

2024 年度 機械設計製図 B テキスト

サバテサイクルを用いた中高速ディーゼルエンジンの設計

Part 3 詳細仕様の決定

5. 主要部品の詳細

5.1 ピストン

ピストン (Piston) は高圧の爆発力に耐え、往復運動時の慣性力を小さくするために、材料は熱伝導率が高く、密度の小さいアルミ合金が用いられる。さらに、熱膨張や熱変形が生じても高速の往復運動に支障をきたさないように、他の部材との僅かな隙間と潤滑が必要となる。また、慣性によって発生する荷重を小さくするために、重量を軽くする設計が行われる。ピストンの各部寸法を Fig.5.1 に示す。

5.1.1 ピストンとシリンダ隙間

ピストンは運転中に熱を受けて膨張するが、特にピストン上端部は高温のため膨張が著しい。そこで、シリンダとの間の隙間を確保するためにシリンダ径よりピストン直径を小さくするだけでなく、上端部の直径を下端部より小さくする必要がある。ピストン上端部と下端部の直径をそれぞれ D_1 、 D_2 とすると、

$$\begin{aligned} D_1 &= (D(1 + \alpha_2 \Delta t) - C) / (1 + \alpha_1 \Delta t_1) \\ D_2 &= (D(1 + \alpha_2 \Delta t) - C) / (1 + \alpha_1 \Delta t_2) \end{aligned} \quad (5.1)$$

となる。ここで、 α_1 、 α_2 、 C は、ピストンの材料の熱膨張係数 (Al 合金: $2.2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$)、シリンダの材料の熱膨張係数 (鋳鉄: $1.2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$)、運転中に必要な隙間 (通常 0.1mm) で、 Δt 、 Δt_1 、 Δt_2 は、シリンダの上昇温度 (80°C)、ピストン頂部の上昇温度 (320°C)、ピストン中心位置及びピストン下部の上昇温度 (130°C) である。

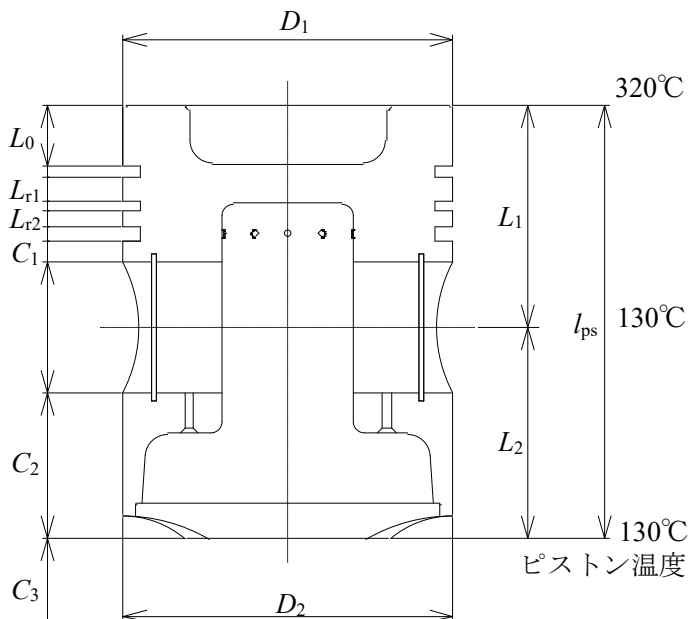
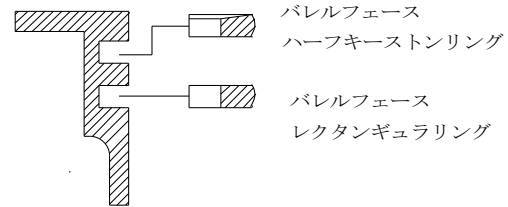
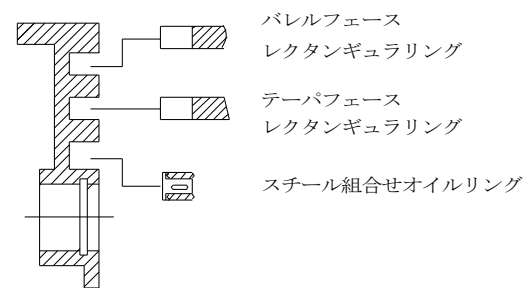


