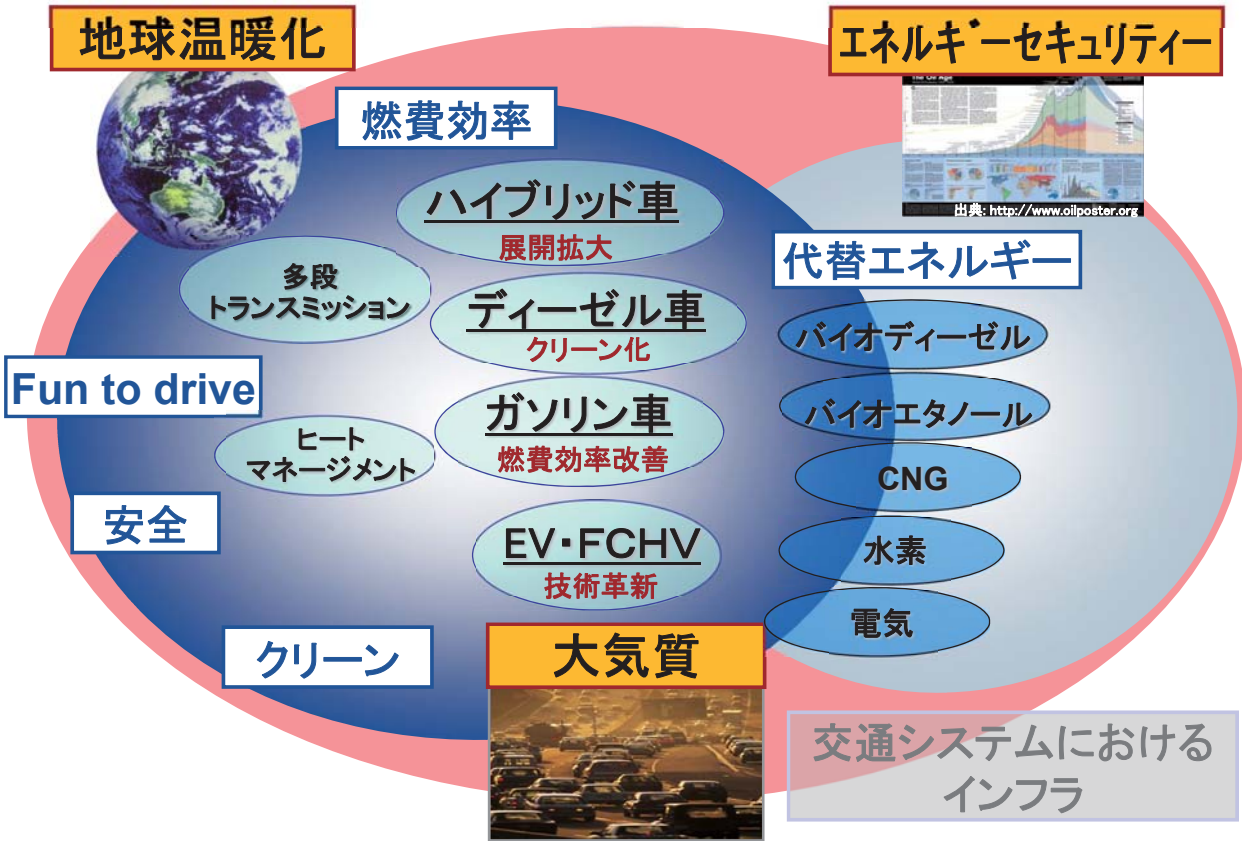


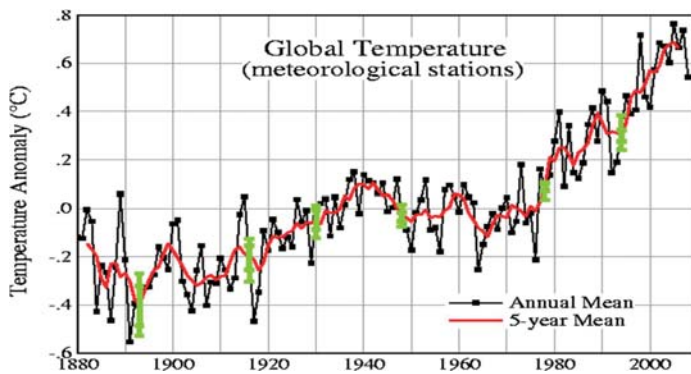
自動車用パワートレーンの課題と将来技術
将来の自動車用エンジンの技術動向

第1章. 自動車を取りまく環境と変化について



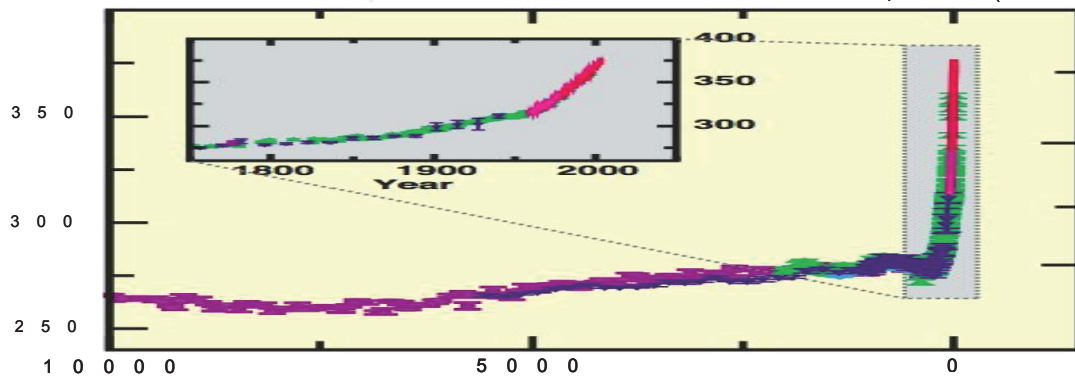
温暖化

地球環境の変化



出典: NASA Goddard Institute for Space Studies
<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/>

- ・地球の温暖化は確実に進行。
- ・大気中のCO₂濃度は、20世紀中央以降に急激に増加。
1880～2012で0.85℃上昇
- ・過去65万年間の自然変動の範囲を遥かに超えている。



出展: IPCC Fourth Assessment Report (2007)

温暖化

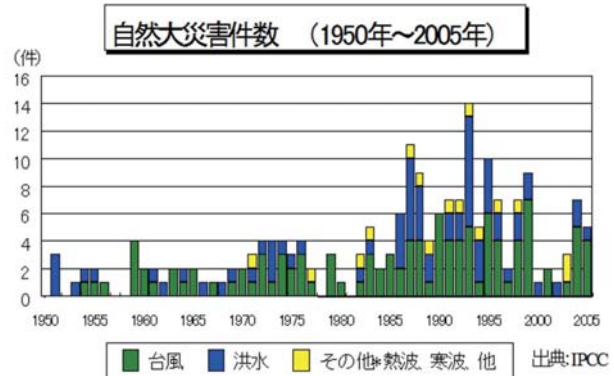
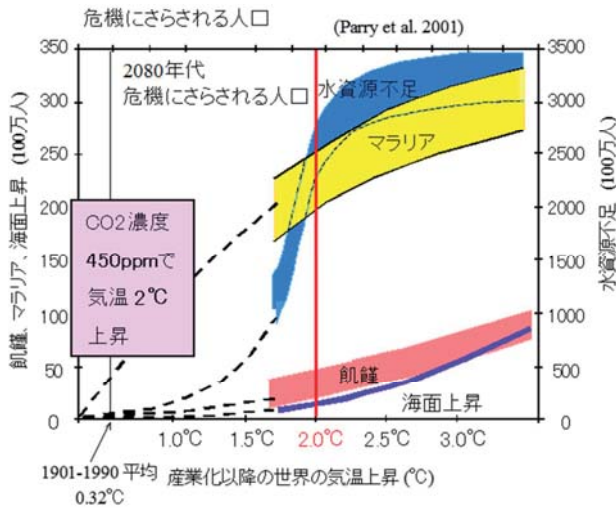
気候変動とそれが及ぼす影響

IPCCは、気候変動について **温暖化は確実に進んでおり、その原因は人為起源の温室効果ガスの増加と断定**

IPCC 第4次レポート(2007/2) IPCC: Intergovernmental Panel on Climate change

気候変動による 砂漠化・水資源不足・マラリアの被害が深刻化

気候変動による災害が多発・甚大化



温暖化

IPCC 5次レポート

ここ10年の地球の平均温度は上昇しておらず、CO₂の温暖化への影響を疑問視する声があり、IPCCは**第5次レポート(2013: 第1次(9月)~2014: 9月 統括)**を提出予定

第1次での報告内容

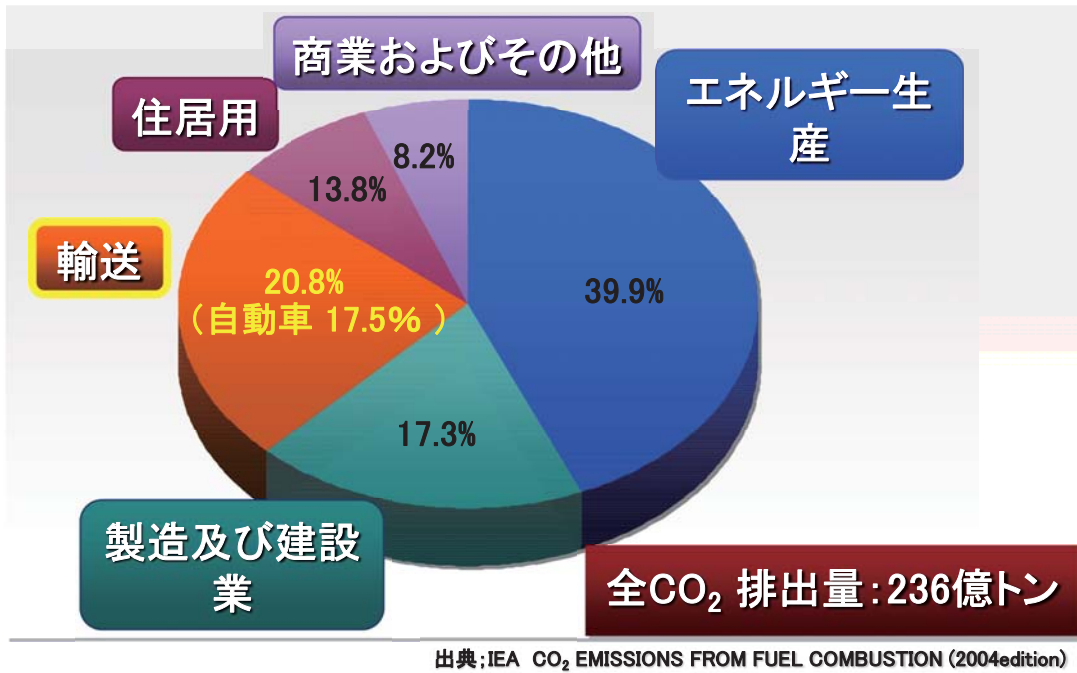
人為起源の温室効果ガスの増加による温暖化というスタンスは変わらず。エアロゾルと雲の影響に言及。

