

世界初量産可変圧縮比エンジンの開発

日産自動車株式会社

執行役社長兼CEO 内田 誠

日産自動車(株) パワートレイン・EV技術開発本部	パワートレイン・EVプロジェクト部	木賀 新一
日産自動車(株) パワートレイン・EV技術開発本部	パワートレイン・EVプロジェクト部	小島 周二
日産自動車(株) パワートレイン・EV技術開発本部	パワートレイン・EV先行技術開発部	茂木 克也
日産自動車(株) パワートレイン・EV技術開発本部	パワートレイン・EVプロジェクト部	松岡 一哉
日産自動車(株) パワートレイン・EV技術開発本部	パワートレイン・EV性能適合開発部	田中 儀明

はじめに

自動車は今後も存続していくためには、CO²低減をはじめとする環境負荷低減への取り組みは必須であり、パワートレインの電動化が盛んに行われている。しかしながら、バッテリー電気自動車などの内燃機関を持たない車両が普及するには、安価なバッテリーの普及やインフラの整備等の困難な課題が残されており、バッテリーに比べて圧倒的にエネルギー密度が高い液体・気体燃料を使用する内燃機関が、しばらくこの先も主流であり続けると予想され、このような状況であるからこそ、内燃機関のCO²低減のための熱効率向上と、自動車が元来持っていた、操る楽しさ（動力性能）との両立が求められている。

開発のねらい

一般に、エンジンは圧縮比が高い程、燃焼ガスを大きく膨張させることができるようになり多くの有効仕事を取り出せるようになるため、熱効率を高められるが、高負荷時の過剰な燃焼室圧力を避けるために出力性能が制限され燃費志向になる。一方、この圧縮比が低いと熱効率は下がるが、燃焼室圧力の増大を抑制しながら高出力化でき、パワー志向になる。このエンジンの性格はエンジン組立時に固定されてしまう圧縮比

(図1)により、これまでは変更できなかった。

本可変圧縮比 (Variable Compression Ratio、以下 VCR) 技術を搭載した Variable Compression Turbo (以下 VC-Turbo) エンジン (型式名 KR20DDET) は、車両の運転条件に応じてその圧縮比を可変制御するため、使用頻度が高く良燃費が欲しい市街地走行では高熱効率な高圧縮比とし、瞬発的な高出力が求められる高速道路への進入や追い越しのようなアクセルを踏み込むシーンでは、一時的に低圧縮比とし、過給による燃焼室の高圧を避け、安全に車両の加速を楽しむことができるようになる。つまり、一つのエンジンがこれまで相容れなかった異なる2つの

