

学 位 論 文

論文題目 CAD デザインにおける AI プログラムの開発

小山田 真一郎

大学院歯学独立研究科 顎口腔機能制御学講座
(主指導教員:増田 裕次 教授)

松本歯科大学大学院歯学独立研究科博士(歯学)学位申請論文

Title Development of AI programs in CD design

Shinichiro Oyamada

Department of Oral & Maxillofacial biology, Graduate School of Oral Medicine
(Chief Academic Advisor : Professor Yuji Masuda)

The thesis submitted to the Graduate School of Oral Medicine,
Matsumoto Dental University, for the degree Ph.D. (in Dentistry)

【背景と目的】

近年歯科医療界においては、歯科技工士数の不足が問題になっている。そのような状況であっても、各患者に適した技工物を提供するため、歯科技工士に対してのコンピュータ支援システムが考えられ始めた。しかし、コンピュータが設計する歯冠形態は未だ不十分であり、補綴物の形態を1つ1つ歯科技工士がデザインしなければならない。そこで、Artificial Intelligence (AI) に歯科技工士がデザインした歯冠形態を学習させ、適切なCAD/CAMセラミッククラウンを作製するための歯冠形態をAIがデザインできるシステムを確立することを目的とする。

【材料と方法】

関東地区の歯科医院から集められた左上5番の模型をDSデンタルスタジオ株式会社のスキャナーで取り込み、画像ファイル(STLファイル)として保存する。その模型の画像を基に、コンピュータ支援設計(CAD)がデザインした歯冠形態を、歯科技工士が歯の傾きと外形、咬頭の高さ、咬合面の形態、コンタクトを修正する。修正された形態をAIに学習させると、AI機能であるGenerative Adversarial Network (GAN)のPix2PixのGeneratorは、歯冠形態を設計する。このAIが設計した歯冠形態と歯科技工士が設計した形態を、Pix2PixのDiscriminatorが評価し歯科技工士が設計した形態をさらに学習していく。

そこで最初に、2,300パターン学習させたのち、同じ模型10個に対して歯科技工士が設計した歯冠形態とAIが設計した歯冠形態の近遠心径、頬舌側径、舌側歯冠長、頬側歯冠長、咬頭間距離を測定し、比較検討した。その後、10,000パターン学習させたのち、模型15個に対して歯科技工士が設計した歯冠形態とAIが設計した歯冠形態の近遠心径、頬舌側径、舌側歯冠長、頬側歯冠長、咬頭間距離、歯頸部からコンタクトポイントまでの距離を測定し、比較検討した。これらの距離は、CADソフトウェアの2D断面測定ツールで測定し、Wilcoxon符号付き順位検定を用い両者を比較した。

【結果】

歯科技工士が設計した歯冠形態と2,300パターン学習したAIが設計した歯冠形態の近遠心径、頬舌側径、舌側歯冠長、頬側歯冠長、咬頭間距離(mm)の中央値は、それぞれ(技工士:AI)、6.86 : 6.87、9.76 : 9.80、5.04 : 4.93、7.06 : 6.93、6.55 : 6.59であり、近遠心径($p<0.005$)と頬側歯冠長($p<0.05$)に有意差が認められた。

10,000パターン学習した後の歯冠形態の近遠心径、頬舌側径、舌側歯冠長、頬側歯冠長、咬頭間距離、近心コンタクトポイント長、遠心コンタクトポイント長(mm)の中央値は、それぞれ(技工士:AI)、6.86 : 6.83、9.93 : 9.58、5.50 : 5.38、7.63 : 7.78、6.80 : 6.38、3.31:3.23、3.21:3.19であり、両者の間に有意差は認められなかった。

【結論】

2,300パターン学習させたAIが設計した歯冠形態は、歯科技工士が設計した歯冠形態より、近遠心径が大きくなり、頬側歯冠長が小さくなるが、10,000パターン学習させたAIが設計した歯冠形態は、歯科技工士が設計した形態と相違がなかった。このような結果から、歯冠形態のデザインをAIに任せるためには10,000パターンの学習が必要であることが示唆された。

緒言

近年、健康を維持するには、可能な限り歯を残し、口腔の正常な機能を保持することが重要だといわれている¹⁾。そのような社会の中、歯科疾患の予防に力がそそがれるようになったが、歯冠部を修復するための技工物を製作する歯科技工士数は、15年前から35,000人前後と横ばい状態である。その上、現在の歯科技工士の半数以上が50歳以上であり、歯科技工士を目指す若者の割合も減っている。少子化の中、閉校を決断する技工士養成学校も増加しているため、この先の歯科技工士数は、急速に減少することが予想される。このような歯科業界の大きな不安に対して、離職率を低下させるための対策や歯科技工士学校入学者の確保、女性歯科技工士の働きやすい環境を構築する等の対応がなされている²⁾。

その一方で、技工操作を機械に任せることが考えられ始めた。それは、技工の一部を機械化するCAD/CAM (computer-aided design / computer-aided manufacturing) 導入³⁾、すなわち、コンピューター支援による歯科技工工程の自動化である。これまでの歯科技工の基本は、手指による印象採得、作業用模型の作製、ワックスアップからの鋳造冠等の作製が行われていた。CAD/CAM システムは、スキャナーで取り込んだ作業用模型のデータから CAD ソフトが修復装置を設計し、そのデータが切削加工装置 (CAM 機) に送られ、補綴装置を切削加工する操作 (CAM) である。多くの国民が、歯の色や歯列等による審美的な要素を求めるようになったため⁴⁾、2014 年の診療報酬改定により CAD/CAM システムで作製された小臼歯の CAD/CAM 冠が健康保険に適用された。その後、ハイブリッドレジンブロックでの切削加工による補綴物の作成が急速に拡大してきた⁵⁾。このような状況の中、切削するブロックの材料学的研究が進み、高強度、高靱性を持つジルコニアの応用が可能となった⁶⁾。さらに環境も変化し、デザインソフトやミリングマシンを中心にクリーンな環境下で、安定的に制度の高い技工物の生産ができるようになった。

歯科用 CAD/CAM システムには、「自動 (ロボット) 型」「CAD 型」「倣い型」がある。多くは「CAD 型」で、スキャンした患者の模型を画像ファイルとして取り込むと、CAD が歯冠外形を表示する。その外形をコンピューター上で、歯科技工士が各部位、外形、咬合面、コンタクトポイント、歯頸部等を詳細に修正していき精密な形態を作り上げていく方法である⁷⁾。歯冠形態は、円や矩形など簡

単な形状はほとんど存在せず、自由表面の連続であるため、既製の形から個人特有の歯の形に合わせた形態をイメージするのは難しく、歯科技工士が修正する部位は多い⁷⁾のが現状である。この操作は、熟練された歯科技工士でさえ 10 分かかり、慣れていない歯科技工士であれば 20 分以上を要する。人材確保が難しくなる将来のために、この時間を短縮するとともに、歯科技工士の労力を軽減する必要がある。そこで、CAD/CAM のデザインを Artificial Intelligence (AI) に任せる取り組みが始まった^{8, 9)}。AI として用いる pix2pix は、Conditional Generative Adversarial Network (cGAN)の一部として機能し、Generator (生成器) と Discriminator (識別器) の 2 つの部分から構成されている。生成器は模型の画像を変換して出力画像を生成し、識別器はその出力画像が正解のデータか生成器によって生成されたものかを判別する。さらに、生成器が生成した画像が、歯科技工士が設定した形態のデータに近いかを評価して学習していく。この学習を通して、生成器はより現実的で信頼性の高いデータを生成するようになる。このようなシステムを利用して、AI プログラムが各患者に適した歯冠形態を自動でデザインするようになるまで、学習をさせなくてはならない。今後、歯科技工士数が減少しても、歯科治療における患者へのサービス・質の向上を保つためには、デジタル機器を用いた技工物の製作をより早くできるようにシステムを制御していかななくてはならない。

そこで、本研究では、この識別器に歯科技工士が作成した歯のデータを学習させ、AI のデザインする形態が、経験豊富な歯科技工士がデザインする形態と同様なデザインを導くために必要な学習量を調べた。

対象と方法

1. 対象

① 対象部位

CAD/CAM 冠が最初に保険適応となった小臼歯部のうち上顎左側第二小臼歯を対象とした。

② 患者の模型

まず、DS デンタルスタジオ株式会社 (海浜幕張、千葉) の取引先歯科医院 300 箇所からの計 2300 個 (男性 982 個、女性 1318 個 : 年齢 19~90 歳) の模型での歯冠形態を学習させた。次に、さらに 7700 個追加し、計 10,000 個 (男性 4,256

個、女性 5,744 個：年齢 18～93 歳）の模型での歯冠形態を学習させた。各歯科医院で作られた模型は営業マンが車で運搬するか、DS デンタルスタジオの技工所に宅急便で配送され、同技工所 CAD ルーム内において操作を実施した。

