

2019 年春

組織と材質・木質物性・木材と水 三研究会合同講演会

日時： 3月13日（水） 15時～18時

場所： 函館アリーナ 多目的会議室 B（第4・5会場）

日本木材学会 組織と材質研究会・木質物性研究会・木材と水研究会

(開催趣旨)

樹木が生産する生物材料である木材は様々な性質について変動が大きく、木材利用においては変動の理解と制御が重要になる。細胞壁主成分であるセルロース・ヘミセルロース・リグニンの分子構造や構成比、細胞壁中でのセルロースマイクロフィブリルの傾角、細胞壁の量、木材中での細胞種の構成や配向性、年輪構造、木材中の水分量、欠点の存在、とミクロからマクロまでのマルチスケールでの多様な事柄を木材の性質の変動の原因として挙げるができる。

木材の微細構造・形成・組織構造の多様性・木材性質のばらつきを探る組織と材質研究会、木材の物理的・機械的・電気的性質とその環境依存性を明らかにする木質物性研究会、樹木の生存に不可欠でありながら木材利用上のやっかいものとなる水と木材の関係と木材の利用上不可欠な木材乾燥を扱う木材と水研究会、これら三研究会の研究へのアプローチや求める成果は異なるものの研究の関心領域はオーバーラップしている。

三研究会が合同で開催する本シンポジウムでは、それぞれの研究会で長らく活躍されてきた三名の講師をお迎えし、これまでの研究成果をレビューいただく。あわせて、講師の先生方がこれまでの研究活動において感じてきた、近くて遠い他の研究分野への要望を紹介いただく。さらに、前述のマルチスケールな要因による木材の性質の変動の理解に基づいた、木材利用の高度化を目的とした今後の研究の方向性について提言いただく。

三研究会を代表して 中田了五

【プログラム】 15:00 開始

司会：中田 了五（森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター北海道育種場）

趣旨説明：山本 浩之（名古屋大学大学院生命農学研究科）

講演

15:05 安久津 久（組織と材質研究会 北海道立総合研究機構林産試験場）

「北海道の主要造林樹種の材質を探る」

15:55 鈴木 養樹（木質物性研究会 森林研究・整備機構森林総合研究所）

「木質材料・物性研究－応用物理学的アプローチ－」

16:45-17:00 休憩

17:00 信田 聡（木材と水研究会 東京大学大学院農学生命科学研究科）

「Wood/Water Relations－木材乾燥と含水率計に関するいくつかの話題－」

クロージングリマーク

17:50 : 川井安生（秋田県立大学木材高度加工研究所）

＜懇親会＞

日時：3月13日（水）19:00-21:00

場所：しゃぶしゃぶ中華ダイニング五稜郭彩葉

〒040-0011 函館市本町 29-26 ドーミーイン函館五稜郭 1F

【連絡先】

組織と材質研究会 中田了五（森林総研北海道育種場）ryogo@affrc.go.jp

木質物性研究会 山本浩之（名古屋大学大学院生命農学研究科）hiro@agr.nagoya-u.ac.jp

木材と水研究会 川井安生（秋田県立大学木材高度加工研究所）kawai@iwt.akita-pu.ac.jp

日本木材学会 組織と材質研究会・木質物性研究会・木材と水研究会
2019年3月合同シンポジウム講演要旨集

編集：山本浩之（名古屋大学）

発行：2019年3月12日 一般社団法人 日本木材学会 木質物性研究会

無断転載を禁じる。

北海道の主要造林樹種の材質を探る

道総研 林産試験場 安久津 久

はじめに

北海道の森林面積は554万haで148万haが人工林である。人工林の96.7%が針葉樹で広葉樹はごくわずかである。針葉樹で面積、蓄積の多い順ではトドマツ、カラマツ、アカエゾマツ(エゾマツも含む)、スギであり、その他にトウヒなどである。本研究会での発表はこれら4樹種について、これまでに行った材質調査の結果から得られた知見のいくつかを紹介する。なお、本文中の植栽面積、蓄積などの資源量は北海道林業統計(平成28年度)から引用した。

材質指標をスギ採種園の造成に活かした取り組み

北海道のスギは造林面積3.2万ha、蓄積9,700千 m^3 で11齢級以上の成熟期のものが50.1%を占めるが、6齢級以下の若齢林分が少なく更新が必要である。年間造林面積は95haと低迷しているが、道南地方の渡島・檜山地域の主要造林木である。

スギ育種種苗の普及率は高く、ほぼ全量を松前町の大沢採種園(北海道直営)から供給している。この採種園は道内で選抜した精英樹63クローンで構成され、その内の53クローンについて2001~2002年に材質検定を行い、その結果を新たな採種園の造成に反映した。

供試木は渡島西部森林室管内の大沢採種園の林齢38年生(一部は34年生)の53クローン、153個体(1クローン3個体)である。2m部位の円板試料で、心材含水率、繊維傾斜度の測定、地上高2.0~2.5mの部位の柁目板でJIS曲げ試験、板目板で心材色測定を実施した。精英樹クローンの材質試験結果を表-1に示す。JISのMOE(曲げヤング率)の総平均は、4.7GPa(3.6~6.4GPa)であった。スギ樹心部のMOE値の小さいことはよく知られているが、樹心部の総平均は3.8GPaで、外側では5.3GPaであった。MOEの大小各3クローンの変動を見ると、MOEの大きなクローンは未成熟材部でもMOEが比較的大きかった。クローンを要因とする分散分析では、繊維傾斜度を除くMOE、MOR、密度等にクローン間差が認められた。反復率(広義の遺伝率)はMOE34.7%、MOR44.1%、密度39.9%、心材含水率47.9%、心材色は $L^*a^*b^*$ が46.1、55.9、31.7%であった。

表-1 精英樹クローンの材質試験結果

試験項目	平均	範囲	F	反復率(%)
MOE (GPa)	4.7	(3.6~6.4)	2.57***)	34.7
MOR (MPa)	50.0	40.5~62.8	3.37***)	44.4
ρ (g/cm ³)	0.36	0.32~0.43	2.97***)	39.9
心材含水率 (%)	131	(75~197)	3.73***)	47.9
材色 L^* 明度	64.8	58.4~72.0	3.44***)	46.1
a^* 彩度	9.9	(6.5~13.4)	4.50***)	55.9
b^* 色相	21.7	19.1~25.4	2.30***)	31.7
平均繊維傾斜度(%)	2.7	(1.6~5.1)	0.98 ^{ns)}	0



図-1 造成したミニチュア採種園
(2018.10)

精英樹クローンの材質と次代検定林の成長量等で特性表を作成し、新規採種園造成のためのクローン選抜を行った。具体的には、MOE、心材色 L^* と次代検定林(松前町)の林分材積の3形質で特性表の合計値が上位の30クローンを選抜した。これによる材質の改良率(遺伝獲得量/選抜前の平均値)は、MOE1.9%、心材色 L^* 0.7%、含水率-3.8%などであった。2005年に新規に造成したミニチュア採種園は、面積は1.23ha、配置形式は30-25型である。2014年から精選種子で年間4~5kg程度の生産が可能となった(図-1)。

材質から見たトドマツの需給区分

トドマツは造林面積 77.0 万 ha, 蓄積 230,090 千 m³ で 11 齢級を以上の成熟期のものが 27.5% を占め、カラマツの後の主要樹種である。年間造林面積は 2,650ha である。

トドマツの成長および諸被害抵抗性の地理的変異は主に積雪量に起因することが精英樹次代検定林などの調査結果から明らかとなっている。そのため、北海道ではトドマツの需給区分を5つの地域(道西南, 道央, 函館・日高, 道東, 根釧)に分け、需給区分に対応した採種園を造成している。しかし、材質に関しては地理的変異の有無が明らかではなかった。本研究では積雪量の大きく異なる多雪地の美唄検定林(以下美唄)と寡雪地の厚岸検定林(以下厚岸)のトドマツ精英樹次代検定林の家系を用い、年輪解析と繊維傾斜について、樹幹内の変動、環境による影響(交互作用)、遺伝率などの検討を行った。

検定林の造成は両検定林とも1965年で、伐採時の林齢は美唄が32-40年生、厚岸は36年生で、両検定林に共通する4地域22家系を供試した。地域別の家系数は道西南5, 函館・日高4, 道東9, 根釧4で、個体数は美唄検定林が132, 厚岸検定林が87である。試験はX線デンストメトリによる年輪解析と繊維傾斜でいずれの試料も胸高部付近から採取した。年輪解析はRW(年輪幅), RD(年輪密度)など6形質の1年輪~23年輪の平均値を解析した。繊維傾斜は平均繊維傾斜度, 最大繊維傾斜度と1年輪から23年輪の各年輪を解析した。

統計解析は環境の違いが材質に与える影響を検討するため①検定林, 地域, 地域内家系, 検定林×地域内家系あるいは検定林, 地域, 検定林×地域を要因とする分散分析を行い, 分散成分を求めた。②各検定林での遺伝率は, 地域, 地域内家系を要因とする分散分析を行い, 分散成分を求めた。統計解析にはR 3.5.1 (R Development Core Team 2018) を用いた。

年輪解析の結果, 美唄ではRW(年輪幅)とRD(年輪密度)の総平均が3.5mm (CV13.7%)と0.39g/cm³(CV8.6%)で, 厚岸では2.9mm (CV14.7%)と0.39g/cm³(CV9.2%)であった。RWは美唄で厚岸より大きく, RDには差がなかった。これは厚岸のLW(晩材幅)とLD(晩材密度)が美唄に比べ小さく, ED(早材密度)が若干大きいことに起因する。検定林×地域内家系では, RD, ED, LDの密度3形質で $p < 0.05$ で弱いながらも交互作用が認められた。各検定林の遺伝率は美唄では幅が9.1~33.0%, 密度が19.2~44.5%程度で比較的小さかった。厚岸では幅が30.9~75.9%, 密度が24.9~72.1%で美唄に比べ遺伝率は高かった。

