

## CAD/CAM 冠用ハイブリッドレジンプロックの特性に関する研究

亀 山 祐 佳\*

神奈川歯科大学大学院歯学研究科口腔科学講座クリニカル・バイオマテリアル学分野  
(受付：2019年11月22日，受理：2019年12月10日)

## 緒 言

近年，患者の口腔内の審美的関心への高まり，貴金属の価格高騰や金属アレルギーの懸念から，メタルフリー修復の普及が進んでいる<sup>1)</sup>。さらに，健康保険における診療においても金銀パラジウム合金からコンポジットレジンやこれを応用した材料による歯冠補綴装置に変わりつつある。CAD/CAM 冠用ハイブリッドレジンプロック（以下，レジンプロック）は，医薬品・医療機器等法で一般名称が「歯科切削加工用レジン材料」として承認または認証されている材料である。平成 26 年度の診療報酬改定より小白歯部の CAD/CAM 冠が健康保険の適用となり，当初レジンプロックの保険適用の条件は，シリカ微粉末とそれを除いた無機フィラーの 2 種類のフィラーの合計が 60% 以上であり，重合開始剤として過酸化物をを用い加熱重合により作製されたものとされていた<sup>2)</sup>。平成 28 年度からは金属アレルギー患者という条件で大白歯部に保険の適用範囲が拡大された<sup>3)</sup>。平成 29 年 12 月からは，これまでの無機フィラー含有量の合計が 60% 以上のものとは別に，①無機フィラーの合計が 70% 以上，②ビッカース硬さが 75 Hv0.2 以上，③ 37℃ 水中に 7 日間浸漬後の 3 点曲げ強さが 240 MPa 以上，④ 37℃ 水中に 7 日間浸漬後の吸水量が 20  $\mu\text{g}/\text{mm}^3$  以下であるという新たな 4 条件が設定され，これらの条件を満たすものは小白歯部のみならず，左右上下顎第 2 大白歯がす

べて残存している場合に限り，下顎第 1 大白歯部へ適用範囲が拡大された。これらの背景より，今後その需要は高まるものと考えられる。

レジンプロックは，フィラーとマトリックスレジンであらかじめ高温および高圧下で重合させてブロック状に成型しているため，マトリックスレジンの重合率が非常に高く，フィラー含有量を増加させることが可能であることから，高強度で安定した材料である<sup>4-6)</sup>。一方で，予後調査において脱離や破折といったトラブルの発生があり<sup>7,8)</sup>，その発現率は全部金属冠および硬質レジンジャケット冠と比較して高い割合であったとの報告もある<sup>8)</sup>。各メーカーから保険適用のための要件を満たしながら，さまざまなレジンプロックが新規開発，市販されており，それぞれのブロックのフィラーやマトリックスレジンの構成が異なるため，物性にも影響すると思われるが，それらを同条件下で比較，検討した報告は未だない。

そこで，市販 8 種類のレジンプロックを用い表面硬さ，2 軸曲げ試験および 2 体摩耗試験による物性を評価し比較，検討した。

次いで，レジンプロックの物性に関与すると考えられる無機フィラー含有量の観点から，レジンプロックの組成を統一した試作レジンプロックを作製し，無機フィラー含有量の違いによる，表面硬さ，3 点曲げ試験および 3 体摩耗試験から物性を評価し，さらに着色性についても評価し比較，検討した。

\* 責任著者連絡先：〒 238-8580 神奈川県横須賀市稲岡町 82

神奈川歯科大学大学院歯学研究科口腔科学講座クリニカル・バイオマテリアル学分野

亀山祐佳

e-mail: kameyama@kdu.ac.jp

表 1 供試した市販レジンプロック

レジンプロック	メーカー	組成	シェード, サイズ	略称
CERASMART	ジーシー	Bis-MEPP, UDMA, バリウムガラス, シリカ微粉末	A3 LT, 14L	CERA
CERASMART 270	ジーシー	Bis-MEPP, UDMA, バリウムガラス, シリカ微粉末	A3 LT, 14L	CERA270
SHOFU BLOCK HC	松風	UDMA, TEGDMA, シリカ粉末, 微粒子ケイ酸, ジルコニウムシリケート	OC, M	HC
VITA ENAMIC	VITA Zahnfabrik	UDMA, TEGDMA, アルミナ強化長石系セラミック	3M2-HT	VE
KZR-CAD HR Block 2	YAMAKIN	UDMA, セラミックス・クラスター・フィラー (SiO <sub>2</sub> -ZrO <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 複合酸化物), フッ素徐放ガラスフィラー, シリカ球形ナノフィラー	A3, L	KZR2
KATANA AVENCIA Block	クラレノリタケ デンタル	UDMA, シリカ, アルミナ	A2 LT, 14L	KAB
ESTELITE BLOCK	トクヤマ デンタル	UDMA, TEGDMA, シリカ粉末, シリカジルコニアフィラー	A3-LT, 14	EB
DENTCRAFT HR BLOCK	ヨシダ	メタクリル酸系モノマー, バリウムガラス, シリカ	A2-LT, 14L	DEN

表 2 供試した試作レジンプロック

レジンプロック	フィラー	モノマー	サイズ	略称
CERASMART300				C300
試作A	バリウムガラス (1 μm以下), シリカ微粉末 (平均20 nm)	Bis-MEPP, UDMA	14	CA
試作B				CB

(亀山ら：日歯理工誌39：77-86, 2020の表1を許可を得て転載)

## 材料および方法

### 1. 材 料

#### 1) 市販レジンプロック

供試した市販レジンプロックは, CERASMART (ジーシー, 以下 CERA), CERASMART270 (ジーシー, 以下 CERA270), SHOFU BLOCK HC (松風, 以下 HC), VITA ENAMIC (VITA Zahnfabrik, 以下 VE), KZR-CAD HR Block 2 (YAMAKIN 株式会社, 以下 KZR2), KATANA AVENCIA Block (クラレノリタケデンタル, 以下 KAB), ESTELITE BLOCK (トクヤマデンタル, 以下 EB) および DENTCRAFT HR BLOCK (ヨシダ, 以下 DEN) の 8 種類を用いた (表 1)。

#### 2) 試作レジンプロック

供試したレジンプロックは, CERASMART300 (ジーシー, 以下 C300), C300 と同じ構成成分でフィラー含有量のみ異なる試作レジンプロック A (ジーシー, 以下 CA) および試作レジンプロック B (ジーシー, 以下 CB) の 3 種類を用いた (表 2)。また, CA および CB は, C300 と同じ製法<sup>9)</sup> により作製さ

れた。なお, 使用したレジンプロックは株式会社ジーシーより提供を受けて行った。

### 2. 方 法

#### 1) 市販レジンプロック

##### (1) 無機フィラー含有量の測定

各レジンプロックを自動回転切断機 (ISOMET, BUEHLER) にて厚さ約 3.0 mm に切り出し, 熱重量測定装置 (TG / DTA6300, セイコーインスツル) を用い, 各レジンプロックを熱重量測定装置の試料皿に移送した。昇温速度 10°C /min の条件で 800°C, 3 時間加熱後, 室温まで冷却し, その残存重量を測定した。この残存重量を熱負荷前の重量で除し, これに 100 を乗ずることによって無機フィラー含有量 (wt%) として算出した。各試料数は 3 個とした。

##### (2) 物性試験

物性試験は, 表面硬さ試験, 2 軸曲げ試験および 2 体摩耗試験を行った。

##### a) 表面硬さ試験

各レジンプロックを自動回転切断機 (ISOMET, BUEHLER) にて厚さ約 3.0 mm に切り出し, 耐水研磨紙 #600 で研磨した。ダイナミック超微小硬度

計 (DUH-211, 島津製作所) を用いて, 最大荷重 196.1 mN, 負荷速度 13.32 mN/s, 荷重保持時間 15 秒の条件で Berkovich 圧子 を押し込むことで負荷-除荷試験を行った。得られた微小荷重-押し込み深さ線図より, ダイナミック表面硬さを算出した。なお, 各試料数は 5 個とし, 1 試料につき 3 点の計測を行いその平均値を試料の表面硬さとした。

#### b) 2 軸曲げ試験

各レジンプロックを CAD/CAM システム (GM-1000, ジーシー) にて直径 12.0 mm の円柱状に加工し, 自動回転切断機 (ISOMET, BUEHLER) にて厚さ 1.2 mm に切り出し, 耐水研磨紙 #1,000 で研磨を行い, 7 日間室温保管したものを試料とした。その後, 精密万能試験機 (AG-Xplus, 島津製作所) を用い, 荷重 1.0 N, クロスヘッドスピード 1.0 mm/min の条件で 2 軸曲げ強さを計測した。なお, 各試料数は 5 個とし, 5°C と 55°C の各水槽に各 40 秒間ずつ浸漬するサーマルストレスを 8,000 回負荷後の試料の 2 軸曲げ試験も併せて行った。

