

## 解 説

## 技術開発賞受賞について\*

大坂 一人\*\*

\* 平成 27 年 6 月 19 日原稿受付

\*\* 油研工業株式会社, 〒252-1113 神奈川県綾瀬市上土棚 4-4-34

## 1. はじめに

この度は、技術開発賞という名誉ある賞をいただき、開発・改良・適応事例拡大の功績が認められたことは大変名誉なことである。今回受賞対象となったボイスコイル形モータ（VCM）を採用した直動形サーボ弁は、基礎技術での新規性はないが、新たなコンセプトで新しい技術を取り入れ、開発・改良を進め商品化したものである。VCM 直動形サーボ弁は応答性・耐環境性・作動油汚染に強い等の優位性から、ノズルフラップ形サーボ弁に変わるサーボ弁として、筆者が油圧に携わる以前（1980 年代頃）から製鉄設備や試験設備向けに関係機関で盛んに研究・開発が行われ、基本技術はある程度確立し実用化されていた。筆者が在籍する油研工業でも 1980 年代に英国 D 社とノズルフラップ形サーボ弁の技術提携を行いサーボ弁のノックダウン生産を開始しており、VCM を採用したサーボ弁の研究開発も行っていた。筆者らが開発を開始した頃は VCM 直動形サーボ弁技術とサーボ弁生産技術の基礎は整っており、この点において恵まれた環境だったと言える。しかし、当時の VCM 直動形サーボ弁は性能面で多くの優れた点はあったが、大きさ・使いやすさ・コスト・生産性から一般産業機械への展開は難しく「知る人ぞ知るサーボ弁」であったと考える。車で例えるならフォーミュラカーのような特別なサーボ弁と言える。そこで筆者らが開発の目標としたところは、VCM 直動形サーボ弁の最大の長所である高応答性を損なわず、小型で使いやすくコスト的にも各種産業機械に適応可能なサーボ弁を開発することにあつた。現在ではさまざまな産業機械に採用いただき、微力ながら産業機械の性能向上に貢献できたことはこの上ない喜びである。書面をお借りし VCM 直動形サーボ弁の開発に携わった先人の方々に敬意を表すると共に、開発過程で協力いただいた各機械メーカーすべての方々に感謝とお礼を申し上げる。

## 2. 開発の概要

油圧制御は、機械駆動系の要素部品として広く産業装置、機械に用いられている。電気指令により機械系を駆動することも容易であり、位置・速度・加速度・圧力・荷重の制御を実現するには、用途に応じたセンサを付加し、電気—油圧サーボ弁、比例電磁式方向流量制御弁を用いた油圧制御が一般的に用いられる。本製品は、従来から普及しているノズルフラップ機構方式の電気—油圧サーボ弁の代替となるが、新規開発したボイスコイル形モータ（VCM）を制御駆動部に採用し「高速リニアサーボ弁」として商品化したものである。

開発の背景・目的としては、ノズルフラップ形サーボ弁の周波数応答特性 100~200Hz をブレイクスルーする約 2 倍の 400Hz 以上の特性を実現し、鍛圧機械に使用することにあつた。さらに商品化にあたっては高寿命・高信頼性（作動油の汚染に強い）の実現、省エネ性・市場ニーズを視野に入れ、各産業機械に広く適応可能な商品を開発することにあつた。

## 3. 構造と動作

図 1 に本稿で紹介する「高速リニアサーボ弁」の構造を示す。図 2 にサーボ弁各構成要素の新規設計・開発ポイント、生産技術的改良点を示す。

油圧の流量、方向制御は油路開度を制御するスプールの位置決めにより実現するが、開発品ではスプールを小型・高推力 VCM と直結し、スプール変位検出用の高応答位置センサと専用的高速アンプで電氣的フィードバック制御している。構造はサーボ弁本体部・VCM 部・位置センサ部から構成される。

VCM には高推力のネオジウム・鉄・ボロン (Nd-Fe-B) 系の永久磁石を採用し、コイルは永久磁石やヨークと非接触で可動する構造である (図 3)。コイルは応答性を重視し高強度アルミ材を採用し軽量化を実現した。サーボ弁の小型化を実現する上で VCM の小型・高応答化が重要なポイントであったが、特性の良い永久磁石が入手可能になったこと、磁場解析ソフト活用と解析結果の精度向上も開発を進める後押しとなった。

