

氏 名	箱 守 京 次 郎
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭 和 37 年 3 月 23 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 精密工学専攻
学 位 論 文 題 目	電磁流量計による燃料噴射装置の研究

指 導 教 官	東北大学教授	棚 沢 泰
論 文 審 査 委 員	東北大学教授	棚 沢 泰
	東北大学教授	佐 藤 健 児
	東北大学教授	福 島 弘 毅
	東北大学教授	桜 井 武 磨

# 論文内容要旨

## 第1章 序 論

内燃機関、とりわけ Diesel 機関の燃料噴射装置における燃料の噴射過程に関しては、従来数多くの理論的・実験的研究がなされてきた。それらの理論は噴射機構を理解する上には極めて重要であるけれども、噴射系を与えてその圧力なり噴射率を求めようとする場合、時に計算が非常に繁雑になって見通しが悪くなり、時には大凡の結果しか与えない。いずれも噴射系のある要素が噴射過程に及ぼす影響を知り、設計・改良の指針とするには十分とはいえない。又実験的研究については、従来噴射流れを指定する要素として圧力のみが測定されている。

本研究は燃料の噴射過程を、瞬時流量計を用い、実験的に解明しようとするものである。まず、第2章において、この目的に合致した直流式電磁流量計を試作して、噴射管内流速測定の問題に対する一つの解答を与えた。次いで、第3章では、噴射管内流速と共に噴射流れを表現する要素、管内圧力・噴射流のもつ運動量（噴射率）・噴射弁の針弁の動きなどを測定する装置を試作した。第4章では、これ等の装置を用いて Diesel 機関用の燃料噴射装置の噴射特性を測定した結果を示した。第5章では、第4章の結果に基づき、噴射管内の流れと噴射率との関係を検討し、更に電磁流量計の使用によって始めて捕捉可能な現象について述べた。

## 第2章 燃料噴射装置の性能測定に用いる電磁流量計の試作

### 2.1 瞬時流量計としての直流式電磁流量計

噴射管内の流れは間歇的な高速流れで時間的に急激に変化し、場所的にも異なることが予想される。この流れの流速を測定するには、(1) 流れに乱れを与えず、(2) 急速な変動に追従でき、且つ (3) 単一点測定が可能であることが必須条件である。流れる流体が必要な程度の導電性をもつ場合には電磁流量計方式がその要求に合致している。こゝでは、燃料油の代りに水道水を用い電磁流量計によって流速を測定する。

噴射流れの様に急激に変動する流れの測定に交流式電磁流量計を使うと、励磁装置や残り電圧の補償が可成難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。こゝでは直流式を採用した。

実用的な流量計として完成する為には、

- (1) 直流式にまつわる分極とか電極電位の不安定その他の障害から如何にして逃れるか、
- (2) 時によりに 600~1000 atg. も達する衝撃的な高圧に耐えるにはどうすればよいか、

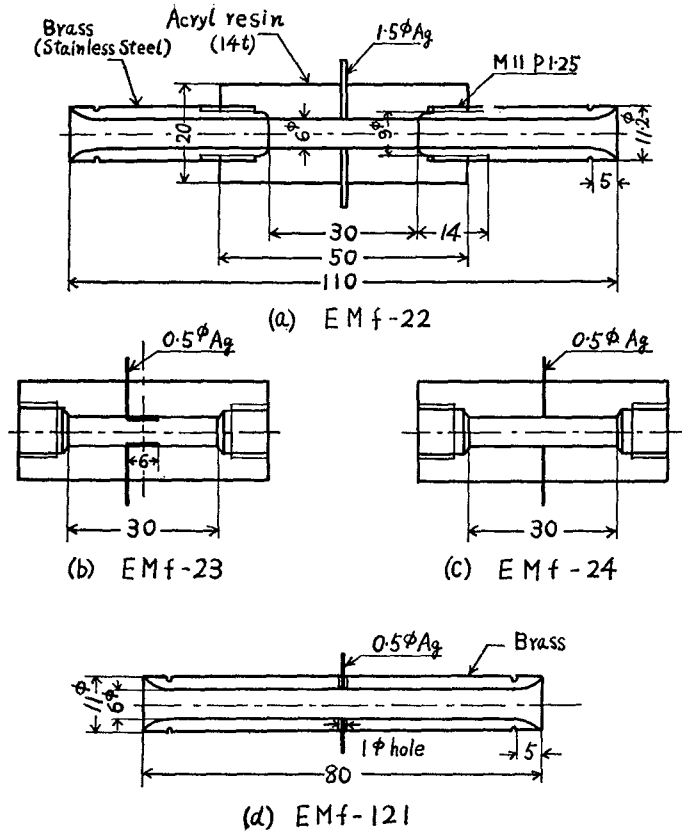
の2つの問題が解決されねばならない。

### 2.2 流量計 probe の試作

流路の断面はすべて円形とする。試作した probe は大別して、(1) 流路径  $1\phi \sim 2\phi$  の燃料噴射管内流速測定用のものと、(2)  $6\phi$  の給油 pump の流量特性測定用のものとに分けられる。以下前者を高圧型、後者を低圧型とよぶ。

試水として水道水を用いることから電極が直接液体に接する型式の probe 構造を採り、電極には銀を用いた。

第1図に低圧型 probe の例を示す。(a), (b), (c) は同系統のもので、たゞ電極表面積が異っている。この他、電極表面積は (a) と同じであるが、面積の分布状態が変わっている系列（流れの方向に長いもの・流れと直角方向に広がりをもつもの・一点に集中しているもの）、両電極の表面積を故意に違えてある系列、接地管間隔の種々異なる系列のもの等を試作した。以上のものはいずれも、(a) に代表される様に、絶縁物流路に電極を封じ込み、前後に金属接地管をとりつけたもの



第1図 低圧型 probe

である。

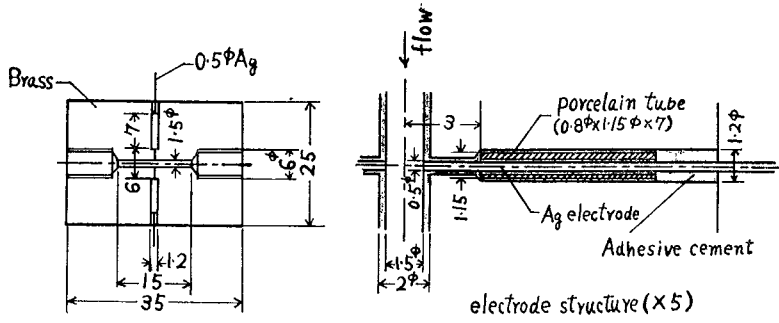
高圧型の場合にもこれと同様な probe が製作可能で, gasoline 噴射装置の流れの様に余り圧力が高くない場合には十分実用できる。しかし Diesel 用噴射装置における様に高圧・高速かつ急激に変動する流れの測定に用いる probe では, 流路内の圧力・速度の変動に伴う電極部の微細構造の変化ができるだけ少なくなる様に設計し工作することが重要である(電極封入部の完全な気密)。それに対する一つの解として, 変形し易い絶縁部の容積を必要最少限度迄小さくすることが考えられる。それを具体化した例を第2図に示す。(a), (b)は接着剤によって電極を金属 case 内に絶縁封入したもので, 流路は同じ接着剤を以て lining されている。その試作中, 「特別に」 lining を施さなくても誘動起電力の大きさに差がないことを見出し, (c)~(e)に示す様に, 非磁性の燃料噴射管の管壁に直接孔をあけ, 電極を接着絶縁した極めて簡単な構造の probe を試作した。これらは従来の流量計 probe にみられない新しい型式のもので, 耐圧が高く, S/N が大きい特長を有する。第1図(d)は同様な考えに基づいて作られた低圧型の probe である。

### 2.3 磁場発生装置

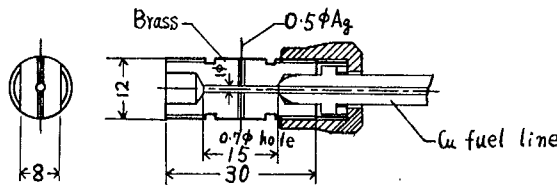
probeに磁場を与えるのに電磁石を用いた。磁場0の状態が手軽に実現できるので, 流速の基準線の設定が容易である。直流式では noise は磁場とは一応無関係であり, 磁場を強くして信号電圧を大にすれば S/N は大きくとれる。

試作した電磁石について動作状態の一例を示すと,

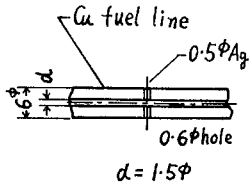
- (1) 大型電磁石 磁極形状30角, 磁極間隙18mm, 励磁電流3.0Aのとき空隙磁場5200Oer.
- (2) 小型電磁石 磁極形状18φ, 磁極間隙6mm, 励磁電流3.0Aのとき空隙磁場 12,400Oer程度.



