航空機用燃量計について*

矢口 裕之**・三 堀 健**
本 橋 多喜男**

1. はじめに

航空機用燃量計システムとしては、ごく初期の時代から現在に至るまで、いくつかの様式のものを使用されてきたが、それらを代表するものとしてフロート型および静電容量型の二方式をあげることができる。前者のフロート型燃量計は簡易な構造、取扱いなどから、後者の静電容量型の開発実用の時期—1950年前後—まではほとんど全面的に使用されたもので、燃料のみでなく、航空機の搭載液量（オイル、水メタノール等）の計測に広範囲に利用されてきたものである。後者はガス・タービン・エンジンの実用化と期を同じくして、その要求にしたがい開発されたもので、比較的その歴史は新しいが、後述する特徴、最近に至る技術的洗練などにより、ガス・タービン機用燃量計の標準方式としては勿論、従来フロート型を用いていたはん用の小型レシプロ機においても、これを装備する例が増しつつある。

一般に液量計測方式としては、液面レベル検出型、圧力検出型などに各種の方式があり、それぞれ特徴を持つが、航空機用として用いられてきたものはすべて液面レベル検出と言って過言ではなく、上記の二方式もこれに属する。

計測量の表示方法としてはガソリン系燃料使用のレシプロ機においては容量（ガロン）表示または全タンク容量の $1/4$, $1/2$, …の比率表示であるが、ガス・タービン機用の燃量表示は通常重量表示方式であり、このため燃料の密度による補正指示を行うのが普通である。

計測方式がフロート型から静電容量型に移行することによって、その精度、信頼度などの性能は相当改善され、またシステムのアレンジメントが容易になり、近代の航空機の要求する機能性の高い複雑なシステムを構成することが可能になった。

しかし航空機の燃量計測においては、機体側燃料タンクの形状、製作精度、取付姿勢、また使用燃料の密度、誘電係数、温度影響などの諸特性とそれらに対する

る補償の問題、タンク内における燃料の温度—密度の不均一性、飛行時の姿勢変化、減加速などによる液面変動に対する指示精度の確保等、充分良好な計測結果を得るためには配慮を要する問題が多い。

航空機用燃量計測方式には代表的な上記以外にも若干あるが、その例は少ないので、ここでは静電容量型を主として、フロート型と対比しながらその概要を説明紹介する。読者の参考になれば幸である。

2. フロート型（浮子型）燃量計

フロート型燃量計は航空機用ばかりでなく、自動車、一般工業計測用の液面計として広く利用されているもので、構造も簡単であり、長年にわたって使用されてきたが、航空機用としては“静電容量型”の普及にしたがって現在その使用はかなり限られたものになりつつある。

フロート型燃量計は燃料タンク内の燃量を、液面に浮べたコルク製または金属缶フロート（浮子）によって液面レベルの上下方向の変化として検出する発信器を持つシステムである。この燃量計は機械式と電気式に大別され、さらに電気式はその使用電源により直流式と交流式に分類されるが、直流式が大勢を占め、現在交流式はほとんど例を見ない実状にある。また燃料量の表示方法から容量表示方式（U. S. GALS または l による）、比率表示方式（E, $1/4$, $1/2$, $3/4$, F による）および重量表示方式（lb）, または（kg）にも分類されるが、最後のものは燃料の密度検出ユニットによる補償回路を持つもので、初期のガス・タービン機用、大型輸送機用として、“静電容量型”に移行する過渡的な時期に使用されたもので、フロート型としては一般的とは言えないものである。

原理、構造 機械式（直示式）—第1図にその一例を示す。これは液面変化にしたがうフロートの上下の動きを、歯車、リンク、磁気結合などによりシール機構を介してハウジング上部の指示機構に伝達するのみの簡単なもので特に説明は要さないが、現在でも整備点検用として用いられる場合がある。

電気式（遠隔指示式） 電気式は燃料の液面検出機構は機械式と類似であるが、フロートによって検出された液面レベル変化を、コックピット内の指示器に伝

* 昭和49年12月20日原稿受理 Fuel Gauge for Aircrafts

** 株式会社北辰電機製作所 Hiroyuki YAGUCHI, Ken MITSUBORI, Takio MOROHASHI

第 1 図

送する遠隔指示機構を備えている。このためフロート型発信器のハウジング部には通常ポテンシオメータ、交流式の場合はシンクロ、磁気式シンクロ（マグネシ）などが内蔵され、これが伝達機構を介して、フロートの動きによって駆動され液面レベルの変化を電気信号として発信するようになっている。

