木材の微細構造制御の実例

（大変形による複雑３次元成形を中心として）

京都大学 生存圏研究所
金山公三

木材が流動する動画
⇒下記サイトを参照

木材の流動を示すサイト
https://youtu.be/ydaMpOaIGkA

最初に

木材の微細構造は分からないことだらけ

肝に銘じつつ、象（木材の微細構造）を撫でる努力をしている

群盲象を撫でる（評す）

多くの盲人が象を撫でて、それぞれ自分の手に触れた部分だけで巨大な象を評するように、凡人が大事業や大人物を批評しても、単にその一部分にとどまって全体を見渡すことができないこと。

〇群盲象を撫でるぐんもうぞうをなでる - 広辞苑無料検索（sakura-paris.org）

【水や有機液体を吸脱着】

・粘弾性
・熱分析
・誘電緩和
・広角X線

これらを参考にして

本日の話の内容

変形加工をしたい

・マクロにこんな条件にすれば変形した
・微細構造は、こうなっているのかも
・さらにこうすれば加工特性を制御出来そう

木材の細胞間層の流動性発現と大変形3次元成形加工

原材料

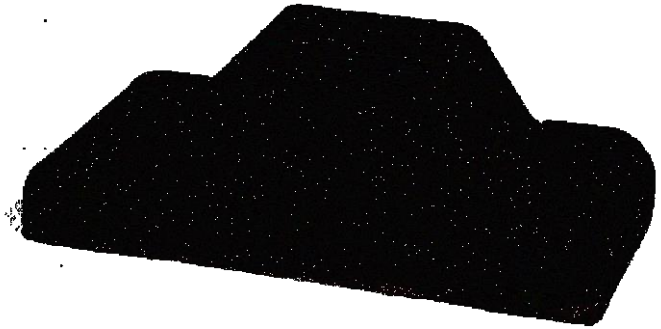
塊のままの木材

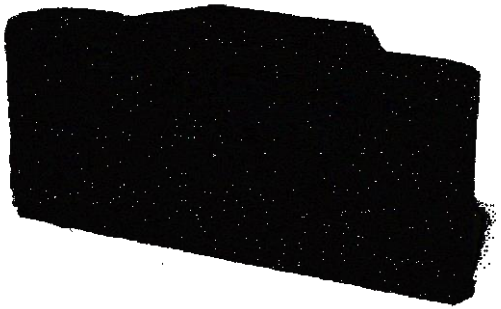
金型を用いた
１工程成形

深底容器

複雑形状品

薄肉コーン形状
(厚さ：0.2mm)





H-4 ハーキュリーズ
https://ja.wikipedia.org/wiki/H-4_(%E8%88%AA%E7%A9%BA%E6%A9%9F)

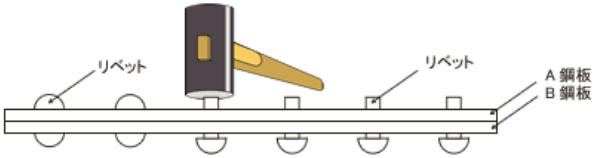
・スプルース・グース：全幅97.51メートル
・ボーイング747：全幅59.6メートル
・ソーラー・インパルス2：全幅72.0メートル

ストラトローンチ・システムズ

ロケット空中発射母機は重さ約226.796トン、
全長約72.5メートル、翼幅（両翼端間の長さ）は約117メートル

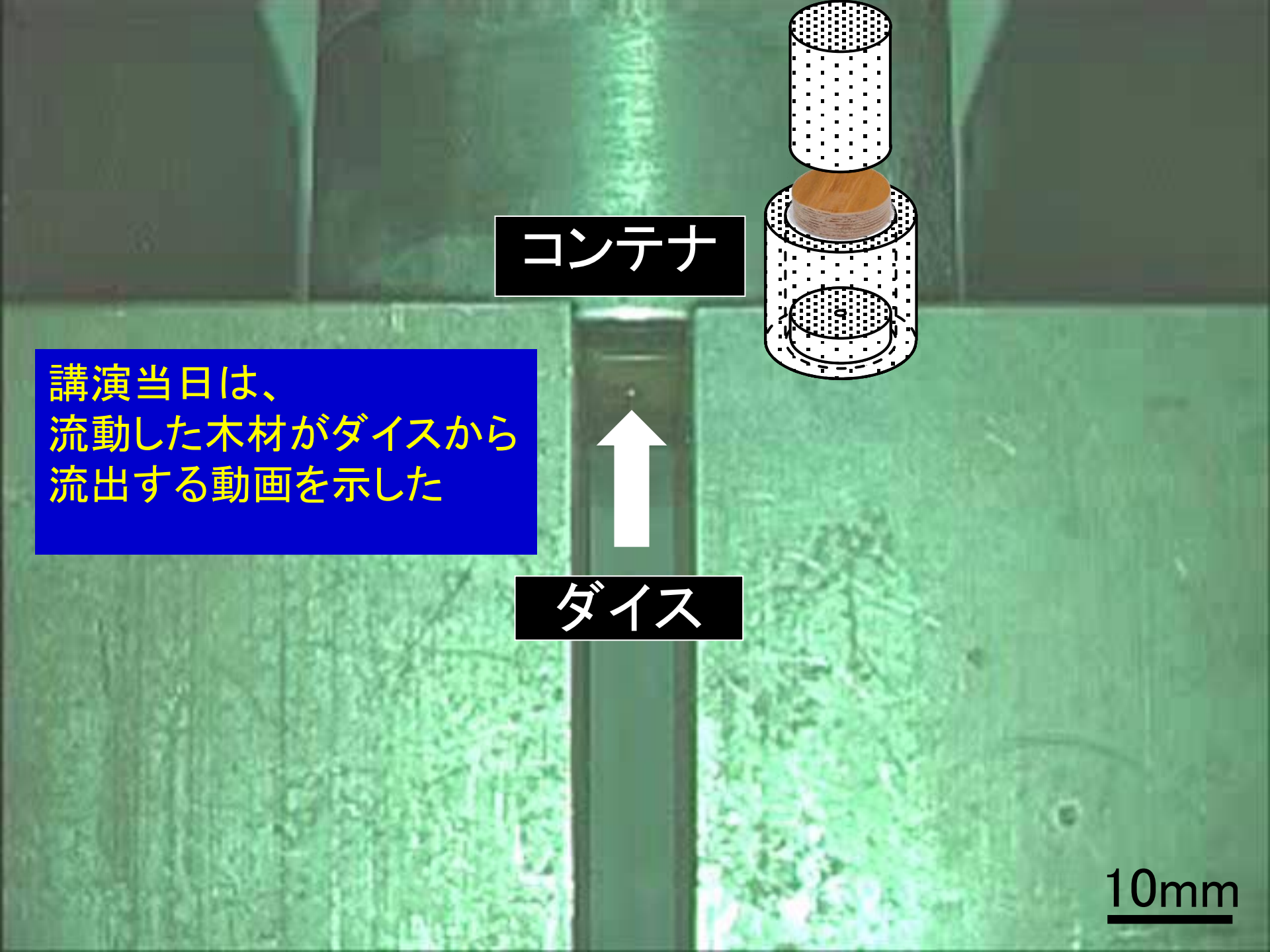
デ・ハビランド モスキート
（de Havilland DH.98 Mosquito）
「The Wooden Wonder」

