

## ボクサーチャージャー (Boxer-Charger)

## 技術資料

(株)増田研究所

## 1. 原理

ボクサーチャージャーは粒子、ファイバー、シートなどに、正又は負極性の「ポーターニエールの理論荷電量」(2節参照)を与えることのできる荷電装置です。その原理は図1に示すように対向する1対の沿面放電電極間の荷電空間に、交番電界を印加し、沿面放電電極上で発生させた沿面放電プラズマからイオンを荷電空間に引き出して、荷電空間を飛来する粒子などを帯電させるものです。沿面放電電極は、セラミックの表面に放電電極を、セラミック背面または内部に誘導電極を設けたセラミック複合電極で、放電電極と誘導電極間に高周波電圧(10 ~ 20 kHz, 6 ~ 10 kVpp)を印加することで沿面放電を発生させ、沿面放電プラズマを生成するものです。

図1に示す沿面放電電極Aの充電電極に $V_i-A$ なる電圧を印加し、Bの充電電極に $V_i-B$ なる電圧を印加しますが、AからBに交番電界Eが向かっている時点で沿面放電電極Aに高周波電圧(10 ~ 20 kHz, 6 ~ 10 kVpp)を印加して沿面放電を発生させると、生成された沿面放電プラズマからプラスイオンが電界Eにより引き出され、荷電空間中の粒子に電気力線に沿って運ばれ衝突し、粒子を荷電します(衝突荷電)。次に、BからAに交番電界Eが向かっている時点で沿面放電電極Bに高周波電圧を印加して沿面放電を発生させると、生成された沿面放電プラズマからプラスイオンが電界Eにより引き出され、荷電空間中の粒子に電気力線に沿って運ばれ衝突し、粒子を荷電する結果、両方向から正イオンの射突を受けるため、効率良く粒子はプラスに荷電されることとなります。この時のそれぞれの沿面放電電極の誘導電極に印加される電圧( $V_i-A$ と $V_i-B$ )を模式的に図1中に示していますが、交番電圧(矩形波)が正の時点で高周波電圧を印加しています。

高周波電圧を印加する位相を変え、交番電圧(矩形波)が負の時点で高周波電圧を印加すると、マイナスイオンが沿面放電プラズマから引き出され、粒子をマイナスに荷電することとなります。

ボクサーチャージャーは、イオン源である放電プラズマを生成する電圧と、荷電電界を生成する電圧を別々に荷電部に供給するため、通常の直流電圧のみで荷電する場合(直流荷電)と比較して、イオン密度を必要且つ十分に得ることができ、また、荷電電界強度も大きく保つことができます。そのため、荷電性能がよい(「ポーターニエールの理論荷電量」まで荷電できる)ことが最大の特徴となります。また、直流荷電では1方向からしかイオンが射突しないため、高抵抗粒子では表面電荷の分散が起きず、表面電荷分布が不均一となりますが、ボクサーチャージャーは双方向からイオンが射突するため、表面電荷分布が改善され、理論帯電量に達するまでの帯電時間が大幅に短くできます。さらに、直流荷電で問題となる高抵抗粒子を荷電する際発生する逆電離問題も生じないため、高抵抗粒子に対しても障害なく荷電することが可能です。

