

# 林産試験場報

## 研究記録

- トドマツ原木の含水率推定方法の検討 ..... (1)  
土橋 英亮
- 木柵支柱の傾きを利用した劣化診断対象の抽出手法の検討 ..... (5)  
今井 良
- AIによるカラマツ木口面の欠点および年輪検出技術の開発 ..... (13)  
橋本 裕之, 北橋 善範, 須賀 雅人, 近藤 佳秀
- トドマツコンテナ苗用植栽機の開発 ..... (22)  
近藤 佳秀, 渡辺 一郎, 来田 和人

2026

553号



# トドマツ原木の含水率推定方法の検討

土橋 英亮

## Study on an estimation method for moisture content in todomatsu (*Abies sachalinensis*) logs

Hideaki TSUCHIHASHI

キーワード：トドマツ，原木，含水率

### 1. はじめに

北海道のトドマツ人工林資源は成熟化が進み，出材量の増加が見込まれることから，トドマツ人工林材の利用促進・用途拡大が急務となっている。一方，トドマツは生材含水率のばらつきが大きいため，製材の人工乾燥において仕上がり含水率のばらつきが大きくなり，乾燥工程が非効率になる傾向がある。しかし，原木の含水率を推定できれば，原木の適正な用途を判断する指針の一つとなり，製材の乾燥工程を効率化できる可能性がある。本州においては，スギの原木を対象に，原木の動的ヤング係数を測定して含水率を推定する方法が検討され，動的ヤング係数に基づき推定した含水率と全乾法により求めた含水率との間に高い相関が認められることが報告されている。本報ではスギの事例を参考に，トドマツ原木の動的ヤング係数から原木の含水率を推定する方法について検討した。

### 2. 実験方法

試験に用いたのは，長さ3.65mの北海道産トドマツ原木381本で，産地と径級は第1図と第1表のとおりである。

試験は以下の順序で行った。

- ①供試原木をバーカーにかけて剥皮
- ②打撃音法により動的ヤング係数を測定
- ③原木の両木口と，長さ方向の中央部から節を避け  
て厚さ約30mmの円盤を計3枚採取（第2図）
- ④円盤の質量を測定
- ⑤浮力法により円盤の体積を測定

⑥円盤を105℃のオーブンで72時間乾燥して全乾質量を測定

また，3地域（喜茂別町・旭川市・白糠町）の供試原木については，円盤採取後に残った部分から第3図に示す断面寸法の製材を採取し，生材質量を測定した後に乾球温度105℃の乾燥機で5日間乾燥して全乾質量を測定し，生材含水率を求めた。



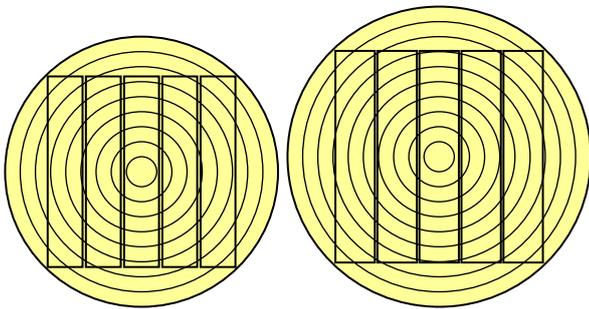
第1図 供試原木の産地

第1表 供試原木の産地・径級別本数

径級 (cm)	喜茂別町	旭川市	当麻町	美瑛町	白糠町
18	46	25	25		45
20	5	25	25	100	5
24			17		
26			17		
28			16	30	



第2図 採取した円盤の例



径級 18 cm

径級 20 cm

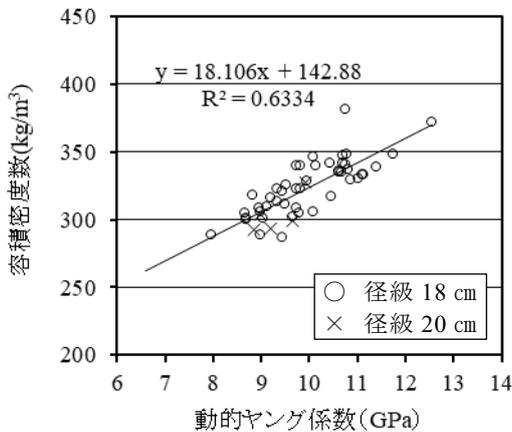
厚さ 23 mm × 幅 127 mm × 5 枚 厚さ 26 mm × 幅 141 mm × 5 枚

第3図 製材の寸法と枚数

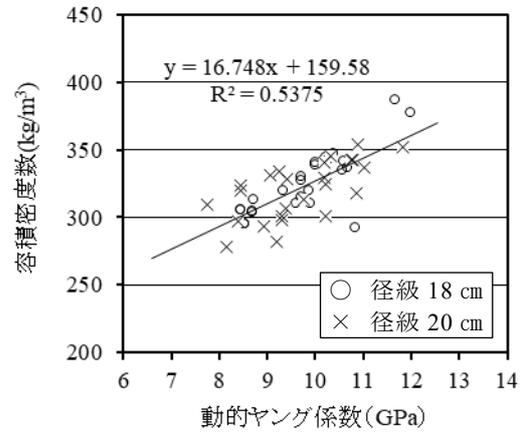
### 3. 結果

#### 3.1 原木の動的ヤング係数と容積密度数

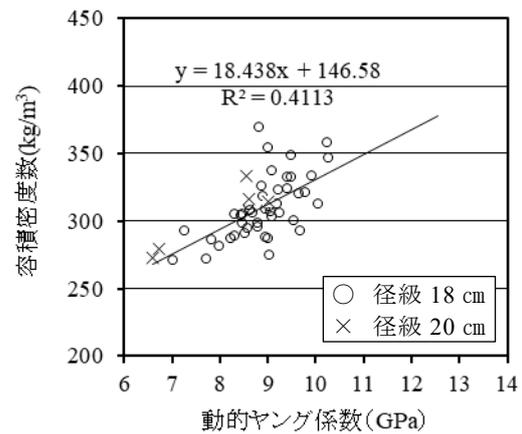
原木の動的ヤング係数と、原木から採取した3枚の円盤の容積密度数の平均値との関係を第4図から第9図に示す。



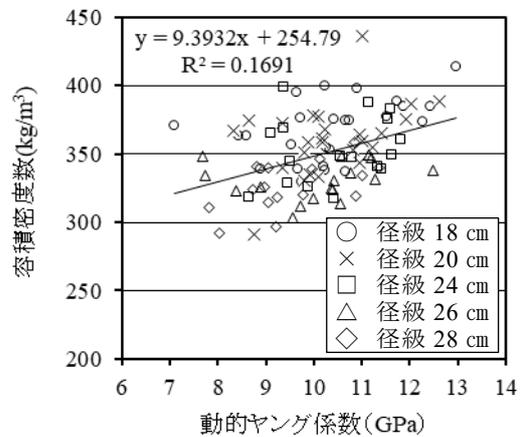
第4図 動的ヤング係数と容積密度数 (喜茂別町)



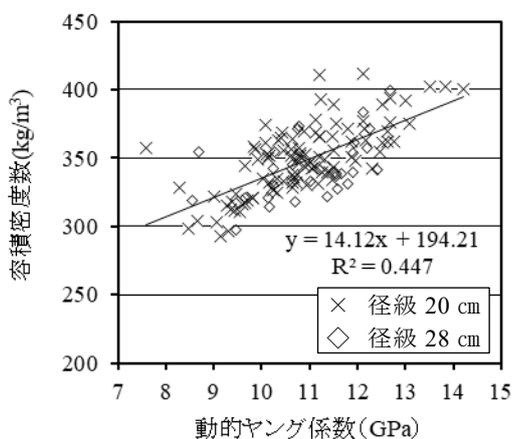
第5図 動的ヤング係数と容積密度数 (旭川市)



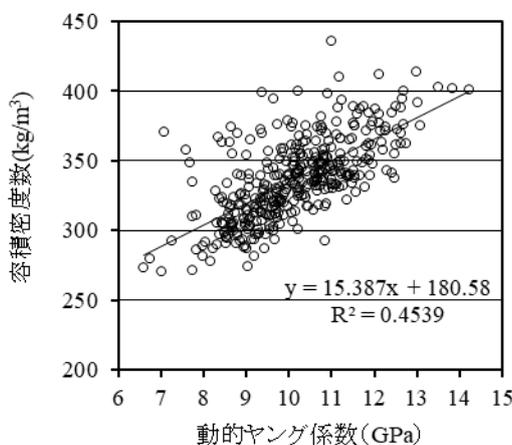
第6図 動的ヤング係数と容積密度数 (白糠町)



第7図 動的ヤング係数と容積密度数 (当麻町)



第8図 動的ヤング係数と容積密度数（美瑛町）



第9図 動的ヤング係数と容積密度数（全体）

### 3.2 原木の推定含水率と実測含水率

含水率の計算式は(1)に示すとおりであるが、容積密度数の計算式(2)を変形した式(3)を式(1)に代入すると、式(4)ができる。

$$u_g = \frac{m_g - m_0}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

$$R = \frac{m_0}{V_g} \quad (2)$$

$$m_0 = R \times V_g \quad (3)$$

$$u_g = \frac{m_g - R \times V_g}{R \times V_g} \times 100 \quad (4)$$

$u_g$  : 生材含水率(%)

$m_g$  : 生材質量(kg)

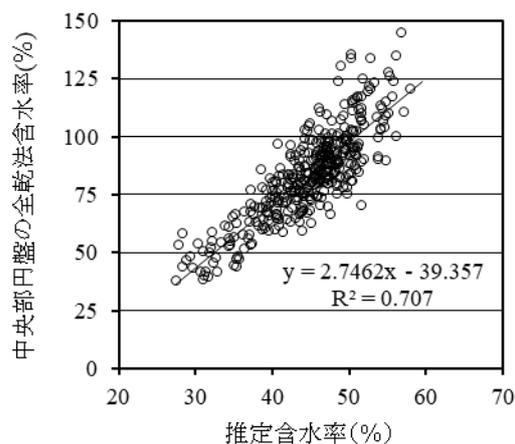
$m_0$  : 全乾質量(kg)

$R$  : 容積密度数(kg/m<sup>3</sup>)

$V_g$  : 生材体積(m<sup>3</sup>)

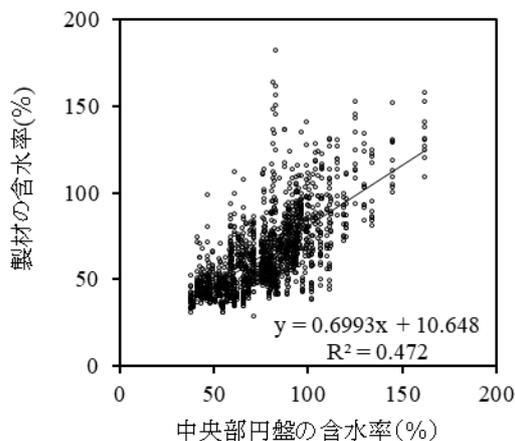
ここで、動的ヤング係数を測定して第8図の近似式により容積密度数を求めると、全乾質量を測定せずに、生材質量・動的ヤング係数・生材体積から含水率を計算することができる。

