

2022/12/01 森林部門技術士会 オンライン講演会

建築物に木材を利用する意義 ～木材利用による温暖化防止効果と 室内環境・人に対する影響～

東京大学大学院 農学生命科学研究科
恒次 祐子

1

建築物の木造化・内装木質化

建築物の木造化

= 建築物の構造に木材・木質材料を使用する

建築物の内装木質化

= 建築物の内装に木材・木質材料を使用する

→ 構造は木造，非木造のどちらもある

3

目次

1. 建築物の木造化，木質化
2. 建築物に木材を使うメリット
3. 木材利用による温暖化防止効果
～ 3つの効果とパリ協定～
4. 内装木質化による
室内環境・人への影響
5. おわりに

2

建築物への木材利用促進の背景

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)

→ 建築物への木材利用が住宅から**非住宅**へ拡大
中大規模木造建築の建設に向けた技術開発が加速



脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における
木材の利用の促進に関する法律

(2021年)

→ 対象が公共建築物から民間建築物を含む建築物一般へ

ウッド・チェンジ・ネットワーク (2019年～)

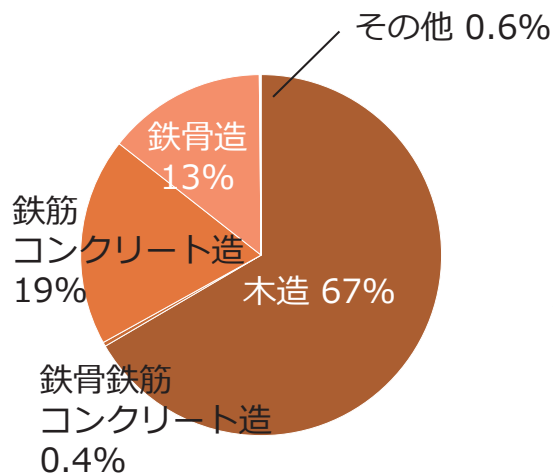
民間建築物等における木材利用促進に
向けた協議会



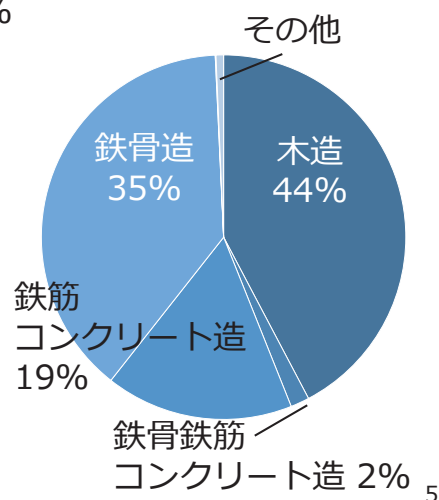
4

構造別床面積の割合

着工住宅 (R2)



着工建築 (R2)



建物に木材を使うメリット

- 地球環境保全（カーボンニュートラル、SDGs等への貢献）
- 企業イメージ向上，投資・株主への対応，認証・補助金

（特に内装木質化について）

- 建物内環境への影響，人の心身への影響
- 取り組みやすい
（部分的な内装木質化、改修など）



木造化・木質化の対象

現在行政や研究分野で推進の対象となっているのは
非住宅部門

- オフィス，行政施設（市役所など）
- 子供・教育関連施設（保育園，幼稚園，学校，塾，プレイルーム）
- 医療・福祉関連施設（病院，高齢者施設）
- 飲食店，ホテル，店舗，駅，空港

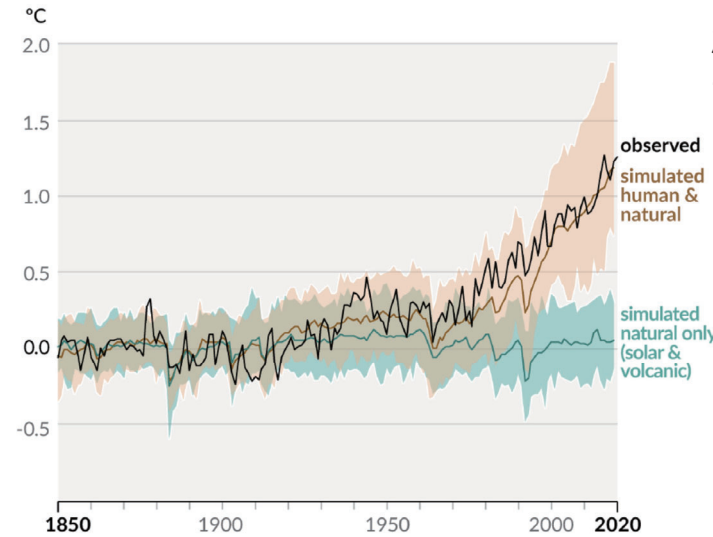
建物に木材を使う際の留意点

- ▲ 防火・耐火への配慮
- ▲ 空気質（VOC）に関する配慮
- ▲ 衛生面，メンテナンス，耐久性への配慮



木材利用による温暖化防止効果 ～3つの効果とパリ協定～

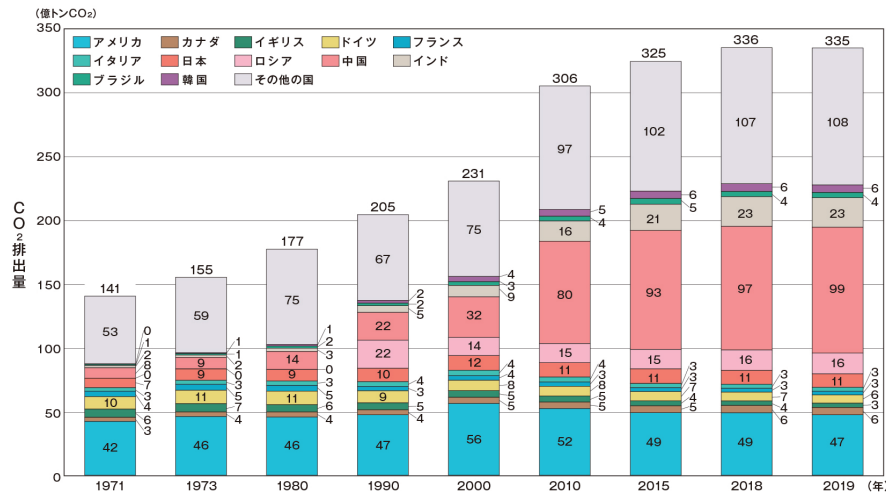
世界の平均気温の変化



産業革命以前と比べて
2011-2020年平均で
1.09度上昇

観測値ならびに
人為・自然起源両方
の要因を考慮した
推定値および自然
起源の要因のみを
考慮した推定値
(1850～2020年)
(IPCC, AR6 WG1)

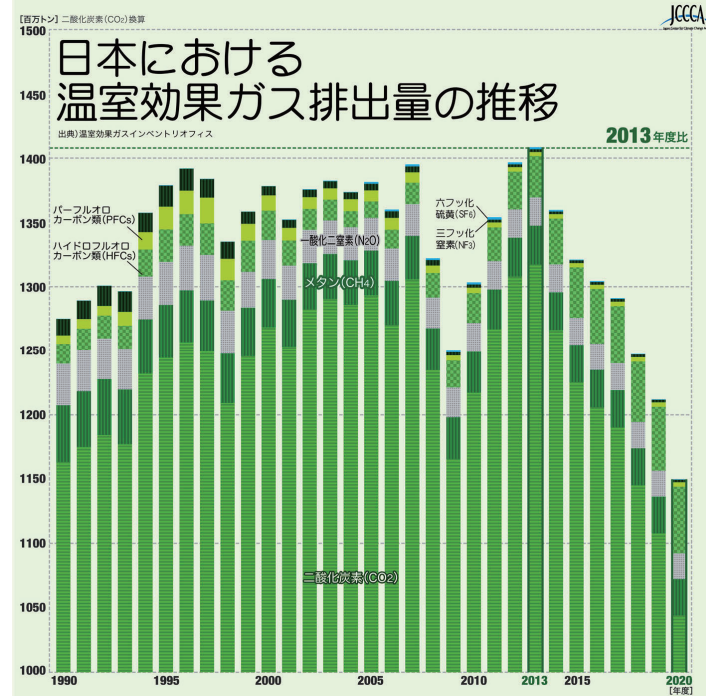
世界のCO₂排出量の推移



(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある
ロシアについては1990年以降の排出量を記載。1990年以前については、その他の国として集計

出典：日本エネルギー経済研究所「エネルギー・経済統計要覧2022」原子力・エネルギー図面集
(<https://www.ene100.jp/>)

