

# インフラ設備の外観点検システムへの無人飛行体の活用

名古屋大学大学院 工学研究科 教授 道木慎二

Professor Shinji DOKI  
Graduate School of Engineering  
Nagoya University



## 1.はじめに

我が国が直面する問題の一つに、経済成長期に建設されたインフラ設備の老朽化がある。平成25年度の国土交通白書によると、ここ10年、インフラの平均経過年数は単調増加しているが、新設・改良費は削減されており、老朽化の進む既存設備の継続利用が望まれる。設備の継続利用には、高頻度な点検による異常の早期発見が重要となるが、現状、点検頻度は十分とは言い難い。例えば、5年に1度の点検が推奨される長さ2m以上の橋梁は国内に約14万橋あり、1日当たり約380橋点検する必要がある。交通整理や足場の設置等を考慮すると、専門作業員による直接的な点検作業は現実的ではない。

点検作業として広く用いられている外観点検に着目すると、人が容易に到達できない場所の状態計測が可能となる点から、無人飛行体の導入が検討されている。無人飛行体はドローンとも呼称され、一般的には複数ロータを持つマルチコプタを指す。無人飛行体にカメラやサーモカメラ等の計測用センサを搭載することで、比較的容易に設備外観の状態が計測できる。実際、東日本高速道路株式会社は橋梁点検に、中部電力株式会社と㈱フカデンは風力発電の風車や太陽光パネルの点検に、無人飛行体を導入するための研究開発を行っている。

無人飛行体自体の機構や飛行制御法、3次元自己位置推定法の研究開発が進む一方、無人飛行体を利用した自動点検システム全体の研究は緒に就いたばかりである。筆者らは、前述の研究動向と昨今の画像処理・統計処理技術の発達を背景に、真に点検頻度を向上させるには、点検対象の外観形状に応じた点検経路の自動生成が重要と考えている<sup>(1)</sup>。特に、複雑な外観形状の橋梁や、設備が大規模な発電プラントにおいて有用となる。

## 2.想定する外観点検システム

想定する外観点検システムでは、「点検経路の生成」・「表面状態データの収集」・「解析による異常診断」の3つに問題を分離する(第1図参照)。

**Step 1. 点検経路の生成**：点検対象の表面状態データの収集には、対象の外観形状に応じた無人飛行体の飛行

経路が必要となる。従来、専門家による事前設計、もしくはオペレータの経験により飛行経路は決定されており、3次元の外観点検に適した経路生成法は検討されていない。

**Step 2. 表面状態データの収集**：生成した経路に沿って飛行しながら対象物の表面状態を定期的に計測してデータを収集する。実空間においては、風等の環境変動を考慮した飛行体の制御法が必要となる。飛行体の自己位置推定法や飛行制御法

は、現在広く研究されており、生成された経路に沿って外観データを計測する技術は確立されつつある。

**Step 3. 解析による異常診断**：収集した表面状態データを解析し、異常を検出する。異常検出には、製造現場で用いられる表面状態の異常検出法が応用できる。画像・統計処理分野でも広く研究されており、検出すべき状態に依存するものの、解決が見込める。

以上の検討から、本研究では、3次元構造を持つ点検対象に応じた点検経路の自動生成を試みている。CADの普及により、ここ10年で建造された多くの設備には3次元モデルが存在する。また、Kinect等の安価で汎用的な距離画像センサも普及し、専門知識がなくても、比較的容易に構造物の3次元モデルが得られるようになった。これらを背景に、無人飛行体の特性、計測用センサの特性、3次元モデルに基づき点検経路を自動生成する手法を提案する。

### Step1. 点検経路の生成



### Step2. 表面状態データの収集



### Step3. 解析による異常診断

第1図 想定する点検システム

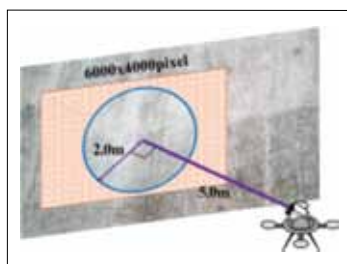
## 3. 外観形状に応じた点検経路生成法

外観点検システムの経路生成においては、「原理的に計測できない表面領域を明確にすること」と「計測可能な表面領域のデータを全て収集すること」が重要とな

る。本研究では、「計測不可能な領域を明確にしつつ、計測可能な全領域のデータを収集するための点検経路を自動生成すること」を目的とする。

外観の画像情報から異常を判断する場合、計測用センサは高解像カメラとなる。カメラの仕様から解像度や画角が決まり、計測すべきひび割れ等の大きさに応じて、撮影面との距離や光軸方向が決まる。例えば、外観の全領域に渡って0.25mmのひびを検知する場合、市販の高解像カメラ(6000×4000画素・焦点距離18mm)を想定すると、約5.0m離れた位置から撮影面と垂直に光軸を向けて撮影することとなる。画像端の歪みを考慮すると、1回の撮影で約半径2.0m分の円領域の計測が可能となる(第2図参照)。

