

平成 30 年 6 月 8 日現在

機関番号：12602

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26462873

研究課題名(和文) 接着修復はいつ破壊するのか - 破壊メカニズムの波動解析と予測診断技術への展開 -

研究課題名(英文) Acoustic emission analysis of behavior dynamics of structural adhesive restorations between tooth and resin composite material

研究代表者

保坂 啓一 (HOSAKA, Keiichi)

東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・助教

研究者番号：80451946

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、音波解析手法を用いることによって、歯と高分子生体材料であるコンポジットレジンとの構造接着における破壊挙動ダイナミクスの解析に成功し、接着破壊メカニズムの解明に関して、新しい知見を得ることができた。臨床歯科医学において、様々な歯質接着システムが用いられているが、破壊の前兆現象として発生するアコースティックエミッションは、接着システムによって、カウント数、エネルギー、ヒット数、イベント数、振幅値、信号立ち上がり時間、信号継続時間、平均信号レベル、ピーク周波数、重心周波数などの項目で異なることが判り、接着性能の高い接着システムほど、AEが高応力で発生することがわかった。

研究成果の概要(英文)：In this research project, we have succeeded in analyzing the fracture behavior dynamics of structural adhesive restorations between teeth and composite resin which has been very often used in daily dental treatments, by using a novel acoustic emission analytical method, and obtained new findings on adhesive failure mechanism as well as adhesive mechanism. We found that acoustic emissions occur as a precursor phenomenon of fractures, and that the number of counts, energy, number of hits, number of events, amplitude value, signal rise time, signal duration, average signal level, peak frequency are dependent upon adhesive systems. It was also revealed that the resin-dentin specimens created adhesion systems with higher bonding performance generated AE at higher stress.

研究分野：保存修復学

キーワード：歯質接着システム 破壊のダイナミクス アコースティック・エミッション

1. 研究開始当初の背景

近年の目覚ましい接着歯学の発展に伴い、“Minimal Intervention (低侵襲)” コンセプトに基づく接着性レジンとコンポジットレジンを用いた接着修復治療は、臨床の有効性と経済的効率性の観点からう蝕治療のみならず様々な場面で用いられている。さらに、過去の治療法では考えられないような大きく欠損した窩洞や複雑な窩洞へ応用されるまで広がりを見せているが、そのような場合、接着修復が破壊してしまうことがある。

超高齢社会を迎えた我が国のみならず、「歯をできる限り延命させたい」という願いを背景に、前述の接着技法を用いた修復治療の耐久性のさらなる向上と、効果的な保全法への期待が高まっている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、接着修復の疲労損傷を早期予測することによって、いつ接着破壊が起こるのか、すなわち接着修復物の余寿命を予知診断するという、臨床的有用性の高い技術の開発を目指し、音波解析手法を用いて接着修復の破壊メカニズムを解明することである。

3. 研究の方法

接着性レジンとコンポジットレジンを用いて接着修復した歯を試料として、微小引張り接着試験において引張り応力を荷重し、その際に接着修復歯内部に起こる亀裂・変形などの疲労損傷によって発生する弾性波(エネルギー)をAcoustic Emission(AE)波動分析法を用いて解析し内部損傷の詳細を特定する。疲労負荷試験中の修復歯試料表面に設置したAEセンサ(圧電素子センサ)によって、接着修復破壊の前駆的現象である接着修復内部の微小変形や微小クラックの発生に伴い生じる弾性波の発生挙動をリアルタイムで検出し、電気信号に変換しアンプで増幅することで計測装置によりその特性波形を解析する。検出された波形について振幅と波形の数を分析すれば、修復内部に起こる亀裂の大きさと亀裂の進展速度を解析でき、またAEセンサを複数個以上設置することにより亀裂の発生位置の特定も可能となる。

4. 研究成果

(1) 接着破壊のアカースティックエミッション分析

歯と高分子生体材料であるコンポジットレジンとの接着構造における、接着破壊のダイナミクスを、アカースティックエミッションを用いた音波解析手法で解析することに世界で初めて成功した。

