

トドマツコンテナ苗用植栽機の開発

近藤佳秀, 渡辺一郎*¹, 来田和人*²

Development of a container seedling planter for Todo fir (*Abies sachalinensis*)

Yoshihide KONDO, Ichiro WATANABE, Kazuhito KITA

キーワード: トドマツ, コンテナ苗, 自動植栽, 軽労化

従来の植栽機械では植栽できないトドマツコンテナ苗用の植栽機械を開発した。開発のコンセプトは、硬い土壌に植栽できる、トドマツコンテナ苗を植栽できる、植栽後の列間を走行できる、の3点とした。硬い土壌ではオーガの回転数を上げ、送り速度を下げることで穿孔が可能となり、植付爪を開きながら上げる新しい機構でトドマツコンテナ苗の植栽を可能とした。また、小型の運搬機をベース車両とした植栽機を構築した。平坦な苗畑でクワによる人力植栽と比較した結果、作業効率は同等で苗の活着率も同等であった。傾斜地への対応の他、装置への苗の装填と植栽後のてん圧の自動化が今後の課題である。

1. はじめに

木材は再生可能な資源であるが、消費に見合う植林を行わないと持続可能な利用ができない。北海道では北海道採種園整備方針（令和4年3月改訂）を策定し、13,190ha/年（令和23年度）の植林を想定している¹⁾ことから、植栽に熟練した林業従事者が数千人規模、確保されている必要があると推定される。

しかし、北海道の林業従事者数は近年、減少傾向である。立木の伐倒から販売までを担う素材生産事業においては従事者数が横ばいで推移しているが、地拵え、植栽、下刈りなどを担う造林事業において

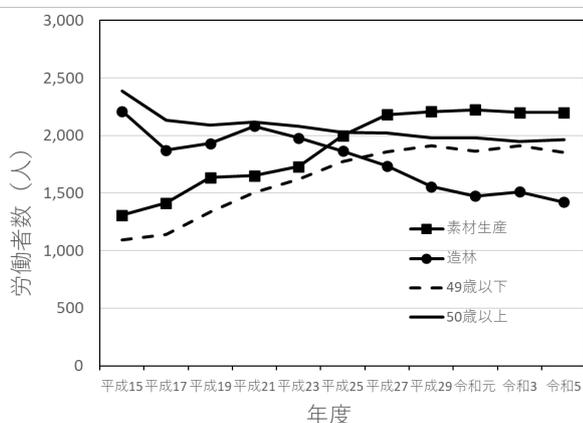
は従事者数が減少している（第1図）。加えて従業者の高齢化が進んでいる他、若年従事者の事業からの離職も散見されることから、担い手を確保する取組の強化が必要である²⁾。

取組のなかで就業環境の改善が重視されており、造林事業では素材生産事業に比べて遅れている作業工程の機械化と、機械化を通じた作業の軽労化が強く求められている。

まず、造林作業を機械化するためには機械化に適した苗が必要である。この点、道庁を中心として「北海道型コンテナ苗協議会」が平成25年2月に設立され³⁾、急速に利用が増加している⁴⁾コンテナ苗は、根鉢が定形であることから、造林作業の機械化を進める上で追い風となると期待されている。

しかし植栽の機械化は進んでおらず、平成30年頃の植栽機械の現況は、欧州のコンテナ苗植栽機械の開発状況を注視しつつ、（国研）森林総合研究所を中心に、大型機械の使用を前提とした植栽用アタッチメントとして開発が進んでいた⁵⁾。

ただし、林業機械の導入が進んでいる北海道であっても造林専門の事業体の8割は大型機械を所有していなかった⁶⁾。そのため、アタッチメントではなく単体で完結し、運搬が容易な小型機械の開発が望ま



第1図 林業従事者数の推移
北海道林業統計より作製



トドマツ裸苗



カラマツコンテナ苗



トドマツコンテナ苗

第2図 トドマツコンテナ苗とカラマツコンテナ苗及びトドマツ裸苗の比較

れていると考えられた。

また、欧州および森林総研で開発が進んでいる植栽機械は苗の根鉢が小さく枝の張り出しも少ないスプルスやスギのコンテナ苗を対象としていることから、根鉢が大きく枝の張り出しも大きいトドマツのコンテナ苗(第2図)は植栽が困難であることが予想された。

しかし、トドマツは北海道の主要造林樹種であることから、植栽を機械化することは急務である。

筆者らが、コンテナ苗の林地内運搬について小型機械を提案した⁷⁾ところ、植栽の機械化について多大な期待が寄せられたことから、植栽機の開発に着手した。

2. コンテナ苗植栽機のコネプト

植栽機を開発するにあたり、基本となる構想を次のように定めた。

1) オーガで穿孔し、植栽ユニットで植え付ける。

植栽機が対象とする林地は耕耘されていないことから、同一林地内であっても大きく異なる硬さの土壌で構成されていることがある。

来田らが硬い土壌に対して最も有効な穿孔

用手工具として、クワとエンジンオーガを推奨した⁸⁾ことから、植栽機においてもオーガを用いて穿孔し、植栽ユニットで植栽する構成とすることで、硬い土壌にも対応可能な植栽機械となり得る。

