

ジーシーソラーレ／ソラーレPの 理工学的特徴と臨床応用 —その1基礎編—

東京都港区 虎の門病院歯科

山田敏元

はじめに

1960年代初頭、米国メリーランド州のゲイサスバーグにあるNIST (National Institute of Standards and Technology) のポーエンによるBis-GMAの合成以来、コンポジットレジン¹⁾の歴史は、はや40年近い年月を経ている。初期の製品は粉液タイプであり、必ずしも好ましい臨床性能を示さなかった。その後1970年代にペーストタイプの練和型が開発され、広く臨床に用いられ世界的な認識を得るに至った。しかし、この時代の製品には、レジンボンディング材が開発されておらず、接着性がないため、やはり限られた臨床性能を示すにとどまった。その後、このレジンボンディング材を用いて接着操作をした後にコンポジットレジン

を充填する方式が一般的になった。さらに重合方式も可視光線重合となり、前歯部はもちろん、臼歯咬合面の修復にまで広く用いられ、現在のところ各種修復材料・システムの中では最も高い頻度で用いられる修復材料となっている。さて、いま臨床で用いられているコンポジットレジン¹⁾は、全てハイブリット型であり、マイクロフィラー²⁾が有機質複合フィラーとして主に用いられているものが通常MFRとよばれている。一方、2ミクロン以下の細かな無機質フィラーに少量のマイクロフィラーが配合されているものが高密度充填型などとよばれている。また、コンポジットレジンに主として用いられてきた無機質フィラーも初期には石英が、

最近では各種の比較的軟らかいガラスフィラー³⁾が用いられている。

最近のレジンボンディング材の発達は、ポーセレン、メタルプライマーなどとの併用によって、従来可能であった各種の接着性コンポジットレジン修復ならびに補修修復を可能にした。それゆえ、臨床で遭遇する種々の修復治療に応用され、審美的にも良好な結果を示すコンポジットレジンが求められていた。最近ジーシー社からこのようにさまざまな接着性審美修復にまさしく用いられるべくして開発されたソラーレならびにソラーレPが市販されたので本論においては、その臨床理工学的特徴について解説を試みた。

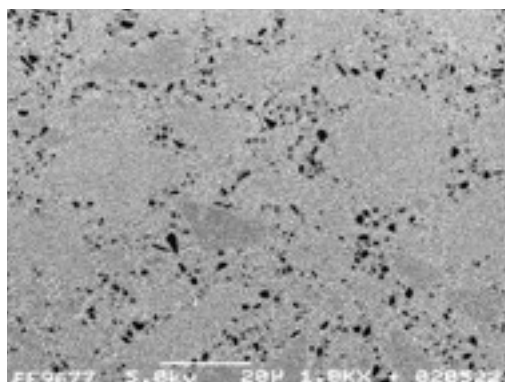
1. ソラーレならびにソラーレPの成分構成について

先にジーシー社により開発発売され、日本の歯科臨床で広く用いられている単独歯の審美歯冠修復材料であるグラディアをベースとしてソラーレは開発された。前歯用のソラーレはメタクリレート、有機質複合フィラー、

無機質フィラー、マイクロフィラー、顔料および触媒より構成されている。十分に硬化させたソラーレを耐水研磨紙とダイヤモンドペーストを用いて鏡面研磨したものにアルゴンイオンエッチングを施し、タングステンコート

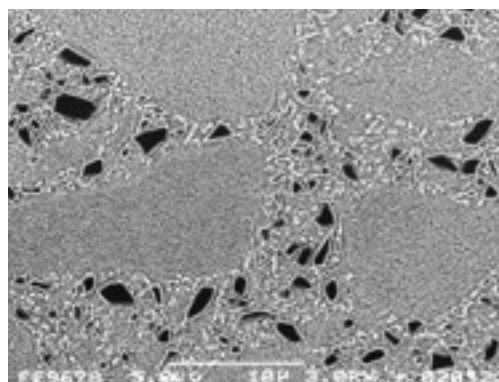
イングの後にFE-SEM(走査電子顕微鏡)で詳細に観察したものを図1・1～1・3に示す。

臼歯用のソラーレPは、基本構成はソラーレと変わらないものの、各種フィラーの配合を若干異にしている。



1
1

ソラーレ硬化物研磨面のSEM像(アルゴンイオンエッチング面、×1000)。長径20～30ミクロンの有機質複合フィラーが密に配合され、その周囲を比較的細かい無機質フィラーが取り囲んでいる。

