

課題番号：2-1906

体系的番号：JPMEERF20192006

「木質材料における接着剤由来 温室効果ガス排出量の推定およ び削減対策に関する研究」 事後評価ヒアリング

重点課題 主：⑧地球温暖化現象の解明・予測・対策評価
副：⑨3Rを推進する技術・社会システムの構築

行政ニーズ(2-1) 「建築等用途の廃木質材料に含まれる石油成分
由来のCO₂排出削減対策に関する研究」

研究代表機関：京都大学

研究代表者：平井康宏

研究実施期間：2019年度から2022年度

研究分担機関：秋田県立大学

1. 研究背景

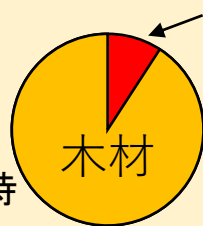
2. 研究目的

背景

木質材料（合板、パーティクルボード等）の原料 = 【木材】 + 【接着剤】

【木材】

- ・カーボンニュートラル
- ・低炭素社会を担う材料として期待



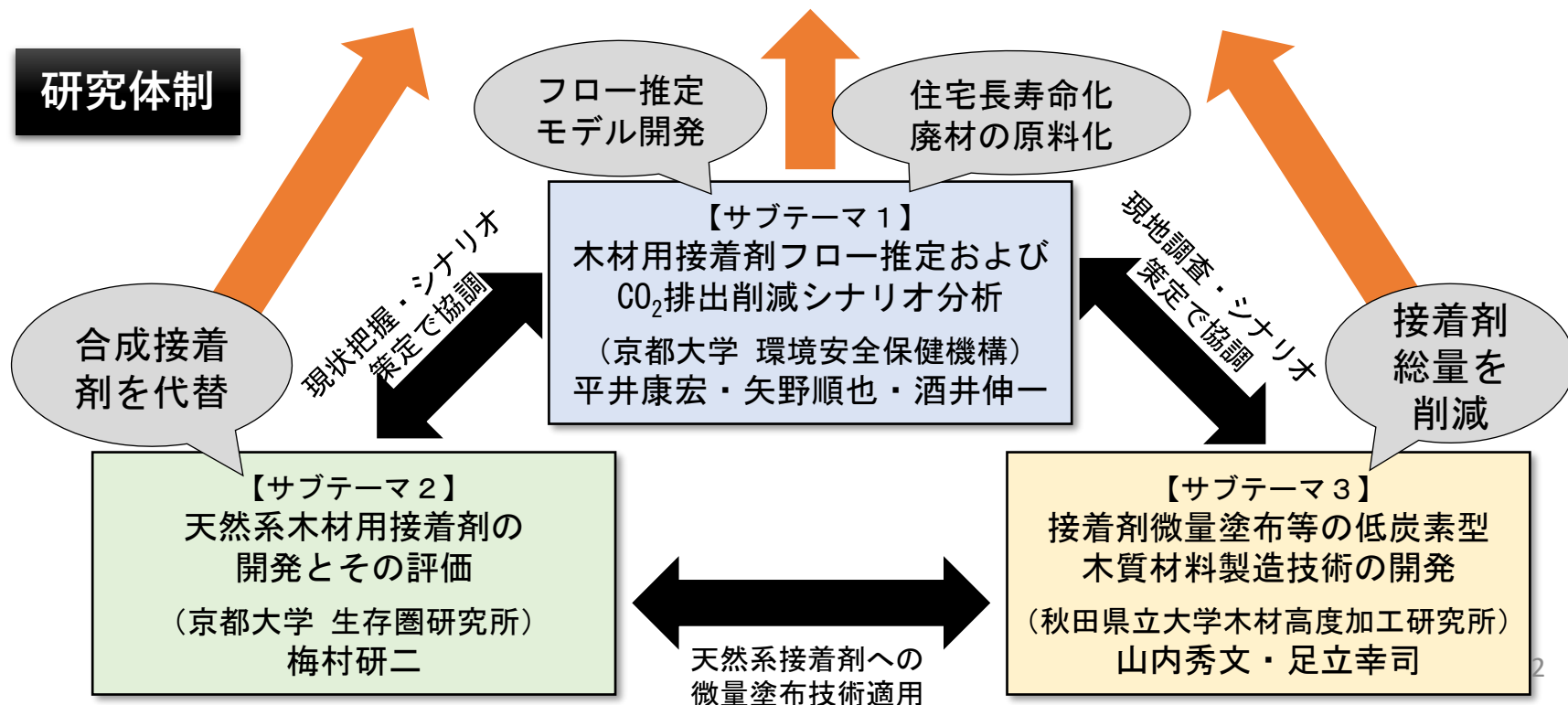
【接着剤】

- ・合成系接着剤が主流。焼却で化石由来CO₂発生
- ・各国の排出インベントリでは排出量を未推定

目的

- ・木質材料における接着剤由来CO₂排出量の推計手法開発
 - ・新規製造される接着剤向けの対策技術開発
 - ・2050年までの対策シナリオ策定・効果推定
- 木質材料におけるさらなる低炭素化・脱炭素化対策の進展に寄与

研究体制



3. 研究目標（全体目標）

1. 木質材料の廃棄・焼却時に発生する接着剤からの化石由来CO₂排出量の推定手法を開発 (サブ1)
2. 天然系接着剤の開発と評価 (サブ2)
3. 接着剤の微量塗布技術の開発と評価 (サブ3)
4. 木質材料の環境性能を向上させ、
低炭素化対策・脱炭素化対策の進展に寄与