2) トドマツコンテナ苗に対応する。

既存の植栽機械はプランティングチューブを用いている。第3図は、人力植栽に用いる手工具であるが、植栽機械に用いられているものと



第3図 プランティングチューブ
右下は、先端を開いた状態

基本構造は同じである。プランティングチューブによるトドマツコンテナ苗植栽の課題は、円筒内部に苗を通す構造にあり、根鉢の径に見合った内径の筒を用いると枝が引っ掛かって植栽位置に到達できず、植付ができないことである。

また開口部がヒンジにより開閉する構造であるため、苗が通過する断面の面積は円筒と同じであり、筒と同様に開口部に枝が引っ掛かることから、ヒンジを用いた構造の植栽ユニットはトドマツコンテナ苗に対応できない。

加えて、開口部が土を押し分けながら開くことから、土から大きな反力を受けるため、重厚な作りと大きな動力が必要となり、装置が大型化する恐れがある。

これらを解決する植付ユニットとして、筒を用いず、開口部を開放する時に土を押し分けない機構を考案したため、新規植付ユニットを試作して実証する事とした。

- 3) ベース車両は植栽後の林地内を、苗を踏まないで移動可能な小型のものとする。

植栽後の林地において苗を踏まないで走行できる小型化の利点として、苗を植える順序に制約がなくなること、複数台で運用する場合に苗運搬などの補助作業が可能になること、ベース車両を下刈りなどの育林作業に転用可能であること、植栽機が小型になるため販売価格を低く設定できる可能性があることが挙げられる。



第4図 穿孔試験の様子
令和元年10月29日 林業試験場 苗畑にて

3. コンテナ苗植栽機械に必要なとされる土壤穿孔性能の検討

3.1 目的

硬い土壌にはエンジンオーガが有効であるが、車両に搭載するに当たっては、より制御性が良い、電動モーターや油圧モーターが望ましい。また、機械による自動穿孔を行うには、人間の細やかな制御に頼らない簡素な穿孔制御が望ましい。

そこで、穿孔時にオーガが土壌から受ける垂直反力およびオーガに発生するトルクを詳細に測定することで、オーガによる土壌穿孔の特性を明らかにし、適正な穿孔条件を探求することとした。

3.2 試験方法

試験に供したオーガは、来田らが用いた物⁸⁾と同じ、直径：60mm、リード：50mm（右回り、一条）のゼノア製オーガ専用ドリルを溝長 240mm（内、先端部 40mm）に短縮加工して用いた。

オーガの動力にはHiKOKI製電動ドリルD13（無負荷回転数650rpm、消費電力 720W）をサイリスタ電子帰還制御DCインバータ方式のスピードコントローラーで回転数制御して用いた。

オーガの上下動はオリエンタルモーター社製リニアドモーターLEM4F300M-4（直流ブラシレスモーター80W、ラック速度 最大300mm/s、最大可搬重量 15kg いずれもカタログ値）を用いた。試験装置全体の制御には、シーケンサを用い、動作スイッチが導通している間はオーガが回転するとともに下降し、20cm送ったところ（下端）で停止し、動作スイッチが切断されるとその時の状態にかかわらず回転を停止してオーガを上昇させるようプログラムした。

オーガに発生する垂直反力の測定には、6軸力覚センサを用い、出力の内Z軸方向並進力を測定値とした。また、オーガに発生する最大トルクの測定にはトルクチェッカーを用い、オーガが消費したエネルギーを測定するために電流センサーを用いた。自作のデータロガーにより、オーガの回転数、送り速度、動作タイミング（作動スイッチのon/off、上下限リミットスイッチのon/off）を測定した。

穿孔途中でオーガの回転が停止した場合や、回転しているにもかかわらず穿孔が進まず試験装置が浮き上がる等、穿孔不可能と判断された場合は動作スイッチを切って穿孔を終了した。

オーガが下端まで穿孔し送りが停止した場合は1

第1表 穿孔試験に用いた試験装置の主な仕様と測定項目、測定機材)

主な使用機材	メーカーまたはブランド名	型番	主な仕様
ドリル Φ60	不明 (ゼノア?)	不明	直径：60mm リード：50mm (右回り 一条) 先端部高さ：約4cm 溝長：約24cm、全長：約30cmに短縮加工
電動ドリル	HiKOKI	D13	単相直巻整流子モーター 無負荷回転数：650rpm 消費電力：720W
電動ドリル回転数制御装置	日本特殊電子工業	PS-1200SR	サイリスタ電子帰還制御DCインバータ方式 最大負荷電流：20A
上下動モーター	オリエンタルモーター(株)	LEM4F300M-4	直流ブラシレスモーター 80W ストローク 400mm ラック速度 最大300mm/s 最大可搬重量 15kg
動作制御用シーケンサ	オムロン(株)	Zen 20C1DR-D-V2	入力 12点 出力 8点(リレー)
移動用キャリア	(株)マキタ	CU180D	充電式電動一輪車 最大積載量 130kg 荷台幅：660mm 長さ：850mm

