圧縮木材の炭化に伴う形状変化とその制御*¹

足立幸司*^{2,3}, 栗本康司*⁴, 山内秀文*⁴, 井上雅文*^{2,3}

Shape Change during Carbonization of Densified Wood and Its Control*¹

Koji ADACHI*^{2,3}, Yasuji KURIMOTO*⁴,
Hidefumi YAMAUCHI*⁴ and Masafumi INOUE*^{2,3}

We investigated the amount of dimension change and the shape variation in densified wood after carbonization. The variables in the study included specimen length, specimen type (Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) heartwood or sapwood), compression ratio, temperature and time of pre-heat treatment, and the shape of the exhaust slit on the specimen for generating pyrolysis gas under carbonization. Heartwood specimens with a high compression ratio and/or a long length showed intensified degree of shape variation after carbonization, such as splitting and differences in the coefficient of shrinkage in radial direction between the edge and center positions. These results occurred because the heartwood and highly-densified wood had poor gas permeability into the lumen due to the deposition of heartwood extracts on the pit and airflow narrowing by buckling of the cell wall. When the pyrolysis gas was not discharged outside the wood under carbonization, the high-pressure gas into the lumen affected the degree of shape variation and the finished density of the charcoal. The shape stability of the charcoal can be controlled by using pre-heat treatment and slit processing, because the difference in the coefficient of shrinkage in radial direction between the edge and center positions after carbonization decreased with heavier pre-heat treatment and shorter pitch distance of the exhaust slit.

Keywords : densified wood, compressed wood, charcoal, shape stability, coefficient of shrinkage.

スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) 板目材を放射 (R) 方向に圧縮してドライイングセットした圧縮木材を用いて、炭化後の圧縮木材の収縮に材料および加工条件が及ぼす影響を検討した。炭化後の木材は、長さ (L) 方向中央部の放射および接線方向収縮率が端部のそれより高くなる傾向が確認された。その度合いは、辺材より心材で顕著であり、また試験体が L 方向に長いほど、R 方向圧縮率が高いほど増大したため、心材成分による壁孔閉鎖や L 方向に連続する細胞数の増加、横圧縮変形に伴う細胞壁の座屈による内腔の閉塞が、試験体中央部で発生する熱分解ガスの排出を阻害していることが示唆された。加えて、内腔で高圧化した熱分解ガスが炭化時の収縮を妨げていることが推測された。圧縮木材の炭化後の形状を制御するために炭化前処理として熱処理とスリット加工を試みたところ、熱処理温度・時間やスリット数の増加に伴って炭化後の L 方向中央部と端部の収縮率の差が低減し、炭化前の形状を保持した木炭を得られることが明らかとなった。

*¹ Received July 16, 2009; accepted February 12, 2010.

*² 東京大学アジア生物資源環境研究センター Asian Natural Environmental Science Center, The University of Tokyo, Tokyo 113-8657, Japan

*³ 独立行政法人科学技術振興機構 Japan Science and Technology Agency, CREST, Tokyo 102-0075, Japan

*⁴ 秋田県立大学木材高度加工研究所 Institute of Wood Technology, Akita Prefectural University, Noshiro 016-0876, Japan

1. 緒 言

木炭は炭化前後の体積減少率に対して重量減少率が大きく、原料である木材よりも低密度化するのに加え、炭化過程でひび割れや反り、ねじれなどの形状変化が生じることが多い。特に無垢材では、組織構造や年輪構造に起因する収縮異方性が反映され、木材寸法の増加に伴い炭化後の形状の不定形さが増すことが報告されている¹⁾。現状で、木炭の工業的な原料は、密度が高い広葉樹材に占められ、形状変化に関しては、材料強度や定形性が要求される利用分野が発展途上のために注目度は低い。木炭の密度の低さと形状の不確定さは、単位体積当たりのエネルギー量や輸送・利用時の空間利用効率にとって負の要素であるため、木炭の高密度化や形状制御に関する知見を蓄積する必要性はあると考えられる。