ジュラルミンは溶接すると
強度が低下するため、
リベット接合が行われる

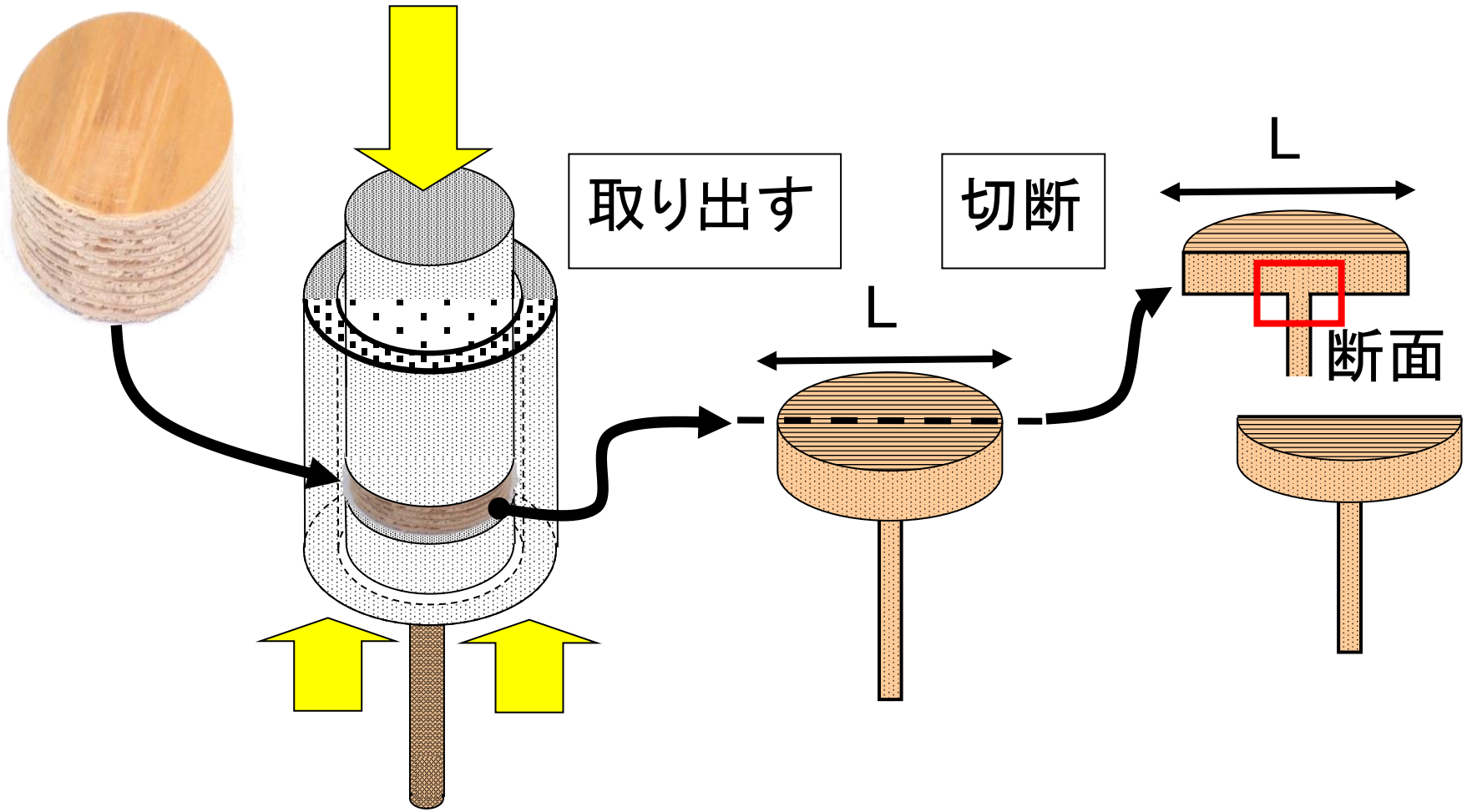


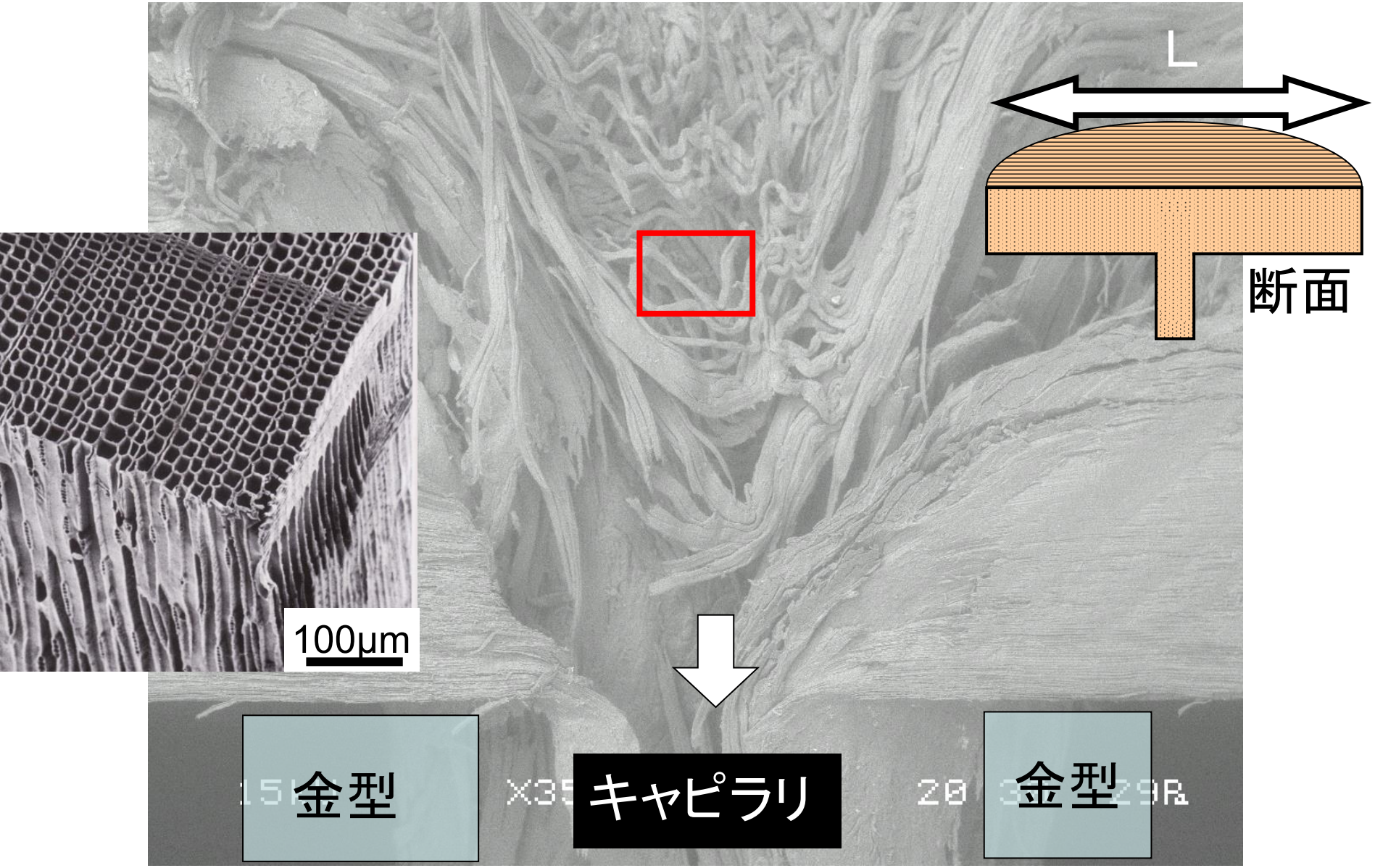
表面に凹凸 → 空気抵抗増大

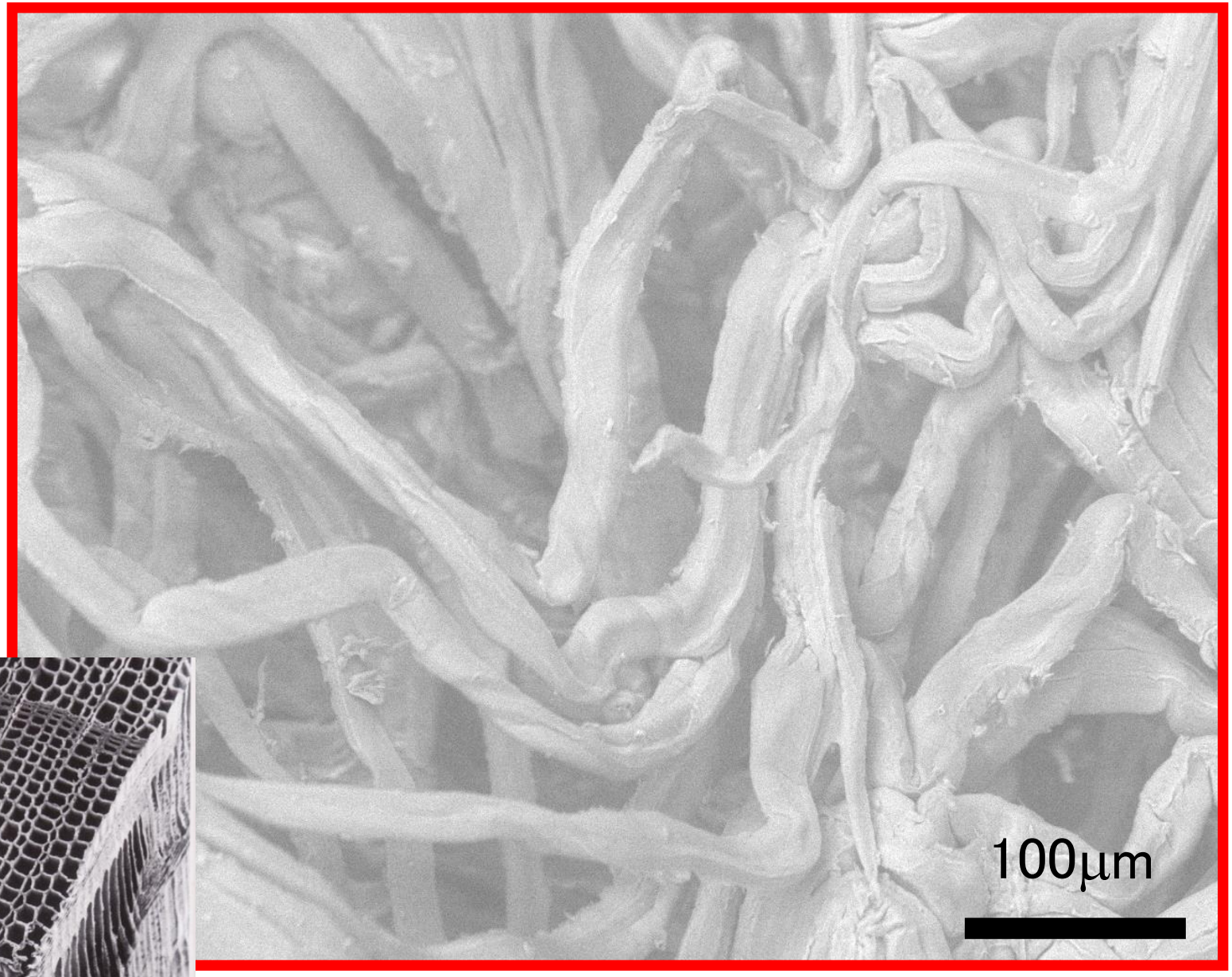
乗員: 2名（パイロット、航法兼爆撃手）
全長: 13.57 m
全高: 5.3 m
全幅: 16.52 m　　(11 m)
翼面積: 42.18 m2（454 ft2）
動力:ロールス・ロイス マーリン　V型12気筒(1,710 hp）× 2
最大速度: 667.9 km/h　　(572)
航続距離: 2,400 km