温暖化ガスの増加に伴う気温変化が不確かな理由を明確にし、2014. 9に総括する予定。

- ①雲や大気中の浮遊粉じん(エアロゾル)の影響
20を越す計算モデル比較が国際プロジェクトとして進行
- ②10~数十年周期でおこる気温や海水温の変動
「太平洋10年規模振動」「北極振動」の解析等が進行中
- ③高度3000m以下の下層に広がる雲
雲の内部の温度・水蒸気量の予測計算の実用化
- ④Noxより生成されるオゾン
植物の生育に影響

温暖化

世界のCO2排出量内訳



自動車(約18%)への、CO₂削減の期待は大きい

温暖化

燃費(CO₂)規制

各国の燃費規制は、年率2%から年率3~4%程度に強化

	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'20
日本燃費 10.15 (JC08)			2005年燃費 ディーゼル						2010年燃費 ガソリン乗用車					2015年燃費 乗用車 商用車
欧州CO ₂ ECモード						欧州CO ₂ 140g/km			欧州CO ₂ 130g/km				欧州CO ₂ 95g/km	
米国 CAFE LA#4							LDV~12MY 27.5mpg							
米国 加州 温暖化ガス LA#4														EPAと加州で 係争中
中国 EC														

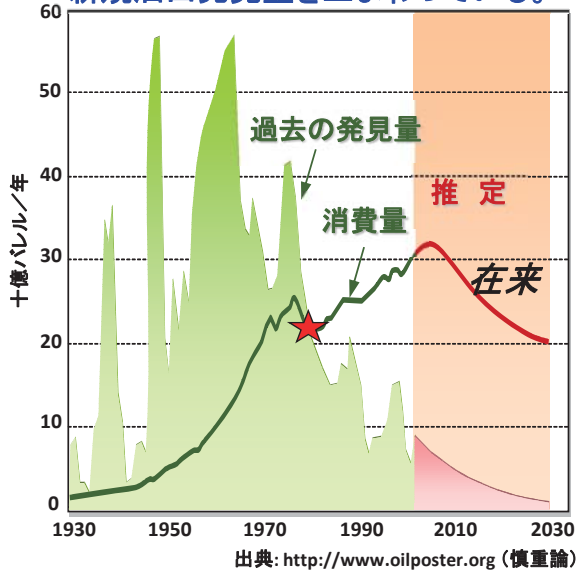
注: 2010年基準+30% (乗用車, 商用車)
 2015年基準対応ガソリン(ディーゼル) JC08モードC&H
 2005年燃費ディーゼル
 2010年燃費ガソリン乗用車
 2015年燃費乗用車, 商用車
 欧州CO₂ 140g/km (ACEA, JAMA)
 欧州CO₂ 130g/km (乗用車)
 欧州CO₂ 95g/km (商用車 175g/km)
 米国エネルギー法案 LDT+LDVで'20MYに35mpg
 '08~'11MYで強化
 規制強化('12~'20MY)
 LDT CAFE強化('04~'07MY) '07MY LDT 22.2mpg
 短期'09~'12MY, 中期'13~'16MY ('09~'16MY規制値が毎年強化される)
 EPAと加州で係争中
 第1段階, 第2段階, 第3段階, 第4段階
 第1段階(継続車, 派生車), 第2段階(継続車, 派生車), 第2段階(新型車)

エネルギー

在来型石油の需給見通し

将来のオイルピークは避けられない。石油業界自ら埋蔵量の減少に初めて言及。(Wall Street Journal '07.11) 良質な石油は消費済。低質で高価な石油の時代となる。→ 米国発の「シェール革命」で構図は変わる。

1980年以降、原油消費量は新規油田発見量を上まわっている。



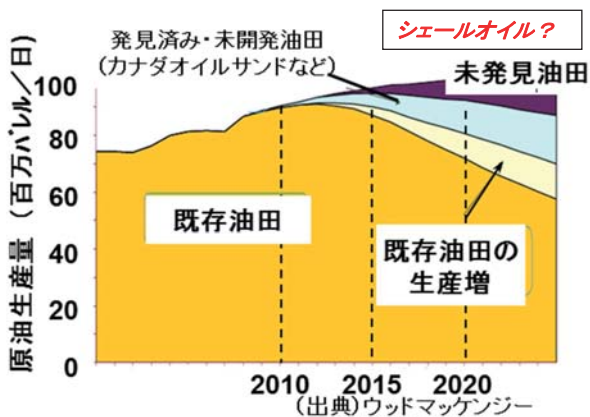
エネルギー

エネルギー供給量予測

- ・原油価格は高止まりし、乱高下繰り返す。米国のシェールオイル算出により従来の価格上昇の絵柄は変わってくる。
- ・ただし移動体・固定体ともにエネルギー源の多様化が進めるべきである。

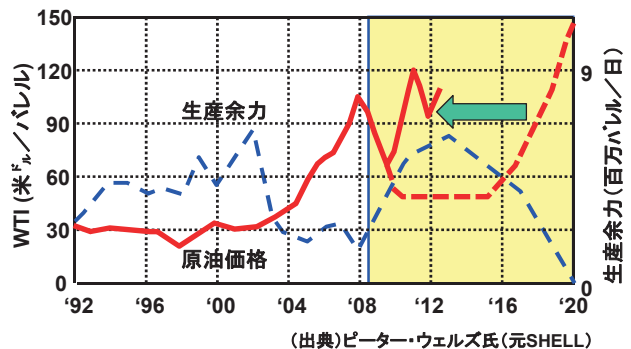
<原油生産量予測>

0.4~0.8%/年石油代替要
→シェール革命により変化!



<中長期原油価格の予測>

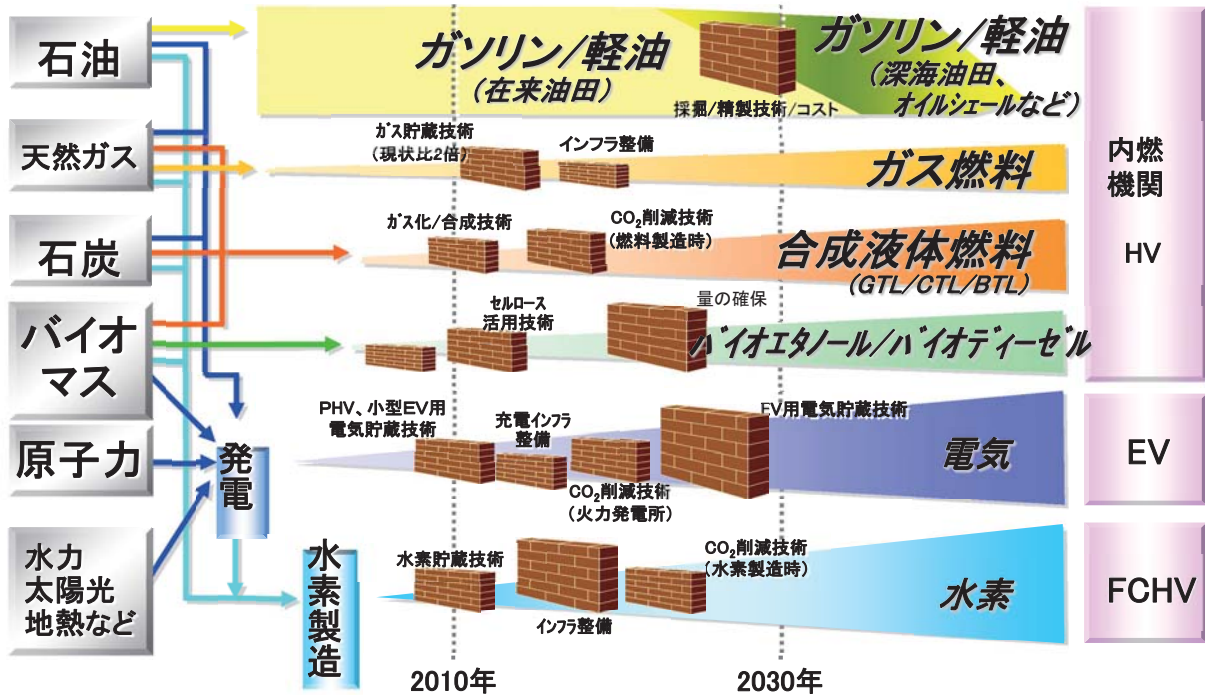
- 2011年120で高止まりし、その後乱高下
- ・新興国の石油需要
- ・北アフリカ、中東の緊張(アラブの春)
- ・大産油国の財源確保
- 米国は安価にシェールオイル産出 (2035年には輸入国から輸出国へ)



エネルギー

環境・エネルギー問題への対応シナリオ

多様化する各種エネルギー対応において、製造、インフラ、コスト等解決すべき課題は多い



エネルギー

自動車用動力源の今後の予測

乗用車2020年の予想 (日経 2012.6)

