帯電微粒子水の毛髪および頭皮への改善効果

Improvement Effects of Electrostatic Atomized Water Droplets on Human Hair and Scalp

松井　康訓*　・　山内　俊幸*　・　仲野　章生**　・　藤原　ゆり**　・　奥本　佐登志**　・　勝山　美紗**
Yasunori Matsui　Toshiyuki Yamauchi　Akio Nakano　Yuri Fujiwara　Satoshi Okumoto　Misa Katsuyama

帯電微粒子水を毛髪に噴霧することによる作用の評価において，毛髪のしなやかさ，強さ，つやが，それぞれねじりトルク，引張強度，反射光強度の計測により代用評価できることを検証した。また，毛髪のしなやかさには水分量，強さには pH 値が寄与することを明らかにした。さらに，頭皮への作用について評価した結果，水分量増加，皮脂量減少等の頭皮改善効果，およびふけの抑制効果も明らかとなった。

これらの結果をもとに，毛髪および頭皮への改善効果のある静電霧化装置を搭載したヘアドライヤを実現した。

The evaluation of the effects of electrostatic atomized water splayed on human hair revealed that the ductility, strength and glossiness of human hair could be evaluated respectively by a twist torque test, tensile strength test and reflected light intensity measurements. Further, it was verified that the ductility of hair relies on moisture content while the strength relies on the pH value. In addition, the evaluation results on human scalp have indicated improvement effects such as increased moisture content, reduced sebum etc along with dandruff suppression effects.

Based on these results, a hair dryer with a built-in electrostatic atomizer for improving the condition of the hair and scalp has been developed.

1. ま え が き

筆者らは，霧化電極先端に保持された水に高電圧を印加し，水の Rayleigh（レイリー）分裂により発生した帯電微粒子水（以下，「nanoe」イオンと記す）が，付着臭の消臭や花粉アレルゲンの不活化などの効果があることを報告している[1)～4)]。

ペルチェ式静電霧化装置（図 1）では，ペルチェモジュールの冷却側に霧化電極を，発熱側に放熱フィンを配置し，ペルチェモジュールにより霧化電極を露点温度以下に冷却することによって，電極表面に結露水を生成させる。この結露水に高電圧を印加することによって，霧化電極先端の放電部のテイラーコーンと呼ばれる円錐形の水柱の先端から，「nanoe」イオンが空気中に噴霧される。

これらの静電霧化装置から発生する「nanoe」イオンの特徴は，コロナ放電により発生する空気負イオン（以下，マイナスイオンと記す）に比べて粒子径で約 10 倍の大きさであり，体積比で約 1000 倍の水分量をもっていることである。また，マイナスイオンがほぼ中性であるのに対し，「nanoe」イオンは弱酸性である。これらの概要を図 2 に示す。

一般的に健康な毛髪や頭皮は水分量が多く弱酸性であるが，傷むことにより水分量が減少し，中性からアルカリ性に変化する傾向がある。筆者らはこれらの特徴に注目し，毛髪および頭皮を健康な状態に近付けることにより，しなやかさ，引張強度，つや等への効果とふけ抑制効果について検証した。

本稿では，「nanoe」イオンの毛髪や頭皮に対する効果やその機序について報告をする。

*　電器事業本部　電器R & Dセンター　Research & Development Center, Home Appliances Manufacturing Business Unit
**（株）松下電工解析センター　Matsushita Electric Works Analysis Center Co., Ltd.

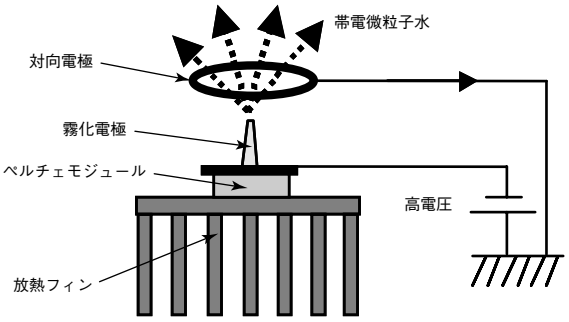


図1　ペルチェ式静電霧化装置

	マイナスイオン	「nanoe」イオン
イメージ図および大きさ	電荷 H_2O（気体） 約1.6 nm	電荷 H_2O（液体） 約18 nm
pH	中性（pH7.0）	弱酸性（pH5.5）
水分量比	1	1000倍 10^3