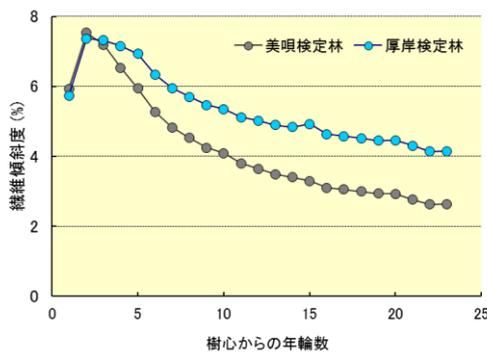


図-2 検定林の繊維傾斜度の変動

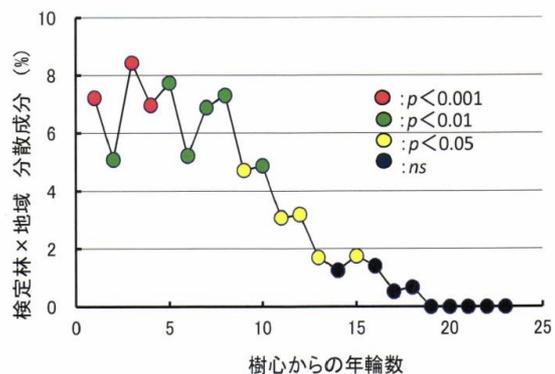


図-3 繊維傾斜度の年輪ごとの分散成分 (検定林×地域の交互作用)

繊維傾斜度については、厚岸が美唄に比べ、加齢に伴う繊維傾斜度の減少が小さく(図-2), 平均繊維傾斜度の総平均でも美唄が 4.2%, 厚岸は 5.4%であった。地域別ではいずれの地域でも厚岸の値が大きかった。多雪地域の函館・日高は+2.7%, 道西南が+1.8%で、寡雪地域の道東と

根釦では+1%未満と小さかった。一方、最大繊維傾斜度は美唄 8.3%, 厚岸 8.2%で両検定林に大きな差はなかった。

検定林×地域の分散成分を検討した結果、平均繊維傾斜度、最大繊維傾斜度とも交互作用が認められた。年輪ごとの分散成分は若齢時に大きく、交互作用は強く現れるが、加齢とともに減少した(図-3)。繊維傾斜度の値も若齢時に大きいので、この結果は、地域を越えての植栽に留意する必要があるものである。遺伝率は平均繊維傾斜度が美唄で 24.7%, 厚岸では 0%で、最大繊維傾斜度は美唄で 42.5%, 厚岸では 0%であった。年輪ごとの遺伝率は美唄で比較的大きく、厚岸では若年時は 0%で推移し、厚岸の厳しい生育環境により繊維傾斜度の遺伝率が発現しなかったものと考えられる。

アカエゾマツの材質

アカエゾマツは造林面積 16.8 万 ha (エゾマツも含む)、蓄積 23,940 千 m³ で 10 齢級以下が 88.5% と多く、若い林分が多い。年間造林面積は 400ha であるが年変動が大きい。造林の歴史も浅く、第 3 の造林樹種と呼ばれている。

材質調査では、1993 年に中標津営林署 252 林班の林齢 43 年生の造林木(山引き苗)について行った。この林分から標準木(平均胸高直径 25cm)、優勢木(同 30cm)、劣勢木(同 17cm)を各 3 本について材質試験を行った。その結果、優勢木(年輪幅 4.8mm、密度 0.39 g/cm³)で強度はトドマツ造林木と同程度であった。標準木(年輪幅 4.2mm、密度 0.45 g/cm³)と劣勢木(年輪幅 3.4mm、密度 0.46 g/cm³)の強度はトドマツ、エゾマツ天然木と同程度であった。強度や密度は年輪幅の影響が比較的大きな樹種である事がわかった。

精英樹クローンの材質検定では、北海道育種場の育種素材保存林の試料を用い 1994-1995 年に実施した。林齢 28~32 年生の精英樹 37 クローンの内、材密度の高い 3 クローン(年輪幅 2.9~3.8mm、密度 0.48~0.53 g/cm³、晩材率 30%以上)を明らかにした。精英樹 37 クローンの平均繊維傾斜度は 6.4%、最大繊維傾斜度は 9.0%で、この材質検定でアカエゾマツの繊維傾斜度が大きいことが明らかになった。繊維傾斜度が小さく、カラマツでの選抜基準をクリアするのは 1 クローン(平均繊維傾斜度は 2.2%、最大繊維傾斜度は 3.8%)であった。

アカエゾマツの繊維傾斜が大きく、ねじれで問題となった事例がある。2001 年頃、トドマツ 2×4 材工場でアカエゾマツ造林木の心持ち材を製造したところ、ほとんどがねじれで規格外となった。林産試験場でアカエゾマツ 2×4 心持ち材の乾燥試験を行ったところ、圧縮乾燥してもねじれで規格外となるものが多かった(図-4)。道産造林樹種の平均繊維傾斜度の累積度数を図-5 に示す。アカ



赤：非圧縮 黄色：圧縮

図-4 アカエゾマツ心持ち2×4材のねじれ

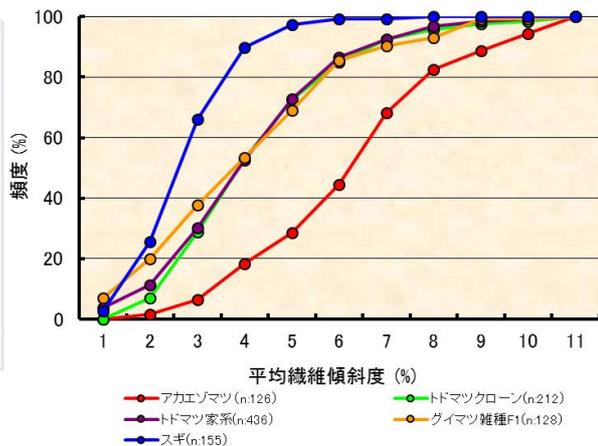


図-5 道産造林樹種の繊維傾斜度の累積度数

エゾマツが他樹種より繊維傾斜度の大きな個体の多いことが見て取れる。一方、優れた利用事例もある。北見経営区のアカエゾマツは枝打ちを 8m まで実施し、大径化した 76 年生時に立木 8 本

の1,2番玉を用い、14台分のピアノ響板を作製した。現時点でピアノの響板用として使える林分はほとんどないが、枝打ちを含め、今後の施業、資源管理を問われる樹種である。

カラマツの間伐施業で材質が変わるのか

カラマツは造林面積42.9万ha、蓄積91,400千m³で11齢級を以上の成熟期のものが39.7%を占め、年間造林面積はグイマツ雑種F1も含め4,130haである。現在、道内の素材生産の主力樹種であり年生産量は1,606千m³である。

カラマツ人工林の整備を押し進めるにあたり、カラマツの植栽密度や間伐時期、間伐強度などの施業が材質や収穫量に及ぼす影響についての議論はいまだ乏しい。本試験ではカラマツの標準伐期に対応した施業の事例として、間伐強度の異なる試験地を設定後、25年経過した試験木を用い、間伐強度が材質におよぼす影響を検討した。

試験地は平取町有林135林班65小班(標高200~220m)、地位指数は25のI等地である。1968年に3000本/haで植栽を行ない、1983年に5つの試験区(材積間伐率:0%, 20%, 30%, 40%, 50%)をそれぞれ0.1haの方形区で設定し、全層間伐を段階的に行い1991年に間伐率の調整を終了した。試験区内の毎木調査から胸高直径の平均と分散が等しくなるように原則20本の試験木を選木し、2008年12月(41年生時)に試験木を採取した。試験木の平均胸高直径は無間伐区が22.0cm、20%間伐区が23.0cm、30%間伐区が26.7cm、40%間伐区が27.6cm、50%間伐区が29.4cmであった。

材長4mの1番玉と2番玉丸太の動的ヤング係数は1番玉が9.46GPa(F=2.54; p<0.05)、2番玉が9.67GPa(F=1.29; ns)であり、41年生の道内カラマツとしては比較的大きい。無間伐区のヤング係数は1番玉が8.76GPa、2番玉が9.21GPaで他の間伐区に比べ小さく、40%間伐区が最も大きい(9.82GPaと9.94GPa)が2番玉では試験区間に統計的な有意差はなかった。また、50%間伐でも肥大成長に伴うヤング係数の低下はほとんどなかった。

地上高4mと8m部位の年輪解析で年輪幅や密度など6形質について解析した。間伐試験区の設定は1983年であり、1987年と1991年に各試験区2~3回の間伐を実施している(図-6)。年輪幅が大きく変動したのは1988年以降の20年輪である。1988~2008年の4m部位の平均年輪幅は間伐区0%,20%,30%,40%,50%でそれぞれ1.2mm,1.5mm,1.9mm,2.1mm,2.5mmであった。この20