第10図は、以上の方法で計算した推定含水率と、材長方向の中央部から採取した円盤の全乾法含水率の関係を示したもので、両者には高い正の相関が認められた。



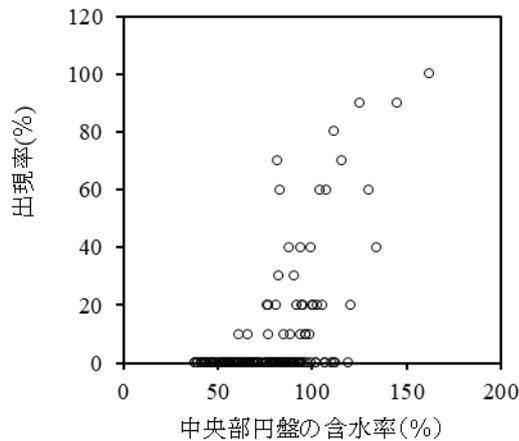
第10図 推定含水率と全乾法含水率（全体）

第11図は、材長方向の中央部から採取した円盤の全乾法含水率と、第3図に示した製材の生材含水率との関係を示したものである。円盤採取の都合上、原木は材長方向に2分割しているため、1枚の円盤に対応する製材は10枚である。トドマツの心材は、部分的に辺材並みの高含水率を示す部位（水食い材）を有することが知られており、同じ原木から得た製材でも含水率の変動が大きい。



第11図 円盤の含水率と製材の含水率

第12図は、材長方向の中央部から採取した円盤の全乾法含水率と、円盤に対応する製材10枚から含水率100%以上の製材が出現する割合との関係を示したものである。含水率100%以上の製材は原木151本中36本から出現し、円盤の含水率が120.6%以上の原木からは、含水率100%以上の製材が少なくとも1枚出現した。一方、円盤の含水率が61.6%未満の原木からは、含水率100%以上の製材が出現しなかった。



第12図 円盤の含水率と含水率100%以上の製材の出現率

#### 4. まとめ

今回の試験では、北海道内5地域のトドマツ原木計381本を対象に、動的ヤング係数と容積密度数の関係を調査し、全乾質量を測定せずに、生材質量・動的ヤング係数・生材体積から含水率を推定する方法を検討した。その結果、全乾法により実測した含水率と推定含水率には正の相関が認められた。この方法により原木の含水率を推定すれば、含水率の高い原木からは人工乾燥が比較的容易な小断面製材を採材し、含水率の低い原木からは断面の大きい正角材や平角材を採材する、というような原木の使い分けが可能になると考えられる。

#### 5. 参考文献

- 1) 山吉栄作, 中山伸吾: スギ中径材の強度及び含水率の推定方法に関する研究 平成27年度~29年度(国補・岡三加藤文化振興財団研究助成金), 三重県林業研究所業務報告書, **53**, 22(2016).

—技術部 生産技術グループ—  
(原稿受理: 2025.10.24)

# 木柵支柱の傾きを利用した劣化診断対象の抽出手法の検討

今井 良

## Investigation of a method for identifying deterioration diagnosis targets based on the tilt of wooden fence posts

Makoto IMAI

キーワード：木柵，維持管理，点検手法，傾斜角，ピロディン

本研究は，帯広広尾自動車道に設置された立入防止柵の維持管理業務の負担軽減のため，支柱群の劣化傾向を把握し，優先的に点検すべき対象を効率的に抽出する手法の検討を行い，管理者の維持管理方針の検討に資することを目的とした。平成 17～19 年に設置された支柱のうち，3 本おきに抽出した計 400 本を対象としてピロディン調査と傾斜角測定を実施した。その結果，15 年経過した対象には約半数で地際部の劣化が認められ，人力で水平加力を与えた際に得られた傾斜角とピロディン打ち込み深さ (Pe 値) との相関関係が認められた。また，Pe 値と支柱柱脚部の回転剛性にも相関関係が認められたことから，水平加力した時の傾斜角で対象支柱の健全性を推定できる可能性が示された。

### 1. はじめに

屋外木質構造物の維持管理業務における定期点検は，人力に頼るため作業手間や実施コストの点で大きな負担となっており，より簡易な点検手法が求められている。特に，高規格道路の立入防止柵のような延長が数十キロにも及ぶ木柵の場合，全数を対象とした点検は現実的ではない。

立入防止柵の指定管理者への聞き取り調査によれば，道路構造物の点検業務は，主として徐行運転した車両からの目視で行われており，木柵に傾きやゆがみが認められた場合のみ，停車して目視や触診による異状確認が行われている。しかし，このような確認手法は経験則に基づいているだけで，確認した異状から定量的に劣化を評価するエビデンスはない。

著者は，高規格道路の立入防止柵の耐用年数推定に関する既往の研究<sup>1)</sup>において，柱脚部に顕著な劣化を有する支柱が傾斜する傾向があることを確認している。点検が必要な支柱を車上から抽出することができれば，効率的に点検業務を行うことが可能となる。

本稿では，支柱の傾斜角と劣化の関係を定量的に評価し，劣化診断すべき対象の抽出手法の構築を試みた。

### 2. 調査対象および試験方法

#### 2.1 屋外調査

##### 2.1.1 調査対象

調査対象は，高規格道路である帯広広尾自動車道の木材保存剤 (AZNA または ACQ) で注入処理されたカラマツ製立入防止柵 (第1図) の支柱とした。調査した支柱は，帯広市昭和町～幸福町の約7kmの範囲の上り線・下り線の両側へ平成17～19年の間に施工されたもので，施工年や施工箇所を満遍なくカバーするため，施工年ごとに連続する3本ごとに1本を対象とし，合計100本調査した。調査対象の一覧を第1表に示す。



第1図 帯広広尾自動車道の立入防止柵

第1表 調査対象一覧

施工年 /経過年	処理 薬剤	支柱		本数 ( )は傾斜角 測定数
		直径 (mm)	高さ (mm)	
H17/16年	ACQ	125	1500	100 (300)
H17/16年	AZNA	125	1500	100 (300)
H18/15年	ACQ	150	1500	57 (171)
H18/15年	AZNA	150	1500	43 (129)
H19/14年	ACQ	150	1500	100 (300)

### 2.1.2 ピロディン調査

支柱は土中に直接建て込まれた掘立て構造で、腐朽劣化は主に土壌に接した地際部で生じていた。このことから、地際部を対象にピロディン（富士テック(株)製フジピロディン6J）調査を行い（第2図）、ピロディン打込み深さ（ $Pe$ 値）を測定した。測定部位は木柵の正面側と裏側、両横側の4点とした。 $Pe$ 値は40mmまで読み取ることができるが、読み取り限界を超えた場合には一律42mmとして記録した。得られた4点の平均 $Pe$ 値を求め、平均 $Pe$ 値から推定断面欠損深さ $D$ を式(1)<sup>2)</sup>より算出し、式(2)から断面二次モーメント $I$ を算出した。

$$D = Pe_a - 14.5 \quad \dots (1)$$

$$I = \pi(r - D)^4 / 4 \times 10^{-4} \quad \dots (2)$$

ここで、 $D$ ：推定断面欠損深さ(mm)、 $Pe_a$ ：平均 $Pe$ 値(mm)、 $I$ ：断面二次モーメント( $cm^4$ )、 $r$ ：元の断面半径(mm)である。

### 2.1.3 傾斜角度測定

調査対象の支柱は、高さ1100mmの位置に傾斜角時計を当て、非加力時の支柱の傾斜角を測定した（第3図）。また、支柱は水平部材で連結されていることから、両脇の支柱の傾斜角も合わせて測定した。4点の $Pe$ 値の平均値が30mmを超えた支柱について、高さ1100mmの位置でナイロンスリングとフォースゲージを用いて水平方向へ人力により250Nを加力し、その時の傾斜角を測定した（第4図）。

人力（250N）で水平加力した時に測定した傾斜角から式(3)で柱脚の回転剛性 $K$ を求めた。柱脚の回転剛性は、外力を受けた支柱に生じるモーメントに対して、柱脚部がどの程度回転を抑えられるかを示す

指標で、一般に構造力学で定義される。

$$K = \Delta M / \Delta \theta \quad \dots (3)$$

ここで、 $K$ ：回転剛性 ( $kN \cdot m / rad$ )、 $\Delta M$ ：モーメント変化量 ( $kN \cdot m$ )、 $\Delta \theta$ ：回転角変化量 ( $rad$ ) である。



第2図 ピロディン調査の様子（支柱の地際部）



第3図 非加力時の支柱の傾斜角測定の様子



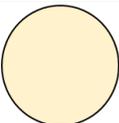
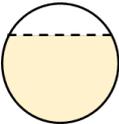
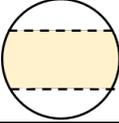
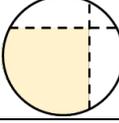
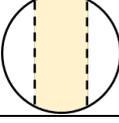
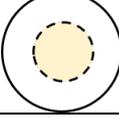
第4図 水平方向への人力による加力の様子

## 2.2 強度試験

### 2.2.1 試験体

立入防止柵と同じ直径120mmのカラマツ円柱加工材（長さ1800mm）に対して、強度試験機による支柱の引き倒し試験を行った。試験体には腐朽被害により強度を負担できない欠損部が生じていると仮定し、第2表に示す6パターンに柱脚部を切削加工した。加力方向をX軸とし、X軸に欠損が1面あるパターンをパターンA、2面あるパターンをパターンB、X軸とY軸に1面ずつあるパターンをパターンC、Y軸に2面あるパターンをパターンD、4面（全周）欠損しているパターンをパターンEとし、対照として健全な支柱を想定した無切削をパターンNとした。いずれも切欠きの長さは120mmで、深さは15mm、25mm、35mmの3種類とした。試験体数は各3体としたが、パターンAを除くパターンB～Eの切欠き深さ25mmは各1体とした。なお、カラマツ円柱加工材は、事前に縦振動法により動的ヤング係数 $E_H$ でグレーディングし、パターンごとに $E_H$ が偏らないように分配した。

