

### 自動車エンジンの技術史 黎明期の内燃機関から最新省エネ・エンジンまで ロータリー・エンジンの開発史

田中 秀治  
東北大学大学院工学研究科  
ロボティクス専攻

1



2

YouTube

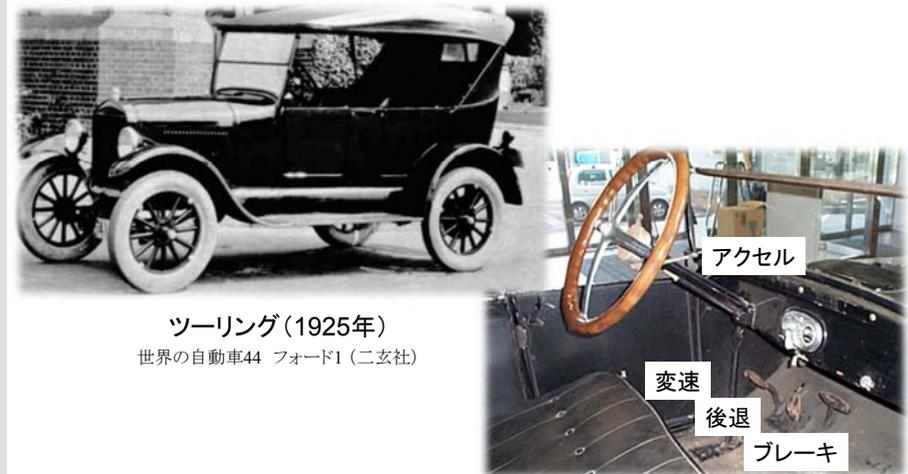
## 自動車の過去未来館



工学研究科・機械系キャンパス内  
フォード T型, A型, およびトヨタ自動車F1エンジンを展示

3

## フォードT型(1908~1927)

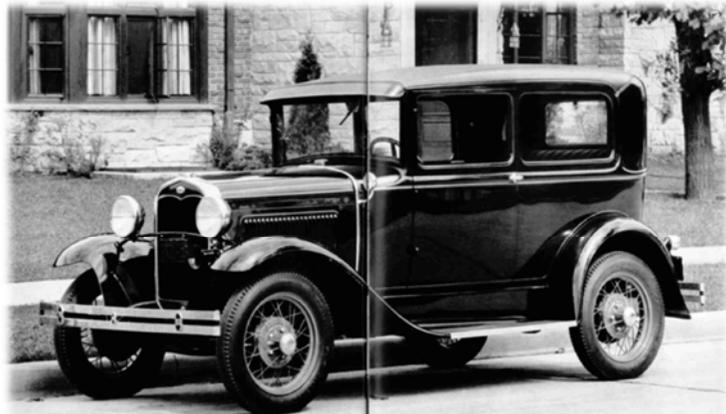


ツーリング (1925年)  
世界の自動車44 フォードI (二玄社)

総生産台数 15007033台  
850ドル(1909年) → 290ドル(1926年) 量産効果で低価格化

4

## フォードA型(1927~1931)

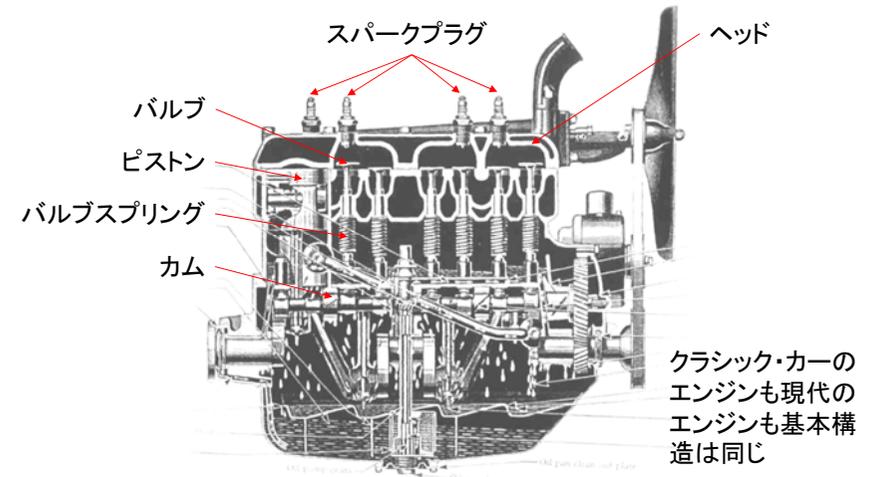


世界の自動車44 フォード1 (二玄社) デラックス・ツードア・セダン(1931年)

総生産台数 約500万台  
約400ドル 最終型のT型より約100ドル値上げ

5

## フォードA型のエンジン

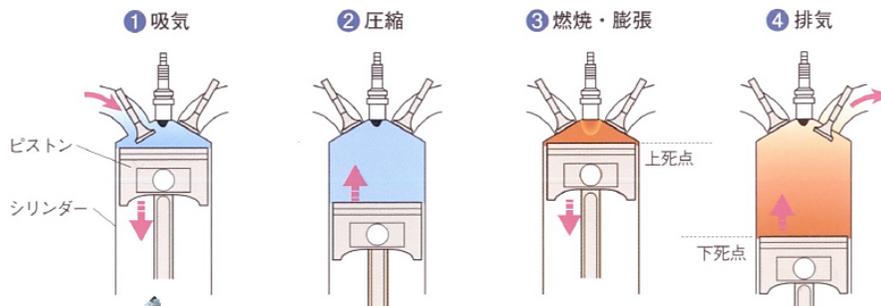


T型 2895.5 cc, 4気筒, 20馬力/1400 rpm  
A型 3285.5 cc, 4気筒, 40馬力/2200 rpm

6

## 4サイクル・エンジン(オットー・サイクル)

●4サイクルエンジンの4つの行程



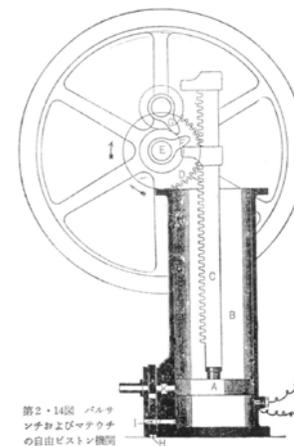
畑村耕一, 自動車エンジン技術がわかる本, ナツメ社 (2009)



三菱自動車 4G63型エンジン(1979~1987~2006)  
1997 cc, 圧縮比8.8, 280 ps/6500 rpm, 41.5 kgf・m/3000 rpm

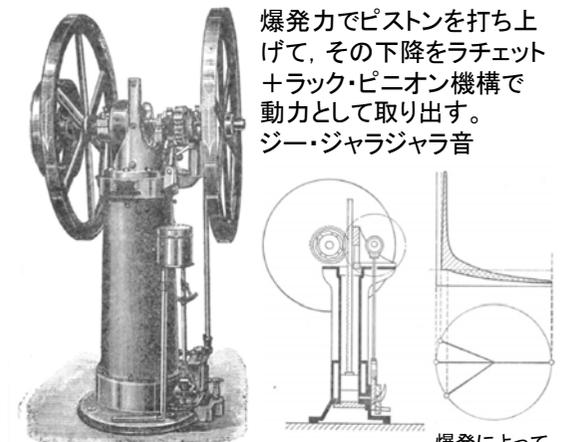
7

## フリー・ピストン機関



バルサンチとマテウチ(イタリア人)のフリーピストン機関(1857)

8 富塚清, 内燃機関の歴史, 三采書房 (1969)

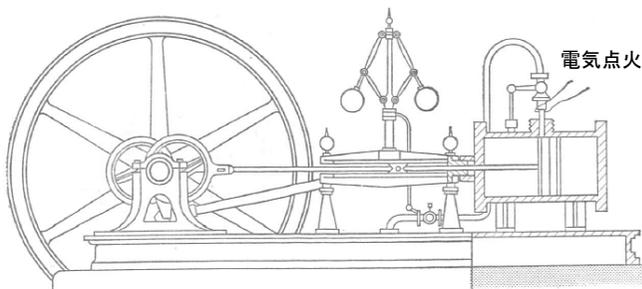


爆発力でピストンを打ち上げて、その下降をラチェット+ラック・ピニオン機構で動力として取り出す。  
ジー・ジャラジャラ音

爆発によって掃気された後の真空も利用

オットーとランゲン(ドイツ人)のフリーピストン機関(1867)  
効率は2倍程度に改善され、7~8%  
何千台も売れたらしい。

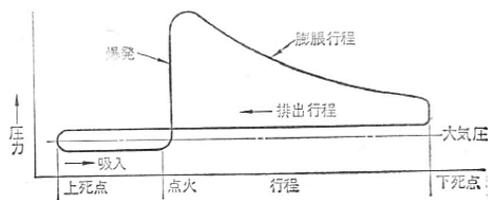
## ルノワールの機関(初の真の実用エンジン)(1860)



電気点火

ジャン=ジョゼフ・ルノワール  
(フランス人)

ガスの爆発はハンマーで叩くようなもので、機構の運転をギクシャクさせるだけで、馬力発生には害。できるだけ緩やかに燃焼させた方が効率が上がるはず。



2サイクル: 現在のエンジンと異なり、圧縮がない → 低効率 圧縮があることが、  
オットー機関の大きな特長

## 内燃機関の理論面での完成(ボー・ド・ロシャ, 1862)

ボー・ド・ロシャ(フランス人)

1862年, 内燃機関の性能向上に関する理論を述べた論文を出版

内燃機関の高効率化のために:

- 1) 気筒容積あたりの冷却面積はできるだけ小さいこと。
- 2) 膨張はできる限り早いこと。
- 3) 膨張はできる限り大きいこと。
- 4) 膨張のはじまる前, 気筒内圧はできるだけ高いこと。

具体的方法としては:

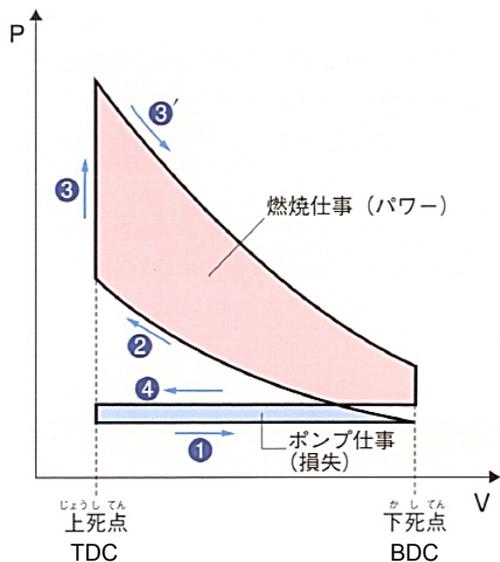
- 1) ピストンの行程をいっぱいを使って新気を吸入
- 2) 次の行程をいっぱいを使って圧縮
- 3) 上死点のあたりで点火し, 次の行程をいっぱいを使って膨張
- 4) 次の行程をいっぱいを使って排気

4サイクル・エンジンの動作が明確に記述されている。

しかし, 1876年のオットーによる4サイクル・エンジンの完成をみるには, 10年以上を要した。様々な要素技術が整うのに時間がかかったと思われる。

## オットー・サイクル(4サイクル・エンジン)

●4サイクルエンジンのP-V線図(オットーサイクルのP-V線図)



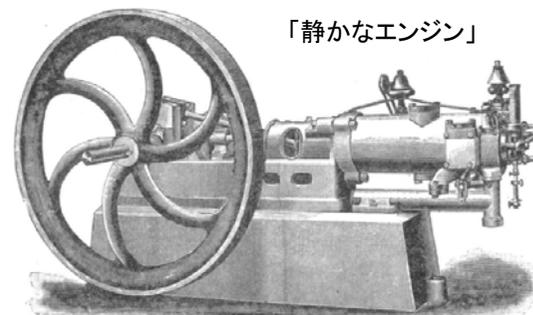
- ① 吸入  
ピストンが下がり新気を取り込む。圧力 (P) は変化せず、容積 (V) が増える。
- ② 圧縮  
ピストンの上昇で圧縮する。圧力 (P) が上がり、容積 (V) は減る。
- ③ 燃焼  
燃料を燃やす。燃焼によって圧力 (P) が急激に上がる。
- ④ 膨張  
高温になった空気が膨張してピストンが下がる。圧力 (P) が下がり、容積 (V) が増える。
- ⑤ 排気  
再度、ピストンが上昇して燃焼ガスを追い出す。圧力 (P) は変化せず、容積 (V) が減る。

