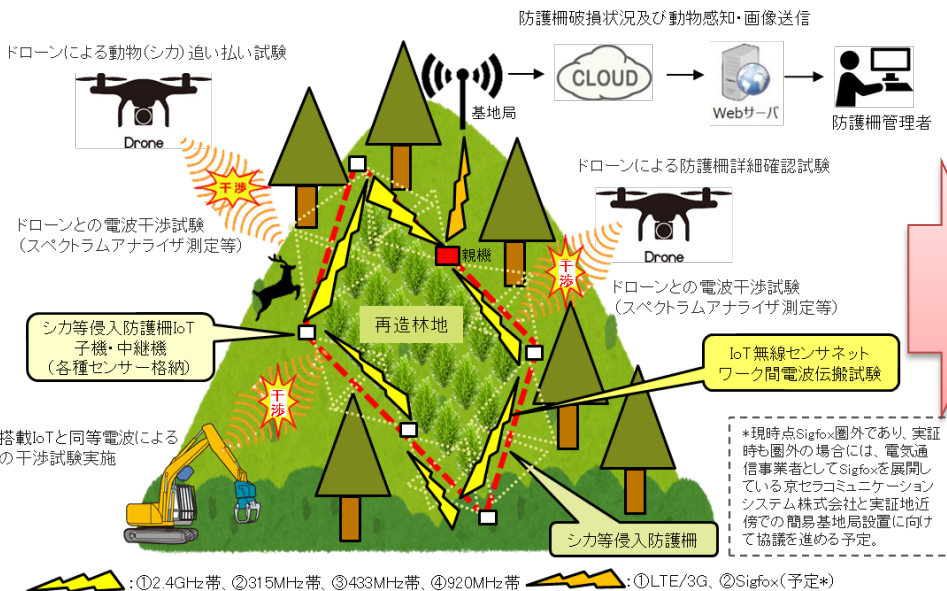


# 井内正直(アイオーネイチャーラボ株式会社) シカ等侵入防護柵の点検自動化に向けたIoTシステムの実証事業

実施団体	アイオーネイチャーラボ株式会社、宮崎県美郷町、耳川広域森林組合、宮崎大学、東京海洋大学、株式会社セレス、株式会社自然資源計画
実施地域	宮崎県東臼杵郡美郷町神門字向山4315-3 149林班21号 再造林地(美郷町所有林:頻度の高い防護柵点検困難、破損あり)
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・再造林地へのシカ等の侵入による苗木食害、樹皮剥皮害が急増し、対策の一つとして周囲に支柱とネット(網)による防護柵が設置されるケースが多い。しかし、落石や倒木、土砂崩れによって防護柵が破損する場合も多く、放置すると食害が拡大する。</li> <li>・防護柵の効果を最大限維持するには、頻度の高い点検が不可欠であるが、人手不足で難しい。そこで、無線センサネットワーク技術を活用した防護柵IoTシステムを新たに開発し、人の目視による防護柵点検を、IoTシステムによる点検自動化で代替する。</li> <li>・しかし、再造林地は風雨等の自然環境が非常に厳しい上に、尾根や谷といった複雑地形、周辺樹木の成長に伴う電波の遮へい等の影響が想定される。さらに、再造林地は面積が大きいことから、効率的、低コストで実現する方法が求められる。</li> </ul>

## 実証内容

## 実証成果



### 電波伝搬に係る知見等

- ・防護柵設置IoT機器間では、合計4種類の電波を用いて、伝搬状況、障害物の影響等を比較して、電波遮へい等の影響が想定される山間部再造林地での電波伝搬に係る知見を得る。
- ・IoTゲートウェイ(親機)からは、2種類の電波を比較して、山間部での安定的かつ低コストなインターネット接続の知見を得る。
- ・林業、防災等での活用が進むドローンや伐採機械IoT等を想定した電波伝搬の実験を行い、電波干渉の有無を検証する。

### IoTサービスの効果(KPI)

- ・Before: 食害進行率2.7%(2017年4月から2019年9月までの1月当たり)
- ・After : 食害進行率1.3%(本実証計画時点の目標値)
- ・**結果 : 食害進行率0%(進行率を100%低減※2020年2月時点)**

※シカの侵入有無については把握できていないことに留意する必要がある。  
⇒KPIの調査はサンプリング調査を実施。詳細はスライド9。

※食害進行率  
防護柵内の苗木に対して、食害被害が発生した苗木の割合  
(「Before」では上記の計29ヶ月の間に363本の苗木のうち281本で被害が発生。)

# 井内正直(アイオーネイチャーラボ株式会社) シカ等侵入防護柵の点検自動化に向けたIoTシステムの実証事業

## ■ 実証地域の基本情報

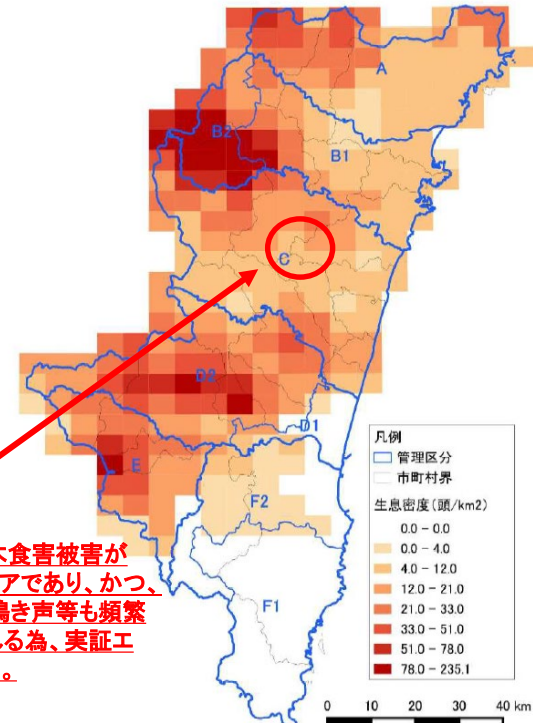
地域名: 宮崎県東臼杵郡美郷町  
面積: 44,884ha (約92%が山林)  
人口: 5,480人 (2015年10月1日)  
地域特性: 宮崎県北部の耳川、五十鈴川、  
小丸川の上流域に位置

実証地: 再造林地 (標高約660m)



