

43 電子制御ディーゼル機関の有害排ガスへの変動要因

---- 吸排気弁開閉時期の変更 ----

環境・エネルギー領域 大気環境保全研究グループ

* 高杉喜雄、石村恵以子、西尾澄人、

菊地正晃、張潔、菅進

1. はじめに

船用ディーゼル機関から排出される大気汚染物質の低減を目的として、我々は船用 4 サイクル中速ディーゼル機関を用いて油圧駆動による燃料噴射系の電子制御化を試み、従来のカム駆動方式に比べて、特に低負荷域において大気汚染物質と燃料消費率を同時に低減できることを示した¹⁾。我々は続いて吸排気弁系の電子制御化に取り組み、排気弁開閉時期を制御した場合の試験結果を報告した^{2), 3)}。本報告では、排気弁開閉時期および吸気弁開閉時期をすべて変化させた場合の結果について述べる。

2. 実験装置および実験の方法

実験には 3 気筒 4 サイクル中速ディーゼル機関を使用した。その主要目を表 1 に示す。燃料噴射系はボッシュ式ポンプをそのまま使用して、既設の駆動用カム軸から切り離して、電磁弁と一体化した油圧シリンダユニットで駆動する方式に改造した。吸排気弁系も燃料ポンプの場合と同様にカム軸から切り離して、押棒の下に吸排気弁用油圧シリンダユニットを取り付け、油圧によって弁を開閉する。燃料噴射ポンプの駆動にはシングルアクションの電磁弁を使用した。吸排気弁系では開時期と閉時期を確実に制御するためダブルアクション電磁弁を使用した。

表 1. 機関主要目

Type	4-Cycle Diesel Engine Super Charged Water Cooled
Cylinder Bore	230mm
Stroke	380mm
Number of Cylinders	3
Maximum Continuous Output	257kW(350PS)
Maximum Rotational Speed	420rpm
Mean Piston Speed	5.32m/s
Maximum Combustion Pressure	9.32MPa(95.0kg/cm ²)
Brake Mean Effective Pressure	1.55MPa(15.8kg/cm ²)
Compression Ratio	13.7

油圧は45kW および20kW電動機で駆動される油圧ユニットから供給し、電磁弁開閉時期はコンピュータに接続されたコントロールユニットで制御する。今回報告する実験では、初めに排気弁開時期 (EVO)、排気弁閉時期(EVC)と吸気弁開時期(IVO)および吸気弁閉時期 (IVC) をそれぞれ単独で変更し、これらが燃料消費率(SFC)と排出 NOx 濃度に与える影響を調べた。次いで、IVO、EVC、IVC、着火時期(CIT)を順次変化させる総合試験を行った。実験は船用特性 25 % 負荷で実施し、燃料は A 重油を使用した。油圧ユニットの作動油圧は燃料噴射系、吸排気弁系ともに 20MPa とした。

表 2 に電子制御運転時の吸排気弁開閉時期の初期設定値と参考としてカム駆動時の設定値を示す。ここで吸排気弁開閉時期は弁が弁座から離れる時（弁開）、あるいは弁が弁座に着座する時（弁閉）を上死点 (TDC) からのクランク角(ATDC, deg)で表す。排ガス測定には化学発光式 NOx 分析計、磁気式 O₂ 分析計および赤外線式 CO₂ 分析計を使用した。

表 2. 吸排気弁開閉時期

Item	Valve States	Cam Drive	Electrical Hydraulic Drive
Exhaust	Open	100	120
Valve	Close	35	40
Inlet	Open	295	300
Valve	Close	215	220

3. 実験結果

3. 1 吸排気弁開閉時期の影響

はじめに EVO、EVC と IVO、IVC をそれぞれ変化させて、これらのパラメーターが排ガス温度、SFC、NOx 濃度等に与える影響を調べた。NOx 濃度は酸素濃度 13% の値に換算 (NOx13) して示す。

排気弁開時期 (EVO) の影響：EVO を 120 ～ 160 ° の間で変えた場合の結果を図 1 に示す。排ガス温度は EVO を遅らせるとともに低下する。NOx 濃度は EVO を遅らせるに従い増加するが、SFC は EVO を

