

二次元電極をもつEHD送気装置の研究

(性能曲線と放電電極設置誤差の影響)

Study on EHD Fan with Two-dimensional Electrode System
(Performance Curve and Effect of Electrode Installation Error on Performance)

栩谷 吉郎 *¹
Yoshiro TOCHITANI

松岡 秀治 *²
Hideharu MATSUOKA

Abstract

The performance of an EHD (Electro-hydrodynamics) fan for circulating carrier-air in a solar distillation system, such as a Basin-type solar distiller with a condenser, is examined experimentally at room temperature and humidity. The effect of the installation error and the diameter of the discharge electrode on the blowing performance are also examined. A discharge electrode consists of a thin wire, and collector electrode two copper plates. Positive ionic wind is used in the experiments. As a result, the effect of the flow rate on total pressure, static pressure, and efficiency based on total pressure is made clear, and the electric power consumption is correlated to flow rate by least square method. The deviation of the discharge electrode affect to the performance. If the discharge electrode deviates to the collector electrodes, ion current may exceed the service current of a high voltage DC power supply. It is desired that the installation error of the electrode is within about ± 0.2 mm.

キーワード：ファン，EHD，電気流体力学，イオン風，コロナ放電，太陽熱蒸留器

Key Words：Fan, EHD, Electro-hydrodynamics, Ionic Wind, Wind, Corona Discharge, Solar Distillation System

1. 緒言

太陽熱蒸留器は単に蒸留にとどまらず、原水を濃縮する装置として利用できる可能性をもっている。この種の用途は自然エネルギーによる間欠的操作でも目的を達成できるという点で注目される。しかし、現在の太陽熱蒸留システムは、性能の低さなど、高密度エネルギーに慣れた社会にとっては少なからずその利用に抵抗があるというのが実状であろう。性能向上を目指した研究が行なわれているものの、必ずしも実用化に結びついていないといえない状況にある。

太陽エネルギーは面積比例型のエネルギーであり、一旦取り込んだエネルギーは可能な限り有効に利用することが望まれる。György Mink¹⁾らは、できる限り熱のリサイクルを行うことを目指した太陽熱蒸留器について報告しており、収量増加の方法として評価できる。この装置では空気駆動用にエアポンプを用いて、キャリア空気の移動、および熱・物質移動の強制対流化をはかって高性能化を達成していると考えられ、エアポンプは性能向上の中心機器である。最も簡単な Basin 型太陽熱蒸留器に凝縮器や多重効用ユニッ

トを付加して性能向上を目指した研究も行われている。²⁾
このようなシステムに送気装置を加え、キャリア空気を循環させるようにすれば、さらに性能向上が見込める。

著者は、送気距離が短く、流量、圧損が比較的小さいこのような用途に対して、電気流体力学 (EHD) の方法を原理とする送気装置の利用を提案し、基本的性能を常温、常温空気について実験的に調べて報告した。³⁾ この送気装置では、電極のみが系内に入るので、通常のファンのように潤滑系による蒸留水汚染の可能性が低い等の利点がある。利点の詳細、蒸留システムへの適用例については文献³⁾を参照願いたい。この報告では、実用化の可能性を明らかにすると同時に、得られる流量が小さく、効率も非常に低いなど検討すべき点をも明らかにした。これらの欠点を補うため、① 駆動断面積を自由に設定できること、② 矩形ダクトでの利用が容易であること の二点から、長方形駆動断面をもつ送気装置について研究を行い、送気には正イオン風が適していること、既報に比べて流量、全圧、全圧効率が大幅に上昇すること、電極の最適設置位置などを明らかにした。⁴⁾

本報告は、この送気装置の性能曲線を示すこと、簡便な設計手順について述べること、さらに製作上問題となる電極の設置誤差が送気性能に与える影響について明らかにすることを目的としている。

*1 金沢工業大学工学部教授 (〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘7-1)

e-mail: totitani@neptune.kanazawa-it.ac.jp

*2 金沢工業大学大学院生

(現在 松下電工エンジニアリング(株))

(原稿受付: 2001年5月9日)

