

クランク位相角変更による二輪車の加速感改善

Improvement of Acceleration Feeling for Motorcycles by Various Crankpin Phase Angles

土田直樹 Naoki Tsuchida 梶原謙一 Kenichi Kajiwara

●技術本部 基盤技術研究室 ●特機事業部 開発室

要 旨 並列2気筒エンジンを持つ二輪車の加速感に関して、スロットルon・off時の瞬時トルクの変化を基に考察し、加速感改善を試みた。その結果、加速感とクランク位相角変更による瞬時トルク変更には相関があること、並列2気筒で一般的な180°や360°位相に対して、270°位相クランクでは加速感が改善できることがわかった。

1 はじめに

車両用内燃機関において、高出力・低燃費・NVH性能などとともに、加速感が重要な評価項目としてとらえられている。特に、二輪車においては、パワーウェイトレシオが、ほかの車両と比較して小さいため、ユーザーの加速感に対する要求は厳しいものがあり、加速感向上のための様々な試みがなされている^{(1) (2) (3)}。

一方、二輪車用のエンジンでは、形態として単気筒・並列・V型が、気筒数では6気筒までが使用されている。一般に単気筒エンジン車は、低回転域で力強く瞬発力があり加速感に優れているが、回転の上昇に伴ってレスポンスが悪く加速感に乏しくなるという評価がある。これに対し、並列4気筒以上の多気筒エンジン車では、アイドリングが滑らかで、高回転までモータのように回るが、トルク感に欠けるといわれている。並列2気筒エンジン車はその中間の性質を持つとされているが、作りこみいかんによっては、単気筒エンジン車の持つ加速感と、多気筒エンジン車の持つ滑らかさの両方を兼ね備える可能性を秘めており、捨てがたい魅力があるといえる。

本報では、二輪車の加速感に関して、エンジンの定常走行時と全負荷時の瞬時トルクの変化を基に考察を試み、様々なクランク位相角の並列2気筒エンジン車に対してその効果を確認したので、その結果について述べる。

2 瞬時トルクによる加速感の予測

2.1 瞬時トルク

単気筒エンジンの瞬時トルク τ_r は、図1に示すように、ガス圧トルク τ_g 、慣性トルク τ_i の和、

$$\tau_r = \tau_g + \tau_i \quad \cdots \cdots (1)$$

で表される⁽⁴⁾。

ガス圧トルク τ_g は、

$$\tau_g = P_g A \sin \theta \left(1 + \frac{1}{\lambda} \cos \theta + \cdots \right) \quad \cdots \cdots (2)$$

但し、 P_g ：爆発圧力

A ：ピストン面積

λ ：連桿比

θ ：クランク角

慣性トルク τ_i は、

$$\tau_i = M_r r^2 \omega^2 \left(\cos \theta + \frac{1}{\lambda} \cos 2\theta + \cdots \right) \left(\sin \theta + \frac{1}{2\lambda} \sin 2\theta + \cdots \right) \quad \cdots \cdots (3)$$

但し、 M_r ：往復質量

r ：クランク半径

ω ：クランク角速度

多気筒エンジンでは、出力端での瞬時トルクは各気筒を重ね合わせて、次のように表される。

$$T_r = \tau_{r1}(\theta) + \tau_{r2}(\theta + \alpha_1) + \cdots \quad \cdots \cdots (4)$$

但し、 α_1 ：爆発位相角

慣性トルクの1次成分はsinとcosの積となっており、エンジン回転の1/2の周期になっているので、クランク位相角が90°の奇数倍となる気筒間では、慣性トルクの1次成分は打ち消されることがわかる。したがって、定常走行状態からスロットルを全開とした場合、ほぼ打ち消された慣性トルクの状態から、全開時の大きなガス圧トルクの状態に変化することになり、瞬時トルクの振幅比が非常に大きなものとなって、加速感に好影響を与える可能性がある。このトルク振幅の変化と加速感の関係を検証することが、本報の目的である。

