

## 相対湿度の違いによる木質ペレットの含水率の変化

寺岡行雄<sup>†</sup>・甲斐敬美<sup>1)</sup>・高梨啓和<sup>2)</sup>

(生物環境学科森林計画学研究室, <sup>1)</sup>工学部応用化学工学科, <sup>2)</sup>工学部生体工学科)

平成19年8月10日 受理

### 要 約

冷房が必要な温暖湿潤地域の高湿多湿な条件下で木質ペレットを貯蔵することを想定し、相対湿度の違いによる木質ペレットの含水率の変化を明らかにすることを目的とした。

5種類の木質ペレット約30gをシャーレに入れ、各3サンプル、計15サンプルを準備し、気乾重量を測定した。恒温恒湿槽内での気温30℃、相対湿度60%RH、70%RH、80%RHの3段階で静置し、数日間隔でサンプルの重量を測定した。絶乾重量を測定し、含水率は乾量基準で算出した。

3段階の相対湿度での平衡含水率は、初期含水率の順位とほぼ同じであった。初期含水率の低かったペレットほど多くの水分を吸湿しており、保存条件というよりはペレットの原材料の特性に依存していると考えられた。吸湿により低位発熱量が0.74MJ/kg損失した。比較的精密な制御が求められる燃焼機器でのペレット利用には影響があるかも知れない。

キーワード：木質ペレット, 吸湿, 高温多湿下貯蔵, 低位発熱量低下

### 緒 言

地球温暖化防止のため温室効果ガス排出を削減する国際間の取り決めである京都議定書の約束期間が迫っており、化石燃料への依存度を下げる有効な手だてが必要である。主要な温室効果ガスである二酸化炭素の排出を削減するために、化石燃料をカーボンニュートラルな新エネルギーへと代替する取り組みが推進されている。そのうち、賦存量、利用可能量ともに大きく、今後の利用を期待されているのが木質バイオマスである。

我が国は国土の67%が森林であり、卓越した森林資源を有している。木質バイオマスは国内で再生産が可能な貴重なエネルギー源である。一方で、燃料としての質にバラツキが大きく一般に高含水率であるため、化石燃料に比べて単位重量あたりの発熱量やかさ密度が低く、取り回しや運搬にコストがかかるといった弱点も持っている。

木質バイオマス燃料の欠点でもある質のバラツキ

や取り扱い上の問題を克服するため、固形ペレット化が行われている。木質ペレットはオガクズ、端材あるいは樹皮といった製材廃材を粉碎、圧縮し成型したものである(写真1)。燃料として均質であり、かさ密度と比重が高くなり、含水率が低く安定しているといった特徴を持ち、貯蔵、運搬、供給などのハンドリング面で扱いやすい燃料となっている。木質ペレットのサイズや含水率、灰分、組成等に関する規格については、欧州標準化委員会による固形バイオ燃料規格[10]があるほか、国内においてもペレットクラブが自主規格を作成している[4]。

世界の木質ペレット生産の現状は、ヨーロッパでは2004年時点で少なくとも22カ国に195のペレット製造プラントがあり、製造実績は不明であるが製造設備容量は約450万トン以上と推定され[8]、2010年頃のヨーロッパのペレット市場規模は400万~500万トンになると見られている[9]。北米では2004年の製造実績量がカナダで70万トン、アメリカで55万トンの合計125万トンであった。2005年には150万トン

<sup>†</sup> : 連絡責任者: 寺岡行雄 (農学部生物環境学科 森林管理学講座 森林計画学研究室)

