

令和5年度 林業機械・木質系新素材の開発・実証事業

広葉樹ファインセルローズファイバー 製造・利用技術の開発

実施代表：



国立研究開発法人 森林総合研究所

共同提案：



玄々化学工業株式会社

森林研究・整備機構 森林総合研究所
木質資源化学研究領域
下川知子

広葉樹ファインセルローズファイバー製造・利用技術の開発 事業の目的



広葉樹資源（コナラ）から、パルプを調製



セルロースナノファイバー（CNF）よりも解繊度の低いファインセルローズファイバー（FCF）の製法を明らかにする



FCFの性質を調べる



機能性を有する木材保護剤の開発



国内木質資源の新素材としての利用と木製品利用の推進

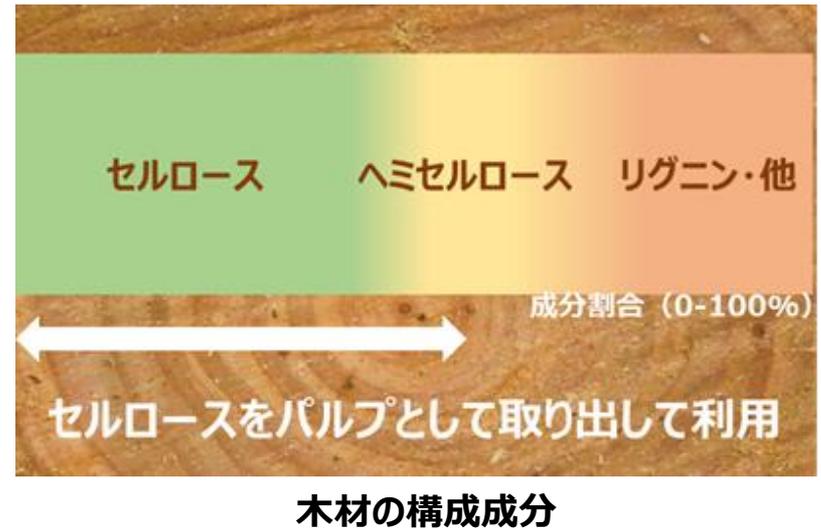
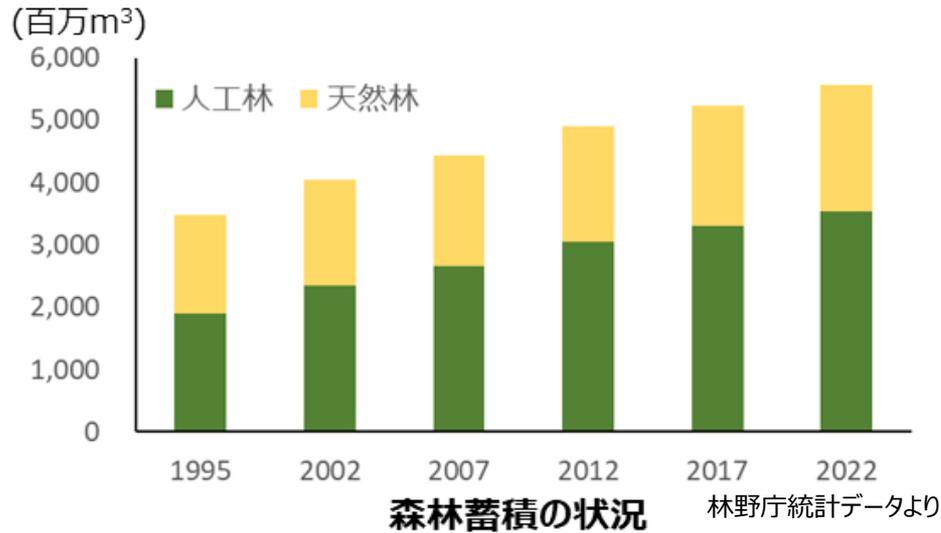


スギCNFシーラー施工例

広葉樹ファインセルロースファイバー製造・利用技術の開発

- 1) セルロースナノファイバーとファインセルロースファイバー
- 2) 広葉樹チップからのFCF製造条件の最適化と諸性質
- 3) 広葉樹FCFを用いた木材保護剤等の開発
- 4) 施工試験
- 5) その他
- 6) まとめ

1)セルロースナノファイバーとファインセルロースファイバー 資源としてのセルロース



セルロースとは：

- ・木材だけでなく、植物細胞の細胞壁、植物繊維の主成分
- ・最大の蓄積量を持つ再生可能な炭水化物
- ・一般的には、木材などの植物資源からパルプを取り出して原材料に利用

