

委託プロジェクト研究課題評価個票（中間評価）

研究課題名	革新的環境研究のうち森林・林業における未利用資源活用プロジェクトのうち針葉樹樹皮のエシカルプラスチック等への原料化			担当開発官等名	農林水産技術会議事務局研究開発官 (基礎・基盤・環境)
				連携する行政部局	大臣官房政策課技術政策室 林野庁森林整備部木材利用課 林野庁森林整備部研究指導課
研究期間	R4～R8年度（5年間）			総事業費（億円）	1.5億円（見込）
研究開発の段階	基礎	応用	開発		
研究課題の概要					
<p>本研究課題では、木材の製材工程で大量に発生するにもかかわらず積極的な利用が行われていない樹皮について、その含有成分を原料とする新たなエシカル製品素材を2つ以上開発することを目標とする。そのため、本研究では、</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 利用可能な樹皮の資源量調査と有用物質原料としての特性解明 2. 樹皮テルペンの効率的抽出技術と分離精製・利用技術の開発 3. 樹皮フェノールの樹脂原料としての用途開発 <p>という3つの課題を設定し、樹皮の新たな用途の開発を行う。</p>					
1. 委託プロジェクト研究課題の主な目標					
中間時（2年度目末）の目標			最終の到達目標		
① トドマツ、カラマツ樹皮の資源量の算出と含有成分の有用性の評価			・R8年度の事業終了時までに、トドマツ、カラマツ、スギ樹皮の資源量と、それに含まれる有用成分の利用可能量を算出		
② トドマツ樹皮から揮発性及び難揮発性テルペン（※1）を効率的に抽出する技術と、モノテルペン及びジテルペンをそれぞれ95%及び50%以上の高純度で精製する技術の開発			・R8年度の事業終了時までに、樹皮テルペンの工業的利用を想定した大量抽出技術の開発と、具体的利用に向けた樹皮抽出物の分離精製及び利用技術の開発		
③ フェノール樹脂（※2）接着剤の基材となるフェノール系化合物を樹皮成分で25%以上代替する合板用接着剤及び生分解性の樹皮成形素材の開発			・R8年度の事業終了時までに、石化系（石油化学系）フェノールの30%以上を樹皮成分で代替するJAS特類相当の合板用接着剤の開発及び肥料被覆素材に使用できる樹皮成形素材の開発		
2. 事後に測定可能な委託プロジェクト研究課題全体としてのアウトカム目標（R14年）					
① テルペン製品の原料調達に関し、多くを海外に依存している現状から、安定供給の担保が可能な国産樹皮資源の活用へと産業構造の転換を促進。					
② 樹皮を利用したフェノール樹脂の用途開発により、社会的ニーズが高く、かつ環境負荷の少ない化石資源代替製品であると共に、国産の天然由来でもあるエシカルな製品開発を促進。					
③ 樹皮利用に関連する産業が中山間地域等に新たに誘致されることにより、地域活性化や新たな地域間連携の促進がはかれるとともに、再生可能資源である木材の樹皮の有効利用を通じて、循環型社会の構築や2050年ネットゼロエミッション達成に貢献。					

【項目別評価】**1. 社会・経済の諸情勢の変化を踏まえた研究の必要性****ランク：A****① 農林水産業・食品産業、国民生活の具体的なニーズ等から見た研究の重要性**

二酸化炭素排出量削減目標の達成に向けては、地球温暖化などの問題から国民からの高い関心が寄せられている他、経済界からも持続可能な社会の実現や新たな産業構造の構築に対し強い要請がある。木質資源はその賦存量の大きさから化石資源を代替する再生可能資源として期待されているが、樹皮については、テルペン類やフェノール性化合物の含量が木部に比べて多いにもかかわらずその活用が充分には行われていない。その原因としては、製材所等から出る樹皮の資源量が把握されていない点や、学術的に研究されてきた樹皮成分と実際に製材所等で発生する樹皮の成分の量的、質的な違いなどが調査されてこなかった点が挙げられる。このため、樹皮の資源量の調査及び含有成分の特性解明が不可欠である。