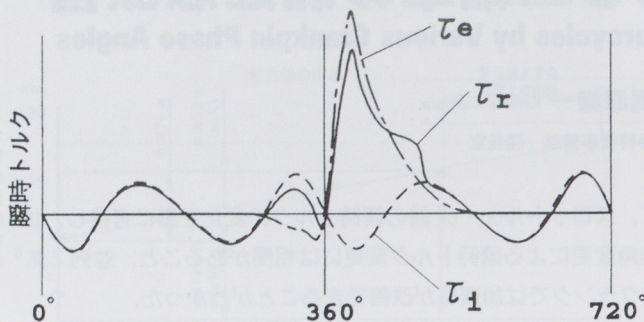


図1 単気筒エンジンの瞬時トルク

2.2 エンジン形式による瞬時トルクの違い

まず、エンジン形式の違いによる瞬時トルクの差を検証するために、机上検討を行った。机上検討に用いた単気筒、4気筒、2気筒エンジンの主要諸元を表1に示す。2気筒エンジンに関しては、爆発間隔を180°、90°、270°、0°(同爆)、360°、の5仕様としてある。各エンジンの平均トルクを同じにするため、圧縮比、燃焼パターン、吸排気のタイミングなどは全仕様で同一にそろえた。計算条件は、3000rpm、6000rpm、10000rpmにおいて、定常走行状態として体積効率0の場合を、全負荷走行状態として体積効率1の場合を想定した。

表1に示した各エンジンについての瞬時トルクの計算結果を図2に示す。先に述べたように、定常走行時と全開走行時の瞬時トルクの最大振幅の比(F) (以下、瞬時トルク比(F)という)で加速感を表せると考えて、横軸にエンジン回転数、縦軸に瞬時トルク比(F)をとったものが図3である。これらの図より単気筒エンジンと多気筒エンジンの比較では、次のことがわかる。

- (1) 低回転から全開にした場合(条件①→②)、単気筒エンジンでは、低回転であるため慣性トルクの絶対値が小さく、したがって全開時との瞬時トルク比(F)が大きい。これに対して、4気筒エンジンでは慣性トルク、ガス圧トルクとも絶対値が小さく、全開時との瞬時トルク比(F)も小さくなる。
- (2) 高回転から全開にした場合(条件⑤→⑥)、単気筒エンジン、2気筒エンジンとも慣性トルクが大きくなるため、全開時との瞬時トルク比(F)が小さくなるが、4気筒エンジンでは振幅の絶対値は小さい。

これらのことは、先に述べた単気筒エンジンと多気筒エンジンの加速感の比較とよく一致しており、瞬時トルク比(F)から加速感を予測することの可能性を示唆している。

表1 計算に用いたエンジン諸元

気筒数	単気筒	4気筒	2気筒				
仕様 No.	—	—	1	2	3	4	5
ボア	87	56	69	←	←	←	←
ストローク	67.2	40.5	53.4	←	←	←	←
コンロッド長	145	97	119	←	←	←	←
圧縮比	9.5	←	←	←	←	←	←
往復質量(g)	570	184	320	←	←	←	←
回転質量(g)	820	176.5	350	←	←	←	←
ピン位相(°)	—	180	180	90		360	
点火位相(°)	—	0-180-360-540	0-180	0-90	0-270	0-0	0-360