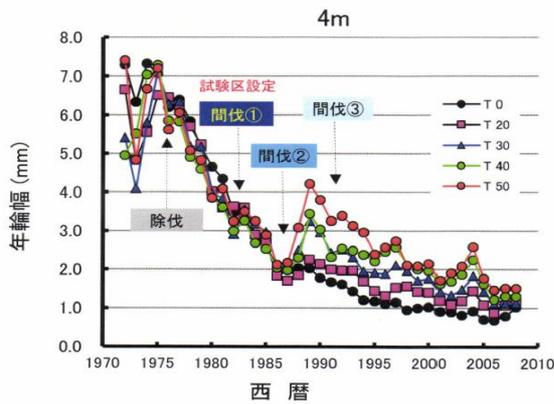


図-6 間伐に伴う年輪幅の変動

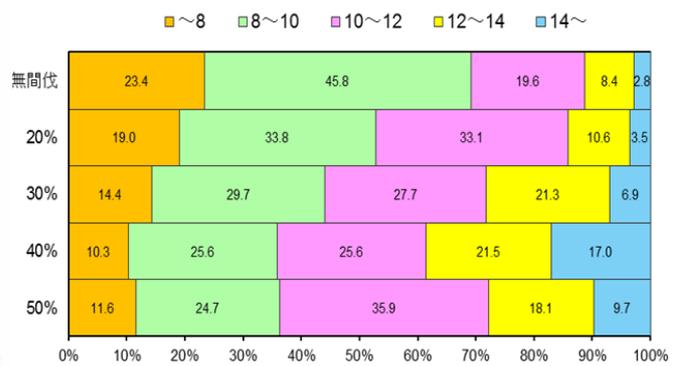


図-7 間伐とラミナヤング係数の出現割合

年輪で各形質について検討を行った。年輪幅に差はあったが、平均密度は0.49~0.51g/cm³で間伐率の大小で差はなかった。間伐で大きく異なった形質は晩材幅と晩材密度で、晩材幅は0.46mm(間伐率0%)~0.86mm(同50%)、晩材密度は0.70g/cm³(同0%)~0.81g/cm³(同50%)で、いずれも間伐率の高い試験区ほど大きかった。無間伐区では32年以降、年輪幅が1mm未満、晩

材密度も 0.70g/cm³ 未満で推移した。

これらの結果はラミナ(集成材の原板)のヤング係数の出現割合に大きくかかわった。丸太を集成材ラミナに製材し、乾燥後にタッピングで動的ヤング係数を測定した。その結果を集計し、図-7に示した。間伐率の高い試験区にヤング係数の高いラミナの多いことが見て取れる。これらの材料で 10 プライの集成材の梁を製造する場合、標準品の E95-F270 では必要なラミナは 9 GPa 以上が 6 割、かつ 10 GPa 以上が 4 割必要で、材料の無駄のないように生産するためには 20%間伐以上の試験区が適合し無間伐区は適合しない。さらに、もう1ランク上の E105-F300 の製造には、10GPa 以上のラミナが 6 割以上必要で、40%と 50%間伐で製造が可能であった。このように、強度間伐によって強度の優れた材料生産がつながる可能性が示された。

【参考文献】

北海道水産林務部総務課, 平成 28 年度北海道林業統計

スギ

安久津ほか, 道南地方のスギ精英樹クローンの材質検定(第 3 報), 林産試験場報 16(5):9-15 (2002)

安久津ほか, 道南地方のスギ精英樹クローンの材質検定(第 4 報), 林産試験場報 17(5):8-15 (2003)

トドマツ

安久津ほか, トドマツ精英樹次代検定林における年輪構造の遺伝的変異と環境との交互作用, 日林誌 90-3:137-144 (2008)

アカエゾマツ

安久津ほか, アカエゾマツ精英樹クローンの材質検定ー容積密度と繊維傾斜度についてー, 日林北支論, 45,31-34 (1997)

安久津ほか, アカエゾマツ造林木の材質検定(第 1 報)ー一般造林木の材質ー, 林産試験場報, 11, No.3, 1-5 (1997)

安久津ほか, アカエゾマツ造林木の材質検定(第 2 報)ー精英樹クローンの材質ー, 林産試験場報, 12, No.2, 13-21 (1998)

カラマツ

安久津ほか, カラマツにおける間伐の違いが年輪構造や丸太のヤング係数に及ぼす影響, 木材学会誌, 58 249-259 (2012)

木質材料・物性研究

－応用物理学からのアプローチ－

(国研) 森林総合研究所 鈴木養樹

1. はじめに

森林総合研究所における物性研究の流れは、この 30 年間に於いて別表 1 に示したように変遷してきた。通常、局所的もしくは微小な領域を中心に組織構造や居住性と関連し、研究が実施されてきた。

当初は、居住性も「木材物理学」の範疇に属していたが、現在では居住性を木材物理学として扱うことは希であろう。特に地方大学では林産学科の木材物理学教室で組織学や居住性を担当していた経緯があるが、現在では分家してそのままそれぞれの分野として独立し始めている。ここで、木材物理から離された、いわゆる「物性学」という学術分野は林産学に存在しないものであるが、そのまま木材物理学と同等な扱いがされている不思議な状態である。

ところで木材学会が 1955 年に発足して以来、現在までで 64 年になるが、森林総研における物性研究室はその半分の時間に相当する。木材学会が比較的新しい学術団体であり、しかもその中で、「木材物理学」の分野は連綿と続いているように感じられる。農林水産省林野庁林業試験場木材部物理研究室から農林水産省林野庁森林総合研究所木材利用部物性研究室への移行では、「林業試験場」から「森林総合研究所」へと軸足を林業・林産業から森林・環境・生態系に重点を置く名称変更が行われ、同時に組織改編された中で行われた。

筑波移転当時から物理研究室における研究の方向性や指針は、木材の性質よりも遮音性や温熱環境などいわゆる居住性研究が中心になりつつあった。そこで、「森林総合研究所」と名称変更とともに従来からの材料としての物理的性質を探究する研究室として、「物性研究室」が発足した。これは、奇しくも「平成」に始まったと言ってもよかろう。分家した当初は、物理的および化学的処理方法による木材の力学的、電気的性質の変化についての研究を中心に実施してきた。分家した直後は、スタッフの数が十分ではなく、方向性が定まっていなかったことも指摘されている。

したがって、分家した直後は、「技術」や「装置」など使えるものが手元に少なく、手探りの状況であった。今では信じられないことであろうが、デジタル化できる装置は当然無く、すべてアナログ、チャート記録紙に記録して解析するため、手間暇がかかる。そのため、実験作業や論文化には時間が掛かっていた。一方で、測定システムは自身で設計・製作できたため、動作確認やデータの信頼性の確認作業ができ、それが現在に活かされていると考えている。特に、PC の普及に伴い、測定の高度化（PC での装置自動制御、データの取り込み等）が進んできた。

独法（独立行政法人化）前は広義の「物性研究」という観点から実施でき、その自由度は大きく、色々なチャレンジが可能であった時期でもあったと、今、振り返るとそのように思われる。必ず最初の目標の達成が求められるのではなく、実験失敗や計画変更も自由に認められた時期であり、現在のように目標達成に縛られていない自由度が存在した。これが、科学技術および基礎的研究の重要な視点となっている。予算を投入しつつ、成果を全て求めているのではなく、今後

の新規プロジェクト推進に貢献できることが重要であった。

また、期間 5 年以上の大型プロジェクトが数多くあり、例えば「新需要創出計画」は最終的に 10 年間続いたものであった。考えようによっては比較的、研究資金は今に比べれば潤沢と言えなくもない。また、筑波機械整備費制度が認められていて、高額な装置の導入も可能であった。さらに、研究や実験に取り組む時間にゆとりがあり、今のような煩雑な事務手続きからは解放されていて、その分でも実験や思索に集中できた時代である。

2. 研究の転換期

さて、良しにつけ悪につけ、研究の流れが激変したのは、2001 年の独立行政法人化からである。これは橋本内閣の行政改革の一環で、国民からの非難を受け公務員の数を減らし、人件費の削減を目指したものであるが、「現業」・「非現業」の現業部分（サービス部門）だけが切り離され、見かけ上「国家公務員」の数を減らすことになった。「非現業部門」とは企画立案を行う部門であり、霞ヶ関の各役所が相当する。一方、現業部門には研究所や病院などが含まれている。最初に独法化したのは旧通産省（経産省）傘下の産業総合研究所であり、続いて農水省傘下の研究所もやや遅れて独法化された。ここに森林総研も含まれている。気象研究所や国土地理院など国防や国益に障害があると判断されたもの以外は、ほとんど独法化され今日に至っている。すなわち、政府の目的である経済効率化に沿うことになっている。

文部科学省傘下の国立大学も同様に独法化され、「教育」も効率化が最大目標になりつつある。結果的に学問や技術の世界でもマジョリティ（多数派）がマイノリティ（少数派）を支配する図式になった。今は、これが加速し、本来の国策である国際競争力の向上は逆に減少していると考えざるを得ない。

さて、独法化最初の 1 期 5 年間は自由度が見た目、増大して、現場ではいろいろな課題を提案できるような錯覚に陥った。大学中心であった科研費申請も、独法（独立行政法人）の研究者が申請できるようになったのも、この時期からである。

同時に、達成目標が重要視され、研究期間が 3 年程度と短期間になった時期でもある。また、個人での実施が困難になり、研究グループでの課題実施が重点化され、本来のアイデア中心から団体・グループでの実施になり、研究費の分配が貧相になりつつある。研究者個人が投入できる勢力は限られており、結果的に研究費の獲得のために、百花繚乱のように各種プロジェクトに参画せざるをえないのが現状であろう。国立研究機関はそれぞれの所掌が限定されているため、さらに基礎的分野でのアイデアおよび知的所有権の枯渇につながる危惧がある。

3. 過去の研究の実施方法および経過

木材物理学は、いわば広範囲な材料学であろう。そこに木材が中心であり続けることになる。他の材料分野では考えられないことであり、通常は最終目的に最適な材料を見いだすことになるが、単一の材料の使用には限界がある。木材を徹底的に使うことは、木材の性質・性能限界やそ

れを超えようとする知恵が必要になる。木材学の場合、経験則に従って、解を求めるため、途中で諦めざるを得ない場合もあり、その点では多様性に乏しい。いわゆる「常識」という概念が大きく作用し、新たな解法の追求をしていない。また、横（異分野）の連携も乏しく、境界を超えることはまずない。これは、背後にある産業界などの意向にもよると思われる。業界は、今までの「常識」を重視し、その路線からは外れない。逆に、そのデータ量および経験値の蓄積は膨大であると考えられ、これらのデータを解析することができれば、新たなシーズが生まれるかもしれない。

