

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

Development of Electrostatic Atomized Water Particle Generating Device with Skin and Hair Effect

小村 泰浩
Yasuhiro Komura

依田 香子
Kyoko Ida

須田 洋
Hiroshi Suda

鼻戸 由美
Yumi Hanato

要 旨

毛髪の手や手触り感をアップするとともに、肌の保湿力を高める効果をもつ帯電微粒子水発生デバイスを開発した。肌の保湿力を高め、うるおいを保つためには、肌を弱酸性にすることが有効である。そこで筆者らは、まず、毛髪と肌に良い効果をもたらすpHの探索から着手し、次に、帯電微粒子水発生デバイスの対向電極の形状を平板から球状に変更することで、霧化電極先端付近の電界強度を増加し、放電により空気中にある窒素を効率よく酸化できる構成を考案した。また、pHから算出した酸性成分量を、デバイスが安定して供給できるよう、パラメータ設計を行うことでデバイスのロバスト性を確保した。

Abstract

We have developed an electrostatic atomized water particle generating device with a skin care and hair care function. In order to increase the moisturizing components in the skin and thereby keep the skin moist, it is effective to make the skin weakly acidic. In this paper, we were able to delimitate the optimum pH for the skin care and hair care function. In addition, by changing the shape of the opposing electrodes in the electrostatic atomized water particle generating device from platy to spherical, the electric field intensity near the atomization electrode tip increased, through efficiently oxidizing the nitrogen in the air by means of an electric discharge. Moreover, we were also able to achieve a robust parameter design, which can stabilize and supply the proposed amount of acidic components necessary for the optimum pH.

1. はじめに

当社は、静電霧化技術を応用したデバイスを開発しており、このデバイスにより発生した帯電微粒子水が室内の付着臭の脱臭に効果があること、花粉やダニアレルゲンの不活性化に効果があること、野菜の鮮度保持、栄養素の増加およびノロウイルスの不活性化に効果があること、さらには、毛髪損傷の軽減および余分な頭皮皮脂の低減に効果があることをすでに報告し[1]-[7]、その技術を空気清浄機や冷蔵庫、ヘアドライヤーに応用、実用化してきた。

ヘアドライヤーに限定すると、そのヘアケア効果は、帯電微粒子水がコロナ放電により発生するマイナスイオンに比べて約1000倍の水分量（体積比）をもっているため、毛髪をしっとり保湿すること、また、弱酸性のため、キューティクル（毛髪の最外層で、毛髪表面を魚の鱗（うるこ）のように覆っている固く透明な細胞）を引き締めていることに起因する[8]。

ところで、従来はヘアドライヤーで毛髪を乾燥すると、素肌にも風が当たるため、肌が乾燥してしまうというユーザーの声があった。

肌は表皮、真皮、皮下組織の3層構造になっており、表皮の最外層には0.02 mmの角質層が存在する。通常、肌のうるおいは、この角質層に存在する皮脂、天然保湿分子、細胞間脂質の3つのバランスによって保たれている。

さらに肌の保湿力を向上させるには、肌を弱酸性にして、天然保湿分子、細胞間脂質などの保湿成分を生成促進させることが有効であると考えられている[9]。

また、毛髪内部のイオン結合の強度は毛髪pHによって変わる。キューティクルが引き締まって、毛髪が最も安定しているときのpHを等電点と呼び[10]、キューティクルが引き締まると、毛髪内部からの水分や栄養分などの流出が低減する。さらには、毛髪表面の凹凸が減少して滑りやすくなり、『全体的に髪がまとまりやすく、つや、手ぐし通りが良くなる』と予想されている。

前記のユーザーの声に答えるため、筆者らは、まず、毛髪と肌に良い効果をもたらすpHの探索から着手し、スキンケアおよびヘアケア効果を有する帯電微粒子水発生デバイスの技術開発を行った。

2. pHの探索

2.1 毛髪への効果

ヘアドライヤーに搭載した場合、まずは本来機能である、毛髪の手触り感をアップするpHを求めた。女性8名を対象に、毛束による相対比較試験を実施した。

[1] 試験方法

多くの女性は、パーマやカラーの繰り返し、日焼けなどで毛髪ダメージを受けている。筆者らは、健常毛束をブリーチ溶液（6% H₂O₂, pH 10）に20分間浸漬すること

で、平均的なダメージ毛髪を再現した。

作製したダメージ毛髪6gを1毛束とし、市販のシャンプーとリンスで洗浄後、15cm離れた距離から2分30秒かけて、pHを調整した酸性ミストを付与しながら乾燥し、酸性ミストなしで乾燥した毛束との比較を行った。

