

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K11781

研究課題名(和文) マルチスケールモデルを用いた歯の光学的シミュレーションに関する研究

研究課題名(英文) Optical Simulation of Tooth with Multiscale Modeling

研究代表者

木林 博之 (KIBAYASHI, HIROYUKI)

大阪大学・歯学研究科・招へい教員

研究者番号：80796011

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、審美性の高い歯冠補綴治療を行うために、実際には観察が困難な審美歯冠補綴装置内部の光の振る舞いを光学シミュレーション技術で解析可能かどうかを検討し、その有用性を評価した。その結果、光学シミュレーション解析により得られた結果は、審美歯冠補綴装置が有する光学的特徴と近似しており、本研究で用いた光学シミュレーションは、審美歯冠補綴治療や歯における光の現象を解析する手法として有用であると考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

審美歯冠補綴治療においては、歯冠補綴装置は、機能的であるだけでなく顔貌と調和し、色調は隣接歯や歯肉と調和していることが望まれる。しかし、補綴装置の製作に際して、色調の再現は今なお歯科医師や歯科技工士の経験、技術に頼るところが大きく、定性的である。そのため、天然歯に近い光学特性を有する歯冠補綴装置を作製するためには、天然歯や歯冠補綴装置の中で、光がどのように振る舞うのかを分析することが重要であり、本研究で用いた光学シミュレーションは、審美歯冠補綴治療や歯における光の現象を解析する手法として有用であると考えられた。

研究成果の概要(英文)：With the increasing demand for esthetic treatments, dental restorations with translucency and color similar to the natural dentition are expected. To fabricate an esthetic prosthesis which has optical properties close to natural teeth, it is important to analyze how the incident light behavior in the teeth and crown prosthetic device. For analyzing the light behavior in ceramic crown and resin crown, the optical properties of different dental materials using CAD models and light tracking were simulated by computer simulation and this light tracking simulation is useful to analyze the passage of light through a dental restoration and a tooth.

研究分野：歯科補綴学

キーワード：審美歯冠修復 光学シミュレーション セラミックス レジン

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、患者の顎口腔の審美性に対する要求度が高まり、前歯部のみならず臼歯部においても天然歯に近似した形態と色調をもつ補綴処置が求められるようになってきた。特に前歯部においては単に機能を回復させるだけでなく、天然歯に近似した形態、色調および光透過性を有する補綴処置が求められるようになってきている。そのため修復材料は、臨床応用可能な強度を有しているだけでなく、審美性、生体親和性など種々の要件を満たす必要がある。最近では、各種審美歯冠修復材料の研究・開発が行われ、ジルコニア、二ケイ酸リチウムガラス、ガラスセラミックス、ハイブリッドレジンを用いた審美歯科治療が臨床で行われているが、色調の再現は歯科医師や歯科技工士の経験によるところが今なお大きいのが現状である。

歯の色を詳細に観察すると、歯冠色は表面色ではなく半透明のエナメル質からなり、外界から光が唇面に当たると、その一部は正反射し、歯面を光沢のある材質として感じさせる。そして大部分はエナメル質内部に進入して象牙質に当たり、象牙質を含んだ光として反射されて歯の色の基調色として外部に出てくる。また、天然歯の歯冠はエナメル質、象牙質、歯髄からなり、エナメル質はエナメル小柱、レッチウス条、象牙質は象牙細管などの微細構造を有する。この微細構造により、歯は宝石のオパールや昆虫の羽のような構造色を呈している(図1)。

