

セミナー資料（九州・鹿児島）

木材の乾燥技術

九州大学大学院農学研究院
藤本 登留
fujipon@agr.kyushu-u.ac.jp

1. 木材乾燥の目的

使用中の-----寸法安定性付与、変形抑制
割れ防止

強度性能の向上
耐朽性、耐蟻性、防黴性向上

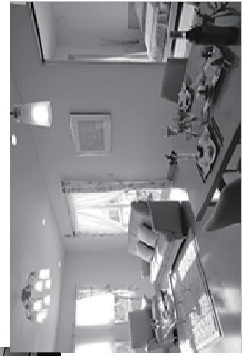
加工時の-----防腐薬剤等注入性向上
重量低下による取り扱い易さ
寸法精度、加工組立精度向上
塗装性の向上

住宅の室内

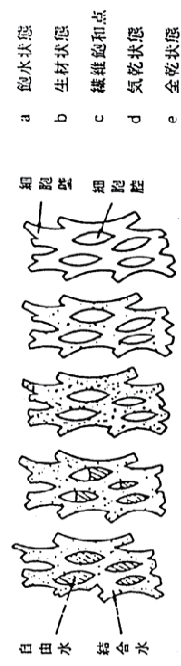


真壁工法

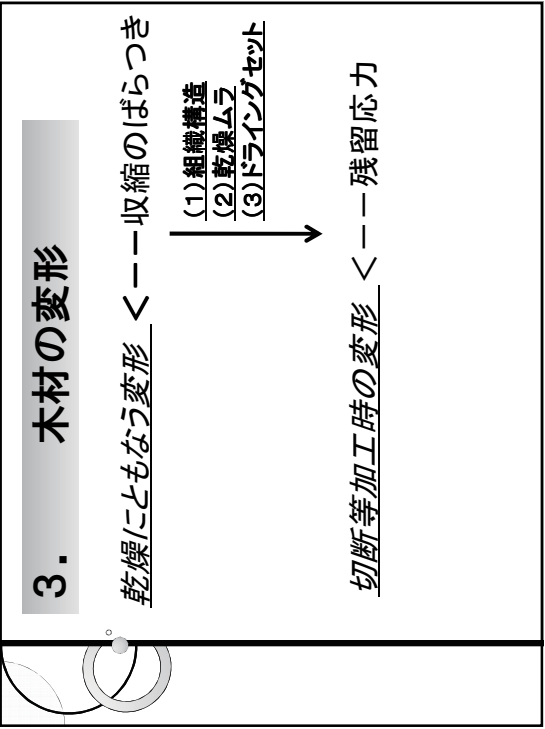
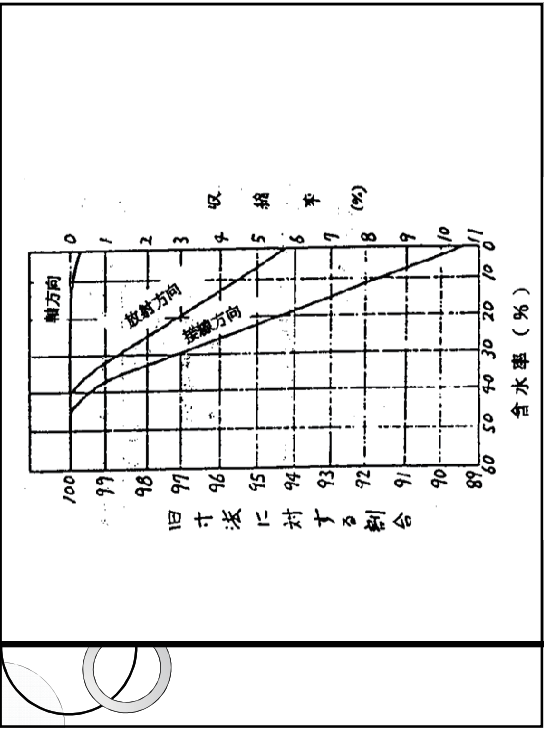
大壁工法



2. 乾燥に伴う木材組織の水分変化



図Ⅱ-1 木材の水分状態の模式図

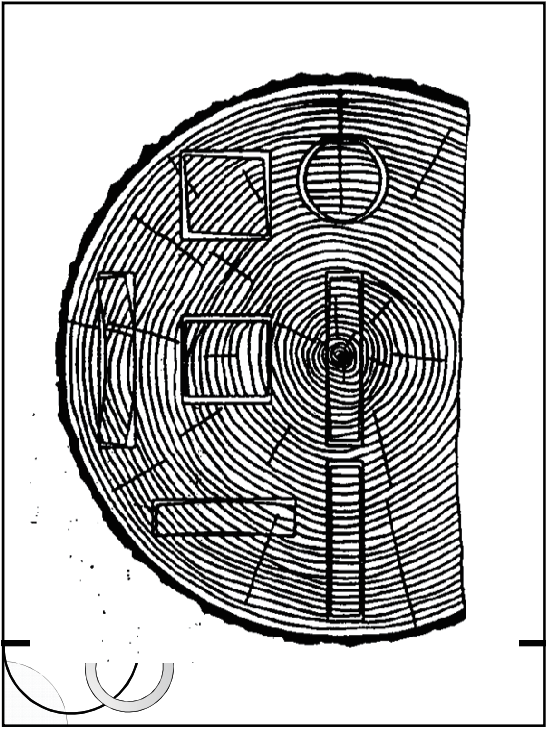


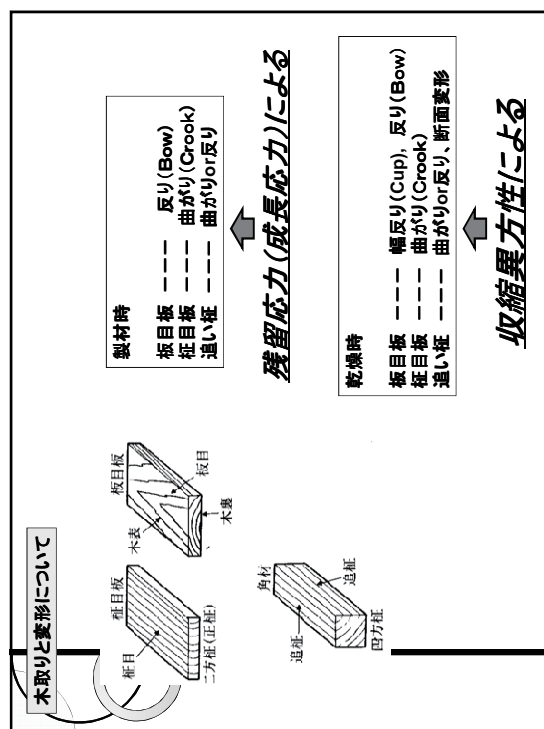
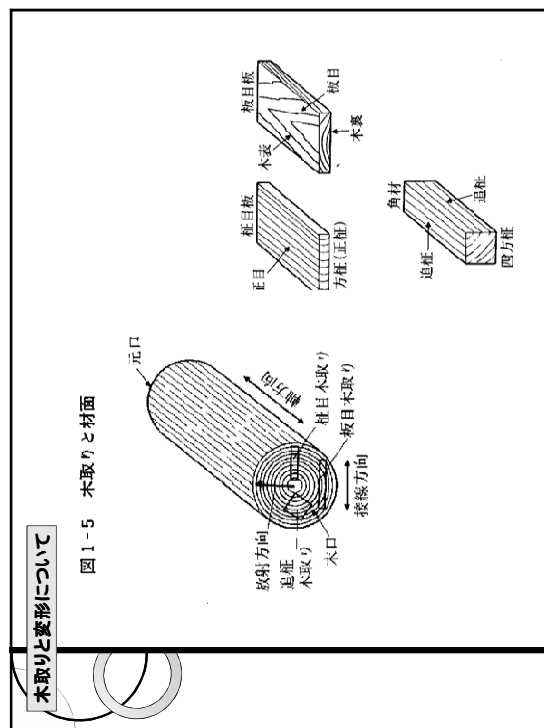
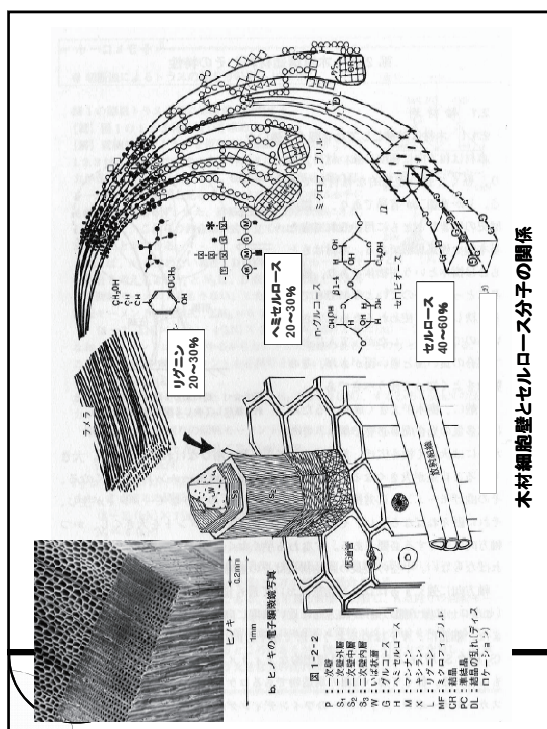
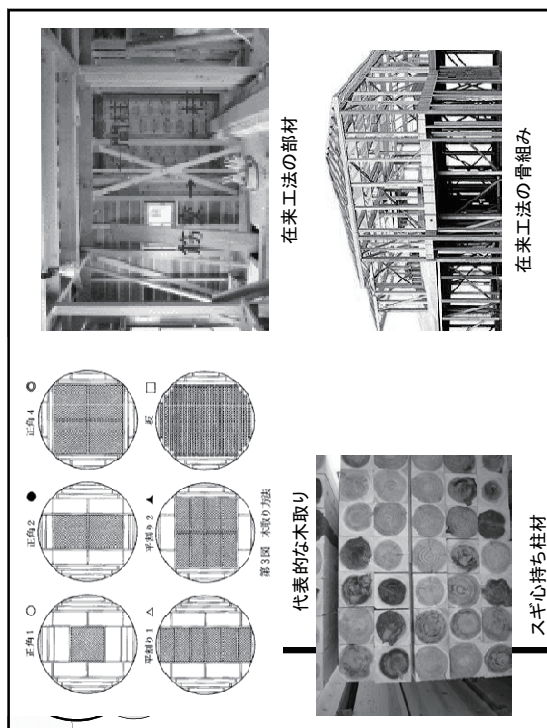
(1)組織構造に起因する収縮のばらつき、変形

異方性 (繊維方向、放射方向、接線方向)

未成熟材・成熟材

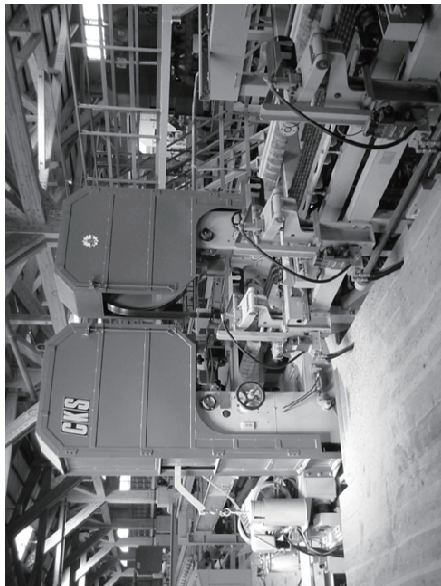
その他(アテ、節、...)





木取りと変形について

板木取り製材(ラミナ製材)――曲がり丸太(B材)用
カービングソーの事例



木取りと変形について

板木取り製材(ラミナ製材)――曲がり丸太(B材)用
カービングソーの事例



木取りと変形について

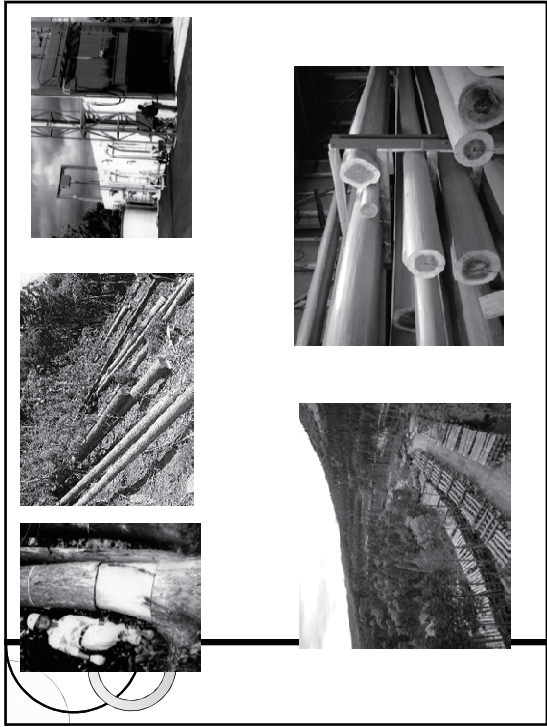
板木取り製材(ラミナ製材)――曲がり丸太(B材)用
カービングソーの事例



質問

• 木材は、いくつかの加工工程を経て製品になります。どの段階で乾燥するのが良いと思いますか。

- ①樹木伐採前(立木)
- ②伐採後(伐倒樹幹)
- ③玉切り後(丸太)
- ④剥皮後(丸太)
- ⑤大割後(ブロック)
- ⑥粗焼き後(歩増し製材品)
- ⑦仕上げ後(仕上げ寸法製材品)
- ⑧仕口等接合加工後



木取りと変形について

板材や間柱等は、歩増した仕上げ断面寸法で製材し、乾燥を行う。しかし、作業が煩雑になることから大割後乾燥し、その後小割りして仕上げる事例もある。

乾燥材再割時の変形

乾燥法により残留応力(乾燥応力)が大きいと変形が大きい

乾燥材料(被乾燥材)製材の基本

目的寸法より少し大きめ程度に製材(変形、収縮を見越した寸法)