#### c) 2 体摩耗試験

各レジンプロックを自動回転切断機 (ISOMET, BUEHLER) にて厚さ約 3.0 mm に切り出し, 直径 2.6 mm, 高さ 2.3 mm の試料作製金型 (K920, 東京技研) に常温重合アクリルレジジン (トレーレジジン II, 松風) を用いてレジンプロックを固定し, これを 2 体摩耗試験用試料とした。2 体摩耗試験は, 衝突摩耗試験機 (K655, 東京技研) を用い, 直径 1.5 mm の半球状のダイヤモンドロッドをアンタゴニストとして, 37°C 水中で衝突荷重 4 kgf, 駆動距離 2.0 mm で 10,000 サイクル行った後, レーザー顕微鏡 (VK-X250, キーエンス) を用いて最大摩耗量を測定した。摩耗量の測定は, 各試料の摩耗部の中央および両端の 3 カ所とし, 衝突していない面を基準面とし, 基準面から摩耗部の最深部の距離を最大摩耗量とし, それらの平均値をその試料の摩耗量とした。なお, 各試料数は 4 個とした。

#### 2) 試作レジンプロック

##### (1) 無機フィラー含有量の測定

市販レジンプロックと同様の方法を用いて試料を作製し測定した。なお, 各試料数は 3 個とした。

##### (2) 物性試験

物性試験は, 表面硬さ試験, 3 点曲げ試験および 3 体摩耗試験を行った。

##### a) 表面硬さ試験

各レジンプロックを自動回転切断機 (ISOMET, BUEHLER) にて厚さ約 3.0 mm に切り出し, 耐水研磨紙 #2,000 まで研磨した。市販レジンプロックと同様の方法を用いてダイナミック表面硬さを算出した。

なお, 各試料数は 3 個とし, 1 試料につき 3 点の計測を行い, その平均値を試料の表面硬さとした。

##### b) 3 点曲げ試験

各レジンプロックを 1.2 × 4.0 × 14.0 mm に切り出し, 耐水研磨紙 #2,000 まで研磨した。研磨後に CAD/CAM 冠用歯科切削加工用レジジン材料 (JDMAS 245-2017) に準じて水中に 7 日間保管した群および 180 日間保管した群に分け, 各保管後に精密万能試験機 (AG-IS, 島津製作所) を用いて, 支点間距離 12.0 mm, クロスヘッドスピード 1.0 mm/min の条件で 3 点曲げ試験を行った。なお, 研磨後直ちに試験を行うコントロール群も合わせて検討した。なお, 各試料数は 10 個とした。

また, 3 点曲げ試験後の試料に Au-Pd 蒸着後, 加速電圧 10 kV の条件で卓上走査型電子顕微鏡 (JCM-6000 Plus NeoScope, 日本電子) を用いて破断面の観察を行った。

##### c) 3 体摩耗試験

各レジンプロックを 12.0 × 7.0 × 3.0 mm に切り出し, #2,000 まで研磨を行った。Nihei<sup>10)</sup> の方法に準じて試料を円盤上のホイールに接着後, ACTA wear machine (ACTA3, Willytec) に装着し, 荷重 15 N, 200,000 回負荷を条件とし 3 体摩耗試験を行った。試験後, 3D-scanner (Laserscan 3D Pro, Willytec) を用いて最大摩耗深さを測定した。なお, 各試料数は 8 個とし, 各試料につき 3 回ずつ測定し, それらの平均値をその試料の最大摩耗深さとした。

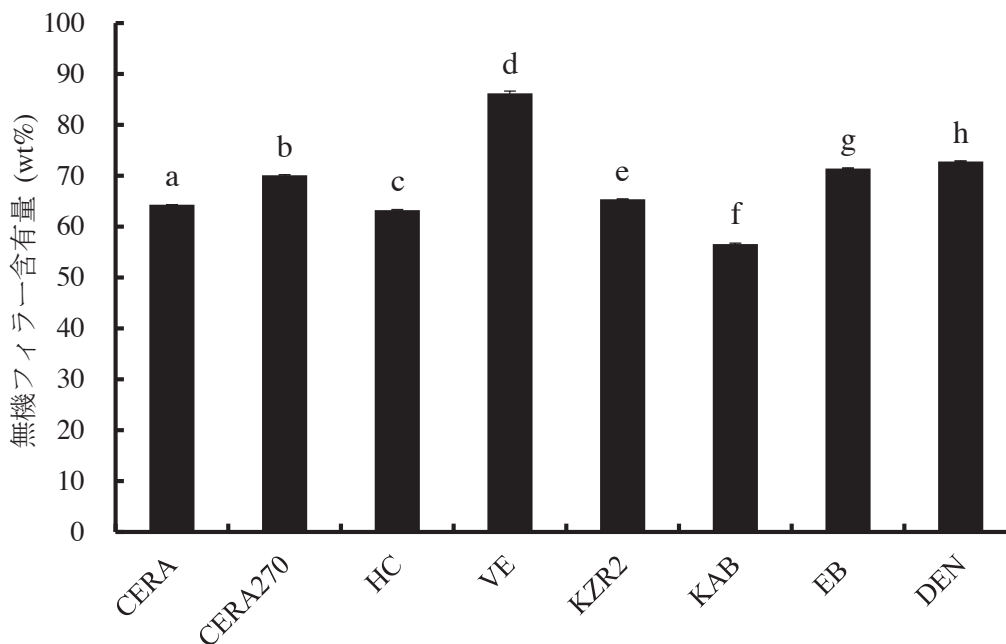
#### (3) 着色試験

##### a) 試料作製

各レジンプロックを CAD/CAM システム (GM-1000, ジーシー) にて直径 12.0 mm の円柱状に加工し, 自動回転切断機 (ISOMET, BUEHLER) にて厚さ 1.0 mm に切り出し, 耐水研磨紙 #4,000 まで研磨後, ダイヤポリッシャーペースト (ジーシー) を用いてバフ研磨した。着色溶液として, 液体コーヒー (ネスカフェゴールドブレンド, ネスレ) を用い, 1 試料につき 5.0 ml の着色溶液で浸漬し, 37°C にて毎分 60 回の振盪状態で 28 日間保管した。なお, 着色溶液の交換は 1 日ごととし, 各試料数は 3 個とした。

##### b) 色差測定

各保管したレジンプロックの試料表面を色彩色差計 (CR241, ミノルタ, 測色径 1.8 mm) にて  $L^*a^*b^*$  表色系により測色し, 着色期間 0, 1, 2, 3, 7, 14 および 28 日後を測定した。測色に際しては試料をエアーにて乾燥し, 1 試料につき 3 箇所を測定し, その平均値をもって試料の値とした。色差は着色期間 0 日を基準とし,  $\Delta E^*ab = (\Delta a^2 + \Delta b^2 + \Delta L^2)^{1/2}$  により算出した。



異なるアルファベットは有意差あり ( $p < 0.05$ ) ( $n = 3$ )

図1 市販レジンプロックの無機フィラー含有量

すべてのレジンプロック間で無機フィラー含有量に有意差が認められた ( $p < 0.05$ )。  
(亀山ら：日歯理工誌36：453-459, 2017の図1を許可を得て転載)

### 3) 統計処理

各試験より得られた値から平均値および標準偏差を求めた。

市販レジンプロックにおいて、無機フィラー含有量、表面硬さ試験および2体摩耗試験の値については、一元配置分散分析を行い、2軸曲げ試験の値については、二元配置分散分析を行った。有意差が認められた場合はさらに Tukey 法による多重比較検定を行った。また、Pearson の積率相関係数にて市販レジンプロックの無機フィラー含有量と各試験との相関関係を分析した。

試作レジンプロックにおいて、無機フィラー含有量、表面硬さ試験および3体摩耗試験については一元配置分散分析を行い、3点曲げ試験および着色試験は二元配置分散分析を行った。有意差が認められた場合はさらに、Bonferroni 法による多重比較検定を行った。また、Pearson の積率相関係数にて試作レジンプロックの無機フィラー含有量と各試験との相関関係を調べた。

