

資料編

委員会資料

令和元年度 森林資源情報技術実証事業（国有林） 検討委員会

2020年2月18日
アジア航測株式会社

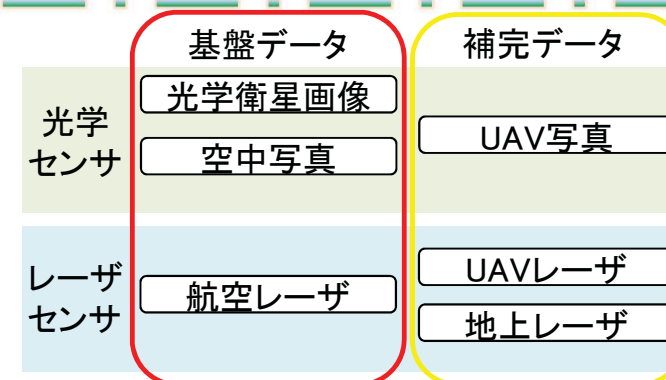
議事

1. 事業の概要
2. 上空UAV計測結果
3. 林内飛行UAVの実現可能性
4. 各計測手法の比較・整理
5. 委員のヒアリング結果について

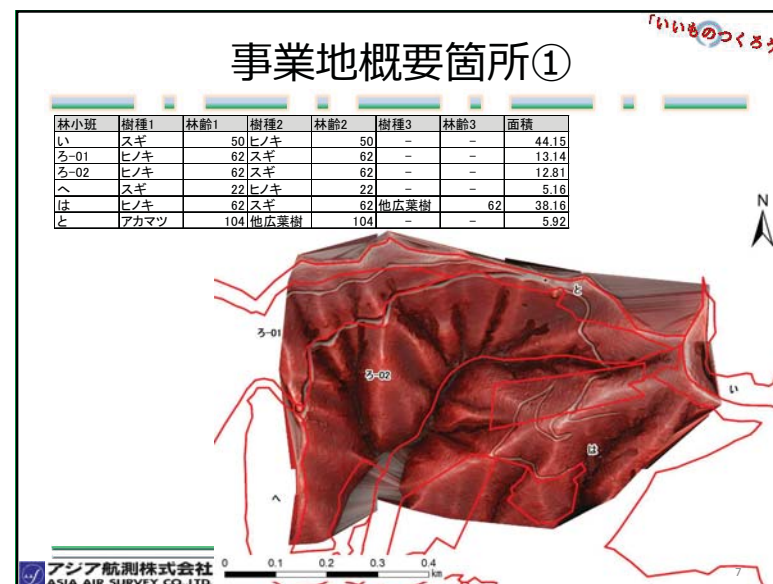
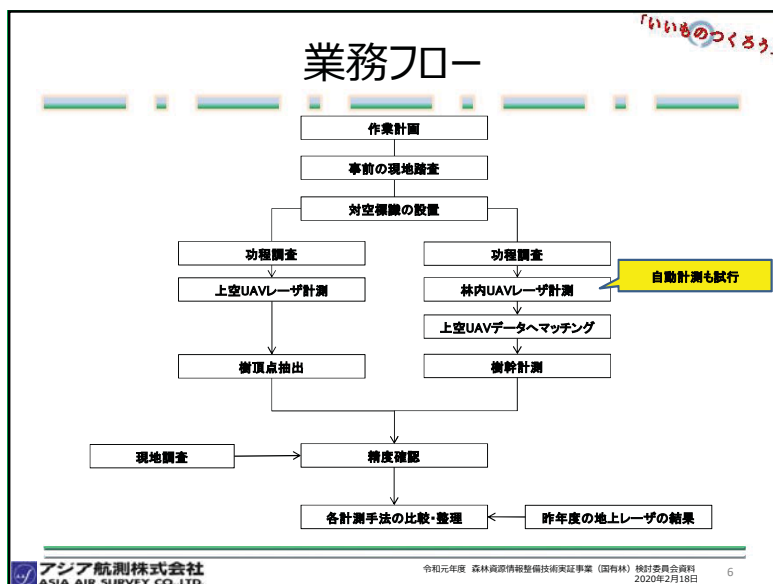
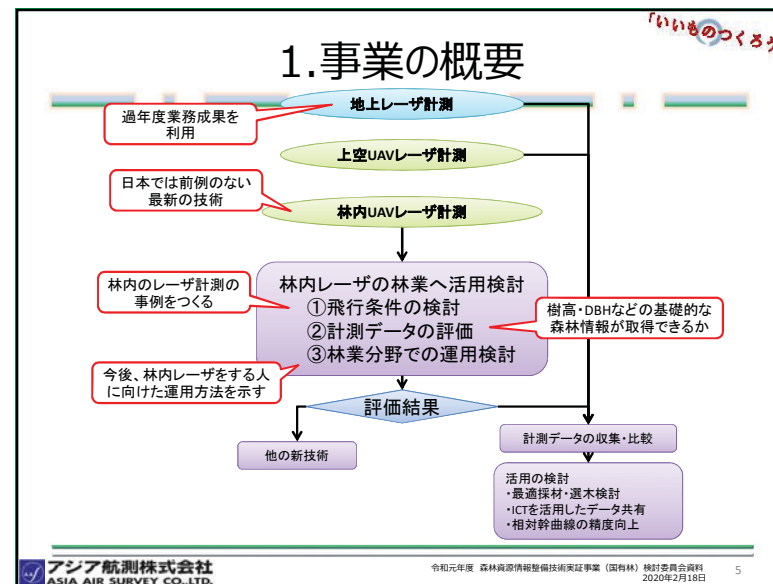
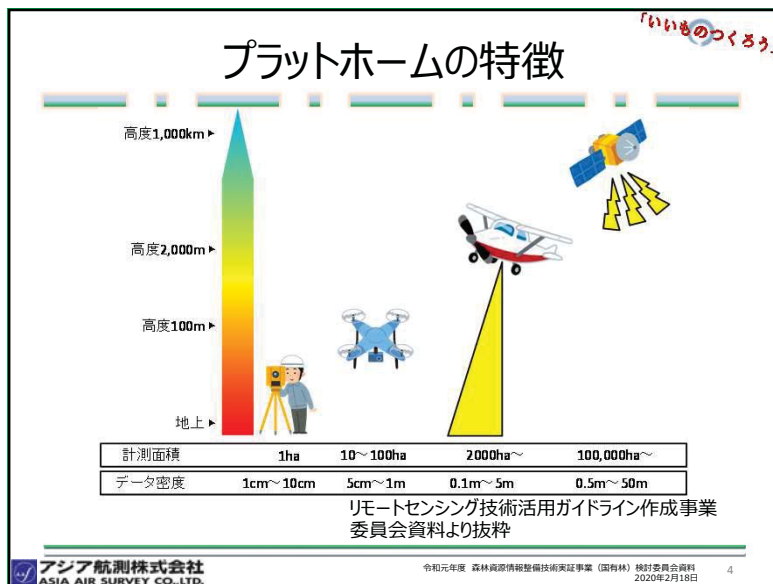
1.事業の概要

