

# 水滴発電システムに関する基礎研究

植木 研三, 加藤 進, 有岡 大樹, 北村 岩雄, 池田 長康

## Preliminary Experiments on Electric Power Generation System with Water Drops

Kenzo Ueki, Susumu Kato, Daiju Arioka,  
Iwao Kitamura, Nagayasu Ikeda

New electric power generation system with water drops based on the principle of electrostatic induction are considered. The preliminary experiments on the devise with one stage for the system are carried out for examining the possibility of effective collection of the electric charge. Dependence on devise parameters such as an applied voltage on the electrode, the length and width of its plate are examined in this experiment. It is found that amount of the collected charge increases with the applied voltage and the length of the electrode plate and the amount decreases with the width of the plates. It is also found that there is the upper limit on the amount of charge owing to water drops hitting on the electrode plate. For the survey of an electric power generation station with multi-stage system, the another device with two stage is constructed and examined.

キーワード：新発電方式，静電誘導

### 1. まえがき

自然エネルギーを利用した発電方式として，従来の水力発電に対し，水滴を利用した新しい考えを提示する。このシステムは，静電誘導により水滴に電荷を持たせ，この水滴が重力によって同極性の電荷間の反発力に逆らって電荷を水槽に集電する。さらに，蓄電後は水のみを排出し，コンデンサーに集電する。次の段で再び電荷を持たせ，集電することを繰り返すという発電方法である。これは，静電発電機としてケルビンらが油滴を用いて考えた極めて古い方法であるが，我々はこれを発電システムとしての可能性を探るため，多段システムを考え，このための基礎実験を行った。

### 2. 水滴の誘導帯電原理

水柱の分裂の際に，外部電界を加えることにより分裂した水滴に帯電させることができる。その原理図を図1に示す。

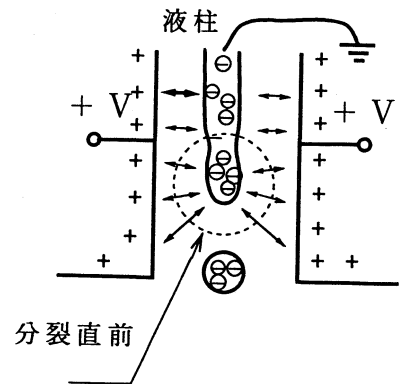


図1 誘導帯電原理図

今、電極板に正極の電圧を印加した場合、水の電荷の移動時間が水柱分裂の周期に比べて十分短ければ、水柱側に負の電荷が図1のように現れる。このような状態で分裂した水滴は、電荷を持ったまま落下する。それゆえ、水滴が持つ電荷量は分裂直前の液滴表面上の電荷密度により決定される。

### 3. 水滴発電装置の電極構造

水滴発電システムを実際に設計するに当たって、システム各段の装置における帯電効率が問題であり、この効率によってこのシステムが実用になるかならないかが決まる。我々はまず水滴が通過する電極の形状をどのようにすればよいのかを円筒状の場合と平板状の場合の2通りで考え、その電極に直流電圧を印加した場合に得られる電荷量を解析し、実験装置のパラメータを検討した。

#### 3.1 円筒型電極

半径**b**[m]の円筒形電極間を通過する半径**a**[m]の水滴群を同軸状と仮定したものを図2に示す。円筒電極に直流電圧**V<sub>DC</sub>**[V]を印加したとき、分裂直前の単位長さ当たりの水滴が得る電荷量を**Q<sub>0</sub>**[C]とすると、水滴と円筒電極との間の電界**E**[V/m]は、

$$E = \frac{Q_0}{2\pi\epsilon_0 r} \quad (1)$$

で表される。また水滴表面と円筒電極表面間の電位差**V**は

$$V = \int_a^b E dr = \frac{Q_0}{2\pi\epsilon_0 r} \ln \frac{b}{a} \quad (2)$$

従って、長さ**L**[m]の水滴が得る電荷量**Q**[C]は次式のように表すことができる。

$$Q = Q_0 L = \frac{2\pi\epsilon_0 L V}{\ln \frac{b}{a}} \quad (3)$$

式(3)から、電極を円筒状にした場合は、水滴表面と円筒電極表面間の電位差**V**、電極の長さ**L**、そして水滴表面と円筒電極表面との距離の比がパラメータとなり電位差や電極の長さ的比例し、半径の比は対数で反比例することが分かる。