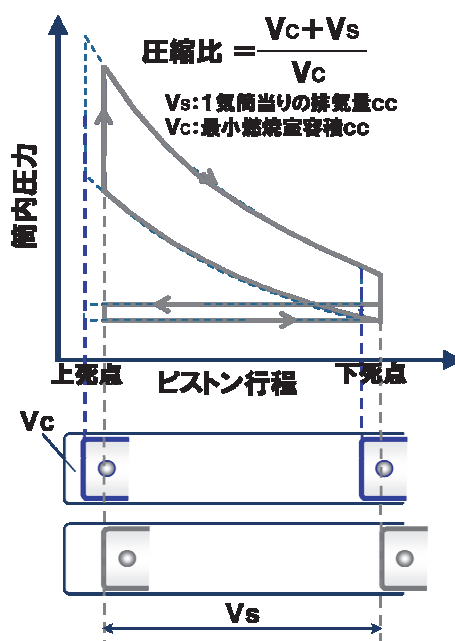


図1 圧縮比と図示仕事

性格を持ち、走行シーンに応じて豹変することができるようになる（図2）。

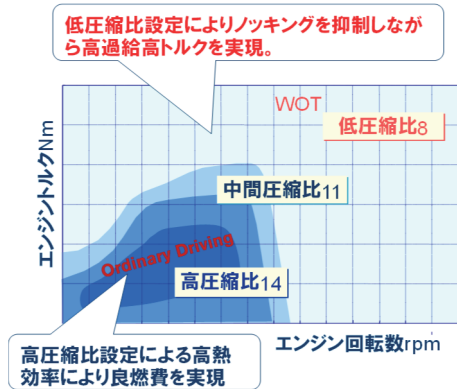


図2 可変圧縮比による性能向上

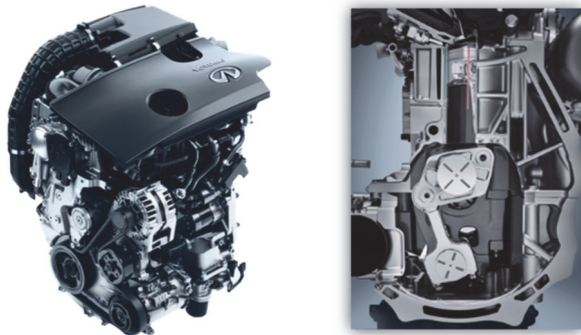


図3 VC-Turboエンジンとマルチリンク機構

装置の概要

① VC-Turbo エンジンとマルチリンク機構

図3左が本エンジンの外観であり、従来クランク機構（以下、従来機構）に代わり、図3右の日産独自のマルチリンク機構を内蔵している。

本機構は、従来機構と同様に、ピストンとクランクシャフトを有するが、図4に示すように、従来のコネクティングロッドに代わって、それらを2本の直列なUリンク（Upper link）とLリンク（Lower link）により関係させている。また、Lリンクの他端にはCリンク（Control link）と、偏心軸を有するコントロールシャフトを連係している。このコントロールシャフトの回転姿勢はAリンク

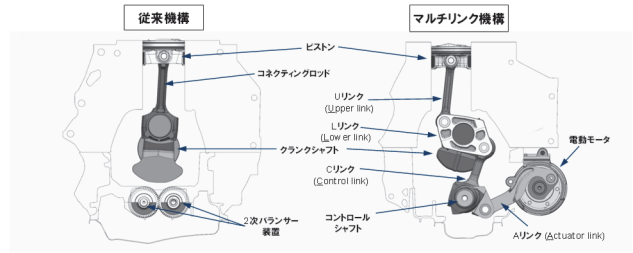


図4 マルチリンク機構の構成

（Actuator link）を介して電動アクチュエータにより制御される。直列エンジンでは、ピストン、U、L、Cリンクは各気筒ごとに各々設定されるが、クランクシャフトとコントロールシャフトは各気筒で共有している（図4、5）。

② 圧縮比の可変方法

コントロールシャフトの回転姿勢がエンジン本体に対して変更され、コントロールシャフトの偏心軸、すなわちCリンクの揺動点が下方へ移動すると、Lリンクがクランクピンを中心に時計回りに回転してUリンクとLリンクの上死点での挟角が拡大することにより、ピストンが上方へ移動して高圧縮

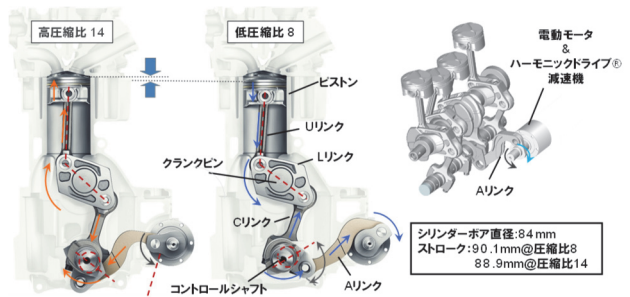


図5 圧縮比の可変方法

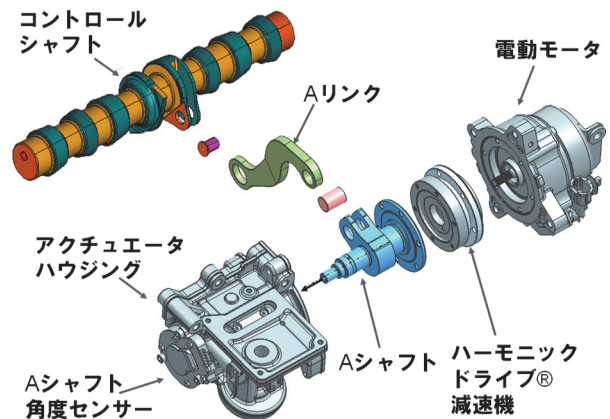


図6 圧縮比制御用アクチュエータの構成

比となる。その逆に、コントロールシャフトの偏心軸が上方へ移動すると、UリンクとLリンクの上死点での挟角は縮小し低圧縮比となる。直列多気筒エンジンの場合、コントロールシャフトは各気筒で共用されているため、1本のコントロールシャフトの回転姿勢の変更により、全気筒の圧縮比を同時、かつ正確に切り換えることができる（図5）。

