

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580250

研究課題名(和文)パルス波と高周波を用いた新しい棧積み製材の個別含水率検出手法の開発

研究課題名(英文)Development of the monitoring method of moisture content of piled timbers in a kiln

研究代表者

鈴木 養樹 (Suzuki, Youki)

独立行政法人森林総合研究所・木材特性研究領域・室長

研究者番号：90353739

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：スギ材の乾燥効率を向上させるためには、製材品個々の含水率を非破壊的に評価できる手法が必要である。そこで、棧積みで使用している積木を電極として用い、インピーダンスの特性変化から個別の含水率を推定する手法の開発に取り組んだ。乾燥機内に積積みした製材品について乾燥過程での見かけのインピーダンスを測定し、その周波数特性から1本ごとの水分量を電気等価回路モデルで計算し、評価した。また、パルス波と呼ばれる高周波数でも低周波数と同様な傾向が認められ、モニタリング技術として有効であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Methods for estimating the moisture content of wood have been developed using electrical techniques. Sawing timbers have variable density and moisture content, which leads to insufficient drying of final wood products. Therefore, a technique for monitoring moisture content is crucial for estimating the drying schedule and energy efficiency during kiln drying. We applied an impedance analysis to estimate water distribution using electrical impedance spectroscopy; introduced an electric network model using three series elements of resistance, capacitance, and parallel elements; and calculated Bode-plot curves which were in good agreement with the experimental curves. First, we measured the impedance and phase angle of piled green timbers in a dry-kiln using two parallel electrodes placed between timbers. Further, we separately estimated the resistance and capacitance of water and timber, respectively, using a ladder circuit to model the piled timbers.

研究分野：木材物理

キーワード：インピーダンス 含水率 高周波 パルス波 製材 棧積み

1. 研究開始当初の背景

原木丸太の製材・乾燥技術は、木材利用・生産の場面において非常に重要な技術であり、特に乾燥工程で解決すべき問題は、乾燥不良数の発生抑制である。現在は、一定容積あたりでの一括管理が前提で、供給原木の品質が維持されている時には、乾燥不良品発生数は確率的に低く、問題とはならなかった。

しかし、長伐期化で市場へ供給される原木の品質(密度・年輪数・含水率・径級など)がばらつき、結果として乾燥不良の増大になると容易に予想される。特に、乾燥仕上げの段階における水分傾斜・ねじれ発生が問題となり、その対策として一部乾燥ねじれの抑制で検討された報告例はあるものの、実用化はされていない。

その背景として、今までは予め設定した乾燥スケジュールに従い、温度・湿度コントロールを行っていけばほとんど問題にならなかった。ところが、原木の供給が多様化になり、画一化した乾燥スケジュールでは個々の含水率仕上げに対応出来ない状況になりつつある。

このことから、乾燥材の良好な流通のためには、基本的に「製材品の全数含水率検出手法の開発」が最も優先される課題であり、乾燥機内の積積み製材品それぞれの含水率を迅速に検出する必要がある。

2. 研究の目的

今まで乾燥運転中の実機内で乾燥過程での積積み製材の1本1本の含水率検出は不可能であった。それはセンサーが開発されていなかったことやコストに問題があったためである。しかし、積積み製材1本1本の含水率を乾燥途中でそれぞれ判別できれば、乾燥仕上げのバラツキ自動抑制機能など乾燥機の高機能化が進むことが期待される。その結果、品質の高い乾燥製材品の生産性が向上し、加工ラインでの省エネ・高効率化につながる。本研究は、製材品の個別の含水率検出に、パルス波と高周波を用いた新しい含水率検出手法の開発を目的とする。

3. 研究の方法

研究を進めるに当たり、大きく次の2つの項目で実施した。

(1) 高周波インピーダンス法による製材個々での含水率算出方法の開発

予備実験で、実用型乾燥機の稼働中でも木材の高周波インピーダンス測定ができることを確認した。ただし、全数検査には測定の高度化、すなわち複数の積木電極による全チャンネル自動制御による自動測定と個別含水率変換プログラムが必要である。この技術により乾燥機内で乾燥させながら製材品全数の水分量のモニタリングができることになる。