いずれのレジンプロックにおいても有意水準は5%とし、統計学的解析は、SPSS Statistics Ver.23 (日本アイ・ビー・エム) を用いた。

## 結 果

### 1. 市販レジンプロック

#### 1) 無機フィラー含有量

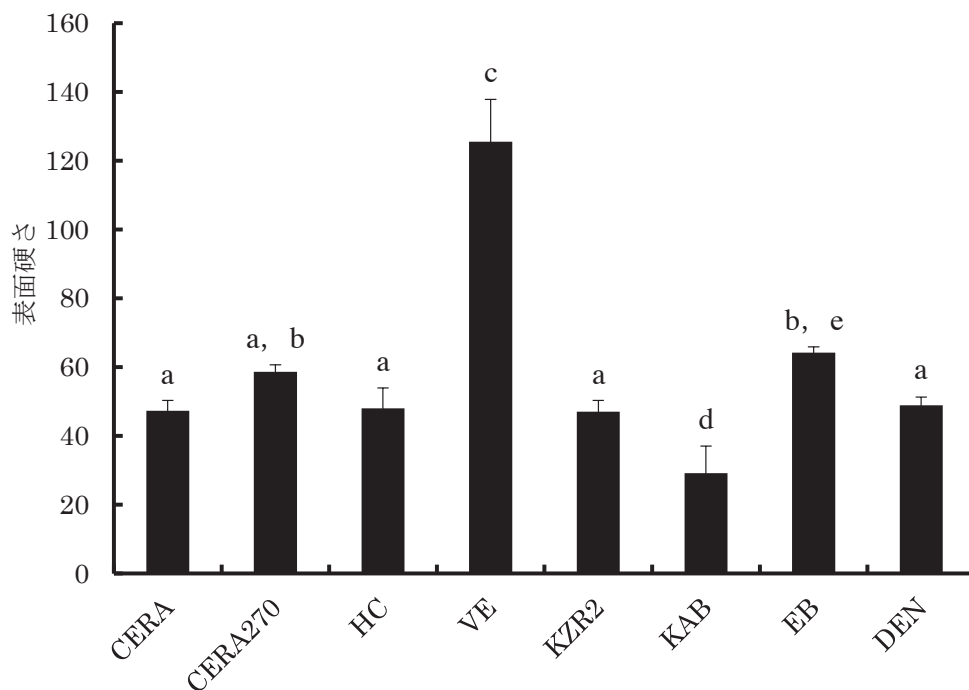
各レジンプロックの無機フィラー含有量の結果を図1に示す。すべてのレジンプロック間で無機フィラー含有量に有意な差が認められた ( $p < 0.05$ )。VEは最も高い無機フィラー含有量であり、KABが最も低い含有量であった。

#### 2) 表面硬さ試験

各レジンプロックのダイナミック表面硬さを図2に示す。VEは最も高い表面硬さを示し、他のレジンプロックと比較して有意に高い値であった ( $p < 0.05$ )。また、KABは最も低い表面硬さを示し、他のレジンプロックと比較して有意に低い値であった ( $p < 0.05$ )。

#### 3) 2軸曲げ試験

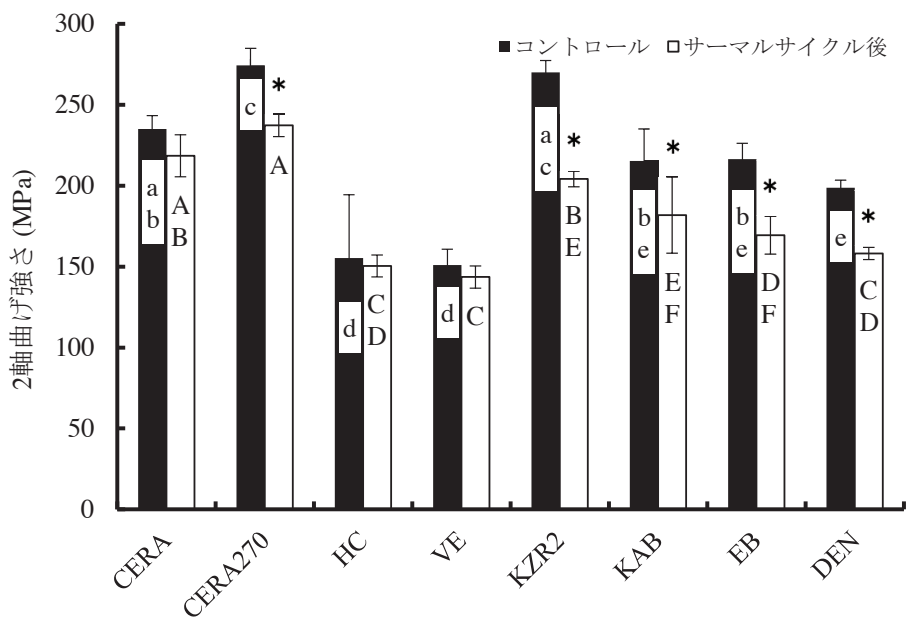
各レジンプロックの2軸曲げ強さを図3に示す。コントロール群では、CERA270は最も高い値となり、VEが最も低い値であった。また、コントロール群においてHCとVEの2軸曲げ強さは他のレジンプロックと比較して有意に低い値を示した ( $p < 0.05$ )。サーマルサイクル群では、コントロール群と同様にCERA270が最も高い値となり、VEが最も低い値で



異なるアルファベットは有意差あり ( $p < 0.05$ ) (n = 5)

図2 市販レジンプロックの表面硬さ

VEは他のレジンプロックと比較して有意に高い値を示した ( $p < 0.05$ )。KABは他のレジンプロックと比較して有意に低い値を示した ( $p < 0.05$ )。

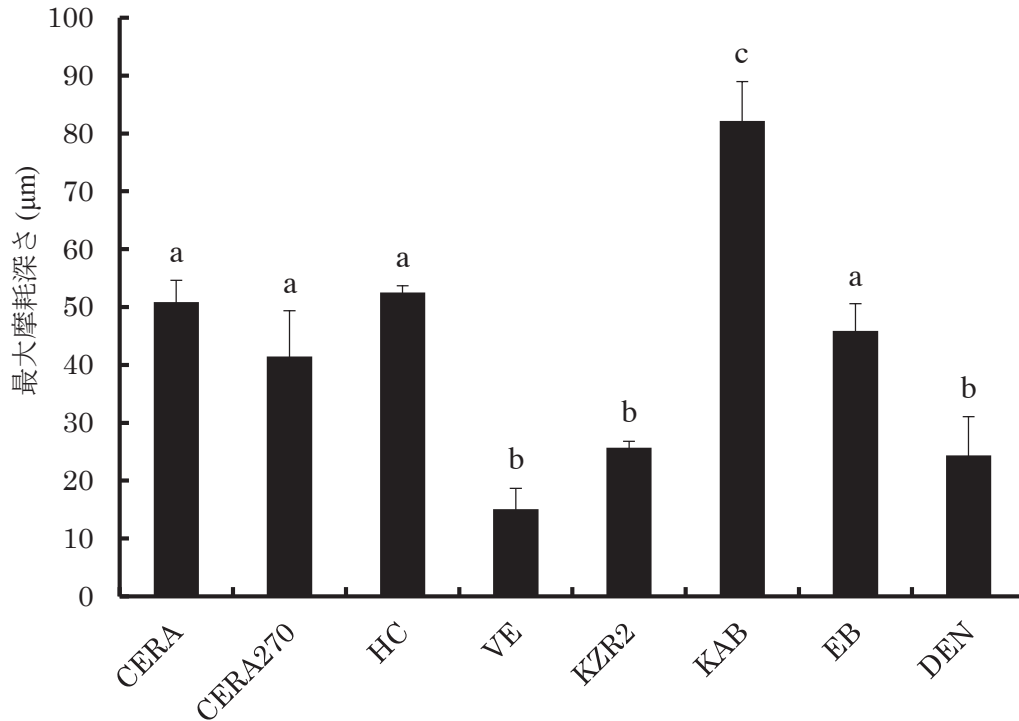


各レジンプロック内でコントロールと有意差あり (\*:  $p < 0.05$ ) (n = 5)  
 各保管群間の異なる文字は有意差あり ( $p < 0.05$ )

図3 各保管後の市販レジンプロックの2軸曲げ強さ

コントロール群およびサーマルサイクル群において、CERA270は最も高い値となり、VEが最も低い値であった。また、コントロール群においてHCとVEは他のレジンプロックと比較して有意に低い値を示した ( $p < 0.05$ )。CERA270, KZR2, KAB, EBおよびDENの2軸曲げ強さはサーマルサイクル後で有意に低い値を示した ( $p < 0.05$ )。

(亀山ら：日歯理工誌36：453-459, 2017の図2を許可を得て転載)



異なるアルファベットは有意差あり ( $p < 0.05$ ) ( $n = 4$ )

図4 市販レジンプロックの摩耗量

KABは他のレジンプロックと比較して有意に高い値を示した ( $p < 0.05$ )。VE, KZR2およびDENは他のレジンプロックと比較して有意に低い値を示した ( $p < 0.05$ )。

(亀山ら：日歯理工誌36：453-459, 2017の図3を許可を得て転載)

表3 市販レジンプロックの無機フィラー含有量と物性試験のPearsonの積率相関係数

	表面硬さ	2軸曲げ強さ (コントロール)	摩耗量
無機フィラー含有量	0.914*	-0.276	-0.801*
(有意確率)	(<0.05)	(>0.05)	(<0.05)

\*相関係数は有意差あり ( $p < 0.05$ )

(亀山ら：日歯理工誌36：453-459, 2017の表3を許可を得て転載)

あった。CERA270, KZR2, KAB, EBおよびDENの2軸曲げ強さはサーマルサイクル後で有意に低い値を示した ( $p < 0.05$ )。

#### 4) 2体摩耗試験

各レジンプロックの摩耗量を図4に示す。KABは最大の摩耗量となり、他のレジンプロックと比較して有意に高い値を示した ( $p < 0.05$ )。また、VE, KZR2およびDENは、他のレジンプロックと比較して有意に低い摩耗量を示した ( $p < 0.05$ )。

