621. 431. 36:662. 76. 035

自由ピストン・ガス発生機の起動および安定性*

長尾不二夫** 大塚 芳郎*** 山口 邦彦****

Starting and Stability of a Free Piston Gas Generator

by Fujio NAGAO, Yoshiro OTSUKA and Kunihiko YAMAGUCHI

The present paper deals with the dynamical problems of the free piston gas generator. We have analysed these problems as linear transitional variations near about a steady operational state, the results of which have revealed the cause of operational unstabilities and proposed a rational model of starting, named a normal starting. In reality, starting is decided by the charging rate of starting air and by the discharging rate of bouncing air through the time-area formed by the pilot valve during several cycles at the beginning. Accordingly, we have given an empirical formula about the time-area to obtain the suitable discharging rate for perfect starting.

1. 緒 言

自由ピストン・ガス発生機が簡潔な構造をもつことは、動力の伝達が自由ピストンを介して行われるからであるけれど、これは同時に多くの動的な問題をひきおこす原因でもある。これらの問題は、結局のところ作動平衡、起動(加速^(*))を含む)および定常運転時の安定性の三つに帰着するが、作動平衡についてはすでに述べたので⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾、本論文では起動と安定性について報告する。最初に線形理論として起動の簡単なモデルを提示し、起動に影響する因子を見出す。実際には起動の初期は安定装置によって支配されるので、すでに報告した試験機関⁽¹⁾によって実験的に調査する。いで、起動初期が終わってからの現象は線形理論の結果と同じであることを確かめ、最後に安定の問題にふれる。

2. 起動の線形理論

自由ピストン・ガス発生機は起動後数十サイクルをへて定常運転の状態に達する。定常運転状態にあるときは、振動系の全エネルギーは第1図の ABCD にそって、一定の内外死点^(**)の間を往復する。反動筒のエネルギーは内死点で 0、外方へゆくにつれて高くなる。反動筒はクッションであるからエネルギー-行程曲線は内外方行程とも同じであって、行程軸に関して対称で

第 1 図 起動時のエネルギー線図

ある。内方行程は A から始まって、摩擦仕事のために全エネルギーを消費しながら内死点 B に達する。ここで着火・燃焼が起るが、発動筒の外方行程仕事(膨張仕事)は内死点すなわち発動筒有効圧縮比によって変わる。これによる発動筒+圧縮筒の外方行程エネルギーの変化が点線 C であるとする、外方行程は C から始まって、摩擦損失をうけながら外死点 D に向い、一つのサイクルが終る。このような定常状態に収束するまでの過程が起動であって、ピストンを起動位置 I におき反動筒に起動空気を流入させることをもって開始される。最初の内方行程においては、起動空気はまだ十分はいっていないので反動筒エネルギーは低く破線 2

* 昭和 31 年 3 月 20 日 関西支部第 31 期定時総会講演会において講演，原稿受付 昭和 31 年 8 月 16 日。

** 正員，京都大学工学部。

*** 正員，東北大学工学部（発表当時，京都大学工学部）。

**** 准員，民生ダイゼル工業会社（発表当時，京都大学工学部）。

(*) 加速の基礎現象である過渡応答を調べたが紙面の都合で省く。

(**) 定常状態にあつても死点はたえず変動しているから，その平均値。

の位置にある。ピストンは摩擦仕事を消費しながら最初の内死点に向うが、掃除空気圧と排気圧もまだ低いので圧縮筒+発動筒内方行程エネルギーも低く、最初の内死点は3で示す位置に来る。ついで燃焼が起って発動筒のエネルギーが増加する。内死点による外方行程エネルギーの変化が点線4に従うとすると、つづく外方行程は4より始まって最初の外死点へ向う。この間に反動筒には起動空気が流入をつづけてエネルギーが高まっているので5が最初の外死点になる。以後同様の経過を繰返して定常運転状態に近づいてゆく。起動中、発動筒と圧縮筒のエネルギーはほとんど機関固有のピッチで上昇するが、これらに対応する反動筒のそれは、安定装置によってかなり任意に制御できる。内外死点は広く変化するが、内死点は中心と着火限界との間で、点は掃除・構造両限界の間で変動せしめて、定常状態外死にもたすことが起動の最大の課題である。

a. 自由ピストンの過渡振動⁽⁴⁾ 内死点 χ_i , 外死点 χ_o , 掃除空気圧 p_s , 反動筒基準圧 α_b (ピストンが機関中心にあるときの反動筒圧*), および排気圧 φ_t の起動時における変化を模型的にかくと、第2図のよ