林業成長産業化地域の国有林において、
効率的な資源管理や木材生産に必要となるICT
を活用した森林資源情報の整備技術等を実証し、
その成果について地域内の関係者と共有すること
を目的とする

リモートセンシング技術の体系



リモートセンシング技術活用ガイドライン作成事業
委員会資料より抜粋



事業地概要箇所②

現地写真



ヒノキ林



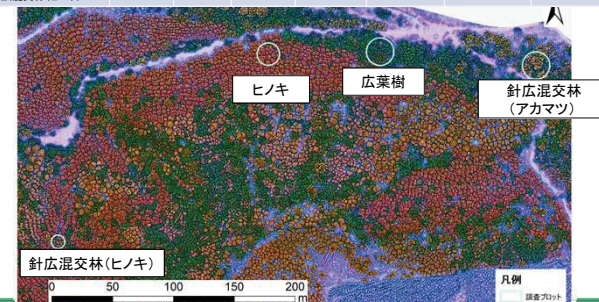
広葉樹林



針広混交林(アカマツ)

現地調査箇所

調査 番号	樹種	平均 胸高直径 (cm)	平均 樹高 (m)	プロット面積あたり			Haあたり		
				上層木 本数(本)	全木 本数(本)	合計材積 (m ³ /ha)	Ha上層木 本数(本/ha)	Ha全木本数 (本/ha)	Ha材積 (m ³ /ha)
WH01	ヒノキ	28.0	19.4	21	34	13.7	792	1283	517
WL01	広葉樹	25.4	14.4	15	78	5.9	375	1950	148
WA01	針広混交林(アカマツ)	34.7	16.9	15	45	13.0	375	1125	324
WKK01	針広混交林(ヒノキ)	30.0	16.1	6	25	2.0	600	2500	51



上空UAV計測結果

現地踏査が必要

UAV計測を行うための安全が確保できるか？
UAVを乗せた車が計測地点へアクセスできるか？

事前の資料（現地写真）

⇒ 詳細な状況がわからなかった

GoogleEarth ⇒ 離発着場を決められない

ストリートビュー ⇒ 林道まではデータがない

2.上空UAVの計測結果

機材種類	名 称
UAV	SPIDER-LX8 (ルーチェサーチ株式会社)
レーザスキャナ	Riegl VUX-1UAV



大きさ: 120 × 110 × 70 (cm)

項目	諸元
飛行速度	4~5m/sec
対地高度	140m
レーザ発射頻度	200~400kHz
レーザスキャン角	330°
レーザスキャン頻度	毎秒43回転
サイドラップ率	50%
計測密度	100点/m ²

UAVレーザスキャナー

会社名	機器名	パルスレート	測定精度	重量
RIEGL	VUX-1	550kHz	10mm	3,600g
Velodyne	VLP-16	20kHz	30mm	830g

