

研究種目：基盤研究（C）  
研究期間：2007～2009  
課題番号：19500382  
研究課題名（和文） 4次元感覚センシング・フィードバックによる NIPPV 用鼻マスク  
形状の最適化  
研究課題名（英文） 4-Dimensional haptic evaluation for fitting of NPPV nasal mask

研究代表者  
尾田 雅文（MASAFUMI ODA）  
新潟大学・地域共同研究センター・教授  
研究者番号：80372473

## 研究成果の概要（和文）：

慢性閉塞性肺炎(COPD)や睡眠時無呼吸症候群(SAS)などの慢性呼吸不全疾患が比較的重度である場合、その治療法として、人工呼吸療法が考慮される。しかしながら、NPPV療法において送気漏れ無く確実に圧縮空気を肺に送り込むために、鼻マスクを適確に装着する必要がある一方で、装着部位において圧迫壊死や褥瘡等の皮膚障害<sup>(2)</sup>が発生しないように、適切なストラップ荷重を保持する必要がある。レーザー計測技術による顔表面形状計測結果、ならびに超音波計測技術による脂肪や筋等の軟部組織の厚さ計測結果をそれぞれ考慮し、さらに、人体横断面画像<sup>(8)</sup>に基づく顔部 CAD モデルを写像変形することで、個人の顔部 CAD モデルを作成可能なシステムを構築した。また、これに基づいて作成した有限要素モデルに基づいて、鼻マスクを装着した際に作用する応力を有限要素法により求め、4次元触覚センシングシステムによる実測値と比較検討した。

## 研究成果の概要（英文）：

The number of patients with chronic respiratory deficiency, such as Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) or Sleep Apnea syndrome (SAS), is increasing. For patients with comparatively serious symptoms, the Non-invasive Positive Pressure Ventilation (NPPV) may be prescribed. However, pressure necrosis or anaclisis could affect treatment by occurring at the contact area of nasal mask. In response to this problem, the construction of a simulation environment can be applied. The system consists of leaser measurement technology and ultrasonic and the Free Form Deformation (FFD) technique. The shape of the face is measured by laser technology, while ultrasonic technology is used to measure the shape of soft tissue and bone. This personal simulation model was created based on these measurement results and the interpolation results using the FFD. A fundamental numerical analysis was performed, and Von Mises stress distribution was shown when the NPPV nasal mask made contact with the face. This also compared with the actually measured results. In conclusion, the finite element model made by the proposed system can reproduce the actual stress state. By using this system, the shape of a nasal mask suitable for each patient can be determined.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2008年度	300,000	90,000	390,000
2009年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	3,800,000	1,140,000	4,940,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用生体工学，生体材料学

キーワード：生体情報・計測，生体力学

1. 研究開始当初の背景

近年、触覚センサーに関連する多くの研究例が報告されているものの、小型なものでは多方向の接触圧力や荷重の同時計測には適用困難である一方で、多方向の荷重等を同時に測定可能なセンサーについては、小型化が困難であるなど一長一短があり、汎用性の高い触覚センサーの実現が急務である。これに対し、研究代表者等は、感圧導電ゴムを利用した触覚センシングに関する研究に従事し、右図に示す感圧導電ゴムセンサー表面にデバイスを付加することにより、接触圧力のみならず、トラクション荷重の定量評価が可能であることを明らかにした。本センサーが有する「フレキシブルで曲面においても、設置可能であること」等の特長を生かし、医療や介助等の分野を初めとしたヒトと接するロボット等で用いる触覚センサーに有効であることを示してきた。さらには、「超音波を利用した義足ソケット形状決定支援システム構築に関する研究」に従事し、右図のフローチャートに示すように超音波による人体の骨や皮膚、脂肪、筋肉などの軟部組織のそれぞれの形状を同時に計測し、この結果を考慮し、標準人体モデルを変形することで、X線CTスキャナーのように被爆の危険がなく、かつMRIに比べ安価に個人用人体有限要素モデルが構築可能であり、これを用いることでCAEによる各種シミュレーションが可能であることを示すとともに、血流速度等の計測結果を含め、物理的、生理的の双方から皮膚への影響を解明する手法を提案した。

