

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：32622

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K10188

研究課題名(和文) 新規先端材料開発を目的とした遺伝子改変マウスのエナメル質ナノメカニクス解析

研究課題名(英文) Nanomechanical characterization of enamel obtained from genetically modified mouse for conceptualizing advanced materials

研究代表者

柴田 陽 (Shibata, Yo)

昭和大学・歯学部・教授

研究者番号：30327936

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：ヒトの永久歯は一生涯を通じて機能できる優れた構造モチーフから構成されている。歯の優れた耐久性はエナメルタンパクやコラーゲンタンパクなどの有機質による時間依存特性が深く関与していると考えられる。本研究では歯質のクリープカーブに粘弾性モデルの時間積分関数をフィットさせることにより、これら有機成分の粘弾性パラメータを数値化することに成功した。一連の研究結果から、歯や骨などの硬組織だけでなく軟組織機械特性・時間依存特性も粘弾性モデルによって表現することも可能となり、生物学や病理学分野への波及効果も考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

材料の規格試験は、均一構造のバルク試験片が破壊に至る最大強度を評価するものであり、天然歯および歯科材料の動的力学的特性の評価に適切でない。本研究で用いられる測定理論は生体模倣材料開発における基幹技術であり、ベースラインとなるエナメル質の構造・材料特性は歯学教育における重要項目の一つとなる。ナノインデンテーション法は無機材料を基本に開発されたものであり、生体組織への応用は少ない。エナメル質への測定方法を確立することにより再生硬組織の質的診断ツールとしても応用することができる。本研究は生物分野と先端機械工学の融合により極めて独創的であり、一連の研究から波及した新規研究分野の開拓が期待できる。

研究成果の概要(英文)：Human tooth is composed of exceptional structural motifs that allow them to function effectively throughout an individual's lifetime. The remarkable durability of teeth is thought to be deeply influenced by time-dependent properties of organic materials, including enamel and collagen proteins. In this study, we successfully quantified the viscoelastic parameters of these organic components by fitting a viscoelastic model's time-integral function to the dentin creep curve. Our research findings suggest that viscoelastic models can be employed to represent not only the mechanical and time-dependent properties of hard tissues, such as teeth and bones, but also those of soft tissues. This advancement has potential implications for disciplines like biology and pathology.

研究分野：歯科理工学

キーワード：エナメル ナノインデンテーション バイオマテリアル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

“再生能力に乏しいエナメル質が長期間どのように機能・形態を維持しているのか？”エナメル質の優れた力学的特性は、生物の適応と進化の集大成であり、生命維持の根幹をなす口腔機能の主体である。人体において最も石灰化度が高く、ハイドロキシアパタイトを主成分としたエナメル質は、これまで天然のセラミックスと考えられることが多かった。しかし近年、セラミックスでは達成不可能なエナメル質の突出した破壊抵抗性が注目されている。歯冠の最表層を構成するエナメル質には $0.4 - 2.2 \text{ mm}^2$ の面積に最大でおよそ 1000N の咬合力が発生するまた対合歯との接触関係から、咀嚼時のエナメル質には常に強いせん断応力が生じる。この様な過酷な口腔環境に晒されながらも一生涯を通じて機能・形態を維持できるエナメル質の力学的特性は、あらゆる人工材料と比較して優れており、エナメル質の構造-機能特性を正しく理解することは最先端材料の開発において必須のベースラインであり、新たな解析方法が求められている。

2. 研究の目的

歯のエナメル質は、すべての生物種・地質学的世代を通じて基本構造が一貫しており、力学的基盤を示唆している。生物の生涯を通じて機能できるエナメル質材料レベルの最小構造モチーフは、軽量かつ高剛性、さらに耐久性に優れた新規材料のモデルとして注目されている。エナメル質固有の力学的特性、特に破壊抵抗性はエナメルタンパクとハイドロキシアパタイト結晶による高度なナノ構造に依存していると考えられている。本研究の目的は、エナメルタンパク遺伝子変異マウス、野生型、それぞれから採取したエナメル質のナノ構造-機能特性を解析することである。その結果、最先端材料開発に必要なベースラインデータを提供することができる。

