

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)

Study on EHD Fan with Two-dimensional Electrode System
(Effect of Ionic-wind Type on Performance and Optimum Arrangement of Electrode)

栩谷 吉郎 *¹
Yoshiro TOCHITANI

松岡 秀治 *²
Hideharu MATSUOKA

Abstract

An EHD (Electro-hydrodynamics) fan is produced and tested, in which a thin metallic-wire is used as a discharge electrode, and two plates as collecting electrode. The plates are partly the opposite members of a rectangular duct, and each inside edge of the two plates is used as collecting electrode. The wire and the two plate-edges are set parallel and at same intervals. The characteristics of the fan are experimentally made clear under electrode arrangement at which the largest efficiency is obtained. As a result of experiment for selecting effective kind of ionic wind among positive, negative and alternate ionic wind, positive one show maximum efficiency, and mean velocity of each ionic wind is in proportion to square root of ion current. The positive one is used to obtain the flow rate, total pressure, and efficiency of the fan. Maximum efficiency is obtained under the condition that the distance between two electrode plates is 30 mm and the gap-length is 33.5 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，太陽熱蒸留システム
Key Words：Fan, EHD, Electro-hydrodynamics, Ionic wind, Corona discharge, Solar distillation system

1. 緒論

太陽熱蒸留システムを高性能化するための方法として、その中の熱・物質移動を強制対流化することや、最適設計した要素機器でシステムを構成し、キャリア空気を循環させることなどが考えられる。^{1)~6)} 前報⁷⁾では、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、電気流体力学的送気装置の利用を提案し、その特徴や利用システムの例を示すとともに、実用化の可能性を実験的に検討した。この方法の利点としては、系内に入るのは電極のみであり、潤滑を要する機械部分はなく、蒸留水汚染の可能性が低いことや、小型で管路中に設置できること等があげられる。前報では、小流量の範囲では十分な実用的価値を示すことができ、Basin型太陽熱蒸留器に付加した凝縮器に湿り空気の一部を送気するような場合には有効であることが明らかになった。しかし同時に、例えば多重効用型太陽熱蒸留システムで使用する場合のように、大流量の送気を要する用途では性能的に十分とは言えず、さらなる性能向上の工夫、検討が必要であることも明らかになった。

この送気装置は、気体中の不平等電界ギャップに高電圧を印加してコロナ放電を発生させ、その結果起こるイオン風と呼ばれる気流を利用している。前報では、放電電極として針、コレクタ電極として金属円管断面の内側エッジを用いて、コロナ放電を発生させた。

この金属円管の径を大きくし、印加電圧を高くすれば流量を増加できる可能性がある。しかし、印加電圧の上昇は取り扱いにくさを増す。この点を回避する方法として、前報では送気装置の並列接続による流量増大方法をあげた。この並列駆動型の装置では送気部の数の増加と、それに伴う高電圧配線が必要で、装置はやや複雑になる。使用上、また保守の点からは、より簡単で扱いやすい構造が望まれる。

コロナ放電を発生させるのに必要な不平等電場は、Robinson⁸⁾も述べているように、線状や刃状の放電電極でも実現できる。この場合、コレクタ電極として、方形断面をもつ流路の、向かい合う二面の入り口内側エッジを利用できよう。このような二次元放電電極を用いると、前報で述べた利点の他に、

- (1) 電極の長さを選ぶことで流路断面積を任意に選択できる
- (2) 大きい流路断面積の場合にも放電電極は1本であり、高電圧配線は最小限でよい
- (3) 方形ダクト使用時も送気装置の部分で流路断面形状

*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)

を変更せずに使用できる可能性がある等があげられる。

ところで、足立・川崎⁹⁾は正イオン風、負イオン風、交流イオン風を含む5種類のイオン風の基本的特性について、実験結果を交えて解説している。しかし、イオン風の種類が送気装置としての性能に与える影響については不明の点が多く、上述のような電極系の違いが与える影響も含めて明らかにする必要がある。

本研究は、方形断面形状の送気部をもつ電気流体力学的送気装置の性能、特性を実験的に明らかにし、太陽熱蒸留システムへの適用の検討を目指している。本報では、第一段階として、常温、常湿空気中での実験結果をもとに、

- (1) イオン風の種類が送気性能に与える影響
 - (2) 電極の最適位置
- を明らかにすることを目的としている。

2. 実験

2.1 送気部

Fig. 1は送気部の概要を示している。送気部は1本の金属細線と、互に向かい合う2枚の金属板とから成り、それぞれ放電電極およびコレクタ電極として用いられる。金属細線と2枚の金属板の内側エッジとは互いに平行、かつ等距離になるように配置されている。放電は金属細線から最短距離の各金属板エッジに向かって起こり、金属板とスペーサ(側板)で囲まれる流路内に矢印方向の気流が発生する。

