

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 26 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24592935

研究課題名(和文) レーザー光学印象とロボット工学を応用したインプラント印象 模型製作システムの評価

研究課題名(英文) Dental Implant impression method utilizing a laser optical impression and robotics  
-evaluation of the modeling system-

研究代表者

萩原 芳幸 (HAGIWARA, Yoshiyuki)

日本大学・歯学部・准教授

研究者番号：00228389

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：インプラントトップの三次元的な位置情報を三ヶ所のノッチによりコード化したエンコードヒーリングアバットメント(Biomet 3I, USA)をレーザー光学印象を行うデジタル印象・模型製作システム(ロボキャスト法)の評価を行った。日本においてはデジタル印象の認識度は決して高いとは言えず、今後の臨床応用に関しても懐疑的なアンケート結果が得られた。本システムは従来の印象コーピングを用いた印象・模型製作法と比較して、インプラントアナログの再現精度は総体的に40 $\mu$ m以内であった。その結果から、臨床的には従来の印象用コーピング法およびロボキャスト法でも、十分対応が可能な範囲であると思われる。

研究成果の概要(英文)：The evaluation of digital impression-modeling system was carried out. We use the encode healing abutment (Biomet 3I, USA) which obtained by coding a three-dimensional position information of the implant top by three places of the notch (code) scanning laser optical impression (Robocast method). It can not be said that never high awareness of the digital impression in Japanese dentists, skeptical questionnaire results were obtained with respect to the future of clinical application. The system as compared to the impression-model production method using a conventional impression coping, reproducibility (displacement) of the implant analog was within 40 $\mu$ m. From the results, the clinical in impression coping method and Robocast method for a conventional impression, it seems to be sufficient correspondence is possible range.

研究分野：歯科インプラント学

キーワード：歯科インプラント 印象法 デジタルデンティストリー ロボット工学 光学印象 作業模型 ヒーリングアバットメント

## 1. 研究開始当初の背景

インプラントにおける印象採得は、専用の印象用コーピングを用いてインプラント体（トップ部および回転防止機構）の三次元的な位置関係を作業模型上に再現することを目的としている（以下印象コーピング法）。インプラントトップの三次元的な位置情報を三ヶ所のノッチ（刻印）によりコード化した専用ヒーリングアバットメント【Encode Healing Abutment (EHA) : Biomet 3I】のレーザー光学印象を行う Encode 印象システムが開発された。

この方法では EHA を装着したままで、従来の印象用コーピングを使用せずに従来の単純印象法あるいは口腔内光学印象法からインプラント作業模型からアバットメント（上部構造含む）の作製が可能となる（以下 Encode 法）。本法は日本に導入されて間もない上に、研究報告も少なく慣習的に行ってきた印象コーピング法とは全く概念が異なるため、幅広く使用されるには時間を要する。加えて Encode 法ではインプラント作業模型作製と比較して、人為的技工作業が殆ど介在しないために作業効率や人為的エラーの排除が期待されている。

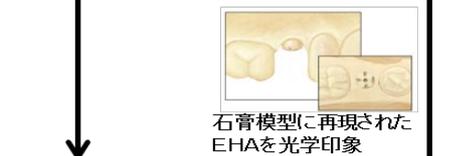
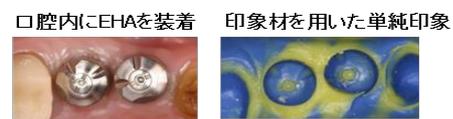
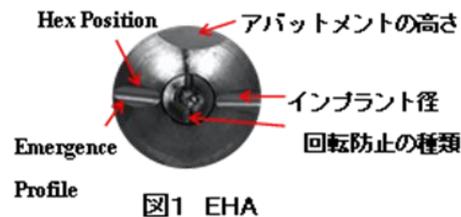
また、口腔内スキャナーによる方法では、模型作成を行わずに CAD 上でアバットメントのデザインを行い、Ti 製のアバットメントのみが技工物として届けられる。このモデルレスの技工システムで作成されたアバットメントの三次元的な再現性も評価すべき項目である。しかし、問題点として特殊な治療環境（Encode 法専用の技工窓口、読み取り可能な口腔内スキャナーの設置）が必須である。特に日本では技工管理・流通システムの整備が大幅に遅れていることも否定できない。

