
マルチスケール光学シミュレーション技術の開発と、 「アスタリフトジェリーアクアリスタ」光学エビデンスへの展開

山口 義隆*, 吉田 那緒子*, 磯 秀康**, 谷 武晴***, 中村 崇市郎****,
池田 恵梨子*****, 大軽 郁子*****, ティーレ 智子*****, 森 淳一*****

Development of a Multi-Scale Optical Simulation Technique and its Application to the Analysis of “ASTALIFT JELLY AQUARYSTA”

Yoshitaka YAMAGUCHI*, Naoko YOSHIDA*, Hideyasu ISHIBASHI**, Takeharu TANI***,
Soichiro NAKAMURA*****, Eriko IKEDA*****, Ikuko OGARU*****,
Tomoko THIELE*****, and Junichi MORI*****

Abstract

Upon renewal of the new product “ASTALIFT JELLY AQUARYSTA,” we have studied the relationship between skin appearance and skin condition. In particular, we focused on the “visual tenseness” of the skin, which supports a youthful appearance in women. The results indicated that a glossy cheek significantly influences visual tenseness. Using our newly developed, multi-scale optical simulation technique, we further analyzed the basis by which skin glossiness produces visual tenseness. The results showed that the skin appears glossier as a result of the suppression of disturbances in cellular structures. Thus, it has been suggested that following the application of “ASTALIFT JELLY AQUARYSTA,” the skin gloss is promoted through suppression of disturbances in cellular structures, leading to improvements in visual tenseness.

本誌投稿論文（受理2015年12月7日）

*富士フイルム（株）R & D統括本部
画像技術センター

〒258-8538 神奈川県足柄上郡開成町宮台798

*Imaging Technology Center

Research & Development Management Headquarters

FUJIFILM Corporation

Miyanodai, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa
258-8538, Japan

**富士フイルムビジネスエキスパート株式会社

R D & E シェアード本部 画像情報解析センター

〒258-8538 神奈川県足柄上郡開成町宮台798

**Image and Information Analysis Center

Research & Development Process Shared Services

Division

FUJIFILM Business Expert Corporation

Miyanodai, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa
258-8538, Japan

***富士フイルム（株）R & D統括本部

先端コア技術研究所

〒258-8577 神奈川県足柄上郡開成町牛島577

***Frontier Core-Technology Laboratories

Research & Development Management Headquarters

FUJIFILM Corporation

Ushijima, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa
258-8577, Japan

****富士フイルム（株）R & D統括本部
解析技術センター

〒250-0193 神奈川県南足柄市中沼210

****Analysis Technology Center

Research & Development Management Headquarters

FUJIFILM Corporation

Nakanuma, Minamiashigara, Kanagawa 250-0193,
Japan

*****富士フイルム（株）R & D統括本部

医薬品・ヘルスケア研究所

〒258-8577 神奈川県足柄上郡開成町牛島577

*****Pharmaceutical & Healthcare Research Laboratories

Research & Development Management Headquarters

FUJIFILM Corporation

Ushijima, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa
258-8577, Japan

*****富士フイルム（株）ライフサイエンス事業部

〒107-0052 東京都港区赤坂9-7-3

*****Life Science Products Division

FUJIFILM Corporation

Akasaka, Minato-ku, Tokyo

107-0052, Japan

1. はじめに

当社は、「ASTALIFT JELLY AQUARYSTA (アスタリフトジェリーアクアリスタ)」を平成27年9月1日よりリニューアル発売した (Fig. 1 参照)¹⁾²⁾。本製品は、「ヒト型ナノセラミド」および「ヒト型ナノアシルセラミド」の配合により、肌のバリア機能を向上させ、高い保湿機能を持たせている。

アスタリフトジェリーアクアリスタの開発に際し、肌の見え方と肌の状態との関係について研究を進めてきた。ハリには触覚的ハリと視覚的ハリがあるが、今回われわれは、人が顔を見た時に若々しい印象を受けるハリ感(「視覚的ハリ感」)に着目し、解析した。



