

90 電子制御化ディーゼル機関の運転について

その1 吸排気弁開閉時期について

機関動力部 *高杉 喜雄、石村恵以子、菊地 正晃、桑原孫四郎、
西尾 澄人、張 潔、菅 進

1. はじめに

近年、深刻化する大気汚染の防止と地球環境保全の観点から、船用ディーゼル機関に対して、排ガス中の大気汚染物質の低減と熱効率の改善が従来にも増して強く求められている。燃料消費率と排ガス特性を同時に改善するという困難な課題を解決するために、燃料噴射系や吸排気系は緻密な制御が要求されることになり、従来のカム機構に代わって、これらの電子制御の開発実用化が船用機関の分野においても種々試みられている。^{1), 2)}

当所では、これまで中速4サイクルディーゼル機関を用いて、燃料噴射ポンプの油圧駆動電子制御の試みを行い、燃料噴射系の電子制御化によって燃料消費率と排ガス特性を共に改善できることを実証的に示した。¹⁾ 続いて吸排気弁系に対しても電子制御化の試みを行い、燃料噴射系と吸排気弁系統を共に電子制御化した実験機関の運転に成功した。実験の第1段階として、標準的設定条件を定めることを目的に船用特性にて各弁開閉時期の調整を行い、排気温度がカム駆動時とほぼ同じになる弁開閉時期を得たので、これまでの経過について報告する。

2. 実験装置

使用した実験機関は表1に示すように3シリンダー中速4サイクル機関で、吸気弁と排気弁が各シリンダーに1組ずつ、全体では6個の弁がカム軸で駆動されている。電子制御化にあたっては、各弁のプッシュロッドの下に油圧シリンダーユニットを取り付け、電磁弁の開閉によって各弁を油圧駆動するもので、燃料噴射系に採用した方法と同じである。

装置の全体構成を図1に示す。装置は油圧ユニット、コントロールユニット、シリンダーユニットで構成される。また弁の動作状態は吸排気弁動作状態表示システムの揚程線図によって監視する。

油圧ユニットは、作動油タンクは燃料噴射制御系と共用であるが、油圧ポンプは別置で、20kWモーターで駆動される。コントロールユニットは燃料噴射系と共用で、吸排気弁制御機能を追加した。機関には新たに6個の油圧シリンダーユニットを取り付け、弁を駆動する。電磁弁は開閉時期をそれぞれ確実に制御するためダブルアクション電磁弁を使用している。弁の開閉速度はスローチェック弁の絞りによって調整することができる。油圧ラインには、燃料噴射系と同様にアキュムレータを設置した。図2に油圧装置を取り付けた実験機関を示す。

表1. 実験機関の主要諸元

型式	立て型4サイクル 単動ディーゼル機関
シリンダ数	3
ストローク	380mm
シリンダ径	230mm
連続最大出力	257kW (350PS)
回転数	420rpm
平均ピストン速度	5.32m/s
最高爆発圧力	9.32MPa (95.0kg/cm ²)
正味平均有効圧力	1.55MPa (15.8kg/cm ²)
圧縮比	13.7

吸排気弁の開閉に関するパラメータとしては動作開始と終了時期の他、開度曲線形状があり、吸気弁と排気弁のオーバーラップも重要なパラメータである。このため、各弁の動作を監視するための吸排気弁動作状態表示システムを構築した。検出部はプッシュロッドの一部を円錐状に加工した検出ピースとストロークセンサー(渦電流式変位計 ML-06)で構成され、両者の間隙を電圧に変換する。表示部ではパソコンを用いて、各弁の作動状態をディスプレイ上

