

#### 4 防護柵の効率的な維持管理手法の検討結果

##### (1) 幼齢造林地における UAV 撮影による防護柵の効率的な維持・管理手法の検討結果

- 撮影条件を考慮した UAV 撮影の計画検討をする必要

12月に現地での UAV 撮影を実施した結果、夏梅地区は急峻な西側斜面で、晴れた場合、午後には影が発生し、撮影できない箇所が発生した。また、調査時に霧が発生し、霧がはれるまで UAV 撮影を実施することができなかった。

2月に現地で UAV 撮影を実施した結果、一時的に小雨が降り、UAV 撮影を中断した。

夏梅地区の地形が急峻なことに比べ、三宅地区は東側斜面であるが傾斜が緩やかなことから、制限は少なく撮影しやすい環境であった。夏梅地区においては、範囲が広く、地形が急峻であるため、操縦者から離れた地域においては低空の撮影が非常に困難であった。

現地調査における UAV 撮影を踏まえて、UAV の撮影に適さない条件を表9に示した。UAV 撮影を計画する際には、事前に撮影可能か検討する必要がある。

表9 UAV の撮影に適さない条件

条件	理由
降雨	レンズに雨水が付着してしまうと、撮影しても歪んだ画像を取得してしまう。プロペラ部分は排熱の為、コイルがむき出しになっており、雨で濡れるとショートする可能性がある。
強風	風速 5 m/s 程度の風で機体が流され始め、画像を撮影しても、ブレる可能性がある。
霧	霧で視界が確保できないと、撮影できない。
影	強い日差しにより撮影範囲に濃い影が発生すると、撮影した画像が黒く塗りつぶされてしまい、判読できない可能性がある。
急峻な地形	有視界内飛行を基本とするため、UAV と操縦者の間に尾根を挟んだ場合、低空の撮影は困難となる。 有視界外飛行の許可を取得しても、急峻な地形の場合、操縦者のレシーバーとの電波が弱まり、低空での撮影ができない可能性もある。



写真1 夏梅地区 南側からの遠景写真（傾斜が急で低空での撮影が難しい）



写真2 三宅地区 南側からの遠景写真（傾斜が緩く撮影に適する）



写真3 影が映りこんでしまった撮影結果（影の部分の判読は困難）



写真4 霧の状態（10:30頃まで霧が残り撮影できなかった）

- 防護柵の点検は UAV の活用により効率化できる可能性

シカの足跡及び防護柵の穴を対象に高さ及び距離別に UAV から撮影を行い、識別できる距離の検討を行った。その結果、シカの足跡を確認するためには高さ 5 m 程度、防護柵の穴を確認するためには 30m 程度の距離から撮影すれば、識別できると考えられた（写真 5・写真 6）。

そこで、1 ha（100m×100m）を対象に UAV を用いて全域を撮影し、オルソ画像を作成するために必要な撮影枚数及び撮影時間の算出を行った。算出の条件として、画像の重なり具合についてはオーバーラップ率 70%、サイドラップ率 50% を設定した場合の想定される撮影情報を表 10 に示す。シカの足跡を判別するために高度 5 m で飛行した場合、撮影だけで 1 ha あたり 16 分程度かかる。一般的な UAV の連続飛行時間が 20 分間～30 分間程度であることを考えると、電池交換 1 回ごとに 1 ha 程度ずつ撮影することが想定された。電池交換や撮影地までの移動を考慮した場合、1 ha あたりの撮影時間は 30 分程度と想定され、夏梅地区全体（17.3ha）の撮影には 9 時間程度かかると想定される。（12 月調査時には霧の影響を受けたこと、地形が急峻で昼過ぎから影が発生し撮影に適さないことから、1 日 3 時間程度しか撮影に適する時間を確保できなかった。このことを考慮すると、夏梅地区全体の撮影には 3 日間程度かかると想定される。）

