

20 万 km の 軌 跡

木 下 勝 晴

1. ま え が き

エンジン耐久性のデータはメーカーにおいて、テストベンチ上で一定の負荷をかけ10万km, 20万km, 等に匹敵する時間を運転したのものや、テストコース上でプロのテストドライバーにより最高の条件の下でのデータは種々あるが、一般のユーザーが一般路を普通に使用した場合の耐久性のデータは見うけられない。

本論では今回筆者の愛用車が約20万km走行したので、エンジンを分解し主要部分を測定した結果を報告する。

2. 車種と整備歴

車種, 車名, 型式等を Table 1 に示す。この車を入手したのは, 昭和54年12月でその時点での走行キロ数は, 約60000km走行しており, 新車より60000kmまでの整備歴は不明。筆者が使用するようになってからは, 車検整備3回(必要最小限の整備), 主要交換部品はラジエータとタイヤぐらいで, あとは消耗部品(ブレーキシュ, コンタクトポイント, スパークプラグ etc)ぐらい。ユーザーとしての筆者は非常に悪いユーザーで洗車は勿論, エンジンオイルの交換も年2~3回でそのエンジンオイルの管理も時々点検し不足の場合は補給する程度の管理で, しかもそのエンジ

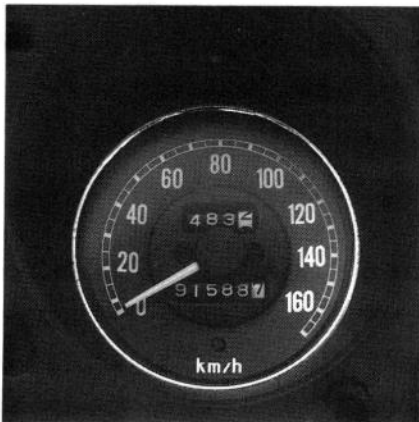


Fig. 1

Table 1

車種	小型乗用
車名	マツダ
型式	FA3PS
年式	49年式
車台番号	FA3PS-104846
エンジン型式	PC
走行キロ数	191,588km

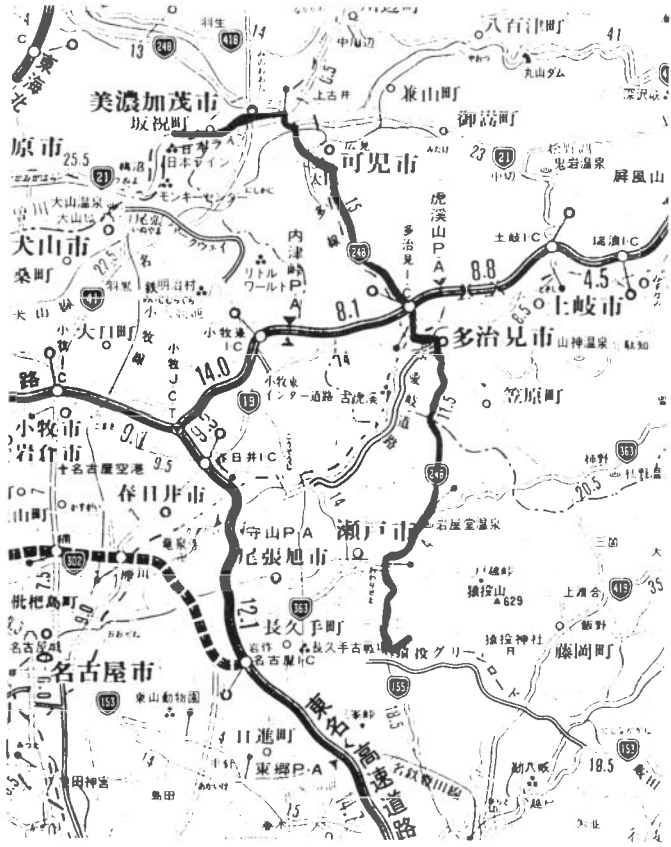


Fig. 2

ンオイルも近くのショッピングで購入する一番安価なエンジンオイルを使用。

3. 主要走行路と運転状況

Fig 2 に示すように、中日本短大より岐阜県美濃加茂市に出て、国道248号を陶器で有名な多治見市、瀬戸市を亅て、愛知県豊田市の入口にある愛工大まで約50kmを往復、途中勾配 8%の坂道を2速や3速でフルスロットル走行を含め、時間的制約があるため、始動と同時にスタート、急発進、急加速、急制動の繰り返し走行と車にとってかなり過酷な運転状況で毎日使用。