ガソリン車	: 43
ディーゼル車	: 20
バイオディーゼル/エタノール車	: 10
HV	: 20
PHV/EV	: 7

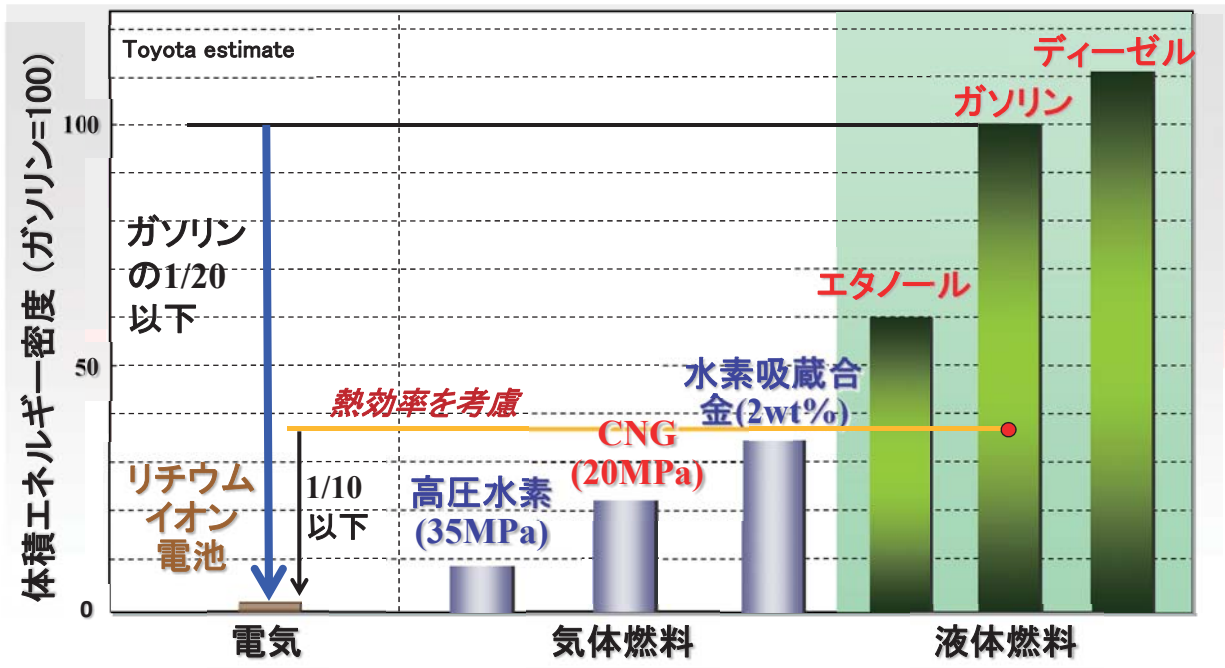
- ◇ 2020年新車販売台数は全世界で1億台を超え、その60%は新興国と予想される。
- ◇ 新興国でのエネルギー政策を考えると従来の内燃機関が主流となる。

メモ

- ・ 2013年は世界市場で8000万台を超える見込み。
中国:2100万台、米国:1500万台、欧州:1500万台、日本500万台
- ・ 中国では2012年/1930万台、2013年/2100万台、2020/3000万台と増加。
沿岸部から内陸部に市場拡大。大気汚染がブレーキをかける恐れあり。

エネルギー

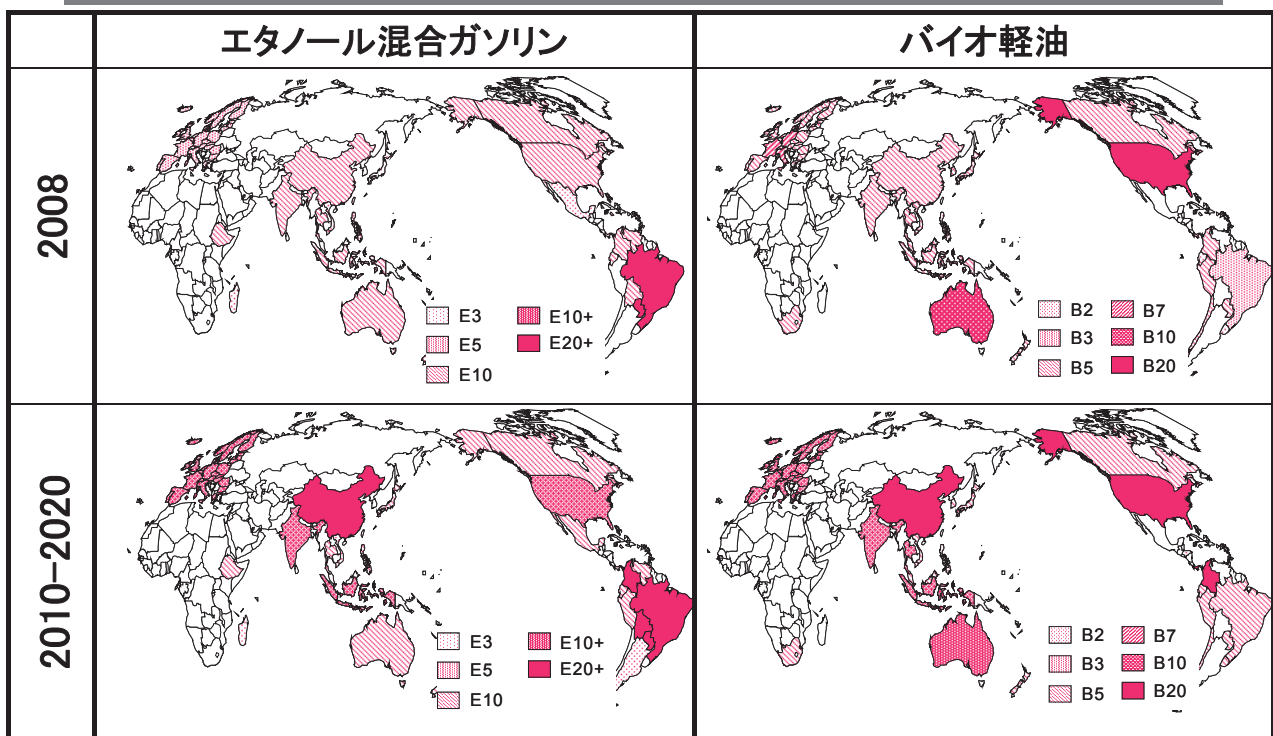
体積エネルギー密度



液体燃料は、体積エネルギー密度が高く、移動体としての自動車の燃料に最適。電池のエネルギー密度向上は重点課題。

エネルギー

世界のバイオ燃料の普及状況

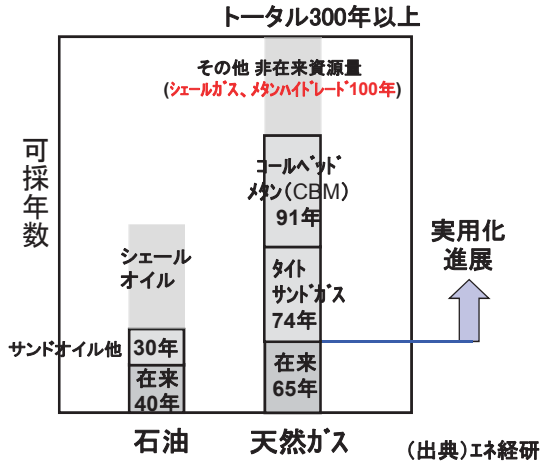


- ・バイオ燃料は世界で着実に普及しつつある。
- ・2010年以降、バイオ燃料の導入国は増加する。(エネルギーセキュリティー、CO₂)

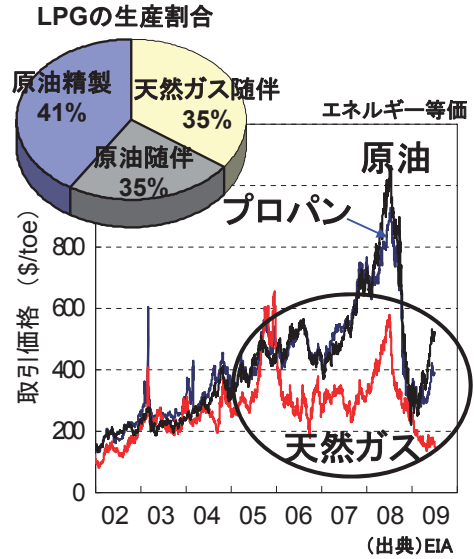
エネルギー

天然ガス(CNG)資源量および価格動向

非在来石油・ガスの可採年数



価格動向



- ・非在来天然ガスの実用化進展に伴い埋蔵量増加。価格も原油より安価で推移。最近、シェールガスの採掘技術が進み(安価)、脚光を浴び始めている。
- ・LPG(Liquid Petrol Gas)は「石油製品」のため、価格は原油連動。

エネルギー

日本の資源(持たざる国からの転換?)

最近のホットニュース(日経新聞 2013)

- ・渥美沖メタンハイドレード採掘実験に成功!
- ・オホーツク海、日本海でもメタンハイドレード発見(太平洋より浅い)
- ・佐渡沖に石油/天然ガス田発見か!(海洋探査船「資源」)
中東の中規模油田並み ~2013 調査 2023 商業化
- ・秋田県でのシェールオイル採掘実験開始



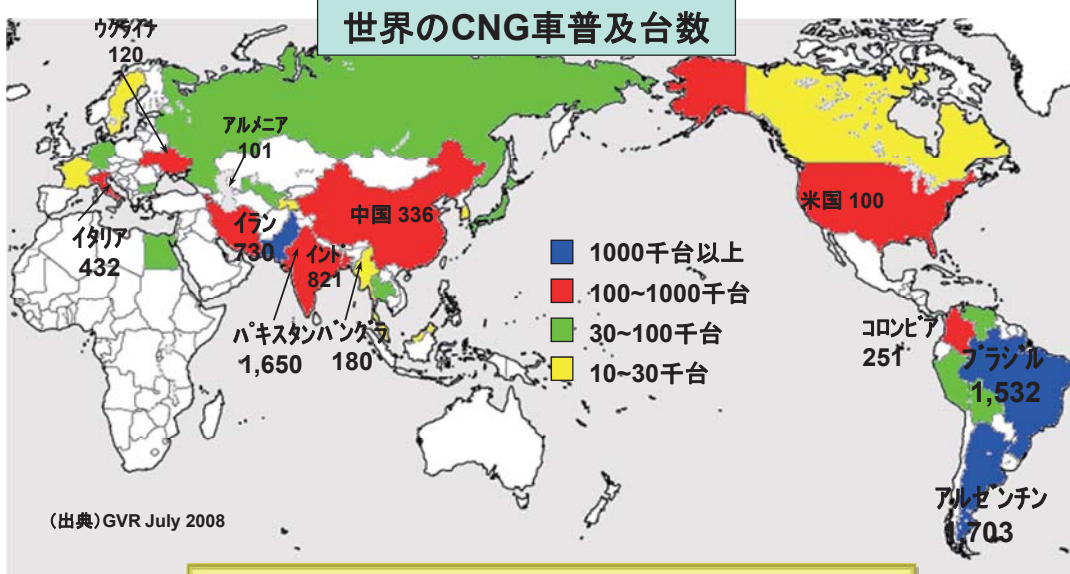
日本近海のメタンハイドレード

日本のメタンハイドレードの資源量は、日本で消費される天然ガスの約96年以上と推計。(1996年時点) 将来、石油や天然ガスの価格が高騰し、海底のメタンハイドレードが低コストで採掘が可能となれば、日本は自国で消費するエネルギー量を賅える自主資源の保有国になれる、又尖閣諸島近海の海底にあるとされている天然ガスなどを含めると日本は世界有数のエネルギー資源大国になれる可能性があるという意見がある。

