

小型エンジン用新型過給機構の開発

Advanced Super Charge System for Small Engines

藤原俊三 Shunzo Fujiwara

乗松信夫 Nobuo Norimatsu

田上 淳 Jun Taue

●研究開発センター 基盤技術研究室

要旨

4サイクルエンジンでは2サイクルエンジンに対して比出力が小さいことが課題となる。高回転化により出力向上は可能であるが、実用性を考慮した場合、4サイクルエンジンでのトルク改善が望まれる。過給によるトルク改善は一般的に行われているが、既存の過給方式を小型エンジンに適用することは、重量・コストの増加、レイアウト上の制約などの障害により困難と思われる。

そのため、クランクケースを過給機として利用する新型過給システム：ACSC (Advanced Crankcase Super Charge) を考案し、50cm³の単気筒試作エンジンによる過給機能開発および車両での実走行テストを行った。

この結果、自然吸気エンジンに対して約100%のトルク増加と、2サイクル車両同等の実走行性能が得られた。また、走行時の排出ガス値は自然吸気車両とほぼ同等、燃料消費率は2サイクル車両に対して改善できることができた。

1 はじめに

従来、小型エンジンの分野では2サイクルが主流であったが、環境対応施策のひとつとして4サイクルへの転換が行われつつある。しかし、4サイクルでは2サイクルに対しトルクが不足するため、高回転化、排気量拡大などを行う必要がある。しかし、この場合、サイズ、重量、騒音の増加などが問題となることから、実用的かつ環境に優しい小型エンジン実現のために、4サイクルのトルクを改善する手法が求められる。

4サイクルエンジンのトルクを向上するには、過給などにより吸入空気量を増やすことが有効である。しかし、小型エンジンに対しては、軽量・コンパクトかつ安価なシステムであることが要求されるため、既存の過給方法を適用することは困難であると思われる。

そこで、コンロッドを過給器のロータとして利用するクランクケース過給機構：ACSC (Advanced Crankcase Super Charge) を新規に考案し、開発を行った。

本開発では、自然吸気エンジン同等の環境性と2サイクルエンジンに匹敵する出力性能を両立することを目標として、試作エンジンでの過給機能開発およびテスト車両による走行性能試験を実施した。

2 構造および過給のしくみ

ACSCでは、コンロッドがクランクケース内部を吸入側と吐出側の2室に分割しながら揺動することで過給が行われる。図1中、(b)のクランク位置で、コンロッドによってクランクケース内部が吸入側と吐出側に分割され、吸入側への新気導入が開始される。下死点(c)を経て(d)の位置でケース内は吸入側のみとなり、その後上死点(a)まで吸気は継続される。

上死点後、ケース内部では圧縮が開始され吐出側となり、(b)および下死点(c)を経て(d)の時点でケース内のガス全量の吐出が終了する。この際、吸入側への新気導入も同時に行われる。

以上のように、ACSCでは、コンロッドが過給器のロータの機能を行い、クランク1回転ごとにクランクケース内に新気を吸入するとともに、前サイクルで吸入した気体を圧縮・吐出する。

