乾燥時期が分割材の天然乾燥経過に与える影響

佐野 哲也^{*1}・井 春 夫¹・吉田 貴 紘¹・大原 誠 資¹

10月と5月に伐採したヒノキとアラカシについて、分割サイズ（4,8分割）や乾燥場所（舗装の有無、屋根の有無）を変えて乾燥試験を行い、乾燥時期が剥皮分割材の乾燥経過に及ぼす影響を調べた。時期を問わず、（1）低比重材のヒノキの方が速く乾燥すること、（2）苗畑よりもアスファルトや温室で、屋外よりも屋内で速く乾燥すること、（3）細かく割った方が含水率を低くでき、その効果は高比重材のアラカシにおいて顕著に現われることを確認した。分割サイズの影響は、乾燥初期の段階では、心材率の違いによる含水率の差のため目立たなかった。また、5月に乾燥を開始したときの方が、10月に開始したときよりも乾燥初期の乾燥が速くなった。しかし、乾燥開始時期によらず、乾燥開始から1~4週間程度で乾燥初期のような大幅な含水率の低下が見込めなくなるため、長期間の乾燥は効果的でないと考えられた。長期間の乾燥では、剥皮分割によって得られる効果が小さくなることも明らかとなった。

キーワード：木質バイオマス、薪、薪割り、天然乾燥、含水率

Tetsuya Sano,^{*,1} Haruo I,¹ Takahiro Yoshida,¹ Seiji Ohara¹ (2012) Effect of Drying Seasons on the Reduction of Moisture in Split Logs by Natural Seasoning. J Jpn For Soc 94: 142–148 The reduction of moisture in split logs of Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*) and Japanese blue oak (*Quercus glauca*) was compared in two drying seasons (autumn to winter and spring to summer) under certain conditions differentiated in terms of split size (one-quarter or one-eighth) and drying circumstances (on a paved or unpaved surface, and under a roof or exposed to the outside). Regardless of the drying season, (i) Japanese cypress dried out more rapidly than oak having higher wood density, (ii) drying under paved or roofed circumstances was more effective than under unpaved or unroofed circumstances, and (iii) fine splitting enabled more rapid drying, especially in oak of higher wood density. The effect of the split size tended to be concealed during initial drying due to differences of moisture content by heartwood ratio among the sampled logs. Overall, natural seasoning from spring to summer achieved a faster and more extensive initial reduction of moisture. Nevertheless, the benefits of longer natural seasoning are apparently marginal in both drying seasons, as the drying speed of the split logs rapidly decreased during the first four weeks of drying in both seasons. And longer drying decreased the advantage of splitting.

Key words: woody biomass, fuel wood, wood splitting, natural seasoning, water content

I. は じ め に

再生可能なエネルギーとして木質燃料の需要が確実に増大している。木質ペレットの国内生産量を例にとると、2003年の国内生産量は3,800 tであったが、2009年には50,693 tまで増加している（林野庁 2011）。東日本大震災を受け、大量に発生した木質廃棄物を発電や熱利用に結びつけることの必要性が提言されたり（東日本大震災復興構想会議 2011）、再生エネルギー特別措置法が成立したりするなど、今後木質バイオマスの燃料利用は加速度的に増加することが予測される。

木質燃料の需要増加に伴い、材料の確保や乾燥・保管段階における問題が顕在化してきている。これまでは、製材残材や建築廃材がおもな材料として使用されてきたが、原料が不足する状況が生じており（伊神 2008）、除間伐で生じる小径木や林地残材などを利用する必要性が大きくなってきた。伐採現場で発生するこれらの生材は含水率が乾量基準で100%を超えることもあり、燃焼目的で効率良く利用するためには十分な乾燥が必要になる。生材燃焼に対応したボイラーも開発されているが、水分蒸発時における潜