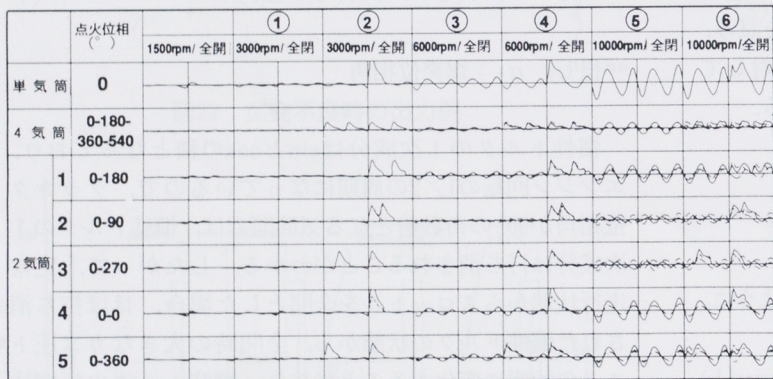


図2 瞬時トルクの計算結果

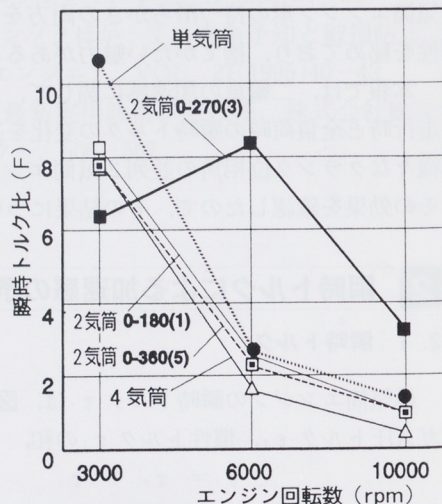


図3 各仕様の瞬時トルク比(F)

次に、2気筒エンジンについて点火位相の違いによる瞬時トルク比（F）の違いを見ると、次のことがわかる。

(1)90°クランクの2仕様では、各気筒の慣性トルクが互いにほかの気筒の慣性トルクを打ち消すように作用するため、高回転までスロットルオフでの慣性トルク変動の振幅が小さく回転が滑らかである。

(2)90°クランクの2仕様では、スロットルオフでの慣性トルク変動が小さいため、そこから全開にした場合、瞬時トルク比（F）が大きい。

瞬時トルク比（F）と加速感の関連性を仮定すれば、90°クランクでは低回転から高回転まで加速感の良い車両にできる可能性があると考えられる。

3 評価車両及び評価方法

3.1 評価車両

テストには、400cc並列2気筒DOHCエンジンを搭載した車両(XS400)を用い、エンジンは表1に示した2気筒エンジンの5仕様を使用した。このテストでは各仕様でエンジンの全域性能の差が加速性能に影響しないように、エアクリーナや排気管の連結などを取り外してテストを行った。また、各仕様について1軸バランスを用いて1次慣性力、慣性偶力を打ち消している。

車両によるテストを行う前に、各仕様のエンジンの出力の差をチェックした。図4に各仕様の全開時出力性能を示す。各仕様のトルクの差については、360°同爆(0-0)仕様(仕様4)以外は±2%以内となっている。360°同爆仕様の8000rpm以上に関しては、6%以上のトルクダウンがみられるが、この原因は、同時爆発によるクランクピンやジャーナル部の面圧増大によるものと考えられる。

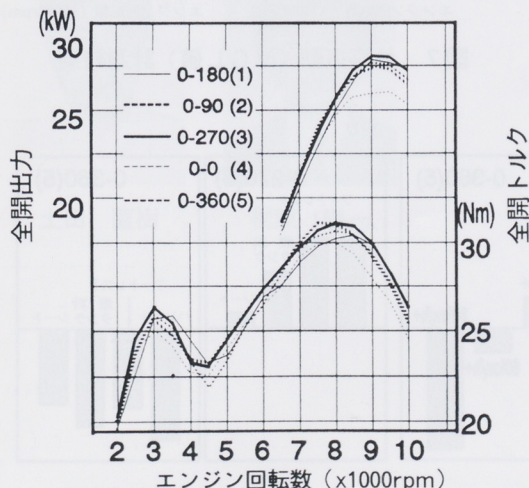


図4 各仕様の全開出力性能

3.2 評価方法

加速感是一般的には官能試験により評価されるが、最近ではその定量化が検討され、特定時の車両加速度値で評価される場合も多い⁽⁵⁾⁽⁶⁾。本報では官能評価と定量値評価の両方で評価を行った。

(1) 官能評価

加速感の官能評価法として、2点比較法⁽⁷⁾を用いた。比較方法としては、定められたコースでベース車両(今回の場合0-180°車)と比較車両を交互に試乗し、自由走行にて比較する方法を採用した。テストには普段から車両の評価を行っている者を選び、評価が偏ることのないよう配慮した。さらにクランク位相角変更により当然変化する振動の評価も同時に行った。評価した場所は、ハンドル・フートレスト・燃料タンク・シートの4ヶ所である。

