

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月14日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22360090

研究課題名（和文）メーキャップ化粧品のデザイン技術開発に向けた熱工学のアプローチ

研究課題名（英文）Thermal Engineering Approach for Developing Cosmetic Products

研究代表者

山田 純（YAMADA JUN）

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号：40210455

研究成果の概要（和文）：

メーキャップ化粧品であるファンデーションの効率的開発のために、ファンデーション粒子の形状や光物性が、皮膚の見え方に与える影響を明らかにできる解析ツールの開発を行ってきた。具体的には、1) 皮膚のふく射物性の計測手法・装置、2) 皮膚キメにおける光挙動を予測できる数値モデル、3) 皮膚表面に塗布されるファンデーション粒子層のふく射性質の評価手法・装置の開発をおこなった。

研究成果の概要（英文）：

In order to effectively develop cosmetic products, we have developed numerical tools for predicting several effects of cosmetic products including foundation and/or powders on appearance of human skin. In particular, we have developed 1) a measurement method and apparatus for radiative properties of human skin, 2) a numerical model for predicting optical characteristics of skin surface, and 3) an evaluation method and apparatus for optical characteristics of foundation layer on human skin.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	8,300,000	2,490,000	10,790,000
2011年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2012年度	2,600,000	780,000	3,380,000
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野：機械工学

科研費の分科・細目：熱工学

キーワード：光散乱，皮膚光学，散乱吸収性媒質，ふく射，半球透過率，反射率

1. 研究開始当初の背景

ファンデーションやフェイスパウダーなど、メーキャップ化粧品は、そこに含まれる粒子で肌を美しく見せる（見え方を制御する）化粧品である。化粧粒子が肌の見え方に与える影響については、これまでも多くの研究がなされてきた。しかしながら、その多くは、異なる化粧粒子を用いたとき、巨視的な見え方がどのように変化するかを評価したものである。肌の見え方は、粒子個々の光学的性質と、それが置かれる肌の光学的性質の両者に依存するが、それらと関連づけて、見

え方を評価した例はほとんどない。これまでのアプローチでは、「見え方を予測して粒子をデザインする」という技術にはつながらない。

2. 研究の目的

本研究では、化粧粒子および肌の光学的性質の詳細を調べるとともに、皮膚内部を含む微視的な光伝播と関連づけて、肌の見え方に及ぼす、化粧粒子およびその塗り方の影響を明らかにすることを目的とする。また、この知見に基づき、粒子デザインの段階から皮膚

の見え方を予測できる解析ツールの開発をめざす。

3. 研究の方法

(1) 皮膚内部の散乱位相関数の計測

散乱位相関数は、極端な非等方性を有しない限り、媒体内の光伝播に大きく影響を及ぼさない。しかし、皮膚の見え方は、その表面近くでの後方散乱に依存するため、見え方の評価には、必須の物性である。本研究では、図1に示す測定装置を製作する。この装置では、まず、薄い皮膚試料（培養皮膚を購入予定）にレーザー光を入射させて、散乱された光を放物面鏡で上方に反射させる。そして、マスクを介してその散乱光の一部、方位角方向の分布のみをカメラで計測し、散乱位相関数を求める。

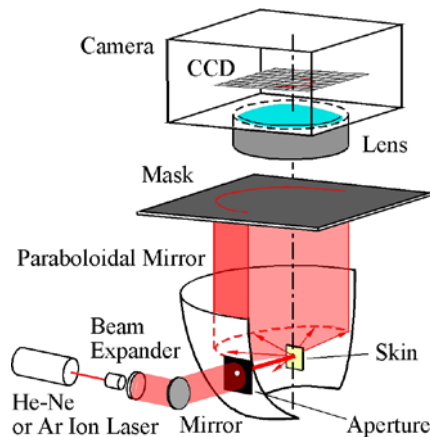


図1 皮膚の散乱位相関数の計測

(2) キメ構造が皮膚表面の光学的性質に与える影響

キメの細やかさは、皮膚-空気界面での光の透過および反射に影響を及ぼしている。ここでは、既存設備による指向性反射率の計測に加えて、図2に示す半球反射率、半球透過率計測装置を製作し、スライドグラスに転写したキメの光学的性質を調べる。