4. 研究開発内容

	2019年度	2020年度	2021年度
テーマ全体	現状調査	技術開発 将来予測	対策シナリオ策定 課題の明確化
サブテーマ1 木材用接着剤フロー推定およびCO ₂ 排出削減シナリオ分析	<ul style="list-style-type: none"> ・木質材料・接着剤フロー推定モデルの構築 ・現状の再現推定 ・将来予測 	<ul style="list-style-type: none"> ・モデルの改良 ・既存ストック対策の評価 ・合板LVL工場の原燃料使用量調査 	<ul style="list-style-type: none"> ・サブ2,3の成果を踏まえた対策シナリオ策定・評価 ・全体とりまとめ
サブテーマ2 天然系木材用接着剤の開発とその評価	<ul style="list-style-type: none"> ・天然系木材用接着剤の研究動向調査→サブ1基礎資料 ・既存成果に基づいた原料の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・接着剤の調整と基本特性の把握 ・木質材料への適応性の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・実用化を目指した高性能化・効率化の検討 ・サブ3との連携による実用性評価
サブテーマ3 接着剤微量塗布等の低炭素型木質材料製造技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・接着剤塗布技術の現況調査→サブ1基礎資料 ・微量塗布技術の他の接着剤や木材への適用を追実験 	<ul style="list-style-type: none"> ・引続き微量塗布の追実験、材料・用途の絞り込み ・実用化に向けた塗布装置等の設計 	<ul style="list-style-type: none"> ・プロトタイプ接着装置の試作、性能評価 ・導入に向けた課題抽出

サブテーマごとの状況

- 研究目標
- 成果の概要

サブテーマ1：研究目標

1. 木材用接着剤の動的フロー推定モデル作成

項目	対象
期間・地域	1970年から2050年の日本国内
木質材料区分	製材、集成材、合板、パーティクルボード、繊維板（MDF）
接着剤種類	ユリア、メラミン、フェノール樹脂系、水性高分子イソシアネート系
用途	コンクリ型枠、建築物、床材、家具

- ・ 木質材料別に排出係数を算出
- ・ IPCCインベントリDBへの収載へ

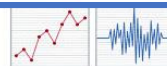
2. 接着剤含有量分析方法の開発



- ・ 合板等90検体の元素分析の実施

接着剤既知濃度試料	30検体
市販木質材料	30検体
木くず試料	30検体
- ・ 元素組成に基づく接着剤量推定式を得る。
- ・ 開発した手法を用い、輸入木質材料中の接着剤含有量を推定。

3. CO₂排出削減シナリオの分析

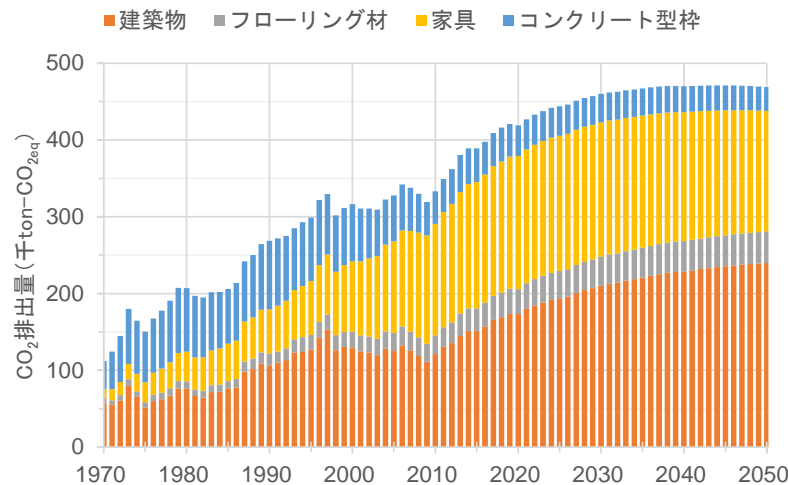
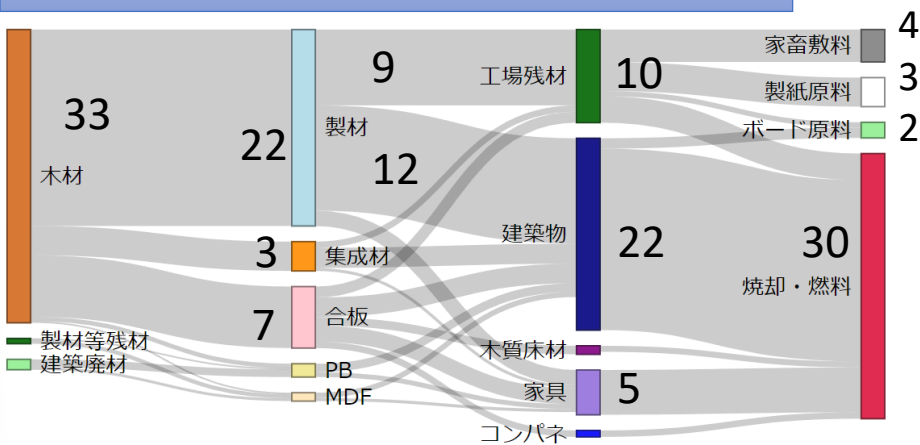


- ・ 住宅長寿命化や原料リサイクル強化、天然系接着剤や微量塗布技術の導入を評価
- ・ 木質材料メーカー、関連分野の専門家、行政担当者の参画を得てシナリオを検討
- ・ 対策の導入に向けた各種施策を提言

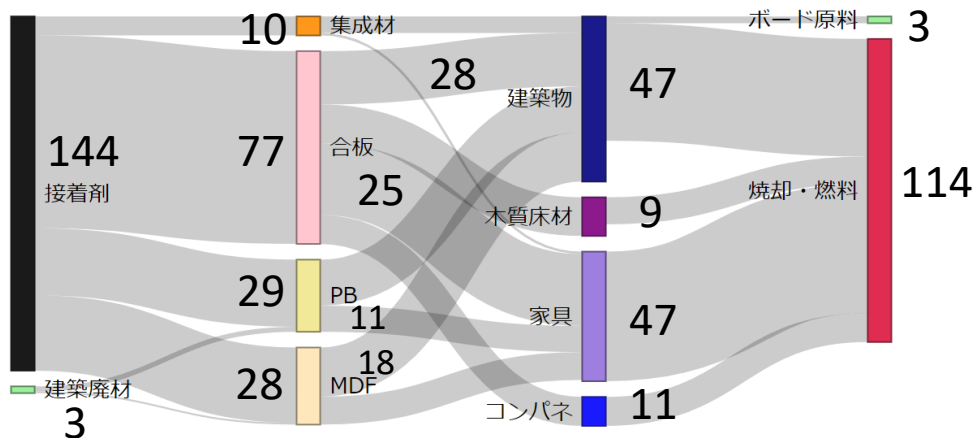
木材用接着剤の動的フロー推定 モデル作成

木材接着剤由来CO₂排出量の推移

2020年の木材フロー (百万m³/年)



