

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K09993

研究課題名（和文）パターン認識技術を応用したインプラント体判別システムの開発

研究課題名（英文）Development of an automatic implant identification system using pattern recognition technology

研究代表者

若林 一道（Wakabayashi, Kazumichi）

大阪大学・歯学部附属病院・助教

研究者番号：50432547

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、パターン認識技術を応用したインプラント体判別システムの開発を目的とし、インプラント体のSTLデータを用いる方法を考案した。

3種類のインプラントシステムに対し、68,688枚の人工エックス線画像を生成後、トレーニングデータセット(n=61,819, 90%)をGoogle Inception v3に学習させた。そして、295枚の実際のエックス線写真を収集後、AIおよび、歯科医師3名に識別させた。その結果、識別精度は歯科医師の方が高かったが、識別時間はAIが最も早かった。

本手法は、深層学習において問題となるエックス線画像の収集に対し、新たな解決方法となる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

新たなインプラント体が日々開発され患者に用いられているが、メーカーの違いのみならず、同一メーカーにおいても、その種類、構造は多岐にわたっている。さらには、インプラントの追加埋入や再治療が必要となった際、患者から埋入されているインプラント体の情報を引き出すことが困難となっている状況にも遭遇する。そのため、より簡便かつスピーディーにインプラント体を識別可能なシステムの開発は、喫緊の課題である。

本研究で開発したシステムは、インプラント体のSTLデータから人工的に生成したデンタルエックス線画像を利用することで、深層学習において問題となる学習データの収集に対し、新たな解決方法となる可能性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to Development of an automatic implant identification system using pattern recognition technology, and a new method using STL data of implants was devised. For each of the three implant systems, 22,896 artificial X-ray images, a total of 68,688 images were generated. And the training dataset (n=61,819, 90%) were used for training on Google Inception v3. After collecting 295 actual X-ray images of patients, the AI and three dentists identified implants. As a result, the identification accuracies of three dentists were higher than that of AI, but the identification time of AI was much higher than those of dentists. It was suggested that this method may provide a new solution to the problem of collecting X-ray images in deep learning.

研究分野：歯科補綴学

キーワード：インプラント 自動認識 AI

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

インプラント治療は欠損補綴治療として有効な治療法であり、一般歯科診療においても広く用いられている（図1）。長期的に良好な予後を得るためには、日常的な口腔衛生の励行や、定期検診によるメンテナンスが重要であるとの説明が歯科医師よりなされる。平成23年度歯科疾患実態調査ではわが国の35歳以上のインプラント装着状況は2.7%であり、2016年には7.0%と日本人の成人約100人に7人がインプラント治療を受けていることになる。



図1. インプラント治療後のレントゲン画像

そのような歯科医療環境の中、インプラントは、日々新たに開発されている。現在、世界には500社以上のインプラントメーカーが存在し、4,000種類以上のインプラントシステムが市場に出回っていると言われている。このように、多くの、異なる形状のインプラントシステムが患者に用いられる今日、インプラント体を判別し、専用のドライバーなど準備することが、通常の臨床の中で、より一層困難となっている（図2）。さらに、かかりつけ医院が閉院しているなど、患者からインプラントの情報を引き出すことが極めて困難となっている状況も認められる。さらには、インプラント体はメーカーの違いのみならず、同一メーカーにおいても、その種類、構造は多岐にわたっている。

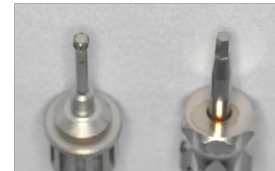


図2. インプラントの種類によりドライバーの形態も異なる。

そのため、将来の歯科医療環境において、より簡便かつスピーディーにインプラント体を判別するシステムの開発は喫緊の課題であると考えられる。この課題を解決する方法の一つとして、人工知能の一分野であるディープラーニングがインプラントの自動識別に応用されている。ディープラーニングは、人工ニューラルネットワークを用いて、学習画像から特徴を「学習」し、自動的に分類を行うものである。ディープラーニングにおいて、高い特徴抽出能力を得るためには、大量の注釈付き学習画像が必要である。これまでの研究では、実際のインプラントのX線画像を収集し、トレーニングデータセットとして使用しているが、この方法は倫理的な問題から、多くの手間や時間が必要である。さらに、稀にしか使われないインプラントシステムでは、根本的にX線写真は収集が困難である。そのため、AIを用いたインプラント体の自動認識のためには、臨床的に多く用いられていないインプラント体であっても、AIの学習用のX線画像を、倫理的な問題なしに大量に収集できる方法が求められる。

### 2. 研究の目的

本研究では、インプラント体の画像情報および三次元情報を用い、歯科用X線画像上のインプラント体のAIによる画像認識、および画像情報と三次元データとをマッチングさせることにより、より精度の高い、インプラント体のメーカーや種類を判別するためのシステムの構築を目的とした。今回、インプラント体のSTLデータを用いて、人工的にデンタルX線画像を生成する方法を考案した。そして、AIによるインプラント体の識別を行い、その精度について評価した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 実験1