2. CAD デザインの工程

模型をスキャナー（3D スキャナーD900、3 S H A P E 社製）にセットし（図 1-A）、上顎の模型、下顎の模型、咬合関係をスキャンして取り込む（図 1-B, C, D）。コンピューター支援設計（CAD）がデザインした形態（図 2-A）を、歯科技工士が手作業で歯の傾き、咬頭の高さ、咬合面の形態、コンタクトを修正し（図 2-B, C, D, E）完成させる（図 2-F）。この作業は、経験年数 5～20 年の歯科技工士 15 名が担当した（経験 5～10 年の技工士 9 名、経験 11～15 年の技工士 4 名、経験 16～20 年の技工士 2 名）

3. AI 学習プロセス

歯科技工士が CAD を用いてデザインした形態のデータ（学習モデル）を、Generative Adversarial Network（GAN）の一種である pix2pix に学習をさせた。これは、生成モデルと識別モデルを競争的に学習する機能で、生成モデルはデータの分布を学んでいき、識別モデルはデータが生成モデルによって生成されたものか学習モデルかを判別する。このように学習モデルを学習させていき、その後 AI が作成したデザイン（図 3）と歯科技工士が設計した形態のデザインを比較して、さらに学習していく（表 1）。

4. 評価部位および方法

評価部位は、2300 パターン学習させたのちの 10 症例は近遠心径、頬舌側径、舌側歯冠長、頬側歯冠長、咬頭間距離とした。10,000 パターン学習させた後の 15 症例は、上記の測定部位に歯頸部から近心コンタクトポイントと遠心コンタクトポイントまでの高さを追加した。近遠心径は、近心と遠心の最大膨隆部の 2 点間距離（図 4-A）、頬舌側径は、頬側と舌側の最大膨隆部の 2 点間距離（図 4-B）、舌側歯冠長は舌側咬頭頂と歯頸部の距離（図 4-C）、頬側歯冠長は頬側咬頭頂と歯頸部の距離（図 4-D）、舌側歯冠長は舌咬頭頂と歯頸部の距離（図 4-E）とした。

それらは、CAD ソフトウェア内で提供されている機能の一つである 2 断面測定ツールを用いた、3D モデル上の任意の 2 点間の直線距離とし、CAD のデザインと AI のデザインのそれぞれの測定距離を比較検討した。

5. 統計

歯科技工士と AI が設計した歯の形態の近遠心径、頬舌側径、舌側歯冠長、頬側歯冠長、咬頭間距離、歯頸部から近心コンタクトポイントと遠心コンタクトポイントまでの高さを、Wilcoxon 符号付き順位検定を用いて両群を比較検討した。これらの解析は、SPSSver. 23 を使用し有意水準をすべて 5%とした。

結 果

1) 2,300 パターンの学習

歯科技工士が設計した歯冠形態の近遠心径の中央値は 6.86mm、AI が設計した歯冠形態の近遠心径の中央値は 6.87mm であり、AI の設計した形態の方が有意に大きかった ($p<0.005$) (図 5-A)。

歯科技工士が設計した歯冠形態の頬舌側径の中央値は 9.76mm、AI が設計した歯冠形態の頬舌側径の中央値は 9.80mm であり、両者の間に有意差は認められなかった (図 5-B)。

歯科技工士が設計した歯冠形態の舌側歯冠長の中央値は 5.04mm、AI が設計した歯冠形態の舌側歯冠長の中央値は 4.93mm であり、両者の間に有意差は認められなかった (図 5-C)。

歯科技工士が設計した歯冠形態の頬側歯冠長の中央値は 7.06mm、AI が設計した歯冠形態の頬側歯冠長の中央値は 6.93mm であり、AI の設計した形態の方が有意に小さかった ($p<0.05$) (図 5-D)。

歯科技工士が設計した歯冠形態の咬頭間距離の中央値は 6.55mm、AI が設計した歯冠形態の咬頭間距離の中央値は 6.59mm であり、両者の間に有意差は認められなかった (図 5-E)。

2) 10,000 パターン学習

歯科技工士が設計した歯冠形態の近遠心径の中央値は 6.86mm、AI が設計した歯冠形態の近遠心径の中央値は 6.83mm であり、両者の間に有意差は認められなかった (図 6-A)。

歯科技工士が設計した歯冠形態の頬舌側径の中央値は 9.93mm、AI が設計した歯冠形態の頬舌側径の中央値は 9.58mm であり、両者の間に有意差は認められなかった（図 6-B）。

歯科技工士が設計した歯冠形態の舌側歯冠長の中央値は 5.50mm、AI が設計した歯冠形態の舌側歯冠長の中央値は 5.38mm であり、両者の間に有意差は認められなかった（図 6-C）。

歯科技工士が設計した歯冠形態の頬側歯冠長の中央値は 7.63mm、AI が設計した歯冠形態の頬側歯冠長の中央値は 7.78mm であり、両者の間に有意差は認められなかった（図 6-D）。

歯科技工士が設計した歯冠形態の咬頭間距離の中央値は 6.80mm、AI が設計した歯冠形態の咬頭間距離の中央値は 6.38mm であり、両者の間に有意差は認められなかった（図 6-E）

歯科技工士が設計した歯冠形態の近心コンタクトポイント長の中央値は 3.31mm、AI が設計した歯冠形態の近心コンタクトポイント長の中央値は 3.23mm であり、両者の間に有意差は認められなかった（図 6-F）

歯科技工士が設計した歯冠形態の遠心コンタクトポイント長の中央値は 3.21mm、AI が設計した歯冠形態の遠心コンタクトポイント長の中央値は 3.19mm であり、両者の間に有意差は認められなかった（図 6-G）

考 察

近年、IT、ネットワーク技術の発展が目覚ましく、歯科業界でも 2009 年、先進医療として「歯科用 CAD/CAM を用いたハイブリッドレジンによる歯冠修復物（CAD/CAM 冠）」が開始された。そして、2014 年には小臼歯の CAD/CAM 冠が保険適応となり、2016 年に歯科用金属による金属アレルギー患者に限り大臼歯も保険適応になった。さらに、2020 年、前歯部にも保険が適応されることになり、デジタル化を通して作製された CAD/CAM 冠が、日常臨床に使用されるようになった。

歯科用 CAD/CAM システム、すなわちコンピューター支援設計・製作システムは、コンピューターによる数値情報を用いて支台歯を三次元計測し、歯冠形態の設計を行う CAD システムと、使用材料を設定し加工装置のプログラミングを行う CAM システムにより補綴物の製作を行う一連のシステムである¹⁰⁾。このシステムは、診療室で患者の支台歯の印象をとり、作業用模型を作成したのち、技工室でその模型の画像を取り込む。CAD ソフトがその画像の支台歯に合う補綴物の外形を設計するので、それを歯科技工士がコンピューターの画面上で歯冠形態、

咬合面、マージン等を修正していく「CAD 型」として開発された。その後、隣在歯や対合歯を自動的に計測して歯冠形態を設計して CAD/CAM 冠を製作する「自動型」のシステムが生まれた。これは、歯科学的な知識のデータベース (DB) や、解剖学的な歯冠の DB、歯科技工士がデザインした形態などを学習させた人工知能 (AI) の情報処理により自動的に形態を決定するシステムである。支台歯の模型画像があれば人手を煩わせることなく自動で計測、設計、加工できるシステムであるため、圧倒的に生産性が高いと考えられる。しかしながら、歯冠形態は各個人により異なり、各歯科医師による切削の方法やマージンの出し方も異なるため、多様な支台歯、歯列、咬合状態、すべてに適したモデルの作成は容易ではない。それらに対応するためには、AI に多くのパターンを学習させなくてはならない。このような学習は、いわゆる深層学習 (ディープラーニング) と言われ、脳神経細胞がシナプスでつながれている回線をイメージしてニューラルネットワークの 1 つとして考案された。ディープラーニングを重ねた AI を使用すれば、AI-CAD による作品の質が向上し、生産力はかなり上昇すると考えられる¹¹⁾。

本研究では、このようなシステムを用いて歯科技工士が作成した歯冠形態を AI に学習させ、AI が歯科技工士と同じ形態をデザインできるまで、学習をさせた。その結果、2,300 パターンを学習させた AI が設計した形態は、近遠心径において歯科技工士が設計したものより大きく、頬側歯冠長は AI が設計したものの方が歯科技工士の設計したものに比較して小さかった。これは、隣接歯がない模型や対合歯がない模型での形態も学習させてしまったために、AI がデザインした形態と歯科技工士が作成した形態の近遠心径と頬側咬頭の高さに相違が表れたと考えられる。このように、歯科技工士が設計する歯冠形態に近づけるには、2,300 では少ないと示唆された。ところが、10,000 個の多様な歯冠形態を学習させた後に AI がデザインした形態は、近遠心径、頬舌側径、舌側歯冠長、頬側歯冠長、咬頭間距離、歯頸部からの近心コンタクトポイントと遠心コンタクトポイントまでの高さにおいて、歯科技工士が設計するデザインと有意差がなかった。これらの結果から、AI に歯冠形態のデザインを任せるには、1 歯につき 10,000 パターンの学習をさせることが必要だと示唆された。

