

# 回転気筒空冷星形発動機の盛衰(上)：技術サブシステムの相互連関という視点から見た変り種エンジンの技術史

坂上 茂樹

<b>Citation</b>	Lema. 478; 93-101
<b>Issue Date</b>	2005-01
<b>Type</b>	Journal Article
<b>Textversion</b>	Publisher
<b>Rights</b>	このコンテンツは、「私的使用」や「引用」など、著作権法上認められている適切な方法にかぎり利用できます。その他の利用には、著作権者の事前の許可が必要です。

Self-Archiving by Author(s)  
Placed on: Osaka City University Repository

## 回転気筒空冷星形発動機の盛衰（上）

—技術サブシステムの相互連関という視点から見た変り種エンジンの技術史—

### On the History of the Revolving Cylinder Radial Engines (1/3)

坂上 茂樹\*

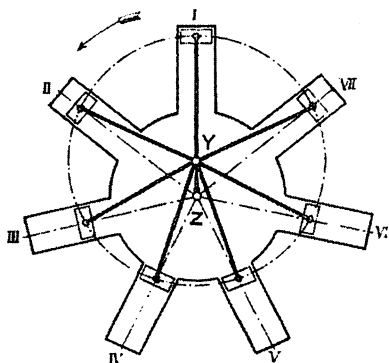
Shigeki Sakagami

1. 回転気筒空冷星形発動機とは
2. 誤った技術史的総括
3. 回転気筒空冷星形発動機の登場—アダムズ・ファークウェル自動車用機関（以上本号）
4. 航空発動機としての回転気筒空冷星形発動機—グノームとル・ローン
5. その他の回転気筒空冷星形航空発動機
6. 回転気筒空冷星形発動機に関する技術的総括

#### 1. 回転気筒空冷星形発動機とは

回転気筒空冷星形発動機（現役当時は、単に Rotary Engine, Rotating-Cylinder and Radial Engine あるいは Revolving Cylinder Motor などと呼ばれた。以下、文中 RCE と略記）とは、文字どおりクランク軸が静止し、気筒群とこれを支持するクランク室とが回転する通常の内燃機関とは

第 671 図

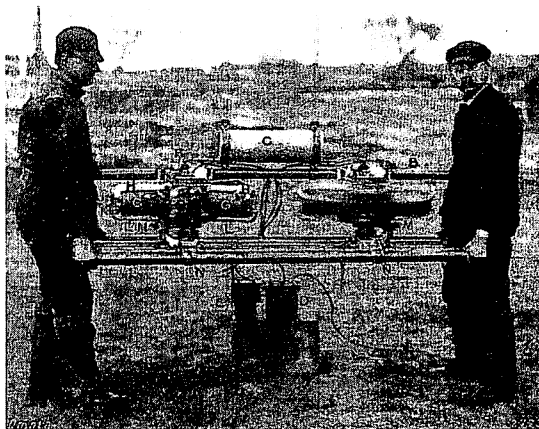


Y : クランクピン (コネクティングロッド群の回転中心)  
Z : クランク軸中心 (クランクケース/気筒群の回転中心)  
内丸最一郎『内燃機関 (後編)』(丸善 1931 年) 775 頁第 671 図

図-1 回転気筒星形空冷機関の概念

アベコベの星形機関である。その主たる使途は自動車用機関および航空発動機であり、とりわけ後者においては一時代を画する動力技術となった。

本形式においては、星形なるがゆえにレシプロ機関における最もやっかいな大物部品たるクランク軸が短く仕上がるうえ、これが回転しない。20 世紀初頭、飛行機はぜい弱な機体[構造技術]、空冷・水冷を問わず冷却性能に不安を抱えた信頼性の低い振動発生装置たる列形ないし扇形発動機[動力技術]および命がけの飛行機野郎[制御技術]との冒険的結合により、かろうじて巢立ちを果たしたばかりであった。この時代状況を考えれば、多気筒化しやすい割に、製造上も運用上もとっ



A : 静止している発動機, B : 回転している発動機, C : ガソリンタンク, D : バッテリー, E : コイル, F : ディストリビュータとオイルポンプを支持する気化室, G : ウォータージャケットも冷却フィンもない裸のシリンダ, H : 吸気管, J : 吸気弁システム, K : 排気弁システム, L : 二つの弁を作用させるロッド, M : タイミングギヤ, N : 下部架構。クランク軸によって上の F と結合されている

L. Baudry de Saunier, *L'automobile Théorique & Pratique*. Tome I - Le Moteur (1913?), p.349, Fig.209.

図-2 RCE の運転状況 アメリカの飛行機の発動機架上に搭載されたアダムズ・ファークウェル 5 気筒発動機

\* 大阪市立大学教授  
Osaka City University, Prof.