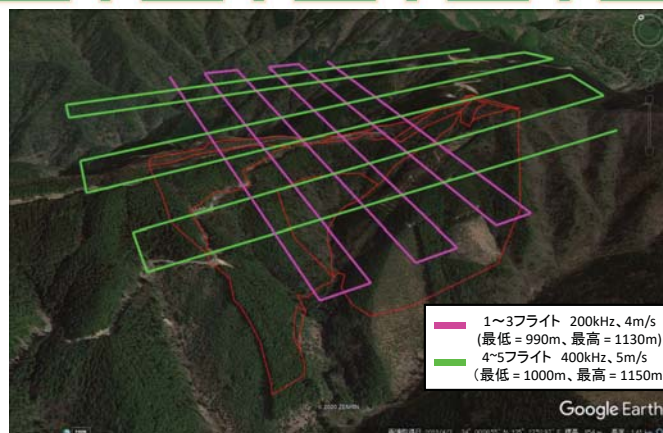


VUX-1



VLP-16

計測コース



1~3フライト 200kHz、4m/s
 (最低 = 990m、最高 = 1130m)
 4~5フライト 400kHz、5m/s
 (最低 = 1000m、最高 = 1150m)

Google Earth

計測状況

- 動画

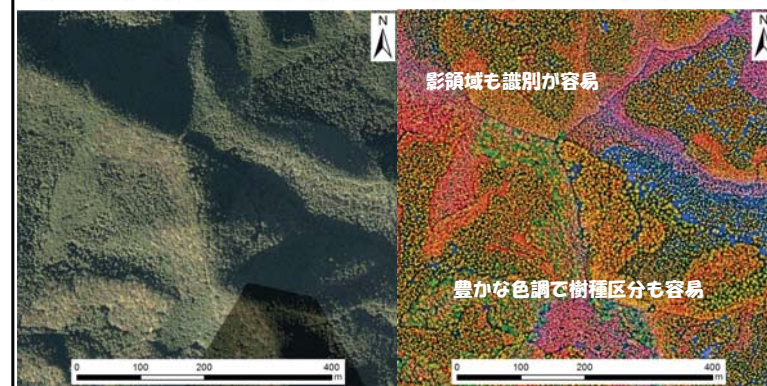


功程調査

6時間で33haの計測を実施
高低差がある調査地のため、コースが多め

作業開始時間	作業内容	作業時間 (分)	備考
10:07	組立時間	15	テスト用
	機械の確認	10	
	安全管理	5	
10:34	テスト飛行(2回)	7	
11:14	準備	10	レーザ用
11:42	キャリブレーション飛行(1回)	2	レーザ用
11:53	飛行(5回)	15	
	バッテリー交換・データ確認	10	
16:54	片付け	30	

