

平成21年 5月 14日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号： 18791426
 研究課題名（和文） 補綴物の材料および合着用セメントの違いが水平歯根破折に及ぼす影響
 研究課題名（英文） The Investigation of Stress Distribution in Root Restored with Different Crown Materials
 研究代表者
 岡田 大蔵（OKADA DAIZOU）
 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：80323690

研究成果の概要：

歯髄を失った歯は時に歯根破折を生じ、場合によっては抜歯に至ることがある。歯根破折には、縦破折と水平破折の2種類がありいずれの場合も憂慮すべきことである。本研究では主に水平破折に主眼をおき、破折部位の応力集中状態を有限要素法および抜去歯を用いた模型実験で調べた。その結果、歯の土台（支台築造）の材料、クラウンの材料およびセメントの物性が応力集中状態に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,200,000	0	2,200,000
2007年度	1,000,000	0	1,000,000
2008年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	120,000	3,720,000

研究分野：歯冠補綴学

科研費の分科・細目：補綴理工系歯学

キーワード：歯根破折、応力、歪み、有限要素法、歪みゲージ

1. 研究開始当初の背景

機能時、咬合面に負荷される咬合力は咬合面を介して歯牙全体に伝播されさらには歯周組織をはじめとする顎口腔系に伝わり、歪みという形でエネルギーは置換される。我々は失活歯に対して金属あるいはコンポジットレジンなどを用いて支台築造を行いさらに、種々の材料を用いて最終補綴物を装着する。これらの過程で用いられる材料は当然、天然歯の材料特性と大きく異なり、これが時に歯根破折を引き起こすと考えられている。

また、咀嚼時に最も大きな応力が歯牙に分布されると考えられることから、咀嚼時に最

も歯根破折を生じにくい補綴物の形態あるいは材料を検討することは急務だと考えられている。現在まで支台築造法あるいはその材料に関して様々な研究が行われておりある程度ファイバーポストを併用したレジン築造が有効であると考えられるようになった。しかしながらこのレジン築造は鋳造による築造体に見られるような抜歯に至る重篤な縦破折を生じる可能性が低いものの再治療可能な水平破折が比較的低い破壊強度で生じることが明らかとなっている。

2. 研究の目的

水平性歯根破折を防ぐための補綴方法を確立するためには、現在行われている種々の支台築造法の歯頸部付近の応力集中状態を詳細に検討する必要がある。この研究に対してとられる手法としては大きく二つに分類することができる。すなわち、抜去歯を用いた模型実験と汎用解析プログラムを用いた有限要素法である。

有限要素法は歯の形態を詳細に再現することは難しいが、歯根膜あるいは歯槽骨まで比較的正確にその物性を再現できる可能性を秘めている。しかしながら、その解析結果はモデルの作製法に大きく依存するという欠点も併せ持っている。一方、模型実験は、抜去歯を用いるので、歯牙自体の形態は実際の口腔内と同じと考えて良いがその周囲組織、すなわち歯根膜あるいは歯槽骨はシリコーン印象材あるいは即時重合レジンで作製するため必ずしも生体で生じている現象を正確に再現しているとは限らない。そこで、本研究ではこれら2つの手法を用いて詳細に歯頸部にかかる応力を解析し、歯頸部に応力集中の少ない、換言すればより水平歯根破折の生じにくい補綴方法を探求することを目的とし行った。

3. 研究の方法

(1) 有限要素法を用いた解析

有限要素モデルでは汎用構造解析プログラム MSC. Marc (MSC SOFTWARE) を用いて4種類の小白歯モデルを作製した。すなわち天然歯モデル(以下 NT)、全部鑄造冠モデル(以下 MC)、ハイブリッド強化型硬質レジン(以下 HCC)、オールセラミッククラウンモデル(以下 ACC)とした。なお、NT 以外の3種類はファイバーポストを用いたレジンコアにて築造を行ったものとした。さらにこの3種類のモデルにおいてクラウンの合着用セメントを、MMA系レジンセメント、コンポジット系レジンセメントの2種類に変化させた。小型三次元咬合力センサを用いてビーフジャッキーの咀嚼力を測定し、その結果を咀嚼力として有限要素モデルに代入し(舌側方向:24N, 遠心:29N, 歯根方向:164N)。歯根の応力分布状態を比較、検討した。なお、拘束点は各モデルの歯槽骨下壁とした(図1)。