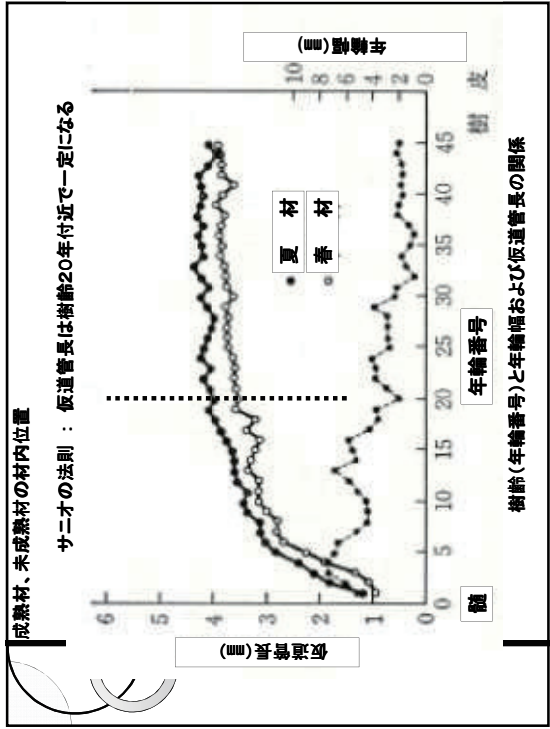
大断面では乾燥が困難になり、コストアップにつながる

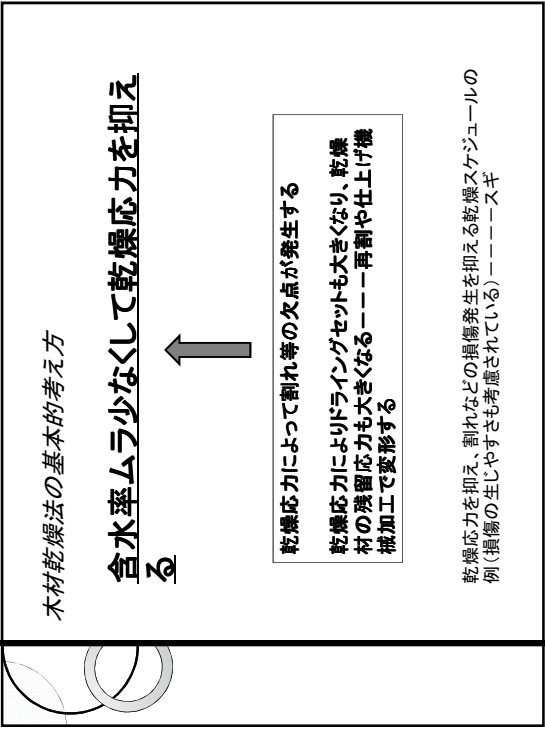
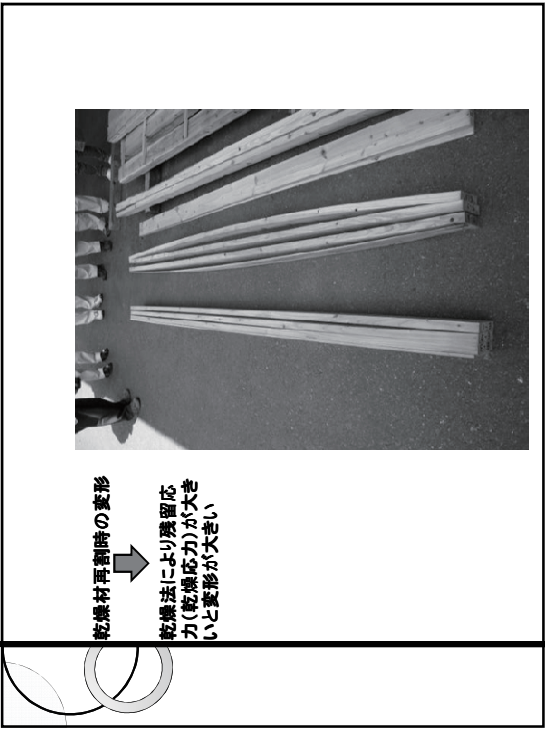
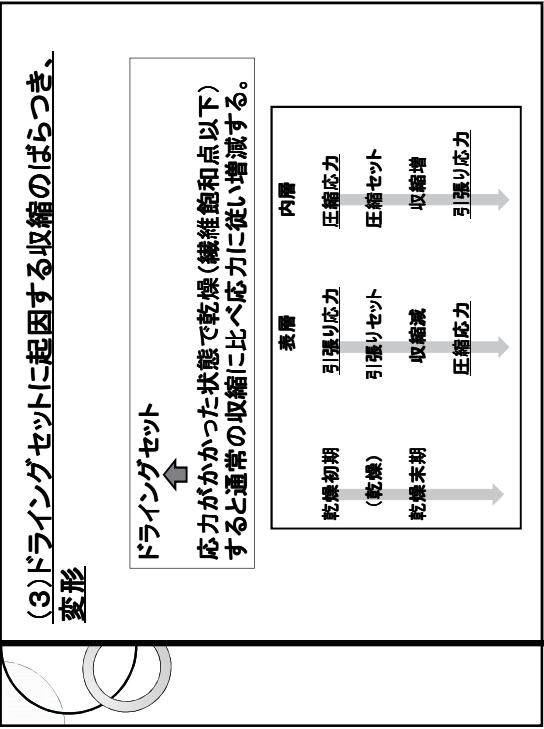
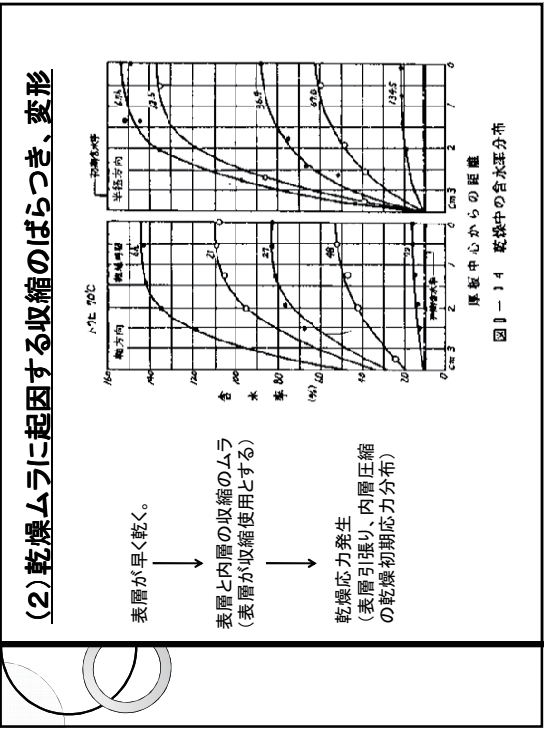
しかし

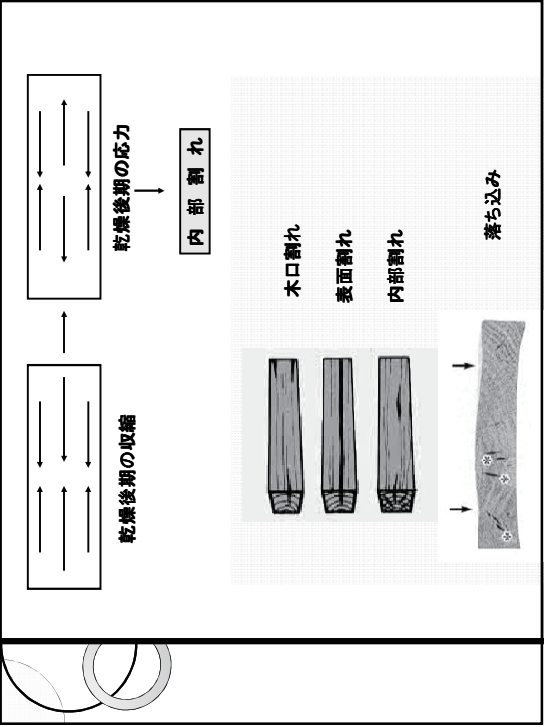
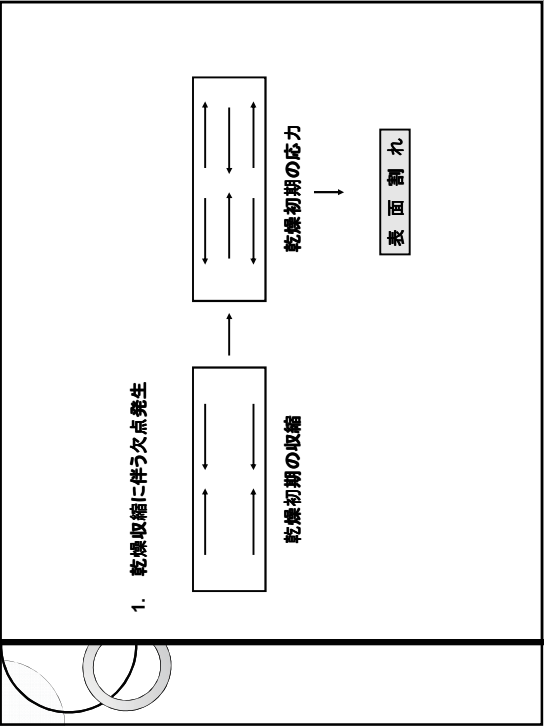
国産材のような小、中径木では小断面(羽柄材)等は製材時の変形、乾燥時の変形が大きく、作業が繁雑で、歩留まりも低下する。

あえて大断面で乾燥を行い、再割(再製材)をするケースも?
ただし、残留応力があれば変形が大きく、困難

丸木の成長応力とその除去の参考資料ファイル







質問

木材は元々持っている組織構造的性質から、乾燥によって曲がったりすることは避けられません。一方、収縮はドライイングセットによっても変えることができます。また、木材の内部応力も応力緩和特性を利用することにより減少することができます。つまり、乾燥により曲がるべき木材を曲がらなくすることもできるわけです。どのようにすれば良いでしょう。一例を挙げてください。

成長応力により反り

乾燥応力により反り

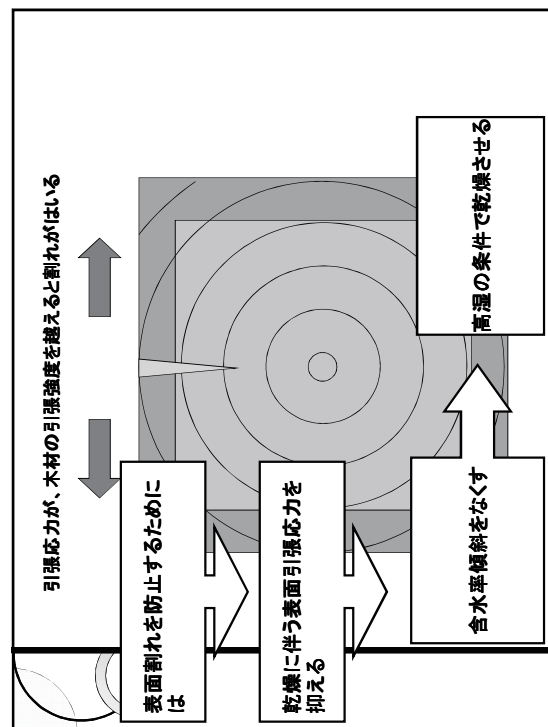
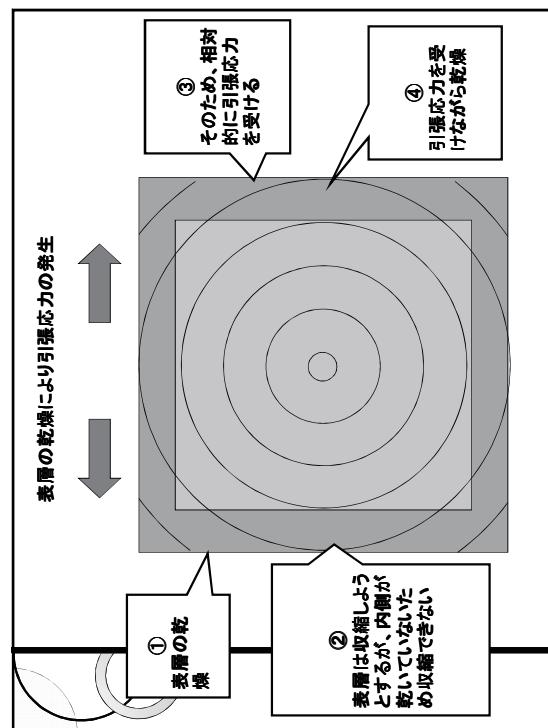
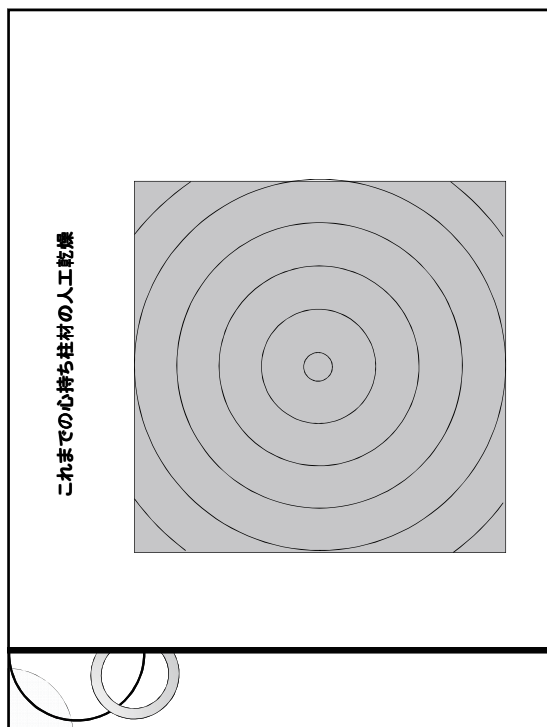
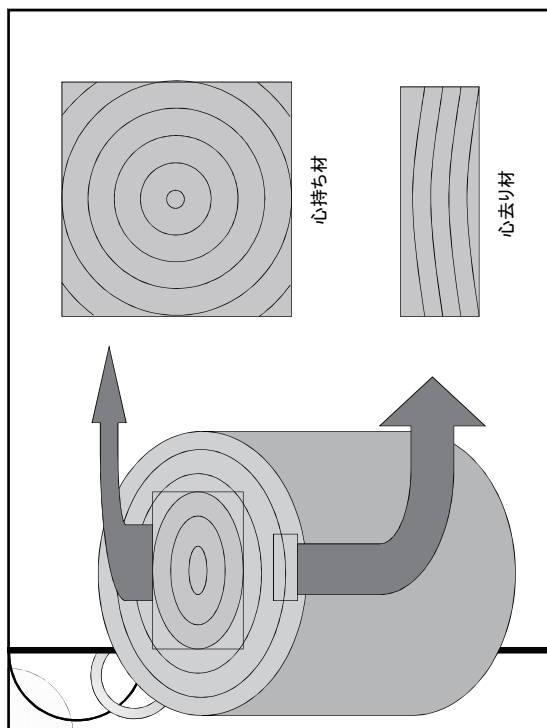
4. 木材の割れ (特に芯持ち角材について)

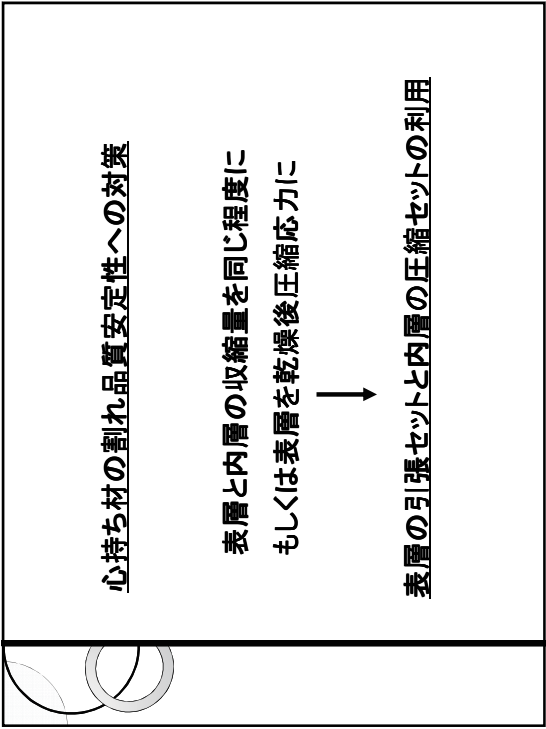
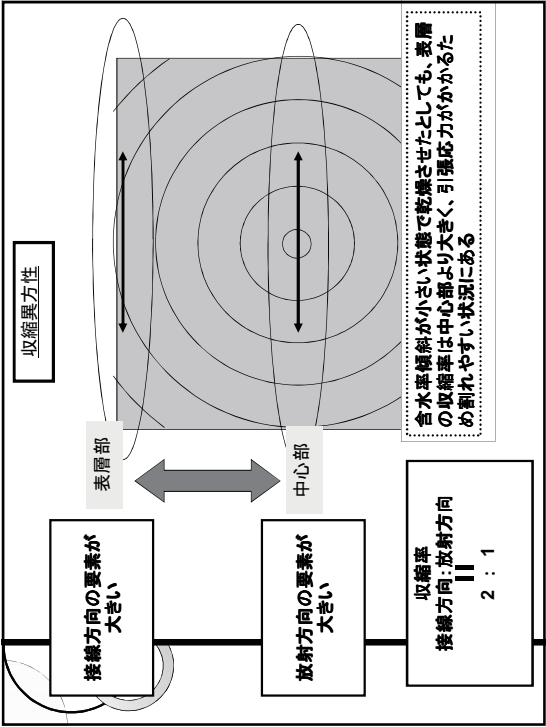
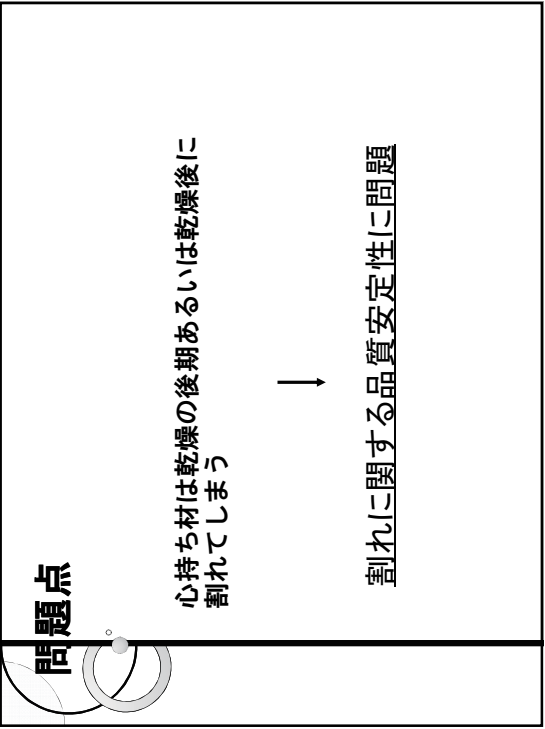
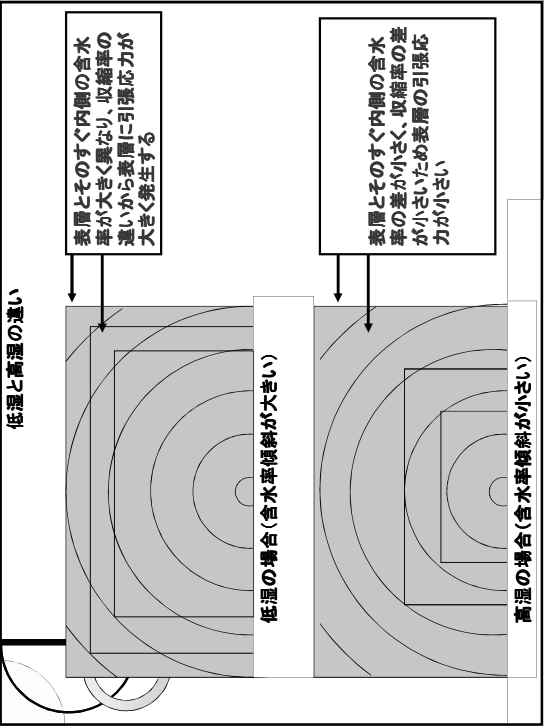
乾燥割れ

