621.43.038 : 532.57

電磁流量計による燃料噴射装置の研究*

(第1報, 電磁流量計の研究)

箱守京次郎**, 棚 沢 泰**

A Study on the Fuel Injection Phenomena of Diesel Engines
with Electromagnetic Flowmeters

(1st Report, On the Electromagnetic Flowmeter)

by Kyojiro HAKOMORI and Yasusi TANASAWA

To clarify the fuel injection phenomena in diesel engines, not only the change of pressure, but also the variation of velocity at any point of the fuel supply line must be measured.

So we have attempted to make a DC electromagnetic flowmeter suitable to record the instantaneous velocity with a high sensitivity under high pressure, using water as an alternative of fuel.

After the examination of various causes which produce electrochemical noises, we have adopted the following system.

(1) A new type of probe (pick up), which withstands the hydraulic pressure up to 500~600 kg/cm², has been developed. Two fine silver wires covered with thin co-axial insulators are inserted into the fuel pipe from the opposite side paying attention not to disturb the flow, and are used as the electrodes.

(2) The electro-motive force induced by the velocity of flow and the strong magnetic field is amplified with a balanced circuit of 66~90 db.

(3) The input resistance of the preamplifier, in which grid current is limited under 10⁻¹²A, is taken between 60~200 MΩ to prevent the polarization effect in the flow.

1. は し が き

内燃機関, とりわけディーゼル機関の燃料噴射過程を実験的に研究する場合, 噴射管内の流れを指定する要素として, 従来は圧力のみが測定されている. 噴射現象を正確に理解するためには, 噴射率とともに噴射管内の任意の点における流速・圧力を同時に測定することが必要である.

著者らは, この目的にそう瞬時流量計として電磁流量計を用いることを試みた.

2. 直流式電磁流量計

第1図に電磁流量計による円管内流速測定の実理を示す. H Oe (液体内 B Gauss) の一様な磁場に直角におかれた内径 d cm の円管内を, 液体が断面平均流速 $\bar{v}$ cm/s で流れる場合, B と $\bar{v}$ の双方に直角な管直径上の両端におかれた電極間にファラデーの法則にした

がう誘動起電力 E V が発生する. 断面内の流速分布が軸対称であれば,

$$E = Z \bar{v} B d \times 10^{-8} \dots\dots\dots (1)$$

で与えられる^{(1)~(3)}. Z は流量計と液体が指定されるときまる定数である. したがって E は $\bar{v}$ に比例する. E を測定すれば $\bar{v}$ を知り得る. $\bar{v}$ が時間的に急激に変化する場合にも E は完全に追従する.

また小さな電極を流路壁と平滑に設けることにより, 流れに乱れを与えず, かつ単一点測定が可能である.

第1図 電磁流量計の実理

* 昭和 37 年 6 月 8 日 第 701 回講演会において論文講演として講演, 原稿受付 昭和 37 年 4 月 7 日.

** 正員, 東北大学工学部 (仙台市片平丁).

これらの特長は、時間的に急激に変化し、場所的にも異なる噴射流れの測定にぜひ欠かせない条件である。その他、よく知られているように、電磁流量計の感度は液体の粘度、密度、比熱、温度、熱伝導率などの物理的性質と無関係である。

噴射流れを測定する場合、対象となる液体は燃料油である。燃料油のような導電率のきわめて小さな液体に対しても、少なくとも理論上は、電磁流量計の適用が可能であるが、実用上は種々の困難をともない、いっそうの検討を要する。本報では、第一段階として、燃料油の代りに水道水を用いた場合について述べる。

電磁流量計は、用いる磁場が一定か、交流的に変動するかによって、それぞれ直流式、交流式に大別される。工業的に実用化されているのは交流式である。噴射流れのように急激に変動する流れの測定に交流式を使うと、励磁装置や残り電圧の補償がかなりむずかしくなることが予想される。この場合直流式は構成が簡単であり、短時間内の測定では有利である。そのためここでは直流式を採用した。

3. 噴射特性測定装置

さしあたって、ボッシュ方式によるディーゼル機関用燃料噴射装置を対象とする。

1: はずみ車, 4: 噴射ポンプ, 5: 駆動プーリ, 9: 回転計, 10: 流量調節かん, 11: 給油管, 12: プランジヤ, 13: 送出し弁, 16: 噴射管, 23: ノズル, 24: ノズルニードル, 25: 押し棒, 26: 弁ばね。

