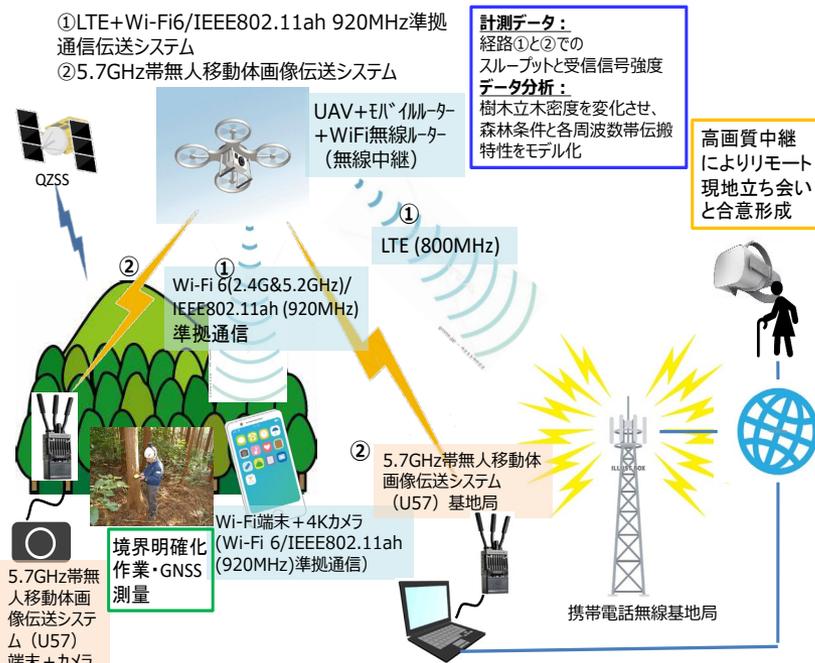


国立大学法人鹿児島大学

森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

実施団体	鹿児島大学、(国研)森林総合研究所、アジア航測(株)、(株)NTTドコモ、(一財)テレコム先端技術研究支援センター、(株)ICTサポート、(株)MM総研 (協力機関)鹿児島県森林組合連合会、日本ユニシス(株)、(国研)情報通信研究機構
実施地域	「鹿児島県垂水市」鹿児島大学農学部附属高隈演習林108林班スギ人工林
事業概要	森林境界明確化のためのリモート現地立ち会いをIoTにより実現する。急峻な地形と樹木により森林内は電波伝搬が困難であるが、上空は林冠に隙間があり電波伝搬の可能性が高い。上空のUAVで森林外部へ2種類の方法(①LTE+高速通信に適したWi-Fi 6(2.4GHz帯)と障害物に強いIEEE802.11ah 920MHz準拠通信(Wi-Fi HaLoW(920MHz帯)相当)による伝送と②5.7GHz帯無人移動体画像伝送システム)で森林内の高画質映像を中継する。樹木立木密度を変化させ、森林条件と各周波数帯伝搬特性のモデル化を行う。UAVによる中継で森林内の電波不感エリアを解消し、ネット上でのリモート現地立ち会いにより地域林業活性化に寄与する。

実証内容



実証成果

電波伝搬に係る知見等

森林内の所有境界付近の高画質映像を上空待機のUAVで森林外部へ2種類の方法で中継した。

【複数無線システム】①高速通信に適したWi-Fi 6(2.4GHz帯)と障害物に強いIEEE802.11ah 920MHz準拠通信機をUAVで中継し、モバイルルーターによりLTEへと接続する伝送システム、②5.7GHz帯無人移動体画像伝送システム(U57: NICTワイヤレスシステム研究室開発)をUAVで中継する方法

【想定利用環境】樹木立木密度を変化させ、受信信号強度やスループット計測により森林条件と各周波数帯伝搬特性のモデル化を行い、森林からの通信範囲や通信品質などの諸条件を明確化する。

IoTサービスの効果(KPI)

高画質映像をUAV中継することで、遠隔地でのリモート現地立ち会いを実現し、境界明確化の現地立ち会いに関わる作業時間を40%削減した。

令和2年度(実証開始前)
境界確定必要作業時間: 2日:132人・時間

実証終了時点
境界確定必要作業時間: 1日:79人・時間(40%削減)

国立大学法人鹿児島大学 森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

■ 実証地域の基本情報

地域名：鹿児島県垂水市

面積：162.12km²

人口：13,708人（2021年2月1日）

地域特性：大隅半島の北西部、鹿児島湾に面するほぼ中央に位置し、鹿児島市と大隅半島を結ぶ海上陸上の要所



実証施設：鹿児島大学
高隈演習林



【地域産業】

ブリ・カンパチの養殖漁業、びわ・柑橘類などの果実やきぬさやえんどう・さやいんげんなどの野菜の栽培が盛んである。高隈山系を源に地底から湧き出る温泉は、豊富な天然ミネラルをバランスよく含む健康飲料水として親しまれている。

垂水市土地利用別面積（H31.1.1）

	面積(ha)	構成比
宅地	534.5	3.3
田	421.4	2.6
畑	1752.1	10.8
山林	9385.3	57.9
原野	478.5	3.0
雑種地	201.2	1.2
その他	3438.6	21.2
合計	16211.6	100.0

【地籍調査】

- ・進捗率：24%(R2.11)
- ・宅地部分はほぼ終了
- ・森林部分8,000haのうち、30haしか終了していない

【森林境界明確化】

- ・ほとんどの森林境界が未確定
- 森林整備が実施困難

設立：1908年

面積：3,066 ha(うち人工林1,512ha)

標高：100 m～885 m

国立大学法人鹿児島大学

森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

■ 地域課題

背景：国内人工林資源の充実
日本は資源として活用可能な「50年生」
を超える人工林が多い。

現状の課題

① 現地立会いが困難

森林境界確認は、所有者又は代理人の現地立会いが必要。
しかし、所有者の多くが高齢化又は相続人が遠隔地にいるなど
立会いが困難な状況である。

② 森林資源の活用が困難

現地立会いが出来ないため、森林境界が不明確、
所有者が決まらないことから、森林資源を活用出来ない。

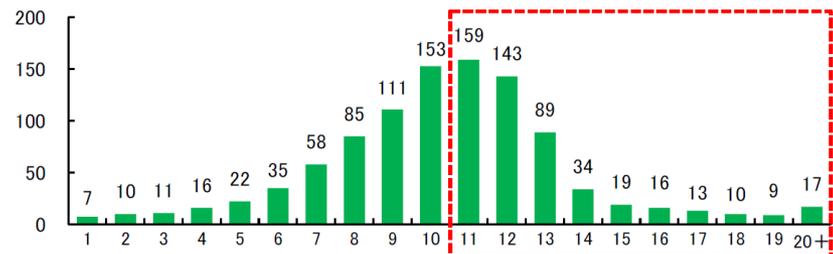
森林境界を明確化することで、森林資源を
有効活用出来るようにする必要がある。



境界調査の様子

■ 人工林の齢級別面積

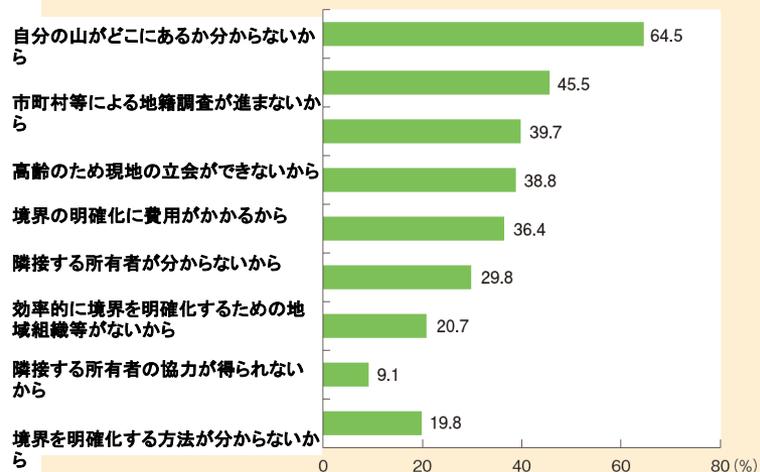
(万ha)



資料：林野庁「森林資源の現況」(平成29年3月31日現在)

(年齢)

資料Ⅲ-11 森林の境界の明確化が進まない理由(複数回答)



注：林業者モニターを対象とした調査結果。

資料：農林水産省「森林資源の循環利用に関する意識・意向調査」(平成27(2015)年10月)

国立大学法人鹿児島大学

森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

IoTサービスの概要

森林境界確認のための現地立ち会いができない高齢な所有者・遠隔地居住者と森林内の作業現場をIP接続することで、高精細映像を上空のUAVにより中継し、テレビ会議システムによるリアルタイムでのリモート現地立ち会いと合意形成を実現する

技術的課題：

森林内での通信は、樹木や地形による遮蔽・減衰の影響を受けやすく、単一のシステムで全てをカバーすることは困難



上空の
UAVで
中継

近くの森林外から操縦

データ収集・分析：

- ・通信経路別のループットと受信信号強度
- ・森林条件と各周波数帯伝搬特性をモデル化
- ・UAVの飛行高度や地上局との相対位置等に対する通信品質の評価
- ・複数の無線方式で映像品質の評価

データ：高品質映像

森林境界明確化現地作業者



通信：

- ①LTE(800MHz)
+Wi-i6(2.4GHz)
/IEEE802.11ah920
MHz(Wi-FiHaLow)
準拠通信伝送システム
- ②5.7GHz帯無人移動
体画像伝送システム
(U57)



基幹ネット
ワーク

自宅・公民館
高齢者施設等



高齢な所有者
遠隔地居住者

センサー：スマホ4K等カメラ+全天球カメラ

提供サービス：所有者・相続者等遠隔地の関係者がリモートで境界確認

国立大学法人鹿児島大学

森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

■ 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
森林境界を表す森林内状況(樹木、地形など)	Zoom動画映像データ	森林内を移動しながら動画を撮影する。作業時間中の撮影を行った。	Zoomの録画映像のデータ量は、平均して1分あたり82MBであった。 したがって、1時間では4.92GB程度となった。	取得する映像データにより、森林境界明確化に必要な所有者の現地立ち会いをリモートで実施できるようになる。 合意した位置への境界杭を打ちに再度現地へ行く必要がなく、2日間の作業を1日で済ませられることから、現地立ち会い作業時間の短縮(40%削減)が実現される。 境界明確化担当者・作業者の作業時間は 65時間→61時間で6.2%の短縮を想定しており、コスト削減につながるものと想定している。
森林境界の位置情報	センチメートル級補強情報を含むQZSS測位データ	境界明確化の作業を想定した森林内を移動して、測位する。	境界明確化作業中(6時間程度)は測位を継続する。テキストデータのためデータ量は多くない。	センチメートル級補強情報を利用するQZSS測位も、上空を林冠遮蔽される森林内では十分な測位ができない可能性があるが、森林境界明確化に必要な精度は確保できると考えている。

