

ポリエチレングリコール処理木材の寸法安定性

福山萬治郎・浦上弘幸

MANJIRO FUKUYAMA and HIROYUKI URAKAMI

Dimensional stability of wood by polyethylene glycol treatment

要旨：20°Cの条件下で、シトカスプルス及びカツラの心材部から採取した JIS タイプの収縮率測定用試験片にポリエチレングリコール (PEG) 処理 (公称分子量：400, 600, 1,000, 1,540, 2,000, 濃度：5, 10, 20, 30, 50%) を行い、処理材の寸法安定性 (ASE) について検討した。

得られた主な結果は次のとおりである。

- 1) PEG含有率は1～2の例外を除いて分子量には無関係であり、濃度とともに直線的に増加した (Fig. 1, Fig. 2)。
- 2) Bulking ratio は PEG の濃度が30%で含有率が45% (カツラ) または50% (シトカスプルス) に達するとほぼ一定となり、細胞壁内が PEG 分子で飽和されることが認められた (Fig. 2, Fig. 3)。
- 3) Bulking ratio は同一濃度の場合にはカツラのR-方向の1～2の例外を除いて分子量の低下とともにほぼ直線的に増加するが、同一分子量における濃度変化に関しては樹種や構造方向により傾向を異にすることが認められた (Fig. 4)。
- 4) ASE と bulking ratio をプロットした場合、両樹種のT, R-方向にいずれの場合も直線関係が得られた (Fig. 5)。
- 5) シトカスプルスの T, R-方向では PEG の分子量の低下、濃度の増加によってASEが増大し、PEG-400の場合には濃度20%以上で、PEG-600の場合には濃度30%以上で100%またはこれに近いASEが得られた (Table 1, Fig. 6)。
- 6) カツラの T, R-方向では PEG の分子量や濃度によって ASE は幾分異なる傾向を示すが、PEG-400の場合には濃度30%以上で ASE は95～98%に達した (Table 2, Fig. 7)。

緒 言

木材は親水性の有機高分子物質からなる吸湿性材料であるため、常に外周大気の温湿度に応じて吸・脱湿し、これに伴う含有水分の変化によって寸法の増減、いわゆる膨潤・収縮現象を起こす。この木材の含水率変化に伴う寸法の増減、特に生材時からの乾燥における寸法変化は収縮の異方性、木材内部での水分傾斜、部分的な乾燥むらによる収縮率の差、さらには繊維の

走向や節その他の欠点による組織構造の不均一性などに起因して反り・ねじれ・曲がりなどの狂いや、はなはだしい場合には割れをも発生して材質を著しく低下させ、木材の加工ないしは利用上の障害となることが少なくない。このために木材に物理的ないしは化学的処理を施して寸法安定性を付与し、水分変化に伴う膨潤・収縮性の抑制、あるいは吸・脱湿性の軽減などの各種の改質手段が講じられている。

木材の各種の寸法安定化処理のうち、初期含水率の

高い生材をポリエチレングリコール (PEG) の水溶液中に浸せきして不揮発性の PEG を木材の細胞壁中に充てんさせ、その“かさ効果”によって木材寸法を生材状態 (膨潤状態) に保持させる処理は、操作が簡単な上に高い寸法安定性が得られ、しかも木材の力学的性質を著しく低下させないことから、現在木材加工品や造作材の寸法安定化、乾燥割れの防止に実用化されている¹⁾。

本実験は生材中における PEG の拡散速度を測定するための予備手段として、シトカスプルス及びカツラ材にできるだけ均一かつ緩慢な条件で PEG 処理を行い、処理材の寸法安定性について検討したので、その結果を報告する。

実 験

1. 供試材料及び試験片

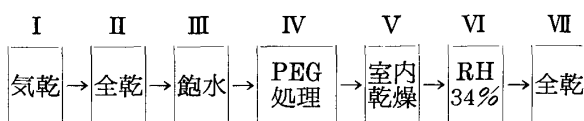
実験にはシトカスプルス (*Picea sitchensis* Carr.) (平均年輪幅: 1.2mm, 晩材率: 11.7%, 気乾比重: 0.44) 及びカツラ (*Cercidiphyllum japonica* Sieb. et Zucc.) (平均年輪幅: 1.8mm, 晩材率: 8.3%, 気乾比重: 0.48) の正常健全な心材部から採取した JIS に準拠する正二方まさ木口面木取りの断面 3.0cm [接線 (T) 方向] × 3.0cm [半径 (R) 方向], 厚さ 0.5cm [繊維 (L) 方向] の試験片を用い、各試験片には T, R-方向の測長部位を明らかにするために、あらかじめ木口面の両中心線付近に測定基準線を設けた。