第 2 図 噴射特性測定装置 (その 1, 検出方式)

噴射流れを表現する要素として、ここでは、噴射管内のポンプ端の速度 v_p cm/s, 圧力 p_p kg/cm², ノズル側における速度 v_n cm/s, 圧力 p_n kg/cm² を測定する。さらにノズルから噴射された噴流のもつ運動量 I kg s, ノズルニードル弁の揚程 l mm を同時に測定する。ノズルの噴孔流量係数が一定の場合には、 I は噴射率(の二乗)を与える。

$v_p \cdot p_p \cdot v_n \cdot p_n \cdot I \cdot l$ の各要素は、いずれも時間的に急激に変化する。ここではすべて電氣量に変換して計測した。

第 2 図にその変換方式の原理を示す。4 は燃料噴射ポンプ, 16 が噴射管, 23 がノズル。

(1) v_p, v_n は直流式電磁流量計によって測定する。 v_p は 15, v_n は 17 で検出される。

(2) 噴射管内の圧力は 14, 18 に示したように、管壁に抵抗線を巻きつけ、内圧の変化にともなう管壁の円周ひずみを測定する抵抗線ひずみ方式と、20 に示した圧電方式による測定を併用した。以下前者には W_S , 後者には Q の記号を添えて区別する。

(3) 噴霧流は、それに直角におかれた平面によって方向が 90° 転換される。そのとき噴霧流のもつ運動量は面に対する衝撃力に変換され、圧電形衝撃計 21 によって検出される。

1, 4: 前置増幅器, 2, 5: 主増幅器, 3: CRO, 6: 動ひずみ計, 7: 低域フィルタ, 8: CRO 内蔵直流増幅器, 9: 単一波発生器(スイープトリガー), 10: カム角印加用パルス発生器, 11: 蓄電池, 12: 電源, 13, 14: 安定電源, 15: 交流電圧安定装置。

第 3 図 噴射特性測定装置 (その 2, 観測方式)

(4) ノズルのニードル弁24の揚程1は、押し棒25の動きとして捕えられる。27によって25の上部端面に照度一様なスリット状の光28を結ばせ、25の運動に応じた通過光束の変化をフォトランジスタ29で検出する。

観測器には二要素オシロスコープ(CRO)を用いて二要素ずつ測定し、各要素間の位相関係を知るために、CROのX軸上の各点とポンプ・カム軸回転角とを対応させ(第2図6・7・8, 6はスリット円盤)輝線にカム角5°ごとのマークを入れた。なお第2図1は鋳鉄製のはずみ車、2はその外周にはられた絶縁テープで、3のブラッシとともに単掃引起動位置を定める。

電圧値に変換された流れの要素をCROで観測する場合の系統図を第3図に示す。

v, Iはチャンネル1で計測する。1, 2で増幅されて3のCRT直接端子にはいる。p^q, Iは上と対称に4, 5で増幅され、3の直接端子にはいるが、p^{ws}の信号は、搬送波形式の動ひずみ計6で増幅され、その位相検波された出力は7を経てCROの内蔵直流増幅器8(チャンネル2)にはいる。

以下、本報では、試作電磁流量計について述べる。

4. 流量計プローブ

流路の断面はすべて円形とする。試作したプローブ

は大別して、(1) 流路径1φ~2φの燃料噴射管内流速測定用のものと、(2) 6φの給油ポンプの流量特性測定用のものとに分けられる。以下前者を高圧形、後者を低圧形とよぶ。

第4図A~Dに低圧形、E~Iに高圧形の例を示す。A~Cは同系統のもので、ただ電極表面積が異なっている。いずれも絶縁物流路2(アクリル樹脂)に電極1を封じ込み、前後に金属接地管をとりつけたものである。

高圧形の場合にも、これと同様なプローブたとえばEが製作可能で、あまり圧力が高くない場合には十分使用できる。Fは接着剤4によって電極1を金属ケース7内に絶縁封入したもので、流路は同じ接着剤6をもってライニングされている。6を設ける関係上、プローブユニットを特別に製作し、燃料噴射管9を継手8によって取付ける。G~Iは、非磁性の燃料噴射管10の管壁に直接穴をあけ、電極1を4によって接着絶縁したものであり、流路壁には特別にはライニングを施さない。

