

二輪車用エンジンの性能と回転数の向上について



モーターサイクル本部第一設計部 寺下伸志 上田英明

1. まえがき

二輪車用エンジンでは、その特性上軽量・コンパクト・高出力が特に重要であり且つドライバビリティ向上の為、低中速での十分なトルクとレスポンスも必要不可欠なものになっている。

この目標を達成する為に各社とも努力を続けており、現在ではスポーツモデルに使用される4サイクルエンジンにおいて、250ccクラスで180PS/l、750ccクラスでも160PS/lの高出力を、低中速トルクも確保しながら実現したものが開発されている。

本稿ではこのような性能向上技術について、そのポイントとなる高回転化を中心に述べる。

2. エンジンの高出力化の要因

一般に性能向上には3つの要素、すなわち

- 1) 図示平均有効圧の向上——体積効率、熱効率
- 2) 許容回転数の向上——ストローク・ポア比、動弁系及び往復部重量
- 3) 機械損失の低減——フリクションロス、補機駆動ロス

がある。

二輪車用エンジンの場合、排気量がクラス別に制限され、またターボチャージャー等の過給装置

も一般的でないことから、高出力化の中心になるのは許容回転数の向上であり、それと同時に、高回転でも十分な空気量を確保できるレイアウトとフリクションロス低減が必要である。

しかし、回転数の増加は他の2項目と相反する点もあり、性能向上には総合的な対応が必要である。

3. 性能向上技術

本年、当社で市販を開始したスポーツモデル用新エンジンを例にして、向上手法を各部分毎に詳しく述べることとする。

3-1 動弁系

二輪車エンジンは自動車用に比べ、すでに最高出力回転数及び比出力がかなり高いレベルにあり、動弁系も250cc以上の並列4気筒エンジンでは全て4バルブ化が終了している。この為、さらに高出力化を狙う場合、吸入空気量を確保する為十分なバルブ面積をかせぎながら、どれだけ等価慣性重量を軽減できるのがポイントとなる。

表1、表2は250cc(DOHC 4バルブ)、750cc(DOHC 5バルブ)エンジンの動弁系諸元を新旧で比較したものである。これらの動弁系はいずれも直押し方式のインナーパッドタイプである。

250ccではバルブステム径を吸排ともφ4からφ

3.5へ変更し、さらにバルブリフターの肉厚を削減することにより等価慣性重量を20%以上低減し、最高出力回転数を14500rpmから16000rpmへ上げることができた。

図1はバルブリフターの形状を示したもので天井部をt2.5からt1.6へ、スカート部はt0.8からt0.5へとしており、材質も従来のSCr15+焼結をSKD11の鍛造へ変更し、強度を高めながら35%もの軽量化ができた。

750ccはIN 3本、EX 2本の5バルブであり、これは吸気バルブ面積を大きくとることができ、且つ、1本当りの重量を軽くできるという高出力化に適したレイアウトであるが、新型では出力向上の為、さらにバルブカサ径をIN $\phi 21 \rightarrow \phi 23$ 、EX $\phi 23 \rightarrow \phi 24.5$ へと拡大しながら、バルブ系全高の短縮、バルブシステム部の径変更及び前述のリフター肉厚削減により等価慣性重量はIN $\triangle 12.5\%$ 、EX +4%（但しリフター径 $\phi 20 \rightarrow \phi 22.5$ ）で最高出力回転数を10500rpmから12000rpmとする事ができた。この750ccはレース出場を前提とした限定モデルである為、最高出力回転は13000 rpm以上まで考慮している。

尚、EX側のリフター径はバルブリフトを大きくとる為に径を大きくしている。

以上のバルブ廻りの軽量化により、高回転化に伴なうバルブスプリング荷重の増加を最小限にとどめ、動弁系のロス馬力を押えることができた。

また、許容回転数向上にはバルブスプリングも重要であり、軽量・コンパクトにする為にスプリングの許容応力を上げる必要がある。前述の機種には、線材の清浄度を向上させ熱処理・ショットピーニングを改善した後に低温浸炭窒化を施したものを探用し、許容応力を6.5%向上させている。

