

# 除湿空気によるチップ材の乾燥

小澤雅之

Drying wood chips with dehumidified air

Masayuki OZAWA

**Summary** : To control the moisture content of fuel chips, a chip-drying method using existing equipment was studied. Regardless of the external humidity, the chips would not dry under windless conditions. However, by lowering the moisture content of the air, it was possible to reduce the moisture content of the chips. Furthermore, it was suggested that if low-humidity air was blown over the chips, the chips could be dried further using a commercial dehumidifier.

**要旨** : 燃料用チップの含水率管理として、既存の設備を流用したチップ乾燥法を検討した。外部の湿度に関係なく、無風状態ではチップの乾燥は進まないが、送風を行うことでチップの含水率を低減させられることが認められた。さらに、送風時に用いる空気の湿度が低ければ、市販の除湿機を用いてチップの乾燥をより進行させられることが示唆された。

## 1 はじめに

2015年に開催されたCOP21において、多国間で気候変動を抑制するためのパリ協定(2016)が採択され、世界全体の平均気温の上昇を工業化以前よりも摂氏2℃高い水準を十分に下回るものに抑え、温室効果ガスについて低排出型の発展を促進する能力を向上させることなどが明記された。この具体的な方法として化石資源から再生可能エネルギーへのシフト、持続可能な社会の構築などが必要とされている。森林は光合成により大気中の二酸化炭素を吸収し、樹体内にセルロースなどの物質に変換して長期固定する能力を有することから、森林を主軸とした二酸化炭素の固定量拡大と共に、樹体内に蓄積された炭素群を長期にわたり物質として利用していくかが重要なカギとなる。また、これまでも人類は木材を薪や木炭のような形で熱源として利用してきたように、人間生活において十分なエネルギーを供給する能力を有している。木材が潜在的に持っているエネルギーを十分に取り出して活用するためには、エネルギー変換部における高効率化が求められると同時に、燃料としての品質の向上も欠かすことができない。近年、我が国においても再生可能エネルギーとしての

バイオマス利用が進んでおり、大規模バイオマス発電から家庭用ペレットストーブに至るまで、様々な形でエネルギー利用されている。中でも熱供給用のチップボイラの導入が温浴施設などへ進み、各地で利用されるようになってきた。しかし、ボイラとして利用する際には、燃料としてチップ化が求められるが、ボイラの導入と合わせて燃料用チップ工場の建設は進まず、既存の製紙用チップ工場や現地破碎等による供給に頼っているのが現状である。最近の木材乾燥については黒田(2005)が報告しているが、製材と比較して燃料用チップの乾燥に関する研究や報告、設備などは少ない。一方、欧州等では既に燃料用チップの規格が制定され、含水率によって価格がきまるような一種の工業製品として流通し、チップの製造も人工乾燥設備が整った製材工場由来のものや、燃料用チップとして出荷するための天然乾燥設備などを備えるなど、含水率が容易に整うような状況にある。そこで、今後燃料用チップの需要増大に伴い含水率管理が求められることが考えられることから、既存の設備を流用したチップ乾燥法を検討として、例えば会社や工場等の終業以後に使用されない室内空調設備をチップ乾燥に併用することを想定した除湿空気によるチップの乾燥法を検討した。

## 2 実験方法

### 2.1 チップの入手と管理

乾燥試験には、実際の製紙用チップ工場でチップ化された直後の針葉樹生チップを用いた。試験直前まで密閉容器内で保管し、試験開始直前に必要な乾燥用チップ群を採取した。

### 2.2 乾燥試験方法

乾燥装置モデルとして、55 × 55 × 50cm のアクリルボックスを用いた。地表から約 50cm 高に設置した棚にメッシュ状の布を被せ、下部からの通風を確保した。その布の上に底面と正面以外からの外部空気流入を抑止したアクリルボックスを設置した。床と棚との間に市販の送風機および除湿機を共に送風位置が同じになるよう高さを調整して設置した。これらの機器から送風すれば(送風口)、メッシュの布を通じて底面からアクリルボックス内へ侵入し、正面に設けた排出口(30 × 35cm)まで至ることを確認した。なお、アクリルボックス天井には、ボックス内の空気循環のためのファンを設置し、チップ乾燥試験中は稼働させた。

生材チップ群(約 300g)の中から含水率測定用チップおよび定時含水率測定用チップ(各 5 枚)をランダムに採取し、それらの質量を測定した。メッシュ状の布上に東西南北とその中心にそれぞれ含水率測定用チップを 1 つ配置した後、それを覆い隠すように乾燥用チップを高さ 10 ~ 15cm に堆積させた。さらに、東西南北と山の頂点に定時含水率測定用チップを 1 つ配置した。この定時含水率測定用チップについては、30 分毎に電子天秤で質量を測定した。なお、乾燥用チップに覆い隠された前述の含水率測定用チップは、乾燥試験終了後に質量を測定した。また、これら含水率測定用チップは乾燥試験終了後に絶乾質量を所定の方法にて計測した。

