原 著 論 文

陶材焼付金属冠の色調に関する基礎的研究

—ビタ陶材の測色における中川製作所製デンタルカラー
アナライザーと日立社製カラーアナライザーの比較—

村上 智子 寺田 善博 南原 賢一 伊古野良一

Basic Studies on Colorimetry of Porcelain Fused to Metal Crown

—Comparison of Dental Color Analyzer (Nakagawa) and Color Analyzer
(Hitachi) on the Color of Vita Porcelain—

Tomoko Murakami, Yoshihiro Terada, Kenichi Minamihara and Ryoichi Ikono

Abstract : Recently, shade matching between the teeth and dental porcelain has been investigated in the field of esthetic dentistry.

This study compared two types of spectrophotometers, a precise machine (HITACHI color analyzer 607) and simple machine (Dental color analyzer), for studying the color of Vita dental porcelain.

Our conclusions are as follows :

1. X, Y, Z values of porcelain after baking dentin were larger than those after baking enamel in the case of using color analyzer 607, while X, Y, Z values using Dental color analyzer recorded reverse order.
2. CIE color coordinates of porcelain after baking enamel were approached a neutral point.
3. It was difficult to decide color of C shade in the case of using Dental color analyzer.
4. CIE a*b* color coordinates recorded lower values after baking enamel than after baking dentin.
5. Dental color analyzer has high reliability and usability.

Key words : tristimulus values, color analyzer, dental porcelain, spectrophotometric reflection ratio

I. 結 言

従来、臨床における shade matching はもっぱら shade guide を用いた術者の主観的な判断に任されてきた。Culpepper は4種類の shade guide と4種類の光源を用いて天然歯の shade matching を行った結果、歯科医により選んだ色は異なり同一個人でも再現性がないことを報告している¹⁾。また太田は、天然歯と人工歯の各

種光源下で測色した場合の色のずれと、ある光源下で等色した天然歯と人工歯の組合せが、光源が変わった場合どのように変わるかを定量的に報告している²⁾。これらのことは、中川製作所製デンタルカラーアナライザーを応用することで、そのプロセスを客観的にし、定量化することを可能にしたといえる。しかし、現在一般に用いられているビタ VMK 68 ポーセレンと中川製作所製デンタルカラーアナライザーによる測色結果との相関関係についてはあまり明らかにされていない。われわれは、す

図1 デンティン焼成後の X, Y, Z

で中川製作所製デンタルカラーアナライザーならびに日立社製カラーアナライザー 607 型機を用いた測色結果に関する報告をしている³⁻⁷⁾。杉村らは、ビタ VMK 68 ポーセレンの各色オベーク陶材の色調については日立社製カラーアナライザー 607 型機だけを使用して報告した⁵⁾。そこで今回われわれは、16 色のビタ VMK 68 ポーセレンを、三刺激値直読法による簡便な測色法である中川製作所製デンタルカラーアナライザーと、分光比反射

率を用いた精度の高い日立社製カラーアナライザー 607 型機で測色し、両者間の関係を調べ検討した。

II. 研究方法（材料と方法）

金属試料は陶材焼付用ニッケルクロム合金（サンキン社製ニクロムボンド）を用い松風アルゴンキャストにて casting し、12 mm×16 mm の金属板を 80 枚作製した。

図 2 エナメル焼成後の X, Y, Z

この試料を耐水ペーパー（理研 CC-120）で研磨し、マイクロメーターを用いて同一試料について4カ所厚みを測定しその差が $10\mu\text{m}$ 以内になるように調製した。さらにサンドブラスト処理後アセトンにて超音波洗浄を行い、ビタ VMK 68 ポーセレンのオペーク陶材、デンティン陶材、エナメル陶材をおのおの0.3, 0.5, 0.2 mm となるように通法に従って各色5枚ずつ焼成した。

陶材の色調測定には、デンティンおよびエナメル焼成

後に、日立社製カラーアナライザー 607 型機（以下 607 型機と略す）と中川製作所製デンタルカラーアナライザー（以下デンタルカラーアナライザーと略す）を用い、1枚の試料について $6\text{mm}\times 8\text{mm}$ の範囲を測色した。