#### 3.2 平行板電極

表面積が**S**[m<sup>2</sup>]の平行平板電極間を距離**d**[m]で通過する水滴群を電極と平行な直方体と仮定したものを図3に示す。図3において電極と水滴群は平板コンデンサーとなり、その静電容量**C**[F]は次式で表される。

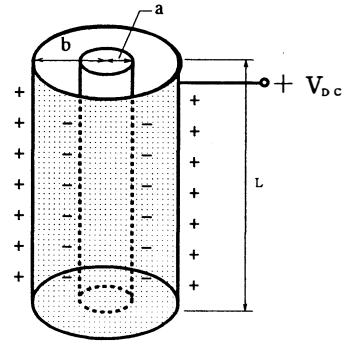


図2 円筒形電極

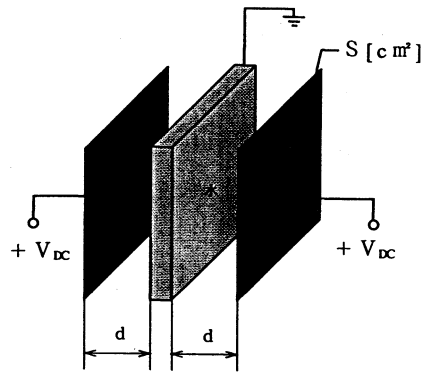


図3 平行平板電極

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d} \times 2 \quad \text{〔F〕} \quad (4)$$

したがって、電極に直流電圧V<sub>DC</sub>を印加したときの電気量は、次式のように表せる。

$$Q = CV_{DC} = \frac{2\epsilon_0 SV_{DC}}{d} \quad \text{〔C〕} \quad (5)$$

式(5)から、電極を平行平板状にした場合は、印加電圧、電極面積、電極表面と水滴群との距離がパラメータとなり、電気量は印加電圧、電極面積に比例し、電極表面と水滴群との距離に反比例することが分かる。

以上のことを考慮した結果、平行平板電極を用いた装置は各種パラメータを容易に変化させることができ、構造も簡単であることから、この基礎実験の装置には平行平板電極を用いたものを作成した。

## 4. 帯電実験

### 4. 1 1段装置による実験 1

#### 4. 1. 1 水滴発電装置及び説明

実験室内及び屋外で実験を行えるように、分解可能な階段式装置を作成した。実験装置の簡単な構造は図4に示す。水槽には250mm×400mm×600mm、厚さ3mmの亚克力板を使用し、水圧に耐えるよう底は6mmにした。水滴落下口には、水滴が垂直に落ちるよう外径3mm内径1mmの管を1列15本取り付けた。この水槽の一定水位当たりの流量は水位100mmで600cc/min、200mmで1000cc/minである。水槽下部には、電極のパラメータ設定が容易になるように亚克力製の電極固定部を設けた。電極には、厚さ1mmのアルミ板を使用した。

まず、上部水槽に水を入れ接地する。アルミ製の並行板電極に負の直流高電圧を印加し、その中央にこの水滴を落とす。静電誘導により正極性の電荷を持った水滴が電極を経て下部水槽に蓄積され、電荷はコンデンサーに充電される。

#### 4. 1. 2 実験 1

この実験では、図5に示したパラメータのうち(1)印加電圧、(2)電極間隔、(3)電極長の3変数を下記のように設定した。電極位置kおよび電極幅hはそれぞれ60mm、1mmで固定し水量は1000cc/min、集電用コンデンサーは1μFとした。