フロート型発信器は航空機への装備の歴史が長く、かつ広範に使用されて多く工夫が積まれたので非常に多くの設計例があるが、現在用いられているものは、リンクなどの簡単な機構によるもの、あるいはフロート・アームの動きをベローズ等のシールを介して直接的に電気変換部に伝える単純化された構造が多い。第 2 図 (a) にその典型的な一例を、また第 3 図に電気信号発信部の例を略図で示す。第 2 図 (b) は案内管内を上下するフロートを持つ構造で、フロート内にマグネットを備え、フロートの上下によって、管壁に設けられたリードスイッチを順次作動し、抵抗値を変化させて発信するもので、検出精度よりも、むしろ動作の確実さを目的とした、燃料よりは一般に温度、圧力などの条件の厳しいエンジン・オイル・タンク内の油量測定用発信器の一例である。

フロート型燃量計の指示計器としては、それぞれ発信器のもつ信号変換部に対応した原理構造のものが用いられる。交流式の場合は発信器に内蔵されるシンクロ、マグネシと対をなす受信器に限定されるが、直

流式のポテンシオメータ内蔵の発信器の場合は、可動コイル型電圧計、可動磁石式比率計および直流セルシン型の計器がそれぞれの設計に応じて使用されている。以下に実用されている直流式の指示計器の例について述べる。

1) 可動コイル型電圧計方式 第 4 図に示すように発信器のポテンシオメータに現れる電圧 e を電圧計で測定し、その測定量を燃量目盛に読み変えて指示する最も簡単な方式で、タンク形状が複雑でなく、また容量の小さい単発の小型レシプロ機に多く用いられている。表示は E, 1/4...F の容積比率目盛が普通で、指針の振れ角は $0 \sim 90^\circ$ 、指示器の指示精度は $\pm 4\%$ F.S 程度である。この型の指示方式は電源（バッテリー）の電圧変動の影響を直接受ける。

2) 比率計方式（直流レシオメータ方式） 第 5 図に示すように発信器のポテンシオメータによって分圧された I_1, I_2 により“High End Coil”および“Low End Coil”の 2 つのコイルに流れる電流の比率が変化する。この二つのコイルは第 6 図のように互に 60° の角度をなすよう交叉され中央に永久磁石回転子が配置されている。 I_1, I_2 の分圧比の変化にしたがい、二つのコイルによる合成磁界の方向が変化し、これに磁石回転子は追従し、回転子軸に直結された指針によって目盛板上に指示する*。

3) 直流セルシン方式 この方式は第 7 図に見られるように前述のレシオメータの一種であり、構造および回路に若干の相異があるのみである。この方式には 2-コイル型および 3-コイル型の 2 種類がある。2-コイル型は $90^\circ \sim 120^\circ$ の目盛角度、3-コイル型は $300^\circ \sim 330^\circ$ の広角度目盛を持つ指示器として使用される。この指示機構の動作は簡単なため省略するが、前述 2) のレシオメータとともに、合成磁界の方向に従動する磁石回転子によって指示を行うため、電源電圧の影響を原理的に受けないので、航空機用燃量指示機構としてフロート型発信器と組合わせて長年賞用されてきた方式である。

この型の指示精度は通常 2-コイル型 ($90^\circ \sim 120^\circ$ 振れ角) でフル・スケールの 2%, 3-コイル型 ($30^\circ \sim 330^\circ$ 振れ角) で 1.5% フル・スケール程度である。

以上述べたようにフロート型の燃量計は、簡単な構造、作動、あるいは取扱いの容易さなどから一般に親しまれ愛用されて来たが、ガス・タービン・エンジンの実用化による航空機の高性能化、大型化にしたがい燃料消費量の増大から、燃量計に対する精度、密度補正による重量表示、信頼性/整備性等々の諸要求が格

* 両コイルに流れる電流の合計は変化せず、比率のみ変化する

第2図(a)

第2図(b)

第 3 図 発信元の種類

第 4 図

第 5 図

第 6 図

第7図

第8図

段に厳しくなり、フロート型の特性的な限界から、これらの諸要求を充分満足することが困難になって来た。このような時期、すなわち静電容量型がまだ充分実用化されなかった時期に使用された、重量表示式の

フロート型燃料計の例を第8図に示す。この例は基本方式として2-コイル直流セルシン式により、ガラス製浮秤型密度検出ユニット (densitometer) を用いて密度補正を行い、複数箇のタンクに装着された発信器の

第 9 図

出力を集計し、一この指示器に合計指示するフロート型としては相当高度のものと言えるものである。

この燃量計システムに用いられた密度測定装置の作動説明を第 9 図に参考用に示す。このシステムは後述する静電容量型に近い機能を持つが、フロート型としては限界であり、性能、製造、整備、コスト等、最近の電子技術をベースとした静電容量型燃量計に一步ゆづらざるを得ない面が多い。

