

油タンクの帯電に関する2, 3の実験について(第2報)

(油中探極径とイオン移動度の関係)

藤 井 求 鳥 取 孝 太 郎

On a Few Experiments of Charged Oil Tank. (part-2) Relation between Ion Mobility of Charged Oil and Electrical Probe Inserted in the Oil Tank.

Motomu FUJII and Kotaro TOTTORI

It is well common that oil was charged by circulation through pumping.

The charge decay of oil was mesured by inserting an electrical probe into the oil.

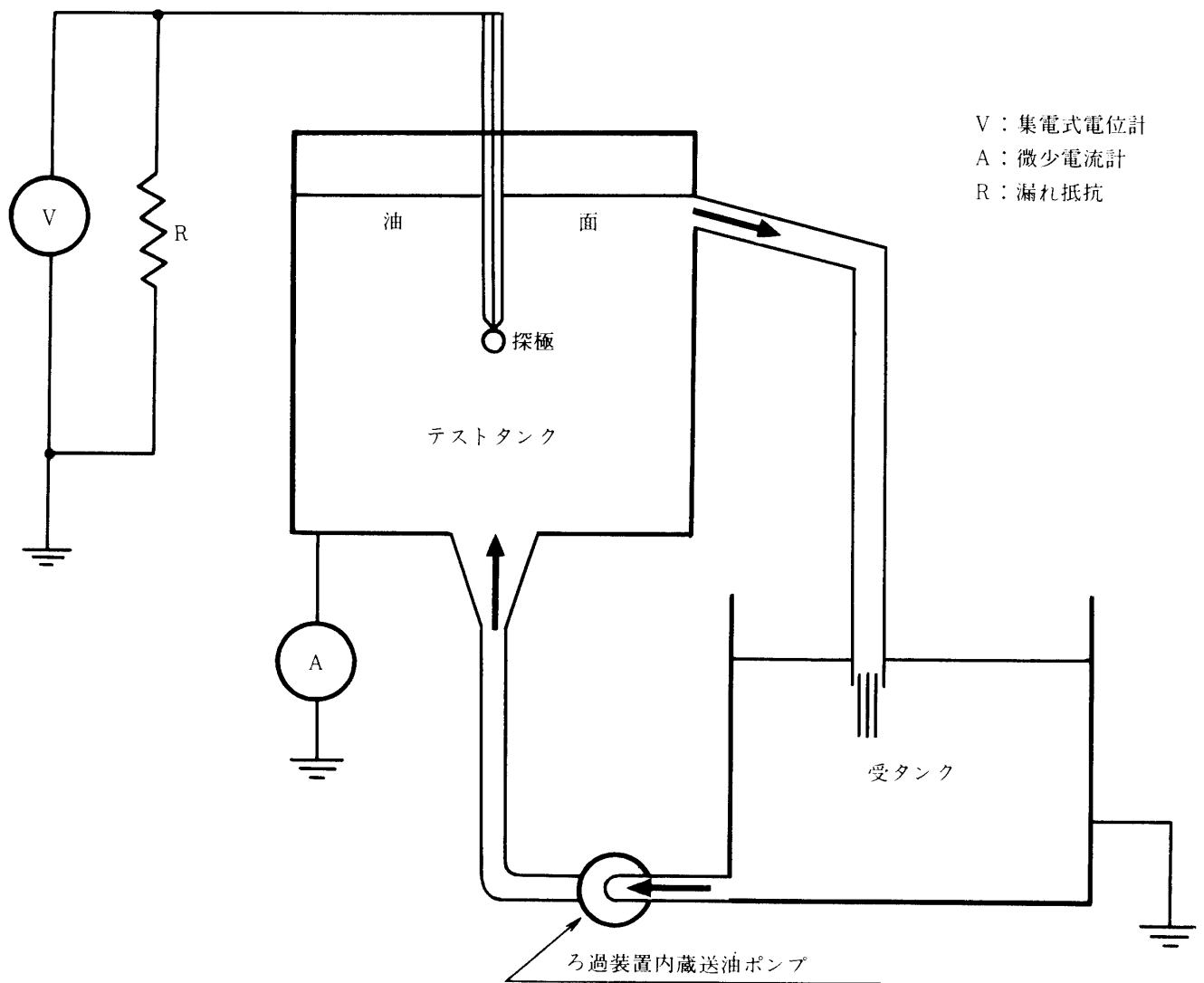
A linear proportional tendency between the diameter of electrical probe and the ion mobility was found and the relation was explained in this paper.