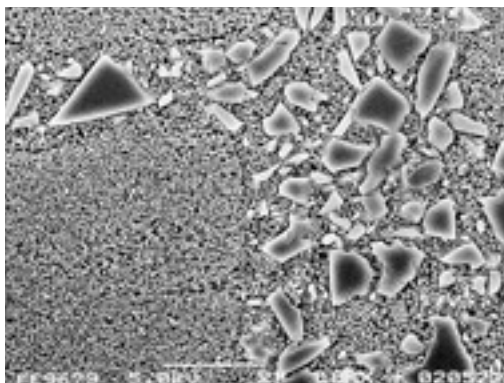


1
2

ソラーレ硬化物研磨面のSEM像(アルゴンイオンエッチング面、×3000)。複合フィラーの周囲に無機質フィラーが比較的疎に配合されている。

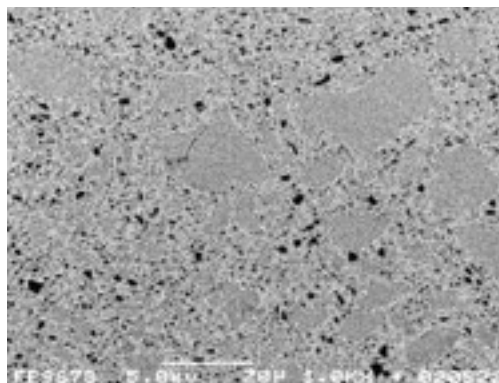


長径20~30ミクロンの有機質複合フィラーが密に配合され、その周囲を比較的細かい無機質フィラーが取り囲んでいる(図1・1)。倍率を上げると複合フィラーの周囲に無機質フィラーが比較的疎に配合されているのがより明確になる(図1・2)。



1
3

ソラーレ硬化物研磨面のSEM像(アルゴンイオンエッチング面、×10000)。無機フィラーが配合されている有機質複合フィラー周囲のマトリックスレジン中にマイクロフィラーの密度が有機質複合フィラー内部のそれに近い。



1
4

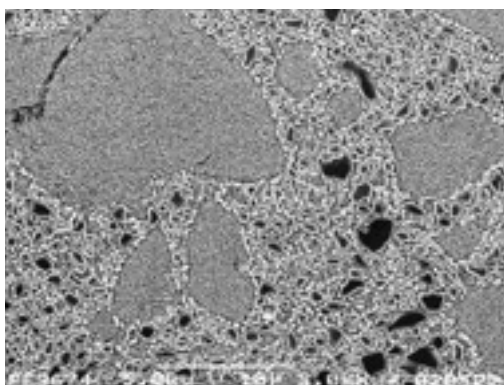
ソラーレP硬化物研磨面のSEM像(アルゴンイオンエッチング面、×1000)。有機質複合フィラーの周囲のマトリックスレジン中に高密度に配合されている。

更に倍率を上げると、無機質フィラーが配合されている有機質複合フィラー周囲の、マトリックスレジンの中の、マイクロフィラー密度が有機質複合フィラーの内部のそれに近いことが明らかとなる(図1・3)。

以上の所見は、前歯用のソラーレは滑らかな研磨面が容易に得られ、それがそのまま口腔内で永続性を持ち続けることを示唆している。

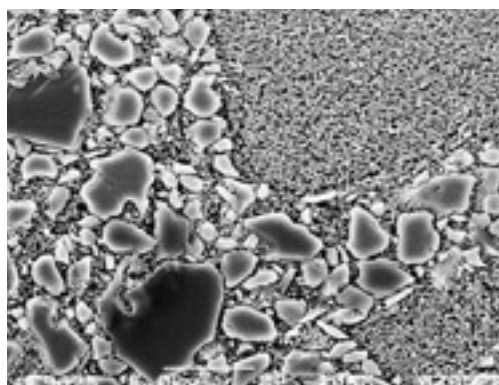
レと変わらないものの、各種フィラーの配合を若干異にしている。図1・4に示すように、有機質複合フィラーの大きさも大小さまざまなままとっている。

臼歯用のソラーレPの基本構成はソラー



1
5

ソラーレP硬化物研磨面のSEM像(アルゴンイオンエッチング面、×3000)。無機フィラーが有機質複合フィラー周囲のマトリックスレジン中に高密度に配合されている。



1
6

ソラーレ硬化物研磨面のSEM像(アルゴンイオンエッチング面、×10000)。無機フィラーが配合されている有機質複合フィラー周囲のマトリックスレジン中のマイクロフィラーの密度が有機質複合フィラー内部のそれに近い。

