

産業技術記念館

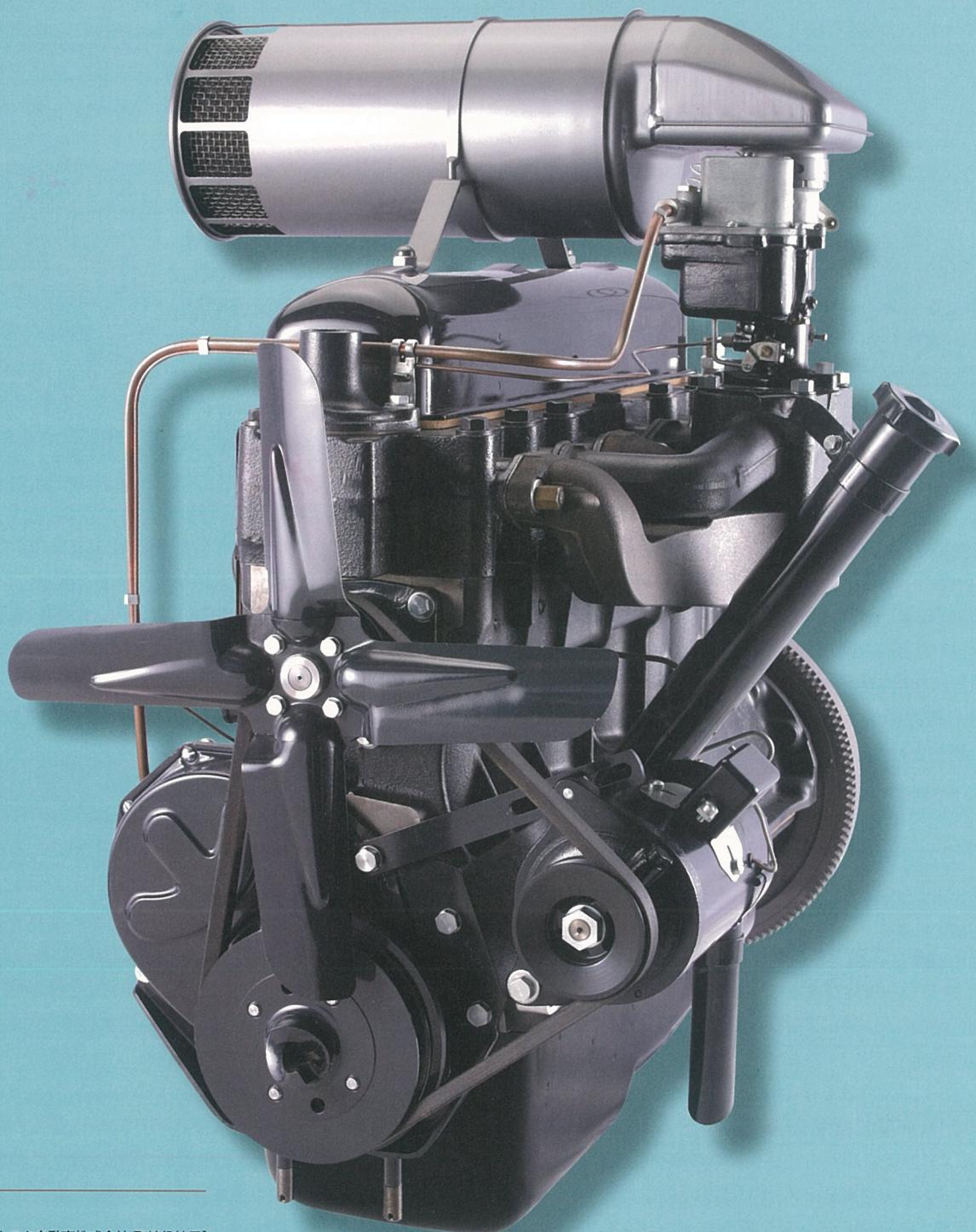
「研究と創造」と「モノづくり」

K A N P O U

幸

Vol.32

平成15年10月発行



〔巻頭言〕

【産業技術記念館理事 トヨタ自動車株式会社 取締役社長】

張 富士夫氏

特別展

自動車のエンジン展

～爆発するパワーの秘密～

きみもおいでよ、モノづくりランド



トヨタグループ
産業技術記念館

自動車のエンジン展

～爆発するパワーの秘密～

卷頭言

このたび、産業技術記念館では特別展として「自動車のエンジン展」を開催いたします。

車輪がついた乗り物を「機械動力」で動かす試みは、1769年のキュニョ(フランス)の蒸気車に始まり、19世紀後半まで蒸気機関、電動機、内燃機関などさまざまな原動機が研究されました。そして1876年にドイツのオットーがガソリン4サイクル機関を発明してからはガソリンエンジンが注目され、1886年にカール・ベンツのガソリン三輪車、ダイムラーのガソリン四輪車が発表されてから、ガソリン自動車の実用化が始まったといわれています。その後もさまざまなエンジンが開発されますが、現在でも往復運動によるガソリンエンジンが主流であり、その基本原理は今でも変わっていません。

今回の特別展では、自動車の動力源として1世紀以上をかけて熟成されてきたガソリンエンジン技術に焦点をあて、その「基本的な原理や仕組み」をさまざまな実験や体験装置などを通して、皆様に理解していただけるよう企画いたしました。

さて、自動車はいろいろな形で社会や経済の発展に貢献してきました。しかしその恩恵に浴しているのは地球上の人々の僅か4分の1とも言われ、今後さらに多くの国や地域のかたがたに自動車の便利さや楽しさを味わっていただくためには、環境とエネルギー課題への対応が極めて重要になってきています。トヨタはガソリン車やディーゼル車、天然ガス車、電気自動車および燃料電池車など、さまざまな可能性に多面的にアプローチしてきました。そして現在、これらさまざまな技術を組み合わせて最適に制御する「ハイブリッド技術」を将来に向けてのキーテクノロジーと位置付け、その実用化と普及にむけ積極的に取り組んでいます。

今後も高性能でしかも環境に優しい「究極の動力源」の実現を目指し、さらなる「研究と創造」をかさねながら、住みよい地球と豊かな社会づくりに貢献できるよう取り組んでゆきたいと考えております。



産業技術記念館 理事
トヨタ自動車株式会社
取締役社長 張 富士夫

ごあいさつ

動力によって大きな運動エネルギーを得ること、その運動エネルギーによって路上を自由に走り回ることは、人類が長年追い求めてきたテーマであり、数多くの研究がなされてきました。1886年、世界で初めて実用的なガソリンエンジンが登場して以来、自動車技術は飛躍的な進歩を遂げてきました。特にエンジンの性能が、自動車の基本的な性能を支配しており、その発展が自動車のあり方を大きく左右してきたと言えるでしょう。

現在、エンジンに求められる役割は多様化し、より軽量でコンパクト、高性能、低燃費、そして環境課題への対応など、様々な技術的課題を達成するため、非常に複雑な機構やシステムで制御しています。しかし、その基本的な要件には変わりありません。すなわち、燃料を爆発させることにより熱エネルギーを運動エネルギーに変換させる装置であること、ピストンの往復運動を回転運動に変えて車を走らせていくこと、そしてエネルギーを連続的に取り出すために「吸入・圧縮・爆発／膨張・排気」のサイクルを繰り返していることです。

今回の特別展「自動車のエンジン展」は、ガソリンエンジンに焦点をあて、基本的なしくみや働き、部品の役割などをご理解頂くために開催いたします。いろいろな実験や原理模型を用いた体験などを通じて「エンジン内部で起こっている凄さ」を感じ取っていただきたいと思います。

豊田喜一郎のエンジンに関する考え方



豊田喜一郎は、昭和8年(1933)(株)豊田自動織機製作所内に自動車部を設置し、自動車の試作を開始しました。そして、国産大衆車の開発にあたって「エンジンはシボレー型、足回りはフォード型、そしてボディスタイルはデソートの流線型を採用する」という設計方針を打ち立て、開発に着手しました。しかし当時の

日本には、総合工業としての自動車産業を確立するに必要な技術的基盤が整っていなかったため、材料である特殊鋼の研究から始め、生産設備を社内で開発するなど、基礎から自動車技術を確立してゆきました。

喜一郎は自動車部設立に先立ち、昭和6年(1931)には小型ガソリンエンジンの試作・研究を始めていました。またシボレー乗用車を分解・スケッチして自動車のメカニズムを学びました。エンジンの要であるシリンダ・ブロックやシリンダ・ヘッドの製造では、それまでの自動織機の鋳造技術を生かしながら、昭和9年(1934)に第1号のA型エンジンを完成させました。しかし1号機は毎分3,500回転で45馬力から47馬力しか出ませんでした。そこで粘土でシリンダ・ヘッドの形をつくり、シリンダヘッドの内側の形を色々変えて、これにガラスを当てて見るようしました。そして、煙を吹き込んでバルブを動かし、二昼夜にわたる実験の末、ようやく自信の持てる形が決まりました。出来上がったエンジンは、毎分3,500回転で67馬力を記録しました。

喜一郎は、後に『国産自動車の完成を期して』の中で「大衆車として具備せねばならぬ重要な条件は、『性能の發揮』である」とし、中でも最初に「エンジン馬力の増加」の必要性を挙げています。「我が国では、ガソリン節約と言ふ建前から、無暗に馬力数を大きくすることは考へものでありますが、最近の経済車として要求される車が、段々大きくなってきたことと、外国車に対抗と言ふ点から考へても、八十五馬力まで増加させるべきだと思います。」と述べています。また、「性能の發揮を始めに、製作費の廉価(安い値段)、取扱の経済的(より良きサービス)の3条件が解決されたとき、完全なものとなる。」とも述べています。

このように喜一郎は、当時の日本の実情に即した合理的な判断をしながら、技術者・研究者として未経験分野の技術開発に1つ1つ取り組み、自動車産業の基盤を築き上げてゆきました。

