

表面処理法の違いによるジルコニアとハイブリッド セラミックスの接着強さ

宮地 克佳

Effect of Surface Treatment on Adhesion between
Indirect Composite Resins and Zirconia Ceramics

Katsuyoshi MIYAJI

The purpose of this study is to investigate the influence of various surface treatments of zirconia ceramic on the bond strength of indirect composite resin to the ceramic.

As the experimental materials, zirconia ceramic (Aadva Zr, GC) and indirect composite resin (Gradia, GC) were used. The surfaces of the ceramic specimens were treated by one of the following five methods, that is, sandblasting with alumina powder (SB), silane coupling agent treatment (SI), Rocatec system (RP), Itro treatment (IT) and the combination of Itro treatment and silane coupling agent treatment (ITS). After the surface treatment, each specimen was examined by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), then the indirect composite resins were filled up and polymerized on half of the ceramic specimens and shear bond strength between the composite resin and the ceramic was measured. The other half of the specimens were thermocycled 5000 times, then the shear bond strength was measured. After the shear bond strength test, the surface of each specimen was observed by scanning electron microscopy.

The XPS analysis revealed the presence of Si on the surface of RP, IT and ITS specimens. The shear bond strength of the RP and ITS specimens prior to the thermocycling was significantly higher than that of the specimens treated by the other three methods. Moreover, partial cohesive failures were observed on the fracture surface RP and ITS specimens after the strength test.

From the results mentioned above, it was suggested that RP and ITS enhance the adhesion between the indirect composite resin and the zirconia ceramic.

Key words : zirconia, indirect composite resin, surface treatment

緒 言

近年、補綴臨床においては金属アレルギーの患者への対応や、より高い審美性の要求により、オー

ルセラミッククラウンやレジンジャケットクラウンによるメタルフリー修復が普及するようになってきた。

オールセラミック修復は、古くから臨床にとり

受付：平成24年2月28日、受理：平成24年4月24日
奥羽大学大学院歯学研究科咬合機能修復学専攻
(指導：鎌田政善)

Department of Crown-Bridge Prosthodontics, Ohu
University Graduate School of Dentistry
(Director : Masayoshi KAMATA)

いれられてきたが、曲げ強さと破壊靱性に欠点があり、それらを解決すべく多くの研究がなされてきた¹⁻³⁾。その中で注目されたのがジルコニアである。ジルコニアは、高強度、高靱性の材質であり、従来のポーセレンの曲げ強さが100MPa、破壊靱性値が1MPa・m^{1/2}前後であるのに対し、ジルコニアは曲げ強さが1000MPa以上、破壊靱性値も10MPa・m^{1/2}以上と高い強度を示している⁴⁻⁶⁾。さらに、CAD/CAMシステム⁷⁻¹⁴⁾の進歩により、ジルコニアの焼成時の収縮をコンピューターによって制御し、セメントスペースを考慮した μ m単位の設定が可能となっており、高い適合性を得ることができるようになった。これにより、ジルコニアをフレームとしたオールセラミッククラウンやブリッジが臨床へ普及するようになった。しかしながら、フレームに築盛する陶材の機械的特性は、高い硬度により修復物の経年的変化が少ないという利点もあるが、対合する天然歯の咬耗^{15, 16)}等の為害作用が大きな問題としてあげられている。

一方、レジンジャケットクラウンは、フィラーの配合量を増やし、フィラー粒子の形態、大きさを改良したハイブリッドセラミックスを用いることで、高い審美性、強度を得ることが可能となっている。ハイブリッドセラミックスは天然歯と硬度が近似しており、対合歯の咬耗等の為害作用を軽減することができる¹⁷⁾。インプラントの上部構造において、陶材と比較した場合、応力を軽減できるという報告もある¹⁸⁾。しかし、ブリッジに単独で使用するには、強度が不足している^{19, 20)}。

そこで、フレームとして高強度、高靱性のジルコニアを用い、ハイブリッドセラミックスを築盛することで、生体に対する為害作用の少ない、強度に優れた補綴装置の製作が可能ではないかと考えられる。この補綴装置を臨床応用するにあたっては、材料の接着強さ、曲げ強度、フレームの形態や適合性等の検討が必要となる。とくに、接着強さに関しては臨床応用が可能となる強さを得ることが最も重要と考えられる。

これまでにジルコニアとハイブリッドセラミックスの接着に関する報告には、Komineら²¹⁾によって、プライマー使用時に接着強さの向上を認めたと報告があるが、表面処理法による詳細

な報告はない。表面処理法を変えることで接着強さの向上を認めれば、より確実な接着強さを得ることができると考えられる。

本研究では、表面処理法の違いによるジルコニアとハイブリッドセラミックスとの接着強さについて比較検討することを目的とした。

材料と方法

1. 使用材料

本研究に用いた材料について表1に示す。被着体にはジルコニア (AadvaZr ディスク, ジーシー) (表1 a) を用い、築盛する材料はハイブリッドセラミックス (グラディア, ジーシー) (表1 b) を用いた。

2. 表面処理法

ジルコニアの表面処理法は、以下の5条件とした (表2)。

1) アルミナサンドブラスト処理 (平均粒径50 μ m, 噴射圧力0.4MPa, 10秒噴射) のみ (SB)。

2) アルミナサンドブラスト処理後, シランカップリング剤 (エスペジル, ESPE) を塗布したものの (SI)。

3) アルミナサンドブラスト処理後, ロカテックシステム (Rocatec[®]-Plus: 平均粒径110 μ m, 0.28MPa, 10秒噴射) によりシリカコーティングし, シランカップリング剤を塗布したものの (RP)。

4) アルミナサンドブラスト処理後, イトロ処理 (イトロ) したものの (IT)。

5) アルミナサンドブラスト処理後, イトロ処理し, シランカップリング剤を塗布したものの (ITS)。

なお, 全ての試料においてアルミナサンドブラスト処理後に, 精製水中にて超音波洗浄を行った。

3. 表面性状の分析

表面処理後のジルコニア表層に存在する元素を調べるために, X線光電子分光装置 (QUANTUM2000) を用いてXPS分析を行った。試料は, ジルコニアを5×5×3mmに加工し, 耐水研磨紙 #2000まで研磨した。その後, 精製水中にて超音波洗浄した。試料数は, 表面処理法の違いにより, 未処理, SB, SI, RP, IT, ITSの6