フロート型燃量計の今後、以上述べたように航空機の進歩、ガス・タービン機の主流化、これらに対するフロート型の機構的な限界等から、航空機用燃量計としては、現在ほぼ完全に静電容量型に交替した状態である。従来フロート型を装備していたはん用レシプロ機においても、最近の双発以上の機体には静電容量型が採用される例が増加しており、近い将来フロート型は単発の小型レシプロ機程度に限定されてしまいそうである。しかし燃量以外の潤滑油量計、水メタノール等の液量計としては、それらが単純な形状のタンクを持つ比較的簡単なシステムであり、また被測定液の条件などから、当分フロート型が賞用されるであろう。

3. 静電容量型燃量計

原理 静電容量型燃量計は燃料の液面レベルの検出

第 10 図

に第 10 図に示すようなキャパシタ形のセンサ（一般にタンク・ユニット、T/U と称される）を使用した燃量計で、液面の変化をタンク・ユニットのキャパシタンスの変化として取出す。第 10 図のタンク・ユニットの、外部から見た静電容量を C_T とすれば C_T と液面レベルの関係は次式で表される。

$$C_T = C_M + x(K_F - 1)C_M \quad (1)$$

C_T : T/U の静電容量

C_M : T/U の乾燥時（非浸漬時）の静電容量

x : T/U 会長を“1”とした時の T/U 底面よ

り液面までの高さ

K_F : 燃料の誘電係数 (約 2.)

(空気の誘電係数は "1" とみなす)

次にタンク・ユニットを第 11 図のような回路に組込んだときの電流計 "M" の指示を見ると、

$$\begin{aligned} I_M &= I_T - I_F \\ &= \omega V_1 C_T - \omega V_2 C_F \\ &= \omega V_1 C_M + \omega V_1 x (K_F - 1) C_M - \omega V_2 C_F \end{aligned}$$

ここで $V_1 C_M = V_2 C_F$ なる関係があるとする

$$I_M = \omega V_1 x (K_F - 1) C_M \quad (2)$$

(2) 式によれば、燃料のレベル "x" が $x=0$ (空タンク) から $x=1$ (満タンク) まで変化すると、電流計 M に流れる電流は $I_M=0$ から $I_M=\omega V_1 (K_F-1) C_M$ まで変化することがわかる。すなわち電流計の指示により燃料の液面レベルを知りこれから容量を知ることができる。

第 11 図

燃量計システム タンク・ユニットの構造——般に使用されているタンク・ユニットの構造は第 12 図に示すような同軸 2 重の円筒状電極によって構成されるキャパシタであり、電極間に介在する物質の誘電係数を K とすると、その静電容量は次式で与えられる。

$$C_M = \frac{24.1 Kl}{\log 10 a/b} \text{ (PF/m)} \quad (3)$$

普通使用されているタンク・ユニットの $K=1$ すなわち空気中における静電容量の値 C_M は数 10 PF である。ここでこのタンク・ユニットが l_1 まで燃料に浸漬されると、 $l_1/l=x$ としてその静電容量は $C_T = C_M \{1 + (K_F - 1)x\}$ となる。なお実際のタンク・ユニットにはガード電極と呼ばれる第 3 の電極が設けられ、三線式のキャパシタ構造となっているのが普通である。

指示システム 一般に指示システムは第 13 図に示すように高精度の得られるサーボ方式が用いられることが多い。第 13 図のブリッジの平衡条件は $I_0 = I_1 + I_2 + I_3 = 0$ であるから

$$\omega V_1 \{C_M + x(K_F - 1)C_M\} + \omega V_2 C_F + M \omega V_3 C_B = 0$$

第 12 図

すなわち

$$V_1 C_M + x(K_F - 1)C_M + V_2 C_F + M V_3 C_B = 0 \quad (4)$$

したがって指示 M は

$$M = \frac{V_1 C_M + x(K_F - 1)C_M + V_2 C_F}{-V_3 C_B} \quad (5)$$

ここで $x=0$ すなわち EMPTY 時には $M=0$ でなければならないから、式 (4) より、

$$V_1 C_M = V_2 C_F \quad (6)$$

同様 $x=1$ すなわち FULL 時には $M=1$ でなければならないから

$$V_1 C_M + (K_F - 1)C_M + V_2 C_F + V_3 C_B = 0$$

よって $(K_F - 1)V_1 C_M = -V_3 C_B$ (7)

