

# 航空機主翼部ファスナに対する画像と形状データを用いた自動検査 Automatic Inspection of Fasteners on Aircraft Main Wing by Using Images and 3D Data

鷲見 典克† 田口 亮† 服部 公央亮†,‡ 保黒 政大† 梅崎 太造†  
Norikatsu Sumi Ryo Taguchi Koosuke Hattori Masahiro Hoguro Taizo Umezaki

## 1. まえがき

国内航空機産業における機体製造の効率化策の一つとして、航空機主翼部ファスナにおける装着状態検査の自動化が望まれている。ファスナの装着状態は被雷時における機体の安全性に影響するため、現在はデブスゲージを用いた人手による検査が実施されている[1]。しかし、航空機 1 機につき装着されるファスナは 8 万本にも及び、総工数 4 千時間余りを要する。本稿では、自動非接触検査による検査効率の向上を目的として、カメラとプロジェクタによる三次元計測を用いた自動検査手法を提案する。計測時には、ファスナ部に対して正弦波パターンを投光する位相シフト法により 3 次元形状を取得する。画像と形状データから、良否状態を判定するアルゴリズムについて検討を行い、有効性を検証した。

## 2. 検査対象および検査装置

ファスナサンプルを図 1 に示し、サンプルの数字を記載した部分をファスナ部、それ以外の部分をパネル部とする。三次元計測器にはカメラとプロジェクタを用いたアクティブステレオ法を採用した。計測手法には、大域位相と局所位相のパターン 8 枚を投影する位相シフト法を用いて 3 次元形状を取得する[2]。カメラから撮影したファスナのテクスチャと、計測パターン投影時の大域位相、局所位相の撮影画像をそれぞれ図 2 に示す。

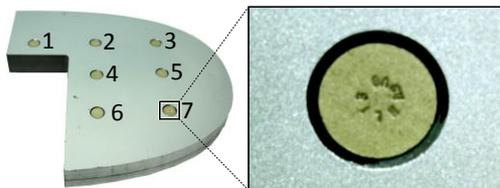


図1 ファスナサンプル



(a) テクスチャ (b) 単周期 (c) 高周期

図 2 ファスナ表面と計測時の撮影画像例

## 4. ファスナの良否判定アルゴリズム

現在実施されているファスナの検査は、パネル面に対するファスナ中心の深さが一定範囲内であるかどうかを検査している。しかしファスナが大きく傾いていると、ファスナ全体では深さが許容範囲を超える場合があり、厳密に検査できていない問題が存在する。そこでファスナ面とパネル面の傾きと、パネル面とファスナ中心との距離である深さの 2 つを算出することで、ファスナの装着状態を数値化して良否判定する手法を提案する。

### 4.1 平面推定処理

計測した 3 次元形状データからファスナとパネルの 2 平面の推定を行う。対象であるファスナサンプルの材質は金属であるため、傷などのプロジェクタの投光に対して直接反射を起こす部分が存在する。直接反射をした部分では、三次元計測時に投影するパターンをカメラで観測できないため、形状が正しく取得できない。さらに、ファスナ表面にある打刻印の影響により、打刻印付近では復元する形状にノイズが発生する。ファスナには様々なサイズがあり、特に小型のファスナでは、図 3 に示すようにファスナ面全体に占める打刻印の割合が非常に大きなものも存在する。そこで、上述した計測出来ない点やノイズの存在を考慮して、最小メジアン法[3]を用いたノイズに頑強な平面推定手法を検討した。

ファスナとパネルの各面を推定するため、まずファスナ部とパネル部を検出したマスク画像をラベリングして重心を算出する。次に算出した重心から一定距離の計測点をサンプリングすることで、各面の点群データを抽出する。ファスナ検出処理フローを図 4 に示す。



図3 打刻印の割合が大きな小型ファスナの例

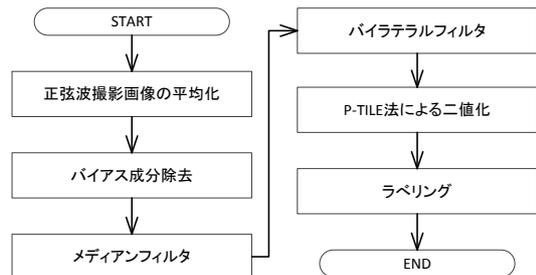


図 4 ファスナ検出処理のフローチャート

† 名古屋工業大学大学院 工学研究科 産業戦略工学専攻  
Master of Techno-Business Administration, Nagoya  
Institute of Technology

‡ 名古屋工業大学大学院 工学研究科 情報工学専攻  
Department of Computer Science and Engineering, Nagoya  
Institute of Technology

†† 中部大学 工学部 電子情報工学科  
Department of Electronics and Information Engineering,  
Chubu University

抽出された点群データに対して、最小二乗法を適用することで面推定を行う。ここで、最小メジアン法(LMedS)を適用することで、ノイズに対してロバストにな面推定が可能だと考えた。しかし、単純に最小メジアン法を用いると、サンプリングに偏りが生じる場合に、平面推定処理が安定せず、特に傾きの推定が正しく行えない恐れがある。そこで、そこで、画像の縦横方向で4分割した領域からそれぞれ同じ点数をサンプリングすることで偏りを低減しつつ、ノイズに対してもロバストな面推定手法を検討した。