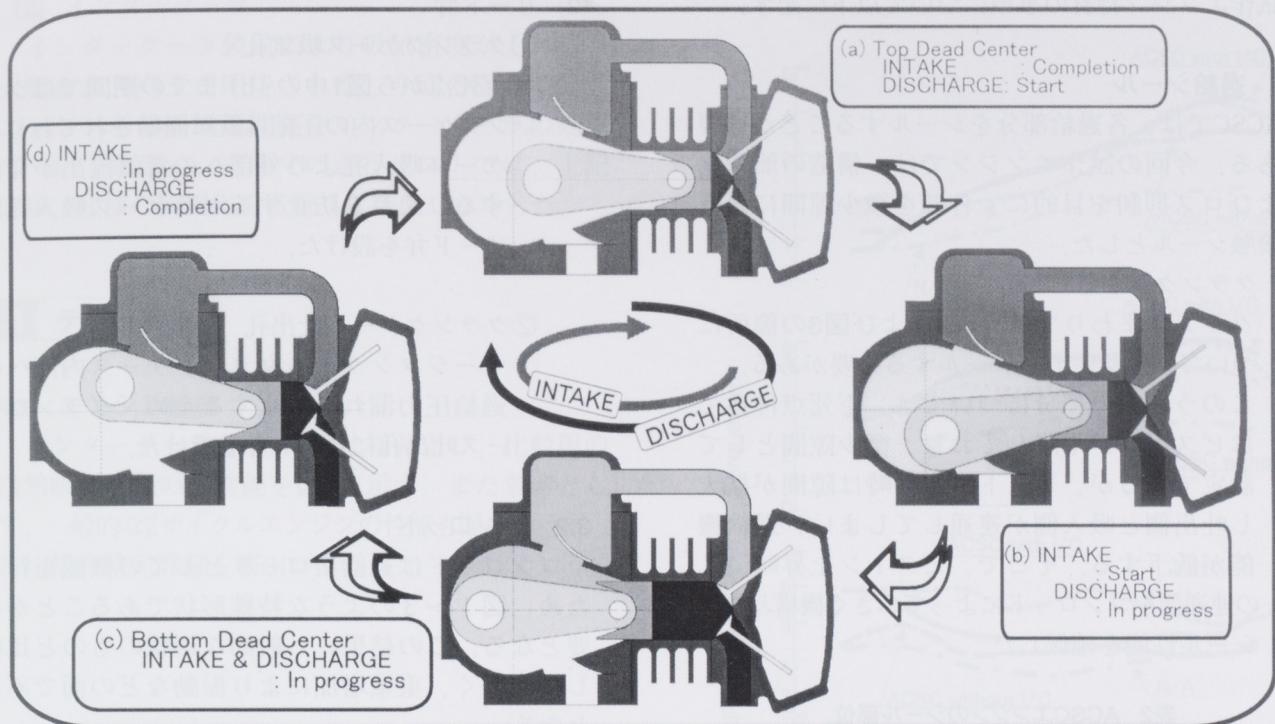


図1 ACSCの原理

クランクケース内の1次圧縮を利用した過給方法はこれまでにもいくつか考案されているが、従来の手法では、1回転あたりの吐出量はエンジン排気量と同量が上限であった。一方、今回の方では、ケース内容積分の気体を全量吐出することが可能であり、漏れなどにより吐出量が減少しても、従来のケース過給方式と比較して、より高過給が見込め、大幅なトルク向上が期待できる。

表1 試作エンジンの基本諸元

Engine type	SOHC Single Cylinder
Displacement	49.89 cm ³
Bore×Stroke	40.0×39.7mm
Compression ratio (varied as parameter)	6.5～8.0
Theoretical scavenging volume (=internal capacity of crankcase)	110cm ³ /rev

3 テストエンジン諸元

本過給機構を50cm³単気筒エンジンに適用し、エンジン単体での過給機能開発および、テスト車両での走行試験を行った。試作エンジン（図2）の基本諸元を表1に示す。

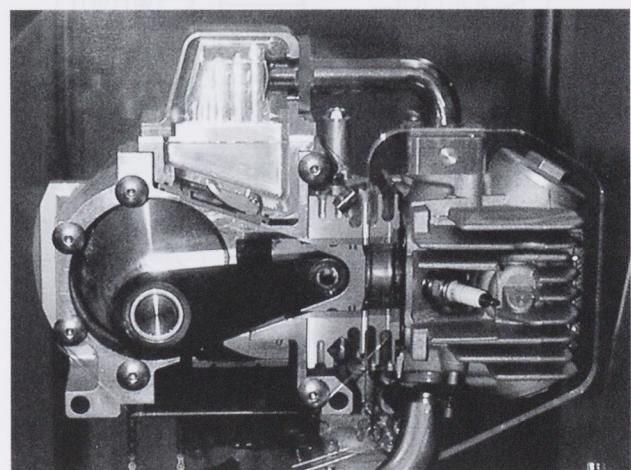


図2 試作エンジン

本試作エンジン特有の事項について以下に記す。

3.1 過給シール

ACSCでは、各過給部分をシールすることが必要である。今回の試作エンジンでは、構造の簡素化およびロス抑制を目的に、各部を微少隙間による非接触シールとした。

(1) クランクまわり

クランクまわりでは、表2および図3の箇所について、過給圧力をシールする必要がある。このうち⑤の部分については、下死点付近ではピストンが下降しており、微少隙間として設定できるが、ピストン上昇時は隙間が拡大し吐出側と吸入側が連通してしまい、過給機能が低下する。そこで、ピストン上昇時、この連通部をコンロッドによってふさぐ機構とし、シール性能を確保した。