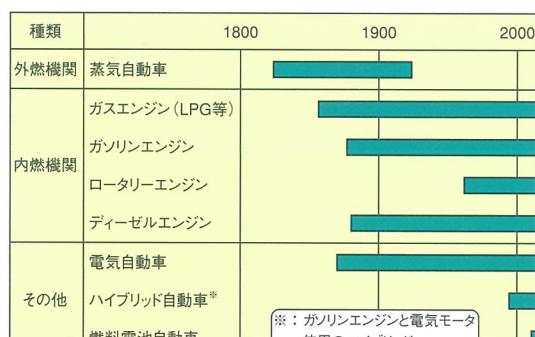
豊田喜一郎 年譜

1894年(明治27年)	静岡県敷知郡吉津村(現静岡県湖西市)に豊田佐吉の長男として誕生。
1920年(大正9年)	東京帝国大学工学部機械工学科卒業。豊田紡織(株)入社、紡織機の研究開発に従事。
1921年(大正10年)	欧米視察に出発。(1922年帰国)
1924年(大正13年)	喜一郎、杼換式自動織機特許(65156号)出願。父佐吉、G型織機完成。
1926年(大正15年)	(株)豊田自動織機製作所(現豊田自動織機)を設立、常務取締役に就任。
1929年(昭和4年)	英国プラット社と自動織機の特許交渉のため渡欧、英米自動車事情視察。
1930年(昭和5年)	父佐吉逝去。
1931年(昭和6年)	小型ガソリンエンジンの試作開始。
1933年(昭和8年)	豊田自動織機製作所に自動車部を設置、乗用車試作開始。
1934年(昭和9年)	自動車試作工場・製鋼所完成。
1935年(昭和10年)	A1型試作乗用車・G1型トラック完成。
1936年(昭和11年)	AA型乗用車・GA型トラック生産開始。
1937年(昭和12年)	トヨタ自動車工業(株)設立、副社長に就任。 スーパーハイドロフラッピング精紡機完成。
1938年(昭和13年)	拳母工場(現本社工場)完成。
1940年(昭和15年)	豊田製鋼(株)(現愛知製鋼)を設立、副社長に就任。 (財)豊田理化研究所(東京)を設立、理事長に就任。
1941年(昭和16年)	トヨタ自動車工業社長に就任。豊田工機(株)を設立。AE型乗用車を生産。
1942年(昭和17年)	KB型トラックを生産。
1943年(昭和18年)	AC型乗用車・KC型トラックを生産。
1945年(昭和20年)	刈谷工場を分離し、トヨタ車体工業(株)(現トヨタ車体)設立。
1947年(昭和22年)	BM型トラック・SB型トラック・SA型乗用車を生産。
1949年(昭和24年)	(社)発明協会・(社)経済団体連合会理事に就任。SD型乗用車を生産。 日本電装(株)(現デンソー)を設立。
1950年(昭和25年)	(社)自動車技術会会長に就任。トヨタ自動車販売(株)を設立。 人員整理の責任をとってトヨタ自動車工業社長を辞任。 東京で個人的に研究所を設置、小型乗用車の研究に専念。
1952年(昭和27年)	トヨタ自動車工業社長への復帰直前に逝去。

自動車用エンジンの歴史

人力や畜力に替わる、より大きな運動エネルギーを得ることは長年追い求められてきたテーマであり、数多くの研究がなされてきた。最初の大きな変革をもたらしたのは蒸気自動車であった。18世紀後半にフランスで登場し、19世紀に入ってイギリスで定期便にまで使われるようになった。一方、電気自動車の歴史も古く、19世紀後半に開発され1920年代までには少数ながら生産されるようになった。しかし、蒸気自動車や電気自動車はパワー、大きさ、重量、扱いやすさなどの点で満足のいくものではなく、普及するまでには至らなかった。

1885年、ドイツのダイムラーが小型4サイクルガソリンエンジンを製作し、二輪車に搭載。翌年ベンツもガソリンエンジンの三輪車を完成させた。当初は時速15キロで走ったと言われ、18世紀の駅馬車とほとんど変わらない速度であったが、その後、改良され1901年には時速86キロが記録されている。この頃までに、今日の主流を占める4サイクルガソリンエンジンの基礎が確立されたと言える。一方、その燃料経済性の良さから、現在のトラックやバスに広く使われているディーゼルエンジンは同じくドイツのディーゼルによって1893年に考案された。初期のディーゼルエンジンは大きな空気圧縮機をつけて燃料を噴射していたため、自動車用としては不向きであった。しかし、1922年にボッシュが噴射ポンプを発明してからは目覚しい発展を遂げ、ガソリンエンジンとともに自動車用エンジンの主役を占めるに至った。



実用化された自動車用エンジンの変遷

① エンジンとは

(1) エンジンとは

エンジンは、動力を生み出す源であり、クルマという一つのメカニズムの中核にあることからクルマの心臓部と言われている。その質量は、クルマ全体の10~15%を占めている。人間に例えれば、心臓であり、かつ、空気を取り入れ燃料(食物)を燃やして運動エネルギーに変換するという機能からすると呼吸器でもあり、消化器でもあり、直接力を生み出す筋肉でもあると言える。しかし、頭脳ではない。それゆえ運転者の意志に忠実にかつ迅速に応えるものでなければならない。いずれにせよ、エンジンの性能がクルマの基本的な性能を支配するため、エンジンの発展がクルマの歴史を大きく左右してきたと言える。



クルマの中のエンジン

エンジンとは

『クルマを動かすために、燃料の持つエネルギーを運動エネルギーに変換する装置』

(2) エンジンのいろいろ

現在、自動車用エンジンとしては、大型バスやトラックなどで使われているディーゼルエンジンと、主として乗用車などに使われているガソリンエンジンがある。ガソリンエンジンのうち、一部でロータリーエンジンがスポーツタイプの乗用車で使われている。ロータリーエンジンは、おむすび型のロータが爆発の圧力を直接回転運動に変えているのが特徴である。また、燃料代が安いことから、LPG(液化石油ガス)を燃料としたLPGエンジンがタクシーなどで使われている。また、近年、都市環境、地球環境の観点から、ガソリン、ディーゼルエンジンに替わる動力源として、電気自動車やガス自動車(CNG:圧縮天然ガス自動車)が復活するとともに新たにハイブリッド自動車(ガソリン/電池ハイブリッド)、燃料電池自動車などが出現しつつある。



エンジンのいろいろ

② ガソリンエンジンの原理と仕組み

ガソリンエンジンでは、ガソリンを燃焼させたエネルギーを運動エネルギーに変換して、クルマを走らせている。1gのガソリンを燃焼させると1.5トンの質量を3m持ち上げるエネルギーを持っている。



君の力は何馬力?



燃料から運動エネルギーを取り出すしくみ

(1) 4サイクルエンジンの作動行程

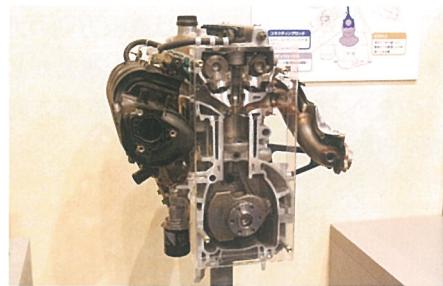
現在のガソリンエンジンの主流である4サイクルエンジンは、「吸入・圧縮・爆発／膨張・排気」の4つの行程を繰り返し、ガソリンから運動エネルギーを取り出している。

①吸入行程

吸気バルブを開き、ピストンが下がることにより、ガソリンと空気の混合ガスを吸入し、バルブを閉じる。このときの混合ガスは、ガソリンの割合が多くても少なすぎても、効率よく燃えないため、ガソリンと空気の混合ガスは適度な割合にする必要がある。この割合を空燃比(A/F:エーバイエフ)と呼び、次式で表される。



連続的に運動エネルギーを取り出しきみ



実際のエンジンはこうなっています

$$\text{空燃比} = \text{空気の質量(A)} / \text{燃料の質量(F)}$$

燃料が完全燃焼するための空燃比を理論空燃比と呼び、ガソリンでは14.7程度である。

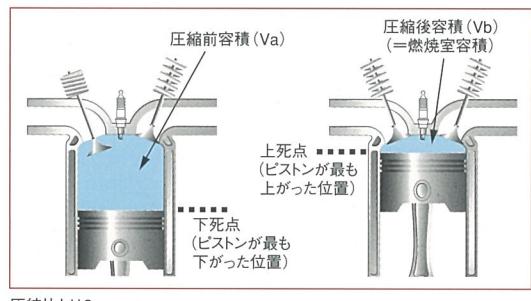
②圧縮行程

ピストンが上がって、混合ガスを圧縮する。混合ガスは圧縮して燃やした方が、急激に体積が膨張するため、多くの力を得ることができる。この圧縮する比率を圧縮比と呼び、次式で表される。

$$\text{圧縮比} = \text{圧縮前の容積(Va)} / \text{圧縮後の容積(Vb)}$$

(圧縮後の容積=燃焼室容積)

混合ガスは圧縮によって約300°Cに温度上昇し、ガソリンは気化する。



圧縮比とは?