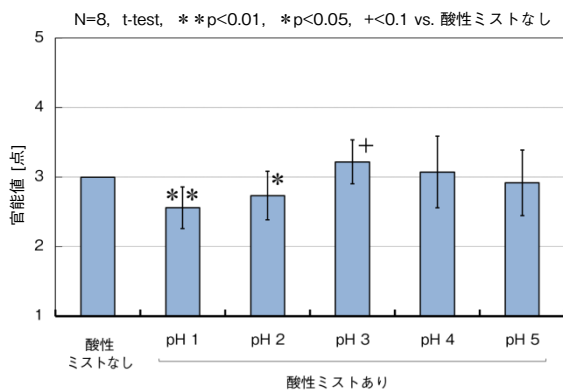
乾燥は温度25℃、湿度50%の条件下で行った。その後、被験者の女性8名が乾燥後の毛束を触り、毛束の手触り感を1点～5点の5段階で評価した。酸性ミストなしで乾燥した毛束を3点とする。

〔2〕試験結果

結果を第1図に示す。酸性ミストなしで乾燥した毛束と比べて、pH3では良化傾向(3.2点)にあることが認められた。しかし、pH1、pH2で有意に官能が悪化、pH4、pH5では酸性ミストなしの場合とほぼ変わらないという結果だった。

この試験により、毛髪の手触り感をアップさせる酸性ミストの最適pHはpH3であることがわかった。

一方、pH1、pH2の酸性ミストを付与した場合に官能が悪化しているのは、ダメージを受けてアルカリに傾いた毛髪に酸性成分が過剰に付着して、等電点を通り越し酸性側に大きく傾いてしまった結果、逆に脱水反応が促進され、手触りが悪くなったためである。



第1図 毛髪の手触り感の変化
Fig. 1 Hair texture change with pH for hair

2.2 肌への効果

女性5名を対象に、肌への効果確認試験を実施した。顔より平坦なことから、発汗量が少ないこと、紫外線などの外乱を受けにくいことなどから、化粧品業界に倣って、施術部位は顔ではなく前腕内側とした。前節の結果を受け、pH3の効果確認試験を行った。

〔1〕試験方法

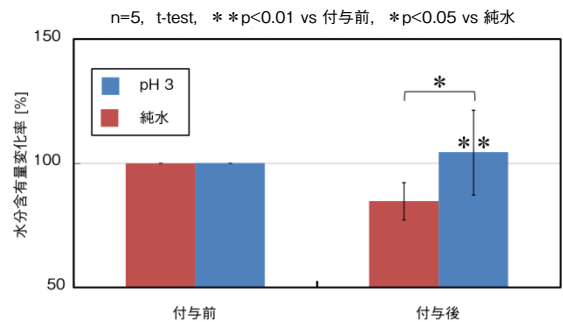
市販の洗顔料で前腕内側を洗浄後、2cm離れた距離から60秒かけて、pH3の酸性ミストを付与し、純水のみを付与した場合との比較を行った。

付与前、付与後30分のタイミングで角層水分含量の測定を行った。角層水分含量は角層水分量測定器を用いて測定した。測定は、市販の洗顔料で洗浄後、温度20℃、湿度50%の条件下で10分安静にし、馴(じゅん)化してから実施した。施術部位は3cm×2.5cmに限定した。

〔2〕試験結果

結果を第2図に示す。付与前の値を100%とすると、付与後、純水では有意に減少していたが、pH3では角層水分含量に変化はなく、付与前の値を維持していた。付与後の値を比べると、純水とpH3では有意な差(20%)があることが認められた。

この試験により、pH3の酸性ミストを付与したとき、角質水分含量の蒸発が抑制されることがわかった。



第2図 肌の水分含有量の変化
Fig. 2 Water content change with pH for skin

3. デバイス開発

次に、上記の酸性ミストを具現化する帯電微粒子水発生デバイスの開発について述べる。

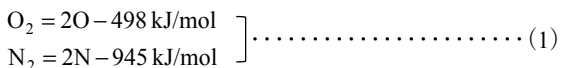
前章にてpH3の酸性ミストが毛髪や肌に良い効果をもたらすことがわかった。そこで、単位体積あたりのpH3水溶液の水素イオン濃度から帯電微粒子水発生デバイスから発生させるべき単位体積あたりの酸性成分量を算出し、酸性成分発生量の目標値とした。