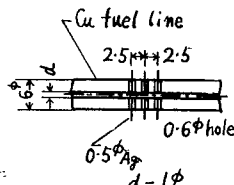
(a) EMf-77



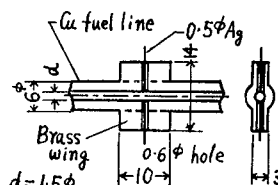
(b) EMf-92



(c) EMf-110  
105 II  
105 III



(d) EMf-100



(e) EMf-106

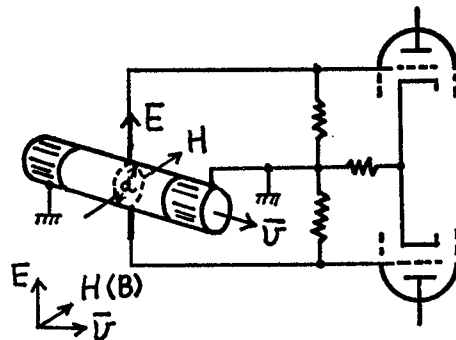
第2図 高圧型 probe

噴射管内流れの測定には、後者を用いた。

## 2.4 直流式電磁流量計用増巾器

流量計 probe の構成は、電気的には2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管とから成る。流れによって probe の両電極間に生ずる誘動起電力を、第3図に示す様に、接地管部を基準にして差動的に検出する（平衡方式）。観測器（指示器）にはCROを用いた。信号電圧の増巾のために次の様な平衡型直結直流増巾器を試作した。

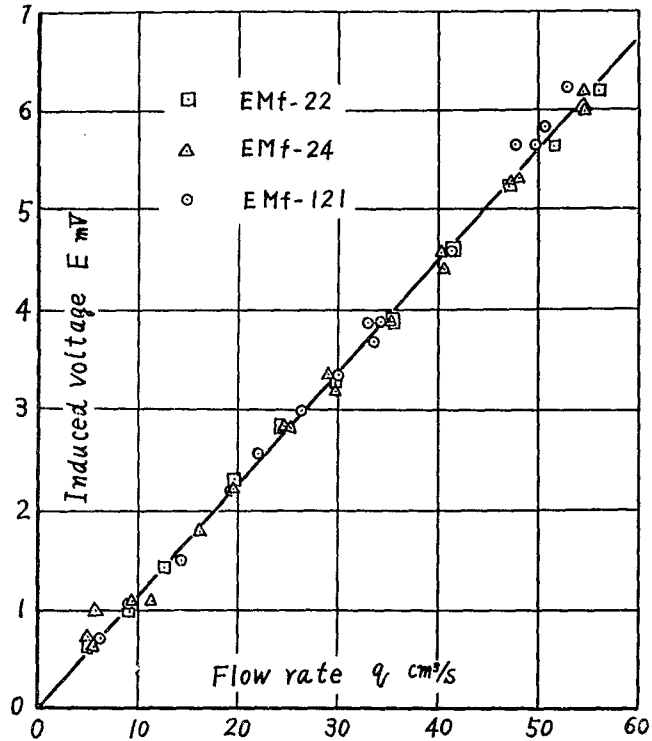
- (1) 増巾度 最大87db
- (2) 増巾帯域 dc~50kc(-3db)
- (3) 入力 平衡入力方式  
入力 Impedance  $30M\Omega \times 2 \sim 100M\Omega \times 2$
- grid 電流  $< 10^{-14}A$
- (4) 弁別比 直流分に対して-54db
- (5) 安定性 十分warm up した後,  
drift  $< 1mV/hr$  利得変化  $< 1\%/6hrs.$



第3図 平衡検出方式

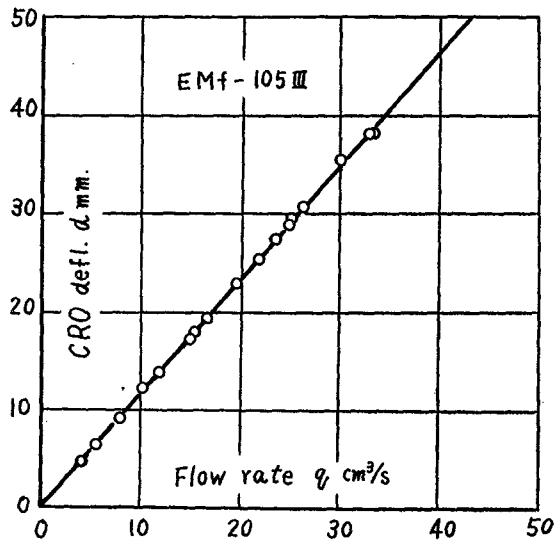
## 2.5 電磁流量計の流量感度

円管内の流れでは、断面内の速度 (velocity profile) が半径  $r$  のみの関数であれば、誘導起電



第4図 流量感度の較正 (其の一)

Amp. gain  $d/e_s=30\text{mm}$  CRO defl./5 mV,  $q/E=8.93\frac{\text{cm}^3}{\text{s}}/\text{mV}$ .



第5図 流量感度の較正 (其の二)

Amp. gain  $d/e_s=50\text{mm}$  CRO defl./50mV,

$q/d=0.871\frac{\text{cm}^3}{\text{s}}/\text{mm}$  CRO defl.

力  $E_{vol}$  は、

$$E = zvBd \times 10^{-8}$$

で与えられる。

こゝに、 $v$  : 断面平均流速 cm/s,  $B$  : 磁束密度 Gauss,  $d$  : 円管の内径 cm,  $z$  : 定数 (第 3 図)。

こゝでは、流量を  $q$  cm<sup>3</sup>/s,  $c_1 \cdot c_2$  を係数として、

$$E = c_1 q = c_2 v$$

と考へ、実験的に  $c$  の値を求めた。校正実験は定常流れについて行った。

第 4 図に低圧型 probe の校正曲線の例、第 5 図に高圧型の例を示した。いずれも流量 (流速) と誘起起電力とは極めてよい比例関係にある。

## 2.6 S/Nの向上

### 2.6.1 測定に妨害を与える諸現象

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ゝの形で観測される。電極間の電位が流速に比例した誘起起電力のみなら、

#### (1) 分極作用 (polarization)

だけが問題になる。

しかし、実際には、誘起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。これを仮に浮遊電位と名付ける。浮遊電位は、

#### (2) 流れが一定でも時間と共に変動し (drift, fluctuation),

#### (3) 流れの関数 (仮に、flow noise と名付ける) である。

これ等が安定な測定を妨げ、流れが変動する場合には noise となって現れる。

drift-fluctuation も flow noise も共に、両電極の幾何学的形状・電極近傍の流れの状態が同一なら、両極ではほぼ同じ様相を示すことが期待される。流路導管を接地点として選び、これに関し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導起電力のみが得られることが予期される。しかし今の場合、信号電圧に比し浮遊電位の方が 1~2 桁大きく、両極の状態の些細な差によっても可成の noise が現れることがある。

以下、急激に変動する流れを念頭におき乍ら、安定な・S/N のよい状態で流速を測りうる為の条件を求めてみる。

### 2.6.2 分極作用の影響

分極の影響は信号電圧の垂下及びそれに伴う基準線の移動となって現れる。検出器 (増巾器) 入力回路の入力抵抗が高い程その影響は少い。probe にもよるが一般に入力抵抗が 30~100M $\Omega$  であれば、実用上ほぼ完全に分極現象の影響から逃れ得る。

### 2.6.3 浮動と揺動 (drift and fluctuation)

probe については、例えば低圧型では、第 1 図 EMf-23 の様な電極構造をとればよい。電極面積が大きい程、同一面積なら場所的に広がりをもっている程安定である。

更に、安定度には使用する水質が著しい影響を与える。EMf-23 型の probe について、Pitot pump を用い同一試水を循環させて基準線の様相を観察した。その結果、