日本における 温室効果ガス排出量の推移



温室効果ガス
インベントリオフィス
全国地球温暖化防止
活動推進センター
ウェブサイト
<https://www.jccca.org/>
より

気候変動に対する取り組み

国連 気候変動枠組条約
(UNFCCC)
1992～現在, 198か国・機関

京都議定書

第一約束期間：2008～2012
第二約束期間：2013～2020

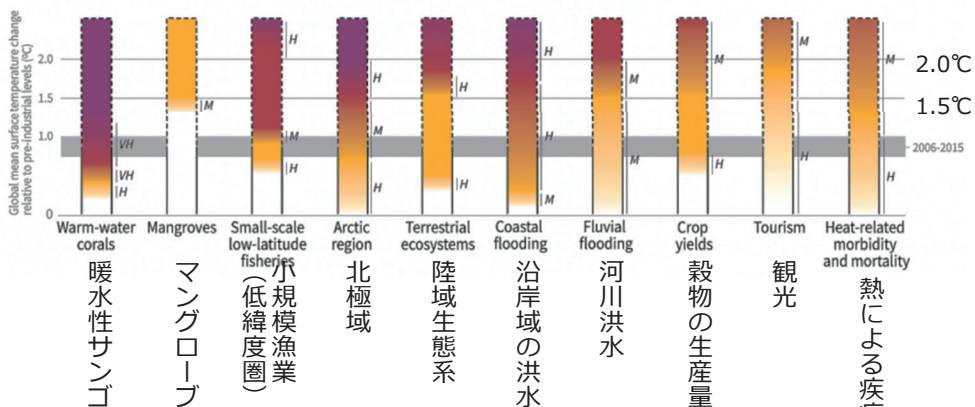


パリ協定

2020年以降の枠組
196か国

各システムへの影響・リスクの例

Impacts and risks for selected natural, managed and human systems



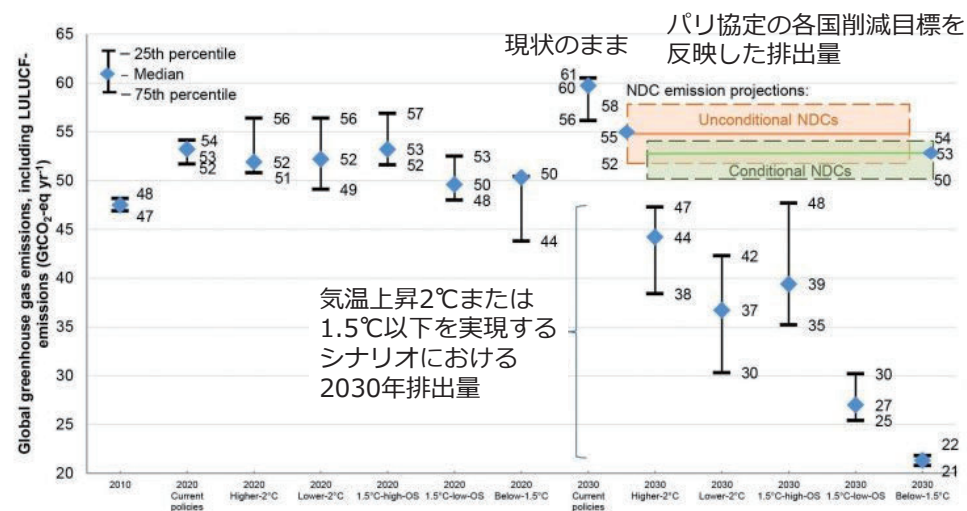
濃い色ほどリスクが高いことを示す。
確信度 VH:非常に高い, H:高い, M:中庸

IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C

パリ協定

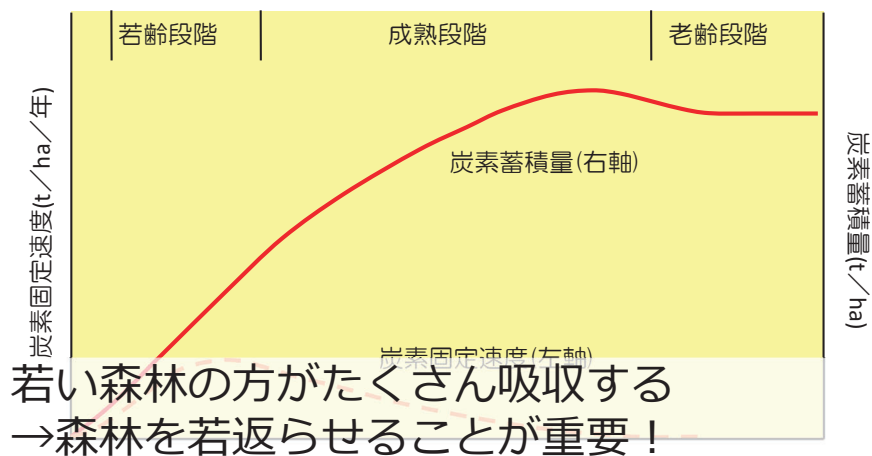
- 世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて2°Cより十分低く保ち、1.5°Cに抑える努力をする
⇨京都：温室効果ガスの排出量を2008年～2012年に1990年比で少なくとも5%削減
- 途上国を含む全ての参加国に排出削減の努力を求める
- 各国の削減・抑制目標は自主的に策定される
⇨京都：先進国の排出削減目標を設定

パリ協定による排出量への影響



IPCC, 2018: Ch.4 In: Global Warming of 1.5°C

森林の吸収量は頭打ち



藤森隆郎「二酸化炭素問題の現状と森林への期待」森林科学No.33より

17

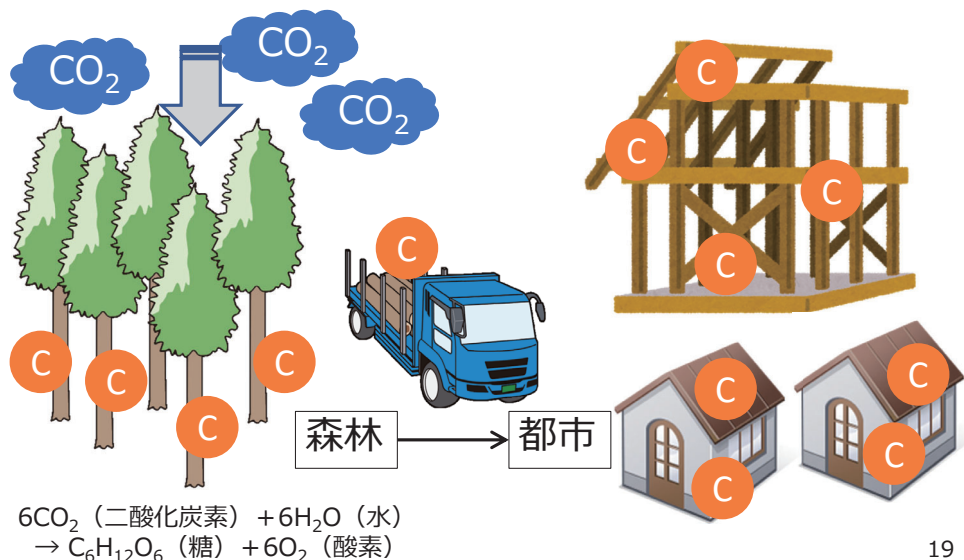
木材利用による温暖化防止効果

1. 森林吸収を復活させる効果
2. 炭素貯蔵効果
樹木が吸収したCO₂を炭素として貯蔵
3. 省エネルギー（材料代替）効果
資材製造時の加工エネルギーが少ない
4. 化石燃料代替効果
バイオマスエネルギーとして化石燃料を削減



18

木材による炭素貯蔵効果



19

木材：全乾重量の半分が炭素

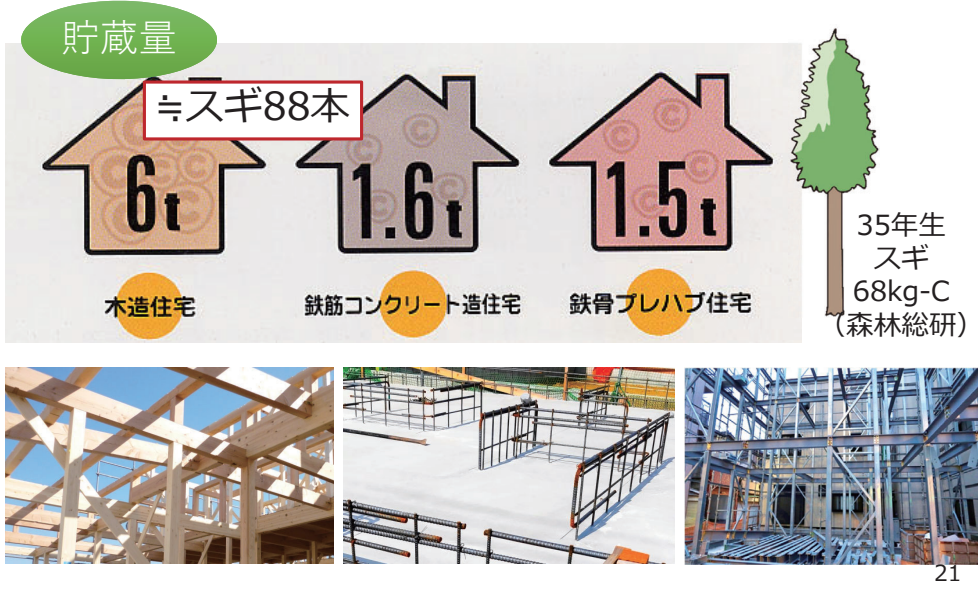
木材の化学組成（辺材）（単位：％）

| | カラマツ | マツ | スプルース | ナラ | カバ |
|----|------|------|-------|------|------|
| 炭素 | 49.6 | 50.2 | 50.0 | 49.2 | 48.9 |
| 水素 | 5.8 | 6.1 | 6.0 | 5.8 | 5.9 |
| 窒素 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.2 |
| 酸素 | 44.2 | 43.4 | 43.5 | 44.2 | 44.5 |
| 灰分 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 |