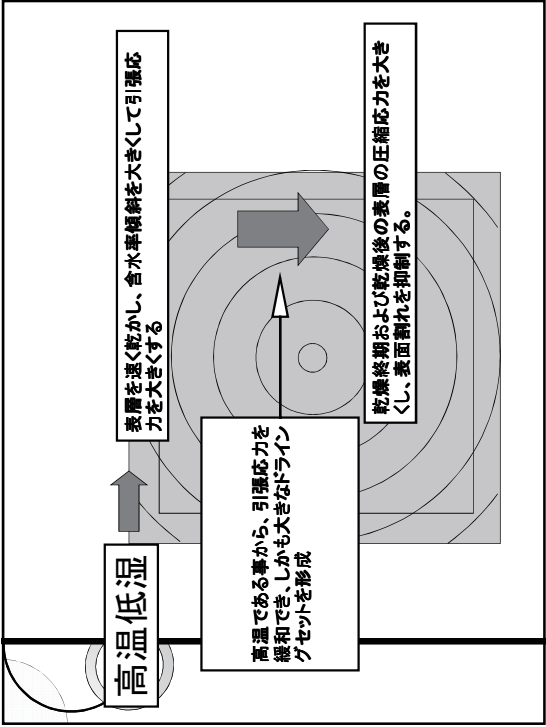
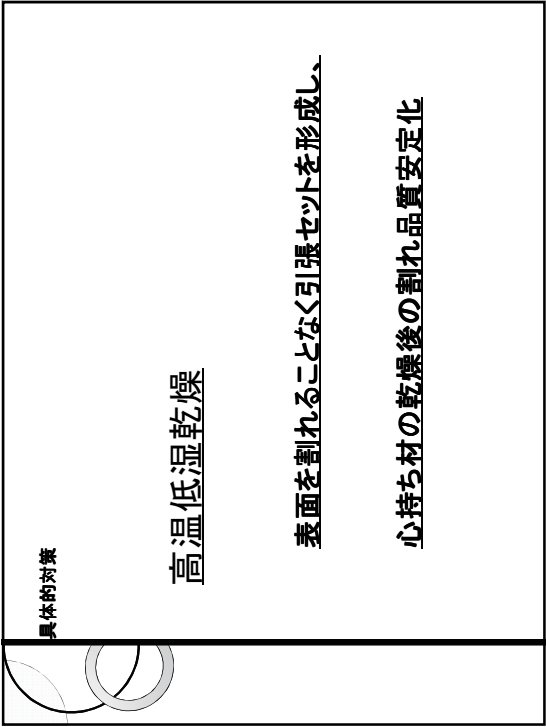
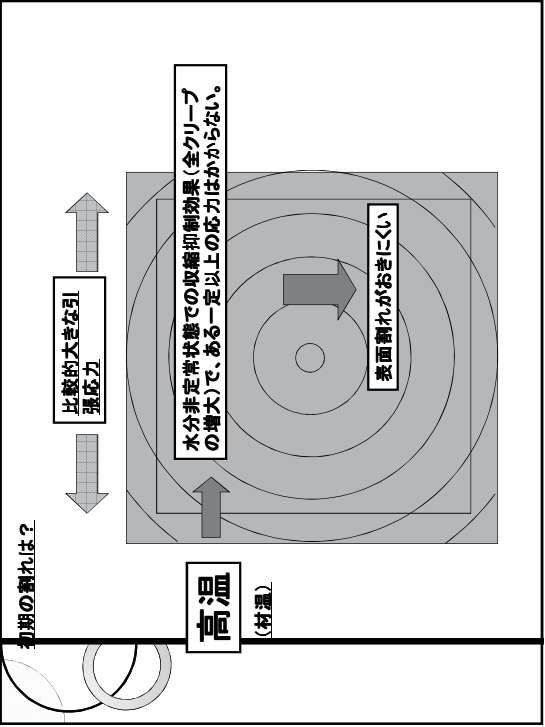
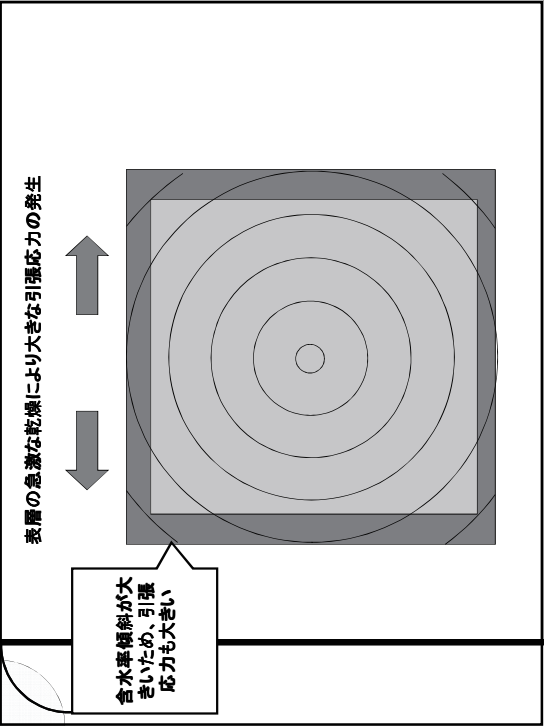
引張り強度 < 引張り応力

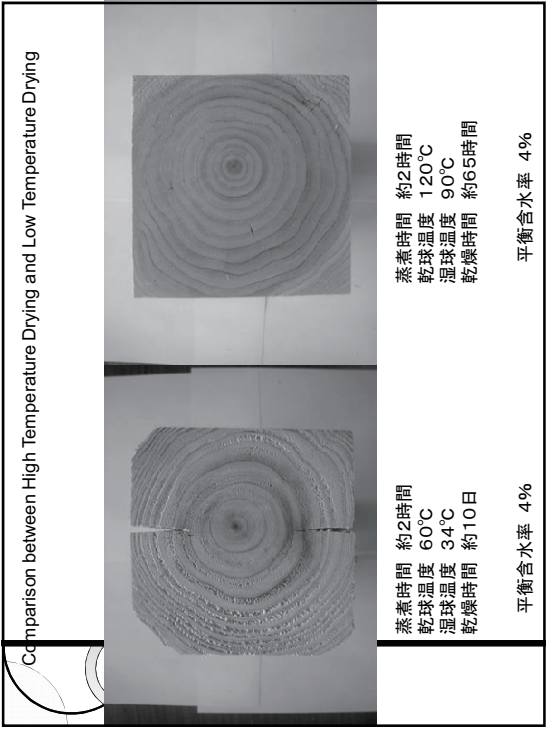
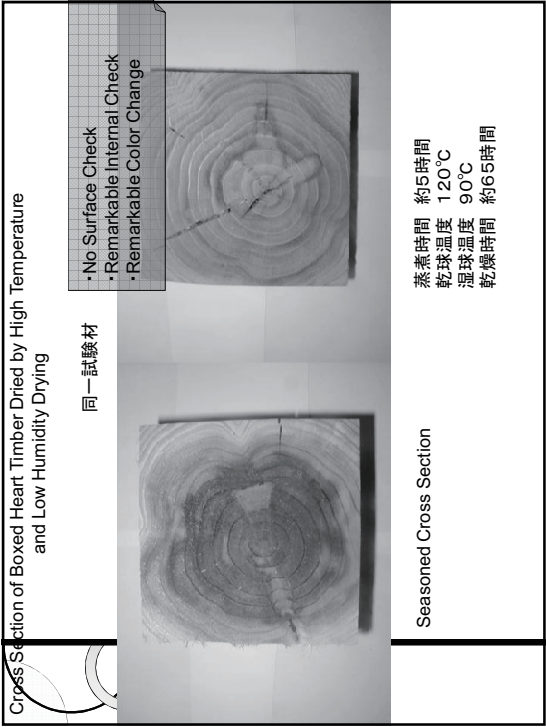
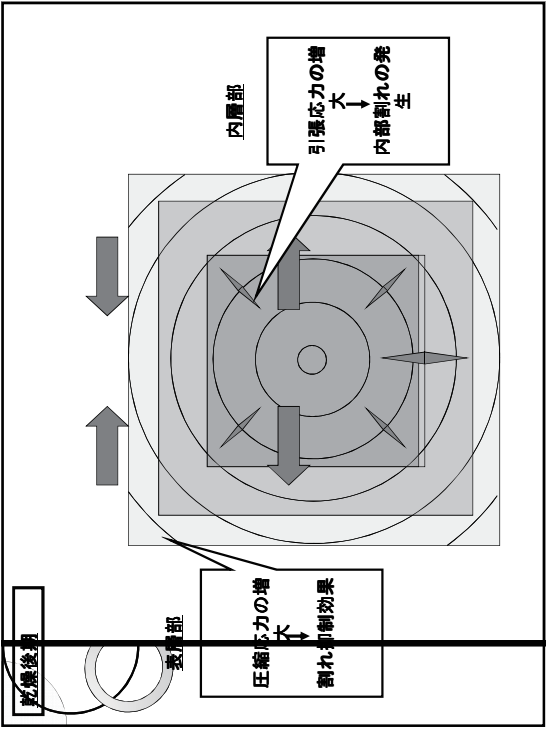
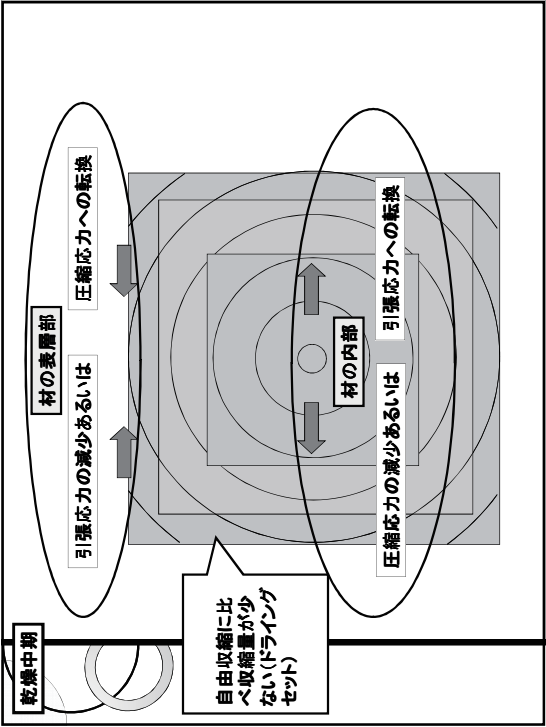
収縮のばらつき

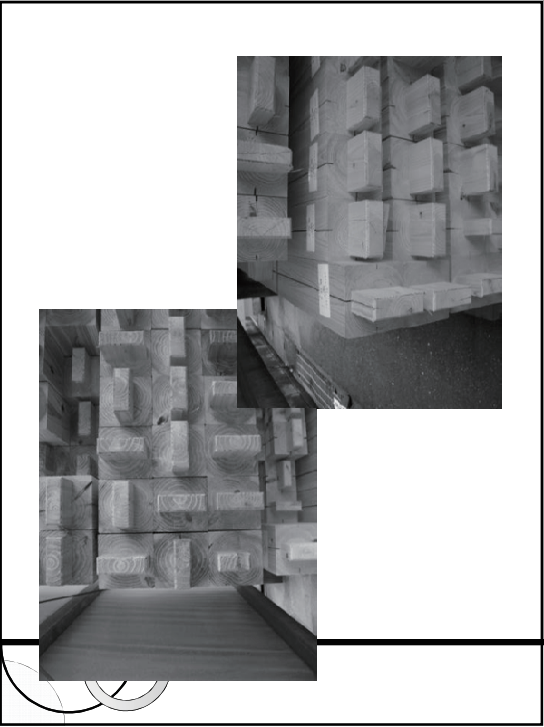
(1)組織構造
(2)乾燥ムラ
(3)ドライイングセット











質問

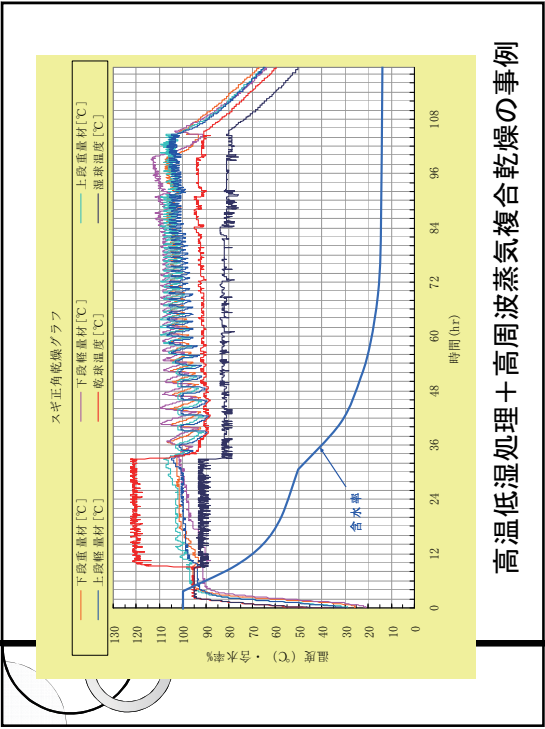
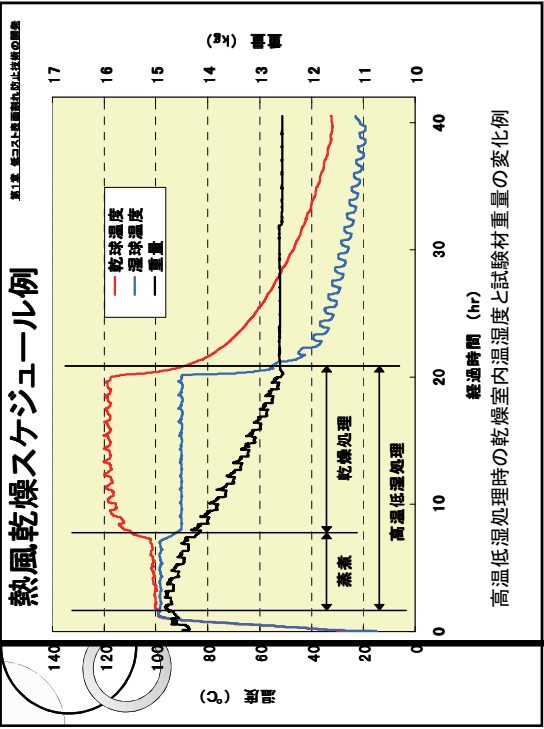
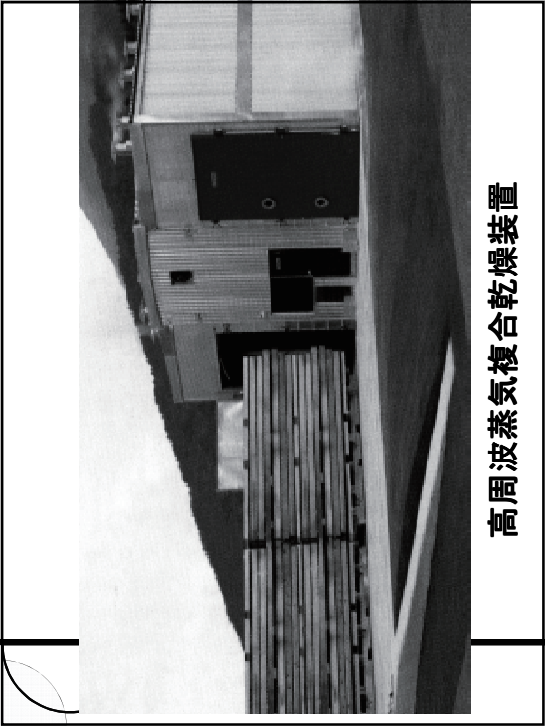
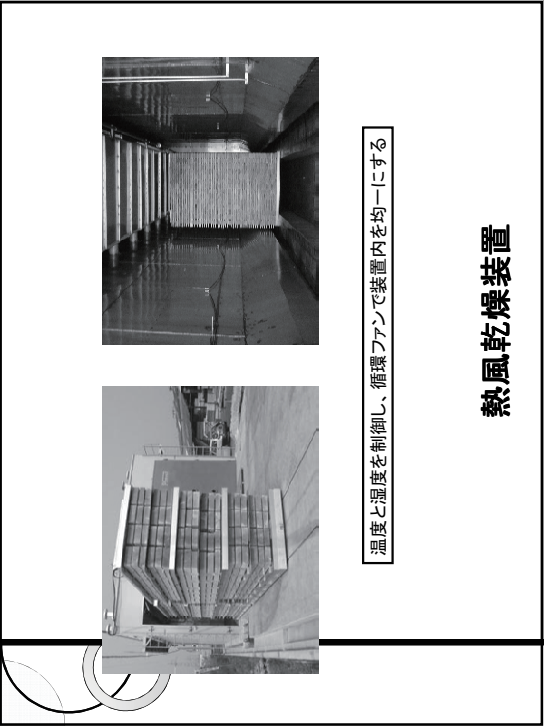
スギやヒノキを柱として使う時は、一般に心持ち柱材が使われます。

