

林産加工学

— 木材を無駄なく、適切に、長く使おう —

- 切削加工
- 乾燥加工
- 非破壊試験
 - 欠点検出
 - 健全性評価
 - 木材保存
 - 物性評価

切削加工の一側面

アインシュタインの眼
NHK BS-hi
(2007.6.19)

アインシュタインの眼

宮大工

木を活かす カンナの技

乾燥加工について

- 水と木材 — 木材乾燥の必要性 —
- 木材乾燥の課題
- 木材乾燥の研究例
 - AEを利用した乾燥制御
 - 自由水移動の可視化

水と木材

$$\text{含水率} = \frac{\text{木材中の水分の質量}}{\text{完全に乾燥した木材の質量}} \times 100 (\%)$$

- 30%以上では腐りやすい(木材腐朽菌の繁殖)
- 含水率が低いほど強度が高い(30%以下)
- 含水率によって寸法が変化する(30%以下)

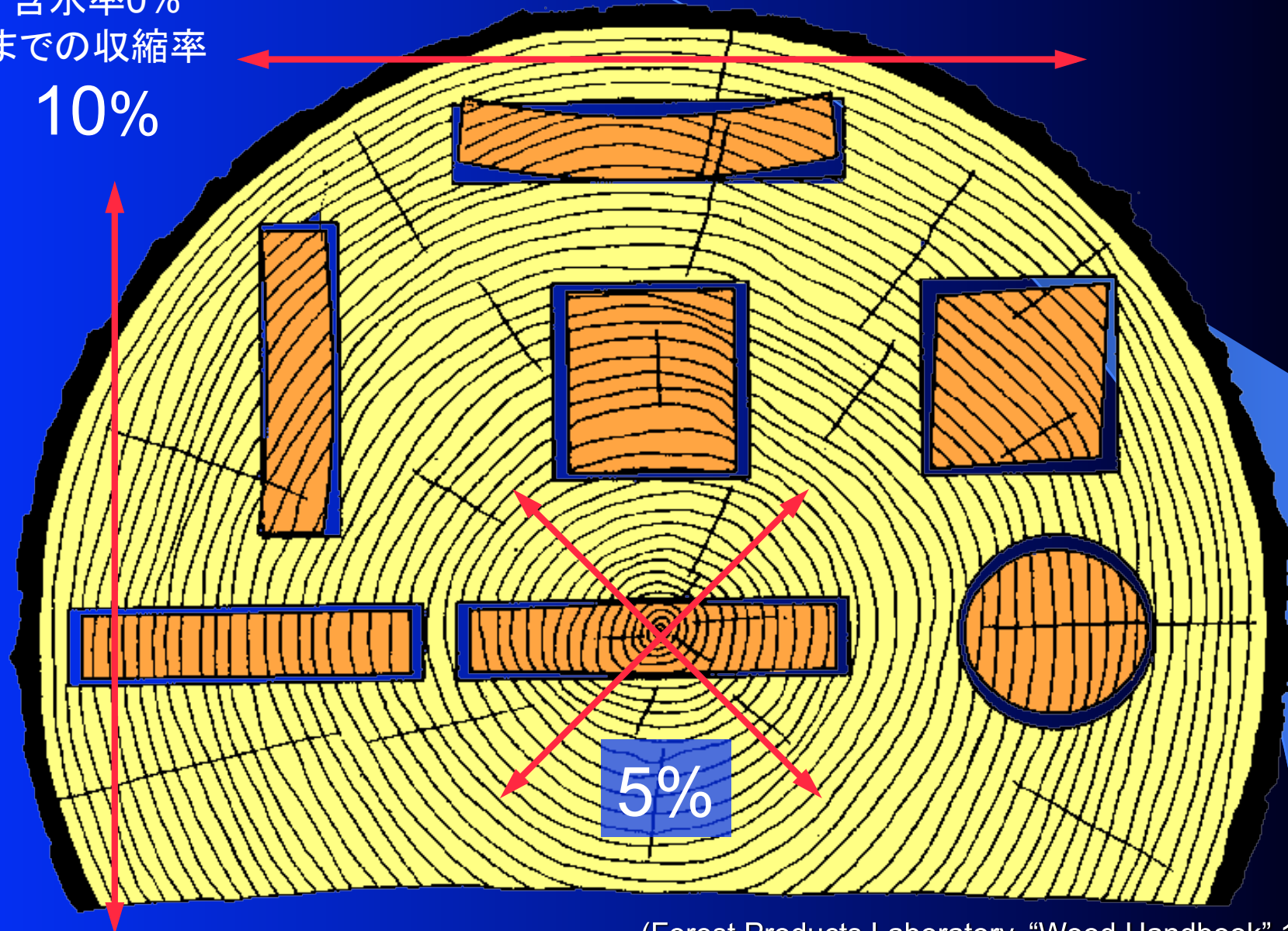
【 生材 → 全乾の収縮率 (%) 】

接線方向	半径方向	繊維方向
5~14	2~5	0.2~0.5

- 室内の調湿作用がある(30%以下)

木材の収縮異方性

含水率0%
までの収縮率
10%



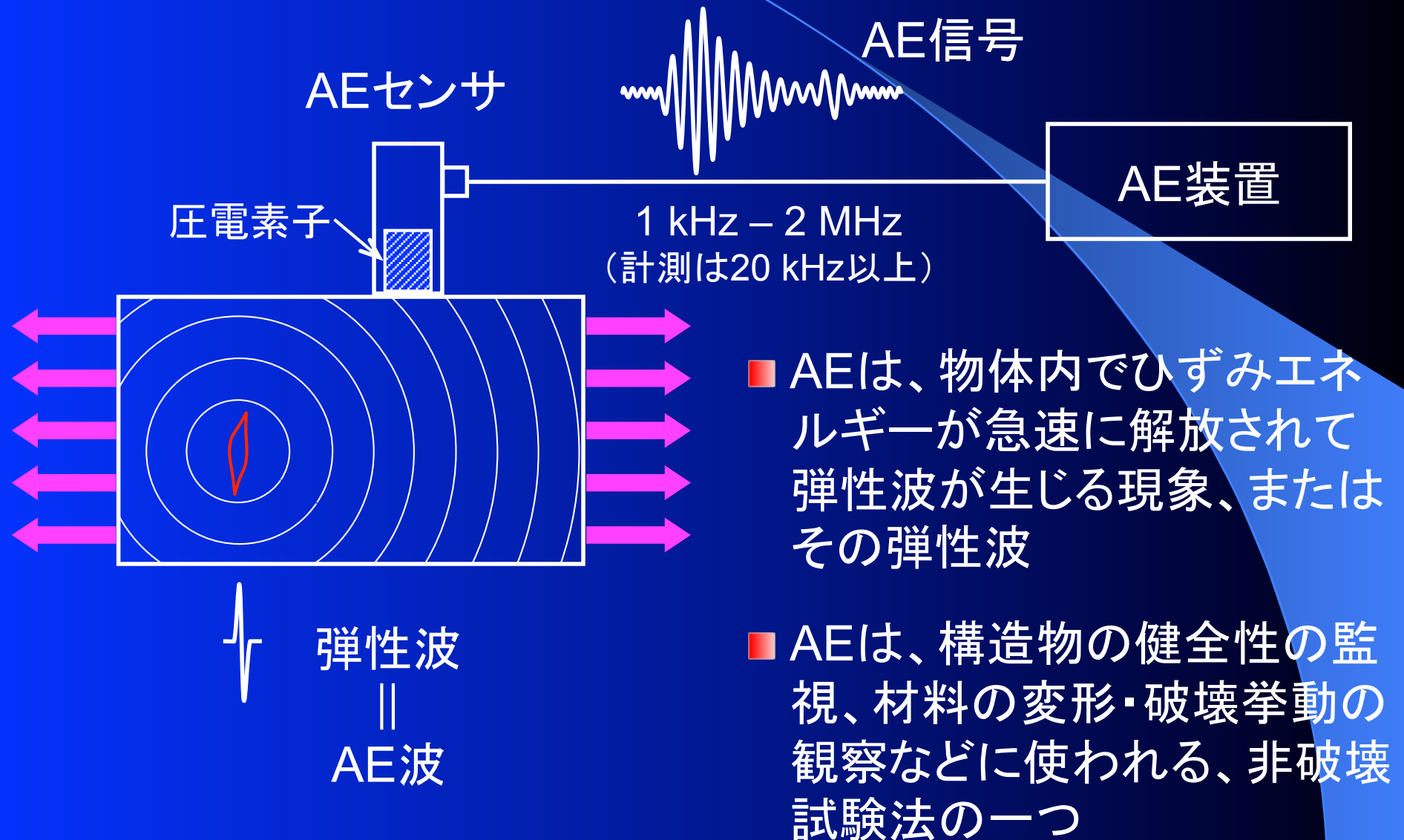
(Forest Products Laboratory, "Wood Handbook" 1987)

木材乾燥の課題

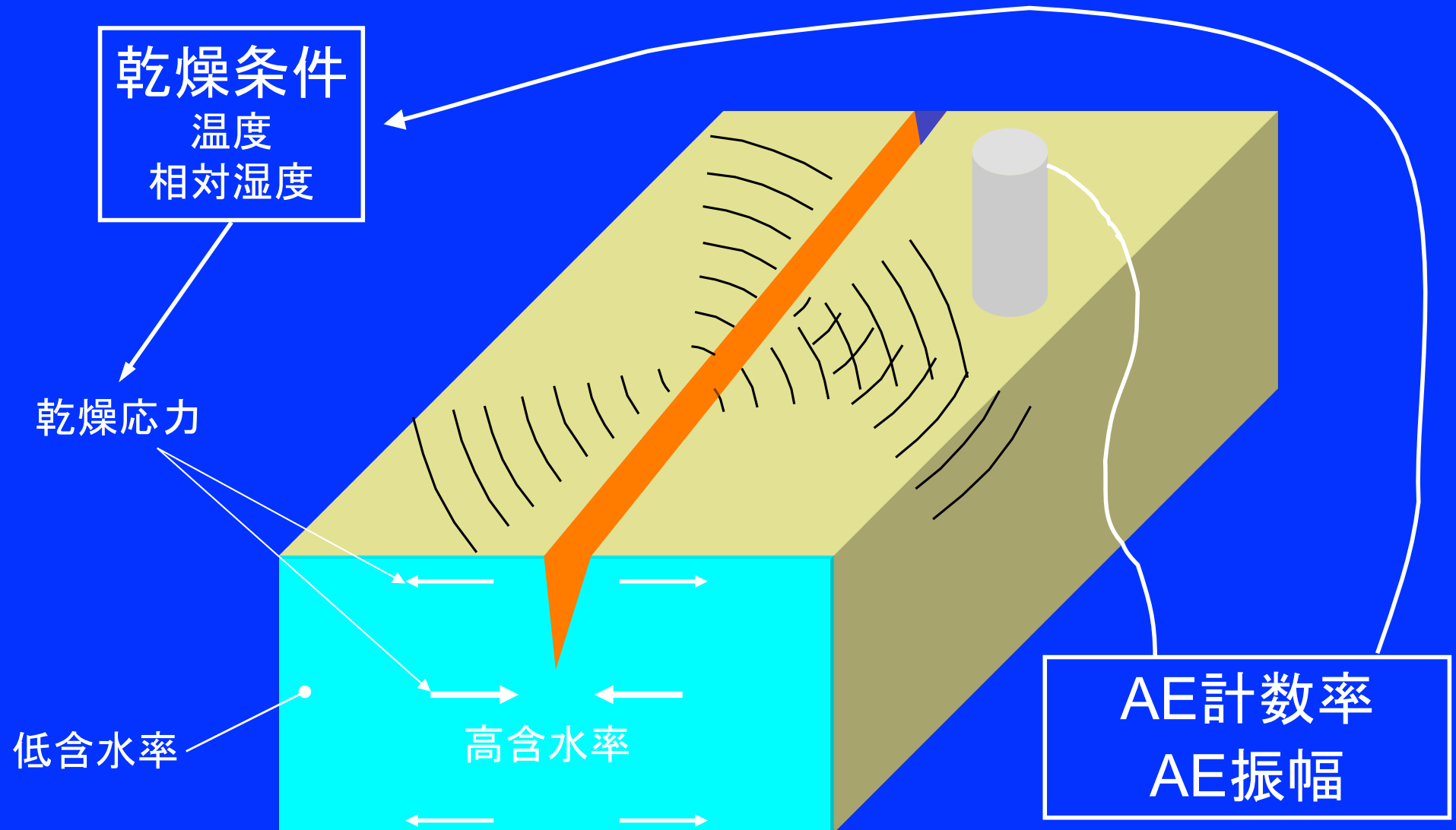
- 乾燥割れの防止と効率的な乾燥
- 実大材の含水率測定
- 乾燥コストの低減
- ...