得られた試料の反射率から三刺激値 (X, Y, Z), CIE 色度座標 (x, y), CIE 1976 均等知覚空間の明度指数 (L^*), 知覚色度指数 (a^* , b^*) を求めるプログラムを作成し、色差計算、色度座標のデータ処理を行った。色差

図 3 CIE 色度座標 x, y のデンティン焼成後（左）とエナメル焼成後（右）

式としては NBS 単位で表されている $\Delta E_{ab^*}=0.92$
 $[(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2]^{1/2}$ を用いた⁸⁾。色差判定基準
 値として中川⁹⁾、宮内¹⁰⁾らは色差値 4 を、指宿ら¹¹⁾は色差
 値 2 を用いている。われわれは Stearns¹²⁾ の報告やこれ
 までの研究から色差値 1.5 を色差判定の目安とした。

III. 結 果

図 1, 2 は 607 型機とデンタルカラーアナライザーで
 測色したデンティン焼成後、およびエナメル焼成後の
 X, Y, Z を表したものである。607 型機ではデンティン
 焼成後(図 1)とエナメル焼成後(図 2)の X, Y, Z の
 値を比較するとエナメル焼成後の値のほうがやや低い値

□ 607 型機 ▨ デンタルカラーアナライザー

図 4 明度指数 L^* の平均値のデンティン
 焼成後(左)とエナメル焼成後(右)

表 1 明度指数 L^* の平均値と標準偏差
(デンティン焼成後)

	DENTIN 焼成後	
	607 型機	デンタルカラーアナライザー
A1	77.814 (0.841)	59.266 (1.526)
A2	77.392 (0.425)	62.484 (1.229)
A3	75.570 (0.176)	61.348 (0.524)
A3.5	71.188 (0.508)	51.728 (0.742)
A4	71.320 (0.226)	49.064 (1.274)
B1	76.533 (0.501)	59.565 (1.974)
B2	75.700 (0.118)	59.219 (0.696)
B3	74.380 (0.270)	55.737 (0.853)
B4	73.445 (0.184)	55.631 (0.464)
C1	74.340 (0.489)	60.599 (1.259)
C2	71.807 (0.623)	49.254 (1.849)
C3	70.586 (0.392)	43.178 (5.126)
C4	66.797 (0.404)	38.665 (2.472)
D2	73.619 (0.472)	54.748 (3.208)
D3	72.724 (0.430)	55.735 (0.924)
D4	72.232 (0.608)	51.331 (0.920)

表 2 明度指数 L^* の平均値と標準偏差
(エナメル焼成後)

	ENAMEL 焼成後	
	607 型機	デンタルカラーアナライザー
A1	75.116 (0.740)	67.913 (0.634)
A2	75.370 (0.351)	70.596 (0.420)
A3	73.394 (0.339)	64.039 (3.675)
A3.5	69.741 (0.497)	59.733 (0.631)
A4	69.567 (0.159)	58.239 (0.777)
B1	74.043 (0.258)	69.830 (0.736)
B2	73.018 (0.313)	66.350 (0.577)
B3	71.913 (0.461)	63.779 (0.762)
B4	71.601 (0.361)	62.573 (0.607)
C1	72.160 (0.615)	63.241 (3.632)
C2	69.605 (0.388)	55.493 (3.280)
C3	69.114 (0.235)	56.978 (0.637)
C4	65.661 (0.302)	47.601 (2.908)
D2	71.293 (0.217)	64.748 (0.411)
D3	70.868 (0.177)	62.753 (0.428)
D4	70.126 (0.366)	59.538 (0.455)

を示したが、ほとんど差はみられなかった。一方デンタルカラーアナライザーではエナメル焼成後(図2)のほうがデンティン焼成後(図1)よりもすべての値について大きくなった。また X, Y, Z の値の変化は各シェード

内ではほぼ同じ傾向を示しているが、デンタルカラーアナライザーの方が数値的な差が著明に現れた。

図3はデンティン焼成後とエナメル焼成後の CIE 色度座標の平均値をシェード別にプロットしたものである。607型機、デンタルカラーアナライザーのどちらも、デンティン焼成後よりエナメル焼成後の方が、プロットした座標は基準点(標準 C $x=0.3101$, $y=0.3162$)に近くなり、同シェード間の色度座標間距離が短くなった。