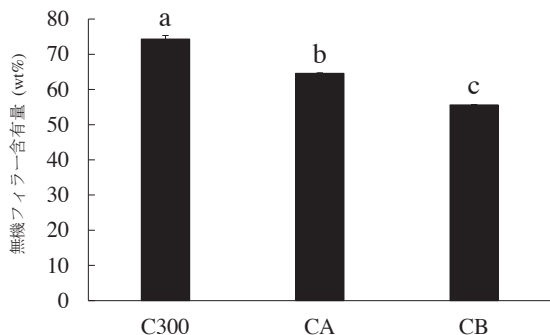
5) 無機フィラー含有量と表面硬さ, 2軸曲げ試験および2体摩耗試験の相関分析

無機フィラー含有量と表面硬さ, 曲げ強さおよび摩耗量におけるPearsonの積率相関係数の分析結果を表3に示す。無機フィラー含有量と表面硬さは有意な正の相関性を認めた。曲げ強さの相関性は非常に低く、摩耗量では有意な負の相関性を認めた。

## 2. 試作レジンプロック

### 1) 無機フィラー含有量

各レジンプロックの無機フィラー含有量の結果を図5に示す。すべてのレジンプロック間で無機フィラー含有量に有意な差が認められた ( $p < 0.05$ )。C300は最も高い値で、また、CBは最も低い値であった。

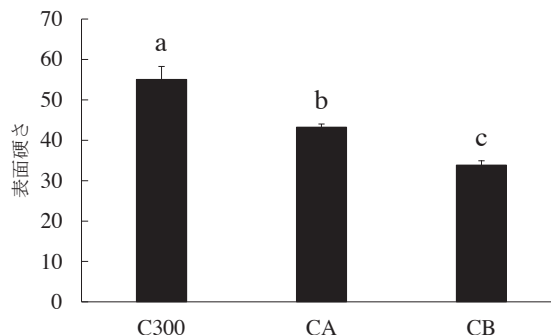


異なるアルファベットは有意差あり ( $p < 0.05$ ) (n=3)

図5 試作レジンプロックの無機フィラー含有量

すべてのレジンプロック間で有意差が認められた ( $p < 0.05$ )。

(亀山ら：日歯理工誌39：77-86, 2020の図1を許可を得て転載)



異なるアルファベットは有意差あり ( $p < 0.05$ ) (n=3)

図6 試作レジンプロックの表面硬さ

すべてのレジンプロック間で有意差が認められた ( $p < 0.05$ )。

(亀山ら：日歯理工誌39：77-86, 2020の図2を許可を得て転載)

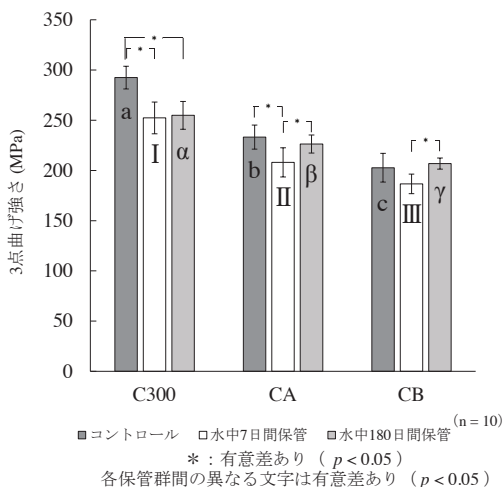


図7 試作レジンプロックの3点曲げ強さ

C300はすべての群において他のレジンプロックと比較して有意に高い値を示した ( $p < 0.05$ )。C300はコントロール群と比較して水中7日間保管群および水中180日間保管群において有意な値の低下を示した ( $p < 0.05$ )。CAは水中7日間保管群においてコントロール群および水中180日間保管群と比較して有意な値の低下を示した ( $p < 0.05$ )。CBは水中180日間保管群と比較して水中7日間保管群は有意な値の低下を示した ( $p < 0.05$ )。

(亀山ら：日歯理工誌39：77-86, 2020の図3を許可を得て転載)

## 2) 表面硬さ試験

各レジンプロックの表面硬さを図6に示す。すべてのレジンプロック間で表面硬さに有意な差が認められた ( $p < 0.05$ )。C300は最も高い表面硬さを示し、また、CBは最も低い表面硬さを示した。

## 3) 3点曲げ試験

各レジンプロックの3点曲げ強さを図7に示す。

C300はコントロール群と比較して水中7日間保管群および水中180日間保管群において有意な曲げ強さの低下を示した ( $p < 0.05$ )。また、C300はすべての群において他のレジンプロックと比較して有意に高い値を示した ( $p < 0.05$ )。CAは水中7日間保管群においてコントロール群および水中180日間保管群と比較して有意な曲げ強さの低下を示した ( $p < 0.05$ )。CBは水中180日間保管群と比較して水中7日間保管群は有意な曲げ強さの低下を示した ( $p < 0.05$ )。

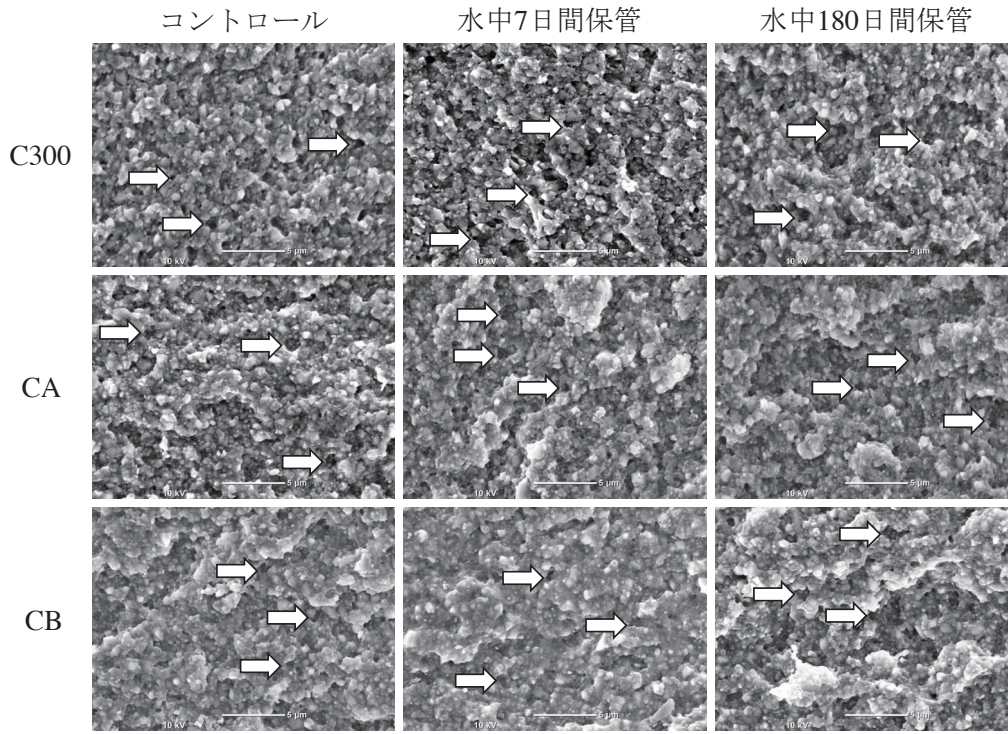
各レジンプロックの3点曲げ試験後の破断面のSEM画像を図8に示す。すべてのレジンプロックにおいて、 $1\mu\text{m}$ 以下の不定形フィラーとナノサイズの小さなフィラーが混在していた。また、各レジンプロックのすべての保管後の破断面においてフィラーの脱落が認められた。C300のコントロール群の破断面には微細な凹凸が観察され、水中保管によって凹みが多く観察され、CAおよびCBのコントロール群は、C300と比較して剥離されているような凹みが観察された。CBの水中180日間保管群はより大きな陥没像が見られた。

## 4) 3体摩耗試験

各レジンプロックの摩耗量を図9に示す。すべてのレジンプロック間で摩耗量に有意な差が認められた ( $p < 0.05$ )。C300は最も低い摩耗量を示し、また、CBは最も高い摩耗量を示した。

## 5) 着色試験

各レジンプロックの色差を図10に示す。C300は着色28日後においても1日目と比較して有意な色差の変化は認められなかった ( $p > 0.05$ )。CAは14日以降より1日目と比較して有意な色差の増加が認められた

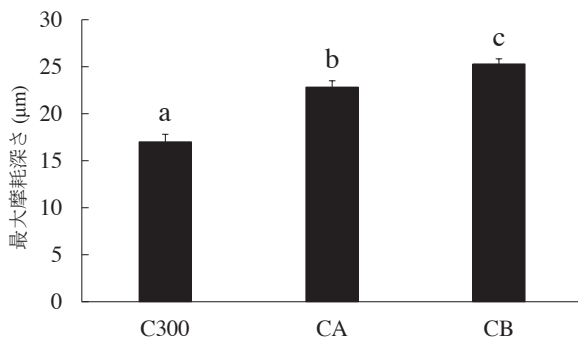


矢印：フィラー脱落

図8 3点曲げ試験後の破断面のSEM画像 (×5,000) (スケール：5 μm)