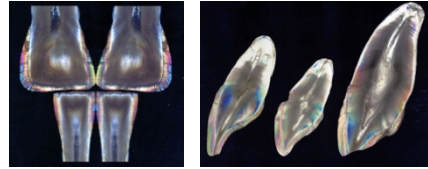


図1 構造色(オパール効果)
オパール石のように、光がエナメル質の物体に入射して青や紫の光が散乱することにより、物体が青みがかって見える。

しかし、これまでの研究は、天然歯や歯冠修復装置の正確な測色方法、シェード決定の際の光源の影響、治療前後の色調の変化など、言い換えれば‘どう見えているか?’、‘どう見えるか?’を調べたものがほとんどである。加えて審美歯科学領域においては、定性的・経験による評価も多く、‘どういった機序で天然歯や歯冠修復装置が色調を発現しているのか?’といった、数学的・物理的解析による定量的研究はこれまでなされていない

そのため、光の進入、反射、吸収に対するその経路や量、またその各々がどのように光学的に干渉しあうのかを定量的に分析できれば、より天然歯に近い色調を有する歯冠補綴装置の製法や、ガラスセラミックスやジルコニアなどの審美歯冠材料に付与すべき光学特性について、極めて有益な知見を得ることができると考えられる。

2. 研究の目的

歯冠色はさまざまな色に満ち溢れており、それは光の進入、反射、吸収に対するその経路や量、そしてその各々が複雑に干渉し合い発生している。しかし、これまでの審美歯科領域における色の研究では‘色がどう見えているか?’、‘どう見えるか?’を調べた研究がほとんどである。加えて、定性的・経験による評価も多く、‘どういった機序で天然歯や歯冠修復装置がその色調を発しているのか?’といった、数学的・物理的解析による定量的研究はこれまでなされていない。

本研究では、天然歯のエナメル質や象牙質、各種審美歯冠修復材料の光学特性の解析、およびミクロ的・マクロ的構造に基づく歯のマルチスケールモデルを作成し、光学的シミュレーションを行うことにより、天然歯の色調の発生機序の解明を行うこと、および各種セラミックスやレジンを用いた補綴歯科治療において、より天然歯に近い審美性にすぐれた歯科治療を実施するための光学的知見を得ることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 実験1

二ケイ酸リチウムガラスセラミックス、ハイブリッドレジン、コア用レジンについて 30 mm×30 mm で4種類の厚み(1.0 mm、1.5 mm、2.0 mm、2.5 mm)の板状試料を各3枚ずつ作製した(合計36枚)。歯冠修復材料として、直径98 mm、厚み16 mmのガラスセラミックスディスク(Rosetta®SM A1、HASS、Korea:以下Rosetta)、および直径98 mm、厚み14 mmのハイブリッドレジンディスク(SHOSHU DISK HC A2、松風、京都:以下HC)を高速精密切断機で板状に切断し、既定の厚みになるように#1200まで研磨を行った。その後、ガラスセラミックスは規定の温度で焼結し、片面を5%フッ化水素酸で20秒処理した。ハイブリッドレジンには片面にアルミナサンドブラスト処理(0.3 MPa)を行った。支台築造材料として、コア用レジン(DCコアオートミックスONEデンチン、クラレノリタケデンタル、東京:以下DC)を用いた。30 mm×30 mmで4種類の厚みをもつ金属製の治具にコア用レジン进行し込んで重合させた後、1.0 mm、1.5 mm、2.0 mm、2.5 mmの厚みになるように耐水ペーパーで#600まで研磨を行った(図2)。そして、変角光度計(GP-200、村上色彩、東京)を用いて各試料の透過、反射の強度分布状態を入射角0°、30°、60°の条件で2回ずつ測定し、平均値を算出した。

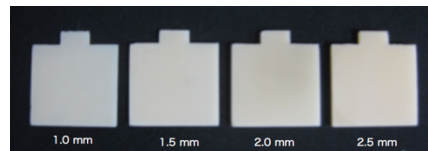


図2 4種類の厚みのコア用レジン

(2) 実験2

クラウンと支台歯のCADモデルを作成し、光学解析ソフトウェア(LightTools 8.5.0、Synopsis、California、USA)上に設定したクラウンおよび支台歯のCADモデルに、実験1で