1 ま え が き

絶縁性液体（以下油と略称する）を流動すると流動電流が発生する。筆者らは油の帯電機構を究明するために従来円筒形タンクに球探極をそう入し、その発生電位と流動電流を測定してきた^{1),2)}。帯電状態にある油の電荷密度と導電率はタンク中にそう入された球探極による電位分布の実測値から求められ³⁾、またこれらは送油を停止した場合の探極電位の減衰過程とタンクへの流入電流を測定することによっても求められる⁴⁾。前報⁵⁾では油タンクを1つの流動電源と考え、針対平板間隙の放電特性から探極周辺の帯電現象について調べた。循環送油によって帯電状態となった油タンクの送油を停止すると、時間とともに電荷は減衰して消滅する。この電荷の減衰過程は Bustin 氏⁶⁾ らによってイオン移動度が考慮され、体積固有抵抗がほぼ $10^{12}[\Omega\text{m}]$ 以上の油については双曲線的減衰をすると報告されているが、今回はこの新理論を実験的に確認し、さらに電荷の消滅時間がタンク中同一位置で、使用する探極の径によって異なることから、帯電時の真のイオン移動度が求められる傾向⁷⁾ が認められ得るのでその成果を一応報告する。

2 実験装置および実験方法

第1図に示すような測定装置で、フィルタ内蔵の送油ポンプによって油を循環送油する。タンクは40cm×40cmの大きさの円筒形接地タンクで油面はタンク底面より35cm一定となる。油タンクの電位が定常状態（送油開始してから約1時間後）になってから測定を開始する。電位測定にはすべて球探極を用い、探極に生じた電位をテフロンによって十分絶縁された金属製測定板(アルミ



第1図 測定装置

製厚み 1 mm, 25cm×25cm) に P E 絶縁電線でリードし, 集電式電位計 (春日電機製) で測定する。タンク接地電流は高感度微小電流計 (東亜電波製) にて測定し, 電位減衰の測定には集電式電位計の記録端子に記録計 (菊水電子製) を接続する。なお試料油にはトランス油を使用し, 電位測定用の球探極は 12mmφ, 18mmφ, 24mmφ, 37mmφ の 4 つを使用した。

3 測定結果および考察

3-1 帯電油の電荷の減衰

第1図の測定装置で送油ポンプによって油を循環送油すると, 探極電位 v は時間とともに(1)式に従って上昇し, 一定値 (定常状態) となる⁸⁾。

$$v' = v_{\infty} \left\{ 1 + \frac{1}{\frac{1}{C'R_0} - \frac{1}{\epsilon\rho}} \left(\frac{e^{-t/C'R_0}}{\epsilon\rho} - \frac{e^{-t/\epsilon\rho}}{C'R_0} \right) \right\} \quad \dots\dots(1)$$

$$\text{ここに } v_{\infty} = p\epsilon\rho I/r \quad \frac{1}{R_0} = \frac{1}{R} + \frac{1}{r}$$

ただし p : 探極位置による定数 C' : 探極系の静電容量
 ϵ : 油の誘電率 R' : 漏れ抵抗
 ρ : 油の抵抗率 r : 探極係数
 I : 流入電流

そこで電位が完全に定常状態になってからポンプを停止すると、テストタンク中の電荷は時間とともに減少していく。電荷の減衰はタンク中にそう入された球探極の示す電位減衰に比例するから、探極電位の経時過程を測定すれば一応電荷減衰の過程を知ることができるであろう。

そこで Bustin 氏らの理論を筆者らの実験の油タンクに適要し、解析にあたり次の仮定を行う。

- (1) 帯電油中には 1 種類の正負イオンが存在し、等量ではない。
- (2) 電荷の減衰は拡散や対流、再結合を無視し、静電力のみによる。
- (3) イオン移動度を μ とし、これは一定である。