テルペン類は、インキ・溶剤・香料・接着剤・ポリマーなど幅広い産業に渡って活用されており、樹皮からの抽出・利用技術の開発及びその利用の上での機能性の向上を図ることにより、多くの産業での利用が期待できる。樹皮に含まれるフェノール類は、接着剤や生分解性樹脂の原料としての利用の可能性が示されており、その反応性を活かした高性能な新規素材としての産業利用が期待される。本研究の成果は、樹皮を原料とした新たな製品素材の上市により、経済価値のある資源として樹皮の再評価につながる。また、素材開発のみならず、丸太以外の副産物の高次利用につながることから、地域における持続可能な森林経営やゼロエミッションの推進に資する研究である。

② 引き続き国が関与して研究を推進する必要性

樹皮のマテリアル利用を推進するために必要な技術開発を行う本研究は、2030年度の温室効果ガス排出量46%減の削減目標の達成や2050年のネットゼロエミッションの達成に向けた、化石資源代替となる再生可能資源の活用による循環型社会の形成というグローバルな政策や、エシカルな製品を求める環境意識の高い消費者のニーズに応える。現在、有効活用されていない木材の樹皮をエシカル製品として活用し、森林資源利用に関する新事業や付加価値を創出することによって、農山村における所得と雇用機会の確保が図られ、地域活性化につながることから、引き続き国が関与して研究を推進する必要がある。

2. 研究目標（アウトプット目標）の達成度及び今後の達成可能性**ランク：A****① 中間時の目標に対する達成度**

本課題のロードマップの2年目までの目標は全て達成し、一部課題では、中間評価時の目標以上に研究が進展している。詳細は以下の通り。

- ・利用可能な樹皮の資源量把握に関しては、トドマツ、カラマツ樹皮のテルペン樹脂原料及びフェノール代替樹脂原料としての価値を明らかにするために、樹皮資源量を算出するとともに、製材所等から得られた樹皮成分の劣化状況を調査し、フェノール成分に関してはほとんど劣化していないことを明らかにするなど、初期目標として設定した分析項目の全ての評価を終えた。（達成度100%）

- ・樹皮テルペンの効率的抽出技術と分離精製・利用技術の開発に関しては、トドマツ樹皮から揮発性モノテルペン（※3）及び難揮発性テルペン類の効率的抽出技術として、減圧マイクロ波水蒸気蒸留法（※4）及び溶媒抽出による最適条件を明らかにした。また、抽出した揮発性テルペン類について精密蒸留による分離精製を行うことで有用モノテルペンの純度95%以上での単離を可能とした。また、一般的な蒸留法等での高純度化が難しい難揮発性のジテルペン（※5）については、溶媒分画法により分離純度50%以上を達成した。（達成度100%）

- ・樹皮フェノールの樹脂原料としての用途開発に関しては、既往文献等にある化学的な抽出工程を回避した、より環境調和型の樹脂原料化となる機械的微粉碎化によるカラマツ樹皮の樹脂原料化を行い、目標値として設定した市販フェノール樹脂の25%を樹皮で代替する合板用接着剤を開発した。また、水耕栽培でも使用可能な樹皮微粉碎物からの肥料被覆材（※6）の開発を目指し、浸水条件下でも崩壊しない微粉化樹皮の製造条件を明らかにした。さらに、次年度以降での実施を検討していた尿素を10%配合した樹皮ペレットの調製条件の確立を前倒して達成した。（達成度125%）

② 最終の到達目標の今後の達成可能性とその具体的な根拠

- ・トドマツ、カラマツ樹皮の資源量の算出ならびに含有成分の有用性の評価については既に達成されており、スギ樹皮に関しても同様の手法を用いて研究を進めることで目標の達成は可能と考えられる。
- ・トドマツ樹皮から高純度分離が達成できたモノテルペン類に関しては、資源量の確保と樹皮からの粗テルペンの大量抽出技術が確立できれば、参画企業の持つ現行のプロセスを改良することで、技術的には実操業規模でも十分に採算性が見込め、具体的な利用が可能と考える。ジテルペン類については現時点では抽出のコスト面等での課題は残るが、工業的に松脂の蒸留残渣からジテルペンであるアビエチン酸（※7）が分離され樹脂原料等として販売されていることから、樹皮からの製造も技術的には可能である。
- ・樹皮のフェノール代替接着剤の開発においては、実証研究の段階に入る前には実施主体によるJASなどの規格の取得も必要になるが、フェノールの25%の代替を目標とする現時点で、数値的にJAS規格をクリアできる成果が得られている。樹皮からの肥料被覆素材等の開発を目標とする生分解性成形素材の開発に関しては、計画を前倒した進展があると自己評価していることから、最終年度における目標の達成は可能と考えている。