30m 程度離れた位置から UAV で防護柵の点検をした場合、防護柵 600m を撮影して、撮影時間は 3 分程度である。効率的に実施した場合、夏梅地区外周全体（2,960m）の撮影であれば 17 分程度で完了する想定となり、効率的な点検を実施できる可能性がある。（なお、急峻な地形のため、夏梅地区の防護柵全域を 30m の距離で撮影することはできない。）

表 10 1 ha（100m×100m）を撮影する際のコース数及び撮影枚数

撮影高度	コース数	1 コースの 撮影枚数	撮影合計 枚数	総飛行距離 (m)	撮影時間※ (分)
5m	26	67	1,742	2,800	16
10m	13	34	442	1,500	8
20m	6	17	102	800	4
30m	4	12	48	600	3

※飛行速度は写真測量に適する 3 m/s を設定した。

写真5 撮影高度別のシカの痕跡（足跡）の比較

	
高さ 5m からの撮影 (解像度 : 0.1cm/pixel)	高さ 15m からの撮影 (解像度 : 0.4cm/pixel)
	
高さ 25m からの撮影 (解像度 : 0.7cm/pixel)	高さ 35m からの撮影 (解像度 : 1.0cm/pixel)
	
高さ 50m からの撮影 (解像度 : 1.4cm/pixel)	高さ 100m からの撮影 (解像度 : 2.7cm/pixel)

※100%解像度で表示

写真6 撮影距離別の防護柵の破損状況の比較



※100%解像度で表示

- UAV 撮影だけでは防護柵の完全な点検は困難

UAV から撮影した画像から作成したオルソ画像を図 11 及び図 12 に示す。

踏査の結果、防護柵の補修が必要な箇所が夏梅地区で 23 箇所確認された。三宅地区では補修が必要な箇所は確認されなかった。

確認された補修が必要な箇所の内訳は、防護柵の破れ（4 箇所）、ペグ抜け（15 箇所）、ポール倒れ（2 箇所）、倒木（2 箇所）であった。防護柵の破れとペグ抜けについては、踏査しても判別が難しく、防護柵に密着した確認が必要であった。ポール倒れ及び倒木については、離れたところからでも確認することが可能であった。

オルソ画像と防護柵の補修が必要な箇所を重ね合わせ、判読できるかの検討を写真 8 に示す。検討の結果、オルソ画像からポール倒れ及び倒木については判読が可能であったが、防護柵の破れ及びペグ抜けの判読は困難であると考えられた。

2 月の UAV 撮影の際に、防護柵の補修が必要な箇所に着目して UAV を操作し、画像を撮影した結果、樹幹の下に隠れる防護柵の状況や防護柵の補修状況を確認することができた。防護柵の破損情報を蓄積することで、破損しやすい箇所の点検を UAV で実施することは可能であると考えられる。2 月の調査の際に倒れたポールを補修していた地点の状況を写真 7 に示す。