HにGの形のプローブで有効電極面積を増すための一つの解決法を示した。Iは噴射管10の肉厚が薄く、十分な電極接着面積が得られず、接着強度したがって耐圧に不安がもたれる場合の対策で、11の非磁性金属の翼片を10にろう付してある。Dは、G~Iと同様な考えに基いて作られた低圧形のプローブで、5は非磁性金属のパイプである。

第4図に示したプローブのうち、低圧形ではC, D, 高圧形ではGが推奨される。

なお、両電極は微細構造についても極力対称に作られることが望ましい。

5. 磁場発生装置

プローブに磁場を与えるのに電磁石を用いた。磁場0の状態が手軽に実現できるので、流速0のときのCROの輝線位置(基準線)の設定が容易である。所定の磁場を加えたときの、基準線からの輝線のふれが誘動起電力したがって流速を与える。

直流式ではノイズは磁場とは一応無関係であり、磁場を強くして信号電圧を大にすればS/Nは大きくとれる。

第4図 流量計プローブ

噴射管内流れの測定に用いた小形電磁石の概略を第 5 図に示す。これは、熊谷・庄野の電磁石⁽⁴⁾の 1/6 スケール・モデルを基本としたものである。励磁電流 3 A のとき、空げき磁場 12 000 Oe 程度である。

6. 直流式電磁流量計用増幅器

流量計プローブの構成は、電氣的には、二つの電極と、この電極をはさんで流路にもうけられた接地部とからなる。流れによってプローブの両電極間に生じる誘導起電力を測定する場合、起電力のとり出し方に大別して次の二つの方法が考えられる。

(1) 一電極を接地し、他電極との間の電位差を検出

第 5 図 小形電磁石

第 6 図 平衡検出方式

する不平衡方式(第 1 図),

(2) 接地管部の電位を基準とし、両電極がこの接地点に対して持つ電位差のベクトル差を検出する平衡方式(第 6 図)。

8 節で述べるように、高速・急変動流れの測定にあたって高い S/N を保つためには、平衡方式を採用することが重要である。

噴射管内流速測定の場合については、第 2 図で、 Y^1 , Y^2 の起電力を接地点 Y^0 (噴射管) 基準に差動検出することになる。第 3 図 1, 2 として、第 7, 8 図に示した平衡形直結直流増幅器を試作した。第 2 図 13 の安定電源としては、第 9 図のものをを用いた。前

$R_{1,4}=50\ \Omega$, $R_{2,3}=30\sim100\ \text{M}\Omega$,
 $R_{5,6}=50\ \text{k}\Omega$, $VR_1=50\ \text{k}\Omega$,
 加熱器は 6.3 V タップを DC 4 V で点火, 負側接地。

第 7 図 前置増幅器

$R=1.5\ \text{k}\Omega$, $R_{2,3}=50\ \Omega$, $R_4=265\ \text{k}\Omega$, $R_{5,6}=250\ \text{k}\Omega$, $R_7=250\ \text{k}\Omega+2\ \text{M}\Omega$ 並列, $R_8=25\ \text{k}\Omega$, $R_{9,10}=30\ \text{k}\Omega$,
 $R_{11}=100\ \text{k}\Omega+2\ \text{M}\Omega$ 並列, $R_{12,13}=500\ \text{k}\Omega$, $VR_1=250\ \text{k}\Omega$ (感度調整), $VR_2=500\ \Omega$ (位置調整),
 $VR_3=5\ \text{k}\Omega$ (平衡調整, 半固定), VR_4 (平衡監視計器感度調整), $C_1\sim C_4=5\ \text{pF}$ トリマー。

