

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月11日現在

機関番号：12602

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21592415

研究課題名（和文） 非侵襲的トモグラフィーを用いた修復物の欠陥と二次う蝕の精密画像診断

研究課題名（英文） Diagnosis with precious image of defects and secondary caries within the restoration using non-invasive tomography

研究代表者

島田 康史（SHIMADA YASUSHI）

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：60282761

研究成果の概要（和文）：

光干渉断層計（OCT）は、放射線を用いずに非侵襲的に組織の断層画像を得ることができる。本研究は、OCT を歯の修復物の非破壊検査やう蝕の診断として利用することを目的として行った。コンポジットレジン修復に対して、内部欠陥やギャップの検出を非破壊で行った。また、抜去歯を用いて OCT によるう蝕の診断を行った。結果、OCT はコンポジットレジン修復の非破壊検査やう蝕の診断に有効であることがわかった。

研究成果の概要（英文）：

Optical coherence tomography (OCT) is noninvasive imaging modality which enables cross-sectional tomographic visualization of internal structure without radiation dose. The purpose of this study was to utilize the OCT for the non-destructive examination of dental restorations and for the diagnosis of caries. Internal defects and marginal gaps within the composite resin restorations were evaluated non-destructively in tomograms. Carious lesions of extracted teeth were detected using OCT. Within the limitation of our study, it is suggested that the OCT is a promising imaging modality for non-destructive examination of composite resin restoration and for the detection of carious lesion.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1900000	570000	2470000
2010年度	800000	240000	1040000
2011年度	800000	240000	1040000
年度			
年度			
総計	3500000	1050000	4550000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・保存治療系歯学

キーワード：保存修復学

1. 研究開始当初の背景

近年、歯質接着材の開発と発展により、う蝕治療に接着性修復材料が広く用いられるようになり、深く大きな窩洞の直接修復も可能となった。しかしながら、修復物辺縁または窩底面から発生する二次齲蝕は、接着修復物においても例外ではなく、いまだ大きな問題として残されている。Anusavice (1999)によると、修復物の耐久性は期待値よりもはるかに低く、また Mjör (2000)、Kidd (1992)らによると、二次齲蝕は修復物が再修復に至る最も大きな原因となっている。修復物の欠陥や、二次う蝕の発生を早期に検知し抑制するための、新しい診断技術の導入が望まれている。

歯科医療現場における二次う蝕の診断は、主に歯科医師による視診と、X線写真や医療用CTに頼らざるを得ないのが現状といえる。しかしながら、視診は簡便ではあるが、歯科医師の主観による影響を強く受け、その精度と再現性に乏しいことは否めない。また、断層撮影の可能なCTやMRIの分解能も0.5-1mm程度であり、X線写真を含め、初期う蝕の検知や二次う蝕の診断には適さない。X線による診断は、わが国の発癌患者の3.2%は医療用放射線診断によるとの推計もあり (Berrington and Darby, 2004 Lancet)、被曝の危険性は看過することのできない問題として指摘されつつある。極めて低い放射線量の被曝により、ヒトDNAの損傷の修復作用が妨げられることも報告されている (Rothkamm et al., 2003)。

光干渉断層計 (Optical Coherence Tomography, OCT) は、2つの異なる光路をもつ光が合波した時に生じる干渉を利用して画像を構築する技術であり、1991年にFujimotoらによって開発された。電離放射線を用いずに、硬組織のみならず、軟組織の断層画像を病理組織切片に近い精度で観察できるため、非侵襲的な医療撮影技術として注目を集めている。特に、眼科領域において臨床応用が進み、本邦においても普及しつつある。

中でも光源波長を掃引して干渉画像を構築する swept-source OCT (SS-OCT) の空間分解能は約 $10\ \mu\text{m}$ と従来の画像診断装置と比較して高く (Drexler et al., 2001; Ruppin et al., 2006)、生体の微細構造や病変部組織の精密断層像を検出する実用性において優れている。精密な断層画像診断の可能な SS-OCT の歯科への導入は、修復物の非侵襲的な高解像度の非破壊検査や、二次う蝕の検知を可能にすると思われる。

2. 研究の目的

本研究は、SS-OCTによる修復物の欠陥と二次う蝕の精密断層画像診断法を確立を目的として行われた。

まず、修復物内面における欠陥の、SS-OCTによる検知能力ならびに検出限界を調査した。具体的には、修復物内部に深さを変えて直径の異なる欠陥を作成し、その SS-OCT による画像診断精度をした (実験1)。

