

岐阜大学 SIP 実装プロジェクト
第6回フィールド試験議事録
【5種類のロボット技術を用いた橋梁点検】

日 時：平成29年4月12日（水）9時00分～14時

場 所：各務原大橋 木曾川右岸 A1～P2（岐阜県各務原市上中屋町）

出席者（142名）：

【研究担当者】

六郷恵哲，沢田和秀，木下幸治，森本博昭，羽田野英明，加藤十良，牧野徹，古澤栄二

【ME ネットワーク関係者等】

森田和博，森田健司，川瀬智彦，一川毅彦，加藤一郎，青木繁幸，中村俊夫，遠藤徹，吉川知宏，山田祐三，八木孝行，柴山峰明，川田大武，荒木隆博，青島拓也，高橋佑生，辛軍青，國富康志，足立伸朗，今尾勝治，広瀬博行，林忍，水野裕太，熊谷三千夫，石川幹夫，浅野幸男，広瀬貴，国井優嗣，古川真也，安立道弘，戸塚正弘，蜂屋斉，秋山和仁，加藤波男，高橋一人，中村憲市，土屋義浩，今井政雄，岩佐瞭，村橋塁，村瀬光浩，早矢仕豊祥，神谷政秀，片田芳浩，白地千松，浜田健太郎，矢島賢治，乾敬彦，河合浩史，小坂紘士，安藤健太郎，大須正和，高木三男，市川博康，小川幸久，平井英章，鈴木大樹，安藤真司，山本卓，掘隆一，伊東剛，上村健一，加藤航太，杉山宜央，中村博之，中村明日人，大塚真司，上田直輝，岡島秀明，前田誠，前田敦，新羅幸広，長良和敏，山本篤，森田祐樹，入山祐一，日高雅史，東武志，新居見英樹，石田辰英，藪博史，パウロ・デベネスト，高橋秀和，西原ソーン宇偉良，中村章成，佐藤圭一，関谷英二，村松衡

【技術開発者】

西沢俊広，沢崎直之，和田秀樹，藤原保久，加藤直也，三浦泰人，加藤誉士，山田和正，稲垣航治，羽田芳朗，白石宗一郎，山口裕哉，高橋茂，玉置一清(代理:清水)，梅津健司，丹野浩二，光田徹治，斉藤浩巳，柿西英俊，宮本文治，河内山聡，前川謙二，正岡久和，吉田浩史，近藤英昭，荒川智之，永井立美，村端秀峰，吉田敬，吉井佑策，片山康博

【SIP 関係者等】

藤野陽三，宮武晃司，中山裕章，千田篤史，石塚敬之，生井達朗，大岡忠雄，藤井哲彦，山路徹，鶴飼孝盛，田中徹政，一宮一夫

【学生】

山本翔吾，蓮池里菜，米山翔太

なお、氏名については敬称略にて表記し、全体会議の司会進行は、羽田野が行った。

1. フィールド試験概要

各務原市が管理する各務原大橋（10 径間連続桁フィンバック橋）を対象として、ロボッ

ト技術を利用した橋梁点検のフィールド試験を実施した。技術開発者から、技術の詳細説明を受けた後、フィールド試験を実施し、測定結果などを確認しながら意見交換が行なわれた。試験終了後、参加者よりアドバイスシートの提出があった。試験対象技術は、以下の5件である。

- ① 橋梁・トンネル用打音点検飛行ロボットシステムの研究開発（日本電気／西沢俊広）
- ② 二輪型マルチコプタを用いたジオタグ付近接画像を取得可能な橋梁点検支援ロボットシステムの研究開発（富士通／沢崎直之）
- ③ 近接目視・打音検査等を用いた飛行ロボットによる点検システムの研究開発（新日本非破壊検査／和田秀樹）
- ④ 橋梁点検ロボットカメラ等機器を用いたモニタリングシステムの創生（三井住友建設／藤原保久）
- ⑤ 橋梁など道路インフラの点検支援システムの研究開発（デンソー／加藤直也）

なお、岐阜大学 SIP 実装プロジェクトでは、③、④については、2月22日にフィールド試験を実施し、現場での稼働状況を確認済である。また、⑤については、SIPの開発対象技術ではないが、国土交通省や NEXCO での実証実験等にも参画しており、東海地方の地元企業であることを考慮して、試験対象技術に含めることとした。

2. 挨拶

SIP プログラムディレクターの藤野教授（横浜国立大学）、研究責任者の六郷教授（岐阜大学）より、フィールド試験を行うことの趣旨や位置付けなどを踏まえた挨拶があり、事務局の羽田野より、配布資料、当日の日程の説明と確認が行なわれた。