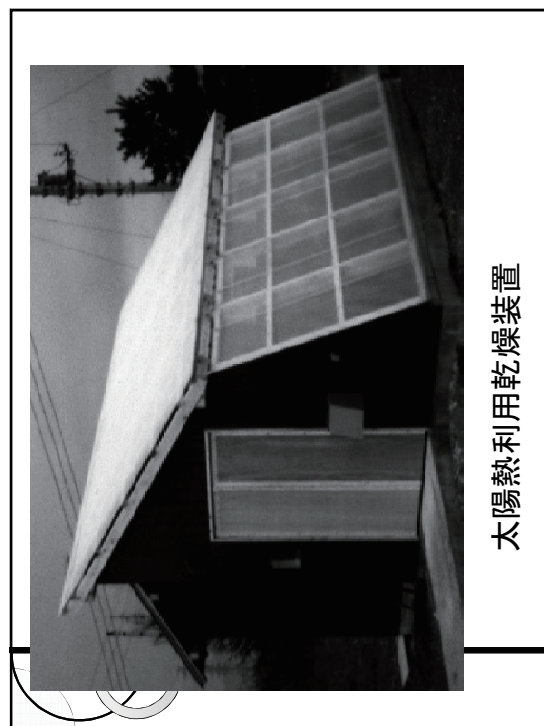
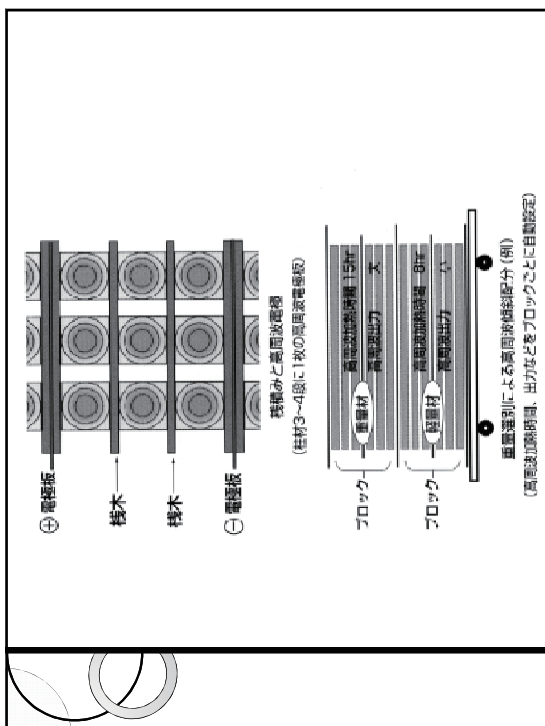
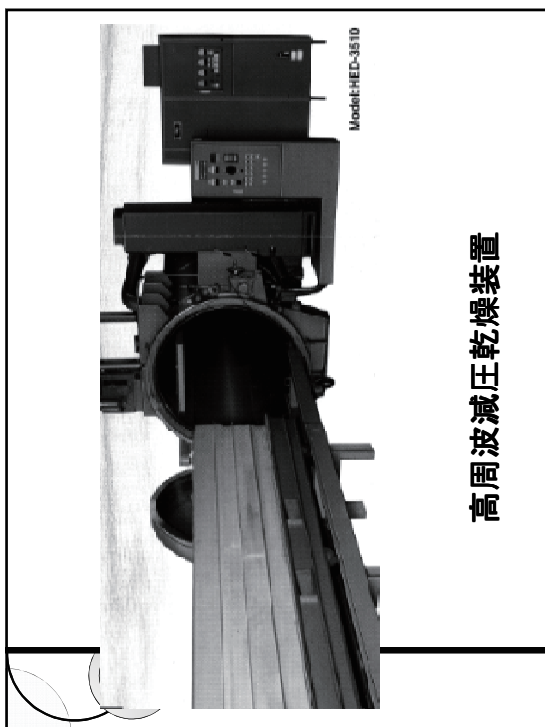
あなたは大きく割れた柱を使いますか。それとも割れていない柱を使いますか。

5. 木材乾燥装置

熱風乾燥装置

図III-3 蒸気式（I F 型）木材乾燥室と電気計装







太陽熱利用乾燥裝置



嘉祥永銘堂

平成24年度
九州地区木造担い手セミナー
演題 木質材料の製造技術

平成25年 1月12日
山佐木材株式会社
佐々木 幸久

本日の話題

- 1. 伐採から製材まで
- 2. 「きららドームたるみず」の建設過程
- 3. 「奥ものべ紅香橋」の建設過程
- 4. 木材利用の意義について
- 5. 木材利用の留意点
- 6. 木質バイオマス

多目的屋内運動場 きららドームたるみず 原木伐採から完成まで

建築概要 所在地 鹿児島県垂水市田神3000番地
敷地面積 9736.9㎡
延床面積 メインホール 2033.98㎡
サブホール 650.06㎡

構造材 メイン 杉溝曲材 152.957m³
杉通直材 30.015m³
サブ 杉通直材 24.954m³
杉KD材 8.640m³

木造車道橋

奥ものべ紅香橋

ふるさと林道整備事業大栃線
別府2工区(橋梁上部工)工事
原木伐採から完成まで

発注者: 高知県
設計: (社)高知山林道協会
施工: 下部工 浜田建設(株)
上部工 山佐木材(株)

5. 木材利用の留意点

- 1) 木材の使い方 内外比較
- 2) 構造材だけでなく内装にも木材
- 3) 国内大型木造施設 施工事例
- 4) 木材の強度
- 5) 集成材と無垢材、それぞれの長短
- 6) 木材の耐久性
- 7) 木材の熱利用

6. 木質バイオマスについて

家庭の用途別エネルギー消費量

	1965年度	2007年度
総量	18,159J × 10 ⁶	44,271J × 10 ⁶
給湯	34%	30%
暖房	16%	22%
動力・照明	19%	34%
冷房	1%	3%

木の担い手事業in鹿児島

国産材流通の現状と課題

山佐木材株式会社 原田浩司

開発事業

ベイマツ
ベイマツ
スギ
スギ
スギ
スギ
ベイマツ
ベイマツ



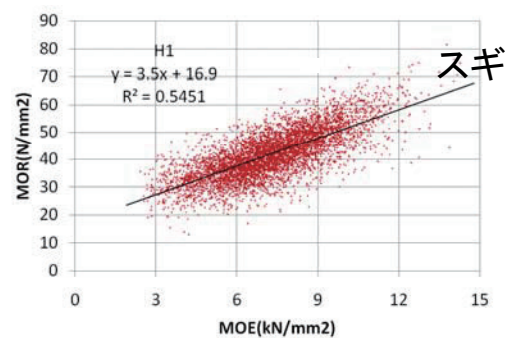
構造用集成材の基本

E 1 0 5 - F 3 0 0

E 6 5 - F 2 2

L 1 2 5	L 8 0
L 1 1 0	L 7 0
L 8 0	L 6 0
L 8 0	L 5 0
L 8 0	L 5 0
L 8 0	L 6 0
L 1 1 0	L 7 0
L 1 2 5	L 8 0

木材の強度



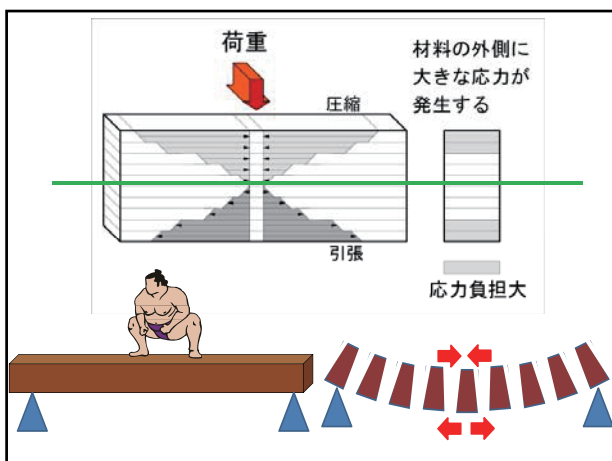
荷重

圧縮

材料の外側に
大きな応力が
発生する

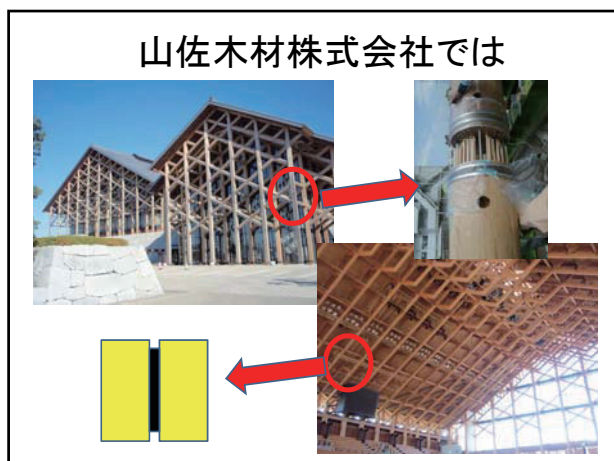
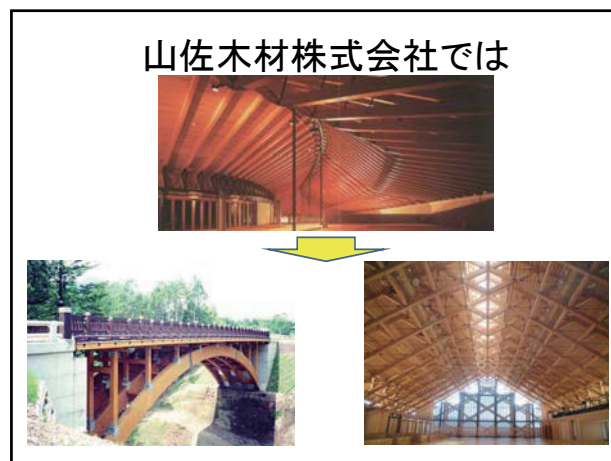
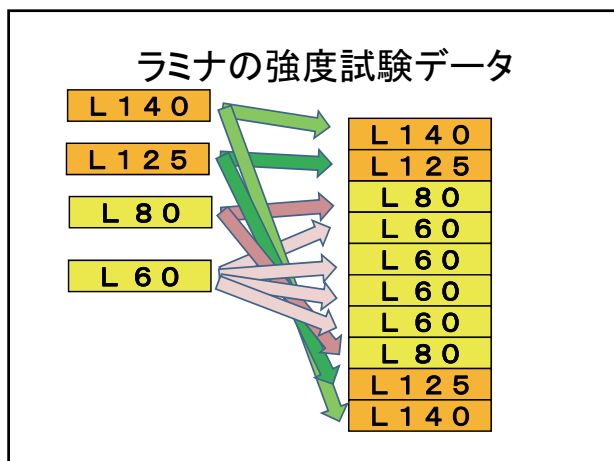
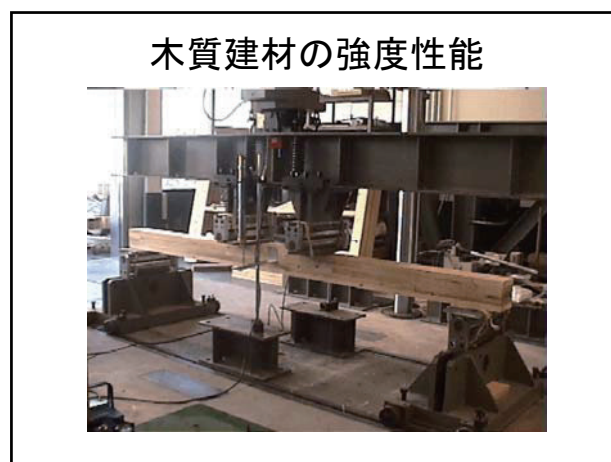
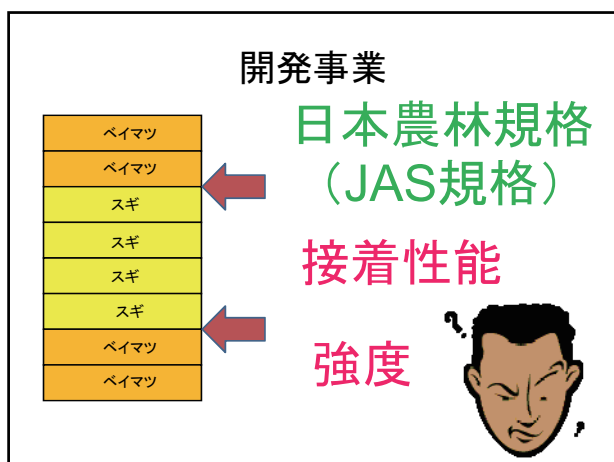
引張

応力負担大

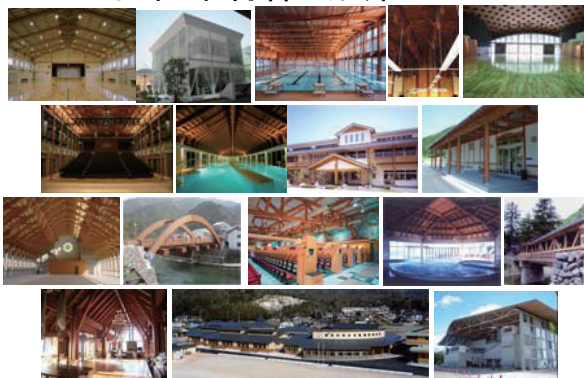


E 1 0 5 - F 3
0 0

L 1 2 5	L 1 4 0
L 1 1 0	L 1 2 5
L 1 0 0	L 8 0
L 8 0	L 6 0
L 8 0	L 6 0
L 8 0	L 6 0
L 8 0	L 6 0
L 1 0 0	L 8 0
L 1 1 0	L 1 2 5
L 1 2 5	L 1 4 0



山佐木材株式会社では

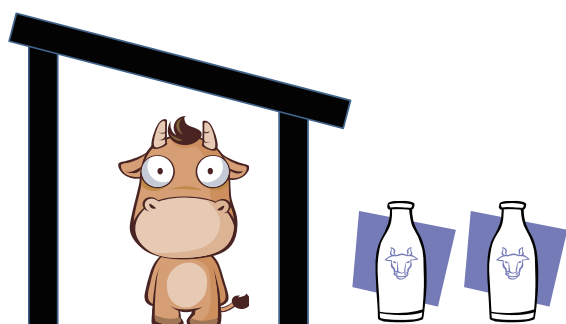


木造公共建築シンポジウム

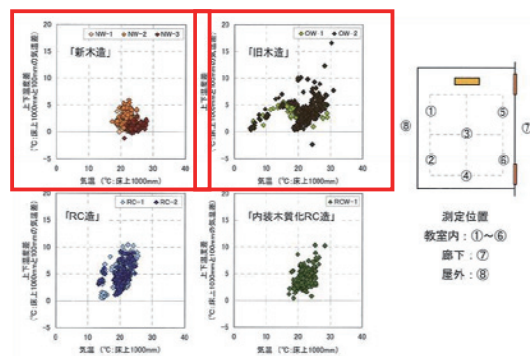
公共建築の木造化 に明日はあるか

平成24年11月6日 13:20~16:20
熊本県庁地下大会議室

木を使う優位性



木材を使う優位性

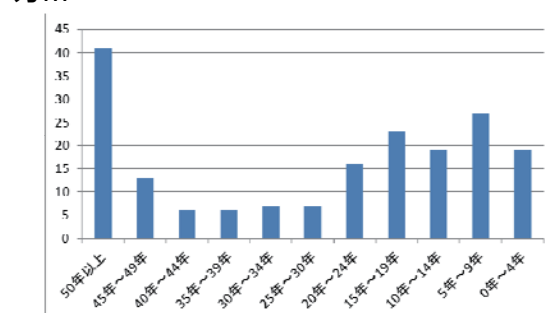


木造率(床面積ベース)

平成20年度	平成21年度
建築物全体	建築物全体
36.1 %	43.1 %
公共建築物	公共建築物
7.5 %	8.3 %

建築着工統計

公立小中学校建物の 経年別保有面積(木造)



なぜ木造率が低いのか？

- 戦後の災害に強いまちづくりに向けた耐火性、耐震性に優れた建築物への要請
- 戦後復興期の大量の伐採による森林資源の枯渇や国土保全上の問題への懸念
- 公共建築物に適した木材の供給体制が整理されていない

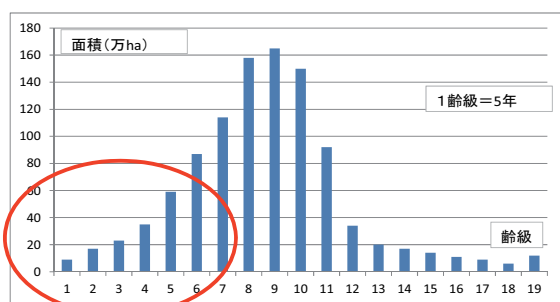


逐条解説 公共建築物等木材利用促進法

なぜ木造率が低いのか？

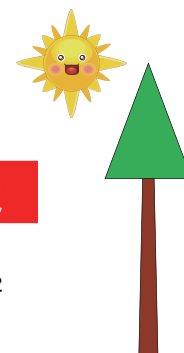
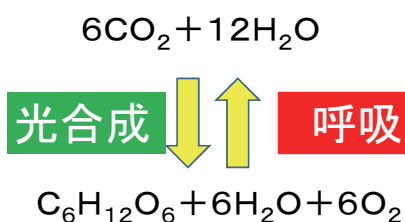


