高速舶用機関の実稼動中における燃焼状態の解析 環境・エネルギ - 研究領域 環境影響評価研究 G 高井 元弘、西尾 澄人、長内 敏雄

1.まえがき

過酷な条件で運転されている高速船の主機関 である高速ディーゼル機関は,トラブル発生の報 告も少なくなく,機関の状態監視,メンテナンス 方法も含め,信頼性向上が求められている.機関 の状態を診断するには,燃焼中のシリンダ内圧力 を測定し解析することが有力な手法の一つである.

本報告では実航行中に,シリンダ内圧力の計測 を行い,計測波形から精度良くシリンダ位置を推 定する手法を示すと共に,熱発生率を計算し,燃 焼状態の解析を行った結果について報告する.

2. 圧力の測定方法とシリンダ位置の推定法

対象機関の主要緒元,性能を表1に示す.圧力 の測定センサーは,機関のインジケータコックに 取付けた.シリンダ内圧力波形の解析にはピスト ンの上死点位置(TDC)を正確に割出す必要があ り,実験室では,クランキングやモータリングに より行うが,実機においては困難である.以下に 述べる方法でTDC 位置を決定した.

圧縮,膨張行程でシリンダ内圧力P,体積Vは (1)式のポリトロープ変化に従うとすると,圧力変 化 dP/dt は(2)式となる.

$$\mathsf{PV}^{\mathsf{n}} = \mathsf{C} \tag{1}$$

 $dP / dt = -nC \quad A \cdot V^{-(n+1)} \cdot dx / d$ (2)

ここで, はクランク角, はクランク角速度, x はピストンの TDC 位置からの距離, A はシリン ダ断面積である.(2)式の dP/dt はクランク腕の長 さ,連接棒長さ,圧縮比,ポリトロープ指数nに より決定される.dP/dt は圧縮行程で極大値をとる クランク角位置が存在し,一般に燃焼開始前の位 置となるため,シリンダ内圧力波形より求めるこ とができる.(dP/dt)maxのクランク角位置は,同一

耒 1	計測対象機関の概要
1.8	

形式	4 サイクル過給機付 V 型ディーゼル機関
連続最大出力	2,023kW × 1,950rpm
シリンダ数	16
シリンダ径	165 mm
ストローク	185 mm
連接棒長さ	339.5 mm
圧縮比	13.5
最大燃焼圧力	14.7 MPa

機関では,ポリトロープ指数 n により変化する.

(dP/dt)_{max}クランク角位置とポリトロープ指数 n との関係を求めた結果を図 1 に示す.4 サイクル 過給式ディーゼル機関では,n=1.34 程度で良く近 似できるが,n=1.3~1.4 の範囲で,(dP/dt)_{max}と なるクランク角位置は,-14.75°±0.2°(ATDC) となることが分かる.図2に実船試験で計測した



図1 ポリトロープ指数とクランク角度位置



図 2 シリンダ内圧力波形 P および d P/dt

停泊時(825rpm)および定常航行時(1790rpm)に おけるシリンダ内圧力波形 P と dP/dt を示す.停 泊時の圧力波形には,ピーク後に気柱振動による 振動波形が見られる.

3. 熱発生率の計算と燃焼状態の解析

熱発生率 dQ_{ch}/d は,作動ガスの比熱比 を用 い簡略式として(3)式が用いられる.

$$\frac{dQ_{ch}}{d\theta} = \frac{dQ_{ht}}{d\theta} + \frac{1}{\kappa - 1} \left(V \frac{dp}{d\theta} + \kappa P \frac{dV}{d\theta} \right)$$
(3)

Qht は燃焼室壁面からの冷却損失熱量で,上式 の左辺を dQ_n/d =dQ_{ch}/d - dQ_{ht}/d とし,正味 熱発生率として求める.シリンダ内のガス分布は 燃焼行程中においても均一とし,ガス温度,ガス 組成(H₂O,O₂,N₂,CO₂のみと仮定)に依存す る比熱比 は,JANAF 表のデータに基づく近似 式を使用して計算した.図3に O₂の近似式を示 す.燃料は軽油で,C₁₆H₃₀として完全燃焼を仮定 した.図4,図5に定常航行時および停泊時にお ける熱発生率の計算結果を示す.圧力波形は,連 続する 10 波形の平均をとり,停泊時波形のピー ク後の気柱振動波形は平滑化の処理をおこなった.

定常運航時はクランク角位置約-7 度(ATDC)に 対して,停泊時では-4 度前後で熱発生が始まって いる.定常運転時の熱発生率は比較的緩やかに増 大し,クランク角位置約10度(ATDC)でピークを



図4 熱発生率の計算結果(定常航行時)

示し,燃焼時間も比較的長く,良好な燃焼状態に あることが推定される.停泊時の場合は,着火遅 れ時間が長く,着火後の燃焼が急激に進み,燃焼 に伴う圧力が急激なためセンサー取付け部に気柱 振動が発生したと考えられる.

4.まとめ

高速ディーゼル機関のシリンダ内圧力を実航行 中に計測し,クランク角位置を精度良く割出す手 法を示し 熱発生率を求め 燃焼状態を解析した.

本研究の一部は日本財団の補助事業である(社) 日本造船研究協会不具合情報処理分科会との共同 研究で実施したものであり,ご協力いただいた 方々に深く感謝いたします.

(参考文献)高井他,機械学会東北支部講演会 No.031-1(2003-3)



図5 熱発生率の計算結果(停泊時)