表1 実験で使用した材料

		製品名	主な成分
a	ジルコニア	Aadva Zr ディスク (ジーシー)	ZrO ₂ ≥ 90% Y ₂ O ₃ ≒ 5% HfO ₂ , Al ₂ O ₃ ≤ 5%
b	ハイブリッドセラミックス	グラディア ファンデーションオペーク (ジーシー) グラディア フォルテ デンチン (ジーシー)	UDMA シリカ微粉末 有機無機複合フィラー UDMA, シリカ微粉末 ガラス粉末

表2 表面処理法の分類

表面処理法	製品名 (メーカー)	組成	略
アルミナサンドブラスト処理	ハイアルミナ (松風)	Al ₂ O ₃	SB
アルミナサンドブラスト処理 + シランカップリング処理	ハイアルミナ (松風) エスペジル (ESPE)	Al ₂ O ₃ シラン化合物, エタノール	SI
アルミナサンドブラスト処理 + ロカテックシステム + シランカップリング処理	ハイアルミナ (松風) Rocatec®-Plus (ESPE) エスペジル (ESPE)	Al ₂ O ₃ Si coated Al ₂ O ₃ シラン化合物, エタノール	RP
アルミナサンドブラスト処理 + イトロ処理	ハイアルミナ (松風) イトロ処理用ガス (イトロ)	Al ₂ O ₃ シラン化合物	IT
アルミナサンドブラスト処理 + イトロ処理 + シランカップリング処理	ハイアルミナ (松風) イトロ処理用ガス (イトロ) エスペジル (ESPE)	Al ₂ O ₃ シラン化合物 シラン化合物, エタノール	ITS

個とした。分析条件は、X線源:mono-Al, 出力:45W, 取り出し角:45度, パスエネルギー:187.85eV, X線ビーム径:200 μm で行った。また、RPとITSに対してはより詳細な観察を行うために、約3 nm (約数10原子層) のArイオンエッチングを行った後の分析を加えた。

4. 剪断接着試験

1) 試料片の作製

ジルコニアを12×12×3mmに加工後、冷間埋め込み用樹脂 (No105, 丸山ストルアス) を用いて包埋した。その後、注水下にて耐水研磨紙 #2000まで研磨した。被着面は直径6mmの穴をあけたマスキングテープをはり被着面積を一定にした。

2) ハイブリッドセラミックスの築盛・重合

各被着面の表面処理後、内径6mm, 高さ2mmのプラスチックチューブを用いて、オペーク塗布後に歯科技工用光重合器 (アルファライト, モリタ) を用いて、予備重合を1分間行った。その後、

デンチンを築盛し、予備重合を30秒間行った後、3分間の光重合を行った。(図1)。光重合後、歯科技工用加熱重合器 (プチオープン PO-I, ジーシー) にて、110℃で15分間加熱重合を行った。

3) サーマルサイクル試験の条件設定

各試料は、重合終了後、37℃水中に24時間浸漬した。サーマルサイクル試験を行う試料は、1サイクル7℃と58℃の浴槽に各30秒間浸漬、各層の移動時間を10秒とし、5000回のサーマルサイクル負荷を与えた。試料は5種類の試料片に対し各10個、サーマルサイクル負荷の有無により、合計で100個作製した。

4) 剪断接着強さの測定

図2に示すように万能試験機 (1310DW, アイコーエンジニアリング) を用いてクロスヘッドスピード0.5mm/minにて剪断試験を行い、剪断接着強さを求めた。得られた結果は、Kruskal Wallis H-test後に、MannWhitney U-test with Bonferroni correction (P < 0.05) で多重比較検

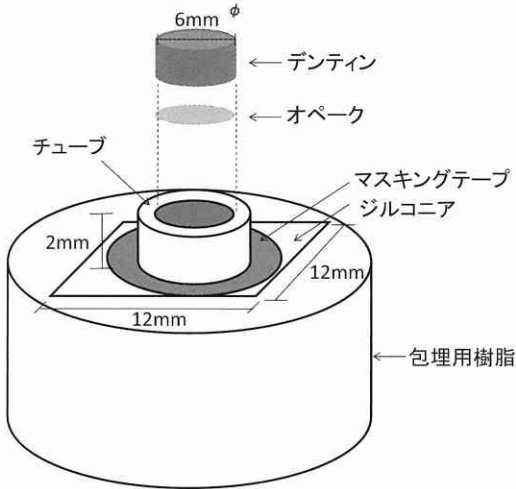


図1 剪断接着試験用試料の作製方法

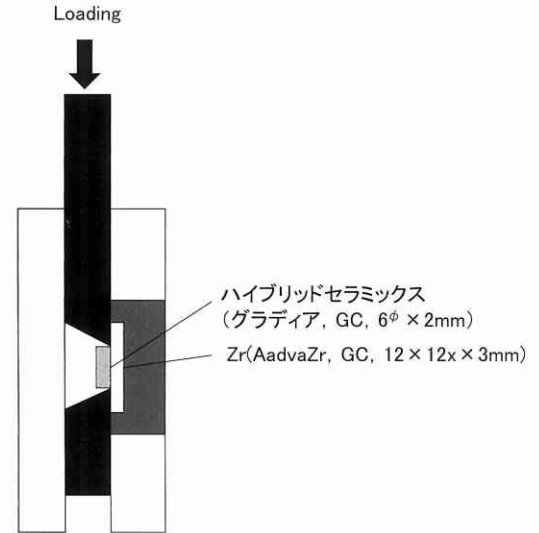


図2 剪断接着試験の方法

定を行った。

5. 表面のSEM観察

剪断接着試験後の界面を走査型電子顕微鏡 (SEM, EDX TypeN, 日立) を用いて観察した。

結果

1. XPS分析

各表面処理法におけるジルコニア表面のワイドスキャン測定の結果を図3に示す。未処理では、C, O, Zrのピークが検出された (図3-a)。未処理と各表面処理の結果を比較してみると、SBではAlが (図3-b), SIではSiが (図3-c), RPではAlとSiが検出された (図3-d)。ITではSiが検出されて、Zrは検出されなかった (図3-e)。ITSでもITと同様の元素が検出された (図3-f)。