## オットーの4サイクル・エンジン(1876)



ニコラス・オットー博士  
(ドイツ人)

1876年に4サイクルエンジンを発明し, 事業化した偉大な発明家。  
しかし, 理論の方は怪しかったようである。



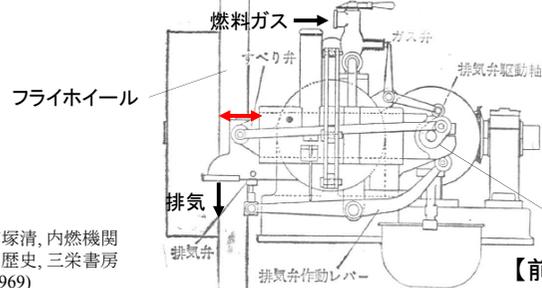
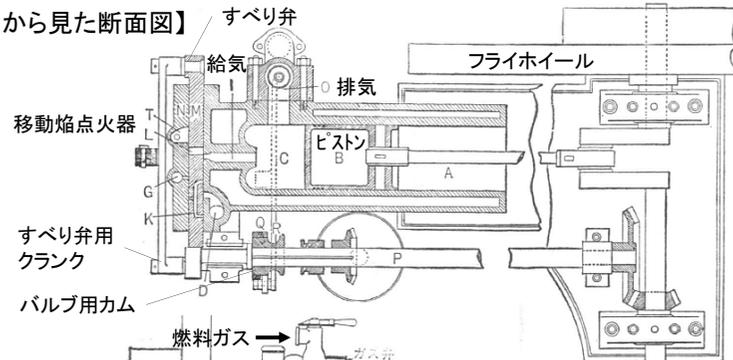
「静かなエンジン」

クロスレー社(英国)で作製されたオットー機関  
(1980年製:オットーの発明から4年後)

気筒直径×行程: 171.9 mm×340 mm  
行程体積: 7883 cc, 燃焼室体積: 4770 cc  
圧縮比: 2.66  
回転数: 157 rpm, 図示馬力: 5 hp  
正味馬力: 4.4 hp (0.56 hp/L)  
機械効率: 87%, 正味熱効率: 14%

## オート機関(1880年製)

【上面から見た断面図】



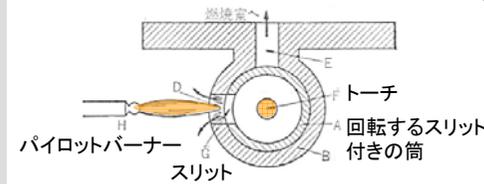
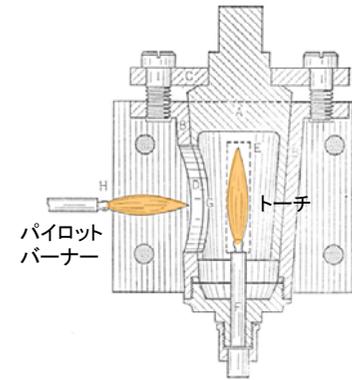
現在のエンジンとの基本的な違いは、点火装置と給気弁のみ

この後ろにバルブ用カム

【前方から見た外観】

富塚清, 内燃機関の歴史, 三栄書房 13 (1969)

## 移動焰点火装置(バーネット, 1838)



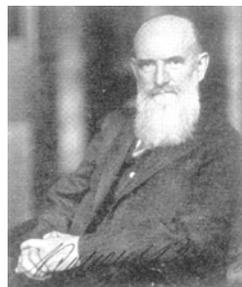
14富塚清, 内燃機関の歴史, 三栄書房 (1969)

ウィリアム・バーネット(イギリス人)が発明した移動焰点火装置(1838年)その後、1900年頃まで実用される。

その他、バーネットは混合気の圧縮のあるエンジンを考案。また、クラークの2サイクル機関(現在の2サイクル機関の元祖)と同様の動作の機関も考案。しかし、両者とも完成には至らず、エンジンで名声を残すことはできなかった。その副産物の点火装置で内燃機関の歴史に不朽の名をとどめた。

スリットがまわり、パイロットバーナーから受け取った炎を、燃焼室に伝える。爆発によって炎は吹き消されるが、再度、パイロットバーナーからトーチに点火される。

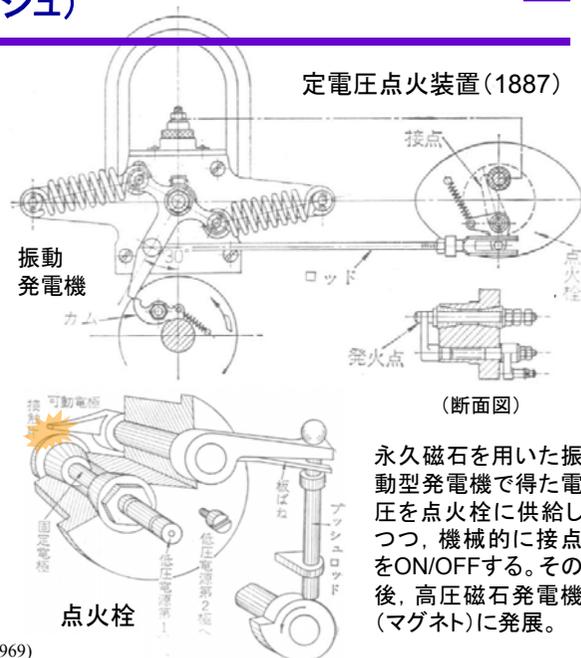
## 電気火花装置(ボッシュ)



ロバート・ボッシュ (1861~1942) (ドイツ人)

初等中学校を卒業後、職工に。1884年に渡米し、ニューヨークの電気工場で職工をする。25歳のときシュトットガルトで独立。火花点火の巨人。

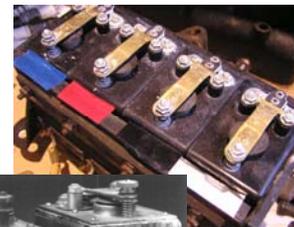
15富塚清, 内燃機関の歴史, 三栄書房 (1969)



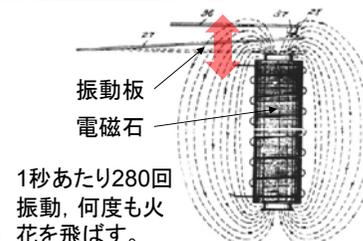
永久磁石を用いた振動型発電機で得た電圧を点火栓に供給しつつ、機械的に接点をON/OFFする。その後、高圧磁石発電機(マグネト)に発展。

## フォードT型(1908~1927)の点火装置

リバイバル品→



←オリジナル品

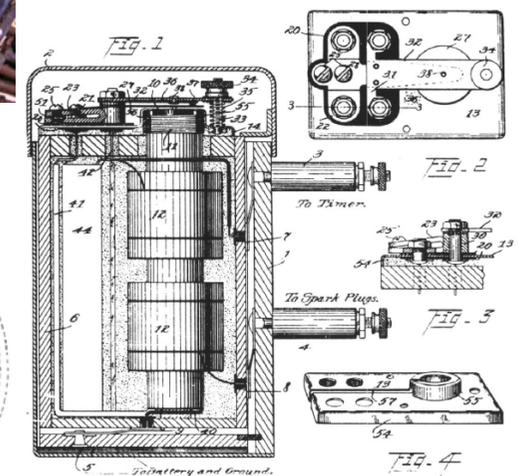


1秒あたり280回振動、何度も火花を飛ばす。

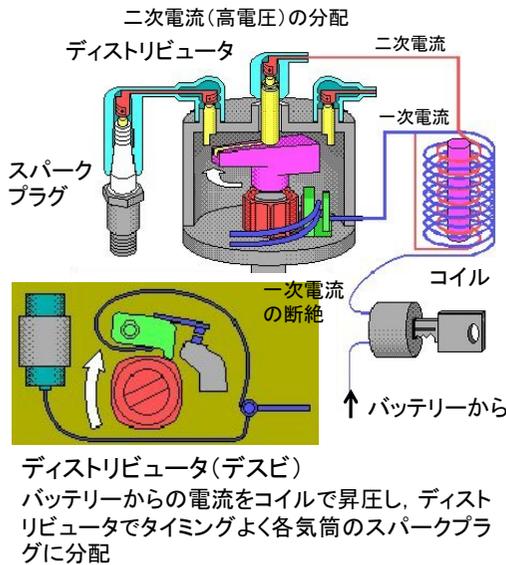
16

バイブレータ(1914年の特許から)

J. A. WILLIAMS.  
IGNITION APPARATUS.  
APPLICATION FILED MAR. 5, 1913. Patented Apr. 7, 1914.  
1,092,417. 2 SHEETS-SHEET 1.



## フォードA型(1927~1931)の点火装置

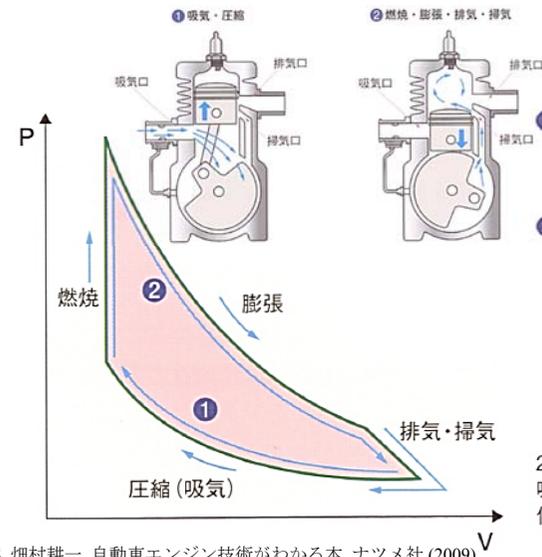


17

<http://www.rr.ij4u.or.jp/~jeep/me/meca13.html>

## クラーク・サイクル(2サイクル・エンジン)

●2サイクルエンジンのP-V線図



ここに説明してあるのは、ジョゼフ・デイによるもの(1889) クランク室圧縮を特長とする。

- 2サイクルエンジンでは、ピストンの上昇(圧縮)とともにクランクケース内に新気を取り込まれる(吸気)。※下図参照。
- 燃料が燃えると(燃焼)ピストンが下がり(膨張)、排気口から排ガスが出ていく(排気)。さらにピストンが下がると、クランクケース内に吸入されていた新気が掃気口を通じて燃焼室に入り込み、燃焼室に残った排ガスを追い出す(掃気)。

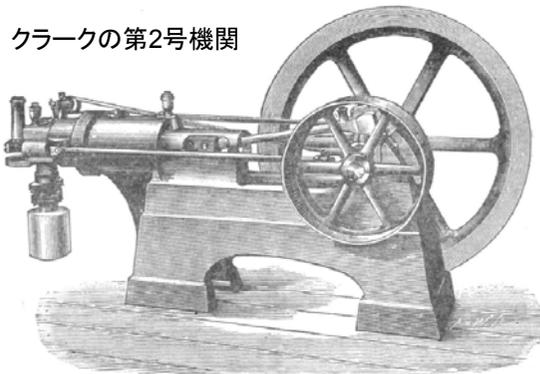
2サイクルエンジンには独立した吸・排気行程がないので、ポンプ仕事を表す部分はなくなる。

18 畑村耕一, 自動車エンジン技術がわかる本, ナツメ社(2009)

## クラークの2サイクル・エンジン(1881)



デュガルド・クラーク  
(イギリス人)