#### (1) 定常流れに対して、

水質により次の様な挙動を示す。

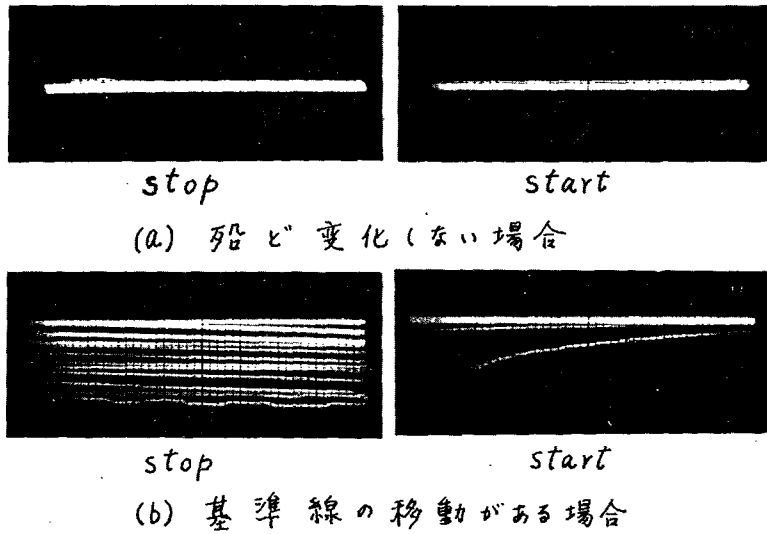
a. 定常流れに対し基準線は動かない。流れが他の定常状態 (流速 0 も含めて) に移った際も基準線は殆ど動かない。

b. 流れが一定でも若干の drift が見られる。流れが他の定常状態に移ると、その際基準線は幾分移動し、間もなく一定に落ち着く。この移動は流速 0 の近傍に於て著しく、やゝ不連続的な様相を示す。この部分で若干の hysteresis が認められる他は、一つの定常流れに大体一つの基準線が対応する。

c. 流れが一定なのに拘らず、可成の fluctuation がみられる。この場合には流量測定は難しい。

(2) 次に、ある定常状態から流速 0 へ、或はその逆の step flow を与える。この時(1)の a・b に対応して、

a. 殆ど変動しない。第 6 図(a).

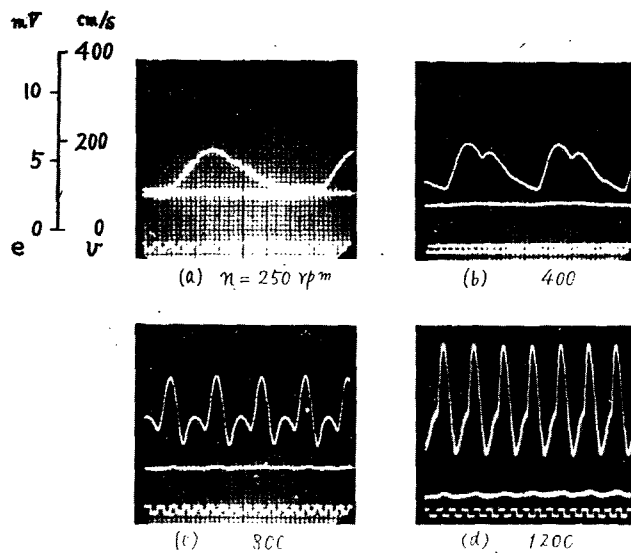


第 6 図 stop 流れに対する挙動 1 sweep=12sec.

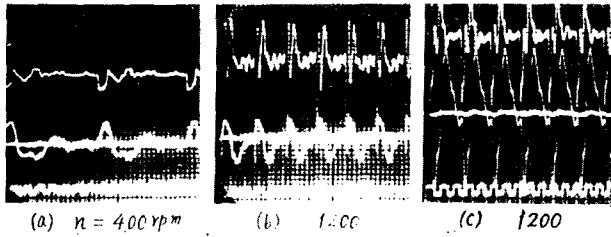
b. 第 6 図(b)の様に変動する。この場合、特に流れ停止時には変化が緩やかであって、停滞(定常)状態に至るのに数分を要することもある。流れ出しの際には、その初期に急激な変化を示す。十分な時間経過後には元の基準線位置に復帰する。

(3) 変動する流れを測定することを考える。a では問題なく測定可能である。b の場合は、その変動の周期が十分大きいならば、基準線は流れの周期に一致した可成大きい変動を生ずる。流れの周期が次第に短くなるに従い基準線の変動の振巾は小さくなり、やがて実用上は変化しないと考えてよい程度になる。

定常流れに対して安定な試水では変動流れに対しても変化が少い。しかし step 特性がやゝ不



第 7 図 給油 pump の流れと flow noise (其の一), 時刻 50 c/s.



第8図 給油 pump の流れと flow noise (其の二). 刻時50c/s

良でも周期数秒以下の流速変動に対しては電極電位は平均化されて変動しない。この現象がある為、直流式電磁流量計が変動流速測定に対して極めて有効な手段となる。drift-fluctuation に関しては、この為、水質を若干撰択する事によりその影響から逃れ得る。

#### 2.6.4 flow noise

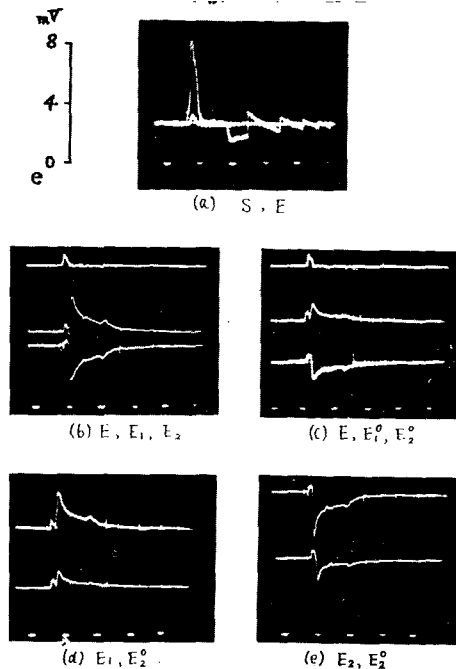
flow noise は噴射流れの様な高速流れに特有の現象と思われる。こゝでは燃料噴射装置を用いて流量計 probe に種々の流れを与え、基準線の様相を観察する。

##### (1) flow noise の性質

第7, 8図に給油 pump により低圧型 probe に色々な波形の流れを与えた場合の基準線の様相の例を示す。第7図で、pump 回転数  $n=250rpm$  では基準線は完全な直線であるが、 $n$  が大になると流速の変動に対応した noise が出てくる。この noise は drift-fluctuation の所で述べたのとは逆に、 $n$  大で流速変動周期小程大きくなっている様にみえる。この場合、 $n$  大程流速尖頭値は大きくなっている。又この noise は時間遅れなく流速波形に追従している。第8図は、上側が圧力、下が流速波形並びにその基準線である。これから、 $n$  大になっても流速変動の振巾が変らなければ noise は変らない。

以上から、今観察している noise は流速の大きさに関係して出る noise であるといえる。

##### (2) probe 構造の影響



第9図 平衡型入力と接地の効果. 刻時  $1/100$  sec.



probe 構造による S/N の差異を調べてみると、低圧型に関して、第 1 図 EMf-23, 121 がほぼ同一で最も優れ、EMf-22 が次、EMf-24 が最も flow noise が多い。EMf-121 を除けば電極面積大程 flow noise 小となる。EMf-121 は電極近傍の接地状態が全く違う。絶縁部の面積が他に比して極めて小さい。

これに関連して、第 2 図の高圧 probe EMf-100 により噴射流れを測定した第 9 図の結果を検討する。S は流速信号波形、E は noise (基準線)、 $E_1 \cdot E_2$  は対極開放時の単極 noise、 $E_1^\circ \cdot E_2^\circ$  は対極接地時の単極 noise である。対極が接地されている場合には flow noise は可成減少している。いゝかえると、接地電位部分の分布が電極電位に著しい影響を及ぼしているといえる。必要十分な範囲で絶縁部は極力小さくし、他が接地電位にある様にするにより、個々の電極電位の変動を小さくする。それは総合的な noise を小さくするのに通ずる。この点が lining なしの接着絶縁型 probe の S/N が良い原因の一つと思われる。

