

# 平行平板によるイオン風の発生技術

片谷 篤史<sup>\*1</sup>, 水野 彰<sup>\*\*</sup>

(2009年6月6日受付; 2010年5月19日受理)

## Generation of Ionic Wind by Using Parallel Located Flat Plates

Atsushi KATATANI<sup>\*1</sup> and Akira MIZUNO<sup>\*\*</sup>

(Received June 6, 2009; Accepted May 19, 2010)

**Abstract:** Instead of conventional fans with rotating blades, ionic wind generators have been utilized in the various industrial fields. Although many types of ionic wind generators have been reported, we have noticed and chosen a method of parallel located flat plates with spikes in order to realize the ESPs (electrostatic precipitators) which can be self-ventilated without using fans. This means the ESPs with its compactness and its less power consumption. We examined how the position and location of spikes affects its ionic wind velocity and its power consumption. As a result, it is clarified that the negative discharge enables the fastest velocity.

### 1. はじめに

最近, 従来からの機械式の回転翼を有するファンに代わり, 気体中の放電現象を利用したイオン風発生装置が, ファンレス送風<sup>1)</sup>, 局所冷却<sup>2)</sup>, マイクロ送風機<sup>3,4)</sup>, 対流熱伝達促進<sup>5)</sup>などの多くの分野で利用されている。

イオン風発生技術の報告は多くあり, 例えば, 放電極と, これに対向する金網や金属平板の間に高電圧を印加する方式<sup>6-10,14-19)</sup>, アクリル管に直交する太さの異なる2本の棒電極間に高電圧を印加する方式<sup>11)</sup>や「ハ」の字型に配置した2枚の金属板間の放電極に高電圧を印加する方式<sup>12,21,22)</sup>などが挙げられる。また, 平行平板とこれに距離を隔てて対向するトゲ電極板の間に高電圧を印加する概念が特許<sup>13)</sup>として公開されている。この特許では, トゲの先端の方向にイオン風が吹くと報告されているが, 得られた風速や極板寸法などの数値的記述が無いので, 諸特性の詳細は不明である。

トゲ電極板と接地平板を交互に平行に配置する構造は, 電気集塵装置の荷電部に広く採用されている。しかし, この構造におけるイオン風の諸特性は, 殆ど報告されていない。著者は, この構造でイオン風を効率的に発生することが出来れば, 機械式回転翼によるファンを用いることなく電気集塵装

置への通風が可能になり, 通風ファンを用いない電気集塵装置が実現できるのではないかと考えた。ここでは, トゲ電極板と接地平板を交互に配置した構造における, イオン風発生装置の風速特性等を把握することを目的とした。

### 2. 実験手順

イオン風発生装置の基本的な構成を図1に示す。トゲ電極板と, 接地平板を交互に配置し, 電極間に直流の高電圧を印加する。また, トゲ電極板と接地平板の枚数を増やせば, イオン風が吐出される面積を自在に増やせるので, 送風装置としての応用範囲が広がる。図1の下図に, トゲ先端から接地平板の内面に向かって, コロナ放電に伴うイオン風の流れる様子を, 点線の矢印で示した。トゲ電極板のトゲ先端を◎印で示す。また, 前記特許により, イオン風によって通風される風の向きは, トゲの先端の向きと同じく, 実線の太い矢印の方向になると予想した。

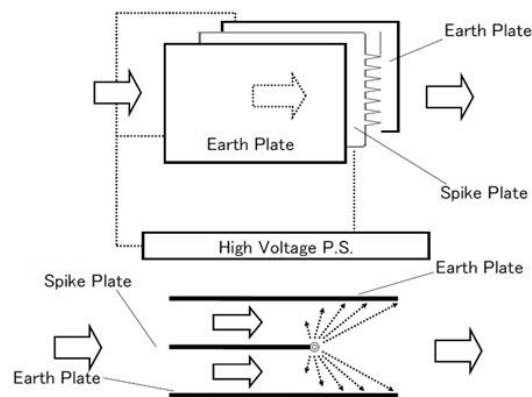


図1 平行平板内部にトゲを設けたイオン風発生装置  
Fig. 1 Ionic wind generator with spikes among parallel flat plates.

