

プラズマにより生成したクラスターイオンを用いた空気浄化技術

Air Purification Technology by means of Cluster Ions Generated by Discharge Plasma

西 川 和 男*
Kazuo Nishikawa

野 島 秀 雄*
Hideo Nojima

要 旨

気中に正と負のクラスターイオンを放出することにより空気を浄化するまったく新しい概念の空気浄化技術を開発した。大気圧下での放電プラズマにより生成した正および負イオンについて、二重同心円筒法によりイオンの濃度を測定した。さらに、飛行時間分解型質量分析装置により生成されたイオン種を同定した。この結果、正イオンは $H^+(H_2O)_m$ 、負イオンは $O_2^-(H_2O)_n$ (m, n は整数) の構造を持つクラスターイオンであることが確認された。さらに、空気浄化効果に注目し、気中の浮遊菌除去効果について調べた。浮遊菌除去率として約90%が得られ、正と負のクラスターイオンの相互作用によって浮遊菌が大きく除去できることを見出した。

We have developed a novel air purification technology by means of positively and negatively charged cluster ions. The positively and negatively charged cluster ions are generated by discharge plasma at atmospheric pressure. The ion density was measured by the double co-cylinder method. Moreover, the generated ion species were identified by time-of-flight mass spectrometer. It was confirmed that the structures of the positively and negatively charged ions were $H^+(H_2O)_m$ and $O_2^-(H_2O)_n$, respectively. We have examined the air purification properties of positively and negatively charged cluster ions. The suspended bacteria density was reduced to 16% after 1 hour. The removal of suspended bacteria is considered to be due to the interaction of positively and negatively charged cluster ions.

まえがき

近年、住環境の高気密化に伴い、空気中の有害分子や浮遊細菌を取り除き、健康で快適な環境を作りたい

という要望がますます強くなっている。このため、空気中での放電プラズマを応用して、化学反応性の強いオゾンやラジカル¹⁾を生成し、空気環境を浄化する研究が活発に行われている。

一方、大気圧下での放電プラズマによって生成したイオンは、圧力が高いため電離度が非常に小さく、計測が困難であったため、真空中のイオンに比較して、その挙動はほとんど理解されていない。

我々は、大気圧下での放電プラズマにより生成した正および負イオンについて、二重同心円筒法により、イオンの濃度を実測した。さらに、飛行時間分解型質量分析装置を用いてイオン種の同定を行った。これらの実験結果を基に、特に空気環境の浄化に注目して、実験を行った結果、正と負のクラスターイオンの相互作用によって気中の浮遊細菌が大きく除去でき、環境の浄化効果があることを見出した。そして、この効果を応用した新規概念の空気浄化技術であるプラズマクラスターイオン技術の開発に成功した。本論文では、空気中で生成した正および負イオンの基礎特性、さらに開発した素子の空気環境浄化特性について報告する。

1. 実験装置および方法

1.1 イオン発生素子

図1はイオン発生電極の断面図を示す。大気圧下での放電プラズマは平板状の沿面放電素子を用いて実験した。電極間に正と負の高電圧を交互に印加することにより、表面電極部で沿面放電を起こし、大気圧下での放電プラズマにより正と負イオンを生成させた。

1.2 正および負イオン濃度の測定

図2に示すイオン濃度測定装置はゲルディエンコンデンサーとよばれる二重同心円筒法²⁾による、空気イオンカウンタ(株式会社ダン科学:83-1011B)³⁾を用いた。流量()1666.7cm³/sec,円筒長(L)24cm,内筒の半径(r_0)1cm,外筒の内径(r_1)2.6cm,外筒の印加電圧(V)±13.0Vに設定して、臨界移動度1cm²/

* A1220 プロジェクトチーム

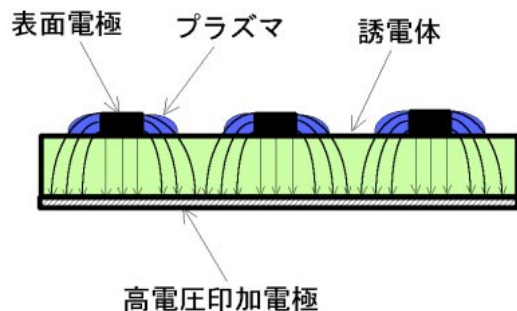


図1 イオン発生電極の断面図

Fig. 1 Sectional diagram of the ion generation electrode.