### (3) 水質の影響

噴射流れを測定する際、良好に製作された probe では、少なくともある期間に互り、圧力変動が極めて急峻な場合を除き、flow noise はほぼ実用的な S/N の範囲内にある。この際 S/N を一層高め精度高く測定する為、水道水を撰ぶと共に、更に積極的に添加剤を加えて flow noise を小さくする事を考えた。

数多くの添加剤について検討した結果、結局、 $\text{CH}_3\text{COOH}$ 、 $\text{H}_3\text{PO}_4$  等の添加、即ち  $\text{H}^+$  ion の添加が noise 減少に効果があることが判った。第 10 図に添加剤の影響を示す例を掲げた。上段 E と記してあるのが両極を用いた通常の測定波形並に基準線を示す。 $E_1 \cdot E_2$  は夫々  $E_2$  或は  $E_1$  を接地した場合のそれである。KOH の様な塩基性のものは逆に flow noise を増加させる。Vanisol も著しい影響を与え、多くの場合 S/N を可成悪化させる為、潤滑・防錆性賦与剤として用いることはできない。

尚蒸溜水は極めて大きい flow noise を伴う。

### (4) noise 減少剤の至適添加量

$\text{H}^+$  添加の効果は一義的ではなく、始めの試水 (base water) が如何なる担子を既に含んでいたかという事に可成の影響を受ける。又  $\text{H}^+$  添加の際、aging 効果がみられる場合もある。

更にこの  $\text{H}^+$  の添加量には最適値が存在し、それ以上の添加によって寧ろ flow noise は増加する。銅管の流路に銀電極を用いた第 2 図 (c) ~ (e) の型の probe を使って水道水の流れを測定する際には、 $\text{CH}_3\text{COOH} \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$  のいずれに対しても 0.001M 相当の添加が最適量となる。この範囲の添加によって流量計としての感度は実用上全く変化しない。第 11 図に  $\text{CH}_3\text{COOH}$  添加の効果を示した。0.001N の点で noise はほぼ完全に消えている。

lining なしの接着絶縁型 probe の使用により、更に場合に応じ  $\text{H}^+$  の添加によって、試作した電磁流量計は十分実用に耐え得る。

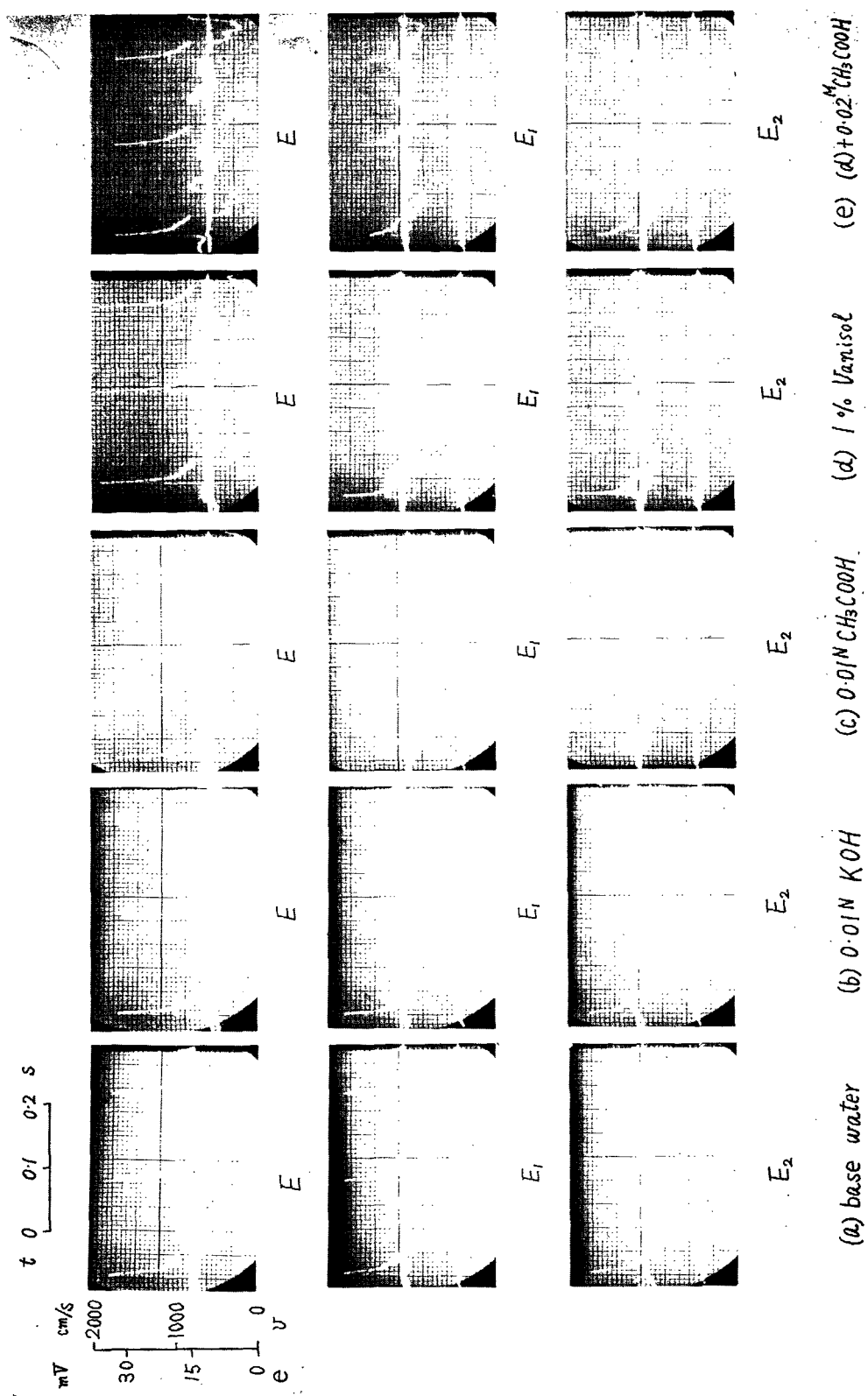
## 第 3 章 Diesel 機関用燃料噴射装置の噴射特性測定装置

### 3.1 噴射特性を規定する要素

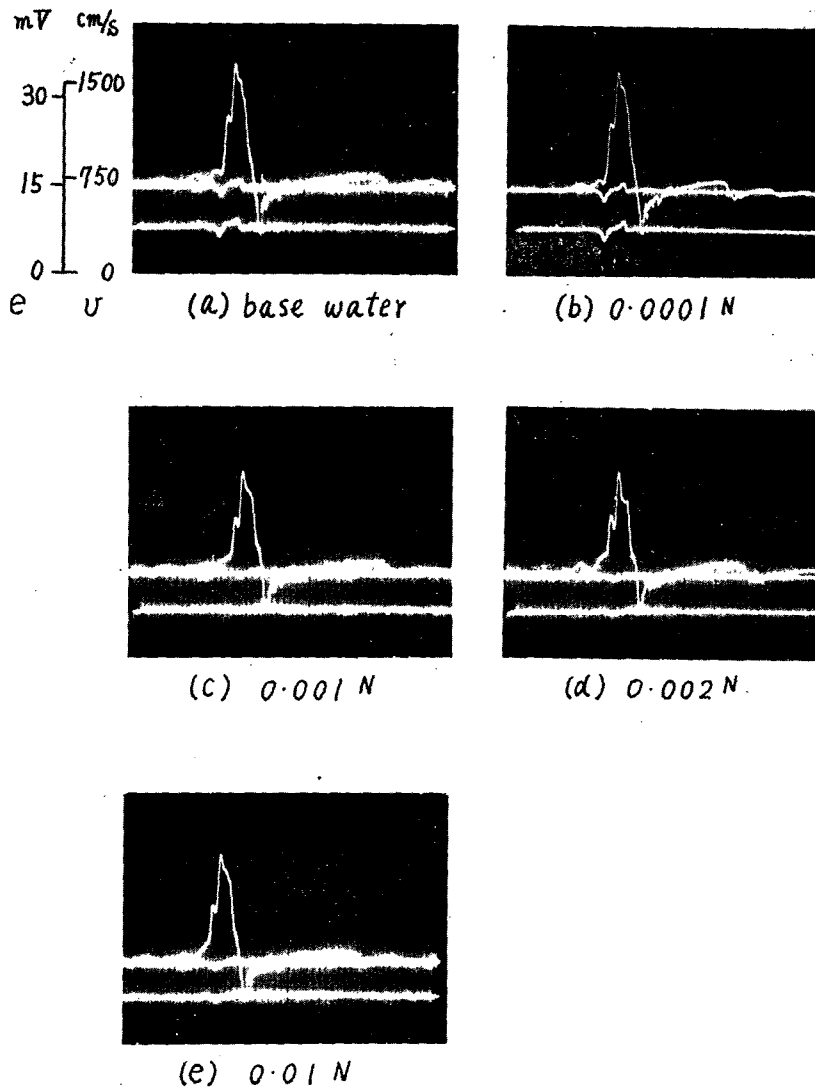
Bosch 方式による Diesel 機関用燃料噴射装置を対象とする。

燃料噴射 pump、燃料噴射管並びに噴射弁から成る一組の噴射系が与えられた場合、その動作点 (運転条件) を規定する要素は、pump の回転数  $n$  rpm、燃料調節桿の位置  $r$  mm (無噴射端基準)、開弁圧  $P_0$  atg の 3 つである。この動作点に、通常、一つの噴射流れが対応する (正常噴射)。