2. 実験

2.1 実験装置

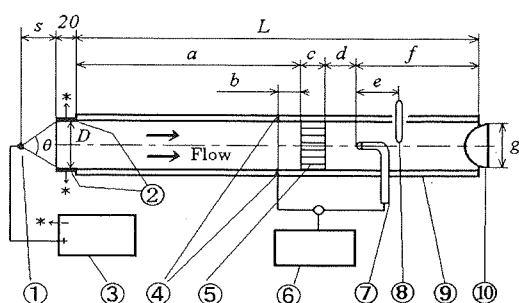
Fig.1(a)は測定管路、同図(b)は送気部の断面を示している。測定管路の諸寸法はJIS¹⁰⁾を参考にして決定し、管路幅は150mmとした。管路は透明アクリル板で製作した。

図(b)の送気部は放電電極とコレクタ電極とから成り、前者には直径0.14mmの鉄クロム線、後者には2枚の銅板(幅150mm, 奥行き20mm, 厚さ1mm)を用いた。コレクタ電極板は、図のように向かい合わせに配置し、放電電極と両金属板の内側エッジとが互いに並行、かつ等距離になるように設置される。この結果、気流発生の原因になるコロナ放電は、放電電極から最短距離にある二枚の金属板のエッジに向かって起こる。

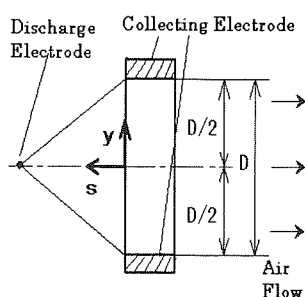
放電電極の位置は、図(b)のs-y座標系を用いて表示する。電極は前もって明らかにした最適位置に設けた。⁹⁾

mm								
D	L	a	b	c	d	e	f	g
20	530	215	18	15	55	30	245	22
30	700	305	25	30	70	45	295	32
50	850	455	37	30	80	55	285	60

- ① Discharge electrode ② Collecting electrode
 ③ High voltage DC power supply ④ Static pressure hole
 ⑤ Grid ⑥ Digital manometer ⑦ Pitot tube
 ⑧ Thermo- and hygrometer ⑨ Tunnel ⑩ Valve



(a) Measurement tunnel.



(b) Cross sectional view of EHD fan.

Fig.1 Experimental apparatus.

すなわち二枚のコレクタ電極間隔Dは30mmとし、放電電極はs=30mmの位置に設けた。電極の有効長さは管路幅wと等しくとり、150mmで一定とした。流量調節は、図(a)の測定管路出口に設けた弁⑩の開度を調節して行った。測定方法等は、原則としてJIS¹⁰⁾に従った。

放電電極は、位置決め可能なように微動装置に取り付けられている。放電電極をy方向に変位させると、二つのコレクタ電極の各々に流れるイオン電流が変化する。その変化を明らかにするために、両コレクタ電極に流れるイオン電流をそれぞれ独立に測定できるようにした。

放電電極直径と平均流速の関係を明らかにする実験では、直径を0.10, 0.14, 0.20mmの3種類とした。流速に対する線径の影響を知るためには、経験的に、スモークワイヤ法が適切であると判断して採用した。この実験では、上述の管路を使用せず、断面30mm×150mm、長さ100mmの管路に図(b)と同様の電極を設置し、管路出口にスモークワイヤを設置した。可視化した速度分布を35mmスチルカメラでストロブ撮影し、そのフィルム解析から平均流速、さらに流量を求めた。なお、同一条件に対して撮影は5回以上行い、平均値を測定値として採用した。

すべての実験において、印加電圧Eは異常な放電音が発生せず、またイオン電流の急激な増加が起こらない範囲とした。

2.2 データ整理

全圧効率ηは次式により算出した。

$$\eta = \{Q \cdot p_t / (60 \cdot P)\} \times 100 \quad (1)$$

ここに、Q[m³/min]は流量、p_t[Pa]は全圧、P[W]は消費電力である。p_t=p_d+p_s、P=E・Iであり、p_d、p_sはそれぞれ動圧、静圧、またEは電極間に印加する電圧、Iはイオン電流である。なお、二枚のコレクタ電極のイオン電流を別々に測定する際はI₁、I₂と表示して区別した。I=I₁+I₂である。

