

リーダ放電を用いたヘアケア向け帯電微粒子水発生デバイスの開発

Development of an Electrostatic Atomized Water Particle Generating Device for Hair Care, Using Leader Discharge

木下 雅登
Masato Kinoshita

井上 宏之
Hiroyuki Inoue

石原 綾
Aya Ishihara

榛木 佐知子
Sachiko Hariki

石上 陽平
Yohei Ishigami

要 旨

水微粒子がもつ浸透作用に着目し、発生する水微粒子を従来の18倍に増加させることで、酸性成分の浸透度を高めることが可能な帯電微粒子水発生デバイスを開発した。水微粒子を増加させるための手段として、広い放電領域の形成により、水微粒子の分裂を促進するリーダ放電を利用した。開発したデバイスをドライヤーに組み込み、毛髪乾燥に用いることで、より多くの酸性成分を毛髪に浸透させることができる。これにより、毛髪の保水力が上がり、しっとり感など毛髪乾燥時のヘアケア効果を示す8項目の官能評価で、従来デバイスを搭載したドライヤーと比べ有意な改善が得られた。

Abstract

We have developed an electrostatic atomized water particle generating device that can increase the penetration of acidic components by generating an amount of water particles 18 times greater than that of conventional devices. As a means for increasing the amount of water particles, a leader discharge that promotes the division of water particles by forming a wide discharge area is used. By incorporating the developed device into a hair dryer and drying the hair, more acidic components can penetrate the hair. This increases the water retention of the hair, and significantly improves hair care effects such as providing a feeling of moist and smooth hair as compared with a hair dryer equipped with a conventional device.

1. はじめに

当社で開発した帯電微粒子水発生デバイスは、帯電による電荷の反発力でナノサイズまで微粒子化され、放電により生成される酸性成分などで構成される、弱酸性の水微粒子を噴霧する。

弱酸性水は、毛髪のキューティクル（毛髪表面の鱗（うろこ）状の層）が引き締まって毛髪が最も安定するpH（これを等電点と呼ぶ）と近いため、毛髪がほどよく引き締まり、まとまりやツヤ、手触りが改善されることで知られる[1]

当社はこれまでにヘアドライヤーに帯電微粒子水発生デバイスを搭載し、毛髪乾燥中に弱酸性の水微粒子を噴霧することでキューティクル引き締め起因するツヤの改善などのヘアケア効果が得られることを示し、これを実用化してきた[2]

しかしながら、ヘアドライヤーで毛髪を乾燥させる工程では、毛髪の1箇所あたりに帯電微粒子水が噴霧される時間は短く、短時間で多くの酸性成分を毛髪に付着・浸透させることが課題となっていた。

そこで、当社ではこれまで、酸性成分の発生量を増加させることで、より多くの酸性成分を毛髪まで届けることを検討してきた。たとえば、酸性成分の生成量を増やすことが

できる電極構造とすることで、ヘアドライヤーに適用した際のヘアケア効果（ツヤ、まとまり、手ぐし通り、総合評価）が有意に改善した[3]

今回はさらに、水がもつ浸透作用に着目し、発生する水微粒子を増やすことで、毛髪に付着した酸性成分のキューティクル内部への浸透度を上げることができると考え、水微粒子を多く発生するデバイスの開発を行った。

2. 酸性成分高浸透デバイスの開発

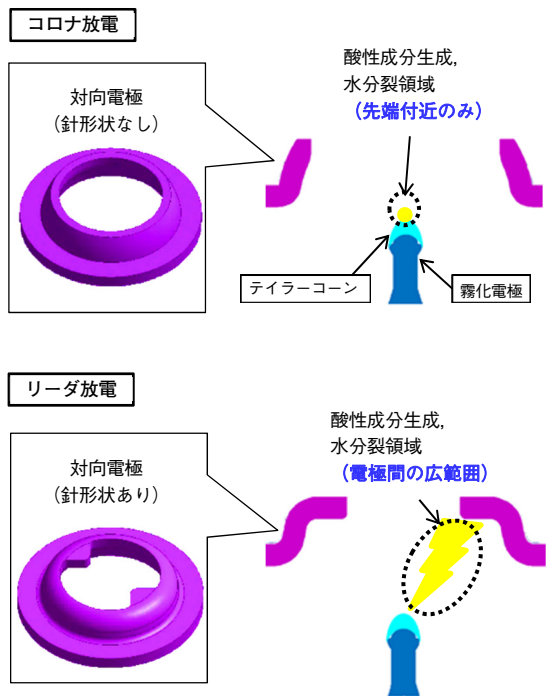
2.1 リーダ放電

水微粒子の発生量を増やすための手法として、リーダ放電を利用した。リーダ放電を用いた狙いについて述べるため、リーダ放電の定義および従来のコロナ放電との違いを第1図に、水滴が微粒子化する基本原理を次節に示す。