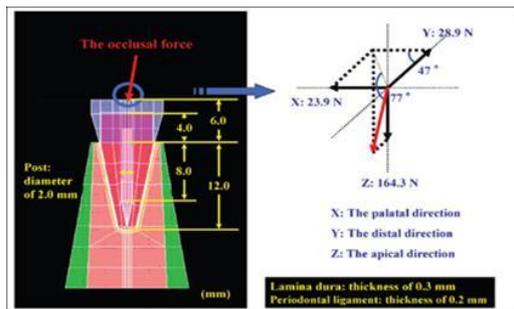


図1 有限要素モデル

有限要素解析モデルの解析点は、舌側、歯頸部、ポスト先端部、根尖部付近の歯根象牙質内の3点とし、各点における Von Mises 応力を算出した。

(2) 歪みゲージを用いた模型実験

実験試料にはクラック、破折、カリエスを認めない14本のヒト下顎単根小白歯を使用した。支台築造には、ファイバーポスト(ファイバーコア、ペントロン)、およびコンポジットレジン(クリアフィルDCコアオートミックス、クラレメディカル)を使用した。クラウンは、全部鑄造冠は金銀パラジウム合金(キャストウエルM.C. 12%GOLD, ジーシー)、ハイブリッド強化型硬質レジンクラウン(エステニアC&B, クラレメディカル)を用い、ともに接着性レジンセメント(パナビアF2.0, クラレメディカル)にて合着した。ひずみ量の測定には、ひずみゲージ(KFR02N-120-C1-16N10C, 共和電業社)を用いた。

試料作製は、まず、抜去歯を低速切断機アイソメットにて、セメント-エナメルジャンクション(以下 CEJ)より1.5mm上方で歯軸と垂直に切断し、通法に従って、抜髄、#40まで根管拡大し、側方加圧充填を行い、φ1.25mmの専用ポストドリルにて根管長8mmの築造窩洞を形成した。その後、リン酸エッチング材を根管内に塗布し、10秒処理後、水洗・乾燥し、ADゲルを根管内に塗布し、60秒後、水洗・乾燥を行った。歯面処理として、クラレメディカル社製、クリアフィルライナーボンドIIΣプライマーA・Bを混和後、歯面に塗布し、30秒処理後、根管内の余剰分を除去し、次に、クリアフィルライナーボンドIIΣボンドA・Bを混和後、歯面に塗布し、光照射を20秒行った。また、ファイバーポストはあらかじめ、アルコールにて清拭し、乾燥後、シラン処理を施した。このファイバーポストおよびコンポジットレジンを用い、直接法で支台築造を施し、24時間、37℃精製水中保管後、支台歯形成を行った。マージンをCEJ上に設定し、マージン形態は幅1mmのラウンデッドショルダー、フェルールの高さ1.5mm、支台歯の高さは6mm、テーパー片側4°とした。クラウンは、高さ8mm、軸面の厚さ1.0mm、咬合面の厚さ2.0mmとし、荷重を与えるための刻みを頬側咬頭に付与するため、咬合面側から2mm、頬側軸面から2mmを結んだ線で角を落とした単純形態とした。

クラウン内面は50μmのアルミナサンドブラストを5kg/cm²で5秒間行い、超音波洗浄し、全部鑄造冠内面にはメタルプライマー、ハイブリッド強化型硬質レジンクラウン内

面は、リン酸エッチング剤を塗布し、5秒後、水洗・除去し、乾燥後、シラン処理し、乾燥させた。一方、コンポジットレジン築造体の表面もアルコール綿で清拭後、同様にシラン処理した。

クラウンの合着にはクラレメディカル社製、コンポジット系レジンセメント、パナビア F 2.0 を使用した。なお、セメントスペースは軸面 50 μm 、咬合面 100 μm とした。

辺縁部付近の頬舌側クラウンおよび歯根に 2mm 四方の平らな面を作り、アルミナサンドブラストを行い、アセトンで清拭し、計 4 枚のひずみゲージをひずみゲージ用セメント CC33A を用い貼付した。

