

4-8 木質材料の高度利用技術・木質資源の高機能化

木方洋二、木方千春（(財)科学技術交流財団）

来川保紀、太田幸伸、福田聡史、稲垣三喜男、高須恭夫、

高橋勤子、福田徳生（愛知県産業技術研究所）

1. 研究の目的と概要

循環型資源である木質資源を積極的に活用することを目指して、環境に配慮した成形技術、熱処理技術、成分利用技術等を応用した材料・製品の研究開発および開発品の評価を行った。木質資源はクリーンな環境調和型資源であり、その一層の活用が望まれている。特に最近、多面的な機能が認識されつつある都市近郊林の保全と活用の観点からも、その生産物である木材の有効活用や新たな利用方法の開発が必要となっている。なかでも、木質系残廃材、剪定枝などは、一部がボード原料や燃料等に利用されているが、大部分は焼却または埋め立て処分されてきた。今後、これらを有効に活用していくことは、木質系資材の循環利用を考えていく上で重要な意義を持っている。この技術開発は木質廃材の再資源化の観点から、環境に配慮した方法で木質系資源の循環利用を目指している。

試作した資材について、農林業および土木工事のマルチング材、緑化資材等に用いる目的で敷設・施工試験を行った。また、成形体についても実用化に向けて各種試作及び試験を行った。その経過を報告する。

2. フェーズ I の成果

2-1. 目的及び目標

樹種、形状等いろいろに異なる木質残廃材の利用を目指し、接着剤等化学物質を利用しない、成形体を作ることを目指した。フレキシブルマット、エンボスマット、自己接着ボード等の開発に、いずれも前提となる木繊維、木粉の調製のための処理技術の検討、自己接着機能の検討を主題とした基礎的研究である。

2-2. 方法および結果

2-2-1. 木質系マットの作製（フレキシブルマット、エンボスマット開発）

(1) フレキシブルマットの作製

木質ファイバーを接着剤を用いずに、機械的に密度の小さいマット状に成形する方法を検討した。短繊維のファイバーを原料とする方法として、不織布の製造に用いられるニードルマシンを利用し、不織布でファイバーを挟みながら成形する方法を試みた。

短繊維の木質ファイバーが長繊維の不織布で挟まれたままニードリングされることにより、うまく木質ファイバーを保持したままマットが成形される。そのマットの作製の流れを図1に示す。ここで用いるニードルマシンとは、多数の鉤針でファイバーを刺し絡め合わせることによりマット状の成形物を得る装置である。装置の外観を図2に示す。この方法で成形した木質ファイバーを用いたマットの外観を図3に示す。

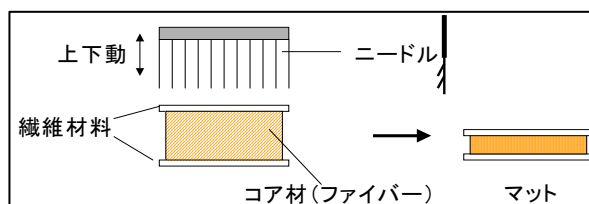


図1 マット作製の流れ



図2 ニードルマシン



図3 フレキシブルマットの外観

この方法は機械的な手段だけを用いており、比較的安価に製造できること、合成樹脂系のバインダーを必要としないことから環境にやさしい製品であると考えられる。土木資材やマルチング材などの用途を想定すると、天然系の繊維や生分解性の繊維を表裏に用いることが有効と考えられる。ニードルを用いるこの方法でマット成形が可能であることが明らかとなったことから、今後天然系の繊維、例えば繊維産業におけるおち綿等を含めた各種繊維に対し最適製造条件を求めていく必要がある。

(2) エンボスマットの作製

石油系のバインダー等を一切用いず、蒸気処理を行った木質材料の自己接着性を利用したマットの成形を検討した。

ここでは木質材料としてブナのプレーナ屑を用いた。その成形手順を図4に示す。まず材料をオートクレーブにより180~200℃で蒸気処理後、自然乾燥し、これをウィレー式粉碎機を用いて、粒子径が4mm以下になるまで粉碎した。これは粒子径を細かくすることで材料の流動性および均一性を増すためである。木質材料を不織布で挟み、溝付き金型を用いて熱プレス成形した。図5はマット成形の模式図であり、熱プレスにより金型の凸となる部分の熱と圧力が上昇し、木質材料の自己接着性が発現することにより、上下の不織布が接着される。図6は作製されたエンボスマットの外観である。

このマットの特徴は石油系の接着剤を使わず生分解性材料のみで作られているので、使用後の処理も容易である。また、簡単に巻き込みロール状にすることができるため、運搬が容易であり、しかも安価に市場に提供できる。さらに、処分する場合においても、放置すれば自然に分解し、焼却も容易で回収可能であるなど、環境配慮型の製品と言える。

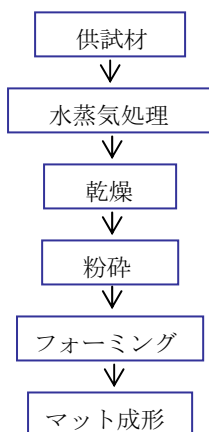


図4 エンボスマットの成形手順

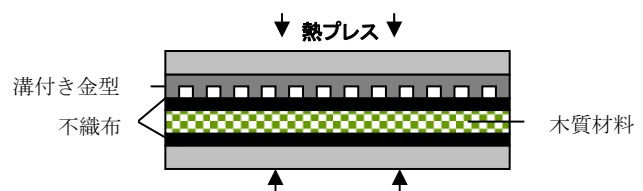


図5 エンボスマット成形の模式図



図6 エンボスマットの外観

2-2-2. 蒸気処理した木質系材料の成形（自己接着ボード、木質成形体の開発）

（1）蒸気加熱

（1）-1 蒸煮爆砕処理

蒸煮爆砕処理は、図1に示すように原料木質材料を蒸気加圧容器中で所定時間加熱した後、容器出口弁を一気に解放することにより、木材を繊維状に分解する方法である。この処理では、木質材料は高温の蒸気による化学的な分解と、爆発的な解压による物理的な分解を受ける。図2に蒸煮爆砕装置の外観、図3に蒸煮爆砕生成物を示す。

（1）-2 蒸煮処理

蒸煮処理は、原料木質材料を蒸気加圧容器中で所定時間加熱した後、爆砕処理のように一気に解压することなく、徐々に解压する方法である。物理的な分解を受けないので、原料木質材料はもとの形状をほぼ保っている。図4に蒸煮処理装置を示す。

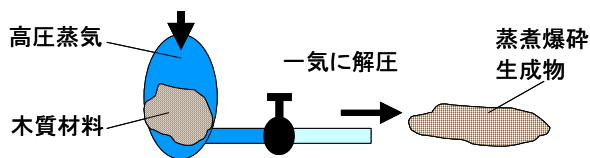


図1 蒸煮爆砕処理



図2 蒸煮爆砕装置の外観



図3 原料チップと蒸煮爆砕生成物



図4 蒸気処理装置の外観

（2）自己接着ボードの製造

蒸気加熱処理を施した木質材料が接着性を発現することを利用して自己接着ボードを作製し、その性能を調べた。蒸煮爆砕処理した木粉を、熱プレスでボードに成形し、ボード密度及びプレス温度が曲げ強さ及び吸水厚さ膨張率に及ぼす影響を検討したその結果、この自己接着ボードは、未蒸煮の木粉をボード化したものに比べて、曲げ強さは大きく、吸水厚さ膨張率はかなり低い値を示すことが明らかになった。

（2）-1 実験方法

① ボード成形

図5にボード成形までの一連のフローを示す。この方法は、蒸気加熱処理により木材成分が分解して接着性物質が生成すること、一旦乾燥した後もこの接着性は失われず再加熱により接着硬化し、ボードが成形できることに特徴がある。

供試材は、ブナのプレーナ屑（かんな屑）を用いた。蒸気加熱として、蒸煮爆砕処理を行った。蒸煮爆砕した試料は、室内に放置して自然乾燥した。粉碎は、ウィレー式粉碎機で 2mm 目の受け網を用いて行い、得られた木粉をボード製造用の原料とした。ボード成形は、気乾状態の木粉をフォーミングし、熱プレスで密度 0.7、0.85 及び 1.0 g/cm³ となるように成形した。プレス温度は、150、170、190、210 及び 230℃ とし、プレス時間は 15 分とした。ボード寸法は、190×190×10mm（厚さ）とした。

② 評価

曲げ試験は、作製したボードから 50(幅)×130(長さ)×10(厚さ)mm の試験片を採取し、スパン 100mm、速度 10mm/min で中央集中荷重を加えて行い、曲げ強さを求めた。吸水厚さ膨張率は、JIS A 5905 繊維板における測定方法に準じ、水に 24 時間浸せきしたときの厚さ変化から求めた。この値は、耐水性の指標となる。