第2表 試験体の加工パターン

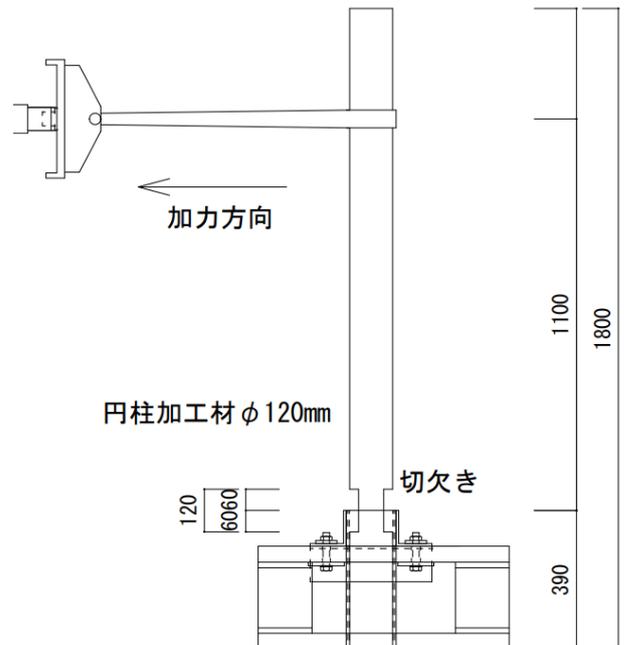
パターン	切欠き内容	断面図 ※加力方向は上から下	切欠き深さ (mm)	試験体数
N	無切削		0	3
A	加力方向 1面欠損		15	3
			25	3
			35	3
B	加力方向 2面欠損		15	3
			25	1
			35	3
C	加力1面 直交1面 欠損		15	3
			25	1
			35	3
D	直交方向 2面欠損		15	3
			25	1
			35	3
E	4面欠損		15	3
			25	1
			35	3

### 2.2.2 試験方法

試験は繰り返し試験機（(株)岩崎製、容量200kN）を用いた。支柱は、地盤を模した基礎鉄骨に鉛直に設置し、高さ1100mmの部位にナイロンスリングを掛けて、ナイロンスリングを介した引き方向の単調加力を加え、支柱が破壊するまで加力した（第5図）。

ロードセルにより荷重値を、ワイヤー式変位計（(株)共和電業製、容量500mm）により高さ1100mmの水平変位を測定し、高さと水平変位より算出した支柱の傾斜角と荷重の関係を得た。

強度試験機による試験に先立ち、2.1.3と同様に人力による加力（250N）を行って傾斜角を測定した（第6図）。



第5図 支柱の引き倒し試験（単位:mm）



第6図 屋内での人力による加力試験

### 3. 結果と考察

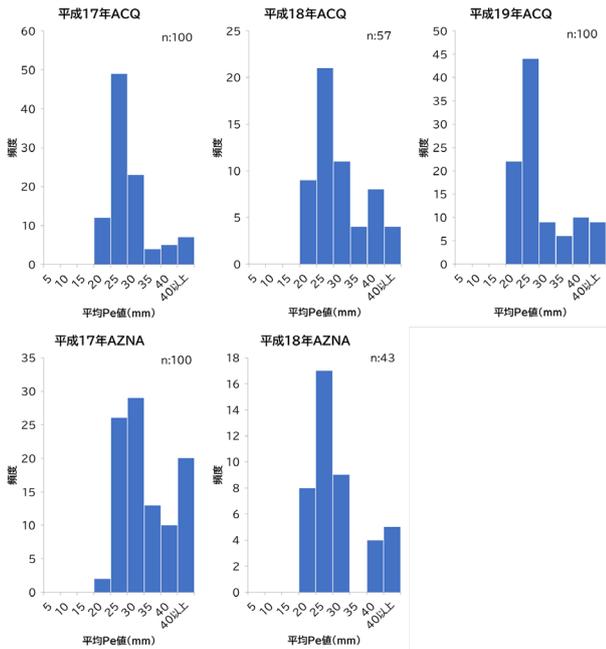
#### 3.1 屋外調査結果

##### 3.1.1 ピロディン試験

調査エリアごとに支柱の平均Pe値のヒストグラムを示す(第7図)。健全なカラマツのPe値は15mm<sup>1),3)</sup>程度で、地際部のため高含水率条件となり2~5mm増大した値が示されている<sup>3),4)</sup>と想定すると、20mm以下の平均Pe値は健全であると考えられる。平成17年の支柱では平均Pe値20mm以下の個体は非常に少なく、特にAZNA処理された支柱では2%程度であった。また、腐朽による劣化が確実に認められる30mm以上の平均Pe値の割合がすべての調査エリアで10%以上確認された。平成17年のAZNA処理された支柱では、約半数が30mm以上の平均Pe値であり、エリア全体で早急な劣化診断や交換措置等が必要と考えられる。

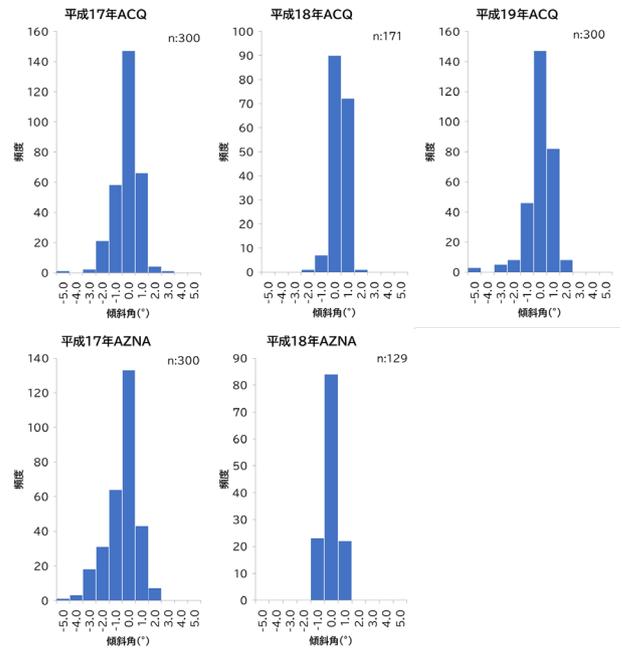
##### 3.1.2 非加力時の傾斜角測定結果

支柱の傾斜角の測定結果を、ヒストグラムで示す(第8図)。木柵の前方に傾いているものはマイナスで、後方に傾いているものはプラスで傾斜角を示した。平成18年、19年ではおおむね±1度の範囲に収まったが、平成17年は±2度以上傾いた支柱が13%程度確認され、特にAZNA処理された支柱で顕著(約17%)であった。

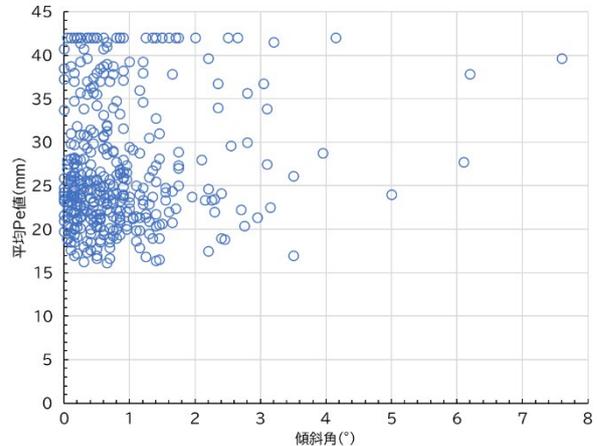


第7図 支柱の平均Pe値のヒストグラム

得られた傾斜角と平均Pe値の関係を第9図に示す。傾斜角が2°以上でも平均Pe値が16~17mm程度のもの、平均Pe値が42mm以上(ピロディン測定限界)でも傾斜していないものなどが多数確認でき、明確な関係性は見いだせなかった。これは施工当初の木柵支柱の傾斜角が0°であったという確証がなく、施工当初から既に傾斜していた可能性も考えられる。つまり、外力を与えていない非加力時の傾斜角を用いて支柱の異状を発見するには、施工当初から現時点までの傾斜角の変動量を見る必要があり、初期の傾斜角データを備えておくことが必須であると考えられる。



第8図 支柱の傾斜角のヒストグラム

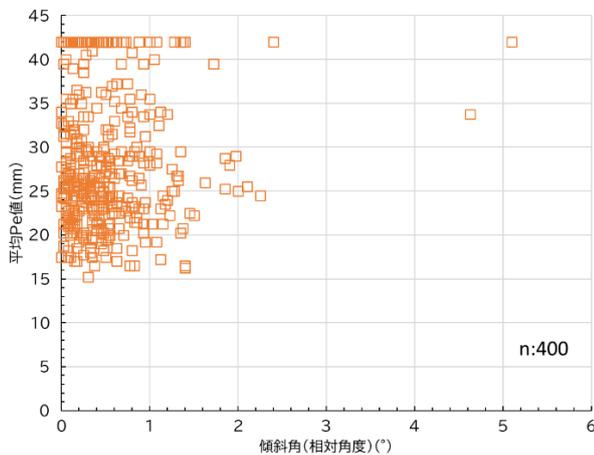


第9図 支柱の傾斜角(絶対角度)と平均Pe値の関係

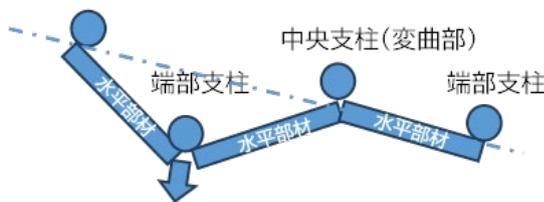
次に、測定対象支柱に隣接する左右の支柱の傾斜角を用いて、第10図のように上から見た場合の支柱頂部の位置関係が「への字」状で、かつ変曲部（への字の頂点）の角度 $\theta$ が相対的に大きくなる支柱に異状が存在するという仮説を立てた。この仮説に基づいて、両隣の支柱の傾斜角の平均値と中央の傾斜角の差分を傾斜角（相対角度）と定義した。平均Pe値と相対角度の関係を第11図に示す。相対角度が $2^\circ$ 以上の対象には何らかの劣化が生じている可能性は示唆されたが、明らかな傾向は見いだせなかった。今回は支柱3本の位置関係で検討したが、実際には「への字」の端部の支柱が最も傾斜（第12図）している可能性もあり、より多くの支柱を対象に相対角度を見るべきであることが示唆された。また、任意のタイミングで得られる傾斜角のみで異状を判断できる