2020年の化石由来炭素フロー (千ton-C/年)



- 木質材料別の接着剤量
 - 最も重要なモデルパラメータ
- 対処法
 - 合板工場の実態調査→LCAへ
 - 接着剤含有量分析法の開発

工場アンケートによる 合板・LVLのCO₂排出原単位調査

国内の既往LCA研究

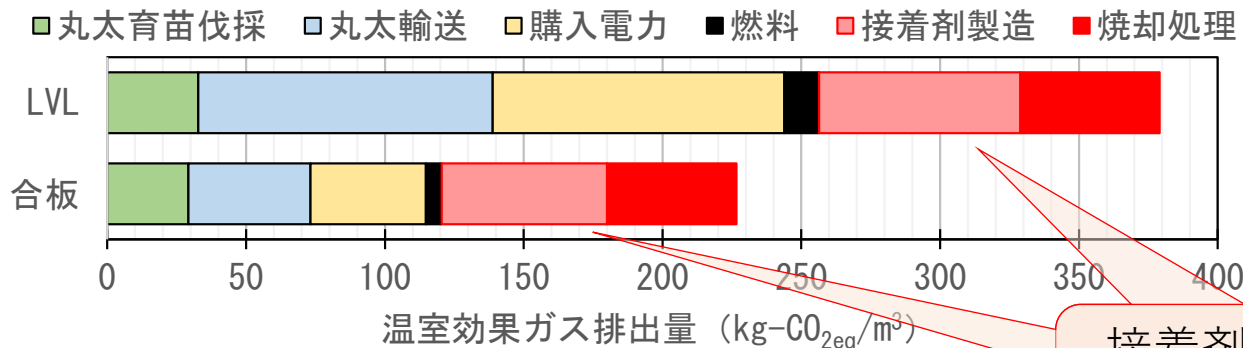
- 1~2社を対象
- 2000年頃の古い統計調査に基づく

本研究

- 合板 7社9工場（国内生産の1/3）
- LVL 4工場（国内生産の8割）
- 2019年度実績を調査

→

- 従来よりも高い代表性
- ライフサイクルの観点からも接着剤対策の有効性を確認



接着剤関係が1/2
~1/3を占める

接着剤含有量分析方法の開発

着想

- **N**：ユリア樹脂・メラミン樹脂
- **Na**：フェノール樹脂 NaOH使用
- **Cl**：海面貯木の塩分補正

開発

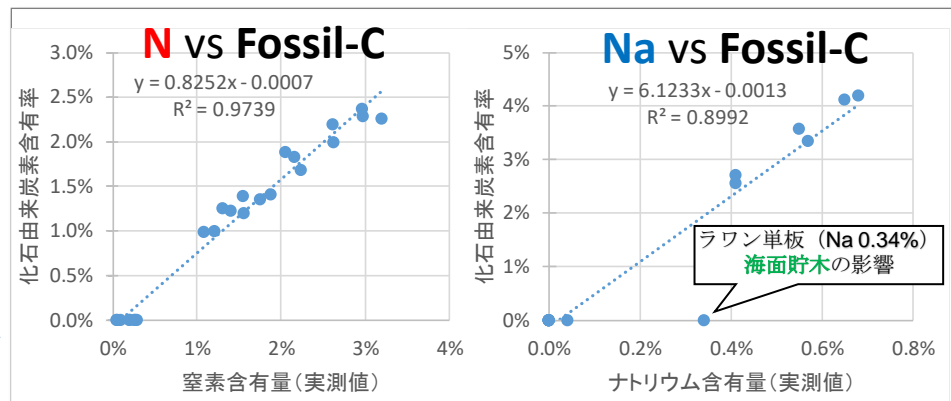
- 濃度既知合板 40検体 を分析
- 化石由来炭素の推定式作成

適用

- 市販木質材料 70検体
- 木くず等 23検体 を分析

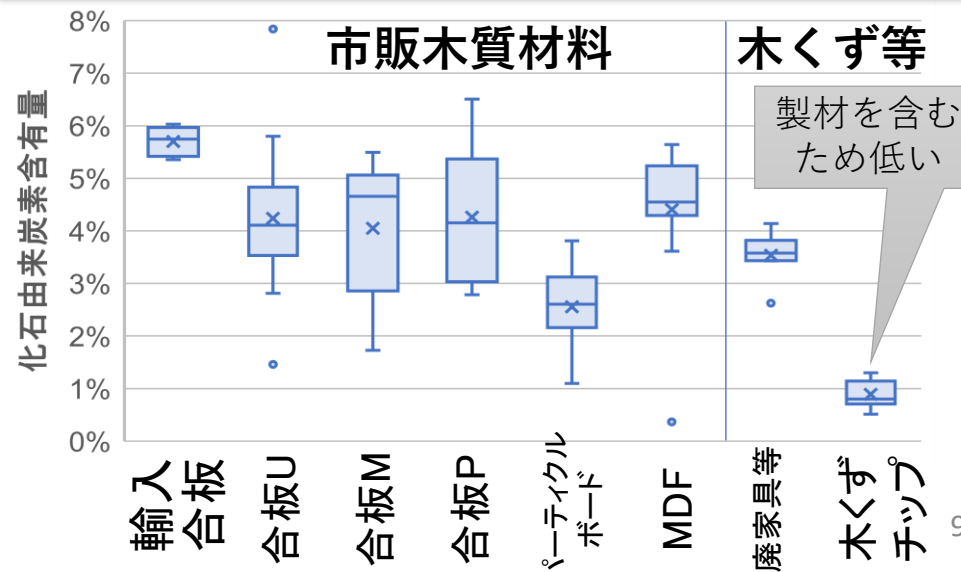
応用

- 接着剤フローモデルの係数
- GHGインベントリ排出係数



推定式

$$FossilC = 0.825 \times N + 6.12 \times \max(Na - 0.649Cl, 0)$$



CO₂排出削減シナリオの分析

2050年における各対策の効果→ 対策導入量の想定↓		木質材料 消費量 万m ³ /年	合成接着 剤消費量 千t-CO _{2eq} /年	化石炭素 蓄積量 千t-CO _{2eq}	GHG 排出量 千t-CO ₂ /年
対策なし時		715	435	16,460	459
■原料リサイクル	PB繊維板原料の解体材比率 70%@2020→100%@2030	±0	±0	+82	▲2
■天然系接着剤	ユリア・メラミン系の代替率 25%@2030→80%@2050	±0	▲171	▲1,530	▲79
■微量塗布技術	合板製造への普及率 50%@2030→90%@2050	±0	▲205	▲2,310	▲104
■建築長寿命化	建築寿命(残存率関数)中央値 55年@2020→75年@2035	▲113	▲86	▲230	▲81
全対策実施	※対策効果の重複のため個別効果の積上げと異なる	▲113	▲318	▲2,710	▲210

対策導入シナリオを設定

- ・サブ2, 3 の成果を反映
- ・AD会合での意見反映

各対策の特性を明らかに

原料リサイクル

