原 著 論 文

支台築造用コンポジットレジン of X線不透過性

張 榮博 岩堀 正俊 西澤 誠剛
山内 六男 長澤 亨

Radiopacity of Composite Core Materials

Eihaku Cho, Masatoshi Iwahori, Masatake Nishizawa,
Mutsuo Yamauchi and Tooru Nagasawa

Abstract : The aim of this study was to investigate the radiopacity of composite core materials.

Radiopacity of composite core materials, filling materials and base cements were measured by densitometer. The elemental analysis of fillers were made by using an electron probe microanalyzer, and the filler substances were identified by a powder X-ray diffractometer.

Radiopacity of composite core materials, except for some resin materials, showed low radiopacity. Silicate glass or crystal silica was found in all fillers. Zr or Yb was identified in some fillers, and Ba ions were detected in the glass fillers. Composite resin core material including Zr showed the highest radiopacity.

These results suggest that the filler including Zr ion would be preferable for increasing the radiopacity of composite resin.

Key words : composite core materials, radiopacity, elemental analysis, powder X-ray diffraction

I. 結 言

近年、支台築造を伴う歯冠修復処置に際して、その使用法の簡便さや患者の来院回数を減少できる点から、コンポジットレジンによる支台築造が増加しつつある^{1,2)}。

一方、充填用コンポジットレジンの理工学的性質の中で、X線不透過性は二次う蝕や充填状態などの診査

にとって必要不可欠な性質の1つである³⁾。この目的のために、エナメル質以上のX線不透過性がコンポジットレジンに求められており、種々の方法^{4~7)}によってX線不透過性の向上が図られている。

しかしながら、これまで充填用コンポジットレジンのX線不透過性についての報告^{3,8~13)}はみられるものの、支台築造用コンポジットレジンに関しての報告^{14,15)}は少ない。

そこで本研究では、市販の支台築造用コンポジットレジンのX線不透過性について検討するとともに、フィラーの構成元素の同定を行い、X線不透過性を向上させている因子についても検討を加えた。

朝日大学歯学部歯科補綴学第1講座（主任：長澤 亨教授）
Department of Removable Partial Denture Prosthodontics,
Asahi University School of Dentistry (Chief : Prof. Tooru
Nagasawa)

平成6年3月24日受付

表 1 実験材料

商 品 名		略号	バッチナンバー	製造会社
支台築造用 コンポジットレジン	マイクロレストコア	MC	B : 250351 C : 070171	ジーシー
	コアライト	CR	B : 241261 C : 070171	ジーシー
	パルフィークコア	PF	B : CB646 C : CA150	徳山曹達
	クリアフィルコア	CC	B : RU1612 C : RC1512	クラレ
	コアマックスII	CM	P : 205 L : 301	三金工業
	ベルフィールコア	BF	B : 18H70 C : 18H79	鐘紡
	フォトクリアフィルコア	PC	61B1450	クラレ
	ブルーコア	BL	76060	TELDEYNE GETZ
臼歯部用 コンポジットレジン	クリアフィルポステリア	CP	B : PU2233 C : PC2133	クラレ
	アダプティックラジオペーク	AR	B : 5M106 C : 5M106	Johnson & Johnson
	オクラシン	OC	LH06	ICI
	ライトフィルポステリア	LP	108668	松風
	パルフィークライト S	PL	US207	徳山曹達
	ミラダプト	MD	B : 7A401 C : 7B401	Johnson & Johnson
	ヘリオモラー	HM	70414	VIVADENT
	デンチンセメント	DC	P : 051171 L : 021171	ジーシー
裏装用セメント	ベースセメント	BC	P : 128506 L : 038686	松風
	フジアイオノマー	FI	P : 010421 L : 130471	ジーシー
	ケタックボンド	KB	P : 0007 L : 0010	ESPE
	ミラクルミックス	MM	P : 191081 L : 161181 A : 061281	ジーシー
金合金	金パラエース	PD	8907010314	徳力

B : ベース, C : キャタリスト, P : パウダー, L : リキッド, A : アロイ

II. 実験材料および方法

1. 実験材料

実験には、支台築造用コンポジットレジン 8 種、充填用コンポジットレジン 7 種、セメント系のベース材 5 種、および 12% 金銀パラジウム合金を用いた (表 1)。これらの材料を直径 9 mm で厚さがそれぞれ 1, 2, 3 mm の円板状に成形し、試料とした。