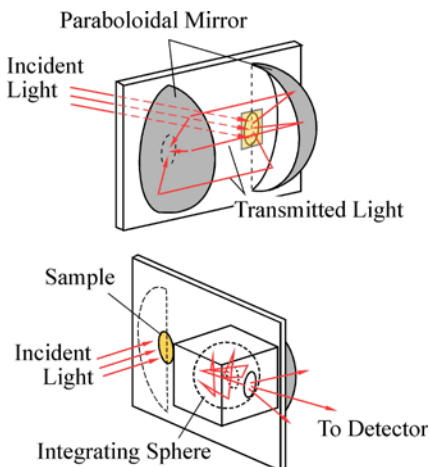


図2 半球透過率測定装置

この装置では、2分の1半球に散乱する光を二つの放物面鏡により集めて測定することで、全半球の透過率を求める。測定対象は、皮膚のキメを転写したスライドグラス（図3）を予定している。美しいと言われる皮膚とそうでない皮膚（例えば、幼児と高齢者の皮膚）が、半球透過率に与える影響を明らかにする。

さらに、最新のレーザー顕微鏡により、キメ構造の詳細を計測し、それをベースに、キメの解析モデルを開発する。計測結果（指向性反射率、半球透過率、反射率）と比較し、解析モデルの妥当性を検証する。

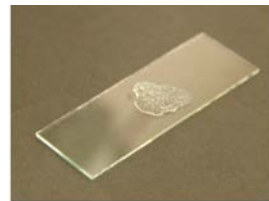


図3 皮膚のキメ構造を転写したスライドグラス

(3) ファンデーションの機能評価

ファンデーションの機能評価モデルを構築するために、先の半球透過率測定装置に加えて、蛍光を利用した簡易な半球反射率計測装置の開発を目指す。

これと同時に、実際の使用状況下での、機能評価手法を開発するために、実際の皮膚にファンデーションを付着させて、これまで開発を行ってきた皮膚のふく射物性計測装置を流用することが可能かどうかについて試験的な検討を開始する。

(4) 凝集した粒子の散乱性質の評価とそれらが皮膚界面の透過性質に与える影響

ファンデーション粒子は、一様には分散しておらず、多くは凝集している。レーザー顕微鏡による観察、あるいは、ファンデーションの設計仕様などから粒子の凝集状態を把握し、凝集状態にある粒子の光学的性質を、電磁波動解析により予測する。この解析には、応募者がこれまで開発してきた粒子散乱の解析コードを利用する。

さらに、その光学的性質をベースに、皮膚表面に置かれた凝集粒子が皮膚-空気界面の反射、透過性質に与える影響を予測し、その妥当性を、先の実験結果と比較、評価する。

(5) 化粧粒子が皮膚の見え方に与える影響の解明

皮膚-空気界面だけでなく、皮膚内部を含めた微視的な光伝播と関連づけて、皮膚の見え方に与える化粧粒子の影響を解明する。

4. 研究成果

(1) 皮膚内部の散乱位相関数の計測

図1に示す、皮膚の散乱位相関数の計測装

置を開発し、実際に、培養皮膚を対象に計測を行った。加えて、散乱位相関数に与える光の波長の影響を調べるために、光源には、He-Ne レーザーおよび Ar イオンレーザー (454, 488, 514 nm) を使用した。計測結果を図 4 に示す。計測波長が限られているために、波長依存性を系統的に論ずるには至っていないが、波長ごとに異なる散乱位相関数を計測に成功した。

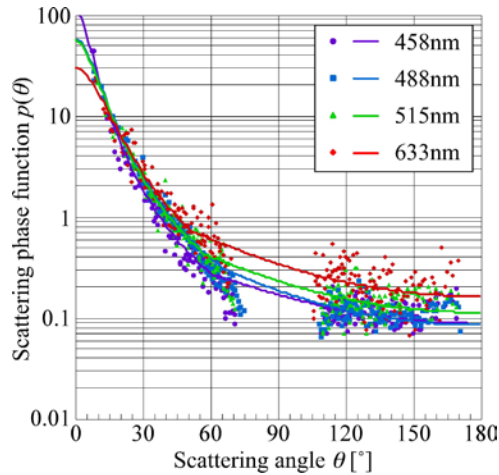


図 4 皮膚の散乱位相関数

(2) キメ構造が皮膚表面の光学的性質に与える影響

キメ構造が皮膚表面の光学的性質に与える影響を把握するため、また、(3)のファンデーションの機能評価を行うために、半球透過率計測装置の開発を行ってきた。その結果、半球反射率、半球透過率を広い波長範囲で計測できる分光装置を開発した。