図4はSiについてのナローズキャン測定の結果を示す。ピーク強度は、ITが最も高く、次いでRP, ITS, SIの順となっている。ピークはSIでは不明瞭だったが、SI以外では102.5~103eV付近にピークが見られた。RPとITSを比較すると、ピーク強度に差は認められるものの、ピークのシフトは見られなかった。

図5はRP (図5-a) とITS (図5-b) で、Arイオンエッチングを行った後の、ワイドスキャン測定の結果である。どちらもSiのピーク強度

が増加している。

各試料の定量分析の結果を表3に示す。Siのatomic% (at%) はSIでは2.8at%, RPでは9.6at%, ITでは19.7at% およびITSでは7.1at%であった。Arイオンエッチング後はRPでは19.2at%, ITSでは23.2at%とどちらも高い値を示した。

2. 剪断接着強さ

剪断接着強さの結果を図6と表4に、剪断接着強さの統計分析結果を表5に示す。サーマルサイクル試験前は、SBで 2.3 ± 0.9 MPa, SIで 8.9 ± 2.1 MPa, RPで 16.4 ± 4.1 MPa, ITで 1.9 ± 0.6 MPa およびITSで 19.6 ± 5.9 MPaであった。サーマルサイクル試験後は、SB(TC), SI(TC) およびIT(TC)でサーマルサイクル試験中に試料の剥離が生じ、剪断接着強さの測定が不可能となった。RP(TC)では、 7.9 ± 0.3 MPa, ITS(TC)では 4.9 ± 0.3 MPaを示し、サーマルサイクル試験後には有意な接着強さの低下を生じた。

SBとIT, SB(TC)とSI(TC), IT(TC), SIとRP(TC), SI(TC)とIT(TC), RPとITS間では有意差がみられなかった。

3. 表面のSEM観察

表面処理後のSEM像では、サンドブラスト処理による表面の凹凸がみられる。しかし、表面処理法の違いによる大きな相違は認められなかった

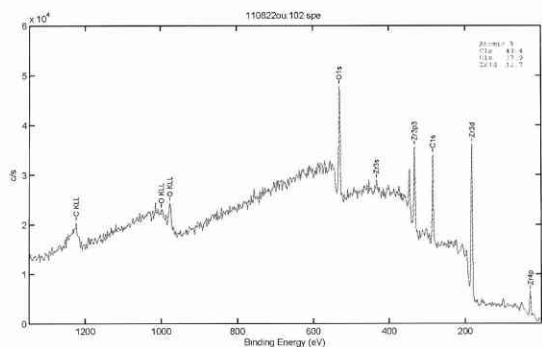


図3-a

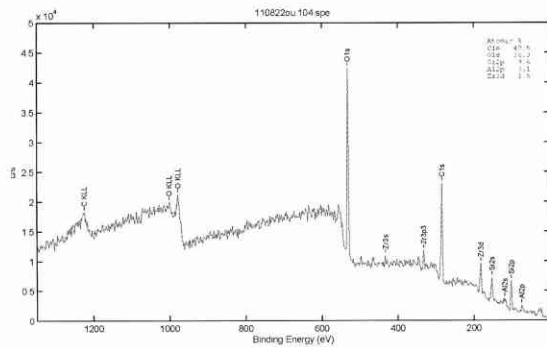


図3-d

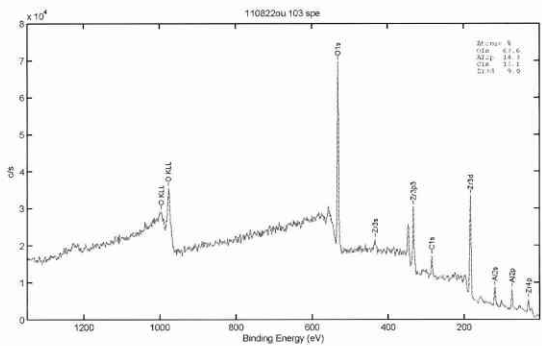


図3-b

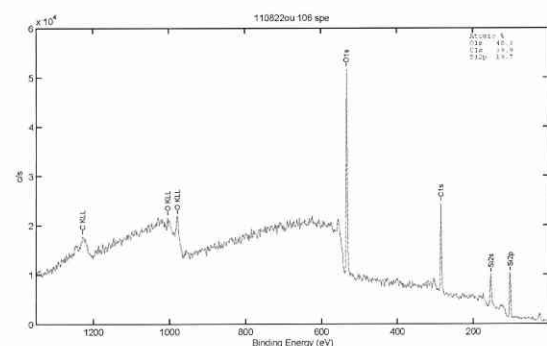


図3-e

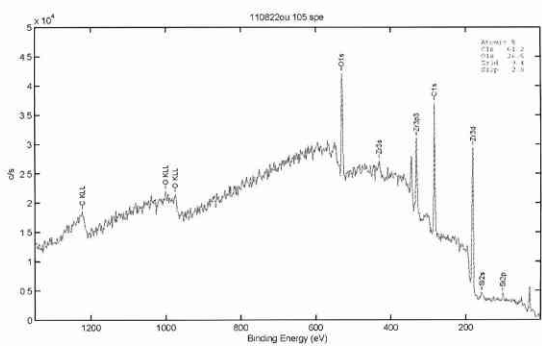


図3-c

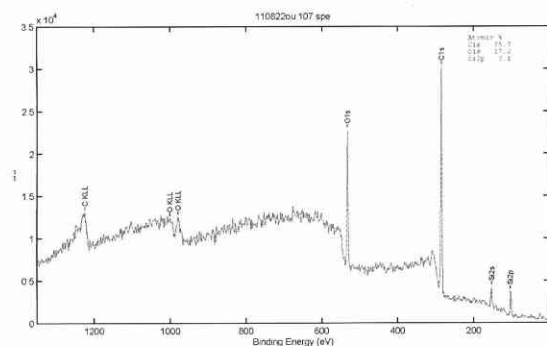


図3-f

図3 各表面処理後のXPSワイドスキンスペクトル
(a：未処理, b：SB, c：SI, d：RP, e：IT, f：ITS)

(図7a~e)。サーマルサイクル試験前の剪断接着試験後の破断面は、SB, SI および IT ではオペクがデンティンごと剥離している界面破壊を示した(図7f, g, i)。RPとITSでは部分的にオペク、デンティンの層がジルコニア表面に残る凝集破壊を示したものと、界面破壊の混在した混合破壊を示した(図7h, j)。