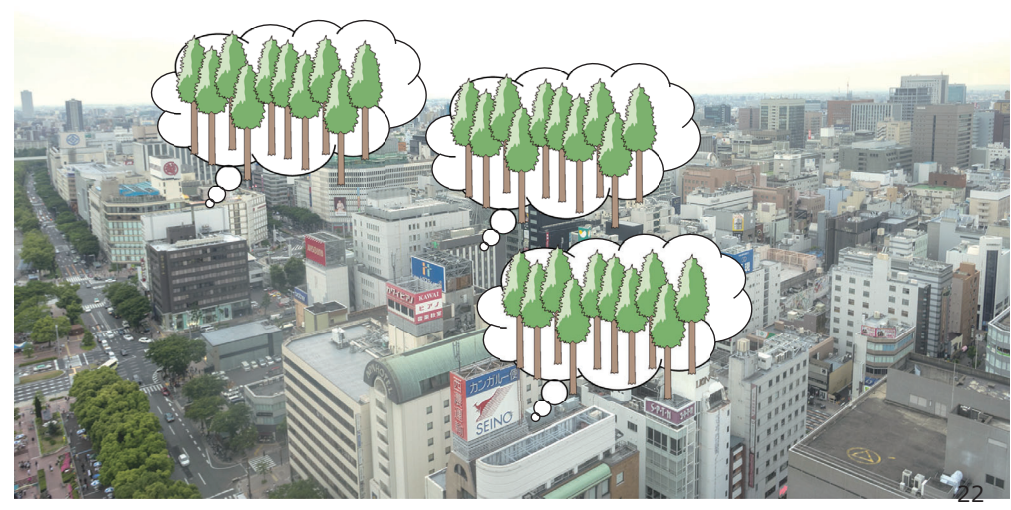
Browning BL eds, The Chemistry of Wood (1963)より作成

20

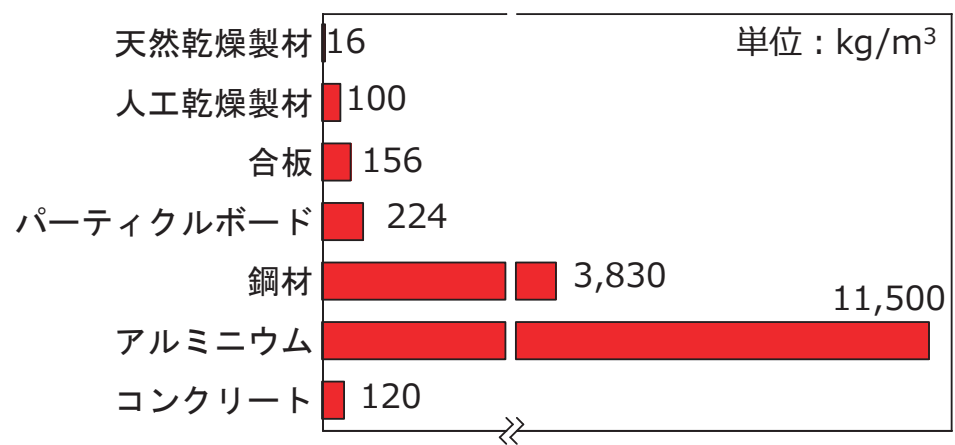
建物の炭素貯蔵量



木造建築物は都市の森林

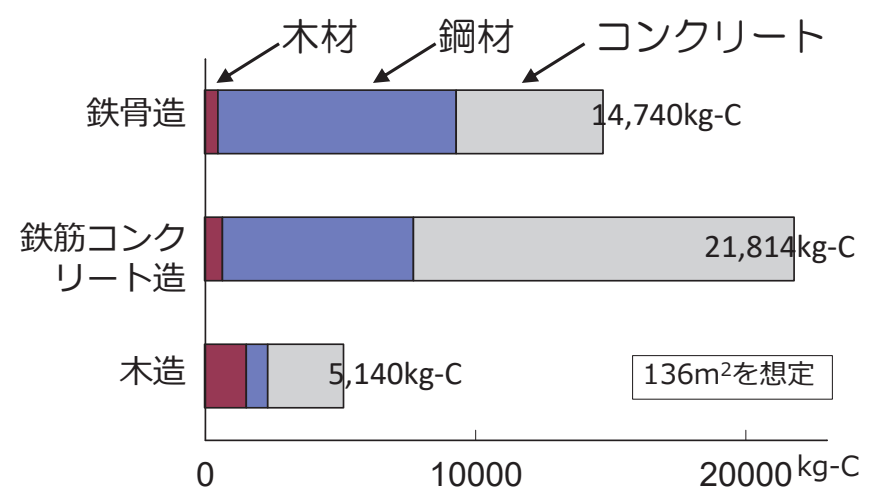


各種材料製造時の炭素排出量



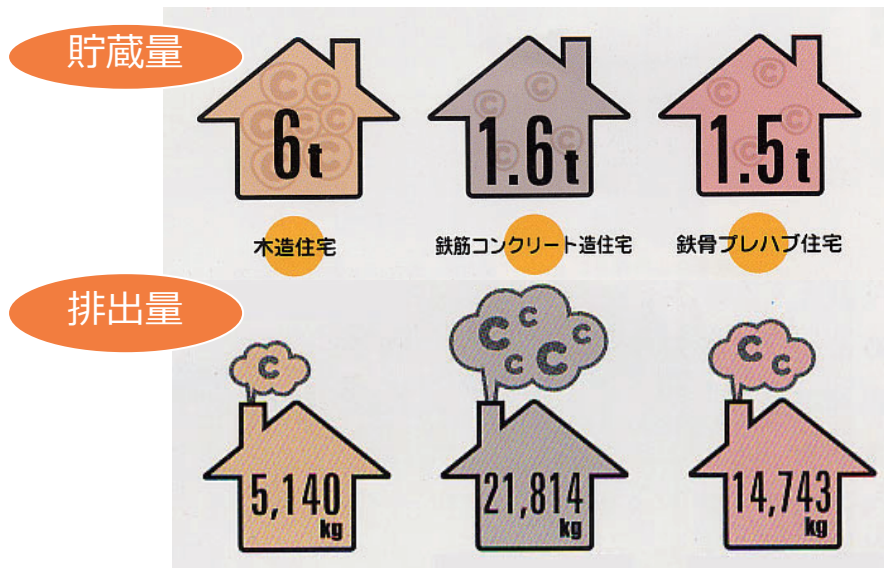
岡崎, 大熊: 木材工業 53(4)より作成

住宅1棟分の材料を製造すると……



岡崎, 大熊: 木材工業 53(4)