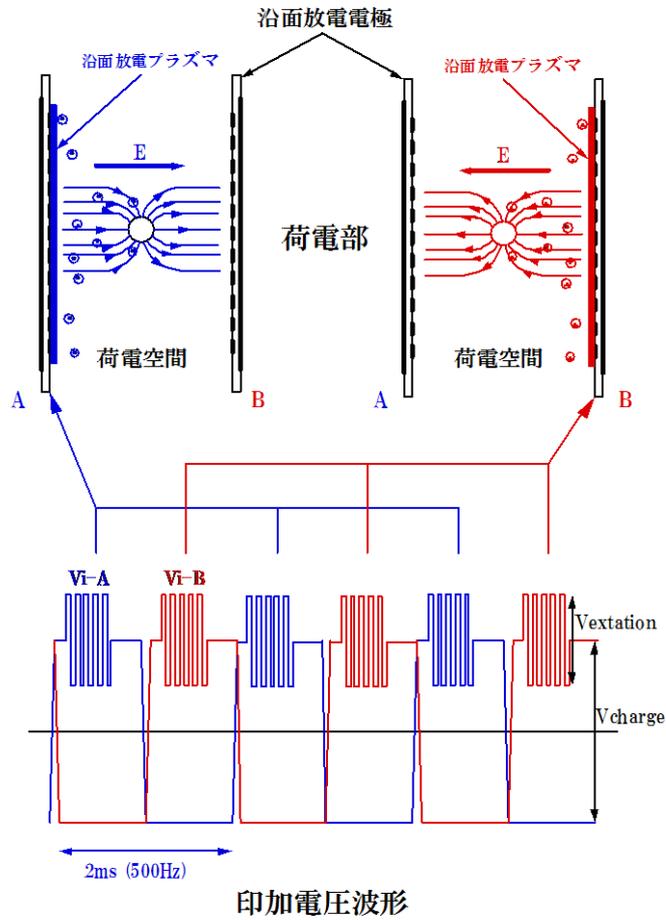


図1 ボクサーチャージャーの原理

## 2. ポーテニエールの理論荷電量 (Pauthenier's Theory)

均一電荷分布を有する球状粒子(表面抵抗が小さい粒子)が平等電界  $E$  にある場合、イオン射突による耐電は、以下のポーテニエールの理論式に従います。

$$q_{\infty} = 4\pi\epsilon_0 \cdot \frac{3 \cdot \epsilon_s}{\epsilon_s + 2} \cdot a^2 E \quad (\text{式1})$$

ここで、 $q_{\infty}$ : 飽和帯電量、 $\epsilon_0$ : 真空の誘電率、 $\epsilon_s$ : 粒子の比誘電率、 $a$ : 粒子の半径、 $E$ : 荷電電界強度です。また、帯電開始  $t$  秒後の帯電量  $q(t)$  は

