

論 文

液体の濾過帯電評価装置の試作と帯電特性

清水 民生*, 杉野 奈巳*, 野島 康弘*

(1991年7月29日受理)

Apparatus for Measuring Static Electricity of Liquid Produced by Filtering and Electrostatic Properties

Tamio SHIMIZU,* Nami SUGINO* and Yasuhiro NOJIMA*

(Received July 29, 1991)

When inflammable liquid is transported, a filter for eliminating impurities is often used. A large amount of static electricity is generated by filtration and separation from the filter. Electrostatic hazards such as fires and explosions thus sometimes occur. However, a charging mechanism of liquid is complex and has not been investigated adequately. Experiments have hardly been sufficiently carried out and reports on static electricity of liquid filtrated are rare. It is hardly known that electrostatic charging of liquid depends on separation from the filter. Thus, in this study, apparatus for evaluating characteristics of charging of liquid was devised by the authors. It was used to investigate the charging of liquid when passing through metal nets used in the filter. Various factors causing static electricity of liquid were examined by the apparatus and it was found applicable for evaluating the charging of a liquid due filtering and separating a liquid from the filter. The experimental results showed good agreement with measurements.

1. はじめに

液体輸送において、不純物を除去するためにフィルタがよく用いられる。このフィルタは、液体との接触面積が大きいために、液体に非常に大きな帯電を与える¹⁾、過去に、フィルタの帯電に起因したと推定される災害事例もある²⁾。しかし、フィルタによる帯電は、フィルタ自体の内部構造が複雑であるためにあまり研究されておらず、実規模実験から得られたデータのばらつきも大きい³⁾。また、フィルタに付着した液体がフィルタからはがれる（以下剝離と記す）ときの帯電についてはほとんど研究されていない。

そこで、筆者らはフィルタにおける液体の濾過および剝離帯電におよぼす各種要因の影響について解明する目的で、新しい装置を試作した。この装置はフィルタとして金網を用い、この金網による液体の接触・剝離を起こ

させ、液体に静電気を帯電させるものである。この装置を用いて実験を試みたところ、濾過および剝離帯電特性が再現性よく測定できることが判明した。以下、開発した装置とこれを用いて測定した濾過および剝離帯電特性の結果について報告する。

2. 実験装置および方法

2.1 実験装置

実験装置の構成を図1に示す。装置は帯電量測定部（断面構造を図2に示す）、帯電量測定部の中の試料を吸引するための吸引装置（真空ポンプ、ガスクーラ、レシーバ、バルブ）、帯電量測定用エレクトロメータ（アドバンテスト製、TR8652）、外部からのノイズを遮断するためのシールドから構成されている。

2.2 実験方法

一定量の試料を帯電量測定部に入れる。エレクトロメータの電荷測定レンジを使用し、ゼロ・キャンセルの後、吸引操作により試料を帯電量測定部から取り去ってやると、エレクトロメータには試料が持ち去った電荷量に等しい逆の極性の電荷量が表示される。

使用した金網は32~200メッシュ、試料量は1~5ml、吸引圧力は 0.19×10^5 ~ 0.98×10^5 Paの範囲である。金

キーワード：帯電評価装置、濾過帯電、剝離帯電、濾過、フィルタ

* 鎌淵化学工業株式会社生産技術研究所 (676 兵庫県高砂市高砂町宮前町 1-8)
Engineering Research Laboratories, Kanegafuchi Chemical Industry Co. Ltd., 1-8, Miyamae-machi, Takasago-cho, Takasago-shi, Hyogo, 676 Japan

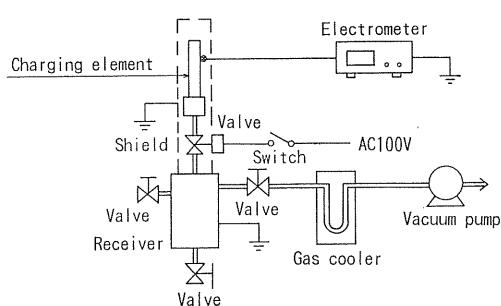


図 1 帯電量測定装置

Fig. 1 Apparatus for measuring electrostatic charge of liquid.

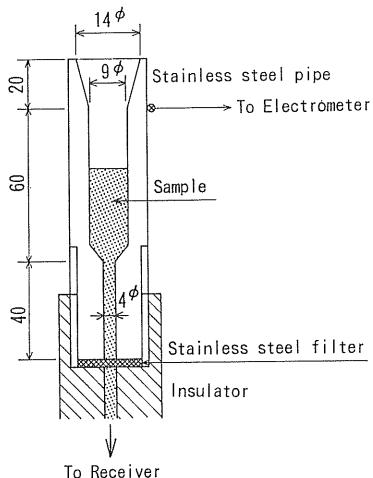


図 2 帯電量測定部の断面

Fig. 2 Cross section of element for measuring charge.

