2ストロークエアアシスト式直噴船外機の開発

Development of Two-Stroke Air Assisted Direct Fuel Injection Outboard Motor

井元 潤一 (トーハツ)

Junichi Inomoto, Tohatsu Corporation, 3-4-9, Azusawa, Itabashi-ku, Tokyo

1. まえがき

北米市場において船外機を対象とした、排気ガス規制(以下「EPA 規制」)が 1998 年から実施されており、段階的に規制値を強化し 2006 年に最終段階に至る。最終規制値は従来型船外機の平均的な排気ガス排出量に対して約 75%削減という非常に厳しいものとなっている。

2. 開発の背景

船外機用エンジンとして、キャブレタ式 2 ストロークエンジンが多く用いられてきたが、排気ガス性能が劣るため、EPA 規制によって制限を受けることになる。2 ストロークで問題となるのは未燃焼ガス成分である HC の排出で、一般に次の現象が原因とされている。

- ①. 掃気行程における新気の吹き抜け
- ②. 低負荷領域での失火による未燃焼ガスの排出

当時、国内外において直噴式 2 ストロークの研究⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾が盛んに行われており、これらによれば掃気行程を空気だけで行い、排気ポートを閉じてから燃料を燃焼室に噴射することで根本的に吹き抜けを防止できる。また、層状燃焼させることで失火を防止できることから、HC 排出量を大幅に低減することが可能である。

当社は、直噴システムの研究開発を行っているオーストラリアのオービタル社と技術提携し、既存の 50HP 船外機をベースにエアアシスト式 2 ストローク直噴船外機の開発を行ったので、システムの概要と排気ガス低減効果について以下に報告する。Table.1 は当開発のベースエンジンの緒元である。

Table 1 : Base Engine specifications

Engine Type	2stroke-3cylinder
Fuel	Gasoline
Displacement	697ml
Bore×Stroke	68mm×64mm
Max. Power	36.8kW/5500r/m

開発に着手するにあたって以下の目標を掲げた。

- (1). EPA2000 年規制を余裕を持ってクリアすること
- (2). 船外機としての商品性を損なわないこと
- (3). 新技術導入によるユーザーメリットを引き出すこと
- (4). 既存のエンジンと出来る限り部品共通化を図ること
- (5). 新規開発部品は上位機種への共用化を考慮すること

3. エアアシスト式噴射装置

Fig.1 は燃焼室及び燃料噴射装置の断面図である。当システムでは 1 気筒につきフュエルインジェクタとエアインジェクタの 2 個のインジェクタを使用する。各インジェクタはフュエル・エアレールと呼ばれるコモンレールを介してシリンダヘッドに取り付けられている。

フュエルインジェクタの燃料入口部は、630kPa に加圧された燃料ラインに接続して設けてあり、1 回の作動で 1 サイクル分の燃料を計量しエアインジェクタへ燃料を送る。

エアインジェクタの入口側は、先ほどの燃料が入る通路と 550kPa の圧縮空気ラインにつながる通路を持ち、噴射

ノズルが開くと、圧縮空気によってエアインジェクタ内の燃料が燃焼室に噴射される。

燃料は電磁ポンプによって加圧され、また、圧縮空気はクランクシャフトからベルト駆動されるコンプレッサによって加圧・供給されており、それぞれレギュレータによって前述の圧力となるように制御されている。

コモンレールには燃料ライン、圧縮空気ラインの他、ベーパーロックを防止するために冷却水ラインを設けている。

Fig.1 : Injection System and Combustion Chamber

燃焼室は深いドーム状で排気ポートの逆側にオフセットされている。また、インジェクタから噴射された燃料噴霧をドーム方向へ反転させる為ピストンクラウンにφ27×深さ約 5mm のキャビティが設けられており、ドームと同方向にオフセットされている。エアインジェクタの噴霧ノズルはドーム側からピストンキャビティに対し垂直に噴射するように配置している。以上の構成によって、可燃混合気層はドームの中央部に形成される。これに着火させるため、スパークプラグの発火部はかなり突き出されている。以上によって低負荷領域での層状燃焼を可能としているが、実際の可燃混合気層は掃気流によって乱されるため、エアインジェクタとスパークプラグの位置関係については実験によって最適位置を決定している。