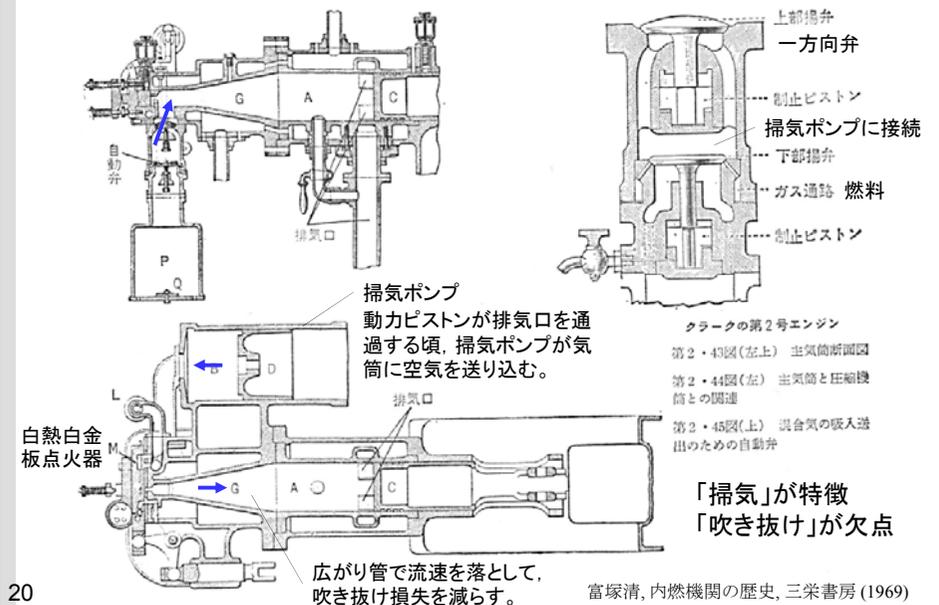
クラークの第2号機関

オットー機関以前のほとんどの内燃機関は、2サイクル(代表的には、ルノアールの機関)。蒸気機関からの延長でもある。  
オットー機関の完成後も、その効率性・静粛性・信頼性を保ったまま、1回転に1爆発させる案がいろいろ検討された。2回転に1爆発というのが、当時のエンジン発明家にとって何とかしたい不満だったようである。

19

富塚清, 内燃機関の歴史, 三栄書房(1969)

## クラークの2サイクル・エンジン(1881)



20

富塚清, 内燃機関の歴史, 三栄書房(1969)

## デイの2サイクル・エンジン(1891)

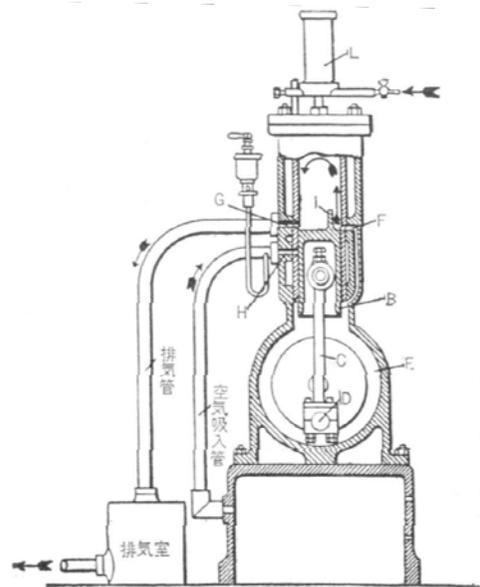
ジョゼフ・デイ(イギリス人)

現在の2サイクル・エンジン方式

- ・掃気ポンプの代わりに、クランク室圧縮
- ・弁の代わりに、ピストンそのもので開閉する孔

究極の単純さ

一方、クラークは2号機関の発明の後、「吹き抜け」の問題を解決すべく、複雑な3号・4号機関を開発した。しかし、その複雑さゆえに、高速回転・大馬力が実現できず、信頼性も低かったことから、主流にならなかった。



21

富塚清, 内燃機関の歴史, 三栄書房 (1969)

## なくなりつつある自動車用2サイクル・エンジン

aprilia RS250

RGV250Γ (JV22A)



Aprilia RS250 (イタリア)  
250 cc 2ストローク・エンジン搭載の最後の公道オートバイ(～2003)  
環境性能の悪さからこのクラスは消滅  
エンジンはスズキのRGV250Γのもの  
約70馬力

2ストローク・エンジン(LJ50)搭載  
22 539 cc, 28 ps/4500 rpm, 5.4 kg/2500 rpm

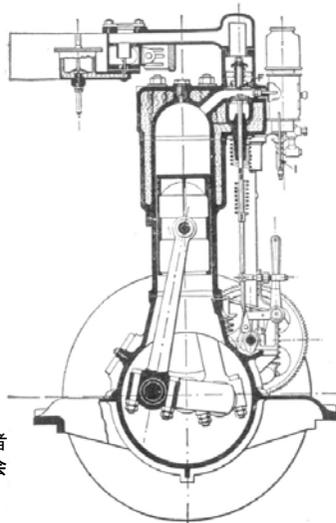
ジムニー(スズキ)(1981～1987)  
最後の2ストローク・エンジン搭載  
国産4輪自動車

## ダイムラーのガソリン・エンジン(1883)



ゴットリーフ・ダイムラー  
(ドイツ人)

1870年以來、オットーの協力者  
1872年からケルン・ガス機関会社  
の工場支配人  
1882年 独立 会社成立  
1883年 ガソリン・エンジン完成



ダイムラーのガソリン・エンジン  
(1883)

ルノワールのエンジン(1960)でもガソリンの使用が試みられ、その後も同様の試みはあった。

ダイムラーは、圧倒的に洗練された形で実現してみせた。

これまでのエンジンとは異なる近代的で洗練された構造。

高速回転(800 rpm: 従来の約4倍)。

小形・軽量で、車への取り付けが容易。1886年にはガソリン・エンジン自動車の運転に成功。

富塚清, 内燃機関の歴史, 三栄書房 (1969)

23

## ベンツ・パテント・モートルヴァーゲン(1886)



カール・ベンツ(ドイツ人)の3輪自動車(1886)  
世界初のガソリン・エンジン自動車(ダイムラーとマイバッハも同様の発明をしていたが、互いのことは知らず、ベンツの方が特許を先に取得)  
空冷水平単気筒, コイル点火  
ディファレンシャル・ギア搭載  
時速15 km

トヨタ博物館(中央図), Wikipedia(左図, 右図)

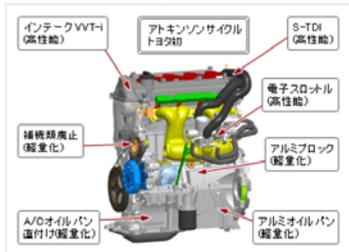
24

## ハイブリッド・エンジン(トヨタ自動車)



### ハイブリッドエンジン (1NZ-FXE)

1997年、1NZ-FXEは世界初の量産HV専用乗用車「プリウス」用ガソリンエンジンとして、VVT-i (Variable Valve Timing-intelligent)、高膨張比サイクル(アトキンソンサイクル)、オフセットクランク、2つのO<sub>2</sub>センサーを使用するシステムを採用するとともに各運動部品の軽量化および低フリクション化を行い、超低燃費、低エミッション、軽量、コンパクト、低振動、低騒音を実現した。



アトキンソンは、オットー、クラーク、ダイムラーなどと同時期に活躍した内燃機関発明家

25 エンジン外観と主な採用技術

トヨタ自動車 website

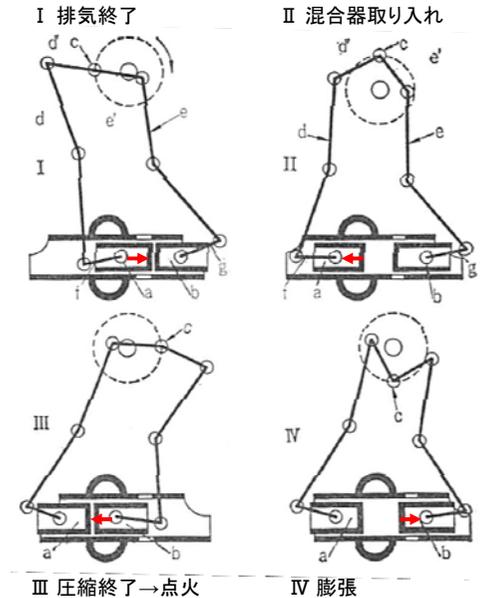
## アトキンソンの1号機関(1885)

ジェームス・アトキンソン(イギリス人)のDifferential Engine (1号機関)(1885)

アトキンソンの開発動機は、効率のよい2サイクル・エンジンを作ることであった。

オットー機関は優れたエンジンであったが、当時、その効率性・静粛性・信頼性を保ったまま、「2回転1爆発」を「1回転1爆発」にしたいという動機が世の中にあった。

新気の吹き抜けがなく、排気が完璧で、高热効率であったが、複雑すぎて実用されず。

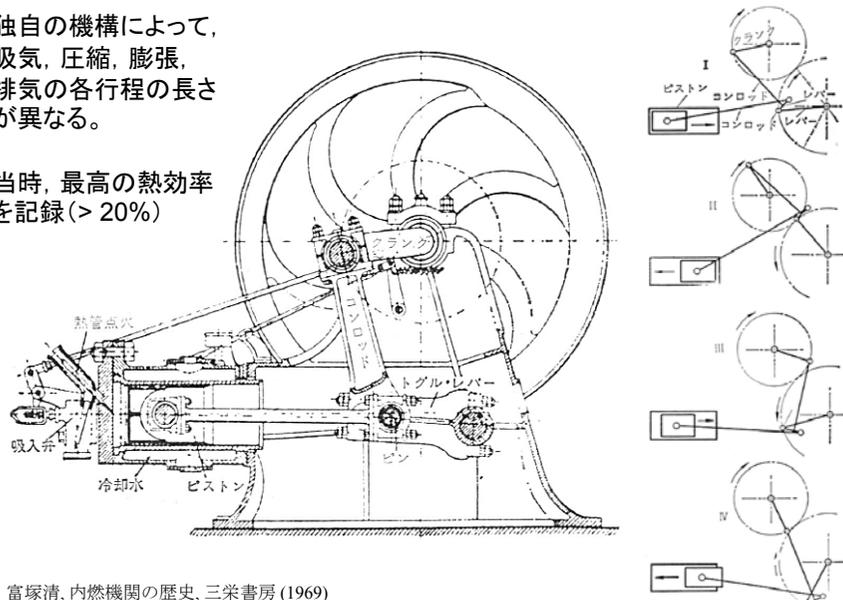


26 富塚清, 内燃機関の歴史, 三栄書房 (1969)

## アトキンソン・サイクル:2号機関(1886)

独自の機構によって、吸気、圧縮、膨張、排気の各行程の長さが異なる。

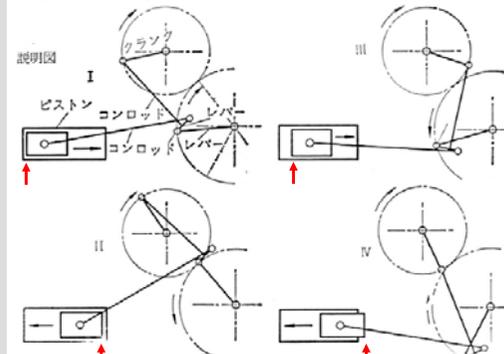
当時、最高の熱効率を記録(> 20%)



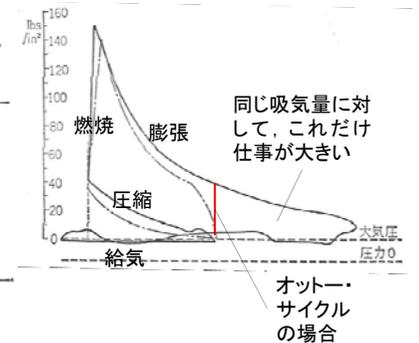
27 富塚清, 内燃機関の歴史, 三栄書房 (1969)

## アトキンソン・サイクル:2号機関(1886)

I 排気行程終わり→吸入 III 圧縮行程終わり→爆発・膨張



II 吸入行程終わり→圧縮 IV 膨張行程終わり→排気



各行程の長さが異なる。

- 吸入行程: 160 mm
  - 圧縮行程: 128 mm
  - 膨張行程: 280 mm
  - 排気行程: 315 mm
- (1887年6馬力型エンジンの場合)

28 富塚清, 内燃機関の歴史, 三栄書房 (1969)