網は、表面状態の変化による影響を避けるために、測定開始直前までヘキサン中に保存したものを使用した。

帯電量の測定は 20 回を行い、測定値が安定する 16 回目から 20 回目までの 5 回の値の平均値を測定結果とした。試料は市販の特級試薬を使用し、標準試料としてヘキサンを用いた。

3. 実験結果および考察

3.1 濾過帶電特性

帯電量測定部の金網を通して試料をその中に入れ、吸引操作により試料を取り去ることによって起こる金網と試料との帶電を濾過帶電と定義し測定した。ただし、測定結果はこの装置の場合、試料の引ききりに伴う金網からの試料の剥離による剥離帶電の影響を一部含んだものになる。

3.1.1 帯電部位と帶電特性

この装置では、パイプおよび金網での帶電が考えられ

る。そこでまず、図 2 に示す構成から金網を除きパイプのみによって帶電を調べたところ吸引圧力条件によらずほぼ一定で -0.4 nC であった。

次に、150 メッシュの金網を入れて帶電を調べたところ 3.6 nC で、この装置では金網における帶電が主であることが判明した。このような結果は、帶電量測定部の内径を大きくし、前者の帶電を抑制し後者の帶電を大きくするように工夫したためである。

3.1.2 表面状態の影響と測定の再現性

空気中で保存した金網を使用し、繰り返し測定を行った時の帶電特性の変化を調べた。結果を図 3 に示す。測定開始直後にはばらつきが大きく測定回数の増加に伴って一定値に近づく傾向が見られた。静電気の発生に影響をおよぼす帶電部位の表面状態としては表面の酸化腐食、汚染、水分の付着といった化学的なものと、表面の粗滑といった物理的なものとがある⁴⁾。図 3 の結果はこれらの表面状態の影響と考えられ、測定開始直後の大きなばらつきは、金網の表面状態の不安定さに原因するものと考えられる。

次に、ヘキサン中に保存した金網を使用し、試料をヘキサン、アセトン、ヘキサンの順序で変更し実験したときの、帶電量測定部中に付着して残った前試料の帶電特性におよぼす影響について調べた。すなわち、この装置を用いて帶電特性を測定した時の再現性について調べた。結果を図 4 に示す。

図中の実線はヘキサンを用いて測定した一回目の、破線はアセトンについてヘキサンを用いて測定した二回目の結果をそれぞれ示す。測定回数の増加に伴ってそれぞれ異なる経路をたどりながら最終的には一定値に近づく傾向が見られ、再現性の得られることが確認された。

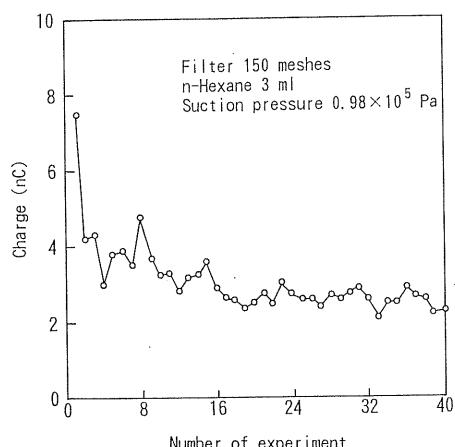


図 3 繰り返し帶電特性

Fig. 3 Characteristic of charging of liquid in experiments repeated.

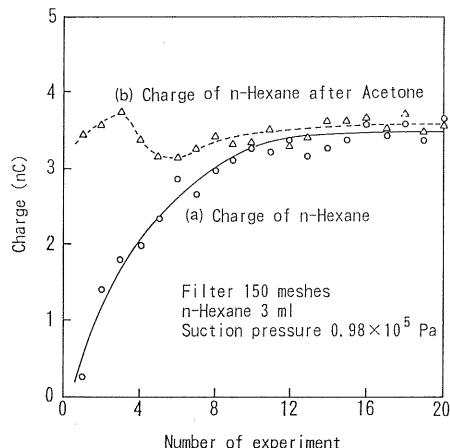


図 4 帯電の再現性

Fig. 4 Repeatability of charging due to filter.
(a) charge of *n*-Hexane and (b) charge of *n*-Hexane after Acetone.

