

蒸煮処理が木材の材質に及ぼす影響について

(第 1 報) 圧縮並びに曲げ強度

佐々木 龍樹・福山 万次郎・梶 田 茂

(木材物理第 1 研究室)

Riuju SASAKI, Manjiro FUKUYAMA, and Sigeru KADITA:

On the effects of steaming upon the wood properties.

(I) On the Compressive and bending strength.

緒 言

蒸煮処理は木材乾燥の前操作、曲木等の木材加工に於て極めて重要な意義を有している。木材の蒸煮は飽和蒸気存在の下で木材を加熱する事に依りそれに種々の物理的、化学的变化(例えば柔軟屈撓性、吸水吸湿膨潤性等の変化、Pentosan, Hexosan の加水分解、Lignin の活性化等)を起さしめる。従つてこれら蒸煮材の材質、特に物理的、機械的性質を検討することは興味あり且重要な課題であると思われる。本実験は温度 100°C, 時間 30~360 分で処理を行い蒸煮中に於ける吸水並びに膨潤経過、処理後に於ける圧縮並びに曲げ強度について検討を行つた。本報はそれらの 2~3 の実験結果の概要である。

尙本研究は文部省科学試験研究費によつたもので茲に深謝する。

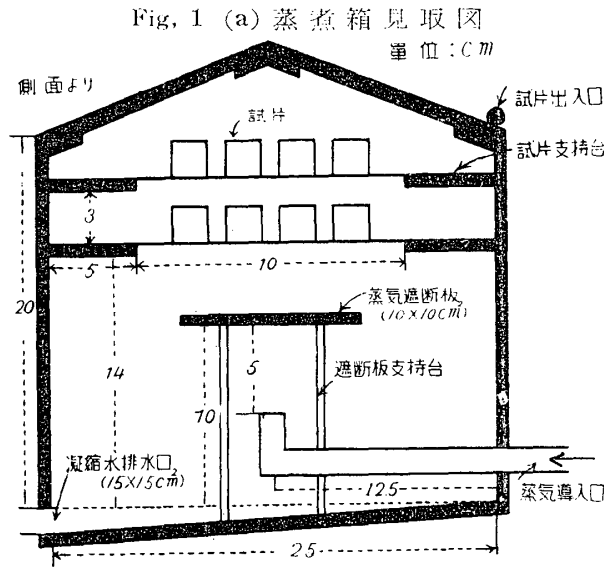
実 験 方 法

1) 供試材料並びに試験片

ブナ(*Fagus crenata* Blum), オオナラ(*Quercus crispula blume*)の心材部、スギ(*Cryptomeria Japonica* D. Don)の辺、心材部を供試材料とし各試験片は各材の優良無疵の部分から 1 条件につき 8~10 個宛 2 方柱木取りに飽削仕上げした。試験片寸法、圧縮試片 $2 \times 2 \times 4(\text{cm}^3)$, 曲げ試験片; $2 \times 2 \times 28(\text{cm}^3)$ 。各試験片の含水率は平均 13~14% であつた。

2) 実験装置並びに処理条件

0~10kg/cm² (0~10 気圧), 容量 8l の蒸気発生釜から縦 30cm, 横 25cm, 高さ 20cm の蒸煮箱にゴム管で蒸気を誘導した(Fig 1(a)), この際蒸煮箱は、蒸気及び温度の発散、放熱による温度低下を最小限度に阻止する為、箱の内壁をブリキ、壁間を石綿、外壁を板材の三重張りとし、箱内部が常に 100°C の一定温度に保持し得る様にした。



箱内の蒸気導入管は、細硝子管を用いて上方へ蒸気が噴き出る様にしその際、試験片に直接蒸

気が当たらない様噴出口と試片の間にブリキ製の蒸気遮断板（断面 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ）を設けた。又蒸煮中に蒸煮箱の屋根に附着した凝縮水が試験片上に落下するのを防止する為、屋根にゆるやかな傾斜をつけ凝縮水が側壁に沿うて流れ落ちる様にした。又下部の凝縮水を外部に排口する為、箱の下方側壁中央に小さな排水口（断面 $1.5 \times 1.5 \text{ cm}^2$ ）を設けた。

