REPORT OF FIRE RESEARCH INSTITUTE OF JAPAN
Serial No. 20 March 1960

消防研究所報告

通巻 20号 1960年3月

目次

研究

可燃性液体の管内流動による帯電……新居六郎 谷和明 上田辰五郎……(1)

M型火災報知機の試作……中内俊作 高瀬晋一 筒井勇次郎 広沢重男 渡辺彰夫……(22)

消防研究所
東京都三鷹市

REPORT OF FIRE RESEARCH INSTITUTE OF JAPAN

Serial No. 20

March 1960

Contents

MEMOIR

Elektrifizierung strömender brennbarer Flüssigkeiten in Rohr

R. NII, K. TANI, T. UEDA ..... (1)

New Type Fire Signaling Systems operating with Coded Signals

S. NAKAUCHI, S. HIROSAWA, S. TAKASE,

A. WATANABE, Y. TSUTSUI ..... (22)

Published by

Fire Research Institute of Japan

700 Shinkawa, Mitaka, Tokyo, Japan.

可燃性液体の管内流動による帯電

新居六郎　谷和明　上田辰五郎

1. 緒言

本研究を行う直接の動機になつたのは，昭和29年10月15日三重県四日市市株式会社大協石油四日市製油所第3号タンク〔32,182m（直径）×9,554m（側壁の高さ），10,314m（円錐形屋根の頂部までの高さ），収容能力約8,000kl，火災直前の残存原油600～1000kl，重油約6500kl〕から第2号タンク（第3号タンクとほぼ同じ収容能力）に第3号タンク下方の6″φの鉄管を通して20～21kl/時の割合で午前10時頃から重油を移していたとき午前11時30分に第3号タンクが突然にぶい音を発して爆発，瞬時にして重油に着火，その後隣接の3箇のタンク〔第1号タンク（収容能力＝重油約8000kl），第2号タンク（重油用），第4号タンク（収容能力＝軽油約5000kl）〕に次々と延焼したばかりでなく，その周辺の石油精製プラントに延焼，翌16日午后11時に鎮火するまで約6.6×10^4m^2（2万坪）の範囲の施設を焼失し，損害額約10億円に達するわが国未曾有の石油タンク火災が発生したことに負うている。この火災原因*については依然不明のままであり，さらにここ数年来塗料工場において，またガソリン等の可燃性液体の運ぱん，詰替作業中に静電気的原因による火災がしばしば発生している。わが国では現在の所，明かに静電気的原因と考えられている火災件数は，他の電気的原因による件数にくらべて極めて少ないが，近時自動車，航空機の燃料としてまた石油化学工業等の分野の原料としてその需要が激増しつつある現状と，いろいろな合成樹脂製品の使用がかなり一般化してきたことと共に静電気による爆発および火災の危険の増大も十分に予想されるにかんがみ，この危険に対する予防対策の研究が痛感される。

最近静電気の発生機構を究明するための基礎研究ならびに静電気の工業的応用，災害防止，生産障害防止等の諸研究は，わが国においても非常に盛んになつているが，いずれも固体物質の帯電現象や工業上の生産障害を除去するための研究が大部分で，とくに筆者らが関心をもつ可燃性液体の帯電現象についての研究は極めて少い。

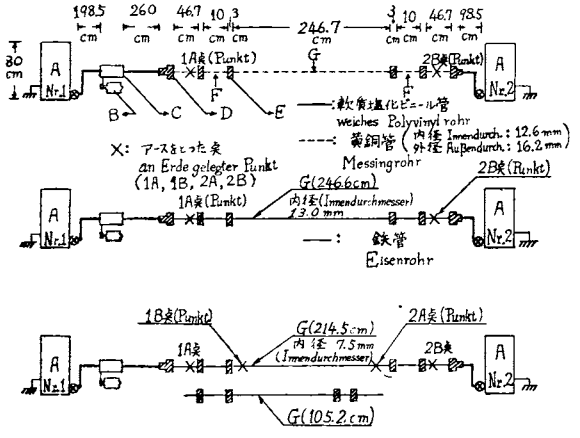
最近ガソリン，ベンゾール等の可燃性液体の流動の際の帯電現象についていくつかの研究[(1),(2),(3),(4),(5)]がなされたが，それらはいずれもこれらの液体の入つた容器を高所におき，その容器の下方から管を通して自然流下させるかまたは密閉容器内に加えられる圧縮空気の圧力によつて強制流下させ管の下端から若干離れた所におかれた容器で液を受けて容器の帯電々圧を測定する方法がとられている。このような方法を用いて得られた結果は，単純な管内流動にもとづくものでなく，管内の流動，管口よりの噴流，容器内の流動等にもとづく極めて複雑な静電現象が加算されたものであるから一般性をもたない。さらにこれらの研究では，比較的流速の大きい場合，湿度や接地箇所と帯電量との関係等についてわれわれに十分な知識を与えていない。

そこで筆者らは，可燃性液体の流動をとくに管内流動の場合に局限して，帯電防止のための基礎的知識を得ること目標として実験を行つたのである。

2. 測定方法

実験には，2箇の小型タンク〔亜鉛鍍鉄板製40cmφ×80cm，（写真1）〕を用い，ガソリン，ベンゾール等の供試液体を入れた一方のタンクより他方のタンクにギヤポンプ（ガソリン，ベンゾールに対しては黄銅

* 火災原因として次の4項目が挙げられた。
1. 電灯線回路の開閉にともなうスパーク。
2. 当時工場内で工事していた熔接作業中の火花。
3. 静電気
4. 石油中の不純物の自然発火。



第1図 (Abb. 1)

A：実験用小型タンク (beim Versuch verwendeter Behälter),

B：ギヤポンプ駆動用 $^1/_4$HP モーター ($^1/_4PS$ Motor zum Treiben einer Zahnradpumpe),

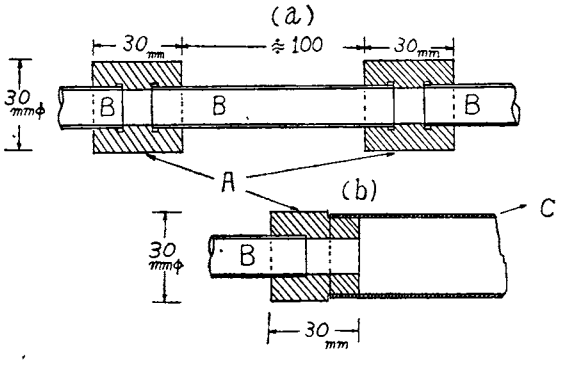
C：ギヤポンプ (Zahnradpumpe)

D：金属管と軟質塩化ビニール管との接続部 (硬質塩化ビニール樹脂製) (Verbindungsstelle zwischen Metallrohr und weichem Polyvinylchloridrohr, die aus hartem Polyvinylchloridharz hergestellt wird.)

E：各測定部金属管絶縁用接続部 (硬質塩化ビニール樹脂製) (Verbindungsstelle zur Isolation des Metallrohres an jedem Messungsteil, die aus hartem Polvinylchloridharz hergestellt wird.)

F：測定部金属管 (Metallrohr an einem Messungsteil)

G：供試金属管 (zur Prüfung verwendetes Metallrohr)



第2図 (Abb. 2)

(a) 各測定部の管接続部詳細 (eingehende Darstellung über Verbindungsstelle der Rohren an jedem Messungsteil)

(b) 金属管と軟質塩化ビニール管接続部詳細 (eingehende Darstellung über Verbindungsstelle zwischen Metallrohr und weichem Polyvinylchloridrohr)

A：硬質塩化ビニール樹脂 (hartes Polyvinylchloridharz)

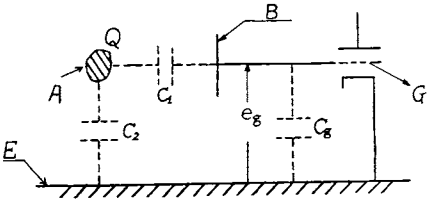
B：金属管 (Metallrohr)

C：軟質塩化ビニール管 (weiches Polyvinylchloridrohr)

製，B重油に対してはちう鉄製のものを使用) により供試金属管 (鉄，黄銅) を通して液体を移送するとき，金属管の両端2箇所に測定部をもうけ，それらの測定部で同時に帯電々圧を測定した (第1図，写真2，3)。ただし両方のタンクは接地し，タンクとギヤポンプ，ギヤポンプと金属管，金属管とタンクとの接続には軟質ビニール管 (内径 10*mm*，外径 12*mm*) を用い，ビニール管と金属管，金属管と金属管との接続には硬質塩化ビニール樹脂製のソケット* を用いた。2箇所の測定部では短かい金属管 (10*cm*) をはさんでその両端を硬質塩化ビニール樹脂 (3*cm*φ×3*cm*) により電気的に絶縁した (第2図)。使用金属管の管径，長さに関しては第1図または第2表参照されたい。

2.1 帯電量測定原理

この実験では，セクター型交流増幅方式を用いて帯電々圧を測定し，後帯電量を決定した。



第3図 (Abb. 3)

A：帯電体 (ein elektrifizierter Körper)

B：電極板：Elektrodeplättchen

C：制御格子：Steuergitter einer Elektronenröhre

E：大地：Erde

一般に第3図に示すような電子管回路を使用して帯電体の帯電量を測定する場合，

帯電体とプローブ電極間容量$=C_1$,

帯電体と大地間容量$=C_2$,

電子管の陰極と格子間容量$=C_g$,

電子管の格子電圧$=e_g$,

帯電体の電気量$=Q$ とすれば

静電気学理論より次の式を得る。

$$e_g=C_1Q/(C_1C_2+C_1C_g+C_2C_g)$$
$$=Q/[C_2+C_g+(C_2/C_1)C_g] \qquad (1)$$

* この絶縁抵抗は実測しなかつたが，物理実験ポケットブック (応用物理学会編，昭和31年10月版)，p 584 の第9－8表によれば，硬質塩化ビニール樹脂は，体積抵抗約 $10^{16}\Omega\cdot cm$ 程度である。

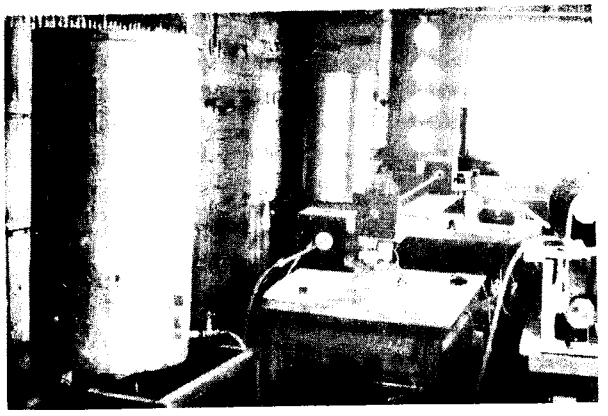


写真 2 (Foto. 2)

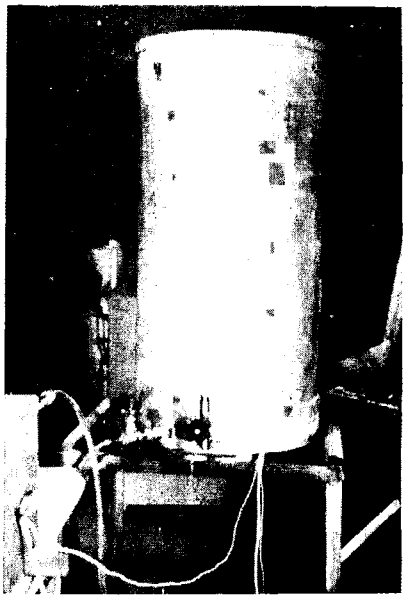


写真 1 (Foto. 1)

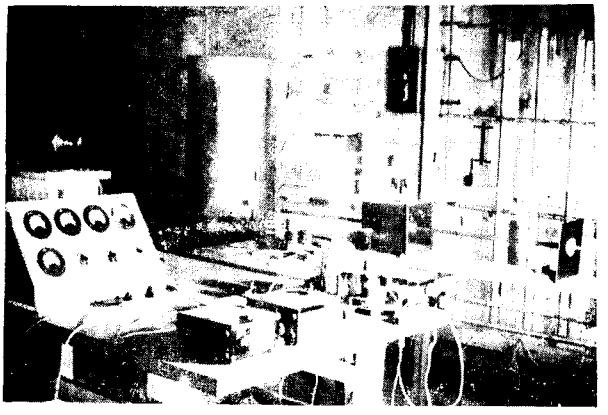


写真 3 (Foto. 3)

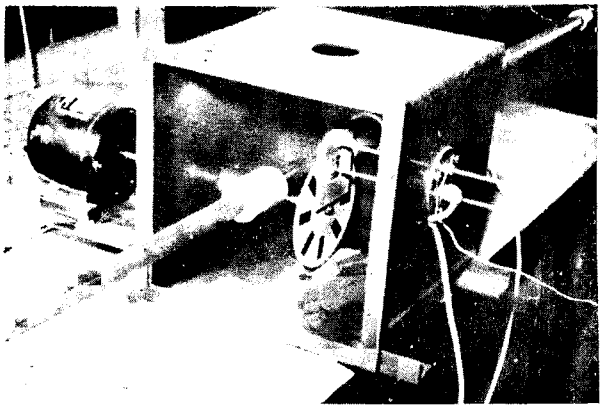


写真 4 (Foto. 4)
改良前の測定部 (Messungsteil vor Verbesserung)

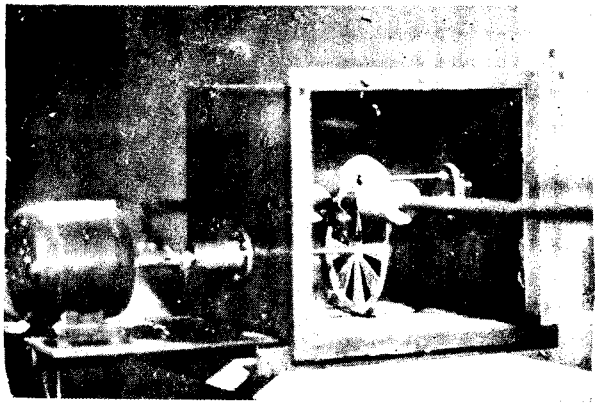


写真 5 (Foto. 5)
改良後の測定部 (Messungsteil nach Verbesserung)

筆者らの測定では，C_1，C_2，C_g を Q メーター（線輪の Q と静電容量等を測定する計器）を使用して測定するかまたは計算により求め（第1表），（1）式より Q を決定した。

第1表 各測定部における電気容量の測定または計算値

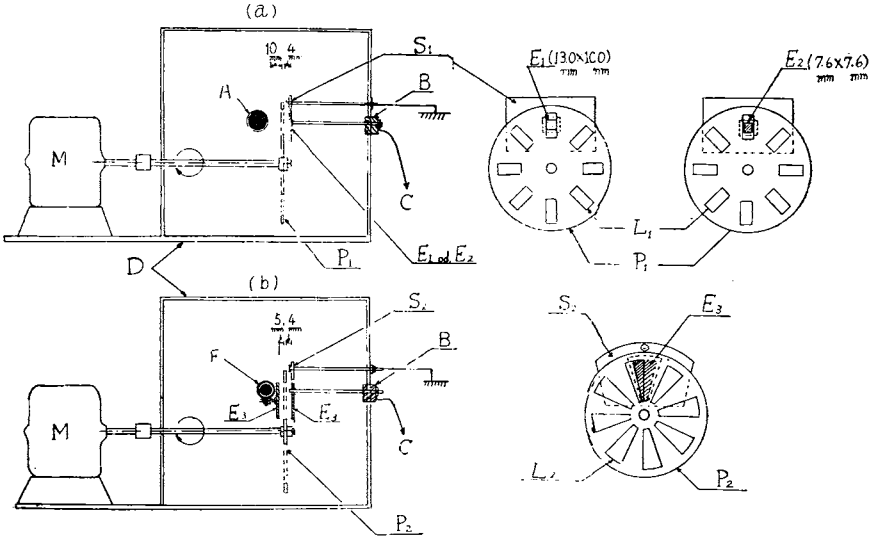
	電極改良前	電極改良後	
	測定部Nr.1,2	測定部 Nr. 1	測定部 Nr. 2
C_1	約 0.1 pF	約 0.2 pF	約 0.3 pF
C_2	約 5 pF	5 pF	5.0 pF
C_g	約 7 pF	6.5 pF	7.8 pF

2．2 帯電電圧測定装置

実験の初期において第4図（a），写真4に示すように測定部の管に対面して，使用管の径の大小にしたがつて2種の大きさの矩形電極板（13.0mm×10.0mm，7.6cm×7.6cm）をおいたが，その後帯電量を正確に決めることができるように扇状の電極林を各測定部の金属管に固定した〔第4図（b），写真5〕。孔あき円板の孔は8箇で，孔あき円板を廻転させる同期電動機は1500$R.P.M.$で，この孔あき円板の廻転により約200 $cycle/s$ のほぼ正弦波形の交流を得た。2箇所の測定部の帯電々圧 e_g は，第5図に示すような電源電圧安定回路とふつうよく使用される交流増幅回路を用いて測定した。各測定部の帯電々圧 e_g は交流回路の出力電流との関係についてあらかじめ較正しておき，μA のよみから e_g を求め，第1表の C_1，C_2，C_g を用いて Q を決定した。

2．3 供試材料およびその他の測定事項

われわれが使用した材料はとくに化学的に吟味されたものを使用せずむしろふつうの市販品を選んだ。すなわち金属管は市販品としてよく使用されているもの，使用液体は市販70オクタン着色ガソリン，工業用純ベンゾール(**JIS K2401**，1号1種)，B重油(**JISK**



