

原 著

ジルコニアとポーセレンの焼付け強さに与える焼成温度の影響

羽 田 詩 子 藤 原 周

Influence of firing temperature on the bond strength
between zirconia core and veneering porcelains

HATA UTAKO, FUJIWARA SHU

ジルコニアと4種のベニヤポーセレン (Cerabian CZR) SS (シェードベースステイン), TX (トランスルーセント), TX+A⁺ (TX に A⁺ (インターナルステイン) を混ぜたもの) および SB (シェードベース) との間の結合強度に対する焼成温度の影響を評価することを目的としてこの研究に着手した。

それぞれのレイヤリングポーセレンについて、メーカーの推奨温度と推奨温度 -30℃, 推奨温度 +30℃で焼成し比較した。

マイクロテンサイル焼付け強度試験の結果から Fisher の多重比較検定をした結果, SS と TX+A⁺ では推奨温度より 30℃低い温度で焼成した場合, 有意に接着強さが低下することが示唆された。

キーワード: ジルコニア, ポーセレン, 焼成温度, 焼き付け強さ

The aim of this study was to evaluate the influence of firing temperature on the bond strength between zirconia and 4types veneering porcelains (Cerabian CZR), SS (Shade base stain), TX (Trancerucent), TX+A⁺ (mixture TX and A⁺ (Internal stain)) and SB (Shade base); the latter was fused to the former at the manufacture's recommended firing temperature, and at a temperature 30°C below or above the temperature. Fisher's multiple comparison tests showed that with SS and TX+A⁺, the micro-tensile bond strength was significantly smaller when fired at a temperature 30°C below the recommended temperature.

Key words : Zirconia, porcelain, Firing temperature, Bond strength

緒 言

歯科用ジルコニアが日本において2005年に歯科医療用材料に認証されて以来, 現在までに多くのシステムが市販され, 臨床応用されている。当初はコア材 (コーピング材料) として, 高強度, 高靱性を有する従来型といわれる Y-TZP ジルコニアが用いられ, その上にポーセレンをレイヤリングしてクラウンを製作する方法が主流であった¹⁻⁴⁾。

しかし, 2011年にはアルミナ含有量を0.05wt%に低下させた高透光性 TZP により白歯にモノリシック

ジルコニアクラウン, 2014年にはイットリア含有量を5mol%増加して透過性をさらに改善した高透光性 PSZ により前歯にモノリシックジルコニアクラウンが応用可能となった。さらに, 2015年以降, 各メーカーから積層型のディスクが発売されたことにより, より審美的なクラウンがモノリシッククラウンで製作可能となってきた²⁻⁴⁾。

しかしながら, 高透光性 PSZ は従来型と比較して透光性は高いものの強度は半分程度であること, さらに上顎6前歯を一度に製作するケースには積層型のディスクを使用したモノリシッククラウンが適応とな

るが、上顎中切歯1歯のみに対し反対側の天然歯に模倣したクラウンを製作するケースなどには、切端の透明感やキャラクターの表現が必要であり、ポーセレンをレイヤリングする方法が選択されることなどから、レイヤリング法は現在でも臨床に応用され、審美修復治療において重要な位置にある。

臨床においてY-TZPジルコニアクラウンは、コア材自体は高強度ではあるもののその上部にレイヤリングされたポーセレンの剥離、破損が報告されている⁵⁻⁷⁾。その原因として焼付け界面での結合状態⁸⁾、残留応力⁹⁾、材料間の熱伝導率の違い⁸⁾、フレームデザインによる応力集中¹⁰⁾などが考えられる。

この原因の1つである焼付け界面での結合状態について着目し、焼成温度を高くすることにより、酸素元素が焼付け界面のポーセレン側からジルコニア側へ偏位するという報告¹¹⁾から、焼成温度を高くすると焼付け強さを高めることができると仮定した。

そこで今回、ジルコニア上にレイヤリングされるポーセレンの種類およびその焼成温度の違いが焼付け強さに及ぼす影響について検討することにより、臨床で起こる偶発症を減少させることにつながると考えこの研究に着手した。

方 法

1. ジルコニア試料

イットリウム系(Y-TZP)ジルコニアLAVA(3MESPE)の直径18mm円柱焼結ブロックから厚さ4mmの半円柱ブロックを切り出した。

表面を耐水研磨紙で#2000まで研磨し、50 μ mの酸化アルミニウムでサンドブラスト(2気圧、距離3cm、10秒)処理後、アセトン中で10分間超音波洗浄し、スチーマー処理を行い、各種ポーセレン(Cerabiam ZR, クラレノリタケデンタル)をレイヤリングした。