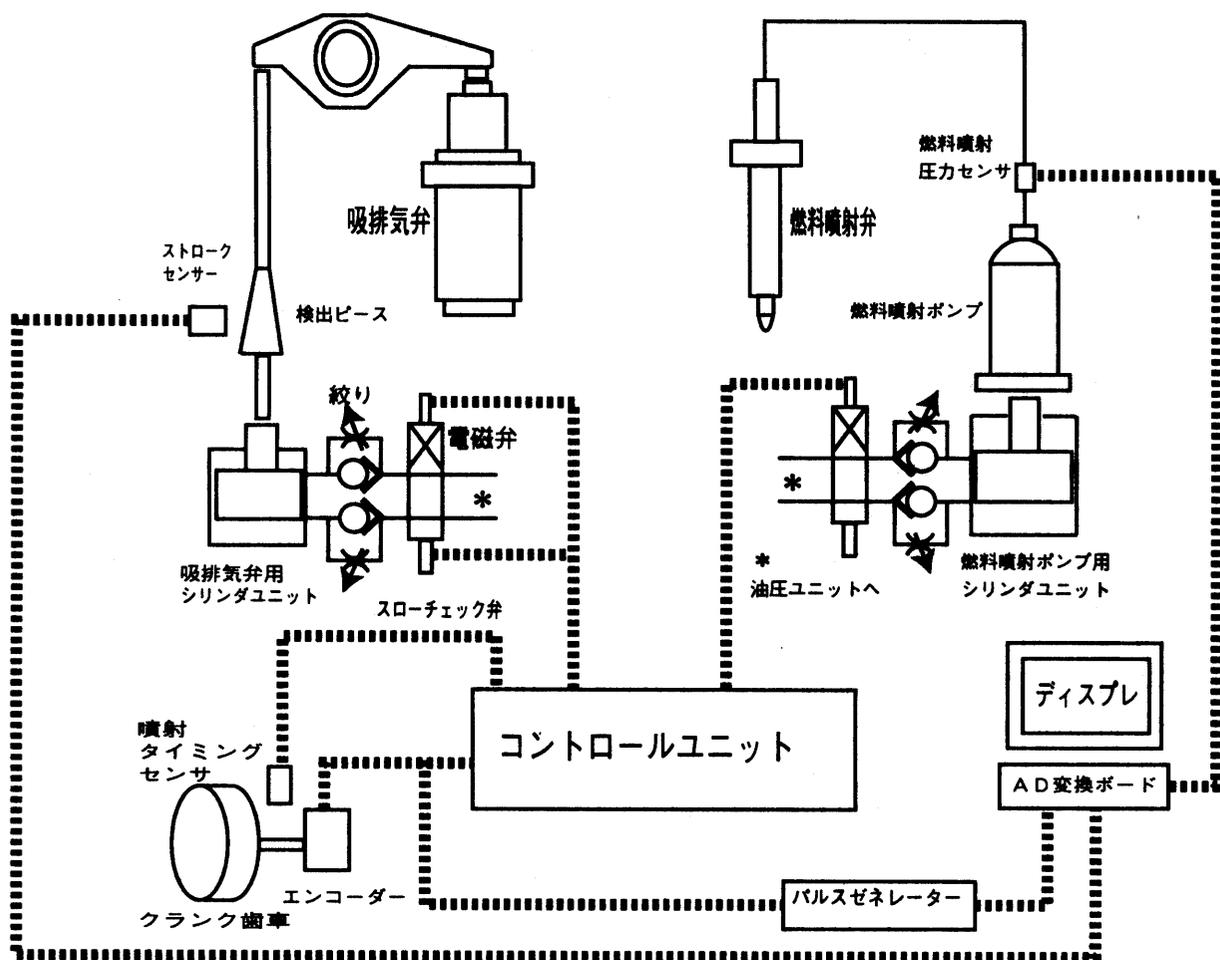


図1. 全体構成



図2. 油圧装置を取り付けた実験機関

に表示する。電圧信号はAD変換ボード(CONTEC AD12-16U(PC)EH)で変換する。クランク角との同期のためにエンコーダ信号を使用するが、この波形はPG240型パルスゼネレーターで整えている。

3. 実験経過

吸排気弁の制御パラメータは各弁の動作開始時期および弁速度があり、動作開始時期はコントロールユニットで設定し、弁速度はスローチェック弁で調整する。これらの設定・調整は負荷条件毎に異なり、機関性能の最適化を図るには燃料系も含めた適切な組み合わせをとる必要がある。今回は第1段階として、従来のカム駆動時とほぼ同じ運転ができることを目標にして、吸排気弁開閉時期の設定を行った。