3. 橋梁・トンネル用打音点検飛行ロボットシステム（日本電気）

（1）技術概要の説明

開発責任者の西沢氏（日本電気）より、次のような技術の概要説明が行なわれた。

- ① 橋梁の橋脚・橋桁・床板といった高所にあるコンクリート部材を打音検査し、変状箇所を特定し、データを蓄積できる点検システムを開発している。現在は、点検対象を地上から 30m の高さまで、足場を組まずに打音検査可能である。
- ② 点検対象高さは、ロボットへの電源供給などのケーブル長の関係から 30m に制約している。また、飛行ロボットを運用可能な最小空間としては、高さ 4m、幅 4m の空間が必要である。
- ③ 打音検査により、被り深さ 2～3cm、10cm 角以上のサイズのうき、剥離を検出できる。
- ④ 運用は、ロボット操作員、点検員、安全確保員の 3 名で行う。3 名で運搬・設置・運用が可能なシステムである。
- ⑤ 橋梁点検車、高所作業車等の機械足場を利用しない打音検査が可能のため、
 - ・高さ 8m 以上など、地上から通常の高所作業車が届かない箇所
 - ・歩道の幅が広い等、橋梁点検車のアームが点検箇所に届かない箇所

で活用できる。

- ⑥ 打検機のハンマーによる打音を、ドローンのローターノイズを除いた状態で点検員がヘッドホンで聴音し、清音・濁音を判別する。また、点検端末機に清音・濁音の自動判定結果を表示できる技術を開発中である。清音・濁音の判別データに、電子マーキングとしてトータルステーションによる位置情報データを記録する。
- ⑦ 変状個所の画像は、搭載カメラで撮影して記録する。
- ⑧ 連続点検飛行時間は2時間であり、運用可能最大風速は8m/sを目標としている。
- ⑨ 操作端末であるタブレットのタッチ操作により、ロボットを操作することができる。

(2) 試験実施時における説明

機器の説明が行なわれ、前日に実施した打音点検の実施状況が映像で示された。

- ① トータルステーションをドローンと点検箇所が見渡せる場所に設置し、ドローンにレーザーを当て位置を調べながら、タブレット操作で自動稼働させ、ドローンのコントローラーの操作無しで運行している。
- ② ドローンを橋脚側面に横方向に接触させるという、技術的に難しいことに挑戦している。現在、ヘッド部が80%以上の接触率で安定して接触し、打音を発生させることができる。
- ③ センサ部を上向きに変更することで、床版下面も計測が可能である。上向きについても、打音点検センサの安定した接触を実現している。
- ④ 操縦端末では、搭載したカメラの映像を確認しながらロボットの操縦を行う。
- ⑤ 川の中にある橋脚についても計測を行った。川の上においても安定して飛行することが可能であり、河川内橋脚での打音検査を行うことができた。

続いて、試験を実施して説明を行った。

- ⑥ 前進や上昇は、数m毎に少しずつ動かしていく。点検員の指示に従い、ロボット操作員が操作を行う。安全確保員が非常時用にドローンのコントローラーを所持している。
- ⑦ 機体を斜めにすることで、風に煽られずその場に留まることを試みた。風に弱いことは課題としており、改良していく。

強風のため、橋脚への接触を断念した。後ほど、風が弱まったためガラス板を模擬変状として、再度デモンストレーションを行った。

- ⑧ トータルステーションを用い基準点を取り、絶対的な座標を作成して計測を行う。模擬変状箇所の座標を測定することで、その位置まで自動で向かうこともできる。
- ⑨ ドローンの脚部に取り付けたプリズムに、トータルステーションからレーザーを当て位置を常に計測し、得られた位置情報に基づいて映像や打音情報を保存する。
- ⑩ レーザースキャナーというセンサが付いており、ドローンと対象物の相対的な位置関係を測りながら計測している。
- ⑪ ハンマーは電磁石で突出させている。打音した反動で機体が揺らぐのではないかと指摘を受けるが、ハンマーはボウルローラーから僅か突出させるだけで充分

に音がでるため、その心配はいらない。

- ⑫ 赤外線センサによって対象面との距離を測定し、ヘッド部の突出量を変化させることで、安定した接触を実現している。
- ⑬ レーザースキャナーより壁面との距離を測定すると共に、壁面に対する機体の姿勢がどのような角度になっているかを測定している。トータルステーションによる位置情報と、レーザースキャナーによる姿勢情報より、自立的な制御を行なっている。
- ⑭ FPV (First Person View) 用のカメラが取り付けられており、打音の様子を撮影している。
- ⑮ 将来的に、現在取り付けしているセンサを取り外し、ミラーレスカメラに載せ替えることで、同じ機体で近接目視点検に対応する計画である。
- ⑯ 音は、シェルと言われるケースの中に付いているマイクで拾っている。
- ⑰ 振動センサも取り付けしており、壁面の振動も取得している。これは、将来的に濁音・清音を自動で聞き分けるためのデータとして利用できたらと考えている。