**キーワード:** イオン風, 送風, トゲ電極板, コロナ放電

\* パナソニックエコシステムズ株式会社 (486-8522 愛知県春日井市鷹来町下仲田 4017 番)

Panasonic Ecology Systems Co., Ltd

4017, Takaki-cho Kasugai-city, Aichi-pref., 486-8522, Japan

\*\* 国立大学法人 豊橋技術科学大学 (441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1)

Toyohashi University of Technology, 1-1, Hibirigaoka,

Tenpaku-ku, Toyohashi-city, Aich-pref., 441-8580, Japan

<sup>1</sup> katatani.atsushi@jp.panasonic.com

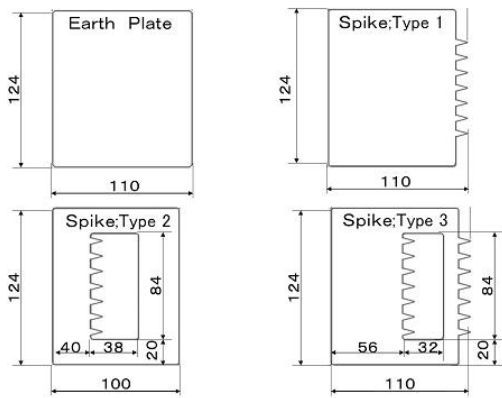


図2 接地平板とトゲ電極板の外形図

Fig. 2 Earth plate and spike plate.

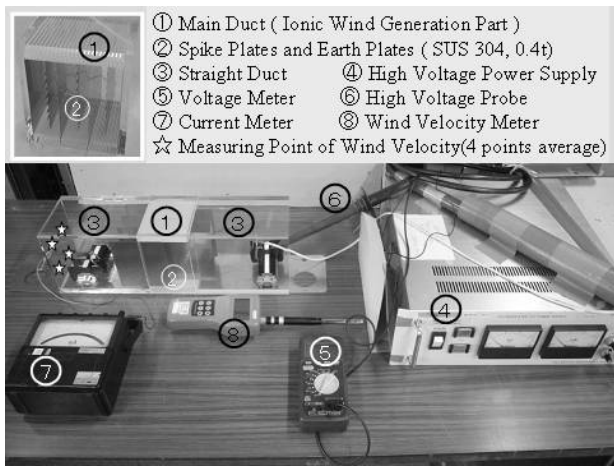


図3 実験装置

Fig. 3 Test equipment.

本実験で用いる接地平板とトゲ電極板の外形を図2に示す。材質はSUS304で板厚0.4tである。トゲ単体の形状は二等辺三角形、トゲの先端角度は30度、溝からトゲ先端までの高さは10mm、隣り合うトゲ同士の間隔は12mmである。一列中に存在するトゲの数を7つに統一した。

本実験で用いる実験装置を図3に示す。アクリル製の①主ダクトはイオン風の発生部である。主ダクト内面の上部と下部には、5mm間隔で幅0.9mmの溝が彫ってある。従って、接地板とトゲ電極板を、様々な極板間隔(極間)で、この溝に挿入配列することが可能である。

③直管ダクトは2個あり、主ダクトの前後に設けて、風の流れを整流する。直管ダクトの吸込口部の断面を、十文字の均等な面積で四分割し、これら各四角形の中心点にて、熱線風速計を用いて風速を測った。四点の平均値をその条件での風速値とした。④高圧電源は直流の正または負の電圧出力が可能なものである。この電源からの電圧をトゲ電極板と接地平板間に印加した。印加電圧を徐々に上昇させ、風速と印加電圧値・放電電流値を記録した。印加電圧の上昇が限界に達

表1 実験装置の仕様

Table 1 Specifications on experiments.

Items	Details
Main duct	W 121, H 120, L 100 [mm] (Inside)
Straight duct	W 121, H 140, L 200 [mm] (Inside)
High voltage power supply	Model-502 (Pulse Electric Engineering) Max. output; DC ±25 kV, 20 mA
Voltage meter	Digital multi meter type73303 (Yokogawa)
Probe	Ratio;1/1000 (FLUKE), For high voltage
Current meter	Type2007(Yokogawa);range;1.0 mA 3.0 mA or Type2011(Yokogawa);range 10 mA
Wind velocity meter	Climomaster MODEL6531 (Kanomax) Range; 0.10-30.0 m/s Mode;1 sec. measuring & 10 times ave.

