

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 8 日現在

機関番号：32622

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K11173

研究課題名(和文) CAD/CAM用ブロック材料の加工条件が修復物に与える影響とその制御方法の開発

研究課題名(英文) Influence of processing condition of block material for CAD / CAM on restoration and development of its control method

研究代表者

堀田 康弘 (Hotta, Yasuhiro)

昭和大学・歯学部・准教授

研究者番号：00245804

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)：平成26年に保険収載され、平成29年12月より大白歯適用が正式に始まったCAD/CAM冠用ブロックは、サーマルサイクルによる劣化試験や、加工条件の違いによる強度変化など、吸水による影響を報告した学会発表が功奏し、現在では大白歯用ブロック材料の品質表示の指針となったことで、安定した品質の製品が提供されるようになった。一方で、新規歯科材料として期待される3Dプリンタ用レジン材料に関しては、本研究では矯正用床材料に限定し、アクリル系とエポキシ系の各種材料に関する基礎データを収集し、エポキシ系バイオコンポジットレジンが機械的性質や物理的性質において従来のレジン系材料の代替に適していることを報告した。

研究成果の概要(英文)：The CAD / CAM crown block which was introduced in national health insurance from 2014 and has been officially started to the application of molar teeth prosthesis since December, 2017. The water absorption such as the thermal cycling fatigue test and differentiation of the machining strategies such as the wet or dry milling have affected to the mechanical properties. As a result of the presentation of some conferences, it has now become a guideline for the quality indication of the block material for molar teeth, so that products of stable quality have been provided. On the other hand, regarding resin materials for 3D printers which are expected as a novel dental material, in this study restricts them to materials for orthodontic fields and collects basic data on acrylic and epoxy materials, and epoxy biocomposite resin. It is reported that it is suitable for replacing conventional resin materials in mechanical properties and physical properties.

研究分野：歯科理工学

キーワード：修復材料 セラミックス コンポジットレジン CAD/CAM 加工方法 3Dプリンタ

1. 研究開始当初の背景

歯科診療では齲蝕や歯周病、外傷など様々な要因によって起こる歯の欠損を何らかの材料で補ってきた。歯科の歴史の中でも、特にロストワックス法による金属の精密鑄造システムは、過去 100 年以上にわたり、欠損補綴の中心的役割を占めてきた。金属修復物は、その優れた機械的性質において有効な材料であったが、金属アレルギーや審美性など、多くの問題を指摘されてきた。一方で、審美性の観点から利用されはじめたポーセレンを用いた歯冠修復も 100 年以上の歴史がある。初めは単なる陶器の歯だったものが、金属フレームへの焼付強化や各種高強度セラミックスを用いたオールセラミックス修復まで、陶材そのものの欠点である脆性を様々な手法で克服してきた。しかし、ポーセレンを用いた修復物は古くから高い審美性が求められる分、技工料金も高く、日本における保険診療の枠には収まらなかった。こうした金属材料、無機材料を中心とした歯科材料に対し、有機材料となるレジン系材料は義歯や充填修復などで利用されるだけでなく、前装冠やジャケット冠として保険診療に収載され利用されてきたが、強度面での不安はぬぐいきれなかった。しかし、主に充填用途で利用されてきたコンポジットレジン、マイクロフィラーやハイブリッドフィラーといったフィラー技術の改良により、さらに高強度となったことで、歯冠補綴用レジンとしての地位も高まってきた。一方で、審美歯冠修復材料としてジルコニアが登場したことで、歯科技工における製作手法としての CAD/CAM システムが、急速に認知されるようになったが、その利用はごく限られた範囲でしかなかったため、CAD/CAM システムで用いられるスキャナや加工機が広く普及するまでには至っていなかった。しかし、今回 CAD/CAM 冠の保険収載という大きな転機を迎えたことで、こうした機器や材料の面で大きな進化が期待されるが、急な保険収載であったため材料そのものに対する検討が不十分であることは間違いない。特に、それまでジルコニアの加工に特化されていた加工機ですら、レジン材料の加工に用いられている現状を考えるとその影響を明確にする必要がある。