乾燥割れの早期警戒信号としての
アコースティック・エミッション(AE)を利用した
乾燥条件のフィードバック制御

アコースティック・エミッション (AE)とは？



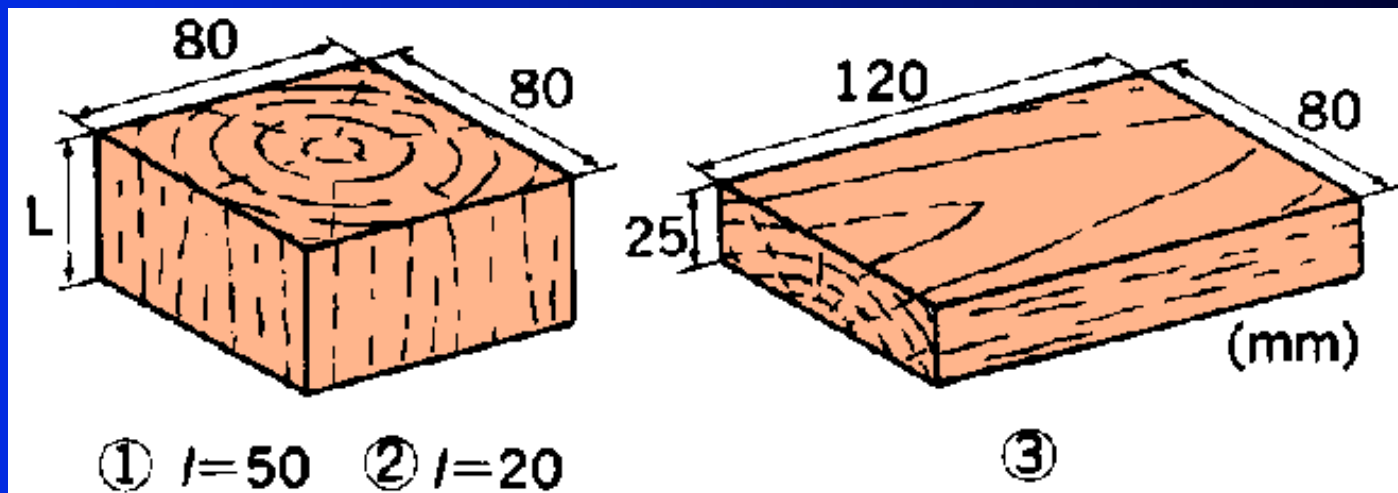
AEによる乾燥工程のフィードバック制御



乾燥過程におけるAE発生とその特性

(野口・奥村・川元 1985)

実験	温度 (°C)	相対湿度 (%)	試験片		備考
			樹種	形状	
I	80	40	ミズナラ ケヤキ スギ	①	1日
II	80 40	80→70→60→50→40→ 50→60→70→80 (2 サイクル)	ミズナラ ケヤキ	② ③	15分間隔



試料重量

100事象当たりの
平均AE振幅

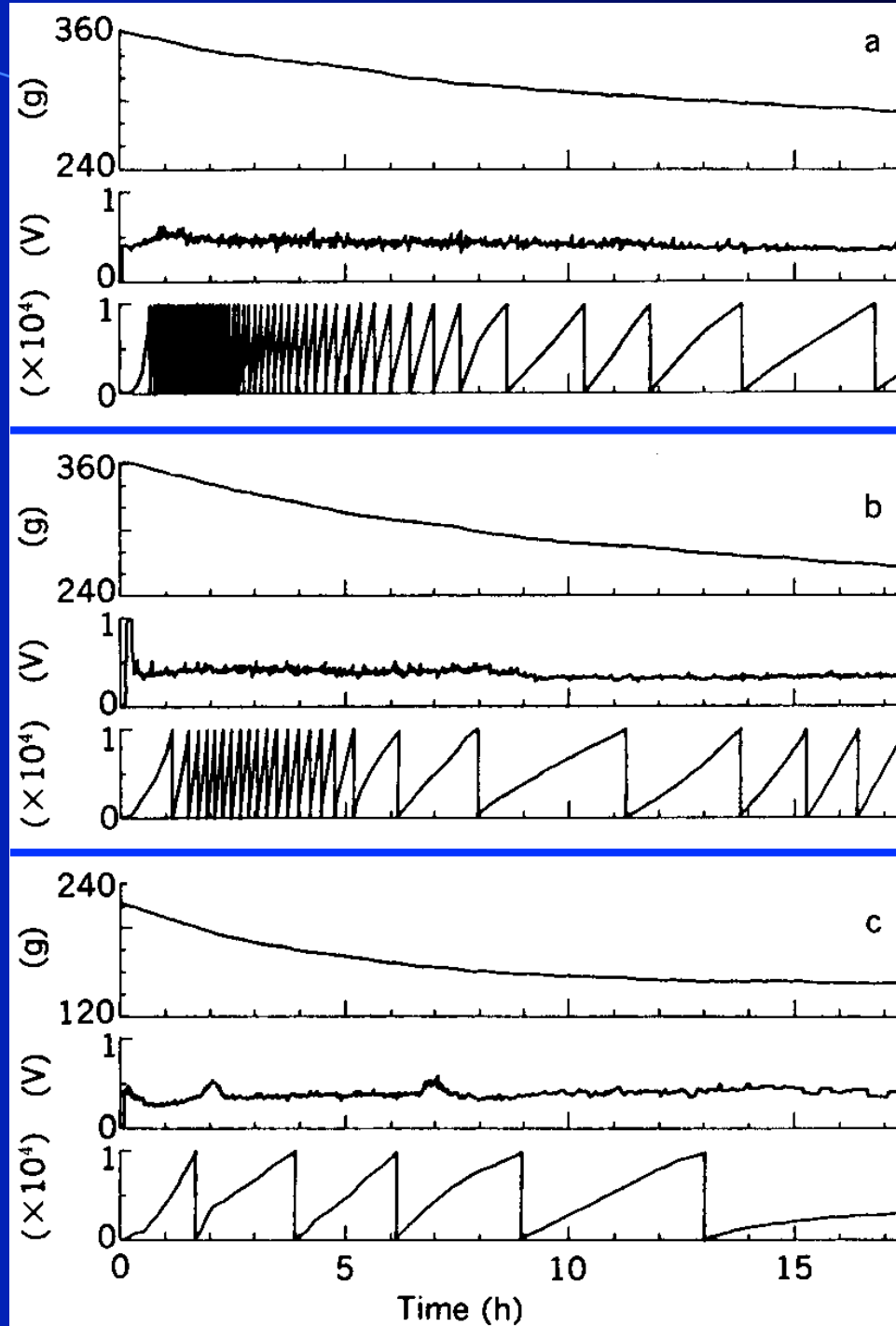
AE事象総数

(実験I)

温・湿度一定

温度: 80°C
相对湿度: 40%

(野口・奥村・川元 1985)



ミズナラ

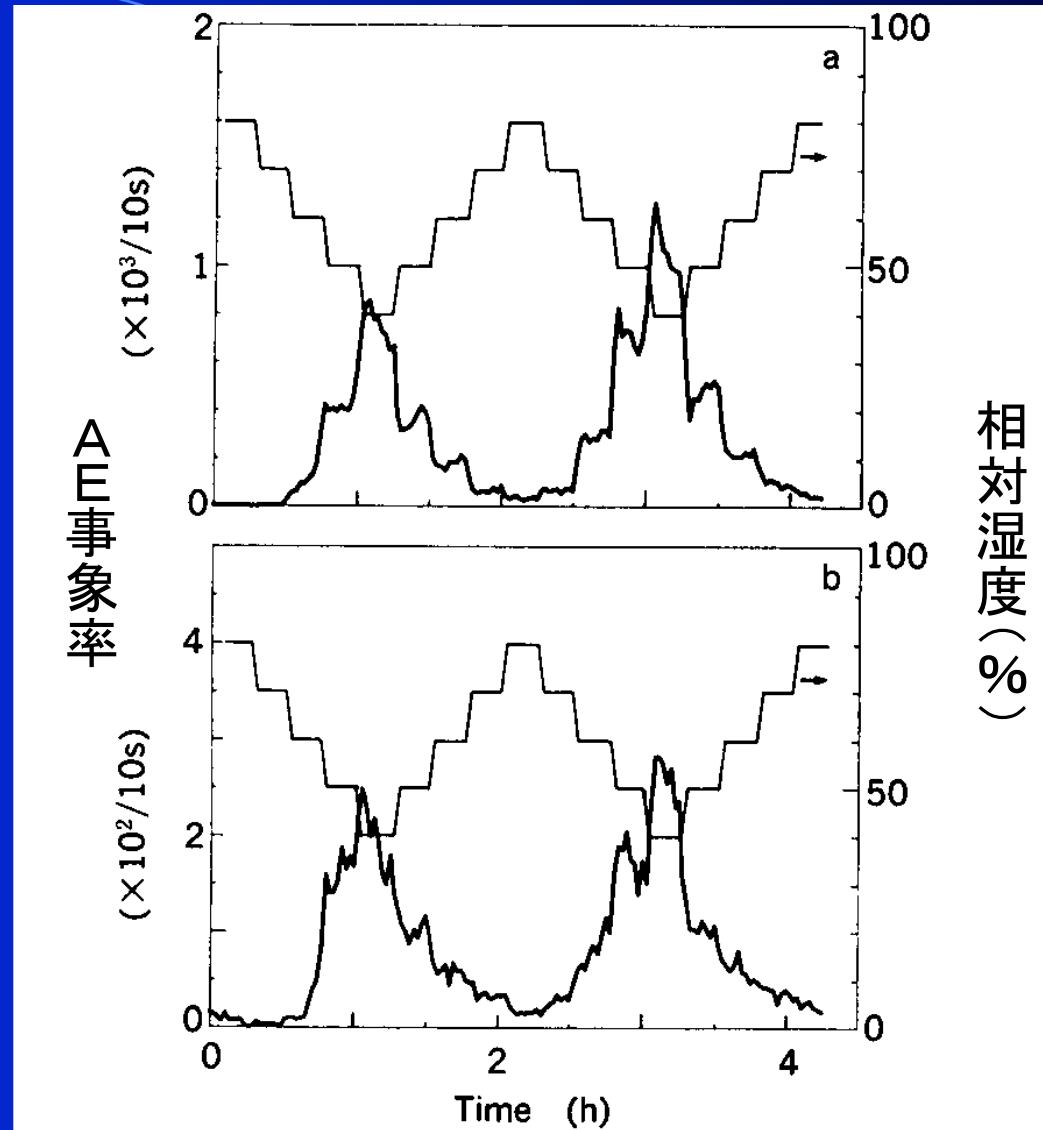
ケヤキ

スギ

(野口・奥村・川元 1985)

(実験II)

(温度: 40°C)

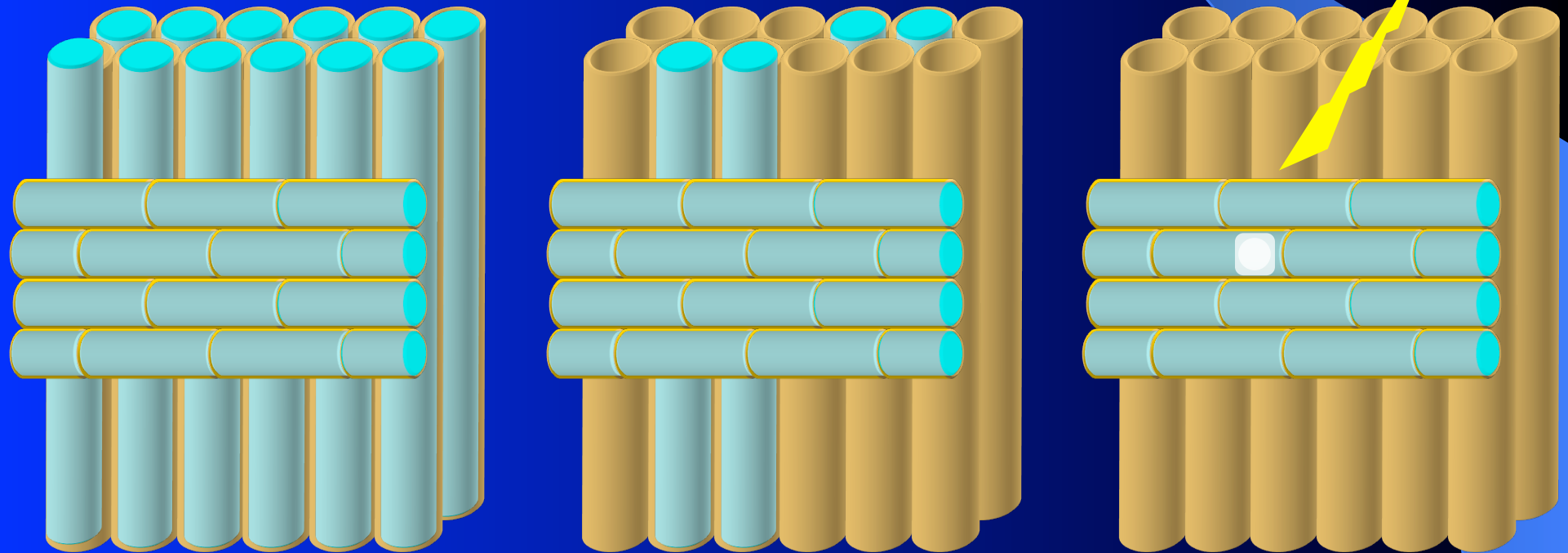


相对湿度とAE事象率の関係

ケヤキ, a: 試料②, b: 試料③

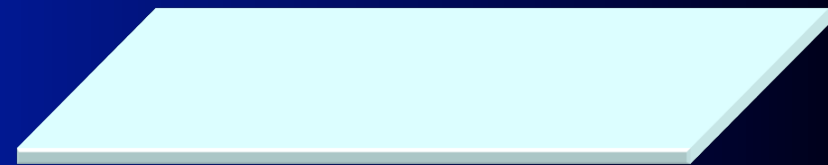
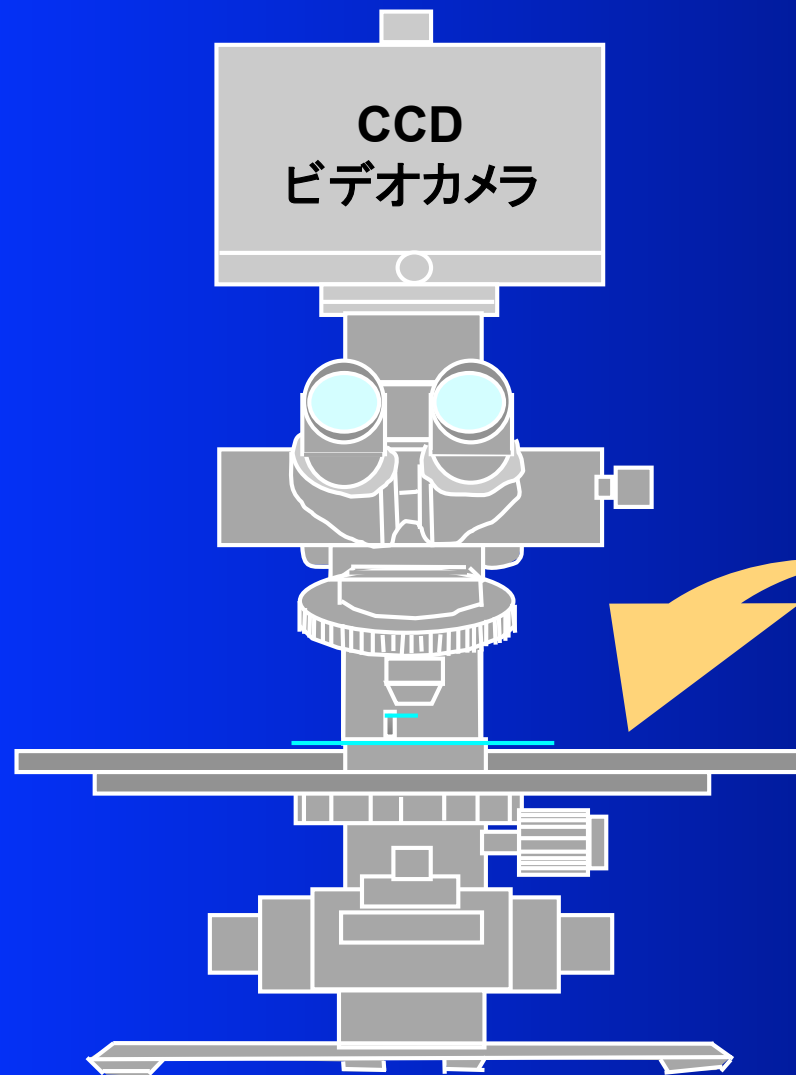
木材乾燥中の自由水の移動