ところで、試料の吸引操作後、つづいて吸引操作を行うと1回目の吸引操作では剥離されずに金網の表面に付着して残った試料の剥離に伴う帯電、すなわち、金網表面に吸着されている試料の剥離帯電が見られた。しかし、二度吸引をしないで実験回数を重ねると、帯電量はしだいに一定値に収束する特性が見られ、これは金網表面へ吸着されて残る試料が層を形成することによる金網の表面状態の安定化によるものと考えられた。

3.1.3 金網のメッシュ数と帯電特性

帯電は金網のメッシュ数に依存すると予想される。そこで、金網のメッシュ数を変えてこの影響を調べた。結果を図5に示す。メッシュ数の増加に伴って帯電量の増加が見られた。

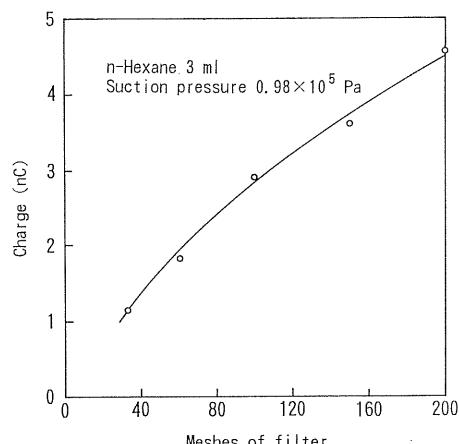


図 5 金網のメッシュ数と帯電との関係

Fig. 5 Relation between meshes of filter and charging of liquid due to filter.

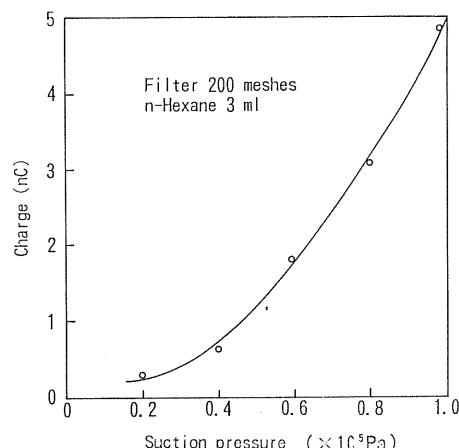


図 6 吸引圧力と帯電との関係

Fig. 6 Relation between suction pressure and charging of liquid due to filter.

3.1.4 吸引圧力と帯電特性

金網を通過する試料の速度が速くなると、静電気の発生は一般に大きくなると予想される。そこで吸引圧力を変えることにより金網を通過する試料の速度を変えその影響を調べた。結果を図6に示す。吸引圧力の増加に伴った帯電量の増加が見られた。

3.1.5 試料の種類と帯電特性

ヘキサンをここでの標準試料とし、ヘキサンによる帯電量の再現性を定期的にチェックしながら、各種試料の濾過帯電特性を調べた。結果を表1の Q_1 に示す。表1

表 1 各種試料の帯電特性

Table 1 Electrostatic properties of various samples.

Sample	Q_1 ^{a)} (nC)	Q_2 ^{b)} (nC)	σ ^{c)} (S/m)
Ethyleneglycol	1.75	2.07	1.07×10^{-4}
Water	22 <	22 <	4.15×10^{-6}
Dimethylform-amide (N,N-)	13.95	19.79	6×10^{-6}
Ethyl acetate	22 <	14.44	1.0×10^{-7}
Ethanol	5.23	1.67	1.35×10^{-7}
Acetone	10.10	7.03	1×10^{-7}
<i>n</i> -Pentane	0.84	0.56	$<2 \times 10^{-8}$
<i>n</i> -Heptane	1.55	0.01	$<1 \times 10^{-10}$
Toluene	2.79	0.20	1×10^{-12}
<i>n</i> -Hexane	3.65	0.20	1×10^{-16}

Note : a) Q_1 shows charge due to filter.

b) Q_2 shows charge due to separation from filter.

c) σ shows electrical conductivity referred from Technical Recommendations of the Research Institute of Industrial Safety.