第 8 図 主増幅器

置増幅器では格子電流を減らし, 入力インピーダンスを高くしてある. 主増幅器では, 回路が簡単で安定度が高く使いやすいこと, 十分な弁別比が得られることを主眼にし, 回路の基本は, 阪本⁽⁵⁾, 霜田⁽⁶⁾の増幅器に求めた. また安定電源回路は, エルモアとサンズの書物⁽⁷⁾に記載されている Model 50 Power Supply にならったものである. 増幅器の総合特性は, (1) 増幅度: 最大 90 db, (2) 増幅帯域: DC~50 kc(-3 db), (3) 入力: 平衡方式, 入力抵抗: $30\text{ M}\Omega \times 2 \sim 100\text{ M}\Omega \times 2$, 格子電流: $<10^{-12}\text{ A}$, (4) 弁別比: 直流分に対して -54 db, (5) 安定性: 十分ウォームアップした後で, ドリフト $<1\text{ mV/h}$, 利得変化 $<1\%/6\text{ h}$.

低圧形プローブの検出も全く同様である.

7. 電磁流量計の感度校正

流量を $q\text{ cm}^3/\text{s}$, C_1 , C_2 を係数とする. (1)式から

$$E = C_1 \bar{v} = C_2 q \dots\dots\dots (2)$$

と考え, 実験的に C の値を求める.

校正実験は定常流れについて行なった. 第 10 図は小流路の高压形プローブに十分な流量を流すための実験装置である.

第 11 図に, 第 4 図 G 形のプローブについての校正結果の一例を示した. 流速(流量)と誘起起電力とは, よく比例している.

変動する流れの場合, 電磁流量計によって測られた波形から求められた平均流量と, 実測した平均流量と

$V_1=5\text{ AR }4$, $V_2=5\text{ MK }6$, $V_{3,4}=6\text{ Y }6$, $V_{5,6}=6\text{ SL }7$, $V_{7-9}=VR\ 105\text{ MT}$,
 $PT=$ 山水 P-80 B, $L_1=30\text{ H-200 mA}$, $L_2=30\text{ H-50 mA}$,
 $R_{1,2}=100\ \Omega$, $R_{3,4}=1\text{ k}\Omega$, $R_5=500\text{ k}\Omega$, $R_6=10\text{ k}\Omega$, $R_7=15\text{ k}\Omega$, $R_{8,9}=500\text{ k}\Omega$,
 $R_{10}=200\text{ k}\Omega$, $R_{11}=1\text{ M}\Omega$, $R_{12}=500\text{ k}\Omega$, $R_{13}=700\text{ k}\Omega$, $R_{14}=10\text{ M}\Omega$,
 $R_{15}=100\text{ k}\Omega$, $R_{16,17}=10\text{ k}\Omega$, $C_{1,2}=4\ \mu\text{F}$, $C_{3-5}=0.1\ \mu\text{F}$, $C_6=4\ \mu\text{F}$,
 $C_7=60\ \mu\text{F}$, $C_8=40\ \mu\text{F}$, $C_{9,10}=0.1\ \mu\text{F}$

第 9 図 直 流 安 定 電 源

1: 高压ポンプ, 2: 圧力タンク,
 11: 燃料噴射管, 12: 流量計プローブ,
 15: メスシリンダ, 16: ストップウォッチ,
 17: 増幅器, 18: CRO

第 10 図 流量計校正装置

第 11 図 流速感度の校正

は $\pm 5\%$ 程度の範囲で一致する。この範囲は積分過程で混入する誤差によるもので、流量計の測定誤差ではないと思われる。

8. S/N の向上

以上に述べた試作電磁流量計は、ディーゼル機関用燃料噴射装置の特性を測定するのに十分な、耐圧・安定性・ S/N をもっている。これらの特性は、プローブ、増幅器、電磁石のいかんによってかなりの差を示すものである。ここでは試作流量計の設計の根本となっている事項について述べ、さらにいっそう高い S/N を得る方法について考察する。

直流式電磁流量計では、原則として、電極間に存在する電位が直接そのままの形で観測される。電極間の電位が流速に比例した誘動起電力だけなら、

(1) 分極作用

だけが問題になる。しかし実際には、誘動起電力以外に、電極と液体界面の自然電極電位に関係した電位が存在する。これをかりに浮遊電位と名付ける。浮遊電位の存在によって、流速 0 の基準線を極間電位 0 の点と対応させることができなくなる。浮遊電位は、

(2) 流れが一定でも時間とともに変動し(ゆらぎ、ふらつき)、

(3) 流れの関数 (フローノイズとよぶ)