2. 研究の目的

現在日本で保険診療に用いられている CAD/CAM 冠用ブロックには、5 種類のハイブリッドレジンブロックがある。CAD/CAM 冠を製作するには、三次元データの計測機（スキャナ）にはじまり、最終形状を設計する CAD ソフトウエア、CAD データをもとに加工機の制御データを製作する CAM ソフトウエア、それに従って動く加工機までのシステムが必要となる。しかし、全てが 1 つのシステムで完結するものもあれば、データだけ共通形式として個々の装置に制限のないオープン形式と言うものもあり、その利用のさ

れ方には幅がある。特に、機器の価格的な面も考慮すると、このオープン形式のスキャナや加工機というものを単独で利用する形態は今後増えていくのは間違いない。また、その加工に用いられる加工機は、ウエット加工のものもあればドライ加工のものもある。通常、コンポジットレジン MMA レジンに比べ吸水などによる影響は少ないが、加工時にブロックが受ける応力により内部の分子構造に歪みが生じることで、吸水などによる汚染の影響をより受けやすくなると考えられる¹⁾。さらに、こうした加工液は、冷却効率を高めるため、或いは、工具の劣化を防ぐために様々な添加物が加えられている。通常は、食品添加物などを中心とした生体への安全性を担保した材料が用いられているが、加工されるブロック材料への影響については十分に議論されていない。こうした加工条件の変化が、材料の機械的性質や物理的性質に与える影響だけでなく、完成した最終修復物の適合性に与える影響についても検討が必要と考えられる。同様に、自費診療で普及が進んだジルコニアにおいても、こうした加工方式の違いについての検討が十分になされているとは言えず、半焼結されたポーラスなジルコニアをドライ加工するものや、ウエット加工するものなど様々であり、最終的に高密度焼結するにあたって加工時に取り込まれた不純物が影響を与える可能性は否定できない。切削終了後に薬液に浸漬してフレームに着色するものではその強度の低下が報告されているだけに、長時間加工液にさらされることで、本来その材料が持っている特性が発揮できていない可能性は十分にある。また、ジルコニアに関しては、従来加工後に行う電気炉での焼結工程が、一般的な物でも 10 時間以上、長いものだと 24 時間程度の時間を必要としていたが、最近では急速加熱タイプの焼結炉が登場し、早いものだと 1 時間未満で 1,500 の焼結を完了させるものも出てきており、この部分においても焼結時の変形や焼結状態への影響について検討する。最終的には、こうした加工工程における様々な条件変化を加味し、フィードバックすることのできる CAM ソフトウエアを開発する必要がある。また、現在ほとんどの CAD/CAM システムでは切削加工により修復物を製作しているが、3D プリンタをはじめとした三次元積層加工での製作手法についても、日本ではまだ薬事承認が下りてはいないが、様々な材料や機器が検討されている。そこで、この三次元積層加工に用いられるバイオコンポジットについても、今回行う実験と同じ形状で試験を行い、切削によらない加工法の利点ならびに問題点についても検討していく。

3. 研究の方法

本研究では、加工に用いられる加工機のウエット加工やドライ加工、或いは、切削加工か研削加工かといった違いが、加工される材料

に与える影響を検討するために、まず現在保険診療で用いられているハイブリッドレジンプロック5種類と保険外で用いられているジルコニア半焼結ブロックに対し、加工条件を変化させた場合の機械的性質の変化、ならびに加工精度の検討を行う。それと共に、実際の臨床使用が可能な、積層加工用材料の検討も行う。それに続き、加工時に用いられる加工液を収集し、被削材ブロックの浸漬試験を行い、被削材ブロックに適した加工液の開発を行う。また、ジルコニアセラミックスの最終焼結方法の違いが、精度や結晶状態に与える影響についても検討する。最終的には各種条件をフィードバックできるシステムの構築を行う。

