

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 9 月 23 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500549

研究課題名(和文)工業用精密カメラを用いた非接触手術ナビゲーションの開発

研究課題名(英文) Non contact registration of surgical navigation using high resolution industrial camera

研究代表者

松本 希 (Matsumoto, Nozomu)

九州大学・大学病院・助教

研究者番号：60419596

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：手術用ナビゲーションをより簡便に安全に使用できるよう、ナビゲーションに必須の位置合わせ作業(レジストレーション)の改善を目標とした研究を行った。従来位置合わせ作業は安全だが精度が低い非接触型のレジストレーションと高精度だが侵襲的なそれがあった。われわれは非接触型のレジストレーションでありながら、その非接触計測に工業用の精密カメラを導入することで従来得られなかった高精度のレジストレーションを可能にした。

研究成果の概要(英文)：We developed a new registration method that improves the surgical navigation by making it easier and safer. Previous navigation systems had either less accurate or more invasive registration methods. Our newly developed registration enabled totally no-contact method using a industry-standard, high resolution 3D camera, which is noninvasive but at the same time has a high accuracy.

研究分野：耳鼻咽喉科

キーワード：耳鼻咽喉科 コンピュータ外科

## 1. 研究開始当初の背景

手術器具の現在位置を患者画像に重ねて表示し、重要臓器の損傷を防ぎつつ手術の根治性を高めるナビゲーション外科は様々な領域で応用されている。側頭骨外科領域のナビゲーション手術は要求精度が高く、市販製品の2-5mmの精度では不十分で1mm以下の精度が必要である。ナビゲーション画像と患者との位置あわせ作業(レジストレーション)が全体の精度を左右し、一般に侵襲性の高い手法ほど精度も高い文献<sup>1)</sup>。例えば術前に頭蓋骨にマーカーネジを打ち精度向上を図る手法もあるが、侵襲的ゆえ頭蓋底外科領域以外では普及していない。すなわち、側頭骨外科領域でニーズがあるにも関わらずナビゲーション手術が普及しない理由は高精度が求められること、そして高精度を達成するための手法が侵襲的なことである。

申請者は新しいレジストレーション技術である「STAMP法」を発表し高精度ながら低侵襲なナビゲーション手術を開発した。本手法は従来の侵襲的な手法と遜色ない精度を持ちながら侵襲を著明に軽減した。当施設では側頭骨浅部を扱う中耳手術で採用し、過去3年で50例を超える手術で安全に施行できることを確認した。STAMP法はレジストレーション手法のうち「surface matching(表面形状一致)法」という原理を用いている。Surface matching法は患者への追加の侵襲性がないことが特長であるが、従来のsurface matching法では柔らかい皮膚面を使うため精度に限界があった。また、従来のsurface matching法の表面形状は医師が手動でレーザーやプローブで表面をなぞって測定するため「表面形状」としては極めて大雑把であり、細かい凹凸は全て無視されていた。頭頸部領域では、大きな凹凸があり広い範囲の皮膚面を利用でき、かつ2-3mmの誤差を許容できる鼻科手術でsurface matching法が一般的に使われている。

STAMP法はCTとコンピュータによるシミュレーション技術を用いてsurface matching法を硬組織である骨面で利用可能にしたものである。表面形状をテンプレートとして作成し手術中に一致させるため細かい凹凸などの情報も全て位置合わせに利用されている。このため手術中に露出する骨面は狭いにも関わらず皮膚面でのsurface matchingでは決して得られない高精度を得ることができた。STAMP方式またはその改良法(本研究テーマ)であれば側頭骨手術の安全性を高め、かつ患者の身体的負担の追加が全くない手法が確立できると期待される。

## 2. 研究の目的

本研究の長期的最終目標はコンピュータと連

携しばらつきのない精密側頭骨外科を確立することである。その初段階としての低侵襲高精度のナビゲーション手術(STAMP法)の開発は既に完了した。

本研究期間には、STAMP法を発展させ完全無侵襲、完全非接触型の骨表面形状一致(surface matching)方式の側頭骨ナビゲーション手術法を確立し特許取得するまでを目標とする。