画像作成には、下記の83個の歯科用インプラント（Institut Straumann AG, Basel, Switzerland）のSTLデータを用いた（図3、図4）。

BLシステム：直径3.3、4.1、および4.8 mm、長さ8、10、12、および14 mm

BLTシステム：直径3.3、4.1、4.8 mm、長さ8、10、12、14、16、および18 mm

TLシステム：直径3.3、4.1、4.8 mm、長さ6、8、10、12、14、および16 mm

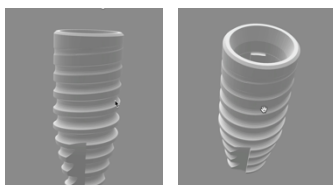


図3. インプラント体のSTLデータ

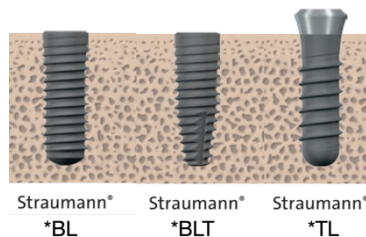


図4.3 種類のインプラントシステム

そして、オープンソースの画像処理レンダラー Mitsuba 2 (<https://github.com/mitsuba-renderer/mitsuba2>) を用いて、インプラント体の人工X線画像を自動作成した。実際のX線画像から得られるインプラントは、位置、透過率、輝度、背景などが異なるため、作成に際し、X線画像に多様性を持たせるために、x/z面、y/z面、z軸回転、x軸、y軸、z軸、平行移動、拡大、モル吸収係数、放射強度を変化させた。

## (2) 実験 2

実験 1 の方法を用い、3 種類のインプラントシステムについて、各 22,896 枚、計 68,688 枚の人工的デンタル X 線画像を生成した。そして、3 種類の深層学習モデル Lenet、Midsize、Google Inception v3 に学習させた。評価用として、大阪大学歯学部学附属病院から 3 種類のインプラントシステムが含まれるデンタル X 線画像 295 枚を収集し、学習モデル間の差について評価した。さらに、歯科医師との識別精度を差についても評価を行った。インプラント埋入経験がある歯科医師 3 名に、デンタル X 線写真をタブレットで示し、3 種類のどのインプラントシステムかを回答させた。(大阪大学歯学部附属病院 倫理審査委員会番号 11000078 承認番号 R3-E14)

## 4. 研究成果

### (1) 実験 1

本手法を用いることで、インプラント体の人工 X 線画像を、約 7~21 秒/枚で生成することができた。加えて、本手法は STL データを用いているため、倫理的な問題を生ずることなく、画像を取得することが可能となった(図 5)。

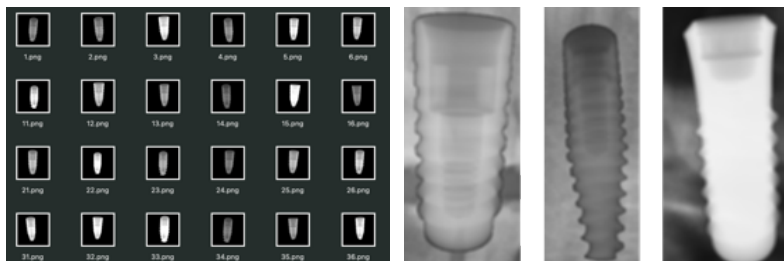


図 5. 三次元データを用い作成した、擬似的な X 線画像

### (2) 実験 2

Lenet、Midsize、Google Inception v3 では Google Inception v3 が最も識別精度が高かった(図 6)。そのため、Google Inception v3 と歯科医師 3 名との識別精度を比較した結果、それぞれ 92.5 %、98.3 %、99.3 %、98.6 % で、歯科医師の方が高かったが、識別速度は AI が 70~100 倍速かった(図 7)。一方、誤認識について、本研究で開発したインプラント体自動識別システム、および、歯科医が誤って識別した画像を示す。撮影時の X 線フィルムの変形によりインプラント体が歪んでいる画像や、上部構造が装着された状態の画像は、本システム、歯科医師ともに、識別するのが困難であった(図 8 a: 認識システムが誤認識した X 線画像 b: 歯科医師が誤認識した X 線画像)。また、X 線照射量や強度の問題により、不鮮明となった画像も誤認識された(図 8 c)。そのため、本システムの識別精度を向上させるためには、

- 1) デンタル X 線フォルダを使用し、X 線フィルムの変形を防ぐ。
  - 2) 可及的にインプラント体と平行に撮影し、インプラント体の特徴を明瞭に撮影する。
  - 3) X 線の照射量や強度について検討する。
- などを、行う必要があるものと考えられた。

	正解枚数	識別精度
Lenet	265 枚	89.83 %
Midsize	263 枚	89.15 %
Google Inception v3	273 枚	92.54 %

図 6. 3 種類の AI の識別精度

	インプラント埋入経験年数	認識精度	識別に要した時間
Google Inception v3	/	92.5 %	6秒
歯科医師 1	1 年	98.3 %	9分43秒
歯科医師 2	5 年	99.3 %	7分 0秒
歯科医師 3	6 年	98.6 %	7分39秒