また、皮膚のキメが肌の見え方に与える影響を明らかにするために、キメ構造を転写したレプリカを作成し、その構造により反射される光の2方向分布を計測した。同時に、この結果解析するための数値モデルを開発した。

解析モデルは、共焦点レーザー顕微鏡のデータを基に、皮膚表面の微細構造を統計的にモデル化するもので、光の反射性質をその統計モデルから導くものである。計測結果とその実験結果との比較を図 5 に示す。両者はよく一致していることから、開発した数値モデルが、皮膚における光輸送を予測するために利用できると考えられる。

なお、このモデルの有用性を評価するために、加齢により変化するキメ構造が、その光伝播に与える影響を、数値的に評価した。まず、20代女性から50代女性のキメ構造の特徴をレーザー顕微鏡により調べた。その結果、肌表面の凹凸の空間周波数が、年齢とともに減少すること、特に、40才以降にその減少が顕著であることがわかった。さらに、得られ

た構造データを基に、光散乱伝播解析を行った結果、年齢によるキメ構造の違いは、皮膚表面における反射の指向性、特に、鏡面反射方向に現れることが明らかになった。この知見は、これまでの肌の手触りに関する経験的な見方と一致した。

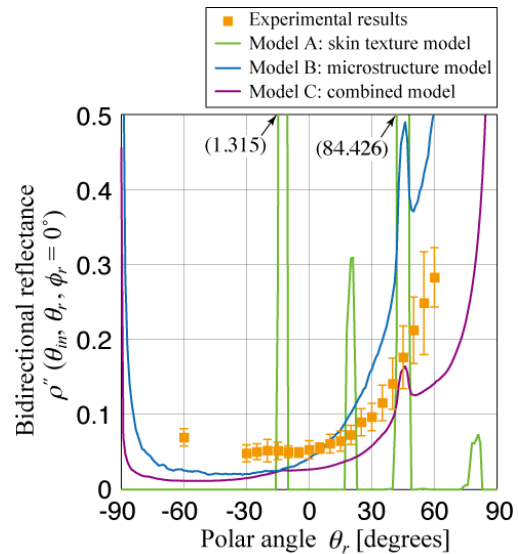


図 5 皮膚表面のキメ構造の2方向反射率

(3) ファンデーションの機能評価

ファンデーション機能評価として、紫外線の抑止効果を計測するための新たな手法として、蛍光剤を用いた半球透過率計測手法を提案、その妥当性に関して検討した。図 6 に計測装置の概略を示す。この手法は、ファンデーション層を拡散的に透過してきた光を、一旦、蛍光層に入射させ、そこから発せられる蛍光を計測することで、複雑なミラー光学系なしに、半球透過率を求めるものである。この系に対する数値シミュレーションも併せて実施しており、理論上の妥当性は検証した。

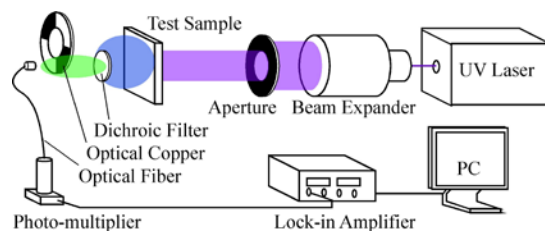


図 6 蛍光を利用した半球反射率計測装置

また、ファンデーション機能の評価手法として、本研究で新たに製作した皮膚のふく射物性 (減衰係数、アルベド) 計測装置 (図 7) を流用することで、ファンデーションの遮蔽効果、光透過光かを同時に判断する手法に付いて検討した。学術的な意味は未だ曖昧と言わざるを得ないが、実用においてファンデーションの機能評価を行えることが確認した。

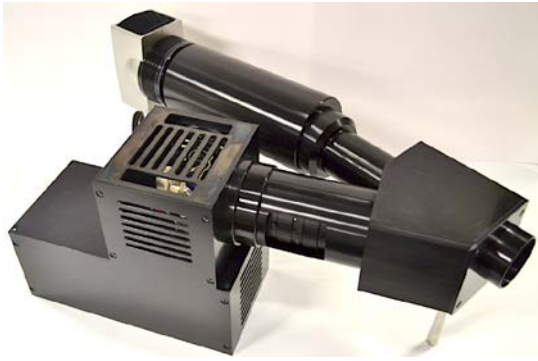


図7 ふく射物性スペクトル計測装置

(4) 凝集した粒子の散乱性質の評価とそれらが皮膚界面の透過性質に与える影響

凝集した粒子層のふく射性質について、図2の半球透過率・反射率計測装置により、粒径や凝縮量が、それら透過率・反射率に与える影響を計測した。結果を図8に示すように、その影響を調べることはできたが、同時に開発した解析モデルでは、この影響を明らかにすることはできなかった。