2. レイヤリングパウダーの種類

ジルコニア表面に最初に使用するポーセレンは、支台歯の色やコーピングの色、表現したい色によって使い分けられる。

支台歯の条件を考慮し、ジルコニアに最初にレイヤリングするパウダー(Cerabiam ZR, クラレノリタケデンタル)は、次の4種類とした(図1)。

SS(シェードベースステイン): オペークで支台歯色をマスキングするときに使用。

TX(トランスルーセント): 支台歯色を利用するときに使用。

TX+A⁺(TXにA⁺(インターナルステイン)を混ぜたもの): 支台歯色を利用するが色を変えるときに使用。

SB(シェードベース): 不透明でオペークに近く支台歯色をマスキングするときに使用。

組成はいずれも類似し、二酸化ケイ素72.0~74.5%, 酸化アルミニウム11.6~12%, 酸化ナトリウム7.8~7.9%, 超酸化カリウム7.0~7.3%である。

異なるところは、蛍光性はSB:2.9%に対し他は0.7%, 顔料はSB:5.8%, A⁺:9.3%に対しTX:0.27%である。



CERABIEN CZR
SS: Shade Base Stain



CERABIEN CZR
TXA+: Translucent + Internal Stain



CERABIEN CZR
TX: Translucent



CERABIEN CZR
SB: Shade Base

図1: 使用したレイヤリングポーセレン

3. 焼成スケジュール

焼成スケジュールを表に示す (表1).

ポーセレンファーンレスは, EP500 (IVOCCLAR VIVADENT) を使用し, 常に同じファーンレス, 炉内

の同じポジションに設置し, 1 回に1つずつ焼成した.

ポーセレンファーンレス, 炉内のポジションの違いにより焼成状態が異なり, その温度差は 20 ~ 40°C 程度であるという報告¹²⁾ から, 焼成温度の設定は推奨温

表 1: 焼成スケジュール

種類 (+条件温度)	回数	S	B	t ↑	V	V1	V2	H	T
① SS -30	1~2	5分	700°C	65°C/min	○	700°C	1060°C	1分	<u>1060°C</u>
	3~4	7分	600°C	45°C/min	○	600°C	930°C	1分	930°C
	5 (グレース)	5分	600°C	50°C/min	×	-	-	30分	930°C
② SS	1~2	5分	700°C	65°C/min	○	700°C	1090°C	1分	<u>1090°C</u>
	3~4	7分	600°C	45°C/min	○	600°C	930°C	1分	930°C
	5 (グレース)	5分	600°C	50°C/min	×	-	-	30分	930°C
③ SS +30	1~2	5分	700°C	65°C/min	○	700°C	1120°C	1分	<u>1120°C</u>
	3~4	7分	600°C	45°C/min	○	600°C	930°C	1分	930°C
	5 (グレース)	5分	600°C	50°C/min	×	-	-	30分	930°C
④ TX -30	1~2	5分	600°C	45°C/min	○	600°C	900°C	1分	<u>900°C</u>
	3~4	7分	600°C	45°C/min	○	600°C	930°C	1分	930°C
	5 (グレース)	5分	600°C	50°C/min	×	-	-	30分	930°C
⑤ TX	1~2	5分	600°C	45°C/min	○	600°C	930°C	1分	<u>930°C</u>
	3~4	7分	600°C	45°C/min	○	600°C	930°C	1分	930°C
	5 (グレース)	5分	600°C	50°C/min	×	-	-	30分	930°C
⑥ TX +30	1~2	5分	600°C	45°C/min	○	600°C	960°C	1分	<u>960°C</u>
	3~4	7分	600°C	45°C/min	○	600°C	930°C	1分	930°C
	5 (グレース)	5分	600°C	50°C/min	×	-	-	30分	930°C
⑦ TX+A ⁺ -30	1~2	5分	600°C	45°C/min	○	600°C	900°C	1分	<u>900°C</u>
	3~4	7分	600°C	45°C/min	○	600°C	930°C	1分	930°C
	5 (グレース)	5分	600°C	50°C/min	×	-	-	30分	930°C
⑧ TX+A ⁺	1~2	5分	600°C	45°C/min	○	600°C	930°C	1分	<u>930°C</u>
	3~4	7分	600°C	45°C/min	○	600°C	930°C	1分	930°C
	5 (グレース)	5分	600°C	50°C/min	×	-	-	30分	930°C
⑨ TX+A ⁺ +30	1~2	5分	600°C	45°C/min	○	600°C	960°C	1分	<u>960°C</u>
	3~4	7分	600°C	45°C/min	○	600°C	930°C	1分	930°C
	5 (グレース)	5分	600°C	50°C/min	×	-	-	30分	930°C
⑩ SB -30	1~2	5分	600°C	45°C/min	○	600°C	900°C	1分	<u>900°C</u>
	3~4	7分	600°C	45°C/min	○	600°C	930°C	1分	930°C
	5 (グレース)	5分	600°C	50°C/min	×	-	-	30分	930°C
⑪ SB	1~2	5分	600°C	45°C/min	○	600°C	930°C	1分	<u>930°C</u>
	3~4	7分	600°C	45°C/min	○	600°C	930°C	1分	930°C
	5 (グレース)	5分	600°C	50°C/min	×	-	-	30分	930°C
⑫ SB +30	1~2	5分	600°C	45°C/min	○	600°C	960°C	1分	<u>960°C</u>
	3~4	7分	600°C	45°C/min	○	600°C	930°C	1分	930°C
	5 (グレース)	5分	600°C	50°C/min	×	-	-	30分	930°C
⑬ PFM (control)	1~2	6分	550°C	80°C/min	○	550°C	980°C	1分	<u>980°C</u>
	3~4	6分	580°C	55°C/min	○	580°C	920°C	1分	920°C
	5 (グレース)	2分	600°C	55°C/min	×	-	-	30分	930°C