図4は、各シェードにおける L^* の平均値を横軸にプロットしたものである。各シェードともデンティン焼成後の値よりもエナメル焼成後の方が、607型機とデンタルカラーアナライザー間の値の差が小さかった。

表1, 2はデンティン焼成後とエナメル焼成後の各シェードの L^* の平均値と標準偏差を示したものである。エナメル焼成後の A1 以外はすべて、607型機に比べるとデンタルカラーアナライザーの標準偏差が大きいのがわかった。

図5は607型機とデンタルカラーアナライザーのデンティン焼成後とエナメル焼成後の知覚色度指数 a^* , b^* の平均値をプロットしたものである。各シェードのエナメル焼成後の値はデンティン焼成後の値よりも a^* , b^* ともマイナスよりになった。A シェードと B シェードではシェード番号が大きくなるほど a^* , b^* ともプラスよりにプロットされた。C シェードではデンティン焼成後とエナメル焼成後のいずれの場合も C2, C3 の a^* の値の差は小さく、また C2, C3, C4 の b^* の値の差は小さかった。D シェードでは a^* の値にほとんど差はなかった。

表3, 4は607型機とデンタルカラーアナライザーの、デンティン焼成後とエナメル焼成後の各シェード間の色差を表したものである。607型機では同系シェード間において A3.5 と A4, C2 と C3, D2 と D3 との間に色差が認められなかった。また、デンタルカラーアナライザーでは同系シェード間において、デンティン焼成後に C2 と C3 の間で色差が認められなかった。エナメル焼成後では C2 と C3 の色差は $\Delta E=1.96$ で、ほかと比べるとかなり低いことがわかった。

IV. 考 察

臨床上における shade matching は、色を観察する際の条件や能力に関係してくる。川瀬の報告では、被験者の識別能力は個人によって異なるとしている¹³⁾。現在一

図 5 知覚色度指数 a^* , b^* のデンティン
焼成後(左)とエナメル焼成後(右)

一般的に使用されている既製の shade guide は、再現性の点で天然歯に match させることは難しい。つまり色の定量化が重要であることがわかる。

1. 試料について

試料は作製条件の違いによる色の変化の影響をなくすために、使用したポーセレンファーマネス (GC 社製 PY-ROMAT FA-Ⅲ), 昇温速度, 減圧度はすべて同一条件で行った¹⁴⁾。また、術者間の個人差をなくすために同術

表 3 607 型機のデンティン焼成後とエナメル焼成後の色差 ΔE

DENTIN 焼成後 607 型機															
	A2	A3	A3.5	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D2	D3	D4
A1	3.833	6.048	10.150	10.551	1.196	3.644	7.624	10.594	3.423	6.659	7.941	10.758	4.272	5.352	6.803
A2		2.515	7.150	7.435	4.229	1.823	4.187	7.021	3.907	5.165	6.326	9.794	4.045	4.466	4.859
A3			4.708	4.985	6.087	2.652	1.684	4.571	4.673	3.996	4.819	8.424	4.332	4.043	3.402
A3.5				0.858	9.804	6.559	3.146	2.632	7.553	4.468	3.895	6.237	6.756	5.706	3.848
A4					10.255	6.999	3.353	2.414	8.077	5.070	4.546	6.635	7.214	6.226	4.392
B1						3.502	7.556	10.538	2.560	5.969	7.221	9.832	3.499	4.606	6.233
B2							4.103	7.058	2.273	3.642	4.879	8.314	2.488	2.824	3.554
B3								3.005	5.798	4.018	4.406	7.815	5.222	4.589	3.264
B4									8.674	6.262	6.081	8.839	8.053	7.226	5.537
C1										3.452	4.678	7.440	1.297	2.132	3.826
C2											1.291	4.778	2.689	1.456	0.832
C3												3.828	4.778	2.675	1.543
C4													6.526	5.589	5.087
D2														1.239	2.977
D3															1.860