熱の吸収を考えると、省エネルギーな天然乾燥で含水率をできるだけ下げ、木材のもつエネルギーを最大限に利用することが望ましい。

しかし、限られた場所で効率的に天然乾燥を行うには多くの問題点がある。木材の乾燥は細分化するほど速くなるが（Sirois *et al.* 1991）、それは、できるだけ外気に触れるように保管した場合であり、広大な場所が必要となる。山積みする場合には、通気性の悪い内部では乾燥が遅く（宮田ら 2008）、発酵や発熱などによってエネルギーの損失を招いてしまう可能性もある（Nurmi 1991）。特に生物活動による発熱や可燃性ガスの発生は、東日本大震災被災地の瓦礫置き場でも複数の事例がみられたように自然発火を引き起こす要因にもなり、注意が必要である。国際エネルギー機関が取りまとめたバイオマス燃焼利用のハンドブック（Van Loo and Koppejan 2008）には、粒子サイズが20 cm以下の生材や樹皮を山積みした場合に内部の温度上昇がみられるようになり、減容のために山積みした生材や樹皮を圧縮すると局所的に水分が高い部分が生じ、発熱がさらに起こりやすくなる可能性が指摘されている。東日本大震災で発生した木質廃材は、その多くが家屋の柱や土台に使わ

^{*} 連絡先著者（Corresponding author）E-mail: tsano@ffpri.affrc.go.jp

¹ 独立行政法人森林総合研究所 〒305-8687 つくば市松の里1 (Forestry and Forest Products Research Institute, 1 Matsunosato, Tsukuba 305-8687, Japan)

(2011年11月22日受付；2012年5月6日受理)

れていたもので、津波被害を受けたものであってもほとんどが気乾状態（湿量基準の含水率が約 16% 以下）であったことから（吉田ら 2011）、分別して保管すれば発熱や発火の恐れは少ないと考えられる。しかし、含水率が高かつ微細な他のバイオマス廃棄物と混合して山積みしてしまうと、攪拌や空気の循環の他に温度や発生ガスのモニタリングなど発火を予防する策を講じる必要が生じ（Van Loo and Koppejan 2008）、多大な労力とコストが発生する可能性がある。

燃料用木材の乾燥における以上の問題を踏まえ、筆者らは、粉碎、チップ化して使用する前の保管、乾燥形態として薪に着目し、その乾燥期間の目安を知ることを目的として複数の条件を設定し、その乾燥経過を調べてきた。前報（佐野ら 2011）では、分割材の乾燥期間の目安を知るため、針葉樹のヒノキと広葉樹のアラカシの剥皮分割材を対象に乾燥場所や分割サイズを変え、秋から冬にかけて天然乾燥試験を行い、(1) 低比重材のヒノキの方が速く乾燥すること、(2) 未舗装土場よりも舗装土場で、屋外よりも屋内で速く乾燥すること、(3) 細かく割った方が含水率を低くでき、その効果は高比重材のアラカシで顕著に現われることを確認した。そして、どの条件であっても乾燥が遅くなる乾燥開始から 1~2 カ月のうちに乾燥を終了した方が有利であるという考察を行った。しかし、この乾燥時間の目安は比較的低温での乾燥となる関東地方における秋から冬にかけての試験結果に基づくもので、気温、湿度、降水パターンが異なる他の時期にも適用が可能であるか検討の余地が残っていた。そこで本報では、新たに晩春から夏にかけて同様の条件で天然乾燥試験を行い、時期によって乾燥時間の目安を変える必要があるのか考察した。また、前報では、心材と辺材の比率が乾燥経過に与える影響や、剥皮分割による乾燥迅速化の効果について自らのデータに基づいた十分な議論ができなかったため、今回新たにデータの蓄積を行い、検討を行った。

II. 方 法

新たな乾燥試験は、前報（2009 年 10 月 9 日試験開始：佐野ら 2011）と同様に東京都八王子市にある森林総合研究所多摩森林科学園にて行い、2010 年 5 月 12 日から開始した。試験開始日に園内から樹高 20 m 程度のヒノキ 1 個体、アラカシ 2 個体を伐倒し、根元から最下枝までの部分を玉切りし、長さ 80 cm ほどの玉切り材を 1 種につき 6 本採取した。玉切り材は剥皮したのち、長さと同径、末口径を計測し、薪割り機で四つと八つに分割した（詳しくは前報図-1 を参照されたい）。初期重量を計測したのち、苗畑（屋外未舗装土場を想定）、アスファルト面（屋外舗装土場を想定）、温室（屋内舗装土場を想定）に井形状にしたりん木上に積み上げた（図-1, A）。また、剥皮分割が乾燥の加速化に与える影響をみるため、アラカシを対象として、4 分割材と同じ体積になるような丸太を個体の中層から上層に位置する太枝から 6 本切り出し、剥皮分割しない