図2 「nanoe」イオンとマイナスイオン特性比較

2. 「nanoe」イオンの毛髪への効果

2.1 しなやかさへの効果

2.1.1 しなやかさの評価

しなやかさや柔らかさに該当する物理量である横弾性係数をねじりトルク試験で求める。評価に使用するねじりトルク試験機（カトーテック製，KES-YN1）の概略を図3に示す。

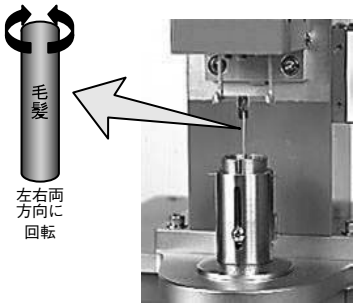


図3　ねじりトルク試験機概略

測定は，毛髪サンプル1本を試験機の治具に固定して毛髪を左右両方向に回転させ，そのねじりトルクを測定して横弾性係数を求める。個人差の影響を少なくするため，毛髪は，同一人由来の健常毛束（ブリーチ処理，パーマ処理を施していない毛髪）とブリーチ処理毛束から，それぞれに太さ 70 ± 10 μm，断面偏平率（短径／長径）0.95 以上の毛髪を選別して使用する。また，各毛髪は事前に 1 % SDS（ラウリル硫酸ナトリウム）を使用して洗浄処理を行う。その後，「nanoe」イオン，マイナスイオン，イオンなしの条件で乾燥処理を行い，水分を安定させた後に評価する。

この結果を図4に示す。図中の p は有意確率を表す。健常毛はブリーチ処理することで硬くなり，横弾性係数が大きくなる。また，「nanoe」イオンを噴霧することにより，ブリーチ処理毛の横弾性係数は小さくなり，健常毛の値に近づき有意差がなくなる。

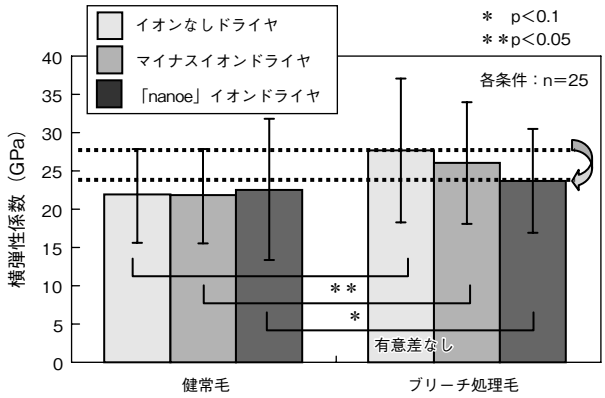


図4　ねじりトルク試験結果

2.1.2 しなやかさへの毛髪水分率の影響

毛髪のしなやかさを向上させる効果は，「nanoe」イオンがマイナスイオンよりも水分量が多いため，毛髪水分率が増加するという仮説を立てて検証する。

毛髪水分率および保持性の評価は絶対乾燥質量法を用い，毛髪水分率は以下の式により算出する。

$$水分率=\frac{処理後質量-絶対乾燥質量}{絶対乾燥質量}\times 100(\%)$$

毛髪サンプルには，同一人の毛束を 1 % SDS 水溶液にて洗髪したものを使用する。これらの毛束を「nanoe」イオン，マイナスイオン，イオンなしの条件で，25 ℃，70 %RH 環境下で 4 時間処理し，25 ℃，50 %RH の環境下で放置して質量変化を追跡することにより水分量を求める。なお，ヘアドライヤの処理条件は風量，温度を同一としている。

