

## 養成技術者の研究・研修成果等

1. 養成技術者氏名： 杉野 秀明
2. 養成カリキュラム名： 加工に必要なエネルギーが少なく環境に優しい木質材料の有効利用技術
3. 養成カリキュラムの達成状況

平成15年度は、以下の(1)～(3)のカリキュラムにより研究・研修を実施し、目標をほぼ達成した。

- (1) 様々な材料の基礎的性質等に関する知識の習得、先端技術の調査
- (2) 木質系廃棄物の有効利用技術の開発（高機能化技術の開発）
- (3) 木質材料の染色技術およびその解析技法（基礎染色技術の開発）

### 4. 成果（A4版3枚程度）

#### （1）研究の背景および目的

環境および省資源・省エネルギーの見地から自然素材である「木質材料」が注目されている。木材は、樹木の伐採→植林→育林を繰り返すことにより、産業用構造材料としての資源および薪炭用材としてのエネルギー源を持続的に提供できるとともに、光合成により地球温暖化の主原因である炭酸ガスを固定化するため、その重要性が再認識されている。現在、産業技術総合研究所を中心として、「プラスチック代替木質材料の開発」（エネルギー需給構造高度化対策特別会計・平成14年度～18年度）や「建築廃材・ガラス等リサイクル技術開発」（ミレニアムプロジェクト・NEDO委託研究・平成12年度～16年度）が進められている。これらのプロジェクトは、木質材料を高機能・高性能化して他材料の代替を進めたり、木質系廃棄物のリサイクルを推進する技術開発を行ったりすることにより「木質材料」の利用を促進し、結果として省エネルギーに結び付けることが可能となる。そこで本業務においては、さらに木質材料の利用促進を図るため「加工に必要なエネルギーが少なく環境に優しい木質材料の有効利用技術」について研究開発を行った。

木質材料を利用する上で短所となる「燃える」「（寸法が）くるう」「腐る」という性質を軽減させることが、木質材料の利用促進を図る上で大きな課題となる。このうち「くるう」に関して、最近、「不安定状態」に注目した研究がされはじめている。温度変化、水分や有機液体などの吸脱着、応力変化などにもない、木材の物理化学的性質は新しい環境における安定状態あるいは準安定状態へと移行しようとする。しかしながら、分子が再配列して微細構造が安定化するためには、多段階のエネルギー障壁を越えねばならないため、安定状態に至るまでに時間遅れが生じたり、あるいは時間遅れを生じても越えられないエネルギー障壁を残したまま準安定状態に停滞したりすると考えられる。このような分子の再配列が生じる過程において、木材が粘性的性質を示すことが各種実験で示されてきており、この状態を「木材の不安定状態」と表現している。

本業務では、木材の不安定状態に関して基礎的な知見を得るため、吸湿・放湿のような水分状態を変化させる過程における分子レベルでの微細構造の変化について研究を行った。これまで木材の微細構造を研究するために様々な手法が用いられているが、なかでもX線回折法は木材中の分子配列についての情報を得る重要な手法である。しかし、通常のX線回折装置では試験体周辺の雰囲気厳密に管理することは難しく、特に、水分や温度の状態を一定の条件で変化させながら測定を行うことは非常に困難であった。本研究では、湿度制御下においてX線回折（XRD）および示差走査熱量測定（DSC）の同時測定が可能な装置を用いて、温度一定で湿度を変化させる条件について測定を行った。

## (2) 研究の方法

### 2・1 試験片

十分に吸水させたアカマツの晩材部分をマイクロームにより厚さ約 0.25mm の板目切片に切削したものを用いた。寸法は繊維方向 7mm×接線方向 7mm とし、試料容器の寸法に合わせた。なお、測定中の湿度変化により試験片に反りが生じて試料容器への密着性が悪くなるのを防止するため、試験片表面の接線方向に、刃物で 1~2mm 間隔の浅い切れ目を入れた。

