

3) 針広混交林（アカマツ）の樹頂点抽出結果

針広混交林（アカマツ）の樹頂点を抽出した結果を図 2-29 に示す。アカマツについては樹頂点をよく抽出できた。樹頂点の位置が偏って見えるが、斜面下側に湾曲して伸長しているためである。

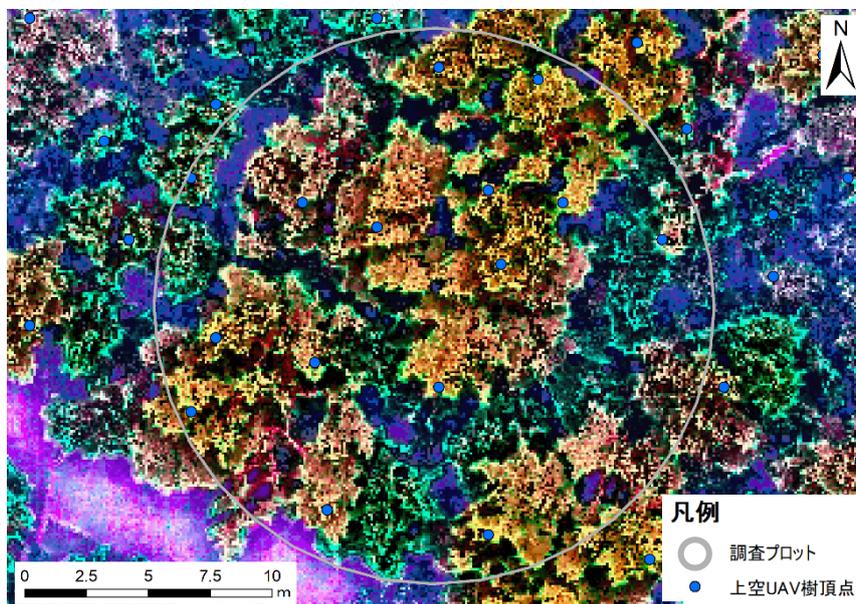


図 2-29 針広混交林（アカマツ） 樹頂点抽出結果

4) 広葉樹の樹頂点抽出

広葉樹の樹頂点を抽出した結果を図 2-30 に示す。レーザ林相図では単木の樹冠を特定できないため、樹頂点抽出の正確性を評価することが困難である。

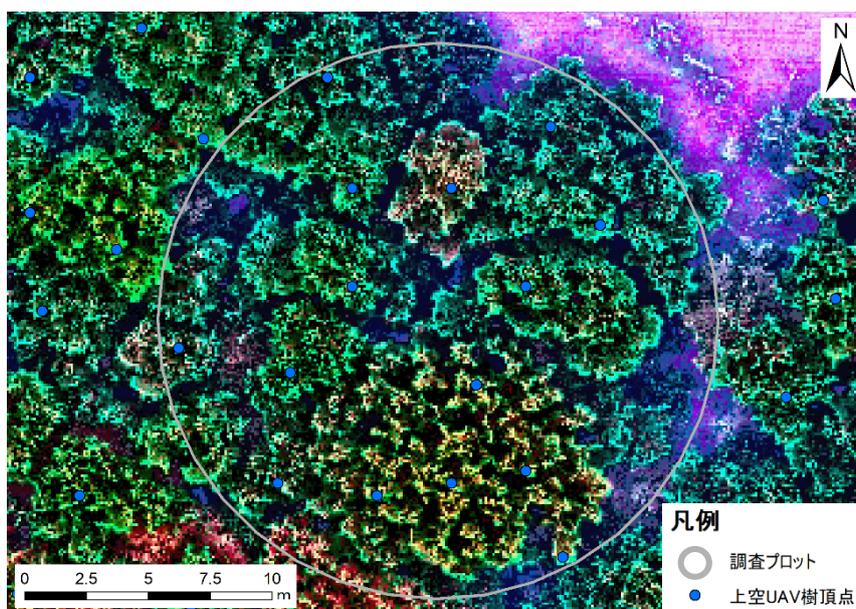


図 2-30 広葉樹 樹頂点抽出結果

2.3.5 現地調査比較

上空 UAV レーザ計測を用いた、ヒノキ、針広混交林（ヒノキ）、針広混交林（アカマツ）、広葉樹の資源解析によって、現地調査で得たデータと比較してどの程度相違があるのかを検証した。

