

平成 22年 5月 1日現在

研究種目： 基盤研究(B)
 研究期間： 2007 ～ 2009
 課題番号： 19380099
 研究課題名(和文) TOF-FTハイブリッドNIRシステムによる木質材料の総合非破壊診断
 研究課題名(英文) Total Nondestructive Assessment of Wood Based Materials by TOF-FT Hybrid NIR System
 研究代表者
 土川 覚 (Satoru Tsuchikawa)
 名古屋大学・大学院生命農学研究科・教授
 研究者番号： 30227417

研究成果の概要(和文)：木質材料の強度・含有水分状況・節の有無に関する非破壊診断を、近赤外分光方式に基づく2つの測定系(時間飛行タイプならびに広域非接触型フーリエ変換タイプ)をハイブリッド化したシステムによってオンラインレベルで実施し、製材工場等の木材1次加工現場への導入可能性を検討した。近赤外スペクトルにより複数の評価項目を一度に評価でき、生産性の高い木材の光学式品質評価方法を提供するための基盤を確立することができた。

研究成果の概要(英文)：Nondestructive assessment of wood based materials due to the strength, moisture content and presence of knots were performed by hybrid near infrared (NIR) spectroscopic system, which consists of the time-of-flight method and noncontact FT method. Such new measurement system could evaluate multi traits of wood based materials in a same time with high accuracy under online condition. Basic concept as high cost performance optical assessment method for wood based materials could be constructed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	9,300,000	2,790,000	12,090,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
総計	12,000,000	3,600,000	15,600,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・木質科学

キーワード：非破壊計測、近赤外、分光分析、木質材料、オンライン

1. 研究開始当初の背景

(1) 研究代表者らは、近赤外分光法(NIR)分光法、波長800-2500nmの近赤外領域における拡散反射、または透過スペクトルを測定することによって、有機物質の成分値を非破

壊で短時間のうちに分析する手法)を木材の新しい非破壊定量・定性分析法として適用することを試み、一連の基礎実験を行ってきた。本法は、国内においては、農業・食品・製薬・化学工業等の分野で利活用されることが多

いが、欧米・豪州等では上記分野以外に木材産業にもオンライン計測システムとして導入されつつある。

(2) このように、NIR 分光法を木材産業へ導入するための基礎研究は、研究代表者らによって着々と進められてきたが、実機としての具体性・実用性をより高めるためには、強度推定の可能性を検討する必要がある。いうまでもなく木材の強度的性質は、建築構造用材として利用する際の、もっとも重要な材質指標である。

(3) 市販の分光光度計を用いて測定する場合には、光源の出力等の問題から、照射面積 1cm^2 前後のごく限られた試料表面の分光情報に基づいて解析が進められる。無欠点材や試料厚さ数ミリの材料を静止状態で測定することは、大きな問題がないものの、コンベア上を走行する厚さ数センチ以上の板材を対象とする場合には、さらなる測定系の開発が必要となる。

2. 研究の目的

近赤外分光方式に基づく2つの測定系(時間飛行タイプならびに広域非接触型フーリエ変換タイプ)をハイブリッド化したシステムを構築し、製材工場等の木材1次加工現場において、木質材料の強度・含有水分状況・節の有無に関する非破壊診断をオンラインレベルで実施できるようにするための基礎的検討を行う。

3. 研究の方法

(1) 広域非接触型 FT-NIR 分光光度計を用いて、静止状態の木材を対象として各種検量線を作成し、それらの予測精度を確認する。

(2) TOF-NIRS 計測装置を用いて、静止状態の板材内部の情報把握に関する基礎実験を行う。パルス発振小型レーザおよび超高速光検出装置によって、板材の透過光測定に適した TOF-NIRS 測定系を試作する。

(3) コンベア方式オンラインシステムの構築ならびに稼働実験による本装置の性能評価を行う。

4. 研究成果

(1) 広域非接触型 FT-NIR 分光光度計による木質材料の非破壊計測

非接触型の分光光度計により、静止状態の木材の力学的性質を推定した。材料は林齢 32-41 年生のトドマツクローンとした。丸太は、髓を含む厚さ約 30 mm のまさ目板に製材した。乾燥終了後、まさ目板から静的曲げ試験用の試験片 ($20 \times 20 \times 320$ mm) を樹皮側から連続して採取した。試験片数は 250 個であった。