表2 ACSCエンジンのシール部位

	PART	PORTION		PART	PORTION
1	Crankweb	peripheral surface	vs	Crankcase	
2		prphl.face of Big-end	vs	Crankcase	
3	Conn-rod	prphl.face of Small-end	vs	Piston	inner surface
4		side face	vs	Crankweb	
				Crankcase	
5	Piston	bottom face	vs	Piston	bot.face of Cyl bore

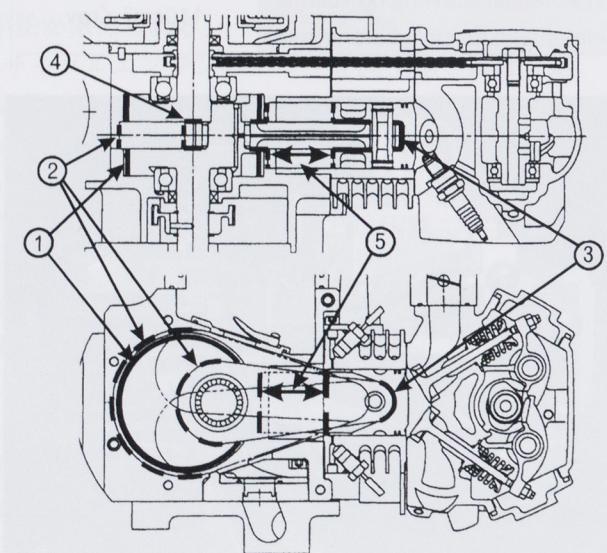


図3 ACSCエンジンのシール部位

(2) リード弁

① クランクケース吸気孔

上死点から図1中の(b)までの期間ではクランクケース内の圧縮は既に開始されており、ケース吸気孔より外部への新気流出が発生する。これを防止するためケース吸気孔にリード弁を設けた。

② クランクケース吐出孔

サージタンクからクランクケース内部への過給圧力漏れを防止するため、クランクケース吐出孔にリード弁を設けた。

3.2 コンロッド

コンロッドは過給用ロータとしての機能を行うため、図1～3のような特殊形状であることが必要となる。この結果、一般的な形状のものと比較して大きく、重量増加により振動などの面で不利となる。

今回の試作エンジンでは通常形状のクロムモリブデン鋼製コンロッドを芯材として使用し、外周および側面に樹脂材をモールドした。これにより重量を低減するとともに、クランクケース内周、クランクウェブ内面などの接触によるトラブルの危険性も低減した。

3.3 潤滑

(1) クランクケース内

ACSCでは、クランクケース内部は吸気通路となるため、2サイクルエンジン用オイルを分離給油方式にて供給した。

(2) 動弁系 (ヘッド内部およびカムチェーン室)

4サイクルオイルによるオイルバス方式とした。

3.4 冷却

(1) エンジン冷却

ACSCではクランクケース内で過給を行うため、クランクケースは高温となる。温度上昇により各過給シール部のクリアランスが拡大し、漏れ増加により過給効率が低下する。対策としてクランクケースを含めエンジン全体を冷却することが望ましいが、今回はエンジン仕様簡素化のため、シリンドラヘッド、シリンドラのみの空冷とした。

(2) インタークーラ

インタークーラ装備により吸気密度が上昇し、大幅な出力向上が期待される。今回の開発では、エンジン単体の機能開発でインタークーラの効果について確認し、車両での走行テストでは、上記同様、仕様の簡素化を考慮して装備しなかった。

4 テスト結果

4.1 エンジン性能

インタークーラ有/無の両仕様および、比較用の自然吸気仕様の諸性能を図4に示す。また参考として、一般的な2サイクルエンジンの性能も図中に示す。各仕様の諸元詳細を表3に示す。

表3 試作エンジンの仕様諸元

	with I/C	without I/C	N/A
Comp. Ratio	8.0	6.5	7.5
Fuel	Premium	Regular	
Fuel Supply	Injection	Carburetor	
Cooling	Air Cooled	Air Cooled with Self Forced	
Notes	I/C with Liquid Cooled	with I/C	without Sealing f or ACSC

(1) 出力

インタークーラ非装着でも自然吸気仕様に対し全域で、2サイクルに対しても中速域でトルクが向上した。インタークーラ装着により高回転域を中心にさらに向上し、自然吸気仕様に対して約100%トルクが増加し、2サイクル同等レベルの出力が得られた。