(2) 定量値評価

加速感の定量値評価は、シャシダイナモ上での車両の前後加速度を測定することにより行った。全開にする速度を一定とするために、スロットルはコンピュータ制御し、車体やキャブセッティングの影響がでないよう、同一車両のエンジンを乗せ換えて比較した。振動の定量値評価には各車両のハンドル・フートレスト・燃料タンク・シートの3方向の加速度を測定し、その値から求めた体感振動レベル(VGL)値⁽⁸⁾を用いた。

4 測定結果及び考察

4.1 官能評価

(1) 加速感・トルク感

2気筒エンジン車の5仕様に関する、加速感・トルク感について、各回転数ごとに評価した結果を図5(a)に示すが、加速感・トルク感共に90°クランク車の評価が高く、特に中・高回転域での評価が高い結果となっている。仕様4と仕様5の360°クランク車は、全体的に評価は低い。仕様5の等間隔爆発車では低回転域での評価は高く、その音と共に好感を持つ評価が多くあった。また、仕様4の同時爆発車では、低回転域での音・加速感ともに単気筒エンジン車のようだが、高回転になるにつれて2気筒エンジン車のフィーリングになるという評価が多くみられた。

(2) 振動

振動に関する官能評価の結果を図5(b)に示す。仕様3の90°クランク車においては、ハンドル・フートレストに関して、180°車と比べて振動が減少しているという評価が多くあった。仕様4の360°クランク

車においては、各部共振動に関する評価は低く、特に高回転域で振動が大きいという評価が多くあった。

4.2 定量値評価

(1) 車両加速度

各一定速度から全開加速した場合の車両加速度を図6(a),(b),(c)に示す。車速40km/h(エンジン回転数約3000rpm)からの全開加速(図6(a))では車両加速度の立ち上がりは180°クランク車がわずかに早いですが、最大加速度は90°クランク車や360°クランク車と比べて低い。360°クランク車は加速してすぐに90°クランク車と同等の加速度を示すが、その後の伸びがなく、高回転域ではほかと比べて加速度が低下した。車速80km/h(エンジン回転数約6000rpm)からの全開加速(図6(c))では、全車共加速の初期にはほとんど差はなく、高回転時で90°クランク車の加速度がわずかに高い結果になっている。

いずれにしてもこれらの結果は、ほぼエンジンのベンチテスト結果に対応したものとなっており、クランク位相角の違いによる加速感の差が明確に定量化されているとはいえない。全開時の瞬時トルク比(F)の効果が現れるのは、図から車両が定常加速に移る加速直後の0.5秒程度の時間であり、その区間に注目した場合でも、クランク位相による違いはシャシダイナモでのテストでは現れにくいようである。加速感の差はタイヤのトラクションやパルス感といった感性の部分の影響が大きいことから、今後、加速感の定量値評価方法はさらに検討が必要であるといえる。

(2) 体感振動レベル(VGL)

各仕様のハンドル・フットレスト・タンク・シートにおける体感振動レベル(VGL)値を図7(a)(b)(c)(d)に示す。360°クランク車では、ほかと比較してハンドルとシート部では高回転域で、フー

トレストとタンクでは全域で振動が増加している。90°クランク車は基準車である180°クランク車とほぼ同等の振動レベルであるが、低回転域ではタンクとフットレストで基準車より低い結果となっている。これらの結果は官能評価の結果とおおむね一致しており、バランサを装備した場合、90°クランク車の体感振動は問題ないレベルといえる。

