学 術

接着性コンポジットレジン修復
― ボンディングシステムの変遷と臨床への適応 ―

大阪歯科大学　歯科保存学講座
教授　**山本　一世**

はじめに

1955年、米国のBuonocore博士[1]が、エナメル質を85%のリン酸で処理すると、当時の審美修復材料のひとつであったMMAレジン（アクリリックレジン、すなわち即時重合レジン）がエナメル質に接着することを報告しました。これが、歯科修復材料の歯質に対する接着に関する最初の論文とされています。しかし、齲蝕の原因が、齲蝕原生菌が産出する酸による脱灰である、ということは当時すでに知られておりましたし、物性的にあまり優れた材料とは言い難い即重レジンを充填するために、あえて人工的にエナメル質を脱灰させる、という技法はあまり歓迎されなかったようです。

その約10年後、同じく米国のBowen博士が、今日のコンポジットレジンの原型ともいうべきものの開発に成功し、1964年に米国3M社より世界最初のコンポジットレジンであるアデント35が発売されました。機械的強度がMMAレジンとは比較にならないほど優れたコンポジットレジンの登場により、10年の歳月を経てエナメル質の酸エッチングがようやく陽の目を見ることとなったのです。

初期のコンポジットレジン
― エナメルボンドシステム

エナメル質に対するレジンの接着は、酸エッチングによって生ずるエナメル質表面の凹部にレジンが侵入して重合硬化する、いわゆる機械的嵌合効力 － メカニカルインターロッキング － によって発現します（図1a、b）。酸の種類や濃度も種々のものが研究されましたが[2]、最終的には30～40%のリン酸が最も効果的ということに落ち着きました。こうして、窩洞のエナメル質をリン酸エッチングし、ヌレのよいレジン（ボンディングレジン）を塗布した後、コンポジットレジンを充填する、いわゆるエナメルボンドシステムが誕生しました。

象牙質接着システムの誕生

一方、象牙質に対するレジンの接着に関しても、我が国や欧米において早くから研究されていました[3, 4]が、1970年代末に、コンポジットレジンを象牙質に接着させることを世界ではじめて可能にしたボンディングシステムがクラレ社で開発されま

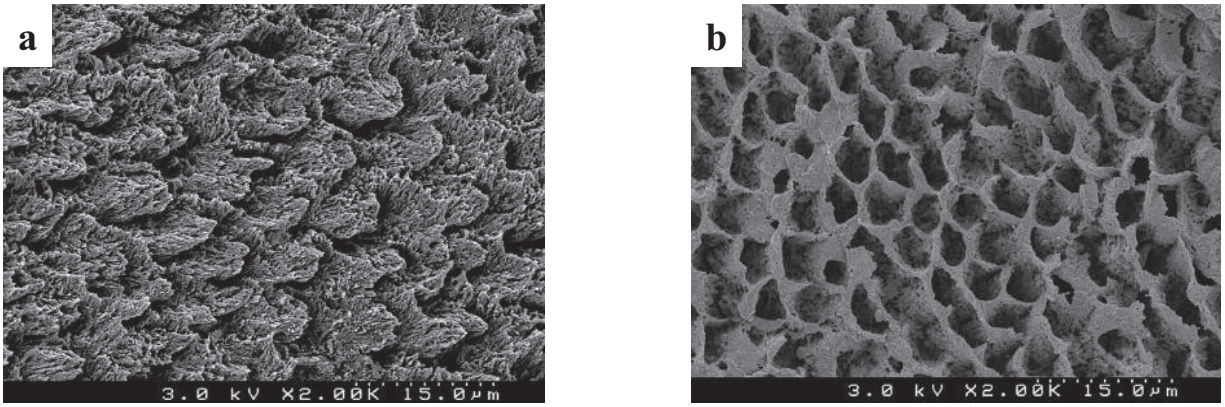


図1　リン酸エッチングされたエナメル質面(a)とレジンタグ(b)のSEM像。

した。クリアフィルボンドシステムＦと呼ばれたこの接着システムの特徴は、エナメル質と象牙質を一括してリン酸エッチングする「トータルエッチング法（total etching technique）」の導入と、ボンディングレジンに接着性モノマー（図２）を応用したことです。ほとんど無機質（ハイドロキシアパタイト）のみで構成されているエナメル質と違い、象牙質中にはハイドロキシアパタイト以外に、有機質であるコラーゲン線維が約20%、また水が約10%存在するため、とくに回転切削を行った窩洞の象牙質面には、スメアー層（smeared layer）と呼ばれる数μmの削りかすの層が存在します（図３）。スメアー層は切削により切断された象牙細管を被覆することにより、歯髄を保護しているという面もあり、内部に存在する細菌を薬品で殺した上で保存するといった考えもありましたが[5]、レジンの象牙質接着という点ではやはり阻害因子であり、結局は除去するということに落ち着きました。そこで、クリアフィルシステムでは、エナメル質と同時に象牙質をリン酸エッチングすることで、象牙質切削面に生成したスメアー層を脱灰して除去すると同時に、その下に現れるコラーゲン線維（有機質は酸によって分解されないので、エッチング後の象牙質表面にはコラーゲン線維が露出してくる）に対して化学的結合を得るため、ボンディングレジンにPhenyl-P（のちに改良されてMDPとなる）という接着性モノマーが配合されました。接着性モノマーはコラーゲンと結合する親水性基、レジンと結合する疎水性基、硬化のための重合基の３つから構成され、現在では各社から色々な接着性モノマーが紹介されていますが、Phenyl-Pは世界ではじめて実用化された先駆的な接着性モノマーといえます。こうして、酸処理によってスメアー層を除去した象牙質面のコラーゲン層（図４）に、接着性モノマー含有のボンディングレジンを浸透・硬化させ、象牙質と