また、サーマルサイクル試験後の破断面は、全ての試料において界面破壊であった。

考 察

1. 実験方法について

表面処理法には機械的結合を目的としたアルミナサンドブラスト処理、化学的結合を目的とした

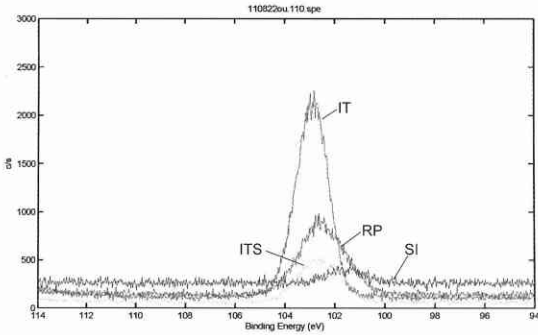


図4 SiのXPSナローキャンスペクトル

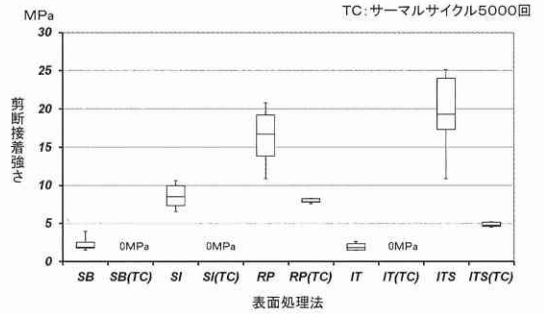


図6 剪断接着強さの結果

表3 XPS分析による定量分析の結果

表面処理法	元素				
	C	O	Zr	Al	Si
未処理	49.4	37.9	12.7	—	—
SB	13.1	63.6	9	14.3	—
SI	61.2	26.6	9.4	—	2.8
RP	47.5	38.3	1.5	3.1	9.6
IT	39.9	40.3	—	—	19.7
ITS	75.7	17.2	—	—	7.1
RP (Ar イオンエッチング)	13.2	58.2	4.5	4.9	19.2
ITS (Ar イオンエッチング)	24.2	50.6	1.9	—	23.2

(atomic%)

スト処理した試料をコントロール群として実験を行った。

ジルコニア面に対するシランカップリング処理は、レジンとの接着を高めるのに有効であるという報告がある²²⁾。また、ロカテックシステムは、被着体表面にシリカコーティングしたアルミナでサンドブラスト処理することにより、シリケート層を形成するものである²³⁾。金属に対する接着を目的に開発された処理法であるが、セラミックスに対しても有効な処理法であるという報告がある²⁴⁻³⁰⁾。両処理法とも臨床でも応用されている処理法なのでアルミナサンドブラスト処理に対し比較対象とした。

イトロ処理とは、燃焼化学気相蒸着 (CCVD = Combustion Chemical Vapor Deposition) の一種であり、火炎中にシラン化合物を微量混合し、酸化炎を介して被着面にナノレベルの酸化ケイ素膜を形成するシステムである³¹⁾ (図8)。被着体表面にSi, OHを蒸着させることで、親水性が向上し、濡れ性を良くすることで接着させる処理

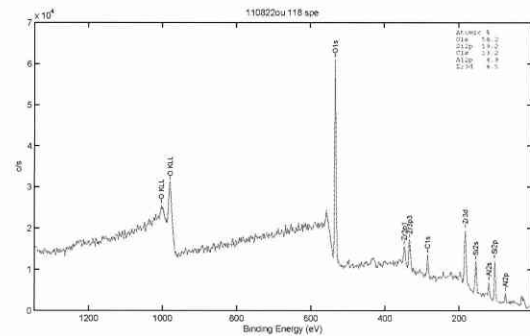


図5-a

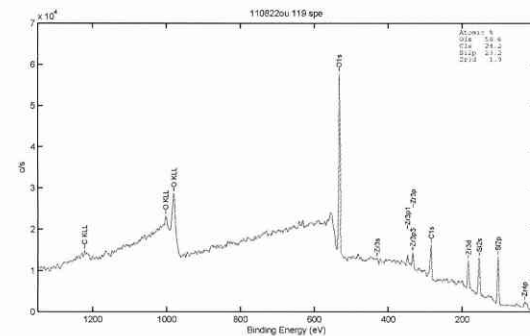


図5-b

図5 Arイオンエッチング後のXPSワイドキャンスペクトル (a: RP, b: ITS)

シランカップリング処理、機械的結合に加え化学的結合も目的としたロカテックシステムおよび物理的結合を目的としたイトロ処理があげられる²²⁻³¹⁾。その中で、機械的結合を目的としたアルミナサンドブラスト処理は研究や臨床においても必ず行う基本的処理法である。そこでアルミナサンドブラ

表4 剪断接着強さの結果の値

	SB	SB(TC)	SI	SI(TC)	RP	RP(TC)	IT	IT(TC)	ITS	ITS(TC)
中央値	1.9	0	8.5	0	16.7	7.9	1.9	0	19.3	4.8
平均値±標準偏差	2.3±0.9	0	8.9±2.1	0	16.4±4.1	7.9±0.3	1.9±0.6	0	19.6±5.9	4.9±0.3

(MPa)

表5 剪断接着強さの統計分析結果

	SB	SB(TC)	SI	SI(TC)	RP	RP(TC)	IT	IT(TC)	ITS	ITS(TC)
SB		*	*	*	*	*	—	*	*	*
SB(TC)			*	—	*	*	*	—	*	*
SI				*	*	—	*	*	*	*
SI(TC)					*	*	*	—	*	*
RP						*	*	*	—	*
RP(TC)							*	*	*	*
IT								*	*	*
IT(TC)									*	*
ITS										*
ITS(TC)										

*：有意差あり (P<0.05) —：有意差なし

法であり、プライマー等を使用しなくても接着を得ることができるのが特徴である。しかし、オペクは粘度が高く濡れ性の良い材料とはいえない。そこで、処理面に付着しているSiに着目し、シランカップリング処理を行うことで、化学的接着を得ることができるのではないかと考え、併せて比較対象とした。