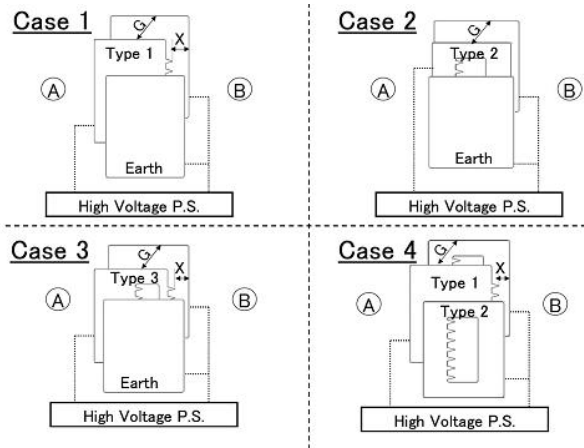


図4 実験の4ケース

Fig. 4 Four cases for tests.

表2 トゲ電極板の枚数N

Table 2 Quantity N of spike plates.

	G10	G15	G20
Earth plate (N+1)	7	5	4
Spike plate (N)	6	4	3

しスパークが発生した時点で、その測定を終了した。また、印加電圧値と放電電流値の積を消費電力値とした。上記以外の実験装置の仕様を表1に記す。

実験は図4に示す通り、4ケースのトゲ電極板の形状にて行った。トゲ電極板として、ケース1では図2のType1(端部にトゲを配列)、ケース2ではType2(中央部にトゲを配列)、ケース3ではType3(中央部と端部にトゲを配列)を用いた。ケース4については接地平板を用いずにType1とType2の電極板を交互に配置した。

隣り合う接地平板とトゲ電極板の間隔を、極間Gと呼ぶことにする。図3の①メインダクトの幅(内寸)は121mmである。この幅寸法をフルに用いて、接地平板とトゲ電極板を交互に配列するという条件では、10, 15, 20mmという3種類のGを得ることができる。一般的に、電気集塵装置の物理的な設置環境では、通風断面(幅寸法と高さ寸法)が定まっ

ている場合が多いので、幅寸法が一定という条件下で、G を変化させた場合の風速特性を把握することには、意味があると考えられる。表 2 に、各 G に対する接地平板枚数とトゲ電極枚数の一覧を示す。

ケース 1 からケース 3 については、正負両方の高電圧を印加した。トゲ電極板に印加する電圧の極性により正放電、負放電とした。ケース 4 については Type 1 の電極板に負電圧を印加して負放電させ、Type 2 の電極板からは正放電させた。(正放電と負放電を同時に発生させた。)

また、電極板の端部にあるトゲ突起の先端が隣接する接地板の端部から何 mm 凹んだ位置にあるのかを重視し、この水平方向のトゲ電極位置を、X[mm]で表すことにした。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 ケース 1 (図 2 のタイプ 1 と接地平板)

印加電圧とイオン風の風速の関係を図 5 と図 6 に示す。図 5 は正放電、図 6 は負放電の場合である。両図の中の「G」に続く数字は、極間 [mm]を示しており、10, 15, 20 mm の 3 種類とした。各グラフのプロットの注記の「X」に続く数値は、電極位置 X [mm]を示しており、90, 50, 30, 15, 8, 0 mm (6 ケース) について測定した。

全ての場合で、図 4 における A 点から B 点の方向 (即ちトゲの先端が向く方向) に、イオン風が吹いた。(X = 0 mm の場合、風速は 0.1 m/s 未満であった。) 印加電圧の上昇とともに風速は増加してゆくが、印加電圧が高くなると、飽和傾向を示す場合や、風速が減少する場合があった。印加電圧が上昇し、スパークが発生した時点で、電圧の印加を停止した。

図 6 の負放電における X = 50 mm の時の G10 と G15、および X = 90 mm の時の G10 と G15 において、ほぼ最大の風速値 0.95 m/s が得られた。図 5 の正放電における、X = 30 mm 以上の時の G10 と G15 において、最大風速値は約 0.7 m/s であった。