2. 供試薬剤

供試した PEG は公称分子量が 400, 600, 1,000, 1,540, 2,000 (以下, PEG-400, PEG-600, … と略す) の 5 種類で、濃度はいずれも 5, 10, 20, 30, 50% の 5 段階とした。なお、上記薬剤以外に PEG の溶媒ならびに試験片の膨潤用に蒸留水 (次項フローチャート III 参照), また試験片の乾燥時における空気湿度の調節用に MgCl₂ の飽和塩水溶液 (20℃ で相対湿度 34%) (次項フローチャート VI 参照) を用いた。

3. 試験片の処理, 測定法ならびに測定値の計算

試験片の供試数は無処理, PEG 処理いずれの場合も 1 条件について 7 枚とし、これらは 20℃ 一定下で次のフローチャートに示す I-VII の手順 (ただし、無処理試験片の場合は IV を除いた I-III, V-VII)



にしたがって可能な限り均一かつ緩慢な条件、すなわち I-II では試験片内に応力が発生することを避ける

ために 4 段階の温度上昇経過を経て全乾に、II → III も同じ意味で 3 段階の吸湿経過を経て飽水に、また V 以降では無処理試験片の場合は応力の発生防止、PEG 処理試験片では細胞壁中に薬剤を十分拡散させる緩慢な乾燥条件を用いて全乾にもたらし、無処理試験片の場合は上記チャートの II, III, VII, PEG 処理試験片では II, IV, VII において重量変化のチェックにより平衡への到達を確認した後、秤量 (感度 0.1mg の化学天秤使用) ならびに T, R-方向の測長 (精度 1/1000mm のダイヤルゲージ使用) を行った。

上記の測定値から PEG 含有率, bulking ratio ならびに抗収縮能力 (ASE) を求めることにしたが、無処理試験片の測定結果によると、上記フローチャート II における全乾時寸法ないしは全乾重量と VII におけるそれらとの間には飽水処理中の抽出物の溶出に起因して若干の差異が生じ、いずれの場合も VII の測定値が低く現れた。ちなみに VII における全乾時寸法の平均の減少率は T-方向: シトカスプルス 0.69%, カツラ 0.51%, R-方向: シトカスプルス 0.55%, カツラ 0.46%, 全乾重量の平均の減少率はシトカスプルス 1.83%, カツラ 2.17% であった。ASE の場合は無処理試験片も PEG 処理試験片も同じ飽水処理を行い、最終乾燥時 VII における全乾時寸法を用いるので上記抽出物の影響は考慮する必要はないが、PEG 含有率や bulking ratio では II 及び VII の測定値を用いるので、II で求めた全乾重量ならびに全乾時寸法に対しては抽出物溶出に關しての補正が必要である。そこで本実験では PEG 含有率と bulking ratio には補正係数 (無処理試験片について求めた II 及び VII の重量比ならびに寸法比の平均値) を用いることにし、次式で各値を計算した。

(1) PEG 含有率 (P_c)

$$P_c = \frac{W_1 - W_0 \cdot K_1}{W_0 \cdot K_1} \times 100 \quad (\%) \quad \dots(1)$$

ここに W₁ は PEG 処理後の全乾重量 (g), W₀ は処理前の全乾重量 (g), K₁ は補正係数 (シトカスプルス: K₁ = 0.9817, カツラ: K₁ = 0.9783) である。

(2) Bulking ratio (B_r)

$$B_r = \frac{l_1 - l_0 \cdot K_2}{l_0 \cdot K_2} \times 100 \quad (\%) \quad \dots(2)$$

ここに l₁ は PEG 処理後の全乾時寸法 (cm), l₀ は処理前の全乾時寸法 (cm), K₂ は補正係数 (シトカスプルス: T-方向 K₂ = 0.9931, R-方向 K₂ = 0.9945, カツラ: T-方向 K₂ = 0.9949, R-方向 K₂ = 0.9954) である。

(3) ASE

$$ASE = \frac{D_0 - D}{D_0} \times 100 \quad (\%) \quad \dots(3)$$

ここに D_0 は無処理試験片の最大収縮率 (%), D は PEG 処理試験片の最大収縮率 (%) である。

結果及び考察

Table 1 及び Table 2 は以上の方法で求めた各分子量, 各濃度における PEG 含有率, bulking ratio ならびに ASE を, それぞれ 7 枚の試料の平均値を用いシトカスプルス及びカツラの T, R-方向について示したもので, 以下この数値に基づいて検討, 考察することにする。

(1) PEG 含有率

PEG 含有率の分子量依存性を濃度をパラメーターとして示すと Fig. 1 のとおりで, 含有率の標準偏差 (σ) ならびに変動係数 (C.V.) の範囲は, シトカスプ