E-mail: teraoka@agri.kagoshima-u.ac.jp

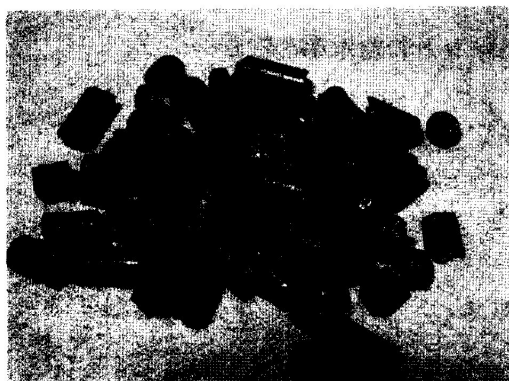


写真1 屋久島スギペレット

となり、このうち約47.5万トンが輸出用であると予想されている[8]。

一方、我が国における木質ペレット生産の状況をペレットクラブによる調査[4]から引用すると、ペレット製造設備プラント数・能力はここ数年で大きく拡大しているが、実際の製造実績量はさほど増えておらず、年間2,500トン程度である。これはペレット燃焼装置（ストーブ、バーナー、ボイラー）の販売数、稼働数が少ないためであり、新たな需要の開拓が必要となっている。

欧米でも日本でもペレットの主な需要は寒冷地における暖房・給湯といった熱供給であった。一方で、ある程度の熱源さえあれば吸収式冷凍機を使うことにより冷房も可能である[3]ことから、最近では木質ペレットを燃料とするボイラーからの温水熱を利用した冷房システムが山口県で稼働し始めた[6]。また、さらに熱効率を高めた木質ペレット焚き空調装置の実証試験が行われている[2]。日本は全般的に温暖で、梅雨から夏にかけて暑い地域である。ヨーロッパでみられるような暖房・給湯といった熱供給モデルだけでない、新規な利用形態である冷房への適用は大きな需要拡大を期待させる。

従来からの木質ペレットの需要地である寒冷地は、一般に冷涼乾燥気候である。また、木質ペレットが

利用される季節は秋から春にかけての湿度が比較的低い時期であった。しかし、冷房が必要な地域は温暖湿潤地域であり、使用季節も春から秋にかけてである。特に梅雨時期には気温が30℃近くになり、相対湿度が80%（以下、相対湿度の表記80%RHとする）以上となる高温多湿な条件下での使用となる。このような条件下で木質ペレットをサイロで貯蔵する場合には、木質ペレットが空気中の水分を吸湿し、含水率が高くなる可能性が考えられる。木質ペレットの貯蔵に関する研究では、オガクズ、林業残材、バークといった原材料の違いと貯蔵による木質ペレットの劣化および吸湿性についてペレット中の微生物の活性により分析した例[5]がある程度で、高温多湿下での貯蔵を念頭に置いた研究はない。

そこで本研究では、相対湿度の違いによる数種類の木質ペレットの含水率の変化を室内実験で明らかにすることを目的とした。

#### 材料および方法

実験材料は、表1に示す5種類の木質ペレットである。①「ソービ」(SÅBI)はスウェーデンで製造され、原材料樹種はトウヒ、マツ、モミである。②「カナダ」はカナダのArmstrong社製で、原材料樹種は不明であるがトウヒ系統であると考えられる。③「広葉樹バーク」は現在製造されていないが、広葉樹バークを原料として北海道で製造された。④「カラマツ」は北海道でカラマツの間伐後の林地残材を原材料として製造されたものである。⑤「屋久島スギ」は屋久島内のスギ人工林材を原材料としており、著者が製造した木質ペレットである（以下、ペレット名称は括弧を抜きで表記する）。参考までに各木質ペレットの直径（5mmから8mm）を示しているが、今回は特に解析に用いなかった。

上記5種類の木質ペレットを約30g程度シャーレに入れ、それぞれ3サンプル、計15サンプルを準備し、まず、気乾状態での重量を測定した。

表1 実験に使用した木質ペレットの諸元

| 番号 | 名称         | 原材料       | 生産地    | 直径(mm) |
|----|------------|-----------|--------|--------|
| ①  | ソービ (SÅBI) | トウヒ・マツ・モミ | スウェーデン | 8      |
| ②  | カナダ        | 北米針葉樹     | カナダ    | 7      |
| ③  | 広葉樹バーク     | 広葉樹バーク部分  | 北海道    | 5      |
| ④  | カラマツ       | カラマツ原木    | 北海道    | 6      |
| ⑤  | 屋久島スギ      | スギ製材板     | 鹿児島屋久島 | 6      |

