

OHラジカル10倍発生を実現する帯電微粒子水発生装置の開発

Development of Engineered Water Nanostructures Increasing OH Radical Generation Amount to 10 Times

石上 陽平 小村 泰浩
Yohei Ishigami Yasuhiro Komura

要 旨

これまでに、OHラジカルを含んだ帯電微粒子水ナノイーの効果により、健康に悪影響を与える可能性のある有害物質の抑制評価を行ってきた。有害物質の抑制については、帯電微粒子水に含まれるOHラジカル量が効いていると考えており、OHラジカルを増大した帯電微粒子水を生成することにより、より健康的な生活空間を提供することが可能であると考えられる。これまでナノイーデバイスで使用してきたコロナ放電方式では、OHラジカルの増加に伴って、環境基準対象物質であるオゾンの発生量も増加する課題があった。今回、これまでに使用してきたコロナ放電から放電形態を変更し、マルチリーダ放電を利用することで、オゾンの発生量を抑制し、OHラジカルの発生量を増大させることができた。この開発した帯電微粒子水発生装置をナノイーXデバイスと名付け、脱臭や除菌性能の向上、花粉アレルギーおよびダニアレルギー物質の抑制が行えることを確認した。

Abstract

Increasing the amount of OH radical generation is essential to enable users to notice more nanoe effects such as inhibition of unsafe substances. Using corona discharge technology developed for current nanoe caused an increasing not only in the amount of OH radical generation but that of ozone. We developed multi-leader discharge technology that enables us to increase the amount of OH radical generation without generating ozone, and call this technology nanoe X. This provides the following new effects: improvement of performance in deodorizing, suppression of pollen allergens and mite allergens.

1. はじめに

近年、健康・快適性に対する関心の高まりを受け、筆者らは室内空気の浄化技術として、帯電微粒子水を空間中に放出させる帯電微粒子水発生装置[1]であるナノイー^(注1)デバイスに注目している。ナノイーデバイスより発生する帯電微粒子水内のOHラジカルには脱臭や除菌、アレルギー物質の抑制などに効果があり[2]、空気清浄機などの家電製品に応用されている。これまでの研究開発を通じて、帯電微粒子水内のOHラジカルの量を増大させることができれば、脱臭や除菌などの効果が向上することがわかっており、より健康的な生活空間を創出するために、OHラジカル量を1桁以上増大させる検討を行ってきた。

筆者らはこれまでにOHラジカルの量を増大させるために電極形状や印加電圧を変更することで放電電流を制御し、従来のコロナ放電に比べ、瞬間的に大きな放電電流を投入するマルチリーダ放電に関する技術開発を進めてきた。本稿では、マルチリーダ放電の採用より、OHラジカルの発生量10倍を実現しただけでなく、環境基準対象物質であるオゾンの発生量を抑制した帯電微粒子水発生装置ナノイーX^(注1)デバイスと開発した帯電微粒子水発生装置の効果について報告する。

(注1) ナノイー、ナノイーX、nanoe、nanoe Xは当社の登録商標または商標。

2. 帯電微粒子水発生装置のラジカル増大

2.1 従来のコロナ放電方式の課題

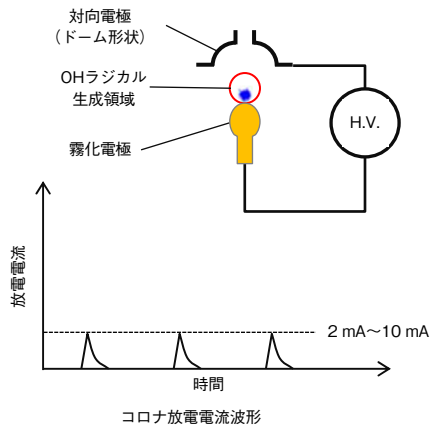
水に高電圧を印加することでコロナ放電を行い、帯電微粒子水を空気中に放出させる帯電微粒子水発生装置ナノイーデバイスは、放出する帯電微粒子水の中に除菌、脱臭などに効果があるOHラジカルを含んでいることを特長としている。室内における空気の浄化性能を向上させることにより、有害物質と人が接触する確率を低減できる。より空気の浄化性能を向上させるためにOHラジカルの発生量を大幅に増大させる必要がある。