### 【Encode 法の概要】

研究開始当時は模型にした Encode 法のみが存在したが、現在は口腔内光学印象法の発達に従い複数のインプラントシステムで独特の形態をしたアバットメント（スキャンボディとも呼ばれる）が開発されてきた。この種の印象方法の基本概念はインプラント体の三次元的な位置や形態を再現するために印象用アバットメント（Encode アバットメント）に様々な位置伝達用の特殊形態を扶養したことである。

Encode 印象システムに用いる EHA の頂面には、(1) インプラントとアバットメントの接合面の位置、(2) インプラントの接合様式（インターナル/エクスターナル）、(3) インプラントの直径、(4) 歯肉の厚み、(5) インデックス（回転防止機構）方向、を示す溝が刻まれている（図 1）、この EHA を光学印象で読み取り、その三次元情報を基にロボット工学を応用してインプラントラボアナログを自動的に石膏模型に埋入・固定して、CAD/CAM によりカスタムアバットメントや上部構造等を作製する（図 2）。

Encode 法の特徴と利点は、ヒーリングアバットメントの着脱による歯肉へのダメージや煩雑さを省き、患者や術者に対して生物学的および技術・時間的な負担が軽減、印象用コーピング法で不可欠な人的作業の割愛により不適合要素を減らす、作業ステップが非常に単純（図 2 参照）等である。従来の印象コーピング法の三次元的精度に関する研究は 1990 年代にある程度解決している。しかし、本研究の評価対象である『レーザー光学印象原理とロボット工学を応用したインプラント印象-作業模型製作システム』は、従来印象法とは全く異なる概念であり関連する研究報告も散見するに過ぎない（文献 1, 2）。



口腔内のEHAを光学印象  
口腔内のEHAを光学印象（モデルレスでアバットメント作製）  
スキャンデータをもとに「Robocast」を用いてインプラントラボアナログを石膏模型に埋入・固定（作業模型作製）

図 2

### 参考文献

- Grossmann Y, Pasciuta M, Finger IM. Novel technique using a coded healing abutment for the fabrication of a CAD/CAM titanium abutment for an implant-supported restoration. J Prosthet Dent; 95 : 258-61.2011
- Eliasson A, Ortorp A. The Accuracy of an Implant Impression Technique Using Digitally Coded Healing Abutments. Clin Implant Dent Relat Res. doi: 10.1111/j.1708-8208.2011.00344.x

## 2. 研究の目的

Encode 法に関しては現時点では三次元的精度に関する評価は少なく、特に日本においてはその存在自体が周知されているとは言い難い。そこで、本研究の目的は(1)レーザー光学印象原理によるインプラント印象-作業模型製法と、(2)従来の印象用コーピングを用いた印象-作業模型製法における、三次元的模型精度(インプラントトップ部の位置再現性)を比較検討することである。

また、モデルレス法にて作製されたアバットメントの三次元的位置再現性も評価対象となる。本研究では(1)Encode法と印象コーピング法による三次元的模型精度の比較(インプラントトップ部の位置再現性)、(2)Encode法と従来印象法の比較による基本および臨床的な問題点の抽出に主眼を置いた。

## 3. 研究の方法

(1)日本におけるインプラント光学印象の認知度を知るために、簡略なアンケート調査も行った。

(2)インプラント埋入した顎歯模型をマスター模型とし、印象コーピング法および

Encode法(ロボキャスト法)により作製したインプラント作業模型のインプラントアナログの位置再現性を三次元的に比較検討を行った。

Encode法の有用性を評価する上で最も基本となるのはインプラントトップ部の三次元的位置再現性を検証することである。本研究ではインプラントを1本(36相当部)および2本(36,37相当部)埋入した顎歯模型をマスター模型とし、(1)印象コーピング法および(2)Encode法(ロボキャスト法)により作製したインプラント作業模型の位置再現性を三次元的に比較検討した。

### 試験対象

Encode法の有用性を評価する上で最も基本となるインプラントトップ部の位置再現性を検証することが主目的となる。インプラントの印象-模型作製で最も重要なことは、口腔内のインプラントトップ部と模型上のインプラントアナログの三次元的位置関係の一致状態である。

