

關於 VVT-I 系統

主旨：

作為 Toyota 的新引擎系統「BEAMS」的中心技術，為了實現高性能—低油耗和乾淨，開發了連續可變閥正時機構:VVT-i(Variable Valve Timing-Intelligent)。採用此系統的引擎，藉由用油壓來連續操作進氣凸輪軸位相，劃時代性地提高出力性能、油耗—廢氣淨化的各基本性能。有效利用內部 EGR(廢氣再循環)，使在部分負荷運轉時的進排氣閥 overlap 能夠擴大到最適當的值，此為本系統的特徵。此資料中將對此特徵，特別以油耗率—廢氣淨化為中心點，介紹技術相關概要。

1. 前言

追求在高性能狀態下的低油耗及乾淨的引擎，並對這些基本性能有很大影響的閥系進行廣泛的各種可變機構之研究開發和製品化。此連續可變閥正時機構:VVT-i(Variable Valve Timing-Intelligent)，採用作為客車用引擎而廣泛普及的 4 cycle gasoline 引擎，讓基本性能以高次元狀態兩立而開發。採用此系統的引擎，劃時代性地提高出力性能、油耗—廢氣淨化的各基本性能。VVT-i 作為 Toyota 的新引擎系列「BEAMS」的中心技術，裝載此改良引擎的新型車也大幅提高了車子基本性能「行車」，也同時實現 class top 的低油耗。接下來將隨著此系統的概要，描述內部 EGR(廢氣再循環)原理—效果、反應性改良及燃料噴射操作相關等。

2. 內部 EGR(廢氣再循環)原理—效果

2.1 關於內部 EGR

一般來說，在排氣上死點附近，會有進氣閥與排氣閥同時打開的時候，在部分負荷運轉的時候，因閥重疊(valve overlap)而使廢氣逆流的內部 EGR 是從很久以前就知道的。如圖一所示，在重疊時因進氣管負壓而使廢氣逆流發生。此排氣行程末期的廢氣特徵是大量的未燃燒部份(HC:碳水化合物)。

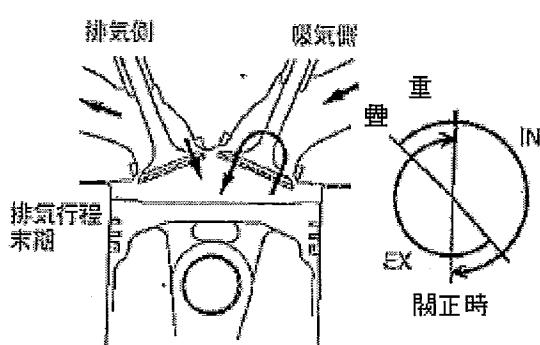


圖 1 重疊時現象

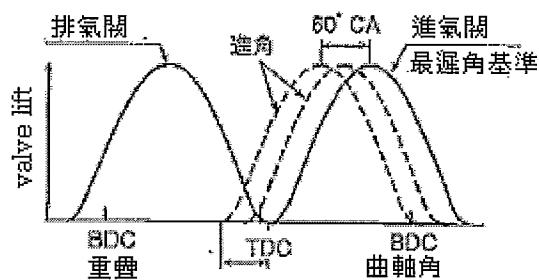


圖 2 valve lift 特性

此內部 EGR 量因進氣管負壓的大小與重疊量來改變本身大小，因此，用圖二所示的連續可變閥正時機構來因應引擎運轉條件。因為最適當的重疊而使此效果能夠充分利用。

2.2 排污改善效果

部分負荷運轉時如果重疊擴大，因內部 EGR(圖三)而擴大重疊，伴隨著的不只是 NOx 下降，也能夠降低 HC。NOx 降低和外部 EGR 有同樣的燃燒溫度下降效果，而 HC 下降是藉排氣行程末期的重疊時間，再吸入及再燃燒在汽缸內的 quench zone 中產生的未燃氣體之效果，這是在外部 EGR 中看不見的。