(2) 燃料消費率

インタークーラ装着仕様では、低回転域で2サイクル並、高回転域では自然吸気同等であった。インタークーラ非装着の場合、全回転域で自然吸気と2サイクルの中間レベルの結果であった。

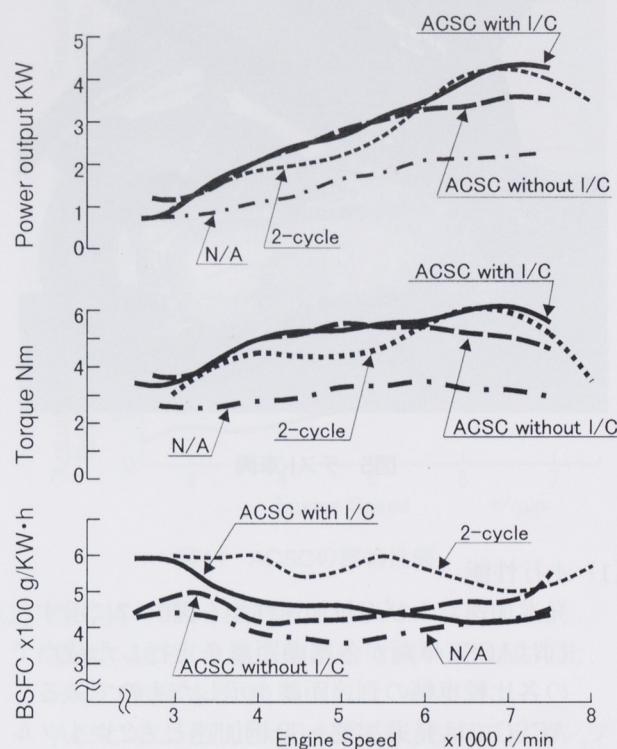


図4 エンジン性能

4.2 車両性能

今回のテスト車両(図5)では、低負荷域での過給ロス低減のためスロットル連動のバイパス弁を使用し、低開度時には過給圧を吸気管に戻した。

比較用を含めた各車両のエンジン出力を表4に示す。なお、今回使用した2サイクル車両は環境対策前の旧型市販車両である。

表4 テスト車両のエンジン出力

ACSC	3.6kW/7,000rpm
2 cycle for market	4.0kW/7,000rpm
Natural Aspirated	3.0kW/8,500rpm

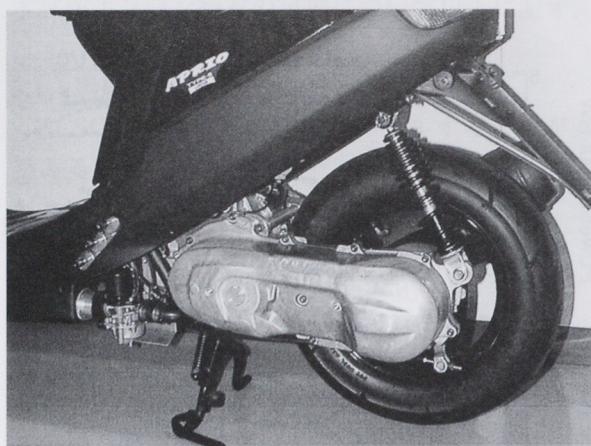


図5 テスト車両

(1) 走行性能

発進加速および追越加速性能を図6、7に示す。図はACSC車両が各基準距離を走行した時点で各比較車両の到達距離を示したものである。ACSCでは発進加速・追越加速とも2サイクル車両と同等であった。