$$q(t) = q_{\infty} \cdot \frac{t/\tau}{1 + t/\tau} \quad (\text{式2})$$

となります。ここで、 $\tau$  は荷電時定数で、次式で与えられます。

$$\tau = 4\epsilon_0 \cdot \frac{E}{J} \quad (\text{式3})$$

ここで、 $J$  はイオン電流密度を示します。なお、これらの式の単位は MKS 単位系によります。

### 3. 構成

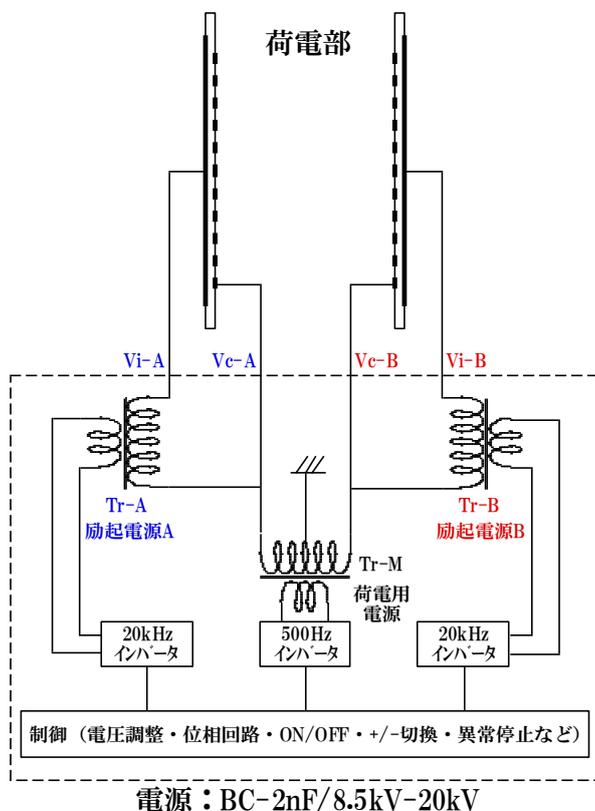


図2 ボクサーチャージャーの構成

ボクサーチャージャーは対向する1対の沿面放電電極からなる荷電部(4節に示す平行配置型、円筒配置型)とこれらの電極に印加する電圧を供給する電源から構成されます。図2に示す電源(型式:BC-2nF/8.5kV-20kV)は3つのインバータならびに高電圧トランスを内蔵し、高電圧出力端子を4つ有しています。荷電用電源は交番電界(荷電電界)を生成するための500Hzの矩形波(最大20kVpp)を出力します。そのトランス(Tr-M)の出力端にはそれぞれ、励起電源の絶縁型高周波トランスTr-AとTr-Bが接続されます。これらのトランスは20kHzのインバータで駆動され、図1に示したタイミングで沿面放電電極に高周波高電圧を印加し沿面放電を発生させます。その結果、前述のように高性能荷電装置として作動することになります。

なお、2節で記載したように高周波電圧を印加する位相をスイッチ1つで簡単に変更することで荷電極性の切替が可能です。

#### 4. 荷電部

##### 4-1. 平板状セラミック素子を用いた荷電部

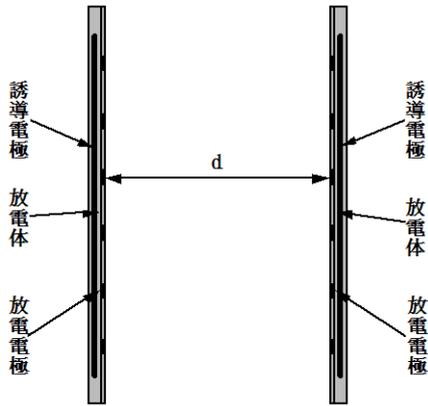


図3 平板状セラミック素子の断面図

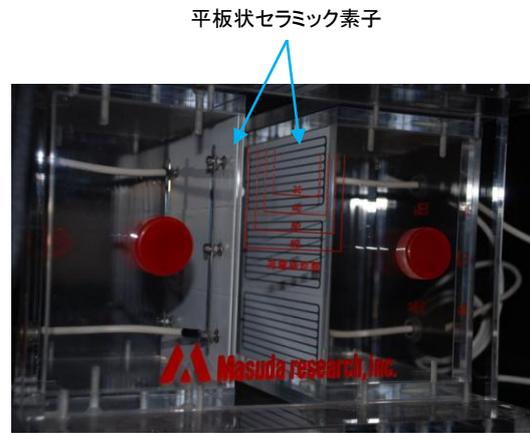


図4 平板状セラミック素子を用いた荷電部

ボクサーチャージャーのイオン源となる沿面放電プラズマを生成するための平面状セラミック素子の断面構造を図3に示します。平面状セラミック素子は高純度アルミナセラミックの内部に誘導電極を、また、一方の外表面に放電電極を形成したもので、さらに、放電電極を摩耗から守るための薄いセラミックコーティングを行ったものです。この平面状セラミック素子の放電電極を対向させて距離 $d$ に平行に置いたものを荷電部とて用います。このようにして対向させた1対の平板状セラミック素子をアクリルダクトに組み込んだものを図4に示します。距離 $d$ は通常 20 ~ 50 mm としますが、図4のアクリルダクトは $d$ を可変できる構造となっています。