ENAMEL 焼成後 607 型機															
	A2	A3	A3.5	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D2	D3	D4
A1	3.489	5.148	7.857	8.892	1.254	3.869	6.186	8.671	2.856	5.770	6.341	9.099	4.135	4.417	5.917
A2		2.335	5.840	6.574	3.359	2.204	3.767	5.835	3.943	5.341	5.755	8.852	4.337	4.424	4.844
A3			3.578	4.260	4.621	1.583	1.487	3.635	4.256	4.083	4.285	7.350	4.043	3.805	3.249
A3.5				1.246	7.032	4.089	2.112	2.650	5.810	3.385	3.010	5.067	4.965	4.381	2.473
A4					8.064	5.068	2.832	2.313	6.910	4.505	4.130	5.676	5.984	5.479	3.595
B1						3.250	5.468	8.116	1.746	4.738	5.347	7.979	2.933	3.317	4.940
B2							2.337	4.877	2.758	3.236	3.601	6.802	2.841	2.586	2.749
B3								2.784	4.639	3.384	3.397	6.235	4.048	3.642	2.368
B4									7.356	5.679	5.433	7.707	6.786	6.296	4.663
C1										3.089	3.712	6.254	1.429	1.674	3.488
C2											0.657	3.618	2.184	1.466	1.053
C3												3.300	2.838	2.114	1.094
C4													5.155	4.765	4.148
D2														0.844	2.583
D3															1.937

者が築盛を行い、同一色については同時に焼成を行った。これらの操作により、陶材の色調の再現性を高くしたと考えられる。

2. 測色方法について

測色に使った 607 型機は、白光拡散光で試料を照明し、その垂直方向の反射光を分光測光することにより、色物体の分光比反射率ならびに分光比透過率を測定することができ、デンタルカラーアナライザーは円形同軸ファイバーの中心ファイバー 3φmm より照射光を入射さ

せ、試料内部に入って透過、吸収されなかった残りの散乱再帰反射光を、環状の外側ランダムファイバーに捕束することによって三刺激値を求める。607 型機は標準白色板の分光比反射率曲線において経時的なブレがみられるので、絶対反射率に近い分光比反射率を得るため、毎回試料の測定時に補正を行った。その結果、測定誤差は小さいと思われる。

3. 測色結果について

三刺激値 (X, Y, Z) については、607 型機がデンティ

表 4 デンタルカラーアナライザーのデンティン焼成後とエナメル焼成後の色差 ΔE

	DENTIN 焼成後 デンタルカラーアナライザー														
	A2	A3	A3.5	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D2	D3	D4
A1	8.493	10.720	15.924	19.171	1.173	6.285	10.218	18.335	1.932	11.760	12.651	17.111	2.618	5.893	12.049
A2		2.734	11.734	15.167	9.514	3.522	6.641	11.836	7.070	12.202	12.698	18.122	6.354	6.899	10.350
A3			9.688	13.021	11.817	4.854	5.597	9.175	9.463	11.709	12.021	17.382	8.341	7.684	9.329
A3.5				3.673	17.062	10.747	6.079	5.180	15.585	7.475	6.948	10.561	13.555	10.117	4.791
A4					20.285	14.281	9.308	6.486	18.989	9.573	8.850	10.452	16.821	13.310	7.597
B1						7.425	11.373	19.507	2.667	12.671	13.576	17.865	3.769	6.992	13.111
B2							5.285	12.316	5.231	9.341	9.955	15.448	4.014	3.694	8.073
B3								8.591	9.871	6.544	6.828	11.865	7.705	4.788	4.265
B4									17.530	12.317	11.918	15.690	15.808	13.124	9.347
C1										12.200	13.035	17.912	2.573	6.000	12.058
C2											0.941	6.259	10.180	6.461	3.046
C3												5.806	11.015	7.250	2.925
C4													15.785	12.312	8.271
D2														3.830	9.989
D3															6.199