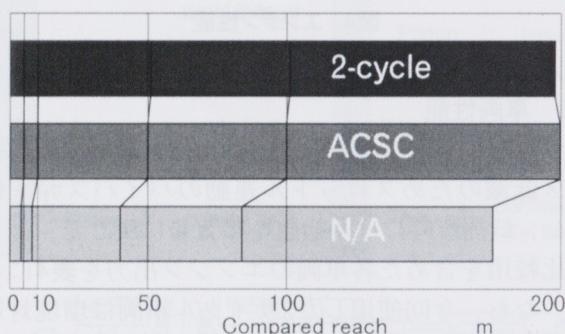


図6 発進加速性能

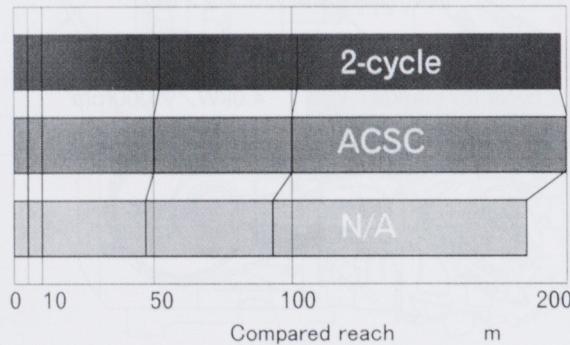


図7 追越加速性能

(2) 排出ガス

ECE R40モードでの排出ガス値を表5に示す。

①THC

自然吸気比で約30%低減できた。

②CO

自然吸気に対しCO値は増加した。改善の方策として、適切な空燃比セッティングや、過給圧制御などが考えられる。

③NOx

自然吸気同等レベルの結果であった。

表5 ECE R40モードでの排出ガス値

	Measured Value g/km (Compared with Value of EU-1)		
	THC	CO	NOx
ACSC	0.50 (-83%)	6.76 (-48%)	0.44 (+47%)
N/A	0.72 (-76%)	3.90 (-70%)	0.48 (+60%)
2-cycle	6.28 (+57%)	16.77 (+110%)	0.02 (-80%)

(3) 燃費

定地走行およびモード走行における燃料消費を図8、9に示す。

定地での低速域では2サイクル同等の結果にとどまったが、モード走行では約20%改善できた。

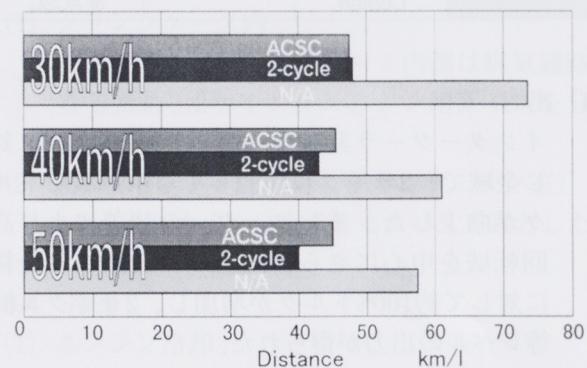


図8 定地走行での燃料消費

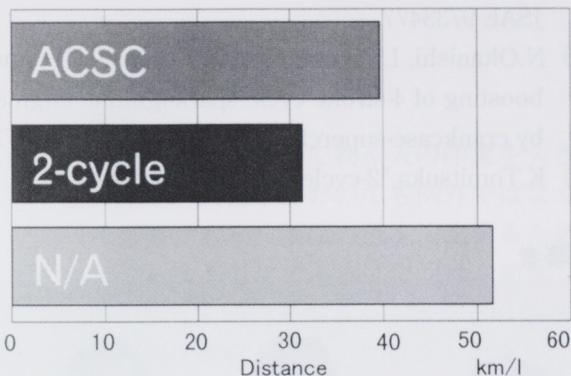


図9 モード走行での燃料消費

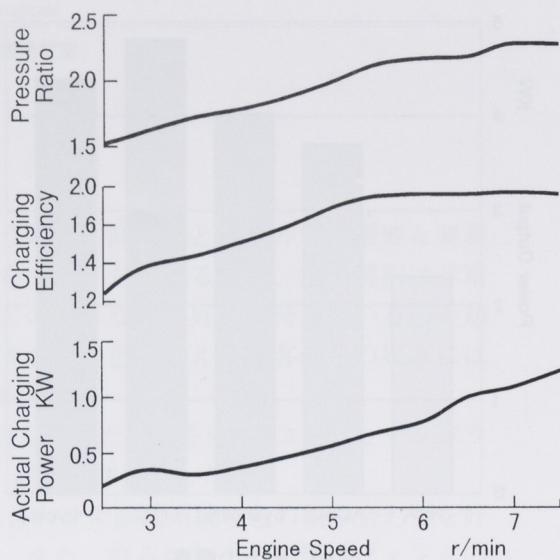


図11 ACSCの諸特性値

5 他過給方式との比較

ポンプ効率および実機に適用した場合のエンジン性能を既存の他過給方式と比較する。

5.1 ポンプ効率(全断熱効率)