(2) パルス波法による含水率評価システムの

開発

パルス波は、土壌水分や養生コンクリートの水分量計測に用いられている一方、木材の含水率および乾燥モニタリングへの適用はされていない。その大きな理由として、まだ装置が高額であることと電極部が複雑であることに起因している。本研究では、すでに森林総研に導入しているネットワークアナライザー(通信器評価装置)を用い、擬似的な計測系の確立を目指す。具体的には、特定の位置にある製材品について迅速な含水率評価法として、パルス波法の適用を試みる。

実施内容として

積木電極を用いたインピーダンス測定による含水率全数検査(平成24-25年度) 運転稼働中の乾燥実用機に積積みした製材の全数含水率評価について多チャンネル切り替え器を用いた高周波インピーダンス自動測定方法の開発を行う。高周波インピーダンス法による製材品含水率分離プログラムを検討して乾燥モニタリング手法を確立する。

パルス波法の適用(平成25-26年度) 積木電極にパルス波を伝達させたときの信号波形のピーク強度変化と含水率との関係から、含水率を推定する方法について開発する。乾燥機に入れる前にアンテナ構造を持つ電極を一定間隔で並べ、含水率の異なる製材を電極の上に配置して、周波数と信号の利得の関係を明らかにする。パルス波法導入によるモデル計測を行う。主に測定に使用するのが、マイクロ波領域のため、最適条件を探るためには、アンテナ電極を連結接続しながら信号の反射を捉える必要がある。アンテナ作製は理論だけで設計することは難しい。そのため、試行錯誤による最適条件検索をし、さらに100の高温下でも適用可能かどうかを検討する。試作したアンテナ電極を積木電極に組み込み、実際に積積みした状態でパルス波の信号を計測する。実用乾燥機に設置し、実証実験を行う。

ねじれの発生メカニズムの検証と抑制法の検討(平成24年度)

乾燥条件でねじれが発生する場合、インピーダンスの変化との関係を明らかにし、新しい抑制法について検討する。さらに測定信号と乾燥不良(含水率傾斜、ねじれ)との関係を明らかにし、乾燥機内で変形を拘束させる治具開発の指針とする。

4. 研究成果

製材を効率よく乾燥させるためには、乾燥機に入れる前段階から含水率ごとに選別しておく必要がある。そこで、原木段階から選別する手法について、検討した。マイクロ波領域の電磁波を用いる測定装置を試作し、非接触・非破壊方式による木材の高含水率測定ができることを明らかにした。(図1)



図1 試作した非接触式含水率計

今までは高含水率域の製材を精度良く計測出来ず、含水率ごとに揃えることができなかったことから、本装置を製材直後の生材状態に適用し、棧積みする時に揃えることができる。

次に乾燥中に発生するねじれを抑制する方法や検出方法について検討した。発生原因として、木理(繊維走向の不整)や節の周囲、あて部分で温度が高い場合、ねじれが大きくなる。防ぎ方として、低い温度で圧縮圧力を大きくするなどが考えられる。それを解決するために、図2に示すような装置の使用が提案された。上下のプレス盤で挟むことで変形を抑制することが期待された。その効果については、検証中である。



図2 新しい方式の乾燥機

その他、ねじれ検出方法として、棧木間距離の変化をとらえ、密着度を評価することが検討された。モニタリング方法として変位計があるが、価格の高さや温湿度変化に弱いことが問題点として挙げられる。これらの問題を解決するため、アルミ角材による棧木電極を試作して、実際の乾燥機内で使用し、乾燥実機内に製材を棧積みし、インピーダンス測定を実施した。(図3)