2.2 実験装置

Fig. 2は実験装置の概略を示している。装置は前述の送気部、長方形断面をもつ測定管路、高電圧電源、測定機器から成る。

放電電極①には直径0.14mmの鉄クロム線を、コレクタ電極②には厚さ1mm、奥行き20mmの銅板2枚を用い、両電極とも有効長さ(幅) w は150mmとした。放電電極の支持体は微動装置に取り付けられており、電極間距離 s を変えることができる。2枚のコレクタ電極間隔 D は、Fig. 1のアク

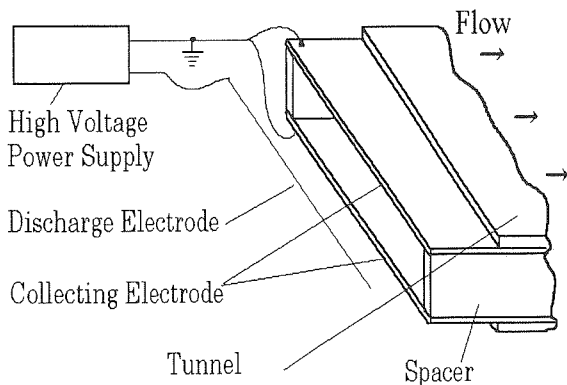


Fig. 1 Setup of EHD fan.

リル板製のスペーサにより設定する。この D は測定管路の短辺の長さになる。

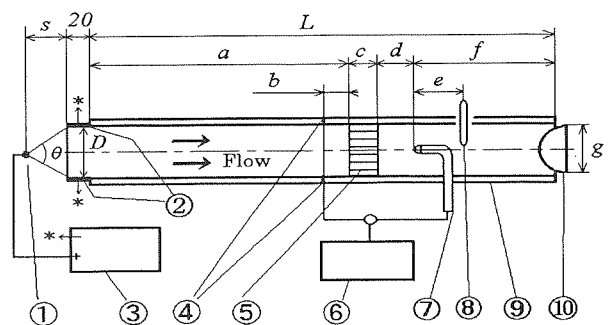
本電極系では、前述のように、金属細線から2枚の銅板に向かう二つの放電面が形成され、少なくとも近似的には、送気は二次元と見なしてよい。この放電面の方向、すなわち放電方向は流路方向への空気の駆動に強く影響し、装置の性能を支配する一つの要因と考えられる。本研究では、Fig. 2に示す二つの放電面間の角度 θ をデータ整理に用いる。ここに、

$$\theta = 2 \tan^{-1}(D/2s) \quad (1)$$

測定管路⑨は内面が滑らかで、内部のピトー管の鼻管方向等を監視できるよう透明アクリル板製とした。管路幅を広くすると、流量等に対する電極両端の影響を相対的に小さくできるが、ここでは w と同じく150mmで一定とした。管路断面積は $D \times 150 \text{ mm}^2$ となる。管路や整流格子⑤を含む諸寸法は、原則としてJIS¹⁰⁾を参考にした。本装置の管路断面形状は長方形であり、測定位置等は等価直径を用いて決定した。寸法は図中の表に示した。なお、弁⑩は性能曲線を求める実験に使用した流量調節弁であり、本報告の範囲では使用していない。

JIS¹⁰⁾では、鼻管径5~20mmのピトー管を使用するよう規定しており、本研究では6mmのものを採用した。この寸法と、JISの解説に述べられている圧力測定点の取り方とから、Fig. 2の装置ではコレクタ電極間隔、すなわち長方形管路の短片長 D を18mm以下にすることはできず、最小値を $D = 20 \text{ mm}$ とした。また、 D の上限は50mmとし、それらの中間の値として30mmを採用した。

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

Fig. 2 Setup of experimental apparatus.

放電電極に高電圧電源③の正出力を、2枚のコレクタ電極に負出力を接続し、正イオン風を発生させた。また、負イオン風の実験では接続を逆にした。交流イオン風については、下記の高電圧トランスの出力(60Hz)を放電電極およびコレクタ電極に直接接続した。以上のいずれの場合もコレクタ電極側を接地した。直流高電圧は前報と同じく、高電圧トランス(一次側100V,二次側15000V)の出力を高電圧用ダイオードでブリッジ整流した後、高電圧用コンデンサにより脈流を抑えて得た。出力電圧の調節は、高電圧トランスへの入力電圧をスライドトランスにより変化させて行った。

