J. Inst. Electrostat. Jpn.

論 文

電気集塵装置の集塵率と荷電部接地電極長の関係

川田 吉弘*.1. 清水 洋隆*. 大井 悟**. 瑞慶覧 章朝**

(2015年3月16日受付;2015年10月8日受理)

Relationship between Collection Efficiency and Pre-charger Grounded Electrode Length in Electrostatic Precipitator Yoshihiro KAWADA^{*,1}, Hirotaka SHIMIZU^{*}, Satoru OOI^{**} and Akinori ZUKERAN^{**} (Received March 16, 2015; Accepted October 8, 2015)

Electrostatic precipitators are used to improve air pollution. Electrostatic precipitation consists of two main processes, which are charge process for charging suspended particles by corona discharge and collection process for collecting charged particles by Coulomb force in electric field. Two-stage type electrostatic precipitators consist of a pre-charger as charge process and a collector as collection process. Power consumption in charge process is higher than that in collection process due to corona discharge. The aim of this study is to clear the relationship between collection efficiency and grounded electrode length at the pre-charger. The pre-charger of this present version electrostatic precipitator is applied negative dc high voltage, and then grounded electrode length was changed from 20 mm to 240 mm. Two different types of air gaps between a wire electrode and a grounded plate electrode are tested. As a result, collection efficiency has a peak value for suitable grounded plate electrode length under the same conditions of air gap and power consumption.

1. はじめに

F.G.Cottrell が電気集塵装置を産業応用してから 100 年以 上が経つ. その間に,接地電極の大きさは1辺が数十メー トルの火力発電所用集塵装置から,1辺が数センチメートル の家庭用空気清浄機まで,様々な分野に利用されてきた¹²⁾. そして近年,電気集塵装置の更なる適用場所の拡大や,省 エネルギー,小型化に関する研究が行われている³⁵⁾.

電気集塵装置は,吸引した浮遊する粒子を帯電させ, 帯電粒子はクーロン力により移動した後,電極表面に付 着することで捕集される.沿面放電⁶⁷⁾や電子ビーム⁸⁾ を使った荷電方式,荷電部とサイクロン式集塵部⁹⁾や荷 電部とバグフィルタを組み合わせた静電界を用いない集 塵の例もあるが,一般的に,粒子の荷電には直流やパル ス電圧を印加することにより発生したコロナ放電,捕集 には静電界が用いられる.荷電と集塵をコロナ放電場で 行うのが1段式の電気集塵装置であり,高電圧電極をワ イヤ電極等とし,接地平板電極の中央に配置する構造や, 高電圧ワイヤ電極を接地円筒電極の同軸中央に配置する 構造などがある.一方,荷電をコロナ放電場,集塵は下 流の静電場で行うのが2段式の電気集塵装置である.前 者は高濃度の煤塵を対象とし,大型のボイラーやプラン トなどの設備¹⁰⁰に使用されることが多い.また後者は 低濃度の煤塵を対象とし,大型の設備としては道路トン ネル用の除塵装置¹¹⁰,小型の装置としては家庭用の空気 清浄装置¹²⁰に適用した例がある.

二段式電気集塵では、コロナ放電を利用している荷電 部における消費電力の割合が高い.一定消費電力のもと 集塵率を増加させるためには、通過する粒子の帯電量を 増加させる必要があり,荷電部の電極構造の最適化が課 題となる.荷電部の放電極形状については、ワイヤ電極 の間隔,ワイヤに刺を設けた電極¹³⁻¹⁴⁾,エッジを設けた 平板電極¹⁵⁾, さらにエッジを互い違いに鋸刃状にした電 極¹⁰,刺のついた平板¹⁷などの研究や実用例がある.また, ボクサチャージャ18)のような通過粒子に高い帯電量を与 え、かつ帯電粒子が電極に付着することを防ぐため、接 地電極がなく, 主電圧と励起電圧を組み合わせた荷電部 電極構造や、荷電部の接地極形状に関する研究として、 四本の円筒接地電極(四重極)の中央に高電圧ワイヤ電 極を配置し,通過する粒子の帯電量を増加させる研究¹⁹⁾ がある.また、接地平板電極上の放電電流密度やガス流 速とイオン風に関する研究²⁰⁻²³⁾もある.荷電部が高電圧 ワイヤ電極と接地平板電極で構成される場合、接地電極 上の電流密度やイオン風が届く距離から、接地電極長は 電極間隔(高電圧電極-接地電極間)の3倍程度で良い