きの良い RCE は格好の航空発動機であった。

RCE の運用面にかかわるメリットの筆頭は、この高出力と振動の少なさにあった。前者はコンパクトに多気筒化させやすい星形というレイアウト、および熱伝導性の悪い鋼/鋳鉄製気筒・気筒頭を、それ自身の回転によって作り出した対気速度を生かして無理やり冷却できるという、こちらはかなり怪しげな特性に負っていた。

後者は、そのゆえんを 2 点にさかのぼることができる。第一は混合気分配が同時代の列形機関より概して良好で、トルク変動が小さいために実現した回転の円滑性。第二は不つり合い慣性力による振動がほとんどなかったことである。星形発動機は、気化器～気筒間距離の均等性という列形機関では実現しづらい特性を潜在的に具有している。後年、固定気筒星形発動機においては、この混合気分配にかかわる潜在的有利性が過給によって顕在化した。これに対して、RCE においては同じ潜在的有利性が気筒自身の高速回転によって一足先に顕在化せしめられた。確かに、この構造では混合気分配に偏りを与えるほうが困難であろう。

不つり合い慣性力に起因する振動について付言すれば、放射状に展開したピストン・コネクティングロッド系からなる主運動部はクランクピンを中心として回転するだけであり、往復運動する大物部品が存在しないため、不つり合い慣性力に起因する振動はほとんど発生しない。これは、振動面でも故障発生率の面でも有利な特性であった。往時の文献にも：

……「グノーム」「レ、ローン」等の如き回転気筒式の機関に於ける連接桿及曲柄軸の故障は、「オーストロダイムラー」、「ライト」等の如き豎形固定気筒式の機関に比して、遙に少ない。

と記されている<sup>1)</sup>。

ただし、RCE においてもつり合いは完全ではない。クランクピン中心 (Y) がクランク軸中心 (Z : 気筒群の回転中心) より上方で固定されている配置においては、ピストンおよび連桿の回転角速度が 12 時の位置で最大、6 時の位置で最小となる。角加速度にかかわる加減速の反動は相殺されるが、角速度の差は遠心力の差となって現われる。これを相殺する力は存在しないから、発動

機には 1 回転につきピストン・連桿数、すなわち、気筒数に等しい起振力が作用し、これによって 5 気筒 RCE ならば 5 次、7 気筒であれば 7 次の振動が惹起される。いずれにしても高次の振動で、実用上問題はない。燃焼の不均一や不つり合いによる振動を抑え込むことに腐心した「試製の」航空発動機開発史を思うにつけ、当時この振動特性のありがた味は格別であったと推論されるが、こうした点については、正当に記述されているとは言えない<sup>2)</sup>。

これらの明確な長所ゆえに、RCE を世に問うたメーカーの顔触れも多彩であった (表 1)。進歩の足跡や技術的バラエティーを示す標本にも事欠かない。やや子細に見れば、混合気形成法に気化器式あり、噴射式あり。潤滑法に混合油あり、飛沫あり、圧力注油あり。動弁機構・吸排気系などにおいても自動弁を吸気に用いるもの、1 本 (おそらくプッシュ・プル) ロッドで吸排気弁を作動させる図示の OHV 方式のほか、通常の OHV から SV、はては 2 サイクルまで、多様な展開が示された。基幹部品である主連桿と副連桿との連結方式にも、リストピン形とスリッパ形が存在した。気筒群とクランク軸とを二重反転させるなどという、メカお化けまで各種誕生した。しかし、それらは RCE である限り、振動が少なく、短小にして軽量という性質を共有していた。

## 2. 誤った技術的総括

さて、ゆえあればこそ航空発動機として一世を風靡した RCE であったが、軽合金鑄造技術ならびに鋼製気筒胴と軽合金製気筒頭との結合技術、弁座環嵌入法の発達などの結果、空冷では固定気筒星形発動機が覇を唱えるに及び、遺物と化すのも早かった。このためか、文献を尋ねても RCE については不適当な、あるいは要領を得ない技術的総括しか掲げられていない。

ちなみに、RCE の一般的長所について古くは次のような言説がなされた。

- a) 気筒自体が高速度で廻る故、飛行機の前進速度やプロペラの後流にたよらなくもよく冷える。
- b) 気筒群が fly wheel の作用をなし、回転が円滑である。

(富塚「航空原動機」工業図書 1936 年 15 頁)

表-1 RCE の一例

富塚清『航空原動機』第2表（a）より、本表を含む一連の折込み表は『内燃機関の歴史』第2版以降にも再録されている。ル・ローン 80 馬力形の最大出力は日本飛行学校『飛行機発動機學講義』418 頁による。

\* Judge, A.W., *Automobile and Aircraft Engines* より補完。80hp 機関における値は参考程度に解されたい。

\*\* これは 900rpm. で計算された数値。実際には等速度の二重反転ゆえ、サイクル数の計算には 1800rpm. を用いなければ誤りである。正しく計算すれば Pe の値は 4.30 に低下する。高回転による体積効率低下の結果である。