吸入空気の温度、湿度はデジタル温度湿度計(CHINO, MODEL HN-K)⑧により、大気圧はフォルトン気圧計により測定した。管路内での圧力測定にはJIS型ピトー管(岡野製作所LK-1)⑦とデジタル微差圧計(日立, TYPE DMS-4-2L)⑥を用いた。流速の測定点は次のようにした。長方形流路断面を $D=20, 30\text{mm}$ の場合は18, $D=50\text{mm}$ では25の等面積に分け、測定は各々の面積の中心位置で行った。静圧の測定は、Fig.2に示す測定位置において、上下左右の壁面に設けた合計4カ所の静圧孔④で別々に行い、算術平均値を測定値とした。

2.3 実験条件とデータ整理

各々の D について、 s は原則として5~50mmの範囲で、5mm間隔とした。実験は安定なコロナ放電の範囲のみで行い、激しい放電音が発生する範囲での実験は省略した。印加電圧の範囲は最大8~22kVである。実験は室温18~29℃, 相対湿度28~67%の空気中で行った。

測定には細心の注意を払ったが、流量の測定誤差は小流量の範囲で大きく、最大±20%と見積もっている。

本装置は使用状態で吐出管のみをもち、吸入口は大気に開口している。結果の算出は、この条件に対応するJISの記述を参考にして行った。全圧効率 η は次式で求めた。

$$\eta = \{ Q \times p_1 / (60 \times P) \} \times 100 \quad [\%] \quad (2)$$

ここに、 Q [m^3/min], p_1 [Pa], P [W]はそれぞれ流量、全圧、消費電力である。また、 $P = E \times I$ であり、 E は両電極間の印加電圧、 I はイオン電流である。

2.4 実機に対する結果の適用について

本装置を太陽熱蒸留システムで使用する場合、送気はその温度における飽和湿り空気と考えられ、本実験で用いる常温、常湿の空気の結果が適用できるという保証はない。この点については、以下のように考える。

Robinson⁸⁾は針を放電電極とする場合について簡単な解析と実験結果を示しており、流速 u は式(3)の形で表すことができ、実験結果とよく一致することを報告している。

$$u = \phi I^{1/2} \quad (3)$$

ここに、 ϕ はイオン移動度 k 、密度 ρ 、空力損失係数 K 、形状・寸法係数 g の関数である。したがって K, g が一定の下で、気体の成分、温度が定まれば ϕ は一定になる。

Robinsonは10種類以上の気体の $\rho \cdot k$ を求め、それらの u と乾き空気のそれとの比を示しているが、 I のべき乗は1/2

で一定としている。以上から、電極系が同じで、温度変化が大きくなければ、 ϕ および I のべき乗は一定として扱うことができると考えられる。

足立・川崎⁹⁾は針—金網電極系による実験結果から、針直下におけるイオン風の最大流速とイオン電流の1/2乗の関係がほぼ直線になることを示している。荒野ら¹¹⁾は、空气中に設置した水平円管列をコレクタ電極に、複数の針を放電電極に用いて、イオン風の熱伝達促進効果を報告しており、最大風速はイオン電流の1/2乗に比例するとしている。

これらのことから、少なくとも近似的には

$$u = \phi I^n \quad (3')$$

が成立すると考えられる。ここに、 n は定数であり、電極系ごとに実験を行って決定する必要がある。

したがって、近似的には、式(3)の ϕ を適切に選択することにより、常温、常湿空気の結果を高温度の飽和湿り空気に適用できると考えられる。高湿度空気は多成分混合気体であり、任意温度におけるイオン移動度を知ることは容易でない。実用上は、式(3)の ϕ を飽和湿り空気に対して種々の温度で実験的に求め、補正係数として用いる方法が簡便である。本研究で用いた電極系に対する ϕ の決定は今後の課題である。

3. 結果と検討

3.1 送気特性に対するイオン風の種類の影響

本節では3種類のイオン風の特徴を比較し、実用上最適なイオン風の種類を明らかにする。

Fig.3は3種類のイオン風に対する u と $I^{1/2}$ の関係を示している。ここに、

$$u = Q / A \quad (4)$$

であり、流路断面積 $A = D \cdot w$ である。 I のべき乗1/2は正イオン風の u に対して直線的関係になるように定めた。同一の I に対して得られるイオン風の u は、正、負、交流

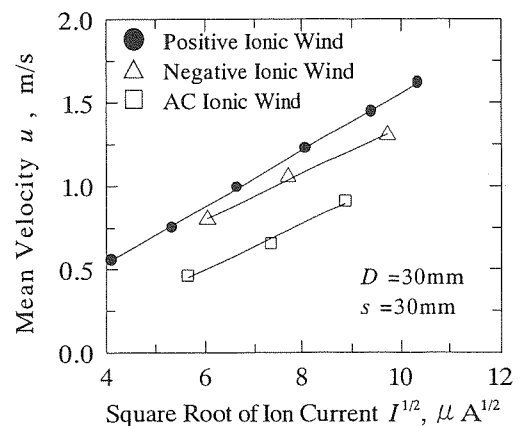


Fig.3 Relation between ion current and mean velocity.

