



排気ガス規制の歴史

20世紀初頭に登場した自動車は、移動・運搬手段ばかりでなく趣味や娯楽の対象としても我々に計り知れない恩恵をもたらしています。その反面、デメリットもあると思います。いかがでしょうか？

■交通安全と環境問題

自動車が有用な乗り物として登場してから100年以上経ちますが、一方で大きな課題も抱えていました。交通安全と排気ガス問題です。排気ガスに関しては当初は自動車の保有台数が少なく、特に問題視されることはありませんでしたが、台数が増えるにつれて特に都市部で大きな問題となりました。最初に排気ガス規制が制定されたのは、早くからスモッグに悩まされていたロサンゼルス州を州都とする米国のカリフォルニア州でした。1962年に「クランクケース・エミッション規制」が、そして1965年には米連邦に先駆けて排気ガス中の一酸化炭素(CO)と炭化水素(HC)の規制に踏み切りました。その後71年には窒素酸化物(NO_x)の規制も行われるようになりました。全米としての規制は1963年に大気清浄法が制定され、68年に全米排気規制が施行されます。さらに70年には有名な「マスキー法」(大気清浄法)が成立するなど、規制は段階的に厳しさを増していきました。そして現在の米連邦は94年に「Tier 1」、2004年に「Tier 2」、2014年に「Tier 3」と規制が進んでいます。これとは別にカリフォルニア州はそれより厳しい基準を定めたり、ZEV規制を設けたりしています。各州は連邦の規制をとるか、カリフォルニアの規制をとるかを選べるようになっており、9つの州がカリフォルニアの規制を採用しています。

■世界規模で規制強化

一方、日本の排気ガス規制は1966年のガソリン車に対するCOの濃度規制から始まりました。1973年にはCOに加え、HCやNO_xの規制が行われ、さらに78年には世界で最も厳しいといわれた排気ガス規制が施行されました。その後も段階的に規制は厳しくなり、2009年より「ポスト新長期規制」が施行されています。2018年からさらに新たな規制に移ります。

また、ヨーロッパではEUが定めた排気ガス規制があります。1992年の「EURO 1 (ユーロ1)」から始まり、2014年からはユーロ6が施行されています。これ以外の発展途上国ではEUの現行基準より以前の基準を採用するなど、先進国より緩い規制を採用している例が多いのが実情です。中国の大気汚染は自動車以外の要素も大きいのですが、クルマの排気ガス規制は先進国並みにする方向も出ています。

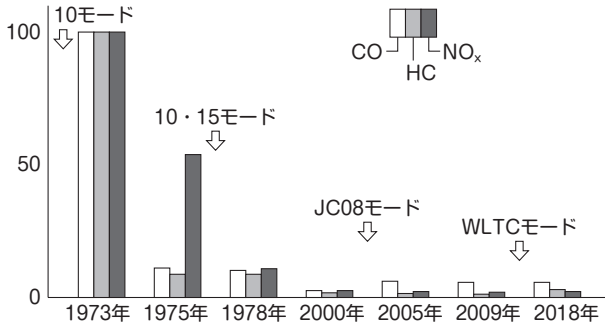
1970年に成立したマスキー法の規制数値

9割を超える大幅な削減を求めたマスキー法だったが、現実的には対処は困難として実施は延期された。

規制の目標			1970年規制	削減率 %
汚染物質	削減率 %	排気ガスA (g/m)	排気ガスB (g/m)	1-A/B
HC	99	0.15	3.9	96.2
CO	92.5	6.16	33.3	81.5
NO _x	93.6	(0.38)	(4.0)	90.5

ガソリン乗用車の国内排出ガス規制値の推移

国内においても1970年代に大きく規制が強化され、2000年代に入ってさらに厳しくなった。



EUにおける規制の推移

1992年のユーロ1から始まったEUの共通排気ガス規制は2014年のユーロ6まで移行し、2020年にはユーロ7が予定されている。

年	規制名	CO		HC		NO _x		PM
		ガソリン	ディーゼル	ガソリン	ディーゼル	ガソリン	ディーゼル	ディーゼル
1992	EURO1	3.16	3.16	1.13	1.13	0.49	0.78	0.14
1996	EURO2	2.20	1.00	0.50	0.90	0.25	0.73	0.10
2000	EURO3	2.30	0.67	0.20	0.56	0.15	0.50	0.50
2005	EURO4	1.00	0.50	0.10	0.30	0.08	0.25	0.25
2008	EURO5	0.50	0.50	0.05	0.05	0.60	0.18	0.05
2014	EURO6	1.00	0.50	0.10		0.60	0.80	0.05