蒸煮箱の屋根には温度測定のために等間隔に6個の小穴（中央部2個はCu-コンスタン線挿入口、他は温度計の挿入口）を設けた（Fig 1(b)）。試験片は箱内上部で上下3cmの間隔に支持し且試験片の出し入れは屋根の片半分から操作できる様にした。

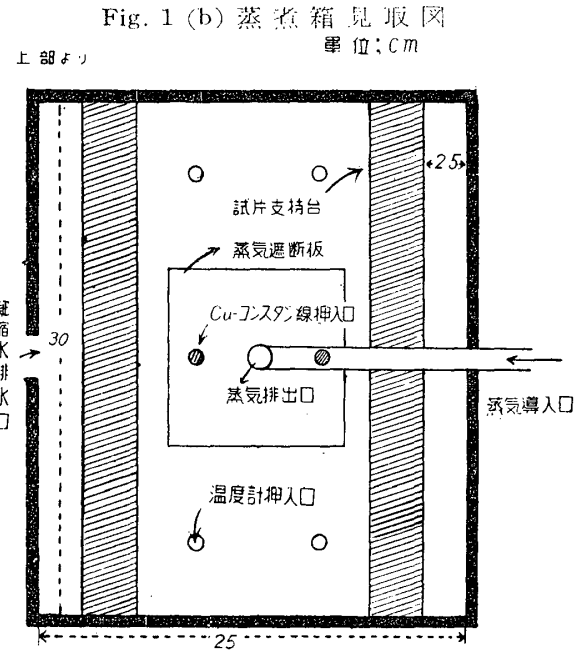
処理条件は処理温度 100°C 、処理時間30, 60, 120, 180, 240, 300, 360分の7条件とした。但し内部温度が処理温度に達する時間（圧縮試験片；ブナ10分、オオナラ15分、スギ8分、曲げ試験片；ブナ13分、オオナラ16分、スギ10分）を予め熱電対で測定し総処理時間にその時間を加算して処理時間とした。

3) 処理後の調整

処理後約20日間室内に放置した後、硫酸一水混合液上で気乾状態（含水率；13~14%）までもつていった。

4) 強度試験

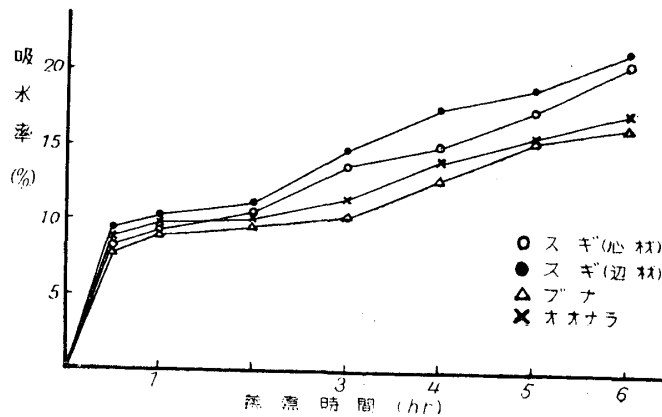
4ton. アムスラー万能材料試験機を用い圧縮試験（繊維方向）並びに曲げ試験（スパン24cm 柲目面中央集中荷重）を行つた。尚この際圧縮弾性係数（オクイツェン歪計、精度 $1/1000 \text{ mm}$ ）及び曲げ弾性係数（ダイヤルゲージ、精度を $1/100 \text{ mm}$ ）求めた。



実 験 結 果

1) 蒸煮中の吸湿並びに膨潤経過

Fig. 2 蒸着時間と吸水率との関係



蒸着中に於ける各樹種の含水率は
何れも処理時間と共に増加し (Fig.
2) 吸水率はスギの辺材が最も高く
次いでスギ心材であつたが各樹種の
間には著しい差が認められなかつた。
スギでは約2~2.5時間後ブナ, オオ
ナラでは約3~3.5時間後に大略繊維
飽和状態に達しそれ以後は著しい増
加が認められない。

Table 1. 蒸着中に於ける処理時間と吸水率との関係
並びに吸水率と膨潤水分との差異

(Relation between treatment time and moisture content, and difference
between the free water and swelling water in steaming process.)