Table 1 Constants of eq.(5).

Ionic Wind	m	n	Correlation factor
Positive	0.49	-0.71	0.9998
Negative	0.41	-0.55	0.9984
Alternate	0.40	-0.82	0.9942

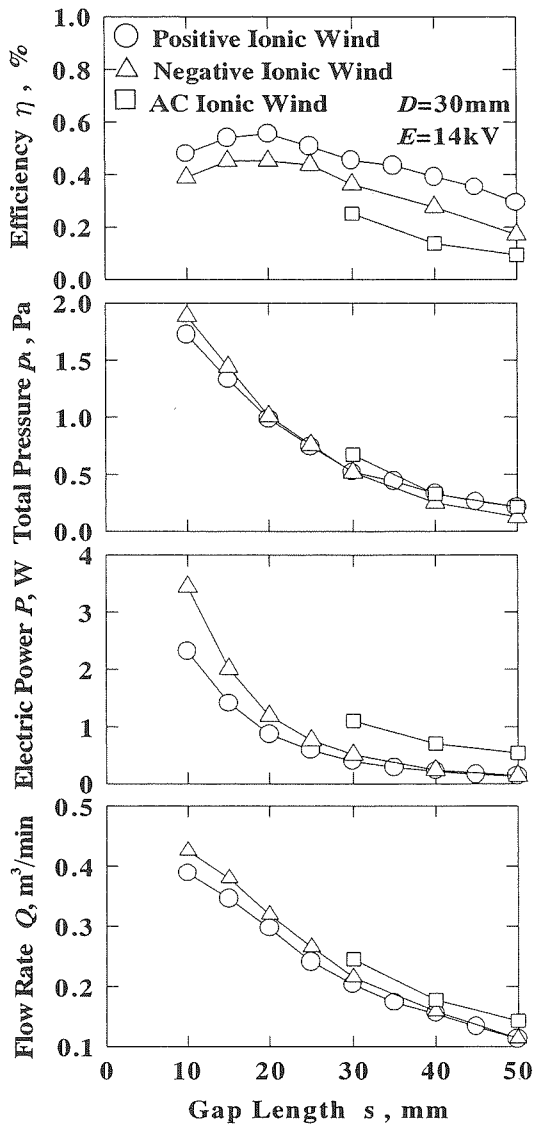


Fig.4 Effect of gap length on performance.

の順に小さくなる。とくに正、負イオン風に比べて、交流の u はかなり低い。Fig. 3 から、本研究の二次元電極ではイオン風の種類によらず、近似的には、

$$u = mI^{1/2} + n \quad (5)$$

が成立すると判断できる。ここに、 m 、 n は定数である。本実験で得られた m 、 n の値を Table 1 に示す。負、交流イオン風については相関係数が少し低いが、正イオン風については高い値で近似できている。本研究の結果では、式(5)の定数項 n は、イオン風の種類によらず負の値になっている。詳細は明らかにできていないが、ある種の流路抵抗

に対応する項とみることができよう。

足立・川崎⁹⁾による針—金網電極系の結果によれば、同じイオン電流に対して得られる針直下の最大流速は正、負、交流の順に小さくなっており、本研究の u も同様である。また、本研究では交流イオン風のプロットを結ぶ線の延長線と横軸との交点が $I^{1/2} = 2.40 \mu A^{1/2}$ 、すなわち $I = 5.74 \mu A$ であるのに対し、正および負のイオン風のそれらは $1 \mu A^{1/2}$ 以下となっている。電極系が異なるため、値そのものは違うが、傾向は足立・川崎のそれと同じである。交流イオン風の値が $5.74 \mu A$ と大きいのは、交流の放電が間欠的であり、空気駆動も間欠的になるためであろう。⁹⁾

Fig.4 は、 $D=30mm$ 、 $E=14kV$ 一定のもとでの流量 Q 、 P 、 p_t 、 η に対する s の影響を示している。交流イオン風に対する $s < 30mm$ での測定は数回繰り返したが、放電音およびイオン電流が急激に大きくなるので実験を中止した。正、負イオン風の Q は $s \geq 40mm$ ではほぼ一致している。全体的には、 Q は正、負、交流イオン風の順に大きくなり、 s に対して単調減少である。交流イオン風の Q は、正、負のそれよりも明らかに大きく、 $s = 40 \sim 50mm$ では正イオン風の $1.1 \sim 1.2$ 倍になっている。 E 一定の場合、後述のように交流イオン風の I が最も大きく、空気を駆動するイオン量も多いと思われる。