木炭の高密度化については近年、資源量が豊富なスギ材の木炭利用を促進するために、無垢材を横圧縮加工した圧縮木材を原料として取り組まれているが²⁻⁶⁾、得られた木炭（以下、圧密木炭）の密度の低さ²⁾や機械的性質⁵⁾の改善が今後の課題とされている。特に前者に関しては、圧縮率56%、炭化温度700℃の条件で0.36 g/cm³³⁾、同63%、600℃で0.72 g/cm³⁴⁾、さらに同60%、1000℃で約0.4 g/cm³⁵⁾と報告されており、加工条件と木炭の密度の関係に違いが認められることから、木炭の高密度化に関わる他の因子の関与が示唆される。

本研究は、スギ辺・心材の板目材を原料とし、圧縮率を変えて放射方向に圧縮ドラインセットして作製した圧縮木材を600℃で炭化し、木炭を製造した。炭化後の試験体の収縮率を、試験体（長さ・厚さ・幅の各方向）の端部と中央部を区別して測定し、両者の収縮率の差を圧縮木材の収縮の不均一性に起因する形状変化として評価した。辺・心材の違いや材料長さ、圧縮木材製造時の圧縮率が形状変化に及ぼす影響について検討した。得られた結果を元に、形状変化を抑制する手段として、炭化前処理として熱処理とスリット加工を試み、その効果を検証した。

2. 材料と方法

2.1 供試材料

供試木として、48年生の秋田県産のスギ（*Cryptomeria japonica* D. Don）を用いた。供試木の平均全乾密度は0.35 g/cm³、含水率は13%であった。32 mm（放射方向，R）×32 mm（接線方向，T）×210 mm（繊維方向，L）の無欠点板目材を心材および辺材を区別して採取し、圧縮木材の製造に供し

た。

2.2 圧縮木材の製造

木材はR方向圧縮に伴ってT方向への伸長し、引張破壊が生じることがあるため、本報では金属製治具を用いて試験体のT方向への伸長を抑制して圧縮加工した⁷⁾。油圧式ホットプレスを用い、側面を拘束した試験体を0、15、30、45、60、70%の圧縮率でR方向に圧縮し、105℃で6時間加熱後、自然冷却・脱型し、ドラインセット材を得た。本操作によって試験体が絶乾状態となることは予備実験によって確認している。ドラインセット材の仕上がり厚さをTable 1に示す。ドラインセット材のL方向中央部から10、20、40、80 mm（L）の連続した試験体を採取し、L方向両端部は切除した。同様の操作で、60、60、60 mm（L）の連続した試験体を採取した。前者は、辺・心材の違いや材料長さ、圧縮率を因子とした圧密木炭の形状変化および熱処理の効果を検討するために、後者は、スリット加工の効果を検討するために用いた。試験体厚さRは、Fig. 1(a)に示すようにL方向の端部（R_E）および中央部（R_C）を測定し、R_EについてはR_{E1}、R_{E2}で区別した。測定位置はLT面のT方向中央部とした。同様に試験体幅Tは、T_{E1}、T_{E2}、T_CをLR面のR方向中央部において測定した。試験体は重量および寸法を切削後に速やかに測定し、除湿剤を封入したデシケートで次工程まで保管した。

2.3 熱処理

形状変化を制御するための炭化前処理を目的として、2.2で作製した試験体のうち、圧縮率0および70%、10、20、40、80 mm（L）の心材の一部の試験体を熱処理した。本処理では酸化反応による熱分解を抑制するために、試験体をアルミ箔で複層に被

Table 1. The effect of compression ratio on density and yield of charcoal of sapwood specimens with 10 mm length.

Factor	Before carbonization		after carbonization	
	^c Thickness (mm)	^d Density (g/cm ³)	^d Density (g/cm ³)	^e Yield (%)
^a CR				
^b 0%	32.4	0.35	0.23	29.7
15%	30.2	0.40	0.27	30.6
30%	25.2	0.48	0.32	29.9
45%	19.3	0.67	0.48	29.9
60%	14.1	0.88	0.62	29.7
70%	10.7	1.14	0.81	30.4

Note: ^aCR: Compression ratio, ^b0%: Uncompressed wood, ^cThickness: size in radial direction, ^dDensity: Oven-dry density, ^eyield: carbonization yield.