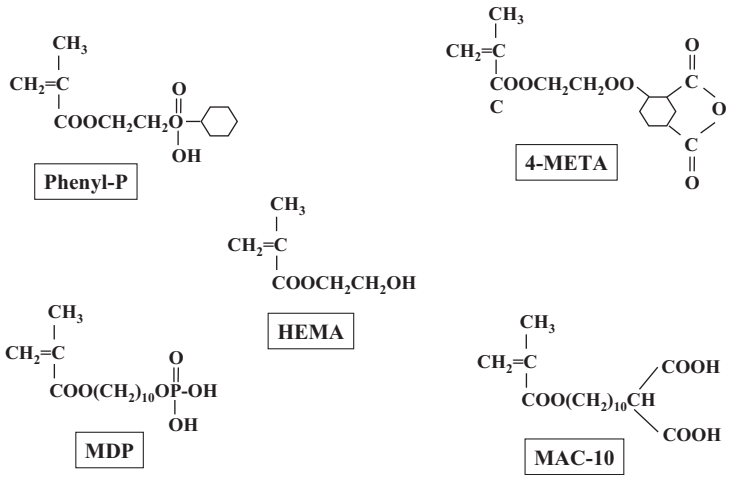


図２　主な接着性モノマー

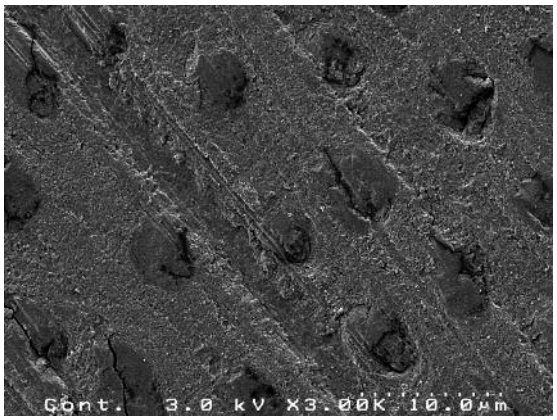


図３　切削象牙質面のSEM像。スメアー層によって覆われ、切断された象牙細管も塞がれている。

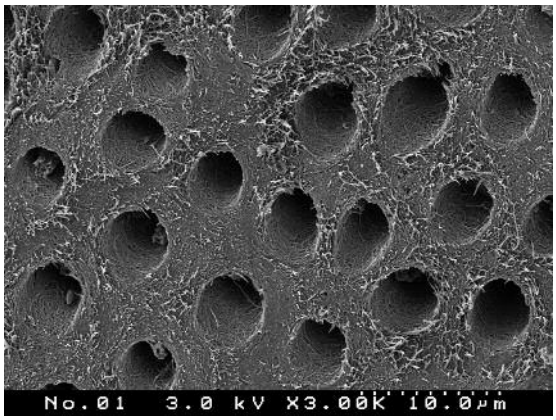


図４　リン酸エッチングされた象牙質面のSEM像。スメアー層が除去されるとともに、その下の象牙質基質表面にコラーゲン線維が露出してくる。

ボンディングレジンとが混じりあった層－樹脂含浸層（hybrid layer）－を形成させて接着力を発現させる、本格的な象牙質接着性コンポジットシステム[6]が誕生することとなりました（図５）。

クリアフィルシステムは世界に先駆けて開発された、本格的な象牙質接着性コンポジットレジンシステムでしたが、象牙質に対する接着強さは充分なものではありませんでした（図６）。そのため、症例によっては象牙質窩壁にギャップが形成され、そこから辺縁漏洩を生じ、最悪の場合には歯髄障害を引き起こすといった場合もありました（図７、８）。当時は辺縁漏洩が原因ということがはっきりと認識されておらず、レジンの残留モノマーが歯髄障害を引き起こしていると考えられたため、「コンポジットレジン修復は歯髄為害性を有する」という風に誤解された時期もありました。

図５　世界最初の接着性コンポジットレジンシステム、クリアフィルボンドシステムF（クラレメディカル、1978)。リン酸エッチング剤、化学重合型ボンディングレジン、化学重合型コンポジットレジンとから構成されていた。

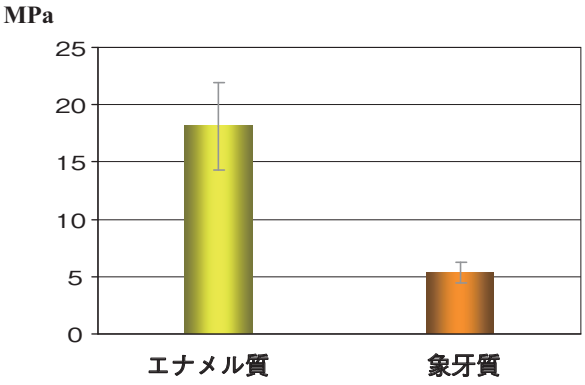


図６　クリアフィルシステム（クリアフィルフォトボンド）の接着強さ

高い接着強さが得られなかった原因はいろいろありますが、その中で最も大きなものは、脱灰された象牙質にボンディングレジンが充分に浸透できなかったことであると考えられています[7]。切削象牙質面をリン酸エッチングすることによって、スメアー層が除去されると同時に、その下の象牙質基質のコラーゲン線維が露出しますが、このコラーゲン層はエッチング後の水洗・乾燥によって収縮します。接着剤は被着面に浸透・硬化することによって接着力を発揮しますが、収縮したコラーゲン部分は透過性が悪く、ボンディングレジンが充分に浸透できないため、結果として強固な樹脂含浸層が形成できず、高い接着強さが得られませんでした（図9a～d)。

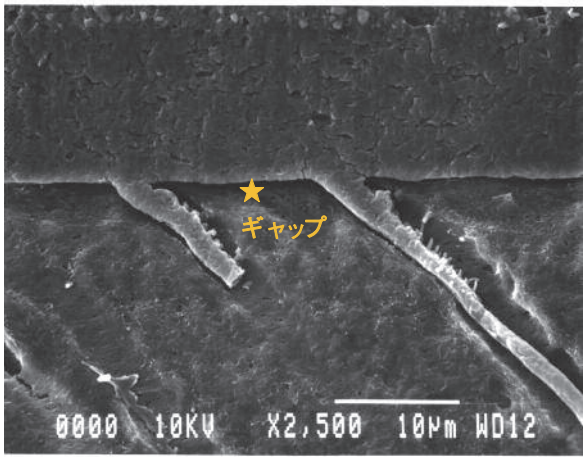


図７　接着の不良な例（SEM像)。レジンと象牙質の間に間隙（ギャップ）が生じている。

図８　辺縁漏洩の例。切端側のエナメル質窩壁からは赤い色素（フクシン）の侵入がみられないが、根尖側の象牙質窩壁から、隅角を越える色素侵入が生じている。色素はさらに象牙細管中に侵入し、歯髄腔にまで達している。

