

平成 22 年 5 月 10 日現在

研究種目： 基盤研究 (B)  
 研究期間： 2007～2009  
 課題番号： 19380021  
 研究課題名 (和文) 音響振動を用いた樹木水分および内部欠陥の非破壊・非侵襲測定法の開発  
 研究課題名 (英文) Development of non-destructive method for water content and internal defect of trees with an acoustic vibration technique  
 研究代表者  
 櫻井 直樹 (SAKURAI NAOKI)  
 広島大学・大学院生物圏科学研究科・教授  
 研究者番号： 90136010

## 研究成果の概要 (和文)：

樹木の内部情報を得るために第2、第3共振周波数を取得できる小型の簡易測定装置を開発した。第2共振の伝達速度は、降雨後に低下し、水分含量が伝達速度で予測できることが分かった。第2と第3共振周波数の比は、ほぼ1.5になることがアクリル棒のモデル実験で明らかにされた。内部に欠陥のない樹木では、この比率は1.5であったが、内部に空洞や腐朽、及び節が存在する場合は、この比率が1.5からはずれることが分かった。

## 研究成果の概要 (英文)：

We developed a new vibration technique and device that acquires internal information within the living tree. This device could determine the second and third resonant peak of the trunk. The sound velocity is known to be positively related with Young's modulus and negatively with density, suggesting that it reflects the internal water condition in the trunk. The measured velocity was high in winter and low in summer, suggesting that the water content in the summer is higher than in the winter. The velocity was also high before rain and low after rain, also suggesting that the velocity reflects the internal water condition in the trunk. When the ratio of the frequency of third to that of second was measured using a log without any defect, the ratio is almost 1.5 at every point, while those of defected log with cavity or node were below or over 1.5. It demonstrates that vibration technique evaluate the internal quality of the trunk such as water content and detects.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	8,900,000	2,670,000	11,570,000
2008年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2009年度	2,900,000	870,000	3,770,000
年度			
年度			
総計	15,800,000	4,740,000	20,540,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農学・園芸学・造園学

キーワード：樹木、振動、共振、フーリエ解析、水分含量、内部欠陥、非破壊検査、ヤング率

## 1. 研究開始当初の背景

樹木内部の水分含量の非破壊測定については、適当な方法がなかった。破壊法については、樹幹にドリルで穴を開け、熱を発生させる熱電対法(グラニエ法)及びもともと土壌中の水分を測定するために開発された高周波の電流を流しその抵抗値から水分含量を見積もるADR法(Amplitude Domain Reflectometry)があるのみである。非破壊で、樹木の水分状態を知る法としては、これ以外に、葉の水ポテンシャルを測定する方法があるが、あくまで葉の水分状態を反映するもので、樹幹の水分含量とは相関がないと考えられる。樹幹の欠陥を知る方法としては、 $\gamma$ 線腐朽診断法、音響トモグラフィ法、ストレス波速度法、横打撃法などがあつた。 $\gamma$ 線以外は、樹幹に木ねじを打ち込むので、完全には非破壊法ではない。また、 $\gamma$ 線法は装置の設置が複雑で、野外で多くの樹木を測定するにはむいていない。

当研究代表者は、これまで果実の硬度を共鳴振動を用いて測定していたので、この原理を樹木に応用できないかと思い、開発に乗り出した。

## 2. 研究の目的

以下の目的を設定した。

- (1) 樹木に振動を与えると、どのようなモードで振動するかを確定する。これにより、物理量を計算する基盤ができる。
- (2) 樹木の振動を測定できる小型の携帯型装置を開発完成する。
- (3) 樹木の共鳴周波数と水分量の関係を明らかにする。
- (4) 樹木の共鳴振動と内部欠陥の関連を調べる。

## 3. 研究の方法

### (1) 理論

アクリル円柱(高さ0.5m、円周0.471m、密度1185 kg / m<sup>3</sup>)をスポンジの上に立てた(図1)。その円柱の上部の共振周波数をRMDにより測定した。加振器と結合したプローブで円柱を振動させ、生じた振動を受振器で捉え、音響解析した。