次に、コンポジットレジン修復の辺縁適合状態について、SS-OCTを用いて非破壊検査により調査した (実験2)。

また、SS-OCTの脱灰病変の把握能力を調査するため、抜去歯を用いてう蝕の観察を行い、画像診断を試みた (実験3, 4)。

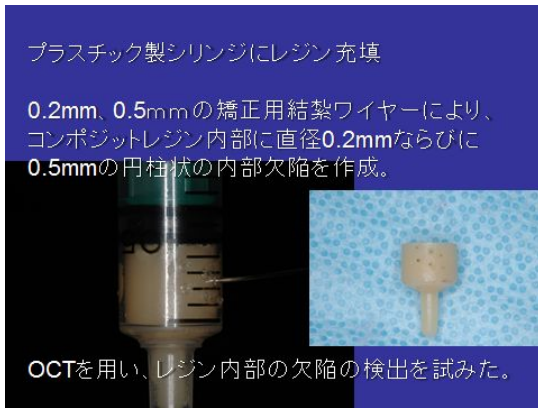
さらに SS-OCT による三次元画像構築を利用して、コンポジットレジン修復の辺縁部適合性を総合的に評価し、臨床における修復物の非破壊検査の可能性につき検討を行った (実験5)。

3. 研究の方法

(1) コンポジットレジン修復の内部欠陥の抽出

SS-OCTを用いてコンポジットレジン修復の内部欠陥を画像表示できるか調査するため、あらかじめコンポジットレジン内部に欠陥を作成し観察した。

まず、プラスチック製シリンジに直径0.2mmまたは0.5mmのワイヤーをほぼ水平方向に深さを変えて数本貫通させ、シリンジ内部にコンポジットレジン (エステライトΣ, シエードA2, A4, トクヤマデンタル) を填入し、40秒間光照射し硬化させた。その後ワイヤーを抜き取り、レジン内部に直径0.2mmならびに0.5mmの円柱状の欠陥を作成した。レジンの表面を、耐水研磨紙#1500またはダイヤモンドペースト $1\ \mu\text{m}$ まで研磨し、超音波洗浄後24時間水中に保管した。コンポジットレジンの内部をSS-OCT (Santec OCT-2000®, Santec) を用いて断層画像撮影し、それぞれの深さに位置した円柱状内部欠陥の観察を行った。



(2) 画像処理を用いたコンポジットレジン修復窩洞の辺縁封鎖性の断層画像診査

抜去歯の歯冠部を除去し、象牙質に直径3mm、深さ1.5mmのI級窩洞を形成し、1ステップ接着材を用いて接着操作を行った(クリアフィルトライエスボンド)。接着操作を行った窩洞に3種類のコンポジットレジン(クリアフィルマジエスティポステリア、クリアフィルマジエスティLV、クリアフィルAP-X、すべてクラレメディカル)のいずれかを充填し、光硬化させた(n=7)。I級コンポジットレジン修復の内部適合性をSS-OCT(Santec OCT-2000®, Santec)を用いて非破壊で観察し、1窩洞につき平行に連続した10方向の断層画像を撮影した。

撮影した画像にソフトウエア(Image J)を用いて画像処理を行い、さらにフィルター処理によりノイズを取り除いてシグナルを2値化し、画像上における窩底部の輝度変換部分をコンポジットレジン辺縁のギャップと仮定し、それぞれの幅と長さを計測した。その後、実際に窩洞を半切して研磨後、走査型レーザー顕微鏡(CLSM)を用い、実際のギャップの状態を観察した。SS-OCTの画像から得られたギャップの情報と、CLSМにて半切して観察した実際のギャップの結果とを比較した。

(3) 咬合面う蝕の診断

咬合面のう蝕は小児や若年者に発症しやすく、急性に進行するリスクを伴うため、早期の対応が望まれる。しかしながら、小窩裂溝の複雑な解剖学的形態と、フッ素の使用によるエナメル質の白濁化によって診断が困難になり、臨床においてう蝕が不顕性に進行することが指摘されている。本研究では、咬合面う蝕に対して、SS-OCTによる断層画像を用いて診査を試みた。