(2)-2 結果及び考察

図 6 に自己接着ボードの外観を示す。自己接着ボードは MDF（中質繊維板）に似た外観を有し、成形温度が高いほど褐色化を呈した。図 7 に自己接着ボードの曲げ強さを示す。未蒸煮の木粉をボード化した場合に比べ、蒸煮したものは 3 倍程度の曲げ強さを示した。また、この結果は、次の点が特徴的である。①ボードの密度は曲げ性能に大きな影響を及ぼし、密度 1.0g/cm³ のボードは、0.7g/cm³ のボードに比べ 3～4 倍の曲げ強さを示す。②適当なプレス温度が存在する。この図からはその値が 170℃ から 190℃ あたりにあると思われるが、今回一定とした蒸煮温度、プレス時間などの影響を受けると考えられる。図 8 に自己接着ボードの吸水厚さ膨張率を示す。未蒸煮の木粉をボード化したものは、100% 以上の厚さ膨張率であったが、自己接着ボードは 8～21% と小さい値であった。MDF の耐水グレードの規格値が 12% であることを考えると、自己接着ボードはバインダー無添加の材料として良好な耐水性を有していると言える。また、この吸水厚さ膨張率の結果が曲げ強さの結果とは異なり、ボードの密度やプレス温度にあまり依存していないことは興味深い。

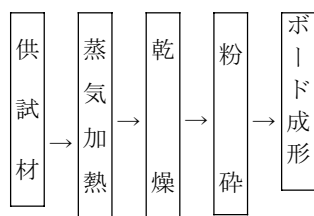


図 5 ボード成形フロー



図 6 自己接着ボードの外観（密度 0.85）

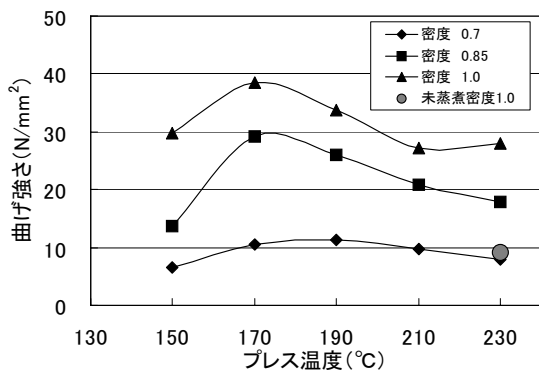


図 7 自己接着ボードの曲げ強さ

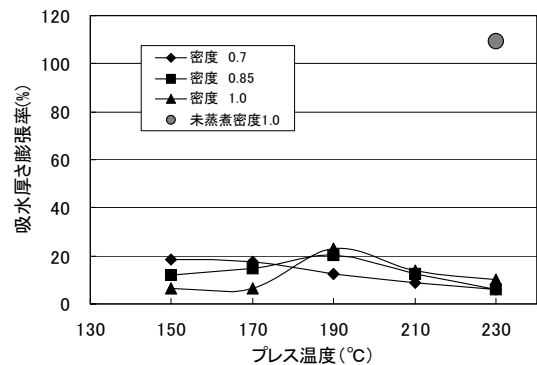


図 8 自己接着ボードの吸水厚さ膨張率

(3) 木質成形体の開発

蒸気処理した木粉が加熱加圧により熱流動することを細管式レオメータを用いて明らかにした。また、蒸気処理木粉の熱流動性と自己接着性を利用し、蒸気処理木粉を加熱加圧することにより、プラスチック状の強固な自己接着成形体（木質成形体）が製造できることを明らかにした。

(3) - 1 実験方法

① 試料木粉の調製

原料木質材料として、ブナのプレーナ屑を用いた。蒸気加熱として蒸煮爆砕処理を施した原料を室内で風乾した。これをウィレー式ミルで粉碎後、振動ふるい機で分級し、試料木粉とした。

② 蒸煮木粉の熱流動性の測定

流動性の測定は、細管式レオメータ（島津製作所製フローテスタCFT-500形）を用いた。この装置は、図9に示すように加熱炉内でシリンダ中の試料をピストンにより定荷重で加圧し、熔融した試料をノズルから流出させて流動性を評価するものである。基本的な試験は、炉を120℃に保持して（一部の試験は80℃）、面積1cm²のシリンダ内に試料木粉1.5g（含水率9～10%）を入れて5分間予熱した後、3.92kNの荷重を加え、毎分2℃で昇温させて直径1mm、長さ1mmのノズルで流出の様子を調べた。

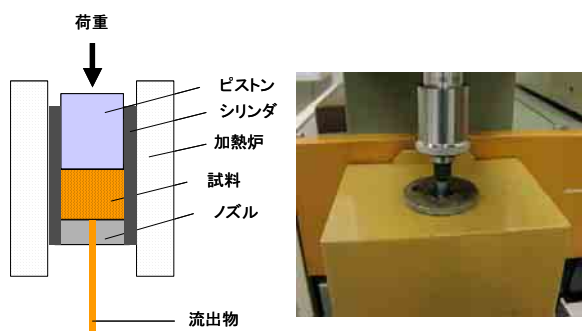


図9 細管式レオメータ

③ 木質成形体の調製

木質成形体の調製は、試料木粉を型押し成形容器内に充填し、熱プレスで加熱・加圧することにより行った。

(3) - 2 結果及び考察

① 熱流動性の測定

図10に細管式レオメータによる試験結果の例を示す。昇温に伴い、試料が熔融・流動してノズルからの流出が起こると、ピストンの下降量が増大する。この例では、蒸煮履歴を有する木粉が、昇温過程で流動を起こしたことを示している。210℃で2分蒸煮・爆砕した木粉は163℃で、200℃で2分蒸煮・爆砕した木粉は196℃で流出が始まり、その後数分間で全量が流出した。流出物は図11に示すように連続的な糸状である。未蒸煮の木粉については、流出は認められなかった。図12に蒸煮条件と流出開始温度の関係を示す。この結果から、蒸煮温度が高く、また、蒸煮時間が長くなるほど流出開始温度は低くなることが分かる。この実験で蒸煮条件が最も厳しい220℃10分の場合は、流出開始温度が105℃であった。

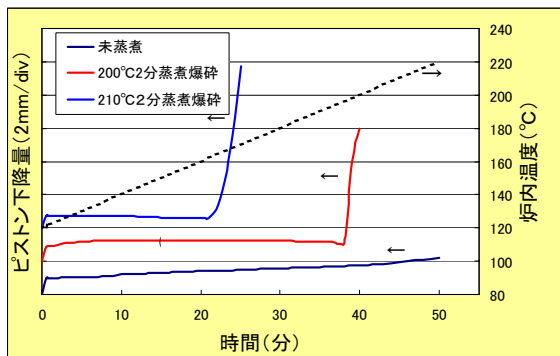


図 10 細管式レオメータによる試験結果の例

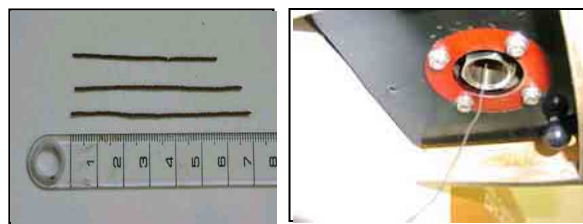


図 11 ノズルからの流出物

② 木質成形体の調製

図 1 3 に調製した木質成形体の例を示す。この成形体は、200°Cで 2 分蒸煮・爆砕した試料を直径 70mm の金型内で 170°Cで 15 分間予熱後、定温で 50MPa・25 分間加圧したものである。この成形体の外観は、黒褐色で表面に光沢があり、樹脂状であった。木粉のみから調製された材料（プラスチック木材）である。

これらの結果は、蒸気処理された木粉は、熱流動する成分を乾燥後も保有し、この成分は加熱・加圧下で木粉全体を流動させ得ることを示している。

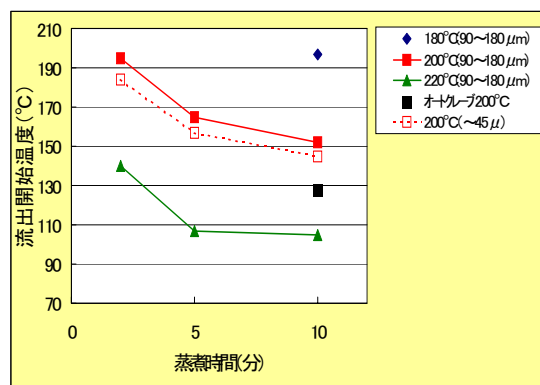


図 1 2 蒸煮条件と流出開始



(成形じぐ)



(型板および成形体)