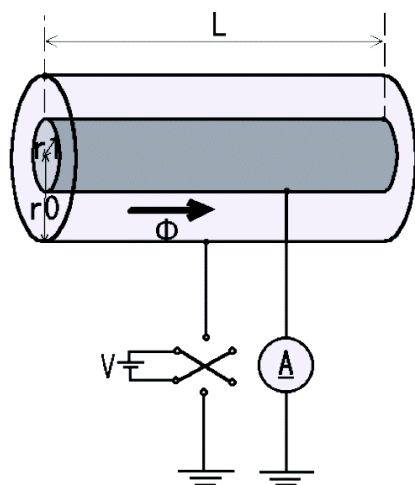


図2 イオン濃度測定装置

Fig. 2 Schematic diagram of ion detector.

V・s以上のイオンを計測した。測定条件は長さ20cm, 直径5.5cmの円筒内にイオン発生素子を設置し, 風量0.36m³/minで空気を流した状態で吹出し部より10cm離れた空間のイオン濃度を測定した。空気は温度18 ± 1, 湿度43 ± 2%RHに保った。

1・3 正および負イオンの質量スペクトルの測定
イオン種の同定は飛行時間分解型質量分析装置により正および負イオンの質量スペクトルを測定した。

1・4 気中の浮遊細菌除去試験

気中の浮遊菌除去試験はイオンを発生させた後, 経時的に気中浮遊菌数を測定した。温度25, 相対湿度42%, 対象区域13.5m³ (2.0m × 2.5m × 2.7m) に初期浮遊菌濃度1,000個/m³になるように菌をミスト状に噴霧した。浮遊菌はBiotest エアーサンプラー (40L/min, 4分間サンプリング) を用いて採取, 寒天培地で培養後, 菌数を測定した。試験菌は, 細菌として大腸菌, 真菌としてクロカビの一種であるクラドスポリウムを用いた。

1・5 タバコの煙中の一酸化窒素除去試験

測定ボックスは1m³ (1m × 1m × 1m) のアクリル樹脂製密閉容器とし, ボックス内に送風付イオン発生素子, かくはん機および吸煙機を設置した。吸煙機を用い, タバコ(マイルドセブン)を同時に5本燃焼させた。燃焼後, イオン発生素子を作動させながら検知管式ガス測定器を用いて一酸化窒素濃度の経時変化を測定した。実験中, ボックス内の環境を温度23 ± 3, 湿度50 ± 10%RHに維持した。

2. 実験結果および考察

2・1 イオンの発生特性

今回の実験で用いたイオン発生素子より発生した正および負イオン濃度はそれぞれ数万個/cm³であり, 同程度の発生が見られた。

2・2 正イオンと負イオンの同定

図3は正イオンの質量スペクトルを示す。正イオンの質量数は19, 37, 55, ...と18間隔に現れていることがわかる。これより, 正イオンは水素イオンH⁺が生成されて, その周りに水分子が配位した構造を持つH⁺(H₂O)_mのクラスターイオンであることがわかる。

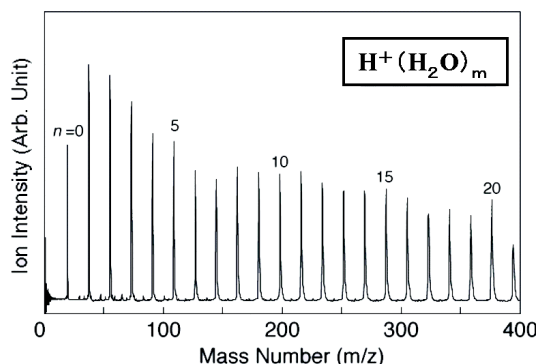


図3 正イオンの質量スペクトル

Fig. 3 Mass spectrum of positively charged ions.

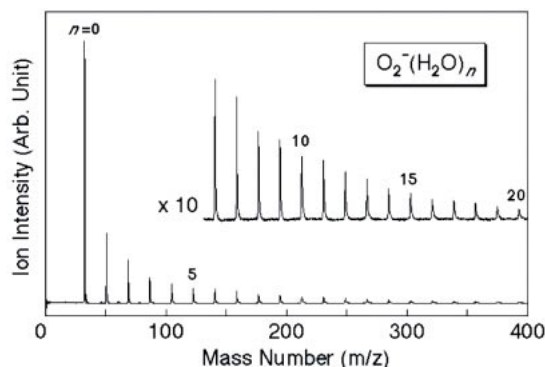


図4 負イオンの質量スペクトル

Fig. 4 Mass spectrum of negatively charged ions.