住宅の炭素貯蔵量と排出量



25

木質燃料で化石燃料を削減

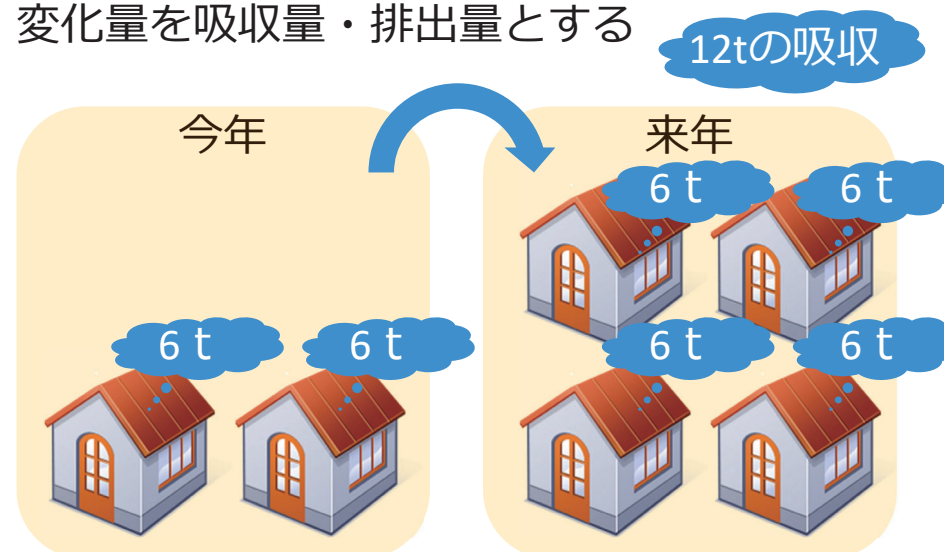


カーボンニュートラル
という考え方

26

木材炭素 計上の考え方

変化量を吸収量・排出量とする



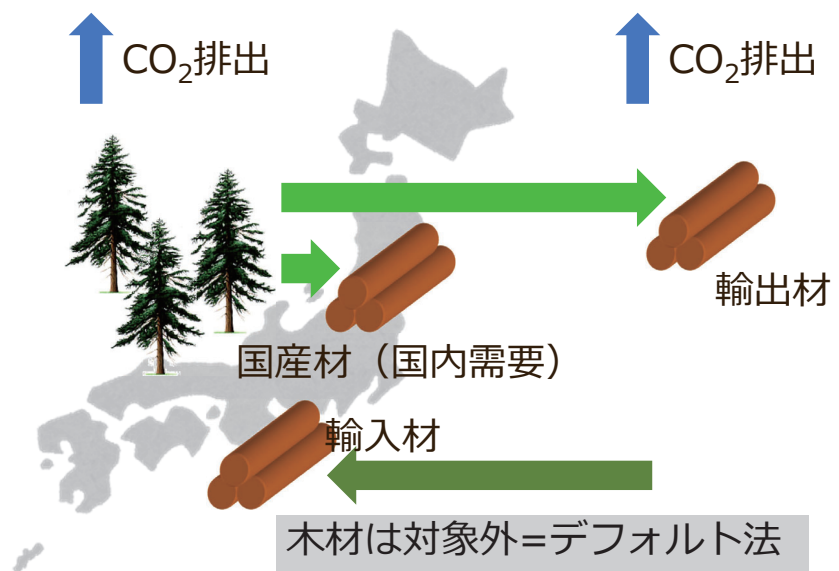
28

パリ協定における木材製品の扱い

気候変動枠組条約では木材製品を「伐採材製品 (Harvested Wood Products; HWP)」と呼ぶので、ここでもそれに倣います

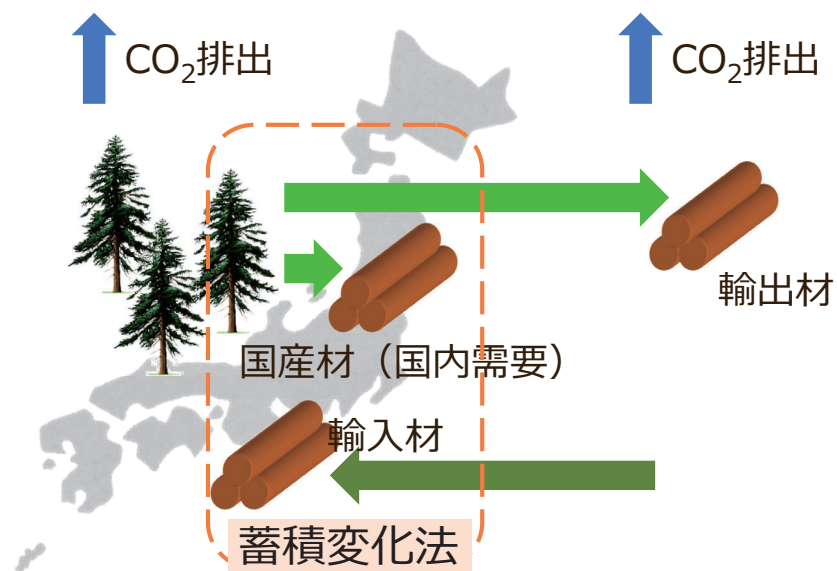
27

各評価手法の違い



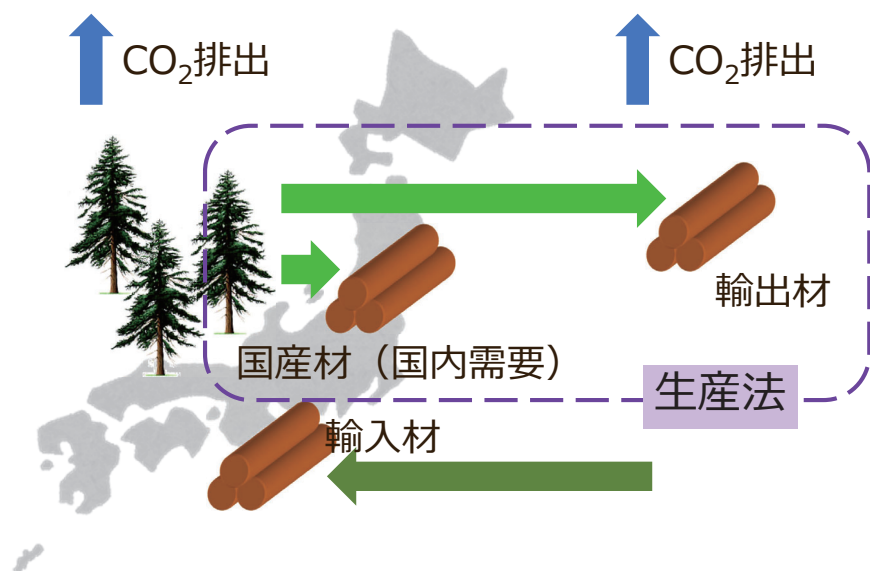
29

各評価手法の違い



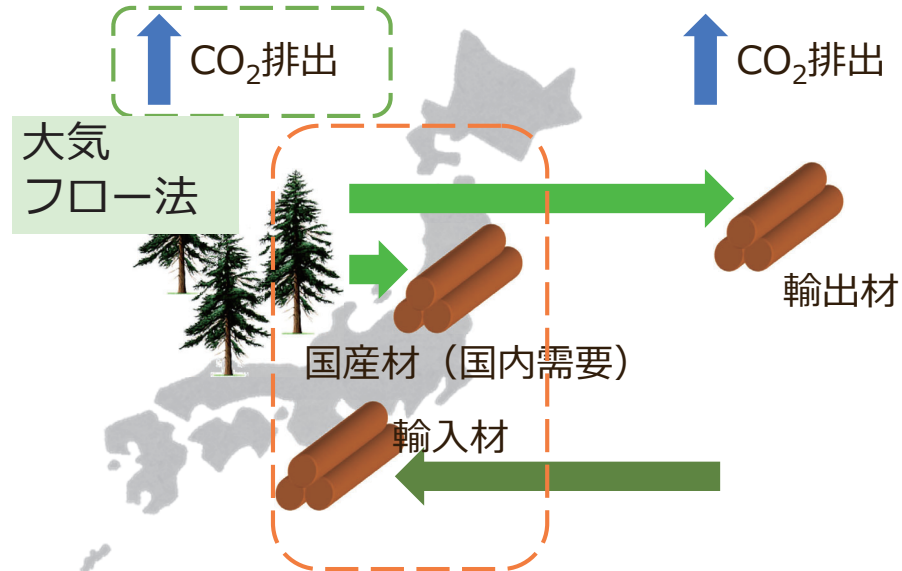
30

各評価手法の違い



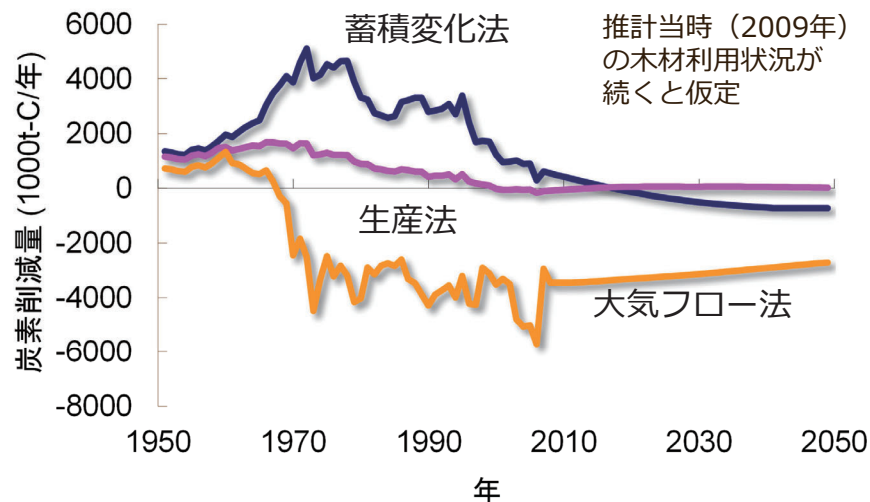
31

各評価手法の違い



32

炭素貯蔵効果：評価手法による違い



Tsunetsugu Y, Tonosaki M, Journal of Wood Science, 2010

33

HWPに関するルール

1. HWPとは**製材 (sawn wood)** , **木質パネル (wood panels)** , **紙 (paper)** の3種である。
 ➡ これら3製品のうち、生産法では国産材由来分の蓄積量が増えたら吸収、減ったら排出
2. 紙は半減期5年、木質パネルは半減期25年、製材は半減期35年として一次減衰関数を用いて計算する
 ➡ 製品の計算上の寿命が定められている

35

HWPの扱いの変遷

| 制度 | HWPアプローチ |
|-------------|----------|
| 京都議定書第1約束期間 | デフォルト法 |
| 〃 第2約束期間 | 生産法 |
| パリ協定 | いずれも可* |