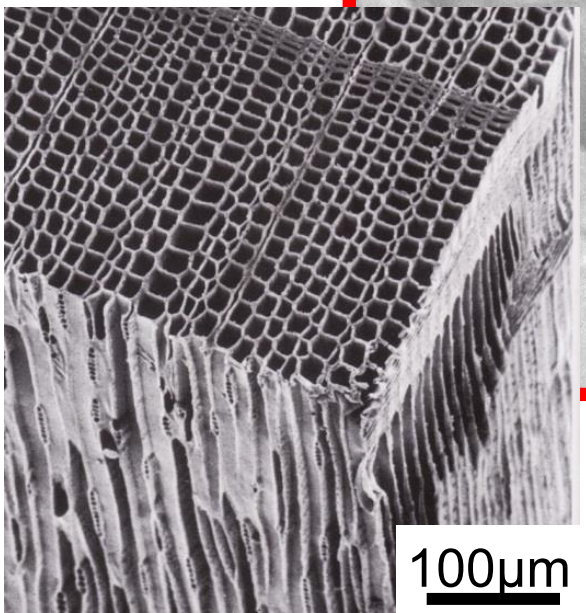


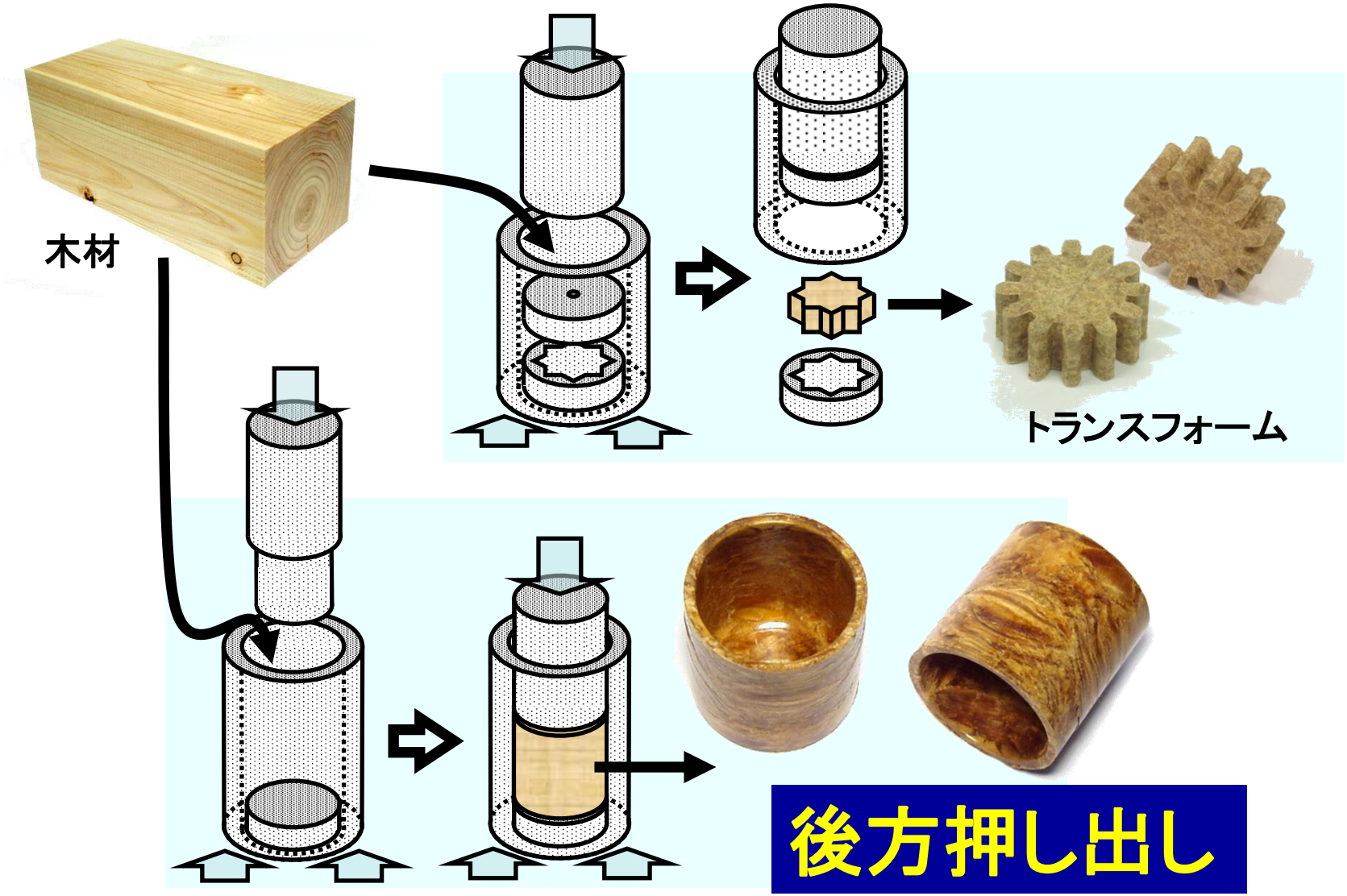
講演当日は、
流動した木材がダイスから
流出する動画を示した


取り出す
切断
L
L
断面

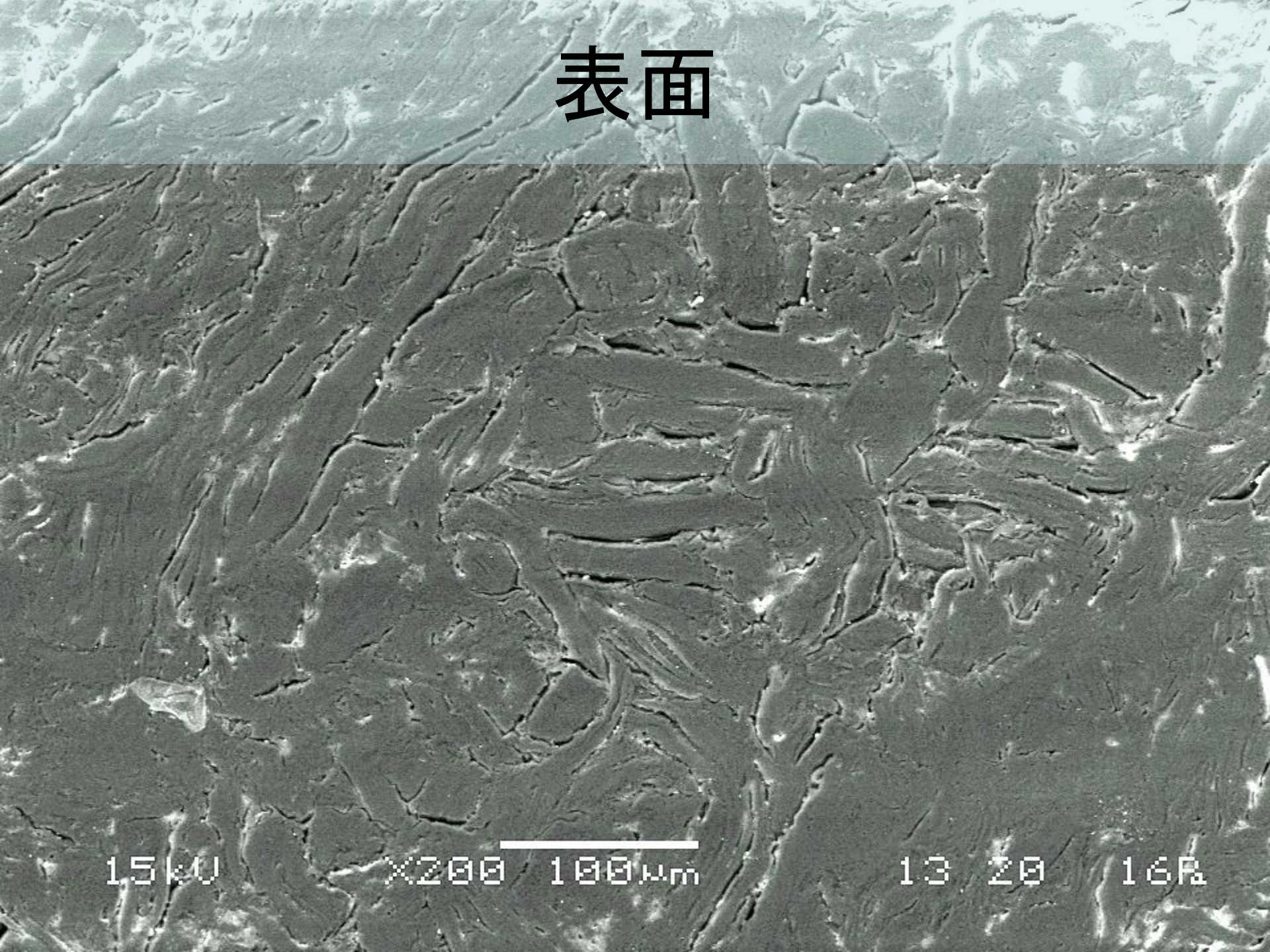

L
断面
100μm
金型
キャピラリ
金型


100μm


100μm


木材
トランスフォーム
後方押し出し

表面

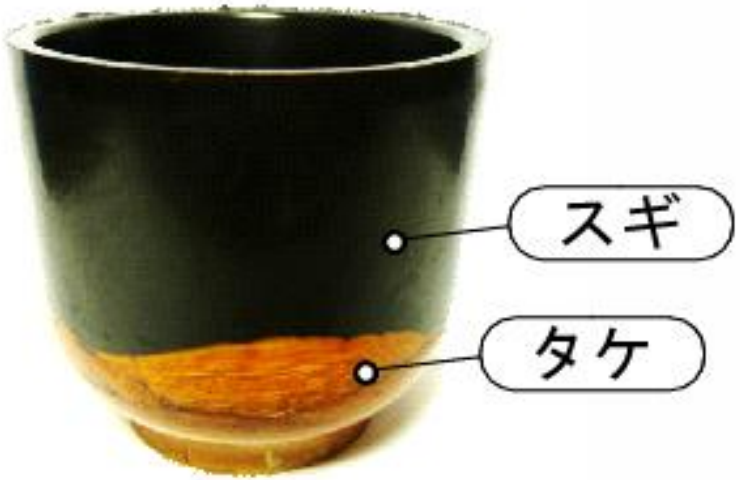


細胞壁で分離して細胞が移動

↓

