

りんごの木の乾燥に関する研究

— 実大材における減圧乾燥と自然対流式乾燥の比較 —

Study on the Drying of Apple Wood

— Comparison of Drying under Reduced Pressure Conditions and Natural Convection Drying for Full-Scale Timber —

八島 光勇^{*}，廣瀬 孝^{*, **}，木村 崇之^{***}

Mitsutoshi YASHIMA^{*}，Takashi HIROSE^{*, **}，Takayuki KIMURA^{***}

要 旨

本稿では、りんごの木の歩留の向上を目的として、実際に現場で使用される大きさのりんごの木を常圧にて浸水後、減圧乾燥法および自然対流式乾燥法を用いて乾燥試験を行った。乾燥後のりんごの木の観察や含水率の測定、繊維方向や接線方向、半径方向の乾燥前後での収縮率の測定、色差の測定を行った結果、減圧乾燥を行うことで木材の割れが抑制されることが示唆された。また、同温条件での乾燥では、自然対流式乾燥に比べ、減圧乾燥の方が乾燥後の接線方向への収縮率は大きいことが分かった。

キーワード：りんごの木、含水率、収縮率、減圧乾燥、自然対流式乾燥

緒言

りんごの木は製材過程での乾燥処理において、割れや反りが発生しやすく、実際に有限会社木村木品製作所で入手するりんごの木のうち、実際に木材として使用可能なのは五割程度と言われている¹⁾。

そのため、新たな乾燥方法や乾燥スケジュールを検討し、木材として使用可能な面積が大きくなれば、木材の歩留向上によってこれまで作ることができなかった大きい製品が製造可能となり、りんごの木を用いた新たな商品展開や製品のさらなる高付加価値化につながると考えられる。

一方、既往の研究において著者らはりんごの木の歩留向上を目的とし、図1に示す厚さ15mm×幅65mm×長さ110mmの試験片を作製、減圧乾燥法と自然対流式乾燥法を用いて、乾燥温度および乾燥時間を変えながら、乾燥試験を行い、乾燥後の木材の観察、含水率、収縮率の測定を行い、りんごの木に対する減圧乾

燥の有効性について検討を行った²⁾。その結果、乾燥後の木口面及び乾燥前後の収縮率の結果からりんごの木に対して減圧乾燥を行った場合、乾燥応力が減少し、割れの発生が抑制されると推察された。



図1 既往の研究で使用した試験片

そこで本稿では、試験片の大きさを図1で示した大きさから現場で利用される実用レベルの大きさにスケールアップし、りんごの木に対する減圧乾燥法の現

* 弘前大学農学生命科学研究科農学生命科学専攻
Department of Agriculture, Graduate School of Agriculture, Hirosaki University

** 弘前大学教育学部技術教育講座
Department of Technology Education, Faculty of Education, Hirosaki University

*** 有限会社木村木品製作所
Kimura Woodcraft Factory Ltd

場での有効性について検討を行った。

実験方法

2.1 試料の作製

試験片は図3に示す木村木品製作所にて厚さ50mm×幅200mm×長さ900mm目標に作製されたものを、帯鋸盤（オフ・コーポレーション社製，DF-14）を用いて厚さ50mm×幅200mm×長さ200mmとなるように、相対した部分で2つに切断し、乾燥試験用の試験片とした。



図2 使用した試験片

2.2 乾燥試験の前処理

2.2.1 初期含水率の測定

2.1で準備した試験片の質量を電子天秤（島津製作所社製，EB-3300DVW）で測定後、定温乾燥器（アズワン社製，ONW-450 S）を用いて $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ で質量一定となるまで乾燥させた³⁾。測定した乾燥前の質量 M (g)および乾燥後の質量 m (g)より，(1)式にて含水率 u (%) を算出し，乾燥試験を行う際の初期含水率推定値とし，全乾状態の試験片質量を算出した³⁾。

$$u = M - m / m \times 100 \quad (1)$$

2.2.2 試験片の浸水

試験片の浸水は，容器に試験片及び蒸留水を入れ，試験片が浮き上がらないように，錘をのせ，常圧で2週間浸水させた。また，試験片は24時間ごとに質量を電子天秤（島津製作所社製，EB-3300DVW）にて測定を行った。