3. 実験結果と検討

モーターで羽根を回転させて送気する一般の送風機の性能は、性能曲線で表示される。¹⁰⁾ 本研究の送気原理はこれとは異なるが、実用的立場から同様の表現法を取り、全体的特性を明らかにするとともに、設計に際しての手順、注意点等について述べる。

3.1 送気性能

Fig.2は、Qとp_s、p_t、ηの関係を、Eをパラメータとして示しており、同じEのプロットは細線で結んである。p_s、p_tについては、ばらつきがみられるものの、Eごとに異なる線上にあり、Eが大きいかほどそれらの値は大きい。Qが小さい範囲ではp_t≐p_s、すなわちp_d=p_t-p_s≐0となっており、測定値は妥当であると判断できる。また、Qの増加とともに両者とも減少傾向を示すが、p_tがほぼ直線的に減少するのに対して、p_sは上に凸の緩やかな曲線上を減少し、これらの差p_dが増加する。

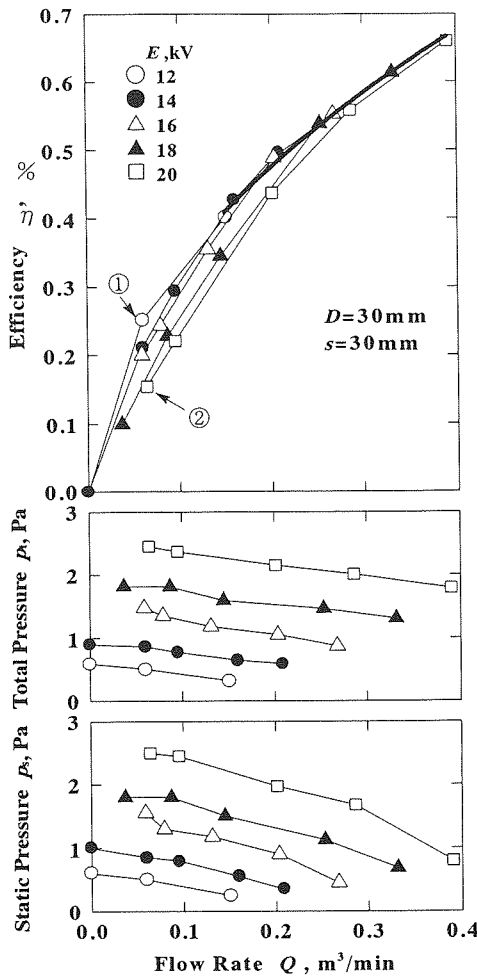


Fig.2 Performance curve.

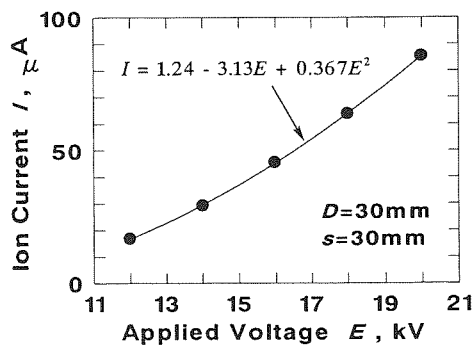


Fig.3 Relation between applied voltage and ion current.

一方、 η については、各 E に対して得られた最大の Q のプロットを太い実線で結んで示した。したがって、太い実線は弁開放で E を変化した場合の Q と η の関係を示している。

図で特徴的なことは、同じ Q であっても E によって η が異なる点であり、小さい E の η の方が大きい E のそれよりも高くなっている。しかし、このことは小さい E の方が

有利であるということではない。 E が大きいにも関わらず η が低い理由は、管路抵抗が大きい場合のように Q が絞られていることによる。例えば、 $Q = 0.06 \text{ m}^3/\text{min}$ 付近の①のプロット○と、②のプロット□を比較すると、 $E = 12 \text{ kV}$ の○の η は $E = 20 \text{ kV}$ の□のその約 1.6 倍である。しかし、①が全開時の Q の約 2/5 に絞られているのに対して、②では約 1/6 になっている。