写真 7 倒れたポールを補修した状況

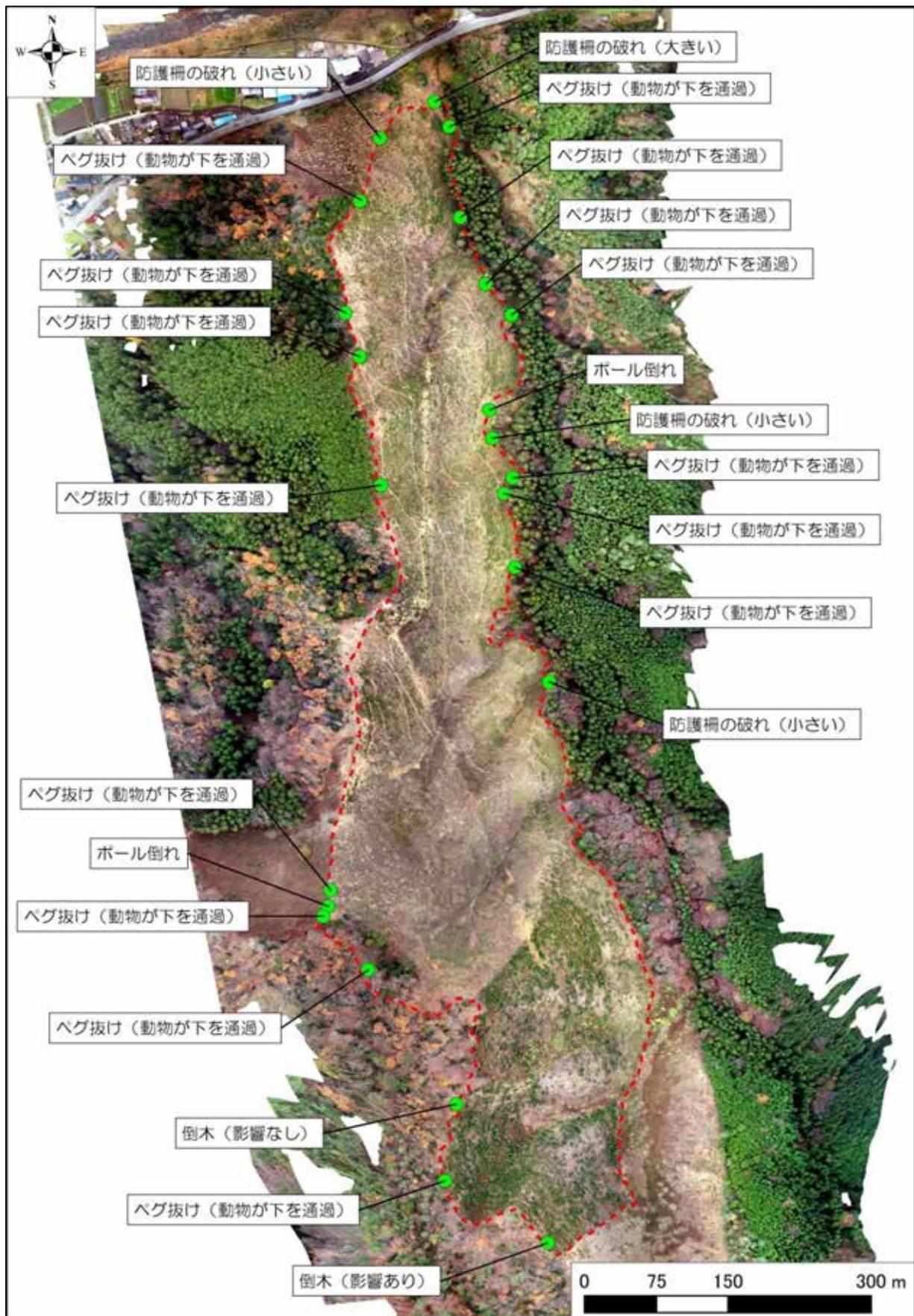


図 11 作成したオルソ画像と防護柵の破損状況 (夏梅地区)