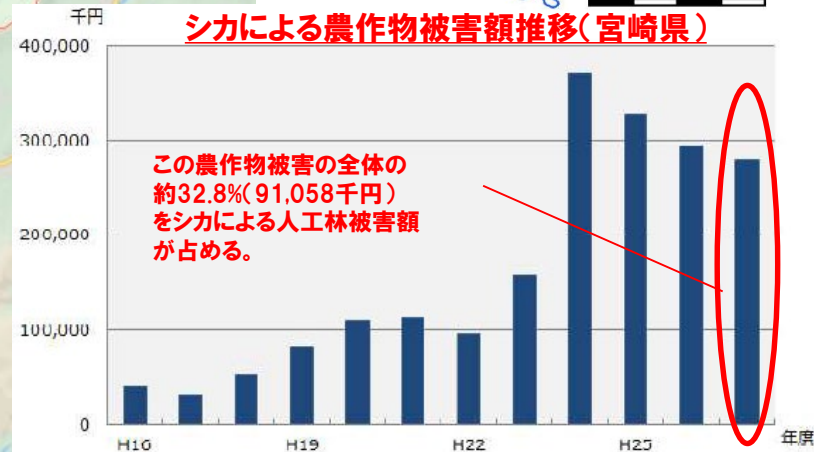
実証地域

シカの生息密度(頭/km<sup>2</sup>)



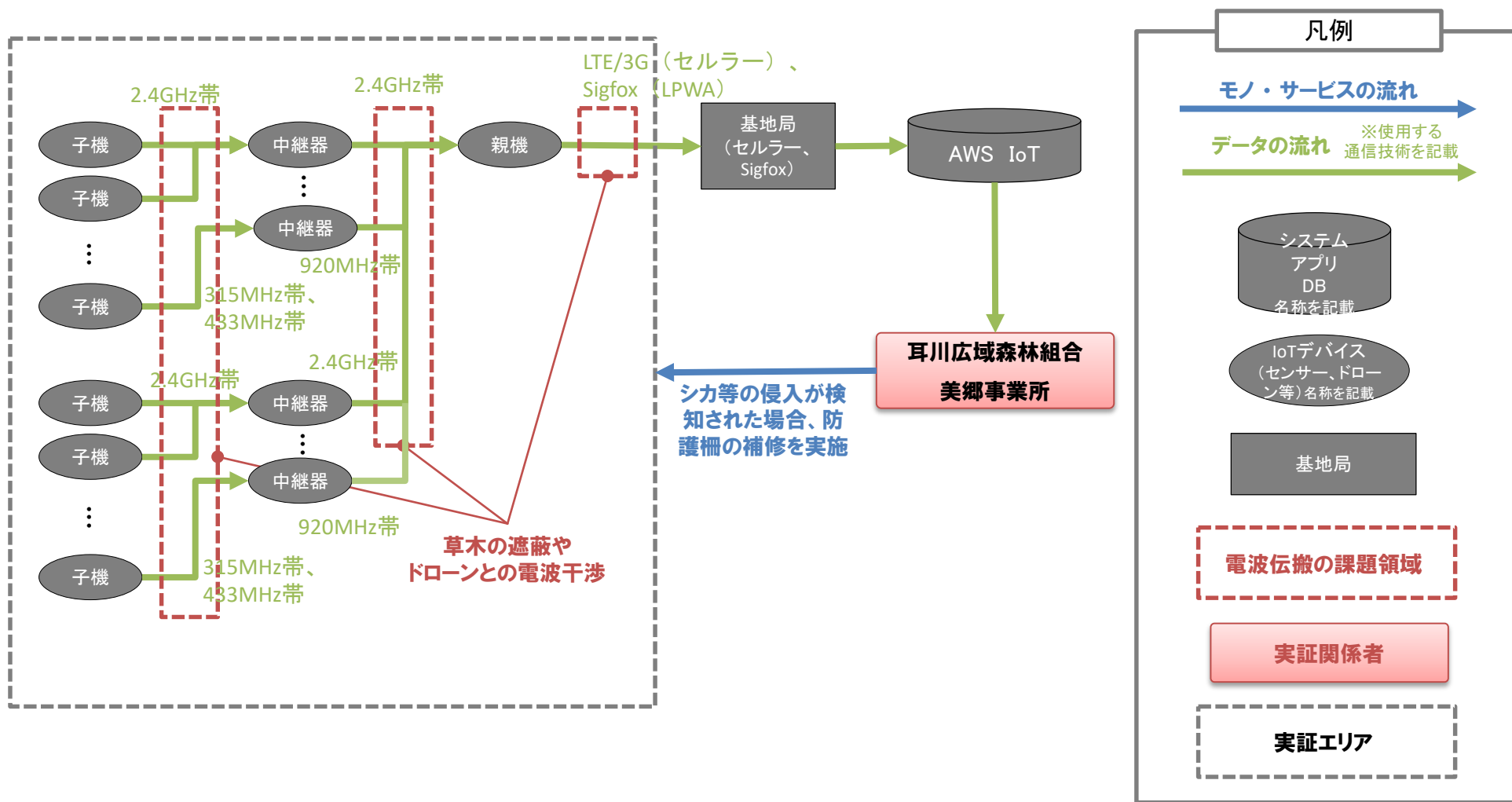
※スギ苗木食害被害が深刻なエリアであり、かつ、剥皮・糞・鳴き声等も頻繁に確認される為、実証エリアに選定。

シカによる農作物被害額推移(宮崎県)



# 井内正直(アイオーネイチャーラボ株式会社) シカ等侵入防護柵の点検自動化に向けたIoTシステムの実証事業

ガイドライン作成に向けた整理(システム構成図)