霧化電極先端を冷却することで結露した水が、電界によって引き上げられることで形成される円錐（えんすい）状の水滴をテイラーコーンと呼び、従来のコロナ放電ではこのテイラーコーン先端近傍でのみ放電領域（酸性成分生成、水粒子分裂促進領域）が形成される。一方、対向電極側にも針形状を設けることで、対向電極側にも強い電界集中が起きる。

これにより電極間の電界強度を絶縁破壊電圧に到達さ

せ、電極間の広い領域にわたって放電領域を形成させたものをリーダ放電と呼ぶ。



第1図 コロナ放電とリーダ放電
Fig. 1 Corona discharge and leader discharge

2.2 水微粒子の発生原理

第1図に示したように、霧化電極先端に水滴を結露させ、高電圧を印加することで水が帯電し、電荷同士のクーロン力による反発力が高まると、水滴はより小さい水滴へと分裂する。これをレイリー分裂と呼び、レイリー分裂が繰り返されることで、ナノサイズまで微粒子化された水微粒子が生成される[4]

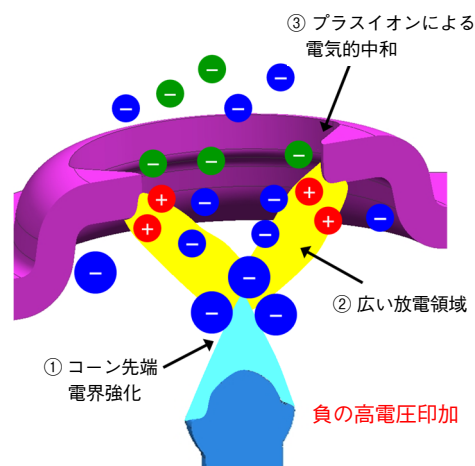
このように、レイリー分裂を引き起こす元となるのは電荷であり、リーダ放電を用いて電荷が作られる放電領域を広げることで、水滴の帯電とレイリー分裂が促進され、より多くの水微粒子を発生させることができると考えた。

2.3 リーダ放電による水微粒子の増加原理仮説

デバイスから放出される水微粒子をできるだけ多くするためには、①テイラーコーン先端から飛散する水滴量の増加、②水滴のレイリー分裂の促進、③分裂した水微粒子の放出効率向上、が必要となる。これら①～③を考慮した電極形状と水微粒子の増加原理仮説を第2図に示す。

ここに示す構成のリーダ放電によって、水微粒子が増加する一連の機序として、下記のように仮説を設定した。

まず対向電極のドーム先端に針形状を追加することで、



第2図 水微粒子増加の原理仮説
Fig. 2 Hypothesis of the principle of the water particle increase

霧化電極と針との間に強い電界が形成されると、テイラーコーン先端への電荷集中が増し、水滴量の増加につながる(①)。

次に、テイラーコーン先端から飛散した水滴は、リーダ放電による広い放電領域で作られた電荷を受け取り、レイリー分裂が促進される(②)。

微粒子化された水は電界により加速されながら、対向電極の開口部から放出される。このとき、水微粒子がもつ電荷量が多いほど強いクーロン力が働くため、対向電極に吸着しやすくなるが、対向電極に針形状があることで、帯電した水微粒子を電氣的に中和する作用が起きやすい状態となり、結果としてより多くの水微粒子が放出される(③)。

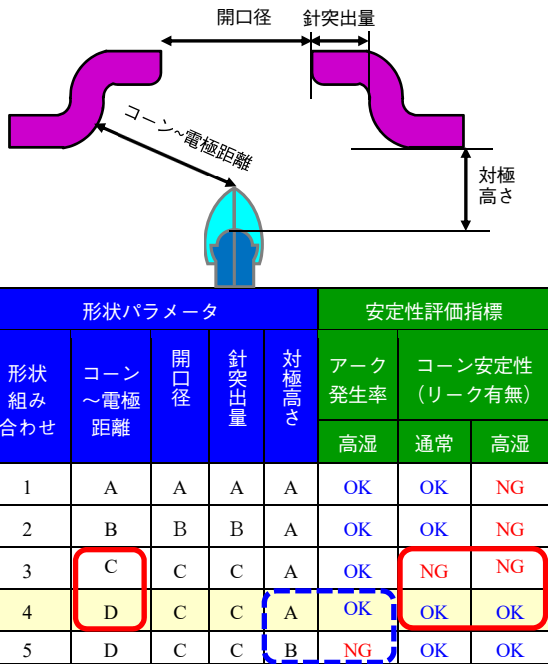
実際に、デバイスから放出される個々の水微粒子がもつ電子の数を、タンデム式DMA(微分型移動度分析器)を用いて測定すると、従来のコロナ放電では電子数4個～6個のものが多いのに対し、リーダ放電では電子数1個のものが多くっており、上記現象の発生を示唆する結果が得られている。