2. XPS 分析の結果について

未処理のXPS分析結果から、ジルコニア表面にはSiが存在していないことがわかる。SIでは、微量のSiのピークが見られたが、ナロースキャン測定の結果を見ると、はっきりとしたピークを得ることができなかった。ITでは、Siのピークが明瞭であり、ナロースキャン測定の結果でも最も高いピーク強度を示している。ピーク強度はITに次いでRP、ITSの順になっている。この結果からシランカップリング処理しているRPとITSは、シランカップリング材に含まれている有機溶媒のCが表層にあることでSiが検出されづらくなったと考えられる。そこで、Arイオンエッチングを行い、深さ方向の分析を試みたところ、RP、ITSともにSiのat%があがった。したがってどちらの処理法も表面のSi濃度を向上させることがわかった。

3. 各表面処理法と剪断接着強さについて

築盛時に未処理では剥離が生じたが、コントロールであるSBで 2.3 ± 0.9 MPaの接着強さを得たことから、アルミナサンドブラストにより表面が粗造になり、一時的にオペクと機械的に接着したことが考えられる。

SIの接着強さは 8.9 ± 2.1 MPaであり、SBよりも有意に大きい値を示した。歯科で使用されるシランカップリング剤は γ -MPTS (γ -メタクリロキシプロピルトリメトキシシラン)であり、二元反応性をもっている。分子一端のメトキシシラン基が脱水されてシラノール基となり、ガラスやシリカに対しシロキサン結合する。また、反対側のメタクリロイルオキシ基が重合時にレジンモノマーと結合する。しかし、ジルコニアは金属酸化物系セラミックスでありシリカを含有してなく、理論上は接着強さの向上は期待できない。梶原³⁰⁾は、シランカップリング剤の使用によりジルコニアとの接着強さが向上するのは、シランカップリング剤とリン酸エステル系モノマーを含んだプライマーを使用したときであり、モノマーの働きにより接着強さが向上すると推察している。村原ら³²⁾は、50000回のサーマルサイクル試験後、接着強さを得たのはMDPモノマーを含有したプライ

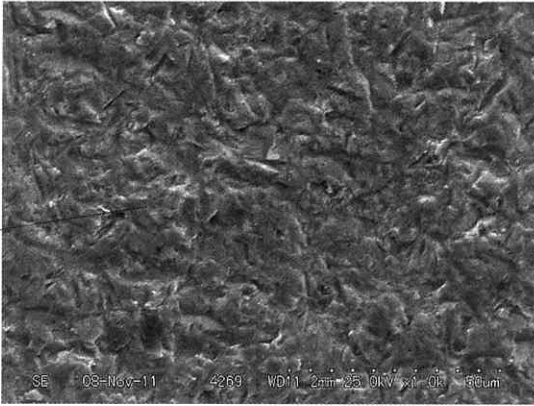


図7-a

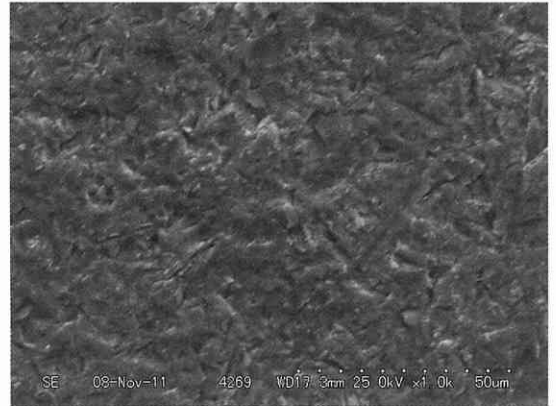


図7-d

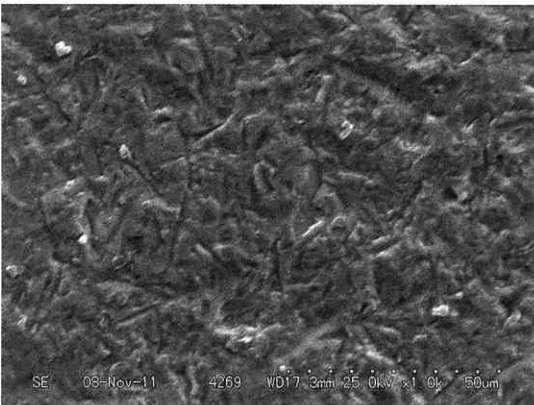


図7-b

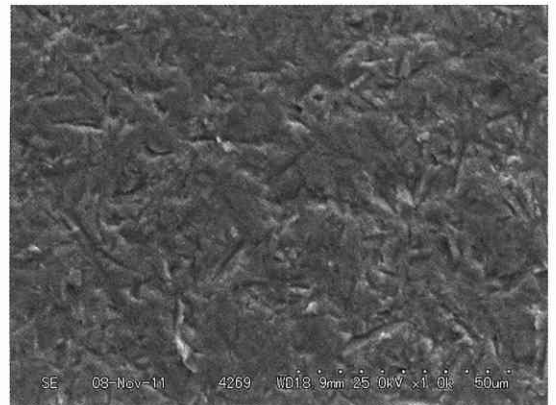


図7-e

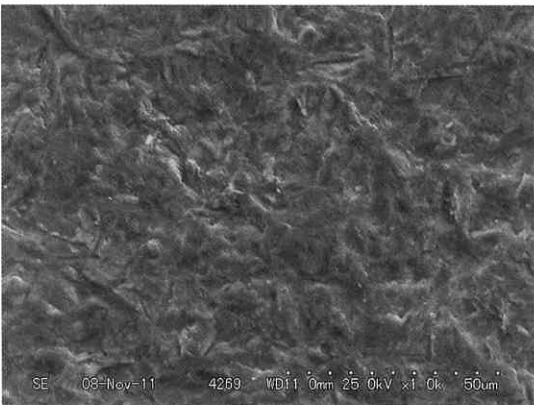


図7-c

図7 表面処理後のジルコニア表面のSEM像
(a: SB, b: SI, c: RP, d: IT, e: ITS)

の縮合により Zr-O-Si 結合が起き得ると考察しており、シランカップリング剤の有用性を報告している。また、生駒ら³³⁾は、プライマーを使用しても接着強さの向上にあまり有効ではなかったと報告している。本研究で使用したシランカップリング剤は、モノマー成分を含んでおらず、一時的に接着強さが向上したものの、シランカップリング剤単独の効果はなかったと考えられる。