図3 乾燥実機内に棧木電極を使用して棧積みした製材

図4には、モニタリングに使用した実際の乾燥機の乾燥スケジュールの一例である。運転開始直後に蒸気を発生させた後は、徐々に温度を上げ、110℃まで上げた。このときの2本の棧木電極で挟まれた5本の製材品のインピーダンス変化を図5に示す。

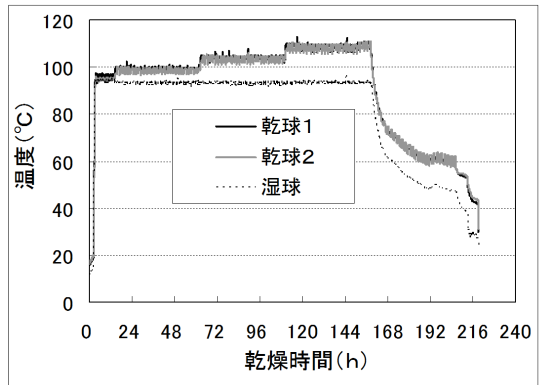


図4 モニタリング用に実施した乾燥スケジュール

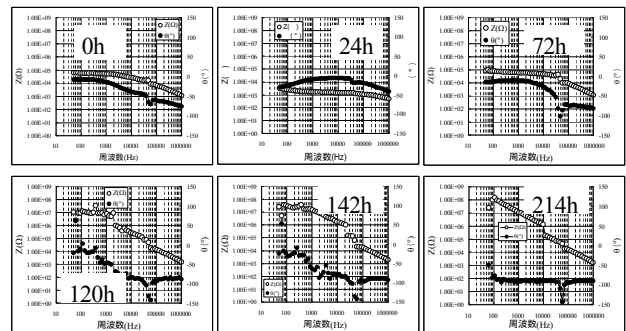


図5 棧木電極を用いた乾燥過程におけるインピーダンス特性変化(乾燥開始0、24、72、120、142および214時間経過時の特性)

乾燥運転 0、24、72、120、142、214 時間ごとのインピーダンス特性を表して、インピーダンス、 θ は位相を表している。横軸は周波数で対数表示である。乾燥が進行することでインピーダンスの特性は変化していることがわかる。これは、水分量の減少で変化し、水分量が高いときにはインピーダンスは低く、周波数で変化せず、位相は 0° 付近にある。水分量が減ると、インピーダンスは高くなり、低周波数から高周波数に向かって減少する。位相は -90° 付近を示す。これは5本の測定値が反映したものであるため、個別に分離する必要がある。

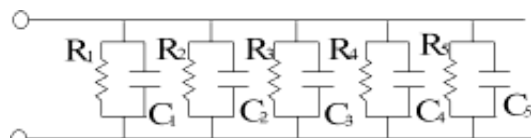


図6 棧木電極で囲まれた材の電気等価回路モデル($R_1, C_1 \dots R_5, C_5$ はそれぞれの電氣的パラメーター(抵抗と電気容量)を表す)

解析に当たっては、図6に示すモデルを使用し、5本の製材品個別の抵抗成分とコンデンサー成分を分離した。

それぞれのパラメーターから製材品の水分状態が評価できることを明らかにした。

その結果の一例を図7に示した。

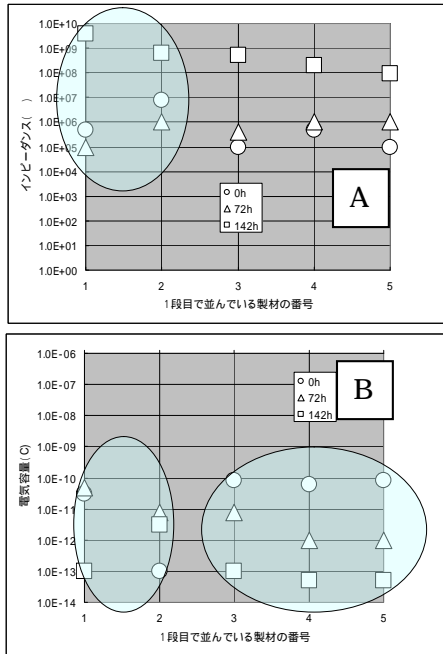


図7 乾燥時間によるインピーダンスと電気容量の変化 (Aはインピーダンス、Bは電気容量の変化を示している。)