3.1 酸性成分増加手段検討

〔1〕酸性成分の増加仮説

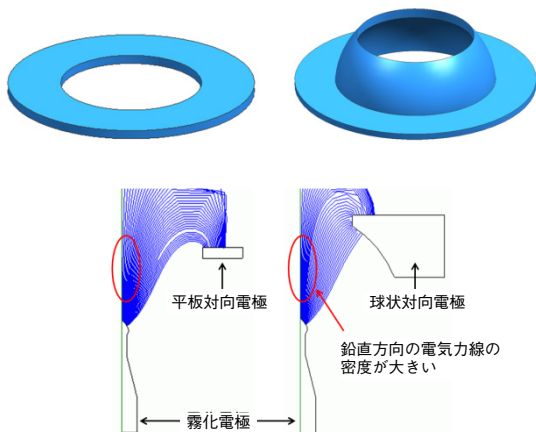
酸性成分が発生する放電領域は、対向電極と霧化電極間に形成され、霧化電極先端が最も強い。放電領域では、さまざまな反応が起こり、空気中では窒素や酸素の開裂に起因するものが主となる。(1)式に示すように、窒素分子の結合エネルギーは酸素分子の結合エネルギーに比べ大きいので、従来の平板対向電極の帯電微粒子水発生デバイスのエネルギーの放電領域では、エネルギーが少なく酸素分子の開裂にエネルギーが使われ、ラジカルや

オゾンの生成割合が大きいと考えられる。そこで、窒素の開裂の割合を増やすために放電による反応場のエネルギーを増加させなくてはならない。単に印加電圧／放電距離で示される電界強度を増加させる手段では、放電領域全体を強くすることはできるが、静電霧化が起こる条件でのエネルギー増加では、副産物として生成されるオゾンの絶対量も増加してしまう。したがって、オゾンを増加せずにエネルギーを増加するためには、高エネルギー反応場である霧化電極先端付近の電界強度を増加する必要がある。



[2] 電界集中による電界強度増加

次に、印加電圧／放電距離を保ったまま、電極形状による霧化電極先端付近に電界を集中させる手段の検討を行った。この方法を実現する構成を選定するために、電界強度解析ソフトを用い、シミュレーションにより電界強度を求めた。検討の結果、対向電極を球状にすることが同電圧にて最も霧化電極先端付近の電界強度を増大できることがわかった。さらに詳細に電界強度を分析すると霧化電極の鉛直方向の電気力線の集束が従来の平板対向電極に比べ球状対向電極の方が大きくなっていった(第3図)。これらのことから、窒素の開裂割合が増加し、効率よく酸性成分の放出が起こることが期待できる。



第3図 対向電極イメージと電界強度シミュレーション
Fig. 3 Image of opposing electrode and simulations of electric field intensity

そこで実際に球状対向電極を試作し、発生成分や放電形態に変化が生じているか検証した。発生成分として酸性成分を測定したところ、平板対向電極に比べ増加しており、オゾン濃度は同等であった。また、酸性成分の発生指標となる放電電流を測定したところ、球状対向電極では顕著に増加していた。

これらの結果から、酸性成分を増加する手段として、霧化電極の先端付近電界を集中することができる球状対向電極を採用した。

3.2 ロバスト設計

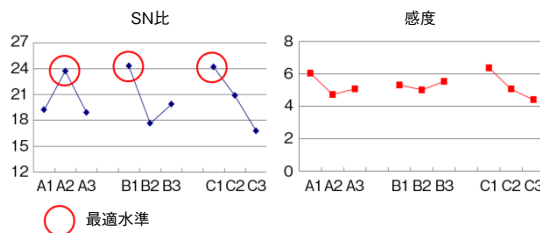
静電霧化は空気中に存在する水分を利用するため使用環境の影響を受けやすい。また、放電現象のため回路出力の影響も受ける。そこで、酸性成分の目標値を達成し、かつ使用環境や回路出力にロバストな設計を行うため球状対向電極のパラメータ設計を行った。

酸性成分を増加(電界強度の増加)に主要な影響を与えらる因子(A, B, C)を3つ抽出し、各因子の交互作用の影響が出ないように制御因子を設定(第1表にはL9直交表に割り付けるための一般的な水準設定を示す)、それぞれ3水準の値を決めL9直交表に割り付けパラメータ設計を実施した。誤差因子を設定し、出力として酸性成分量を測定した。それぞれの測定値から算出されたSN比・感度の要因効果図を第4図に示す。