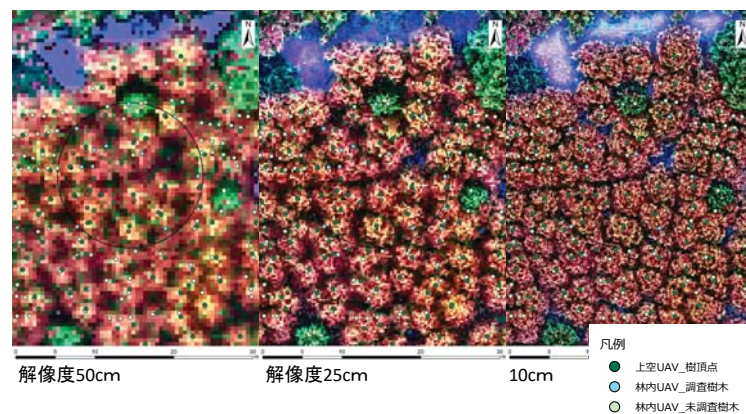
レーザ林相図の作成



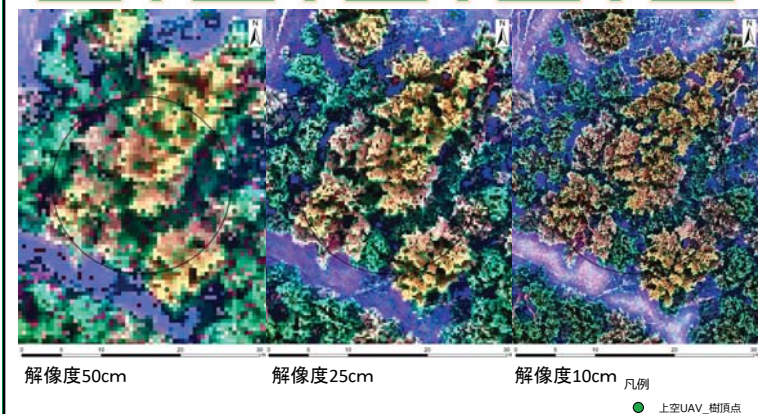
オルソ画像

レーザ林相図

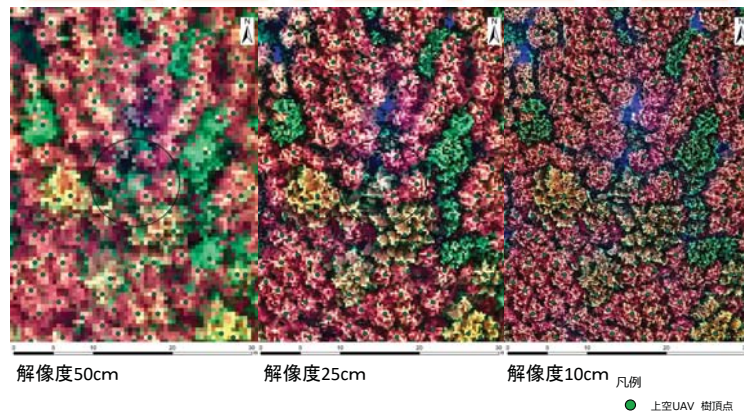
ヒノキ樹頂点抽出結果



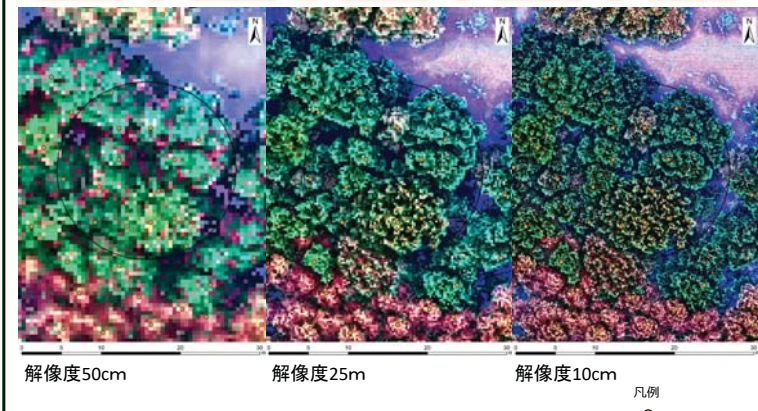
針広混交林（アカマツ）の樹頂点抽出



針広混交林（ヒノキ）の樹頂点抽出

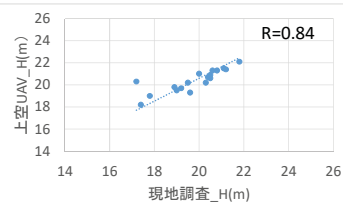


広葉樹の樹頂点抽出



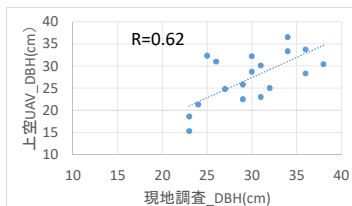
現地調査結果との比較

・ヒノキ林

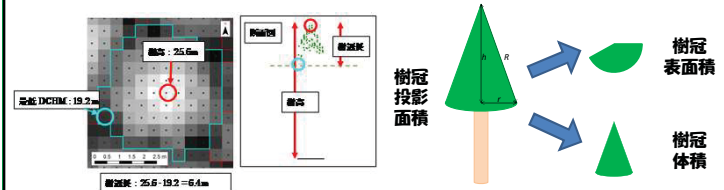


胸高直径推定の回帰式は近畿地域で行った現地調査を基に作成された式を利用した。
入力パラメータに樹冠投影面積と樹高を使用した。

	上空ドローン	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	12.4m ³	13.3m ³



胸高直径推定に用いるパラメータ

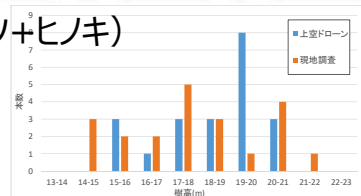


- ・ 樹頂点抽出結果から樹高を計測
- ・ 樹冠投影面積はWater-Shedアルゴリズムで抽出
- ・ 樹冠内の最大・最小樹冠高から樹冠長、樹冠長率を算出
- ・ 樹冠を円錐と仮定して樹冠表面積・体積を算出

現地調査結果との比較

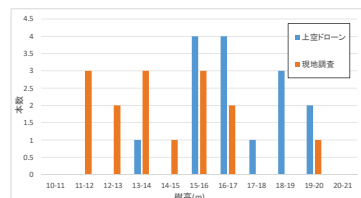
針広混交林（アカマツ+ヒノキ）

	上空ドローン	現地調査
上層木本数	21本	21本
平均樹高	18.6m	17.9m



広葉樹林

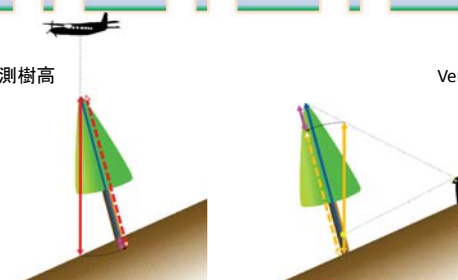
	上空ドローン	現地調査
上層木本数	15本	15本
平均樹高	16.9m	14.4m