森林資源解析において、樹高は、DCHM データ及び樹頂点位置などの情報を基に算出した（図 2-31）。胸高直径は、現地調査結果と DCHM データから得た樹冠サイズ（樹冠投影面積、樹冠表面積、樹冠体積など）の回帰式を求め推定した（図 2-32）。なお、本業務において、回帰式は近畿地域で行った現地調査を基に作成された式を利用した。また、針広混交林（ヒノキ）と針広混交林（アカマツ）、広葉樹は広葉樹の胸高直径の回帰式がなく、胸高直径を推定できないため、樹高構成のみの検証となっている。

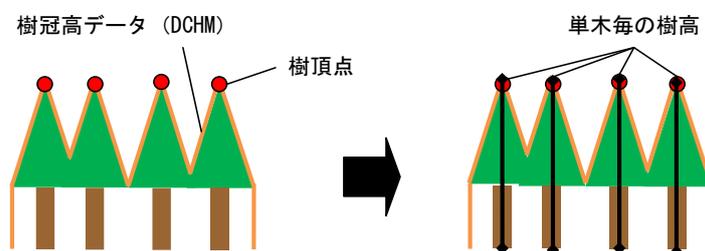


図 2-31 針葉樹の樹高の推定イメージ

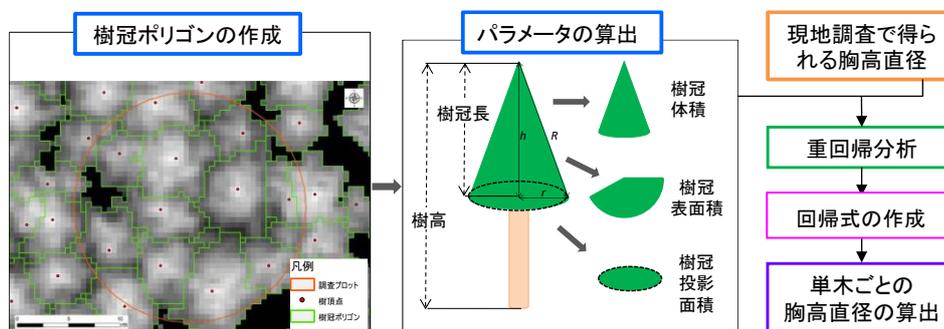


図 2-32 胸高直径の推定イメージ

(1) ヒノキ

ヒノキにおける現地調査と上空 UAV の比較を表 2-4 及び図 2-33、図 2-34 に示す。

上空 UAV と現地調査比較についての誤差は上層木本数が 1 本、平均樹高の誤差は 0.9m、平均胸高直径の誤差は 0.7cm、合計材積の誤差は 0.9 m³であった。

表 2-4 上空 UAV と現地調査の比較表 (ヒノキ)

	上空 UAV	現地調査
上層木本数	20 本	21 本
平均樹高	20.3m	19.4m
平均 DBH	27.3cm	28.0cm
合計材積	12.4 m ³	13.3 m ³