AI の研究が進み、保健医療分野の医用画像診断領域等での使用が試みられている^{12, 13)}。眼科疾患においては、眼底写真を 13 万枚ディープラーニングさせると緑内障・網膜症の診断が可能となり^{14, 15)}、皮膚科領域でも 13 万枚の皮膚疾患の画像を学習させると「メラノーマ」「良性腫瘍」などの診断ができたという¹⁶⁾。歯科領域¹⁷⁾では、パノラマエックス線写真 12,000 枚から疾患部 (う蝕、根尖病巣・歯石など) を AI に学習させると、歯科医師の診断に近い診断をするとの報告もある¹⁸⁾。アメリカでは、20 万を超える胸部 X 線写真の医用画像の DB を公開し、すべての人種や年齢にも対応できる AI 診断を推進しているが、正常・

異常のみの自動鑑別に必要な学習データ数は2万だと報告している^{19, 20)}。しかしながら、診断は、最終的には医師や歯科医師の責任となるため、AIの使用は慎重に扱わなければならない¹¹⁾。一方、技術面では、縫合手術の映像を78パターン学習させた「ダ・ヴィンチ」が手術中の縫合に成功している²¹⁾。企業でのAIの使用は、システムを作り上げるには1,000症例の学習、システム性能を向上させるには10,000症例、実用化を目指すには100,000症例の学習が必要であると報告されている⁸⁾。このような過去の報告から、今回、形態を学習するための症例を10,000症例としたのは妥当だと考えられる。補綴物であれば、セット時に歯科医師が咬合調整やコンタクトの調整をするため、高径が高すぎない限りAIが作成した補綴物で問題はない。今後、さらに多くのパターンをAIに学習させることにより、より精密な形をAIがデザインすると考えられる。しかし、本研究では学習結果として、歯冠形態を評価しており、マージン部の適合性については評価していない。マージン部を自動的に適合させるには現時点では限界があり、マージン部に関しては、歯科技工士の労力を要する。このように、現在のところは、未だ完全な自動化は難しいが、今回の結果から歯冠形態をAIにデザインさせることは可能と考えられる。

近年、小型カメラを口腔内にいれ、歯列を撮影し、画像を転送する技術が実用化されてきた。これは、印象採得が不要なため患者への負担は軽減され、技工所での模型のスキャン作業も不要となる。将来的には、口腔内から直接3次元データを採取し、それを基に直接法で補綴装置を作成するのが自然の流れかもしれない²²⁾。このように、歯科領域でのCAD/CAM技術は高度化しており、光学印象、CADソフトでの補綴物のデザインの流れで、切削加工による全部床義歯製作も可能となってきた。これにより、従来型の複雑なチェアーサイドの治療や技工工程を簡略化することができる²³⁾。歯科治療に必要な技工操作の一部を、コンピューターというテクノロジーで支援できるならば、歯科技工士不足の問題に及ぼすインパクトは大きい。患者1人1人に適した高品質、高精度の補綴装置を製作するには、完成設計、加工を全てコンピューターに任せるわけではなく、歯科技工士の様々な経験と適切な操作をCAD/CAMに応用することが理想である²⁾。AIに任せられる部分は任せ、歯科技工士の繊細さができない部分、いわゆる複雑な義歯の設計などは、歯科技工士の特化した仕事として引き続き必要とされる^{24, 25)}。そして近い将来、歯科技工物のディープランニングを通してCADが高度化し、歯科医師による調整が不要、あるいは軽度な調節程度で済む補綴物が完成することが期待できる²⁶⁾。

IT技術が歯科領域に普及してきた³⁾ 現在、それらを扱う歯学部教育や歯科技工士の教育、さらには歯科医療に携わる職種の教育及び実践を考えていかな

くてはいけない。チーム医療の促進と多職連携、質の高い医療、より良い歯科技工物の作成をするためには、共同での教育が望まれる^{27, 28)}。今後どのような IT 技術を身につけなければならないかを検討し、学校教育にも必要な情報処理講義を取り入れるべきである²⁹⁾。AI の開発により人間社会は大きく変容しつつある。人間が AI と共生していく上で重要なことは、AI システムを利用する保健医療従事者のみならず、医療サービスを受ける国民側の AI リテラシーも向上させなくてはならない³⁰⁾。

CAD/CAM 冠の需要が高まるとともに、ブロック材料の研究も進み、ブラッシングや咬合圧で摩耗しない強高度のジルコニアが応用されるようになった³¹⁾。良質な歯科医療を提供するには、補綴物の材質が均質で生体適合性が高いことが必要であるため、それを製作する装置の調整技術が高度化・標準化されることが求められる。今回の結果から、上顎第二小臼歯の形態は、10,000 パターン学習させると、AI が歯科技工士と同様の形態を作成できることが明確になった。この過程から、全歯を AI がデザインできるようになるためには、28 本の 1 本 1 本に対して、10,000 パターンの学習量が必要となるのだろう。さらに、補綴装置の寸法精度や適合精度を向上させる¹⁰⁾ ため、今後は、AI が作成する補綴物の適合性やマージンの精密さを調査しなければならない。このように、適合性がより確実なものとなれば、補綴物としては十分である。わが国の歯科医療が CAD/CAM 等のデジタル技術で、さらなる品質向上、効率化が図れるようにすること⁹⁾ は、近い将来、AI との共存で現実的なものとなるに違いない。さらなる、歯科技工現場の環境改善が、歯科業界全体に相乗効果を及ぼすことを期待したい。

結 論

2,300 パターン学習させた AI が設計した歯冠形態は、歯科技工士が設計した歯冠形態より、近遠心径が大きくなり、頬側歯冠長が小さくなるが、10,000 パターン学習させた AI が設計した歯冠形態は、歯科技工士が設計した形態と相違がない。このような結果から、歯冠形態を AI に任せるためには 10,000 パターンの学習が必要であることが示唆された。

参考文献

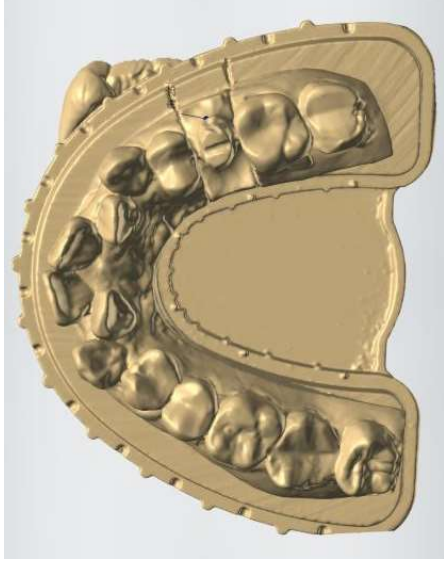
- 1) Saito S, Ohi T, Murakami T, Komiyama T, Miyoshi Y, Endo K, Satoh M, Asayama K, Inoue R, Kikuya M, Metoki H, Imai Y, Ohkubo T and Hattori Y (2018) Association between tooth loss and cognitive impairment in community-dwelling older Japanese adults: a 4-year prospective cohort study from the Ohasama study. *BMC Oral Health* **18**: 142.
- 2) 西村好美 (2016) CAD/CAMの臨床現状と変革. *日補綴会誌* **8**: 420-25.
- 3) 浅岡憲三 (2014) 先進歯科技術を支えるシステム材料工学. *日歯理工会誌* **33**: 331-8.
- 4) 宮崎 隆, 堀田康弘, 片岡 有, 藤島昭宏, 萩原玲奈 (2015) 保険適用 CAD/CAM システムの特徴. *日デジタル歯学誌* **5**: 11-6.
- 5) 新谷明一, 三浦賞子, 小泉寛恭, 疋田一洋, 峯 篤史 (2017) CAD/CAM冠の現状と将来展望. *日補綴会誌* **9**: 1-15.
- 6) Filser F, Kocher P, Weibel F, Lüthy H, Schärer P and Gauckler LJ (2001) Reliability and strength of all-ceramic dental restorations fabricated by direct ceramic machining (DCM). *Int J Comput Dent* **4**: 89-106.
- 7) 藤原稔久 (2001) ITを利用した歯科技工CAD/CAM戦略. *歯産学誌* **15**: 66-71.
- 8) 藤田広志 (2021) 医療 AI 技術の最前線と歯科における応用展開. *補綴臨床* **54**: 484-508.
- 9) 植木一範 (2018) デジタル技術や AI が導く歯科技工士と歯科衛生士の新しい職域の可能性. *明倫紀要* **21**: 3-7.
- 10) 佐藤 吉則, 秋山 逸馬, 大山 哲生, 瀧本 博至, 中壺 一介, 中島 伸一郎, 太田 彰人, 永井 栄一, 大木 一三, 西山 實 (1999) CAD/CAM システムの加工精度に関する研究 ―切削法が表面性状に及ぼす影響―. *日補綴会誌* **43**: 839-48.
- 11) 藤田広志 (2021) AI画像診断の全体像と将来の展望―医師を助ける“第三の目”―. *情報処理* **62**: E1-e8.
- 12) Gao Y, Geras KJ, Lewin AA and Moy L (2019) New Frontiers: An Update on Computer-Aided Diagnosis for Breast Imaging in the Age of Artificial Intelligence. *AJR Am J Roentgenol* **212**: 300-7.
- 13) 藤田広志 (2019) 医用画像診断領域における AI 応用. *The lung perspectives* **27**: 51-9.
- 14) Gulshan V, Peng L, Coram M, Stumpe MC, Wu D, Narayanaswamy A, Venugopalan S, Widner K, Madams T, Cuadros J, Kim R, Raman R,