である。これらが安定な測定を妨げ、流れが変動する場合には、ノイズとなって現われる。

(2), (3) はともに、両電極の幾何学的形状、電極付近の流れの状態が同一なら、両極でほぼ同じようすを示すことが期待される。流路導管を接地点として選び、これにかんして対称な電位状態にある両電極の電位を差動的に測定すれば、同相入力である浮遊電位は消去され、異相入力の誘動起電力のみが得られることが予想される。これが 6 節で平衡検出方式を採り、弁別比を小さくするように留意した理由であって、事実著しい効果がある。しかし今の場合、信号電圧に比べて浮遊電位のほうが 1~2 けた大きく、両極の状態の

わずかな差によってもかなりのノイズが現われることがある。このノイズを低減するためには、プローブ・試水の液質を吟味するとともに、強力な磁場を加えて実効的に S/N を高める。

(1) の分極の影響は、信号電圧の垂下およびそれにとまなう基準線の移動となって現われる。増幅器の入力抵抗が高いほどその影響は少ない。第 12 図に、第 4 図 C 形のプローブを用い、入力抵抗の値によって分極の影響が変るようすを示した。プローブに $R_0 = 8500$ の定常流れを与えておき、正負のステップ状磁場をかけた時の記録である。プローブにもよるが一般に入力抵抗が 30~100 M Ω であれば、現在の目的に対し実用上はほぼ完全に分極作用の影響から逃れることができる。

ゆらぎ、ふらつきは流量計の安定性を定め、フローノイズによって S/N がきまる。今の場合のような変動流れの短時間の測定では、前者はそれほど重要ではない。安定度には使用する水道水の水質が著しい影響を与えるので、逆に水質を若干選択することにより、ふらつき、ゆらぎの影響から逃れえる。プローブについては、電極面積が大きいほど、同一面積なら場所的に広がりをもっているほど安定で、たとえば第 4 図で、(A) よりも (B)、さらに (C) がいっそう安定である。しかし、水質の影響のほうが支配的である。

フローノイズは噴射流れのような高速流れに特有の現象と思われる。第 13 図に示すように燃料噴射装置を用いて、流量計プローブに種々の流れを与えて基準線の様相を観察した。5・6 は低圧形、12 は高圧形のプローブである。ゆらぎ、ふらつきが拡散的な時間おくれをとまなう現象であるのに反し、フローノイズは流れの変動に瞬間的に追従し、かつ流速の大きさに関係して現われる。

プローブ構造によるフローノイズの差異をめいりょうに示すため、ノイズの多い試水を用い、第 4 図 A~D について、第 13 図 5 の流れを測定した結果を第

第 12 図 増幅器入力抵抗値 (第 7 図 $R_{2,3}$) と分極作用の影響, 1 スイープ = 12 s

14 図に示した。各写真で、ほぼ直線にみえるのが基準線、大きく変動しているのが流速波形である。これからCとDがほぼ同一で最もすぐれ、Bが次、Aが最もフローノイズが多い(フローノイズの多いものは、ゆらぎ、ふらつきも大きく、第14図の場合Aはきわめて不安定である)。Dを除けば電極面積が大きいほどフローノイズは小さくなっている。Dは電極近傍の接地状態が全くちがう。絶縁部の面積がほかにくらべてきわめて小さい。

3: 給油ポンプ, 4・4': 切換コック, 7: 噴射ポンプ, 13: 噴射管, 15: ノズル, 17: 増幅器, 18: CRO, 9・19: 単帰引起動装置

第13図 フローノイズ観察装置

これに関連して第4図H形プローブにより噴射流れを測定した第15図の結果を検討する。Sは流速信号波形、Eはノイズ(基準線)、 E_1 , E_2 は対極開放時の単極ノイズ、 E_1° , E_2° は対極接地時のそれである。対極が接地されている場合にはフローノイズはかなり減少している。これは接地電位部分の分布が電極電位に著しい影響をおよぼすためと考えられる。必要十分な範囲で絶縁部は小さくし、ほかが接地電位にあるようにすることにより、個々の電極電位の変動を小さくし、結局総合的なノイズを小さくできる。この点が第4図D, G~IのS/Nがよい原因の一つと思われる。なお、第15図から平衡入力の効果が見える。