以上の仮説を踏まえ、デバイス設計を行った。

2.4 デバイス設計

従来のコロナ放電電極を用いた帯電微粒子水発生デバイス(以下、従来デバイスと記す)に比べ、水微粒子を多く発生させることができるリーダ放電電極を用いた帯電微粒子水発生デバイス(以下、リーダ放電デバイスと記す)を設計するにあたり、最初にテイラーコーン形状などの安定性が高い電極形状を検討し、次に必要な成分が得られる印加電圧条件などの検討を行った。

検討の一例として、形状パラメータと安定性の関係について評価した結果を第3図に示す。



記号A～Dは各パラメータの水準を示す。
(コーン～電極距離はA～Dの4通り、対極高さはA～Bの2通り)

第3図 デバイス安定性評価
Fig. 3 Device stability evaluation

安定性の指標としては強いノイズや電極摩耗の原因となるアーク放電の発生率と、霧化電極の根元に水が溜(た)まることで動作不良の原因となるリーク放電の有無を用いた。これらは特に高湿環境において、テイラーコーン形状が変動しやすい場合に発生しやすくなることから、通常環境(温度25℃, 相対湿度50%)および高湿環境(温度30℃, 相対湿度80%)で評価を行った。

形状パラメータは図中に示したパラメータ以外にもさまざまなパラメータで評価を行い、最終候補として残った形状組み合わせ1～5の結果を示している。

評価の結果、アーク発生率には対極高さが、リーク有無にはコーン～電極距離が大きく寄与していた。これは、テイラーコーンと対向電極針間の電界が強いほどアーク放電が起きやすく、テイラーコーン自体を対向電極側に引き上げる電界が弱いほどリーク放電が起きやすい傾向があるためと推察した。

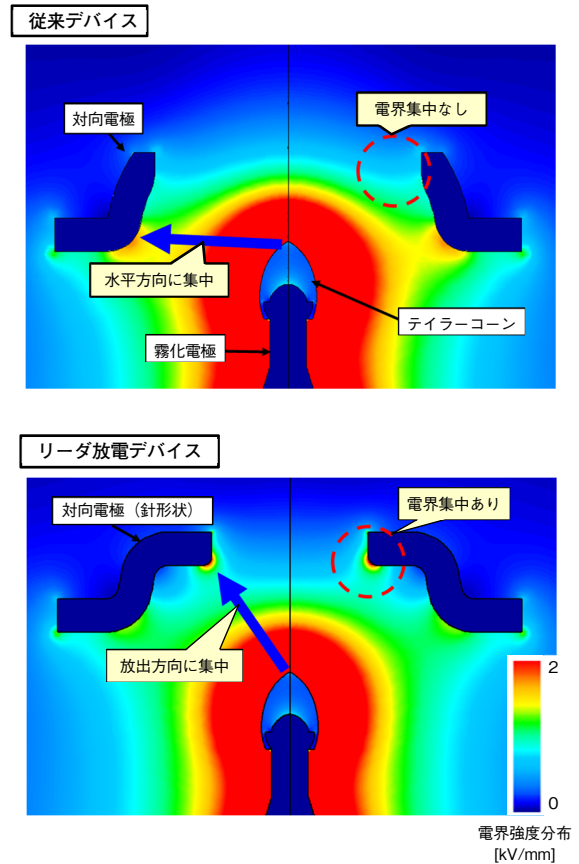
形状組み合わせ水準4においては、アーク放電、リーク放電の両方が発生せず、安定した放電が得られており、前述した電界が適切な強さになっていると判断した。

2.5 電界分布比較

テイラーコーン形状の安定性が高いことが確認できた電極形状が、前述した水微粒子増加仮説①～③で提示した

効果が期待できる電界分布となっていることを、電界シミュレーションによって確認した。

今回設計したリーダ放電デバイスの電界分布を、従来デバイスと比較した断面図を第4図に示す。



第4図 電界シミュレーション結果
Fig. 4 Electric field simulation results

リーダ放電デバイスは、対向電極の針形状先端に従来デバイスにはない強い電界集中領域ができており、放電領域の拡大と対向電極付近での電気的中和作用が得られる分布になっていると推定した。また、テイラーコーン先端と対向電極との間の電界が、従来デバイスでは水平方向に強いため、コーン先端に電荷が集中しにくく、放出方向に水微粒子も加速されにくい分布となっているのに対し、リーダ放電デバイスは放出方向に強い電界が形成されていることがわかる。このことから、発生した水微粒子がより放出されやすくなり、放出効率も高まると判断し、試作評価を行った。