その結果を図5に示す。この図から，時間経過に関係なく毛髪水分率は「nanoe」イオンが一番高く，次いでマイナスイオンが高いことがわかる。

さらに，環境湿度を調整して毛髪水分率を変えてそれぞれの毛髪水分率時の横弾性係数を計測する。

この結果を図6に示す。毛髪水分率の増加に伴い横弾性係数が低下し，毛髪のしなやかさが向上することが確認できる。

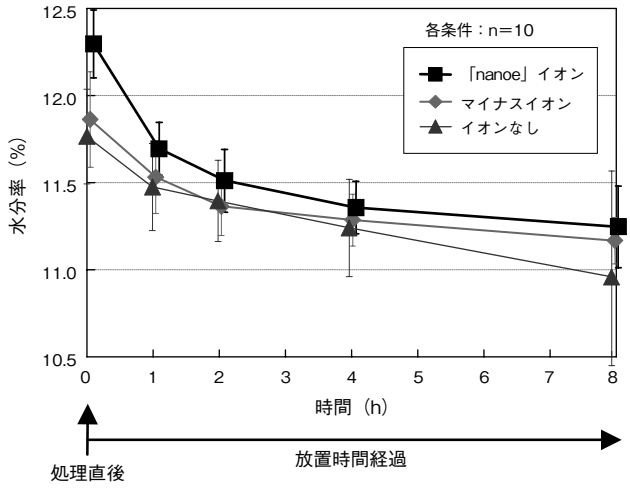


図5　毛髪水分率保持性評価結果

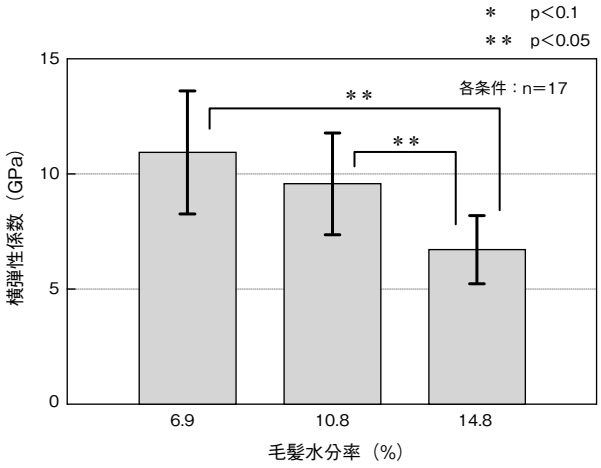


図6　毛髪水分率と横弾性係数の関係

2.2　毛髪強度への効果

2.2.1　引張強度の評価

次に，切れ毛の特性評価として，毛髪の伸長方向の引張応力評価を実施する。その際に使用する引張試験機（西進商事製，SS-30 WD）の概要を図7に示す。

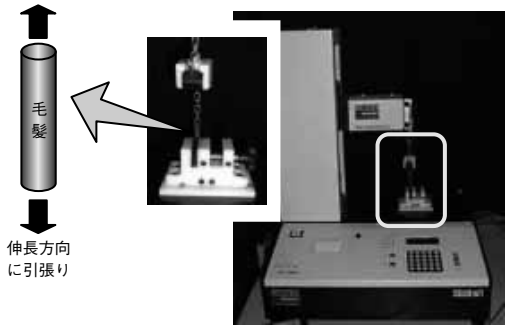


図7　引張試験機概要

毛髪サンプルは，ねじりトルク試験時と同様に各ヘアドライヤによる処理後，太さ 70 ± 10 μm，断面偏平率 0.95 以上の毛髪を選別して使用する。

その結果を図8に示す。「nanoe」イオン処理した毛髪サンプルは引張応力が約 1.2 倍に増加している。

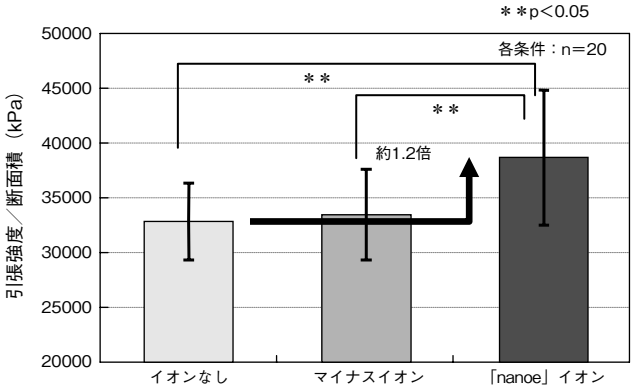


図8　引張試験結果

2.2.2　引張強度へのpHの影響

毛髪内部のアミノ酸の結合として，主鎖のペプチド結合以外に，主に側鎖間のジスルフィド結合，アミド基，カルボキシル基によるイオン結合や水素結合などがある。このうちのイオン結合の強さは，毛髪の等電点となる pH 4.5 ～ 5.5 付近で最大となることが知られており，「nanoe」イオンにより毛髪が弱酸性（pH 5.5 程度）になることでイオン結合が強くなり，毛髪の引張応力の増加につながっているものと考えられる。そこで，HCl で pH を調整した溶液に浸漬させ，毛髪水分量を安定させた後に引張強度を計測する。