RPの剪断接着強さは 16.4 ± 4.1 MPaであり、部分的に凝集破壊がみられたことから、有効な処理法だと考えられる。

ロカテックシステムは、接着に有効な処理法として報告されている。浜野ら²⁶⁾は、ロカテックシステムによりシリカコーティングされた処理面が、

マーを使用した場合のみと報告している。一方、高桑ら²²⁾は H_2O の存在下で ZrO_2 はZr-O-Zrの切断による水酸基(OH)が生成され、この水酸基とシランカップリング剤のシラノール(SiOH)

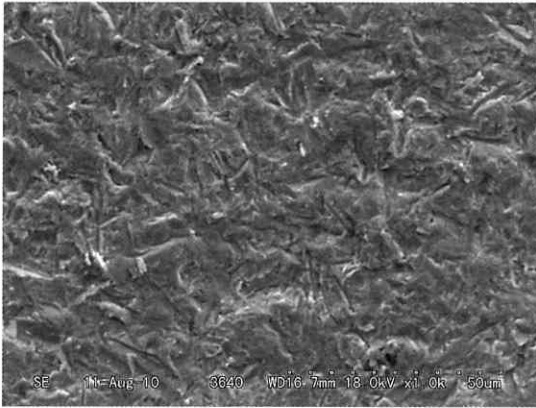


図7-f

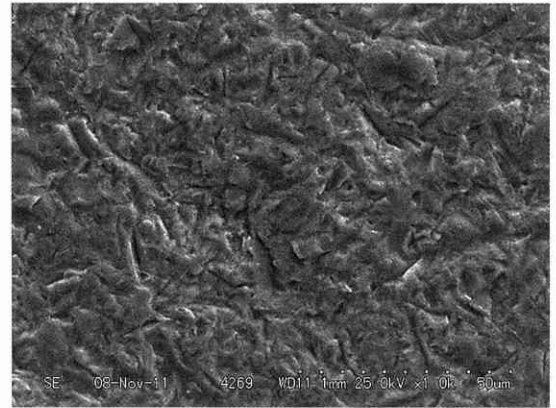


図7-i

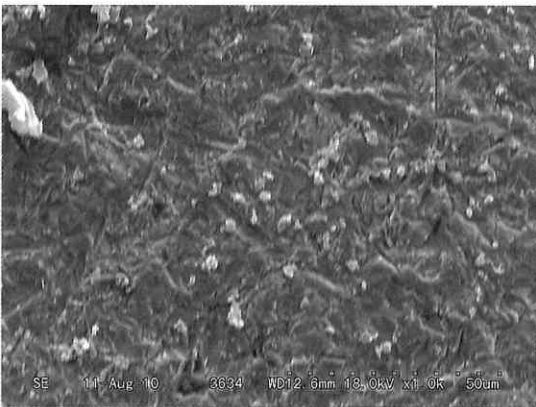


図7-g

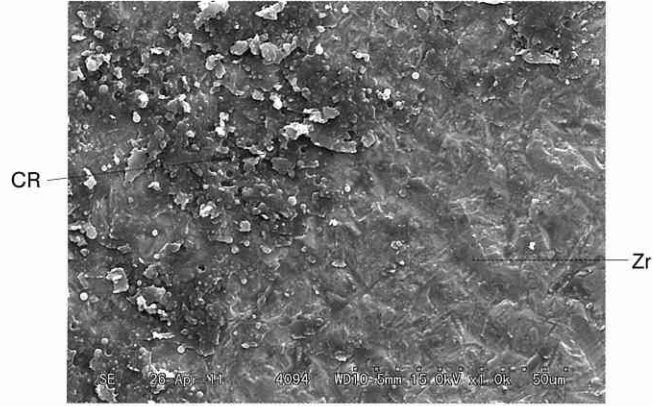


図7-j

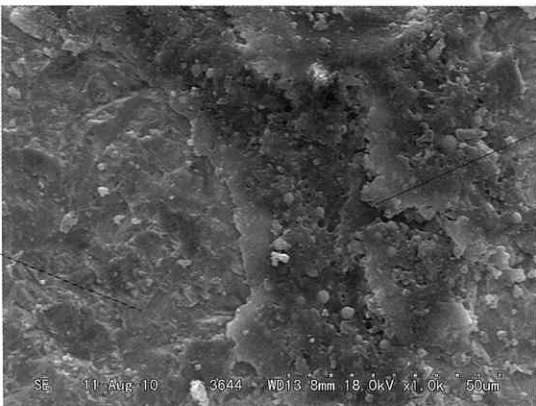


図7-h

図7 剪断接着試験後のジルコニア表面のSEM像
(f: SB, g: SI, h: RP, i: IT, j: ITS)

よると報告しており、伊野ら²³⁾、Kernら²⁴⁾、檜山ら²⁵⁾の報告ではロカテックシステムによる処理面全体にSiが観察されている。本研究でもXPS分析の結果、Siの存在が確認された。これにより、効果的にシランカップリング剤が作用し、接着強さが向上したと考えられる。

ITの接着強さは 1.9 ± 0.6 MPaでありSBとの有意差はなく、イトロ処理単独の効果はなかったと考えられる。また、ITSの剪断接着強さは 19.6 ± 5.9 MPaであり、部分的に凝集破壊がみられたことから、有効な処理法だと考えられる。

イトロ処理とは、親水性の大幅な向上を可能にすると言われている。さらに、煩雑な操作は必要とせず、数秒で表面処理操作を終えることができ

サンドブラストのみの処理面と比較して、有意に表面自由エネルギーが上昇したのは、機械的な表面の粗造化による要因だけでなく、シラノール基の存在により、表面が化学的に改質されたことに

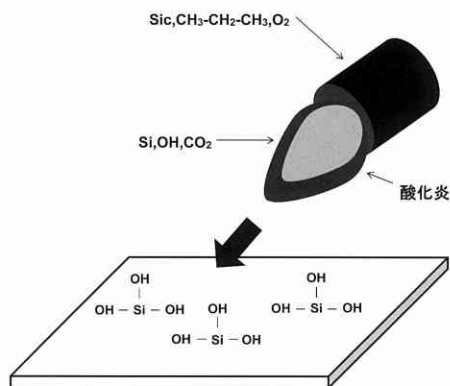


図8 イトロ処理の解説図

るのが特徴である。本来は塗料、インク、接着剤など粘性が低い材料を基材に接着する際に使用される。親水性の向上率は、濡れ指数試薬で測定した場合、73ダイン以上、接触角で測定した場合、 10° 以下になるといわれている。その他には、帯電防止効果によって、塵埃等の異物付着を阻害する除塵効果もある³¹⁾。