咬合面裂溝に着色またはC1~C2程度のう蝕を有する、ヒト抜去大白歯または小白歯62本を使用した。着色またはう蝕裂溝部に対し、視診により、1.健全部(スコア0) 2.欠損を伴わないエナメル質脱灰病変(スコア1) 3.欠損を伴うエナメル質う蝕(ス

コア2) 4.象牙質う蝕(スコア3)の4段階評価を行った。

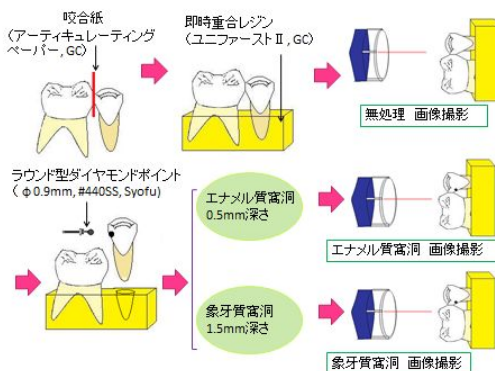
次に同部位に対し、SS-OCT(Santec OCT-2000®, Santec)による断層画像診査を行い、視診と同様に評価した。

視診、SS-OCTによる診断の後、歯の観察部位をダイヤモンドブレードにて半切し、鏡面研磨後、走査型レーザー顕微鏡(CLSM)を用いて観察し、実際のう蝕の拡がり进行调查した。CLSМにて実際に歯を半切して観察した結果をもとに、視診とSS-OCTによるう蝕診断の感度と特異度、ならびにROC曲線におけるAz値を求めた。

(4) 隣接面う蝕の診断

SS-OCTは非侵襲的なう蝕の診断技術として期待されている。しかしながら、断層画像の構築に必要な、レーザーの後方散乱光は、サンプルの透過性に大きな影響を受けるため、隣接面う蝕など、直視のほぼ不可能な病巣部に対しては、レーザー光が透過し画像構築が可能であるか、疑問が残されている。そこで本研究では、抜去歯を用い、隣接面のSS-OCTによる断層画像評価を試みた。

水中保管したヒト抜去大白歯を2歯1組とし、隣接面う蝕を想定したモデルを作成した。2歯を隣接面で接触させ、咬合紙にて隣接面のコンタクトを確認後、その2歯の接触位置を再現できるよう、即時重合レジン(ユニファースト、GC)を用いて歯根部のモールドを作成した。次に、一方の歯の隣接面コンタクト直下約1mmに、ダイヤモンドラウンドバーを用いて直径1mm、深さ0.5mm(エナメル質内)または1.5mm(象牙質内)の窩洞を形成し、欠損のモデルとした。



2歯を歯根部モールドに復位して接触させ、SS-OCT(Santec OCT-2000®, Santec)により咬合面方向から観察を行い、窩洞形成前後での断層画像の変化を比較した。また、実際に隣接面う蝕のある歯についても即時重合レジンのモールドに設置し、同様に観察を行った。二次元の断層画像に加え、接触点付近から窩洞またはう蝕にかけて、深さ方向のdBユニットのシグナル変化を比較した。

(5) コンポジットレジン修復物の三次元画像構築と辺縁封鎖性の評価

SS-OCT はモーションアーチファクトが少なく、高速で画像を獲得することができるため、コンポジットレジン修復の非破壊断層画像検査において、三次元立体画像構築を行うことができる。このような SS-OCT の特性を利用して、3D 画像構築から修復物の総体的な診断を試みた。

