遠赤外線燻煙熱処理スギ心持ち正角の材質[†] —含水率・干割れ・動的ヤング率について—

安藤 實* 石栗 太**
中村 守利*** 吉澤 伸夫*

Wood Quality of Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) Boxed Heart Square Timbers Treated by Smoke-Heating System with Far-Infrared Radiation — On Moisture Content, Surface Check, Dynamic Young's Modulus —

by

Minoru ANDOH *, Futoshi ISHIGURI **, Moritoshi NAKAMURA ***
and Nobuo YOSHIZAWA *

Boxed heart square timbers of sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) were treated by smoke-heating system with increased far-infrared radiation for about 50 hours at a temperature inside the square timbers of 70°C–80°C. After smoke-heat treatment (SHT), wood qualities (moisture content, surface check, dynamic Young's modulus) were examined. Average moisture contents of boxed heart square timbers were largely decreased by SHT, but moisture contents near the pith still remained high. No surface checks occurred in 29 specimens (24.8%) of 117 square timbers smoke-heated. In addition, decrease of dynamic Young's modulus by SHT was not recognized. The results obtained indicate that SHT has effect on pre-drying of square timbers, without any damages, followed by kiln drying.

Key words: Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don), Boxed heart square timber, Smoke-heat treatment, Moisture content, Moisture gradient, Surface check, Dynamic Young's modulus.

1 緒 言

スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) は、日本を代表する樹種の一つで、日本各地で造林されている。この造林されたスギ林は、間もなく主伐期を迎えようとしているが、スギ材の乾燥は難しく、加工利用上の妨げとなっており、より良い乾燥法の開発が課題となっている。

最近、乾燥期間の短縮の点から 100°C 以上の温度で木材を急速に加熱する高温乾燥が注目を浴びている。¹⁾ 高温乾燥は、一般にカラマツ、トドマツ、スギなどの建築用針葉樹製材品に対して行われており、乾燥期間の短縮、コストの低減、材表面の割れの減少、ヤニの滲出防止、材の吸湿性の低下などのメリットがある反面、デメリットとして、強度的性質の低下、内部割れの発生、棧積み内での含水率分布のバラツキが大きいこと、著しい材色の変化などが指摘されている。^{1)~5)}

一方、廃材を燃料とし、高温の燃焼ガスで丸太を直接熱処理する燻煙熱処理 (SHT) では、残留応力の低減、含水率の低下、樹脂の固定、セルロース結晶化度の増加など、材質の改良に効果があることが明らかにされている。^{6)~13)} しかしながら、処理条件によっては、ヘミセル

ロースなどの化学的劣化が起こり、強度的性質が低下する。また、長時間の過酷な処理により、丸太に損傷が起こるため、加熱速度を抑えて材内温度傾斜を少なくすることが必要とされている。⁸⁾ そこで、筆者らは、材内の温度傾斜を少なくするために、遠赤外線増殖炉を用いた燻煙熱処理によって、丸太の損傷および材質の劣化を引き起こさずに、急速にかつ均一に丸太の温度を上昇させることに成功した。^{11), 12)} さらに、急速な丸太内の温度上昇により、高められた材内蒸気圧によって壁孔壁の破壊が生じることを明らかにしてきた。¹¹⁾

このように、高温乾燥と燻煙熱処理は、どちらも加熱処理を受ける材が、100°C 以上の雰囲気下で処理される点や、そのメリット・デメリットも類似している。しかしながら、高温乾燥では、丸太そのものが直接処理されることはほとんどない。一方、燻煙熱処理においては、これまで製材品に対しての熱処理はほとんど行われていない。本研究では、製材品のスギ心持ち正角を燻煙熱処理し、熱処理後の含水率と干割れの状況について調査した。また、処理前後の動的ヤング率についても調査し、熱処理による強度的性質の変化について検討した。

[†] 原稿受理 平成 10 年 5 月 29 日 Received May 29, 1998

* 宇都宮大学農学部森林科学科 〒321-8505 宇都宮市峰町, Dept. of Forest Science, Utsunomiya Univ., Mine-machi, Utsunomiya, 321-8505