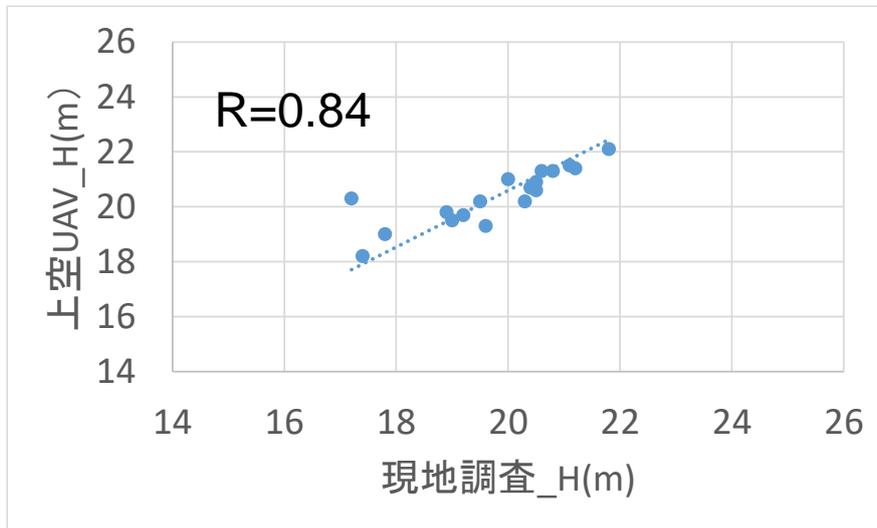


図 2-33 上空 UAV による樹高比較結果

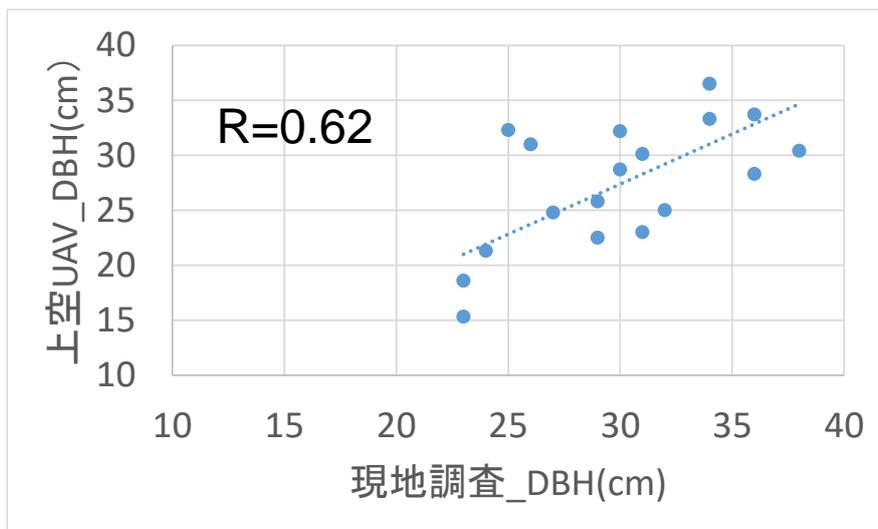


図 2-34 上空 UAV による胸高直径比較結果

(2) 針広混交林（アカマツ、ヒノキ）

針広混交林（アカマツ、ヒノキ）については、2つのプロットの結果を合計したもので比較した。現地調査と上空 UAV の比較を図 2-35、表 2-5 に示す。現地調査の樹高構成は上空 UAV が 19～20m で最大 8 本、現地調査が 17～18m で最大 5 本が最も出現した。本数に誤差はないが、平均樹高は 0.7m の誤差であった。