# 井内正直(アイオーネイチャーラボ株式会社)

## シカ等侵入防護柵の点検自動化に向けたIoTシステムの実証事業

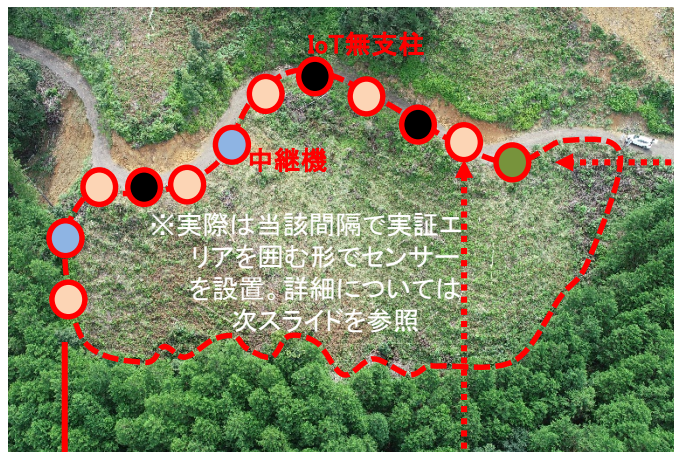
### ■ 活用するデータと状況

センシング対象	データの種類	データの収集手法	データの量	データの活用方法と効果
・防護柵支柱	・3軸重力加速度センサーから、傾きと揺れ	・センサーで得られたデータを約12分間隔で送信	・10月下旬に設置後、R2年1月末まで約3ヶ月データ収集(約90日間約12分間隔送信)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・傾きのデータから、該当する防護柵支柱がどの程度傾いているのか判断可能</li> <li>・傾きが大きい場合(例えば45度以上)には、補修作業の実施を検討※実証期間中には支柱倒壊(傾き増大)無し</li> <li>・揺れのデータから、ネットへのシカ等のアタック(攻撃)可能性を検知(シカ等アタック無しの場合、模擬アタック試験により代替する可能性あり)※実証期間中はシカ等アタック無しと判断</li> </ul>
・野生鳥獣(主にシカ)	・焦電センサーから野生鳥獣の体温(赤外線)	・センサーで得られたデータを約12分間隔で送信	・10月下旬に設置後、R2年1月末まで約3ヶ月データ収集(約90日間約12分間隔送信)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・子機焦電センサーの反応から、シカ等の防護柵内侵入を検知</li> <li>・焦電センサーが大きく反応し、加速度センサーの揺れが大きい場合には、シカ等がネットに対してアタックして侵入した可能性あり</li> <li>・焦電センサーが大きく反応するが、加速度センサーの揺れが小さい場合には、シカ等がネットの設置ミス箇所(隙間、アンカー抜け等)から侵入している可能性あり</li> <li>・中継機焦電センサーの反応からも、シカ等の防護柵内侵入を検知</li> </ul>
・野生鳥獣(主にシカ)	・カメラにより、野生鳥獣を撮影(静止画)	・焦電センサーで検知すると連動してカメラ撮影	・10月下旬に設置後、R2年1月末まで約3ヶ月データ収集(焦電センサー検知時写真撮影)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・中継機焦電センサーの反応から、シカ等の防護柵内侵入を検知後、カメラにて静止画撮影</li> <li>・焦電センサーでのシカ等検知の裏付け</li> </ul>

# 井内正直(アイオーネイチャーラボ株式会社) シカ等侵入防護柵の点検自動化に向けたIoTシステムの実証事業

## ■ 防護柵IoT設置状況

※面積約0.31ha



点線に下記の防護柵設置



- ・支柱(地上高約1.7m:約4m間隔)
- ・ステンレス入りネット(目合10cm)



シカ等検知データ\*・撮影画像送信  
\*シカ等検知データ=赤外線の変化量(温度変化)により検知

支柱傾き・揺れ・シカ等検知データ送信



送信

支柱傾き・揺れ・シカ等検知データ送信

支柱傾き・揺れ・シカ等検知データ送信



支柱傾き・揺れ・シカ等検知データ送信



# 井内正直(アイオーネイチャーラボ株式会社) シカ等侵入防護柵の点検自動化に向けたIoTシステムの実証事業

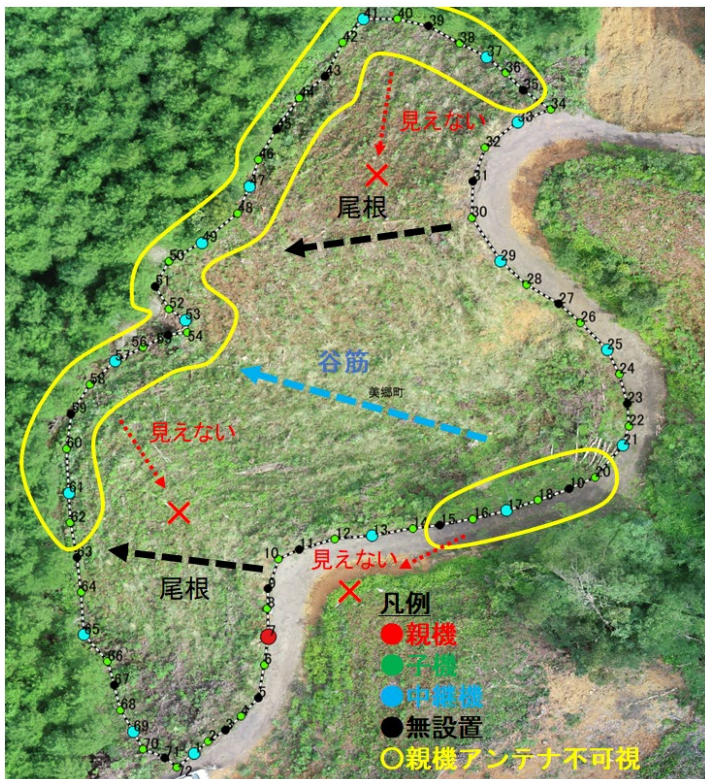
## ■ 実証事業の様子

台風による強風・大雨、夏季の草本繁茂、実証地の複雑地形等の電波伝搬影響要因が多数あり

8月初めに親機及び子機のプレ試験機設置(詳細設計反映)、8月部品発注、9~10月製造、10月末パーツ搬送、組立、実証地設置、通信スタート開始!

親機は8月初めから送信漏れも無く順調稼働、中継機と子機は10月末の設置後、電源制御プログラム及び、電波送信経路プログラム等の改良により、2月6日に子機2台を除いてフル稼働!

