

(2) 飛行ルート

飛行ルートについては以下の2パターンを検討した。飛行速度は1~2m/秒、飛行時間は15分程度であるが、林道・作業道の路面の状況や点群の取得を多くするために1フライトの延長は500m未満となるように設定した。

- ・単コース
- ・複数コース

単コースでは林道・作業道上を一度に計測する飛行ルートの計画である。飛行ルートが途切れないため、データのマッチングが容易であり、位置精度も高くなると考えられる。一方で、UAVが目視外にならないように操縦者が移動する必要があるため、計測効率が低くなる可能性がある。

複数コースでは林道・作業道の形状に合わせて、飛行ルートを分ける計画とする。操縦者が移動する距離が短くなる。一方で、データを結合するために、同じ箇所を重複するように計測する必要があり、マッチングの精度が低下する可能性がある。

40 林班については飛行ルートの延長が200m程であり、比較的、距離が短かったため、単コースでの計測とした(図2-5)。



図 2-5 40 林班 飛行ルート

41 林班は飛行ルートの延長が300mあり、作業道の高低差も大きかったため、複数コースの計画とした。カーブが2箇所あるため、操縦者がそれぞれのカーブ付近に立ち操縦することを検討した。飛行ルートが重複するように飛行ルートを検討した(図2-6)。



図 2-6 41 林班 飛行ルート

(3) 飛行高度

レーザスキャン角が $\pm 15^\circ$ であることから、林道・作業道上で樹高を超えない高さで計測した場合には、以下の2パターンについては梢端まで計測できない可能性があった。

- ・林道沿いの立木
- ・林道・作業道の斜面上の立木

そのため、飛行高度を変えて計測することで、梢端の点群を取得する計測計画とした。胸高直径や地盤を取得するために対地高度 2m 程度を飛行し、樹高を計測するために対地高度 20m 程度を飛行する。また、立木の中腹でも計測し、立木全体が計測できる計画とした。実際に計測する際には UAV を目視しながら操縦するため、対地高度の目安を設けた。2m は頭上、10m は立木の中腹、20m は梢端付近とした。

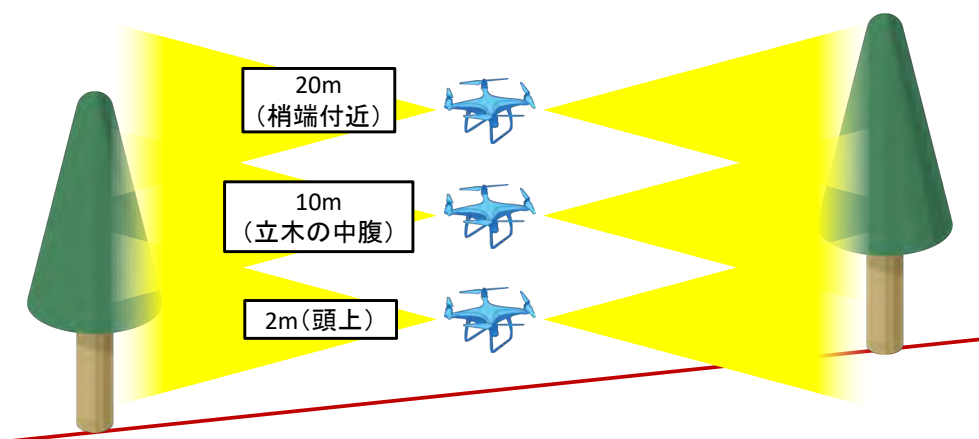


図 2-7 多段計測のイメージ図

(4) レーザスキャン角

斜面傾斜が急な場合には林道・作業道の斜面下の立木については取得が困難である。事前調査において、40 林班、41 林班ともに 30～35 度の傾斜であった。レーザスキャン角よりも斜面傾斜が急であるため、林道・作業道から遠くなるに従い、斜面下の立木の下部は計測できなくなっていく。そのため、レーザスキャン角を斜面下側に向けることで、地盤面、胸高直径付近の計測を検討した。

