

## 顎顔面補綴材料の光学特性

遠藤 聡

岩手医科大学歯学部歯科補綴学第二講座

(指導：石橋 寛二 教授)

(受付：2005年12月7日)

(受理：2005年12月28日)

**Abstract** : I had to grasp of color studies and an Optical observation of silicone resin and the color which were maxillofacial epitase materials precisely and examined it.

I chose transparent silicone resin and five colors pigments (brown, white, yellow, blue, red) as maxillofacial epitase materials. I produced five colors of monotone color samples on three kinds of thicknesses : 1.0, 2.0, 3.0 mm. White and brack background were used as a measurement for colors. With a spectrophotometer, I calculated the dispersion coefficient (K) and the absorption coefficient (S) based on the Kubelka-Munk theory.

I produced a two-colors compound color sample with thicknesses of 1.0, 2.0, 3.0 mm and measured them. A color of a compound color material used a dispersion coefficient and the absorption coefficient that I calculated from a sample of three kinds of thicknesses based on a formula of Duncan and predicted it. I compared the actual survey value with the prediction value of each compound color material and calculated a color-fixer. The average dE value was 6.77, between a prediction value and actual survey values with monotone color samples of thickness of 1.0mm were 11.95, greatest color-fixer minimum color-fixers was 4.25. Tolerance level of a color-fixer to be able to put in the mouth is reported as 3.7-3.8. Besides, it faces each other in the gloomy mouth, and a color-fixer at the sensitive face skin surface and maxillofacial epitase interval of a color must lowered it more.

**Key word** : Maxillofacial epitase, Silicone resin, Kubelka-Munk theory, Color prediction

### 緒 言

顎顔面部に欠損を有する患者は将来にわたる絶望と悲しみを抱く場合もあり、鬱病、外傷後ストレス障害などを引き起こすと言われ<sup>1)</sup>、さらに先天的欠損の患者は小児期より深いコンプレックスの要因になっている場合もある。顎顔

面部欠損を持つ患者特有の絶望および悲しみを理解し、症例の特殊性を十分に分析した上で治療を行うことが顎顔面補綴を行う上で重要とされる。

さらに、欠損修復後の目標は、第三者から奇異な視線を向けられることに対して何の恐れもなく公衆の前に出ることができるようになるこ

Optical observation of maxillofacial epitase materials

Satoshi ENDO

Department of Fixed Prosthodontics, School of Dentistry, Iwate Medical University

1-3-27 Chuo-dori, Morioka, Iwate 020-8505, Japan

とである。顎顔面補綴装置を装着することにより「外出が増えた」、「病人扱いされなくなった」などという装着者の意見も報告されている<sup>2)</sup>。そのためにも周囲組織と調和した審美的に優れた顎顔面補綴装置が必要である<sup>3-5)</sup>。

顎顔面補綴装置の着色技法は治療成功の必須要件であり、現状では何度も混色を繰り返し、色調選択を行わなければならない、担当医や歯科技工士にとって最も困難で大きな課題であるとされている。

顎顔面補綴の着色法としては外部着色法と内部着色法の2種類がある。外部着色法は重合したシリコン表面に着色する手法であり、患者の皮膚色と直接比較しながら着色することができるという利点がある。しかし、太陽光線や汗、雨など外来性の変色因子の影響を受けやすく、色調安定性にかけるという欠点がある<sup>6-7)</sup>。内部着色法は重合前のシリコン樹脂を着色した後に重合を行う手法で、色の濃さの調整や透明性が再現しやすく、さらに色調安定性に優れるという特徴を持ち合わせている。しかし、色調を再現するまでの操作が非常に煩雑で、何度も調色を行わなければならない、さらには術者の技量や経験により製作時間も左右される。このように顎顔面補綴装置の色調再現の難しさが指摘されており<sup>8)</sup>、主観的な着色法ではなく測色機器およびコンピュータを用いた客観的な着色法が望まれている。

視感比色法による顎顔面補綴装置の色調再現はクラウンの色調選択ならびに色調構築と同様の問題点も有する。主観による判断の曖昧さ、外部照明の影響、背景の影響、術者間の色彩判断能力の差<sup>9)</sup>などの問題点が考えられる。歯冠色を構築するコンピュータカラーマッチングの研究によると、色調構築精度は色差3.0以下と報告されている<sup>10-14)</sup>。したがって測色法による色調選択とコンピュータを応用した手法が最も安定した顎顔面補綴材料の着色手法と期待される。その応用として顎顔面補綴装置の色調選択にコンピュータカラーマッチングを行うことに際して、顎顔面補綴材料であるシリコン樹脂