処理 時間 (hr)	スギ (心材)			スギ (辺材)			ブナ			オオナラ		
	吸水率	膨潤水	差	吸水率	膨潤水	差	吸水率	膨潤水	差	吸水率	膨潤水	差
	(%)	Uh (%)	(%)	(%)	Uh (%)	(%)	(%)	Uh (%)	(%)	(%)	Uh (%)	(%)
0.5	23.4	22.4	1.0	24.1	22.2	1.9	23.3	21.8	1.5	24.0	22.1	1.9
1	24.3	22.3	2.0	25.3	22.8	2.5	24.2	22.5	1.7	24.8	23.6	1.2
2	25.8	24.0	1.8	26.9	24.7	2.2	25.0	23.1	1.9	25.3	23.9	1.4
3	28.2	26.1	2.1	29.4	26.6	2.8	26.6	25.3	1.3	26.8	24.8	2.0
4	30.5	28.8	1.7	32.2	29.1	3.1	28.5	27.2	1.3	29.5	27.2	2.3
5	31.5	29.3	2.2	32.9	30.2	2.7	30.3	28.5	1.8	30.5	28.5	2.0
6	33.5	30.7	2.8	33.8	30.5	3.3	31.3	29.3	2.0	32.1	29.7	2.4

6時間処理後の各樹種の吸水率は何れも30~32%で斯る吸収水分が木材内部に於て如何なる状態で存在するか即ち自由水 (free water) として存在するか或は膨潤水 (swelling water) として存在するかの区別を明らかに示すことは出来ないが膨潤水の木材内部に於ける僅少の吸着圧縮を無視し而も Micell 内部に吸収された水分の容積が木材の膨潤前後の容積に等しいと仮定する時には蒸着前の木材の体積 V , その含水率 U_b , 蒸着中の或る時点に於ける体積膨脹率 α_v より近似的に膨潤水分 U_h は次式に依り計算することが出来る。

$$\Delta U_h = \frac{\alpha_v \cdot V \cdot \gamma_w}{G_D}$$

$$U_h = \Delta U_h + U_b$$

但し ΔU_h ；膨潤水分の増加量

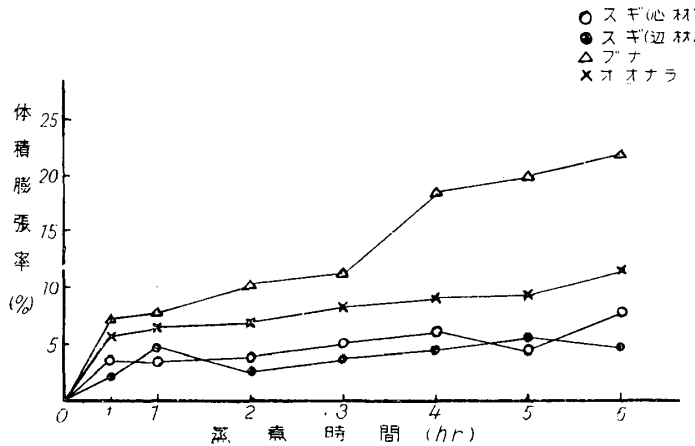
G_d ；試片の絶乾重量

γ_w ；水の比重

(100°C の場合 0.95841)

上式より計算した値は Table 1 の如くで吸収水分の大部分が細胞膜内に吸着水分（膨潤水分）として存在し細胞腔並びに粗大な細胞間隙内での自由水（凝縮水分）の存在は極めて僅少である。F.Kollmann¹⁾が Eichenholz を用いて行つた 1 気圧の蒸気処理では木材中に自由水（凝縮水）が殆ど左右しないことを述べているがかかる事実は本実験からも肯定できる様に様われる。