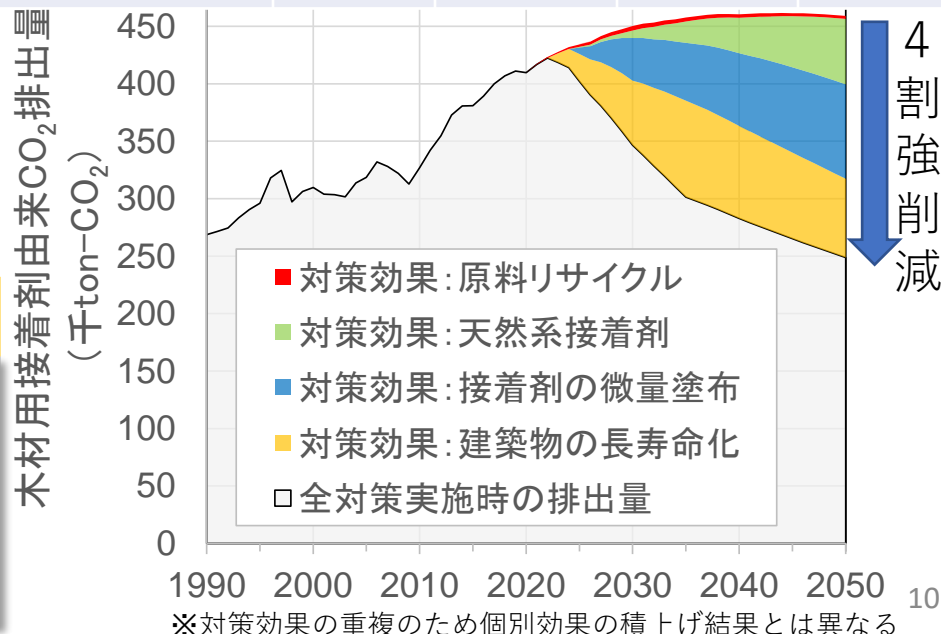
- ・導入余地少
- ・既に原料の7割が建築廃材
- ・新規接着剤の消費量は減らず

天然系・微量塗布

- ・導入効果大
- ・化石由来炭素ストック大幅減
- ・社会実装に向けた開発支援を

建築長寿命化

- ・導入効果大
- ・解体量減少と新規着工減少
- ・接着剤以外への影響見極めを



サブテーマ2：研究目標

1. 天然系接着剤の研究動向調査

- 文献データベースによって研究論文を抽出し、特に過去5年間の詳細な研究動向を調べ、問題点や課題を明らかにする。

2. 新たな天然系接着剤の開発

- 天然物割合： 70%以上
- 調製方法： 混合水溶液 or 若干の熱処理のみ
- 作業性： 噴霧塗布が可能な溶液粘度
- 接着性能： 合板の日本農林規格の1類や、JIS A 5908の18タイプに匹敵する性能

天然系木材用接着剤の研究動向調査

2015～2020年の天然系木材用接着剤の研究論文の内訳

➤ 糖類系接着剤	82報
➤ タンパク系接着剤	166報
➤ リグニン系接着剤	76報
➤ タンニン系接着剤	58報
➤ バイオオイル系接着剤	53報
➤ その他	46報

天然系木材用接着剤の開発手法

- ① フェノール樹脂やポリウレタン樹脂などの合成樹脂接着剤の原料代替
- ② 天然物質の化学修飾（架橋、酸化、グラフト重合、エステル化、熱処理など）
- ③ 樹脂や添加剤（pMDI、架橋剤、無機物など）の利用
- ④ ①～③の組み合わせ

表 1. 糖類系接着剤の原料と開発手法

Raw materials	Starch (oxidized, hydrolyzed, high-amylose contained) Dextrin Chitosan Bacterial polysaccharides (xanthan gum, levan microbial, exopolysaccharide) Soybean polysaccharide Seaweed polysaccharide Cellulose (microcrystalline, dialdehyde, cellulose acetate, nanofibers) Hemicellulose (xylan) Mono- and di- saccharides (glucose, sucrose)
Chimeical treatments	Crosslinking, Oxidation, Graft polymerization, Esterification
Physical treatments	Inorganic and organic fillers, Mixture with synthetic resin and bio-polymer