変形後に再結合

木にタケを接ぐ



松竹梅

小さな素材から大きな成形品

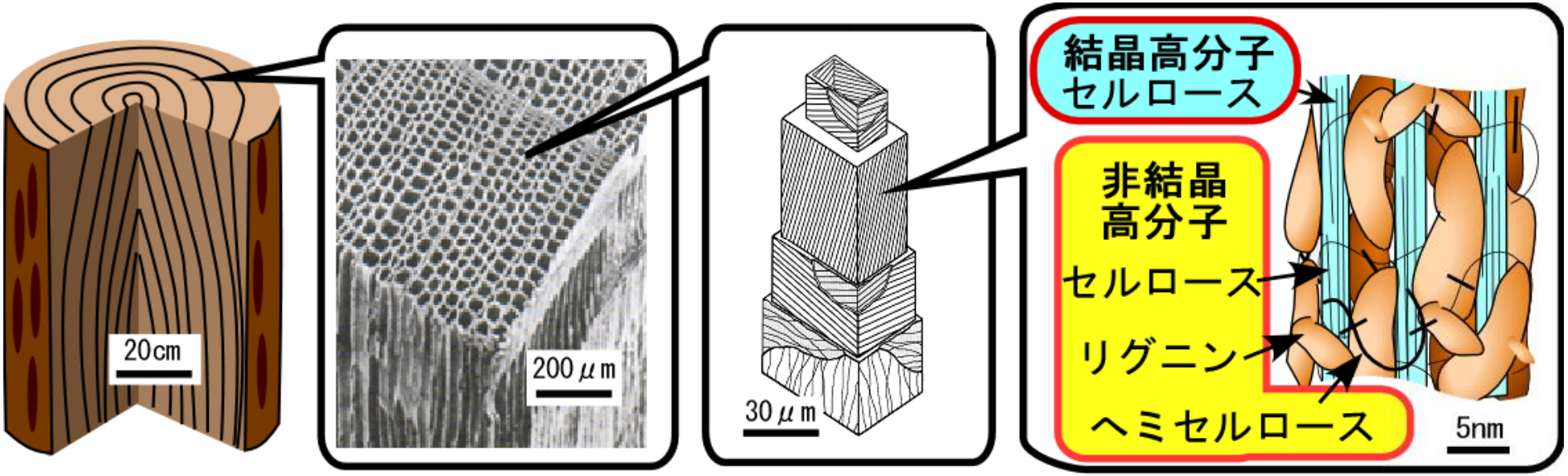
異種素材の混合

細胞は4層構造

各層は鉄筋コンクリートに類似の構造

軸方向の鉄筋、円周方向の鉄筋

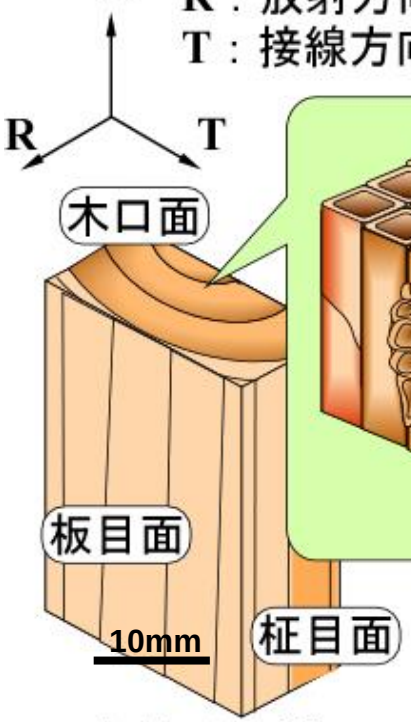
細胞間層は、鉄筋が少なく、方向はランダム



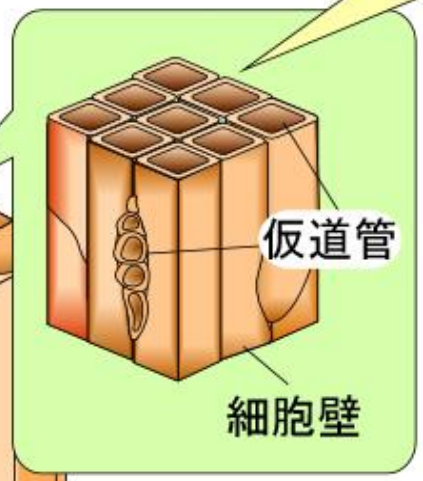
流動成形　流動現象←（変形・分離・組織相互位置変化・再結合）

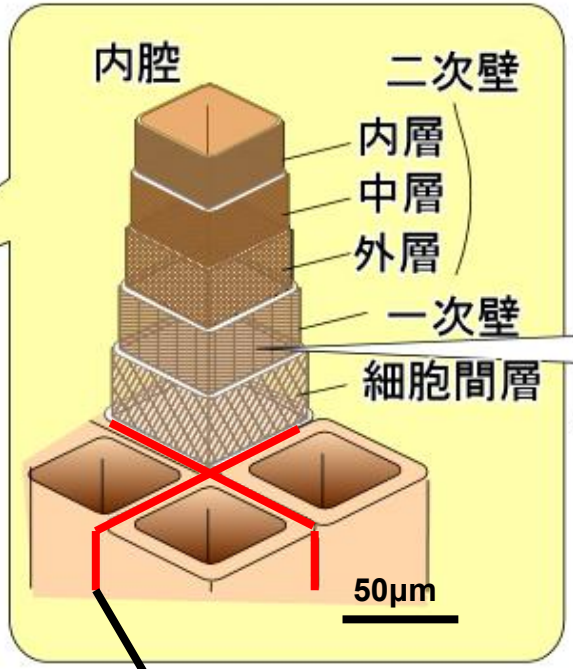