傾斜や根曲がりによる樹高計測誤差

レーザ計測樹高

Vertex計測樹高



- レーザ計測は倒れ込みと傾斜により過大に、Vertex計測は倒れ込みにより過少に樹高が計測される傾向がある。

3. 林内飛行UAVの実現可能性

現地踏査が必須

- UAV計測を行うための安全が確保できるか？
- UAVを乗せた車が計測地点へアクセスできるか？

事前の資料（現地写真）

- ⇒ 枚数が少なく詳細な状況がわからなかった
- GoogleEarth ⇒ 樹木の間隔などはわからない
- ストリートビュー ⇒ 林道まではデータがない

現地踏査

現地踏査により計測可能と考えられた林地



①作業道に囲まれたヒノキ



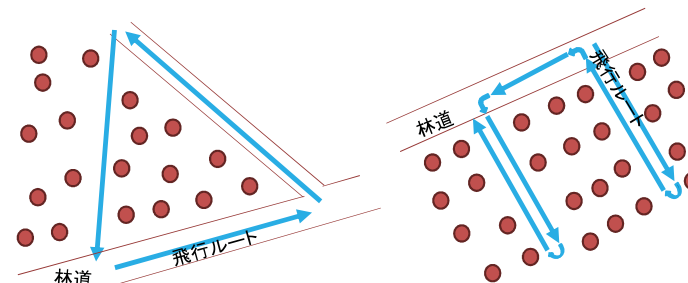
②間伐されたスギ高齢林



③列状間伐されたヒノキ林

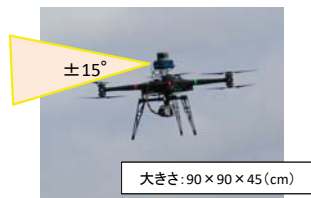
計測方法の検討

- ①、②の場合は林地を囲うように計測
- ③は林地に突っ込んで計測



計測諸元

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



レーザのスキャン角が±15° のため、急傾斜での運用に注意が必要

項目	数量など
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°)
レーザスキャン速度	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

計測諸元

- ・ もともとは施設内の設備点検用に開発された UAVを森林計測へ転用
- ・ レーザSLAMにより障害物を回避
- ・ 非GPS環境下で計測
- ・ 3次元点群もとに自律飛行が可能

計測状況

- 動画



工期調査

45分で0.05haの計測を実施
樹幹の計測が一面でもよいかで効率が変わる

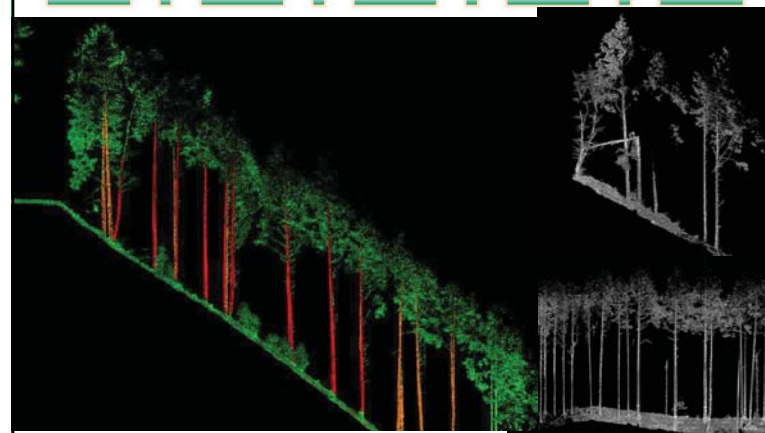
作業開始時間	作業内容	作業時間 (分)	備考
10:52	組立時間	15	
	機械の確認	10	
	安全管理	5	
12:05	飛行(3回)	3~10	手動
	バッテリー交換・確認	10	
12:47	飛行(4回目)	3	自動
13:56	データ確認	10	
	片付け	30	