キーワード: 電気集塵, コロナ放電, 荷電, 帯電, 集塵率 * 職業能力開発総合大学校 能力開発院 新成長分野系 (〒187-0035 東京都小平市小川西町 2-32-1) Polytechnic University, 2-32-1, Ogawanishimachi, Kodairashi, Tokyo 187-0035, Japan

^{***} 神奈川工科大学 工学部 電気電子情報工学科 (〒243-0292 神奈川県厚木市下荻野 1030) Dept. of Electronic and Electrical Engineering, Kanagawa Institute of Technology, 1030 Shimo-ogino, Atsugi-shi, Kanagawa 243-0292, Japan

¹ kawada@uitec.ac.jp

と考えられる^{20-22,24)}.しかし,接地電極長と消費電力, 集塵率の関係を示した報告はあまり見かけない.

本研究では、荷電部の接地電極の長さが、コロナ放電 電流、および集塵部を含めた装置全体の集塵率に与える 影響について検討するために、二段式の電気集塵装置を 製作し、実験を行った.

2. 実験方法

2.1 試験用電気集塵装置

本研究における計測対象粒子は, 粒径範囲 0.3-5.0 µm の室内に浮遊する塵埃とした. 試験時における室内の粒 子個数濃度を表1に示す. 粒径範囲 0.3-0.5 µm の粒子数 は, 計測対象粒子のうち9割以上を占める. また, 粒径 5.0 µm 以上の粒子については, 計測対象外とした.

電気集塵装置下流に設けたファンで室内大気を吸引 し、電気集塵装置内を流通させることで浮遊する粒子を 処理する.試験用の電気集塵装置は2段式とし、通過粒 子を帯電させる荷電部と帯電された粒子を捕集する集塵 部から構成される.荷電部の電極構成を図1に示す.(A) の荷電部は高電圧印加用のワイヤ電極(直径0.26 mm, 長さ240 mm,タングステン線)を2枚の接地電極(厚 さ1 mm,アルミニウム板)の中心に配置する構造とした. ワイヤ電極と平板電極の間隔は15 mm(以降,エアギャ ップ15 mmと呼ぶ)であり,接地電極のガス流方向の 長さを20~240 mmの範囲で変化させた.印加電圧は,

表1 試験時の入口平均粒子濃度

 Table 1
 Average particle number concentration at upstream of electrostatic precipitator.

Particle Size Range	Ave. Concentration [Number/L]
0.3 - 0.5 μm	6.16×10^{4}
0.5-1.0 μm	4.52×10^{3}
1.0-2.0 μm	7.15×10^{2}
2.0-5.0 μm	1.99×10^{2}
> 5.0 µm	1.41 × 10







図 3 荷電部と集塵部の配置図およびサンプリング位置 Fig.3 Layout sketch of pre-charger, collector and sampling positions for particle concentration.

直流負極性 7~15 kV とした. また(B) はワイヤ電極と 平板電極の間隔 7.5 mm (以降, エアギャップ 7.5 mm と 呼ぶ)の場合であり、基本的に(A)と構造は同じである が. 接地平板電極長は10~80 mm の範囲で変化させ、 印加電圧は直流負極性 5~8 kV とした. 集塵部の電極構 造を図2に示す. 同一サイズ(縦240 mm, 横300 mm 一定.ステンレス製)の高電圧印加用平板電極と接地平 板電極が交互に並んだ平行平板電極構造であり、電極間 隔15mm一定,高電圧印加用平板電極には直流負極性 13 kV を印加した.荷電部と集塵部の配置を図3に示す. 電気集塵装置内のガス流速は平均2m/sとし、上流側に 荷電部、その下流側に集塵部を配置した、電気集塵装置 の上流及び下流において、流通ガスの一部を吸引し、粒 子濃度を測定した. 粒子濃度はパーティクルカウンタ(リ オン製 KC-01C) を用いて 10 分間測定し、粒径範囲 0.3-5 µm の粒子個数濃度で評価した.測定した粒子濃度か ら式(1)を用いて集塵率を算出した.