その結果を図9に示す。pH 7 で処理したサンプルに対し，pH 5，pH 3 で処理した毛髪では引張応力が高いことが確認できる。しかし，pH 9 においても増加がみられること，変化幅が少なく有意差もないことから毛髪への引張応力には他の要因も作用していると考えられる。

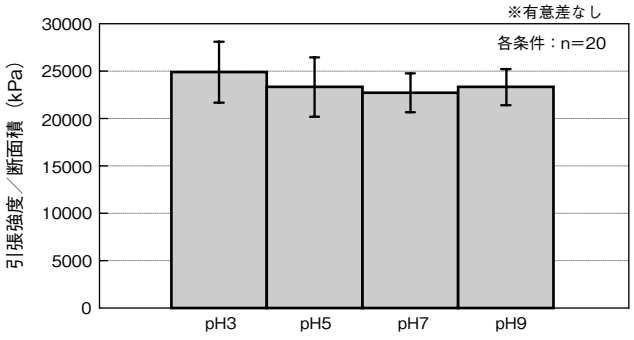


図9　毛髪pHと引張応力の関係

2.3　毛髪つやへの効果

2.3.1　つやの評価

毛髪のつやは，白色光源からの光の反射強度で評価

を行う。この測定には変角光度計（村上色彩研究所製，GP-200）を使用し，反射強度をピーク付近（35 ～ 55 °）の積分値より求める。毛髪サンプルは健常毛束をタオルドライした後に，「nanoe」イオンドライヤおよびマイナスイオンドライヤで乾燥処理を行い，乾燥直後，2 時間後，5 時間後において反射強度を測定する。つやの評価は各条件での計測結果と処理前のブランクとの比より求める。

結果を図 10 に示す。「nanoe」イオンを照射することにより，乾燥直後のつやおよびつや保持性は，マイナスイオンより良好である。

これは，毛髪 1 本ずつの反射率に加え，水分率増加に伴う毛髪のしなやかさ向上で毛流れがそろうことによる面としての反射率が高まるためと考えられる。

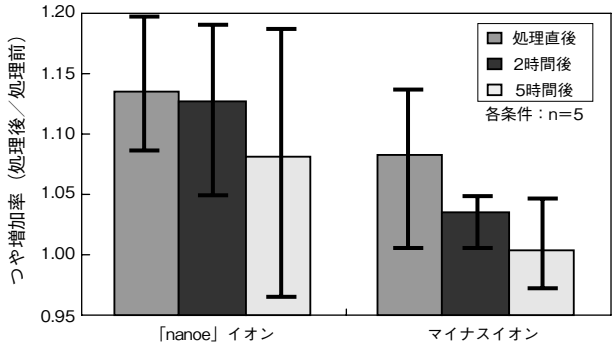


図 10　毛髪つや持続性評価結果

2.4　毛髪表面状態への効果

2.4.1　損傷軽減効果の評価

日常の生活における毛髪へのストレスとして，紫外線，水道水に含まれる塩素，過度な洗髪等によるものなどが挙げられるが，手入れの際のブラッシングも大きなストレスである。ブラッシング後の毛髪の表面状態については，走査電子顕微鏡（日本電子製，JSM-5300）で観察する。また，引張強度についても測定し，ブラッシング前後の変化率で評価する。

この際のサンプルは毛束を使用し，ブラッシング 1 年相当，ブリーチ処理，ブラッシング半年相当のダメージを順に与えたものを準備する。なお，ブラッシングは，常温風で「nanoe」イオン，マイナスイオン，イオンなしを送風しながら，一定速度で行う。

その表面状態の観察結果を図 11 に示す。イオンなしでは毛髪表面のキューティクルの浮き，割れ，はがれなどのダメージが多く観察されるのに対し，マイナスイオン，「nanoe」イオンではこのキューティクルへのダメージが抑制されている。その度合は「nanoe」イオンがもっとも高い。

また，このときの毛髪の引張強度評価結果を図 12 に示す。イオンなしでは処理前の毛髪に対して引張応力が 22 %低下したのに対し，マイナスイオンでは 17 %，「nanoe」イオンでは 7 %の低下に留まっている。