パルプとは：

- ・主に製紙に用いるために、木材などの植物資源から、機械的または化学的な処理を行って取り出した植物繊維

1)セルロースナノファイバーとファインセルロースファイバー CNFとFCF

■CNF

パルプ（セルロース）繊維をナノレベルまでほぐした微細な繊維

CNFの特徴

- ・ 軽量高強度
- ・ 熱による変形が少ない
- ・ 粘性を有する
- ・ フィルムのガスバリア性が高い

CNFの社会実装

工業的に製造されたパルプを原料としたCNFを利用して、高機能なボールペンのインク、スピーカーの振動板、シューズソール、タイヤ等が開発されている

セルロースナノファイバーは製造コストの高さが普及における問題点のひとつ



ミクロンサイズの繊維も含むセルロース系素材の利用が注目

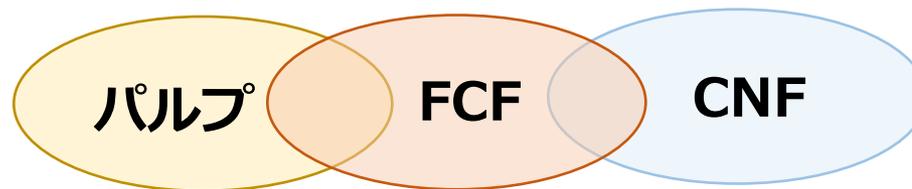


1)セルロースナノファイバーとファインセルロースファイバー CNFとFCF

■CNFよりも解繊度の低い繊維の利用を考える

FCF

本事業において、パルプ繊維とCNFの中間に位置するサイズの微細な繊維をファインセルロースファイバー（FCF）とした

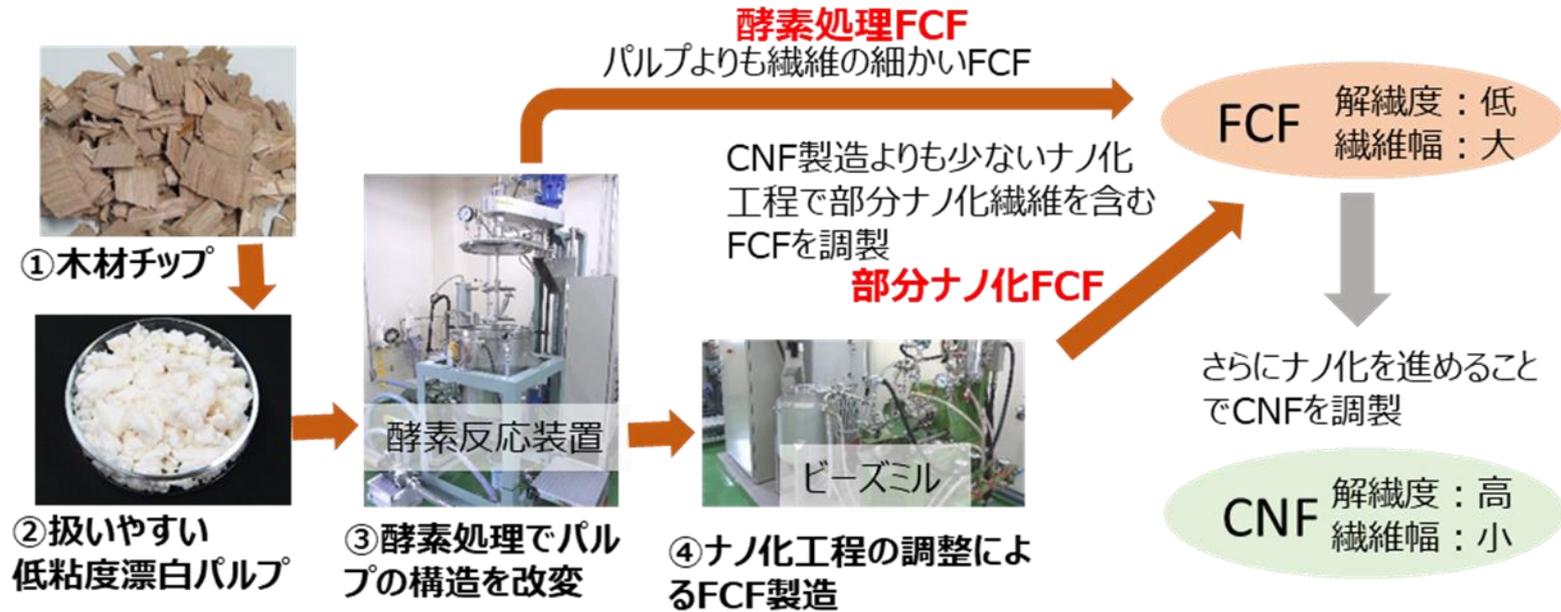


解繊度の違いでFCFの一部にはナノ繊維の含まれる場合がある

1)セルロースナノファイバーとファインセルロースファイバー

■木材からのCNF・FCFの一貫製造と2種類のFCF

■木材チップからのCNF・FCFの基本的な製造工程



部分ナノ化FCF：パルプを酵素処理して微細化（ナノ化）する工程を省略したFCF
酵素処理FCF：低粘度漂白パルプを酵素処理して得られるパウダー状FCF