と顔料の色彩学および光学特性として分光反射率や吸収係数、散乱係数という材料特有の性質について正確に把握する必要がある、今回検討を行った。

## 研究方法

### 1. シリコン樹脂試料の製作

顎顔面補綴材料として透明シリコン樹脂(MDX 4-4210<sup>®</sup>, Factor II, Lakeside, AZ)と顔料(KT-99C<sup>®</sup>, Factor II, Lakeside, AZ)の茶(Brと略記)、白(Wと略記)、黄(Yと略記)、青(BIと略記)、赤(Rと略記)5色を選択した。シリコン樹脂の単色試料は、シリコン樹脂15g、キャタリスト1.5gに対し、5色の顔料それぞれを着色し、混合した。

バキュームポンプ(21.900<sup>®</sup>, Factor II, Lakeside, AZ)とバキュームチャンバー(D-212-1<sup>®</sup>, Factor II, Lakeside, AZ)を用い、顔料を混合したシリコン樹脂内の気泡を完全に除去した後、20×20mm、厚径1mm、2mm、3mmの型に流し込み、60°Cで30分間重合した。顔料1:1の割合の2色混色試料も同様に製作した。混色試料の内容は(W+Br, W+Y, W+BI, W+R,)の4種類とした。

試料は各色、各厚径ともに3枚ずつ製作した。

### 2. 分光測色および色彩学的分析

#### 1) 測色方法

測色および色彩分析装置としてマルチカメラスペクトルシステム<sup>®</sup>(OLYMPUS, 東京)を用いた。

測定設定として試料を標準白色板および黒色板上に蒸留水を介して密着させ、その試料表面にも蒸留水を介してカバーガラスを置き、その上から試料の中央部約3×3mmの範囲で分光反射率を測定した(Fig. 1)。400~700nmの波長域連続した分光反射率の中から400nmから20nmごとの16波長の分光反射率を測定した。

#### 2) 吸収係数、散乱係数の分析

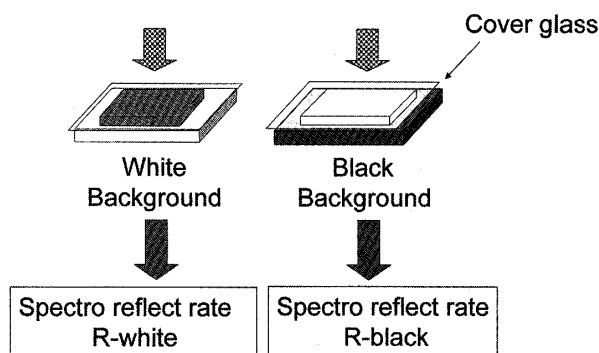


Fig. 1. Condition of color measured

単色試料の各色，各厚径において，標準白色板を背景とした分光反射率，および黒色板を背景とした分光反射率を測定した。得られた分光反射率を基に Kubelka-Munk 理論<sup>15)</sup> (公式 1) により吸収係数 (K) と散乱係数 (S)<sup>11), 16)</sup> を求め，色調および厚径による違いを分析した。

$$R = [1 - R_g (a - b \cdot \text{ctgh } bSX)] / a - R_g + b \cdot \text{ctgh } bSX$$

$$a = (S + K) / S = 1 / 2 \left( [1 / R_\infty] + R_\infty \right)$$

$$b = (a^2 - 1)^{1/2} = 1 / 2 (1 / R_\infty - R_\infty)$$

.....公式 1

K：吸収係数

S：散乱係数

X：試料の厚さ

R：反射率 R<sub>g</sub> の物体上に置かれた場合の反射率

R<sub>g</sub>：下地の反射率

R<sub>∞</sub>：完全隠蔽の分光反射率

ctgh：双曲線関数の一種の双曲線余接

Kubelka-Munk 理論は背景と試料との間に空気層が存在せず，散乱を起こさないという条件下で成立するが，実際に背景と試料との間に空気層が存在しない状態で分光反射率を測定することは困難である。そこで空気層が存在しない条件に近づけるための補正を行う必要があり，Saunderson の補正式<sup>17)</sup> (公式 2) を使用した。

$$R = (R' - k_1) / [(1 - k_1)(1 - k_2) + k_2 \cdot R - k_1 k_2] \quad \text{.....公式 2}$$

R：Kubelka-Munk 理論の理想状態による反射率

R'：実際に分光反射計より求められる反射率

k<sub>1</sub>：境界面における垂直方向の入射光に対する反射率

k<sub>2</sub>：内部で散乱し，表面方向に向かった光が空気との境界面における屈折率の差によって反射され再び内部に戻る反射光

補正を行う際，最初に補正係数0.55を用いた。この補正係数は Duncan がプラスチックやガラスなどの境界面での屈折率が約1.5の物質の吸収係数，散乱係数を算出する際に良い値であると提唱しているが<sup>18)</sup>，プラスチックとシリコン樹脂では物性が異なるため，この0.55が応用可能か分析した。また，Kubelka-Munk 理論の同色であれば厚径が変化しても吸収係数・散乱係数は変化しないという理論より，補正係数を変化させ，厚径の異なる吸収係数，散乱係数の値が近似する補正係数を模索した。