S : 乾燥時間, B : 焼成開始温度, t ↑ : 昇温速度, V 真空

V1 真空開始温度, V2 真空解除温度, H : 係留時間, T : 焼成温度 (太字 : 推奨温度)

度および推奨温度 $\pm 30^{\circ}\text{C}$ の設定とした。

②はSSAをレイヤリング後、推奨温度である 1090°C で2回焼成し(1回目, 2回目)①はそれよりも 30°C 低い 1060°C , ③は 30°C 高い 1120°C で焼成した(①:SSA-30, ②:SSA, ③:SSA+30)。

その後全体で4mmの厚さになるように、ポディポーセレン(AB), エナメルポーセレン(LT)をレイヤリング焼成し(3回目), エナメルポーセレンをレイヤリング焼成し(4回目), 5回目のグレース焼成まで行った。

最初のジルコニアとの焼付けの温度のみ $\pm 30^{\circ}\text{C}$ 変更し, その後の焼成スケジュールは同じものとし, すべてメーカー指示の推奨温度で, 臨床に近い状態で行った。

④⑤⑥のTXについても④:TX-30(900°C), ⑤:TX(推奨温度 930°C), ⑥:TX+ 30°C (960°C)とし, その後のスケジュールはSSと同一とした。

⑦⑧⑨のTX+A⁺, ⑩⑪⑫のSBについても⑦TX+A⁺- 30°C , ⑧TX+A⁺, ⑨TX+A⁺+ 30°C , ⑩SB- 30°C , ⑪SB, ⑫SB+ 30°C と同様に焼成した。

4. コントロール

コントロールとしてPFM (porcelain fused metal)を想定した⑬陶材焼付け用金合金(Ceramic W, Ivoclar vivadent Williams)上に, 金属焼付けポーセレン(Creation, Will Geller Creation)を推奨温度でレイヤリング, 焼成した(表1)。

5. 走査型電子顕微鏡による観察

切断面(界面に対して垂直に切断)を耐水研磨紙#4000まで研磨し, 観察試料を製作し, 走査型電子顕微鏡(SEM)(S-4500, 日立製作所)を用いて, 接合界面を観察した(コントロールを除く)。

6. エネルギー分散型X線分析装置による分析

走査電子顕微鏡で観察しながら対象物を探し, エネルギー分散型X線分析装置(上記SEM装置に付属の機器)を用いてSEM観察試料の元素分析をした。

7. 焼き付け強さの試験

ジルコニアとポーセレンの焼き付け強さを調べるために, マイクロテンサイル焼き付け強さの試験を行った。

ポーセレンを焼成したジルコニア試料を焼成1週間後より, 1mmの厚さに低速ダイヤモンド切断機MPC-200(ムサシノ電子)を用いて切り出し被着面積が $1\text{mm}\times 1\text{mm}$ の角柱試料を製作した(図2)。

製作した角柱試料をステンレス製ホルダーにアクリル系接着剤で固定した。

万能試験機(EZ-Graph, 島津製作所)を用いて, クロスヘッドスピード $1\text{mm}/\text{min}$ で引張り, 破断時の最大荷重から焼き付け強さを求めた(図2)。

試料数は, 各条件2個ずつの半円柱ブロックから角柱試料を切り出し, その中から各条件で8~12程度を試験に使用した。そして, 焼き付け強さを分散分析後, 群間の有意差検定をFisherのPLDSで行い, $P < 0.05$ で有意差を判定した。

