

## Electro-Pneumatic Regulator Technology

長崎 功 Isao Nagasaki

電空レギュレータは比例制御弁に分類され、電気信号である入力に比例した空気圧力を連続的にコントロールする機器である。初期モデルの発売からおおよそ30年が経過し、生産設備の多品種生産対応や高機能・高精度化に伴う市場からの要求に対応すべく進化を続けてきた。本稿では電空レギュレータの概要・高精度化技術の一例を紹介する。

An electro-pneumatic regulator is classified as a proportional control valve. It continuously controls air pressure in proportion to the input (electric signal). Since the launch of its first model thirty years ago, CKD's electro-pneumatic regulator has been evolving to accommodate production of various products in factories and to meet the demands of the market for high functionality and high precision. This paper presents an overview and an example of high-precision technologies of CKD's electro-pneumatic regulator.

### 1 はじめに

生産設備の多機能化・自動化・省力化が進むと共に各種の空気圧機器が使用されてきた。近年では、生産設備の多品種生産対応や高機能・高精度化に伴い、空気圧機器も自由度を持たせる必要が出てきた。つまり、シリンダや治具の空気圧によって発生する力、空気の流量を変化させる要求が出てきている。これらの制御を行なうときに空気圧を入力信号に比例して変化させる電空レギュレータが使用されている。

### 2 電空レギュレータについて

#### 2-1 構成と動作原理

電空レギュレータは入力信号と内部に搭載された圧力センサ信号の差に応じて動作させるフィードバック制御を用いている。Fig. 1に示すように制御基板からの

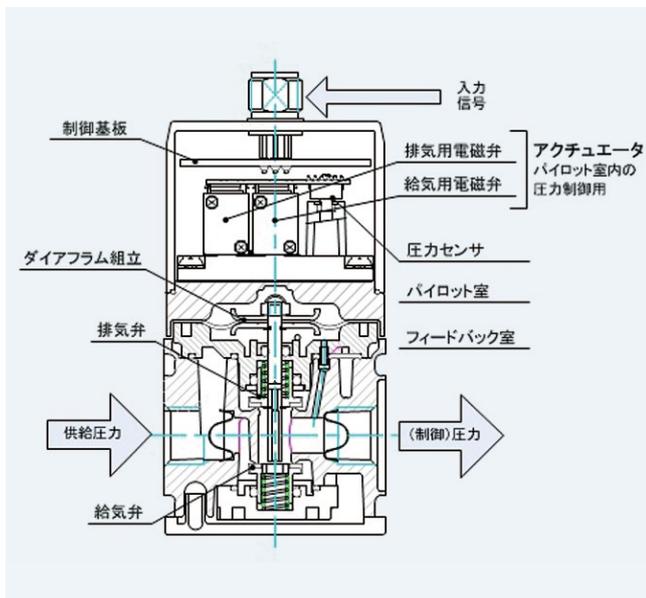


Fig. 1 電空レギュレータ内部構造

電気信号をパイロット室の圧力へ変換する給気用／排気用のアクチュエータ、パイロット室とフィードバック室の圧力差を力へ変換するダイヤフラム組立、その力により開閉される給気弁／排気弁で構成される。