4. 計 測

工学は対象とするものを定量的にとらえることから始まるといわれている。そのために対象とするものの諸現象間の普遍的関係を見いだすため、調査や実験を行い、その種々の量をはかり、その結果からそれらの事実現象間の定量的関係を導き出す。したがって、測定とは、対象とする量と基準として用いる量と比較して数値又は符号によって表現することであり、その目的は対象に関する定量的な知識や情報を得ることである。

測定の種類と方式には、直接測定、間接測定、絶対測定、比較測定、零位法、偏位法等種々あるが詳しくは各々の専門書にゆずるとして、測定を行うとき、測定量はある決まった大きさを持つことを予期している。この大きさを真の値(true value)と言う。これに対して、測定によって得られる値を測定値(measured value)と言う。測定値がいつも真の値と一致するとは限らない。いや両者が一致することはほとんどあり得ないと言った方が正しい。つまり測定値には必ず誤差が含まれている。

4-1 誤差

誤差(測定誤差)とは

$$\text{誤差} = \text{測定値} - \text{真の値} \dots\dots\dots(1)$$

と定義される。

誤差は測定値ごとに変動し、ある場合は正に、または負になり、しかもその変動の様子も不規則であるのが普通である。測定の操作を何回も繰り返して行くと、ある値に近い測定値が得られる。このような測定値のばらつきをもたらすような誤差を偶然誤差(accidental error)と言う。何回か測定を繰り返して得た測定値がある値の近くに集中しているとき、すなわちばらつきの程度が小さいとき、この測定は精密であると言う。

偶然誤差に、正と負があると言ったが、これは真の値がわかっていると仮定した場合のことであり、実際には真の値はわからないので、得られた測定値の相加平均をもって真の値の推定値とするが、同一の条件でも得られるいくつかの測定値群の相加平均は一致しない。しかしこれらの操作を限りなく繰り返していくと、得られる相加平均はある一定値に近づくと考えられる。この値を測定値の母平均(population mean)と言う。

母平均が常に真の値と一致する保証はない。両者が一致しないとき、かたより(bias)があると言う。このかたよりには、正、負がある。測定結果のかたよりの原因となる誤差を、系統誤差(systematic error)と言う。

4-2 測定の精度

測定においては測定誤差を避けることはできないが、測定値に含まれる誤差を推定し、それを数値で表わすための数学的、統計的処理が必要である。

系統誤差の大きさを具体的に表わすために、かたよりの限界値を用いて表わしたものを正確度と言う、又かたよりの程度を正確さ(accuracy)と言う。

偶然誤差の大きさを具体的に表わすためには標準偏差(standard deviation), 又はその指定値をもって表わしたものを精密度と言う。又ばらつきの程度を精密さ(precision)と言う。

同一測定対象に対してn回測定して得られた測定値が $x_1, x_2, \dots, x_1, \dots, x_n$ の場合

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \dots\dots\dots(2)$$

この \bar{x} を試料平均(sample mean)と言い、各測定値から試料平均を引いた値を残差(residual)

と言う。

$$\text{残差} = x_i - \bar{x} \dots\dots\dots(3)$$

つまりこの残差が測定値のばらつきの程度を表わすが、残差は測定値ごとに大きさも符号も異なり、その和はゼロになるので、

$$S^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots\dots\dots + (x_n - \bar{x})^2}{n - 1}$$

$$= \frac{1}{n - 1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \dots\dots\dots(4)$$

を求める。この S^2 を不偏分散 (unbiased variance) と言い、これの平方根を試料標準偏差と言い、

$$S = \sqrt{\frac{1}{n - 1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \dots\dots\dots(5)$$

で表わし、この S は母標準偏差の推定値である。以上の関係を図にすると Fig. 3 のようになる。

一般に真の値、母平均の両者を知ることとは実際不可能なので、誤差は近似的に

$$\text{誤差} = x_i - \bar{x}$$

= 残差をもって表わす

但し以上の数学的、統計的処理は正規分布する母集団の任意試料であることを前提としている。一般的に測定値は正規分布をなすが厳密には正規分布は特殊な場合であって、正規分布曲線 (ガウス分布曲線) の式

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - m}{\sigma} \right)^2} \dots\dots\dots(6)$$