人工林の齢級構成

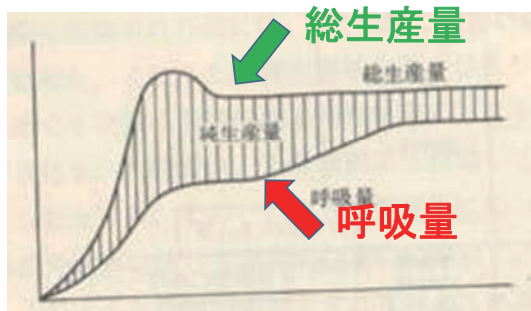


平成19年 林野庁調べ

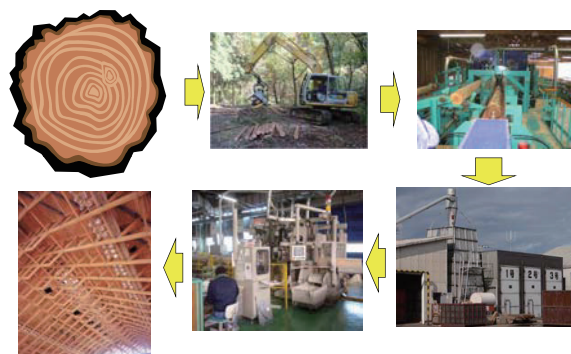
炭素貯蔵



炭素貯蔵



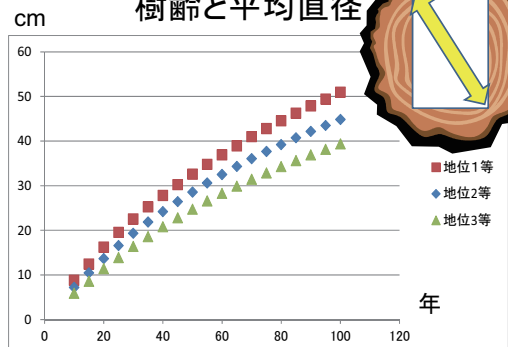
地域木材の生産工程



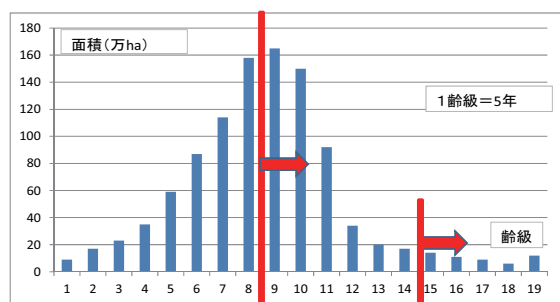
地域材を使う？



樹齢と平均直径



人工林の齢級構成

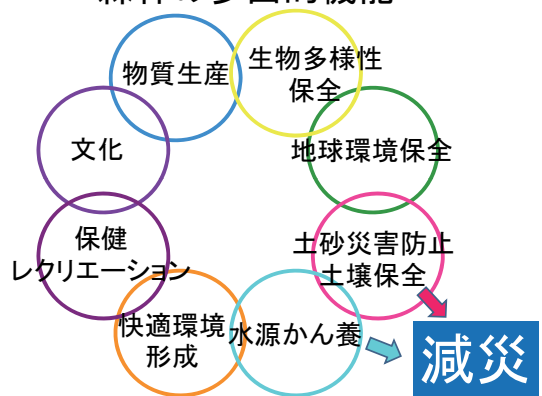


平成19年 林野庁調べ

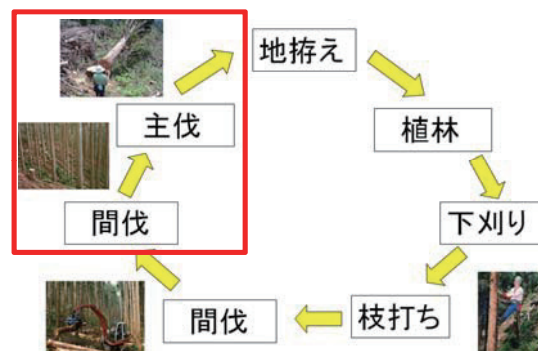
持続可能な育林



森林の多面的機能



持続可能な森林経営



木材生産の現場・伐採

伐採
↓
集材
↓
造材
↓
搬出



木材生産の現場・伐採



製材

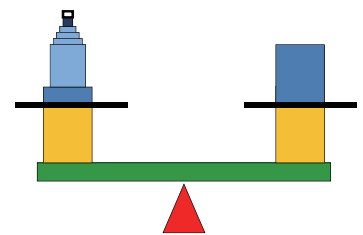
作業効率

断面寸法、長さ



Vs

含水率



乾燥

木造計画・設計基準

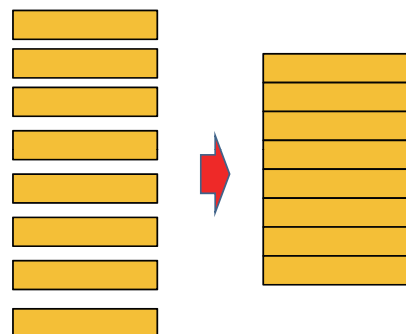
木材の現場搬入時の含水率 20%

告示第1898号

含水率の基準が15%以下(乾燥割れにより耐力が低下するおそれの少ない構造の接合とした場合)にあっては、20%以下)



薄板を貼る



MSR材

Machine Stress Rated Lumber

- ・等級区分機を用いて長さ方向に移動させながら連続して曲げヤング係数を測定した製材。



L80
L70
L60
L50
L50
L60
L70
L80

構造用集成材

L80
L70
L60

L80
L70
L60

「工学的な手法によって強度性能を保証する工程」を経た木質建材

L60
L70
L80

L60
L70
L80

県別構造用集成材JAS認定工場数(平成22年度)

都道府県	大断面		中・小断面		都道府県	大断面		中・小断面	
	F	F	F	F		F	F	F	F
北海道	1	1	8	7	滋賀県			1	
青森県			1	1	京都府			1	1
岩手県	3	2	6	3	大阪府				
宮城県					兵庫県			3	2
秋田県	2	2	9	4	奈良県	2		6	1
山形県					和歌山県				
福島県	2	1	4	1	鳥取県				
茨城県	1	1	1	1	島根県	1		4	1
栃木県	2	1	3	1	岡山県			1	1
群馬県					山口県			1	
東京都			1		徳島県				
神奈川県					香川県			1	1
新潟県	2		2		愛媛県	1	1	3	2
富山県	2		2		高知県				
石川県	1	1	1	1	福岡県			3	1
福井県	1	1	2	1	佐賀県			1	
山梨県	1	1	2		長崎県				
長野県	2	2	2		熊本県				1
岐阜県	1	1	3	2	大分県	1		3	
静岡県	1	1	2	1	宮崎県			2	
愛知県	1		4	2	鹿児島県				
三重県			1		沖縄県				
計	29	15	0	84	計	29	15	0	84

参考資料: JAS認定工場名簿 財団法人日本合板検査会

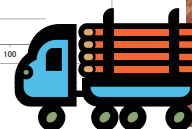
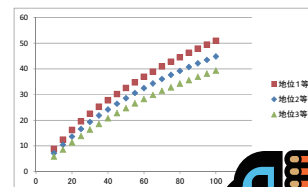
トラス構法



木材生産の現場・接合部の加工



Vs

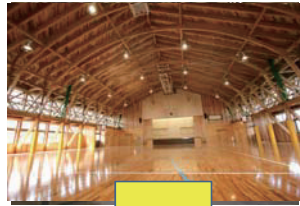


木材の強度



L80
L70
L60
L50
L50
L60
L70
L80

E65-F225



E70

木材の強度

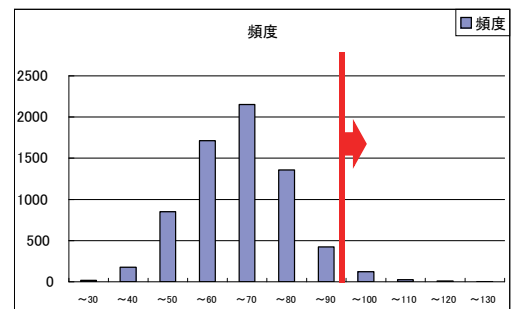
樹種	等級				
あかまつ、べいまつ、 ダフリカからまつ、べ いつが、えぞまつ及び とどまつ	E70				
	E90				
	E110				
	E130				
	E150				
からまつ、ひのき及び ひば	E50				
	E70				
	E90				
	E110				
	E130				
すぎ	E150	19.2	14.4	24.0	
	E70	23.4	17.4	29.4	
	E90	28.2	21.0	34.8	
	E110	32.4	24.6	40.8	
	E130	37.2	27.6	46.2	
	E150	41.4	31.2	51.6	

県別製材JAS認定工場数 (平成23年度)

都道府県	一般製材			人工乾燥製材			認定 等級 区分	都道府県	一般製材			人工乾燥製材			認定 等級 区分
	構造 用	造作 用	下地 用	構造 用	造作 用	下地 用			構造 用	造作 用	下地 用	構造 用	造作 用	下地 用	
北海道	102	99	102	54	53	54		北海道	1	2					
青森県	15	9	9	5	4	1		宮城県	2	1	1				
岩手県	27	4	16	6	2	4		大分県							
宮城県	7	1	3	1				兵庫県	2	12	5	7			1
秋田県	11	2	2	16	11	12		奈良県	12	12	5	1	1	1	
山形県	7	4	6	1		1		和歌山県	3			7			4
福島県	24	7	9	8	2	1	2	新潟県	13	6	4	7	2	2	
茨城県	2	2	2	3	2	2		鳥取県	9	1	1	4	1	1	
栃木県	2			4				岡山県	5		1	12			3
群馬県	1			1				広島県	1			4			5
埼玉県	1	1	1	1	1			山口県	3	4	3	1			1
千葉県	1	2	2					徳島県	12						
東京都		1	1					香川県	1		1				
神奈川県								愛媛県	7			6			3
新潟県	1	2	1	1	1	1		高知県	11			5			3
富山県	6	4	7	3		1	1	福岡県	3	3	1	2			
石川県	6	8	6	1	1	1		佐賀県	2	1		1			
福井県	12							長崎県							
山梨県								熊本県	7	3	4	12	4	2	4
長野県								大分県	12	1	1	7			
岐阜県	14	6	2	10	5			宮崎県	15	2	4	16	2	3	3
静岡県								鹿児島県	9	1		4	1	1	
愛知県	5	6	6	1				沖縄県							
三重県	4	2		10	5	3	4	計	376	192	201	227	99	91	38

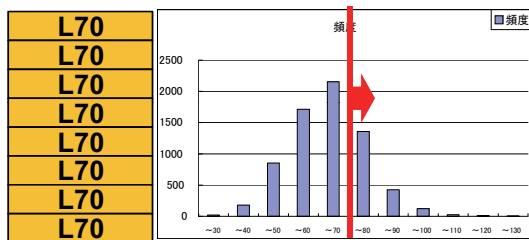
参考資料: 全国木材検査・研究協会資料

ヤング係数



構造用集成材

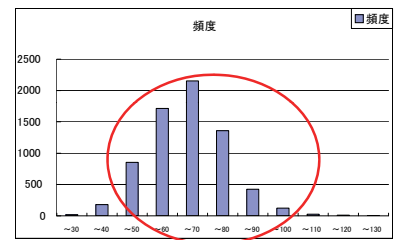
HOW MUCH



E65-F255

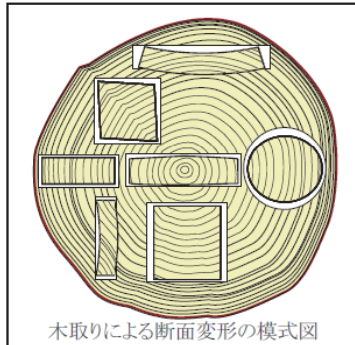
構造用集成材

L 80
L 70
L 60
L 50
L 50
L 50
L 50
L 60
L 70
L 80



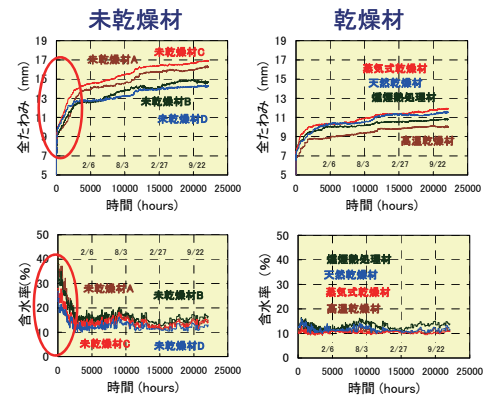
E65-F225

木材の乾燥

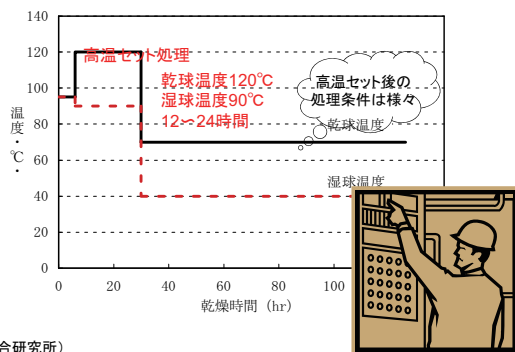


木取りによる断面変形の模式図

含水率

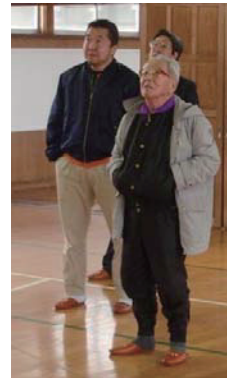


木材の乾燥

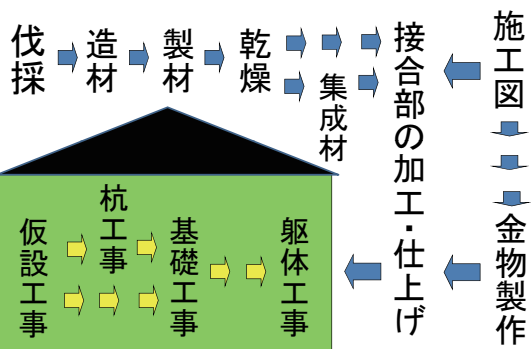


(森林総合研究所)

加工

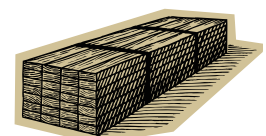


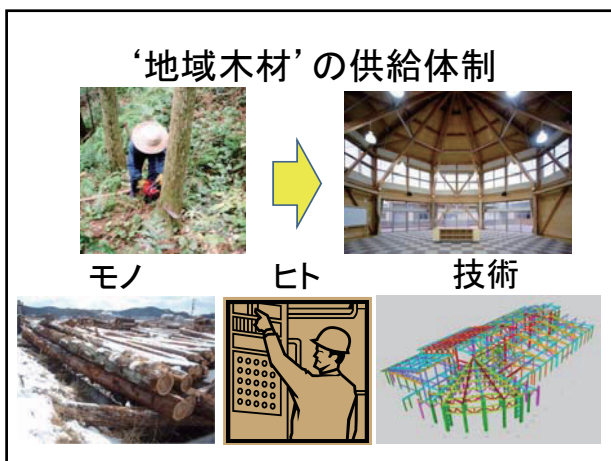
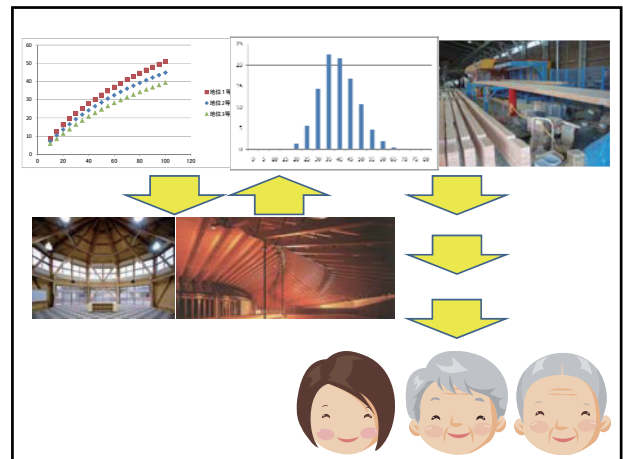
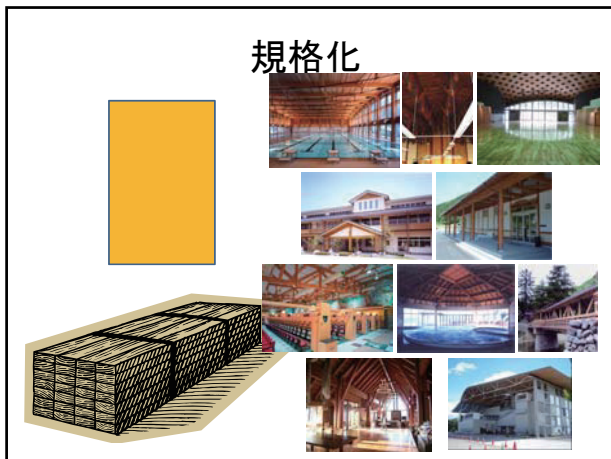
How Long



分離発注の課題

- 木材供給側と需要側の品質に対する認識の違い
- 数量の過不足に対する責任の所在
- 変更が生じた場合の対応措置





公共建築物等における
木材の利用の促進に関する法律

(目的)

木材の利用を促進することが地球温暖化の防止、循環型社会の形成、森林の有する国土の保全、水源の涵養その他の多面機能の発揮および山村その他の地域の活性化に貢献すること等に鑑み、公共建築物等における木材の利用を促進するため、農林水産大臣及び国土交通大臣が策定する基本方針等について定めるとともに、公共建築物の整備の用に供する木材の適切な供給の確保に関する措置を講ずること等により、木材の適切な供給及び利用の確保を通じた林業の持続的かつ健全な発展を図り、もって森林の適正な整備及び木材の自給率の向上に寄与することを目的とする。

Organic Architecture

It should reflect
the individual needs of client,
the nature of the site,
and the native materials
available

‘森’に陽の当たる
‘木’遣い !!

cozy_in_woodstock@nifty.com

ヨーロッパの木造建築
非戸建木造にみる集約と多様性
■
CLTを用いた木造新構法も織り交ぜ

2013.1.13 木のまち木のいえ九州セミナー
法政大学デザイン工学部建築学科 網野祐昭



TOPIC 1 成熟社会の木造建築 「建てられない世の中で」

TOPIC 2 多様化を支える構法設計の自由 「木造vs非木造の終焉さえも」

TOPIC 3 知識集約型の建築生産 「地域産業が活躍する仕組み」

TOPIC 1 成熟社会の木造建築 「建てられない世の中で」

TOPIC 1 伝統木造にみる集住



Knochenhauer Amtshaus, Hildesheim
Baujahr 1529, zerstört 1945, Wiedererrichtung 1986

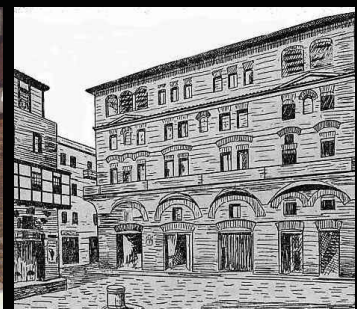
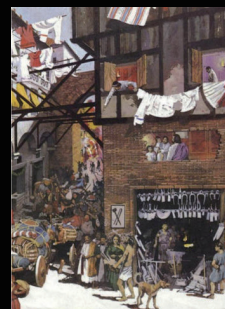