送風口、排出口、アクリルボックス内のチップ直上にそれぞれ温湿度計を設置し、30 分おきに実験室内の温・湿度とともに測定を行った。

### 2.3 外気温等による影響の検討

今回の乾燥法は外気による影響を受けやすいことが考えられる。本来であれば恒温恒湿室内で行うことが求められるが、実施できなかったため、気温・湿度、天候が一定・安定した時期を見計らい、試験時間帯も各回同じになるようにした。また、実験室内の温・湿度が比較的高い秋季とそうでない冬季にそれぞれ同様の方法で行った。

### 2.4 外気温等による影響の検討

チップの含水率は、個々により著しく異なり、100% を超えるものも認められた。そこで、今回は乾燥 30 分間の含水率の変動値を変化率として(1)式より算出した。

$$\text{変化率}(\%) = (MCt30 - MCt0) / MCt0 \times 100 \cdots (1)$$

ただし、MCt0 は測定時の含水率

MCt30 は測定 30 分後の含水率

## 3 結果及び考察

### 3.1 高湿度環境下での除湿空気の効果

秋季における乾燥実験として、送風機および除湿機を用いず乾燥装置モデル内にチップを堆積させたままの無風状態、送風機で乾燥させた送風乾燥および除湿器で乾燥させた除湿乾燥の 3 条件で比較した。

まず無風状態で乾燥させた結果を図 1 に示す。

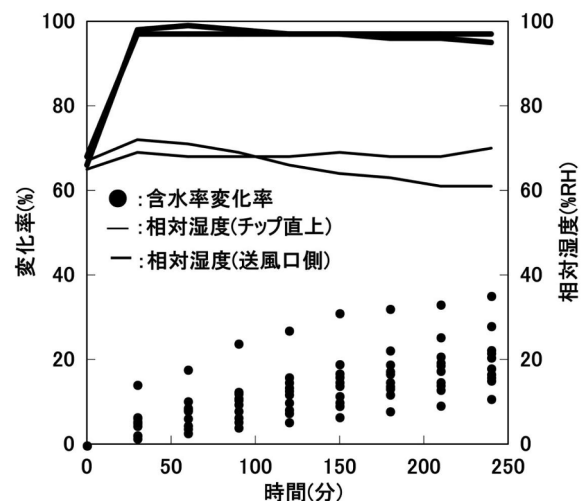


図 1 無風乾燥下での含水率変化率と相対湿度

チップ全体の乾燥開始前含水率は 69 ~ 75%、乾燥終了後含水率が 68 ~ 74%、定時含水率測定

用チップの乾燥終了時の変化率は $\Delta 11 \sim \Delta 36\%$ 程度となり、ほとんど乾燥しない結果となった。乾燥開始時のチップ群底辺部にあたる送風口側およびチップ群直上の相対湿度はいずれも68%RH前後であったが、30分後には送風口側で95%RH、チップ群直上は70%RHと底辺部の相対湿度が上昇した。底辺部の相対湿度はこのまま高値を、直上はやや低下を示した。一方、底辺部に配した含水率測定用チップの変化率は $\Delta 4 \sim \Delta 25\%$ となった。山側の定時含水率測定用チップの変化率が底辺部含水率測定用チップよりも高いのは、アクリルボックス内に設置したファンにより空気の入れ換えが多少生じたためと考えられる。宮田ら(2008)はコンテナ内におけるチップの自然乾燥について、攪拌による乾燥速度の増加を報告しており、空気の流動がほとんど起きない積層内部や底辺部では含水率の減少が生じにくいことが考えられる。次に送風乾燥による結果を図2に示す。

