

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月22日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22580186

研究課題名(和文) 超小型X線源を用いた立木用ポータブル非破壊材質検査装置の開発と立木の材質評価

研究課題名(英文) Developing a non-destructive portable wood quality inspection system with ultra-compact X-ray source and evaluating the wood quality of standing tree with it.

研究代表者

古賀 信也 (KOGA SHINYA)

九州大学・大学院農学研究院・准教授

研究者番号：20215213

研究成果の概要(和文)：近年共同研究者の一人が開発した乾電池等で駆動する超小型・可搬型のX線発生装置を用いた野外立木用のポータブル非破壊材質検査装置の開発研究を行った。その結果、立木状態における節、年輪、虫害による孔の抽出、心材と辺材の区分、スギにおける黒心個体と赤心個体の区分等が可能であることが明らかになった。また、山地等野外フィールドの立木に適したより小型軽量型のX線管および検知器の開発、CT化の検討を行った。これらに基づき試作機の設計を行った。

研究成果の概要(英文)：Developing research on a non-destructive portable wood quality inspection system with the ultra-compact X-ray source developed by Dr. Suzuki was conducted. We found that it is possible to discriminate between sapwood and heartwood, between earlywood and latewood, between knots area and knots free area, between worm hole area and normal wood, and between wet heartwood and non-wet heartwood, by using the ultra-compact X-ray source. We continued to develop the lighter and more compact X-ray source suitable for use with standing tree in forest, and also to examine computed tomography imaging. We finally designed an inspection system based on the results from several experiments.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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：材質・物性、非破壊、X線

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 国内の木質資源を積極的に活用した環境保全型・循環型社会の実現には、林業と林産業が連携し、消費者ニーズに適合した優れた材質をもち、なおかつ材質変動の少ない木材を持続的・安定的に供給する体制を構築す

る必要がある。申請者は、このような体制の構築には資源育成(林業)段階から材質の評価およびコントロールが必要不可欠であるという視点から材質に関する研究を進めてきた。しかしながら、これらの研究では伐倒木を対象にした測定が中心であり、常に伐採

にからむ諸問題（伐採許可、伐採に要する時間や労働力、伐採・搬出方法）があり、木材性質は大きく変動するにもかかわらずサンプル数・データ数に限界があった。また木材性質は気象・土壌・隣接木などの生育環境や樹齢の影響をうけるとされているが、伐採してしまうのでその個体の木材性質の経時的変動を追跡し、評価することができない。簡便で精度の高い非破壊的な立木材質評価手法の開発が求められる。また言うまでもなく、非破壊材質評価法の開発は早期の材質評価およびコントロールを可能にする有益な手段のひとつであり、林業実務上からも早急の開発が求められている。

上記のことを背景に申請者は、2004年度から研究に着手し、立木や木質製品あるいはそれ以外の物質を対象にした非破壊検査・診断に関する文献調査を行うとともにいくつかの非破壊的手法（圧力抵抗法、応力波伝播法、X線透過法、NMR技術）を用いた材質評価に関する一連の予備試験を行った。その結果、立木樹幹内の髓の位置、年輪配置、材密度分布、節・腐朽等の欠点分布、辺心材や年輪内の水分分布等に関して精度よく2次元的に表現する手法としては、現段階ではX線透過法が最も可能性がある手法であると判断された。

(2)他方、研究分担者の一人である鈴木は、2007年10月に小型電子加速器を応用した乾電池駆動超小型高エネルギーX線源の開発に成功し、さらに民間企業との共同研究により改良を重ね2009年3月には、カーボンナノ構造体の冷陰極電子源を用いた実用的な可搬型X線源を開発した。この装置は、①低電力用X線管および電源等一式は小型ケース(37cm x 13cm x 35cm)に収まり、片手で容易に持ち運びができる、②ヒーターやフィラメントが無く、予熱が不要で、必要な時にすぐX線を発生できる、③X線の発生時にしかエネルギーを消費しないため乾電池やノートパソコンのUSB電源でも100キロ電子ボルト以上のX線を発生できる、④10キロワット以上の電子ビーム出力による高速撮影にも対応できる、という特徴をもっている。

## 2. 研究の目的

鈴木が開発した超小型・可搬型のX線発生装置を用いて、年輪配置、材密度分布、節・腐朽等の欠点分布、辺心材や年輪内の水分分布等を二次元的に表示する立木用のポータブル非破壊材質検査装置の開発を最終目標としている。