国立大学法人鹿児島大学

森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

■ 成果目標 (KPI) 及び実証事業終了後の計画等

◆ IoTサービスの効果 (KPI)

KPIは現地立ち会い作業時間削減効果：

当該IoTサービスにより高齢者や遠隔地の相続人等の現地立ち会いをリモートで実現することで映像や写真を所有者が確認し合意形成する。合意した位置への境界杭を打ちに再度現地へ行く必要がなく、2日間の作業を1日で済ませられることから、**境界明確化に係わる担当者・**

作業員・所有者の従事時間の短縮(40%削減)を実現した。

境界明確化担当者・作業員の作業時間については、

65時間→61時間で6.2%の短縮を想定しており、

コスト削減につながるものと考える。

令和2年度(実証開始前)

境界確定必要作業時間：
2日：132人・時間

Before (現地作業)	工数(h)
自治体職員 (担当者)	30
境界明確 (カメラ)	14
境界明確 (測位)	14
境界明確 (杭打ち)	7
境界者A (東京在住)	27
境界者B (福岡在住)	23
境界者C (鹿児島在住)	17
総工数(h)	132

実証終了時点

境界確定必要作業時間：
1日：79人・時間(40%削減)

After (リモート作業)	工数(h)
自治体職員 (担当者)	22
境界明確 (カメラ)	7
境界明確 (測位)	7
境界明確 (杭打ち)	7
UAV運航者 (準備、運行、回収)	11
画像配信、境界者対応者	7
境界者A (東京在住)	6
境界者B (福岡在住)	6
境界者C (鹿児島在住)	6
総工数(h)	79

注) 緑色網掛け部分は、境界明確化担当者・UAV運行等作業員の工数。また、境界者とは当該地域の森林所有者で、東京、福岡、鹿児島といった居住地は仮の設定であり、実証は地元を離れて遠隔地に居住している森林所有者を対象に行った。

◆ 実証終了後の事業継続・普及展開

①IoTサービスの提供元と提供先等のビジネスモデル

【提供元】測量会社、通信事業者、【提供先】市町村、現地作業は森林組合等

②システムの導入及び利用コスト

【システム運用コスト】森林境界明確化作業実施単位を50haと想定すると、UAV運用と通信関係で**50.5万円/件**と推計

【作業コストの削減効果】←**現地立会作業時間が65時間から61時間に短縮され、コスト削減を想定**

国土調査実施：15万ha/年、面積当たり必要人員：0.48人日/ha、年間必要作業人数：72,000人日

必要人件費：72,000 × 2万円 = **14.4億円/年**

現地立会作業時間削減：(現状) 65人・時間→(実証後) 61人・時間、削減時間割合：4÷65= **-6.2%**

人件費削減効果：14.4億円×0.062= **8,928万円/年**

③収益化に向けた事業計画

森林整備地域活動支援事業で森林境界明確化の際に不在村者の立ち会いをする場合は13,000円/haの上乗せ交付金があり、50haであれば**65万円の交付金**が期待できる

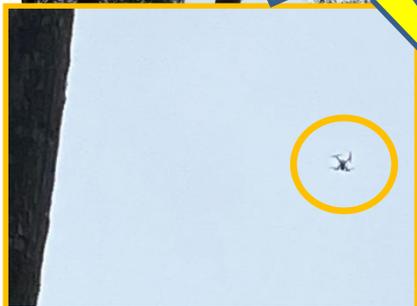
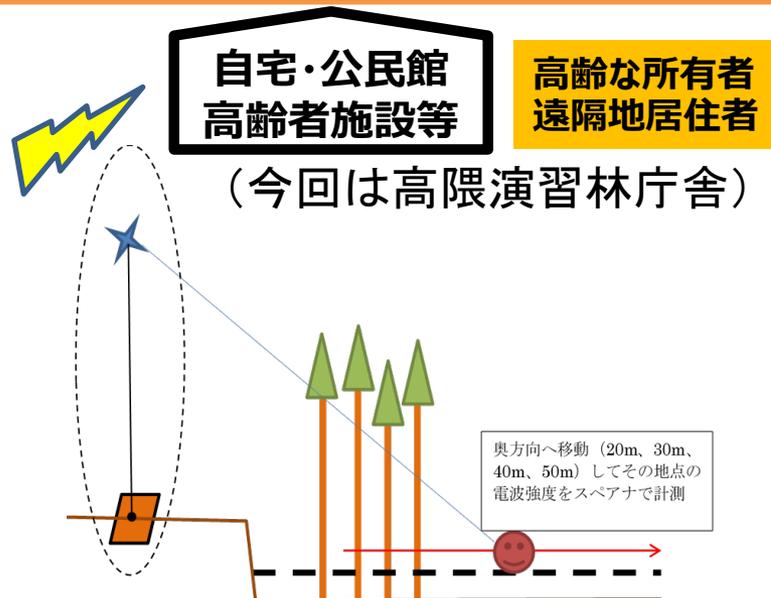
鹿児島県環境林務部ではR2～3年度事業で、林内360°静止画像でのリモート現地立ち会いの事業を実施する予定。

国立大学法人鹿児島大学

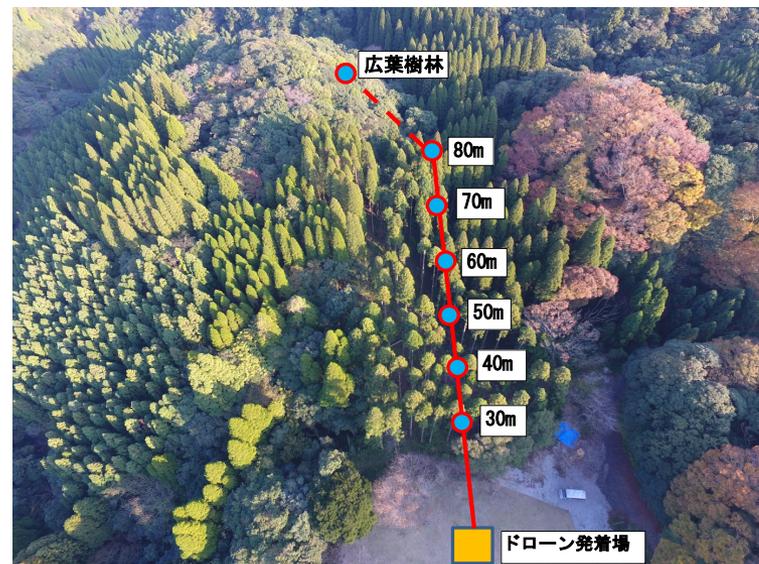
森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

■ 実証実験内容

上空のUAVで中継し、森林内から電波伝搬が可能であることを実証する



上空50mのドローン



国立大学法人鹿児島大学 森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

■ 実証事業での使用通信方式

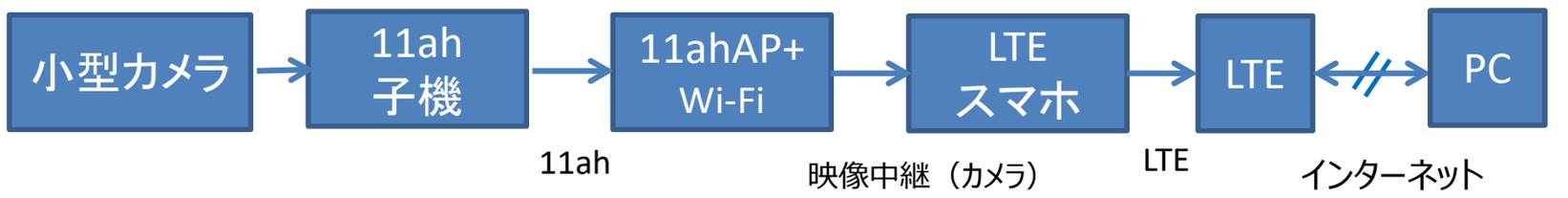
Wi-Fi6/LTE無線システム

映像送信



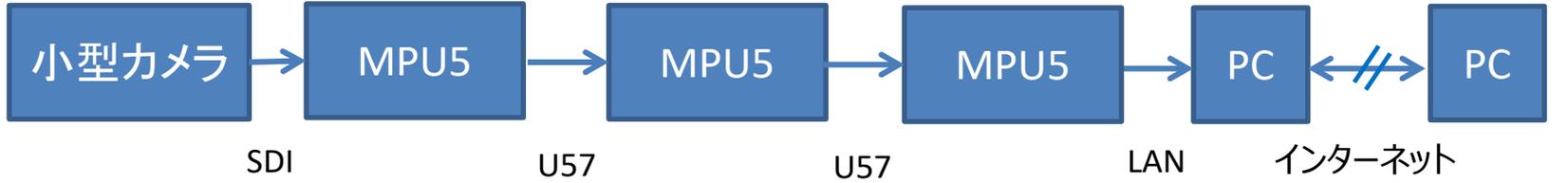
IEEE802.11ah/LTE無線システム (Wi-Fi HaLow準拠)