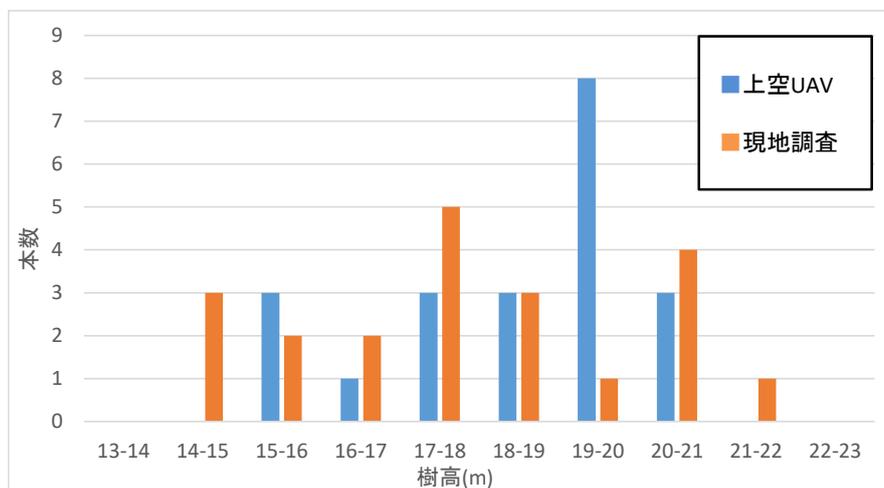


図 2-35 現地調査地点の樹高構成（針広混交林）

表 2-5 上空 UAV と現地調査の比較表（針広混交林）

	上空 UAV	現地調査
上層木本数	21 本	21 本
平均樹高	18.6m	17.9m

(3) 広葉樹

広葉樹における現地調査と上空 UAV の比較を図 2-36、表 2-6 に示す。現地調査の樹高構成は上空 UAV が 15～16m、16～17m で最大 4 本、現地調査が 11～12m、13～14m、15～16m で最大 3 本が最も出現した。針広混交林と同様に本数に誤差はないが、平均樹高は 2.5m の誤差があった。ヒノキ、針広混交林と比べると 2m を超える結果となったが、これは広葉樹の樹幹は湾曲することが多いためであると考えられる。

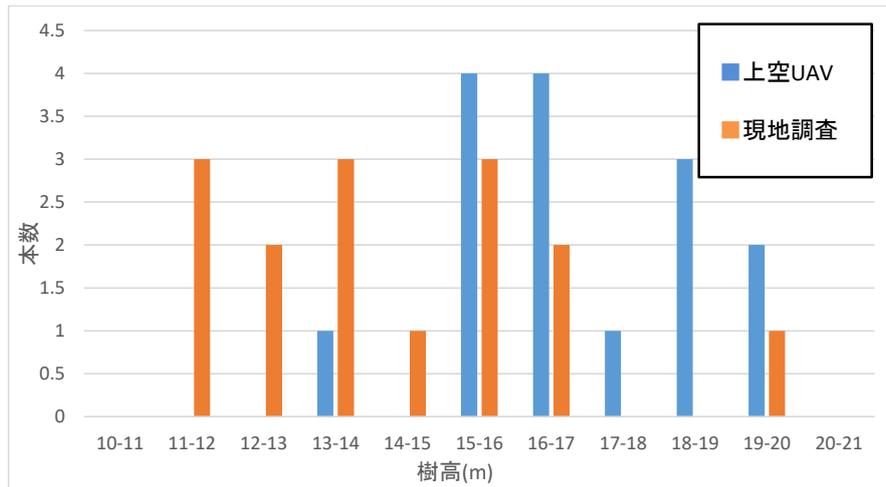


図 2-36 現地調査地点の樹高構成（広葉樹）

表 2-6 上空 UAV と現地調査の比較表（広葉樹）

	上空 UAV	現地調査
上層木本数	15 本	15 本
平均樹高	16.9m	14.4m

2.3.6 上空 UAV の評価

本業務においては計測密度を 100 点/㎡以上としたがレーザ林相図などの解像度では 25cm でも十分に樹冠形状を示すことができていたことから、25cm 間隔にデータを取得する 16 点/㎡の点群密度など、必要最低限な計測密度とすることで、より効率的にレーザデータを取得する方法について検証していくことが望まれる。

針葉樹を対象とした樹頂点抽出について、現地調査と比較して高い精度で解析ができた。また、広葉樹についても樹頂点を抽出し、十分な精度であることを確認した。しかしながら、本業務では立木密度が疎な林分が対象となったことや、比較した調査点数が多くなかったことから、広葉樹の樹頂点抽出の精度については今後十分な検討が必要である。

また、基盤データ（広域、低頻度）として活用される航空レーザ計測と補完データ（小面積、高頻度、高密度）として活用される上空 UAV レーザ計測を比較し、国有林事業の中での現場での実務利用方法を想定して、それぞれの情報の特徴を整理していくことが今後の課題となる。

2.4 林内飛行の UAV レーザ計測の実現可能性の検証

樹幹などの林内の状況の情報と取得するためにはこれまで、三脚や一脚、背負子式などの地上レーザ計測による手法しかなかった。レーザ計測機器を搭載するプラットフォームに人の歩行速度が影響する場合には計測効率や人が行きにくい場所でのデータ取得に限界があった。そこで、新たな手法として、UAV にレーザ機器を搭載し林内飛行、計測して、森林資源情報を取得する林内飛行の UAV レーザ計測（以下、林内 UAV）方法の将来的な実現可能性を検証した。