P については、その値が正、負、交流の順に大きくなること、 $s \geq 40mm$ では正、負イオン風間の差がなくなることは、 Q の場合と同様である。しかし、交流イオン風の P は大きく、 $s = 30, 40, 50mm$ において、正イオン風の P に対してそれぞれ $2.1, 2.9, 3.7$ 倍となっている。また、 p_t も s の増加とともに減少するが、 P に比してイオン風間の差は小さい。

一方、正、負イオン風の η は上述の Q, P, p_t とは異なり、ある s でピークをもつ。 s の減少による P の増加割合に比して Q のそれが小さいことによる。ピークを与える s の値は正、負イオン風でほぼ同じと判断できる。しかし、前述の理由で実験できなかった交流イオン風については明らかでない。

測定できた点で見ると、すべての s の範囲で、正イオン風の η が最大であり、負イオン風、交流イオン風の順に小さくなる。この順序は定性的には足立・川崎の結果と同じである。本研究では、交流イオン風の η は正イオン風の半分かそれ以下である。この原因は交流イオン風の P が他に比べて大きいこと、平均して大きいイオン電流の割に非放電時間があり、前述のように空気が間欠駆動されることによると考えられる。このように、交流イオン風は低効率で、送気を目的とする用途には適さない。このことは、 $s < 30mm$ の実験を中止した理由の一つでもある。

以上の結果と検討から、送気装置という目的に対しては正イオン風が最適であると判断し、以降の実験は正イオン風についてのみ行った。

3.2 基本的送気特性

送気は主として電極配置等の機械的要因と、印加電圧等

の電気的要因の影響を受ける。ここでは機械的要因として D , θ をとりあげ、 u , Q , p_t に対する影響を明らかにする。

Fig.5 は u , Q に対する P の影響を、 D , θ をパラメータとして示している。 $D = 20\text{mm}$ では、実質的電極間距離が短かく、 P の範囲は狭くなる。結果としてプロット数が少なく、一点のみの場合も多い。このことは本研究を通して共通である。

図において、 $D = 20\text{mm}$ では P の範囲が狭く全ての θ についてほぼ 1 本の直線上にある。 $D = 30\text{mm}$ については、 $P < 0.5\text{W}$ では直線と見なすことができる。 $P > 0.5\text{W}$ の場合、 $\theta \leq 90\text{deg}$ のプロットは 1 本の曲線上にあると見なせるのに対し、 $\theta \geq 113\text{ deg}$ の二つのプロットは、曲線から下方に離れている。 $D = 50\text{mm}$ については、 $\theta \leq 103\text{ deg}$ のプロットは曲線上にあり、 $\theta \geq 118\text{ deg}$ のプロットは θ の増加とともに下方に離れている。

以上のことから、 θ がある値以下では、 u , Q は 1 本の曲線上にあると見なせるのに対し、 θ がそれ以上ではその曲線からはずれ、低下することが分かる。この θ を臨界放電角度 θ_{crit} と呼ぶことにする。 $D = 30, 50\text{mm}$ の場合、 u , Q に対する θ_{crit} は、それぞれ約 $90, 103\text{ deg}$ と判断できる。なお、 $D = 20\text{mm}$ については、 u , Q の値が相対的に小さく、実験可能な θ の範囲も狭いため、 θ_{crit} を明らかにできなかった。

本実験の範囲では、 P は高々 2.5W 程度であり、得られた Q は最大で $0.45\text{ m}^3/\text{min}$ である。本研究と前報⁷⁾では、電極

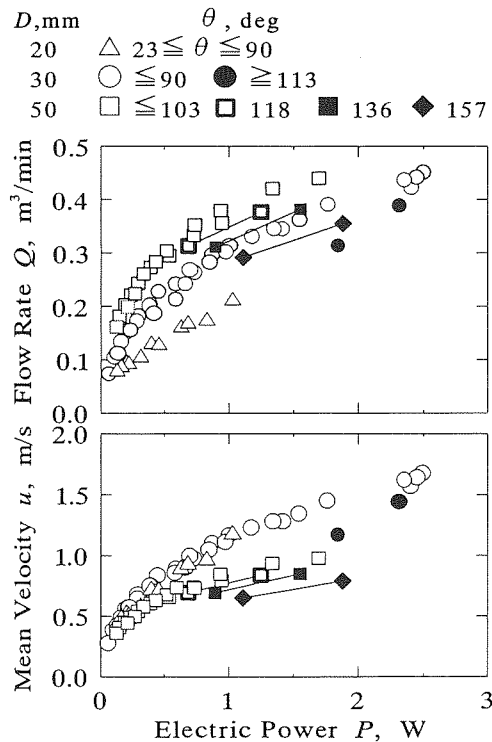


Fig.5 Effect of electric power consumption on mean velocity and flow rate.