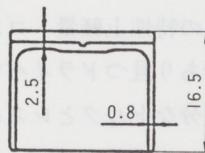
3-2 往復部(ピストン・コンロッド)

高出力化の為には、燃焼室形状に配慮しながらピストンスピードを押さえ、且つ大径バルブを配

表1 動弁系仕様新旧比較(250cc)

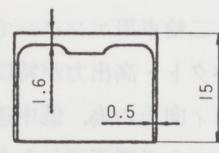
	旧		新	
	I N	E X	I N	E X
カサ径 (mm)	$\phi 18 \times 2$	$\phi 15.5 \times 2$	←	←
ステム径 (mm)	$\phi 4$		$\phi 3.5$	
バルブ重量 (g)	11.8	10.9	9.6	9.1
リフター重量 (g)	11.6		7.6	
等価重量 (g)	35.5	34.6	27.8	27.3
" 变化 (%)	—	—	$\triangle 22$	$\triangle 21$
スプリング荷重(kg)	33		34.1	
最高出力回転数(rpm)	14500		16000	

(新)



SCr15+焼結

(旧)



SKD11鍛造

図1 リフターバルブ新旧比較

表2 動弁系仕様新旧比較(750cc)

	旧		新	
	I N	E X	I N	E X
カサ径 (mm)	$\phi 21 \times 3$	$\phi 23 \times 2$	$\phi 23 \times 3$	$\phi 24.5 \times 2$
ステム径 (mm)	$\phi 5$		$\phi 4.5$	
()内はウエスト部	($\phi 4.5$)	($\phi 5.3$)	($\phi 4.0$)	($\phi 4.3$)
バルブ重量 (g)	21	25	18	22.9
リフター重量 (g)	10.9 ($\phi 20$)	10.9 (\leftarrow)	7.8 (\leftarrow)	11.0 ($\phi 22.5$)
等価重量 (g)	44	49	38.5	51
" 变化 (%)	—	—	$\triangle 12.5$	$\triangle 4$
スプリング荷重(kg)	25	35.5	36	50.5
最高出力回転数(rpm)	10500		12000	

置できるように最適なストローク・ポア比を設定するが、ポア径はどうしても大きくなる傾向である。よって各部の耐久性及びロス馬力の関係上、ピストン・コンロッドの軽量化は重要である。

3-2-1 ピストン

表3は250, 400, 750ccの新旧比較である。

表3 ピストン比較

	250		400		750	
	旧	新	旧	新	旧	新
重量 (g)	73.5	65.5(△11%)	106	95.7(△10%)	179	164(△8%)
コンプレッションハイド(mm)	19.95	17.75	21.95	20.45	24.9	21.3
トップランド厚(mm)	5.0	3.75	5.45	4.75	6.0	5.8
リングB寸 (top)	0.8	←	0.8	←	1.0	←
(2nd)	0.8	←	0.8	←	1.2	←
(oil)	2.0	1.5	2.0	←	2.0	←

いずれもコンプレッションハイド、トップランド厚及びリングの見直しによって10%前後の軽量化を行なっている。特に750ccではボア径をφ68からφ72としたにもかかわらず図2に示すようにスカート形状も変更し、さらにコンプレッションリングを1本とした2本リングの採用により重量低減とロス馬力を低減した。

高出力エンジンにおけるピストンの軽量化の場合、薄肉にすることによる耐久性の問題が生じてくるが、当社では図3に示すピストンクーラーを採用することにより高温による強度低下を防いでいる。図4はピストン各部の温度を示したものでピストンクーラーにより温度を約20~30°C下げることができる為、耐久性を確保しながら前述の軽量化が達成されている。

(旧) (新)