## ホンダのアトキンソン・サイクル・エンジン“Exlink”

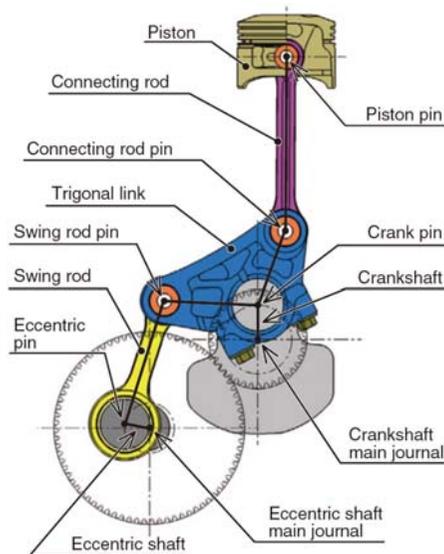
圧縮比12.2, 圧縮行程48.8 mm  
膨張比17.6, 膨張行程74.1 mm  
コンロッドがあまり傾かない。  
→ 摩擦損失が少ない。



Exlink (Max 2.4°)

従来エンジン (Max 16°)

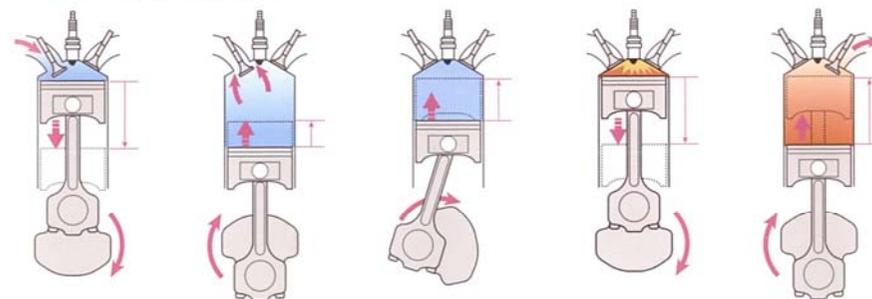
**EXlink**  
Extended Expansion Linkage Engine



瀧田 他, Honda R&D Technical Review, 23, 2 (2011) pp. 28-35  
ホンダ技研工業 website

## アトキンソン・サイクル ミラー機構(ミラー・サイクル)

●ミラーサイクルの行程図 ミラー(アメリカ人)の発明(1947)



① 吸気行程 ② 吸気バルブ遅閉じ ③ 圧縮行程 ④ 膨張行程 ⑤ 排気行程

SKYACTIVE-G 1.3 Lでは  
下死点后最大110° (普通は40° 前後)

通常はこの段階で吸気バルブが閉じて圧縮行程に入るが、ピストンが上がりはじめてもまだバルブは閉じない。 R. H. Miller, Trans. ASME, 69 (1947)

複雑な機構を用いず、  
吸気バルブの遅閉じ、または早閉じによって、アトキンソン・サイクルを実現

畑村耕一, 自動車エンジン技術がわかる本, ナツメ社 (2009)

## ミラー・サイクル

ミラー・サイクルによれば、

- ① 圧縮率をノッキング限界以下の値にしつつ、膨張率を十分に大きくでき、高効率を実現できる(圧縮比より膨張比の方が重要)。
- ② 吸気バルブの遅閉じ/早閉じによって、吸気量が減るので、スロットルは開け気味になり、ポンピング損失が減る。

しかし、これは、シリンダーの大きさに対して、わざわざ吸気量を少なくしていることでもあり、同じ大きさのエンジンよりトルク・パワーは出ない。

→自動車用エンジンとしてはそのままでは不適

- 1) 過給器との組み合わせ・・・ユーノス800(マツダ)
- 2) モーターとの組み合わせ(ハイブリッド)・・・プリウス(トヨタ), アコード(ホンダ)
- 3) 可変バルブ制御で全開時には吸気バルブ遅閉じをやめる。  
(ただし、全開時に合わせて圧縮比を決めなければならない。)  
・・・デミオ(マツダ)“SKYACTIV-G”, 8代目シビック(ホンダ)“i-VTEC”(R型)
- 4) トルク低下は許容して、CVTや車両の軽量性で誤魔化す。



## ユーノス800のミラー・サイクル・エンジン(1993)

小排気量で高馬力かつ低燃費  
しかし、販売は振るわず  
2000年7月「ミレーニア」のビッグ・マイナー・チェンジで、ミラー・サイクル・エンジンはカタログ落ち

このモデルは、ユーノス時代から足掛け10年間生産



マツダ ユーノス800(1993~1996)

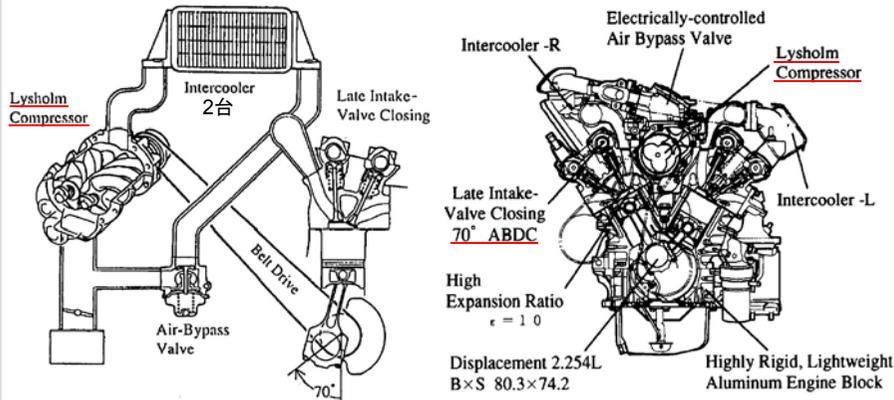
V6 2.3 L スーパーチャージド・ミラー・サイクル・エンジン (KJ-ZEM)

MC: 2.3 L ミラー・サイクル・エンジン搭載車(1993)  
2254 cc, 220馬力, 30.0 kgf・m, 10.6 km/L, 3,195,000円

25F: 2.5 L 通常ガソリン・エンジン搭載車(1993)  
2496 cc, 200馬力, 22.8 kgf・m, 9.7 km/L, 2,595,000円

ミラー・サイクル・エンジンで1993-1994RJCテクノロジー・オブ・ザ・イヤーを受賞

## ユーノス800のミラー・サイクル・エンジン(1993)



リショルム・コンプレッサで過給  
インタークーラーで冷却

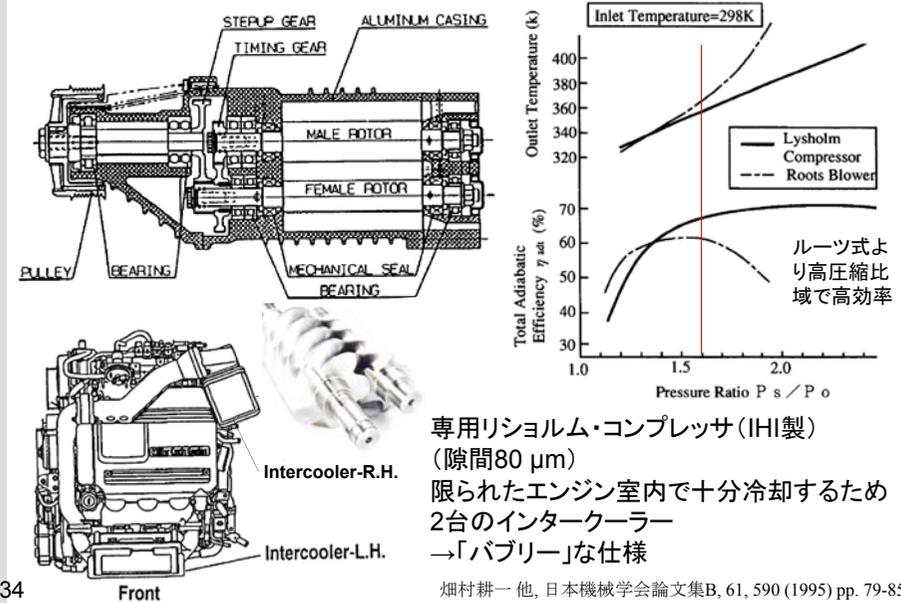
↓  
バルブ遅閉じによって減った吸気量を過給で足す。その分、インタークーラーで冷やせるので、空気温度が下がる。したがって、ノッキングしにくい。熱損失が小さい。

下死点后70°の吸気バルブ遅閉じ  
膨張比10

畑村耕一他, 日本機械学会論文集B, 61, 590 (1995) pp. 79-85

33

## ユーノス800のミラー・サイクル・エンジン(1993)



専用リショルム・コンプレッサ (IHI製)  
(隙間80 μm)  
限られたエンジン室内で十分冷却するため  
2台のインタークーラー  
→「バブリー」な仕様

畑村耕一他, 日本機械学会論文集B, 61, 590 (1995) pp. 79-85

34

## 3代目デミオのミラー・サイクル・エンジン(2011)

超高圧縮比(膨張比14)エンジン ← 世界一  
有効圧縮比: 10程度

気筒内直接ガソリン噴射による気筒内冷却(〜6°C)  
と分割噴射  
→ 耐ノッキング性

冷却EGR (Exhaust Gas Recirculation)  
→ 耐ノッキング性, ポンピング損失低減, NOx低減

センサで異常燃焼を検出し, 回避制御(吸気バルブ  
閉を遅らせる)

吸気バルブ遅閉め(最大ABDC110°)  
→ 部分負荷時のポンピング損失を低減  
(このとき有効圧縮比は8程度に低下)

各種機械損失の低減

30 km/L (10-15)  
25 km/L (JC08)



SKYACTIV-G 1.3 L  
91 ps/6000 rpm, 12.6 kg·f/3500 rpm



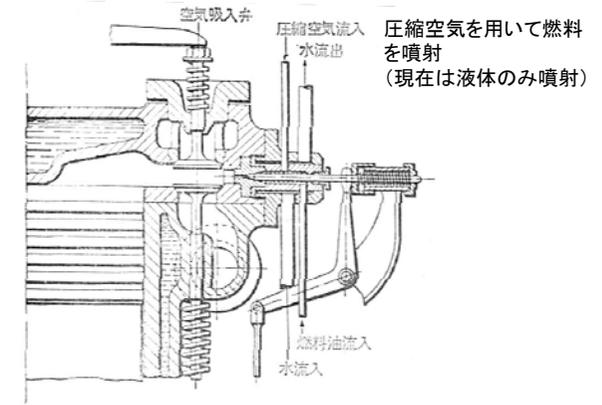
富沢 他, マツダ技報, 29 (2011) pp. 8-13

35

## ディーゼル・エンジン(1897, 論文1893)



ルードルフ・ディーゼル博士  
(ドイツ人)



圧縮着火エンジン

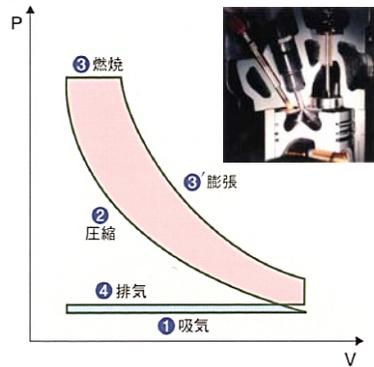
圧縮着火が可能であることは知られていたが, 当時, そのような高圧を得ることは困難だと考えられており, 開発への取り組みはほとんどなかった。ディーゼル・エンジンは, 燃料の安全性のため, 船や潜水艦への動力源として主役の座を占めるようになった。

富塚清, 内燃機関の歴史, 三栄書房 (1969)

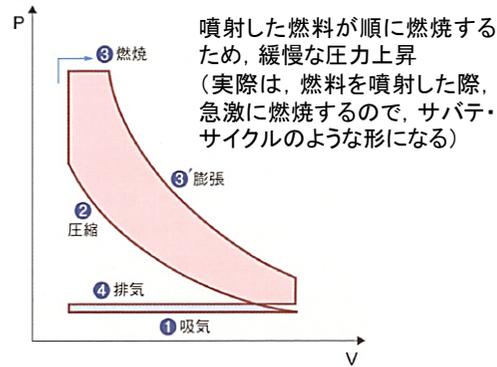
36

## ディーゼル・サイクル

●ディーゼルサイクルのP-V線図



●サバテサイクルのP-V線図



- 1) 高圧縮比・高膨張比(ノッキングなし), 過給と相性がよい。
- 2) ポンプ損失なし(スロットルなし), 特に低負荷時に顕著。
- 3) 希薄燃焼(軽油はガソリンと比べて燃焼温度が低く, NOx発生が少ない。三元触媒は化学等量比から外れると働かないので, ガソリン・エンジンでは希薄燃焼が難しい。)