図 5 と図 6 の 6 つのグラフに共通することは、X が大きくなるに従って、同電圧で得られる風速が増加することである。このことから、トゲの先端方向の空間に、接地平板がより多く存在することが、高風速化に必要な条件であると考えられる。逆に言えば、トゲの先端と反対方向の空間に存在する接地平板は、高風速化にあまり貢献していないと考えられる。しかしながら、X の値が比較的大きい X = 50 mm と X = 90 mm の場合では、ほぼ同じ風速特性を示す。即ち、印加電圧が同じ場合、X を 50 mm 以上で変化させても、風速は飽和すると考えられる。

また、図 5 と図 6 に共通して、X が 30 mm から 90 mm の間の場合、印加電圧が高い領域で風速が減少することがある。この現象の理由を考える。表 3 は、それぞれの G の

値において、X が 00, 08, 15 mm の A グループ (X が小) と、30, 50, 0 mm の B グループ (X が大) に分け、最大印加電圧 [kV] (各グループの 3 種類の X 値における最大印加電圧の平均値) を示したものである。B グループの方

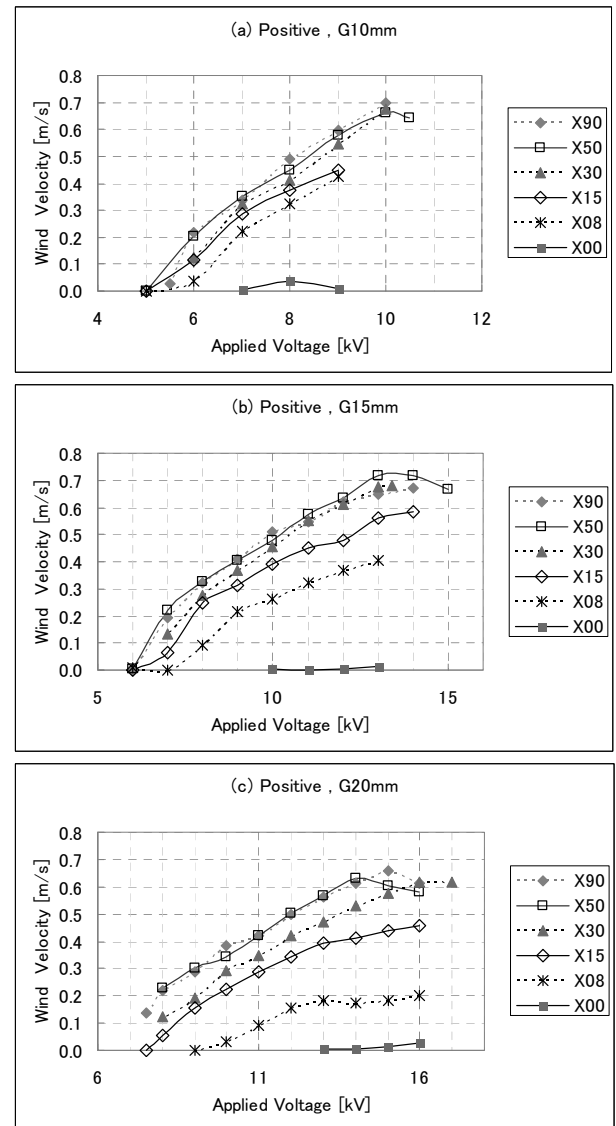


図 5 電圧と風速 (ケース 1 正放電)

Fig. 5 Voltage versus wind velocity (Case 1 positive discharge).

表 3 最大印加電圧

Table 3 Maximum applied voltage.

X [mm]	Positive [kV]			Negative [kV]		
	G10	G15	G20	G10	G15	G20
0						
A group	8	9.3	13.3	16.3	10.3	13.3
15						
B group	50	<u>10.3</u>	<u>14.1</u>	<u>16.3</u>	11.3	<u>17.8</u>
90						

Remark ; The numbers with an under bar showed the range of decreasing velocity.