3. 研究の方法

正常マウスと遺伝子改変マウスから採取した歯質の力学的特性をナノインデンテーション法により検討した。同腹仔正常マウスとヘテロ型ノックアウトマウスの切歯断面試料に対するナノインデンテーション試験を行い、間質タンパクでの力学的機能を検討した。予備実験として人の抜去歯を用いて、ナノインデンテーション法を用いた応力ひずみ曲線の解析方法を模索した。通常のナノインデンテーション法ではピラミッド型圧子を用いて、荷重除荷曲線から硬さと弾性係数を求める。しかし、弾性係数はエナメル質の突出した耐久性を説明するには不十分である。このためクラシカルなヘルツ接触理論を改良し、球状圧子を用いて新たにナノインデンテーション法によるエナメル質の応力ひずみ曲線を解析できる測定理論を開発した。本研究計画ではさらにエナメル質の基本強度をナノレベルで議論するため、圧子先端形状校正を理論的に補正し高精度化を試みた。これに伴い、校正用オリジナルソフトウェアを共同開発した。バルク試験の応力ひずみ曲線では、材料の破壊抵抗性を降伏点以降の塑性ひずみによるエネルギー吸収と最大強度から破断点までの挙動を合わせて議論されることが多い。したがって動的ナノインデンテーション試験による剛性変化に加え、インデンテーションで定量化された応力の分散傾向を観察することが重要である。この点、マイクロラマン分光による局所の解析では、石灰化組織内のアパタイト結晶に帰属する無機リン酸のピーク位置が結晶ひずみによってシフトするため、局所の応力分散傾向を視覚化することが可能である。

4. 研究成果

応力ひずみ曲線は材料の機械的特性を詳細に評価できる最も信頼性の高い試験方法である。しかし生体材料や構造材料に対しては引張・曲げ試験といった規格試験が適用できず、局所の応力ひずみ特性を直接評価する新たな試験方法の開発が求められている。微小領域の機械特性試験としてはダイヤモンド圧子を用いたナノインデンテーション法が開発されており、これによって初期のコンタクトメカニクスである弾性係数を評価することができる。しかしバルク試験における最大強度や破壊抵抗性などの情報を獲得することは難しい。球状圧子を用いたナノインデンテーション法によって材料表面への接触直後から応力場を制御することが可能となり、接触直後では弾性変形を生じさせつつ、荷重上昇に伴い塑性変形を生じさせることができる。これにより理論上局所の応力ひずみ曲線から降伏点強度を評価することが可能となった。自然界に存在する石灰化組織 (Biominerals) の中で、二枚貝などの軟体動物が形成する真珠層 (Nacre) と歯のエナメル質は、軽量で高剛性・高靱性を持ち、その力学的特性は人工材料では再現できない。これらの Biominerals の力学的特性、特に破壊靱性は、マクロ-マイクロ階層構造に依存すると考

えられている。このため人工材料においても、天然組織のマイクロ構造を再現する試みがなされている。しかし Biominerals から着想を得た複合材料において、その力学的特性を完全に再現できたという報告はない。本研究では、エナメル質の最小構造（ナノスケール）モチーフであるアパタイトとタンパクの複合化が局所の剛性を向上させ、弾性エネルギー率の向上により本質的な破壊抵抗を示す可能性が示唆された。エナメル質のような石灰化組織のナノ構造の動的挙動がその力学的特性に重要である可能性が高い。エナメル質の組織学的な“マイクロ構造”に依存しない動的力学的特性を検証できたことは、新規の工業材料・生体材料の開発を促進するものと考えられる。