測定項目	機材		
	メーカー	型番	主な仕様
垂直反力	(株)レプトリノ	FFS080YS102U6	6軸力覚センサ 定格容量Fz：±1000N 分解能：1/4000
最大トルク	(株)東日製作所	ST50N3-1/2-BT	デジタルトルクチェッカー トルク測定範囲：10～50 N・m
回転数	自作		光電センサのパルス出力をマイクロコンピュータボードArduino UNOでカウント
送り速度	自作		上下動モーターのパルス出力をArduino UNOでカウント
動作タイミング	自作		シーケンサの出力をArduino UNOで記録
消費電流	(株)ユー・アール・ディー	CTT-10-CLS-CV10	クランプ式電流変換器 定格電流：10Arms

秒ほど停止状態を維持した後、動作スイッチを切断して穿孔を終了した。穿孔が終了した後、穴の写真を撮影し、穴の深さを直尺によりcm単位で測定して記録した。

穿孔試験に用いた試験装置の主な仕様と試験項目、測定機材を第1表にまとめた。

穿孔試験は、オーガの無負荷回転数と送り速度を変化させながら一条件一回の試行で繰り返し、一連の試験が終了した後に試験地内の代表的な数カ所の

土壌硬さを山中式土壌硬度計で測定した。

試験の様子を第4図に示す。

試験地は、土壌の硬さが異なる4カ所を選定した。土壌の硬い順に示すと、林業試験場カラマツ伐採跡地(以下、伐採跡地)、防風林(私有林、池田町)(以下、池田町)、林業試験場苗畑(以下、苗畑)、京極町内私有林(以下、京極)である。各試験地の特徴を第2表にまとめた。

第2表 各試験地の特徴

試験地名	所在地	試験日	土壌硬度*(mm)	備考
伐採跡地	美瑛市光珠内町東山 林業試験場内	令和元年10月29日	深さ5cm: 12.6 10cm: 20.5 15cm: 20.3 最大硬度26.9mm (深さ10cm)	粘土質 重機により表土が剥がされるとともに圧縮されている
池田町	北海道中川郡池田町字昭栄 私有林内	令和2年5月25日	深さ5cm: 12.8 10cm: 17.6 15cm: 20.2 最大硬度20.3mm (深さ15cm)	表土は約10cm ササが繁茂 牧場跡地が防風林に転換された土地
苗畑	美瑛市光珠内町東山 林業試験場内	令和元年10月29日	深さ5cm: 7.1 10cm: 13.6 15cm: 16.4 最大硬度19.9mm (深さ15cm)	粘土質 耕耘されている
京極町	北海道虻田郡京極町錦 私有林内	令和2年7月13-14日	深さ5cm: 5.8 10cm: 11.9 15cm: 15.0 最大硬度17.8mm (深さ15cm)	火山灰土 草本が繁茂しているが、ササはほとんど無い

*山中式土壌硬度計により測定。数字が小さいほど柔らかい事を示す。

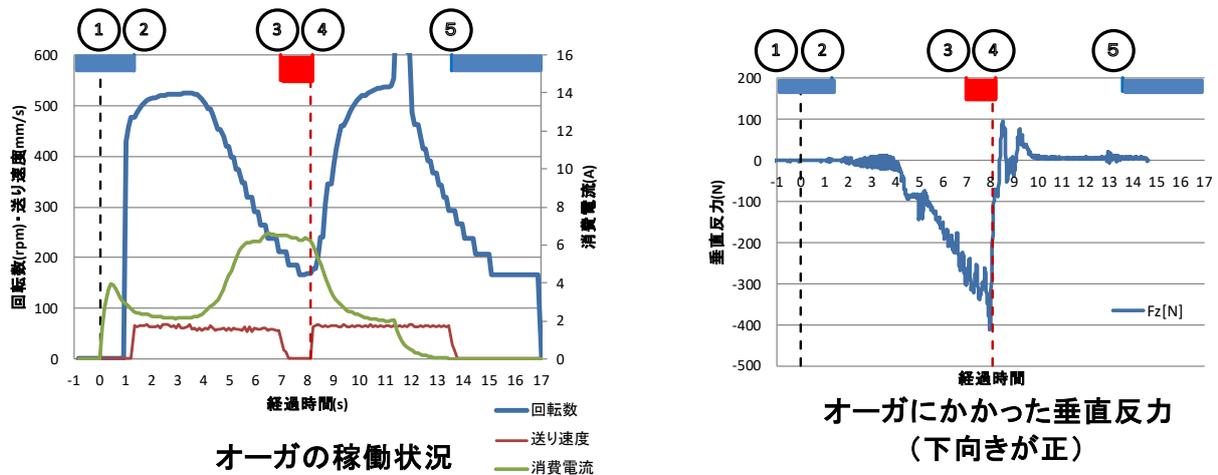
1カ所あたり3回測定した平均値をその場所の測定値とし、試験地内数カ所の平均値を表に示した。