2.3 乾燥方法および乾燥スケジュール

2.2.2で浸水させた木材の寸法および質量を測定後，

温度は 60°C ， 80°C の条件で，減圧乾燥，自然対流式乾燥を行った。3時間ごとにそれぞれの乾燥器から取り出し，デシケータ内で30分冷却後，試験片の質量を測定した。これを8回行い，計24時間乾燥試験を実施し，(1)式にて含水率を算出した。試験片の寸法は鋼尺（新潟精機社製，SD-300S）を用いて測定した。乾燥前後での寸法の測定結果から JIS Z 2101 に準じ，収縮率を算出した³⁾。乾燥器は，自然対流式として定温乾燥器（アズワン社製，ONW-450 S），減圧乾燥として真空乾燥器（アズワン社製，AVO-250V）及び油回転真空ポンプ（アルバック機工株式会社製，GLD-051）を使用した。減圧乾燥中，油回転真空ポンプは，オイルに水が混入するのを防ぐため，ガスバラストバルブを開放状態にして乾燥試験を行った。

また，乾燥前後での試験片の色差測定を行った。測定は簡易型分光色差計（日本電色工業株式会社製，NF-333）を用いて， $L^*a^*b^*$ 色空間（ L^* 値：明度， a^* 値：+赤～-緑， b^* 値：+黄色～-青⁴⁾）をそれぞれの試験片から9点測定し，その平均値を算出した。

結果および考察

初期含水率が13.8%の試験片を常圧にて14日間浸水させた結果，減圧乾燥 60°C 用の試験片は59.0%，自然対流式乾燥 60°C 用の試験片は59.0%と同率となった。また，減圧乾燥 80°C 用の試験片は57.7%，自然対流式乾燥 80°C 用の試験片は56.7%となった。

図3に乾燥時間と含水率の関係を示した。乾燥温度 60°C におけるそれぞれの乾燥方式での含水率の変化を

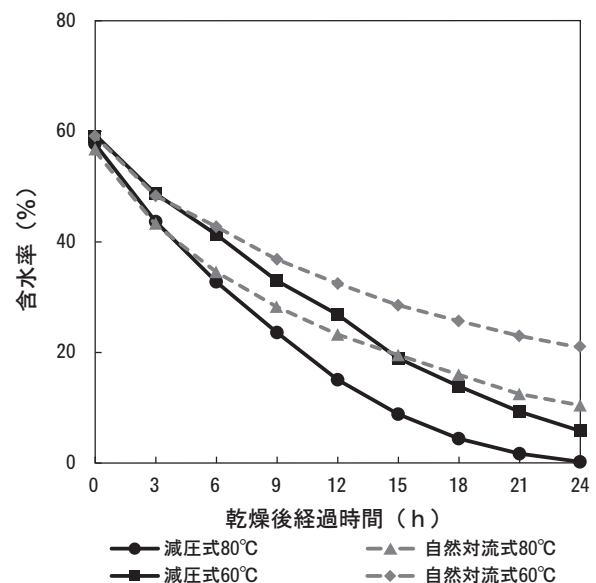


図3 乾燥後の経過時間と含水率との関係

見ると、乾燥3時間後以降から徐々に含水率の差が始め、24時間後には自然対流式乾燥が21.1%、減圧乾燥が5.7%となった。一方、乾燥温度80℃におけるそれぞれの乾燥方式での含水率の変化を見ると、乾燥温度60℃と同様に3時間以降から差が始め、24時間後には自然対流式乾燥が10.5%、減圧乾燥が0.2%となった。また、乾燥温度80℃での自然対流式乾燥と乾燥温度60℃での減圧乾燥を比較すると、乾燥開始から12時間後までは前者の含水率が低く推移するが、15時間後以降は後者の含水率が低く推移することが分かった。