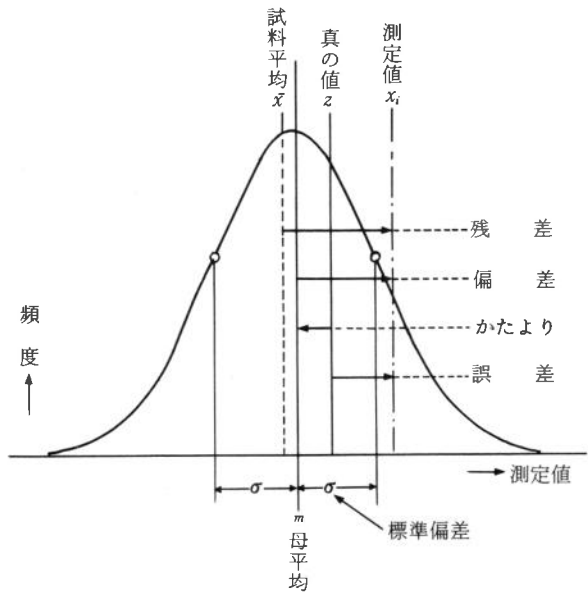


Fig. 3

$f(x)$: 測定値 x の確率
 σ : 標準偏差
 m : 母平均

より多少ずれている。しかしこの測定値に数学的処理を加えて求めた推論はそれほどかたより

を持たないことが確かめられている。

4-3 分解能

人間の眼が接近した二つの点を2点として識別する能力，すなわちこの分解しうる2点の最小距離（目の分解能）は，正常な眼の場合，明視距離250mmにおいて約0.06mm（視角にして約50"）である。実際には条件によって，眼の分解能は約0.1mm（80"）程度となる。又2直線のずれを認知する場合の分解能は明視距離において0.02mm（15"），最良の状態で0.01mm（8"）となる。

例えば最小目盛の間隔が1mmの目盛線において1目盛の1/10を目測で読み取るとは十分可能である。

4-4 有効数字

測定によって得られた測定値には誤差を伴うものであるから，計算等により誤差より下の位の数字が得られたとしても意味がない，すなわち誤差と等しい位以上の数字に意味があり，これを有効数字（significant figure）と言い，その桁数を有効数字の桁数と言う。

一般に工学において誤差を付記しないで測定値のみを書く場合，最後の位に誤差があることを意味している。

例えば，長さの測定値が(a) 35cm，(b) 35.0cmと表わせる場合，(a)では5の位に誤差があり，(b)では0の位に誤差があることを意味し，有効数字はそれぞれ2桁および3桁であって測定の精度に差があるのである。したがって，(a)の場合をmm単位で表わすのに350mmとしたのでは(b)と区別がつかなくなるので，必ず

$$3.5 \times 10^2 \text{mm} \quad \text{又は} \quad 35 \times 10 \text{mm} \dots\dots\dots(7)$$

と表わさなければならない。

誤差を付記する場合，誤差を厳しく言う分野では誤差を2桁で表わすことが慣例になっている。例えば，77.65±0.15cmのように表わす場合6に誤差が入ってくるが有効数字は4桁である。しかし，一般に誤差は最大誤差をとり，その有効数字は1桁である。

例えば，数回の測定値から平均値を計算したところ，24.385mmとなった場合，その最大誤差が±0.5mmであるとすれば平均値は

$$24.4 \pm 0.5 \text{mm} \dots\dots\dots(8)$$

とすべきである。機械式マイクロメータを使って測定を行う場合，例えば，Fig. 4のような測定値の場合，マイクロメータの最小目盛は0.01mmであるが一般的に円周目盛の間隔は目の分解能からいって最小目盛の1/10ぐらいいは目測で読み取るとは十分可能であるので測定値は

測定値：36.632mmとなる，ところが2級整備士関係の教科書の一部にはマイクロメータの読みを Fig. 4 の場合

測定値：36.63mm

と表わしたものを見受けることがあるが、これは誤差を最後の位の3の中を含むことを意味し、前者の場合は2の位に誤差を含むことになるので、後者のように有効数字4桁の場合、測定値の精度が悪くなるので注意する必要があり、もし最後の桁を0と判断した場合の測定値は必ず

36.630mm

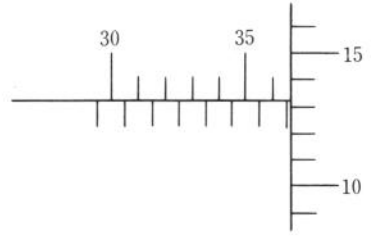


Fig. 4

と表わすべきである。

5. 計 測 具

今回使用した計測具はNSK製のJIS規格1級のマイクロメータ及びシリンダゲージでFig. 5に示す。0～25mm, 25～50mm, 50～75mmの外測用マイクロメータ, 50～150mmのシリンダゲージを使用して測定を行った。