第1表 パラメータ設計の制御因子の水準

Table 1 Levels of control factors in parameter design

制御因子	水準1	水準2	水準3
A	a	b	c
B	d	e	f
C	g	h	i



第4図 要因効果図
Fig. 4 Cause and effect diagram

第4図のSN比と感度の要因効果図より、各水準で感度は大きく変わらなかったためSN比の結果から、酸性成分量が目標値を達成できる最適水準としてA2, B1, C1を選定した。次に、最適条件と比較条件(すべて水準1)について確認実験を行い、工程平均の推定より利得比を求め再現性を確認した。感度に関しては絶対値が小さく、わずかな変化で利得比が大きくずれるのでSN比のみで比較した。

確認実験を行ったところ、目標としたpH 3水溶液相当の酸性成分発生量を達成していることが確認できた。また、SN比の直交表から推定した利得4.52と確認実験値の

利得4.26を比較すると、利得比が106%となり、±30%以内に収まっているため、再現性があると判断した。したがって、酸性成分発生量が使用環境の影響と、放電の状態に対してロバストなデバイスを設計することができた。

4. ヘアドライヤーに帯電微粒子水発生デバイスを組み込んだ場合の有効性確認

4.1 ヘアケア効果

女性18名を対象に、開発した帯電微粒子水発生デバイスをヘアドライヤーに組み込んだ場合(以下、「本機能品」と記す)の有効性評価試験を実施した。

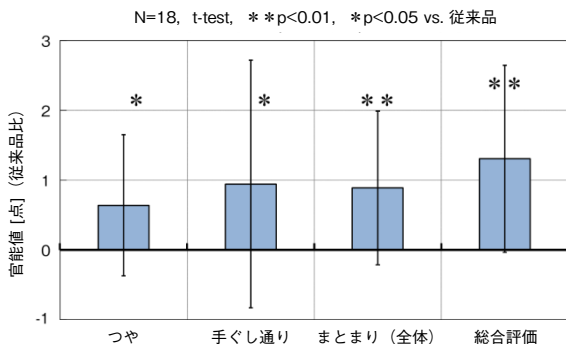
〔1〕試験方法

被験者の女性18名は、市販のシャンプーとリンスにて洗髪後、温度25℃、湿度50%の条件下で乾燥した。髪がぬれている状態で、左右2つにブロッキングし、一方を従来品で、もう一方を本機能品で乾燥した。(半頭比較法を採用した)試験後、被験者の女性18名が乾燥後の自分の毛髪を触り、従来品の仕上がりを基準(0点)として、本機能品の仕上がり(外観含む)を-4点~+4点の9段階で評価した。さらに、乾燥部位を左右入れ替え、同様の試験を実施した。各人の評点は2回の平均値を採用した。

〔2〕試験結果

結果を第5図に示す。従来品と比べて有意につや(+0.6点)、手ぐし通り(+0.9点)、全体的なまとまり感(+0.9点)が向上する結果を得た。それに伴い、総合的な満足度(+1.3点)の上昇が認められた。個人差が大きいのでばらつきは大きいがつやは18名中10名、手ぐし通りは12名、まとまり(全体)は13名、総合評価は15名が従来品より良いと判断した。

この試験により、pH 3相当の酸性ミストを付与する本機能品のヘアケア効果が確認できた。ヘアドライヤーの風のにせて適度な酸性成分を付与することで、キューティクルが引き締まり、表面状態が良くなって、つやや毛



第5図 本機能品のヘアケア効果 (官能値)
Fig. 5 Organoleptic value when using this prototype

髪を触ったときの官能値が向上したと考えられる。

4.2 スキンケア効果

女性9名、男性2名を対象に、本機能品の有効性評価試験を実施した。

〔1〕試験方法

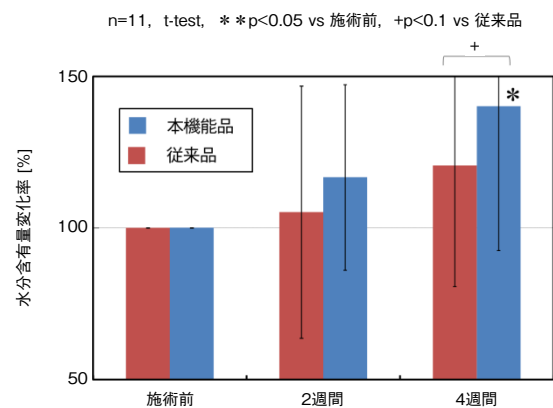
被験者の女性9名と男性2名は、市販の洗顔料で前腕内側を洗浄後、市販の基礎化粧品を一定量塗布した後に、本機能品で1分間乾燥した。その後は自然乾燥し、施術部位には触れないようにした。比較対象として、従来品を使用した。