③爆発／膨張行程

混合ガスに点火し燃焼させると、火炎は20～30m/sの速度で伝播し、爆発で生じた圧力は約5MPa^{*}にも達し、高温・高圧になった燃焼ガスがピストンを押し下げる。

* 1MPa=約10.2kgf/cm²

気体の膨張による仕事

気体の膨張は外力にからって行われるため、外部に対して仕事をする。シリンダ内の気体が膨張してピストンを押して動かした場合の仕事量(ΔL)は、気体の圧力(P)と気体の容積変化(ΔV)から次式で表される。

$$\Delta L(\text{仕事量}) = P(\text{圧力}) \times \Delta V(\text{容積変化})$$

④排気行程

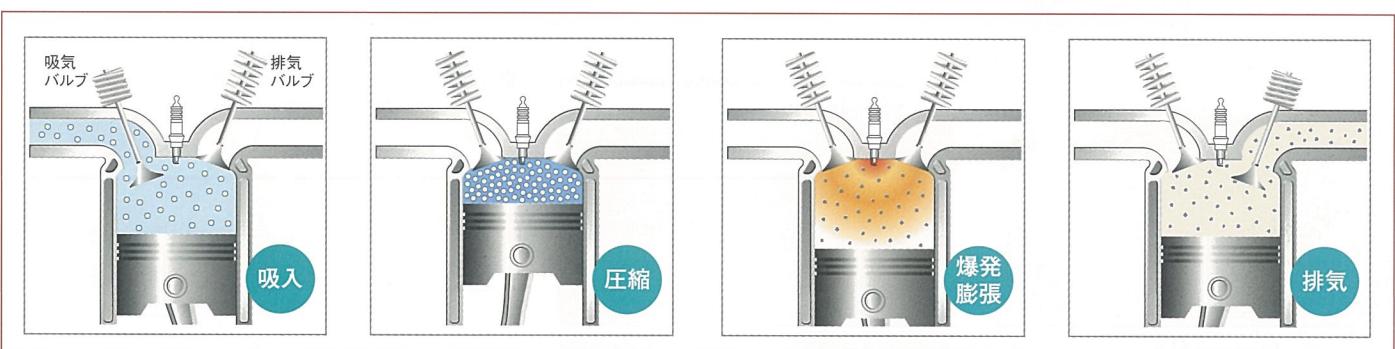
排気バルブを開き、シリンダー内の燃焼ガスをピストンが押し出し、バルブを閉じる。



エンジンの達人



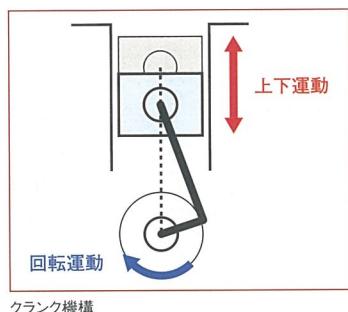
本物のエンジンをかけてみよう!



4サイクルエンジンの行程

(2) 直線運動から回転運動へ

爆発によって得られる力は直線方向の力であるが、タイヤを回転させるためには回転運動が必要となる。そのため、クランク機構を用いて直線方向の往復運動を回転運動に変えている。



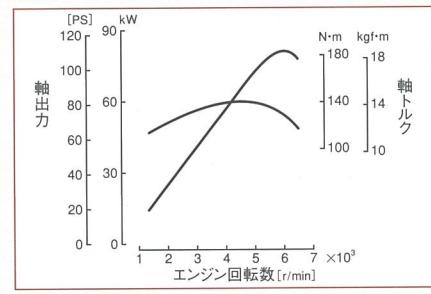
往復運動で動くのりもの

エンジンのトルクと出力

エンジンのトルクはクランクシャフトの回転力のことで $N \cdot m^{*1}$ (ニュートン・メートル) で表す。エンジンのトルクは大きければ大きいほど、クルマの駆動力が大きくなり、また、どのエンジン回転数でも一定のトルクが望ましい。しかし、吸入される混合ガスの質量のために生じる慣性効果がエンジン回転数によって異なるため、実際のトルクカーブは山形になることが多い。一方、エンジンの出力(馬力)は、エンジンの行う仕事の速さ(仕事率)を表し、 kW^{*2} (キロワット) で表される。出力はトルクにエンジン回転数を掛けたもので、エンジンの回転数が高い方が出力が高い。エンジンのトルクと出力の表示例を図に示す。

*1: 1N·m=約0.102kgf·m

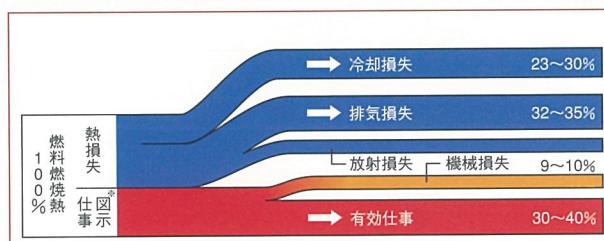
*2: 1kW=約1.36PS



エンジンのトルクと出力

エンジンの熱効率

ガソリンのエネルギーを100%としたときに、エンジンから得られる機械エネルギーの割合を熱効率と呼ぶ。実際のエンジンでは、排気ガスとして逃げるエネルギー(約30%)やエンジンの冷却水に逃げるエネルギー(約30%)などの損失があり、ガソリンエンジンの熱効率は大きくとも30~40%程度である。



※ 燃焼ガスがシリンダ内でピストン上面にする仕事

③ エンジン構成部品とその役割

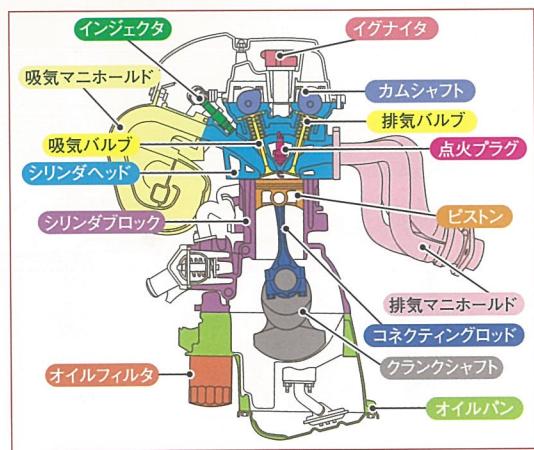
エンジンは非常に多くの部品(500~600種類)から成り立っている。図にエンジンの断面図と主要な構成部品を示す。以下に主要な部品の役割を概説する。



エンジンの構成部品



大きなエンジン～小さなエンジン



エンジン主要構成部品

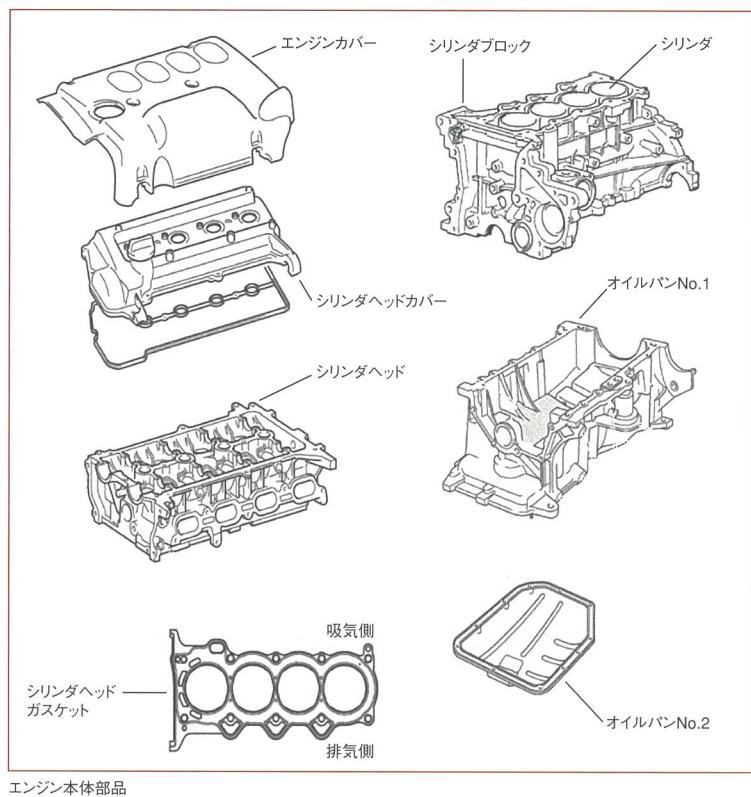
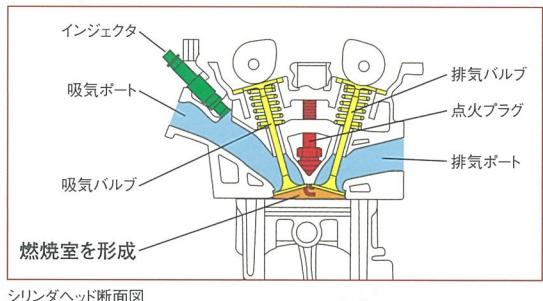
(1) エンジン本体

エンジン本体は大きく分けてシリンダヘッド、シリンダブロック、オイルパンの3つの部分から構成されている。

シリンダブロックはエンジンの土台として、十分な強度と高い剛性が必要であり、エンジン部品の中で一番重く、エンジン質量の15~20%を占めている。シリンダブロックには、ピストンが往復するための円筒状のシリンダを持っている。

シリンダヘッドはピストンとともに燃焼室を形成し、また、吸気バルブ、排気バルブ及びその開閉を行うカムシャフトを取り付け、混合ガスを吸入する通路（吸気ポート）、排気ガスを排出する通路（排気ポート）を構成している。また、点火プラグもシリンダヘッドに取り付ける。

オイルパンは文字通りオイルを溜めるところである。



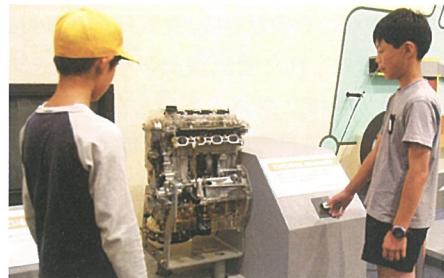
(2) 運動部品及び動弁系部品

運動部品としては、ピストン、コネクティングロッド、クランクシャフトがあり、ピストンが爆発の圧力を受け、コンロッドを介してクランクシャフトでその力を回転運動に変えている。