120° から 140° にすると大きく改善され、その後は増加の傾向を示す。O₂ 濃度は NOx 濃度と同じ傾向を示し、CO₂ 濃度はそれと逆になる。

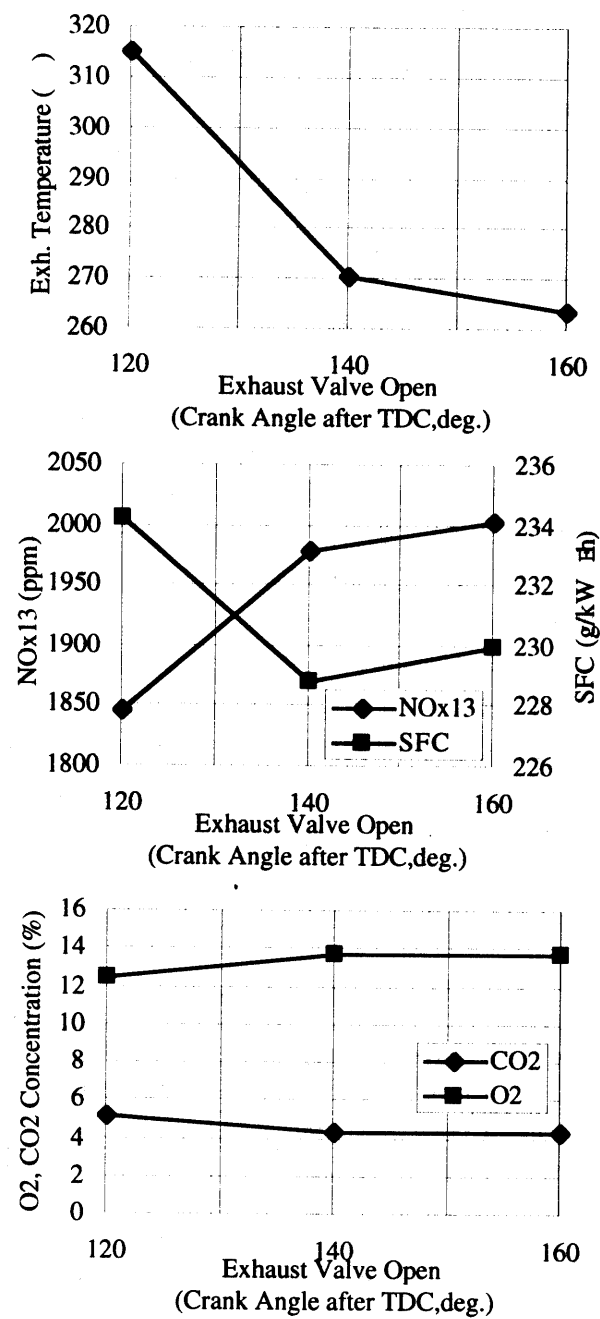


図 1．排気弁開時期の変更

オーバーラップの影響：吸気弁開から排気弁閉までの間はいわゆるオーバーラップであり、排気弁閉については EVC を 50、40、30°、吸気弁開については IVO を 300、320、340° と変化させて、これらが機関性能に与える影響を調べた。結果を図 2 に示す。排気弁閉については、EVC 50° と EVC 40、30° では傾向が異なる。即ち、EVC 50° では排ガス温度が