倍率を上げると無機質フィラーが有機質複合フィラーの周囲のマトリックスレジン中に高密度に配合されていることが明らかである(図1・5)。

無機質フィラーが配合されている有機質複合フィラー周囲のマトリックスレジン中のマイクロフィラーは密度が有機質複合フィラー内部のそれに近いことが明らかである(図1・6)。

以上の所見により、ソラーレに比較してソラーレPはより高い機械的性能を示すことになる。

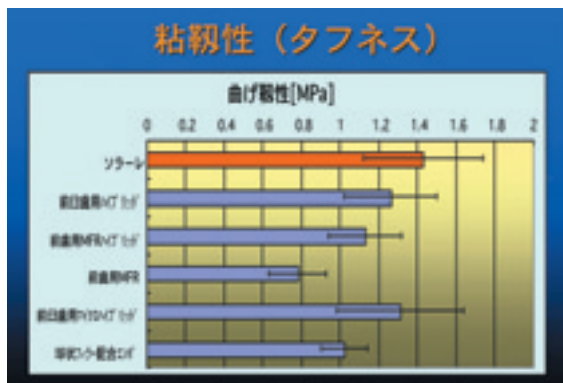
更に倍率を上げると、ソラーレと同様に

2. ソラーレならびにソラーレPの機械的性能について

当然のことながら前歯用であるソラーレの圧縮強さは300MPaを超え、臼歯部用であるソラーレPのそれは330MPa弱を示す。最近修復用材料の機械的性能の中で、粘靱性(タフネス)が注目を浴びているが、この数値が高いということは、曲げ試験において材料が破壊するまでに吸収されたエネ

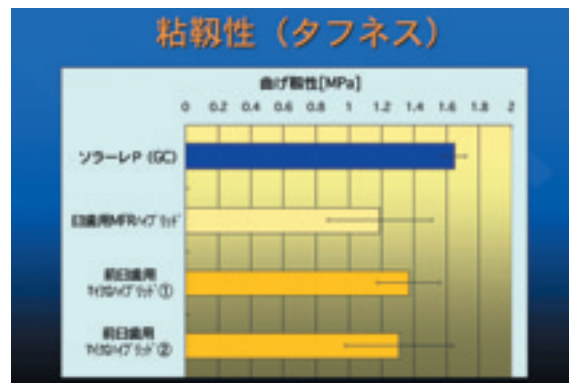
ルギーの総量にこの数値が等しいため、ただ単に曲げ強さが高いだけではなく、柔軟性を持った材料といえよう。すなわち、口腔内の歯牙は、咀嚼などにより常に応力負荷にさらされており、窩洞に充填された修復材料もこれらの応力にさらされることになる。これらの応力は窩洞の部位により異なってお

り、単純に圧縮のみとか、曲げのみということにはならない。従って、タフネスが高いということは、歯牙を介してあるいは直接修復材料に付加される応力に、より耐える可能性が高いといえる。その点、ソラーレもソラーレPのいずれも同種の材料間の比較では高い値を示している(図2・1、2・2)。



ソラーレの粘靱性。ソラーレは高い粘靱性を示す。

2
・
1



ソラーレPの粘靱性。ソラーレPも高い粘靱性を示す。

2
・
2



ソラーレPの摩耗特性。牛歯エナメル質を対象として測定してみると、同種の材料の中でも極めて高い性能(低い摩耗量)を示す。

2
・
3

ソラーレPの耐摩耗性を、牛歯エナメル質を対象として測定してみると、同種の材料の中でも極めて高い性能(低い摩耗量)を示した。この理由として考えられることは、まずレジンの重合性が高いこと、用いられているフィラーが主として有機質複合フィラーであり、また有機質複合フィラーとマトリックスレジジン部分のマイクロフィラーの密度が比較的近似しているため均一な構造を示していること、無機質フィラーに比較的柔らかなガラスを用いているため、口腔内に露出する表面上で部分部分の硬さの差が小さいことなどが考えられる。