### 対象とするインプラントの種類

従来の外部六角(External HEX)の回転防止機構を有したインプラント体を対象とした。今回、外部六角機構のインプラントとしてOsseotite (BIOMET 3i)を用いた。

### 対象とする印象方法と模型作製あるいはアバットメント

1)印象コーピング法:従来のオープントレーによる印象コーピング法で作製した通常のインプラント作業模型。個人トレーとシリコンラバー印象材(Take 1, Kavo)によるインプラント精密印象に超

硬質石膏(フジロック IMP,GC)を使用した。

- 2)ロボキャスト法: EHAをシリコン印象採得し、石膏模型化したものを光学印象して作製したインプラント作業模型(ロボキャスト模型)を作製。個人トレーとシリコンラバー印象材(Take 1, Kavo)によるEHA装着模型の精密印象に超硬質石膏(フジロック IMP,GC)を使用した。
- 3)マスター模型にEHAを装着し、口腔内スキャナーで光学印象を行ったもの。この場合は作業模型は作製せずに、CADによるアバットメント設計後にCAMによりチタン製のアバットメントのみが作製される(モデルレス法)。

### 試験・調査方法

#### 調査1:日本口腔インプラント学会専門医を対象とした、光学印象認知度に関するアンケート調査

無作為に抽出した日本口腔インプラント学会専門医(150名)を対象に往復はがきによるアンケートを実施した。主たるアンケート項目は結果と共に表1に記載した。

#### 試験1:印象法の違いによるインプラントロボアナログの三次元的位置再現精度

##### マスター顎歯模型の作製

下顎右側大白歯欠損の顎歯模型(ニッシン社製)にEXT-HEX IMPを口腔内の状態と同じように即時重合レジンにて埋入・固定してマスター模型を作製した。欠損形態は36欠損および36,37欠損症例を想定した。

##### 計測用ジグ

計測用ジグは過去にIMZインプラント作業模型の精度実験に用いたものを応用した。基本的概念は矯正治療で使用する構成咬合器と同様である。

ジグはa)基板、b)底板、c)模型取り付け板、d)ガイド柱、e)印象トレー用ガイド板から構成されている。a)基板、b)底板、c)模型取り付け板は脱着が可能であり、マスター模型および比較検討を加える各種作業模型が同一の位置関係で装着が可能となる。基板に取り付けた3本のガイド柱は、三次元的位置関係を生活に保ち、印象トレー用ガイド板は常に同一の位置関係で印象採得することができる。石膏注入をこの印象トレー用ガイド板を基板から外すことなく行うことで、常に同一条件で作業模型が基板上に付着されることになる。模型取り付け板は精密加工により製作してあり、誤差なく模型の脱着が可能である。基板には計測の基準平面および基準線を設定するためにA,B,C三点の基準点が設置してある。

(図3:萩原芳幸,小泉政幸,五十嵐孝義. IMZインプラント作業模型の精度に関する研究. 補綴誌, 37: 678~686, 1993.より引用)

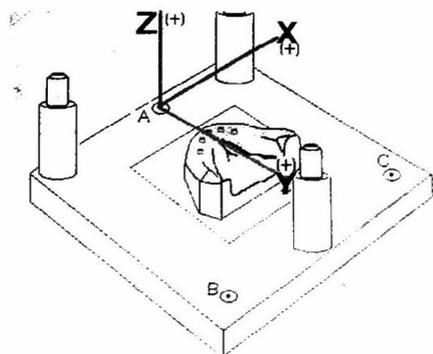


図3 計測用ジグ

### 印象採得

対象とするEHAを含んだ全顎印象採得を2通りの異なった方法で行った。すべての印象方法に対して、マスター模型のインプラント埋入位置をコントロールとして比較検討を行った。すなわち 1)印象コーピング法、2)模型光学印象法(ロボキャスト法)であり、あらかじめ作製した即時重合レジン製個人トレーを用い通法に従い印象を行った。