集塵率
$$\eta = \left(1 - \frac{\mathrm{出口粒子個数濃度} N_{\mathrm{out}}}{\mathrm{入口粒子個数濃度} N_{\mathrm{in}}}\right) \times 100[\%](1)$$

2.2 接地電極上の電流密度計測

接地電極上の電流密度分布測定方法を図4に示す.電流密度分布の測定はエアギャップ15mmのみとした.図1(A)に示した接地平板電極の片側を電流密度測定用電極



- 図4 接地平板電極上の電流密度分布の測定法
- Fig.4 Discharge current density distribution on grounding electrode with corona discharge.

とした. この電極は, アクリル板上に幅 4.5 mm 長さ 240 mm のアルミ箔電極(厚さ 12 µm 程度)を 0.5 mm の間隔 で貼り作製した. 接地平板電極長に応じてアルミ箔電極 の本数も変更した. 1本のアルミ箔電極に流れる電流値 を, 電流計(Agilent 社製,型式 U1232A)で計測し,ア ルミ箔電極の面積から電流密度を算出した. このとき, 電流計が接続されていないアルミ箔電極は接地とした.

3. 結果及び検討

3.1 接地電極長に対する印加電圧と放電電流の関係

エアギャップ15 mm および7.5 mm における,接地電 極長に対する印加電圧と放電電流の関係を図5に示す. 放電開始電圧は,エアギャップ15 mm で7.0 kV,エア ギャップ7.5 mm で5.1 kV であった.いずれのエアギャ ップも,接地電極を長くするほど,同一印加電圧時の放 電電流は増加する.ただし,エアギャップ15 mm では 電極長40 mm 以上,エアギャップ7.5 mm では電極長25 mm 以上において,放電電流は接地電極長の影響を大き くは受けない結果となった.

接地電極長がコロナ放電電流に影響を与えることから,荷電部接地電極上の電流密度分布について検討した. 接地電極上の電流密度分布の実験値と計算値を図6に示す.放電電力は2W一定,エアギャップは15mmとし, 電極を外れた点の電流密度は零とした.x=0における 値は,挟まれる両側にあるアルミ電極の平均値とした. また平板上の電流密度に関する計算値は,大久保氏らが 実験より導いた式(2)を用いた²⁰.本式は,コロナ放電 が活発な場合において,規格化したコロナ電流密度分布 は,放電線直径や印加電圧に依存せず,相似則が成り立 つことを示している.

$$\frac{J}{J_P} = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{\mathbf{x}}{D}\right)^2\right]^{2.1}} \tag{2}$$

ここで, J_P は高電圧電極直下(x = 0)の電流密度, J は高電圧電極直下から x 離れた時の電流密度, D は高電



図5 印加電圧と放電電流の関係

Fig.5 Discharge currents as a function of applied voltage for (a) Air Gap 15 mm and (b) Air Gap 7.5 mm.



図6 接地平板電極上の電流密度分布



圧電極と接地電極のエアギャップを示す.電流密度 J[▶] は実験値を用いた.

実験値より,ワイヤ電極直下の電流密度は高く直下から離れると減衰するが,電極端まで電流が流れている.

また計算値と実験値は同じような特性であることから, ワイヤ直下から離れた場合の電流密度の減衰は,アルミ 箔電極の間隙(0.5 mm)の影響は無視でき,実験値が 理論通り減衰したことを示している.

例えばエアギャップ15 mm において, 接地電極が極端に短い電極長 20 mm の場合, 図5より同一電圧印加時において, 他の電極長と比べ放電電流値は低い. これは接地電極が短くワイヤ周辺の電気力線の集中が緩和されていることが原因と考えられる. 一方, 接地電極が40 mm 以上になると, 高電圧電極直下の電流密度は僅かに低下し, 一方で電極端まで電流が流れることが図6において示された. つまり接地電極を長くするほど, 平均電流密度は低下した.

この電流密度分布から、コロナ放電空間を粒子が通過した場合の荷電を考察する.接地電極が短い場合,印加電 圧と電流密度が他の条件より高いことは荷電に対し有利と なるが,電流密度の高い空間は狭く,滞在時間が短いとい う欠点もある.一方,接地電極が長い場合,滞在時間が 長い利点はあるが,平均電流密度は低下する.これらの 予測を基に,次項では集塵特性について検討を行う.