静的曲げ試験は、JIS Z2101 に従って行った。測定項目は、曲げヤング係数 (MOE)、曲げ強さ (MOR) および試験片の密度 (DEN) とした。試験時の含水率は 13-15% であった。

装置は、非接触拡散反射ヘッドを接続した MATRIX-F (Bruker Optics K.K.) を使用した。測定条件は、スペクトルレンジ 1000-2300 nm、スキャン速度 0.2 sec/scan、分解能 0.3 nm とした。試料と検出器との距離は、170 mm とした。

Partial least squares (PLS) 回帰分析により、MOE、MOR および DEN の推定を試みた。全試験片 250 個のうち、200 個を検量線作成用 (Calibration set) とし、残り 50 個 (Prediction set) を用いて得られた検量線の評価を行った。検量線の精度は、実測値と NIR による推定値との相関係数 (R)、検量線標準誤差 (SECV)、予測標準誤差 (SEP) などで評価した。

PLS 回帰分析を行った結果、MOE および DEN の実測値と NIR 推定値との相関係数は比較的高く、前者で 0.82、後方で 0.81 であった。両者の検量線モデルの標準誤差 (SECV) は、MOE で 0.71 GPa、DEN で 0.02 g/cm^3 であり、これらの値は、Calibration set の平均値の 1 割以下であった。得られた検量線モデルを、Prediction set を用いて評価した結果、両形質とも、比較的高い相関係数が認められた (MOE: $R_p = 0.79$; DEN: $R_p = 0.73$)。SEP は上記の検量線標準誤差とほぼ同等の値であった。一方、MOR については、実測値と NIR 推定値との相関関係は幾分低い傾向であったが ($R = 0.67$; $R_p = 0.51$)、標準誤差は MOE および DEN の場合と同様に小さかった (SECV = 6.10 MPa; SEP = 7.57 MPa)。これらの結果から、非接触の FT 方式による表面分析によっても、比較的高い精度で実大寸法の材の力学的性質を評価できると考えられる。

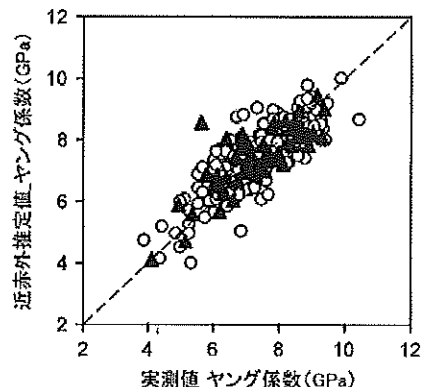


図1 曲げヤング係数の実測値と FT-NIR 分光光度計によって推定した予測値との関係

(○: Calibration set、▲: Prediction set)

現在、品質管理・検査の対象となる性質は、目視あるいは専用の機器などで分析評価されている。近赤外分光法は、木材の物理的・化学的性質などの多形質を短時間で推定できることから、本法をオンラインシステムとして現場に導入することにより、作業効率が大幅に向上すると期待される。

(2) TOF-NIRS 計測装置による木材内部の品質評価

パルス発振小型レーザおよび超高速光検出装置によって、透過光測定に適した測定系を試作することを主題とした。時間幅 5ns のパルスレーザ光を木材に照射し、その透過パルスの変化から試料内部の情報を検出するシステムを考案した。

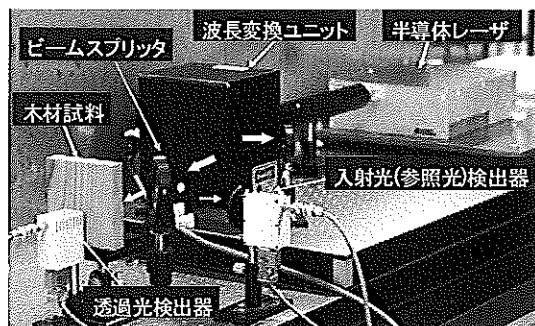


図2 TOF-NIRS 計測装置の外観

供試材料はカラマツの気乾材で、試料厚さ 6mm から 20mm までのものを準備し、これらに波長 740nm-860nm のパルスレーザ光を照射した。照射波長が長くなるほど、レーザ光の透過能は向上し、最終的に試料厚さ 15mm 程度までは透過光を検出することができた。また、パルス光の減光度、時間遅れ、およびパルス波形形状が試料厚さによって特徴的に変化することが確認され、これらを統計的に処理することによって、本システムが合板用単板や集成材用ラミナの内部品質評価手法として利用できることを見出した。