** 学生会員 宇都宮大学大学院農学研究科森林科学専攻 〒321-8505 宇都宮市峰町, Graduate Student, Utsunomiya Univ., Mine-machi, Utsunomiya, 321-8505

*** 中村ハウジング(株) 〒321-0962 宇都宮市今泉町, Nakamura Housing Ltd., Imaizumi-machi, Utsunomiya, 321-0962

2 材料と方法

2.1 供試材

実験には、栃木県産の末口直径 15 ～ 18cm のスギ丸太 (*Cryptomeria japonica* D. Don) から製材した心持ちの正角 (10.5 × 10.5 × 300cm) 120 本を用いた。試験体の平均年輪幅、心材率、偏心率は、それぞれ 4.7mm、77.5%、17.6% であった。

2.2 燻煙熱処理

実験には、前報^{11), 12)}で用いた熱処理炉を、炉内温度差が少なくなるように改良し、材積 20m³ を収容可能な処理室 (高さ 3m、幅 3m、長さ 9m) を有する遠赤外線増殖炉を用いた (Fig. 1)。この熱処理炉では、燃焼室で発生させた燃焼ガスが、処理室下部の煙道を通り、処理室の底面から排出されるように改造した。また、80% 以上の熱放射量を持つセラミックスを煙道および壁体に配置した。台車上に 60 本を 1 ロットとして、2 ロット、合計 120 本を積み、熱処理した。材料搬入口側をロット A、煙突側をロット B とした。それぞれのロットは、材を 2cm 間隔で、8 本並べ、その上に横桟 (1.8 × 1.8cm) を 5 箇所入れ、8 段に積み、材温はロット A・B ともに、上・中・下段の 3 ヶ所に配置した材の中央部、深さ 5cm で測定した。

熱処理は、処理室のほぼ中央に設置した温度センサーの最高温度が 120℃ となるように木質燃料を 9 時間燃焼させた。さらに、最初の着火から 24 時間後に再び燃料に着火し、9 時間燃焼させ、材の中心温度、70 ～ 80℃ で合計 50 時間加熱した。加熱処理中、材の過乾燥を防ぐために適時蒸気を発生させた。

2.3 含水率の変化

試験体の含水率は、高周波含水率計 (ケット科学・MOCO HM-520) を用いて測定した。測定部位は各試験体につき、試験体の両端から 50cm の 2 箇所と、試験体中央部の合計 3 箇所とし、平均値を試験体の含水率とした。

試験体内の含水率分布は、ロット A の 3 本について測定した (Fig. 4, S1 ～ S3)。各試験体について、処理前に木口から約 50cm の部位から厚さ 2cm の試験片を採取し、木口面を 25 分割して、それぞれのブロックの含水率を全乾法によって求めた。熱処理後、同様に、試験体の

中央部から厚さ 2cm の試験片を採取し 25 分割して含水率を求め、処理前後の材内含水率と水分傾斜を求めた。

2.4 干割れの測定

干割れについては、4 材面すべてについて発生した干割れの長さと数を測定し、干割れの長さ 1m までを 1 点、1 ～ 2m を 2 点、2 ～ 3m を 3 点とし、その点数の合計を各試験体の干割れとして評価した。

2.5 動的ヤング率の測定

処理前後の動的ヤング率は、材の木口面の打撃による基本振動周波数から求めた。材の一方の木口をハンマーで軽く打撃し、それにより材を縦振動させ、他方の木口に設置したマイクロフォン (RION 社製) で材中を伝ばした弾性波を縦振動音としてとらえ、ポータブル FFT アナライザー (A & D 社製 AD-3527) に入力した。得られた 1 次の基本振動周波数から次式 (1) により材の動的ヤング率 (E_f) を測定した。また、基本振動周波数の測定の直前に、デジタルヘルスメーターとスケールを用いて重量と寸法を測定し、密度を算出した。

$$E_f : (2lf)^2 \times \rho / G \text{ (GPa)} \quad (1)$$

ここで

l : 材長 (cm)

f : 得られた 1 次の基本振動周波数 (kHz)

ρ : 測定時の試験体の密度 (g/cm³)

G : 重力加速度 (cm/sec²)

3 結果と考察

3.1 燻煙熱処理

燻煙熱処理中の処理室温度とスギ心持ち正角の材内温度 (測定部位 : B ロット・中段) の経過を Fig. 2 に示す。本実験では、処理室の最高温度は 120℃、材内温度の最高は 80℃ で、材温 70 ～ 80℃ の間の保持時間は約 50 時間であった。