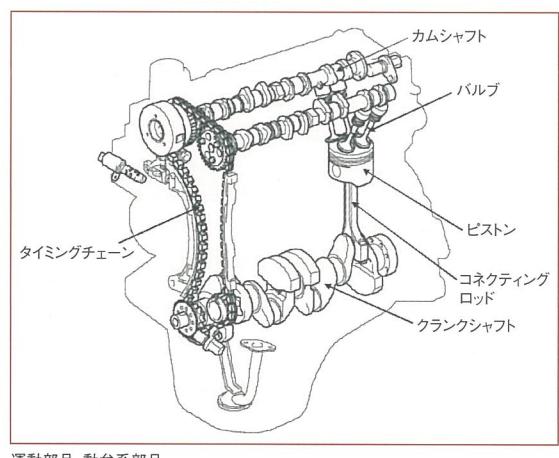
ピストンは瞬間的には2000°C以上にもなる燃焼ガスにさらされ、最大3~4トンもの力を受け、最大15~20m/sの平均速度で動いている。ピストンにはピストンリングが取り付けられており、圧縮と燃焼ガス圧力に対して燃焼室の気密を保ち、クランクケースへの洩れを防ぐとともにピストンが受けた熱の大部分をシリンダ壁へ逃がす。さらにシリンダ壁にふりかけられたオイルをかき落として、必要最小限の油膜をつくると同時に余分のオイルが燃焼室に浸入するのを防いでいる。

また、ピストンの往復運動に合わせて、吸気バルブと排気バルブを開く必要があり、これらのバルブを動かす機構を動弁系と呼んでいる。ピストンの運動と同期を取るため、タイミングベルト又はタイミングチェーンによりカムシャフトをクランクシャフトと繋ぎ、カムシャフトをクランクシャフトの1/2の回転速度で回している。それはエンジンが2回転する間に、それぞれのバルブは1回づつ開閉するからである。

カムシャフトには卵型のカムが付いており、それが吸気バルブ、排気バルブを押してバルブの開閉を行っている。バルブの開閉のタイミングは重要であり、バルブタイミングと呼ばれ、一般にピストンの上死点または下死点からのクランク角度で表す。吸気バルブは、ピストンが吸入行程に入る前（上死点前）に開き、吸入行程終了後（下死点後）しばらくして閉じる。また、排気バルブは、排気行程に入る前（下死点前）に開いて、排気行程終了後（上死点後）しばらくして閉じる。排気行程の終りの上死点付近では吸気バルブと排気バルブが同時に開いている期間がある。これをバルブオーバーラップという。また、クランクシャフトにはフライホイール（はずみ車）が取り付けられており、エンジンの回転力を蓄え、回転をなめらかにする役目をしている。



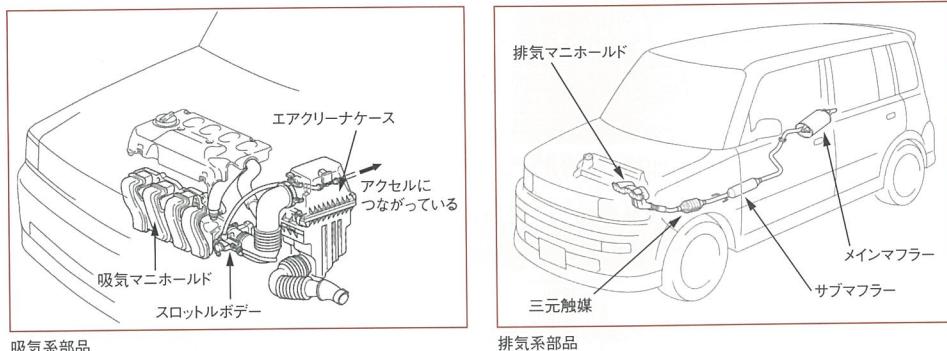
エンジンの中は嵐のような状態！



(3) 吸気系・排気系部品

吸気系はエンジンに空気を取り入れる部品群で、エアクリーナーケース、スロットルボデー、吸気マニホールドなどから構成されている。エアクリーナーケースにはエアフィルタが取り付けられ、空気中のほこり等の異物をろ過している。スロットルボデーにはスロットルバルブがあり、アクセルの開閉に応じてエンジンに吸入される空気の量を制御している。スロットルボデーの後ろには吸気マニホールドがあり、各気筒に均一になるように空気を分配している。

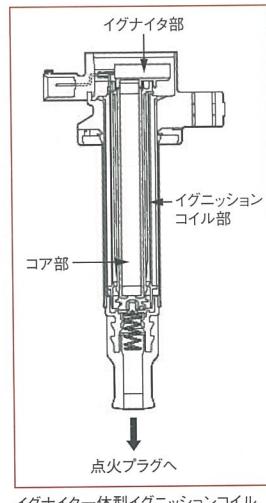
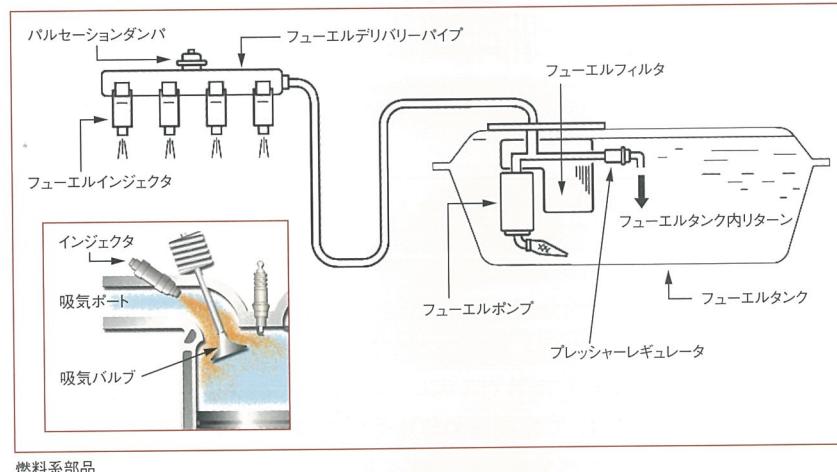
排気系は燃焼したガスをエンジンから排出する部品群で、排気マニホールド、排気管で構成されている。燃焼した後の排気ガスは排気マニホールドで集められ、排気管へと導かれる。排気マニホールドは、排気干渉（隣のシリンダからの排気ガスとぶつかり合う現象）を避けるため極力長くした方がよい。排気管には、排気ガス中の有害成分を浄化する触媒と音を消すマフラー（消音器）が装着されている。



(4) 燃料系・点火系部品

燃料系はフューエルインジェクタ（噴射弁）、フューエルデリバリー.PIPE、フューエルポンプ、フューエルタンクから構成されている。フューエルインジェクタは通常シリンダヘッドの吸気ポートに取り付けられる。コンピュータ制御により決められたタイミングに、最適な空燃比になるように燃料を噴射して混合ガスを生成している。そのために、吸気系のスロットルボデーに取り付けられた吸気温センサ、エアフローメータで吸入された空気の質量を計測して、目標空燃比になる燃料量を割り出している。近年は、フューエルインジェクタ技術の発達により、微細で粒径の均一な噴霧になり、ガソリンと空気のより均質な混合ガスが得られるようになってきた。

点火系は、点火プラグ、イグニッションコイル、イグナイタから構成されており、イグナイタとイグニッションコイルで高電圧を発生させ、点火プラグに火花を飛ばせている。近年はイグナイタとイグニッションコイルが一体となったイグナイタ一体型イグニッションコイルになり、直接点火プラグに被せる方式が多くなっている。点火時期もコンピュータ制御されており、いろいろな環境条件で最適なタイミングに火花が飛ぶよう制御されている。点火時期はエンジンの性能、燃費にとって重要なファクターである。ところが、湿度、温度などの大気条件やガソリン性状のバラツキ等によって、ノッキングが発生する場合がある。そのため、シリンダブロックにノックセンサをつけてノッキングを検知し、点火時期をコントロールするようにしている。

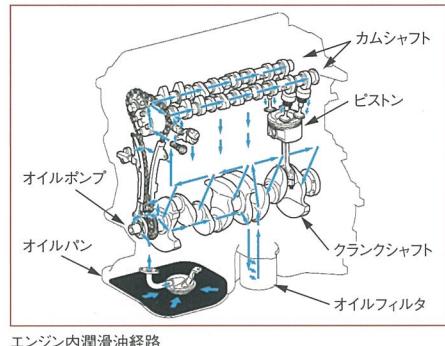


ノッキングとは

異常燃焼の一種で、点火プラグによって点火された火炎が伝播する前に未燃混合ガスが自己着火し、衝撃波が起きる現象。ノッキングが発生すると、エンジンの力が出なくなるだけでなく、激しいノッキングが続くと、ピストンが融けたりして、エンジンが壊れることがある。

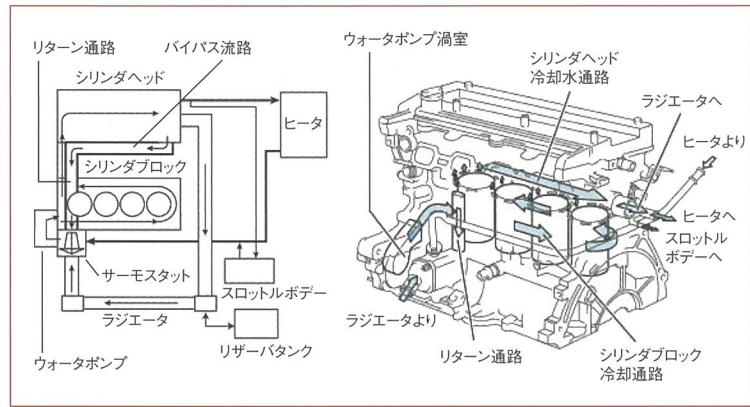
(5) 潤滑系

ピストンやクランクシャフト、カムシャフトなどの運動部分では、潤滑、冷却、腐食防止のためにオイルを循環させている。オイルパンに溜められたオイルはオイルポンプで汲み上げられ、様々な部品のオイル通路を経て各部を潤滑し、オイルパンに戻る仕組みになっている。オイルの通路にはオイルフィルタが取り付けられオイル中の汚れ等をろ過している。オイルは長い期間使われると熱や汚れにより潤滑性や耐腐食性が劣化してくるため、一定期間使用したら新しいオイルに交換しなければならない。