近年、COPD（慢性閉塞性肺疾患）や睡眠時無呼吸症候群など慢性呼吸不全の疾患数が、潜在患者を含めてCOPDでは約530万人、睡眠時無呼吸症候群では200万

人と言われており、社会問題として取り上げられている。なお、死亡原因の第4位（WHO調べ）とされ、かつ日常的に睡眠不足となることから、交通事故や労災事故が誘発される懸念がある。これら慢性呼吸不全が比較的軽度の場合の治療法として、人工呼吸療法が行われ、人工呼吸の方法として、気管切開を伴うTIPPVや非侵襲的なNIPPVが適用されることが多い。しかしながら、マスク式陽圧人工呼吸器（NIPPV）用鼻マスクを用いた人工呼吸療法では、マスクが顔を長時間圧迫することにより、皮下組織の圧迫壊死や褥瘡を発生する例がしばしば報告されている。

この様な問題に対し、研究代表者が創出した研究成果を基に、新たに鼻マスク形状決定に応用するため、その基礎的研究の一環として鼻マスク装着時における装着部位近傍の応力状態を標準顔モデルに対して、シミュレーションした結果、褥瘡が生じやすい位置と比較的大きな応力値を示す領域に相関が得られた。

有限要素法による応力解析結果の精度を向上は、前述の接触圧力とトラクション荷重を同時に計測可能な触覚センサーを改良し、鼻マスク接触領域における実測に適用する他に、レーザー光による被験者の顔形状計測、超音波による軟部組織の厚さ計測、血流速度計測などの基礎データを収集し、得られた形状データに基づき、鼻マスク装着時を考慮した有限要素モデルの構築手法を検討することで実現可能であると共に、触覚センサーにより得られた情報をフィードバックし、個人に適した鼻マスクの形状を決定可能なオーダーメイドシステムの構築を行うことにより、問題解決に寄与できると予測した。

## 2. 研究の目的

ヒトの軟部組織に作用する接触圧力とトラクション荷重を同時に精度良く計測するために、触覚センサーの構成要素である感圧導電ゴム上に設置するデバイスの形状、ならびに材料の最適化を図り、3軸方向の力学的作用およびその経時的変動を評価することで、人の感性に等しい4次元触覚センシングシステムを構築した上で、鼻マスク装着時において作用する接触圧力分布、ならびにトラクション荷重分布を明らかにする。

また、額等の軟部組織の薄い領域では、圧迫による血流障害が起こりやすく、これは鼻マスク装着による褥瘡発生領域と一致していることを鑑み、鼻マスクを装着した際の血流速度を計測し、ベルトの締め付け力等の装着状態との相関を詳細に調べると共に、個々の顔形状を考慮した有限要素モデルを構築し、その応力解析結果に基づき鼻マスク装着時の血流状態の予測しうる手法を確立する。

さらには、個々人の顔形状に適した鼻マスクのオーダーメイドシステムを構築するために、有限要素応力解析手法を利用し、気密性を確保した上で血流を損なわないマスク形状の提案を行うと共に、光造形システムを利用して個人用鼻マスクの試作を行う。また、試作マスクを装着した際の接触圧力分布ならびにトラクション荷重分布、血流速度を実測し、その実用性の評価を行う。

## 3. 研究の方法

新潟大学および共同研究者所属機関の現有設備等、研究環境を利用する。すなわち、本研究は測定データの生理学的特殊性を考慮して、新潟大学地域共同研究センター、工学部、ベンチャー・ビジネス・ラボラトリーの連携に基づいて行った。