Fig. 1. The detail of the specimen: (a) Flat type; (b) Slit type.

Note: Black dots on the flat type indicate the measurement points where thickness (R) and width (T) were measured. E and C mean the edge and center of the specimen, respectively. Slit width was 3 mm.

覆し、大気との接触を遮断した。恒温乾燥機内で200, 240℃の雰囲気温度で4時間加熱した。熱処理後に自然冷却した試験体の重量および寸法を測定し、熱処理による重量減少率と収縮率をドラインゲセット材の値を基準として求めた。

2.4 スリット加工

形状変化を制御するための炭化前処理を目的として、2.2で作製した試験体のうち、圧縮率0および70%, 60 mm (L) の心材の一部の試験体をスリット加工した。スリットは、Fig.1(b), (c), (d)に示すように、試験体のLT表面に対向する面から交互に間隔が10, 20, 30 mmとなるようにした。スリットは昇降盤を用いて切削加工し、スリット幅は刃物の厚さで規定される3.0 mmとした。また、スリット深さは試験体厚さの1/2を目標としたため、圧縮率0%, 70%の試験体でそれぞれ深さ15 mm, 4 mmとなった。

2.5 炭化処理

2.2, 2.3, 2.4で作製した試験体を105℃の高温乾燥機で1昼夜乾燥後、2.3項と同様にアルミ箔で複層に被覆し、二つ割型管状炉(株式会社チノー製、内径寸法: $\phi 435$ mm $\times$ 795 mm)を用いて空気雰囲気下で炭化した。アルミ箔による被覆によって炭化後の試験体の白化や燃焼による部分欠損が生じないことは予備実験によって確認している。昇温スケジュールは、目標温度600℃、昇温速度2℃/分とし、目標温度到達後に3時間保持した後、自然冷却した。炭化後の試験体重量および寸法を測定し、密度、収率お

よび収縮率(CS)を算出した。CSは、ドラインゲセット材の値を基準としてL方向、RおよびT方向の中央部(CS_{RC} , CS_{TC})と端部(CS_{RE1} , CS_{RE2} , CS_{TE1} , CS_{TE2})のそれぞれについて求め、各方向の測定点の平均値として CS_L , CS_R および CS_T を算出した。また、 CS_R については、 CS_{RE1} と CS_{RE2} の平均値の CS_{RE} を算出し、L方向端部と中央部の収縮率の差(DS: $CS_{RE} - CS_{RC}$)を求め、収縮率の不均一性を試験体の形状変化の度合いとして評価した。試験体に割れが発生した場合は、割れ幅を含めた寸法を測定値とした。

3. 結果と考察

3.1 木炭の高密度化

Table 1に炭化前後の木材の密度および木炭の収率に圧縮加工時の圧縮率が及ぼす影響を示す。後述のように、L方向に長い試験体では、炭化に伴いDSが増加し、顕著な形状変化が生じてこれらの値が計測し難いため、ここでは、炭化による収縮の不均一や割れなどがほとんど伴わない、十分短い10 mm (L) の辺材試験体における結果を示す。木炭の収率は圧縮率に因らず約30%であった。これは、既往の研究での窒素雰囲気下における当該温度での値^{4,8)}と同様であった。木炭の密度は、圧縮率に比例して増加した。圧縮率70%では、炭化後の密度が0.81 g/cm³となり、これはカシ材に代表される硬質木炭と同等の値であり、Lの十分短い圧縮木材では炭化することで高密度木炭を得られることが示された。