映像送信



U57無線システム

映像送信

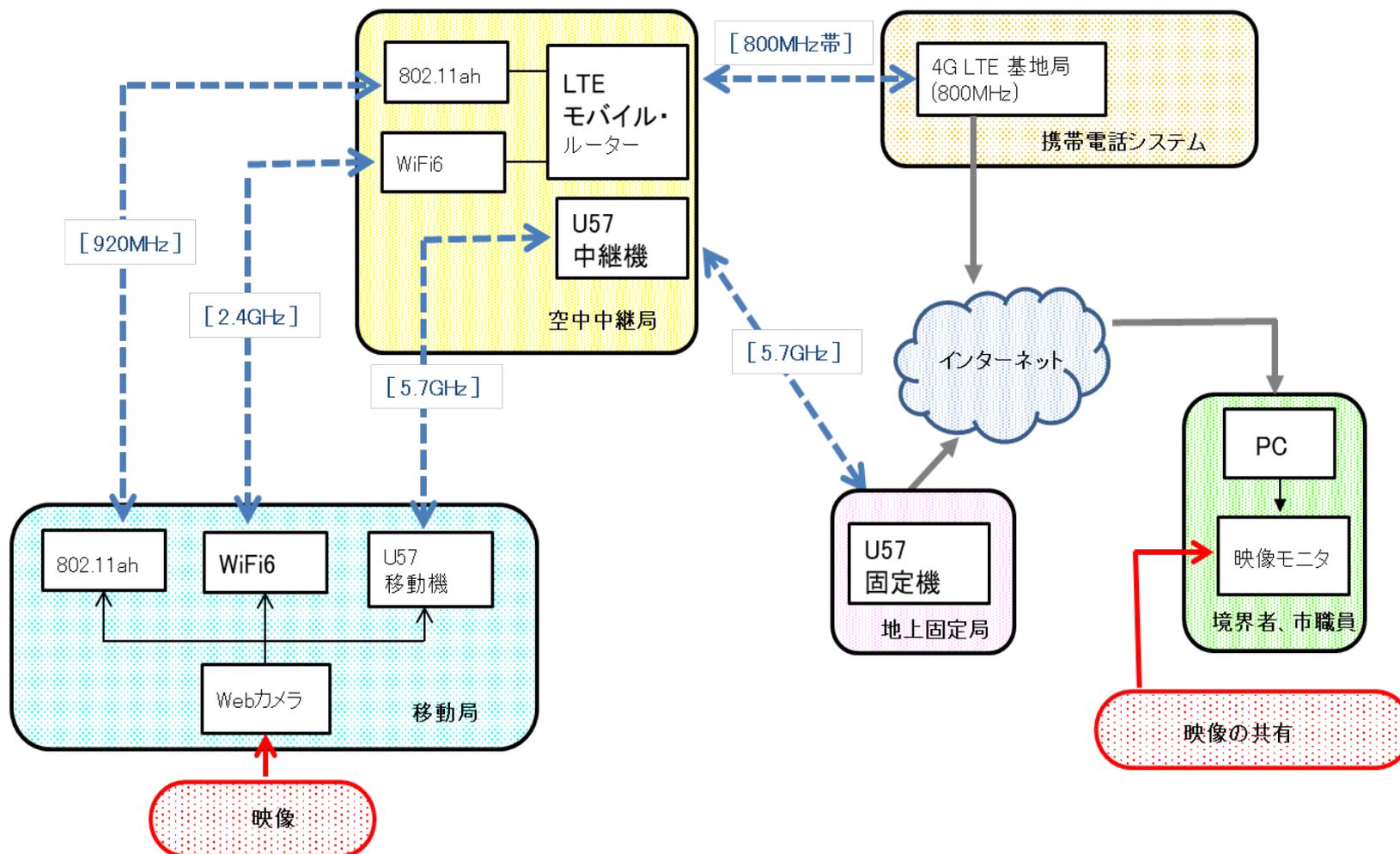


* 実証実験を行う前に地上にて上記各システム構成での動作確認（映像通信、データ速度）を行う。

国立大学法人鹿児島大学 森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

■ 実証事業の様子 無線システムの構成装置

Web会議システム(Zoom)を活用し、境界者、市職員間で映像を共有する。



国立大学法人鹿児島大学

森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

■ 実証事業の様子 実証現場 電波調査結果

最寄りのLTE基地局（高峠局：800MHz、実証現場から約1.2km）から通話に支障が出るレベルの反射波が飛来していた。

通番	調査ポイント名	PCI (受信電波)	RSRP (dBm)	RSRQ (dB)	DL速度 (Mbps)	UP速度 (Mbps)	アンテナ 本数
①	キャンプ場 (地上高)	279 (高峠局800M)	-117.50	-11.00	2.13	0.14	1~2
②	キャンプ場 (ANT高5m)	279 (高峠局800M)	-113.00	-7.00	-	-	-
③	林内 (地上高)	-	-	-	-	-	圏外
④	林内 (ANT高5m)	279 (高峠局800M)	-118.50	-12.00	-	-	-



キャンプ場



林内

凡例	RSRP (dBm)
圏外	-117.5dbm未満
青空ユース (屋外にて利用可能)	-117.5dbm以上
カーユース (車の中にて利用可能)	-105.0dbm以上
ホームユース (家の中で利用可能)	-100.0dbm以上
オフィスユース (ビルの中で利用可能)	-95.0dbm以上

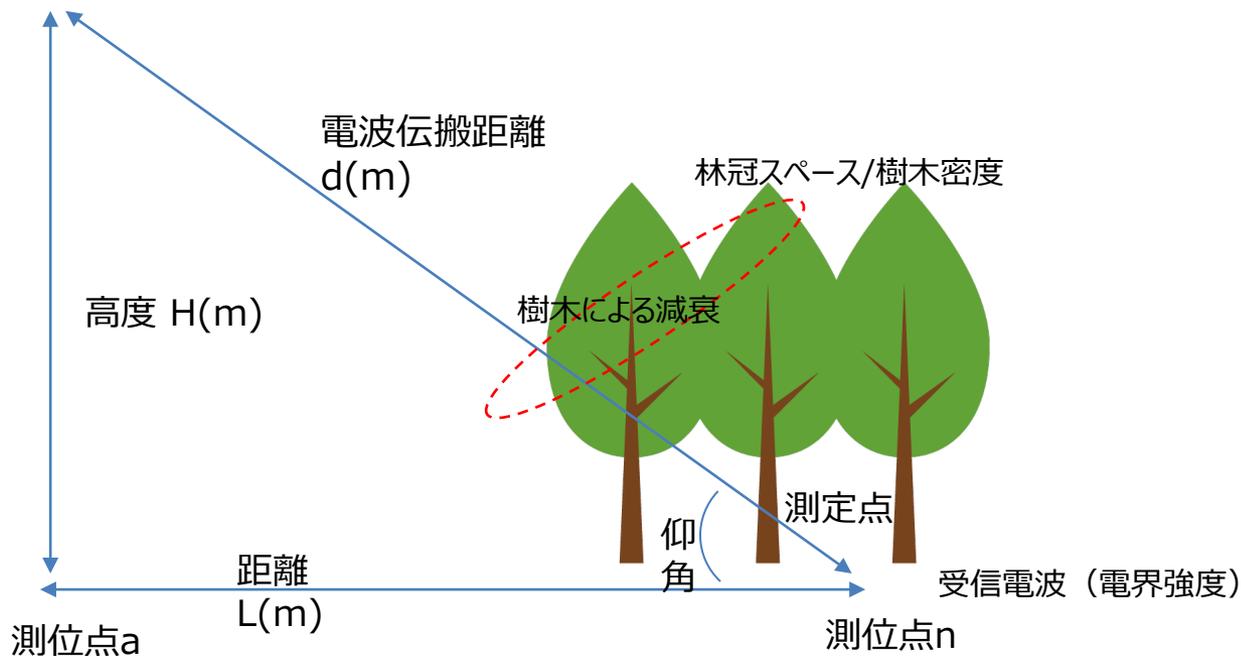
森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

■ 実証事業の様子 実証試験の方法(無線データ測定方法)



UAV (無線中継器)

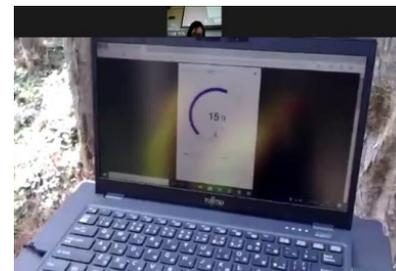
送信電波



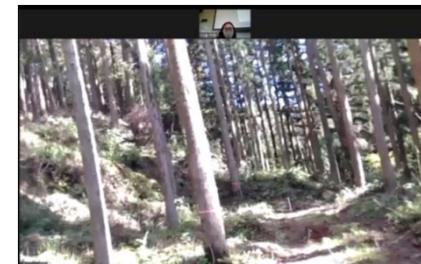
*森林内30mから80mまで10m刻みで測定



スペアナによる電波強度の計測



PC上でスループットの計測



Web会議システムの映像画質評価

国立大学法人鹿児島大学

森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

■ IoTサービス実証における成果

① KPI達成状況：

従来方式では事前撮影の写真等で確認を行い、合意が得られた後、翌日現地で杭を打つ作業が必要となる。リモート立ち会いでは再度現地へ行く必要がなく、2日間の作業を1日で済ませられることから、関係者の作業時間の短縮(40%削減)が可能であると関係者からのヒアリングから確認できた。境界明確化担当者・作業者の作業時間のKPIについては、65時間から61時間へ約6%の短縮が可能であると推定された。

さらに、所有者が、現地に来る交通費は自己負担であるが、リモート立ち会いでは交通費が不要となる。一方で、UAV操縦者や画像配信技術者が必要となるが、例えば機材費100万円でも年間50回の利用が2年間あれば、1回あたり1万円程度のコストで済むことになる。オペレータの人件費を加算しても、46,000円の追加コストと試算された。作業時間削減コストとの相殺で、赤字は小さくできると推計される。(内訳はスライド10参照)

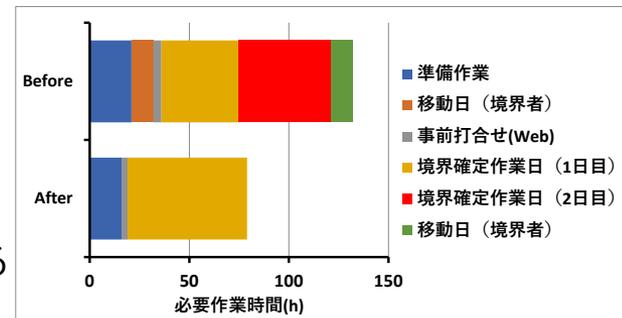
② 定性的な成果事例：

森林境界明確化事業を所管する鹿児島県職員へWi-Fi6による中継映像を見せられ、アンケート調査を行ったところ、7名全員が「この映像で境界明確化の現地お立ち会いを代替可能である」と回答した。森林所有者5名 + 関連団体職員1名に映像を見せての感想をヒアリングしたところ、全員から所有境界の確認に十分な映像品質であるとの回答を得た。境界の立ち会いでは、記憶にある地形や岩などを目印としており、現地で目印を見つけて、そこからの境界線の移動を再現することが有効であるとの意見があった。地形図や公図あるいはドローンからの上空からの映像などを同時に映して、どの場所からどの方向でウェブ中継しているのかがわかるように表示することが必要であるとの指摘があった。

③ 気付きや課題、ノウハウなど：

森林組合職員と鹿児島県庁林務職員および森林所有者からの感想に、「映像がどこであるのか映像中に示されればよくわかり、納得が得られやすい」との指摘があり、本実証でも行ったRTK-GNSS位置情報を利用したナビゲーションが実現できたので、このナビゲーションの画像を同時に利用できる仕組みの開発が必要であることがわかった。

U57でも十分な品質の映像転送が可能であったが、出力が1Wと大きかったため、本来の実力を判定するためには10km程度の通信試験が適切であったかも知れない。801.11ah通信機では静止画の転送が可能であることが実証できた。