(6) 冷却系

燃焼によって燃焼室は非常に高温になる。その一部の熱はシリンダヘッドやシリンダブロックに熱として伝わり、これらの部品を高温にして変形させ、エンジンを壊してしまう。そこで、これらの部品を適度な温度に冷やすために、シリンダヘッドとシリンダブロックには冷却水通路（ウォータージャケット）が設けられ、冷却水を循環させている。冷却水通路にはサーモスタットが入っており、冷却水が一定の温度（80～90°C）以上になると通路が開いてラジエーターへ暖まった冷却水を流して、冷し、再度循環させている。この冷却水は、車室内の暖房の熱源としても使われている。冷却水は長い期間使用するとエンジンに錆が発生したり、寒冷地では凍ってしまうため、防錆効果のある液や不凍液を水に添加して使用している。



(7) 補機部品

オルタネータ

クルマには電池（バッテリ）が装着されているが、前照灯、点火プラグ、エアコンなどで電気を使っていると電気がすぐなくなってしまう。そこで、エンジンの力を使ってオルタネータ（交流発電機）を回して発電し、電池を充電するようにしている。

スタータ

エンジンを始動するときには、バッテリでスタータのモーターを回してエンジンを始動させるようになっている。始動時にスタータに付いているピニオンギアが飛び出し、フライホイールの周りに刻まれているリングギアと噛合いクランクシャフトを回している。



④ ガソリンエンジンとディーゼルエンジンの違い

(1) 原理と仕組み

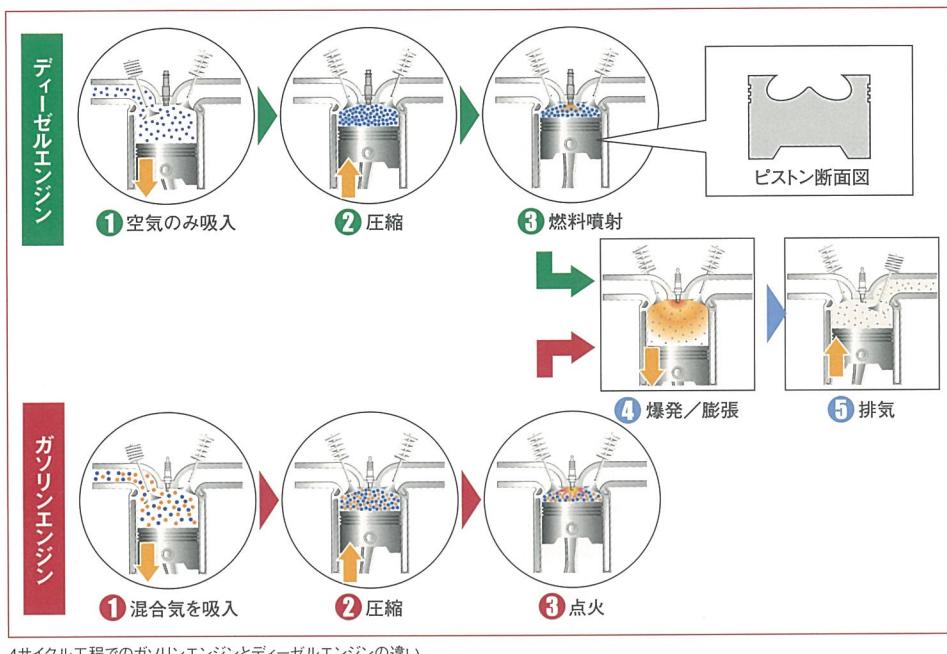
ディーゼルエンジンの外観や、「吸入・圧縮・爆発/膨張・排気」の4行程を繰り返し行う点は、ガソリンエンジンと同じである。しかし、「吸入～爆発/膨張」行程での燃料と空気を混合させるタイミングと燃焼させる方法が大きく異なっている。また、ディーゼルエンジンは燃料として軽油を使用する。

ディーゼルエンジンは、吸入行程では「空気のみ」を燃焼室に取り込んでいる。圧縮行程ではガソリンエンジンが異常燃焼を起こさないように容積を「1/10」程度に圧縮しているのに対し、軽油は異常燃焼を起こさないため、空気を「1/14～1/22」程度に圧縮して温度を

500°C以上に上げている。その後、圧縮されて高温になった空気に、100MPa以上に圧力を高めた燃料を「1/1000～2/1000秒」という短い時間で噴射し混合させて自己着火させる。

また、出力を上げる場合、ガソリンエンジンでは、一定の空燃比にした混合ガスが燃焼室に吸入される量をスロットルバルブによって調整するのに対し、ディーゼルエンジンでは吸入される空気の量は変わらず噴射する燃料の量のみで調整(空燃比は20～80という希薄燃焼)している。

このようにディーゼルエンジンは圧縮比が高く、吸気抵抗が少ない希薄燃焼などの理由で熱効率が高く、ガソリンエンジンと比べ燃費が良い。



(2) 構成部品

ディーゼルエンジンの構成部品は、燃焼方式の違いに関わる部品のみガソリンエンジンと異なる。ただし、ディーゼルエンジンは圧縮比が高く燃焼圧も高く10MPa以上(ガソリン:5MPa)になるため各部分はガソリンエンジンより頑強に作られている。

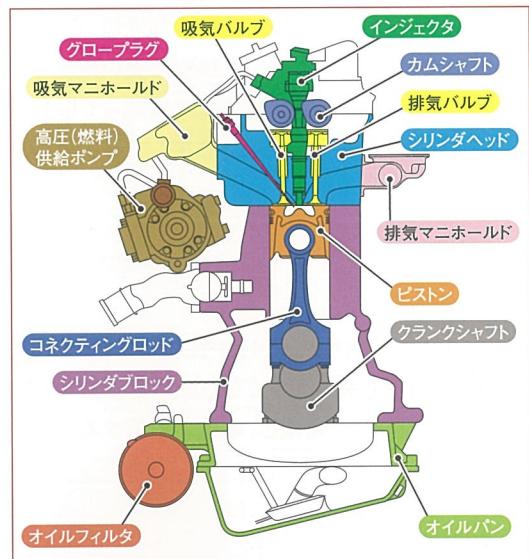
吸排気系

吸入空気の量をコントロールしないため、スロットルバルブがない。また、排気ガス中の成分が燃焼方式の違いにより大幅に異なるため、ガソリンエンジンのような触媒を採用することができなかった。最近になってエンジンの先進技術で説明するDPNRにより有害成分(パティキュレート※・NOx)の低減が可能になっている。

※ パティキュレート：すななどの粒子状物質

燃料系

高圧(燃料)供給ポンプで100MPa以上の高圧に加圧された燃料の軽油は、インジェクタより適切なタイミングと噴射時間で燃焼室内に直接噴射される。また、燃料が自己着火するため、点火プラグがないが低温始動時には圧縮された空気の温度が高くなれば軽油が着火しにくくなることからグロープラグと呼ぶヒーターが準備されている。



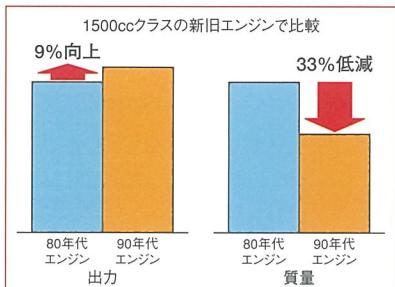
5 エンジンに課せられた課題

現代社会にとってクルマは私的で快適な移動空間として必要不可欠なものとなり、人々の豊かな生活の創造に寄与している。それだけ、クルマひいてはエンジンに求められる役割は多様化し、より高度なものになっている。それらは各々が困難な技術的課題であるうえ、互いに背反事項であることが多く、自動車用エンジンの開発はそれらをいかに高い次元でバランスさせ得るかの挑戦である。

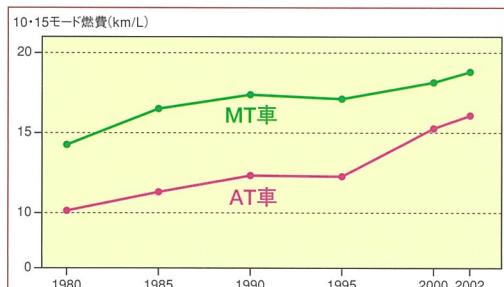
(1) 性能、燃費

軽量、コンパクト、高性能で、低燃費という基本性能の追求は永遠のテーマである。一般に、エンジンの性能を上げようするとエンジンは頑丈に作る必要があり、エンジンは重くなつて燃費は悪くなる傾向にある。エンジンの性能と燃費の両方を向上させるのは至難の技(技

術)が必要である。これまで、多バルブ化、燃焼改善、高圧縮比化、摩擦低減、軽量化などのさまざまな技術が使われてきたが、その背景には、解析技術、材料技術、生産技術等の発達も大いに寄与している。それらの結果、時代とともにエンジンの性能と燃費は飛躍的に向上してきた。現在でも、これらをさらに向上させるべく技術開発が行われている。



新旧エンジンの性能、質量比較



代表車種での燃費向上の例

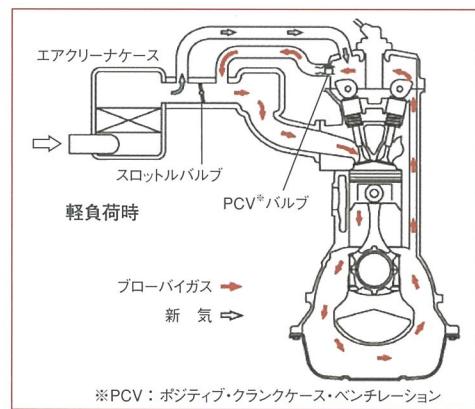
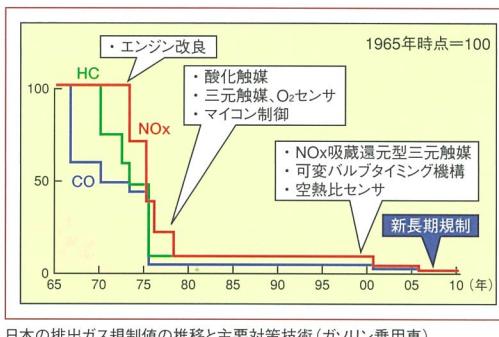