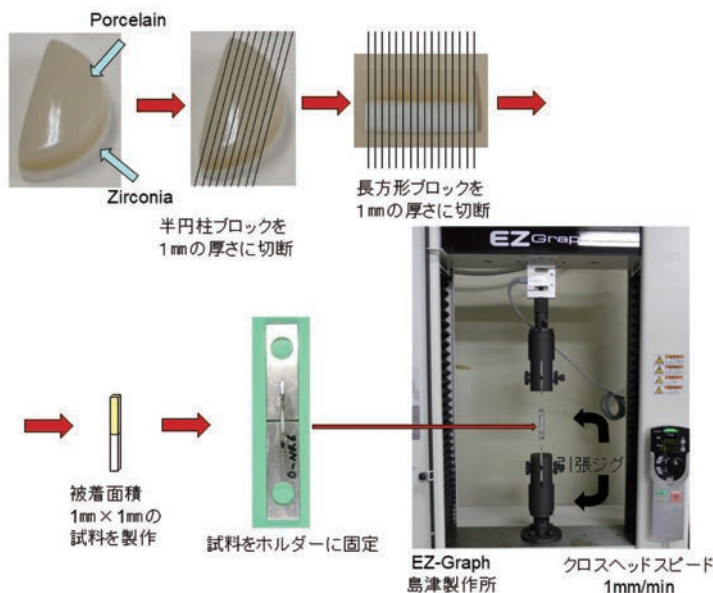


図2: 焼き付け強さの試験方法

結 果

1. 走査型電子顕微鏡による観察

SS (①②③), TX (④⑤⑥), TX+A+ (⑦⑧⑨), SB (⑩⑪⑫) の切断界面 (ジルコニアとポーセレンの接合界面) のSEM像 (×5000) を示す (図3, 4). ジルコニアとポーセレンの間に隙間は認められない. 中には気泡がポーセレンの内面および, ジルコニアの界面に存在するものも認められた.

2. エネルギー分散型 X 線分析装置による分析

②のSS A を推奨温度により焼成した試料の断面の焼付け界面を観察すると (図5), Si, O, K, Na, Zr が示された.

界面が不明瞭に感じられ, ジルコニアとポーセレン

が良好に焼き付けられていることが推測される.

界面付近上方 (ポーセレン側) では (図6), Si, O, Al, Na, K, 下方 (ジルコニア側) では (図7), Zr, O, Si が認められた.

3. 焼付け強さの試験

レイヤリングポーセレンの種類の間には, 焼付け強さに有意な差は認められなかった.

すべてのポーセレンにおいて推奨温度よりも +30℃ が数値では一番高い焼付け強さを示したが, 推奨温度と +30℃ の間に有意な差は認められなかった.

最初のポーセレンがSS A では, ① SS A-30 と③ SS A+30 の間に, TX+A+ では⑦ TX+A+-30 と⑧ TX+A+ および, ⑦ TX+A+-30 と⑨ TX+A++30 において, いずれも -30℃ のものが危険率5%で有意に焼付け強さは低下した.

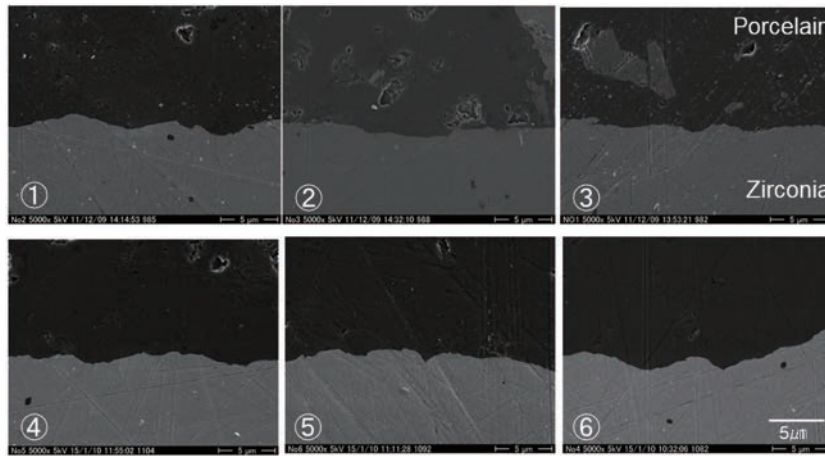


図3: ジルコニアとポーセレンの接合界面のSEM像 (1) ① SS 推奨温度 -30℃, ② SS 推奨温度, ③ SS 推奨温度 +30℃, ④ TX 推奨温度 -30℃, ⑤ TX 推奨温度, ⑥ TX 推奨温度 +30℃

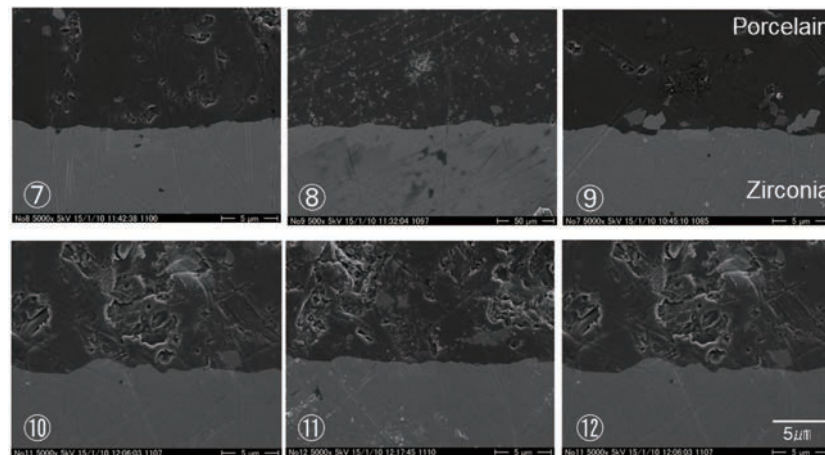


図4: ジルコニアとポーセレンの接合界面のSEM像 (2) ⑦ TX+A+ 推奨温度 -30℃, ⑧ TX+A+ 推奨温度, ⑨ TX+A+ 推奨温度 +30℃, ⑩ SB 推奨温度 -30℃, ⑪ SB 推奨温度, ⑫ SB 推奨温度 +30℃