エネルギー

CNG (Compressed Natural Gas) 車市場拡大国

- ◇大規模に CNG 乗用車が導入されている国 (普及・インフラ・資源○)
アルゼンチン、パキスタン、イラン、ブラジル、イタリア (台数規模: 400千台以上)
コロンビア、ボリビア、バングラディシュ (CNG車比率: 10% 以上)
- ◇政策的に導入・優遇している国 (普及・インフラ× 政策◎ 資源○)
ベネズエラ、タイ、ペルー



地産・地消でCNG車の市場は拡大している

エネルギー

天然ガス (NG) パイプライン

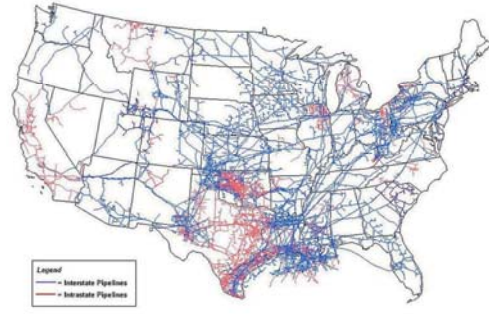
欧州・ロシアパイプライン



日本パイプライン



米国パイプライン



- ◇石油を含めパイプラインは一国の経済を左右し、欧州では、ロシア、北アフリカよりパイプラインによってCNGが供給されるが、**安定供給上の問題有**。
- ◇米国は天然ガスの最大の消費国。LNGを輸入し、CNGをパイプラインで全土に供給。一方、シェールガスの輸出となると**液化装置等に莫大な費用**がかかる。中電・大阪瓦斯が現地製造に乗り出す。

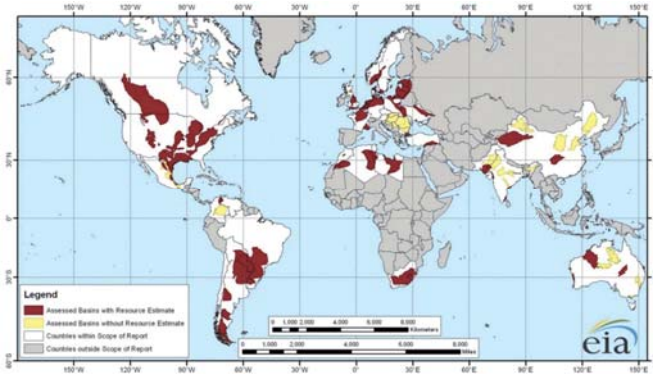
米国LNG輸入基地



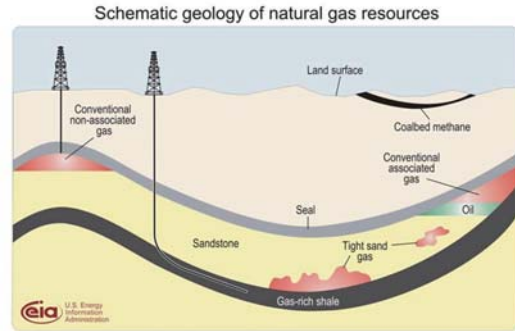
出典: ウィキペディア

エネルギー

シェールガス



米エネルギー情報局 (EIA) による主なシェールガス層の分布図



シェールガスの存在が確認されている箇所(赤)は北米、南米、アフリカ、欧州と広範囲にある。
米国の埋蔵量は世界一と言われる。

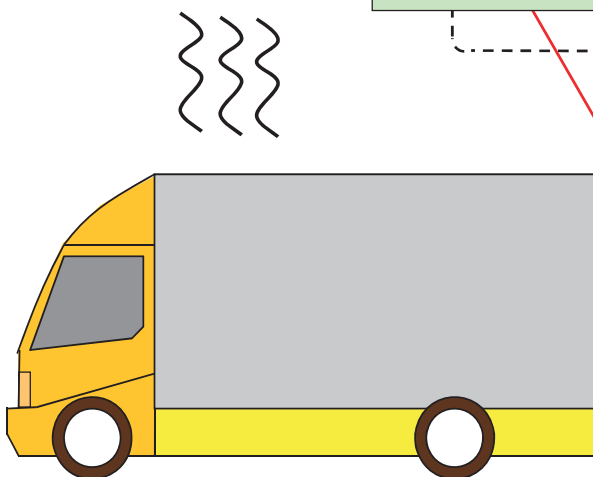
シェールガスの賦存(黒色部分)。シェールガスを含む頁岩層 (Gas-rich shale) に水平にパイプを入れ、高水圧で人工的に割れ目をつくり、ガスを採取する。成分は大半がメタン。

大気質

自動車の排気

エバポエミッション

ガスエミッション



CO₂(温暖化ガス)

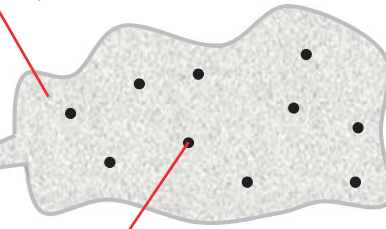
[CH₄
N₂O]

NO_x(窒素酸化物)

HC(炭化水素)

CO(一酸化炭素)

} O₃ 生成

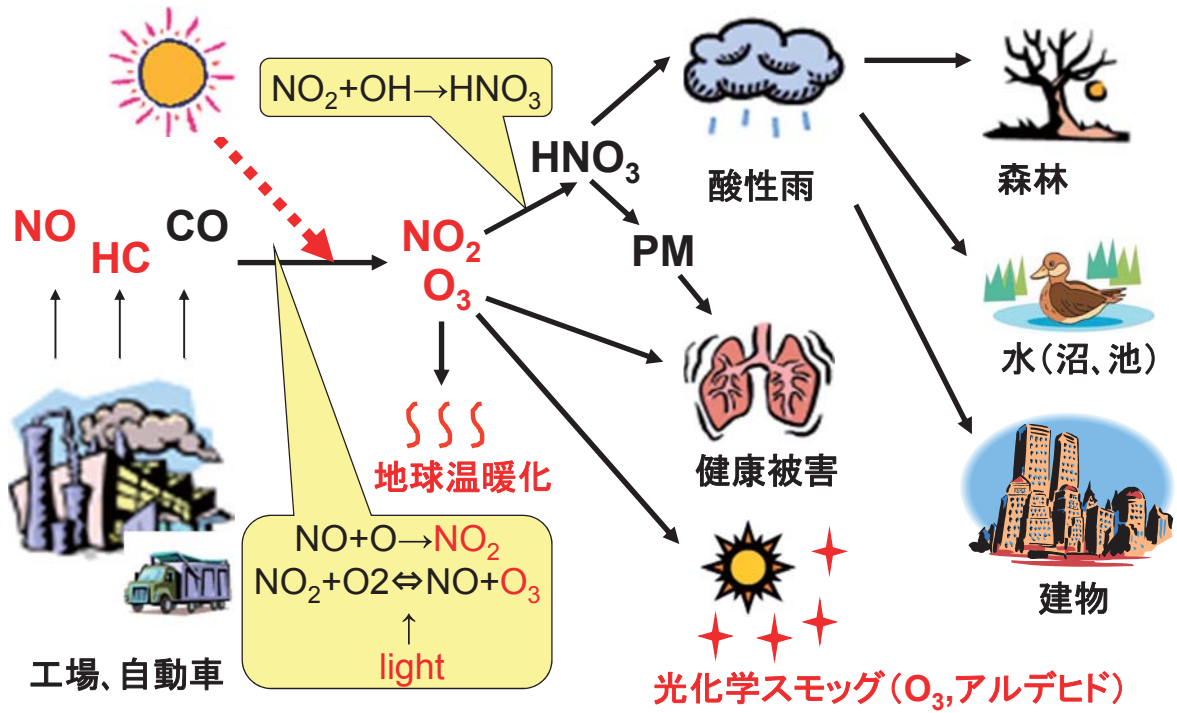


PM :スーツ、有機物(SOF)、サルフェート(SO₄) ディーゼル車

自動車から排出されるガスは有害なガスと、温暖化に影響するガスに分けられる

大気質

大気汚染(NOの影響)