木材の構成要素

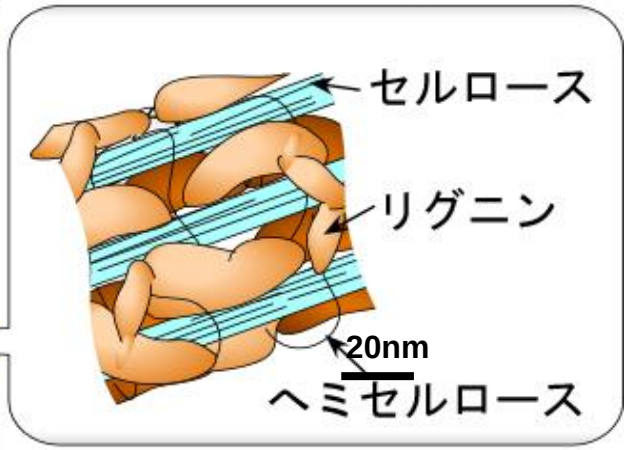
L：繊維方向
R：放射方向
T：接線方向



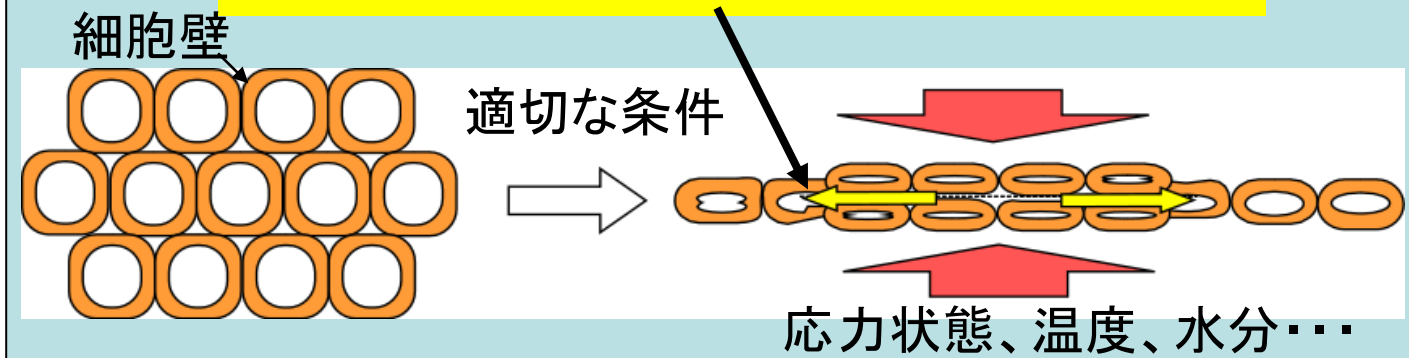
木材（スギ）





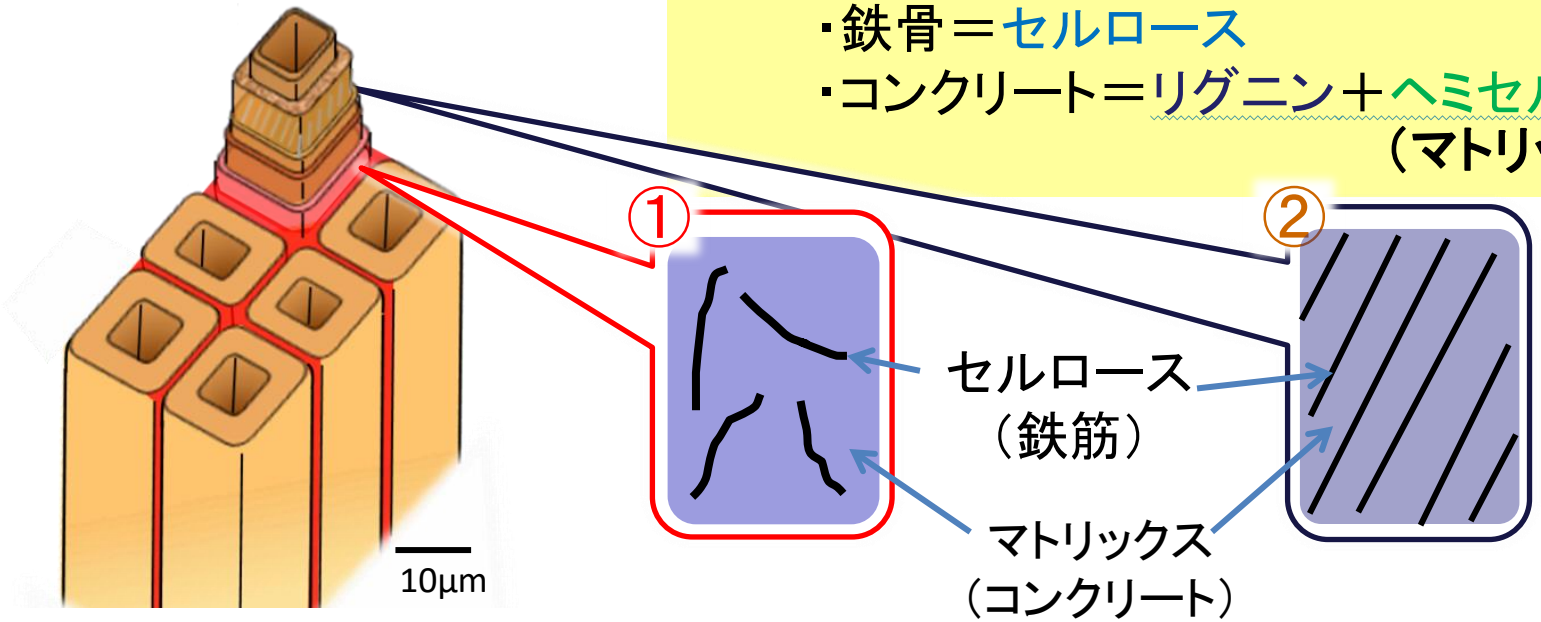


細胞間層でのすべり現象（流動現象）



層内での構造の違い

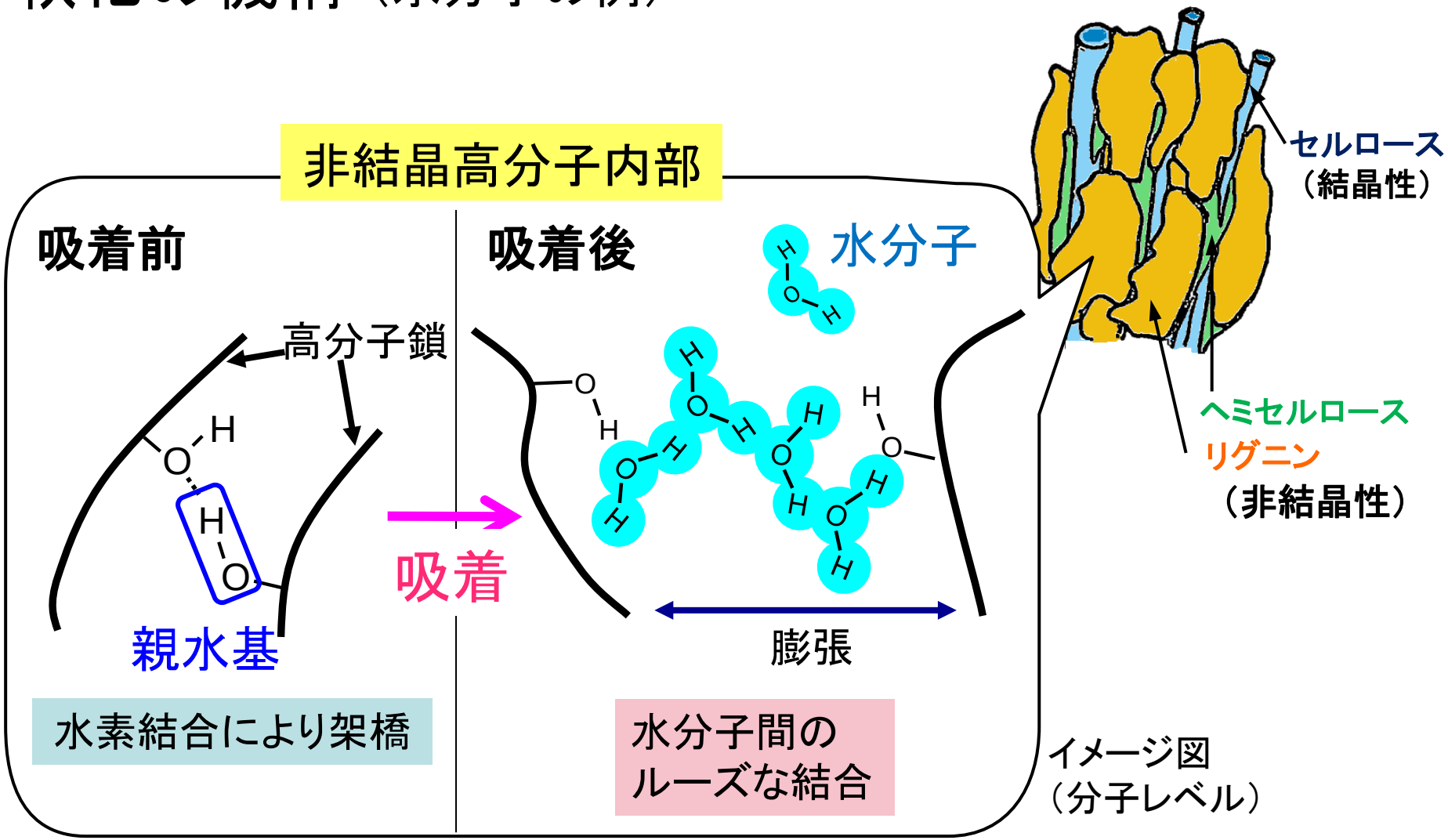
鉄筋コンクリートに例えると
・鉄骨＝セルロース
・コンクリート＝リグニン＋ヘミセルロース
（マトリックス）