第2図 自由ピストン・ガス発生機の過渡変動

うになる。定常運転状態での発動筒、圧縮筒、反動筒の仕事量をそれぞれ M, C, B で表わし、添字 $i, 0$ で内方, 外方行程を区別すれば、平衡関係式は

$$\text{内方行程 } M_i + C_i + p_{ri}/p_0 = B_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{外方行程 } p_i/p_0 + M_i + C_0 - p_{r0}/p_0 = B_0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

* $\alpha_b \chi_{bm}^{\kappa_a} = \alpha_{b1} (\chi_{bm} - \chi_i)^{\kappa_a}$

であって、文献(1)の(3),(4)式と同じものである。起動時の過渡変動を線形として取り扱う。簡単のため、起動後に無負荷運転にはいる場合(無負荷起動)をとると排気圧 φ_t は変化しないから、 n 番目のサイクルにおけるエネルギー方程式は次式で与えられる。

内方行程

$$I_0 \Delta \chi_{0,n-1} + I_i \Delta \chi_{i,n} + \frac{\partial C_i}{\partial \alpha} \Delta \alpha_n - \frac{\partial B_i}{\partial \alpha_b} \Delta \alpha_{b,n} = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

外方行程

$$O_0 \Delta \chi_{0,n} + O_i' \Delta \chi_{i,n} + \frac{\partial C_0}{\partial \alpha} \Delta \alpha_n - \frac{\partial B_i}{\partial \alpha_b} \Delta \alpha_{b,n} = 0 \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし、

$$I_0 = \frac{\partial}{\partial \chi_0} (M_i + C_i - B_i), \quad I_i = \frac{\partial}{\partial \chi_i} (M_i + C_i - B_i),$$

$$O_0 = \frac{\partial}{\partial \chi_0} (M_i + C_0 - B_i), \quad O_i' = \frac{\partial}{\partial \chi_i} (M_i + C_0 - B_i),$$

$$O_i' = O_i + \frac{\partial}{\partial \chi_i} \left(\frac{p_i}{p_0} - \frac{p_r}{p_0} \right), \quad n \geq 1.$$

Δ を附した量は定常状態からの微小偏差を表わす。ここで、反動筒はクッションであるから $B_i = B_0$ 。掃除空気圧の代りに掃除圧力比

$\alpha + \Delta \alpha_n = (\varphi_t + \Delta \varphi_{t,n}) p_0 / (p_s + \Delta p_{s,n})$ を用いた。また摩擦平均有効圧 p_{ri}, p_{r0} の取り扱いについては文献(1)を参照されたい。

起動時には内外死点ともに変動する。内死点の近くでは発動筒の圧力が非常に高くなるために、わずかの内死点の変化で大きなエネルギーを吸収することができる。したがって内死点の変動は少くて、ほとんど問題にならない。そこで(3),(4)式より内死点の項を消去して、外死点の変動のみを調べれば十分である。すなわち

$$I_i O_0 \Delta \chi_{0,n} - I_0 O_i' \Delta \chi_{0,n-1} = \left(O_i' \frac{\partial C_i}{\partial \alpha} - I_i \frac{\partial C_0}{\partial \alpha} \right) \Delta \alpha_n - (O_i' - I_i) \frac{\partial B_i}{\partial \alpha_b} \Delta \alpha_{b,n} \quad \dots\dots\dots (5)$$