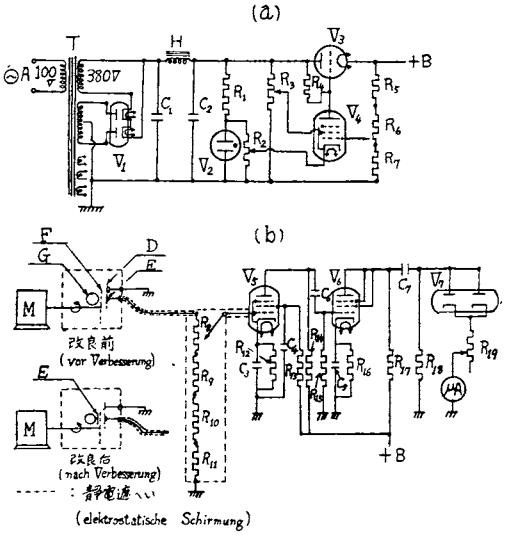
第4図（Abb. 4） 各測定部拡大図（Vergrößerungsbild jedes Messungsteiles）

（a） 改良前（Vor Verbesserung）

A：金属管（Metallrohr），B：絶縁体（ポリスチロール）〔Isolator（Polystyroleharz）〕，M：同期電動機(Synchron-motor)，P_1：矩形孔あきアルミ製小円板〔rechteckig gelochtes Kreisplättchen（Aluminium）〕，E_1 または E_2：矩形電極（rechteckige Elektrode）；13.0mm×7.6mm，7.6mm×7.6mm，C：真空管6C6または6SJ7第1格子に接続するシールド線（eine mit einer Elektronenröhre 6C6 od. 6SJ7 verbundene geschirmte Leitung），S_1：保護環（Schutzring），L_1：矩形孔（rechteckiges Loch）；10mm×20mm，D：鉄板製箱（aus Eisenplatt hergestellter Kasten）；(17cm)^3，F：電極固定用金属環（Metallring zur Fixierung einer Elektrode）

（b） 改良後（nach Verbesserung）

E_3：扇形電極（sektorförmige Elektrode），P_2：扇形孔あきアルミ製円板〔sektorförmig gelochtes Kreisplättchen（Aluminium）〕，S_2：保護環（Schutzring），E_3：扇形電極（Sektorelektrode），L_2：扇形孔（sektorförmiges Loch）



第5図 (Abb. 5)

(a) 電源電圧安定回路 (Stromkreis zum Stabilieren der elektrischen Spannung von elektrischer Quelle)

A：交流電源 (100V, 50サイクル) 〔elektrische Quelle Wechselstroms (100V, 50Hz/Sek)〕, B：直流電源 〔elektrische Quelle Gleichstroms (210Volt)〕, T：Transformator, V_1：5Y3GT, H：60mH, V_2：ネオン管 (Neonröhre), V_3：2A3, V_4：6C6, C_1, C_2：8μF, R_1, R_2, R_3：50$k\Omega$, R_4：20$k\Omega$, R_5：200$k\Omega$, R_6：100$k\Omega$, R_7：200$k\Omega$

(b) 交流増幅回路 (Verstärkerstromkreis für Wechselstrom)

F：セクター円板 (Sektor-kreisplättchen), G：金属管(Metallrohr), D：ガードリング(Schutzring), E：電極(Electrode), M：同期電動機〔Synchronmotor (1500$R.P.M.$)〕, V_5, V_6：6C6 (od. 6SJ7), V_7：6H6 (od. 6AL5), R_8：900$k\Omega$, R_9：90$k\Omega$, R_{10}：9$k\Omega$, R_{11}：1$k\Omega$, R_{12}：3$k\Omega$, R_{13}：1$M\Omega$, R_{14}：200$k\Omega$, R_{15}：500$k\Omega$, R_{16}：5$k\Omega$, R_{17}：10$k\Omega$, R_{18}：200$k\Omega$, R_{19}：500$k\Omega$, C_3, C_5：10μF, C_4, C_6：0.1μF, C_7：2μF

2205, 2号1種) を用いた。測定は液流動が定常となると考えられるポンプ始動後30 s 後から開始した。流速はタンクの側壁にとりつけたガラス管内の液柱の下降をある一定時間々隔毎に測定し，毎秒の平均流量から平均流速として算出した。実験時に使用した液量は約20—40 l であつた。

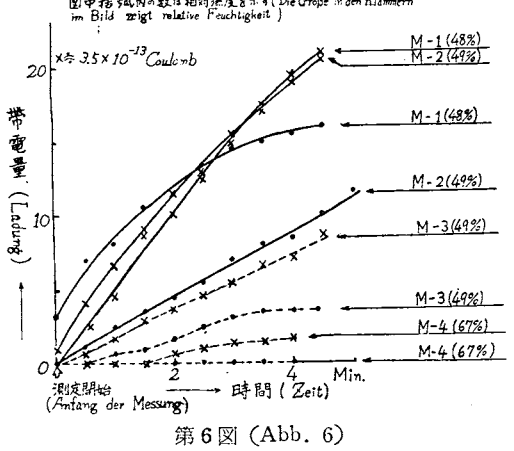
3. 実　験　結　果

3. 1　ガソリンの金属管内流動による帯電

3. 1. 1　黄銅管の場合

使用金属管 verwendetes Metallrohr				使用液体 verwendete Flüssigkeit
材質 Material	内径 Innendurch.	外径 Außendurch.	長さ Länge	市販ガソリン(沸点70℃) verkäufliches Benzin (gekocht 70 Oktan)
黄銅 Messing	12.6 mm	16.2 mm	246.7 cm	
移槽方向 Strömungsrichtung	平均流量 durchschnittliches Strömungsvolumen			平均流速 durchschnittliche Strömungsgeschwind.
タンクNr.1 → タンクNr.2 Behälter → Behälter	0.177 Liter/Sek.			1.40 m/Sek.
•：測定部Nr.1(上流)の測定値 Meßwert am Messungsteil Nr.1 (Oberlauf)				—：アースとらず nicht an Erde legen
×：測定部Nr.2(下流)の測定値 Meßwert am Messungsteil Nr.2 (Unterlauf)				---：アースする(1A点) an Erde legen (1A Punkt)

図中括弧内の数は相対湿度を示す (Die Größe in den Klammern im Bild zeigt relative Feuchtigkeit)

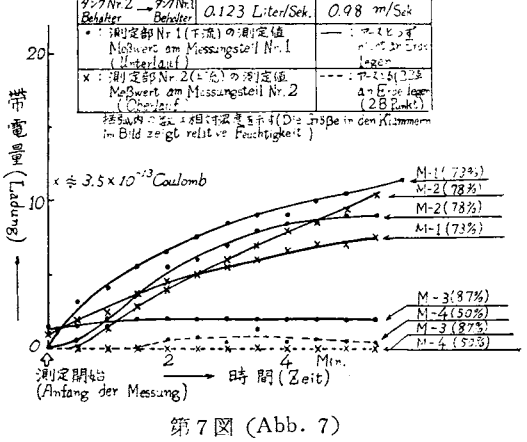


第6図 (Abb. 6)

第6図，第7図はそれぞれ下流の帯電量が上流のそれよりも大きい場合すなわち下流において帯電増加が認められる場合である。第6図中M—1曲線において，測定開始直後は上流の方が下流より帯電量が大きいが，測定開始2.5分後はむしろ下流の帯電量が大になる。すなわち上流，下流の帯電曲線が交さする。上流の点 (1A点) でアースすると，湿度，流速が同じ

使用金属管 verwendetes Metallrohr				使用液体 verwendete Flüssigkeit
材質 Material	内径 Innendurch.	外径 Außendurch.	長さ Länge	市販ガソリン(沸点70℃) verkäufliches Benzin (gekocht 70 Oktan)
黄銅 Messing	12.6 mm	16.2 mm	246.7 cm	
移槽方向 Strömungsrichtung	平均流量 durchschnittliches Strömungsvolumen			平均流速 durchschnittliche Strömungsgeschwind.
タンクNr.2 → タンクNr.1 Behälter → Behälter	0.123 Liter/Sek.			0.98 m/Sek.
•：測定部Nr.1(下流)の測定値 Meßwert am Messungsteil Nr.1 (Unterlauf)				—：アースとらず nicht an Erde legen
×：測定部Nr.2(上流)の測定値 Meßwert am Messungsteil Nr.2 (Oberlauf)				---：アースする(2B点) an Erde legen (2B Punkt)

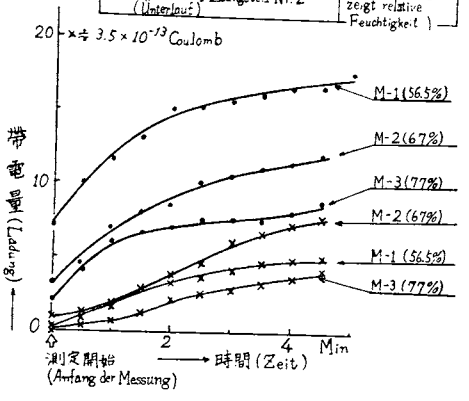
括弧内の数は相対湿度を示す (Die Größe in den Klammern im Bild zeigt relative Feuchtigkeit)



第7図 (Abb. 7)

位のとき両測定部の帯電量は約1/2以下になつた。また上流点（2 B点）でアースすると，第7図中M—4曲線のように帯電量がほとんど0に近くなる。

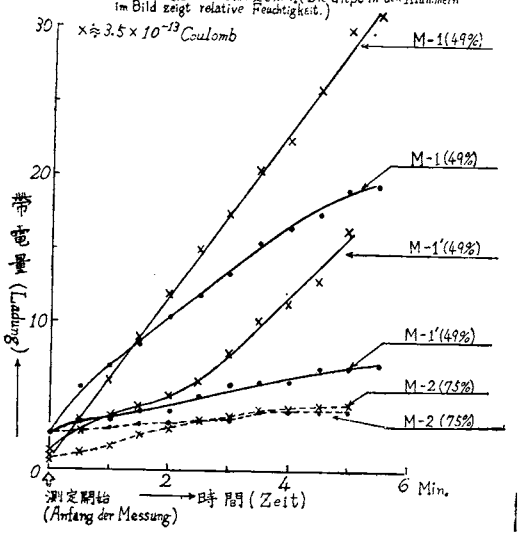
使用金属管 verwendetes Metallrohr				使用液体 verwendete Flüssig.
材質 Material	内径 Innendurch.	外径 Außendurch.	長さ Länge	市販ガソリン(着色70オク) verkäufliches Benzin (gefärbt. 70 Oktan)
黄銅 Messing	12.6 mm	16.2 mm	246.7 cm	
移槽方向 Strömungsrichtung		平均流量 durchschnittliches Strömungsvolumen		平均流速 durchschnittliche Strömungsgeschwind.
タンクNr.1 Behälter → タンクNr.2 Behälter		0.177 Liter/Sek.		1.40 m/Sek.
● : 測定部Nr.1(上流)の測定値 Meßwert am Messungsteil Nr.1 (Oberlauf)				図中括弧内の数は相対湿度を示す。(Die Größe in den Klammern im Bild zeigt relative Feuchtigkeit.)
× : 測定部Nr.2(下流)の測定値 Meßwert am Messungsteil Nr.2 (Unterlauf)				



第8図（Abb. 8）

使用金属管 verwendetes Metallrohr				使用液体 verwendete Flüssig.
材質 Material	内径 Innendurch.	外径 Außendurch.	長さ Länge	市販ガソリン(着色70オク) verkäufliches Benzin (gefärbt. 70 Oktan)
黄銅 Messing	12.6 mm	16.2 mm	246.7 cm	
移槽方向 Strömungsrichtung		平均流量 durchschnittliches Strömungsvolumen		平均流速 durchschnittliche Strömungsgeschwind.
タンクNr.2 Behälter → タンクNr.1 Behälter		0.123 Liter/Sek.		0.98 m/Sek.
● : 測定部Nr.1(下流)の測定値 Meßwert am Messungsteil Nr.1 (Unterlauf)				—— : アースとらず nicht an Erde legen
× : 測定部Nr.2(上流)の測定値 Meßwert am Messungsteil Nr.2 (Oberlauf)				---- : アースとる(2B点) an Erde legen (2B Punkt)

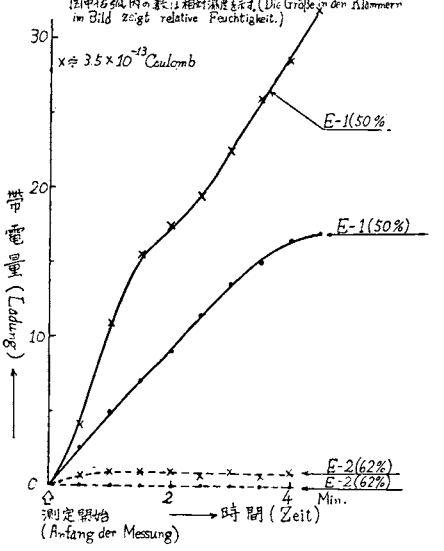
括弧内の数は相対湿度を示す。(Die Größe in den Klammern im Bild zeigt relative Feuchtigkeit.)



第9図（Abb. 9）

使用金属管 verwendetes Metallrohr				使用液体 verwendete Flüssig.
材質 Material	内径 Innendurch.	外径 Außendurch.	長さ Länge	市販ガソリン(着色70オク) verkäufliches Benzin (gefärbt. 70 Oktan)
鉄 Eisen	13.0 mm	15.8 mm	246.6 cm	
移槽方向 Strömungsrichtung		平均流量 durchschnittliches Strömungsvolumen		平均流速 durchschnittliche Strömungsgeschwind.
タンクNr.1 Behälter → タンクNr.2 Behälter		0.171 Liter/Sek.		1.29 m/Sek.
● : 測定部Nr.1(上流)の測定値 Meßwert am Messungsteil Nr.1 (Oberlauf)				—— : アースとらず nicht an Erde legen
× : 測定部Nr.2(下流)の測定値 Meßwert am Messungsteil Nr.2 (Unterlauf)				---- : アースとる(1B点) an Erde legen (1B Punkt)

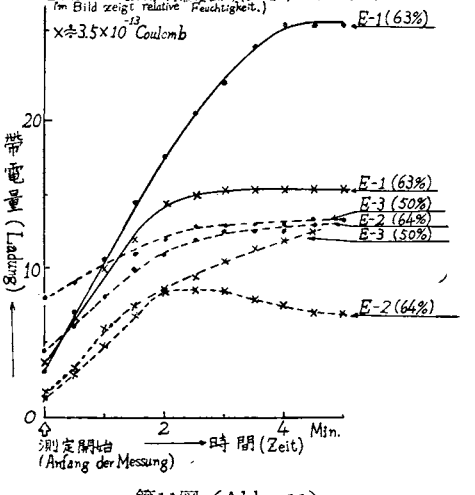
図中括弧内の数は相対湿度を示す。(Die Größe in den Klammern im Bild zeigt relative Feuchtigkeit.)



第10図（Abb. 10）

使用金属管 verwendetes Metallrohr				使用液体 verwendete Flüssig.
材質 Material	内径 Innendurch.	外径 Außendurch.	長さ Länge	市販ガソリン(着色70オク) verkäufliches Benzin (gefärbt. 70 Oktan)
鉄 Eisen	13.0 mm	15.8 mm	246.6 cm	
移槽方向 Strömungsrichtung		平均流量 durchschnittliches Strömungsvolumen		平均流速 durchschnittliche Strömungsgeschwind.
タンクNr.2 Behälter → タンクNr.1 Behälter		0.136 Liter/Sek.		1.03 m/Sek.
● : 測定部Nr.1(下流)の測定値 Meßwert am Messungsteil Nr.1 (Unterlauf)				—— : アースとらず nicht an Erde legen
× : 測定部Nr.2(上流)の測定値 Meßwert am Messungsteil Nr.2 (Oberlauf)				---- : アースとる(2B点) an Erde legen (2B Punkt)

図中括弧内の数は相対湿度を示す。(Die Größe in den Klammern im Bild zeigt relative Feuchtigkeit.)