新旧エンジン(1.5L)のシルエット比較

(2) 排出ガス

クルマから排出される有害ガスには、プローバイガス、エバポレーティブエミッション、排気ガスの3種類がある。これらを総称して排出ガスと呼んでいる。プローバイガスはクランクケース内に洩れた燃焼ガス等がエンジンの外に排出されるもの、エバポレーティブエミッションは燃料タンク等からガソリンの蒸気が大気に放出されるもの、排気ガスは燃焼した後のガスが排気管から大気に放出されるものである。

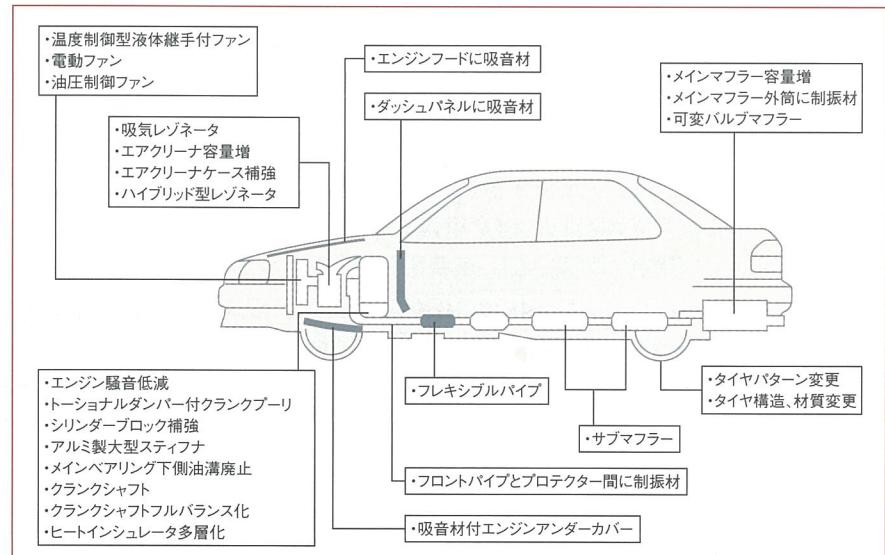
プローバイガスはプローバイガス還元装置で、エバポレーティブエミッションは活性炭を使ったキャニスターに吸着後、エンジンに吸入・燃焼させることで、大気に放出しないようにしている。排気ガスについては、触媒技術の発達により、排出ガス規制がなかったときに比べて有害ガスが1/100くらいになっている。図に日本の排出ガス規制の推移とガソリン乗用車の主要対策技術を示す。



*PCV: ポジティブ・クランクケース・ベンチレーション
プローバイガス還元装置

(3) 振動・騒音

エンジンの振動及び騒音は燃料が燃焼室内で爆発する事により発生する。更に放射される騒音は、構造物を透過してエンジン外部へ放射される燃焼騒音と、エンジンの回転部品等から発生する機械騒音に大別される。振動・騒音の発生源である燃焼圧はガソリンエンジンよりもディーゼルエンジンで大きい。この他、部品別には吸気音・排気音・動弁系音などがある。これまで、エンジンからの騒音を低減させてきており、騒音エネルギーで75~80%低減している。振動・騒音の改善は運転者の快適な環境を作る上で重要である。近年では、振動・騒音を低減させるだけでなく、人にとって心地よい音や振動を残す方向での開発が行われている。



乗用車の主な騒音対策

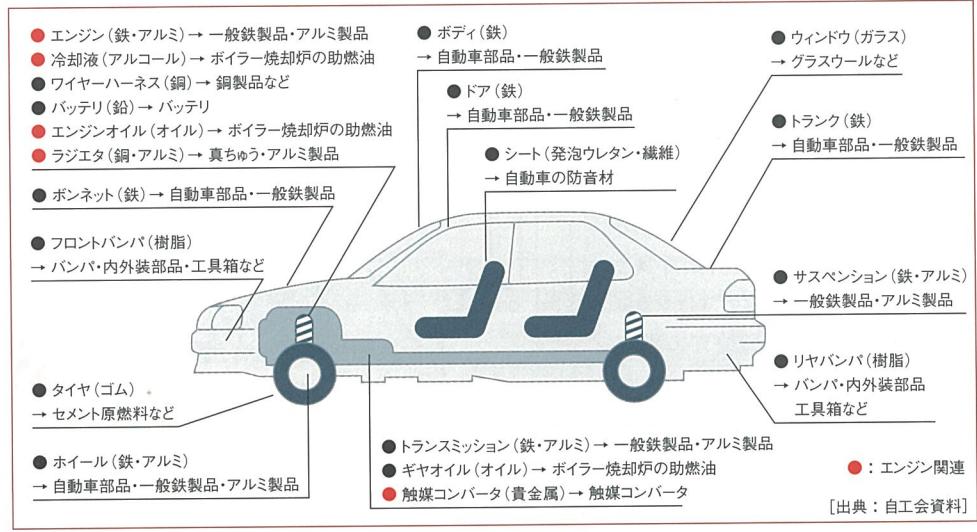
(4) 信頼性

極寒から極暑などのようにいろいろな使用条件下でもエンジンが故障しない、壊れないよう、様々な耐久確認試験を行い、エンジンの信頼性向上がなされてきた。そのため、以前に増してエンジンは故障しにくく、壊れにくくなっている。統計によれば、年々クルマの平均使用期間が伸びており、更に故障しにくく壊れないエンジンが求められる。



(5) リサイクル

使用済エンジンのリサイクルも重要な課題となっている。中古エンジンとして再利用されたり、オルターネータ、スタータなどは取り外して再利用されたりしている。幸いエンジン部品の大部分は鉄、アルミ等の金属部品が多く、最終的には溶かして材料として再利用している。さらにリサイクル性を良くするために、解体し易い設計、再利用しやすい材料、鉛などの環境負荷物質の全廃等が進められている。



使用済車両のリサイクル用途

6 エンジンの先進技術

(1) ガソリンエンジン

直噴ガソリンエンジン

直噴ガソリンエンジンとは、吸気ポートに燃料を噴射する従来のエンジンとは異なり、シリンダ内に直接燃料を噴射するエンジンのことである。乗用車のエンジンは低負荷^{※1}で運転されることが多いが、従来エンジンの低負荷ではスロットルバルブを閉じ気味で、吸気はわずかに開いた通路を通ってシリンダ内に吸入される。そのため、吸気抵抗が大きく、ポンピングロス^{※2}は多くなり、これがエンジンの効率を低下させる要因となっていた。一般に空燃比はより大きい状態^{※3}で燃焼させた方が、ポンピングロス、熱損失^{※4}が少くなり、燃費が良くなるが、従来エンジンでは混合ガスが希薄すぎると点火しても燃焼しない。しかし、直噴ガソリンエンジンでは、シリンダ内に直接燃料を噴射するため、着火可能な混合ガスを点火プラグ周辺に形成することにより、より大きな空燃比での燃焼が可能となり、燃費を大幅に改善することができる。一方、高負荷では、シリンダ内での燃料の気化により吸気を冷却する効果が得られ、出力が増大するという特長も有する。

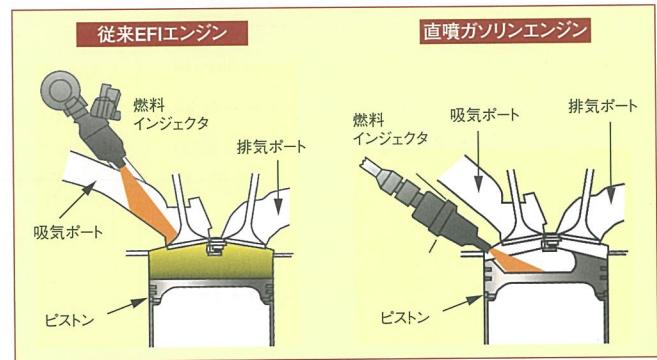
このエンジンは、小型・高圧インジェクタの出現、コンピュータによるエンジン制御の精密化及び燃焼室内の噴霧・燃焼解析技術の進歩により実現することができた。

※1：車速が低く、加速していない状態

※2：吸気行程で生じる損失

※3：混合ガスが希薄な状態

※4：冷却水に奪われる熱量

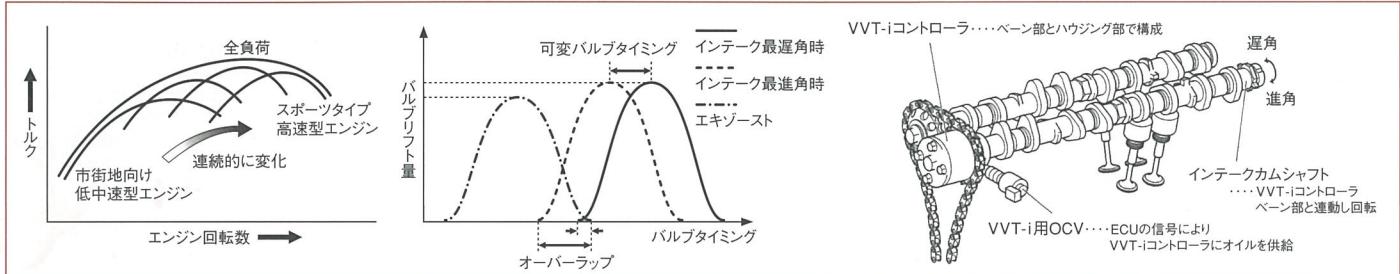


直噴ガソリンエンジンと従来エンジンの燃料インジェクタ位置比較

可変動弁機構

エンジンの出力、燃費、排出ガス特性などは、吸排気バルブの開閉タイミングやリフト量に大きく影響されることが知られている。さらに、これらの最適値は、エンジン回転速度や負荷に応じて変化するため、従来の固定のタイミングやリフト量では、幅広い運転条件において最適なエンジン性能を得ることができなかった。近年、エンジンの運転条件に応じて、バルブタイミングを最適制御する機構やバルブリフト量を変化させる機構が各種開発され、実用化が進んでいる。これにより、エンジンの出力向上、燃費向上、排出ガス浄化や、アイドリング安定性の向上等を図ることができるようになった。