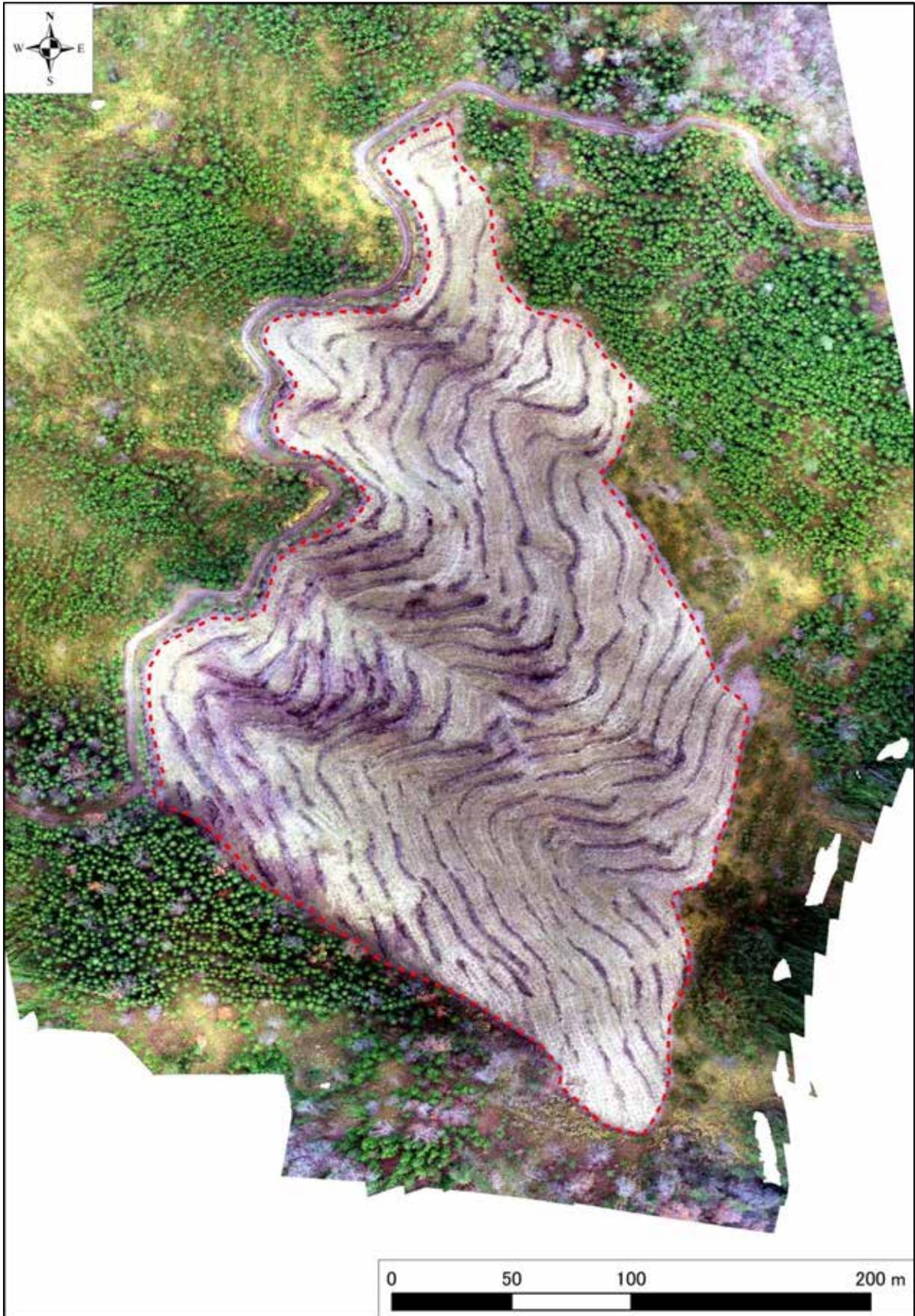


図 12 作成したオルソ画像（三宅地区）

写真8 補修の必要な箇所と UAV からの確認状況 (1)

補修の必要な箇所 (踏査の確認)	UAV からの撮影状況
<p>防護柵の破れ (大きい: 100cm×100cm 程度) 1箇所 柵に弛みがあると、見逃す可能性がある。</p> 	 <p>識別困難</p>
<p>防護柵の破れ (小さい: 50cm×50cm 程度) 3箇所 柵に弛みがあると、見逃す可能性がある。</p> 	 <p>識別困難</p>
<p>ペグ抜け (動物が下を通過) 15箇所 落ち葉などに隠れると、見逃す可能性がある。</p> 	 <p>識別困難 (痕跡の確認なら可能性あり)</p>

写真8 補修の必要な箇所と UAV からの確認状況 (2)