・接着剤の調整と基本特性の把握

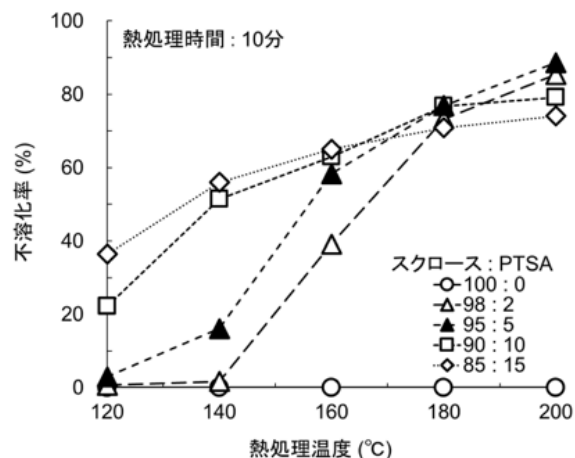


図1. スクロース/PTSA混合比および熱処理温度が熱水不溶化率に及ぼす影響

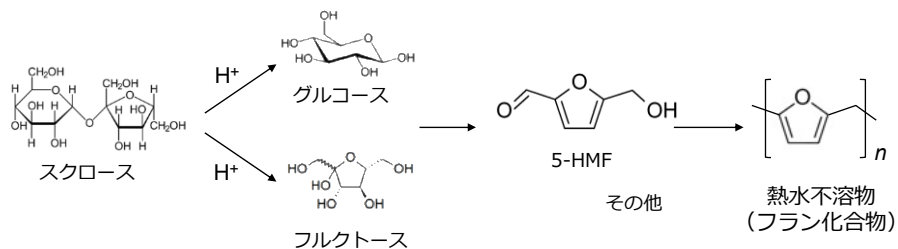


図2. スクロースの硬化メカニズム

接着剤の硬化条件

- ・ スクロース/PTSA混合比：98：2～90：10
- ・ 熱処理温度： 180℃以上
- ・ 熱処理時間： 10分以上

・ 木質材料への適応性の検討

表1. 製造条件の検討

	スクロース：PTSA混合比	接着剤添加率 (wt%)	熱圧温度(°C)	熱圧時間(min)
【熱圧温度の影響】	95:5	20	120	10
			140	
			160	
			180	
【熱圧時間の影響】	95:5	20	180	2
				5
				10
				20
【スクロースとPTSAの混合比の影響】	100:0	20	180	10
	98:2			
	95:5			
	90:10			
	85:15			
【接着剤添加量の影響】	95:5	10	180	10
		15		
		20		
		25		
		30		
		30		

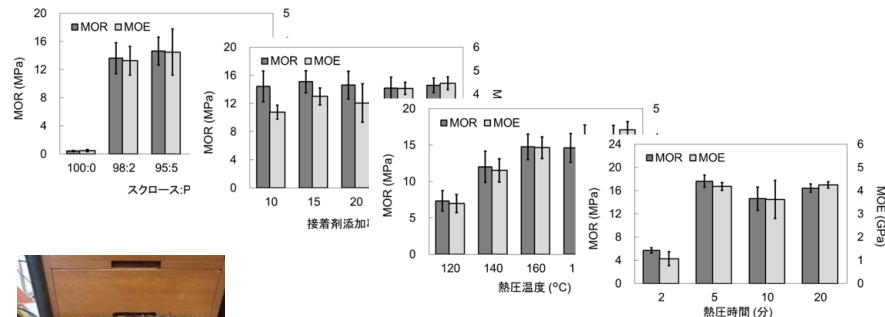


図3. 各ボードの物性評価

曲げ強度：JIS13タイプ程度
 はく離強度：JIS13タイプ程度
 寸法安定性：要改善

- ・ 実用化を目指した高性能化・効率化の検討
- ・ サブ3との連携による実用性評価



糖蜜



NH₄H₂PO₄

★糖蜜（原料糖蜜と精製糖蜜の利用）

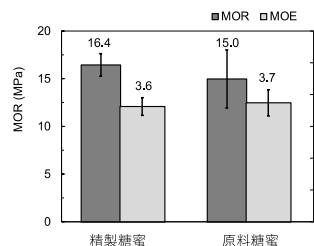


図4. 曲げ性能

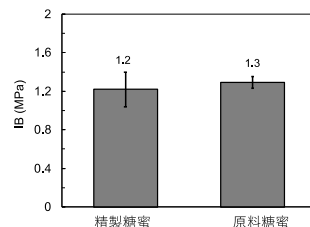


図5. はく離強度

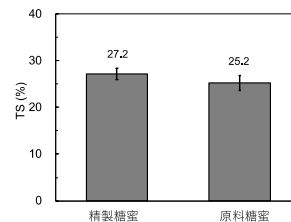


図6. 吸水厚さ膨張率

- 曲げ強度：スクロースと同等
- はく離強さ：スクロースと同等
- 吸水厚さ膨張率：やや劣る

★リン酸二水素アンモニウムの併用

表2. 製造条件の検討

スクロース	PTSA:ADP	接着剤添加率 (wt%)	熱圧温度(°C)	熱圧時間(min)
90	10 : 0	20	180	10
	7.5 : 2.5			
	5 : 5			
	2.5 : 7.5			
90	0 : 10	20	160	7.5
	5 : 5		180	
			200	
			160	
	180			
	200			

- スクロース/PTSA/ADPの最適混合比：90:5:5
- 熱圧条件200°C、10分で曲げ強度、はく離強さ、吸水厚さ膨張率ともJIS18タイプを満たす
- 熱圧条件200°C、7.5分でもJIS18タイプ相当のボード製造が可能（熱圧時間25%短縮に成功）