(3) 質疑応答

試験終了後、次のような質疑応答が行なわれた。

- ① GPS を利用せず、トータルステーションを利用した稼働方式とは、どのようなものか。
→座標の地表面を取り、その座標系を基に X, Y, Z 軸が定義されており、それに基づいて上下左右の距離で指示を与えている。
- ② トータルステーションを、検査箇所が見渡せる場所に設置する必要があるとのことだが、何 m まで離れることが可能か。
→数 100m の距離届くが、ケーブルの長さが制約条件になっており、現在は 60m となっている。
- ③ 風速何 m 以上だと作業を中止する等の目安はあるのか。
→高所作業をやめる風速を目標としており、風速 8m/s を目標としている。
- ④ 橋脚の裏側を点検する時はどのように行うことになるか。
→トータルステーションの位置を基に点検を行うため、中州にトータルステーションを渡す必要があり、ボート等で渡して行うことになると思う。
- ⑤ プロペラの音が大きい中、聞いた限りでは綺麗に音が分離されていたと思うが、どのように処理しているのか。
→マイクをケースで覆って、風の影響を減らしている。また、電気处理的にフィルターを掛けている。低音域にノイズが多いので、数種類のフィルターを試作し、点検員の方に聞いていただいて一番聞き取りやすいものを採用している。先程は、リアルタイムでフィルターをかけた音を流した。

4. 二輪型マルチコプタを用いた橋梁点検支援ロボットシステム(富士通)

(1) 技術概要の説明

開発責任者の沢崎氏(富士通)より、技術の概要説明が行なわれた。

- ① 5年に一度の橋梁の近接目視による点検が義務付けられたということで近接目視をいかに効率化するかが課題である。点検の現場では、近接目視のための足場やアブローチの製作にコストがかかるといった部分が多い。点検結果の調書作成に関しても効率化が望まれる。ロボット技術、ICT技術を活用して点検業務を効率化することに取り組んでいる。
- ② マルチコプタによって点検業務を効率化するため、研究開発に取り組んでいる。取得したデータを3次元モデルとして管理し、管理情報を基に点検調書を自動で出力したり、維持管理の際に簡単に参照したりする点検効率化システムを開発している。点検業務の省力化と品質の向上、それに加えて、その後の維持管理の業務における省力化を進めるシステムである。
- ③ 普通のマルチコプタに車輪を取り付けた構造となっており、車輪が自由に回転する。飛行して橋脚に張り付いて移動できるという特徴がある。これによって、一定の距離を保ったまま安定した画像を取得できる。
- ④ 有線で映像を送信できる機能がある。現場で点検員がその映像を見ながら点検業務を実際に行える。

(2) 試験実施時における説明

ドローン操作を行ないながら、次のような説明が行なわれた。

- ① フルHDの画像をリアルタイムで見る事が可能であり、画像を見ながら支承の状態を近くから確認できる。コンクリート面に沿って、50cmの距離で詳細な画像を撮ることができる。
- ② 機体にはカメラが3台搭載している。中央と外側2台のカメラによって全面の広い画像を撮影できる。撮影された画像は映像として記録しており、後に映像を詳細に分析したり、張り合わせたりすることができる。
- ③ ロボットは、大型機と小型機の2種類がある。小型機は耐風性能が弱いので支承点検専用ということで開発しており、プロペラをガードできる構造としている。
- ④ 点検箇所を移動しながら、その場で損傷箇所を記録できる。タブレットを使用して映像を見ながら損傷箇所にマークつけるようなアプリケーションの開発も行っている。現場でできるだけ漏れが無いように点検するというコンセプトで開発している。
- ⑤ 上から吊るした状態でも、稼働させることができる。

(3) 質疑応答

- ① 画像、映像の送信は無線でも可能か。
→無線でも可能ではあるが、画像が粗くなってしまい、ひび割れが認識しにくい場合がある。高解像度の画像とするため、有線で送信している。
- ② 電源はケーブルで供給しているのか。
→バッテリーでも飛行可能だが、十分な稼働時間を確保するため、ケーブルで供給

