

船用電子制御機関の研究 -オーバーラップ制御運転結果-

環境・エネルギー領域 大気環境保全研究グループ 張 潔、*高杉喜雄、石村恵以子、
菊地正晃、菅 進

1. はじめに

船用機関の低NOx化を目的として、我々は中速4サイクルディーゼル機関を用いて、燃料噴射系と吸排気系の電子制御化の実験的研究を行ってきた。これまでの研究で、燃料噴射時期を電子制御することで、低負荷域での運転でNOx排出量と燃料消費率を同時に低減できることを示した¹⁾。今回は動弁開閉時期、すなわち吸気弁開、閉及び排気弁開、閉時期を変化させた場合の実験結果について、まとめて報告する。

吸気弁閉時期は圧縮比とシリンダへの空気充填率に影響を与える。吸気弁開および排気弁閉時期はシリンダ内排ガスの掃気に影響を与える。今回の動弁制御の実験は、このようにシリンダ内の酸素量を制御してNOx排出量と燃料消費率の同時低減の可能性を調べることをねらいとして実施した。

2. 実験条件

表1に実験機関の要目を示す。燃料噴射ポンプと吸排気弁は従来のカム駆動式に替えて油圧シリンダによって駆動し、各作動タイミングを電磁弁によって制御する。

電子制御弁ではすべての弁の開閉時期をそれぞれ設定できる反面、制御パラメータ数は増加し、これらの組み合わせは非常に複雑になる。実験では、各弁の開閉状態を的確に把握するため、機関回転角に対する吸気弁・排気弁リフトの関係をモニターに図示しながら実施した。

表1 実験機関の要目

型 式	4 サイクルディーゼル機関
シリンダ	230mm × 380mm 3 気筒
最大出力 × 回転数	257kW × 420rpm
圧縮比	13.7

表2に今回報告する実験の設定条件を示す。負荷は船用特性で25%負荷(265rpm、65.3kW)および50%負荷(333rpm、130.6kW)とした。燃料はA重油を使用した。燃料着火時期は上死点4度に設定した。作動油圧は20MPaとした。

表2 実験の設定条件

負荷	25%	50%	
	65.3kW 265rpm	130.6kW 333rpm	
着火時期	4 ATDC deg.	4 ATDC deg.	
作動油圧	20MPa	20MPa	
排気弁	開	120, 140 deg.	120 deg.
	閉	20, 30 deg.	20 - 40 deg.
吸気弁	開	320 - 350 deg.	300 - 330 deg.
	閉	170 - 230 deg.	190 - 230 deg.

3. 吸排気弁の動作の特性

吸気弁および排気弁開閉時の弁リフトは実測結果をもとに、図1のようにして、弁開時期および弁閉時期は、弁が弁座から離れる点および弁座に着座する点(クランク角)で定義する。

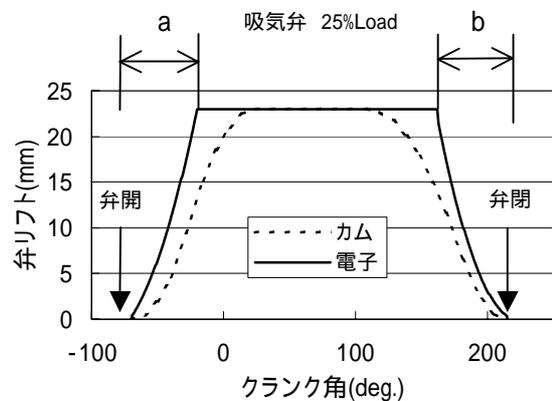


図 1 カムと電子制御の弁リフトの特性

両弁ともに着座の衝撃をさけるため油圧シリンダに緩衝装置を設けて弁座に近いところでは動作を緩やかにしている。一方、弁座から離れたところでは、カムの場合と異なって、弁は急速に動き始め、あるいは急激に停止する。油圧装置の作動圧を変えることで弁の速度を変えることができるが、今回の実験は油圧一定で行った。弁速度は一定となるため、機関速度が早くなると、すなわち負荷が増加すると、弁動作は相対的に遅くなる。各弁の開閉に要する時