3.2 対象粒子の粒径範囲に対する集塵率

エアギャップ 15 mm における,対象粒子の粒径範囲 が集塵率に与える影響について検討する.放電電力 3 W 一定における集塵率と電極長の関係を図 7 に示す.粒径 2.0 µm 以上では,ほぼすべての粒子が捕集された.また 粒径範囲 0.3-5.0 µm と幅広く設定した場合,粒径範囲 0.3-0.5 µm の粒子の集塵率とほぼ同じ傾向を示した.一 方,電極長 L = 40 mm 一定における,集塵率と放電電力 の関係を図 8 に示す.低い放電電力でも粒径 2 µm 以上 の大きい粒径の集塵率は高く,ほぼすべての粒子が捕集 された.図 7 同様,粒径範囲 0.3-5.0 µm における集塵率 は,粒径範囲 0.3-0.5 µm における集塵率と同様の傾向を



図7 エアギャップ 15 mm 放電電力 3 W 一定における集塵
 率と電極長の関係

Fig.7 Collection efficiency as a function of grounded electrode length for various particle size range with air gap 15 mm and discharge power 3 W constant.



図 8 エアギャップ 15 mm, 電極長 40 mm 一定における集塵 率と電極長の関係

Fig.8 Collection efficiency as a function of grounded electrode length for various particle size range with air gap 15 mm and grounded electrode length 40 mm constant.

示した.以降の試験において,電極上における捕集粒子 の凝集,および再飛散現象が発生した場合でも安定した 集塵率を測定できるよう,広い粒径範囲 0.3-5.0 µm にお ける集塵率を用いて議論を進める.ただし,図7,8で 示すように,電気集塵装置における凝集・再飛散現象は ほとんど起きておらず,捕集粒子は粒子径が大きくなる に従い,高い集塵率を示した.

3.3 接地電極長と集塵率の関係

エアギャップ15 mm における放電電力と集塵率の関係 および荷電部接地電極長と集塵率の関係を図9に示す. 電力3W以上において電極長50 mmの集塵率が高く, また電極長40~50 mm付近に集塵率の最大値があった.

一方, エアギャップ 7.5 mm における放電電力と集塵率 の関係および荷電部電極長と集塵率の関係を図 10 に示 す.一定放電電力において,電極長 25 mm および 40 mm において高い集塵率となり,いずれの電力において も電極長 25 mm が極大値であった.15 mm, 7.5 mm どち らのエアギャップにおいても,エアギャップの約 3 倍の 接地平板電極長において,集塵率が極大値を持つことか ら,荷電部接地電極に最適な長さがあると言える.また, 図 9 の集塵率と電極長の関係では,エアギャップ 15 mm において 80 mm まで電極を長くしても集塵率は増加して いない.一方,図 10 のエアギャップ 7.5 mm における集 塵率と電極長の関係では,電極長 35 mm 以上で再び集塵 率が増加している.そこで,エアギャップ 15 mm におい ても電極を長くした場合,電極長 80 mm 以上において, 再び集塵率が向上するか,確認のための試験を行った.

エアギャップ15 mm, 消費電力3W一定, 接地電極 長を最大240 mm とした場合, 荷電部接地電極長に対す る集塵率の変化を図11に示す. 図10のエアギャップ 7.5 mm における電極長30 mm 以上の集塵率の傾向と同 様に, エアギャップ15 mm において接地電極を240 mm



Collection Efficiency n [%]

Discharge Power P [W] 図 9 放電電力および荷電部接地電極長に対する集塵率の変 化(エアギャップ 15 mm)

3.5 4

4.5 5

1.5 2 2.5 3

Fig.9 Collection efficiency as a function of pre-charger electrode length and discharge power (Air Gap 15 mm).



図11 荷電部電極長に対する集塵率の変化

Fig.11 Collection efficiency as a function of grounded electrode length in pre-charger.

まで長くした場合,集塵率は向上した.以下に,集塵率の領域をA,B,Cと分けてそれぞれを考察する.

領域Aでは、図5に示す通り、他の条件に比べ、同 一印加電圧における放電電流値は低いが、図6のように、 接地電極上の電流密度は高い.放電電力を一定とし、か つ接地電極を長くした場合、放電電流は増加することか ら、その分、印加電圧を低下させる.接地電極面積は増 加するが、放電電流が増加していることから、接地電極 上における電流密度低下の割合は大きくないと考えられ る.一方,接地電極を長くしたことで放電空間が広がり、 通過する粒子の滞在時間が増加したことから、粒子の帯 電量が増加し集塵率は増加したと考えられる.