### 2・2 測定機器

XRD-DSC 測定は、RINT-Ultima II (理学電機(株)製) に DSC 同時測定アタッチメント (熱流束型) および湿度発生装置を装着して行った。図 1 に測定装置の模式図を示した。アタッチメントのチャンバー内に、湿度発生装置で調湿された窒素ガス (流量 250ml/分) を流すことにより、雰囲気湿度を制御することができる。さらに、チャンバーには X 線が通過できる窓が設けられているため、湿度を保った状態で X 線測定が可能である。

### 2・3 雰囲気条件

温度条件は 40°C、50°C、60°C の各温度一定とし、それぞれ相対湿度を 20%→80%→20% の順に変化させて測定を行った。湿度変化速度は 1.0%RH/分とし、各湿度で 300 分の保持時間を設けた。

### 2・4 測定条件

XRD 測定は、CuK $\alpha$ 線 (40kV 40mA、グラフアイトモノクロメータ使用) を用い、対称反射法にて行った。光学系は、湿度変化過程における試験片の変形などによる誤差を軽減するため平行ビーム法とした。図 2 に 2 $\theta$  走査範囲 5~35° について予備実験 (40°C、50%RH 一定) を行った結果を示した。22.5° 付近に (200) 面の最大ピークが観測されたため、本研究での繰り返し測定には、それを中心とした 2 $\theta$  = 20~25° に範囲を設定した。走査速さは 1.0°/分とした。得られたそれぞれの回折強度曲線から、放物線近似法によりピーク角度 (2 $\theta_{max}$ ) および半価幅 ( $\beta_{1/2}$ ) を算出した。XRD と同時に DSC も測定した。

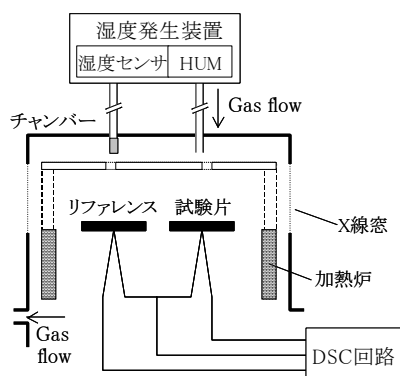


図 1. DSC アタッチメントの模式図

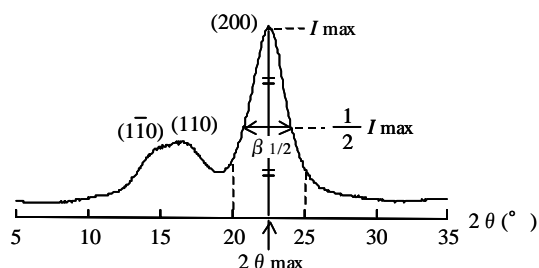


図 2. 木材の X 線回折曲線 (40°C, 50% RH)

## (3) 結果と考察

図 3 に 60°C における XRD-DSC 測定結果を示した。熱流、ピーク角度、半価幅のいずれも湿度を変化させる前 (20%RH) は安定した値を示していたが、湿度変化を与えるとそれぞれ異なった挙動をとることがわかった。

熱流の変化より、雰囲気湿度変化に対応して、吸湿過程 (20→80%RH) には発熱、放湿過程 (80→20%RH) には吸熱を示していた。これは、主に木材に対する水分子の吸脱着にともなうものと考えられた。

ピーク角度 2 $\theta_{max}$  の値については、低湿時よりも高湿時のほうが大きい傾向が見られた。2 $\theta_{max}$  値を Bragg の式により結晶の格子面間隔に変換すると、測定開始初期の格子面間隔は 0.3966nm 程度であったが、吸湿により 0.3959nm 程度に狭まったことになる。2 $\theta_{max}$  の変化のタイミングに着目してみると、吸湿過程においては湿度変化に若干遅れて 2 $\theta_{max}$  は増加を始めたが、放湿過程においては湿度が低下したにもかかわらず 2 $\theta_{max}$  は逆に増加した。また、吸湿時よりも放湿時のほうが、2 $\theta_{max}$  が平衡に達するまでに時間がかかるように見受けられた。水分子の吸着は親水基の活性度が高い非晶部分において選択的に行われるため、結晶部分に影響が現れるまでに時間的な遅れがあっても当然であると考えられるが、それだけでは吸湿過程と放湿過程の違いを説明できなかった。