放射柔細胞における気泡の発生とAE

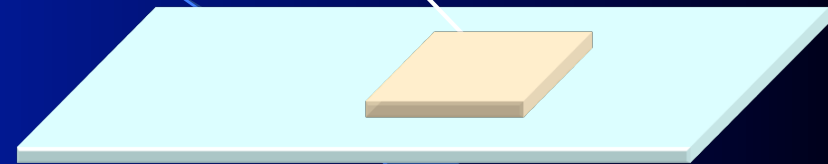


気泡発生とAEの同時記録

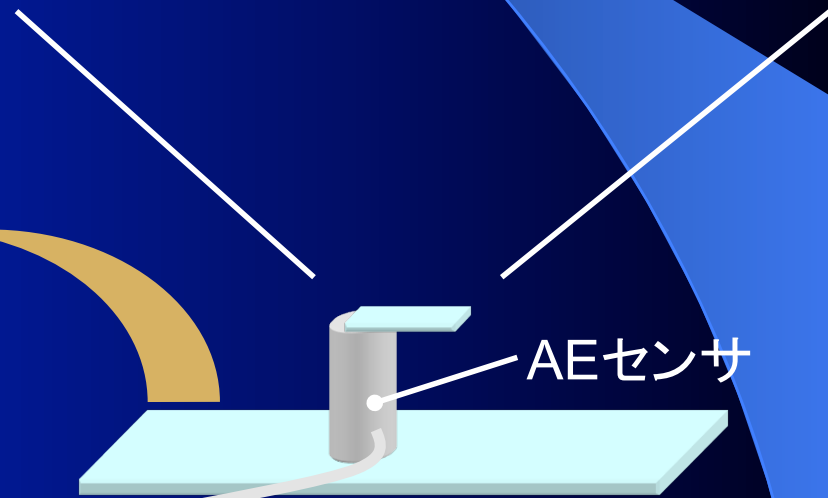
(菊田 2002)



切片 (30~50 μ m厚、1mm角)

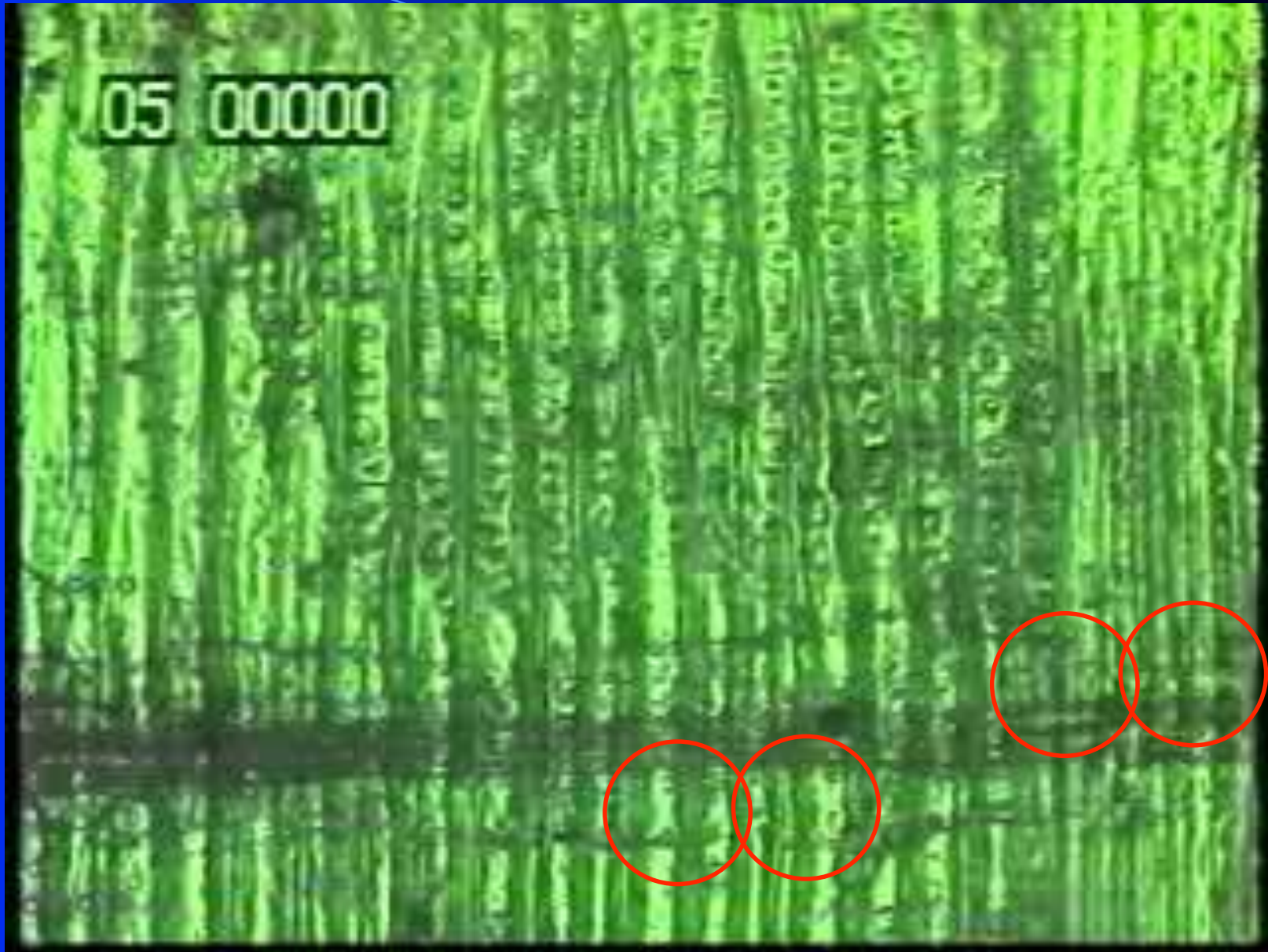


塩化ビニル板 (0.5mm厚)



AEセンサ

スライドガラス



ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*)

(菊田 2002)



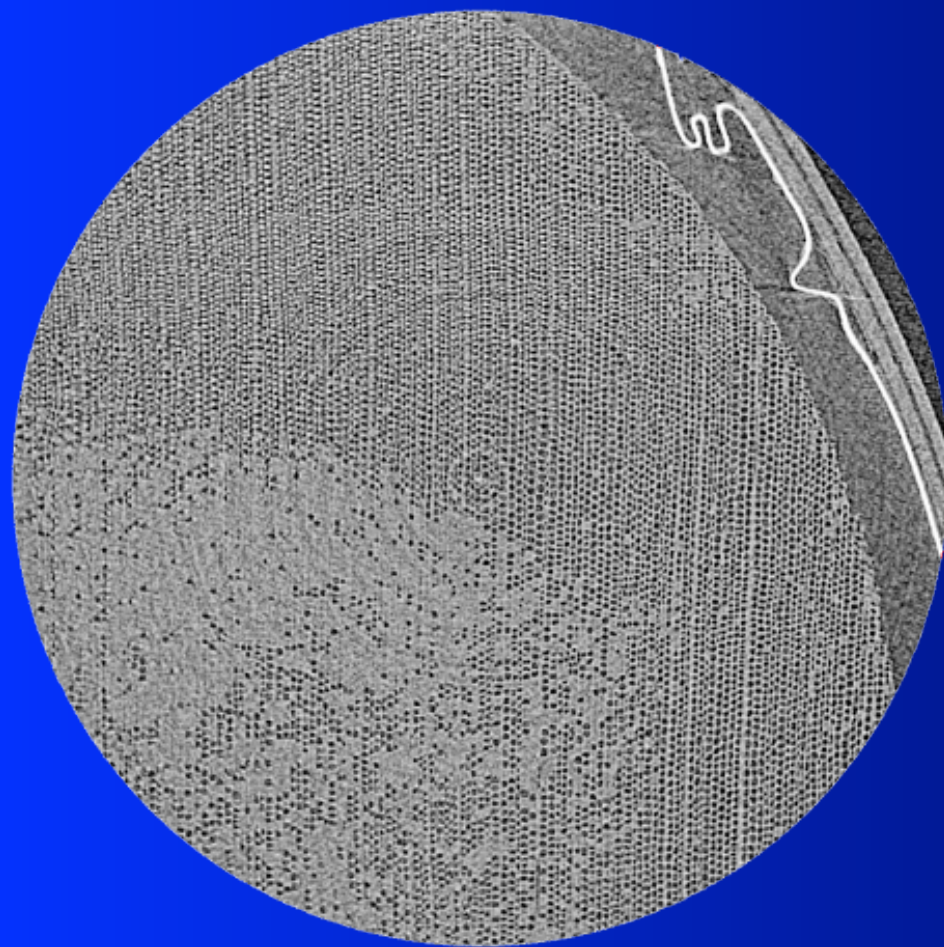
クリ (*Castanea crenata*)

(菊田 2002)

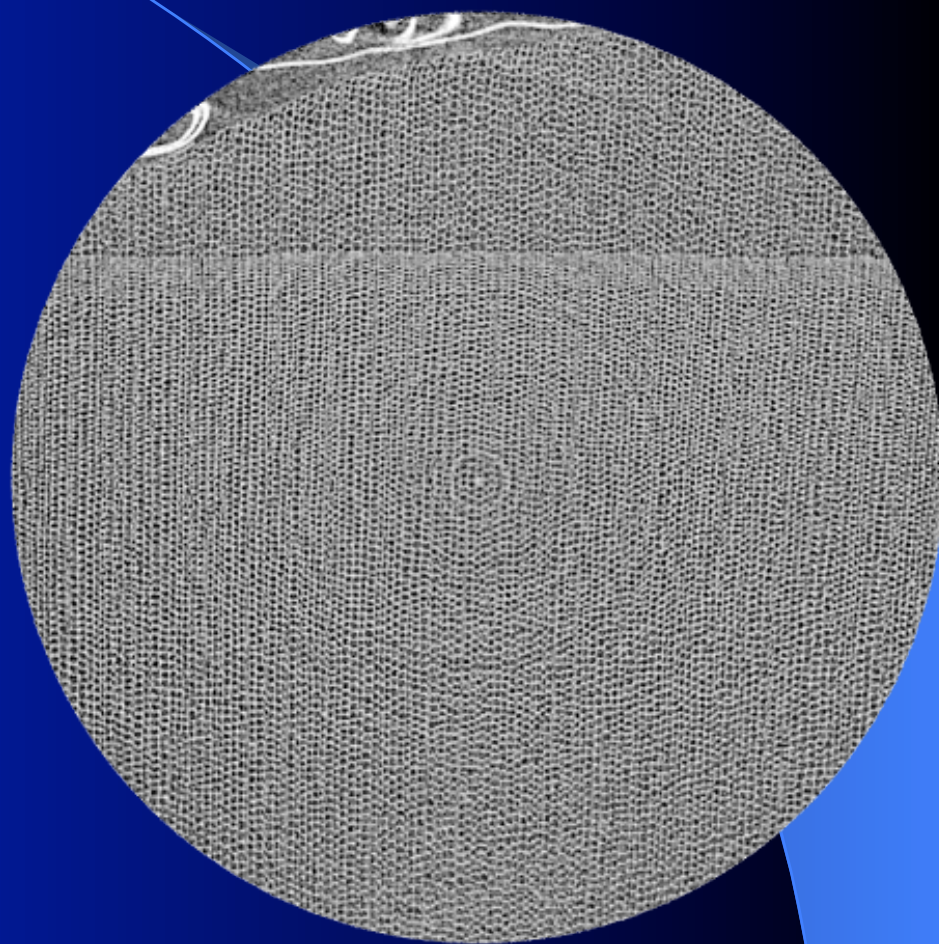
高分解能X線CTによる自由水の可視化

(乾燥中のヒノキ試片)

(魏 2006)