図10 放電電力および荷電部接地電極長に対する集塵率の 変化(エアギャップ7.5 mm)

Fig.10 Collection efficiency as a function of pre-charger electrode length and discharge power (Air Gap 7.5 mm).

領域 B では、図5より、電極長の増加に関わらず、同 一印加電圧時の放電電流はほぼ一定であった.また図6 より, 接地電極を長くした場合, 電極上の電流密度は低 下する. 通過する粒子の放電空間における滞在時間は増 加するが、電流密度低下の影響により帯電量は低下し、 集塵率は低下したと考えられる. 例えば諫早氏による鋼 球落下法を用いた研究^{23,25)}では、線対平板構造のコロナ 放電空間に鋼球を通過させ,鋼球の帯電量を測定してい る. 接地電極を長くした場合, 外部からの電流に変化が なくても, 空間電荷密度が低下し, 通過する鋼球の帯電 量は低下することを実験で導いている²³⁾.同一放電電力 時に接地電極を長くした場合,領域Aにおいては,放電 電流は増加するが、領域Bでは放電電流はほとんど変わ らない、その点からも、接地電極を長くした場合、領域 Bにおける電流密度低下の割合は、領域Aよりも大きい. 以上の考察より、領域Bでは、接地電極を長くした場合、 通過する粒子は、放電空間への滞在時間は長くなったが、 放電電流密度が低下し、帯電量は低下したと考えられる.

領域Cにおいては,接地電極を長くした場合,集塵率 は向上する.荷電部の接地電極面積が増加したことから, 帯電した粒子の捕集量も増加したと考えられる.

以上より, エアギャップ 15 mm における電極長 40 mm, エアギャップ 7.5 mm における電極長 25 mm が, 図 11 に おける領域AとBの境と同様,同一放電電力おいて最も 高い集塵率を示したと考えられる.また,図11における 領域AとBの間の電極長を用いることで,放電電力に対 する粒子の帯電量は増加し,効率のよい電気集塵装置を 構築できることが示された.

4. おわりに

二段式電気集塵では、帯電粒子を捕集するプロセスよ りも、浮遊粒子を荷電するプロセスに多く電力が費やさ れる.そこで、一定消費電力のもと集塵率を向上させる ため、荷電部接地平板電極長が、装置全体の集塵率に与 える影響を検討した.

荷電部の接地平板電極をエアギャップに比べ長く(エ アギャップ15mm時に接地電極長240mm)すると,帯 電粒子が捕集され,集塵率も上昇する.ただし,本条件 は実用的でなく,小型化の目的から外れる.

小型化も目的とした今回の試験では、同一放電電力の 場合に最適電極長はエアギャップの約3倍に最適値を持 つことが改めて示された.接地平板電極が最適値より短 い場合、通過する粒子の滞在時間が短いことから帯電量 が低下し、集塵率も低下する.一方、接地平板電極が最 適値より長い場合は、ワイヤ電極直下から接地電極端ま で広く放電電流が流れることから、電流密度は低下する. 電極端の電界が弱い部分にも電流は生じることから、帯 電に寄与しない放電電流も生じ、通過する粒子への帯電 量が低下する.これらの現象により、最適な接地電極長 が存在すると考えられる.

ただし,帯電に寄与しない放電電流が生じる点につい ては,接地電極上の電流密度からの検討であり,今後, 空間電荷密度分布および電界分布を重ね合わせた解析に より検討を進める.

謝辞

本研究に卒業研究として従事された,平成24年度神 奈川工科大学卒業生の山本訓大氏,水野皓介氏,清野翔 太氏に感謝いたします.