そこで最終目的として、様々な加工方式が乱立することによって起こる最終修復物への影響について検討するため、以下に示す項目について検討を行っていく。

1. ハイブリッド型コンポジットレジンプロックの最適加工条件の検討

(担当：堀田，研究協力者：藤原稔久(デジタルプロセス株))

これまでにCAD/CAMシステムの装置全般の開発を行ってきた。その際に臨床形態を模した適合試験を行って、各CAD/CAMシステムの違いによって、適合状態が違ふことを示してきた。機器のオープン化が進められている現在の状況では単一のシステムとしての評価は意味を持たないのは明らかである。そこで、これまでに開発した加工機をベースに、各種コンポジットレジンプロックを2種類の加工方式(ドライとウエット)と2種類の工具方式(切削と研削)の組み合わせで加工し、条件の変化による寸法変化の検討ならびに、機械的性質(3点曲げ試験、ビッカース硬さ試験)の評価を行う。それに続き、加工条件の違う試料での溶出試験を行い、同時に溶出化合物の定性分析も行う。その結果をもとに現在市場で利用されている加工液との比較を行った上で、最適な加工液の開発を行う。

2. 半焼結性ジルコニアブロックの最適加工条件の検討

(担当：宮崎，研究協力者：藤原稔久(デジタルプロセス株))

コンポジットレジンプロックの検討と同様に、申請者らがこれまでに開発した加工機をベースに、半焼結性ジルコニアブロックをドライ加工、ならびにウエット加工し、条件の変化による寸法変化と機械的性質(3点曲げ試験、ビッカース硬さ試験)を検討し、後処理の高温焼結後にこれら加工方法が高密度焼結体ジルコニアに与える影響について検討する。

3. 生体に利用可能なバイオコンポジットの調査

(担当：中納)

現在、歯科における積層加工法を用いた修復物の製作は、粉末焼結法による補綴物の製

作が一部実用化されているが、鋳造で製作されるものと比較すると精度の面で問題は多い。一方、熱可塑性や、光硬化性の樹脂を利用した積層加工法に関しては、現在市場に出回る3Dプリンタの低価格化や高精度化により、歯科応用に対する期待は大きい。しかし、利用されている材料はどれも産業用からの流用でしかなく、強度面や安全性面については未知数な部分が多い。そこで、天然由来の材料をマトリックスに用いた、バイオコンポジットについて検討し、歯科材料として利用可能な強度を有する材料について調査する。

4. 研究成果

1) CAD/CAM 冠用ブロック材料の熱疲労試験による強度変化に関する研究

【目的】

平成26年4月より保険収載されたCAD/CAM冠に利用されるブロック材料が各社発売され、利用されているが、臨床的調査から破折や脱離が原因となる再製率が従来の全部鋳造冠に比べると多いとの研究報告もある。その理由の一つには、接着材料や技法に関する問題も考えられるが、一方でブロック材料そのものの強度変化に関する問題も考えられる。現在市販されているブロックの多くはカタログ上の曲げ強さで150MPa以上を表記しており、200MPaを超えるものもいくつかある。これらカタログに提示された数値の測定方法には、3点曲げ試験だけでなく2軸曲げ試験など統一された試験方法ではないため、相互の数値間での比較とはならない上、その殆どが乾燥状態での評価であるため、実際に口腔内で使用される状況での基準とはならない。そこで、本実験ではISO6872:2015の3点曲げ強さ測定法に従って、各材料のサーマルサイクル前後での曲げ強さを測定し、その変化について検討した。

【材料と方法】

(1) 曲げ強さ測定

今回試験に用いたCAD/CAM冠用ブロック材料を表1と図1に示す。各ブロック材料は低速精密切断器(ISO6872の3点曲げ試験に準じた試験片(4.0 ± 0.1 mm × 3.0 ± 0.1 mm × 17.0 ± 0.1 mm)を切り出した。試験片は研磨装置(ベクトルLC250, BEULER)を用い耐水研磨紙(#600, #1200)により所定の寸法まで研磨した。また、試験片の辺縁部の欠陥を除去する目的で、各隅角部を約0.15 mm, #1200の耐水研磨紙で面取りを行った。試験片は製品ごとに18個製作し、うち半分の試験片は37脱イオン水中に24時間保管を行い、残りの半分は5と60で各30秒保管の条件で2万回のサーマルサイクル負荷(TC)を行った。その後、インストロン万能試験機を用いて支点間距離15mm, クロスヘッドスピード1mm/minの条件で3点曲げ試験を行った。得られた結果はTukeyによる統計処理を行った。