図-1. 材の乾燥方法

A, 剥皮分割材；B, 樹皮付き丸太。

状態（図-1, B）で、分割材とともに苗畑にて乾燥試験を行った。表-1 に、供試薪および丸太の概要について示す。分割材の材積をスマリアン法で推定した分割前の玉切り丸太の材積と分割材の質量比より推定すると、分割の結果によっては、4 分割材の方が 8 分割材よりも推定材積が小さくなってしまふ場合があり、推定材積 0.007 m^3 を基準に 4 分割材と 8 分割材を区分した。すべての分割材について乾燥試験は行ったものの、推定材積 0.007 m^3 未満の 4 分割材および推定材積 0.007 m^3 以上の 8 分割材については解析の対象から除外した。なお、10 月開始分の結果を報告した前報では 0.0075 m^3 を基準に区別したが、この基準を 5 月開始の供試体に適用すると、十分なサンプル数がとれなくなり両期間の結果比較に支障が生じたため、本報では両期間の試験とも基準値を 0.007 m^3 に変更して解析を行った。心材と辺材の境が明確なヒノキについては、小口面を写真撮影して心材率を求め、乾燥経過との対応を調べた。質量計測は、乾燥開始から 5 カ月程度については降雨直後を避けてほぼ 1 週間おきに行い、2010 年 12 月 10 日に試験を終了した。試験終了時に、両小口より 10 cm 離れた箇所と中央部から厚さ 5 cm 程度の円盤（扇型盤）を採取し、JISZ2101 が定める測定法に従って含水率の平均値を求め、各質量測定時の含水率を推定した。測定期間中の気象は敷地内にある野外気象観測台で観測しているデータ（温湿度、降水量）の他、おのおのの乾燥場所でデータロガー（Hobopro2, Onset 社、および TR-72, T&D 社）で測定した温度データも参照した。

III. 結果 と 考 察

1. 乾燥開始時期による分割材の乾燥経過の違い

図-2 に 5 月と 10 月に乾燥を開始した分割材の乾燥経過を樹種、乾燥場所、分割サイズ別に示す。また、表-2 に乾燥開始から 5 週間までの乾燥速度および平均含水率が 50, 40, 30% に達するまでの所要日数をまとめたものを示す。さらに、季節および気象条件が乾燥経過に及ぼす影響をみるため、図-3 に 8 分割材の乾燥経過と試験期間中の気象条件、および温湿度データから推定した木材の平衡含水率の変動パターンの対応関係を示した。また、1 日だけではあるが夏の晴れた日（8 月 11 日）に各々の乾燥場所で行った気温観測の結果を、参考までに図-4 に示す。

5 月に乾燥を開始した場合も、前報（佐野ら 2011）で報告した 10 月に乾燥を開始した場合と同様に、(1) 樹種に

表-1. 供試体の概要

A. 2010 年 5 月乾燥開始 剥皮分割材

樹 種	乾燥場所	分割法	供試丸太のサイズと採取位置					分割材のサイズ構成 (本) と心材率		
			元口径 (cm)	末口径 (cm)	長さ (cm)	材積 ^{*1} (m ³)	採集位置 ^{*2}	材積 ^{*3} 階級 (m ³)		心材率 ^{*4} (%)
								0.007 未満	0.007 以上	
ヒノキ	苗畑	4 分割	23.0	22.0	85	0.034	5		4	40.2 (31.8~49.2)
	アスファルト		23.0	23.0	85	0.035	6		4	46.0 (29.6~54.8)
	温室	8 分割	22.0	22.0	87	0.033	4	(1)	3	37.7 (33.9~40.3)
	苗畑		28.0	25.0	84	0.046	1	7	(1)	48.1 (39.6~68.2)
	アスファルト		25.0	24.0	85	0.040	2	7	(1)	44.7 (32.8~56.6)
	温室		24.0	23.0	87	0.038	3	8		38.8 (25.2~47.4)
アラカシ	苗畑	4 分割	23.0	22.0	86	0.034	A2		4	—
	アスファルト		21.0	19.0	86	0.027	B3	(2)	2	—
	温室	8 分割	23.0	20.0	87	0.032	B2	(2)	2	—
	苗畑		25.0	23.0	83	0.038	A1	7	(1)	—
	アスファルト		22.0	21.0	87	0.032	A3	8		—
	温室		24.0	23.0	85	0.037	B1	7	(1)	—