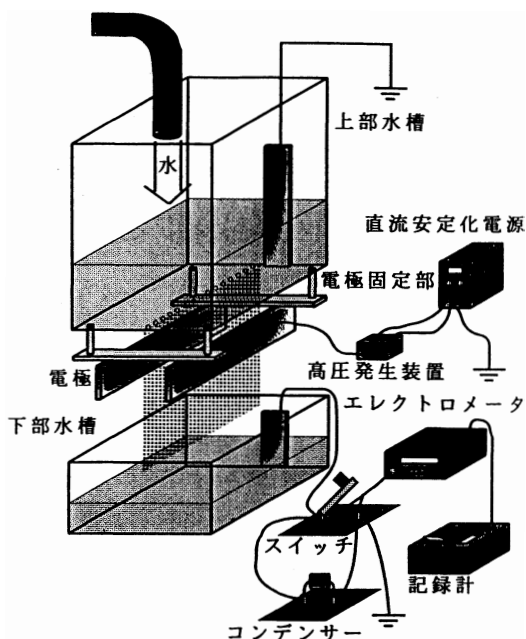


図4 実験装置概略図

- (1) 印加電圧は、 $-1.0\text{kV}$ 、 $-1.5\text{kV}$ 、 $-2.0\text{kV}$ 、 $-2.5\text{kV}$ 、 $-3.0\text{kV}$
- (2) 電極間隔 $d[\text{mm}]$ は、 $20\text{mm}$ 、 $30\text{mm}$ 、 $40\text{mm}$ 、 $50\text{mm}$ 、 $60\text{mm}$
- (3) 電極長 $L[\text{mm}]$ は、 $20\text{mm}$ 、 $40\text{mm}$ 、 $60\text{mm}$ 、 $80\text{mm}$ 、 $100\text{mm}$

のそれぞれ5点を設定し、集電用コンデンサーの電圧が $20\text{V}$ になるまでの時間を測定した。これより落下流量が既知であるので、落下電荷密度を算定した。

#### 4. 1. 3 実験1の結果

測定結果から、水量 $1\text{m}^3$ 当たりの電荷量を計算し、その値を電荷密度として、各パラメータに対する依存性を図6(a), (b), (c)に示す。

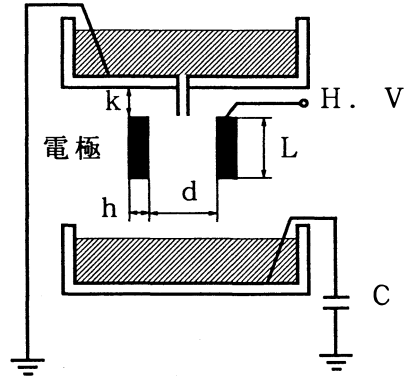


図5 実験パラメータの説明

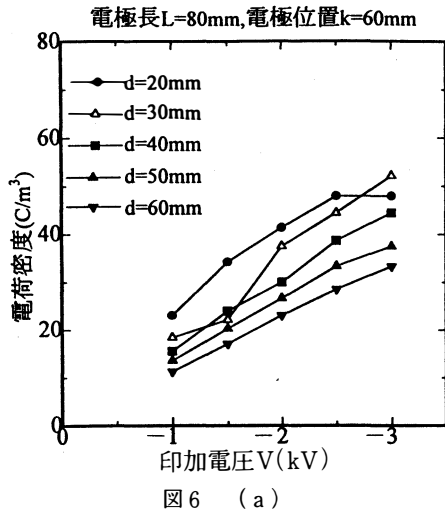


図6 (a)