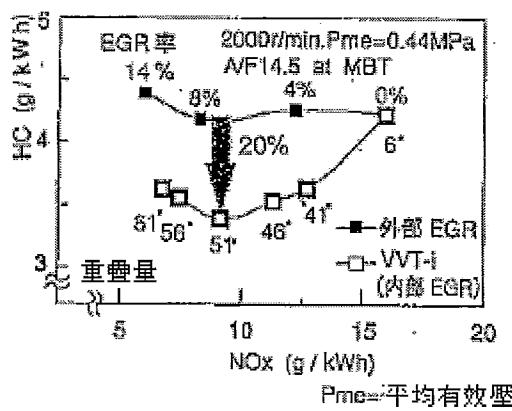


圖 3 有重疊的廢氣排出效果

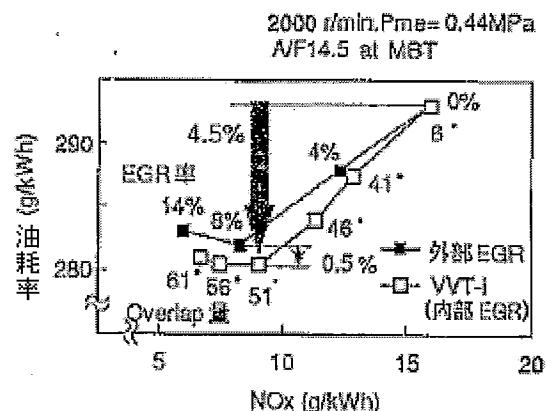


圖 4 有重疊的油耗效果

2.3 油耗改善效果

如圖 4 所示，用內部 EGR 時，緩和進氣管負壓的 pumping loss 減低與因為進氣閥提早關閉使實際壓縮比上升，油耗率也會提高。這樣的情況下，外部 EGR 的差之中也包括了 EGR 氣體溫度的影響。理想時是將閥重疊設定為 0，藉內部 EGR 減少而提高理想安定性，並藉由降低理想設定回轉數來提高理想油耗率。

3. VVT-i 系統

3.1 系統構成

圖五是將系統的全體構成分為主要的三點來說明。

- ①在進氣凸輪的前端部、因油壓而使進氣凸輪與曲軸的位相產生連續改變的 VVT-i puli。
- ②因 ECU 指令抑制油壓的 OCV(oil control valve)。
- ③從曲軸角信號與凸輪角信號來演算閥正時，演算最適當正時操作的 ECU(電子操作 unit)。此外，VVT-i puli 的驅動上沒有追加專用的 oil pump，是一項簡單的構造。

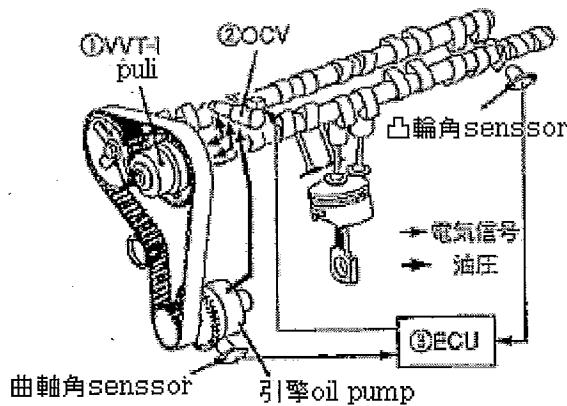


圖 5 VVT-i 系統圖

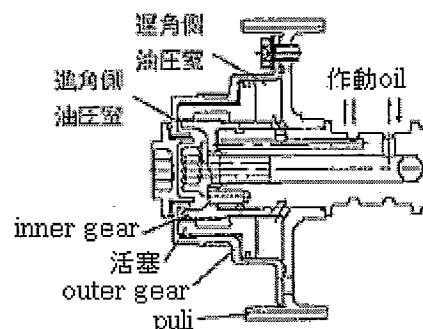


圖 6 VVT-i puli 斷面圖 (JZ 系列)

3.2 螺旋式 VVT-i

圖 6 表示 VVT-i puli 的斷面圖。活塞因為有內外反轉的螺旋齒條，並供給活塞前後油壓室內用 OCV 意志的油壓，讓活塞的凸輪軸方向位置能夠隨意改變，使相對於 puli 的凸輪軸位相產生連續變化的構造。此外，1GZ-EF 型引擎(圖 7)採用凸輪間對應齒輪驅動的機構。

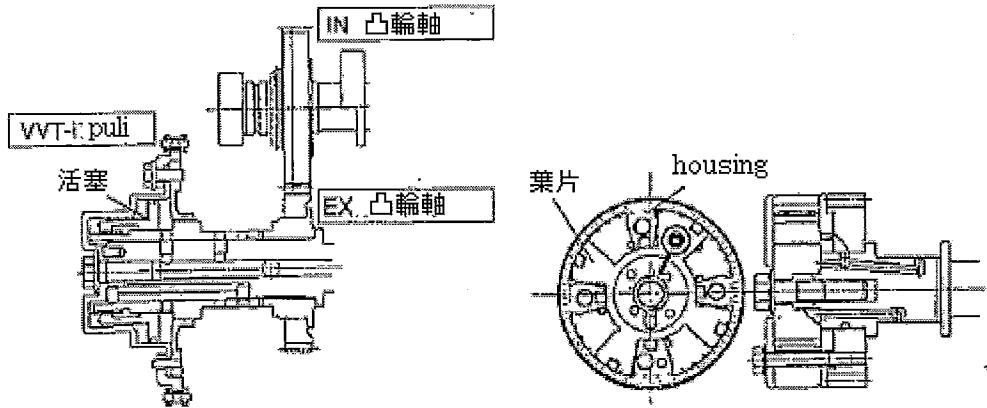


圖 7 VVT-i pulley 斷面圖 (1GZ-FE)