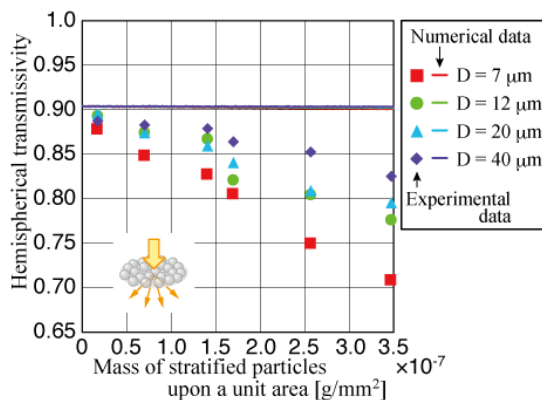


図8 凝縮した粒子層の半球透過率

(5) 化粧粒子が皮膚の見え方に与える影響

以上述べてきたように、粒子径、化粧粒子層が皮膚の反射性質に与える影響は明らかとなったが、粒子個々の性状が粒子層の反射性質に与える影響を予測するまでには至らなかった。この部分のモデル構築には、本研究をベースにさらなる検討が必要である。この点に関しては未達といえるが、粒子層の反射性質に関する実験結果を用いることで、肌の見え方を予測できるようになった。

一方、本研究で製作した皮膚のふく射物性計測装置は、現在、化粧品業界の標準的計測装置として期待されている。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- ① Kazuo Naito, Jun Yamada, Measurement of Scattering Phase Function of Human Skin, Japan Journal of Thermophysical Properties,

Vol. 24, No. 2, pp. 101-108, 2010.5 (査読有)
[学会発表] (計5件)

- ① Jun Yamada, Kae Nakamura, Tatsuya Ogawa, Hironobu Yoshikawa, Sadaki Takata, Radiative Characteristics of Surface Structure on Human Skin, The 6th International Symposium on Radiative Transfer, Turkey, CD ROM, 84 Paper 43, 2010.6.18 (査読有)
- ② Jun Yamada, Tatsuya Ogawa, Hirokazu Kawai, Hironobu Yoshikawa, Sadaki Takata, Effect of Skin Structure Change with Age on Optical Characteristics of Human Skin, The 8th ASME/JSME Thermal Eng. Joint Conf., Hawaii, AJTEC2011-44523, 2011.3.14 (査読有)
- ③ 小柴嘉恵, 川井博和, 越野誠也, 高田定樹, 山田純, 蛍光を利用した光拡散性界面の半球透過特性の計測, 日本伝熱シンポジウム (富山), Vol.I+II, pp.163-164, 2012.5.30 (査読無)
- ④ 河野貴裕, 越野誠也, 高田定樹, 山田純, 標準化に向けた散乱・吸収性媒質の光物性計測装置の開発, 日本熱物性シンポジウム (大阪), pp. 380-382, 2012.10.5 (査読無)
- ⑤ Kae Nakamura, Hirokazu Kawai, Masaya Koshino, Sadaki Takata, Jun Yamada, Measurement of Radiative Transmission through a Diffuse Surface Using Fluorescent Material, The 3rd International Forum on Heat Transfer (長崎), Paper No. IFHT2012-130, 2012.11.14 (査読有)

[その他]

解説

- ① 山田 純, フレグランスジャーナル, ファンデーションの高度化に向けた皮膚の光伝播解析, pp.61-66, 2012-5

招待公演

- ① 山田 純, 美肌をつくる熱工学のアプローチ, 日本機械学会関東支部, 東京理科大学 (森戸記念館), 2011.6.10
- ② 山田 純, 美しい肌に向けた化粧粒子デザイン, 応用物理学会分科会日本光学会, 東京大学 (山上会館), 2012.1.20
- ③ 山田 純, 美肌を演出する化粧粉体 - 美肌に向けた化粧 -, 応用物理学会日本光学会微小光学研究グループ, 第125回微小光学研究会, 富士フイルム (西麻布ホール), 2012.10.9

新聞掲載

- ① 日刊工業新聞, 肌の透明度・明るさ測定, p.19, 2013.3.14

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田 純 (YAMADA JUN)
芝浦工業大学・工学部・教授
研究者番号: 40210455