スギの場合、丸太の燻煙熱処理によって、丸太表面の損傷と材の熱劣化を引き起こさずに材質改良を行うには、材温 80 ～ 100℃ の保持時間が 35 ～ 40 時間が最適とされている。^{7), 11), 12)} この温度条件で処理時間が 40 時間を超えると、急速にヘミセルロースなどの熱劣化が生じ、さらに表面割れも増加するとされている。⁸⁾ 本実験では、材温を 70 ～ 80℃ に抑えたため、後述するように 50

Fig. 1. Illustration of smoke-heating system with increased far-infrared radiation.

Fig. 2. Temperature changes within a square timber during SHT.

Note : 1 ; Heating room, 2 ; Square timber

時間という長時間の処理でも、表面割れの発生が少なく、動的ヤング率にも大きな影響が見られなかった。

一方、燻煙熱処理では、材の配置場所によって材内最高温度にバラツキが出ることが問題となっている。安藤ら¹¹⁾の実験では、処理炉の構造上の問題から処理室内の上下に温度差が生じ、その結果、栈積みロットの上段と下段の丸太では材温に約30℃の差が生じたと報告している。本実験では、処理室内の温度差を少なくするために、燃焼ガスが処理室の底面から排出するように改良したため、ロット内およびロット間で材内温度に大きな差はほとんど見られなかった。

3・2 含水率の変化

Table I に示したように、燻煙熱処理によって、スギ心持ち正角の含水率は、79.2% から 25.3% に減少（平均減少率：68.1%）し、重量は、23.5kg から 16.5kg へと減少（平均減少率：29.8%）した。また、スギ心持ち正角の平均含水率の標準偏差（SD）は、処理前では 22.4 と大きな値を示したが、処理後には 8.9 に減少し、含水率分布のバラツキは減少した（Fig. 3）。

丸太の燻煙熱処理の場合、高温・長時間の処理によって、丸太表面の含水率が繊維飽和点以下になると、著しく干割れが生じるため、丸太の含水率を繊維飽和点以下にすることは少なく、丸太全体の平均含水率が 35～40% に仕上げる人が多い。一方、高温乾燥の場合、100～150℃で48時間処理したスギ柱材では仕上がり含水

率として平均 21.5%（SD9.2）の値が得られている。⁵⁾ トドマツ心持ち角材（背割なし）では、80～90℃で11日間処理したとき、平均仕上がり含水率は 17.2%（SD4.9）、110℃で4日間処理したとき 23.4%（SD7.8）の値が得られている。⁴⁾ 本実験では、材内温度 70～80℃、約50時間の処理で、平均仕上がり含水率、25.3%の値が得られたが、他の高温乾燥の結果と比べると、比較的低い温度で処理したにもかかわらず、含水率の低下は同様であった。一方、含水率の標準偏差は、生材状態の場合に比べて、処理後、約1/2に減少したが、まだかなりのバラツキが見られた。これらの結果から、燻煙熱処理を乾燥前処理として考えると、さらに人工乾燥を行う必要がある。燻煙熱処理は、生材の直接人工乾燥に比べて、処理材の含水率が低く、また、含水率分布のバラツキが小さくなることは、その後の乾燥において利点と考えられる。

一方、高温乾燥では、栈積み内の含水率のバラツキが大きいことが指摘されている。¹⁾ Fig. 4 に示したように、本実験では、処理後の含水率に、ロット A（平均含水率 24.7%）とロット B（平均含水率 25.9%）の間に大きな差は見られなかった。しかし、平均含水率の標準偏差は、ロット A・B 共に 8.9 の値を示しており、さらにバラツキを少なくする必要がある。

3・3 水分傾斜

一般に、人工乾燥後、内部含水率の高い材は、養生期間中に発生する狂いの量は大きい。³⁾

本実験における、3試験体の燻煙熱処理による材内含水率分布の変化を Fig. 5 に示す。熱処理後、S1、S2、S3 試験体で水分傾斜は、それぞれ 32.9%、78.1%、100.8% を示した。