## ■ 防護柵IoTの電波伝搬上の課題(地形)

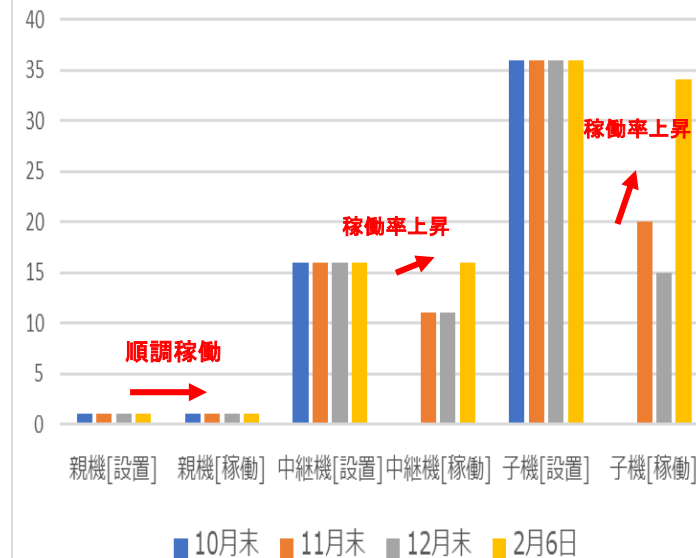


防護柵IoT組立



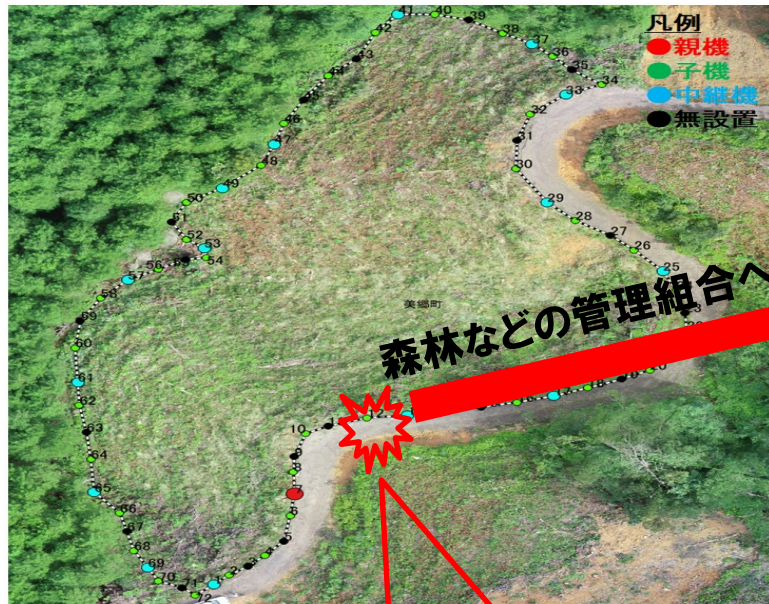
防護柵IoT設置

防護柵IoT設置及び稼働数



# 井内正直(アイオーネイチャーラボ株式会社) シカ等侵入防護柵の点検自動化に向けたIoTシステムの実証事業

## ■ 実証事業の成果1(構築した防護柵IoTシステム概要)



## 通知メッセージ(管理組合のPC画面)

Date: 2020/02/06 Time: 23:59 Mode: diagnosis Duration: 1d  
id: mcu08 hex:  抽出  
最新

指定時間内に、明確な天候の影響とみられる揺れはありません  
●LEVEL3● 強い揺れ・熱反応が観測されています。現場での作業等が行われていない場合は、シカ・イノシシ等強い反応が検出されています。食害が懸念されます。熱反応が無い場合は外側での活動である可能性があります。--短時間  
反応密度指数:0.82 ●LEVEL3●

子機(34台)、中継機(16台)が稼働しています。  
日暮れ:02/06 18:25 夜明け:02/06 06:25

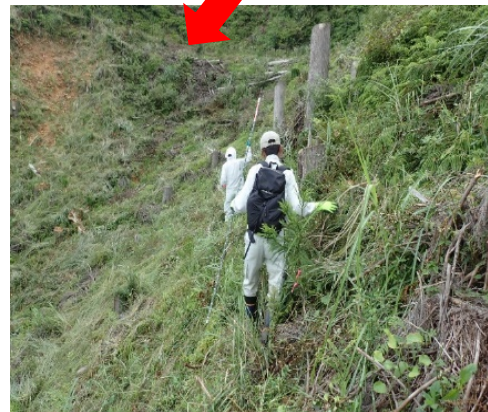
☆: 同じ支柱が連続で反応 --: 連続性がない反応  
#日照: 実証地で強い日照が観測されているときの熱反応。瞬間的な日照の変化の可能性があります。  
太字: 短時間反応密度指数を上回る反応

2020/02/06 22:44:13(支柱ID:06): [熱反応+1] 詳細

設定したレベル以上の反応があった場合に管理者にメール送信機能あり

## 防護柵の確認及び早期での補修

### シカの攻撃等による揺れを検知



### 実証事業への期待の声

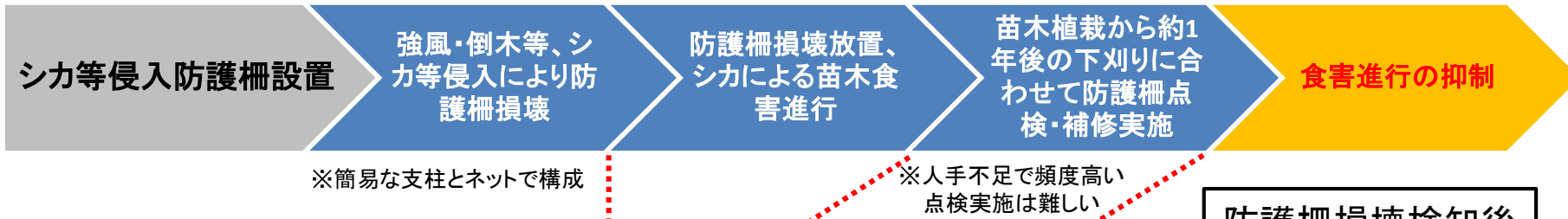
- ・防護柵は破損してもわからず、あとからシカによる食害がわかる。防護柵IoTで瞬時にわかれば、時間のロスもなく効率的に動ける。
- ・防護柵の点検は足場も悪く非常に大変な作業なので、IoTの実用化に期待したい。
- ・導入しやすい低価格で提供を期待。

# 井内正直(アイオーネイチャーラボ株式会社) シカ等侵入防護柵の点検自動化に向けたIoTシステムの実証事業

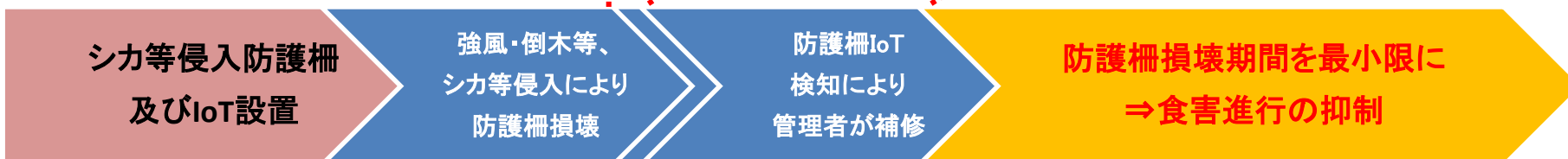
## ■ 実証事業の成果2(本システムによる効果)