Fig.3 は E と I の関係を示しており、実線は最小自乗法により得た近似式の計算値である。コロナ放電時における E と I の関係は、Warburg の実験式と呼ばれる次式の形で表せることが知られている。¹¹⁾

$$I = aE(E-b) \quad (2)$$

ここに、 a , b は定数である。

Fig.3 のプロットの近似式には、図中に示した式のように定数項が存在するが、その値は $1.24 \mu\text{A}$ と小さく、測定上の誤差によるものと考えられる。したがって、本研究で用いた電極系についても、コロナ放電の範囲では、少なくとも近似的には、式(2)が成立すると判断できる。図中の式において $I=0$ とした際の根の片方は、 $E \approx 8.1 \text{ kV}$ となる。この値は本電極系におけるコロナ放電開始電圧付近の値であると考えられる。

3.2 簡易設計手順の検討

Figs.2, 3 を用いて本送気装置の作動点を決定でき、全圧効率等の値、必要な印加電圧、イオン電流等を求めることができる。手順は、基本的には一般の送風機と同様であるが、 E , I を求めなければならない点があるのでその概略を述べる。

- (1) 設計条件として、定常状態における $Q = Q_0$ を与える。
太陽熱蒸留器においては、送気すべき湿り空気量である。
- (2) 管路を設計する。本装置では、得られる p_s が小さいことから、曲がり部などの圧力損失要因をできる限り少なくする工夫が望まれる。
- (3) 設計した管路の管摩擦抵抗を見積もる。¹²⁾ 例えば、多重効用ユニット、往復管路について求める。
- (4) 抵抗曲線¹³⁾を、Fig.2 の p_s 図中に記入する。抵抗曲線は管路の圧力損失 Δp の形で表現され、一般に $\Delta p \sim u^2$ のようになるので、 $\Delta p \sim Q^2$ である。
- (5) 横軸上に設計流量 Q_0 をとる。 Q_0 を通り、縦軸に平行に引いた線と抵抗曲線との交点が作動点(運転点)である。この交点は各 E に対する静圧線と一致するとは限らないので、静圧線間にある場合は、比例計算で $E = E_0$ を見積もる。これにより必要な $E = E_0$ が分かる。
- (6) Q の線を η の図まで延長して、 $E = E_0$ の曲線との交点から η が分かる。
- (7) Fig.3 から、 $E = E_0$ に対する $I = I_0$ が求まり、 $P_0 = E_0 \cdot I_0$ が得られて、電源の電圧、電流容量が分かる。

Q を制御するために E を変化させると、作動点は抵抗曲線上を動き、各 E に対する静圧曲線との交点を通過する。管路抵抗の見積もり誤差等は、ある程度の範囲であれば、 E を変化させることで調節可能である。

本研究の範囲を超えて Q を大きくとりたい場合は、 E の増加によるのではなく、 w を大きくする方法を採用することが望ましい。 E の増加は I の増加を招き、 I の増加は放電電極の劣化を促進すると考えられ、保守回数、コスト等からできる限りさけるべきである。

しかし、現時点では $w \gg 150\text{mm}$ においても p_v , p_s が本研究結果と同様であるという保証はない。 w が本研究の値から極端に離れなければ、経験的に、本結果を用いて見積もることができる。と考える。 $w \gg 150\text{mm}$ の場合については、今後研究が望まれる。

w を変化させる場合は次の手順による。

- (1) 流路幅 w [mm] を決めて、 $(150/w) \cdot Q$ を計算し、 $w=150\text{mm}$ における $Q=Q_{150}$ に換算する。
- (2) (1) で求めた Q_{150} に対して、前記の手順に従って見積もり計算を行い、諸値を得る。
- (3) Fig.3 から得られた I を用いて $(I/150) \cdot w$ を計算して、 w に対する I の値を得て、高電圧電源の E , I , および $E \cdot I = P$ を知る。

w は上記条件の範囲で任意に選ぶことができるが、以下の点に注意を払う必要がある。

- ① 放電電極として用いる金属細線には適切な張力をかけて、弛まないようにすることが必要である。
- ② 放電電極の直径は 0.14mm 程度とする。以下に述べるように、直径を大きくすると流量が減少し、逆に直径を小さくすると流量は増加する。
- ③ w を小さくすることは好ましくない。電極両端の影響が出て、 Q 等に対する誤差が大きくなる可能性がある。
- ④ w を長くし過ぎると、クーロン力により金属細線がコレクタ電極に引き寄せられて振動が発生し、これがトラブルの原因になる可能性がある。