Fig. 1 ASTALIFT JELLY AQUARYSTA

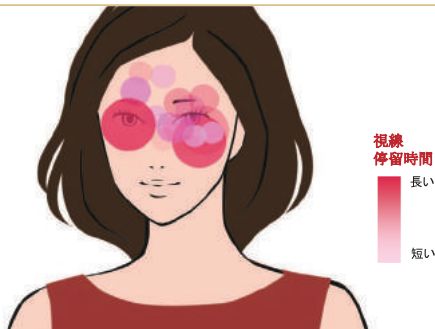
2. 「視覚的ハリ感」の解析

～頬部のツヤが「視覚的ハリ感」を生み出していることを確認～

視線追跡装置 (アイカメラ) を用いて、人は顔のどこを見て「視覚的ハリ感」を感じているかを解析した。視線追跡装置は、人の眼球の動きを追跡し、視線がどの部分からどの部分へ移ったか (視線の位置)、その部分を何秒間見たか (停留時間) を記録する装置である。

次に、顔の頬部周辺の毛穴やツヤ、たるみやシワといった特徴量と「視覚的ハリ感」との相関関係を解析した。

アイカメラを用いた視線追跡結果 (被験者10名)



<被験者の一人が「視覚的ハリ感」を目視評価した時の視線の動き>

Fig. 2 Representative analysis results of an observation point

2.1 「視覚的ハリ感」評価時の観察箇所解析結果

「視覚的ハリ感」の異なる6パターンの顔写真を用意し、「視覚的ハリ感」を評価する際の被験者10名の視線の動きを視線追跡装置で解析した (Fig. 2参照)。Fig. 2内の円の位置は視線が停留した位置、円の大きさと色は視線の停留時間の長さを表す。円が大きい、または色が濃いほど視線の停留時間が長いことを示している。視線位置を示す円は頬部周辺に集中しており、「視覚的ハリ感」を評価するときの観察箇所は頬周辺部であることが分かった。

2.2 「視覚的ハリ感」に影響する肌特徴量の解析結果

毛穴、ツヤなどの各特徴量を増減させた複数の画像を計算機シミュレーション (画像処理) により作成した。これを被験者20名が観察し、各画像の「視覚的ハリ感」を点数付け、被験者による評価結果と、各画像の特徴量を項目ごとに数値化したデータを解析し、各特徴量が「視覚的ハリ感」の知覚にもたらす寄与率を算出した。

その結果、頬部のツヤの寄与率が約30%と大きく、「触覚的なハリ感」と関係性が深いとされるたるみやシワは寄与率が約10%前後の寄与率にとどまる結果となり、「視覚的ハリ感」の知覚には、頬部のツヤが大きく影響することが分かった。

3. ツヤと肌状態の関係解析

～細胞構造の乱れがツヤに影響することを発見～

次に「視覚的ハリ感」の重要特徴量のツヤと肌の構造・光学特性との関係を解明するため、20～50代の女性被験者15名の肌表面と肌内部の状態を解析した。

肌表面は、マイクログラフを用いて30倍の拡大画像を取得。取得画像におけるキメの形態を定量解析した。肌内部は、「ワンショット紫外-可視分光OCT」で表皮内の光の挙動を計測し、計測した画像から表皮の全反射光量などを解析した (Fig. 3参照)。

3.1 肌表面とツヤの状態の解析

肌表面について、マイクログラフを用いて肌画像を取得し、皮溝の幅や肌の密度などキメ形態の定量解析を行った。従来から知られている通り、肌表面の凹凸形状であるキメが荒くなると肌のツヤが減少することを確認した。