**3. 研究が社会・経済等に及ぼす効果（アウトカム）の目標の今後の達成可能性と
その実現に向けた研究成果の普及・実用化の道筋（ロードマップ）の妥当性**

ランク：A

① アウトカム目標の今後の達成の可能性とその具体的な根拠

- ・利用可能な樹皮資源量の把握の成果を踏まえて、以下に挙げる技術的な課題の最終目標を達成することで、事業終了後の開発研究の段階において、各種素材の安定的な生産を達成するための樹皮供給システムの確立が可能と見込んでいる。
- ・樹皮に含まれるテルペン類の利用に関しては、実際に輸入粗テルペン等から各モノテルペン類を分離し、樹脂等に変換する事業を展開している企業の参画を得ており、夾雑物が現工業用粗テルペンとは異なる樹皮からのモノテルペンの高純度分離を達成するなど当初計画に沿った成果を得ている。今後は、参画企業と計画に沿ったテルペン類製品の開発に取り組み、得られた成果に関しては知財化を目指す。
- ・樹皮フェノール樹脂接着剤に関しては、JAS規格に準じた合板用接着剤としての基準を満たす結果が得られるなど、当初計画に沿った成果が得られている。一部前倒して目標を達成しているこれまでの研究の進展状況から、事業終了時の目標の達成は可能と見込んでいる。
- ・以上の取組が達成され、利用が不十分であった樹皮を原料とした新たな産業が立ち上がることで、樹皮の製造・加工の拠点を中山間地域に設けることにより地域活性化をはかることができ、さらには地域間での樹皮原料の調達や利用技術のさらなる向上を目指すための連携を促進することも可能となる。

② アウトカム目標達成に向け研究成果の活用のために実施した具体的な取組内容の妥当性

- ・利用可能な樹皮の資源量把握については、丸太伐採量だけでなく、実際の製材工場への流通や加工・保存実態に基づき資源量推計をしていることから、樹皮の工業的利用に向けた供給可能量に限りなく近い値が得られている。
- ・樹皮からのテルペン類の抽出・分離精製については、工業的に大量生産で使用されている技術の応用をベースとして検討を進めると共に、素材供給元となる製材工場関係者とも密に意見交換を行うことで現場のニーズや問題点の把握に努めており、今後の技術普及や実用化の促進、コストの削減につながる取組を進めている。このことから実用化を目指した取組として妥当性が高い。
- ・樹皮に含まれるフェノール類を原料に新たに開発するエシカル素材については、事業推進段階においても石油化学系のフェノール代替原料としてより安価な原料製造技術の開発となるように努めている。経済的にも競争力がある樹皮の有効利用を通じた開発は、循環型社会の構築や2050年ネットゼロエミッション達成に貢献する研究成果の実証や普及に向けた取組として妥当である。

③ 他の研究や他分野の技術の確立への具体的な貢献度

これまで積極的な利用が行われてこなかった樹皮という素材に対して新たな利用法を示すことにより、同じく林業分野で利用の進んでいない樹木の枝葉や根などに対しても潜在的な資源として捉えられる可能性がある。長期的には新たな産業が創出されることで、山元への利益の還元により森林整備が進むなどのメリットも考えられ、循環型社会の実現に貢献する。

4. 研究推進方法の妥当性

ランク：A

① 研究計画（的確な見直しが行われているか等）の妥当性

各小課題において順調に目標達成できていることから、これまでの研究計画は妥当である。また、小課題横断的な計画となっており、密に情報交換を行いながら、今後の方向性やサンプルの相互提供、またそれらの分析・評価結果に基づいた、こまめな研究計画の見直しが的確に行われている。

② 研究推進体制の妥当性

国立研究開発法人の強力なリーダーシップのもと、地域との密接な関係をもつ公設試ならびに実用化のための優れた技術力を有する民間企業と連携をとりながら、約2か月に一度の頻度で中間報告・現地視察・実地調査等を実施しながら研究を推進しており、適切に進捗管理できる体制となっている。