その後、高さ 18 mm、内径 18 mm のアルミニウム製リング内に常温重合レジンを注ぎ、試料をリング中央に包埋しました。なお、常温重合レジン表面から 2 mm 上にマージンを設定した (図 2)。

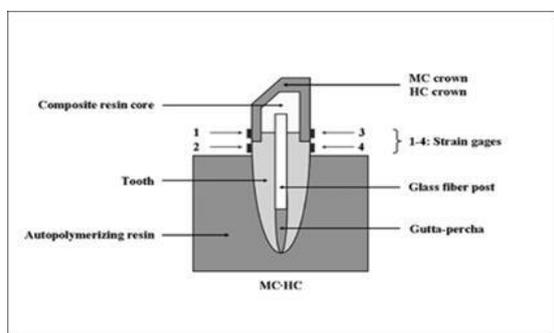


図 2 模型実験模式図

試料は、全部鑄造冠を合着したもの (以下 MC) とハイブリッド強化型硬質レジクラウンを合着したもの (以下 HC) の 2 グループとし、それぞれ $N=7$ とした。島津社製、負荷荷重試験機、オートグラフ AGS-H を用いクロスヘッドスピード 1.0mm/min とし、荷重点は頬側咬頭とし、歯軸に対して 45° に 100 N まで荷重を与えた。このときのひずみゲージの出力をデータレコーダーにて記録し、頬舌側のクラウンと歯根のひずみ量を計測し解析を行った。なお、図 2 に示すように各々の歪みゲージに歪みゲージに番号をつけた。すなわち、頬側クラウンマージン部を 1、頬側歯根マージン部を 2、舌側クラウンマージン部を 3、舌側歯根マージン部を 4 とした。全ての試料に 150 N まで荷重を付与し、各部位 1 から 4 の歪み量を 25 N ごとに算出した。また、MC の歪みゲージの出力を $M1 \cdots M4$ 、HC の歪みゲージの出力を $H1 \cdots H4$ とした。

各試料の 150 N までの最大歪み量の絶対値である $|\epsilon_{\max}|$ に対する各部位 1-4 の歪み量における比率 $\epsilon / |\epsilon_{\max}|$ を 25 N ごとに求め、100 N までの比率を求めた。ま

ず、頬側と舌側の歪みを比較するため、 $|M2-M1|$ 、 $|M4-M3|$ 、 $|H2-H1|$ 、 $|H4-H3|$ を算出した。次にクラウンと歯根の歪みを比較するため、 $|M4-M2|$ 、 $|M3-M1|$ 、 $|H4-H2|$ 、 $|H3-H1|$ を算出した。

$|\epsilon_{\max}|$ の大部分のデータが 125N または 150N 荷重時に由来しているため、25N から 100N までの比率を求め、T 検定を行い、有意水準 5% とした。

4. 研究成果

(1) 有限要素法

有限要素解析モデルの解析点を、舌側、歯頸部、ポスト先端部、根尖部の 3 点とし、各点における Von Mises 応力を算出した結果が表 1 である。

	MMA			BGMA			
	MC	HCC	ACC	MC	HCC	ACC	
Cervical area	6.2	23.0	18.1	22.7	14.3	13.2	14.3
Tip of post	10.6	8.7	8.8	8.7	8.7	8.8	8.7
Apex area	11.6	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7

表 1 各試料における応力値 (MPa)

この表から支台築造法が同じであれば、合着用セメントおよび最終補綴物の材質は、根尖部およびポスト先端相当部の歯根象牙質の応力値に大きな影響を及ぼさないことが明らかとなっているのが確認できる。また、生活歯 (NT) はいかなる歯冠補綴よりも応力集中が少ないことも明らかとなった。

一方、同じ最終補綴物の場合、セメントの種類が異なると歯頸部歯根象牙質に応力値が変化することも明らかとなった。

すなわち、MMA 系レジンセメントはコンポジット系レジンセメントと比較して歯頸部に応力が集中する傾向が認められた。

このことは MMA 系レジンセメントの弾性係数が歯冠修復物、象牙質、コンポジットレジンの弾性係数より極端に小さく、歯頸部での応力集中を招いたものと考えられる。

一方、コンポジット系レジンセメントの弾性係数は歯冠修復物、象牙質、コンポジットレジンに近く、応力集中を避けることができたと考えられる。

MC、ACC、HCC の順に弾性係数が高く、セメントにおいては MMA 系レジンセメントよりコンポジットレジ系セメントの方が弾性係数が象牙質と類似しているため、HCC・コンポジットレジ系セメントの組み合わせが最も歯頸部に応力が集中せず、レジ支台築造の欠点でもある歯頸部での水平歯根破折を生じにくいと考えられる。