B. 2009 年 10 月乾燥開始 剥皮分割材^{*5}

樹 種	乾燥場所	分割法	供試丸太のサイズと採取位置					分割材のサイズ構成 (本) と心材率		
			元口径 (cm)	末口径 (cm)	長さ (cm)	材積 ^{*1} (m ³)	採集位置 ^{*2}	材積 ^{*3} 階級 (m ³)		心材率 ^{*4} (%)
								0.007 未満	0.007 以上	
ヒノキ	苗畑	4 分割	24.0	22.0	84.5	0.035	5		4	57.7 (51.3~63.7)
	アスファルト		22.5	21.0	84	0.031	6		4	59.0 (51.6~66.5)
	温室	8 分割	23.5	23.5	85	0.037	4		4	57.3 (55.7~59.8)
	苗畑		30.0	25.5	81	0.049	1	8		60.3 (45.1~66.2)
	アスファルト		25.0	24.0	82	0.039	2	8		59.6 (53.7~70.6)
	温室		24.5	23.5	85	0.038	3	7	(1)	58.7 (52.6~70.0)
アラカシ	苗畑	4 分割	22.0	20.5	84	0.030	A3	(2)	2	—
	アスファルト		24.0	22.5	83	0.035	B3		4	—
	温室	8 分割	27.5	25.0	78	0.042	B2		4	—
	苗畑		29.0	28.5	83	0.054	A1	6	(2)	—
	アスファルト		30.0	28.0	86	0.057	B1	5	(3)	—
	温室		28.0	25.5	90	0.051	A2	5	(3)	—

C. 2010 年 5 月乾燥開始 樹皮付き丸太

樹 種	乾燥場所	No.	元口径 (cm)	末口径 (cm)	長さ (cm)	材積 ^{*1} (m ³)
アラカシ	苗畑	1	12	11	96	0.011
		2	11	10	97	0.009
		3	10	9	103	0.007
		4	13	12	96	0.013
		5	10	10	95	0.008
		6	10	9	98	0.007

^{*1} スマリアン法による。^{*2} ヒノキは伐採木より玉切り材 6 本、アラカシは伐採木より 2 本 (A, B) とりおのおの 3 本ずつ計 6 本供試した。番号は根元からの距離を示す。^{*3} 分割材の材積はスマリアン法で求めた分割前の丸太の材積と分割後の各材の質量比から求めた。括弧の中の数字は 0.007 m³ 未満の 4 分割材もしくは 0.007 m³ 以上の 8 分割材の本数を示し、これらは本報における解析からは除いた。^{*4} 心材と辺材の区別が明確であったヒノキのみ測定した。括弧の中はレンジを示す。^{*5} 比較のため前報 (佐野ら 2011) の試験結果を再解析した。

については、低比重材のヒノキの方が速く乾燥すること、(2) 場所については、苗畑よりも気温の高いアスファルトや温室で、降雨の影響を受けない屋内で速く乾燥すること、(3) 分割サイズについては、細かく割った方が含水率を低くでき、その効果は乾燥の遅いアラカシで顕著に現れることが確認された (図-2)。また、含水率がほぼ一定速度で急激に減少する恒率乾燥期間に相当すると考えられる期間についても、乾燥開始時期による違いはみられず、乾燥開始から 1~4 週間中に乾燥初期のような大幅な含水率の低下がみられなくなり、減率乾燥期間に相当すると考えられる時期に移行した (図-2)。