している。

- ③ 見えない所からでも操縦は可能か。

→現時点では対応できず、その点が課題である。操縦を簡単にする技術や、自立制御できる仕組みを取り入れる必要がある。

5. 近接目視・打音検査等を用いた飛行ロボット（新日本非破壊検査）

(1) 技術概要の説明

技術開発者の和田氏（新日本非破壊検査）より説明があった。

- ① この開発では、インフラ点検にドローン型のロボットを活用することで、点検費用の低減を目指している。現状の点検をすべてドローン型ロボットによる点検に置き換えるのではなく、ドローン型ロボットの導入で総点検費を下げることを目的としている。また、大きな橋梁の場合、従来の点検方法では人が近づくのが難しい場所があるので、そこにうまくドローンによる点検を導入することで、多少効率化できるのではないかと考えている。
- ② ロボットは、通常のマルチコプタの上部に駆動車輪と点検機構をつけたものである。ドローンの推進力を利用して、壁面・床版・水平面に本体を押し付けながら、車輪を回転させ移動する。車輪を回しながら走行するときに、近接目視、打音検査を平行して行うことで効率的な点検ができる。
- ③ 大きな推進力を得るために、2重反転式のクアッド型という構造を採用している。2重反転式では、上下のプロペラが逆方向に回転することで大きな推進力を得ており、普通のクアッド型と比較して、プロペラの数が倍なので推進力も大きい。
- ④ このロボットは点検対象に接触しながら点検するため、広範囲の点検をするためには、機体は小さいほうが有利である。しかし、機体を小さくしすぎると、推進力が低下し風の影響を受けやすくなるという問題点もある。このロボットでは上部に車輪や点検機構を設けている構造であり、できるだけ小さな形状で大きな推進力を得るため、幅 88cm×長 88cm×高 72.5cm、重量が 7.5kg の形状としている。
- ⑤ 機構の特徴として、ドローンを上から吊るして稼働させることもできる。
- ⑥ 走行面の凹凸は、リベット程度の高さであれば乗り越えて進むことができる。
- ⑦ 現在は水平面の点検のみの対応だが、垂直面に対する点検機構も開発中で、もうすぐ完成予定である。
- ⑧ 前日の降雨の中での試験でも稼働でき、張出し床版に接触して点検を実施した。
- ⑨ 点検システムは、近接目視と打音検査を代替する機構を有している。
近接目視の代替機構として、2台のカメラによる幅広い範囲の点検が可能である。1つのカメラの画角が、700mm×400mm であり、2台カメラがあるので、ロボットの走行範囲をカバーできる。クラックゲージを利用した確認では、0.05mm が限界の解像度である。接触して撮影するため、一定の距離から見ることができ、各種の寸法も計測できる。
- ⑩ 打音検査の代替機構として、点検ハンマーをドローンに搭載して叩くことは、重量

の観点から難しい。そのため、4気筒の車のようなピストン式の打検機構を採用した。ピストン式の機構の有効性を確認するため、供試体を使った実験を行い、硬球落下試験の結果と比較検討したところ、50mmの深さであれば、硬球落下試験と同等の結果が得られた。したがって、深い空洞を見つけるのではなく、剥落などの危険性が高い変状をスクリーニング的に見つけ出すのに適している。何度も検査するなどの使い方をすれば、精密検査に使うことも可能である。2月のフィールド試験の床版点検では、健全部で高い音がでて、異常部と思われるところで、高周波の音がでてこなかった。健全部を叩くと「カンカン」という音がするが、黒ずんだ部分を叩くと「ポンポン」という低い音がでたので損傷等が存在することが確認できた。

- ⑪ 位置情報に関しては、GPSカメラを使用している。橋梁下面ではGPSデータがとれなくなるため、GPSを計測できる場所で位置を取得し、構造物の目標になる位置をカメラで撮影したカメラ情報、角度計や加速度計のデータで、GPS情報を補正して位置情報を取得している。

(2) 試験実施時における説明

ロボット操作を行ないながら、次のような説明が行なわれた。

- ① 安定した接触で近接状態となるので、高解像度の撮影が可能であり、細かいひび割れが判別できるが、この橋梁は新しいため、ひび割れを見つけるのに苦心した。感度を上げると汚れもとれてしまう。現状では、ひび割れは見つからなかった。
- ② 近接では魚眼のように撮影されるので、正確なひび割れの長さを測定するためには補正を行なう必要がある。左右のカメラで撮影した写真をうまく合成し、ひび割れの総延長が測定できるように工夫している。
- ③ 打音検査用にマイクを4つ搭載しており、打音とローターの音が両方入るため、打音だけを分離している。音響解析より、この橋は3kHzの固有周波数を持っていることが分かる。下に見えるのはピストンの固有周波数なので無視してよい。この結果では、3kHzのところには点があるので、今回点検した部分はすべて健全といえる。8kHzのところに変状が見られるが、それをどう評価するかは今後の課題である。

(3) 質疑応答

- ① 人間が打音する場合は、支持物からの抗力を得て、ハンマーで強く叩くこともできるが、ドローンは浮いているのでどのくらいの強度で叩けるのか。強く叩くためにどのような工夫をしているのか。また、効果のある強度で叩けているのか。
→ 衝撃力は、1/4ポンドのハンマーを10cmの位置から自由落下させた時の時の衝撃力と同じになるように設計している。この打音機構では強く叩いて変状部分を叩き落すことはできない。小さい力でも、マイクで集音して解析することで、人間が聞き分けられないような小さな変化も見つけ識別して、その場で変状を見つけるシステムとしている。
- ② 8kHzに気になる箇所があるとのことだが、その後はどうするのか。詳しく判定できるのか、それとも人間が近接して点検するのか。スクリーニングとして使うのか。
→ 5秒遅れで画面上に表示されるので、8kHzの変状が見つかった時にオペレータに

