

Aerial tree house - Okayama



1. 研究背景

建築を造るプロセスにデジタルツールの利用が広がる現代において、本研究は「ドローンに建築が可能か」をテーマとする。ドローンは、扱える材料の重量的制約が大きい半面、可動域に制約がなく、3次元空間を自由に稼働できる動作上の特性がある。そこで本研究では、比較的軽量の材料で構成可能な、材料の張力を利用した架橋物を焦点を当てる。実際にドローンをファブリケーションツールとして位置付ける研究は散見されるが、既存の屋外環境に対して人間が乗れる強度の構造物を制作できた事例はない。



建築へのデジタルツールの活用



Building a rope bridge with flying machines[1]



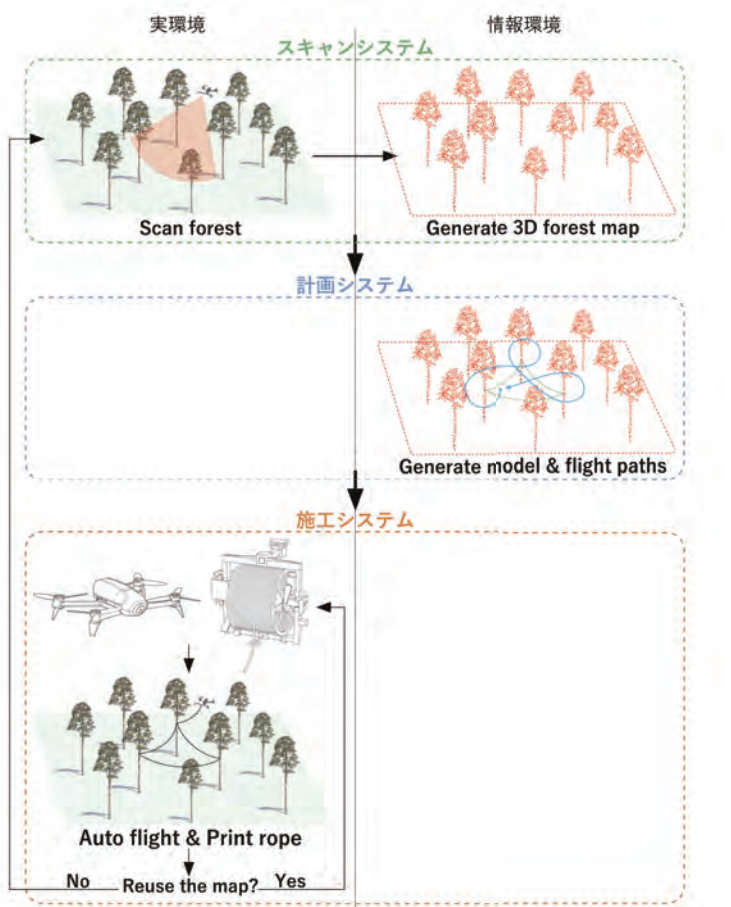
多くは特殊な屋内設備が必要



軽量の材料で構築できるテンション膜構造

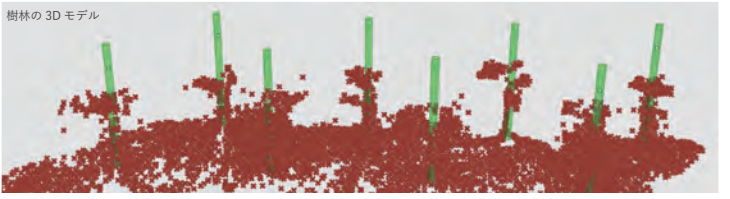
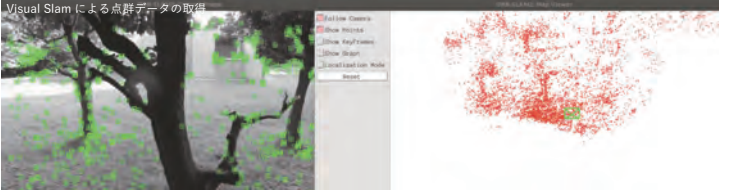
2. 手法概要