一方、応用物理学は、材料の起源は拘らない、例えば木材以外の材料で目標が達成できれば、それが第一義的である。目的に対して、いろいろな経路が考えられ、多様性が多いのが特徴であろう。

今までに、別表に示すような農水省関連のプロジェクトに関わることが出来た。この中でも、印象に残っているプロジェクトを中心に話題提供を進める。

最初に、「新需要創出」プログラムである。これは平成3年から10年間掛けて行われた大型プロジェクトである。これが、最後の大型プロジェクトとなった。それ以降（平成13年）は、独法化により、永くて5年、通常は3年間で実施することになり、今日に至っている。「新需要創出」プロジェクトは、農水省系列の研究所が包括的に実施したもので、バイオマス利用の先駆けとも言える。森林総研は第1期の材料創出から始まり、第3期では製品開発プラントの建設を行っていた。ここで興味深いのは、同時期に木研で「圧密化」「永久固定」という技術の提案が起こっていたことである。森林総研の場合、固定には樹脂を使用していたが、木研では水と熱による圧力の負荷で木材の変形を抑制しようとするものであった。レオ研でも、「圧密化」に関係した議論が活発に行われていた。

さて、私に関わったのは、第1期で木材の通導性評価について空気透過率と反転電気印加法による電流の流れ方との関係から木材の乾燥性の良好さを評価できるかであり、ここでは組織研究室と連携をしていた。3年間であったが、木材組織との連携が非常に重要であったと認識できた。次の第2期では、SSTの膨潤過程の評価について行っている。第3期で化学加工のグループと一緒に新規材料開発に関わることができた。セルロースを電子材料への応用に試みる場面で、通常の手法では解決できないために、応用物理的発想に至った経緯がある。一般的に薄膜化にすると耐電圧の向上が難しい。これは高電圧によってピンホール1つでも短絡してしまう可能性が大きいためである。また、高分子の伝導性が高い場合にも同様な現象を起こす。ここで、材料中の電荷をトラップできれば電極間で短絡する確率は低くなると考えた。そこで、無機材料との複合化による耐電圧性能向上と高誘電率化を目指し、一部成功した。それをもとに、ナノテクノロジープロジェクトに繋げることができたが、製品化につながる応用および実用化が困難であった。

次に、「スギ高速乾燥システムの開発」が挙げられる。ここでは原木の含水率分布評価手法の開発を担当した。これまでは、小試験体による研究が中心であったが、このプロジェクトでは丸太を扱わなくてはならない。そのため、実大材レベルで行うことを目指した。この時には、丸太な

ど生材の含水率推定技術の需要は大きくはなかった。当時、すでに打撃法による平均含水率推定が主流であり、電気的手法の適用は当初評価が低かった。木材側からの常識で行けば、「打撃法」での平均含水率推定で大丈夫・十分であろうという認識であった。

したがって、周波数掃引によるインピーダンス（交流抵抗）測定による含水率分布推定技術の開発は、一応の成果を収めながらも、次の交付金プロジェクト「スギ中・大径材製材の生産能率向上のための材質選別・製材・乾燥のシステム」（平成 21-22 年）まで凍結されてしまった。研究するにも資金や人力などが必要であり、さらに課題化が義務づけられていたため、技術の高度化は難しかった。木材産業界では結果が全てであり、いかに製材品が無駄なく効率よく生産できるかが主題目であるため、途中での評価技術の開発等は問題にしていない。どんな材も製材でき、乾燥できればいいという視点による経営がなされたため、国産独自の技術・研究開発は遅れたと見なすことができる。研究者も同様であろう。

ところで、この間（平成 19 年～21 年）に参加した電磁気関係の国際会議で、東欧やアメリカ、ドイツでの電磁気による水分検出技術の開発が進んでいることに気づかされた。ここで、筆者と同様な手法を用いて丸太の含水率を推定しているフィンランドの大学の方がいたことには驚かされた。その方も物理学の研究者であり木材の専門家ではなかった。平成 17 年（2005 年）あたりでは、日本では X 線や放射線による技術に注目されていて、筆者も木材学会のシンポジウムで X 線による検出の可能性について言及したが、一方で X 線のような大規模な複雑系の導入は難しいだろうと考えていた。X 線よりは、低周波域（マイクロ波以下の波長域）の電気・電磁波を用いた方がシステムも簡便であり、安価に済むと予想していた。それが現在ようやく形になりつつあるが、まだまだ前途は多難である。装置導入のメリットを説明する場合、含水率ありきでその後の製材および加工・乾燥の工程プランを導けないからである。これは、今後の課題となる。

科研費も複数担当させてもらったが、面白さが大きかったのは、「シロアリの咬合力測定」である。これも、市販のジグや装置はなく、最初から設計しながら工夫を重ねていったものである。シロアリが噛む力は見当もつかないため、圧力フィルムによる測定を検討した。しかし、顎の大きさから、読み取りは難しいと判断し、何か別のものを噛ませることで、その力を別の変換器でデータに変換することを提案した。ハサミ型のジグを考案したが、後で論文検索するとドイツのグループが似たようなものを設計していた。ただ、こちらはさらにハサミの挙動から風船に力を伝えることを独自に考えた。ここで風船とは手術に用いるカテーテルバルーンであり、特徴的なものであった。その後、微小荷重を検出できるロードセルが用意できたため、ハサミ型ジグをロードセルにつないで同様な測定が出来たことを確認している。

このように、常識だけでは対応できない事例に対応し、新たなシーズを生み出すことが、物性研究者本来の役割であると考えている。先人の業績をトレースして検証することも重要であるが、一方で、全く新たな方向性を提案することも重要であると考えている。

ここで、シロアリの顎の構造に着目して、ナノインデントという圧子を材料に押し込むことで硬さを評価する手法について検討してみた。木材と同様金属やセラミックスとは異なる挙動を

示すため、この手法の適用や解析には、まだ時間が必要であろうと認識である。シロアリの顎そのものの硬さと食害との因果関係が解明されていないことが課題として残されていて、これらは、木材加工用 MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) としての開発という視点からさらに発展できる可能性がある。

4. 今後の展開

今後、基礎的な分野である領域が残れるかどうかは、ひたすら新しいアイデアの追求が要求される。コンピューターやソフトウェアの進歩により、SPM や AFM など今まで困難であった微細な構造解析が容易に出来る装置が数多く開発され、または海外から輸入され、応用・実用と基礎との垣根がなくなりつつある。つまり、機械や装置を購入するだけで、専門家でなくてもデータ収集出来る時代になっている。ただし、そこに、オリジナリティはなく、単なる単純作業者としてのみ存在することになる。少し前までは、遺伝子解析でシーケンスによる遺伝子情報解析技術が現場で求められ、そのため数多くの博士を生産したが、その後、機械（ここでは計算機、コンピューター）の機能が飛躍的に向上し、人間を必要としない技術が中心になってきている。そのため今まで持てはやされてきた遺伝子解析スキルを持つ研究者の存在が希薄になっている。今までは装置にかかるまでの前処理や得られたデータからの解析に人手が必要であったが、今はそれもあまり求められていない。

これは、遺伝子情報解析の分野に限らず、ほとんどの科学分野に共通する項目である。最近では「AI」 Artificial Intelligence (人工知能) というコンピューターによる最適化解を求める手法が注目され、この AI の導入ですべて解決されると思われている。一種の博物学である木材物理学でも、一定の恩恵を受けられそうであるが、技術者のスキルをどれだけフィードバックできるかは問題が残るところであろう。また、生物体である樹木の成長過程の解明と制御技術の開発は未完成であり、横断的な視野が求められる。古くて新しい「水」の移動機構も十分解明されていない分野であり、ポテンシャルだけで事象を説明できたとは考えにくい。物理学的視点からすれば、なぜ樹木は 10m も 20m もの高さまで水を運ぶのか、その駆動力については力学的モデルでも説明できていない。

これらの機構を説明できる物理モデルが出来れば、育種等の技術開発につながると予想される。これも分野横断型であろうか。

5. 将来への提言

我々、木材を研究対象としている研究者にとって、木材、樹木そのものの性質や構造の解明から逃げ出すことは不可能であろう。応用物理学の面からすれば、最終的に利用する場面に適用できれば木材に拘る必要はない。しかしながら、人間と木材との共存関係の歴史は古く、材料そのものを悲観的にとらえる必要はないと考える。いわゆる木材の「良いところ」を抽出していく地道な作業が求められる。ただし、パラドックスであるが都合の良いデータを求める傾向が大きく

なることを理解し、原理や理論を十分理解した上で、装置の利用や開発を行わなくてはならない。数学的理論を実際に実験手法・装置で表現していくのが、応用物理学的であるが、このような姿勢を「木材物理学」の研究者に望むところである。

筆者も、理論構築や実験装置開発など反省するところばかりであり、当初の想定外の結果ばかりで「失敗」の連続であり、スマートな研究は見当たらない。電磁気関係でもアンテナ設計では試行錯誤することになり、手当たり次第ということもある。

最終的にはすべてに共通することであるが、木材の「標準体」を設計・作製が出来れば、飛躍的に解析能力などが向上すると想定される。工学的には、「標準体」が必要となり、誰でも同じ指標で評価ができるため、誤差等の議論は少なくなろう。生物由来の材料である木材も、生物由来だからという言い訳をする必要のない時代になることを希望している。

