

令和元年6月10日現在

機関番号：12602

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K11108

研究課題名(和文) 時間・空間制御による接着歯学の超高速ダイナミクスの解明

研究課題名(英文) Study on ultra-high speed dynamics in adhesive dentistry by time and space control

研究代表者

岸川 隆蔵 (Kishikawa, Ryuzo)

東京医科歯科大学・歯学部・非常勤講師

研究者番号：50376745

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：毎秒299,166フレームのCMOSデジタルカメラを使用した超高速(Ultra High Speed, UHS)イメージング技術を開発し、世界で初めて、引張り荷重下のコンポジットレジンと象牙質との接着界面における破壊力学の可視化に成功した。極めて高いフレームレート撮影における解像度は、走査型電子顕微鏡の断面分析と比較すると不十分であるものの、亀裂の起源と進展に関するより詳細な情報を得ることができた。今後、さらに高いフレームレートと解像度を備えたUHSイメージング技法を用いた接着破壊力学のメカニズムの理解によって、新しい接着システムを開発が進む可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、毎秒30万フレームのCMOSデジタルカメラを使用した超高速(Ultra High Speed, UHS)イメージング技術を開発し、世界で初めて引張り荷重下のコンポジットレジンと象牙質との接着界面における接着破壊力学の可視化に成功し、国際誌に発表した(Hosaka et al., Dent Mater, 2019)。最新の知見では、最高速度は100万フレームに達し、今後、さらに高いフレームレートと解像度を備えたイメージング技法は、接着歯学のみならず、先端歯科材料学における、新しいイノベーション開発に貢献するものとして大きく期待される。

研究成果の概要(英文)：The ultra high speed (UHS) videography imaging technique using a complementary metal oxide semiconductor digital UHS camera at 299,166 frames per second was developed, and successfully enabled visualization of the fracture dynamics at the resin-dentin bonded interfaces under tensile load for the first time in the world. However, the resolution at such high frame rate was insufficient to classify the failure mode as precisely as that of a scanning electron microscopy. Nevertheless, UHS videography can provide more detailed information about the fracture origin and propagation. In the future, UHS videography with even higher frame rate and resolution can help in understanding the mechanism of fracture dynamics at the resin dentin interface and therefore aid in further development of adhesive systems.

研究分野：歯科保存修復学

キーワード：接着破壊のダイナミクス 超高速撮影 イメージング

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

## 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 (MI)” 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口腔内直接接着歯科治療は、臨床的有効性と経済的効率性の観点から、患者に大きな利益をもたらすものである。超高齢化社会において「自分の歯をできる限り延命させたい」という患者の願いを背景に、う蝕治療に限ることなく、小規模欠損歯列や生活歯・失活歯問わず大型歯冠欠損修復症例への発展応用が大きく期待されている。しかしながら、このような症例に口腔内直接接着修復治療が行われた場合、臨床的に長期経過を追っていくと、機能中の咬合力などに耐え切れず、接着が破壊したり、修復物が破折・破損したり、菲薄化した歯根を救出できず残念ながら歯根そのものが破折したりすることがある。信頼性の高い接着システムを用いて確実に治療を行えば、二次う蝕や脱離はもはや問題ではないことが示されており、口腔内直接接着修復治療が挑戦すべき課題は、このような接着破壊のソリューションへとシフトしてきている。

## 2. 研究の目的

超高速現象である接着破壊のダイナミクスを更に詳細に観察するには、超高速での撮影技術が不可欠であり、より高解像度・より高倍率での撮影条件であることが好ましく、接着破壊観察およびそのメカニズムの解明には、いまだ課題が残されている。本研究は、これまでの申請者らが行ってきたハイスピードカメラを用いた超高速観察の知見をベースに、この最新技術の発展性に着目し、接着歯学研究領域において、これまで解決されなかった課題、すなわち歯質 レジン接着界面の破壊など“歯質接着”の破壊メカニズムを世界に先駆けて解明する取り組みである