手法は、大きくスキャンシステム、計画システム、施工システムに大別される。スキャンシステムでは、ドローンによって屋外樹林の3Dスキャンを行い、樹林の3Dマップを生成する。計画システムでは、スキャンシステムによって作成した樹林の3Dマップ上に、全体形状のモデルと、それに基づいたドローンの飛行経路を生成する。施工システムでは、ドローンにロープを出力する電動リールを装着して、飛行経路通りに自律飛行することで空中架橋物を制作していく。



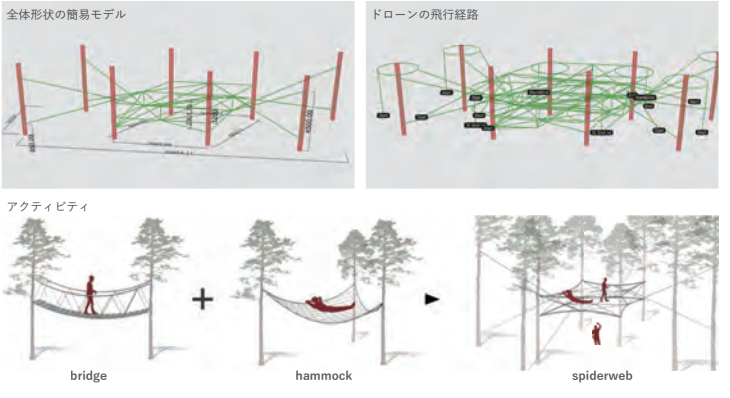
3. スキャンシステム

スキャンシステムでは、ドローンのマニュアル操作によって環境の3Dスキャンを行う。ドローンについてはプログラマブルな既製品ドローンを利用し、スキャンには、Visual SLAMと呼ばれる、映像データからカメラの自己位置を推定する技術を応用することで、点群を取得するシステムを構築した。制作範囲の点群を取得しシステムを終了すると、環境の点群データが書き出される。書き出されたデータを Rhino+GH で開き、樹木の中心点を指定することで、樹林の簡易的な3Dモデルが作成される。



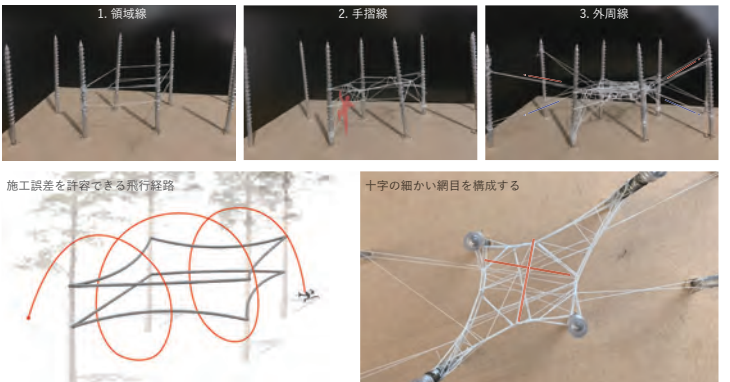
4. 計画システム

計画システムでは、スキャンシステムで作成した3Dマップ上に全体形状の簡易モデルと、ドローンの飛行経路を多様な樹木配置に応じて生成可能なシステムを構築した。全体の形状は、樹木間の空間に、橋のように渡ることや、ハンモックのように寝転ぶこと、その他、ハーゴラやツリーハウスといった多様な用途を発見可能な架橋物を目標とした。また、ドローンに構成可能な工法として、骨格となるロープを張った後、それらの外周を飛行し束ねる工法を採用している。ロープの総数は28本である。