本実験では、イトロ処理単独では接着強さの向上はみられなかったが、イトロ処理後、シランカップリング処理を施した場合、接着強さの向上を認めた。また、XPS分析の結果、ロカテックシステムと同様にSiの存在が確認された。つまり、イトロ処理によるジルコニア表面のぬれ性の改善により、直接オペークとの接着強さが向上したのではなく、効果的にシランカップリング剤を作用させたことで接着強さが向上したと考えられる。

サーマルサイクル試験では、SB、SIおよびITではサーマルサイクル試験中に全ての試料が剥離した。また、RPとITSでは、サーマルサイクル試験後の接着強さは有意に低下した。林ら³⁴⁾、河合ら³⁵⁾によると、ジルコニアと合着用レジンセメントによる接着耐久性試験では、ロカテックシステムやシランカップリング剤の使用により、良好な結果が報告されている。しかし、オペークとレジンセメントを比較すると、粘性に大きな差があり、ロカテックシステムやイトロ処理+シランカップリング処理によって、一時的に化学的な接着を得ることができても、濡れの悪さから接着界

面に微細な隙間を生じ、接着耐久性の低下に繋がったものと考えられる。また、今回使用したシランカップリング剤はモノマー成分を含有していない。シランカップリング剤により接着強さの向上を認めた報告は多数ある^{21,22)}が、ほとんどがシランカップリング剤とモノマー成分を混合したプライマーを使用したもので、その中でもMDPを含有しているものに接着耐久性の向上が認められる^{21,32)}。つまり、ロカテックシステムやイトロ処理によって、シリケート層を生成しても、 γ -MPTSとの作用による化学的な接着には限界があり、MDP等のプライマーに含まれるモノマー成分の化学的接着が必要であると考えられる。

今後は、表面処理法とプライマーとの組み合わせによる接着耐久性の向上と共に、臨床応用にむけて、フレームの形態や築盛方法を工夫し、耐久性を評価していく必要があると考えられる。

結 論

ジルコニアに対するハイブリッドセラミックスの接着強さについて、表面処理法の違いから検討した結果、以下の結論を得た。

1. 本研究で使用した表面処理法のうち、イトロ処理単独を除いた処理法においては、コントロール群と比較して初期接着強さは向上した。
2. ロカテックシステム、イトロ処理+シランカップリング処理は、他の処理法と比較して有意に高い接着強さを得ることができた。
3. アルミナサンドブラスト処理、シランカップリング処理、イトロ処理を単独で行った場合は、サーマルサイクル試験中に全ての試料が接着面で剥離した。
4. ロカテックシステム、イトロ処理+シランカップリング処理を行った場合のサーマルサイクル試験後の接着強さは有意に低下した。

以上の結果より、ロカテックシステム、イトロ処理+シランカップリング処理は、ジルコニアとハイブリッドセラミックスの接着に有効な表面処理法である可能性が示唆された。しかし、サーマルサイクル負荷を加えたことで接着耐久性が低下したことにより、今後は、プライマー等の併用について検討の必要があると考えている。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、終始ご懇篤なるご指導とご校閲を賜りました奥羽大学歯学部歯科補綴学講座冠橋義歯学分野鎌田政善教授に深謝致します。また、ご協力頂きました冠橋義歯学分野の先生方に感謝致します。

本論文の一部は、(社)日本補綴歯科学会第120回記念学術大会(平成23年5月 広島市)において、要旨は第51回奥羽大学歯学会(平成23年6月 郡山市)において発表した。