スギ柱材を高温乾燥（100℃で12時間、その後150℃で36時間）した時、含水率は、材の表層部で 8.9%、中央部では 44.0% を示し、35.1% の水分傾斜が得られている。⁵⁾ この水分傾斜は、中温条件で（70～80℃）乾燥した時の水分傾斜と比較して2倍以上であった。⁵⁾ また、スギ正角を 95℃で煮沸後、105℃あるいは115℃で乾燥した時、平均含水率の高い材では水分傾斜は大きいことが報告されている。¹⁴⁾ さらに、110℃で乾燥処理したカラマツ心持ち柱材では、含水率は表層で 15%、内部の最も高いところでは 40% の値を示し、25% の水分傾斜が報告されている。³⁾ 本実験で得られた結果は、これら高温乾燥後の水分傾斜と比べると、かなり大きな値を示している。しかしながら、S1 試験体では、水分傾斜は、高温乾燥で得られた結果と同様であった。また、いずれの試験体も生材の状態と比べると、含水率および水分傾斜は減少しており、燻煙熱処理による乾燥前処理効果のあることが確認された。

3・4 燻煙熱処理による干割れ

Fig. 6 に処理による干割れの出現頻度を示す。日本農林規格（JAS）における針葉樹の構造用製材の等級区分の干割れの規定によると、材面の貫通割れ以外の干割れは許容されている。本実験では、処理後、この区分に触れるような貫通割れが生じた試験体は見られなかった。

Table I. Changes of moisture content and weight of square timbers by SHT.

		Weight (kg)	MC (%)
Before SHT	Ave.	23.5	79.2
	SD	3.7	22.4
	Max	32.4	127.3
	Min	17.2	36.7
After SHT	Ave.	16.5	25.3
	SD	2.8	8.9
	Max	22.5	60.8
	Min	11.3	10.8

Note: SD; Standard deviation

Fig. 3. Changes of moisture content in square timbers by SHT.

Note: Before SHT; Ave. MC 59.2%, SD22.4

After SHT; Ave. MC 25.3%, SD8.9.

	64.0		46.0		79.7		36.7			103.3		110.3		73.3		96.2
	19.0		19.5		24.0		10.8			16.5		19.0		24.0		22.8
90.2	108.0	46.7	S-1	46.8	46.5	102.7	71.0		82.3	66.7	56.7	78.5	97.0	109.2	97.5	84.3
26.8	16.7	19.2		19.8	24.3	25.3	17.5		24.7	19.0	15.5	24.0	32.8	30.5	22.3	23.7
60.3	67.3	101.2		52.3	51.0	59.0	120.5		87.5	111.2	78.3	62.7	99.0	67.0	78.3	75.0
16.7	21.7	42.3		18.8	22.0	13.0	21.3		18.5	43.8	25.0	19.0	18.8	22.5	29.3	17.8
127.3	63.2	40.5		59.2	108.6	73.8	51.7		99.7	87.3	93.8	66.2	54.2	89.3	72.7	76.5
47.7	28.7	10.8		31.3	40.0	33.0	20.7		21.5	35.5	35.0	20.0	18.7	15.2	32.5	18.3
108.7	66.8	54.5	S-2	106.3	108.8	52.2	123.2		90.8	76.2	123.5	87.0	62.7	49.8	97.7	92.8
15.3	18.5	16.7		43.7	38.0	30.5	18.0		22.8	12.7	20.7	32.7	32.0	17.7	31.5	15.0
41.2	62.0	47.8		65.2	85.8	76.8	74.0		93.7	75.2	127.0	104.0	64.0	91.5	59.0	93.0
15.7	23.8	21.0		20.3	38.2	35.2	19.3		22.0	24.0	60.8	33.3	18.5	40.7	23.8	30.0
98.2	63.2	115.2	S-3	116.0	86.7	125.0	70.2		69.8	89.0	47.5	103.0	96.2	107.8	92.3	116.8
39.0	24.8	36.3		37.7	33.0	22.2	13.0		32.0	21.2	13.5	38.8	29.0	34.7	26.8	43.5
79.5	59.7	79.2		76.2	54.5	108.0	70.7		72.5	52.0	83.8	60.5	89.3	61.5	62.0	51.0
20.0	17.2	23.3		26.5	22.2	15.0	20.2		28.8	19.5	39.0	20.7	25.5	30.7	23.0	19.3

Lot-A

Lot-B

Fig. 4 . Changes of moisture content in square timbers in two lots by SHT.