(1) ポンプ効率算出

他過給方式との比較のため、ACSCのポンプ効率を算出した。結果を図10に示す。この際、図11の諸特性値を用いた。

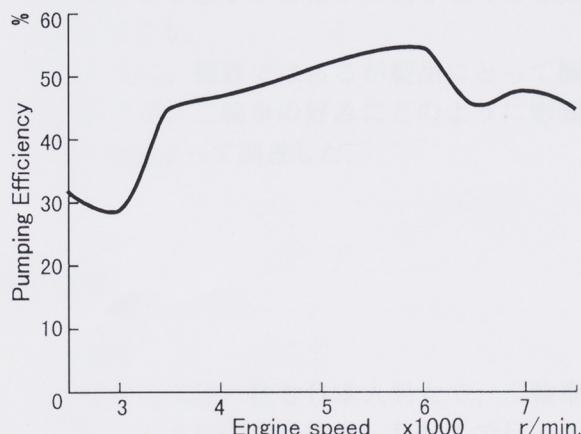


図10 ACSCのポンプ効率

(2) 他方式のポンプ効率

表6にACSCおよび他過給方式の最大圧力比、ポンプ効率を示す。

ACSCでは圧力比は比較的高いものの、ポンプ効率は低いレベルにとどまっている。

表6 過給方式の性能

	Max. Pressure Ratio	Total Adiabatic Efficiency
ACSC	2.3	40 to 50%
Roots Blower	1.5 to 1.8	50 to 60%
Scroll	1.5 to 2.0	60 to 70%
Lysholm	2.6	70%
Turbo-charger	2.0 to 3.5	50%

※参考文献(1)より抜粋

5.2 最大出力概算

各過給方式について、それぞれ同じ充填効率まで過給した場合の最大出力を概算した。計算結果を図12に示す。

ACSCに対しリショルムで約10%、ターボでは約30%の出力向上が見込まれる。

5.3 各過給方式まとめ

概算の結果、リショルム、ターボとも最大出力ではACSCに対して有利と思われる。しかし、実際に車両などに適用する場合、リショルムでは過給器・駆動系のイナーシャ、また、ターボの場合は過給遅れによるレスポンス悪化などの課題発生が懸念される。

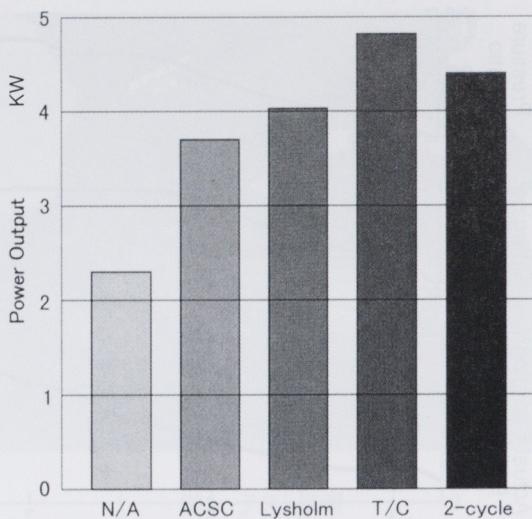


図12 出力の概算

また、過給器本体、駆動系、オイルクーラなどによる、コストおよび重量の増加、搭載レイアウト上の制約などの課題も大きいと思われる。

■参考文献

- (1) S.Takabe, "Supercharger and Drive System", JSAE 9733477
- (2) N.Okanishi, I.Fukutani and E.Watanabe, "Torque boosting of 4-stroke cycle spark-ignition engines by crankcase-supercharging", SAE Paper 900173
- (3) K.Tomitsuka, "2-cycle engine", Yoken-do

●著者



4 おわりに

今回の開発では、4サイクルエンジンの環境性を維持しつつ出力を向上することを目的として新型過給方式を考案し、過給機能開発および車両での実走テストを行った。

開発により得られた結果を以下にまとめる。

- (1) ACSCにより、4サイクルエンジンで2サイクル車両同等の走行が可能である。
- (2) 排出ガス値は、モード走行で自然吸気エンジンと同等のレベルであった。
- (3) 燃費についてはさらに改善の必要がある。改善策としては、ロス馬力の低減、空燃比および過給圧の適正な制御などが挙げられる。
- (4) インタークーラ装備など、冷却改善によっても出力・燃費の改善が可能である。