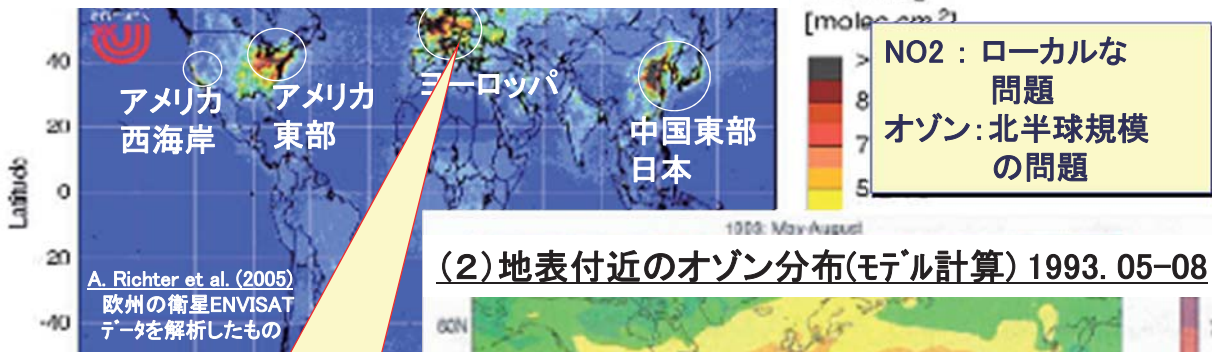


工場・自動車から排出されたガスは光エネルギーにより化学変化し、さまざまな汚染物質となる。

大気質

大気汚染の悪化

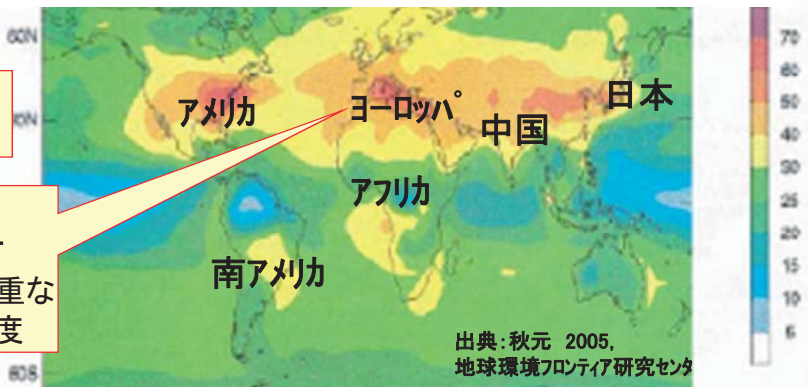
(1)衛星から見たNO2分布 2002.08-2004.04



NO₂
大都市地域が高濃度

オゾン O₃
・北半球に広範囲に分布
・高濃度域はNO₂分布と重なり、特に先進国が高濃度

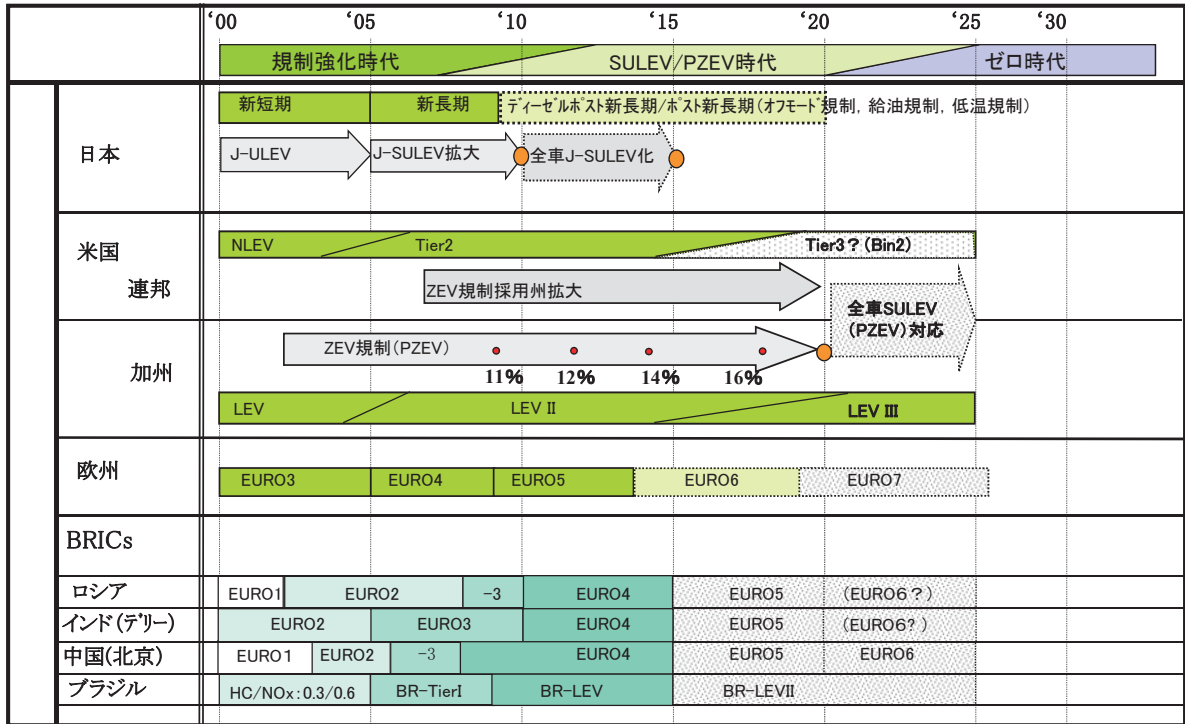
(2)地表付近のオゾン分布(モデル計算) 1993. 05-08



NO₂によりオゾン発生。オゾンは広域に広がり温暖化、光化学スモッグの発生等に影響。日本では、中国からの越境汚染が問題となっている。

大気質

各国排気規制動向



米国加州が最も厳しい規制を導入。ZEV (Zero Emission Vehicle) 規制も2012年に強化。振興国は先進国に追従する形で排気規制対応を実施。

取り巻く環境とこれからのパワートレイン

- ◇自動車を取り巻く環境として対応すべき最も重要な項目は
 - ①地球温暖化対策 ②エネルギーセキュリティー ③大気質改善
- ◇これらの対応を進める中で、パワートレインの進むべき方向は石油に代わる代替エネルギーを活用も検討することで、その中でCO₂排出量の低減及び排気ガスレベルの改善が必要となる。
- ◇地球各地には石油代替の各種エネルギーが存在し、今後増産が進む。
 - ・発電用燃料・・・LNG(含むシェールガス), 石油(含むシェールオイル)、原子力、石炭(CCS)、ソーラー、風力、水力、地熱
 - ・自動車燃料・・・石油(含むシェールオイル)、バイオエタノール、バイオディーゼル、CNG、合成燃料、水素

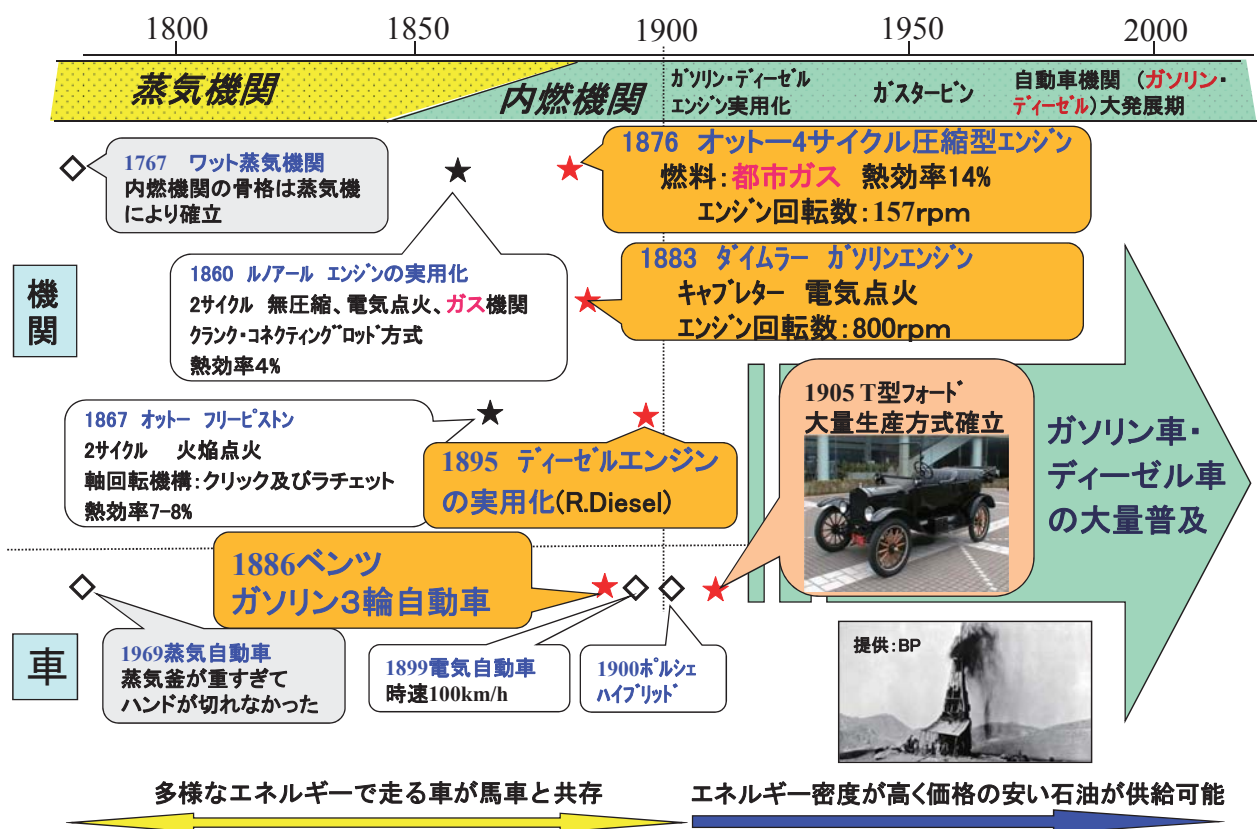
これからのパワートレインはどうなる

- ・各国のエネルギー政策に応じて、対応するパワートレインは決まってくる。
- ・エネルギーのとれたところで消費する地産・地消がベスト。
- ・燃料の多様化に併せパワートレインも多様化する。(内燃機関はずっと残る。)

第2章 エンジン開発におけるこれまでの取り組み

1. エンジンの歴史
2. ガソリンエンジンとディーゼルエンジンの違い
3. エンジン内のエネルギー収支
4. ガソリン車/ディーゼル車の技術開発
5. 代替燃料車の技術開発
6. ハイブリッド車の技術開発
7. Well to Wheelでの考察

1. エンジンの歴史



歴史

世界最初のガソリン機関搭載自動車

ドイツのカール・ベンツが作った3輪自動車(1886年)

価格	2,750マルク (約1,000ドル)
エンジン	水平短気筒 排気量984cc 400rpm 0.9馬力
最高速度	16km/h
重量	313kg



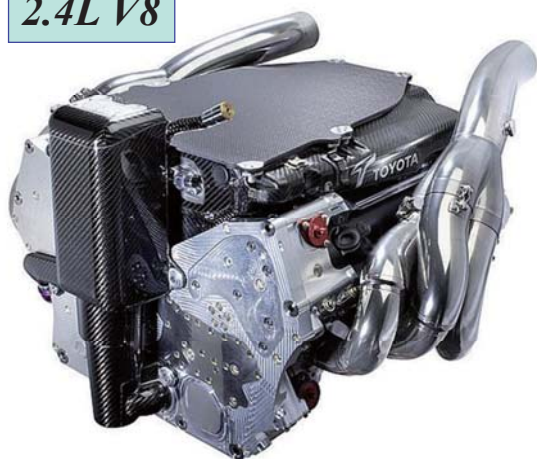
写真提供:トヨタ博物館

車速わずか16km/hでも、ガソリンエンジンで走る自動車の登場

歴史

究極のガソリンエンジン

2.4L V8



高回転 19000rpm 出力 300Ps/L以上
(125年の間に実に300倍)