従来のコロナ放電方式においても、印加電圧を上昇させ放電電流を増大することにより、OHラジカル量を増加させることができるが、同時に環境基準対象物質であるオゾンの発生量も増加してしまうため、環境基準値を遵守し、OHラジカルの発生量を増大させるのは困難であった。

2.2 放電形態の検討

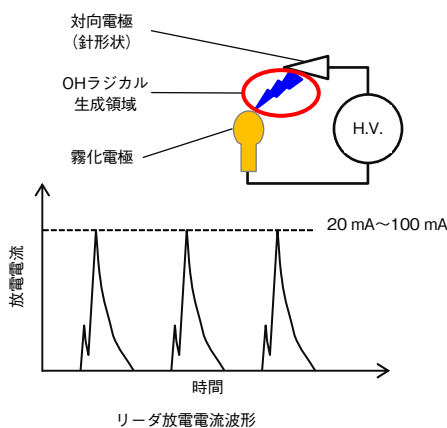
OHラジカルの発生量を大幅に増加させるためには放電のエネルギーを高める必要がある。一方、電極の構成や電極間に流れる電流値によって放電形態が変化する。これら構成や回路出力特性を制御することにより、環境基準対象物質であるオゾンなどを増やさず、OHラジカル量を大幅に増大できないか検討を行った。第1図に従来のコロナ放電の概要図と放電電流波形を示す。霧化電極

から対向電極に向かってピークが2 mA～10 mAの小さなパルス電流が繰り返し流れ、電極間に電界が形成される。その電界強度が絶縁破壊電圧に到達せず、電極近傍のみプラズマが形成されるのがコロナ放電である。



第1図 従来のコロナ放電
Fig. 1 Corona discharge

第2図にナノイー Xデバイスで採用したリーダ放電の概要図と放電電流波形を示す。対向電極側を針形状電極にすると、針の先端において電界が集中するため、電極間の電界強度が絶縁破壊電圧に到達し、リーダ放電[3]にまで推移させることができる。コロナ放電波形では単発の放電パルスが形成されるのに対し、リーダ放電ではコロナ放電で見られる小さな放電パルスから始まり、途中からさらに電流ピークの高い波形に変化する様子が確認できる。このことから、リーダ放電では、放電開始時には従来の放電と同じくコロナ放電から始まり、その後、絶縁破壊電圧に到達し、より多くのエネルギーが投入で



第2図 マルチリーダ放電
Fig. 2 Multi-leader discharge

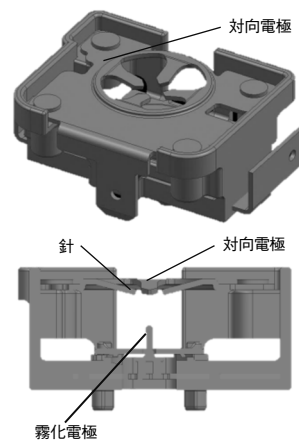
きる状態に推移している。リーダ放電では瞬時電流値が20 mA～100 mAに高めることができ、放電領域が電極間全体に広がるため、OHラジカルの発生量を高めることが可能となる。また、リーダ放電では瞬時電流値を高めることで発生したオゾン再进行分解することができるため、オゾンを抑制することができる。

2.3 マルチリーダ放電を用いた静電霧化装置

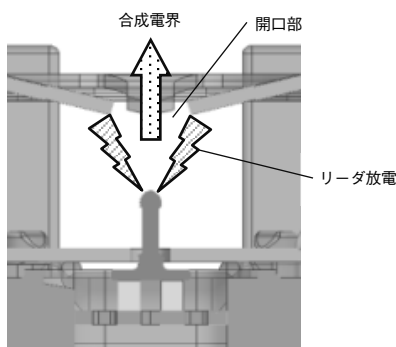
リーダ放電は、霧化電極と対向電極の針先端との間で電界を集中させている。対向電極の針を1つにしたとしてもリーダ放電は形成できるが、対向電極の針を1つだけにする、その針の方向に電流が流れ、針の方向に向かって帯電微粒子水は放出される。その結果、帯電微粒子水は針と衝突することで消滅し、OHラジカル放出効率が低下するおそれがある。