一方、乾燥初期の乾燥速度は時期により違いがみられた。特に、乾燥速度が最も大きかった乾燥開始から 7 日間の乾燥速度は、5 月に乾燥を開始したときの方が 10 月に

開始したときに比べヒノキで 3.8~5.6 パーセントポイント (/日)、アラカシでは 0.4~1.1 パーセントポイント (/日) 大きくなっていた (表-2)。乾燥開始から 7~35 日目までについてみると、アラカシについては乾燥時期による差が 0.4 パーセントポイント (/日) 以内とわずかであったが、ヒノキについては 5 月の方が 1 パーセントポイント (/日) 以上大きくなっていた (表-2)。また、実際の含水率と温湿度から推定される平衡含水率との差の推移を 8 分割材についてみると (図-3)、ヒノキとアラカシともに 5 月に乾燥を開始したときの方が早く平衡含水率に近い値にまで含水率が低下したことがわかる。同様の傾向は 4 分割材でも確認された。

乾燥開始時期により乾燥初期、すなわち高含水率域の乾燥速度に差が生じた要因としては、両期間の気象条件の違

表-2. 乾燥開始時期, 樹種, 乾燥場所, 分割サイズ別にみた初期乾燥速度および平均含水率が 50, 40, 30% に達するまでの所要日数

樹 種	分 割 サイズ	乾燥場所	乾燥 開始日	初期含水率 (%)	乾燥速度(パーセントポイント/日)					所要日数(日)		
					0～7日	0～14日	0～21日	0～28日	0～35日	生～50%	生～40%	生～30%
ヒノキ	4 分割	苗畑	5/21	119.0	6.9	3.7	3.0	2.9	3.0	28	28	70
			10/9	89.1	2.5	2.4	1.7	1.5	1.5	28	70	91
		アスファルト	5/21	116.6	9.4	5.4	4.0	3.3	3.2	14	21	28
			10/9	87.6	5.6	4.1	2.7	2.1	2.0	7	14	14
		温室	5/21	118.4	8.9	6.3	4.6	3.6	3.6	14	14	21
			10/9	89.4	4.0	3.9	3.0	2.4	2.4	14	14	21
	8 分割	苗畑	5/21	114.2	8.3	4.5	3.6	2.9	3.0	14	14	42
			10/9	90.9	2.8	2.6	1.8	1.6	1.6	28	56	91
		アスファルト	5/21	121.1	12.1	6.4	4.6	3.5	3.4	7	7	21
			10/9	91.0	6.7	4.5	2.9	2.3	2.2	7	14	14
		温室	5/21	118.4	11.1	7.0	4.9	3.8	3.8	7	14	14
			10/9	89.3	5.5	4.5	3.2	2.4	2.4	14	14	14
アラカシ	4 分割	苗畑	5/21	66.5	2.7	1.3	1.0	0.8	0.8	7	70	>150
			10/9	78.3	2.2	1.5	1.0	0.8	0.7	91	>150	>150
		アスファルト	5/21	78.2	3.3	1.8	1.4	1.2	1.2	21	70	84
			10/9	72.1	2.9	1.8	1.2	1.0	1.0	14	70	>150
		温室	5/21	75.1	3.3	2.1	1.6	1.4	1.5	14	28	77
			10/9	67.1	2.2	1.7	1.2	1.0	1.1	14	28	105
	8 分割	苗畑	5/21	62.3	3.0	1.5	1.1	0.9	0.9	7	21	77
			10/9	78.0	2.5	1.7	1.1	0.9	0.9	70	105	>150
		アスファルト	5/21	63.4	3.5	1.9	1.4	1.2	1.2	7	7	35
			10/9	66.2	2.8	1.8	1.2	1.0	1.0	7	28	91
		温室	5/21	72.3	3.9	2.4	1.8	1.5	1.6	7	14	28
			10/9	68.8	3.3	2.3	1.7	1.3	1.4	7	14	35