2.4.1 事前調査

林内 UAV を林内飛行させるにあたり、どのような森林で可能であるのか検証した。現場の状況に精通している和歌山森林管理署より、樹木の間隔が比較的疎である林分を事前に候補地として選点してもらい、現地踏査により以下の項目について確認した。

- ・ 樹木間隔
- ・ 下層植生の繁茂状況
- ・ 調査地までのアクセス
- ・ 上空の UAV と同一の箇所のできること

樹木間隔は林内 UAV が通れるように 3~4m 以上離れており、飛行コースを確保できることを確認した。下層植生の繁茂状況では下層植生が存在してもその上を飛行することは可能であるが、下層植生と枝下の空間があり、林内 UAV が飛行できることを確認した。調査地までのアクセスについても重要な観点であり、UAV とレーザ計測機器、PC、安全管理上必要となる対空標識を備えた離発着場などを関連する機材を運搬するため、バンタイプのような大きさの車両が通行できる林道が必要であった。また、本業務においては上空 UAV との比較を行うため、上空 UAV の離発着ができるようなところが近くにある必要があり、その点も確認を行った。

現地踏査により計測可能と考えられた以下の 3 つの候補地について、計測方法の検討を行った。現地写真を図 2-37 に示す。

- ① 樹高 15~20m 程度のヒノキ林で、やや混んでいる林分。作業道に囲まれている。
- ② 間伐されているスギの高齢林で、樹木間隔も十分に離れている。下層植生も少なく、作業道沿いの林分。
- ③ 樹高 20m 程度のヒノキ林で 10 年ほど前に列状間伐された林分。適度に下層植生が存在しており、傾斜が 30 度程度のやや急峻な地形。



① 作業道に囲まれたヒノキ

② 間伐されたスギ高齢林

③ 列状間伐されたヒノキ林

図 2-37 現地調査写真

2.4.2 計測の検討方法

①と②の候補地については、作業道沿いの林分であり、図 2-38 のように作業道もしくは林道を回り、林内で通れる箇所まで元の位置に戻ってくるような飛行ルートを検討した。