以上のことから、MMA 系レジンセメントの

ような弾性係数の低いセメントよりも、コンポジットレジン系セメントのような弾性係数が象牙質と類似したセメントの方が歯頸部の応力集中をより緩和し、歯根破折を防ぐということが示唆された。

以上の研究を小括すると

- 1) MMA系セメントで合着した場合、HCC、MCCでは歯頸部に大きな応力集中が認められた。
- 2) コンポジット系レジンセメントではHCC、MCCの歯頸部への応力集中は緩和された。
- 3) レジンセメントの接着が強固と仮定すればMMA系レジンセメントのような弾性係数の低い材料よりも、コンポジットレジン系セメントのような弾性係数が象牙質と類似したセメントの方が歯頸部の応力集中をより緩和し、歯根破折を防ぐことが示唆された。

(2) 歪みゲージを用いた模型実験

表2は全ての試料に150Nまで荷重を付与し、各部位1から4の歪み量を25Nごとに算出し150Nまでの最大歪み量の絶対値である $|\epsilon_{max}|$ に対する各部位1-4の歪み量における比率 $\epsilon / |\epsilon_{max}|$ を25Nごとに求め、100Nまでの比率である。

	25 N		50 N		75 N		100 N	
M1	0.17	(0.34)	0.18	(0.53)	-0.03	(0.64)	-0.24	(0.55)
M2	0.34	(0.31)	0.48	(0.25)	0.63	(0.19)	0.77	(0.15)
M3	-0.32	(0.21)	-0.54	(0.26)	-0.65	(0.25)	-0.75	(0.15)
M4	-0.26	(0.14)	-0.43	(0.17)	-0.59	(0.17)	-0.75	(0.11)
H1	0.13	(0.26)	0.24	(0.41)	0.30	(0.54)	0.28	(0.70)
H2	0.14	(0.09)	0.32	(0.20)	0.51	(0.23)	0.69	(0.16)
H3	-0.13	(0.06)	-0.29	(0.13)	-0.48	(0.14)	-0.67	(0.09)
H4	-0.15	(0.06)	-0.32	(0.14)	-0.49	(0.15)	-0.67	(0.10)

() :SD

表2 各歪みゲージの最大値に対する比率

表3は同側部のクラウンと歯根の歪み様相の差異を調べるために、荷重側、非荷重側で表2の値の差をとったものおよびその検定結果である。

	25 N		50 N		75 N		100 N	
M2-M1	0.41	(0.27)	0.54	(0.26)	0.75	(0.47)	1.01	(0.48)
M4-M2	0.08	(0.06)	0.11	(0.11)	0.09	(0.09)	0.08	(0.04)
H2-H1	0.16	(0.13)	0.24	(0.21)	0.36	(0.31)	0.52	(0.33)
H4-H2	0.02	(0.03)	0.03	(0.02)	0.03	(0.02)	0.02	(0.02)

() :SD

	25 N	50 N	75 N	100 N
M2-M1 ; M4-M2	0.011	0.005	0.010	0.002
H2-H1 ; H4-H2	0.030	0.029	0.027	0.047

*p < 0.05

..not significantly different

表3 同側クラウン、歯根象牙質の歪み様相

表4は今度はクラウン自体の動き方と歯根象牙質の動き方の違いを調べるために同側部のクラウンと歯根の歪み様相の差異を調べたものであり、下段はその検定結果であ

る。

	25 N		50 N		75 N		100 N	
M3-M1	0.54	(0.35)	0.73	(0.65)	0.62	(0.77)	0.54	(0.61)
M4-M2	0.60	(0.43)	0.91	(0.42)	1.22	(0.36)	1.52	(0.26)
H3-H1	0.30	(0.25)	0.57	(0.46)	0.82	(0.58)	0.97	(0.72)
H4-H2	0.29	(0.15)	0.64	(0.33)	1.00	(0.37)	1.36	(0.26)