ニューマティックバルブ



軽量ピストン



工芸品の様なエキゾーストマニホールド



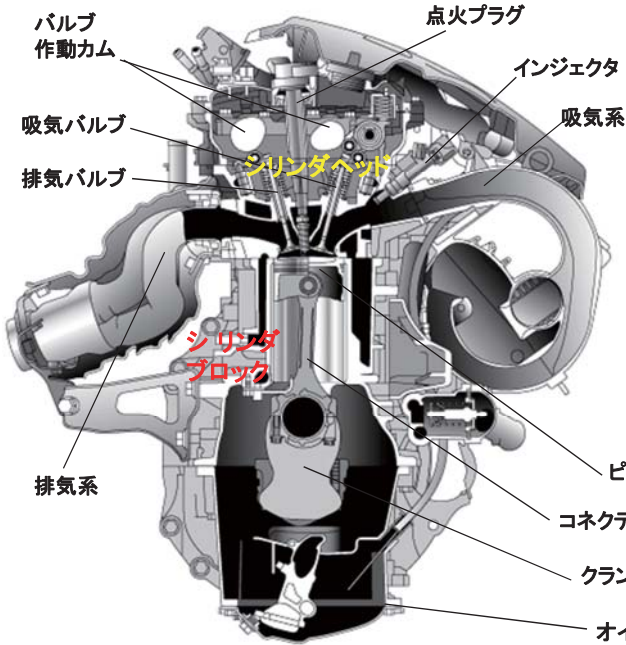
125年間でのエンジン／自動車の進化、特にここ50年間の進化は、材料技術、加工技術、表面処理技術、電子制御技術等の発展によるものが大きい。

2. ガソリン／ディーゼルエンジンの違い

次にエンジンについて少しおさらいをしてみましょう。エンジンは4ストロークのガソリンとディーゼルです。

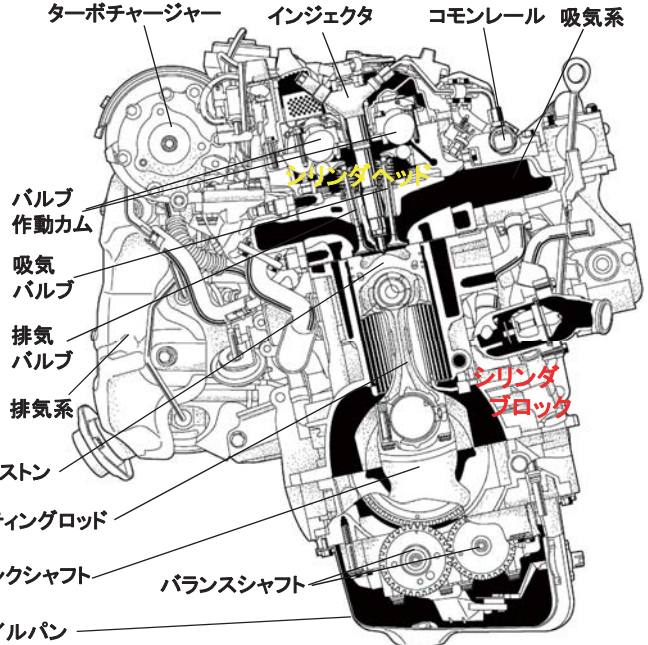
ガソリンエンジン

ガソリンと空気の混合気を吸入し、ピストンで圧縮後、**点火プラグ**で着火。



ディーゼルエンジン

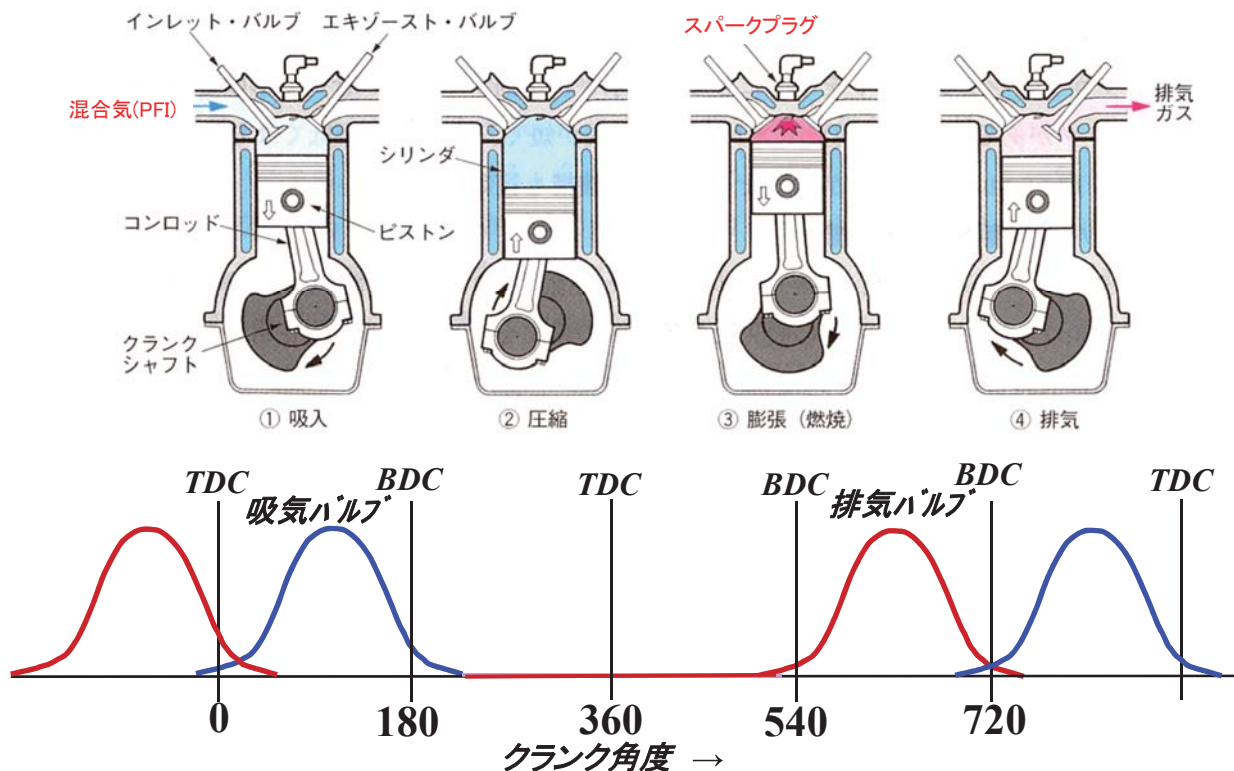
空気を吸入し、ピストンで圧縮後、**燃焼室**に軽油を噴射、混合気は**自着火**。



エンジン

4ストロークの基本(ガソリンエンジン)

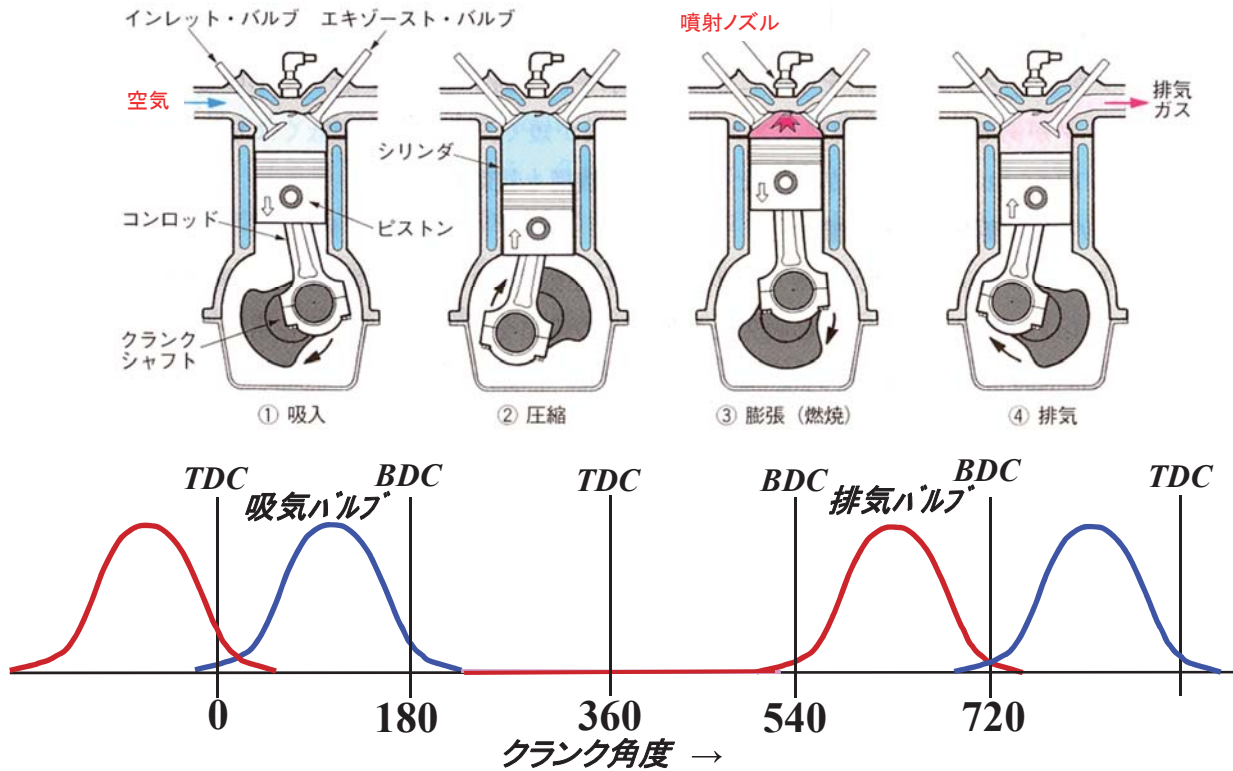
SI: Spark Ignition



エンジン

4ストロークの基本(ディーゼルエンジン)

CI:Compression Ignition



ガソリンエンジン

ディーゼルエンジン

引火点	-50 ~ -40 °C	40 ~ 50 °C
発火点	260 °C (3MPa)	200 °C (3MPa)
着火方式	強制着火 (点火プラグ)	自着火
圧縮比	9 ~ 14	14 ~ 18
空燃比	14.6 前後 (リッチ)	16 ~ 30 (リーン)
燃焼形態	予混合燃焼 (SIエンジン燃焼)	拡散燃焼 (CIエンジン燃焼)
燃焼可視化		

エンジン

ガソリン/ディーゼルエンジンの得失比較

(1)ガソリンエンジン(オットーサイクル)

ニコラス オットー
(1832-1891)