以上のことから放電電極の直径と w との間には適切な範囲があると考えられるが、この点も今後の研究課題である。

Fig.4 は放電電極の直径 ϕ が u に与える影響の一例を示している。図は $s=15, 20, 25, 30\text{mm}$ において、スモークワイヤ法により得られた流速分布から求めた平均流速を、

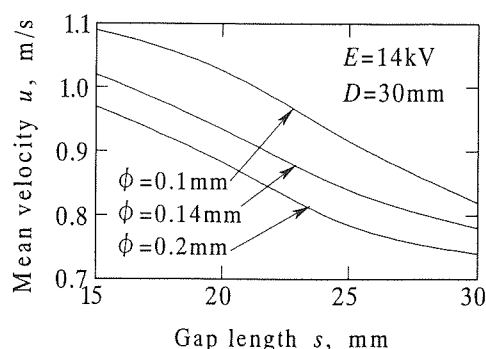


Fig.4 Effect of diameter of discharge electrode on mean velocity.

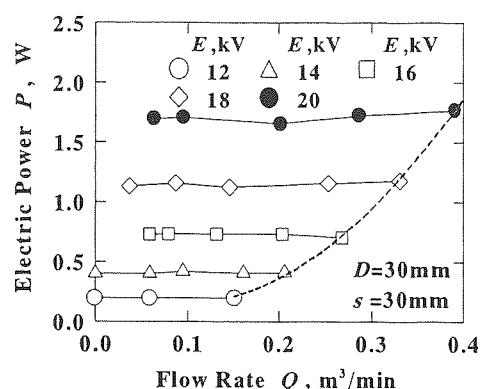


Fig.5 Relation between flow rate and electric power consumption

B スプライン関数により曲線化したものである。 ϕ が小さいほど u は大きくなる。しかし、上述のように、実用上は強度との関係があるため、あまり小さくすることはできない。本研究では $\phi=0.14\text{mm}$ と少し太めにしておき、 w をある程度長くしても強度上の問題は少ないと考えるが、その耐久性については明らかでない。また、図から $\phi=0.14 \pm 0.02\text{mm}$ 程度、実験で用いた直径に対して $\pm 10\%$ 程度の範囲であれば送気性能は実験誤差の範囲になると判断できるが、大幅に越えると本研究の結果は参考にできないことがうかがえる。

3.3 消費電力

Fig.5 は Q と P の関係を、 E をパラメータとして示している。プロットに若干のばらつきがみられるが、放電現象を利用した送気であり、やむを得ないと思える。図から、 Q の変化に対しても、 P はほぼ一定であることから、本送気方法では、 Q に関わらず送気部の電気条件は変化しないと判断できる。なお、図中の破線は式(3)による計算値を示しており、各 E に対して得られた最大の Q 、すなわち弁開放時の $Q=Q_{\max}$ を最小自乗法により求めた値である。

$$P = 0.295 - 3.269 Q + 17.99 Q^2 \quad (0.15 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 0.4 \text{ m}^3/\text{s}) \quad (3)$$

この曲線は、 Q を得るために必要な P を与えることとみてもできる。図において、破線の左側が負荷をかけた場合に対する実用範囲であり、右側は使用不能の範囲を示している。

3.4 放電電極の設置誤差が性能に与える影響

実機の設計上および製作上、放電電極の設置誤差が性能に与える影響を明らかにしておく必要がある。ここでは、Fig.1(b)に示した s 方向、 y 方向それぞれについて別々に検討する。

Fig.6 は、放電電極の設置位置が s 方向に変位した場合に対する Q , P , p_v , η の変化を示している。図は、 Q , P , p_v , η の実験結果を、それぞれについて、最小自乗法を用いて s による五次多項式で近似し、その式から求めた値を $28\text{mm} \leq s \leq 32\text{mm}$ について示したものである。なお、 Q , P , p_v , η に対する近似式の相関係数はそれぞれ 0.9998,

