

令和 6 年 6 月 8 日現在

機関番号：32651

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K09808

研究課題名（和文）左右対称性を求める手術を支援するプロジェクションシステムの確立

研究課題名（英文）Establishment of a Projection System to Assist Surgeries Aiming for Symmetry

研究代表者

宮脇 剛司（Miyawaki, Takeshi）

東京慈恵会医科大学・医学部・教授

研究者番号：70246445

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：Grid Projection Topography (GPT)技術を用いた小型プロジェクターを開発し、安全性評価や外鼻形成術への応用を行なった。100lm級の小型プロジェクターの温度上昇が安全範囲内であることを確認し、GPTによる立体形状評価が実際の偏位と高い相関を持つことを実証した。しかし、プロジェクターの開発は電磁波試験で基準値を超え、商用へは至らなかった。その後、専用スマートフォンアプリの開発を行い、部分的な実用化を達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Grid Projection Topographyは格子状画像を斜め方向から投影し、正面から観察することで等高線上の像が得られ、立体形状を把握する技術である。本研究で、この技術が実体の立体形状を正確に反映していることを実証した。制作したスマートフォンアプリケーションを用いて、ワイヤレスに簡便に行うことが可能となった。これにより、外鼻形成、顔面手術、乳房手術など、様々な立体的形成が重要となる手術にも応用可能であり、医療現場での手術精度と患者満足度の向上に貢献する可能性が示された。

研究成果の概要（英文）：We developed a small projector using Grid Projection Topography (GPT) technology and explored its applications in safety evaluation and nasal reconstruction surgery. We confirmed that the temperature rise of the small projector, rated at 100 lumens, remained within the safe range and demonstrated that GPT-based three-dimensional shape evaluation correlates highly with actual deviations. However, the development of the projector did not reach commercialization due to exceeding standard values in electromagnetic wave tests. Subsequently, we developed a dedicated smartphone application and achieved partial practical implementation.

研究分野：形成外科学

キーワード：鼻中隔外鼻形成術 変形外鼻手術 グリッドプロジェクショントポグラフィー GPT Augmented Reality AR

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

鼻は、外鼻と鼻腔に分けられる構造である。外鼻は顔面の中央に突き出すように存在し、その人の表情の中心として整容、パーソナリティに大きな影響を与える。

外鼻孔から鼻腔は上気道の終末部として呼吸器として機能を持つ。上鼻道の頭側には嗅上皮が存在し、感覚器として非常に重要である。また副鼻腔や咽頭と相互作用し、声の共鳴腔としても作用する。鼻はこのように機能と整容を併せ持った重要な器官である。

斜鼻変形のような外鼻変形に伴う鼻中隔彎曲症は、これまでの鼻中隔軟骨矯正術、下鼻甲介手術では改善が困難である場合があり、その原因は先天的、後天的な鼻中隔軟骨前弯、骨格の変形が考えられる。我々はこのような症例に鼻内と外鼻双方からのアプローチを行う鼻中隔外鼻形成術を行い、機能と整容の改善の両立を図ってきた。

特に外鼻を形成する際には、目標とする形態を評価法がいくつか考案されている。Vectora®を仕様した3Dカメラとソフトウェアを用いたシミュレーション方法、CT画像を再構成した写真に、鼻中隔延長、プロテーゼの厚みを重ねて手作業で目標とする側貌を作成する方法などが知られる。

今回我々は、Grid Projection Topography(以下GPT)という格子状画像をプロジェクターから斜め方向に投影し正面から観察することで等高線状の像を観察可能とする技術を開発した。GPTはリアルタイムかつ簡便な立体形状の評価方法であり、左右対称性を可視化することができる。

本研究は申請者らが開発したGPTを用いて、体表面の立体形状を客観的に評価し、左右対称性が求められる手術(外鼻形成、乳房再建、臀部形成、眼瞼手術など)の技術向上・GPTの普及を目指すものであった。

### 2. 研究の目的

申請者らはプロジェクションマッピング技術を用いた簡易型ARシステムを開発し、Grid Projection Topography(GPT)と名付けた。これを用いて体表面の立体形状を客観的に評価し、左右対称性が求められる手術の技術向上・GPTの普及を目指す。そのために1 安全性の評価を行う。2 外鼻形成において症例のデータより顔面3Dモデルを作成し、GPTの投影と計測を行い、条件設定と評価法を確立する。3 専用のプロジェクターおよびソフトウェアの開発を行う。

### 3. 研究の方法

安全性の評価：市販のプロジェクターを用いて、白色光画像を被写体へ照射した際に、被写体に温度変化(発熱)があるか、温度計を用いて試験を行った。また、照度の計測も照度計を用いて行った。

#### 試験条件

図1で示すプロジェクターとステージの高さ(h)を30cm、50cm、70cmの3段階に設定し、ステージ周辺温度および照度を計測することで、プロジェクターを照射した際の温度・照度変化の高さ依存性を調べた。実使用時に想定される投影時間を想定し、投影保持時