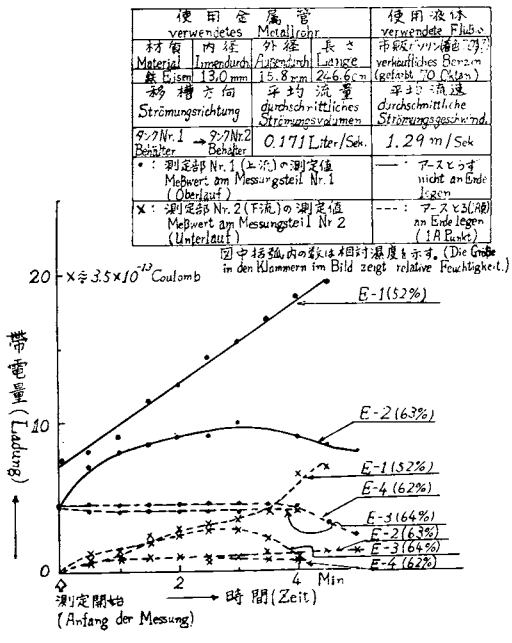


第11図（Abb. 11）

第8図，第9図はそれぞれ下流の帯電量が上流のそれよりも小さい場合を示す。ただし第9図のM—1曲線において，測定開始後1.5分までは下流の帯電量が大きいが，その時刻後からは，上流の帯電量が下流のそれを上まわる傾向を示し，したがつて上流，下流の帯電曲線は交さするようになる。

3．1．2　鉄管の場合

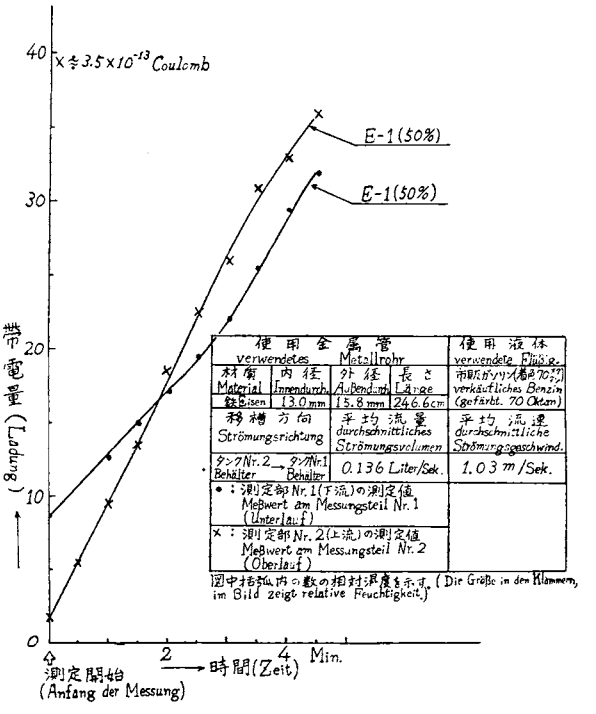
第10図，第11図は，下流の帯電量が上流のそれよりも大きい場合で，第12図，第13図は下流の帯電量が上流のそれより小さい場合である。第10〜13図いづれの



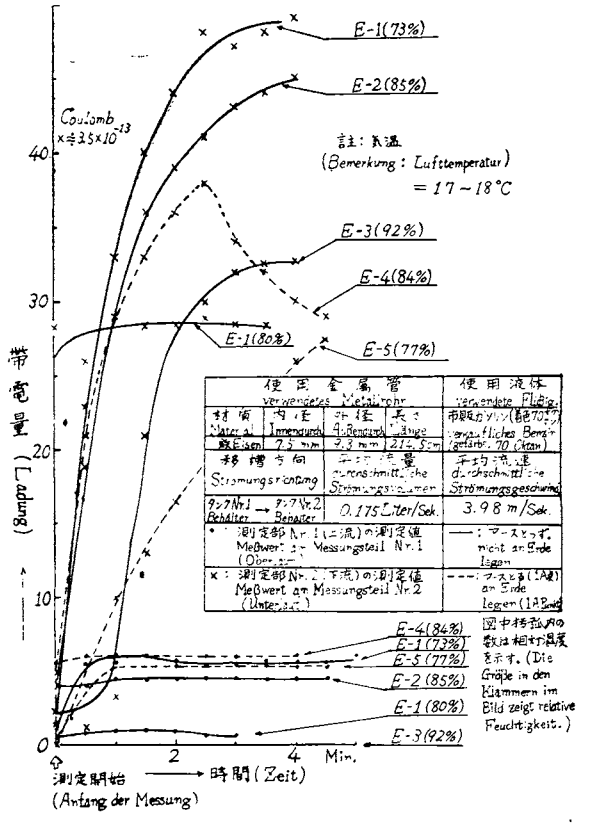
第12図（Abb. 12）

場合においても，ほぼ同じ流速，湿度の場合，黄銅管よりは帯電量は大きかつた。第11図において湿度50%の際，管の上流点（1A点または2B点）をアースすると，下流の帯電量はかなり減少する傾向にはあるが0にはならなかつた。湿度50%位では，帯電量は時間と共にほぼ直線的に増加し（第10，12，13図），帯電量が飽和値に達することはなかつたが，湿度60%位になると帯電量は飽和し，その後減少する傾向すら認められた（第11図）。黄銅管の場合と同様に，湿度50%位で上流，下流の帯電曲線が交さする場合がある（第13図）。

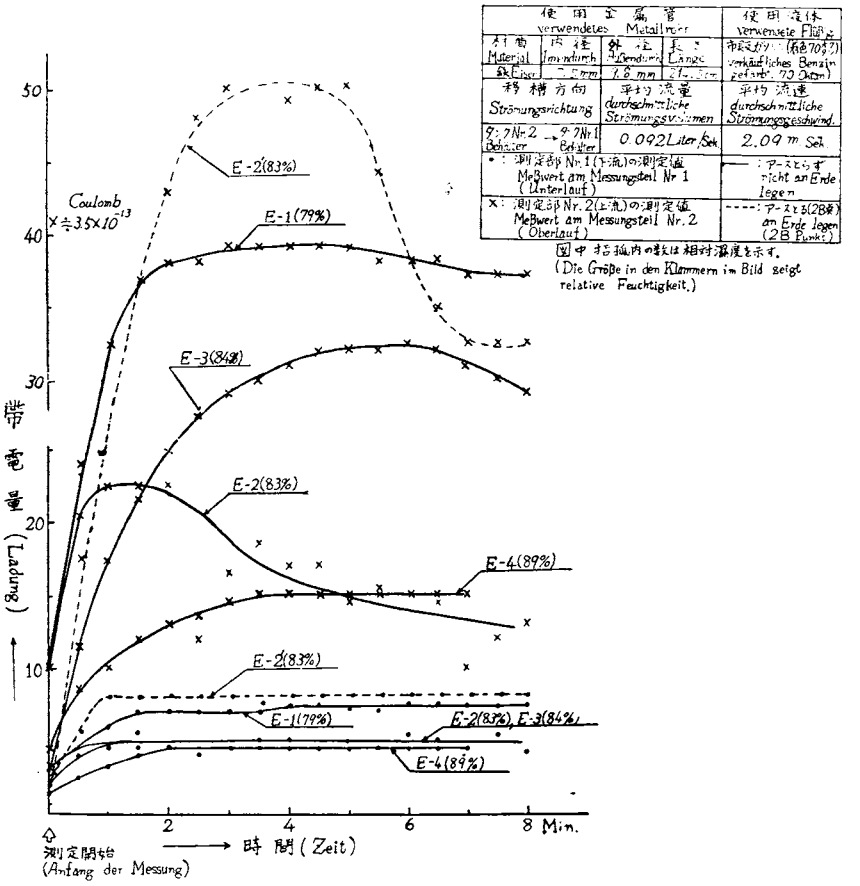
第14図は，流速≒3.98m/s，下流の帯電量が上流の帯電量より大であつた場合で，実験時におけるいかなる湿度でも下流の帯電量が上流のそれよりも小さくなることはなかつた点は注目される。また比較的高い湿



第13図（Abb. 13）



第14図（Abb. 14）



第 15 図 (Abb. 15)

度 (73—92%) においても，相当大きな帯電 (本実験中最大) を示し，湿度の影響を受けなかつたこと，また上流の点 (1 A点) をアースしても予想外に大きな帯電を示したという点である。第15図は，流速≒2.09 m/s，下流の帯電量が上流のそれにくらべて小さかつた場合で，この場合も第14図で述べたように比較的高い湿度 (79—89%) で，相当の帯電量を示し，例えば湿度94%の場合，上流点 (2 B点) をアースしても，上流の帯電量は一時的ではあるが，最大の帯電量を示し，まもなく減少して行く傾向を示しているのは注目すべきことである。

細い鉄管の場合に注目すべき結果を列挙すれば，流速が 3.98m/s 位にもなると，帯電量はあまり湿度に依存しないこと，供試鉄管を2箇所 (1 B点，2 A点) でアースしても，相当大きな帯電を依然として示していること (第16図)，帯電量が飽和値に達して後は，比較的高い湿度の場合にむしろ時間と共に帯電量は減少する傾向にあることである (第14，15，16図)。

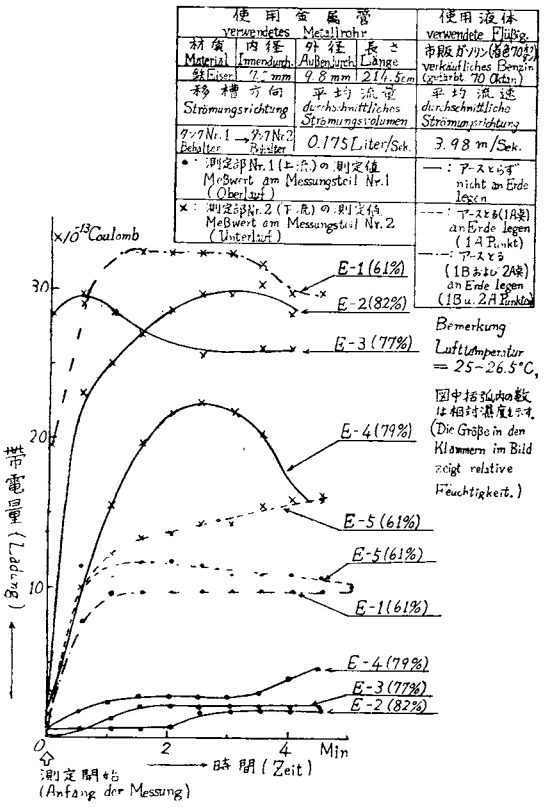
3．2　工業用純ベンゾールの鉄管内流動による帯電

下流の帯電量が上流のそれより大きい場合は，第17図に示す通りで，図中曲線 (Ⅲ) は供試管の長さ＝105.2cm 曲線(Ⅰ)，(Ⅱ)は，供試管の長さ＝214.5cm である。下流の帯電量が上流のそれにくらべて小さい場合を第18図に示す。ガソリンの場合のように上流，下流の帯電曲線が交差することはなかつた。また帯電量もガソリンの場合のそれよりも小であつた。下流における帯電増加の可能性は管の長さが長い程大きい傾向があることが認められた。

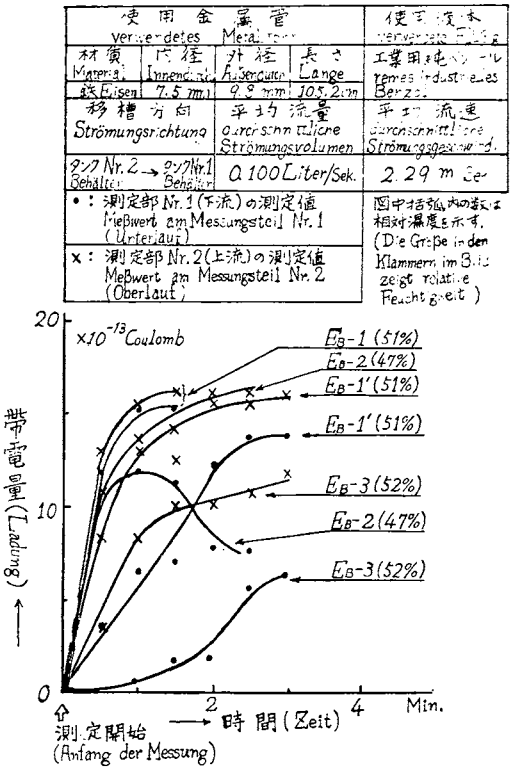
3．3　B重油の鉄管内流動による帯電

比較的低い気温のもとで実験を行つた関係上，その粘性が大きく，実現した流速は 0.13〜0.17m/s で，上流，下流の両測定部とも全く帯電は認められなかつた。

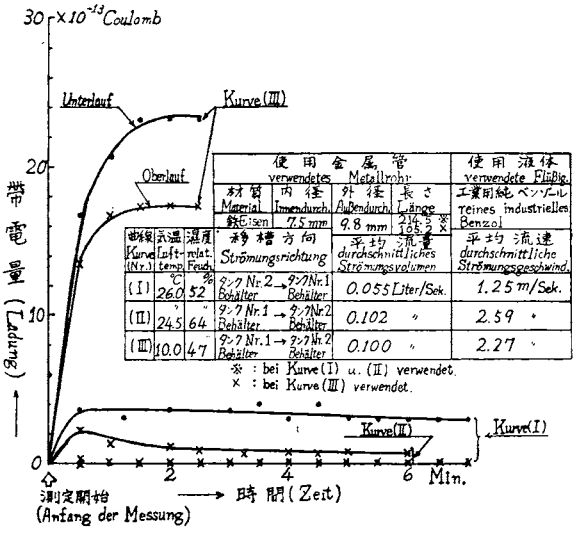
なお実験結果全体の概要を第2表に示す。



第 16 図 (Abb. 16)



第 18 図 (Abb. 18)



第 17 図 (Abb. 17)

第2表　可燃性液体の管内流動による帯電実験概要

符号；　移槽方向
×　；　タンク No. 1→タンク No. 2　　＋；　市販 JIS K2205，2号 1種
※　；　〃　No. 2→　〃　No. 1，（ ）；アースをとつた回数，　卄；帯電増加回数/実験回数を示す。

液体の種類	管の材質	管径 内 mm	管径 外 mm	管の長さ cm	気温 °C	測定部管上に電極の有無	平均流速 m/s	湿度 %	下流の帯電	卄増加確率	摘要
ガソリン（市販70オクタン）	黄銅	12.6	16.2	246.7	11.5〜18.5	なし	0.98 ※	45〜50	0/3		両測定部の差は僅少
							±0.04	67〜87	4(2)/5		
							1.40 ×	48〜57	3/4		
							±0.05	67〜90	1/5		97%のとき帯電増加
	鉄	13.0	15.8	246.6	17.0〜17.5	なし	1.03±0.03※	50〜64	3(2)/4		
							1.29±0.05×	50〜64	2(1)/5		
		7.5	9.8	214.5	18.0〜29.5	なし	2.09 ※	62〜64	0/2		
							±0.05	66〜95	0/11		
							3.98 ×	61〜64	2/2		
							±0.05	67〜92	9(2)/11		
		7.5	9.8	214.5	24.0〜26.5	あり	2.03 ※	61〜64	1(1)/4		
							±0.04	65〜80	0/5		両測定部とも帯電0または微小
							3.78 ×	61〜63	2(2)/5		61%のとき供試鉄管アースしても帯電
							±0.05	74〜82	3/4		
工業用純ベンゾール（市販JIS K 2401）	鉄	7.5	9.8	214.5	17.5〜26.0	あり	1.16〜1.50 ※	51〜64	2/5		
							2.31〜2.59 ×	51〜64	1/2		
							1.50〜1.70 ※	67〜70	0/4		
				105.2	17.0〜26.5	あり	1.43〜1.88 ※	58〜65	0/10		
					8.5〜10.0		2.27〜2.30 ※	47〜52	1/6		
B重＋油	鉄	7.5	9.8	105.2	4.5〜10	あり	0.14〜0.17	53〜62	0/6		タンク内液温＝10〜24°C 両測定部の帯電0

4. 検　　討

4. 1　流体力学的条件について

可燃性液体が流動する際，層流域においてほぼ Cooper[6] の理論が成り立つと考えられているが，乱流域では流体力学的量と帯電量との関係が明確でない点を考慮し，可燃性液体の乱流領域における流体力学的量，とくにレイノルズ数と帯電量との関係を明かにする意図をもつて実験を計画したが，この実験の際のレイノルズ数は約20,000—30,000の範囲にとどまつた。したがつて層流から乱流への遷移点附近のレイノルズ数における実験の必要が痛感される。

4. 2　下流における帯電増加が認められなかつたこと，湿度，流速等の影響

われわれは測定開始前，次のように予想した。すなわち上流の管内で発生した自由電荷が流体と共に下流に運ばれる結果，常に下流の帯電量が上流のそれより

も大きいと。しかし実験結果で既述のごとくこの予想は完全でなかつたことが判明した。この点について講演発表した際* の討論において，液体が管内流動中に帯電符号の変化が起つたのではないか，とくにタンクと金属管，金属管と金属間の接続のためにビニール管を用いたため帯電符号が変化したのではないかという意見が提出されたが，アメリカにおける最近の研究結果(7)によると，ビニール管を使用しない場合でも電流符号の変化を起しており，われわれとしては他の原因（測定部を電気的に絶縁していること，液体中に不純物の混入等）によると考える。われわれの実験装置では，ただ帯電量の絶対値を知ることができるのみであるから帯電符号の相異を明らかにできなかつた。もしこれができていたならば，両測定部の帯電量の差をとり供試金属管内のみの帯電量を明らかにできたであろう。

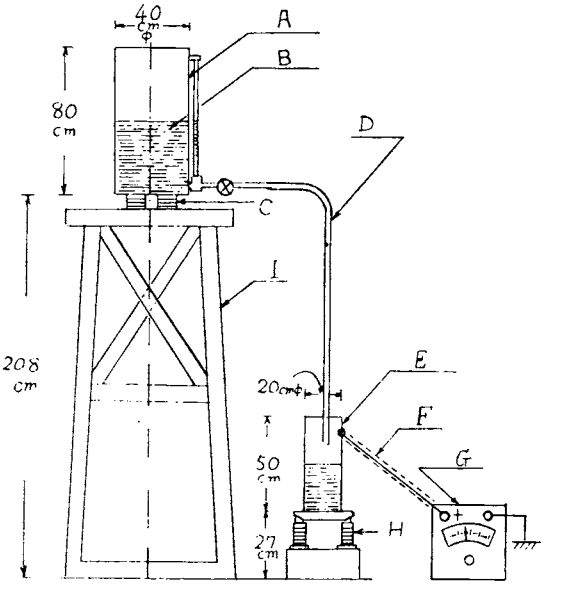
われわれは，液体が管内流動の際，管壁附近で分離した単一符号の自由電荷（プラスかマイナスのいずれか一つの電荷符号）が下流へ向つつて流動中に，流れの状況によつて管壁附近にとどまつている自由電荷とは逆符号の電荷と再結合する可能性があると考える。したがつて流れの中に残存する電荷の存在の割合が自由電荷との再結合の割合を決定すると考える。この再結合の割合を決定する管壁附近に残存する電荷量は空気の湿度に依存し，湿度が大であれば，空気中へのろうえいも大であると考える。ただし流速の大きい場合は，湿度の電荷ろうえいに及ぼす影響がほとんど無関係になる位自由電荷の発生が大きいと推定される。

3．1．2 において既述のように帯電量が飽和値に達して後まもなく減少してゆく理由は，一方のタンクから他方のタンクへ既に大部分の液体が移動してしまつて流れの方向に対し逆方向の静水圧が高まる結果流速が減少し，したがつて自由電荷の発生割合も減少し，帯電量が減少するのではないか考える。

4．3　供試材料，とくに液体中に不純物混入の影響について

2．3で既述のように，供試金属管についてはいずれも市販のものを用いたため，黄銅管，鉄管とも管内面上にかなりの凹凸が肉眼上認められ，とくに鉄管は錆による凹凸が著しかつた。新しく金属管を取り替える場合，管内の異物の混入を防止するため，測定開始前供試液体を二三回管内を通して清浄にした。もちろん塵あいの混入を防ぐため2箇のタンクとも蓋をしておいた。上述のような処置にもかかわらず，場合によつては，なお管壁に附着していた塵あい，錆等が液体の流動によつて液体中に混入することも考えられる。