なお、平板状沿面放電素子 1 枚の大きさは 105 mm $\square$ で、複数枚組み合わせて使用できます。

##### 4-2. 円筒状セラミック素子

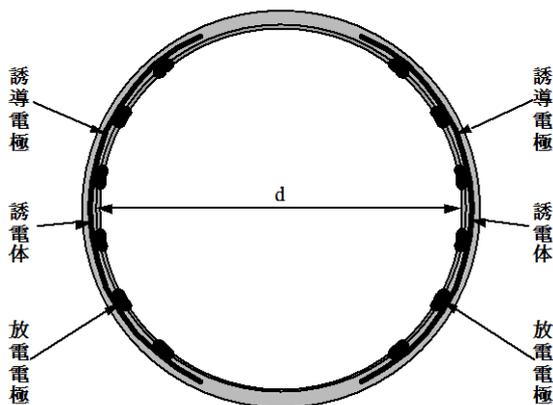


図5 円筒状セラミック素子の断面図

平板状セラミック素子

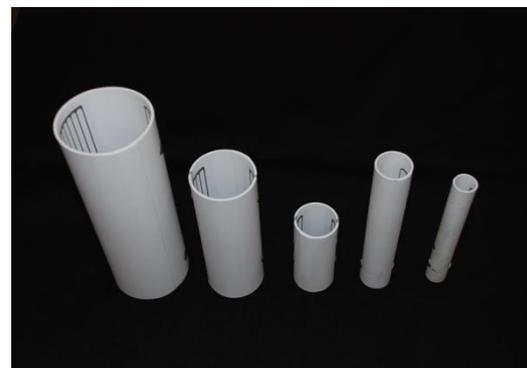


図6 円筒状セラミック素子

型番: 左から BC-70-B; BC-50-B; BC-30-B  
BC-30-A; BC-20-A

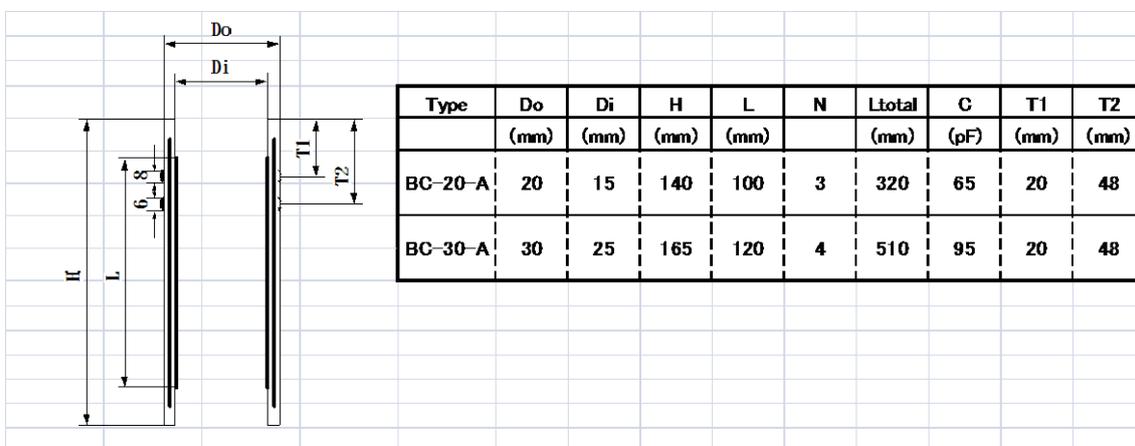
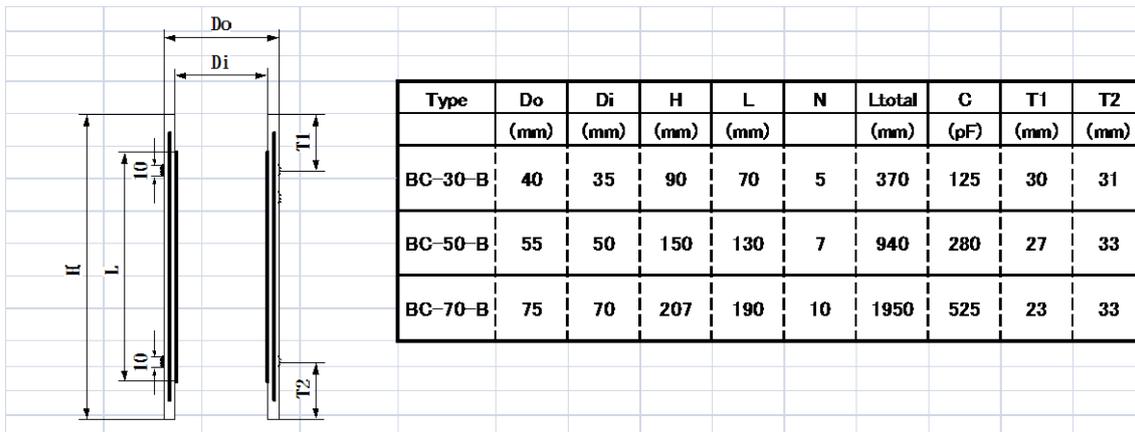