一方、初期接触で弾性変形のみを生じる球状圧子を用いると、歯質と修復材料界面での微小機械特性のマッピングが可能となり、これまで困難だった象牙質と歯面処理剤のハイブリッド層を直接評価できる新たな方法を開発することができた。その結果、親水性機能性モノマーを用いた歯面処理では象牙質と修復材料界面の機械特性が著しく低下していることが明らかになった。この結果に基づき、新たにリン酸エステル系機能性モノマーのみで歯面処理を行う歯面処理剤の開発に取り組むことが可能となった。また本研究で用いられる最新の装置では歯根膜のような軟組織・線維性組織の機械特性を測定することも可能となり、生物学分野への波及効果も見込まれる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計24件（うち査読付論文 24件 / うち国際共著 14件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Zhou Jun, He Zhiyi, Cui Jiarui, Liao Xiaoling, Cao Hui, Shibata Yo, Miyazaki Takashi, Zhang Jiaming	4. 巻 11
2. 論文標題 Identification of mechanics-responsive osteocyte signature in osteoarthritis subchondral bone	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bone & Joint Research	6. 最初と最後の頁 362 ~ 370
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1302/2046-3758.116.BJR-2021-0436.R1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Cui Jiarui, Shibata Yo, Itaka Keiji, Zhou Jun, Zhang Jiaming	4. 巻 13
2. 論文標題 Unbiased comparison and modularization identify time-related transcriptomic reprogramming in exercised rat cartilage: Integrated data mining and experimental validation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Physiology	6. 最初と最後の頁 974266
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphys.2022.974266	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Itose Masakatsu, Suzawa Tetsuo, Shibata Yo, Ohba Shinsuke, Ishikawa Koji, Inagaki Katsunori, Shirota Tatsuo, Kamiyo Ryutaro	4. 巻 21
2. 論文標題 Knee meniscus regeneration using autogenous injection of uncultured adipose tissue-derived regenerative cells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Regenerative Therapy	6. 最初と最後の頁 398 ~ 405
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.reth.2022.09.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Zhong Jingxiao, Shibata Yo	4. 巻 58
2. 論文標題 The structural motifs of mineralized hard tissues from nano- to mesoscale: A future perspective for material science	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Dental Science Review	6. 最初と最後の頁 348 ~ 356
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jdsr.2022.11.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Zhong Jingxiao, Shibata Yo	4. 巻 58
2. 論文標題 The structural motifs of mineralized hard tissues from nano- to mesoscale: A future perspective for material science	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Dental Science Review	6. 最初と最後の頁 348 ~ 356
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jdsr.2022.11.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Cui Jiarui, Shibata Yo, Itaka Keiji, Zhou Jun, Zhang Jiaming	4. 巻 13
2. 論文標題 Unbiased comparison and modularization identify time-related transcriptomic reprogramming in exercised rat cartilage: Integrated data mining and experimental validation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Physiology	6. 最初と最後の頁 974266
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphys.2022.974266	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Itose Masakatsu, Suzawa Tetsuo, Shibata Yo, Ohba Shinsuke, Ishikawa Koji, Inagaki Katsunori, Shirota Tatsuo, Kamijo Ryutaro	4. 巻 21
2. 論文標題 Knee meniscus regeneration using autogenous injection of uncultured adipose tissue-derived regenerative cells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Regenerative Therapy	6. 最初と最後の頁 398 ~ 405
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.reth.2022.09.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Zhang Zhongyang, Zhou Jun, Liu Chuang, Zhang Jiaming, Shibata Yo, Kong Na, Corbo Claudia, Harris Mitchel B., Tao Wei	4. 巻 4
2. 論文標題 Emerging biomimetic nanotechnology in orthopedic diseases: progress, challenges, and opportunities	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Trends in Chemistry	6. 最初と最後の頁 420 ~ 436
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.trechm.2022.02.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Watanabe Chie, Wada Junichiro, Nagayama Tomiharu, Uchida Hirofumi, Mizutani Koji, Foxton Richard M., Shibata Yo, Wakabayashi Noriyuki	4. 巻 66
2. 論文標題 Long-term observation of periodontal condition following placement of partial dentures with rigid retainers and major connector in patients with diabetes: A retrospective study	removable with/without
5. 発行年 2022年	6. 最初と最後の頁 117 ~ 123