3.3 穿孔試験の結果・まとめ

第5図に取得したデータの一例を示す。穿孔が進むにつれて回転数が低下し、垂直反力と消費電流が増加している。穿孔が進むにつれて土からの抵抗が増し、穿孔が困難となっていることが推察される。この現象は、一連の試験で普遍的に見られた。また、最大トルクと垂直反力には正の相関が見られたことからトルクの変化と垂直反力の変化は相似していると推定されるが、穿孔の進展に伴うトルクの変化が測定できなかったことから、詳細は不明である。また、第5図では電流値が穿孔の進展に伴い変化しているが、土壌が硬く穿孔が困難な条件では穿孔開始とともにセンサー上限値に達して有用なデータが得られなかったことから、穿孔の進展に伴う消費電流の変動についての知見は得られなかった。

試験地ごとの穿孔条件（無負荷回転数および送り速度）が穴の深さに及ぼす影響を第3～6表にしめす。トドマツコンテナ苗の根鉢の高さ（約17cm）を基準としてこれより深い穴が開けられた条件を穿孔が成功した条件と見なすと、土壌が硬い伐採後地と池田町では、成功は回転数が高く、送り速度が低い条件に限られた。また、土壌が硬くなるにつれて、成功する最低回転数が上がり、最大送り速度が下がった。

以上から、土壌硬度20mmを超える程度までの土壌に穿孔する場合の土壌硬度ごとの適正なオーガ回転数と送り速度の範囲が導出できた。また、720Wの電気ドリルと80Wの送り用モーターで十分な穿孔性能が得られることが判明した。また、池田町における試験で、太さ10mm程度の笹根であれば穿孔に支障が無いことが判った。



①動作指令 ②下降開始 ③所定深さ到達 ④上昇開始 ⑤上端到達(動作終了)

第5図 穿孔試験結果の一例

第3表 穿孔条件が穴の深さに及ぼす影響（伐採跡地）

		無負荷送り速度(mm/s)					
		11.0	27.4	56.4	81.7	108.4	133.6
無負荷回転数(rpm)	523	17	14	5	14	16	7
	526	19	7	12	8	8	9
	638	19	20	19	22	20	8

17cmを超えた条件は太字で示す。

523rpm未満の回転数は装置不調で測定できなかった。

第5表 穿孔条件が穴の深さに及ぼす影響（苗畑）

		無負荷送り速度(mm/s)					
		11.0	27.4	56.4	81.7	108.4	133.6
無負荷回転数(rpm)	523	19	19	19	18	18	19
	526	16	18	19	19	19	19
	638	18	12	16	10	18	19

17cmを超えた条件は太字で示す。

523rpm未満の回転数は装置不調で測定できなかった。

17cmに達しなかった穴は穴壁の崩壊が見られた

第4表 穿孔条件が穴の深さに及ぼす影響（池田町）

		無負荷送り速度(mm/s)					
		11	27.4	56.4	81.7	108.4	133.6
無負荷回転数(rpm)	179	20	21	13	14	12	-
	244	9	13	16	14	12	-
	401	14	18	17	19	13	-
	480	21	20	23	16	17	20
	509	20	21	20	23	23	25
	523	21	21	22	18	20	15
	526	20	20	20	22	18	23
	638	20	15	23	20	19	19

17cmを超えた条件は太字で示す。

第6表 穿孔条件が穴の深さに及ぼす影響（京極町）

		無負荷送り速度(mm/s)					
		11.0	27.4	56.4	81.7	108.4	133.6
無負荷回転数(rpm)	179	22	24	24	22	22	-
	244	22	22	23	22	22	-
	401	21	24	23	24	25	-
	480	19	24	19	23	18	23
	509	22	23	25	23	18	25
	523	22	24	24	24	22	24
	526	20	23	24	22	24	24
	638	20	18	21	23	21	23

17cmを超えた条件は太字で示す。

これらの結果から、穿孔に用いるオーガユニットの仕様が決定した。

なお、苗畑ではオーガが十分貫入しても引き上げ時に穴壁が崩れて穿孔が失敗する事例が散見された。

土は微細化した岩石と水、有機物の混合物であるから、穿孔時の送り速度と回転数から決まる限界を超えると水分が除去される上に微細化した岩石同士が接触することで大きな岩石に近い硬さに近づき、穿孔が急激に困難になると推察される。このメカニズムを仮定すると、土が硬い、すなわち岩石由来の粒子間の距離がもともと短い場合、土が軟らかい条件に比べて低回転、低い送り速度で穿孔が困難になると考えられることから、今回の実験結果が説明できると考えられる。