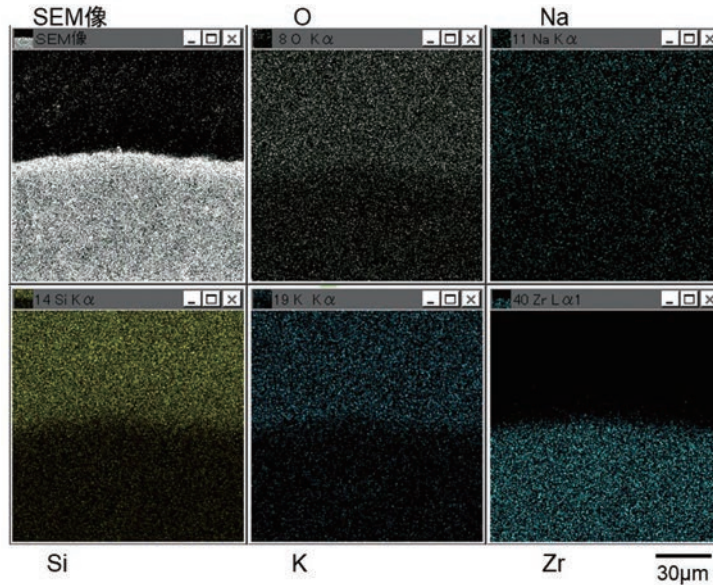


図5：ジルコニアとポーセレンの接合界面のSEM像とEDXによる元素のマッピング像（SSA推奨温度）

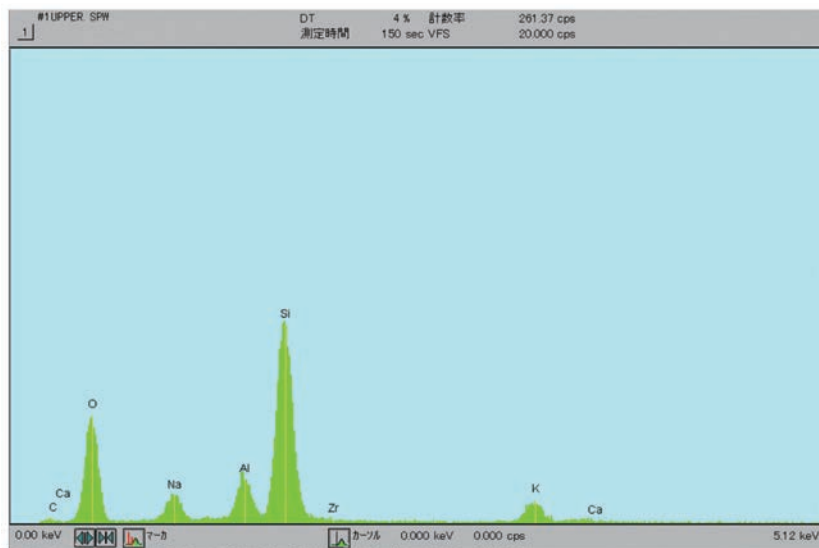


図6：EDXによるジルコニアとポーセレンの元素分析（ポーセレン側）（SS推奨温度）

TX およびSB Aにおいては、焼成温度による影響は認められなかった（図8）。

陶材焼付け用合金に推奨温度でレイヤリングした⑬とジルコニアにレイヤリングし、推奨温度で焼成した②⑤⑧⑪の間には焼付け強さに有意な差は認められなかった（図9）。

試験後の試料破断面の観察から、ほとんどの試料でジルコニアとポーセレンおよび金属とポーセレンは、界面破壊ではなくポーセレンの凝集破壊を示した。

考 察

審美性、生体親和性に優れるオールセラミックレストレーションは、臨床で高い評価を得るようになってきた。オールセラミッククラウンのコア材（フレーム材料）として使用されるいわゆる高強度セラミックスには、リユースイト、二ケイ酸リチウム、酸化アルミナ、ジルコニアなどがあるが、その上にポーセレンをレイヤリングしてクラウンを完成させる²⁾。