37 → 高効率

畑村耕一, 自動車エンジン技術がわかる本, ナツメ社 (2009)

## ディーゼル・エンジン

高効率のディーゼル・エンジンだが, 従来からの問題は,

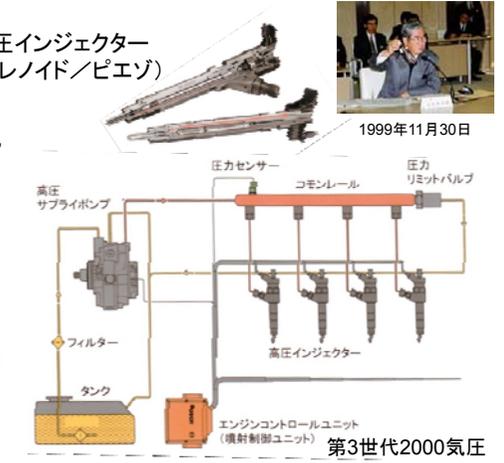
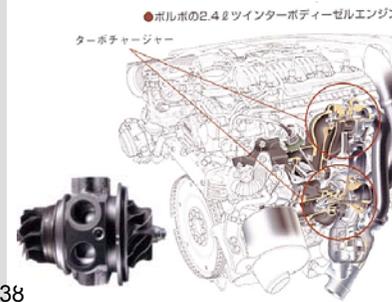
- 1) 黒煙(PM, Particulate Matter)を吐く → 東京都「ディーゼル車NO!作戦」
- 2) ガラガラうるさい
- 3) 吹け上がりが鈍く, 鈍重
- 4) 高価

高圧インジェクター  
(ソレノイド/ピエゾ)

1999年11月30日

これに対して, 近年の大きな進歩は,

- 1) コモンレール・システム
- 2) ターボチャージャー



第3世代2000気圧  
コモンレール・システム

図) 畑村耕一, 自動車エンジン技術がわかる本, ナツメ社 (2009)

38

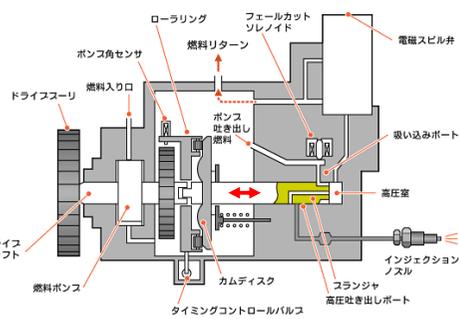
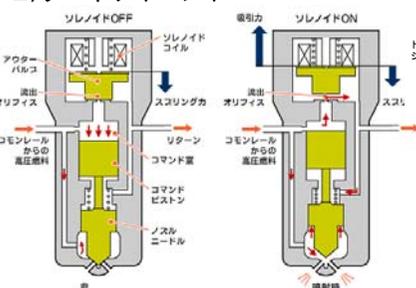
## ディーゼル・エンジン

高効率のディーゼル・エンジンだが, 従来からの問題は,

- 1) 黒煙(PM, Particulate Matter)を吐く → 東京都「ディーゼル車NO!作戦」
- 2) ガラガラうるさい
- 3) 吹け上がりが鈍く, 鈍重
- 4) 高価

これに対して, 近年の大きな進歩は,

- 1) コモンレール・システム
- 2) ターボチャージャー



分配型電子制御燃料噴射ポンプ(従来)  
(200~400気圧)  
プランジャーが右に動くと, 高圧室の燃料をさらに圧縮し, インジェクターに供給

図) 河合寿, 傑ワールドテック (元デンソー), IT MONOist

39

ソレノイド・インジェクタ

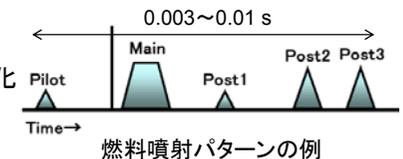
## ディーゼル・エンジンの進歩(クリーン・ディーゼル)

1) コモンレール・システム

PMは燃料の濃い部分で発生する不完全燃焼の煤(特に高負荷時に発生, 予混合のガソリン・エンジンにはない問題)  
精密制御された高圧(微粒化)・複数回噴射 → 完全燃焼 → PM低減  
ポスト噴射で排気後処理装置DPF(Diesel Particulate Filter)の制御

ガラガラ音は主に高圧燃焼の衝撃音  
パイロット噴射で緩慢燃焼に

燃料の微粒化で着火性向上 → 低圧縮比化  
→ 軽量・高効率, 軽やかな回転



2) ターボチャージャー

空気の量を増やし, 燃料の濃い部分(酸素不足)で生じるPMを低減

インタークーラーと組み合わせ, 空気温度を下げ, NOx減少  
→ PM対策に余裕(もちろん, 空気量が増え, 出力向上)

出力向上 → ダウンサイズ

→ 機械損失減少, 運転領域が高負荷側に → 高効率

40

## マツダ“SKYACTIV-D”クリーン・ディーゼル(2012)

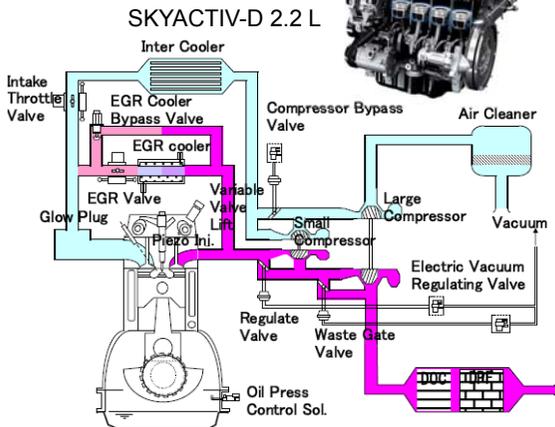
森永 他, マツダ技報, 30 (2012) pp. 9-13



アテンザ



CX-5



マツダ アテンザ(2012)

25S L Package: 2488 cc ガソリン, 188 ps, 25.5 kgf·m, 15.6 km/L, 300万円

XD L Package: 2188 cc ディーゼル, 175 ps, 42.8 kgf·m, 20.0 km/L, 340万円

41

## マツダ“SKYACTIV-D”クリーン・ディーゼル(2012)

森永 他, マツダ技報, 30 (2012) pp. 9-13

| Engine                                  | MZR-CD<br>(Previous Model)                        | SKYACTIV-D<br>(New Model)                          |
|---|---|--|
| Displacement (cm <sup>3</sup> )         | 2184  | 2188   |
| Bore X Stroke (mm)                      | φ86 × 94  | φ86 × 94.2   |
| Mounting (Tilt) Angle (degree)          | 0   | 10   |
| Compression Ratio                       | 16.3  | 14.0   |
| Max. Firing Pressure (MPa)              | 17.5  | 13.5   |
| Valve System                            | DOHC 4valve<br>Chain-Driven                       | DOHC 4valve<br>Chain-Driven<br>w/ IDEVA            |
| Valve In. Open (BTDC)                   | 6   | 9  |
| Valve In. Close (ABDC)                  | 30  | 36   |
| Valve Ex. Open (BBDC)                   | 36  | 40   |
| Valve Ex. Close (ATDC)                  | 9   | 8  |
| Crankshaft Main / Pin Journal Dia. (mm) | φ60/φ51   | φ52/φ52  |
| Fuel Injection System                   | Common Rail System<br>G3 Solenoid                 | Common Rail System<br>G3 Piezo                     |
| Maximum Injection Pressure              | 200   | ←  |
| Nozzle                                  | 10hole 900cc/min.<br>Mini-Sac                     | 10hole 1112cc/min.<br>Mini-Sac                     |
| Combustion Bowl Shape                   | Reentrant Type                                    | Egg-Shaped Type<br>(New Concept of Reentrant Type) |
| Glow                                    | ←   | ←  |
| Turbocharger                            | Ceramic Glow<br>Variable Geometry<br>Turbocharger | Serial Sequential<br>2Stage Turbocharger           |
| EGR Route                               | High Pressure<br>w/ Cooling                       | ←  |
| Aftertreatment System                   | DOC + DPF<br>/Under foot                          | DOC + DPF<br>/w Engine                             |
| Maximum Torque                          | 400Nm / 2000rpm                                   | 420Nm / 2000rpm                                    |
| Maximum Power                           | 136kW / 3500rpm                                   | 129kW / 4500rpm                                    |
| Emission Standard                       | EURO5   | EURO6<br>JPN PNLT                                  |

→ 超低圧縮比14(世界一)

ただし、どうしても高価に

→ 高速応答ピエゾ・インジェクター  
(2000気圧, 5回噴射)

→ 新燃焼室形状 → TDC近くで燃焼

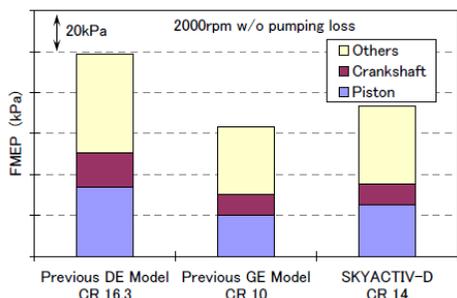
→ 2ステージ・ターボチャージャー  
(シーケンシャル・ツイン・ターボ)

→ ポスト新長期規制・EURO6対応

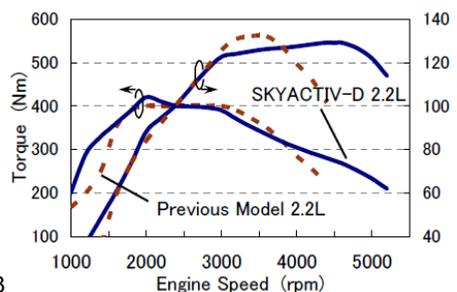
42

## マツダ“SKYACTIV-D”クリーン・ディーゼル(2012)

森永 他, マツダ技報, 30 (2012) pp. 9-13



低圧縮比化と低摩擦化  
→ 機械損失の低減



低圧縮比化によるピストン・クランク  
まわりの軽量化の効果  
→ 高回転までたれない吹け上がり

TDC近くでの燃焼と高効率の過給  
→ 低圧縮比化によるピークパワー  
の低下は僅か

43

## 中間まとめ



(1969年時点で)

何百何千もの変わり種エンジンが考案されたが、レシプロを脅かすものは現れなかった歴史を総括して...

レシプロというものが...理にかなっているらしい。その理も...一面的な単純至極なものではなく、気密保持、冷却、耐久性、生産費、アフター・サービス、取り扱い方など全部を包含した総合的な合理でなくてはならない。

「泰山鳴動して鼠一匹」

富岡 清 先生  
「内燃機関の歴史」著者  
1893年(明治26年)生まれ  
東京大学 教授

富塚清, 内燃機関の歴史, 三栄書房 (1969)

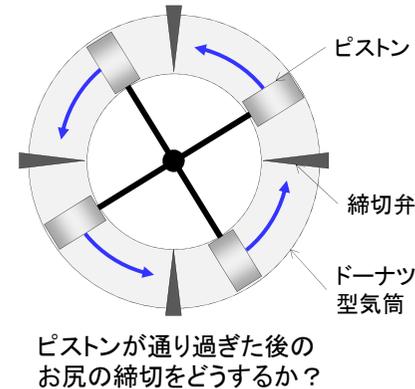
44

しかし、私は乗っていた。  
赤いロータリーに...