間（クランク角）を表3に示した。

表 3 各弁開閉に要する時間(クランク角)

負 荷		25%		50%	
		a	b	a	b
電子制御	吸気弁	50	53	62	74
	排気弁	54	54	63	77
カム駆動	吸気弁	74	106	74	106
	排気弁	100	102	100	102

弁の動作に関連して、弁通路の最小断面積の変化とガス（空気）流速にも注意を払う必要がある。一例として吸気弁閉時期を変えた場合の吸気弁通路の最小断面積とその位置のガス速度Vpの変化を図2に示す。ここで、Vpはシリンダ容積の変化を通路面積（最小断面）で割った数値である。シリンダ内と弁通路の圧力が変わらなければVpは実際のガス速度になる。

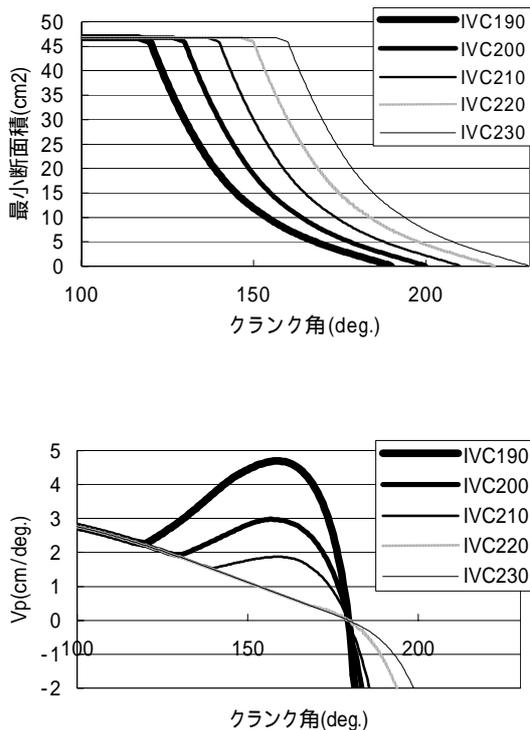


図 2 弁通路の最小断面積とガス速度

4. 吸気弁閉時期制御の実験結果 はじめに吸気弁閉時期を制御した実験結果について

て述べる。実験の設定条件は表 2 に示した。吸気弁閉時期はカムではほぼ215度であるが、今回の実験では25%負荷で下死点前の170度から230度まで、50%負荷では190度から230度まで変えた。弁は下死点をはさんで動作し、図2に示したようにVpの特性は弁閉時期によって大きく変化する。

図3に25%負荷、図4に50%負荷の実験結果を示す。結果は標準設定条件における測定値との差で示している。残存酸素濃度と燃費、NOx濃度、排気温度の変化は良く類似しており、互いに密接な関係のあることが推測される。