条約報告において生産法を併記することになっている

34

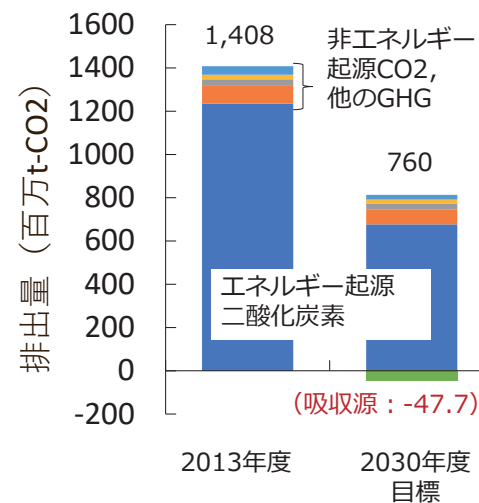
HWPに関するルール（つづき）

3. 以下のものは即時排出とみなす
 - 森林減少に由来するHWP
 - 埋め立て地に入ったHWP
 - エネルギー利用のために伐採した木材

36

HWPはどのぐらいの貢献量となるか？

日本の排出削減目標（パリ協定）



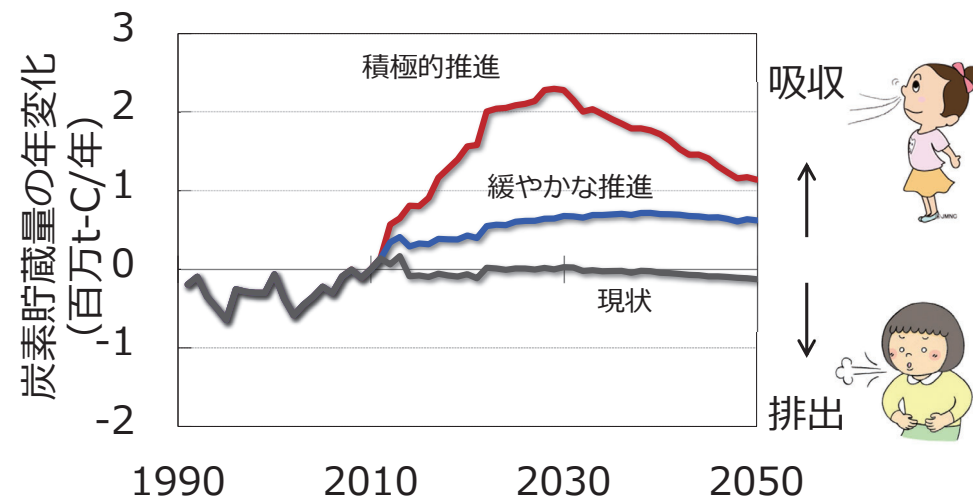
“2050年カーボンニュートラルと整合的で、野心的な目標として、我が国は、2030年度において、温室効果ガスを2013年度から46%削減することを目指す。さらに、50%の高みに向け、挑戦を続けていく。”

※二国間クレジット制度によるクレジットを適切にカウント

3つのシナリオ

| シナリオ | 建築・家具 | 土木 |
|--------|--------------------|--------------------------------|
| 現状 | 現状の木造・木製率（35%）のまま | 現状のまま（100万m ³ /年） |
| 緩やかな推進 | 2050年までに木造・木製率50%へ | 2050年までに300万m ³ /年へ |
| 積極的な推進 | 2050年までに木造・木製率70%へ | 2050年までに600万m ³ /年へ |

炭素貯蔵効果の予測（国産材）



代替効果の評価方法

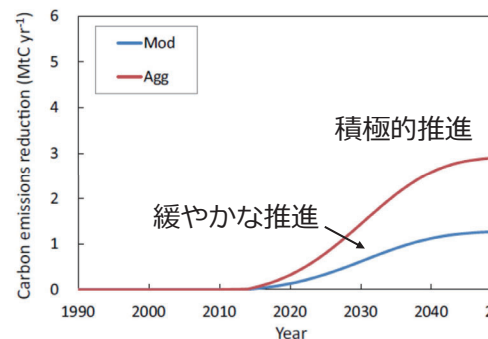
表 材料代替・燃料代替による化石燃料消費由来の炭素排出削減量原単位

| 材料代替・燃料代替 | 単位 | 数値 | データソース |
|--|---------------------|-------|--|
| 材料代替（建築）：非木造（鉄骨造・コンクリート造等）から木造へ代替 | kg-C/m ² | 60.6 | Japan Environmental Management Association for Industry (2014) |
| 材料代替（土木）：非木杭（砂杭・セメント杭）から木杭へ代替 | kg-C/m ³ | 46.8 | Kayo <i>et al.</i> (2011) |
| 材料代替（土木）：金属製ガードレールから木製ガードレールへ代替 | kg-C/m ³ | 64.5 | Noda <i>et al.</i> (2015) |
| 材料代替（家具）：金属製家具から木製家具へ代替 | kg-C/m ³ | 43.2 | Japan Environmental Management Association for Industry (2014) |
| 燃料代替：重油から木質バイオマス（林地残材・加工残材・使用済み廃木材）へ代替 | kg-C/m ³ | 108.9 | Japan Environmental Management Association for Industry (2014) |

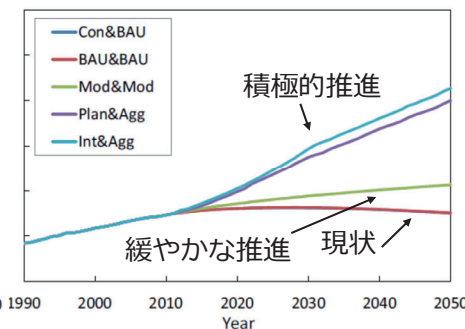
Kayo C, Tsunetsugu Y, Tonosaki M, Carbon Balance and Management, 10(1): 10:24, 2015

代替効果の推計値

材料代替効果



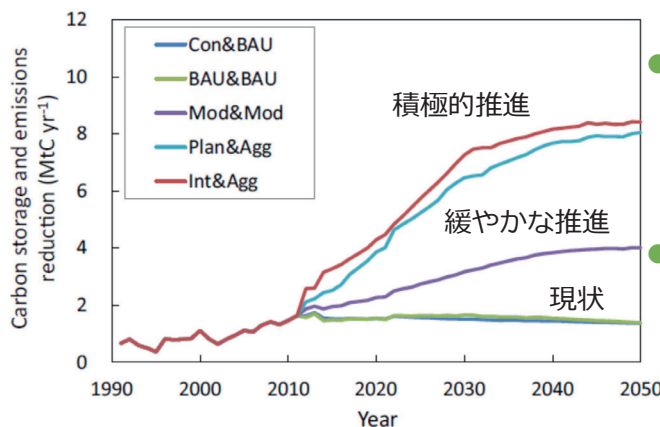
化石燃料代替効果



※左右のグラフの縦軸のスケールは共通

Kayo C, Tsunetsugu Y, Tonosaki M, Carbon Balance and Management, 10(1): 10:24, 2015

木材利用による吸収量の推計値

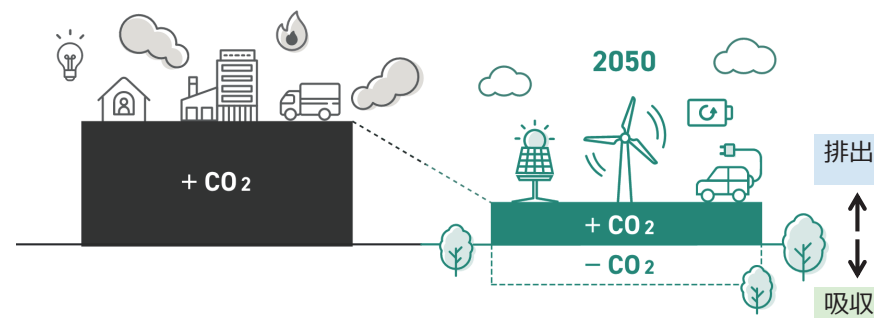


- 炭素蓄積効果は「生産法」に基づく
- 2030年度の吸収源目標値47.7Mt-CO₂に対して炭素貯蔵効果（積極的推進）は約20%
- 排出削減目標（2030年度に2013年度比46%削減）に対して3効果合計（積極的推進）は約4.5%

Kayo C, Tsunetsugu Y, Tonosaki M, Carbon Balance and Management, 10(1): 10:24, 2015

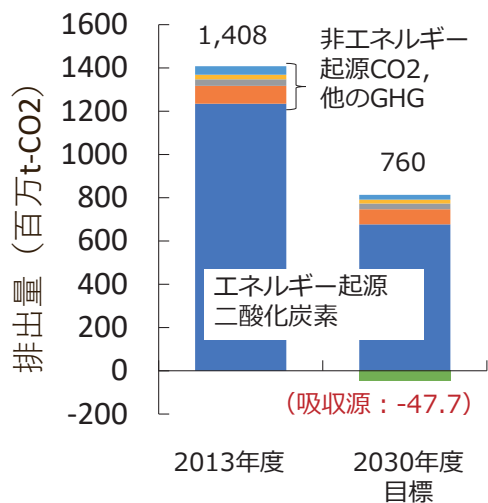
カーボンニュートラル目標

2020年10月、政府は2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、**カーボンニュートラル**を目指すことを宣言



温室効果ガスの「排出量」から、植林、森林管理などによる「吸収量」を差し引いて、合計を実質的にゼロにする

日本の排出削減目標（パリ協定）



“2050年カーボンニュートラルと整合的で、野心的な目標として、我が国は、2030年度において、温室効果ガスを2013年度から46%削減することを目指す。さらに、50%の高みに向け、挑戦を続けていく。”

