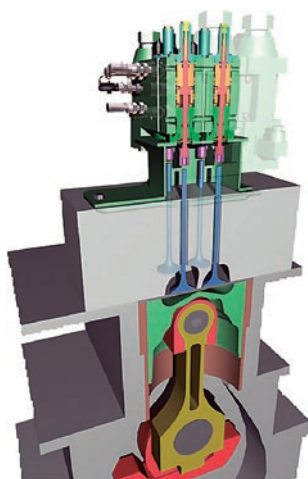


# カムレス可変バルブを目的としたエンジン ベンチ用油圧駆動バルブシステムの開発

## Development of Servo Controlled Hydraulic Actuator System for Cam-less Engine Test Bench



上原 龍 児<sup>\*1</sup>      小 林 恒 夫<sup>\*2</sup>      久 家 誠<sup>\*3</sup>  
Ryuji Uehara      Tsuneo Kobayashi      Makoto Kuga  
遠 藤 雅 喜<sup>\*4</sup>      塚 本 太 郎<sup>\*5</sup>      田 中 健 吾<sup>\*6</sup>  
Masaki Endo      Taro Tsukamoto      Kengo Tanaka

この度、当社ではエンジンテストベンチ用として、エンジンバルブをカムレスでタイミング及びリフト量とも任意に駆動できるエンジンバルブコントロールシステムを開発した。本システムを使用することにより、カム製作及び段取り換えが不要となり、短時間で複数の検証を行えるとともに、任意のバルブリフトパターンを高精度に再現でき、各種燃焼技術研究開発に利用することにより、その開発速度を上げることができる。本報では、本装置の仕様、システム構成及び当社単気筒エンジンに搭載した試験結果について紹介する。

### 1. はじめに

近年の環境問題の深刻化により、一層のクリーンな排気と燃費向上による二酸化炭素排出減少が求められており、エンジン燃焼技術の更なる改善が急務となっている。燃費改善の手段として動弁機構は重要な要素であり、多くの可変動弁機構が開発され実用化されている。これらはエンジン回転数に応じ、最適な吸排気効率となるようカムの位相をずらす機構を内蔵したバルブタイミングを可変とするもの、ロッカーアームに可変機構を内蔵し複数のバルブリフトを使い分け吸気、排気の気体流速を変えるものなど各種の方式がある。これら機械式機構ではバルブリフト変更の自由度が少なく、新しい燃焼技術を開発するために電磁式や油圧式アクチュエータによるフル可変動弁を使って研究開発が行われるケースも多い<sup>(1)</sup>。

なお、電磁式アクチュエータは応答が速く高速回転に対応できるが制御が難しく、油圧式アクチュエータは出力が高く制御性も良いが応答性が劣り高速回転に対応できないなど一長一短がある<sup>(2)</sup>。

この度、当社では従来の振動試験装置にて培った油圧アクチュエータ製作技術、高度制御技術の蓄積をいかし、エンジンバルブをカムレスでタイミング及びリフト量とも任意に、しかも高精度で駆動できるエンジンバルブコントロールシステムを開発した。本報では、

エンジンバルブコントロールシステムの仕様及びエンジン搭載試験結果について述べる。

### 2. エンジンバルブコントロールシステム概要

表1にアクチュエータ及び油圧ユニット諸元を、図1にシステム構成を示す。

図2に示すアクチュエータは、電気-油圧サーボ機構で駆動する小型油圧シリンダを採用した。小型・高応答のサーボ弁を油圧シリンダに搭載し、このピストン変位を検出し位置制御を行っている。サーボ弁は直動型で応答周波数350 Hz以上のものを採用し、油圧

表1 アクチュエータ及び油圧ユニット諸元

項目	数 値
アクチュエータ×4基 (外形・重量はアクチュエータの値)	
ストローク (mm <sub>pp</sub> )	19.8
最大速度 (m/s)	3.0
最大推力 (kN)	4.5
外形寸法 (mm)	W540×D145×H310
重量 (kg)	約50
油圧ユニット×1基	
吐出流量 (L/min)	40
吐出圧 (MPa)	21
電動機容量 (kW)	18.5
外形寸法 (mm)	W1260×D1040×H1140
重量 (kg)	約550