そこで、1つの方向に電界を偏らせることを防ぐために、霧化電極から放出方向に複数の針を配置してリーダ放電を形成することとした。複数の針が霧化電極から均等な距離になり、合成電界が開口部を設けた帯電微粒子水の放出方向に形成されるように配置することで、静電霧化にて放出される帯電微粒子水を効率よく放出できるように配置した。第3図にマルチリーダ放電のデバイス構成、第4図にリーダ放電で形成される合成電界の概略図を示す。

さらに対向電極の各針先端形状のばらつきに起因した電界強度差が生じないように、各針先端を丸める形状とすることで、安定的にマルチリーダ放電を形成することを可能とした。



第3図 マルチリーダ放電霧化ブロック形状
Fig. 3 Atomization unit of multi-leader discharge

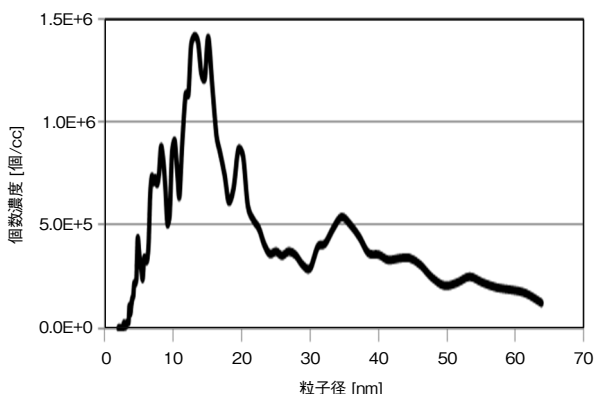


第4図 形成される合成電界
Fig. 4 Electric field direction of multi-leader discharge

2.4 帯電微粒子水放出特性評価

マルチリーダ放電を用いた静電霧化において発生する帯電微粒子水の粒子径分布を第5図に示す。10 nm～20 nm に帯電粒子が発生しており、複数の針を配置することによって、水粒子が放出できていることが見て取れ、空気の流れに乗って拡散するとされている100 nm以下の粒子が発生できている。従来ナノイーも同様な粒子分布であることは確認済みである。

また、ESR (Electron Spin Resonance) 法によりOHラジカル量を計測し、トラップ剤への曝露(ばくろ)により得られるスペクトルから1秒あたりのラジカル量を計算し、OHラジカル濃度は約5 μmol/lであり、約4兆8000億個/秒のOHラジカルを確認できた。これは約4800億個/秒のOHラジカルを発生する従来ナノイーの10倍以上である。つまり、オゾンの発生量を増やすことなく、OHラジカルの発生量を10倍以上にすることができた。

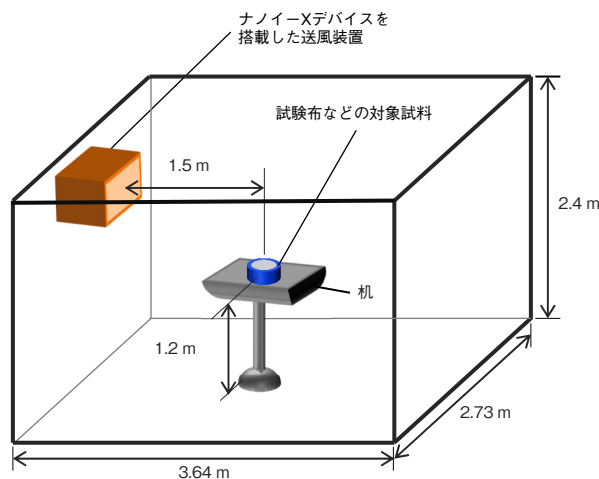


第5図 マルチリーダ放電静電霧化装置の粒子径分布
Fig. 5 Particle distribution of the multi-leader discharge atomizer