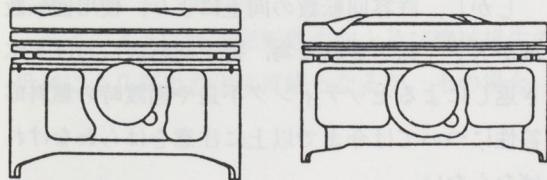


図2

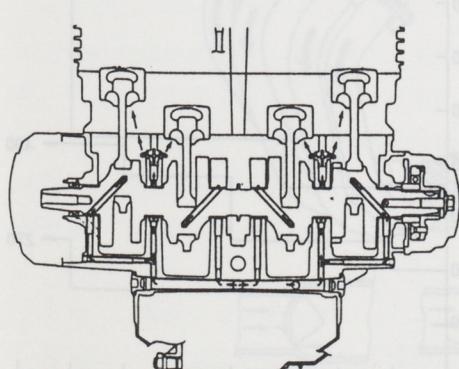


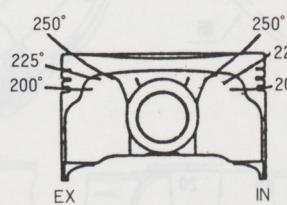
図3 ピストンクーラー図

3-2-2 コンロッド

コンロッドは材質・形状の見直しによる軽量化を行なうが、ここでは750ccに今回採用したチタン合金コンロッドについて述べる。

このチタン合金はTi-6Al-4Vで各性質は表4のとおりである。表5に旧型及び新型のFeとTiコンロッドの諸元を示す。

クーラー無



クーラー有

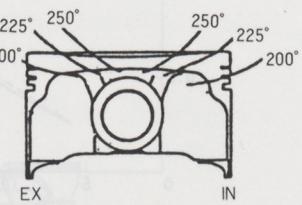


図4

表4

密度	(g/cm ³)	4.42
継弾性係数	(kgf/mm ²)	11550
横弾性係数	(kgf/mm ²)	4500
引張強さ	(kgf/mm ²)	100以上
0.2%耐力	(kgf/mm ²)	95以上
伸び	(%)	10以上
絞り	(%)	20以上

表5 コンロッド比較

	旧型(Fe)	新型(Fe)	←(Ti)
コンロッド長	121.5	101	←
小端径	φ18	←	←
大端径	φ36	φ34	←
コンロッドボルト	M8	←	M9
コンロッド単品重量	302	255	181
A S S Y 重量	370	329	270

形状を見直し、チタン合金を採用することによってボルト・大端ペアリングを含んだASSY重量でも、旧型に対し27%の低減、また新型のFe仕様に対しては18%の軽量化となり、最高出力回転数におけるコンロッドのロス馬力はFe→Tiで約2PS低減できた。

チタンはその性質上、摺動部での焼付きが発生しやすい為、小端部にはブッシュを圧入しスラスト面に対しては、イオンプレーティングによるTiNコーティングを約1μ実施している。イオンプレーティングによるTiN被覆は低温で密着性が良く、処理時に歪が少く、耐摩耗性が向上するという特徴を持っている。

以上のようなピストン及びコンロッドの軽量化手法により、750ccを例にとると図5に示すように、ボア径の拡大、最高出力回転数の上昇にもかかわらず、ピストン・コンロッド系ロス馬力を低減することができた。

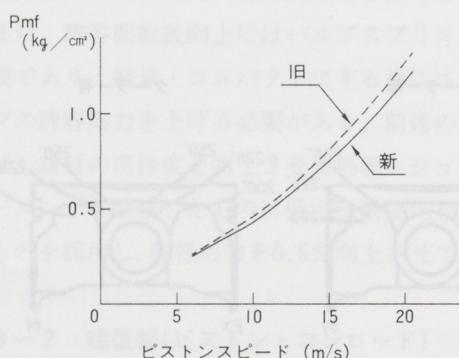


図5 ロス平均有効圧力比較

3-3 吸排気系

吸排気系の効率を上げることは体積効率の向上及びポンピングロスの低減につながる為、二輪車用エンジンではかなり気をつかう部分である。

3-3-1 吸気系

吸気系では、前述した動弁系でのバルブ面積拡大に合わせて、キャブレターのベンチュリー径も年々大きくなっている。図6は各クラスでのベンチュリ面積の変化であり、高出力化に合わせ新型ではいずれも大きくなり吸気抵抗の低減をはたしている。