## 3. 研究の方法

超高速現象を観察するための STAMP 撮影のための光学系撮影システムの確立を平成 27 年度に行い、微小接着性レジンとコンポジットレジンを用いて歯に接着させて作製した微小試料を用いて、さまざまな応力負荷中の、接着破壊や材料破壊などの瞬間のダイナミクスの観察を行う。平成 28 年度以降は、様々な条件に基づいて接着破壊や材料破壊、歯根破折の超高速観察、および接着機能性モノマーが歯を脱灰して浸透し硬化する瞬間のダイナミクスを解析し、さらに接着性能と長期耐久性を兼ね備えた新しい接着システム・接着技法の開発へと展開する。

## 4. 研究成果

毎秒 299,166 フレームの CMOS デジタルカメラを使用した超高速 (Ultra-High Speed, UHS) イメージング技術を開発し、世界で初めて、引張り荷重下のコンポジットレジンと象牙質との接着界面における破壊力学の可視化に成功した。極めて高いフレームレート撮影における解像度は、走査型電子顕微鏡の破断面分析と比較すると不十分であるものの、亀裂の起源と進展に関

するより詳細な情報を得ることができた。今後、さらに高いフレームレートと解像度を備えた UHS イメージング技法を用いた接着破壊力学のメカニズムの理解によって、新しい接着システムを開発が進む可能性が示唆された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 17 件)

1. Keiichi Hosaka, Antonin Tichy, Masaomi Ikeda, Keiichi Nakagawa, Alireza Sadr, Junji Tagami, Masahiro Takahashi, Kento Sato, Yoshihiro Nishitani, Celso Afonso Klein-Junior, David H Pashley, Masatoshi Nakajima. Ultra-high-speed videography of resin-dentin interface failure dynamics under tensile load. *Dental Materials*. 2019.04;
2. 保坂 啓一, 米倉 和秀, 田口 啓太, アントニーン ティヒー, 久野 裕介, 永野 大樹, 荒岡 大輔, 畑山 貴志, 佐藤 健人, 高橋 真広, 西谷 佳浩, 池田 正臣, 中島 正俊, 田上 順次. タッチキュアがセルフエッチシステムの深部根管壁象牙質接着性能に及ぼす効果 日本歯科保存学雑誌. 2019.02; 62 (1): 39-46.
3. 保坂 啓一, 田代 浩史, 高橋 真広, 岸川 隆蔵, 中島 正俊, 大槻 昌幸, 田上 順次. 大臼歯部 1 歯欠損症例にフロアブルコンポジットレジンのみを用いた単純化した術式によりダイレクトブリッジ修復を行った 1 症例 日本歯科保存学雑誌. 2019.02; 62 (1): 47-53.
4. Alqarni D, Nakajima M, Hosaka K, Ide K, Nagano D, Wada T, Ikeda M, Mamanee T, Thanatvarakorn O, Prasansuttiporn T, Foxton R, Tagami J. The repair bond strength to resin matrix in cured resin composites after water aging. *Dental materials journal*. 2018.11;
5. Uchinuma S, Shimada Y, Matin K, Hosaka K, Yoshiyama M, Sumi Y, Tagami J. Effects of UVB and UVC irradiation on cariogenic bacteria in vitro. *Lasers in medical science*. 2018.11;
6. Nagano D, Nakajima M, Takahashi M, Ikeda M, Hosaka K, Sato K, Prasansuttiporn T, Foxton RM, Tagami J. Effect of Water Aging of Adherend Composite on Repair Bond Strength of Nanofilled Composites. *The journal of adhesive dentistry*. 2018.10; 1-9.
7. Keiichi Hosaka, Taweesak Prasansuttiporn, Ornnicha Thanatvarakorn, Sittthikorn Kunawarote, Masahiro Takahashi, Richard M Foxton, Junji Tagami, Masatoshi Nakajima. Smear layer-deproteinization: Improving the adhesion of self-etch adhesive systems to caries-affected dentin. *Current Oral Health Reports* . 2018.09; 5 (3): 169-177.
8. Francine Kerber Vieira Makwitz, Celso Afonso Klein Junior, Eduardo Galia Reston, Rubem Beraldo dos Santos, Fernando Freitas Portella, Keiichi Hosaka. Storage Temperature Influences the Carbamide Peroxide Concentration of at Home Bleaching Agents *Biomedical Journal of Scientific and Technical Research*. 2018.09;
9. Alquarni Dhaifallah Abdullah G, Masatoshi Nakajima, Keiichi Hosaka, Kurumi Ide, Daiki Nagano, Takahiro Wada, Masaomi Ikeda, Teerapong Mamanee, Ornnicha Thanatvarakorn, Prasansuttiporn Taweesak, Richard Foxton, Junji Tagami. The repair bond strength to resin matrix in cured resin composites with different degrees of conversion after water aging. *Dental Materials Journal*. 2018.08;
10. 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*. 2018.07; 62 (3): 330-336.
11. Takashi Hatayama, Ayaka Chiba, Kimisuke Kainose, Masatoshi Nakajima, Keiichi Hosaka, Noriyuki Wakabayashi, Richard M Foxton, Junji Tagami. Stress distribution in tooth resin core build-ups with different post-end positions in alveolar bone level under two kinds of load directions. *Dent Mater J*. 2018.06; 37 (3): 474-483.
12. Daisuke Araoka, Keiichi Hosaka, Masatoshi Nakajima, Richard Foxton, Ornnicha Thanatvarakorn, Taweesak Prasansuttiporn, Ayaka Chiba, 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*. 2018.06; 37 (3): 506-514.
13. Rutthanu N Wongsorachai, Ornnicha Thanatvarakorn, Taweesak Prasansuttiporn, Sumana Jittidecharaks, Keiichi Hosaka, Richard M Foxton, Masatoshi Nakajima. Effect of Polymerization Accelerator on Bond Strength to Eugenol-Contaminated Dentin. *J Adhes Dent*. 2018; 20 (6): 541-547.
14. 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. 2017.11; 36 (6): 755-761.