式 (6) および (7) を式 (5) に代入すると $M=x$ すなわち、あらかじめ式 (6) および (7) を満足す

第 13 図

第 14 図

るように V_1, V_2, V_3, C_M, C_B および C_F の値を定めておけば第 13 図のブリッジ回路によって燃量の測定指示を行うことができる。

タンク・ユニットの特性化 読みとり精度の向上、測定信号の集計演算などのため一般に指示器の目盛は直線的であることが望しい。つまり第 13 図のシステムで言えばポテンショメータのワイパーの偏位 (回転角) が燃量に直線比例することが望しい訳である。しかし第 13 図のタンク・ユニットの機能は液面レベルの検出であって、液量を直接検出するものではない。そこでこのシステムによって直線目盛で燃量を指示させようとする場合は、燃量と液面レベルの関係を直線的にする工夫が必要である。その方法としては、第 13 図におけるポテンショメータを非直線型として燃量変化特性にマッチさせるか、あるいはタンク・ユニットの静電容量の変化を、液面レベルではなく、燃量の変化に比例させることが必要であるが、一般には後者の方法が用いられており、タンク・ユニットの電極面積と液面レベルの間に所定の特性変化を与えることで、その直線化を達成している。このようなタンク・ユニットを、特性化タンク・ユニットと称している。

一般に航空機の燃料タンクは第 14 図に示す例のように機体構造により様々の形状を持ち、異形的なものも多く、これらの燃量の直線的な指示を得るために特性化タンク・ユニットは広範囲に用いられている。

燃量の直線指示タンク・ユニットの特性化は次のような手順で行われる。

第 15 図に示すタンクにおいて指示目盛を直線的にするためには、前記のブリッジのバランス条件から次の (8) 式が成立しなければならない。

$$M = \frac{V(L)}{V(F)} \propto \frac{V_1 C_T(L) - V_2 C_F}{V_1 C_T(F) - V_2 C_F} \quad (8)$$

ここに、 $V(L)$: 液面レベルが L のときの燃量 (体積)

$V(F)$: 満タンク時の燃量 (体積)

$C_T(L)$: 液面レベルが L のときのタンク・ユニットの静電容量

$C_T(F)$: 満タンク時のタンク・ユニットの

第 15 図 静電容量

静電容量

タンク・ユニットの静電容量はその電極の面積に比例するから $C_T(L)$ は次のように表わすことができる。

$$C_T(L) = C_M + \frac{S_F}{S_{\max}} - (K_F - 1)C_M \quad (9)$$

S_F : 燃料に浸漬されている電極面積

$S_{\max}$: 全電極面積

また $C_T(F)$ は

$$C_T(F) = K_F C_M = C_M + (K_F - 1)C_M \quad (10)$$

式 (8), (9) および (10) から

$$M \propto \frac{V_1 \{C_M + S_F/S_{\max}(K_F - 1)C_M\} - V_2 C_F}{V_1 \{C_M + (K_F - 1)C_M\} - V_2 C_F}$$

式 (6) から $V_1 C_M = V_2 C_F$ であるから

$$M \propto \frac{V_1 S_F/S_{\max}(K_F - 1)C_M}{V_1 (K_F - 1)C_M} = \frac{S_F}{S_{\max}}$$

よって直線目盛とするためには

$$\text{浸漬比 } x' = S_F/S_{\max} \propto V(L)/V(F) \quad (11)$$

とすれば良いことがわかる。

式 (11) を満足させるため、タンク・ユニットの内側円筒は一般に絶縁体で製作し、その上に点電解メッキ法などを利用し、燃料タンクの容量特性に合わせたパターンを持つ電極を形成する。第 16 図にその例を示す。

第 16 図 (c) のガード電極は、第 17 図に示すように測定電極と背後の外側電極の間に静電容量が形成されるのを防ぐためのもので、機体金属部に接地されアース電位に保たれる。なおこのガード電極は測定電極

第16図

第17図

の背後のみでなく、内側電極の上下端にも設けられるので、この部分を浸漬する燃料は測定されない。したがってタンク・ユニットはその全長にわたっては燃料量を測定できず、上下に若干の計測不能域が存在する。

燃料の特性および補償型ブリッジ回路—ガス・タービン・エンジン使用の航空機における燃料指示は一般に重量単位（ポンド）で校正される。一方この方式の計測システムは、燃料の体積変化を静電容量の変化として検出するので、燃料の誘電係数が変化すると指示も当然変化する。そこでこの誘電係数の変化と燃料の温度による密度変化が同一であれば正しい重量指示が得られるが、一般には誘電係数と密度の変化は第18図に示すように同じ傾向ではあるが一致はせず、このため燃料温度が変わると指示が変化する。