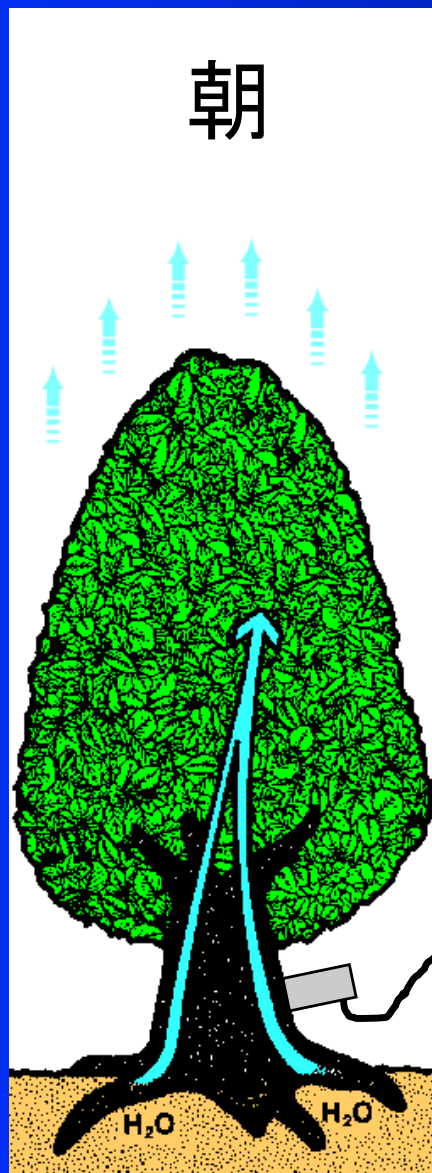


AE発生あり

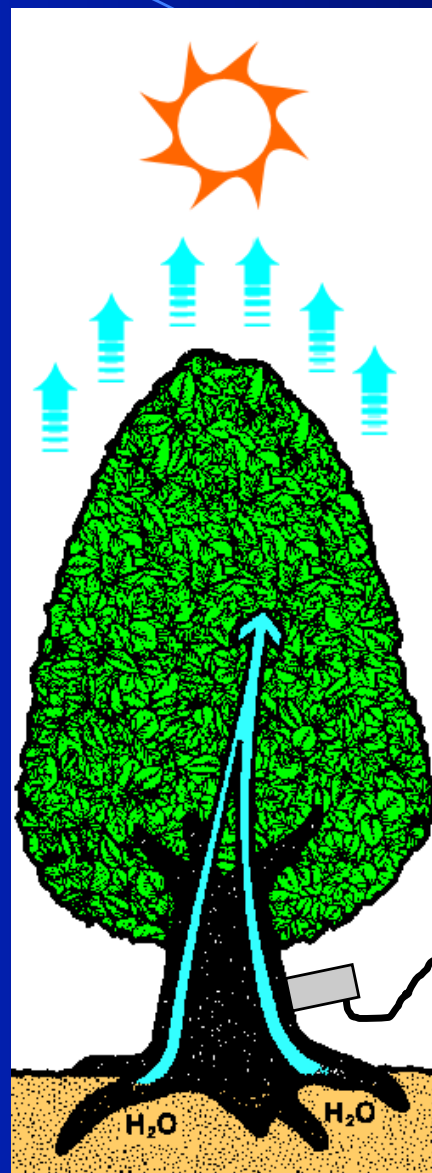


AE発生なし

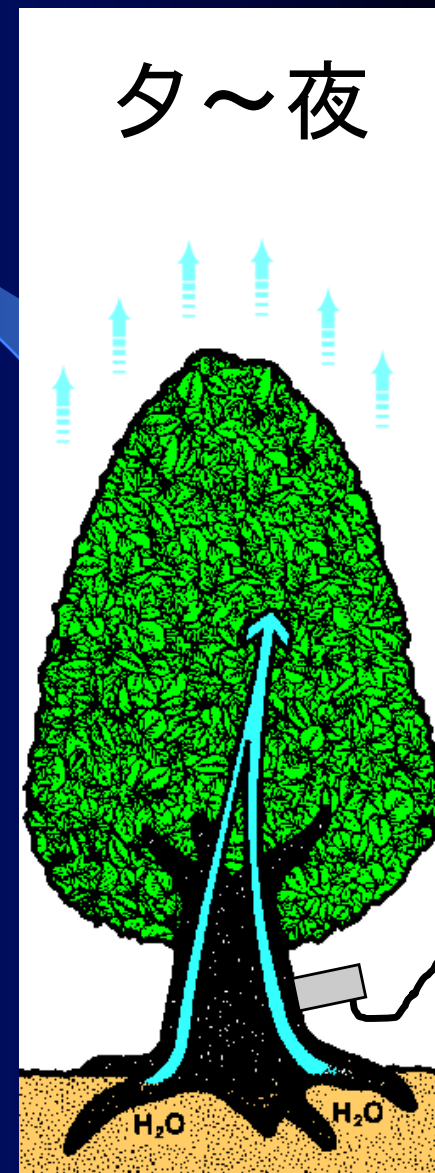
立木の水切れとAE発生



AE発生なし



AE発生有り



AE発生なし

非破壊試験

- NDT (非破壊試験 Nondestructive Testing):
 - 素材や製品を破壊せずに、きずの有無およびその存在位置・大きさ・形状・分布状態などを調べる試験。
- NDE (非破壊評価 Nondestructive Evaluation):
 - 非破壊試験で得られた指示を、試験体の性質または使用性能の面から総合的に解析・評価すること。
- NDI (非破壊検査 Nondestructive Inspection):
 - 非破壊試験の結果から、規格などによる基準に従って合否を判定する方法。

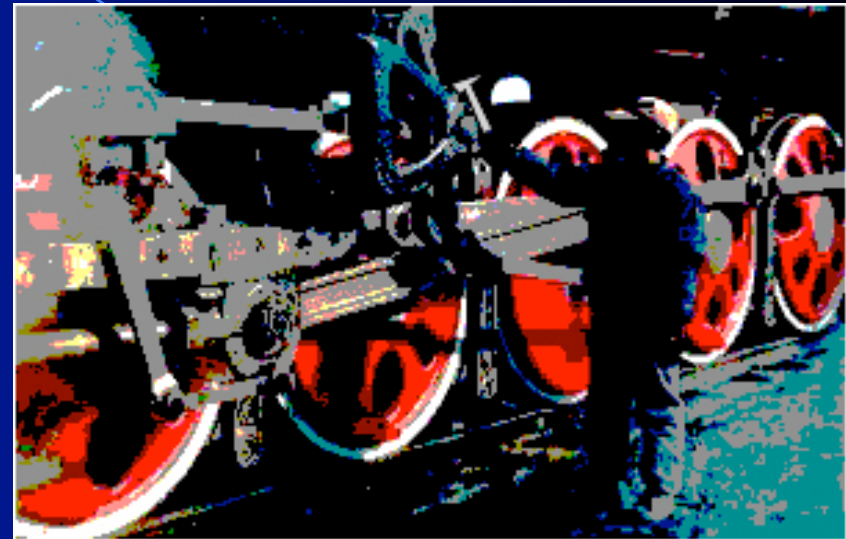
非破壊試験の例



打音によるスイカの品質判定

出所 : <http://kmsys-freesozai.up.seesaa.net/photo/A5B9A5A4A5AB01.jpg>

ハンマによる亀裂の検出



肺のX線検査

出所 : <http://www.yobouigaku-kanagawa.or.jp/tanken/hai1.html>



非破壊試験の方法

主として金属

Visual
Tap Testing

Microwave

Thermography

Magnetic Particle

X-ray

Acoustic Microscopy

Acoustic Emission

Magnetic Measurements

Liquid Penetrant

Ultrasonic

Replication

Flux Leakage

Laser Interferometry

Eddy Current

非破壊試験(欠陥検出の例)

木材の接着不良の サーモグラフィによる検出

(徐・奥村・野口:木材学会誌 39, 544-549, 1993)

[Xu, Y., S. Okumura and M. Noguchi: Proc. 9th
Int. Sympo. NDT of Wood, p209-217, 1994]

何が問題か？

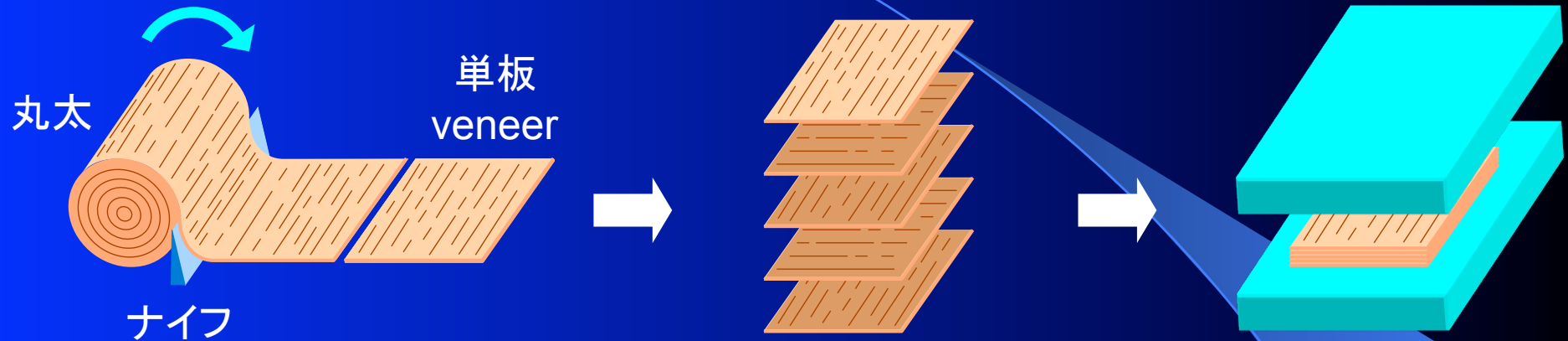
木質部材の接着剤による接合は、木材工業の発達・成長に重要な役割を果たし、木材資源の有効利用において鍵となる因子である。

接着剤による接合の過程には、それが最終的にどのような性能を発揮するかを決定する多くの因子が含まれている。

接着剤の層が薄すぎたり、不十分な塗布や過大な圧力によって接着剤が部分的に欠けたりすると、接着不良（接着強度の低い部分）が発生する。

例えば、合板 (plywood) では ……

合板 (Plywood) – 木質パネルの一種



ナイフによる丸太からの
単板の剥ぎ取り
(厚さ 0.5-5 mm)

繊維を直交させた
単板の接着

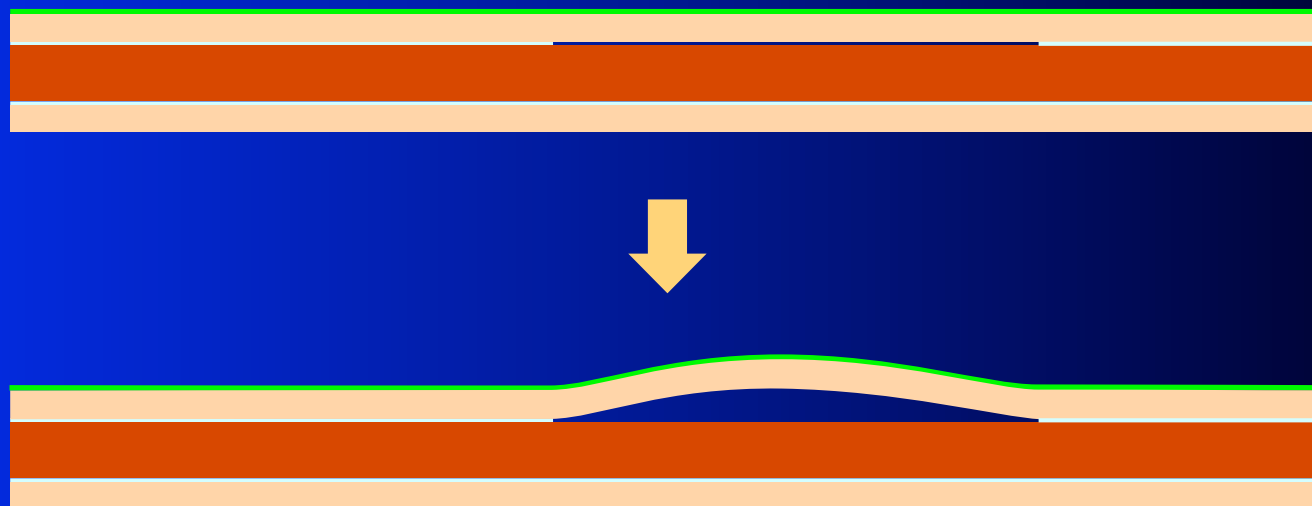
ホットプレス

900×1800 mm
1200×2400 mm
厚さ: 2.3-28 mm



合板に接着不良があると

- 合板を構造用にする場合は、強度低下の要因になる。
- 合板を壁紙などで覆った内装用にする場合は、膨らみ（ballooning）の原因となる。

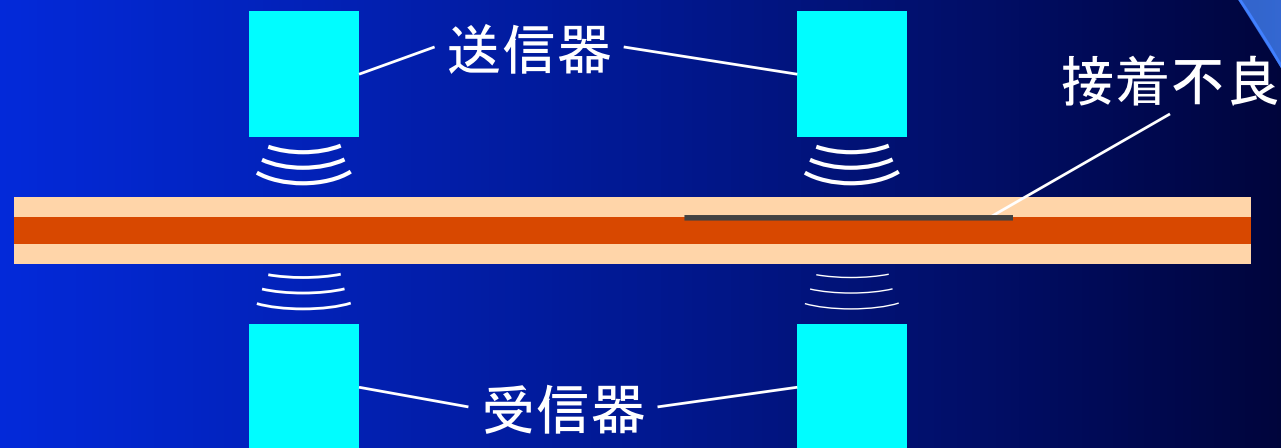


接着不良の検出法は？

■ 超音波法

実用化されている

合板のような広い範囲の検査には不向き



※ 接着不良部では超音波の速度が低下し、減衰も大きい

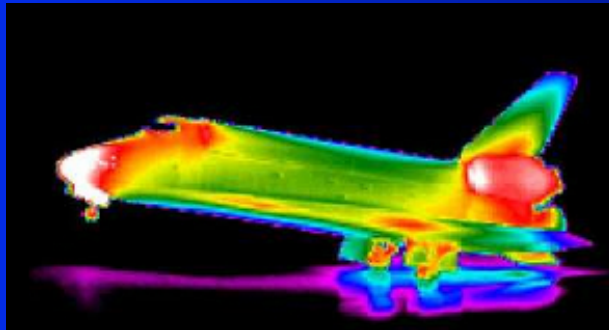
サーモグラフィを利用したNDT

■ 基本原理

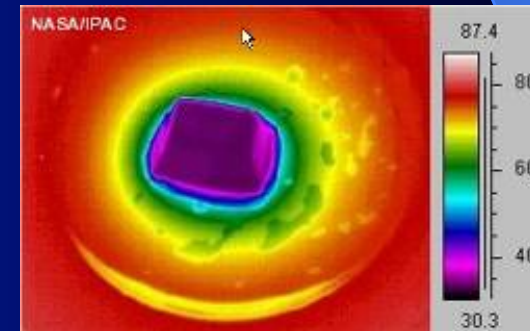
物体表面からの熱の移動は内部の欠陥(亀裂、空隙、含有物など)の影響を受ける

■ 特 長

温度を画像化する装置(サーモグラフィ装置)を使えば広範囲にわたる温度・熱情報を速く、しかも非接触で得られる



スペースシャトル着陸時
の熱画像



氷融解時の熱画像

実 験

■ 目 的

木材の接着状態の検査にサーモグラフィNDTが使えるかどうかを調べる

■ 試 料

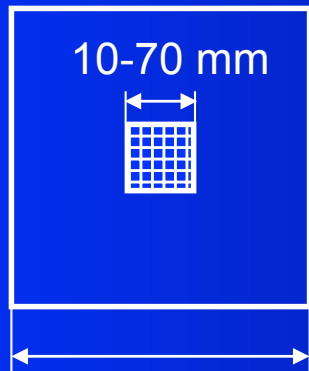
ホワイトセラヤ (*Shorea sp.*) の板 (厚さ1.3~3 mm、200 mm 角) とメランチ (*Shorea sp.*) の単板 (厚さ1.1~3.6 mm、300 mm 角) から、10~70 mm角の接着不良 (欠膠) をもつ試料を作製 (接着剤はユリア樹脂)。