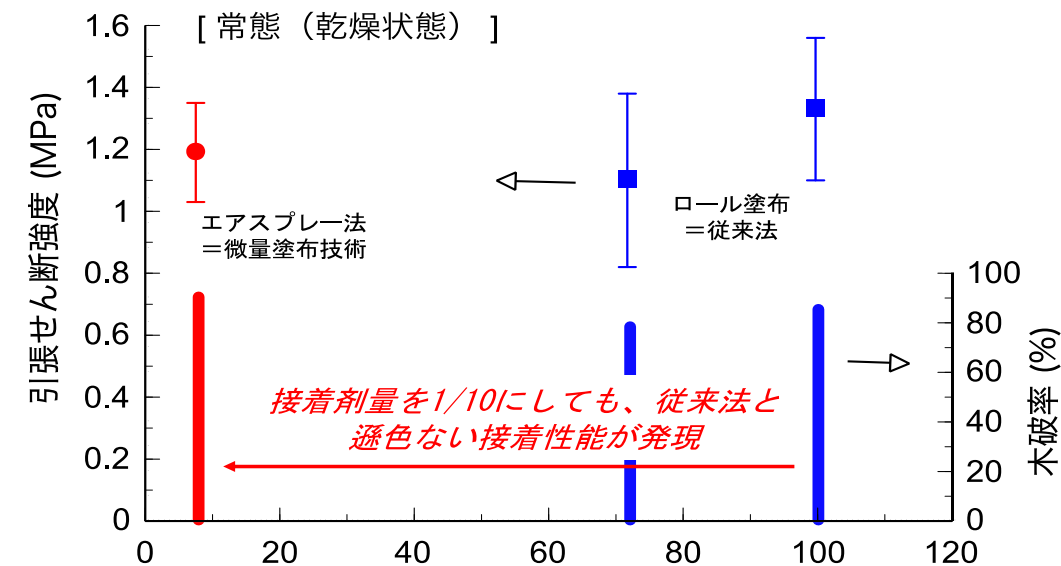
★スギチップを用いたパーティクルボード

- 曲げ強度、はく離強度、吸水厚さ膨張率ともJIS18タイプを満たす。
- pMDI接着剤を用いたボードと比較すると、曲げ強度、はく離強さは劣り、吸水厚さ膨張率は優れた。

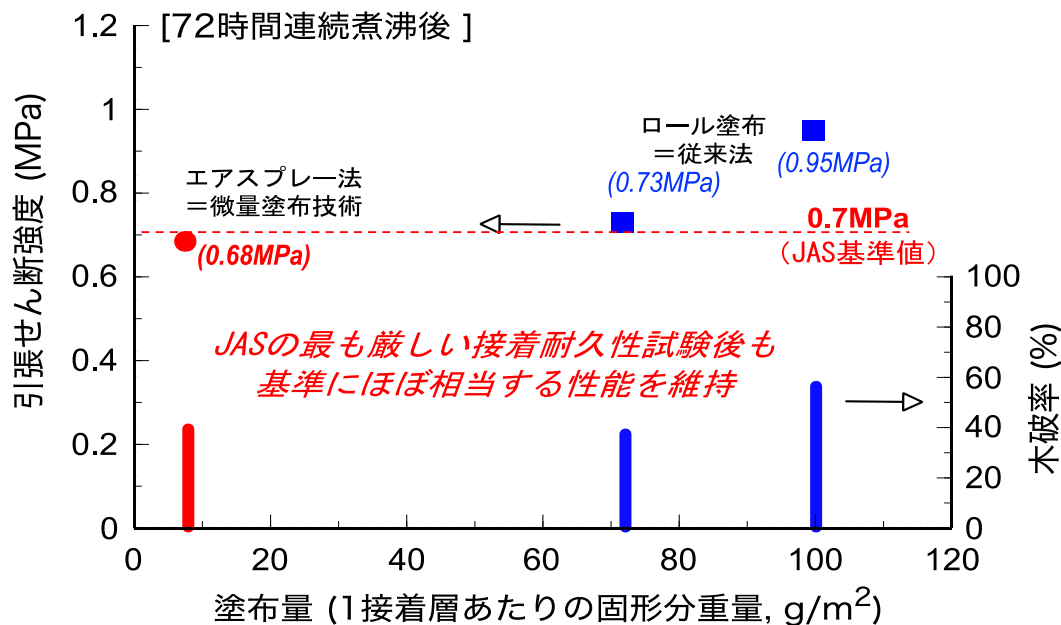
サブテーマ3：研究目標

- 既存木質材料（特に合板）の接着剤使用量を低減することに主眼を置き、以下の技術的検討をする。
 1. 合板等の既存木質材料に微量塗布接着技術を適用した際の材料性能への影響
 2. 実生産への適用可能性のある塗布技術の検討
 3. 接着剤塗布以外の工程への副次的効果の評価
- 最終的に実生産への適用可能性を評価