補修の必要な箇所	UAV からの撮影状況
<p>ポール倒れ 2箇所                      識別は離れても容易</p> 	 <p>識別可能</p>
<p>倒木 (影響あり) 1箇所                      識別は離れても容易</p> 	 <p>識別可能</p>
<p>倒木 (影響なし) 1箇所                      識別は離れていてもある程度用意</p> 	 <p>識別できない可能性もある</p>

- UAV 撮影に適した防護柵の色は白に近い色が識別しやすい可能性  
UAV 撮影による防護柵の点検をより効率的に実施するために、16 色の紐を距離別に撮影し、その見え方を検討した。16 色の組合せを図 13 に示す。

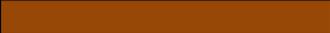
赤色系統		無彩色系統	
赤		黒	
ピンク		灰色	
オレンジ		銀	
黄色		白	
茶色系統		青色系統	
こげ茶色		紫色	
茶色		薄紫色	
薄緑色		水色	
緑色		青	

図 13 見え方の検討に用いた 16 色の組合わせ

背景が森林である場合と草地である場合の 2 パターンを想定し、10m 離れて撮影した場合、30m 離れて撮影した場合、50m 離れて撮影した場合の画像を比較した（写真 9～12）。

その結果、赤色系統ではピンク、オレンジ、黄色が、無彩色系統では銀や白が、茶色系統では薄緑色が、青色系統では薄紫色と水色が 50m 離れても確認することができた。特に白に近い薄い色が識別しやすいという傾向がみられた。

写真9 赤色系統における距離別の紐の見え方

森林	草地
 <p>10m 離れて撮影（解像度：0.3cm/pixel）</p>	 <p>10m 離れて撮影（解像度：0.3cm/pixel）</p>
 <p>30m 離れて撮影（解像度：0.8cm/pixel）</p>	 <p>30m 離れて撮影（解像度：0.8cm/pixel）</p>
 <p>50m 離れて撮影（解像度：1.4cm/pixel）</p>	 <p>50m 離れて撮影（解像度：1.4cm/pixel）</p>

※100%解像度で表示

写真 10 無彩色系統における距離別の紐の見え方

森林	草地
 <p data-bbox="236 1059 762 1093">10m 離れて撮影 (解像度 : 0.3cm/pixel)</p>	 <p data-bbox="852 1059 1362 1093">10m 離れて撮影 (解像度 : 0.3cm/pixel)</p>
 <p data-bbox="236 1491 762 1525">30m 離れて撮影 (解像度 : 0.8cm/pixel)</p>	 <p data-bbox="852 1491 1362 1525">30m 離れて撮影 (解像度 : 0.8cm/pixel)</p>
 <p data-bbox="236 1917 762 1951">50m 離れて撮影 (解像度 : 1.4cm/pixel)</p>	 <p data-bbox="852 1917 1362 1951">50m 離れて撮影 (解像度 : 1.4cm/pixel)</p>

※100%解像度で表示

写真 11 茶色系統における距離別の紐の見え方

森林	草地
 <p>10m 離れて撮影 (解像度 : 0.3cm/pixel)</p>	 <p>10m 離れて撮影 (解像度 : 0.3cm/pixel)</p>
 <p>30m 離れて撮影 (解像度 : 0.8cm/pixel)</p>	 <p>30m 離れて撮影 (解像度 : 0.8cm/pixel)</p>
 <p>50m 離れて撮影 (解像度 : 1.4cm/pixel)</p>	 <p>50m 離れて撮影 (解像度 : 1.4cm/pixel)</p>

※100%解像度で表示

写真 12 青色系統における距離別の紐の見え方

森林	草地
 <p>10m 離れて撮影 (解像度 : 0.3cm/pixel)</p>	 <p>10m 離れて撮影 (解像度 : 0.3cm/pixel)</p>
 <p>30m 離れて撮影 (解像度 : 0.8cm/pixel)</p>	 <p>30m 離れて撮影 (解像度 : 0.8cm/pixel)</p>
 <p>50m 離れて撮影 (解像度 : 1.4cm/pixel)</p>	 <p>50m 離れて撮影 (解像度 : 1.4cm/pixel)</p>