■ 方 法

白熱電球で表面を加熱したとき、その後の自然放冷中の熱画像をサーモグラフィ装置で測定

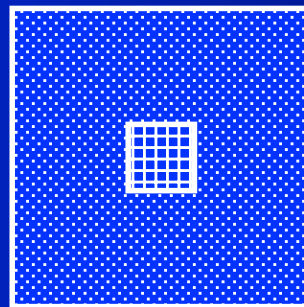
接着不良を含む試料の作製

マスキングテープ
の貼付

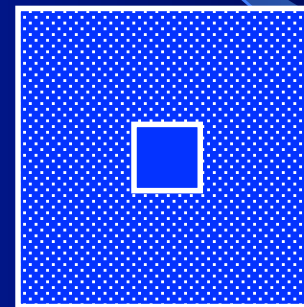


200 - 300 mm
1.1-3.6 mm 厚

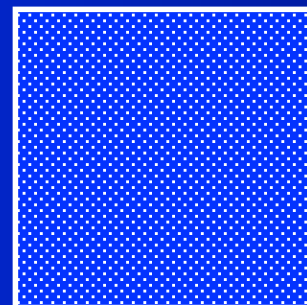
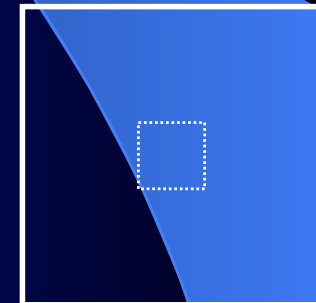
接着剤塗布



マスキングテープ
の剥離



プレス



または



(徐・奥村・野口 1993)

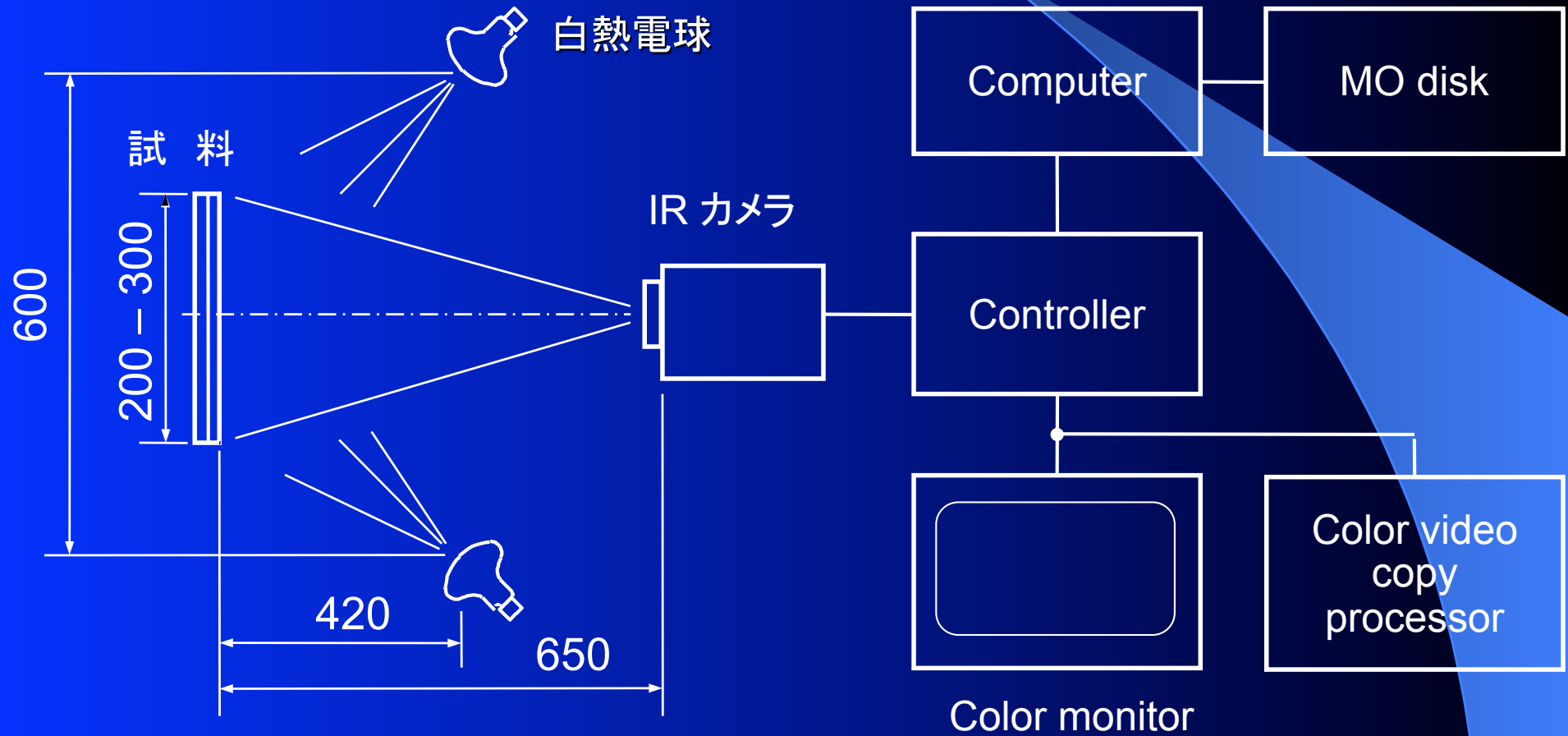
試料の種類

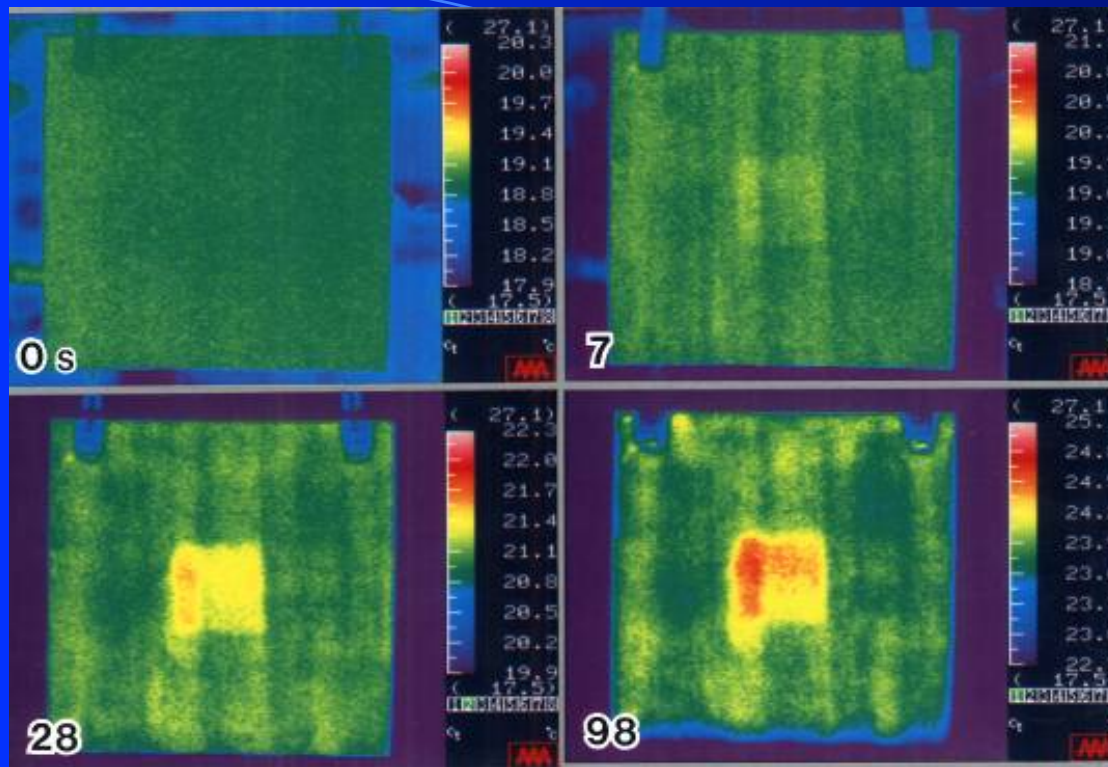
(徐・奥村・野口 1993)

板の種類	かんな盤仕上の板		ロータリー単板		
樹種	ホワイトセラヤ		レッドメランチ		
板の厚さ (mm)	1.3, 2, 3.1	1.3	1.1, 1.6	3.6	1.6
積層数	2		3	2	3
接着剤塗布量 (g/m ²)	120, 150, 180 210, 240, 270 300	180 240 300	120 210 300	180 240 300	
欠膠の大きさ (cm ²)	1×1, 2×2 3×3, 5×5	5×5	7×7		
欠膠部の接着剤塗布量 (g/m ²)	0	100	0	100	
接着剤	ユリア樹脂				

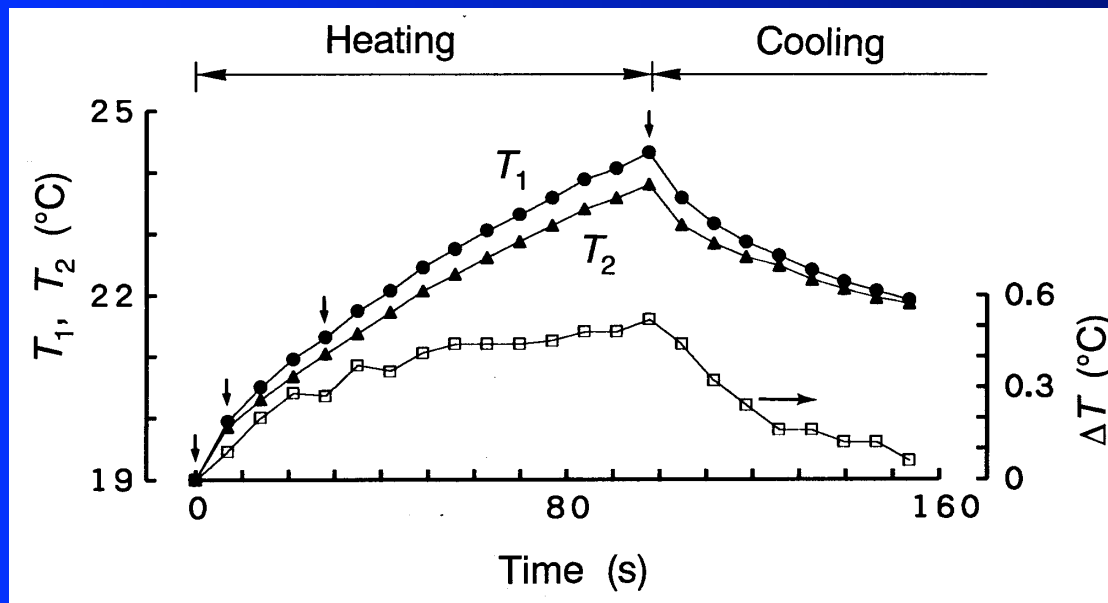
実験装置

(徐・奥村・野口 1993)



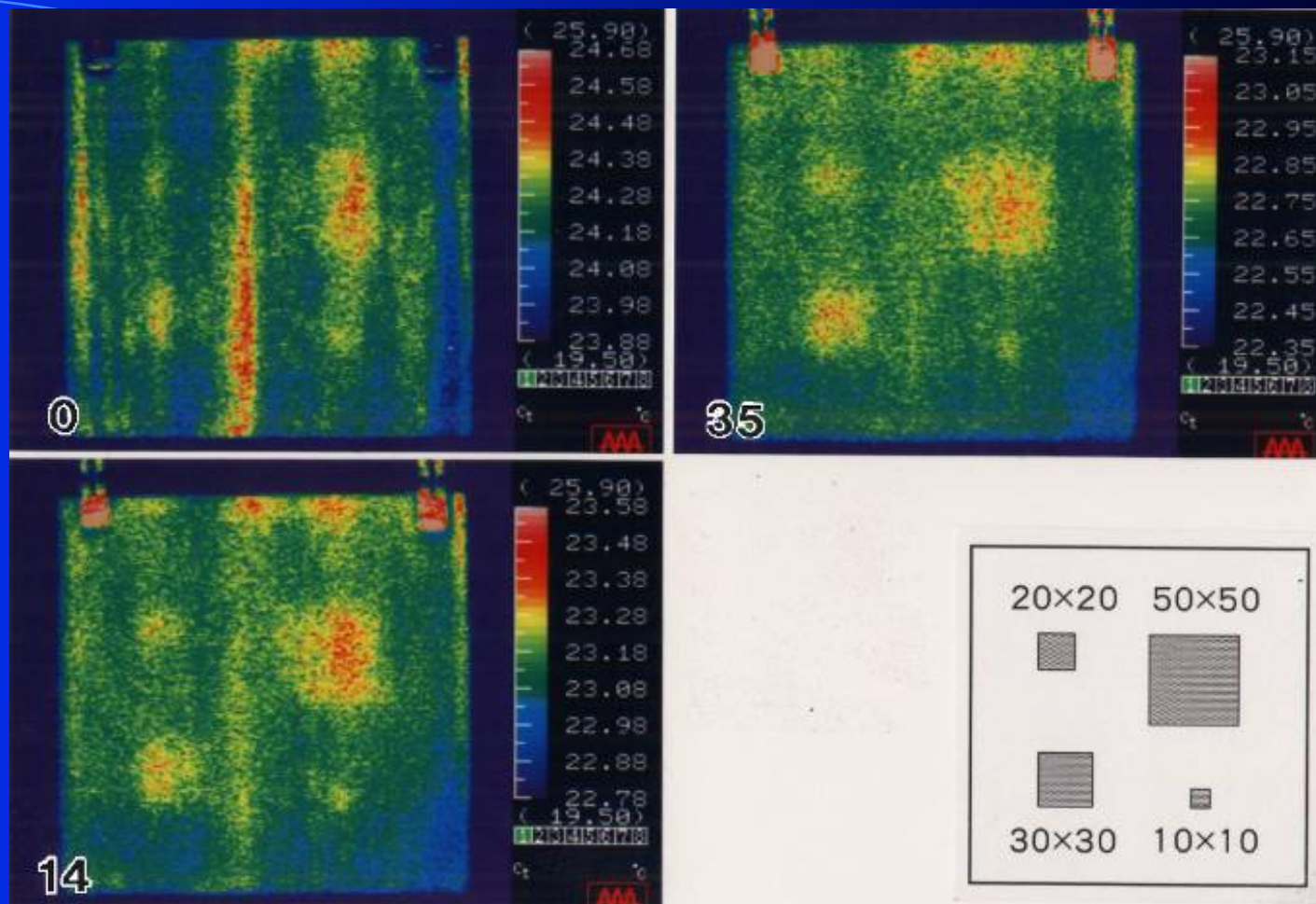


かな盤仕上板
 板厚: 1.3 mm×2枚
 欠膠部: 50 × 50 mm²
 接着剤塗布量: 270 g/m²



T_1, T_2 : 欠膠部、正常部の温度
 ΔT : T_1 と T_2 の温度差

(徐・奥村・野口 1993)