Le Grand Chalet, Rossinière, Baujahr 1756



Evolène

TOPIC 1 伝統木造にみる集住



ローマ時代の集合住宅 Insulae

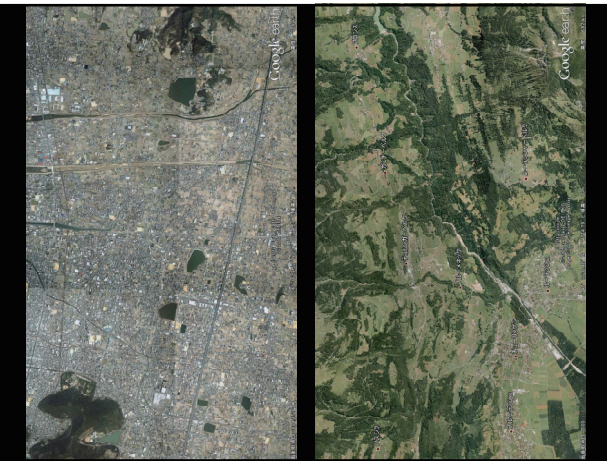
TOPIC 1 伝統木造にみる集住



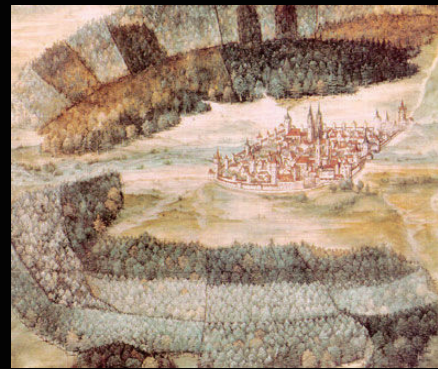
TOPIC 1 伝統木造にみる集住



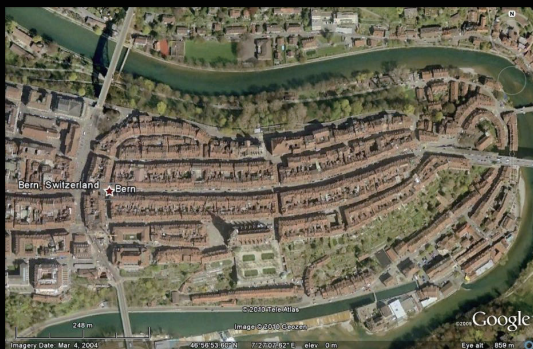
- 土地の高度利用
- インフラの効率化
- 資源消費の効率化
- 山岳地 や 都市内
- 施設・設備の共用・統合 “機能の集積”
- 外皮面積の縮小 “コンパクトなヴォリューム”



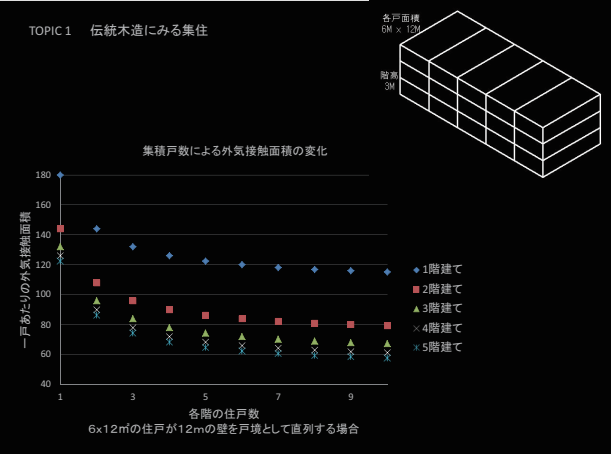
TOPIC 1 伝統木造にみる集住



TOPIC 1 伝統木造にみる集住



TOPIC 1 伝統木造にみる集住



TOPIC 1 伝統木造にみる集住



TOPIC 1 伝統木造にみる集住



TOPIC 1 コンパクトな集住の形



町庁舎 St. Gerold (A) / 人口375

TOPIC 1 コンパクトな集住の形



町庁舎 St. Gerold

TOPIC 1 コンパクトな集住の形



町庁舎 Blons (A) / 人口321

TOPIC 1 コンパクトな集住の形



町庁舎 Ludesch (A) / 人口3000

TOPIC 1 コンパクトな集住の形



町庁舎 Ludesch (A)

TOPIC 1 コンパクトな集住の形



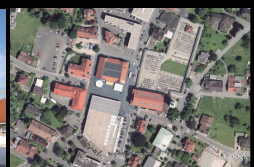
町庁舎 Raggal (A) / 人口824

TOPIC 1 コン



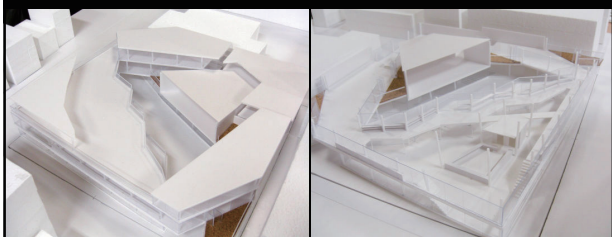
町庁舎 Raggal

TOPIC 1 コンパクトな集住の形



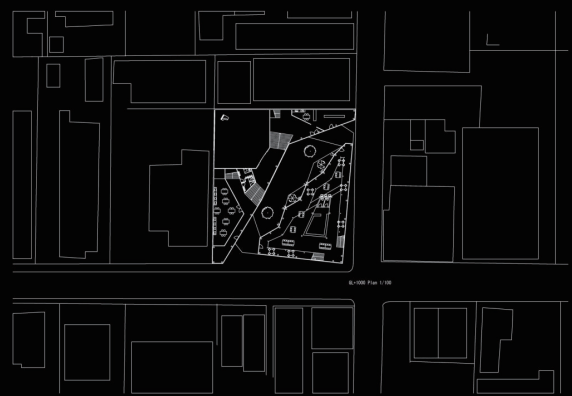
マーケット Lustenau (A) / 人口20000

TOPIC 1 コンパクトな集住の形



久野恭司 卒業設計「密集地域の小学校 URBAN SCHOOL」

TOPIC 1 コンパクトな集住の形



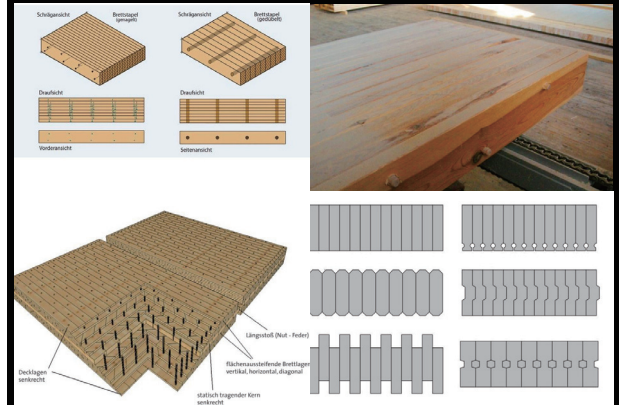
久野恭司 卒業設計「密集地域の小学校 URBAN SCHOOL」



TOPIC 1 基準構法の特徴 > 多様なマッシブホルツ



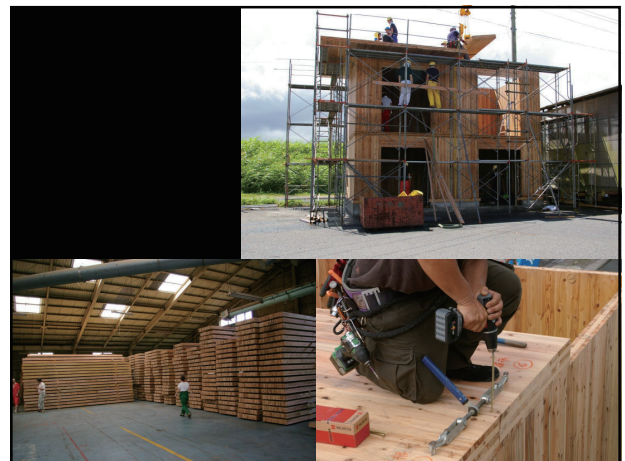
TOPIC 2 基準構法の特徴 > 多様なマッシブホルツ



TOPIC 2 基準構法の特徴 > 多様なマッシブホルツ

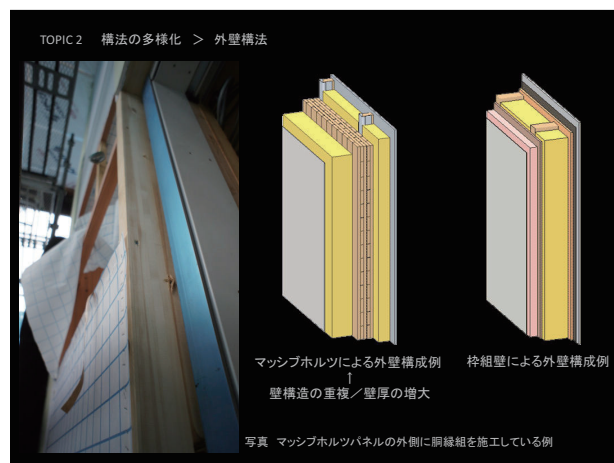
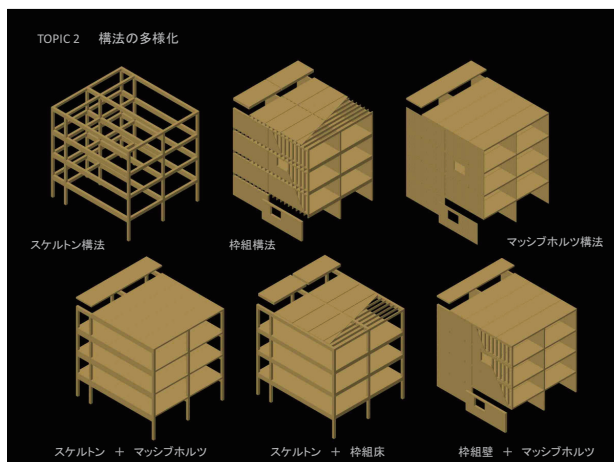
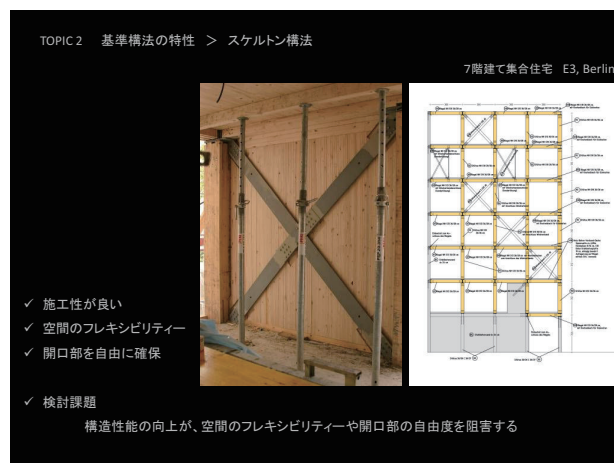


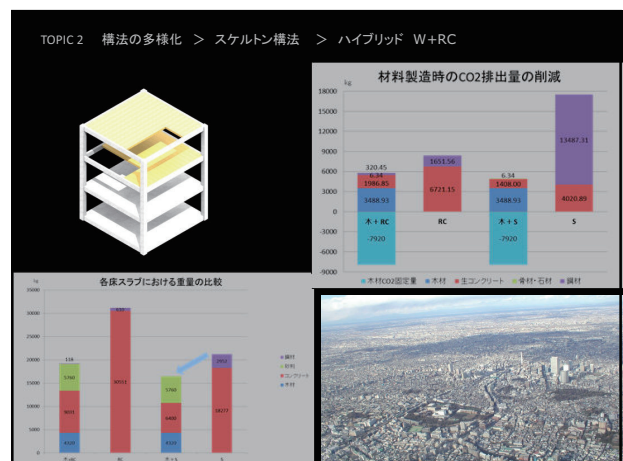
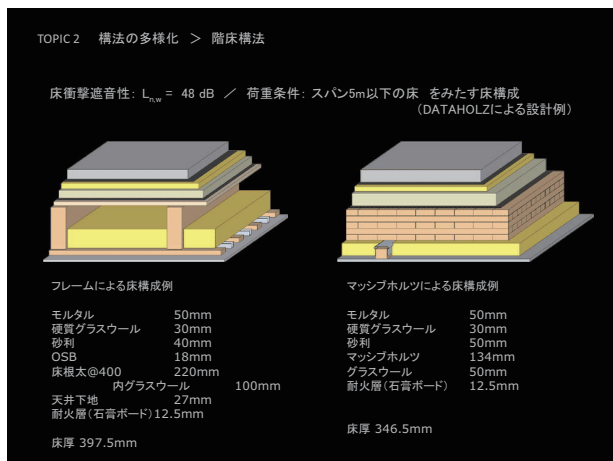
Studiengemeinschaft Holzleimbau

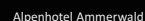
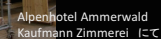
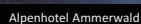
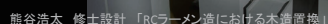


TOPIC 2 基準構法の特徴 > マッシブホルツ構法







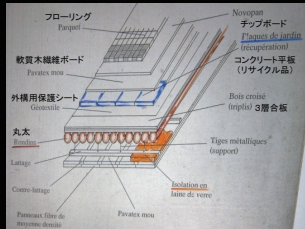




TOPIC 3 生産施工の担い手 > 日常的技術の拡張というイノベーション



間伐丸太を利用したマッシュホルツ床版
(営林学校 Lyss)



Wir leben in einer Zeit vollkommener Mittel und verworrener Ziele.

Albert Einstein

amino@hosei.ac.jp



とりあげるトピックス

- 木造の防耐火技術・計画に関する最近の動き
- 火災の一般性状と木造建築の火災性状
- 防災法令の基本的な考え方とその科学的背景
- 火事に強い木造の実現に向けて
- 木質耐火構造・耐火建築物の実現
- 耐火要求のある建物・施設は、本当に耐火建築物でなければ危険なのか？
- 木造3階建て学校

木造の防耐火技術・計画に関する最近の動き

- 公共建築物木材利用促進法の制定
新しい市場の可能性/具体策が漠然
- 国交省による木造3階建て学校の基準検討
的を絞った新市場の可能性追求
- 林野庁による国産材関連防耐火試験助成
技術基盤ができていいる木造の防耐火性能UPによる市場の形成・拡大
- 木のまち整備促進事業(木造建築技術先導事業)
構造、防火等とその活用法に先進性がある計画の奨励

木造建築の火災性状と防災法令の基本的な考え方

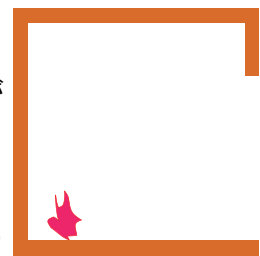
- 木造の防火規制は第二次世界大戦直前、防空政策として導入され、市街地火災が頻発していた戦災復興期に制定された建築基準法に継承された。
- 全国の大量の住宅建設に適用して市街地火災防止に役立てるため、木造の規制は、市街地火災抑止、ローテク・ローコスト性に重点を置く色合いが強いものとなった。

火災はどう拡大するのか？

- 木造の防火規制、防耐火技術を、火災性状から考える
- 木造を火事に強くする要点は何か？

建築火災の一般性状(1)

- 出火
出火物だけが燃えていて、異臭以外には人間が感知できないこともある。周りに可燃物がなかったり、可燃物の含水率が高いなどの場合、そのまま自然鎮火してしまうこともある。



建築火災の一般性状(2)

・初期火災

ある程度大きな可燃物が炎上したり、出火物から内装に引火して、直ちに火災と認知できる燃焼状態になる。一般的には消火器で消火できるが、火炎が天井に迫ると急激に燃焼拡大することが多い。



建築火災の一般性状(3)

・フラッシュオーバー

火炎が天井に広がり、窓、扉等からの噴出に至る。天井下の火炎から室内全体があぶられ、燃焼が一気に室全体に拡大する。CO等、有害ガスも多量に発生し始める。



建築火災の一般性状(4)

・火盛り期

室内が火炎で覆われた状態。室温は1000℃前後にも達するため、構造にも影響。燃え方は、窓等の自然換気による酸素供給に支配される。高温の煙が建物全体に拡がることが多い。



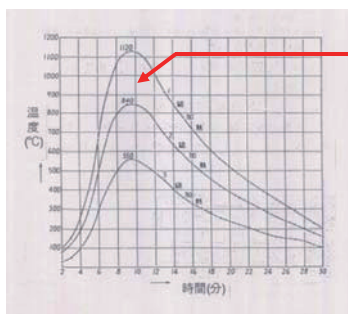
木造建築はどう燃えるか？

積極的な防火対策を行わない木造の火災性状
戦前期の火災実験が木造防火規制の枠組となった。



日本初の実物建物火災実験(東大構内、1933年8月)

1990年代まで防火構造等の評価に使われていたJISA1301防火加熱曲線は、戦前の火災実験をもとにしている。



点火から10分以内に火災のピーク
建物は炎上して、崩壊を始める。

炎上すると放射熱ですぐに近隣に延焼させる



日鉦佐賀関旧社宅火災実験(建築研究所・消防研究所 1979)

積極的な防火対策のない木造建築で造られた市街地の防火対策の考え方

- 建物は、出火後、初期消火に失敗すると、10分以内に炎上し、周囲への延焼が始まる。
- 119番通報されても、出火後10分では現場到着がやっと。大した消防活動ができない。

積極的な防火対策のない木造建築で造られた市街地の防火対策の考え方

- 建物は、出火後、初期消火に失敗すると、10分以内に炎上し、周囲への延焼が始まる。
- 119番通報されても、出火後10分では現場到着がやっと。大した消防活動ができない。