高応答化を実現するためには、電気的フィードバック制御を構成する上で重要な制御アンプと位置センサについても応答性を重視し開発を行った (図 4)。制御アンプは PID 制御部と PWM 駆動部で回路構成されており、PWM 周波数を 50KHz、アンプ全体の周波数応答を 7.5KHz とした。位置センサは周波数応答 1.6KHz の非接触タイプの高応答磁気式センサを用いている。

開発した小型 VCM の推力を効率良くスプールに伝達するためにサーボ弁の流体力低減についても注力した。流体力低減は油路の形状を適切に設計することが必要だったが、流体解析ソフトを活用し形状を絞り込み、実験検証にて最終形状を決定した。従来品のノズルフラップ形サーボ弁と比較して 80%の流体力低減を実現した (図 5)。

基本的に VCM を制御駆動部に採用し、シンプルな構造、可動部の軽量化、流体力の低減を実現することで高応答、かつ作動油汚染に強く (NAS10 等級での使用可)、使いやすい製品となった。

#### 4. 仕様と性能

基本的性能は、図 2 に記載した直動形サーボ弁の流量 4~40L/min シリーズで周波数応答特性 450Hz/-90°、100%ステップ応答 2msec である。これ以上の大流量では 2 段形とし、周波数応答特性約 100Hz/-90°、100%ステップ応答 8~12msec が代表性能となる。応答特性の代表例を図 6 に示す。

#### 5. 機種とアプリケーション

開発品の機種とアプリケーションを図 7 に示す。冒頭で各産業機械に広く適応できることを開発目的の一つにしたことを述べたが、このコンセプトに基づき応答性と環境性 (耐振性等) を重視した制御アンプ別置形、電気配線作業の簡素化等の使いやすさを重視し小型アンプを弁に搭載した制御アンプ搭載形の二種類を開発した。これによりさまざまな要求仕様への対応を可能としている。また、最高使用圧力 35MPa、流量 4~3,800L/min までをラインナップし、流量体格、性能、機能など多様に対応している。

開発品は高応答特性に優位性があり、射出成形機では樹脂充填速度 1~1.5m/sec (速度到達 8~12msec)、ダイカストマシンではアルミ材充填速度 4m/sec、マグネシウム材では充填速度 8m/sec の実現、追従性の良さから各種試験機に、また鉄鋼設備などでは作動油汚染に強い特長が評価されている。さらに産業機械分野以外への採用事例として船舶ディーゼル機関がある。近年、船舶ディーゼル機関は地球温暖化対策として CO2 排出量の規制が強化され、油圧システムを応用した電子制御燃料噴射システムの普及が進められているが、その制御弁として制御性・信頼性・環境性が評価されている。

#### 6. 品質・生産性向上への取り組み

開発の重要ポイントの一つは、市場性のある直動形サーボ弁を各産業機械に展開することであった。当然の内容ではあるが、量産段階で要素部品の機能・性能・寸法などが設計の狙い値を満足し、ばらつき無く生産できなければ開発品のコンセプトを満足することはできない。これを実現するために開発・設計以上に苦労した点が製造ラインの改善だった。各産業機械に展開するためには、量産効果によるコスト低減、同時に品質を確保する課題があり、過去の製造技術では課題解決することは難しかった。新たな生産技術の導入とさまざまな改善取り組みにより生産性の向上を行った。

図 8 に製造工程の改善事例として、ラップコンディションのマッチング工程を紹介する。マッチング工程は、サーボ弁の圧力ゲイン特性などの性能が決まる重要な加工工程である。ラップコンディションとはスリーブとスプールの制御部 E, F, G, H (ランド) の勘合量 (ラップ量) のことで、一般的には各ランドのラップ量が数  $\mu\text{m}$  の単位で同一となるように加工する。従来は熟練工が A と B からエアを供給し P or T からのエアリーク量をエアマイクロメータと同原理で測定し、スプール制御部の研削代を見極め、数  $\mu\text{m}$  単位で研削を行う。この工程を数回繰り返し、各ランドのエアリーク量が目標値になるまで加工を行っていた。このため非

