技術資料

ディーゼル機関の電子制御始動装置
の開発*

中山高之**・金田千秋***

Development of Electronic Starting System for Diesel Engine

By Takayuki Nakayama, Chiaki Kaneda

The presence of time delay in a conventional starting system of a marine large diesel engine makes it difficult to open and close the starting valve at most suitable timing for starting and braking in different engine speed. The time delay occurs mainly in pressure transmission in the pipe of pilot starting air between the starting air distributor and the starting valve.

In a new starting system, ECSS, the time delay is calculated and compensated by electronic controlled circuit so that it can drive the starting valve at most suitable timing for starting and braking respectively, even if the engine speed may change rapidly. The ECSS adapts magnetic valves to the starting air distributor. They are controlled by a micro computer where the engine speed and the crank angle are sampled by using an encoder fitted at the end of cam shaft.

From the result obtained through the test engine (NKK-SEMT 3PC2-5L) experiments, it is proved that the starting performance is improved remarkably compared with the conventional, mechanical starting system. As for braking performance, it is found that the starting valve can be controlled beyond the limitation of conventional effective braking speed.

1. ま え が き

船用大形ディーゼル機関の機関制御の中で、機関の始動制御、及びクラッシュ・アスターンと呼ばれる緊急停船のための機関の制動、逆転制御は始動カム、管制弁、始動弁を組合せた機械的な機構で行われている。この方式では機関回転数の変動に伴い、始動弁の開閉するタイミングにずれが生じ、制動性を優先にカムを設計した場合、逆転起動性が低下するなどの弊害があった。

そこで機関の始動及び制動それぞれの性能向上を目的とし、マイクロコンピュータと電磁弁を組合せて、タイミングのずれを補正しながら始動弁の開閉動作をより最適なタイミングで制御できるようにした電子制御始動システム(Electronic Controlled Starting System)を開発し^{1,2)}、テストエンジンに装備して各種性能試験を実施してきた。その結果、従来の機械式に比べて機関の始動性、制動性において格段の向上が認められた。開発後テストエンジンにそのまま装備して約2年が経過しているが、制御に支障をきたすような故障も皆無で、耐久性においても従来の方式と比べ、損色がないことが実証

されている。

以下に、ECSSと呼ぶこの新しい電子制御始動装置について述べる。

2. ECSS

2.1 構 成 開発したECSSは図1に示すように大別して次のものから構成されている。

1) クランク角度検出部 機関のカム軸端に光電式回転エンコーダを取り付け、カム軸の1回転(4サイク

図1 ECSSの構成

* 原稿受付 昭和59年10月16日

** 正会員 日本鋼管(株)(横浜市鶴見区末広町2-1)

*** 日本鋼管(株)(横浜市鶴見区末広町2-1)

ル機関の場合、クランク軸2回転分)を1024のビットの組合せでクランク軸の角度を検出する。また検出器の最下位ビットは機関の回転速度の検出にも利用する。

2) 開閉電磁弁 従来の管制弁に代るもので、弁の開閉動作を早く且つ精確に行わせるために開弁用と閉弁用それぞれのソレノイドを有した2位置5方向電磁弁を用いている。船用主機関に使われる始動弁はその動作速度を早めるために、開用及び閉用の始動管制空気を用いたものが多い。この電磁弁方式では開用管制空気とともに閉用管制空気を発生させることが可能である。

3) 始動弁コントローラ クランク角度検出器からの信号を得て、最適なクランク角度で始動弁が開閉するように開閉電磁弁を動作させる信号を作り出すのが写真1に示す始動弁コントローラである。コントローラ内には、a)開閉電磁弁の動作を制御するA/D変換回路、D/A変換回路を組合せたハイブリッド演算部、b)始動弁開閉の設定角度など制御に必要な内部データを記録して