### 3) 混色試料の色調予測

各色，各厚径の2色の混色試料12種類を単色試料と同様に白背景，黒背景で測色し，得られた分光反射率より，各混色試料の反射率を求め実測値とした。

Duncan の式<sup>19)</sup>を応用して，単色試料の各厚径における吸収係数，散乱係数から混色試料の予測吸収係数と予測散乱係数を求めた (公式 3)。

$$(K/S)_{\text{mix}} = (K_1 \cdot P_1 + K_2 \cdot P_2 + K_i \cdot P_i) / (S_1 \cdot P_1 + S_2 \cdot P_2 + \dots S_i \cdot P_i) \quad \text{.....公式 3}$$

K：吸収係数

S：散乱係数

P：混合割合

次にこの予測吸収係数と予測散乱係数を用いて予測分光反射率を算出し (公式 4)，それを予測値とした。

$$K/S = (1 - R_\infty)^2 / 2 R_\infty \quad \text{.....公式 4}$$

K：吸収係数

S：散乱係数

R<sub>∞</sub>：完全隠蔽の分光反射率

### 4) 色差の算出

分光反射率と予測分光反射率を基に3刺激値 X, Y, Z および CIELAB 表色系の明度成分である L\*, 色味成分である a\*, b\* を算出し, これらの値を CIE 色差式に代入し色差 dE を算出した。

$$dE = [(dL^*)^2 + (da^*)^2 + (db^*)^2]^{1/2}$$

.....公式 5

### 結 果

1. 単色試料の吸収係数, 散乱係数の分析結果  
Saunderson の補正式に補正係数 0.55 を用い, Kubelka-Munk 理論の空気層が存在しない条件に近似させ吸収係数, 散乱係数を算出す

ると, 顔料の色調により係数の範囲が異なっていた。試料厚径を3段階に変化させた状態での最小値と最大値を表すと, Br の吸収係数は0.46~1.76で散乱係数は0.08~0.52, W の吸収係数は0.001~0.081で散乱係数は0.353~0.695, Y の吸収係数は0.003~1.105, Bl の吸収係数は0.044~0.686, 散乱係数は0.029~0.136, R の吸収係数は0.005~0.407という値が算出された。

Kubelka-Munk 理論の空気層が存在しない条件に, より近似した吸収係数, 散乱係数を求めるため Saunderson の補正式を応用したところ, 各色の補正係数 Br : 0.70, W : 0.70, Y : 0.65, Bl : 0.58, R : 0.60 が得られた (Fig. 2 ~

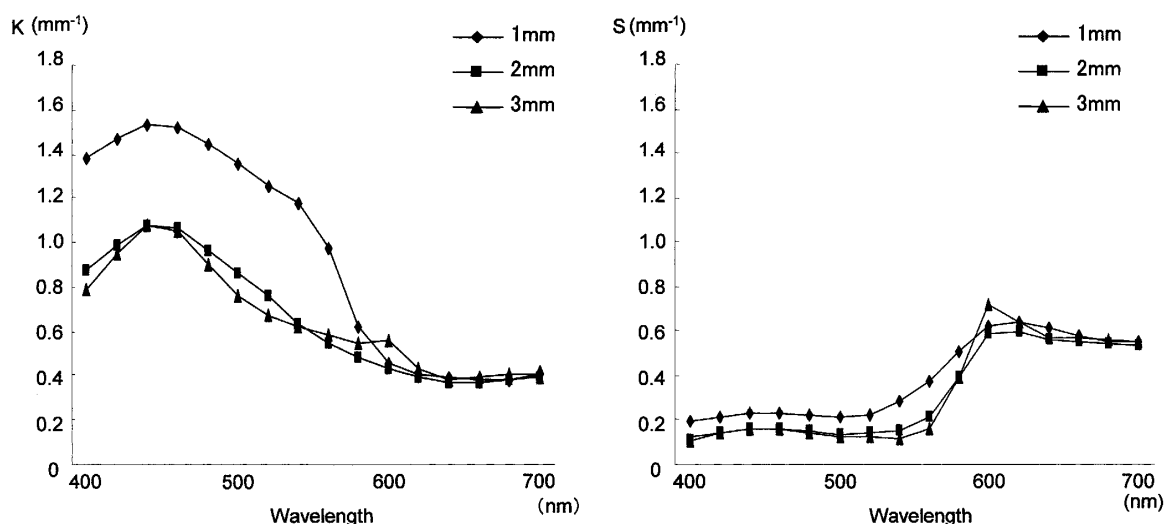


Fig. 2. An absorption coefficient and a scattering coefficient using a revision coefficient of 0.70 (between 400-700nm) (brown)