3. 1. 弁開閉の設定について

各弁の開閉動作は作動開始時期と終了時期および

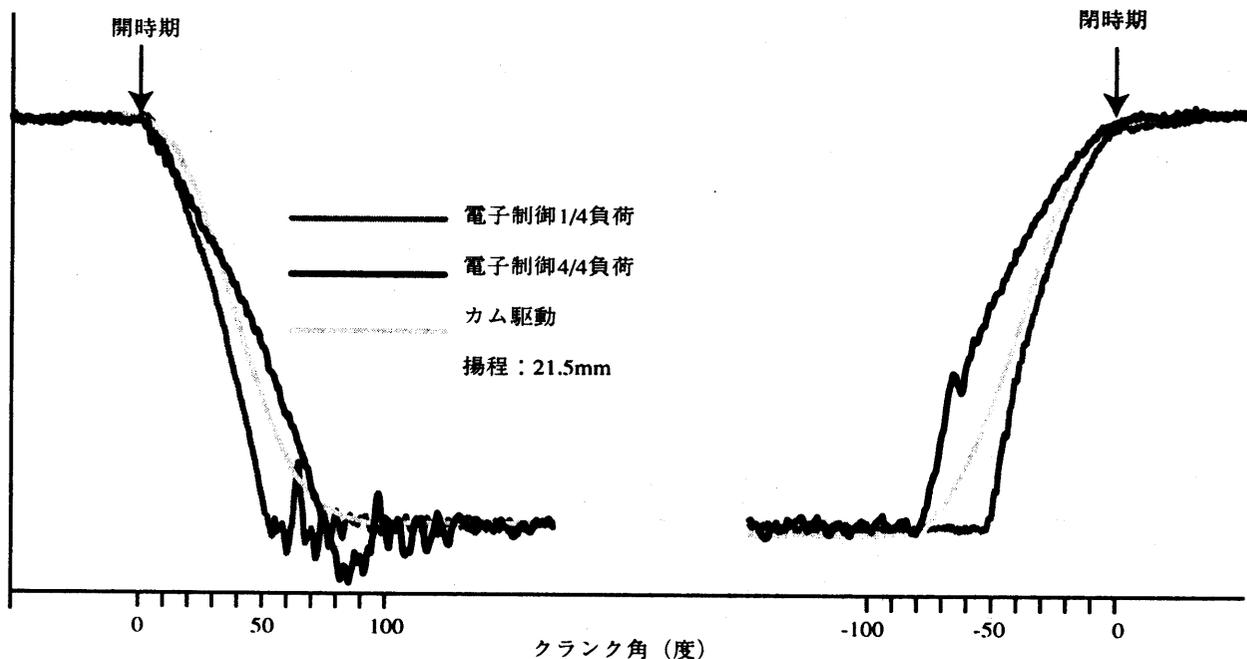


図3. カム駆動および電子制御式における吸気弁開閉曲線の一例

その間の開閉曲線が重要である。カム駆動式ではこれらはすべてカムによって固定されるのに対し、本方式では動作開始時期はコントロールユニットで容易に設定できるが、作動開始から終了までの作動曲線は油圧駆動独特の変化をする。すなわち、カム駆動では弁開閉の動作は開始から終了まで滑らかに変化するが、本方式では直線的となる。このため弁閉時は弁座への衝撃的な接触を防ぐため、油圧シリンダにクッションを設けている。

弁の動作速度、すなわち作動開始から終了までの時間はスローチェック弁で個々に調整する。この調整にあたっては、弁速度が速すぎると弁バネの自己発振が考えられるため、100%負荷でカム駆動時と同程度となるように設定した。すなわち、カム駆動時の各弁開閉動作はクランク角で70~80度であるので、100%負荷で同程度となるように、各弁の油圧シリンダユニットのスローチェック弁絞りを調整した。

図3にカム駆動の場合および本方式の開閉曲線の一例を示す。作動油圧は20MPaに固定した。開閉動作をクランク角で表すと、カム駆動では負荷（回転速度）によらず一定であるが、本方式では実時間が一定のため、クランク角度では回転速度に反比例して変わり、100%負荷では80~90度、25%負荷では45~55

度となる。

3. 2. 機関運転結果

今回の実験では、カム駆動時とほぼ同じ状況で機関を運転できることを目標にして、設定・調整を行うことにした。

最初に各弁の開閉時期をカム駆動と同じに設定したところ、排気温度が上昇し機関の運転ができなくなった。排気温度は排気弁開時期によって大きく変化することから、カム駆動と油圧駆動の排気弁の開き初めの開度曲線の違いが原因と考えられた。このため、各負荷での排気温度がカム駆動時とほぼ同じになるように排気弁開時期だけを変更することにした結果、カム駆動に比べて100%負荷で15度、25%負荷で25度程度遅く設定することになった。また、排気弁閉時期はオーバーラップ期間に影響を与えず、また、他筒からの排ガス干渉を起こさないことを目安とした。吸気弁開時期は25%負荷時に排ガスの吸気側への逆流を起こさない程度とした。吸気弁閉時期は体積効率あるいは圧縮に影響が少ないことを目安として設定した。このようにして設定した開閉時期を表2に示す。