図-2. 乾燥開始時期, 樹種, 乾燥場所, 分割サイズによる剥皮分割材の乾燥経過の比較

いが効いていると考えられる。野外の気象観測台で測定したデータに基づいて乾燥時期別に乾燥開始から 35 日目までの気象条件を比較すると, 日平均気温の平均値は乾燥時期による有意な差が認められ, 5 月開始時は 18.1℃ (最高気温の平均 = 23.5℃, 最低気温の平均 = 13.3℃) と 10 月

図-3. 8 分割材の乾燥経過と乾燥期間中の気温, 湿度および降水量の変動

気温と湿度については含水率測定日間の平均値で示した。5 月からは温室室内でも温湿度の測定を行った。

開始時の 14.0℃ (最高気温の平均 = 18.6℃, 最低気温の平均 = 10.3℃) に比べ高くなっていた (t 検定, $p < 0.05$)。日平均湿度の平均値は, 5 月開始時は 76.6% (最小湿度の平均 = 50.8%) と 10 月開始時の 79.9% (最小湿度の平均 = 56.8%) に比べ低くなっていたが, 乾燥時期による有意な差は認められなかった (t 検定, $p < 0.05$)。また, 気温と関係湿度より求めた平衡含水率の平均値も乾燥時期による有意な差は認められず, 5 月開始時が 15.4%, 10 月開始時の 16.6% であった (t 検定, $p < 0.05$)。一方, 乾燥開始から 7 日目までに期間を限ると, 日平均気温の平均値は, 5

図-4. おおのの乾燥場における1日の気温変化(2010年8月11日)

月開始時は16.0°C(最高気温の平均=22.4°C, 最低気温の平均=9.8°C)と10月開始時の15.3°C(最高気温の平均=19.3°C, 最低気温の平均=12.5°C)に比べ高くなっていたが, 乾燥時期による有意な差は認められなかった(t 検定, $p < 0.05$)。しかし, 日平均湿度の平均値は, 乾燥時期による有意な差が認められ, 5月開始時が66.9%(最小湿度の平均=37.7%)と10月開始時の75.8%(最小湿度の平均=46.1%)に比べ低くなっていた(t 検定, $p < 0.05$)。また, 平衡含水率の平均値も, 乾燥時期による有意な差が認められ, 5月開始時が12.5%と10月開始時の14.9%に比べ低くなっていた(t 検定, $p < 0.05$)。一般に, 乾燥速度に及ぼす温度と湿度の影響は乾燥の進行とともに変化し, 恒率乾燥期間中は相対湿度の影響が大きく相対湿度に比例して乾燥速度が増加するのに対し, 恒率乾燥期間以外の期間は温度の影響が大きく温度が高い程乾燥が速くなるとされる(寺澤2004)。したがって, 5月開始の試験で乾燥が速くなった理由としては, 10月開始の試験に比べ乾燥初期7日間の平均湿度が低かったことと, 乾燥開始から35日目までの気温が高かったことの影響が考えられる。秋冬期に比べ春夏期で乾燥が速くなる傾向は, 構造用木材の乾燥に関する既往研究でも認められており, 年間を通じて1カ月間隔でブナ材の一枚板の乾燥試験を行い乾燥経過の季節差を検討した野原(1996)は, 5月から9月にかけては気温が高く平衡含水率が低くなるため, 他の時期より乾燥が速く含水率も低くなることを報告している。また, 粉碎した木材の乾燥速度を夏と冬で比較したSirois *et al.* (1991)も夏に高含水率域の乾燥が速くなることを報告している。

降雨や平衡含水率の上昇に対応した含水率の上昇や乾燥速度の低下は季節によらずすべての乾燥期間においてみられたが(図-3), 低含水率域に達し含水率が大幅に減少しなくなった木材を降雨にさらし再び含水率を上昇させてしまうのは効率が悪いと考えられる。5月に開始した試験では, 乾燥開始から1カ月経過した6月13日頃からは梅雨期に入り, 含水率が低下しない時期が続いた。そして, 梅雨が明け本格的な夏に入った7月17日以降に若干含水率の低下がみられた後は含水率がほとんど変化しないようになり, 9月下旬になると含水率が上昇した。気温は高くても湿度が高い梅雨時に乾燥が遅くなる傾向は野原(1996)