③ 圧縮比制御用アクチュエータ

図4右のように、コントロールシャフトは、クランクケース外部に取り付けられる圧縮比制御用アクチュエータにより、オイルパンの側壁に開口部を設け、その開口部を貫通するAリンクを押し引きし、エンジンの運転条件に応じてその回転姿勢が保持・変更される。圧縮比制御用アクチュエータは、電動モータ、減速機、及びアーム状のAシャフトを組み合わせた構成となっている（図6）。電動モータの動きはECU（Engine Control Unit）により電子制御され、減速機により減速された後、Aリンクを介してコントロールシャフトへ伝えられる。減速機には、コンパクトなスペースに高減速比を収納でき、かつバックラッシュが極めて小さい、ハーモニックドライブ®社製の波動歯車装置式減速機を用いた。

④ 圧縮比の設定

エンジンの運転条件に対する圧縮比の設定を、図7に示す。一般的な走行において使用頻度が高い低速低負荷域は、高熱効率となるように高圧縮比を設定した。この結果、図7中のモード走行域にて良燃費な高圧縮比

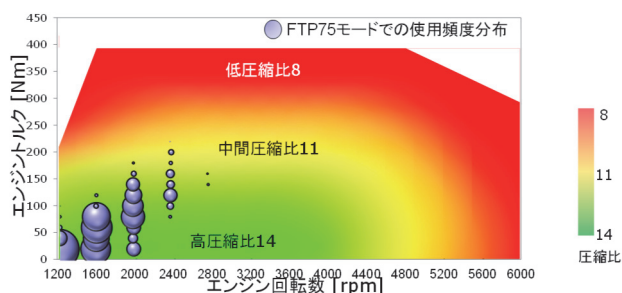


図7 圧縮比の設定とモード使用域

をほぼ維持する。高負荷域は過給による筒内の過剰な高圧やノッキングを回避するため、低圧縮比を設定している。

技術上の特徴

① 特徴的なピストン行程による制振効果

ピストン行程（動き）において、本機構には従来機構にはない特徴がある。従来機構のピストン行程は、コネクティングロッドの揺動により、上死点付近で急峻、下死点付近で緩慢となり、その上死点と下死点でのピストン加速度の絶対値差による不釣合により慣性2次振動が発生する（図8）。本機構では、従来機構のコネクティングロッドに相当するUリンクの揺動による慣性2次振動を、倒立したもう一つの揺動リンク（Cリンク）による逆位相の慣性2次振動によりほぼ相殺させ（図9）、前述のピストン加速度の絶対値差が大幅に低減され不釣合を縮小させている（図8）。これにより、従来機構の直列4気筒エンジンで車室内こもり音対策として用いられてきた2次バランサ装置が不要となる。

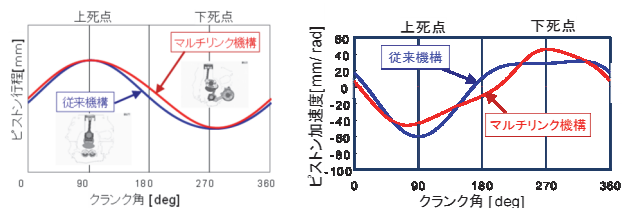


図8 従来機構とのピストン行程比較

② リンクの動きによるフリクション抑制効果

ピストンが燃焼荷重を受ける膨張行程にて、ピストン直下のUリンクが直立姿勢を維持して下降するため、従来機構で発生していたピストン側方のスラスト荷重がほぼ消失し、この部位から発生していたフリクションが大幅に低減する（図9）。これにより、マルチリンク化で軸受部位を追加し増大したフリクションを、ほぼ相殺することができてい