燃料としてはA重油を使用し、燃料噴射系は作動

油圧20MPa、燃料噴射時期はATDC4度と設定し、吸排気弁開閉時期を表2の設定で実験を行った。排気温度、燃料消費率の結果を図4に示す。なお、電子制御(MCA)、燃料噴射のみ電子制御(MCF)、カム駆動(CAM)とする。図4から全ての負荷範囲で排気温度はほぼ同じとなっていることがわかる。燃料消費率では今回のMCAの結果はMCF、CAMに比べてやや劣っているが、設定の最適化による改善の可能性はあると考えられる。

表2. 吸排気弁開閉時期

		排気弁	吸気弁
カム駆動	開弁	BBDC80	BTDC66
	閉弁	ATDC35	ABDC35
電子制御 25%負荷	開弁	BBDC55	BTDC55
	閉弁	ATDC40	ABDC40
電子制御 50-100%負荷	開弁	BBDC60	BTDC60
	閉弁	ATDC40	ABDC40

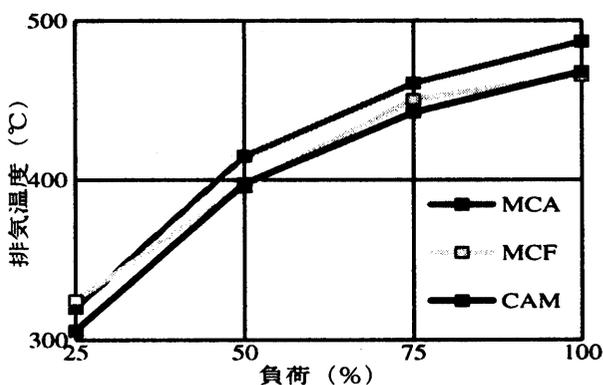


図4 a. 排気温度

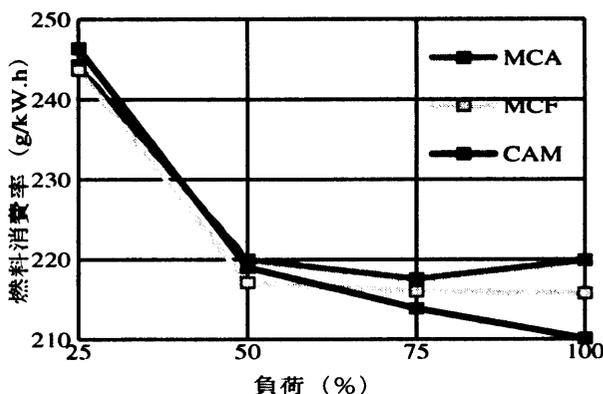


図4 b. 燃料消費率

4. まとめ

燃料噴射系の電子制御化に続いて、吸排気弁駆動の電子制御化を試みて、燃料噴射系と吸排気弁系を共に電子制御化した状態で実験機関を運転することができた。

今回は第1段階として、排気温度がカム駆動とほぼ同じになる設定条件が得られたので、これを基準条件として、今後の熱効率の改善と窒素酸化物(NOx)や微粒子(PM)排出量の低減を目指し、最適化条件の研究を進める予定であるが、コントロールユニットから電気信号が発せられ実際に電磁弁が作動するまでには時間的なバラツキあり、弁揚程線図から求めた開閉時期は一回毎に異なり、正確な設定あるいは変更は困難であり、まず、この問題に対応する必要がある。

5. 参考文献

- 1)油圧駆動電子制御システムによるエンジン性能の向上その1 油圧作動式燃料噴射、給排気弁駆動機構、佐藤修一他、Journal of the M.I.S.I. Vol.26,No.6
- 2)油圧駆動電子制御システムによるエンジン性能の向上その3 試験機関の運転と機関性能の評価、藤井龍雄他、Journal of the M.I.S.I. Vol.28,No.7
- 3)低燃費機関の開発、(株)松井鉄工所技術部漁船機関、1978年8月号
- 4)燃料噴射系の電子制御化による船用ディーゼル機関の排気ガス特性の改善-A重油使用時の運転結果-、張潔他、Journal of the Marine engineering Society in Japan,vol35. No.12
- 5)電子制御式吸排気弁について、西尾澄人他、第74回船舶技術研究所研究発表会講演集