しかし、許容回転数の向上により、使用回転数域が大きく拡大された為、特定回転数における吹き返しによるセッティング不良や過渡時の燃料応答性については今まで以上に注意をはらわなければならない。

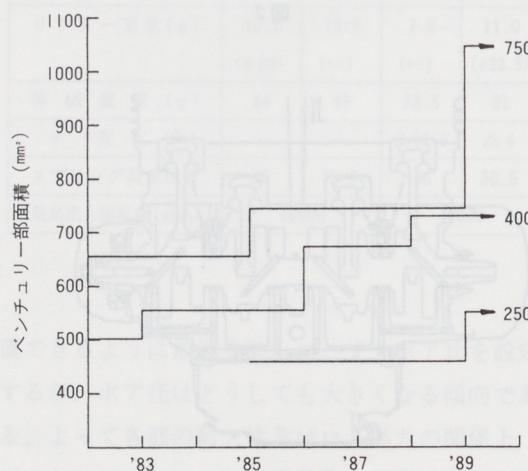
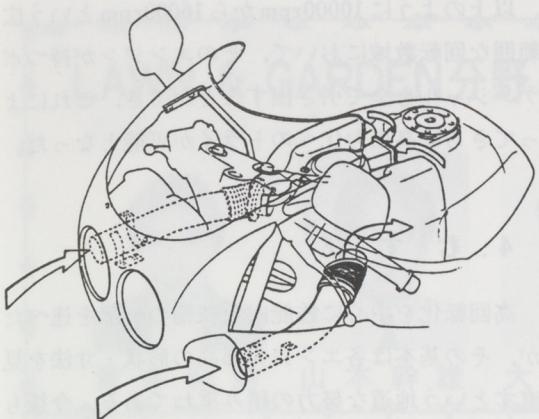


図6 キャブロ口径の変化



F. A. I (FRESH AIR INTAKE)

またエンジン本体では無いが、最近の二輪車は空気抵抗を低減する目的で車体全体を覆うフェアリングを装着する為、吸気口付近の温度がエンジンの熱によって上昇し、吸入空気密度の減少による出力低下も発生する。この為当社ではF.A.I (FRESH AIR INTAKE)と呼ぶ装置(図7)により外気を吸入口付近に導入し、吸気温度を下げる努力をしている。

3-3-2 排気系

前述のように許容回転数の向上及び機械損失の低減により高出力化は可能となるが、その場合、

体積効率向上を目的として、吸排の動的効果を積極的に利用する為にバルブオーバーラップ期間をどうしても大きくとる傾向となる。しかし、この手法は逆に吹き返しによるアイドリングの不安定や低中速域での出力低下といった問題を引きおこし、高出力ではあるが非常に扱いにくいエンジン特性になってしまう。一般的にはこの対策として高速域を多少なりとも犠牲にして対応するが、当社ではEXUP (EXHAUST ULTIMATE POWER VALVE)と呼ぶ排気制御バルブを採用する事により対応している。(図8)

これは排気管端に設けたバルブにより管端の開口面積を変化させ前述の問題の原因となる排気管内の圧力波を各回転数域で最も適した状態に制御するデバイスである。

図9はEXUP有無による軸トルク比較であるが、バルブ開度を調節することにより俗にいう「トルク谷」を高速域を犠牲にすることなく対策でき、さらに図10に示すようにアイドリング時において回転変動の原因となるPm i変動を約1/2に低減することができるこの効果は、キャブレターのセッティングを容易にし、排気ガス中のHC低減あるいは回転変動減少によるメカニカルノズルの低減等の利点をもたらした。