③ 研究課題の妥当性（以後実施する研究課題構成が適切か等）

テルペン化合物の専門企業が参画しており、テルペン類の具体的なスペックや市場でのコスト等の具体的な情報提供・収集を行っている。樹皮フェノールを利用した合板用接着剤の開発及び樹皮成形素材の開発に関しても専門の研究者の参画のもと、市場動向や求められる性能について詳細な知見を集積している。それらを元に課題目標や研究内容を設定しており、課題構成は適切である。

④ 研究の進捗状況を踏まえた重点配分等、予算配分の妥当性

研究期間の2年目までに、成分精製システム、減圧濃縮装置、分光光度計など的高額機器の購入を集中して行い、研究推進に不足の無い体制を整えた。それぞれの参画機関に均一に予算配分を行うのではなく、研究推進に特に重要と思われる物品に対する重点的な配分を行っている。

【総括評価】

ランク：A

1. 委託プロジェクト研究課題の継続の適否に関する所見

- ・森林資源利用は環境への配慮もさることながら、地域活性化にもつながり、さらにこれまで利用されていなかった樹皮の活用は、民間企業だけでは実施が困難であるため、国として取り組む重要性が高い。
- ・目標以上に研究成果を挙げており、アウトカムの達成可能性は高い。
- ・ゼロエミッションの推進はもちろん、持続可能な森林経営に資する研究であり、継続は妥当である。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

- ・樹皮成分の分析や蒸留技術の開発に留めず、経済合理性の検討も並行して進めれば、研究成果が社会実装により近づくと期待される。

[研究課題名] 革新的環境研究のうち森林・林業における未利用資源活用プロジェクトのうち、針葉樹樹皮のエシカルプラスチック等への原料化

用語	用語の意味	※ 番号
テルペン	植物が生産する二次代謝産物のうち、炭素数5個のイソプレンを構成単位とする炭化水素の総称。さまざまな生理機能を有する。	1
フェノール樹脂	フェノール類の原料とホルムアルデヒドを原料とした熱硬化性樹脂の一つ。三次元的な網目構造をもち、特に耐熱性、難燃性に優れるという特徴を有する。	2
モノテルペン	炭素数10個のテルペンの総称。揮発性が高く、植物のもつ様々な香りの主な要因となる。工業用の溶剤としても用いられる。	3
減圧マイクロ波水蒸気蒸留法	植物から効率的に精油を取り出すため、従来法である水蒸気蒸留法に改良を加えた手法。系全体を減圧にして沸点を下げ、加熱にマイクロ波を用いることで、消費エネルギー量を削減して短時間での抽出を可能にする。	4
ジテルペン	炭素数20個のテルペンの総称。揮発性は低い。樹木から単離されたジテルペンには抗菌性や抗酸化性など有用な活性を示す物質が多くあることが知られている。	5
肥料被覆材	肥料を長期間にわたって効かせる（緩効化）ために肥料の表面を覆う被覆材。肥料成分の溶出速度を制御することにより、施肥の労働力の軽減や土壌への環境負荷の軽減が期待される。	6
アビエチン酸	樹脂を加熱異性化して得られるジテルペンのひとつ。有機合成における出発原料として広く使用されている他、金属塩はプラスチック、セッケンなどの原料として、エステル類はラッカーやワニスの成分として用いられている。	7

② 針葉樹樹皮のエシカルプラスチック等への原料化【継続】

背景と目的

- 国産針葉樹の需要拡大に向けて木材加工業から発生する端材・おがくず等の利用が進む中、樹皮の利用は遅れているところ。
- 針葉樹樹皮の4割を占めるフェノール性化合物は、化石資源由来の樹脂原料等の代替品として活用可能。
- 針葉樹樹皮は、香料等の高付加価値物質として利用可能なテルペン等有用物質を多く含有。
- 建材に利用できる木材から取り出したセルロース・リグニンや食料に利用できるデンプン起源のブドウ糖を原料とするものに比べてより地球にやさしい（エシカル）製品素材を提供。

研究内容

- 樹種間、産地間、季節等で変動する国産針葉樹の樹皮含有成分の化学特性を解明
- 工業原料として安定供給するために必要な樹皮含有成分の高効率分離・回収法を開発
- 樹皮成分を原料とする新規素材を開発