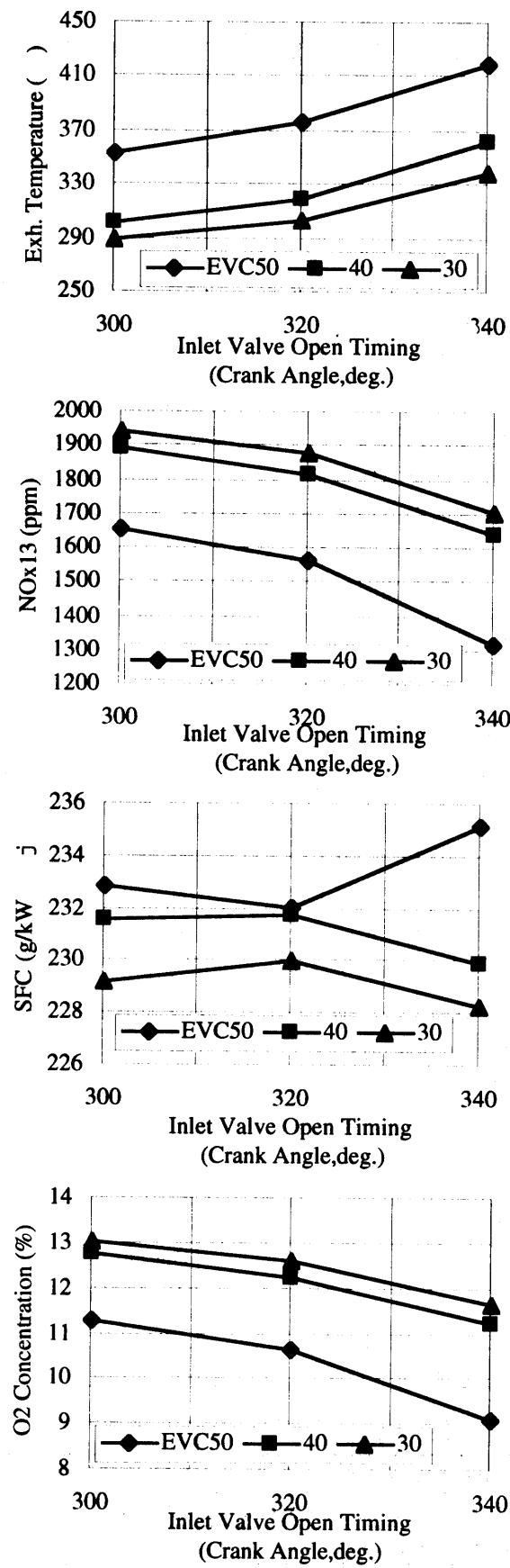


図 2．オーバーラップの変更

高く、CO₂ 濃度も高くなり、排ガスの一部が排気管から筒内に逆流したと思われる。NO_x 濃度は低くなるので EGR (排気再循環) 効果を期待できるが、SFC は悪化する。排気弁閉を EVC 40°、30° と早めると、SFC は改善されるが、NO_x 濃度は増加し、いわゆるトレードオフの関係を示す。

吸気弁閉については、IVO を 300° から 320、340° と TDC に近づけるに従って、排ガス温度は上昇、O₂ 濃度は減少する。EVC 40° と 30° の場合、IVC を

320° から 340° にすると SFC は減少し、NO_x 濃度と SFC が同時に改善される結果が得られた。

カム駆動時のオーバーラップはクランク角で 100° 程度であるが、電子制御では IVO 340°、EVC 30° まで期間を短縮し、クランク角で 50° となった。また、オーバーラップはシリンダ内の流れのパターンや旋回の強さ、通り抜け掃気量、ポンプ仕事などに複雑に関係し、その全体的な結果として機関性能に影響を与える。カム駆動の場合、オーバーラップは固定されているが、電子制御によって負荷に応じて最適値を設定することで、SFC と NO_x 排出性能を共に改善できることが、この実験結果によって示された。

吸気弁閉時期 (IVC) の影響：IVC を 190° から 230° まで変更した結果を図 3 に示す。排ガス温度は IVC を遅らせるにつれて増加し、特に IVC が 220° を超えると上昇が顕著になる。IVC 200° より遅くすると IVC の遅れと共に O₂ 濃度、NO_x 濃度ともに減少し、SFC は IVC 220° で最小値をとる。IVC 230° では筒内部に供給された新気が吸気弁より吸気マニホールドへと逆流し、充填効率を低下させ、排ガス温度を増加させるとともに SFC も増大させたと考えられる。IVC 220° では SFC は最小となり、NO_x 濃度も低い値を示すが、220° はカム設定の場合とほぼ同じであり、吸気弁閉時期制御の有用性を示すものとは必ずしも言えない。

一方、IVC を 190° にすると SFC および NO_x 濃度は 200° より低い値を示す。これはミラーサイクルの形成によるものとも考えられるが、今後、さらに検討を進めたい。