### (2) 樹木用小型振動測定装置の開発

新装置の精度を、2009年1月6日、7日にLDV法と比較した。このときに用いたシラカシ立木は8本で、測定箇所(樹幹)の円周長は45.0~58.5cmだった。

### (3) 季節変動(シラカシ)

シラカシ(樹齢15年 樹高4.6-5.4m 直径11.4-18.0cm)を12個体使用した。地面よ

り50cmの位置の幹の樹皮にマーキングして、その位置に共振測定装置(RMD)の加振器のプローブを接触させ、点対称の位置に、受振器を設置して、発生した振動を音響解析して、共振周波数を求めた。レーザードップラー振動計(LDV)による測定ではRMDで幹を振動させた同一の加振器でシラカシ幹を振動させ、点対称の位置で振動したレーザー光を受光して、光の振動解析を行い、共振周波数を求めた。

### (4) 水分情報(ケヤキ)

ケヤキ(*Zelkova serrate*)8本を用いた。2009年1月15日から23日まで降雨前後の比較(7本を用いた)、及び連続測定(5本を用いた)を行った。7本の測定箇所は胸高の樹幹で、円周長は68~98cmであり、測定期間中は1cm以上の増減はなかった。8本の測定箇所は胸高の樹幹で、円周長は68~99cmであり、測定中は1cm以上の増減はなかった。

加振周波数は500~5000 Hzで樹幹に10秒間振動を与えた。

測定に際し、メジャーで樹幹の円周長を測り、得られた共振周波数のうち第2共振周波数( $f_2$ )、第3共振周波数( $f_3$ )の値を用い、

$$V_2 \text{ (m/s)} = f_2 \text{ (Hz)} \cdot \text{円周長 (m)} / 2$$

$$V_3 \text{ (m/s)} = f_3 \text{ (Hz)} \cdot \text{円周長 (m)} / 3$$

より、樹幹内を伝わる音の音速を算出した。

### (5) ADRとの比較

材料には、福岡県糟屋郡篠栗町の九州大学演習林内にあるマテバシイ(*Lithocarpus edulis*)を用いた。測定日時は2009年11月30日13時~12月2日7時に5本、2010年1月21日15時~22日15時30分に6本の経時測定を行った。測定箇所(樹幹)の円周長は、初回に測定した5本は37.6~76.1cm、2回目に測定した6本は37.6~72.0cmだった。樹高は約10~14mだった。ADRセンサーはサンプルA~Cの3本の地表から約1mの高さに貫入された。

3本のサンプルには九州大学演習林の大槻恭一教授によってADRセンサー(Theta Probe ML2X, Delta T社)が貫入されており、10分毎にデータが蓄積された。そこから算出された含水率と、振動法によって算出した音速を比較した。

### (6) 欠陥検出(イヌエンジュ)

北海道芦別産のイヌエンジュ原木材(長さ2m 直径5-18.0cm)18個体を2月に伐採した後、屋外に放置し、北海道美唄市光珠内町 北海道立総合研究機構 林業試験場の温室(温度25° 湿度50%)に2日置き使用した。

測定はスポンジの上に原木材をおき、RMDを用いて測定した。加振器に接続したプローブで木材の幹を振動させ、点対称の位置に受振器を設置して発生した振動を音響解析して共振周波数を求めた。

#### 4. 研究成果

##### (1) 理論

理想的な円柱の円周振動の共振の様式は2次、3次、4次、5次とさらに高い次数である。そのとき樹幹の円周 (Lc) に2次は2つの波、3次は3つ、4次は4つの波を持っている。また一般に  $v = f \times \lambda$   $v$ : 音速、 $f$ : 周波数、 $\lambda$  波長である。