実際の動作をFig. 2に示す。

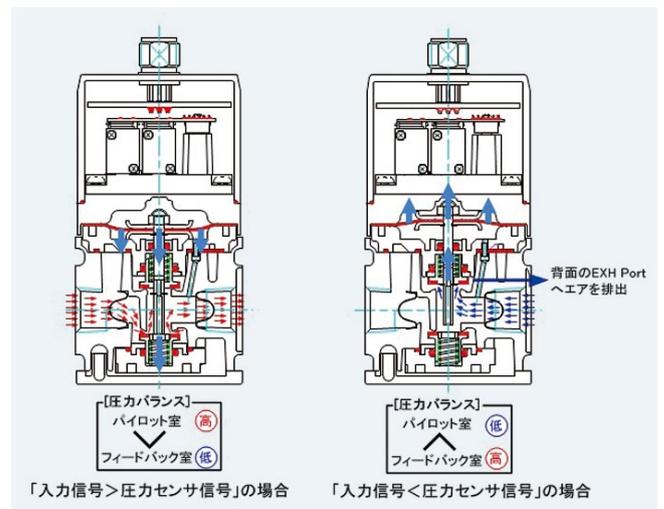


Fig. 2 動作概要図

「入力信号>圧力センサ信号」の場合、給気用電磁弁がON、排気用電磁弁がOFFとなる。このため、供給圧力が給気用電磁弁を通してパイロット室に印加され、「パイロット室圧力>フィードバック室」となりダイヤフラム組立へ下方向への力が作用する。その結果、給気弁を押し下げ供給圧力が制御圧力側へ流れ圧力が上昇する。この動作をパイロット室とフィードバック室がバランスするまで継続する。

また、逆に「入力信号<圧力センサ信号」の場合、給気用電磁弁がOFF、排気用電磁弁がONとなる。このため、パイロット室力が排気用電磁弁を通してEXHポートへ流れ、「パイロット室圧力<フィードバック室」となりダイヤフラム組立へ上方向への力が作用する。その結果、排気弁を押し上げ制御圧力がEXHポートへ流れ圧

力が下降する。この動作をパイロット室とフィードバック室がバランスするまで継続する。

### 2-2 電空レギュレータと制御方式の歴史

電空レギュレータに用いられるアクチュエータについては様々な方式がとられる。当社では、電空レギュレータを開発する際にアクチュエータ選定で重要としている項目が以下に挙げる4点である。

- ①入力に対して比例な出力(流量)がされること
- ②高寿命であること
- ③高速動作可能(高応答)であること
- ④小型であること

電空レギュレータの歴史(Fig. 3、Table 1)をたどってみると様々なアクチュエータが選定されてきた。近年では、総合空圧メーカである利点(設計ノウハウが豊富、安価で製作可能)を生かし、電磁弁PWM制御を採用して市場要求にマッチした製品開発を進めている。

(補足)

PWM(Pulse width modulation)とは電気信号の一形態であり、パルス幅変調と呼ばれ、一定周期のパルス幅のONとOFFの時間の比(Duty比)を制御する方式である。

CKDで初めての比例機器  
特徴: 高圧、大流量  
用途: エアブレイキ、プレスダイクッション、スポット溶接、印刷機 など

特徴: 高精度化、大流量化、空気消費量低減 など  
用途: レーザ加工機、ディスペンサ、塗装機械、印刷機 など

特徴: 小型軽量、マニホールド、空気消費量低減 など  
用途: CMP、スクラバ洗浄機、スキー印刷機、ディスペンサ など

特徴: 高機能、表示、エラー SW出力  
用途: 主に汎用用途

特徴: 高性能、マニホールド、バリエーション  
用途: ディスペンサ、スクラバ洗浄機

Fig. 3 電空レギュレータの歴史

Table 1 アクチュエータ方式について

	アクチュエータ方式			
	ムービングコイル	圧電バイモルフ	電磁弁PWM制御	
操作部構造	パイロットレギュレータ	パイロットレギュレータ	直動	パイロットレギュレータ
長所	高寿命/静音	高寿命/静音	エア消費小/小形/安価	エア消費小/高精度/安価
短所	エア消費大/外乱(振動)に弱い	エア消費大	流量が少ない	-
備考	オープンループ制御	-	動作音が発生する	

### 3 電磁弁の制御方法

Fig. 4に電空レギュレータに採用した電磁弁をPWM制御した際の流量特性を示す。供給圧力を0.1、0.3、0.5、0.7MPaと変えた場合で電磁弁への加圧は弁座が圧力を受ける方向である(Fig. 5)ため、Dutyの上昇と共に電磁弁を通過する流量が比例的に増加している。この結果より、電磁弁はPWM制御により流量を比例的に出力可能なアクチュエータとして満足できたが、課題も発生した。不感帯と定義しているDutyが低く流量が流れない領域があるが、この不感帯が供給圧力の影響を受けており、供給圧力の増加と共に減少する傾向がある。これは、電磁弁が圧力バランスをとっていない構造であるため、供給圧力が上昇すると弁座からエアが漏れ出しやすくなるためである。