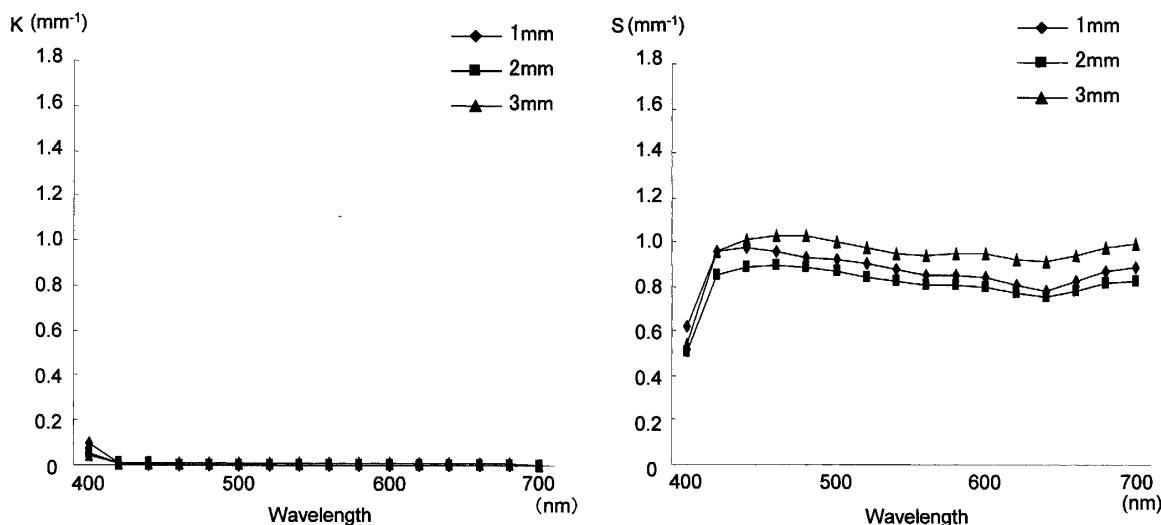


Fig. 3. An absorption coefficient and a scattering coefficient using a revision coefficient of 0.70 (between 400-700nm) (white)

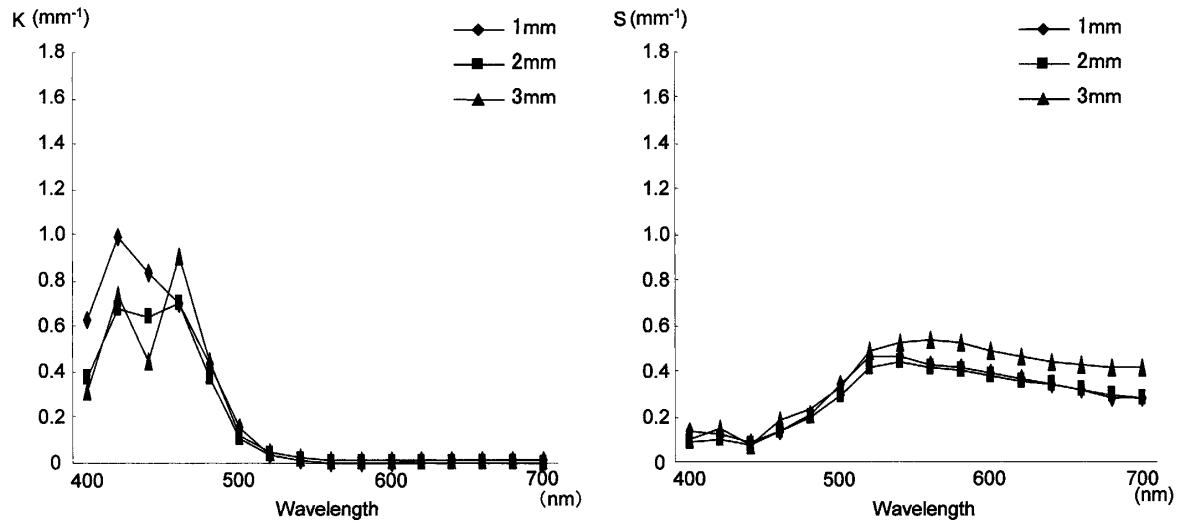


Fig. 4. An absorption coefficient and a scattering coefficient using a revision coefficient of 0.65 (between 400-700nm) (yellow)