第18図

第19図 ロット別燃料特性

第18図は温度が変化した場合の燃料の特性であるが、一般に石油系燃料はその組成が複雑で、たとえ温度が一定であってもその製造ロットによってかなり特性がばらつく。しかし多数の試料を測定した結果、その誘電係数と比重に関しては第19図に示すような平均的特性を持つことがわかっている。第19図は普通JP-4と称されるタービン用燃料の特性例である。

このような燃料特性の補償を行うには、燃料の種類に応じて、密度—誘電係数の関係を実験的に求め、これを条件として第13図の基本的なブリッジ回路に補償回路を組み込む方法が普通行われている。燃料密度—誘電係数の関係式は、特別の要求がないかぎり米軍spec. (参考文献3, 4)に指定のものが軍、商用機一般に採用される例が多いようである。例としてJP-4燃料の関係式を次に転記しておく。

$$\frac{K-1}{D} = 0.12192 [1 + 0.3373(K-1)] \quad (12)$$

D : 燃料密度 LBS/u.s GAL.

補償型ブリッジ回路と第13図の基本的なブリッジ回路との違いは、燃料の誘電係数を検出するためのコンペンセータ（補償ユニット）の静電容量が第13図の C_B に並列に接続されていることである。このコンペンセータはしたがって常に燃料中に浸漬されていなければならないので、タンクの最も低い位置に取付けられる。したがってこのコンペンセータの浸漬レベル以下では測定が不確実となり誤差が大幅に増大する。

補償型ブリッジ回路を用いた燃料計の指示目盛は通常重量単位で較正されるが、この場合、その値は燃料の予測される最大密度 (JP-4 の場合, MIL. Spec. によれば 7.19 (LBS/u. s. GAL) を用いて設計されるので、普通の温度においては燃料満タンク状態においてもフル・スケールを指示せず、JP-4 燃料の通常温度時 (密度 6.539 LBS/u. s. GAL) における満タンクの指示はフル・スケールの 90.93% となる。

静電容量型燃量計の技術動向 前述の補償型ブリッジ回路をベースとする燃料計は、既に多くの実績があり、完成されたシステムとしてほぼ満足すべき性能を持つものと考えられるが、最近における航空機の高性能化、大型化による信頼性および技術面の諸要求、あるいははん用航空機を対称としたシステムの簡素化、ロー・コスト化などを目的として多くの改善が行われており、既に実用されているものもある。その一、二を紹介しよう。

全金属化タンク・ユニット 燃料計のタンク・ユニットはタンクの形状にマッチした特性化を必要とすることを説明したが、このために従来は主として正確な電極パターンを得る加工上の理由から、内側電極に合成樹脂系材料を用いて、その上にフィルム状の金属電極を形成する方法が取られて来た。しかし合成樹脂系を基材とする電極は、長期間にわたる燃料タンク中の浸漬、乾燥による寸法、絶縁等の耐久性、安定性に限界があり、精度におよぼす影響に無視できない面が見られた。

これに対し従来から内側電極の金属化が計られて来たが、特性化のための加工精度が直接測定精度に影響するため、技術的に困難な面が多く、なかなか実用化されるに至らなかった。しかし最近に至り、電鍍法等の新しい加工技術を応用することによって、特性化された全金属製電極が容易に製作可能になり、最近の航空機においてはこの全金属性電極を持つタンク・ユニットが装備される例が増加している。また、この方式のタンク・ユニットはガード電極が不要になり、二線式の接続が可能になるので、機体配線が簡略化されるなどメリットが多い。

自己補償型タンク・ユニット⁵⁾ 前述の補償型ブリッジ回路は燃料特性の補償のために燃料の誘電係数を検出するコンペンセータを使用する必要があり、これを常に燃料中に浸漬する必要上その取付位置がタンクの底部近辺に制限されるという不利の条件がある。タンクのこの部分は燃料中の水分の凝集、“おり”パケテリアの発生など、しばしばコンペンセータの機能を損う環境が存在する。さらに大容量のタンクの場合には燃料の層形成 (ロットの異なる燃料の混在、タンク

第 20 図

内温度分布による上下層における燃料密度の相異による)に起因する補償誤差が発生する。

自己補償型タンク・ユニットは以下に述べるように、タンク・ユニット自体に補償機能を持たせたもので、ユニットの全測定レベルにわたり補償が行われるので上記の誤差を軽減することができる。

自己補償型タンク・ユニットは第 20 図に示すように従来と同構造のユニット受感部 C_E に固定キャパシタンス C_S を直列に接続した簡単なものである。

$C_S = nC_E$ とすると、乾燥時の静電容量は

$$C_{T(DRY)} = \frac{C_E \cdot nC_E}{C_E + nC_E} = \frac{n}{n+1} \cdot C_E \quad (13)$$