() :SD

	25 N	50 N	75 N	100 N
M3-M1 ; M4-M2	0.761	0.406	0.047	0.002
H3-H1 ; H4-H2	0.926	0.543	0.280	0.149

*p < 0.05

..not significantly different

表4 クラウン、歯根象牙質の歪み様相の差

MC及びHCの頰側と舌側間で比較し、|M2-M1|、|M4-M3|間に、100N荷重までいずれも有意差が認められた。HCも同様に|H2-H1|、|H4-H3|間に、全て有意差が認められた。また、クラウンと歯根間で比較し、|M4-M2|、|M3-M1|間には、50Nまでは有意差が認められないが、75N以上で有意差が認められた。|H4-H2|、|H3-H1|間には、100Nまで全て有意差が認められなかった。

① 実験試料

一般に、グラスファイバーポスト併用のコンポジットレジンコアは象牙質と弾性係数が類似しているの垂直歯根破折を防ぐと言われている。また、クラウンや合着用セメントの種類が歯頸部に与える影響も大きい。著者らは過去の有限要素法を用いた研究でMC、HCクラウンをMMA系レジンセメント、RCにて合着したときの歯根内応力分布を解析し、弾性係数が象牙質に類似しているHC・RCの組み合わせは歯頸部の応力集中を防ぐことを報告した。そこで、クラウンの合着用セメントとしてRCを用い、クラウンの材質により歪み量が変わることを明らかとした。

② 歪みの測定

歪みゲージは目視できない微小なマージン部の動きを記録することができる。過去の疲労荷重試験は歯根とクラウンの界面に歪みゲージを貼付しており、歯根とクラウンの各々の歪み量に関して述べている研究は少ない。そこで、クラウンと歯根の頰舌側マージン部に歪みゲージを貼付し、各々の歪み量を測定した。

③ 歪み量の解析

均一な歯根長、幅径、形態の抜去歯を可及的に選択したが、歯根の形態、長さ、直径、性状、含水量が必ずしも同じでなく、歯頸部の歪み量に大きく影響を及ぼす可能性がある。また、材料の弾性係数の違いにより変形量が異なるため歪み量を比率に置き換え、解析した。

④ 頰側と舌側の比較

変形の比率が0に近いほど、変形量及び変形方向が相似であることを示している。こ

の比率が2に近いほど、各々の材料間で変形量は相似的だが、変形の方向は異なる。また、0と2の間は、変形量もしくは変形の方向が異なる。この場合、歪み量と荷重の関係がほぼ線形の関係なので変形の方向が異なると考えられる。

MC, HCともに、舌側の歯頸部では、クラウンと歯根は相似的に変形しているが、頬側はクラウンと歯根が必ずしも相似的な変形ではない。従って、歯頸部の荷重側のクラウンと歯根の界面であるセメント相当部に応力集中する可能性がある。

⑤ クラウン側と歯根側の比較

25, 50 Nの低荷重を付与すると、MC, HCともに、クラウンと歯根は相似的に変形する。75, 100 Nの高荷重を付与すると、MCではクラウンと歯根は相似的に変形しないが、HCではクラウンと歯根は相似的に変形する。

⑥ 咬合力と歯頸部の歪みの関係

Andersonは咀嚼初期における平均咀嚼力は39.2-58.8 Nと報告している。本研究の結果から、通常の咀嚼範囲内では、HCもMCも歯頸部に及ぼす影響は同レベルである。しかし、MCは通常の咀嚼範囲を超えた75 N以上の荷重を与えると、クラウンと歯根の界面であるセメント相当部に応力集中する可能性があり、これはMCクラウンと象牙質、コンポジットレジン、セメントなどと弾性係数が大きく異なることに起因する。

HCはMCと比較し、象牙質やコンポジットレジンコアの弾性係数に近似しており、それ故、クラウン、コンポジットレジンコア、歯根は、一体化して全体的に歪む傾向があると考えられる。