このように考えると土に加えられる垂直加力と同程度にせん断加力による効果が重要と考えられるため、せん断加力すなわちトルクの変化を計測し、垂直加力とせん断加力を合わせた指標である電流値（オーガの消費エネルギー）を計測することでより詳細な議論が可能となると考えられる。

4. 植栽ユニットの開発

4.1 目的

2章で述べたとおり、トドマツコンテナ苗の枝が引っ掛かることなく植え付けできる植栽ユニットを開発する。小型の運搬機に搭載可能なように小型の

植栽機構を設計・試作する。

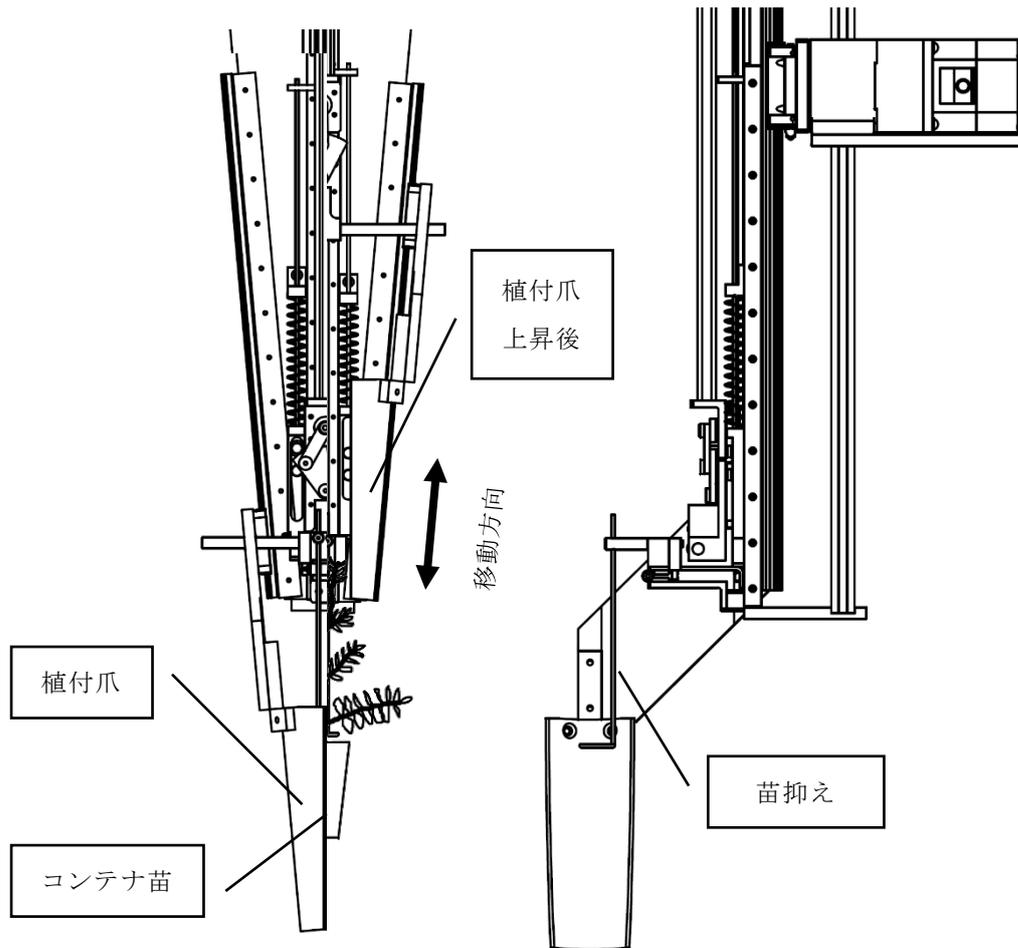
4.2 植栽ユニットの構造

プランティングチューブの問題点を回避する機構として、指で苗を支えながら穴に挿入し指を引き抜くという動作を模倣することを考えた。このような機構を実現するためには、指に相当する、苗を包む植付爪を苗と土の双方を変形させることなく引き抜くことが必要である。引き抜く方向が地表に対して垂直であれば植付爪は円筒が良いが、枝を引っ掛ける事となり機構が成立しない。円筒を斜めに切断した形状の植付爪を母線（円筒の対称軸に平行な円筒面上の直線）の方向に引き抜くことで枝を回避しつつ引き抜くことができる。円筒を切断する角度は根鉢の頂角（約6度）の1/2より大きく、かつ植付爪と根鉢のすき間が大きくなりすぎないように5度とした。

2つの植付爪が開きながら上昇するよう運動を規制する機構として、台形の側面に沿って植付爪が運動する機構を選択した。

さらに、植付爪が上昇する時に摩擦で苗が浮き上がらないように苗を抑える機構（苗抑え）を設けた。植付爪が土から抜け、植栽ユニットが上昇する時に苗抑えが苗の枝を引っ掛けないよう、苗抑えが待避する構造とした。