セルロース	細胞間層	二次壁中層
体積分率	0.10	0.47
配向	ランダム	特定の角度に配向

則元　京　セルロースの新展開より抜粋

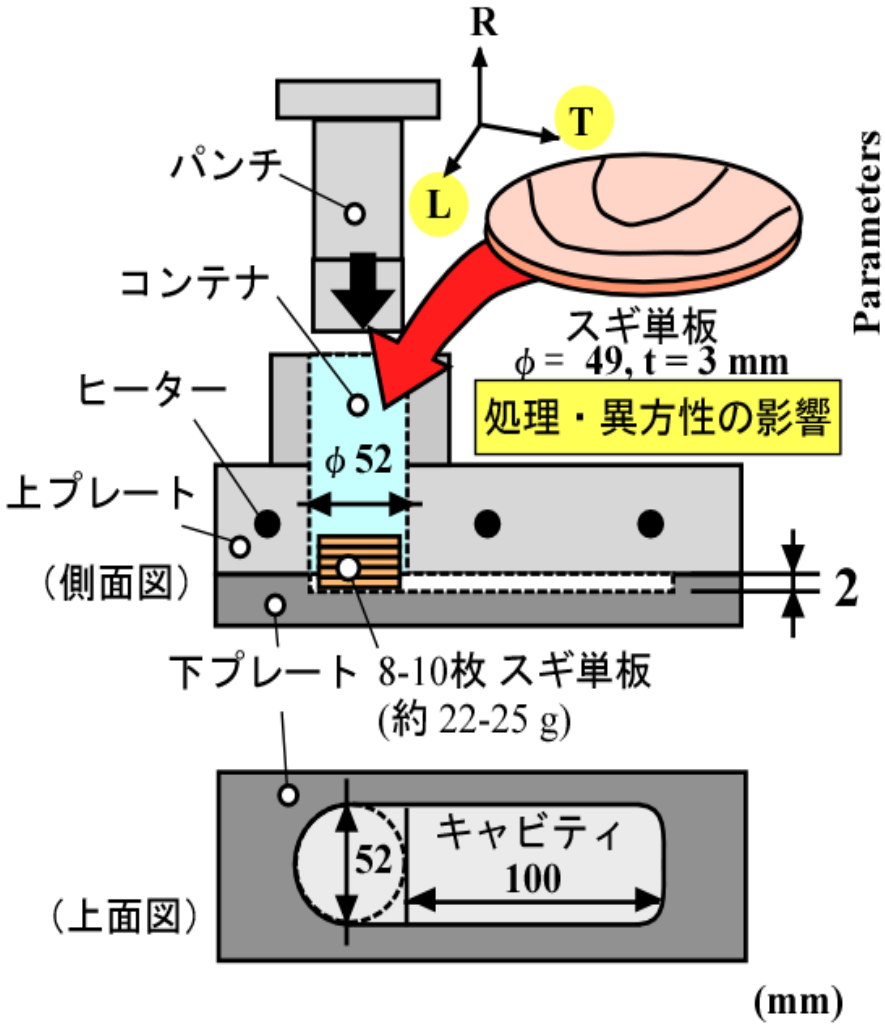
軟化の機構（水分子の例）



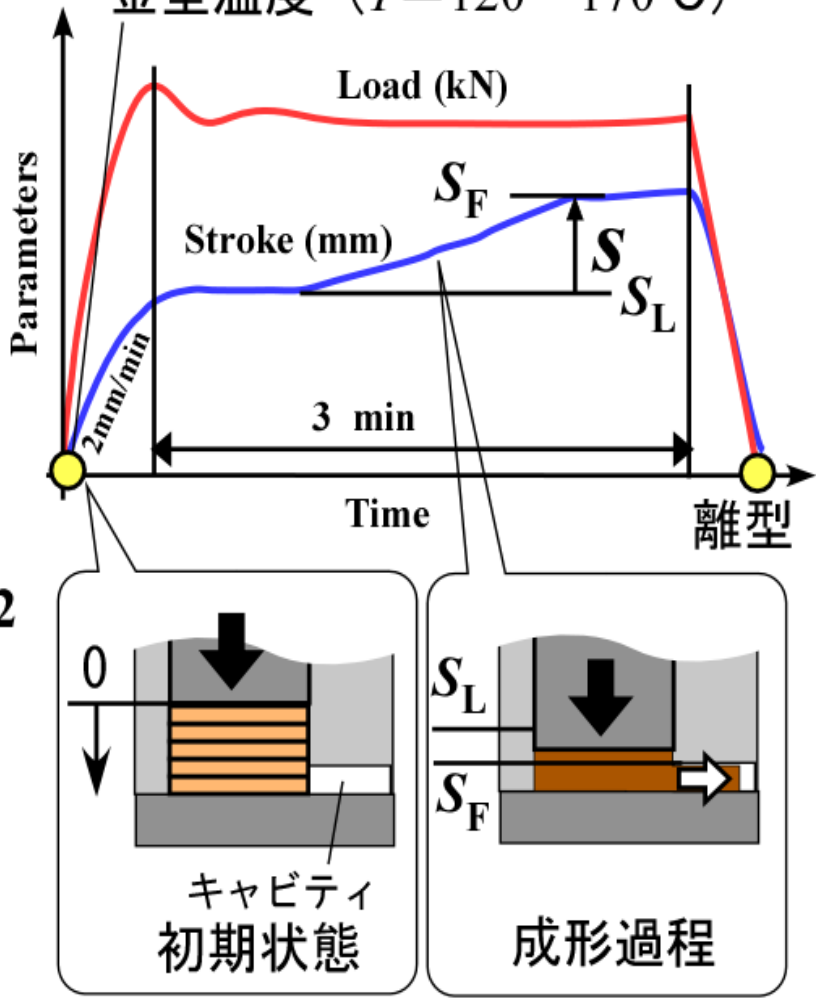
水以外を使えば？　⇒　金属の合金化に相当

側方押出し型流動成形による板材製造

実験金型・方法



金型温度（T=120～170℃）

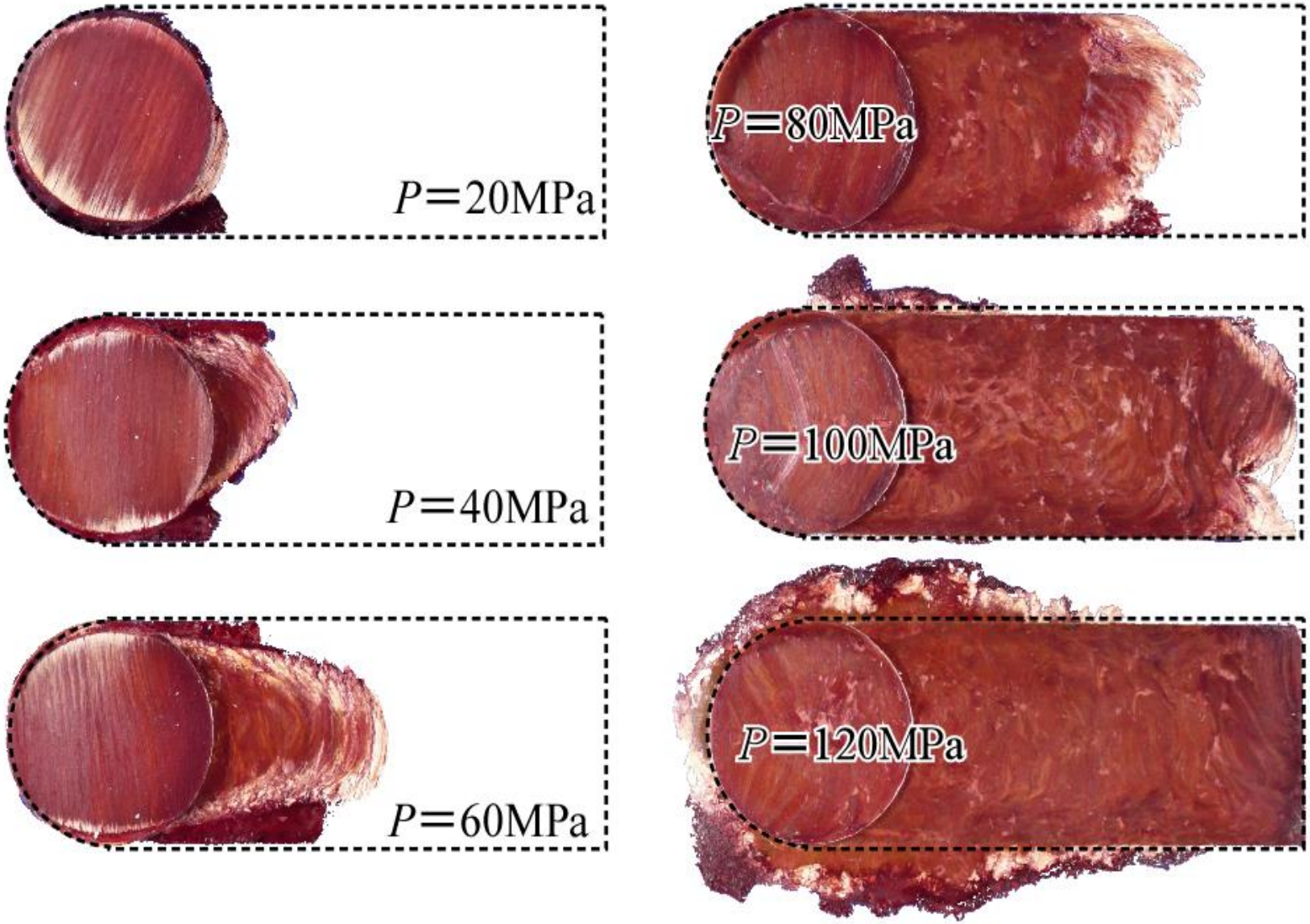


● 材質（NAK 55）● ｷｬﾋﾞﾃｨ 鏡面仕上