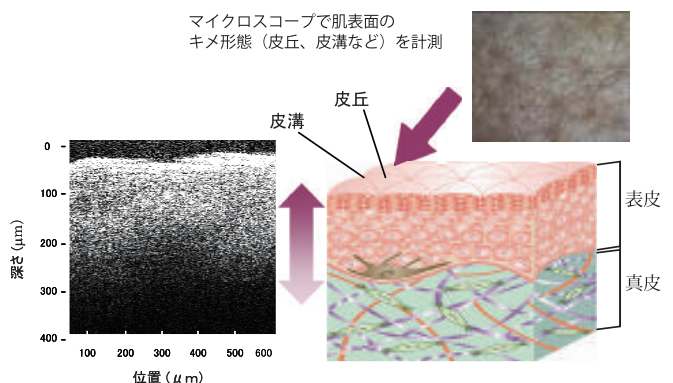


Fig. 3 Analysis of the relationship between skin gloss and skin condition

3.2 肌内部とツヤの状態の解析

肌内部については、肌内部での光の状態を解析する独自の解析システム「ワンショット紫外-可視分光OCT」を用いて肌の断層画像を取得し、表皮や真皮層における光の挙動の定量解析を行った。

光は重なり合った時に、お互いの強度（振幅）を強め合ったり打ち消し合ったりする「干渉」という性質をもつ。「ワンショット紫外-可視分光OCT」は、肌の内部から戻ってきた測定光を参照光と干渉させることで、測定光の深さ方向の分布を計測し、非侵襲で（身体を傷つけることなく）生体組織深くの断層画像をワンショット（1回の撮影）で得られる装置である^{3) 4)}。参照ミラーを動かす必要がないため、数百分の1秒で撮影可能である。

以下に解析方法を示す。評価者20名が、前述の女性被験者15名の顔写真を見て、それぞれのツヤを10段階で評価した。この評価値と、各被験者の肌の中で光が減衰していく程

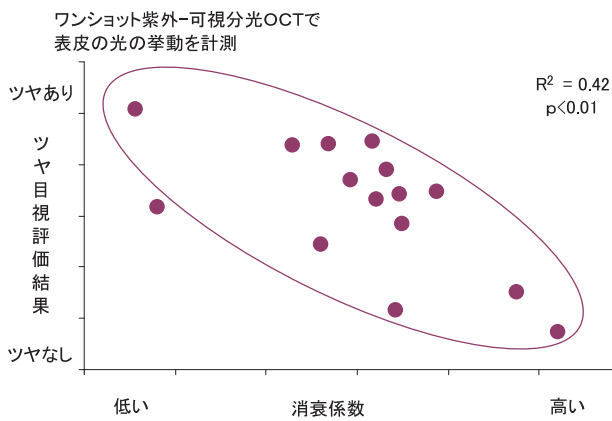


Fig. 4 Relationship between skin gloss and extinction coefficient

度を示す消衰係数の関係をプロットし、ツヤの評価点が高い被験者ほど、肌内部における光の損失が小さい（消衰係数が低い）結果を得た（Fig. 4参照）。

消衰係数の違いは、角質層や表皮内部における細胞の形状や屈折率のムラといった細胞構造の乱れに起因すると推定される⁵⁾。「ワンショット紫外-可視分光OCT」による定量解析結果から、細胞形状や細胞屈折率のムラなど細胞構造の乱れが抑制されることで肌内部に入る光の量が多くなり、しっかりとしたツヤになることが推定された。

4. マルチスケール光学シミュレーション技術の開発

細胞構造の乱れ抑制でツヤが向上することを実証するため、電磁場光学（ナノ～マイクロ領域）と幾何光学（マイクロ～ミリ領域）を連結した独自のマルチスケール光学シミュレーション技術を開発した^{6) 7)}。

本シミュレーションは、肌モデルに光を当て、その時の光の挙動をコンピュータ上で計算し、肌の見え方をシミュレートできる。また、肌モデルの肌表面の皮溝の深さ・太さや肌内部の散乱・吸収係数および光を当てる方向などのパラメータは、実験内容に応じて変更することができる。