b. 正常起動 起動が始まると、圧縮筒より毎サイクルほとんど一定量の空気が掃除空気室へ吐出される。同時に掃排気孔よりサイクルごとに掃除空気が流出するが、この量は掃除空気圧が高まるにつれて増加し、圧縮筒よりの供給量と一致すると、機関は定常状態になり、起動は完了したことになる。詳細は略するが、このような過程においては、無負荷起動の場合、現象を線形と考えることによって次のことが容易に証明できる。すなわち、掃除空気圧の定常値からの偏差 $\Delta p_{s,n}$ が一定の減衰率をもって減少すること、あるいは無負荷起動であって排気圧が大気圧に等しくて一定であるから、掃除圧力比の定常値からの偏差 $\Delta \alpha_n$ が一定の減衰率をもって減少することである。そこで次のように書くことができる。

$$\Delta \alpha_n = \Delta \alpha_1 e^{-(n-1)\lambda_s} \quad \dots\dots\dots (6)$$

減衰率 e^{λ_s} は、起動後に達する無負荷定常状態によっても多少変るが*、ほとんど機関寸法で定まるものであって、機関固有の値とみなすことができる。反動筒基準圧は安定装置によって制御される。その定常値からの偏差 $\Delta\alpha_{b,n}$ も次の形に書くことができ、

$$\Delta\alpha_{b,n} = \Delta\alpha_{b,1} e^{-(n-1)\lambda_b} \dots\dots\dots (7)$$

安定装置は減衰率 e^{λ_b} を支配することが、後に明らかになるように、実験的に認められる。(6)、(7) 式を(5) 式に代入すると、

$$\begin{aligned} I_i O_0 \Delta\chi_{0,n} - I_i O_i' \Delta\chi_{0,n-1} \\ = \left(O_i' \frac{\partial C_i}{\partial \alpha} - I_i \frac{\partial C_0}{\partial \alpha} \right) \Delta\alpha_1 e^{-(n-1)\lambda_s} \\ - (O_i' - I_i) \frac{\partial B_i}{\partial \alpha_b} \Delta\alpha_{b,1} e^{-(n-1)\lambda_b} \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

いま、安定装置を適宜調整して

$$\lambda_b = \lambda_s$$

なる起動を行わせたとしても、外死点も

$$\Delta\chi_{0,n} = \Delta\chi_{0,0} e^{-n\lambda_s} \dots\dots\dots (9)$$

のように、機関固有の減衰率 e^{λ_s} をもって定常状態に収束させることが可能である。それは、(9) 式を(8) 式に代入し、 $\lambda_b = \lambda_s$ として得られる関係

$$\begin{aligned} (I_i O_0 e^{-\lambda_s} - I_i O_i') \Delta\chi_{0,0} \\ = \left(O_i' \frac{\partial C_i}{\partial \alpha} - I_i \frac{\partial C_0}{\partial \alpha} \right) \Delta\alpha_1 - (O_i' - I_i) \frac{\partial B_i}{\partial \alpha_b} \Delta\alpha_{b,1} \dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

が成り立つときであって、このような起動を正常起動と呼ぶことにすれば、(10) はその条件を与えるものである。

c. 起動の初期条件 実際の起動では、その初期において

$$\lambda_b \neq \lambda_s$$

が成り立つ**、しかし条件(10) は満たされない場合が多い。そこで等式(10) の両辺に差があるとし、さらに、起動後の定常状態が安定であるとすれば

$$I_i O_i' \approx 0$$

でなければならないから(詳細後述)、

$$\begin{aligned} I_i O_0 e^{-\lambda_s} \Delta\chi_{0,0} + \varepsilon = \left(O_i' \frac{\partial C_i}{\partial \alpha} - I_i \frac{\partial C_0}{\partial \alpha} \right) \Delta\alpha_1 \\ - (O_i' - I_i) \frac{\partial B_i}{\partial \alpha_b} \Delta\alpha_{b,1} \dots\dots\dots (11) \end{aligned}$$

これを(8) 式に適用すれば、 $\lambda_b = \lambda_s$ 、 $I_i O_i' = 0$ であるから

$$\Delta\chi_{0,n} = (\Delta\chi_{0,0} + \varepsilon e^{-\lambda_s} / I_i O_0) e^{-n\lambda_s} \dots\dots\dots (12)$$