## 3. 研究の方法

工業規格の精密表面スキャナを用い、側頭骨表面形状を正確に認識できるか検証する。立体形状を正確に再現する汎用工業用スキャナは数種類あり、その一つを用いる。工業製品よりスキャン範囲が広いなどの違いがあり、スキャナメーカーにいくつかの設計変更を依頼する。予備実験として工業規格の表面スキャナでヒト側頭骨模型を計測したところ誤差は平均0.34mmであった。この値は市販の手術ナビゲーションの分解能下限(0.3-0.5mm)に近く、工業用表面スキャナはナビゲーション手術器具として十分な性能を持ち合わせていることを確認できた。

側頭骨のスキャン範囲を徐々に狭め、手術時に露出する範囲内の骨面形状を1mm以下の凹凸まで正確に再現できるか検証する。すなわち、人の目には分からないほど小さな凹凸をも認識することにより狭い範囲の骨面でも正確な位置合わせができるようにする。工業製品のスキャンに比べるとより広い範囲をより遠距離から測定することになるため、精度が犠牲になるはずである。実用性と精度が最もマッチする設定を探す。

上記と平行して、(スキャン精度ではなく)ナビゲーション下手術での精度を評価するための評価系モデルを作成する。実際の症例のCTデータから検証にあう症例を選び、CTデータから側頭骨模型を作製する。模型に手術目標を金属製ネジで打ち込み、再度CTを撮影して症例モデルとする。これを正常例1-2例、疾患例5-6例を目標として作成する。作成した模型を用い、模型に対して模擬手術を行ない手術目標に到達した際の精度を計測する。あらかじめ金属製のネジを打ち込み手術目標としている点をナビゲーション下で探し、ネジのナビゲーションコンピュータ上の座標を取得する。これをネジのCT画像上の座標と比較し、両者の距離を求める。

## 4. 研究成果

### (1) STAMP法の改良

申請者はこれまでのSTAMP法をさらに簡便にできる手法を開発した。すなわち、STAMP法(原法)では手術中に位置合わせ用の座標を取っていたがこれを術前に測定することで手

術中の作業を大幅に減少させた。これを「preregistered STAMP」法として原法の特許に追記して再申請、および学会/論文報告した。

(2) STAMP 法を利用した手術法の開発  
ナビゲーション手術の位置合わせとして開発された STAMP 法は他の手術でも応用できることが分かった。申請者は Bonebridge という、側頭骨に植込まれる聴覚インプラントが、その比較的大きなサイズゆえ植え込み位置に苦慮しているという外科医の印象に着目した。そして STAMP 法を応用して術前シミュレーションで見つけた Bonebridge を植え込むもっとも安全な位置を 1mm 以内の精度で実際の手術で再現することを可能にする手法 (BB-STAMP 法) を開発し、特許申請、学会/論文報告、さらに臨床応用を果たした。

(3) 非接触型レジストレーション法の開発  
申請者は工業用三次元スキャナーのメーカーである Koh Young Technologies 社と共同研究を行い、三次元スキャナーを利用した高精度のレジストレーション手法を開発した。このプロトタイプを作成し、共同発明者として特許を申請したのち精度評価の実験を進めている。