以上の組み合わせで植栽ユニットの基本構造が決定した（第6図）。



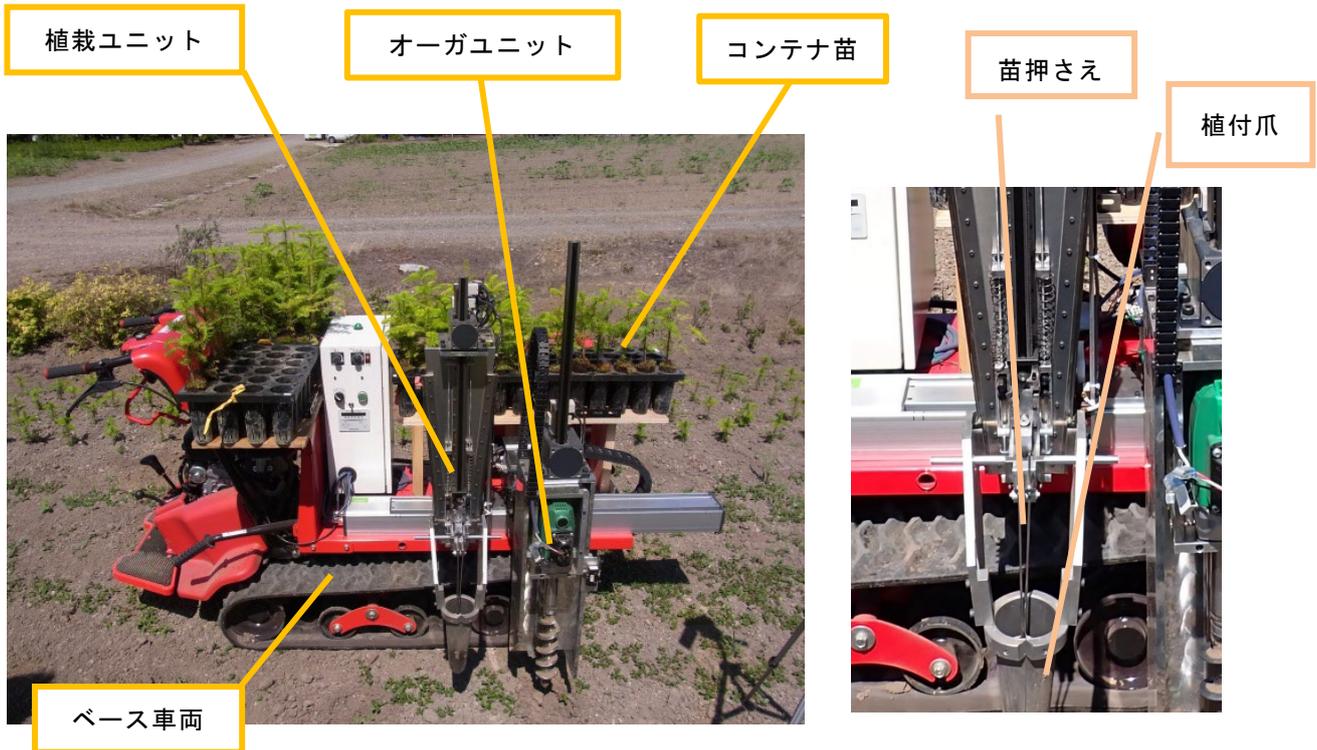
第6図 植栽ユニットの基本構造

4.3 オーガユニットと植栽ユニットの連携

オーガユニットで穿孔し、植栽ユニットで植え付けるためには、穿孔した穴の真上に植栽ユニットを移動させる機構が必要である。この機構にはいくつかの方法が考えられたが、コストや制御の容易さから、最終的に直動スライドを用いる方法と2つのユニットを軸回りに回転する方法を比較した。回転方式は単純な機構で実現できるが、軸回りにユニットを配置するため上から見て正方形に近い形状となり、ベース車両上のレイアウトに制限が生じる。直動スライドを用いるとスライドの構造が複雑となるが、ユニットを並べて配置できるため上から見て縦横比が大きい長方形となり、レイアウトが容易となる。また、直動ユニットの可動長さを長くし、ベース車両側面に両ユニットを配置することで車両を移動しながらの植栽が可能となる。これらの利点、欠点を勘案して直動スライドを用いることとした。

車両を移動しながら植栽を行うケースについて次のように検討を行った。

オーガユニットによる穿孔は10秒程度であるが、失敗して再度穿孔することもあるため車両を停止して行うこととし、植栽ユニットの動作時のみ車両を移動することとした。車両が直線上を走行する場合、車両の速度と同じ速さで進行方向の反対方向に植栽ユニットを移動させると、地面に対して植栽ユニットが停止していることになる。このときの直動ユニットに必要なストロークは植栽ユニットの上下ストロークと上下動の速度、車両の移動速度で決まる。上下ストロークは既存のオーガユニットと同じく400mmとし、上下動の速度を100mm/sとすると、植栽ユニットの下降と上昇で8s、苗の植付に2sとなり植栽時間が穿孔時間と同程度の10sとなる。このとき、直動スライドが80mm/sで動作すればスライドのストロークが800mm必要と計算されることで、車両移動時の植栽が可能となると試算した。ただし、車両を移動しながらの植栽試験を行うためには、ベース車両が80mm/s以下で走行できる必要が生じた。