### インプラント作業模型の作製

- 1) 印象コーピング法: 印象コーピングにインプラントアナログを接合し、超硬石膏を流す(通法のインプラント模型作製法に準ずる)。(検体数 10 個)
- 2) 模型光学印象法(ロボキャスト法): EHAを装着したマスター模型のシリコン印象面に超硬石膏を流して作製したEncode用模型上(単純模型)を、Biomet 3I 本社(Palm Beach Garden, FL, USA)のCAD/CAM センターに郵送。模型上のEHA情報をEncode法用の専用スキャナーを用いレーザー光学印象技術により三次元的なインプラント位置情報を読み取る。読み取った三次元データはEncode専用CADを介した後に、専用ロボット(Robocast)によりインプラント技工用レプリカ(インプラントアナログ)を石膏模型に埋め込んで作業模型を作製する(検体数 10 個)。完成ロボキャスト模型は米国より郵送されて手元に届く。

### インプラントトップ部位置再現精度(三次元的な位置関係)の計測

マスター模型上のインプラント体トップ部と印象コーピング法およびロボキャスト法で作製したインプラント作業模型上のインプラントアナログの位置再現状態の変化を比較検討した。計測には計測用ジグと接触型三次元測定機 ZYXAX(東京精密)を使用した。インプラント体/インプラントアナログにカバースクリュー(すべてに同じもの=一個のみ使用)を10Ncmで締結して、その中心部分(スクリューホール)に1.0mmのプロブを当てることで、X、Y及びZ軸の3方向について変位量を計測した。この手法によりインプラント体およびインプラントアナログ

トップ部の中心部点の座標を計測することとした。ジグ上の基準点A、B、CにてXY平面を、B-CにてX軸を決定し、Aを原点とする直交座標を設定した。模型外の基準平面・基準線を用いることで、絶対的な位置変位してマスター模型上のインプラント体トップ部と各作業模型のインプラントアナログトップ部の位置再現状態を評価した。マスター模型のインプラント埋入位置を原点として評価した。

### 試験2: 直接光学印象(口腔内スキャナー)により制作したチタン製アバットメント(モデルレス法)の位置再現性の観察

#### マスター顎歯模型の作製

試験1で用いたマスター模型を試験2でも使用した。

#### 印象採得

口腔内用光学印象スキャナー(CEREC, シロナ)を用いてマスター模型上のEHAおよび全歯列の情報を読み取る。集積した3次元デジタル情報を記録媒体にコピーしてEncode専用CADに転送した。各マスター模型は5回ずつ計測し、それぞれ異なった印象としてデータを転送した。

#### アバットメントの作製

光学印象データをもとにCADで設計したデータをBiomet 3I 本社(Palm Beach Garden, FL, USA)のCAM工場に転送して、専用ミリングマシンでチタン製アバットメントを作製した。チタン製アバットメントの基本形態はCAD上では同一にプログラムした。従って本試験ではEHAの光学印象精度のみが比較検討するチタン製アバットメントの位置再現性に影響を与える。アバットメントは各インプラントに対して5個ずつ作製した。

### モデルレス法によるアバットメントの位置再現性(三次元的な位置関係)の観察

完成したアバットメントをマスター模型に装着し、それぞれを技工用レーザースキャナー(Zirkonzahn S60 OARTI)で読み込んだ。各データをデジタル変換して、PC上で専用ソフト(Zirkonzahn Scan)で重ね合わせて、アバットメント位置の再現状態を観察した。これにより主にどの部位に変位が生じているかを視覚的に評価を行った。

## 4. 研究成果

### 調査1. 日本口腔インプラント学会専門医を対象とした、光学印象認知度に関するアンケート調査

150名の日本口腔インプラント学会専門医への郵送調査では99名(66%)からの回答を得た(表1)。その結果、埋入したインプラント体を印象材を使用せずに口腔内光学印象用スキャナーで上部構造(アバットメン

ト)を製作できることを認知していた専門医は約66%であった。また、デジタル印象を経験している専門医は25%程度であった。本アンケートにおける回答は、通法で作製したアバットメントの口腔内光学印象を意味していると思われる。本研究で対象としたエンコード印象システムは、ほとんど使用された実績は回答が無かった。また、今後のデジタル印象に関しては半数が懐疑的な目で見ていることが明らかになった。