CNFの製造途中で得られる2種類のFCF製造を検討。
部分ナノ化FCFに、用途によって、CNFの代替を期待

2)広葉樹チップからのFCF製造条件の最適化と諸性質 コナラチップからの低粘度パルプ製造とFCF製造

■原料パルプの作成：低粘度パルプ

木材用塗料に適したCNFの元老に用いる目的で、木材チップから繊維長が短めの漂白パルプをソーダ・アントラキノン蒸解で製造



森林総合研究所セルロースナノ
ファイバー製造技術実証施設内
パルプ製造設備

CNF製造原料である低粘度パルプの性質

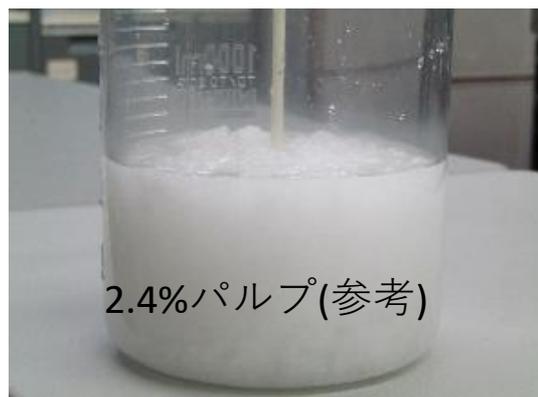
試験項目	試料	コナラ短繊維 パルプ	スギ短繊維 パルプ
銅エチレンジアミン法 粘度 (mPa·s)		2.6	3.2
算術平均繊維長 Lc(n) (mm)		0.45	0.69
平均繊維幅 (μm)		17.60	22.98

木材用塗料に適したCNF用に製造した低粘度パルプにおいて、スギよりもコナラの方が繊維長が短く、繊維径の細かい傾向

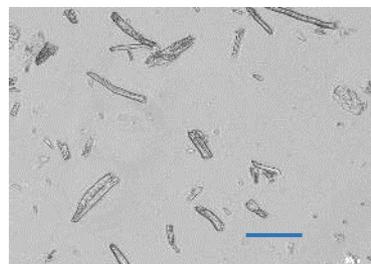
2) 広葉樹チップからのFCF製造条件の最適化と諸性質 コナラチップからの低粘度パルプ製造とFCF製造

■FCFの製造：酵素処理FCF

低粘度パルプを、解繊作用を持つ酵素で処理して得られる微細な繊維

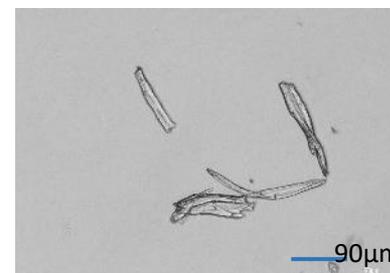


酵素処理FCF (コナラ)



繊維長111 μ m, 繊維幅11 μ m

市販のセルロース



平均繊維長222 μ m, 繊維幅22 μ m
(n=20)