製造者	形式・国	気筒数	公称(実)hp	標準 rpm.	最大 hp	最大 rpm.	D × S mm	hp/liter
Gnome	仏	7	50	1200			110 × 120	6.3
Clerget	仏	7	80 (85)	1200			120 × 150	6.8
Gnome	仏	7	80	1200			124 × 140	6.8
Le Rhone	仏	9	80	1200			105 × 140	7.3
Gnome	仏	9	100	1200			110 × 150	7.8
Le Rhone	仏	11	100	1200			105 × 140	7.5
Le Rhone	仏	9	110 (127)	1200	140	1300	112 × 170	8.5
Clerget 9B	仏	9	130	1250	150	1300	120 × 160	8.0
Bentley BR1	英	9	150 (154)	1250			120 × 170	8.9
Gnome	仏	9	160 (165)	1350			115 × 170	10.4
Siemens H.	独	11 (二重反転)	160	900			124 × 140	8.6
Le Rhone	仏	9	170	1360			115 × 170	10.7
Clerget 11EB	仏	11	200 (197)	1300	230	1350	120 × 190	8.8
Bentley BR2	英	9	200 (230)	1300			140 × 180	9.2
Gnome	仏	11	200 (190)	1300			115 × 170	9.8
Pe kg/cm <sup>2</sup>	ε	cm/s	重量 kg	kg/hp	燃料消費率 g/hp-h	滑油消費率 g/hp-h		
4.72		4.8	78	1.56	267	84		
5.06	4.0	6.0	98	1.22	302	55		
5.06	3.8*	5.6	94	1.18	267	84		
5.51	4.8	5.6	115	1.44	259	43		
5.91	4.9*	6.0	123	1.23				
5.62	5.0	5.6	135	1.35				
6.33	5.0	6.8	147	1.15	313	45		
5.74		6.6						
6.41	5.3	7.1	184	1.19	268	45		
6.91	5.45	7.65	131	0.79	490	54		
8.64**	5.1	4.2	195	1.22	277	75		
7.08	5.65	7.7	149	0.88	300	43		
6.08	6.3	8.2	257	1.30	300	50		
6.48	5.3	7.8	215	0.89	286	43		
6.78		7.3	173	0.91				

まことに明快な語りっぷりである。

しかるに、この著者は戦後、同じ点について次のような、ややニュアンスを異にする総括を与えている。

気筒の方をまわすようにした主理由は、気筒の冷却作用をよくすることとはずみ車効果を高めることの2つであり、その目的は果され、初期の航空面では若干効果が認められた。実効以上に機構の珍しさは大衆を引きつけ、1910 年ごろには花形だった。

（傍点引用者。『内燃機関の歴史』三栄書房 初版、第2版 239 頁、第3版 247 頁、第4、5版 261 頁〔初版、第2版、第3版 75 頁、第4、5版 77 頁にも同様の記述あり〕）。

富塚はこの点についてまた：

これだと気筒群は弾み車の役をし、かつ気筒自身が動き、空気を掻きまわすので冷却が良いと見込まれた。

（同『動力物語』165 頁）

とも述べている。しかし、これでは「見込まれた」のが事実であると納得しようとしても、結果が見込みどおりであったのか、見込み違いであったのかについてはいっこうにわかりえず、歴史記述としては片発停止状態である。それでも『内燃機関の歴史』の改訂諸版の記述が上記のとおりであったから、「若干効果が認められた」ものの、当時はそれが「実効以上に」「見込まれ」ていた、というのが戦後における富塚の判定であると見て大過なからう。だとすれば、これと戦前の明言との間には落差がある。

富塚が掲げた RCE の同時代的メリットは、上記 2 点に軽量性を含めた 3 点である。軽量性についてはまず異論のないところであろうから、ここでの議論は上の 2 点に絞る、まず a) に相当する部分にかかわる変説について検討を加えよう。富

塚は戦後、密かに自説の訂正をなし、足元を見られないように小細工を加えたから、あのような中途半端な記述を残すことになった—これが筆者の仮説である。

さて、「よく冷える」、「若干効果が認められた」「実効以上に」などと言っても、判定のいかんは一方で発熱量、他方では冷却に伴う動力消費（吸収馬力）次第である。したがって、あまりこの手の文言に拘泥すべきではないと主張される向きもあるだろう。それでも富塚自身、わざわざ「単に冷却だけを問題とする場合には回転式の方が固定空冷よりもこの種の目的には適当かも知れないが、他の諸理由のため現今は顧みられぬ」（『航空原動機』20頁）などと補足しているぐらいであるから、1936年当時のRCE冷却性能良好説を、あながち行きがかりの筆禍として黙過するのが妥当とは思えない。

