




学位論文審査の結果の要旨

専攻	共生環境学	氏名	CAI ZIYI
審査委員	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div> 主査教授 王 秀崙 副査教授 森尾 吉成 副査教授 福島 崇志 </div> <div style="text-align: right;">    </div> </div>		
論文題目 (題目変更の有無) 有 ・ (無)	Study on multiple utilization of agricultural and forestry waste biomass (農林廃棄バイオマスの複合的利用に関する研究)		
<p>(論文審査の結果の要旨)</p> <p>食料生産過程において作物を収穫した後の非食部は大量に発生しており、稲やトウモロコシ等の穀物の藁、大豆脱穀残渣がその一部である。世界の3大穀物トウモロコシ、稲、麦の藁の年間発生量はそれぞれ約10億5千万トン、5億4千万トン、8億2千万トンに上っている。これらの大部分は畑や水田に鋤き込まれたり、焼却処分されたりしているほか、ごく一部が燃料として利用されている。また、木材加工時に発生する廃材や剪定枝等の木質廃材については、燃料への利用や、それらの繊維化によるファイバーボードの製造に利用されているが、ファイバーボード成形時に使用される接着剤と撥水剤は、ホルムアルデヒドなどの有害な物質の放出の原因になることから、これらを使用しないファイバーボードの製造技術が求められている。一方、キノコの施設栽培で廃棄される菌床もその有効活用が望まれている。菌床は、主におがくずに菌糸体を入れて作られたものであり、この菌糸体に接着作用があることから、廃菌床を原料として乾式法でバイオボードを成型できることが考えられた。そこで、本研究は、大豆脱穀残渣と廃菌床および樟の剪定枝を用いて、接着剤等を一切使用せず繊維間の水素結合と菌糸体の接着性質を利用した生分解可能なバイオボードの作製を目的とした。作製されたバイオボードは、その強度特性や吸水特性より、建築材料、包装材料等の分野への応用可能性を検討した。さらに、作製されたバイオボード使用後の再利用として、燃料への利用を検討し、炭化試験を通してバイオボードの炭化特性を明らかにした。</p> <p>バイオボードの作製プロセスは、破碎、浸漬、解繊、成型、乾燥である。まず、大豆脱穀残渣、樟の剪定枝、廃菌床を粉砕機で長さ10mm以下のチップに破碎してから水に96時間浸漬してからビートファイナーを用いて解繊し、パルプ液を作る。それからパルプ液を100mm×100mmの正方形金型に充填し、ホットプレス機によって圧力と熱を加え、水分を除去しながら乾燥する。こうして100mm×100mmの正方形で厚さ約2mmのバイオボードが成型される。また、廃菌床を粉砕し、中に含まれる菌糸体を接着物質としてバイオボードを成型する。まず、樟の剪定枝と廃菌床を用いてそれぞれ剪定枝バイオボード、廃菌床バイオボードを作製した。それから、大豆脱穀残渣と廃菌床の混合、廃菌床と樟の剪定枝の混合、樟の剪定枝と大豆脱穀残渣の混合によるハイブリッドバイオボードも作製した。作製条件は、負荷圧力を2.0MPa, 3.5MPa, 5.0MPa, 6.5MPa, 8.0MPa, 加熱温度を110℃,</p>			

140°C, 170°C, 200°C, 230°Cに変え、組合せで計5種類の材料を用いてバイオボードの作製に成功した。作製されたバイオボードについて曲げ試験と引張試験および吸水試験を行い、曲げ破断応力と引張破断応力および吸水特性を求めた。その結果、作製したすべてのバイオボードの密度は0.90~1.34g/cm³であり、含水率は3.64%~9.91%であった。曲げ破断応力は15.44~44.14MPaであり、引張破断応力は4.72~24.18MPaであった。最も強度の良いバイオボードの作製条件は、樟の剪定枝では負荷圧力8MPa、加熱温度230°Cで、最大曲げ破断応力は32.30MPaであった。これは、負荷圧力と加熱温度のいずれも最大値であったことから、負荷圧力と加熱温度の増加につれて強度が高くなることが分かった。廃菌床では、湿式法で負荷圧力11MPa、加熱温度160°Cの場合、最大曲げ破断応力は36.60MPaであった。したがって、廃菌床の場合はバイオボードの強度に与える負荷圧力の影響が大きいことが分かった。また、同じ条件で乾式法より湿式法で作製した廃菌床バイオボードの強度が高かった。これは、乾式法では菌糸体だけによるバイオボードの成型に対し、湿式法では菌糸体による結合のほか、繊維間の水素結合も加わり、より強度の良いバイオボードが得られると考えられる。ハイブリッドバイオボードの場合は、大豆脱穀残渣と樟の剪定枝の混合比率が3:1で負荷圧力が5MPa、加熱温度200°Cのとき、最大曲げ破断応力44.14MPaであった。これは、大豆脱穀残渣で作製したバイオボードの強度は、樟の剪定枝で作製したものよりかなり高かったので、大豆脱穀残渣の割合が多いほうがより強度の高いバイオボードを作ることができると考えられる。強度の面においては、いずれもJIS A 5905の木質ファイバーボードの基準を満たしている。バイオボードの寸法安定性については吸水試験の結果より、吸水率と厚さ膨張率および長さ変化率のいずれも木質ファイバーボードの基準を満たしている。以上の結果は、本研究で作製したバイオボードが従来の木質ファイバーボードに代わって使用できる可能性を示した。

バイオボードは使用された後、そのまま廃棄しても土壌中で分解されるが、本研究では作製したバイオボードが利用されたあと、燃料として利用することも考えている。したがって、使用後廃棄したバイオボードを炭化してバイオマス燃料として機能させ、それによって化石燃料への依存を減らすことにもつながる。燃焼後の灰は土壌改良剤として利用でき、持続可能な発展に貢献できる。バイオボードの炭化試験結果より、大豆脱穀残渣バイオボードの活性化エネルギーは184.35 KJ/molで、樟の剪定枝バイオボードの活性化エネルギーは196.42 KJ/molであったので、いずれも原材料粉末状態のときより活性化エネルギーは大きくなった。対照的に廃菌床については、バイオボードに加工された後の活性化エネルギーは159.32 KJ/molで、粉末状態の活性化エネルギーの171.78 KJ/molより小さくなり、バイオボードに成型した後の炭化に必要なエネルギーが減少したことが分かった。未利用植物バイオマス資源は広く分布しており、密度が低いため収集輸送コストが高くなるが、再生可能な生物資源として大きな可能性を秘めていることが本研究の結果より示唆された。

本研究で考案した作製プロセスで作製したバイオボードは、作製過程において接着剤や化学合成剤等一切使用しておらず、繊維間の水素結合や菌糸体の結合力で成型したので、生分解可能なバイオマスマテリアルである。しかも、バイオボードが利用したあと、燃料として利用する可能性も示したことにより、人類の持続可能な発展を実現するために、環境にやさしく、再生可能な植物バイオマス資源の利活用が不可欠である。

国際学会、国内学会においては上記の研究成果を計3回発表し、多くの研究者から関心が寄せられている。この研究成果をまとめた2編の学術論文が審査制度のある英文学術誌に掲載されている。雑誌名および巻号は *BioResources*, DIO:10.15376/biores.17.4.6692-6705と*forests*, <https://doi.org/10.3390/f15010156>である。以上より、審査委員会は全員一致で本論文を博士学位論文として価値あるものと認める。