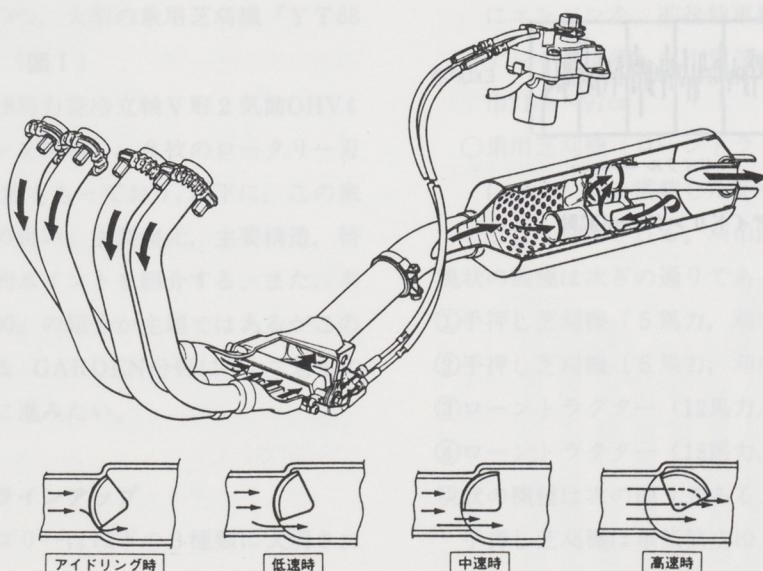


図8 EXUP図

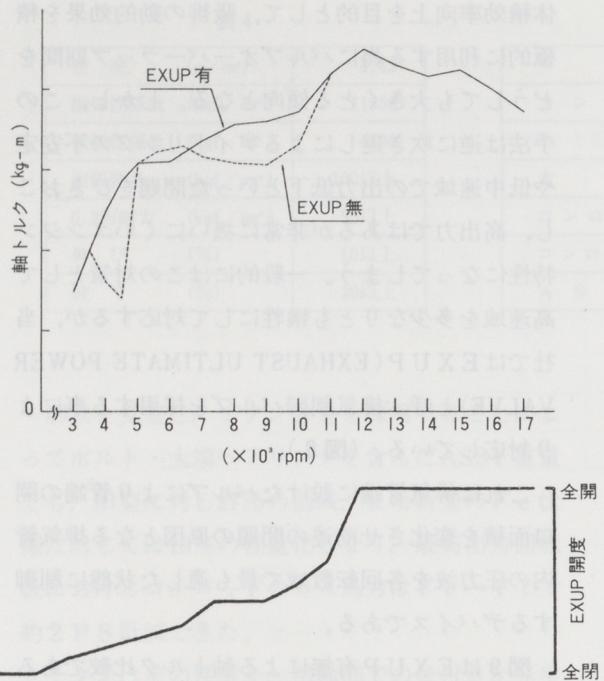


図9 EXUPによるトルク谷対策効果

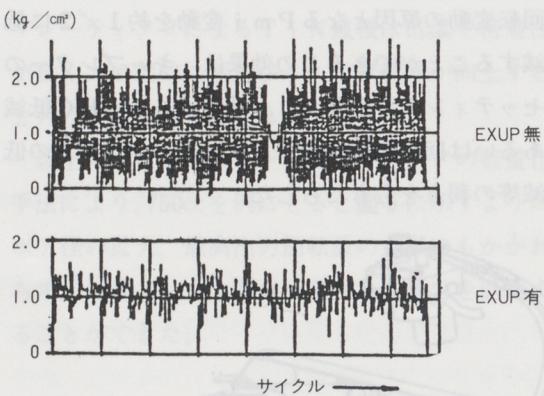


図10 アイドリング PMI変動

以上のように10000rpmから16000rpmという広範囲な回転数域において、そのエンジンが持つポテンシャルを全て引き出すことができ、これによってさらに高出力化へのトライが可能となった。

4. む す び

高回転化を中心に性能向上技術の一部を述べたが、その基本は各エンジン部品の形状・寸法を見直すという地道な努力の積み重ねである。今後もエンジンの理想である軽量・コンパクト・高出力・低燃費という目標に向けて引き続き努力しなければならない。