## 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 24 件) 和文(1-9)、英文(10-24)

1. 松本 希. コンピュータ支援外科における最近の進歩 ナビゲーション手術を耳科領域に応用するための技術. 日本耳鼻咽喉科学会会報. 2014;117(1):10-4,np3-np4.
2. 松本 希, 岡 正倫, 陣内 みさき, 大内田 理一, 小宗 静男. 上歯固定レファレンスフレームの運用の実際. 耳鼻咽喉科展望. 2013;56(5):291-3.
3. 松本 希. 鼓膜の随意運動. 耳鼻と臨床. 2013;59(3):142-5.
4. 松本 希. 人工内耳の現状と将来の展望. 人工臓器. 2013;42(1):10-3.
5. 松本 希. 外傷性耳小骨連鎖離断の診断と治療. 日本耳鼻咽喉科学会会報. 2013;116(7):830-1.
6. 松本 希, 岡 正倫, 橋爪 誠, 小宗 静男. 秒単位の無侵襲レジストレーションを可能にする pole STAMP 法の考案と実践. 耳鼻咽喉科展望. 2012;55(5):315-7.
7. 松本 希, 小宗 静男. 【耳鼻咽喉科手術におけるナビゲーションとモニタリング】 側頭骨外科. 耳鼻咽喉科・頭頸部外科.

2012;84(6):352-8.

8. 松本 希, 小宗 静男. 【先端技術新潮流 ~画像ガイド下治療】耳鼻咽喉科領域における画像誘導下治療. 映像情報 Medical. 2012;44(6):534-9.
9. 松本 希, 小宗 静男. 【ロボット手術の現在と未来】耳鼻咽喉科. Pharma Medica. 2012;30(10):37-40.
10. Yasui T., Ohashi M., Matsumoto N., Komune S. Analysis of the passive damped oscillation of the guinea pig stapes. The Journal of laryngology and otology. 2015;129 Suppl 2:S2-5.
11. Kubota M., Kubo K., Yasui T., Matsumoto N., Komune S. Development of conductive hearing loss due to posterior semicircular canal dehiscence. Auris Nasus Larynx. 2015;42(3):245-8.
12. Kamizono K., Yoshida S., Cho B., Matsumoto N., Fukushima J., Jinnouchi M., et al. Safe and rapid contouring of fibro-osseous lesions in the orbital area using navigation with minimally invasive cranial bone registration. The Journal of laryngology and otology. 2015;129 Suppl 2:S62-8.
13. Ishizu K., Yasui T., Ohashi M., Matsumoto N., Komune S. High-speed video analysis of acoustically oscillated guinea pig stapes. The Journal of laryngology and otology. 2015;129 Suppl 2:S33-7.
14. Yamashita K., Hiwataashi A., Togao O., Kikuchi K., Matsumoto N., Obara M., et al. High-resolution three-dimensional diffusion-weighted MRI/CT image data fusion for cholesteatoma surgical planning: a feasibility study. European archives of oto-rhino-laryngology : official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies. 2014.
15. Takumi Y., Matsumoto N., Cho B., Ono H., Mori K., Tsukada K., et al. A clinical experience of 'STAMP' plate-guided Bonebridge implantation. Acta oto-laryngologica. 2014;134(10):1042-6.
16. Oka M., Cho B., Matsumoto N., Hong J., Jinnouchi M., Ouchida R., et al. A preregistered STAMP method for image-guided temporal bone surgery. International journal of computer assisted radiology and surgery. 2014;9(1):119-26.
17. Matsumoto N., Takumi Y., Cho B., Mori K., Usami S., Yamashita M., et al. Template-guided implantation of the

Bonebridge: clinical experience. European archives of oto-rhino-laryngology : official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies. 2014.

18. Cho B., Matsumoto N., Mori M., Komune S., Hashizume M. Image-guided placement of the Bonebridge without surgical navigation equipment. International journal of computer assisted radiology and surgery. 2014;9(5):845-55.

19. Cho B., Matsumoto N., Komune S., Hashizume M. A surgical navigation system for guiding exact cochleostomy using auditory feedback: a clinical feasibility study. Biomed Res Int. 2014;2014:769659.

20. Yamashita K., Yoshiura T., Hiwatahi A., Obara M., Togao O., Matsumoto N., et al. High-resolution three-dimensional diffusion-weighted imaging of middle ear cholesteatoma at 3.0 T MRI: usefulness of 3D turbo field-echo with diffusion-sensitized driven-equilibrium preparation (TFE-DSDE) compared to single-shot echo-planar imaging. European journal of radiology. 2013;82(9):e471-5.