しかし、冷却性能にかかわるRCEの実情は、これとは明らかに異なっていた。すなわち、①：気筒群が回転すると言っても、航空発動機として使用される場合、その回転は共にクランク室によって支持されたプロペラと同一速度であり、ゆるやかに回転するプロペラ後流の中での回転であるから、対気相対速度はプロペラ後流の接線速度相当分だけ減殺される。しかも、②：回転する気筒群を送風機に見立てれば、それは軸流ファンとしてではなく輻流ファンとしてしか作用しえないにもかかわらず、この性質に即応したフィンの空力設計は通常なされていなかった。③：輻流ファンとして作用する各気筒においては、リーディング側とトレーリング側との間にボア変形の原因となる冷却不均一を生ずるにもかかわらず、有効な対策は打たれていなかった。以上によって、RCEの冷却性は見かけほど—空気を威勢よくかく拌している割には—良くはなかった。そして、この点は'30年代の内燃機関工学界で一般に広く認識されるに至っていた事実である。

ちなみにJudgeは輻流ファンとしての作用については語っていないが、冷却フィンの空力設計の拙さによって生ずるかく拌損失がいかに<sup>④</sup>はなはだしいか、について詳しく述べている。彼によれば、50hpグノーム機関を飛行状態と同一条件でモータリング（外部動力による駆動試験）したところ、かく拌損失は全発生馬力の16%に相当する8 hp

であった。そのうち、少なくとも4 hpは冷却フィンを有する部分に由来した。同機関の冷却フィン総面積は約1.5 m<sup>2</sup>、その平均表面温度は外気温+193℃であった。この表面に対して空気との表面摩擦のみにより冷却が行なわれ、この温度差が保たれるには64m/sの対気速度が必要で、この際の表面摩擦による冷却に伴う動力損失は16%ではなく2.4%で済むはずであった。全発生馬力の13.6%が、空気のかく拌によって無駄に消尽されている計算である<sup>③</sup>。

しかし、そこまでむずかしいコトを言わずとも、RCEの冷却性が案外頼りないという事実は、より早い時期、それが第一線の航空発動機であった時代から実務家たちには周知の事からであった。ちなみに、先にも引用した『航空原動機』より20年以上前に出版された邦語文献には次のように述べられている。

回転気筒式発動機の空気冷却法は、或る特別の場合を除くの外、大抵完全に行はれるから、水冷却式に比して故障は少ないが、気筒の熱度は、水冷却式に比して遥かに高いから、之に使用するオイル滑油は高度の熱度に対し分解しない良質のものを選ぶ必要がある。「グノーム」式の如く、一分間千二百回も回転するものは、丁度一時間八十哩の速力を有する風が筒を衝つことになるから、冷却作用は完全に行はれるが、併し、暑期高温の時に於ては、三四時間の連続回転で気筒の赤熱されることがある。ゆえに、酷暑の際に於ける長時間の耐久飛行には最も注意を要する<sup>④</sup>。

鑄鉄製気筒/気筒頭を有した、かつての和製ハーレー“陸王”のVツイン機関について同様の指摘を耳にした経験があるが、気筒あたり出力に開きはあるものの、RCEの冷却性もこの程度であった。当然、この高い平均（均衡）気筒温度ゆえに、冷間時と数分間の暖機を経た後での出力差（暖機後の出力低下率）についても、RCEは他のいかなる形式の航空発動機よりはなはだしいとされていた<sup>⑤</sup>。

結局、『航空原動機』執筆時点の富塚は、以上の点を看過していたと判断せざるをえない。そして戦後、なに食わぬ顔でその不首尾を始末し、いまひとつ要領をえないが、論理的チェックもかけづらい文章をものしたのである。この変説命題は、

RCE の一般的短所を巡る議論を検討すればヨリ端的に証明されるのだが、われわれはひとまず、長所 b) に相当する部分についての検討を先行させることにしよう。

この部分に関する富塚（ら）の議論は、戦前戦後を通じて完全な誤りである。RCE の回転の円滑性は気筒群、クランク室など、回転部位のはずみ車効果によって生じたものではない。まして、そういった効果を狙って航空用 RCE が開発されたわけではない。これらの回転部位がはずみ車としての作用をなさなかったなどといういわれはいささかもないが、そもそも航空発動機においてはトルク変動の大きな 4 サイクル航空ディーゼルにおいてさえプロペラの大きな慣性モーメントゆえに、はずみ車は不要であった。すなわち：

回転気筒機関にフライホイールが要らぬ、という事実は航空発動機の分野においては大きな重要性を持たない、というのもここでは通常プロペラによって十分なフライホイール・マスが提供されるからである<sup>6)</sup>。

子細に見れば、トルク変動に対するプロペラのはずみ車効果（減衰作用）が最も顕現するのは RCE ではなく、慣性モーメントの大きな巨大なつり合いおもりの付いた太短いクランク軸を回転させる固定気筒星形航空発動機においてであった。逆に言えば、固定気筒星形航空発動機においては、この面でのプロペラの負荷が大きかった。この点は後に大問題となる。