2. 実験方法

1) X線濃度の測定

試料を X 線フィルム (コダック社製 XTL-2) 上に置き、X 線撮影装置 (島津製作所製 ID 150 L-3) にて管電圧 60 kvp, 管電流 200 mA, 被写体・焦点間距離 100 cm, 撮影時間 0.8 秒で撮影し、自動現像機 (フジフィルム社製 FPM-4000) を用いて現像した。撮影は同じ厚みの試料については同時に行った。現像したフィルムを試料台上に置き、試料に相当する部分の X 線濃度をデンシトメーター (サクラフィルム社製

表 2 定性分析結果

構成元素		化合物
MC	Si, Ba, S, Ca	BaSi ₂ O ₅ (Glass), BaSO ₄
CR	Si, K, Bi, Al, Na	KAlSi ₃ O ₈ (Glass)
PF	Si, Zr, Al, Ti	SiO ₂ (α -Quartz), ZrO ₂
CC	Si, La, Al, K	SiO ₂ (α -Quartz)
CM	Si, Ca	SiO ₂ (α -Quartz)
BF	Si, Zr, Al, Ca	Al ₂ SiO ₅ (Glass)
PC	Si, Ba, Al, Ca	SiO ₂ (α -Quartz)
BL	Si, Ba, Al, K, Ca	Ca ₂ SiO ₄ (Glass)
CP	Si, Al, La	SiO ₂ (α -Quartz)
AR	Si, Ba, Al, Ca	SiO ₂ (α -Quartz)
OC	Ba, Si, Al	BaSi ₂ O ₅ (Glass)
LP	Si, Ba, Al, Na	Glass
PL	Si, Zr	Glass
MD	Si, Ba, Al, Ca	Glass
HM	Yb, Si, N, Br	SiO ₂ (α -Cristobalite), YbBr ₂
DC	Al, Sr, Si, F, P, Na, K, Sn, Ba	SiO ₂ , BaCO ₃ , KAlSi ₃ O ₈ (Glass), BaSi ₂ O ₅ (Glass), Al ₂ SiO ₅ (Glass)
BC	Si, Al, Ca, Ba, P, S, F, Na, K	BaSO ₄ , BaF ₂ , BaSi ₂ O ₅ (Glass)
FI	Si, Sr, Al, F, Ca, P, Na, K, Ba	Ca ₂ SiO ₄ (Glass), CaCO ₃
KB	La, Si, Ca, Al, F, P, Na, K	Ca ₂ SiO ₅ (Glass), CaCO ₃ , KAlSi ₃ O ₈ (Glass)

図 1 厚さ 1 mm の試料における X 線写真

図 2 厚さ 1 mm の試料のデンスリトメーターチャートの 1 例

PDS-15) で測定した。

2) X線回折, 定性分析および面分析

先に X 線不透過性を測定した試料を用いて X 線回折装置 (島津製作所製 XD-3 A) により管電圧 30 kVp, 管電流 30 mA で回折線の測定を行い, さらに自動分析システム (島津製作所製 DP-61) によりデータ処理後, 構成物質の同定を行った。

一方, メーカー指示に従って直径 3 mm, 高さ 5 mm の円柱状に重合した試料をアクリル樹脂に包埋し, 表面を耐水ペーパー # 2000 で研磨した試料を電子線マイクロアナライザー (島津製作所製 EPMA-8705) を用いてレジン研磨面の 2 次電子像を倍率 2,000 倍で観察するとともに, 高速定性分析システム

(島津製作所製 E-2) を用いて試料電圧 20 kVp, 試料電流 0.1 μ A, ビームサイズ 100 μ m で定性分析を行った。また, 試料電圧 20 kVp, 試料電流 10 nA, 反射電子像倍率 2,000 倍で面分析を行った。

III. 結 果

1. X線濃度

図 1 に実際に撮影したフィルムの 1 例を示した。図 1 に示したフィルムの試料部分の X 線濃度をデンスリトメーターで測定したチャートの一部を図 2 に示した。

厚さ 1 mm の場合, 試料中 PD が最も X 線濃度が低く, 次いで MM であった。コンポジットレジンの中では OC が最も X 線濃度が低く, 支台築造用コンポ