本研究期間中は、開発にむけた予備実験を行い、その結果にもとづき試作し、最終的にはその装置によるフィールド実証試験を実施することを目的としている。

## 3. 研究の方法

本研究では、次の5つの項目について研究を進めた。

(1) 立木の年輪配置、材密度分布、節・腐朽等の欠点分布、辺心材や年輪内の水分分布等の材質指標に適した検知器製作のための最適条件の探索

予備実験として、九州大学福岡演習林で育成されたシラカシポット苗木(根元直径 3mm)を用い、開発した超小型・可搬型のX線源による撮像条件の検討を産業技術総合研究所内で行い、撮像を行うとともに、従来型X線照査装置で得られた画像と比較検討を行う。

予備実験の撮像条件を参照に、九州大学福岡演習林から得られたスギ、ヒノキ、カラマツ、広葉樹(シロダモ、ケヤキ、イヌエンジュ)を対象に樹幹直径、水分状態の異なる個体数本を伐採し、生材状態のまま産業技術総合研究所内にて可搬型のX線源およびX線用イメージングプレートによる撮像を行い、生木状態の樹木に対応したX線源・検知器製作のための基礎データの収集を行う。

(2)新たなX線源の開発とCT化の検討

山地での利用を前提にしているため、従来のX線源よりもより軽量・小型の立木および木材用X線源およびCT用X線源の開発を進める。

(3)フィールド調査

九州大学福岡演習林あるいは信州大学演習林で野外での使用に適した装置設計のためのフィールド調査を実施する。

(4)装置設計および製作

上記(1)～(3)に基づき装置設計および試作機を製作する。

(5)試作装置による立木の材質調査の実施

九州大学演習林内のフィールドにて試作機による材質調査を試み、課題等を明らかにする。

## 4. 研究成果

(1) 立木の年輪配置、材密度分布、節・腐朽等の欠点分布、辺心材や年輪内の水分分布等の材質指標に適した検知器製作のための最適条件の探索

予備実験の結果、解像度の面では、X線用イメージングプレートよりもX線フィルムの方がより優れていたが、画像化の容易さの点で、イメージングプレートによる画像化であっても支障はないことを確認し、以後の実験には、イメージングプレートを用いることにした。その結果、撮像条件が最適化されれば、開発した超小型・可搬型のX線源によって非破壊的に木部を撮像できることが分かった。

予備実験の撮像条件を参照し、数種のサン

プルで得られた様々な撮像の観察結果、市販のX線用イメージングプレートによる画像化ではあったが、樹幹内の節や年輪の判別(写真1)、虫による穿孔跡の判別(写真2)や心材と辺材の区分が可能であった。とくに高含水率領域である黒心材をもつスギ樹幹と低含水率領域である赤心材をもつスギとの判別(写真3)が可能で、さらに、黒心材の直径が非破壊的に計測できた。このように、様々な材質情報が非破壊的に得られる可能性が見いだされ、今後、感度可変型の検知器を開発することでより高精度に材質情報が得られると思われる。