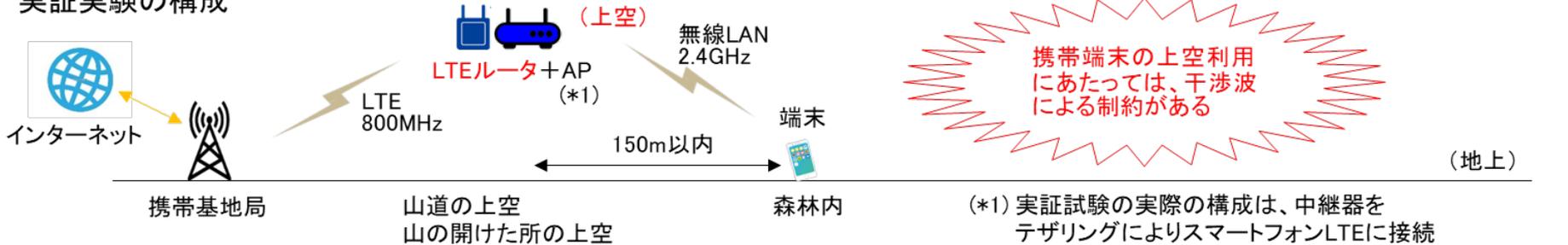
市販の大型UAVの事例：
 ペイロード1kgで34分飛行可能
 機体+バッテリー等：100万円
 Wi-Fi6中継器+スマホ：約900g

国立大学法人鹿児島大学

森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

IoTサービス実証における成果

実証実験の構成



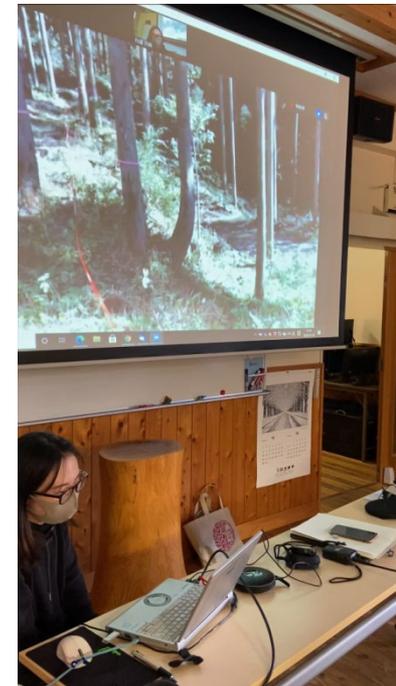
森林内の状況をWeb会議システムで遠隔地において視聴でき、リモート現地立ち会いが可能であることを実証



森林内の状況をライブで映像撮影し、UAVへ伝送



上空のUAVでWiFi6を受信しLTEへ中継

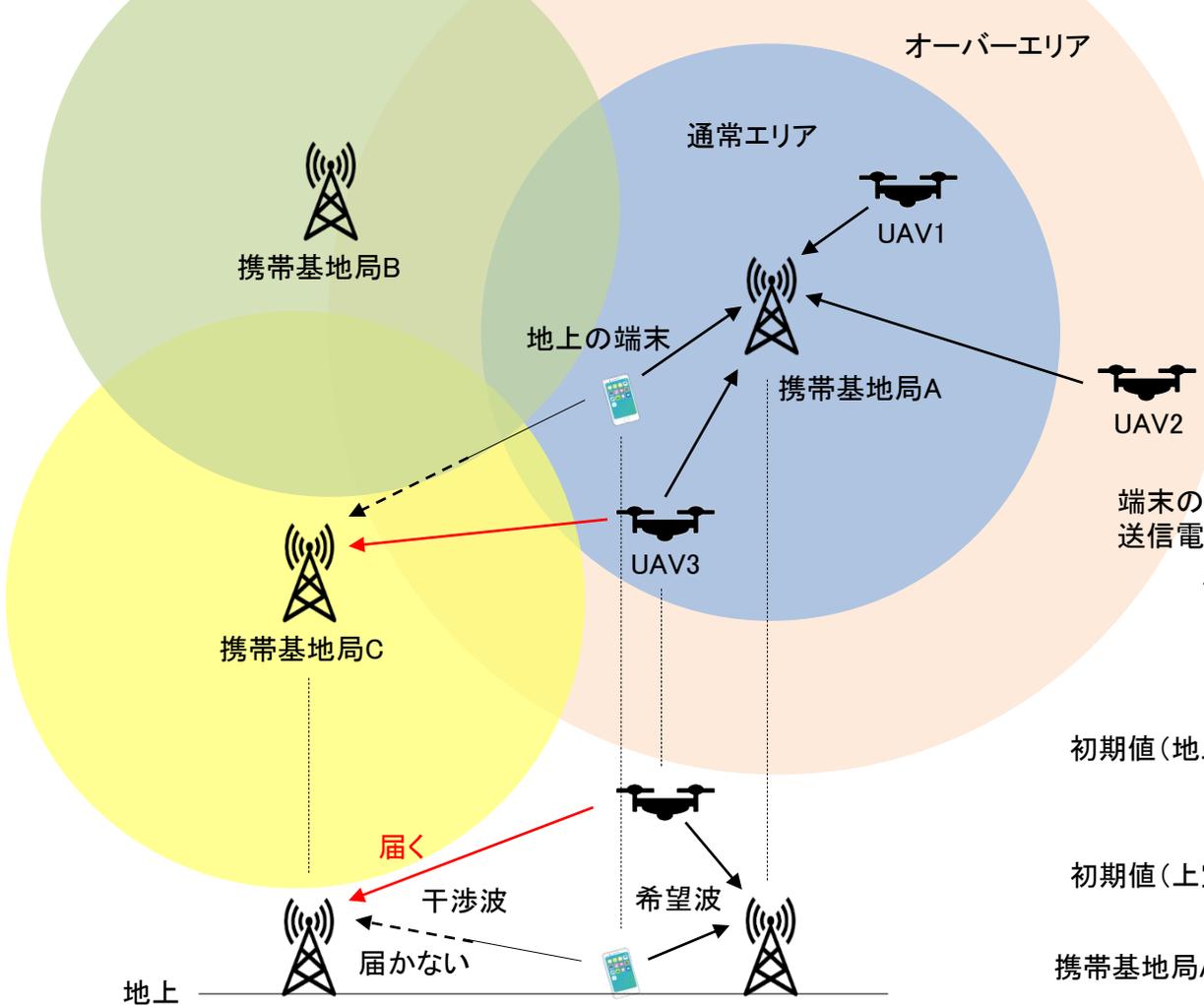


1.2km離れた遠隔地でWeb会議システムで森林内の状況を見て、リモート現地立ち会いを実施

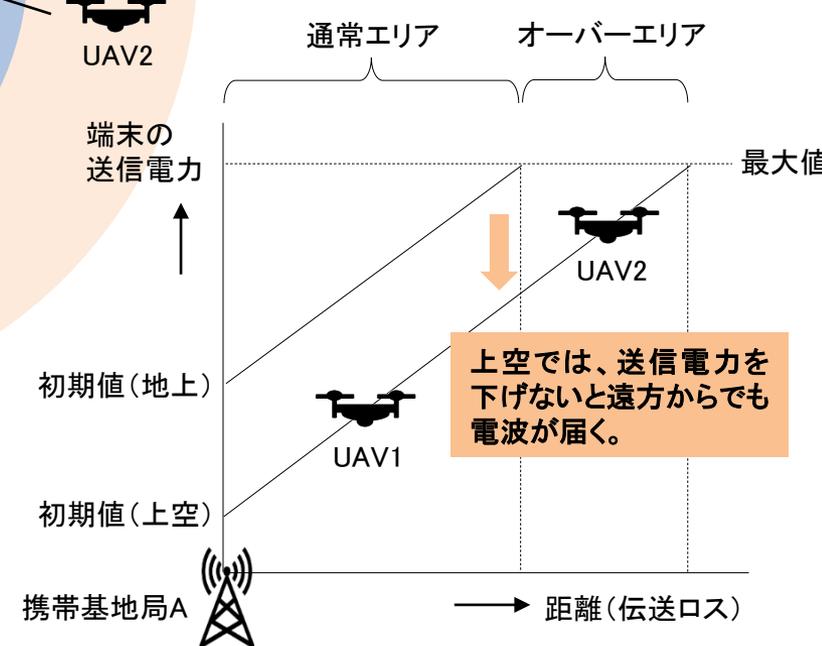
森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

■ 携帯端末の上空利用時の問題点

隣接基地局があることを想定すると、送信電力を下げないで上空から送信することは許されない。



隣接基地局のない山間部なら、オーバーリーチでエリアを広げてもどこにも電波干渉による妨害を及ぼさないで、通常エリアの外から送信しても問題ない(UAV2)。しかし、近くに基地局があると上空からの電波は強いので、隣接基地局の干渉波となり得る(UAV3)。飛行エリアを特定し、さらに、送信電力を下げて通常エリア上空の使用となるかも知れない。

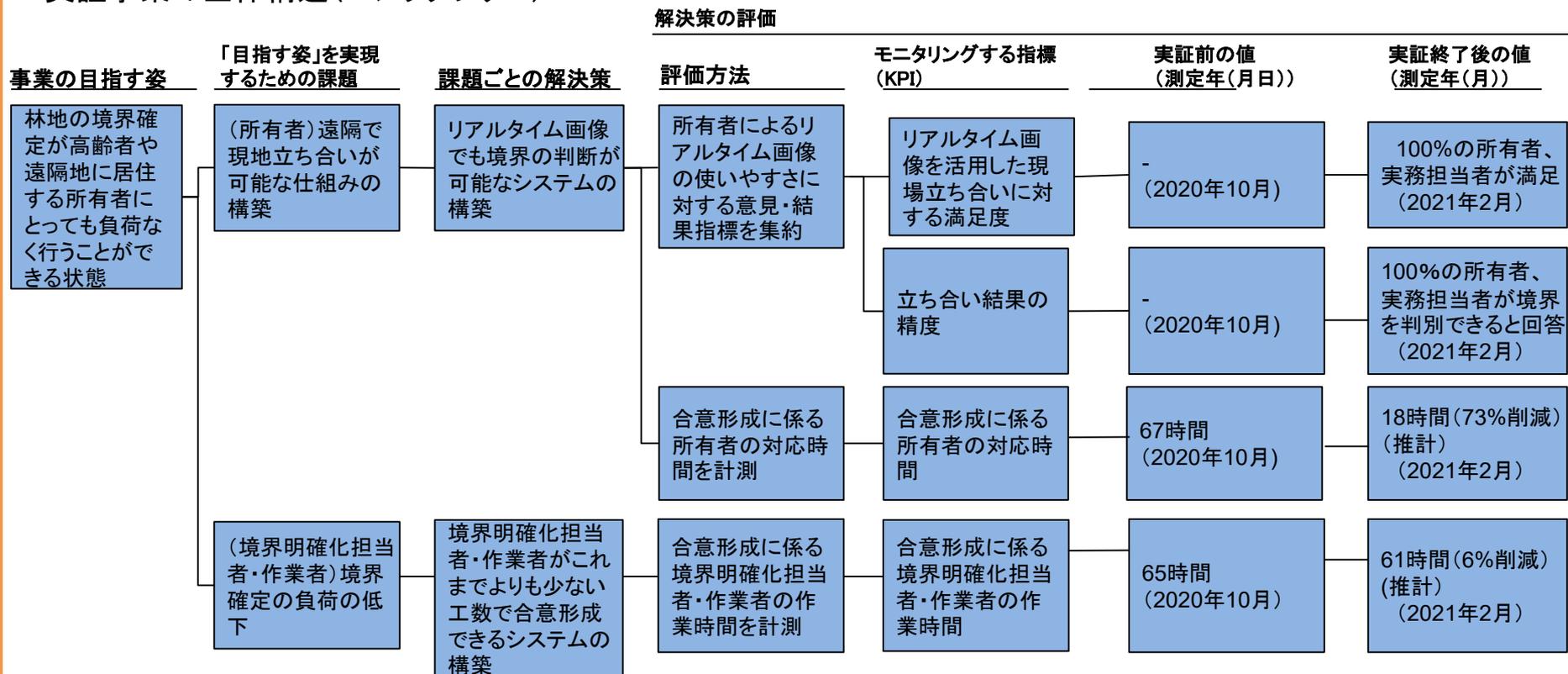


上空では、送信電力を下げないと遠方からでも電波が届く。

国立大学法人鹿児島大学

森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

■ 実証事業の全体構造(ロジックツリー)