3. 2 総合実験

総合試験として、吸排気弁閉時期および着火時期 (CIT) を順次変更し、パラメーター組み合わせの最適化を模擬する運転試験を実施した。

実験は試験機関を表 2 に示した初期設定値で運転したあと、SFC と排ガス温度に注目しながら、EVO、IVO、EVC、CIT の順に変更した。まず、EVO を初期設定値 120° から図 1 の結果から 140° に変更した。IVO、EVC については図 3 に示した実験では IVO 340°、EVC 30° まで行ったが、さらにオーバーラップを短縮する余裕があると考えて、IVO は 350°、EVC は 20° とした。最後に CIT を 4° から 8° へ

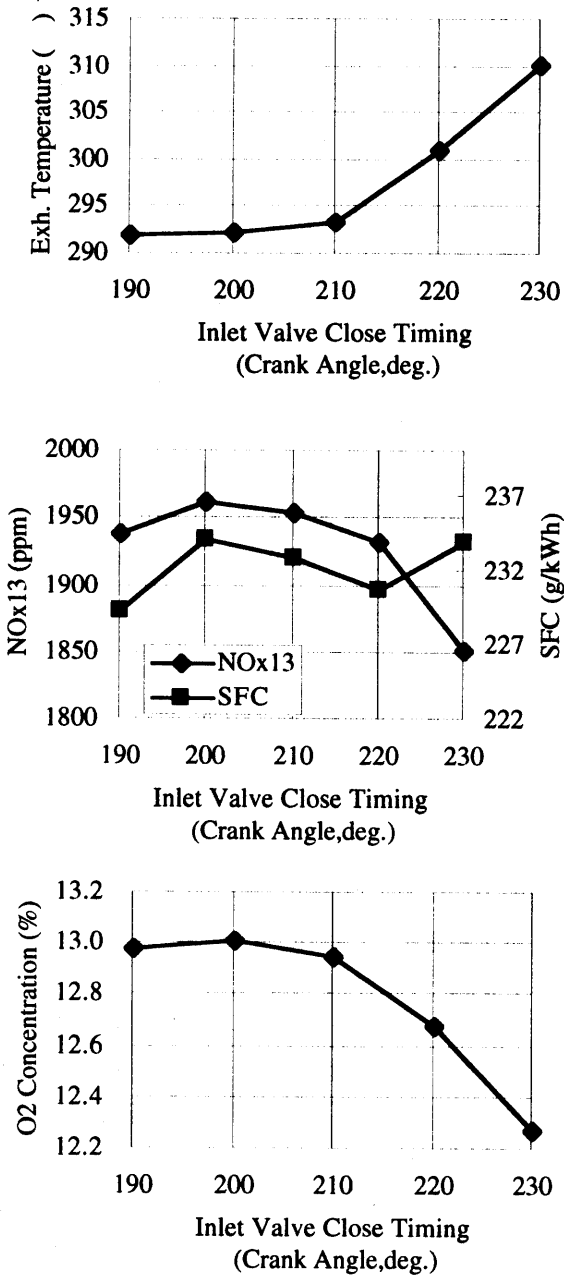


図 3. 吸気弁閉時期の変更

と変更した。IVC は、NOx 濃度、SFC とも比較的良好な値を示す 220° に固定したままとした。

実験結果を図 4 に示す。EVO を 120° から 140° に変更すると NOx 濃度は増加するが SFC は大幅に改善された。次のオーバーラップの変更では、初めに IVO を 300° から 350° に変更すると NOx 濃度は減少する一方、SFC は増加したが、次に EVC を 40° から 20° にすると NOx 濃度、SFC ともに大幅に減少した。オーバーラップは初期設定の 100° (IVO300°、EVC 40°) から 30° (IVO350°、EVC20°) まで短縮したが、機関の運転に問題はなく、SFC で 3.3g/kWh (1.5%)、NOx 濃度で 150ppm (8.3%) の改善が達成された。

最後に CIT を 4° より 8° に変更した。燃料噴射系のみを電子制御化した場合の実験では、船用特性

25% 負荷においては CIT 8° で SFC は最小となったが¹⁾、ここでは NOx 濃度はわずかに下がるものの、SFC はあまり変わらなかった。吸排気弁開閉時期の最適値は着火時期によっても異なるのが妥当であり、着火時期と吸排気弁開閉時期の組み合わせの最適化についてはさらに検討する必要がある。