3. ナノイー Xの効果

OHラジカルの発生量を10倍に増大させたことにより、従来品に対してより高い効果が期待できる。そこで、以下の試験方法を用い、脱臭効果や菌・ウイルスの抑制、花粉のアレル物質不活化を検証した。

以下記載の試験方法を第6図に示す。これは一般社団法人日本電機工業会HD-125で規格化されている空気清浄機の室内付着ウイルスに対する抑制性能評価試験方法である。約24 m³ (6畳空間相当)の空間で試験布などをナノイー Xデバイスを搭載した送風装置から1.5 m離れた場所の高さ1.2 mに送風装置とともに設置する。送風装置は帯電微粒子水を循環させるためであり、風は直接試験布に当たらないようにする。この方法はウイルスだけでなく、除菌や脱臭、アレル物質の抑制においても同様の方法で試験を行っている。



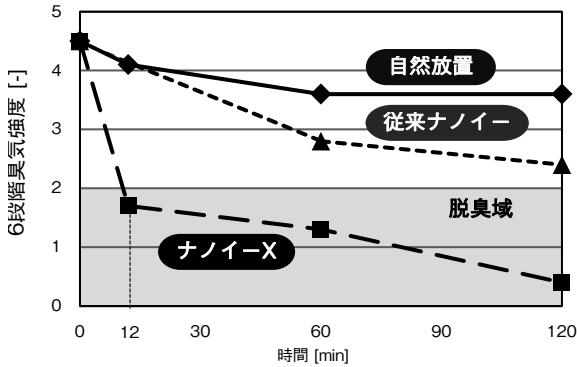
第6図 試験方法 (HD-125)
Fig. 6 Test method (HD-125)

3.1 タバコ付着臭の脱臭効果

生活環境における臭気は、快適・不快を感じるとともに、生体への影響を与えるものである[4]。不快な臭いとしてこれまでに、タバコ臭やペット臭、焼き肉臭などの評価を行っている[5]が、代表臭として、タバコ付着臭の脱臭効果について示す。約6畳空間においてタバコ臭を付着させた試験布をナノイー Xデバイスから1.5 m離れた場所の高さ1.2 mに設置した。

ナノイー Xを曝露し、所定時間ごとに臭気強度を6段階臭気強度法により評価を行った。結果は第7図に示すとおりであり、15分後に2ランク、120分後の臭気強度において3ランク以上の脱臭効果を確認できた。臭気強度1というのは、やっと感知できる臭い(検知閾値(いきち))

であり、120分後においてナノイー Xはほぼ無臭にまで臭気強度の低減を実現している。



第7図 タバコ臭脱臭評価結果
Fig. 7 Deodorization of tobacco smells

3.2 菌・ウイルスの抑制効果

菌やウイルスの主な感染ルートとしては、空気感染・飛沫（ひまつ）感染・接触感染などがある[6]。特に接触感染などの場合には、日常空間のドアノブや飛沫物のついた粉塵（ふんじん）による感染の可能性もある。ここでは、空間内に付着した菌やウイルスの抑制効果について確認を行った。

黄色ブドウ球菌 (*Staphylococcus Aureus 12732*) を付着させたガーゼを、ナノイー Xデバイスから1.5 m離れた場所の高さ1.2 mに設置し、8時間曝露した。曝露後の試料を回収後、25℃環境にて3日間培養し、菌数カウントを行っている。ナノイー Xの曝露により、99.82%の除菌率となり、8時間後には十分な除菌が行えることが確認できた。

また大腸菌ファージ (*Escherichia coli phage φX174 NBRC 103405*) においても、8時間の曝露後、プラーク法によりファージ感染価を測定し、99.92%の抑制を確認することができた。