ここで、Aにおいてで囲った部分は、インピーダンスが他の製材とは異なっていることを示している。これはBでも同様で電気容量に他の3本とは異なっている。すなわち、で囲った部分1,2は3,4,5とは水分状態が違っていることを示唆している。

乾燥運転中に試験体を取り出すことは出来ないため、乾燥前と乾燥後、含水率計で計測し、さらに乾燥仕上がり時に全乾法を用いて含水率を確かめた。

これにより、実際の含水状態とインピーダンスの指標値を比較確認した。(平成24年度、25年度実施)

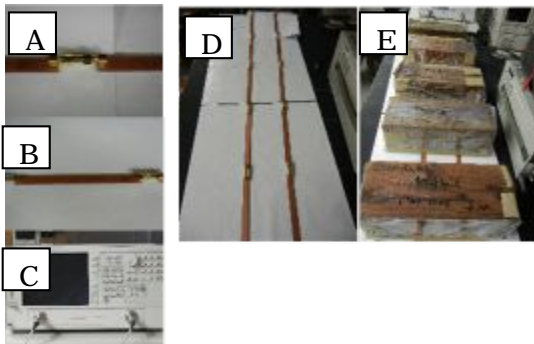


図8 パルス波測定用電極(A,B)および計測器(C)

次に、パルス波による計測手法について検討した。通常の形状では、マイクロ波領域の電気は伝送できない。そのため、新たな構造の電極を試作した。(図8)

高周波法で作成した棧木電極では、電極表面に電荷が発生せず、導管内を伝達していくため、製材品のインピーダンスが計測出来ない。そのため、プリント基板を活用することで、電極表面に電荷が発生するように工夫した。

これにより、マイクロ波領域の電磁波を電極末端まで伝送することが可能になった。

図中のDは電極を配列した状態を示し、Eは製材品を設置した状態について示している。

電磁波計測は、電極上に高含水率のもの、気乾材を位置や個数を変えて計測した。例えば、図9のように設置したパターンについて電磁気の伝送パターンの変化を検討した。

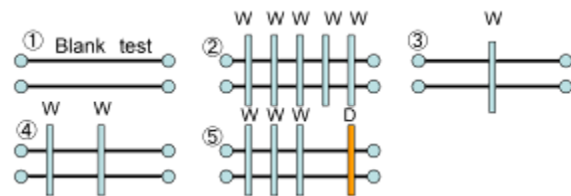


図9 電極と試験体配置の関係 (W:高含水率材 D:気乾材)

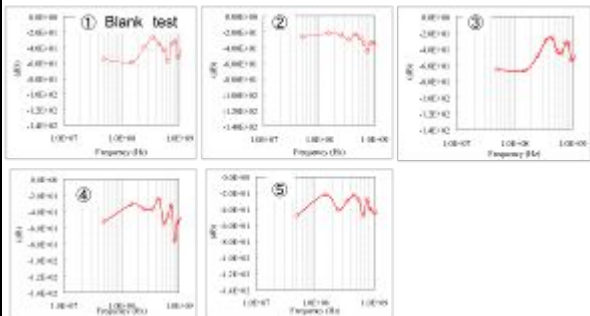


図10 棧木電極で設置した試料の状態や本数での周波数特性の変化

図10に示したように、設置条件によって信号利得の周波数特性が大きく変化した。例えば2本の棧木電極上に高含水率材と気乾材を組み合わせて配列させることにより、信号の変化を確認した。同時に、電極の長さを変えて測定するとパターンが変化した。以上のことから、伝達信号はプリント基板電極の長さによっても変化し、伝導性の異なるものがあるとそれによっても信号は変化することを明らかにした。すなわち、電極の長さなどの特性に適合した周波数帯を使用すれば、簡単に製材品の水分量を計測出来ると予想される。