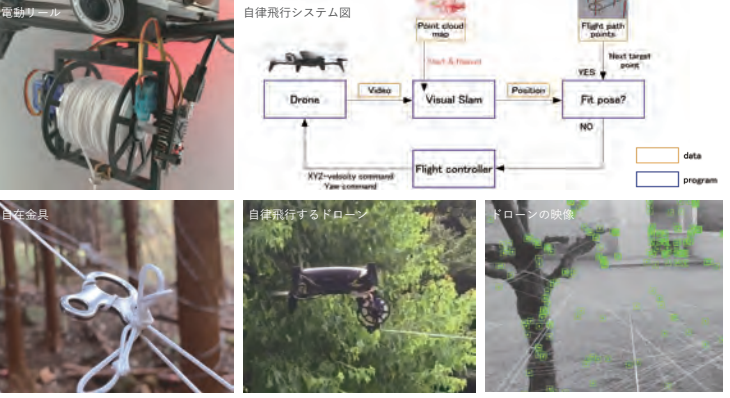
4-2. ロープの構成・ドローンに可能な工法

ロープの構成は、大きく3つに分かれており、1. 領域線は、網を張る四角形の領域を規定する役割がある。2. 手摺線は、架橋物に登際の足場や手がかりになる役割がある。3. 外周線は周囲の樹木上方と下方から、領域線を巻きつけて引っ張ることで、架橋を中央付近で安定させる役割がある。また、ドローンに構成可能な工法として、スペースの大きい領域線の外側を巻きつけながら、十字の細かい網目を構成する、飛行誤差を許容できる工法を採用した。



5. 施工システム

施工システムでは、ロープを巻き取る強さや速さを設定可能な電動リールの開発と、計画システムで生成した飛行経路に沿って、ドローンを自律飛行させるシステムを開発した。スキャンシステムで取得した点群マップを再度読み込み、自己位置推定を始めると、計画システムで作成した飛行経路上の目標座標に近づくように飛行していく。ロープの端部については、人間が樹木底部に自在金具を用いて引っ張り強さを調整しながら固定する必要がある。したがって、人間と機械の協業のシステムとなった。



6. 実験・考察

実験として、本研究の手法を用いて、慶應義塾大学 SFC 内の木立 (上方写真左) と、岡山県高梁市の杉の山林 (上方写真右) で実際に制作を行った。結果としては、(A) 自動施工が可能については、高所における施工はドローンで行うことができたが、飛行精度や、施工時間、ロープの固定において課題が残った。(B) システムが多様な環境下で利用可能については、実際に2つの敷地で空中架橋物を制作できたため、達成できたと考える。その他、岡山県での実験ではツリーハウスとしての利用方法を発見した。