ルス: $\sigma=0.5\sim5.8\%$, C.V.= $3.9\sim11.6\%$, カツラ: $\sigma=0.7\sim6.8\%$, C.V.= $4.2\sim11.2\%$ である。まず同一分子量の場合についてみると, いずれの場合も濃度が高くなるほど含有率は明らかに増加し, 細胞内こうや細胞壁中に浸透または拡散した PEG 固形分の総量は濃度に依存して増大したことが理解できるが, 他方同一濃度の場合についてみると, カツラにおける 1~2 の例外, すなわち PEG-2,000 の濃度 50% における幾分低い含有率, ならびに濃度 30% における PEG-400 と PEG-2,000 のきん少な含有率の差異を除いて分子量間での含有率には有意な差異が認められない。室温下で PEG の高分子水溶液 (分子量: $>30,000$, 濃度: 30%) を用いて測定した既往²⁾の結果によると, 含有率は分子量の増加に伴って明らかに減少し分子量依存性があるとしているが, 本実験でこのような傾向が認められなかった理由は, 供試した PEG が比較的

Table 1. PEG content (P_c), bulking ratio (B_r) and antishrink efficiency (ASE) of sitka spruce treated with PEG of various molecular weights and concentrations.

Molecular weight	Concentration (%)	P_c (%)	T-direction		R-direction	
			B_r (%)	ASE (%)	B_r (%)	ASE (%)
400	5	8.6	3.1	31.5	2.4	46.2
	10	17.0	5.7	62.2	3.9	74.3
	20	35.1	8.7	99.2	5.1	98.8
	30	56.6	9.1	102.8	5.2	99.6
	50	92.6	9.1	101.5	5.2	99.4
600	5	8.6	3.2	30.8	2.4	45.1
	10	16.9	5.6	61.6	3.9	73.2
	20	35.2	8.6	97.1	5.0	97.6
	30	50.7	8.7	99.0	5.1	98.7
	50	88.5	8.7	98.0	5.1	98.1
1,000	5	8.0	2.6	27.0	2.1	39.1
	10	16.1	5.2	57.8	3.5	70.3
	20	34.4	8.1	90.7	4.8	95.3
	30	52.4	8.3	94.2	5.0	96.9
	50	94.5	8.3	92.8	4.9	96.4
1,540	5	8.5	2.5	27.2	1.9	36.4
	10	15.6	4.7	56.3	3.4	65.9
	20	33.5	7.6	86.5	4.6	91.6
	30	50.9	8.0	91.0	4.7	94.3
	50	93.9	7.9	89.2	4.8	93.2
2,000	5	7.2	2.4	26.4	1.8	34.8
	10	14.5	4.4	51.6	3.0	62.2
	20	32.2	6.8	80.4	4.3	87.3
	30	51.4	7.4	86.1	4.6	91.1
	50	91.3	7.4	83.3	4.6	88.4

Table 2. PEG content (P_c), bulking ratio (B_r) and antishrink efficiency (ASE) of Katsura treated with PEG of various molecular weights and concentrations.

Molecular weight	Concentration (%)	P_c (%)	T-direction		R-direction	
			B_r (%)	ASE (%)	B_r (%)	ASE (%)
400	5	16.1	4.2	51.0	2.5	66.0
	10	22.8	5.6	69.9	3.0	82.6
	20	29.3	6.7	83.3	3.3	87.9
	30	46.8	7.9	96.5	3.5	95.2
	50	70.3	8.1	97.7	3.7	96.6
600	5	16.3	4.2	51.7	2.5	67.3
	10	24.0	5.6	72.2	3.2	82.5
	20	30.1	6.7	84.1	3.3	88.7
	30	47.4	7.6	94.7	3.6	94.7
	50	67.3	7.8	94.6	3.6	94.8
1,000	5	16.5	4.3	52.3	2.4	66.6
	10	22.3	5.5	66.6	3.2	84.1
	20	30.5	6.7	83.4	3.2	90.0
	30	45.3	7.4	90.9	3.6	92.9
	50	72.8	7.7	90.3	3.5	93.5
1,540	5	14.4	3.9	49.4	2.2	63.0
	10	22.4	5.1	62.8	3.2	85.5
	20	28.3	6.5	82.9	3.2	88.7
	30	43.2	7.0	88.3	3.4	91.8
	50	72.2	7.2	87.9	3.4	92.1
2,000	5	14.2	3.8	49.1	2.1	63.9
	10	19.3	4.8	61.9	3.0	86.9
	20	32.7	6.4	82.6	3.1	89.5
	30	40.7	6.7	85.0	3.2	90.4
	50	63.9	6.8	85.0	3.3	90.5

低分子量のものであり、しかも飽水状態の試験片を用いて可能な限り均一かつ緩慢な条件で処理したことに起因したものと考えられる。

Fig. 2 は以上の結果に基づき、同一濃度の場合には含有率に分子量依存性がないとして各濃度について含有率の平均値を求め、両者の関係をプロットしたものである。図によると両樹種いずれも含有率と濃度の間には直線関係が成り立ち、両者の関係はそれぞれ

$$\text{シトカスプルス} : P_c = 1.87C - 2.48$$

$$\text{カ ッ ラ} : P_c = 1.19C + 8.97$$

P_c : PEG 含有率 (%), C : 濃度 (%)

