

令和 4 年 9 月 10 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04726

研究課題名（和文）木材管理のためのICチップの埋込と画像識別による個別トレーサビリティの確立

研究課題名（英文）Establishment of individual traceability by embedding IC chips and identifying images for timber management.

研究代表者

浅野 良晴（Asano, Yoshiharu）

信州大学・工学部・特任教授

研究者番号：20140551

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では柏崎市内の太田材木店製材工場でスギの素材丸太にHF帯域のICチップをRFIDタグとして埋め込み、その後の搬送、移動、加工、人工乾燥及び木材製品化の工程でICチップに保存したデータを途切れさすことなく継続させた。また素材丸太の木口断面の年輪画像により、個体識別が可能であることを深層学習により確かめた。さらにICチップのIDで統轄したデータベースに、素材丸太の末口と元口それぞれについて木口の中心点と年輪の中心点の偏芯距離を記入した。その値と人工乾燥後の曲がりの大きさを比較し、回帰分析した結果を反映させて、製材後の製品歩留まりを向上させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

木材トレーサビリティの成果は中小規模森林保有者等が施業集約化により効率的な素材丸太の生産を行う際に、量的な拡大に沿って効率的に付加価値を与え、労働単価を上げることにつながる。IoT技術を含んでいるので、IT関係者が働く素地ができ施業労働者の高齢化対策になる。建築施工者側からのスピーディーかつ量的安定性を踏まえた木材の調達が可能となる。トレーサビリティを有する木材を使用した建築物や製品であることは、最終消費者に使用木材に対する安心感を与えることができる。

研究成果の概要（英文）：In this research, an IC chip in the HF band was embedded as an RFID tag in a cedar log at sawmill in Ota Lumber Store Co., Ltd. in Kashiwazaki City, and then stored in the IC chip in the processes of transportation, movement, processing, artificial drying, and commercialization of wood. The data was continued without interruption. In addition, it was confirmed by deep learning that individual identification is possible from the annual ring image of the cross section of the wood end of the log. Furthermore, in the database specified as the first argument by the ID of the IC chip, the eccentric distance between the center point of the wood mouth and the center point of the annual ring was recorded for each of the end of the log. These values were compared with the bending deformation amount after artificial drying, and the product yield after sawing was improved by reflecting the results of regression analysis.

研究分野：建築と地球環境

キーワード：木材トレーサビリティ 木材IoT実装 木材個体識別 RFIDタグ 深層学習 年輪画像識別

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

わが国における木材の信頼を担保する制度として森林認証制度がある。森林認証とは、「我が国において、持続可能な森林経営を広く普及するとともに、そこで産出される木材等の有効な利用を推進し、森林整備水準の向上及び林業の活性化等を通して、循環を基調とする潤いのある社会の構築と緑豊かな自然環境の保全に資すること」の実現を目指すことであり、一つの事業体内において、材料の調達段階では、認証材であることを示す証明書を確認する必要があり、また、加工段階では、分別管理がポイントになり、最後の販売段階では、ラベルの適切な使用が求められている。しかし流通まで含めて現在の日本では、木材製品に対してこの制度に基づいて意識をもって使用する度合いは必ずしも多くない。

一方で、木造建築あるいは木材産業に従事する職種の人々は、「品質の良い木材と自分の技術を使って人に喜ばれる建築物を作り上げたい」という信念を持っている。日本が唯一保存する再生資源である森林を活用し、林業の成長産業化を実現させるために木材の既存需要の拡充を行いつつ、競争力強化と経済性の確実化を期待できるように環境整備を行う必要がある。そして木材生産者から消費者の意向を受けた建築技術者へと信頼性の有る高品質な木材製品を提供することが重要である。わが国における山元から使用者までの木材トレーサビリティの現状を見ると、生産から流通までの各ステークホルダーや建築主に対して、素材丸太から木材に至る各段階で次に示す混乱が生じている。

木材製品の性能表示が見えないこと。

木材製品への利用者・消費者の要求がうまく捉えられていないこと。

森林伐採から木材製品に至る生産過程が目に見えないこと。

それらの解決のためには、素材丸太から木材製品に至る1本毎の個体識別を踏まえた認証が必要である。本研究でその実現を目指している。木材市場や製材所では素材丸太を選木段階で径級別に分別されるため、複数の産地の素材丸太が混在してしまう。そこに生産地を識別できる方法として、個体識別を可能にするためにIoT実装を検討した。伐採地のはい積み段階で素材丸太1本毎にICチップを仕込むことがトレーサビリティ確立の第一歩になる。