すべてのレジンプロックにおいて、1 μm以下の不定形フィラーとナノサイズの小さなフィラーが混在していた。また、各レジンプロックのすべての保管群においてフィラーの脱落が認められた。C300のコントロール群の表面には微細な凹凸が観察され、水中保管によって凹みが多く観察された。CAおよびCBのコントロール群は、C300と比較して剥離されているような凹みが観察された。CBの水中180日間保管群はより大きな陥没像が認められた。

(亀山ら：日歯理工誌39：77-86, 2020の図4を許可を得て転載)

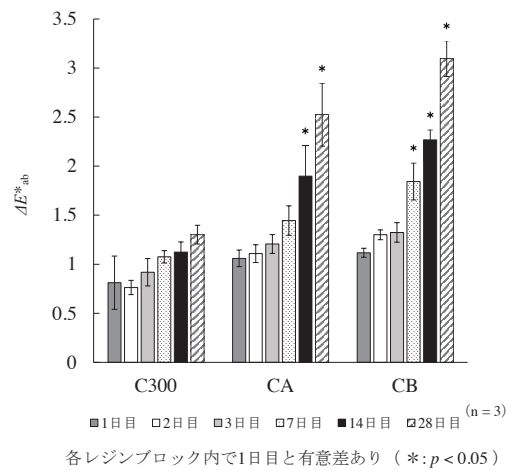


異なるアルファベットは有意差あり ( $p < 0.05$ ) (n = 8)

図9 試作レジンプロックの摩耗量

すべてのレジンプロック間で有意差が認められた ( $p < 0.05$ )。

(亀山ら：日歯理工誌39：77-86, 2020の図5を許可を得て転載)



各レジンプロック内で1日目と有意差あり (\*:  $p < 0.05$ )

図10 試作レジンプロックの着色試験後の色差

C300は着色28日後においても有意差は認められなかった ( $p > 0.05$ )。CAは14日以降より有意な値の増加が認められた ( $p < 0.05$ )。また、CBは7日以降より有意な値の増加を認めた ( $p < 0.05$ )。着色期間に関わらず、各測定日においてC300が最低値、CBが最高値の色差であった。

(亀山ら：日歯理工誌39：77-86, 2020の図8を許可を得て転載)



表4 試作レジンプロックの表面硬さ、3点曲げ強さおよび3体摩耗試験におけるPearsonの積率相関係数

		無機フィラー含有量		
表面硬さ (有意確率)		0.98*		
		(<0.05)		
3点曲げ強さ (有意確率)	コントロール	水中7日間保管	水中180日間保管	
	0.94*	0.85*	0.86*	
	(<0.05)	(<0.05)	(<0.05)	
3体摩耗試験 (有意確率)		-0.95*		
		(<0.05)		

\*相関係数は有意差あり ( $p < 0.05$ )

(亀山ら：日歯理工誌39：77-86, 2020の表3を許可を得て転載)

( $p < 0.05$ )。また、CBは7日以降より1日目と比較して有意な色差の増加を認めた ( $p < 0.05$ )。着色期間に関わらず、各測定日においてC300が最低値、CBが最高値の色差であった。

6) 無機フィラー含有量と表面硬さ、3点曲げ試験および3体摩耗試験の相関分析

無機フィラー含有量と表面硬さ、3点曲げ試験および3体摩耗試験におけるPearsonの積率相関係数を表4に示す。無機フィラー含有量と表面硬さは有意な正の相関性を認め、3点曲げ強さにおいてもすべての群で有意な正の相関性を認めた ( $p < 0.05$ )。3体摩耗試験では、有意な負の相関性を認めた。

## 考 察

フィラー作製技術の進歩<sup>11)</sup>によりレジ系複合材料の機械的強度は向上し、その優れた審美性からも臨床での使用頻度は増加している。レジ系複合材料は、フィラー、マトリックスレジンおよびこれらを化学的に接着させるためのフィラーへの表面処理剤から構成され<sup>12)</sup>、特にフィラーの含有量、種類、大きさおよび形状は、その性質を左右する重要な因子である<sup>13,14)</sup>。

また、近年のレジ系複合材料の需要の高まりの1つにレジンプロックがある。山瀬ら<sup>8)</sup>の報告によるとレジンプロックの保険導入後2年間の小臼歯部補綴装置の月別装着割合において、硬質レジンジャケット冠や全部鑄造金属冠の占める割合は減少傾向を示し、レジンプロックの割合は徐々に増加したとの報告がある。レジンプロックのニーズは高まっており、保険治療の需要は今後さらに増大していくことが予測される。

レジンプロックは、フィラーとマトリックスレジンを高温・高圧下重合しているため、高強度で安定した材料であるが、未重合層が極端に少ないことから、接着において非常に難しい状況であると考えられる<sup>4,5,8)</sup>。したがって、臨床で用いる際には、セラミックと同様にフィラーへの接着が求められ、セラミックに準じた接着前処理と接着性レジンセメントが用いられる<sup>1,2,15)</sup>。レジンプロックの短期間における脱離原因として、サンドブラスト処理およびプライマー処理の有無に関係性があることが報告されている<sup>7)</sup>。われわれは、レジンプロックとレジンセメントの接着性について報告し、各メーカー指定のレジンセメントを用いても同様の接着性ではないことを確認した<sup>16)</sup>。また、レジンプロックの保険導入当初に懸念されていたこととして、破折、摩耗および着色(変色)がある。

そこで本研究では、先ず無機フィラー含有量とレジンプロックの関係を見出すために、8種類の市販レジンプロックの物性を比較、検討した。

### 1. 市販レジンプロック

CERAは、平均粒径300nmのガラスフィラーを均一かつ高密度に重合させ、その間隙には20nmの球状フィラーが存在し、SEM像において一様に粗造な構造が観察されている<sup>17)</sup>。

CERA270は、メーカー公表によるとシラン処理をフィラー全面に行うことでCERAよりもナノフィラーの高密度化を図っており、その結果、CERAと比較して約5%の無機フィラー含有量の増加が認められた。これは、フィラーのシラン処理された表面が多くなることによりマトリックスレジンとのぬれが向上し、フィラーとマトリックスレジンの馴染みが良好に

なったため、CERA よりも多くのフィラーを充填することが可能となったと考えられる。そのため、曲げ強さの向上が認められたと考えられた。また、フィラーは CERA と同一であることから、レジンプロックの物性にはフィラー含有量、粒径および形状だけではなく、フィラーに対する表面処理状態も関与することが示唆された。

HC は、2.5 もしくは 10  $\mu\text{m}$  の球状凝集フィラーが散在され、その間隙にはナノフィラーが高密度に存在し、数  $\mu\text{m}$  の球状凝集フィラーには一部気泡状構造が認められたと報告されている<sup>17)</sup>。この気泡状構造はフィラーとして含まれているジルコニウムシリケート<sup>18)</sup> の脱落であると考えられ、一つの要因としてフィラーの脱落によりマトリックスレジンが露出するため 8 種類のレジンプロックの中で KAB に次いで高い摩耗量を示したと考えられた。

VE は、レジンプロックの一般的な製造方法であるレジンにフィラーを入れて重合させる構造とは全く異なり、酸化アルミニウムで強化された多孔質の長石系セラミックスにモノマー混合体を浸透させ重合させた構造である<sup>19,20)</sup> ため、他のレジンプロックと比較して有意に高い無機フィラー含有量および表面硬さ、さらに有意に低い摩耗量となった。また、2 軸曲げ強さは他のレジンプロックと比較して有意に低いことから、セラミックスに近似した構造を示しており、セラミックス内あるいはセラミックスとマトリックスレジン間に亀裂が進展することにより破壊が生じ、2 軸曲げ強さが低くなったと考えられた。さらに、弾性率が他のレジンプロックと比較して高いことから、VE は本研究で用いたレジンプロックの中では硬くて脆いという最もセラミックスに似た傾向を示すこと示唆された。

KZR2 は、約 700 nm のガラスフィラーと一次粒子が 600 nm 以下のセラミック・クラスター・フィラーの粒子径を近づけることにより、2 つのフィラーとマトリックスレジンの境界を不明瞭化することによりレジンプロックの表面の均質化を図っている<sup>21)</sup>。また、レジンプロック表面の均質化により、亀裂進展が複雑になることから破壊が起こりにくいためサーマルサイクル前は 270 MPa 以上の 2 軸曲げ強さとなり、かつ低い摩耗量を示したと考えられた。

KAB は、表面処理後の超微粒子フィラーを圧縮し、レジンモノマーを浸透、重合させることにより超微粒子フィラーのみを高密度に配合したブロックである<sup>22)</sup>。そのため、SEM 像においてフィラーの形状が確認できるのは高倍率の 30,000 倍で、微小のナノフィラーが高密度に重合されていると報告されている<sup>17)</sup>。

従って、フィラーの表面積が増加し、フィラー含有量を高めることが困難となり、マトリックスレジン部が多くなることから、他のレジンプロックと比較して低い表面硬さおよび弾性率と高い摩耗量であったと示唆された。