無線で連絡し、再度点検して本当に異常かどうか判定できるようにするのが最終目標である。現状、無線で通信しているので目標に近づきつつある。この場所の近くには飛行場があり、ジェット機の騒音が入るので、それも考慮して解析する必要がある。

- ③ 3kHz が出たのが正常と判断されたが、その基準はなにか。
→打音で同じ周波数が継続している場合、その周波数を正常と判断し、違うものを変状と判断する。相対変化で判断している。今回はずっと 3kHz のところにピークが出現しているので、それを正常と判断している。

6. 橋梁点検ロボットカメラ等機器を用いたモニタリングシステムの創生

(三井住友建設)

(1) 技術概要の説明（高所型ロボットカメラ）

開発責任者の藤原氏（三井住友建設）より、技術の概要説明が行なわれた。

- ① 高所型ロボットカメラは地面にセットし、上側にカメラがついている。最大 10～10.5m まで伸ばすことが可能である。これまでの試用で、風速 5m 程度までは倒れないことがわかっている。
- ② P1 橋脚の高欄から吊り下げている懸垂型ロボットカメラには、下側にカメラが付いている。高所型・懸垂型ロボットカメラは同じカメラを使用している。
- ③ 使用しているカメラの光学ズームは 30 倍であり、0.2mm 幅のひび割れを 20m 離れた場所から確認可能な、非常に高性能なカメラである。
- ④ タブレット画面上の 4.2 というのは、4.2 倍の倍率で撮影しているということである。倍率を上げれば、コンクリートの遊離石灰等も確認することが可能である。
- ⑤ タブレットから Wi-Fi 無線を使ってカメラの向きやズームなどの操作ができ、20m 離れても無線で操作できる。
- ⑥ タブレット画像上にクラックスケールを出すことも可能である。
- ⑦ 静止画像の撮影時に、レーザーを飛ばして対象物との距離を測り、タブレット画面上でクラックスケールを任意の場所に動かすことが可能である。
- ⑧ 撮影するとタブレットに保存されるので、あたかもその場所に行ってクラックスケールをあてて撮影したかのようになる。
- ⑨ クラックスケールだけではなく、L 字型スケールも画面表示することができる。
- ⑩ 倍率を上げて撮影すると、後でどこの部分なのかわからなくなるが、低倍率の画像を自動で撮影する低倍率撮影機能があり、位置図として利用できる。
- ⑪ タブレット画面上で手書き機能があり、メモ等に使用することが可能である。また、書いたものを静止画としても保存することが可能である。

(2) 技術概要の説明（懸垂型ロボットカメラ）

カメラ設置位置と、説明場所が 20m 以上離れていたため、説明用のモニターを切り替えることができないため、他の橋梁で撮影した画像を利用して説明が行なわれた。

- ① 【茨城県幸久橋】0.6mm 程度のひび割れ、桁の剥離、25cm 程度の区間で鉄筋露出

が確認できる。

- ② カメラを取り付ける高欄等がない場合は、簡易的な台車を使用する。
- ③ 懸垂型ロボットカメラは背負える程度に小さく収納することが可能である。重量は本体のみで 11kg, カメラ込みで 13~14kg。車が入れない場所でも 1 人で運んでいて点検できる。
- ④ 【熊本地震の際の阿蘇の長陽大橋 (PC ラーメン橋)】橋台が滑って段差ができたが橋梁の形状は保持した状態であり、今後も使用可能か調査を行った。PC 桁にせん断、ねじりなどによってコンマ数 mm のひび割れが発生していた。遠望目視だと確認することはできないが、懸垂型ロボットカメラを使用してこういった緊急時にも点検可能であることがわかった。
- ⑤ 【静岡県の貯水槽】貯水槽のマンホールから吊り下げて天井部分を調査した。人が入る場合、消毒や防護ネットが必要になるが、懸垂型ロボットカメラであればそういう手間が要らずに調査が可能である。
- ⑥ LED ライトがついているので暗闇の中 20m 先まで撮影することが可能である。
- ⑦ 高所型・懸垂型ロボットカメラだけではなく、最終的には 3D スキャナーやデジタルカメラの高精度撮影を使用して、物の形を含めて詳細に調査し、マッチングするシステムを開発の完成系として目指している。
- ⑧ 個々の技術は完成しているが、将来的には 1 つのシステムに構築したい。
- ⑨ Wi-Fi を利用した操作以外にも、インターネット経由でもデータ処理が可能である。インターネットで WEB システムに接続し、サーバーに保存されている過去の点検結果を呼び出して、画面上で調査して、またサーバーに保存することが可能である。
- ⑩ 過去のデータを見ることも、新しいデータの受け渡しもインターネットを使用すれば可能である。
- ⑪ 懸垂型ロボットカメラは常置して点検するのではなく、その時々で設置していくので、同じ場所で同じ箇所を点検する場合には再現性が必要になってくる。
- ⑫ 再現性を確保するために懸垂型ロボットカメラに GPS 機器を連動させて、誤差数 cm の場所にセットすることが可能である。データの中にはカメラの角度も入っているので過去の写真と同じように再現することが可能である。このため、年度ごとの劣化状況を確認することが可能である。