Fig.5.1 ピストン各部寸法

2 サイクルエンジン



2 サイクル 2 輪 4 輪エンジン



ディーゼルエンジン

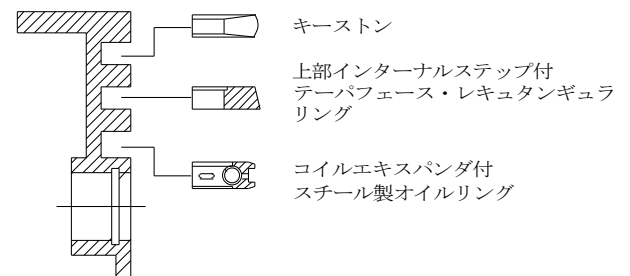


Fig.5.2 標準的なピストンリングの組合せ

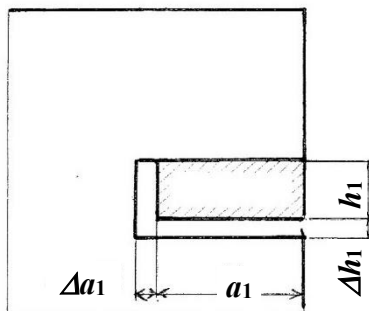
5.1.2 ピストンリング

ピストンリング (Piston ring) はピストンのピストンリング溝に挿入し、シリンダとの気密を保ちつつピストンの熱をシリンダに伝達すると同時に、燃焼時の高圧ガスをシールする働きと潤滑油が燃焼室へ逆流するのを制御する役目を持つ。このためピストンリングはシリンダ壁面に密着していることが望ましく、光の漏れ量で密着量を測る事が一般的な検査方法である。さらに、リング側面がシリンダ壁面に均一に密着するように、リングを縮めて装填する。さらに、磨耗に耐え、熱伝導性にも優れている必要がある。これら、ピストンリングの役割については、リケン, NPR のサイト (外部リンク集) が参考になる。

ピストンリングの標準的な組合せを Fig.5.2 に示す。ピストンリングの材料はニッケル、クロムの成分含んだ特殊鋳鉄、ステンレス鋼をガス窒化などの表面硬化処理を施して、耐磨耗性の向上したものが、多い。ピストン頂部には 2 ~ 3 本の圧縮リング

(Compression ring) と下方に一本のオイルリング (Oil ring) を備えている。オイルリングには種々の形状のものが用いられるが、オイルリングの溝、またはその下方に孔をあけ油をクランクケースへ戻すようになっている。ディーゼルエンジンの場合、高負荷、高出力でその燃料が軽油であるため、燃焼時に発生するカーボンスラッジ等の生成物が、ピストンリング溝中に堆積し、ピストンリング動きを束縛し、ピストンリングの機能が低下する。この機能の低下を防止するために、Fig.5.2 に示したディーゼルエンジン用のリング組合せが一般的に用いられている。特に第一圧力リングがカーボンスラッジの影響を受けやすい、これを防止するためにキーストンリングを一般的に使用する。このリングはサイドクリアランスがピストンの運動に伴って変化し、スラッジをこじりだす働きをする。

実際のエンジンにおいてピストンリングは特注される。ここでは、第1圧力リングはJIS規格の「内燃機関—小径ピストンリング—第6部：レクタングュラリング区分4」、第2圧力リングは同規格の区分2、オイルリングは「内燃機関—小径ピストンリング—区分3」を採用する。各ピストンリングの幅、溝は



ピストンリング幅寸法 h_1 JIS-B8032 に準じて設定

シリンダー径 D	圧力リング・ トップ h_1	圧力リング・ セカンド h_1	オイルリング h_1
30～74	2.5	1.75	3.0
75～89	2.5	1.75	3.5
90～109	3.0	2.0	4.0
110～139	3.5	2.5	4.5
140～174	4.0	3.0	5.0
175～200	4.5	3.5	6.0