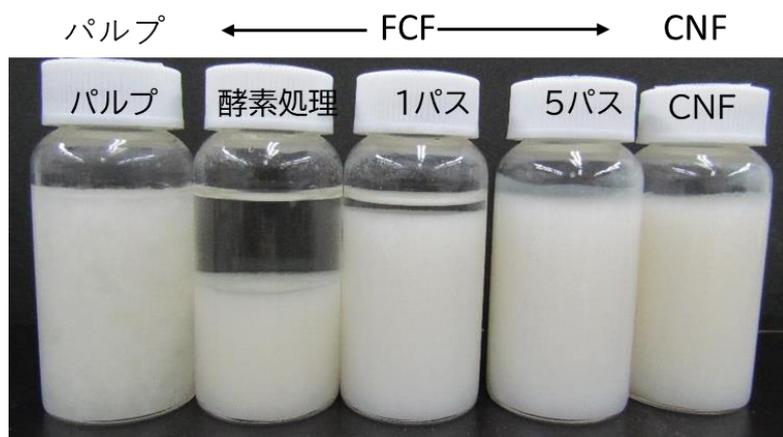
酵素処理FCFは、市販のセルロース粉末と類似の外観を示した。

- ✓ 容易に脱水
- ✓ 乾燥後の分散が可能

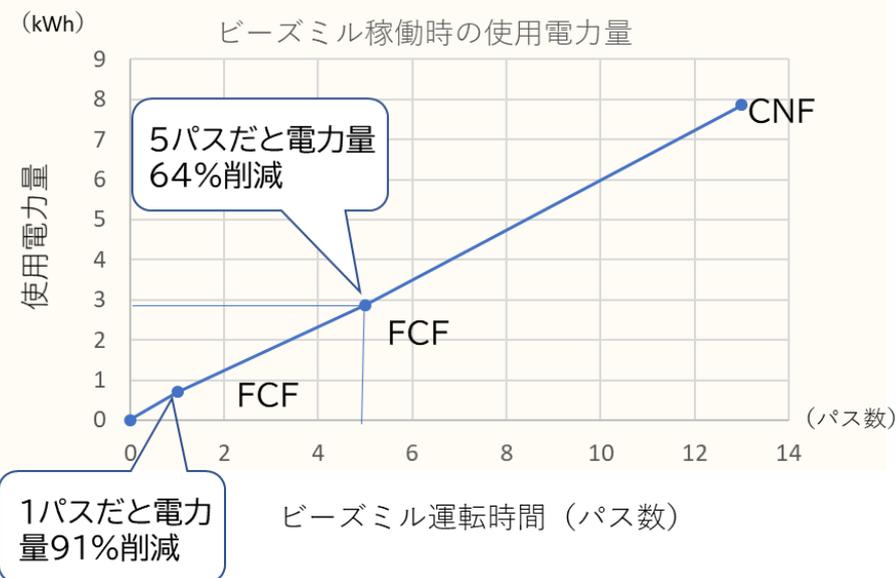
2) 広葉樹チップからのFCF製造条件の最適化と諸性質 コナラチップからの低粘度パルプ製造とFCF製造