塵あいといつても科学的には極めて定義しにくいものであるので，液体中に錆等の金属粉の混入による帯電量の変化についてつぎの実験を行つた。



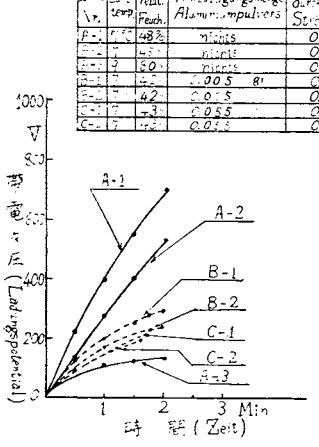
第19図（Abb. 20）

A：上方のタンク(oberer Behälter)，B：70オクタン着色ガソリン（実験時アルミ粉末混入）〔70 Oktan gefärbtes Benzin (Bei der Messung wird Aluminiumpulver eingemischt.)〕，C：絶縁体（ガラス）〔Isolator (Glas)〕，D：軟質塩化ビニール管(weiches Polyvinylchloridrohr)，E：下方の受器（unterer Behälter)，F：静電遮へいしたリード線（elektrostatisch geschirmte Leitung)，G：静電々圧計（elektrostatisches Voltmeter)，H：絶縁がいし（磁器）〔Isolator (Porzellan)〕，I：木製台（aus Holz hergestellte Bühne)

金属粉としてアルミニウム粉末，また供試管としてビニール管を用いた。第19図に示すような木製台上の絶縁体C上におかれた上方のタンク（ガソリン約10 l 入り）からビニール管を通じてガソリンを流下させ下方の絶縁された容器でこれを受け，この容器の帯電々圧を静電々圧計で測定した。この結果は第20図に示す

*　昭和34年4月4日
第6回応用物理学関係連合講演会
日本物理学会物性関係分科会　合同講演会
表面物理会場において。

使用管 verwendetes Rohr					使用液体 verwendetes Fluids
材質 Material			内径 Innendurch.	外径 Außendurch.	工業用純ベンゾール reines industriales Benzol
曲率半径 Kurv.	室温 Luft-temp.	湿度 relat. Feuch.	アルミ粉末添加量 Hinzufügungsmenge Aluminiumpulvers	平均流量 durchschnittliches Stromungsvolumen	平均流速 durchschnittliche Stromungsgeschwind.
A-1	[illegible]	48%	nichts	0.091 Liter/Sek.	1.15 m/Sek.
[illegible]	[illegible]	[illegible]	nichts	0.095	1.25
[illegible]	9	60	nichts	0.091	1.15
[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.005 g	0.100	[illegible]
[illegible]	[illegible]	42	0.05	0.105	1.27
[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.055	0.105	1.27
C-[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.055	0.105	1.27



第20図 (Abb. 21)

とおりである。すなわち比較的低い湿度（42～48%）の場合，アルミ粉末0.005 g を10 l のガソリン中に混入し，よくかくはんし一様に混合したものは，アルミ粉末を全然混入しないものよりも明らかに帯電々圧が約1/2位減少した。さらに0.05gを加えて，混入アルミ粉末量計0.055 g とした場合は，0.005 g 混入した場合にくらべて帯電々圧はたいした減少を示さなかつた。

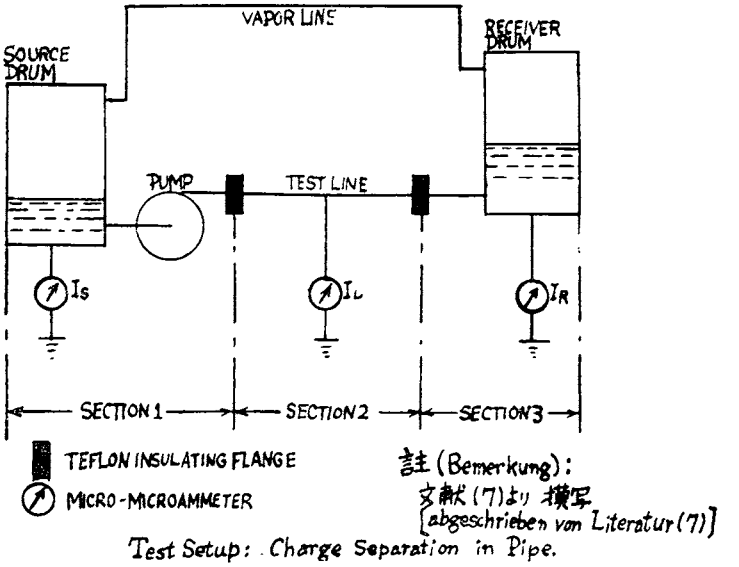
この結果から，金属粉末の混入による帯電量の減少に関しては，可燃性液体中で一たん遊離した自由電荷が，混入金属粉末の帯電々荷（自由電荷に対し逆符号）と再結合することによると推定される。もちろん混入金属粉末の種類により，帯電量の減少の程度は変化すると思われる。さらに使用したガソリンは，着色されかつ四エチル鉛も含まれているし，工業用純ベンゾールも化学的に純粋ではないので，単に金属粉ばかりでなく，液体中の不純物の影響も十分考えられる。しかしこのような不純物の帯電に及ぼす明確な影響を究明することは困難である。

4. 4　最近の外国の研究報告

この研究報告を書く直前，石油類の帯電現象，除電方法についての極めて広範囲な研究報告を入手できた。それは1957年12月，米国，シカゴで，米国石油協会（略称 A.P.I.）の年会において発表されたものである。

このうち W. B. Bustin[8] らが第21図に示すような実験方法によつて極めて大規模な実験的研究を行つたものである。例えば供試石油として，**JP-4**，供試金属管としてステーンレススチール製のものが使用された。第21図中，SECTION 1，SECTION 2，SECTION 3はすべて絶縁されている。なお供試管の絶縁用としてテフロン樹脂が使用された。

この実験は，主として非常に大きい流速 2.6～50 *feet/s*（約0.8～15*m/s*）で行なわれ，この際液体は，SECTION 1においては，マイナスの電流値を持ち，SECTION 2においては，プラスの電流値を持ち，SECTEON 3においては，この測定系の全帯電々流



第 21 図 (Abb. 21)

値の合計から SECTION 1 および SECTION 2 において発生した電流値を差引いたものになるといつている。液体が SECTION 1 から SECTEON 2 え移る間に電流符号が逆転すること，比較的低い流速2.6～9.83 *feet/s*（約0.8～2.95*m/s*）では，電流符号の変化はないことが記されている。

最後に次のような実験式が導かれている。

$$I=(TKV^{1.75})\,[1-\exp(-L/TV)] \qquad (3)$$

（3）式中，

I ＝燃料の存在する管から発生する帯電々流，

T ＝燃料の時定数，

K＝管の直径および管と燃料との界面の状況によつて決まる常数，

V＝流速，

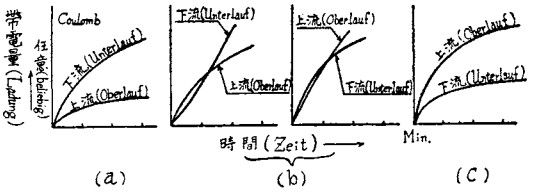
L＝管の長さを表わしている。

（3）式中，管径および管の長さという量を含んでいることは，筆者らにとり甚だ興味深い。

5．總括

われわれの実験において得られたことをまとめればつぎのように述べることができる。

1．ガソリンの場合供試金属管の上流，下流の帯電量と時間との関係をグラフ上にプロットすれば，第22図，(**a**)，(**b**)，(**c**) のような3つの型の帯電曲線が得られた。



第 22 図 (Abb. 22)

2．ガソリンが黄銅管内を流れるときは，0.98〜1.40 m/s の流速のもとで湿度の高いか低いかによつて帯電量が減少したり増加する。

3．ガソリンが鉄管内を流れるとき，流速が約4.0m/s になると湿度にはほとんど無関係で，90%位でも相当帯電する。またほぼ同じ管径長さ，流速，湿度のもとでは鉄管内の液体流動による帯電量は黄銅管内の流動による帯電量よりも大きい。

4．工業用純ベンゾールが鉄管内を流動する際の帯電量は，流速等のような他の条件がほぼ同じ場合ガソリンの帯電量より小さい。

5．この実験の場合，あらかじめ危険防止のため両方のタンクをアースしてあるが，供試管の上流のどの点で管の外部からアースをとつても，帯電量をある程度減少させることができるが，場合によつてはなお相当の帯電を示し，全く帯電量を0にすることはほとんど不可能である。

したがつて一つのタンクから他のタンクへ管を通して可燃性液体を移送する場合，管の部分をアースして帯電量を減少させるよりもタンクの部分で適当な除電方法を考えることが賢明でないかと考えられる。このような場合の除電対策として，米国における最近の研究報告[9]によれば，一般的に2箇のタンク間に帯電量減少のための relaxation tank を設けること，大型タンクの場合には炭酸ガスを充填すること，小型タンクの場合には放射性同位元素，例えば 100 *millicurie* Strontium 90−Yttrium 90（β線源）を使用するのがよいとされる。

6．B重油の場合，実験した流速が比較的小であつたため全く帯電は認められなかつた。

本研究にあたり，当所電気研究室，工学博士，中内俊作氏には，実験方法についての有益なる助言と討論をいただき，また電気通信研究室，渡辺彰夫氏には，増幅回路の調整や較正等について多大の援助をいただいたことをここに記して深く感謝申上げる。

約1年半余りを費して，一応この実験的研究をまとめてみて，さらに追究しなければならぬ問題もまだかなり残されていることを感じている。とくに可燃性液体が管外に噴出する場合および容器内流動による帯電については，当所電気研究室の将来における研究を期待している。

文献

（1） 久島秀夫：静岡県都市消防連絡協議会々報追録（昭和30．2．28）

（2） 北川徹三：昭和30．6．28．静電気研究発表会講演要旨，P 12

（3） 永田三郎他1名：応用物理学会，昭和32年秋季大会講演予稿集，P 109

（4） 永田三郎他2名：第5回応用物理学連合講演会予稿集，P 207

（5） 菅義夫他2名：応用物理学会，昭和33年秋季大会講演予稿集，P 59

（6） W. F. Cooper : Supplement No. 2, Brit. J. Appl. Phys. (1953), 11

（7） W. M. Bustin, T. L. Culbertson and C. E. Schlecker : Proc. A. P. I., Vol. 37〔III〕(1957), 30

（8） （7）と同じ。24—43

（9） J. J. Conradi, J. R. Miller and J. J. Skelly : Proc. A. P. I., Vol. 37〔III〕(1957), 75—81

Elektrifizierung strömender brennbarer Flüssigkeiten in Rohr

Von Rokuro Nii, Kazuaki Tani und Tatsugorō Ueda

Mit 22 Abbildungen und 5 Foto.

(Eingegangen am 15, 8, 1959)

1. Einleitung

Ein direkter Anlaß, daraus wir dieses Studium angefangen habe, rührt her vom Ausbruch eines Öltankbrandes an der
Yokkaichi ölfabrik der Daikyo Sekiyu (Erdöl) AG. zu Yokkaichi-shi, Mie-Ken (Provinz) / Japan.

Der Brand dauerte von halb Zwölf am 15. Tag bis Elf am 16. Tag, Nov. 1954 zu brennen. Wegen der langen Fortsetzung des Brandes, breitet er sich umfangreich vom Ursprung der Feuerbrunst, Nr. 3 Rohöltank (Aufnahmefähigkeit : ca. 8,000kl; der wenigstenteils aus Rohöl und größtenteils aus Schweröl bestchende Rest, kurz vor der Entstehung des Brandes : ca. 6,500kl),
nicht nur zu nächst stehenden drei Tanks :

Nr. 1 Schweröltank (Aufnahmefähigkeit : ca. 8,000kl),

Nr. 2 Schweröltank (Aufnahmefähigkeit : ca. 8,000kl) und

Nr. 4 Leichtöltank (Aufnahmefähigkeit : ca. 5,000kl), sondern auch zu einem Bezirk der Ölfabrik. Wegen der großen Ausdehnung des Brandes brannte sich ungefähr 66,000m² des Bodens der Ölfabrik und der Feuerschaden belief sich auf ungefähr ein Billion Yen (ca. 11.5 Millionen D. M.). Keine Ursache des Brandes ist noch unbekannt.

Seit einigen Jahren vorher sind Brände von elektrostatischen Ursachen manchmal auch in Japan veranlasst, z. B. beim Umpacken od. Transport brennbarer Flüssigkeiten an Tankwagen od. Tankstellen od. Ölfabriken und durch Rühren organischen Lösungsmittels in einer Anstrichfabrik usw;. Zwar ist es wahr, daß von elektrostatischen Ursachen hervorgerufene Brände nur 1 Prozent von ihnen von elektrischen Ursachen besitzen, die ungefähr 13 Prozent von Zahlen der sämtlicher Brände in 1957 in Japan besitzen, aber der von elektrostatischen Ursachen hervorgerufene Brand wird eine Tendenz zur Zunahme in der Zukunft haben, und ohne irgend Vorsichtungsmaßregeln vor der Tendenz zu finden, wird es zufälligerweise einen großen Brand verursachen, weil die Verbrauchsmenge brennbarer Flüssigkeiten jetzt in Japan auffallend zunehmend ist und eine große Menge von synthetischen Produkten und manigfaltige Produkten, die gewöhnlich elektrisch sehr gute Isolatoren sind, schon in allen industriellen Feldern und im Alltagsleben jedes Menschen gebraucht werden.

Jedoch gibt es in Japan sehr wenig Studien auf Elektrifizierung strömender brennbarer Flüssigkeiten, an denen wir Verfasser sehr Interesse haben. Einige auf das oben geschriebene Thema letztens in Japan ausgeführte Forschungen (1), (2), (3), (4), (5) benutzen nur dieselbe Methode zum Experiment wie folgt: ein oberer Behälter, darin eine brennbare Flüssigkeit aufgenommen sind, ist auf einer Bühne gesetzt. Durch ein Rohr, das an einem Loch des Behältersbodens befestigt ist, in einen unteren Behälter hinein, der an einer Entfernung vom unteren Ende des Rohres auf der isolierten Platte gesetzt ist, fließt die Flüssigkeit von Schwerkraft od. Druckluft nieder, die auf der Flächen der Flüssigkeit im oberen Behälter Druck ausübt, und das Ladungspotential des unteren Behälters gemessen wird.

Das Wort, „strömende brennbare Flüssigkeit" bedeutet sehr verwickelten Strömungen, die Strömungen von drei Arten, d. h. Strömung in Rohr, Ausspritzungsströmung und Strömung in Behälter enthalten. Die einigen Studien, die von der Methode wie oben besagt, durchgeführt worden sind,

können uns kaum klaren Nachrichten vom Zusammenhang zwischen Ladung und Strömungszustand geben. Außerdem geben jene Studien uns keine genügende Nachrichten, wenn Strömungsgeschwindigkeit größer ist, in Bezug auf die zwischen relativer Feuchtigkeit und Elektrifizierung und die zwischen geerdeten Stellungen und der letzteren, vorhandenen Relationen. Deswegen unter solch einem Standpunkt wie oben erwähnt, haben wir ein experimentales Studium auf Elektrifizierung brennbarer Flüssigkeiten unter Beschränkung des Strömungszustandes auf die Strömung in Rohr durchgeführt.

2. Versuchsanordnung

Beim Versuch wurden zwei Behälter (Innendurchmesser: 40cm, Höhe: 80cm, hergestellt aus galvanisierter Eisenplatte) gebraucht (Foto. 1). Wenn eine brennbare Flüssigkeit von einem Behälter, darin die Flüssigkeit wie gefärbtes 70 oktan Benzin od. reines industrielles Benzol (JIS-K 2401-No.1-1) od. B-Schweröl (JIS-K 2205-No. 2-1) enthalten wird, 20-40 Liter des Volumens. in den anderen leeren Behälter hinein von einer Zahnradpumpe (eine für Benzin und Benzol verwendete Pumpe ist aus Messing, die andere für B-Schweröl aus Eisen.), durch eines Metallrohr (Beim Versuch wurden Rohre aus Metallen von zwei Arten : Messing und Eisen, verwendet.) fließend ist, wird jedes Ladungspotential an zwei Messungsteilen, die an beiden Enden eines Metallrohres angelegt sind, gleichzeitig gemessen (Abb. 1 u. Foto. 2 u. 3). Jeder Messungsteil, der zwischen zwei zylindrischen Rohrstückchen aus hartem Polyvinylchloridharz (Außendurchmesser : 3cm, Länge : 3cm) eingeklemmt und dadurch isoliert, besteht aus einem Metallrohrstückchen (Länge : ungefähr 10*cm*, Abb. 2).

Die beiden Behälter waren während der Versuchszeit an Erde gelegt. Die Rohre aus biegsamem Polyvinylchloridharz (Innendurchmesser : 10mm, Außendurchmesser : 12mm) wurden zur Verbindung zwischen jedem Behälter und der Zahnradpumpe, der letzte und dem Metallrohr, und zwischen dem Metallrohr und jedem Behälter, verwendet. Und dann die Rohrstückchen aus hartem Polyvinylchloridharz wurden zur Verbindung zwischen dem Rohr aus Polyvinylchloridharz und Metallrohr verwendet.

2.1 Messungsprinzip von Ladung bei unserem Versuche

Bei unserem Versuche wurde ein Sektor-Typ-Wechselstrom-verstärker zur Messung der Ladung verwendet. Wenn man durch Verbindung des Elektronenrohrstromkreis wie gezeichnet in der Abb. 3 Ladung mißt, folgert sich Gleichung (1) von der elektrostatischen Theorie

$$\frac{C_1 Q}{C_1C_2 - C_1C_g - C_2C_g} = e_g \cdots\cdots (1)$$

Die fünf Größen in der Gleichung (1) zeigen Folgendes :

C_1 : Kapazität zwischen einem elektrifizierten Körper und einer Sonde (Elektrode),

C_2 : Kapazität zwischen einem elektrifizierten Körper und Erde,

C_g : Röhrenkapazität zwischen Gitter und Kathode,

e_g : Gitterspannung

Q : Ladung des elektrifizieren Körpers.