で与えることができるが、Fig. 2 や上式に見られるように含有率—濃度直線は樹種間で幾分傾向を異にし、シトカスプルスはほぼ原点を通る比較的急こう配の直線を、カッラの場合は低濃度で含有率が高く、高濃度で含有率が低い比較的緩こう配の直線を示すと

いう差異が認められる。この差異は後述する ASE の結果から推測すると、シトカスプルスよりもカッラの特異性ないしは特徴的な傾向と見ることができ、その原因が組織構造によるものか、飽水処理中に溶出する抽出物の影響によるものか、あるいは処理その他の原因によるものかは現段階では明らかでない。

(2) Bulking ratio

bulking ratio は前項の含有率とは意味を異にし、PEG 処理の際に結合水と置換しながら細胞壁中に浸透または拡散し、乾燥後壁内に沈積した PEG 固形分の“かさ効果”を示す、ASE の指標ともなる数値である。

(2)式で求められる bulking ratio の最大値が無処理試験片の水による最大収縮率(シトカスプルス: T-方向7.9%, R-方向4.9%, カッラ: T-方向7.8%, R-方向3.8%)以上の値となることは既往³⁾の測定結

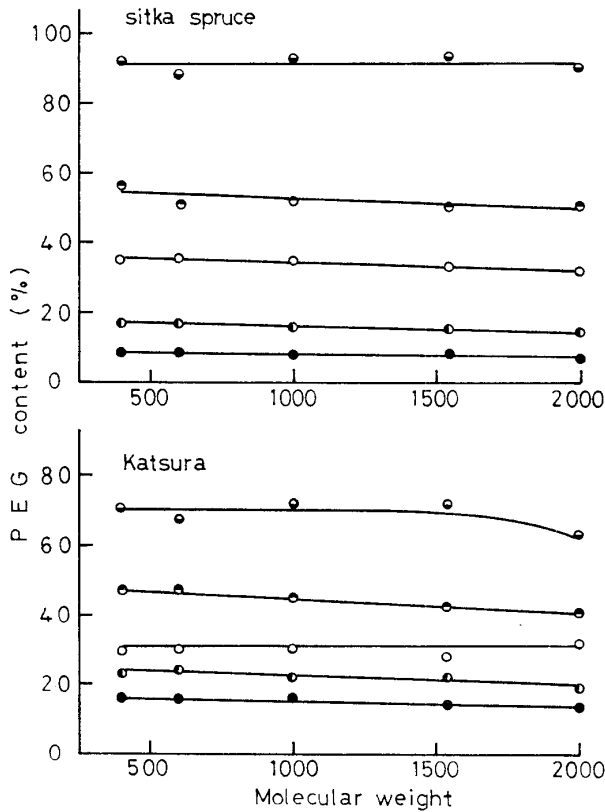


Fig. 1. Relationship between PEG content and molecular weight.
 ● : Cone. 5% ◐ : Cone. 10%
 ○ : Cone. 20% ● : Cone. 30%
 ◑ : Cone. 50%

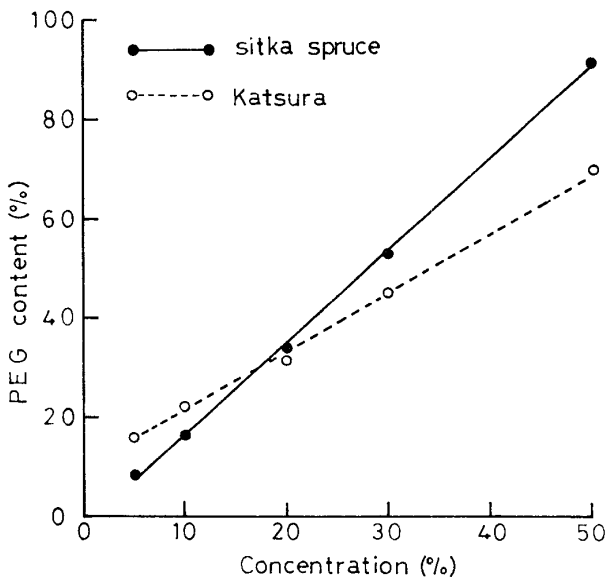


Fig. 2. Relationship between PEG content and concentration.