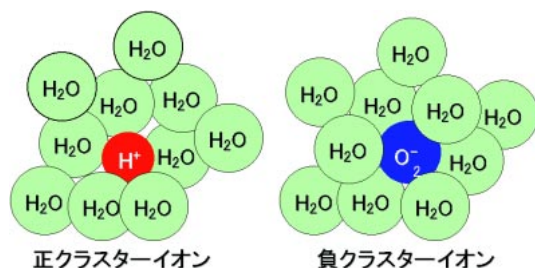


図5 正・負クラスターイオン模式図

Fig. 5 Model of positively and negatively charged cluster ions generated by the ion generation device.

図4は負イオンの質量スペクトルを示す。負イオンの質量数も32, 50, 68, ...と18間隔に現れていることがわかる。これより、負イオンは酸素分子イオン O_2^- が生成されて、その周りに水分子が配位した構造をもつ $O_2^-(H_2O)_n$ のクラスターイオンであることがわかる。図5はイオン発生素子より生成された正・負クラスターイオンの模式図を示す。

3. 空気浄化への応用

3.1 気中の浮遊細菌除去効果

3.1.1 浮遊細菌(大腸菌)の除去効果

図6は気中の浮遊大腸菌濃度の経時変化を示す。正・負クラスターイオン(濃度それぞれ5万個/cm³)を気中に放出することにより1時間で浮遊大腸菌は90%の除去効果が確認された。写真1は採取した菌の寒天培地で24時間培養後を示す。正・負イオンなしでは大腸菌コロニーの発生が確認されるが、正・負イオンを作用させたものではコロニーの発生は確認さ

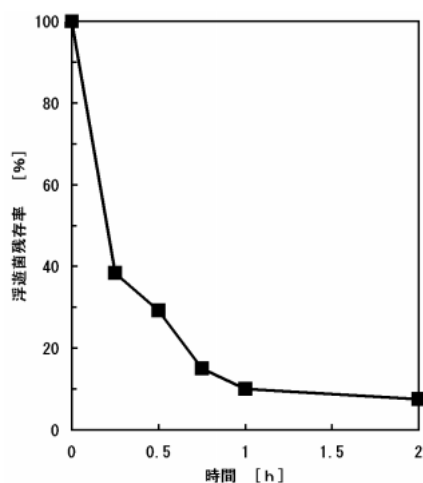


図6 正・負クラスターイオンによる気中浮遊大腸菌の除去効果

Fig. 6 Removal effect of suspended E. coli bacteria with positively and negatively charged cluster ions.

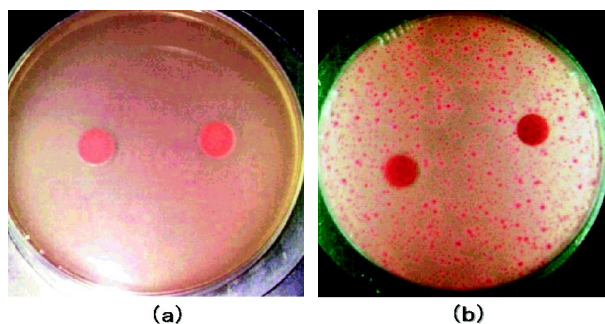


写真1 大腸菌繁殖の写真

(a)クラスターイオン作動あり (b)作動なし

Photo 1 Photographs of the E. coli bacteria growth with (a) and without (b) the operation of positively and negatively charged cluster ions.

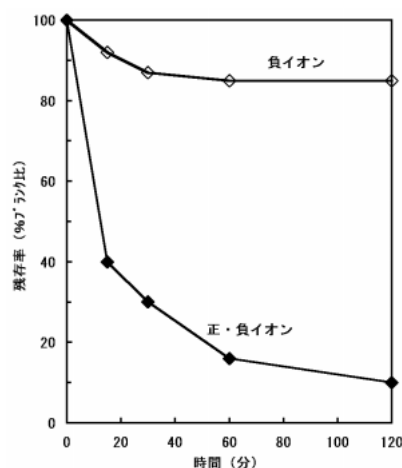


図7 正・負イオンおよび負イオンのみによる浮遊菌除去特性

Fig. 7 Characteristic of suspended E. coli bacteria removal with the positively and negatively charged ions, and the negatively charged ions.