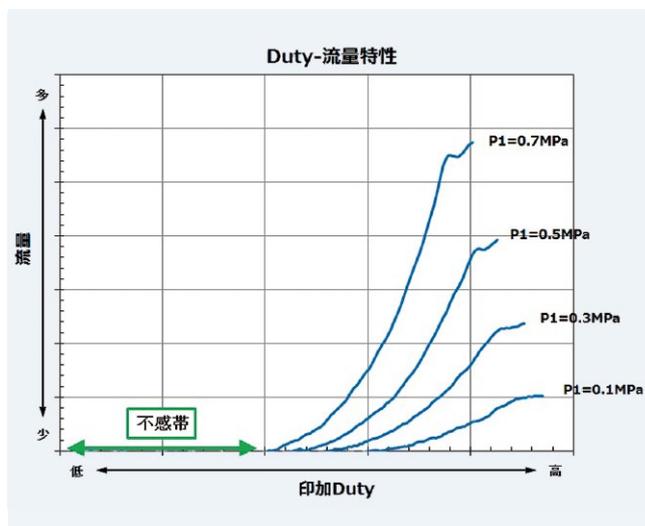


Fig. 4 電磁弁のDuty-流量特性

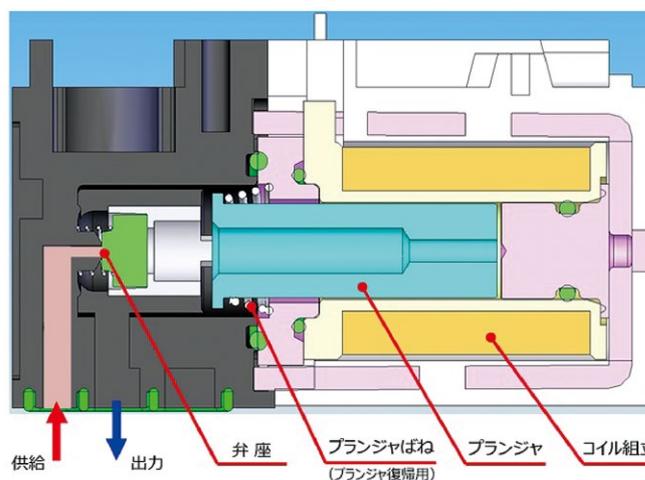


Fig. 5 電磁弁の内部構造

電空レギュレータは、偏差(入力信号と制御圧力の差)の大きさによって、電磁弁印加信号の大きさを変え、パイロット室に給排気する流量を変えることにより、圧力制御を行っている。電磁弁の流量特性には不感帯

があるため、Fig. 6のように排気用電磁弁印加信号と給気用電磁弁印加信号を連続してつなげると、流量特性に不感帯が発生するため、高速かつ精度の良い圧力制御ができない。

そこで、偏差がゼロの状態でも電磁弁を駆動させるためバイアスと呼ばれる成分をオフセットすることにより不感帯の使用をキャンセルしている。(Fig. 7)