次にこのタンク・ユニットを完全に燃料中に浸漬した時の静電容量は

$$C_{T(WET)} = \frac{nK_F}{K_F + n} C_E \quad (14)$$

静電容量の変化分は

$$\begin{aligned} \Delta C_T &= \frac{nK_F}{K_F + n} \cdot C_E - \frac{n}{n+1} \cdot C_E \\ &= \frac{n^2}{n+1} \cdot \frac{K_F - 1}{(n+1) + (K_F - 1)} \end{aligned} \quad (15)$$

式 (15) から、 n の値を適当に選択することで、タンク・ユニットの静電容量変化分を密度に比例させることが推定される。このタンク・ユニットを用いたブリッジ回路例を第 21 図に示す。

第 21 図のタンク・ユニットの静電容量 (C_T) は直列容量 C_S を含むため、受感部の静電容量 (C_F) に直線比例して変化しないが、 C_S を見込んで受感部を特性化することにより補償型ブリッジ回路と同様に次式が得られ燃料特性を補償することができる。

第 21 図

$$M = \frac{(K_F - 1)}{\frac{V_2 C_B}{n V_1 C_F} \{ (n+1) + (K_F - 1) \}} \quad (16)$$

この型のタンク・ユニットの特性化は通常のタンク・ユニットと異なり、燃料の誘電係数を予め設定する必要がある、一般には常温における公称誘電係数を基準値とするが、このため、実燃料の誘電係数と異なる場合が当然発生し、補償誤差が生ずる。設定誘電係数と実燃料の誘電係数の差によって、このタンク・ユニットは次のような補償特性を示す。

イ、空タンク ($x=0$) および満タンク ($x=1$) の場合は実燃料の誘電係数の値にかかわらず正しい値を指示する。

ロ、実燃料の誘電係数が基準値に等しい場合は x の全範囲で正しい値を指示する。

ハ、実燃料の誘電係数が基準値と異なる場合の部分浸漬時 ($0 < x < 1$) には、その差に比例して誤差が発生しその値は $x=1/2$ の時最大になる。

実燃料の誘電係数と基準値は實際上必ず若干の差があり、このタイプのタンク・ユニットの部分浸漬時における誤差発生は避けられないが、この誤差は受感部の検出する体積に対する値であり、タンク内にタンク・ユニット受感部を分割配置すれば、部分浸漬の一を除外して他のものは誤差を発生せず、全体的に誤差を許容出来る値にまで軽減することができる。したがって大型タンクの場合、燃料の層形成、水分、汚れなどによる誘電係数の部分的変化による誤差発生を考えると、コンペンセータを用いる通常型に比べて利点が多

いと言えよう。

姿勢誤差補償装置 (参考文献 3, 6) 航空機に搭載される燃料計システムの示す見掛け上の指示誤差の最大要因は、燃料計自身によるよりはむしろ航空機の姿勢変化によるもので、燃料搭載量の多い大型航空機においては、これに対する対策が強く希望されている。現用の燃料計測システムはほとんどすべて液面検出型であり姿勢変化の影響は本質的に免れないが、静電容量型の場合はフロート型と異なり、タンク・ユニットの形状、機能からそのタンクへの装着が比較的容易のため、タンク形状、配置に応じて複数箇のタンク・ユニットを適切に配置し、その出力—静電容量を並列に接続することで指示差の軽減を計て来た。しかしこの方法による対応は、1このタンクに装着可能なタンク・ユニット数、整備維持、コストなど自ずと限界があり、また極端な特殊形状を持つタンクの姿勢変化による指示差の修正には充分ではない。

第22図は最新の大型高性能航空機用として考えられた姿勢誤差補償装置の一例をブロック図的に示すもので、最近進歩の著しい小型電子計算機を中心とする装置である。

第22図において、姿勢検出器は航空機のピッチおよびロール変化に伴う燃料タンクの姿勢を検出するもので、そのダイナミック応答は実際のタンク内燃料の動きにマッチされている。一方燃料量計から取り出された信号—燃料重量—は別に設けられたコンペンセータから得られる燃料の誘電係数によって燃料容積に変換され、姿勢信号とともに計算機に入力される。計算機

第22図

のメモリーには航空機の姿勢・タンクの姿勢に対する燃料容積の誤差が記憶されており、計算機はこれらを基に各姿勢における補償値を算出する。補償値は一度アナログ信号に変換されて燃料計に加えられ、燃料計はそのときの姿勢における正しい燃料量を指示する。

燃料管制システム 航空機の燃料系統においては燃料量計測以外に、次のように燃料量をパラメタとして必要とする計測あるいは制御が多い。

- イ) 搭載物の投下などによる重心変動の、燃料移動によるトリム。
- ロ) 総重量の変動に伴う、アタック・アングルなどのトリム
- ハ) 飛行可能残時間、距離の算出
- ニ) 最終目的地に到着したときの残存燃料量および残存飛行可能距離の算出