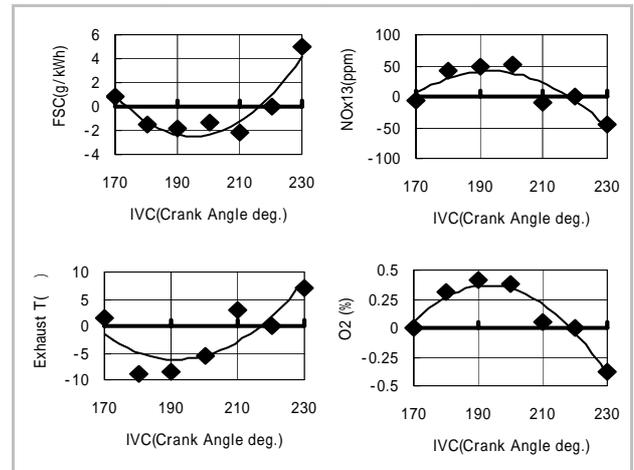


図 3. 吸気弁閉時期制御、25%負荷

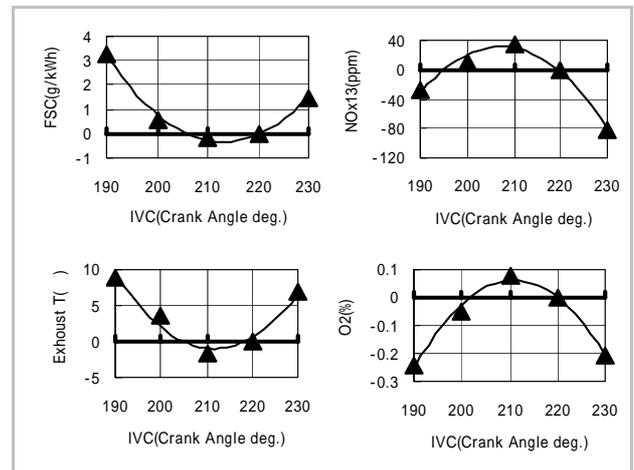


図 4. 吸気弁閉時期制御、50%負荷

25%負荷では吸気弁閉180度から210度までの間で燃費は最小となる。これに対して50%負荷では200度から220度の間で最小となり、最小値を取る範囲は負荷によってわずかに変わる。しかし、この範囲での燃費の差は小さい。NOx濃度は吸気弁閉時期に関して

は燃費と相反した傾向を示し、燃費最小範囲で最大値を示し、燃費が増加すると共に減少する。

NOxと燃費が相反する関係にあることから、吸気弁閉時期は燃費を許容範囲に保ちつつNOxの低減をはかる方針で選ぶことにして、以降の実験では25%負荷でも燃費性能の低下が少ない220度に固定した。

5. オーバーラップ制御の実験結果

次いで吸気弁開・排気弁閉時期に関する実験を行った。吸気弁開は300度（上死点前60度）から350度（同前10度）、排気弁閉は上死点后10度から50度まで変えた。オーバーラップ（吸気弁開ー排気弁閉）は最小で30度、最大110度となる。

図5に弁の動作の状況を示す。350度/20度の例ではオーバーラップは30度である。実質的にはほとんど0度になる。各弁は上死点を挟んで動作するため、弁通路を通過するガス速度の変化は複雑になる。油圧操作による制御では作動時期の誤差を考慮の必要があり、数度の誤差が実質的なオーバーラップに大きな影響を与える。

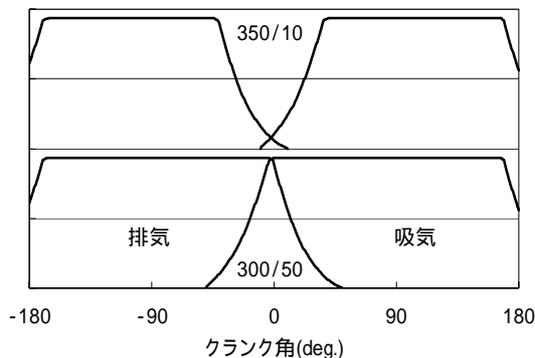


図 5. オーバーラップの状況(25%負荷)

図6に25%負荷時の実験結果を示す。図の左列は吸気弁開時期、右列は排気弁閉時期を変えた場合について示している。吸気弁開が遅れるに従って残存酸素濃度は低下し、同時にNOx濃度と燃費は共に減少する。排気弁閉時期については変化の範囲が狭いこともあって、顕著な影響は見られなかった。

図7に50%負荷時の実験結果を示す。吸気弁開時期の影響は25%負荷時と同様であるが、排気弁閉に関しては25%負荷の場合とやや異なり、20度では残存酸素濃度、NOx濃度、排気温度ともに変化は大きくなる。これは機関速度に対して、動弁の作動