1日1回、4週間にわたって施術を行い、施術前、施術2週間、施術4週間のタイミングで角層水分含量の測定を行った。角層水分含量は角層水分量測定器を用いて測定した。測定は、市販の洗顔料で洗浄後、温度20℃、湿度50%の条件下で60分安静にし、馴化してから実施した。施術部位は3 cm × 2.5 cmに限定した。

〔2〕試験結果

結果を第6図に示す。施術前の値を100%とすると、従来品では大きな変化は見られなかったが、本機能品では、試験期間中、角層水分含量が有意に増加していった。施術4週間目の値を比べると、従来品と本機能品では差がある傾向(20%)にあることが認められた。

この試験により、pH 3相当の酸性ミストを付与する本機能品のスキンケア効果が確認できた。ヘアドライヤーの風のにせて適度な酸性成分を付与することで、角質水分含量の蒸発が抑制されたと考えられる。



第6図 本機能品のヘアケア効果 (水分含有量変化率)
Fig. 6 Water content change when using this prototype

5. まとめ

本稿では、ユーザーの声に着目して進めた、スキンケアおよびヘアケア効果を有する帯電微粒子水発生デバイスの技術開発について述べた。

まず、毛髪と肌に良い効果をもたらすpHの探索から着手し、帯電微粒子水発生デバイスから発生させるべき酸性成分量を算出した。次に、帯電微粒子水発生デバイスの対向電極の形状を平板から球状に変更することで、霧化電極先端付近の電界強度を増加し、放電により空気中にある窒素を効率よく酸化できる構成を考案した。さらに、目標となる酸性成分量を安定して供給できるよう、パラメータ設計を行うことでデバイスのロバスト性を確保した。

この技術によって、毛髪を乾燥して素肌に風が当たっても、肌の乾燥が気にならないヘアドライヤーを提供することが可能となった。今後も、ユーザーに新価値を提供するために、帯電微粒子水発生デバイスの開発を進めていく。

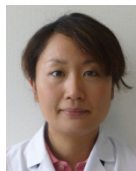
参考文献

- [1] 下影卓二 他, "静電霧化による微粒子水の成分分析法," 松下電工技報. vol. 53, no. 4, pp. 11-16, 2005.
- [2] 岩本成正, "静電霧化を用いた消臭技術の研究," エアゾール科学・技術研究討論会. vol. 20, pp. 59-60, 2003.
- [3] 須田洋, "静電霧化を用いた応用研究," 静電気学会講演論文集, pp. 237-238, 2003.
- [4] 藤原ゆり 他, "静電霧化微粒子水 (nanoeイオン) による毛髪損傷低減作用効果," 第31回日本化粧品学会学術大会, 2006.
- [5] 勝山美沙 他, "静電霧化微粒子水による頭部皮脂分解性および洗浄性効果," 第31回日本化粧品学会学術大会, 2006.
- [6] 須田洋 他, "静電霧化技術応用空気清浄機の付着臭除去とアレルギー不活性化効果," 松下電工技報. vol.53, no.3, pp. 16-19, 2005.
- [7] 中田隆行 他, "帯電微粒子水の野菜鮮度保持効果と冷蔵庫への応用," 松下電工技報. vol.53, no.1, pp. 46-50, 2005.
- [8] 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.
- [9] 戸田浄 (監), 美容と皮膚の新常識-美容皮膚科学は進化しています古い教科書は捨てましょう, 中央書院, 東京, 2010.
- [10] 松崎貴 他, "最新の毛髪科学," 毛髪科学技術者協会, pp. 79-82, 東京, 2003.

執筆者紹介



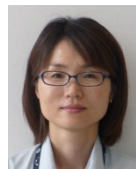
小村 泰浩 Yasuhiro Komura
アプライアンス社 技術本部
Corporate Engineering Div. Appliances Company



依田 香子 Kyoko Ida
アプライアンス社 技術本部
Corporate Engineering Div. Appliances Company



須田 洋 Hiroshi Suda
アプライアンス社 技術本部
Corporate Engineering Div. Appliances Company



鼻戸 由美 Yumi Hanato
アプライアンス社 技術本部
Corporate Engineering Div. Appliances Company