表1 円筒状セラミック素子の諸元

1 対の平板状セラミック素子を円筒状に丸めて円筒ダクトの形状としたものが図5、図6に示した円筒状セラミック素子です。構造は平板型セラミック素子と同様に、高純度アルミナセラミックの内部に誘導電極を、また、一方の外表面に放電電極を形成したものです。表1に円筒状セラミック素子の諸元を示します。

## 5. ボクサーチャージャー電源

図2に示した電源(型式:BC-2nF/8.5kV-20kV)は3つのインバータならびに高電圧トランスを内蔵し、高電圧出力端子を4つ有しています。この高圧出力端子を荷電部の高圧端子4カ所に接続することでボクサーチャージャーシステムとなります。このボクサーチャージャー電源(型式:BC-2nF/8.5kV-20kV)の外観、仕様、操作・表示に関して下記に示します。



図7 電源外観

表2 主仕様

型式	BC-2nF/8.5kV-20kV	
入力	200V $\phi$ 、5Amax	
励起電源	駆動沿面放電電極静電容量	最大 2nF(片側)
	出力電圧	最大 8.5kVpp
	出力周波数	20kHz 固定
	ユニット数	2
	総出力	最大 400W (2 ユニット合計)
荷電用電源	出力電圧	最大 20kVpp (10kV <sub>0p</sub> )
	出力周波数	500Hz(矩形波)
	出力電力	100W 最大
外形	480W x 253H x 550D (+80:突起部)	
付属品	電源ケーブル 3芯 5m アース線 5m	