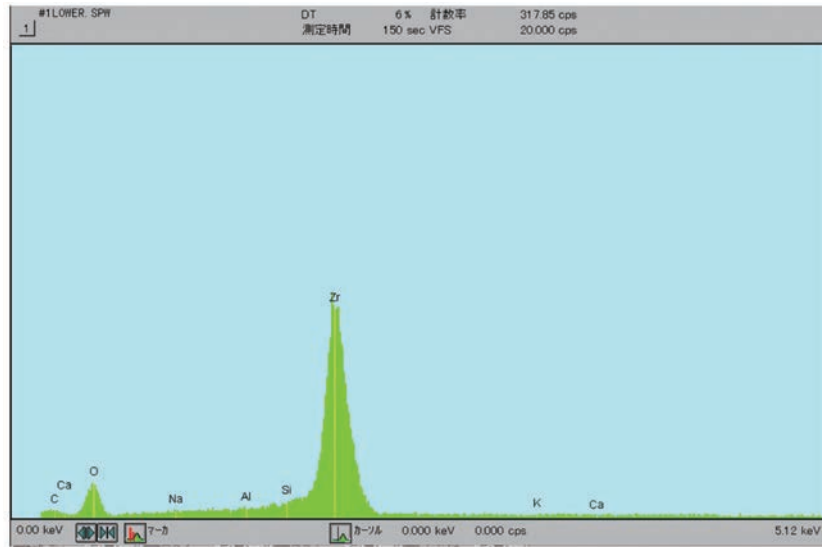


図7：EDXによるジルコニアとポーセレンの元素分析（ジルコニア側）（SS 推奨温度）

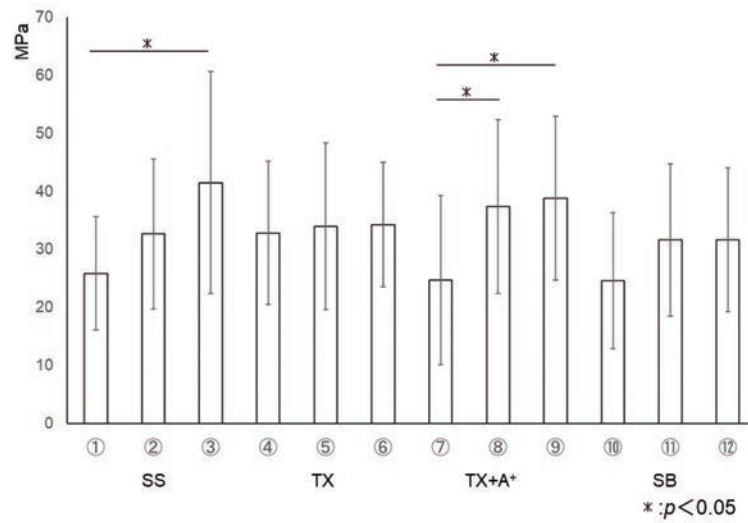


図8：マイクロテンスイル焼付け強さ（1）

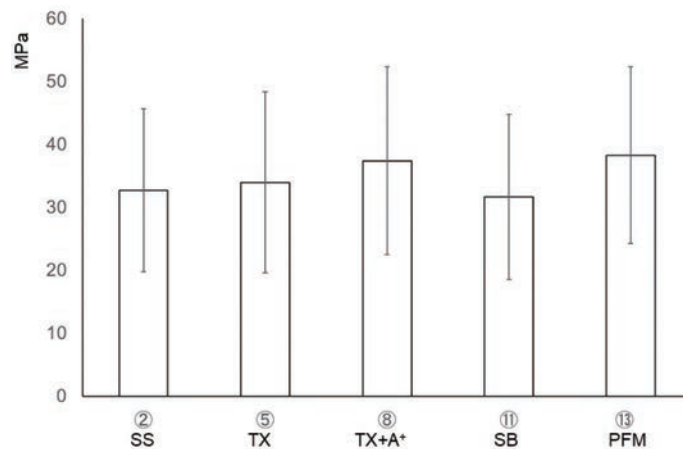


図9：マイクロテンスイル焼付け強さ（2）推奨温度によるPFMとの比較

この高強度コア材のなかでも、近年ジルコニアは特に注目され広く臨床応用されている。ジルコニアの素材自体の改良、材料の改良、技術の向上と、年々著しい発展を遂げているが、それに伴い臨床応用するにあたり、正しい知識を得る必要がある^{2, 4, 13)}。

コア材として使用される Y-TZP ジルコニアは、強度は高いものの、それはクラウン自体の臨床的予後には結びつかず、レイヤリングポーセレンの剥離、破損の原因の1つとして焼付け界面での結合状態が考えられ、ポーセレンとの焼付け強さが重要であると考えられる¹⁴⁻¹⁷⁾。

オールセラミッククラウンを製作するにあたり、表現したい色調、支台歯の色調、ジルコニアコア材の色調など多くの要素により、レイヤリングポーセレンが選択される^{14, 15)}。

そこで重要となるのが、ジルコニアコア材の上に最初にレイヤリングするポーセレンである。支台歯の色が表現したいものより濃い場合は、それを遮蔽するポーセレンパウダーを使用し、支台歯の色が明るく、それを利用して使いたい場合は、透明なポーセレンパウダーを使用するなど、症例に合わせた選択が必要となる。

本実験で使用したレイヤリングポーセレンは、臨床で繁用されるものであり、オペークとして支台歯色を隠したいときに使用するシェードベースステイン (SS)、支台歯色を遮蔽せずに光を回し内面からの色を引き出したいときに使用するトランスルーセント (TX)、トランスルーセント (TX) にインターナルステイン (A⁺) を混ぜたもの (TX+A⁺)、支台歯色をマスクしたいときに使用する不透明でオペークに近いシェードベース (SB) の4パターンである。