4. 燃焼方式

燃料噴射量、燃料噴射時期及び点火時期については、マイクロコンピュータによる電子制御を行っている。

Fig.2 は回転速度を 2000r/m で固定し、スロットル開度を変化させた場合の燃料噴射と点火のタイミングの関係を表した図である。低負荷時には、点火の直前に噴射を開始し、

噴霧がスパークプラグにかかったところで点火することによる層状燃焼とし、高負荷時には出力確保のため噴射時期を進角させる均一混合燃焼としている。

Fig.3はアイドル時の燃焼圧波形である。図のように、失火サイクルはほぼ完全になくなっており、回転変動の少ないスムーズな、アイドルを実現している。

Fig.2 : Section of Timing Surface at 2000r/m

Fig.3 : Combustion Pressure at Idle (700r/m)

4. 排気ガス性能

Fig.4はキャブレタ式とエアアシスト式直噴との、ICOMIAモードによる排気ガス排出量の比較である。図の通り、EPAで規制されるHC+NO_x排出量は、キャブレタ式に対して75%低減され、EPA2006年規制に対しては20%の余裕を持ってクリアしている。

Fig.4 : Emission Level of Air Assisted DI And Carburetor Engine

これに伴って燃費も改善され、キャブレタ式に対して燃料消費量は、全負荷で15%、アイドルでは75%低減された。

5. 出力性能

直噴化したエンジンにおいて出力性能を維持する上で、次のネガティブな要素が明らかになった。

- エアコンプレッサの駆動ロス
- クランクケースの燃料冷却がなくなり吸気温度が上昇したことによる吸入効率の低下

しかし、次のポジティブな要素も確認された。

- 燃料噴射によってスパークプラグが冷却されるため耐ノック性が向上しており、圧縮比を高く設定することができた。
- 燃料の吹き抜けがなくなることから、排気管を最大出力本意で設計することができた。

以上のトレードオフをバランスさせ、最大出力は従来機種と同じ50HP/5500rpmを確保することができた。

Fig.5 : WOT Power

6. 結果

本開発の目標に対し、以下の結果を得た。

- (1)、EPA2006年規制に対して20%の余裕を持って適合することができた。
- (2)、ベースエンジンと同じ最大出力を確保し、失火を解消したことによってスムーズな運転特性を得ることができた。
- (3)、燃費の大幅低減、始動操作の容易化、不整燃焼による不快な振動の低減など、実用的なメリットが得られた。
- (4)、エアコンプレッサや燃料ポンプなどの新規開発部品は、大型機種への共用化を考慮しながら、ベースエンジンとほぼ同等のパッケージに収めることができた。

7. おわりに

当開発で2ストロークエンジンに対する直噴システムの導入に成功し、排気ガスを大幅に低減することができた。今後さらにシステムを熟成させ、性能向上と排気ガス低減を進めるとともに、他機種への直噴技術導入を展開し、環境対策に貢献したいと考えている。

参考文献

- (1) D Worth, N Coplin, M McNiff, M Stannard, "DESIGN CONSIDERATIONS FOR THE APPLICATION OF AIR ASSISTED DIRECT IN-CYLINDER INJECTION SYSTEMS", SETC'97 Proceedings, SAE Paper 972074.
- (2) 森川弘二, 瀧本英晴, 金子隆, 小木泰一郎, 2サイクルエンジンの筒内噴射化による排ガス低減技術の研究, LEMA No.459(2000).
- (3) 森川弘二, 渡辺英雄, 古屋彰, 自動車用筒内噴射2ストロークエンジンにおける燃料噴射系の比較検討と新燃焼方式について, 自動車技術会学術講演会前刷集 953 (1995-5).