次に、恒温恒湿槽（ナガノサイエンス製）にペレットを静置して、重量変化を測定した。この恒温恒湿槽は温度が10℃から100℃、湿度が30%RHから95%RHに設定可能であり、相対湿度は乾湿温度計により測定され加湿器が制御されている。温湿度の槽内分布は、それぞれ±0.5℃、±5%RHとされている。念のため、電子式温湿度計にて確認を行った。

恒温恒湿槽内での温度設定を30℃とし、相対湿度を60%RHとして槽内に静置した。1日から数日間隔で各サンプルの重量を0.01g単位で電子天秤にて測定した。恒温恒湿槽内温度を室内気温に近い30℃としていたため、槽内からペレットを素早く持ち出して吸放湿をしないよう迅速に重量測定を行った。0.01g単位で重量減少が認められない状態を含水率が平衡状態になったと仮定して、すべてのサンプルが平衡状態になった後、相対湿度を次の段階へ上げた。相対湿度は60%RHから始め70%RHと80%RHへ相対湿度を高くする3段階とした。なお、カラマツだけは材料調達の都合上、試験開始時期が他のサンプルよりも32日遅くなったが、重量変化が見られなくなる平衡状態になることを確認しつつ実験を進めた。

さらに100℃で3日以上乾燥させ、デシケータ内

で冷却後、絶乾重量を測定した。含水率は乾量基準（含有水分量÷サンプル絶乾重量×100）として算出した。また、それぞれの相対湿度に応じた平衡状態の含水率を平衡含水率とした[1]。

解析として相対湿度と各木質ペレットの平衡含水率の関係について分析した。また、吸湿の結果として含水率が上昇することによる木質ペレットの発熱量の低下について評価した。

### 結果および考察

まず、木質ペレットの含水率変化の実験結果を図1に示す。恒温恒湿槽内の気温を30℃として、0日から37日までの37日間は相対湿度を60%RHに設定し、37日から58日までの21日間は70%RHに設定した。さらに58日から73日までの15日間は80%RHに設定した。なお、各木質ペレットの繰り返し数が3回であり統計的な処理になじまないが、すべての重量測定時における同一ペレットのサンプル間の含水率の差は最大で3.3% d.b.であったことから、サンプル間の変動を考慮する必要はないと判断した。