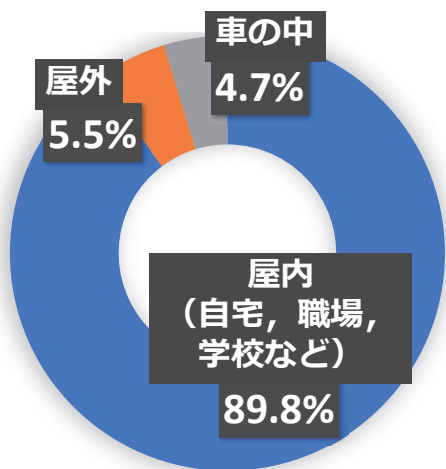
※二国間クレジット制度によるクレジットを適切にカウント

45

内装木質化による室内環境・人への影響

46

何を表しているのでしょうか？



カナダの都市在住者を対象に「過去24時間どこで時間を過ごしたか？」を調査 (17歳以上, N=1747)

1日の多くの時間を建物内で過ごしている

建物内の環境が重要
自然の要素を取り入れる

47

室内環境に与える影響

| 視覚要素 | 聴覚要素 | 嗅覚要素 | 触覚要素 |
|--|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ● 光環境 ● 色や木目 | <ul style="list-style-type: none"> ● 音環境 ● 振動 | <ul style="list-style-type: none"> ● 空気環境 ● 木の香り | <ul style="list-style-type: none"> ● 温湿度環境 ● 木の手触り |
| <p>味覚要素</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 木の樽, 木製食器など ● 他の感覚を通して影響する可能性あり | | | |

48

木材の調湿効果(1)

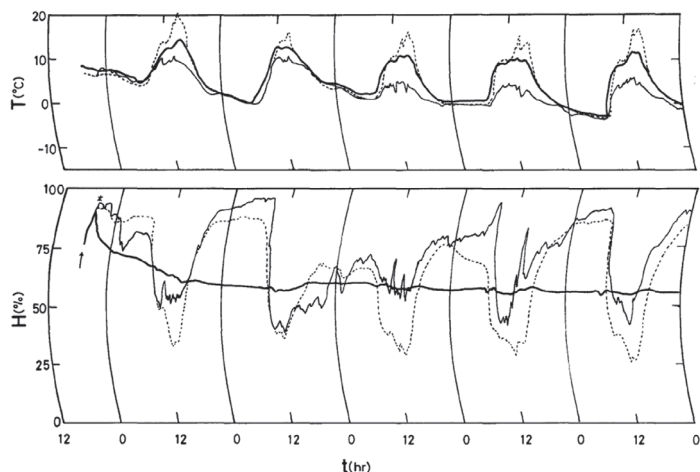
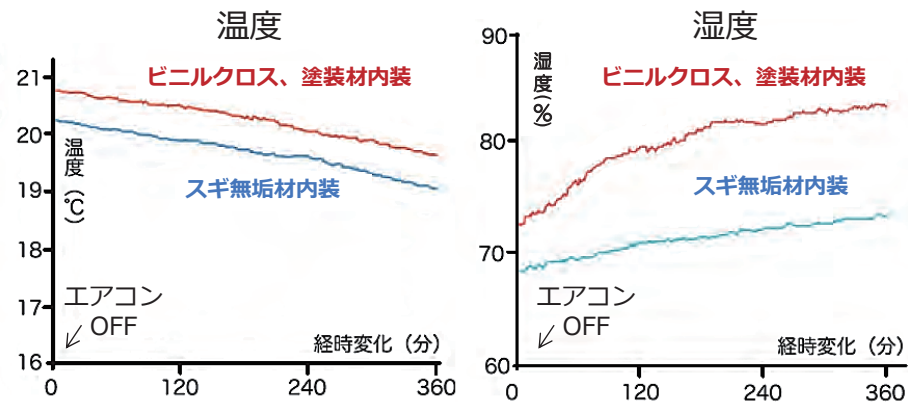


Fig. 7 住宅内気候の経時変化 (1974年1月21日~26日)
太線: 合板内装, 点線: ビニルシート内装, 細線: 百葉箱

則元 京、山田 正、木造モデルハウスにおける室内調湿機能に関する研究
木材研究資料 11: 17-35, 1977 49

木材の調湿効果(2)



5名の大学生被験者がそれぞれの内装の室内で1人ずつ睡眠をとったときの室内温湿度の変化。温度にはほとんど差がないが、湿度に差が見られる。

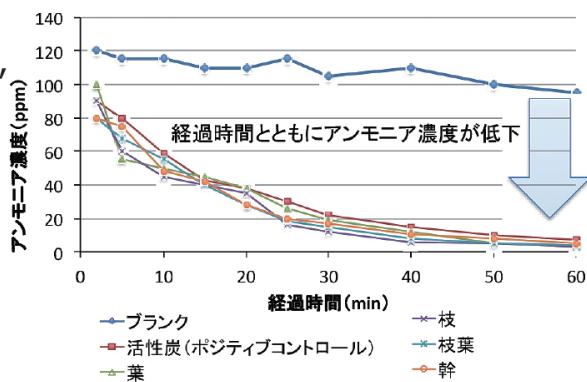
清水 邦義、本傳 晃義、奥田 拓、羽賀 栄理子
スギの無垢材を内装に用いた室内空間における人滞在時の吸湿作用の検証
木材工業、73(5), pp.187-192, 2018

50

木材による空気浄化作用

精油をとった後の枝葉やスギ材チップを乾燥させ、悪臭に曝露したところ、アンモニアの濃度を低下させた

悪臭吸着作用が知られている活性炭と同等の消臭効果が認められた



木材チップ等に曝露した際のアンモニア濃度の変化
Nakagawa T et al., J. Wood Chem. Technol. 2016

51

木材による人への影響

様々な研究事例がありますが、ここでは

- 木材のにおいによる影響
- 学校・オフィスにおける内装木質化の影響に関するデータをご紹介します



52

抽出成分

- 中性の溶媒で木材から抽出される化合物の総称
(梅澤, 木材学会誌, 2005)
- 樹種に固有である。

53

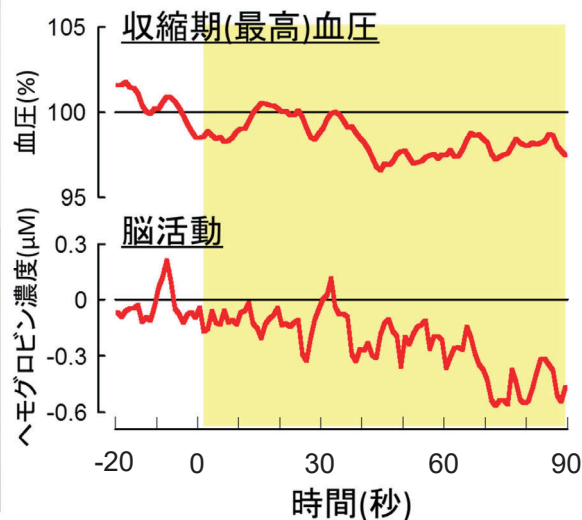
木材の香り：抽出成分が揮発

| 樹種・ 名称 | 主な起源植物、部位 | 主要成分 |
|-----------|---|--|
| スギ | <i>Cryptomeria japonica</i> D. Don, 葉部、木部 | 1(10)-カジネン-4 β -オール, τ -カジノール, セドロール, トレヨール, δ -カジネン, α -ピネン |
| ヒノキ | <i>Chamaecyparis obtusa</i> Sieb et Zucc., 木部 | 1(10)-カジネン-4 β -オール, α -カジノール, δ -カジノール, δ -カジネン, α -ピネン |
| ヒバ | <i>Thujopsis dolabrata</i> Sieb et Zucc. var. <i>hondae</i> | ツヨブセン, セドロール, ウィドロール, ネロリドール, β -ツヤプシリン, α -ピネン |
| モミ | Abies属, 葉 | α -ピネン, リモネン, ボルニルアセテート |

木材工業ハンドブック (第4版) より作成

54

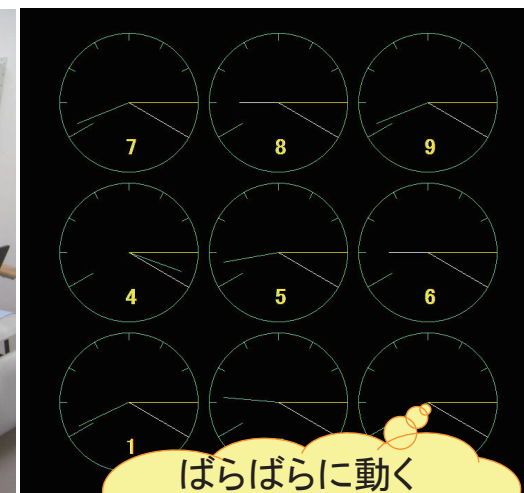
木 (スギ) の香りの影響



N=14, 平均値(恒次他, 木材工業, 2005)