噴射流れを表現する factor として、こゝでは、噴射管内の pump 端の速度  $v_p$  cm/s・圧力  $p_p$  kg/cm<sup>2</sup>、nozzle 側における速度  $v_n$  cm/s・圧力  $p_n$  kg/cm<sup>2</sup>、nozzle から噴射された噴流のもつ運動量  $I$  kg-s、噴射弁針の揚程  $l$  mm の 6 つの量を測定する。噴射弁の噴孔流量係数が一定の場合には  $I$  は噴射率 (の自乗) を与える。



第10図 flow noise と液質の関係



第11図  $\text{CH}_3\text{COOH}$  の最適添加量

### 3.2 噴射特性測定装置

#### 3.2.1 検出方式 (pick up)

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

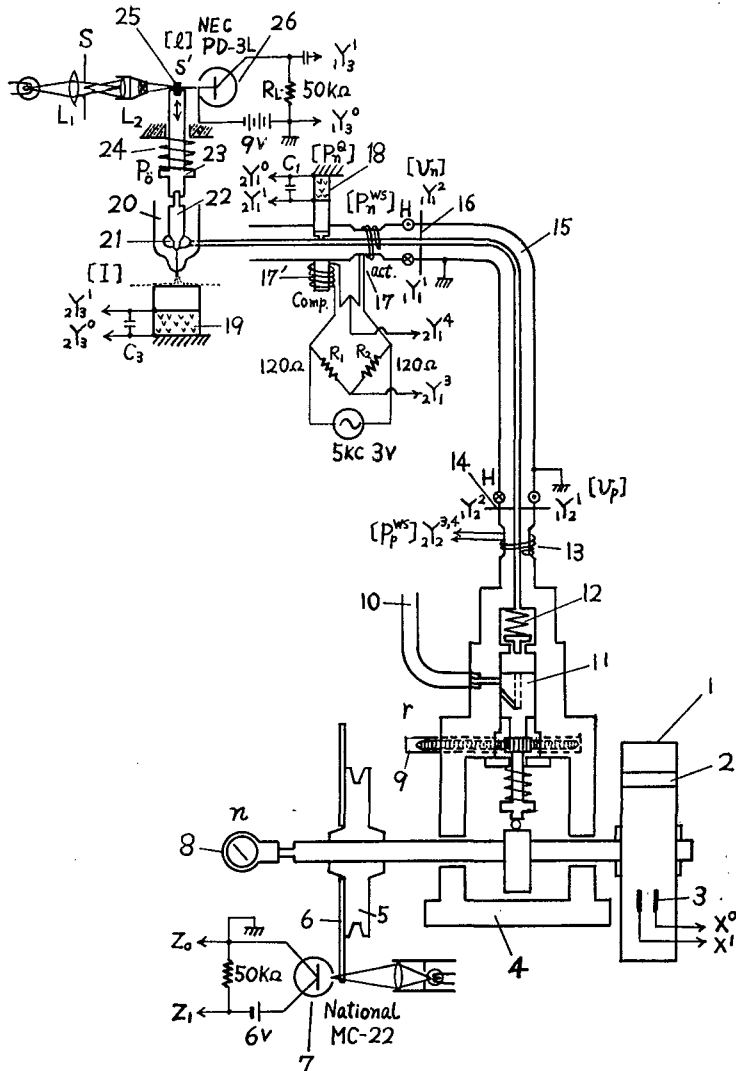
第12図にその変換方式の原理を示す。4は燃料噴射 pump, 15が燃料噴射管, 20が噴射弁。

(1)  $v_p, v_n$  は第2章で開発された直流式電磁流量計によって測定する。噴射管に第2図(c)~(e)に示した電磁を埋め込んで probe とする。 $v_p$ は14,  $v_n$ は16で検出される。

(2) 噴射管内の圧力は17, 13に示した様に, 管壁に抵抗線を捲きつけ, 内圧の変化に伴う管壁の円周歪を測定する抵抗線歪方式と, 18に示した圧電方式による測定を併用した。以下前者には WS, 後者には Q の記号を添えて区別する。

(3) 噴射流は, それに直角におかれた平面によって  $90^\circ$  方向転換される。その際, 噴霧流のもつ運動量は面に対する衝撃力  $I$  に変換され, 圧電型衝撃計19によって測定される。

(4) 噴射弁の針弁22の揚程  $l$  は, push rod 23 の動きとして捕らえられる。23の上部端面に照



第12図 噴射流れ検出装置

度一様な slit 状の光25を結ばせ、23の運動に応じた通過光束を phototransistor 26で測定する。

電磁流量計では流量（断面平均流速）は電圧に変換され、14, 16の  $Y^1$ ,  $Y^2$  間に現れる。これを接地点  $Y^0$  基準に平衡検出する。

抵抗線歪型圧力計では、17を active gage とし、管内圧に不感な補償 gage 17' 更に抵抗  $R_1$ ,  $R_2$  とで bridge を組む。歪つて管内圧の標準状態においてこの bridge の平衡をとっておけば、圧力変動は、bridge の不平衡電圧として  $Y^3$ ,  $Y^4$  間に得られる。こゝでは搬送波方式によつた。13についても同様である。

圧電型力計18では、圧力は電荷に変換され、圧電子と並列に挿入された condenser  $C_1$  により、 $Y^0$ ,  $Y^1$  間の電圧となって現われる。

圧電型衝撃計では、衝撃力は、圧電型圧力計の場合と同様  $C_3$  の両端  $Y^0$ ,  $Y^1$  間の電圧に変換される。

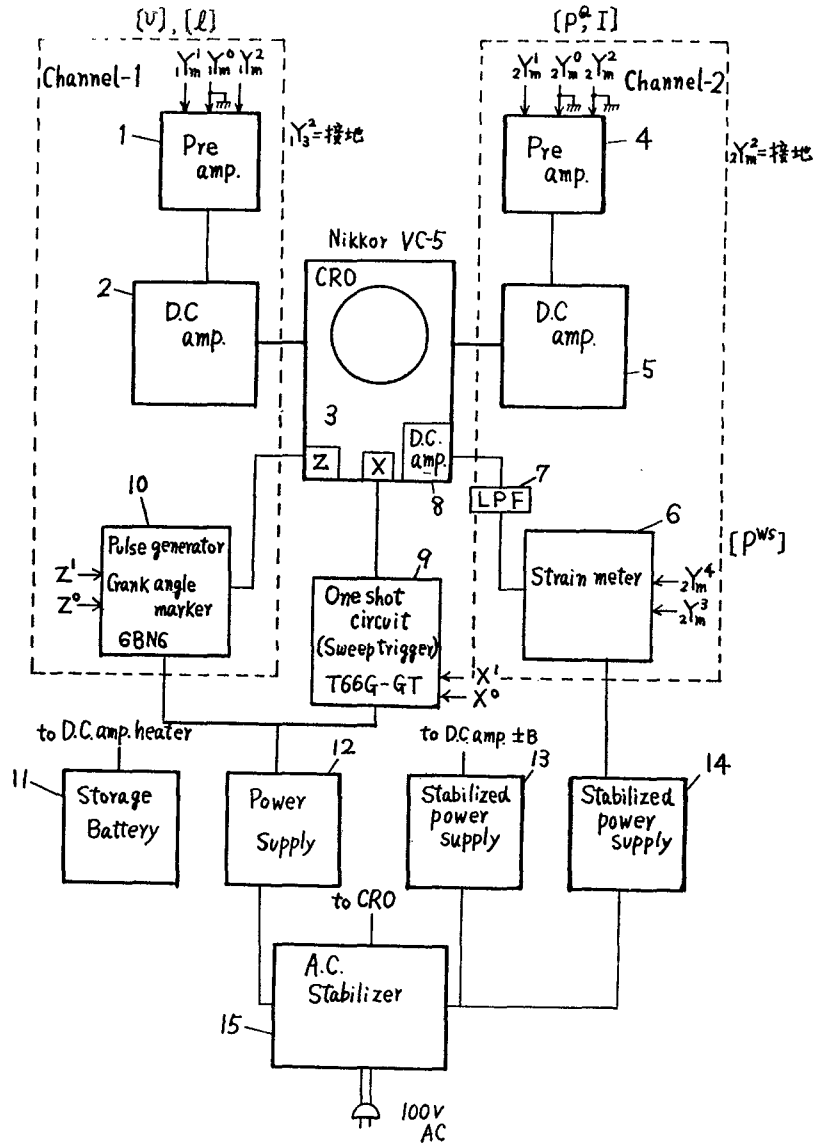
光切断変位計では、push rod 23 の動きは26の入射光量の変化となり、負荷抵抗  $R_L$  の両端  $Y^0$ ,  $Y^1$  間の電圧変化に変換される。