いま帯電油中、任意の体積 V を考え、その面積を A とする。 V の総合電荷は

$$\int (q^+ - q^-) dV \quad \dots\dots(2)$$

V から出る電流は

$$-\frac{\partial}{\partial t} \int_V (q^+ - q^-) dV = \int_A \mathbf{J} \cdot d\mathbf{A} = \int_V \text{div} \mathbf{J} dV = \int_V \nabla \cdot \mathbf{J} dV \quad \dots\dots(3)$$

ここに \mathbf{J} は面積 A の表面から出る電流密度ベクトルである。

タンク中の電界を \mathbf{E} とし電荷の平均速度を \mathbf{v} とすると $\mathbf{v} = \mu \mathbf{E}$ なる関係が成立し、比例定数 μ はイオン移動度である。

$$\mathbf{J} = \mu \times \mathbf{E} \times (q^+ + q^-) = \mu (q^+ + q^-) \mathbf{E} = \kappa \mathbf{E} = \frac{1}{\rho} \mathbf{E} \quad \dots\dots(4)$$

(2), (3), (4) 式から (5) 式が得られる。

$$-\frac{\partial}{\partial t} (q^+ - q^-) = \nabla \cdot \mathbf{J} = \nabla \cdot \mu (q^+ + q^-) \mathbf{E} \quad \dots\dots(5)$$

(5) の式の右辺を変形して

$$\nabla \cdot \mu (q^+ + q^-) \mathbf{E} = \mu (q^+ + q^-) \nabla \cdot \mathbf{E} + \mathbf{E} \cdot \nabla \mu (q^+ + q^-) \quad \dots\dots(6)$$

ポアソンの式より

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \mathbf{E} &= \frac{\rho}{\epsilon} = \frac{(q^+ - q^-)}{\epsilon} \quad \text{だから} \\ -\frac{\partial}{\partial t} (q^+ - q^-) &= \frac{\mu}{\epsilon} (q^+ + q^-) (q^+ - q^-) + \mu \nabla (q^+ + q^-) \cdot \mathbf{E} \quad \dots\dots(7) \end{aligned}$$

そこで、いま油が正に帯電しているとして q^+ に対して q^- を無視し、さらに一様な空間において電荷密度の傾きを省き得るから

$$-\frac{\partial}{\partial t} q^+ = (\mu/\epsilon) (q^+)^2 \quad \dots\dots(8)$$

(8) 式の解として (9) 式が得られる。

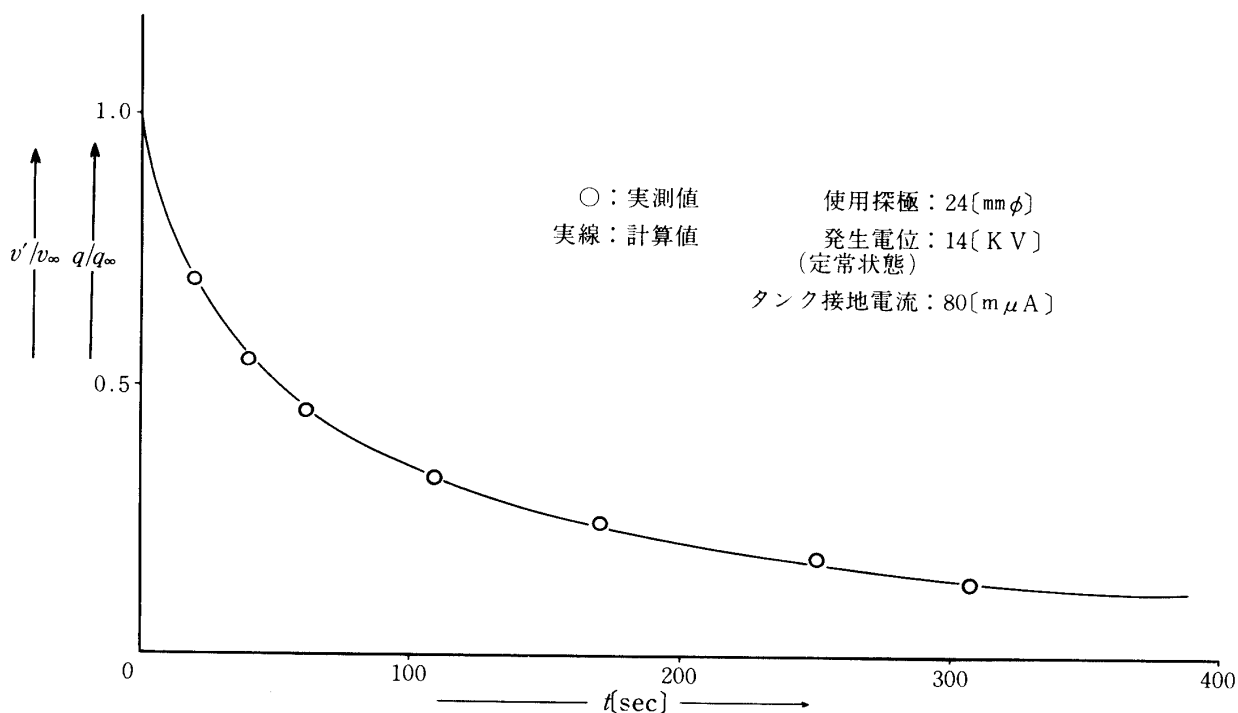
$$q^+ = \frac{q_{\infty}^+}{1 + \mu q_{\infty}^+ t / \epsilon} \quad \dots\dots(9)$$