これは従来のQRコードを貼り付ける方法と比べて利便性がある。すなわち、QRコードを貼り付けるには伐採地の土場に事前に立ち会い、素材丸太の総数や木口の形状を確認し、あらかじめQRコードを貼り付けシートに印刷して再度土場に赴くことになる。RFIDチップタグ*1)の場合は工業生産品であり工場生産時に固有のUIDが書き換え不能で記入されているため、初回の土場に赴いた時にRFIDチップタグを電動工具でねじ止めするので、準備の軽減と大幅な作業時間の短縮ができる。取り付け後QRコードでは運送時の脱落や乾燥工程での変色などによる読み取り不可になることを心配しなければならないが、RFIDチップタグを設置した場合はこうした心配をせずに扱える。こうした理由でRFIDチップタグを使用する木材トレーサビリティは素材丸太の大量かつ安定した供給体制を構築することが可能になるものと考えられる。

素材丸太の供給側から製品木材をデータベース化してオープン化することにより、需要側からはスピーディーな調達が可能になる。IoTの導入により木材需要が活発化し、木造建築物の生産が増え、地域経済が活性化して雇用促進が期待される。さらに流通システムと連携することで、林業関係者から消費者に至る繋がりを強化することができ、新たな流通業の創出が期待される。

2. 研究の目的

森林の多面的機能の維持のためにも国内の森林資源を有効利用していく必要がある。「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」の制定やプレカットの普及などにより、産地や無等級材以上の強度、寸法安定性といった品質の明らかな材が必要とされている。ほとんどの地域で木材の産地証明を行う認証材制度が存在し、また一部の地域では強度等の品質についても認証を行っている。しかし多くの国産材は産地や強度等の品質が明らかにされていないのが現状である。

この状態を解決する手法として木材トレーサビリティシステムが挙げられる。これは、一つの材が出来るまでのすべての工程で加工・流通情報を蓄積し、それを素材生産者、加工者、消費者等で共有するシステムである。図1のように木材トレーサビリティの情報を共有することで、木材流通の需要側の建築業者などにとっては、リアルタイムで、流通している材の場所、品質、量、価格が確認できる。これにより、工事の日程管理や費用の見積もりがしやすくなる。

研究者は既に新潟県・長野県において木材トレーサビリティにUHF帯域のRFIDタグを使って実証試験を実施してきた。本研究では実証試験を行い、その実績に基づき、木材にIoT実装を普及させる方法を提案する。

また柏崎市内の太田材木店製材工場でスギの素材丸太にHF帯域のICチップをRFIDタグとして埋め込み、その後の搬送、移動、加工、人工乾燥及び木材製品化の工程でICチップに保存したデータを途切れさすことなく継続させる。また素材丸太の木口断面の年輪画像により、個体識別が可能であることを深層学習により確かめる。さらにICチップのIDで統轄したデータベースに、素材丸太の末口と元口それぞれについて木口の中心点と年輪の中心点の偏芯距離を記入した。その値と人工乾燥後の曲がりの大きさを回帰分析を用いて比較する。これにより、木材製品歩留まりを改善することができることを示すことを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では製作した IC チップを素材丸太に埋込み、その個体識別情報から木材管理データベースを作成することを目指し実施した。

600本の円筒型 RFID タグを製作し、2019年度300本を設置した。取付方法において難易な点があったため、木ねじで取り付ける円盤型 RFID タグを作成した。2020～2021年度600本の円盤型 RFID タグを使用し、新潟県柏崎を中心として森林土場及び太田木材(株)の製材所のストックヤードで取り付けをし、実証試験を実施した。素材丸太1本毎に埋込みし、土場から製材所への搬送時及びストックヤード、加工を経てタグ及び情報が健全に維持されることを確認した。また高温乾燥下(120℃で延べ36時間程度)での耐久性を確認した。素材丸太のID及び特性情報データベースをクラウド化し、データ処理に参照できるようにした。