果からも推測されるところであり、本実験の場合も Table 1 及び Table 2 に見られるようにシトカスプールのT, R-方向, カツラのT-方向の一部に上記のこ

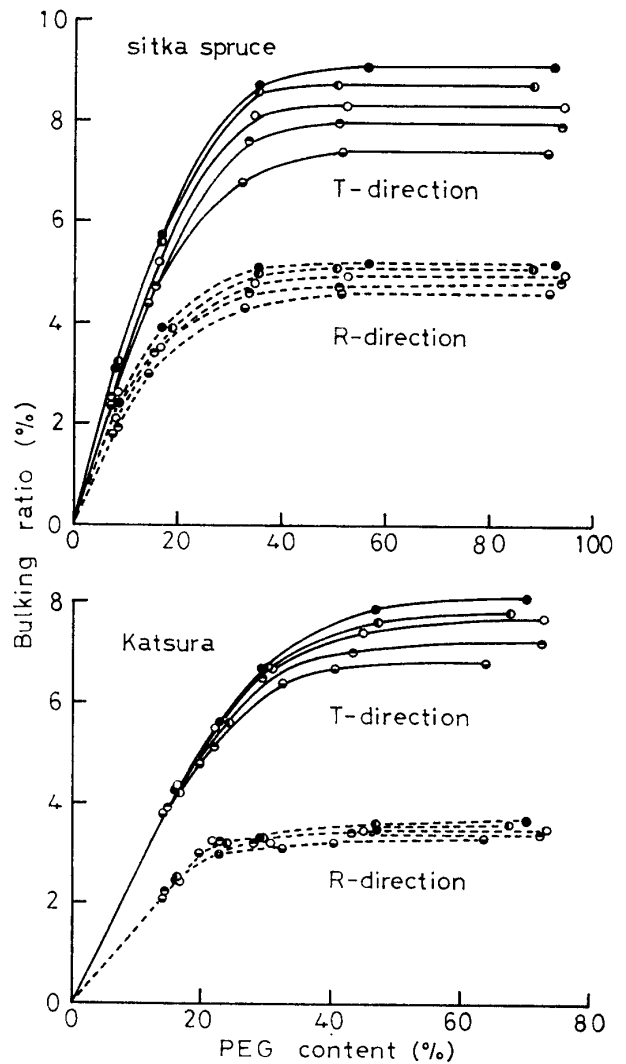


Fig. 3. Relationship between bulking ratio and PEG content.
 ● : PEG-400 ◐ : PEG-600
 ○ : PEG-1,000 ● : PEG-1,540
 ◑ : PEG-2,000

とが認められる。

Fig. 3 は Fig. 2 との関連で、PEG 処理の場合に処理条件の指標となる含有率を用い、これによる bulking ratio の変化をプロットしたもので、bulking ratio の標準偏差 (σ) ならびに変動係数 (C.V.) の範囲は、シトカスプールのT, R-方向： $\sigma=0.1\sim0.8\%$ 、C.V.=3.6~17.4%、カツラのT, R-方向： $\sigma=0.2\sim0.7\%$ 、C.V.=3.1~14.7%である。図によるとカツラのR-方向の曲線経過は他のものと幾分傾向を異にするが、全体を概観すると含有率が約40%に達するまでは含有率の増加に伴って bulking ratio が増大し、シトカスプールの場合は含有率約50%で、カツラのそれは約45%でほぼ一定の bulking ratio に到達する。

Fig. 2 によると上記 bulking ratio がほぼ一定値に到達する PEG の濃度は両樹種いずれも30%であり、本実験のように飽水試料を用いて可能な限り均一かつ緩慢な条件で処理を行った場合には、PEG の濃度が30%で含有率が45%または50%に達すると細胞壁内が PEG 分子で飽和され、この限度以上の濃度や含有率の場合には細胞内こう中に PEG が浸透するため“かさ効果”の期待できないことが Fig. 2 及び Fig. 3 から推測される。

なお、Fig. 4 は濃度をパラメーターとして両樹種の T, R-方向について bulking ratio と分子量の関係をプロットしたものである。木材を PEG で処理すると前記のように木材細胞壁の内部に PEG が拡散して木材を膨潤状態に保持するため、同一分子量、同一濃度の場合には(2)式で求められる bulking ratio が R-方向よりも T-方向において大きな値を示すことは木材の膨潤、収縮特性から推して当然のことである。