列形航空発動機の場合、通常、細長く“しなやかな”クランク軸を有するため、プロペラのトルク変動に対する減衰作用は星形発動機の場合ほど顕著ではなかったが、それは長い軸系のねじり振動の節点として作用せしめられた。ついでに言えば、アントワネット機関後部に追加されたはずみ車など、所期の効果はおぼつかなかったとは言え、後年の機械式過給機同様、ねじり振動の節点程度の作用は果たしていたと考えられる<sup>7)</sup>。

さらに RCE は、当時の列形発動機や固定気筒星形発動機より混合気分配が良好であったから、もともと不斉燃焼が少なく、トルク発生は円滑であった。プロペラの大きな慣性モーメントと RCE の斉一な燃焼という二重の根拠。ここに注目すれば、航空用 RCE の開発者たちが気筒群にはずみ車効果を「見込」まねばならぬ理論的要請

や主体的動機など一切なかった、と断言できる。

続いて、RCE の一般的短所についての考証を試みよう。富塚は戦前、次の 4 項目を列挙していた。

- a) 廻るものが気筒群であるのでその完全なる平衡を必要とする関係上、取りつけ物を一々ゆるがせにできない。非常に面倒である。
- b) 気筒群の大きな半径でまはるので遠心力の関係上大きな回転速度がとれない。従って発動機の自重が増す。
- c) 潤滑油消費量が馬鹿に高い（第 1 表[第 2 表(a)の誤り。前掲表 1 参照：引用者]を見ると他式に比し 5 倍位になって居るのを知る。之は油に遠心力が働いて四囲に飛散し、それを回収する事が困難だからである。但し徹底的施設をすれば若干この数字は下げ得るかもしれない）。
- d) 回転体の独楽作用が操縦に支障を与える（尚一般には気筒群が空気をかきまはす損失が多いと云ふ事が云はれて居るが、固定空冷の場合でもそれと略同様の事を飛行機の前進を以ってやって居るのであるから、これによってこの方式だけを非難するは当たらないと思ふ）。

（『航空原動機』16 頁）

戦後の『内燃機関の歴史』各版においては a) が落とされて、b), c), d) がそれぞれ a), b), c) にくり上がり、新たに d) として点検整備の不如意が追加され、都合 4 項目が掲げられている（初版、第 2 版 239, 241 頁、第 3 版 247, 249 頁、第 4, 5 版 261, 263 頁）。

a) は追って明らかにされるように削除されるべきではなく、もう一步踏み込んだ記述に改訂されるべき項目であった。c) → b) に関しては、「但し徹底的施設云々」というくだりが抹消された。実際には後述されるとおり、この点についてさまたまな手が打たれているのであるから、歴史記述としては不適当な幕引きである。d) → c) からは、かく拌損失にかかわるかっこ内のいかにも不適切な記述が削除された。固定気筒空冷星形発動機に対する NACA カウリング装着などの事態も考慮されたのであろうが、なによりこの部分を生かしておいては、RCE の冷却性にかかわる「実効以上に」とか「見込まれた」とかいった修辭が成り立ちにくくなるからであろう。

くり返すが“かく拌損失が大きい割に実際には余り良く冷えない”というのが実情であった。なお、Judge はモータリング試験について述べているが、モータリングではピストンリングにかかる背圧が着火運転時より小さく、摩擦損失も小さくなる。これを着火運転中の値に修正することは困難である。かく拌損失の大きさはファイヤリング試験にかければ一発動機を単体およびプロペラ装備状態で着火運転すれば一簡単かつ正確に計測される。摩擦損失もそこに含まれるが、その値に差はない。かく拌損失の値は発動機機種、負荷状況によって異なるが、全負荷時、総発生出力の約 12～16% 程度の値をとるのが普通であった<sup>8)</sup>。

『航空原動機』から『内燃機関の歴史』に至る途上における富塚（署名入りの）の関連著作に小川・柴田との共著書『航空機 航空発動機』、編著書『航空発動機』および能谷俊雄との共著書『航空発動機』（誠文堂新光社 1945 年）がある。『航空機 航空発動機』所収の富塚・柴田「航空発動機」11 頁の記述は柴田『発動機の原理』4～5 頁に記載された RCE の欠点リストとその軌を一にする内容であるが、c) として「回転のため冷却は充分とは云え局部的に過熱され易き故、爆発圧力を無闇に高くとることが不能で、ために他形式より圧縮比の制限を受ける」などという、これも中途半端な箇条が原因説明抜きに挿入されている。訂正作業も途半ばであったがゆえに、多くを語りたくなかったのであろうか？

編著書『航空発動機』の中に RCE の総合的得失判定にかかわる記述はなく、能谷との共著書『航空発動機』においては RCE への言及そのものがない。これは航空発動機としての RCE が、その歴史的使命を既に終えていたという事実の反映でもあった。

この時から、RCE には純然たる歴史的興味の対象として記述されるという“第二の人生”が用意された。それは富塚自身の人生とも符合し、その後半生を通じて幾分の改善と引き換えに、過剰な脱脂を施された RCE に関する富塚の総括は巷間に流布していった<sup>9)</sup>。