製材の歩留まり向上のために変形量を予測する方法を実施した。2019年度はICチップを埋込んだ素材丸太の末口と元口の断面中心と年輪の中心との距離を計測し、それを偏心量としてデータベースに登録した。1次加工で角材にした素材に対して乾燥後に元口から末口までの変形量(捻じれや曲がり量)をレーザー距離計で計測し、両者間の信頼性の高い回帰式を導き出した。2020,2021年度はデータベースを参照して製材後の木材の変形量が許容範囲を超えると推定されるものは別の乾燥工程(乾燥温度や時間を低減化し自然乾燥を組み合わせて乾燥させる)で行うことで、製品木材の歩留まり改善に結び付くことを確認した。

製材後の木材小口の年輪画像と素材丸太小口の年輪画像で画像識別を行った。認識方法としては畳み込みニューラルネットワーク(Convolutional Neural Networks: CNN)を応用した深層学習を使った。2019年度,2020年度は素材丸太小口の年輪画像と製材した角材の小口の年輪画像とを識別するプログラムを作成した。素材丸太のうちどれだけの部分が残っていれば識別できるか検討した。同一IDの年輪画像が一致し、別のIDの年輪画像とは不一致となるように深層学習を行うCNNプログラムを開発した。2021年度はICチップを埋込んだ時の年輪画像データをクラウドに登録し、製材された木材の年輪画像と照合できるようにした。

2019年度はICチップの機能存続率、素材丸太の偏心量と乾燥後木材の変形量の回帰式の分析状況等を明らかにした。2020年度は実証数を増やした結果に基づくICチップの機能存続率、素材丸太の偏心量と乾燥後木材の変形量の回帰式の分析状況、年輪画像による識別の進捗等を明らかにした。2021年度は実証数を増やした結果に基づくICチップの機能存続率、素材丸太の偏心量と乾燥後木材の変形量の回帰式による品質改善効果、年輪画像による識別結果等を明らかにした。

4. 研究成果

4.1 木材用 RFID チップタグに必要な性能

本研究では太田材木店で HF 帯域の RFID チップタグを素材丸太の木口面に埋込み、その IC チップに必要なデータを記憶させている。その内容はクラウドに転送されてデータベースが構築される。その内容はいつでもどこからでも参照できる。素材丸太の移動・保管の確認が可能となり、製材工場ではストックヤードでの素材丸太管理が容易となった。さらに加工工程において RFID チップタグの内容を外部から確認して素材丸太の取り違えを回避することができる。また素材丸太の性状を表すデータを付加させておくことにより、乾燥後の変形量等を予測し、乾燥過程に工夫を加え、乾燥後の加工歩留まりを向上させることができる。

本研究で使用した円盤形 RFID チップタグの性能特長を次に示す。

読み取り距離は適切であること：遠方から読みとる場合には丸太の個体識別ができなくなってしまい、近すぎると読み取り動作に時間がかかりすぎてしまうことから使用した RFID タグは十分なものであった。本研究では 20mm 離れたところから読み取り可能であった。

耐熱性能を有すること：一般的な高温・高湿度の乾燥工程での 120℃、36 時間程度暴露で読み取り不可能とならないこと。本研究では全ての RFID タグが乾燥後に読み取り可能であった。

取付け時間が短いこと：作業効率をよくするために重要である。本研究では 100 本の丸太に RFID タグを設置するのに 1 時間程度であった。

4.2 本研究で使用した RFID チップタグ

製作した 2 種類の RFID チップタグを表 1 に示す。

4.3 素材丸太に付記すべき項目とデータベース



(1) 伐採にかかわるデータ

伐採地：素材丸太の伐採された場所は素材丸太の発生場所として、伐採場所もしくは土場のはい積み場として記録される。これは森林 GIS との関係を可能とするものである。本研究では GPS コードで記録した。

伐採年月日：素材丸太として伐採された日を記録する。これにより、植林されてからの経過年数と伐採してから流通までの経過日数が分かる。

表 1 制作した 2 種類の RFID タグ

写真 1 杉の素材丸太に埋め込んだ RFID タグ

	Cylindrical Type	Disk type
Shape	3 mm diameter cylinder with 12 mm height	20 mm diameter disk with 2 mm thickness
Color	Gray	Black
Communication distance	5 mm	30 mm
Photo		