3. 雑誌名 Journal of Prosthodontic Research	6. 最初と最後の頁 117 ~ 123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2186/jpr.JPR_D_20_00288	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Cui Jiarui, Shibata Yo, Zhu Tianmin, Zhou Jun, Zhang Jiaming	4. 巻 77
2. 論文標題 Osteocytes in bone aging: Advances, challenges, and future perspectives	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ageing Research Reviews	6. 最初と最後の頁 101608 ~ 101608
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.arr.2022.101608	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Zhang Zhongyang, Zhou Jun, Liu Chuang, Zhang Jiaming, Shibata Yo, Kong Na, Corbo Claudia, Harris Mitchel B., Tao Wei	4. 巻 4
2. 論文標題 Emerging biomimetic nanotechnology in orthopedic diseases: progress, challenges, and opportunities	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Trends in Chemistry	6. 最初と最後の頁 420 ~ 436
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.trechm.2022.02.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Watanabe Chie, Wada Junichiro, Nagayama Tomiharu, Uchida Hirofumi, Mizutani Koji, Foxton Richard M., Shibata Yo, Wakabayashi Noriyuki	4. 巻 66
2. 論文標題 Long-term observation of periodontal condition following placement of partial dentures with rigid retainers and major connector in patients with diabetes: A retrospective study	removable with/without
5. 発行年 2022年	6. 最初と最後の頁 117 ~ 123
3. 雑誌名 Journal of Prosthodontic Research	6. 最初と最後の頁 117 ~ 123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2186/jpr.JPR_D_20_00288	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kobayashi Hirokazu, Honda Hidehiko, Yamamoto Masato, Tanaka Reina, Shibata Yo, Odanaka Yuki, Hirai Yasuaki, Inagaki Masahiro	4. 巻 702
2. 論文標題 TG-DTA of inclusion compound consisting of acetaminophen incorporated into 1D nanochannels of 2,4,6-tris(4-chlorophenoxy)-1,3,5-triazine	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Thermochimica Acta	6. 最初と最後の頁 178981 ~ 178981
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tca.2021.178981	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Iwamoto Daisei, Masaki Chihiro, Shibata Yo, Watanabe Chie, Nodai Tomotaka, Munemasa Takashi, Mukaibo Taro, Kondo Yusuke, Hosokawa Ryuji	4. 巻 120
2. 論文標題 Microstructural and mechanical recovery of bone in ovariectomized rats: The effects of menaquinone-7	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials	6. 最初と最後の頁 104571 ~ 104571
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmbbm.2021.104571	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoshida Hiroshi, Suzawa Tetsuo, Shibata Yo, Takahashi Masahiro, Kawai Ryota, Takami Masamichi, Maki Koutaro, Kamiyo Ryutaro	4. 巻 554
2. 論文標題 Neural crest-derived cells in nasal conchae of adult mice contribute to bone regeneration	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biochemical and Biophysical Research Communications	6. 最初と最後の頁 173 ~ 178
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbrc.2021.03.079	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takahashi Shinpei, Zhou Jun, Wurihan, Shimomura Naofumi, Kataoka Yu, Watanabe Chie, Shibata Yo, Funatsu Takahiro, Gao Ping, Miyazaki Takashi	4. 巻 117
2. 論文標題 High-resolution mechanical mapping of the adhesive?dentin interface: The effect of co-monomers in 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials	6. 最初と最後の頁 104389 ~ 104389
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmbbm.2021.104389	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Cheng Caiqi, Zhou Jun, Chen Ruiying, Shibata Yo, Tanaka Reina, Wang Jun, Zhang Jiaming	4. 巻 12
2. 論文標題 Predicted Disease-Specific Immune Infiltration Patterns Decode the Potential Mechanisms of Long Non-Coding RNAs in Primary Sjogren's Syndrome	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Immunology	6. 最初と最後の頁 624614
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fimmu.2021.624614	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yoshida Hiroshi, Suzawa Tetsuo, Shibata Yo, Takahashi Masahiro, Kawai Ryota, Takami Masamichi, Maki Koutaro, Kamijo Ryutaro	4. 巻 554
2. 論文標題 Neural crest-derived cells in nasal conchae of adult mice contribute to bone regeneration	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biochemical and Biophysical Research Communications	6. 最初と最後の頁 173 ~ 178