ピストンリング幅 h_1 の 基準寸法と公差	h_1	-0.010
		-0.030
ピストンリング溝幅 $h_1 + \Delta h_1$ の 基準寸法と公差	h_1	+0.015
		+0.035
ピストンリング溝間隙	$\Delta h_1 = 0.025 \sim 0.065$	
ピストンリング厚さ	$a_1 = 0.04D$	
リング溝底隙間	$\Delta a_1 = 0.1 a_1$	
ピストンリング溝底径	$D_1 - 2 a_1 - 2 \Delta a_1$	
ピストンリング溝底径公差	± 0.1	

ここで D_1 は式(5.1)で与えられる。(注. D ではない)

Fig.5.3 ピストンリング関係寸法

Fig.5.3 を参考にして決定する。

次にピストンリングを挿入するためにピストンに溝を切る。各リング溝の幅の寸法は Fig.5.3 を参考にして決定する。第1ピストンリングの上面からの距離 L_0 、それぞれのピストンリング間の距離 L_{r1} および L_{r2} は、

$$L_0 = (0.15 \sim 0.20)D$$

$$L_{r1} = (2.0 \sim 3.0) \times \text{第一圧力リング幅}$$

$$L_{r2} = (1.0 \sim 1.5) \times \text{オイルリング幅} \quad (5.2)$$

で与えられる。

5.1.3 ピストンピン

ピストンピン (Piston pin) はピストンと連接棒 (Connecting rod) を連結するもので、大きなガス圧力がかかり、ピストンとコンロッドとの間である程度潤滑するから、強度の大きい磨耗に耐えるものが必要である。このため材質は炭素鋼、クロムモリブデン鋼などを使用し、また軽量化のために中空にする。

ピンが抜け出さないようにピンの両端でC型止輪 (スナップリング：JIS B2804) を用いて固定する。ピストンピンが挿入される孔の溝がC型止め輪を押えるためのものである。(Fig.5.1 参照) 詳細はJIS規格(JIS B2804)を参照する。ピストン上面とピストンピン軸間の距離 L_1 は、

$$L_1 = (0.5 \sim 0.7)D \quad (5.3)$$

で与えられる。ここで、 L_1 は、オイルリングとピストンピン間の距離 C_1 とピストンピンとピストン下端部間の距離 C_2 が0にならないように決定しなければならない。さらに、ピストン下面とクランクシャフトの先端(実際にはバランスウェイトの下端)が干渉しないように、その間隔 C_3 が5mm以上となるように調整する。場合によってはピストンスカート部を削ることも検討する。

5.1.4 ピストン頂部の検討

ディーゼルエンジンのピストン頂部には燃焼効率を高めるための燃焼室(くぼみ)が存在する。この燃焼室の体積は一般に上死点体積 V_1 の85%に設定される。この結果からピストン頂部の燃焼室の形状を再設計せよ。

5.2 コンロッド

コンロッド (Connecting rod) はピストンに加えられた力をクランクに伝えるものであり、大きな圧縮の力を受けるので、強度の高い材料が必要である。このため材料はクロムモリブデン鋼の型打ち鍛造である。断面形状は普通I型あるいはH型を一般的に用いる。

ピンを介してピストンを結合しているコンロッドの端を小端部 (Small end)、クランクシャフトと結合している端を大端部 (Big end) と云う。小端部はホワイトメタルや銅合金のブシュを嵌め、大端部は軸受を2分割にして、後から取り付ける。これら軸受の内面は油が通るための溝が掘られている場合が多い。

これらの溝に油を供給するために小端部の先端と大端部の下端には軸受に通じる穴が設けられている。さらに、コンロッド大端部キャップには油かきのための棒が取り付けられる。この棒の先端が台板の中に保持された油に触れるように設計する。

一般にディーゼルエンジンを分解する際には、コンロッド大端部がシリンダを通り抜けないといけない。Fig.5.4 はシリンダからピストンを抜く様子を示している。このため、コンロッド、特に大端部の軸に垂直な断面外形は、シリンダ内径より小さくしなければならない。さらに、大端部と大端部キャップとの位置決めにはピンを用いる。ピンの設計は平行ピン (JIS B1354) を参照する。