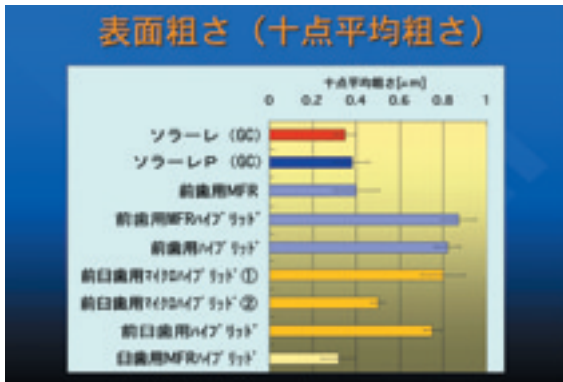
3. ソラーレならびにソラーレPの審美性について

コンポジットレジン修復物の審美性を分析してみると、まず仕上げ研磨された修復物の表面の艶がエナメル質に近いと当然自然観が得られる。そのため、研磨面の粗さが測定され、可及的に0に近い場合が高

性能とされる。この点ソラーレならびにソラーレPは10点平均粗さで、いずれも0.4以下を示し、他社の製品に比べて勝るとも劣っていない。(図3・1)

これは既に述べたように、主として用い

られているフィラーが有機質複合フィラーであるためである。実際にソラーレ硬化物の艶は容易に得られる(図3・2)。



3
・
1

ソラーレおよびソラーレPの研磨面の表面粗さ(10点平均粗さ)。ソラーレもソラーレPのいずれも非常に滑沢な研磨面を示す。



3
・
2

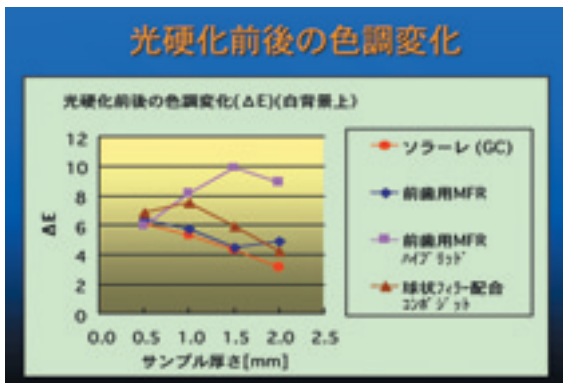
ソラーレ研磨面の艶。容易に滑沢な研磨面になる。

従来、コンポジットレジン of 審美性を云々する際に、オパール効果とか、カメレオン効果とか言われてきた。オパール効果とはコンポジットレジン修復物に入った光が散乱して出てくる場合に、修復物全体が青味がかって見える現象を言う。青色光の波長は400ナノメートルを超えたところにあるので、この大きさのフィラー粒子がレジジン中に存在すると、可視光線中の青色光が散乱され

やすく、これがひどくなると修復物全体が青味がかってしまう。この点、ソラーレは適度にこの効果を抑え、天然のエナメル質に近いオパール性を示すように設計されている。一方、カメレオン効果とは一つのシェードが比較的広く他の色調までカバーすることを言う。この点、最近開発・市販されたコンポジットレジンには概ねこの効果が認められる。ソラーレは特にこの効果が大きく、臨床で

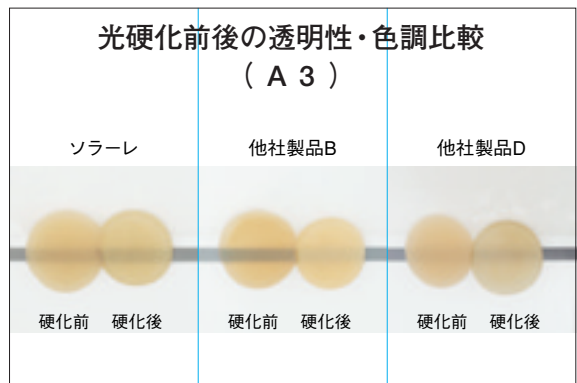
のシェード選択が容易になっている。

もう一つ臨床上で重要な特徴の一つが、光重合前後の色調変化である。ソラーレはこの点においても小さな値を示し、シェード選択を誤ることはない(図3・3)。実際にソラーレA3のシェードのペーストを他社製品と比較してみると、ソラーレが色調・透明度とも殆ど変化のないのが明らかである(図3・4)。



3
・
3

ソラーレ光硬化前後の色調変化。ソラーレはΔEの値が低く、光硬化前後の色調変化が少ない。



3
・
4

ソラーレと他社製品の光硬化前後の透明性・色調変化の比較。ソラーレは光硬化前後で殆ど変化しない。

コンポジットレジン of 重合前後に色調が変化する理由は二つ考えられている。第一はレジン成分のモノマーが重合反応によってポリマーに変化する際、レジンマトリックスの屈折率が大きくなり透明性が変化する。フィラーの屈折率に近くなれば透明性が高くなり、逆に遠くなれば透明性は低下