表1 今回使用したCAD/CAM冠の材料と略称

略称	製品名	製造・販売元	Shade	保険適用開始年/月/日
SBH	BLOCK HC	(株)松風	A3	2014/4/1
CER	CERASMART	(株)ジーシー	A3	2014/4/1
AVE	KATANA Avencia	クラレ ノリタケ デンタル(株)	A2	2014/10/1
KZ2	KZR-CAD HR2	山本貴金属地金工業(株)	A2	2015/1/1
SIG	SIGNUM H	ヘルウス クルツァー ジャパン(株)	A2	2015/3/1
EST	ESTELITE	(株)トクヤマ デンタル	A2	2015/8/1
CCP	CN CERA PEARL	(株)カム・ネッツ	A2	2015/9/1
MAZ	VERICOM MAZIC Duro	ペントロン ジャパン株式会社	A3	2015/12/1
SH2	BLOCK HC 2L	(株)松風	A2	---

図1 実験に使用した各社CAD/CAM冠ブロック



(2) フィラーの観察と曲げ試験後の破断面の観察

曲げ試験片とは別にブロックから切り出した試料を走査型電子顕微鏡(TM-3000+SwiftED3000, 日立)を用いて、フィラー形状の観察と組成の確認を行った。さらに、曲げ強さ測定後の破断面についてもSEM観察を行った。

【結果】

(1) 曲げ強さ測定

曲げ強さの結果を図2に示す。今回用いた各試料の曲げ強さは、37℃ 蒸留水中24時間保管後の物では125~221MPaと大きな開きが見られた。サーマルサイクル20,000回後の試験片では、CCP, SIG, EST, SBH, MAZ, SH2において、曲げ強さが有意に低下していた。また、サーマルサイクル負荷後は曲げ強さの低下とともに、曲げ弾性係数(図3)の低下も見られた。

(2) フィラーの観察と曲げ試験後の破断面の観察

試験に用いたCAD/CAM冠用レジンプロックの元素分析の結果(図4, 表2)より、フィラー組成としてAVEとCCPはSiのみ, CERとSIGはSi, Al, Ba, SBHとESTとSH2はSi, Zr, KZ2はSi, Al, Zr, Fが含まれていることが判った。また、破断面のSEM像(図5)では、圧縮側においてSIGやCCP, MAZにみられるような比較的大きなシリカフィラーや、SBH, SH2にみられるクラスターフィラーの劈開が見られた。一方で、引張側にみられる亀裂部においてフィラーとマトリックスが分離しているものも観察された。