4. まとめ

中速 4 サイクルディーゼル機関の吸排気弁系を電子制御化し、吸排気弁開閉時期のそれぞれが燃料消費率と排出 NOx 濃度に及ぼす影響を調べた。次いで各弁開閉時期を順次変更しながら最適化をはかる運転試験を行った結果、初期設定時に比べて NOx 濃度で 8%、燃料消費率で 1.5% の改善が得られた。すなわち、燃料噴射系の電子制御化と同様に、吸排気弁系の電子制御化は、燃料消費率と NOx 濃度を同時に低減する上で有用な手段であることが示された。

吸排気弁系の電子制御化によって燃料消費率と NOx 濃度が低減できるのは、弁開閉時期の制御だけでなく弁開閉速度や揚程曲線を変えることで可能と考えられる。しかし今回はその検討には至らなかった。また、今回の報告では実験は負荷 25% に限定しており、高負荷での効果はまだ確認できていない。さらに着火時期と吸排気弁開閉時期との関係についての詳細な検討も必要であり、これらは今後の課題と考える。

参考文献

- 1) 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、日本マリンエンジニアリング学会誌 Vol.35、No.12、2000
- 2) 船用ディーゼル機関の燃料噴射系と吸排気弁系の電子制御化運転、高杉他、日本マリンエンジニアリング学会誌 Vol.37、No.3、2001
- 3) 電子制御化ディーゼル機関の運転（燃料噴射・吸排気弁の電子制御化運転の結果について）、西尾他、日本機械学会第10回交通・物流部門大会講演論文集、平成 13 年 12 月
- 4) 油圧駆動電子制御システムによるエンジン性能の向上、藤井龍雄他、日本船用機関学会誌第 Vol.26、No.7、1990

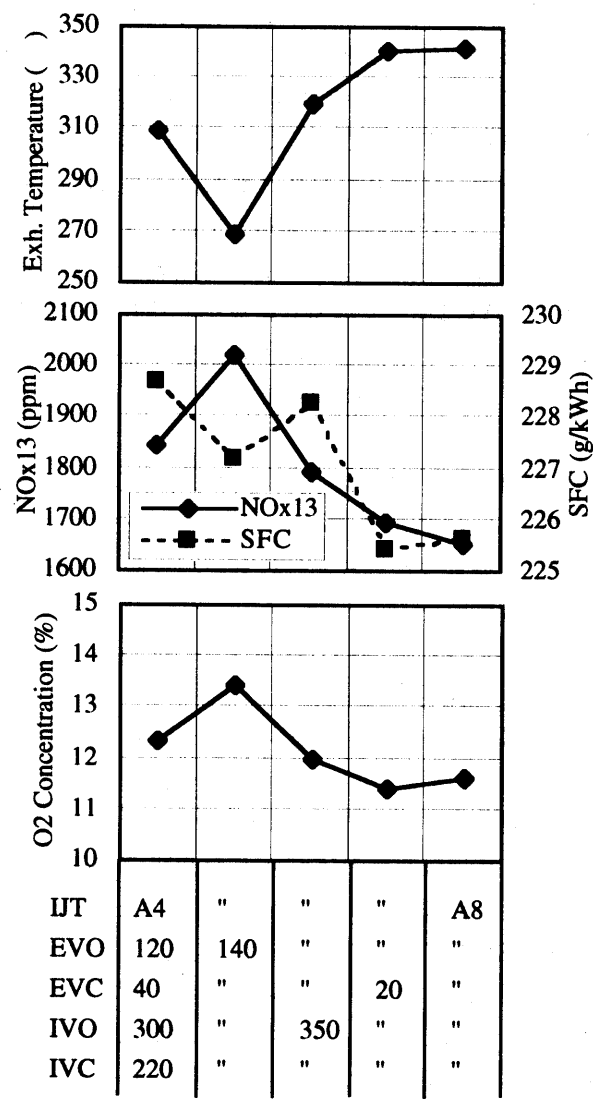


図 4. 総合実験