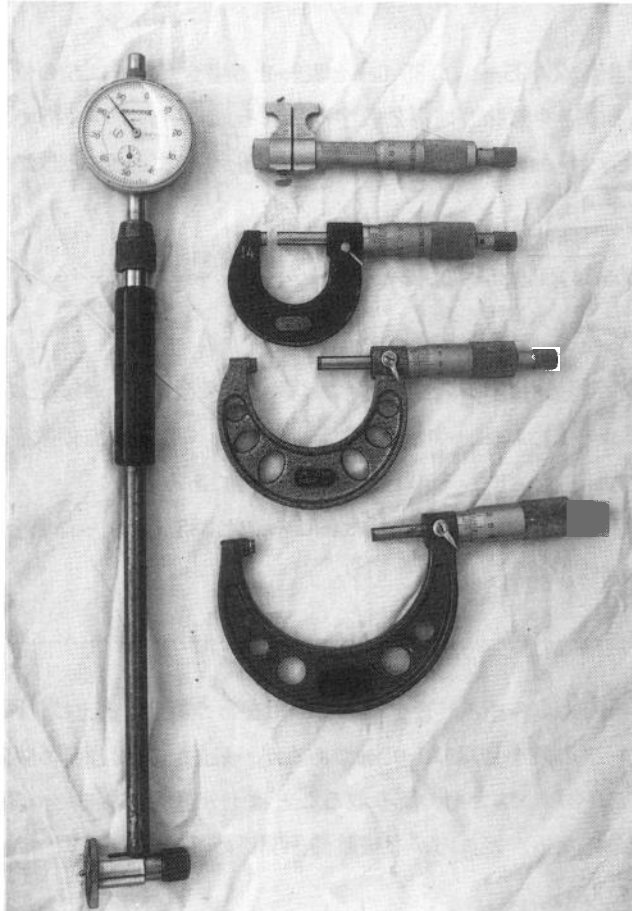


Fig. 5

6. 測定結果

測定値及び摩耗限度（メーカー指定値）を Table 2 に示す。

Table 2

	標準寸法	測定値					
		No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	
ピストン外径	69.95±0.01	69.961	69.952	69.954	69.954		
シリンダ内径	70.000~70.019	70.043	70.048	70.037	70.031		上部 } 摩耗限度 0.15 中央部 } スラスト方向 下部 }
		70.033	70.031	70.029	70.029		
		70.034	70.027	70.021	70.022		
		70.038	70.033	70.027	70.050		上部 } 軸方向 中央部 } 下部 }
		70.017	70.016	70.020	70.026		
		70.006	70.009	70.013	70.011		
カムシャフトジャーナル外径		41.960	41.918	41.953		摩耗限度 No 1, No 3...41.899以上 No 2...41.869以上	
カムシャフト軸受内径		42.029	42.023	42.023			
カムシャフトジャーナル オイルクリアランス		0.069	0.105	0.070		限度 0.15	
コネクティングロッド大端部内径		44.994	44.996	44.999	44.993		
クランクピン外径		44.952	44.950	44.950	44.944		
クランクピンオイルクリアランス	0.027~0.073	0.042	0.046	0.049	0.049	限度 0.1	
クランクシャフト軸受内径		63.022	63.021	63.031	63.025	63.011	
クランクメインジャーナル外径		62.945	62.945	62.947	62.946	62.950	限度 62.89以上
クランクメインジャーナル オイルクリアランス	0.031~0.061	0.077	0.076	0.084	0.079	0.061	限度 0.08
クランクシャフトエンドプレー				0.084			限度 0.3
カムシャフトカム高さ		44.054	44.059	44.091	44.051		I N } 限度 43.916以上 E X }
		44.105	44.125	44.108	44.096		
バルブステム径		8.032	8.032	8.024	8.031		ステム側 } 中央 } E X 限度7.980 ヘッド側 }
		8.033	8.035	8.027	8.033		
		8.032	8.035	8.026	8.033		
		8.034	8.029	8.036	8.029		ステム側 } 中央 } I N ヘッド側 }
		8.034	8.029	8.035	8.030		
		8.033	8.028	8.032	8.030		

以上の測定値は相加平均値であり、 $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ で $n=10$ を採用した。