※100%解像度で表示

## (2) 無人撮影カメラによる防護柵の効率的な維持・管理手法の検討結果

- IoT 機能により効率的にカメラ周辺の状況把握が可能

無人撮影カメラは、携帯電話通信網を利用して撮影画像をメールで受信することや、インターネット上のサーバで確認することができる IoT 化が進んでいる。機種ごとに機能は異なるが、指定した時間のみカメラを起動させるスケジュール機能や、撮影後一定期間撮影しないインターバル撮影等、電池を消費しにくい設定とすることで、3か月から4か月程度の連続運用が可能である。多くの機種が外部電源に対応しており、ソーラーパネルを組み合わせれば、安定した連続運転が可能となる。

携帯電話通信網の通信費用についても、通信速度を抑えたプランが MVNO（仮想移動体通信事業者）各社から提供されており、1回線あたり月額料金 500 円程度でデータ容量の制限なく利用することができる。

- シカの生息状況に応じた活用方法を検討する必要

IoT 機能をもつ無人撮影カメラを利用しても、撮影できる範囲は限られてしまうので、周辺のシカの生息密度や出現頻度に応じて、その活用方法を検討する必要がある。活用方法（案）を表 11 に示す。

表 11 シカの生息状況に応じた無人撮影カメラの活用方法（案）

シカの生息状況	無人撮影カメラの活用方法（案）
周辺にシカは定着しておらず、今後シカが侵入・定着する可能性がある。	防護柵から近い尾根沿いなど、シカが侵入してくる可能性の高い箇所に無人撮影カメラを1台程度設置し、予防対策の一環として運用する。
周辺にシカが生息しているが、生息数は多くなく、顕著な森林被害は発生していない。	防護柵周辺の尾根沿いや草地環境などシカが利用しやすい環境に複数台の無人撮影カメラを設置し、シカの生息状況をモニタリングすることを目的に運用する。 シカの生息数が急に増加した場合に、防護柵管理の頻度を高めるなど方針を検討することができる。
周辺にシカが多く生息しており、既に森林被害が発生している。防護柵の中にもシカが侵入したことがある。	防護柵の破損箇所やシカの侵入経路に無人撮影装置を設置し、シカの侵入状況をモニタリングすることを目的に運用する。 シカの通り道や防護柵の侵入しやすい部分を完全に対策することは困難である場合が多いので、シカの侵入状況に合わせて対策を検討することができる。

- 防護柵管理における IoT 技術の活用は今後も発展 (IoT 事例紹介)

株式会社 KDDI 総合研究所、KDDI 株式会社、学校法人常葉大学、公益社団法人国土緑化推進機構が森林被害軽減を目的とした、IoT を活用した森林管理効率化の実証事業を 2019 年 8 月より開始しており、その実用性を検討している段階です。実証実験の概要を図 14 及び以下に示す。