このとき2次、3次、4次の共振周波数をそれぞれ  $f_2, f_3, f_4, f_5$  それぞれの共振点の音速を  $v_2, v_3, v_4, v_5$  とすると

$$v_2 = f_2 \times Lc / 2 \quad v_3 = f_3 \times Lc / 3 \quad v_4 = f_4 \times Lc / 4$$

$$v_5 = f_5 \times Lc / 5 \text{ のように記載できる。}$$

一般に、均一な物体ではどの位置、どの方向でも音速が等しいので、円柱が均一な条件を考えると  $v_2 = v_3 = v_4 = v_5$  が成立し、

$(f_2 \times Lc / 2) = (f_3 \times Lc / 3) = (f_4 \times Lc / 4)$  となり、 $f_3 / f_2 = 3 / 2$   $f_4 / f_2 = 2$ 、 $f_5 / f_2 = 5 / 2$  となる。したがって、理想的な円柱の3次共振と2次共振の比は1.5で、4次共振と2次共振の比は2.0、5次共振と2次共振の比は2.5となる。

アクリル円柱の共振周波数とその比。  $f_3 / f_2$  は1.53、 $f_4 / f_2$  は2.01、 $f_5 / f_2$  は2.48であり、それぞれ、上記で述べた理論値1.5、2.0、2.5に極めて近い値となった。それぞれの場合の音速は1409、1436、1418、1402 m/secであり、音速がほぼ一定となることが確認された(表1)

表1 Sound velocity and elastic modulus from acrylic cylinder by using a RMD

Excitation point: ↓				
Mode	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$
Frequency (Hz)	5981	9146	12041	14881
Wavelength (m)	$Lc / 2$	$Lc / 3$	$Lc / 4$	$Lc / 5$
Sound velocity (m)	1409	1436	1418	1402
Elastic modulus (Gpa)	2.35	2.44	2.38	2.33

さらに、 $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$   $v$ : 音速  $E$ : 弾性率

$\rho = 1185 \text{ kg / m}^3$  と表されるので、

$E = v^2 \times \rho$  となり それぞれの場合 2.35、2.44、2.38、2.33 Gpa となった(表1)。

市販されているアクリル樹脂の曲げ弾性率は2.5 -3.3GPaであり、RMDで測定した共

振周波数から算出した弾性率に近い値となった。これらの結果から、RMDにより共振周波数が有効に測定されていることが示唆された。

##### (2) 樹木用小型振動測定装置の開発

図1は新装置とLDVで測定した  $f_2$  の比較である。新装置で測定した  $f_2$  はLDVの結果と  $R = 1.00$  の相関があり、LDVとの誤差は  $9.9 \pm 1.4 \text{ Hz}$  だった。

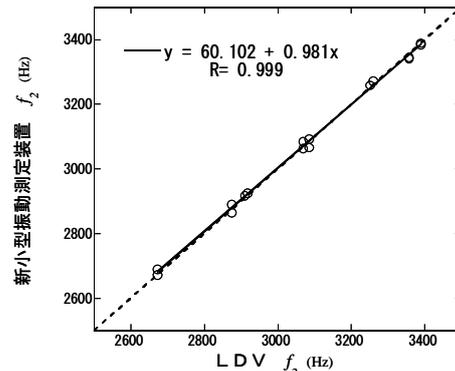


図1-7 新小型振動測定装置とLDVの第2共振周波数の比較 (図中の点線はY=X)

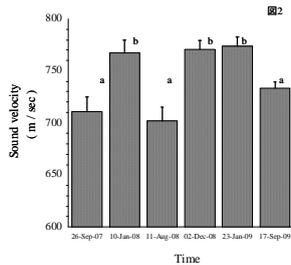
##### (3) 季節変動 (シラカシ)

シラカシでの樹幹の2次の共振 ( $f_2$ ) における周波数と音速の季節的な変化は、2007から2009まで表2で示される。明確なはっきりした傾向が樹幹の2次共振周波数に見いだされなかった。周波数は時間につれて減少する傾向があった。しかし、2次共振を使った音速は冬より夏により低かった。図2がシラカシの樹幹の2次共振を使った音速の平均の季節的な変化を示す。夏の樹幹からの2次共振における音速の平均は冬のそれらより際立ってより低かった。異なった年の同じ季節間での樹幹から2次共振において音速の平均に有意な差が見いだされなかった。これらの結果はシラカシでの樹幹の2次共振における音速が夏に低く、そして冬に高かったことを示す。