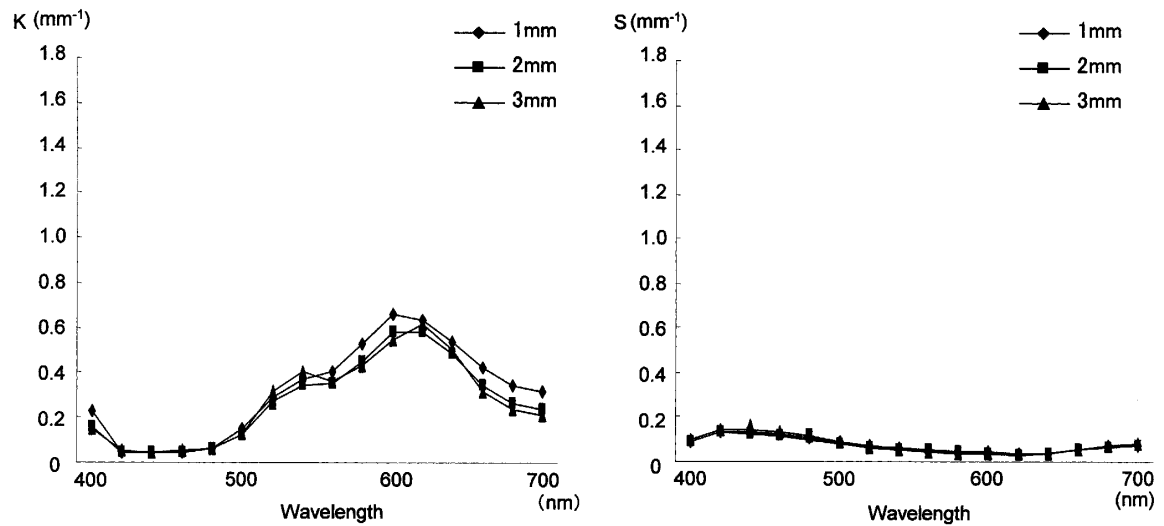


Fig. 5. An absorption coefficient and a scattering coefficient using a revision coefficient of 0.58 (between 400-700nm) (blue)

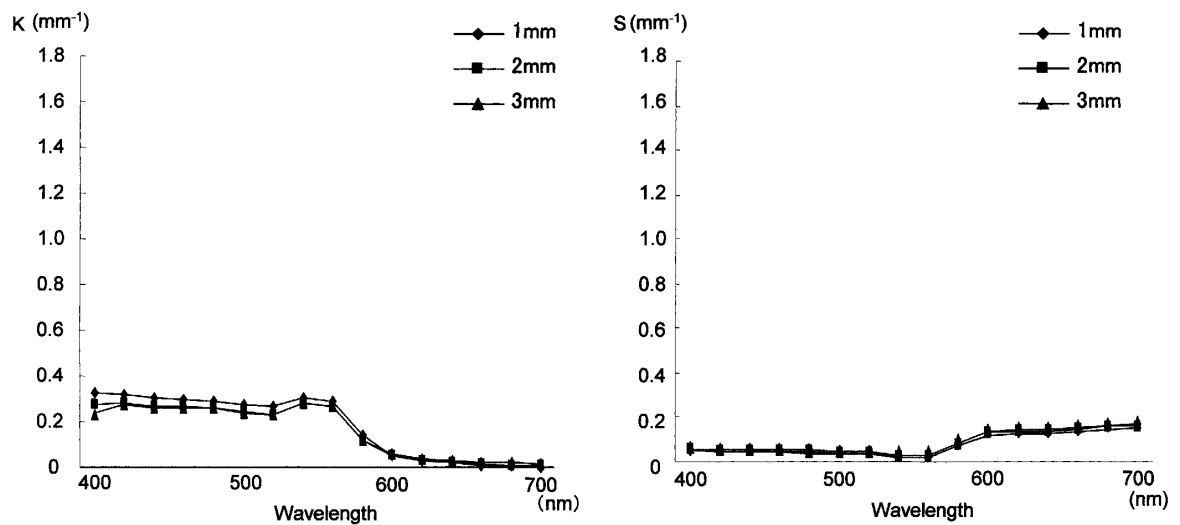


Fig. 6. An absorption coefficient and a scattering coefficient using a revision coefficient of 0.60 (between 400-700nm) (red)

Table 1. Color difference  $\Delta E$  between calculated and  $R_{90}$  for mixture — reasonable revision coefficient

	Thickness of monotone sample for K&S calculation	White-Brown			White-Yellow			White-Blue			White-Red		
		Thickness of mixture			Thickness of mixture			Thickness of mixture			Thickness of mixture		
		1 mm	2 mm	3 mm	1 mm	2 mm	3 mm	1 mm	2 mm	3 mm	1 mm	2 mm	3 mm
1 mm	12.63	12.47	12.97	11.68	12.81	11.74	19.59	18.63	18.38	11.65	10.81	11.74	
2 mm	19.11	19.11	19.12	14.98	16.27	15.03	19.26	19.28	19.04	13.02	12.22	13.18	
3 mm	21.73	21.78	22.21	18.87	20.33	18.94	21.98	21.43	21.18	14.11	14.06	14.04	

