

平成 30 年 6 月 5 日現在

機関番号：32612

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K20486

研究課題名(和文) 感覚機能を応用した術者支援型ロボットアームを有する手術ナビゲーションシステム

研究課題名(英文) Telerobotic-assisted bone-drilling system using bilateral control

研究代表者

臼田 慎 (USUDA, SHIN)

慶應義塾大学・医学部(信濃町)・共同研究員

研究者番号：70445287

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：近年、口腔インプラントが多くの施設で行われるようになった一方で、医療過誤も後を絶たない。以前よりわれわれは手術ナビゲーションシステムとしてロボットアームによる力覚補助を用いて、これらの医療過誤を防止、治療計画に合致する治療を可能とすべく研究を行ってきた。本研究ではさらに術中情報の的確な視覚補助を目的として開発を行った。視覚情報を術者へ伝達する手段として、一般的にモニターを間欠的に確認する手法が用いられてきた。しかし、術野から視点が大きく逸脱するため、効率的な視覚情報の伝達手段であるとは言いがたい。そこで、より効率的な情報伝達的手段としてウェアラブルコンピュータを用いた実験を行った。

研究成果の概要(英文)： In dental implant surgery, surgeons are required advanced techniques and extensive experiences to correctly handle the cutting device. The lack of techniques and experiences may bring on an over cut and damages to the surrounding tissue. As a result, this situation has risks of causing the subsequent complications or life-threatening accidents by heavy bleeding and nerve damage during surgery. The supporting technology for the surgeon is required to prevent these accidents.

To solve these problems, surgical navigation systems have been developed. The surgeon can get the position information during surgery from navigation monitor installed outside. However, it is an inefficient method because that surgeon must look the monitor many times and it lets the surgeon tired.

In this study, we utilized a smart watch as an efficient information transfer method.

研究分野：口腔外科

キーワード：スマートウォッチ 歯科インプラント ナビゲーションサージェリー ロボットサージェリー ロボットアーム

### 1. 研究開始当初の背景

近年、口腔インプラントが多く施設で行われるようになった一方で、医療過誤も後を絶たない。主な医療過誤としては下歯槽神経の損傷、舌側皮質骨への穿孔、上顎洞へのインプラント迷入などである。以前よりわれわれは手術ナビゲーションシステムとしてロボットアームによる力覚補助を用いて、これらの医療過誤を防止、治療計画に合致する治療を可能とすべく研究を行ってきた。

### 2. 研究の目的

本研究ではさらに術中情報の的確な視覚補助を目的として開発を行った。視覚情報を術者へ伝達する手段として、一般的にモニターを間欠的に確認する手法が用いられてきた。しかし、術野から視点が大きく逸脱するため、効率的な視覚情報の伝達手段であるとは言いがたい(図1)。そこで、より効率的な情報伝達の手段としてウェアラブルコンピュータを用いた実験を行った。

さらに他のディスプレイ機器と試作機の性能評価も行った。



図1 術野から視点が大きく逸脱している

### 3. 研究の方法

本研究では3自由度のロボットマニピュレータによる力覚補助と時計型ウェアラブルコンピュータによる視覚補助を組み合わせたインプラント手術補助システムを試作した(図2, 3)。ロボットマニピュレータは制御用PCによって補助力が制御され、術者の動作と協調して目的部位へ誘導することができる。また、時計型ウェアラブルコンピュータにはApple Watch(以下、時計型コンピュータ: Apple社製)を応用した。目的部位との相対距離は制御用PCによって計算され、UDP通信によってリアルタイムにスマートフォン(iPhone 6: Apple社製)へ転送される。転送されたデータはiPhone内で処理され、Bluetooth通信によってApple Watchへ情報が送られる。Apple Watch上ではx, y, zの位置をグラフィカルに表示するとともに、目的位置への距離を表示することができる。また、誤差が設定値よりも小さくなった時に背景が緑に変化するように設定することができる(図4)。試作機の性能を評価するために、

あらかじめ決められた開始地点から目的地点への位置合わせを10秒間行う実験を行った(図4)。実験では、【視覚補助あり, 力覚補助あり】、【視覚補助なし, 力覚補助あり】、【視覚補助あり, 力覚補助なし】、【視覚補助なし, 力覚補助なし】の4つの場合において、5秒から10秒の間の位置合わせの精度を評価した(図5)。