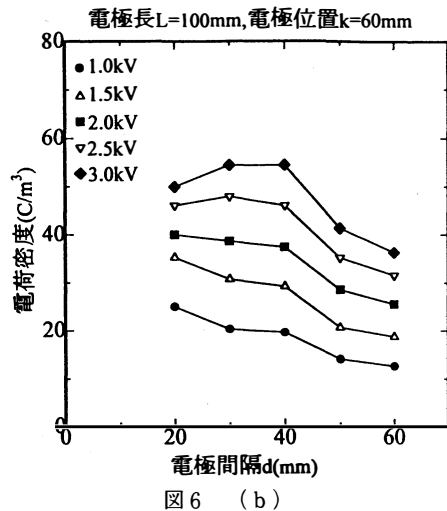


図6 (b)

- (1) 印加電圧 $V$ を変化させたときの電荷密度を図6(a)に示す。これは、電極長 $L$ が $80\text{mm}$ の場合である。電極間隔 $d$ が $30\text{mm}$ 以上の時は、印加電圧と電荷密度は比例の関係にあるが、電極間隔 $20\text{mm}$ の場合は $3.0\text{kV}$ 印加時の点が落ち込んでいる。
- (2) 電極間隔 $d$ を変化させたときの電荷密度を図6(b)に示す。これは電極長 $L$ が $100\text{mm}$ の場合である。電極間隔が $40\text{mm}$ 以上で $2.0\text{kV}$ 以上印加した際、得られる電荷量が大きく低下している。
- (3) 電極間隔 $d$ が $30\text{mm}$ の場合につき電極長 $L$ を変化させたときの電荷密度を図6(c)に示す。印加電圧が $2.5\text{kV}$ 以下の時は、電極長と電荷密度

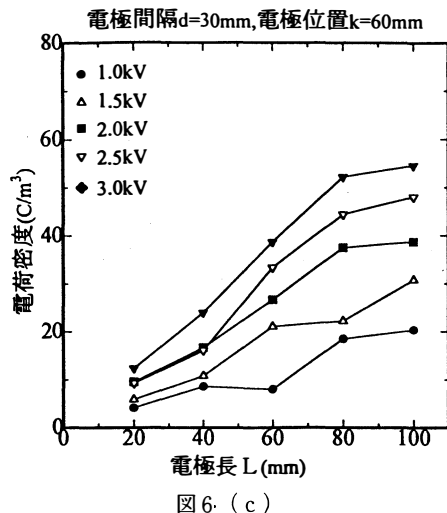


図6 (c)

は比例関係にあるが、電極長100mm時の値が飽和している。

#### 4. 1. 4 実験1の考察

この実験から、印加電圧を上げる、電極間隔を狭くする、電極長を長くすることにより集電用コンデンサーに蓄積される総電荷量を増加できることが分かった。しかし、印加電圧や電極間隔がある値を超えると水滴が電極に当たり漏れ電流が生じ、帯電効率が低下することも分かった。また、電極位置  $k$  及び電極幅  $h$  が水滴の帯電に対してどのような効果があるのか実験1の装置では調べることができなかったので装置を改良し次の実験2で調べた。

### 4. 2 改良型1段装置による実験2

#### 4. 2. 1 実験2

前節の実験から図9に示すような平板電極に構造を変更した。従って、実験パラメータとして新たに電極位置  $k$  [mm]、電極幅  $h$  [mm] について実験を行った。

- (1) 印加電圧は、-1.0kV, -2.0kV, -3.0kV, -6.0kVの4点
- (2) 電極間隔は、20mm, 40mm, 60mmの3点
- (3) 電極長は、20mm, 40mm, 60mm, 80mmの4点
- (4) 電極幅は、20mm, 40mm, 60mm, 80mmの4点
- (5) 電極位置は、45mm, 60mm, 80mm, 95mmの4点

#### 4. 2. 2 実験2の結果

電極の長さ  $L$  とその幅  $h$  は水滴の帯電に同じような効果をもたらすと考えられる。また、電極位置  $k$  については印加電圧などにより複雑に変化するが、この値が大きくなると電荷密度も大きくなる。これらの測定結果をより一般化するために、横軸にこれら3つの値の和をとり、縦軸に印加電圧1kV当りの水滴の電荷密度をとり、これらの関係を調べた。これを図7に示す。また、電極位置  $k$  の値を60mmとし電極幅に対する依存性を図8に示す。