### ■ 従来の人による点検・補修までの流れ

※防護柵設置後の定期的な点検・補修は1~2回/月実施により防除効果維持されるとの報告あり



### ■ 防護柵IoTシステムによって実現する点検・補修までの流れ



防護柵損壊検知後  
早急に補修可能



防護柵と設置したIoT



防護柵損壊を通知



カメラ画像(支柱番号37)

赤外線センサーデータ(支柱番号2)

081000408000	( 0 / 40, 50, 0, 0, 0
002000010000	( 0 / 0, 100, 0, 0, 0
081000408000	( 0 / 40, 50, 0, 0, 0
B734FB4A80D4	5120 900, 2550, 400, 600, 1400
CE8F68820002	512 1020, 2000, 1400, 1000, 1000
8EEFF8418200	3328 700, 2300, 1400, 1400, 1400
EBD720820005	1280 1160, 3050, 600, 800, 800
187200608000	0 120, 350, 200, 0, 0

↑ 赤外線検知データ(数値高⇒熱大)



ドローンのシカ等追い払い時の様子

## 防護柵IoTシステムによって実現する点検・補修までの流れ



# 井内正直(アイオーネイチャーラボ株式会社)

## シカ等侵入防護柵の点検自動化に向けたIoTシステムの実証事業

### ■ 実証事業の成果3(本システムによって得られた結果)

#### ■ KPIの達成状況: 食害進行率2.7%(2017年4月から2019年9月までの1月当たり) ⇒ 0%(進行率を100%低減)

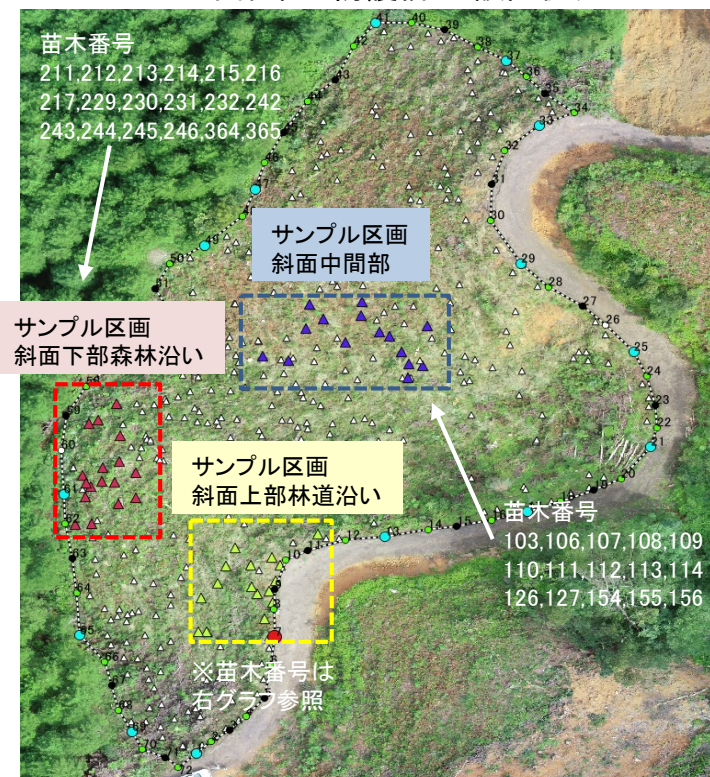
※食害進行率: 防護柵内の苗木に対して、食害被害が発生した苗木の割合(「Before」では上記の計29ヶ月の間に363本の苗木のうち281本で被害が発生。)

※シカの侵入有無については把握できていないことに留意する必要がある。

※beforeで食害があるとされた苗木にafterの期間で食害があった場合、食害進行率にカウントされないことに留意する必要がある。

防護柵IoTシステムで支柱の傾きや  
ネットの揺れを自動検知し、防護柵管  
理者にメールにて通知。

#### ■ サンプル区画位置と防護柵IoT設置状況



サンプル区画3箇所のスギ苗木(合計50本)のシカ等による新たな食害被害の発生は無い可能性が高いと判明

#### 調査方法:

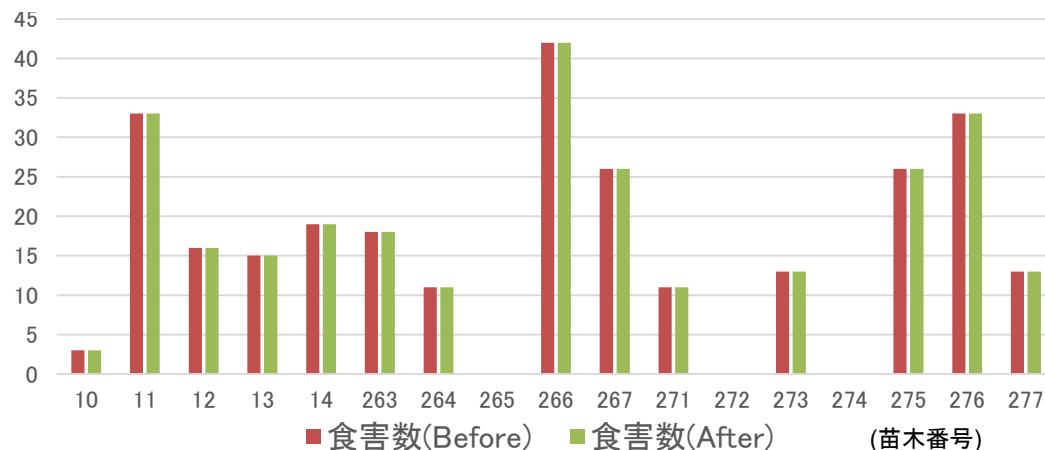
令和元年11月27日に防護柵IoTが稼働し始めたことから、11月28日にサンプル区画3箇所のスギ苗木食害数調査を実施した。なお、この調査結果を、9月末に定義した食害進行率77.4%から約60日間経過後の食害数(Before)とした。調査は、3区画内の食害被害無しのスギ苗木を含む15~18本のスギ苗木について、苗木の部位(枝葉)ごとの食害痕をカウントする方法で実施。斜面上部林道沿いでは、苗木番号10~277の合計17本、斜面中間部では、苗木番号103~156の合計15本、そして、斜面下部森林沿いでは、苗木番号211~365の合計18本、3区画合わせて、50本を調査対象としたその後、約60日経過後の2020年2月3日に食害数(After)の調査を実施して、食害数を比較した。下記に斜面上部林道沿いの調査結果を示した。他の区画も食害数の変化は見られなかった。