が、Aグループよりも高い電圧を印加できることが分かる。また、表中で下線のある数値は、印加電圧の上昇とともに、(ある電圧領域で) 風速の低下を示した場合である。Bグループに、風速低下の現象が集中して発生していることが分かる。これらの結果から、Xが大きくなると、よりスパークが発生しにくくなり、印加電圧を上げることができるといえる。即ち、Xが小さいと、トゲ近傍の正(または負)の空間電荷群と、接地平板端近傍の負(または正)の空間電荷群の距離が、近づくので、スパークが発生しやすくなる。よって電圧の上昇が困難になる。逆にXが大きくなると、両空間電荷群の距離が離れるので、スパークの発生確率が減ると考えられる。そして、Xが大きい時に、接地平板の端でもコロナ放電が発生し、その結果、接地平板端からもトゲに向かって、逆向きのイオン風が吹く。これが、風速減少の原因と考える。また、この風速減少の領域にあ

るとき、放電空間から顕著な騒音が聞こえた。このとき、電極板と接地平板端部は微小振動していた。これら事実から、相対する向き of イオン風の干渉により、渦流が発生し、この渦流が風速減少に関与したものと推察する。

次に電流と風速減少の関係を考察する。図7は、X = 50 mm の時の、印加電圧と電流の関係である。プロット説明符号の「G」に続く数値は極間を示し、「G」の前の+または-の符号は、正・負放電の別を示す。図7のプロット+G10, +G15, +G20, -G15, -G20は、図5および図6のX = 50 mm において、風速減少が現れた5つのケースである。全てのプロットにおいて、印加電圧の上昇とともに電流値の増加が認められる。このことから、電流が増加しているにも関わらず、風速が減少しており、高電界となる接地平板の端部からトゲに向かって、逆向きのイオン風が吹くことが示唆される。

また、同じG・同じ絶対値電圧の条件下では、正放電よりも負放電の方が大電流を流せることが分かる。表3においても、正放電よりも負放電の方が、最大印加電圧が大きい。これらのことから、正放電よりも負放電の方が、イオン風速を速くすることができると考えられる。

図8と図9に、X = 50 mm の時の消費電力と風速の関係を示す。図8は正放電、図9は負放電の特性である。

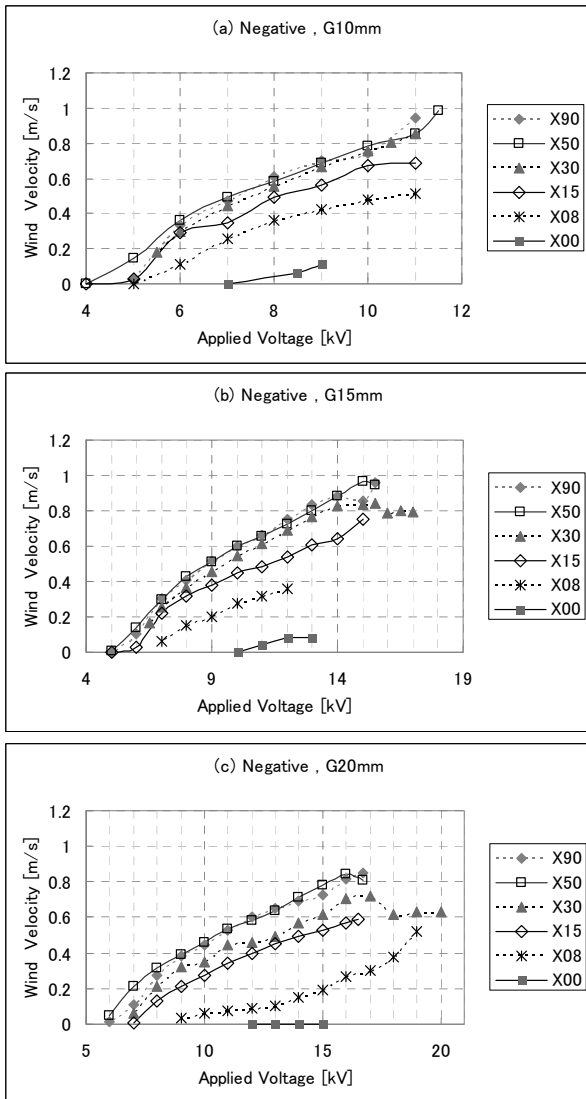


図6 電圧と風速 (ケース1 負放電)  
Fig. 6 Voltage versus wind velocity (Case 1 negative discharge).

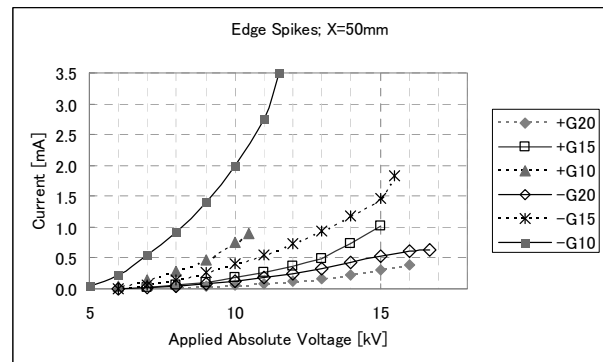


図7 電圧と電流 (ケース1)  
Fig. 7 Voltage versus current (Case 1).