なお、レーザスキャン角を変更することで、レーザスキャン角を水平に取っていた際に機能していた障害物検知システムは、障害物の検出率が変わり利用できない。

機体の構成上レーザスキャン角の設定は 20 度までであり、それ以上に傾けた場合には UAV の機体にレーザが遮蔽される。41 林班では特に斜面傾斜が急であったため、背負子式（図 2-9）による計測方法を併用し、レーザスキャン角を 25 度へ変更し、急斜面の計測に対応した。40 林班についても、斜面下の樹木の下部の計測率を上げるため、背負子式による計測を実施したが、こちらについてはレーザスキャン角を 20 度として取り付けて計測を行った。



図 2-8 UAV でのレーザ角調整



图 2-9 背负子式

2.2.3 UAV レーザ計測

(1) 飛行ルート

現場で取得した点群を確認し、欠測となっている部分に応じて、飛行高度や計測方法を変更した。そのため、40 林班では 4 回、41 林班は 5 回計測を行った。

1) 40 林班

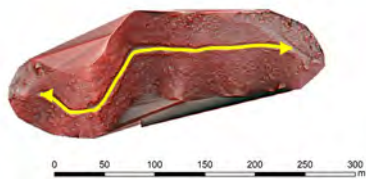
1、2 回目の飛行ではレーザスキャン角を変えず、多段計測のみで行った。

3 回目の計測ではレーザスキャン角を変更し、データが取れていなかった斜面の樹木下部のデータを取得した。この時、飛行高度を変えた多段計測とし、計測範囲の拡大を図った。

4 回目の計測はレーザスキャン角を 20 度に設定した背負子式による計測を行い、データが取れていなかった斜面下部の樹幹、地盤のデータを取得した。また、計測距離は計測 1・2 回目で 577.7m、3 回目で 318.4m、4 回目で 288.9m となった（表 2-2）。

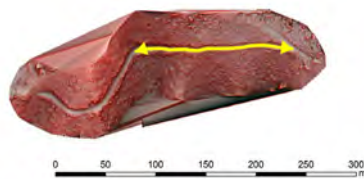
飛行ルート

1・2 回目計測



飛行ルート

3 回目計測



背負子式

計測コース

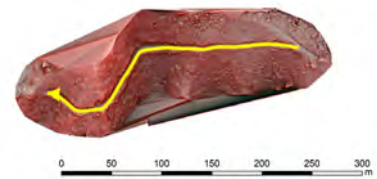


図 2-10 飛行ルート・計測コース

表 2-2 40 林班計測距離

	往路 (m)	往復 (m)
飛行ルート 1・2 回目	288.9	577.7
飛行ルート 3 回目	159.2	318.4
背負子式計測コース	288.9	—

2) 41 林班

UAV による計測では全体を 2 コースに分け、背負子式ではコースを分けずに計測した。

計測の 1、2 回目は、それぞれ飛行高度を変えて行った。特に 2 回目については、1 回目の計測より斜面上段側のデータでは地盤や樹幹の点群が少なかったことから、飛行高度を上げて計測した。

3、4 回目の計測は 2 つ目の飛行ルートにて行った。3 回目の計測では、1、2 回目の計測範囲よりも斜面が急で樹幹のデータが取れていないことが分かっていたため、1 度の計測で飛行ルートを 2 往復し、飛行高度を 4 段に分けた多段計測とした。4 回目の計測はレーザのスキャン角を 10 度傾けて実施した。計測方法は 3 回目と同様に多段計測であり、飛行ルートを 2 往復した。

背負子式による 5 回目の計測では、レーザスキャン角は 25 度とし、それまでの UAV による計測では取得できなかった斜面下部の樹幹、地盤のデータを取得した。また、計測距離はそれぞれ計測 1・2 回目で 530.9m、計測 3・4 回目で 245.1m、背負子式において 375.6m となった(表 2-3)。