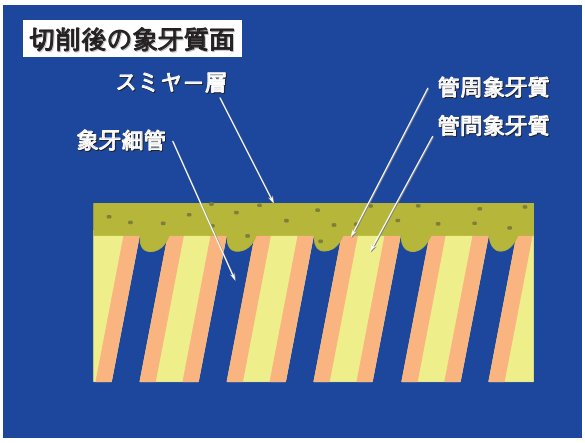


図9a　切削後の象牙質面

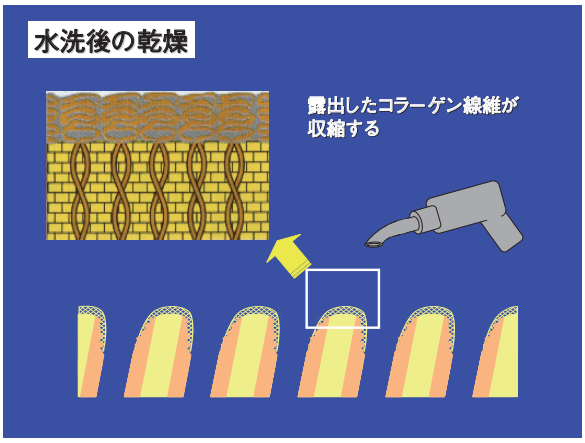


図9c　露出したコラーゲン線維が、水洗後のエアー乾燥によって収縮する

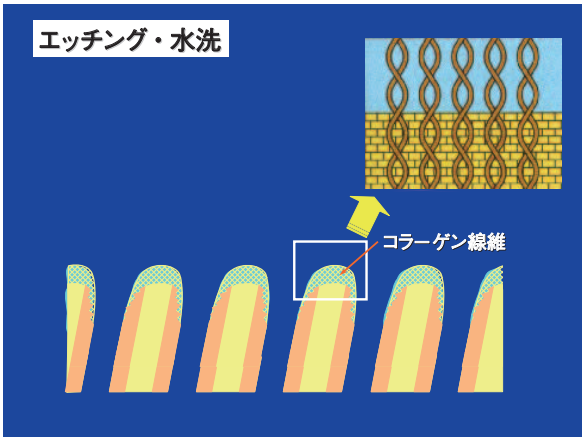


図9b　エッチング処理によってスメアー層が除去され、象牙細管が開口するとともに、象牙質基質表面にコラーゲン線維が露出する

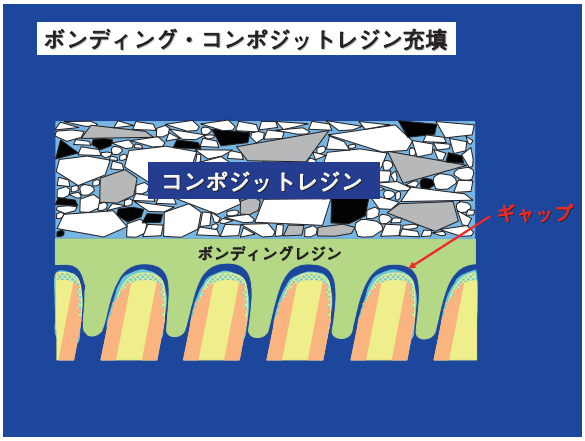


図9d　収縮したコラーゲン線維層にはボンディングレジンが充分に浸透できず、結果的に高い接着強さが得られずギャップが形成される。

象牙質プライマーの導入

1984年、ドイツのバイエル社（現ヘレウス－クルツァー）から、グルーマボンディングシステムが発売されました（図10）。この接着システムの最大の特徴は、コラーゲンの収斂作用を有するグルタールアルデヒドと、強い親水性をもつレジンモノマーであるハイドロキシエチルメタクリレート（HEMA）の混合水溶液を象牙質プライマー[8]として採用したことです。酸処理後の収縮したコラーゲン線維を立ち上げてボンディングレジンの透過性を向上させるプライマーの導入により、象牙質に対する接着強さは飛躍的に向上しました。グルーマシステムではエナメル質部分のみをリン酸エッチングした後に、リン酸よりもマイルドなクレンザー（EDTA）で象牙質を処理するという技法が採用されましたが、その後のプライマーやボンディングレジンの発達により、エナメル質と象牙質をトータルエッチングするシステムが続々と誕生しました[9, 10]。また、プライマーとし

図10　世界初の象牙質プライマーを採用した、グルーマボンディングシステム（バイエルデンタル、1984年）。リン酸（エナメル質エッチング用）、EDTA（象牙質エッチング用）、象牙質プライマー、ボンディングレジンの4ステップから構成されていた。

ては、HEMAを水やアセトンなどに溶解したものがよく用いられています[11]。これらはエッチング材、象牙質プライマー、ボンディングレジン、の３つから構成されているので、３ステップシステムと呼ばれます（図11）。また、当初の３ステップシステムでは､象牙質の脱灰深さに配慮して、エッチング材にはクエン酸やマレイン酸といった、リン酸よりも少しマイルドな酸が使われていましたが、やはりエナメル質処理における信頼感から、リン酸が主に用いられるようになってゆきました。

