

# フロンタービンのケース内に 収容する発電機について

関山 正憲\*

(昭和53年9月7日受理)

On the Generator which is involved in the Casing of Flon-Turbine

MASATOSHI SEKIYAMA

*Abstract*: — In our country, to utilize the solar energy on a small scale is better than a large scale, from the point of “the sunlight receiving competence”.

By driving the flon-turbine, the energies which are not high temperature but found in a large quantity, are able to use.

I designed an electric-generator which has a few merits. The device is compact and consists of a turbine casing which involves the generator, a jet-condenser and a pump.

## 1 をえがき

地球に入射する太陽エネルギーを鏡またはレンズにより集めて大規模に発電する話はよく聞く所であるが、ここで論ずるのは各家庭ごとに発電するような小規模発電の問題である。

筆者はこれに関連する装置を考案<sup>(3)</sup>したが、実験はまだしていない。これは発電機、凝縮機およびポンプを動力を発生するタービンケース内に収容してあるもので、作動流体が軸より漏洩しない点、構成装置の数を減じて各家庭への普及をねらった点など種々の特長がある。

この論説は設計の部分までで止めてあるが、実験してデータが出たら更にその結果を報告したいと思っている。

## 2 我国の石油依存

模型飛行機をとばすのにゴムを何回もねじってエネルギーを貯える方法は、すぐほどこけて了うのでプロペラは短時間しか回らない。電動機を乾電池で回すのでは機体が重くなり性能が上らず、かつ、電池の消耗が激しく不経済となる。結局、ラジコンを操作するような長時間飛

行となると、ガソリンなどの液体燃料でエンジンを回しプロペラを駆動させねばならない。この例からわかるように、石油系燃料はエネルギーの塊のようなものであり、また、携行するのに便利なものであるといえる。

したがって、自動車や航空機などの交通機関が石油系燃料を利用することは至極当然のことである。我国においても、自動車の保有台数は世界屈指となり、それらによる石油資源の消費も相当な量に達している。これとは別に工業の面でも石油は消費される。この内訳は、直接に化学系統の材料にしたり金属溶融用熱源としたりする外、大部分が電力を得るために消費される。これに住宅や事務所で消費する暖房用の石油を加えると、我国が石油に依存する割合は世界でも稀な位大きなものである。

## 3 太陽エネルギー利用は小規模が有利

このような状況のときに、昭和48年に至り我国は突如として石油ショックに見舞われ、工業は低成長に移ることを余儀なくされた。あまりにも高価であり輸入停止の恐れのある石油に代るものとして、クリーンな無公害の太陽からの熱エネルギーを利用すべきであるという点は誰もが否定できぬ所である。しかし、地球全体で受取っ

\* 茨城大学工業短期大学部電気工学科（日立市中成沢町）

ている太陽のエネルギーは膨大ではあるが、大きな地球上に広範囲に分布されているので、稀薄であり利用するには集収が前提となる。鏡やレンズの類で大規模に集収する方法は、複雑な追尾装置を必要とするしかつ、太陽炉のような特殊用途を除いては結局発電が目的だから、石油が余程高価とならぬ限り引合わぬし、また、日照権の問題も生じる。例えば、地球上の1㎡あたり160Wの太陽エネルギーが到着するとして、変換効率40%の30万KWの発電所をつくるには142万坪の面積に陰をつくらねばならぬ。日照権に無関係な大洋上に筏を浮かべたとしても、折角発電した電力を如何にして需要地に運ぶかが大問題である。所が、家庭単位のような小規模のものでは、日照権の問題はないし給湯や暖房に利用する程度でも結構その存在価値はある。

小規模に利用する場合、集熱器(コレクター)に当たった太陽からの輻射線エネルギーを、水を通じて吸収し湯の姿で貯えるのが普通である。この場合この湯の温度の低い方から給湯、暖房、発電の順に利用可能になる。これを説明するに、給湯の場合は体温より少し高ければ使えるし、暖房の場合は室温を20℃位に保てばよいからである。しかし、冷房となると70℃以上ないと吸収式冷凍器は作動しないし、圧縮器または発電機を回すには、水を蒸発させてその体積を膨脹させることにより、熱機関を駆動するわけだから、少くとも水の沸点100℃(圧力により変る)以上にする必要がある。また、熱流の強さは温度差に比例するから、その熱流ではたらく熱機関にとっては高温の熱源ほど有難い存在といえる。