時間が相対的に遅くなった結果と思われる。

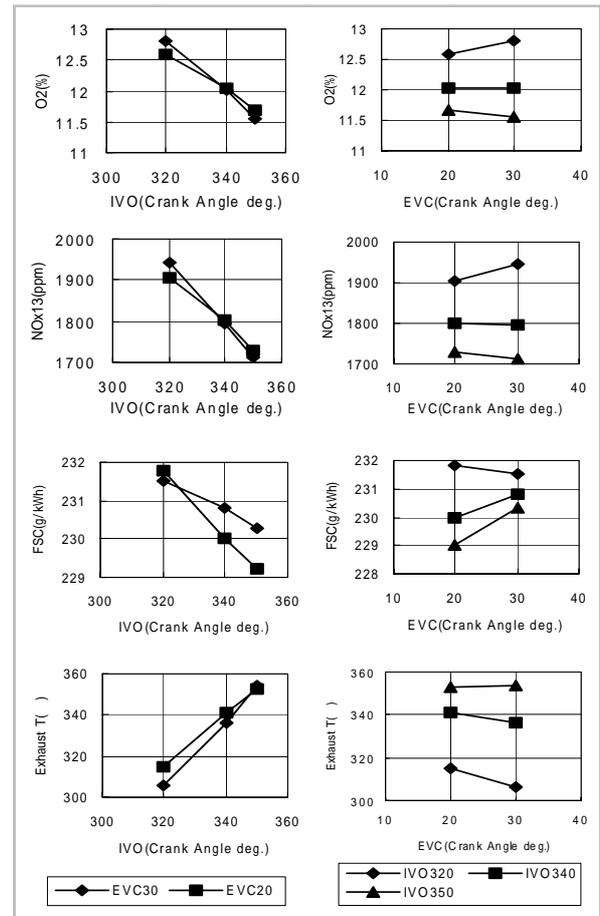


図 6. 吸気弁開と排気弁閉の実験結果、25%負荷

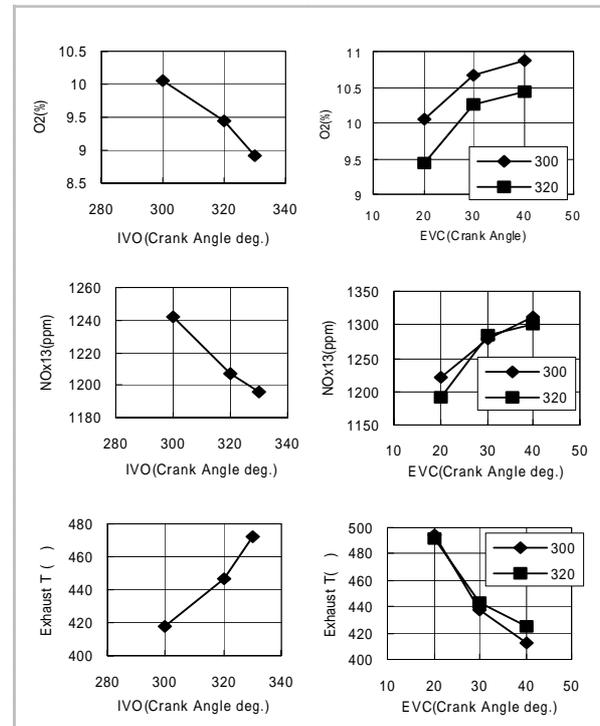


図 7. 吸気弁開と排気弁閉の実験結果、50%負荷

6. 考察

6.1. 残存酸素濃度とNOx

実験機関では吸気弁と排気弁の開閉時期をそれぞれ設定して制御することができる。しかし実用上の観点から制御はできるだけ簡素化することが望ましい。そこで残存酸素濃度に着目して各弁開閉時期制御の効果を検討する。

今回実施した実験における残存酸素濃度とNOx (13%) 値との関係を図8に示す。図中のデータは負荷は25%と50%、吸・排気弁開閉時期は先に述べた範囲であり、25%負荷では冬と夏の実験データを含む。ただし燃料着火時期は上死点后4度とした。全体的な傾向として、残存酸素濃度が低くなるにつれてNOx濃度が下がることが分かる。