■FCFの製造：部分ナノ化FCF

循環型ビーズミルの運転時間（パス数）を減少させて調製



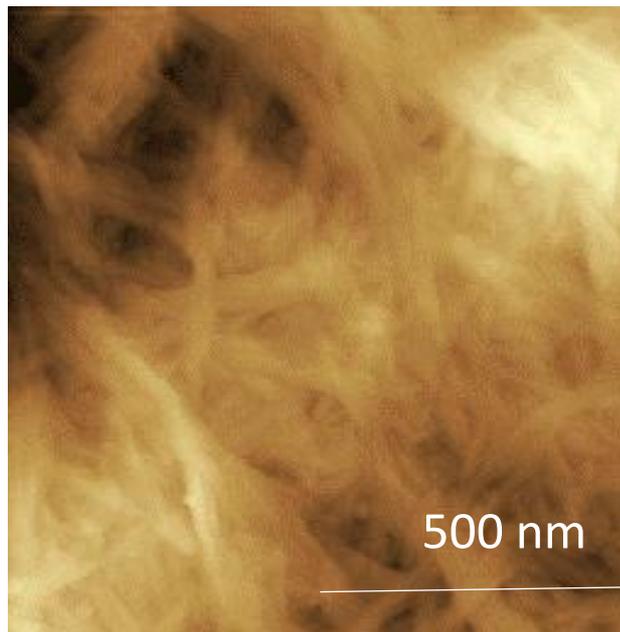
コナラパルプ、FCF、CNF外観



部分ナノ化FCFではナノ化の使用電力量がCNFより
6～9割削減するとともに、作業時間が大幅に短縮

2) 広葉樹チップからのFCF製造条件の最適化と諸性質 コナラFCFの諸性質

■部分ナノ化FCFに含まれるナノ繊維

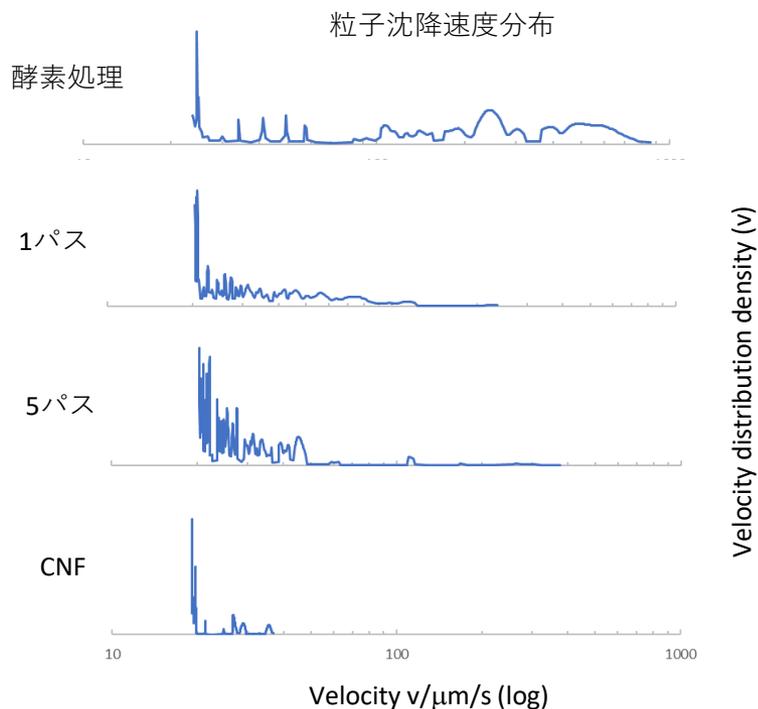


コナラ部分ナノ化FCF中のナノ繊維のSPM観察像

部分ナノ化FCFの中にも、ナノ化した繊維が含まれていることを確認したが、大きな繊維も含まれる→分散性による全体像の把握を検討

2) 広葉樹チップからのFCF製造条件の最適化と諸性質 コナラFCFの諸性質

■ 部分ナノ化FCFの沈降速度分布分析



	沈降速度分布中央値 ($\mu\text{m/s}$)	沈降面形成初速度 ($\mu\text{m/s}$)
酵素処理	235.1	66.3
1パス	38.0	3.42
5パス	29.9	3.09
CNF	25.9	1.14

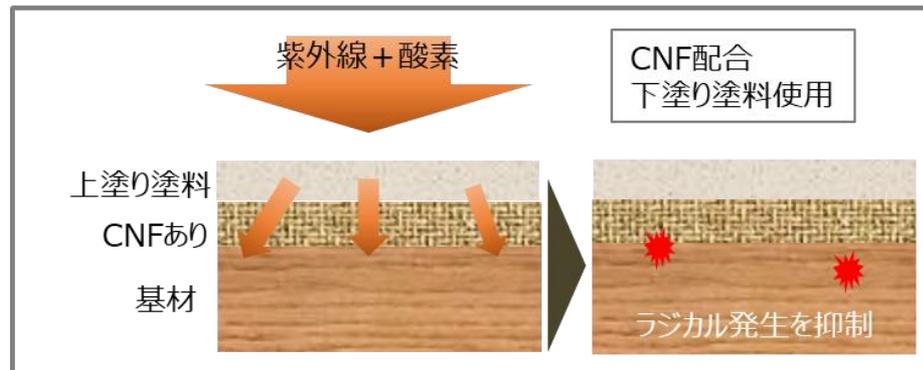
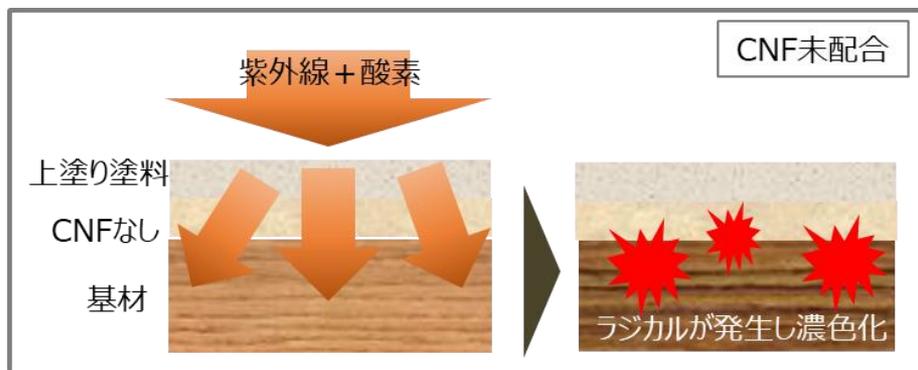
解砕時間（パス数）が増えるごとに沈降速度の大きい粒子が減少し、CNFに近付いていることを確認。