図4に乾燥温度60℃にてそれぞれの乾燥器を用いて試験を行った後の木口面の状態を示した。木口面を観察すると、自然対流式乾燥法で乾燥を行った試験片は30mm前後の割れと10mm前後の割れが木口面で全体的に混在して発生している様子が確認できた。一方、減圧乾燥を行った試験片では、30mm前後の割れは数か所確認できたが、自然対流式乾燥と比較して、10mm前後の割れが全体的に発生している様子は確認されなかった。また、図5に乾燥温度80℃にてそれぞれの乾燥器を用いて試験を行った後の木口面の状態を示した。木口面からは図4の観察結果と同様の状態であることが確認された。



図4 60℃乾燥後の試験片
(左：自然対流式乾燥，右：減圧乾燥)



図5 80℃乾燥後の試験片
(左：自然対流式乾燥，右：減圧乾燥)

乾燥前後での繊維方向の収縮率を測定したところ、自然対流式で乾燥を行った試験片では60℃、80℃のいずれの条件においても収縮を確認することができなかった。減圧乾燥後の収縮率は、温度による収縮率の差は無く、0.5%収縮していることが確認された。井阪は、接線方向および半径方向の収縮に比べ、繊維方向への収縮はほとんど無視できる程度であると述べている⁵⁾。本稿で得られた結果も同様の現象が確認でき

た。

図6に半径方向の収縮率を示した。半径方向の収縮率は、自然対流式乾燥60℃の条件が4%と低く、それ以外の条件では8%と同率の収縮率となった。

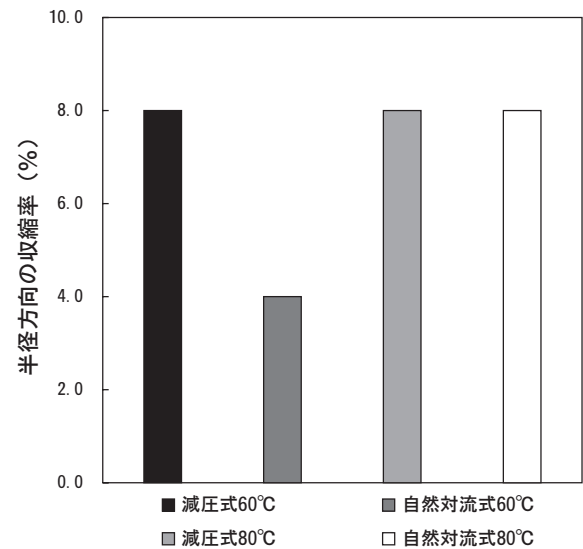


図6 半径方向の収縮率

図7に接線方向の収縮率を示した。接線方向への収縮率は、同温で減圧乾燥と自然対流式乾燥を比較すると、減圧乾燥の方が大きいことがわかった。また、80℃にて減圧乾燥を行った試験片が最も高い収縮率となった。

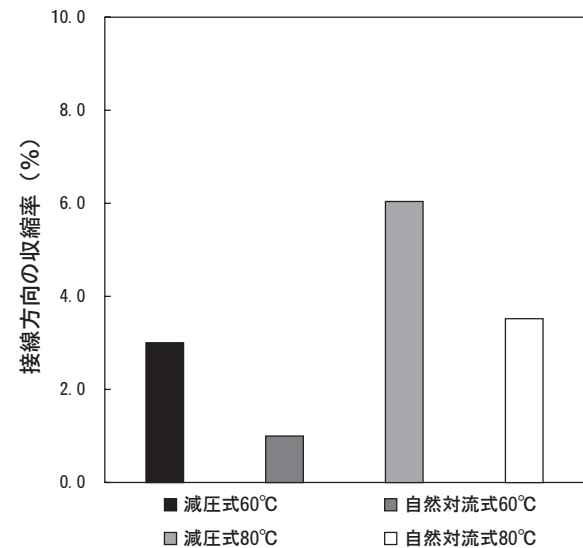


図7 接線方向への収縮率

試験片の収縮率および、乾燥後の試験片観察結果から、減圧乾燥を行った試験片において、同温で自然対流式乾燥を行った試験片と比較すると、接線方向への収縮率が高いにも関わらず、木口面での割れは少な