- 近隣建物で火災になっても類焼しないように、外壁や窓を外からの火災加熱に耐えるようにする。「防火構造」の基本概念
- 大火災となる大規模建築は構造自体を規制

戦後木造防火規制の成果と限界

- 市街地大火は、1960年代前半まで頻発した。その主な背景は、
 - ①季節風・台風等の強風による急速な延焼
 - ②地震による火災多発・消防力の低下であった。その後、大火は激減し、1976年酒田大火以後、強風による大火は発生しなくなった。
- 木造市街地で、大火を抑止できた要因として、①防火的木造の普及、②消防力の近代化があげられる。
- 一方、大規模木造の禁止は、木造で色々な建物を実現する気運の芽を摘んだきらいがある。
- また、「近隣火災から守る性能」に特化し「近隣に延焼させない性能」を無視した規制は、地震大火の抑止にはあまり効果をあげていない。

火事に強い木造の実現に向けて

- 住宅不足が数の上で解消された1970年代中頃、木造防火を巡り、それまでと異なった気運が生まれた。技術的には工業的木造の導入、市場的には住宅性能の高度化などである。
- 特に、「木造が火事に弱いのは宿命」と考えずに木造の技術的可能性を追求していた北米の木造技術(枠組壁工法、重木構造)の影響は大きく、「火事に強い木造」の開発に向けた気運を生み出した。
- 1976年の枠組壁工法住宅火災実験(東京理科大学)を皮切りに、1980年代まで、各種木造について多数の実大火災実験が行われた。
- 省令準耐火建築、木造3階建て住宅等、市街地火災を積極的に抑止し得る木造建築が政策的に導入された。

木造の防火性能は構造性能と両立するか？

- 木造の構造性能を高めようとする、構造材料である木材をたくさん使うことになる。
- そうすると、可燃物である木材の密度が高くなるため、火災性状は激しくなりそう。
- 逆に防火性能を高めようとする、使用する木材を減らす傾向になるだろう。
- しかし、木材を減らすといっても、構造上の限界がある。

木造の防火性能は構造性能と両立するか？

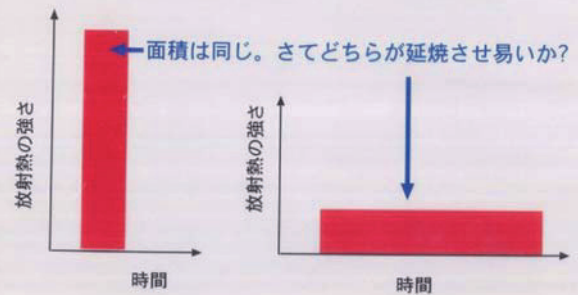
- 木造の構造性能を高めようとする、構造材料である木材をたくさん使うことになる。
- そうすると、可燃物である木材の密度が高くなるため、火災性状は激しくなりそう。
- 逆に防火性能を高めようとする、使用する木材を減らす傾向になるだろう。
- しかし、木材を減らすといっても、構造上の限界がある。

枠組壁工法木造住宅火災実験(1976)では、構造は長時間、自立し、木造でも火災性状を制御できることを示した。

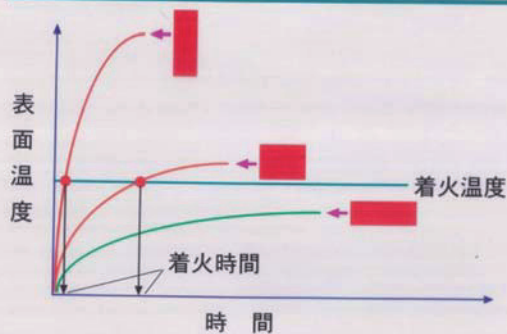


2x4住宅火災実験(東京理科大学、1976)

放射熱の強さ・継続時間と延焼危険



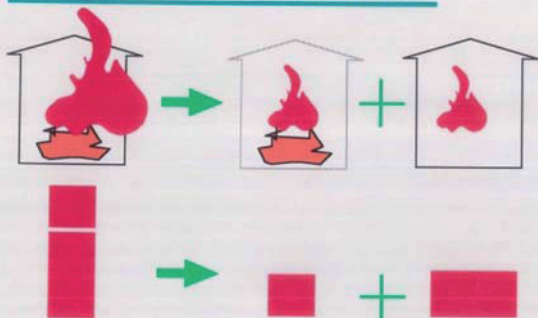
放射加熱のパターンと加熱表面の温度変化



木造建築の防火性能を向上させる基本的な考え方

- ・ 激しい燃え方とならないようにする。可燃物量が多くてもゆっくり燃焼するのなら延焼危険は低下する。
- ・ 激しい燃え方となる典型は、建物崩壊時。構造の崩壊の遅延や防止は、木造建築の防火性能向上の基本。

不燃被覆による木造建築の緩燃化



準耐火建築物の基本概念



木造3階建共同住宅火災実験
点火後約3時間
(建設省建築研究所、1996)

建物は最後には燃え尽きるかもしれないが、ほとんどの用途に対して、消防活動がなくても周囲には延焼させない。

準耐火構造の考え方

- 一般的な防火構造は外部火災による類焼防止だけを目的にしているのに対して、**内部火災による建物構造への影響を抑制できる。**
- 可燃物燃焼が衰えるまで構造は崩壊しない。
- 壁・床等の防耐火性能を検証すれば、建物全体の防耐火性能を評価できる。

重木構造の体育館の火災事例



広島県の公立中学校体育館火災(2000)。全焼したが、構造は自立を保っている。炭化深さは、計算通り。



体育館でなぜ、フラッシュオーバーが起きたのか？

- 体育館は可燃物が少ないので、フラッシュオーバーは起こらないと思われていた。ステージ横の用品庫で出火(生徒のタバコ！)。用品庫壁が薄い合板。体育館との間の間仕切りが防火性能のない木造大壁。用品庫内で出火し、壁中空部に燃え抜けて壁全体が炎上したと考えられる。**周辺諸室とは防火区画が必要。**



写真2-2被災建物竣工時の被災建物内観²⁾

在来木造の火災性状の制御の試み



工業的木造に刺激されて、在来木造でも防耐火技術の研究が始められた。



防耐火補強軸組木造住宅火災実験
(日本住宅・木材技術センター, 1987)

木質耐火構造・耐火建築物の実現

- 1998年の建築基準法改正で、防火規制に性能規定を導入。2000年に施行。
- 仕様規定では、耐火構造は不燃材料でつくらなければならないとされていたが、要求性能を満足すれば、材料は問われなくなった。
- 国交省総プロ「ハイブリッド構造」(1999-2003)

耐火建築物の考え方

- 火災が、消火なしで自然に鎮火した後も、床、柱、梁、壁、屋根等の主要構造部が自立して長期荷重を支えられる。
- 可燃材料で造られる木造では、荷重を支える部材が、自然鎮火後も長期荷重を支えられる断面性能を維持できなければならない。
- **耐火構造**は、部材レベルで上記性能を保証。
- 準耐火構造は、火災後までの性能を保証せず。

耐火構造と準耐火構造はどう違うか

- 1時間耐火構造は、火災が1時間続いて自然鎮火した後も自立している
- 1時間準耐火構造は、火災が1時間、続いている間、自立していれば良い
- 耐火構造は、地震火災で消防活動が期待できなくても致命的な被害を受けない
- 欧米の「耐火構造」は、日本の「準耐火構造」に近い。但し、高層建築の木造耐火は規制

耐火建築物の位置付け

- どんな規模・階数の建物でも建てられる。但し、要求耐火時間は(最上階から数えた)階数で決まる。耐火1時間なら、上から4階分。
- どんな地域でも建てられる。耐火構造以外は、防火地域等で規模に大きな制約。
- どんな用途でも建てられる。

防耐火規定の性能規定化と木造建築

- 火災性状予測に基づく性能的耐火設計の導入
木造の場合は、大空間で活用。
- 木質耐火構造の実現
- 準耐火構造以下の構造の認定プロセスの透明化・スリム化
- 防火材料の機能の明確化・性能規定化

防耐火規定の性能規定化と木造建築

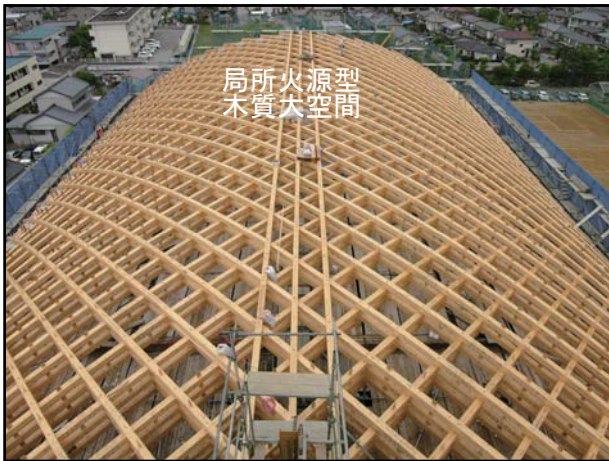
- 火災性状予測に基づく性能的耐火設計の導入
木造の場合は、大空間で活用。
- 木質耐火構造の実現
- 準耐火構造以下の構造の認定プロセスの透明化・スリム化
- 防火材料の機能の明確化・性能規定化

木質大空間



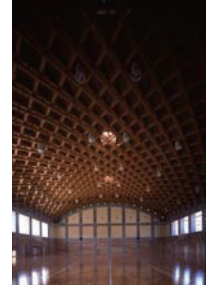
- 告示耐火性能検証法による耐火設計(ルートB)
木質主要構造部材に引火するとNG。
- 局所火源の概念による耐火設計(ルートC)
告示法の「引火防止」の精緻化



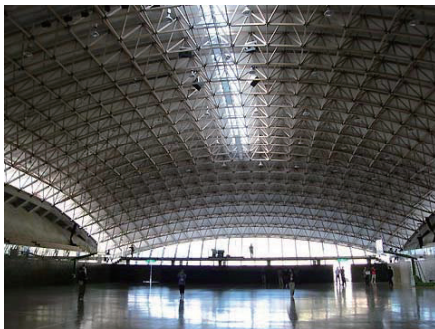


大空間型木質耐火建築物の原理

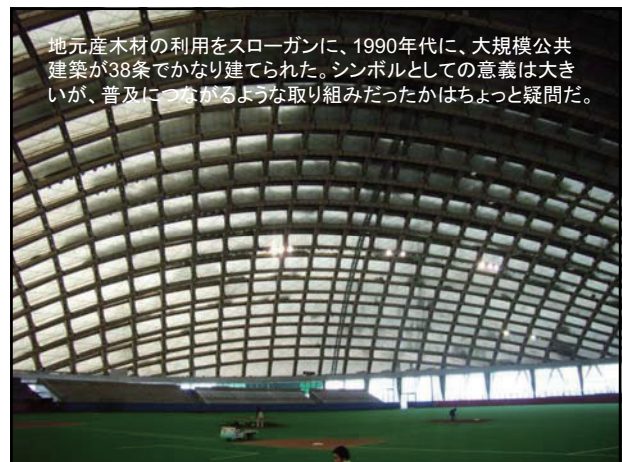
- 可燃物が限定され、局所火災にしかない。
- 木質部材が床から遠く、火災時に接炎しない。
- 自然排煙に利用できる窓・天窗等があり、煙層温度があまり上昇しない。
- 木質部材には着火しない。このため、燃えしろを考えずに、木質部材を設計できる。



建築基準法旧38条による木質大空間

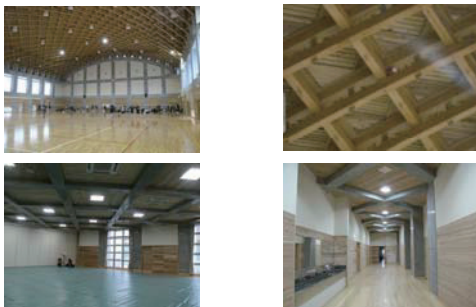


小国ドーム



地元産木材の利用をスローガンに、1990年代に、大規模公共建築が38条でかなり建てられた。シンボルとしての意義は大きい、普及につながるような取り組みだったかはちょっと疑問だ。

性能規定化後の木質大空間 高知学芸高校50周年記念体育館

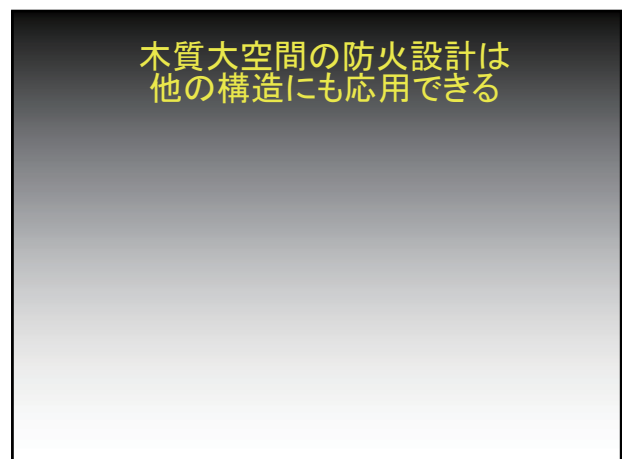
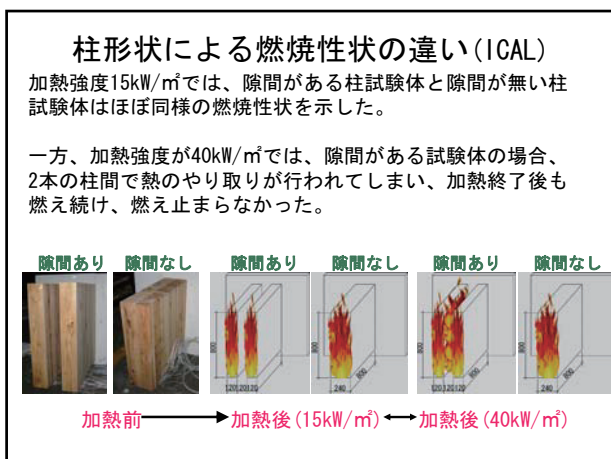
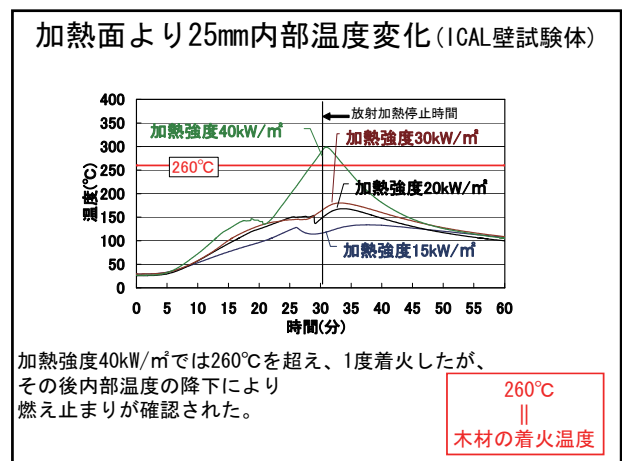
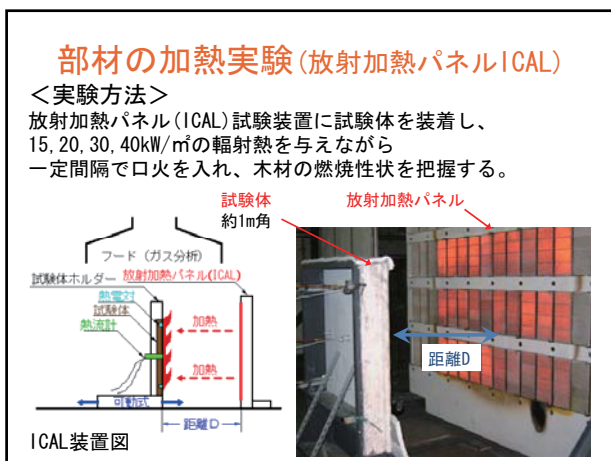
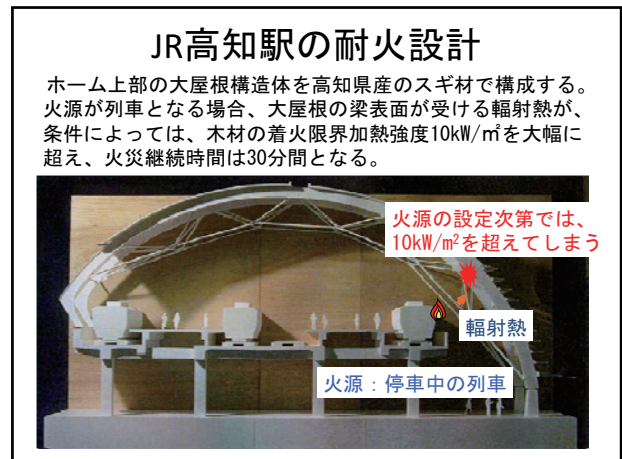
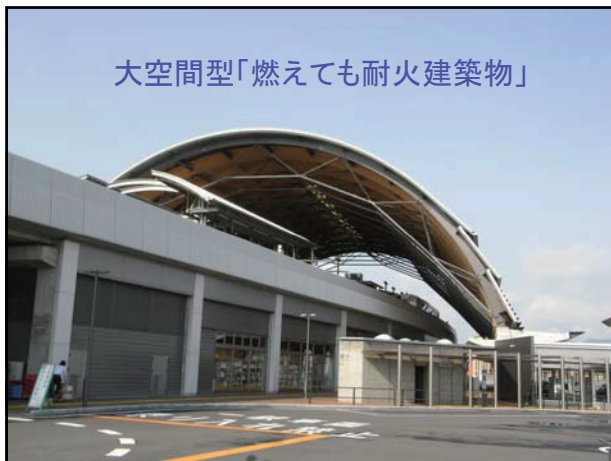


燃えしろ設計と異なり、耐火建築物なので、内装制限がかからない。燃え白がない分、小断面部材による軽快なドーム。

秋田スギによる大空間設計システム 二ツ井小学校体育館



- 雪荷重のため、燃えしろがなくても大断面に。
- 地元設計者が、防火の専門家にいちいち相談しなくても大筋で設計が進められる方式を検討。
- 大学院生がルートC計算を行って設計支援。
- 成果をまとめればマニュアル化ができそうだが...