図3 厚さ1 mmの試料におけるX線写真真濃度

図4 厚さ2 mmの試料におけるX線写真真濃度

図5 厚さ3 mmの試料におけるX線写真真濃度

ジットレジンはPFとCRが最もX線濃度が低かったが、OCに比べてX線濃度はやや高い値を示した。また、CMとMCが最も高い値を示した(図3)。

厚さ2 mmの場合、コンポジットレジの中ではやはりOCが最もX線濃度が低く、次いでPFであった(図4)。

厚さ3 mmの場合、コンポジットレジの中ではOCが最もX線濃度が低く、次いでPF、CR、BL、HMの順であり、CMが最も高い値を示した。しかし、いずれの厚さにおいてもPDのX線濃度に相当するものはなかった(図5)。

図6は支台築造用コンポジットレジの中で最もX線不透過性の高かったPF、最もX線不透過性の低

図6 PC, PF, CMを用いて支台築造した抜去歯のX線写真

図7 図6のX線写真を歯軸と平行に走査したデンシトメーターチャート

表3 図6に用いたコンポジットレジと歯質のアルミニウム当量の比較

材 料	PF	PC	CM	エナメル質	象牙質
アルミニウム当量	3.8	1.5	0.6	4.4	2.8
(mm)					

かったCM、光重合型支台築造用コンポジットレジンのPCを試料として、実際に抜去歯に支台築造しX線撮影したものである。図7は図6をデンシトメーターで歯軸と平行に測定したチャートである。フィルム上ではPFは象牙質との識別が良いようであるが、デンシトメーターによるX線濃度の測定では識別は明確ではなかった。また、他の試料ではX線写真上での識別はあまり良くなかった。図6のPFでは判別が可能なが、これは実験的に歯冠を切断した歯牙に支台築造し、X線撮影を行ったために接線効果によってマージンが明確になったと考えられる。しかし、臨床の間ではこのようなケースはきわめてまれであり、充填状態や二次う蝕の診査は困難となる。表3にPF、PC、MCそれぞれの1 mmのアルミニウム当量と、エナメル質と象牙質のアルミニウム当量を示す。

図 8 バルフィークコアの面分析
赤色はジルコニウム (Zr), 緑色は珪素 (Si),
青色はアルミニウム (Al) を示す

図 10 ヘリオモラーの面分析
赤色はイッテルビウム (Yb) と臭素 (Br),
緑色は珪素 (Si) を示す

図 9 クリアフィルコアの面分析
赤色はランタン (La) と珪素 (Si),
青色は珪素 (Si) のみを示す

図 11 オクラシンの面分析
赤色はバリウム (Ba), 緑色は珪素 (Si),
黄色はバリウム (Ba) と珪素 (Si) を示す

PF のアルミニウム当量は 3.8 と象牙質のアルミニウム当量 2.8¹⁶⁾ より大きいものの、エナメル質のアルミニウム当量 4.4¹⁶⁾ よりも小さかった。

2. X線解析, 定性分析および面分析

X線不透過性には、無機質フィラーが関係していると考えられるためX線解析を行った。その結果、いずれの試料においても特有のピークを示さず、アモルファスな像を呈した。そこで無機質フィラーの成分を同定するため、電子線マイクロアナライザーを用いて定性分析を行った。

これらの結果より、CM, PC, CC, PF, HM,

CP, AR には、無機質フィラーの主成分として酸化珪素 (SiO_2) が含まれていた。BL, KB, FI には、カルシウムガラス (Ca_2SiO_5) が無機質フィラーの主成分として含まれていた。また、CR, DC, KB ではフィラーとしてアルミノ珪酸カリウムガラス (KAl_3SiO_8) を含んでおり、BF のようにアルミノ珪酸ガラス (Al_2SiO_5) を含むものもあった。MC, OC ではバリウムガラス (BaSi_2O_5) がフィラーとして含有されており、セメント系の試料では数種類のガラスフィラーを含むものもあった (表 2)。

支台築造用コンポジットレジンの中で最もX線不透過性の高かったPFでは、酸化珪素 (SiO_2 , α -

Quartz)の他にジルコニウム (Zr) が含まれていた。面分析を行ったところ、0.01 mm 程度の大きさのジルコニウムが確認された。自動分析システムによる分析結果から、酸化ジルコニウム (ZrO_2) ではないかと推測される (図8)。また、定性分析で検出されたチタン (Ti) は顔料としてマトリクスレジン中に存在しており、アルミニウム (Al) は、顆粒の状態で存在していることが確認された。次いでX線不透過性の高かったCRでは、アルミニウム (Al) とカリウム (K) を含むガラスフィラー (KAlSi_3O_8) 以外にビスマス (Bi) を含む化合物が確認されたが、化合物の同定はできなかった。