#### 4 フロンタービンの採用

このエネルギー逼迫時代に、そんなに高温でなくても大量にある熱源を放置しておく法はない。フロン(フ里昂ともいう)のような低沸点物質を作動流体とすれば、100℃以下でも蒸発がおこり熱機関を作動できる。問題はそれが大量にあることと、それを利用する装置の経済的効率に関連する。前述のように、エネルギーの塊の観があり、極めて手軽に携行できる石油と競合することは到底できぬが、石油の輸入が停止するとか暴騰する場合当然実行すべき方法である。太陽エネルギーの外に、今まで省りみられなかった中温で大量にあるエネルギーとしては、大洋における海水面近くと深部との間の温度差が先ずあげられる。また、工業においては鉄鋼業、化学工場、石油精製工場、製紙業などにおける排熱の利用が

ある。これらは所謂省エネルギー対策技術<sup>(1)</sup>として知られている。

以上の解説で読者もお気付きのことと思うが、筆者のねらいとする所は「そんなに高温ではないが大量にある未利用熱をもって、液状フロンを蒸発しタービン発電機をまわすことにより電力を得んとする」ものである。

真にこの方法が国家的エネルギー事情の緩和に寄与するためには、各家庭ごと位に多数使用してもらわねばならぬ。それには、その装置が安価で操作し易いこと。装置や附属品の取付や調整が容易であることなどが揃わねばならぬ。然るときは、ほとんどの家庭にある電気冷蔵庫のように、この小規模発電装置の普及が達成されると思う。電気主任技術者を家庭ごとに置くことはできぬので電灯線とは非接続で使わねばならぬが、一方、需要者自らが発電するので配電線や変圧器などの流通設備が不要となる長所がある。夏の暑い日には、日照が強くなると共にクーラーなども盛んに使用される。日照の強いということは太陽熱発電が容易にできるということであって、その発電電力をクーラー駆動に使えば、クーラーの最も必要なとき最も強力な電力が供給できる。電力会社側から見た1年間における電力(KW)のピークは、夏期各家庭のクーラーが作り出すことは衆知の事実であり、国家的電力事情の面からも有利となる。したがって、太陽熱エネルギーでクーラーを駆動させている家庭に対し奨励金を出すとか、税金の面で有利にしてやるなどの政策が取られることがのぞましい。

#### 5 タービンケースに発電機を収容

Fig. 1 は太陽熱を利用する場合のフロン・タービン発電装置の全系統を示す。この作用を次に略説する。

コレクター1に通された水は太陽熱を吸収して高温となり貯湯そう2に集められる。この熱を受けフロンは蒸気発生装置3内で液状からガス状に蒸発させられる。次にタービンT内で膨脹した後、凝縮器Cを径てポンプPにより再び蒸気発生装置3に推し込まれランキン・サイクルを完了する。水の循環は、貯湯そう2よりポンプ5でコレクター1に送り込まれて達成される。しかし、絶えず循環させるわけではなく、温度検出器の作用によりコレクター出口の温度が貯湯そう出口の温度よりある程度高くなった時のみポンプ5を駆動するようにしてある。なお、フロンの部分のタービンT、発電機G、凝縮器CおよびポンプPは、後述のように1ヶのケース内に収容

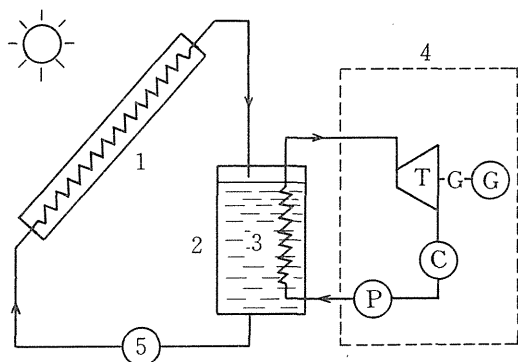


Fig. 1 Showing the total arrangement of devices  
 1: collector, 2: hot water tank,  
 3: flon-evaporator, 4: device under investigation, 5: water pump.