木質耐火構造の開発

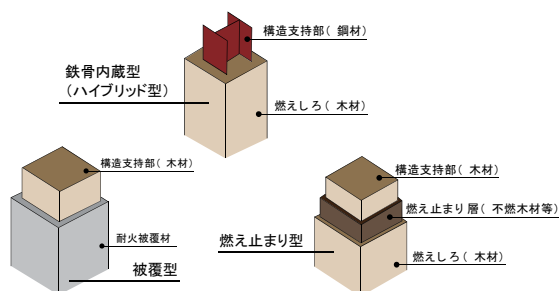
木質耐火構造の意義

- 仕様の耐火設計(ルートA)に使える。
- 従って、可燃物・空間などは特に制約されない。
- 建築確認の手続きも簡便。
- 標準耐火加熱に耐えなければならないため、ハードルは高い。

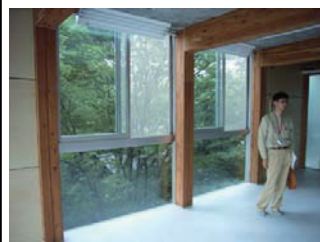


木質耐火構造へのアプローチ

火災終了後も、健全な耐力を維持し続ける性能を有する。
→火災後、構造部に被害が及ばない、もしくは**自然鎮火し燃え止まる**。



木質ハイブリッド構造



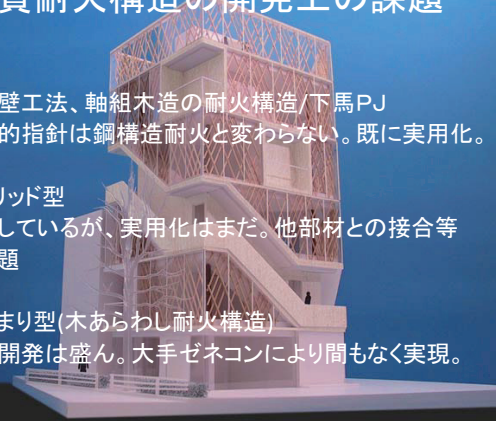
被覆型耐火木造

- RC、S造に比べて、密集市街地等での施工が容易。→防火地域・密集地区の小規模建築
- 軽量のため、基礎工事が容易。→低層大規模建築
- 床が柔らかいので、長時間立ち仕事しても、疲れない。→福祉施設等への適用



木質耐火構造の開発上の課題

- 被覆型
枠組壁工法、軸組木造の耐火構造/下馬PJ
技術的指針は鋼構造耐火と変わらない。既に実用化。
- ハイブリッド型
実現しているが、実用化はまだ。他部材との接合等に課題
- 燃え止まり型(木あrawし耐火構造)
部材開発は盛ん。大手ゼネコンにより間もなく実現。



木質耐火構造の実用化にどう取り組むのか

- 耐火認定だけではモノにならない。
→
- 部材性能 > 建築化 > 生産ライン > 市場バイタリティ
- 被覆型は、上のプロセスが準耐火構造と基本的に変わらず、一通り、完成している。
- ハイブリッド型は、集成材と鋼材の組み合わせなので、既存生産ラインとの相性は良い。次は、市場の多様な要求に応えるラインアップの整備が課題。
- 燃え止まり型は「建築化」、「生産ライン」の両立に課題。



耐火要求のある建物・施設は、本当に耐火建築物でなければ危険なのか？

- 建築法令は、私的財産である建築物に制限をかけるのだから、公共的な根拠がなければならない。
- 建築基準法の大枠は、1950年の制定時と変わらない。当時は、木造による防耐火技術は未発達であることを前提に、戦災復興しなければならなかった。
- その後、準耐火構造など、当時の想像を超える防火性能を木造で実現できるようになった。
- それを前提に、耐火構造以外の木造にどんな可能性が考えられるか。
- 防災法令の根拠から見直して見る必要がある。

耐火建築物適用の 火災安全性能的根拠

人命安全	特殊建築物の構造規制
倒壊防止	4階建て以上の構造規制
延焼火災防止	大規模建築物・防火地域の構造規制
消防活動	大規模建築物・中高層の構造規制

- 以上の根拠は、皆、火災が自然鎮火した後も自立しなければ達成できないのか？

人命安全上、必要な構造の防火性能

- 全館避難が終わる前に崩壊しないことが必要。
- 低層建築では、階段配置が避難計画的に適正なら、30分以内には避難し終わるだろう。超高層では数時間かかることもある。
- 避難不可能者のいる病院等は、相当長時間、火災にがんばれるようにしておくべきだろう。

延焼火災の防止

- 木造の規模規制導入時には、準耐火構造のようなものは想定外。防火性能は段違いになっている。
- 準耐火構造建物火災時の周囲への延焼源は、開口部と屋根くらいで、耐火構造建物とそれほどかわらない。
- それでも心配なら、耐火構造のコアで木造を適当な面積ごとに分断・区画するという考え方もある。

倒壊防止

- 準耐火構造では、火災加熱に耐える時間を延ばすことはできるが、木質部材の燃え止まりを保証できない。
- 高層建築など、倒壊が重大な問題となる建物は耐火建築物とする必要があるだろう。

延焼火災防止

- 大規模建築の全体が同時火災になると、大きな火炎の形成、飛火の大量発生、消防活動の困難等が原因で、周囲への延焼危険が高まる。低層でも木造大規模建築が防火的に規制されるのは、このため。
- 準耐火時間を適正に設定すれば、延焼の原因となる火炎を開口部に抑制でき、延焼危険は、耐火建築物と本質的には変わらなくなる。
- 大規模木造を、耐火構造のブロックで分断・区画して火災拡大範囲を抑制するという方法も考えられる。

消防活動

- 大規模建築になると消防活動拠点が必要。
- 用途によって消防活動の負担が異なる。
- 炎上が予想される場合は、周囲に消防活動空地が必要。
- 以上は、空地確保、消防活動拠点部分の耐火構造化・適正配置で解決できるのではないか。

準耐火で技術的にどこまでできるか

- 高層建築は、次の理由から、耐火構造とすべきだろう。
 - (1)全館避難時間が大きい
 - (2)崩壊すると、影響が大きい
- 重症患者のいる病棟は、避難できない可能性があるため、耐火構造とすべきだろう。
- その他は、準耐火構造をもとに防火上、問題のない建物にできるのではないだろうか？

木造三階建て学校

- 政策課題として浮上。
- 三階建て学校を木造で建てるメリット
基礎工事がRC造等よりも容易。
地域産材を使用すれば、生徒の地域への関心を高める
地域での経済効果が大きい
- 検討が必要な事項
火災危険(出火・避難・延焼など)
耐震性
- 将来的影響
木造三階建ての用途的拡大 → 学校だけだと転用不可

木造3階建て学校の実大火災実験 (準備実験)

2012年11月25日実施

背景と目的

背景：過去の市街地火災を踏まえて、
建築基準法は大規模木造建築を規制

「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」(2010年10月施行)が施行され、
国土交通省は木造3階建て学校について、必要な研究を進めた上で規制見直しを行う方針

目的：実大火災実験、部材実験、教室規模実験等を実施し、木造3階建て学校に必要とされる火災安全性を把握する

66

実施体制：「木造建築基準の高度化推進事業」
 （早稲田大学、秋田県立大学、三井ホーム、住友林業、現代計画研究所）、国土交通省国土技術政策総合研究所、建築研究所との共同研究

全体計画：平成23～25年の3年間

項目	H23	H24	H25
実大規模の建築物による実験 (木造3階建学校)	予備実験	準備実験	
教室規模(木質内装)の実験・ 部材の加熱試験等			
シミュレーション等の調査分析			

67

①部材実験

- 目的：木造3階建学校の試験体を構成する部材について、火災による火熱を再現した実験により耐火性能を把握
- 対象：木製の間仕切り壁(耐力壁)、防火壁、特定防火設備等
 (柱、はり、壁、床については昨年度に実施)



加熱前



加熱後

68

・結果：

木製の間仕切り壁：通常より強い火熱を加えた場合、せっこうボードの目地の開きや脱落が生じやすくなる可能性があることが明らかになった

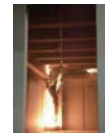
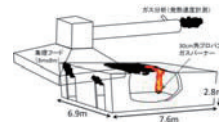
木製の防火壁：約2時間の標準加熱に対して耐火性能が確保された

特定防火設備(防火戸)：木製下地の壁への設置方法が適切でないと下地材が損傷する可能性がある。熱が伝わり難い設置方法等を開発し、所要の耐火性能が確保された

69

②教室規模実験

- 目的：居室の内装(壁・天井)を木質材料で仕上げた場合について、火災成長率やF.O.の発生に及ぼす影響を把握する
- * 火災成長率とは、燃焼の強さを示す単位時間当たりの発熱量が変化する速度
- * F.O.(フラッシュオーバー)とは、局所的な火災から、室全体が火炎につつまれた状態に急激に変化すること



70

・実験条件と結果：

天井の不燃化はF.O.の防止に効果がある
 火源の大きさの変化がF.O.に影響を与える

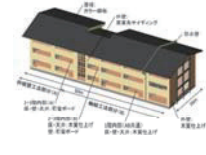
* 昨年度の実験と比較すると室が大きい方がF.O.になり難い

	A	B	C	D	E	F (実施予定)
天井	木	不燃	不燃	不燃 梁は木現し	不燃 梁は木現し	不燃 梁は木現し
壁	木	木	不燃	不燃 柱は木現し	不燃 柱は木現し	不燃 (腰壁以外) 柱は木現し
火源	300kW	300kW	300kW 100→300kW	300kW	100→300kW	
	約5分 でF.O.	F.O.せず	F.O.せず	18分30秒 でF.O.	F.O.せず	

71

③実大火災実験(予備実験) H24.2.22

- 建物：1時間準耐火構造
 (軸組み工法、枠組壁工法)
 木質内装、防火壁など
- 目的：延焼拡大性状、周辺への延焼危険、長時間火災が継続した場合の倒壊等を把握する
- 結果：短時間で上階延焼し、3層が同時に燃焼したが、出火後1時間は倒壊せず



72

1時間準耐火構造目標の部材 加熱実験 目的・概要

- 目的: ①1時間準耐火性能を有する木質主要構造部材の基本仕様の把握(1時間を少し超える仕様の把握)
 ②火災時に耐力低下しない柱・はり接合部仕様の把握
 ③木製壁・床の配管貫通部の処理方法の検討
 概要: ISO834標準加熱曲線による加熱実験により検証し、①～③の仕様を明確化した



①木製壁(100厚)試験体 ②柱・はり接合部試験体 ③配管貫通処理の一例

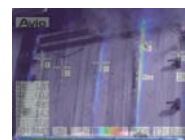
木造三階建て学校各部位の防耐火性能の確認 主要構造部-1(壁・軒裏)

- ◆木板によるメンブレン工法と厚板による工法で1時間準耐火性能を確認
 ◆1時間に届かなかった仕様は弱点を把握し、改良の余地があることを確認

【耐力壁・メンブレン工法】	
70分	54分
上層: スギ板厚15 下層: 強化せつこうボード厚12.5 (両面同仕様)	上層: スギ板厚18 下層: 構造用合板厚24 (両面同仕様)
【耐力壁・厚板工法】	
73分	66分
上層: スギ板厚15 下層: クラスミナチパネル厚135 (スギラミナチ厚27レジシニール樹脂接着)	上層: スギ板厚18 下層: 構造用合板厚24 (両面同仕様)



目地より燃抜前の様子



熱映像による弱点の把握

木造三階建て学校各部位の防耐火性能の確認 主要構造部-2(床・屋根)

- ◆床: 令85条の教室・事務所(2900 N/m²)荷重に対して、メンブレン工法と厚板工法で1時間準耐火性能を確認
 ◆屋根: 同様の工法で瓦屋根荷重に対して30分、45分準耐火性能を確認

【床: メンブレン工法】	
74分	62分超
上層: 天板厚15 下層: 強化せつこうボード厚12.5 上層: スギ板厚15	上層: スギ板厚15 下層: 構造用合板厚24 上層: スギ板厚15
【屋根: メンブレン工法】	
45分	33分
上層: 天板厚15 下層: スギ板厚15	上層: 天板厚15 下層: スギ板厚15



載荷加熱中の床試験体



燃え抜け後の屋根試験体

木造三階建て学校各部位の防耐火性能の確認 主要構造部-3(柱・はり)

- ◆燃えしろ設計によるラーメン柱(220×660)、正角柱について建物の実態荷重による非損傷性を確認した(80～89分)。
 ◆木材被覆の柱・はりで1時間準耐火性能を確認

【柱: 燃えしろ設計】	
80分	89分
220×660 ラーメン柱 スギ構造用集成材	220×660 ラーメン柱 スギ構造用集成材
【柱: 被覆】	
96分	87分
220×660 ラーメン柱 スギ構造用集成材	220×660 ラーメン柱 スギ構造用集成材



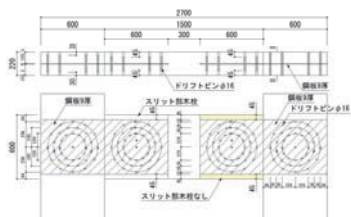
加熱前のラーメン柱



加熱中のはり試験体

木造三階建て学校各部位の防耐火性能の確認 柱・はり接合部

- ◆鋼板挿入ドリフトピン工法による柱・はり接合部について、1時間加熱後に接合耐力が低下しにくい納まりと仕様を確認



接合部耐力が低下しにくい納まり例



耐火炉への設置の様子



1時間加熱後の試験体の様子

木造三階建て学校各部位の防耐火性能の確認 貫通部

- 一般部と比較して床及び壁に貫通部がある場合に、性能低下が生じないかを検証

貫通部試験仕様	
試験体No.	部位
K1	床
K2	床
K3	壁



K1-塩ビ管



K2-ライニング鋼管

木造三階建て学校各部位の 防耐火性能の確認 貫通部

床・壁とも、貫通部を設けても防耐火性能が低下しないことを確認

貫通部試験結果

試験体 No.	部位	管種	加熱面強化PFR 表面温度(℃)		非加熱面 温度(℃)		遮熱性	遮炎性
			Max.	Ave.	Max.	Ave.		
K1	床	床と壁	358	289	40	27	○	○
		耐火二重壁	358	290	46	30		
		ライニング断熱	365	337	49	45		
		断熱(防炎板G改厚25)	353	313	68	63		
K2	床	床と壁	352	298	42	42	○	○
		耐火二重壁	176	123	48	45		
		ライニング断熱	285	269	54	50		
		断熱(防炎板G改厚25)	373	350	64	60		
K3	壁	床と壁	410	358	67	52	○	○
		ライニング断熱	453	393	75	66		
試験体 No.	部位	管種	加熱面強化PFR 表面温度(℃)		非加熱面 温度(℃)		遮熱性	遮炎性
			Max.	Ave.	Max.	Ave.		
K3	壁	床と壁	358	289	136	115	○	○
		床と40mm	282	267	148	132		



加熱前K1試験体



加熱後K1試験体

法規制だけで木造を火事に強くできる わけではない

- 予備実験(2012.2.22)で、燃焼が急激に広がったのは、耐火構造で一般的な延焼対策の木質準耐火構造への適用上の盲点、大規模木造の火災時の挙動の理解の不足など、大スパン型木質準耐火に関する経験の浅さも一因である。
- 技術的には解決ができれば(準備実験はその成果ともいえる)、法令だけで誰もが間違いなく火事に強い大規模木造を造れるようになるかといえば、心配は多い。
- 設計指針の整備、設計・施工に携わる人の勉強も必要だろう。

木造の取り組み体制を再考する

- 構法から見ると、軸組構法・枠組壁工法・重木構造・ログ構法などでばらばらに研究開発されている。
- 木材から見ると、製材・集成材・LVL・CLT等に分かれて研究開発されている。
- 木造は、鋼構造等と比べると、工学的なモデリングが、元々、難しい。そこへ持ってきて、こんなにばらばらに取り組んでいたのでは、技術革新の見通しは立て難い。
- 研究者・技術者が、他構造に比べて格段に少ないことも、技術開発、意欲的な設計の技術的基盤整備上、弱点になっているのでは。
- 偏狭な純血主義をなんとかして、連携したり、他分野の研究者・技術者が参入し易い環境にしていく必要がある。

設計者・生産者・木材・構造・防火
他の専門家／地域・全国の
ネットワークづくりが求められている



「この報告書は、一般社団法人木を活かす建築推進協議会が推進する平成 24 年度林野庁補助事業『木のまち・木のいえ担い手育成拠点プロジェクト』の事業の一環として、作成されたものです。

平成 24 年度 木のまち・木のいえ担い手育成拠点事業
「木のまち・木のいえづくり」を目指す若者のための教育プログラムの構築
報告書

編集 平成 24 年度 木のまち・木のいえ担い手育成拠点事業
/秋田事務局

編集委員 飯島 泰男 藤嶋 楽

発行日 2013 年 2 月 28 日

発行 一般社団法人 日本木材学会

印刷 株式会社ウェーブ