間を 10min とした。

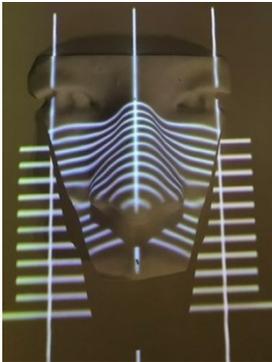
・外鼻形成でのデータ計測：外鼻形成術の症例において、1mm 厚スライス CT を術前後に撮影し、こちらのデータを用いて、STL ファイル変換を行い、3D プリンター(Raise 3D Pro3, 日本 3D プリンター社)を用いて、白色 PLA ファイバーから 0.5mm 厚積層にて顔面 3D モデルを作成した。GPT の投影法を標準化し、内眼角中点、鼻尖点を結ぶ線分を 10 分割するように、45 度の角度で投影した。

DICOM ビューワー：Horos ver3.3.6、3D プリンター：Raise 3D Pro3, 日本 3D プリンター社、プロジェクター：RICOH PJ WXC1210 (800lm)

CT の DICOM データ上での鼻梁の偏位と、GPT を施行した場合の鼻梁の偏位を Image J を用いて面積として算出し、GPT が真の偏位を反映しているものが評価した。

投影の際の基準は以下の通りに設定した

- ・ 水平断 顔面平面に直交する軸位平面
- ・ 正中 内眼角中点（内嘴点）と上唇点を結ぶ直線
- ・ 偏位 最突出点の正中からの距離（内眼角中点と鼻尖点を結ぶ線分を 100 とする相対値で算出）



#### 専用のプロジェクターおよびソフトウェアの開発

株式会社ジャパンメディカルカンパニー社と共同でプロジェクター筐体の開発を行った。プロジェクターユニットは汎用のものを採用した。

ソフトウェアは株式会社村北ロボテクスと共同で、Windows、iPhone 向けのアプリケーションを開発することとした。

#### 4. 研究成果

##### 安全性の評価

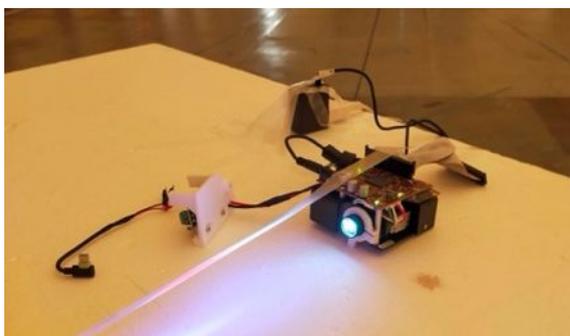
表 1 には 3 種類のプロジェクターそれぞれで、ステージとプロジェクター間の高さを 30、50、70cm に変化させたときの照度および、温度変化を示す。また、測定時の周辺環境の照度および温度も計測している。照度計は測定数値  $4\% \pm 10\text{dgt}$  であるが、高さを変化させることでその測定誤差範囲を超えた有意な変化が見られ、ステージからプロジェクターの距離が離れるにつれ、照度が減少していることが分かる。一方で、温度計は測定誤差が  $0.8^\circ\text{C}$  であるが、その測定誤差を超える明確な温度上昇は見られていないことがわかる。手術時に懸念すべきは、投影による皮膚温度上昇によって発生する熱傷が想定されるが、今回使用したプロジェクターでは、低温熱傷が発生すると言われている  $42\sim 44^\circ\text{C}$  以上の温度に達することはなく、熱傷による安全性上の問題はないと言える。

表 1 ステージ・プロジェクター間の高さを変化させたときの照度および温度変化結果

	Picocube		Mini Projector S100		DLP230NP
	照度 (ルクス)	温度 (°C)	照度 (ルクス)	温度 (°C)	照度 (ルクス)
周辺環境	375	23.9	838	23.3	804
30cm	3960	24.1	1675	23.6	4560
50cm	1560	23.9	1130	23.3	2415
70cm	1018	23.6	845	23.4	1715

## プロジェクター開発

仮筐体は3Dプリンターベースの上、プロジェクターユニットはテキサス・インスツルメント社のものを組み込んだ試作機を作成した。



試作機の実証試験をする前段階として、山梨 EMC センターに試作機を持ち込み、放射電磁波試験 (EMC 試験) を行った。詳細な報告は省略する。

## EMI測定データ

社名: 株式会社ジャパン・メディカル・カンパニー 品名: プロジェクター  
 型式: JMC-JYM-001 製造番号: 0001  
 測定日: 2021-07-20 測定技術者: K.Ide 測定場所: Yamanashi EMC Center, #1 Open Site  
 天候: 晴れ 気温: 23°C 湿度: 60%RH  
 規格: EN 61000-6-3:2007/A1:2011 (IEC 61000-6-3:2006/A1:2010) 要求マージン: 0dB  
 測定項目: 放射電界強度 (10m)  
 電源: AC 100V 50Hz  
 動作モード: 電源投入～待機状態  
 メモ: 装置: ラズパイ単体  
 使用試験機器: - (EM1-20-001), 8447D (EM1-24-038), CFA-01 (EM1-24-014), ESU8 (EM1-22-054), N9010A (EM1-22-053), VULB9168 (EM1-10-014)