得られた Rosetta、HC、DC、および Ti の光学特性データを入力した (図 3)。クラウンおよび支台歯の CAD モデル内部を唇側から口蓋側へ横切る照度受光面を平行に 1 mm 間隔で 4 面設定した (図 4)。正面に配置した人工太陽照明灯からクラウンおよび支台歯の CAD モデルへ向けて光線を 1,000 万本照射した際の、各受光面での照度分布をシミュレーションにより算出した。

(3) 実験 3

実験 2 の結果を検証するため、人工太陽灯を補綴装置に照射した際の補綴装置内部における光線経路のシミュレーション解析を行った。クラウン-支台歯の CAD モデルの前方、後方、上方、下方に受光面を設定し、切縁部、歯頸部に照射された光線がどのような経路をたどるのかを解析した。

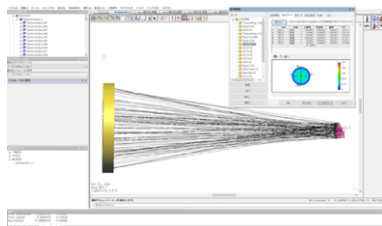


図 3 照明設計解析ソフトウェア (LightTools 8.5.0, CYBERNET)



図 4 照度分布のシミュレーションモデル

4. 研究成果

(1) 実験 1

図 5 にコア用レジン、歯冠修復用レジンおよびセラミックスの全透過率、全反射率の測定結果を示す。透過率ではどの試料も厚みが薄くなるにつれて透過率は高く、厚い試料ほど透過率は低くなった。長波長になるほど透過率は大きくなる傾向にあった。反射率では、短波長域においては厚みによる差は認められないが、長波長域では厚みの薄い試料ほど反射率が低く、厚い試料ほど高くなった。透過分布では、透過率の測定結果と同様に、厚みの薄い試料ほど透過率が高く、厚い試料ほど透過率は低かった。DC、HC は拡散性が高く、一方 Rosetta は低い拡散性が認められ、直進する光の透過性が非常に高いものと考えられた。また、DC、HC では厚みが厚くなるにしたがい、拡散性が高くなりピークが弱くなっていくのが認められたが、Rosetta は入射角 30°、60° の場合でも強いピークが認められ、光が多く透過しているのが認められた (図 6)。