- Nelson PC, Mega JL and Webster DR (2016) Development and Validation of a Deep Learning Algorithm for Detection of Diabetic Retinopathy in Retinal Fundus Photographs. *JAMA* 316: 2402-10.
- 15) Poplin R, Varadarajan AV, Blumer K, Liu Y, McConnell MV, Corrado GS, Peng L and Webster DR (2018) Prediction of cardiovascular risk factors from retinal fundus photographs via deep learning. *Nat Biomed Eng* 2: 158-64.
 - 16) Esteva A, Kuprel B, Novoa RA, Ko J, Swetter SM, Blau HM and Thrun S (2017) Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature* 542: 115-8.
 - 17) Kwon D, Ahn J, Kim CS, Kang DO and Paeng JY (2022) A deep learning model based on concatenation approach to predict the time to extract a mandibular third molar tooth. *BMC Oral Health* 22: 571.
 - 18) medhome (2018) 歯科エックス線における診断 AI の開発 ～ 医師と比較し、診断速度は約 6000 倍 ～. メディホーム プレスリリース.
 - 19) Jared A. Dunnmon, Darvin Yi, Curtis P. Langlotz, Christopher Ré, Daniel L. Rubin, and Matthew P. Lungren (2019) Assessment of Convolutional Neural Networks for Automated Classification of Chest Radiographs. *Radiology* 290: 537-44.
 - 20) Haibe-Kains B, Adam GA, Hosny A, Khodakarami F, Waldron L, Wang B, McIntosh C, Goldenberg A, Kundaje A, Greene CS, Broderick T, Hoffman MM, Leek JT, Korthauer K, Huber W, Brazma A, Pineau J, Tibshirani R, Hastie T, Ioannidis JPA, Quackenbush J and Aerts HJWL (2020) Transparency and reproducibility in artificial intelligence. *Nature* 586: E14-E16.
 - 21) Jourdes F, Valentin B, Allard J, Duriez C and Seeliger B (2022) Visual Haptic Feedback for Training of Robotic Suturing. *Front Robot AI* 9: 1-15.
 - 22) 堀田康弘 (2021) 口腔内スキャナに使われる三次元光計測法の基礎知識. *日補綴会誌* 13: 201-8.
 - 23) 金澤学, 岩城麻衣子, 荒木田俊夫, 水口俊介(2017)CAD/CAM 技術を応用した全部床義歯. *日補綴会誌* 9: 236-41.
 - 24) 間瀬俊明, 藤原敏久 (2015) 歯科用3D-CAD/CAMシステムの現状と今後について. *精密工学会誌* 81: 225-9.
 - 25) 木村健二 (2020) 技工士におけるデジタルワークへの取り組み. *日歯理工会誌* 39: 58-63.

- 26) 藤田広志(2019)AI を用いたコンピュータ支援検出/診断システム (AI-CAD) における FDA の規制動向. RSMP **9**: 37-42.
- 27) Takeuchi Y, Koizumi H, Imai H, Furuchi M, Takatsu M and Shimoe S (2022) Education and licensure of dental technicians. J Oral Sci **64**: 310-4.
- 28) Jurado CA, Tsujimoto A, Punj A, Aida N, Miyazaki M and Watanabe H (2021) Successful development and implementation of a digital dentistry curriculum at a US dental school. J Oral Sci **63**: 358-60.
- 29) 河合達志, 林達秀, 堀 美喜 (2021) 歯科理工学におけるデジタルテクノロジー教育. 日歯理工会誌 **40** : 147-52.
- 30) 大西浩文 (2023) 保健医療分野における AI の活用. 薬学図書館 **68**: 53-8
- 31) Ishida Y, Miura D and Shinya A (2022) Influence of toothbrush abrasion on the surface characteristics of CAD/CAM composite resin blocks with shade gradations. Dental Materials Journal **42**: 193-8.