まずは、生理学的評価に関わるハード部分に相当する以下のような皮膚への刺激に対する生理学的解析のチェックと基本データの収集を主に計画する。また、鼻マスク装着時における接触圧力等を正確に計測するために、触覚センシングシステムの改良から、着手した。

- (1) 力学的刺激に対する顔面皮膚直下の血流速度の低下程度を観察するとともに、応力状態との相関の調査
- (2) 鼻マスク装着時における皮膚への力学的刺激を正確に計測するために、接触圧力とトラクション荷重を精度良く同時に計測するために、触覚センシングシステムにおけるデバイスを構成する材料並びに形状の最適化を図るとともに、3軸方向

それぞれの力学的作用の計測データを経時的に評価することで、人の触覚に近い評価が可能となる4次元触覚センシングシステムを構築

- (3) 力学的刺激の形態、すなわち静的負荷、動的負荷などが皮膚へ及ぼす影響を工学的並びに生理学的に評価
- (4) レーザー光ならびに超音波を用いて、顔形状ならびに軟部組織の厚さの計測結果に基づく、個々人の有限要素モデリングシステムを構築。(標準モデルを前述の計測結果を考慮して変形する手法を適用することで、計測やモデル作成に要する時間の短縮化)

上記の研究成果に基づいて、以下のプロセスによって、さらに研究を推進した。

- (5) 標準顔モデルを Free Form Deformation (FFD) 法を適用し個人モデルに変形する際に、必要となるパラメータを検討(レーザー測長による顔表面3次元位置データに基づき、標準顔モデルを変形するに際し、適切な精度を確保する上で必要最低限必要な3次元計測データの必要数を明確化し、個々人の有限要素モデリングシステムの最適化)
- (6) 個人顔有限要素モデルを FEM 応力解析。
- (7) 気密性を確保し、かつ皮膚障害を発生しにくい鼻マスク・クッション材形状の決定プロセスにおいて、最適な決定ルールを確立
- (8) 有限要素解析で得られた最適形状を有する鼻マスクを光造形システム等により製作し、鼻マスク接触領域における接触圧力ならびに血流速度を実測し、シミュレーション結果と比較検討
- (9) 触覚センシングシステムで得られる情報のフィードバック手法の最適化を検討し、研究を総括

## 4. 研究成果

本研究では、個々の患者に対して最適な鼻マスク形状の決定を支援するシステムを構築するための基礎的研究の一環として、レーザー測長および超音波測長の各技術要素から構成される3次元生体形態計測システムを行い、個人対応の顔モデルを作成した。また、このモデルに対して、鼻マスクを装着した際に作用する応力状態を有限要素法により求め、実測値と比較検討した結果、本研究で目指した個々人の顔形状を考慮した鼻マスクのオーダーメイドシステム構築のための基礎的手法の確立が

なされた。なお、得られた知見の詳細を、以下に記す。

- (1)鼻マスク装着部の接触圧力について、4次元触覚センサによる実測値とFEM応力解析結果を比較した結果、両者はほぼ定性的かつ定量的に一致した。よって、本研究で提案する個人用顔モデル構築システムおよび応力解析手法を適用することで、実際に鼻マスクを装着した際の接触部領域の応力状態を再現することが可能である。
- (2)鼻マスクのシリコンラバー部ならびにゲルパッド部は、顔表面に作用する接触圧力分布の偏りを減少する様に複雑に変形するものの、その効果は十分とはいえず、特に額部において大きなMises応力が作用する。一方、脂肪組織の弾性係数が小さいことから、この領域においても作用応力の偏りを小さくする効果が見受けられるものの、これよりも深部に存在する筋組織領域においては、作用応力が集中する領域が存在する。よって、褥瘡予防の観点から、接触表面のみならず深部における応力状態を考慮して、適切な鼻マスク形状を決定する必要がある。

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計3件)