取得データ

計測と同時に点群の
取得状況を確認できる

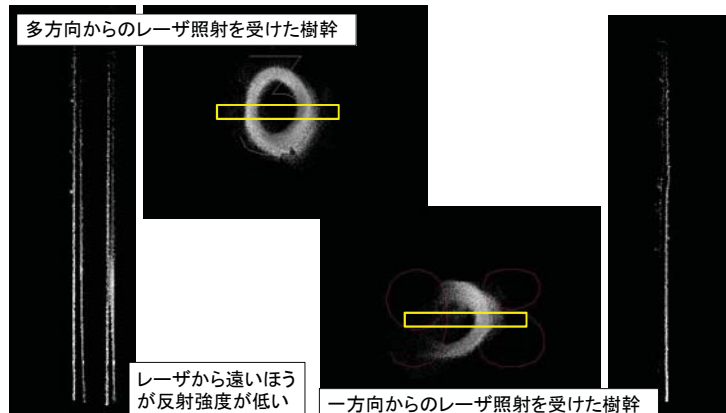


取得データ



取得データ

多方向からのレーザ照射を受けた樹幹



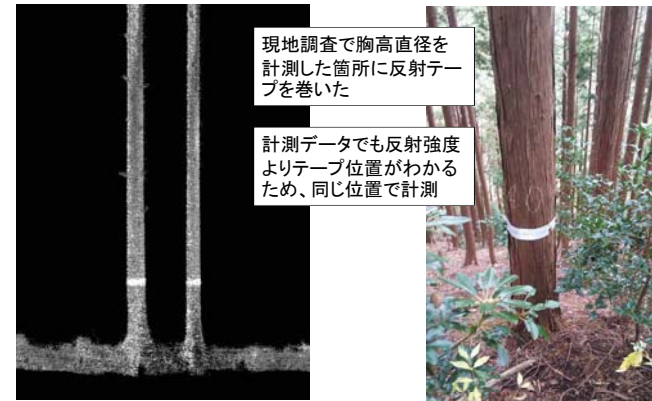
レーザから遠いほうが
反射強度が低い

一方向からのレーザ照射を受けた樹幹

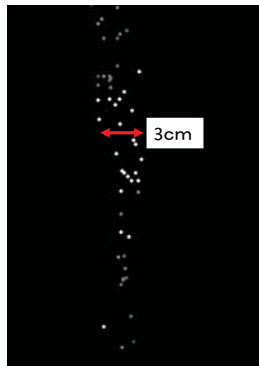
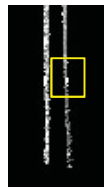
データの計測

現地調査で胸高直径を
計測した箇所に反射テー
プを巻いた

計測データでも反射強度
よりテープ位置がわかる
ため、同じ位置で計測



胸高直径の計測

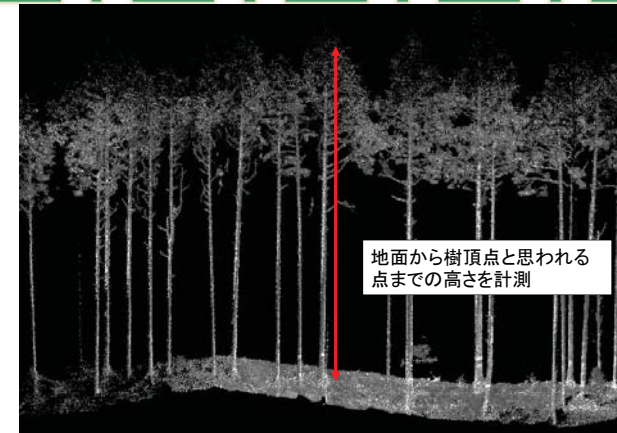


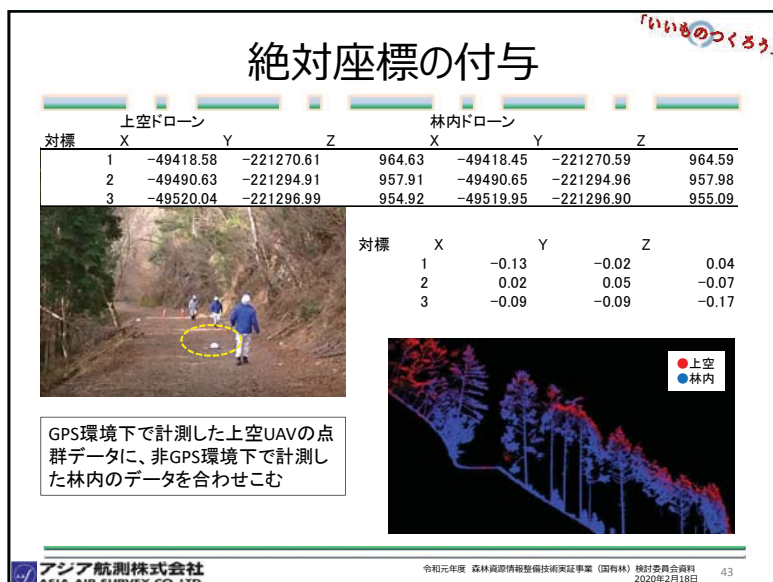
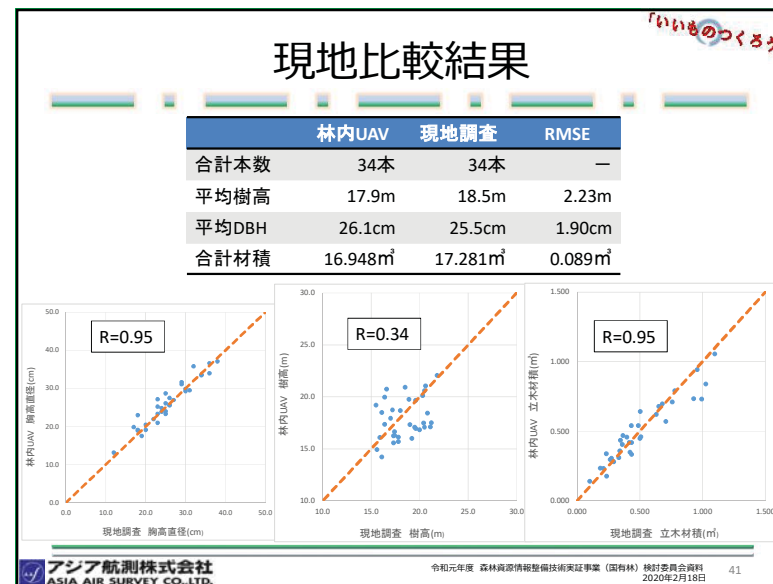
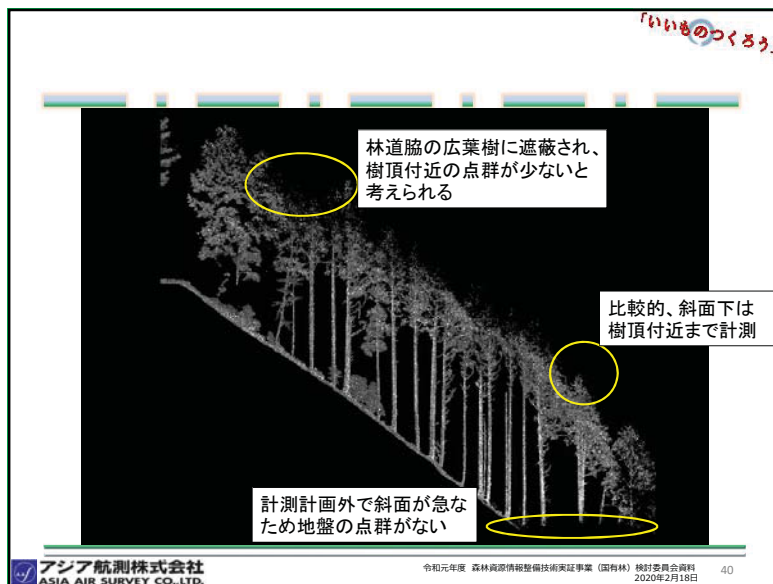
センサの測定精度が $\pm 3\text{cm}$ あることを
踏まえると、レーザSLAMは高精度に
行われている