\*1 下関造船所機械部電気・制御グループ

\*2 下関造船所機械部システム設計グループ

\*3 下関造船所機械部システム設計グループ主席

\*4 汎用機・特車事業本部エンジン技術部環境技術設計課長

\*5 汎用機・特車事業本部エンジン技術部大型エンジン設計課

\*6 技術本部長崎研究所内燃機研究室

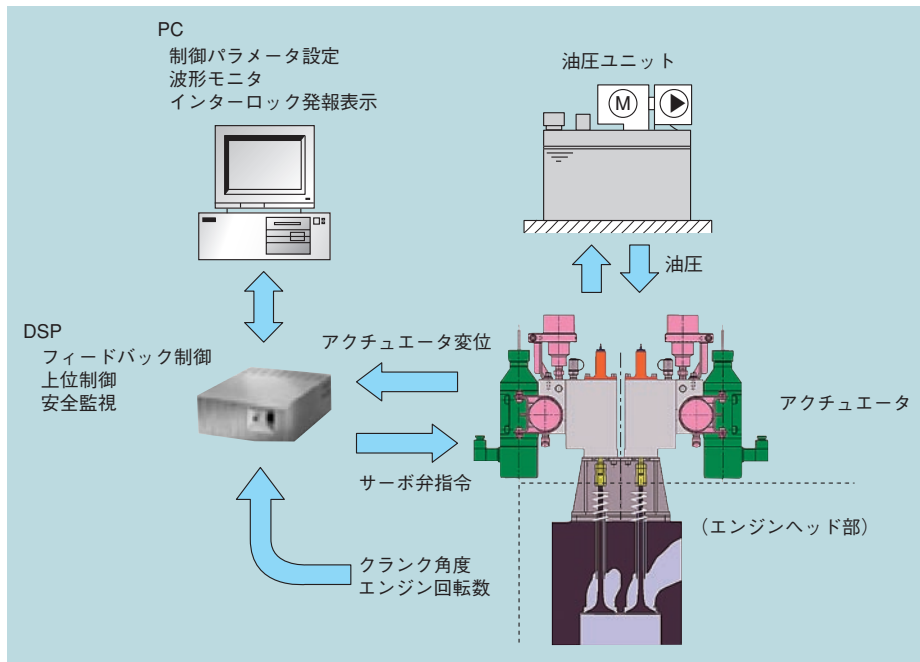


図1 システム構成  
油圧アクチュエータ，制御装置（PC及びDSP），油圧ユニットからなるエンジンバルブコントロールシステムの構成を示す。

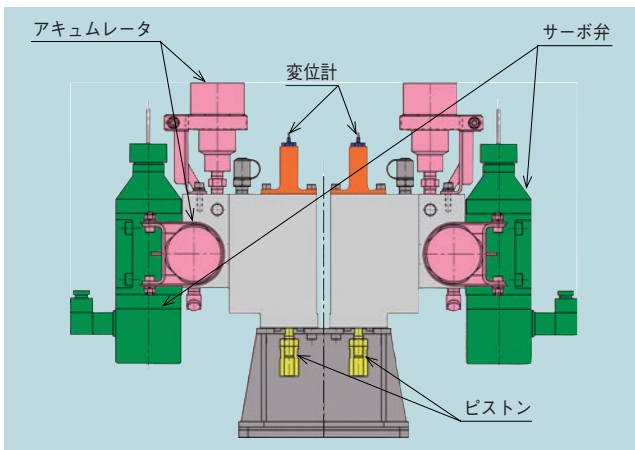


図2 アクチュエータ外観図  
油圧アクチュエータの外観を示す。

シリンダ・ピストンの小型化と共に油圧駆動アクチュエータとしては超高速応答を可能としている。

制御装置は、フィードバック制御，上位制御及び安全監視を行う DSP（Digital Signal Processor）と、DSP と通信し制御パラメータ設定や波形モニタ及びインターロック発報表示を行う PC からなる。制御は次の3つの制御系を採用することにより，油圧アクチュエータの非線形特性に起因する制御精度劣化や電磁式に比べ応答が遅いなどの油圧の弱点を改善し，油圧アクチュエータの利点である高出力で，高精度・高応答のバルブコントロールを実現している。

3つの制御系とは，①クランク角度をエンコーダより取り込み，エンジン回転角度に応じた目標バルブリフトにピストン変位を追従させるフィードバック制御系，②目標バルブリフトは試験時には既知であるため，アクチュエータモデルがあれば応答性を改善するための波形も推定できる。この改善をリアルタイムで行う上位制御系，③一旦，観測したピストン変位を，目標バルブリフトと比較し一致するようにアクチュエータの入力を逐次変更・改善していく制御系である。③の制御系は入力補償制御と呼称するものであり図3に入力