加熱(49秒間)後の自然放冷時(0, 14, 35 秒経過)の熱画像

かな盤仕上板

板厚: 3 mm × 2枚

欠膠部: 10×10 ~ 50×50 mm²

接着剤塗布量: 300 g/m²

(徐・奥村・野口 1993)

その他の欠陥検出・物性測定

■ レーダによる欠陥探査

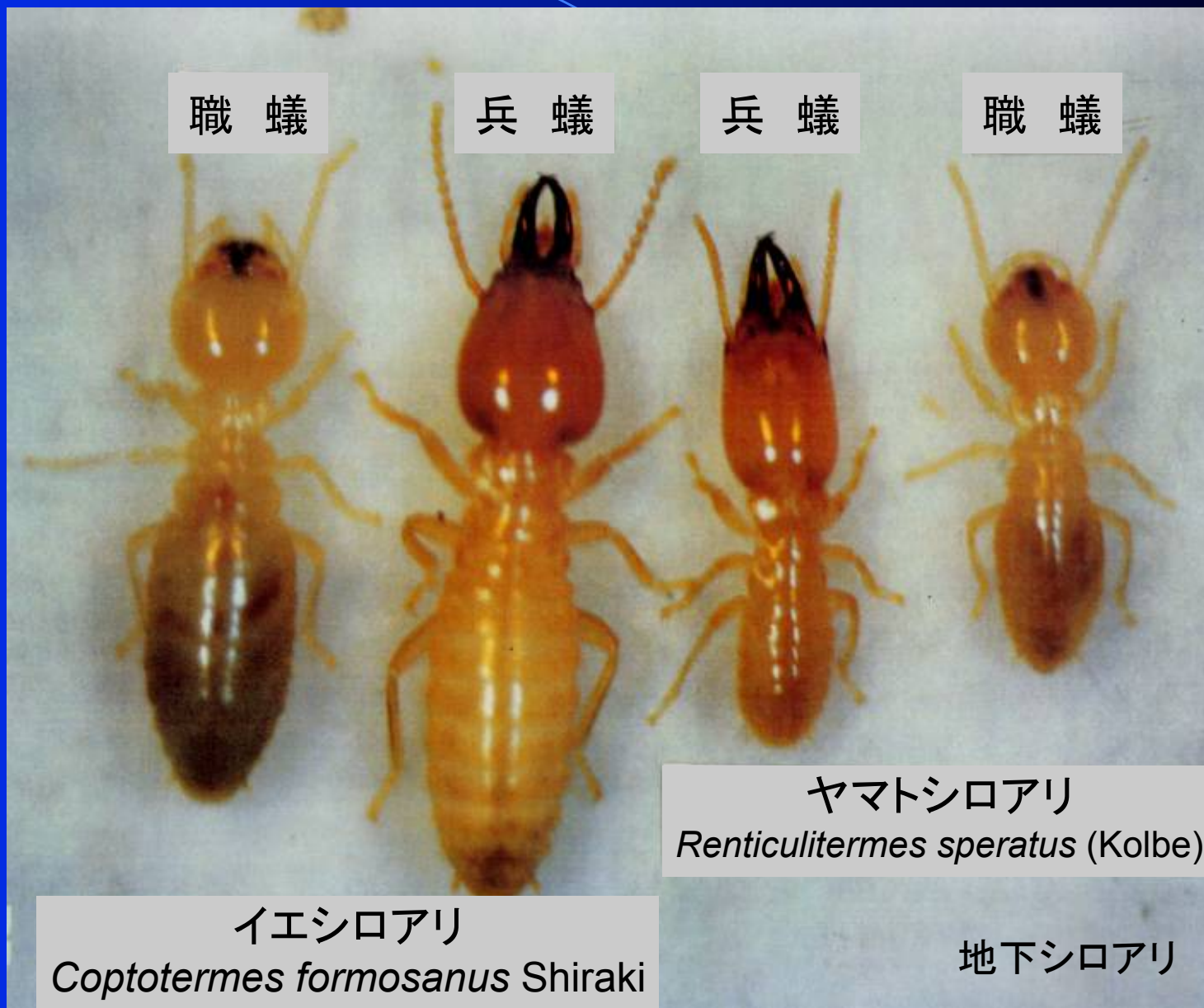


■ ミリ波による繊維走向、含水率測定



非破壊試験(木材保存の例)

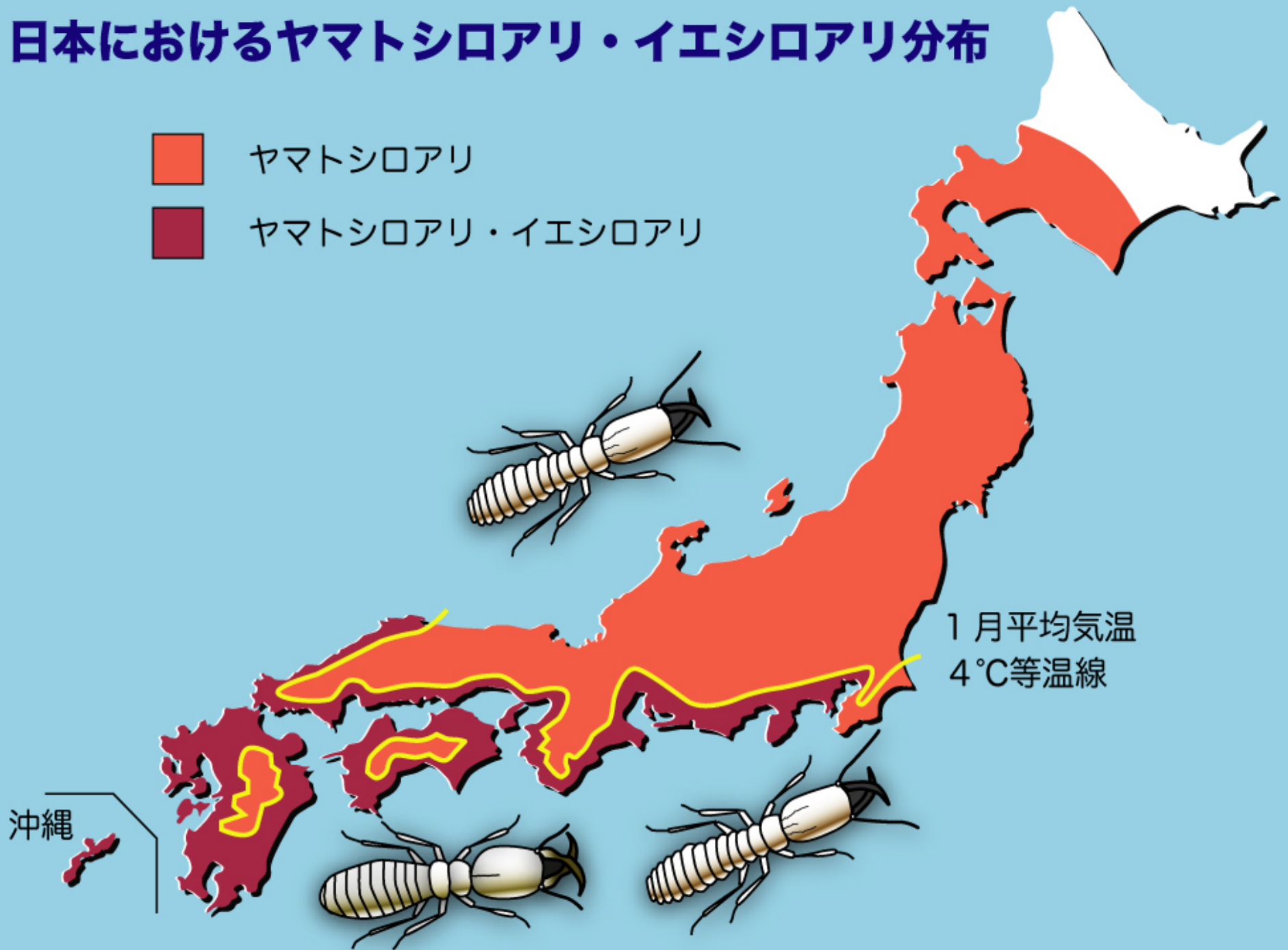
シロアリ食害行動の AEによる検出

日本の主要なシロアリ



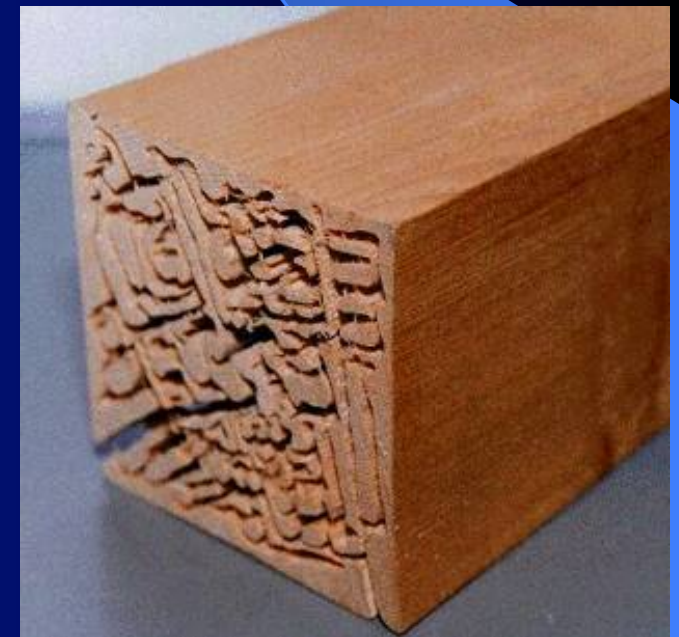
日本におけるヤマトシロアリ・イエシロアリ分布

-  ヤマトシロアリ
-  ヤマトシロアリ・イエシロアリ



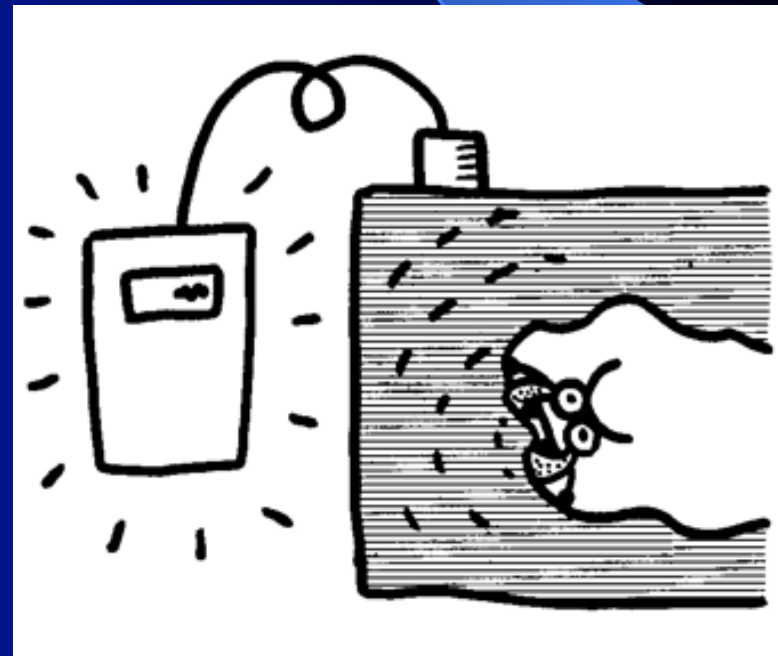
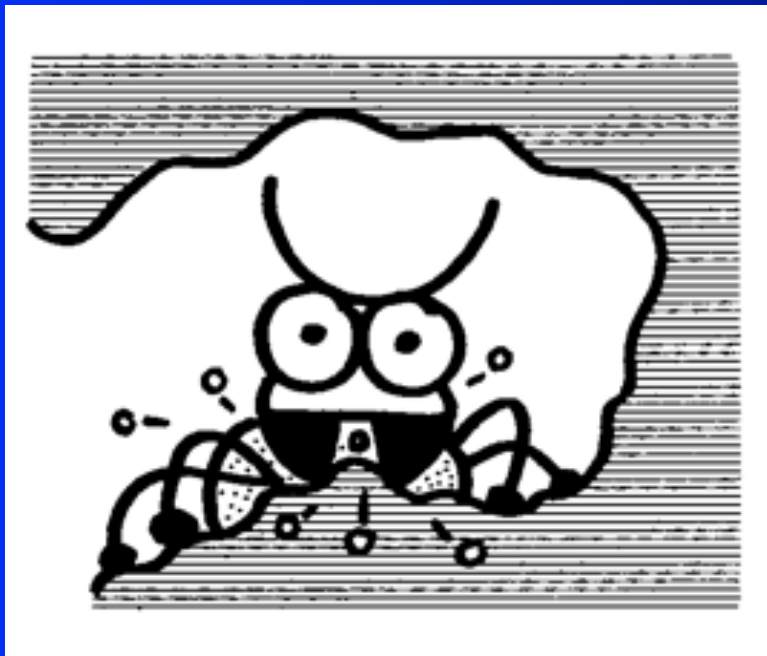
シロアリの行動

- シロアリは木材加害昆虫の代表
- シロアリの職蟻が木材を破壊
- シロアリは、住宅部材などの内部で繊維方向に沿って蟻道を作るが、一般に部材表面からは蟻道は見えない
- シロアリの存在が疑われる場合は、錐や刃物を表面から突き刺すと確かめられる