系、装置の断面形状が異なるため、性能を単純に比較することはできない。ここでは単位電力あたりの流量 Q/P により比較を試みる。本研究の結果は、前報に比して、 P は約 3.5 倍、 Q は約 6 倍になっているので、 $Q/P \approx 1.7$ となり、 Q/P は約 1.7 倍に向上していることがわかる。

式 (5) より近似的に $u \sim P^{1/4}$ であるから、

$$Q \sim P^{1/4} \quad (6)$$

となり、Fig.5 の傾向とほぼ一致している。

Fig.6 は p_t に対する P の影響を示している。全体的には、 p_t は P の増加につれて増加する。しかし、増加割合は $D = 20, 30\text{mm}$ と $D = 50\text{mm}$ とでは大きく異なる。 $D = 50\text{mm}$ のプロット群の値は明らかに $D = 20, 30\text{mm}$ に比べて小さく、 1W 付近で増加割合が減少しはじめる。一方、 $D = 20, 30\text{mm}$ では P に対してほぼ直線的に増加する。したがって、近似的には

$$p_t \sim P \quad (7)$$

としてよい。

Q , u の場合と同様、 θ が大きい範囲の p_t はプロット群からはずれて低下している。 p_t に対する θ_{crit} も全体としてみると Q に対するそれと同じ値とみることができる。

以上より、送気装置として利用する上で、 $\theta \leq \theta_{\text{crit}}$ が一つの条件であると判断できる。

3.3 全圧効率と最適電極位置の検討

本節では、 P と η の関係を検討することにより、二つのコレクタ電極間の最適距離、放電電極の最適位置を決定する。

Fig.7 は、 $D = 30\text{mm}$ を例として、 η に対する θ の影響を、 E をパラメータとして示している。 θ が一定の場合、 E が増加すると η も増加する。 E が一定の時は、 η が最大になる θ が存在する。このピークの発生は、

- ① Fig.4 に示したように s と P が反比例的の関係にあることから、 θ の増大、すなわち s の減少は P の増大を招くこと

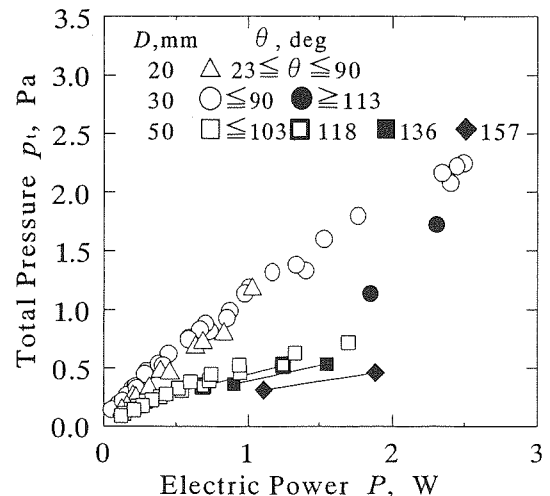


Fig.6 Effect of electric power consumption on total pressure.

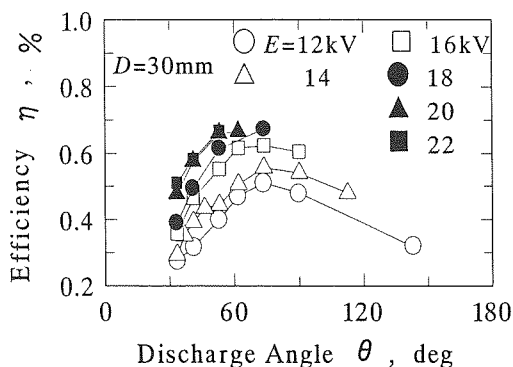


Fig. 7 Effect of discharge angle on efficiency.

② θ が大きくなると、空気の駆動方向と流路方向とのなす角度が開き、結果として損失が増加し、 Q が減少すること

によると考えられる。

Fig.8は η に対する P の影響を示している。全体的には、 η は P の増加とともに増加し、徐々に増加割合が減少する。この傾向は式(6)、(7)を式(2)に代入して近似的に

$$\eta \sim P^{1/4} \quad (8)$$

となることから分かる。

図のプロットは大きく二つのグループに分かれている。一つは $D = 30\text{mm}$ のグループであり、他の一つは $D = 20, 50\text{mm}$ のグループである。実験した P の全範囲で $D = 30\text{mm}$ の η が最大であり、その両側の $D = 20, 50\text{mm}$ では大きく低下している。