表1 アンケートの結果

質問項目	はい	いいえ
光学印象について知識がある	66	33
デジタル印象を使用したことある	25	74
今後はデジタル印象が主流になると思う	47	52

### 試験1：印象法の違いによるインプラントアナログの三次元的位置再現精度

現在 Encode 法では CEREC による口腔内光学印象の臨床応用は稀で、ほとんどが EHA を通常印象して模型作製を経るロボキャスト法が主流である。ロボキャスト法と従来の印象コーピング法による三次元的模型精度の比較検討において以下の成果を得た。

#### 単独欠損モデル (36 欠損モデル)

インプラントアナログ部の相対的位置変化は印象コーピング法、ロボキャスト法共に有意差は無かった。特徴としては垂直成分変位量 (Z 軸) の平均値および標準偏差は同程度であった。水平成分 (X, Y 軸) に関しては両模型作製法共に平均値で 20-30 μm 程度の变位を示した。また、インプラントアナログトップ部分には特別な方向的变位傾向は認められなかった (表 2)。

有意差は無かったものの、平均値的にはロボキャスト法の变位量は若干大きな値を示した。これはインプラントアナログを石膏模型に埋め込む際の接着剤等の影響が考えられる。しかし、単独欠損模型における両模型作製方法に関しては、インプラントの印象コーピングの適合性 (あそび) や印象材および模型材の材料学的な特性から見ても臨床的に共用できる範囲であると思われる。本試験法の欠点として、使用した研究機材と方法等では外部六角 (HEX) 自体の角度的な再現精度 (回転状態) までは検討できないことである。

表2 36 欠損モデルの変位量

	X 軸方向	Y 軸方向	Z 軸方向
印象コーピング法	21.3 (10.8)	23.5 (12.6)	13.6 (6.5)
ロボキャスト法	25.5 (11.3)	27.3 (9.8)	15.0 (5.8)

単位：μm

#### 臼歯部遊離端欠損モデル (36, 37 欠損モデル)

個々のインプラントアナログの三次元的位置変位に加えて、36, 37 における相対的な位置変化も評価を加えた。

36, 37 相当部のインプラントアナログ部の相対的位置変化は印象コーピング法、ロボキャスト法共に有意差は無かった。両模型作製方法共に垂直成分変位量 (Z 軸) の平均値および標準偏差は同程度であった。水平成分 (X, Y 軸) に関しては両模型作製法共に平均値で 25-30 μm 程度の变位を示し、単独欠損モデルよりは变位が若干大きな値を示した (表 3)。これは連続した欠損にインプラントアナログが設置される際の石膏膨張の影響や、コーピングやアナログの機械的な「あそび」の影響が複雑に関連したものと思われる。

表3 36, 37 欠損モデルの変位量

		X 軸方向	Y 軸方向	Z 軸方向
印象コーピング法	36	28.8 (16.5)	25.3 (14.6)	15.5 (7.5)
	37	26.0 (13.5)	28.5 (12.6)	12.8 (10.8)
ロボキャスト法	36	28.8 (14.3)	27.0 (13.8)	17.5 (12.8)
	37	27.4 (15.5)	28.8 (16.8)	15.8 (9.5)

単位：μm

36 と 37 のインプラント体およびインプラントアナログの直線的距離は以下の式に当て求めることができる。

$$D = (X_{36} - X_{37})^2 + (Y_{36} - Y_{37})^2 + (Z_{36} - Z_{37})^2$$

本研究ではマスターモデルにおける 2 点間距離を基準として、両模型作製方法による 2 点間直線距離の変化量を評価した (表 4)。

表4 36, 37 間の相対的距離変化

印象コーピング法	36.8 (18.4)
ロボキャスト法	38.6 (20.5)

単位：μm

印象コーピング法およびロボキャスト法共に 36, 37 相当インプラントにおける相対的位置変化量には有意差が無く、ほぼ同様な平均値、標準偏差であった。両模型作製方法共にインプラント間は若干広がる顎傾向を示した。いずれの模型作製方法も印象材を用いての精密印象と石膏注入の技工過程が 1 回含まれる。そのために材料学的な小さなエラーの蓄積は無視できない。これらの変位には特定の方向特異性は認められず、印象精度には残存歯の影響や対象部位の顎堤形態等の複雑な要因が関連すると思われる。しかし、臨床的には従来の印象用コーピング法およびロボキャスト法でも、十分対応が可能な範囲であると思われる。