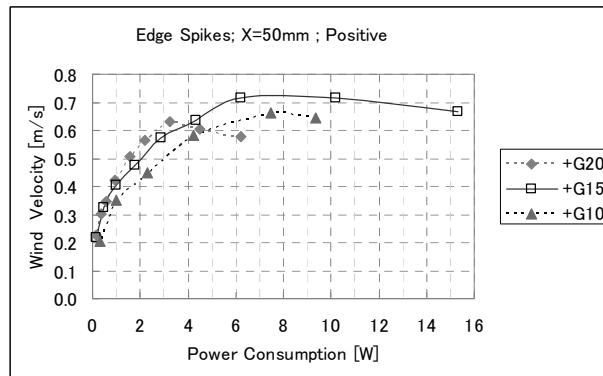


図8 消費電力と風速 (ケース1 正放電)  
Fig. 8 Power consumption vs. wind velocity (Case 1 positive).

図8の正放電の場合、G20, G15, G10 いずれも消費電力が増大すると、風速減少の現象が現れている。風速減少が現れない3 W以下の領域において、同一消費電力で比較すると、最も風速が大きいのは、G20であり、次にG15, G10の順(Gが大きい順)となっている。この理由を考える。表2に、各Gに対する接地平板とトゲ電極板の枚数を示した。G20は、板が7枚(4枚+3枚)であり、他のGより少ない。イオン風通風時の流体抵抗が小さいことが、同一消費電力で、G20の風速が最速となる理由の1つになると考えられる。

図9の負放電の場合も、同一消費電力で比較すると、風速が大きい順と、Gが大きい順が一致した。

3.2 ケース2 (図2のタイプ2と接地平板)

図2のタイプ2のトゲは、板の端部ではなく、板の中央部に配置してある。但しトゲは、ケース1のX=50 mmと同じ位置になるように配置した。実験結果を図10に示す。

端部のトゲ(ケース1)と比べ、中央部のトゲ(ケース2)の場合、風速は数割低下した。中央部のトゲは、高風速化に貢献しないことが明らかになった。その理由を考える。図11はケース1とケース2の、イオン風の概念を示す。図中の(1a)の配置によるイオン風は、(1b)の破線矢印の様に吹く。一方、

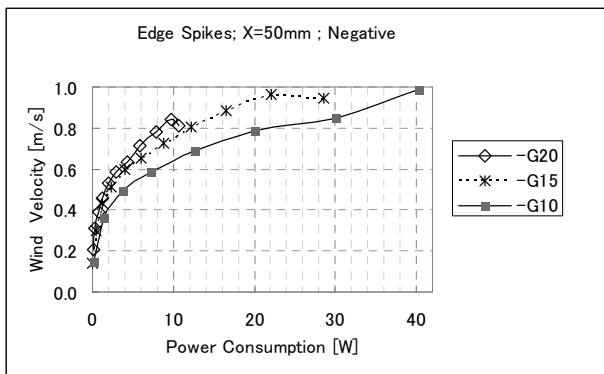


図9 消費電力と風速 (ケース1 負放電)  
Fig. 9 Power consumption versus wind velocity (Case 1 negative).

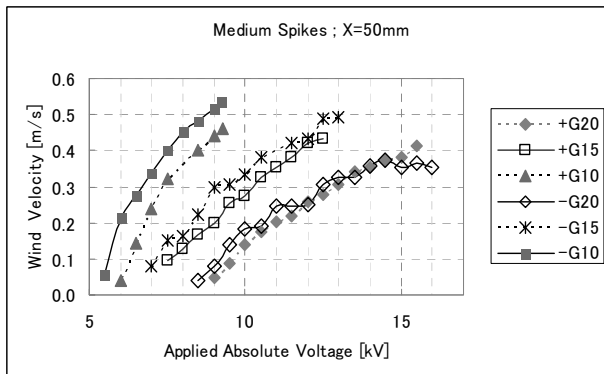


図10 電圧と風速 (ケース2)  
Fig. 10 Voltage versus wind velocity (Case 2).