図-5. ヒノキにおける心材率と乾燥経過の関係

の研究でも報告されている。また, 気温と相対湿度から推定された平衡含水率との比較により, 分割材, 特に温室とアスファルトで乾燥させたものについては, 梅雨明けから8月にかけての期間に平衡状態に達したと判断されるため, 9月下旬にみられた含水率の上昇は降雨だけでなく気温の低下と相対湿度の上昇も影響していると考えられる。以上のことから, 5月に乾燥を開始した場合も長期間の天然乾燥は望ましくなく, 入梅前に乾燥を切り上げるか, 梅雨が明けて1週間程経過した後に乾燥を切り上げ, 次段階の工程で含水率の低下を期待した方が良いと考えられた。すなわち, 天然乾燥切り上げの目安は10月に乾燥を開始した場合と同様に乾燥開始から1~2カ月程度が望ましいと考えられた。

2. 心材率による乾燥経過の違い

辺材と心材を明確に区別できたヒノキの分割材について, 乾燥開始から5週間後までの含水率と心材率の関係を図-5に示した。辺材と心材の含水率の違いは樹種によっておおの特徴があり, ヒノキの場合は心材よりも辺材の方が高くなる傾向が認められるとされるが(森林総合研究所2004), 本研究でも, 5月と10月に伐採した両サンプルとも心材率が高い分割材ほど初期含水率が低くなる傾向が認められた。しかし, この心材率の違いによる含水率の差は, 乾燥開始時期を問わず, 乾燥開始から2週間もすると小さくなり, 35日目にはほとんどみられなくなった。そして, 心材率の違いによる含水率の差が目立たなくなるにつれて, 分割サイズによる含水率の違いが目立ち始める傾

図-6. アラカシにおける剥皮4分割材と樹皮付き丸太の乾燥経過の違い

5月乾燥開始。苗畑における乾燥。

向がみられた。ヒノキにおける心材率の違いは、乾燥初期のみに分割材間の含水率の差に影響を与えるものであり、1~2カ月程度の乾燥を想定する限り、乾燥期間を見積る際に注意を払う必要はないと考えられる。

3. 剥皮、分割が乾燥経過に与える影響

剥皮、分割が乾燥の迅速化に与える効果を検討するため、図-6に5月から苗畑にて乾燥を開始したアラカシの剥皮4分割材と樹皮付き丸太の乾燥経過を同時に示す。なお、比較に用いた分割材4本の体積 (0.0076~0.0095 m³) を超えた2本の樹皮付き丸太 (表-2) については、供試体の体積の違いが乾燥速度に与える影響を考慮して解析から除外した。

剥皮分割材と樹皮付き丸太では、乾燥試験初期の高含水率域の水分減少経過パターンが異なっており、乾燥開始から7日間の含水率の減少量は、樹皮付き丸太が7.2パーセントポイントであったのに対し剥皮分割材は18.6パーセントポイントと約2.6倍減少していた。剥皮分割材は外気に触れる木部の面積が増加した分、乾燥が速くなったと考えられる。ただし、本研究の結果からは剥皮・分割の影響を別々に把握することは困難であった。剥皮の効果については、スギの丸太について剥皮の有無が乾燥経過の違いに与える影響を調べた岩田ら (1981) や野原 (1996) の研究で報告されている。分割操作単独の効果を検討するためには樹皮付き分割材の乾燥試験の結果についても検討する必要がある。仮に、剥皮と分割両方の操作を行ったときと同じ効果が分割操作だけでも見込める場合は、剥皮操作を省