その結果、わが国においては RCE 盛衰史の解明は事実の渉猟に加え、RCE の現役最末期から 80 年代半ばに至るまで表明され続けた富塚による素気ない—枯淡の境地に誘うごとくにして実は

読む者を真の歴史認識から遠ざけてしまう—技術的総括に対峙し、その細かな変遷の跡をもたどりつつ、これと緊張関係を構築するという迂路を通じてしか果たされえなくなってしまった。

### 3. 回転気筒星形空冷発動機の登場—

#### アダムズ・ファーウェル自動車用機関

富塚は星形発動機は「自動車用としては採用されず」、RCE は「もっぱら航空面で実用され」た、などと述べている（『内燃機関の歴史』第 3 版 116, 246 頁、第 4, 5 版 118, 260 頁）。しかし、これは事実と反する。文献によれば RCE の嚆矢は航空発動機ではなく、1888 年に特許が取得され、翌年の博覧会に出品されたフランス人 F. ミレー (Felix Millet) のオートバイ機関で、後輪のホイールにスポークの役割をも兼ねる SV 方式（吸気は自動弁）の 5 気筒機関が組み込まれていた。実に奇抜なアイデアであったが、クラッチ、変速機は存在しなかったから、ダラック (Darracq) によって 1900 年に製品化されたと聞かされても、実用性は大いに欠けたように見受けられる。一方、自動車用としては 1894 年、アメリカの S.M. バルザー (Stephen M. Balzer) が 3 気筒機関をサイクルカーに搭載したのが始まりのようである<sup>10)</sup>。

一方、回転気筒空冷星形機関の量産化に力を注いだのは、同じアメリカの F. O. ファーウェル (Farwell) であった。彼は 1898 年に試作を行ない、1903 年より商品化開始。ファーウェル機関はアダムズ Co. 製の自動車に搭載され、一般にはアダムズ・ファーウェル機関として知られた<sup>11)</sup>。

本機関はバルザー機関とは異なり、立軸形であった。これは整備・運用上の利便性や機関のジャイロ効果による操縦性低下を防ぐといった狙いゆえのレイアウトと推定される<sup>12)</sup>。

1907 年、本発動機はバーリナーなる人物によって、ヘリコプタに搭載された。立軸ならこの目的にうってつけではある。図 2 は、おそらくこの一件にかかわるモノであろう。ちなみに、この年にはフランスではブレゲー兄弟とリシェの 45hp アントワネット発動機搭載、4 ロータ式の垂直浮揚機が浮揚に成功し、コルニュは 24hp アントワネット V8 発動機搭載、2 ロータ・2 操縦翼面式の操縦可能なヘリコプタの世界初飛行に成功したという伝説があるから、アメリカでも類似の試み

がなされていたことになる<sup>13)</sup>。

ただし、コルニユの機械については「現在の計算では、機体の自重はおろか、パイロットの体重すら持ち上げる揚力も発生していない」とする有力な説がある。わずか24hpであれば、そのとおりであろう<sup>14)</sup>。

その後、アダムズ・ファーウェル回転気筒空冷星形機関は水平軸形の航空発動機としても独自の展開を示すのであるが、これについては第5節で触れることにして、しばらくはなぜこんなものが陸上交通機関用原動機として発明されたのか、その技術的メリットはどこにあったのか、といった点を究明してみよう。巷間流布している文献においては、「ゲテモノ」扱いや「逆転の発想」的評価が先行し、RCEがアダムズ・ファーウェルやステファン・バルツァーを含む初期のメーカーによって自動車用原動機としてある程度の期間、改良されつつ製造され、多少の成果を収めたという事実に対する認識も、説得的な説明も提供されていないからである。

RCEの自動車用原動機としての技術的メリットは、明白に2点に絞られる。第一は回転する気筒群の輻流ファシとしての作用によって、走行速度の遅い自動車においても気筒の“効果的な”空気冷却が果たされるため、設計上、そこそこの気筒径増大が容易であったこと。第二は回転する気筒群がはずみ車としての作用を有することによって、外付けのはずみ車が不要となり、設計上、機関総重量の低減が可能になったことである。

第二点については補足が必要であろう。当時、低価格車の機関といえは単ないし2気筒機関が圧倒的多数を占めており、不つり合い慣性力による振動をごまかすと同時にトルク変動の緩和を図るため、バーベル・プレートさながらの慣性能率、自重ともに大きなはずみ車を必要としていた。よって同一出力帯で比較すれば、通常の機関の本体とはずみ車とを合わせた総重量は、RCEよりはるかに大きかった<sup>15)</sup>。

したがって、プロペラを持たない自動車用RCEにおいてこそ、回転気筒群のはずみ車効果に期待が寄せられた。そしてまた、水冷直列4気筒機関が大衆化した時点で、RCEにおけるこの種のメリットは失われることになった。