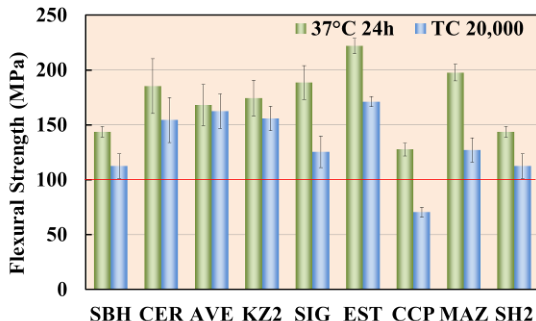


図2 各種CAD/CAM冠用ブロック材料の3点曲げ強さ

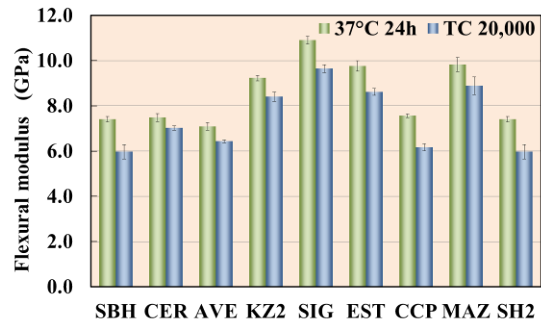


図3 各種CAD/CAM冠用ブロック材料の曲げ弾性係数

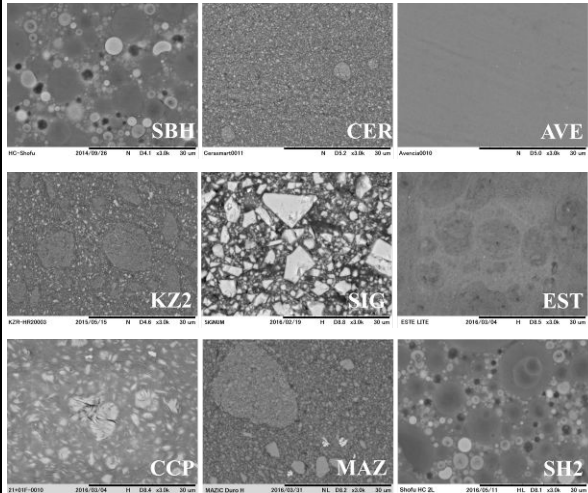


図4 各ブロックのSEM像

表2 各SEM画像中でのEDX分析

	SBH	CER	AVE	KZ2	SIG	EST	CCP	MAZ	SH2
Si	92.6	52	99.1	61.1	50.5	68.2	99.9	49.7	92.3
Al	---	8.2	---	6.2	9.9	---	---	9.8	---
Zr	7.4	---	---	---	---	30.5	---	---	7.7
Ba	---	39.8	---	25.2	39.5	---	---	40.5	---
Zn	---	---	---	4.5	---	---	---	---	---
F	---	---	---	3.0	---	---	---	---	---
その他	---	---	0.9	---	0.1	1.3	0.1	---	---

【考察】

今回比較した9種類のCAD/CAM冠用ブロックは、既に平成26年4月より保険診療の現場で頻用されているが、本年4月より一部制限があるものの大臼歯でのクラウンにも利用可能となったことから、より高い強度が求められることは間違いない。現在、ISO 6872:2015 Dentistry-Ceramic materialsでは大臼歯部に使用できるセラミッククラウンの曲げ強さは100MPa以上と規定されていることから、今回行ったブロックは全て必要とされる強度は有していると考えられる。しかし、サーマルサイクルによる負荷後、ひいては、患者口腔内で機能している間に、この規格値を下回るのは問題である。今回得られた3点曲げ強さの結果は、一部を除いて各メーカーで公表されている曲げ強さのデータより低い値となっていた。その要因として、今回3点曲げ試験の試料サイズをISO 6872:2015における3点曲げ試験で指定、あるいは、推奨されている試験片サイズを利用したこと