⇒精度に合わせてレーザを選択する。
VUX-1ならば $\pm 1\text{cm}$

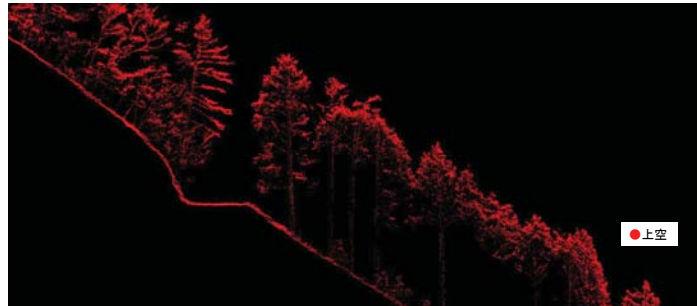
樹高の計測

地面から樹頂点と思われ
る点までの高さを計測

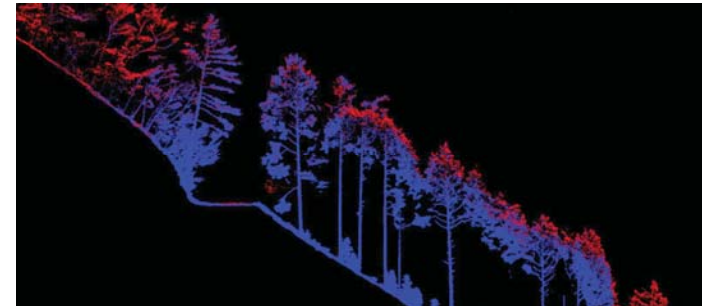




上空UAVレーザ計測データとの比較



上空UAVレーザ計測データとの比較



3. 林内飛行UAVの実現可能性

課題

- UAVを運ぶ林道の整備が必要
- 計測前に現地の状況を確認する必要があった
- 800本/haの林分であれば計測可能？
- 15度以上の斜面での自律飛行ができない
- 相対座標での計測データとなる
- センサの精度により計測精度が決まる

3. 林内飛行UAVの実現可能性

期待

- 地上レーザは人が持ち運ぶ必要があったが、急斜面など人が行きにくい場所で計測可能
- 垂直方向のレーザスキャン角が ± 15 度で樹頂付近までとれているためスキャン角変更による改善を期待できる。また、計測可能傾斜角も改善できる。
- 事前に飛行ルートを設定することで自動飛行し、調査時間を省力化したり、施業前後の比較が容易に可能となる。

「いいものつくろう。」

「いいものつくろう」

-
- Figure 10: Scatter plot showing the correlation between UAV height in the forest (林内UAV_H(m)) and UAV height above the forest (上空UAV_H(m)). The correlation coefficient is $R=0.49$.

「いいものつくろう。」

12.2 実証で使用した地上レーザ機器とソフト

● 販売元：株式会社 woodfin

- 地上レーザ機：3Walker
- レーザ測距精度：100m (3000 測距回/秒)
- 計測範囲：垂直方向に 10 階建て建物まで計測可能 (計測 1 階/秒)
- 解析ソフト：Digital Forest
- 建物解析方法：建物高 1.2m の解析精度を向上
- 建物解析方法は、レーザが一回転、高さ 1m 以上の高さ、計測可能な範囲にのみ測定可能
- 4 棟の建物では、計測結果、実測値と一致
- 計測結果計測し、発生した 3D データのクラウドの可視化の体験
- 実証地へ一旦アップロード後計測はリアルタイムで可視化も体験