Wenn man einen Faraday-Eimer od. Faraday-Käfig verwendet, gewöhnlich besteht $C_2=0$, also erreicht man Gleichung (2) :

$$Q = C_g e_g \cdots\cdots (2)$$

so daß man Q durch die Rechnung von der Gleichung (1) od. (2) bestimmen kann, weil man C_1, C_2, C_g und e_g messen od. rechnen kann. Bei unserem Versuche wurde C_1, C_2 und C_g von Resonator gemessen od. gerechnet. Und dann wurde Q bestimmt.

2.2 Apparatur zur Ladungsmessung

Zu erster Period unseres Versuches wurde eine rechteckige Elektrode, die nach dem Außendurchmesser

des Metallrohres (7.5*mm* od. 13*mm*) das Flächenmaß, 7.5*mm*×7.5*mm*, od. 13.0*mm*×7.5*mm* besitzt, gegenüber dem Metallrohr an jedem Messungsteil gestellt (Abb. 4, (a) u. Foto. 4). Danach wurde eine sektorförmige Elektrode auf dem Metallrohr an jedem Messungsteil befestigt, damit wir die Ladung genau bestimmen können, und die andere gleichförmige Elektrode wurde gegenüber ihrer auf dem Metallrohr gestellt. (Abb. 4; (b) u. Foto. 5).

Ein symmetrisch durchgelöchertes Kreisplättchen (Durchmesser : 10*cm*), das acht rechteckige od. sektorfärmige Löcher hat, von einem Synchron-motor (die Drehgeschwindigkeit : 1,500 *R. P. M.*) um ihre Achse dreht und dadurch entsteht ein sinuswelliger Wechselstrom von ungefähr 200 Hertz auf einer Elektrode. Die Ladungspotential (e_g) an jedem Messungsteil wurde nach dem Kalibrieren zwischen e_g und Ausgangstrom (μA) durch Messung des letzteres bekommen (Abb. 5). Dann Ladung (Q) wurde mit den bestimmten Kapazität (C_1, C_2, C_g) von der Gleichung (1) gerechnet.

Tabelle 1. Meß- od. Rechnenwert an jedem Messupgsteil

	vor Verbesserung	nach Verbesserung	
	Messungsteil Nr. 1, 2.	Messungsteil Nr. 1	Messungsteil Nr. 2
C_1	ungefähr 0.1pF	ungefähr 0.2pF	ungefähr 0.3pF
C_2	ungefähr 5 pF	5.0pF	5.0pF
Cg	ungefähr 7 pF	6.5pF	7.8pF

2.3 beim Versuche verwendete Materialien und andere Messungsartikel

Die beim Versuche verwendete alle Materialien wie Rohren und brennbare Flüssigkeiten usw. waren nicht die, was besonders chemisch geprüft werden, sondern die, was man auf dem Markt gewöhnlich leicht kaufen kann.

Die durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit im Rohr wurde vom durchschnittlichen Flüssigkeits-volumen pro Sekunde gerechnet, das durch Mersung des Abstieges der Flüssigkeitssäule in einem senkrechten Glasrohr, das näher am Boden mit einem Rohrarm auf der Seitwand des Behälters zusammengefügt wird, zu je einem bestimmten Intervall, bestimmt wurde.

3. Versuchsresultat

3.1 Elektrifizierung Benzins bei Strömung in Metallrohr

3.1.1 Strömung in Messingrohr

Abb. 6 und Abb. 7 zeigen, daß die Ladungen am Unterlauf größer als sie am Oberlauf sind, d. h. die Zunahme der Ladungen am Unterlauf.

In Abb. 6 zeigt die Elektrifizierungskurve M-1, daß am Anfang die Ladungen am Oberlauf größer als sie am Unterlauf sind, aber nach 1.5 Minuten vom Beginn der Messung die Ladungen am Unterlauf vielmehr größer als sie am Oberlauf sind. Deshalb kreuzen sich die Elektrifizierungskurven. Wenn man an einem Punkt (1A Punkt) auf Außenrohrwand des Oberlaufes an Erde legt, werden die Ladungen an jedem Messungsteil ungefähr ein Halb desselben bei gleicher Strömungsgeschwindigkeit und relativer Feuchtigkeit, od. beinahe Null, wenn am 2B Punkt an Erde legt, wie die Kurve M-1 in Abb. 7 zeigt.

In Abb. 8 und Abb. 9 im Gegenteil vom, was gerade oben erwähnt, ist es gezeigt, daß die Ladungen am Unterlauf kleiner als sie am Oberlauf sind. Besonders in der Kurve M-1 der Abb. 9 sind die Ladungen am Unterlauf vom Beginn der Messung bis 1 Minute 30 Sekunden größer als sie am Oberlauf sind, aber danach hat es zur Folge einen Zustand des Gegenteils vom, was oben gerade erwähnt. Deswegen kreuzen sich die Elekrtifizierungskurven.

3.1.2 Strömung in Eisenrohr

Abb. 10 und Abb. 11 zeigen den Fall, daß die Lapungen am Unterlauf größer als sie am Oberlauf sind. Abb. 12 und Abb. 13 zeigen den Fall des Gegenteils vom, was oben gerade erwähnt. Auf jeden Fall sind die Ladungen bei Strömung in Eisenrohr größer als sie in Messingrohr bei gleicher Strömungsgeschwindigkeit und relativer Feuchtigkeit. Wenn man einen Oberlaufspunkt (1A od. 2B Punkt) bei relativer Feuchtigkeit 50% an Erde legt, zeigen die Ladungen am Unterlauf eine Tendenz zu ziemlich größerer Abnahme, aber doch erreichen sie keinesfalls Null. Bei relativer Feuchtigkeit ungefähr 50% nehmen die Ladungen an jedem Messungsteile mit zunehmender Zeit gemäß linear zu, aber nicht an einen Sättungswert gelangen. Bei relativer Feuchtigkeit 60% kommen sie in einem Sättungswert an, danach können wir eine Tendenz zu seiner Abnahme erkennen. Bei relativer Feuchtigkeit ungefähr 50% kreuzen sich die Elektrifizierungskurven wie in 3. 1. 1. erwähnt.

Abb. 14 zeigt, daß bei Strömungsgeschwindigkeit, 3.98 m/s und relativer Feuchtigkeit, 73—92% die Ladungen am Unterlauf immer größer als sie am Oberlauf sind. Außerdem ist es bemerkenswert, daß erstens die Ladungen an jedem Messungsteils am größten von beim Versuche gewonnenen Meßwerten sogar bei höher relativer Feuchtigkeit, d. h. von relativer Feuchtigkeit bei größer Strömungsgeschwindigkeit beinahe unabhängig sind, zweitens wenn man einen Punkt der Außenrohrwand am Oberlauf an Erde legt, wider Erwarten größere Ladungen am Unterlauf entstehen.

Abb. 15 zeigt, daß bei einer Strömungsgeschwindigkeit, 2.09 *m/s* die Ladungen am Unterlauf größer als sie am Oberlauf sind und bei höher relativer Feuchtigkeit 79—89%, ziemlich größere Ladungen am Unterlauf entstehen. Sogar wenn man auch einen Punkt der Außenrohrwand am Oberlauf an Erde legt, entstehen die Ladungen so ganz gleich wie oben gerade erwähnt. Außerdem ist es hier bemerkenswert, daß die Ladungen vom Beginn der messung nach 3 od. 4 Minuten einen Sättungswert erreichen und bald eine Tendenz zu mehrerer Abnahme haben.

In Abb. 16 sind die Beshreibung ebenso beinahe gleich wie die, was wir darüber in Abb. 14 schon schreiben.

3.2 Elektrifizierung reines industielles Benzols bei Strömung in Eisenrohr

Abb. 17 zeigt, daß die Ladungen am Unterlauf größer als sie am Oberlauf. In der Abb. 17 zeigt die Kurve III einen Fall : die Länge des Rohres=105.2cm, die Kurve I und II den anderen Fall : sie= 214.5cm, wenn Innendurchmesser jedes Rohres gleich ist. Abb. 18 zeigt, daß die Ladungen am Unterlauf kleiner als sie am Oberlauf. Aber doch können wir beim Benzol ebenso ein Resultat wie beim Benzin, nicht mehr bekommen, das zeigt, daß Elektrifizierungskurven sich kreuzen. Aus Abb. 17 und Abb. 18 ergibt es sich, daß die Ladungen beim Benzol auf jeden Fall kleiner als sie beim Benzin sind.

3.3 Elektrifizierung B Schweröls bei Strömung in Eisenrohr

Wegen der niedrigeren Strömungsgeschwindigkeit 0.13—0.17 m/s konnten wir keine Ladungen an jedem Messungsteil erkennen. Wir können in Tabelle 2 den Umriß vom Versuchsresultat geben.

4. Diskussion

4.1 hydro-dynamische Bedingungen

Bei der Feststellung des Versuchsplanes zogen wir in Erwägung, daß die Theorie von Cooper (6) bei Strömung brennbarer Flüssigkeiten in Rohr im Sichtströmungsgebiet fast besteht, aber die Relation zwischen hydro-dynamischen Größen, besonders Reynoldsschen Zahlen im Turbulenzgebiet und der

Tabelle 2 Umriß über unseren Versuch auf Elektrifizierung strömender brennbarer Flüssigkeiten in Rohr

Zeichen : Strömungsrichtung,
× : Behälter Nr. 1 → Behälter Nr. 2
※ : 〃 Nr. 2 → 〃 Nr. 1,
( ) : Die Zahl in den Klammern zeigt die an Masse gelegten Häufigkeiten.
+ : verkäuflich **JISK 2205-Nr. 2-1**
‡ : Häufigkeiten der Ladungszunahme /Häufigkeiten der Messung

Arten der brennbarer Flüssigkeiten	Material Rohres	Durchmesser Rohres Innen-, mm	Durchmesser Rohres Außen-, mm	Länge Rohres cm	Luft-temperatur, °C	eine Elektrode auf dem Rohr jedes Mess-ungsteiles verwendet od. nicht	Strömungs-Geschwindigkeit, m/Sek.	relative Feuchtigkeit, %	Wahrscheinlichkeit der Ladungszunahme am ‡ Unterlauf	Bemerkungen
Verkäufliches 70 Oktan gafärbtes Benzin	Messing	12.6	16.2	246.7	11.5～18.5	nicht	0.98 ※	45～50	0/3	Der Ladungsunterschied zwis. den beiden Messungsteilen ist sehr klein.
							±0.04	67～87	4(2)/5	
							1.40 ×	48～57	3/4	
							±0.05	67～90	1/5	Bei der relativ. Feuchtigkeit, 67% sind die Ladungen größer als sie am Oberlauf.
	Eisen	13.0	15.8	246.6	17.0～17.5	nicht	1.03±0.03※	50～64	3(2)/4	
							1.29±0.05×	50～64	2(1)/5	
		7.5	9.8	214.5	18.0～29.5	nicht	2.09 ※	62～84	0/2	
							±0.05	66～95	0/11	
							3.98 ×	61～64	2/2	
							±0.05	67～92	9(2)/11	
		7.5	9.8	214.5	24.0～26.5	verwendet	2.03 ※	61～64	1(1)/4	
							±0.04	65～80	0/5	Die ladungen an jedem Messungsteil sind Null od. sehr klein.
							3.78 ×	61～63	2(2)/5	Sogar bei der relativ. Feuchtigkeit sind die Ladungen des an Masse gelegten Eisenrohres groß.
							±0.05	74～82	3/4	
Verkäufliches reines industrielles Benzol (**JISK 2401**)	Eisen	7.5	9.8	214.5	17.5～26.0	verwendet	1.16～1.50※	51～64	2/5	
							2.31～2.59×	51～64	1/2	
							1.50～1.70※	67～70	0/4	
				105.2	17.0～26.5	verwendet	1.43～1.88※	58～65	0/10	
					8.5～10.0		2.27～2.30※	47～52	1/6	
B Schweröl +	Eisen	7.5	9.8	105.2	4.5～10	verwendet	0.14～0.17※	53～62	0/6	Flüssigkeitstemperatur in einem Behälter=10～24°C Die Ladungen an jedem Messungsteil sind Null.

Elektrifizierung noch nicht unklar ist. Wegen Beschränkung auf einige Versuchsbedingungen waren die Reynoldssche Zahlen beim Versuch ungefähr 20,000—30,000. Deshalb denken wir, ist es nötig, daß ein Versuch für niedrigere Reynoldssche Zahlen weitergeführt wird.

4.2 auf keine Ladungszunahme am Unterlauf

Beim Beginn des Versuches haben wir vermutet wie folgt : wenn die am Oberlauf in Rohr entstandene freien Ladungen mit der Flüssigkeit nach dem Unterlauf flößen, würden sie am Unterlauf größer als sie am Oberlauf werden. Aber aus dem in 3. erwähnten Versuchsresultat ergab es sich jetzt, daß die Vermutung nicht so vollständig ist.

In der Diskussion bei der Frühlingssammelung von der Gesellschaft der angewandten Physik in Japan, die am 4. April 1959 in Tokyo stattfand, wurde eine Frage uns vorgelegt : in Bezug auf eine Möglichkeit das Zeichen auf dem Weg der Strömung in Rohr zu verändern, besonders dadurch, daß biegsames (weiches) Polyvinylchloridrohr zur Verbindung zwischen Behälter und Metallrohr, und zwischen Metallrohren verwendet wurde. Aber wir können auf die Fragen jetzt nicht antworten, weil unsere Apparatur kein elektrisches Zeichen, sondern nur absolute Ladungen bestimmen kann. Von bisher und neuest durchgeführten Forschungen können wir nicht denken, daß die Verwindung des Polyvinylchloridrohres irgend einen Einfluß auf die Veränderung des elektrischen Zeichens der strömenden Flüssigkeiten hat. Jetzt können wir darauf hinweisen, daß die in der Gegend von Innenrohrwand getrennte freien Ladungen (elektrisches Zeichen : positiv od. negativ) eine Möglichkeit haben, die freie Ladungen auf dem Weg der Strömung nach dem Unterlauf mit den in der Gegend von der Innenrohrwand zurückbleibenden Ladungen (negativ od. positiv) wieder zu verbinden, dessen Zeichen von ihm der freien Ladungen verschieden sein. Deswegen denken wir, daß das Daseinsverhältnis der in der Gegend von der Innenrohrwand zurückbleibenden Ladungen das Wiederverbindungsverhältnis entscheidet. Dabei denken wir auch, daß die zurückbleibenden Ladungen von relativer Feuchtigkeit in der Luft abhängig sind, deshalb bei höher relativer Feuchtigkeit sie größer in die Luft entweichen. Außerdem vermuten wir : bei größer Strömungsgeschwindigkeit ist die Entstehung der freien Ladungen zu groß, als daß die Entweichung der zurückbleibenden Ladungen von relativer Feuchtigkeit unabhängig ist. Nachdem die Ladungen einen Sättigungswert erreichen, wie schon in 3. 1. 2 erwähnt, beruht der Grund, daß sie bald abnimmt, darauf, daß die Strömungsgeschwindigkeit, also das Verhältnis der Ladungsentstehung, also sie um das Ende der Messung etwas abnimmt, weil der größte Teil von der Flüssigkeit von einem Behälter in den anderen Behälter hinein schon transportiert wird und dadurch der statische Wasserdruck gegen die Strömungsrichtung steigt.

4.3 verwendete Materialien, besonders Einfluß von Vermischung unreiner Substanzen in einer brennbaren Flüssigkeit

Auf der Innenrohrwand der beim Versuch verwendeten Eisen-und Messingrohren, können wir leicht mit dem bloßen Augen viel Rauheiten, besonders auf ihrer der Eisenrohren mehr Rauheiten mit Rosten sehen.

Wenn wir ein Metallrohr zum ersten Mal verwenden, wurde eine für das Versuch verwendete brennbare Flüssigkeit durch das Rohr einigemal vor dem Beginn der Messung fließen gelassen, um sie vor Einmischung der auf der Innenrohrwand vorhandenen fremdartigen Substanzen zu schützen, so gut wie möglich. Natürlich jeder Behälter hat einen Deckel, um die Flüssigkeit in ihm vor Staub zu schützen. Trotz solcher Waschbehandlungen werden Staub und Rost usw., die auf der Innenrohrwand noch ankleben, unter Umständen durch Strömung in die Flüssigkeit wohl eingemischt. Deshalb, weil den Staub gewöhnlich naturwissenschaftlich zu definieren sehr schwierig ist, haben wir einen Versuch auf einen Einfluß, der das in der Flüssigkeit eingemischten Metallpulver auf Elektrifizierung der

Flüssigkeit ausübt, durchgeführt. Dabei verwendeten wir als Metallpulver Aluminiumpulver und als Rohr ein biegsames Polyvinylchloridrohr. Ein oberer Behälter, der Benzin des ungefähr 10 Liters aufnimmt, ist auf einer höheren Bühne gesetzt. Das Benzin fließt vom oberen Behälter durch das Rohr in einem unteren Behälter hinein nieder und dann wurde die Ladungspotential des unteren Behälters vom elektrostatischen Voltmeter gemessen (Abb. 19).

Bei diesem Versuch waren die beiden Behälter elektrisch isoliert. Das Versuchsresultat ist in Abb. 20 gezeigt. Das, was Aluminiumpulver von 0.005g schwer ins Benzin vom Volumen 10 Liter hineinworfen und homogen gemischt war, im Vergleich mit dem, was es ins Benzin nicht eingemischt war, nahm die Ladung am unteren Behälter um ungefähr die Hälfte vom letztere ab. Im Fall, daß das Pulversgewicht 0.055g ist, im Vergleich mit dem Fall, daß es 0.005g ist, wurde das Ladungspotential im ersten Fall nur ein wenig kleiner als es im letzteren Fall. Von diesem Resultat können wir im Allgemeinen auf die durch Einmischung des Metallpulvers verursachte Abnahme der Ladungen vermuten wie folgt : die in der Flüssigkeit einmal getrennte freie Ladungen mit ihnen des Metallpulvers genug Möglichkeit haben, wieder zu verbinden, dessen Zeichen von ihm der freien Ladungen verschieden ist. Allerdings ist die Abnahmemenge der Ladungen abhängig von Metallpulversart.