セルフエッチングプライマーシステムの誕生

トータルエッチングと象牙質プライマーの採用により、エナメル質、象牙質の両方に高い接着強さが得られるようになりましたが（図12、13）、接着操作が３ステップと煩雑になりました。そこで、1990年代の後半になると、プライマーに酸性の接着性モノマーを配合してプライマー自身を酸性にすることで、エッチング作用を持つプライマーが開発されました。この、いわゆるセルフエッチングプライマーとボンディングレジンで構成される２ステップのシステム[12]は、前処理後の水洗が不要で臨床操作が簡便なこと、特に象牙質に対して非常に高い接着強さを有していることから、とくにわが国において広く普及することとなりました（図14）。さらに最近では、セルフエッチングプライマーとボンディングレジンを合体させた、オールインワンと呼ばれる１ボトル・１ステップの接着システムが開発され（図15）、一段と簡略化が進んでいますが、現時点では接着強さの点において、２ステップシステムよりも劣っています（図16）。

図11　３ステップ象牙質接着システムのひとつ、スコッチボンドマルチパーパス（3M ESPE）。トータルエッチング用のリン酸、象牙質プライマー、ボンディングレジンから構成される。

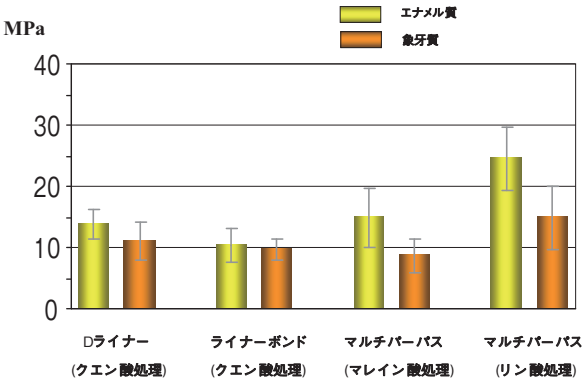


図12　３ステップ接着システムの接着強さ。エナメル質、象牙質の両方に対して良好な接着強さを有している。

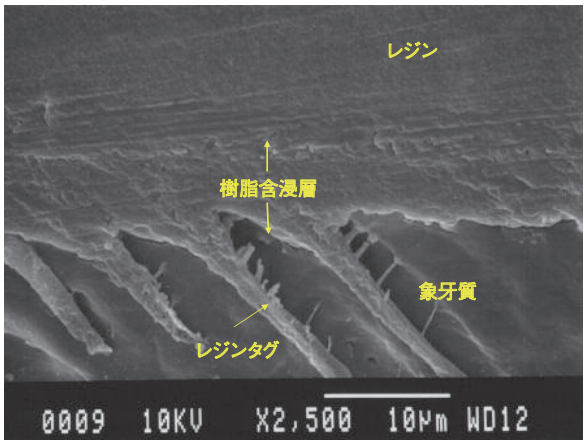


図13　３ステップ接着システムのレジン／象牙質接着界面のSEM像。幅5～10μmの樹脂含浸層を介してレジンと象牙質が良好に結合している。

図14　２ステップセルフエッチングプライマーシステム。セルフエッチングプライマーとボンディングレジンで構成される。

象牙質に対するリン酸エッチングとセルフエッチングの比較

リン酸エッチングを行う３ステップシステムは、エナメル質と象牙質両方に対して高い接着強さを実現しましたが、歯質の脱灰される深さが大きいだけに、とくに象牙質において、ボンディングレジンが充分に浸透しきれない場合があります。この場合、樹脂含浸層の深部に、レジンによってカバーされない脱灰部分が残存することになるので、この部分が除々に加水分解されて[13]、接着が破壊される可能性があります（図17）。一方、セルフエッチングプライマーによる脱灰は、リン酸と比べてはるかにマイルドなので象牙質の脱灰深さが小さく、さらに脱灰と同時にプライマー中のレジン成分が浸透するため、樹脂含浸層の深部に脱灰部分が残存するすることはまずなく、接着の耐久性が良好です（図18）。また、先に述べたように、リン酸エッチングすると象牙細管が大きく開口するので、辺縁漏洩が起こった場合、汚染物質が象牙細管を通じて歯髄腔に達する可能性がありますが、セルフエッチングプライマーで処理された象牙質面では、スメアー層は除去されますが、象牙細管に詰まったスメアー層（象牙細管を栓しているのでスメアープラグといいます）はほとんど残るので（図19）、万一辺縁漏洩が起こっ