21. Kiyohara H., Sawatubashi M., Matsumoto N., Komune S. Benign osteoblastoma of the ethmoid sinus. Auris Nasus Larynx. 2013;40(3):338-41.

22. Cho B., Oka M., Matsumoto N., Ouchida R., Hong J., Hashizume M. Warning navigation system using real-time safe region monitoring for otologic surgery. International journal of computer assisted radiology and surgery. 2013;8(3):395-405.

23. Cho B., Matsumoto N., Hashizume M. Navigation for cochlear implantation. Conference proceedings : Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Conference. 2013;2013:5727-30.

24. Matsumoto N., Oka M., Cho B., Hong J., Jinnouchi M., Ouchida R., et al. Cochlear implantation assisted by noninvasive image guidance. Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology. 2012;33(8):1333-8.

〔学会発表〕(計 26 件)国内学会(1-20)、国際学会(21-26)

1. 松本希. ワークショップ 感覚器人工臓器におけるセンシング技術—人工内耳の現状と将来の展望. 人工臓器学会大会; 2012 9/27-9/28; 横浜.

2. 松本希, Cho B., 岡正倫, 橋爪誠, 小宗静男. シンポジウム 14 各科におけるトレーニングシステムの構築—ナビゲーションデータに基づく警報機能の開発とその耳科手術における有用性. 第 37 回日本外科系連合学会学術集会; 2012 6/28-6/29; 福岡.

3. 松本希, 岡正倫, 小宗静男. ナビゲーションデータに基づく重要臓器近接警報機能の開発. 第 22 回日本耳科学会総会・学術講演会; 2012 10/4-10/6; 名古屋.

4. 松本希, 岡正倫, 陣内みさき, 大内田理一, 小宗静男. 上歯固定レファレンスフレームの運用の実際. 第 14 回耳鼻咽喉科手術支援機器・ナビ研究会; 2012 11/3; 東京.

5. Matsumoto N. CI422 case report. コクレア Thirty Years of hearing セミナー; 2013 1/26; Tokyo, Japan.

6. Matsumoto N. Simulation of the appropriate FMT embedding position of a BONEBRIDGE (I: General concepts and procedures). New Trends in Hearing Implant Science; 2013 10/26-10/27; Hakuba.

7. 松本希. パネルディスカッション 頭頸部重症感染症の外科的対応 耳科領域. 第 23 回頭頸部外科学会; 2013 1/24-1/25; 鹿児島.

8. 松本希. シンポジウム 2 コンピュータ支援外科における最近の進歩—ナビゲーション手術を耳科領域に応用するための技術. 日本耳鼻咽喉科学会; 2013 5/15-5/18; 札幌.

9. 松本希. インストラクションコース ナビゲーションシステムを用いた頭蓋底手術—ナビゲーション上の重要臓器近接警報音機能の開発. 日本頭蓋底外科学会; 2013 6/26-6/27; 名古屋.

10. 松本希. 聴衆参加型パネルディスカッション 耳手術. 耳鼻咽喉科臨床学会; 2013 7/11-7/12; 神戸.

11. 松本希. International Panel 2: Decision making in ear surgery. 日本耳科学会; 2013 11/24-11/26; 宮崎.

12. 松本希, 工穰, 宇佐美真一, 小宗静男. STAMP 法による画像誘導下 Bonebridge 埋め込み術. 日本耳科学会; 2013 11/24-11/26; 宮崎.