AEによるシロアリ活動の検出

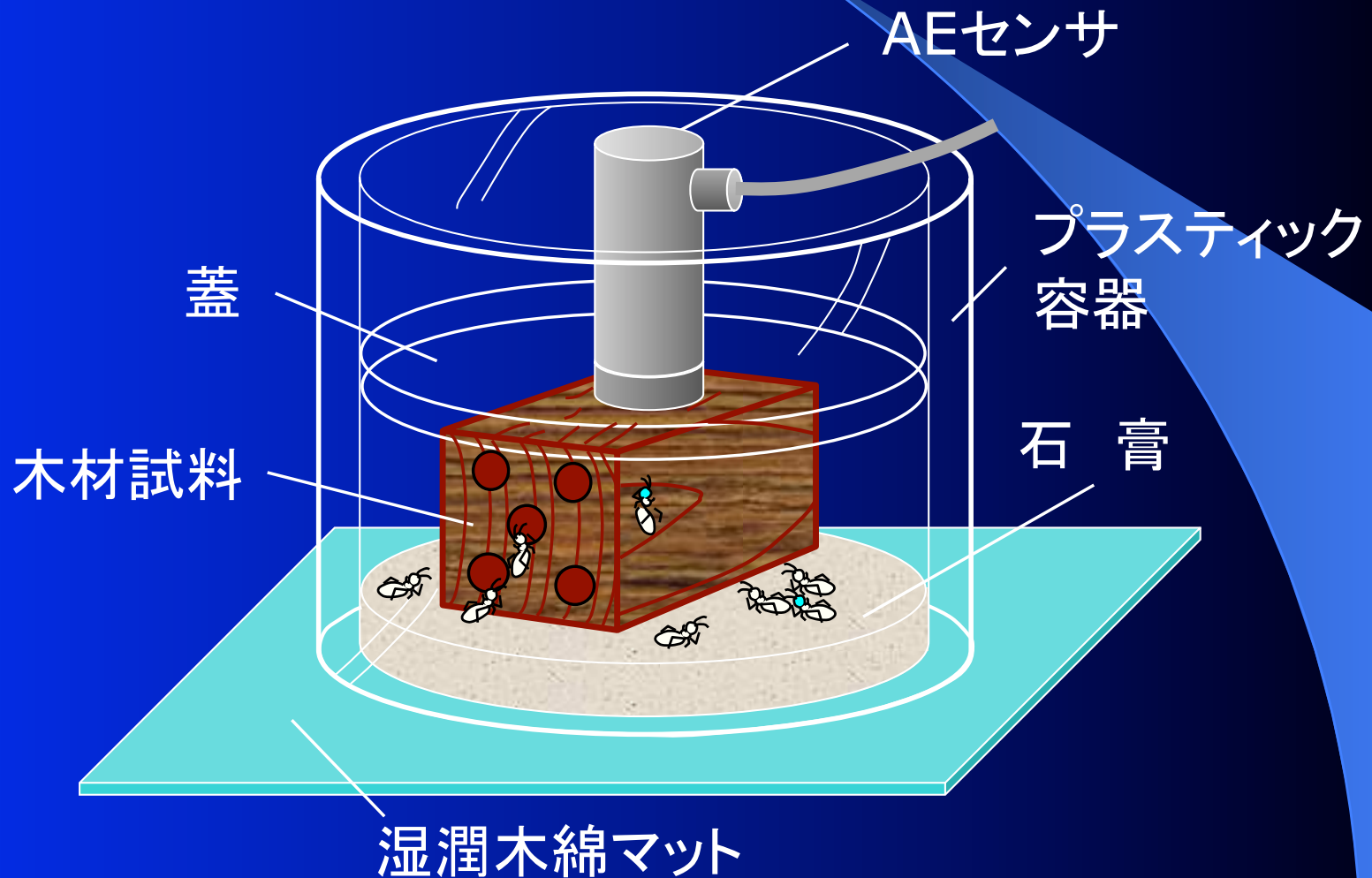
- シロアリ職蟻による木材の食害は、木材の破壊の一種
- したがって、この現象はAEとして検出可能である



(Fujii, Y. and Y. Yanase, 2001)

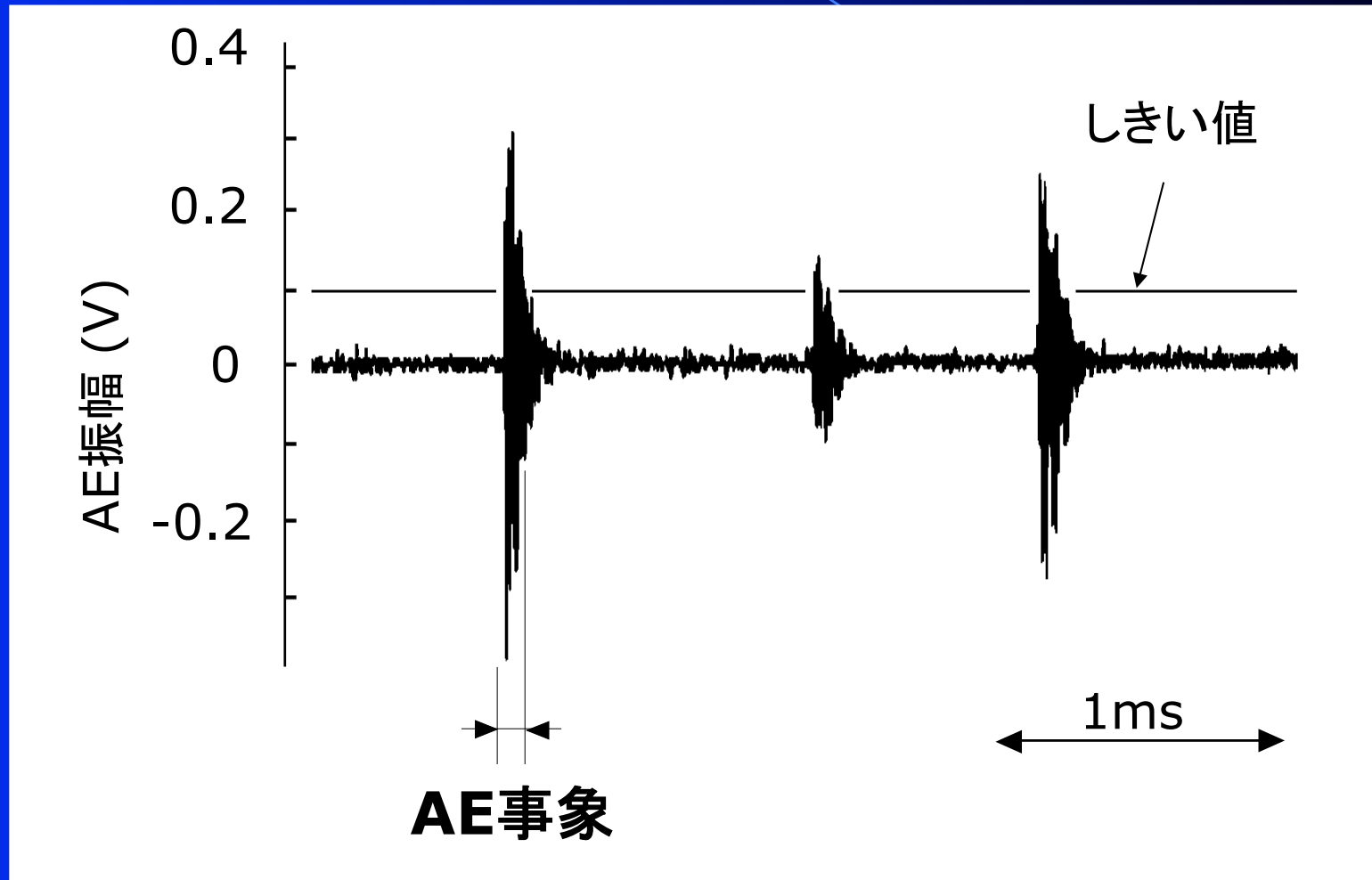
最初の実験

— シロアリに攻撃された木材から発生するAEの検出 —



(Fujii, Y. and Y. Yanase, 2001)

木材からのAE信号



(Fujii, Y. and Y. Yanase, 2001)

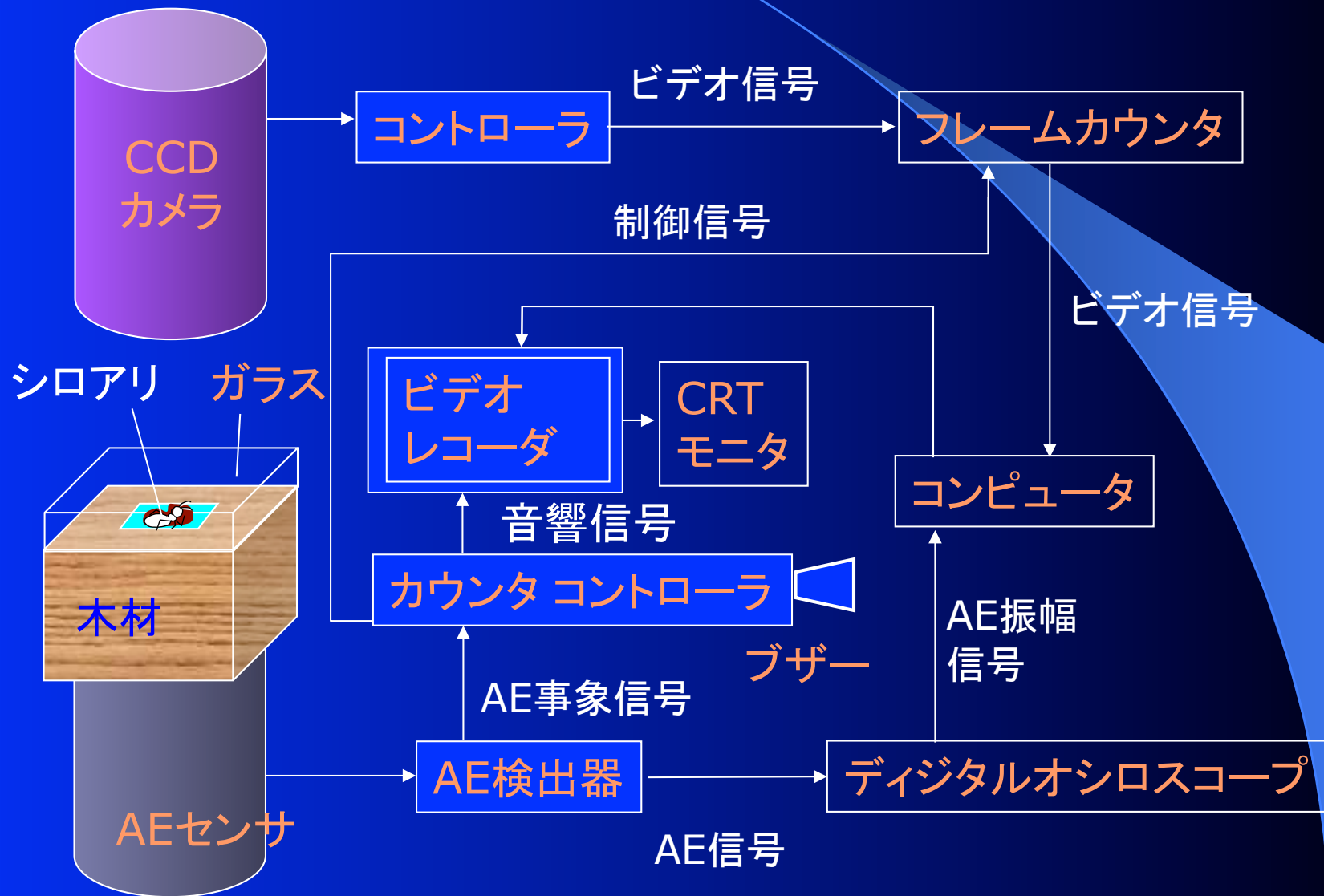
職蟻と兵蟻の比率がAE事象率に及ぼす影響

	職蟻 (頭)	兵蟻 (頭)	AE事象率 (/min)
1	5	145	28
2	75	75	332
3	140	10	561
4	150	0	280
5	75	0	240
6	5	0	32
7	0	150	0

(Fujii, Y. and Y. Yanase, 2001)

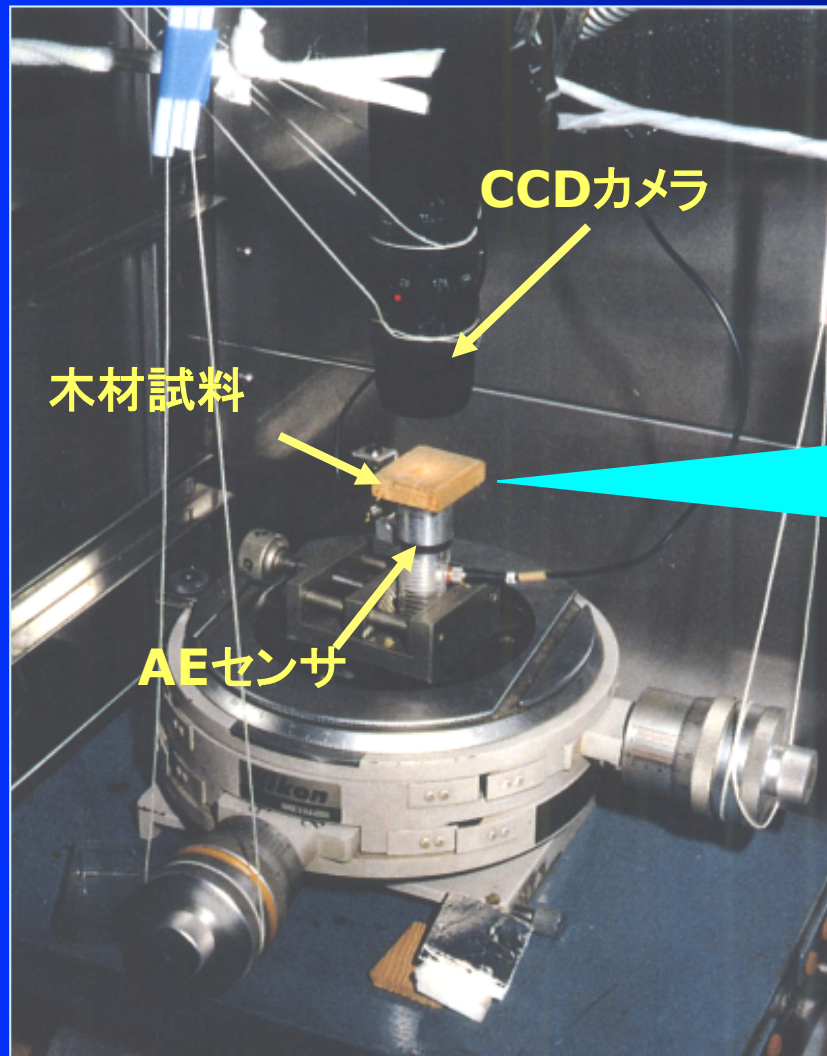
AE検出時のシロアリの行動観察

(Fujii, Y. and Y. Yanase, 2001)