第10図 木柵の上面図イメージ（への字）



第11図 傾斜角（相対角度）と平均Pe値の関係

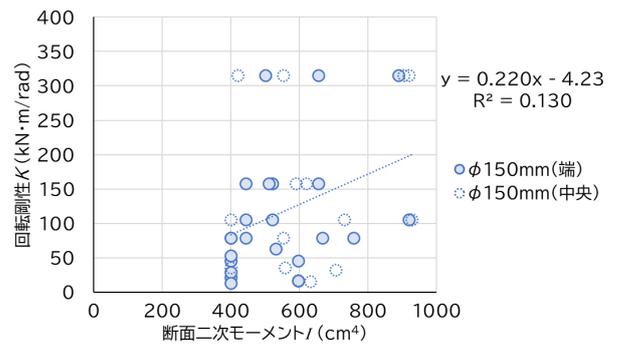
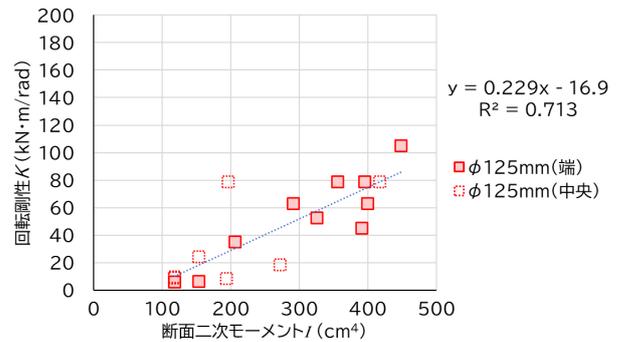


第12図 端部支柱が最も傾斜した上面図イメージ

ケースは限定的であったことから、時間経過による傾斜角の変動データ、つまりは初期値の重要性が示唆された。

### 3.1.3 水平加力時の傾斜角測定結果

支柱の断面二次モーメントと回転剛性 $K$ の関係を第13図に示す。直径125mmの支柱では、多少のばらつきはあるものの概ね相関関係が認められた。一方で直径150mmの支柱では、回転剛性が約 $315\text{kN}\cdot\text{m}/\text{rad}$ の7体が全体の傾向から大きく外れる結果となった。帯広広尾自動車道の木柵の仕様上、隣り合う支柱同士を連結する水平部材が、支柱3本（2スパン分）にまたがって取り付けられているため（第14図）、中央部に該当する支柱の結果には水平部材の曲げ剛性が加算されているためと考えられた。しかし、水



第13図 支柱の断面二次モーメントと回転剛性の関係（上図： $\phi 125\text{mm}$ 、下図： $\phi 150\text{mm}$ ）



第14図 1本で2スパン分の水平部材

平部材の端部にあたる支柱のデータのみ抽出して再検討したが、直径125mmではやや相関が向上した一方で、直径150mmでは明確な変化は見られず、端部の支柱にも外れ値が存在していることがわかった。このことから、今回の水平加力（250N）では、直径150mmの支柱に十分な曲げ変形を生じさせることができず、得られた傾斜角の数値が地盤の緩みなどによる誤差の影響を強く受けたと考えられる。また、直径150mmの支柱における断面二次モーメントが約400cm<sup>4</sup>の7対象については、平均Pe値が42mmでピロディンの測定限界を超えていたため、実際には42mm以上の深いPe値が得られるほどの劣化が生じていた可能性があり、断面二次モーメントが過大評価された結果であると考えられる。

直径125mmと150mmの回帰式の傾きが約0.22と近似した。これは、片持ち梁の支点の回転角度 $\theta$ の理論式(4)より、回転剛性 $K$ の式(3)から曲げヤング係数 $E$ と加力点高さ $L$ の関係式(5)が導かれ、 $K$ と $I$ の関係式の傾き $a$ は式(6)で与えられるため、直径が異なっても $a$ は断面二次モーメント $I$ の影響を受けず、個体差はあっても近似した値になるのは自明なためである。

$$\theta = FL^2/2EI \quad \dots (4)$$

$$K = M/\theta = FL/(FL^2/2EI) = 2EI/L \quad \dots (5)$$

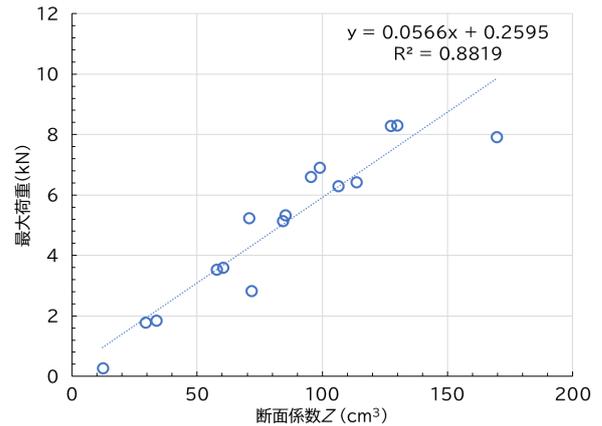
$$a = K/I = 2E/L \quad \dots (6)$$

ここで、 $\theta$ :片持ち梁の支点の回転角(rad)、 $F$ :水平荷重(N)、 $L$ :加力点高さ(m)、 $E$ :弾性係数(kN/mm<sup>2</sup>)、 $I$ :支柱の断面二次モーメント(cm<sup>4</sup>)、 $K$ :支柱地際部の回転剛性(kN・m/rad)である。

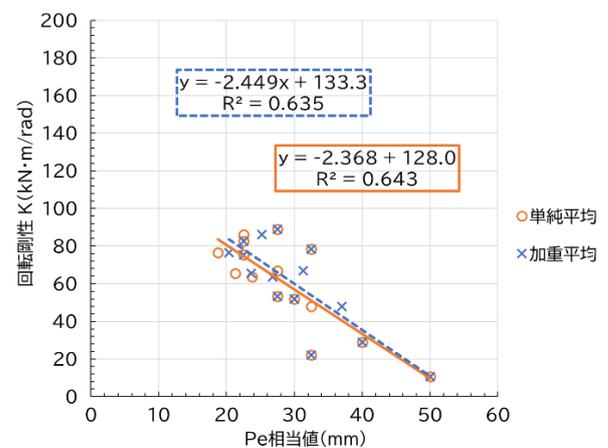
例えば、カラマツ円柱加工材の曲げヤング係数 $E$ を12 kN/mm<sup>2</sup>であると仮定した場合、傾き $a$ は0.22 kN・m/cm<sup>4</sup>となり、回帰式の傾きにはほぼ合致する。このことから、直径150mmの支柱には様々な誤差の要因が含まれた結果であることが明らかである。

### 3.2 強度試験結果

最大荷重と断面係数 $Z$ の関係を第15図に示す。各パターン(N,A15,A25,A35,B15,...E35)の値は1~3体の平均値で示した。全周切り欠いたEについては、深さ35mmの試験体(E35)が人力による250N加力で1体破壊したため、ここには2体分の平均値で示している。最大荷重と断面係数には一定の相関が認められた。



第15図 最大荷重と断面係数の関係



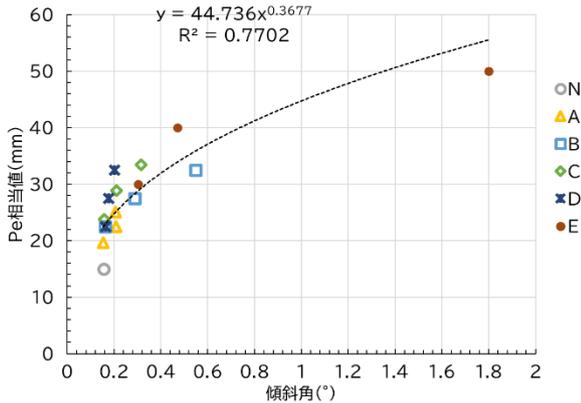
第16図 回転剛性とPe相当値の関係

次に、柱脚部の回転剛性とPe相当値の関係を第16図に示す。Pe相当値は切欠き深さを断面欠損深さ $D$ とみなして2.1.2の式(1)より算出した。また、4点の単純平均値 $Pe_a$ と、断面二次モーメントが断面の加力方向の長さを3乗していることから考案した式(7)により加力方向のPe値を加重した加重平均値 $Pe_w$ を示した。

$$Pe_w = \sqrt[4]{((Pe_1 + Pe_3)/2)^3((Pe_2 + Pe_4)/2)} \quad \dots (7)$$

ここで、 $Pe_w$ :加重平均値(mm)、 $Pe_1, Pe_3$ :加力方向のPe相当値(mm)、 $Pe_2, Pe_4$ :加力と垂直方向のPe相当値(mm)である。

$Pe_a, Pe_w$ のいずれも回帰直線の当てはまりが良く、回転剛性と強い相関があるといえる。加力方向のPe値を加重平均した方が、回転剛性と相関が高くなると想定していたが、今回の結果からは単純平均した結果との差異は認められなかった。



第17図 Pe相当値と250N加力時傾斜角の関係  
(凡例の記号は表2参照)

最後にPe相当値と250N加力時傾斜角の関係を第17図に示す。線形近似でも高い相関があったが、累乗近似することでより回帰式の当てはまりが向上した。回帰式では傾斜角の0.3677乗となっているが、 $0.3677 \approx 1.1/3$ であり、これはほぼ3乗根に等しく、 $0.2^\circ \sim 2^\circ$ の範囲での誤差は5%未満である。回帰式の指数を1/3と置き換えて、両辺を入れ替えると式(8)のように変形することができる。

$$TA = 1.117Pe^3 \times 10^{-5} \quad \dots (8)$$

ここで、 $TA$ は傾斜角( $^\circ$ )である。

この関係式より、 $Pe$ 値の3乗と傾斜角との間に比例関係が成立することが示唆される。 $Pe$ 値の3乗は、加力方向の断面欠損長さを3乗することに相当し、断面二次モーメントに関連する量である。したがって、断面二次モーメントと密接に関係する部材剛性と変形角との比例関係を考慮すれば、本結果は力学的にも整合する。

#### 4. 結論

本研究では、限られた予算や時間の中で効率的に木柵構造物の定期点検を行うことを目的とし、劣化した対象を優先的に抽出する手法の開発を試みた。そのため、木柵支柱の傾斜角に着目し、実用可能性の検討を行った。

その結果、以下の知見が得られた。

- ・設置後15年以上経過した木柵では、支柱地際部の約半数で平均 $Pe$ 値が30mmを超えていた。
- ・木材保存剤の種類によって平均 $Pe$ 値に差がみられ、

ACQよりもAZNAを使用した支柱で $Pe$ 値が高い傾向が示された。

- ・加力していない支柱の傾斜角（絶対角度・相対角度）は平均 $Pe$ 値と相関せず、初期傾斜角からの変化量を評価する必要があることが示唆された。
- ・人力による水平加力で得られた傾斜角と、 $Pe$ 値から推定した断面欠損深さをもとに算出した断面二次モーメントは、直径125mmの支柱では相関関係を示したが、直径150mmの支柱では250Nの水平加力では不十分であることが明らかとなった。
- ・切欠きパターンごとに推定した $Pe$ 値と、引き倒し試験から算出した回転剛性との間に強い相関が認められ、 $Pe$ 値から推定する断面欠損深さの妥当性が裏づけられた。
- ・ $Pe$ 値の3乗と加力時の傾斜角との間に比例関係が成立する可能性が示唆された。

これらの結果から、支柱を水平加力した傾斜角を測定することで地際部の $Pe$ 値や残存強度を推定できる可能性が示された。本研究で得られた知見は、劣化した対象を優先的に抽出するための新たな診断手法として活用できることを示唆している。

一方で、加力を行わない支柱の傾斜角の活用には、初期値との関係性を明らかにする必要がある。今後は新設木柵の初期傾斜角を記録し、経年劣化との関係を追跡することで、UAV（ドローン）や走行車両からの目視点検による抽出手法の構築を目指す。また、異なる木柵構造物を対象に、加力時の傾斜角を利用した診断手法の実証と精度検証を行い、点検業務の効率化および木柵構造物の需要拡大に資する実用的手法の確立を図る。

#### 参考文献

- 1) 今井良, 小林裕昇, 宮内輝久, 伊佐治信一, 平間昭光, 戸田正彦, 藤原拓哉, 前田典昭, 笠間聡: 保存処理木材を用いた高規格道路用木製立入防止柵の劣化調査. 日本木材学会大会研究発表要旨集(完全版)(CD-ROM), **67**, N18-P2-12(2017).
- 2) 今井良, 小林裕昇, 笠間聡: 北海道の高規格幹線道路に設置されたカラマツ材製立入防止柵の耐用年数推定. 木材利用研究論文報告集, **18**, 25-33(2019).