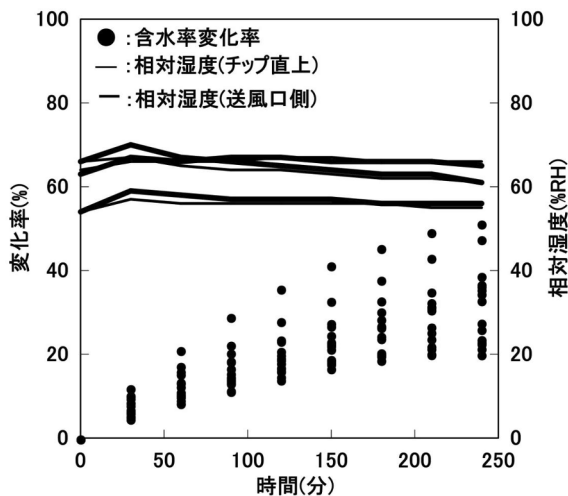


図2 送風乾燥下での含水率変化率と相対湿度

チップ全体の乾燥開始前含水率は53～76%、乾燥終了後含水率が32～40%、定時含水率測定用チップの乾燥終了時の変化率は $\Delta 20 \sim \Delta 51\%$ 程度となり、無風条件よりも含水率低減が認められた。乾燥開始時の送風口側および直上の相対湿度は54～66%RHを示し、乾燥が進行しても相対湿度の変化はあまり認められなかった。底辺部の含水率測定用チップの変化率は $\Delta 40 \sim \Delta 69\%$ を示し、無風乾燥よりも乾燥が進行したことが認められた。

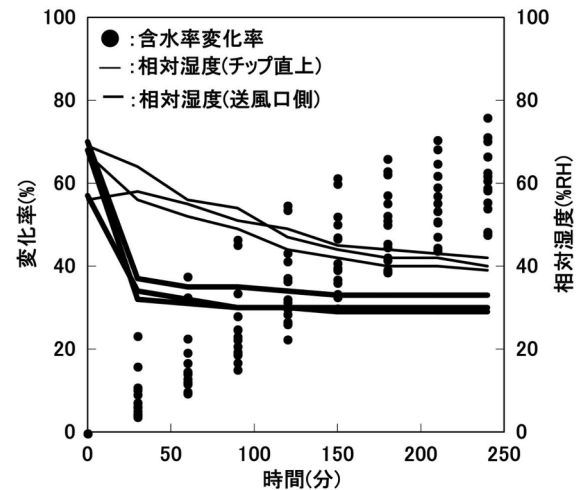


図3 除湿乾燥下での含水率変化率と相対湿度

次に除湿乾燥による結果を図3に示す。チップ全体の乾燥開始前含水率は48～66%、乾燥終了後含水率が9～14%、定時含水率測定用チップの乾燥終了時の変化率は $\Delta 48 \sim \Delta 76\%$ 程度となり、今回の乾燥条件の中でもっとも高い値を示した。乾燥開始時の送風口側および直上の相対湿度は59～70%RHであったが、乾燥が開始されると、特に送風口側の相対湿度が低下し、それに伴い直上のそれも低下した。乾燥終了時には前者で29～33%RH、後方で40%RH前後となり、アクリルボックス内は低湿度状態が現出され、底辺部の含水率測定用チップの変化率は $\Delta 33 \sim \Delta 88\%$ を示し送風乾燥よりも大きくなることが認められた。チップ群内部の含水率を乾燥中に直接測定することができなかったが、底部から堆積したチップ群内部にも除湿空気が流動したことが考えられ、送風時以上にチップ群全体にわたり含水率低減が行われたものと思われる。

### 3.2 低湿度環境下での除湿空気の効果

秋季よりも乾燥した気象条件である冬季においても乾燥効果を検討した。

まず無風状態で乾燥させた結果を図4に示す。チップ全体の乾燥開始前含水率は140%前後、乾燥終了後含水率が110%前後、定時含水率測定用チップの乾燥終了時の変化率は $\Delta 22 \sim \Delta 39\%$ 程度となり、秋季同様にほとんど乾燥しない結果

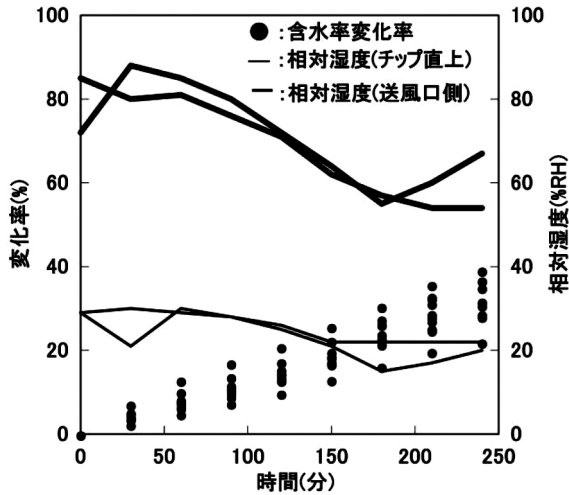


図4 無風乾燥下での含水率変化率と相対湿度

となった。ただし、乾燥開始時のチップ群底辺部にあたる送風口側の相対湿度は80% RH前後であったが、直上のそれは29%RH前後を示したが、これは冬季の気象条件が影響したものと考えられ、送風口側でも乾燥開始後と共に相対湿度が徐々に低下した。さらに、底辺部に配した含水率測定用チップの変化率は $\Delta 14 \sim \Delta 36\%$ を示した。次に送風乾燥による結果の図5に示す。