いるROM、c)正転、逆転モードの切換えや内部データの変更、表示などを行う入出力回路、d)システム全体の状態を監視するモニタから構成されている。内蔵されているマイクロコンピュータは、開閉電磁弁の制御には直接関与していない。この結果、コンピュータの処理速度に無関係に開閉電磁弁の制御が行われることになり、機関形式、シリンダ数の変更に対しても容易に対応することが可能である。

2.2 開閉電磁弁の動作タイミング 始動弁の開閉タイミングの遅れ時間は、主に電磁弁の動作遅れ、電磁弁から始動弁までの空気の伝ば遅れ、及び始動弁自身の動作遅れによって生じる。これらは機関回転数に無関係に機関形式が定まれば一義的に定まる量である。その遅れ時間を Δt 秒、機関回転数 N rpmとすると、始動弁での開閉の遅れクランク角度 $\Delta\theta$ は、機関回転数に比例するものとして扱ってよく、次式で表わすことができる。

$$\Delta\theta = b \cdot \Delta t \cdot N = \alpha \cdot N \quad (1)$$

例えば、始動弁をクランク角度 θ_0 の位置で開弁させようとする場合には、クランク角度が $(\theta_0 - \Delta\theta)$ の時に開閉電磁弁を励磁すればよいことになる。(1)式中の補正係数 α は機関によって定まる定数であり、機関に合せて最適な値に設定する。

この演算は図2に示すハイブリッド演算部の主制御内のD/A変換器によって実現される。この演算を含め、クランク角度信号を入力とし、各シリンダそれぞれの開閉電磁弁への開用及び閉用信号が出力されるまでの流れを図2に沿って説明する。

D/A変換器は、内部に記録されている開補正係数、閉補正係数のデジタル値を順次直流電圧に変換するもの

写真1 始動弁コントローラ

図2 ハイブリッド演算部のブロック図

である。入力デジタル値の1ビットが出力電圧の何ボルトに相当するかを設定する定量化値に機関回転数に比例した直流電圧が用いられ、この結果、機関回転数が急激に変動しても十分に追従したクランク角度補正値が自動的に求められることになる。

D/A変換器によって得られた $\alpha \cdot N$ のアナログ電圧値は、次のA/D変換器によって再びデジタル化され、1ビットが720/1024度のクランク角度に対応するクランク遅れ角度 $\Delta\theta$ のデジタル値に変換される。そして、開用、閉用それぞれのパルファに連続して記録される。続いて、これらのパルファの値 $\Delta\theta$ と、まず実際のクランク角度 θ が加算され、つぎに開用、閉用それぞれの標準角度とで減算される。以上の演算から、負から正に値が移行したときに開閉電磁弁が励磁される信号が得られたことになる。

この信号はある特定のシリンダを基準にしたもので、個々のシリンダでの開閉はこの信号から位相角度を加算することによって容易に求められることになる。これらは個別シリンダ制御部で行われ、開弁または閉弁と判定されると、出力信号としてそれぞれのシリンダについている電磁弁に励磁に十分な時間だけ送りつけられる。

3. 性能試験

3.1 試験 開発したECSSをテストエンジン(表1)に装備して、ECSSから出力される開閉電磁弁への開用励磁信号及び閉用励磁信号、管制空気圧力、始動弁弁リフト、シリンダ内圧力、クランク角度などを測定記録できるようにし、ECSSの性能試験を実施した。

表1 テストエンジン主要目

形 式	NKK-SEMT-Pielstick 3 P C2-5L
シリンダ数	3
シリンダ径 mm	400
ピストン行程 mm	460
出 力 PS	2250
回 転 数 rpm	520
平均有効圧力 kgf/cm ²	22.5

本試験を行う前にまず次の項目についての予備試験を行い、ECSSが正常に目的どおり作動していることを確認した。

- 開閉電磁弁の必要動作時間及び高回転域での追従性能の確認。
- 機関回転数の変化に伴うクランク遅れ角度の演算の確認。
- テストエンジンに適した遅れ補正係数 α_o 、 α_c の決定。