れなかった。これより正・負イオンで大腸菌が死滅していることがわかった。

図7は正・負イオン及び負イオンのみによる気中の浮遊菌除去特性を示す。負イオン(濃度5万個/cm³)のみの場合では、1時間後の菌残存率は85%(除去率15%)であり、浮遊菌の除去効果は非常に小さいことがわかった。これに対し、正イオンを加えた正・負イオン(濃度それぞれ5万個/cm³)の場合では、1時間後の菌残存率は16%(除去率84%)となり、大きな除去効果が得られた。これより正と負のクラスターイオンの相互作用によって浮遊菌の除去効果が得られることがわかった。

3.1.2 浮遊真菌(クロカビ)の除去効果

図8は気中の浮遊真菌濃度の経時変化を示す。正・負イオン(濃度それぞれ5万個/cm³)を気中に放出することにより1時間で浮遊真菌は90%の除去効果が

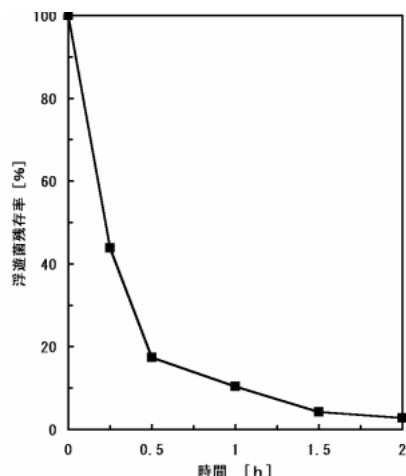


図8 正・負クラスターイオンによる空中浮遊真菌の除去効果
Fig. 8 Removal effect of suspended eumycetes with positively and negatively charged cluster ions.

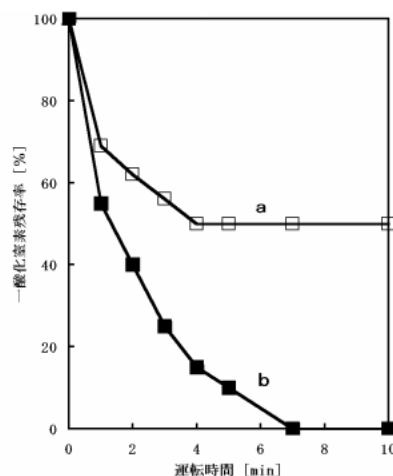


図10 正・負クラスターイオン有無による活性炭のタバコ煙に含まれている一酸化窒素除去効果 a活性炭, b活性炭+正・負クラスターイオン
Fig.10 Removal effect of oxygen nitride (NO) in cigarette smoke with (a) the active carbon, and (b) carbon and positively and negatively charged cluster ions.

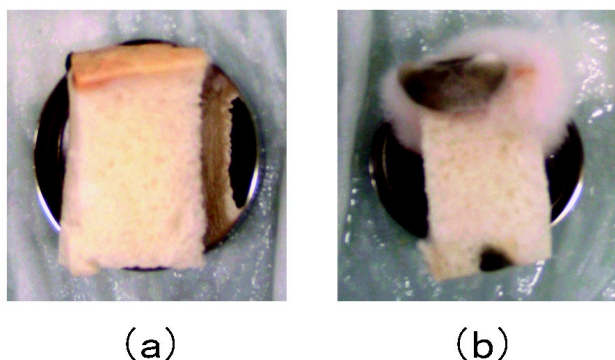


写真2 カビ繁殖の写真 (a)正・負イオン (b)負イオン
Photo 2 Photographs of the mold growth with the operation of positively and negatively charged cluster ions (a), and negatively charged cluster ions (b).

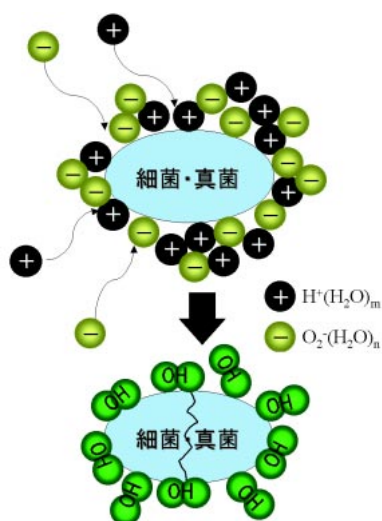


図9 正・負クラスターイオンによる浮遊菌除去機構
Fig. 9 Removal mechanism of suspended bacteria and mold by positively and negatively charged cluster ions.

確認された。写真2は正・負イオンと負イオンのみを作用させた場合における、カビの繁殖を示す。10日放置後、負イオンのみではカビの繁殖が見られたが、正・負イオンではカビの繁殖は見られなかった。これより、正と負のクラスターイオンの相互作用によりカビの繁殖抑制効果が得られることがわかった。

3・1・3 正・負クラスターイオンによる浮遊菌除去機構

図9は正と負のクラスターイオンによる浮遊菌除去機構を示す。正と負のクラスターイオンが気中に浮遊する細菌や真菌(カビ菌)を取り囲み、菌表面で正・負クラスターイオンの反応により・OHまたは H_2O_2 を生成し、これにより菌を死滅させる。

