

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 7 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24592864

研究課題名(和文) 根管拡大形成操作解析装置の開発 シミュレータ使用のための検証

研究課題名(英文) Development of a Device for Analyzing Dynamic Characteristics of Root Canal Preparation

研究代表者

庭野 和明(Niwano, Kazuaki)

新潟大学・医歯学総合病院・助教

研究者番号：80301183

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：科学研究費交付期間において(1)歯の根管模型に対して根管形成を行う時に作用するトルク、荷重を記録するコンピュータシステムを開発した。同システムではサンプリングされたデータはリアルタイムで2次元直交座標系にトルク-荷重曲線として表示される。(2)コンピュータ上の視覚情報により術者が操作のトルクあるいは荷重を変化可能であることが明らかになった。(3)トルク・荷重記録から特定の根管形成操作パターン(watch-winding motion)を抽出するために正規表現に基づく新規の手法を開発した。

研究成果の概要(英文)：During the grant period, (1) A computer aided system was developed for recording of torque and force exerted during root canal preparation in vitro. In the system, sampled data are displayed as a torque-force curve on a Cartesian coordinate system in real-time. (2) It was revealed that operators were able to change their manipulating torque and force with visual information displayed on the computer monitor. (3) A novel procedure based on regular expressions was developed for extracting a particular manipulation pattern (watch-winding motion) from torque-force records.

研究分野：歯科保存学

キーワード：根管形成操作 シミュレータ トルク 荷重 watch-winding motion 正規表現

## 1. 研究開始当初の背景

医学教育において診療参加型臨床実習の充実が求められ、実習参加者の診療技能向上のためシミュレータ、スキルスラボ等の活用が推奨された。歯内療法における根管形成操作は基本的な歯科臨床手技の1つに位置づけられる。しかしながらその学習課程では、指導者が学習者の根管形成操作を観察することのみによって、客観的評価を行うことは困難であり、そのことが学習者の技能獲得に不利な条件となっていると考えられた。一方、根管形成には様々な因子が関与しており、その全容の解明は困難である。したがって、根管形成操作学習用シミュレータ開発には根管形成操作を単純化したモデルが必要とされるが、その基礎となる原理、方法あるいは学習効果についてはこれまで十分には検討されていない。

## 2. 研究の目的

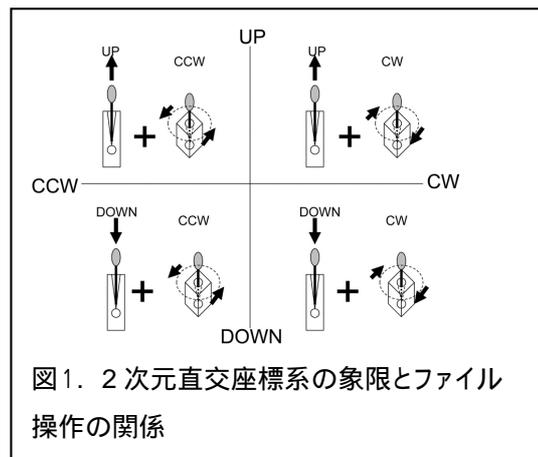
基礎的な根管形成操作に対する単純化根管形成モデルを策定し、それに基づいた学習用シミュレータ装置プロトタイプの実装、評価方法、有用性を検討する。

## 3. 研究の方法

根管形成操作時に根管模型へ作用するトルク、荷重に対して単純化モデルを策定した。モデルは以下の3点を仮定した。

- (1) ファイル操作はファイル長軸に一致した直線運動(歯頂側方向あるいは根尖側方向)およびファイル長軸を回転軸とした回転運動(時計回りあるいは反時計回り)に限定される。ただし「時計回り」はファイル刃部を正ネジとみなした場合、正ネジを進ませる回転方向とする。
- (2) ファイル操作による直線運動は模型根管の軸と一致し、模型に対して荷重を作用させる。また回転運動はトルクを作用させる。ただし根管の軸は直線とする。
- (3) ファイル操作によるトルクと荷重は互いに独立で相互作用が存在しない。