Table 2. Color difference  $\Delta E$  between calculated and  $R_{90}$  for mixture — rule revision coefficient

	Thickness of monotone sample for K&S calculation	White-Brown			White-Yellow			White-Blue			White-Red		
		Thickness of mixture			Thickness of mixture			Thickness of mixture			Thickness of mixture		
		1 mm	2 mm	3 mm	1 mm	2 mm	3 mm	1 mm	2 mm	3 mm	1 mm	2 mm	3 mm
1 mm	6.55	6.78	7.14	4.25	4.38	4.27	11.95	10.97	10.71	5.83	5.10	6.05	
2 mm	13.82	14.05	14.01	8.09	9.27	8.09	14.00	13.20	12.93	6.97	6.23	7.20	
3 mm	17.33	17.58	17.92	12.91	13.97	13.97	16.28	15.82	15.56	9.36	9.13	10.10	

6)。

## 2. 混色色調の予測

顎顔面シリコーン材料の混色色調の予測精度を検討した結果、Saundersonの補正係数を各色の補正係数 Br : 0.70, W : 0.70, Y : 0.65, Bl : 0.58, R : 0.60とし、各厚径の単色試料から算出した吸収係数と散乱係数をDuncanの式に代入し色調予測を行った。厚径1mmの試料では予測値と実測値の平均色差は13.76, 最大色差19.59, 最小色差11.65であった。また厚径2mmの試料の場合には平均色差は16.75, 最大色差19.28, 最小色差12.22, 厚径3mmの試料の場合には平均色差18.66, 最大色差22.21, 最小色差14.04であった。

同様に、Saundersonの補正係数を0.55として、色調予測を行った。厚径1mmの試料では予測値と実測値の平均色差は6.77, 最大色差11.95, 最小色差4.25であった。また厚径2mmの試料の場合には平均色差は10.71, 最大色差

14.05, 最小色差6.23, 厚径3mmの試料の場合には平均色差14.24, 最大色差17.92, 最小色差9.13となった (Table. 1 - 2)。

## 考 察

### 1. 本実験の臨床的意義

顎顔面補綴材料のシリコーン樹脂を審美的な自然感のある色調に再現するため、本材料の光学特性をとらえることは色調構築に有効な手段になると考える。

また、種々の顔料を混合することで新たに作り出された色調を客観的に予測し、それを再現できれば、顎顔面補綴装置を製作する際に有効な活用法と考えられる。

本研究では白背景と黒背景で測定した測定試料から得られた分光反射率を基にKubelka-Munk理論により16波長の吸収係数と散乱係数を求め、光学特性の分析を行った。

Kubelka-Munk理論は物質表面が背景に対し完全に密着しており、また、空気層が存在し

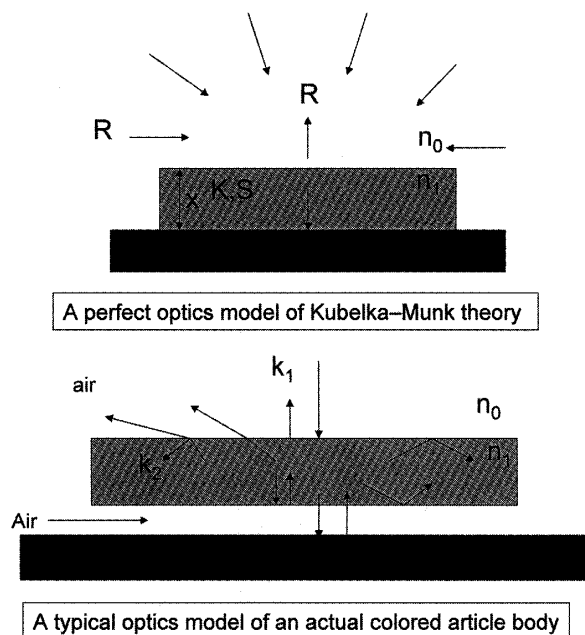


Fig. 7. A perfect optics model of Kubelka-Munk theory and A typical optics model of an actual colored article body

ないという条件下で成立し、ある吸収係数と散乱係数をもつ厚さ  $X$  の物体が、反射率  $R_g$  の物体の上に置かれた場合の反射率  $R$  を求める方法である。また、試料厚径が変わった場合でも吸収係数、散乱係数に変化が起こらない。