図7から、印加電圧と電極間隔により値は異なり、ばらついているが、横軸の値が210付近に最大値を持っている。また、電荷密度は単位電圧当たりであり、電圧が上昇すると電荷密度上昇割合が減少している。図7および図8において印加電圧が高く、電極間隔が狭い場合、電極長が長いところで

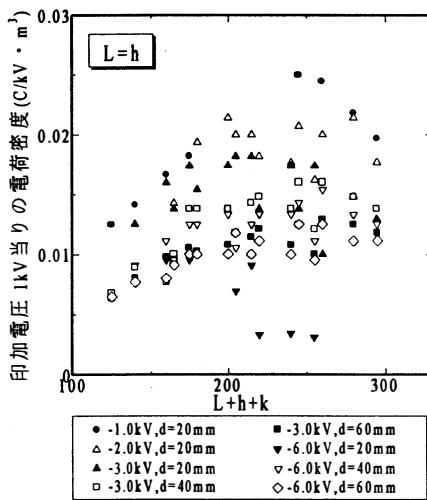


図7

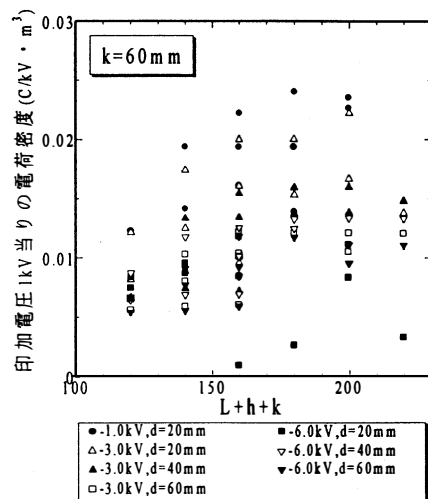


図8

極端に電荷密度が小さくなっている。これは、水滴が電極に当たる際の漏れ電流や水滴の水槽外への飛び出しによる電荷の損失によるものである。

4. 2. 3 実験2の考察

水滴は、(1)電極に接触する場合と(2)電極に引かれ水槽外に飛び出す場合の2種類の過程により電荷を損失する。我々は前者(1)を電極接触度、後者(2)を水滴飛散度と定義し、それぞれを5段階のランクに分けた。すなわち、(1)の電極接触度では、全く当たらない状態をランク1、過半数以上が当たる状態をランク5の評価をする。(2)の水滴飛散度では、全く外部へ出ない状態をランク1、過半

電極長 L=80mmにおける水滴電極接触度数

d(mm)	h=20mm		h=40mm		h=60mm		h=80mm	
	3 kV	6 kV	3 kV	6 kV	3 kV	6 kV	3 kV	6 kV
20	3	5	3	5	3	5	5	5
40	1	2	1	2	1	2	2	3
60	1	2	1	2	1	2	1	2

電極長 L=80mmにおける水滴飛散度数

d(mm)	h=20mm		h=40mm		h=60mm		h=80mm	
	3 kV	6 kV	3 kV	6 kV	3 kV	6 kV	3 kV	6 kV
20	1	2	1	2	1	2	1	2
40	1	1	1	1	1	1	1	3
60	1	1	1	2	1	1	1	2

表1 水滴状態評価

数以上が飛び散っている状態をランク5の評価をする。電極長が80mmの場合の電極接触度と水滴飛散度を表1に示す。表1において、ランク1, 2の評価の点は図7, 8において比例の関係にあるが、ランク5の評価の点は急激に下降していることが分かる。