### 最小マージン

H (水平)	125MHz	-2.2dB
V (垂直)	125MHz	-13.8dB

負のマージンは測定されたノイズ・レベルが限度値を超えたことを意味しています

試作機より日常使用での一般的な家電製品の基準値を大幅に超える電磁波が観測された。原因は映像信号を送信するパラレルケーブルであることが判明し、映像信号をプロジェクタユニットへ送受信する箇所を含めて基盤の新規設計を行わなければ解決しないと考えられた。基盤の新規設計には 3000 万円程度の予算が必要であり、この段階で、ジャパンメディカルカンパニー社より、プロジェクターの開発撤退の通告があり、協議の結果開発終了を決定した。

ソフトウェア: Windows 版として、Rhinoplasty support を作成した。こちらは投影に特化して格子画像や、プロジェクションマッピングに用いる画像の台形補正、拡大、縮小、回転を制御す

るソフトであり、何度かのバージョンアップにより実用化された。

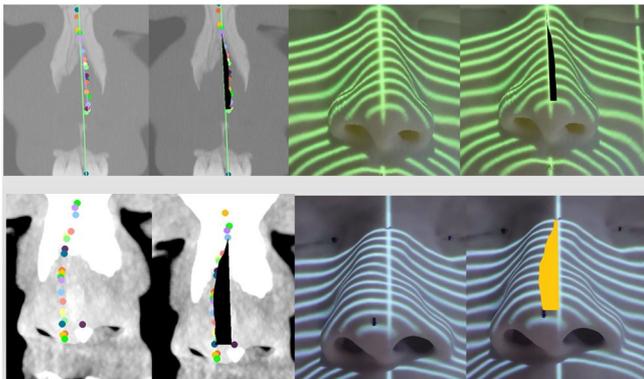
前述したプロジェクター本体の開発失敗に伴い、すべてのシステムを一体にした形は断念し、RICOH PJ WXC1210 と iPhone を用いる方式へ転換した。

Rhinoplasty support をベースとして、iPhone では視点と対象という位置関係で画像表示を行う Unity をフレームワークとして採用することで、原理上、投影の誤差を最小化することが可能になった。

2024年2月には App store に「Grid ProJecTion」として、無料で公開された。

- ・外鼻形成でのデータ計測

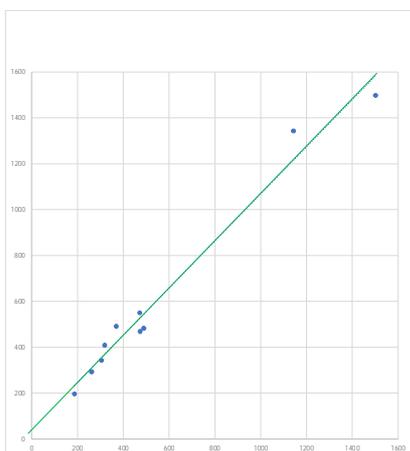
計測の例は以下の通りである。



症例は 10 例で、以下の通りであった

- ・ 性別 男 6 例 女 4 例
- ・ 年齢 39.6(24-72)
- ・ 斜鼻変形の分類 I 型 1 例、C 型 2 例、S 型 7 例
  
- ・ 真の偏位総量 475 (331-748) 中央値(IQR)
- ・ GPT 偏位総量 419 (293-653) 中央値(IQR)

真の偏位量と GPT の偏位量のプロット



統計解析結果(解析ソフト R4.1.2)

スピアマンの順位相関係数 Rs 0.99  
決定係数  $R^2$  0.98  
回帰直線  $y=1.0x+41$

以上より、GPT での偏位量測定は強く実際の偏位と相関することが明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 赤石 渉
2. 発表標題 Projection based AR syetemの形成外科手術への応用と課題
3. 学会等名 第32回日本シミュレーション外科学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 赤石 渉
2. 発表標題 ARを簡便に - 医工連携による小型プロジェクター開発
3. 学会等名 第65回日本形成外科学会総会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮脇 剛司
2. 発表標題 鼻中隔軟骨尾側端の前鼻棘への固定法について
3. 学会等名 第65回日本形成外科学会総会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 赤石 渉
2. 発表標題 ARを簡便に-医工連携による小型プロジェクター開発
3. 学会等名 第65回日本形成外科学会総会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 赤石 渉
2. 発表標題 プロジェクションマッピングによる手外科手術支援の精度評価
3. 学会等名 第65回日本手外科学会学術集会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	宮野 千草 (Miyano Chigusa) (40868402)	東京慈恵会医科大学・医学部・助教  (32651)	
研究分担者	赤石 渉 (Akaishi Wataru) (50815488)	東京慈恵会医科大学・医学部・助教  (32651)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------