図 1 3 木粉成形体

2-3 考察及びフェーズⅠのまとめ

長い繊維をとることの難しい木質残廃材からの短い繊維を使って可撓性のある土木資材、マルチング材を作ることに成功した。即ちニードルルームによる機械的加工のみのフレキシブルマット、蒸気処理繊維混入による合成接着剤を使用しないエンボスマットを製造した。

蒸気処理により繊維に自己接着性を発現させ、再度熱圧することにより自己接着ボードを作製し、さらに蒸気処理した木粉が再度の加熱、加圧により流動性を持つことを発見し、プラスチック状の強固な成形体を製造することが出来た。

3. フェーズⅡの成果

3-1. 目的及び目標

フェーズⅠの成果に基づき、企業化に向けた製品開発の研究を行った。即ち、フレキシブルマット、エンボスマットについては敷設試験を行い、経年変化を測定した。なおこの施工試験に先立って、屋上緑化研究会を立ち上げ、10回近くの研究会を行った。木質成形体については、平板の形状から、カップ状の立体成形体まで行い、製品製造に近づくことを目標とした。

3-2. 方法及び結果

3-2-1. 木質系マットの作製および敷設試験

(1) エンボスマットの製造条件の把握

木質系廃材を利用した木質系マットの製造技術の研究開発を行った。これまでに凹凸を有する溝付金型により蒸気処理した木質材料と不織布の積層体にエンボス加工することで柔軟性を有するマットを作製する手法を開発したが、フェーズⅡでは主に実用化に向け、マットの強度、生産性向上のため製造条件の把握を目的として実験を行った。

このマットの用途は、農林業および土木工事等のマルチング材、緑化資材、建築資材などを想定している。また、その特長は、運搬・敷設が容易であること、合成接着剤を用いないで製造されていること、表裏の繊維層に綿やレーヨンなどの天然系又は再生系の不織布を使用すれば屋外で用いてそのまま放置しても環境に与える負荷が小さいことなどがあげられる。

これまでのエンボスマット開発には原料として、自己接着性を比較的得やすいと考えられるブナ材を主に用いてきた。エンボスマットの量産に利用可能な原料の物性値と成形条件の関係を明らかにすることを目的とし、ブナ材、スギ心材、スギ辺材、廃材チップおよびスギオガコを用いてエンボスマットの製造条件と物性の評価を実施した。マットの物性として木粉の自己接着力に着目し、その評価方法には図1に示す90°はく離試験を採用した。またその調製条件を表1に示した。

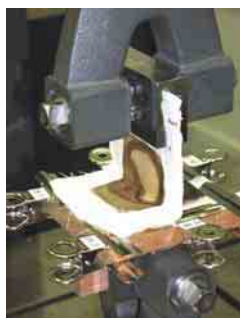


図1 はく離試験

表1 試料調製条件

項目	数値
接着面寸法	縦 7cm×幅 5cm
蒸気処理条件	200~220℃ 20min
使用木粉	ブナ材、スギ辺材、スギ心材、 廃木材チップ、オガコ (スギ)
プレス条件	160℃~220℃ 3~60sec
試料含水率	15%、30%、45%、60%

ブナ材 200℃20分蒸気処理木粉と 220℃20分蒸気処理木粉を用いた試料の最大はく離力の測定結果を図2と図3に示す。プレス成形温度 160℃から 200℃までの範囲では蒸気処理温度の上昇に伴い最大はく離力が向上し、図8に示すようにそれぞれ木粉の含水率、プレス成形温度、成形時間の増大に伴いはく離力が增大することが知られている。しかし 220℃蒸気処理木粉を用いて成形した場合、図3の含水率が 15~30%の部分ではプレス温度が上昇しても、はく離力は向上せず、200℃以下での蒸気処理木粉を用いた場合と異なることが判明した。これまでブナ材の場合含水率 30%、プレス温度 180℃、プレス時間 30秒を標準条件として試作と敷設試験を行ない、この成形条件でははく離力は図8にみられるように約 6.7Nであった。220℃の蒸気処理木粉を用いた図3では高いプレス温度と低い含水率での成形では急激にはく離力が低下するものの、ほぼ 200℃の蒸気処理木粉と同等以上の値を示した。このことから、蒸気処理に要するエネルギー、コストの増大などの点を考慮すると、高い強度を要求される場合などを除いて実用上の蒸気処理温度は 200℃程度で十分と考えられる。

次にスギ辺材、廃木材チップでの試験結果を図4と図5に示す。スギ辺材、廃木材チップ共に含水率 30%前後でははく離力が最大となり、それ以外でははく離力は急激に低下する。また含水率 30%の場合、プレス温度が 180℃以上でははく離力は増加せずほぼ一定であること、プレス時間については 30秒以上とすることでブナ材とほぼ同等のはく離力を示すことが判明した。これらのことからスギ辺材、廃木材チップも含水率を 30%に管理し、プレス温度と時間を十分付与することでブナ材と同等の強度を有するエンボスマット作製が可能であることが判明した。

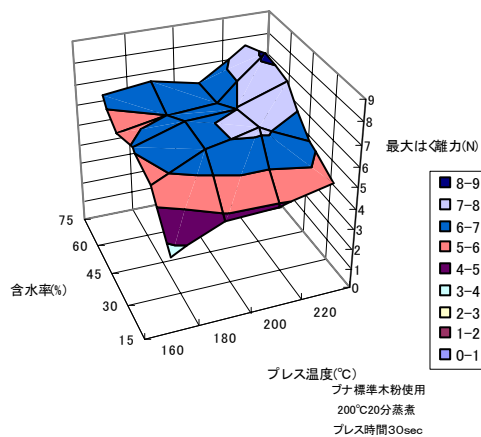


図2 はく離試験 (ブナ 200℃蒸気処理)

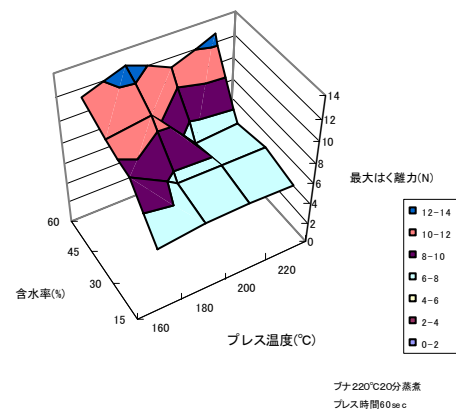


図3 はく離試験 (ブナ 220℃蒸気処理)

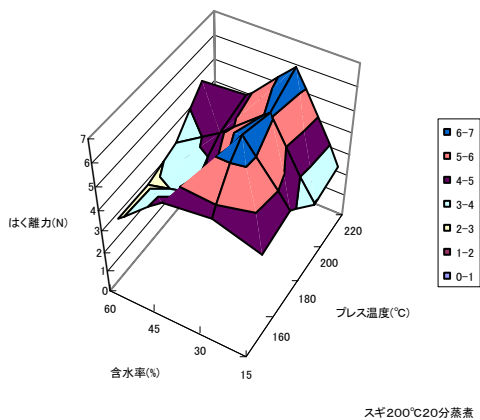


図4 はく離試験 (スギ辺材 200℃蒸気処理)

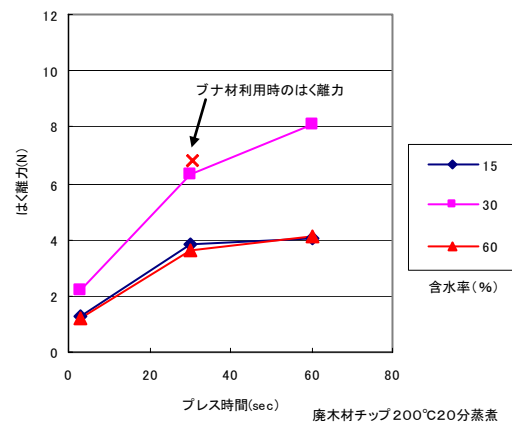


図5 はく離試験 (廃木材チップ 200℃蒸気処理)

スギ心材 200℃20 分蒸煮木粉を用いた試料の最大はく離力の測定結果を図 6 に示す。含水率 30% 以上・プレス時間 30 秒以上の条件で 160℃ではばらつきがあるものの 180℃以上ではプレス温度にあまり関係なく最大はく離力が向上した。

これまでブナ材の場合含水率 30%、プレス温度 180℃、プレス時間 30 秒を標準条件として試作と敷設試験を行ってきたが、この成形条件でのスギ心材のはく離力は図 6 より約 6.7Nであり低い含水率および低い温度での条件を除いて 6.7N とブナ材と同等の最大はく離力を示した。

次にオガコでの試験結果を図 7 に示す。含水率 30%前後ではく離力が最大となり、それ以外でははく離力は急激に低下する。また含水率 30%の場合、プレス温度が 180℃以上でははく離力は増加せずほぼ一定であること、プレス時間については 30 秒以上とすることでブナ材に近い最大はく離力を示すことが判明した。これらのことからオガコにおいても含水率を 30%に管理し、プレス温度と時間を十分付与することでブナ材に迫る強度を有するエンボスマット作製が可能であることが判明した。最後に今回の実験から得られた最適なエンボスマット作製条件を表 2 に示す。