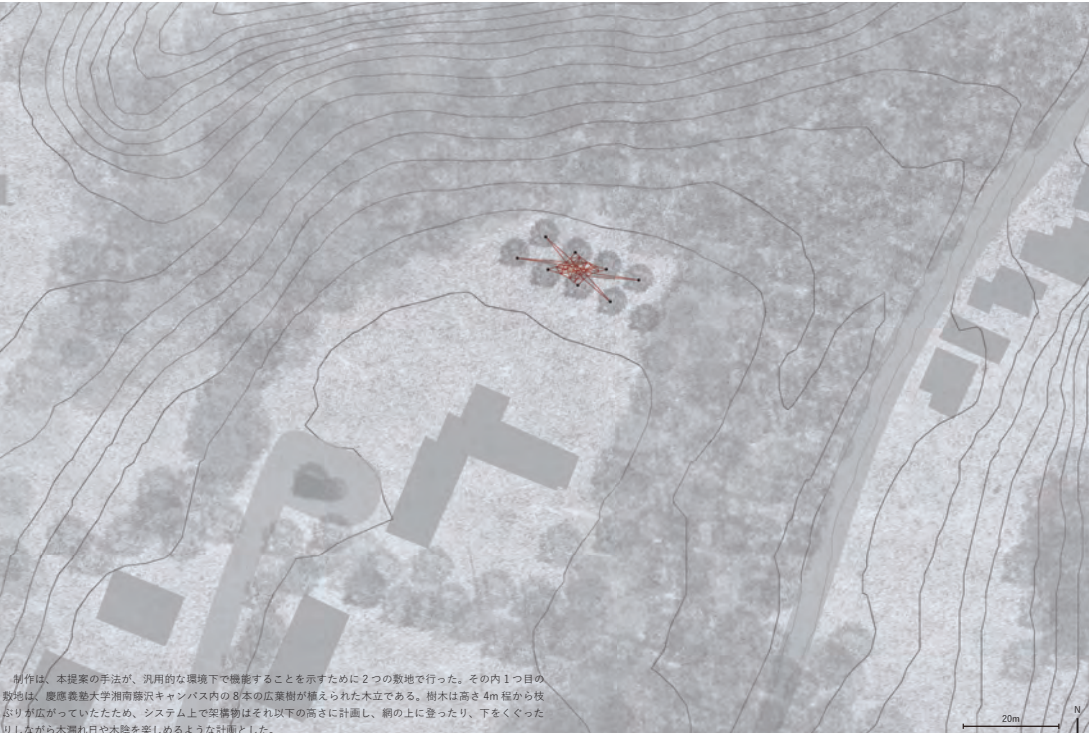


7. 本研究の位置づけ

本研究の位置づけを、先行事例との比較を基に下図に示す。自動化すると特殊な屋内設備環境下でしか実施できないため、システムの汎用性に課題があり、人間の手で施工すると、多様な環境下で制作可能であるが、足場の必要性と、手間や時間がかかる課題がある。そこで、本研究では、あらかじめ汎用的な環境下で利用可能なシステムの構築を目指した。したがって、(A) 自動制作が可能、(B) システムが多様な環境下で利用可能を評価基準として提示する。結果的には、自動化の側面には課題が残った。

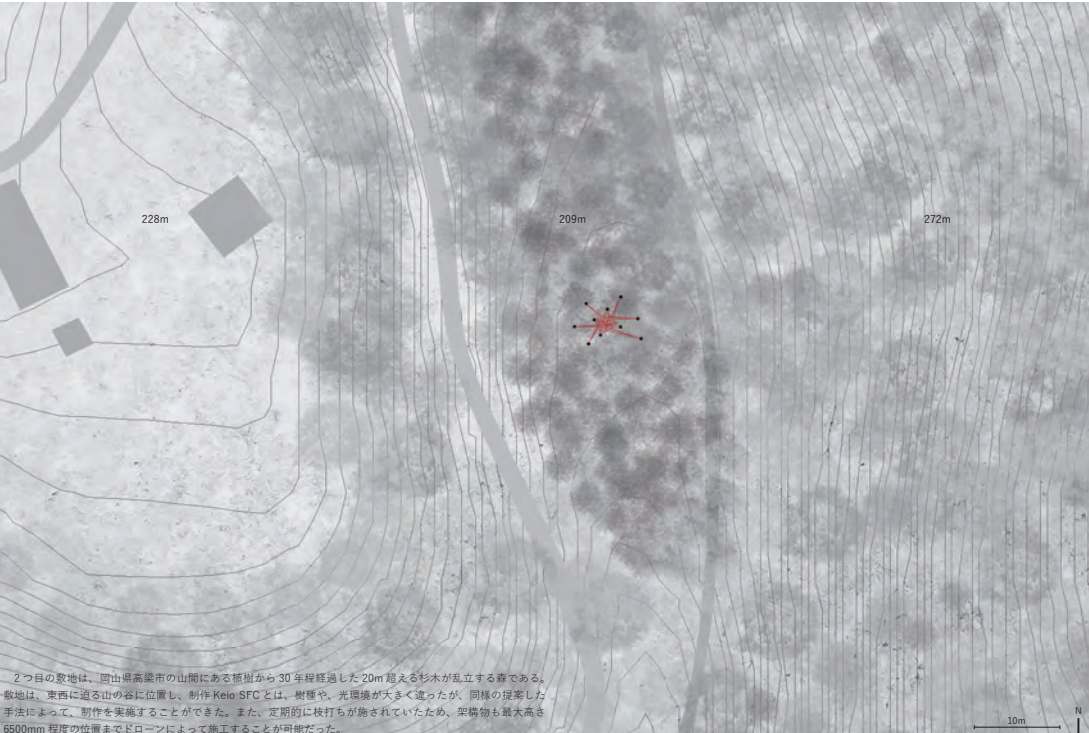
name	image	(A) 自動制作が可能	(B) システムが多様な環境下で利用可能
Building a rope with flying machines[1]		○	×
Tape[2]		×	○
Tree net[3]		×	○
本研究		△	○