7. 考察、検討

ピストンの外観は Fig. 6 に示すようにかき傷（スカッフ）や異常摩耗，偏摩耗の発生はほとんど



Fig. 6

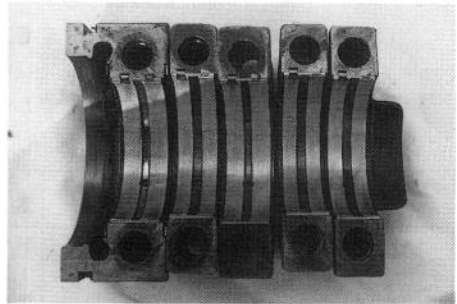


Fig. 8

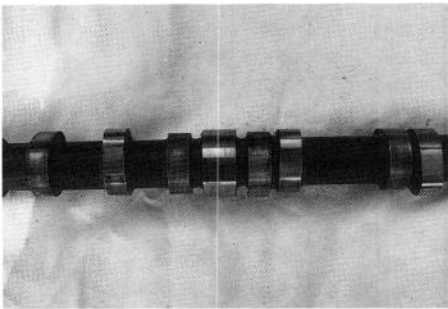


Fig. 7

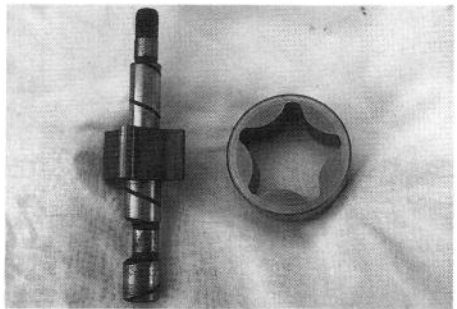


Fig. 9

どなく、目視では20万km走行したものと思えない。この PC 型エンジンのカムシャフトの軸受けは、ブッシュタイプで3軸受けのうち Fig. 7 に示す中央のジャーナルに異常摩耗が見受けられフロント、リヤ ジャーナル部には異常摩耗は見られない。

シリンダは通常10万km以上も走行したエンジンでは、シリンダ上部にかなりの段付摩耗を呈するものなのに、このエンジンの場合筆者も驚く程少ない摩耗であった。スラスト方向と軸方向の摩耗量を比較すると各シリンダ共にスラスト方向の摩耗量が多い。この PC 型エンジンのピストンオフセットはスラスト方向に2.0mmであり、逆タイプのピストンよりスラストは大きくなりこれも要因の一つと考えられる。クランクシャフトのメインジャーナルベアリング、コンロッド大端部ベアリングに異常摩耗、スカッフ等の発生はほとんどなく、正常に(均一に)摩耗していた本論のエンジン測定値の中で唯一摩耗限度をこえている。メインジャーナルのオイルクリアランスは Fig. 8 に示すように、メタルは全くきれいに(均等に)摩耗している。このことはメインベアリングの寿命を意味している。一般にクランクのメインジャーナル、クランクピンのベアリングにアンダサイズ(0.25, 0.50, 0.75)が用意されていることが理解できる。オイルポンプのインナロータとアウトロータの摺動面には Fig. 9 のように無数のスカッフが発生しており、これはエンジン各部の内、最も異常摩耗を起こしている部分であった。この原因はエンジンオイルの管理(オイルの定期的交換、オイルストレーナエレメントの交換、実際ストレーナエレメントは無交換)を守らなかった為に発生したと思われる。

Table 3

部品名称	限度 (mm)	限度に達する走行 キロ数(推定)(km)	
シリンダ	0.15	736,800	最大最小摩耗差
クランクジャーナル	62.89	1,245,000	
クランクピン	44.89	1,132,000	
コンロッド大端部オイルクリアランス	0.1	635,700	No 1, No 3
カムジャーナル	41.899	1,264,000	
〃	41.869	743,800	No 2
カム高さ	43.916	589,500	IN
バルブステム	7.980	1,159,600	
〃	7.980	816,000	EX

8. ま と め

本論ではエンジン各部の全てを測定したわけではないが測定した主要部ではクランクシャフトメインジャーナルのオイルクリアランス以外では、減寸限度（摩耗限度）に達していない。そこで全く同条件で摩耗するものと仮定した場合各部の寸法が何万km走行で限度に達するかを Table 3 に示す。

最近ではメンテナンス（オイル，冷却水等の管理）を定期的に行えばエンジンの摩耗を考慮する必要が無いと言われているが，本論においてもこのことを証明している。

最近のエンジン(自動車)には通常使用には全く不必要な高出力エンジン，また複雑怪奇なエンジンルーム等があふれているが，もっとシンプルで自動車全体のバランス，あるいは自動車と道路（制限速度，幅員，etc）とのバランスを考慮に入れた本物のエンジン（自動車）の出現を期待して。

参 考 文 献

- 松代正三他，計測工学，産業図書
 築添 正，精密測定学，榊養賢堂
 ファミリアプレスト構造と整備，東洋工業㈱サービス部