まず、初期含水率についてみると、広葉樹パーク

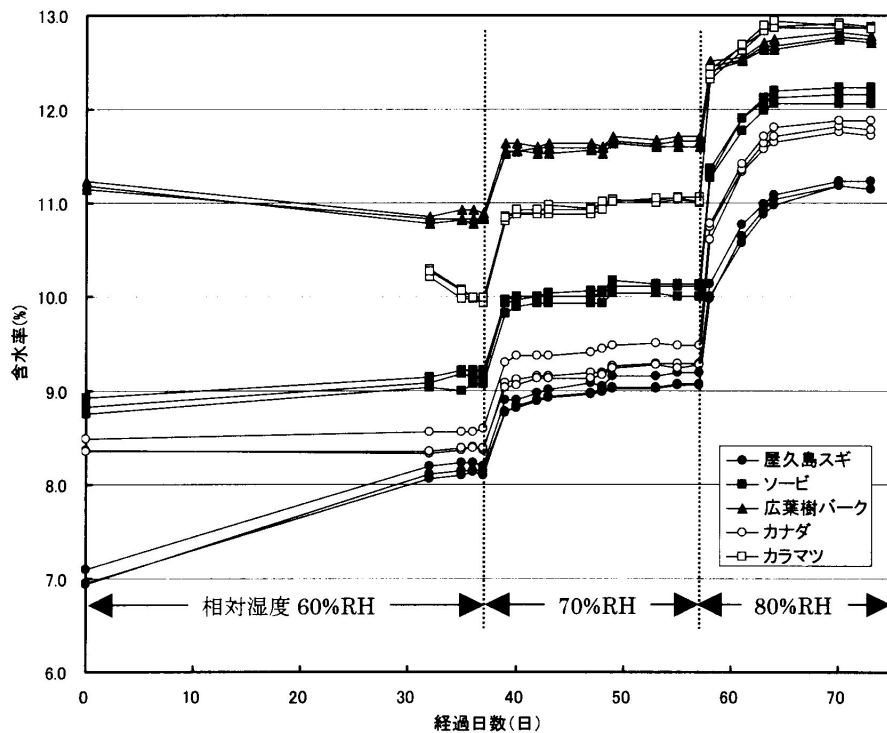


図1 相対湿度に応じたペレット含水率の変化

が11.2%d.b. (以下、含水率の表示にはd.b.を付する)、カラマツが10.3%d.b., ソービが8.8%d.b., カナダが8.4%d.b., 屋久島スギが7.0%d.b.の順に低くなっており、4.2%d.b.の差があった。我が国における木質ペレットの自主規格[7]が作られており、そこでの含水率は乾量基準で13.6%d.b. (湿量基準では12%) 以下とされており、今回使用した木質ペレットの初期含水率はすべて基準を満たしている。

次に、相対湿度が60%RHでの平衡含水率はすべてのサンプルで上昇しており、広葉樹バークが10.9%d.b., カラマツが10.0%d.b., ソービが9.1%d.b., カナダが8.5%d.b., 屋久島スギが8.2%d.b.であった。平衡含水率の最大と最小の幅は2.7%d.b.であった。

相対湿度を70%RHとした場合の平衡含水率は、広葉樹バークが11.7%d.b.で0.8%d.b.の増加、カラマツが11.0%d.b.で1.0%d.b.の増加、ソービが10.1%d.b.で1.0%d.b.の増加、カナダが9.4%d.b.で0.9%d.b.の増加、屋久島スギが9.1%d.b.で0.9%d.b.の増加であった。含水率の平均増加量は0.9%d.b.であった。また、平衡含水率の最大と最小の幅は2.6%d.b.であった。

相対湿度80%RHでの平衡含水率は、カラマツが最も大きく12.9%d.b.で相対湿度70%RHの含水率から1.9%d.b.の増加となった。次に広葉樹バークが12.7%d.b.で1.0%d.b.の増加、ソービが12.2%d.b.で2.1%d.b.と大きく増加した。カナダが11.8%d.b.で2.4%d.b., 屋久島スギが11.2%d.b.で2.1%d.b.の増加であった。含水率の平均増加量は1.9%d.b.であった。さらに、平衡含水率の最大と最小の幅は1.7%d.b.であった。

3段階の相対湿度での平衡含水率の高低の順位は、相対湿度80%RHの際にカラマツと広葉樹バークが入れ替わっただけで、初期含水率の順位とほぼ同じであった。5種類の木質ペレットの平衡含水率の最大と最小の範囲は、相対湿度60%RHで2.7%d.b., 70%RHで2.6%d.b., 80%RHで1.7%d.b.と徐々に狭くなっていった。相対湿度が60%RHと80%RHのペレットごとの平衡含水率の差を見ると、広葉樹バークでは10.8%d.b.から12.8%d.b.と2.0%d.b.の増加にとどまっておらず、カラマツは10.0%d.b.から12.9%d.b.へと2.9%d.b.増加し、ソービが9.2%d.b.から12.3%d.b.へ3.1%d.b.の増加、カナダが8.4%d.b.から11.7%d.b.へ3.3%d.b.の増加、さらに屋久島スギでは7.9%d.b.から11.4%d.b.と含水率が3.5%d.b.増加していた。これは、初期含水率の低かったペレットほどより多くの水分を吸湿しており、多湿下で平衡含水率