図中の(2a)では、(2b)の破線矢印の様に吹く。(2b)の破線矢印は、A部分に起因する電界の影響を受けるため(1b)よりも風速が低下したものと考えられる。

3.3 ケース3 (図2のタイプ3と接地平板)

図2のタイプ3のトゲ電極板は、端部のトゲと中央部のトゲの両者を備えたものである。タイプ1とタイプ2の特徴をもつ形状で、トゲの数が2倍に増えている。

X=40 mmの条件で実験を行った。図12に電圧と風速の関係を示す。最高風速は負放電の極間10 mmの時に1.1 m/sであった。トゲの数を増やすことで、放電電流が増加したので、高い風速を得られたものと考えられる。

3.4 ケース4 (図2のタイプ1とタイプ2の併用)

N枚のタイプ1と、N+1枚のタイプ2を交互に配置した。タイプ1から負放電を、タイプ2から正放電を同時に発生させた。(タイプ1またはタイプ2と比べて、トゲの数が2倍に増えている。)

X=20 mmの条件で実験を行い、結果を図13に示す。最高風速は負放電のG10の時、1.2 m/sであった。トゲの数が増え、また、全ての金属板(2N+1枚)が、イオン風の発生源となるので、高い風速が得られたものと考えられる。

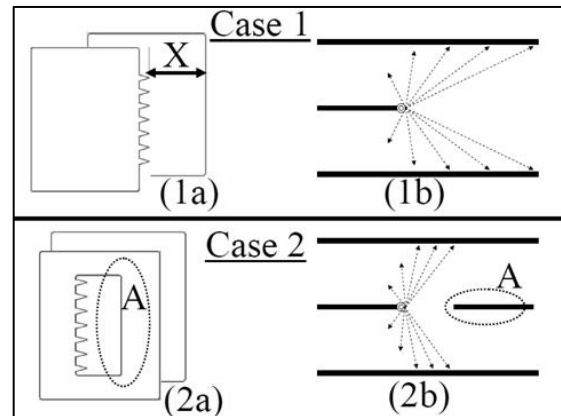


図11 イオン風の概念  
Fig. 11 Image of ionic wind.

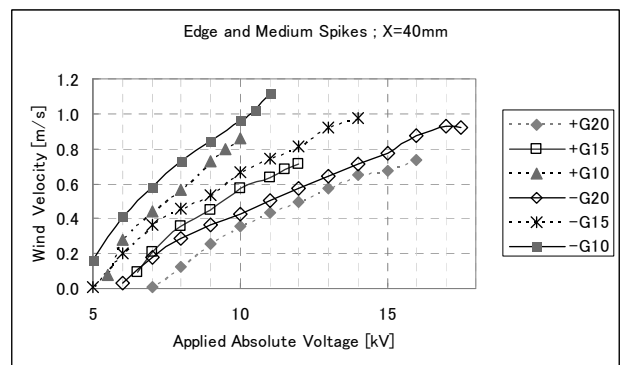


図12 電圧と風速 (ケース3)  
Fig. 12 Voltage versus wind velocity (Case 3).

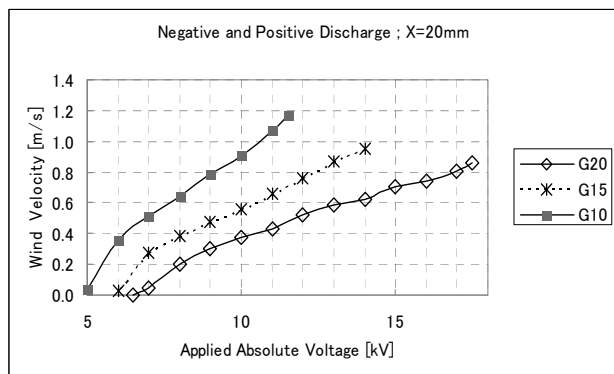


図13 電圧と風速 (ケース4)

Fig.13 Voltage versus wind velocity (Case 4).