材種：伐採時に樹種を記録しておくことにより、後の製材工程で樹種の取り違えが無くなる。

径級：製材時にどのような正角材や平角材にするか予測が可能となる。

(2) 搬送にかかわるデータ

搬送先：森林土場から搬送された市場あるいは製材所を記録する。

搬送日：搬送された日

(3) 実証試験

素材丸太に RFID チップタグが埋め込まれた状態を写真 1 に示す。

4.4 トレーサビリティの信頼性の確保

素材丸太に埋め込まれた RFID チップタグが抜き取られて他の素材丸太に不正使用される恐れがある。そこで本論文では、トレーサビリティの信頼性を高めるために RFID チップによる個体識別番号の付与とともに、年輪画像による個体の画像認識を合わせて利用するシステムを提案する。

本研究では年輪画像を認識する技術として、畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Networks: 以下 CNN という) を使用する。CNN は LeCun らにより画像認識でよく使われる代表的な手法であり、近年は個人認識システム等様々な分野で幅広く応用されている。例えば医療分野では、Pereira らは脳腫瘍の分類に CNN を適用した、また竹本らは CNN を用いた早期胃がんの自動検出を取り込んでいた。製造業において CNN を用いた製品の欠陥検出や外観検査手法の開発が行われてきた。

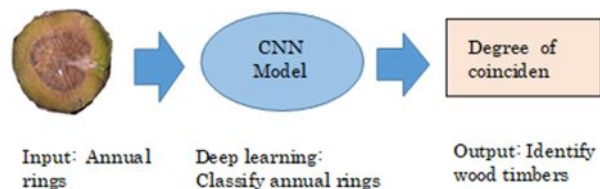
4.4.1 CNN の基本構造

図 1 に CNN の基本構造の概念図を示す。入力画像に対して畳み込み層*2)(Convolution_1,2) でフィルタ処理を行い、さらに処理した画像に対してプーリング層*2)(Pooling_1,2) で画像の解像度を下げる処理を行う。畳み込み層とプーリング層の二種類の層を相互に何回か繰り返すことにより、入力画像の特徴量を取り出すことができる。その後、抽出した特徴量を全結合層に供給し出力層において分類分析を行う。最後に出力層でタスクに応じた数のユニットを置き、softmax 活性化関数によって入力画像のクラス確率を得る。

4.4.2 CNN による年輪画像の認識

図 3 に CNN による年輪画像を認識する手法の概要を示す。224×224 画素にリサイズした二次元年輪画像を入力画像とし、各年輪個体の特徴を学習させる。CNN モデルの詳細を図 4 に示す。これは本論文で用いた年輪画像認識用 CNN モデルの構造である。全ての層においてフィルタのサイズは 3pixels×3pixels である。フィルタ数は第 1 層で 16 個、第 2 層で 32 個、第 2~4 層で 64 個とし、マックスプーリングは 2pixels×2pixels で行い、活性化関数は ReLU (Rectified Linear Unit)*4)とした。全結合層は 5 層とし、最後に Softmax 活性化関数を用いて 9 クラスに分類した。学習回数は 10 回である。

図 1 CNN による年輪識別の方法



4.4.3 学習に用いるデータセット

本研究では 9 本の丸太年輪写真を用いて分類の検証を行った。9 本の丸太年輪写真を写真 3 に示す。S1~S9 は各年輪に対する分類のクラス名である。これらの年輪写真を用いて、回転のみによるデータ拡張を施し、全部で 3181 枚の CNN 学習用データを作成した。用意したデータをさらに訓練用データとテスト用データに分割し、9 クラスに分類を行った。表 4 にデータ拡張による作成した各クラスの訓練用データとテスト用データの数を示す。

学習用データを作成する際に、回転のみによるデータ拡張を行い、検証用データの作成に 4 種類のデータ拡張方法を施した。作成した検証用データを表 5 に示す。Z は拡大縮小のみ実施し、その幅「zoom_range*5）」は 0~1 とする。B は明暗度のみを変化させ、その幅「brightness_range*6）」は 0.01~0.3 とする。ZB は拡大縮小を実施して明暗度を同時に変化させる。「zoom_range」は 0~1、「brightness_range」は 0.01~0.3 とする。ZBR は拡大縮小を実施し、明暗度を変化させ、同時に回転させる。「zoom_range」は 0~1、「brightness_range」は 0.01~0.3、回転角は約 1.1 度毎とする。これは現実的な利用条件を考慮し、撮影した年輪写真が天地不明だけでなく、撮影写真上の占める面積が違うことを前提にして模擬しているためである。