噴射流れを測定する時、良好に製作されたプローブでは、少なくともある期間にわたり、圧力変動がきわめて急峻な場合を除き、フローノイズはほぼ実用的なS/Nの範囲内にある。この際、S/Nをいっそう高め精度よく測定するため、水道水を選ぶとともに、さらに積極的に添加剤を加えてノイズを小さくすることも可能である。数多くの添加剤について検討した結果、銀電極を用いたプローブでは、酢酸、りん酸などの添加、すなわち H^+ イオンの添加がノイズ減少に効果があることがわかった。 OH^- の添加は逆にノイズを増加させる。 H^+ 添加の効果は一義的ではなく、初めの試水がいくつかのイオンを既に含んでいたかに影響される。

第14図 プローブ構造(第4図A~D)とフローノイズ

第15図 接地の影響と平衡入力の効果, 刻時 0.01 s

第16図 酢酸添加の影響

第17図 試作電磁流量計の S/N, 刻時カム角 5°

また H^+ 添加のさい、時効効果がみられる場合もある。さらに、この H^+ の添加量には最適値が存在し、それ以上の添加によって、かえってフローノイズは増加する。第16図に酢酸添加の効果を示した。プローブは第4図G形。0.001Nの点でノイズはほぼ完全に消えている。なお、この程度の添加によって流量計としての感度は全く変化しない。

第17図に試作電磁流量計によって噴射流れを測定した例を示す。十分な S/N をもっていることがわかる。

9. 結 論

(1) 燃料油の代りに水道水を用いることによって、噴射流れを測定する瞬時流量計として電磁流量計を採用することができた。

(2) 噴射流れの測定には直流式の電磁流量計が適している。この場合、分極の影響は検出器の内部抵抗を大きくとれることによって逃れた。

(3) 流量計プローブの電極と流れの間には自然電極電位が存在し、それが一般に、流れが一定でも時間的に変動し、また流れにとまっても変化して(フローノイズ)、測定に妨害を与える。いずれも使用する水質によって著しく変化することを見出した。

(4) 両電極間の電位を差動的に検出し、十分弁別比の小さい増幅器を用い、さらに試水の水質を選ぶこ

とにより(3)の影響を小さくできることを知った。

(5) (3)のノイズはまたプローブの構造にもよることを見出し、噴射管内流速測定用として、高圧に耐え、S/Nの高い、しかも非常に小さい新しい形のプローブを開発した。

(6) 銀電極を用いたプローブを使用する時には、試水に H^+ イオンを添加することによってフローノイズを減少させることを見出した。さらに、その添加量には最適の値があることを知った。

(7) 以上により、十分実用に耐える、信頼性のある電磁流量計を試作できた。

終りに本研究は清水 滉、坂田 守、森 勇、小野田邦安、工藤十徳、村岡成志、伊藤紀夫、加藤敏弘諸氏の協力によるところ多く、研究費の一部は文部省科学研究費およびトヨタ自動車工業会社の援助によることを記して感謝の意を表わす。

文 献

- (1) A. Kolin, *Rev. Sci. Instr.*, **16**-5 (1945), 109.
- (2) H.G. Elrod & R.R. Fouse, *Trans. ASME*, **74**-4 (1952), 590.
- (3) V. Cushing, *Rev. Sci. Instr.*, **29**-8 (1958), 692.
- (4) 熊谷・庄野, 東京大学理工研報告, **6**-2 (昭 27), 63.
- (5) 阪本・ほか2名, 電気学会誌, **75**-1 (昭 30), 24.
- (6) 霜田, エレクトロニックスの基礎, (昭 33), 197, 裳華房.
- (7) W.C. Elmore & M. Sands, *ELECTRONICS Experimental Techniques*, (1949), 373, McGraw-Hill.