Fig. 2に炭化後の CS_L , CS_R , CS_T に圧縮木材の圧縮率が及ぼす影響を示す。 CS_L は圧縮率に因らず約19%となった。これは、圧縮加工後も単位距離当たりの細胞壁密度の変化にほとんど変化が無いと考えられる。 CS_R は、圧縮率に比例して増加し、圧縮率45~70%ではほぼ一定となり、危険率5%での t 検定で有意差が認められなかった。また、 CS_T は圧縮加工しなかった無圧縮試験体(圧縮率0%)と圧縮率30%以上の木炭で危険率5%での t 検定で有意差が認められたが、圧縮率30%以上の CS_T はほぼ一定となった。圧縮加工による早材の屈曲変形による単位距離当たりの細胞壁量の増大によって、 CS_R と CS_T のうち、特に早材と晩材が交互に出現する CS_R は、水分に対する膨潤率と同様⁹⁾に圧縮率に比例して顕著に増加すると考えられるため、本報では、特定の圧縮率以上で収縮を阻害する現象が生じていることが示唆される。材料条件および加工条件が形状変化に及ぼす影響について次に検討する。

Fig. 2. The effect of compression ratio on coefficients of shrinkage (CS_L , CS_R and CS_T) of sapwood charcoal with 10 mm length.

Note: CS_L , CS_R , CS_T mean the coefficients of shrinkage in longitudinal, tangential and radial directions, respectively.

3.2 木炭の形状変化

3.2.1 試験体長さの影響

炭化によって形状変化した木炭の代表例として、Fig. 3 左列に圧縮率 0 および 60% の辺材圧縮木材から得た木炭（以下、辺材木炭）の LR および LT 面の形状写真を示す。10~80 mm (L) は繊維方向の連続試験体である。無圧縮試験体は、LT と LR 面で矩形形状であることから、L 方向で収縮率に差がなく炭化されていることが確認された。一方、圧縮率 60% の試験体では、LT 面では無圧縮試験体と同様に矩形形状であるが、LR 面では、試験体長さの増加

Fig. 3. Relationship between processing variables and the shape change of charcoal on LR and LT-planes.

Note: CR: Compression ratio, PV: Plan view.

に伴い、L 方向中央部が R 方向に凸型となる形状を示し、炭化前の矩形形状から変化することが確認された。このときの CS_{RC} は -0.3% であり、炭化前より膨張していると判断される。また、木口面 (RT 面) においても T 方向中央部を最大とする凸型の形状変化が確認された。木炭の収率は形状変化の有無に因らず約 30% であったため、試験体が長くなるほど、木炭密度は低下した。

Fig. 4 に圧縮率の異なる辺材木炭の CS_R に試験体長さが及ぼす影響を示す。20 mm (L) 以下の試験体の CS_R は、端部と中央部に因らずほぼ同等であった。一方で、40 mm (L) では、圧縮率 70% の試験体で CS_{RE1} , CS_{RE2} と比較して CS_{RC} が低下した。また、80 mm (L) では、圧縮率 45% 以上の試験体で CS_{RC} が CS_{RE1} , CS_{RE2} より低下した。圧縮率 60% 以上の試験体の一部には、年輪に沿った割裂破壊が生じた。

通常、炭化過程で生じた熱分解ガスは主に内腔を經由して材外部に排出されるが、圧縮加工では、細胞壁の屈曲変形による細胞配列の乱れ¹⁰⁾ や閉塞、内腔体積の減少によって、気体通導性が低下し、木材内部で生じた熱分解ガスの移動が阻害されると考えられる。そして、内腔に滞留した熱分解ガスが高圧化し、屈曲変形した細胞壁の変形抵抗を上回った場合、R 方向に圧縮加工の変形回復する形で細胞壁の変形が生じることが推測される。 CS_{RE} が圧縮率に因らず 20~30% であること、 CS_T は圧縮率、試験

Fig. 4. Variation in coefficient of shrinkage between the edge and center of sapwood charcoal in radial direction.

Note: RE_1 ; RE_2 ; RC : See Fig. 1.