してありこれこそ4の記号で表わす所の研究対象の装置<sup>(3)</sup>である。

フロンの熱サイクルのうち膨脹こそは動力を発生する段階である。これを行わせる装置としてタービン型をえらんだがこの理由を次にのべる。

タービン型は回転数が高く毎分数万回転にも達するため減速装置を必要とする。また、部分負荷特性が劣る。これらの欠点のため、従来小容量のものでは他の型の膨脹機<sup>(2)</sup>に対抗できぬものと思われて来た。しかし、小型でも大量の作動流体がさばけるので大出力が期待できるし、構造が簡単であるという2点から安価になる。また、シリンダーとピストン間のような広いまさつ面を有しないので、性能がよい上潤滑油も不要という長所もあかなか棄て難いものがある。

更に、発電機出力の周波数を考えなくてもよい場合は減速せずに発電機をタービンに直結できる。すると高速度のため寸法の小さい発電機ですむし、速度調整という面倒な問題もなくなりかつ、それに関連して生ずる損失もない。また、発電機が小形ならタービン・ケース内に収容することも容易で、こうすることによりフロン・ガスが軸受より漏洩する問題もなくなるし、また、減速歯車はなくなり、軸受の数も減少し、それらによる機械損失が消滅または減少する。

ここでいう発電機出力の周波数を考えなくてよい場合とは、発電された交流をケース外に取出し、整流した後使用することを指す。勿論、使用に際し、インバーター

で再び交流にして使っても差支えない。家庭内の電気器具は50 Hz（または60 Hz）の100 Vで作動するものが多いので、むしろそのように変換する方が便利である。また、そのときの変換効率は電氣的変換なので、50 Hzを出すように交流発電機<sup>(3)</sup>の速度制御を機械的に行う場合よりは高くなるはずである。

従来、発電機をタービン・ケース内に収容することが問題にならなかった理由は、高温の蒸気中におかれて発電機の coils の絶縁がもたぬ点と銅損や鉄損で生じた熱がさばけない点があつたからである。しかし、フロン・ガスの場合、水と異つて窒素ガスの2.6倍の絶縁耐力があり、液状フロンは絶縁油に匹敵する絶縁度を有する。また、貯湯そうより熱を採っている関係でタービンに入って来るフロン蒸気の温度も90℃以上にはなり難いので、これに内部で発生した銅損や鉄損の熱を加えても大した温度上昇にはならない。したがって、絶縁を吟味したコイル材料を用いれば問題にはならない。

## 6 計画中の装置

小規模の太陽エネルギー利用発電が、広く家庭に普及するためには、全装置があまりにも多くの部分から構成されては不可である。今までのテレビセットや冷蔵庫、洗濯機のように、1つにまとめることはできないにしても、なるべく数少ない部分をつないで済ます心掛けが必要である。この点より、フロンタービン、発電機、凝縮機およびポンプを1つのケース内に収める意義は大きい。これらを1つのケースに収めた装置<sup>(3)</sup>について、多少考案した所があるのでそれを紹介する。

家庭のような小規模の出力の場合、発電機の回転子を永久磁石とすることができる。しかも、こうすれば高速度回転に耐えるし、励磁不要ともなるので具合がよい。したがって、これを採用してある。

次に、凝縮器としてはジェットコンデンサーを採用し、複雑なパイピングを不要とした。

図2はフロンタービンのケースに発電機、凝縮機およびポンプを収容した装置の縦断面を示す。これについて説明する。

回転体は上より永久磁石よりなる発電機の回転子1、フロンタービンのインペラー3、軸5および1軸式スクリーポンプの回転部より構成され、その上下端は軸受で支えてある。回転子1はエアギャップを隔てて電機子2と対向して発電機の部分を構成するが、この設計につ