微小引張り接着試験中のコンポジットレジンとの破壊における、試料内部の変形や歪みを破断以前にアカースティックエミッション波として検出した(図1)。

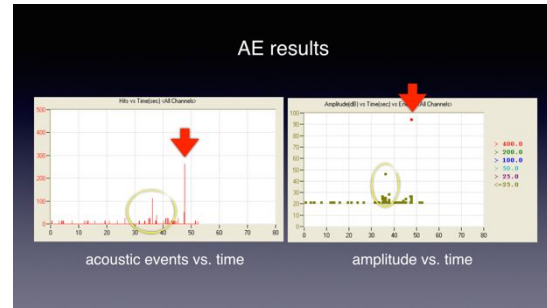


図1 レジン 象牙質接着試料における、アカースティックエミッション。赤矢印が、接着試料の破断点。破断の前兆現象としてのアカースティックエミッションの発生が認められた。試料内部の微小亀裂や変形などが起こっていることが推測される。

さらに、このアカースティック・エミッションは、破壊現象の前兆として発生することがわかったが、使用する接着システムによって、発生するアカースティックエミッションの特性が異なることが明らかになった(図2)。

Materials	uTBS	Total AE events	uTBS at 1st AE
Clearfil SE Bond	74.7 MPa	918	28.5 MPa
Clearfil SE One	56.3 MPa	3584	14.4 MPa
Clearfil Universal Bond Quick	62.1 MPa	2380	22.6 MPa

図2 3種類の接着システムにおける、微小引張り接着強さ、アカースティックエミッション発生回数、アカースティックエミッション初発生時の微小引張り接着強さ

(2) 破壊前兆現象の可視化

さらに、ダイレクトブリッジ接着修復構造における破壊のダイナミクスを解明するため、ヒト抜去歯を使用したシミュレーションモデルを作製し、アカースティックエミッション解析に加えて、超高速光弾性イメージング手法を行い、ダイレクトブリッジモデルを作製し、応力荷重時の歪み、変形の起始点の解析を行った。その結果、ダイレクトブリッジモデルでは、接着界面にかかると考えられていた応力は、肉眼所見におけるダイレクトブリッジ構造の破壊の前兆として、ポイント構造部位中央で応力集中が発生し、さらに、支台歯の歯頸部に応力が集中することがわかった。ダイレクトブリッジ接着修復治療は、従来の治療方法と比較して、隣在歯の健康歯質の切削が不要で、しかも治療期間

が短期間ですることから、社会的にも大変期待されている治療法である。支台歯、ポンティック構造、コンポジットレジン、接着面積などさまざまな条件によって、応力集中や破壊ダイナミクスは異なってくるものと考えられ、今後さらなる研究が期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 20 件)

Yukinori Kano、Masatoshi Nakajima、Asami Aida、Naoko Seki、Richard M Foxton、Junji Tagami. Influence of enamel prism orientations on color shifting at the border of resin composite restorations. Dent Mater J. 2018、査読有
DOI:10.4012/dmj.2017-094
Keita Taguchi、Keiichi Hosaka、Masaomi Ikeda、Ryuzo Kishikawa、Richard Foxton、Masatoshi Nakajima、Junji Tagami. The effect of warm air-blowing on the microtensile bond strength of one-step self-etch adhesives to root canal dentin. J Prosthodont Res. 2018、査読有
DOI:10.1016/j.jpor.2017.12.006
Daisuke Araoka、Keiichi Hosaka、Masatoshi Nakajima、Richard Foxton、Thanatvarakorn Ornnicha、Prasansuttiporn Taweesak、Ayaka Yoshimine、Kento Sato、Masahiro Takahashi、Masayuki Otsuki、Junji Tagami. The strategies used for curing universal adhesives affect the micro-bond strength of resin cement used to lute indirect resin composites to human dentin. Dent Mater J. 2018、査読有
DOI: 10.4012/dmj.2017-240
Taweesak Prasansuttiporn、Ornnicha Thanatvarakorn、Junji Tagami、Richard M Foxton、Masatoshi Nakajima. Bonding Durability of a Self-etch Adhesive to Normal Versus Smear-layer Deproteinized Dentin: Effect of a Reducing Agent and Plant-extract Antioxidant. J Adhes Dent. 2017、253-258、査読有
DOI: 10.3290/j.jad.a38409
Ayaka Chiba、Takashi Hatayama、Kimisuke Kainose、Masatoshi Nakajima、David H Pashley、Noriyuki Wakabayashi、Junji Tagami. The influence of elastic moduli of core materials on shear stress distributions at the adhesive interface in resin built-up teeth.