成果1：合板への微量塗布接着技術適用性を評価

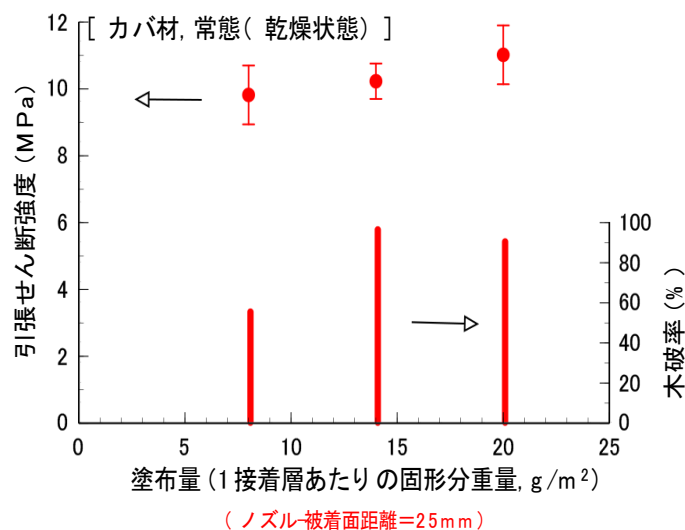


- スギ単板を用いた合板で、接着剤塗布量をメーカーの推奨塗布量の1/10以下まで減じても、常態接着性能に影響は無い



- 接着耐久性に関しても、72時間の連続煮沸試験に耐え、JAS規格上で最も厳しい耐久性基準に相当する性能が得られる

成果2：超音波霧化技術を用いた新しい微量塗布技術を開発

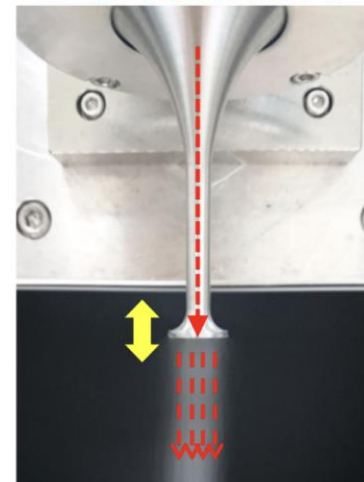
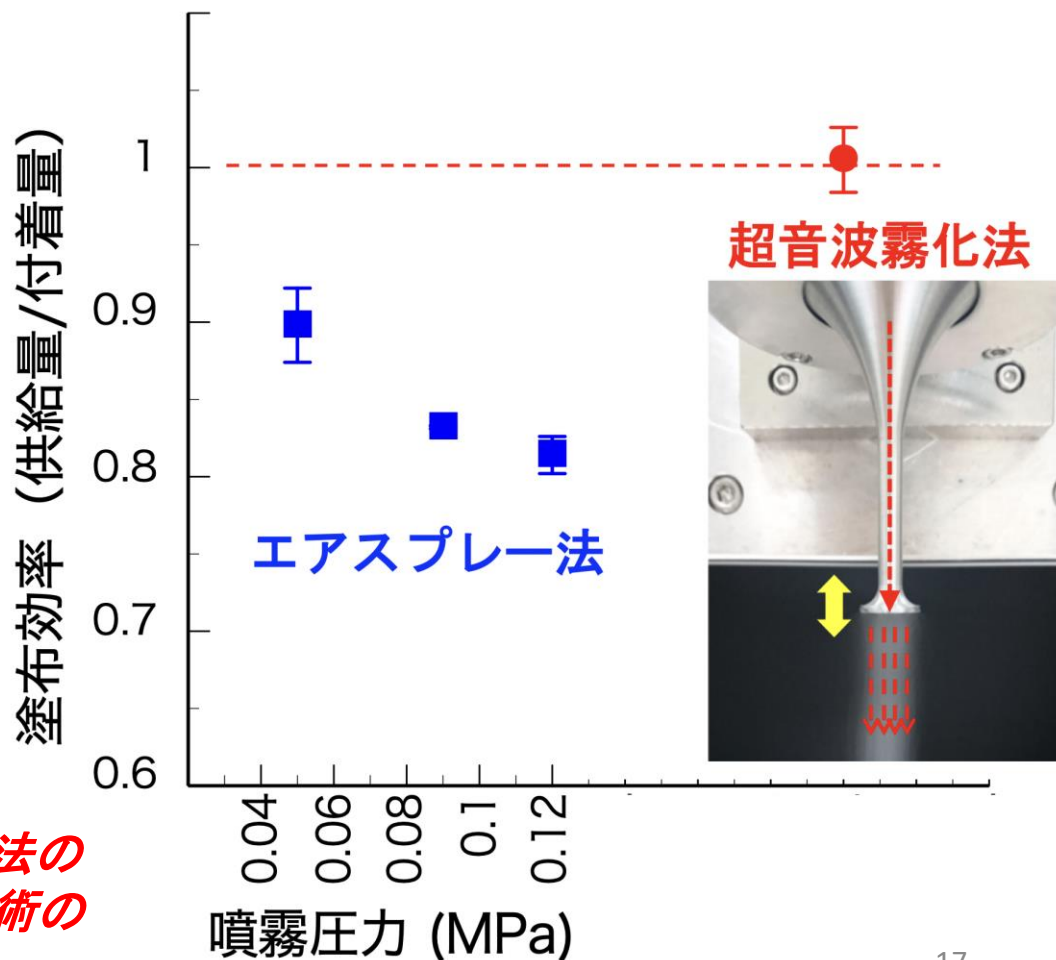


- ・ インクジェット法やエアスプレー法とほぼ同等以上の接着性能が得られた

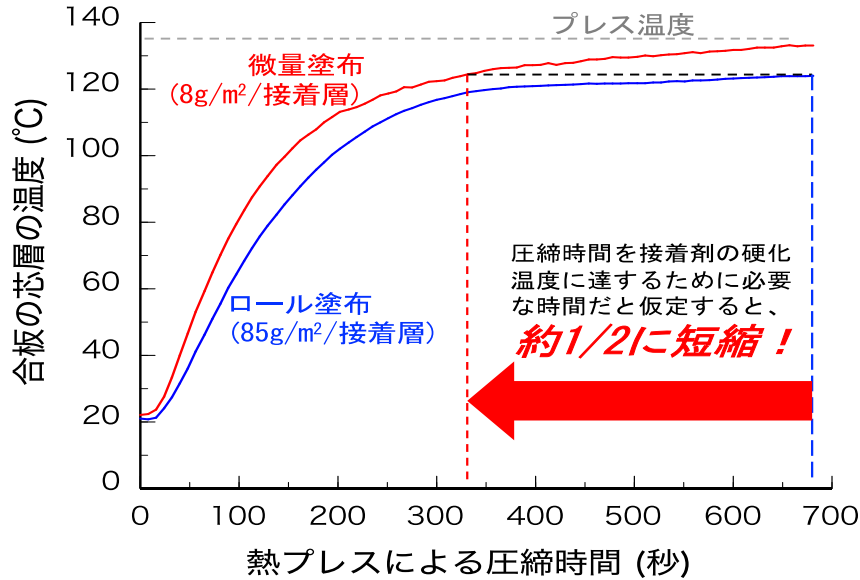
- ・ 塗布ロスほぼ「ゼロ」
- ・ 接着剤経路が大きく、エアスプレー法と比べても接着剤の選択自由度が大きい



インクジェット法やエアスプレー法の欠点を補える可能性があり、本技術の将来性は高い



成果3：合板生産時の微量塗布接着技術の副次的効果を評価



- 合板製造には熱硬化性樹脂が使用され、高温で一定時間プレスする
= **プレス時間短縮は省エネに寄与**
- メーカーの推奨塗布量・プレス時間での温度を硬化に必要な温度と仮定すれば…