4.5 個体識別による木材製品の品質向上

RFID タグと連携するクラウドデータベースを利用した事例として芯持ち柱の乾燥後の曲がりの改善による品質向上の効果を示す。クラウドデータベースには素材丸太の性状が記録されていることから、製材工場では素材丸太の性状に合わせた乾燥機の運転の仕方を計画し、変形量を少なくさせて歩留まりを向上させることが可能となる。

4.5.1 素材丸太の偏心量と乾燥後の変形量

丸太の心材（赤身）の中心と、年輪の中心（樹心）との距離を「偏心量」と定義した。偏心量の大きさが、一次加工後の乾燥工程後の材の曲がりの大きさにどのように影響するかを実測調査した。加工後の柱材側面 4 面の曲がりを計測し、最もその曲がりが大きかった値をその材の曲がりの大きさとした。

4.5.2 素材丸太の偏心量と乾燥後の変形の計測結果

本研究では直径 20cm 以下の丸太 57 本と直径 22cm 以上の丸太 27 本の元口の偏心量を計測した。1 次加工後の柱材の寸法は 135mm の正角である。目的変数を曲がりの大きさ、説明変数を偏心量として回帰分析を行った。その結果元口偏心量および末口偏心量と曲がりの大きさの関係に関し、末口径が 20cm 以下の場合には末口径が 22cm 以上よりも相関があると考えられる。径が小さい素材丸太から柱材を加工する場合には元口偏心量の大きさを見ることにより、乾燥後の曲がりの大きさを推定することができる。これらのことは丸太に RFID チップタグを使用してトレーサビリティを可能としたことから、実用上の個体識別とデータベース利用に道を開いたものといえる。

4.6 まとめ

木材トレーサビリティのスタート点において素材丸太に IC チップを封入した RFID チップタグを埋込み、搬送、貯木、角材への加工、高温乾燥の工程で途切れることなく ID と記憶内容を保持させることができ、個体識別が問題なく完了できた。ID を利用して畳み込みニューラルネットワークを応用した深層学習を利用することにより、素材丸太の年輪画像による識別が可能であることを確認した。この 2 方法を併用することにより、RFID チップタグの不正使用を排除できる見通しがたった。高温乾燥後に芯持ち柱で RFID チップタグの機能が保持されることが確認できたことから、乾燥後の芯持ち柱の曲がり量と素材丸太の木口元口の偏心量との大きさについて回帰分析を行ったところ、末口断面径級 20cm 以下の素材丸太に関して両者の相関がみられることがわかった。製材所ではこの結果を反映させて切削後の乾燥工程を検討することにより、製品歩留まりを向上させることに結び付けることができた。

この結果、IC チップの埋込は素材丸太から木材製品の流通に至るまでの木材に付す一貫したトレーサビリティを可能とする有効な方法になると考える。これは森林認証及び木材製品認証を進めるための簡易な方法の提案要請に応えるものと言える。IC チップの ID によるデータの参照により、製品歩留まりの改善や品質改善に結びつく可能性が期待される。これらを踏まえて素材丸太から製材品に至るトレーサビリティを図 9 に示す。

今後は RFID チップタグの埋込方法の簡素化を検討していく予定である。また年輪画像識別の実行をクラウドサービスで実施できるように改良していくことを考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 浅野 良晴, 浅野 美代子, 鄭 宏杰	4. 巻 87 巻 (2022) 792 号
2. 論文標題 木材トレーサビリティの信頼性向上による地域活性化に関する研究（その1）：RFIDチップによるデータ付加方法の確実化の検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本建築学会環境系論文集	6. 最初と最後の頁 180-187
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3130/aije.87.180	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 浅野良晴
2. 発表標題 木材トレーサビリティの信頼性向上を目指したデータ付加方法の確実化に関する研究 その2 RFIDチップによる方法の検討
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 浅野良晴
2. 発表標題 木材トレーサビリティの信頼性向上による地域活性化に関する研究（第1報）RFIDチップによるデータ付加方法の確実化の検討
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------