15. 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. 2017.02; 19 (1): 31-37.
16. 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室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. 2016.11; 83 (3): 109-110.
17. 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. 2016.06;

〔学会発表〕(計 3 件)

1. Keiichi Hosaka, Juri Hayashi, Daisuke Araoka, Masatoshi Nakajima, Richard Foxton, Masaomi Ikeda, Wurihan, Yo Shibata, Takashi Miyazaki, Junji Tagami. Eight-year Durability of Resin-dentin Interfaces of a 1-SEA. IADR/PER General Session 2018.07.25 London, England
2. Dhaifallah Alqarni, Keiichi Hosaka, Teerapong Mamanee, Masatoshi Nakajima, Masaomi Ikeda, Junji Tagami. Effect of different surface treatments on repair uTBS of composite bonded to resin matrix after water exposure. The 10th World Congress of International Federation of Esthetic Dentistry 2017.09.14 Toyama
3. Masatoshi Nakajima, Ornnicha Thanatvarakorn, Taweesak Prasansuttiorn, Keiichi Hosaka, Junji Tagami. Effect of smear layer-deproteinizing on dentin bonding of self-etch adhesives. 45th AADR 2016.03.18 Los Angeles, California

〔図書〕(計 0 件)

〔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：  
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：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：保坂啓一

ローマ字氏名：Keiichi HOSAKA

所属研究機関名：東京医科歯科大学

部局名：大学院医歯学総合研究科

職名：助教

研究者番号（8桁）：80451946

研究分担者氏名：中島正俊

ローマ字氏名：Masatoshi Nakajima

所属研究機関名：東京医科歯科大学

部局名：歯学部附属病院

職名：講師

研究者番号（8桁）：50272604

研究分担者氏名：高橋真広

ローマ字氏名：Masahiro Takahashi

所属研究機関名：東京医科歯科大学

部局名：歯学部

職名：非常勤講師

研究者番号（8桁）：20613902

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。