5. 2段装置による実験

5. 1

この装置が水滴発電システムとして機能させるためには、水槽を多段にし総電荷量が段数倍になるような装置でなければならない。そこで、図9のような2段の装置を作成した。この実験では、水槽1の水を電極1で帯電させ、水槽2で集電し、水だけを捨てる。ここまでを1段とし、さらに水槽2の水を水槽3で接地した後電極3で帯電させ、水槽4で集電し排水するまでを2段とする。

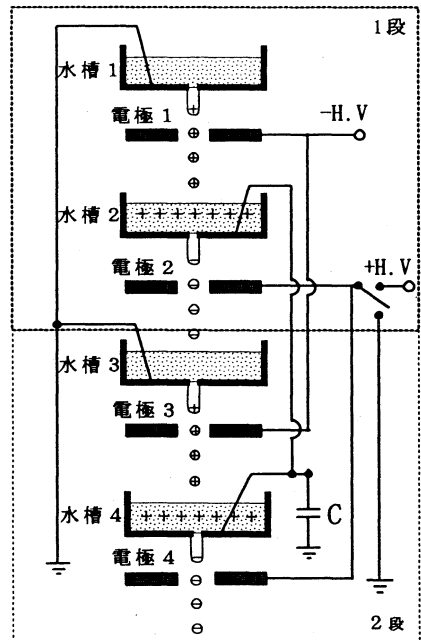


図9 2段実装置

## 5. 2 実験方法

実験装置のパラメータは電極長を1.5mm、電極間隔を40mm、電極幅を20mm、電極位置を60mm、水量600cc/minとし、集電用コンデンサーは1段実験に1 $\mu$ F、2段実験に2 $\mu$ Fを使用し、次の(1)、(2)の手順で実験を行った。

### (1) 1段実験

- (a) 電極 1 に直流高圧発生装置で-3kV、-6kV印加し、電極 2 は接地する。
- (b) 電極 1 に直流高圧発生装置で-3kV、-6kV印加し、電極 2 には+3kV、+6kV印加する。

### (2) 2段実験

- (a) 電極 1, 3 に直流高圧発生装置で-3kV、-6kV印加し、電極 2, 4 は接地する。
- (b) 電極 1, 3 に直流高圧発生装置で-3kV、-6kV印加し、電極 2, 4 には+3kV、+6kV印加する。

## 5. 3 2段装置による実験の結果

測定結果から電荷密度を計算し、1段装置による実験と2段装置による実験のそれぞれの結果を比較したものを図10に示す。これから、総電荷量は段数に比例していることが分かる。従って、この装置を多段にすることで発電量を増加させることができると考えられる。また、同図から偶数段の電極に奇数段と逆極性の電圧を印加することで、偶数段の電極を接地した場合の2倍の電荷が得られることが分かる。

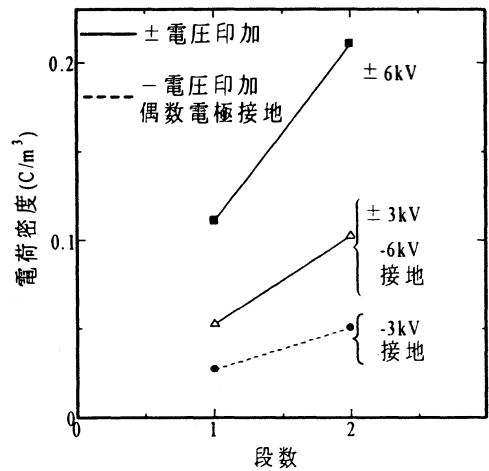


図10 1段装置と2段装置との比較

## 6. 結論

上述した実験の結果から、次のことが分かった。

- (1) 総電荷量は、印加電圧に比例する。
- (2) 総電荷量は、電極長に比例する。
- (3) 総電荷量は、電極間隔を広げると減少する。
- (4) それぞれのパラメータに対してある値を超えると、電極に水滴が当たり逆極性の電荷が集電水槽に落ちることにより、帯電効率のピーク値が存在する。
- (5) 装置を多段式にすることで、総電荷量を段数倍にすることが可能であることが実証された。