

教師リカレント用教材としての 電気集塵機

千葉大学教育 山野芳昭
千葉市稲毛区弥生町 1-33

Electrostatic Precipitation as a Teaching Material for Recurrent Education to High School Teacher

Yoshiaki YAMANO
Faculty of Education Chiba University

Electrostatic precipitator (EP) as a teaching material for teachers was designed and constructed. The subject "EP and its performance" was included in the recurrent program on global science and technology education for high school teachers. The designed EP has a size which can put on the laboratory desk, main parts of which can be transported to the high schools in ASEAN. A test run of the constructed EP was conducted in a laboratory room. The EP was set into a shielded box (250mm × 250mm × 250mm) filled with flog from burned incense. The EP has an air intake with a fan, which enables the suppression of flog in a closed space, i.e. a shielded box. It was confirmed that flog was almost removed 5 min after the starting of EP running, while the flog density was not reduced significantly under the conditions without EP working.

1. はじめに

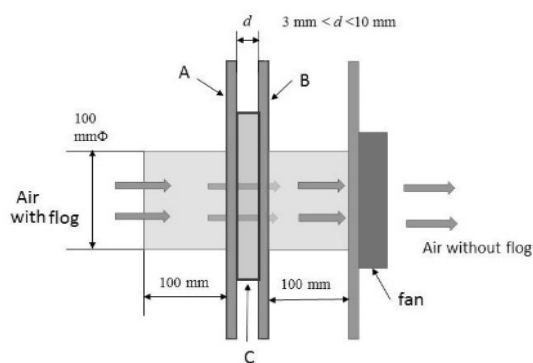
電気集塵機は、静電気を応用した装置として代表的なものの一つである。日本の空に青空が見ることができるのも、自動車の排ガス処理技術とともに工業用煤煙除去機器である電気集塵機の存在に負うところが大きい。しかし、現在の日本では、その存在と役割は一般にはあまり知られておらず、目立たない地味な存在となっている。

電気集塵機の基本的な原理は非常にわかりやすく、高等学校などの教育の分野で取り上げることによって、技術的原理に基づいた工学の役割を理解させるための教材として非常に有効と考えられる。電源等を含めた電気集塵機を構成する周辺機器も多岐にわたり、動作原理とともにシステムとしての学習には最適な教材の一つと考えられる。しかし現実的には、工業高校等の一部の高校を除いて、普通高校のほとんどでは、物理や化学のなど理科の教科は存在するが、産業応用工学に関する教科は存在しない。

筆者らは、ASEAN 等の国を含めた科学技術教育のグローバル化を構想している^(1,2,3)。それは日本で近い将来に起こる技術者の不足への対策としてでもある。そのため、グローバルな観点から科学技術に関与できる教員の育成を目指す中で、科学技術の魅

力を生徒に伝えることのできる能力を身につけるための教員用プログラムの開発を行っている。科学技術の魅力そのものは、国ごとに異なるものではなく、「人類の夢を現実に近づけることのできる手段」という観点で教員用の教材の開発を行っている。この教材は、ASEAN の高校の教師にも適用が可能となるようにするため、日本の理系教科の教員が現地に出向いて現地の教師に向けて“日本の技術”の紹介を行うためのものでもある。

筆者は電気工学に関係する分野を担当し、“電気集塵機”を取り上げて教材開発を行った。“電気集塵機”を教師用のグローバル教材として取り上げた理由は、前述の通りであるが、それと同時に、中国や ASEAN 等の主要都市では粉塵による大気汚染への対策が大幅に遅れており、かつての 50 年以上前の日本で見られた大気汚染が極めて深刻な状態で、現在蔓延しているということにある。このような状況にある中国や ASEAN の大都市に住む教師や高校生にとって、“電気集塵機”の機能とそのメカニズムを知ることには、非常に印象的に感じられると思われる。それがひいては、日本の大学及び大学院への留学の意思につながり、将来的には、科学技術領域における日本のグローバル化を推し進める原動力の一部となることも



- A: PMMA board with high voltage wire electrode
- B: PMMA board with grounded mesh electrode
- C: PMMA surrounding spacer for providing ionic space
- D: PMMA pipe