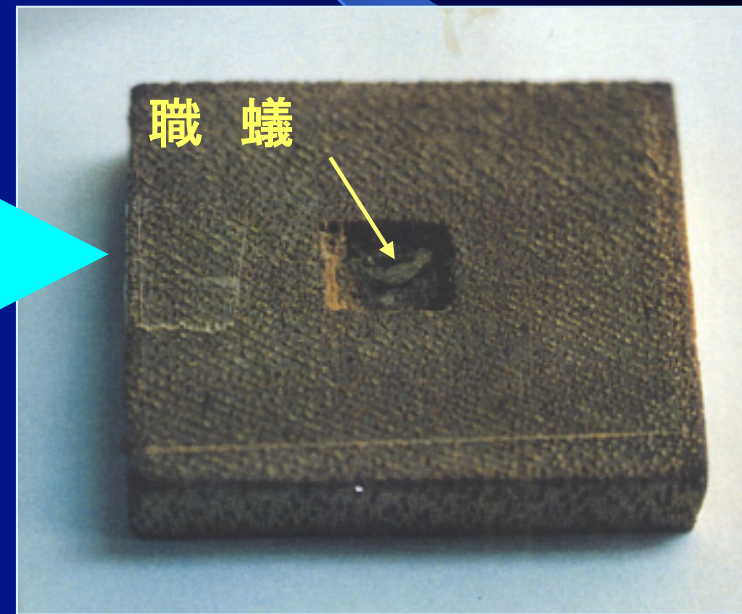


実験装置 — シロアリの観察とAE計測 —

(Fuji, Y. and Y. Yanase, 2001)



観察装置



職蟻を封入した木材試料

シロアリの行動とAE発生

切り込み
Cutting

(Fujii, Y. and Y. Yanase, 2001)

シロアリ監視用AE検出器の開発

(Fujii, Y. and Y. Yanase, 2001)



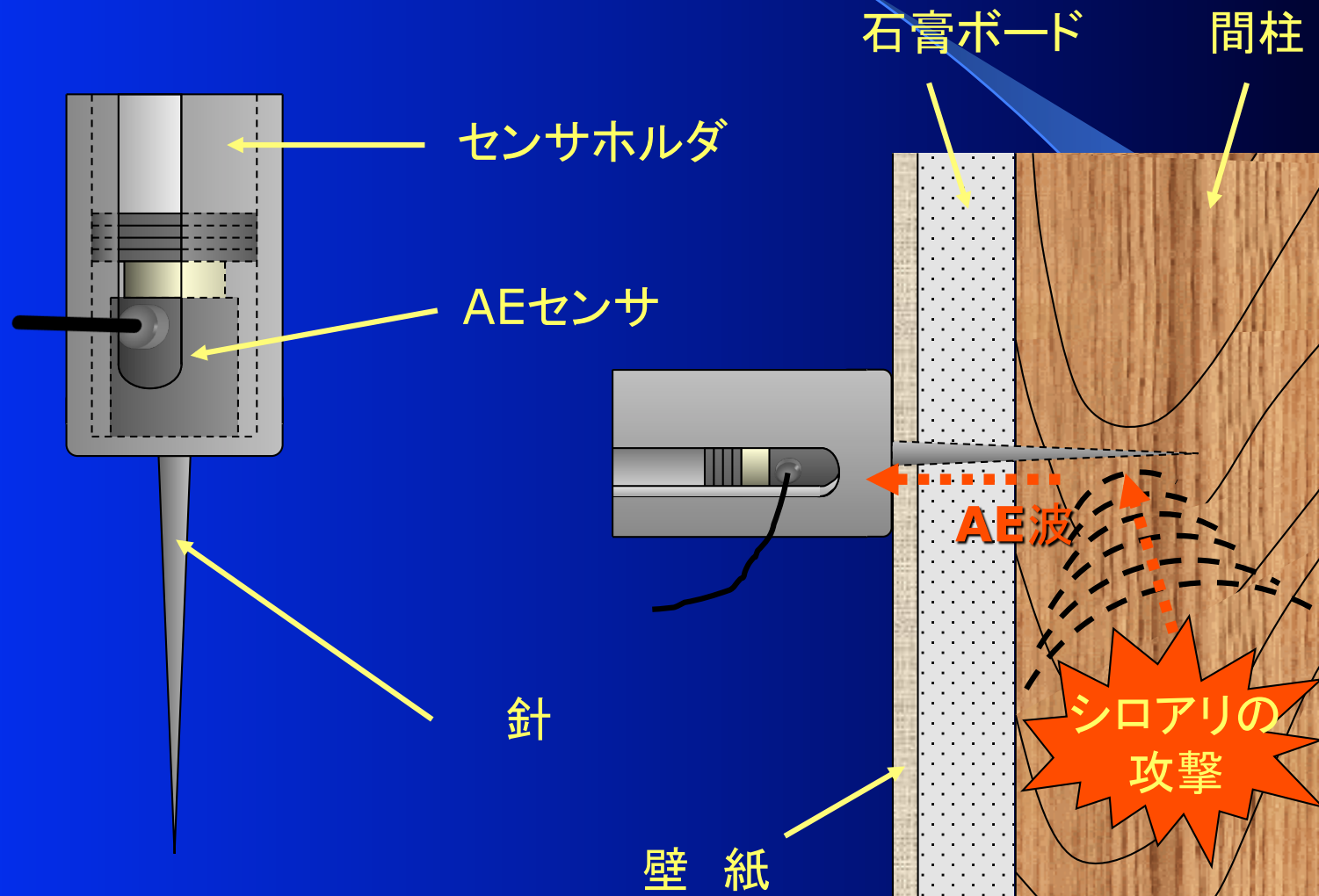
PVDFフィルムのAEセンサへの応用

(Fuji, Y. and Y. Yanase, 2001)



針状タイプのウェーブガイドの開発

(Fuji, Y. and Y. Yanase, 2001)



實地試驗

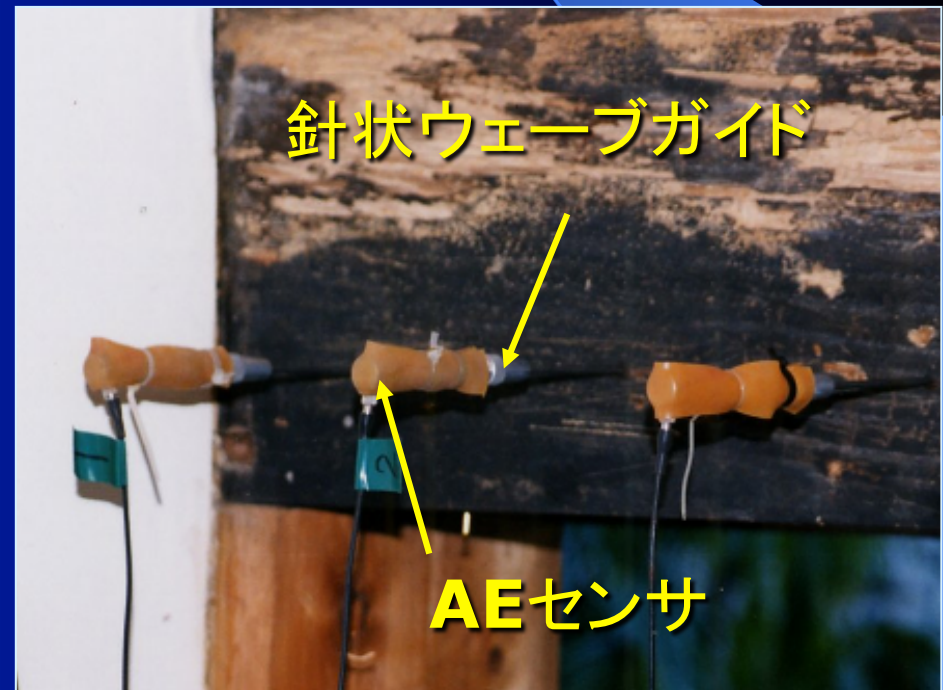
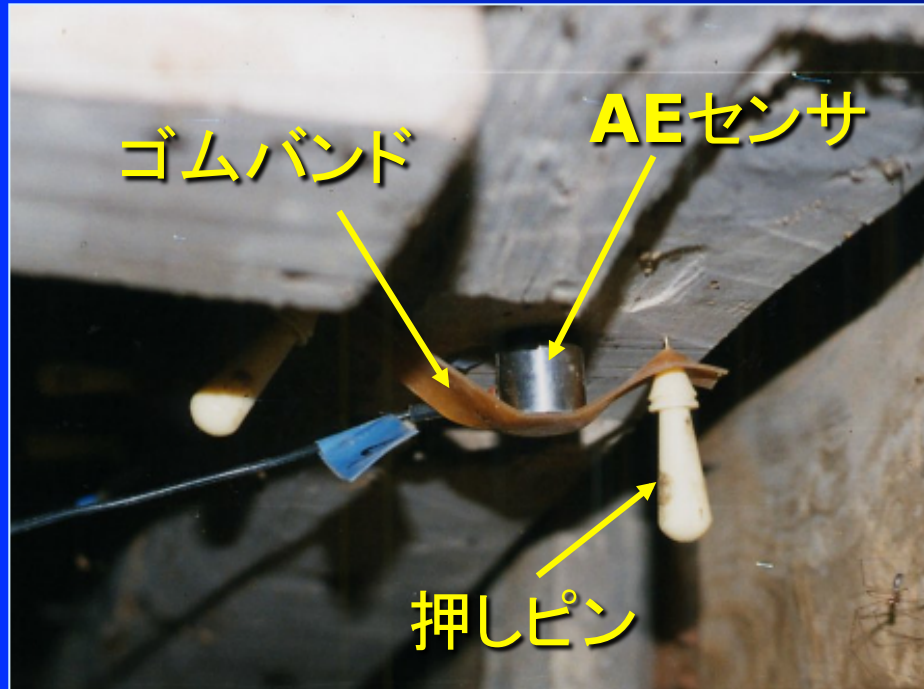
(Fujii, Y. and Y. Yanase, 2001)



傳統的農家

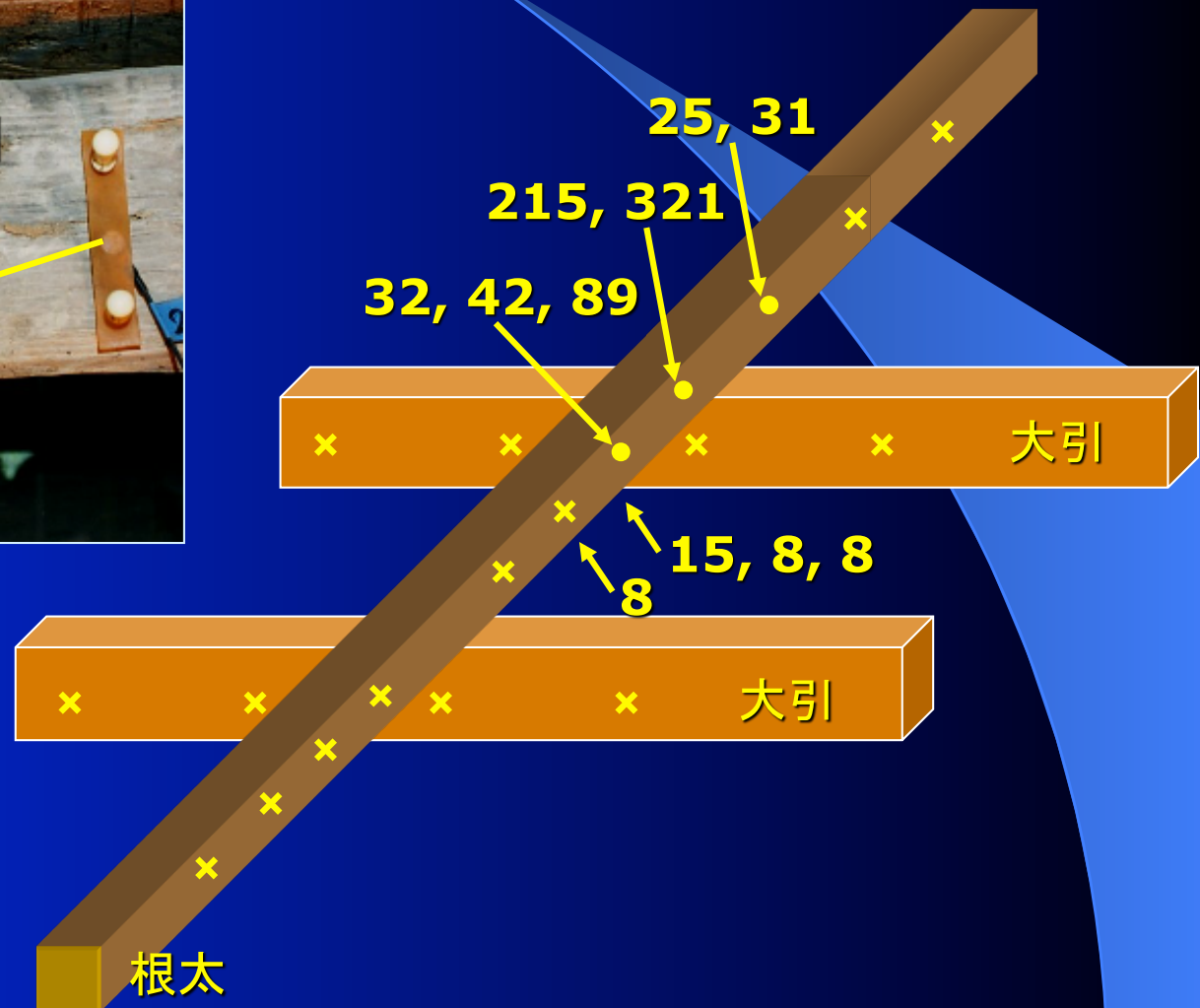
シロアリ活動監視のためのセンサの取付

(Fujii, Y. and Y. Yanase, 2001)



センサの取付と記録したAE事象数

(Fujii, Y. and Y. Yanase, 2001)



殺虫剤の注入

(Fujii, Y. and Y. Yanase, 2001)

生物由来殺虫剤の注入
“**Bio-Blast**”
(EcoScience Co., Ltd.)



注入処置後のAE計測では、床下の部材からのAE発生は観察されていない

木材保存関係のその他の例

- 代謝ガス (H_2 、 CH_4 、 CO_2 など) によるシロアリの探知
- 匂いセンサによる腐朽菌の探査