2)広葉樹チップからのFCF製造条件の最適化と諸性質 CNFを利用した耐候性の向上効果について

■CNF複合塗膜の機能性

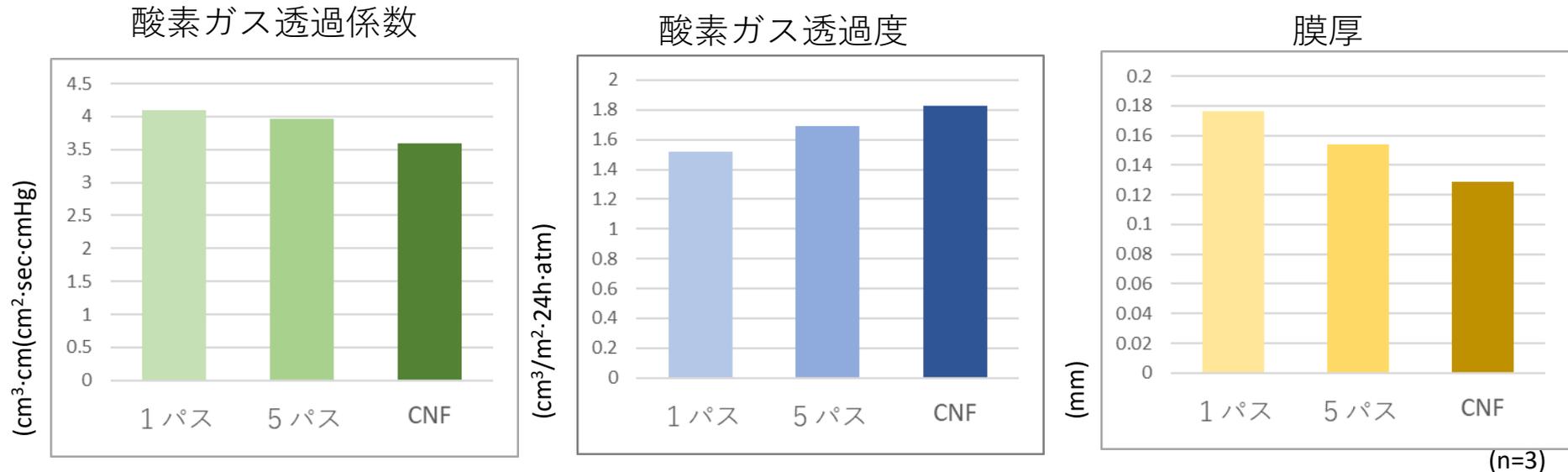
～CNF下塗り用塗料はなぜ変色を抑制するのか

- ✓木材が劣化する要因に、酸素と紫外線の影響が挙げられる。
- ✓CNF入りの複合塗膜は、酸素と紫外線の影響を抑えることでこれらの要因から生じるラジカルの発生量を低減することで塗膜の劣化を抑え、耐候性を高めて木製品の寿命を延ばす効果を示すと考えられる。



2) 広葉樹チップからのFCF製造条件の最適化と諸性質 コナラFCFの諸性質

■部分ナノ化FCF複合塗膜の酸素ガス透過性試験



部分ナノ化FCFを利用した複合塗膜でも、CNFと類する機能を出せる可能性

- ✓ 5パス、1パスで製造した部分ナノ化FCFを添加した促進耐候性試験でも、CNF塗料と大きな差が生じておらず(1000時間)、引き続き試験中。

3) 広葉樹FCFを用いた木材保護剤等の開発 部分ナノ化FCFを用いた塗料の開発

■シーラーへの適用検討 粘度、グロス、外観、安定性（40℃ 1か月）異常なし

塗料外観



CNF 1パス 5パス

塗膜外観



CNF 1パス 5パス

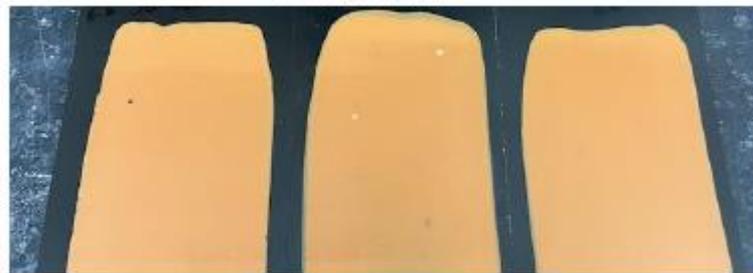
■上塗り用塗料への適用検討 粘度、グロス、外観、安定性（40℃ 1か月）異常なし