体長さおよび測定位置に因らず26~29%であること、L方向中央部が最も熱分解ガスの排出が困難であることから、凸型の形状変化は圧縮木材の内腔に生じる熱分解ガスの膨圧に起因することが示唆される。

3.2.2 心材・辺材の影響

心材・辺材の違いによる木炭の形状変化の代表例として、Fig. 3 右列に圧縮率0および60%の心材圧縮木材から得た木炭（以下、心材木炭）のLRおよびLT面の形状写真を示す。無圧縮試験体では、炭化後にR方向およびT方向でL方向中央部が凸型になる形状となり、切断して内部断面を観察した結果、無数の割裂が生じていることを確認した。圧縮率60%の試験体では、LT面での凸型の形状変化が圧縮率0%のそれより軽減されていることが確認された。

Fig. 5(a)に圧縮率の異なる心材木炭の CS_R に試験体長さが及ぼす影響を示す。10 mm (L)では、辺材木炭と同様の CS_R を示したが、20 mm (L)以上の試験体で CS_{RC} が低下、すなわち凸型に形状変化し、長さの増加に伴いその度合いは顕著となった。80 mm (L)では、圧縮率0、45、60、75%で CS_{RC} がマイナスとなり、炭化前より膨張した。さらに、試験体中央部の膨張に影響され、 CS_{RE} も低下した。同じ圧縮条件において、辺材木炭 (Fig. 4) より心材木炭 (Fig. 5(a)) で形状変化の程度が大きくなった理由として、(1)心材化に伴う閉鎖壁孔の増加、(2)仮道管長の短い未成熟材の存在割合の増加、の2点が挙げられる。(1)は、仮道管相互の通

導性を阻害し、薬液含浸処理においては乾燥材への薬液注入を困難にすることは広く知られており、炭化過程においても同様の機構で熱分解ガスの通導阻害が生じることが考えられる。また(2)として、本報で用いた心材は20~25年輪以下の部位に相当するため、辺材と比較して未成熟材を多く含む。スギの未成熟材および成熟材の仮道管長は、塩倉¹¹⁾によるとそれぞれ1.2~3.5 mm、3.5~4.2 mm程度、朱ら¹²⁾によると1.5~3.0 mm、3.0 mm~3.6 mm程度と報告されており、未成熟材では成熟材と比較して仮道管長が短いと考えられる。従って、未成熟材を含む心材では、単位距離当たりの内腔の閉塞壁孔の度合いも増加するため、気体通導性は更に低下することが考えられる。

Fig. 6に辺材・心材木炭のDSに試験体長さと圧縮率が及ぼす影響を示す。DSが0に近いほど、炭化前後の形状変化は少ないことを意味する。Fig. 6(a)の辺材木炭では、試験体長さと圧縮率の増加に伴いDSは増加した。これは、上述したように熱分解ガスの排出困難による試験体中央部の収縮率低下が主因と推測される。Fig. 6(b)の心材木炭では、無圧縮試験体と比較して、圧縮率15%の試験体で、20、40、80 mm (L)のDSが低下した。また、圧縮率30%では40 mm (L)のDSが更に低下した。この低下は、圧縮加工による細胞壁や細胞壁面に位置する閉塞壁孔の破壊¹³⁾に伴う気体通導性の改善効果と考えられる。この効果は細胞壁の微小なせん断破壊を促進させるロールプレス¹⁴⁾のような部分

Fig. 5. Variation in coefficient of shrinkage between the edge and center of heartwood charcoal in radial direction (a) and in tangential direction (b).

Note: R_{E1} ; R_{E2} ; R_C ; T_{E1} ; T_{E2} ; T_C : See Fig. 1.

Fig. 6. Difference in coefficient of shrinkage in radial direction (CS_R) between the edge (R_E) and center (R_C) of charcoal of sapwood (a) and heartwood (b).

Note: CS_R means the coefficient of shrinkage in radial direction. CS_R of R_E indicates the mean of CS_R in both ends (R_{E1} , R_{E2}). R_{E1} , R_{E2} ; R_C : See Fig. 1.