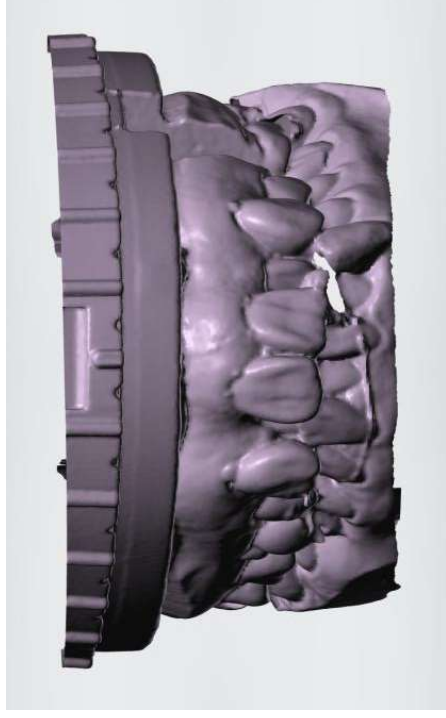
A. 模型をセット



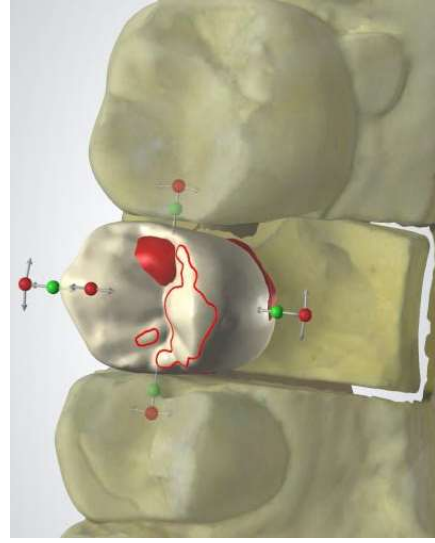
B. 上顎模型の画像



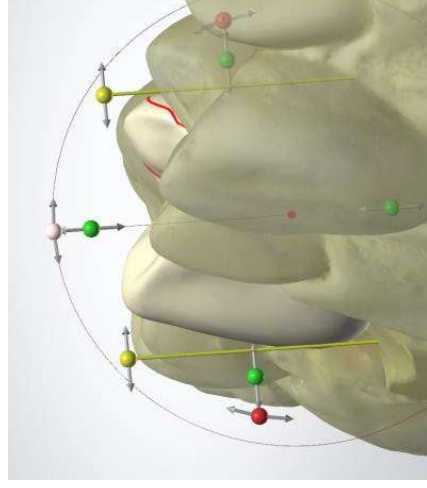
C. 下顎模型の画像



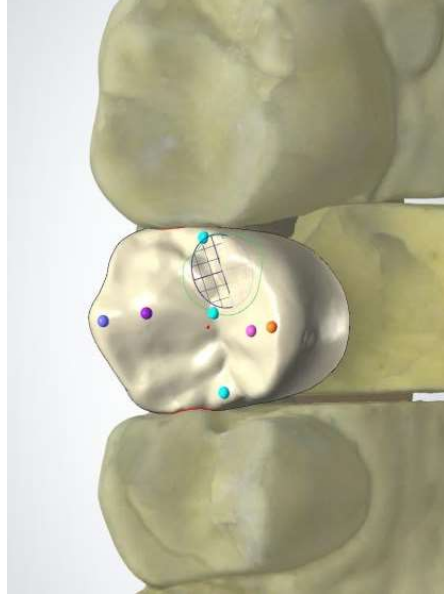
D. 咬合関係の画像



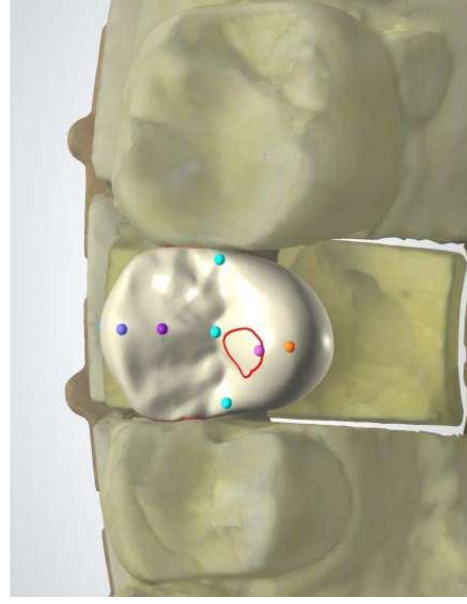
A. CADからの形態



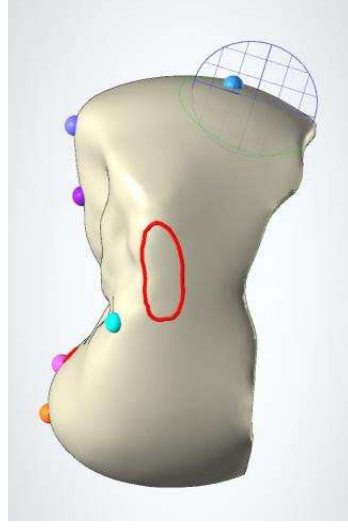
B.傾きの修正



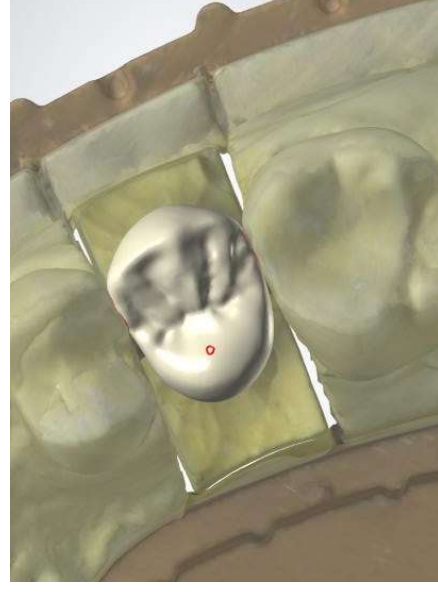
C.咬頭の修正



D.咬合面の修正



E.コンタクトの修正

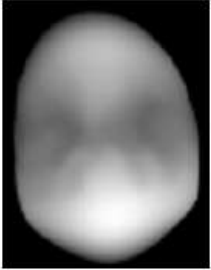

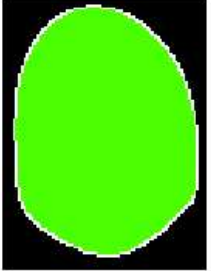
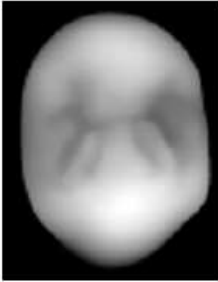

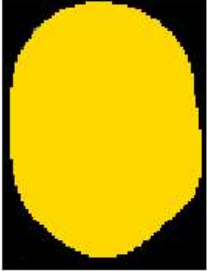

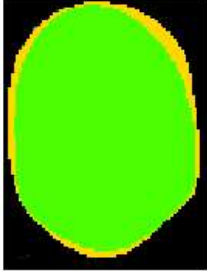


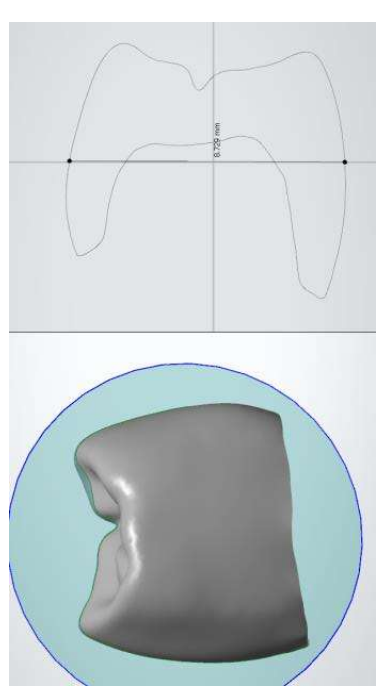
F. 完成



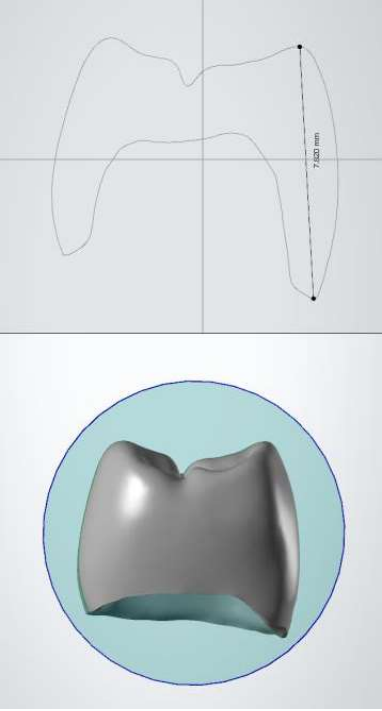
図 3. AIによるデザイン

表 1 : AI と技工士が作成した歯冠形態の相違

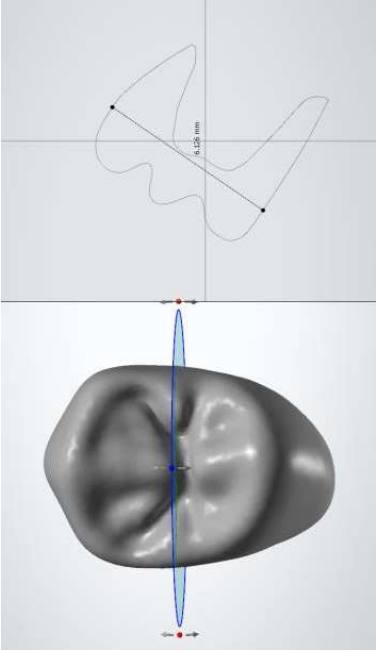
	歯冠	高さ	シエープ
AI が設計したモデル			
教師モデル			
AI が設計したモデル と教師モデルの比較		 RMSE = 2.1mm (黄色部分の高さ - 青色部分の高さ)	 IOU = 96% (青色部分の面積 / 黄色部分の面積)