期待される効果

- 2050ネットゼロ・エミッション達成に寄与
- 国産材の総合的な成分利用による林業・林産業の成長産業化と地域の活性化
- あらたなエシカル製品素材（エシカルプラスチック等）の普及を通じた低環境負荷社会への消費者の行動変容の喚起

到達目標

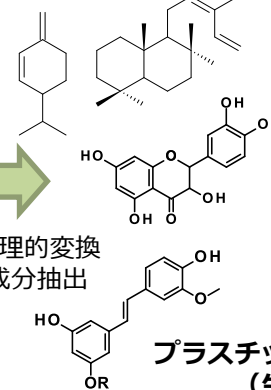
- あらたなエシカル製品素材を2つ以上創出
- 樹皮の利用拡大による国産針葉樹の総合利用の推進
- 樹種間、産地間で異なる樹皮利用法の開発による地域資源に対応した産業の育成

針葉樹の素材生産量の
1～2割に相当する樹
皮を有効活用

多様なフェノール成分
テルペン類



物理的変換
成分抽出



エシカル製品素材の提供

テルペン類
香料等



フェノール類
樹脂原料等

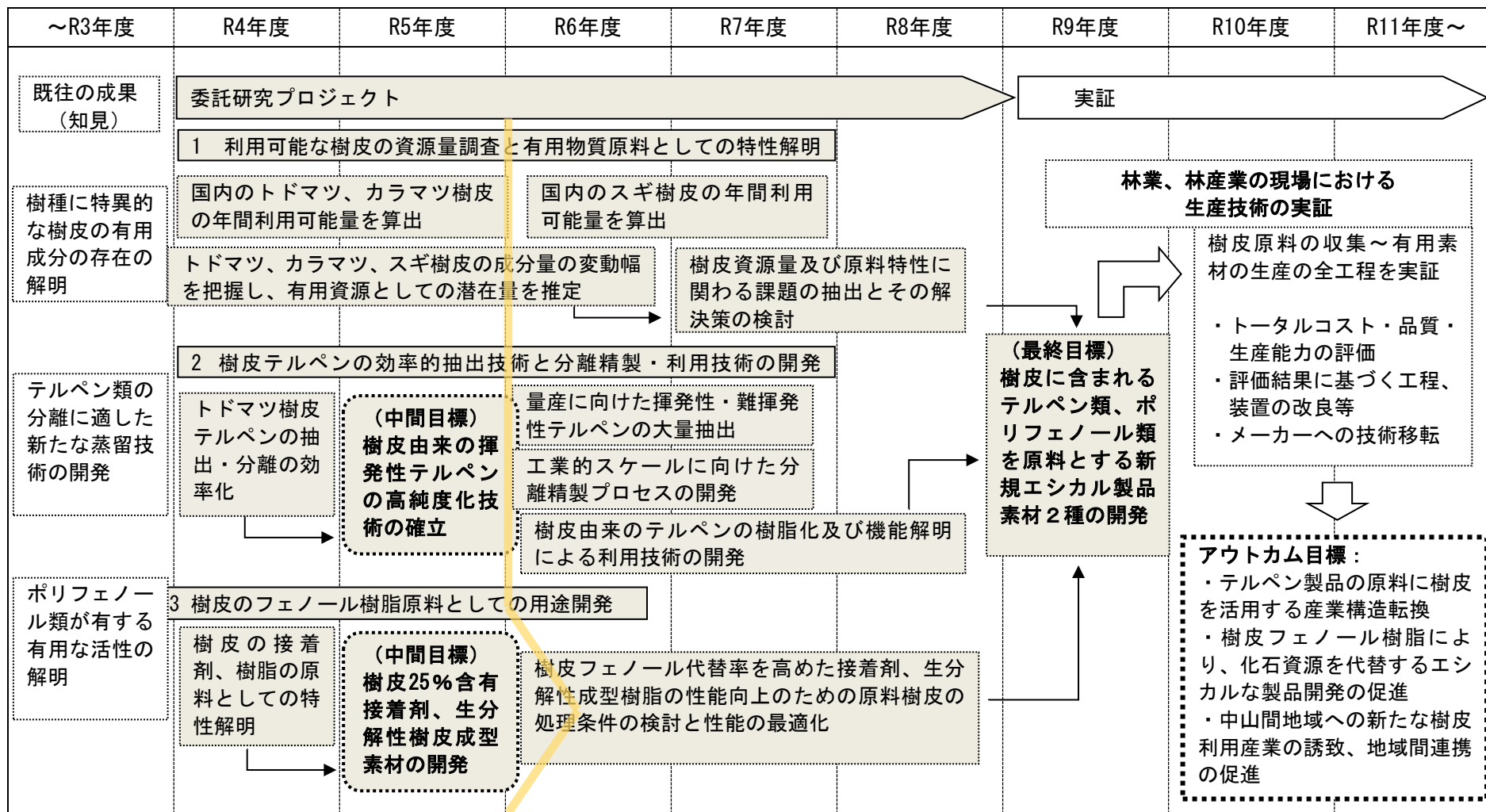


プラスチック代替素材等
(生分解性素材)

未利用樹皮資源の高度利用によりCO₂排出削減効果の最大化を図る

【ロードマップ（中間評価段階）】

針葉樹樹皮のエシカルプラスチック等への原料化



針葉樹樹皮のエシカルプラスチック等への原料化

- 針葉樹樹皮は、香料等の高付加価値物質として利用可能なテルペン等有用物質を多く含有。
 - 針葉樹樹皮に含まれるフェノール性化合物は化石資源由来の樹脂原料等の代替品として活用可能。
- ⇒地球にやさしい（エシカルな）素材原料として、有効活用できていない樹皮の新たな用途開発を行う



1. 利用可能な樹皮の資源量調査と有用物質原料としての特性解明

樹皮の工業的な利用に向けて製材所等から発生する資源量の把握が必要

- ・トドマツ、カラマツの樹皮の資源量を調査、算出