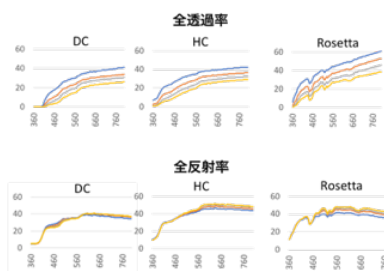


図 5 各種歯冠修復材料の全透過率と全反射率

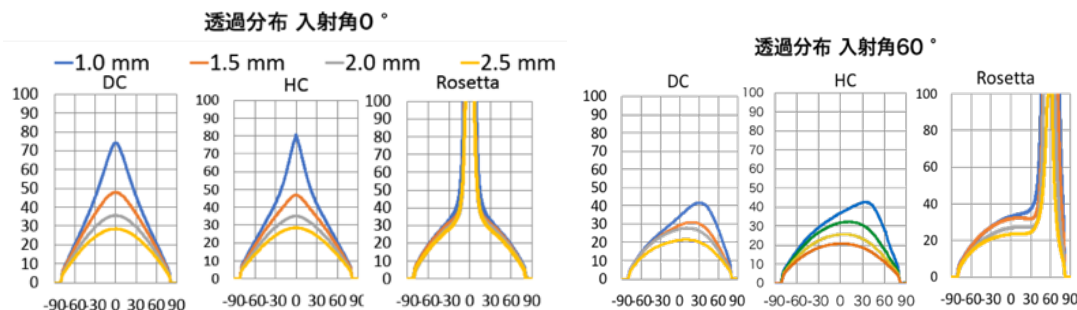


図 6 各種歯冠修復材料の透過分布

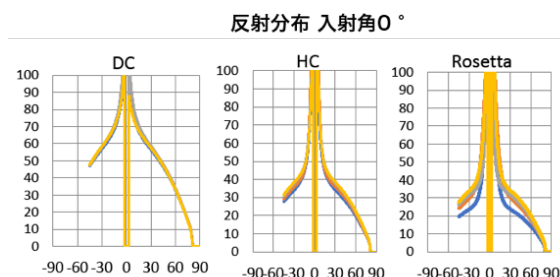


図 7 各種歯冠修復材料の反射分布

反射分布は、各歯冠修復材料で試料の厚みが薄くなるほど拡散性は小さくなった。また、研磨号数の違いによる影響を強く受けていると考えられた (図 7)。

(2) 実験 2

Rosetta-DC、Rosetta-Ti、HC-DC、HC-Ti のすべてで唇側①から口蓋側④へ進むに従い、受光面の平均照度が減少した。HC 製クラウンでは、唇側①から口蓋側④へ進むに従い最大照度も減少した。一方、Rosetta 製クラウンでは、最大照度は②から③で増加している領域が認められた。DC 製支台歯では内部にも光が到達し、唇側①から口蓋側④へ進行するに従い照度が

減少したが、Ti 製支台歯では内部へは光が到達していなかった (図8)。

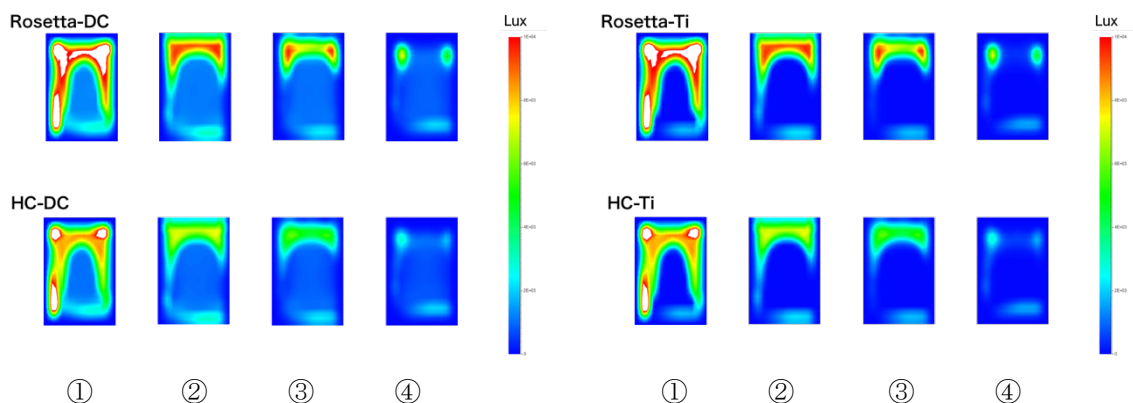


図8 各種歯冠修復装置の照度分布

(3) 実験3

歯冠補綴装置の材質の違いにより切縁部に照射された光線の経路は異なり、Rosetta では後方へ透過する光線が多かったのに対し、HC では内部で広く拡散した後に、透過していく光線が多かった。支台歯の材質の違いにより歯頸部に照射された光線の経路は異なり、DC では内部で広く拡散し、様々な方向に光線が射出されていくのに対し、Ti では内部での拡散はなく、前方へ光線が多く射出された (図9)。