コンロッド大端部に挿入する軸受にはつめがある。これは軸受の軸方向の動きを拘束する役割があり、大端部の内面にはそのつめが入る溝を切る。これは古い規格 (JIS D3102) を参照する。

さらに詳細な設計指針は「コンロッド設計の勘所」(資料[39]) および「コンロッド小端部軸受周りの設計手順」(資料[40]) を参照する。

5.3 クランクシャフト

ピストンの往復運動を回転に変えるための機構がクランクシャフトで、各部分は Fig.5.5 のように名前がついている。特にアーム部のジャーナル軸より下の部分をバランス・ウエイトとよぶ。燃焼室で発生したエネルギーを動力として取り出すために、強度を大きくとり、振動の発生や曲がりを防止するため、軸径を太くして剛性を高めている。

5.3.1 シャフト (軸)

まず、軸端の径 d_{c1} は、クランクジャーナル直径 d_{cc} に対して、

$$d_{c1} = (0.65 \sim 0.80) d_{cc} \quad (5.4)$$

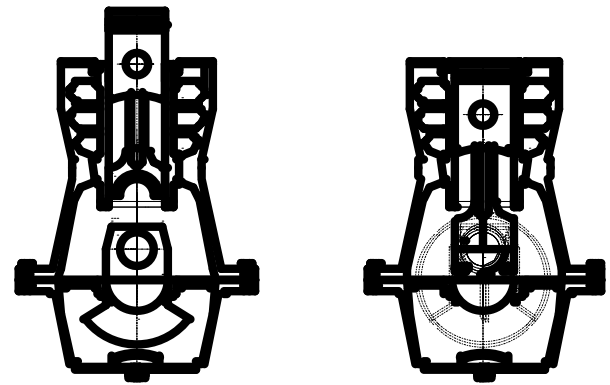


Fig.5.4 ディーゼルエンジンの分解工程

を参考にして決定する。次に、キーを選択して、キー溝の分だけ減った直径 d'_{c1} とする。さらに、平均トルク T_m から、軸の表面で発生する最大せん断応力 τ_s は、

$$\tau_s = \frac{16T_m}{\pi(d'_{c1})^3} \quad (5.5)$$

となる。このせん断応力 τ_s が材料の許容せん断応力を超えていないことを確認する。

軸端の長さ、キーの呼び寸法、キー溝の寸法等は教科書 (基礎から学ぶ機械製図) 「表 5.33 円筒軸端の寸法 (JIS B 0903)」の短軸端から選定する。

d_{c1} が表中の「軸の直径 d 」と一致しない場合は、その上の太い直径 d として選定する。

(例: $d_{c1} = \phi 68$ の場合、表中の $d = \phi 70$ として軸端の寸法を選定する)

ここで決定された軸端は、他の機構との連結する部分であり、ここから、中心に向けて軸の径を大きくする。まず、クランクジャーナルと軸端の間にある軸の径 d_{c2} は、軸端の径よりも 2mm 以上大きくする。ここにはオイルシールが挿入されるので、最終的な径はオイルシールの規格に順ずる。