文 献

- 1) Kelly, J. R., Tesk, J. A., Sorensen, J. A. : Failure of all-ceramic fixed partial dentures in vitro and in vivo : Analysis and modeling. *J. Dent. Res.* **74**(6) : 1253-1258 1995.
- 2) Campbell, S. D., Sozio, R. B. : Evaluation of the fit and strength of an all-ceramic fixed partial denture. *J. Prosthet. Dent.* **59** : 301-306 1988.
- 3) Tinschert, J., Natt, G., Mautsch, W., Augthun, M., Spiekermann, H. : Fracture resistance of lithium disilicate-, alumina-, and zirconia based three-unit fixed partial dentures : A laboratory study. *Int. J. Prosthodont.* **14** : 231-238 2001.
- 4) Ichikawa, Y., Akagawa, Y., Nikai, H., Tsuru, H., : Tissue compatibility and stability of a new zirconia ceramic in vivo. *J. Prosthet. Dent.* **68** : 322-326 1992.
- 5) 伴 清治 : 第一章 オールセラミックスの可能性を開くジルコニア 理工学的特徴. 補綴臨床別冊 最新CAD/CAM レストレーション ; 26-34 2008.
- 6) 浅野正司 : 臨床家のためのアルミナ&ジルコニアクラウン製法 Part1 オールセラミックスの物性や強度に関する事項 Chapter1 フレーム材質の選択. 歯科技工 **36** ; 778-788 2008.
- 7) Rekow, D. : Computer-aided design and manufacturing in dentistry : A review of the state of the art. *J. Prosthet. Dent.* **58** ; 512-516 1987.
- 8) Duret, F. : CAD/CAM in dentistry. *J. Am. Dent. Assoc.* **117** ; 715-720 1988.
- 9) 堀田康弘 : CAD/CAM を利用したチタン製コーピングの新しい製作法の開発. 歯材器 **11** ; 169-178 1992.
- 10) 疋田一洋 : 歯冠形態の三次元計測と復元(CAD/CAM)に関する研究. 補綴誌 **41** ; 804-813 1997.
- 11) 伊藤道博, 新谷明善, 横塚繁雄 : 各種歯冠修復用被削材を用いたCAD/CAMの加工精度. 補綴誌 **43** ; 614-625 1999.
- 12) 太田 亮, 丸谷善彦, 芝 輝彦, 鈴木 潔, 平田智秀, 玉置幸道, 宮崎 隆 : CAD/CAM システムを用いて製作した純チタンクラウンの内面適合精度について. 昭歯誌 **24** ; 172-178 2004.
- 13) 深瀬 敦, 藤田忠寛, 青木英夫, 玉置勝司, 山村雅章, 山田重雄, 渡辺英男, 盛重正仁, 兼松恭規, 遠藤ゆかり : CAD による歯冠形態設計法の研究. 補綴誌 **36** ; 1092-1101 1992.
- 14) 公田有子 : ジルコニアオールセラミック修復物の適合精度に関する研究. 口病誌 **70**(2) ; 114-123 2003.
- 15) Jagger, D. C., Harrison, A. : An in vitro investigation into the wear effects of selected restorative materials on enamel. *J. Oral Rehabil.* **22** ; 275-281 1995.
- 16) Hudson, J. D., Goldstein, G. R., Georgescu, M. : Enamel wear caused by three different restorative materials. *J. Prosthet. Dent.* **74** ; 647-654 1995.
- 17) 西野宇信 : 高密度フィラー含有ハイブリッド型硬質レジン天然歯との衝撃滑走摩耗試験. 九州歯会誌 **55** ; 1-10 2001.
- 18) Çiftçi, Y., Canay, Ş. : The effect of veneering materials on stress distribution in implant-supported fixed prosthetic restorations. *Int. J. Oral Maxillofac. Implants.* **15** ; 571-582 2000.
- 19) 豊田丈爾, 今野龍彦, 石橋 実, 八代浩次, 畠山憲子, 笠原 紳, 依田正信, 木村幸平, 稲垣亮一, 丹野雅仁, 安藤申直, 加藤裕光, 三上 眞, 佐々木栄信, 佐藤美次男, 村上利満 : 各種硬質レジンの基礎的検討. 東北大歯誌 **16** ; 62-69 1997.
- 20) 浅田俊之, 新谷明善, 横塚繁雄 : 臼歯部ハイブリッドセラミックスブリッジの三次元光弾性実験による応力解析. 補綴誌 **44** ; 106-114 2000.
- 21) Komine, F., Kobayashi, K., Saito, A., Fushiki, R., Koizumi, H., Matsumura, H. : Shear bond strength between an indirect composite veneering material and zirconia ceramics after thermocycling. *J. Oral Sci.* **51**(4) ; 629-634 2009.
- 22) 高桑雅宣, 飯島 浩, 畑 好昭 : 接着性レジンセメントのジルコニア・アルミナ複合セラミックス(3Y20A)に対する接着効果. 歯学 **86** ; 92-104 1998.
- 23) 井野 智, 豊田 實, 新谷 忠, 田村年彦, 柴田武士, 渥美美穂子, 浜野奈穂 : 歯科用合金と前装用硬質レジンの接着強さに及ぼすシリカ・コーティング法の効果. 補綴誌 **47** ; 292-300 2003.

- 24) Kern, M., Thompson, V. P. : Sandblasting and silica coating of a glass-infiltrated alumina ceramic : volume loss, morphology, and changes in the surface composition. *J. Prosthet. Dent.* **71** ; 453-461 1994.
- 25) 檜山礼秀, 萩原芳幸, 村松 透, 川本善和, 田中靖二, 小泉政幸, 五十嵐孝義 : セラミックアバットメントに関する研究 - Tribochemical coating が接着強度に及ぼす影響. *補綴誌* **45** ; 737-746 2001.
- 26) 浜野奈穂, 渥美美穂子, 井野 智, 岡田周策, 新谷 忠, 田村年彦, 柴田武士, 寺中敏夫, 豊田 實 : 歯科用セラミックスの表面処理に関する基礎的検討 (第1報 : Tribochemical Coating). *神奈川歯学* **37** ; 141-149 2002.
- 27) Blatz, M. B., Sadan, A., Blatz, U. : The effect of silica coating on the resin bond to the intaglio surface of Procera AllCeram restorations. *Quintessence Int.* **34** ; 542-547 2003.
- 28) Xible, A. A., de Jesus, Tavares, R. R., de Araujo, Carlos, R. P., Bonachela W. C. : Effect of silica coating and silanization on flexural and composite-resin bond strengths of zirconia posts. *J. Prosthet. Dent.* **95** ; 224-229 2006.
- 29) Tsukakoshi, M., Shinya, A., Gomi, H., L-assila, L. V. J., Vallittu, P. K., Shinya, A. : Effects of dental adhesive cement and surface treatment on bond strength and leak-age of zirconium oxide ceramics. *Dent. Mater. J.* **27** ; 159-171 2008.
- 30) 梶原浩忠 : 特集 ジルコニア・レストレーションオールセラミックスの新たな局面 ジルコニアに対する接着システム. *補綴臨床* **41** ; 400-406 2008.
- 31) 森 泰浩 : イトロ処理システムの効果と応用例 (1). *塗装技術* **47** ; 103-108 2008.
- 32) 村原貞昭, 梶原浩忠, 堀 沙弥香, 嶺崎良人, 鬼塚 雅, 田中卓男 : セラミックス用市販接着システムの歯科用ジルコニアに対する接着耐久性. *補綴誌* **51** ; 733-740 2007.
- 33) 生駒祥恵, 倉田茂昭, 榎本貢三 : ジルコニア系セラミックスに対するリン酸機能性モノマーをプライマーとして用いた歯科用セメントの接着強さ. *歯材器* **30** ; 266-274 2011.
- 34) 林 捷, 新谷明善 : セルフアドヒーズプレジンセメントのジルコニアに対する接着強さに及ぼすトライボケミカル処理の影響. *歯材器* **28** ; 395-401 2009.
- 35) 河合尚子, 新谷明善, 林 捷, 新谷明一 : トライボケミカル処理したジルコニアセラミックスに対するリン酸エステル系 (MDP) 接着材の接着耐久性. *歯材器* **30** ; 74-80 2011.

著者への連絡先 : 宮地克佳, (〒963-8611) 郡山市富田町字三角堂31-1 奥羽大学歯学部歯科補綴学講座
 Reprint requests : Katsuyoshi MIYAJI, Department of Prosthetic Dentistry, Ohu University School of Dentistry 31-1 Misumido, Tomita, Koriyama, 963-8611, Japan