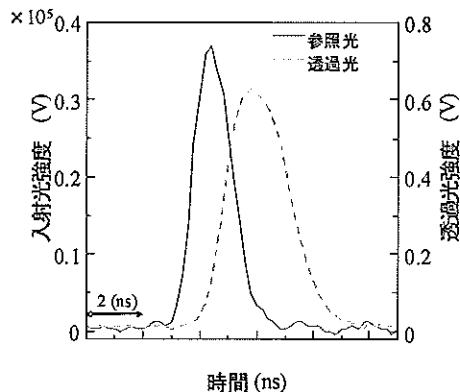


図3 時間プロファイルの一例

(3) オンラインシステムの構築

選果用のベルトコンベアを木材搬送用に改造し、30m/分で走行する板材に光を照射してその反射光スペクトルから板材のいろいろな情報を推定するシステムの設計を行った。無欠点の新材および節を包含する欠点材に関する近赤外スペクトルを多変量解析することにより、含水率、各種強度（ヤング率、破壊強度）および節の多寡を定量評価可能な検量モデルを作製した。この際、スペクトルの数学的処理条件、測定波長領域の選択等を検討し、データ解析処理の最適条件を明らかにした。



図4 コンベア方式オンラインシステム外観

実験には、寸法 100 (T) ・ 32 (R) ・ 2200 (L) mm のカラマツラミナを 40 枚用いた。試験材を送材速度 30m/分で移動させながら材料全面にわたって近赤外スペクトルを測定した。得られたスペクトルを説明変数として、縦振動法により測定した各ラミナの動的ヤング係数(実測値)を推定した。解析の結果、推定モデルの精度は、決定係数 0.67、予測標準誤差 1.04 GPa となった。本実験の結果は、これまで検討してきた静止状態での測定と比べて推定精度はほぼ同程度であったことから、近赤外分光法をオンライン上での強度評価に適用できる可能性が示唆された。

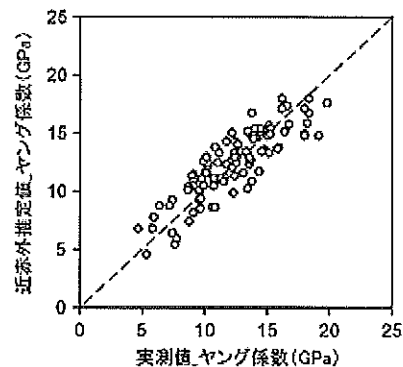


図5 動的ヤング係数の実測値とコンベア方式 NIR オンラインシステムによって推定した予測値との関係

木材自給率を向上させるためには、品質・性能の確かな製品を安定的に供給できる競争力の高い製材加工体制の整備が不可欠であり、これを実現する簡易で低価格な計測装置等の開発が渴望されている。本研究によって、近赤外スペクトルにより欠点の有無も含めて複数の評価項目を一度に評価でき、生産性の高い木材の光学式品質評価方法を提供するための基盤を確立することができた。今後は、民間企業等と連携を組んで具体的な装置作成を試みる予定である。

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 3 件)

- ① Fujimoto, T.; Kurata, Y.; Matsumoto, K.; Tsuchikawa, S., "Feasibility of near-infrared spectroscopy for online multiple trait assessment of sawn lumber", Journal of Wood Science, 印刷中, 2010, 査読有
- ② Fujimoto, T.; Kurata, Y.; Matsumoto, K.; Tsuchikawa, S., "Feasibility of near infrared spectroscopy for on-line grading of sawn lumber", Applied Spectroscopy, 64, 92-99, 2010, 査読有
- ③ Fujimoto, T.; Kurata, Y.; Matsumoto, K.; Tsuchikawa, S., "Application of near infrared spectroscopy for estimating wood mechanical properties of small clear and full length lumber specimens", Journal of Near Infrared Spectroscopy, 16, 529-537, 2008, 査読有

[学会発表] (計 14 件)