本研究で、夏と冬のシラカシの樹幹の物理的性質における相違がRMDを使うことによって非破壊的に見いだせることが示される。

表2 Seasonal changes in the second resonance frequency,  $f_2$ , and sound velocity,  $v_2$ , at the second resonance of trunk in white oak

Individual	26-Sep-07		10-Jan-08		11-Aug-08		02-Dec-08		23-Jan-09		17-Sep-09	
	$f_2$ (Hz)	$v_2$ (m/sec)										
1	3917	705	4046	763	3463	714	3528	744	3577	764	3071	737
2	3293	609	3462	684	2929	653	3190	778	3196	780	2883	732
3	3522	652	3611	684	3133	622	3202	720	3292	741	2798	708
4	3664	724	3839	777	3281	696	3552	746	3542	753	3189	713
5	3641	737	3785	801	3420	787	3480	750	3551	776	3148	735
6	3446	732	3675	786	3168	686	3419	803	3084	729	3013	756
7	3271	736	3441	779	3034	695	3190	798	3196	799	2845	755
8	3522	792	3628	837	3179	770	3226	774	3318	800	2801	752
9	3172	745	3409	806	2919	700	3105	807	3214	836	2954	768
10	2845	683	3099	779	2695	741	2803	779	2712	754	2389	718
11	3002	728	3143	762	2790	677	2936	793	2946	795	2511	709
12	2423	684	2622	741	2419	683	2429	757	2462	767	2157	716



(4) 水分情報 (ケヤキ)  
①降雨前後の音速の比較

2009年1月に行った降雨前後の音速の比較は表3に示した。この測定では、13日間雨のない状態が続き、1月15日に測定を行い(降雨前と表記)、1月18日の夜間に3.5mmの降雨があった翌19日に再度測定を行った(降雨後と表記)。

表3で示した通り、7本のV2の平均は、15日が740 m/s、降雨翌日の19日が710 m/sで、平均値に差はないが、各個体のV2の減少の平均値は1%水準で有意に0よりも大きかった。一方でV3(表2-2)は7本の平均は降雨前が774 m/s、降雨後が758 m/sだった。この結果も平均値に有意差はなかったが、各個体でV3のは1%水準で有意に減少した。

表3 降雨前後の音速の比較 (V<sub>2</sub>)

サンプル	円周(cm)	V <sub>2</sub> (m/s)		
		降雨前(1/15)	降雨後(1/19)	降雨前後差
A	71cm	818	774	44
B	98cm	730	717	13
C	93cm	793	753	40
D	89cm	761	730	31
E	95cm	767	718	49
G	74cm	669	649	20
H	68cm	640	629	11
平均		740	710	30*
標準誤差		24.5	20.0	5.8

○ 1/18に3.5mmの降雨

\*:全ての個体が降雨後に1%水準で有意に減少

表2-1 降雨前後の音速 (V<sub>2</sub>) の比較

②冬季のケヤキの音速の経時変化

2009年1月19日から5日間行った連続測定での音速の変化を図3に示した。図中、灰色の帯の部分(18時~翌朝7時)を示し、その中間付近の点線で示した時点が深夜0時である。また、21日の16時ごろ(4.0mm)及び22日の20時ごろ(0.5mm)の雨が降った時点(二重の縦線)を示した。

5本の音速はサンプルAの15日12時を除いては、いずれもV3の方が高かった。特にサンプルB,EでV2とV3の差が大きかった。サンプルAはV2とV3の差が最も小さかった。V2とV3との間で、各測定時点での前の時点からの変化量を比較したところ、サンプルA、C、EではそれぞれR = 0.68, 0.66, 0.70の