- 3) 山田昌郎, 森満範: 木材の含水率とピロディン打込み深さの関係. 土木学会第 70 回年次学術講演集, 771-772 (2015). 木材学会大会研究発表要旨集(完全版)(CD-ROM), 68, N15-P-12(2018).
- 4) 今井良, 小林裕昇: インサイジングが含水率とピロディン打ち込み深さに与える影響. 日本  
一性能部 構造・環境グループ  
(原稿受理: 2025.12.03)

# AI によるカラマツ木口面の欠点および年輪検出技術の開発

橋本 裕之, 北橋 善範, 須賀 雅人, 近藤 佳秀

## Development of AI-based technology for detecting defects and growth rings on Japanese larch end-grain surfaces

Hiroyuki HASHIMOTO, Yoshinori KITAHASHI, Masato SUGA, Yoshihide KONDO

*Keywords* : Computer vision, instance segmentation, end-grain surface, detection of growth ring, defect detection

キーワード : 画像認識, インスタンスセグメンテーション, 木口面, 年輪検出, 欠点検出

カラマツ材の選木作業における品質評価の高度化を目的として、木口面画像に対する AI を用いた欠点および年輪の自動検出技術を開発した。開発したモデルにより、木口面に現れる欠点の自動検出が可能となり、さらに年輪検出技術を応用して平均年輪幅の分布を可視化することで、木口面の任意の位置におけるラミナのヤング率推定の可能性を示した。

### 1. はじめに

林業や製材業において、原木の選木工程は依然として熟練者の目視に頼る部分が多い。選木は木材の品質を確保するための重要な工程であるが、目視作業は時間と労力を要し、その精度も作業者の経験に大きく依存している。特に、木口面に現れる腐れや虫食い、節、心割れなどの欠点の判断は、経験豊富な作業者の技能に頼る部分が大きく、選木の難易度を高めている。しかし、近年では熟練者の高齢化が進む一方、新規就業者の減少や離職率の増加が課題となっており、人手不足が深刻化している<sup>1)</sup>。そのため、目視を支援する技術の導入による作業の効率化と正確性の向上が強く求められている。

木口面には欠点が見れるとともに、年輪パターンからは髓の位置<sup>2)</sup>や年輪幅、未成熟材の範囲などを読み取ることができる。欠点の有無は製材時の歩留まりや製品の外観品質に直結し、年輪情報は木材の強度特性や用途適性の推定に関わる。現状では、熟練者がこれらの情報を総合的に判断して選木を行っているが、AIによる画像認識技術を活用することで、これらの情報を客観的かつ効率的に抽出できる可能性がある。このような技術が確立されれば、製材工場において木材の品質や性能を加工前に把握できるようになり、原木生産のコスト削減や選木作業の省

力化に大きく貢献すると考えられる。

本報告では、カラマツ原木の木口面画像からAIによる画像認識技術を活用し、欠点検出技術および年輪パターン抽出技術の開発に取り組んだ結果を報告する。

なお、一般に深層学習に必要な画像は数千枚以上とされているが<sup>3)</sup>、伐採現場の樅積みには必ずしも欠点を含む原木が多く存在するわけではなく、実用的な学習モデルの作成に要する画像を集めるのは極めて困難であったため、まずはPoC (概念実証) としてAIによる欠点検出の実現可能性を検証することを目的とし、学習モデルの精度評価については今後の課題とした。

### 2. 実験方法

#### 2.1 欠点の検出技術の開発

##### 2.1.1 欠点の種類

カラマツの木口面に現れる欠点には、主に腐れ、虫食い、節、巻き込み、目廻り、心割れがあり、それぞれの画像を第1図に示す。第1図では欠点の特徴を明確にするため、1枚につき1種類の欠点を含む画像を示しているが、実際の木口面では複数の欠点が同時に現れることが多い。

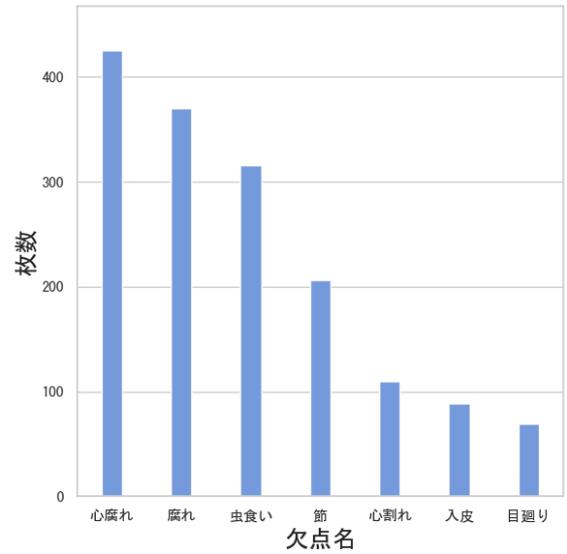


心腐れ 腐れ 虫食い 節 入皮 目廻り 心割れ

第1図 カラマツ木口面の欠点の種類



第2図 カラマツ木口面の撮影の様子



第3図 欠点の内訳

## 2.1.2 データセットの作成

### a) 画像の収集

木口面の撮影は、伐採後の土場において桎積みされた原木に対してカメラを構えて行った。撮影の様子を第2図に、撮影条件を第1表に示す。欠点を含む画像は1,372枚を収集した。各欠点の内訳は第3図の通りである。

### b) データクリーニング

本アルゴリズムの学習用データセットを構築するにあたり、認識精度を低下させる要因となる日陰、雪・泥の付着、手振れといったノイズを含む不良画像を、あらかじめ手動で学習対象から除外した。

### c) アノテーション

データクリーニングを行った画像に対し、インスタンスセグメンテーションの学習に必要な教師データの作成（アノテーション）を行った。作業には、オープンソースソフトウェアのLabelme<sup>4</sup>を用いた。

各画像について、欠点領域の輪郭を多角形（ポリゴン）でトレースし、その領域に対して事前に定義した欠点種別のラベル（欠点の名称）を付与した。

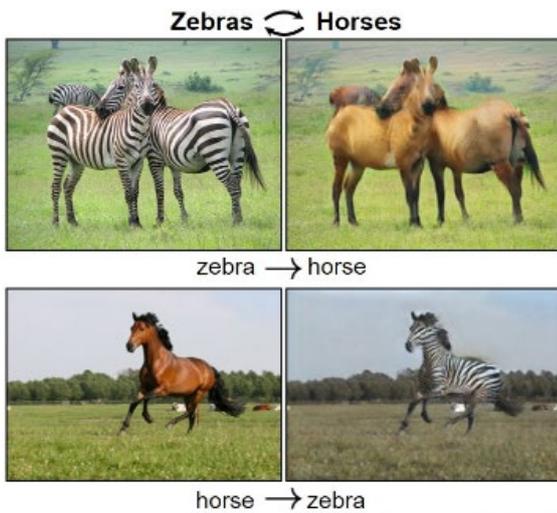
第1表 カラマツ木口面の撮影条件

項目	条件
機種	EOS10Kiss×10(Canon)
画素数	4000×4000
アスペクト比	1:1
撮影モード	オート

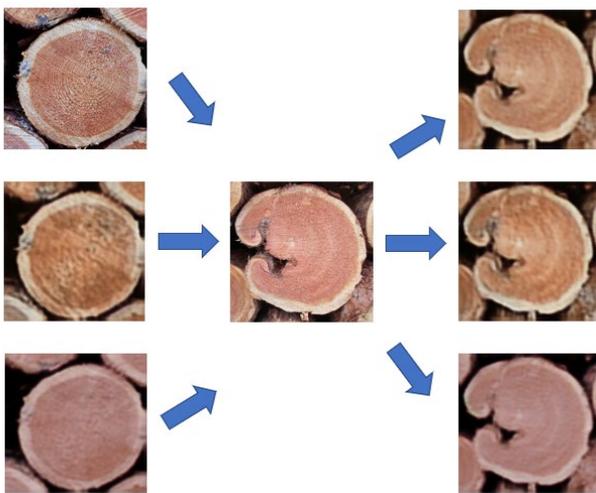
この一連の作業により、欠点の位置、形状、および種類をピクセル単位で定義することが可能となる。

### d) データクレンジング

アノテーション作業後に、見落としの有無や誤ったラベル付けがないかを全データについて目視で確認した。さらに学習後に、学習に使用した画像をあえて推論させることで、モデルが検出できなかった欠点や誤検出した欠点からアノテーションの見落としや誤ラベル付けを発見した。このような誤りが発見された際にはアノテーションデータを修正し、再学習を行うことでデータセットの品質向上を図った。



第4図 CycleGANによる画像変換の例  
 画像は文献<sup>5)</sup>より引用し、一部改変



第5図 入皮のCycleGANによるデータ拡張

### 2.1.3 データ拡張

特に画像数が少なかった入皮について、敵対的生成ネットワーク（GAN: Generative Adversarial Network）を活用してデータ拡張を行った。GANは画像を生成するAI手法の一つであり、本研究では形状を保持したまま色彩や質感を変換可能なCycleGAN<sup>5)</sup>を用いた。CycleGANは第4図に示すように、対象物の形状を変えずに模様や色彩のみを置き換えることが可能な生成モデルである。本研究ではこの仕組みを応用し、第5図に示すように、入皮を含む木口面画像に対して欠点を有しない他の木口面画像の色彩や質感を転写することで、80枚の画像を160枚に拡張した。

第2表 YOLACTによる学習条件

項目	詳細
OS	Windows 11 Pro
CPU	Intel Core(TM) i7-12700K
GPU	NVIDIA GeForce RTX 3080(10GB)
python	3.8.0
CUDA	11.3
フレームワーク	PyTorch 1.11.0+cu113
バックボーン	Resnet50
学習率の初期値	0.001
バッチサイズ	4
学習終了条件	bbox の loss が 0.2 を下回った時点
学習時間	320 [hr]