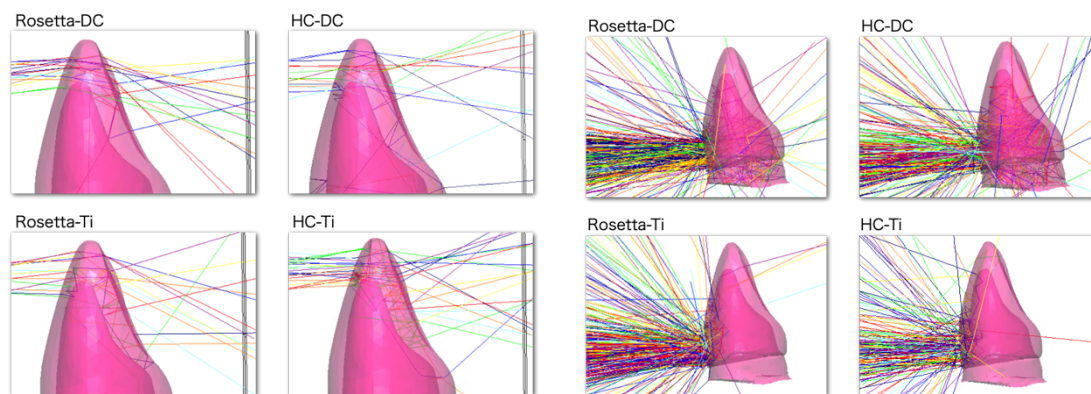


図9 各種歯冠修復装置の光線経路

本研究手法においては、材料の光学特性が必要であるが、計測のためには試料の大きさが 30 mm×30 mm 程度の大きさが必要である。ヒトの天然歯はもとより、牛歯でもその大きさを確保することは極めて困難であった。加えて、牛歯のエナメル質や象牙質内部は均一ではないため、正確な光学特性を得ることも困難であった。そのため、均一な光学特性を得るために、審美歯冠修復材料を主として研究を行ない、その結果、審美歯冠補綴装置内部の光線経路を解析し、可視化することが可能となった。今後、小さい範囲の光学特性を正確に計測可能な装置が開発されれば、天然歯においても解析が可能になるものと考えられる。

以上より、本研究で用いた光学シミュレーション手法は審美歯冠補綴治療における光の現象を解析するのに有用であると考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Kosuke Amo, Kazumichi Wakabayashi, Hideki Sakai, Hiroyuki Kibayashi, Takashi Nakamura, Hirofumi Yatani
2. 発表標題 In silico optical analysis of dental esthetic restorations
3. 学会等名 4th Annual Meeting International Academy for Digital Dental Medicine (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 天羽康介, 若林一道, 中村隆志, 矢谷博文
2. 発表標題 審美歯科修復における光学的シミュレーションの解析 第4報 シミュレーション結果と実測との比較
3. 学会等名 日本色彩学会第49回全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 天羽康介, 若林一道, 木林博之, 酒井英樹, 中村隆志, 矢谷博文
2. 発表標題 審美歯科修復における光学的シミュレーション解析 第3報 歯冠形態モデルにおける光線経路解析
3. 学会等名 第9回日本デジタル歯科学会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 天羽康介, 若林一道, 木林博之, 酒井英樹, 中村隆志, 矢谷博文
2. 発表標題 審美歯科修復における光学的シミュレーション解析 -第2報 歯冠形態CADモデルを用いた光線追跡シミュレーション-
3. 学会等名 第28回日本歯科審美学会学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Wakabayashi K., Amo K., Kibayashi H., Sakai H., Nakamura T., Yatani H.
2. 発表標題 In silico Optical Analysis of Dental Esthetic Restorations. -Evaluation of optical properties of dental materials-
3. 学会等名 2017 Korean Academy of Esthetic Dentistry Annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	中村 隆志 (NAKAMURA TAKASHI) (20198211)	大手前短期大学・ライフデザイン総合学科・教授 (44416)	
研究分担者	若林 一道 (WAKABAYASHI KAZUMICHI) (50432547)	大阪大学・歯学部附属病院・助教 (14401)	
研究分担者	矢谷 博文 (YATANI HIROFUMI) (80174530)	大阪大学・歯学研究科・教授 (14401)	
研究分担者	酒井 英樹 (SAKAI HIDEKI) (90277830)	大阪市立大学・大学院生活科学研究科・准教授 (24402)	