Deshalb, weil das verwendete Benzin einen Farbstoff und ein Antiklopfmittel wie Tetraäthylblei enthält, auch das reine industrielle Benzol und B-Schweröl chemisch nicht rein sind, muß man Einflüße von nicht nur Metallpulvern od. Stauben, sondern auch in der Flüssigkeit vorhandenen anderen Substanzen, genau betrachten. Aber doch ist es sehr schwierig über Einflüße der Substanzen wie oben erwähnt, genau zu untersuchen.

4.4 von einem neuesten Bericht (7)

Kurz bevor wir im Begriff sind, einen Bericht über unser Studium zu schreiben, habe ich einen umfangeichen Bericht über die Elektrifizierungserscheinungen Erdöls erhalten, der in der 37. jährlichen Sammelung des Amerikanischen Erdöl Instituts (American Petroleum Institute) veröffentlicht wurde, die am 12. Nov. 1957 zu Chicago in U. S. A. stattfand.

Dem Bericht gemäß haben W. Bustin, et al. die elektrostatische Ladungen durch die Versuchsmethode wie in Abb. 21 gezeigt, gemessen. Als Öl wurde eine Art Erdöl, das JP-4 geheißen wird, und als Metallrohr ein Rohr vom Durchmesser 1/4 inch aus rostfreien Stahl verwendet. In der Abb. 21 werden SECTION 1, SECTION 2 und SECTION 3 isoliert. Der Versuch wurde hauptsächlich unter sehr größer Strömungsgeschwindigkeit 2.6—50 *feet/sec* (ungefähr 0.8—15*m/Sek.*) ausgeführt. Dabei wird das Zeichen des elektrischen Stroms in SECTION 1 meistens negativ, es in SECTION 2 meistens positiv und es in SECTION 3 gleicht dem, was die Summe der in SECTION 1 und SECTION 2 entstandenen elektrischen Stromswerte vom ganzen elektrischen Stromswert im Messungssystem subtrahiert wurde. Während die Flüssigkeit sich von SECTION 1 zu SECTION 2 versetzt, kehrte sich das elektrische Zeichen des elektrischen Stroms um. Bei niedriger Strömungsgeschwindigkeit 26.0—9.83 *feet/sec*, (ungefähr 0.8—2.95 *m/Sek.*) kehrte sich kein elektrisches Zeichen des elektrischen Stroms um.

Zum Schluß von diesem Versuchsresultat erreichten die amerikanischen Autoren ein experimentale Gleichung :

$$I=(TKV^{1.75})\left[1-\exp\left(-\frac{L}{TV}\right)\right] \quad \cdots\cdots (3)$$

Die Größen in der Gleichung (3) zeigen Folgendes :

I =der von einem Rohr entstandenen elektrifiziete Strom,

T=Zeitskonstante

K=Konstante, die vom Rohrdurchmesser und Zustand der Grenzschicht abhängig ist,

V=Stromungsgeschwindigkeit und

L=Länge eines Rohres

M型火災報知機の試作

中内俊作　広沢重男　高瀬晋一
渡辺彰夫　筒井勇次郎

（昭和34年10月1日受理）

要旨

本報告は火災報知機規格でM型火災報知機と定義されている型の火災報知機について，従来の製品より通信速度が早く，回路，機構が簡単で且つ高性能なものを試作すべく研究された結果の報告で，従来の型のものより優れていると思われる2種の型の試作機について述べられている。

一つの型のものは直流式のもので，他の一つはトランジスタ化された搬送式のものである。何れも通信速度は従来の製品の20倍以上に達する。

1．緒言

M型火災報知機というのは各発信機が発信時に各々その発信機に固有の信号を発するようにしておき，受信機側では発信機よりの信号を判読して動作した発信機の位置を知るようにした形式のものである。通常発信機番号に相応した数の点を発信し，受信機のさん孔機にあけられた点の数から発信機番号を知るようになつている。これに対して発信機は固有の信号をもたず各発信機毎に線路を分けておき，どの線路の発信機が動作したかによつて発信した発信機の位置を知る形式のものがある。これをP型火災報知機という。

従来M型は公設火災報知機に主として用いられ，P型は私設に用いられてきた。その理由は主として公設火災報知機のときは線路を長く，数10kmに亘つて設置するので，線路長の少なくてすむM型が有利であり，私設用の場合のように線路の短かいときは発信機，受信機の機構の簡単なP型の方が有利であつたからである。

従つて若しM型の発信機，受信機を従来のものより簡単化すれば公設私設を問わず，線路工事費と保守費用が少なくなるだけに，M型を使う方が有利になるわけである。

そこで筆者等は従来の火災報知機規格が改正されたのを機会に，どのように簡易な且つ確実性のたかいM型火災報知機を作れるかについて研究してみた。その結果従来の製品に比較して通信速度が早く回路も簡易化され，しかも線路障害に対しても従来のものより抵抗力のたかい製品を作り得る見通しを得たのでここに発表する次第である。

本研究は大別して二つに分けて行われている。第一の部分は私設用として適当と思われる直流式のものについて行われ，第二の部分は公設用として適当と思われる搬送式のものについて行われている。

私設用のものは当然発信機は火災感知器と連動しており，火災感知器の動作により発信を開始するようになつており，公設用のものは手動によつて動作を開始するようになつてつる。

これらについて第2章と第3章で夫々その基本方式，設計方法等につき述べる。

2．直流式M型火災報知機

本章では，搬送式でない直流式で，在来のA級受信盤や新らしく設計されるP型受信機等に代用するような簡易で保守の容易なM型火災報知機の回路，設計法，特長等について述べる。

本方式では発信機は手動によつても，又感知器と連動させて自動的にも発信させられるようになつている。

このような機種の設計は私設火災報知機の受信盤の機種を回線数（数回線から数100回線迄）に無関係に一つに定めることを可能にし，従つて見込生産を可能にし，更に外部配線が簡単になることから火災報知機全体のコストダウンにも役立ち得るであろう。

2. 1. 基本方式

回路は直流式とし，インパルスで信号を伝達し，さん孔機で記録する方式とする。

2. 1. 1. 外線路

建物内で利用することが多いと予想されることから接地を利用せずに2線式とする。

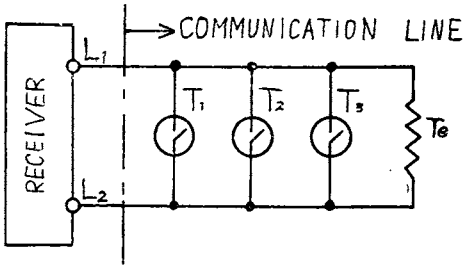


Fig. 1 Connection diagram of DC system (1)

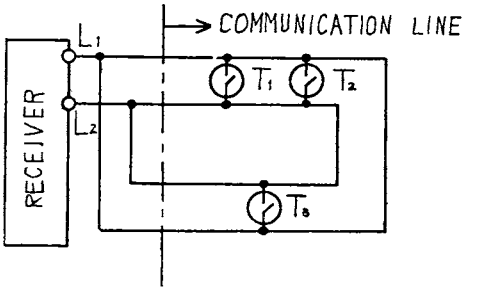


Fig. 2 Connection diagram of DC sysiem (2)

この場合，Fig. 1 のように二線の終端に抵抗を入れて断線監視の電流を流す方式と，Fig. 2 のように各線路をそれぞれループ状に張つて，各々に監視電流を流す方式とが考えられる。発信機はいずれの場合も L_1，L_2 間に並列に挿入される。

Fig. 1 および Fig. 2 で T_1，T_2，T_3は発信機を示す。

2. 1. 2. 記録方式

記録はさん孔機によつて行う。さん孔機はモーターで駆動されるものである。問題はさん孔機の動作開始と停止をどうして行うかである。

回路の断線或は短路事故によつて受信さん孔機が動作してはならないから，火災信号と，断線或は短絡事故とを区別する能力を受信機に与えておかなければならない。こうすることによつて同時に従来のA級受信盤の欠点の一つであつた短絡事故と火災信号の区別がつかないという点をも救うことが出来る。

そこで火災信号と断線事故或は短絡事故との相違点を考えてみるに，火災信号は連続したインパルスによつて行われるということである。

故にこの点を利用すれば火災信号と線路事故を区別してとり出すことが出来るわけである。その方法としては色々と考えられるであろうが，簡単で且つ確実な方法としては，次の方式を採用した。

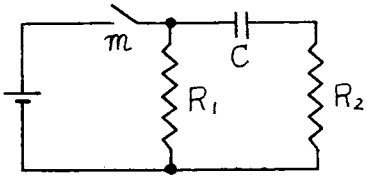


Fig. 3 Circuit for taking out AC component of successive impulses

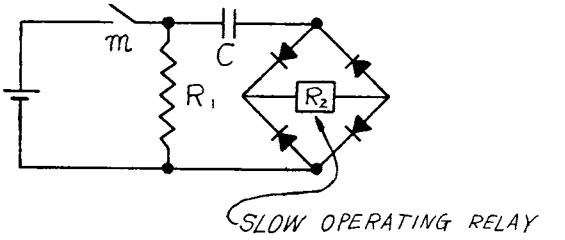


Fig. 4 Circuit for rectifying AC component of successive impulses

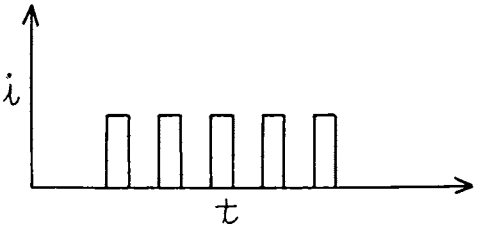


Fig. 5 Wave form of successive impulses

Fig. 3 で m は機械的に開閉して Fig. 5 のような連続したインパルスを発生させる接点である。

m 接点を動作させると R_1 にはインパルス電流が流れて Fig. 6(a) に示すような電圧波形が生ずる。今 C，R_1，R_2 回路の時定数を適当に選べば R_2 には

同様のインパルスを流し得る。その模様を図示すれば Fig. 6 (b) の通りである。即ち R_2 には R_1 に流れる信号電流の中の交流分だけが流れる。勿論 Fig. 7 のように変圧器で結合しても同じことが言える。

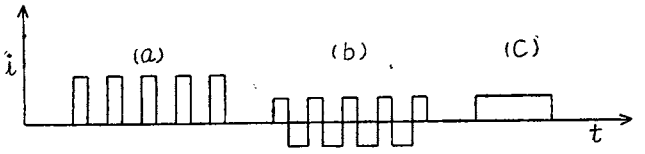


Fig. 6 Wave forms of current flowing through R_1 in Fig. 3 and Fig. 4(a), through R_2 in Fig. 3(b), and through R_2 in Fig. 4(c)

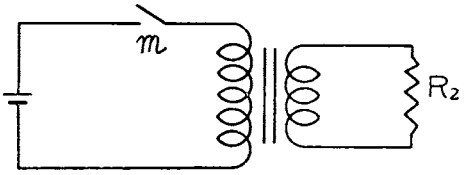


Fig. 7 Circuit for taking out AC component of impulses by transformer

この R_2 に流れるべき交流を Fig. 4 のようにブリッジで整流してやれば Fig. 6 (c) のような直流を得る。故に Fig. 4 のようにリレーを使えば交流分によつてのみリレーを動作させることが出来る。

以上の説明ではインパルスは無限に繰り返されているもの（パルス）として考え，過度現象にはふれなかつたが，有限のインパルスでもほぼ同様のことが言えるわけである。

さて Fig. 3 の R_1, C, R_2 で作られる回路は高域ろ波器を形成しているから，この時定数を適当に選べば低い周期のインパルスや単一インパルス或は直流等では動作せず特定の周波数以上の連続したインパルスのみに感じてリレー R_2 が動作するように出来る。但しリレーには適当な緩動リレーを使用し，或時間の間の平均した電力で動作するようにすることが必要である。

この方式は短絡事故と火災信号を区別するのに非常に簡単でよい方法だと考えられる。

さてこの方式によつて火災信号の発信を受信機において判別出来ることが分つたから，これによつて記録機の動作開始の問題は片づいたわけである。次の問題点は火災信号の終止を受信機側で判別する方法を如何にするかということである。

繰り返しインパルスは動作開始に使用したので動作停止は一定時間後に自動的に行うか，或は外線路に更に動作停止用の信号をのせてやるかである。この両者について考えてみよう。

先づ直流信号方式を考える。連続したインパルスによつて動作を開始した記録機を直流信号によつて停止する方法如何というわけであるが，これには二つの方法が考えられる。

第一は外線路にはこれの断線を監視するために常時電流が流れているが，この電流の有無によつて行う方法である。即ち火災信号発報中は断線状態としておき，発信が終了するともとの監視状態にするようにしておき，記録機は外線路の断線状態でだけ動作し得るようにしておく。

信号電流の時間変化を図示すると Fig. 8 のようになる。Fig. 8〜9 で i_0 は監視電流である。

この方法によると外線路が断線中に信号が送られてきた場合に記録機を停止出来ないという欠点を有する。

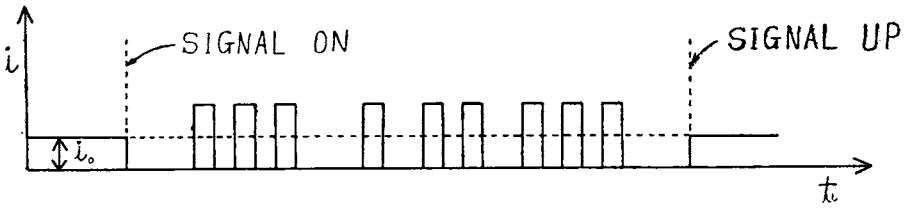


Fig. 8 Wave form of signal current which can stop recorder by its DC component (1)

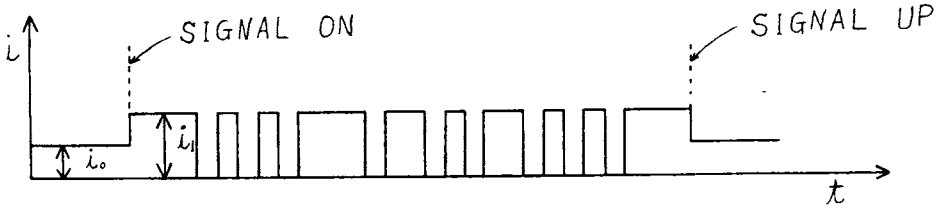


Fig. 9 Wave form of signal current which can stop recorder by its DC component (2)

そこで第二に考えられる方法は火災発報中は外線路を短絡状態にしておき，火災信号の終了とともに線路の電流がもとの監視状態に迄減少することによつて記録機を停止するという方法である。信号電流の時間変化を図示すると Fig. 9 のようになる。この方法は断線中に通信可能であることを要求している火災報知機規格を満足する。又短絡事故中は動作開始の信号インパルスが送られてこないから火災信号は受信出来ない欠点はあるが，その代りに記録機が動作しつぱなしという欠点はなくなる。従つて直流信号方式としてはこの第2の方法が実用性をもつている。

次に記録機の動作開始より一定時間後に自動的に記録機を停止する方法について考えよう。

この方法は発信所要時間がほぼ一定しているときに採用出来る。試作発信機の場合は約1.6秒以内で1回

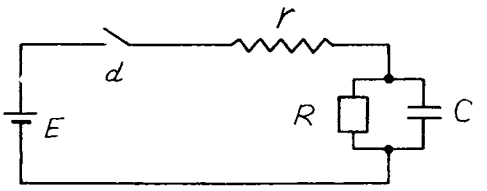


Fig. 10 Circuit diagram of quick-operating and slow-releasing relay

の発信が終了するので，発信開始後2.0～2.5秒位で記録機が自動的に停止するようにしておけば，信号途中で記録機が停止する危険は始んどなく，又2.5秒以内に次の信号が続いて起る可能性も先づ考えないでよいであろうから，この方法も実用性がある。

この方法を行うには適当な速動緩放リレーを用いてモーターの起動，停止を制御すればよい。

この方式は直流信号方式に比較してずつと回路は簡単である。結局試作ではこの方式を用いた。

速動緩放リレーとして試作機に採用した回路は Fig. 10 のとおりである。

Fig. 10 において接点dがついたときは r を通して C に充電電流が流れ，同時にリレーRにも電流が流れ始める。この時のこの回路の時定数は $C(Rr/R+r)$ で示される。今 $r \ll R$ に選んでおけば充電の時定数は殆んど $r \cdot C$ で定まる。

接点dが開くと C に充電された電流は R を通して放電する。この時の放電の時定数は $R \cdot C$ である。故に R と r の値を適当に選べば速動緩放に出来るわけである。

試作機では $r=200\Omega$, $R=2{,}000\Omega$, $C=100\mu F$, $E=24V$ に選んである。

これで動作時間は約0.05秒，開放時間は約0.5秒である。従つて最初の信号インパルスで d が閉じて後0.05秒で記録機は動作を開始し，最後の信号インパルスが終了して d が開いた後0.5秒で記録機は停止する。

2. 1. 3. 発信方式

発信はぜんまいで符号円板を回転させて機械的に接点を動作させる方式とする。この時の信号電流の形式としては記録機の動作停止方式により Fig. 8 又は Fig. 9 のようになる。

2. 2. 回路設計法

2. 2. 1. 主回路の設計

Fig. 11 に本火災報知機の主回路を示す。Fig. 11 においてAはインパルスリレーでトランスファー接点1組をもつている。T_1, T_2 は発信機である。