### 2.1.4 学習条件

本研究における欠点検出では、その種類の判別に加え面積情報も定量的に抽出するために、個々の欠点領域をピクセル単位で識別可能なインスタンスセグメンテーションによる認識アルゴリズムを選定した。そのソフトウェアには、リアルタイム性と精度に優れたライブラリであるYOLACT<sup>6)</sup>を採用した。学習条件を第2表に示す。

### 2.2 年輪パターンの抽出技術の開発

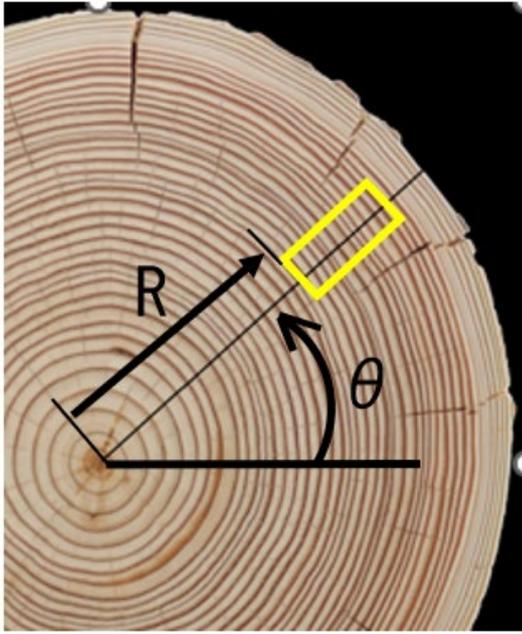
より効率的な年輪検出手法を探るため、AIによらない手法およびAIによる手法（2種類）を試行し、比較を行った。

#### 2.2.1 AIによらない手法 -ルールベース-

AIによらない方法として、ルールベースによる抽出を行った。ルールベースとは、あらかじめ人が決めたルールによって画像の特徴を分析し対象を識別する方法である。ここではまず、第6図<sup>7)</sup>のように、高精細な全体画像を基に、髄を中心として角度 $\theta$ 、半径 $R$ の位置で長方形を切り取った横長の画像を考える。このような切り取り方の場合、年輪は概ね縦方向に向くことになる。

晩材と早材では色合いや明るさが異なるため縞模様に見える。このような場合には、通常のルールベースの手法では白黒画像に変換してから特徴量を数値に置き換える手順を踏む。

第7図<sup>7)</sup>にルールベースの場合の画像処理の内容



第6図 カラマツの木口面<sup>7)</sup>

を示す。(a)は切り取ったカラー画像，(b)は白黒に変換した画像である。白黒変換では，暗い色（晩材部分）が黒，明るい色（早材部分）が白となる。(c)は(b)の各横位置における黒色画素数を集計したヒストグラムである。横軸は画像の横方向の位置，縦軸は黒色画素数を示す。白黒画像の高さが10ピクセルであるため，縦軸の最大値は10となる。ヒストグラムが最大値10に達する位置は，縦方向の全ピクセルが黒色，すなわち晩材部分であることを意味する。(d)はこの晩材部分（ヒストグラムの値が10となる位置）を黒い帯として可視化したものであり，年輪が縦方向の黒い帯として検出されている。この処理を木口面全体について繰り返すことで年輪パターン全体を検出した。

ただし，ルールベースによる画像認識処理は，原木表面の状態に起因する画像劣化の影響を受けやすい。例えば，表面の汚れや割れ，あるいは撮影時のハレーション（光の過度な反射）などが認められる場合，白黒画像への変換処理における閾値の設定が困難となり，結果として画像全体が黒または白に偏ってしまうことがある。このような場合には年輪の境界が不明瞭となり，検出精度を著しく低下させるという欠点を有する。

### 2.2.2 AIによる手法1-インスタンスセグメンテーション

次に，AIを活用した年輪の検出技術としてインスタ



第7図 ルールベースでの処理内容<sup>7)</sup>



(a) オリジナル画像 (b) アノテーション例

第8図 年輪のアノテーション例<sup>7)</sup>

ンスセグメンテーションを用いた手法について述べる。インスタンスセグメンテーションとは画像内の物体を検出し，それぞれの物体を個別にピクセル単位で区分けする手法である。まず，画像を収集してアノテーションを行う。第8図<sup>7)</sup> (a)にアノテーション前のオリジナル画像を，(b)にアノテーション後の画像を示す。(a)は，ルールベースでの方法と同

様に元の全体画像から長方形領域を切り取っている。この操作は、年輪のような微細な構造物の検出精度を向上させるために行う。例えば、木口面画像全体（直径 40cm 程度）に AI モデルを直接適用した場合、年輪のような細く微小な物体（晩材の幅 3mm 程度）が画像サイズに対して相対的に小さすぎるため見逃される可能性がある。そのため本研究では、長方形領域を切り出した画像を AI モデルへの入力データとして用いることで、年輪領域をクローズアップし、検出精度の低下を抑制するアプローチを採用した。(b)はアノテーション例である。画像には心割れが含まれているが、年輪の境界のみをアノテーションし、割れによる黒い線状の模様は対象外とした。これにより、学習後のモデルは割れを無視して年輪のみを検出することが可能になる。このようにアノテーションを施した画像をデータセットとして用い、深層学習による年輪検出モデルを構築した。学習には YOLACT を用いてインスタンスセグメンテーションアルゴリズムの一つであるによるモデル構築を行った。学習に要した時間はおよそ 10 時間であった。

### 2.2.3 AIによる手法2 - SAHI -

本研究では、さらにSAHI (Slicing Aided Hyper Inference: 画像の分割推論による高精度検出)<sup>8)</sup>という手法を応用した年輪の検出方法<sup>9)</sup>を試みた。

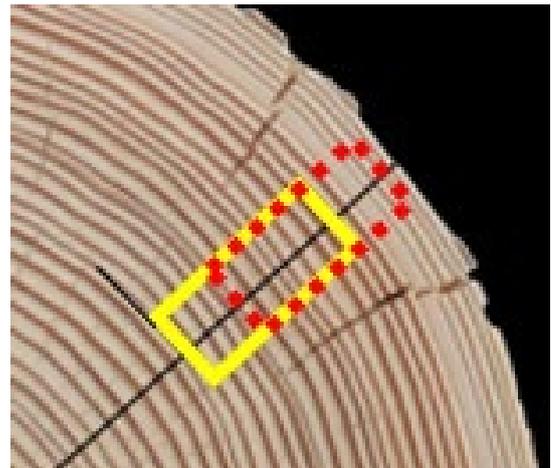
まず、第6図と同様に長方形を切り出すが、第9図<sup>7)</sup>の破線の長方形のように、毎回の切り出し領域を重複させて画像を分割する。推論後にこれらを合成することで、同じ場所が複数回にわたって推論される機会が得られ、検出漏れの低減が期待できる。この処理の様子を第10図<sup>7)</sup>に示す。第10図(a)は元の画像、(b)は重複しながら切り出した画像、(c)は切り出した各画像の推論結果であり、白色部分が晩材である。(c)の中央の画像の中ほどに1本の検出漏れが確認されたが、各推論結果を合成した(d)では、検出漏れが補完されている様子が確認できる。

## 3. 結果と考察

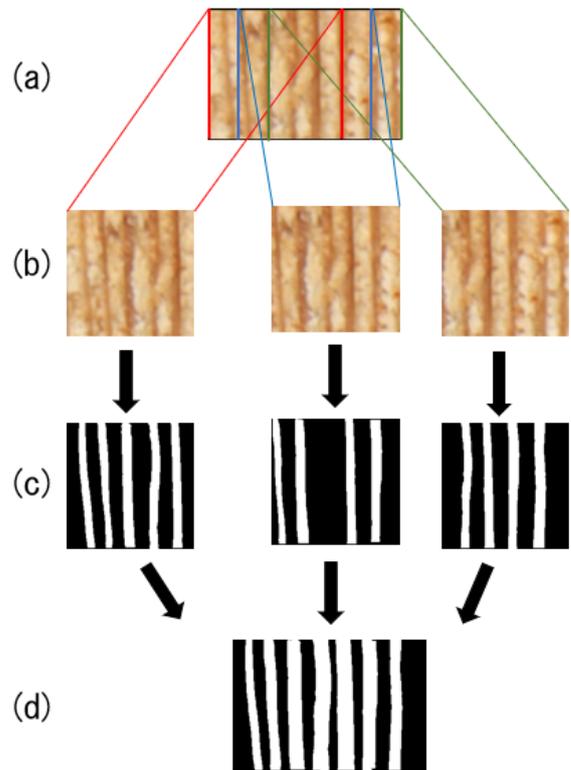
### 3.1 欠点の検出

全ての学習を完了させるまでに要した時間は約 320 時間であった。各欠点の推論結果について以下に示す。

入皮を学習後に推論を行ったところ、欠点のな



第9図 重複させて切出す様子<sup>7)</sup>



第10図 画像を細分割する高精度推論<sup>7)</sup>

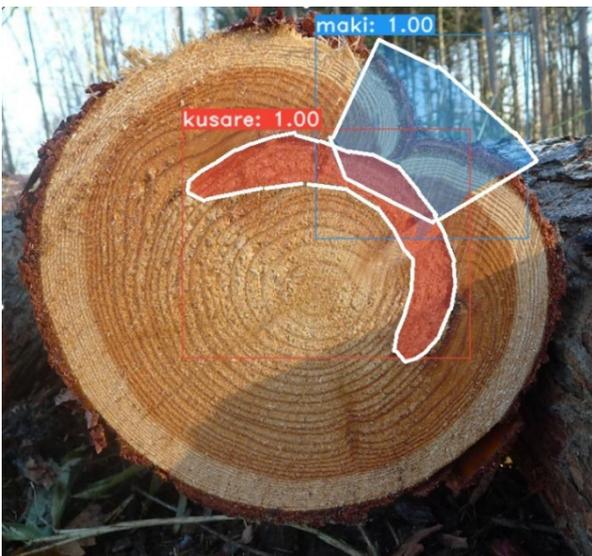
い正常な木口面に対しても入皮があると誤検出した。原因は、アノテーションの際に木口断面の全体の輪郭を対象としたためと考えられる(第11図)。対策として、入皮の特徴的な部分のみを多角形状で囲むアノテーションを行った。その結果、入皮を含む領域のみを正確に検出できることを確認した(第12図)。



第11図 入皮のアノテーション



第13図 節の推論結果



第12図 入皮部分を含む多角形でアノテーションした場合の推論結果

着色部位は AI による欠点検出結果を、数値は信頼度スコア (confidence score) を示す (以降の図も同様)