## ロータリー・エンジンの夢

往復ピストン運動から、コンロッドとクランクを経て回転を取り出すのは回りくどい。質量のあるものが往復するので、ギクシャクし、振動も発生する。

↓  
燃焼による静圧で、直接、ピストンを周回運動させられないか？  
エンジンの技術史の黎明期から、多くの技術者が夢見て取り組んできた課題



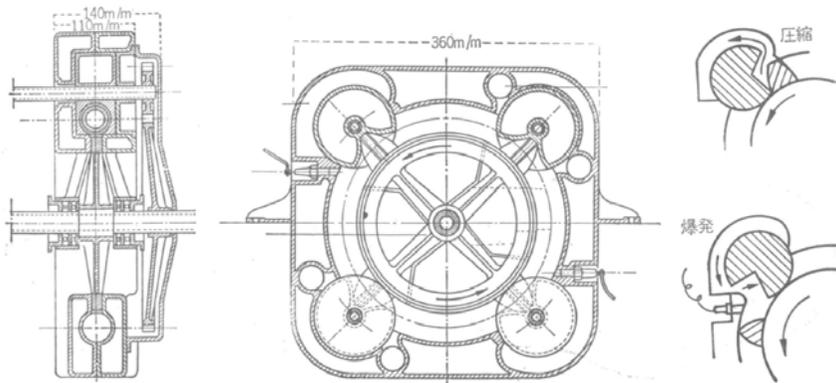
ドゥワンドルのタイヤ型エンジン  
(Garuffa, Motori a Scoppio, 1922に収録)  
レシプロエンジンの気筒をドーナツ型にしただけの珍妙なアイデア おそらく、製作されず。

富塚清, 内燃機関の歴史, 三栄書房 (1969)

46

## 真のロータリー・エンジンのアイデア(1920年頃)

エッセルベのゲート・バルブ型ロータリー・エンジン 富塚清, 内燃機関の歴史, 三栄書房 (1969)



誰もが頭を悩ませた「お尻の縮切」問題を四隅に配した回転ゲート・バルブで解決

- エキセントリック(偏心軸)のような往復運動をとまなうものが皆無
- 全て歯車連動による回転運動で実現可能
- 燃焼の静圧による駆動力が接線方向

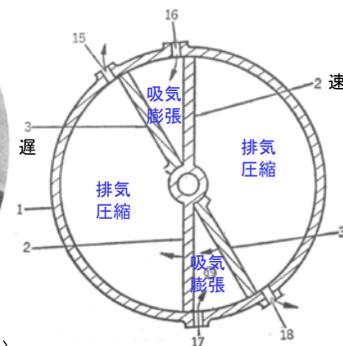
47 4つのピストンで1回転あたり8回の4サイクル動作 製作されなかったのでは？

## 村上式ロータリー・エンジン(1930~1940頃)



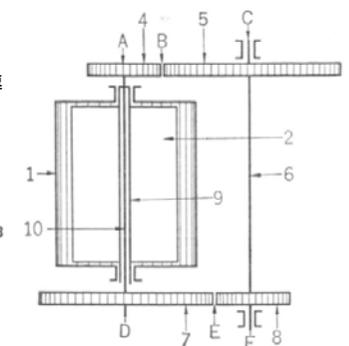
村上 正輔  
京都大学卒(明治36年)  
戸畑鑄物社長  
日産自動車社長  
昭和24年逝去  
昭和7年(1932)特許出願  
昭和9~12年頃, 村上式  
ロータリー・エンジンの開  
発に注力

富塚清, 内燃機関の歴史,  
三栄書房 (1969)



二組に仕切り板2, 3が速度を変えながら回転(「猫と鼠」型)。仕切り板に挟まれた空間の空気は、圧縮と膨張を繰り返す。

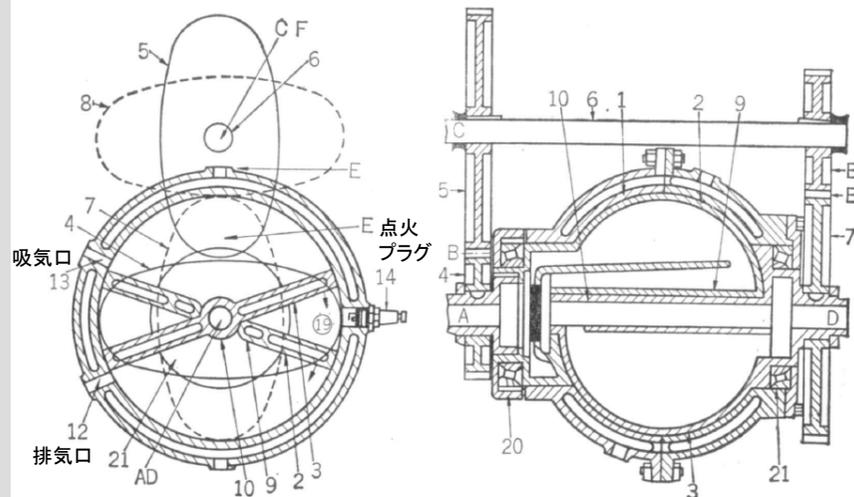
2組のオーバール・ギアで二組の仕切り板を速度を変えながら回転させる。あつと言わせる巧妙な機構



オーバール・ギア機構

48

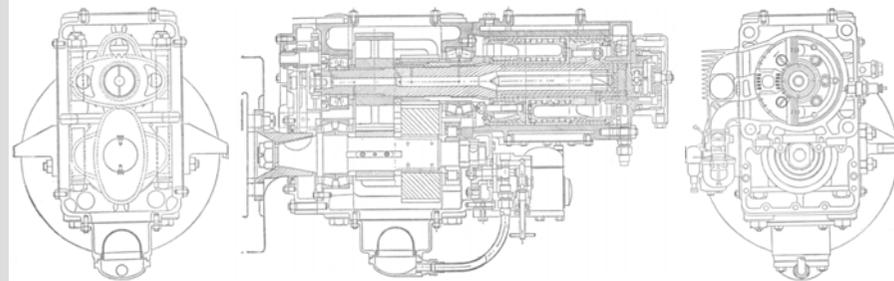
## 村上式ロータリー・エンジン(1930~1940頃)



村上式ロータリー・エンジンの構造案  
仕切り板内部は水冷  
一見、シンプルだが...

49

## 村上式ロータリー・エンジン(1930~1940頃)



気密保持や潤滑を考慮すると、大変複雑な設計になる。

昭和9~12年(1934~1937年)頃、戸畑鑄物社員だった拓殖陽太郎氏(後、京大助教授→武蔵工大教授)、日産自動車社員だった鍋谷正利氏(後、小松製作所役員)や遠田氏といった優秀なメンバーとともに、戸畑鑄物や日産自動車の財力や技術をつぎ込んで、試作・開発。

回るには回ったが、安定性や耐久性は得られず、昭和12年頃、開発を放棄。

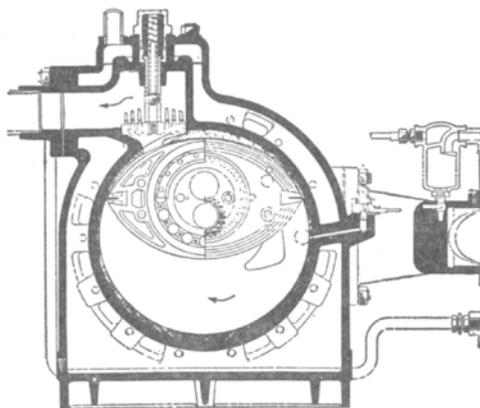
**気密保持や潤滑が困難** ← 全てのロータリー・エンジンの共通の問題

50

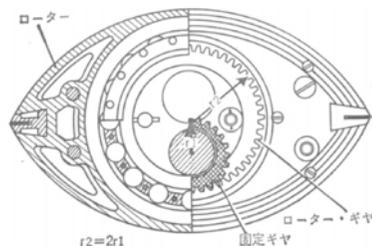
富塚清, 内燃機関の歴史, 三栄書房(1969)

## バンケル・エンジンへの序章

ブランシュ式ポンプ(1930年頃)  
偏心軸と蘭型ローターを組み合わせた圧縮機



エッセルベヤや村上のロータリー・エンジンと比べると、偏心軸を有するため、レシプロ的往復運動がともなう(擬態ロータリー)。



発表当時、注目されるも、信頼性の問題等で姿を消す。

富塚先生は、これを手に入れ、実際に性能試験をしたが、耐久性に問題を発見。内筒面の波状摩耗、側面の傷などは、後のバンケル・エンジンの開発でも苦しんだ問題であった。

富塚清, 内燃機関の歴史, 三栄書房(1969)

51

## バンケル・エンジンの登場



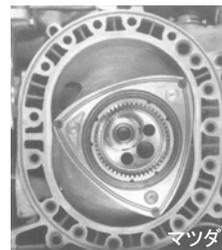
フェリックス・バンケル博士(ドイツ人)(1902~1988)

バンケル氏は流体機械のエンジニアであり、第二次大戦中からロータリー・エンジンを構想

1951年 NSU社と技術提携  
1957年 DKM54型エンジンを試作  
(125 cc × 1, ハウジングも回転)

1958年 KKM57型エンジンを試作  
(エキセントリックの採用で、ロータのみ回転)

1959年 KKM250型エンジンで耐久性試験に成功  
1960年 ドイツ技術者協会でエンジンを公開運転  
世界中から23社もがライシングを受けて、研究開発



52



DKM54

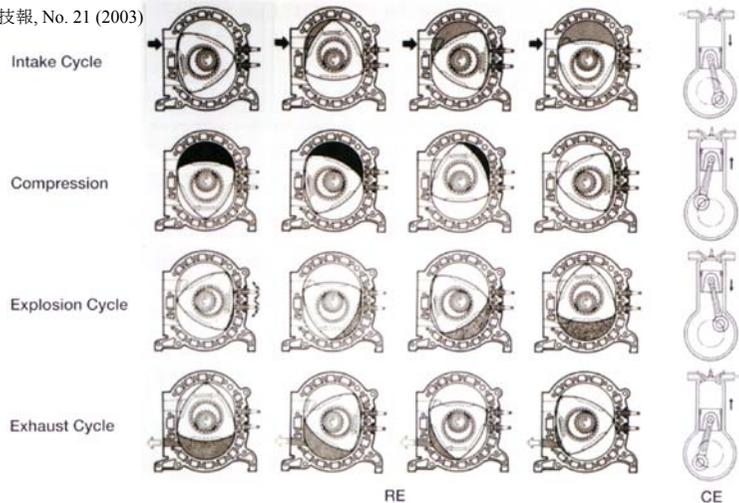


KKM57

[http://www.italian.sakura.ne.jp/sons\\_of\\_biscuits/?p=4788](http://www.italian.sakura.ne.jp/sons_of_biscuits/?p=4788)

## バンケル・エンジンの動作

マツダ技報, No. 21 (2003)

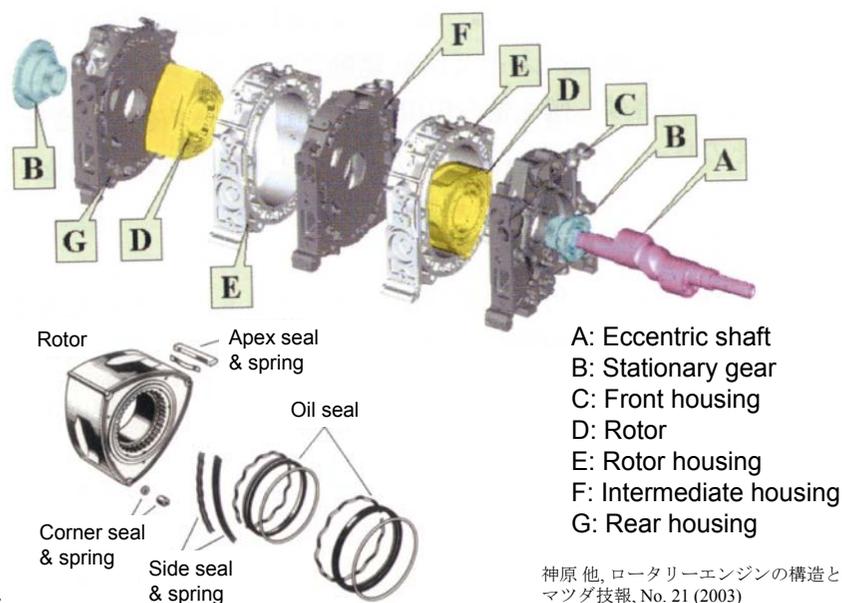


ローター1回転で3回爆発(ローターの各片で爆発)

$$\omega_{\text{rotor}} = \omega_{\text{shaft}}(z_{\text{in}}/z_{\text{out}} - 1), z_{\text{in}}/z_{\text{out}} = 2/3 \text{より}, \omega_{\text{shaft}} = -3\omega_{\text{rotor}}$$