相関があったが、B、Dはそれぞれ0.25、0.35と弱い相関だった。

また、経時測定中も降雨があり、その前後で音速が比較できた。21日16時の4.0mmの降雨ではV2がサンプルA,Dを除いて減少し、V3はいずれのサンプルも大きく減少した。22日19時の0.5mmの降雨では、サンプルAで降雨直後にV2、V3ともに減少したが、それ以外でV2、V3がともに減少した個体はなかった。

また晴れた日は、V2、V3ともに夜間に上昇する傾向がおよそ見られた。そこで、昼夜間で音速にリズムがあるかを調べるために、1月15日の音速を1.00とした相対値を取ったグラフを図2-3に示した。各プロットは5本の相対値の平均である。結果、V2では晴れた日は夜間に音速が上昇し、昼間に音速が減少する傾向が明らかになった。一方降雨のあった夜間は音速の上昇が頭打ちになり、日変動も小さい傾向があった。V3も夜間に増加する傾向が見られた。しかし、V2と違い、降雨のあった21日の夜間も上昇した。

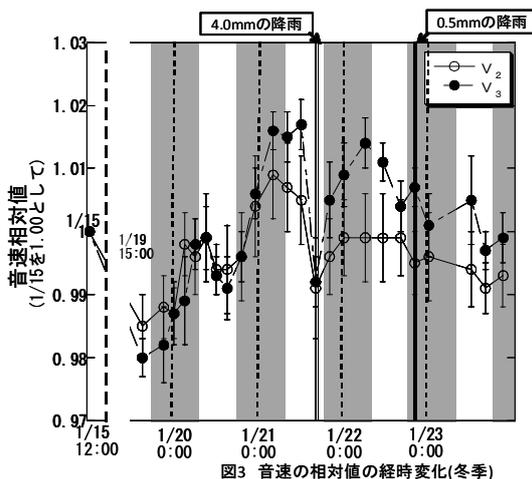


図3 音速の相対値の経時変化(冬季)

(5) ADR との比較

①マテバシイでの音速の経時変化

5本のサンプルのV2はおおよそ630~720 m/sで、V3はおおよそ600~770 m/sだった(図4)。期間中の音速の変動係数は、V2で0.37~1.30%、V3で1.29~5.15%だった。V2に比べ、V3の方が大きく変動する傾向が全てのサンプルで見られた。

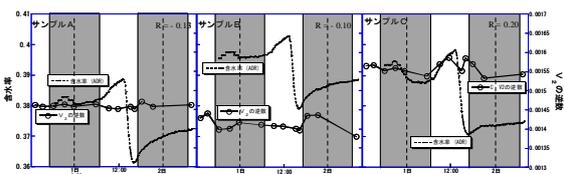


図4 音速 (V<sub>2</sub>) の逆数と含水率の比較 (灰色の帯は日の入り後、17:00~7:00)

②ADR 法による含水率の経時変化

ADR 法での測定から算出された 3 本のサンプルの含水率を図 4 に示した。ADR センサーでの測定は 11 月 30 日の 18 時から開始した。3 本の含水率は 36.1~40.3 %の間で変動し、変動係数は 1.67~2.46 %だった。含水率はサンプル B、C、A の順に高かった。全てのサンプルで共通した変動パターンを持ち、1 日の 12 時 30 分~13 時付近で最も高く、同日 15 時 50 分~16 時 30 分ごろに最も低かった。この間で著しく減少した。また、30 日は 20 時付近まで微増した。サンプル C では特に 1 日 1 時 30 分頃まで他に比べ大きく下がった。1 日から 2 日にかけての夜間は、全てのサンプルで増加した。

③音速と含水率の比較

図 4 は、振動法で測定した V2 の逆数と ADR による含水率の比較を示したグラフである。

図 4 より、V2 の逆数はサンプル C、A、B の順に大きかった。V2 の逆数と含水率との相関は C での R = 0.20 が最大で、サンプル A、B では相関がなかった。特に含水率が 1 日の 13 時~16 時頃に大きく下がったのに対し、V2 の逆数は A、B では変化なく、C ではわずかな減少だった。