CCでは、酸化珪素 (SiO_2) の他にランタン (La) が含まれていた。面分析の結果、0.005 mm 以下の酸化珪素 (SiO_2 , α -Quartz) フィラーと0.003 mm 以上のランタン (La) と珪素 (Si) を含んだ化合物が確認された。この大きなフィラーはランタンガラスであると推測された (図9)。

一方、X線不透過性を標示したHMでは、酸化珪素 (SiO_2 , α -Cristobalite) のほかにイッテルビウム (Yb) と臭素 (Br) が検出された。面分析の結果イッテルビウム (Yb) と臭素 (Br) は同一部位に検出されたため、水に難溶なハロゲン化物である臭化イッテルビウム (YbBr_2) であると同定された (図10)。

また、コンポジットレジンの中で最も高いX線不透過性を示したOCでは、バリウム (Ba) が検出された。面分析の結果、バリウム (Ba) と珪素 (Si) が同一部位に存在したので、バリウムガラス (BaSi_2O_5) であると同定された (図11)。光重合型の支台築造用コンポジットレジンの中で最もX線不透過性の高かったBLでは、フィラーの主成分はカルシウムガラス (Ca_2SiO_5) であると判定されたが、面分析の結果バリウムガラス (BaSi_2O_5) が検出された。したがって、BLのフィラーは、表2のDP-61の判定によるカルシウムガラス (Ca_2SiO_5) 以外にバリウムガラス (BaSi_2O_5) が含まれており、このバリウムガラスがBLのX線不透過性に関与していた。

IV. 考 察

従来より臼歯部用コンポジットレジンにはエナメル質以上のX線不透過性が求められており³⁾、今回の結果では、市販の充填用および支台築造用コンポジット

レジンともに満足のいくX線不透過性を有するものはなかった。

コンポジットレジンマトリクスレジンと無機質フィラーより構成されている。したがって、そのX線不透過性を向上させるためにはマトリクスレジンそのものをX線不透過性を有するものに改良するか、またはX線不透過性を有する無機質フィラーを添加する方法が考えられる。マトリクスレジン自体は、水素 (H)、酸素 (O)、炭素 (C) からなり、そのX線不透過性を向上させるために、小堀ら^{4,6)}や安斎ら⁵⁾は臭素 (Br) や硫黄 (S) などをマトリクスレジンに結合させ平均原子番号を大きくし、マトリクスレジン自体をX線不透過性を有するものに改良する試みを報告しているが、いまだ不十分であると考えられる。また、密度を高めることによってX線不透過性の向上が期待できるが、そのためには高压下での重合が必要であり、臨床応用の面からは現実的ではない。

通常、コンポジットレジンX線不透過性を向上させるためにはフィラーにX線不透過性の高いバリウム (Ba) やジルコニウム (Zr) が添加されている。今回検討したコンポジットレジンでも、最もX線不透過性の高かったOCではバリウム (Ba) がバリウムガラス (BaSi_2O_5) フィラーとして、支台築造用コンポジットレジンの中で最もX線不透過性の高かったPFではジルコニウム (Zr) が酸化ジルコニウム (ZrO_2) として含有されていた。次いでX線不透過性の高かったCRではビスマス (Bi) の化合物が含有されていた。X線不透過性を標示したHMでは、イッテルビウム (Yb) が臭化イッテルビウム (YbBr_2) として含有されていた。他の試料でもMC, PC, BL, AR, LP, MD, DC, BC, FIのそれぞれに構成元素としてバリウム (Ba) が検出され、特にMC, DC, BCの3試料ではOCと同様のバリウムガラス (BaSi_2O_5) と判定された (表2)。また、BLのように、構成元素としてバリウム (Ba) が検出されたにもかかわらず、X線回折ではバリウムガラス (BaSi_2O_5) と判定されないものもあった。これは、ガラス化されているため明確なピークが得られなかったためであると思われる。

バリウム (Ba) 自体は原子番号も56と大きく、生体為害作用があるものの、比較的安定な化合物である硫酸バリウム (BaSO_4) は、X線造影剤として広く応用されている。しかし、バリウム (Ba) は、水と反応してpHを上昇させ、pHの上昇は、フィラーと