空気と燃料の予混合燃焼であり、
火炎伝播により燃焼が行われる。

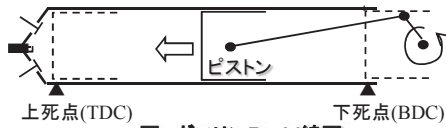
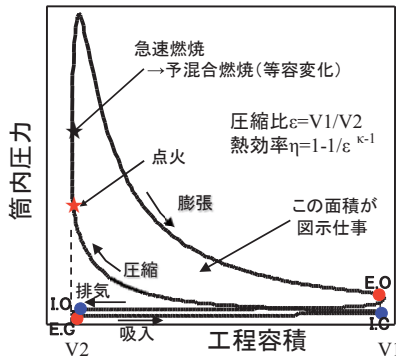
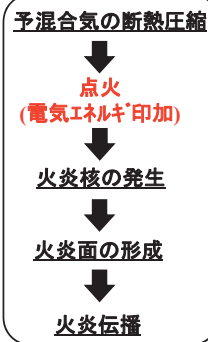


図. ガソリンP-V線図



●吸気 ●排気
排気バルブ開:E.O
排気バルブ閉:E.C
吸気バルブ開:I.O
吸気バルブ閉:I.C

得失

出力性能	○	圧縮比 9~14
排気ガス	○	更なる低燃費化が課題
振動・騒音	○	・圧縮比低い
CO2	x → △	・混合気濃い
燃費	x → △	・ポンプ損失大きい

(2)ディーゼルエンジン(ディーゼルサイクル)

ルドルフ ディーゼル
(1858-1913)



拡散燃焼であり、燃料(蒸気)が、空気と
混合しながら燃焼する。

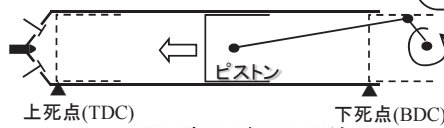
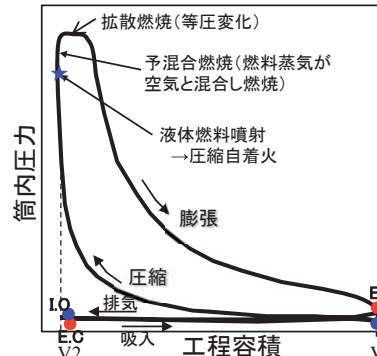


図. ディーゼルP-V線図

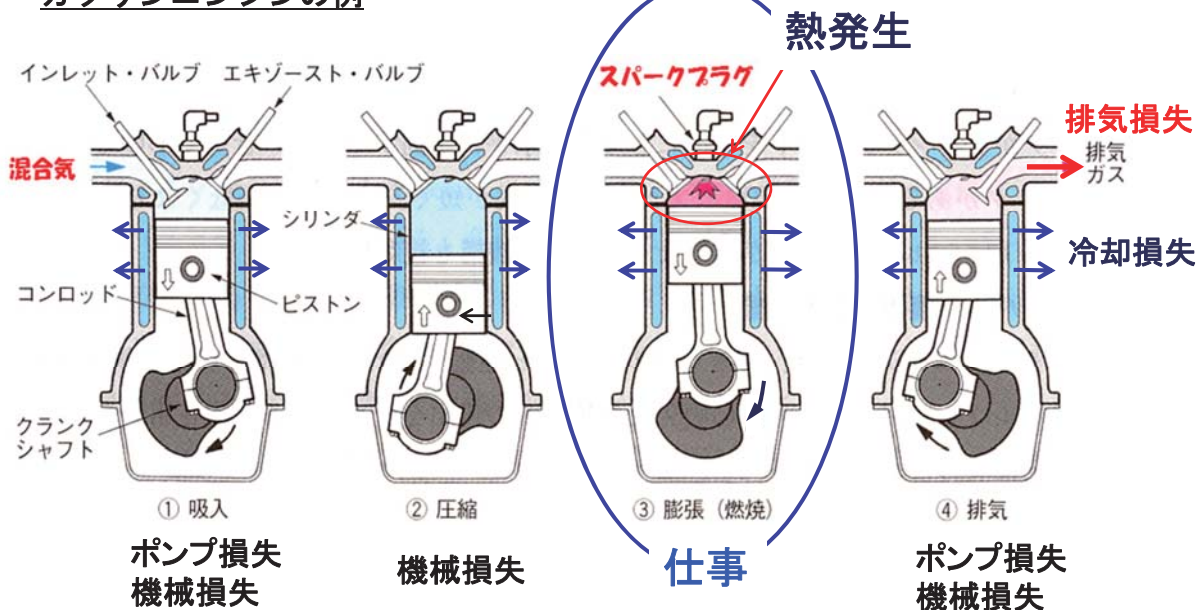


得失

出力性能	△ → ○	圧縮比 14~18
排気ガス	x → △	ガソリンエンジンに対し 高価格が課題
振動・騒音	x → △	・圧力上昇率高い
CO2	○	・運動部品重い
燃費	○	・混合気が不均一

3. エンジン内のエネルギー収支

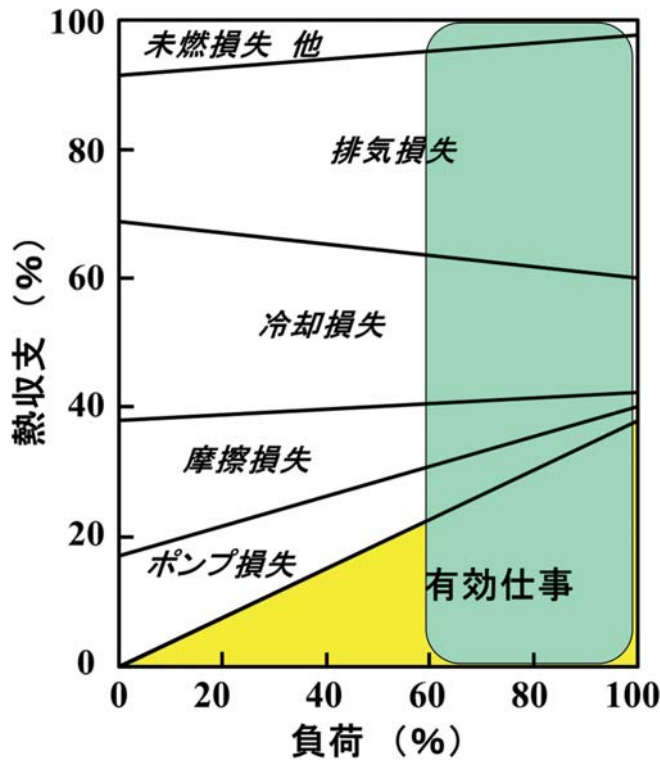
ガソリンエンジンの例



燃焼によって発生した熱量から、冷却損失、排気損失、機械損失、ポンプ損失を差し引いた残りが、エンジンから取り出せる仕事となる。

技術開発

各エネルギー損失の影響度



発生したエネルギーを有効仕事に変換できる割合は負荷が小さいほど低く、高負荷では高い。



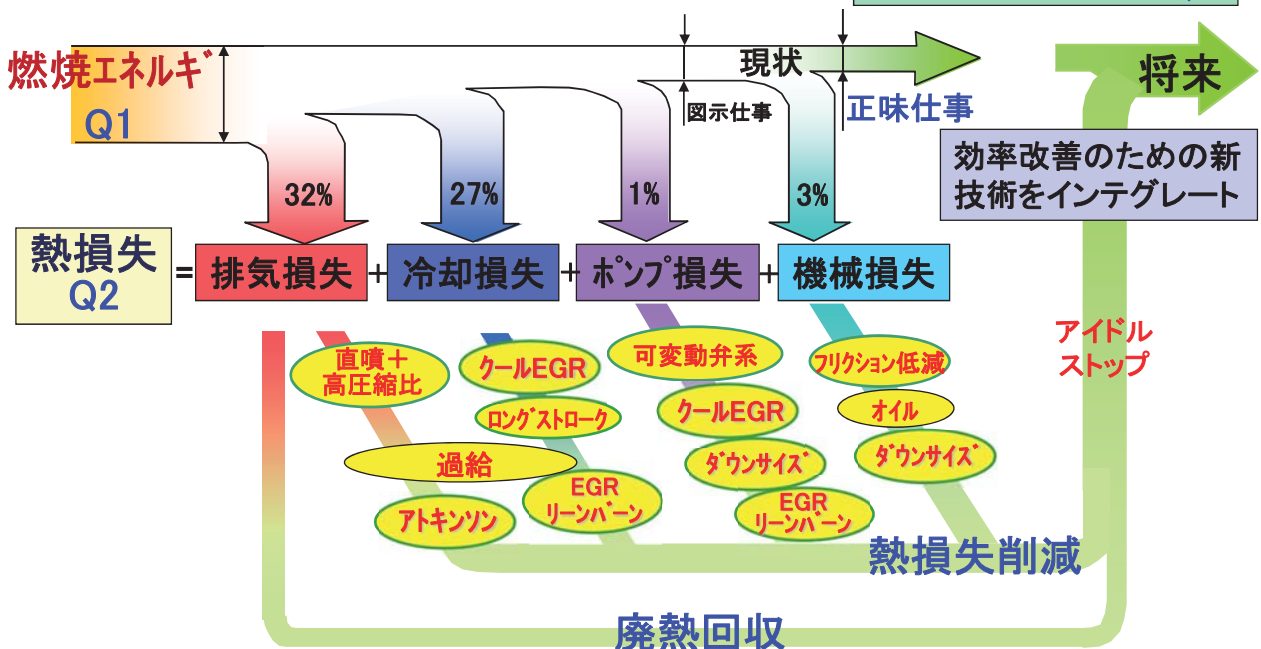
負荷の高い領域では熱効率が高いので燃費は良くなる。

技術開発

エンジンの燃費向上技術開発 - 熱効率改善 -

熱効率向上の方向(ガソリンエンジンの例)