二宮敬一, 吉田祐介, 半田俊弘, 尾田雅文, 原利昭, NPPV用鼻マスク装着時に作用する応力の計算力学的検討, ライフサポート, 査読有, Vol.21, No.2, 2009, pp.70-75

尾田雅文, 原利昭, 義足ソケット形状決定のための下腿モデリングシステム, 日本機械学会論文集(C編), 査読有, Vol.75, No.754, 2009, pp.1725-1732

二宮敬一, 吉田祐介, 尾田雅文, 原利昭, NPPV用鼻マスク装着部における応力解析のための個人対応FEモデルの構築, 日本機械学会論文集(C編), 査読有, Vol.75, No.752, 2009, pp.1026-1032

### 〔学会発表〕(計8件)

太田昌宏, 迎寛人, 尾田雅文, 原利昭, 小坂井暁史, ハイブリッド型多軸力覚センサセンサによる力学情報の抽出, 第22回バイオエンジニアリング講演会, 日本機械学会, 岡山理科大学(2010)

吉田祐介, 二宮敬一, 尾田雅文, 原利昭, NPPV鼻マスクのフィッティングにおける力学的評価, 第20回バイオフロンティア講演会, 日本機械学会, 和歌山県民文化会館(2009)

太田昌宏, 尾田雅文, 原利昭, 小坂井暁史, 静電容量型多軸力覚センサを用いたメス操作

時の反力評価, 第21回バイオエンジニアリング講演会, 日本機械学会(2009)

尾田雅文, 小浦方格, 他3名, NPPV鼻マスク装着部の応力解析のためのパーソナル対応FEモデル構築, 日本非破壊検査協会平成20年度秋季大会, 日本非破壊検査(2008)

吉田祐介, 二宮敬一, 尾田雅文, 原利昭, NPPV用鼻マスクの形状最適化システムに関する基礎的研究, 第19回バイオフロンティア講演会, 日本機械学会, 首都大学東京(2008)

二宮敬一, 吉田祐介, 尾田雅文, 原利昭, NPPV用鼻マスク形状最適化のためのモデリング環境構築, 日本機械学会北陸信越支部第45期総会・講演会, 日本機械学会北陸信越支部(2008)

森尻剛史, 太田昌宏, 尾田雅文, 原利昭, 小坂井暁史, 6軸荷重センシング検出アルゴリズムの構築, 日本機械学会北陸信越支部第45期総会・講演会, 日本機械学会北陸信越支部(2008)

森尻剛史, 尾田雅文, 原利昭, 小坂井暁史, 手術支援システム用センサの基礎研究, 日本機械学会年次大会, 日本機械学会(2007)

### 〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称: マスク形状決定支援システム, マスク形状決定支援方法およびマスク形状決定支援プログラム

発明者: 尾田雅文, 原利昭

権利者: 新潟大学

種類: 特許

番号: 特願2008 308075

出願年月日: 2008年12月3日

国内外の別: 国内

取得状況(計1件)

名称: 3次元形状の計測装置およびその計測データによる義足のソケット形状設計装置

発明者: 尾田雅文, 花房昭彦

権利者: 新潟大学

種類: 特許

番号: 特許第4304341号

取得年月日: 2009年5月15日

国内外の別: 国内

### 〔その他〕

ホームページ等

<http://researchers.adm.niigata-u.ac.jp/R/staff/?userId=954&lang=>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

尾田 雅文 (MASAFUMI ODA)  
新潟大学・地域共同研究センター・教授  
研究者番号：8 0 3 7 2 4 7 3

(2)研究分担者

原 利昭 (TOSHIAKI HARA)  
新潟大学・自然科学系・教授  
研究者番号：5 0 1 3 4 9 5 3  
(H19 H20：連携研究者)  
小浦方 格 (ITARU KOURAKATA)  
新潟大学・地域共同研究センター・准教授  
研究者番号：3 0 4 0 1 7 7 2  
(H19 H20：連携研究者)