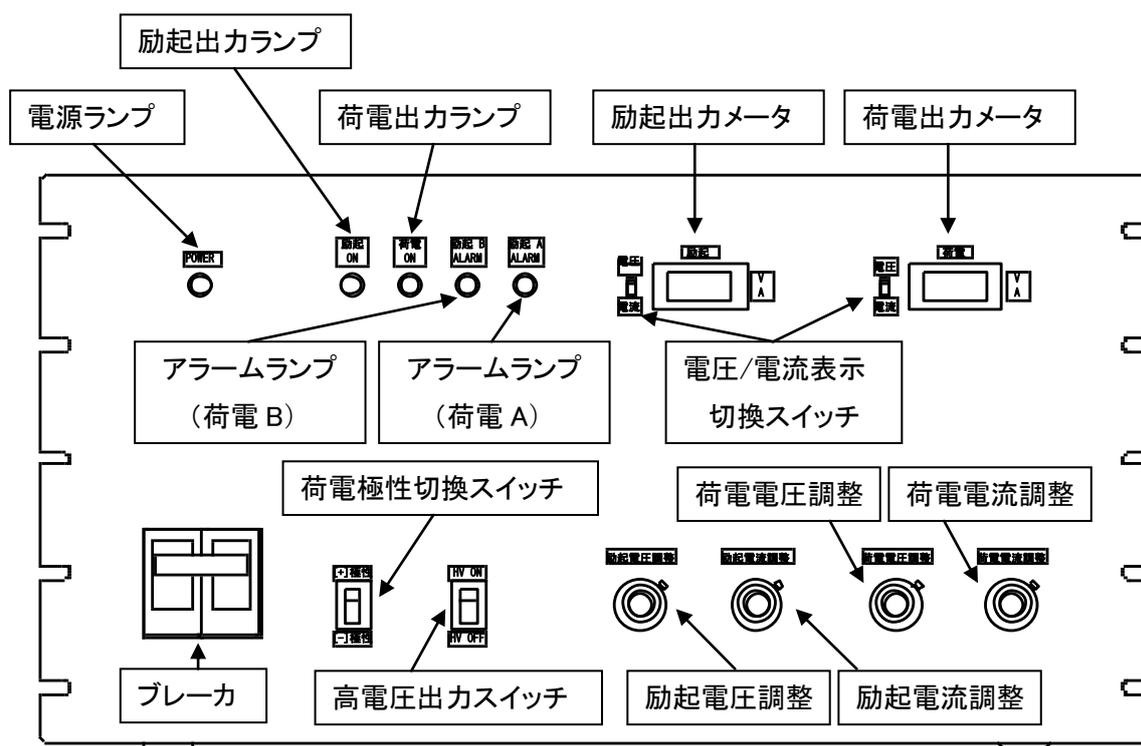


図8 正面パネル図

表3 操作・表示

盤面表示	名称	機能
	ブレーカ	本電源に 200V 電源を投入します。
Power	電源ランプ	ブレーカを投入して 200V が供給されると点灯します。
励起 ON	励起出力ランプ	高電圧出力スイッチを ON した場合に励起電源が稼働し点灯します。
荷電 ON	荷電出力ランプ	高電圧出力スイッチを ON した場合に荷電電源が稼働し点灯します。
励起 B ALARM	アラームランプ (荷電 B)	励起電源 B の異常が検出(過電流)された場合に高電圧出力を停止し、ランプが点灯します。
励起 A ALARM	アラームランプ (荷電 A)	励起電源 A の異常が検出(過電流)された場合に高電圧出力を停止し、ランプが点灯します。
電圧 電流	電圧/電流表示 切換スイッチ	励起出力メータや荷電出力メータの表示を電圧表示と電流表示の切替を行います。
励起	励起出力メータ	励起電源のインバータ 1 次側の電圧/電流を表示します。
荷電	荷電出力メータ	荷電電源のインバータ 1 次側の電圧/電流を表示します。

[+]極性 [-]極性	荷電極性切換 スイッチ	荷電の極性を+/-の切換を行います。
HV ON HV OFF	高電圧出力 スイッチ	励起電源ならびに荷電電源の高電圧出力のON/OFFを行います。
励起電圧調整	励起電圧調整	励起電源のインバータ1次側の電圧を調整し、出力電圧を調整します。
励起電流調整	励起電流調整	励起電源のインバータ1次側の電流を調整し、沿面放電の電力を調整します。
荷電電圧調整	荷電電圧調整	荷電電源のインバータ1次側の電圧を調整し、出力電圧を調整します。
荷電電流調整	荷電電流調整	荷電電源のインバータ1次側の電流を調整し、荷電電流を調整します。