図15　オールインワン（１ステップ）システム。脱灰、浸透のすべてを１ボトルで行う。

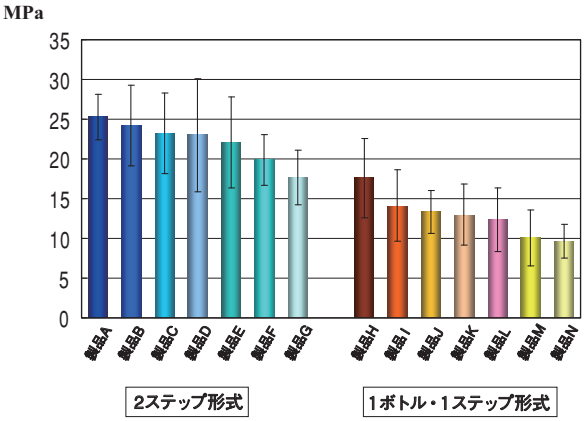


図16　セルフエッチングシステムの象牙質に対する接着強さ。オールインワン形式よりも２ステップ形式の方が高い接着強さを示す。

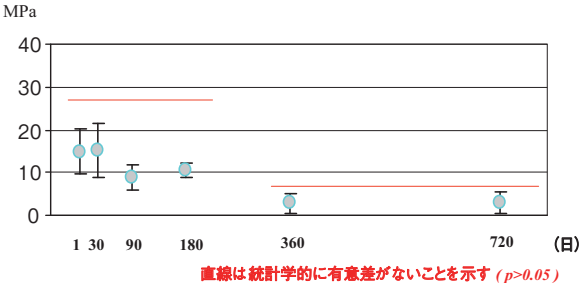


図17　３ステップシステムの象牙質に対する接着強さの推移。接着後の水中浸漬期間が長くなるにつれて接着強さが低下する。

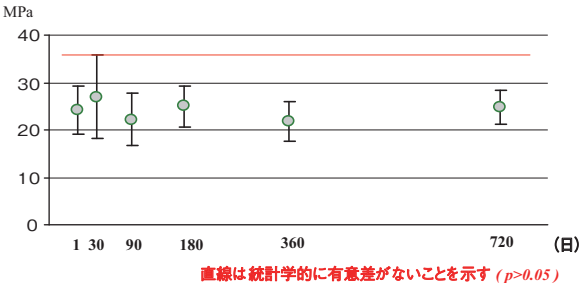


図18　２ステップーセルフエッチングプライマーシステムの象牙質に対する接着強さの推移。水中浸漬期間が２年になっても接着強さの低下がみられない。

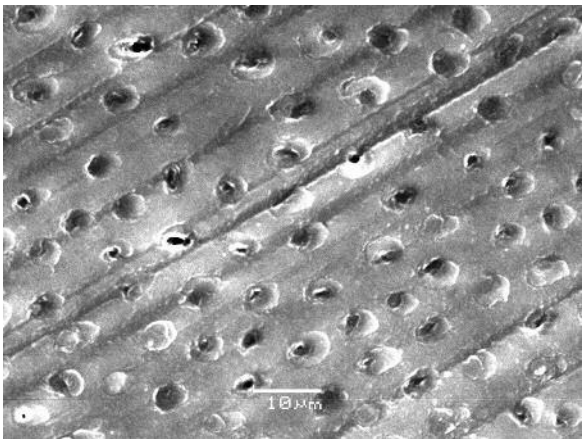


図19　セルフエッチングプライマーによる象牙質の処理面のSEM像。表層のスメアー層は除去されているが、象牙細管はスメアープラグで塞がれている。

ても、汚染物質の侵入は窩壁部分にとどまり象牙細管中に侵入することがなく、この点で歯髄にとって安全なシステムといえるでしょう（図20）。

ウエットボンディング

一方、象牙質をリン酸でトータルエッチングしますが、水洗後のエアブローによる乾燥を行わないという術式があります。つまり、エッチング、水洗後の象牙質表面の水滴を綿球などで除去する（図21、ブロットドライといいます）だけにとどめ、コラーゲン線維の収縮を抑制してボンディングレジンの浸透を妨げないようにする[14]、というものです。これは、歯質が湿潤しているということから「ウエットボンディング法」と呼ばれ、どちらかといえば欧米でポピュラーなテクニックです。ウエットボンディングを用いるシステムは、いずれもリン酸エッチング材とボンディングレジンから構成される２ステップで（図22）、ボンディングレジンにはアセトンやエタノールが含まれており、これらが湿潤歯質中の水分を追いかけて脱灰象牙質の深部にまでレジンモノマーを浸透させる[15]ので、接着耐久性も良好です[16]。

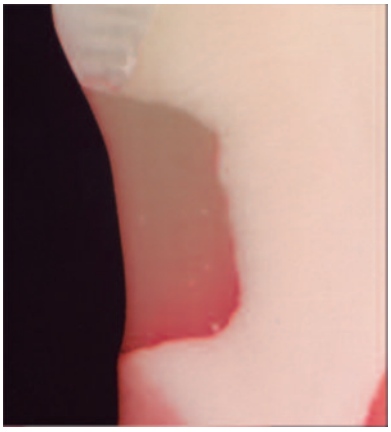


図20　セルフエッチングプライマーシステムにみられる辺縁漏洩の例。リン酸エッチングを行うシステムと比較して、象牙質における色素の侵入は窩壁の部分にとどまっており、象牙細管への侵入はみられない（図６参照）。

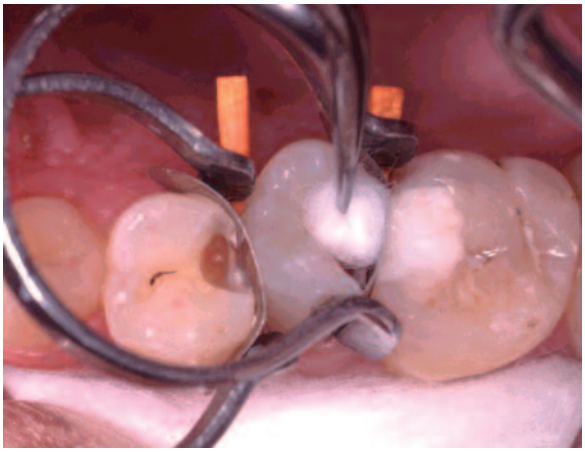


図21　ブロットドライ。エッチング、水洗後にエアーによる乾燥を控え、綿球等で水分を除去する。

エナメル質に対するリン酸エッチングとセルフエッチングの比較

象牙質に対しては、接着強さや歯髄に対する安全性の面で、脱灰力のマイルドなセルフエッチングシステムの方が有利といえますが、エナメル質に対しては、リン酸エッチングの方に軍配が上がります（図23、24）。セルフエッチングプライマーシステムでも、ボンディングレジンの性能が向上して高い接着強さが得られるようになってきましたが、接着の耐久性を考えると、やはり大きいレジンタグを形成した方が有利なのです[17]。そこで、セルフエッチングプライマータイプの接着システムであっても、臼歯の咬合面や、前歯の切端破折のように、エナメル質接着の依存度が高い部位の修復をする場合には、エナメル質の部分だけはリン酸エッチングを併用した方が安心といえます（図24a、b）。

ボンディング剤の厚さと接着強さ

通常、臨床においてボンディングシステムを使用する場合、セルフエッチングタイプ、リン酸エッチングタイプのいずれであっても、ボンディングレジンを窩洞に塗布後、エアーによって広げるといった術式が行われると思います。エアブロー