補償制御と呼称するものであり図3に入力

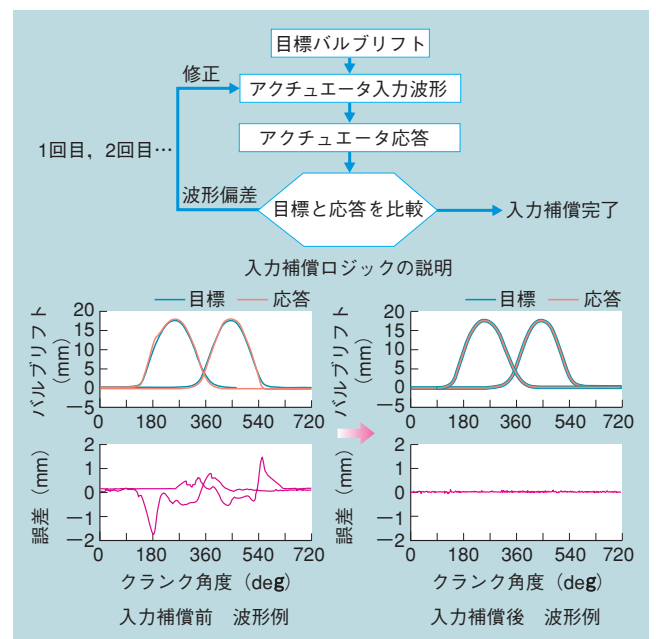


図3 入力補償制御の概要  
入力補償制御概要を説明するため，そのロジック図と補償実施波形例を示す。

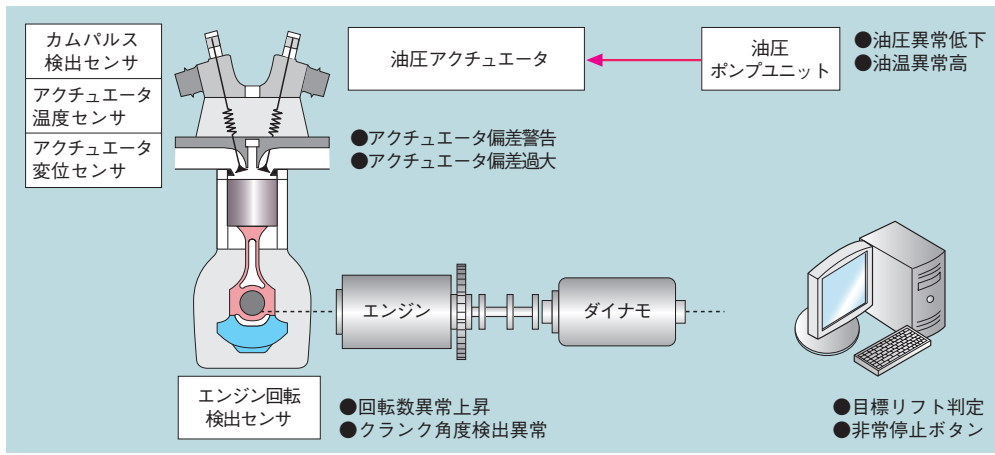


図4 安全監視  
安全監視として常時監視している項目を示す。

補償制御のロジックを示す。

また、安全機能・監視として図4に示す項目を常時監視している。例えば、“アクチュエータ偏差過大”とはエンジンピストンと油圧アクチュエータピストンとの干渉を監視し、これらの偏差がしきい値を超えれば油圧アクチュエータピストンを高速に引っ込め停止することによりエンジンピストンとの衝突を回避するようにしている。このようにインターロックを多数設定可能とし、安全にエンジンバルブコントロールシステムを使用しエンジンの運転ができるようにしている。

なお、油圧アクチュエータ本体の最高使用圧力は35 MPaであり、油圧ユニットの最大吐出圧21 MPaを35 MPaに変更するだけで、最大速度は1.3倍、最大推力は1.7倍まで容易に仕様アップできる。

### 3. エンジン搭載試験

4バルブ単気筒ディーゼルエンジンのシリンダヘッドに油圧アクチュエータを4バルブ分の4基搭載し、運転確認試験を行った。なお、バルブとアクチュエータピストンは連結されておらず、熱膨張を吸収するクリアランスを設けている。したがってカム駆動のカム若しくはロッカーアームと同様に、バルブ開時はアクチュエータピストンでバルブが押され、バルブ閉時はバルブスプリング力によりバルブは閉じられるが、アクチュエータピストンでこの速度をコントロールしている。