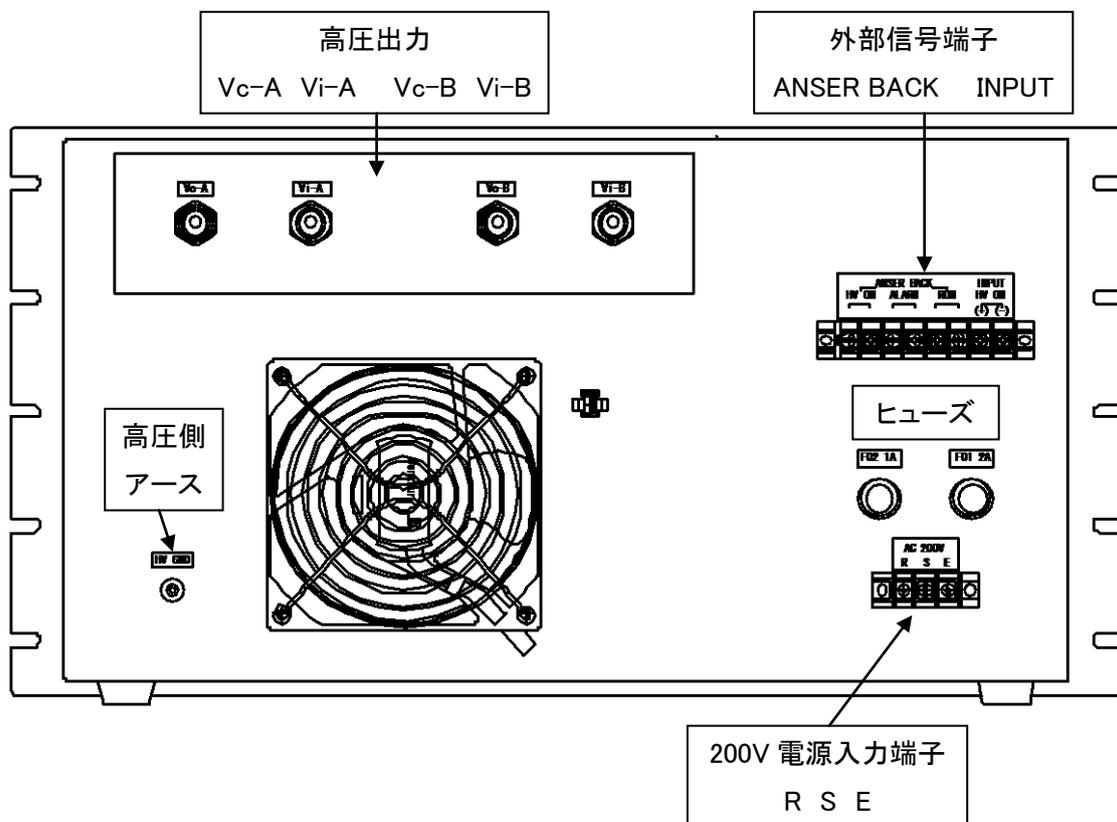


図9 背面パネル

表4 背面配線接続

盤面表示	名称	機能
Vc-A	高電圧出力	電源内部の碍子に接続した高電圧ケーブルをこのエスシーロックを通し、荷電部の沿面放電素子に接続します。
Vi-A		
Vc-B		
Vi-B		
HV GND	高圧側アース	荷電部のアース端子に接続します。 付属のアース線を使用してください。
HV ON	外部信号端子 ANSWER BACK	高電圧出力時に ON:ドライ a 接点
ALARM		励起電源 A または B の異常時に ON:ドライ a 接点
RUN		電源投入時に ON:ドライ a 接点
INPUT HV ON + -	外部信号端子 INPUT	24Vdc 供給で高電圧出力 ON 正面パネルの高電圧出カスイッチと並列接続されているため、いずれか ON で高電圧 ON します。
AC 200V R S E	200V 電源入力端子 R S E	R-S端子間に AC200V1φを接続します。 E 端子には配電盤のアースを接続してください。 付属の 3 芯ケーブルを使用してください。