常に工数が必要となる工程であり作業員も限定されていた。この作業工数を削減するために、過去のエアマイクロメータ測定結果と研削量データを分析し、独自の判定ソフトを作成し研削代自動判定装置を開発、これにより工程が標準化され、作業工数の低減、ばらつきの低減、品質確保が可能となった。

このような製造工程の見直しや、最新加工技術導入などの生産性向上活動をサーボ弁のシリーズ拡充と並行し継続的に進めた結果、性能・信頼性・市場性が評価され現在の適応領域の拡大に繋がっている。

### 著者紹介



おおさか かずひと

大坂 一人君

1968年11月19日生まれ。

1989年日本工学院北海道専門学校電子工学科卒業。

同年油研工業(株)入社。

2014年台湾油研股份有限公司 技術本部長。

主に油圧制御弁全般、電気-油圧サーボ弁の研究・開発に従事し現在に至る。

日本フルードパワーシステム学会員。

E-mail:ka.osaka@yuken.co.jp

URL: <http://www.yuken.co.jp>

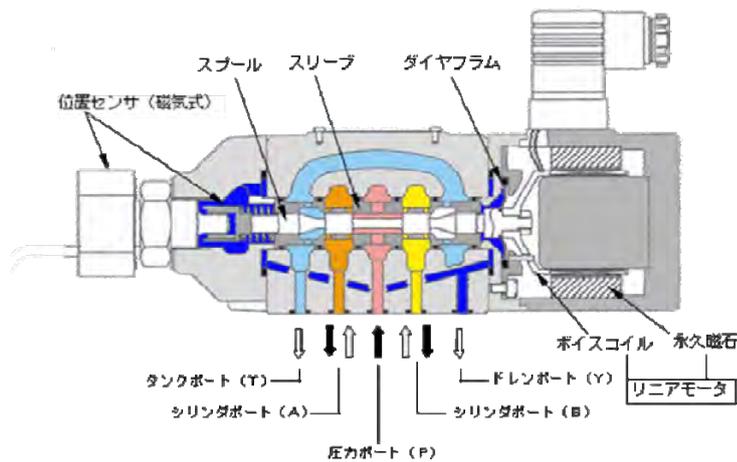


図1 高速リニアサーボ弁の構造

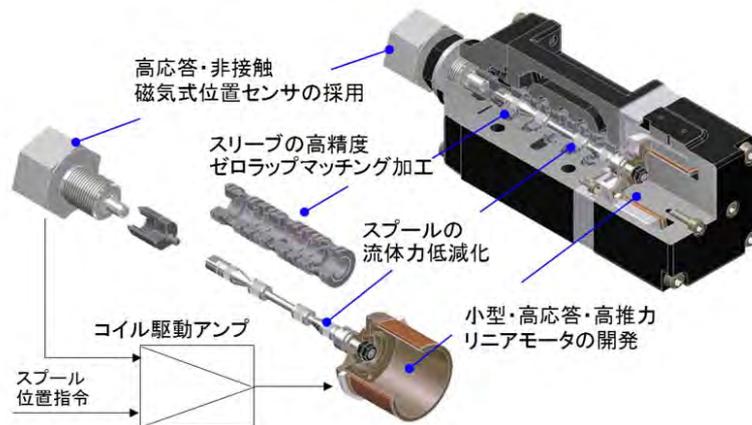


図2 各構成要素の開発ポイント

VCMの小型化、高応答化へのアプローチ  
 $\alpha = F/m \Rightarrow F$ を大きく  $\Rightarrow$  最新のNd-Fe-B系焼結磁石を採用

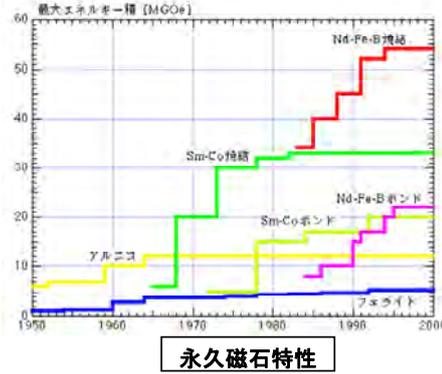
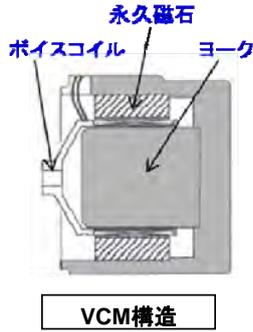