の差が縮小してゆくことを示している。

今回使用した5種類のペレットは製造時期が異なっており、保存期間が一定ではなかった。また、ビニル袋詰めやプラスチック容器での保存など気乾とはいえ厳密に同じ条件下にあったとは言い難い。しかし、恒温恒湿槽内の気温および相対湿度を一定にして平衡状態に達した際でも、ペレットの種類により平衡含水率は異なっていた。このことは気乾状態での初期含水率が異なっていた原因は保存条件にあるのではなく、ペレットの種類によるかさ密度や全乾比重、表面の硬さ等、原材料の特性に依存している可能性が高いことを示唆している。

木質ペレットと粉碎・圧縮をされていない通常の木材の吸湿による平衡含水率について、トウヒに近いシトカスブルースでの実験結果[1]と比較することができる。シトカスブルースの平衡含水率は、気温30℃、相対湿度60%RHで約10%d.b., 70%RHで約12%d.b., 80%RHで約16%d.b.となっている。ソービのペレットはトウヒ(スブルース)を主原料としていると考えられるが、相対湿度60%RHで9.2%d.b., 70%RHで10.1%d.b., 80%RHで12.2%d.b.といずれも通常の木材の平衡含水率よりも低くなっていた。ペレタイズの過程でペレットの温度は80℃近くになるため、水分が蒸発し含水率が低下したこと、さらに圧縮により木材の微細な組織構造が潰され、吸着能力が低下しているためと考えられた。

この実験結果は吸湿過程を示したものであり、放湿過程においてはヒステリシスのため別の経路をたどる[1]。したがって、相対湿度が80%RHから低下してゆく際の放湿過程については別途実験が必要である。

最後に吸湿による含水率の上昇による発熱量の低下について検討してみる。

屋久島スギペレットは製造後の含水率が7.0%d.b.であったが、気温30℃、相対湿度80%RHの環境下で含水率が11.2%d.b.にまで4.2%上昇した。木材は水素と水分の含有割合によって燃焼の際に利用することのできる熱量(低位発熱量)が変わり、次式で求めることができる。

$$H_l = \frac{H_h - 600 \times (9 \times h_0 + u)}{1 + u}$$

ここで、 $H_l$ は低位発熱量(kcal/kg)、 $H_h$ は高位発熱量(全乾時kcal/kg)、 $h_0$ は水素量(全乾時kg/kg)、 $u$ は水分量(乾量基準kg/kg)を示している。さら

にkcalからMJへ単位変換するために0.00419を乗じることによって、各含水率での低位発熱量を求めた。

含水率が7% d.b.でのkgあたりの低位発熱量が17.92 MJであり、11% d.b.で17.19 MJであることから、含水率の増加に伴って0.74 MJを損失したことになる。この損失量は7% d.b.含水率での低位発熱量17.92 MJの4.1%に相当する。ペレットストーブや温水焚きボイラーといった余裕のある制御が許容される燃焼機器ではあまり問題にならないかも知れないが、比較的精密な制御が求められる機器でのペレット利用の際には影響を無視できない。

従来のような冷涼な気候下での木質ペレットの利用・貯蔵では、直接雨水との接触を防ぐことで、燃料としての劣化はほとんど問題にならなかったと思われる。本研究の結果から、約2週間相対湿度80% RH、気温30℃という環境下に置かれた場合、低位発熱量が4.1%低下することがわかった。木質ペレットの新しい需要先として冷房用エネルギー源が期待される中、温暖湿潤地域での貯蔵方法も技術的な検討課題として取り上げられる。

今後は、ペレットの原材料樹種や樹皮を含むかどうかといった利用部位の違いによる木質ペレットのかさ密度や全乾比重あるいは硬度といった特性を考慮して、初期含水率や吸湿性について検討が必要である。