これらの組成は近似しているため、ポーセレンパウダーの種類による接着焼付け強さには有意差は認められなかった。歯科において長い歴史のある PFM の焼付け強さとの間にも有意差が認められないことからジルコニアへのポーセレンの焼付け強さは十分にありと考える¹⁵⁾。

最初に使用するポーセレンの焼成温度の違いによる焼付け強さについて、すべてのポーセレンにおいて推奨温度よりも 30℃ 高いものが数値からは一番高い焼付け強さを示したが、推奨温度と +30℃ の間に有意な差は認められなかった。TX および SB においては ±30℃ の間では有意差がなかった。SS では、焼成温度が -30℃ と焼成温度が +30℃ の間に有意な差が認められ、TX+A⁺ では焼成温度が -30℃ では、推奨温度と +30℃ に焼付け強さは有意に低下した。

このことから、推奨温度と比較して 30℃ 高い場合の

焼付け強さは同等であるが、ポーセレンの種類によっては 30℃ 低くすると焼付け強度が低下することがあり、焼成温度の設定が焼付け強さに影響することが分かった。ポーセレンファーンエス、炉内のポジションの違いにより焼成状態が異なり、その温度差は 20～40℃ 程度であるという報告¹²⁾からも、それぞれのファーンエスの特性を熟知して使用することが重要である。

焼成温度を高くすることにより、酸素元素が焼付け界面のポーセレン側からジルコニア側へ偏位するという報告¹¹⁾から、焼成温度を高くすると焼付け強さを高めることができると仮定したが、焼成温度を 30℃ 高くしても焼付け強さに有意な差はなかった。

走査型顕微鏡およびエネルギー分散型 X 線分析装置による観察より、ジルコニアとポーセレンの間に隙間は認められず、試験後の試料の観察からもジルコニアとポーセレンおよび金属とポーセレンは界面破壊ではなくポーセレンの凝集破壊を示し、またこれらの間に焼付け強さの有意な差が認められなかったことからジルコニアは金属の場合と同等な十分な焼付け強さをもつことが推測された。

Seto ら¹¹⁾は、焼付け界面の EPMA 元素分析より、ポーセレン側からジルコニア側への酸素元素の拡散およびジルコニア表層で焼成界面からの高酸素含有量の層の形成が観察されているが、本実験では明確な層は観察できなかったが他の元素と比較し、酸素元素がジルコニア側に拡散していることは伺えた。

その他、ジルコニアとポーセレンの焼付け界面での結合強度に与える要因として、ジルコニア表面の粗さ、ジルコニアの熱処理、ライナーポーセレンの使用などが考えられる¹⁴⁾。

サンドブラスト処理はジルコニアの表面粗さの増加とポーセレンとの結合強度向上のために行われる^{18, 19)}が、サンドブラストにより結合強度が増加した²⁰⁾という報告と、低下した²¹⁾という両方の報告がある。サンドブラスト処理を行うことにより正方晶相から単斜晶相への変換を誘導し、熱膨張係数が変化することにより結合強度に影響を与える²¹⁻²³⁾。ポーセレンをレイヤリングする前に、ジルコニアの熱処理を行うことにより正方晶に復元させ強度を回復させることができる²³⁾。

ジルコニアの色を遮蔽しセラミックの色調を調整する目的で使用されるライナーポーセレンは、結合強度に影響を与え、結合強度の増加を示すもの¹⁵⁾もあれば、低下を示すもの²³⁾もあるが、本研究ではライナーポーセレンによる影響は認められなかった。

本研究では、ジルコニアとレイヤリングポーセレンの焼付け強さに関して、最初にレイヤリングするポー

セレンの種類と焼成温度に焦点を絞ったが、焼付け強さには、その他の要因が影響すると考えられるため、今後のさらなる検討が必要であると考ええる。

結 論

ジルコニアとレイヤリングポーセレンとの間の結合強度に対する焼成温度の影響を検討した結果、以下の結論を得た。

1. 今回使用した4種のレイヤリングポーセレン間のジルコニアへの焼付け強さに有意な差は認められなかった。
2. 推奨温度よりも焼成温度を30℃高くしても焼付け強さに有意な差は認められなかったが、ポーセレンによっては30℃低いと焼付け強さは低下した。
3. ジルコニアとポーセレンおよび金属とポーセレンの間に焼付け強さの有意な差が認められなかったことからジルコニアは金属の場合と同等な十分な焼付け強さを持つことが推測された。