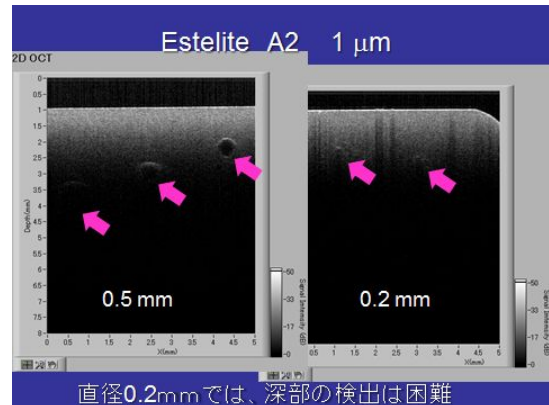
牛歯唇側エナメル質に、直径 3.0mm 深さ 1.5mm の皿状窩洞をダイヤモンドポイントにて形成し、実験に使用した。形成した窩洞を 3 群に分け、うち 2 群に 2 ステップ接着材であるクリアフィルメガボンド（クラレメディカル）または 1 ステップ接着材である G ボンド（GC）のいずれかをメーカー指示通りに使用し、フローアブルレジン（マジスティフロー、クラレメディカル）を充填し、光照射により硬化させた。さらにコントロール群として、特に接着処理を行わない窩洞を用意し、そのままフローアブルレジン（マジスティフロー）を充填、硬化した。その後、それぞれの窩洞を半分に分け、24 時間水中保管、または 5000 回のサーマルストレスを負荷し、アンモニア硝酸銀水溶液に浸漬した。アンモニア硝酸銀浸漬の前後に、OCT を用いて画像情報を高速で取り込み、構築した三次元画像から二次元の断層画像を抽出し（n=180）、フローアブルレジン周囲のギャップの有無を観察した。得られた OCT 画像の dB ユニットのグレースケール変化を、デジタルイメージングソフトウェアにて解析した。

4. 研究成果

(1) コンポジットレジン修復の内部欠陥の抽出

SS-OCT による断層画像から、コンポジットレジン内部の欠陥を検出することができた。SS-OCT より得られるコンポジットレジン内部シグナルは、深さ約 2.5mm までであり、本研究の条件でのシェードと表面粗さによる影響は少なかった。直径 0.5mm の欠陥の場合、深さ約 2mm における断層像をほぼ円形に描出することができたが、0.2mm の欠陥では SN 比から得られるコントラストが低下してしまい、深部での識別は困難であった。

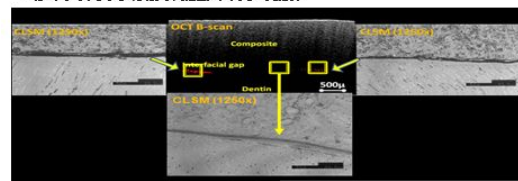
本実験条件では、表面粗さとシェードによる影響はほとんどみられなかったが、より一層粗い表面では、表層部で光が散乱してしまい、修復物内部に透過する光は少なくなるも



のと思われる。また暗いシェードでは、コンポジットレジン内部において光の減衰が予測される。今後さらに条件を変えて評価を行う必要があるものと考えられる。

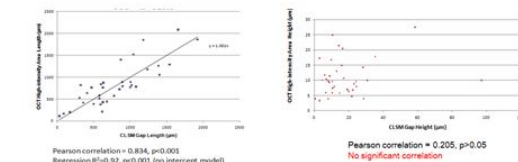
(2) 画像処理を用いたコンポジットレジン修復窩洞の辺縁封鎖性の断層画像診査

SS-OCT を用いることにより、コンポジットレジン修復物内部の辺縁の状態を非破壊的に観察することができ、特に画像処理を行うことによって、ギャップの抽出は容易になった。SS-OCT 画像上における輝度変換の長さは、コンポジットレジン修復の高底部ギャップの観察



OCTとCLSMの比較：ギャップの長さの相関性

ギャップの幅の相関性



実際のギャップの長さとの相関がみられ、ほぼ一致していた。その一方で、輝度変換の幅とギャップの幅との間に相関はみられなかった。

(3) 咬合面う蝕の診断

SS-OCT を用いて咬合面齲蝕の診断を行った結果、う蝕の検出ならびに象牙質う蝕の診断において、感度、特異度ともに視診よりも優れた結果が得られた。

特に象牙質う蝕に対する感度は視診よりも優れており、一部の不顕性う蝕 (Hidden caries) を画像表示することも可能であった。

Cut-off値、感度、特異度、ROC曲線 (Az)