(3) 質疑応答

説明の後、次のような質疑応答があった。

- ① 1 箇所の設置でどの程度の面積を点検することが可能か。
→片側 10m 程度の撮影は可能である。しかし、カメラが斜めを向いているので写真が台形になってしまい、ひび割れ幅などを計るときに誤差が出る場合がある。
- ② 大きな構造物だと写真を撮るのが大変ではないか。今回のような大きな構造物を撮影することは想定されていないのか。
→懸垂型ロボットカメラであれば取り付け部分に自走台車をセットし、撮影範囲を設定した上で自動撮影することは、試作段階ではあるが可能となっている。

- ③ このシステムの強みは定点観測か。
→自動連続撮影機能があり、撮影場所や重複率を指定して撮影することが可能であり、この際、角度は自動で計算する。撮影した写真を後で編集することやクランクスケールでひび割れ幅等を計測することも可能である。写真は台形になるが、編集して繋ぎ合わせると1枚の大きな写真にすることも可能である。
- ④ コンクリートでひび割れもなく健全なものだと、表面がぼやっとしてしまってピントが合いにくいと聞いたが、そのような現象はこの機械では起きないのか。
→今のところ起きていないが、表面に何も特徴がないようなコンクリートだと起きる可能性はある。また、L字型スケールでゴム支承の変形量を計測することが可能である。
- ⑤ 計測できる距離の範囲とその精度、角度の精度はどの程度か。
→対象面の角度を測るときはレーザーで3点当てることにより、鉛直方向角度、水平方向角度を測っている。距離はレーザーのみだと100m、精度を確保すると30mが限界である。
- ⑥ その30mの精度はmmレベル、それともcmレベルなのか。
→50mで1cm程度の精度である。30倍ズームでゴム支承の変形やナット部分のさび等を確認することが可能である。
- ⑦ 角度の表現の仕方は10進法なのか60進法なのか。精度はどのくらいか。
→角度の表現は10進法である。精度は0.1度程度であり、0.1度単位で制御が可能である。
- ⑧ 強風の影響はあるのか。定点観測のときに同じ点といえるのか？
→風速10m程度であると写真がぶれる可能性が高くなる。動画撮影においてポーズボタンがあり、それを静止画として保存することも可能である。強風等で揺れているときは、何枚か撮影する必要がある。
- ⑨ プレキャストで作られたブラケット部分の内側や配水管の箇所については、変状の点検はどうすればよいか。懸垂型ロボットカメラを使って真ん中の辺りから、振りながら撮影することでかなりの部分が点検できそうだが。
→そのように考えている。下に伸ばす位置は自由に可変できるので、図面を見ながら自由に動かせばよいと考えている。
- ⑩ ブラケットの上の歩道のプレキャスト板がのっているところから遊離石灰がでているがカメラを上向きにして観測するのか。
→上方向は90度まで、下方向も90度まで、左右は180度ずつ動かすことが可能である。全方位見ることが可能である。
- ⑪ ブラケットと現場打ちのコンクリートの継目や、型枠の境界線（まっすぐ）とひび割れ（ジグザグ）の違い等は、精度を上げると確認できるのか。
→ズームすれば判断できる。
- ⑫ 撮影した写真において自動でひび割れをマーキングする自動検出機能はないのか。
→今年度に取り組み予定である。

- ⑬ 距離的に離れた箇所（支承の間や横桁の下面など）も撮影可能なのか。
→今日の懸垂型ポールユニットは標準タイプだが、別のタイプを利用すれば4.5m+1.5mのポールとして合計6mまで可能である。かなりの種類の橋梁で適用可能である。
- ⑭ 床版下面の撮影は可能か。
→斜めに見上げる形になるが可能である。これより広い幅員のなると厳しい。
- ⑮ 他のドローン技術などと画像を合わせることも可能なのか。床版下面の撮影が得意な技術との融合は考えられないのか。
→橋梁点検ロボットカメラは簡易型なので、目的の用途に合わせて選べば融合も可能と思われる。この技術の橋面での作業は周囲1m程度の規制で良い。静止画像はJPEGなので、他の静止画像と重ね合わせることも可能である。