今までの航空機においてこれは個別のシステム、あるいは航法計算の一部として行われて来たが、燃料計自体の精度、信頼性の向上とともに、計算機の導入に伴う各種データの利用率の向上によって、現在では燃料量をパラメタとする多くの計測および制御を包含するトータル・システムとしての燃料管制システムに移行しつつあり、今後は燃料計も異なる燃料量の測定指示のみでなく、トータルな燃料管制システムの一要素として位置づけられ開発される傾向がうかがわれる。

簡易型システム これまで述べてきた技術動向は主として、大型高性能航空機を装備対象としたものである。しかし静電容量電燃量計の特徴は、そのタンク・ユニットにあり、高精度の液面検出というのみでなく、可動部の全くない簡素な構造による高い信頼性／整備性にある。最近はこの特徴が注目され、従来フロート型燃料計が主用されていた。はん用、中小型機にも静電容量型燃料計の採用が目立って増しつつある。この中小型機の場合、比較的高価なサーボ指示機構の

(a)

(b)

(c)

(d)

第 23 図

ものを用いることもあるが一般にはコストと精度あるいは機上電源から第 23 図に示すような簡易化されたシステムを用いることが多い。またガソリン系燃料の場合は密度と誘電係数の関係がケロシン系ジェット燃料の場合と異なり、ほぼ同じ変化傾向にあるので特に補償を行わないのが普通である。

第 1 表 静電容量型およびフロート型燃料計の比較

方 式	静 電 容 量 型	フ ロ ー ト 型
比較内容		
1. 設 計		
○システム・アレンジメント	検出部がキャパシタの為並列接続出来、タンクの配置、形状、個数などに応じ、設計の柔軟性が高く、機能的なシステム設計が可能	主として検出部の形状、機能の制限から、アペイラビリティの大きい設計は困難
○タンク・ユニット		
構 造 機 構	可動部分なし、2重円筒型、燃料特性補償ユニット組込可	可動機構、液シール部有り、褶動抵抗部分内蔵
寸 度、重 量	外径約1インチ、長さはタンク形状により変わる軽量	定形性少ない、重量は静電型の2~5倍
キャラクタライズ	広範囲高精度で可能	困難
不 感 残 量	少ない	フロート形状より相当大
感 度	高い、測定ブリッジとの組合わせにより分解能も高い	機構部フリクション遊びおよび巻線型可変抵抗使用のため低い
タンクへの適応設計装着	容易、多数取付、内部取付可	機構形状より制限有り、1つのタンクに2以上取付は困難

○指示器 指示機構	サーボ (ACまたはDC), 数値による表示可, 自動平衡型, 可動コイル型使用も可	可動コイル, 可動磁石型
トルク, 摩擦 (不感帯)	トルク大, 摩擦小 (0.1% FS)	トルク小, 摩擦大
制動	大	小 (通常は制動用キャパシタを外付で用いる)
リピータ信号	発信可 (アナログ信号, デジタル信号の何れにも可)	不可または困難
警報用等接点信号	発信可	不可 (必要な場合, タンク・ユニット側に設ける)
目盛アレンジ	直線 (均等目盛), 重量指示	均等目盛困難 (タンク形状による), 容積指示
重量・寸度	通常2インチ・ケース密封型, アンプ内蔵時はやや長く, かつ重量もやや大きい	通常2インチ・ケース密封型, 計器長さは短く軽量
内部照明	可	可
増幅器の内蔵	可	
○補助機器		
Empty Full 調整器	可 (通常増幅器内蔵)	可 (可変抵抗器別付)
増幅器	要 (通常は指示器に内蔵)	
○電源, 消費電力	AC (通常は 115V 400Hz) または DC, 5VA/ループ以下両用も可	通常は DC. 2W/ループ程度
○配線	タンク・ユニットよりの配線に同軸ケーブル要 (最近では同軸ケーブルを用いないシステムも有)	普通配線
○燃料密度の補償	可 (ただしジェット燃料の場合のみ航空ガソリンは不要)	通常は補償しない
2. 性能		
○タンク・ユニット		
精度	静電, 容量誤差 0.4%	発信抵抗誤差 約3%
耐環境性	耐湿性やや小, 他は良好, 全金属形により解決される	耐振性やや小
耐久性/信頼性	高い	機構部磨耗し易い, 発信抵抗の接触不良出易い
○指示器		
精度	0.3% FS	1.5% FS 程度
耐環境性	密封構造のための良好	同左, ただし耐振性低い
耐久性/信頼性	増幅器内蔵時はやや低い, 一般にはかなり高い (指示値の $\pm 1\%$) $\pm 0.5\%$ FS	普通, ただし摩擦誤差増大し易い
○総合精度 (期待値)	MTBF 3000 Hr MIN (90% CL)	4%~5% FS 位
3. 整備/装備		
○装着/脱	容易	タンク・ユニットは形状, タンク取付位置により相当困難の場合あり
○配線, 誘導等	同軸ケーブル使用 (同軸ケーブルを用いず耐誘導性に強いものも有) やや複雑, 信号ラインは誘導を一応注意	簡単, 普通配線
○点検整備, 調整	やや高度	容易
○特殊工具, テスター等	キャパシタンスブリッジ, 精密キャパシター要	不要, はん用機械程度
○校正	同	同
4. コスト		
○タンク・ユニット	特性化のためイニシャル・コストが高い, 量産すれば廉価	やや高価
○指示器	やや高価	廉価
○補助機器	やや高価 (増幅器が独立している場合)	廉価 (FULL, EMP 調整用可変抵抗器のみ)
○開発設計費	やや高価	廉価
○整備維持費	やや高価 (特殊テスト要) ランニング・コストは廉価	廉価