点検対象の3次元モデルに含まれるポリゴン情報を、先で求めた円領域に納まるように分割することで、各ポリゴンを撮影可能とする位置と方向が算出される。無人飛行体の占有領域を考慮した衝突判定アルゴリズム等を導入することで、実際に計測可能なポリゴンと、対応する計測位置・方向(計測ベクトル)がシステムティックに求まる。これは、シミュレーションによって事前に計算でき、この時点で、原理的に計測できない表面領域のポリゴンが明確になる。



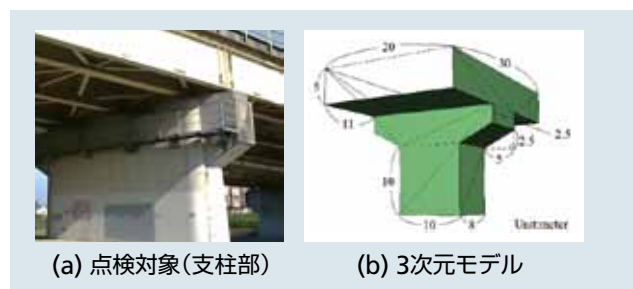
第2図 センサ特性と計測範囲

計測可能な表面領域の全データを収集するためには、無人飛行体が全ての計測ベクトル群を迎えればよい。すなわち、計測ベクトルを都市に見立てた、巡回セールスマン問題に帰着できる。既存のアルゴリズムを導入し、コスト関数に無人飛行体の飛行特性を組み込むことで、飛行経路が生成できる。一方で、巡回セールスマン問題の解は都市を巡る順番を与えるが、その間の経路の実現性は担保しない。これに対しては、既存の移動ロボットの経路計画法を導入し、解決する。

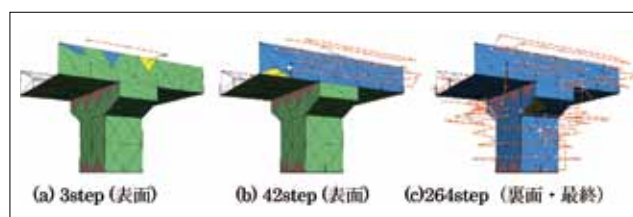
#### 4. 経路生成シミュレーション

道路の支柱部を点検対象とした簡易的なシミュレーションを紹介する。第3図(a)、(b)にそれぞれ想定した点検対象と事前に取得した3次元モデルを示す。

分割したポリゴンと生成した経路を第4図に示す。緑、青、黄、赤がそれぞれ、計測前、計測後、計測中、計測不可能なポリゴンを示す。空中の点が計測位置であり、赤破線が点検経路を示す。第3図(b)を見ると、事前に得た3次元モデルはポリゴンが不均一に分布していたが、第4図(a)から、提案した分割処理により、計測可能な範囲内にポリゴ



第3図 想定した点検対象とモデル



第4図 分割されたポリゴンと点検経路

ンの大きさが均一化された。加えて、撮影不可能な領域も明確になった。第4図(c)から、計測可能な表面領域は全て計測できたことを確認した。

設計者、CADソフト、計測機器等によって事前に用意可能なポリゴンは異なる。その場合でも、提案する分割処理を施すことにより、計測可能な領域と不可能領域の区別ができ、計測可能な全領域の表面データを対象とした経路計画が可能となる。現段階で生成した点検経路には無駄が多く、コスト関数や探索アルゴリズムの再検討が必要であるものの、対象形状に応じて、「計測不可能な領域を明確にしつつ、計測可能な全領域のデータを収集するための点検経路の自動生成」を達成した。

#### 5. 今後の展望

無人飛行体の飛行特性やバッテリー残量等をコスト関数に導入し、より現実的な点検経路を生成した上で、実機検証実験を行う。また、複数飛行体を用いた効率的な点検への拡張も試みる。自動点検システムの実現には、産・学・官の連携に加え、様々な研究成果を統合した統括的な研究推進が必要となる。本研究が一端を担うことを願う。

#### 参考文献

- (1) 麻,舟洞,道木,道木: UAVによる外観点検システムの自動化, ロボティクスメカトロニクス講演会, 2P1-O03, 2015

#### 道木慎二(どうき しんじ)氏 略歴

1995年3月 名古屋大学大学院電子機械工学専攻修了  
1995年4月 名古屋大学大学院工学研究科 助手  
2007年4月 名古屋大学大学院工学研究科 准教授  
2012年4月 名古屋大学大学院工学研究科 教授  
博士(工学)  
電気学会 上級会員  
IEEE会員