q^+ は t 時刻における油中の正電荷密度で q_{∞} は定常状態における電荷密度（初期電荷密度）で、前者は送油停止後の t 時刻の探極電位 v' に比例し、後者は定常状態の電位 v_{∞} に比例する。したがって

$$v' = \frac{v_{\infty}}{1 + Kt/\epsilon} \quad \dots\dots(10)$$

ここに $K = \mu q_{\infty}$ である。

(9), (10) 式はテストタンク中の電荷の減衰は双曲線的減衰することを示している。そこで(9)式を理論値とし、 v' および v_{∞} を実測して求め、これを実測値としてグラフに示したのが第2図である。



第2図 電荷密度と電位の減衰曲線

第2図から理論値と実測値とはかなり一致していることがわかる。したがって筆者らの測定に使用したトランス油の電荷減衰は双曲線的減衰をし、Bustin 氏らの指適した新理論の正しさを実験的に確認した。

3-2 帯電油のイオン移動度と探極径の大きさ。

前述したように油タンクの電位が定常状態になってから $t = 0$ で送油停止すると、タンク中の電荷は(9)式に従って減衰する。ここで電荷密度が定常状態の丁度半分になった時刻を半減時間と称し、 $t_{1/2}$ とおけば(9)式より

$$t_{1/2} = \frac{\epsilon}{\mu q_{\infty}} \quad \dots\dots(11)$$

一方定常状態においてはタンクへの流入電流 I と接地電流とは等しいから

$$I = \frac{\mu q_{\infty}^2 V_0}{\epsilon} \quad \dots\dots(12)$$

V_0 : テストタンクの油量

(11), (12)式より

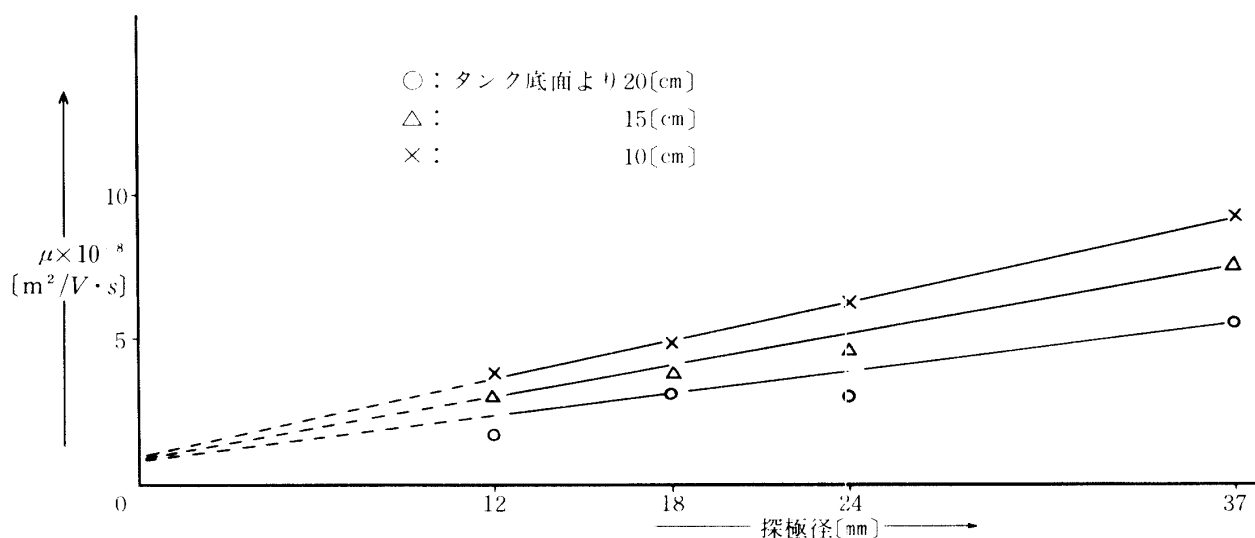
$$q_{\infty}^+ = \frac{I \cdot t_{1/2}}{V_0} \quad \dots\dots(13)$$

さらに(12)式より

$$\mu = \frac{\epsilon}{q_{\infty}^+ t_{1/2}} \quad \dots\dots(14)$$

したがってタンクの流入電流 I と電荷の半減時間 $t_{1/2}$ を実測して q_{∞}^+ を知れば(14)式により μ が求まる。

帯電油のイオン移動度 μ を求めるために電位測定用探極を油中中心に設け、電位減衰特性を調べると、探極の径が小さい程減衰時間が長い測定結果を得る。第3図は球径がそれぞれ37mm ϕ , 24mm ϕ , 18mm ϕ , 12mm ϕ の場合、径を横軸に、縦軸には減衰特性から求めた μ の値をとってプロ