る。前述のバランス機構が不要であることも相まって、従来機構と同等かそれ以下のフリクション特性を達成している（図10）。

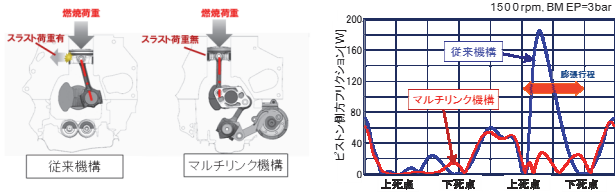


図9 従来機構とのピストン側フリクション比較

比 14 : 1 による高熱効率の結果、V6 型 3.5L 比で実用燃費 27% 向上を実現した（図 12）

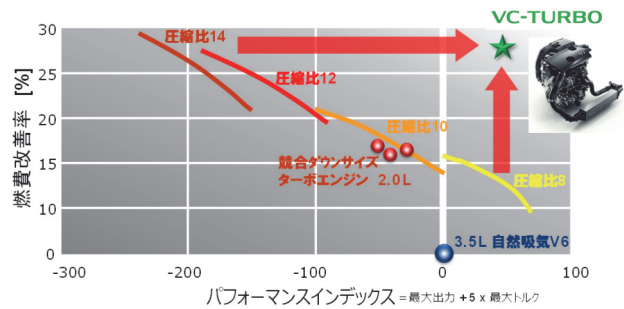


図12 可変圧縮比による性能メリット

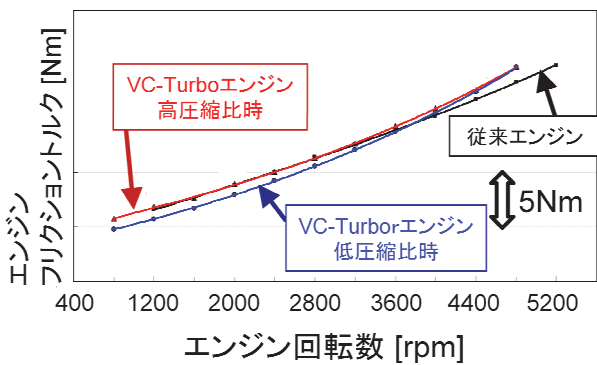


図10 エンジンフリクションの比較

実用上の効果

圧縮比 8 : 1 による燃焼室圧力の抑制により高過給が可能になるため、排気量 2.0L でありながら、図 11 に示すような V6 を凌ぐ高トルク（V6 型 3.5L 比で 15% 向上）を実現した。更に、この高い出力性能を前提としたダウンサイジング化（排気量 3.5L→2.0L，気筒数 6→4）と圧縮

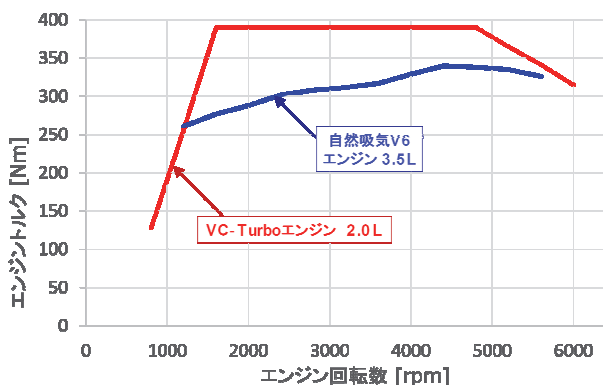


図11 VC-Turboエンジンのトルク性能

知的財産権の状況

本開発品の装置に関する特許登録は下記のとおり。

- ① 日本国特許第 4888518 号
 名称：レシプロ式内燃機関
 概要：マルチリンク機構により、従来機構で発生する 2 次振動を低減するもの。
- ② 日本国特許第 3968967 号
 名称：レシプロ式内燃機関の可変圧縮比機構
 概要：マルチリンク機構により、従来機構で発生するピストン摩擦抵抗を低減するもの

むすび

VC-Turbo エンジンとは、自動車用エンジンが発明された 19 世紀から変わることがなかったクランク機構を、独自のマルチリンク機構へと進化させ、これまで運転中に変更できなかった圧縮比を、エンジンの運転条件に応じて可変制御できるようにし、「高出力なエンジンは燃費が悪い」という従来からの常識を覆した世界初の量産 VCR エンジンとなった。本エンジンの登場が、内燃機関の新たな可能性を広げる端緒となってくれることを切に願う。