EB は、200 nm のシリカおよびジルコニア球状フィラーが高密度に配合<sup>16)</sup> されているため、無機フィラー含有量は 71.4 wt% と高く、高い表面硬さと 2 軸曲げ強さを示したと考えられた。

DEN は、700 nm の不定形または球状のシリカおよびバリウムガラスをフィラーとして配合し、無機フィラー含有量は 72 wt% 以上と高いため、比較的高い表面硬さと低い摩耗量を示したと考えられた。

無機フィラー含有量は、KAB が 60 wt% 以下の結果となった。今回の測定方法ではフィラー表面のシラン処理を除いた重量となる。無機フィラー含有量の公表値は、フィラーとフィラー表面に処理されたシランカップリング剤を含めた値もあるため、実際のレジンプロックのフィラー公表値より数%低い値<sup>23)</sup> となったと考えられた。フィラーの表面積は使用されるシランカップリング剤の処理量に影響を与えるため、超微粒子フィラーのみを充填している<sup>22)</sup> KAB のシランカップリング剤の量は多くなると思われる。また、フィラーのシラン処理前の無機フィラー含有量を公表するメーカーもあれば、シラン処理を含む無機フィラー含有量を公表するメーカーもあると Sabbagh らは報告している<sup>24)</sup>。本研究においても、メーカーが公表している無機フィラー含有量を下回るレジンプロックが多い結果を示した。KAB を除くその他のレジンプロックはフィラー表面のシラン処理を除いた重量であっても無機フィラー含有量が 60 wt% を超えていることから、高いフィラー含有量であることが示唆された。

硬さ試験には従来ピッカース硬さやヌーブ硬さなど、圧子を試料に押し込み、できた圧痕から硬さを算出する方法が用いられてきた<sup>25)</sup> が、この測定方法では、試料表面にできた圧痕が弾性回復により不正確になる、圧子の押し込みにより試料表面に隆起や沈降現象が起きるため、肉眼的計測に差が生じやすく、また塑性変形のみによる硬さしか得ることができない<sup>26)</sup> という欠点があった。本研究で用いたダイナミック表面硬さは、圧子を押し込む過程を連続的に計測することで、試験力と圧子侵入深さの関係から硬さだけではなく弾性率なども評価することができ、破壊の割合が小さく、試料の一部にて測定ができる<sup>27)</sup> という特徴がある。東江らは、ダイナミック硬さはコンポジットレジンの硬さの評価に有効であることを報告している<sup>26)</sup> ことから本研究において対象としているレジ

ブロックの硬さ評価として妥当であると考え。コンポジットレジンのフィラー含有量と機械的性質について、Fujiiら<sup>28)</sup>と宮崎ら<sup>29)</sup>はフィラー含有量と硬さおよび弾性率に正の相関が認められたと報告している。今回の結果からも、レジンブロックにおいて正の相関が認められ、同様の傾向が認められることが示された。

Lauvahutanonら<sup>30)</sup>は、水中保管とサーマルサイクルはレジンブロックの曲げ強さおよび曲げ弾性率に影響すると報告している。本研究において2軸曲げ試験でCERA, HCおよびVEはサーマルサイクル後に有意な2軸曲げ強さの低下は示されなかったが、すべてのレジンブロックでサーマルサイクル後に2軸曲げ強さの低下が認められたことから、マトリックスレジンの吸水によるレジンブロックの劣化、あるいはマトリックスレジンとフィラー界面のシランカップリング層の劣化のため曲げ強さが低下したと示唆された。矢谷らの報告<sup>31)</sup>においても、本研究と同様に水中浸漬後にレジンブロックの平均2軸曲げ強さの低下が認められた。また、すべてのレジンブロックはサーマルサイクル後も140 MPa以上の2軸曲げ強さを示したことから、JIS規格の歯科用セラミック材料(JIS T 6526:2012)においてクラス2に分類<sup>32)</sup>され、2軸曲げ強さの見地から単独であれば臼歯部クラウンに適していると考えられた。試験後のレジンブロックの表面観察によりフィラーの脱落や亀裂の進展など物性に関連する有用な所見が得られるのではないかと考えられた。

今回、摩耗量の測定に用いた2体摩耗試験はアンタゴニストとしてダイヤモンドを用いて行っているため、エナメル質より硬く、実際の口腔内と比較して過酷な条件下での摩耗試験であることが推察できる。このような厳しい条件下においてもレジンブロック間で明らかな有意差が認められることから、口腔内でも摩耗に差が生じる可能性が高いと考えられる。そのため、レジンブロックの機械的性質の良否だけでなく、対合歯への影響を考慮する必要があると示唆された。

市販レジンブロック8種類を用いて検討した結果、無機フィラー含有量の増加によって表面硬さの向上および摩耗量の低下を認めたが、曲げ強さとの関与は低かった。また、市販ブロックで無機フィラー含有量の面から検討を行ったが、VEのようにセラミックスとコンポジットレジン融合したハイブリッドセラミックス<sup>33)</sup>や、KABのようにフィラーを高密度に圧縮後、マトリックスレジンに浸潤させブロック化している<sup>22)</sup>など、フィラーおよびマトリックスレジンの構成のみならず、ブロックの製法が異なることから、その特性はさまざまであり、画一化は困難である。これらの差

異は、レジンブロックに含有されているフィラーが異なることが大きな影響を与えていると考えられる。したがって、同一のフィラーを用い、含有量のみを変化させた場合でなければレジンブロックの特性を図ることは難しいと思われる。

そこで、無機フィラー含有量がレジンブロックの特性に及ぼす影響をより明確にするため、試作ブロックを作製し、同一組成における無機フィラー含有量の増減がレジンブロックに与える影響に関してさらなる検討を行った。

## 2. 試作ブロック

レジンブロックは平成26年度より保険適用となったが、その材料条件は前述の通り厚生労働省から示されたCAD/CAM冠用材料の定義のみで、ISOやJISの規格が整備されておらず性能基準が明確ではなかった。そのため、日本歯科材料工業協同組合より「CAD/CAM冠用歯科切削加工用レジン材料」(JDMAS 245-2017)が制定された<sup>34)</sup>。そこで、試作レジンブロックの研究においてはレジンブロック規格<sup>35)</sup>の3点曲げ試験の研磨条件である#2,000を基準とし、表面硬さ試験、3点曲げ試験および3体摩耗試験を行い、さらに審美的側面として重要な色調変化に関して着色試験後の色差により検討した。

その結果、無機フィラー含有量と表面硬さは非常に高い正の相関性( $r=0.98$ )を認めた。市販レジンブロックを用いた検討においても非常に高い正の相関性( $r=0.91$ )を示したことから、表面硬さはレジンブロックの無機フィラー含有量に対するレジンブロックの物性評価において、レジンブロックの種類および製法に関わらず有効であると考えられる。

JDMAS<sup>35)</sup>の3点曲げ強さは、水中7日間保管によって初期値より20%低下を示すことを踏まえた値に設定されている<sup>34)</sup>。C300は他のレジンブロックと比較して高い曲げ強さを示したが、水中保管によって有意な曲げ強さの低下を示した。これは無機フィラー含有量が高いため、フィラー表面のシランカップリング層の加水分解によりフィラーが容易にマトリックスレジンより脱離し、機械的強度が低下したと示唆される。破断面のSEM観察像では、水中保管の延長によってフィラーの脱離が多くみられた。また、CAおよびCBは、C300より無機フィラー含有量が低いことからコントロール群においてもマトリックス部が剥離されているような凹みが観察され、破壊起点の進展が顕著であったと考えられる。また、CBの水中180日間保管群の破断面は大きく陥没していたが、コントロール群と比較して水中保管後の3点曲げ強さにおいては有意な低下を示さなかった。これは、マトリックスレ

ジンが疎水性モノマーである Bis-MEPP と Bis-GMA より吸水性が低い UDMA から構成されているため、CB のように無機フィラー含有量が低くマトリックスレジンが多い場合は、機械的強度は低くなるが、マトリックスレジンの吸水が抑えられ、水中保管後も 3 点曲げ強さが有意に低下しなかったと考えられる。さらに C300 と異なり CA および CB は、7 日群は 3 点曲げ強さが低下するものの、180 日群ではコントロール群と同等の曲げ強さを示したことから、今回の組成の材料では、マトリックスレジンの増加に伴う長期水中保管に対する抵抗性が示唆された。ただし、破断面の SEM 観察像からは前述の通り破壊の進展が顕著であることから、マトリックス部の吸水による影響をさらに詳細に検討する必要があると思われた。無機フィラー含有量と 3 点曲げ強さではすべての群において有意な正の相関性を認めたことから、同一組成におけるレジンプロックの曲げ強さは無機フィラー含有量の影響を受けることが示唆された。