う蝕の有無

	cut-off	感度	特異度	Az
視診	0-1	0.80	0.69	0.74
SS-OCT	0-1	0.98	0.75	0.86

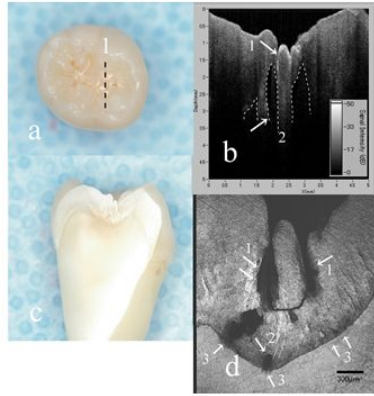
象牙質う蝕

	cut-off	感度	特異度	Az
視診	2-3	0.36	1.00	0.68
SS-OCT	2-3	0.60	0.98	0.80

咬合面裂溝う蝕の観察

わずかに脱灰がみられる裂溝の観察例

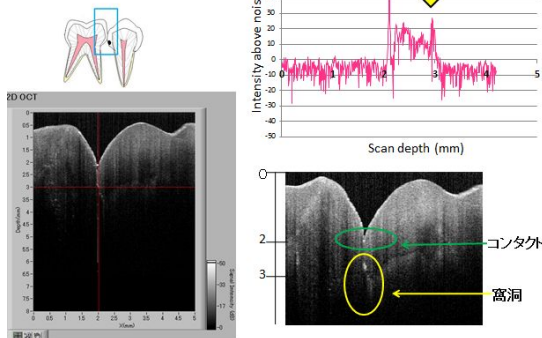
a.咬合面観
b.1におけるOCT画像
c.1における半切面観、d. c)のCLSM観察画像



(4) 隣接面う蝕の診断

隣接面のコンタクト直下に形成された窩洞は、深さ0.5mmと1.5mmのどちらもOCTによって観察することができた。深さ0.5mmの窩洞はエナメル質内に局限しており、X線写真では判別不可能な深さといえる。一方1.5mmの深さは象牙質にまで及んでいるものの、直径は1mmと極めて小さく、X線写真による描出は同様に困難といえる。OCT画像は、深さ方向の情報を伴い、散乱した光の輝度変換によって画像が構築される。撮影時には下記のような1Dの情報がdBユニットのグラフとして、リアルタイムに画像と同時に表示される。ピークの立ち上がりは深さ方向の光強度の変化を示しており、その変化により窩洞の有無を確認することが出来た。

エナメル質内窩洞

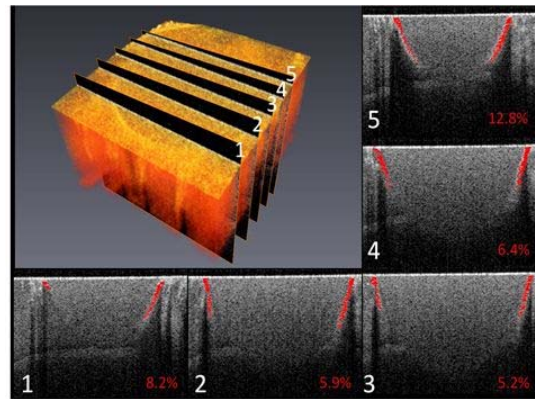


窩洞無しの隣接面における波長に比較すると、窩洞を形成した場合、窩洞辺縁に一致する深さにおいて、光強度の波長の上昇が認められた。また、実際の隣接面う蝕を観察した場合、う窩を伴わない病巣においても画像上で確認できるだけでなく、このような波長の変化がみられることが判明した。

本実験から、OCTを用いることにより、接点直下に存在する隣接面窩洞を検出することが分かった。したがって、臨床における隣接面う蝕の検出に、OCTを用いることができる可能性が示唆された。

(5) コンポジットレジン修復物の三次元画像構築と辺縁封鎖性の評価

三次元画像構築により、窩洞の外形ならびに充填されたコンポジットレジンの様相を立体的に再現することができた。また、半切した研磨面のCLSM観察結果と比較すると、三次元画像構築の任意の部位から得られた二次元断層画像において、窩洞周囲にみられる輝度変換は、接着界面に発生したギャップであることが確認できた。したがって、コンポジットレジン修復の窩洞内部の適合状態を、SS-OCTの三次元画像構築から非破壊的に調査できる可能性が示唆された。



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 4件)

1. Shimada Y, Sadr A, Burrow MF, Sumi Y, Tagami J. Validation of swept-source optical coherence tomography (SS-OCT) for the diagnosis of occlusal caries. Journal of Dentistry 査読有 38: 655-665, 2010.
2. Makishi P, Shimada Y, Sadr A, Tagami J, Sumi Y. Non-destructive 3D imaging of composite restorations using optical coherence tomography: marginal adaptation of self-etch adhesives. J Dent 査読有 39(4): 316-25, 2011.
3. Bakhsh TA, Sadr A, Shimada Y, Tagami J, Sumi Y. Non-invasive quantification of resin-dentin interfacial gaps using optical coherence tomography:

validation against confocal
microscopy. Dent Mater 査読有 27(9):
915-25, 2011.