国立大学法人鹿児島大学

森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

■ 今後の取組

■ 収益モデル

①IoTサービスの提供元と提供先等のビジネスモデル

【提供元】測量会社、通信事業者、【提供先】市町村、現地作業は森林組合等

②システムの導入及び利用コスト

システム運用コスト： UAV等機材代100万円÷100回使用（50回/年×2年）=10,000円/回

UAVオペレータ、画像配信技術者（@2000/h×18h）=36,000円/回、計46,000円/回

所有者負担交通費の削減効果：81,000円→0円

【利用コスト】46,000円－81,000円＝▲35,000円（1箇所あたり3.5万円のコスト削減効果）

【担当者作業時間※】境界明確化担当者（市役所職員等）の現地立会作業時間が65時間→43時間へ22時間削減

（32%の時間削減、@2000×22h=44,000円/回の人件費削減）

（※UAV運航者、画像配信、境界者対応者は市役所職員ではなく別主体が担当するため担当者作業時間に含めていない）

③収益化に向けた事業計画

（1）行政コスト削減分（4.4万円）＋上乗せ交付金（1.3万円×面積）でUAVコスト（4.6万円）を相殺する

（2）所有者個人負担の交通費から一定額のコスト負担（例えば1000円以上/人）を要請する

④資金の流れ

リモート立ち会い実施には、UAV運用と画像配信関係で46,000円の追加コスト←作業時間削減で44,000円の担当者人件費削減効果
森林整備地域活動支援事業で森林境界明確化の際に不在村者の立ち会いをする場合は13,000円/haの上乗せ交付金があり、0.16ha以上が対象であれば、収支は均衡し、それ以上の面積を取り扱えば収益性を確保できる。さらに、所有者個人負担の交通費（モデルでは81,000円）が必要なくなる。

■ 展開シナリオ

・展開主体及び体制：測量会社（ドローン運行と空間情報技術を持つ企業等）と通信事業企業の共同事業

・展開方法：林野庁、国土交通省への技術紹介、（一社）日本国土調査測量協会での紹介により全国の地場測量会社へ技術普及、測量会社は市町村役場の地籍担当部署への営業活動として展開

・展開先：全国の市町村地籍担当部署、現地作業を担当する森林組合等（地籍調査計画面積は年間15万ha（2,000～3,000ha/県）

・スケジュール：別紙10-4に示しているスケジュールでR3年度に実証に取り組み事業性検討を進め、R4年度β版を開発し、R5年度から販売

・展開における留意点：

①携帯電話等の上空利用の手続き簡素化の制度面での進捗

②上空利用の際に出力制限が可能な携帯端末(モバイルルータ等)の供給

③ウェブ会議システムによる森林内の映像に、現在位置のナビゲーションを同時にリアルタイム配信するソフトウェアの開発

森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

経済性に関する試算

・UAV等活用による遠隔地からの森林境界画定ソリューションにより、現地立ち合い困難な私有林の境界画定が進むことで放置林等への適切な森林管理を実現できる環境を整えた場合、森林管理・産出活動主体(山元)に還元されうる直接的な経済価値を全国規模(私有林面積:1439万ha)で試算すると、直接的な効果として826.1億円/年と見積もられた。

経済効果

826.1億円/年(全国に導入された場合での試算値)

表1:試算結果

項番	項目	試算数量	単位	計算式
A	ha当たりの山元立木価格推定額	114.8	万円/ha当たり	表2:E×F
B	森林の所在する市町村に居住していない、又は事業所を置いていない者(不在村者)の所有する私有林の面積	359.8	万ha	表2:G×H
C	直接的経済効果全体(山元立木価格換算) ～人工林/樹齢50年林の主伐期	41,305.0	億円	A×B
D	年当たり換算値 直接的経済効果(山元換算) ～人工林主伐を対象/年換算	826.1	億円	Cに樹齢50年生スギ人工林主伐年換算として1/50を乗じた

・金額換算の前提とした山元立木価格は、森林施業主体である林業従事者の収入目安となる価格である。その後流通時に素材加工を施し製材工場に着荷した時点での経済価値(工場着荷価格換算)は3.94倍程度※と見積もられる。

※平成19年 森林・林業白書第一部「2森林の整備を担う林業・山村の現状(1)林業の現状」を元に推定)

表2:試算引用データ一覧

項番	項目	数量	単位
E	山元立木価格	3,061	円/m ³ 当たり
F	ha当たり生産量	375	m ³ /ha当たり
G	全国の私有林面積	1,439	万ha
H	私有林に占める森林の所在する市町村に居住していない、又は事業所を置いていない者(不在村者)の所有する森林の割合	25	%

・表1および表2に引用した各データの
出典および諸条件は、別添引用データ
一覧を参照されたい。

別添.経済性に関する試算 引用データ出典一覧

山元立木価格

出典:令和元年度 森林・林業白書 林産物 詳細表 38 山元立木価格、丸太価格、製材品価格、山地素材価格 より R1 スギ山元立木価格を引用した。

Ha当たり生産量

出典:平成19年度 森林・林業白書 第一部 2森林の整備を担う林業・山村の現状(1)林業の現状より引用した。

全国の私有林面積

出典:令和元年度 森林・林業白書 第1部 第1章 第1節 森林の適正な整備・保全の推進(1)資料1-3 森林面積の内訳より引用した。

※平成29年3月31日現在の値 林野庁「森林資源の現況」を元になっている。

私有林に占める森林の所在する市町村に居住していない、又は事業所を置いている者(不在村者)の所有する森林の割合

出典:令和元年度 森林・林業白書 第1部 第1章 第1節 森林の適正な整備・保全の推進(3)森林経営管理制度及び森林環境税、(ア)森林経営管理制度(a)制度について 資料1-12 脚注14)より引用した推定値。脚注14引用箇所:農林水産省「2005年農業センサス」によると、森林の所在する市町村に居住していない、又は事業所を置いている者(不在村者)の所有する森林が私有林面積の約4分の1を占めるようになっている。なお、平成22(2010)年以降、この統計項目は把握していない。

補足:実証実験時に見学参加した鹿児島県庁関係者によると「県内ではおよそ4割程度が高齢化もしくは所有者が遠隔場所等に住居していることを主な理由として境界画定が未了と考えられる」という指摘もあった。

国立大学法人鹿児島大学

森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

課題や展望

- ・森林境界未画定要因の客観的、定量的な観測調査が必要と考えられる。

国土交通省が発表する地籍調査「山村境界基本調査」結果によると平成26年度時点でも境界画定林は44%と「全国(国土全体)より遅れている」との指摘があり、その背景を土地所有者の高齢化や土地所有者が地元に住んでおらず、都会へ出てきている状況(村離れ)と指摘している。ただし、定量的な説明にまでは至っていない。現状進んでいる地籍調査の都道府県レベルでの詳細実態把握等により、本実証をはじめとする森林の可視化に寄与するDXソリューションの経済的な効果、活用時と非活用時の進捗率の違いなどを把握する定量的評価項目を収集する必要があると考えられる。

- ・森林(山元)経済への直接効果に加えて多角的な観点での経済・社会効果検証も必要と考えられる。

日本の森林は、経済効果に加え、GX(Green transformation)を目指す日本政府と社会にとって重要な役割を果たすと想定される。森林の二酸化炭素吸収量(CO₂)等は、適切な施業を実施した山林とそうでない山林(放置林)等で変化する可能性が指摘されている*。

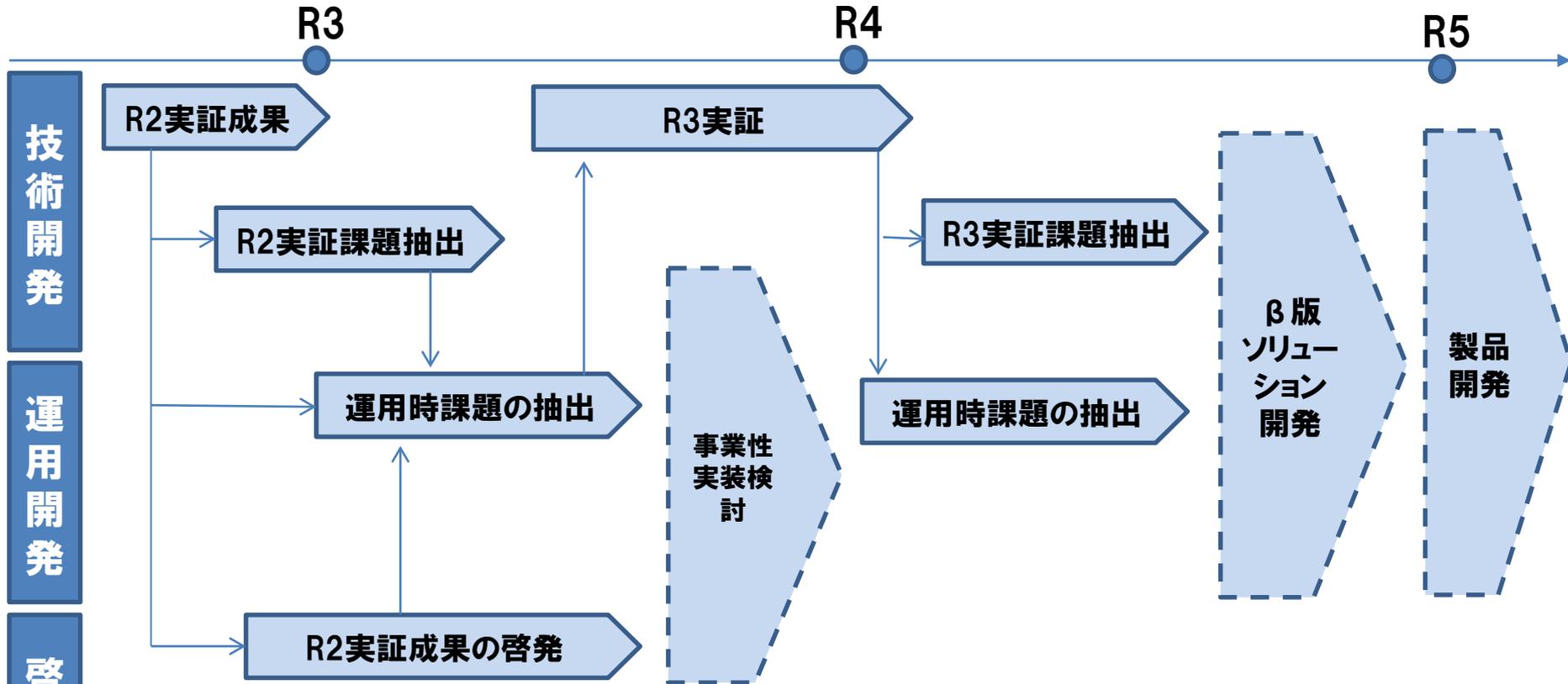
今後これらの効果について定量化手法を研究することで、森林境界画定により適切な手入れの行き届いた山林面積の増加が、「脱炭素社会実現に寄与するのか」を把握することが必要と考えられる。