7. 橋梁など道路インフラの点検支援システムの研究開発（デンソー）

（1）技術概要の説明

開発責任者の加藤氏（デンソー）より、次のような技術の概要説明が行なわれた。

- ① 点検スクリーニングシステムとして開発をしており、できるだけ短時間で撮影してスクリーニングを行ない、重点点検箇所を絞り込んで、打音点検や直接目視に繋げていくことで、手間のかかる検査の時間を短縮することを目指している。
- ② 目指すインフラ点検は、自動点検の部分と、損傷解析と調書を自動的に作る部分の両方を目指している。橋の損傷には色々な種類があるが、重視している点は、橋の部位にできる限り近接して連続撮影し、死角のない撮影をすることである。
- ③ UAV がカメラを運搬し、狙ったところにカメラを持っていき写真撮影と赤外撮影を行なう。対象橋梁を三次元データ化して、ひび割れ箇所を紐づけし、そのひび割れをデジタル化することで、前回点検時と今回点検時でひび割れが進行しているかどうかを判定することができる。
- ④ 対象橋梁とは別の橋梁で浮きがありその浮きが第三者被害を与えた場合、対象橋梁に存在している同じような浮きも危ないといった警告を、ディープラーニングを利用して出すことができる。これにより、今すぐ直す必要があるものか、しばらく放置しても良いものかを判断できるようにしたいと考えている。
- ⑤ 挑戦していることとして、点検結果の写真を事務所に帰って見るのではなく、その場でクラウドにあげ、クラウドの向こう側にデータセンターがあり、データセンター内で簡易的に橋梁の3Dモデルを作成したり、損傷状況を解析したりして、再度クラウド経由で現場に戻し、もう一度ある箇所を点検する等、取りこぼしの無いようなシステムを目指している。
- ⑥ ドローンの一番の特徴は、可変ピッチプロペラを積んでいることである。通常のドローンでは、プロペラの回転数で移動をしているが、その所定の回転数に到達するまでに時間がかかり、その間に風に流されてしまう。可変ピッチプロペラでは、瞬時にピッチが変わり姿勢を制御するので、風に対して効力がある。

- ⑦ 対物測位センサを積んでおり、例えば床版下3メートルと距離を設定すると常にその距離を保ったまま飛行することができる。
- ⑧ 打音機構は無いので内部空洞の検査はできないが、ひび割れや浮き、水漏れ等画像で判断できるので、この辺りが怪しいという判断は可能である。
- ⑨ 前日の点検結果より、ひび割れについては圧縮がかかった橋梁であり、0.2mm以下程度のひび割れしかなく、それが本当にひび割れなのかどうかは判断しきれなかった。支承については、天球カメラを用いているためそれほど詳細な画像ではなく、ゴムのき裂等までは判断できない。今後、使用しているカメラの性能が上がれば可能になってくると思う。

前々日に点検を実施した際の映像を見ながら説明が行われた。

- ⑩ カメラの画角が高さ方向で90cm、横方向で1.4mなので、重複できるように撮っている。可変ピッチなので、まっすぐに降りてくることができる。
- ⑪ UAVが進入できないところには、UAV上部に棒を取り付け、そこに天球カメラを取り付け隙間に挿入することで、通常進入できない箇所の撮影も可能としている。
- ⑫ 課題と開発方針として、より強い風にも耐えられるようパワーアップを図る。また、フライヤーの負荷が大きいのでその負担を軽くするためにGPS環境下でのウェイポイント航行ができるようにしたい。点検負荷を軽減するために、損傷種類をディープラーニングして、ひび割れや錆等を仕分けして、そこから得られた異常個所に対して詳細な点検をするシステムに仕上げたい。損傷度合いを定量化することで、損傷部をデジタル化してデータに残すということを行っている。

(2) 試験実施時における説明

システム開発者の光田氏（デンソー）より、機器の説明が行なわれた。

- ① プロポ（遠隔操作によりドローンに指令を与える装置）を2台用いており、一つはUAVを、もう一つはカメラを操作している。カメラは床版裏を撮るときは上向き、少し斜めを撮るときは斜め45度に傾ける等の操作が可能である。
- ② バッテリーの容量より、5分程度で1パターンの飛行をする。橋梁に対し事前にフライトの計画を立て、必要なフライト数からバッテリーの数を数えておく。
- ③ 機体を出してから3分半程度で、キャリブレーション前までの点検作業を終えることができる。その場でデータ解析や、カメラの交換等ができるような基地局として車を使用している。車が入れない場所には、タイヤ付きの容器で移動する。
- ④ 風速の目安は5m/sであり、これ以下であれば点検飛行が可能である。5m/s以上でも飛行は可能であるが、写真が上手く撮れない等があるためケースバイケースで行っている。
- ⑤ ホバリング状態で床版へ近づけ、今回は3mに固定している。高度方向に動かなくなり、風が吹くと動こうとするが、瞬時に姿勢を整えている。3mという距離は、現在搭載のカメラで0.2mmのひび割れを映すためにはこの距離まで寄る必要があるという計算から設定している。床版下面が平坦でない場合は、撮影対象に合わせてカメラと距離を変えている。