55

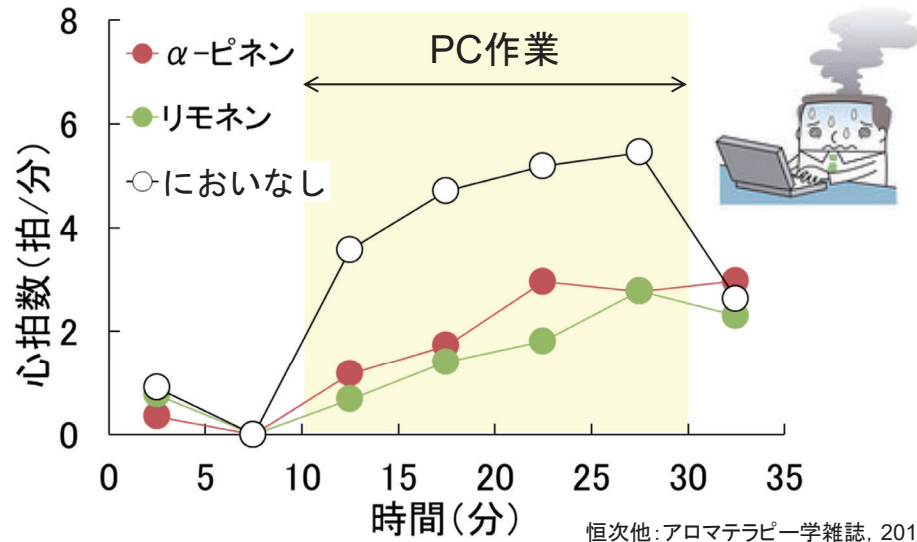
木の香り成分とパソコン作業(1)



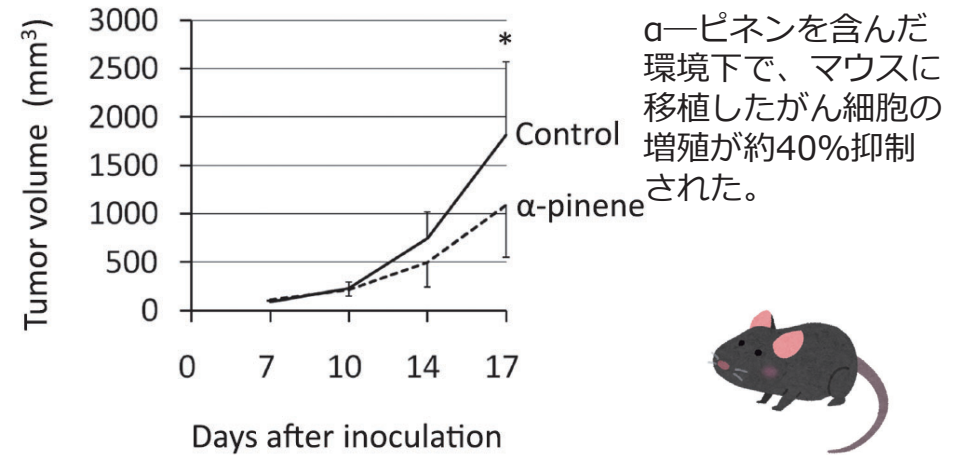
ばらばらに動く
9つのメーターの針を
モニター上で監視する

56

木の香り成分とパソコン作業(2)



木のおいによる悪性腫瘍の抑制



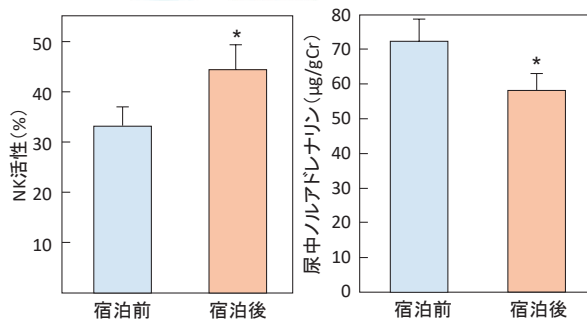
Kusuhara M, et al., Biomed Res. 2012 Feb;33(1):57-61.

58

木材の香りが免疫機能を上昇させる



- 被験者は37~60歳の男性
- 都内のホテルに3泊してもらった
- 3晩ともヒノキ材油の香りをアロマ加湿器で発生



宿泊後には宿泊前と比較して

- NK活性が有意に上昇
- 尿中ノルアドレナリンが有意に減少

NK活性: 免疫系細胞の活性, 大きいほど免疫力が高い
ノルアドレナリン: ストレス時に分泌されるため, ストレスの指標として使われる

出典: Li Q 他, Int J Immunopathol Pharmacol., 22(4):951-9, 2009

59

木材の手触り



60

木材の「あたたかさ」

「あたたかい・つめたい感じ」 (接触温冷感)

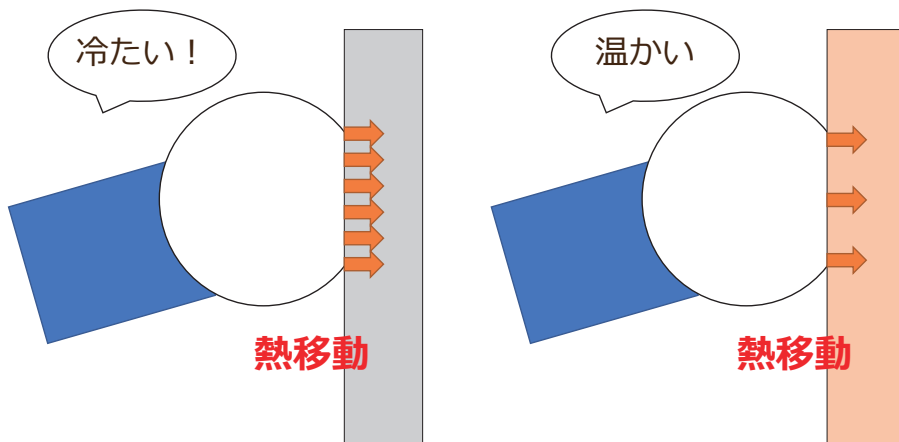


材料の熱の伝わりやすさ (熱伝導率)

材料の温冷感と熱の移動

熱を伝えやすい材料

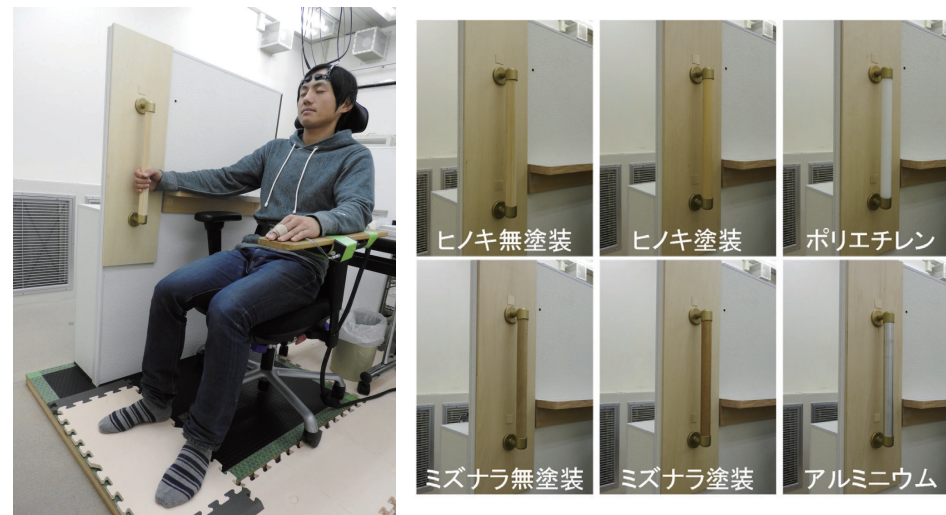
熱を伝えにくい材料



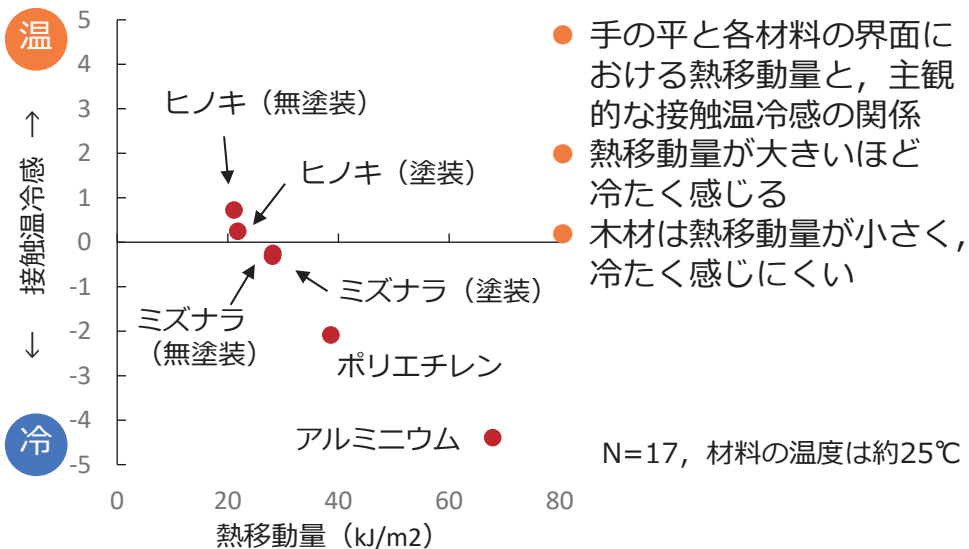
材料の温度が人体より低い場合

| 材料 | 密度 (kg/m ³) | 熱伝導率 (W/m・K) |
|----------------|-------------------------|--------------|
| スギ | 300~450 | 0.09 |
| マツ、ヒノキ、ヒバ、ツガ | 460~600 | 0.13 |
| クリ、ミズナラ、ブナ、ケヤキ | 610~ | 0.16 |
| 鋼材 | 7860 | 45 |
| アルミニウムおよびその合金 | 2700 | 210 |
| コンクリート | 2540 | 0.78 |
| グラスウール保温板 | 24 | 0.039 |
| 空気 | 1.293 | 0.0241 |