### 3.2.2 観測方式

高速で変動する波形を忠実に観測するのに、指示限界周波数が高く、信号増巾が簡単な点で CRO を採用した。第4章の実験では、専ら dual beam CRO (Nikkor VC-5) を用いて 2 factors ずつ測定し、各 factor 間の位相関係を知る為に、X軸上の各点と pump cam 軸回転角とを対応させ (第12図 6, 7), CRO輝線に cam 角  $5^\circ$  毎の mark を入れた。

電圧値に変換された流れの factor を CRO で観測する場合の系統図を第13図に示す。

$v, l$  は channel 1 で計測する。1, 2 で増巾され CRO 3 の CRT 直接端子に入る。channel 2 では  $p, I$  を測定する。 $p^0, I$  は上と対称に、4, 5 で増巾され 3 の直接端子に入るが、 $p^{ns}$  の信号は、搬送波形式の動歪計 6 で増巾され、その位相検波された出力は 7 の low pass filter を経て CRO の内蔵直流増巾器 (channel 2) に入る。6 の動歪形は、搬送波形式のもので、搬送周波数 5150c/s, sharp な filter を用いても高域は現在の目的には不足である。特に過渡特性

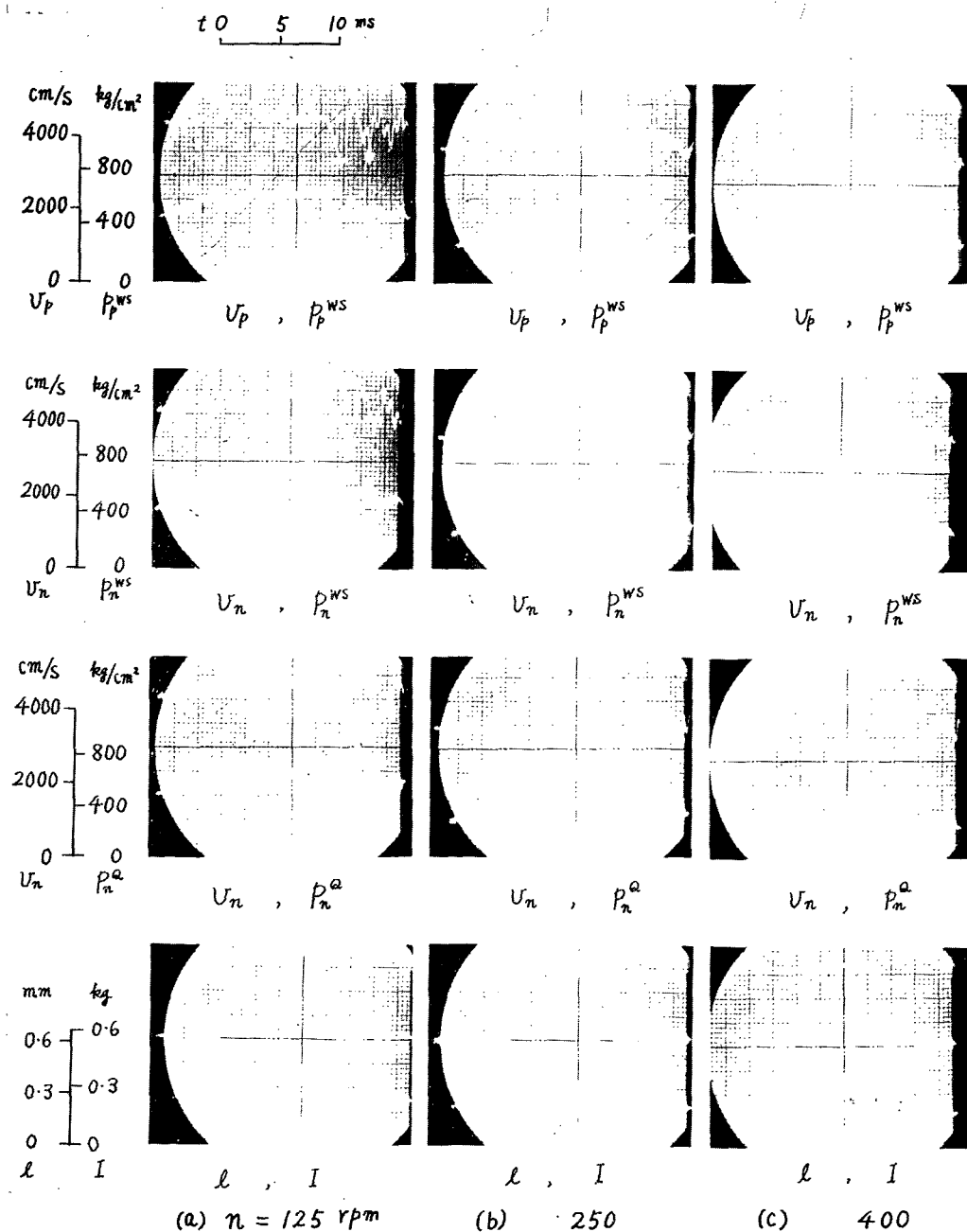


第13図 噴射流れ観測方式

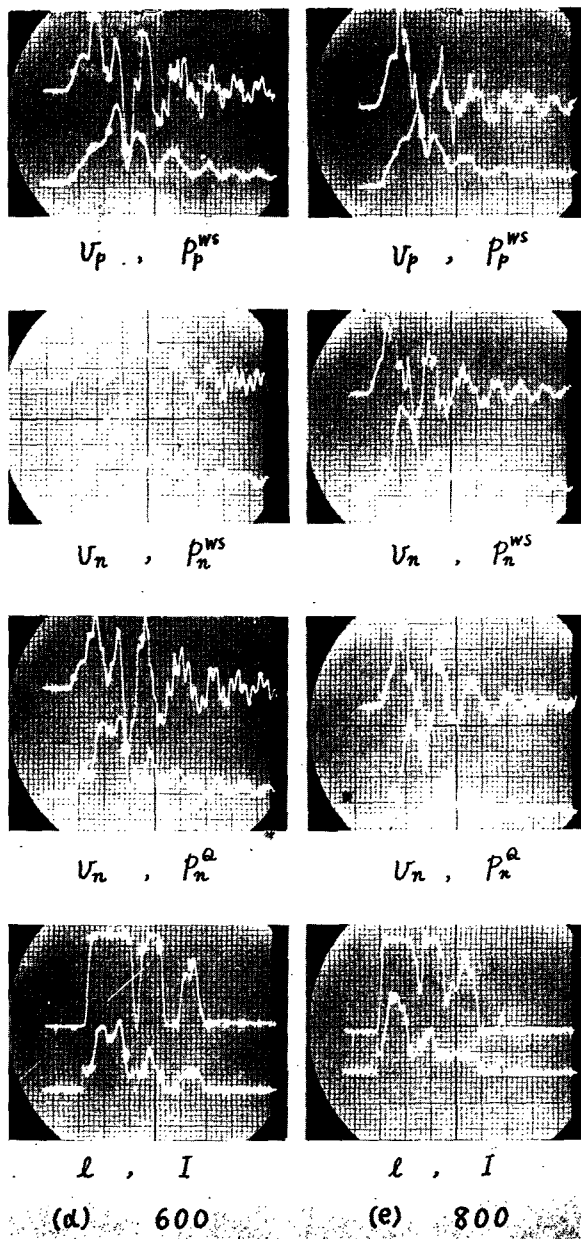
- ・位相が重視される場合、圧電型圧力計がより適している。その意味で、 $p_n$ は双方で測定した。校正は、測定される諸量と CRO のふれとの間で行った。

#### 第4章 Diesel 機関用燃料噴射装置の噴射特性の測定

第3章に示した装置を用いて Bosch 型燃料噴射装置の噴射特性を測定する。本章で測定する



第14図 n による変化 N-DLOS 251,  $P_0 = 150 \text{ atg}$ ,  $r = 15 \text{ mm}$ .