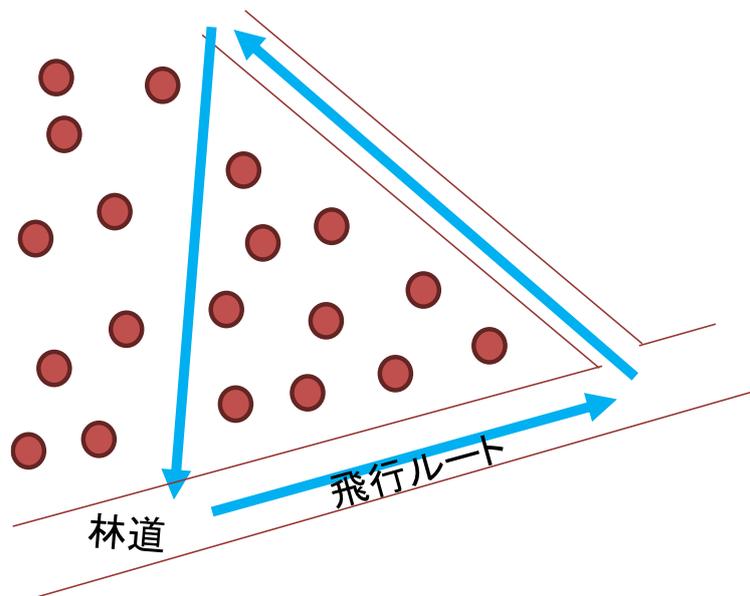


図 2-38 林地を囲うように計測する場合

③の候補地については、図 2-39 のように林道から列状間伐された後の伐採列に入り、通れるところまで飛行し、折り返して林道に戻ってくる飛行ルートを検討した。

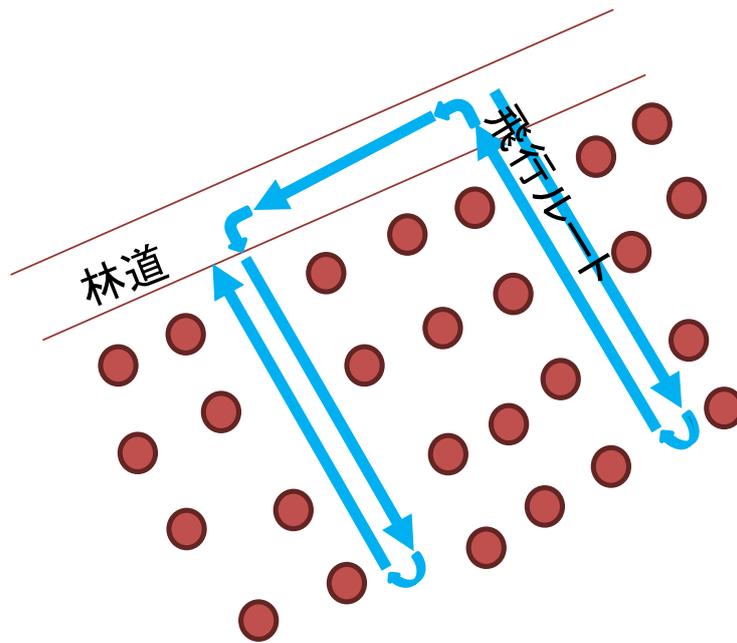


図 2-39 林地に突っ込んで計測する場合

①と②については、林地を囲うように計測することで全方向からの計測をすることができるが、実現可能性を検討するにあたり作業道に囲まれたような林地は限られていることから、林道から突っ込んで計測する手法を検討することとした。列状間伐した箇所は少ないが、疎な林分であれば同様の手法により計測できると考えられる。また、③の付近には上空 UAV の離発着場に適した場所があり、林内 UAV と同じ箇所を上空 UAV で計測できるため、③の候補地を本業務の計測地として決定した。

2.4.3 林内飛行の UAV レーザ計測

(1) 計測緒元

林内 UAV の計測に使用した機材及び諸元を表 2-7、図 2-40 に示す。施設内の設備点検用に開発された UAV を森林計測へ転用したものであり、SLAM と呼ばれる移動体の自己位置推定と周囲の状況を地図化する手法により障害物を回避する機能を有している。また、周囲の状況を地図化していくため、非 GNSS 環境下での計測を行うことができ、GNSS が入りにくい林内での計測に適している。さらには一度、地図化した情報をもとに自律飛行をすることができ、計測効率の飛躍的な向上を将来期待できる計測手法である。

表 2-7 計測諸元（林内 UAV）

機材種類	名称
UAV	SPIDER-ST（ルーチェサーチ株式会社）
レーザスキャナ	Velodyne VLP-16

項目	諸元
飛行速度	1~2m/sec
対地高度	完全な平地想定では 2m~15m
レーザ機器	VLP-16（Velodyne Lidar 社）
レーザ発射頻度	300kHz
レーザスキャン角（水平）	360°
（垂直）	30°（±15°）
レーザスキャン頻度	毎秒 5~20 回転
計測距離	0.5~100m
レーザ波長	903nm
自律飛行感知距離	3~4m
飛行時間	15~20 分



図 2-40 使用した機器

(2) 工期調査

工期調査の結果を表 2-8 に示す。作業開始時間と飛行までの時間に乖離があるが、現地調査比較用に反射テープを巻く作業に要した時間である。反射テープを巻く作業については精度検証、樹木の特定するために行っており、通常の計測では不要な作業であるため、工期調査には含めていない。

1~3 回目の飛行はオペレータによる手動での計測であり、伐採列へ突っ込んだ計測を 2 回、林道上からの計測を 1 回行っている。手動による飛行であるが、障害物の検知は行っており、枝葉などの障害物がある方向に移動させようとする自動で停止する機能がある。

4 回目の飛行では手動の計測により周囲の状況を地図化したデータをもとに、UAV 通過する地点のみを設定し、飛行させる自律飛行の実証を行い、林道上であれば、枝が張り出している場合にも避けながら、飛行することを確認した。

表 2-8 工期調査表（林内飛行）

作業開始時間	作業内容	作業時間 (分)	備考
10 : 52	組立時間	15	
	機械の確認	10	
	安全管理	5	
12 : 05	飛行 (3 回)	3~10	手動
	バッテリー交換・確認	10	
12 : 47	飛行 (4 回目)	3	自動
13 : 56	データ確認	10	
	片付け	30	