圧縮加工を適用することを用いることで、気体通導性はさらに有効に機能させることが可能であると推測される。また、DSは試験体の長い心材木炭ほど低い圧縮率で極小値をとり、上昇した。これは、細胞壁に屈曲変形による気体通導性の低下が優位となったと考えられる。

Fig. 5(b)に圧縮率の異なる心材木炭の CS_T に試験体長さおよび圧縮率の影響を示す。L方向端部および中央部に因らず CS_T は、圧縮率に比例して増加した。圧縮加工はR方向であるため、 CS_T 低下は細胞壁の変形回復に影響をされず、細胞壁の微少破壊による気体通導性の向上が主に作用していると考えられる。

以上のことから、圧縮木材の炭化による形状変化は、被加工材がL方向に長く、圧縮率が高く、辺材より心材であることで、加工材中央部に発生する熱分解ガスの排出が困難となって生じることが示唆された。また、 CS_R の減少に伴う形状変化によって木炭密度も低下することから、既往の研究における類似の加工条件下の木炭密度の低さは^{2,5)}、熱分解ガスの排出困難に起因するものと推測される。換言すれば、熱分解ガスの排出の円滑化によって、高密度木炭が得られることが推測される。次に、木材炭化

時の収縮率低下を抑制し、形状変化を制御する手法を検討する。

3.3 木炭の形状制御

3.3.1 熱処理による炭化前処理

Fig. 7に圧縮率0および70%の心材木炭の CS_R に熱処理による炭化前処理が及ぼす影響として、 CS_{RC} の低下が顕著な40, 80 mm (L)の試験体の結果を示す。熱処理無しの試験体をコントロールとした。コントロールと比較して、熱処理試験体では CS_{RC} と CS_{RE} の差が減少し、その度合いは熱処理温度が高いほど顕著となった。特に加熱前処理の CS_{RE} は平均34.5%となり、Fig. 1で示した同圧縮率のそれより増加した。コントロールと木材を熱処理することによって、樹脂様の心材成分の軟化と材内蒸気圧による壁孔壁の破壊が生じ^{15,16)}、熱分解ガスの材外部への排出が円滑化したことが要因と考えられる。また、加熱前処理による重量減少率が、200℃処理で辺材7.4%に対し、心材で12.6%、240℃ではそれぞれ14.4%、20.5%であったことから、心材成分の揮発やヘミセルロース分解の進行による細胞壁の空隙増加も寄与していると推測される。Abeら⁴⁾は、5℃/分の昇温速度で圧密木炭の樽型変形を確認し、1℃/分でそれがほぼ確認されないことを報告している。高密度木炭の製造を目的とする白炭の製炭工程では、一般に300-350℃で長時間加熱する工程が

Fig. 7. The effect of pre-heat treatment on shape stability in heartwood charcoal with/without 70%-compression.

Note: R_{E1} , R_{E2} ; R_C : See Fig. 1.

不可欠であるため、圧縮木材の炭化前処理も同様に、急激な熱分解以下の温度域で緩慢に重量減少をさせることで更なる形状変化の抑制が可能となることが示唆される。一方、熱処理によって圧縮加工で生じた細胞壁の残留応力が緩和され、寸法安定性が向上することが知られているが¹⁷⁾、熱分解ガスの膨張圧の増大に伴う細胞壁の変形の影響がほとんど無い10 mm (L) の熱処理試験体の炭化後の密度は、熱処理の有無に因らず圧縮率に依存したことから、L方向長さの増加に伴う形状変化は気体通導性の難易が主要因であると判断される。

3.3.2 スリット加工による炭化前処理

木材の物質通導性を機械的に向上させる加工技術として、薬液注入処理分野においてインサイジング加工が広く知られているが、本報ではL方向の熱分解ガスの排出を円滑にした場合の効果を明確に判断するために、LT表面からR方向にスリット加工し、その効果を検討した。Fig. 8 にスリット幅を様々にした圧縮率70%の心材木炭の形状写真を示す。比較として、スリット加工無しの心材木炭 (Flat type) を示す。写真から、スリット加工によって、圧縮木炭の形状変化は軽減されることが確認された。Fig. 9 にスリット間隔と CS_R の関係を示す。無圧縮および圧縮率70%の試験体双方で、スリット間隔の減少に伴い CS_{RC} と CS_{RE} の差は減少し、スリット幅10 mm で両者はほぼ等しくなった。スリット間隔10 mm において、スリット幅3.0 mm を除いた試験体の実質のL方向長さは7.0 mm であり、これは未成熟材の仮道管3～6個分に相当する。

4. 結 論

木炭の形状変化に関与する因子を明らかにする目的で、種々の材料および加工条件の圧縮木材から木炭を作製し、炭化後の収縮率を求めた。また、木炭の形状制御法として、炭化前処理を試み、次の結果

Fig. 8. Difference in shape change between flat type (a) and slit-processed types (b), (c) and (d) of heartwood charcoal.