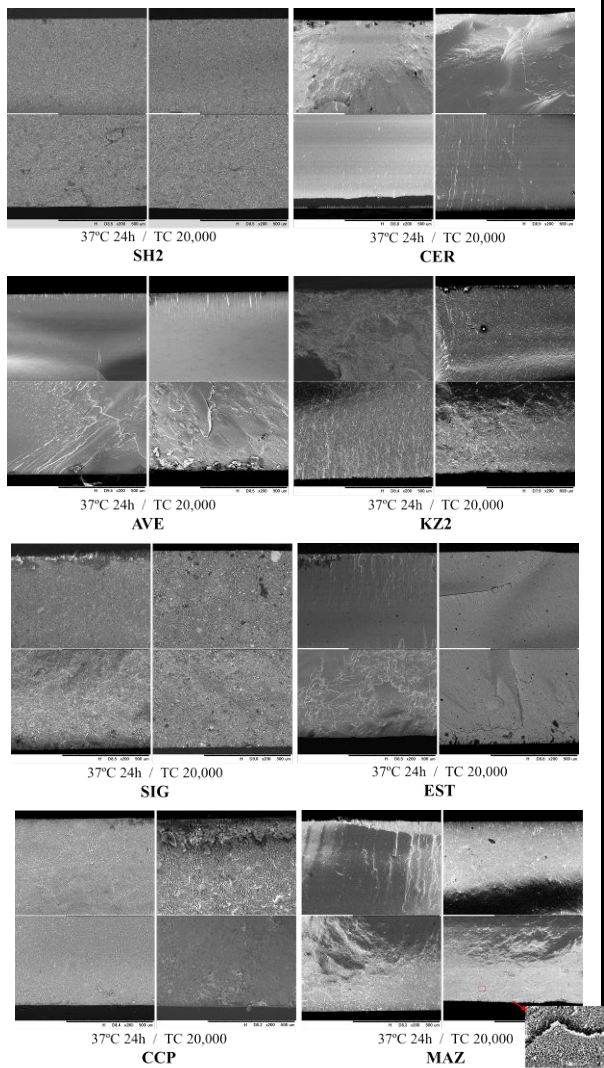


図5 三点曲げ試験後の破断面のSEM像 (各ブロックで左が水中保管, 右がサーマルサイクル 20,000 回負荷後, また, 上段は圧縮側, 下段は引張側となる. SBH は SH2 と同じ傾向であったため掲載せず.)

があげられる。各メーカー公表のデータは、JIS T 6517 歯冠用硬質レジン（或いは、ISO 10477）に準拠と記載されているものが多いが、JIS T 6517 で指定される曲げ試験片のサイズは 2×2×25 mm となっており、CAD/CAM 冠で使用するブロックサイズでは試験片を作製することができない。そのため、メーカー公表値では本来の生産ラインとは別で試料作製を行っている。そこで今回、予備実験として試験片の厚みを 2 mm に設定した試験片で曲げ強さの測定も行い、試験片形状が薄くなることで曲げ強さや弾性係数などの数値が高く出る傾向が見られることも確認していることから、こうした CAD/CAM 冠などで用いられるブロック材料に対して、使用されるブロック形状を考慮した規格作成が望まれる。

2) 3D プリンタで用いる矯正装置用バイオコンポジットレジンに関する研究

【目的】

唇顎口蓋裂患者に用いる哺乳床を作製する際、光学印象でデジタルデータを取得、3D プリンタを用いて装置製作することが可能となれば、安全性が高く効率的な治療が可能となる。一方、3D プリンタには積層方法によって様々な種類が存在するが、小型で低価格な DLP プリンタが注目を集めている。しかし、DLP プリンタで用いる光硬化性樹脂には生体為害性があるビスフェノール A、アンチモン、イソシアネートなどが含まれている。特に、ビスフェノール A は、乳幼児への影響が危惧されている。つまり、3D プリンタを乳児に用いるためには、有害物質が含まれていない生体適合性樹脂材料（バイオコンポジットレジン）の応用が急務である。しかし、日本国内には生物的安全性評価で 30 日を超える長期的接触が認められているバイオコンポジットレジン存在せず、研究も進んでいない。そこで本研究は、哺乳床作製に 3D プリンタを応用するために各種バイオコンポジットレジンの理工学的研究を行うことを目的とした。

【試料および方法】

材料は、DETAX 社製光硬化性アクリル樹脂（以下 AC）、Stratasys 社製 Polyjet フォトポリマー（以下 P0）、国内産試作バイオコンポジットレジン（以下 K0）、比較対象には、ニッシン社製オーソクリスタル（以下 OR）を使用した。それぞれ寸法変化率、密度、硬さ試験、曲げ試験、弾性係数、熱膨張試験、吸水・溶出試験を行った。

【結果および考察】

それぞれの性質について OR と比較した。AC は、硬さは同等で、寸法変化率、吸水量、溶出量は大きく、曲げ強さ、弾性係数は著しく小さかった。P0 は寸法変化率は大きく、その他の項目は同等であった。K0 は吸水量、溶出量が非常に多く、吸水後の乾燥の時点で材料がひび割れを起こした。

【結論】AC、P0 は哺乳床として使用するのに適しているが K0 は難しく、理工学的性質の改善が必要である。

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 2 件)

Abdur-Rasheed Alao, Richard Stoll, Xiao-Fei Song, Takashi Miyazaki, Yasuhiro Hotta, Yo Shibata, Ling Yin. Surface quality of yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystal in CAD/CAM milling, sintering, polishing and sandblasting processes. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 査読有, 65, 2017, 102-116.