プレス時間を1/2に短縮

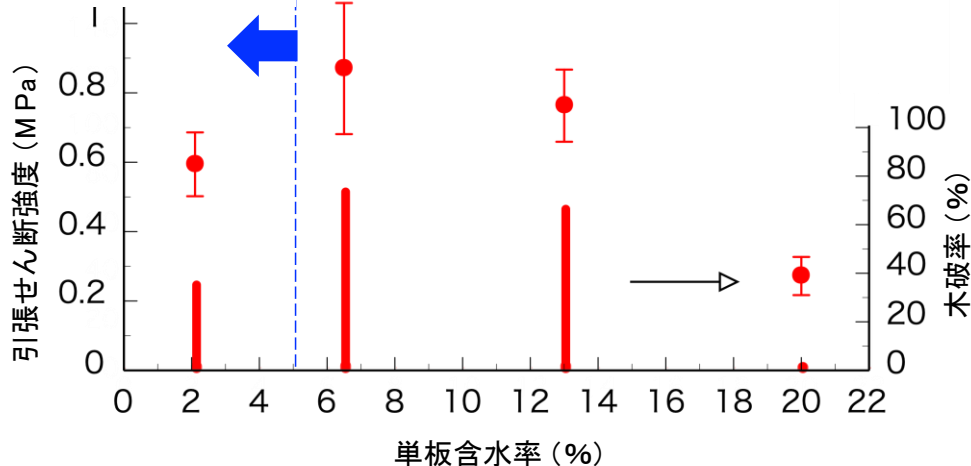
熱プレス時に発生する水蒸気の圧力による損傷を防ぐため…

現状は5%以下で管理

- 熱負荷増加
- 接着に悪影響の可能性

微量塗布条件下で5~10%で接着性能に大きな低下は見られないことから…

乾燥条件を大幅に緩和できる可能性!!

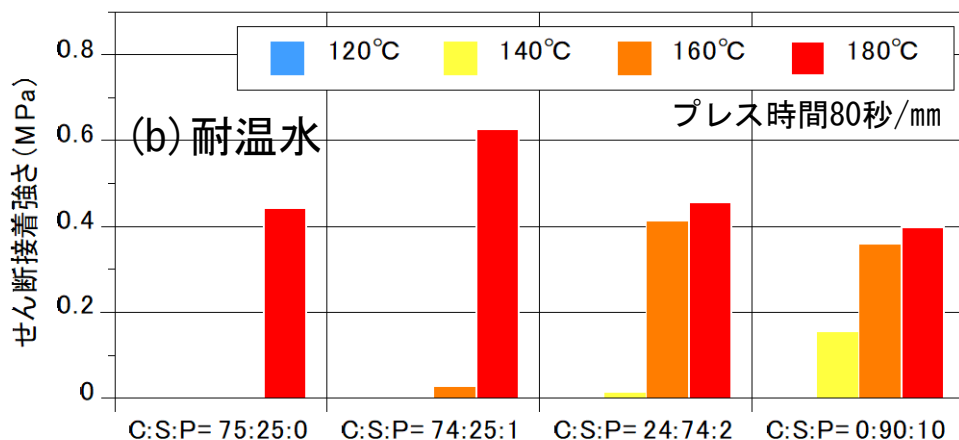
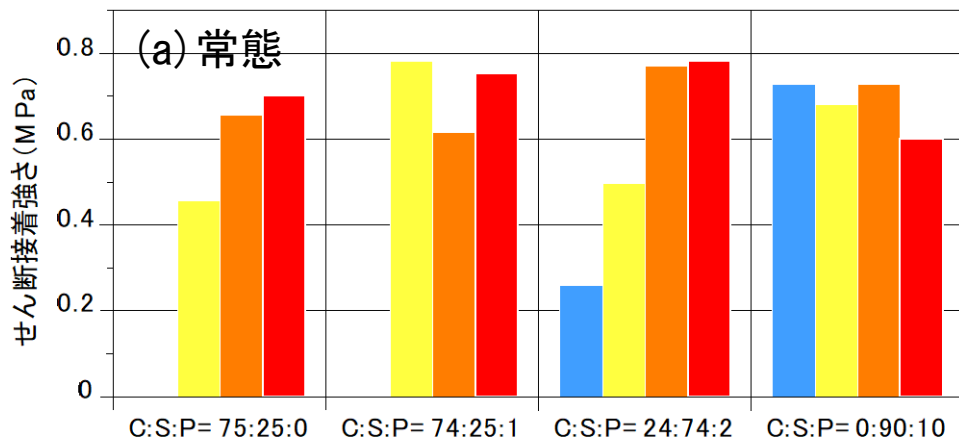


- 合板製造用接着剤は水溶性
= 単板に接着剤由来の水分が持ち込まれる
- プレス終了時のパンクを防ぐため、現状の生産単板水分は低く管理

微量塗布は持ち込む水分が少ない
= **単板乾燥条件を緩和できる**

成果4：サブテーマ2との連携：天然系接着剤の合板への適用

- 塗布量50g/m²での耐温水接着強さが発現。JAS接着2類の基準値 0.7MPa以上には及ばず



クエン酸(C)：スクロース(S)：パラトルエンスルホン酸(P)の配合比

塗布量50g/m²のスギ合板の接着強さ。
耐温水試験 (60±3°Cに3時間浸漬, 接着2類相当)

既存の合板工場の熱圧温度 Max140°C
→プレス温度120~180°C,
プレス時間80mm/秒での接着性能評価

<結果>

クエン酸(C)、スクロース(S)、パラトルエンスルホン酸(P)の配合比と熱圧温度で接着強さは大きく変化

耐温水接着強さ

→C:S:P=74:25:1 熱圧180°Cで最大強度
→C:S:P= 0:90:10は140°Cから強度発現

既存の合板製造条件を著しく逸脱する製造条件ではなく、配合比の検討による改良で造作用合板など付加価値の高い製品市場から導入できる可能性あり。

5 - 2. 環境政策等への貢献

• 行政等が既に活用した成果

- 排出量推定結果、削減見込み量などを、
環境省 GHG排出量算定方法検討会 廃棄物分科会で4回報告
(2020/1/25, 2020/11/25, 2021/11/5, 2022/1/17)

• 行政等が活用することが見込まれる成果

- 木材用合成接着剤由来のCO₂排出量の算定方法・推定結果
- 木質材料別の化石由来炭素含有率（排出係数）
→インベントリ作成への反映が見込まれる

- 削減対策シナリオの将来予測結果
- 天然系接着剤・微量塗布技術の開発成果
→施策立案の参考となることが期待される