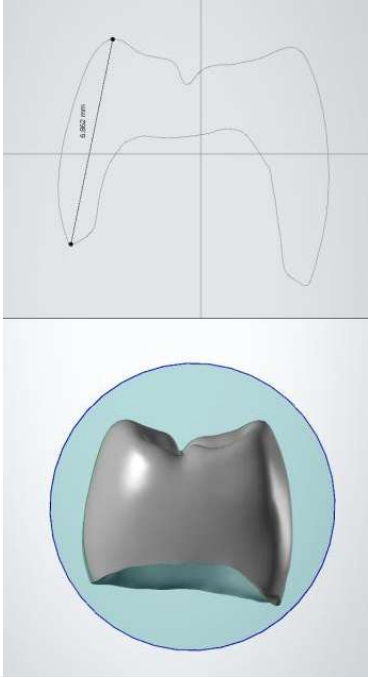
B. 頬舌側径



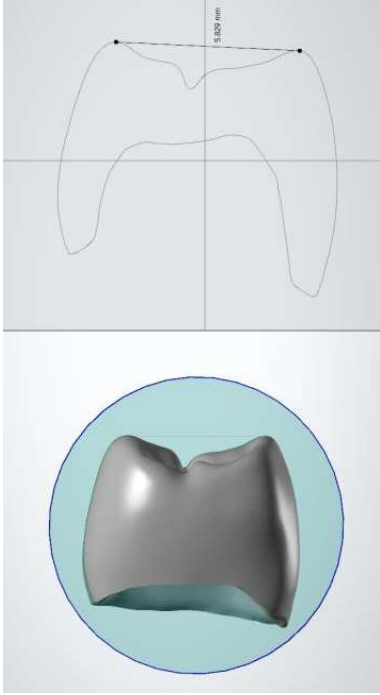
D. 頬側齒冠長



A. 近遠心径

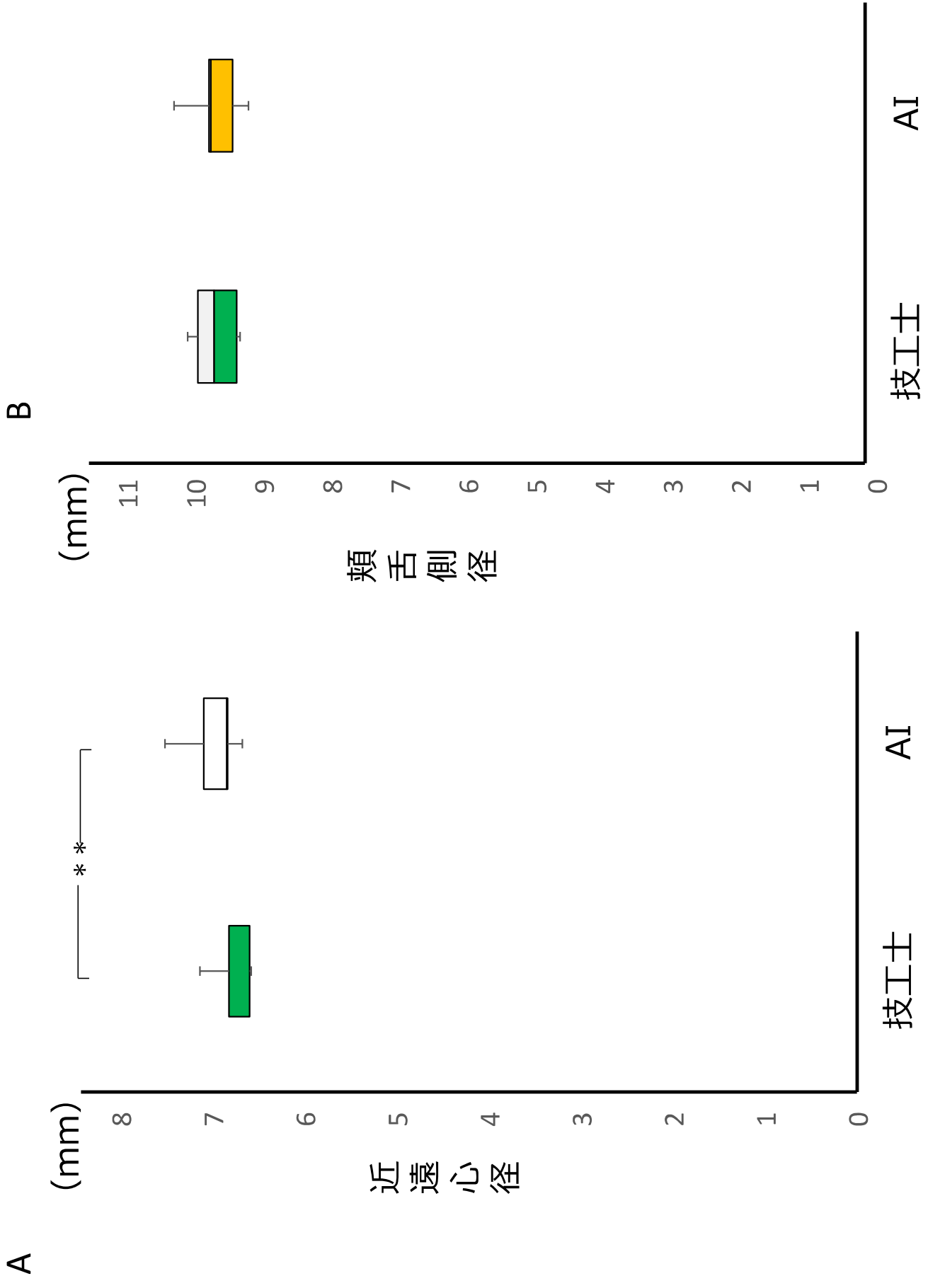


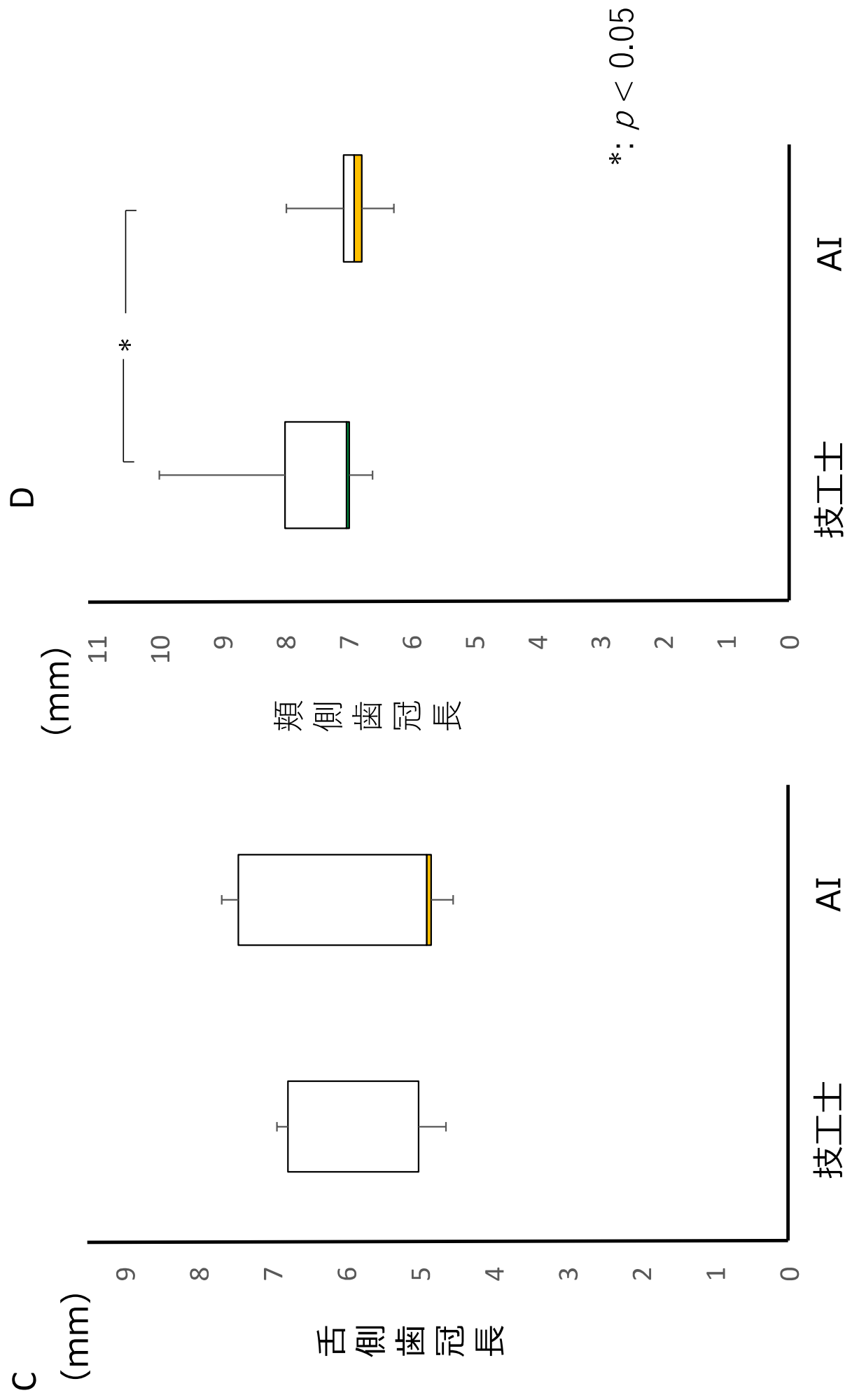
C. 舌側齒冠長



E. 咬頭間距離