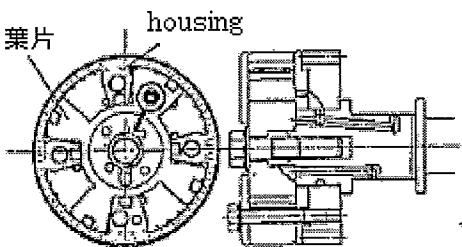


圖 8 葉片式 斷面圖 (3S-FSE)

3.3 葉片式 VVT-i

VVT-i 系統適用擴大時，也會採用以更簡單且高性能的機構為目標、位相可變部分如圖八所示的葉片式。將 intake 凸輪軸的驅動部份分離成 housing 部分與葉片部分，形成 housing 及葉片狀的油壓室。因為構造簡單，所以形狀的自由度高，製造與裝載容易，可以期待日後的採用。

3.4 VVT-i 的使用方法

圖 9 表示 VVT-i 的進角。

1) 理想時

VVT-i pulley 在最遲角狀態且將閥重疊設定為 0 時，理想安定性會提高，且因理想設定回轉數下降，理想油耗率也會提高。

2) 部分負荷運轉時

部分負荷運轉時，讓 VVT-i pulley 進角且擴大重疊的話，NOx 和 HC 都會減低，並且會提高油耗率。

3) 全負荷運轉時

在低回轉狀態時，讓 VVT-i pulley 進角且將進氣閥關閉正時設定在下死點附近；在高回轉狀態時，因為要有進氣慣性效果，可將關閉正時設定在遲角側，也能提高出力性能。

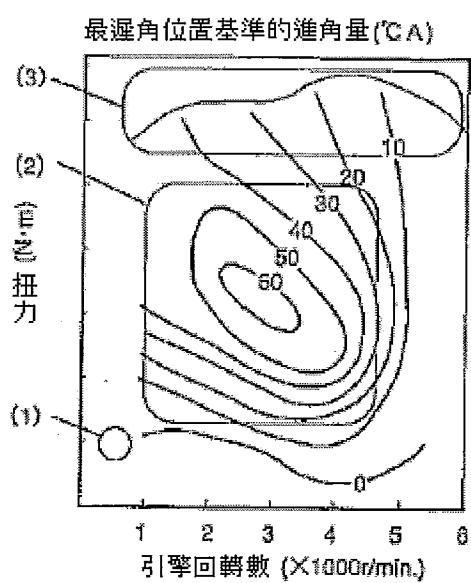


圖 9 VVT-i 進角MAP

4. 改良解析

4.1 反應性改良

為了將 VVT-i 發揮至最大效用，反應性(變位速度)很重要。首先要決定引擎回轉數及每次的油溫目標變位速度。在初期時進角側變位速度特別不容易達到，此時須將所有關聯零件改良後再試。

4.1.1 油壓確保

為了改善低回轉時的反應性，需增加 oil pump 吐出容量，變更其他特性。另外，確保形成油壓通路的凸輪軸部的密封長度，且將洩漏抑制到最低。此外，為了減低動壓力損失，將油通路斷面積擴大後，因為消滅掉一些彎曲，能夠大幅降低壓力損失。

4.1.2 最佳化

減少成為 VVT-i 進角時抵抗的凸輪摩擦，改善反應性。減少凸輪摩擦的同時，也有降低油耗的效果。使 VVT-i puli 緊緻，藉由大扭轉角齒條(30°)，用小 stroke 就可以實現大位相可變角度。與油壓活塞受壓面積的最佳化合併後，就可得到可變需要油量的必要最低限。