Fig.1a Electrostatic precipitator for educational practice for teachers

考えられる。

2. 教材用電気集塵機的设计

2.1 教材用の”電気集塵機”として求められる性能及び機能

高校の教師用グローバル教材として求められる事項として、

- (1) 効果や性能がビジュアルに表現できること。
- (2) 動作原理や部分放電（コロナ放電）が理解しやすいこと。
- (3) 海外へ持ち出す際のことを考慮して、分解と組み立てが容易であり、その主要部分は持ち運びが可能なこと。
- (4) 海外への持ち運びができない部品や機器について

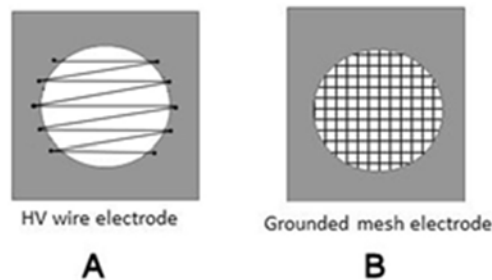


Fig. 1b HV electrode and grounded mesh electrode of precipitator for educational practice for teacher

ては、現地での調達が可能なこと。などが挙げられる。

上記の条件を考慮して、Fig.1a～1c に示す小型電気集塵機を製作した。使用した絶縁材料は、厚さ3mmの透明なアクリル樹脂板及びアクリルパイプである。高電圧電極は0.35mmΦのステンレス針金、対向する集塵接地電極はステンレス製のメッシュ電極（線径:0.57mm, 目開き:2.61mm%）である（それぞれ、Fig.1bのAとB）。高電圧電極と接地電極との間の距離（Fig.1aのd）は、3mm～10mmの範囲でスペーサを用いて調節して予備運転試験を行った結果、安定して電流を流すことができるd=5mmの固定とした。

集塵電極から距離100mmのところ径120mmのファン（最大流量0.7m³/min）が取り付けられており、Fig.1aに示す矢印の方向に気体を高電圧電極から集塵電極に向かって流すことができる。Fig.1cは、製作した教材用電気集塵機の実物の写真である。

2.2 教材用電気集塵機の性能試験方法

製作した電気集塵機の性能試験では、ビジュアル

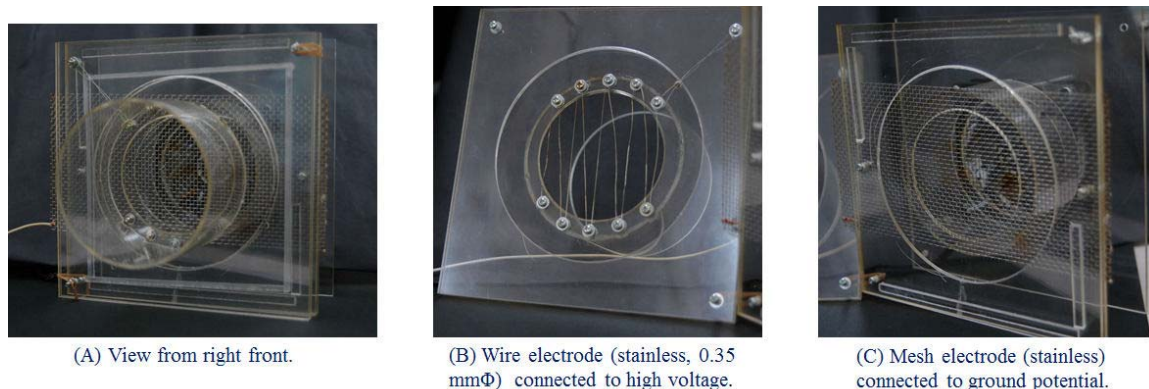


Fig.1c Photos of main parts of electrostatic precipitator for educational practice for teacher

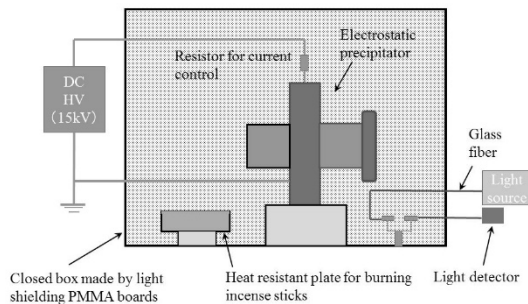
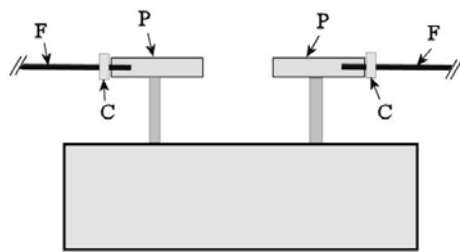


Fig. 2 schematic diagram for the evaluation on ability of electrostatic precipitator for educational practice for teacher.