そこで次に、本機関固有の自動車用機関として

のデメリットについて述べよう。本形式においては排気を直接大気中に噴出し、膨張させるというのが一大難点である。ファーウェルらは、排気の噴出した方向を接線上・反回転方向に設定することによって、排気の絶対（車体から見た）速度を僅少になしうるため、排気を穏やかに膨張させる装置としてのマフラは不要であると主張していた<sup>16)</sup>。

しかし、たとえ圧力波に起因する騒音発生がこの手法によってある程度抑制できた(?)としても、「臭いものにふたをする」つまり排気を乗員からなるべく離れた所で排出するという所作は不可能である。なぜならば、減圧した排気を最終的にある方向へ導くような仕かけは、直ちに気筒の冷却不良を誘起したであろうから。

軽いとはいえ占有スペースが大きく、機関本体が回転する物騒なアダムズ・ファーウェル機関の搭載位置は（ベンツの3輪車なみの）後車軸上、後部座席および後部デッキ下に限定された。したがって、排気を捨て去るために長い管を引き回す必要はなかった反面、停車中は座席の下から排気が直接立ち昇ってきたわけである。

そしてもう一つ、この搭載位置を余儀なくした回転気筒という機関形式は、自動車用原動機において希求されてやまぬ整備性の面でも不利をかこっていた。たとえば気筒ごとの調子の目視、1気筒ずつ失火させて点火系の異常をチェックなど、機関運転中でなければできない、そして固定気筒形機関においては簡単にできる整備、調整が全く不可能ないし極めて困難であった。

星形という気筒配置の利点をマンリーに教えた人物であるバルザーや産業化に努めたファーウェルらは、相当長くRCEの製造や改良に努力したようである。しかし、自動車用原動機としての固有の長所が陳腐化し、短所の根本的除去がなされえなかったため、RCEは自動車用機関として顕著な成果を収めることなく、歴史の底に沈積していった。（つづく）

#### 注

- 1) 金井武一『飛行機之實地設計』日本飛行研究會 1915 年 附録「發動機の故障及修繕法」45 頁。
- 2) グムノームを始めとする RCE およびその搭載機に関するビジュアルな読み物として A. Nahum. *The Rotary Aero Engine*. Science Museum, London. 1987 が挙げら



れる。この著者はRCEのあまりにも急な絶滅についてある種の「新」説を唱えているのであるが、この珍説についての批判はさまざまな技術的論点をチェックし終えたところ、本稿(下)においてなされる。

このほか、RCEの代表格であるグノーム発動機、ル・ローン発動機については内丸最一郎『内燃機関(後編)』丸善1931年773～782頁、RCE全般については日本飛行学校『飛行機講義録』1930年61～65頁、『飛行機発動機学講義』61～65頁、小川清二『航空発動機(改訂版)』河出書房1944年上巻189, 211頁、下巻433～468頁、B.ガnston(川村訳)『航空ピストンエンジン—そのメカニズムと進化』グランプリ出版1998年145～154頁を、個別形式については同(見森・川村訳)『世界の航空エンジン①レシプロ編』(グランプリ出版1996年)のベントレー、ブラモ、クレルジェ、グノーム、ル・ローンの項および以下、逐次掲げる文献および頁参照。

なお、RCEの振動については隈部一雄『内燃機関学』山海堂1955年、240～243頁をも参照。そこに紹介されている田中敬吉による解析は、副連桿の偏差(クランクピン=主連桿大端部中心と主連桿大端部に展開し副連桿をこれと連結するリストピン中心とのズレから副連桿の運動に生ずる偏移)を考慮に入れた複雑なモデルであるが、結論は同じである。Nahumもガnstonもこのグノーム発動機の「ぶんぶんいう音」、『ハミング』について触れているが、筆者はこれを空気のかく拌などに起因する音響ではなく、高次振動のこもり音ではないかと推定する(Nahum, op.cit., p.10, 『航空ピストンエンジン』147頁参照)。

断片的にせよRCEへの言及が含まれるポピュラーな工学的文献と該当箇所を管見の範囲で一括挙げておく。富塚清(他)・大井上博『航空発動機』共立社(内燃機関工学講座第9巻)1935年25～27, 31, 32, 33頁、富塚清『航空原動機』工業図書1936年10～11, 15～16, 20, 231～234, 243, 小川太一郎・富塚清・柴田浩『航空機 航空発動機』アルス1939年11頁、内藤邦策『航空発動機並計器(増補改訂版)』誠文堂新光社1940年14, 26～29, 175～179頁、柴田浩『発動機の原理』平凡社1940年4～5頁、富塚清編『航空原動機』共立出版1943年32, 33, 34, 36, 37, 38頁、長尾不二夫『新撰 内燃機関講義(下巻)』養賢堂1943年406頁、小川清二『航空発動機工学(改訂版)』河出書房新社1944年107頁、富塚清『内燃機関の歴史』三栄書房 初版(1969)・第2版(1978)75～83,