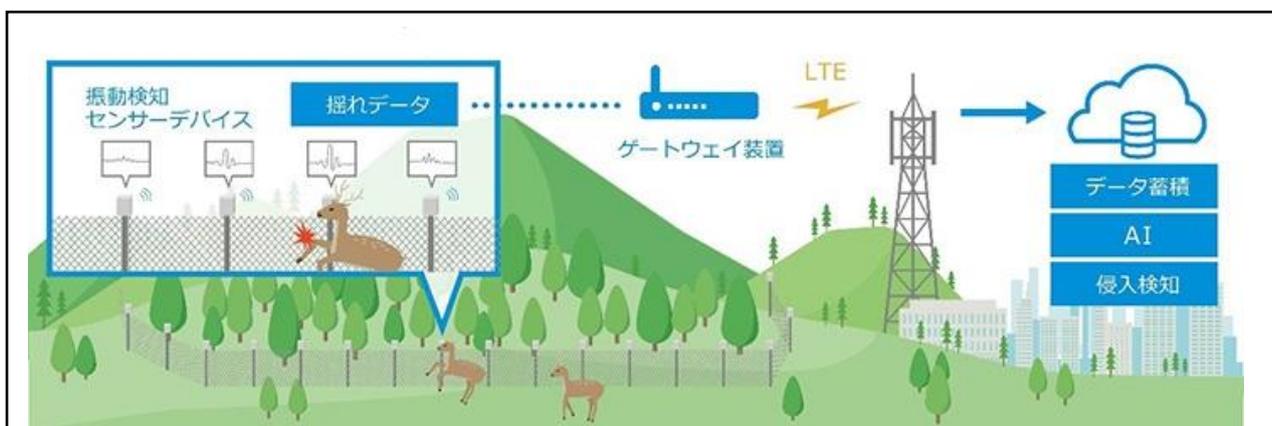


図 14 IoT を活用した防護柵の管理効率化実証実験イメージ

植林地域を囲う防鹿柵に、加速度センサー、並びに無線通信モジュールを搭載した振動検知センサーデバイスを一定の間隔で設置し、KDDI 総合研究所にて考案した防鹿柵の振動原因（動物の衝突、風など）を AI（機械学習）により推定する手法を実証実験にて検証します。

今回本実証実験を行う植林地域は携帯電話などのモバイル通信の通信エリア外であることから、収集した揺れデータをクラウドに送信するためのセンサーネットワークを構築します。揺れデータはセンサーネットワークと、モバイル通信が可能な場所に設置されたゲートウェイ装置を経由し、クラウド上のサーバに送信されます。また、この植林地域は電力会社からの商用電源が届けられていないエリアであることから、振動検知センサーデバイスは省電力回路を採用しボタン電池で、センサーネットワークを構成する装置はソーラー発電で動作し、商用電源のない場所でも常時監視することが可能です。

今後、本実証実験を通じて取得した揺れデータを検証し、振動原因の推定精度の改善を継続していくとともに、アラーム発報など実監視業務への適用性を検証していく予定です。

参照：<https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2019/08/21/3964.html>

### (3) スマートフォンアプリを用いた防護柵の効率的な維持管理手法の検討結果

- 労務管理と安全管理の効率化が可能

森林組合へのヒアリング調査の結果、労務管理と安全管理を確実にこなせることが最大のメリットであるという回答があった。防護柵の点検・補修の作業は、作業員が自宅から直行直帰することも多く、適切な労務管理が課題であった。アプリを使用して作業を行うと、作業の開始と終了時刻、作業員の所在地を管理者のPCから確認することが可能となるため、依頼した作業の確実な実行を効率的に確認できることが実証された。

また、作業現場では携帯電話の電波が届かない場所も多いが、アプリを使用すれば、作業員の所在地は約2分間隔で端末にログされ、オンライン時にそのデータがサーバに送られる仕組みになっている。そのため、万が一事故が発生した場合でも、作業員の所在地を効率的に絞り込むことが可能になるため、安全管理の効率化が図られることが実証された。

- 防護柵の破損記録作業の省力化が可能

アプリを使用することにより、これまで紙ベースで記録していた防護柵の点検・補修の日報を、アプリで入力することが可能となる。その結果、これまでは作業員が提出した日報を電子データ化する作業を行っていたが、これらの作業が不要となったこともメリットとして取り上げられた。

- 実施した点検・補修作業の客観的証拠データとしての利用が可能

アプリを使用することにより、点検・補修した日時やルート、作業内容が改ざん不可能な状態でサーバに保存される。そのため、防護柵の点検・補修作業に対する客観的証拠データとして利用可能であることもメリットとして取り上げられた。