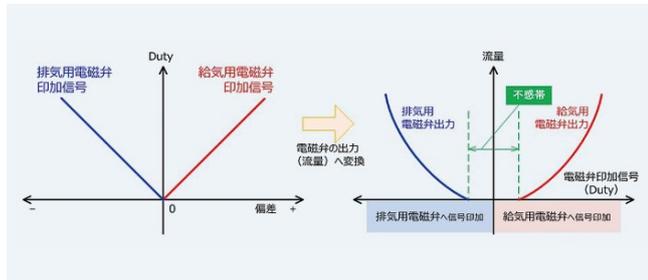


Fig. 6 偏差と電磁弁の動作

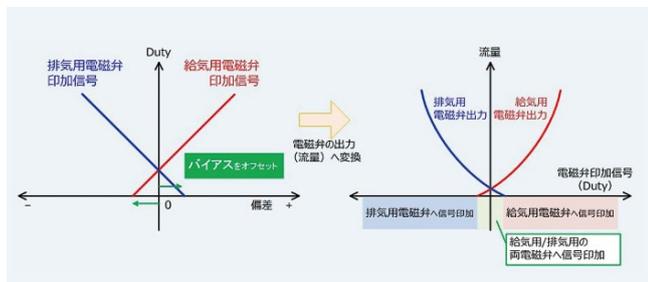


Fig. 7 バイアスをオフセットした時の動作

#### 4 フィードバック制御方法

電空レギュレータのアクチュエータとして電磁弁PWM制御の課題は、以下が挙げられる。

- ・アクチュエータの作動劣化
- ・供給圧力条件による不感帯の変化

電磁弁は作動劣化・圧力条件により作動電流、つまり不感帯が変化してしまう。これは、製品製造時に設定したバイアス値で不感帯をキャンセルしていたが、作動を繰り返す中で不感帯が広がり、電空レギュレータとしても制御の不感帯が発生してしまうことを表す。

従来品のフィードバック制御ブロック図をFig. 8へ表す。特徴的なことは、本制御ブロック図にはPID制御中の積分成分が含まれていない。よって、定常偏差(目標値である入力信号の値に制御圧力が到達しない)が発生する。また、供給圧力の変化とともにアクチュエータの出力(流量)も変化してしまうため、上述の定常偏差が供給圧力などの製品動作条件により変化するという欠点であることを表している。

この欠点は、市場要求が“入力信号に対して比例に制御すること”から“入力信号に対して高精度に制御すること”に変化してきている近年の市場では大きな課題となっていた。

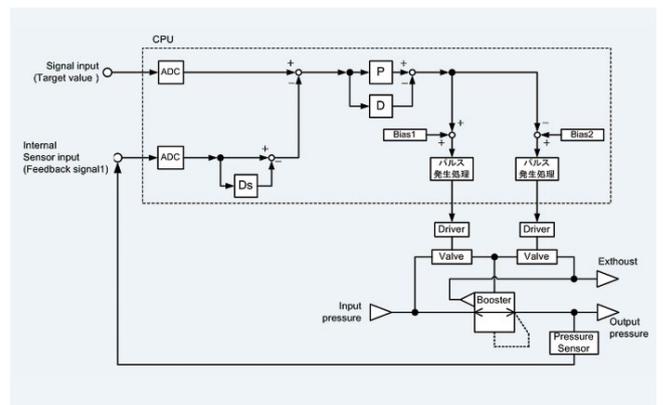


Fig. 8 従来制御ブロック図

そこで、2014年に発売したEVRシリーズではそれらの課題を解決するため新しい制御方式(Fig. 9)を取り入れた。解決手段として、内部の制御基板に搭載されたCPUにより前述で示した定常偏差に応じた補正成分を疑似的な入力信号として可変する方法である。本手段の優れた点として“従来制御ループの構成が維持されるため、制御性の維持が容易”ということが挙げられる。

また、センサ信号を入力信号補正用・偏差生成用に分岐されている箇所を外センサへ変更すること(Fig. 10)により容易に制御ループが構成可能な点も優位点として挙げられる。ユースポイントに設置した外部センサにより、荷重や流量を制御することが可能で、様々なシーンでの活用が見込まれる方式である。