Dent Mater J. 2017、95-102、査読有
DOI: 10.4012/dmj.2016-160
Ornnicha Thanatvarakorn、Taweesak Prasansuttiporn、Suppason Thittaweerat、Richard M Foxton、Shizuko Ichinose、Junji Tagami、Keiichi Hosaka、Masatoshi Nakajima. Smear layer-deproteinizing improves bonding of one-step self-etch adhesives to dentin. Dent Mater. 2017、査読有
DOI: 10.1016/j.dental.2017.11.023
Yukari Noda、Masatoshi Nakajima、Masahiro Takahashi、Teerapong Mamanee、Keiichi Hosaka、Tomohiro Takagaki、Masaomi Ikeda、Richard M Foxton、Junji Tagami. The effect of five kinds of surface treatment agents on the bond strength to various ceramics with thermocycle aging. Dent Mater J. 2017、査読有
DOI: 10.4012/dmj.2016-383
Kento Sato、Keiichi Hosaka、Masahiro Takahashi、Masaomi Ikeda、Fucong Tian、Wataru Komada、Masatoshi Nakajima、Richard Foxton、Yoshihiro Nishitani、David H Pashley、Junji Tagami. Dentin Bonding Durability of Two-step Self-etch Adhesives with Improved of Degree of Conversion of Adhesive Resins. J Adhes Dent. 2017、31-37、査読有
DOI: 10.3290/j.jad.a37726dmj
Rena Oguro、Masatoshi Nakajima、Naoko Seki、Alireza Sadr、Junji Tagami、Yasunori Sumi. The role of enamel thickness and refractive index on human tooth colour. J Dent. 2016、36-44、査読有
DOI: 10.1016/j.dent.2016.05.010
Asami Aida、Masatoshi Nakajima、Naoko Seki、Yukinori Kano、Richard M Foxton、Junji Tagami. Effect of enamel margin configuration on color change of resin composite restoration. Dent Mater J. 2016、675-683、査読有
DOI: 10.4012/dmj.2016-039
Ornnicha Thanatvarakorn、Taweesak Prasansuttiporn、Masahiro Takahashi、Suppason Thittaweerat、Richard M Foxton、Shizuko Ichinose、Junji Tagami、Masatoshi Nakajima. Effect of Scrubbing Technique with Mild Self-etching Adhesives on Dentin Bond Strengths and Nano Leakage Expression. J Adhes Dent. 2016、197-204、査読有
DOI:10.3290/j.jad.a36033
A Chiba、J Zhou、M Nakajima、J Tan、J Tagami、D L S Scheffel、J Hebling、K A Agee、L Breschi、G Grégoire、S