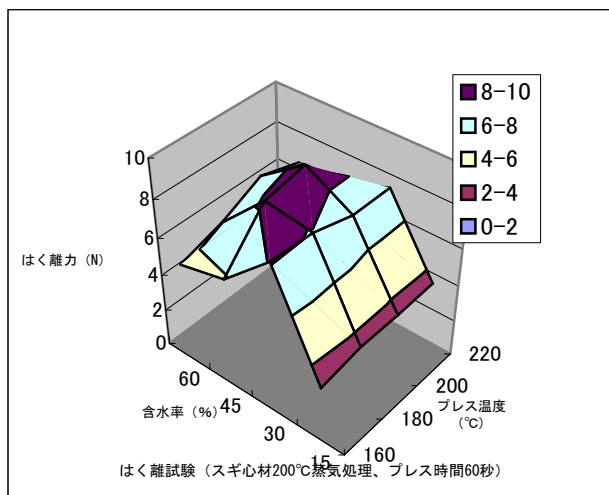


図 6 はく離試験(スギ心材 200℃蒸気処理)

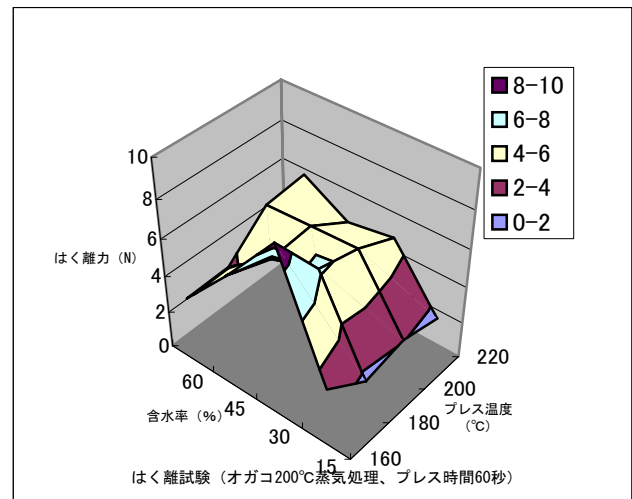


図 7 はく離試験(オガコ 200℃蒸気処理)

表 2 廃木材チップによるマット作製の適切な条件

プレス成形条件	
項目	数値
温度	180℃以上
時間	30秒以上
圧力	64kg/cm ²
含水率	30%

本実験により家屋解体材による残廃材チップや入手の容易なオガコを用いたエンボスマットの製造条件を把握することができた。これにより大量供給が可能な原料をエンボスマットに利用でき、量産化と製品のコストダウンに寄与するものと思われる。

(2) マットを用いた緑化モデルおよび草抑え及びマルチング効果の試験経過

開発・試作された、木質フレキシブルマット及び木質エンボスマットの実用化、実証化に向けて愛知県下6カ所でこれらの試作した資材を用いてフィールドテストを行った。農林業および土木工事のマルチング材、緑化資材等に用いる目的で敷設・施工試験を行い、経年変化を調査した。

図8に試験に用いた木質フレキシブルマット、木質エンボスマットを示す。木質フレキシブルマットは、木材ファイバーを不織布で挟みニードルマシンでマット化したもの、木質エンボスマットは、蒸気処理した木質材料を不織布で挟み熱プレスにより自己接着させて成形マット化したものである。



木質系フレキシブルマット



木質系エンボスマット

図8 敷設・施工試験に用いた木質系マット

(2) - 1 木質系マットを用いた緑化モデル設計と試験施工

①愛知県産業技術研究所(刈谷)緑化基盤システム(平成13年12月施工)

開発・試作された、木質フレキシブルマットおよび木質エンボスマットの実用化に向けて緑化モデルを設計し、愛知県産業技術研究所内にて、試験施工を行った。

この緑化モデルの設計にあたっては、木質廃材の新しい用途を提案することを目的に木質フレキシブルマット、木質エンボスマットおよび木質セメントブロックを代替培土、マルチング材および縁材等として使用することとし、軽量である特徴を生かすため屋上緑化を想定したモデルとした。

基本となる開発基材等の役割・機能を以下のように設定した(図9)。

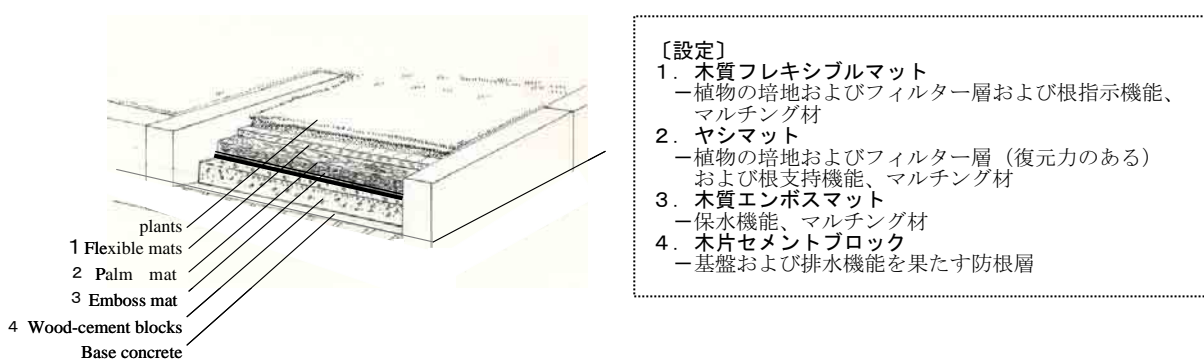


図9 緑化モデル(断面図・内部構造)

植物の生育、マルチングの効果、マットの形状、その他について測定、観察を行った(年1回の低管理を目指しているため、メンテナンスは行っていない)。

3月下旬以降気温が暖かくなるにつれ、植物の成長も著しく、植物の根の支持層の役目を果たすフレキシブルマット内には、しっかりと植物の根が張っていた。また、マルチング材(草抑え)として用いたフレキシブルマット及びエンボスマットも、マット部分からは、1本の雑草も見あたらなかった。ただしマットに覆われていない部分からは、複数の雑草が生えてきていた。夏期は、猛暑により、特定種は枯死したが、セダム系の植物(多肉植物)は高温と多湿で、衰弱していたが生育はしていた。

冬期は植物が休眠状態にあり、衰退している様子だったが、生育していた。このモデルで用いた木質系資材は、十分機能を果たしていると考えられた（図2-1）。2年経過後の植栽帯の植物の成長も良好といえよう（図2-2）。マツバギクなどの草本類はヤシマットを貫通しフレキシブルマットに定着している。また、土壌代替材の木質材料は、フレキシブルマットの表面の不織布は分解していたが、マット形状は維持していた（図2-3）。2年経過した現在も、植物の生長は安定しており、木質系緑化資材としての有効性が認められた。