## 謝 辞

本研究は環境省平成19年度地球温暖化対策技術開発事業「ゼロCO<sub>2</sub>社会に向けた木質バイオマス活用技術開発と再生可能エネルギー融合システムの屋久島モデル構築」の一部として行われたものである。

## 引用文献

- [1] 浅野猪久夫(編): 木材の事典. p.456. 朝倉書店, 東京, (1996)
- [2] 甲斐敬美・寺岡行雄・大塚栄・頓宮伸二・杉山隆英: 木質バイオマス活用技術と屋久島での実証試験. クリーンエネルギー, 15(12), 9-13 (2006)
- [3] Kai, T., Uemura, Y., Teraoka, Y., Takahashi, T., Hatate, Y. and Yoshida, M.: Design and operation of an air-conditioning system fueled by wood pellets. *Renewable energy*, 33, 720-725 (2008)
- [4] 小島健一郎: 木質ペレット関連事業者の全国調査と結果分析. 山林, 1446, 27-34 (2004)
- [5] Lehtikangas, P.: Storage effects on pelletised sawdust, logging residues and bark. *Biomass and bioenergy*, 19, 287-293 (2000)
- [6] Okamoto, T.: Heating and cooling system by a pellet (biomass) boiler. *Proceedings of 2nd world conference of pellets (PELLET 2006)*, 45-50 (2006)
- [7] ペレットクラブ: 木質ペレット燃料に関する自主規格(PC WPFS-1). ウェブページ  
[http://www.pelletclub.jp/jp/data/05/0425\\_kikaku/pc\\_wpfs-1.pdf](http://www.pelletclub.jp/jp/data/05/0425_kikaku/pc_wpfs-1.pdf)
- [8] The bioenergy international, 11 (2004): ウェブページ  
[www.bioenergyinternational.com](http://www.bioenergyinternational.com)
- [9] Vinterback, J.: Pellets 2002: the first world conference on pellets. *Biomass & bioenergy*, 27, 513-520 (2004)
- [10] 財団法人日本燃焼機器検査協会: 欧州標準化委員会による固形バイオ燃料規格. ウェブページ  
[www.jhia.or.jp/pellet.htm](http://www.jhia.or.jp/pellet.htm)

## Changes in Moisture Content of Wood Pellets according to Different Air Relative Humidity

Yukio TERAOKA<sup>†</sup>, Takami KAI<sup>†</sup> and Hirokazu TAKANASHI<sup>‡</sup>

(*Department of Environmental Sciences and Technology, Faculty of Agriculture,*

<sup>†</sup>*Department of Applied Chemistry and Chemical Engineering, Faculty of Engineering,*

<sup>‡</sup>*Department of Bioengineering, Faculty of Engineering*)

### Summary

It might be necessary to store a wood pellet under warm temperate and high humidity environment. The objective of this study was to test the change process of absorption capacity of wood pellets under high relative humidity environment on a laboratory scale.

Five kinds of pellets were placed in a moist chamber at three scales of constant humidity (60%RH, 70%RH, 80%RH) and temperature (30°C) till reaching equilibrium moisture contents, and weight change processes were monitored at a few days interval.

There was little change in the order of pellet equilibrium moisture contents through initial state and three scales of relative humidity. The lower pellet initial moisture content was the more absorption capacity had. The results from absorption tests were related to not only the storage situation but also the pellet material characteristics.

The net calorific value of Sugi pellets which had the lowest initial moisture content was leveled off from 17.92MJ/kg at 7% moisture content in dry base to 17.19MJ/kg at 11%d.b. because of moisture absorption. The net calorific value reduction of 0.71MJ/kg might effect to the combustion or pyrolysis equipment with a precious control.

**Key words :** Wood Pellet, Absorption, Storage under warm temperature and high humidity, Reduction of net calorific value

: Corresponding to: Yukio TERAOKA (Faculty of Agriculture, Kagoshima University)

TEL: +81-99-285-8574 FAX: +81-99-285-8575 E-mail: teraoka@agri.kagoshima-u.ac.jp