$$\text{正味熱効率} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

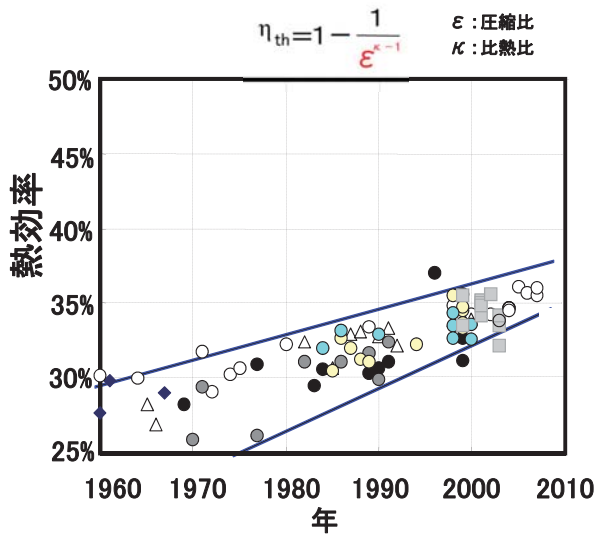


燃焼エネルギーの60%は熱あるいは機械損失として捨てられる

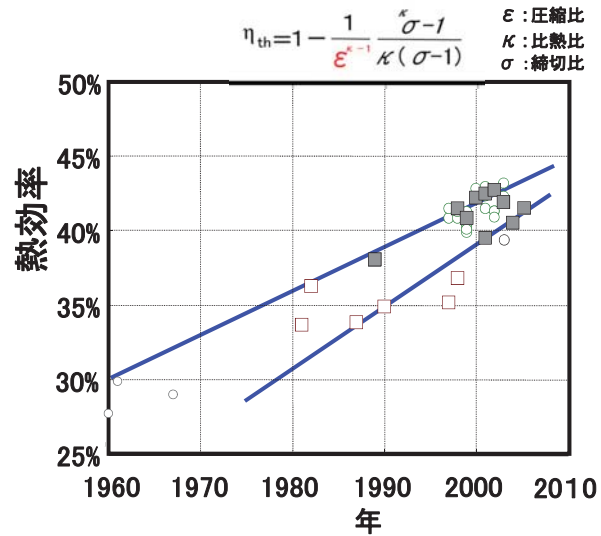
技術開発

ガソリン/ディーゼルエンジンの熱効率推移

(1)ガソリンエンジン最大熱効率



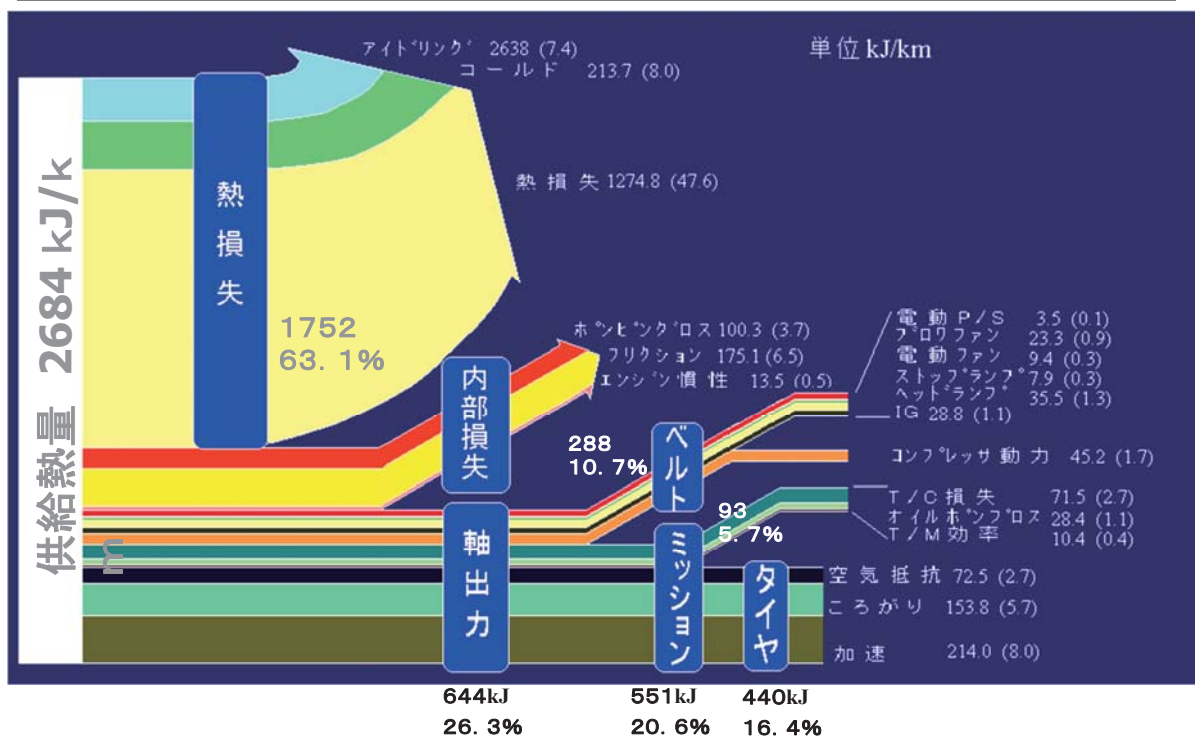
(2)ディーゼルエンジン最大熱効率



ディーゼルエンジンは、ガソリンエンジンに比べ熱効率が高い。
(高圧縮比、高比熱比)
両エンジン共に各種技術の投入により、これまで熱効率を大幅に改善してきた。

エネルギー

車両全体でのエネルギーの収支

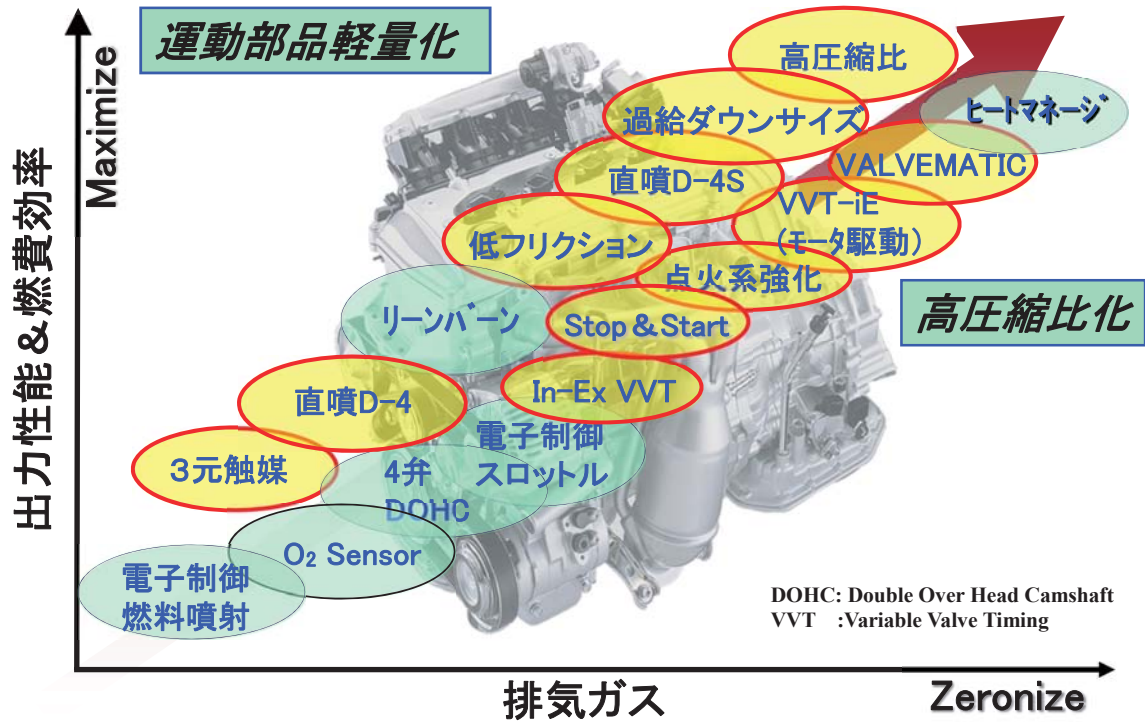


エンジンが発生したエネルギーのうち、車を動かすために使われているのは20%を下回り、それ以外はすべて損失となっている。

4. ガソリン車 / ディーゼル車の技術開発

4-1. ガソリンエンジンの先端技術開発

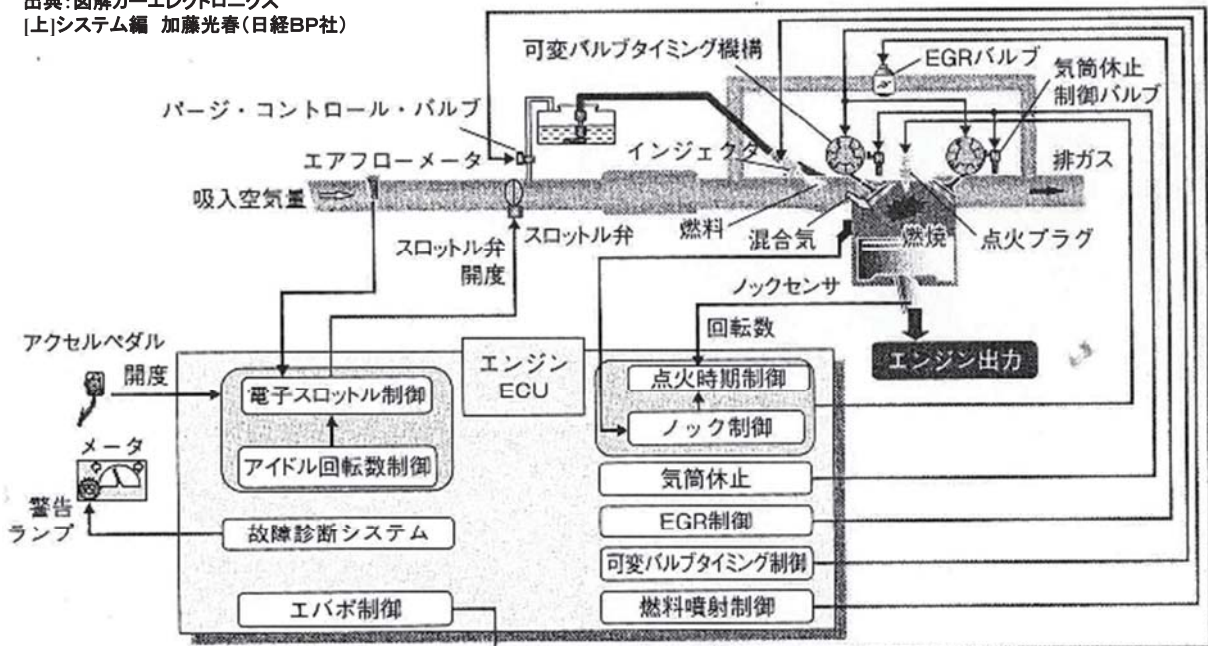
低燃費と高出力化達成のため直噴、可変動弁系をはじめとする新規技術を採用



技術開発

ガソリンエンジン制御システム

出典: 図解カーエレクトロニクス
[上]システム編 加藤光春(日経BP社)



ガソリンエンジンの主な制御は、吸入空気量を制御する電子スロットル制御、アイドル回転数制御、燃料噴射量／時期を制御する噴射制御、点火時期制御、ノック抑制制御、可変バルブタイミング制御、EGR制御、故障診断システム等からなる。