討 論

〔質問〕 (1) 水道水を用いた場合燃料噴射装置単体の研究はできると思うが、もし実機に取付け、燃

料油を使用する場合、何かくふうなり対策があれば伺いたい。

(2) 第 16, 17 図において, ほぼ水平に見える線を基準線と考えてよい。もしそうだとすると逆流しているとも考えられるが, この点どうか。

(浅沼 強)

〔回答〕 (1) 少量の添加で燃料油に必要な導電性を与える添加剤がまず必要である。その他の問題を含め検討中であるが, まだはっきりした見とおしは得られていない。

(2) そうです。

逆流している。吐出し弁による吸もどしに起因するものとする。

〔質問〕 非圧縮性とみなされる流体(水)の場合, 回答のように単純に逆流と考えてよいものか。いささか疑問に思う。たとえば逆流し始める時期には既に噴射弁は閉じているのではないだろうか。

(浅沼 強)

〔回答〕 今の場合, 噴射現象を支配しているのは, 液体(水)の圧縮性とえられる。

第 17 図は, 燃料噴射管端部における測定値であり, 送出し弁もしくは噴射弁ニードル(噴孔)に直接接した部分の液体の流れを示すものではない。

測定点とそれらの間には, v_p の場合送出し弁室が, v_n ではノズルホルダならびにノズル内容積が介在し, いずれも噴射系全体に対し無視できない容積をもっている。

噴射系とりわけこれらの部分の液体の圧縮性が, 逆流の起る際にも重要な役割を果たしていると考えている。

〔質問〕 (1) 水道水を使用して長時間の測定に耐え得るか(ブランジャやノズルニードルの焼付やさび付をいかにして防止するか)。

(2) 管内圧力がある時間気ほうを発生するに十分低い圧力となる場合があるが, この場合の管内速度はどのようなになるか。

(3) ノズル入口部における噴射中の速度は第 17 図によると振動しているが, この位相とノズルニードルの振動の位相はどんな関係にあるか。

(藤平 右近)

〔回答〕 (1) 連続長時間にわたって運転したことはなく, 1 回の測定はたかだか 2~3 分どまりである。この程度では運転中特に異常は認められない。

水に潤滑・防しゅう性を与える添加剤を入れることが考えられるが, 現在ではノイズの点から採用していない。

(2) 気ほうが発生していれば, 電磁流量計では気ほうを含めた体積流量が測定されるので, 誤差を生じ

る。

速度・圧力の測定点における気ほうの発生状況をまだ実際に観察したことがないので確言はできないが, 大きな誤差を与える程度の気ほう発生は, 速度波形ならびにその基準線から判断してほとんどないものと思われる。

(3) ノズルニードルの動きと速度波の変動とは必ずしも直接対応していない。したがって, 一般的に両者の位相関係をのべることはできない。なお第 17 図中, 左端はポンプ端の速度波形である。

〔質問〕 電磁流量計を従来不可能と考えられていた全く新しい分野に応用し見事な成果を得られた努力に対し深く敬意を表する。

(1) 変動流で電磁流量計を用いた場合, 精度は $\pm 5\%$ 程度で, これは積分誤差であると述べられているが, いかなる方法で実験されたか伺いたい。もし電子管式の直流積算装置で積分されたとすれば $\pm 1\%$ 程度で十分積分可能と思うがどうか。またこの $\pm 5\%$ の誤差のうちフローノイズによるものと考えられるのはどの程度か。

(2) 水道の水質がフローノイズに大きい影響があると述べているが, この場合の水質の定義を教えてください。次に水質と計器の感度の変化との関係はどうか。またこの実験で用いられた水の電導度の範囲はどの程度か。

(片山 正芳)

〔回答〕 (1) オシロ上の波形を写真撮影して引伸し, 図式に積分したものである。この部分は, 流量計自身の精度が定常流れと急速変動流れとで異なるという意味ではなく, むしろ逆の傍証のつもりである。

フローノイズはかなり安定したもので再現性があり, 磁場下においても変化しない。たとえ若干のフローノイズがある場合でも, これをかりの基準線とし, これからの変動を測ればよい。この意味でフローノイズによる誤差は分離して考えてよいと思う。

(2) 採水の時により異なった含有成分(イオン)の水が得られるので, これを水質の違いと表現した。井戸水, 水道水といった程度にとってもらってよいと思う。

実験に用いた水の電気伝導度は $70 \sim 350 \mu\text{S}/\text{cm}$ の範囲にわたる。これらの水質により感度に差は認められなかった。

〔質問〕 (1) 式は円あるいは長方形断面内の非定常流についても正確に適用されるか。(森 康夫)