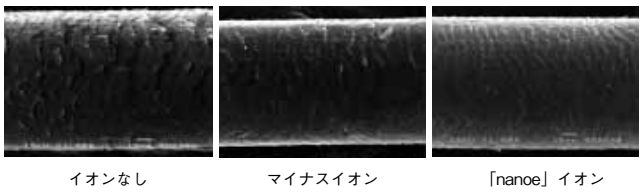


図 11　ブラッシング後毛髪表面

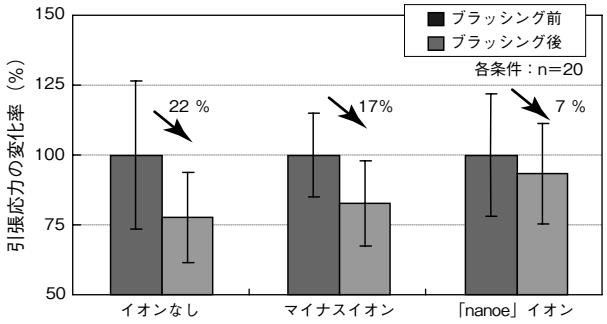


図 12　ブラッシング前後の引張強度評価結果

2.4.2　損傷低減効果への毛髪表面の影響

「nanoe」イオンがブラッシングによる毛髪への損傷を低減する理由は，毛髪表面の摩擦抵抗が減少することにより，物理的な引掛りによるキューティクルの損傷を抑制するためと考える。キューティクルは毛髪表面でうろこ状に重なり合っており，その重なった部位の段差が高くなるとブラッシングによるキューティクルの損傷が多くなると考えられる。そこで，各ヘアドライヤによる処理後のキューティクルの段差変化の測定を行う。測定はレーザ顕微鏡（キーエンス製，VK-9500）を使用し，毛髪の同一部位において送風前後で観察し，キューティクル段差を求める。

その結果を図 13 に示す。イオンなしドライヤ，マイナスイオンドライヤでは段差の変化は認められないが，「nanoe」イオンドライヤで大幅な段差の改善が確認できる。また，このことは表面摩擦抵抗の測定結果からも裏づけられている。

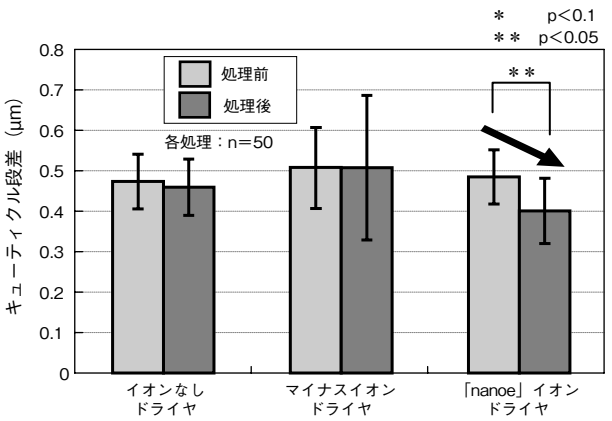
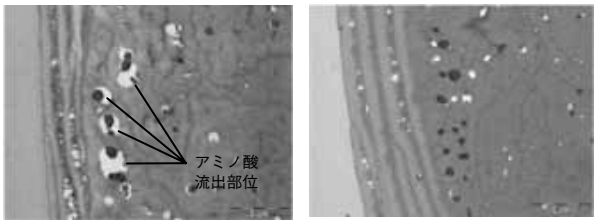


図 13　キューティクル段差測定結果

2.4.3　損傷低減効果への毛髪内部状態の影響

引張応力の低下原因は，キューティクルがブラッシングにより削られ，ブリーチ処理時に内部アミノ酸が流出するためと考えられる。この検証のために 2.4.1 項で引張強度計測に使用した毛髪サンプルの断面を透過型電子顕微鏡（TEM）で観察する。

その結果を図 14 に示す。この図の白色部は毛髪内部のアミノ酸等の流出によりできた空房であり，毛髪キューティクル表面の損傷も激しく，引張強度の低下が大きいイオンなしのものは空房が多いことが確認される。このことから，毛髪表面の損傷防止が内部のアミノ酸の流出を抑制し，強度低下を軽減していると示唆される。



