

論文の内容の要旨

農学国際専攻

平成24年度 博士課程入学

黒河内葉子

指導教員 佐藤雅俊

論文題目：バインダーレス接着を適用したイナワラボードの開発

第1章 序論

米の生産に付随して発生する農業廃棄物にはイナワラと籾殻がある。籾殻は脱穀の際にまとまって排出され、寸法のそろった木質材料であるため、土壌改良剤、ボードの原料、熱源など様々に活用されている。一方イナワラは農家の自家消費が中心で、主な用途は鋤き込みである。しかし、多期作・多毛作で大量に発生するアジア諸国では焼却処分も多く、大気汚染や健康被害を引き起こしている。また、鋤き込みによるメタンガスの発生は温室効果ガス抑制の対象となっており、利用方法の転換が迫られている。これまで検討されてきた、飼料・パルプ・バイオエタノールなどでは、イナワラ特有のシリカやワックスが問題を引き起こしていた。さらに、パルプやバイオエタノールなどの薬品を多用した複雑な製造工程では、設備の整わない東南アジアでの実用化は難しい。より簡単にイナワラに付加価値を付与する方法としてボード化が考えられる。現状では、イナワラ特有のワックスやシリカが尿素系樹脂をはじくために強度が低く、化学的な前処理が必要とされている。より簡単で環境負荷の少ない方法が望ましく、ひとつの解決方法としてバインダーレスボードが考えられる。接着剤を使用しないため環境負荷が小さく、ホルムアルデヒドの放出もない。これまでに、木材以外のバイオマスにおけるバインダーレス接着の報告例は多く、イナワラも同様のリグノセルロース系材料であることから、バインダーレス接着の適用可能性があると考えた。そこで本研究では、イナワラにバインダーレス接着を適用し、製造工程での薬品の使用をも抑えた、新たな環境負荷の低いボードの開発を目的とし、イナワラの新たな利用方法を提案することを目指した。

第2章 ボード性能に影響を及ぼす製造条件の検討

イナワラバインダーレスボードの基本的な性質を把握するとともに、従来バインダーレスボードの性能向上に対して効果があるとされている各種製造条件について検討を加えた。検討項目は、パーティクルサイズ・含水率・ボード厚さ・ボード密度・圧縮温度・圧縮時間とした。イナワラは収穫後風乾し、裁断・粉碎し、含水率調整を行った後、熱圧縮にてバインダーレスボードに成形した。バインダーレスボードの性能を評価する試験方法が存在しないため、JIS A5905 繊維版(2014)および JIS A5908 パーティクルボード(2003)に準拠し、機械的性能として曲げ強さ(MOR)・曲げヤング率(MOE)・はく離強さ(IB)、物理的性能として吸水厚さ膨張率(TS)・吸水率(WA)を測定した。特に IB はパーティクル間の自己接着力を示し、その他の性能にも影響を及ぼす重要な指標である。また、ボード性能に影響を及ぼす要因を検討するために、化学分析・熱分析(熱重量測定、示差相熱測定)・走査型電子顕微鏡(SEM)による微細構造の観察・粒度分布の測定などを行った。

イナワラバインダーレスボードは、パーティクルサイズを 1mm 以下にすることによって、製造できることが示された。検討した項目の中で、性能を向上させる効果が認められたのは、圧縮温度の上昇のみであった。最適条件は、含水率 10%(気乾)、ボード厚さ 5mm、ボード密度 0.8g/cm³、圧縮温度 250℃、圧縮時間 10 分であったが、その際の IB は MDF5 タイプの基準値 0.1MPa を大きく下回った。耐水性は、ワックスの影響により基準値を満たしていた。イナワラには自己接着力を阻害する固有の要因が存在すると考えられた。

第3章 ボード性能に影響を及ぼす原料に関する因子の検討

低い IB を改善するために、自己接着力を低下させている原料に関する因子の検討を行った。イナワラの各部位(茎・葉鞘・葉身)は、突起構造の種類・数、各成分の含有率が異なるため、部位ごとに分別してボードを製造した。ボード性能は茎が最も高く、次いで葉身、最も低いのは葉鞘であった。その理由として、イナワラ表面に存在する突起構造やシリカが接着を阻害している可能性、およびワックスが耐水性に貢献している可能性が示唆されたため、それぞれ個別に検討を加えた。その結果、突起構造およびワックスは接着を阻害していることが明らかになった。シリカ率が高いほど自己接着は低くなる傾向が認められたが、シリカ率の高い細かいパーティクルを除去する De-dusting による 3%程度のシリカ率の低下は、ボード性能を改善しないことが明らかになった。