S Jang, F R Tay, D H Pashley. The effects of ethanol on the size-exclusion characteristics of type I dentin collagen to adhesive resin monomers. *Acta Biomater.* 2016, 235-241、査読有
DOI: 10.1016/j.actbio.2016.01.040
K Kainose, M Nakajima, R Foxton, N Wakabayashi, J Tagami. Stress distribution in root filled teeth restored with various post and core techniques: effect of post length and crown height. *Int Endod J.* 2015, 1023-1032、査読有
DOI: 10.1111/iej.12397
保坂啓一、佐藤健人、中島正俊、田上順次。新しい2ステップセルフエッチングシステムにおける、ボンドの重合性能の向上が象牙質接着性能およびその耐久性に及ぼす効果 - クリアフィルメガボンド2 - *口腔病学会誌*。2016、109-110、査読有
Wataru Komada, Tasuku Inagaki, Yoji Ueda, Satoshi Omori, Keiichi Hosaka, Junji Tagami, Hiroyuki Miura. Influence of water immersion on the mechanical properties of fiber posts. *J Prosthodont Res.* 2016, 73-80、査読有
DOI: 10.1016/j.jprior.2016.05.005
Teerapong Mamanee, Masahiro Takahashi, Masatoshi Nakajima, Richard M Foxton, Junji Tagami. Initial and long-term bond strengths of one-step self-etch adhesives with silane coupling agent to enamel-dentin-composite in combined situation. *Dent Mater J.* 2015, 663-670、査読有
DOI: 10.4012/dmj.2015-050
A Tanaka, M Nakajima, N Seki, R M Foxton, J Tagami. The effect of tooth age on colour adjustment potential of resin composite restorations. *J Dent.* 2015, 253-260、査読有
DOI: 10.1016/j.jdent.2014.09.007
Yasushi Shimada, Hisaichi Nakagawa, Alireza Sadr, Ikumi Wada, Masatoshi Nakajima, Toru Nikaido, Masayuki Otsuki, Junji Tagami, Yasunori Sumi. Noninvasive cross-sectional imaging of proximal caries using swept-source optical coherence tomography (SS-OCT) in vivo. *J Biophotonics.* 2014, 506-513、査読有
DOI: 10.1002/jbio.201200210
Ornnicha Thanatvarakorn, Masatoshi Nakajima, Taweesak Prasansuttiorn, Shizuko Ichinose, Richard M Foxton, Junji Tagami. Effect of smear layer

deproteinizing on resin-dentine interface with self-etch adhesive. *J Dent.* 2014, 298-304、査読有
DOI: 10.1016/j.dent.2013.11.026

[学会発表](計30件)

Keiichi Hosaka. Bioactive technology meets MI esthetic direct composite restorations. - The present and future -. The 10th World Congress of International Federation of Esthetic Dentistry 2017

Dhaifallah Alqarni, Keiichi Hosaka, Teerapong Mamanee, Masatoshi Nakajima, Masaomi Ikeda, Junji Tagami. Effect of different surface treatments on repair of TBS of composite bonded to resin matrix after water exposure. The 10th World Congress of International Federation of Esthetic Dentistry 2017

Keiichi Hosaka. Current update in adhesive systems. Thai Prosthodontic Association 2017

畑山 貴志、千葉 彩香、貝ノ瀬 公典、中島 正俊、保坂 啓一、若林 則幸、田上 順次。ポスト先端部と歯槽骨(皮質骨・海綿骨)の位置関係と荷重方向の違いがレジンコア築造歯の応力分布に与える影響。日本歯科保存学会学術大会 2017

米倉 和秀、保坂 啓一、田口 敬太、畑山 貴志、高橋 真広、神原 啓介、池田 正臣、中島 正俊、田上 順次。根管象牙質に対するレジンコアシステムの接着性能に及ぼすエアブロー法の検討。日本接着歯学会学術大会 2016

井手 久留美、中島 正俊、保坂 啓一、高橋 真広、關 奈央子、田上 順次。バルクフィルフロアブルレジンの Ultimate Tensile Strength に対する窩洞深さの影響。日本歯科保存学会 2016
永野 大樹、高橋 真広、中島 正俊、野田 有佳里、佐藤 健人、保坂 啓一、田上 順次。異なる水中浸漬期間のコンポジットレジンのリペアに及ぼす表面処理法の影響。日本保存学会 2016