Site - Keio SFC



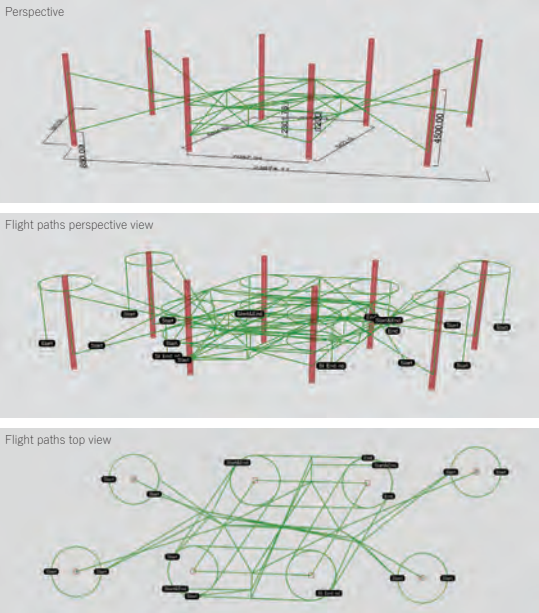
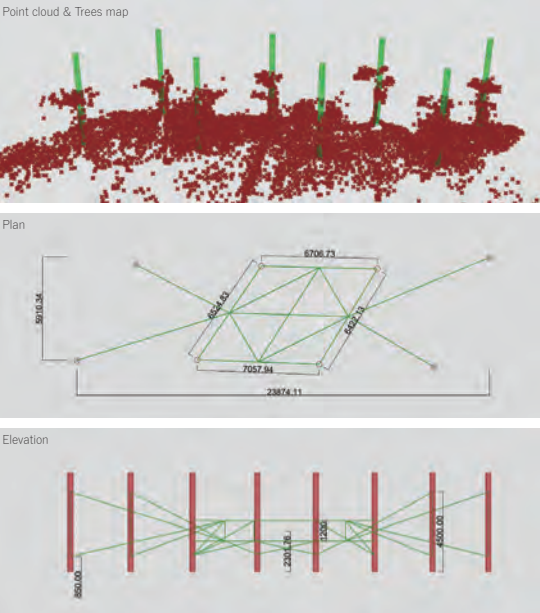
制作は、本提案の手法が、汎用的な環境下で機能することを示すために2つの敷地で行った。その内1つ目の敷地は、慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス内の8本の広葉樹が植えられた木立である。樹木は高さ4m程から枝ぶりが広がっていたため、システム上で架構物はそれ以下の高さに計画し、網の上に登ったり、下をくぐったりしながら木漏れ日や木陰を楽しむような計画とした。

Site - Okayama



2つ目の敷地は、岡山県高梁市の山間にある原樹から30年経経過した20m超える杉木が乱立する森である。敷地は、東西に迫る山の谷に位置し、制作 Keio SFC とは、樹種や、光環境が大きく違ったが、同様の提案した手法によって、制作を実施することができた。また、定期的に枝打ちが施されていたため、架構物も最大高さ6500mm 程度の位置までドローンによって施工することが可能だった。