3.2 始動性能 まず、機関を始動する場合の最も望ましい始動弁開閉タイミングを調査した。従来の機械式始動方式では始動用と制動用とを分離できないが、ECSSの場合には、始動用最適タイミング及び制動用最

適タイミングをそれぞれ独立して任意に設定することが可能である。

図3、図4はそれぞれ始動弁開弁タイミング、閉弁タイミングを変更しながら空気運転(Air-Run)した場合の回転数変化を示す。横軸はクランク軸が回り始めてからのクランク軸回転サイクル数(2回転分、1サイクル)を示す。始動性の良否を機関回転数の大きさに判定すると、開弁タイミングは上死点后5°付近、閉弁タイミングは上死点后120°付近で最も始動性が良いといえる。

この始動弁開閉タイミングでAir-Runさせた場合と従来の機械式始動方式とを比較したのが図5である。従来方式による始動カムの設計開弁期間は図中の斜線で示す範囲である。実際の始動弁の開閉タイミングは制御系内の遅れによってかなりずれていることがわかる。一方、ECSSの場合には、機関回転数に伴う遅れは、閉タイミングではほとんど認められない。しかし開タイミングがクランク軸の回転に伴って遅れが生じている。これは通常の始動操作と異なり、連続して始動空気を投入しているために、始動空気圧が低下し始動弁を押す管制空気圧の立上りが遅れるようになるからである。

ともあれ、ECSSを用いると機関回転数が約1.5倍も

図3 最適タイミング試験時の回転数変化 (始動弁開タイミング変更)

図4 最適タイミング試験時の回転数変化 (始動弁閉タイミング変更)

図5 ECSSと機械式との比較(Air-Run)

大きくなり、ECSSによる始動性能は、従来方式に比べて格段に優れていることが明確である。

始動回転試験を続けて行った。テストエンジンの場合、従来の機械式始動方式では始動空気圧力が 25 kgf/cm^2 で開始したとした場合、最多6回しか機関を始動できない。これに対し、同一条件にしてECSSを用いて行くと、9回の機関始動が可能である。これは、始動弁開閉タイミングが改善され、始動空気の消費量が少なくて済むこと、また低い圧力でも機関を速い回転数で駆動できることを示している。

3.3 制動性能 テストエンジンの内の1シリンダを燃料カットし、そのシリンダにECSSで始動弁を開閉させる実験を行った。

図6は、機関回転数 250 rpm での始動弁の動きを示すオシログラムである。これまでの機械式制動方式の場合、約 160 rpm 以上では始動弁を制動に適したタイミングで開閉させることは不可能であった。しかしECSSを用いると機関回転数 250 rpm に相当する管制空気の遅れ角

図6 制動試験 ($250 \text{ rpm} \rightarrow$ ブレーキ・エア投入)

度が考慮され、その分だけ早く開閉電磁弁への励磁信号が出力されるため、制動に適した開閉タイミングで始動弁を動作させることができる。

このことから、ECSSでは従来方式に比べ格段に高いブレーキ・エア投入回転数が実現可能であり、クラッシュ・アスターン性能の大幅な改善も期待される。

4. む す び

以上報告したように、ECSSでは従来方式に比べ優れた始動性能及び制動性能が期待できる。機関の始動においては、始動空気の消費量が少なくなり、またクラッシュ・アスターンにおいては格段に高い機関回転数でのブレーキ・エアの投入が可能である。

現在、ECSSはテストエンジンにそのまま装備し、機器の適合性及び耐久性の確認を行っている。これまで約2年間使用しているが、角度検出器、開閉電磁弁などの動作で異常は発生していない。

最後に、本システムの開発にあたり、協力いただいた日本エヤーブレーキ(株)殿、日本造船機械(株)殿に感謝の意を表します。

文 献

- 1) ディーゼル機関の始動弁の制御装置, 特願昭 58-148240
- 2) ディーゼル機関の制御装置, 特願昭 58-210360