半価幅  $\beta_{1/2}$  は、回折の  $2\theta$  方向の広がりであり、結晶の寸法に変換できる。図より、雰囲気湿度変化に応じて  $\beta_{1/2}$  も変化していることが確認できるが、放湿時のほうが変化のタイミングが若干遅かった。

図 4 に各測定温度 (40°C、50°C、60°C) における  $2\theta_{max}$  の変化を示した。温度が高いほど全体的に  $2\theta_{max}$  値は小さくなる傾向であった。いずれの温度においても放湿時の  $2\theta_{max}$  の特徴的な変化が観察された。また、温度が高いほうが、放湿時の  $2\theta_{max}$  が増加から減少に転じる時間的な遅れが小さくなるように見受けられた。

図 5 では吸湿・放湿過程での変化について、各相対湿度における  $2\theta_{max}$  の値をグラフにした。 $2\theta_{max}$  は吸湿過程と放湿過程でループを描くように明らかに異なった経路をたどった。これらの結果より、吸湿過程と放湿過程では、異なった機構で水分子が移動していることが推察された。

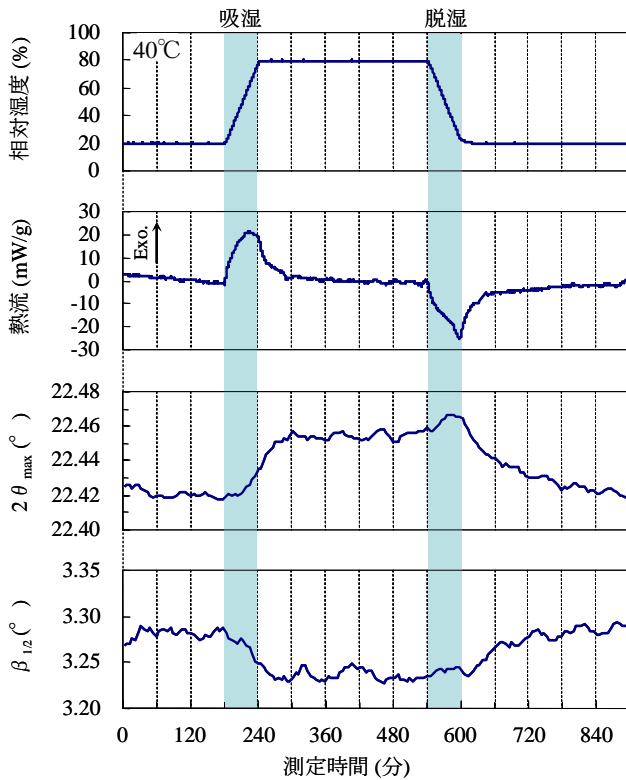


図 3. XRD-DSC 測定結果 (測定温度 : 40°C)