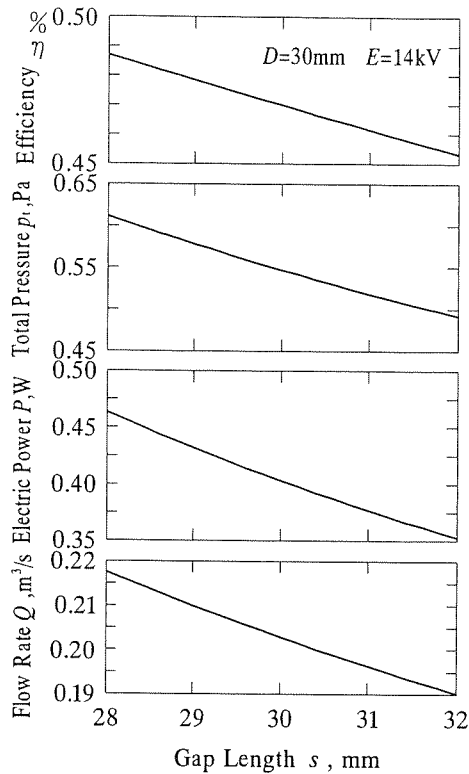


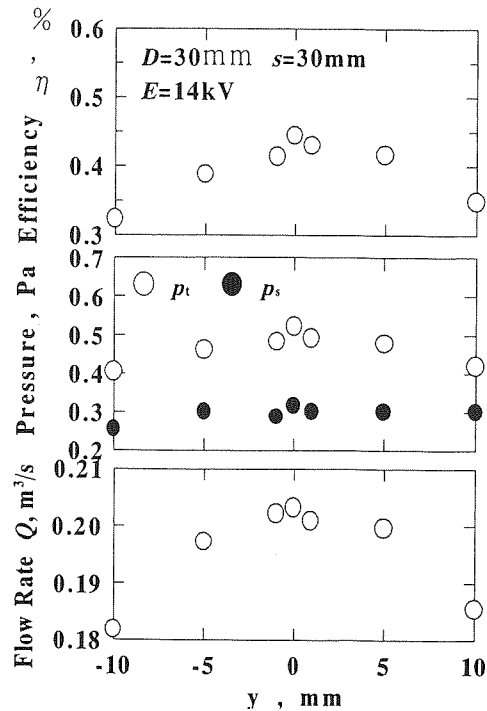
Fig.6 Effect of deviation of gap-length on performance.

0.9999, 0.9995, 0.9963 である。

s の減少は、 Q , P , p_t , η 全ての増大を、 s の増大はそれらの減少をもたらす。 s の最適値 $s = 30\text{mm}$ における値に対して、 $s = 30 \pm 1\text{mm}$ での Q , p_t , η の値はそれぞれ $0.203 \pm 0.007 \text{ m}^3/\text{min}$ で百分率にして $\pm 3.4\%$ 、 $0.547 \pm 0.031 \text{ Pa}$ で $\pm 5.7\%$ 、 $0.470 \pm 0.008\%$ で $\pm 1.7\%$ 程度の変化である。これらの値は、 s が 30mm に対して 1mm 変位して設置された場合でも、 Q , p_t , η の値の変化幅は高々数%程度であることを示している。通常の機械的寸法許容差が保証されるならば性能に対する実用上の問題はないと判断できる。

一方、 P については、 $s = 30 \pm 1\text{mm}$ に対して $0.403 \pm 0.029 \text{ W}$ 、百分率にして $\pm 7.2\%$ である。 E = 一定の条件下なので、 P の増加は I の増加を意味する。 w が大きい場合にはこの I の増加は無視できない量になると考えられ、高電圧電源のもつ許容電流を超える可能性もある。高電圧電源の電流容量を決定する際の検討項目として重要であろう。なお、施工の際に十分な精度で設置できないと判断される場合は、電極部分をユニット化するなどの方策をとる必要があると考える。

Fig. 7 は $D = 30\text{mm}$, $s = 30\text{mm}$, $E = 14\text{kV}$ において、放電電極が y 方向に変位した場合の Q , p_t , p_s , η の変化を示している。プロットには若干のばらつきがみられるが、全体としてみると各値とも $y = 0\text{mm}$ でピークをとり、 s の正負両方向に向かって減少している。 Q については、 $y =$


 Fig.7 Effect of deviation of discharge electrode in y -direction on performance.