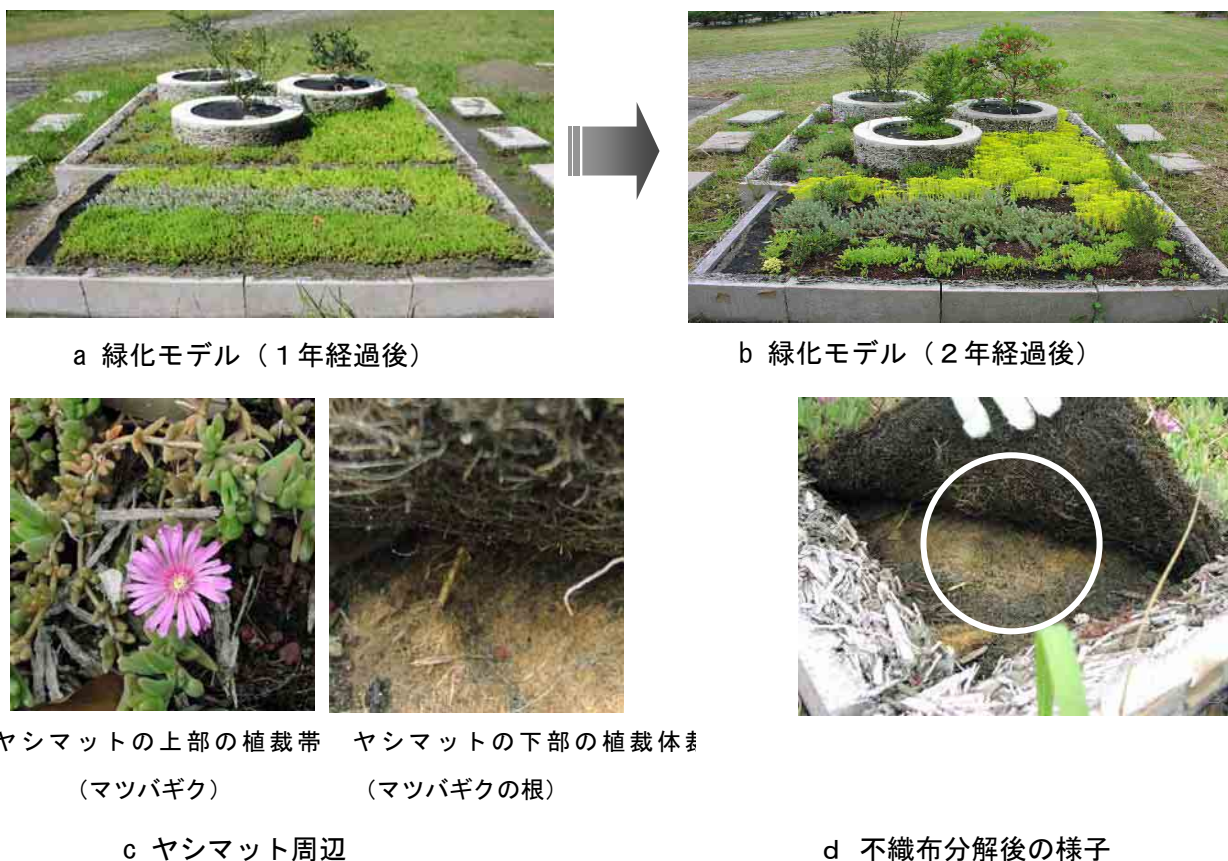


図10 緑化モデルの試験施工経過

②名古屋大学工学部（名古屋）屋上緑化基盤システム（平成15年11月施工）

名古屋大学工学部1号館の建物の2階屋上を緑化改修し、緑化面積約12㎡に、木質系廃材からなる木質系緑化資材を敷設した。

既存の屋上面の清掃を念入りに行った後、直接的な根の侵入を防ぐ耐根補助フィルムを設置し、植栽基盤の防水保護材、貯水排水層となる木質セメントブロック（30×50×10）の間隔を5cmほど空け、敷き詰める。木質セメントブロックの上に排水層となる、ヤシマットを敷き詰め、その上に貯水排水層となる木質エンボスマットを敷き詰める。その上に、保水層となる木質フレキシブルマット（30×100×0.9cm）を敷き詰め、芝生（コウライ芝）を張り、上から目土を散布し、十分に散水、養生した。

図11aに敷設後の様子を示す。ここでは主に、緑化することによる断熱性能、その他植物の生育状況を調査した。図11bに敷設13ヶ月後の様子を示す。



a (H15, 5, 11)



b (H16, 6, 11)



図 1 1 名古屋大学屋上緑化

屋上緑化の効果として、屋上緑化による夏季の建物への熱の流入量に着目した。これまで、主に、木質系マットの代替培土としての機能および草抑え、マルチング効果を調査してきたが、ここでは、屋上緑化による少エネルギー効果について調査した。

[名古屋大学工学部屋上緑化での温度観測]

2004年7月29日(晴天日)日没から翌日終日まで名古屋大学の学生の協力により温度測定を行った。名古屋大学工学部(低層棟2階建て)の屋上における温度の計測結果を報告する(図12)。

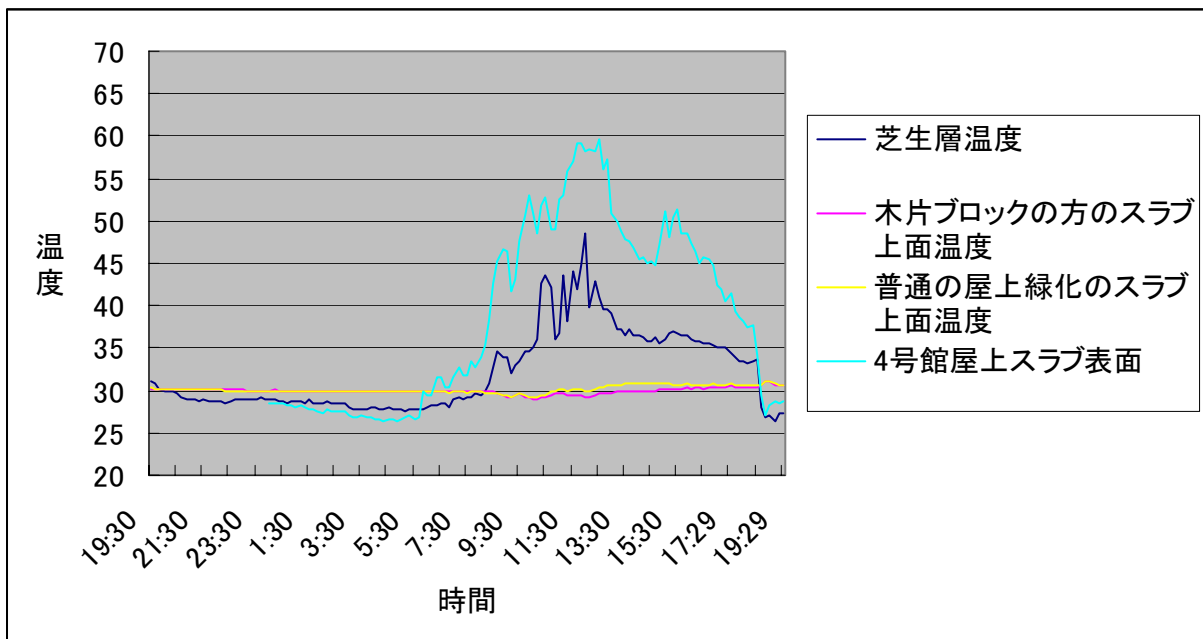


図 1 2 名古屋大学屋上温度測定

ここでの計測ポイントは、緑化していない屋上のコンクリートスラブ面、緑化した芝生のスラブ面、木質資材による緑化基盤下の屋上スラブ面、人工土壌による緑化基盤下の屋上スラブ面の4カ所で、この日の日射量の計測も行った。この日は13時前に気温は35°Cに達し、屋上緑化が行われていない屋上コンクリートスラブ上面温度は60°Cに達した。緑化が行われている屋上の芝生上面温度は48.5°Cまで上昇した。木質系資材による緑化基盤および人工土壌からなる緑化基盤の底面は、終日30°C前後と一定した温度を示しており、屋上面での潜熱消費量は劣るが、緑化基盤の底面では熱流はほとんどない。

〔まとめ〕

屋上緑化と建物の関係を考えたとき、屋上緑化は、建物の断熱性能を保つことから、コンクリートの屋上床から輻射熱が伝わるのを抑えることがわかる。しかし、植栽土壌の厚さや植栽の種類などによりこの効果も異なることが予想されるし、断熱材の効果も大きいといえよう。断熱材をうまく使いながら、屋上緑化の仕様を設計することが、輻射熱低減につながるものと思われる。

しかし残念ながら、ここでの屋上緑化は今季の夏の猛暑によりほぼ芝生は枯死していた。水不足も大きな要因であろう。芝生は非常にメンテナンスを要する植物であり、維持管理が十分に行われない場合、しっかりとした対策法を考えるべきである。

（２）-２ マットを用いた草抑え及びマルチング効果の試験施工

①愛知県森林・林業技術センター（鳳来）（平成 14 年 6 月敷設）

開発・試作された、木質フレキシブルマット及び木質エンボスマットの実用化に向けて山地における苗木の草抑え、マルチングとしての効果について、2年を目安に試験・施工調査を行った。

この敷設実験にあたっては、木質廃材の新しい用途を提案することを目的とし、軽量で、環境に配慮したもので、施工も容易であることから、植林地の防草、林道ののり面のマルチング、造園工事の使用を想定したモデルとした。施工後、防草効果・土壌の代用などの有用性を確認すると共に、マットが有する生分解性による劣化を観察し、マットの耐久性を確認した。

〔試験施工方法〕

愛知県森林・林業技術センター内において、コナラ（一年生）の苗木を山の傾斜に沿って10本6列に配置した。苗木の間隔は2mピッチ、設置面積は株当たり0.4㎡（75cm×55cm）とし、マットを敷設した（図13）。



図 1 3 愛知県森林・林業センター内の試験施工

〔調査方法〕

(1) マットの雑草木抑制効果

2003年2月27日及び2004年1月15日にマット上に出現した植物の被度(Braun-Blanquetの優占度)を調査した。また、マット下の植物の生育状況も観察した。対照区については、マット設置面積と同じ0.4㎡について同様の調査を行った。