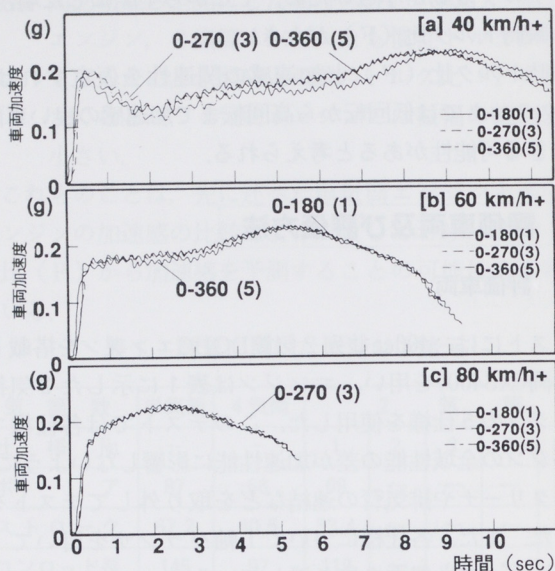


図6 車両加速度計測結果

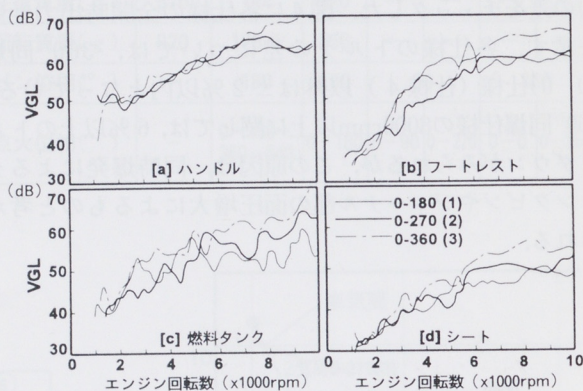


図7 体感振動(VGL値)計測結果

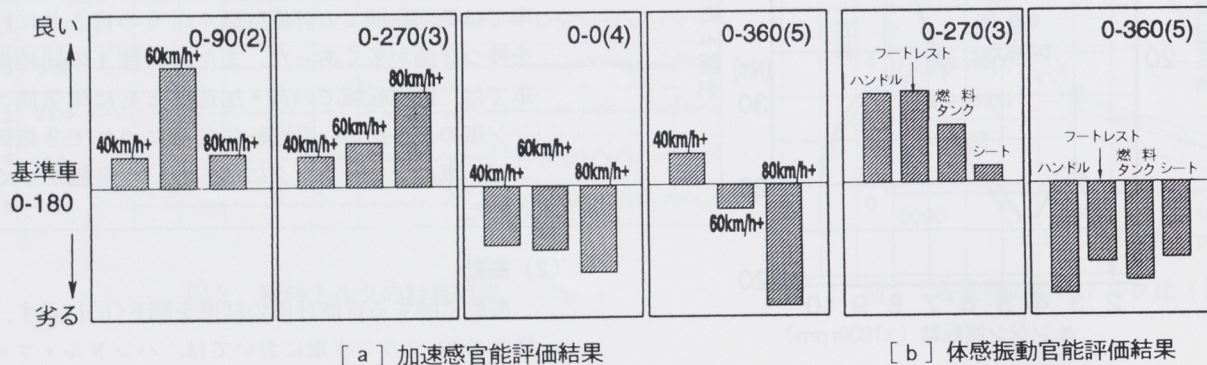


図5 官能評価結果(基準車180°クランク車)

5 まとめ

並列2気筒エンジンを持つ二輪車の加速感に対して、エンジンのR-L時と全負荷時の瞬時トルクの変化を基に考察を行い、並列2気筒エンジンの加速感改善を試みた結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 加速感はスロットル全閉時と全開時のエンジンの瞬時トルク比(F)と相関があり、クランク位相角の変更によって加速感が改善できることがわかった。
- (2) 並列2気筒エンジンを持つ二輪車では、90°位相クランクの車両は、一般的な180°や360°位相クランクのものに比べて、中、高回転における加速感が改善されることがわかった。

参考文献

- (1) I. Fujii, S. Yagi et. al. : MBT Control Utilizing Crank Angle of Maximum Combustion Pressure, SAE890759
- (2) 岡村忠, 牧野栄: ヤマハ New TZR250用3MA形機関, 内燃機関 Vol. 28, No. 359, 1989. 9
- (3) ホンダ広報資料: '90's NSR250R 技術資料
- (4) 関 敏郎: 自動車工学(1) コロナ社
- (5) 竹村 純, 佐藤隆弘, 安東弘光: 官能検査法による加速感の解析, 自動車技術 Vol. 42, No. 11. 1988
- (6) 池崎 誠, 佐々木和也, 服部達哉: 加速感の要因と定量化の1手法, 自動車技術 Vol. 42, No. 11. 1988
- (7) 官能検査ハンドブック, 日科技連(1985)
- (8) 田中十四夫, 古沢政生: 二輪車における体感振動計測システムとその適用, 自技会前刷集 902197, 1990

著者



土田 直樹



梶原 謙一