突起構造を微細粉碎処理によって破壊し、ワックスをヘキサン抽出によって除去することで、IB0.6MPa を実現した。また、イナワラバインダーレスボードの高い耐水性に寄与していると考えられていたワックスを除去しても、耐水性は下がらなかった。高い IB が TS の増加を抑えたためと考えられる。

第4章 ボード性能を改善する製造方法の検討

ヘキサン抽出に匹敵するような前処理を、化学薬品を使用せずに実現する方法として、蒸煮爆砕処理・熱処理・蒸煮処理を検討し、それぞれボード製造・性能評価を行ったうえで、各種分析を行い、自己接着要因の検討を行った。

バインダーレスボードの性能を向上させる常套手段である蒸煮爆砕処理を適用したところ、機械的強度・耐水性はともに改善し、最大で IB0.5MPa を示した。処理に伴ってヘミセルロースの分解およびリグニンの分解・縮合化が起こっていることが明らかになり、それらが自己接着力を向上させていると考えられた。また、これらの化学的な変化を受けて効率的に解繊が起こり、接着面積が増加し、自己接着力向上に寄与したと考えられる。

蒸煮爆砕処理から圧力を開放する工程を取り除いた、蒸煮処理を検討したところ、処理後に微細粉碎処理

を加えることによって、蒸煮爆砕処理を超える IB0.6MPa を実現した。これは、パーティクルボード・MDF それぞれの最も厳しい基準値、パーティクルボード 18 タイプ 0.3MPa と MDF30 タイプ 0.5MPa の両方を満たす非常に高い値であった。蒸煮爆砕処理における化学的な変化を蒸煮処理が、物理的な変化を微細粉碎処理が担うことで、蒸煮爆砕処理を超える IB を実現したと考えられる。

また、蒸煮処理によって、ヘミセルロースが分解しフルフラールが生成するが、イナワラには残存せず、気化して爆砕液にて回収され、接着への寄与は確認できなかった。一方で、セルロースの分解も起こっており、分解に伴って生成するヒドロキシルメチルフルフラールはイナワラに残存し、熱圧縮の段階で自己接着に寄与する可能性が明らかになった。また、セルロースの分解は IB を向上させるが、繊維を弱体化させるため MOR は低下させた。一方で、ワックスに関しては、蒸煮液には含まれずすべてイナワラに残存しており、従来報告されたようなワックス除去効果は、蒸煮処理にはないことが明らかになった。

第5章 イナワラバインダーレスボードの経済性の検討

イナワラバインダーレスボードの製造にかかるエネルギーコストを消費電力量から単純計算したところ約 198 円/kg であり、収集コストを加算すると計 212 円/kg となった。その他に、前処理のエネルギーコストや、労働コスト、設備費などがかかると考えられる。

第6章 結論

前処理に蒸煮処理および微細粉碎処理を適用することにより、製造工程に一切の化学薬品を使用せずに、一段階圧縮という簡便な方法にて、イナワラバインダーレスボードの製造が可能となった。その性能は、検討した全ての性能において、MDF の規格値を満たし、十分実用に耐えうることが証明された。本研究によって、鋳込みからの利用方法の転換が迫られているイナワラに対して、バインダーレスボード化という新しい利用方法を提示することができた。従来の接着剤を利用したイナワラボードが抱えていた接着性の問題を、接着剤のみならず、一切の化学薬品を使用せずに、効果的な前処理を加えることで解決した点にも大きな意義があると考えられる。

【投稿論文】

1. Yoko Kurokochi, Masatoshi Sato, 2015. Properties of binderless board made from rice straw: the morphological effect of particles. Industrial crops and products 69, 55-59. 第2章・第3章
2. Yoko Kurokochi, Masatoshi Sato, 2015. Effect of surface structure, wax and silica on the properties of binderless board made from rice straw. Industrial crops and products 77, 949-953. 第3章
3. Yoko Kurokochi, Masatoshi Sato, 2015. Effect of steam explosion and grinding on binderless board made from rice straw. Wood research 60(5), 791-800. 第4章
4. Yoko Kurokochi, Masatoshi Sato. Effect of steam treatment on the properties of binderless boards made from rice straw. (投稿準備中) 第4章