53 したがって、出力軸1回転で1回爆発 → 4サイクル・レシプロ・エンジンの2倍相当

## バンケル・エンジンの構造



54

## マツダでのロータリー・エンジンの開発

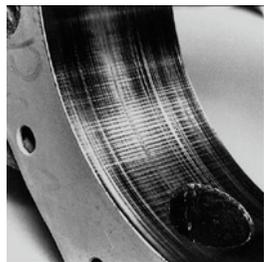
1961年7月 マツダ, NSU社/バンケル社と技術提携

松田恒次社長(当時)直轄プロジェクト「**今後はロータリーエンジン一本でやってもらう。**」  
松田社長には、通産省の指導で、会社統合による自動車業界再編がされるのではないかとこの恐れがあり、マツダの独立のために独自技術を持たなくてはならないという信念があった。松田社長は、社内の技術力に自信があったと思う。(山本氏)

高速で動いているエンジン上にコインを載せても倒れないデモンストレーション。しかし、低速は全く駄目。

シリンダー内壁に洗濯板のような波状の異常摩耗「**チャターマーク**」の問題。

独創性シリーズ「ロータリーエンジンの開発」, マツダ(株) 代表取締役社長 山本健一, 半導体研究所報告, 23, 3 (1987) pp. 83-94



55 チャターマーク「悪魔の爪痕」



旧半導体研究所(1号館)  
現在の入試センター



## マツダでのロータリー・エンジンの開発

1963年4月 ロータリーエンジン研究部発足

山本健一氏インタビュー  
(平成8年2月22日, マツダ)

部長は山本健一氏(後, マツダ 代表取締役社長)  
その下に46名, 総勢47名 「ロータリー四十七士」

「今日からわれわれ四十七士は、研究室を我が家と思い、ロータリーエンジンが完成するまで、寝ても醒めてもロータリーエンジンのことを考えてほしい。苦しいことも多いだろうが、そのときは赤穂浪士の苦労を思い起こして...」と挨拶(山本氏)  
「そのとき以来、『寝ても醒めても』が我々の合言葉になった。」(山本氏)

1963年秋 チャターマークを、一旦、克服

様々なアペックスシールを試み、チャターマークのピッチがアペックスシールの共振周波数と一致することを発見。アペックスシールに縦穴、横穴をあけるクロスホロー構造によって共振を分散させ、チャターマークを、一旦、克服(耐久性5~6万km)。

「あの悪魔の爪跡、チャターマークがなくなっていた。今でも私は、苦難のロータリーエンジン開発史の中での輝かしい一瞬であったと思う。」(山本氏)



56

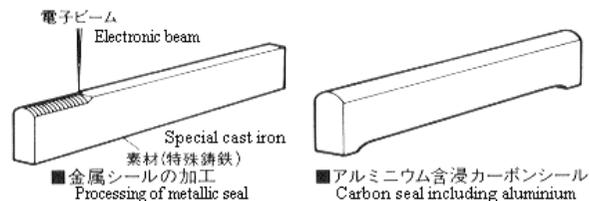
[http://asmic.com/rotary/re\\_deve.htm](http://asmic.com/rotary/re_deve.htm)

## アペックスシールの開発

日本カーボンと共同開発したアルミニウム含浸カーボンシールをアペックスシールに採用。

「日本カーボンが新幹線のパンタグラフ摺動面に使う新しいカーボンを開発したというニュースが入ったのが昭和39年の夏であった。この新カーボン開発に携わった平塚技師という人が奇遇にも『あなたの奥さんのいとこに当たります。』と言うことで、彼を家へ招き一杯飲もうということになった。私には下心があった。『シールとして耐えられるカーボンを開発しない限りチャーターマークは解決しない。俺のライフワークであるロータリーエンジンを、生かすも殺すもお前さんの腕一本だ。』まるで脅迫じみた口説きであったが彼は燃えてくれた。『よし、俺もライフワークとして、そのカーボンをモノにしてみせよう。』技術者と技術者の共感である。日本カーボンに特別チームが作られ開発は加速した。」(山本氏)

結局、金属アペックスシールになる。電子ビーム法によるシールトップ面のチル化(チル化: 鋳物の組織内部に炭素化合物を増加させること、組織を急冷)

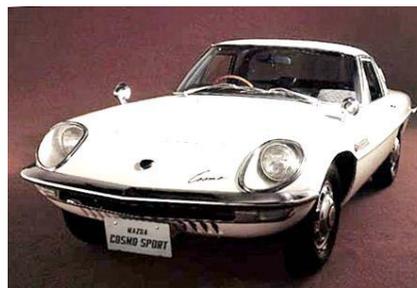


[http://asmic.com/rotary/re\\_deve.htm](http://asmic.com/rotary/re_deve.htm)

57

## 商品化:コスモスポーツ発売(1967)

ロータリーエンジン研究部発足からわずか4年  
1967年5月30日 コスモスポーツ(L10A) 発売  
その前、1966年2~12月に販売店で試作車40台の実地試験



1972年まで 1176台販売



10A 491 cc × 2  
110 ps/7000 rpm, 13.3 kgm/3500 rpm

「コスモの第1号車を欲しいといって、松下幸之助さんから松田恒次さんに注文があったのです。それで、最初の1台を持って行った時、(松下幸之助さんに頼まれて)、松下電器で講演したことがあります。」(山本氏)

58

## ロータリー・シリーズ



ファミリア ロータリークーペ(1968)



ルーチェ ロータリークーペ(1969)(13A)



カペラ ロータリーシリーズ(1970)(12A)

イノベーションの要件は、技術が合理的であることと、応用に説得力があること  
「バンケルでなければ出来ないような魅力的な車を作ることが絶対条件なのです。...レシプロエンジンではできないのですという車を作ってこそ魅力的なのです。最初のコスモスポーツは良かったが、その後、間違えたわけです。...アプリケーションがどうあるべきかという原点を考えないで非常に甘かった失敗だったと言えます。」(山本氏)

59

## ロータリー・エンジンの特徴

### 【長所】

- 動弁系がないなど、単純な構造のため、理想的には機械抵抗が少ない。
- 4ストローク・レシプロ・エンジンがクランク・シャフト2回転で1回燃焼するのに対し、ロータリー・エンジンはエキセントリック・シャフト1回転で1回燃焼するので、**小形高出力**。ただし、自動車税計算には1.5倍の排気量を適用。
- エンジン回転数の上昇にともなうトルクの上昇が滑らか。低振動、低騒音。→ 高回転まで滑らかな吹け上がり(オーバレブ・ブザーが装備されていた)。
- 低圧縮である事からノッキングをしにくく、燃料のオクタン価の影響が少ないため、ある程度粗悪な燃料にも耐える(ターボ未装着の場合)。
- 燃焼温度がレシプロエンジンと比較して低いため、排気ガスの成分に窒素酸化物(NOx)が少ない。

### 【短所】

- 極低回転域において、レスポンスと燃焼安定性が悪い。
- 低回転時のトルクは同出力のレシプロエンジンと比べ劣る傾向にあり、町乗りなど主に低回転域で走る際には**燃費やトルクで不利**。
- 排気騒音が大きく、排気温度が高く、冷却装置に大掛かりなものが必要である。
- 未燃焼燃料の炭化水素(HC)が多い。  
→ ノーマルでもアフターファイアーを吐く。

**小形軽量、高回転型エンジン**  
→ **スポーツカーに適したアプリケーション**



60

## サバンナRX-3 (1971, GTは1972)



前期型 S102系 (1971~1973)



1971年12月 10A搭載のサバンナが、富士500マイル・TTレースで優勝し、GT-Rの国内レース通算50連勝を阻止。  
12A搭載のサバンナは、1972年5月の日本GPで独走・優勝し、以後、1976年5月のJAF-GPで国内レース通算100勝を達成。



後期型 S124系 (1973~1978)

10A 491 cc × 2, 105 ps/7000 rpm, 13.7 kgm/3500 rpm  
1972年 12A (125 ps) を搭載したサバンナGT 発売

61 レースでの活躍があり、コストパフォーマンスに優れたスポーティーカーとして人気があった。

## 排ガス規制対応, 燃費向上

1968年 アメリカ連邦政府排ガス規制

1969年10月 ルーチェ ロータリークーペ (13A) 発売

アメリカ連邦政府排気ガステストに合格

ロータリーエンジンは、NOx排気は少ないが(NOxをさらに下げると燃調は濃い目で燃費は悪い)、HC排気は多い。サーマルリアクターで燃え残りのHC(とCO)を再燃焼させる排ガス対策装置を用いて、排ガス規制をクリア。

1970年12月 米国大気浄化法「マスキー法」

1971年10月 ルーチェ ロータリー・シリーズ(公害対策量産車第1号)

米国環境保護局(EPA)のによるマスキー法試験に合格

1973年末 第一次エネルギー危機

1975年10月 燃費40%改善の低公害ロータリー車「コスモAP」(13B) 発売

排ガス処理装置サーマルリアクター(REAPS)の排熱で、サーマルリアクターに導入する二次空気を加熱(熱交換)することで、燃料を希薄化し、燃費改善。



62

## プロジェクトX605

第一次エネルギー危機後、ロータリー・エンジン搭載車は、「ガスガズラー」(gas guzzler)の汚名(米国内)とともに販売不振

乱売せざるを得ない状況で、サービスの質が下がり、悪循環。レシプロ・エンジンなら町の車工場で修理できるが、新しいロータリー・エンジンは、サービスと一体で提供しなくてはならない。

ロータリー・エンジンの長所を活かせる新しいコンセプトの車が必要。しかし、会社経営が傾いており、そのような車の開発に投資できない。→ 山本氏は挫折感

経営陣、新コンセプト・スポーツカーの開発の決断 「プロジェクトX605」

技術者の情熱と執念 「誰も出来ません、無理ですとは言わなかった。」(山本氏)

広範囲なマーケティングと積極的な市場導入計画

1978年2月 米国ジャーナリスト向け発表 喝采と声援を受ける。

「アメリカ人はしっぽを巻いて逃げていく負け犬には冷淡である反面、アンダードッグ(弱い者いじめにあっている者)が必死になって努力し、その挫折から立ち上っていくことに対して、その拍手と声援を惜しまない国民性を有している。」(山本氏)

1978年5月 全米マツダディーラーミーティング(ラスベガス)

63

山本健一、ロータリーエンジンの開発、半導体研究所報告、23, 3 (1987) pp. 83-94

## ロータリー・エンジンでこそその車 RX-7



車としてのコンセプトを十分検討した戦略車



フロントミッドシップ、低いボンネット、理想的な重量配分

高い人気を勝ち得て、マツダのイメージ戦略、信用回復、経営再建に貢献

1978年 サバンナRX-7 (SA22C)

12A 573 cc × 2, 130 ps/7000 rpm, 16.5 kgm/4000 rpm



その後、マイナーチェンジで定番となった透明カバー付きテールランプ



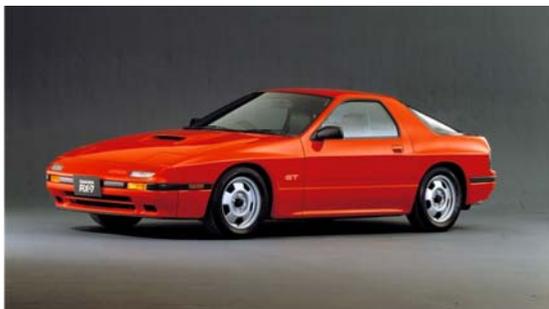
スカイラインR30後期型 (1983~1985)