第3図 探極径とイオン移動度の関係

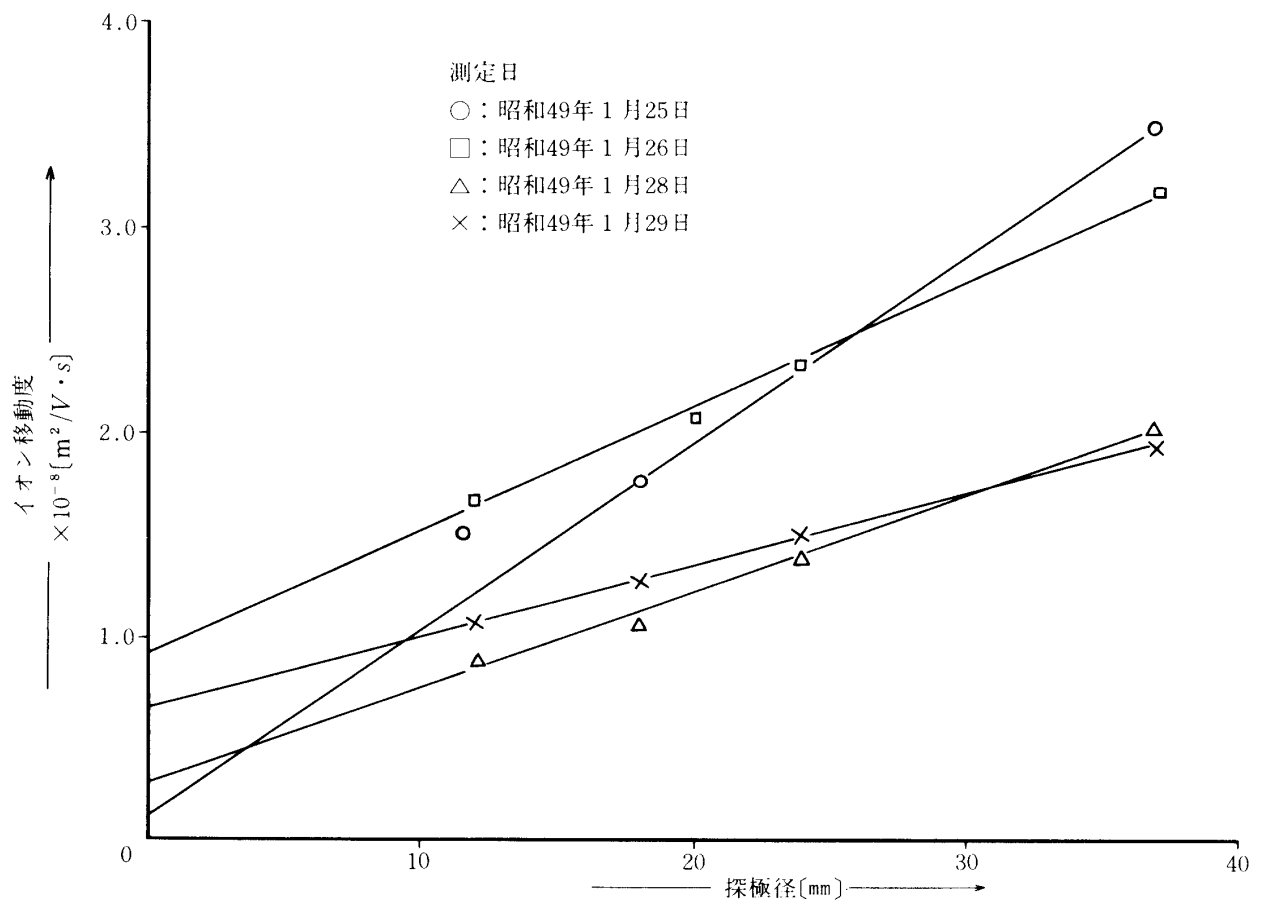
ットしたグラフである。このグラフをながめると球径とイオン移動度が比例関係にあることがわかる。すなわち球径が小さい程 μ が小さくなり、この直線を延長すれば探極の径が無限に小さい場合、したがって探極をそう入しない時の帯電油の真のイオン移動度 μ_0 が求められることになる。これらの結果から次式を得る。

$$\mu_0 = \mu' - mr \quad \dots\dots(15)$$

ただし μ_0 : 油の真のイオン移動度 μ' : 測定によって求められたイオン移動度

r : 球探極の径 m : 直線の傾き

(15)式はテストタンクの中にそう入される電位測定用の球探極は、その径が小さい程望ましいことを意味する。第4図は同一タンク中で実験日が異なる場合の探極径—イオン移動度特性であるが、直線の傾き m が実験日によって異なる値を持つ。これは油温、湿度、油の粘度、油に含まれる不純物等による帯電状態の変化によるものと思われるので、今後はこれら諸条件に着目して更に実験を進めたい。



第4図 探極径—イオン移動度特性

4 む す び

筆者らは循環送油装置によって油を帯電状態とし、油中中心に球探極をそう入してその発生電位と流動電流を測定することによって電位減衰に関する Bustin 氏らの新理論を確認した。

また探極の大きさと帯電油中電荷の減衰時間との関係から油の真のイオン移動度が求められることを一応実験的に認められた。

参 考 文 献

- 1) 藤井, 鳥取: 電気四学会連大24 昭(48)
- 2) 藤井, 鳥取: 電気四学会東海支部連大 4 p-D-13 昭(44)
- 3) 美寺, 鳥取: 電学誌第89巻973号 昭(45)
- 4) 美寺, 山崎, 鳥取: 電気四学会北陸支部連大35 昭(42)
- 5) 藤井, 村瀬, 鳥取: 福工大紀要第2号 昭(47)
- 6) W. M. Bustin, I. Kaszmann and I. T. Tobye, Hydrocarbon processing 43 209 (1964)
- 7) 鳥取, 藤井: 第19回静電気研究発表会講演要旨 昭(49)
- 8) 鳥取: 福工大紀要第1号 昭(46)