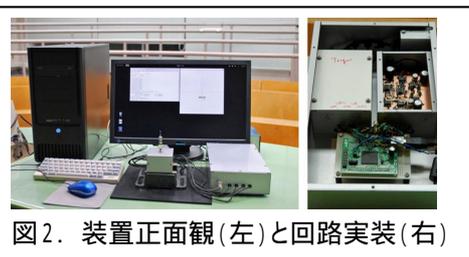
またトルク、荷重の同期変化を表示、観察する手段として2次元直交座標系を導入し、トルクをx軸、荷重をy軸に割り当てた。さらにx軸、y軸に対し、それぞれ2つの区間(CW: clockwise, CCW: counterclockwise, UP: 歯頂側, DOWN: 根尖側)を設定し、CWを $\{x \mid x > 0\}$ , CCWを $\{x \mid x < 0\}$ , UPを $\{y \mid y > 0\}$ , DOWNを $\{y \mid y < 0\}$ とした。荷重の名義は現行の実験設定が根尖側を下方とし、根管軸を鉛直に設置した状態であることによる。これにより任意サンプリング時刻のトルク値および荷重値は座標系の点として、また任意のサンプリング区間のトルク値、荷重値はサンプリング周波数を十分に高くした場合、表示装置上で連続した曲線(以下トルク-荷重曲線)として表現される。ファイル操作と2次元直交座標系の各象限との対応を図1に示す。本研究では以上のモデルに基づいて装置の開発と測定記録の解析を行った。



## 4. 研究成果

### (1) 装置実装の概要

装置正面観および回路実装を図2、装置のブロック図を図3に示す。



また主要構成部品を表1に示す。

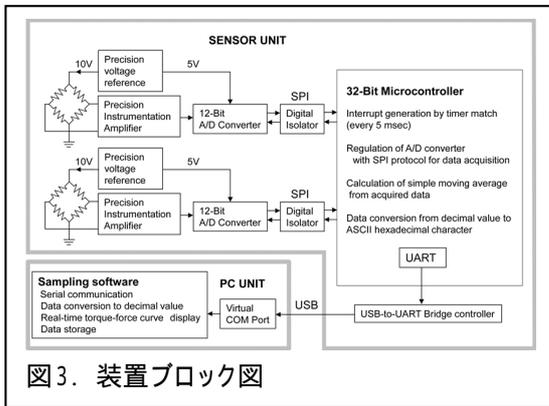


図3. 装置ブロック図

表1. 主要構成部品

1) 350Ω Strain Gage	(KFG-2-350-C1-23: Kyowa Electronic Instruments)
2) Instrumentation Amp	(LT1167CN8: Linear Technology)
3) Op Amp	(OPA277: Burr-Brown)
4) 12-Bit A/D Converter	(LTC1298CN8: Linear Technology)
5) 10.0V Voltage reference	(ADR01BRZ: Analog Devises)
6) 5.0V Voltage reference	(ADR02BRZ: Analog Devises)
7) Digital Isolator	(ADuM1401CRWZ: Analog Devises)
8) 32-bit Microcontroller	(LPC2388: NXP Semiconductors)

装置はセンサユニットとパーソナルコンピュータ (以下 PC) ユニットの 2 部到大別される。図 4 に全素子可変タイプのひずみゲージブリッジ回路を構成するアルミニウム合金製起歪体の構造を示す。後者の PC ユニットにはオペレーティングシステムとして Windows XP (Microsoft, USA) または Linux Fedra 17 (Fedra Project) を用い、リアルタイムでのトルク-荷重曲線表示を可能とした。

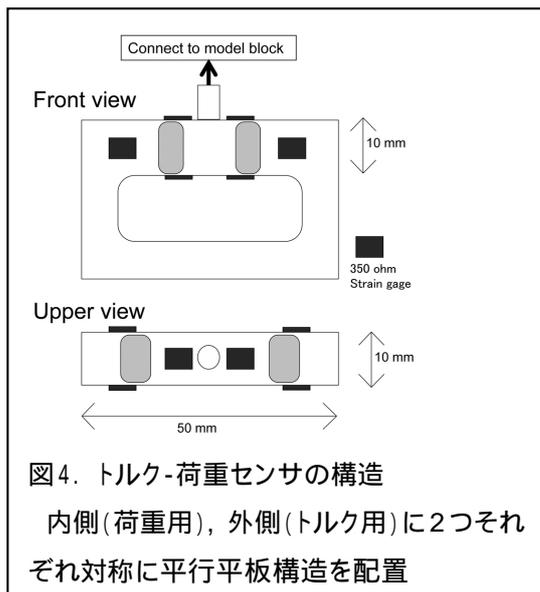


図4. トルク-荷重センサの構造

内側(荷重用), 外側(トルク用)に2つそれぞれ対称に平行平板構造を配置

## (2) リアルタイムトルク-荷重曲線表示観察下での術者ファイル操作の検討(実験1)

目標枠の作製: システム製作者である歯科医 1 名がモニタ上のトルク-荷重曲線表示

を注視しながら watch-winding motion により根管形成を行った。記録されたトルク-荷重曲線より正回転と逆回転操作を交互に行うデータ部分を抽出し、その領域に相当する長方形範囲を図 5 に示す目標枠に設定した。