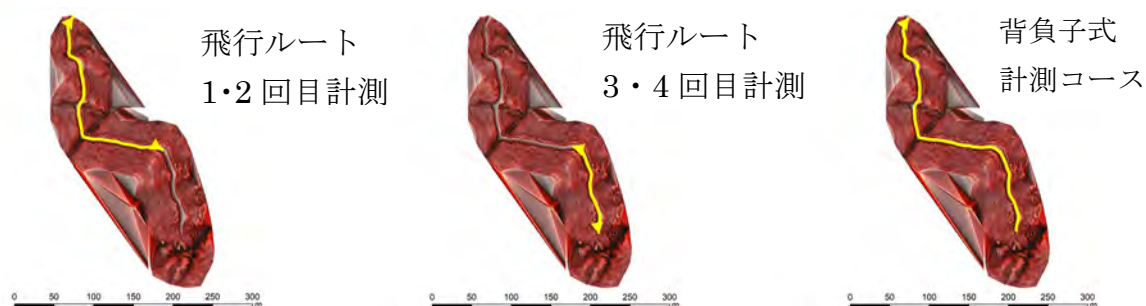


図 2-11 飛行ルート・計測コース

表 2-3 41 林班計測距離

	往路 (m)	往復 (m)
飛行ルート 1・2 回目	265.5	530.9
飛行ルート 3・4 回目	122.5	245.1
背負子式計測コース	375.6	—

(2) 功程調査

功程調査の結果を表 2-4、表 2-5 に示す。1 回飛行を行うごとにデータの取得状況を確認し、次回計測時のコース、レーザスキャン角の検討を行った。計測データの転送、確認と並行して他の作業を実施したため、作業開始時間と作業時間に一部ズレが生じている(表 2-5)。

1) 40 林班

40 林班の 4 回目の計測、及び 41 林班 5 回目の計測では、UAV では計測が困難な斜面下部の樹木、及び樹木下部の計測を行うために、背負子式による計測(図 2-13)を実施した。その際、UAV からレーザを背負子式に付け替えるための機械整備の時間を取った。

1・2 回目の計測で多段飛行を行い、3 回目の計測ではレーザスキャン角に角度をつけて計測を行った。計測後、取得したデータを確認し、その取得状況に合わせて次の計測方法を検討した。そのため、データ確認の時間を取る必要があった。計測回数と同じ回数データの確認を行うことになるため、計測回数が多くなるほど、UAV 計測の関わる総作業時間に対し、UAV を飛ばしていない時間の割合が多くなる。

一方、データ取得後、すぐにデータを確認してから次の計測方法を決めることで、点群の取得状況に合わせた柔軟な計測が可能であった。取得した点群情報が現地で確認可能であることは、UAV レーザ計測における強みの一つであり、欠測を防ぐことが可能である。現地の作業時間が増加することになるが、データの取得から森林資源解析までの総作業時間を考えた際には、作業効率を向上させる一助になると考えられる。

また、計測に使用した UAV は、SLAM の機能を有しており、飛行ルートを往復する場合、折り返しの際には機体の転回に伴い点群密度が部分的に減少し、SLAM が途切れる場合もあった。そのため、途切れた点群のマッチングが必要となった。往復を含む飛行ルートの設定を行う場合、より作業効率の向上を図るにはこうした SLAM の切断や再構築がしないよう、ルートを工夫する必要があると考えられる。

表 2-4 功程調査表 (40 林班)

作業開始からの 時間	作業内容	作業時間 (分)	備考
00:00 (12:36)	組み立て時間	4	
00:04	機械の確認	3	
00:07	飛行準備	5	キャリブレーションの確認など
00:12	飛行 1 回目	14	目線より上、樹冠程度の高さ
00:26	データの確認	13	
00:39	バッテリー交換	5	
00:44	飛行 2 回目	12	往路は目線より下方、復路は樹冠より上方を飛行
00:56	データ確認	15	
01:11	バッテリー交換、 レーザ角度調整	5	高さは目線、20° レーザ傾ける(レーザを前側に傾けて、下方のデータを取る)
01:16	飛行 3 回目	6	
01:22	データ確認	7	
01:29	機材調整 (背負子式準備)	8	レーザに角度(20°)をつけ、 人が機材を背負って計測を行う 斜面下側 170m、斜面上側 50m は 点群データが取れている
01:37	計測 (4 回目)	16	
01:53	データ確認	11	
02:04	片付け	13	



図 2-12 林道・作業道上における UAV の飛行状況 (40 林班)



図 2-13 背負子式による計測の様子 (40 林班)



図 2-14 林道・作業道からの UAV 計測の準備状況