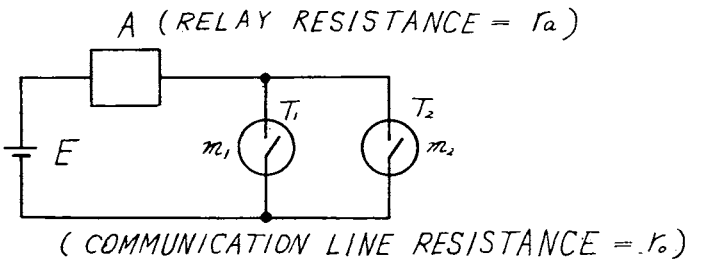


Fig. 11 Main circuit of signaling system

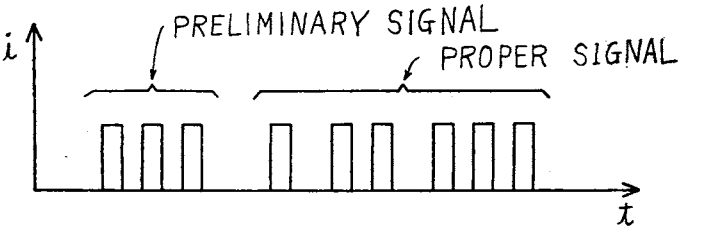


Fig. 12 Preliminary signal and proper signal

今発信機 T_2 が動作したとすると符号円板の回転に従つて Fig. 12 のような信号を発する。この信号電流に応じてAリレーが動作する。このようなインパルス応動をするAリレーが得られたとして受信機の主回路は Fig. 13 の通りである。

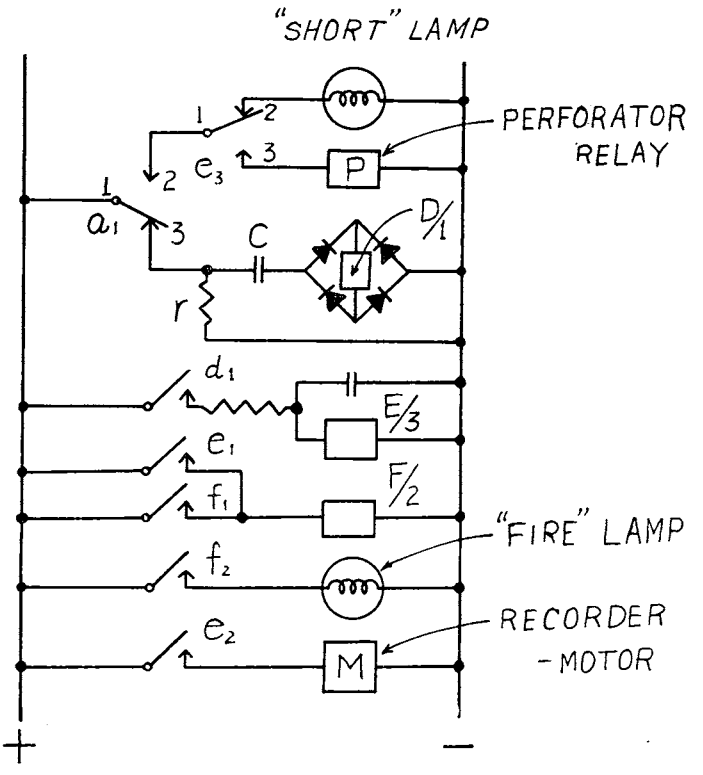


Fig. 13 Main circuit diagram of DC system

Fig. 13 の火災時の動作を示すと，先ず開始信号によつて a_1(1～3) が断続してDリレーに電流を流しDリレーが動作する。従つてEリレー，Fリレーも動作してさん孔機モーターMを動かし，同時にさん孔機リレーPを動作させる。この時，D，E，Fリレーに夫々適当な動作時間をもたせておくと，さん孔リレーの動作前にモーターが動作するようになり，又さん孔リレーは開始信号はうたずに固有信号によつてだけ動作するようになる。

Table 1

	Normal	Fire	short
a_1 (1 ～ 2)	b	m•b	m
a_1 (1 ～ 3)	m	m•b	b
e_1	b	m	b
e_2	b	m	b
e_3 (1 ～ 2)	m	b	m
e_3 (1 ～ 3)	b	m	b
f_1	b	m	b
f_2	b	m	b

Note : b, m and m•b mean respectively break, make and repetition of make and break.

各リレーの正常，火災，短絡時の各接点の動作状態を Table 1 に示す。Table 1 と Fig. 13 よりこの受信回路の動作は理解されよう。

次に Fig. 11 にあげたAリレーの設計方法について考えよう。

Aリレーはインパルスリレーであるから，インパルス応動の出来るリレーということで使用可能の範囲が定まる。かくしてAリレーの型がきまると次はその巻線抵抗を決定しなければならない。

Fig. 11 において外線抵抗 r_o は出来るだけ大きい方が実用上望ましいわけであるから，r_o を最大に出来るAリレーの抵抗値如何ということが設計の主眼となる。

今リレーの動作電力というものについてちよつと考えてみると，もしリレーの巻線のスペースファクターが線径に無関係に一定であり，且つ巻線は常に一定の容積を占めるだけの量を巻くとすると，リレーの動作に必要な電力は巻線抵抗の如何に拘らず一定となることが分る。従つてAリレーの型が定まると一般的に言つてその消費電力が定まるわけである。リレーの消費電力が定まると，後このリレーを使つて r_o を最大にするにはどうするかという所に問題がしぼられる。

こうなれば問題は簡単で外線抵抗＝リレー抵抗という条件を満たす所で r_o が最大ということになる。

そこで Fig. 11 の Aリレーの抵抗値 r_a を決定する設計式は(1)，(2)式であることが分る。

$$\left(\frac{E}{r_o+r_a}\right)^2 r_a \geq W_a \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

$$r_o = r_a \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

(1)式で W_a はAリレーの最低動作電力である。

今Aリレーとして富士通信機の151型リレーを使つたとすると，30∽/sec のインパルスに応動させるのに W_a として約0.35W を必要とするから，(1)，(2)より

電源電圧 $E=24$V のとき

$r_a \leq 411\Omega$

$E=12$V のとき

$r_a \leq 103\Omega$ となる。

従つて 24V 電源なら 411Ω 前後のリレー抵抗を選ぶ

と許容外線抵抗は最大となつて約411Ω迄とれるし，12V電源ならリレー抵抗を103Ωに選ぶのが一番よく，この時の許容外線抵抗は約103Ωということになる。

他のFig. 13のD, E, Fリレーについて簡単に説明すると，D, Fは銅管を使つた通常の緩動リレーならよく，Eリレーは2.1.2で述べた要領でその巻線抵抗を算出すればよい。

2.2.2 断線時の通報回路

2.2.1で述べたのは主回路に関する設計法であるが，Fig. 11及びFig. 13の回路は外線路の正常状態で，火災と短絡の表示が出来るが，外線の断線時には図示の回路のまゝでは火災通報が出来ない。それでは規格を満足しないからこの回路を如何に変形して断線時の通報を可能ならしめるか，又断線表示をするかについて本節で述べる。

断線中に通報出来るようにするにはFig. 2のように外線をループ状に張らねばならない。しかしこのまゝでは外線の断線を監視できないから結局Fig. 14のようにする。

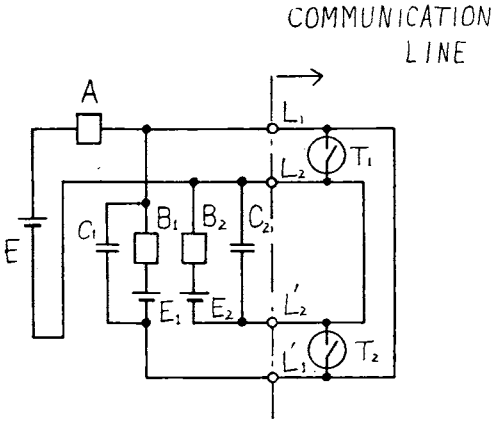


Fig. 14 Connection diagram of impulse relay A and line break alarm relay B

Fig. 14のように各線路に断線リレーと電源（B_1, B_2, E_1, E_2）をもたせるわけである。

断線リレーに通常の水平型リレーを用いると，大体その所要動作電力は0.03〜0.05W位であるから，今外線の抵抗値r_oとBリレーの抵抗値r_bが前にAリレーの抵抗を算出したときと同じ方法で算出される。

例えば$r_o=400\Omega$とすると，$r_b=400\Omega$のときE_1の所要電圧が最小になつて約9Vとなる。$r_o=100\Omega$とすると，$r_b=100\Omega$のとき$E_1=4.5$Vとなる。但し$E_1=E_2$である。

Fig. 14においてC_1, C_2は信号インパルスに対してBリレーが高いインピーダンスを呈しないためのものである。

2.3 発信機

2.3.1 符号の割当

今1〜6の数字を使用し，1〜4桁の数の組合せを作つたとして，符号を割当てられるスペースの数と作り得る組合せの数を表にするとTable 2の通りになる。

Table 2

Number of spaces	Maximum number of combination				
	1Figure	2Figures	3Figures	4Figures	Total
10	6	30	56	35	127
11	6	33	81	56	176
12	6	35	108	126	275
13	6	36	135	206	383
14	6	36	160	310	512
15	6	36	181	435	658
16	6	36	196	575	813
17	6	36	206	721	969
18	6	36	212	861	1,115
19	6	36	215	936	1,243
20	6	36	216	1,090	1,348
21	6	36	216	1,170	1,428
22	6	36	216	1,226	1,484
23	6	36	216	1,261	1,519
24	6	36	216	1,281	1,539
25	6	36	216	1,291	1,549
26	6	36	216	1,295	1,553
27	6	36	216	1,296	1,554

Table 2にみられる通り1〜6の数を使い，1〜4桁の数を使用するという条件下では或る程度以上スペースを増しても組合せ数は増加しない。スペースが27で組合せ数は限界の1554に達する。

今150回線まで収容出来るようにしようとすると，スペースは11，200回線迄とすると12必要である。固有信号用にスペースを12ケとると，2回固有信号を繰り返すとして全スペースの数は40ケ必要となる。その割当てをFig. 15に示す。

Fig. 15の符号を1.5秒で送るとすると，その通信速度は40÷1.5≒27インパルス/秒となる。

2.3.2 発信機回路

発信機回路の内部結線はFig. 16に示す通りである。

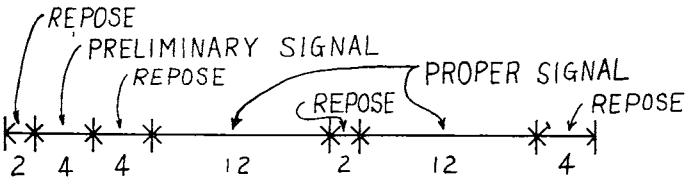


Fig. 15 Space allocation of signals around code signal wheel

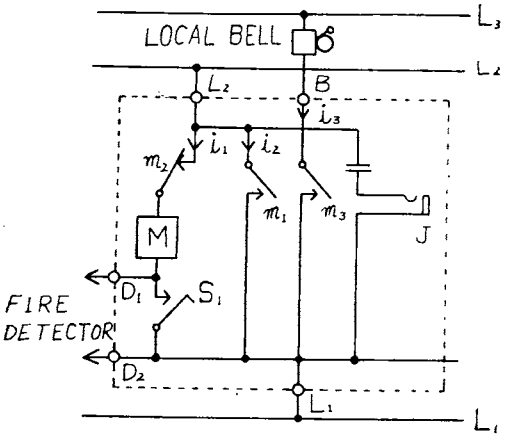


Fig. 16 Circuit diagram of transmitter showing connection methods with fire detectors, communication lines and local bells

Fig. 16 で点線内が発信機である。Mは発信機の符号円板の停止レバーをはずしてこれを回転させるためのマグネットの巻線を示す。このMは感知器によつて D_1、D_2 端子が短絡されたとき又は手動により押ボタン接点 S_1 が閉じられたときに動作する。

Mの動作によつて符合円板が回転を始めると直ちにカムによつて接点 m_2 が開かれてMへの電流は断たれる。

その後接点 m_1 が符号円板によつて断続して信号を L_1～L_2 ラインに送出する。

符号円板の回転終期に m_3 接点が閉じて地区ベルを鳴らす。

Jは電話ジャックである。

i_1, i_2, i_3 の時間的関係を Fig. 17に示す。

Fig. 17 で斜線の部分が電流の流れている時期を示す。

i_1, i_2 は L_1～L_2 間に流れ, i_3 は L_1～L_3 間に流れる。

2・4 記 録 機（さん孔機）

記録機（さん孔機）で重要なのは動力源であるのでこれについて簡単に述べる。

動力源にはスタートの早い小型モーターを使う。

さん孔機の紙送り速度は 30cm/sec である。

従つて 30インパルス/秒 の速さでさん孔して、穴の間隔は 1 cm となる。試作機には 日本マイクロモーター製の型名 CLS−3B−300 というモーターを使用した。12V, 1 W の消費電力で, 機械出力は約 0.5W である。停止状態から全速回転に達する迄の所要時間は 1/20秒である。

2. 5 特 長

本章に述べた方式が在来のA級に比して優れていると思われる点について述べる。

（1） 短絡事故を火災信号と区別して表示出来る。従つて短絡事故によつて誤報を発することがない。

（2） 断線事故中でも, それが 1 ケ所の断線なら, 火災信号の送受信が出来る。

（3） 外部配線が簡単になり, 従つて配線費が節減され配線の事故も減少し, 保守も容易になる。

（4） 受信機の所要継電器数を在来の 5 回線用のA級受信盤程度に出来るから, 回線数の多い所では継電器の数をA級に比して減少させることが出来る。

（5） 収容回線の 多少に拘らず（1～200回線位）受信機は同一でよいから, 見込生産が可能である。

（6） 建物の都合で（増築等で）回線数を設備後に増設する場合も受信機に何等手を加える必要がない。

（7） 動作の記録が残るので便利なこともある。

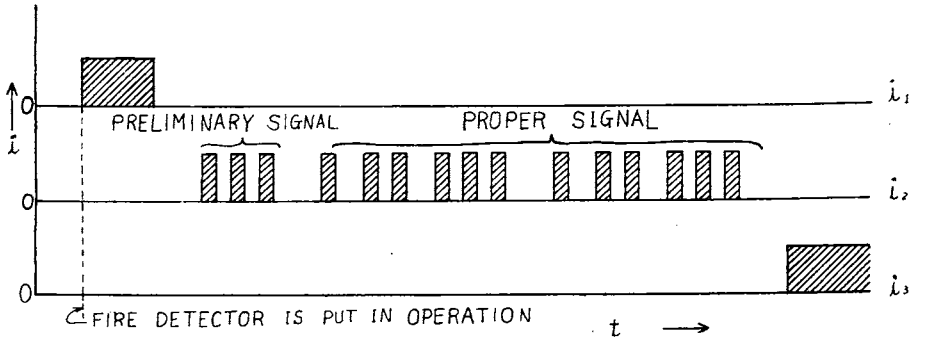


Fig. 17 Wave−forms of current at various points in transmitter circuit

3. 搬送式M型火災報知機

本章では公設用として適当と思われる搬送式火災報知機について報告する。

本方式は在来の直流式M型火災報知機に比してS/N比をよくすることが出来るために増巾が可能であり，従つて線路障害に対する抵抗力を高く出来るし，又通報速度を早くしているので遂次報知方式を採用する必要がなく従つてリレー回路も簡単になる長所をもつものである。

3. 1. 基本方式

受信機側に搬送波電源をおき，これによつて外線路につねに搬送波電流を供給しておき，発信時には発信機点で接地をしてそのために生ずる外線路の搬送波レベルの変動を受信機側で検出して信号を受ける方式とする。

3. 1. 1. 搬送波電源

各発信機に搬送波電源をもたせることは，搬送周波数の安定化とか直流電源の点で簡単に出来ない。そこで各発信機に搬送波電源をもたせることは製作費の点から好ましくないと考え，受信機側に1個の搬送波電源をもたせることとした。このようにすれば，所要発振器は一つでよいから比較的高級な電源にしても報知機全体のコストにあまりひびかないので，設計，製作が容易である。

試作の発振器は1,000∽の音叉発振器で周波数を安定化した3,000∽のトランジスタ発振器である。

3. 1. 2. 外線路

外線路は断線中の発信受信を可能とするために，ループ状とし，線間短絡の影響をさけるために1線一大地間で通信を行うものとする。

3. 1. 3. 記録方式

記録方式はさん孔式とする。使用するさん孔機は第2章のものと同じである。又記録機の起動停止方式も第2章のものと同じである。

3. 1. 4. 発信機

発信機には搬送電源をもたせないから，単に固有番号を送る符号円板と簡単な一次のLCフィルタをもつだけの簡単なものである。発信機の起動は手動で行われ，動力はぜんまいによることとする。