4.1 マルチスケール光学シミュレーション構成

マルチスケール光学シミュレーションは、ナノ～マイクロメートルオーダーの微細な構造に対する光の反射・散乱といった挙動を計算する光学特性計算部と、光学特性計算部で計算された光の挙動が肌のキメなどのテクスチャに対してどのような見え方になるかを計算する可視化部で構成される（Fig. 5参照）。2つの計算部を結合することにより、従来実

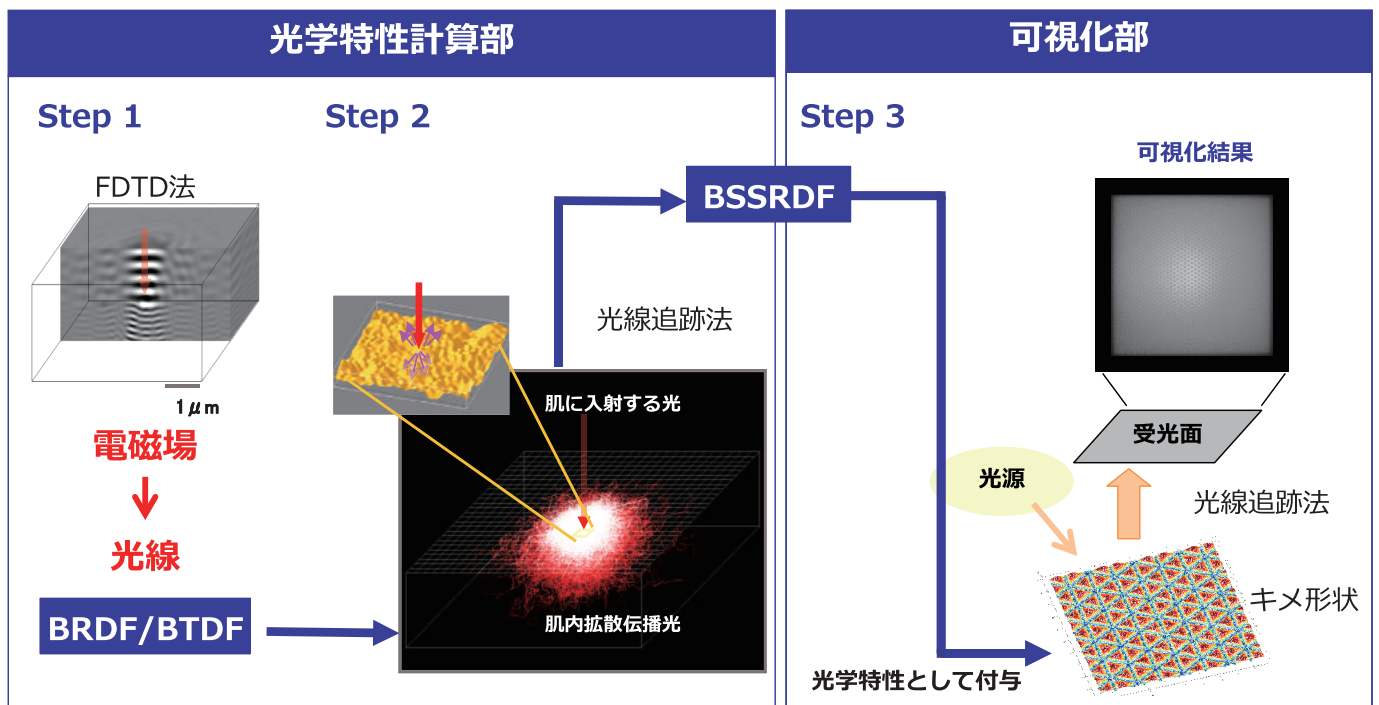


Fig. 5 Multi-scale optical simulation

現できなかったナノメートルオーダーの微細な細胞構造の変化による肌の見た目を可視化することが可能となった。

光学特性計算部は、2つのStepからなり、Step1でナノ～マイクロメートルオーダーの表面凹凸形状から肌の表面の光学特性（BRDF/BTDF）を算出し、Step2で表面反射・透過および内部散乱・吸収を含めた光の入出力をBSSRDFとして算出する。