また、高周波域であっても、棧木として用いる電極上に配列した木材の水分量と伝送電波との関係は、低周波で用いていた通常の

インピーダンスモデルに準じた解析が適用出来ると考えられる。

計測の単純化のため、周波数から時間特性へのフーリエ変換計算を行った。その結果、周波数特性と同様に時間特性でも、パターンが変化することを確かめた。

ここで、高周波法とパルス波法では電極を共有できないことが明らかになった。その要因として、電極構造は使用する電磁波の周波数帯に依存するため、低周波用の電極とマイクロ波領域の電極構造は異なる。高周波用を元に考えるのであれば、少なくともプリント基板仕様での電極が望まれる。

ただし、電極の使用場面を考慮すれば、例えば長期モニタリング用に低周波用、短期的なチェック用には高周波用と電極を分けることで、それぞれの電極構造の特性が活用できると予想される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1件)

1) 鈴木養樹：人工乾燥過程における木材の水分量測定 - 電気的手法を用いた測定 - , 木材工業, 69, 410-413 (2014) 査読有

〔学会発表〕(計 6件)

1) Youki Suzuki, Kiyohiko Ikeda, Nobuo Sobue, Takahisa Yoshida, Motoyoshi Ikeda, Isao Kobayashi: Monitoring the moisture content of piled timbers using impedance models, IAWPS2015, 2015年3月16日, 東京都, 船堀タワー

2) 鈴木養樹, 池田潔彦, 吉田孝久, 池田元吉, 祖父江信夫, 小林功: パルス波による積積み製材の水分量検出の試み, 日本木材加工技術協会第31回年次大会, 2013年10月31日~2013年11月1日, 静岡市, 静岡県男女共同参画センター

3) Youki Suzuki, Kiyohiko Ikeda, Nobuo Sobue, Takahisa Yoshida, Motoyoshi Ikeda, Isao Kobayashi: Monitoring of the moisture content of piled timbers in a kiln the drying process using impedance models. 10th international conference on electromagnetic wave interaction with water and moist substances, 2013年9月25日 - 9月27日, Weimar, Germany

4) Kiyohiko Ikeda, Takeshi Hoshikawa, Jun Watai, Youki Suzuki, Nobuo Sobue, Akihiro Sugiyama: Evaluation of high moisture content of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) log using the phase detector of electromagnetic wave transmitter, 2013年9月24日~2013年9月26日, Madison, USA

5) 鈴木養樹, 池田潔彦, 渡井純, 星川健史, 杉山晃弘, 祖父江信夫: マイクロ波領域の位相を応用した原木水分量評価手法の開発, 第63

回日本木材学会大会, 2013年3月27日, 盛岡市, 岩手大学

6) 鈴木養樹: 積木を使った木材含水率測定技術, 第64回日本木材学会・木材と水研究会, 2013年3月15日, 松山市, 愛媛大学

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木養樹 (SUZUKI Youki)

独立行政法人 森林総合研究所

木材特性研究領域 室長

研究者番号: 90353739

(2) 研究分担者

小林功 (KOBAYASHI Isao)

独立行政法人 森林総合研究所

加工技術研究領域 室長

研究者番号: 30353684

研究分担者

池田潔彦 (IKEDA Kiyohiko)

静岡県農林技術研究所

森林・林業研究センター 科長

研究者番号: 40502571

(3) 連携研究者

吉田孝久 (YOSHIDA Takahisa)

長野県林業総合センター

所長

研究者番号: 00450825

(4)研究協力者

池田元吉

熊本県林業指導所

部長

研究協力者

祖父江信夫

静岡大学名誉教授