図にはバルブタイミング可変機構の例を示す。インテークバルブの開閉タイミングを可変にすることにより、エンジン回転数の低いところではバルブオーバーラップを小さく、エンジン回転数の高いところではバルブオーバーラップを大きくするように制御している。

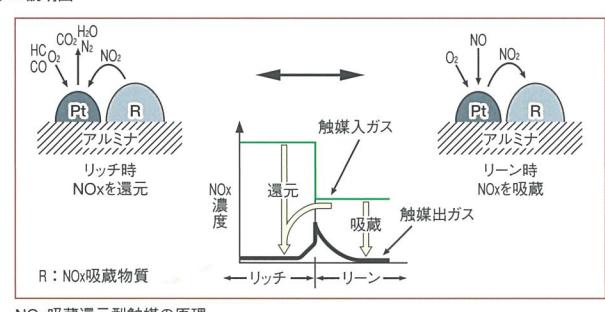
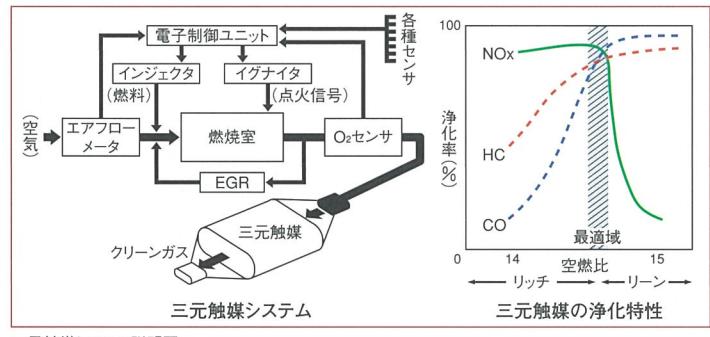


可変動弁機構の例

触媒システム

ガソリンエンジンでは排気ガス中の有害物質を浄化するため三元触媒システムが使われるのが一般的になってきた。触媒はハニカム(蜂の巣)形状のセラミック等の担体に担持されており、ここを通すことにより、排気ガス中の一酸化炭素(CO)及び炭化水素(HC)の酸化と、窒素酸化物(NOx)の還元を行なう。この同時浄化を行なうためには、混合ガスの空燃比を理論空燃比に精密制御する必要がある。そのため、排気管に付けたO₂センサで酸素濃度を検出してフィードバック制御を行うことにより空燃比を正確にコントロールしている。また、触媒の前後に2本のO₂センサをつけて、さらに精度よく空燃比のコントロールを行う2-O₂センサシステムも始めている。

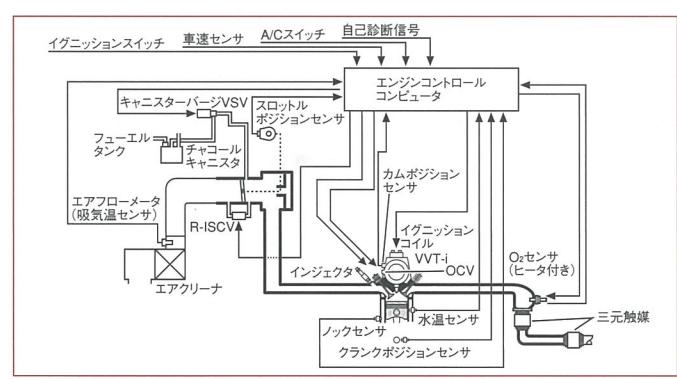
希薄燃焼を行う場合には、空気過剰な空燃比となるため、この三元触媒システムは使えない。そのため、NOx吸蔵還元三元触媒という新規の触媒を用いている。この触媒は空気過剰なリーン状態ではNOxを一旦触媒に溜めておき、空気過剰でないリッチ運転のときに排気中のHCやCOで還元を行うという触媒である。



NOx吸蔵還元型触媒の原理

エンジン電子総合制御

エンジンのいろいろな運転状態を検知してマイクロコンピュータを用い総合的にエンジンを制御する方式が取られるようになっている。特に、近年は、入力信号も増え、エンジンの制御項目も増えてきて、いろいろな複雑な組み合せが発生し、制御が複雑になっている。そのため、最適制御のための膨大なプログラム作成が必要となってきた。

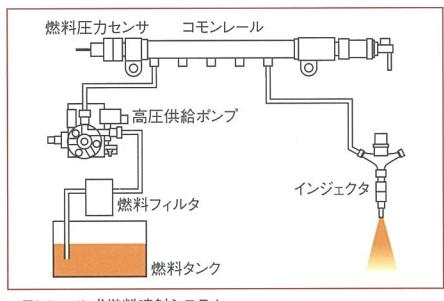


エンジン電子総合制御

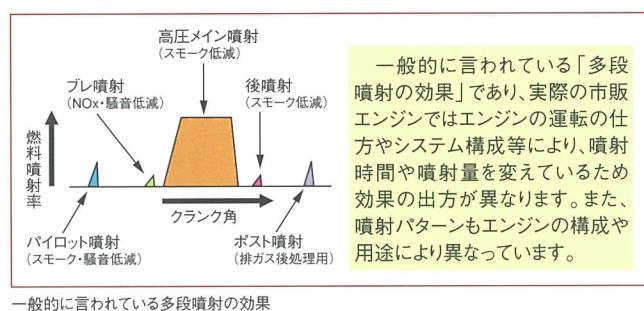
(2) ディーゼルエンジン

直噴ディーゼル

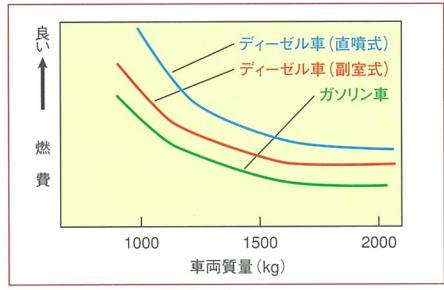
ディーゼルエンジンは圧縮比が高く吸気抵抗が少ないなどの理由で、高い熱効率を有していることから、燃費に優れ地球温暖化の原因となるCO₂排出の抑制に役立っている。これまで副室式が主流でしたが、燃料噴射系の高圧化・燃焼方法の改良で排出ガスや騒音・振動を低減できるようになったことから、直噴式エンジンが主流になった。更に、高圧燃料供給システムの小型化や電子制御技術の進化により、一定かつ高圧(150MPa)での燃料噴射や、主噴射のみでなくプレ噴射などの多段噴射ができ燃焼速度や燃焼温度・圧力の制御が可能なコモンレール式燃料噴射システムが開発された。このシステムの搭載により走行性能・騒音・振動はガソリン車と肩を並べるようになりつつある。



コモンレール式燃料噴射システム



一般的に言われている「多段噴射の効果」であり、実際の市販エンジンではエンジンの運転の仕方やシステム構成等により、噴射時間や噴射量を変えているため効果の出方が異なります。また、噴射パターンもエンジンの構成や用途により異なっています。

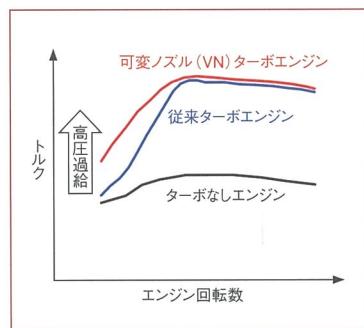


ディーゼル車とガソリン車の燃費比較

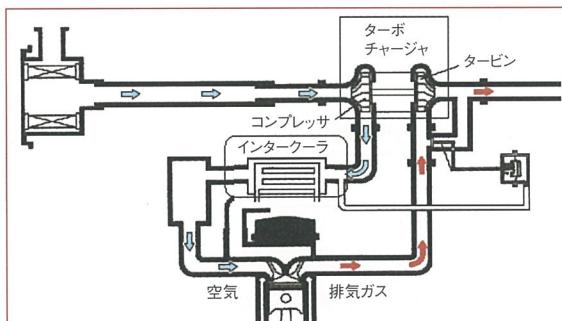
可変ノズルターボチャージャ

ターボチャージャは排気ガスのエネルギーを利用してタービンを回し、この力で空気を圧縮してシリンダ内に高密度の空気を押し込む装置である。ターボチャージャ付エンジンは吸入空気量を増やすことで燃料も多く噴射できることから「小さい排気量のエンジンで1.5倍から2倍の出力」を得られる。これは、同一出力で排気量が小さくなるため、軽量・コンパクトになり低燃費の環境にやさしいエンジンもある。

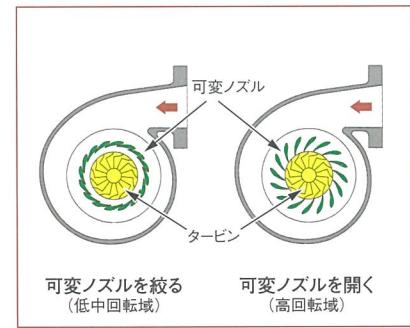
従来、ターボチャージャは中・高回転で効果があった。最近、タービンの排気ガス通過面積を変えられる、可変ノズルターボチャージャが搭載されるようになり「低回転から高回転」まで排気エネルギーを有効利用でき、応答性の良いエンジンができるようになった。



ターボによるトルク向上効果



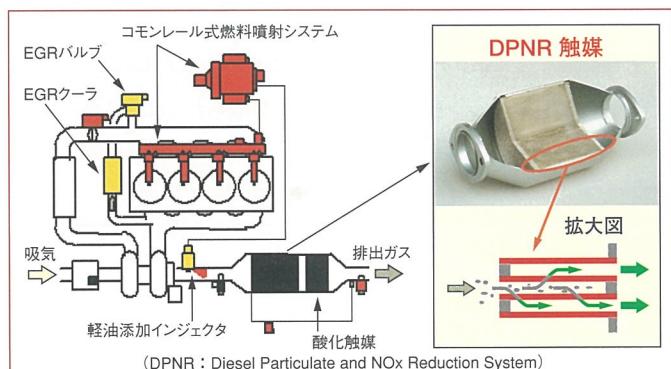
ターボ機構



可変ノズルターボチャージャ

DPNR:Diesel Particulate-Nox Reduction System

ディーゼルエンジンは空気過剰な混合ガスで燃焼するため、排気ガス中のHC、COは少なく、NO_xとパティキュレートが排出されるという特長がある。DPNRはこのNO_xとパティキュレートを同時に浄化できる触媒システムである。触媒はパティキュレートを捕捉する多孔質のセラミックフィルタにNO_x吸収還元型三元触媒を担持しており、パティキュレートを捕捉した上、燃焼させNO_xを還元するとともに、発生したHCやCOを酸化触媒で酸化している。