(※明石信廣(2004)森林の二酸化炭素吸収と間伐施業の効果. 光珠内季報134)

本実証で検証されたソリューションは、労働災害時の動画通信の活用によるSOSや応急措置等の速やかな実施にも応用可能性がある。労働災害等の迅速対応は、災害の軽微化や人命救助の観点で重要であるとともに、労働力不足になやむ林業現場において、職場の労働環境改善につながり、就業者増加の一助となる可能性がある。このような観点での効果を、ソリューション導入効果として検討していく必要があると考えられる。

森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

X.普及・啓蒙活動に向けて



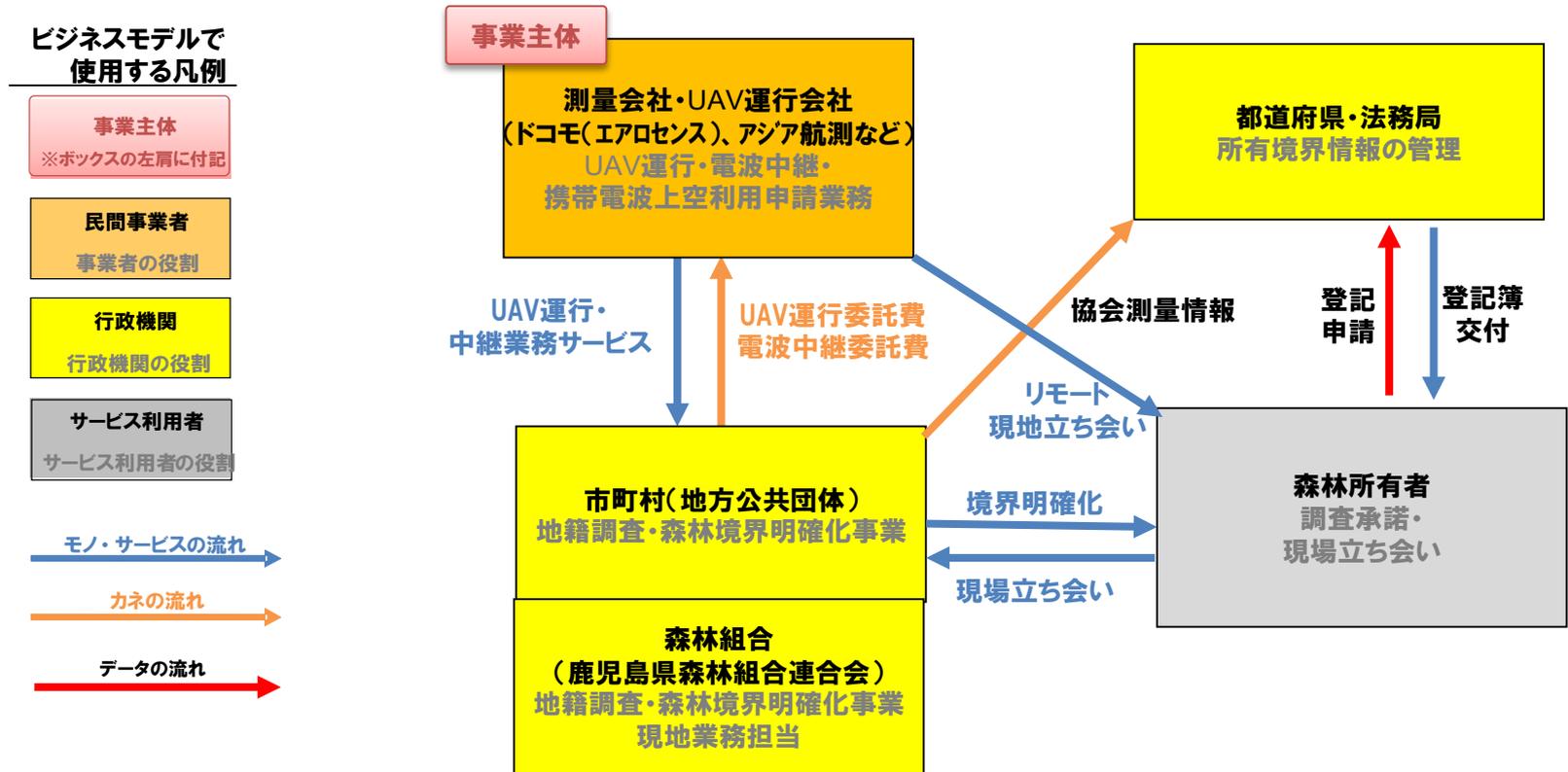
技術開発
運用開発
啓発
制度等

携帯電話等の上空利用の手続き簡素化の制度面での進捗
 今後、ドローン操縦免許が必要となる
 森林経営管理制度で必要となる林地台帳整備や所有者の意向確認と同時並行に実施する。予算面は森林環境税からも支援を可能とする

国立大学法人鹿児島大学

森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

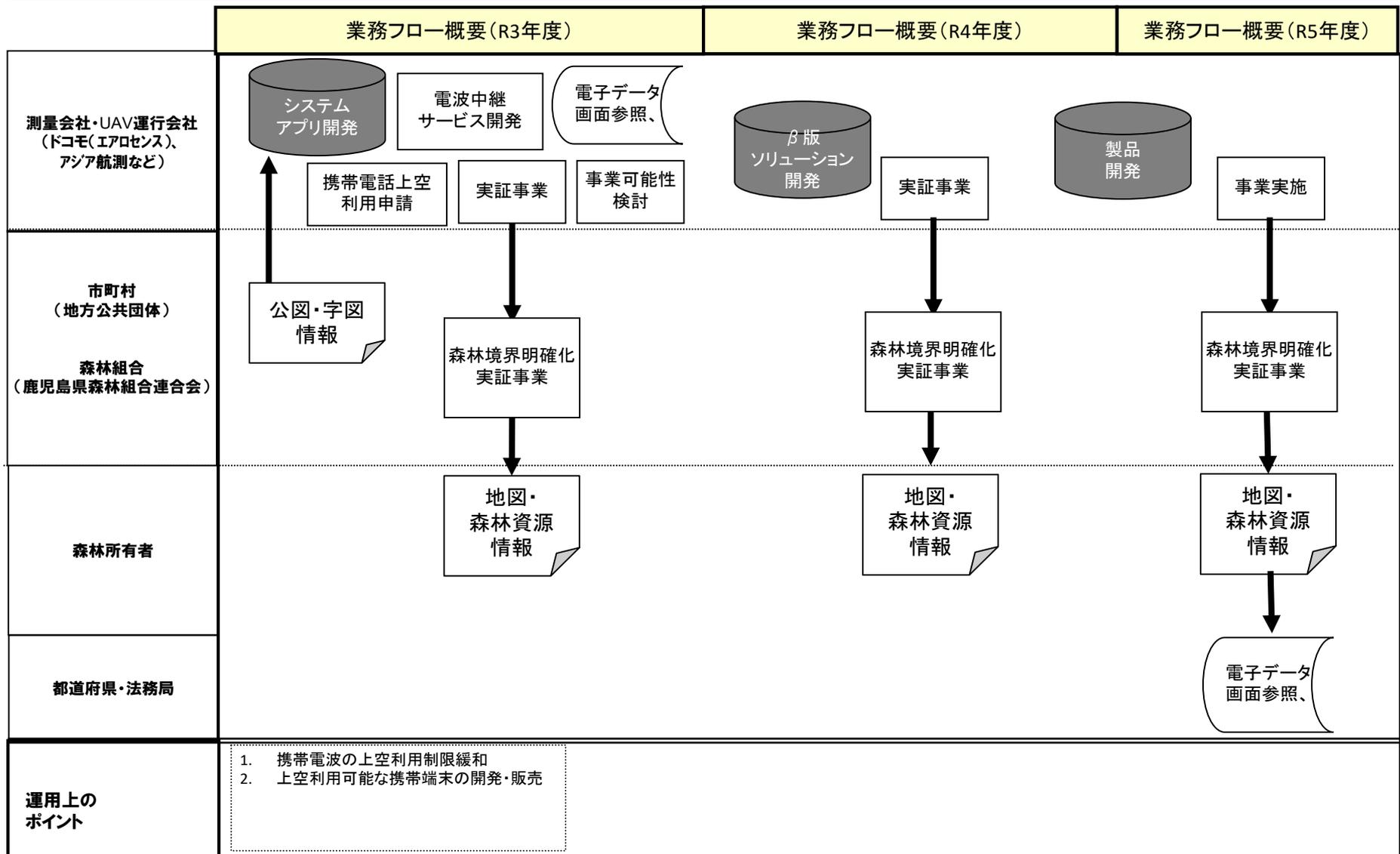
森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成実装モデル