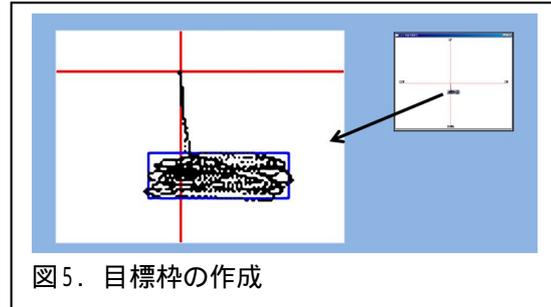


図5. 目標枠の作成

目標枠非提示による記録: 歯学部 6 年次学生, 1 年次あるいは 2 年次歯科臨床研修医 10 名を被験者とした。実験には Gates-Glidden bur #2 により根管口から 13mm のプレフレアリングを行った透明エポキシレジン製直線歯根管模型(S8, ニッシン)を用いた。根管模型は基部を加工して装置のトルク-荷重検出用センサに接続し, K-file 40 号により根管形成操作を行ってトルクおよび荷重データを記録した。計測装置の概要と watch-winding motion について説明を行った後, モニタ表示を観察させながら watch-winding motion による根管形成を 20 秒間以上行わせデータを採取した。

目標枠提示による記録: の終了後, モニタ画面上に目標枠範囲を示す長方形の青枠を表示し, 被験者に枠の範囲で出来るだけ広く軌跡が動くようにファイル操作をすることを指示し, 新たな模型を用いて同様に記録を行った。

### 目標枠内のデータ点数の解析

図 6 に示すように非ゼロ値先頭区間(b)の 5 秒を除外し, それに続く区間(c)の 10 秒間データを解析に供した。枠表示の有無により対応のある 2 群とし, 目標枠範囲にデータ点が存在する数について Wilcoxon の符号付順位和検定 (GNU R Version 2.13.0) により統計学的有意差を検定した。

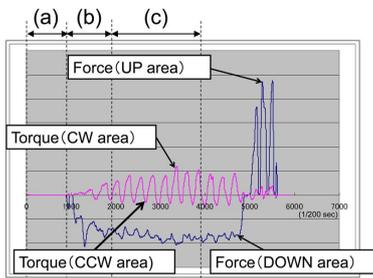


図 6. データ例とデータ解析区間

x 軸: 時間, y 軸: トルクあるいは荷重。(a): 未操作区間, (b): 解析から除外した操作開始直後の 5 秒間, (c): データ解析区間(10 秒間)

### (3) 2次元直交座標平面でのデータ点運動評価方法の検討(実験2)

データ前処理: 実験1で10名より採取した対応のある2群のデータのうち、目標枠表示を行ったサンプリングデータを用いた。移動平均法によりノイズ除去を行なった後、実験1と同様に図6の区間(c)のデータを解析に供した。

速度状態の分類: 任意のサンプリング時刻において、近接データ差分により定義されるトルク速度VT、および荷重速度VFは共に{正, 0, 負}の3状態に分類でき、さらにその分類の直積によって9状態の分類(速度状態{ $S_0, S_1, \dots, S_8$ }として定義)を得る。図7に2次元直交座標系でのデータ点運動方向(VT, VF)の絶対値を0または単位長として図示と対応する速度状態の定義、図8にトルク-荷重曲線上のデータ点と速度状態の対応例、図9に速度状態の状態遷移図を示す。

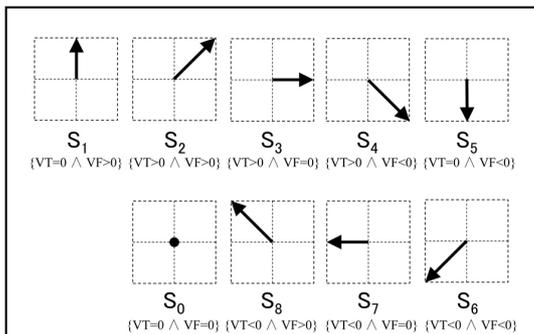


図 7. 2次元直交座標系でのデータ点運動方向と対応する速度状態の定義

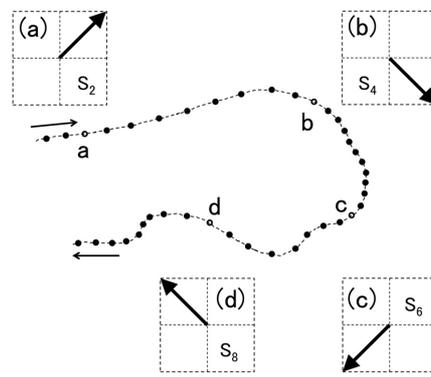


図 8. トルク-荷重曲線上のデータ点と速度状態の対応例

さらに座標平面を4象限に分割し、原点座標(操作開始, 終止点)を加えて各々に速度状態を設定すると、任意の時刻におけるデータ点は45状態に細分類される。そこで、各状態を図10に示すように英数字1文字で排他的に命名したのち、解析対象データ点の速度状態、位置により順次分類し、2000字長の文字列とした。