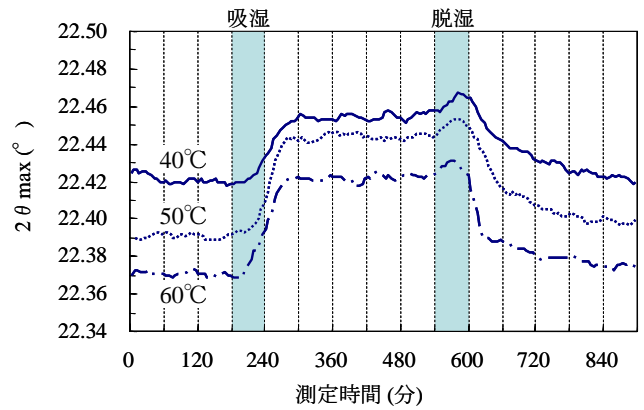


図 4. 温度条件による  $2\theta_{max}$  の変化

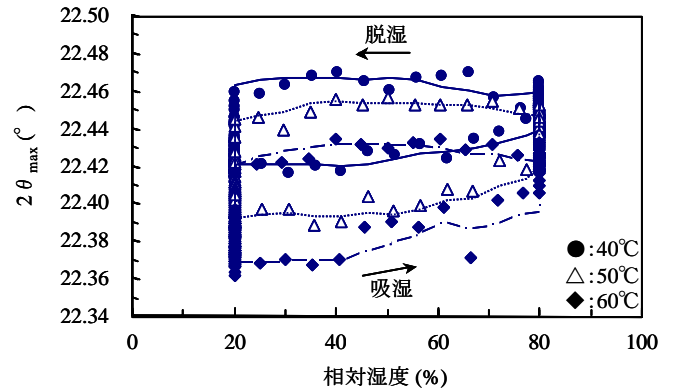


図 5. 温度条件による湿度と  $2\theta_{max}$  の関係

(4) まとめ

平成 15 年度の研究の結果、以下の知見を得た。

- ① 木材の X 線回折における最大ピークは、吸湿にともなって高角側に移動し、放湿にともなって低角側に移動した。
- ② 最大ピークの移動は、吸湿・放湿の開始から時間的な遅れをともなった。この傾向は放湿において特に顕著であった。
- ③ 放湿の開始直後、最大ピークの移動は①とは逆の傾向を示した。

湿度制御下において木材切片の X 線回折および示差走査熱量測定の同時測定を行い、水分の変化に対して木材の微細構造の変化に時間的な遅れがあることを見出した。このことは、木質材料の不安定状態について考える上で、大きな手掛かりとなる現象である。今後、様々な湿度変化パターンでの微細構造変化を測定していくことで、水分の影響による不安定状態の発生メカニズムを追求し、木質材料の「くろう」短所の改善をはかる。

## 5. 成果の対外的発表等

### (1) 論文発表 (論文掲載済、または査読済を対象。)

- [1] Research on efficient use of forest products - Engineering evaluation of good tactile warmth for wood, Yoshihiro Obata, Kazutoshi Takeuchi, Hideaki Sugino, Kozo Kanayama : Improvement of Forest Resources for Recyclable Forest Products, Springer-Verlag, p.148-157, 2004

### (2) 口頭発表 (発表済を対象。)

- [1] 湿度制御下における木材の微細構造変化, 杉野 秀明, 竹内 和敏, 相馬 奈歩, 金山 公三 : 2003 年度日本木材学会中部支部大会, 日本木材学会中部支部, 2003
- [2] 伝熱解析による木材の接触温冷感の評価ー熱伝導率の異方性の考慮ー, 小畑 良洋, 竹内 和敏, 杉野 秀明, 金山 公三 : 日本機械学会東海支部三重地方講演会, 日本機械学会東海支部, 2003
- [3] 人体の物性値を考慮した木材の接触温冷感の評価, 小畑 良洋, 相馬 奈歩, 杉野 秀明, 金山 公三 : 第 14 回バイオフロンティア講演会, 日本機械学会バイオフロンティア部門, 2003
- [4] 木材の熱特性を持つ傾斜機能平板の 2 次元非定常熱応力, 小畑 良洋, 杉野 秀明, 阿部 史枝, 金山 公三 : 日本機械学会 M&M2003 材料力学部門講演会, 日本機械学会材料力学部門, 2003
- [5] 吸湿・放湿過程における木質材料の微細構造の変化, 杉野 秀明, 竹内 和敏, 相馬 奈歩, 金山 公三 : 第 47 回日本学術会議材料研究連合講演会, 日本材料学会, 2003
- [6] 木材の特性を持つ FGM 平板の非定常熱応力, 小畑 良洋, 阿部 史枝, 杉野 秀明, 金山 公三 : 第 15 回傾斜機能材料シンポジウム, 未踏科学技術協会 傾斜機能材料研究会, 2003
- [7] 木材の特性を持つ傾斜機能平板の断熱機能の向上に関する数値解析的検討, 小畑 良洋, 杉野 秀明, 相馬 奈歩, 金山 公三 : 日本機械学会第 16 回計算力学講演会, 日本機械学会 計算力学部門, 2003

### (3) 特許等 (出願番号を記載)

なし