図5に1800 min<sup>-1</sup> 運転時の目標バルブリフトとアクチュエータピストン変位及びその誤差を示す。誤差

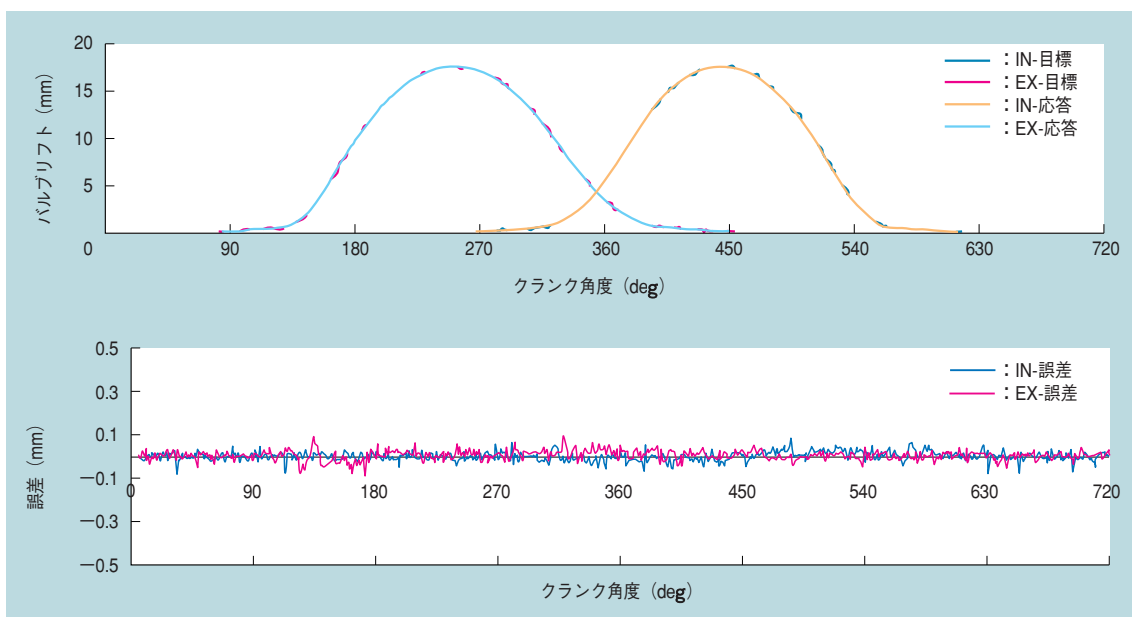


図5 エンジン搭載試験時応答波形 (1800 min<sup>-1</sup>)  
実エンジンファイアリング試験での応答波形と誤差 (目標バルブリフトとアクチュエータピストン変位との差) を示す。

は $\pm 0.1 \text{ mm}$ 以内であった。なお、誤差は目標バルブプロフィール、回転数、及びエンジン負荷により若干異なる。バルブ閉時の波形より弁座との衝突もなく、良好にバルブリフトをコントロールできていることが分かる。

本試験にて、エンジン実負荷（エンジン筒内圧、バルブとバルブスプリングの慣性及びばね負荷、バルブとアクチュエータピストンとの接触荷重、エンジンよりの熱及び振動伝播）下にて、エンジンバルブコントロールシステムが高精度な制御性と再現性があることを実証することができた。

なお、高精度に波形再現を行うのは定常回転数時のみであり、起動及び立ち下げ時にはエンジンピストンと干渉の恐れがないよう、バルブリフト量を落として運転した。今後、過渡的な回転数変化に対しても運転可能とするよう対応を図る。

#### 4. ま と め

エンジンバルブコントロールシステム概要と、エンジンバルブコントロールシステムを搭載しファイアリング試験を行った結果について紹介した。ファイアリング試験ではエンジンバルブコントロールシステムの良好な制御性を確認することが出来た。

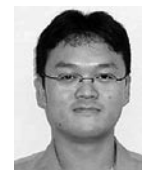
今回の装置で対応できるエンジン回転数は、サーボ弁流量の制約より最大 $1800 \text{ min}^{-1}$ であったが、今後は小型で大流量・高応答サーボ弁を開発し、更に高回転数まで対応する予定である。また、制御装置を改善し、過渡的な回転数変化に対応できるよう図っていきたい。

#### 参 考 文 献

- (1) Wolters. P., et al., Controlled Auto Ignition Combustion Process with an Electromechanical Valve Train, SAE Paper,03-01-0032
- (2) 武藤高義, アクチュエータの駆動と制御, コロナ社



上原龍児



小林恒夫



久家誠



遠藤雅喜



塚本太郎



田中健吾