Note: The specimen is 70%-compressed heartwood of 60 mm in length before carbonization.

Fig. 9. The effect of slit processing on shape stability in heartwood charcoal.

Note: The specimen is 70%-compressed wood of 60 mm in length before carbonization. Flat type means the specimen without slit processing. R_{E1} ; R_{E2} ; R_C ; Slit pitch: See Fig. 1.

を得た。

1. 長さの十分に短い圧縮木材では炭化による CS_{RE} と CS_{RC} の差が無く、圧縮率に応じて高密度の木炭が得られた。
2. 被加工材が長いほど、木炭の CS_{RC} は CS_{RE} より減少し、木炭中央を凸型とした形状変化を示した。その度合いは、辺材より心材で顕著となった。加工条件によっては炭化前より膨張した。
3. 辺材木炭の DS は圧縮率が高いほど増加した。一方で、心材木炭の DS は低圧縮率の圧縮木材で減少し、極小値をとった後に再び増加した。
4. 被加工材に熱処理あるいはスリット加工をすることで、木炭の CS_{RC} は増加し、その度合いは熱処理温度・時間の増加とスリット間隔の減少によって顕著となった。炭化前処理の主な効果として、熱分解ガスの材外部への排出の円滑化が考えられた。被加工材の長大化や圧密化あるいは心材の使用によって低下する木炭の CS_{RC} を抑制することで、収縮率の偏りに起因する形状変化を制御することが明らかとなった。

文 献

- 1) 山根健司, 石原茂久, 奥田宏史: 木材学会誌 44, 205-211 (1998).
- 2) 中原 恵: 大分県産業科学技術センター研究

- 報告1997, 46-48 (1998).
- 3) 瀧内直祐: 長崎県工業技術センター研究報告 26, 45-49 (1999).
- 4) Abe, I., Fukuhara, T., Iwasaki, S., Yasuda, K., Nakagawa, K., Iwata, Y., Kominami, H., Kera, Y.: *Carbon* 39, 1485-1490 (2001).
- 5) 大谷 忠, 杉野原良樹, 北村寿宏: 木材工業 59, 585-590 (2004).
- 6) 堀沢 栄, 古沢 浩, 坂輪光弘, 今西隆男, 市原孝志: 第56回日本木材学会大会研究発表要旨集, 秋田, 2006, PS003.
- 7) 井上雅文, 足立幸司, 川井秀一: 木材学会誌 47, 198-204 (2001).
- 8) 栗本康司, 鹿野厚子, 沢辺 攻: 木材学会誌 50, 106-115 (2004).
- 9) 斎藤修二: 木材工業技術短信 15, 1-10 (1997).
- 10) 飯田生穂, 則元 京, 今村祐嗣: 木材学会誌 30, 354-358 (1984).
- 11) 塩倉高義: 木材学会誌 28, 85-90 (1982).
- 12) 朱 建軍, 高田克彦, 飯島泰男, 平川泰彦: 木材学会誌 49, 138-145 (2003).
- 13) Watanabe, U., Imamura Y., Iida, Y.: *J. Wood Science* 44, 158-162 (1998).
- 14) 足立幸司, 井上雅文, 金山公三, 川井秀一: 木材学会誌 49, 416-422 (2003).
- 15) Kanagawa Y., Okuyama T., Hattori Y.: 木材学会誌 34, 479-484 (1988).
- 16) 安藤 実, 高橋伸英, 吉沢伸夫: 木材学会誌 42, 845-853 (1996).
- 17) 井上雅文, 門河倫子, 西尾治郎, 則元 京: 木材研究・資料 29, 54-61 (1993).