また、より大きな画面を持つデバイス、スマートフォン(iPhone: Apple社製)、タブレット型コンピュータ(iPad: Apple社製)に情報を表示した場合とも比較した。それぞれの装置を確認しながら20回の位置合わせを行い、所要時間と精度を評価した。計測にはロボットマニピュレーターによって計算された位置情報を用いた(図6, 7, 8)。

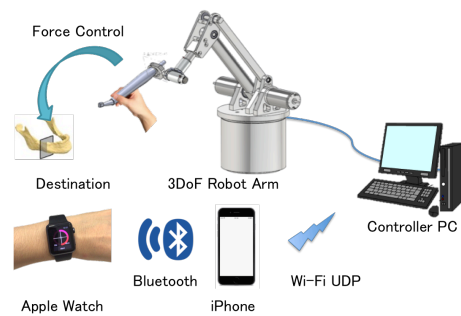


図2 試作機概略図

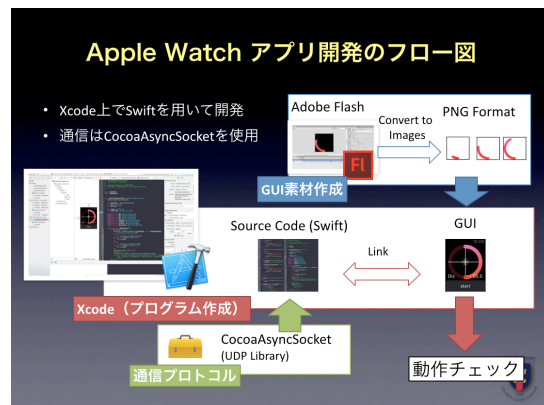


図3 アプリ開発のフロー図



図4 時計型コンピュータ GUI

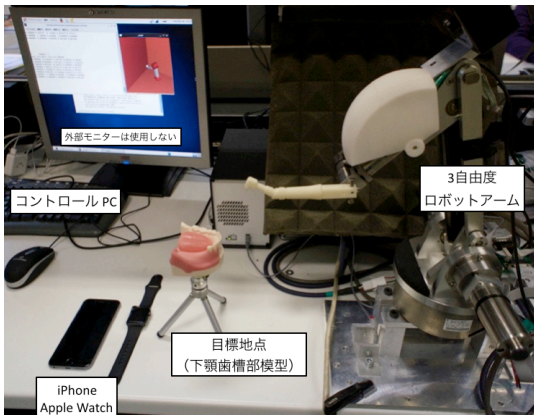


図 5 実験機材

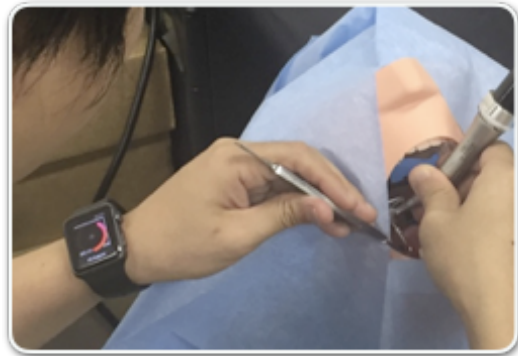


図 6 スマートウォッチ

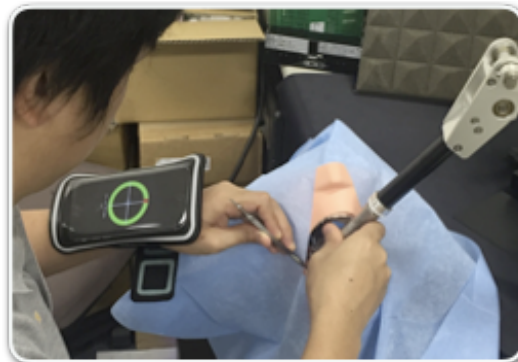


図 7 スマートフォン

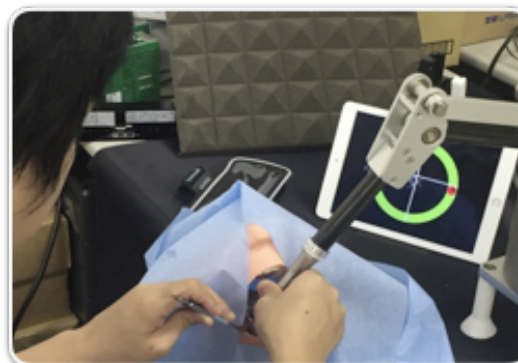


図 8 タブレット型コンピュータ

#### 4. 研究成果

目的地点より 20cm 離れた場所からそれぞれ 10 回の視覚補助および力覚補助による位置合わせの実験を行った。実験の結果【視覚

補助あり，力覚補助あり】，【視覚補助なし，力覚補助あり】，【視覚補助あり，力覚補助なし】，【視覚補助なし，力覚補助なし】のそれぞれの（平均誤差，誤差の分散，最大誤差）はそれぞれ，（0.49 mm，0.14 mm，0.74 mm），（0.56mm，0.37 mm，1.80 mm），（0.62 mm，0.41 mm，1.98 mm），（0.99 mm，0.37 mm，2.53 mm）であった。特に視覚補助なしに比べて，視覚補助ありの精度が大きく向上しており，時計型コンピュータを用いた情報伝達の有効性が示された。力覚補助なしが力覚補助ありの場合に比べて精度が低いのは手ブレ等による誤差が主な原因とも考えられるが，今回はロボットアームの位置センサーを用いて位置を測定したため，力覚補助なしの場合において，ロボットアームの摩擦が術者の動きを妨げてしまった可能性がある。そのため，光学式や磁気式のナビゲーションシステムを組み合わせた比較実験が必要である。

他のディスプレイ機器と試作機の性能評価はスマートウォッチは所要時間標準偏差：3.12 秒 誤差標準偏差：0.295mm，スマートフォンは所要時間標準偏差：1.83 秒 誤差標準偏差：0.256mm，タブレット型コンピュータは所要時間標準偏差：1.70 秒 誤差標準偏差：0.254mm だった。位置の誤差に関してはそれぞれ差はなかった。しかし，所要時間に関しては他に比べてスマートウォッチが優位に時間を必要とした。（ $p < 0.01$ ）これはスマートウォッチの表示が他に比べ追従性に劣ることが考えられる。追従性が劣る原因として Wi-Fi 接続ではなく Bluetooth 接続であることが考えられる。今後，Bluetooth 通信の高速化，または接続方式の変更により解決する。使用感では，スマートウォッチは術野と焦点距離の差が少なく視認が容易であった。よって，手術ナビゲーション用のモニターとして優れていると考えた。