第7図 植栽機械の外観

4.4 植栽機の構築

オーガユニット、植栽ユニットおよび連携用スライドの詳細が決定したことから、ベース車両を選択した。ただし、ベース車両の寸法の基幹となる列間の寸法は植栽密度によって変化することから、近年のトドマツ植栽密度に関する状況を調査した。

八坂によると一般民有林においては、2,000～2,500本/haで施業されている⁹⁾。

また、滝谷は、2,500本/haを平均的な植栽密度とし¹⁰⁾、佐々木は、列間2m、苗間2mの2,500本/ha方形植栽について間伐などを機械化するうえで合理的としている¹¹⁾。

これらにならい、列間を2mと仮定し、苗への干渉を起こさないために少なくともクローラ長および全幅が1.5m以下であることをベース車両の選定基準とした。

ベース車両には、十分な登坂能力と植栽機構を搭載できる広さの荷台が必要である。加えて車両としては極めて低速な80mm/s (0.29km/h) 以下で走行できる必要がある。そこで、これらの条件を満たす、(株)筑水キャニコム製の小型運搬機BH42をベース車両とした。

取得したベース車両は、林産試験場内に築いた傾斜角30°の築山を2m以上の高さまで余裕を持って昇

降できた。ただし当該車両のエンジンの許容傾斜角は18°であるため、長時間の斜面走行はできない。

ベース車両の荷台の進行方向右に直動スライドを配置し、オーガユニットと植栽ユニットを配置した。これらの重量は、合計で約70kg程度と見積もられたことから、進行方向左にカウンターウェイトを配置してバランスをとり、安定性や操縦安定性を確保する必要がある。このため、進行方向左に制御ユニットと発電機を配置した。これらを合わせても70kg以下であったため、発電機は荷台から大きくはみ出した配置としてバランスをとった。車両を移動しながら植栽を行うためには車両の走行速度を検知する必要があることから、速度センサーを制御盤脇のクローラ上に配置した。

完成した植栽機械の外観を第7図に示す。

なお、植栽ユニットへの苗の装填は人力で行い、植付後のてん圧も人力で行うこととした。

5. 植栽機の評価

林業試験場苗畑において、植栽機械の植栽試験を実施した。試験では、約50本のトドマツコンテナ苗を植栽間隔50cmで1列植栽した。この植栽間隔では、車両を移動しながらの植栽が工程に及ぼす影響が最少であるため、穿孔から植付まで車両を停止して試

第8表 苗の生存率と直径成長量

	植栽時 (2022年7月14日)			調査時 (2022年11月7日)					
	個数	苗直径(mm)		個数	生存率(%)	苗直径(mm)		直径生長量(mm)*	
		平均	標準偏差			平均	標準偏差	平均	標準偏差
植栽機	59	6.28	0.88	52	88.1	6.72	0.82	0.42	0.51
クワ	60	6.56	0.97	55	91.7	6.81	0.94	0.18	0.43

※生存した苗のみの値

カイ二乗検定の結果、植栽機とクワとでは生存率に差がなかった。

験した。穿孔条件は、回転数500rpm、送り速度30mm/sを標準として適宜変更した。比較のため、隣接した植栽列に同じ本数、同じ苗間でクワによる植栽を行った。両者の列間間隔は約2mとした。なお、クワによる植栽は十分な植栽経験を持つ林業試験場の研究職員が実施した。

植栽試験における工程調査の結果を第7表に示す。穿孔時間は11秒程度と十分高速であったが、オーガを引き上げる時に穴が崩れることが多発し、平均2.4回の穿孔が必要であった。原因は、土壌が乾燥して土粒子間の結合力が低下していたためと考えられた。この試験地の土壌は地表から10数cmの所に比較的水分が多い層があったため、2~3回穿孔を繰り返すことで乾いた層に水分が補填され穿孔に成功した。

崩れやすい土壌を1回の穿孔で成功するためには、オーガの回転を完全に停止して引き上げる、オーガの形状を工夫するなどの対策が必要である。

植栽ユニットによる植付は根鉢が地表からはみ出す傾向にあったことから、植穴を深く大きくするなど調整が必要と考えられた。また、苗抑えに苗が引っ掛かる事例が1件発生したことから、苗抑えの形状を改良する必要があると考えられた。