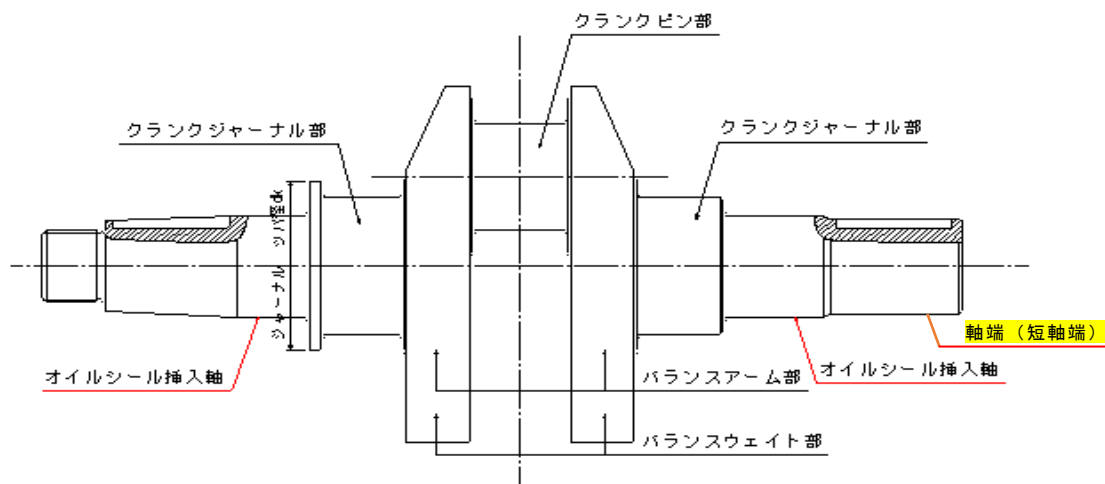


Fig.5.5 クランクシャフトの部分名称

クランクジャーナルの軸径 d_{cc} は、先の設計計算において求められている。しかし、軸径 d_{cc} は、軸径 d_{c2} より 2mm 以上大きくななければならない。オイルシールおよび後述する 1:10 テーパー軸端の規格を確認しながら、これら 3 つの軸径を最終決定する。オイルシール挿入軸部の長さは、クランクケースと台盤のオイルシール取付け部が周りの部品と干渉しないように、かつ極力コンパクトな寸法とする。

一方、フライホイールと連結する軸端はこの軸端の径を参考にして、ネジ径を決定する。さらに、フライホイールが挿入される場所は 1/10 テーパー (JIS B0904) とする。ここで、“こう配”との違いに注意する。一般にフライホイールと軸は半月キーで接続されるが、最近、半月キーは使用されない傾向にあるので、平行キーを用いても良い。

フライホイール側のジャーナル部には横方向のずれを押さえるためのツバを付ける。このツバ径はジャーナルキャップに設置のスラストワッシャの外径と等しくし、その厚さは 5~10mm とする。クランクアーム側にもスラストワッシャ外径と同じ当たり面を設ける。

5.3.2 ジャーナル軸受, スラストワッシャ

クランクジャーナルは、ジャーナル軸受を介して台盤 (ラダーフレーム) に支えられている。ジャーナル軸受は鋼を土台とし合金層を接合させた複合材 [バイメタル] 構造のすべり軸受とする。(JIS D3102, 及び すべり軸受の基礎 [外部リンク集] 参照)

ジャーナル軸受キャップには油穴、およびキャップ側のジャーナル軸受には、Fig.5.6 で示した油穴、油溝を設けてクランクシャフトのジャーナル部が油で十分に潤滑されるようにする。さらに詳細な設計指針は「クランクジャーナル軸受, クランクピン軸受周りの設計手順」(資料[41])を参照する。

スラストワッシャはフライホイール側のジャーナルキャップの前後にスプリングピンをガイドに組付けられる。幅は 8~12mm とし、その板厚はジャーナル軸受と同じとする。

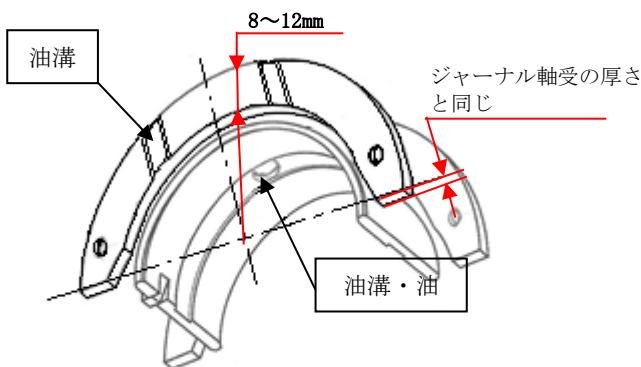


Fig.5.6 ジャーナル軸受, スラストワッシャ

スラストワッシャ内周の半径は、クランクジャーナルの半径に隅アール (例: 2mm) をプラスしたものとする。スラストワッシャ外周に合わせて、クランク

シャフトのツバ外径と、クランクアームの側面に設ける台座 (厚さ 2mm) の外径を等しく決める。

5.3.3 オイルシール

オイルシールとは一言でいえば、(油)をシールする(封じる)機械要素である。機械の摩擦部分には、機械を働きやすくするためにあぶらをいれているが、その油が機械の“すきま”から漏れるのをふせぐために、オイルシールが使われている。然しながら、機械の発達に伴い油だけでなく、薬液の漏れ、又は、機械の中に外部から進入するほこりや土砂を防ぐ事が必要である。自動車用エンジンのシールとしてはシール面にらせん状の溝を設けることにより、ポンピングの効果を利用して、エンジン外部に漏れるの防止する。このためエンジンフロント側とリア側のらせん状の溝は逆向きとなる。オイルシールの設計は、NOK 株式会社のホームページ (外部リンク集) を参照する。ここでは TB 型または TC 型のふっ素ゴム (FKM) オイルシールを用いる。