参考文献

- 1) 静電気学会編:静電気ハンドブック, pp.486-488 (1981)
- 静電気学会電気集塵の温故知新研究員会編:電気集塵の温故知新委員会報告書(2009)
- J.S.Clements, S.M.Thompson, N.D.Cox, M.R.Johansen, B.S.Williams, M.D.Hogue, M.L.Lowder, C.I. Calle: Development of an Electrostatic Precipitator to Remove Martian Atmospheric Dust from ISRU Gas Intakes during Planetary Exploration Missions. IEEE Transactions on Industry Applications, 49 [Issue 6] (2013) 2388-2396

- 大井 悟,瑞慶覧章朝,川上一美,安本浩二,江原由泰: 電気集塵装置の高効率化に対する帯電電極構造の検討. 静電気学会講演論文集(2012)195-196
- 5) 片谷篤史,水野 彰:電気集塵装置の低電力化に対する帯 電部の電極構造の効果.静電気学会誌,36 [1] (2012) 50-56
- N.Zouzou, B.Dramane, E.Moreau, G.Touchard: EHD flow and Collection Efficiency of a DBD ESP in Wire-to-plane and Plane-to-Plane Configurations. IEEE Transactions on Industry Applications, 47 [1] (2011) 336-343
- 7) 川田吉弘,江原由泰,高橋武男,伊藤泰郎,瑞慶覧章朝, 高松武史:無声放電型電気集じん装置における電極上の 粒子捕集状態.電気学会論文誌 A, 121 [6] (2001) 516-521
- A.Mizuno, J.S.Clements, R.H.Davis: Use of Electron Beam for Particle Charging. IEEE Transactions on Industry Applications, 26 [1] (1990) 29-35
- 9) 諫早典夫:静電凝集 遠心集じん方式 (PC-MC)の開 発研究. 日立評論 **49** [11] (1967) 77-80
- 10) 電気集塵器模擬ユニットの電気的特性(その1)-負圧時のコロナ電流およびイオン電流分布-,電力中央研究所報告,研究報告182001(1982)
- 安本浩二,瑞慶覧彰朝,河野良宏:交流電界による電気 集じん装置の高性能化. 富士時報 79 [2] (2006) 149-152
- 12) 椿 稔郎,持田稔也:小型電気集じん器の研究と日立電子 式空気清浄器の諸特性.日立評論,47 [4] (1965) 62-69
- 13) J.S.Chang, A.J.Kelly, J.M.Crowley edt.: Handbook of Electrostatic Processes. Marcel Dekker (1995)
- 山口英告、山村 将、細野 洋、村田 光、片谷篤史: 大規模道路トンネルにおける空気浄化での電気集塵・脱 硝技術. Panasonic Technical Journal, 58 [2] (2012) 10-14
- 15) 荒生靖史,河合孝幸,杉本智彦,田中康裕,山田 一: 道路トンネル用電気集じん機の開発.川崎重工技報, 155 (2004) 44-49
- 16) J.H.Davidson, P.J.Mckinney: EHD Flow Visualization in the Wire-Plate and Barbed Plate Electrostatic Precipitator. IEEE Transactions on Industry Applications, 27 [1] (1991) 154-160
- 17) J.S.Chang, K.Jogan, C.A.McLinden, P.C.Looy, A.A.Berezin: Unipolar Charging of High Resistive Fly Ash Particles by a Quadrupole Cold Precharger. J.Aerosol Sci., 21, Suppl.1 (1992) S787-S790
- S.Masuda: Industrial Applications of Electrostatics. Journal of Electrostatics, 10 (1981) 1-15
- 原 雅則,林 則行,汐月慶士,赤崎正則:単極性コロ ナ線対平板間げきにおける平板上の電界と電流分布.電 気学会論文誌 A, 101 [7] (1981) 387-394
- 20) T.Yamamoto, H.R.Velkoff: Electrohydrodynamics in an electrostatic precipitator. J.Fluid Mech., **108** (1981) 1-18
- 21) Lin Zhao, K. Adamiak: Numerical Simulation of the Electrohydrodynamic Flow in a Single Wire-Plate Electrostati Precipitator. IEEE Trans. Industry Applicat., 44 [3] (2008) 683-691
- 22) 大久保利一,川崎元之,野本幸二,足立宜良:線対平行 平板電極におけるコロナ放電特性の計算と測定.静電気 学会誌,8[4](1984)278-28
- 23) 諫早典夫:新しい電気空気清浄法と空気清浄効果の検定 法に関する研究,日立製作所日立研究所創立三十周年記 念論文集, pp.44-55 (1964)
- 24)伊東圭昌:環境浄化技術における静電気力の応用.神奈 川県産業技術センター研究報告, 20 (2014) 1-5
- 25) 諫早典夫:電気集じん装置におけるコロナ電界分布の鋼 球落下法による解析.電気学会雑誌,82 [881] (1962) 219-228