約4ヶ月後に苗の生存率と直径成長量を調査し、クワによる植栽と比較した結果を第8表に示す。生存率についてカイ二乗検定を行った結果、有意差はなかった。

以上から、開発した植栽機械は改善すべき点は多いものの、人力植栽と同程度の効率で植栽できると結論した。

6. おわりに

従来の植栽機械では植栽できないトドマツコンテナ苗用の植栽機械を開発し、以下の知見を得た。

第7表 植栽試験における工程調査の結果

単位 秒/回

工程	植栽機械	クワ
植穴穿孔	11.2 × 2.4*	25.5
植栽	11.3	11.0
その他	作業準備 (苗セットなど)	5.0
	段取り替え (穿孔→移植)	3.3
	後処理 (根踏み等)	9.3
	次の植栽場所までの移動	10.2
		5.3

主な工程にかかる平均時間を示す。

*植穴が崩れたため、平均2.4回穿孔を繰り返した。

- ・オーガで穿孔し、植栽ユニットで植え付けることで、土壌硬度 20mm 以上の硬い土壌でも植栽が可能である。
- ・従来のプランティングチューブ方式と異なる植栽機構を開発し、トドマツコンテナ苗の植栽を可能とした。
- ・植栽後の苗間を走行可能な小型の植栽機械を提示し、植栽後の下刈りまでを含めた造林用小型機械の展望を提案した。
- ・開発した植栽機械はクワによる人力植栽と同程度の効率で植栽が可能であった。

令和7年現在、当場の植栽機械に興味を示した道内企業が試作を重ねて植栽機械を開発しているところである。

4.4節で触れたベース車両の急傾斜対応について、近年、急傾斜対応型のリモコン操縦式草刈り機の製品化が急速に進んでいることから、これらから選択することで、下刈りと植付が可能な植栽機となりうると考えられる。

穿孔と植付に関する動作原理が実証できたことから、今後は周辺装置の開発が必要と考える。特に開発が急がれるのは、植栽ユニットへ苗を装填する

機構と植付後の苗と土壌を密着させる、てん圧機構である。

運搬した苗を植栽ユニットに補給する作業は、植栽機械を植付け位置へ誘導する作業と前後して行う必要があるため、自動化することで誘導運転に集中でき誘導から穿孔までの作業を中断する必要がなくなることから植栽作業の軽労化をさらに進めることができる。

てん圧の自動化については、植栽機械の公開時に林業従事者から強い要望が出ている。

これらの作業の自動化については、今後検討する必要がある。

備考

本研究の一部は、第133回日本森林学会大会（オンライン、2022）¹²⁾で発表した。また、開発した植栽機械は、特許を出願した（特開2024-053768）。

参考文献

- 1) 北海道採種園整備方針，北海道，[https://www.pref.hokkaido.lg.jp/fs/5/6/8/1/8/5/0/_/_北海道採種園整備方針\(R4.3改定版\).pdf](https://www.pref.hokkaido.lg.jp/fs/5/6/8/1/8/5/0/_/_北海道採種園整備方針(R4.3改定版).pdf)，2025年12月4日参照。
- 2) 例えば，水産林務部林務局木材課事業体育成グループ：行政の窓 地域ネットワークによる林業担い手確保の取り組みについて，林産試だより 2017年1月号，13(2017)。
- 3) 北海道コンテナ苗利用拡大推進方針，北海道，[https://www.pref.hokkaido.lg.jp/fs/1/1/4/8/8/1/0/2/_/_コンテナ苗利用拡大推進方針\(改定\)_参考資料あり.pdf](https://www.pref.hokkaido.lg.jp/fs/1/1/4/8/8/1/0/2/_/_コンテナ苗利用拡大推進方針(改定)_参考資料あり.pdf)，2025年12月4日参照。
- 4) 北海道のコンテナ苗の取り組み-水産林務部林務局森林整備課，<https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/srs/konte25/kontenatorikumi.html>，2025年12月4日参照。
- 5) （独法）森林総合研究所他：低コスト再生林の実用化に向けた研究成果集，16(2013)。
- 6) 北海道林業事業体登録情報，<https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/rrm/tourokuseido/tourokuseido-top.html>，2025年10月9日参照。
- 7) 道総研 林業試験場・林産試験場：カラマツ播種コンテナ苗の育苗方法とコンテナ苗運搬・植栽システム，26-28(2019)。
- 8) 来田和人，今博計：土壌硬度によってコンテナ苗植栽器具の作業効率はどう変わるか，光珠内季報 **192**，12-16(2019)。
- 9) 八坂通泰：カラマツ人工林における植栽密度と伐期の再考，北方林業 **65**，350-354(2013)。
- 10) 滝谷美香：カラマツ・トドマツ人工林施業の低コスト化へ向けた植栽，育林方法，北方森林研究 **62**，3-6(2014)。
- 11) 佐々木尚三：北海道に適した伐採作業システムとそれを考慮した再生林植栽仕様，北方森林研究 **62**，7-10(2014)。
- 12) 近藤佳秀：電動ドリルによるトドマツコンテナ苗用植栽穴の穿孔条件，第133回日本森林学会大会学術講演集，E4 造林1，97(2022)。

—技術部 製品開発グループ—

—*1：林業試験場森林経営部 経営グループ—

—*2：林業試験場 副場長—

(原稿受理：2025.12.9)