- ⑥ 飛行速度は1m/s以下、シャッター回数も1秒で1回以上にすることで漏れなく撮影している。機体後ろにあるLEDの点滅はバッテリー状況を示しており、バッテリーが少なくなってくると点滅が早くなる。
- ⑦ 天球カメラは先端に付いているため、カメラ部が支承にたどり着けば撮影可能であり、1分程度で一回の撮影が可能である。一支承に対して四方向から撮影する。
- ⑧ ブラケットの中は、潜望鏡を付けてパイプの上の排水溝の状況等も確認している。ブラケットの間に出し入れすることで撮影している。前々日の点検では30か所行い、約30分で点検を行った。

(3) 質疑応答

試験の後、次のような質疑応答があった。

- ① シュノーケルについて、こういうものがあると良いと思っていたものを具現化していただいた。支承回りの確認に有効と考えており、自動操縦で支承回りを一周するようなプログラミングが組めれば、効率化・迅速に処理できると感じた。T桁や鋳桁等の桁のフランジから床版まで深さがあるようなところに、シュノーケルを挿入することができると非常に有効と考え、こちらも自動化のプログラミングが組めると良いと思う。
→そのことをまさにトータルステーションを利用して行おうとしており、可能性はあると思う。また、T桁や鋳桁を挿入して撮影した経験はあり、そのようなデータも持っている。
- ② シュノーケルを水平や下側に回転することで、どんな場所にも対応できるような機能への改良はできないのか。そのようにすると安定性が損なわれるような問題があるのか。
→360度方向カメラなので、挿入さえできれば全方向を撮影できる。どの方向に出すかということだが、下方向だとギミック機構が必要だとは思いますが、やろうと思えばできると思う。不安定にはなるが、可変ピッチプロペラを積んでおり機体を安定に制御することができるので、不安定なものを積んでもあまり揺れずに写真撮影が可能であると考えている。
- ③ シュノーケルにつけた360°カメラについて、一瞬で360°撮影しているのか。
→一度のシャッターで360°撮影し、それを動画のように見せていた。撮影したものを天球の状態に表示するか、平面で表示するか等はソフト次第である。
- ④ ディープラーニングを使ってデータの振り分けを目指しており、現時点では8割程度完成しているとのことだが、損傷箇所の抽出漏れが無いようにできるのか。
→損傷写真が撮れるのは、全体の写真の1割程度である。そこで、力を入れなくてはいけなのは「異常なし」という写真を正確に見分けることだと考えている。現在は90%を少し超えたあたりであり、99~100%に近い値を出す必要があると考えている。そのためには、我々の写真だけでなく、他の方々の写真もご提供いただき、ディープラーニングをしっかり成長させていき誤判定の無いようにすることが大事であると考えている。

- ⑤ 現在は、このシステムでスクリーニングをし、怪しいところは詳細点検ということだが、将来的になるかもしれないが損傷解析の位置づけはどのようなものになるか。
- 当面は人の手による最終チェックは欠かせないと思うので、損傷状態と箇所をデータに残すことが大事だと考えている。将来的には、人が行かなくても、システムを信頼していただき、これだけで点検終了とできることが一番良いと考えている。システムの基本は、スクリーニング技術の構築にあると考えている。
- ⑥ 360° のカメラだが、高価なものなのか。
- 既製品であり数万円である。もう少し画素数のあるカメラが開発されたら、そちらを積んでいきたいと思う。
- ⑦ 今回はフィールド試験としてここを見てください、という具体的な点検を依頼したが、このような場を提供したら技術は進歩していくものと思うか。実務者（点検や診断を行う人）の協力を開発に活かすためには、実務者からどのようなことを聞きたいのか。（主催者側より）
- 点検項目を予め示していただくと、どのような品揃えで行けばいいのかわかるのでありがたい。それぞれの項目に対し、どの程度の精度で結果が欲しいのか、どう見たいのかが分かると良い。たとえば今回の橋梁だと、カメラセットと飛行距離で、何 mm の幅まで見ることができるか決まるため、0.2mm 以下のひび割れがあると思うが、それを見るのかどうか等を示していただけると良い。
- ⑧ 開発者の方々は、点検要領の点検項目は把握しているものなのか。点検要領を読み込んでいただくと、どの程度の精度を求めているか、どのような損傷が知りたいのか等が具体的に分かると思うので、私たち点検業者がすぐ使えるような仕組みになるのではないかと思う。双方向にコミュニケーションを取ることで、より良くなっていくのではないかと考える。
- 今回は岐阜県の橋梁点検要領に沿って行なうということで、予めいただいた資料の内容を基に計画し、最終的にはそのような形でまとめる予定である。コミュニケーションについてはそう考えている。

以上