Wood/Water Relations

—木材乾燥と含水率計に関するいくつかの話題—

信田 聡
東京大学大学院農学生命科学研究科

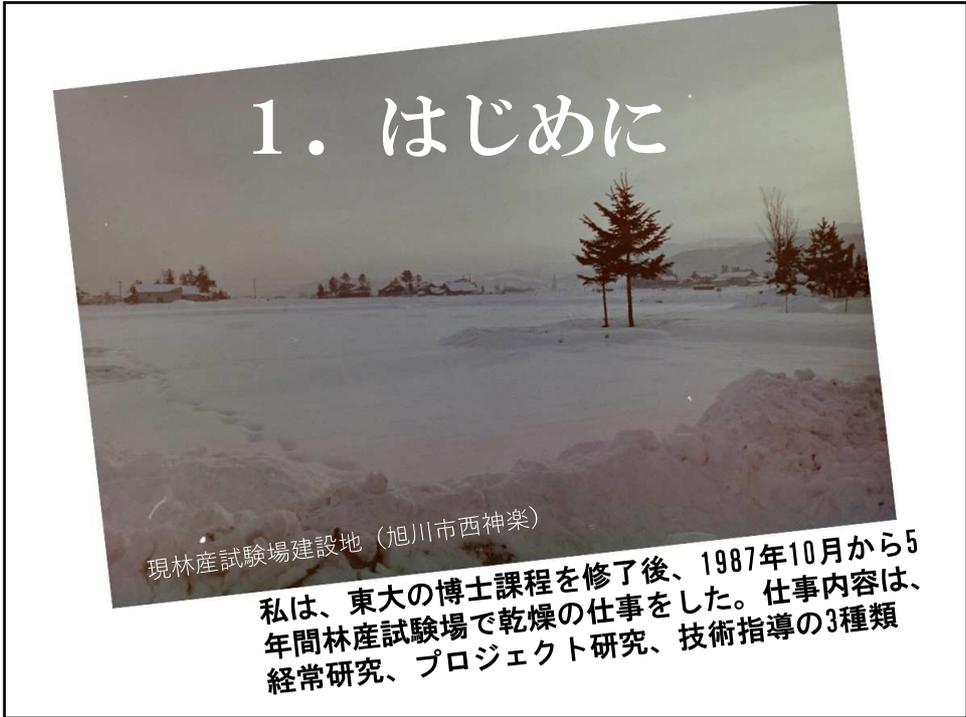
日本木材学会 3研究会合同シンポジウム
(組織と材質研究会、木材と水研究会、木質物性研究会)
2019年3月13日(水) 午後 函館アリーナ
第69回日本木材学会大会(函館大会)時

1

内 容

1. はじめに
2. トドマツ水食い材の乾燥
3. 木材含水率計の認定
4. 木材乾燥の課題

2



3



4

私のトドマツ関連研究論文

林産試験場報（信田聡ほか）

- トドマツ人工林材の乾燥試験（第1報）－正角材の天然乾燥－ 1984.8
- トドマツ人工林材の乾燥試験（第2報）－正角材の中温スケジュールによる人工乾燥－, 1984.11
- トドマツ人工林材の乾燥試験（第3報）－正角材の高温乾燥－, 1985.4
- トドマツ人工林材の乾燥試験（第4報）－水食い材の100℃試験法による乾燥スケジュールの推定－, 1985.5
- トドマツ人工林材の乾燥試験（第5報）－低温及び高温スケジュールによる板材の乾燥－, 1985.6
- トドマツ人工林材の乾燥試験（第6報）－高温乾燥後の正角材の室内放置中の含水率と収縮率－, 1985.8
- トドマツ人工林材の乾燥試験（第7報）－水食い材の乾燥性（1）－, 1985.9
- トドマツ人工林材の乾燥試験（第8報）－正角材の材温制御下におけるマイクロ波乾燥－, 1985.12
- トドマツ人工林材の乾燥試験（第9報）－水食い材の乾燥性（2）－, 1986.3
- トドマツ人工林材の乾燥試験（第10報）－板材の経済的高温乾燥スケジュール及び含水率むらと調湿時間の検討－, 1986.4
- トドマツ人工林材の乾燥試験（第11報）－水食い材の乾燥性（3）－, 1986.6

東京大学農学部演習林報告（吉本昌朗, 信田聡）

- トドマツ水食い材の観察と強度, 東京大学農学部演習林報告, 106, 91- 139 (2001)

5



図-8 製材前の寸法測定
Fig.8. Measurement of log sizes before sawing.



図-10 丸太から板材を製材する（北海道立林産試験場にて）
Fig.10. A log is sawn into lumbers at Hokkaido Forest Products Research Ins



図-9 供試木の両木口の切斷
Fig.9. Cutting off both sides of a log.

トドマツ原木（東大富良野演習林産）を製材する（林産試験場）1999年
東京大学農学部演習林報告（吉本昌朗, 信田聡）

- トドマツ水食い材の観察と強度, 東京大学農学部演習林報告, 106, 91- 139 (2001)

6

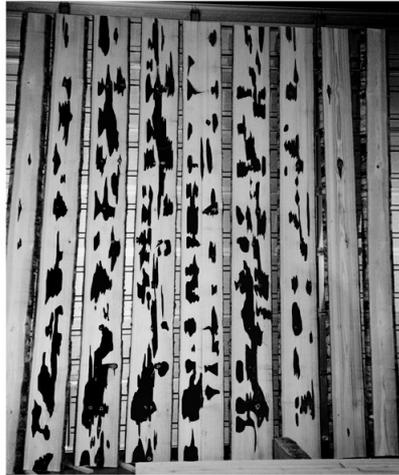
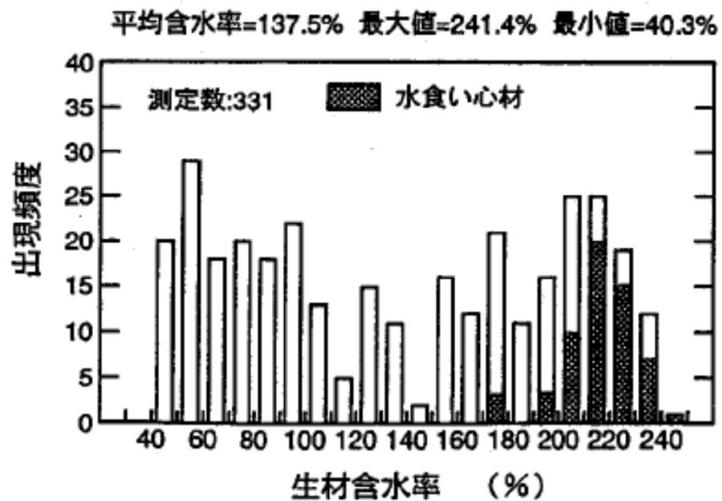


図-15 供試木1を製材して得られた板材表面における水食いの分布
 Fig.15. Wetwood distribution on the surface of ltimbers that were sawn from a log, NO.1.

東京大学農学部演習林報告（吉本昌朗，信田聡）
 ・トドマツ水食い材の観察と強度，東京大学農学部演習林報告，106，91- 139（2001）

7



第1図 トドマツ木口円盤内の生材含水率分布

信田聡：住宅・土地問題研究論文集(15)、275、(財)日本住宅総合センター（1990）

8

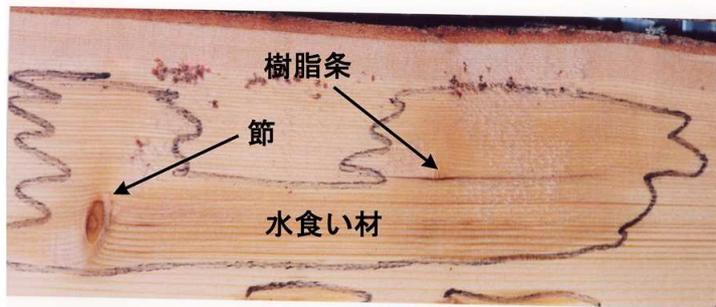


図-19 供試木1の水食い材とそれに含まれる欠点
Fig. 19. Defects in wet wood of todomatsu log, No. 1.

既に余等が各御料地より蒐集した多数の供試木に就き調査した成績に依れば「入皮」は唯に其の事にのみならずして、変色、シミ、樹脂條、腐朽、蟲害、等の如き瑕瑾を、之に關聯して二次的に生ぜしめる場合が多く、又不整調なる組織を構成する原因ともなるので其の影響の及ぼす所頗る大なるものである。(三好東一・島倉巳三郎、林學會雜誌 第十六卷 第二號 昭和8年)

9

第4表 トドマツ木口円盤の心材部における節、あて、樹脂条と全乾比重、含水率及び水食い材率の関係

分類	出現数	全乾比重		含水率(%)		水食い材率(%)
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	
(A) 節を含む心材	43	0.379	0.059	92.7	31.9	72.1
(B) 樹脂条を含む心材	72	0.357	0.021	135.0	51.6	75.0
(C) あてを含む心材	37	0.386	0.039	88.3	32.6	21.6
(D) 上記以外の心材	71	0.331	0.014	86.3	45.1	26.8

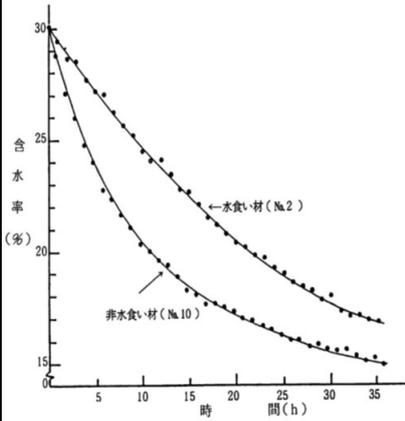
厚さ10cmの木口円盤を縦×横2.5~3.0cm角に分割した試験片の観察・測定結果。木口円盤使用数は5体。

水食い材率=水食いが認められた材/出現数×100(%)