(個数)

#### サンプル区画: 斜面上部林道沿い

凡例  
(2/6時点)

- 親機
- 子機
- 中継機
- 無設置
- 未通信(支柱26、60)
- ▲ 林道下
- ▲ 森林際
- ▲ 中腹部



# 井内正直(アイオーネイチャーラボ株式会社)

## シカ等侵入防護柵の点検自動化に向けたIoTシステムの実証事業

### ■ 実証事業の全体構造(ロジックツリー)

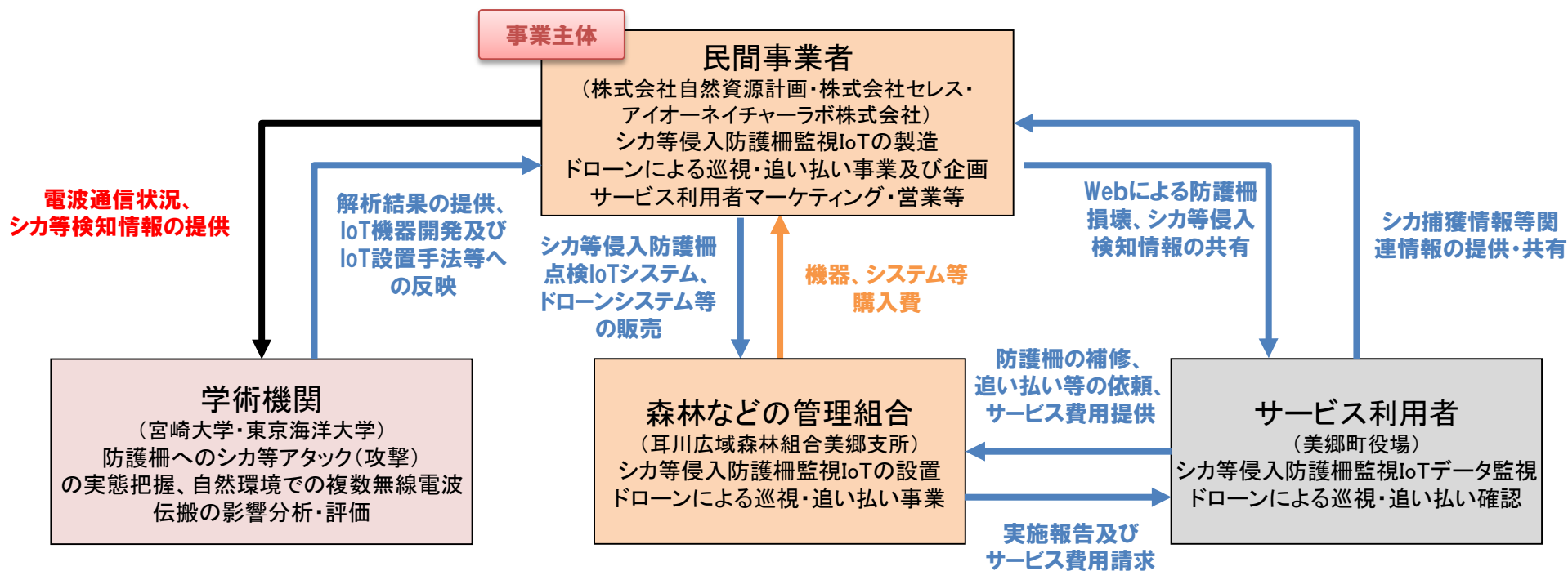
事業の目指す姿	「目指す姿」を実現するための課題	課題ごとの解決策	解決策の評価				
			評価方法	モニタリングする指標(KPI)	実証前の値(測定年(月日))	現状の値(測定年(月日))	実証終了後の値(測定年(月日))
シカ等侵入による苗木食害、樹皮剥皮害の最小化	シカ等の侵入の迅速な検知	IoTシステムを活用した検知の自動化	有効データの割合	有効データの割合	—	11%※/12分(19年11月) ※設置全IoT53台中4台のみ通信可の為	94%(子機)、100%中継機/12分間隔送信(2020年2月)
	侵入したシカ等の追い払い	ドローンを活用した追い払い	ドローンの活用による追い払い時間の短縮	追い払いにかかる時間	—	3時間/回(2019年11月)※人による追い払い	0.5時間/回(2020年2月)※ドローン活用
	シカ等の侵入箇所の補修の効率化	IoTシステムを活用したオペレーションの導入	林地管理者へのヒアリング	オペレーションに関する気づきの声	—	全防護柵外周点検必要(2019年11月)	損壊有無判定に満足度高まる(2020年2月)
			システム導入による食害進行率の変化の比較	食害進行率 食害被害本数/調査対象本数	77.4% 281本/336本(2019年9月)	77.4% 38本/50本(2019年11月)	0% 38本/50本(2020年2月)
点検コストの低減	IoTシステムを導入することでオペレーションを最適化し無駄な作業時間を削減	IoTシステムを導入した場合と従来の人による点検の場合の費用を比較	年間の点検費用	24万円/年 ※人による点検費用	193万円/年 (IoTシステム設置費用のみ) ※設置初年度(導入+運用費用)	4,800円/年 (IoT防護柵による点検費用) ※設置初年度以降(運用費用)	