チップ全体の乾燥開始前含水率は133～143%、乾燥終了後含水率が47～64%、定時含水率測定用チップの乾燥終了時の変化率は $\Delta 45 \sim \Delta 84\%$ 程度となり、秋季よりも変化率が大きいことが認められた。また、乾燥開始時の送風口側の相対湿度は60% RH前後を、直上のそれは30%RH前後を示したが、乾燥の進行と共に送風

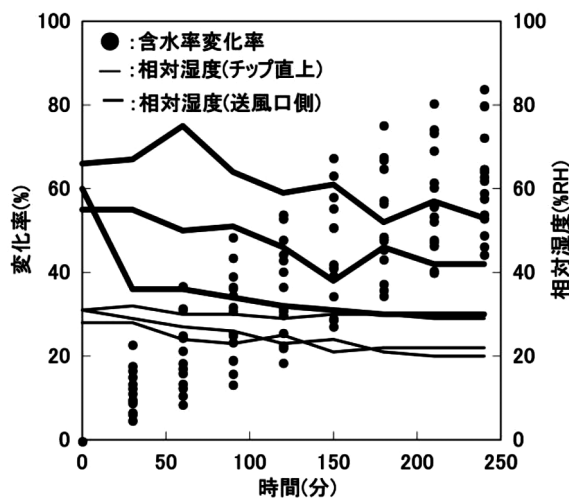


図5 送風乾燥下での含水率変化率と相対湿度

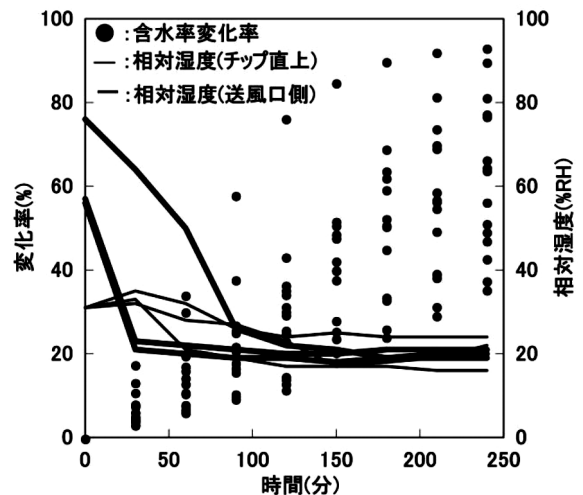


図6 除湿乾燥下での含水率変化率と相対湿度

口側の相対湿度は低下した。底辺部の含水率測定用チップの変化率は $\Delta 23 \sim \Delta 97\%$ を示し、変化率の幅が広がった。これは用いたチップの含水率が高いため、容易に自由水が離脱したチップの存在が推察される。

次に除湿乾燥による結果を図6に示す。チップ全体の乾燥開始前含水率は145%前後、乾燥終了後含水率が35%前後、定時含水率測定用チップの乾燥終了時の変化率は $\Delta 35 \sim \Delta 93\%$ 程度となり、送風乾燥よりも低い含水率を示した。一方、乾燥開始時の送風口側およびチップ直上の相対湿度は送風乾燥と同程度を示したが、乾燥終了時には両者ともほぼ同程度の値を示した。底辺部の含水率測定用チップの変化率は $\Delta 33 \sim \Delta 95\%$ を示し、定時含水率測定用チップと同程度の値を示した。今回用いた除湿機は、外気から水分を除去し送風する仕組みのため、既に外気が低湿度である場合、それ以上に水分を十分除去できず、秋季ほどの除湿効果が発揮できなかった可能性が考えられる。

以上のことから、常温化において、無風状態では最底部に配したチップは表層部よりも乾燥し難いが、送風はチップ乾燥に効果的で、さらに除湿空気を用いることで、より乾燥させられることが認められた。一方、冬場のような低湿度環境下では、除湿機の除湿能力に依存するが、自然環境よりもさらに低い除湿空気であれば、乾燥促進が期待できると思われる。

## 引用文献

- パリ協定 (2016) 条約第 16 号及び外務省告示第 437 号
- 黒田 尚宏 (2005) 木材の乾燥に関する研究の現状と課題. 木材学会誌, 51:10-12
- 宮田 大輔, 鈴木 保志, 小畑 篤史, 後藤 純一, 板井 拓司, 政岡 尚志, 吉井 二郎 (2008) 木質チップの自然乾燥における攪拌の効果. 日林誌, 90: 75-83