いことが確認された。一般に木材が乾燥する際、水分は表面蒸発及び内部拡散現象により移動が生じる⁶⁾。それと同時に木材自身も物理的な動きを示し始めるが、表面蒸発及び内部拡散現象により、材の表層と内層との間に水分傾斜が生じ、その結果材の収縮率も表面と内部では異なり、この差により乾燥応力が発生し、木材の割れにつながる事が分かっている⁶⁾。本稿で得られた結果から、減圧により、りんごの木の表面蒸発および内部拡散による水分の移動における乾燥応力が小さく、既往の研究で得られたりんごの木の乾燥試験結果と同様、木口面での割れの発生が抑制されたと推察された。

図8に乾燥前後でのL*値を示した。乾燥前後での色差を測定したところ、減圧乾燥80℃以外の条件にて有意差が確認された。自然対流式乾燥60℃の乾燥前後でのL*値(平均値±標準偏差)は、 55.2 ± 9.8 から 49.9 ± 7.9 と減少し、暗い色へ変化することが分かった。減圧乾燥60℃の乾燥前後でのL*値(平均値±標準偏差)は、 55.7 ± 10.5 から 52.2 ± 8.8 となり、自然対流式乾燥60℃と同様に減少し、暗い色へ変化することが分かった。また、自然対流式乾燥80℃の乾燥前後でのL*値(平均値±標準偏差)は、 59.4 ± 6.0 から 60.8 ± 5.5 と増加し、明るい色へ変化することが分かった。

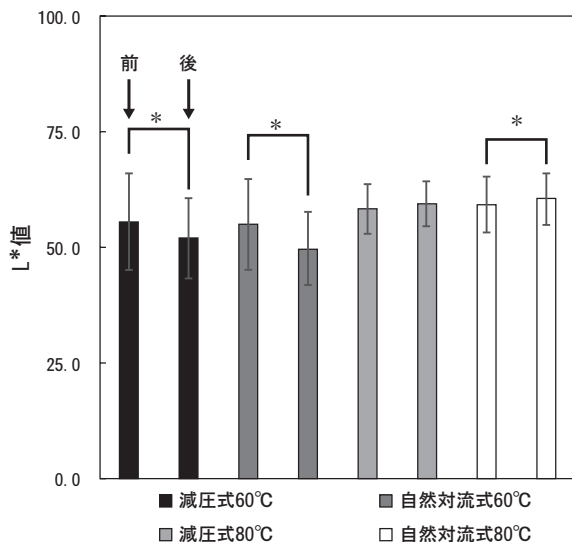


図8 L*値

図9に乾燥前後でのa*値を示した。乾燥前後での色差を測定したところ、減圧乾燥60℃の条件にて有意差が確認された。減圧乾燥60℃の乾燥前後でのa*値(平均値±標準偏差)は、 7.2 ± 0.8 から 6.4 ± 1.0 となり、緑方向の色相へと変化することが分かった。