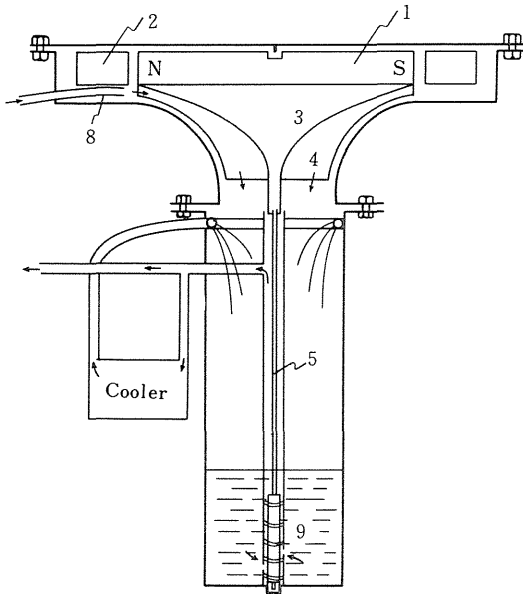


Fig. 2 Section of the planning device which consists of a turbine-casing involving generator, condenser and pump.

いては次章でのべる。インペラー3の下部には、はね4がついているが、これにノズル8から噴出されたフロン蒸気を当ててトルクを生み出すのである。タービンケースの下半は凝縮器を形成し、その底に液状フロンがたまっている。これに浸っているポンプ9は動力をタービン軸5より取り直接または減速装置を径て駆動される。発電機の場合と同様、ポンプ9もタービンケース内に收容されているので、その軸受よりフロンが漏洩することはない。ねじ状の回転部によりポンプ9の外側ケース中を押し上げられたフロン液は、蒸気発生装置と冷却器に送り出される。前者にいったフロンはガス化して戻って来てノズル8よりインペラー3にかけられるが、後者にいったフロンは戻って来て、小孔を多数もった管よりタービンケース内面に霧状に噴出される。これらの液状フロンはタービンから排出されたフロンガスと混り合いながらこれを冷却し液化する。所謂ジェットコンデンサー型凝縮器である。

## 7 発電機部分の設計

貯湯そうに得られる温度は上限85℃位と予想されるが

余裕を見て80℃とし、戸外の気温は年平均15℃として凝縮器の温度は35℃までは下げられると仮定する。タービンへの入口の初圧と凝縮器内の圧力が、大気圧とあまり離隔しない方が厚さの薄いケーシングで足りし、かつ、気密性もよくできる。ここで、35℃と80℃を作動の上下限とするモリエール線図で種々の低沸点物質を比較した結果、フロンのF 113がよいことがわかった。これの蒸気圧は、35℃で大気圧より低い0.6654 kg/cm<sup>2</sup>、80℃で大気圧より大きい2.703 kg/cm<sup>2</sup>となる。下限は負圧となるが、大気圧と大した差がないので空気が侵入する恐れは少ないと考えられる。80℃におけるエンタルピは150.5 Kcal/kg、これを断熱膨脹させ35℃になったときのエンタルピは145.0 Kcal/kgだから熱落差は  $i = 150.5 - 145.0 = 5.5$  [Kcal/kg] であるが、余裕を見て5 Kcal/kgと仮定するとノズルの噴出速度は

$$C_1 = 91.5 \sqrt{\eta_n (1-r) i}$$

$$= 91.5 \sqrt{0.9 \times (1-0.5) \times 5}$$

$$= 137.25 \text{ [ m/S ]}$$

ただし、ノズル効率  $\eta_n = 0.9$ 、反動度  $r = 0.5$

タービンは軸流近心型で、フロンガスはインペラーの周辺から中心部方向に流入膨脹し、遠心力にさからって仕事をするため、これを全熱落差の半分を占めるものとして反動度を0.5としたのである。軸流でないで勿論1段以上にはならない。ノズルより噴出されるインペラーへの入射角を20°とすると、噴出速度の円周方向成分は  $u = C_1 \cos \alpha = 137.25 \times \cos 20^\circ$

$$= 128.97 \text{ [ m/S ]}$$

故にインペラーの周速を129 m/Sとして設計する。

インペラーの直径と回転子の直径とを等しいとして

$D = 15 \text{ cm}$  とすると、回転数は

$$n = \frac{60 \times u \times 100}{\pi D} = \frac{60 \times 129 \times 100}{\pi \times 15}$$