塗料外観



CNF 1パス 5パス

塗膜外観



CNF 1パス 5パス

写真：玄々化学工業株式会社

3) 広葉樹FCFを用いた木材保護剤等の開発 酵素処理FCFを用いた木材保護剤等の開発

■ 水性パテ試作品の検討 作業性、ワレ性、安定性（40℃ 1か月）異常なし

塗料外観



CNF 1パス 5パス

塗膜外観



CNF 1パス 5パス

■ 無機塩水溶液による構造変換でのヒドロゲル、糸の検討



ヒドロゲル



キセロゲル

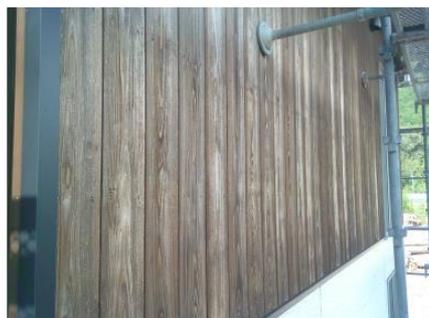


糸

セルロースの構造を変換させたことによるヒドロゲル、ゲルを乾燥させたキセロゲル、糸

4) 試験施工 酵素処理FCFを用いた木材保護剤等の開発 部分ナノ化FCFを利用したFCFシーラー、FCF塗料の試験施工

■ 愛媛県久万木材市場事務所棟（上部有色部）



施工前



下塗り



塗装完了

■ 富山県農林水産総合技術センター



施工前



下塗り完了



塗装完了

- ✓ その他1件を実施し、いずれも問題なく施工できることを実証
- ✓ 施工後の経時変化を観察中

写真：玄々化学工業株式会社

4)試験施工 酵素処理FCFを用いた木材保護剤等の開発 FCFパテ、FCFシーラー、FCF塗料の試験施工

■木製壁の補修試験（条件を変えた3台で試験を実施）



劣化塗膜除去、研磨後



補修箇所

パテの塗布

木地調整

補修後

パテによる補修



パテ補修後、FCFシーラーを施工



塗装完了

✓ CNFシーラー、CNF配合エナメル塗料と比べて作業性などに大きな違いはみられなかった。

✓ 施工後の経時変化を観察中

図・写真：玄々化学工業株式会社

4) その他

コナラ以外の広葉樹での適用性の検討

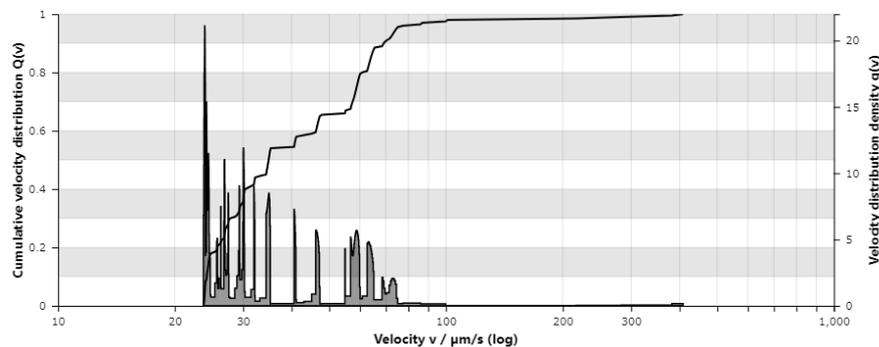
■ 菌床栽培用の広葉樹チップ製造設備で製造したクヌギチップの利用



コナラ（左）およびクヌギ（右）切削チップ

✓ 通常の切削チップからだけでなく、
きのこ栽培用に製造されたような
サイズが小さめのチップであって
もパルプを製造して利用が可能

✓ クヌギからも、コナラと同様の
FCF水懸濁液が製造可能



クヌギ低粘度パルプの部分ナノ化（5パス）FCFの分散性分析

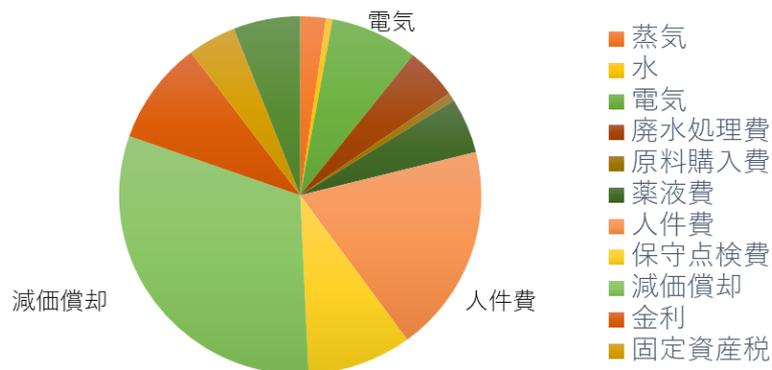


クヌギFCF外観

4) その他 コスト試算

■スギCNFの試算値(H30)をもとにした、40.0t/年の広葉樹CNFの製造コスト試算

バッチ運転、ビーズミル7.5h循環、330日/年、24h稼働、土地代無し、工場建屋とユーティリティーおよび製造設備建設、4直3交代12人雇用、平均500万円/人・年、収率32.3%、原価償却期間10年、金利:設備の3%、固定資産税:設備費の1.4%、保守点検費:設備費の3%、その他経費:変動費と人件費の15%、滅菌は保存剤使用



✓ 年間製造量は40.0t/年のモデルにおいて、**広葉樹CNF**の製造コスト7,976円/kg (DM)