(2) マットの劣化

マットの経時的な劣化度合いを目視により次の5段階に数値化し調査した。

- 0：劣化は認められない
- 1：0～25%劣化
- 2：25～50%劣化
- 3：50～75%劣化
- 4：75～100%劣化

また、重量減を調査するために、2003年2月に各マット1ヶ所（2枚）、2004年1月には各マット9ヶ所（18枚）からマットを回収し、絶乾重を測定した。

(3) 植栽木の成長

試験開始時（2002年5月29日）、1年目（2003年2月27日）、及び2年目（2003年12月11日）の3回、植栽コナラの樹高及び根元径（20cm高）を測定した。

〔結果と考察〕

1. マットの雑草木抑制効果

表-1にマット設置10ヶ月後（以下、1年目）のコナラ周囲0.4 m²に出現した植物の被度、本数、及び種類数を示す。エンボスマット及びフレキシブルマットでは、マットを突き破って出現した植物は主にネザサとワラビで、全体としては被度1以下であった。これは対照区の被度4と比べると著しく低く、雑草木の抑制効果が十分認められた。各マット1ヶ所について、マット下の状況を調査したところ、両マットにネザサの発生が認められた。エンボスマット下では7株が生存、12株がいったん出芽後枯死していた。フレキシブルマット下では3株生存、12株枯死であった。雑草抑制効果はフレキシブルマット、エンボスマット共に十分な効果が認められた。その他生存していたものは、エンボスマット下にヒメヤブランが見られた。

表-2にマット設置21ヶ月後（以下、2年目）のコナラ周囲の植生調査結果を示す。

エンボスマットでは、ネザサ、ワラビなどがマットを貫通して生育しており、被度は3と1年目と比べて明らかに高くなった。他に見られた植物はヒメヤブラン、ツボクサ、ナキリスゲであった。

対照区ではネザサ、ススキ、セイタカアワダチソウが優占し全体被度5であった。ススキ、セイタカアワダチソウの草丈は植栽木を大きく上回っており、植栽木の被圧が懸念される状況であった。

フレキシブルマットでは新たにヒメコウゾ、アマヅルが出現したが、全体被度は1と1年目と比較してもわずかに増加しただけであった。対照区はエンボスマットの対照と同様、高い被度を示した。このことは、フレキシブルマットの方がエンボスマットより明らかに雑草抑制効果が高いことを示している。

植物名	エンボス		対照		フレキシブル		対照	
	本数	被度*1	本数	被度	本数	被度	本数	被度
全体		1 (・~1)*2		4 (3~5)		+ (・~1)		4 (3~5)
ネザサ	7	1	14	2	2	+	13	2
ワラビ	2	1	3	2	0.1	+	4	3
ススキ	0	・	3	2	0	・	3	2
セイタカアワダチソウ	0	・	5	2	0	・	1	1
植物種類数	3		21		2		18	
*1: ・:発生無し、+:1%未満、1:1~10%、2:10~25%、3:25~50%、4:50~75%、5:75~100%の植被率を表す。								
*2: (最低~最高)								

植物名	エンボス			対照			フレキシブル			対照		
	本数	被度	高さcm	本数	被度	高さcm	本数	被度	高さcm	本数	被度	高さcm
全体		3 (2~3)*1			5 (3~5)			1 (+~2)			4 (3~5)	
ネザサ	24	2	62	86	3	79	10	1	50	65	4	65
ワラビ	4	1	48	-*2	1	-	1	+	55	-	1	-
ススキ	0	・	0	-	2	162	0	・	0	-	2	148
セイタカアワダチソウ	1	+	200	3	1	200	0	・	0	-	+	-
植物種類数	11			15			4			13		

3. マットの劣化

図-14に両マットの重量及び観察による劣化度の経時変化を示す。重量の変化をみると、1年目ではエンボスマット 80%、フレキシブルマット 90%と両マットの差はわずかであったが、2年目になるとフレキシブルマット 70%に対し、エンボスマットでは 35%と著しい重量減となった。劣化度指数は1年目ではフレキシブルマット 0.3、エンボスマット 0.8 と両マットとも低く、差もわずかであったが、2年目になるとフレキシブルマットの劣化度はほとんど変化が認められないのに比べ、エンボスマットは劣化度 2.6 と大きな変化を示し、重量減の結果を反映したものとなった。エンボスマットは製造の過程で外側の不織布に熱、圧力が加わり、溝部分では厚さが数ミリと薄いことなどから亀裂が生じやすかったためであると考えられた。一方、フレキシブルマットの厚さは均一で、しかも 15mm と厚く、亀裂等が生じにくかったことが、このような結果になったものと考えられる。

4. 植栽木の成長

植栽コナラの樹高及び根元径のマット設置時からの成長量を図15及び図16に示す。

両マットとも樹高成長は2年目までには対照区を上回る結果となった。根元径については、対照区より有意に生育差が認められたのはエンボスマットのみであり、植栽木への成長促進効果はフレキシブルマットよりエンボスマットの方がやや高いと考えられた。

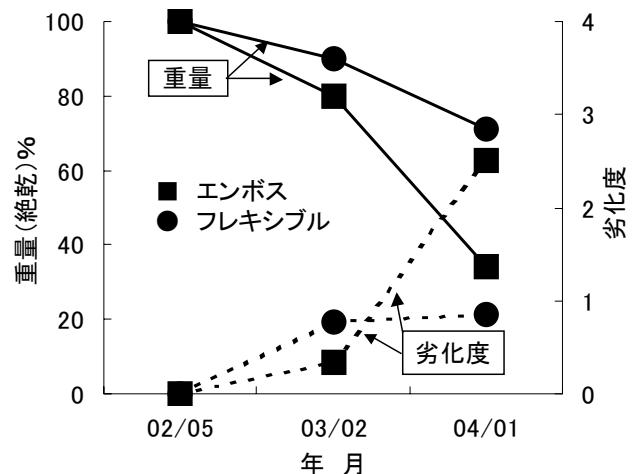


図14 マットの重量及び劣化度の推移

劣化度(観察により5段階): 0:0%、1:0-25%、2:25-50%、3:50-75%、4:75-100%の損傷を受けている

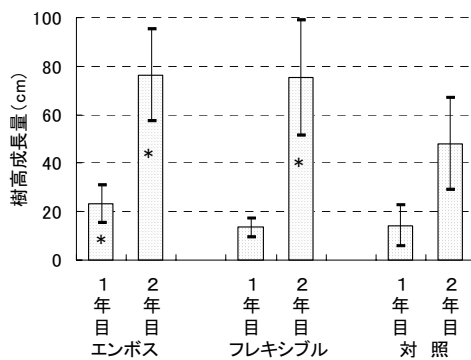


図15 木質マットがコナラの樹高成長に及ぼす影響
*:5%危険率で対照と有意差あり

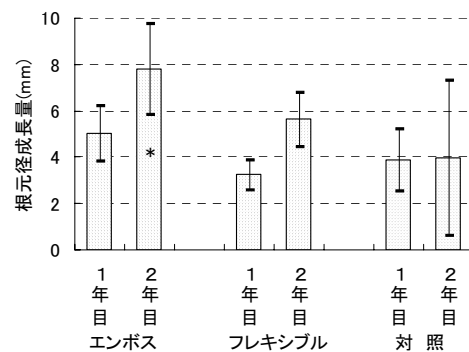


図16 木質マットがコナラの根元径の成長に及ぼす影響
*:5%危険率で対照と有意差あり

[まとめ]

木質繊維を利用したエンボスマット及びフレキシブルマットのコナラ造林地での効果を検討した。

エンボスマットは、劣化は甚だしいが、雑草抑制効果は設置後2年までは問題ないと考えられる。植栽木の生育は良好であった。マット設置により地温が高く保たれることが認められた。また、薄くて軽いためハンドリングについてはフレキシブルマットより優れる。

フレキシブルマットは、雑草の抑制効果は優れ、ほぼ完全に抑制した。マットの劣化も少なく、2年以降も雑草の抑制効果が期待できる。

実用化に向けては、価格が重要な問題となるところであるが、試験開始当初、マット1枚(約0.2㎡)当たりの製造コストは両マットとも400~500円、㎡当たり2000~2500円と高価であったが、これは試

験的に少量で製造されたためである。その後、量産化、効率化によって 500 円/m²程度にコストダウンを図っており、他の土木用資材と比較しても十分対抗でき、普及性は高いと予測している。木質マットは環境に配慮した製品であり、今後の利用拡大が望まれる。

引用文献

(1) 白井一則 小林元男 (1985) 場内の植物. 愛知県林業試験報告 21 : 1-39.