- ◎排気ガス規制は米国カリフォルニア州から始まった
- ◎CO、HCの規制から始まり、NO_x規制も加わる
- ◎全世界で規制強化の動きが高まる



いかに排気ガスを清浄化してきたか

ひところ自動車の排気ガスは公害の元凶のようにいわれていました。今ではかなり浄化されたようですが、どうやって有害物質を除去したのでしょうか？

1970年に米連邦で成立したマスキー法は、CO、HC、NO_xの排出量を従来の1/10にするというもので、世界中の自動車メーカーが達成不可能と考えるほど非常に厳しい排気ガス規制でした。そのため実際には実施が延期されることになるのですが、この規制を世界で真っ先にクリアしたのがホンダのCVCC（Compound Vortex Controlled Combustion）エンジンでした。これは通常の燃焼室につながる副燃焼室を持ったエンジンで、CVCCは複合過流調整燃焼方式の略称です。シビックに搭載されて販売に至りました。しかしその後三元触媒が実用化され、CVCCエンジンが世界に普及することはありませんでしたが、その偉業は称えられるべきものです。

■触媒などの進歩で有害物質を大幅低減

三元触媒はCO、HC、NO_xの3成分を同時に低減します。COとHCを酸化させてそれぞれ無害な二酸化炭素（CO₂）と水（H₂O）に変えますが、これには十分な酸素が必要になります。ところがNO_xを無害なN₂（窒素）にするには酸素が邪魔なので、過不足のない理論空燃比付近にコントロールする必要があります。そのためには排出ガスの酸素濃度を検出するO₂センサーの実用化も大きなカギでした。

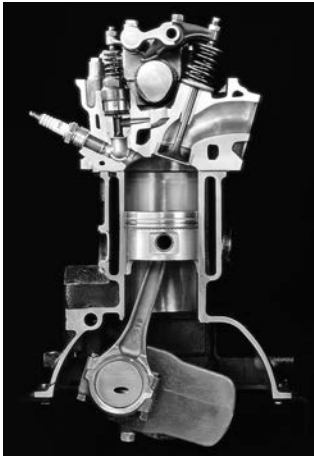
燃料噴射の歴史は古いのですが、1980年代に入ってからキャブレターから電子制御燃料噴射へ急速に切り替わっていきました。キャブレターでは排気ガス規制に対応できない時代に入ったからです。この進化は排気ガス低減に大きな効果がありました。これは触媒のように排出された後の処理ではなく、燃焼自体を改善することにより、有害な成分そのものの発生を抑えるものです。その後も可変バルブタイミングやEGR（Exhaust Gas Recirculation；排気再循環）といった燃焼そのものの改善は進み、それは現在も続いています。元々燃料噴射のディーゼルエンジンについては、制御の電子化による噴射回数と噴射タイミングの細かな制御と、コモンレール式による高い噴射圧の確保があります。これにより良好な燃焼が得られ、有害成分を大幅に低減しました。ディーゼルエンジンで問題になる有害成分はNO_xとPMですが、この2つはトレードオフの関係にあり両方を同時に低減するのが困難とされています。これについては後で詳しく説明しますが、NO_xに対して尿素SCR（選択触媒還元）、PMに対してはDPFといった触媒で大幅な低減を達成しています。

⚙️ ホンダのCVCCエンジンの外観



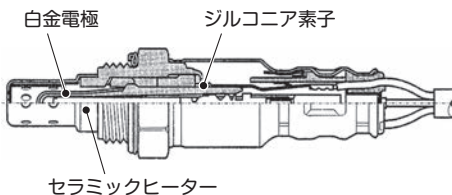
マスクー法の厳しい規制を後処理なしで真っ先にクリアしたホンダのCVCCエンジン。複合渦流調整燃焼方式の頭文字をとってその名が付けられた。

⚙️ CVCCエンジンのカット写真



CVCCの特徴は小さな副燃焼室を持っていること。写真左側の点火プラグの先が副燃焼室で、ここで濃い目の燃料(リッチ)で燃焼させ、それを元に主燃焼室の薄めの混合気(リーン)を燃やす。副燃焼室にも吸気バルブがあるので、吸気バルブは2つ、排気バルブが1つの3バルブエンジンになる。

⚙️ O₂ センサー



排気ガス中のCO、HC、NO_xの3成分を同時に浄化するのが三元触媒で、この触媒の実用化により、排気ガスは大幅に浄化されるようになった。そのためには排気ガス中の酸素濃度を検出するO₂センサーが重要な役割を担っている。