写真：3Walker 実証地
写真：3Walker 実証地

3.2 実証で使った地上レーザ機器とソフト

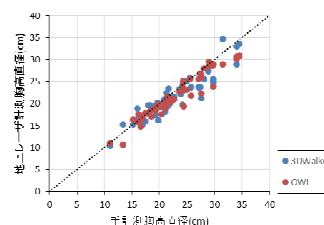
- 協元：株式会社アピの研究所
- 地上レーザ機器：OwL
 - レーザ最大照射距離：20m（30°の照射範囲）
 - 照射方式：1点1回1秒に1回照射する（45秒/1計測）
- 観測ソフト：OwL Manager
 - 観測方法の決定：地面より1.2mの高さから測定。
 - 観測位置の決定：レーザ束が人の身長より高くなるように決定。
 - 観測範囲の決定：計測点と高層建物の位置関係から、林縁線から1.5m離れた位置に計測点を設定。
 - 計測方法の決定：林内での計測距離は1.570m。
 - 観測時間：1回の観測は45秒、1日1回の観測で2週間以上継続して観測する。
 - 計測データの保存：観測データは自動的にクラウドにアップロード（100000点/1観測）。

図：計測方法のイメージ

図：計測点の決定イメージ

 **アジア航測株式会社**
ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

「いいものつくろう。」



 **アジア航測株式会社**
ASIA AIR SURVEY CO., LTD.

功程比較

手順	背負子式	一脚	上空UAV	林内UAV
現地調査前の計画	0.5時間	0.5時間	2時間	1時間※1
現地踏査	2時間	2時間	2時間	1時間
計測（時間/ha）	4時間	9～10時間	0.2時間	15時間※2
点群合成（時間/ha）	19～33時間	1時間	7時間	計測と同時
立木情報（時間/ha）	4～5時間		4～5時間	4～5時間

※1 現地状況に精通している必要があり
 ※2 検討が必要

平成30年度森林資源情報整備技術実証事業(国有林)報告書 参照

各計測手法の比較・整理（針葉樹）

比較項目	地上調査	地上レーザ スキャナ	上空からの UAVレーザ計測	林内飛行の UAVレーザ計測
本数	◎	◎ ソフト依存	○ 上層木のみ	◎
樹高	○	○	○	△
胸高直径	○	○	○	○
材積	○	○	○	○
樹幹計測	×	○	×	○
計測効率	△	△	○	△
解析ソフト	不要	有	無	有 地上レーザ用を利用
導入コスト	15万	300万 ～600万	1,000万 ～4,000万	1,700万
運用面積	1ha	1ha	50ha	1ha?

5.委員のヒアリング結果

村上先生

- リモートセンシング技術の導入にあたり利用者の作業範囲を想定しておくことが重要となる。計測から解析まで全て行う場合や委託する場合など。
- 上記の検討の後にコスト比較が可能となるが、現在林内UAVは検討・研究段階であることからまずは実用性を評価することが優先。
- 補完技術は計測頻度の優位性を活かすべき。検査業務などの省力化に役立つと考える。そのためUAV空撮についての可能性も評価していくことが求められている。また、手軽に利用できるようにソフトによる半自動解析が重要となる。
- 精度検証については対現地比較が一般的であるが、現地調査が真値とは限らない。データの活用目的に応じて比較対象を考えていく必要がある。林業での利用であれば素材生産量との比較などが必要である。また、実用に耐えうる精度についても比較対象に合わせて新たに考える必要がある。
- 広葉樹については解析が困難な場合が多いため、着葉期の樹冠による解析だけでなく、落葉期の空撮画像を用いて樹幹を特定する手法も考えられる。
- 広葉樹については解像度を上げることで空中写真では区分が困難であった樹種でも新たに区分できる可能性がある。

5.委員のヒアリング結果

松英先生

- リモートセンシング技術の活用方法と利用目的を今後整理していく必要がある。技術が適用できる範囲から利用目的を検討する方法もあるが、利用目的から適用技術を検討する方法もある。
- 2変数材積式を利用しなくても地上レーザや林内UAVレーザは樹幹形状から材積を把握できるようになる。これまでにない技術をこれまでの調査項目の代替として利用するだけでなく、新しい利用方法を検討する必要がある。例えば、広葉樹の材積の新しい計測方法など。
- 素材生産量を計算する場合に材積式よりも樹幹形状の材積の方が正確な答えが得られる可能性がある（素材生産には梢端部分の情報は不要）。場合によっては従来用いられてきたバフメータ（樹高やDBH）を計測する必要がないことも想定した利用方法を検討できる。
- センサの良い面を活かす利用方法を検討することが良い。樹幹形状や上層樹高が分かるという特徴を活かすことも重要。
- 針広混交林や広葉樹の資源量の利用方法を明確にした上で今後の解析精度レベルの検討を進める必要がある。
- UAVやセンサの小型化が進んでいる。将来を見据えたポテンシャルの検討も大切である。
- 林内の計測は適用林分に限られる可能性があるため、作業道からのデータ取得と解析結果による今後の活用について検討することも考えられる。
- できることだけでなく、できないことにも注目して今後の検討を行う必要がある。そのために利用目的を明確にする必要がある。
- コストは技術の使用目的が定まってこそ検討できる項目である。