従って、吸排気弁開閉時期を制御してNOx低減を図るには、残存酸素濃度が低くなる方向に制御をする必要が考えられる。

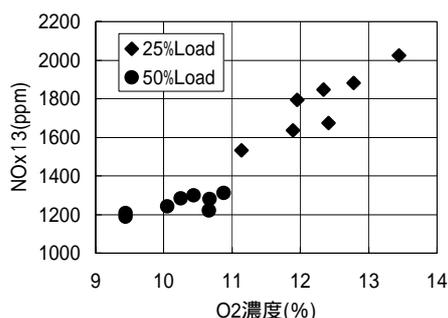


図 8. O2濃度とNOx13排出量の関係

6.2. 排気弁開閉時期について

排気弁開閉時期も残存酸素濃度に影響を与える。図9に排気弁開閉時期を変えた実験結果²⁾の一例を示す。ここでは排気弁を通常より早く開いた場合(120度)、残存酸素濃度が下がりNOx値は下がるが燃費は増加し、排気温度も高くなる。排気弁開閉時期を早めると排気圧力が増加し、掃気中の他のシリンダにガスが逆流する可能性がある。

6.3. オーバーラップの制御について

吸気弁開と排気弁開の影響については先に示した通りであり、オーバーラップを短くすると残存酸素濃度が下がり、NOx排出量も低減し、25%負荷では燃費も改善できることが確認された。ただしオーバ-

ラップ制御にあたっては排気温度の上昇に注意を払う必要がある。特に負荷が高い場合には排気温度の上限によって運転範囲が制限される。

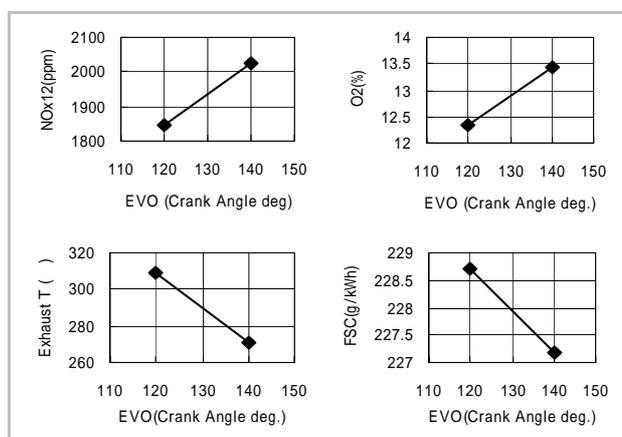


図 9. 排気弁開の影響

弁の作動時期は設定に対して数度の誤差をもつため、上死点を挟んでふたつの弁を同時に正確に設定することは難しい。このため吸排気弁の双方を制御してオーバーラップを変えるのは実際には得策ではない。また排気弁閉時期は上述のように排気弁開閉時期との関連も考慮しなければならない。従って、制御を簡素化し、動作を確実にこなすためには排気弁閉時期を20度~30度に固定して、吸気弁開閉時期を大きく変えることによって行うのが実際的と考えられる。

7. まとめ

掃気・吸気過程に注目して、動弁制御実験を行った。実験機関は50%負荷まで支障なく運転することができた。これまでに実施した実験結果から、次が確認された。

- 1) 吸気弁閉時期はほぼ一定値に固定してよい。
- 2) オーバーラップ制御によって、NOx排出量と燃費を同時に改善できる可能性がある。ただし排気温度の上昇によって制御範囲は制限される。
- 3) オーバーラップの制御は、排気弁開閉時期を固定して吸気弁開閉時期を変えるのが実際的と思われる。

8. 参考資料

- 1) 張他、日船誌、Vol.35、No.12、2000、P841-847
- 2) 高杉、日船誌、Vol.36、No.12、2001、P16-24