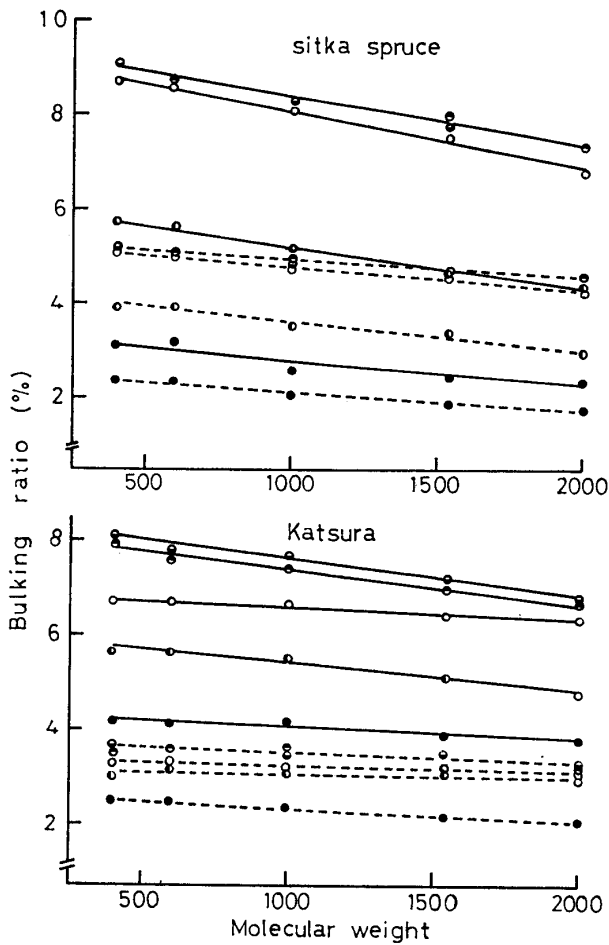


Fig. 4. Relationship between bulking ratio and molecular weight.
 — : T-direction : R-direction
 ●, ○, ○, ○, ○ : Refer to footnote in Fig. 1.

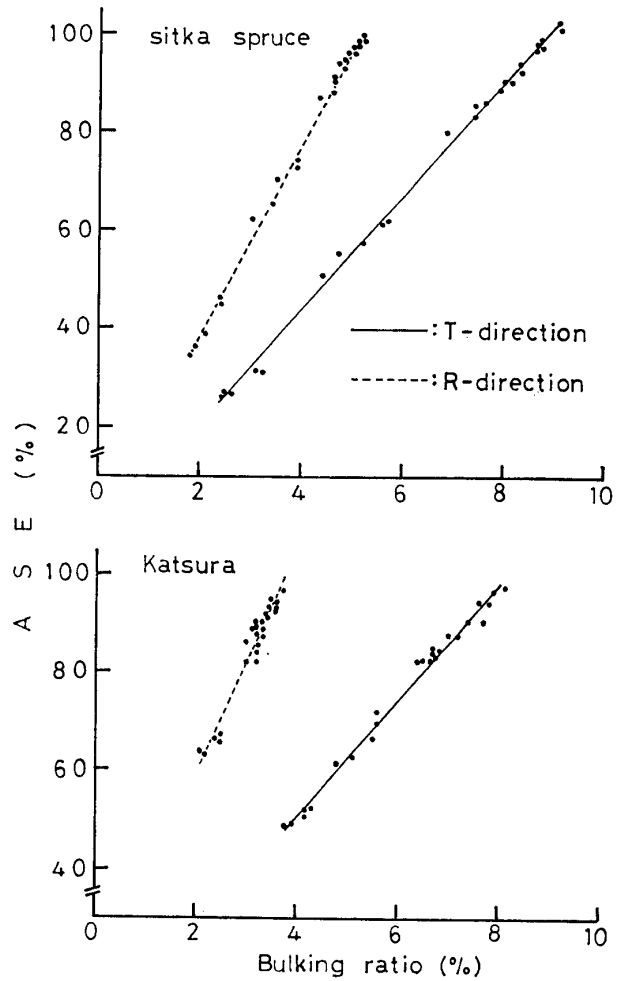


Fig. 5. Relationship between ASE and bulking ratio.

Fig. 4 によると、同一濃度の場合にはカツラの R-方向に見られる濃度10%及び20%における1~2の例外を除いて、程度には若干の差異があるが分子量の低下とともに bulking ratio はほぼ直線的に増加する傾向を示し、木材細胞壁の微細な空隙中への PEG の拡散は分子量が低くなるほど容易になることが理解できる。

次に同一分子量における bulking ratio の濃度依存性についてみると、シトカスプールの T, R-方向では濃度20%以下、カツラの T-方向の場合は濃度30%以下で濃度の増加に伴い bulking ratio は明らかに増大するが、この限度以上の濃度では変化がきん少であり、またカツラの R-方向の場合は濃度5%における低い値を除いて各分子量いずれの場合も濃度間での bulking ratio には差異が認められない。

(3) ASE

Fig. 5 は ASE と bulking ratio の関係を両樹種の T, R-方向についてプロットしたもので、ASE の

標準偏差 (σ) ならびに変動係数 (C.V.) の範囲は、シトカスプールのT, R-方向： $\sigma=0.3\sim 5.1\%$, C.V. = $0.3\sim 14.7\%$, カツラのT, R-方向： $\sigma=0.5\sim 7.5\%$, C.V. = $0.5\sim 14.7\%$ である。図によると試験片の個体差に起因してプロットには若干のばらつきが認められるが、bulking ratio は細胞壁中に沈積する PEG 固形分の“かさ効果”を示す数値であることから、両者の間にはいずれの場合も直線関係が成り立つ。なお、図によると両樹種いずれも T-方向に比較して R-方向は低い bulking ratio で高い ASE を示しているが、この理由も前項で触れたように R-方向の膨潤、収縮率が T-方向のそれよりも低いという木材の膨潤、収縮特性に基づいて、(2)式で求められる bulking ratio が低く、(3)式で求められる ASE が高く現れたことによる。