Fig. 3 蒸煮時間と体積膨脹率との関係



処理前の体積を基準とした蒸煮中に於ける各樹種の体積膨脹率は処理時間と共に略直線的に増加し単位時間当りの膨脹率の増加はブナ、オオナラ、スギ（心材）の順に小さくなることが認められ 6 時間処理後に於いてはブナ 22%，オオナラ 11%，スギ（心材）8%，スギ（辺材）5%であつた。(Fig3)

2) 圧縮強度及び圧縮弾性係数
各樹種共蒸煮時間の経過と共に圧縮強度は低下し且針葉樹は広葉樹に比し圧縮強度の低下が稍大きい (Fig 4. Table 2) 然し測定値の分散を考慮するときその低下は何れも著しくない様に思われる。

又圧縮弾性係数に関しては圧縮強度と同様に処理時間の経過に従つて何れも低下する傾向を示すが (Fig 5. Table 3) その程度は針葉樹よりも広葉樹に於て著しく又スギの心、辺材に於いては差異が殆ど認められなかつた。

Table2； 処理時間と圧縮強度との関係
(Relation between treatment time and compression strength of wood.)

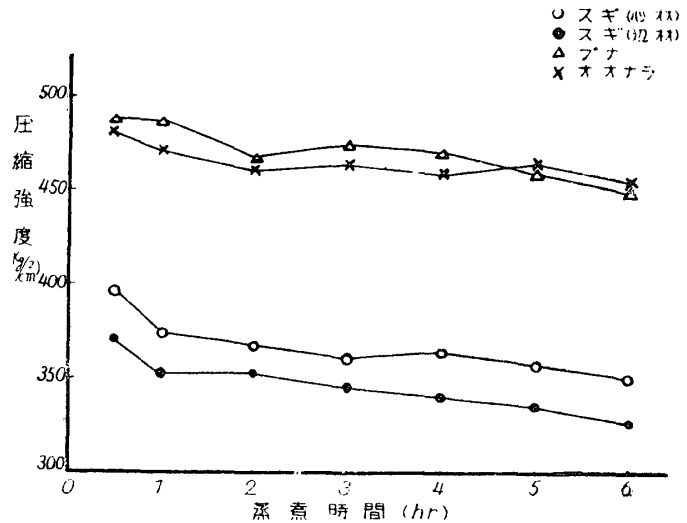
処理時間 (hr)	スギ (心材)		スギ (辺材)		ブナ		オオナラ	
	圧縮強度	素材に 対して の強度	圧縮強度	素材に 対して の強度	圧縮強度	素材に 対して の強度	圧縮強度	素材に 対して の強度
	(kg/cm ²)	減少率 (%)	(kg/cm ²)	減少率 (%)	(kg/cm ²)	減少率 (%)	(kg/cm ²)	減少率 (%)
0.5	390.0	10	371.4	16	489.2	5	481.5	8
1	372.4	16	352.2	20	487.4	5	472.5	9
2	368.2	17	353.3	20	468.1	9	460.0	12
3	360.4	19	344.4	22	474.0	8	466.8	11
4	362.7	18	340.1	23	470.1	8	461.9	12
5	358.2	19	338.4	24	459.1	10	460.0	12
6	350.1	21	328.9	26	450.0	12	455.0	13

Table 3 処理時間と圧縮弾性係数との関係

(Relation between treatment time and elastic modulus of compression of wood.)