略し作業量を減らした方が実用的であると考えられる。

また、分割材は外気に触れる面積が多いため、乾燥が速い一方で水分の吸収も速くなる傾向があるとされているが (Sirois *et al.* 1991)、本研究の結果 (図-6) でもこの傾向が確認された。梅雨期、すなわち2010年6月16日から2010年7月14日においては、樹皮付き丸太の含水率は約3.0パーセントポイント減少したのに対し、剥皮分割材は含水率が増加する場合もみられ減少量は0.3パーセントポイントとわずかであった。梅雨明け日を挟んだ1週間、すなわち2010年7月14日から7月21日にかけての含水率の減少量をみると、樹皮付き丸太が約2.9パーセントポイントであったのに対し剥皮分割材は5.9パーセントポイントと約2倍減少していた。一方、9月下旬すなわち2010年9月22日から9月30日にかけての含水率の上昇量をみると、樹皮付き丸太が1.7パーセントポイントに対し剥皮分割材は4.4パーセントポイントと約2.5倍上昇していた。そして、乾燥期間が長くなるほど、剥皮分割材と樹皮付き丸太の間にみられる含水率の差は小さくなり、剥皮分割によって得られる効果は薄れていった。以上の点においても、剥皮分割材を長期間乾燥するのは効率的ではないと考えられる。

IV. おわりに

本研究により、燃料用木材を薪のように分割することが乾燥の迅速化に寄与することが確認され、5月に乾燥を開始したときの方が10月に開始したときよりも速く含水率を低い値にまで下げることが可能であることが明らかになった。分割の効果を十分に得るための乾燥期間は、乾燥開始時期によらず乾燥開始から1~2カ月程度が望ましく、長期の乾燥は、乾燥初期に比べ大幅な含水率の低下が見込めない点、および、剥皮分割によって得られる効果が小さくなるという点、において非効率であると考察された。燃料用木材を急傾斜地の多い日本の森林で確保する場合、性能の良い破砕機を伐採現場に運んで稼働させるのが難しいため、中間土場のような集積基地に木材を集め天然乾燥を施した後に一気に粉砕処理した方が有利である場合が多いと考えられているが (熊崎 2011)、この中間集積の段階で、集めた材を分割し保管することは、乾燥を迅速化し集積保管期間の短縮に寄与することが期待される。分割作業の方法や労力、コストに関する検討を行い、その有効性を今後検討する必要がある。

本研究の一部は、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業 (21056) 「次世代高カロリー木質ペレット燃料『ハイパー木質ペレット』の製造・利用技術の開発」により行われた。また本研究遂行にあたり、多摩森林科学園業務課の皆様、故瀬沼仁氏、日本大学の千葉智史氏には多大なるご協力を賜った。ここに記して謝意を表する。

引用文献

- 東日本大震災復興構想会議 (2011) 復興への提言—悲慘のなかの希望—.
- 伊神裕司 (2008) 我が国の木質残廃材の発生と利用の現状. 日本エネルギー学会誌 87(6): 412-417

- 岩田隆明・野原正人・大塚和典（1981）スギ，ヒノキ丸太の林内乾燥について，岐阜県林業セ研報 9: 49-59
- 熊崎 実（2011）木質エネルギービジネスの展望，林業改良普及双書 No. 167，全国林業普及協会
- 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
- 野原正人（1996）低温域における木材の乾燥に関する研究，岐阜県林業セ研報 24: 1-106
- Nurmi J（1999）The storage of logging residues for fuel. Biomass Bioenergy 17: 41-47
- 林野庁（2011）平成 22 年度 森林・林業白書，（http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/22hakusyo_h/summary/index.html）（2011 年 11 月 15 日確認）
- 佐野哲也・井 春夫・吉田貴紘（2011）分割材の天然乾燥による水分減少経過，日林誌 93: 133-138
- 森林総合研究所（2004）新版 木材工業ハンドブック，丸善出版
- Sirois DL, Rawlins CL, Stokes BJ（1991）Evaluation of moisture reduction in small diameter trees after crushing. Bioresour Technol 37: 53-60
- 寺澤 眞（2004）木材乾燥のすべて 改定増補版，青海社
- Van Loo S, Koppejan J (eds)（2008）Biomass fuel supply and pre-treatment. In: The handbook of biomass combustion and co-firing. Earthscan, 54-111
- 吉田貴紘・伊神裕司・藤本清彦・阿部 久・佐野哲也・三浦 覚・大原誠資・山本幸一（2011）東北地方太平洋沖地震津波被災木材の元素分析と利活用の可能性，日本エネルギー学会大会講演要旨集 20: 206-207