第14図 (続き)

噴射装置は、

噴射pump pump body Bosch PES 4A50B 400, pump element Toyota parts D25701.

燃料噴射管  $1.47\phi \times (\phi \times 450)$ , 引抜銅管.

nozzle holder Diesel-kiki N-KB 46SD 300W, 弁ばね N-WSF 2044/4X.

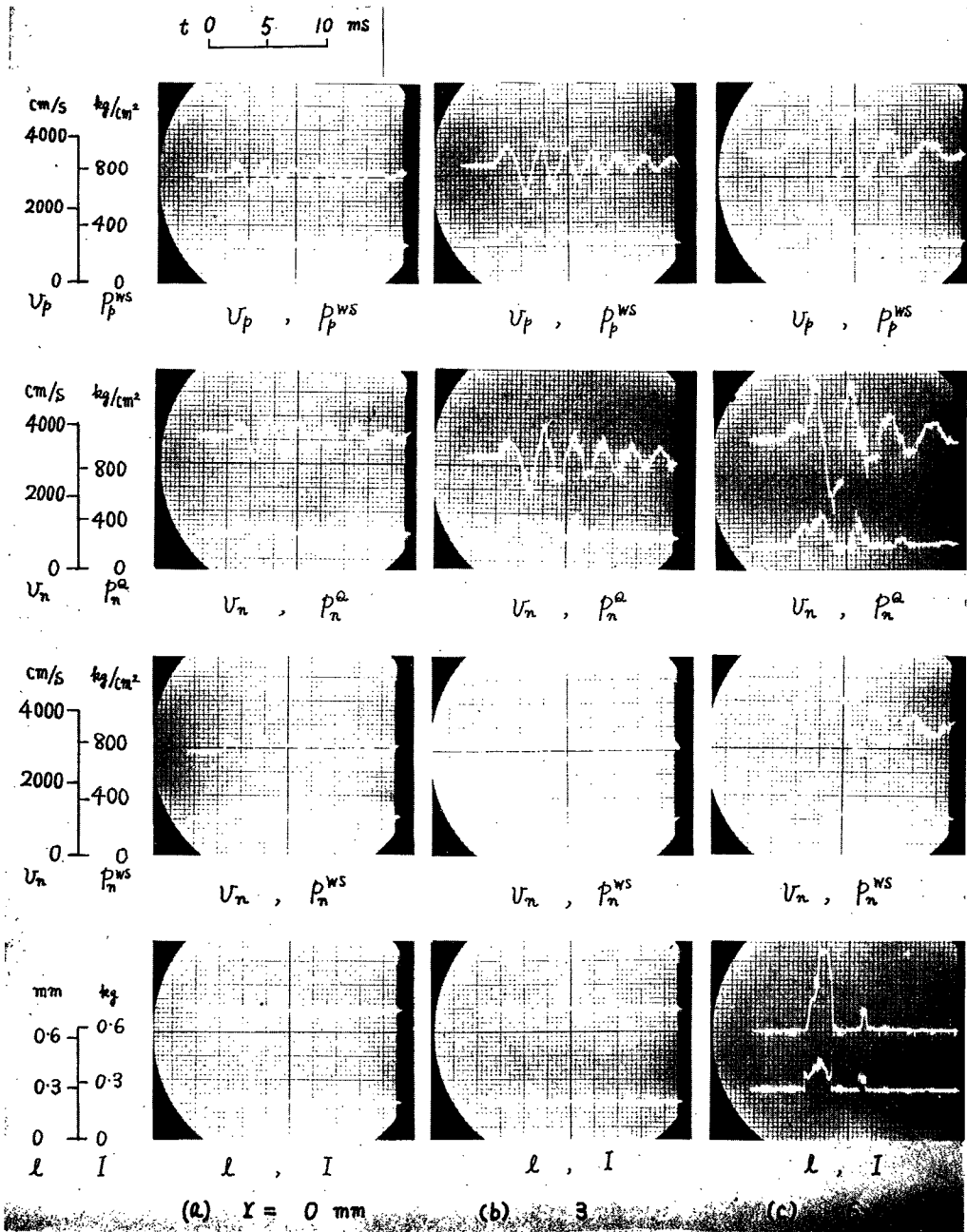
噴射弁 Diesel-kiki N-DLOS 161, 251, 301, 501, 701. いずれも単孔自動 hole 弁で噴孔径が異なる.

先ず実用運転条件において、噴射弁(噴孔径)により又運転条件( $n, r, P_0$ )によって噴射特性がどう変るかを観察した. 例として第14, 15図に N-DLOS 251 について夫々  $n, r$  をかえた時

の噴射波形を示した。

更に、これらの噴射弁を開放弁として用いた時の特性を測定した。

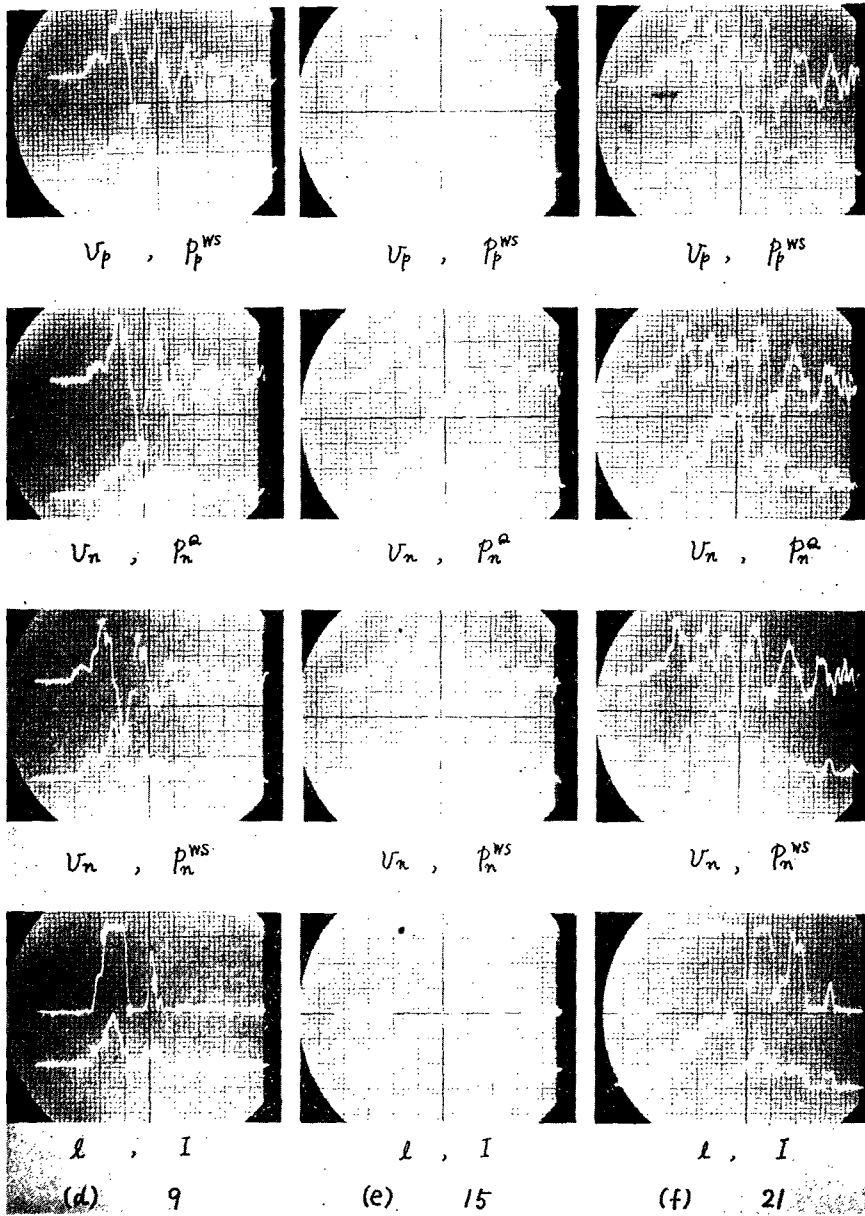
同様にして、任意の条件における流れの様相を実験的に容易に知ることが出来、噴射系の設計・改良に対して必要な資料を提供できる。