トドマツ樹皮資源量

$$\text{伐採量} \times \text{工場処理率} \times \text{非利用率} \times \text{樹皮率} = 2 \text{万} 6 \text{千絶乾トン/年}$$

カラマツ樹皮資源量

$$\text{伐採量} \times \text{工場処理率} \times \text{非利用率} \times \text{樹皮率} = 2 \text{万} 4 \text{千絶乾トン/年}$$

実際に利用できる樹皮量が明らかとなり、含有成分の潜在量算出も可能に

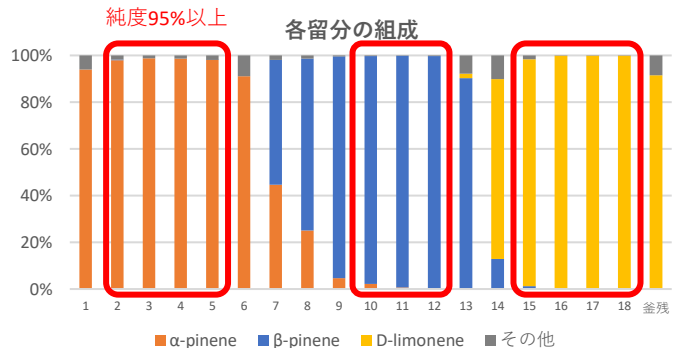
利用可能な樹皮資源量（北海道）

2. 樹皮テルペンの効率的抽出技術と分離精製・利用技術の開発

樹皮に含まれるテルペン成分の利用には、構成成分を効率的に分離する手法開発が必要

- ・トドマツ樹皮精油成分の95%純度の単離技術の確立

工業的規模へスケールアップ可能な分離精製技術を開発



トドマツ樹皮モデル精油の精留による成分分離

3. 樹皮のフェノール樹脂原料としての用途開発

樹皮に含まれるフェノール成分の接着剤としての利用には、性能を向上させる技術開発が必要

- ・微粉化カラマツ樹皮を混合したフェノール樹脂接着剤を製造

合板JASの基準をクリアする接着性能が得られ、実用化に近づく

樹皮を25%混合したフェノール樹脂接着剤の接着性能

接着剤	せん断強さ (N/mm ²)	木部破断率 (%)	合板JAS判定
フェノール樹脂 (PF) のみ	1.19	52	合格
微粉化カラマツ樹皮 + PF	1.03	43	合格
ヒドロキシメチル化カラマツ樹皮 + PF	1.03	32	合格