## 6. 荷電テスト

図10はボクサーチャージャーのダクト内を鋼球(3 ~ 6 mmφ)の鋼球を自由落下させ、下部に置かれたファラデーケージ\*で受け止めてその帯電量を計測する鋼球落下法による試験結果(落下)とボクサーチャージャー内に鋼球(4 mmφ)を絶縁糸で吊り下げ、十分な時間帯電させた結果(飽和)を(式1)から得られるポーターニエールの理論値とともにプロットしたものです。これは図4に示すような平板型荷電ダクトを用いた場合で、この時の鋼球落下法による鋼球の荷電部滞在時間は  $t = 17 \text{ ms}$  でした。飽和帯電量ならびに鋼球落下法により得られた帯電量は荷電電界強度  $E = V_{\text{charge}} / d = 2.5 \text{ kV/cm}$  以上の場合、理論値と合致していることがわかります。なお、 $E < 2.0 \text{ kV/cm}$  の場合得られた帯電量が理論値よりもやや小さくなっているのは、沿面放電で生成されたプラズマによって実際の荷電電界強度が若干小さくなるためと考えられます。

このようにボクサーチャージャーは非常に短い時間で理論値(飽和帯電量)に鋼球を帯電させることができることが確認できました。

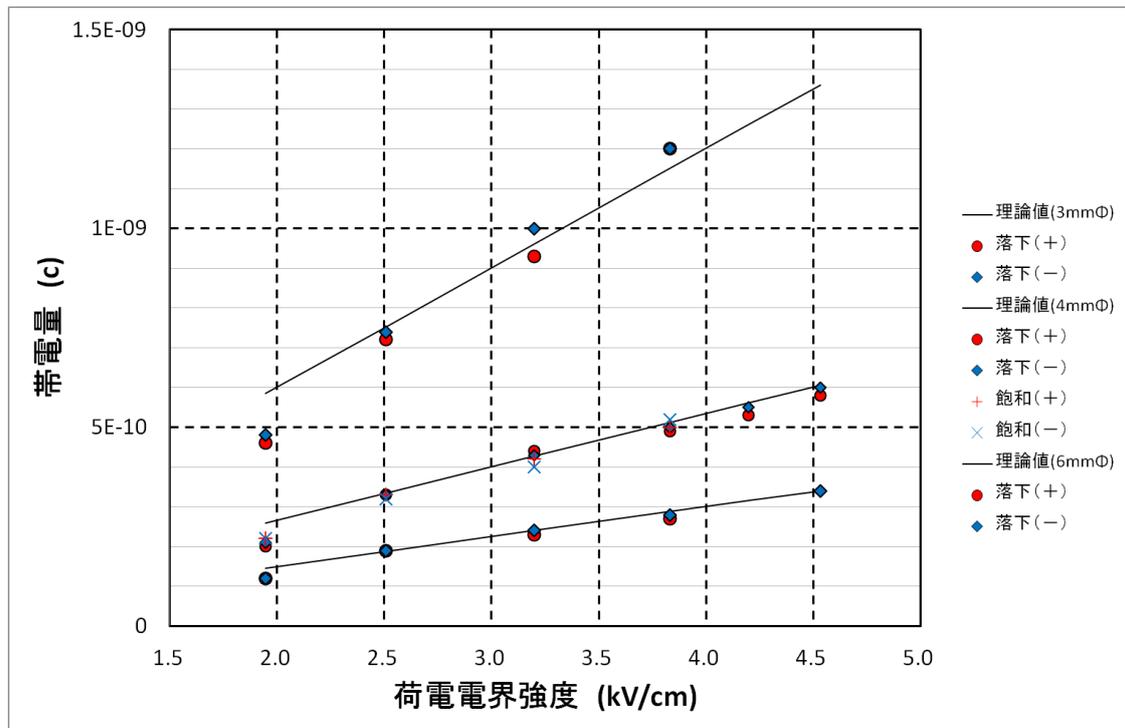


図10 ボクサーチャージャー帯電評価試験

### ファラデーケージ\*

ファラデーケージをエレクトロメータに接続してファラデーケージ内筒と外筒の電位差から内部に溜めた電荷量を計測することができます。