図3 VCM構造

- a) クローズドループ系のゲインUP  $\Rightarrow$  速度補償で対応
- b) 制御アンプの高応答化
  - ・PWM駆動 周波数：50 KHz
  - ・アンプ周波数応答：7.5 KHz
- c) 位置センサの高応答化  $\Rightarrow$  高応答磁気式位置センサの開発
  - ・周波数応答：1.6 KHz
  - ・非接触形として摺動抵抗、耐久を考慮

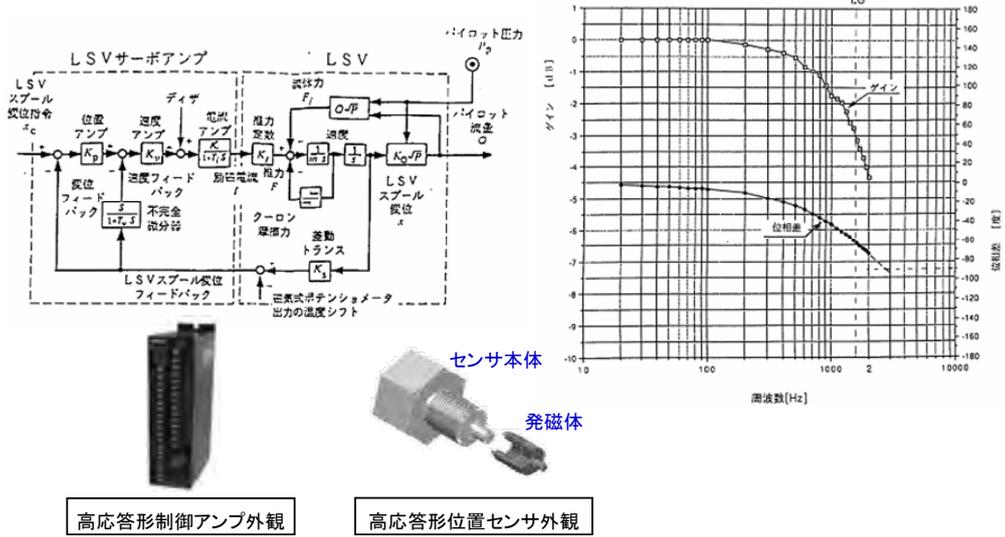
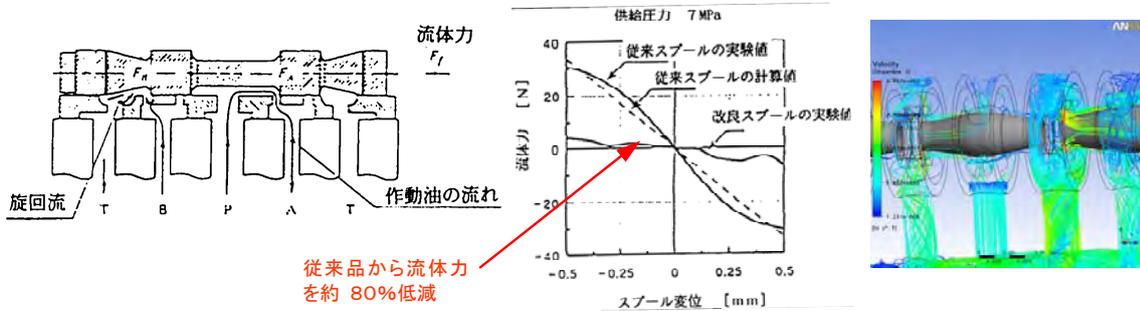