## 試験2：直接光学印象（口腔内スキャナー）により製作したチタン製アバットメント（モデルレス法）の位置再現性の観察

### 単独欠損モデル（36 欠損モデル）

完成したアバットメントをマスター模型に 20Ncm で装着し、それぞれをレーザースキャナーで読み込んだデータを専用ソフト（Zirkonzahn Scan）で重ね合わせて観察した像の一例を示す（図4）。

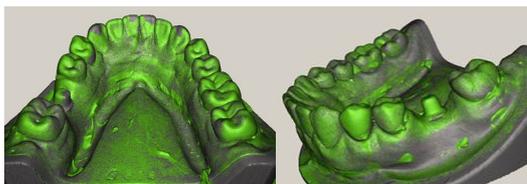


図4 36 欠損に対する Ti 製アバットメントの重ねあわせ画像例

CAD 上ではアバットメント形状は同一になるように設計したため、口腔内光学印象スキャナー（CEREC）および CAD へのデータ変換時の誤差が重ねあわせ画像に現れると思われる。本評価方法では変位量を数値化はできず、あくまで変位傾向としての評価にとどまる。図4で観察できるように、重ねあわせ画像では頬側部ではマージン部を除き形態がマッチしているものの、舌側では位置のズレが生じていることが分かる。これは重ねあわせの量的範囲（厚み）を考慮しても、頬舌側軸において頬側方向へわずかに傾いていることを示唆している。この傾向は他のアバットメントでも同様の傾向であった。

### 臼歯部遊離端欠損モデル（36, 37 欠損モデル）

36, 37 欠損においては大きな変位としては認められないものの、個々のアバットメントによって画像を重ねあわせた際の傾向が若干異なった（図5）

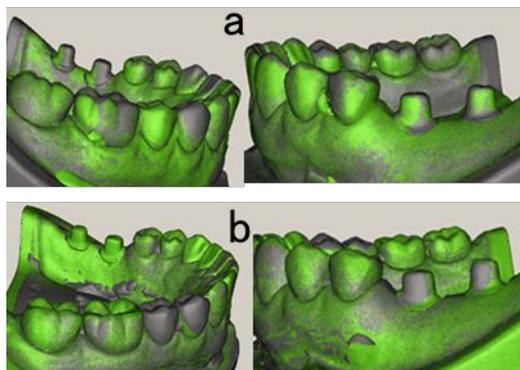


図5 a, b Ti 製アバットメントの重ねあわせ画像例（傾向の異なる2例）

図5のように重ねあわせ画像を観察した際に、頬側でのマッチングを示す場合（a）と舌側（b）でのマッチングを示す2傾向が観察された。36, 37 間の近遠心的な変位は少なく、むしろ頬舌側的な変位傾向が大きく現れる傾向は認められた。これは単独欠損の場

合も同様であるが、口腔内スキャナーで光学印象を行った場合の特徴であるかもしれないが、現時点では断定はできない。いずれにせよ、口腔内スキャナーの再現性は比較的良好で、臨床的には相対的な印象精度は高いことが示唆された。本研究では異なるシステムの口腔内スキャナーの比較は行っておらず、あくまで今回使用した CEREC システムについての言及にとどまる。また、変位量の定性的な分析は行えておらず、モデルレスによって作製されるアバットメント（あるいは補綴装置）の三次元的な再現精度に関しては、今後さらなる検討が必要である。

## 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1件）

Hagiwara Y, Narita T, Shioda Y, Iwasaki K, Ikeda T, Namaki S and Salinas TJ. Current status of implant prosthetics in Japan: a survey among certified dental lab technicians. International Journal of Implant Dentistry 2015, 1:4 (17 February 2015) doi:10.1186/s40729-015-0005-3（査読有）

〔学会発表〕（計1件）

成田達哉, 塩田洋平, 池田貴之, 岩崎圭祐, 萩原芳幸. 日本口腔インプラント学会専門医におけるインプラント補綴術式に関する調査. 日本口腔インプラント学会 第34回近畿北陸支部学術大会. 平成27年2月1日, 京都大学百周年時計台記念館（京都府京都市）

〔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

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

萩原 芳幸 (HAGIWARA, Yoshiyuki)

日本大学・歯学部・准教授

研究者番号：00228389