久野 裕介、荒岡 大輔、高橋 真広、保坂 啓一、中島 正俊、田上 順次。親水性アミド系モノマーを含有した新規ワンステップセルフエッチングシステムの象牙質接着性能。日本歯科保存学会 2016 年度春季学術大会 2016

Masatoshi Nakajima, Ornnicha Thanatvarakorn, Taweesak Prasansuttiorn, Keiichi Hosaka, Junji Tagami. Effect of smear layer-deproteinizing on dentin bonding of self-etch adhesives. 45th AADR 2016

Nakajima M., Takahashi M., Mamanee T., Thitthaweerat S., Seki N., Hosaka K., Tagami J. Bond Strengths of Dual-Cure Adhesive Resin Cements to Dentin. Academy of Dental Materials 2015 Annual Meeting 2015.10.08 Lahaina, Maui, HI

Hatayama T., Nakajima M., Hosaka K., Kainose K., Wakabayashi N., Tagami J. Stress Distribution in Resin-Core Build-Up Tooth under Different Load Directions. Academy of Dental Materials 2015 Annual Meeting 2015.10.08 Lahaina, Maui, H

田口 敬太、畑山 貴志、佐藤 健人、吉峰 斉昭、高橋 真広、保坂 啓一、中島 正俊、田上 順次. 1ステップセルフエッチングシステムの根管象牙質接着性能に対する温風エアブローの効果. 第142回日本歯科保存学会 2015年度春季学術大会 2015

荒岡 大輔、佐藤 健人、高橋 真広、池田 正臣、保坂 啓一、中島 正俊、田上 順次. ユニバーサル表面処理材に対する光照射の有無がレジンセメントの接着性能に及ぼす影響. 日本歯科保存学会 2015年度春期学術大会(142回) 2015

畑山 貴志、中島 正俊、保坂 啓一、貝ノ瀬 公典、若林 則幸、田上 順次. 頬側咬頭に対する荷重方向の違いがレジンコア支台築造モデルにおける接合界面のせん断応力分散に及ぼす影響. 第142回日本歯科保存学会学術大会 2015

Noda Yukari, Takahashi Masahiro, mamanee Teerapong, Nakajima Masatoshi, Ikeda Masaomi, Takagaki Tomohiro, Hosaka Keiichi, Tagami Junji. Effect of universal primer/thermocycling on bond strength to ceramics. American Association for Dental Research 2015

Nikaido T., Hosaka K., Kubo S., Maseki T., Rikuta A., Sasazaki H., Satoh K., Shinkai K., Uno S., Yamamoto T., Yoshikawa K., Yatani H., Momoi Y. Three-year Evaluation of Direct Composite Restorations in a Multicenter Prospective Trial. 6th IAD 2015

Keiichi Hosaka. "From Fillings toward Restorations" Great Potentials of Direct Composite Restorations. 9th Iranian General Dentists Association Congress 2015

Keiichi Hosaka. Esthetic and functional composite restorations -material selection and technique-. 9th Iranian General Dentists Association Congress 2015

Sadr Alireza, Keiichi Hosaka. Science meets practice. 9th Iranian General Dentists Association Congress 2015

〔図書〕(計3件)

保坂 啓一 他、医歯薬出版、接着歯学(第2版) 2015、75-76

保坂 啓一 他、ヒョーロンパブリッシャーズ、接着の論点、2016、66-69

保坂 啓一 他、象牙質知覚過敏症(第3版) 2017、30

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

http://reins.tmd.ac.jp/html/100007311_ja.html

6. 研究組織

(1)研究代表者

保坂 啓一(HOSAKA, Keiichi)

東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・助教

研究者番号：80451946

(2)研究分担者

中島 正俊(NAKAJIMA, Masatoshi)

東京医科歯科大学・歯学部附属病院・講師
研究者番号：50272604

高橋 真広(TAKAHASHI, Masahiro)

東京医科歯科大学・歯学部・非常勤講師
研究者番号：20613920

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者 ()