しかし、本実験では試料や背景との界面には空気層が存在し、測色試料と空気層との界面で散乱が生じる<sup>18), 20)</sup> (Fig. 7)。本研究では試料厚径を変化させると吸収係数と散乱係数に変化が生じている。このように Kubelka-Munk 理論の限界を超えているため、Saunderson の補正式を使用し、補正する必要がある。

本研究では、まず補正值として Duncan の提唱する 0.55 を採用した。さらに反射率を背景と試料との間に空気層が存在しない条件に近づけるよう補正するため補正值を 0.50~0.80 の範囲で変化させ、シリコン試料の厚みを 3 段階に変化させたときの吸収係数、散乱係数がともに最も近似する値を模索した。この時の補正值についても分析した。また、半透明性に基因する光学特性の不安定さを検討するため、3 段階にシリコン樹脂の厚さを変えて分析した。この分析結果を基にして算出した吸収係数、散乱係

数を基礎データとし、シリコン樹脂の混色色調を Kubelka-Munk 理論、および Duncan の公式を用いて予測した。

これらの基礎データは顎顔面補綴装置の製作に際し、その操作性の向上に大きく貢献するものと考えられる。

## 2. 本実験の妥当性について

本来、Kubelka-Munk 理論では、分析試料の厚径が変化しても吸収係数と散乱係数は一定の値を示すはずであるが、実測値では厚径の違いにより影響を受けていた。しかも、その影響は混合した顔料の色により異なる。これは顔料をシリコン樹脂に混合することにより濁りのある混色系の色調となり、単純計算が成立しないためである。微細な粒子である顔料がシリコン樹脂中に分散していると、顔料の大きさ、形態、分散状態、光の屈折、散乱・吸収などの要因が均一でないために色調に影響する。

本研究で試料厚径を 1, 2, 3 mm に設定したのは、顎顔面補綴装置と皮膚との境界部は薄くなるため色調再現時が困難と予想して決定した。

## 3. 使用材料に関して

現在、顎顔面補綴材料はシリコン系の材料が主流となっている。実験に使用した顎顔面シリコン樹脂材料は付加型シリコンラバーである。本材料は顔料の混合が容易で、安定性も良く、無色透明なため顔料の光学特性が直に顎顔面補綴の色彩に反映される。生物学的にも無害で、室温でも重合するため加熱による顔料の変化など物理的、化学的安定性を損なわない。したがって顎顔面補綴材料の合理的色調を図るための基礎実験を行う上で適した材料と判断した。

## 4. 混色の予測精度について

今回の研究で使用したシリコン樹脂材料は、補正值 0.55 を用いた場合の混色予測精度の方が、吸収係数、散乱係数が近似した時の補正

係数を用いた場合よりも良い算出結果となった。これは単色試料にとって適しているが、混色することにより元と異なった色調となり、各色が有する吸収係数と散乱係数にずれが生じ、さらには正反射率も変化を来したものと理解できる<sup>17)</sup>。このため単色試料に対して整合性が良い補正係数を混色試料に用いた場合よりも、色調には関係なく半透明体という特性を考慮した補正值0.55を用いた場合の方が良好な色調予測を得る結果となったものとする。

3段階の中で良い結果を得た厚径1mmの測色試料から算出した吸収係数、散乱係数を用いた場合が平均色差6.77、最大色差11.95、最小色差4.25という精度で予測が可能であった。

しかし、この最小色差4.25という値は、臨床的にみて満足できる予測精度とは考えにくい。口腔内における色差の許容範囲は3.7~3.8以下であると言われている<sup>21-22)</sup>。特に、口腔内に比べて色調の違いを感じやすい顔面皮膚表面、顎顔面補綴装置間での色差をさらに小さくすることが求められ、今後、顔料の割合を変化させることや、顔料を希釈して混色を行うなど、継続して検討していかなければならない課題と考えている。

## 結 論

顎顔面補綴材料であるシリコン樹脂と顔料の色彩学および光学的性質を知るために吸収係数、散乱係数について分析した結果、以下の結論を得た。

1. 材料の厚径の違いにより、Kubelka-Munk理論を応用して算出した吸収係数、散乱係数に差異を生じた。

2. Duncanの公式により試料厚径を1mm、補正係数を0.55とした場合、平均色差6.77、最大色差11.95、最小色差4.25の精度で混色色調予測が可能であった。

この稿を終えるにあたり、終始ご懇篤なるご指導とご校閲を賜りました石橋寛二教授に深甚なる謝意を表します。また懇切なるご指導いただきましたハーバード大学歯学部永井成美先