MCでは75 N以上では、マージン部のクラウンと歯根の変形が相似的でなくなり、HCは100 Nまでクラウンと歯根が一体化して相似的に歪む傾向にある。

各部位の歪み量及び歪み様相が異なるほど、一体化した変形をせず、歯頸部に応力が集中し、水平歯根破折の原因となる。

これらを考慮すると、MCとHCでは、クラウン脱離の可能性、歯根に与える応力分布の影響が異なる可能性があるとして示唆された。

模型実験を小括すると

1) 頬側と舌側を比較したところ、100 NまでMC, HCともに歪み量の比率が異なった。

2) クラウンと歯根において、MCは75 N以上荷重を付与すると、マージン部のクラウンと歯根の歪み量の比率が相似的ではなく、HCは100 Nまでマージン部のクラウンと歯根の歪み量の比率が相似的であった。

3) MCクラウンのような象牙質や修復材料と弾性係数が異なるクラウンの使用した場合、歯頸部に応力集中する可能性がある。

以上のことから失活歯に対してクラウンを作製する際には支台築造の材料、最終補綴物の種類、および合着用セメントの物性を考慮する必要があり、セメントの物性は極力歯根象牙質あるいはコンポジットレジンに近いものでかつ、レジン築造の場合は、メタルクラウンよりもハイブリッド強化型硬質レジンの方が、歯頸部応力集中を緩和させる可能性があることが示唆された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計4件)

- ① Suzuki C, Miura H, Okada D, et al. (計7名): The Investigation of Distortions around the Cervical Area of Teeth Restored with Two Kinds of Crown Materials. Dent Mater J 28(2): 142-152, 2009. (査読有)
- ② Masahiro YAMAMOTO, Hiroyuki MIURA, Daizo OKADA et al. (計5名) Photoelastic stress analysis of different post and core restoration methods. Dent Mater J 28(2): 204-211, 2009 (査読有)
- ③ Okada D, Miura H, Suzuki C, et al. (計7名) K: Stress Distribution in Root Restored with Different Kinds of Post Systems with Composite Resin. Dent Mater J 27: 605-611, 2008. (査読有)
- ④ Suzuki C, Miura H, Okada D, et al. (計4名): Investigation of Stress Distribution in Roots Restored with Different Crown Materials and Luting Agents. Dent Mater J 27(2): 229-236, 2008. (査読有)

[学会発表] (計9件)

- ① 武井秀典, 三浦宏之, 山本将弘, 岡田大蔵ほか: 種々の支台築造に生じる応力の光弾性的解析. 日本補綴歯科学会第117回学術大会. 名古屋, 2008年6月7-8
- ② 岡田大蔵, 三浦宏之, 駒田亘ほか: 咀嚼時における種々の支台築造歯の応力分布に関する研究. 日本補綴歯科学会第117回学術大会. 名古屋, 2008年6月7-8
- ③ Okada D, Miura H, Suzuki C, et al.: Stress Distribution in Root with Different Post and core Systems. 86th General Session & Exhibition of the IADR, Toronto, Canada, July 3, 2008
- ④ Masuoka D, Miura H, Yamamoto M, Okada D: Comparison of six different fiber reinforced composite FPD framework designs. 86th General Session & Exhibition of the IADR, Toronto, Canada, July 3, 2008.
- ⑤ Yamamoto M, Miura H, Okada D, et

- a1. Photoelastic Stress Analysis in Different Types of Post and Core. 85th General Session of the IADR, New Orleans, Louisiana, March 23, 2007.
- ⑥ Okada D, Miura H, Suzuki C, et al. : Stress Distribution in Root Restored with Different Post Systems. 84th General Session of the IADR, Brisbane, Australia, June 28, 2006.
- ⑦ Yamamoto M, Miura H, Okada D, et al. : Comparison of Shrinkage Stress in Composite Resin Post-core Build-up Methods. 84th General Session of the IADR, Brisbane, Australia, June 29, 2006.
- ⑧ Masuoka D, Miura H, Okada D, et al. : Photoelastic Stress Analysis in Different FRC FPD Framework Designs. 84th General Session of the IADR, Brisbane, Australia, June 29, 2006.
- ⑨ 鈴木智香子, 三浦宏之, 岡田大蔵ほか : 歯冠補綴物装歯の歯頸部における歪みに関する研究. 日本補綴歯科学会東京支部第10回学術大会, 東京, 2006年11月11日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡田 大蔵 (OKADA DAIZO)

東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究
科摂食機能保存学分野 講師

研究者番号 : 80323690