図4 制御アンプと位置センサの概要

スプールに作用する流体力を可能な限り低減

流体解析の応用で油路を最適設計



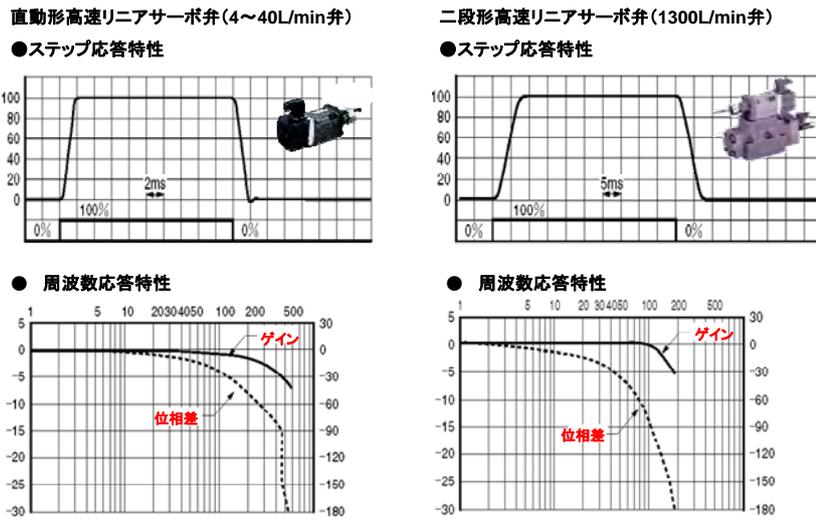


図6 応答性

		機種	適用機種・装置
アンブレ 別 形	直動式	最高使用圧力 35MPa 流量 4~60L/min	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鉄鋼設備</li> <li>・工作機械</li> <li>・射出成形機</li> <li>・ダイカストマシン</li> <li>・船用装置</li> <li>・鍛圧機械</li> <li>・試験機</li> </ul>
	2段式	最高使用圧力 35MPa 流量 ~900L/min 最高使用圧力 31.5MPa 流量 ~3800L/min	
アンブレ 搭 載 形	2段式	最高使用圧力 31.5/35MPa 流量 ~1300L/min	
	直動式	最高使用圧力 35MPa 流量 4~60L/min	

図7 機種とアプリケーション

ラップコンディション評価半自動装置開発に品質信頼性向上・コスト低減への取り組み

サーボ弁の性能面で重要な流体制御部（スリーブとスプールのラップコンディション）評価でも半自動化を進め、信頼性と低価格に取組んでいる。

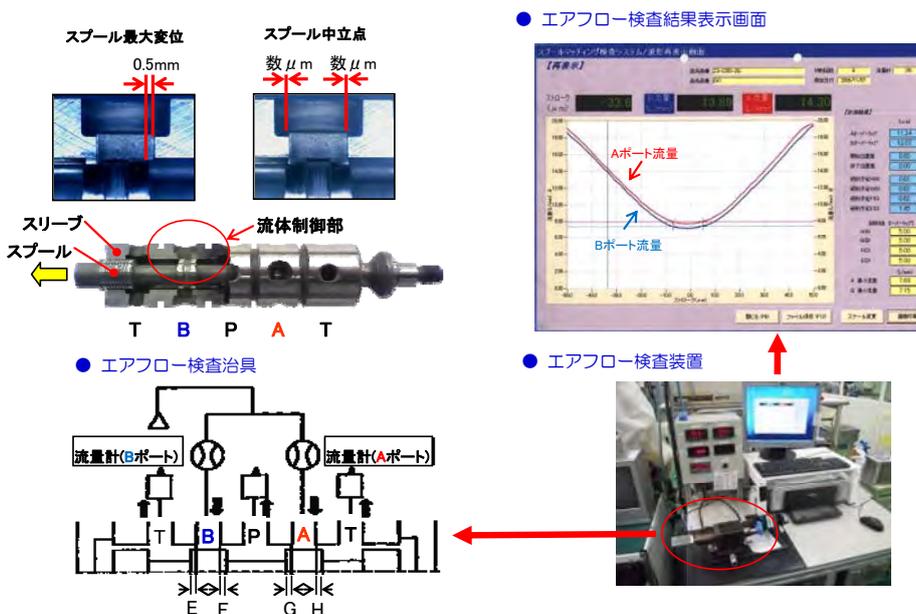


図8 生産性、品質向上の取り組み事例