第15図 r による変化

N-DLOS 251,  $P_0=150 \text{ atg.}$   $n = 400 \text{ rpm.}$





第15図 (続き)

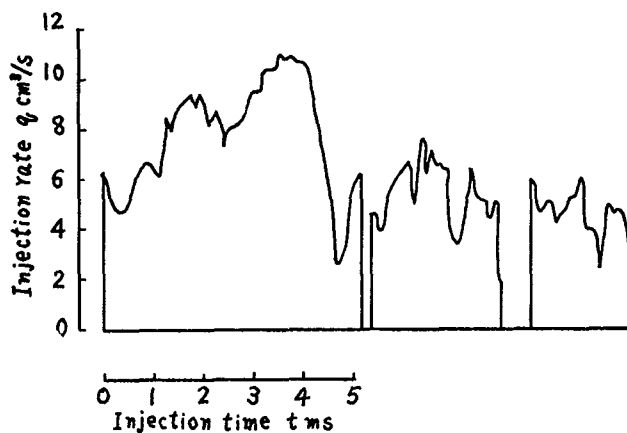
## 第5章 噴射管内の流れ

単孔 hole 弁で実際に使用されるのは噴孔径  $0.3\phi$  以下のものである。これらの噴射弁においては、噴射率は  $p_n$  によって定まる。即ち内部圧力  $p_n$  をもつ無限容器からの噴射として噴射率を求めることができる。第16図に N-DLOS 251 ( $n=400rpm$ ,  $r=15mm$ ,  $P_0=150atg$ ) について  $p_n^a, I^a$  から噴射率を求めた結果を示す。両波形は定量的にもよく一致している。この場合、 $v_n$  波形は噴射率波形とは直接は何の関係もない。

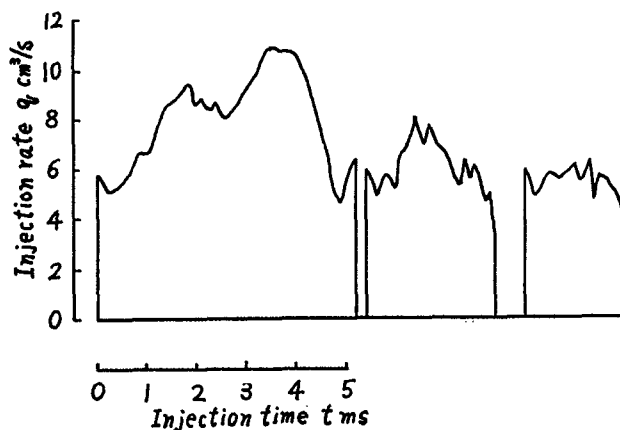
nozzle 内 volume における流れは可成複雑で loss の多い流れであり、静的な考えに基づく連

続の式（圧縮性を考慮した）は成立しない様である。

噴孔径が大きい場合には  $v_n$  の影響が加わり、shock 流れと Bernoulli 流れの中間の様相をたどり極めて複雑である。



(a)  $P_n^a$  から求めた噴射率



(b)  $I_n^a$  から求めた噴射率

第16図 hole 弁の噴射率

$v_n$  が表面上噴射率と無関係であることは、電磁流量計の使用の意義を可成減ずるものである。しかし圧力と速度相互変換が著しい場合の如く電磁流量計の使用によって始めて実験的に検討可能な分野も多い。二次噴射・不斉噴射等と密接な関係にある噴射後期の過渡的な現象の解明、pump・nozzleの性能の明確な定義の問題などがそれである。

## 第6章 結 論

(1) 燃料油の代りに水道水を用いることにより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ることによって逃れ得た。

(3) 流量計 probe 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 (drift, fluctuation) 又流れに伴っても変化して (flow noise), 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巾器を用い、更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 noise は又、probe 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 compact な新しい型の probe を開発した。

(6) 銀電極を用いた probe を使用する時には、試水に $H^+$  ion を添加することによって flow noise を減少させ得ることを見出した。更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、噴射管内流速測定が可能となり、圧力計と組合せることによって速度・圧力の一点同時測定を実現した。

(8) 噴射管内圧力計、噴射流れの運動量測定計、噴射弁の針弁揚程測定用変位計をも併せて試作・完成した。

(9) (7)、(8)によって Bosch 型の Diesel 機用燃料噴射装置につき噴射特性を測定し、噴射流れの様相をはっきり捕らえることができた。

(10) 実用的な hole 自動噴射弁では噴射率は、噴射管内噴射弁端における圧力によって定まり、噴射弁室に流入する速度波とは直接関係がないことを知った。

(11) 噴射管内流れを観察する際、従来の様な圧力の測定のみでは予測が困難で、流速の同時測定によって始めて理解できる流れがあることを確認した。

本研究にあたり、終始御指導を賜った東北大学棚沢泰教授に、深甚の謝意を表す。

## 審査結果要旨

ディーゼル機関用の燃料噴射装置を改良するためには、燃料の噴射過程を解明しなければならない。

しかし、この過程中には燃料油の衝撃波を含むため、単なる数理論によって結論を得ることは困難であり、また実験によるとしても、今までのように導管内の圧力変化だけを測ったのでは明確な結果は得られない。

圧力のほかに少なくとも流量を正確に測らなければならない。

そのため著者はまず急速に変化する流速を精測することを試み、直流式電磁流量計が周波数特性の上から最も適していることに着目して、その改良を徹底的に行なった。

元来噴射導管の内径は1~2mmと非常に細く、内圧は1,000気圧近くなり、しかも電極をさし入れることによって流れが乱されることを許さない。そのためこれに適する測定部の構造を系統的に研究した。

その結果、非磁性金属で作った導管に0.5mm程度の小孔をあけ、これに絶縁した銀線をさし入れ、管内面を研ぎ出したものが目的に適することを知った。

さらに、電極付近の静電気による雑信号を少なくするため相対する電極を対称に作り、平衡入力方式を採用し、また液体の分極作用は一見微小とみなされる格子電流によることを見出し、5 M $\Omega$ 以上の抵抗を入れ、格子電流を $10^{-11}$ A以下に制限してほぼ完全に消滅させた。

このほか管内の液質の影響、電極材料の効果、前置増幅器および主増幅器の特性等に詳細な検討を加え、小形で強力な磁場発生装置を作り、最後に低速から高速にわたる定常流、正弦的に変動する流れ、および急変する脈動流に対して精密な校正試験を行なって、この流量計が充分信頼できることを証明した。

つぎに、光電管による針弁の変位測定装置、噴射ポンプ側と噴射弁側の圧力を測る水晶圧力計、噴射される液体の運動量を水晶圧力計で求める流量測定装置を作った。

このように測定装置を完備した上で、噴孔径がちがう数種の単孔自動ホール弁について、噴射ポンプの回転数、調量杆の位置、開弁圧等あらゆる運転条件を変えて水を噴射し、その噴射過程を記録した。

その結果従来不明であった二次噴射の状況、噴射ポンプ吸戻し弁の効果等が明らかになった。さらに、速度波と圧力波の相互変換の状態が解明された。

すなわち、開弁圧が高ければ、噴射は従来の取扱いのように主として圧力波に左右されるが、開弁圧が低くなって開放弁に近づくと噴射は圧力波だけでなく、速度波によって直接左右される。

以上著者は今まで欠点の多かった直流式電磁流量計を改良して十分信頼度のあるものとし、これを使って噴射装置内の衝撃的な圧力波と速度波の相互変換の様相を明らかにした。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。