国立大学法人鹿児島大学

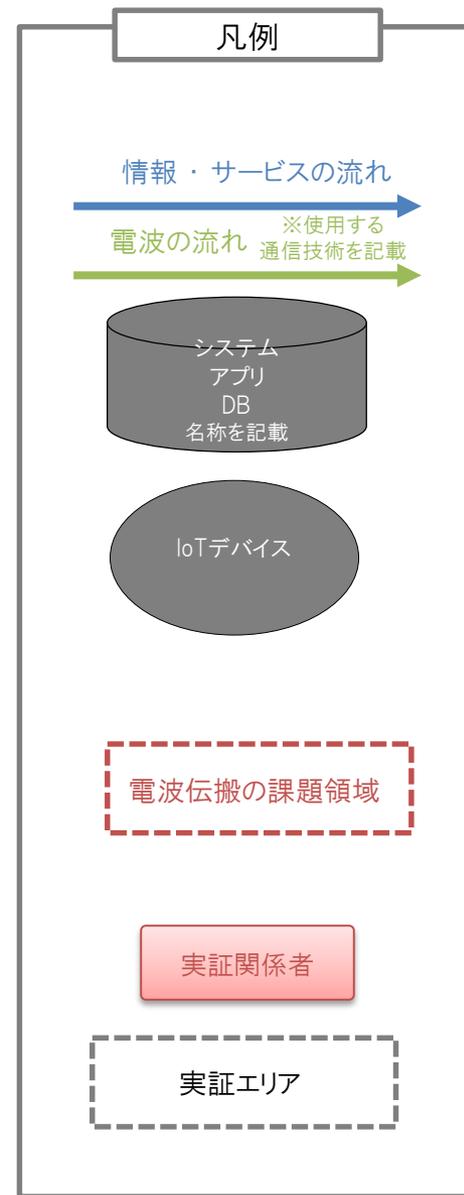
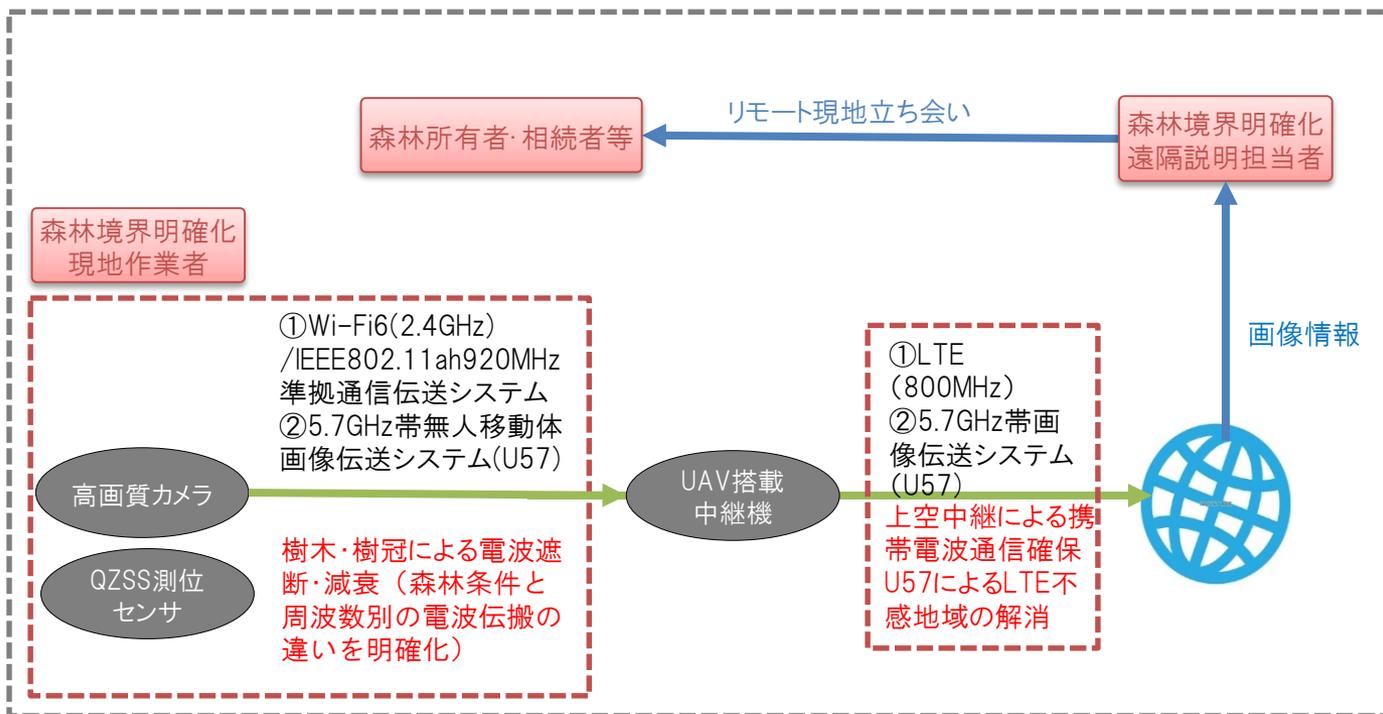
森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成業務フローモデル



森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

■ 本実証における電波伝搬上の課題 (イメージ図)



■ 本実証から得られる知見等

- (1) LTE(800MHz)+Wi-Fi 6(2.4GHz)・IEEE802.11ah 920MHz準拠通信及びU57(5.7GHz)による森林からの通信範囲や通信品質などの諸条件を明確化
- (2) 異なる立木密度条件と各周波数帯伝搬特性実証
- (3) UAV中継によるLTE不感地域の解消

国立大学法人鹿児島大学

森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

■ 電波伝搬に係る検証結果



写真1



写真2



写真3

- ① 本検証を実施した環境（森林）と電波測定実施の写真を記載する。（写真1, 2）
- ② 本検証に使用したUAV（有線給電ドローン）と実験設備(Wi-Fi6 中継装置及びLTEスマホ)収納形態を写真に記載する。（写真3）
- ③ 本検証にて測定したUAVからの森林内部までの距離と電波強度をグラフにて記載する。（図1, 2, 3）
- ④ LTE電波環境のない森林内部に対し、Wi-Fi6及びLTE無線システムにてUAVを高度40mにて無線中継行うことでインターネット環境を提供し、森林内80mまで画像をZoomにて画像提供できることを確認できた。
- ⑤ LTE電波環境のない森林内部に対し、IEEE802.11ah 920MHz及びLTE無線システムにてUAVを高度40mにて無線中継行うことでインターネット環境を提供し、森林内80mまで静止画像を画像提供できることを確認できた。
- ⑥ LTE電波環境のない森林内部に対し、U57無線システムにてUAVを高度60m/90mにて無線中継行うことでインターネット環境を提供し、森林内80mまで画像提供できることを確認できた。

WIFI6 2.4G(高度40M) 電波測定結果

距離 M

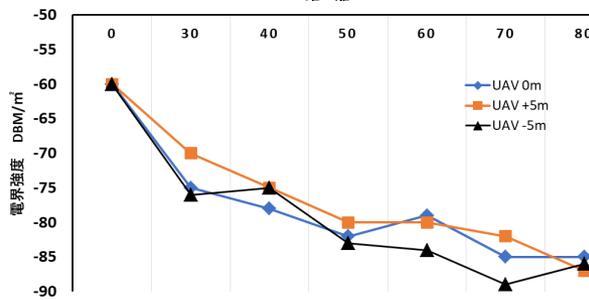


図1.森林内距離別のWi-Fi6電波強度

IEEE802.11AH 920M(高度40M) 電波測定結果

距離 M

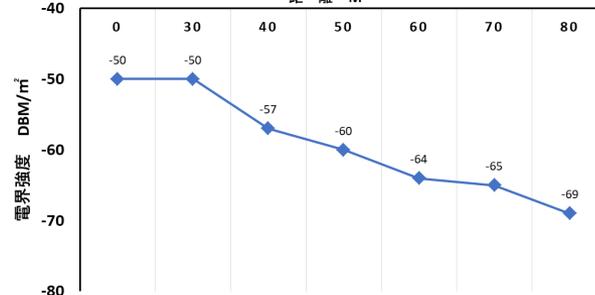


図2.森林内距離別の802.11ah電波強度

U57 (高度60M/90M)電波測定結果

距離 M

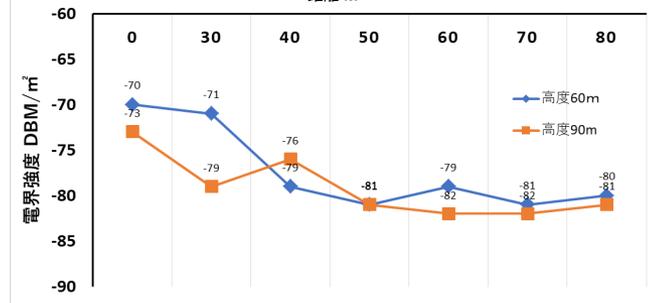
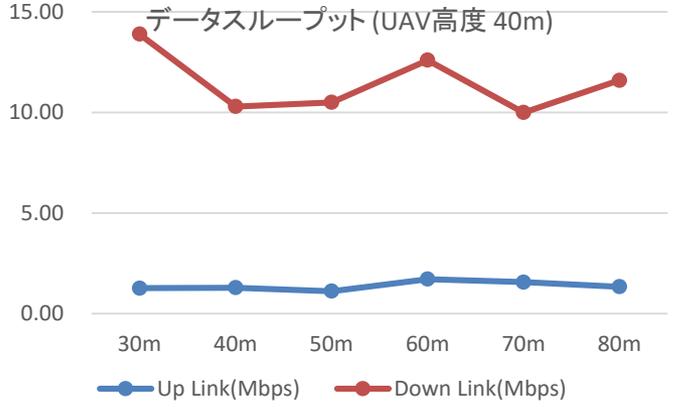


図3.森林内距離別のU57電波強度

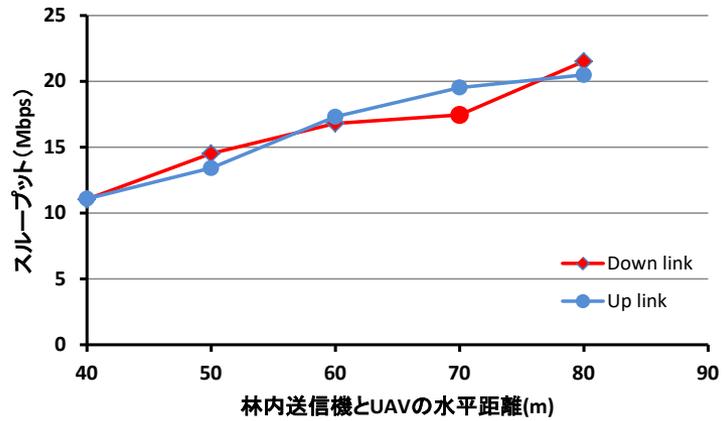
国立大学法人鹿児島大学 森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