図5





E

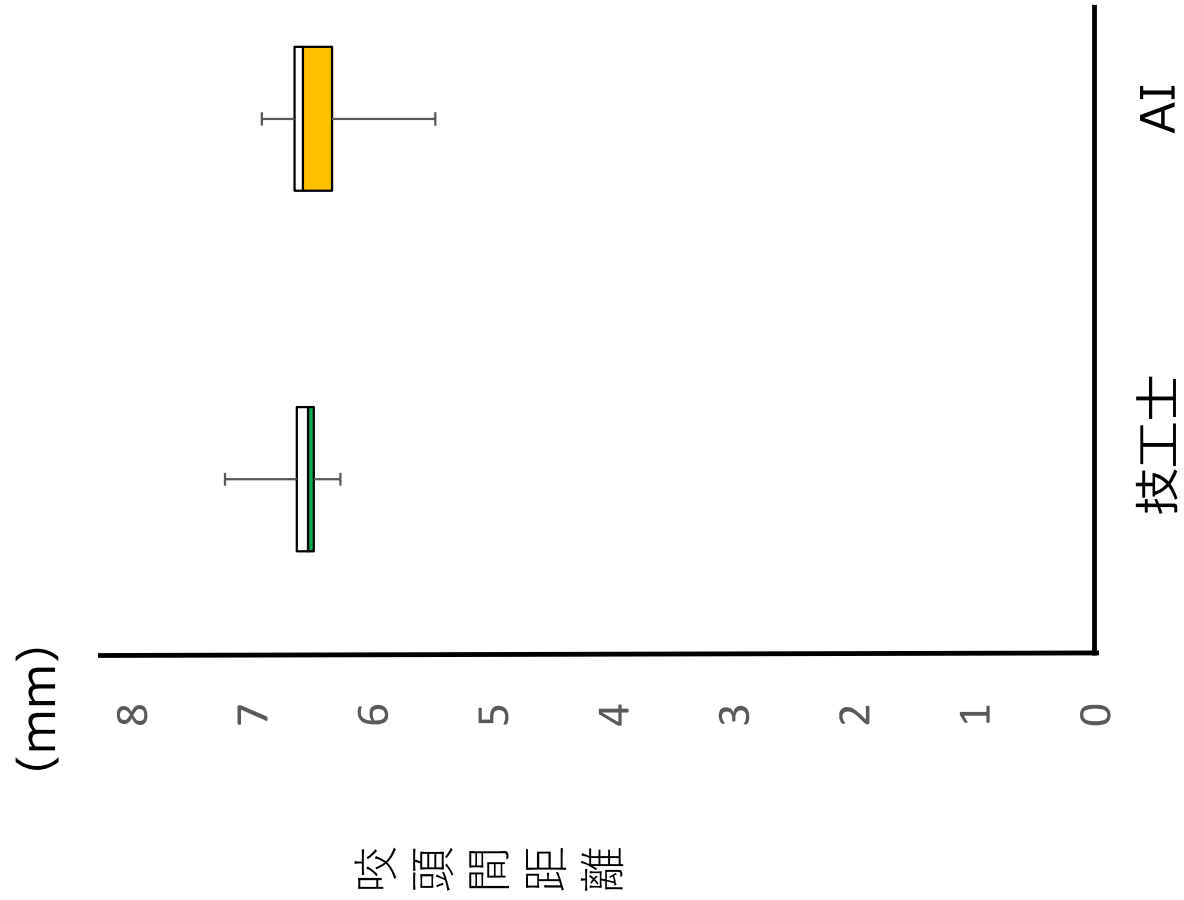


図 6

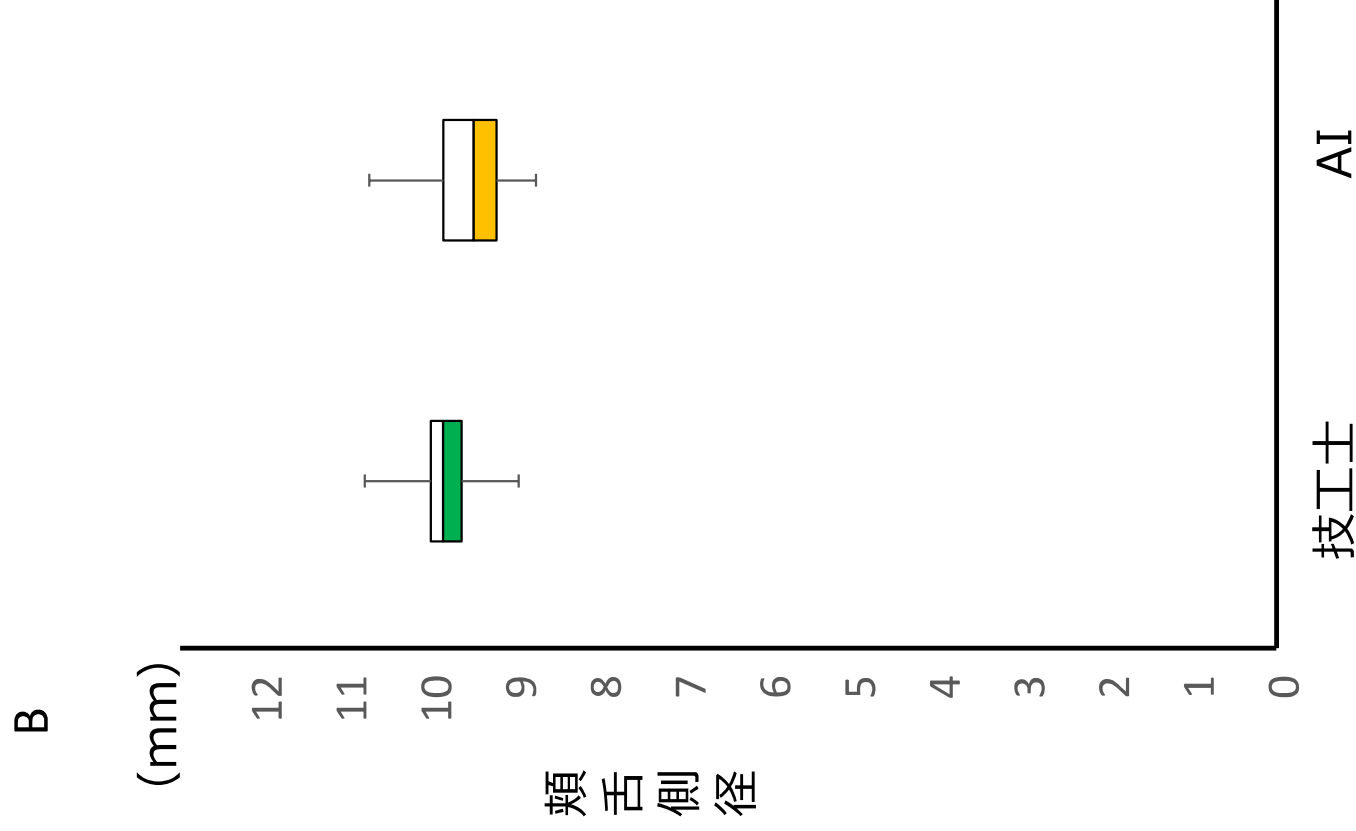
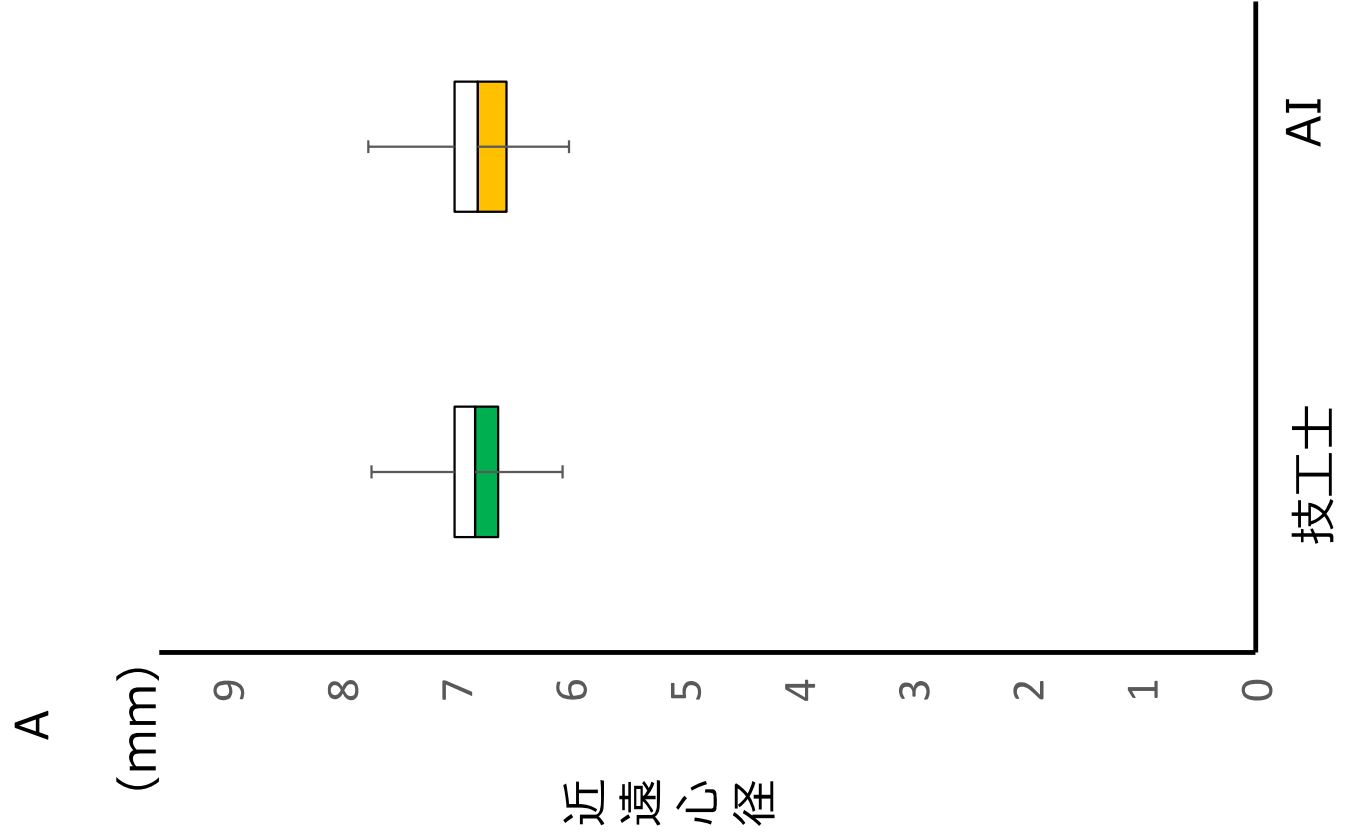
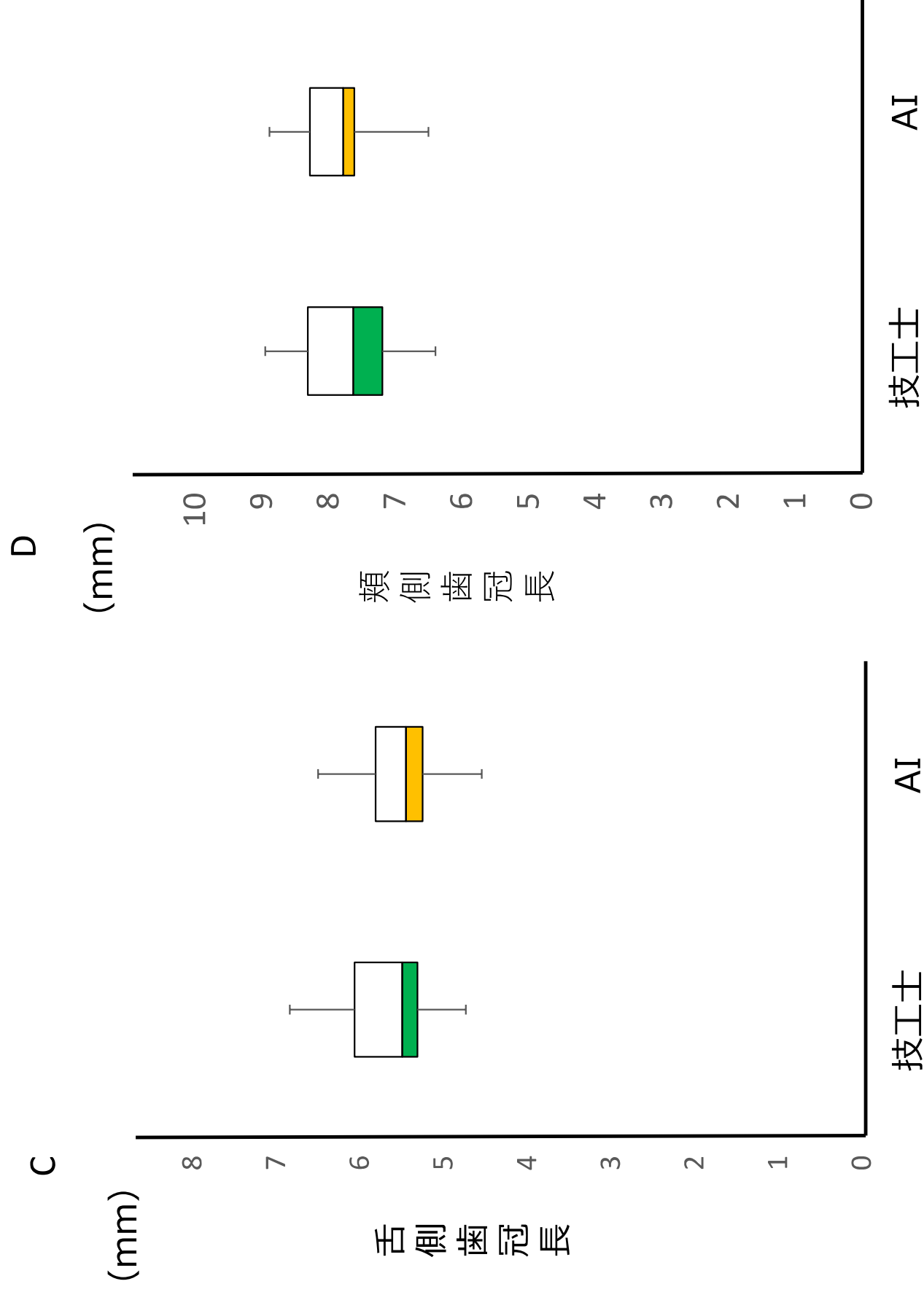
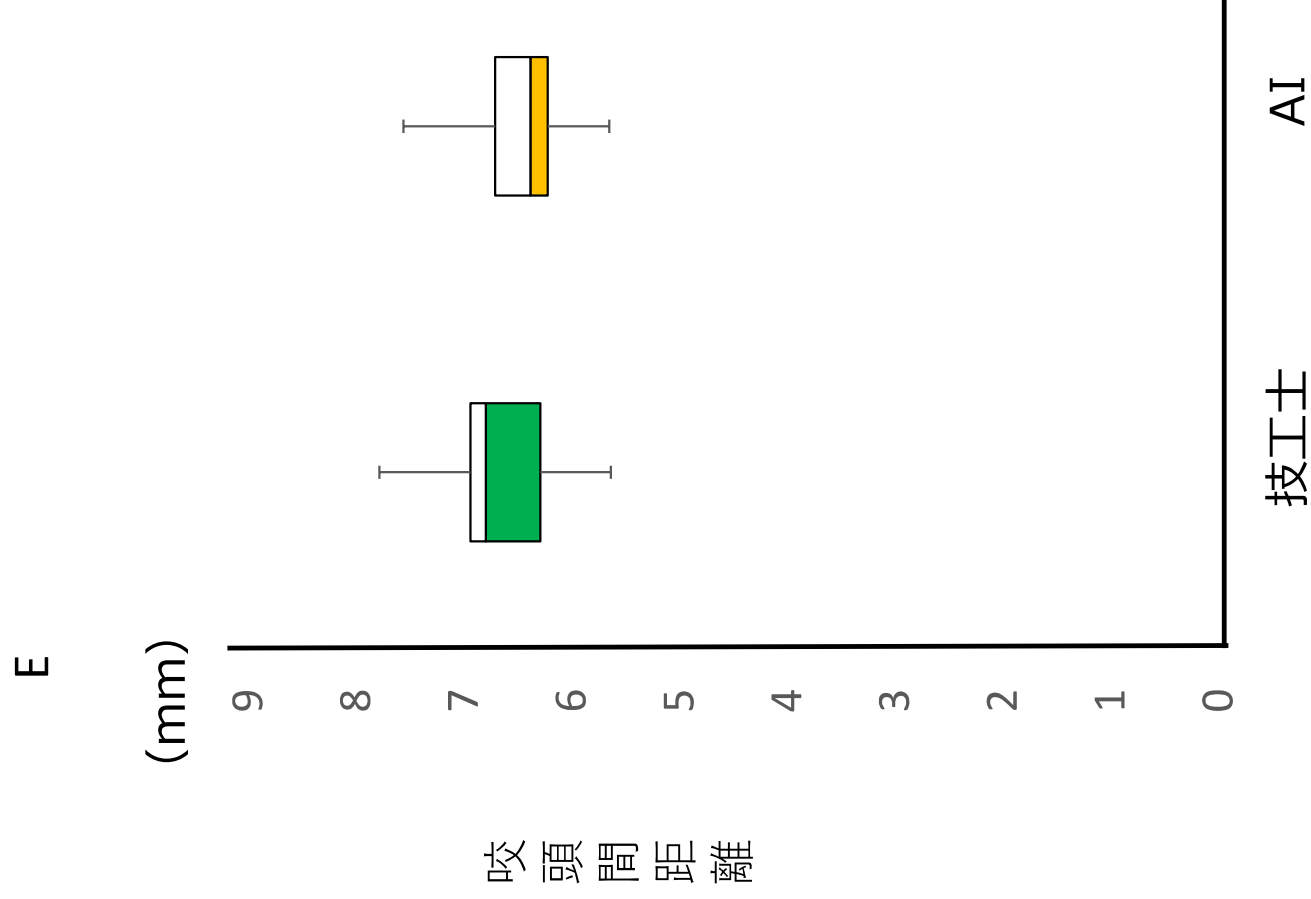