4.1.3 改良結果

以上的改良結果如圖 10 所示，可得到滿足目標的高反應性機構。以簡單要素構成、未大幅增加摩擦且可能到所需之反應性是此系統的重點。

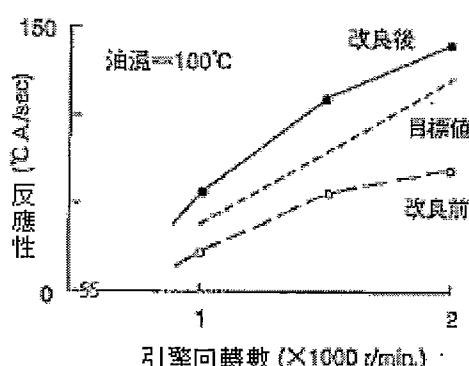


圖10 反應性改善效果

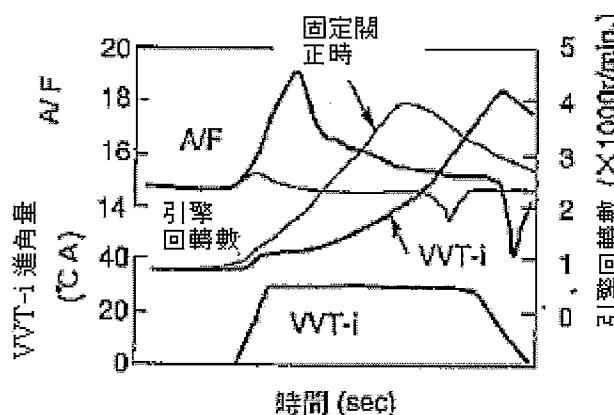


圖11 全開 racing 時的空轉油耗 (A/F)

4.2 吹回及燃料噴射操作

如圖 11 所示，時機引擎過度運轉的情形下，確認空轉油耗比會變大。為了說明此現象，便進行重疊量和燃料作動的可視化解析及燃料噴射時即影響的相關調查解析。

4.2.1 可視化解析

讓閥重疊與燃料噴射時期像圖 12 一樣變化，觀察進氣閥附近的噴射燃料作動，確認了閥重疊時因為吹回而產生的燃料重回情況。雖然沒有觀察沒有閥重疊時的情況，但因為變越大吹回量就越多，對空轉油耗比操作的影響也會變大。此外，噴射時期的影響，TDC(上死點)噴射的吹回量最多，BTDC(上死點前) 60° 噴射變少但吹回量多，ATDC(上死點後) 60° 噴射只會有少量發生。觀察吹回燃料會逆流回進氣管何處的結果顯示，沒有閥重疊的情況下，燃料不會到進氣管。如果擴大閥重疊的話，確認燃料會到達進氣管的上流。圖 13 是藉此觀察所測量出的吹回距離。閥重疊大且與閥重疊一致的 TDC 噴射會吹回至進氣管上流，另外，暖機狀態下比引擎更會吹回至進氣管上流。

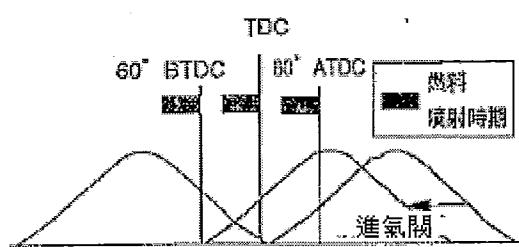


圖12 閥打開時期和燃料噴射時期

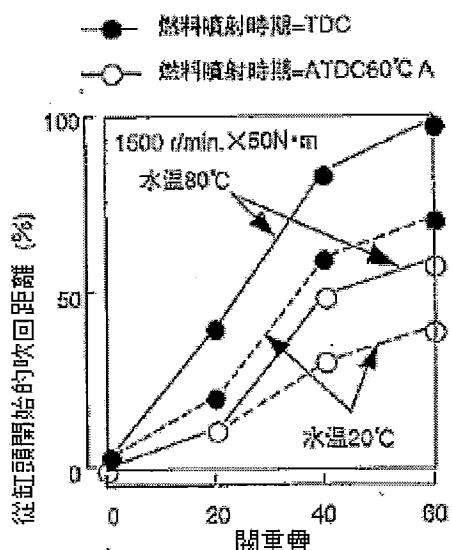


圖13 燃料吹回特性

4.2.2 燃料噴射時期的影響

雖然在燃料噴射時期可以期望將閥重疊往後設定使其不容易受吹回影響，但如圖 14 的噴射結束操作，會因引擎的負荷變化且為了大幅改變與閥重疊有關的空轉油耗比，噴射開始的操作是必須的。

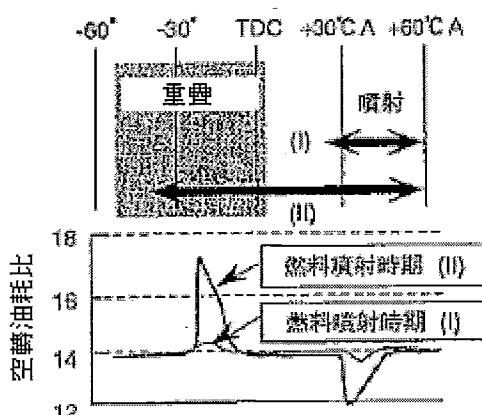


圖14 對燃料噴射時期之空轉油耗比的影響

5. 結尾

以上介紹了技術概略，可以確信將開發因應客車用引擎的系統。最後對於開發本系統及製品化提供大力協助的各位敬上最深的感謝。