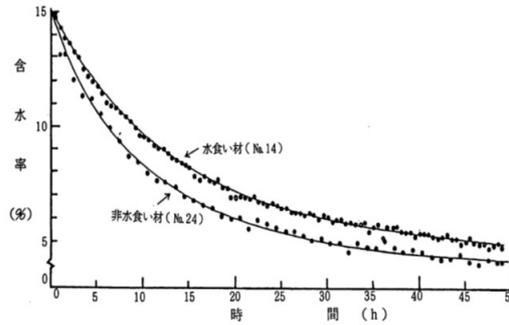
信田聡ほか:林産試月報、No.413、6月号、4 (1986)

10

水食い材の乾燥性



第1図 常温乾燥性試験における含水率経過の例

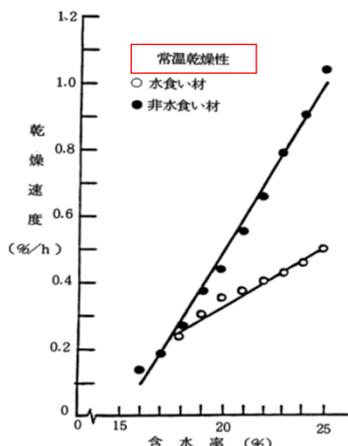


第2図 高温乾燥性試験における含水率減少経過の例

信田聡ほか: 林産試月報、No.410、1986年3月号

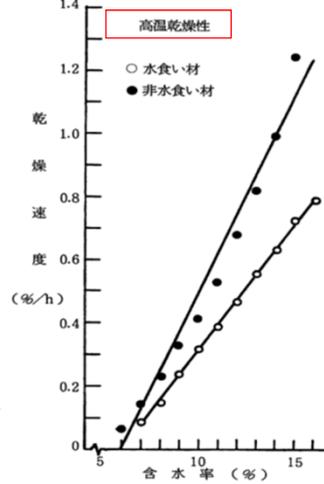
11

常温乾燥性
20°C、3度差、風速1.3m/s



第3図 含水率と乾燥速度の関係

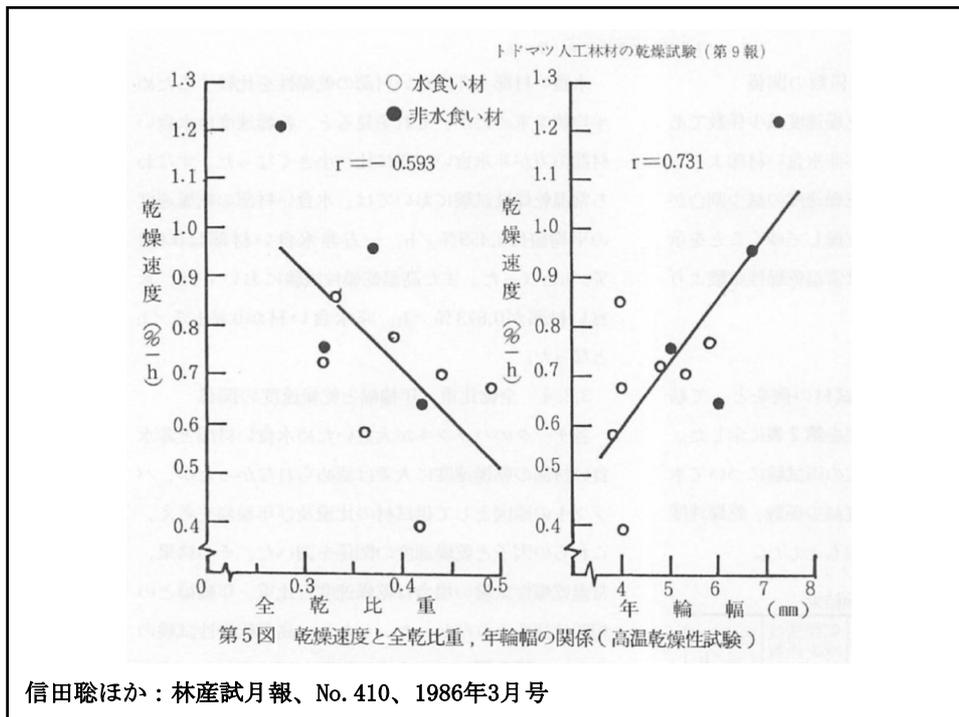
高温乾燥性
45°C、7度差~60°C、25度差



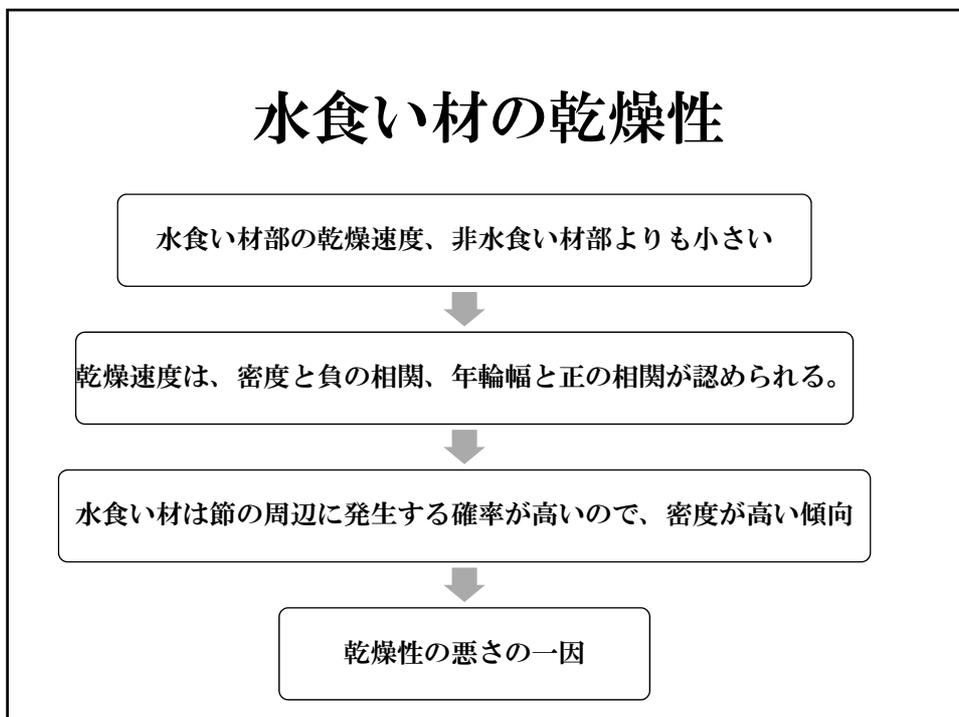
第4図 含水率と乾燥速度の関係

信田聡ほか: 林産試月報、No.410、1986年3月号

12



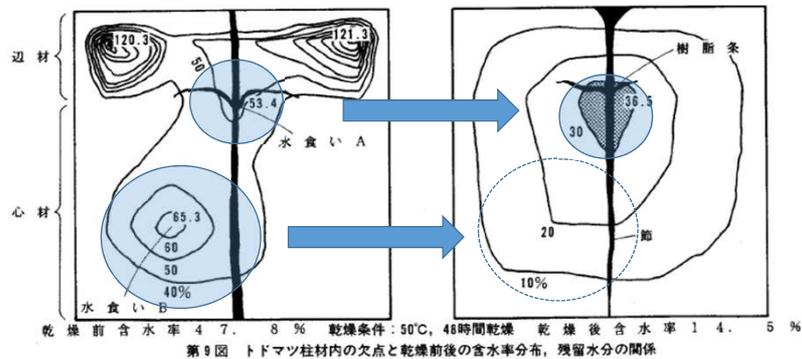
13



14

水食い材の乾燥性

乾燥前 → 乾燥後



木材工業 Vol. 50, No. 2, 1995

信田聡ほか:林産試月報、No.413, 6月号, 5 (1986)

15

水食い材の乾燥性の結論

水食い材部の乾燥性が悪い、とする場合



水食い材に多く含まれる、節、樹脂条などの欠点の存在



製材の中におけるこれら欠点の存在位置が水分移動を妨げる位置に存在すると乾燥性が悪くなる。

16



トドマツの水食い

なぜ水食いが発生するのか？

- 圧搾樹液の TLC（薄層クロマトグラフィー）分析の結果，心材と水食い材で液中の有機成分に差はなかった。これらの結果はトドマツの水食い材の水分が単なる雨水の浸入や細菌の活動によってもたらされたものではないことを示している。
- 考えられる可能性として，浸透圧による辺材からの水分移動があげられる。

（石井哲男・深沢和三）

17



3. 木材含水率計の認定



18

含水率計の認定

<https://www.howtec.or.jp/publics/index/128/>

(公財)日本住宅・木材技術センター

針葉樹製材に用いる含水率計の認定

携帯型(6機種、平成30年4月現在)

ハンディータイプの含水率計の認定。事業開始時は高周波式に限定。平成17年よりマイクロ波式等の物も審査が可能。

設置型(4機種、平成30年4月現在)

マイクロ波等により木材の含水率を測定する方法。木材中心の水分まで含めた全体の平均水分を測定することが可能。150mm程度の深さまで測定が可能なので、通常住宅を建てる時に使われる105角や120角にも対応。