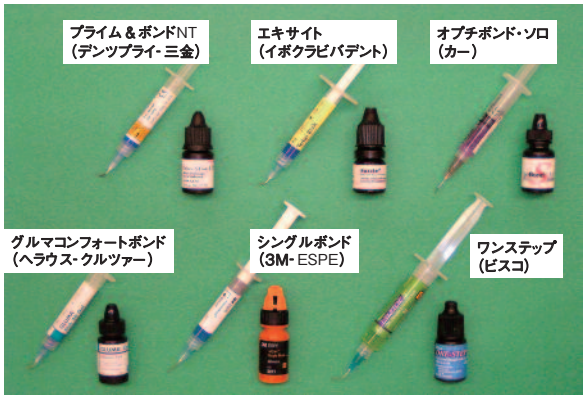
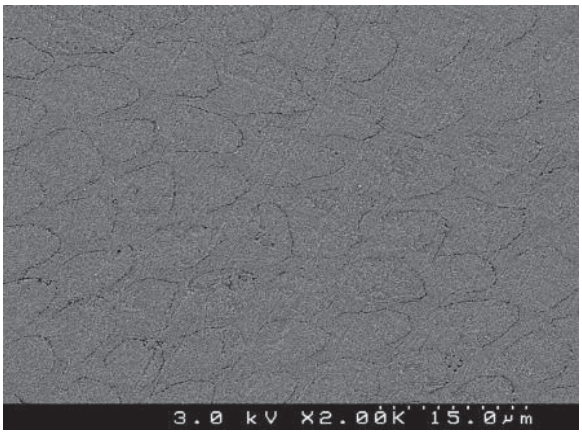


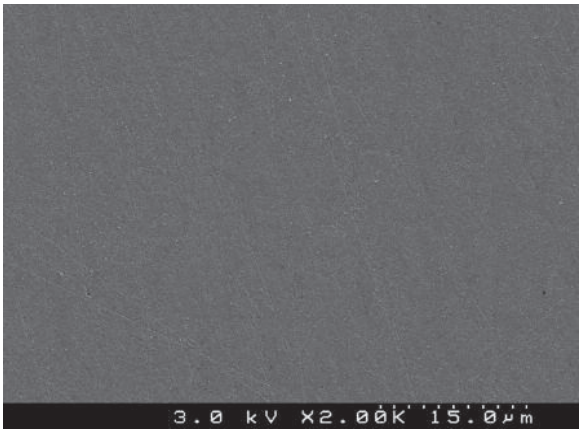
図22　酸エッチング－ウエットボンディングシステム。いずれもシリンジタイプのリン酸エッチング材と１ボトルのボンディングレジンとで構成される。

は単にボンディングレジンを被着面に広げるだけでなく、溶媒として用いられているアセトンやエタノールを揮発させるという意味があります。揮発成分は前処理された歯面にレジンモノマーを浸透させるという役割を持っていますが、一方でレジンの重合を阻害するという面があるため、ボンディングレジンの浸透後はエアーによって揮発させる必要があります。ただ、ボンディングレジン層をあまりに薄くしすぎると、とくに象牙質に対する接着強さが低下する場合があります。レジンには酸素に接していると重合が不十分となる傾向がありますが、あまりにも薄いボンディングレジン層は必然的に未重合部分の占める割合が大きくなり、結果としてしっかりした樹脂含浸層が形成されず接着強さの低下を招くことになるのです[18]。

とくに2ステップのセルフエッチングタイプのシステムは、ボンディングレジンにアセトンやエタノールのような揮発性溶媒を含んでいないので、塗布後エアブローせずにすぐ光重合させた方が高い接着強さを得られます（図25）。ただし、ボンディングレジンの層が厚くなりすぎると、窩縁部の審美性が悪くなるだけでなく、ボンディングレジンの磨耗によって溝が形成されるので、注意する必要があります。また、主として機械的嵌合効力によって接着力が生まれるエナメル質においては、ボンディングレジンが薄くなっても接着強さには影響がありませんので、たとえばエナメル質窩縁に広めのストレートベベルを付与し、その部分だけエアブローしてボンディングレジンの層を薄くする、といった工夫が望まれます（図26a、b）。



2ステップ
セルフエッチングプライマーシステム



1ボトル・1ステップシステム

図23　セルフエッチングプライマーによるエナメル質処理面のSEM像。リン酸エッチング処理（図1参照）と比較すると、表面に形成される凹凸構造が非常に小さい。

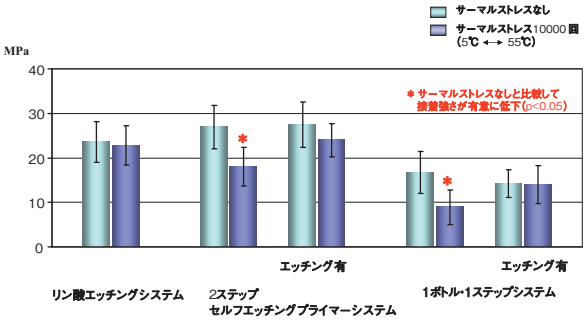


図24a　3形式の接着システムのエナメル質に対する引張接着強さ。5℃と55℃の水に交互に30秒間ずつ浸漬するサーマルストレスを10000回負荷すると、セルフエッチング形式のシステムは接着強さが有意に低下した。リン酸エッチング（15秒）を行うと接着強さの有意な低下はみられなかった。