0mm において $Q = 0.203 \text{ m}^3/\text{min}$ であるのに対し、 $y = -1, 1 \text{ mm}$ でそれぞれ $0.202, 0.201 \text{ m}^3/\text{min}$ であり、百分率にして $0.5 \sim 1\%$ の減少であって、減少幅は大きくない。 $y = \pm 5 \text{ mm}$ でも約 3% の減少であり、 Q の変化は緩やかであるが、それを越えると急激に低下する傾向を示し、 $y = \pm 10\text{mm}$ における減少は 10% に達する。このことから Q に対する放電電極の y 方向設置精度はそれほど高い必要はなく、通常の機械的寸法許容差であれば十分であると判断できる。

p_t , p_s についてはばらつきが目立つが、全体的傾向は読み取れる。 $y = 0\text{mm}$ における p_t , p_s はそれぞれ 0.52 Pa , 0.32 Pa である。 p_t については $y = \pm 1\text{mm}$ の位置で 8% 、 $\pm 10\text{mm}$ の位置では 20% 以上減少している。また、 p_s については $\pm 1\text{mm}$ の点で 10% 程度、 $\pm 10\text{mm}$ の位置では 28% 以上減少している。圧力に対する放電電極の変位の影響は Q に比べて相対的に大きい。放電電極の変位は両コレクタ電極への放電のアンバランスを引き起こし、その結果放電面上のイオン密度の違いが発生する。空気に対するシール効果はイオン密度の影響を強く受けると考えられ、このアンバランスが空気の漏れを引き起こすものと推測される。

一方、 η は式(1)によって算出されるので、上述の Q , p_t , および P の影響を強く受ける。 $y = 0\text{mm}$ を中心として、左右が対象になっていないが、主として p_t , p_s のばらつきが影響している。 η は $y = \pm 1\text{mm}$ で 7% 、 $y = \pm 5\text{mm}$ で 13% 、 $y = \pm 10\text{mm}$ では約 27% 減少する。

以上の結果より、 y 方向の変位は、 η に強く影響する。

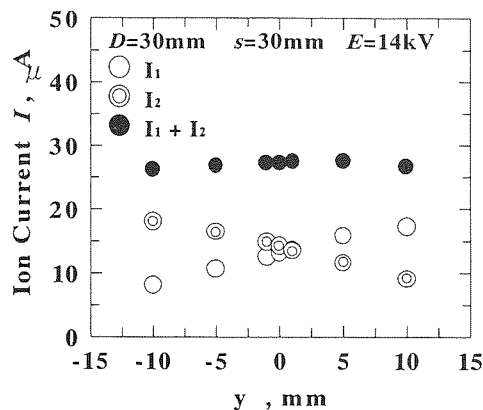


Fig.8 Effect of deviation of discharge electrode in y-direction on ion current.

放電電極設置位置の許容差を $\pm 0.2\text{mm}$ 程度とすれば、 η の低下は1~2%程度に、 $\pm 0.5\text{mm}$ 程度であれば4%程度に収まる。

Fig.8は、 y 方向への放電電極の変位に対する I の変化を示している。 $E=14\text{kV}$ 一定としているので、図の傾向は P の変化と見ることもできる。

流れる電流は、放電電極に近いコレクタ電極の方が大きく、もっとも近づいたときに最大となり、逆にもっとも遠ざかったときに最小となる。●のプロットで示したそれらの和は、 $y=0\text{mm}$ 付近でピークをとり、その両側で緩やかに減少し、 $y=\pm 10\text{mm}$ で約4%減少する。このことから、 y 方向の変位は、 s 方向変位と異なり、イオン電流の増加を招くことはなく、電源容量への影響は無視できると考えてよい。

○と◎のプロットはほぼ左右対称になっている。●のプロットで示した合計の値でみる限り $y=\pm 10\text{mm}$ においても3.7%程度の減少にとどまっておき、その減少幅は大きくない。しかし、各コレクタ電極に流れる電流の変化は大きく、 $y=0\text{mm}$ における値に対して、最大では-38%、+36%変化している。このような I の変化がFig.7の各値に影響しているのであろう。