19

含水率計の認定とは？

含水率計の
性能認定？

測定精度の
認定？

機械の性能
を認定するの
か？

実際に製材
を測定した時
の精度を認
定するか？

従来はこ
ちら

最近はこ
ちらも考慮。



20

針葉樹製材に用いる含水率計
(携帯型(高周波押し当て式))の性能基準

2.性能試験の方法

2.1 試験材

- ①スギorヒノキの辺材(無欠点材)、次の3種類の含水率状態の材。

EMC 10%程度

S1:20°C、55~60%(RH)で1か月以上調湿した材

S2:20°C、75~80%(RH)で1か月以上調湿した材

S3:含水率40~60%の材

EMC 15%程度

- ②寸法:厚さ10mm、幅100mm、長さ150mm。測定面はプレーナー仕上げ。

21

2.2 試験材の含水率測定方法

- ①試験材は、材の一部を切断し全乾法(JIS Z 2101)によって含水率を測定。

全乾法による測定は、原則として含水率計の測定試験の直後に行うが、次の含水率推定法の使用が可。

- ②含水率推定の方法は次のとおり。

調湿期間中、任意の時期に前期全乾法により試験材の推定全乾重量を求め、含水率計による測定を行うに当たっては、その都度試験材の重量を測定して推定含水率を計算する。

22

2.3 含水率計による含水率の測定方法

試験材を次の図(A, B, C)のように積み重ね、上部に含水率計をあてて測定。

測定は試験材の組合せをランダムに変えて10回行い、その平均値を求める。

A	B	C
S1	S2	S2
S1	S2	S3

23

3 適合基準

- ①Aの測定値(平均値)と全乾法によるS1の値(平均値)との差が±2%以内であること。
- ②Bの測定値(平均値)と全乾法によるS2の値(平均値)との差が±2%以内であること。
- ③Cの測定値(平均値)がBの測定値(平均値)より5%より高く表示されていること。

24

この性能試験法は、含水率計の測定深度の性能を調べる方法であるが、含水率傾斜が大きく、比較的大きな断面寸法の製材の含水率を精度よく測れるかという点では、この評価方法では不十分である。

25

針葉樹製材に用いる含水率計 (携帯型(高周波押当て式以外)の性能基準)

2 性能試験の方法

2.1 試験材

- ①試験材は、認定申請に係る含水率計を用いて、測定しようとする針葉樹製材の乾燥処理材とする。樹種及び断面寸法は、認定申請に当たって明記したものをを用いる。
- ②試験材の含水率測定点は、認定申請品によって測定した含水率が10%以上～15%未満、15%以上～20%未満、20%以上～25%未満の含水率の箇所各5測定点、計15測定点とする。ただし、測定点付近には割れや節など、試験に影響する欠点がないものとする。

26

2.2 含水率計による含水率の測定方法

認定申請に係る含水率計の使用方法によって、試験材の長さ方向における任意の部位について含水率(M1)を測定する。

2.3 全乾法(JIS Z 2101)による含水率の測定

- ①2. 2の測定を行ったそれぞれの部位を試験材から切り出し、全乾法によって含水率(M2)を測定する。
- ②試験材の全乾法による含水率(M2)測定部位(任意の長さ)全体の含水率測定直後の総重量(W1)と全乾時の総重量(W2)を用いて(1)式により求める。

$$M2 = (W1 - W2) \times 100 / W2 \dots\dots\dots(1)$$

2.4 全乾密度の測定方法

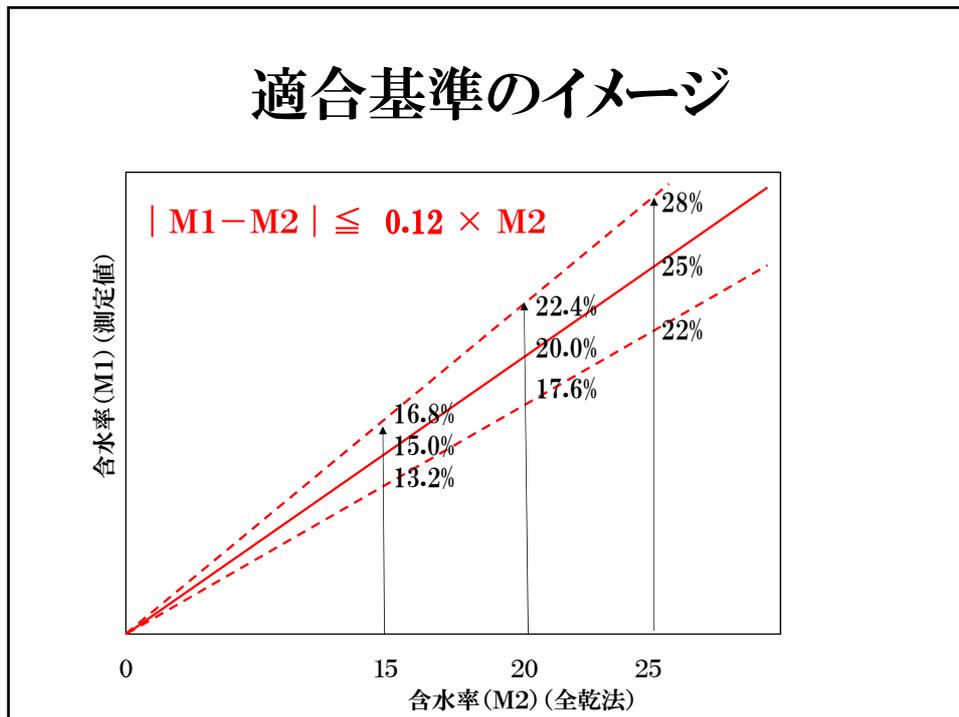
2. 2の測定を行ったそれぞれの試験材について、全乾密度を測定する。また、それらの平均値を求める。

3 適合基準

認定申請に係る含水率計による測定値(M1)と全乾法による含水率(M2)の偏差(M1 - M2)の絶対値が全測定点数(15点)のうち13点以上が全乾法による含水率値(M2)に0.12 を乗じた値 以下であること((2)式)。

$$| M1 - M2 | \leq 0.12 \times M2 \dots\dots\dots(2)$$

適合基準のイメージ



29

針葉樹製材に用いる含水率計(設置型)の性能基準

2 性能試験の方法

2.1 試験材

- ①試験材は、認定申請に係る含水率計を用いて測定しようとする針葉樹製材の乾燥処理材とする。樹種及び断面寸法は、認定申請に当たって明記したものをを用いる。
- ②試験材の含水率測定点は、認定申請品によって測定した含水率が10%以上～15%未満、15%以上～20%未満、20%以上～25%未満の含水率の箇所各5測定点、計15測定点とする。ただし、測定点付近には割れや節など試験に影響する欠点がないものとする。

30

2.2 含水率計による含水率の測定方法

認定申請に係る含水率計の使用方法によって、試験材の含水率(M1)を測定。

2.3 全乾法による含水率の測定方法

①2.2の測定を行ったそれぞれの測定点について、全乾法(JIS Z 2101)によって含水率を測定。

②測定点の全乾法による含水率(M2)は、測定点を中心位置するように適切に切断して得たサンプルについて、含水率測定直後の総重量(W1)と全乾時の重量(W2)を用いて(1)式により求める。ただし、重量測定に当たっては、サンプルをさらに任意に分割してもよい。

$$M2 = (W1 - W2) \times 100 / W2 \dots\dots\dots(1)$$

2.4 全乾密度の測定方法

2.2の測定を行ったそれぞれの試験材について、全乾密度を測定。また、それらの平均値を求める。

3 適合基準

認定申請に係る含水率計による測定値(M1)と全乾法による含水率(M2)の偏差(M1-M2)の絶対値が全測定点数(15点)のうち13点以上が全乾法による含水率値(M2)に0.12を乗じた値以下であること((2)式)。

$$| M1 - M2 | \leq 0.12 \times M2 \dots\dots\dots(2)$$

含水率計の開発目標等

- 5万円～10万円の価格
- 水分傾斜のある製材の正確測定
- 新しい測定原理
- 密度補正のブレークスルー

33

含水率計の認定に係る費用など (公財) 日本住宅・木材技術センター

- 申請費用

新規申請費用：500,000円(税別)

更新申請費用：400,000円(税別) ※更新は3年に1回。

- 認定シール代

小(携帯型用)：150円/枚(税別)

大(設置型)：300円/枚(税別)



注) 認定番号の●-●●-●●●は、左端から、含水率計の種類(1:携帯型、2:設置型)、-認定された年(西暦の下2桁)-認定番号。※認定シールは認定含水率計として販売する際は添付が必須。

- 試験費用：高周波押し当て式の場合は、3～4万円程度(1機種でスギ・ヒノキの試験を実施した場合)。その他は精度測定を行う試験機関の個々の規定に基づく測定費用が必要。

34



本函館大会において、
高周波容量式含水率の精度向上に
関する研究発表（乾燥部門 E14-
07-0900、東大 峯島友樹ほか）
があります。
そちらも是非聴講ください。

35

4. 木材乾燥の課題

36

課 題

- 乾燥操作の自動化
フィードバック乾燥制御の一般化、木の状態を見ながら乾かす。
- 乾燥スケジュールの簡易推定法の開発
再び広葉樹製材、早生樹種の乾燥のために

37

乾燥操作の自動化

林産試験場報（信田聡ほか、1986-1988）

- コンピュータによる木材乾燥操作の自動化（第1報）－自動化の考え方と試作システムの概要－
- コンピュータによる木材乾燥操作の自動化（第2報）－ロードセル式含水率センサの温度ドリフト対策－
- コンピュータによる木材乾燥操作の自動化（第3報）完－ロードセル含水率センサを用いたフルオートシステムによる乾燥制御試験－