以下、 D ごとに検討する。 E が増加すれば、 η も増加することはFig.7で示した。 $D = 20\text{mm}$ の場合、 s が小さく、これ以上 E を増加すると火花放電に移行する可能性が高くなるので、これ以上の値を望むことはできないと考えられる。 $D = 30\text{mm}$ の η については、 $\theta = 53, 62, 74\text{deg}$ のプロットがばらつき範囲ではほぼ同じ値をとり、全てのプロット中で最大である。●のプロットで示した $\theta \geq 90\text{deg}$ のうち、 $\theta = 90\text{deg}$ には実験点が三点あり、折れ線で結んであるが、その η は $\theta = 74\text{deg}$ の場合に比べて低下している。さらに、 $P = 2.3, 1.8\text{W}$ における●はそれぞれ $\theta = 113, 143\text{deg}$ における η を示しており、著しく低下している。また、特徴的なことは $\theta \leq 46\text{deg}$ でも低下傾向を示すことであり、 $\theta \leq \theta_{crit}$ では一定であった Q, u, p_t とは異なっている。以上のことから、 η に対しては $\theta_{crit} = 74\text{deg}$ と判断できる。

一方、 $D = 50\text{mm}$ については、 s が他に比べて大きいので、さらに E を増加することが可能である。しかし、Fig.8における $D = 50\text{mm}$ のプロットの値と、近似的に式(8)が成立することから、 η の値が $D = 30\text{mm}$ の値を越える可能性はない。

次に、 $D = 30, 50\text{mm}$ について、 θ と電場強さ K がほぼ同じ値になる場合の諸値をTable 2に示し、 η に影響する主要因の検討を試みる。これらはFig.8中の①、②で示されるプロットの値である。表中の s_g, q は、それぞれ実質電極

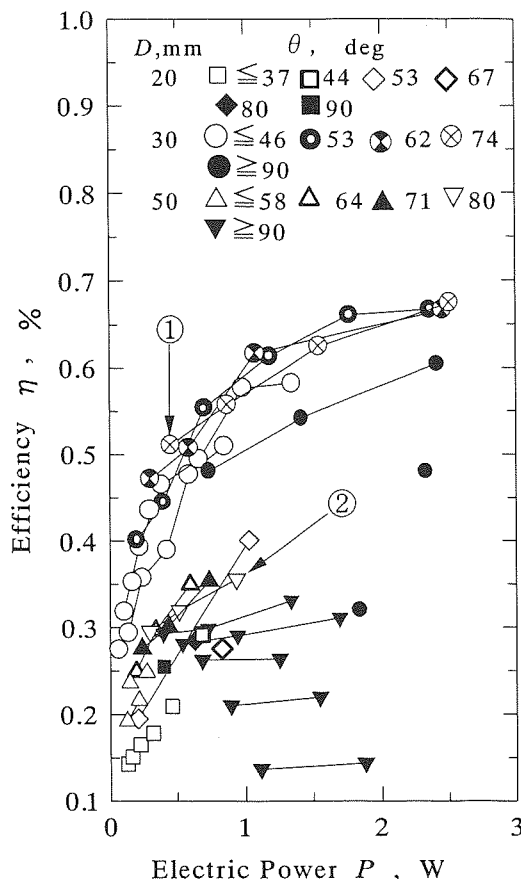


Fig.8 Relation between electric power consumption and efficiency.

間距離、電極の単位長さ当たりのイオン電流であり、次式で定義した。

$$s_g = [(D/2)^2 + s^2]^{1/2} \quad (9)$$

$$K = E / s_g \quad (10)$$

$$q = I / (2w) \quad (11)$$

$D = 30, 50\text{mm}$ では、実験条件上、 θ が同じになる実験点はない。しかし、Fig. 7で $D = 30\text{mm}$ について示したように、この程度の θ の差は η にほとんど影響しない。このことは $D = 50\text{mm}$ についても同様であり、 θ の差が η の差の原因とは考えにくい。

空気の駆動に対しては、イオン密度も重要な因子である。Table 2から $D = 50\text{mm}$ の q の方が $D = 30\text{mm}$ のそれよりも大きく、 η の大小関係とは逆である。 $D = 30\text{mm}$ について、 $q = 1.75\mu\text{A/cm}$ となる E と、そのときの η を調べると、 $12\text{kV} \leq E \leq 20\text{kV}$ 、 $1.24\mu\text{A/cm} \leq q \leq 2.18\mu\text{A/cm}$ の条件で、 $0.50\% \leq \eta \leq 0.61\%$ となっており、 $D = 50\text{mm}$ の η よりも大きい。したがって、 $D = 50\text{mm}$ における η の低下原因は q が大きすぎるためであるとも考えにくい。

これらのことから、 D による η の差は単に E, K や q のような電気的な量のみでなく、 D, s の他、流れ場等も含めた複合的原因による差であると考えられる。

Table 2 Comparison of efficiency under condition that the values of K and θ in case of $D=30\text{mm}$ are approximately equal to that in case of $D=50\text{mm}$.