②愛知県森林・林業技術センター（鳳来）（平成 14 年 6 月敷設）

畑地にフレキシブルマットおよびエンボスマットを敷設し、畑地におけるマルチング効果を観測した。クヌギ（樹高 15 cm～25 cm 苗木）の周囲に木質系マットを敷設し、農業用マルチシート（塩ビ）と比較しつつ、土壌の調査・草抑え効果・苗木の生長に与える効果を調査した。敷設後の様子を図 15 に示す。マットを破って出た植物は見られなかったが、マットの上から根を侵入させる植物が見られた。農業用マルチシートと比較しても、十分草抑え、マルチング機能を果たしていると考えられた。

③愛知県産業技術研究所敷設試験（刈谷）（平成 15 年 5 月 30 日敷設）

公園や空き地などの敷設を検証するため所内の一部に敷設を行った。その様子を図 16 に示す。敷設後 1, 2 週間でマット下の植物は全て枯死し、その後の新たな雑草の生長は見られない。

④刈谷市松栄町交差点（刈谷）（平成 15 年 7 月 28 日敷設）

図 17 に刈谷市松栄町交差点にて敷設試験を行なった様子を示す。同様なスペースが南北に分かれて 2ヶ所存在しており、一方を対照区とした。敷設は除草後実施した。エンボスマット・フレキシブルマットともに雑草の生長を抑制しマルチング材として機能していることが確認できた。ただしフレキシブルマットについては図 17 にあるように植物がマットを貫通して生長する例も見受けられた。しかし、マットを敷設せず放置した場合、植物の生長が早く一月あまりで街路樹を覆ってしまった。この点からマットによるマルチング効果は非常に高いと考えられた。



図 15 愛知県森林・林業センター



図 16 愛知県産業技術研究所内敷設状況



図 17 愛知県刈谷市交差点敷設状況

2-2-2 蒸気処理した木質系材料の成形（木質成形体の開発）

より実証的な展開を目指し、以下のような取り組みを行った。

- ①木質成形体の物性把握
- ②熱流動と成形に関する検討
- ③性能向上への取り組み

その結果、次のような成果が得られた。

（1） 木質成形体の物性

成形体の性能を詳細に把握するため、様々な成形条件で木質成形体を調製し、物性を調べた。また、木質成形体の強度、耐水性、熱的性等、基本的な性質を把握し、他材料との比較を行った。

（1）-1 成形条件と木質成形体の物性

成形温度を変えて（120～220℃、6段階）木質成形体の物性を調べた。試料木粉は、ブナのプレーナ屑を200℃で10分間蒸煮処理し、0.5mmの網目を通過した木粉を使用した。100×100×4mmの板状の成形体を調製し、曲げ試験片、耐水性試験片などを採取し、それぞれの試験に供した。

成形体の外観はいずれも黒褐色の樹脂様であった。図1に成形体の密度を、図2に成形体の曲げ強さ及び曲げヤング係数を示す。成形体の密度は、1.42～1.45でほぼ木材の真比重に近い値であった。曲げ強さ及び曲げヤング係数は、成形温度が160℃～180℃で最大を示し、曲げ強さは60N/mm²、曲げヤング係数は、11.5kN/mm²であった。曲げ試験による試験体の破壊は、成形温度が160℃以上のものは脆性的な破壊であり、140℃以下の緩やかな破壊と区別された。200℃以上で成形した場合の曲げ性能の低下は、熱による劣化が原因と推測された。耐水性は、成形温度が高いほど良好で、120℃で成形した場合の吸水厚さ膨張率（24時間）は約10%であったのに対し、220℃では2%であった。

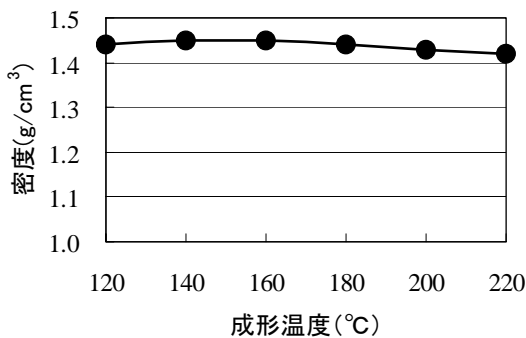


図1 木質成形体の密度

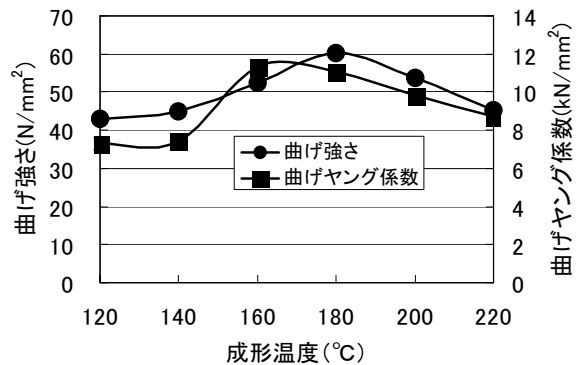


図2 木質成形体の曲げ性能

（1）-2 木質成形体の性能

表1にブナを原料とする木質成形体の物性値と他材料の物性値（文献値）を示す。これは、木質成形体の強度、耐水性、熱的性質の測定値を他の木質材料あるいはプラスチック材料と比較することにより木質成形体の位置づけを明らかにしたものである。木質成形体は、木材と比較してその繊維方向とほぼ同等の強度的性質を有し、木質ボード（MDF）と比較して強度は大きい。また、プラスチック材料と比較すると、吸水性が大きく線膨張係数は小さい。これら物性値は、今後の研究における原料木粉の評価、成形体の物性向上への取り組み、応用展開などに活用する。

表1 木質成形体（ブナ）と他材料の物性

試験項目	JIS	単位	成形体	木材 (ヒノキ)	MDF	ポリアセタール	ナイロン6	PP	フェノール樹脂
密度		g/cm ³	1.45	0.45	0.35~0.8	1.42	1.14	0.91	1.3
吸水厚さ膨張率	A 5905	%	7.5	-	17	-	-	-	-
吸水率(24h)		%	4.9	-	-	0.22	1.8	0.05	-
曲げ強度	K 7203	MPa	63	75	30	90	89	30~50	70~100
曲げ弾性率		MPa	11500	9000	2500	2500	2550	1600	8000
引張強度	K 7113	MPa	28	-	-	65	76	30~39	35~64
アイゾット衝撃値 (ノッチ付)	K 7110	kJ/m ²	3.4	-	-	10	60	2~10	3~6
ロックウェル硬さ	K 7202-2	-	M105	-	-	M80	R110	R95	M108
テーバー摩耗	Z 2101 (研磨紙)	mm	0.036	0.200	-	-	-	-	-
	K 7204 (CS-17)	mg	76	-	-	14	6	-	-
荷重たわみ温度 1.8MPa	K7191	°C	111	-	-	110	68.1	46~60	170
0.45MPa		°C	198	-	-	158	203	103~130	-
線膨張係数	K 7197	×10 ⁻⁵ /°C	3.0	-	-	8.5	8~10	6~11	3~4.5
体積抵抗率	K 6911	Ω・cm	8.0×10 ¹²	-	-	1×10 ¹⁴	1×10 ¹¹	1×10 ¹⁶	-
吸油率	※潤滑油への浸漬(96h浸漬)	%	0	-	-	-	-	-	-
油への溶け込み	※潤滑油への浸漬(96h浸漬)	%	0	-	-	-	-	-	-

(2) 熱流動と成形に関する検討

(2)-1 粒径の異なる木粉から調製した成形体

図3に粒径の異なる木粉から調製した成形体の破断面の様子を示す。破断面の観察からは、用いた粒径に応じた原料木粉の存在が認められた。このことは、蒸気処理が木粉全体を樹脂化させて流動化しているのではなく、蒸気処理で生じた可塑性を有する成分が木粉粒子の流れを起こさせていると考えられた。表2に粒径の異なる木粉から調製した成形体の曲げ強さと吸水率を示す。この結果は、曲げ強さ、吸水率ともに粒径の影響が小さいことを示している。

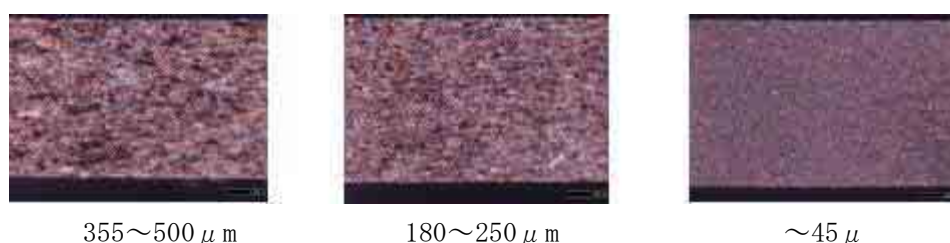


図3 粒径の異なる木粉で製造した成形体の破断面

表2 粒径の異なる木粉で製造した成形体の物性

項目	粒径(μm)		
	355~500	180~250	~45
曲げ強さ (N/mm ²)	70.5	69.2	75.3
吸水率 (%)	5.9	5.2	5.2