38

自動化の基本的考え方

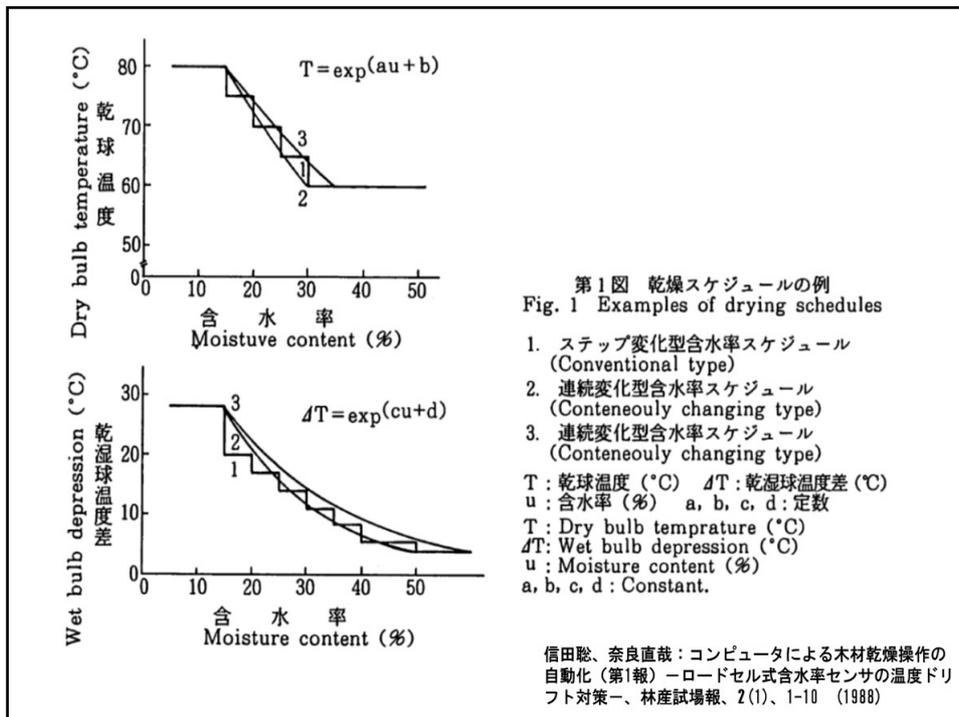
1. 従来の含水率スケジュールを基本とする熱気乾燥法の操作法に準じたシステムとする。
2. 含水率スケジュールは、コンピュータ制御用に連続変化型スケジュールとする。
3. 含水率センサはロードセル方式として、コントロール材の重量測定を行い、含水率を推定して制御する。
4. システムコストはできるだけ安価となるようにする。
(1室あたり50万円以下)
5. 現時点では、乾燥室5室についての制御システムとする。

39

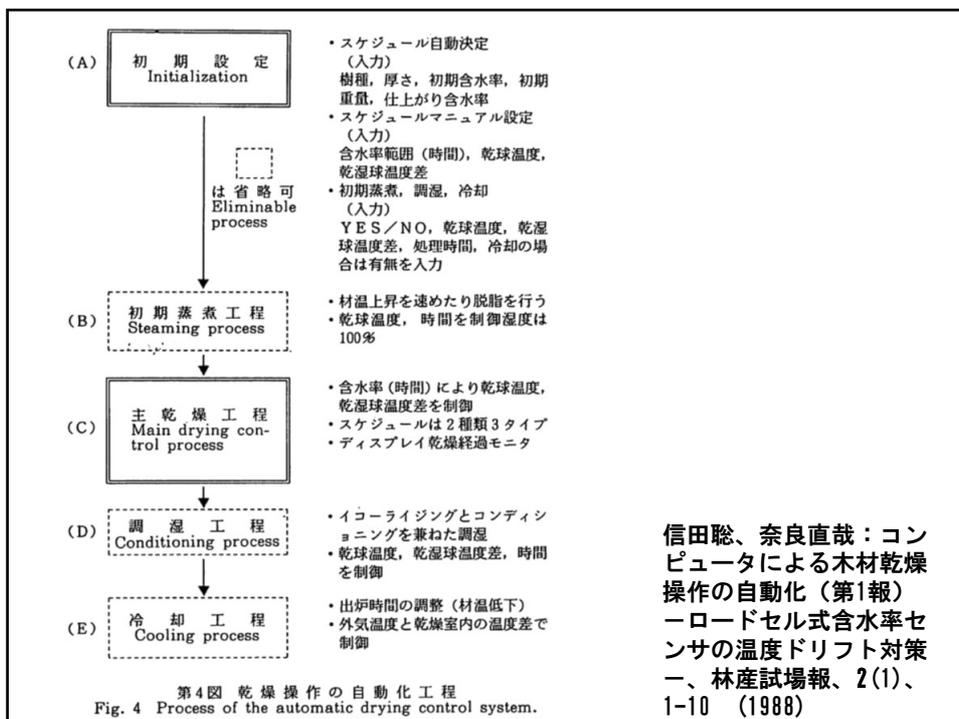
自動化システムの必要条件

1. 含水率が適正に測定できるセンサを備えていること。
2. 無駄のないスケジュールが準備されていること。
あるいは追加できること。
3. 既設乾燥設備に容易に付加できること。
4. 取り扱いが簡便であること。
5. システム価格を安価に抑えられること。
6. メンテナンスが容易であること。

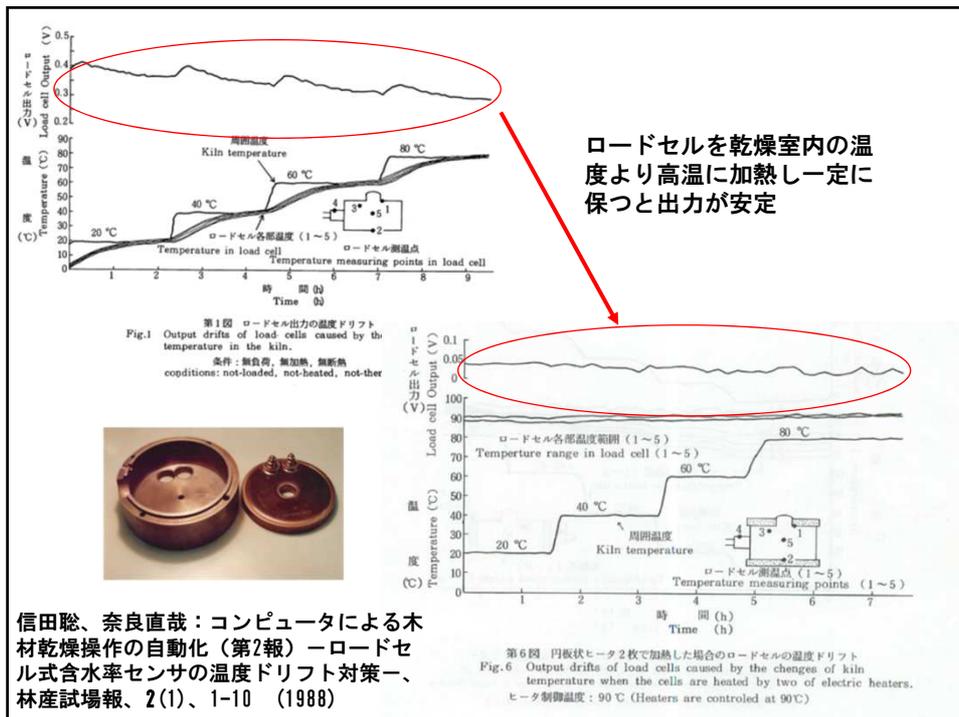
40



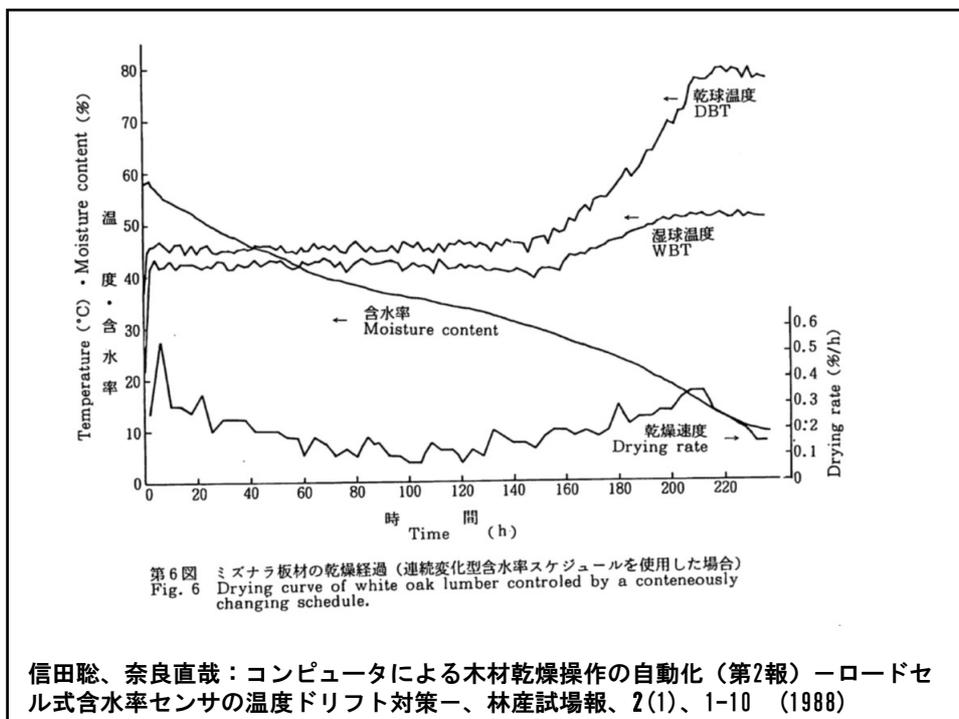
41



42



43



44



45

乾燥スケジュールの簡易推定法の開発

46

- 未知の木材をどのように乾燥するか？



- スケジュール簡易推定法の開発が必要



- 木材物性から推定することを考える。
割れやすいか？・・・横引張り強さ、収縮異方性
乾燥が早いか？・・・水分/水蒸気の透過性
変形しやすいか？・・・繊維傾斜、未成熟材etc.



- 短い時間で推定できる方法を考える。
通称100℃試験では、推定に2日程度かかる

47



48

