

化粧品微粒子原料表面改質のための 気流層型プラズマリアクターの開発

東海国立大学機構 岐阜大学 小林 信介

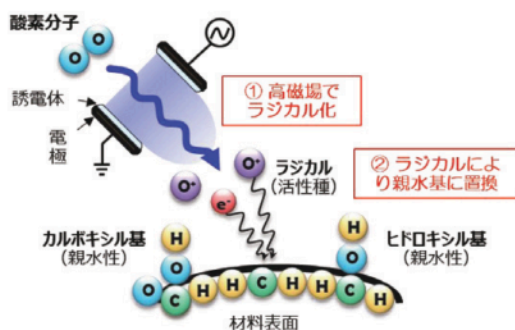
1. はじめに

我が国は世界有数の化粧品大国であり、日本製の化粧品は高機能・高品質・安心・安全の面で国際的な競争力を有している。近年では、従来の価値に加え「健康」や「アンチエイジング」などの付加価値が求められ、食品素材やミネラル原料を活用した製品も台頭している。また、光科学的な観点からは、原料の微粒子化も進められており、ナノサイズからミクロンサイズ（可視光波長と同程度）の微粒子が広く用いられるようになってきている。しかし、微粒子化に伴い粒子の凝集性が増大し、分散性を確保するために界面活性剤等の化学添加物が必要となっている。ただ、これら化学添加物については、環境負荷や生体への影響が懸念されており、今後の化粧品開発においては、化学添加物を用いずとも、高い分散性・安定性を有する安心・安全な薬剤フリーの製造技術の開発が求められている。

この問題の解決手法の一つとして、非平衡大気圧プラズマを用いた表面改質がある。プラズマによる処理は、無薬剤の乾式表面改質技術で、現在、様々な材料表面の制御技術として広く採用され、その装置も汎用化されている。この処理法では、プラズマ（酸素ラジカル）を照射することで、材料の表面に親水基（ $-\text{COOH}$ 、 $-\text{OH}$ ）を導入す

ることが可能で（図1）、材料自体のバルク特性を損なうことなく、表面改質（官能基の置換）を実現できる。ただ、現行のプラズマ装置は平面材料の処理を前提としており、三次元構造を持つ粒子、特に凝集性の高い微粒子に対して均一な表面改質を施すことは本質的に不可能となっている。

こうした背景から、著者はこれまでに粒子のプラズマ処理が可能な噴流層型プラズマリアクターを開発し、約 $3\mu\text{m}$ のポリエチレン（PE）微粒子に対して表面親水化処理を実施してきた。その結果、親水性の付与が可能であり、界面活性剤を使用することなく水への均一分散が可能であることを実証している¹⁾²⁾。ただ、噴流層型では層内に粒子の密度分布やプラズマ強度分布が生じるため、



■図1 非平衡大気圧プラズマによる材料表面改質のメカニズム

処理の均一性に課題があり、また連続性の観点から、実用化にはさらなる装置改良が必要であった。

そこで本研究では、処理性能の向上を目的として、微粒子を気相中に分散させながらプラズマによる表面改質を行う「気流層型プラズマリアクター」を新たに開発した。本リアクターは、リアクター内の粒子密度（ホールドアップ）を低減するとともに、プラズマ強度を均一化することで、単位時間あたりの表面処理効率を大幅に向上させることを狙いとしている。ただ、想定していた気流層型のプラズマリアクターにおいては電極加熱にともなう微粒子の溶融や閉塞が見られたことから、反応装置内に加熱源となる電極を挿入しない新しいプラズマリアクターを考案し、従来型リアクターの課題であった微粒子の溶融・閉塞、そして連続処理性の問題を解消した³⁾。

2. 実験装置および実験方法

2.1. 実験装置

本研究で用いた気流層型プラズマリアクターは、微粒子を気相中に分散させた状態で連続的に微粒子表面のプラズマ処理を行うことを可能とする装置であり、直線型および螺旋型の2種のリアクター

を試作・比較した(図2)。直線型リアクターは、内径6mm、外径8mm、長さ150mmの石英管を反応管とし、その中心に直径3mmの銅棒を挿入内部電極、外周にアルミニウムテープを巻き付け外部電極とする片側誘電体構造を有している。これらの電極には高周波高圧電源(Kawada、TE-HVP1010K300)が接続され、入力電圧(～20kV)および周波数(10kHz)を制御可能である。リアクター上流には粒子用テーブルフィーダー(アイシンナノテクノロジーズ社製、TF-70-CT)を設置し、微粒子を定量的に供給した。気流の駆動および制御には、集塵機(RYOBI製、C-210)を使用し、バルブ操作により管内流量を調節した。気体吸引条件下においてバルブ全開時の流量は最大19L/minであり、処理粒子のリアクター内滞留時間は約0.01秒であった。リアクター出口には粒子捕集用として円筒型ろ紙(ADVANTEC No.84)を設置した(図3)。

一方、螺旋型リアクターは、直線型において生じた粒子の壁面付着および電極部での溶融閉塞といった課題を解決する目的で開発した。石英管を螺旋状に加工し、外部に電極テープを巻き、中心軸に高電圧印加用電極を設置した両側誘電体構造

これ以降の閲覧を希望の場合は、本誌をご購読ください。