(a) イオンなし　　(b)「nanoe」イオンあり

図 14　ブラッシング後の毛髪断面 TEM 画像

3.　「nanoe」イオンの頭皮への効果

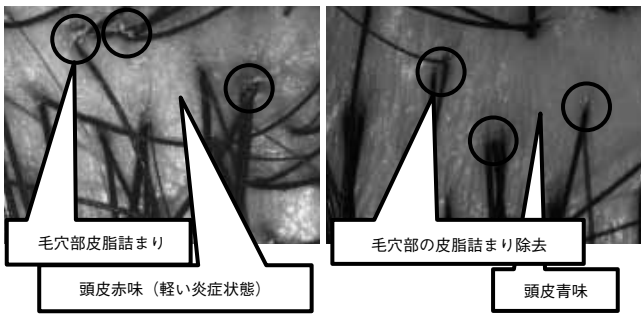
3.1　頭皮状態への効果

3.1.1　頭皮状態の評価

「nanoe」イオンの頭皮への効果について検証する。検証には頭皮の観察をマイクロスコープ（成和産業製，KH-3000），水分量測定をコルネオメータ（Courage + Khazaka 社製，CM825），皮脂量測定をセブメータ（Courage + Khazaka 社製，SM815）で実施する。

「nanoe」イオンを発生するヘアドライヤを継続使用し，開始時，1 週後，2 週後のタイミングにおいて，洗髪の前後で前述の測定を行い経時的な変化を検証する。モニタは 20 ～ 40 歳代の 15 名の女性で，測定位置は頭頂部，側頭部の 2 箇所とする。これらの試験は株式会社エフシージー総合研究所において実施する。

それらの頭皮観察結果を図 15，頭皮水分量測定結果を図 16，および頭皮皮脂量測定結果を図 17 に示す。開始時の頭皮観察時でみられる毛穴付近の皮脂詰まりや赤みを伴う頭皮状態が，2 週後には皮脂詰まりがなくなり青くきめのある状態へと改善されている。なお，この評価は専門家の所見に基づいている。また，頭皮水分量が増加することや，頭皮皮脂量が減少することもわかる。これらの結果から，「nanoe」イオンには頭皮の改善効果があることが示唆される。



(a) 開始時（洗髪前，頭頂部）　　(b) 2週後（洗髪前，頭頂部）

図 15　頭皮観察結果

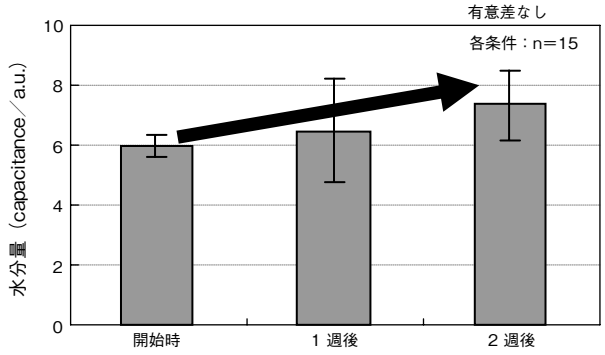


図 16　頭皮水分量計測結果

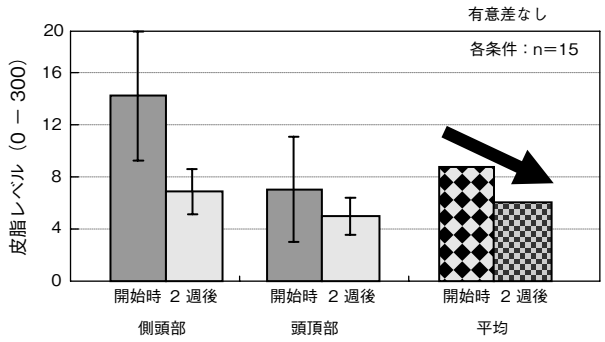


図 17　頭皮皮脂量計測結果

3.1.2　ふけ抑制の評価

「nanoe」イオンによる頭皮水分量の増加は乾燥性のふけに対する抑制効果，頭皮皮脂量の低減は脂漏性のふけに対する抑制効果があると考え，ふけ抑制効果についてモニタ検証を行う。評価にはマイクロスコープを使用し，その観察画像から乾燥性のふけによる頭皮の白濁と毛穴近傍の脂漏性のふけによる黒ずみの面積からふけ量を評価する。同時に頭皮水分量，頭皮皮脂量の測定も行う。