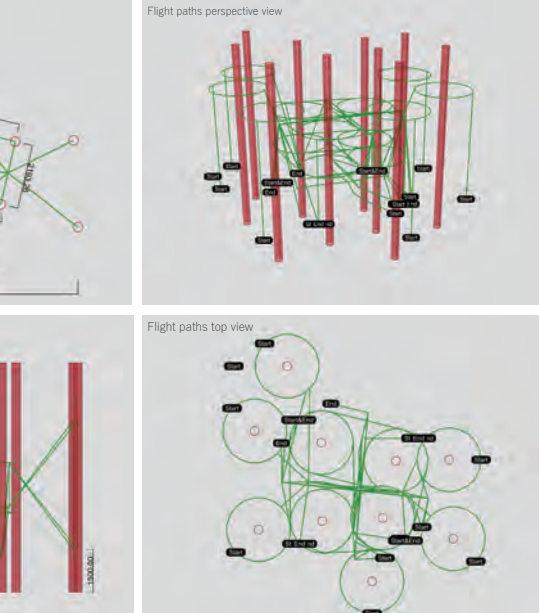
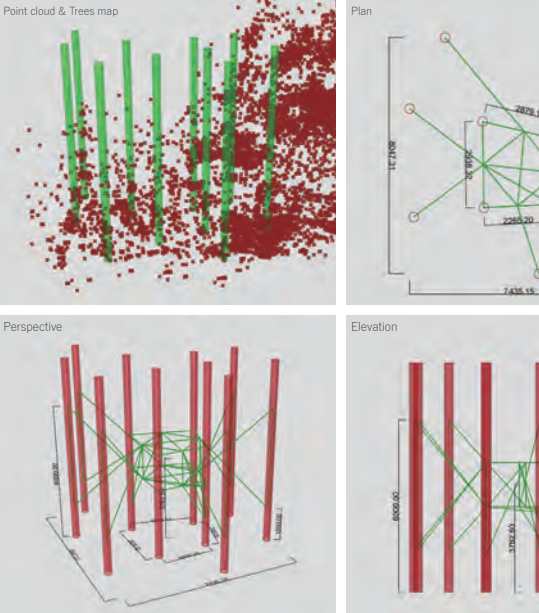
Drawing - Keio SFC



スキャンシステムで取得保存した、点群データを Rhino+GH で開き、点群データを基に、樹木の位置を指定すると、自動的に全体形状の簡易モデルと、それに応じたドローンの飛行経路が生成される。Keio SFC の制作は、樹木配置が平均 6500 mm 程度の離隔であったため、それに応じる形で、幅 2400mm × 奥行 6000mm × 高さ 2300mm 程の大きな空中架構物が計画された。また、必要なロープの総数は 28 本、総長は 1.27km 算出され概ね、実際の制作と一致した。飛行経路は樹木や事前に張ったロープと干渉しない経路がそれぞれ 1500-2000mm 程度の離隔保って生成されている。

Model information	[0]	[0]
width : 2307.11	all lines : 28	
depth : 5910.34	area lines : 0	
height : 4500	handrail lines : 4	
center height : 2301.76	outer lines : 16	
metal fittings : 56	loose length : 1.27km	

Drawing - Okayama



制作 Keio SFC と同様に、樹木の位置を指定すると、自動的に全体形状の簡易モデルと、それに応じたドローンの飛行経路が生成された。樹木配置が平均 2400 mm 程度の離隔であったため、それに応じる形で、幅 7400mm × 奥行 8400mm × 高さ 3800mm 程の空中架構物が計画された。また、必要なロープの総数は 36 本、総長は 0.92km 算出され概ね、実際の制作と一致した。飛行経路は樹木や事前に張ったロープと干渉しない経路がそれぞれ 1500-2000mm 程度の離隔保って生成されている。制作 Keio SFC より高さ方向に余裕が合ったため、内部空間を生むように立体的な計画とした。

Model information	[0]	[0]
width : 7435.15	all lines : 36	
depth : 8047.31	area lines : 0	
height : 6000	handrail lines : 4	
center height : 3763.500	outer lines : 24	
metal fittings : 72	loose length : 0.92km	