	ENAMEL 焼成後 デンタルカラーアナライザー														
	A2	A3	A3.5	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D2	D3	D4
A1	6.869	9.322	14.402	16.690	1.908	5.647	12.292	16.448	1.337	10.233	12.195	17.714	4.107	6.207	11.322
A2		3.860	11.594	13.781	7.273	4.098	8.168	11.863	6.652	10.974	12.592	18.835	6.728	7.706	10.458
A3			8.041	10.108	10.297	4.206	4.396	8.011	8.601	9.180	10.386	16.494	7.344	7.204	7.867
A3.5				2.440	16.035	9.156	3.829	4.321	13.178	6.642	6.071	10.427	10.669	8.811	4.120
A4					18.328	11.504	5.769	4.417	15.460	8.455	7.472	10.353	12.863	10.974	6.036
B1						7.046	13.669	17.798	3.231	12.124	14.085	19.608	5.924	8.063	13.121
B2							6.707	10.857	4.680	7.001	8.737	14.997	3.468	3.771	6.956
B3								4.158	11.244	7.651	8.056	13.546	9.126	7.867	5.409
B4									15.398	10.624	10.334	14.512	13.204	11.790	8.080
C1										8.898	10.859	16.425	2.839	4.883	10.011
C2											1.962	8.076	6.389	4.186	2.601
C3												6.428	8.325	6.115	2.729
C4													13.930	11.896	8.656
D2														2.222	7.362
D3															5.239

ン焼成後よりエナメル焼成後の値が大きくなったのに対して、デンタルカラーアナライザーはデンティン焼成後の値の方が大きくなった。これは測色原理の違いによるものと考えられる。しかし、どちらも各シェード間での値の変化は、同じ傾向を示した。またデンタルカラーアナライザーの方が各シェード内での数値的な差が大きく現れていることから、臨床上的、隣接する近似したシェードの選択が容易であると思われる。

物体色の色表示は一般に明るさ Y の値と、色度座標 x, y の値で表され、Y は標準白色板の明るさに対する試

料物体の明るさを、 $100 \times Y$ として % で表す。

また色度座標 x, y は

$$x = X / (X + Y + Z)$$

$$y = Y / (X + Y + Z)$$

によって求められ、こうして求められた色度座標 x, y を CIE 色度図上にプロットすることによりその色度が実際にどのような色を表しているかが確認できる⁸⁾。

図 3 に示すように、デンティン焼成後とエナメル焼成後と比較すると色度 x, y は 607 型機とデンタルカラーアナライザーのどちらもエナメル焼成後に低い値を示し

た。またデンタルカラーアナライザーの方がデンティン焼成後とエナメル焼成後の座標の変化が大きく、同シェード間の番号の違いによる変化も大きかった。

また、明度指数 L^* の平均値を表した図4をみると、デンティン焼成後とエナメル焼成後の結果で607型機とデンタルカラーアナライザーは同じ傾向を示しているが、デンタルカラーアナライザーの同シェード間での数値的な差が大きかった。つまり、デンタルカラーアナライザーは臨床においてシェード選択が容易であることを意味している。

表1, 2に示すように607型機とデンタルカラーアナライザーでは、デンタルカラーアナライザーの方がほとんどの場合において大きな標準偏差を示している。シェード別にみると、C系統のシェードが、ほかの系統のシェードに比べて標準偏差が大きい。このことは他のシェードに比べてCシェードを測色する場合、デンタルカラーアナライザーでは計測値のバラツキが大きくなることを示しており、Cシェード間の選択がより困難であることを示唆していると考えられる。

図5は知覚色度指数 (a^* , b^*) の平均値をプロットしたものである。デンティン焼成後とエナメル焼成後と比較してみると、エナメル焼成後には a^* , b^* ともマイナスの方向にシフトしている。シェード別にみるとAシェードとBシェードでは、シェード番号が大きくなるほど、 a^* , b^* ともプラスの方向に位置する。CシェードではC2, C3のシェード間での a^* の値にはほとんど差がなく、C2, C3, C4のシェード間では b^* の値に差がみられない。

また、表3, 4からC2とC3の間には色差が認められないことがわかる。

ビタ VMK 68 ポーセレンではC2とC3のオペーク陶材とエナメル陶材に同じものを使っているということからも、Cシェード間におけるシェードの色調が近似していることを示している。つまり、Cシェード間における色調の選択は困難であると考えられる。DシェードではD2, D3, D4で a^* の値にあまり差がない。一般に、臨床で使用されているVita社製shade guideは、系統別にAシェードにbrownish, Bシェードにyellowish, Cシェードにgrayish, Dシェードにreddishの色調傾向を有しているといわれている¹⁵⁾。このことから、Dシェードがreddishな色調を持っているため a^* の値にあまり差が現れなかったと考えられる。