〔回答〕 実用的には十分な正確さをもって成り立つと思うが, 理論的に厳密に適用されるかいなかを検討したことはない。

ただ、非定常流れでは速度分布が変化するが、それに伴う(1)式の適用性という点については、たとえば、円断面に対して B. Thürlemann(答1), A. Kolin(1), H.G. Elrod & R.R. Fouse(2), J.A. Shercliff(答2), V. Cushing(3) が、長方形断面に対して J.S. Arnold(答3)が証している程度の正確さの範囲で、速度分布に無関係に適用できるといえる。

非定常のために付加される電磁流体的な干渉の影

(答1) B. Thürlemann, *Helv. Phys. Acta*, **14** (1941), 383.

(答2) J.A. Shercliff, *J. Appl. Phys.*, **25** (1954), 817.

(答3) J.S. Arnold, *Rev. Sci. Instr.*, **22** (1951), 43.

響、さらに円断面の場合、実際の流れが正確に軸対称でありうるかなどについては多少の疑問が残されており、今後の検討にまたねばならないが、水道水のような導電性の小さい液体では影響は小さいと考えている。

周期的な変動流につき流速波形を広範囲にかえて実験し、定常流れに対する(1)式 Z が非定常流にそのまま適用できると考えて求めた一周平均流量と実測平均流量とがほぼ一致していることが、上記に対して一つの裏付けを与えている。

621.615.01

脈動空気流のもとにおける遠心送風機の性能*

矢 野 巍**

Performance of Centrifugal Blower under Pulsating Flow

by Takasi YANO

The centrifugal blower of diesel engine super-charger operates under pulsating flow at 10 to 70 cycles per second, therefore if the scavenging system is not properly designed, the flow through the blower decreases remarkably and so does the power of the engine.

The pulsating flow test with the rotary valve has proved that the characteristics of centrifugal blower under steady flow condition are also available in pulsating condition. And we find that the graphical methods, taking into account the boundary conditions using steady flow centrifugal blower characteristics can be conveniently used. The equivalent length of the centrifugal blower is also determined by this test.

1. 緒 言

ディーゼル機関の過給用遠心送風機を通過する空気は、掃気孔の開閉がピストンによって間欠的に行なわれるために脈動して流れ、脈動のサイクルは一般に大形機関では 10~26 c/s, 中形機関では 25~70 c/s 程度である。この程度のサイクル数では送風機の回転数はほとんど変動せず、圧力、風量、入力などが周期的に変動する。送風機ならびにこれを含む掃気系統の設計が不適当であれば、その系統に気柱共振を誘発し、風量がはなはだしく減少して機関の燃焼を不良ならしめることがある。

脈動流に関する問題を取扱うには、E. Jenney らの図式解法があるが、これを遠心送風機を含む系に拡張するには、かなり大胆な仮定を必要とする。筆者は回

転弁を用いた実験を行なって図式解法が実用上有効であることを確認し、あわせて遠心送風機の等価長さを実験的に求めた。また、図式解法ならびに実験によって過給用遠心送風機を含む掃気系について二、三興味ある結果を得たので以下順を追って説明する。

2. おもな記号

P_s, P_d : 送風機の吸込圧力, 吐出し圧力 kg/m^2

$P_{\text{mean}}, P_{\text{max}}, P_{\text{min}}$: 変動圧力の平均値, 最高値, 最低値 kg/m^2

v_d, v_m, v_r : 送風機吐出し部の流速, 案内羽根通路内の平均流速, 回転弁部の流速 m/s

w_r : 回転弁弁板に対する相対流速 m/s

u_2, u_r : 送風機羽根車周速, 弁板周速 m/s

a_0, a_d : 送風機の吸込部音速, 吐出し部音速 m/s

Q_{mean} : 平均風量の実測値(吸込状態に換算) m^3/s

$Q_{\text{th}}, Q_{\text{th}, P}$: 理論計算から求めた平均風量, 圧力計

* 昭和 37 年 4 月 4 日 第 39 期通常総会講演会において論文講演として講演, 原稿受付 昭和 36 年 11 月 28 日。

** 正員, 三菱造船会社(長崎市館ノ浦町 1)。