文 献

- 1) 山崎長郎. エステティッククラシフィケーションズ複雑な審美修復治療のマネージメント (Chapter4 審美修復治療の方法及び材料). 1版. 東京. クインテッセンス出版. 2009. 51-80.
- 2) 羽田詩子. 日高豊彦編. 補綴臨床別冊 長期経過を実現する オールセラミックレストレーション (第3章 CAD/CAM ジルコニアの臨床応用). 1版. 東京: 医歯薬出版; 2016: 140-145.
- 3) 羽田詩子. 上顎前歯部をオールセラミックレストレーションで修復した長期経過症例. 歯科審美. 2018; 30: 157.
- 4) 伴清治. CAD/CAM マテリアル完全ガイドブック臨床に役立つ材料選択と接着操作 (第2章セラミックス系CAD/CAM マテリアル 第1項ジルコニア). 2版. 東京: 医歯薬出版; 2019: 14-56.
- 5) Sax C, Hämmerle CH, Sailer I. 10-year clinical outcomes of fixed dental prostheses with zirconia frameworks. *Int J Comput Dent*. 2011; 14: 183-202.
- 6) Donovan TE. Factors essential for successful all-ceramic restorations. *J Am Dent Assoc*. 2008; 139: 14-18.
- 7) Schwarz S, Schröder C, Hassel A, Bömicke W. Survival and chipping of zirconia-based and metal-ceramic implant-supported single crowns. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2012; 14: 119-125.
- 8) 工藤桃子, 三浦貴子, 菊地聖史, 稲垣亮一, 笠原紳, 佐々木啓一, 依田正信. ジルコニアオールセラミック修復用ベニアポーセレンの破壊靱性に関する研究—フレーム材とポーセレンの焼成条件の影響—. 日補綴会

誌. 2014; 6: 291-299.

- 9) Cheung KC, Darvell BW. Sintering of dental porcelain: effect of time and temperature on appearance and porosity. *Dent Mater* 2002; 18: 163-173.
- 10) Preis V, Letsch C, Handel G, Behr M, Schneider-Feyrer S, Rosentritt M. Influence of substructure design, veneer application technique, and firing regime on the in vitro performance of molar zirconia crowns. *Dent Mater*. 2013; 29: 113-121.
- 11) Seto M, Ueda K, Katsuta Y, Suzuki S, Ozawa M, Outaki R, Hiroyasu K, Watanabe F. Effect of firing temperature on the interface between 3Y-TZP zirconia and porcelain. *J Oral Sci*. 2022; 64: 135-138.
- 12) 高橋久, 岩沢伸之, 会沢雅仁, 柳川和人, 土居一徳, 新谷和美, 岡田愛子. 各種ポーセレンファーンネスによる焼成状態について. 日歯技工誌. 2003; 24: 1-7.
- 13) Miyazaki T, Nakamura T, Matsumura H, Ban S, Kobayashi T. Current status of zirconia restoration. *J Prosthodont Res*. 2013; 57: 236-61.
- 14) Tada K, Sato T and Yoshinari M. Influence of surface treatment on bond strength of veneering ceramics fused to zirconia. *Dental Materials Journal*. 2012; 31: 287-296.
- 15) 新谷明喜, 新谷明一, 黒田聡一. 臨床におけるCAD/CAM ジルコニアセラミックスレストレーションの強度と精度を考察する Part2 レイヤリングポーセレンを焼成したジルコニアセラミックス (Y-TZP) のせん断焼付強さ. 補綴臨床. 2020; 53: 286-295.
- 16) 瀬戸宗嗣, 鈴木翔平, 大滝梨菜, 小澤誠, 廣安一彦, 上田一彦. ジルコニアと陶材の焼付に関する研究. 歯学. 2022; 109: 93-96.
- 17) 小澤誠, 青柳秀一, 渡邊文彦. ジルコニアへの陶材焼き付け界面の分析. 日補綴会誌. 2011; 3: 336-345.
- 18) Luthardt RG, Sandkuhl O, Reitz B. Zirconia-TZP and Alumina-advanced technologies for the manufacturing of single crowns. *Eur J Prosthodont Rest Dent*. 1999; 7: 113-119.
- 19) Aboushelib MN, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Microtensile bond strength of different components of core veneered all-ceramic restorations. Part II: Zirconia veneering ceramics. *Dent Mater*. 2006; 22: 857-863.
- 20) Nakamura T, Wakabayashi K, Zaima C, Nishida H, Kinuta S, Yatani H. Tensile bond strength between colored-porcelain and sandblasted zirconia framework. *J Prosthodont Res*. 2009; 53: 116-119.
- 21) Kim ST, Cho HJ, Lee YK, Choi SH, Moon HS. Bond strength of Y-TZP-zirconia ceramics subjected various surface roughening methods and layering porcelain. *Surf Interface Anal*. 2010; 42: 576-580.

22) Kosmac T, Oblack C, Jevnikar P, Funduk N, Marion L. The effect of surface grinding and sandblasting on flexural strength and reliability of Y-TZP zirconia ceramics. *Dent Mater.* 1999; 15: 116-119.

23) Guazzato M, Quach L, Albakry M, Swain MV. Influence of surface and heat treatments on the flexural strength of Y-TZP dental ceramic. *J Dent.* 2005; 33: 9-18.