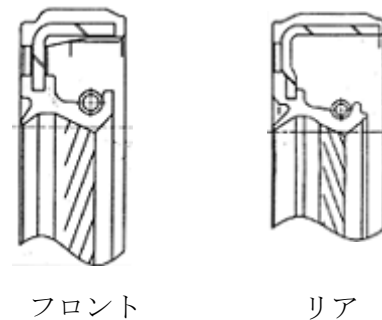


Fig.5.7 オイルシール(http://www.nok.co.jp/4_1d_1.html)

6. 組立図作成

6.1 課題

- ・ JIS 規格は、(1) 0606 室の本棚の JIS ハンドブック、(2) 日本工業標準調査会のウェブサイト (<http://www.jisc.go.jp/>) のいずれかを参照する。
- ・ 組立図は、用紙サイズ: A1, 縮尺: 1:2.5 にて作図と、「枠 A1(1-2.5).FXD」テンプレートファイルの使用を推奨する。(但し、印刷時には A3 に縮小すること。)
- ・ 各部品の品番は「ピストン・クランク部品表」に従う。
- ・ バランスウェイト質量の検討結果は組立図提出時に合わせて提出する。(資料[24]参照)
- ・ オイルパン、台盤の部品図は不要とする。

7. 部品図作成

7.1 課題

- ・ 組立図を参考にしてこちらが指定した部品に関する部品図を作成する。

7.2 ピストン・クランク部品表

参照 番号	品名	材料	仕様・ 規格	個数	質量	備 考
1	ピストン	AC8A-T5		1		
2	圧力リング, トップ	特殊鋳鉄		1		JIS B8032-6 (区分4)
3	圧力リング, セカンド	特殊鋳鉄		1		JIS B8032-6 (区分2)
4	オイルリング	特殊鋳鉄		1		JIS B8032-11 (区分3)
5	ピストンピン	SCM415		1		
6	C型止輪	S45C		2		JIS B2804
7	コンロッド本体	SCM440		1		
8	コンロッド大端部キャ ップ	SCM440		1		
9	コンロッド小端軸受	大同メタル L10		1		
10	平行ピン	S45C		6		JIS B1354 台盤用と共通 Φ8
11	供給管	S45C		1		
12	コンロッドボルト(座 付)	SCM440		2		
13	コンロッド大端軸受, 上	大同メタル L23		1		
14	コンロッド大端軸受, 下	大同メタル L23		1		油溝付
15	クランクシャフト	S45C		1		円錐軸 JIS B0904
16	フライホイール	FC250		1		
17	平行キー	S45C		2		JIS B1301 (前後共通)
18	ナット	S45C		1		JIS B1181
19	台盤	FC250		1		
20	ジャーナルキャップ, 前	FC250		1		
21	ジャーナルキャップ, 後	FC250		1		
22	ジャーナルキャップボ ルト (座付)	SCM440		4		
23	ジャーナル軸受, 上	大同メタル L23		1		油溝付
24	ジャーナル軸受, 下	大同メタル L23		1		
25	スラストワッシャ	大同メタル A17S		2		
26	スプリングピン	S65C		4		JIS B2808 φ4 (V型)
27	オイルシール(前)	NOK		1		フッ素系ゴム
28	オイルシール(後)	NOK		1		フッ素系ゴム
29	オイルパン	SPCE		1		T=2
30	ドレンプラグ	S45C		1		M16×1.5
31	銅ガasket	C1020P		1		
32	ボルト (バネ座金, 平座 金組込)	S45C		18		M8×1.25, 変更可能