図 6

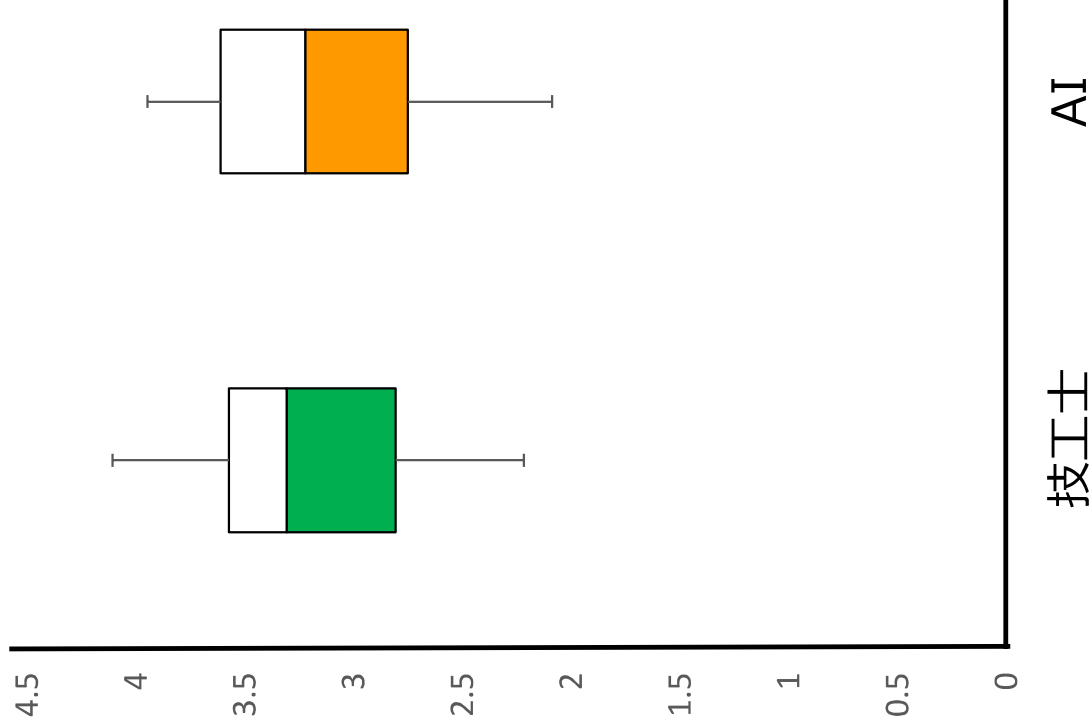




F

(mm)

近心コンタクトポイント高さ



G

(mm)

遠心コンタクトポイント高さ