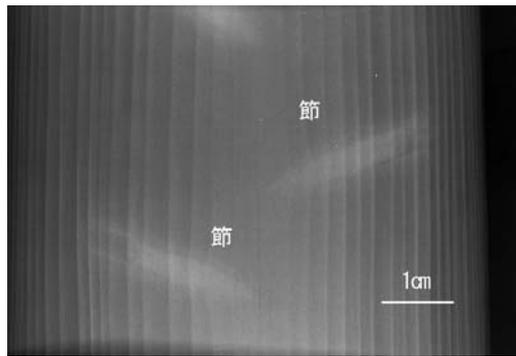


写真1 樹幹のX線像(カラマツ)  
注: 節および年輪が判別可能。生節および死節の個数、サイズ、分布が計測できる。

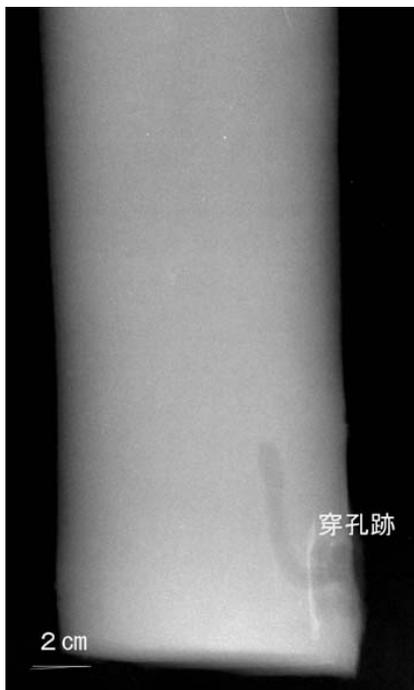


写真2 樹幹のX線像(シロダモ)  
注: 穿孔虫による穿孔の大きさ移動経路等が観察できる。

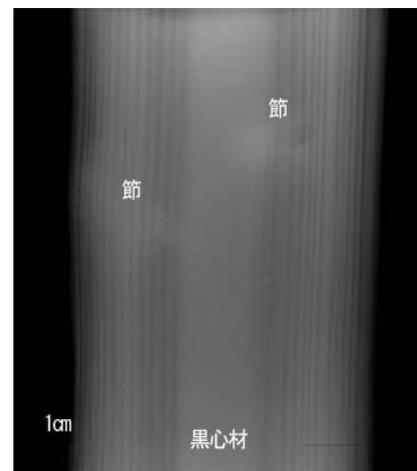
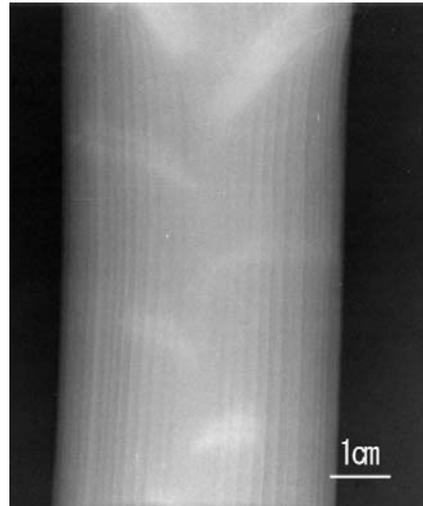


写真3 スギ樹幹のX線像(上: 通常の心材, 下: 黒心材)

注1: 下の画像では、高含水率(120%)を示す黒心材部分が、その他部位(木部)よりも白くなっている。

#### (2) 新たなX線源の開発とCT化の検討

山地等野外フィールドでの使用に適したより小型軽量のX線管の開発を進めた。またスギを対象に回転ステージを用いた多点撮影を行い、CT化のためのハード・ソフトウェアについて情報収集および課題等の検討を行った。

#### (3) フィールド調査

林分調査を実施し、種構成、林分構造、成長状況(直径)、土壌状態、地形状況等を把握し、山地等野外フィールドでの使用に適した装置設計のための基礎情報を得るとともに課題等の検討を行った。

#### (4) 装置設計および製作

上記(1)~(3)の予備実験の結果を踏まえ、野外での使用に適したソフトウェアおよびハードウェアについて検討を重ね、最終的にハードウェアの設計を行った(図1)。

(5) 試作装置による立木の材質調査の実施

本研究の当初の計画では、期間中に検査システム（第1世代）の設計・試作とその検査システムによるフィールド試験を実施し、課題等を明らかにする予定であったが、種々の予備実験および検討の結果、システム全体の設計の見直し等が数度必要となり、年度内に実施できなかった。この点については、平成25年度からの科学研究費補助金（基盤（B）代表古賀，No. 25292105）による研究課題の一部として継続実施する予定である。

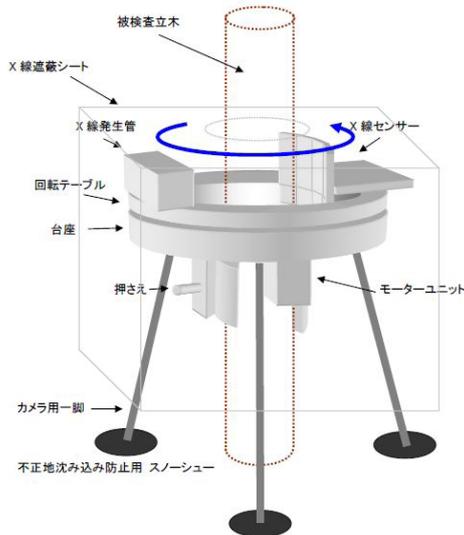


図1 試作機構造図

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 2件)

内海泰弘、樹木の二次木部における水の移動と解析方法、査読有、日本木材学会誌 2012、59:1-12

加藤英俊、鈴木良一、乾電池駆動可搬型 X線源、査読有、検査技術 2013、61-63

[学会発表] (計 1件)

鈴木良一、陽電子プローブマイクロアナライザーの開発と応用、第72回応用物理学会学術講演会、2011、山形大学

[その他]

ホームページ等

<http://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K001683/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古賀 信也 (KOGA SHINYA)

九州大学・大学院農学研究院・准教授  
研究者番号：20215213

(2) 研究分担者

内海 泰弘 (UTSUMI YASUHIRO)  
九州大学・大学院農学研究院・准教授  
研究者番号：50346839

鈴木 良一 (SUZUKI RYOICHI)  
産業技術総合研究所・計測フロンティア  
研究部門・グループ長  
研究者番号：80357300

岡野 哲郎 (OKANO TETSUO)  
信州大学・農学部・教授  
研究者番号：00194374 (2011年度から分担者として参画)