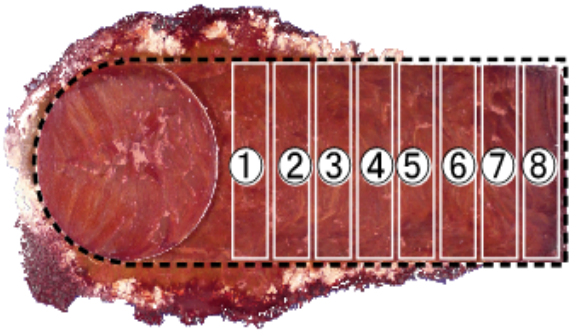
温度・圧力の影響

木材の成形過程（充填率の変化）

温度T=150 ℃



曲げ試験結果

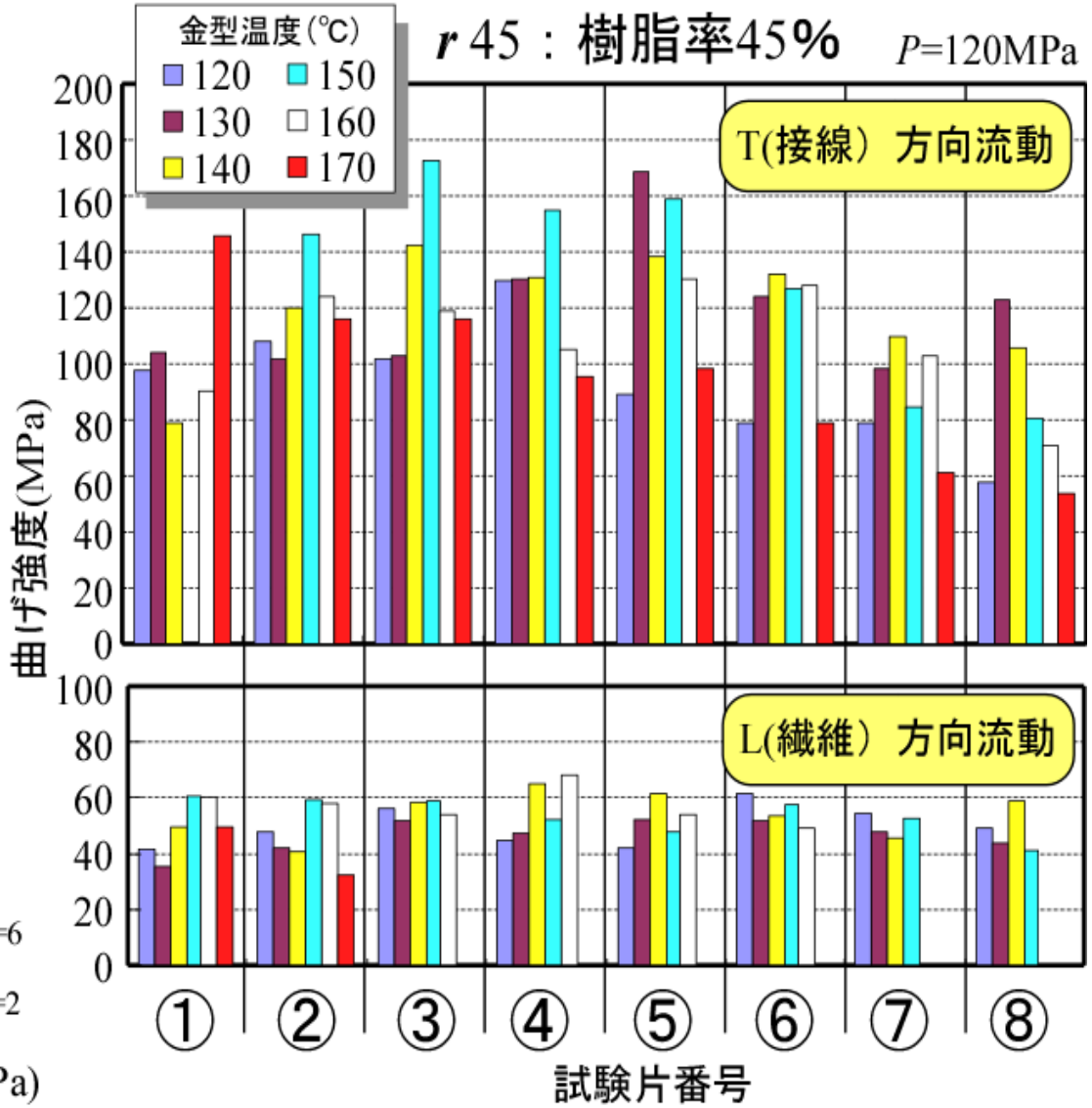


機械的性質（平均値）

	T 接線方向		L 繊維方向	
T(℃)	ρ	σ	ρ	σ
120	1.36	93	1.38	50
130	1.36	119	1.37	46
140	1.36	120	1.36	54
150	1.36	116	1.36	54
160	1.34	108	1.36	49 N=6
170	1.34	96	1.35	41 N=2