■ データスループットと映像品質に係る検証結果

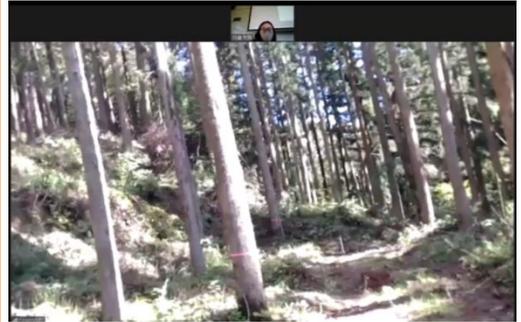
- ① Wi-Fi6及びLTE無線システムにてUAVを高度40mにて無線中継行い、インターネットでのZoomによる映像サービス検証時のデータスループット測定を実施した。森林内30mから80mまでUp LinkとDown Linkにて測定したデータを記載する。Up Linkでは約1.1Mbpsから1.4Mbps, Down Linkでは約10Mbpsから14MbpsにてZoom使用での技術推奨値1.5Mbps(Up Link, Down Link)をほぼ満足でき実用上問題ない映像サービスを提供できた。(グラフ1)
- ② U57無線システムにてUAVを高度60m/90mにて無線中継行い、インターネットでの映像サービス検証時のデータスループット測定を実施した。
森林内30mから80mまでUp LinkとDown Linkにて測定したデータを記載する。Down Linkでは11.0Mbpsから21.5Mbps、Up Linkでは11.1Mbpsから20.5Mbpsのスループットが得られ、HDレベルから4Kレベルの映像品質が確認できた。出力に余裕があり、距離による影響はなかった。(グラフ2)
- ③ IEEE802.11ah 920MHz無線システム及びLTE無線システムにおいては、IEEE802.11ah 920MHzシステムが実証試験装置にてLTE無線システムとWi-Fiテザリング接続できず光学的カメラ中継方式を採用したためデータスループット測定はできなかった。IEEE802.11ah 920MHz単独システムでは通信時間が10%のdutyであり、その場合のデータスループットの設計値は290Kbpsにて73KBサイズのカメラ撮影画像をWi-Fi(2.4GHz)にて中継されたラップトップ表示画質を目視にて確認し十分に実用可能であるレベルであることを確認した。
- ④ Wi-Fi6及びLTE無線システム及びU57無線システムでの実証実験にて記録したサンプル画像を添付する。(画像1, 2)



グラフ1



グラフ2



画像1 : WiFi6により伝送したZoom映像

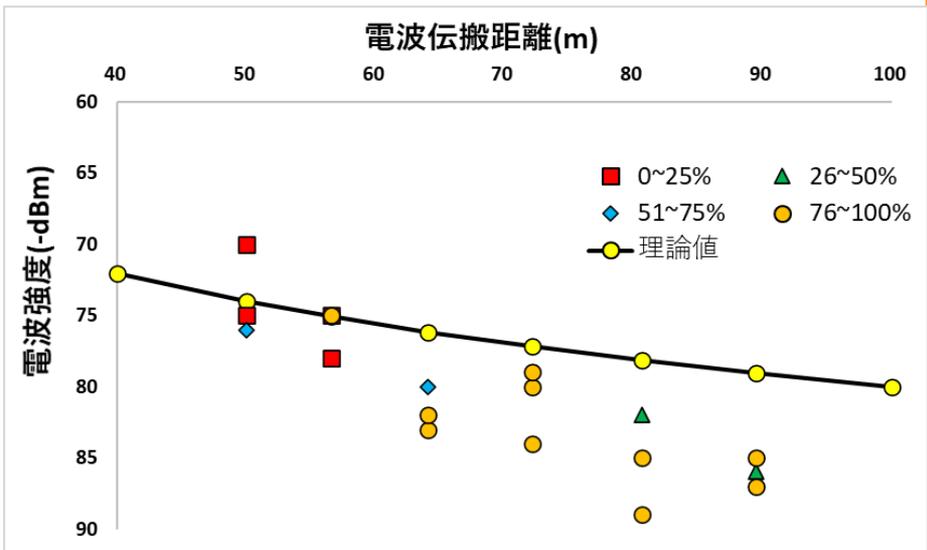
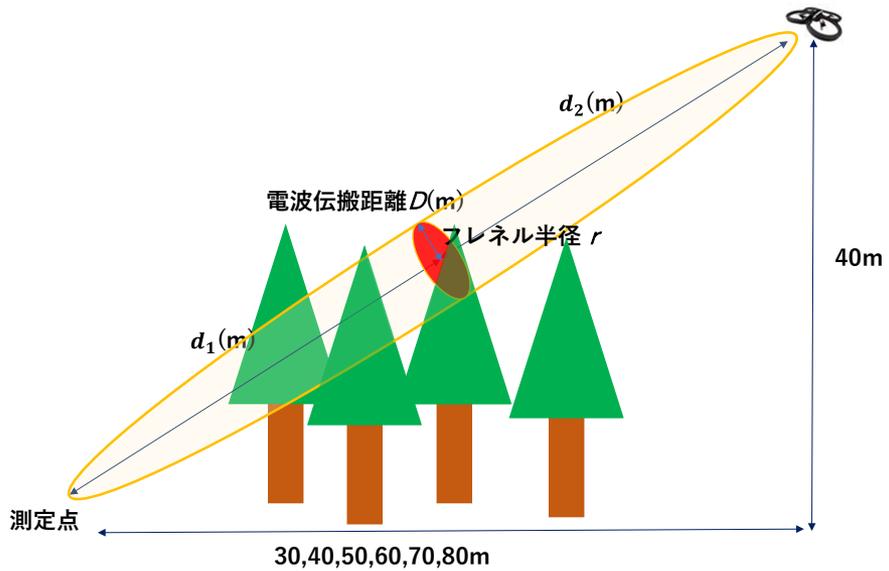


画像2 : U57による伝送映像

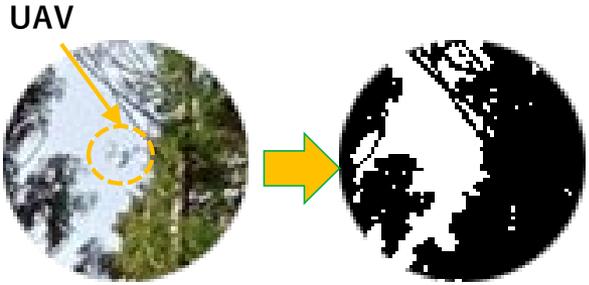
国立大学法人鹿児島大学 森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

■ 樹木による電波伝搬の遮断に係る検証結果 (Wi-Fi6の場合)

- ① UAVと測定点間の直線距離を横軸に、電波強度の測定値を縦軸にとり、遮断率が4段階に区分して表した。また、電波強度の距離に応じた理論値も同じ図上に表して比較した。
- ② 電波強度は理論値よりも減衰した値を示した。樹木によるフレネルゾーンの遮断率が0-50%の場合は、電波強度と理論値とのずれの平均は-1.9dBmであったが、遮断率51-100%の場合は-4.7dBmであった。遮断率が大きいほうが電波強度に与える減衰が大きい傾向を示した。



電波伝搬距離と遮断率による電波強度



画像上での樹木によるフレネルゾーン遮断率の算出

注) フレネルゾーン遮断率は、空間を遮断する樹木までの距離で算出したフレネル半径を測定点から撮影した画像上で円形に切り出し、白黒二値化後に黒色（遮断部分）の割合で算出した。

国立大学法人鹿児島大学

森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

■ IoT利用環境構築事業の策定に向けた整理

①電波伝搬上の課題がIoTサービスに与えた影響

LTE電波の届かない森林内部にてインターネット環境が無かったが、UAV（有線給電ドローン）を上空に上げ、LTE電波を受信し上空からWi-Fi6もしくはIEEE802.11ah 920MHz無線設備にて中継することにより森林内部80mまで無線環境を提供する事が可能となった

またLTE電波受信できない無線環境においてもUAVにて無線中継することにより、U57無線システムを使用することにより森林内の映像をインターネット中継可能となった

②本実証で得られたIoT利用環境の適正な運用及び整備に資する知見

- ・UAV（有線給電UAV）の発着スペースの確保
- ・UAV（有線給電UAV）及び無線設備(Wi-Fi6 AP, IEEE802.11ah 920MHz、U57) の為の給電装置の設置。
- ・映像中継のためのインターネットでのZoom環境の準備
- ・森林内地上から上空の中継UAVまでの無線伝送及び中継UAVからLTE基地局あるいはU57映像受信局までの無線回線の確保

③今後も検証等の必要があると思われる課題

- ・IEEE802.11ah 920MHz無線設備は現在実験設備のみにて、商用品の開発、販売にて容易に入手できることが重要
- ・U57無線設備で中継可能な機器は商品として入手可能であるが、未だ高価かつ重量が大きい
- ・有線給電UAVでなく一般のUAVに搭載可能とするためには、無線中継装置の小型、軽量化および小電力化によるバッテリー給電が重要

④IoT利用環境の適正な運用及び整備のあり方、必要な政策面での支援

- ・LTEスマホを上空で使用するためには無線免許を携帯電話通信事業者が取得する必要がある、安易に使用することができない。無線免許取得の簡易化が必要
- ・ユーザーが必要となるUAV、各種無線設備、付帯設備（電源、アンテナ、ケーブル、Webカメラ）等をレンタル・リースできるための会社の設立
- ・森林内での作業に必要となる、無線システム設備運用支援のためのサービス提供会社の設立

森林境界明確化のための高画質中継による遠隔合意形成

■ 基本情報

林地における境界明確化の遅れ

- ✓ 林地における地籍調査の進捗率がその他のエリアと比較し大幅に遅れており、特に森林の有効活用の面から大きな問題となっている。例えば、森林の整備をする際に、その前提として所有者同士の境界が明確化されている必要があり、そうでない場合には取組が大幅に遅れることになる。そのようにして森林整備が進まない場合によっては違法伐採や森林の荒廃が発生してしまう可能性がある。

地籍調査の実施状況

平成28年度末時点	対象面積 (km ²)	実績面積 (km ²)	進捗率 (%)
DID (人口集中地域)	12,255	2,976	24
DID以外	宅地	17,793	9,621
	農用地	72,058	52,783
	林地	184,094	82,332
合計	286,200	147,712	52

出所)国土交通省

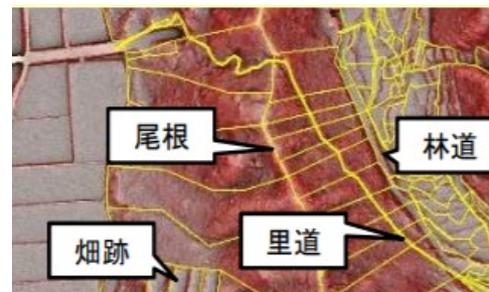
所有者の高齢化や遠隔地に居住する所有者の増加

- ✓ 境界明確化のためには現地確認が必要であるが、所有者の高齢化や遠隔地に居住する所有者の増加により、現地確認が難しいケースが増えている。特に、森林においては急峻な地形が多く、立ち合いによる確認が困難なケースもある。

リモートセンシングデータの活用による地籍調査の実施(現状)

- ✓ 国がリモートセンシングデータ(空中写真、数値標高モデル(DEM)、数値表層モデル(DSM)、正射投影写真図(オルソ画像)など)の整備を進めており、当該データを活用することで立ち合いの効率化や測量作業の効率化が期待されている。

リモートセンシングデータを活用して作成した筆界案



出所)国土交通省

現状の課題

- ✓ 立ち合いの更なる負担軽減のためには、リモートセンシングデータの利活用に加えて、リアルタイム映像を活用した遠隔地からの現地立ち合いの導入を行うなど、**所有者が現地に行かずとも境界の確認作業ができる仕組みの構築が重要**。
- ✓ なお、リモートセンシングデータを活用した地籍調査においても現地立ち合いが求められる点に留意。