木材への接触



熱移動量と接触温冷感

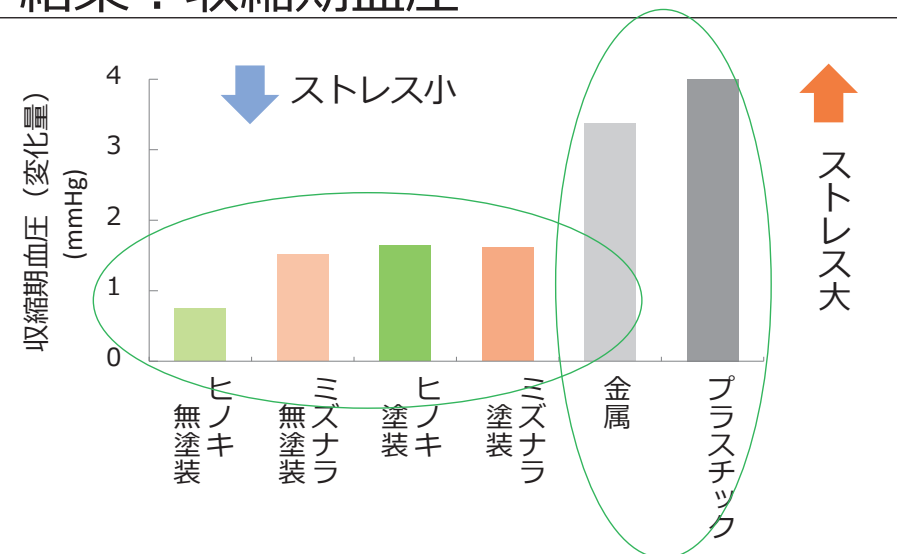


Tsunetsugu Y, Sugiyama M. J Wood Sci 67, 27 (2021)より作成

65

非住宅建築物の内装木質化

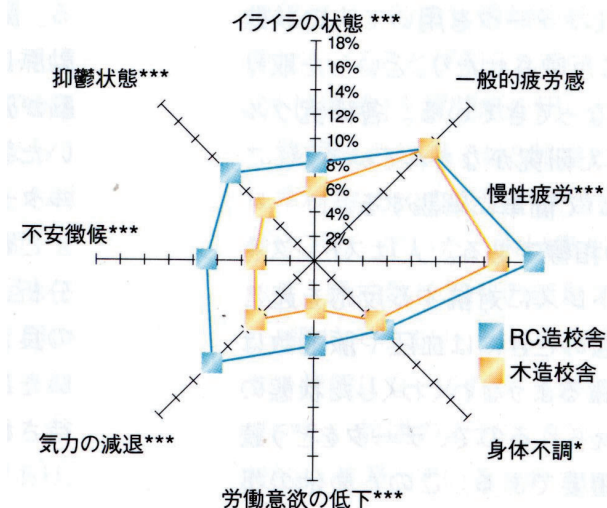
結果：収縮期血圧



恒次, 池井, 杉山, 松原,
第66回日本木材学会大会要旨集, 2016

66

木造校舎：先生の疲労感

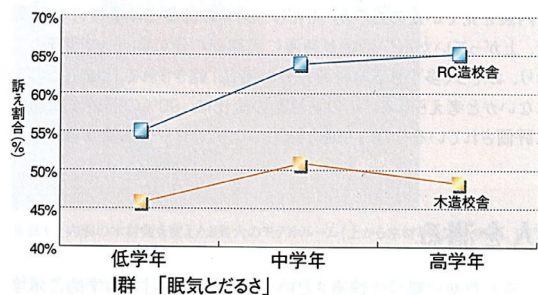
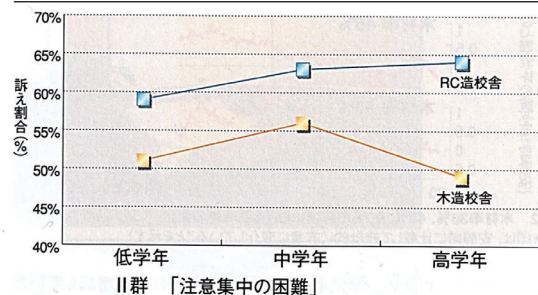


教師の蓄積的疲労
—校舎間比較
(橋田による)

67

68

木造校舎：子供への影響



授業中の疲労感
「注意集中の困難」
「眠気とだるさ」
訴え割合が木造校舎
ではRC造校舎よりも
少ない
(橋田による)

69

今後の研究の方向性

70

「木質内装」に求められるもの

| | 住宅 | 非住宅 |
|----------------|-----------------------|---|
| 対象とする人 | 居住者（家族） | 利用者、就業者、設置者 不特定多数の場合も |
| 行動 | 休息（睡眠） 食事、勉強 など | 学習、仕事、飲食、 治療（療養）など 多種多様 |
| 木材に求められる 機能 | リラックス 落ち着き 愛着など | リラックス、作業効率、 訪問数向上、安らぎ、 愛着など 空間用途×人×行動の数 |

71

内装木質化事例からの「声」

林野庁による「木材利用に取り組む民間企業ネットワークの構築事業」の一環として、建物の新築あるいは改修をお考えの事業者に向けて、内装を木質化したさまざまな用途の建物の実例とともに、内装木質化の効果とそれについて検証されたデータを紹介

<https://www.howtec.or.jp/publics/index/336/>



72

表1 木質化して得られた主な効果

| | |
|-------------|---|
| A 心理面の効果 | ①リラックス・癒し効果 ②心地良さ・落ち着き感を高める効果 ③愛着心・誇りを高める効果 ④モチベーション・積極性を高める効果 |
| B 身体面の効果 | ⑤感覚を刺激する効果 ⑥疲労感を緩和する効果 |
| C 学習面の効果 | ⑦自然を知る・学ぶ効果 |
| D 生産性の効果 | ⑧作業性・業務効率を高める効果 |
| E 経済面の効果 | ⑨来訪者の滞在時間を伸ばす効果 ⑩来訪者を増やす効果 ⑪就労者不足を解消する効果 |
| F 企業価値向上の効果 | ⑫企業のブランドカアップ・理念のピーアール効果 |
| G その他 | ⑬地元材・地域材のピーアール効果 |

令和元年度木材利用に取り組む民間企業ネットワークの構築事業報告書より

木質化して得られた効果（建物用途・関係主体別）

| 建物用途 | 利用者 | 就労者 | 設置者 |
|-----------|-----------------------------|----------------------------------|---|
| 事務所 | | リラックス・癒し 心地よさ・落ち着き感 愛着心・誇り | 作業性・業務効率 ブランドカ・企業PR |
| 店舗 | 客 リラックス・癒し 心地よさ・落ち着き感 | 従業員 心地よさ・落ち着き感 モチベーション・積極性 | 来訪者の滞在時間 来訪者を増やす ブランドカ・企業PR 地元材・地域材のPR |
| 宿泊施設 | 宿泊客 リラックス・癒し | 従業員 愛着心・誇り モチベーション・積極性 | 来訪者を増やす ブランドカ・企業PR |
| 学校 | 児童・生徒 リラックス・癒し | 教職員 自然を知る・学ぶ | |
| 病院 診療所 | 患者 リラックス・癒し 感覚を刺激 | 医療スタッフ 疲労感を緩和 | 来訪者を増やす 就労者不足の解消 |
| 工場 | | 作業技術者 モチベーション・積極性 作業性・業務効率 | ブランドカ・企業PR |

A 心理面
 B 身体面
 C 学習面
D 生産性
 E 経済面
 F 企業価値
G その他

令和元年度木材利用に取り組む民間企業ネットワークの構築事業報告書より 74

内装木質化の効果実証が進行中

民間**非住宅建築物**等における木材利用の促進を図るため、オフィスやホテル等の施設について、内装木質化等の**効果の実証**を行う

- (1) 生産性・経済面への効果
- (2) 心理面・身体面への効果
- (3) 屋内環境に及ぼす効果
- (4) 新たな内装木質部材の効果

令和2年度～4年度に26件の実証事業が採択

→ 民間セクターと各大学、研究機関との連携で研究が進展

令和2年度
内装木質化等促進のための環境整備に向けた取組支援事業

内装木質化等の効果 実証事例集

公益財団法人 日本住宅・木材技術センター

まとめ

- 建物への木材利用には様々な面からメリットがある
- 木材利用による炭素貯蔵効果、排出削減効果により地球環境、脱炭素化に配慮した建物とすることができる
- 建物の内装に木材を活用することにより、室内環境や人への良い影響を期待することができる

ご清聴ありがとうございました