V. 結 論

1. デンティン焼成後とエナメル焼成後のX, Y, Zの値を比較すると、607型機ではデンティン焼成後よりも、エナメル焼成後のX, Y, Zの値の方が小さく、デンタルカラーアナライザーでは、エナメル焼成後の方がX, Y, Zすべてに大きな値を示した。

2. CIE色度座標上では、607型機もデンタルカラーアナライザーもデンティン焼成後よりエナメル焼成後の方がより基準点に近い座標をとり、同シェード内の色度座標間距離は短くなった。

3. L^* , a^* , b^* の各シェード間の比較では、Cシェードにおいてデンタルカラーアナライザーの L^* の標準偏差値が大きくなり、さらにC2とC3では a^* の差が小さく、C2, C3, C4では b^* の差が小さくなった。これはデンタルカラーアナライザーによるCシェード内の色調選択が困難であることを示唆している。

4. エナメル焼成後はデンティン焼成後より、 a^* , b^* ともにマイナスよりにプロットされた。 L^* ではデンタルカラーアナライザーの値が大きくなった。

5. デンタルカラーアナライザーの方が、607型機よりも同シェード間の数値の値が大きくなることから、臨床上のシェード選択が容易であると考えられる。

本論文の要旨は平成2年度日本補綴歯科学会九州支部会(1990年9月2日, 長崎)において発表した。

試料作製に協力して頂いた村上研究所に感謝致します。

文 献

- 1) Culpepper, W.D.: A comparative study of shadematching procedures, J Prosthet Dent, 24: 166~173, 1970.
- 2) 太田忠興: 各種の照明光源下における歯冠色の見えに関する研究, 口病誌, 50: 450~465, 1983.
- 3) 寺田善博, 姫野孝枝, 平安亮造ほか: 線爆溶射法によるレジン前装冠の色調に関する研究, 補綴誌, 25: 576~581, 1981.
- 4) 寺田善博: 陶材焼付金属冠の色調に関する基礎的研究—下地金属の違いによるオペーク陶材の色調について—, 補綴誌, 29: 1270~1283, 1985.
- 5) 杉村直子, 寺田善博, 前山茂樹ほか: 陶材焼付金属冠の色調に関する基礎的研究—ビタオペーク陶材の色調について—, 補綴誌, 32: 1033~1041, 1988.
- 6) 寺田善博, 杉村直子, 平安亮造: 陶材焼付金属冠の色調に関する基礎的研究—セラムコオペーク陶材の色調について—

- て一, 補綴誌, 33 : 409~415, 1989.
- 7) 寺田善博, 前山茂樹, 村上智子ほか: 陶材焼付金属冠の色調に関する基礎的研究—デンティン陶材層がオパーク陶材層の金属色遮蔽効果に与える影響—, 補綴誌, 33 : 577~581, 1989.
- 8) 日本色彩学会編: 新編色彩科学ハンドブック, 東京大学出版会, 東京, 1980.
- 9) 中川喜博: 歯冠色分析に関する研究, 補綴誌, 19 : 109~130, 1975.
- 10) 宮内修平: 歯科における色彩学, 日歯医師会誌, 40 : 552~561, 1987.
- 11) 指宿真澄, 大田忠興, 木村益巳ほか: 歯冠色の条件等色に関する研究, 補綴誌, 27 : 1120~1128, 1983.
- 12) Stearns, E.I. : What's new in spectrophotometry : progress of spectrophotometry in the textile industry to 1951, Am Dystuff Report, 40 : 563~574, 1951.
- 13) 川瀬誓子: 視感比色による陶材色の識別—光源および背景による影響—, 補綴誌, 28 : 608~621, 1984.
- 14) 吉田 皓: 陶材の色に関する測色的研究, 補綴誌, 16 : 245~267, 1972.
- 15) 中川喜晴, 丸山剛郎, 下総高次: 陶材補綴におけるシェイドセレクション (色調選択) に関する研究 第1報 各種シェイドガイドの構成分析について, 補綴誌, 19 : 144~157, 1975.