13. 松本希. 小児反復性中耳炎に対する CDTR PI 投与と AMPC 投与後の経過の比較検討. 第 18 回九州化学療法研究会; 2014

1/25; 福岡.  
14. 松本希. シンポジウム II 日常診療で使えるコンピュータ支援. 頭頸部外科学会; 2014 1/30-1/31; 高松.  
15. 松本希. 特別講演 I 耳管開放症の診断と治療. 福岡地区耳鼻咽喉科専門医会; 2014 2/22; 福岡.  
16. 松本希, Cho B., 工穰, 宇佐美真一. BB-STAMP 法により Bonebridge 植込み手術を支援した臨床経験. 第 16 回耳鼻咽喉科手術支援機器・ナビ研究会; 2014 11/8; 米子.  
17. 松本希, 野田哲平, 高岩一貴, 小宗静男. 日本耳鼻咽喉科学会で使用した難聴者支援スピーカーのアンケート調査結果. 第 24 回日本耳科学会総会・学術講演会; 2014 10/15-10/18; 新潟.  
18. 松本希, 岡正倫, 小宗徳孝, 高岩一貴. 人工内耳電極挿入時のリモートテレメトリーモニタリング. 第 25 回日本耳科学会総会・学術講演会; 2015 10/7-10/10; 長崎.  
19. 松本希, 高岩一貴. MRI 撮影を要する人工内耳装用者への対応. 第 60 回日本聴覚医学会総会・学術講演会; 2015 10/21-10/23; 東京.  
20. 松本希, 高岩一貴, 小宗徳孝, 小宗静男. 人工内耳植込み術の入院期間を短縮する試み. 第 116 回 日本耳鼻咽喉科学会; 2015 5/20-5/23; 東京.  
21. Matsumoto N. Early experiences of hearing-preserved cochlear implantation using CI422 electrode array in Kyushu University. 9th Asia Pacific Symposium on Cochlear Implants and Related Science; 2013 11/26-11/29; Hyderabad, India.  
22. Matsumoto N. Symposium: Development and Evaluation of Internal Artificial Organs. IEEE EMBS; 2013 7/3-7/7; Osaka, Japan.  
23. Matsumoto N. Noninvasive image-guided surgery for routine otologic surgery. 20th World Congress of the International Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (IFOS); 2013 6/1-6/5; Seoul, Korea.  
24. Matsumoto N. Image-guided Placement of the Bonebridge without Surgical Navigation Equipment. Asia Pacific Vibrant Soundbridge & Bonebridge symposium 2014; 2014 3/13-3/16; Hong Kong.  
25. Matsumoto N., Cho B., Hashizume M., Komune S. Delivering audible signal to the surgeon in image-guided otologic surgery. 12th International Symposium on Cochlear Implants in Children; 2014 12/11-12/14; Nashville, TN, USA.

26. Matsumoto N., Cho B., Mori M., Komune S., Hashizume M. Image-guided placement of the Bonebridge without surgical navigation equipment. 18th Annual Conference of the International Society for Computer Aided Surgery; 2014 6/25-6/28; Fukuoka, Japan.

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 3件)

名称: レジストレーション用テンプレートの製造方法  
発明者: 松本希、大野秀則、杉山久幸  
権利者: 松本希、株式会社大野工業  
種類: 特願  
番号: 2013-519553  
出願年月日: 平成 27 年 4 月 8 日  
国内外の別: 国際

名称: 手術治具及び確認治具並びにこれらの治具を製造する方法  
発明者: 大野秀則、松本希、杉山久幸、松本徹  
権利者: 松本希、株式会社大野工業  
種類: 特願  
番号: 2013-112773  
出願年月日: 平成 25 年 5 月 29 日  
国内外の別: 国際

名称: Registration method of images for surgery  
発明者: Hyn-Ki Lee, Hae-Yong Yang, Young-Sik Kwon, Nozomu Matsumoto  
権利者: Koh Young technology, Inc  
種類: Application  
番号: PCT/KR2012/008848, US2014/0226886A1  
出願年月日: 平成 24 年 10 月 26 日  
国内外の別: 国際

取得状況(計 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

松本 希 (Matsumoto, Nozomu)  
九州大学 大学病院 助教  
研究者番号 : 60419596

(2)研究分担者

( )

研究者番号 :

(3)連携研究者

( )

研究者番号 :