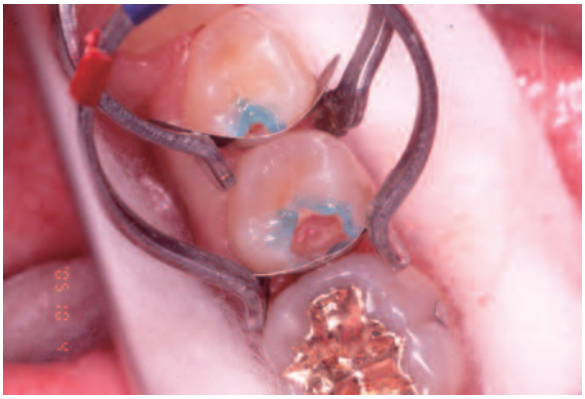


図24b　2級修復窩洞におけるリン酸エッチング。咬合面部のみエッチングしている。この後窩洞全体にセルフエッチングプライマーシステムを適用した。

歯髄腔の象牙質に対する接着

無髄歯、すなわち歯内治療後の失活歯に対しては、鋳造ポストコアをセメント合着し、その後クラウンを装着するという修復方法が従来支配的でした。しかし近年、歯質とくに象牙質に対する接着技法の進歩により、接着性レジンによる直接レジンコアが広く普及してきました。さらに健全歯質が充分に残存し、かつ咬合圧等の負荷があまりかからない部位であれば、歯内治療後の髄室をコンポジットレジンで修復することも十分可能です。これらは歯質のアンダーカットを削除する必要がないため、健全歯質を可及的に保存する、ミニマルインターベンション（Minimal Intervention：MI）[19]のコンセプトとも合致しています。しかしながら髄室側の象牙質は、表層と比較してレジンの接着強さが劣ることが知られています（図27）。この原因としては、深層の象牙質は表層と比較して石灰化度が低いこと、歯内治療後の髄室側象牙質面は、治療時の洗浄や貼薬の薬剤の影響を受けていること、等が挙げられます。歯内治療に用いられる薬剤は、必ずしもレジンの接着強さを低下させるものばかりではありませんが、いずれにしろ髄室側の象牙質は、表層の象牙質とはその性状が異なる[20]ということを認識する必要があります。

レーザー照射象牙質に対する接着

平成20年4月の診療報酬改定から、レーザーによる窩洞形成加算（齲蝕歯無痛的窩洞形成加算）が導入されましたが、レーザーでは精密な箱型窩洞の形成や保持形態の付与は不可能で、形成後は

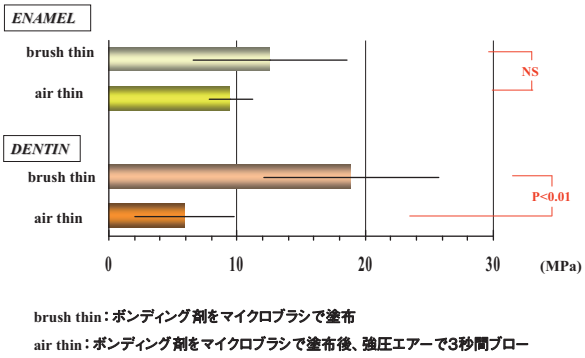


図25　2ステップセルフエッチングプライマーシステムのエナメル質と象牙質に対する引張接着強さ。ボンディングレジンを塗布後、強圧エアーで3秒間ブローすると、象牙質に対する接着強さが有意に低下した。一方、エナメル質においては有意な低下はみられなかった。

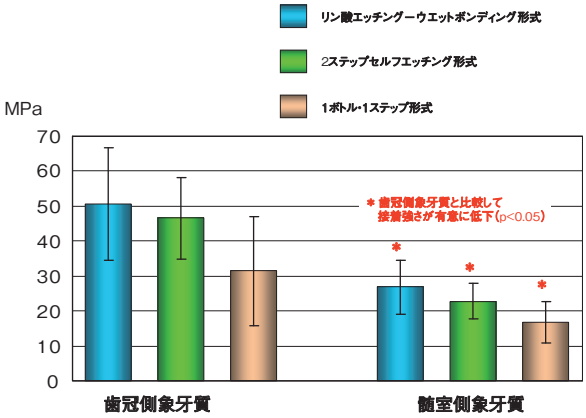


図27　3形式のボンディングシステムの歯冠側および髄室側象牙質に対する微小引張接着強さ。いずれのシステムにおいても、髄室側象牙質に対する接着強さは歯冠側と比較して有意に小さい。

図26　歯頸部くさび状欠損修復例。過去数回コンポジットレジンが脱落している。表面をラウンドバーで一層削除し、セルフエッチングプライマー処理、ボンディングレジンを塗布後（図26a、左）、エナメル質窩縁部分のみをエアブローし、象牙質部分のボンディングレジン層を厚めに確保して光硬化させ、コンポジットレジンで修復した（図26b、右）。

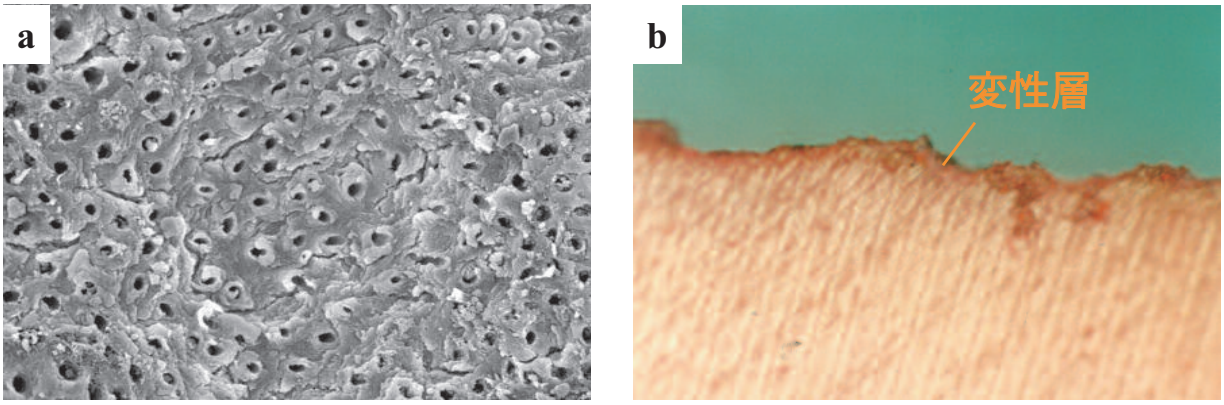


図28　Er:YAG レーザー（100mJ, 10pps）照射後の象牙質面。スメアー層が形成されず象牙細管が開口し(a)、表層にはエオジンに濃染される、鱗片状の変性層が形成される(b)。