C; Optical fiber connector

F; Optical fiber

P; Pipe (black PMMA)

Fig.3 Device for flog sensing

に煙を除去できる性能を認知できること、得られたデータについて汎用ソフトを用いて整理することで、電気集塵機の性能と効果が理解しやすいことの確認が必要となる。具体的には、ビジュアル的な要素として、煙が充満した密閉空間に入れた電気集塵機を動作させて煙が消えていく過程を目視で確認することが必要である。そのために、電気集塵機の入った透明なアクリル容器 (250mm×250mm×250mm) に、線香 (長さ 3cm×4 本、商品名; 青雲 ((株) 日本香堂製)) を入れ、燃烧させて 1 分後に電気集塵機を動作させて、煙が消滅する様子を目視にてその効果を認識させる。次に同様の大きさの遮光されたアクリル容器に電気集塵機を入れ、同様の手順で煙を容器内に満たし、煙の濃度を光の煙への吸光度として数値的なデータとして取得し、それを整理してグラフ等にすることによって、煙の除去効果を定量的に確認できるようにした。

上に示した性能評価のために構成した計測システムを Fig.2 に示す。直流高電圧電源と煙濃度観測用の光源と検出センサー以外はすべて、遮光の施した PMMA の箱 (暗箱; 250 mm×250 mm×250 mm) の中に入れてある。

煙の除去の効果は図に示すように、光源 (200 nm

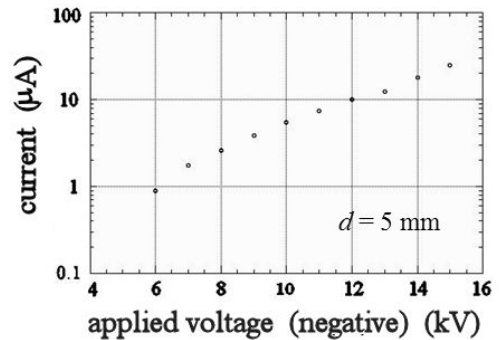


Fig. 4a Relation between HV voltage and current in precipitator.

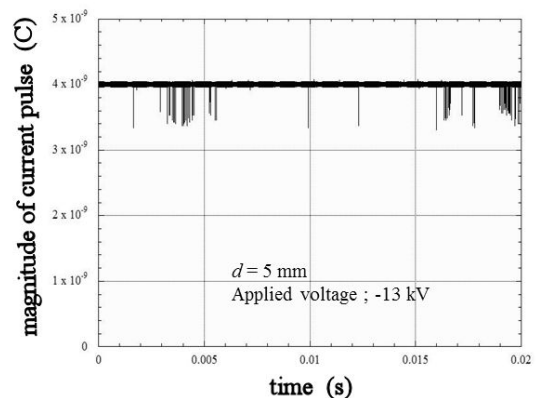


Fig. 4b Generation of PD pulses by application of negative dc high voltage.

～ 1100 nm; 浜松ホトニクス製, L12515) からでた光が光ファイバーによって暗箱中の煙を通して、光ファイバーを通して小型分光計 (浜松ホトニクス製, C10082CA) に導かれる。暗箱中の煙空間を通る距離は 10 mm である。煙検知用のユニットは、Fig.3 のような構造をしており、煙のタール成分が光ファイバー断面に付着しにくい構造となっている。煙の分光特性は、測定開始から、1 分ごとに 15 回測定を繰り返して、測定した観測空間の吸光度の時間変化特性を求めた。吸光度の時間変化特性について、電気集塵機の動作の有無による変化を基に、電気集塵機の効果の評価を行った。