$$= 16424.8 \text{ [ rpm ]}$$

発生電力の周波数は、2極の回転子だから

$$f = \frac{n}{60} = \frac{16424.8}{60} = 273.75 \text{ [ Hz ]}$$

以下文献(4)などにより設計を進める。

発電機の容量 1 KVA、電圧を 3相100 Vとして、電機子は3つのコイルをスターにつなぐと、各相電圧は

$$E_{ph} = 100 / \sqrt{3} = 57.74 \text{ [ V ]}$$

全負荷電流は

$$I_{ph} = \frac{VA}{3 E_{ph} \cos \phi} = \frac{1000}{3 \times 57.74 \times 0.85}$$

$$= 6.8 \text{ [ A ]}$$

毎極容量

$$S = KVA / \text{極数} = 0.5 \text{ [ KVA ]}$$

毎 100 Hz 比容量

$$S / ( f / 100 ) = 0.5 / ( 273.75 / 100 )$$

$$= 0.1826$$

磁気装荷の係数

$$\chi = ( \text{毎 100 Hg 比容量} ) \frac{\gamma}{1 + \gamma}$$

$$= ( 0.1826 ) \frac{1.6}{1 + 1.6}$$

$$= 0.351$$

ただし、 $\gamma = 1.6$  は同期機としてえらぶ。

磁気装荷

$$\phi = \chi \phi_0 = 0.351 \times 0.28 \times 10^6 = 0.983 \times 10^5$$

毎相の導体数

$$N_{ph} = \frac{E_{ph} \times 10^8}{2.1 \phi f} = \frac{57.74 \times 10^8}{2.1 \times 0.983 \times 10^5 \times 273.75}$$

$$= 102.18$$

毎極毎相の溝数  $q = b$

毎相の溝数  $p \cdot q = 2 \times 6 = 12$

全溝数  $3 p \cdot q = 3 \times 12 = 36$

毎溝導体数  $N_{ph} / pq = 102.18 / 12 = 8.5$  9 と

し 3 列 3 段に納める。計算し直して

$$N_{ph} = 9 \times pq = 9 \times 12 = 108$$

$$\phi = \frac{E_{ph} \times 10^8}{2.1 \times N_{ph} f} = \frac{57.74 \times 10^8}{2.1 \times 108 \times 273.75}$$

$$= 0.930 \times 10^5$$

以上は電機関係だが、次に寸法関係を  $D = 15$ ,  $B_g = 7000$ ,  $\alpha_i = 0.6$ ,  $p = 2$  で計算する。

$$l_i = \frac{p \phi}{B_g \alpha_i \pi D} = \frac{2 \times 0.930 \times 10^5}{7000 \times 0.6 \times \pi \times 15}$$

$$= 0.9397 \quad 1 \text{ cm の厚みの永久磁石とす。}$$

電機子内径  $D + ( \text{エアギャップ} ) \times 2$

$$= 15 + 0.5 \times 2 = 16 \text{ [ cm ]}$$

溝底からの奥行

$$k_c = \frac{\phi / 2}{0.9 B_0 l_i}$$

$$= \frac{0.930 \times 10^5 / 2}{0.9 \times 10000 \times 1} = 5.16 \text{ [ cm ]}$$

導体断面積  $I_{ph} / 3.2 = 6.8 / 3.2 = 2.125 \text{ [ mm}^2 \text{ ]}$

…………… 1.8 mm dia の導体とす。

歯の深さ

$$k_t = ( 0.18 + 0.01 ) \times 3$$

$$= 0.57 \text{ [ cm ]}$$

電機子外径  $( k_c + h_t ) \times 2 + D'$

$$= ( 5.16 + 0.57 ) \times 2 + 16$$

$$= 27.46 \text{ [ cm ]}$$

軸径

$$\delta = 1.57 \sqrt[3]{\frac{P}{n}} = 1.57 \sqrt[3]{\frac{1}{16425}}$$

$$= 0.62 \text{ [ cm ]}$$

### 文献その他

- (1) 省エネルギー対策技術資料要覧：(株)フジ・テクノシステム発行
- (2) 例えば スライドベーン型, スクリュー型, 往復動式ピストン型
- (3) 実用新案登録出願中：出願番号 53-061413, 出願日 53.05.08
- (4) 竹内寿太郎：電機設計大学講義