#### 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 2 件）

- 1) Yu K, Matsunaga T, Kawana H, Usuda S, Ohnishi K : Frequency-Based Analysis of the Relationship between Cutting Force and CT Number for an Implant-Surgery-Teaching Robot, IEEJ Journal of Industry Applications 査読あり, 6, 2017, 66-72, <http://doi.org/10.1541/ieejjia.6.66>
- 2) Usuda Shin, Truppe Michael, Kaneko Tsuyoshi, Ogawa Kaoru, Asoda Seiji, Hatazawa Chika, Usuda Sho, Yamada Yuka, Ewers Rolf, Nakagawa Taneaki, Kawana Hiromasa : Auricular malformation treated by placement of

an osseointegrated implant-supported  
epithesis using telenavigation and  
model simulation: A case report,  
Journal of Oral and Maxillofacial  
Surgery, Medicine, and Pathology,  
査読あり, 27, 2015, 49-55,  
10.1016/j.ajoms. 2013. 07. 007

[学会発表] (計3件)

- 1) Usuda S, Yu K, Ohnishi K, Nakagawa T, Kawana H: APPLICATION OF SMART WATCH IN NAVIGATION SYSTEM FOR ORAL IMPLANT SURGERY, 23rd International Conference on Oral and Maxillofacial Surgery, 2017
- 2) 臼田慎, 兪浩洋, 大西公平, 中川種昭, 河奈裕正: 口腔インプラント手術ナビゲーションシステムにおける時計型ウェアラブルコンピュータの応用, 第19回日本顎顔面インプラント学会総会・学術大会, 2015
- 3) 兪浩洋, 臼田慎, 大西公平, 中川種昭, 河奈裕正: 自由度インプラント手術補助ロボットを用いた切削角度案内システム, 第2回日本顎顔面再建先進デジタルテクノロジー学会, 2015

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

臼田 慎 (USUDA, Shin)  
慶應義塾大学・医学部 (信濃町)・共同研究員

研究者番号: 70445287

### (2) 連携研究者

河奈 裕正 (KAWANA, Hiromasa)  
慶應義塾大学・医学部 (信濃町)・准教授

研究者番号: 50224803

大西 公平 (OHNISHI, Kohei)  
慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号: 80137984

### (3) 研究協力者

兪 浩洋 (YU, Koyo)