但し一本の線路に多数の回線を収容したいときは収容数に応じて適当な次数のフィルタが必要である。

3. 1. 5. 受信機

受信機には外線路に搬送波を送り出す搬送波電源部と，外線の搬送波レベルの変動を検出してインパルスリレーを動作させる受信部とからなる。

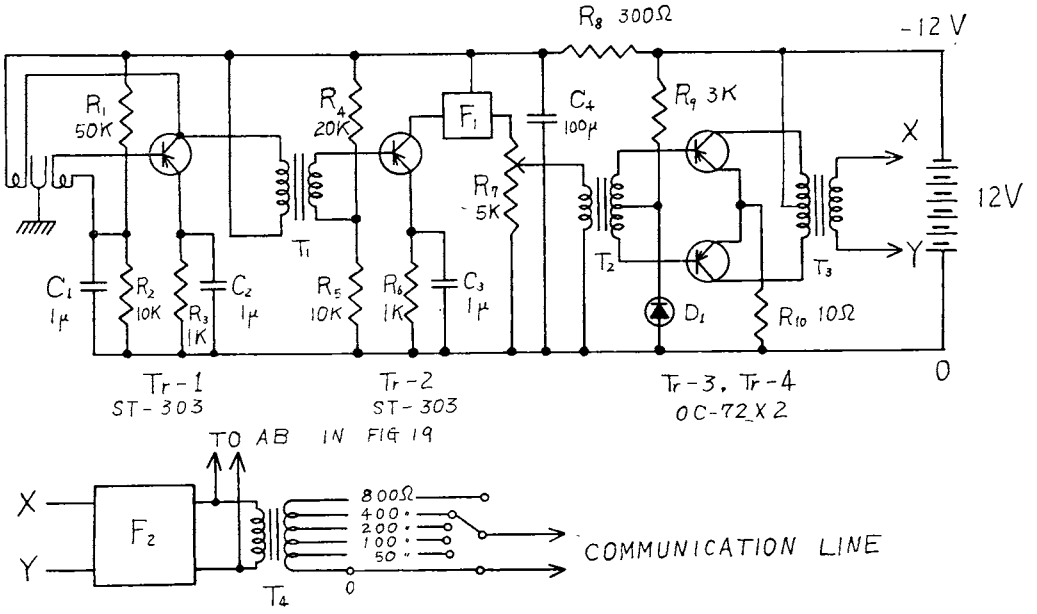


Fig. 18 Circuit diagram of carrier oscillator

3. 2. 設　計　法

受信機の機構と記録機については第2章で既述したから，こゝでは主として受信機の設計法について述べる。

3. 2. 1　受　信　機

3. 2. 1. 1.　搬送波電源

搬送波電源としては音叉発振器により周波数を安定化したトランジスタ発振器を用いる。

回路図を Fig. 18 にあげる。

Fig. 18においてF₁，F₂はフィルタ，Trはトランジスタである。

Tr－1は音叉発振器と組合せられて 1000∿ の交流を発生する。この音叉発振器は3V以上のコレクタ電圧で安定に動作する。電源電圧を3～12Vの範囲で変化しても周波数の変動は数サイクル以下である。試作器の場合 $R_8 \cdot C_4$ のディカップリング回路を通して10Vが供給されている。

Tr－2は1000∿で励振されて，3次の高周波3000∿をコレクタ側から取り出す回路である。従つてコレクタ側には3000∿の帯域フィルタ F_1 が入つている。Tr－1の発振が強勢であるから3000∿の相当強力な電流を得ることは容易である。コレクタ側に入るF_1は2次の2dbリップルのチェビシエフ特性のフィルタである。壺型のフェライトコアを使用したコイルを使つて作つて挿入損失は約2dbである。

Tr－3，Tr－4はOC72×2のB級プッシュプル増巾器である。この回路の D_1 はバイアス安定用のダイオードでナショナルのMA－23を使用している。

F_2 フィルタは2次のバタワース特性をもつたフィルタである。しかしチェビシェフ特性のものを使用しても勿論差し支えない。但しこの時は偶数次であるからフィルタの入力抵抗と出力抵抗は一致しないのでこの点注意を要する。OC72×2のC－C間の負荷抵抗としては1～1.5kΩ位が適当である。

Fig. 18の回路で1.5kΩの負荷にとり出し得る最大出力は200mWである。OC72×2のB級で周囲温度25°Cのとき許容最大出力は500mWとなつているが，Fig. 18の回路では励振電力が足りないので200mWとなつているのである。

周囲温度が25°Cより高くなれば許容最大出力は500mWより減ずるから，実用機ではこの点も注意して設計しなければならない。

F_2 フィルタと出力変成器の損失を差し引くと，Fig. 18の最大出力は約100mW（20dbm）である。

出力変成器には各種のタップが出ているが，これは外線の線路長とか使用電線種類，架設方法等によつて外線のインピーダンスが異なるために，それに応じ得るようにしたのである。

出力点で測定した本発振器の歪率は，10dbmの出力レベルで0.5%である。

3. 2. 1. 2.　受　信　部（1）

本節では外線の搬送波レベルの変動を検出して，インパルスリレーを動作させる迄の受信部について述べ

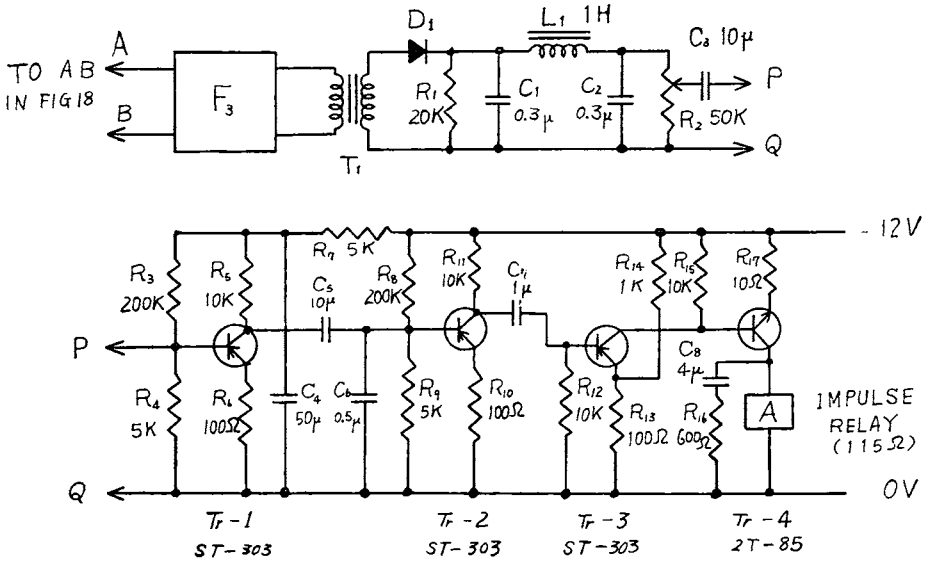


Fig. 19　Main circuit diagram of carrier system receiver (part 1)

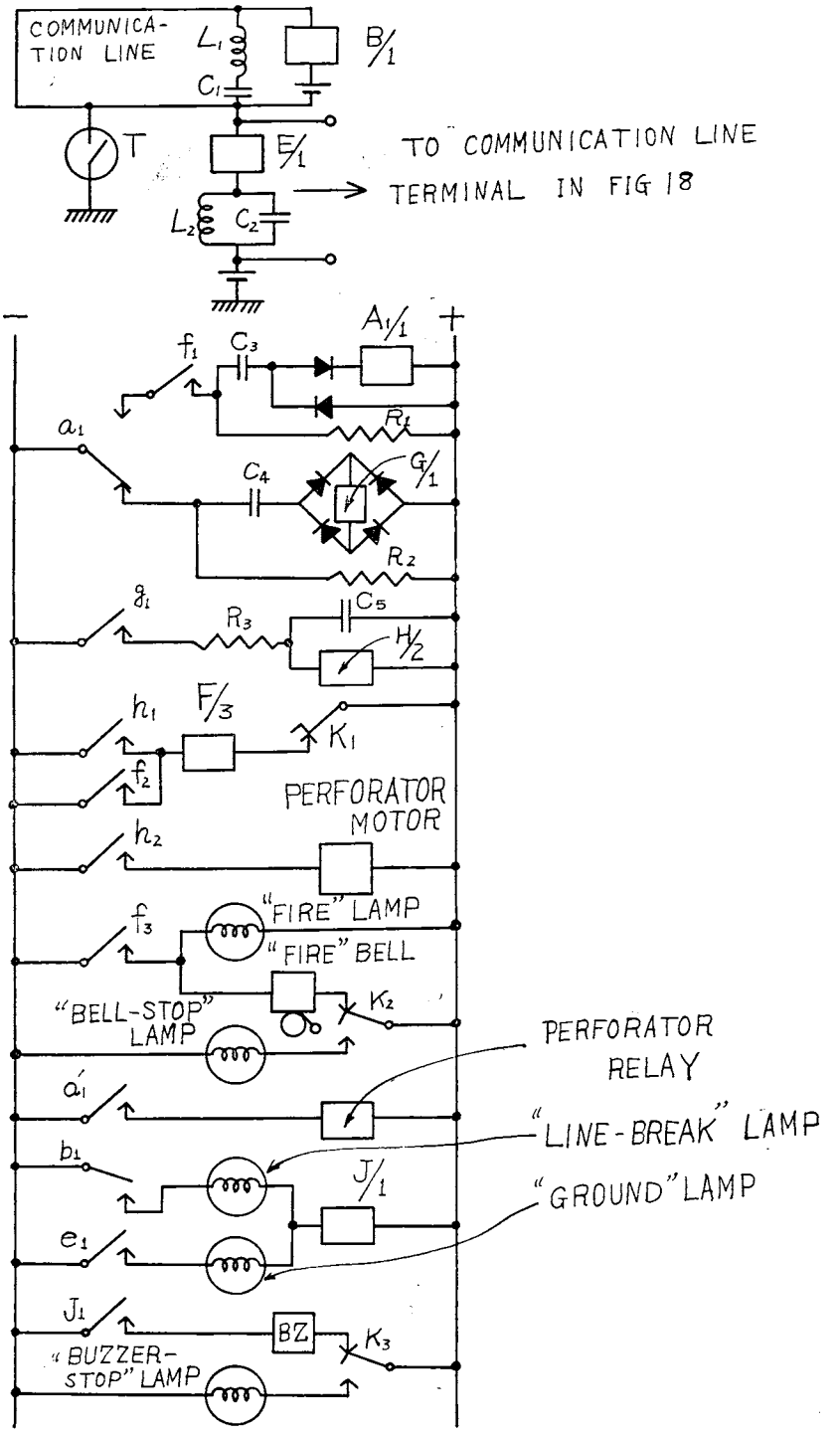


Fig. 20 Main circuit diagram of carrier system receiver (part 2)

る。インパルスリレー以後のリレー回路については，3．2．1．3 で述べる。

受信部の結線はFig. 19の通りである。

Fig. 19においてF₃は3000～の帯域フィルタである。試作品では3次の 2db リップル，B＝400～のチェビシェフ特性のものを用いた。このフィルタは交流50～の誘導，或は電話線よりの誘導等の妨害及び一つの外線に数系統の信号をのせる場合の隣接信号の排除等の目的で入れるのでなるべく急峻な Skirt selectivity をとりたいためにチェビシェフ特性のフィルタにしたのである。Skirt selectivity は殆んど理論値通りになるが，通過帯域の特性は素子の損失のために理論値通りにならなかつた。しかしながらあらかじめ帯域を比較的大きくしておいたので実用上差し支えなかつた。

F_3を通つてT_1の二次側に誘起された3000～の搬送波はD_1によつて整流され，L_1，C_1，C_2で作られる低域フィルタを通つてからR_2に流れる。若し外線のレベルに変動がなければR_2に流れる電流値も変動しないが，外線のレベルが変動するとR_2の直流値もそれに伴つて変動し，C_3を通して Tr－1に供給される。かくして低周波のインパルスだけが Tr－1 に入るわけである。Tr－1の入口での雑音レベルは試作機の場合発振器の出力レベルが 10dbm のとき約 －42dbm である。この雑音の大半は低い周波数のもので発振器のトランジスタから出て来るものと思われる。

Tr－1に入つた信号は Tr－2で増巾されて，Tr－3に入る。Tr－3は C級増巾器で，R_{13}，R_{14}によつてバイアスを得ている。このバイアスによつて前記の雑音はカットされる。

Tr－4はTr－3に直結されたNPN型のトランジスタで，B級で動作しておりインパルスリレーAを駆動する。

Fig. 19の受信機で試作機の場合600Ω線路に10dbmの電力を供給した場合通信可能な最大許容線路損失は15dbであつた。

なおFig. 18の発振器と Fig. 19の受信機の電源を共通にする場合には Fig. 19 の電源入力の所に充分大きいディカップリング回路を付加しないと，電源の内部インピーダンスの高い場合に発振を起して受信が不可能となる。

3．2．1．3．　受　信　部（2）

前節のインパルスリレーAが信号に応じて動作した後の受信機のリレー回路について本節で述べる。

全回路をFig. 20に示す。

Fig. 20でTは発信機である。

Bは外線の断線監視リレー，Eは接地監視リレーである。

Aリレーが動作して後さん孔機を起動させ記録した後これを停止させる迄の回路は第2章の直流式のものと殆んど同じであるから説明を略す。特に直流式のものと異なつているのはインパルス波形の整形を目的として，A′リレー回路が付加されている点だけである。A′リレーの回路があると，受信したインパルスの巾が多少変動しても常に同一のインパルスがさん孔リレーに送られるようになる。

3．3．　特　　長

本節では搬送式が従来のものより優れていると思われる点を二，三あげておく。

（1）線路障害に対する抵抗力が高い。この点について全長 30km の実線路で試験した結果，線路の接地抵抗が100Ω程度に低下しても十分通報可能であつた。

（2）通報速度が早い。一回の通報に要する時間は1.5秒位で従来のものより約20倍位早く通報する。

（3）継電器回路が簡易化されている。

（4）強電線と混触した場合も障害を受け難い。

（5）低い電源電圧で長距離の通信が可能である。

4．結　　び

本報告はM型火災報知機として考えられる二つの型の試作機について報告したわけであるが，これらのものは商品化するのにまだ幾多の問題を含んでいるとしても，とにかく在来のものより一歩進んだ試作品が出来上つたと考えてよいものであろう。M型としてはまだまだこれらのものより更に進んだものが考え得られるであろうが，この報告がそのような進歩した機器を産みだす基礎となれば幸である。

終りに本試作品の実線路試験に多大の御援助を給わつた東京消防庁永幡通信課長と，豊島消防署の署長始め署員の方々及び東京報知機株式会社の技術部の方々に深く謝意を表するものであります。

New Type Fire Signaling Systems operating with Coded Signals

By

S. NAKAUCHI S. HIROSAWA S. TAKASE
A. WATANABE Y. TSUTSUI

(Received October 1, 1959)

The following is a report on the trial manufacture of new fire signaling devices based on two systems i. e. direct current and carrier systems.

Both of these two kinds of fire signaling devices possess excellent signaling speeds when compared with those heretofore in use, and can transmit one coded-signal two times in succession within such a short duration as 1.2 seconds. Furthermore, the new devices can handle approximately 100 or more combinations of signal codes. In the first place, the direct current system device is explained hereunder.

This fire signaling system consists of a transmitter, receiver, and communication line connecting the said transmitter and receiver together, whereby a signal is sent by direct current impulses.

The transmitter is actuated either manually or automatically by a fire detector. When actuated, a code-signal wheel begins to rotate by energy stored in a mechanical spring, and makes and breaks a signal contact, and thus sends out signal impulses shown in Fig. 12 into the communication line.

The connection diagram of the receiver which receives these signals and records them on a paper tape by a perforator is shown in Fig. 13.

In Fig. 13 $\underline{a_1}$ denotes a transfer contact of the impulse relay which opens and closes in response to signal impulses.

When $\underline{a_1}$ repeats "make" and "break" in response to successively incoming impulses, direct current flows through D relay. Therefore, the arrival of the preliminary signal as shown in Fig. 12 causes the relay to work, i. e., close the contact $\underline{d_1}$. This contact closing, E relay actually works, and also relay contact $\underline{e_2}$ closes, so that the motor of the perforator starts. At the same time, F relay is caused to operate by $\underline{e_1}$ contact, and a fire lamp is lighted by $\underline{f_2}$ contact and the circuit of the perforator relay P is closed by $\underline{e_3}$ contact. Thus a proper signal such as shown in Fig. 12 actuates the relay P so that it makes a record of the reference number of the transmitter on a recording tape. About the time the record is finished, slow releasing relay E is opened and the action of the perforator is interrupted. The rate of supply of the recording tape is approximately 30 cm/sec.

When the line is short-circuited, only a single impulse (as distinguished from successive impulses) flows in relay D, so that neither relay D nor relay E works with the result that "short" is indicated by lamp, since 1~2 of $\underline{a_1}$ contact and 1~2 of $\underline{e_3}$ contact are closed.

As shown in Fig. 2 the communication line of each side is installed in a loop respectively and transmitters are inserted between the said line, so that the communication is possible if the line of any side is disconnected at any one point. The impulse relay A and supervisory relays B_1 and B_2 are inserted as shown in Fig. 14 ; the former relay has the contact $\underline{a_1}$ and receives the coded signals, and each of the latter relay makes it possible to produce a line disconnection alarm.

The above is an outline of the operation of the new type direct current fire signaling device. Its signaling speed is about 20 times greater as compared with other signaling devices. The signaling speed is so high that there is scarecely any chance such as one transmitter sends out signals while

another is sending out signals, with the result that the probability of interference happening is minimized although the new device is not the non-interference type. Therefore, the number of relays employed in this new device is decreased to about 1/5 of non-interference type fire signaling devices ordinarily in use up to now.

This new type device is suitable for proprietary use, since in such a case the length of the line necessary is shortened to a considerable extent.

Secondaly, the carrier current system device is explained.

This is a device which is manufactured from the above-mentioned direct current system ; namely, direct current system is modified into carrier current system so as to be suitable for municipal use which requires long distance communication.

A transistorized carrier oscillator in Fig. 18 is incorporated in the receiver, so that carrier current is constantly flowing in the communication line. When the transmitter works, the communication line is grounded by a signal contact which is operated by a signal code wheel, whereby impedance of the communication line is varied, and the carrier level on the terminal of receiver is also varied. The transistorized detector shown in Fig. 19 detects the variation in the carrier level, and actuates impulse relay A in response to signal impulses sent from the transmitter.

The circuit required for actuation of the perforator relay by the operation of the said impulse relay A is shown in Fig. 20. The principle of operation in this case is almost the same as in the case of direct current system.

As mentioned above, since the transmitter is not equipped with a source of carrier current, its mechanism is very simple.

A field test was carried out with 30 km-distance-communicating line, which test proved that signals were surely transmitted through the line, without being affected either by the disconnection or by the grounding of any point in the line.

消防研究所報告　　通巻20号

昭和35年3月印刷

編集
発行　　国家消防本部消防研究所

三鷹市新川700

電話(022)③6188・(022)③5213