したがって外死点は第3図の点線にて示すように、最初のパiston位置が $\chi_0 + (\Delta\chi_{0,0} + \varepsilon e^{-\lambda_s} / I_i O_0)$ であるかのように変動する。実際には、最初のサイクルにおいて外死点が修正されて、それ以後は e^{λ_s} の減衰率で定常

第3図 $\lambda_b = \lambda_s$ であって、条件(10) が満たされない場合の起動。ただし、無負荷定常状態は安定とする。

値に収束する。したがって、この修正が構造・掃除両限界内で行われるのであれば、条件(10) は満たされなくてもよい。このことは、無負荷定常状態が安定であれば、条件(10) より定まる起動の初期条件 $\chi_0 + \Delta\chi_{0,0}$ (最初のパiston位置)、 $\alpha_b + \Delta\alpha_{b,1}$ (最初の反動筒基準圧) は、ある程度自由に選べることを示す。

3. 起動初期

上記の線形理論によって、初期条件は余り問題でなく反動筒基準圧の制御が起動を支配することがわかった。しかし起動の実態はこのように簡単ではない。起動初期——最初の数サイクル——においては、安定装置の動特性が決定的な役割を演ずるからである。

a. 安定装置 第4図が試験機関に設けられた安定装置の断面図である。パイロット弁⑤の重量は1.50 kg、可動距離は反動側(右方)へ12.5 mm、掃除側へ14.5 mm、ガタは±1 mm である。掃除空気圧は

① ハンドル、② 回り止め、③ ばね、④ 掃除側シリンダ、⑤ パイロット弁、⑥ 平衡管に通ず、⑦ 弁変位指示片、⑧ 反動側シリンダ、⑨ 絞り弁、⑩ 導圧管、⑪ インジケータ座、⑫ 導圧孔、⑬、⑮ 逆止め弁、⑭ 掃除空気室

第4図 安定装置

導圧孔⑫ を経て掃除側シリンダ④ へ伝えられる。導圧孔内径は6 mm であって長さも短いから、おくれは問題にならない。反動筒圧は平衡管にとりつけた絞り弁⑨、導圧管⑩ を経て反動側シリンダ⑧ に伝えられる。絞り弁全開面積は28.3 mm²、導圧管は内径6 mm、長さ約400 mm である。起動前には、パイロット弁はばね③によって反動側へおしつけられているが、起動空気が流入して、反動筒圧(正確に

* 無負荷定常状態は、噴油量、噴射時期、安定装置のばね荷重で定まる。したがって e^{λ_s} もこれらによって多少変る。

** 第9図に示すように、基準圧は最初の数サイクル後にほとんど一定の圧力に達する。掃除空気圧も同様であるから[第6図(a)], 起動初期には $\lambda_b \neq \lambda_s$ は成り立つものとしてよい。

は、平衡管に生ずる衝撃波が反動側シリンダに伝わると掃除側へ急速に動き、13.5 mm 進んで⑥→⑬の通路（以後、流出路と呼ぶ）が形成されると、反動筒空気が流出を始める。

b. 反動筒空気の流出 自由ピストンを機関中心に置き、安定装置は絞り弁を閉じて働かないようにして、起動空気を流入させると、反動筒基準圧は第5図aのように変化して約0.75 s（約9サイクル）後には起動空気はすべて反動筒に充てんされる。このままでは基準圧が高すぎて行程がのびず起動しないから、余分の空気を抜き取らねばならない。そこで、絞り弁を

起動空気圧 32 atm, ・内死点における基準圧
第5図 反動筒空気の流出

開いて安定装置が働くようにし、減圧弁も開いて掃除空気室を大気開放する以外は、前と同じ条件で流入させると、反動筒基準圧は同図bのように前よりも低い圧力におちつき、起動空気の約1/3が流出している

(a)

(b)

第6図 起動オシログラム

ことを示す。ついで、減圧弁を閉じピストンを起動位置において、実際に起動させてみると、cのようにさらに低い圧力におちつく傾向が見られ、起動空気の約2/3が流出している。