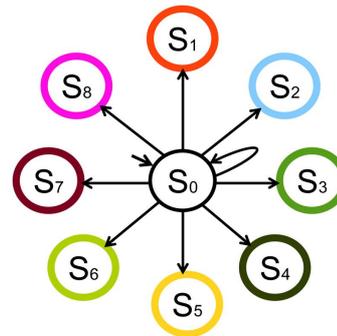
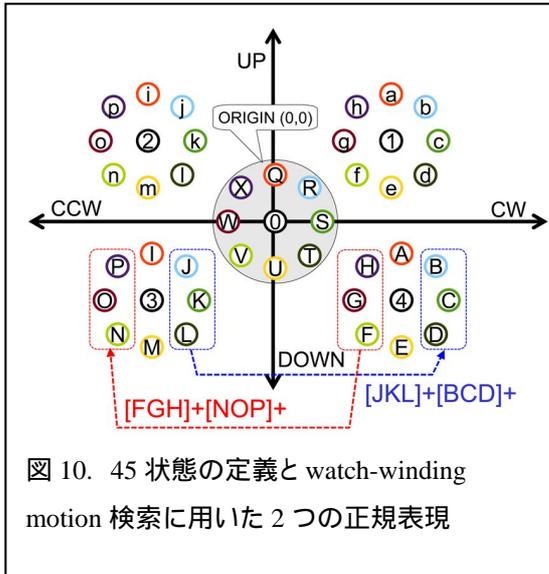


図 9. 状態遷移図(一部)

速度状態  $S_0$  から次のサンプリング時刻で可能な遷移を、 $S_0$  を始点とする矢印で示す。 $S_0$  へ向かう矢印は根管形成操作開始を表す。速度状態  $S_1-S_8$  から次のサンプリング時刻で可能な遷移も同様に定義される。

運動パターン評価: トルクが  $VT > 0$  を保ちながら第3象限(CCW DOWN)から第4象限(CW DOWN)へ運動軌跡が向かうパターンおよび  $VT < 0$  で第4象限から第3象限へ向かうパターンが WWM に特徴的であると仮定し、実験2の で作成した文字列

を正規表現 [JKL]+[BCD]+ および [FGH]+[NOP]+ によりマッチさせた。(図 10 参照)



2 つの正規表現にマッチした文字数の和を、本評価法で得られた成績 (運動パターンデータ点数) とした。なお、実験 2 の ~ のデータ処理ソフトウェアは GCC 4.7.2 あるいは Perl v5.14.3 により作成した。

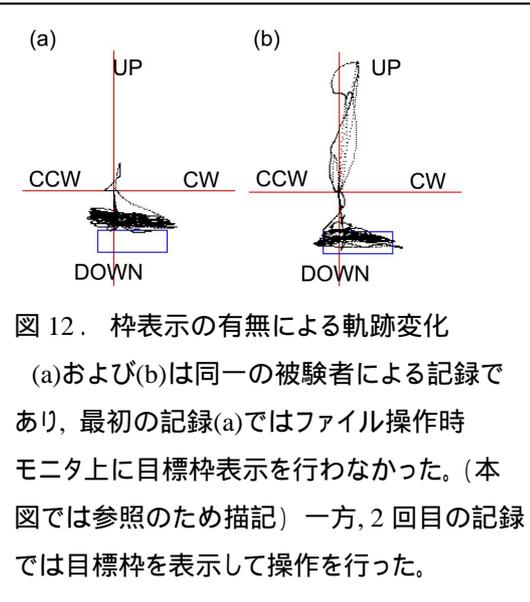
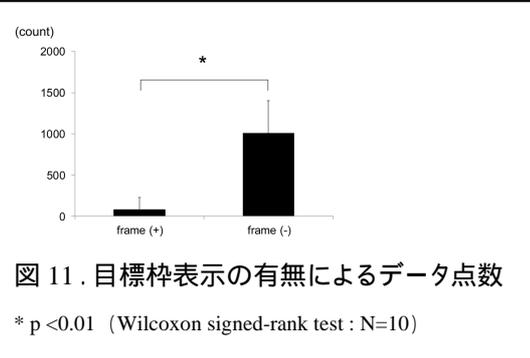
統計解析: 実験 2 の と同一の区間データについて実験 2 と同様なデータ前処理後、目標領域内データ点数を算出し、実験 2 の の結果 (運動パターンデータ点数) との間に相関が認められるかどうか Spearman の順位相関係数の有意性検定を行った。検定は GNU R version 2.15.1 を用いた。