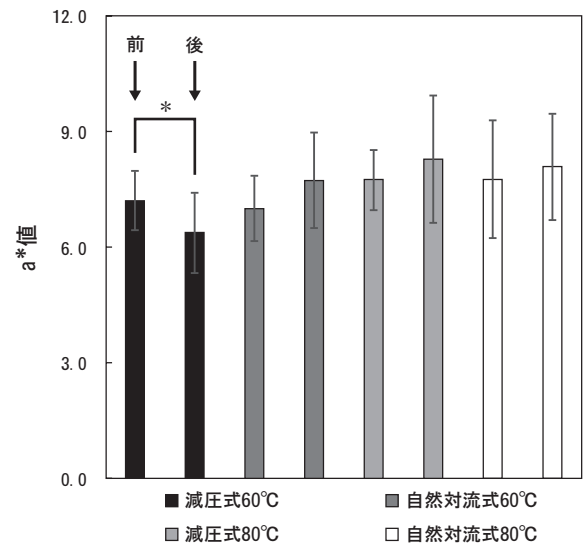


図9 a*値

図10に乾燥前後でのb*値を示した。乾燥前後での色差を測定したところ、a*値と同様、減圧乾燥60℃の条件にて有意差が確認された。減圧乾燥60℃の乾燥前後でのb*値(平均値±標準偏差)は 20.4 ± 3.7 から 18.5 ± 2.3 となり、青方向の色相へと変化することが分かった。

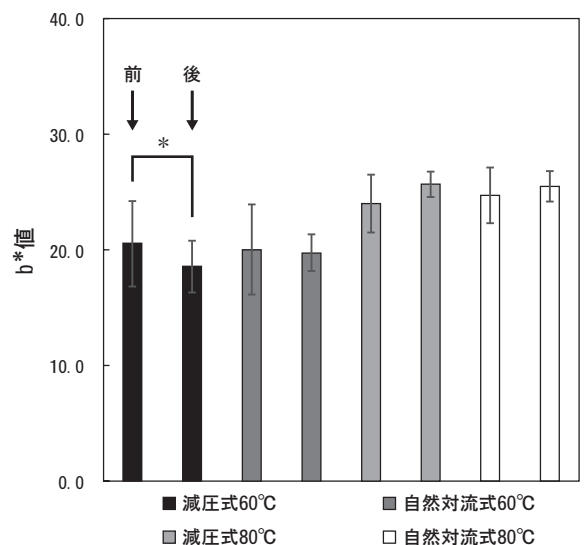


図10 b*値

結言

本稿では、りんごの木の歩留まり向上を目的として、現場で使用される大きさのりんごの木材を常圧状態で浸水させ、減圧乾燥法および自然対流式乾燥法を用いて乾燥を行い、乾燥後のりんごの木の観察や含水率の測定、乾燥前後での収縮率の測定や色差の測定を行った。その結果、以下の知見を得た。

- (1) 減圧と自然対流式にて乾燥を行った試験片を観察した結果、減圧乾燥を行った試験片で木口面での割れが抑制されることが分かった。
- (2) 同温の条件では、自然対流式乾燥に比べ、減圧乾燥の方が接線方向で乾燥後の収縮率が大いことが分かった。
- (3) 乾燥後の木口面及び収縮率の結果からりんごの木に対して減圧乾燥を行った場合、乾燥応力が減少し、実用レベルの大きさの木材においても、割れの発生が抑制されると推察された。
- 2) 八島光勇, 廣瀬孝, 木村崇之: りんごの木の乾燥に関する研究—減圧乾燥と自然対流式乾燥の比較—弘前大学教育学部紀要, 131巻, pp.93-96 (2024)
- 3) 日本産業規格: “JIS Z2101: 2009 木材の試験方法” (日本規格協会)
- 4) 妹尾拓司, 橋本晋輔, 三ツ井奨一朗, 山本涼平, 猪谷富雄: 紫稲および黄稲系統の品種特性ならびに色素発現に及ぼす光の影響, 日作紀, 第90巻, 第2号, pp.182-193 (2021)
- 5) 井阪三郎: 木材の狂いについて, 材料, 第12巻, 121号, pp.695-698 (1963)
- 6) 松田健一: 乾燥中に生じる木材の乾燥応力等について, 鹿児島大学教育学部研究紀要, 第24巻, pp.69-78 (1973)

引用文献

- 1) 木村木品製作所HP

<http://www.kimumoku.jp/ringo/>

謝辞: 本研究は、2022年度弘前大学共同研究トライアルファンドの助成を受けたものである。ここに深く感謝の意を表する。

(2024. 9. 2 受理)