第6図(a)は起動時の反動筒と掃除空気室の圧力記録である。反動筒圧力波の頂上はそれぞれのサイクルの外死点に対応するが、最初の山は外死点ではなく最初の内方行程における圧力の極大であって、起動空気の流入のはげしさを表わしており、これを基準圧に直して第5図に描きこむと点線のようになる。起動空気が定常運転に用いられる量の約3倍必要であったのは、起動直後に基準圧の鋭い上昇を確保して圧縮仕事を十分にし最初の着火を確実にするためである。しかし、たとえば起動空気の吹出し弁の重量を減らし面積も大きくして流入率を高くすることができれば、起動空気量を減少することは可能であろう。掃除空気圧の記録より e_{as} を測定してみると、理論値 $e_{\text{as}}=1.43$ よりも少し大きく出る。すなわち $e_{\text{as}} \approx 1.6$ 。反動筒より流出した空気が掃除空気室へはいるからであって、この空気は2番目のサイクルの掃除に役立つ。

c. 流出路開孔時間面積 起動時の安定装置の機能を調べるために、反動側シリンダに光電管インジケータをとりつけて圧力を測定し、またパイロット弁にくさび⑦を設けて変位に比例した光量を光電管にうけて増幅しオシログラムに記録した。第6図(b)がその一例である。自由ピストンを機関中心に置いた場合であって、同図の反動筒基準圧記録より読みとったものが第5図(b)である。反動側シリンダ圧は起動時気流入と同時に強いパルスとなって、パイロット弁を掃除側へおしつける。つづいて2回目の流入によって（おそらく吹出し弁の振動のため）、同様のことが小さい規模でおこる。そしてパイロット弁が反動側へもどって来て流出路をちょうど閉じると、すべての変動

は静まる。このように、流入に伴うパルスによって流出路の開孔時間面積が形成され反動筒空気の流出量を規定するが、時間面積は起動空気圧したがって平衡管に生ずる衝撃波の強さが同じならば、ばね荷重、ばね定数および絞り弁開度によって、さまざまに変る。第7図a~cがその例であって、ばね荷重・ばね定数が大きいほど時間面積は小さく、また絞り弁開度が小さくなると第8図に示すように衝撃圧が弱くなるから時間面積も小さくなる。よく知られたように、ばね k と質量 m よりなる1自由度系に短時間 Δt に働く衝撃力 P が加わると、その変位 x は次式で表わされる。

$$x = \frac{P\Delta t}{\sqrt{mk}} \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t$$

起動初期におけるパイロット弁の運動も、これと同質の現象であるから、上式によって流出路開孔時間面積を求め、これを元として、第7図

k :ばね定数, a :ばね初期圧縮量, θ :絞り弁開度

第 7 図 流出路開孔時間面積

起動空気圧 32 atm

第 8 図 絞り弁開度と衝撃圧

$a \sim c$ の斜線で示した面積を次の実験式で与えることができる*。

$$S_p = \frac{ab}{f} \left\{ A \left(\frac{P}{ak} - 1 \right) f \Delta t - B \frac{l}{a} \right\} \quad \dots\dots\dots (13)$$

ただし, S_p =流出路開孔時間面積, f =パイロット弁とばねで形成される振動系の固有振動数, a =ばねの初期圧縮長さ, k =ばね定数, b =弁孔有効幅(第4図の断面イ-イ参照), P =衝撃力, $2\Delta t$ =衝撃圧の働く時間, l =起動前の静止位置から流出路が開くまでのパイロット弁の変位。係数 A, B は

$$A=2.74, B=5.45$$

実際に起動を始めると, 反動筒圧の変動にしたがって反動側シリンダ圧も変動し, それに応じて第7図dのようにパイロット弁も振動する。しかしただ脈動が重なるだけであるから, その時間面積は, 時間を等しくして比較してみると, 起動しないときの値と差異はない。したがって(13)式は起動初期の時間面積を与えるものといえる。第5図のbとcでは時間面積は同じであるのに, 流出量が違うのは, 起動を始めるとピストンの圧縮によって反動筒の平均圧が高くなるからである。