する。従って大まかに言えば、用いられているフィラーの屈折率は、レジンモノマーとポリマーの中間に設定しておくのが望ましいが、実際には用いられているフィラーも1種類ではないため、それほど簡単ではない。第二は重合に際して用いられている光重合触媒が消費され、それ自体の色調(通常は

黄色味)が失われる。さらに踏み込めば、仕上げ研磨後の表面はフィラー粒子の断面が多く露出するため、屈折率がばらついて若干不透明感が高くなる。以上臨床上の注意点を述べたが、この点でもソラーレは何等問題なくスマートな臨床操作が行える。

4. ソラーレならびにソラーレPと併用するレジンボンディング材について

現在、日本の歯科臨床において、広く用いられている臨床経過が良好なレジンボンディングシステムはセルフエッチングレジンボンディング材であり、その中でもジーシー社のユニフィルボンドは代表的な2ステップのセルフエッチングレジンボンディング材である。本レジンボンディングシステムの臨床使用上の特徴は、第一のステップでプライマーを塗布して20秒待った後、水洗せず、そのまま軽くエアードライしてプライミングされた窩洞表面に艶があることを確認する。ここで直ぐにボンディング材を塗布し、10秒程光照射し、重合を終了する。ついで通法に従ってソラーレあるいはソラーレPの充填操作に移行する。ユニフィルボンドのセルフエッチングプライマー

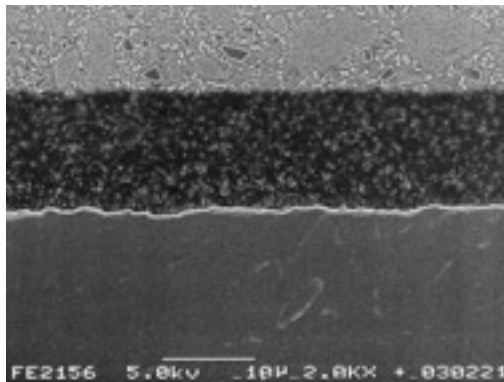
の成分は4-MET(機能性モノマー)、HEMA、マイクロフィラー、触媒となっている。歯面に対する接着強さは、牛歯エナメル質・象牙質に対していずれも20MPa前後の非常に高い値を示し、トータルエッチング、セルフエッチングを問わず、最も高い接着性能を示すレジンボンディング材の一種である。

ここで、ユニフィルボンドを用いてソラーレを充填した場合のレジン-歯質接合界面の様相をFE-SEM観察した。用いた歯牙はヒト新鮮抜去第三大臼歯である。被着面を#1000の耐水研磨紙で仕上げた後、上述のボンディング操作を行い、ソラーレを(シェードA3)を充填した。ソラーレ硬化後、直ちに資料を半切し、エポキシ樹脂包埋した。1週後に通法に従って研磨し、ア

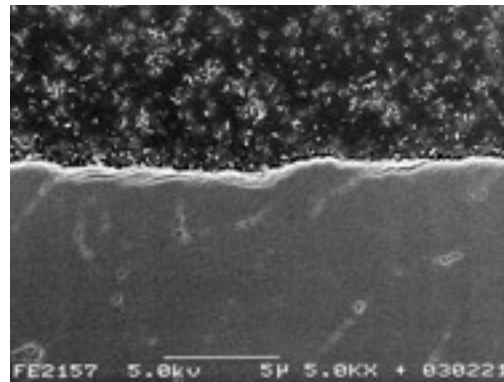
ルゴンイオンエッチングを施した後、タングステンコーティングをして界面の様相をFE-SEM観察した。

図4・1～4・3にエナメル質界面を示す。図4・1は硬化したソラーレ(上1/3)、硬化したユニフィルボンド(中1/3)、エナメル質(下1/3)である。界面の部分を拡大すると、エナメル質にアーチファクトによる亀裂が認められるものの、界面の結合は強固であった(図4・2)。

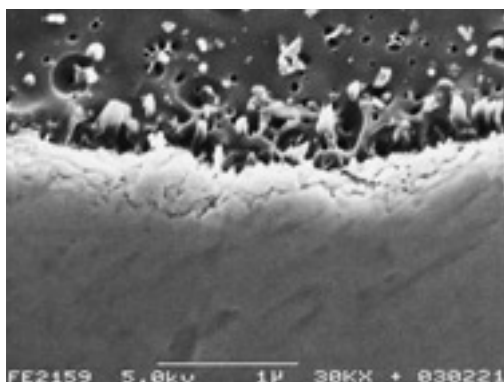
更に拡大すると、エナメル質最表層が微妙にエッチングされ、その部分にレジンが結合している様相が明らかとなった(図4・3)。