4. Senawongse P, Pongprueksa P,
Hannirattisai C, Sumi Y, Otsuki M,
Shimada Y, Tagami J. Non-destructive
assessment of cavity wall adaptation
of class V composite restoration using
swept-source optical coherence
tomography. Dent Mater J 査読有
30(4): 517-22, 2011.

[学会発表] (計 13 件)

1. 島田康史、角保徳、Sadr Alireza、田上順次. OCT を用いた接着修復物の非破壊断層画像診断. 第 53 回日本歯科理工学会学術大会 東京 2009 年 4 月 11, 12 日
2. 夏目悠子、島田康史、Sadr Alireza、田上順次. OCT を用いた根面う蝕の非侵襲診査. 第 131 回日本歯科保存学会 2009 年度春季学術大会 札幌 2009 年 6 月 11, 12 日
3. 島田康史、Sadr Alireza、田上順次. OCT による咬合面う蝕の非破壊断層画像診査. 第 131 回日本歯科保存学会 2009 年度春季学術大会 札幌 2009 年 6 月 11, 12 日
4. 有吉芽生、島田康史、Sadr Alireza、田上順次. OCT を用いた隣接面う蝕モデルの非侵襲断層画像診査. 第 131 回日本歯科保存学会 2009 年度秋季学術大会 仙台 2009 年 10 月 29, 30 日
5. 今井加奈子、島田康史、Sadr Alireza、田上順次. エナメル質亀裂の非侵襲断層画像診断. 第 131 回日本歯科保存学会 2009 年度秋季学術大会 仙台 2009 年 10 月 29, 30 日
6. Makishi Patricia, Shimada Yasushi, Sadr Alireza, Tagami Junji. Evaluation of enamel marginal sealing of self-etch adhesives using optical coherence tomography. 第 28 回日本接着歯学会学術大会 松江 2010 年 1 月 23, 24 日
7. 夏目悠子、島田康史、中嶋省志、Sadr Alireza、田上順次、角保徳. SS-OCT を用いた脱灰象牙質の検出に関する研究. 第 132 回日本歯科保存学会 2010 年度春季学術大会 熊本 2010 年 6 月 4, 5 日
8. Shimada Y, Sadr A, Burrow M, Kishikawa R, Ozawa N, Sumi Y, Tagami J. Diagnosis of occlusal caries using swept-source optical coherence tomography. General Session of IADR, Barcelona, Spain, July 14-17, 2010.
9. Ariyoshi M, Shimada Y, Sadr A, Tagami J, Sumi Y. Diagnosis of interdental cavitated caries lesions by optical coherence tomography. General Session of IADR, Barcelona, Spain, July 14-17, 2010.
10. Makishi P, Shimada Y, Sadr A, Sumi Y, Tagami J. Marginal adaptation of self-etch adhesives by 3D optical coherence tomography. General Session of IADR, Barcelona, Spain, July 14-17, 2010.
11. Nazari A, Sadr A, Nakashima S, Shimada Y, Sumi Y, Tagami J. Hydration and demineralization effects on reflectivity of enamel using SS-OCT. General Session of IADR, Barcelona, Spain, July 14-17, 2010.
12. Bakhsh TA, Sadr A, Shimada Y, Makishi P, Mayoral JR, Sumi Y, Tagami J. Comparison between SS-OCT & CLSM in

assessment of restoration defects.
General Session of IADR, Barcelona,
Spain, July 14-17, 2010.

13. Natsume Y, Nakashima S, Shimada Y,
Sadr A, Tagami J. SS-OCT estimation of
lesion depth in artificial root
carious lesions. General Session of
IADR, San Diego, USA, March 14-19,
2011.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

島田 康史 (SHIMADA YASUSHI)

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：60282761

(2) 研究分担者

田上 順次 (TAGAMI JUNJI)

東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究
科・教授

研究者番号：50171567

角 保徳 (SUMI YASUNORI)

国立長寿医療研究センター・歯科口腔先進
医療開発センター歯科口腔先端診療開発
部・部長

研究者番号：30187801

倉林 亨 (KURABAYASHI TORU)

東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究
科・教授

研究者番号：60178093

北迫 勇一 (KITASAKI YUICHI)

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：30361702

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