FCF製造により、ビーズミルに必要な時間を、7.5h/バッチ→2.5h/バッチに短縮したことで、ナノ化の電気使用量67%削減を所要時間を3分の1に短縮

製造スケジュールの調整が可能となり、年間製造バッチ数が増加

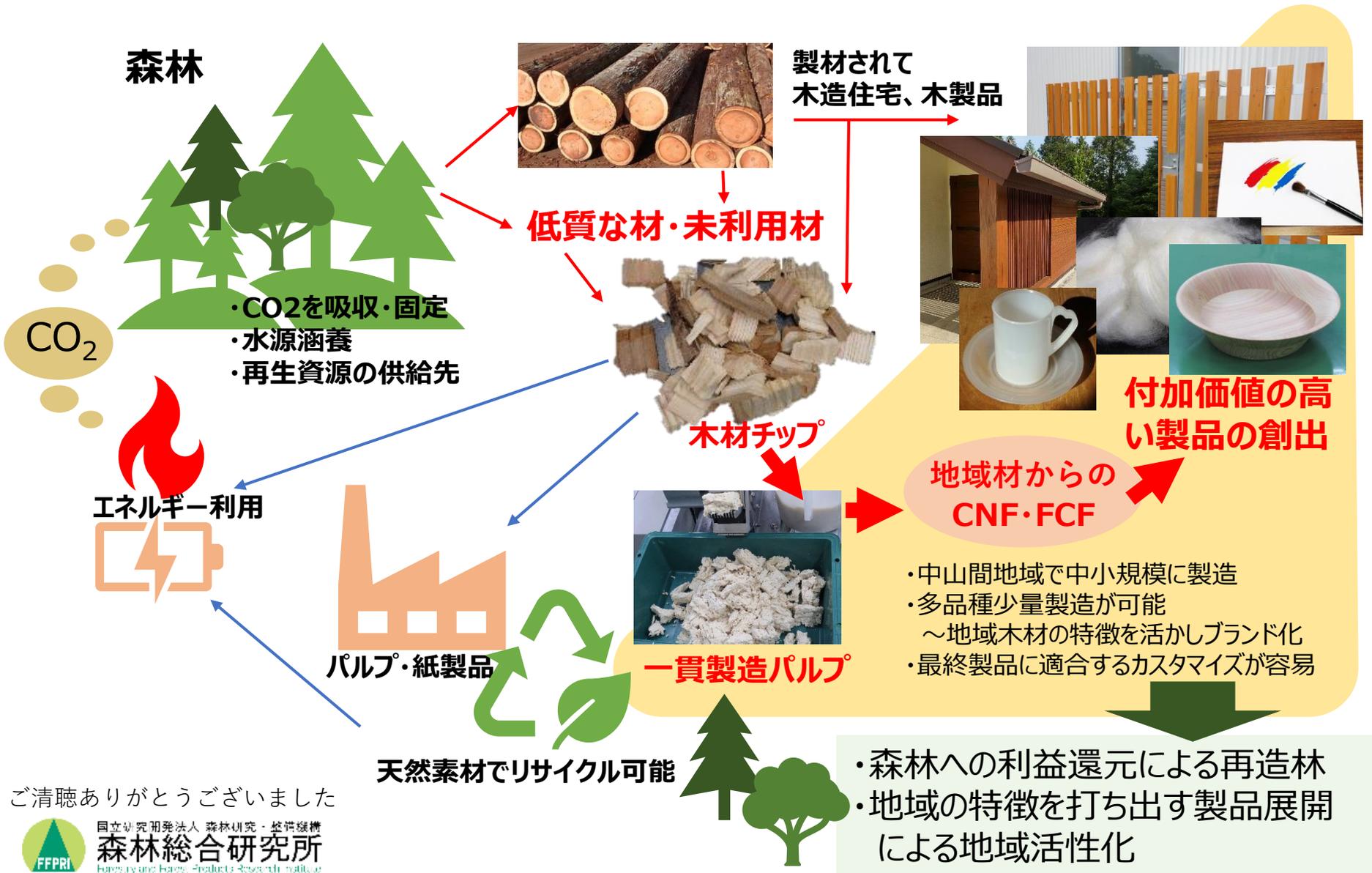
広葉樹FCFでは年間製造量40t→51t/年に増加。製造コスト7,976円→6544円/kgに低下（製造コストの18%削減の試算結果）

5)まとめ

- CNFよりも解繊度の低いFCFについて、広葉樹チップからの製造方法を示した。
- FCFであっても、用途によってはCNFに類する使い方が可能であることを示した。
- 開発したFCF塗料の実建築物への試験施工を行った。
- FCFの製法ではナノ化処理の工程を削減したことにより、ナノ化に要する電気量を64%以上削減可能であり、製造スケジュールの効率化を行った場合、製造コストを18%削減可能な試算値を得た。

さいごに

木質資源を利用する循環社会において 中山間地域で木質系新素材利用技術を導入するメリット



ご清聴ありがとうございました



国立研究開発法人 森林研究・整備機構
森林総合研究所
Forest and Fiber Products Research Institute