## 4.2 ファスナの傾き・深さ算出手法

4.1 節に示したファスナ検出処理に従い、ファスナ部・パネル部の検出を行うことで、ファスナ領域の重心よりファスナ面の中心座標を算出する。パネル面に対するファスナ面の傾きを算出するため、ファスナ部とパネル部それぞれの領域から前節で述べた平面推定処理により平面を推定する。ファスナ部とパネル部の推定した平面における法線ベクトルをそれぞれ  $\vec{F}$ 、 $\vec{P}$ 、傾きを  $\theta$  すると、式(1)により算出する。そしてファスナの深さは、パネル面とファスナ部の中心座標との距離に相当する。これは点と平面との距離より導き出せる。実空間のXYZ座標系におけるファスナ中心座標を  $(C_x, C_y, C_z)$ 、パネル部の推定した平面における方程式を  $ax+by+cz+d=0$  とすると、深さは式(2)により算出する。

$$\theta = \cos^{-1} \frac{|\vec{F} \cdot \vec{P}|}{|\vec{F}| |\vec{P}|} \quad (1)$$

$$depth = \frac{|aC_x + bC_y + cC_z + d|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \quad (2)$$

## 5. 評価実験

本手法の評価はいち産業科学技術総合センター産業技術センターにて接触式三次元測定機(カルツァイスUPMC550CARAT)を用いて計測した結果を真値として扱う。接触式測定器による真値の測定箇所は、ファスナ中心から5[mm]と10[mm]の位置をそれぞれファスナ部・パネル部と定義して測定した。そのため本評価実験では、ファスナの中心座標から、5[mm]と10[mm]の計測点群を基にファスナ面・パネル面の平面を算出することで真値との誤差を評価した。図1のファスナサンプルにつけた数字毎に図5に示す実験環境において、ファスナの設置位置を変えつつ7個のファスナを各60回ずつ計測した(計420データ)。使用した機材は、ViewPLUS社のカラーCMOSカメラFFMV-03M2C(使用解像度640×



図5 実験環境

480[pixel])と、3M社のLCOS方式プロジェクタMP180(使用解像度1280×768[pixel])である。ファスナ検査における許容誤差は、傾き誤差 $\pm 0.28$ [deg]、深さ $\pm 0.05$ [mm]である。図6に算出した傾きと真値との差における相対度数分布を示す。得られた分布より4領域に分割した最小メジアン法を用いることで、通常最小メジアン法よりも傾きの精度が向上することが確認できる。

さらに表1に傾きの最大誤差、平均誤差を示す。

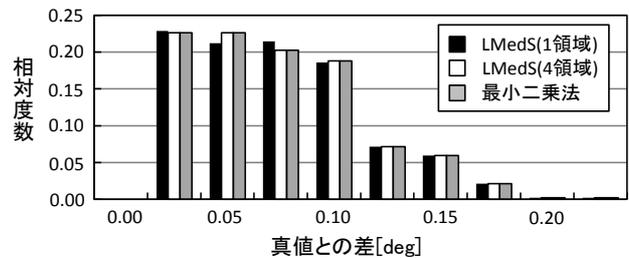


図6 傾き誤差の相対度数

表1 傾き誤差

|              | 最大誤差 | 平均誤差  |
|--------------|------|-------|
| LMedS (1 領域) | 0.40 | 0.061 |
| LMedS (4 領域) | 0.20 | 0.060 |
| 最小二乗法        | 0.23 | 0.056 |

## 6. 考察

評価実験により、単純に LMedS 法を適用した場合には傾きの精度が悪化することが確認された。これに対して、提案法である4分割をしてサンプリングを行う手法では、最大誤差の改善が確認された。今後、ノイズを含む対象物や小型のファスナサンプルに対して、ロバスト性の精度評価を行いたい。

## 7. まとめ

本研究では、航空機主翼用ファスナの自動非接触検査を行う手法として、カメラと小型プロジェクタを用いた位相シフト法による三次元計測を提案した。そして、計測形状からロバストなファスナ良否判定アルゴリズムを開発して、接触式測定器と比較した結果、許容誤差を満たす検査精度が確認できた。今後は、検査システムの実用性を高めるため、計測時の外乱光に対する対策、計測時の投影パターン枚数の削減を目指す。

### 謝辞

本研究は、株式会社エアロとの共同研究である。関係諸氏に敬意を表する。

### 参考文献

- [1] 山本和男：“航空機における複合材利用と新たな雷害対策技術”，電気学会論文誌 B，電力・エネルギー部門誌，133(9)，690-693，2013。
- [2] 傳田壮志，大橋健，江崎俊郎：“位相シフト法を用いた高速な3次元計測手法の提案”，電子情報通信学会研究報告。PRMU，パターン認識・メディア理解 99(515)，43-50，1991。
- [3] PETER J. ROUSSEUW：“Least Median of Squares Regression”，Journal of the American Statistical Association，Vol.79，No.388，1984。