無機フィラー含有量と摩耗量との間には高い負の相関性が認められ、フィラー添加によって機械的性質が向上し、耐摩耗性を示したと示唆された。一般的にフィラーはコンポジットレジンの耐摩耗性を向上させ、以前の研究において、フィラー含有量の増加により耐摩耗性が向上することが報告<sup>36-38)</sup>されており、本研究で得られた結果と一致していた。しかし、レジンプロックの 2 体摩耗試験と 3 体摩耗試験の結果が異なったという報告もあることから<sup>39)</sup>、摩耗は被検試料のみではなく、アンタゴニストや介在物の有無・種類、荷重そして温度などの因子の組み合わせによる影響も加味されるため、その挙動はより複雑であり、本研究のように材料の組成が同じであっても、摩耗試験法により摩耗量および無機フィラー含有量の増減による影響が同じ傾向とならない可能性も推察される。

コンポジットレジン系材料は、着色性が臨床において問題とされている。本研究においては色差を用いてレジンプロックの着色性を検討した。色差とは、二つの色の間に知覚される色の隔たり、またはそれを数量化した値<sup>40)</sup>を示し、着色試験前との差を比較、検討した。Acar ら<sup>41)</sup>は、2 種類のレジンプロックとニケイ酸リチウムガラスセラミックスブロックおよびナノコンポジットレジンのサーマルサイクリングにおけるコーヒーの染色性を比較し、レジンプロックの種類によって臨床的許容値を上回る染色性を示したことを報告している。また、Arocha ら<sup>42)</sup>はレジンプロックと間接法コンポジットレジンの着色を比較し、レジンプロックの高い着色性を報告しており、レジンプロックであっても製品により耐着色性が異なることが推察さ

れた。製品間における、耐着色性の違いは、マトリックスレジンのモノマーの親疎水性の特徴、フィラーとマトリックスレジンの結合力およびフィラー表面のシランカップリング処理状態に左右されると考える。本研究で用いたレジンプロックは同一組成であるため、マトリックスレジン量の差が明確に反映されると考えられる。さらに、コンポジットレジン系材料の変色には内的小および外的要因があり、未重合部は内的小変色を引き起こすことが知られている。しかしながら、レジンプロックは高温・高圧下で十分な重合が行われていて均質かつ安定した材料<sup>43)</sup>であることから、これらの内的小変色は引き起こされにくいと考えられる。

また、コンポジットレジン系材料の着色性に関しては種々の検討がなされており<sup>42-54)</sup>、染色性は赤ワインが最も高く、次いでコーヒー、紅茶、コーラ、蒸留水の順と報告されている<sup>44)</sup>。本研究では比較的年齢を問わず消費されている飲料であるコーヒーを用いて検討を行った。コーヒーおよび紅茶中の糖は色差を増大させることが報告されている<sup>45)</sup>ため、それらの影響がなく、相対的に見て同濃度であるといった観点から液体コーヒーを選択し、着色試験を行った。その結果、C300 は着色期間によって色差に有意な差は認められなかった。一方、CA は 14 日目、CB は 7 日目から有意な色差の増加が認められた。これはマトリックスレジンへのコーヒー溶液の吸収が生じたことにより、色差に影響を及ぼしたと考える<sup>49)</sup>。最も無機フィラー含有量の低い他のレジンプロックと比較して CB は早期に着色性を示したことから、マトリックスレジン含有量の増加が着色性を増加させると示唆された。C300 は高い無機フィラー含有量とその組成から、28 日目までは有意な着色性がみられなかったと考える。*in vitro* における 28 日間浸漬は、*in vivo* における約 2.5 年間に値するとされており<sup>42,50,51)</sup>、保険診療を想定した補管期間の 2 年を想定する研究として妥当な評価であったと考える。しかし、*in vitro* な実験方法であるため、実際の口腔内においては咬合やブラッシング、プラークの付着などにより表面の粗造化が進行することが考えられ、実験値よりも色差が大きくなることが示唆される。色差の値と許容度の関係については多数の報告があり、Vichi ら<sup>52)</sup>は  $\Delta E^*ab$  の値を 3 つに分類し、 $\Delta E^*ab < 1.0$  は人間の目で認められず、 $1.0 < \Delta E^*ab < 3.3$  は、臨床的許容値とし、 $\Delta E^*ab > 3.3$  は臨床的に許容されないという。また、Douglas ら<sup>55)</sup>は、50% の歯科医師が許容できないとされる  $\Delta E^*ab$  を 2.6 と報告している。人間の目で判別不能な  $\Delta E^*ab$  が  $< 1.0$ <sup>50)</sup> や、 $< 1.5$ <sup>53)</sup>。臨床的な許容上限が  $\Delta E^*ab = 3.3$ <sup>54,56)</sup> など、その基準は必ずしも一致し

ていることではなかったが、得られた値を単純に比較すると28日目においてCBの色差はC300の約2倍以上であり、無機フィラー含有量の差(18.7wt%)が2倍以上の変色をもたらしたと考えられる。また、 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ については、 $L^*$ は明度を示し、 $a^*$ は+方向で赤、-方向で緑、 $b^*$ は+方向で黄、-方向で青を表す<sup>57)</sup>。 $b^*$ はすべてのレジンプロックで浸漬時間が長くなると+となり、黄色系に変色していた。これは、コーヒーに含まれる低極性の黄色の色素<sup>42,44)</sup>によって変色が生じたと考える。Sabaら<sup>50)</sup>は、コーヒー浸漬後のレジンプロックの着色と微小硬さの低下を報告しており、コーヒー溶液による物性の低下を示した。したがって、レジンプロックも従来のコンポジットレジンで周知のように、吸水による物性低下および着色への影響が懸念されると示唆された。

以上のように、無機フィラー含有量を変えた試作レジンプロックでは、表面硬さ、3点曲げ強さ、摩耗量および着色性に関連することが示唆された。

## 結 論

本研究では、無機フィラー含有量の観点からレジンプロックの特性を検索するために、8種類の市販レジンプロックおよび市販大白歯部用レジンプロック(C300)とC300と同一組成で無機フィラー含有量が異なる2種類の試作レジンプロック(CAおよびCB)を用いて種々の性質を検討し、以下の結論を得た。

1. 市販および試作レジンプロックのいずれでも無機フィラー含有量と表面硬さとの間には強い正の相関が認められた。
2. 市販レジンプロックでは、無機フィラー含有量と曲げ強さとの間には有意な相関は認められなかった。一方、同一組成である試作レジンプロックでは、無機フィラー含有量と曲げ強さの間には高い正の相関を示し、かつ、無機フィラー含有量の増加により曲げ強さの向上が認められた。
3. 市販および試作レジンプロックのいずれでも無機フィラー含有量と摩耗量は強い負の相関が認められた。
4. 試作レジンプロックは、無機フィラー含有量の減少によって経時的に易着色性を示した。

## 謝 辞

稿を終えるにあたり、終始御懇切なる御指導、御校閲を賜りました本学口腔科学講座クリニカル・バイオマテリアル学分野 二瓶智太郎教授に深甚なる謝意を表すとともに、御校閲、御助言をいただきました日本大学松戸歯学部歯科生体材料学講座 谷本安浩教授に厚く御礼申し上げます。

さらに、本研究を遂行するにあたり、終始多大なる御指導、ご教授を賜りました本学口腔科学講座クリニカル・バイオマテリアル学分野 大橋 桂准教授に深甚なる謝意を表します。

最後に、本研究を御支援いただきました本学口腔科学講座クリニカル・バイオマテリアル学分野教室員各位に厚く御礼申し上げます。

本学位申請まとめ論文は亀山ら<sup>36)</sup>：日歯理工誌，36：453-459，2017の一部および亀山ら<sup>58)</sup>：日歯理工誌，39：77-86，2020の一部をまとめたものである。

本研究に関連して、株式会社ジーシーより試作CAD/CAM冠用ハイブリッドレジンプロックの提供を受けましたが、開示すべき利益相反関係はありません。

## 文 献

1. 宮崎 隆，堀田康弘，片岡 有ほか：保険適用CAD/CAMシステムの特徴。日本デジタル歯科学会誌，5(1)：11-16，2015。
2. 疋田一洋：CAD/CAM冠と歯科におけるCAD/CAM技術の現状。接着歯学，32(4)：226-231，2014。
3. 新谷明一，三浦賞子，小泉寛恭ほか：CAD/CAM冠の現状と将来展望。日補綴会誌，9：1-15，2017。
4. 藤井孝政，田中昌博：CAD/CAM冠-CAD/CAM製作によるハイブリッドレジックラウン。日歯理工誌，33(6)：523-526，2014。
5. 末瀬一彦：CAD/CAMシステムによる歯冠修復を振り返って。歯産学誌，29(1)：3-8，2015。
6. 宮崎 隆，堀田康弘，藤島昭宏ほか：CAD/CAM用歯科材料の進化。昭和歯学会誌，75(1)：12-20，2015。
7. 末瀬一彦：保険診療に導入された「CAD/CAM冠」の初期経過に関する調査研究。日本デジタル歯科学会誌，5(1)：85-93，2015。
8. 山瀬 勝，曾布川裕介，石田鉄光ほか：CAD/CAMレジックラウンの2年間の臨床経過観察。日補綴会誌，9：137-144，2017。
9. 株式会社ジーシー：歯科用レジンプロックの製造方法。WO2015/045698 A1. 2015-04-02。
10. Nihei T, Dabanoglu A, Teranaka T *et al.*: Three-body-wear resistance of the experimental composites containing filler treated with hydrophobic silane coupling agents. *Dent Mater.* 24: 760-764, 2008.
11. 山田敏元，宇野 滋，杉崎順平：コンポジットレジン開発の歴史。接着歯学，32(1)：63-71，2014。
12. 日比野 靖：ライブ歯科理工学-よくわかるやさしい講義中継-：第2版，学研書院，東京，190-192，2009。
13. 平澤 忠，荒木吉馬，大野弘機ほか：要説 歯科材料学：第8版，医歯薬出版，東京，245-246，1999。
14. 小倉英夫，高橋英和，宮崎 隆ほか：コア歯科理工学：第1版，医歯薬出版，東京，68-69，2008。
15. 伴 清治：臨床家のためのCAD/CAMマテリアルの基礎知識。補綴臨床，49：60-77，2016。
16. 山口絃章，亀山祐佳，三宅 香ほか：CAD/CAM冠用レジンプロックに対するレジンセメントの接着耐久