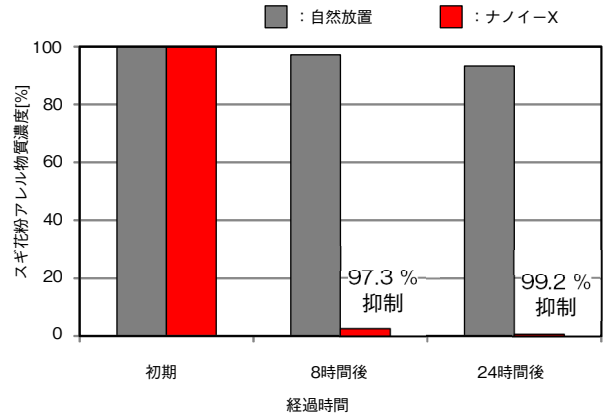
3.3 花粉アレル物質の抑制・分解効果

近年、アレルギー疾患が生活に多大な影響を及ぼしており、そのなかの1つに花粉によるアレルギー疾患がある[7]。

統計的には50%程度の人にくしゃみ、鼻水などの鼻炎症状があり、大きな生活課題と言える。そこで、アレルギー疾患の要因である花粉アレル物質に対するナノイー Xの抑制効果について評価を行った。

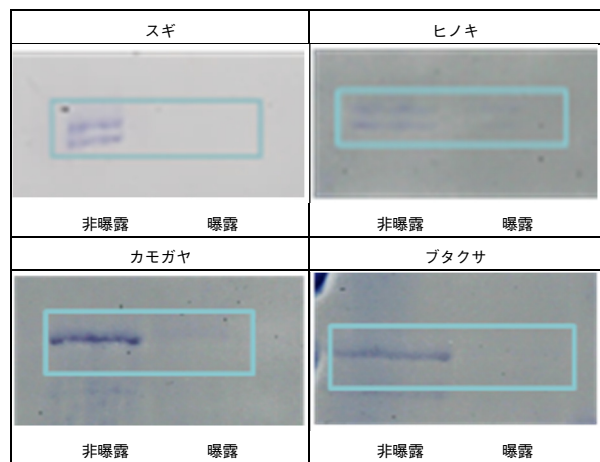
花粉アレル物質の抑制について示す。スギ花粉アレル物質 (Cry j 1) 抽出液1 mlをガーゼに滴下し、ナノイー Xデバイスから1.5 m離れた場所の高さ1.2 mに設置した。ナノイー Xを曝露し、初期および、8時間、24時間経過後の

ガーゼを濃度安定剤に浸漬してCry j 1を抽出し、抽出液中のアレル物質量をELISA法 (Enzyme-Linked Immuno Sorbent Assay, 酵素結合免疫吸着法) にて測定し、残存率を算出した。結果は第8図に示すとおりであり、8時間後に97.3%、24時間後に99.2%のスギ花粉アレル物質の抑制効果を確認できた。



第8図 スギアレル物質の抑制評価結果
Fig. 8 Inhibition of cedar pollen allergens

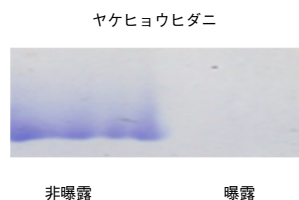
また、約6畳空間における4種 (スギ、ヒノキ、カモガヤ、ブタクサ) の花粉アレル物質をシャーレに入れ、ナノイー Xデバイスより1.5 m離れた場所の高さ1.2 mに設置し、ナノイー Xを24時間曝露後に電気泳動法にて評価を行った。第9図に示すとおり、各花粉アレル物質を示すバンドが消えており、分解効果を確認できた。また、従来ナノイーでも効果はあるが、アレル物質を示すバンドが24時間で完全に消える結果は得られていない。



第9図 花粉アレル物質抑制評価結果
Fig. 9 Inhibition of pollen allergens

3.4 アレル物質の抑制・分解効果

前節において、花粉アレル物質に対する抑制効果について評価を行ったが、他にもアレルギーの原因物質が存在し、近年は室内環境アレルギー原因物質として、ダニに対する課題がある[8]。ここでは、ダニアレル物質の一種であるヤケヒョウヒダニアレル物質に対するナノイーXの抑制効果を評価した。ヤケヒョウヒダニ精製抗原液をシャーレに滴下し、ナノイーXデバイスから1.5m離れた場所の高さ1.2mに設置した。ナノイーXを曝露し、24時間経過後の溶液を電気泳動法により分析、アレル物質の残存を判定した。結果は第10図に示すとおりであり、24時間後にアレル物質のバンドが消えており、分解効果を確認できた。また、従来ナノイーでも効果はあるが、アレル物質を示すバンドが24時間で完全に消える結果は得られていない。