Kakami Chifumi, Nakano Haruhisa, Hotta Yasuhiro, Miyazaki Takashi, Maki Koutaro. A study of biocomposite resins for

creating orthodontic appliances using a 3D printer. Orthodontic Waves, 査読有, 76, 2017, 140-150.
https://doi.org/10.1016/j.odw.2017.04.002

〔学会発表〕(計 6 件)

堀田康弘, 片岡 有, 池田祐子, 佐々木正和, 佐々木 香, 藤原稔久, 宮崎隆. 新しい MMA 系プライマーの CAD / CAM 冠に対するせん断接着強さの評価. 日本デジタル歯科学会第 8 回学術大会. 2017.4.22-23. 鶴見.

山口 菊江, 横山紗和子, 堀田康弘, 石浦雄一, 宮崎隆, 馬場一美, 尾関雅彦. 三次元有限要素解析法を用いた繰返し荷重下における即時暫間補綴装置の疲労破壊に関する検討. 日本口腔インプラント学会第 38 回関東・甲信越支部大会, 2017.2.10-11. 東京.

堀田康弘, 片岡有, 佐々木正和, 佐々木香, 藤原稔久, 宮崎隆. CAD/CAM 冠用ブロック材料の熱疲労試験による強度変化に関する研究. 日本デジタル歯科学会第 7 回学術大会. 2016.5.28-29. 札幌.

藤島昭宏, 堀田康弘, 小林幹宏, 宮崎隆. ガラス系複合材料に対する表面処理効果. 日本歯科理工学会第 66 回秋期学術講演会, 2015.9.3-4, 東京.

飯田知芙美, 中納治久, 堀田康弘, 藤島昭宏, 宮崎隆, 榎 宏太郎. 3D プリンタで用いる矯正装置用バイオコンポジットレジンに関する研究. 第 74 回日本矯正歯科学会大会, 2015.11.18-20, 福岡.

堀田康弘, 佐々木香, 佐々木正和, 佐藤康太郎, 藤島昭宏, 高梨友宏, 宮崎隆. ジルコニア強化型ケイ酸リチウム CAD/CAM ブロックに対するレジンセメントのせん断接着強さ. 日本歯科理工学会第 65 回春期学術講演会, 2015.4.11-12, 仙台.

〔図書〕(計 3 件)

日本デジタル歯科学会 監修 / 末瀬一彦・宮崎隆 編, 医歯薬出版, 最新 デジタルデンティストリー, 2018, 166.

日本デジタル歯科学会・全国歯科技工士教育協議会 監修 / 末瀬一彦・宮崎隆 編, 医歯薬出版, 基礎から学ぶ CAD/CAM テクノロジー, 2017, 176.

末瀬一彦, 須崎明, 前川清和, 宮崎隆, 堀田康弘, 片岡有, 山崎治, 長谷川彰人, 六人部慶彦, 坂上大吾, 関錦二郎, 枝川智之, 永末書店, 今、知りたい 成功する CAD/CAM - 保険診療から自費診療まで -, 2016, 158.

〔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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堀田 康弘 (HOTTA, Yasuhiro)
昭和大学・歯学部・准教授
研究者番号 : 00245804

(2) 研究分担者

中納 治久 (NAKANO, Haruhisa)
昭和大学・歯学部・准教授
研究者番号 : 80297035

宮崎 隆 (MIYAZAKI, Takashi)
昭和大学・歯学部・教授
研究者番号 : 40175617

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :

(4) 研究協力者

藤原 稔久 (FUJIWARA, Toshihisa)
(デジタルプロセス株))