PEG 含有率による ASE の変化に関しては図示することは割愛したが、両者の関係は Fig. 3 の bulking ratio—PEG 含有率曲線の場合と全く同様であり、シトカスプールのT, R-方向では含有率約50%で、カツラのそれは約45%ではほぼ一定の ASE に到達し、この時の PEG の濃度は同様に30%である。

Fig. 6, Fig. 7 は両樹種の T, R-方向それぞれについて ASE と分子量の関係を PEG の濃度をパラメ

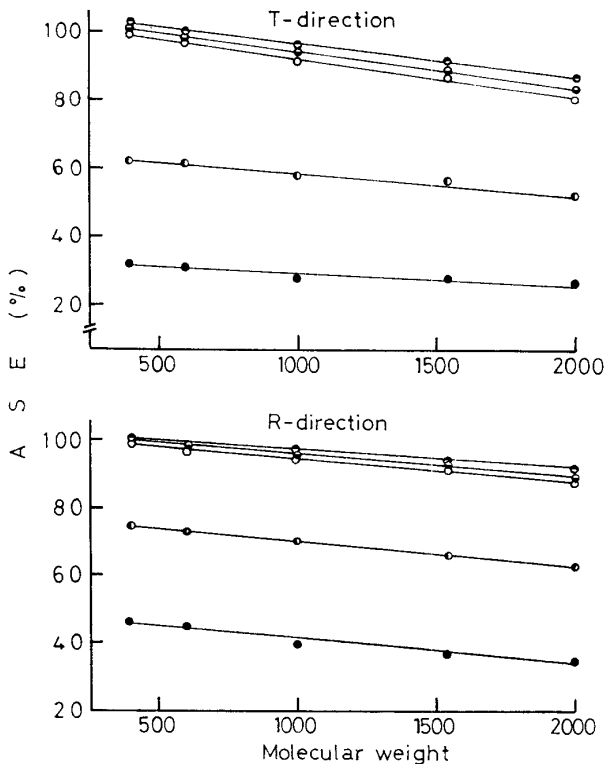


Fig. 6. Relationship between ASE and molecular weight for sitka spruce.

●, ◐, ○, ◑, ◒ : Refer to footnote in Fig. 1.

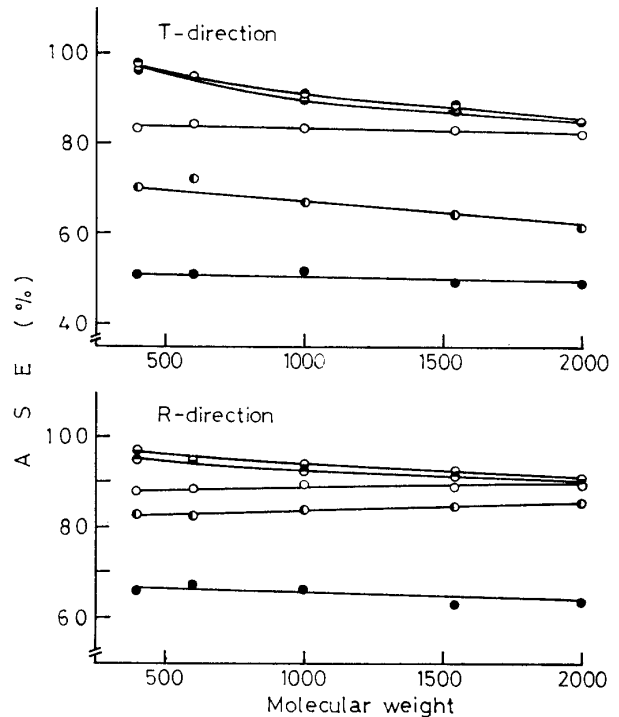


Fig. 7. Relationship between ASE and molecular weight for Katsura.

●, ◐, ○, ◑, ◒ : Refer to footnote in Fig. 1.

ーターとしてプロットしたものである。まず Fig. 6 のシトカスプールのについてみると、T, R-方向いずれも Fig. 4 に示した bulking ratio の経過と全く類似の傾向を示し、同一分子量の場合には濃度20%までは濃度に伴って ASE は著しく増加するが、この限度以上の濃度では変化がきん少であり、また同一濃度の場合も ASE は分子量の低下に伴って bulking ratio のそれと同様な傾向でほぼ直線的に増加し、T, R-方向いずれも PEG-400 の場合には濃度20%以上で、PEG-600 の場合には濃度30%以上で ASE は100%またはこれに近い値となる。上記以外の各分子量、各濃度におけるT-方向とR-方向の ASE を比較すると、濃度5%及び10%の場合には収縮率の低いR-方向に PEG の“かさ効果”が大きく現われるため、R-方向の ASE は T-方向のそれよりも高い値 (濃度5%の場合：平均1.4倍、濃度10%の場合：平均1.2倍)を示すが、濃度20%以上では PEG-2,000 の場合にT-方向の ASE が R-方向のそれよりも幾分低い値を示すことを除いて両者の間には差異が認められない。