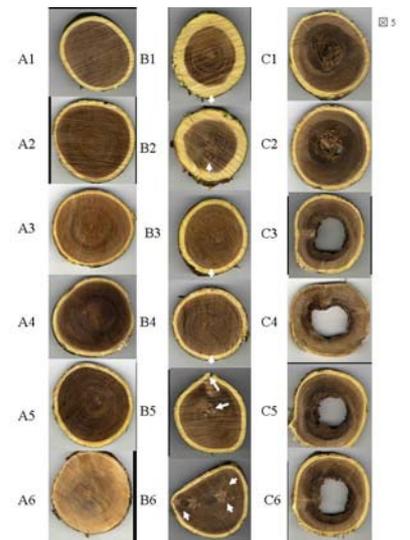
(6) 欠陥検出 (イヌエンジュ)

表 4 が健全な節と腐朽した木材での円周と平均の共振周波数、平均の音速と音速の変動係数を示す。2 次共振の場合で、平均の周波数 (平均の f2) と平均の音速 (平均の v2) では節のある木材は健全な木材より高かったのに対して、腐朽した木材は健全な木材より低かった。他方、3 次共振、f3 で明確な傾向が節のある木材と健全な木材の間での平均の周波数 (平均の f3) と平均の音速 (平均の v3) に見いだされなかったのに対して、腐朽した木材のそれらは健全な木材のそれらより低かった。v2 と v3 を樹木幹の円周に対してプロットした時、両者間の相関係数が健全な木材で極めて高く有意だった。2 次共振においての速度 (v2) と 3 次共振においての速度 (v3) での相関係数の 2 乗 (R2) は v3 と v2 でそれぞれ 0.976 と 0.959 であった。節のある木材からの 2 次共振においての速度 (v2) は健全な木材から v2 の回帰直線の上側にあり、一方腐朽した木材からの 2 次共振の速度は同じ線の下側にあった。節のある木の樹幹からの 3 次共振においての音速 (v3) は健全な木材の樹幹に対しての v3 の回帰線の付近にあったが、他方腐朽した木材の音速はなお同じ線の下側にあった。この結果は音速と円周との間の関係が節ありや腐朽した木材を健全な木材と区別することができることを示唆する。

表4 Circumference, frequency and sound velocity at the two resonance frequencies (f2 and f3) of raw wood in *Maackia amurensis*

Individual	Circumference	Resonance						
		f <sub>2</sub>			f <sub>3</sub>			
		Average frequency	Average sound velocity	C.V.	Average frequency	Average sound velocity	C.V.	
(m)	(Hz)	(m/sec)	(%)	(Hz)	(m/sec)	(%)		
Sound	1	0.300	3173	476	6	5060	506	11
	2	0.350	3021	529	2	4721	551	2
	3	0.390	2860	558	3	4548	591	4
	4	0.395	2837	560	2	4453	586	8
	5	0.460	2639	607	4	4059	622	1
	6	0.565	2677	756	2	4162	784	1
Knot	1	0.180	6343	571	1	7473	448	9
	2	0.220	5769	635	1	6938	509	8
	3	0.255	4877	622	5	6129	521	14
	4	0.280	4334	607	14	5418	506	15
	5	0.380	3232	614	5	4901	621	16
	6	0.480	3318	796	28	4460	714	25
Decay	1	0.350	2436	426	18	3816	445	15
	2	0.410	1709	350	22	2286	312	25
	3	0.485	1578	383	20	2203	356	7
	4	0.490	1656	406	25	2215	362	17
	5	0.495	1923	476	15	2538	419	23
	6	0.500	1975	494	26	2745	457	47

比率、f3 / f2 が木材の均一性に関連しているかどうか調査するために、Maackia の樹幹からの 2 次共振周波数 (f2) に対しての 3 次共振周波数 (f3) の比率が計算された。図 5 が、測定した木材を切断後での、健全な、節のある、そして腐朽した木材の横断面を示す。A1 - A6 は内部欠陥がなかった。B1、B3、B4、は樹幹の表面の節があった、B2 で 1 つ、B3 で 2 つ、B4 では内部組織に 3 つの節があった。C1、C2 は内部組織の変性があった、他方 C3、C4、C5 と C6 が内部の組織に空洞があった。