Note : Upper values ; Moisture content before SHT
Lower values ; Moisture content after SHT
S-1 ; Sample-1, S-2 ; Sample-2, S-3 ; Sample-3

Fig. 5 . Distribution of moisture contents within three square timbers before and after SHT.

Fig. 6. Occurrence frequency of surface checks in square timbers by SHT.

Table II. Coefficient of correlation between evaluated value of surface checks and factors of wood qualities.

Coefficient of correlation		
Before SHT	MC	-0.07
	ρ	-0.09
	Ef	0.33 *
	E/ ρ	0.40 *
After SHT	MC	-0.33 *
	ρ	-0.12
	Ef	0.35 *
	E/ ρ	0.45 *
Average ring width		-0.04
Heartwood ratio		-0.19 *
Eccentricity		-0.19 *

Note: MC ; Moisture content, ρ ; Density,
Ef; Dynamic Young's modulus,
E/ ρ ; Specific Young's modulus.
* : Significance (5% level) .

Table III. Changes of dynamic Young's modulus of square timbers by SHT.

		ρ (g/cm ³)	Ef (GPa)	E/ ρ
Before SHT	Ave.	0.71	7.39	10.51
	SD	0.11	1.43	2.06
	Max	1.11	11.47	16.17
	Min	0.49	3.60	6.06
After SHT	Ave.	0.50	7.11	14.37*
	SD	0.07	1.32	2.58
	Max	0.72	11.45	21.92
	Min	0.36	4.19	8.30

Note: SD; Standard deviation, ρ ; Density at test,
Ef; Dynamic Young's modulus ,
E/ ρ ; Specific Young's modulus,
* : Significance (5% level) .

また、処理した試験体 117 本のうち、四材面に干割れが全く生じなかった試験体（干割れ評価：0）は 24.8%（29 本）であった。さらに、干割れ評価 0～3（実用上支障のない軽微な干割れ）の試験体は、全体の約 80%（95 本）を超えていた。

カラマツ心持ち正角材を、55℃、75℃、100℃で乾燥

した時、処理温度が高くなるほど表面割れは減少することが報告されている。³⁾ また、スギ柱材を 100℃で 12 時間、その後さらに 150℃まで昇温させながら 36 時間処理した時、表面割れの発生量は減少するが、内部割れが多く発生する傾向が認められている。⁵⁾ このように、木材を高温で乾燥すると、表面割れが減少し、特にスギ材では内部割れが増加する傾向が見られる。^{3), 14)} 本実験では、材温、70～80℃で 50 時間保持したが、材表面の干割れの発生は比較的少なかった。この理由について、材質的な因子との関係について検討した結果、熱処理前後の比ヤング率（相関係数：0.40, 0.45）にやや低い相関が見られたが、他の因子については相関は見られなかった（Table II）。本実験で得られた結果は、スギ正角の乾燥過程で生じる干割れの発生は曲げ強さおよび曲げヤング率などの強度的性質との間に相関が見られるという報告¹⁵⁾と一致している。今後は、干割れがさらに少なくなるような最適処理スケジュールを検討し、材質的な因子と干割れとの関係について詳細に検討する必要がある。

3・5 動的ヤング率

Table III に示したように、処理によって、スギ心持ち正角の動的ヤング率は、7.39GPa から 7.11GPa にわずかに減少したが、5% 水準で有意差は認められなかった。

80℃～100℃の温度で燻煙熱処理を行った場合、スギ丸太では、処理前後の動的ヤング率に変化は見られないことが報告されている¹¹⁾。また、燻煙熱処理によって動的ヤング率、曲げヤング率が増加する傾向が見られており、これは、熱処理によってセルロース結晶化度が増加したためと考えられている。^{9), 12), 16)} 燻煙熱処理は、樹種や材の形状、含水率によっても異なるが、材温 80～100℃の保持時間が 40 時間までならば、曲げ強さ、曲げヤング率、動的ヤング率が大幅に低下することは少ないと考えられる。