(2)-2 熱流動と自己接着の機構の把握

図4に木粉をテトラヒドロフラン（THF）で抽出し、分子量分布測定装置で分子量分布を測定した結果を示す。蒸気処理を行わなかったものは、THFに溶出するものはほとんど無かったが、蒸気処理を行ったものはTHFに溶出する成分が生成した。特にポリスチレン換算で分子量200程度の成分の増加が顕著であった。この低分子量の成分が成形時の流動と接着に関与していることが推察された。

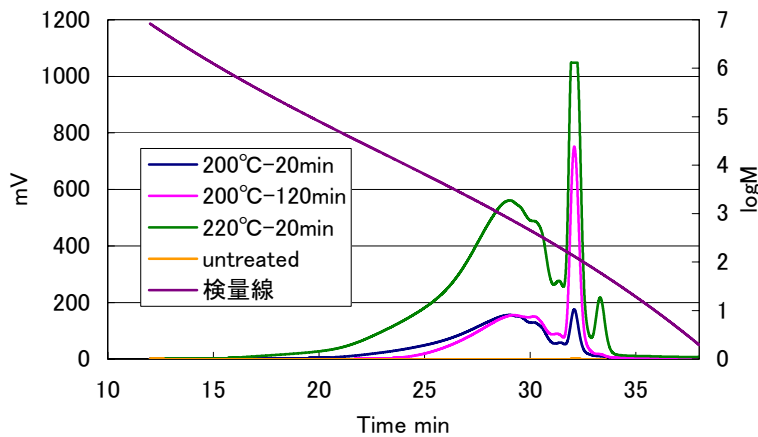


図4 テトラヒドロフラン可溶分のクロマトグラム

(3) 性能向上への取り組み

種々の木材や木材以外のリグノセルロース系材料を用いて成形体の調製を行った。また、大型の成形や異形成形、カップ型成形及び切削加工を試みた。さらに、成形体の着色、白色化、難燃性の付与を試みた。

(3)-1 国産針葉樹材を原料とした成形体の作製と大型の成形体の調製

広葉樹材と針葉樹材では、ヘミセルロースやリグニンの化学構造や組成が異なり、また、その存在の形態も異なるため、蒸気処理の効果にも差を生じる。これまでの自己接着ボードの製造試験では、広葉樹材から作製したボードの方が針葉樹材のそれよりも内部接着力が高く、強度も大きいことが分かっている。しかし、木質成形体の実用化を考えた場合、原料として植林が進んでおりまた家屋解体材としても排出が予想されるスギなどの国産針葉樹材を用いていく必要がある。そこで、スギを原料とした成形体を製造し、その特性を調べた。表3にブナとスギを比較した結果を示す。細管式レオメータを用いた流出開始温度の測定では、スギはブナに比べて流出開始温度がかなり高く、熱流動を起こしにくいことが分かった。その結果、スギ成形体の外観は一部が茶色で流動不足であった。一方、スギ成形体の曲げ強さはブナと同等であり、吸水率と吸水厚さ膨張率の値はブナよりも小さく耐水性がブナよりも優れていることが分かった。この結果は、流動開始温度が低い方が成形しやすいが、物性値は必ずしも流動開始温度が低い方が良いとは限らないことを示している。木質成形体の耐水性能の向上が実用化に必要な課題であるとする、スギ材を成形体の原料とすることは可能かつ好ましいことと思われる。

大型成形では、250×250×10mmの成形体を調製した。成形後のふくれの発生とスギ材の未硬化部分の存在が問題となったが、ふくれは、木粉内部の気体の抜けが悪いためと考えられ、成形条件を緩和することなどで解決できた。また、スギ材の未硬化部分の存在は、フォーミングの均一化と成形の高圧化などで改善できることが分かった。図5に条件を改良して作製したブナとスギ心材およびスギおが粉を用いて調製した大型成形体の外観を示す。

(3)-2 各種リグノセルロース系材料を用いた成形体の調製と異形成形

原料木粉並びに蒸煮処理した刈草、新聞紙等のリグノセルロース系材料粉末を表面加飾した成形金型あるいは異形金型を用いて加熱・加圧し、形状を付与した成形体を作製した。

図6に各種の成形体を示す。異形金型による細部の成形及び他のリグノセルロース系材料の成形が可能であることが分かった。

表3 ブナとスギの比較

種別	蒸気処理木粉	成形体				成形体の性状
	流出開始温度 (°C)	曲げ強さ (MPa)	吸水率 (%)	吸水厚さ膨張率 (%)	密度 (g/cm ³)	
ブナ	125	63.0	5.9	7.6	1.46	黒褐色の樹脂様
スギ辺材	202	80.4	3.8	4.6	1.44	一部茶色の樹脂様
スギ心材	186	67.4	2.6	3.1	1.42	一部茶色の樹脂様
スギおが粉	185	58.2	2.0	2.1	1.42	一部茶色の樹脂様



図5 250×250mmの成形体

(左：ブナ、中：スギ心材、右：スギおが粉)



ブナ 新聞紙 刈草 稲藁

図6 各種の成形体

図7に異形成形・カップ型成形及び切削加工で試作した成形物を示す。カップ型の成形は、シリンダーに入れた木粉を流動させながら金型内に押し込んで成形するもので、流動性を起こしやすい木粉を用いて強固なカップ状成形物を得ることに成功した。ボルト、歯車は、型押し成形で作製した。かさ歯車は、成形体から切削加工して作製したもので、比較的精密な切削加工も可能であることが分かった。図8に木質成形体から作製した歯車を使用して試作した展示物を示す。



カップ(成形) ボルト(成形) かさ歯車(切削)



歯車(成形)

図7 異形成形、切削



花時計



からくり人形

図8 木質成形体の歯車を使用した展示物

(3)-3 木質成形体の着色、白色化

試料木粉に顔料（黄色、青色）及び酸化チタンを添加することにより、木質成形体の着色、白色化を試みた。図9にその結果を示す。顔料により着色できることが分かった。また、酸化チタンにより、黒褐色の成形体が薄い茶色程度の色になり、白色化も可能であることが分かった。

(3)-4 難燃性の付与

木質成形体に難燃性を付与するために、難燃化剤を試料木粉に添加して成形体を調製し、コーンカロリメータを用いて難燃性を評価した。図10に難燃化剤を添加した成形体の発熱速度の結果を示す。水酸化アルミ系の難燃化剤を添加することにより、発熱速度は小さくなり、着火時間も遅くなった。適切な難燃化剤により、難燃性を付与できることが分かった。



図9 成形体の着色、白色化

(左から対照、黄色顔料、青色顔料、酸化チタン)

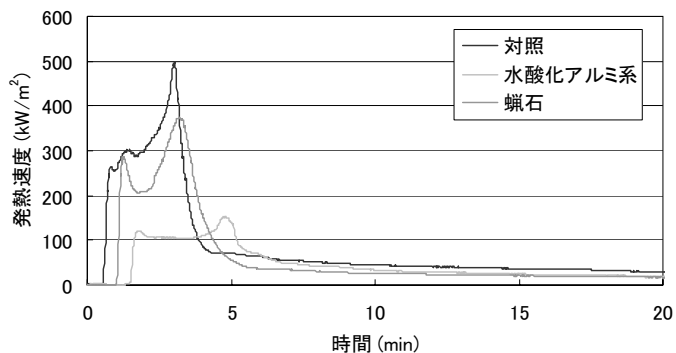


図10 成形体の発熱速度

3-3. 考察及びフェーズIIのまとめ

フェーズIの成果に基づき、企業化に向けた製品開発の研究が行われた。即ち、フレキシブルマット、エンボスマットの現場施工、敷設試験が行われ、その有効性を立証することが出来た。

その過程において、屋上緑化研究会（名古屋大学等官公庁5機関、民間企業6社）を立ち上げることができ、現在も続いて活動している。

また、木質成形体については平面的な型押し成型から、カップ状の立体成形までに成功している。さらに、それらの成形体の精密切削加工（かさ歯車など）を行うことが出来た。

4. 成果の達成度

木質廃材の循環利用、環境に配慮した製造方法の確立の目標に対し、フレキシブルマット、エンボスマット、自己接着ボード、木質成形体について接着剤等化学物質を使用しない製造方法を提示し、それらの性能、製品としての有効性、生分解性、可燃性などを確かめることが出来た。

設定した目標を達成できたものと思っている。

5. 今後の課題

設定した目標は達成し、試作、施工試験、性能試験などを行ってきた。企業化に向けて量産化、そのための機械開発が課題である。

フェーズIIIに向けては、上記の研究がなされることになるが、愛知県産業技術研究所において、「木質系マット等の利用技術の確立」「木質系材料の開発」が、フェーズIII 相当の研究として継続して行われる。また、生研センターによる「竹材のみからなる自己接着性繊維および竹粉体の利用開発」（代表者 愛知教育大学 橋田紘洋教授）の研究が結集事業の延長・応用として、屋上緑化研究会メンバーが参加して、フェーズIII 相当研究として行われる。