可視化部のStep3では、肌モデルと観測モデル（光源、受光面）を設定し、幾何光学に基づき計算することで出力画像を得る。具体的には肌モデルに対して、マイクロ～ミリメートルオーダーの表面凹凸形状とStep2で計算されたBSSRDFを光学特性として付与し、光源から出射した光が肌モデルで反射し、受光面で結像する過程を計算する。

4.2 マルチスケール光学シミュレーション結果

～細胞構造の乱れ抑制でツヤが向上することを実証～

本シミュレーションを用いて、細胞構造の乱れの程度やキメ形態をそれぞれ変化させた複数の肌モデルを作成し、肌に発生するツヤの状態を可視化した。

シミュレーションの条件を下記に示す。肌表面のキメの乱れは皮溝の太さと深さに起因すると想定し、乱れがある状態

は皮溝が太くかつ深く、乱れない状態は皮溝が細くかつ浅いと仮定した。細胞構造の乱れは、表面凹凸形状と表皮内の光の挙動（散乱係数）を想定し、乱れがある状態は、表面凹凸が粗くかつ散乱係数が大きく、乱れない状態は、表面凹凸が滑らかかつ散乱係数が小さい状態をモデル化した。

シミュレーションモデルをFig. 6に示す。肌モデルは、曲面（頬部分の輪郭を想定）にキメを付与した形状に、細胞構造の乱れの程度に基づいて算出された光学特性を付与して作成した。観察モデルは、肌モデルに対して上方斜め45°方向から波長542nmの光を投光し、肌モデル上で反射・透過・散乱した光が垂直方向に戻る光をレンズで集光して可視化した。

可視化結果をFig. 7およびFig. 8に示す。画像は、20mm四方の可視化結果を元に擬似的にカラー化したものである。キメ・細胞構造の乱れが多い状態の肌モデルは、散乱成分が増えて白っぽくなり、ツヤのない肌として可視化されたのに対し、キメ・細胞構造の乱れが少ない状態の肌モデルは、光沢成分が現れ、ツヤのある肌として可視化された。これにより、微細な細胞構造の乱れを抑制することでツヤが向上することが実証された。

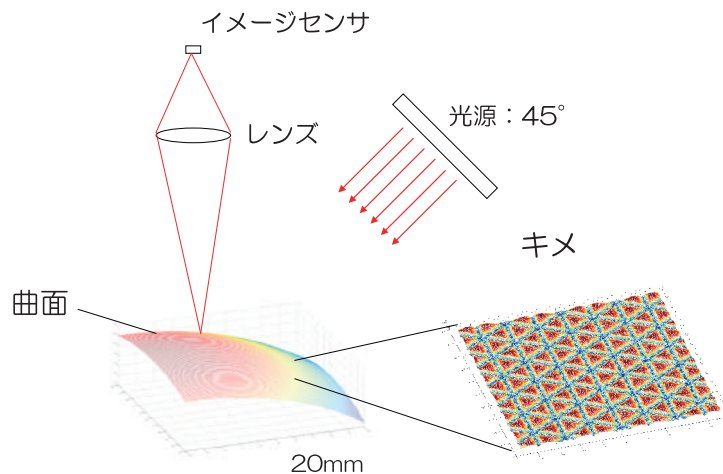


Fig. 6 Simulation model

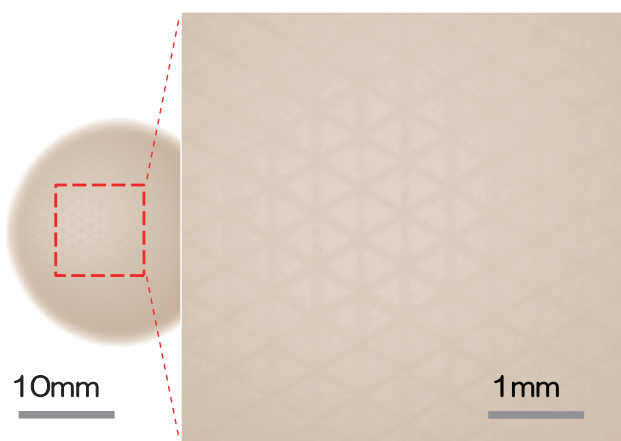


Fig. 7 Results of skin visualization when there are large disturbances in skin texture and cellular structure