4・1 ユニフィルボンドとソラーレによる修復時のレジン-エナメル質接合界面SEM像(アルゴンイオンエッチング面、×2000)。ソラーレ(上)、ユニフィルボンド(中)、エナメル質(下)とも結合は強固である。



4・2 ユニフィルボンドとソラーレによる修復時のレジン-エナメル質接合界面SEM像(アルゴンイオンエッチング面、×5000)。エナメル質にアーチファクトによる亀裂が認められるものの、界面の結合は強固である。



4・3 ユニフィルボンドとソラーレによる修復時のレジン-エナメル質接合界面のSEM像(アルゴンイオンエッチング面、×30000)。エナメル質最表層が微妙にエッチングされ、その部分にレジンが結合している。



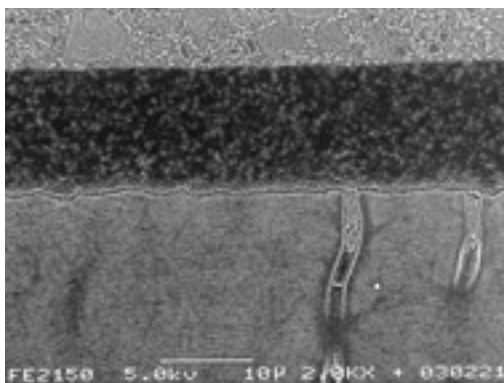
ユニフィルボンド

図4・4～4・6に象牙質界面を示す。図4・4は硬化したソラーレ(上1/3)、硬化したユニフィルボンド(中1/3)および象牙質(下1/3)である。界面の部分拡大すると、象

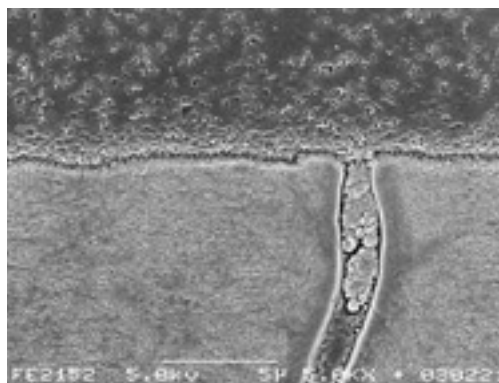
牙質表層に厚さ1ミクロン弱のハイブリット層が認められる(図4・5)。

更に拡大すると、ハイブリット層内のネットワーク構造と象牙質最表層のコラーゲ

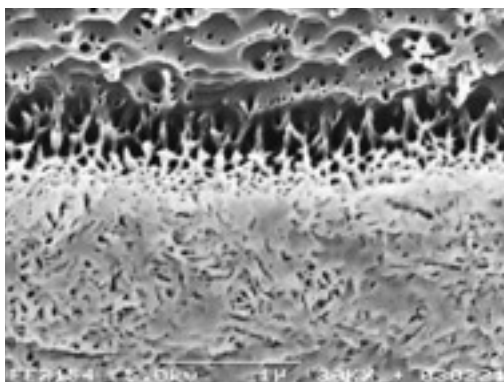
ン構造が結合している様子が観察された(図4・6)。



4・4 ユニフィルボンドとソラーレによる修復時のレジン—象牙質接合界面のSEM像(アルゴンイオンエッチング面、×2000)。ソラーレ(上)、ユニフィルボンド(中)、象牙質(下)とも接合は強固。



4・5 ユニフィルボンドとソラーレによる修復時のレジン—象牙質接合界面のSEM像(アルゴンイオンエッチング面、×5000)。象牙質最表層に厚さ1ミクロン弱のハイブリット層が認められる。



4・6 ユニフィルボンドとソラーレによる修復時のレジン—象牙質接合界面のSEM像(アルゴンイオンエッチング面、×30000)。ハイブリット層内のネットワーク構造と、象牙質最表層のコラーゲン構造が接合している。

おわりに

コンポジットレジンが市販され臨床で用いられるようになって既に40年の歳月が過ぎようとしている。過去10年程の間にやっと臨床経過の良好なレジンボンディングシ

ステムが開発改良され、コンポジットレジンの応用範囲を著しく広げている。近い将来歯冠修復の分野から金属が駆逐されることを願い、またソラーレとソラーレPによ

りますます審美的な接着修復が行われ、国民の口腔健康の増進に役立つことを願って筆を置く。