4. フロート型および静電容量型燃量計の比較

2. および3. 項に述べた両方式の特徴を便宜のために要約し, 比較表として第1表に示す。

5. おわりに

以上述べたように航空機用燃量計システムとして

は, その燃料に石油系が使用される限り, 静電容量型はかなり良い適性を持っており, 各面の要求を相当程度に満足するものと言えそうである。現時点ではこの静電容量方式にかわるシステムの出現の可能性は少なく, 今後かなり長期にわたって航空機用の標準的な燃量計システムとして利用されるものと考えられる。

他の計測方式による若干の例もあるが紙数の関係で

割愛した。不十分な面が多いと思われるが、参考の一助となればと期待する次第である。

参 考 資 料

- 1) 昭 47.11, 飛行機シミュレーション講演集, 41, 航空機用燃量計システムについて, 金子, 長瀬, 三堀.
- 2) 昭 48.11, 同上, 7C3 航空機用燃量計, 本橋, 三堀.

- 3) 米軍規格, MIL-G-26988C, および関連 spec.
- 4) " MIL-G-7817, 7818 および関連 spec.
- 5) U. S. PAT. 3, 295, 372 Capacitance Type Fluid Measuring Apparatus.
- 6) U.S. PAT. 3, 527, 096 Attitude Error Correction for a Fluid Gauging System.
- 7) メーカー各社カタログ類

＝ 会 告 ＝

日本工学会第 34 回見学会ご通知

日本工学会では下記により見学会を催します。この見学会は、日本工学会加盟の学協会所属会員の方々に見学していただくことを趣旨として企画いたしました。奮ってご参加下さい。

記

日 時: 昭和50年11月26日(水)13時30分～15時30分

見 学 先: 電気通信科学館

(東京都千代田区大手町 2-2-2)

見学概要: 特設展示場にて、白根館長の講演(特製スライド付)、講演終了後館内見学。館内には、音と電気、光と電気、記号と電気、伝送、交換、情報処理とコンピュータ、素子、ネットワーク、総合通信網等、電気通信のしくみと新しい技術を紹介する各種の装置があり、特別のご案内をいたします。

集合場所: 上記科学館 1 階 切符売場隣

集合時刻: 13時20分まで

順 路: 東京駅(丸の内北口)下車徒歩5分、地下鉄大手町駅下車徒歩5分、国鉄線路脇

定 員: 50名

申込期限: 11月10日正午まで着信のこと

参 加 費: 大人160円、学生80円(入場料(割引)に充当)参加費は郵便切手でお送り下さい。

申込方法: 第34回見学会申し込みと記、(1)郵便番号、(2)住所、(3)氏名(ふりがな)(4)年令、(5)勤務先及び役職名、(6)所属の学協会名を記入、参加費(郵便切手)同封の上申し込み先へ送付すること。
(電話による申し込みは受けつけません。)

申 込 先: 〒104 東京都中央区銀座 8-5-4

日本鉱業会館内 社団法人 日本工学会
電話 (03) 574-6176

注: 見学決定者には、後日見学券を送りますから当日ご持参下さい。

第 20 回 FRP 総合講演会

主 催: 強化プラスチック技術協会

賛 助: 日本航空宇宙学会他

日 時: 昭和50年11月26(水)～28日(金)

会 場: 大阪科学技術センター大ホール(8階)

大阪市西区靱 1-118

詳細問合先: 強化プラスチック技術協会

東京都中央区銀座 3-14-2