3・2 タバコの煙中の一酸化窒素除去効果

図10はタバコの煙に含まれている一酸化窒素について、活性炭フィルタと、活性炭フィルタに正・負クラスターイオンを付加した場合の残存率経時変化を示す。活性炭のみでは残存率50%で吸着飽和が見られたが、正・負イオンを加えると完全に除去された。これより、タバコの煙に含まれている一酸化窒素除去効果は正・負イオンの付加により大きく向上することがわかった。

3・3 自然界におけるイオン濃度

表1は自然界における正・負イオン濃度を示す。森林では正と負イオン濃度はほぼ同程度で、正・負イオンのバランスがとれていることがわかった。さらに、

表 1 自然界における正・負イオン濃度

Table 1 The density of positively and negatively charged cluster ions in forests, expressways and offices.

	負イオン (個/cm ³)	正イオン (個/cm ³)
森林	4,100 ~ 4,300	4,100 ~ 4,200
高速道路付近(屋外)	700 ~ 800	700 ~ 800
オフィス	50 ~ 100	200 ~ 300

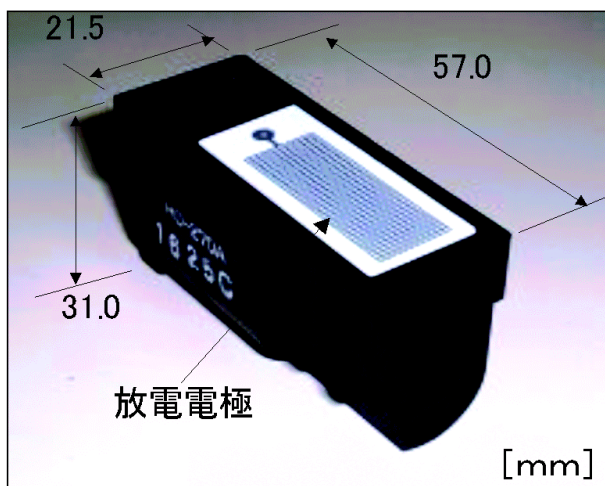


写真 3 イオン発生素子の写真

Photo 3 Photograph of the ion generation device.

高速道路付近やオフィスのような空気が汚染されているところでは正・負イオン濃度が少なく、森林の5～20%しかなかった。また、オフィスの室内では正イオン濃度が過多状態になっており、正・負イオンのバランスが崩れていた。このように快適と感じられる森林と空気が汚染されているオフィスでは正・負イオンのバランスと濃度が大きく異なっていることがわかった。

これらの実験結果に基づき、2001年に当社が開発したイオン発生素子は、空気の汚れ具合をセンサでモニタして、正・負イオン濃度を同程度放出して、空気環境の浄化を行うクリーンモードと、負イオンを多めに放出して、イオンバランスの調整と負イオンによるリフレッシュ効果が実現できるリフレッシュモードを切

り替えることが可能である。写真3は開発したイオン発生素子の写真を示す。

むすび

開発した素子より生成された正および負イオンの基礎特性と空気環境浄化特性について調べた。その結果、次の諸点が明らかになった。

(1) 正と負イオンはほぼ同じ濃度の発生が見られ、正の水素イオンと負の酸素分子イオンに水分子が配位したクラスターイオンであることが確認された。

(2) 正と負のクラスターイオンの相互作用により、気中浮遊菌の除去効果が得られることがわかった。

(3) 活性炭に正・負イオンを付加させることにより、タバコの煙に含まれている一酸化窒素の除去効果の向上が確認された。

(4) 快適と感じられる森林では、空気が汚染されているオフィスと比べ正・負イオン濃度のバランスがとれており、濃度値が大きいことがわかった。

今回、開発した正・負イオンを用いた空気浄化技術は、環境浄化に対して多くの優れた特徴を示しており、空調機器(エアコン、空気清浄機、除湿機、加湿器、ファンヒーター)および冷蔵庫に搭載して実用化に成功した。今後、家電商品以外の他業種へも幅広い応用展開が期待できる。

謝辞

質量スペクトルの測定において、分子科学研究所の佃達哉助教授、根岸雄一助手に御協力頂きました。また、気中浮遊菌除去試験において、財団法人石川県予防医学協会の鈴木氏に御協力頂きましたので、ここに感謝致します。

参考文献

- 1) 小田哲治、他「放電による環境対策技術の将来」、応用物理学会誌 69 pp 263-289(2000)
- 2) 北川信一郎、河崎善一郎、三浦和彦、道本光一郎「大気電気学」pp 45-61、東海大学出版会(1996)
- 3) 秋山正「空気イオンカウンター」、クリーンテクノロジー 8 pp 54-56(1997)

(2002年1月30日受理)