1983年9月 サバンナRX-7 マイナーチェンジ

ターボ車追加(12Aターボ搭載) 165 ps/6500 rpm, 23.0 kgm/4000 rpm

64

## 2代目RX-7(FC3S)



1985年10月 サバンナRX-7をフルモデルチェンジ(FC3S)  
 13Bターボ 654 cc×2, 185 ps/6500 rpm, 25.0 kgm/3500 rpm  
 ツイン・スクロール・ターボ  
 動的過給機構(吸気脈動を気筒間で干渉させ過給効果を得る)  
 4ポートでそれぞれに燃料を噴射する電子制御インジェクション  
 最も売れたRX-7(バブル時代突入)

1989年 マイナーチェンジ 205 ps/6500 rpm  
 ∞(アンフィニ) 215 ps/6500 rpm

65



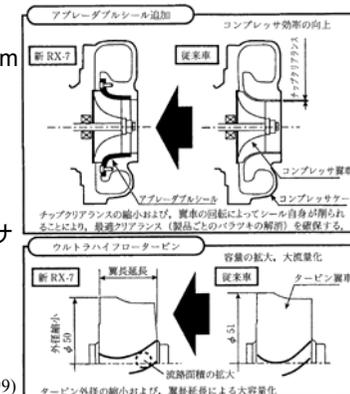
## 3代目RX-7(FD3S)・・・究極のロータリー・スポーツ



最終特別仕様車「スピリットR」

1991年12月 RX-7フルモデルチェンジ(FD3S)  
 13B-REW 654 cc×2, 255 ps/6500 rpm,  
 シーケンシャル・ツイン・ターボ 30.0 kgm/5000 rpm  
 乾燥重量1260 kg  
 1996年1月 マイナーチェンジ  
 13B-REW 265 ps/6500 rpm  
 1999年1月 マイナーチェンジ  
 13B-REW 280 ps/6500 rpm  
 アブレードダブル材を採用したハイフロー・コンプレッサ  
 エキマニの最適化による排気抵抗低減  
 インタークーラーまわりの冷却強化  
 潤滑強化のためメタリングオイル供給装置  
 コンピューター最適化

66 2002年8月 生産終了 丹羽靖, 日本機械学会誌, 102 (1999)



## バブル時代の象徴 3ローター・ユーノスコスモ(1990)



1990年4月 3ローター・ロータリー・エンジン搭載 ユーノスコスモ  
 20B-REW 654 cc×3, 280 ps/6500 rpm, 41.0 kgm/3000 rpm  
 シーケンシャル・ツイン・ターボ  
 333 psを目指して開発, 自動車馬力規制で280 psに(1989年のフェアレディZ(Z32),  
 スカイラインGT-R(BNR32), インフィニティQ45が前例に, 2004年に撤廃)  
 12気筒並みの滑らかさ  
 燃費 6.1 km/L(10モード) 市街地では1~3 km/Lか?

バブル時代(1986~1992年頃, 就職氷河期は1993年~) 高級車ブーム, モータースポーツブーム, 内定日は海外旅行, ディスコ, スキーリゾート, クリスマスホテル, ポケベル

67

## バブル時代に開発され, 登場した車



68

## 新しいロータリー・エンジン搭載RX-8(2003)



観音開きのドア

2003年4月 RX-8発売 2012年6月 生産終了

13B-MSP (RENESIS) 654 cc × 2, 250 ps/8500 rpm, 22.0 kgm/5500 rpm

**サイド排気ポート**採用 サイド排気ポートは開発当初から検討された方式であったが、技術課題が多くタブーとなっていた。

サイド排気ポートによって吸排気ポートのオーバーラップを無くすしか、燃費改善の方法がなく、この方法を開発。オーバーラップがない状態で吸気ポートを早く開けることができ、出力(回転数)をアップ。過給器が不要になった。

ロータリー側面のシーリングを改善(サイドシール内側で吸排気ポートが繋がっている)。

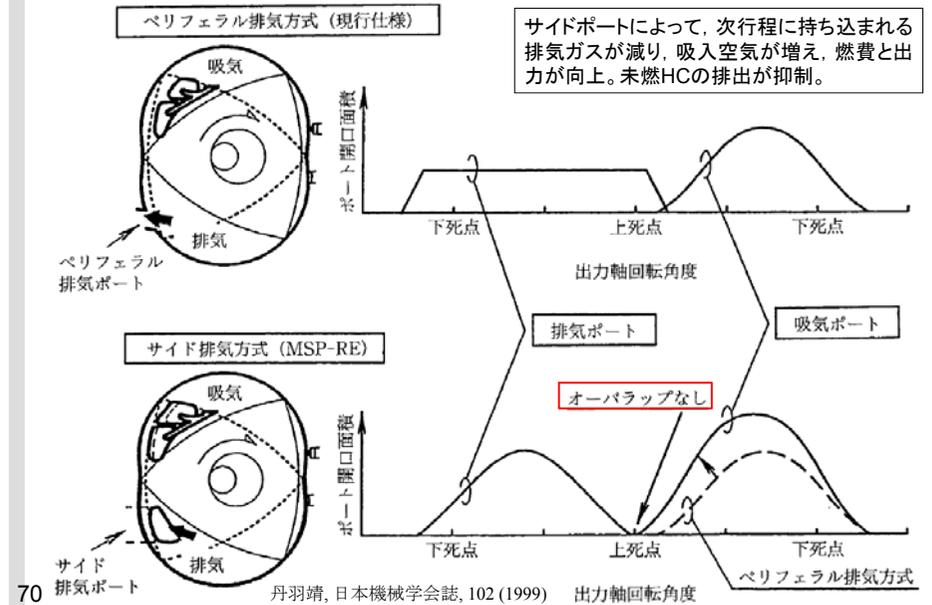
サイドポートにオイルのカーボンが溜まり、ポートがほとんどふさがってしまう問題は、ポート周りに精密鑄造で冷却水路を設けて解決。

ロータの軽量化やバランス改善によって高回転化。

サイド排気ポートの欠点であるアイドルの不安定さもジェットエア燃料ミキシング・システムなどで解決。

69

## ペリフェラル排気方式とサイド排気方式



70

## その後のNSU社

[http://www.italian.sakura.ne.jp/sons\\_of\\_biscuits/?p=4788](http://www.italian.sakura.ne.jp/sons_of_biscuits/?p=4788)



1964年 NSU社 Spider発売

**世界初のロータリー・エンジン搭載市販車**, RR完成度の低かったバンケル・エンジンにはトラブルが多く、故障等へのクレーム対応に多大なコストを要す。

3年間の総生産数はわずか2375台

1967年 NSU社 4ドアセダンRo80発売

KKM612 498 cc × 2, 113 hp, FF(セミオートマチック)

1968年 COTY(カー・オブ・ジ・イヤー) しかし、ビジネス的には失敗

1969年 NSU社 フォルクスワーゲン(VW)に吸収 → Audiブランドに

71 Ro80の生産・販売はVW傘下になった後も継続、生産中止までの10年間に約3万7千台



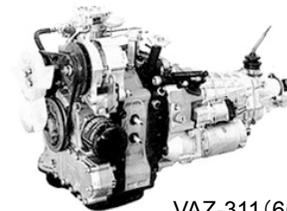
KKM502 (498 cc × 1)  
50 hp(後期型54 hp)



## 東側でもロータリー・エンジン



LADA-21018 (1979)

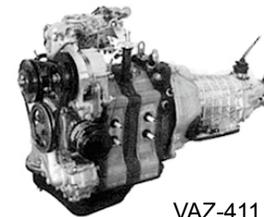


VAZ-311 (654 cc × 1, 80 hp)

ロータリー・エンジン車は警察、内務省、KGB等向け一般用はレシプロエンジンを搭載



LADA-21079



VAZ-411 (654 cc × 2, 120 hp)

[http://www.italian.sakura.ne.jp/sons\\_of\\_biscuits/?p=4788](http://www.italian.sakura.ne.jp/sons_of_biscuits/?p=4788)

72

## ロータリー・エンジンへの批判と皮肉(富塚 清 先生)

日本機械学会誌 第70巻 第576号

( 23 )

昭和 42 年 1 月



### 内 燃 機 関 禁 忌 集 補 遺\*

——特にレシプロ対ロータリについて——

日本機械学会誌, 70, 576 (1967) pp. 23-24

東京大学 名誉教授 富 塚 清\*\*  
明治大学 講 師

(気密保持の面)

最近のロータリはこの面に改良の手を打ちほとんど難題解消とあるが、これが真実とすれば従来のレシプロも長方形シリンダの採用にふみ切つてよいはず。これで新機軸を出すも愉快。皮肉めいて恐縮であるが単純なたとえにより事情が明確至極になると思いあえて申した次第。

#### 5. 判定の追加事項

ロータリー・エンジンの欠点を11個並べる。

ただロータリの取柄は学生の教育用としてきわめて有意義ということ。一般にこれで苦しむとレシプロのよさの正しい認識が始めて得られるからである。

(ロータリー・エンジン)  
しかし後者はまだ完全な過去のものでなく、現在鋭意取組み中の人もあるので多少のさしさわりがありそうだが、大観すればもう大半始末記の範囲にはいったものとみなせる

ともかく軸の1回転にピストンは2回停止する点がいかにも勸にさわる模様で、ロータリにはそれが無い点が最大の魅力となる。

ところがこの2点はとんだ見当ちがいが、第一ざん新どころか、ジェームス・ワットも考えたという古物、しかも彼は物にならぬとして捨てたのである。

73

## ロータリー・エンジンの章 まとめ

富塚 清 先生 (内燃機関の歴史, 三栄書房 (1969))

「(バンケル・エンジンについて)エキセントリックなどというものを使い、ロータリーの理想からはるかに後退、実質的にレシプロに墮しながら、しかも考案15年、試作10年を経てこの始末であるのは、いかなる理由によるか。ここには相当に深刻な素質の欠陥がひそむとみるのが妥当であろう。」

山本 健一 社長(当時) (平成8年, インタビュー)

「ロータリーエンジン研究部の編成を発表した直後から、大学の体制派教授がいかに保守的で革新的であったかを思い知らされた。」

「東大名誉教授で当時の内燃機関学界の泰斗と見なされていた富塚清さんが先頭に立ってロータリー批判ののろしを上げたのです。」

「月刊誌『モーターファン』が富塚さんのロータリー批判の連載を始めました。その後、彼は日本機械学会誌にも攻撃的な批判を再度にわたって投稿しました。」

「彼の弟子の大学教授達が『ロータリーエンジンは不可能であることを研究するグループ』を結成し、僕に手紙を寄こしたのです。まさに彼等には、レシプロ教のベテラン教徒達が異教進出を阻止するために決起した感がありました。」

「彼ら教授は従来のためなロータリーエンジンしか知らないわけで、改善された或いは改善されつつあるバンケルの現物も見えていないし、勉強もしていない。」

74

## ロータリー・エンジンの章 まとめ

山本 健一 社長(当時) (平成8年, インタビュー)

「僕が一番悩んだのは、若い連中がみんなぐらつくのです。大学の先生がだめだと言っているから、いかに理論的にやってもこれはだめではないかと。…僕の仕事は、いかに彼らを激励するかだったのです。」

リーダーは、技術上の問題解決に自らアイデアを出して陣頭指揮することも重要。これにも増して、周囲に起きる批判的な声、学会などの中傷に対して戦い、開発に従事している者がぐらついたりしないように努めなくてはならない。

「メンバーは時として自信を喪失したり、挫折感に襲われることがある。それだけに技術開発におけるリーダーの責任は重い。信頼に基づく人間関係を前提にしてリーダーシップが要求される。」(山本健一, 半導体研究所報告, 23, 3 (1987))

2012年6月以降、ロータリー・エンジン搭載車は市場から消えているが、もし富塚先生が生きていたら、この状況をどう評価するであろうか？  
皆さんならどう考えるか？

75

## おわりに

- 技術は総合的に合理的でなくてはならない。
- アプリケーションには説得力がなくてはならない。
- 誰も成功したことがない技術であっても、上記に確信を持つなら、イノベーションを起こすためには、信念と情熱を持って研究開発に取り組みなくてはならない。
- 権威が(できないと)言うことが必ずしも真ではない。
- 研究開発においてリーダーの責任は重い。
- 歴史に名前を残しているのは、アイデアを言った人ではなく、ものにした人。

「独創」で繋がった

西澤潤一 先生 — 山本健一 社長 — 松下幸之助 会長



76