節の推論結果を第13図に示す。節は欠点の中でも輪郭が鮮明に区別できるため、アノテーションおよび推論結果から検出が容易な欠点の一つと考えられる。

腐れの推論結果を第14図に示す。腐れも節と同様に輪郭が鮮明であるため、検出が容易な欠点といえる。



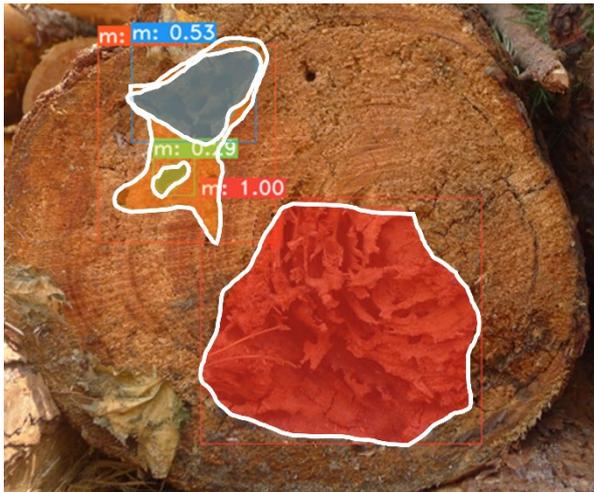
第14図 腐れの推論結果

虫食いの推論結果を第15図に示す。虫食いが進行し空洞に近い状態の場合は検出が容易であると考えられる。しかし、孤立した小さな孔の場合には検出漏れが生じた。原因として、画像サイズに対して孔のサイズが小さいことが考えられる。

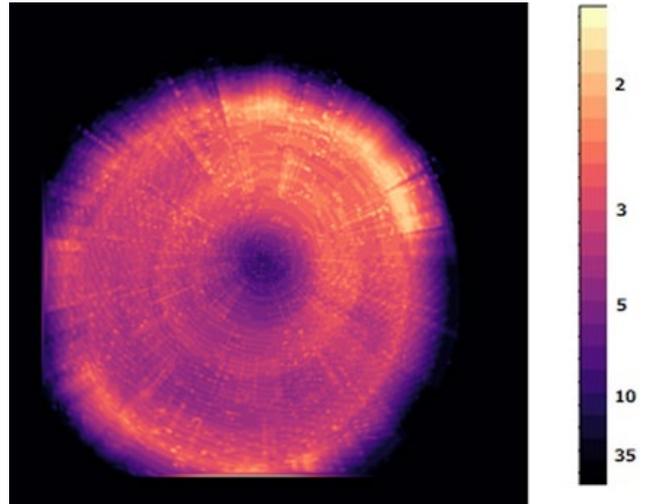
なお、心割れと目廻りについては他研究 (未発表) にて別途詳細な研究を行ったため本稿では割愛する。

### 3.2 年輪パターンの検出

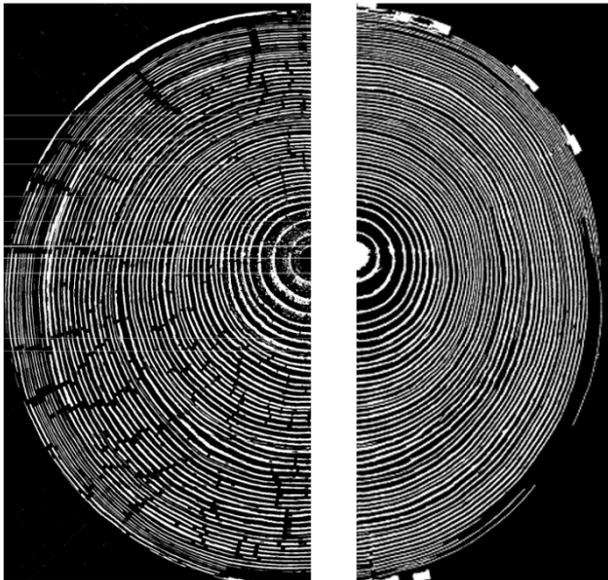
切り出した各画像を合成しながら木口面全体に渡って再構成した結果を第16図<sup>7)</sup>に示す。第16図(a)はルールベースによる結果である。この木口面は、



第15図 虫食いの推論結果



第17図 年輪幅の可視化<sup>7)</sup>



(a) ルールベースによる結果 (b) AIによる結果

第16図 年輪の検出結果<sup>7)</sup>

カンナとサンドペーパーで仕上げたため汚れがなく平滑な表面であり、全体的に良好な検出結果が得られた。しかも、年輪だけでなく心割れも同時に検出されていることが確認できる。一方、第16図(b)はSAHIによる結果であり、割れの影響を受けることなく年輪のみを検出している。

木口面の画像解析によって年輪を自動で検出できると、年輪数を高精度に計測できる。また、年輪情報に基づいて年輪幅の算出や未成熟材領域を把握し、集成材・正角材の強度性能を予測できる可能性も期待される。第17図<sup>7)</sup>は、検出された年輪の間隔を

可視化したものである。図中では白に近いほど年輪の間隔が狭くなるように色分けしている。

年輪幅と木材性能には相関があることが知られており<sup>10)</sup>、この年輪幅の分布情報を活用すれば、この原木から採取できる製材品の性能を加工前に予測し、運搬・製材工程の最適化とコスト削減が期待できる。

#### 4. 今後の展望

##### 4.1 林業機械への搭載に係る課題

本研究では、土場に積まれた原木を対象とした画像収集と学習により、画像AIによる欠点検出システムの基礎を構築した。次の段階として、伐採現場における選木工程への適用が必要である。現在の林業現場では、ハーベスタやプロセッサなどの高性能林業機械のオペレータが重機のキャビン内から原木の品質判定を行っている。

したがって、今後は林業機械に搭載可能なカメラシステムの開発と現場での実証実験が必要である。土場での静止状態とは異なり、振動、照度変化、樹皮や枝葉の付着など困難な撮影条件下でのデータ取得と、リアルタイム処理が可能な軽量AIモデルへの最適化が求められる。これらの実証実験を通じて、木材生産の現場で実用に耐えるシステムを確立することで、林業・製材業における人手不足問題の解決と生産性向上に貢献できると考えられる。

##### 4.2 木口画像の各種ノイズへの対応

本研究では明瞭な木口画像を用いて解析したが、

伐採現場や製材工場の土場における原木は雪（第18図<sup>7)</sup>）、泥（第19図<sup>7)</sup>）、腐朽に伴う変色（第20図<sup>7)</sup>）など、様々なノイズ要因により年輪の検出が困難である場合が多い。

したがって、今後はこれらの実環境下での検出精度を高めるため、ルールベース、画像認識AI、さらには生成AIにおけるTransformer（画像の広域的な特徴を捉える深層学習アーキテクチャ）といった多様な技術を組み合わせ、様々なノイズ要因に対して頑健な年輪検出技術を確立する必要がある。特に生成AIの活用はデータ拡張やノイズ除去の面で新たな可能性を開くと期待される。

### 謝辞

本研究における大量の木口面画像の収集にあたり、北海道水産林務部森林海洋環境局成長産業課 美唄普及指導員室、下川町森林組合、佐藤木材工業株式会社、旭川市森林組合の方々に多大なるご協力をいただいた。ここに記して厚く御礼申し上げます。

### 引用文献

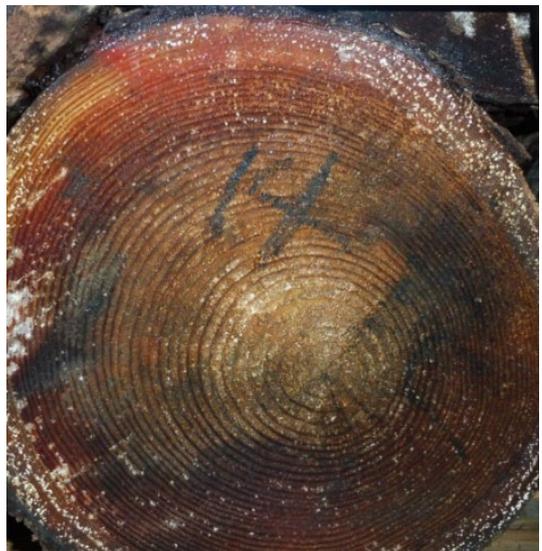
- 1) 厚生労働省: 令和5年雇用動向調査結果の概況, 2023, p. 8.
- 2) 向達 毅: 髓位置推定装置および製材システム, 特許第 7320260 号 (2023) .
- 3) 川島 賢: 画像認識プログラミングレシピ, 秀和システム, 309 (2019) .
- 4) Kentaro Wada: Labelme: Image Polygonal Annotation with Python, GitHub (2020) , <https://github.com/wkentaro/labelme> 2025年11月10日参照.
- 5) Zhu, J.-Y., Park, T., Isola, P., & Efros, A. A.: CycleGAN: Unpaired Image-to-Image Translation using Cycle-Consistent Adversarial Networks, Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2223–2232 (2017).
- 6) Bolya, D., Zhou, C., Xiao, F., & Lee, Y. J.: YOLACT: Real-time Instance Segmentation, Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision , 9157-9166 (2019).
- 7) 橋本裕之: 林産試だより, 2025年3月号, 5-8 (2025).



第18図 雪が付着した原木<sup>7)</sup>



第19図 泥が付着した原木<sup>7)</sup>



第20図 腐朽により変色した原木<sup>7)</sup>

- 8) Akyon, F. C., Altinuc, S. O., & Temizel, A.: Slicing Aided Hyper Inference and Fine-tuning for Small Object Detection, IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 2488–2492 (2022).
- 9) Poláček, M., Acxpe, A., Hüther, P., Weidlich, L., Steindl, S., & Swarts, K.: Automation of Tree-ring Detection and Measurements Using Deep Learning, Methods in Ecology and Evolution, **14**(7), 1665-1679 (2023).
- 10) Zhang, S.Y.: Effect of Growth Rate on Wood Specific Gravity and Selected Mechanical Properties in Individual Species from Distinct Wood Categories, Wood Science and Technology, **29**(6), 451-465 (1995).