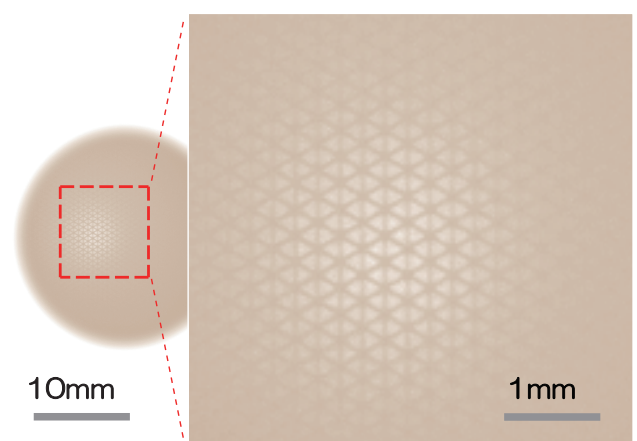


Fig. 8 Results of skin visualization when there are small disturbances in skin texture and cellular structure

5. まとめ

今回のマルチスケール光学シミュレーションおよび解析結果により、肌表面だけでなく肌内部の細胞構造の乱れを整えることでツヤが発生し、「視覚的ハリ感」が向上することが示唆された。今回の研究結果で導き出した知見を活かし、肌のツヤを向上させ、視覚的ハリ感を生むスキンケア化粧品の開発に繋げていく。

参考文献

- 1) “ジェリー状美容液「ASTALIFT JELLY AQUARYSTA (アスタリフト ジェリー アクアリスト)」リニューアル発売”. 富士フイルム ニュースリリース. 2015-07-01. http://www.fujifilm.co.jp/corporate/news/articleffnr_0990.html.
- 2) “ツヤがある肌は、肌内部の細胞構造の乱れが少ないことを確認”. 富士フイルム ニュースリリース. 2015-06-18. http://www.fujifilm.co.jp/corporate/news/articleffnr_0987.html.
- 3) “赤色光が肌を美しく見せるメカニズムを解明”. 富士フイルム ニュースリリース. 2014-06-19. http://www.fujifilm.co.jp/corporate/news/articleffnr_0884.html.
- 4) 中村崇市郎, 平山平二郎. 肌の分光断層画像. 応用物理. 2015, 84(4), 326-330.
- 5) 吉田那緒子, 谷武晴, 礮秀康, 納谷昌之. 光干渉断層像と偏光画像の画像解析による肌の透明感・にごりの評価. FRAGRANCE JOURNAL. 2013, 41(3), p.29-35.
- 6) Yamaguchi, Yoshitaka; Ikeda, Eriko; Tani, Takeharu; Yoshida, Naoko; Ishibashi, Hideyasu. “Image-Simulation for Realistic Skin Visualization”. The 1st International Conference on Advanced Imaging Program and Proceedings. Tokyo, 2015-06-17/19. T101-04, p.124-127.
- 7) 谷武晴, 山口義隆, 吉田那緒子. “リアルな肌の可視化のためのマルチスケール光学シミュレーション”. Optics & Photonics Japan 日本光学会年次学術講演会 講演予稿集 CD 2015. 東京, 2015-10-28/30. 30aA3.

商標について

- ・本報告中にある「ASTALIFT JELLY AQUARYSTA」「アスタリフト ジェリー アクアリスト」は富士フイルム（株）の登録商標です。
- ・その他、本論文中で使われている会社名、システム・製品名は、一般に各社の商標または登録商標です。