#### 4. 結論

種々のトゲ電極板と接地平板を平行に配置し、極間G[mm]とトゲ電極の位置X[mm]を変化させ、直流高電圧を印加し、イオン風速を評価した。得られた内容をまとめると、以下の通りである。

イオン風の向きは正放電でも負放電でも、トゲの先端が向く方向である。

トゲがトゲ電極板の端部のみに存在する場合、隣接する接地平板端部からの凹み距離が長くなるに従い、風速は速くなり、飽和する。

トゲがトゲ電極板の端部のみに存在する場合、印加電圧の増加に伴い、電流は増加するが、風速が減少する場合がある。

正放電よりも負放電のほうが高風速を得やすい。

トゲ電極板には、内面にトゲを設けるよりも、端部にトゲを設けるほうが、高風速を得やすい。ただし、トゲの高さ寸法に対して、空隙の幅寸法が数倍以下という条件の場合についていえる。

トゲ電極板の端部の他に、内面にもトゲを設け、トゲの総数を増やすことによって、風速をより速くできる。

高圧電極および接地電極ともに、トゲ電極とすることによって、高風速を得ることができる。

今回は、1枚のトゲ電極板に、トゲを最大2列まで設けて実験したが、今後はトゲに列を増やすなど工夫して、更に高風速のイオン風発生装置を探索したい。併せて、発生するオゾン量についても把握する予定である。

#### 参考文献

1) 西川和男, 野島秀雄, 高岡浩実, 神崎勝行: 電気学会基礎・材料・共通部門大会講演論文集, Vol. 2000, p. 223, 電気学会 (2000)

2) 鳥飼建宏, 梅津信二郎, 山村雄一, 福山明, 川本広行: 日本機械学会情報・知能・精密機器部門講演会講演論文集, Vol. 2005, p. 136, 電気学会 (2005)

3) H. Kawamoto and S. Umezu: J. Electrostat., **66** (2008) 445

4) 梅津信二郎, 鳥飼建宏, 川本広行: 日本機械学会論文集, **73** (2008) 789

5) 矢部 彰: 静電気学会誌, **10** (1986) 465

6) 前原弘典, 足立宣良: 山口大学工学部研究報告, **20** (1970) 385

7) 高城 実, 川崎元之, 足立宣良: 静電気学会誌, **7** (1983) 408

8) 大久保利一, 山口哲也, 野本幸治, 足立宣良: 大分大学工学部研究報告, No.14 (1986) 63

9) K. Tanoue, H. Taniguchi and H. Masuda: Advanced Power Technology, **17** (2006) 69

10) 山本俊昭, 奥田 幸, 大久保雅章: 静電気学会講演論文集, Vol. 2002, p. 281, 静電気学会 (2002)

11) N. Takeuchi, K. Yasuoka and J.S. Chang: 6<sup>th</sup> Conference of the French Electrostatics Society, July 2008, p. 410 (2008)

12) M. Kocik, J. Podlinski, J. Mizeraczyk, K. Urashima and J.S. Chang: 6<sup>th</sup> Conference of the French Electrostatics Society, July 2008, p. 422 (2008)

13) 豊田弘一: 特開 2009-74766

14) T. Yamamoto and L.E. Sparks: IEEE Trans. Ind. Appl., **IA-22** (1986) 880

15) T. Yamamoto, Y. Morita, H. Fujishima and M. Ohkubo: J. Electrostat., **64** (2006) 628

16) T. Yamamoto and H.R. Velkoff: J. Fluid. Mech., **108** (1980) 1

17) T. Yamamoto: J. Electrostat., **2** (1989) 11

18) D. Brocilo, J. Podlinski, J.S. Chang, J. Mizeraczyk and R.D. Findlay: J. Phys. Conf. Ser., **142** (2008) 012032

19) J. S. Chang, J. Dekowski, J. Podlinski, D. Brocilo, K. Urashima and J. Mizeraczyk: IEEE 2005 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomina, p. 461 (2005)

20) J. Podlinski, M. Kolic and J. Mizeraczyk: J. Phys. Conf. Ser., **142** (2008) 012037

21) M. Kolic, J. Podlinski, A. Niewulis, J. Mizeraczyk, H. Tsubone and J.S. Chang: J. Phys. Conf. Ser., **142** (2008) 012061

22) J.S. Chang, H. Tsubone, N. Buenconsejo Jr, J. Ueno, G.D. Harvel, J. Mizeraczyk and K. Urashima: 28<sup>th</sup> ICPIG July 15-20, 2007, p.1070 (2007)