両コレクタ電極に、均等に I が流れるような電場の形成が、空気の駆動力バランスや漏れ低減に対して効果的である。したがって、放電電極は、両コレクタ電極への I が等しくなる位置に設置するのがよく、このことは放電電極の位置決めに利用できるであろう。

4. 結言

方形断面をもつダクトの向かい合う二面の内側エッジをコレクタ電極とし、それらと平行、かつそれらから等距

離にある金属細線を放電電極とする EHD 送気装置について、流量制御や設計時の基礎データとなる性能曲線、また製作上問題となる放電電極の設置位置の誤差が性能に与える影響について実験的に検討し、以下の結言を得た。

- (1) 性能を表す量として、流量に対する静圧、全圧、全圧効率、消費電力の変化を明らかにし、流量と消費電力の関係については近似式を提示した。
- (2) 放電電極の直径が平均流速に与える影響の一例を示した。
- (3) 性能曲線等をもとに、送気装置の簡易設計手順を示した。
- (4) 放電電極がコレクタ電極に近づく方向に変位した場合、流量、静圧、全圧の変化よりも、消費電流の増加が問題となり、使用条件によっては高電圧電源の許容電流を超える可能性がある。
- (5) 上記(4)と直角方向の変位では、全圧効率に対する影響が大きく、放電電極の設置位置の精度は $\pm 0.2\text{mm}$ 程度であればその低下は1~2%程度に収まる。この方向の変位は、上述の(4)の方向と異なり、イオン電流の増加を招くことはなく、電源容量への影響は無視してよい。

謝辞 実験に協力された当時の学部生、織田哲也、落合一憲、水谷巡の諸君に謝意を表する。

参考文献

- 1) György Mink, Mohamed M. Aboabboud and Etienne Karmazsin, Air-blown solar still with heat recycling, Solar Energy Vol.62, No.4(1998) pp309-317
- 2) Nabil A. Rahim and Emad Taqi, Comparison of free and forced condensing systems in solar distillation units, Renewable Energy, Vol.2, No.4/5(1992)405-410
- 3) Abdul-Jabbar n. Khalifa, Evaluation and energy balance study of a solar still with an internal condenser, Journal of Solar Energy Research, Vol.13, No.1(1985)1-11
- 4) S. T. Ahmed, Study of single-effect solar still with an internal condenser, Solar and Wind Technology, Vol.5, No.6(1988)637-643
- 5) 田中 大・野底武浩・長田孝志, Basin-多重効用複合型太陽熱蒸留器の開発, 太陽/風力エネルギー講演論文集(1997)pp.329-332
- 6) 田中 大・野底武浩・長田孝志, Basin-多重効用複合型太陽熱蒸留器の開発 (小型プラントの製作と性能試験), 太陽/風力エネルギー講演論文集(1998)pp.397-400
- 7) 萩尾和成・田中 大・野底武浩・長田孝志, Basin-多重効用複合型太陽熱蒸留器の開発 (小型プラントの改良による性能向上), 日本太陽/風力エネルギー講演論文集(1999)pp.209-212
- 8) 棚谷吉郎・松岡秀治, 太陽熱蒸留システム用 EHD 送気装置の研究 (常温? 常温空気による実験結果), 太陽エネルギー, Vol.24, No.3(1998)pp.45-52
- 9) 棚谷吉郎, 松岡秀治, 二次元電極をもつ EHD 送気装置の研究 (送気性能に対するイオン風の種類の影響と電極の最適配置), 太陽エネルギー, 掲載予定
- 10) JIS B8330-1981, 送風機の試験及び検査方法
- 11) 例えば, 土手敏彦・河野照哉・尾崎勇造編, 電気・電子工学大百科事典 第4巻プラズマ, 放電, 高電圧, 電気書院, (1983)p.157
- 12) 日本機械学会, 技術資料 管路・ダクトの流体抵抗, 日本機械学会
- 13) 押田良輝, 送風機技術読本, オーム社 (昭和51年) 20