して用いた場合マトリクスレジンとのシロキサン結合の劣化を促進する。このため、通常コンポジットレジンにはバリウムガラス (BaSi_2O_5) フィラーとして含有されているが、ガラス化されても耐水性に乏しいため、十分なX線不透過性を得られる量を含有すると、その機械的性質が低下する¹⁰⁾。しかも、ガラス化されたことによって平均原子番号が小さくなり良好なX線不透過性を示さなくなると考えられる。一方、X線不透過性を標示したHMでは、臭化イッテルビウム (YbBr_2) が検出された。しかし、HMのX線不透過性はそれほど良くなかった。これは、臭化イッテルビウム (YbBr_2) の含有量が少なかったためではないかと考えられる。また、イッテルビウム (Yb) は水に難溶なハロゲン化物として含有されているが、イッテルビウム (Yb) 自身には7種の同位体が存在し、¹⁶⁸Ybはシンチレーションに用いられるなどの放射性同位元素が存在するため推奨できる方法ではない。

CRで検出されたビスマス (Bi) は、原子番号83、原子量209で、その化合物は皮膚病や下痢、潰瘍のような消化器病の治療に薬品として用いられている¹⁷⁾。しかし、長期間にわたる経口投与や、外用薬の長期連続使用によって精神神経系への障害などの副作用があり¹⁸⁾、長期間口腔内に装着される歯科用材料としては適切ではない。

樽味¹⁹⁾は、 $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ガラスをフィラーに用いたコンポジットレジンを試作し、バリウムガラスにかわる新しいX線不透過性を有するフィラーとしての可能性を示したが、バリウム (Ba) と同様にガラス化されたことによって平均原子番号が小さくなり、イッテルビウム (Y) 自身の持つX線不透過性が十分に活かされていないと考えられる。

今回測定した支台築造用コンポジットレジンの中で最も良好なX線不透過性を示したPFに含まれるジルコニウム (Zr) は、原子番号は40とバリウム (Ba) と比較してやや低いものの、非常に高い生物学的安定性を有し、生体材料として高く評価されている¹⁹⁾。都尾²⁰⁾も、歯冠修復用レジンのX線不透過性について検討を加え、ジルコニウム (Zr) を含有しているレジンでは良好なX線不透過性を示したと報告している。

また、都尾²¹⁾はポリマー合成時に酸化ジルコニウム (ZrO_2) を混入させることによってX線不透過性を有する常温重合レジンを試作し、X線不透過性を向上させる方法としての有効性と臨床応用の可能性を示唆し

ている。しかしながらPFでも十分なX線不透過性を示したとはいえない。これは、ジルコニウム (Zr) の含有量が低いために十分なX線不透過性を示さなかったものと考えられる。

以上のことから、フィラー中により多くのジルコニウム (Zr) を含有させること、あるいはジルコン (ZrSiO_4) などのジルコニウム (Zr) と珪素 (Si) の化合物をフィラーとして用いることによってX線不透過性の向上が期待できる。また、MMの結果から、金属フィラーを添加するのも1つの方法ではないかと考えられる。この点については、平野^{22,23)}が磁性金属フィラーをコンポジットレジンに添加できることを報告し、その可能性を示唆している。実際、Matsumura²⁴⁾は、チタン (Ti) をフィラーとしてコンポジットレジンに添加するとX線不透過性がエナメル質の約2倍に向上することを報告している。

V. 結 論

市販支台築造用コンポジットレジンのX線不透過性について検討し、以下の結論を得た。

1. 市販支台築造用コンポジットレジンの中ではPFのX線不透過性が最も高く、CMが最も低いX線不透過性を示した。

2. 最もX線不透過性の高かったものでも歯質との識別はそれほど明確ではなく、X線不透過性は十分とはいえなかった。

3. X線解析ならびに面分析の結果、X線不透過性の比較的良好的なものではジルコニウム (Zr) がフィラーに含まれていた。

以上のことから、支台築造用コンポジットレジンのX線不透過性を向上させるにはジルコニウム (Zr) の化合物が物性、安全性の両面から最も有効であると考えられる。

文 献

- 1) 星野 哲, 佐野好孝, 花村典之: 支台築造の比較統計的観察, 鶴見歯学, 5: 5~9, 1979.
- 2) 田中恵美, 松山喜昭, 花村典之ほか: 支台築造の比較統計的観察 第2報, 補綴誌, 31: 1047, 1987.
- 3) ADA Council on dental materials instruments and equipment: Status report on posterior composites, J Am Dent Assoc, 107: 74~76, 1983.