※林野庁等の公表データに基づいた試算  
10年程度は剥皮害の為、柵設置必要

# 井内正直(アイオーネイチャーラボ株式会社)

## シカ等侵入防護柵の点検自動化に向けたIoTシステムの実証事業

### 実装モデル



- IoTサービスの提供元: アイオーネイチャーラボ株式会社、株式会社自然資源計画、株式会社セレス
- 提供先: 国(国有林)、地方公共団体(県有林、町有林等)、民間企業・個人の森林所有者(民有林)、森林管理団体(森林組合等)等
- システムの導入・維持コスト: 本実証事業でのIoTシステム設置コストは、防護柵100m当たり約100万円。スペック調整等により、下記提供料金の実現に向けて低減を図りたい。点検・部品交換等の維持コストは、故障・破損の修理及びバッテリー交換等の技術を現地移転して低減化を図る。
- サービスの提供料金: 設置場所特性に対応した「人による防護柵点検コスト>防護柵IoT設置コスト+ランニングコスト」の価格設定。
- 収益化に向けた事業計画: 過度なスペックとならない為に、設置場所に対応したIoTシステム提案手法を早期に確立し、確実な収益構造を構築。
- 普及展開の見込み: 防護柵は農地や果樹園、治山事業等でも多数設置、日常点検に苦慮している。IoT機器・システムの改良で普及見込みあり。
- 自己資産の活用や事業費を削減する為の工夫等: これまでに取得・申請している特許「樹木見守りシステム(特許第6437152号)」及び「防護柵見守りシステム(特願2019-80172)」、さらに既に開発済みの所有技術を活用する。また、実証機はインハウスで製作、少数精鋭での人件費削減。

# 井内正直(アイオーネイチャーラボ株式会社)

## シカ等侵入防護柵の点検自動化に向けたIoTシステムの実証事業

### ■ 今後の取組

#### ■ 収益モデル

##### ①導入コスト

・再造林地面積1ヘクタール(防護柵総延長約400~500メートル)当たりの防護柵IoT導入コストとして、約50~100万円を想定。※IoTセンサーを3軸重力加速度センサーのみに限定し、支柱設置間隔を調整すること等で実現したい。

##### ②ランニングコスト

・インターネット接続通信としてセルラー系の通信用SIMを利用し、通常時のランニングコストは約5,000円/年を想定。  
・通常時以外として、親機のバッテリー交換費用として、約2年間ごとに約1万円(交換費含む)を想定。※バッテリーの消耗から交換時期は判断し、通常時のランニングコストとは別途請求。

##### ③サービス利用料

・苗木植栽後、シカ等の食害被害が低減する5年間防護柵IoTを稼働させることを想定し、導入コストと通常時のランニングコストから、8,750~17,000円/月(税抜き)と想定。8月と2月に実施した住民等説明会にて、森林所有者からヒアリングした結果、「この金額で防護柵点検を省くことができれば非常に有難い」との割安感を回答する声は非常に多い。※補助金対象の防護柵と合わせて対象となることへの希望も多い。

##### ④資金の流れ

・本サービスのコストは、防護柵を設置する森林所有者(個人、自治体等)が全額負担し、機器提供企業(IoNL等)が設置する。

#### ■ 展開シナリオ

・3軸加速度センサーのみでIoTを構築できれば、小型化、省電力化、低コスト化が可能と予想されることから、加速度センサーによる防護柵損壊検知精度を高めるとともに、加速度センサー内蔵の小型・低コストな防護柵IoTを開発・製作し、普及展開を図る。

①展開主体及び体制:アイオーネイチャーラボ株式会社、株式会社自然資源計画、株式会社セレスが中心となり、森林IoT推進協会防護柵部会を設立し、展開を進めていく。

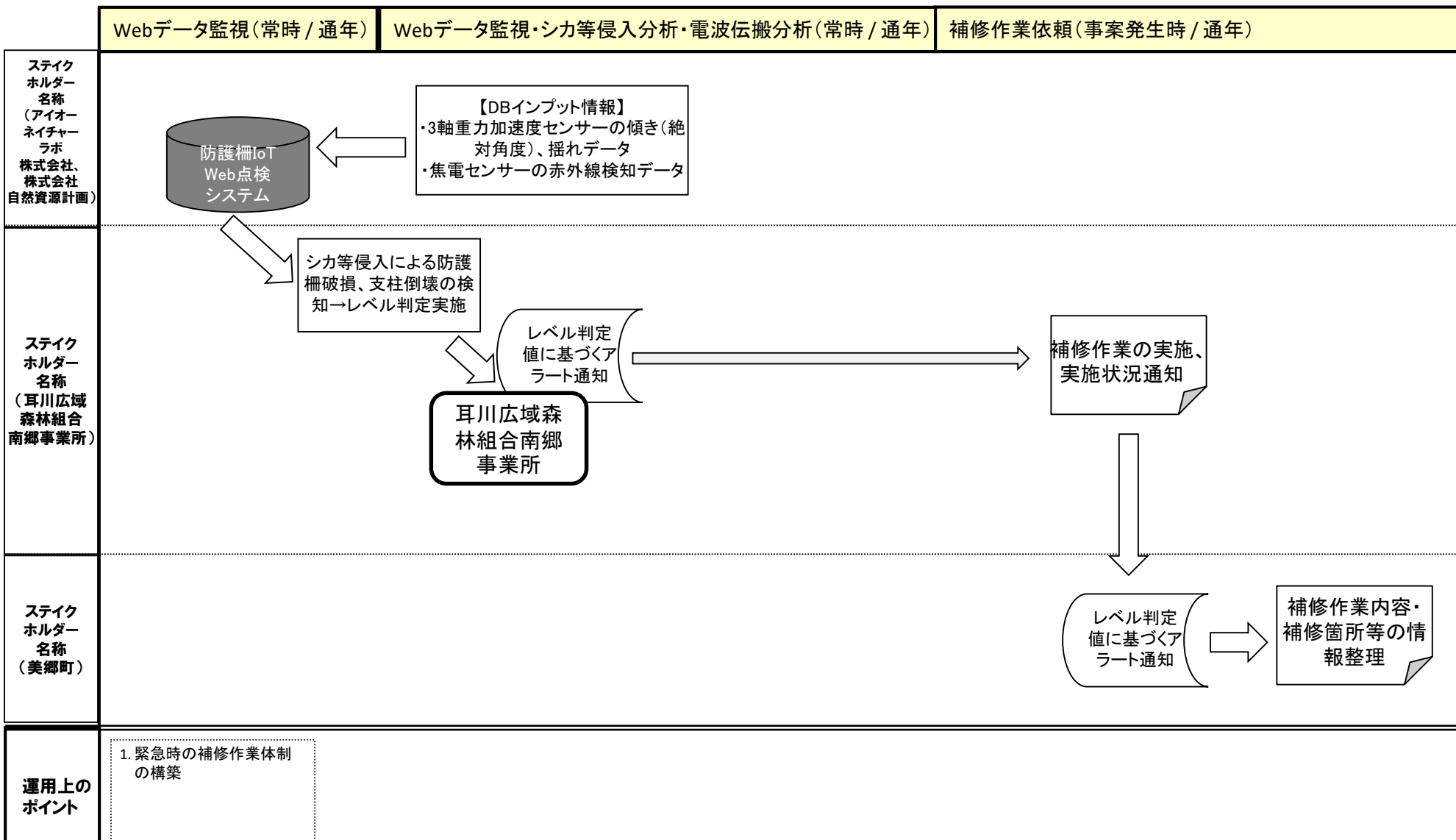
②展開方法:都道府県の森林整備部署、民有林等の森林管理を請け負っている森林組合、苗木植栽を専門とする造林業者のヒアリングを実施し、防護柵の損壊が激しく、なおかつシカ等の食害被害が甚大な地域を抽出し、防護柵IoTの説明会を実施して、IoT導入効果を訴え、展開していきたい。