生に厚く御礼申し上げます。最後に、ご援助、ご協力いただきました岩手医科大学歯科補綴学第二講座の方に心よりお礼申し上げます。

なお、本論文の要旨は第83回 IADR (平成17年3月, ボルティモア) および第22回日本顎顔面補綴学会総会 (平成17年6月, 東京) において発表した。

## 文 献

- 1) Thomas, D. Taylor.,: Clinical Maxillofacial Prosthetics. Quintessence Publishing, Hanover Park, pp 1-13, 2000.
- 2) 菊田ひとみ, 中村広一, 山田恵里子, 瀬戸暁一: エピテーゼ装着患者の治療経過における面接およびアンケート調査の結果について, 顎顔面補綴, 3: 105-107, 1980.
- 3) Beumer III, J., Curtis, T. A. and Firtell, D. N.: Maxillofacial rehabilitation, Prosthodontic and susical considerations. Mosby, St. Louis, pp323-370, 1979.
- 4) Laney, W.R.: Maxillofacial prosthetics. PSG, Littleton, pp279-307, 1979.
- 5) Reisberg, D. J., Kent, K., Ratzlaff, E.: Techniques for coloring facial prostheses 顎顔面補綴, 7: 117-122, 1984.
- 6) Kiat-Amnuay S, Lemon JC, Powers JM.: Effect of opacifiers on color stability of pigmented maxillofacial silicone A-2186 subjected to artificial aging. *J Prosthodont.* 11(2): 109-116, 2002.
- 7) Lemon JC, Chambers MS, Jacobsen ML, Powers, JM.: Color stability of facial prostheses. *J Prosthet Dent.* 74(6): 613-618, 1995.
- 8) Johnston WM. Ma T. Kienle BH.,: Translucency parameter of colorants for maxillofacial Prostheses. *Int J Prosthodont.* 8: 79-86, 1995.
- 9) 根本ふみ子, 石川成美, 古川良俊, 佐藤理一郎, 河原木千佳子, 石橋寛二: 色彩判別能力に関する検討, 岩医大歯誌, 12: 224-225, 1987.
- 10) 石川成美, 古川良俊, 伊藤創造, 中里登紀子, 根本ふみ子, 佐藤理一郎, 山岸 篤, 和賀浩幸, 畠山康人, 河原木千佳子, 石橋寛二: 歯肉の測色に関する基礎的研究-測色装置および測色条件について-, 補綴誌, 32: 462-470, 1988.
- 11) 石川成美, 佐藤理一郎, 古川良俊, 石橋寛二: 歯科用陶材に関する色彩学的検討-散乱係数, 吸収係数の特性について-, 補綴誌, 34: 585-591, 1990.
- 12) Shigemi Ishikawa-Nagai, Riichiro Sato, Kazutoshi Furukawa and Kanji Ishibashi: Using a computer color-matching system in color reproduction of porcelain restorations. Part 1: Application of CCM to the opaque layer, *Int. J. Prosthodont.* 5: 495-502, 1992.
- 13) Shigemi Ishikawa-Nagai, Riiehiro Sato, Fut-



- oshi Sawafuji, Kanji shibashi: Using a Computer Color Matching System in Color Reproduction of Porcelain Restorations. Part 2 : Color Reproduction of Stratiform - Layered Porcelain Samples. *Int. J. Prosthodont.* 6 : 522-527, 1993.
- 14) Shigemi Ishikawa-Nagai, Riiehiro Sato, Akira Shiraishi, Kanji Ishibashi: Using a Computer Color Matching System in Color Reproduction of Porcelain Restorations. Part 3 : A Newly Developed Spectrophotometer Desined for Clinical Application. *Int. J. Prosthodont.* 7 : 50-55, 1994.
- 15) Kubelka P, Munk F. Ein Beitrag zur Optik der Faban striche. *Z. tech. Phys.* 12 : 593-601, 1931.
- 16) Kubelka P. New contributions to the optics of intensely light scattering materials. *J. Opt. Soc. Am.* 38 : 448-457, 1948.
- 17) Saunderson, J.L.: Calculation of the color of pigmented plastics, *J. Opt. Soc. Am.* 32 : 727-736, 1942.
- 18) 村田幸夫 : 色彩技術ハンドブック, 総合技術センター, 東京, 241-300ページ, 1990.
- 19) Duncan, D.R. : The color of pigment mixtures, *Proc. Phys. Soc.* 52 : 390-401, 1940.
- 20) Judo, D.B., Wyszecki, G.: Color in Business, Science and Industry. John Wiler & Sons, Inc, New York, pp313-329, 1975.
- 21) O'Brien, W.J., Groh, C.L., Boenke, K.M.:A new, Small-color-difference equation for dental shades. *J. Dent. Res.* 69 :1762-1764, 1990.
- 22) Johnston, W.M., Kao, E.C.: Assessment of appearance match by visual observation and clinical colormetry. *J. Dent. Res.* 68 : 819 -822,1989.