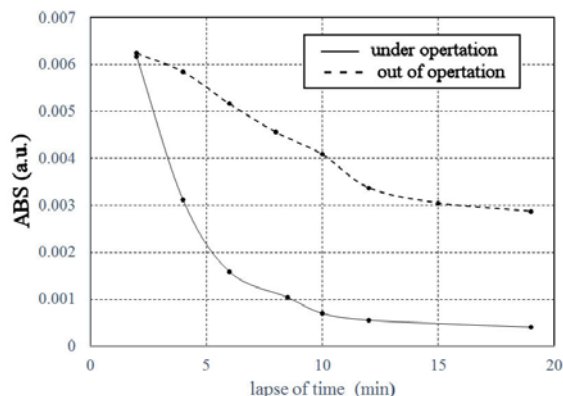


Fig. 5 Relation between absorption of light and lapse of time

Wave length of light for detection of flog: 355 nm, Applied HV; -13 kV dc, $d=5$ mm.

3. 教材用電気集塵機の性能

3.1 コロナ放電電流特性

Fig. 4 に電圧-電流特性を示す。高電圧電極と接地電極との距離（電極間距離： d ）は 5 mm である。印加電圧が -13 kV のときの電流波形である。電極間距離 d をさらに短くして 10 μ m 以上の電流を流すと、電流は安定せず、ブレークダウンが発生する。安定した高密度のイオン空間を得ることが電気集塵機には必要なので、以下に示す煙除去特性においては、 $d=5$ mm における測定データを示す。

電流波形はパルス状であり、1 パルスあたり、 $(5 \sim 8) \times 10^{-10}$ C の放電電荷の量を持ち、5 kHz \sim 10 kHz の繰り返し周波数で発生する。

Fig. 5 は、線香の煙で暗箱に電気集塵機を入れた状態で、電気集塵機を運転による煙の除去能力を評価したグラフである。Fig.3 に示した光ファイバー間（F1 と F2 間）の空間に存在する煙の濃度が高いと、空間内を通過する光が減衰して吸光度が高くなる。電気集塵機によって煙が分解すると、空間内の煙の濃度が減衰するので、吸光度が低下する。図に示すように、電気集塵機の動作の有無により、吸光度の時間的な変化が大きく異なることがわかる。透明の容器の中で、煙の消滅状態を目視で観測しても、電気集塵機動作後、10 分程度でその存在がわからない程度まで煙が除去される。一方、電気集塵機を動作させない状態では、煙の濃度は時間とともに減衰はするが、電気集塵機の動作時と比較すると、その減衰率は極めて小さい。暗箱の外部には煙が漏れる

ことはないので、煙濃度の減衰の原因は煙粒子が暗箱の壁面に付着することに起因するものと考えられる。

4. まとめ

高校教師用の教材としての電気集塵機的设计・製作を行った。設計に際しては、海外での使用を考慮して、海外への持ち運びが可能なることへの配慮も行った。

また、設計に際しては、(1) 煙の除去効果についてデータを取りながら理解できること、(2) 煙濃度の計測の方法を知り、データの整理手法を学ぶことができること、(3) 動作原理や部分放電の仕組みの基本を知ることができること(4)高電圧の発生や取り扱いの基本概念を知ることができることなどを考慮した。

設計製作した電気集塵機の性能は、教材として使用に耐えるものであることが検証された。

設計時には ASEAN の高校の数人の物理の教師の意見を散り入れたが、実際に現地の高校での授業に使用した結果を基にしたフィードバックによるさらなる改良を行う予定である。

なお、本研究の一部は、2016 年度文部省科学研究補助金基盤研究 (A) 15H01768 「ASEAN 共生時代の科学技術教員のためのリカレント教育プログラムの開発と評価」によって行われた。

参考文献

- (1) 千葉大学教育学部 (2013-2016) : 平成 24 年度 - 平成 27 年度ツインクル活動報告書
- (2) 野村 : グローバル社会における拠点リーダー輩出を目指して~, 静電気学会講演論文集'13, pp.29-34, 2013
- (3) 野村, 吉田, 山野ほか : アクティブ・ラーニングを主体とする海外教育インターンシッププログラムの開発と評価 - 千葉大学ツインクルプログラム受講者の授業感の分析 -, 科学教育研究, Vol.41, No.2, pp.141 - 149 2017