の結果より試料の導電率が $10^{-7} \sim 10^{-6}$ S/m の位置に帶電量のピークがあることが分かった。

測定条件が異なるので直接には比較できないが、これは、Goodfellow らが行った *n*-ヘプタンに種々の添加物を加え、導電率と流動電流との関係を調べた過去の結果⁵⁾とピークの位置は異なるが傾向が一致することが分かった。

3.2 剥離帶電特性

図 2 におけるステンレスパイプを、その最小絞り部分の径が 9 mm のものに変更し、かつ 32 メッシュの金網を使用し、金網および金網目間に試料による膜が形成される状態を作り、この膜が吸引により金網から剥離される状態を剥離帶電と定義し測定した。

3.2.1 吸引圧力と帶電特性

金網からの試料の剥離速度が速くなると静電気の発生は大きくなると予想される。そこで、吸引圧力を変えることにより金網からの試料の剥離速度を変えその影響を調べた。結果を図 7 に示す。吸引圧力の増加に伴った帶電量の増加が見られた。ここで、試料吸引時の剥離帶電特性の時間変化を観察すると図 8 のようになり帶電特性に大別して二つの段階が見られた。図中の(a)の段階は金網目間に形成された試料膜の分離による帶電、(b)の段階は金網に形成された試料膜の剥離によると推定される帶電が起こることが分かった。

3.2.2 試料の種類と帶電特性

各種試料の剥離帶電特性を調べた。結果を表 1 の Q_2 に示す。 Q_1 に示すと同様に試料の導電率が $10^{-7} \sim 10^{-6}$ S/m の位置に帶電量のピークがあることが分かった。

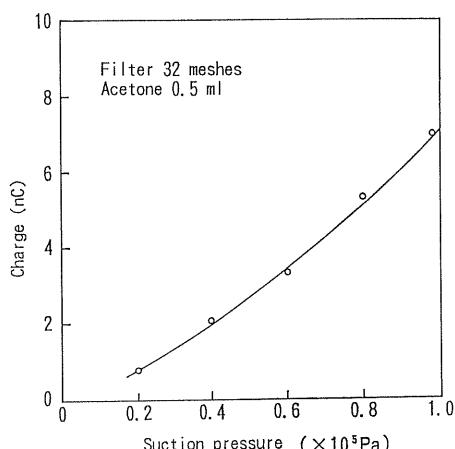


図 7 吸引圧力と剥離帶電との関係

Fig. 7 Relation between suction pressure and charging of liquid due to separation from filter.

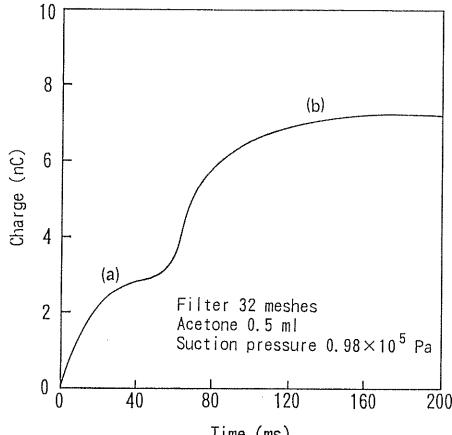


図 8 剥離帶電曲線

Fig. 8 Charging curves of liquid due to separation from filter, (a) separation of layered-liquid adhered on mesh and (b) destruction of layered-liquid on mesh elements.

4. ま と め

試作した装置を用いて金網による液体の静電気帶電に係わる各種要因（表面状態、試料の通過速度、メッシュ数、試料の種類、試料の分離速度）の影響について検討した。その結果、本装置の特徴が明らかになるとともに帶電特性についても解明された。以下、開発した本装置の特徴および測定結果について述べる。

- (1) 装置としてはごくシンプルなものであるが、本装置によりフィルタにおける濾過および剥離帶電におよぼす基本要因の影響について評価できることが分かった。
- (2) ヘキサンを用いて定期的に本装置の性能についてチェックを行った結果、再現性良い測定が行えることが分かった。
- (3) 試料の導電率が $10^{-7} \sim 10^{-6}$ S/m の位置に濾過および剥離帶電による帶電量のピークのあることが分かった。

なお、今後は本装置による測定結果を手掛かりとし、さらに複雑な構造を持つフィルタによる液体の帶電現象の解明が行えるものと期待できる。

謝 辞

この報告を行うにあたり、御討論および御助言いただきました産業安全研究所電気研究部田畠泰幸部長に心から感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) D.N. Harris, G. Karel and A.L. Ludwig : Proc.

- Am. Pet. Inst., 41 (1961) 26
2) 北川徹三：第19回安全工学講習会資料，ガス粉じん爆発
と静電気 (1970)
3) A.W. John : Proc. Am. Pet. Inst., 45 (1965) 247
4) 静電気学会編：静電気ハンドブック，p. 798，オーム社
(1986)
5) H.D. Goodfellow and W.F. Graydon : Can. J.
Chem. Eng., 46 (1968) 342