「nanoe」イオンを発生するヘアドライヤを継続使用し，開始時，2 週後，4 週後のタイミングにおいて，洗髪前に前述の測定を行い経時的な変化を検証する。モニタは 20 ～ 40 歳代の 10 名の女性で，評価位置は頭頂部，側頭部の 2 箇所とする。これらの評価は株式会社エフシージー総合研究所において実施する。

その結果を図 18 に示す。開始時のふけ量を 100 %とすると，2 週後で約 57 %，4 週後で約 37 %に低減することが確認され，頭皮におけるふけの抑制効果が認められる。また，頭皮水分量，頭皮皮脂量についても 3.1.1 項と同様の傾向が確認され，これらが頭皮改善につながることから，ふけ抑制効果の主要な要因と考えられる。

この頭皮皮脂量の低減効果は，皮脂成分の親水性化による洗浄性向上が要因となっていることをすでに報告しているが，その親水性化に伴う頭皮水分量の増加が効果として現れていると考える。

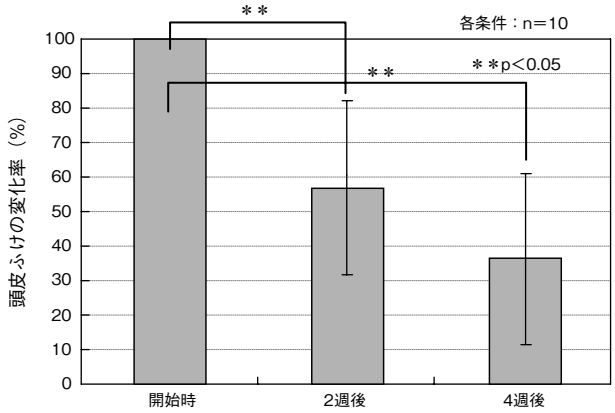


図18　ふけ抑制効果の評価結果

以上の効果の検証結果をもとに，「nanoe」イオンを発生するペルチェ式静電霧化装置を搭載したヘアケアドライヤの外観を図 19 に示す。

図19 「ナノケア」シリーズのヘアケアドライヤ

4. あ と が き

帯電微粒子水を毛髪に噴霧することによる作用の評価において，毛髪のしなやかさ，強さ，つやが，それぞれねじりトルク，引張強度，反射光強度の計測により代用評価できることを検証した。また，毛髪のしなやかさには水分量，強さには pH 値が寄与することを明らかにした。さらに，頭皮への作用について評価した結果，水分量増加，皮脂量減少等の頭皮改善効果，およびふけの抑制効果も明らかとなった。

これらの結果をもとに，毛髪および頭皮への改善効果のある静電霧化装置を搭載したヘアドライヤを実現した。

●注

＊1）「nanoe」：当社登録商標

＊参考文献

1）K. Okuyama：エアロゾル研究，13, 83（1998）

2）下影 卓二，才本 雅子，奥本 佐登志，宮田 隆弘，山内 俊幸：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, p. 11-16（2005）

3）N. Iwamoto, H. Suda, Y. Matsui, T. Yamauchi, K. Okuyama：エアロゾル科学・技術研究討論会，p. 59-60（2003）

4）H. Suda, N. Iwamoto, Y. Matsui, T. Yamauchi, K. Okuyama：静電気学会講演論文集，p. 237-238（2003）

5）仲野 章生，藤原 ゆり，松井 康訓，山内 俊幸，永廣 瑠璃子，関 太輔：静電霧化による微粒子水が毛髪に及ぼす影響の評価，第56回日本皮膚科学会中部支部大会（2005）

6）藤原 ゆり，仲野 章生，松井 康訓，山内 俊幸，永廣 瑠璃子，関 太輔：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回日本香粧品学会学術大会（2006）

7）勝山 美紗，奥本 佐登志，松井 康訓，山内 俊幸，関 太輔：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回日本香粧品学会学術大会（2006）

◆執筆者紹介

松井 康訓
電器R＆Dセンター

山内 俊幸
電器R＆Dセンター

仲野 章生
（株）松下電工解析センター
一級建築士

藤原 ゆり
（株）松下電工解析センター

奥本 佐登志
（株）松下電工解析センター
博士（理学）

勝山 美紗
（株）松下電工解析センター