D, mm	s, mm	s_g, mm	θ, deg	E, kV	$K, \text{kV/cm}$	P, W	$q, \mu\text{A/cm}$	$\eta, \%$
30	20	25	74	12	4.8	0.45	1.25	0.51
50	30	39	80	18	4.6	0.94	1.75	0.36

以上のことから、本実験条件の範囲では $D = 30\text{mm}$ が最適と判断した。

一方、 $D = 30\text{mm}$ の場合に対する最適な θ は以下のように考える。Fig. 8 において、 $53\text{deg} \leq \theta \leq 74\text{deg}$ の範囲では、 η が同じであれば θ が小さいほど E が大きくなる。したがって、Fig. 8 において折れ線で結ばれた各プロットの E は同じでなく、 θ が小さいほど E は大きい。小型になるという点では大きい θ の方が有利である。しかし、 P が同じであれば、小さい θ の方が、 E が大きい分 I は小さくなり、実用上、放電電極の劣化の点からは有利であると考えられる。このことから、最適値は $\theta = 53 \text{ deg}$ 、すなわち $s = 30\text{mm}$ 、 $s_g = 33.5 \text{ mm}$ であると判断した。この θ は、 Q, u, p_i それぞれの θ_{crit} 以下であり、送気装置全体としての最適条件と判断できる。

4. 結論

放電電極として金属細線、コレクタ電極として2枚の金属板エッジを用いた EHD 送気装置について、正イオン風、負イオン風、交流イオン風を発生させてそれぞれによる送気特性を、また最適電極位置を実験的に検討した結果、以下の結論を得た。

- (1) イオン電流一定の場合、平均流速は正イオン風が最大で、負イオン風、交流イオン風の順に小さくなる。本研究で使用した電極系では、平均流速はイオン電流の1/2乗に比例することが実験的に示された。
- (2) 全圧効率は正イオン風が最大で、負イオン風、交流イオン風の順に小さくなる。

以上のことから、正イオン風を用いて2枚のコレクタ電極間距離、放電電極とコレクタ電極との距離の最適値を実験的に求めた結果、次のことが明らかになった。

- (3) 全圧効率が最大となるコレクタ電極間距離は 30mm 、

実質電極間距離は 33.5mm であった。

- (4) 消費電力一定の下では放電電極から2枚のコレクタ電極を望む角度がある値になるまでは平均流速、全圧、全圧効率はほぼ一定の値をとるが、この値を超えると低下する。この角度は上記(3)の条件下で 74 deg であった。

謝辞 装置の製作、実験に協力された当時の学部生水谷巡君に謝意を表す。

参考文献

- 1) W. N. Grune, R. A. Collins and T. L. Thompson, Forced-convection, Multiple-effect Solar Still for Desalinating Sea and Blackish Waters, Proceedings of the United Nations conference on New Sources of Energy, 6(1961), 205, Rome.
- 2) M. K. Selcuk, Design and Performance Evaluation of a Multiple-effect, Tilted Solar Distillation Unit, Solar Energy, 8-1(1964), 23.
- 3) Ho-Ming Yeh and Zhi-Fang Chen, Energy Balances in Wick-type Double-Effect Solar Distillers with Air Flow through the Second-effect Unit, Energy, 17-12(1992), 1239
- 4) W. N. Grune, R. B. Hughes, and T. L. Thompson, Solar Stills, Water & Sewage Works, Oct.(1961).
- 5) H. M. Ali, Effect of Forced Convection Inside the Solar Still on Heat and Mass Transfer Coefficients, Energy Conversion and Management and Energy Conversion, 34-1(1993), 73
- 6) Gyorgy Mink, Mohamed M. Aboabboud and Etienne Karmazsin, Air-blown Solar Still with Heat Recycling, Solar Energy, 62 (1998) 309-317
- 7) 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, 常湿空気による実験結果, 太陽エネルギー, Vol.24, No.3 (1998) pp.45-52
- 8) Robinson, M., Movement of Air in the Electric Wind of the Corona Discharge, AIEE Transactions, 80 (1961) 143-150
- 9) 足立直良・川崎元之, コロナ放電電界中のイオン風, 静電気学会誌, 2(1978)158
- 10) JIS B 8330 - 1981 送風機の試験及び検査方法
- 11) 荒野詰也・栗山雅文・都田昌之・原田英二・今野宏卓, 水平面に平行に置かれた円管群のコロナ放電下における熱伝達, 化学工学論文集, 11(1985) 280-285