③展開先:美郷町檜葉地区のシカ被害が甚大で、点検が不十分とヒアリングしたことから、美郷町への展開を進める。

④展開における留意点:低コスト再造林研究開発とも連携し、コスト増とならないように留意しながら進める。

# 井内正直(アイオーネイチャーラボ株式会社) シカ等侵入防護柵の点検自動化に向けたIoTシステムの実証事業

## 業務フローモデル



# 井内正直(アイオーネイチャーラボ株式会社)

## シカ等侵入防護柵の点検自動化に向けたIoTシステムの実証事業

ガイドライン作成に向けた整理

### ①実際の電波伝搬特性と各電波の課題

・実証機設置前のプレ試験機設置時の子機から親機への電波伝搬は、草本及び水分(降雨)の影響が認められた。また、距離に応じて、電波強度が変化することも確認できた(詳細は成果報告書全体版参照)。

### ②機器の効率的配置、設定、セキュリティ上の知見

・支柱の傾きやネットの揺れを検知する加速度センサーを内蔵している子機は、IoT無設置支柱と中継機(加速度センサー無し)を挟む配置としてある。この配置により、IoTの設置数を支柱本数の半分とすることが可能となる。

・再造林地は周囲を高木の人工林で囲まれているケースが多く、電源となる太陽光パネルは、日陰の有無に応じてパネル数を変更することで、キャパシタ充電に影響しないように工夫した。

### ③コスト(インシヤルコスト、ランニングコスト)

・実証地防護柵IoTのインシヤルコストは、制作に係わった実証担当者2名(栗原、井内)の人件費を差し引いて、約193万円となる。ランニングコストは通信費の約5,000円/年。

・一方、防護柵の損壊状況を把握するための人による点検は、防護柵防除効果を最大限発揮するためには2週間に1回程度の点検が必要とされ、そのコスト\*は約24万円/年と推計される。

\*上記コストは、防護柵の補修作業にかかるコストを除いた「点検」にかかるコストである。

### ④①～③を踏まえた上で考えられる適切なIoT利用環境整備のあり方及び必要な政策面での支援

・「人による点検をIoTで代替」を実現するために、加速度センサー+太陽光発電方式の子機を小型化し、支柱1～複数本間隔で設置、地形等電波伝搬に課題がある場所では、中継機(センサー無し)を子機設置無し支柱に設置、子機情報を中継機経由で送信。また防護柵近傍に親機設置不可の場合は、中継機を追加するIoT整備。

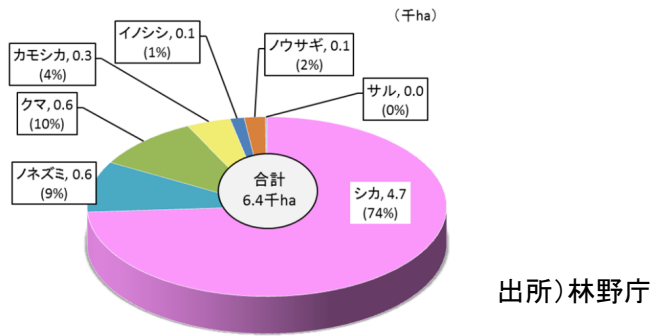
・防護柵設置費用は国等からの補助金対象となっており、普及に向けて防護柵IoTも同様の支援が期待される。

# 井内正直(アイオーネイチャーラボ株式会社) シカ等侵入防護柵の点検自動化に向けたIoTシステムの実証事業

## 鳥獣被害の発生状況

- ✓ 平成29年度における、シカやクマ等の野生鳥獣による森林被害面積は全国で約6千ヘクタールとなっており、シカによる枝葉の食害や剥皮被害が全体の約3/4を占めている。
- ✓ 再造林地でのシカによる食害被害は増加傾向。

主要な野生鳥獣による森林被害面積(平成29年度)



## スギ人工林におけるシカの剥皮被害(宮崎県美郷町)



## 再造林地におけるシカ食害防除対策(現状)

- ✓ 人工林皆伐後の再造林地(幼齢木)のシカ食害に対する主な防除対策として、「単木防除」「防護柵」が実施されている。

	単木防除	防護柵
長所	苗木を一本ずつ防除用チューブで覆うため、各防除策と比較しても防除効果が高い。	防護柵はシカと苗木の接触を完全に遮断するため、柵の損壊や設置不良がなければ、ほぼ完璧な防除が可能。
短所	一本単位の防除となるためコストが高い。また、防除用チューブ内が高湿多湿となり、木々の生長に悪影響を与える可能性がある。	防護柵の効果を保つには定期的な点検が必須だが、山奥や急傾斜となるエリアを定期的に点検することは、費用と人手の両観点から困難であるケースが多い。

- ✓ 防護柵の効果を最大限発揮するためには定期的な点検と補修が必要。再造林地のシカ等防護柵の設置が広がりつつある中で、防除効果が次第に明確化。防護柵設置効果の発揮には定期的な点検・補修が必要との共通認識へ。

「防護対策として、定期的に点検し不具合を未然に防ぐことで、シカの生息地である森林内でも、柵の侵入防止効果は維持され成林が可能であることを確認した。」(出典:三枝 道生(2019):シカによる森林被害の対策に関する研究,岡山県森林研報34,2019)

## 現状の課題

- ✓ 再造林地での防護柵防除効果が十分に発揮するかは、適切なメンテナンスができるかどうかにかかっており、定期的な見回り(点検)が欠かせないが、林業従事者の高齢化・人手不足等※により難しく、点検自動化が望まれる。

※林業従事者は1985年の約12万6千人から2015年には約4万5千人と半減、また、同年65歳以上が25%占める。