- 4) 小堀雅教, 小島祥史, 大橋正敬ほか: X線不透過性モノマーの基礎的研究 (I) —Ba 塩モノマーの合成とX線不透過性および溶解量の検討—, 日大歯学, 63: 493~498, 1989.
- 5) 安斎 碩, 小堀雅教, 大橋正敬ほか: X線不透過性モノマーの基礎的研究 (II) —モノプロモフェノキシ基含有モノマーの合成と性質, バルク重合物およびコンポジットレジンの物性の検討—, 日大歯学, 64: 741~751, 1990.
- 6) 小堀雅教: X線不透過性モノマーの基礎的研究 (III) —ジおよびトリプロモフェノキシ基含有モノマーの合成と性質, バルク重合物のX線不透過性および物性の検討—, 歯材器, 9: 430~437, 1990.
- 7) 樽味 寿: $Y_2O_3-Al_2O_3-SiO_2$ ガラスをフィラーとしたコンポジットレジンに関する研究, 阪大歯学誌, 38: 332~345, 1993.
- 8) Chandler, H.H., Bowen, R.L., Mullineaux, A.L. et al: Clinical investigation of a radiopaque composite restorative material, J Am Dent Assoc, 81: 935~940, 1970.
- 9) 豊岡博夫, 平 雅之, 山本昌雄ほか: コンポジットレジン用シリカ系フィラーのX線造影性に関する研究—特にジルコニアと酸化バリウム添加によるX線不透過性について—, 広大歯誌, 24: 205~209, 1992.
- 10) 丸山四郎, 鈴木一臣, 井上 清ほか: コンポジットレジン of X線不透過性に関する研究 第5報 バリウムガラスフィラー含有試作コンポジットレジンの機械的性質および表面性状に及ぼすサーマルサイクリングの影響, 日歯保誌, 33: 124~131, 1990.
- 11) 松村和良, 作田倫子, 井上 清ほか: コンポジットレジン of X線不透過性に関する研究, 日歯保誌, 28: 120~127, 1985.
- 12) 遠藤彰治, 青山光徳, 井上 清ほか: コンポジットレジン of X線不透過性に関する研究 第3報 臼歯部用コンポジットレジン of X線不透過性, 日歯保誌, 31: 1~10, 1988.
- 13) Toyooka, H., Yamaki, M., Wada, T. et al: Radiopacity of 12 visible-lightcured dental composite resins, J Oral Rehabil, 20: 615~622, 1993.
- 14) 岩崎みどり, 野口八九重, 島野達也ほか: コンポジットレジン of X線学的検討, 東北歯大誌, 12: 199~207, 1985.
- 15) 加藤保雄, 大橋正敬, 西連寺永康ほか: 歯科用充填材料 of X線不透過性に関する研究—市販コンポジットレジンについて—, 日大歯学, 59: 746~751, 1985.
- 16) El-Mowafy, O.M., Brown, J.W. and McComb, D.: Radiopacity of direct ceramic inlay restoratives, J Dent, 19: 366~368, 1991.
- 17) 日本医薬情報センター編, 医療薬日本医薬品集 1990 年版, 858, 薬業時報社, 東京, 1990.
- 18) Yosim, S.: ビスマス, 青木昌治, 石原藤次郎ほか編, 世界科学大事典, 66~67, 講談社, 東京, 1977.
- 19) 森脇 豊: インプラント材料, 大橋正敬, 中井宏之, 橋本弘一ほか編, 最新歯科理工学, 第1版, 399, 学研書院, 東京, 1987.
- 20) 都尾元宣, 山内六男, 長澤 亨ほか: 歯冠修復用レジン of X線不透過性とX線不透過性向上因子について, 歯材器, 12: 8~16, 1993.
- 21) 都尾元宣: 酸化ジルコニウム含有アクリリックレジン of X線不透過性, 歯材器, 12: 570~580, 1993.
- 22) 平野 進, 平澤 忠, 奥野 攻ほか: 磁性金属フィラーを含むコンポジットレジン, 歯材器, 8 特別号: 3~4, 1989.
- 23) 平野 進, 平澤 忠: 磁性ステンレス鋼フィラーを含むコンポジットレジン, 歯材器, 12 特別号: 142~143, 1993.
- 24) Matsumura, H., Sueyoshi, M. and Atsuta, M.: Radiopacity and physical properties of titanium-polymethacrylate composite, J Dent Res, 71: 2~6, 1992.