一方、木材の高温乾燥においては、強度的性質の低下が懸念されている。¹⁾ 吉田³⁾ は、55℃、75℃、95℃でカラマツ材を 96 時間乾燥した時、いずれの場合も曲げヤング率には影響が見られなかったが、95℃の乾燥では曲げ強さが低下し、さらに仕事量も減少することを明らかにしている。また、トドマツ材においても、110℃までは、曲げヤング率と曲げ強さに影響を与えないが、110℃を超えると曲げヤング率は低下する傾向を示す。²⁾

このように、燻煙熱処理、高温乾燥のいずれにおいても、100℃を超える処理を行うと材の強度的性質は低下するが、それ以下の温度の処理では、強度的性質に及ぼす影響は少ないものと考えられる。本実験では、材温を 70～80℃で処理したため、材の熱劣化が起こらず、このため、動的ヤング率に変化が見られなかったものと考えられる。今後、さらに燻煙熱処理材について、セルロース結晶化度とヤング率の関係、静的強度、長期荷重に対する挙動、衝撃強さなどを調査し、処理スケジュール（温度と時間）との関連について詳細に検討する必要がある。

4 結 言

本研究では、製材品のスギ心持ち正角を燻煙熱処理し、熱処理後の含水率と干割れの発生状況、さらに強度的性質の1つである動的ヤング率について調査した。

今回の燻煙熱処理は、材温 70 ~ 80℃の保持時間 50 時間で行い、処理時間は合計 96 時間であった。スギ心持ち正角の平均含水率は、処理前の 79.2% から、処理後 25.3% に減少（減少率：68.1%）した。平均含水率の標準偏差は、処理後、約 1/2 に減少したが、まだかなりのバラツキが認められた。また、材内含水率分布については、材の中央部は繊維飽和点以上の含水率を示し、水分傾斜はやや大きな値を示した。材面の干割れについては、干割れが四材面に全く生じなかった試験体が全体の約 25% 得られ、実用上支障のない程度の軽微な干割れと判断できるものを加えると 80% を超えていた。また、動的ヤング率については、処理前後の値にほとんど差は見られなかった。これらの結果は、燻煙熱処理によって、生材の状態に比べて、含水率、含水率の標準偏差、水分傾斜ともかなり減少することを示しており、また、熱処理による干割れの発生も少なく、燻煙熱処理は、乾燥前処理としての効果が期待される。今後は、棧積み内の含水率のバラツキや、さらに干割れの発生を少なくするような最適スケジュールを検討するとともに、処理後の干割れや、寸法変化、また、処理材の強度的性質について詳細に検討する必要がある。

本研究を進めるにあたり、種々ご協力を頂いた(株)中村住宅システム、中村 皎氏に深謝致します。

参 考 文 献

- 1) 林 和男, 木材保存, **23**, 281 (1997).
- 2) 中 崙 厚, 木材工業, **51**, 288 (1996).
- 3) 吉田孝久, 木材工業, **51**, 546 (1996).
- 4) 中 崙 厚, 1996 年度日本木材学会木材と水研究会シンポジウム要旨集, p.10 (1996).
- 5) 河崎弥生, 木材工業, **53**, 166 (1998).
- 6) T. Okuyama, Y. Kanagawa and Y. Hattori, Mokuzai Gakkaishi, **33**, 837 (1987).
- 7) 奥山 剛, 山本浩之, 村瀬 豊, 木材工業, **43**, 359 (1988).
- 8) 奥山 剛, 山本浩之, 小林 功, 木材工業, **45**, 65 (1990).
- 9) A. Tejada, T. Okuyama, H. Yamamoto and M. Yoshida, For. Prod. J., **47** (9), 86 (1997).
- 10) 野村隆哉, 木材研究・資料, **31**, 31 (1995).
- 11) 安藤 實, 高橋伸英, 吉澤伸夫, 木材学会誌, **42**, 845 (1996).
- 12) 石栗 太, 安藤 實, 横田信三, 吉澤伸夫, 材料, **47**, 361 (1998).
- 13) 藤本登留, 河辺純一, 又木義博, 九州大学農学部演習林報告, **76**, 39 (1997).
- 14) 三好誠治, 村口良範, 愛媛県林試報告, **19**, 70 (1998).
- 15) 荒武志朗, 木材工業, **51**, 508 (1996).
- 16) 高橋伸英, 吉澤伸夫, 出井利長, 安藤 實, 藤田一二, 第 46 回日本木材学会大会研究発表要旨集, p.522 (1996).