2.6 試作品の発生成分量評価

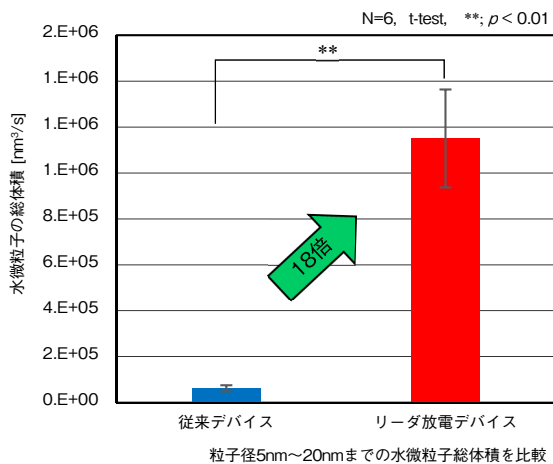
2.4節で検討した形状組み合わせ水準4の構成で実際に試作を行い、発生成分量を評価した。

評価にあたり、『従来デバイス同等の酸性成分量が得ら

れるときの水微粒子発生量が、従来デバイスよりも有意に多いこと』を発生成分量の目標値とした。

これは、酸性成分発生量も増加させると放電安定性との両立難易度が上がることと、開発の狙いが水微粒子増加による浸透度の向上であることを考慮して設定している。

第5図に、酸性成分量が従来デバイス同等となる放電条件におけるリーダ放電デバイスの水微粒子発生量を、従来デバイスと比較した結果を示す。



第5図 水粒子発生量 (平均値 ± 標準偏差)
Fig. 5 Water particle generation (Mean ± SD.)

リーダ放電デバイスは、従来デバイスに比べ、水微粒子発生量が18倍の結果が再現良く得られた。このことから、リーダ放電を利用することで、水微粒子を増加する狙いについては達成できたものと判断し、実際の毛髪効果検証を行った。

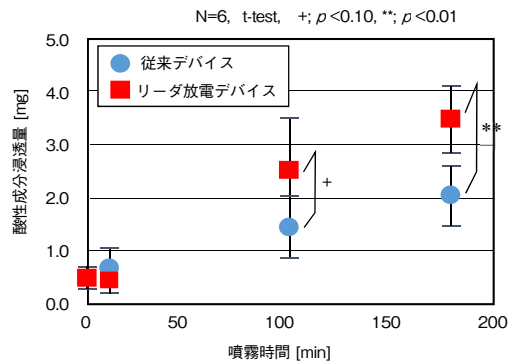
3. 酸性成分高浸透デバイスの効果検証

3.1 水微粒子による酸性成分の浸透効果検証

水の浸透作用によって酸性成分の毛髪浸透量が増加することを検証するため、従来デバイスとリーダ放電デバイスを、それぞれ180分間毛髪に噴霧したときの、毛髪内部に浸透した酸性成分量を比較した。浸透した酸性成分量をイオンクロマトグラフによって定量化したグラフを第6図に示す。

測定精度の問題で短時間では差が見られないが、時間経過とともに差が明確になり、浸透量が有意に増加していることがわかる (以下、有意水準は $p < 0.05$ として判断した)。

酸性成分の発生量は同等であることから、この差は水微粒子量が18倍になったことによる、毛髪への浸透作用の違いによるものと推定した。

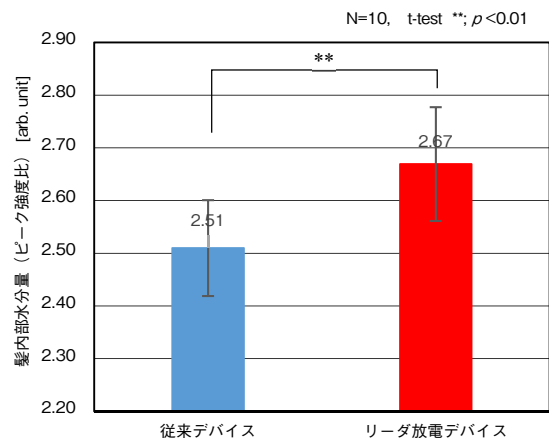


第6図 酸性成分の浸透量 (平均値 ± 標準偏差)
Fig. 6 Osmosis volume of acidic components (Mean ± SD.)