図 7. Google Inception V3 と 3 名の歯科医師との比較

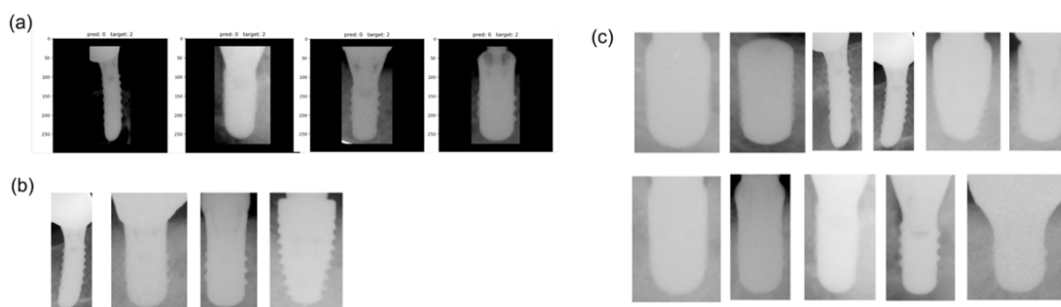


図 8. 本システムおよび歯科医師が誤って識別したインプラント画像

AI を用いたインプラント体の識別システムに関する研究が行われるようになってきているが、他の研究では、患者の X 線画像を用いて画像認識を行なっている。その場合、個人情報の観点により、AI の学習に必要なデンタル X 線の収集に制限が生じる、用いられる頻度の少ないインプラント体では、X 線写真の枚数が少なくなるといった問題がある。本研究では個人情報の観点から、加えて、新しいインプラント体が開発された際の速やかなアップデートができるようにインプラント体の三次元データを用い、擬似的な X 線画像を生成し、その画像を用いることを特徴としている。今後は、本研究に参画可能なインプラントメーカーの数を増やすように努め、多様なインプラント体を判別できるようにすることで、より実用的なシステムへとなるように研究を進めていきたいと考えている。

本研究により、インプラント体の STL データから人工的に生成したデンタル X 線画像、および、深層学習はインプラントシステムの識別に有用であるものと考えられた。そして、本手法は、深層学習における、学習データ不足や個人情報に関する問題を解決するために有効であり、かつ、X 線画像とのパターン認識にも応用可能であるものと考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Wang Z, 若林一道, 中野 環, 中島悠太, Li Chenhao, 長原 一, 田宮紳吾, 石垣尚一
2. 発表標題 STLデータから生成した人工X線画像を深層学習に応用したインプラント体自動識別システムの開発
3. 学会等名 第52回公益社団法人日本口腔インプラント学会学術大会（名古屋）
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Wang Z, Wakabayashi K, Nakano T, Nishiyama T, Tanaka M, Ji F, Namikawa M, Tamiya S, Kudo H, Nakashima Y, Li C, Nagahara H, Ishigaki S.
2. 発表標題 An automatic implant identification system using deep learning with artificial X-ray images generated from STL data
3. 学会等名 International Dental Materials Congress 2022, Taipei (Taiwan) (国際学会)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Wang Z, 若林一道, 中野 環, 中島悠太, Li Chenhao, 長原 一, 田宮紳吾, 西山貴浩, 石垣尚一
2. 発表標題 STLデータから生成した人工X線画像と深層学習を応用したインプラント体自動識別システムの開発
3. 学会等名 大阪大学歯学会第134回例会（大阪）
4. 発表年 2022年～2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	中村 隆志  (Nakamura Takashi)  (20198211)	大手前女子短期大学・ライフデザイン総合学 科・教授    (44416)	

## 6. 研究組織 (つづき)

	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	中野 環  (Nakano Tamaki)  (40379079)	大阪大学・大学院歯学研究科・助教    (14401)	

	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 協力者	王 展越  (Wang Zhanyue)	大阪大学・大学院歯学研究科・大学院生   (14401)	
研究 協力者	長原 一  (Nagahara Hajime)	大阪大学・データピリティフロンティア機構・教授   (14401)	
研究 協力者	中島 悠太  (Nakashima Yuta)	大阪大学・データピリティフロンティア機構・准教授   (14401)	
研究 協力者	李 辰昊  (Li Chenhao)	大阪大学・データピリティフロンティア機構・大学院生   (14401)	
研究 協力者	石垣 尚一  (Ishigaki Shoichi)	大阪大学・大学院歯学研究科・准教授   (14401)	
研究 協力者	西山 貴浩  (Nishiyama Takahiro)	大阪大学・大学院歯学研究科・研究生   (14401)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	田宮 紳吾  (Tamiya Shingo)	大阪大学・大学院歯学研究科・研究生  (14401)	
研究協力者	並河 雅也  (Namikawa Masaya)	大阪大学・大学院歯学研究科・研究生  (14401)	
研究協力者	姫 芳芳  (Ji Fang Fang)	大阪大学・大学院歯学研究科・大学院生  (14401)	
研究協力者	田中 美裕  (Tanaka Miyu)	大阪大学・大学院歯学研究科・大学院生  (14401)	

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