◎ CO、HC、NO_xを同時に低減させる三元触媒は、NO_xを無害な窒素に変換させるには酸素が邪魔になるため、理論空燃比付近でガソリンを燃焼させる必要がある



ZEV規制とCAFE規制

大気などの環境悪化を受けて、排気ガスはいくどとなく厳しく規制されてきています。さらに排出量そのものを減らす動きがあるということですが、どのようなことでしょうか？

■有害物質の種類と排出量の違い

一口に排気ガス規制と述べてきましたが、ガソリン車とディーゼル車では有害物質の種類により排出量に違いがあります。たとえば、ガソリン車では一酸化炭素(CO)、炭化水素(HC)、窒素酸化物(NOx)が大きな問題となりますが、ディーゼル車では窒素酸化物と粒子状物質(PM)が問題となります。そのため、規制もガソリン車用とディーゼル車用とに分けて規制値が決められています。ディーゼル車はさらに軽量車と重量車とでも分けられています。

ところで、米国で1970年にいわゆるマスキー法が成立したことは世界的にも大きな反響を呼びました。日本でもより厳しい規制の方向が打ち出されました。輸出や現地生産を考えれば当然のことで、世界中のメーカーが懸命に排気ガス低減技術の開発に取り組みました。したがって各国の今後の規制動向を把握することも重要な事柄になりました。

■規制値をクリアしないと課税

カリフォルニア州にはZEV規制という環境規制があります。ZEVというのは「ゼロエミッションビークル」の略で、排出ガスがゼロのクルマのことです。電気自動車や燃料電池車などがその対象になります(2018年モデルからハイブリッド車や天然ガス車、内燃エンジン車は対象から外されました)。この規制は州内でクルマを販売するにあたっては、ある割合でZEVを含ませなければならないとするもので、これができなければペナルティとして税が課せられます。実際にはたとえばEVメーカーの「テスラ社」など、余裕のあるメーカーから権利を買い取るといったことが行われています。

また、米連邦には「CAFE」という燃費規則があります。CAFEとは「Corporate Average Fuel Economy」の略で企業平均燃費です。自動車会社が実際に販売したクルマ全体の平均燃費を算出し、それに規制をかけるというものです。燃費の悪い(大きな)クルマをたくさん売るためには燃費のよい(小さな)クルマも売らなければならないわけです。大型車を主力としているメーカーは不利になります。燃費がCAFE基準を満たせないとペナルティとしての税金を払わなければならない。

排出ガスの違い

ガソリンエンジン	CO ₂ (二酸化炭素)
	CO(一酸化炭素)
	HC(炭化水素)
ディーゼルエンジン	PM(粒子状物質)
	NO _x (窒素酸化物)

ガソリンエンジンもディーゼルエンジンもいろいろな有害ガスを排出しているが、特に問題になるガスをエンジン別にあげると表のようになる。そのため排気ガス規制値もエンジン別に分けられている。

EV(電気自動車)とFCV(燃料電池車)

ZEV規制はクルマを販売するにあたっては、一定の割合でZEV(ゼロエミッションビークル=排出ガスゼロ車)を含ませるといった規則で、その対象になるのがEVやFCV。

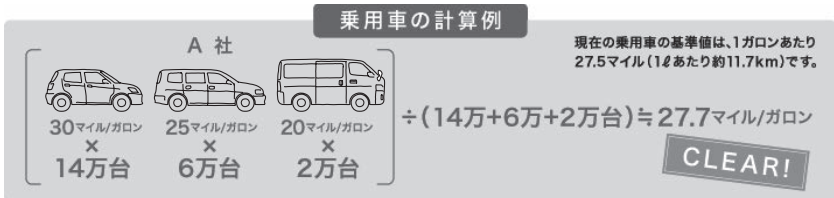
①日産のEV・リーフ

②トヨタのFCV・MIRAI



CAFE規制の計算例

CAFE規制とは企業平均燃費で、自動車メーカーは燃費の悪いクルマを売るためには燃費のよいクルマも売らなければならないという仕組み。一般に大きい車ほど燃費が悪いから、大型高級車だけ生産販売して利益を上げようとすることはできない。



- ◎ガソリン車とディーゼル車では有害物質の種類により排出量が違う
- ◎マスキー法の成立は、世界に大きな衝撃を与えた
- ◎環境規制は排気ガスの排出量そのものを規制する