ρ：密度(g/cm3)　σ：曲げ強度（MPa）

ABS，PC（σ：約100MPa）に匹敵



試験体内での強度分布

○ 熱可塑成形による繰り返し成形の実現

熱可塑性樹脂含浸木材

直接成形も可能

加圧成形

熱圧成形

熱圧成形
→形状付与

・繰り返し成形可能
・他形状への成形可能

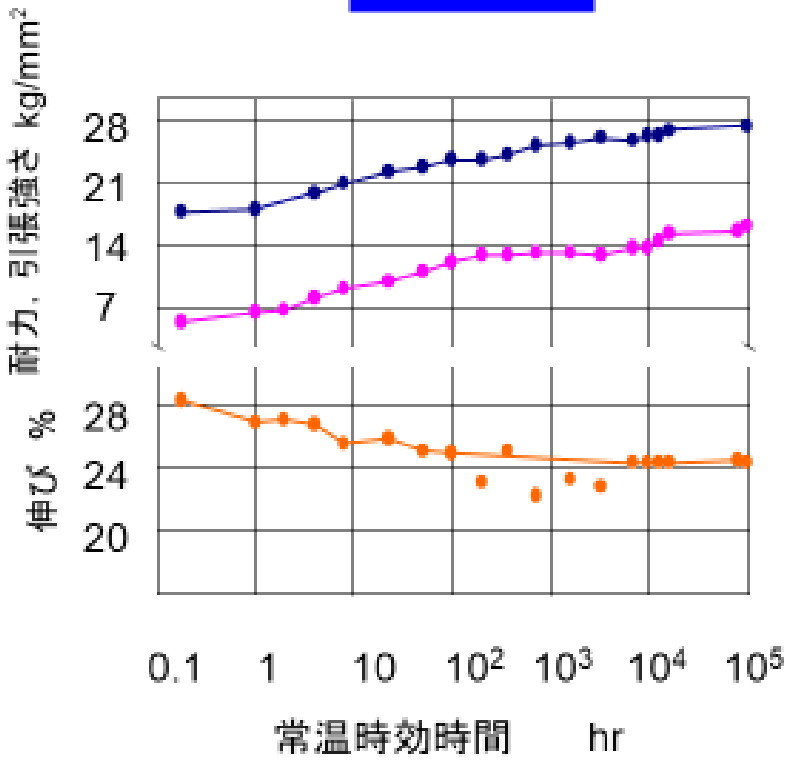
○ 成形体の大型化

○ 意匠性の多様化（透光性）

アクリル樹脂の透明性を活かした成形例 →

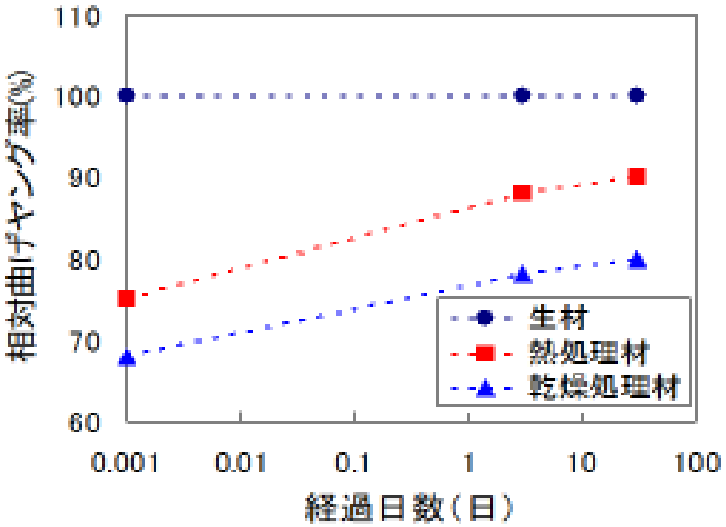
『Vuillaum hommage』木質流動成形振動板搭載オーディオシステム

金　属

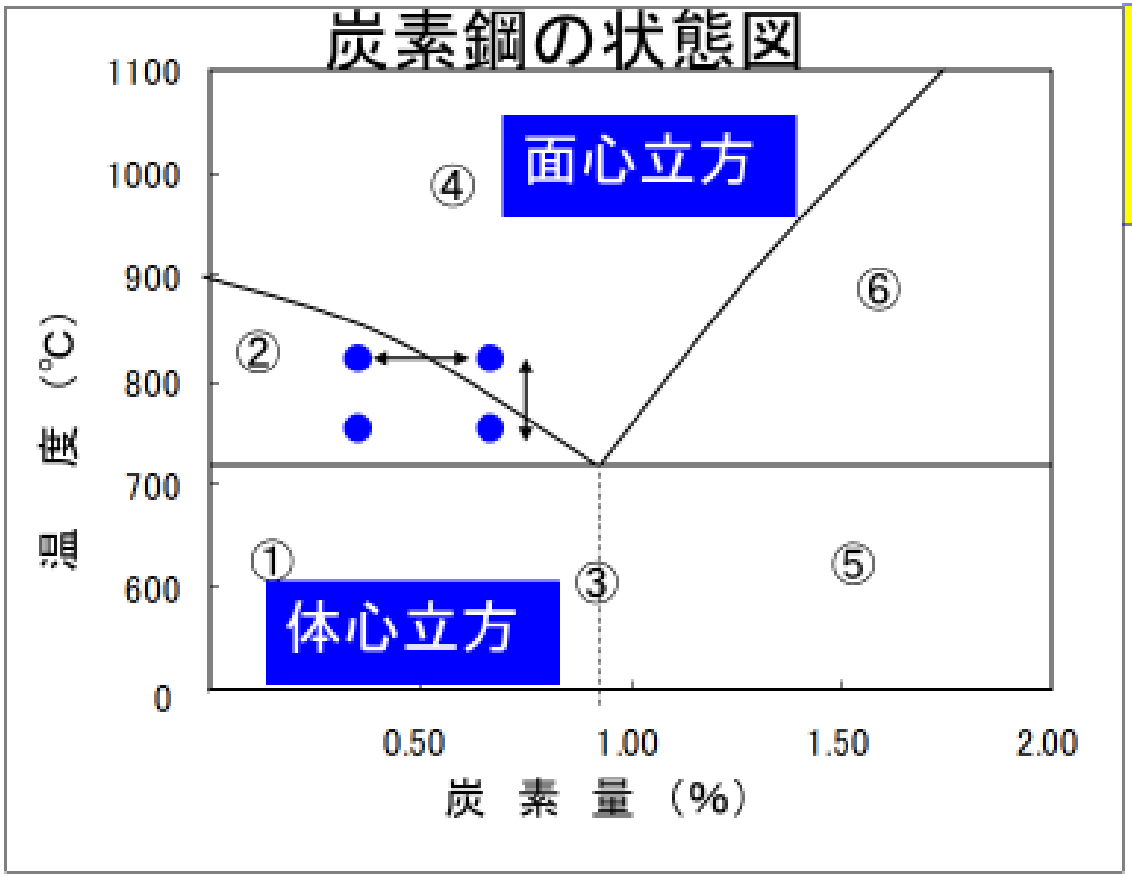


6061（JIS耐食アルミニウム合金4種）の
時効硬化曲線
(1.5mm板　520℃×20min　水冷却)

木　材



乾燥履歴及び熱履歴が20℃飽水材の
接線方向におけるヤング率に及ぼす影響



800℃で生活していれば、焼入れは不能

①α（フェライト）
＋パーライト

②α＋γ（オーステナイト）

③パーライト

④γ

⑤パーライト＋セメンタイト

⑥γ＋セメンタイト

フェライト　　：体心立方配列の鉄（α鉄）
セメンタイト　　：Fe3C
パーライト　　：α鉄とセメンタイトの層状組織
オーステナイト：面心立方配列の鉄（γ鉄）に炭素が固溶

添加物の種類で状態図が変化→材料開発（合金設計）

樹木を伐って、使ってもよいのか？

樹木を伐ると、自然破壊になるのでは？

伐るべきである！！　伐って、植林すべきである！！

光合成　$6CO_2 + 6H_2O \Rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$

木材の主要構成成分　$C_3H_4O_2$

C : 12 x 3 = **36**

H : 1 x 4 = 4

O : 16 x 2 = 32

72

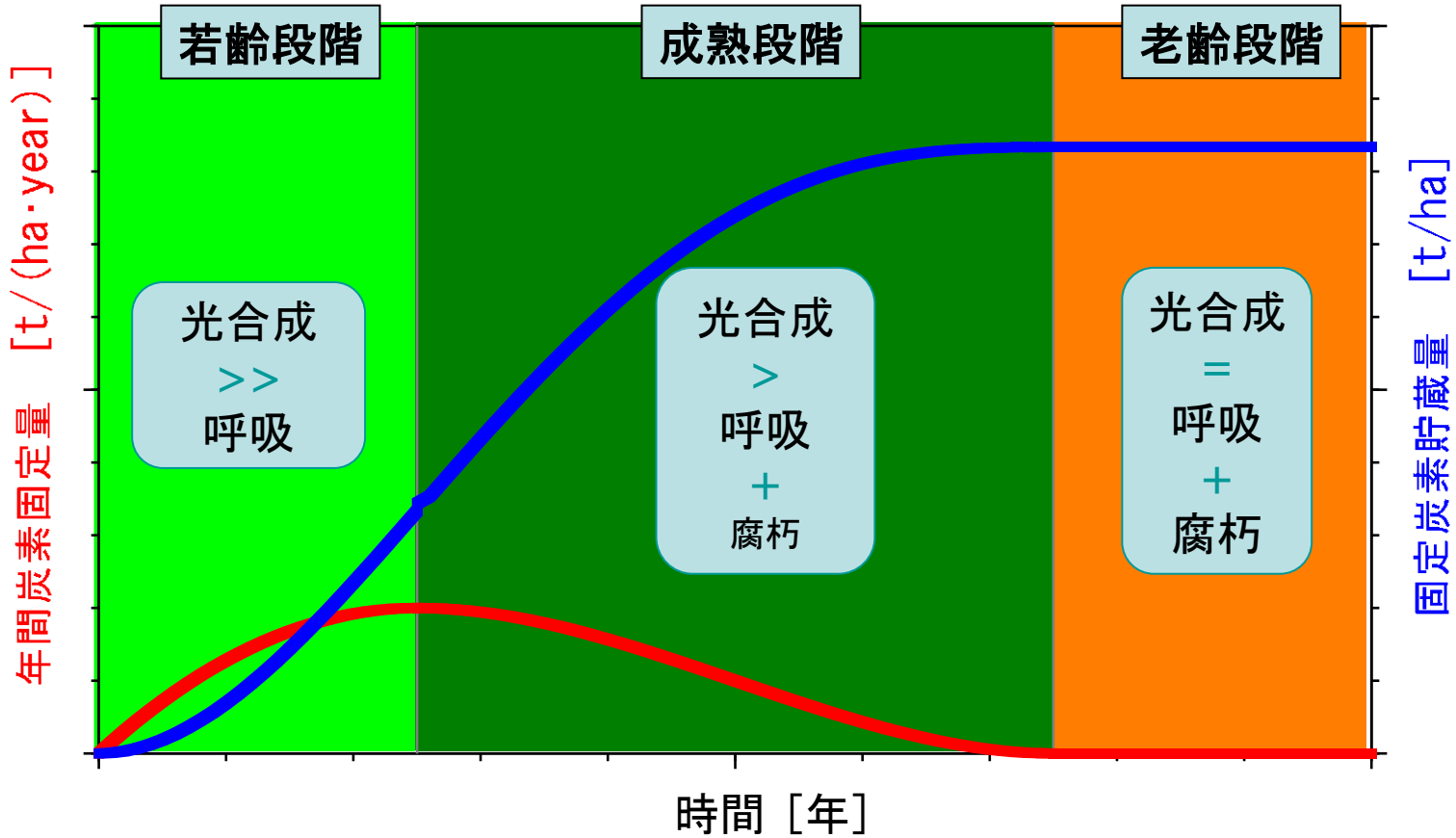
$$\frac{36}{72} = 0.5$$

木材の半分は炭素

木質材料の工業的利用を目指して

光合成による成長 → 持続的利用可能（原油の代替）（資源枯渇対策）
→ 二酸化炭素固定（温暖化対策）

天然林の炭素固定能力



天然林の成長段階に応じた年間炭素固定量と固定炭素貯蔵量のモデル
（出典：藤森ら(1998)の資料）