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbrc.2021.03.079	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takahashi Shinpei, Zhou Jun, Wurihan, Shimomura Naofumi, Kataoka Yu, Watanabe Chie, Shibata Yo, Funatsu Takahiro, Gao Ping, Miyazaki Takashi	4. 巻 117
2. 論文標題 High-resolution mechanical mapping of the adhesive?dentin interface: The effect of co-monomers in 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials	6. 最初と最後の頁 104389 ~ 104389
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmbbm.2021.104389	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Okada Masahiro, Hara Emilio Satoshi, Yabe Atsushi, Okada Kei, Shibata Yo, Torii Yasuhiro, Nakano Takayoshi, Matsumoto Takuya	4. 巻 7
2. 論文標題 Titanium as an Instant Adhesive for Biological Soft Tissue	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Materials Interfaces	6. 最初と最後の頁 1902089 ~ 1902089
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/admi.201902089	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shibata Yo	4. 巻 64
2. 論文標題 Train of thought on implantable biomaterials: Titanium versus zirconia	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Prosthodontic Research	6. 最初と最後の頁 4-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/S1883-1958(20)30086-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Okada Masahiro, Hara Emilio Satoshi, Yabe Atsushi, Okada Kei, Shibata Yo, Torii Yasuhiro, Nakano Takayoshi, Matsumoto Takuya	4. 巻 in press
2. 論文標題 Titanium as an Instant Adhesive for Biological Soft Tissue	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Materials Interfaces	6. 最初と最後の頁 1902089 ~ 1902089
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/admi.201902089	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kawamura Michihiko, Masaki Chihiro, Shibata Yo, Kondo Yusuke, Mukaibo Taro, Miyazaki Takashi, Hosokawa Ryuji	4. 巻 98
2. 論文標題 Pentosidine correlates with nanomechanical properties of human jaw bone	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials	6. 最初と最後の頁 20 ~ 25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmbbm.2019.06.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hon Adrian Ki, Matinlinna Jukka Pekka, Shibata Yo, Miyazaki Takashi, Pow Edmond Ho Nang	4. 巻 90
2. 論文標題 Evaluation of five silane coupling agents on resin-titanium adhesion	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Adhesion and Adhesives	6. 最初と最後の頁 132 ~ 137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijadhadh.2019.02.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yo Shibata , Chie Watanabe
2. 発表標題 Nanoindentation Protocol for Identifying Elasticity of Periodontal Ligament
3. 学会等名 15th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XV) and the 8th Asian Pacific Congress on Computational Mechanics (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Shibata , S. Takahashi , J. Zhou , N. Shimomura , C. Watanabe , Y. Kataoka
2. 発表標題 High-resolution Modulus Mapping of the Adhesive-dentin Interface
3. 学会等名 2021 International Association for Dental Research (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上 利志子, 齊藤 誠, 西村 文夫, 宮崎 隆, 柴田 陽
2. 発表標題 外套象牙質の硬さおよび弾性率
3. 学会等名 第75回日本歯科理工学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋 慎平, 堀田 康弘, 佐々木 香, 佐々木 正和, 柴田 陽
2. 発表標題 各種ケイ酸リチウムガラスCAD/CAMブロックに対する各種レジンセメントのせん断接着強さ
3. 学会等名 第75回日本歯科理工学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加藤 梨友, 中納 治久, 片岡 有, 岡本 博明, 俣田 勝由, 各務 知英美, 塩竈 素哉, 堀田 康弘, 柴田 陽, 槇 宏太郎
2. 発表標題 矯正治療に用いる3Dプリンター材料についての研究
3. 学会等名 第78回日本矯正歯科学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田仲 持郎, 池田 祐子, 片岡 有, 原 哲也, 堀田 康弘, 柴田 陽, 宮崎 隆
2. 発表標題 粉液混和型高性能PMMA/MMA系レジンの開発(その4) 架橋モノマー添加が餅状化時間に及ぼす影響
3. 学会等名 第74回日本歯科理工学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 成澤 英明, 片岡 有, 柴田 陽
2. 発表標題 酸化カルシウムとポリリン酸からのアパタイト水熱合成(第十二報) フッ素の影響
3. 学会等名 第74回日本歯科理工学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Researchmap
<https://researchmap.jp/yo-shibata>
 Google Scholar
<https://scholar.google.com/citations?user=IZMDGX0AAAAJ&hl=ja&oi=ao>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	山田 篤 (Yamada Atsushi) (50407558)	昭和大学・歯学部・准教授 (32622)	
研究 分 担 者	荻野 玲奈 (田中玲奈) (Ogino Reina) (80585779)	昭和大学・歯学部・講師 (32622)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	Harvard Medical School			
オーストラリア	The University of Sydney			
中国	The University of Hong Kong			