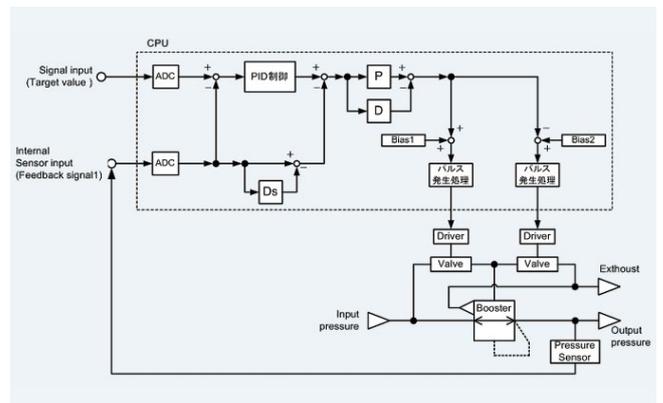


Fig. 9 新制御ブロック図

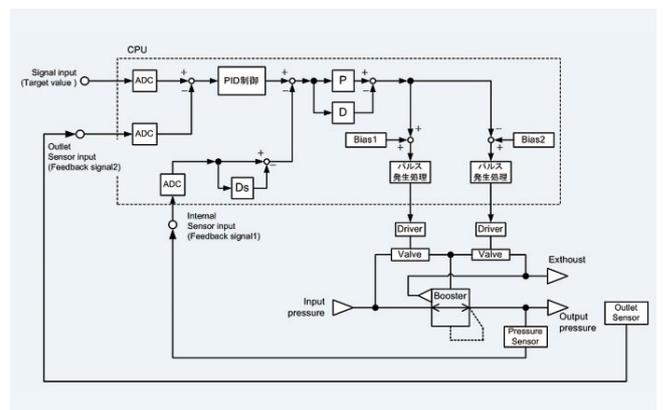


Fig. 10 制御ブロック図 (外部センサ)

## 5 制御性能の評価

従来制御(Fig. 8)と新制御(Fig. 9)での比較試験を実施した。同じ入力信号を繰り返し加えた際の制御圧力の変動を評価する繰り返し性試験をFig. 11に示す。また、一定の入力信号を印加した状態で供給圧力を変動させた際の制御圧力の変動を評価する供給圧力特性結果をFig. 12に示す。

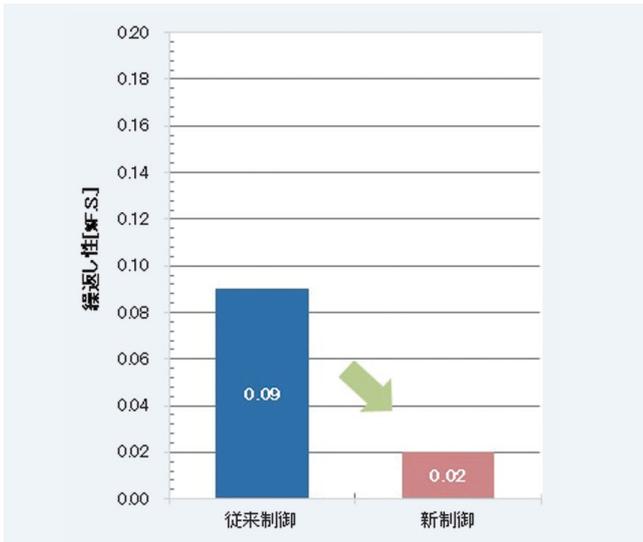


Fig. 11 繰り返し性 試験結果

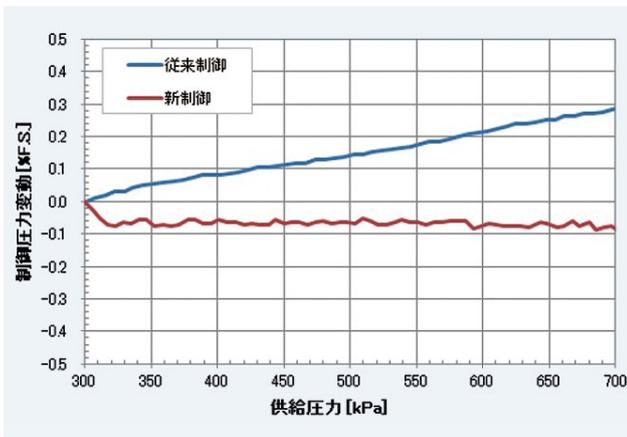


Fig. 12 供給圧力特性 試験結果

本結果より繰り返し性試験、供給圧力特性ともに約70%の性能向上が確認できた。

## 6 おわりに

当社の電空レギュレータの高精度化技術の紹介を行ってきたが、年々、市場からの要求は高精度化・高寿命化など多岐に広がっている。今後も産業のさまざまな分野で利用していただけるよう、本稿で紹介した制御方式にこだわらず、更なる製品の改良・開発を重ね、シリーズの展開を行うことにより産業の発展へ貢献したいと考えている。

### 執筆者プロフィール



長崎 功 Isao Nagasaki  
コンポーネント本部 制御システムBU 技術部  
Engineering Department  
Fluid Control System Business Unit  
Components Business Division

### ■ 出典 ■

出願番号:特願2013-095182