4. 確実な起動の条件

第6図(a)のインジェクタ線図よりわかるように,

* S_p を通る臨界流出として, 第5図の曲線 a, b より求めると, 流量係数は 0.381。

掃除空気圧は起動初期において, ほとんど過渡変動を終わっているから, (8)式右辺の第1項は無視することができる。無負荷定常状態は安定であるよう選ぶと $I_0 O_i' = 0$ 。したがって, 起動初期終了時からサイクルを数えることにすれば

$$\Delta \chi_{0,n} = - \frac{O_i' - I_i}{I_i O_0} \frac{\partial B_i}{\partial \alpha_b} 4 \alpha_{b,0} e^{-n \lambda_b} \quad \dots\dots\dots (14)$$

であるから, $e^{\lambda_b} > 1$ の場合に $\Delta \chi_{0,n}$ は 0 に収束して起動を行う。

起動時の反動筒圧記録より内死点における基準圧を求めてプロットすると第9図をうる。白丸は時間面積が不足で起動しなかった場合, 黒丸は起動した場合である。いずれも, 起動空気の流入と流出が平衡するあたりで変化がゆるやかになり, 起動しない

起動空気圧 32 atm

第 9 図 e^{λ_b} の起動に及ぼす影響

ときは再び上昇し, 起動するときは下降して次第に定常運転の値に近づく。変化がゆるやかになるあたり(起動初期終了時)の基準圧の偏差を $\Delta p_{b,0} (=4\alpha_{b,0} p_0)$ とし, これから n 番目のサイクルのそれを $\Delta p_{b,n}$ とし, 平均の減衰率 e^{λ_b} を,

$$e^{\lambda_b} = \left(\frac{\Delta p_{b,0}}{\Delta p_{b,n}} \right)^{\frac{1}{n}} \quad \dots\dots\dots (15)$$

より求めると, 第10図に示すように, 時間面積との

起動空気圧 32 atm

第 10 図 e^{λ_b} と流出路開孔時間面積

始めの 5~6 サイクルの行程が長いのは, 予備噴射の燃料が残っているのと反動筒基準圧の上昇が十分でないからである。余分の燃料を燃えつくし基準圧も十分高くなったところから (14) 式で示される起動が始まる。(縦軸の 0 は機関中心, 単位は mm)

第 11 図 起動行程軌跡 起動空気圧 32 atm

間に一定の関係が認められる。すなわち, 起動初期終了後の減衰率 $\bar{e}_{\lambda 0}$ は起動初期の流出路開孔時間面積によって定まることが実験的に認められる。さらに起動が $\bar{e}_{\lambda 0}$ によって支配されることは (14) 式より明らかであるから, 起動の成否は, 起動初期の流出路開孔時間面積によって定まるといことができる。

安定装置のばね荷重, ばね定数および絞り弁開度を調節して時間面積をいろいろに変えたときの起動行程軌跡を第 11 図に示す。a から f にゆくに従い, 時間面積は大きくなっている。d になると起動してはいる

が, 外死点は掃除限界すれすれに動き確実でない。e

では確実に起動し f になると正常起動に近い。このように, 確実に起動する減衰率 $\bar{e}_{\lambda 0}$ は 1~1.3 の間にある。 $\bar{e}_{\lambda 0}$ が $e_{\lambda 0}$ の理論値 1.43 になると, 行程がのびすぎて構造限界に達するおそれがある*。しかし構造限界の広い機関ならば正常起動も可能であろう。

5. 安定性

自由ピストン・ガス発生機が起動し定常運転の状態にはいると, (8) 式の右辺の示す変動は消去し, 次式で与えられる外死

第 13 図 外死点変動 4 例

$$\frac{4\lambda_{0,n}}{4\lambda_{0,n-1}} = \frac{I_0 O_i'}{I_i O_0} \quad (16)$$