3.2 酸性成分浸透量増加による水分保持効果検証

酸性成分がより多く浸透することで、キューティクルの引き締め効果などが高まると、毛髪を同一条件で乾燥した際、より多くの水分が保持されると考え検証実験を行った。

リーダ放電デバイスをドライヤーに組み込み、距離30cmで60秒乾燥した直後の毛髪水分量を、FT-IR (フーリエ変換赤外分光分析) を用いて評価した結果を第7図に示す。毛髪水分量は、毛髪内部の水分による吸光度ピーク値を、毛髪体積に比例するタンパク質の吸光度ピーク値で規格化した値を用いて比較した。



第7図 毛髪水分量 (平均値 ± 標準偏差)
Fig. 7 Moisture content of hair (Mean ± SD.)

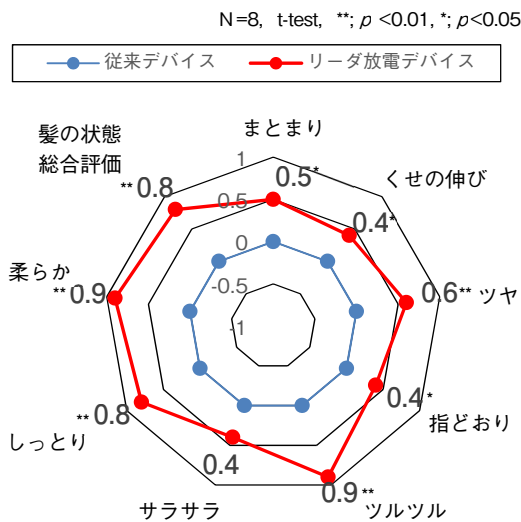
リーダ放電デバイスの方が毛髪内部に保持される水分量が従来デバイスよりも有意に増加しており、酸性成分浸透量を増した効果が得られていると判断した。

3.3 ドライヤー実機でのヘアケア効果検証

開発したリーダ放電デバイスを組み込んだドライヤーを、30代~50代の日本人女性8名に毛髪乾燥に使用しても

らい、ヘアケア効果の高さについて実感度合いを数値で回答してもらう官能評価を行った。

従来デバイスが組み込まれたドライヤーを比較基準として、マイナス2 pt～プラス2 ptまでの5段階の相対値で、まとまり感やツルツル感、しっとり感などを含む9項目について比較評価した結果を第8図に示す。



第8図 官能評価結果 (平均値)

Fig. 8 Sensory evaluation result (Mean)

サラサラ感を除く8項目が従来デバイスよりも有意に向上しており、特にツルツル感、しっとり感、柔らかさ、といった項目の改善度が+0.8 pt～+0.9 ptと高いことがわかる。これらの項目が改善された理由として、水微粒子が多いことによる酸性成分浸透量の増加が寄与しているものと考ええる。

5. まとめ

水微粒子がもつ浸透作用に着目し、放電領域を広げることが可能ならダ放電を利用することで、水微粒子量を18倍に高めたデバイスが得られた。本デバイスをドライヤーに適用することで、ツヤ、ツルツル感、しっとり感などの効果実感の向上が得られた。

今後もさらに効果実感が高まる帯電微粒子水発生デバイスの開発を行っていく。

参考文献

- [1] 松崎貴 他, 最新の毛髪科学, 毛髪科学技術者協会 (編), フレグランスジャーナル社, 東京, 2003, pp. 79-82.

- [2] 松井康訓 他, “帯電微粒子水の毛髪および頭皮への改善効果,” 松下電工技報, vol. 56. no. 1, pp. 39-45, 2008.
- [3] 小村泰浩 他, “スキンケアおよびヘアケア効果を有した帯電微粒子水発生デバイスの開発,” パナソニック技報, vol. 60, no. 2, pp. 114-118, 2014.
- [4] 前川哲也 他, “静電噴霧による液滴分裂とイオン放出過程におよぼす溶液濃度の影響,” 化学工学論文集, 40巻, 1号, 2014, pp. 5-11.

執筆者紹介



木下 雅登 Masato Kinoshita
アプライアンス社 技術本部
Engineering Div., Appliances Company



井上 宏之 Hiroyuki Inoue
アプライアンス社 技術本部
Engineering Div., Appliances Company



石原 綾 Aya Ishihara
アプライアンス社 技術本部
Engineering Div., Appliances Company



榛木 佐知子 Sachiko Hariki
アプライアンス社 技術本部
Engineering Div., Appliances Company



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