第10図 ヤケヒョウヒダニアレル物質抑制評価結果

Fig. 10 Inhibition of dermatophagoides pteronyssinus allergens

4. まとめ

健康・快適空間の創出のため、帯電微粒子水発生装置ナノイーデバイスの帯電微粒子水に含まれるOHラジカル量の増大検討、および開発した帯電微粒子水発生装置の性能評価を行った。

帯電微粒子水発生装置において、複数の針形状を配置した対極を使用することにより、従来使用してきたコロナ放電から、マルチリーダ放電へと変更することができた。また開発した帯電微粒子水発生装置は、オゾン発生量を従来同等でありながら、約4兆8000億個/秒のOHラジカルを発生できることを確認した。さらに、複数の針電極を配置し合成電界を開口部の方向にすることにより、空間に浮遊する5 nm～20 nmの水粒子の放出が行えた。

帯電微粒子水のOHラジカル量を増大させることにより、タバコの付着臭脱臭は、従来品が120分後に1.5ランクの脱臭能力なのに対して、15分後に2ランクと脱臭効果の即効性を確認した。また、120分後の臭気強度において3ランク以上と十分な脱臭効果を確認できた。

除菌試験・ウイルス抑制試験においては8時間後にそれぞれ99.82%の除菌率、99.92%のウイルス抑制率を確認

できた。

アレルギーの原因物質である花粉由来のスギ・ヒノキ・カモガヤ・ブタクサのアレル物質、動物由来のヤケヒョウヒダニにおいては、24時間後にアレル物質の分解効果が確認できた。

これらの評価結果により、健康・快適な空間形成の阻害要因となる、臭い・菌・ウイルス・花粉由来のアレル物質・動物由来のアレル物質に対して、開発した帯電微粒子水発生装置にて、抑制効果があることがわかり、健康で快適な空間形成の一助となることが確認できた。

参考文献

- [1] 小林健太郎 他, “熱電冷却を応用した静電霧化装置「ペルチェ式nanoeシステム」,” 松下電工技報, vol. 55, no. 1, pp. 95-100, 2007.
- [2] 須田洋 他, “静電霧化による付着臭の除去と花粉抗原の不活化,” 第22回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, pp. 208-209, 東京, Apr. 2004.
- [3] 放電ハンドブック, 第2版, 電気学会放電ハンドブック出版委員会, 東京, 1978, pp. 289-298.
- [4] 於久比呂美 他, “病室環境が生体反応にもたらす影響への検討,” 福岡県立大学看護学研究紀要, 第10巻, 1号, pp. 39-46, 2012.
- [5] パナソニック(株), “ナノイー・ナノイーXの効果,” <https://panasonic.jp/nanoe/effect.html#smell>, 参照 May 7. 2020.
- [6] 日高孝子, “院内感染対策の実際について,” 臨床環境医学, 第27巻, 第1号, pp.15-19, 2018.
- [7] 東京都福祉保健局, “花粉症患者実態調査報告書(平成28年度),” 東京都, https://www.metro.tokyo.lg.jp/tosei/hodohappyo/press/2017/12/18/documents/14_02.pdf, 参照 May 7. 2020.
- [8] 安枝浩, “ダニアレルゲンの免疫生物学とアレルギー疾患,” アレルギー, 57巻, 7号, pp. 807-815, 2008.

執筆者紹介



石上 陽平 Yohei Ishigami
アプライアンス社 技術本部
Engineering Div., Appliances Company



小村 泰浩 Yasuhiro Komura
アプライアンス社 技術本部
Engineering Div., Appliances Company