- ① 藤本高明、土川 覚、近赤外拡散反射スペクトルを用いた木材表面における節の評価、第 60 回日本木材学会大会、2010 年 3 月 17 日-19 日、宮崎市
- ② Fujimoto, T.; Kurata, Y.; Matsumoto, K.; Tsuchikawa, S., Application of near infrared spectroscopy for mechanical stress grading of sawing lumber, The 14th International Conference on Near Infrared Spectroscopy, 2009 年 11 月 7 日-16 日、タイ バンコク
- ③ 藤本高明、倉田洋平、土川 覚、近赤外分光法による木材品質のオンライン検査に向けた基礎的検討、第 25 回近赤外フォーラム、2009 年 5 月 13 日-15 日、名古屋市
- ④ 藤本高明、松本和茂、倉田洋平、土川 覚、TOF-FT ハイブリッド NIR システムによる

る木質材料の総合非破壊診断 第 5 報 -コンベア上を走行する製材の強度評価-、第 59 回日本木材学会大会、2009 年 3 月 15 日-17 日、松本市

- ⑤ 倉田洋平、藤本高明、土川 覚、TOF-FT ハイブリッド NIR システムによる木質材料の総合非破壊診断 第 4 報 -試料厚さによる透過光の変化-、第 59 回日本木材学会大会、2009 年 3 月 15 日-17 日、松本市
- ⑥ Fujimoto, T.; Kurata, Y.; Tsuchikawa, S., Evaluation of Wood Physical Properties by the Time-of-Flight Near-Infrared Spectroscopy, The First Asian NIR Symposium - The 24th Japanese NIR Forum, 2008 年 11 月 10-14 日、つくば市
- ⑦ Fujimoto, T.; Kurata, Y.; Matsumoto, K.; Tsuchikawa, S., Non-destructive assessments of various lumber properties by near infrared spectroscopy, IAWPS2008 International Symposium on Wood Science and Technologies, 2008 年 9 月 27-29 日、中国 ハルビン
- ⑧ Fujimoto, T.; Matsumoto, K.; Kurata, Y.; Tsuchikawa, S., Rapid and nondestructive evaluations of wood mechanical properties by near infrared spectroscopy, WCTE2008, 10th World Conference on Timber Engineering, 2008 年 6 月 2-5 日、Miyazaki
- ⑨ 倉田洋平、池本有香、藤本高明、土川 覚、TOF-FT ハイブリッド NIR システムによる木質材料の総合非破壊診断 第 3 報 -含水率の推定-、第 57 回日本木材学会大会、2008 年 3 月 19 日、つくば市
- ⑩ 藤本高明、松本和茂、倉田洋平、土川 覚、TOF-FT ハイブリッド NIR システムによる木質材料の総合非破壊診断 第 2 報 -実大材の力学的性質の評価-、第 57 回日本木材学会大会、2008 年 3 月 19 日、つくば市
- ⑪ 藤本高明、倉田洋平、土川 覚、TOF-FT ハイブリッド NIR システムによる木質材料の総合非破壊診断 第 1 報 -基礎的検討-、第 23 回近赤外フォーラム、2007 年 11 月 8 日、つくば市
- ⑫ 藤本高明、土川 覚、広域非接触型 FT-NIR 分光光度計による木材の非破壊的強度推定、第 57 回日本木材学会大会、2007 年 8 月 8 日、広島市
- ⑬ Fujimoto, T.; Tsuchikawa, S., "Rapid and nondestructive evaluations of wood mechanical properties by near infrared spectroscopy", 13th International

Conference on Near Infrared
Spectroscopy, June 15-21, 2007, Umeå,
Sweden

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称：木材の光学式品質評価方法
発明者：土川 覚、藤本高明、倉田洋平、井
本希孝
権利者：名古屋大学、北海道、飯田工業
種類：特許
番号：特願 2009-161224
出願年月日：2009 年 7 月 7 日
国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

土川 覚 (TSUCHIKAWA SATORU)
名古屋大学・大学院生命農学研究科・教授
研究者番号：30227417

(2) 連携研究者

山本 浩之 (YAMAMOTO HIROYUKI)
名古屋大学・大学院生命農学研究科・教授
研究者番号：50210555

林 和男 (HAYASHI KAZUO)
愛媛大学・農学部・教授
研究者番号：80111839

横地 秀行 (YOKOCHI HIDEYUKI)
名古屋大学・大学院生命農学研究科・准教
授
研究者番号：40446331

藤本 高明 (FUJIMOTO TAKAAKI)
北海道立林産試験場・材質科・研究員
研究者番号：40446331