必然的に接着性修復が必要となります。硬組織の切削には、現時点ではEr: YAGレーザーが最も有効とされています[21]が、Er: YAGレーザーを照射した象牙質面は、回転切削によって得られた象牙質面とはかなり異なっています。レジン接着の阻害層であるスメアー層は生成されませんが、そのかわり象牙細管が開口しており（図28a)、さらに象牙質の表層には鱗片状の変性層があり（図28b)、現在のボンディングシステムではあまり高い接着強さが得られません[22]（図29)。レーザー照射された面を一層削除すれば接着強さはかなり回復しますが、回転切削の音と振動を回避できることがレーザーによる切削の主な利点であることを考えた場合、切削以外の方法で変性層を除去する方法の開発、あるいはレーザー照射象牙質面に対して良好に接着するボンディングシステムの開発が期待されるところです。

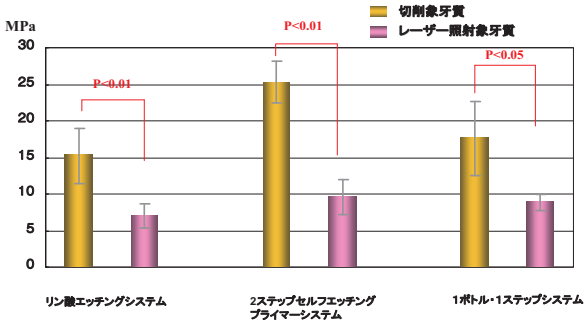


図29　Er:YAG レーザー照射象牙質に対する引張接着強さ。３形式いずれのシステムにおいても、切削象牙質面と比較して、接着強さが有意に低下している。

参考文献

1) Buonocore MG: A simple Method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surface; J Dent Res 34, 849-853, 1955.
2) Retief DH, Denys FR: Adhesion to enamel and dentin; Am J Dent 2, 133-144, 1989.
3) 増原英一, 中林宣男, 樽見二郎: 歯質と接着する充填材パラカーフの基本特性; 歯界展望, 35, 202, 1970.
4) Bowen RL: Adhesion bonding of various materials to hard tooth tissues – Solubility of dentinal smear layer in dilute acidbuffers; I ternational Dent J 28, 97, 1978.
5) Brannstrom M, Nyborg H: Cavity treatment with a microbicidal fluoride solution: Growth of bacteria and effect on the pulp; J Prosthet Dent 30, 303-310, 1973.
6) 総山孝雄: 無痛修復; クインテッセンス出版, 東京, 1979.
7) 山本一世, 川本雅行, 三木　尚, 河村昌哲, 新井巧, 上田裕彦, 成川公一, 藤井弁次. リン酸処理された象牙質に対するボンディング剤の浸透性について. 日歯保存誌 35, 694-700, 1992.
8) Munksgaad EC, Asmussen E: Bond Strength Between Dentin and Restorative Resins Mediated by Mixtures of HEMA and Glutaraldehyde; J dent Res 63, 1087-1089, 1984.
9) Ferrari M, Yamamoto K, Finger WJ: Clinical and laboratory evaluation of adhesive restorative systems; Am J Dent 7, 217-219, 1994.

10) Reeves GW, Fitchie JG, Hembree JH Jr, Puckett AD: Microleakage of New Dentin Bonding Systems Using Human and Bovine Teeth; Oper Dent 20, 230-235, 1995.
11) Pashley DH, Zhang Y, Agee KA, Rouse CJ, Carvalho RM, Russell CM: Permeability of demineralized dentin to HEMA; Dent Mater 16, 7-14, 2000.
12) 山本一世, 吉川一志, 白石　充, 添田　廣, 黒瀬信隆, 成川公一, 井上正義: エナメル質－象牙質接着性コンポジットレジンシステムに関する研究　第1報　引張接着強さと辺縁漏洩試験による評価; 日歯保存誌 40, 1272-1280, 1997.
13) 山本一世, 初岡昌憲, 藤原秀樹, 東野信男, 小正紀子, 井上正義. エナメル質-象牙質接着性コンポジットレジンシステムに関する研究　第3報　象牙質に対する接着耐久性の検討. 日歯保存誌 45, 159-166, 2002.
14) 山本一世, 岩田有弘, 三木　尚, 三木秀治, 成川公一, 井上正義. 象牙質の湿潤状態がウエットボンディングシステムの接着性に及ぼす影響について. 接着歯学 18, 207-215, 2000.
15) Tay FR, Gwinnett AJ, Pang KM, Wei SHY: Resin Permeation Acid-conditioned, Moist, and Dry Dentin: A Paradigm using Water-free Adhesive Primers; J Dent Res 75, 1034-1044, 1996.
16) YAMAMOTO K, SUZUKI K, SUWA S, MIYAJI H, HIROSE Y, INOUE M. Effects of surface wetness of etched dentin on bonding durability of a total-etch adhesive system: Comparison of conventional and dumbbell-shaped specimens. Dent Mater J 24, 187-194, 2005.
17) 山本一世, 廣瀬泰明, 藤井公之, 三原拓也, 布施究, 福井敏和, 成川公一, 井上正義. エナメル質-象牙質接着性コンポジットレジンシステムに関する研究 第2報 エナメル質に対する接着性の検討. 日歯保存誌 42, 623-633, 1999.
18) 山本一世, 鈴木康一郎, 宮地秀彦, 岩田有弘, 三木秀治, 清水建彦, 井上正義. ボンディング剤へのエアブローがセルフエッチングプライマーシステムの接着性に及ぼす影響について. 接着歯学 22, 110-119, 2004.
19) Martin J. Tays, Kenneth J. Anusavise, Jo E. Frencken, Graham J. Mount. Minimal intervention dentistry – a review*, FDI Commission Project 1-97. International Dent J 50, 1-12, 2000.
20) 鈴木康一郎, 山本一世. 髄室側象牙質に対するコンポジットレジンの接着. 歯科医学 70, 49-64, 2007.
21) Kumazaki M, Toyoda K. Removal of hard dental tissue (cavity preparation) with Er: YAG laser. J Jpn Soc Laser Dent 6, 16-24, 1995.
22) YAMAMOTO K, OMAE M, YOSHIKAWA K, KAWAMOTO M, INOUE M, INOUE M, YANG F, LONGXING NI, CHEN JH. Bond strength of composite resin to dentin irradiated with Er：YAG laser. J Osaka Dent Univ, 38, 17-22, 2004.