- 性について. 接着歯学. **34**: 133-140, 2016.
17. 宇野 滋, 阿保備子, 山田敏元: 保険適用 CAD/CAM 冠用レジンブロックの SEM 観察. 接着歯学. **33**(2): 83-88, 2015.
  18. 北村敏夫, 藺井秀次, 中塚稔之: 松風ブロック HC の材料的特性について. 歯産学誌. **29**(1): 15-18, 2015.
  19. 堀田康弘: CAD/CAM レジンブロック. 日歯理工誌. **34**(1): 25-26, 2015.
  20. 野川裕樹: ビタ エナミック. 日歯理工誌. **34**(1): 31-32, 2015.
  21. 山添正稔, 加藤喬夫, 松浦理太郎ほか: ヤマキン「KZR-CAD HR ブロック 2」の特性. 日本デジタル歯科学会誌. **6**(1): 23-27, 2016.
  22. 菊池琢伸: 新規製造方法を採用した「カタナ アベンシア ブロック」の特性. 日本デジタル歯科学会誌. **6**(1): 13-16, 2016.
  23. Hirayama S, Iwai H, Tanimoto Y *et al.*: Mechanical evaluation of five flowable resin composites by the dynamic micro-indentation method. *J Dent Biomech.* **5**: 1-8, 2014.
  24. Sabbagh J, Ryelandt L, Bachérius L *et al.*: Characterization of the inorganic fraction of resin composites. *J Oral Rehabil.* **31**: 1090-1101, 2004.
  25. 中島 裕, 西山典宏, 宮崎 隆ほか: スタンダード歯科理工学-生体材料と歯科材料-; 第 6 版, 学建書院, 東京, 32-33, 2016.
  26. 東江文香, 前田 徹, 滑川初枝ほか: 光重合型コンポジットレジンのダイナミック硬さ. 日歯保存誌. **39**(2): 530-535, 1996.
  27. 前田豊一, 湖中泰徳, 川崎健史: 島津ダイナミック超微小硬度計 DUH-211 とその測定例. 島津評論. **63**(3-4): 201-209, 2006.
  28. Fujii K, Ginya K, Arikawa H *et al.* Composite Restorative Resins Part 2 Physical and Mechanical Properties of UV and Visible Light-activated Composite Resins. *Dent Mater J.* **5**(2): 252-259, 1986.
  29. 宮崎光治, 古本孝博, 堀部 隆ほか: 光重合硬質レジンの組成と物理的および科学的性質との関係. 日補綴会誌. **33**(3): 510-516, 1989.
  30. Lauvahutanon S, Takahashi H, Shiozawa M *et al.*: Mechanical properties of composite resin blocks for CAD/CAM. *Dent Mater J.* **33**(5): 705-710, 2014.
  31. 矢谷博文, 要 智子, 若林一道: CAD/CAM 冠大白歯適用における長期的耐久性の予測-破壊強度評価にもとづく将来展望. 補綴臨床. **49**(5): 477-494, 2016.
  32. JIS T 6526: 2012. 歯科用セラミック材料. 日本規格協会.
  33. 伴 清治 編著: CAD/CAM マテリアル完全ガイドブック: 第 1 版, 医歯薬出版, 東京, 74-81, 2017.
  34. 熊谷知弘: CAD/CAM 冠の大白歯適用までの背景. 日歯理工誌. **37**: 131-134, 2018.
  35. JDMAS 245-2017: CAD/CAM 冠用歯科切削加工用レジン材料. 日本歯科材料工業協同組合.
  36. 亀山祐佳, 大橋 桂, 山口紘章ほか: CAD/CAM 冠用ハイブリッドレジンブロックの物性に関する研究. 日歯理工誌. **36**(6): 453-459, 2017.
  37. 坪田圭司, 角野奈津, 山路 歩ほか: 白歯部用コンポジットレジンの wear および曲げ特性. 日歯保存誌. **56**: 169-177, 2013.
  38. Lim BS, Ferracane JL, Condon JR *et al.*: Effect of filler fraction and filler surface treatment on wear of microfilled composites. *Dent Mater.* **18**(1): 1-11, 2002.
  39. Stöckl C, Hampe R, Stawarczyk B *et al.*: Macro- and microtopographical examination and quantification of CAD-CAM composite resin 2- and 3-body wear. *J Prosthet Dent.* **120**(4): 537-545, 2018.
  40. JIS Z 8730-2009. 色の表示方法-物体色の色差. 日本規格協会.
  41. Acar O, Yilmaz B, Altintas SH *et al.*: Color stainability of CAD/CAM and nanocomposite resin materials. *J Prosthet Dent.* **115**(1): 71-75, 2016.
  42. Arocha MA, Basilio J, Llopis J *et al.*: Colour stainability of indirect CAD-CAM processed composites vs. conventionally laboratory processed composites after immersion in staining solutions. *J Dent.* **42**(7): 831-838, 2014.
  43. Stawarczyk B, Sener B, Trottmann A *et al.*: Discoloration of manually fabricated resins and industrially fabricated CAD/CAM blocks versus glass-ceramic: effect of storage media, duration, and subsequent polishing. *Dent Mater J.* **31**: 377-383, 2012.
  44. Ertaş E, Güler AU, Yücel AC *et al.*: Color stability of resin composites after immersion in different drinks. *Dent Mater J.* **25**: 371-376, 2006.
  45. Güler AU, Yilmaz F, Kulunk T *et al.*: Effects of different drinks on stainability of resin composite provisional restorative materials. *J Prosthet Dent.* **94**: 118-124, 2005.
  46. 原 健一郎, 大橋 桂, 二瓶智太郎: フロアブルコンポジットレジンの着色性. 神奈川歯学. **50**: 9-19, 2015.
  47. 石浦雄一, 宮田望美, 割田研司ほか: 歯冠用硬質レジンのコーヒー液浸漬時の色調変化について. *Dental Med Res.* **30**: 9-14, 2010.
  48. 平野 進, 齊藤仁弘, 西山 實ほか: 飲食物類似溶液中に長期浸漬したコンポジットレジンの色調変化. 日歯理工誌. **16**: 472-478, 1997.
  49. Um CM, Ruyter IE: Staining of resin-based veneering materials with coffee and tea. *Quintessence Int.* **22**(5): 377-386, 1991.
  50. Saba DA, Salama RA, Haridy R: Effect of different beverages on the color stability and microhardness of CAD/CAM hybrid versus feldspathic ceramic blocks: An in-vitro study. *Future Dental Journal.* **3**: 61-66, 2017.
  51. Ardu S, Duc O, Di Bella E *et al.*: Color stability of different composite resins after polishing. *Odontology.*

- 106**(3): 328-333, 2018.
52. Vichi A, Ferrari M, Davidson CL: Color and opacity variations in three different resin-based composite products after water aging. *Dent Mater.* **20**(6): 530-534, 2004.
53. Nasim I, Neelakantan P, Sujeer R *et al.*: Color stability of microfilled, microhybrid and nanocomposite resins—an in vitro study. *J Dent.* **38**(2): 137-142, 2010.
54. Ruyter IE, Nilner K, Moller B: Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dent Mater.* **3**(5): 246-251, 1987.
55. Douglas RD, Steinhauer TJ, Wee AG: Intraoral determination of the tolerance of dentists for perceptibility and acceptability of shade mismatch. *J Prosthet Dent.* **97**(4): 200-208, 2007.
56. Wieckiewicz M, Opitz V, Richter G *et al.*: Physical properties of polyamide-12 versus PMMA denture base material. *Biomed Res Int.* 2014: 150298, 2014.
57. 大概昌幸: 歯のホワイトニング治療時の測色. 日歯理工誌. **37**(1): 25-28, 2018.
58. 亀山祐佳, 大橋 桂, 和田悠希ほか: 無機フィラー含有量の違いによるCAD/CAM冠用ハイブリッドレジンブロックの性質. 日歯理工誌. **39**(1): 77-86, 2020.
-