95, 124, 126～127, 220, 228～229, 230, 238～241, 298～300, 第3版(1982)75～83, 95, 126, 128～129, 228, 236～237, 238, 246～249, 306～308, 第4版(1984)・第5版(1986)77～85, 87, 97, 128, 130～131, 230, 238～239, 240, 260～263, 320～322, 同『動力物語』岩波新書1980年(165～167, 171～173頁), 荒井久治『自動車の発達史(上)』山海堂1995年(72頁), 同『エンジン進化の軌跡』(106～114頁), 樋口健治『自動車技術史の事典』(152～153頁)。

- 3) cf. Judge, A., W., *Automobile and Aircraft Engines*. 3rd. ed. London, 1936. pp.293-295.
- 4) 金井『飛行機の實地設計』附録33～34頁。
- 5) 小川清二『航空発動機(上巻)』213～213頁参照。
- 6) P. M. Heldt, *High Speed Combustion Engines - Design : Production : Tests*. N. Y., 1941, p.723.
- 7) ドヴィレール(R. Devillers)林守雄・徳江 徳訳『内燃機関』(原著第二版[1934年]の邦訳下巻三版)コロナ社1941年599, 609, 611～612, 1253頁、神蔵信雄『航空発動機の設計』工業図書1936年93, 119, 125頁、同『高速ガソリンエンジン』丸善1960年135, 138～139, 303頁参照。
- 8) Judge. op. cit. 小川『航空発動機(上巻)』211～214頁参照。
- 9) 筆者はある善意の有識者から富塚について、「あの人は体が弱くて実験には耐えられなかったから歴史に凝るようになった」との評価を聞かされた。
- 10) Cf. Nahum. op. cit., pp. 19-20. 自動車に搭載された固定気筒空冷星形発動機およびRCEについてはまた、樋口健治『自動車技術史の事典』朝倉書店1996年152～153頁、RCEについてはまた、荒井久治『エンジン進化の軌跡』山海堂1998年106～109頁参照。

なお、樋口153頁の「星型ロータリーエンジン」の表に1903年のマンリー発動機が記載されているのは誤り。C. M. マンリーの発動機は固定星形。固定気筒空冷星形発動機については別途論ずるが、S. P. ラングレイの試作機に搭載されたマンリー発動機についてはさしあたり富塚(他)・大井上『航空発動機』19, 20頁、富塚編『航空発動機』27, 28頁、野沢正「レシプロ・エンジン100年史」(『世界の翼・別冊 写真で見る航空史一下』朝日新聞社[1975年]所収), B. Mackworth-Praed. *Aviation The Pioneer Years*. London. 1990. p.118, ガnston『航空ピス

トンエンジン』130～132, 134 頁, 同『世界の航空エンジン ①レシプロ編』137～138 頁参照。

- 11) *Cyclopedia of Automobile Engineering*, 4Vols. 1913, Cicago, Vol. IV. *Aeroplanes Types-Motors Construction*. pp.187-190, Heldt, *op.cit.* p.723.
- 12) 横軸の固定気筒星形機関においては下部気筒（単列 9 気筒の場合, 第 5, 6 気筒, 複列 14 気筒の場合, 後列第 4, 5 気筒）の燃焼室内部に潤滑油がたまり, 再始動時にオイルロックを生じてヘッドや主運動部を破損する危険があるため, 点火プラグをはずしてオイル抜きを行なう必要があった。

回転気筒星形機関においても横軸である限り, 前掲図 1 の Y と Z との位置関係のいかんにかかわらず, 停止中たまたま下になった気筒に確率 1/2 で同種の問題を生ずるから, 当該気筒のオイル抜きを行なう必要があった。立軸の回転気筒とすれば, いずれかの気筒にオイルロックを招くほど多量の潤滑油が集中的に滞留する恐れはなくなる。これに加え潤滑条件の均等化によりプラグの汚損など, 気筒ごと

の作動条件を等しくすることは整備・運用上, 有利であったと推定される。

なお, 1910 年ごろのアダムズ・ファーウェル機関は圧力注油装置 (positive oiler) 付であった。同機関が最初からこの方式であったのか, 混合油潤滑ないし後述のグノームのような圧送・飛沫方式を経てこれに至ったのか不明である。固定気筒空冷星形機関のオイル抜きに関しては, たとえば畠山義三・加藤健次『航空発動機の整備と運転法』工業図書 1940 年 175 頁参照。ジャイロ効果云々についてはグノーム機関を扱う次節で取り上げる。

- 13) ガンストン『世界の航空エンジン①レシプロ編』95 頁, 初期の「ヘリコプター」については Mackworth-Praed.B., *op.cit.*, p.135 および 4 節末尾の注参照。
- 14) R. G. グラント天野・乾訳『世界航空機文化図鑑』東洋書林 2003 年 282 頁。
- 15) Heldt, *op.cit.*, p.723.
- 16) Heldt, *op.cit.* p.724