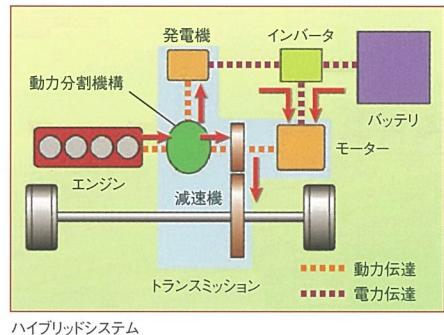


DPNRシステム図

(3) 環境対応動力源

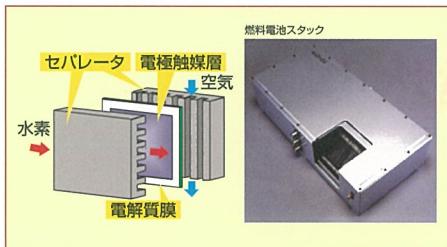
ハイブリッド自動車

自動車のパワートレーンシステムとしてエンジンと電気モータのように2種類の動力源を組み合わせて使用するシステムを、ハイブリッドシステムと呼んでいる。このシステムの特徴は、それぞれが持つ長所を活かしつつ不得意なところを補うことができる点である。いろいろなハイブリッドシステムがあるが、図にトヨタハイブリッドシステムの例を示す。基本となるのはエンジン動力で、遊星歯車を使用した動力分割機構により、車輪の駆動力と発電機駆動力に分割される。発電した電力は、モータ駆動に直接使用したり、インバータで直流に変換され、高電圧バッテリーに蓄えられる。モータを併用することにより、エンジンは効率の良い運転域のみを使い、車両の停止・低速度時や減速時にはエンジンを自動停止して、燃料消費量の低減を行っている。さらに、制動時の運動エネルギーも電力として回収し、燃費は既存のガソリンエンジンのおおむね2倍に向上している。

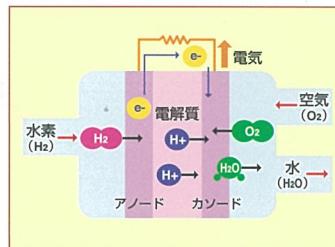


燃料電池自動車

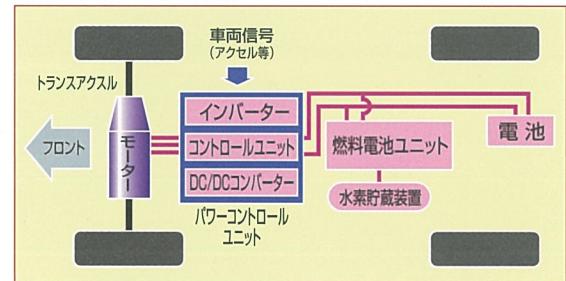
燃料電池は、水素と空気中の酸素との化学反応で電気を生み出すため、排出物が水だけという環境にやさしい動力源である。現在の燃料電池自動車は、燃料電池とバッテリを動力源としてモータを駆動するハイブリッドシステムになっており、加速や停車などの走行条件に応じて、モータへの電力供給を精密にコントロールし、走行中の制動エネルギーも回収することで高いエネルギー効率としている。この燃料電池自動車の燃料は水素であり、水素ガススタンドで燃料を供給しているが、まだ、車の台数が少ないため水素ガススタンドの設置は一部の地域に限られている。



燃料電池の構造

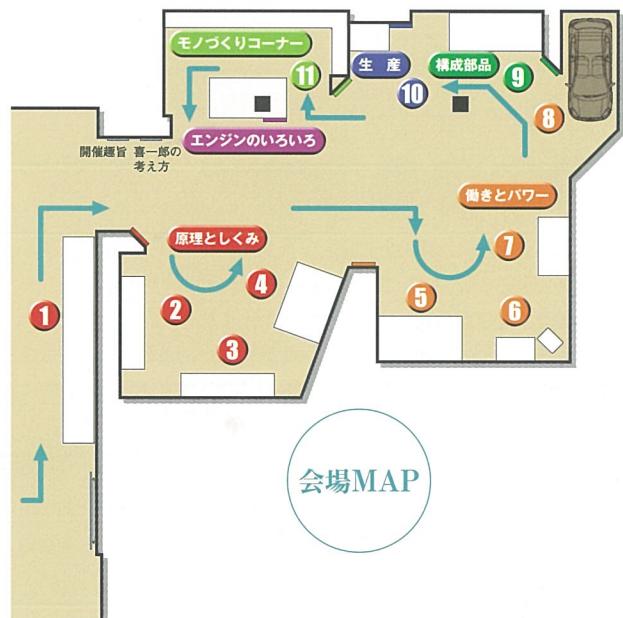


燃料電池のしくみ



燃料電池自動車

モノづくりくらべナーニ
プラモデル「ピストン君」を作ろう



産業技術記念館は楽しいイベントが盛りだくさん!

自分の頭で考えて、自分の手で作り出す。好奇心、応援します。



7月26日
～
8月3日

ゴールドメダリストの実演を食い入るように見つめる。

「技と創造への挑戦」 ～技能五輪に懸ける青春～

全国から選抜された若者たちが、機械では不可能な事を可能にする技術を競う「技能五輪」。

トヨタグループが挑む13職種をパネル、作品で紹介しました。また、技能体験コーナーや、実際にスプーンや文鎮を作るコーナーも好評。



8月30日

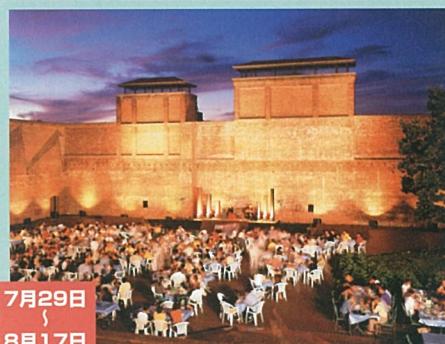
夏休みの締めくくりに工作を楽しむ！

科学のびっくり箱! なぜなにレクチャー

偏心機構を使って前輪の向きを変えるからくり自動車。ジグザグや周回走行など走行パターンも変えられます。



相手のディフェンダーをかわしながら、ドリブルするかのように走る。



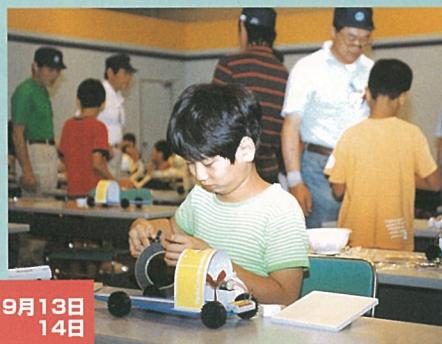
7月29日
～
8月17日

宵の赤レンガは昼間とはひと味違った趣があります。

動力の庭 屋外レストラン 「赤レンガの宵物語」

ライトアップされた「動力の庭」の赤レンガ壁を背景にピアガーデンバーベキューを開催。

幻想的なムード、美味しい食事、そして琴、和太鼓、ハープ、尺八などの演奏により夏の宵のひとときを堪能していただきました。



9月13日
～
14日

風の力だけで走るかな？

作ってなるほど! ワンダー工作ランド

風をさえぎる板の位置を変えて、前にも後ろにも走る「どっちに走るカーラ」を作りました。

板の代わりにカップラーメンの容器を使い、風の受け方の違いも実験しました。



9月21日

ヴィオラ、ピアノの音色が秋の訪れを感じさせてくれました。

名フィル サンデーミュージアムコンサート

名古屋フィルハーモニー交響楽団によるコンサートをエンターテインメントで開催。

「哀しい歌」をテーマにヴィオラが奏でる、哀愁に満ちた優しい響きをお楽しみいただきました。

イベント情報

※お問い合わせは、産業技術記念館まで。

- 「科学のびっくり箱!なぜなにレクチャー」 11月16日(日)
- 「ナゴヤシティ・ものづくりウォーク」 11月23日(日)
- 「モノづくりカルチャーセミナー」 12月20日(土)・21日(日)
- 「科学のびっくり箱!なぜなにレクチャー」 2004年2月8日(日)
- 「名フィル サンデーミュージアムコンサート」 每月第3日曜日



開館時間・休館日

◆開館時間 9:30～17:00 (入館は16:30まで)

◆休館日 月曜日(休日の場合は翌日)・年末年始

入館料

◆大人(大学生含む) 500円

◆中高生300円 ◆小学生200円

* 団体割引 30名以上は1割引、100名以上は2割引

* 学校行事での来館では学生は半額、先生は無料

* 障害者手帳をお持ちの方および65歳以上の方は無料

Vol.32 発行日/平成15年10月22日 発行者/産業技術記念館

トヨタグループ

産業技術記念館

〒451-0051

名古屋市西区則武新町4丁目1番35号

TEL052-551-6115 FAX052-551-6199

<http://www.tcmi.org/>

交通

◆名鉄「栄生駅」下車、徒歩3分

◆地下鉄「亀島駅」下車、徒歩10分

◆市バス/名古屋バスターミナルレモンホーム10番のりば

「名古屋駅行(循環)」「産業技術記念館」下車、徒歩3分

◆タクシー/名古屋駅から5分 ◆無料駐車場:300台



成功させよう愛・地球博



あらわす心を大切に
産業文化園あいち