* 試験機関は既成の機関を改造した都合で構造限界がせまい。

第 12 図 安定度

これを安定度と呼ぶが、これは有効圧縮比、排気圧、噴射時期、気温などの作動条件および機関寸法の影響をうける*。第 12 図に見られるように、有効圧縮比によって変るが、噴射時期とピストン・リングの状態とによって支配される値 $\frac{d}{dX_i} \left(\frac{p_i}{p_0} - \frac{p_r}{p_0} \right)$ の影響は著しい。また同図は負荷が低くなるほど、安定度が 0 からはなれて安定の悪くなることを示している。第 13 図 (a) は噴射時期を早くして起動した直後に記録されたはげしい変動の例である。この場合は起動はしているけれども、無負荷定常運転が不安定であるために停止して、起動を完成することはできない。したがって起動後に達する定常状態は $I_0 O_i' \cong 0$ すなわち安定度になるべく 0 に近くなるように選ばねばならぬ。(a) の記録は冬期に得られたものであるが、夏期にはこのようにはげしい変動はみられなかった。噴射時期をおそくする以外は (a) と同じ条件で起動させると (b) のように安定になる。第 12 図は安定度に正負があることを示しているが、正はサイクルごとの外死点の変

動の方向が同じであることであって、第 13 図 (c) のように粘性的な減衰を表わし、負は変動の方向が互に逆になって、(d) が示すように振動的減衰を表わしている。

6. 結 言

以上、自由ピストン・ガス発生機の起動および安定性についての主要な問題を追究してみた。見のがした点は多々あると思うが、自由ピストン・ガス発生機の実用化への努力がようやく見られ始めた現在、ガス発生機本体およびその重要な補機である安定装置の設計に際して、いささかでもお役に立てばと思う、終りに、実験計算は当時の学生、大支満、桂田史郎の両君の労に負うところ多いことを記して謝意を表する。

文 献

- (1) 長尾・大塚、機械学会論文集、22 巻 116 号、266 ページ (昭 31)。
- (2) 長尾・大塚・外、機械学会論文集、22 巻 124 号、918 ページ (昭 31)。
- (3) 大塚、「自由ピストン・ガス発生機の部分負荷特性」昭 31. 6. 23、内燃機関連合講演会前刷。
- (4) 記号については文献 (1) を参照されたい。

* 安定度の詳細な表示は、文献 (1) の (7), (8) 式の積で与えられる。第 12 図はこれによって計算したものである。

621. 43. 019. 8: 621. 43. 043. 5

着 火 油 に よ る 内 燃 機 関 の 点 火 法*

長尾不二夫** 小早川 隆*** 坂本昭二**** 吉井久士*****

Ignition of the Gasoline Engine by Injection of Ignition Agents

by Fujio NAGAO, Takasi KOBAYAKAWA, Shoji SAKAMOTO and Hisasi YOSHI

Some ignition agents such as diesel fuels with high cetane number or ethyl-ether, decompose readily into products that cause spontaneous ignition of the gasoline engine, when they are injected into the combustion chamber. High speed motion pictures of flame using a testing engine with glass window reveal that spontaneous ignition occurred at different quarters in the combustion chamber. Results of tests carried out with the CFR engine and another gasoline engine indicated that the injection of such ignition agents extended the use of lean mixtures well beyond the usual lean limit with spark ignition and that knock-free combustion was obtained at the higher compression ratio like 10.3 : 1 even with a fuel of 51 octane number.

1. 緒 言

オート機関の点火には一般に火花点火法が用いられているが、圧縮比が高くなるとノックを起し、高オクタン価燃料を用いれば圧縮比を上げることができる

が点火装置の問題が起ってくる。点火プラグを 2 個あるいは 3 個用いて炎伝ば距離を短くすればノックを軽減し、また薄い混合気でも点火・燃焼させることができる。混合気中に発火性のよい燃料を少量噴射し、その自発火により混合気を点火させば、多数の点火プラグを用いたと同じような効果が予想される。この点火法を着火油点火法と呼ぶことにする。この点火法はすでにガス機関のディーゼル運転法として試みられており、また R. J. Bender⁽¹⁾ は diethyldiglycol ether

* 昭和 24 年 6 月 10 日 神戸地方講演会において講演、原稿受付 昭和 32 年 2 月 22 日。

** 正員、京都大学工学部。

*** 正員、ダイハツ工業会社 (発表当時、京都大学工学部)。

****, ***** 学生員、京都大学工学部 (発表当時)。