次に Fig. 7 のカツラの ASE についてみると、上記シトカスプールのそれに類似する傾向を示す場合と異なる傾向を示す場合の二つが認められる。このカツラの傾向を両者ほぼ対応する bulking ratio と ASE

の関係だけを用いて明らかにすることは困難であるので、便宜上妥当な傾向を示すと考えられるシトカスプルスと対比して以下に特徴を述べることにする。

カツラの ASE がシトカスプルスのそれにはほぼ類似した傾向を示している点を列記すると、(1) T, R-方向の濃度30%, 50%ならびに T-方向の濃度10%における ASE が分子量の低下に伴って増加する傾向を示し、PEG-400の場合には濃度30%以上でT, R-方向いずれも95~98%の ASE に達する、(2) 濃度5%及び10%の場合には各分子量いずれの場合も R-方向の ASE がT-方向のそれよりも高い値(濃度5%, 10%いずれも平均1.3倍)を示す、(3) 同一分子量の場合には T-方向で濃度20%まで、R-方向で濃度10%まで濃度に伴い ASE が著しく増大する、などである。これに対して、カツラの ASE がシトカスプルスのそれと著しく傾向を異にしている点を bulking ratio との関連で列記すると、(1) T-方向の濃度20%の場合には bulking ratio の変化がきん少であるため、ASEには分子量依存性がなく、いずれの場合もほぼ一定値を示す、(2) R-方向の濃度10%及び20%の場合には当該濃度それぞれの bulking ratio がほぼ一定値を示すことに起因して、ASE は分子量間で一定ないしは分子量の低下に伴って幾分低下する傾向を示す、(3) R-方向の濃度10%における ASE は当該 bulking ratio に対応しているが、同一濃度の他のものに比較して値が

高く、特にこの傾向は分子量が1,000以上のPEGにおいて顕著である、(4) T, R-方向の濃度30%及び50%の場合には bulking ratio が分子量の低下に伴いほぼ直線的に増加するのに対し、ASE は分子量1,000以下でやや曲線的に上昇する傾向を示し、特にT-方向においてこの傾向が顕著である、などである。以上述べたようにカツラの場合は前記の PEG 含有率を含め bulking ratio ならびに ASE がシトカスプルスのそれとはかなり異なる特徴ある傾向を示すが、その原因がカツラの組織構造によるものか、抽出物の影響によるものか、あるいは他の理由によるものかについては現段階で明らかでなく、今後は PEG 処理における膨潤測定との関連で検討を進め解明の手掛かりを得ようと考えている次第である。

引用文献

- 1) 佐藤 健(1983): ポリエチレングリコールと木材, 木材工業, **38**, 215~221.
- 2) Stamm, A.J. (1964): Factors affecting the bulking and dimensional Stabilization of wood with polyethylene glycols, For. Prod. J., **14**, 403~408.
- 3) 佐道 健, 橋平 誠(1973): ポリエチレングリコールによる木材の膨潤についての二, 三の知見, 京大農演報, No.45, 227~237.

Summary

The dimensional stability (the indication in terms of antishrink efficiency: ASE) for the heartwood of sitka spruce and Katsura treated with various molecular weights and different concentrations of polyethylene glycol (PEG) (nominal molecular weight: 400, 600, 1,000, 1,540, and 2,000, concentration of aqueous solution: 5, 10, 20, 30 and 50 percent in weight) under 20°C was investigated using the specimen for shrinkage measurement according to JIS.

The results obtained are as follows:

- 1) Although PEG content was independent of molecular weights with a few exceptions, it increased linearly with an increase in concentration of PEG aqueous solution (Figs. 1 and 2).
- 2) The bulking ratio became almost constant when PEG content reached 45 percent for Katsura

and 50 percent for sitka spruce under a concentration of 30 percent. It was recognized from this fact that the cell wall was saturated with PEG molecules (Figs. 2 and 3).

- 3) With minor exceptions in R-direction of Katsura, bulking ratio increased almost linearly with decreasing molecular weight under the same concentration of PEG solution. However, the tendency with the variation of concentration was different between both species or the structural direction even in the same molecular weight (Fig. 4).
- 4) In all cases of T- and R-directions for both species, the linear relationship was given between ASE and bulking ratio (Fig. 5).
- 5) In both T- and R-directions for sitka spruce, the values of ASE increased with decreasing

molecular weight and increasing concentration of PEG solution, and the value of ASE was nearly 100 percent above a concentration of 20 percent in PEG-400, and above 30 percent in PEG-600 (Table 1, Fig. 6).

6) In the case of Katsura, the values of ASE

were slightly different between T- and R-directions with molecular weights and concentrations of PEG, but the value reached 95 to 98 percent above a concentration of 30 percent in PEG-400 (Table 2, Fig. 7).