#### (4) 成績

##### 実験 1: リアルタイムトルク- 荷重曲線表示観察下での術者ファイル操作の検討

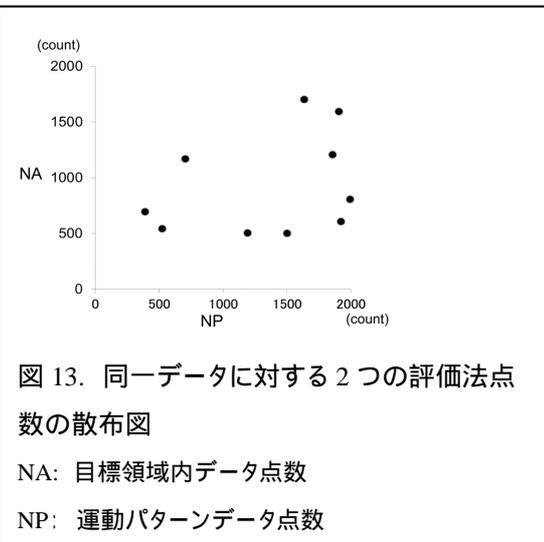
被験者全体では枠表示の無い場合の目標枠範囲にデータ点が存在する割合は全データ点 (N = 2000) の 0 ~ 19.8% であった。また枠を表示した場合は 25.2 ~ 79.6% であった。両者の平均値を図 11 に示す。検定の結果、両者の間に統計学的有意差を認めた。 (P < 0.01)

また図 12 に枠表示の有無による軌跡変化の例を示す。



#### 実験 2: 2 次元直交座標平面でのデータ点運動評価方法の検討

検索されたデータ点数は運動パターンデータ点数 389 ~ 1993, 目標領域内データ点数 501 ~ 1701 であった。両変数の散布図を図 13 に示す。また順位相関係数は = 0.32 であった。帰無仮説 ( = 0 ) は棄却されなかった。 (p = 0.37)



## (5) 結論

限定的なファイル操作方法において、術者がリアルタイムトルク-荷重曲線表示による視覚情報を認識し、手指操作にフィードバック可能であることが示された。

2 種類の評価方法すなわち、運動パターンデータ点数と目標領域内データ点数間の相関を明らかにできなかった。両評価方法は Watch-winding motion 動作指示により行われる同一の術者操作記録に対して異なる評価を与える可能性が示唆された。

本研究で策定した単純化根管形成モデルは検討を行った実験条件において、根管形成操作シミュレータの原理モデルとして有用であると考えられた。

## 謝辞

本研究の遂行に際し、以下のソフトウェア、ライブラリ等を利用させていただきました。WEB 上にこれらのプロダクトを公開された個人、組織に深謝いたします。

## 装置製作および実験 1

- (1) arm-none-eabi-gcc (Sourcery G++ Lite 2009q2-68) 4.4.1
- (2) OpenOCD v0.4.0
- (3) ARM-Projects: GPIO, UART and interrupt example for the NXP LPC2378, NXP LPC2368 and other NXP LPC23xx/24xx devices
- (4) Borland C++ 5.5.1 for Win32
- (5) BCC Developer 1.2.21
- (6) Dx Library for Borland C++ (ver3.04b)
- (7) EAGLE Version 5.6.0 for Windows Light Edition
- (8) GNU R Version 2.13.0

## 実験 2

- (1) Fedora 17
- (2) GCC version 4.7.2
- (3) Perl v5.14.3
- (4) GNU Emacs version 24.1.1
- (5) GNU R version 2.15.1
- (6) LibreOffice 3.5.7.2
- (7) SDL version 1.2

## 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 0 件)

[学会発表](計 1 件)

根管形成操作解析装置の開発 -トルク・荷重平面でのデータ点運動評価方法-、庭野和明、興地隆史、2013 年度春季学術大会(138 回:日本歯科保存学会) 2013 年 6 月 27 日、福岡市 福岡国際会議場

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]  
ホームページ等

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

庭野 和明 (NIWANO Kazuaki)  
新潟大学・医歯学総合病院・助教  
研究者番号：80301183

### (2)研究分担者

( )

研究者番号：

### (3)連携研究者

( )

研究者番号：