—技術部 製品開発グループ—  
(原稿受理 : 2025.9.29)

## トドマツコンテナ苗用植栽機の開発

近藤佳秀, 渡辺一郎\*<sup>1</sup>, 来田和人\*<sup>2</sup>

### 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<sup>1)</sup>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

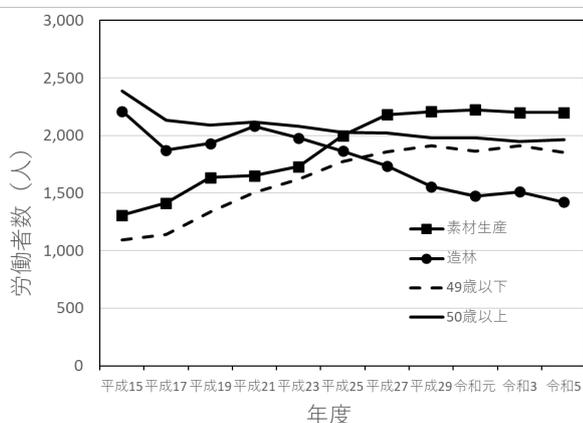
は従事者数が減少している（第1図）。加えて従業者の高齢化が進んでいる他、若年従事者の事業からの離職も散見されることから、担い手を確保する取組の強化が必要である<sup>2)</sup>。

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<sup>3)</sup>、急速に利用が増加している<sup>4)</sup>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<sup>5)</sup>。

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<sup>6)</sup>。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<sup>7)</sup>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<sup>8)</sup>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<sup>8)</sup>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、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。

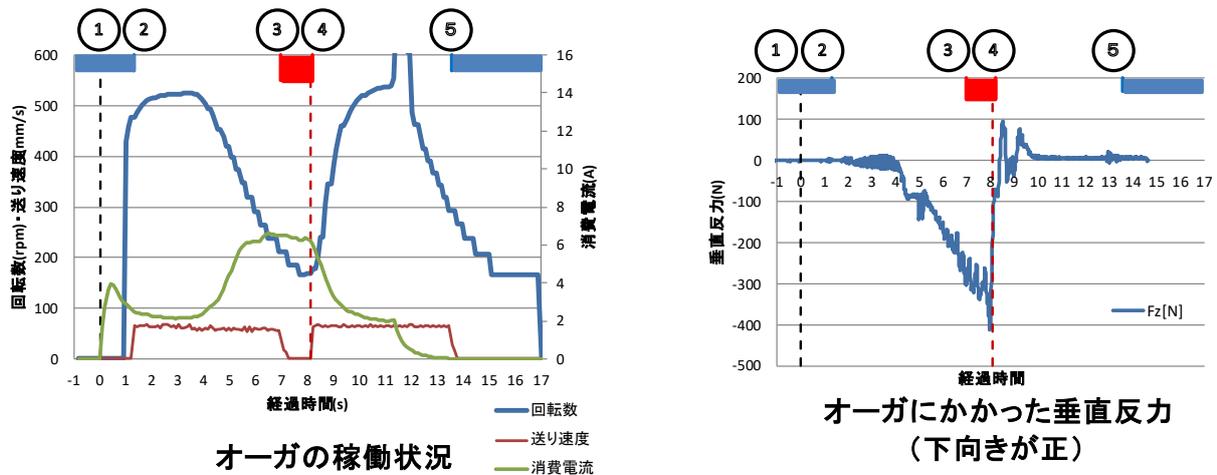
1カ所あたり3回測定した平均値をその場所の測定値とし、試験地内数カ所の平均値を表に示した。

### 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。

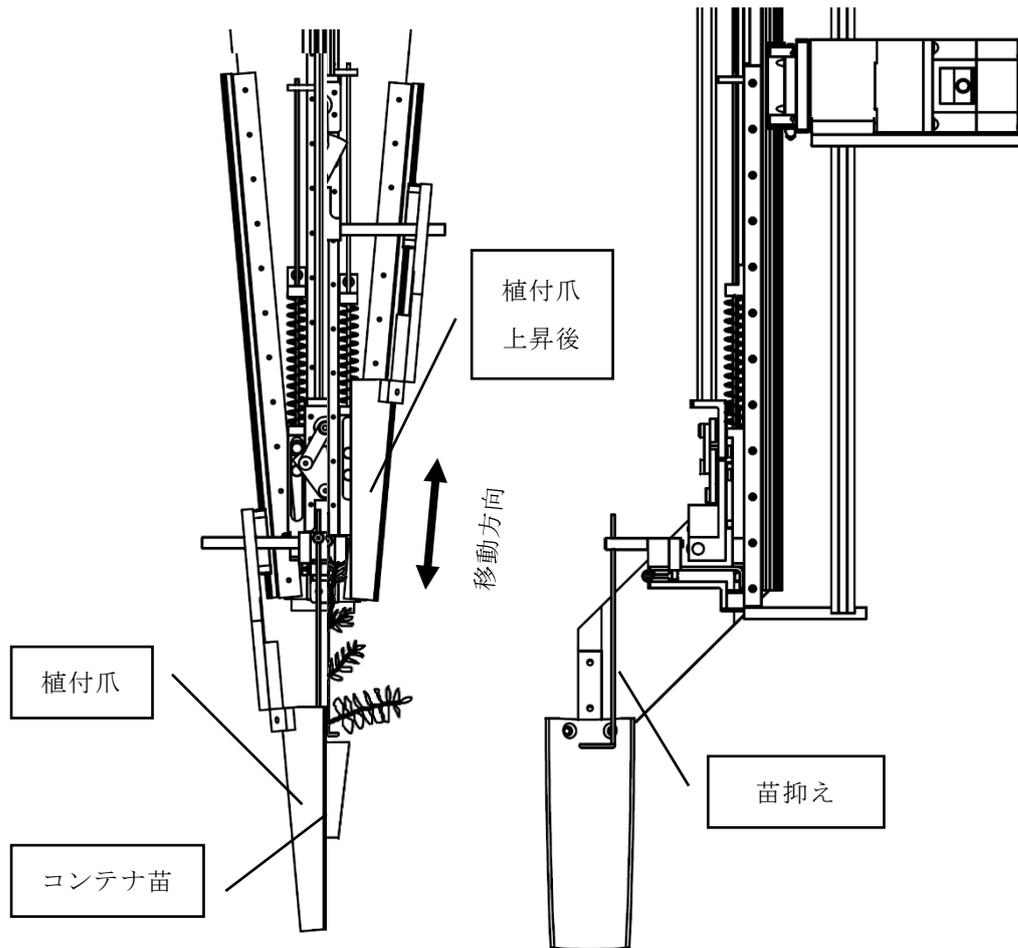
### 4.2 植栽ユニットの構造

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）。



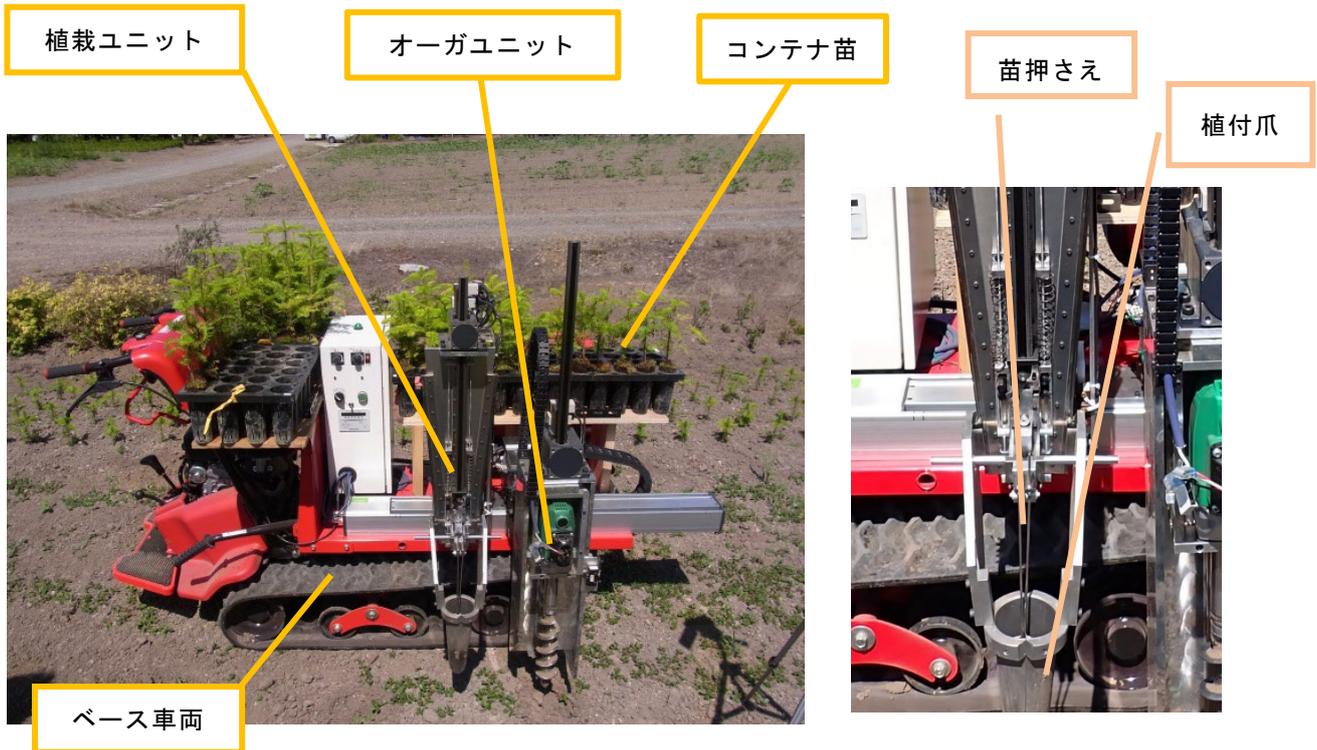
第6図 植栽ユニットの基本構造

#### 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<sup>9)</sup>。

また、滝谷は、2,500本/haを平均的な植栽密度とし<sup>10)</sup>、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<sup>11)</sup>。

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）<sup>12)</sup>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)



林 産 試 験 場 報  
(林産試験場月報からの通巻553号)

編集人 林産試験場刊行物編集委員会  
発行人 地方独立行政法人北海道立総合研究機構  
森林研究本部 林産試験場  
〒071-0198 旭川市西神楽1線10号  
電話 0166-75-4233(代表)  
FAX 0166-75-3621  
HP <https://www.hro.or.jp/forest/research/fpri/index.html>

令和8年2月28日 発行

令和8年3月 Web公開

# JOURNAL OF THE FOREST PRODUCTS RESEARCH INSTITUTE

NO.553, 2026

## Research Notes

- Study on an estimation method for moisture content in todomatsu (*Abies sachalinensis*) logs ..... (1)  
Hideaki TSUCHIHASHI
- Investigation of a method for identifying deterioration diagnosis targets based on the tilt of wooden fence posts ... (5)  
Makoto IMAI
- Development of AI-based technology for detecting defects and growth rings on Japanese larch end-grain surfaces ... (13)  
Hiroyuki HASHIMOTO, Yoshinori KITAHASHI, Masato SUGA, Yoshihide KONDO
- Development of a container seedling planter for Todo fir (*Abies sachalinensis*) ..... (22)  
Yoshihide KONDO, Ichiro WATANABE, Kazuhito KITA

**FOREST PRODUCTS RESEARCH INSTITUTE**

**FOREST RESEARCH DEPARTMENT  
HOKKAIDO RESEARCH ORGANIZATION**

Nishikagura 1-10, Asahikawa  
HOKKAIDO, 071-0198, JAPAN