これらの結果から、RMD を使うことによって Maackia での原木材の 2 次共振や 3 次共振においての音速および 2 次共振周波数に対しての 3 次共振周波数の比率が内部欠陥の指標として使用できることが明らかに証明された。

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 Taniwaki, M. and N. Sakurai, Evaluation of the Internal Quality of

Agricultural Products Using Acoustic Vibration Technique. Japan. Soc. Hort. Sci. (in press)

- ② Taniwaki, M., K. Akimoto, T. Hanada, M. Tohoro and N. Sakurai, Improved methodology of measuring moisture content of wood by a vibrational technique. Wood Material Science and Engineering、査読有 2、2007、77-82
- ③ Blahovec, J., H. Akimoto and N. Sakurai, Laser Doppler forced vibrology of soft agricultural products. Applied Rheology、査読有 17、2007、25111-1-25111-7.

[学会発表] (計9件)

- ① 櫻井直樹・小久保亮・谷脇満・高橋正大・藤路陽、樹木の円周振動モードを利用して樹木に内部情報を非破壊で測定する技術の開発、日本木材学会第60回大会(宮崎)2010年3月18日
- ② 高橋正大・櫻井直樹、振動共振法による樹内水分情報の推定、日本木材学会第60回大会(宮崎)2010年3月18日
- ③ 小久保亮・櫻井直樹、振動共振法を用いた共振ピークと音速による立木の内部欠陥検出法の開発、日本木材学会第60回大会(宮崎)2010年3月18日
- ④ 櫻井直樹・小久保亮・谷脇満・高橋正大・藤路陽、樹幹の円周モードを非破壊測定する振動共振法の開発、日本木材学会中国・四国支部大会(松江)2009年9月15日
- ⑤ 櫻井直樹・小久保亮、振動共振法を用いた共振ピークと音速による立木の内部欠陥検出法の検討、日本木材学会中国・四国支部大会(松江)2009年9月15日
- ⑥ 櫻井直樹・高橋正大、振動共振法によるケヤキ樹木水分情報の推定、日本木材学会中国・四国支部大会(松江)2009年9月15日
- ⑦ 櫻井直樹・小久保亮・谷脇満・高橋正大・藤路陽、樹幹の円周モードを非破壊測定する振動共振法の開発 レーザードップラー装置と新型接触式非破壊装置との比較、日本森林学会第120回大会(京都)2009年3月25日
- ⑧ 小久保亮・櫻井直樹、振動共振法を用いた共振ピークと音速による樹幹の内部欠陥検出法の開発 イヌエンジュ原木丸太の腐朽、節の検出、日本森林学会第120回大会(京都)2009年3月25日
- ⑨ 高橋正大・櫻井直樹、振動共振法によるケヤキ樹内水分情報の推定、日本森林学会第120回大会(京都)2009年3月25日

[図書] (計1件)

- ① 谷脇満・櫻井直樹、コロナ社、共振周波数、(農産物性と計測方法、西津、後藤、近藤、林、清水 編著者、)印刷中

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: 振動を用いた樹木の特性測定装置並びに特性測定法

発明者: 櫻井直樹、小久保亮

権利者: 広島大学、北海道立林業試験場

種類: 特許

番号: 特願2008-124506

出願年月日: 2008年5月12日

国内外の別: 国内

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

櫻井直樹 (SAKURAI NAOKI)

広島大学・大学院生物圏科学研究科・教授  
研究者番号: 90136010

### (2) 研究分担者

小久保亮 (KOKUBO AKIRA)

北海道立林業試験場・緑化樹センター・  
研究主任

研究者番号: 10414252

### (3) 連携研究者

宮本久美 (MIYAMOTO KUMI)

和歌山県農林水産総合技術センター・

果樹試験場・主任研究員

(2008~2009)