処理時間 (hr)	スギ (心材) $\times 10^3$ (kg/cm ²)	スギ (辺材) $\times 10^3$ (kg/cm ²)	ブナ $\times 10^3$ (kg/cm ²)	オオナラ $\times 10^3$ (kg/cm ²)
0.5	8.43	7.84	16.6	16.7
1	7.51	7.64	15.4	15.8
2	7.52	7.11	14.6	14.0
3	7.30	6.96	15.0	13.4
4	6.84	7.15	12.8	10.2
5	6.13	6.83	13.5	11.5
6	7.01	6.69	12.1	9.9

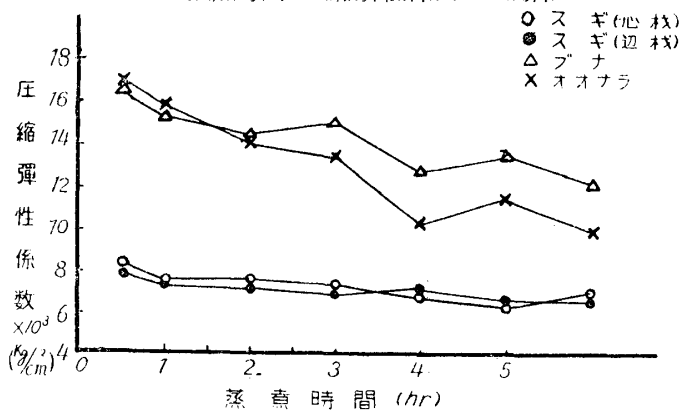
Fig. 4 蒸煮時間と圧縮強度との関係



3) 曲げ強度及び曲げ弾性係数

各樹種共処理時間の経過に従つて何れも曲げ強度は低下

Fig. 5 蒸煮時間と圧縮弾性係数との関係



する傾向を示した。(Fig 6, Table 4)。

6 時間処理後ではブナとオオナラについては樹種に依る著しい差異は認められないがスギ心材の低下は辺材に比して稍大きい。

スギ心、辺材のこの差異は恐らく心材の化学的成分 Kernstoff の変化に依存するものと考えられる。

Table 4 処理時間と曲げ強度との関係

(Relation between treatment time and bending Strength of wood.)

処理時間 (hr)	スギ (心材)		スギ (辺材)		ブナ		オオナラ	
	曲げ強度	素材に対しての強度	曲げ強度	素材に対しての強度	曲げ強度	素材に対しての強度	曲げ強度	素材に対しての強度
	(kg/cm ²)	減少率 (%)	(kg/cm ²)	減少率 (%)	(kg/cm ²)	減少率 (%)	(kg/cm ²)	減少率 (%)
0.5	643.2	11	654.9	10	1060.6	4	1109.9	8
1	570.9	21	654.0	10	986.6	11	1004.3	17
2	593.9	18	644.3	11	950.5	14	936.2	22
3	572.1	21	629.8	13	882.1	20	956.6	21
4	528.0	27	617.6	15	897.9	19	933.3	23
5	506.0	30	585.2	19	880.9	20	908.0	25
6	483.1	33	577.0	2	896.1	23	896.1	26

Fig. 6 蒸煮時間と曲げ強度との関係

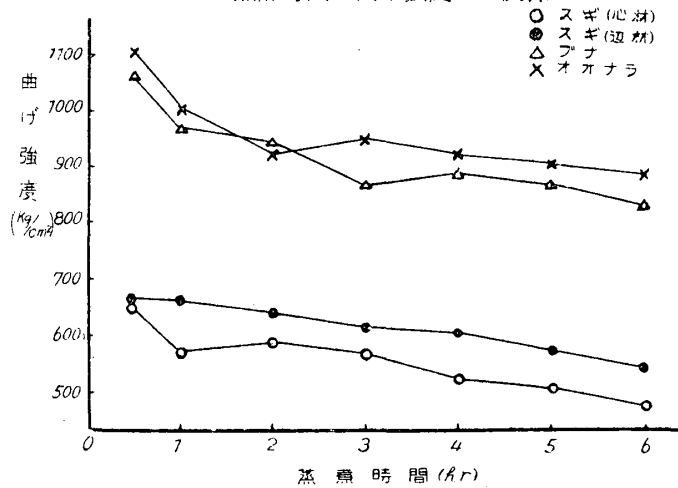


Fig. 7 蒸煮時間と曲げ弾性係数との関係

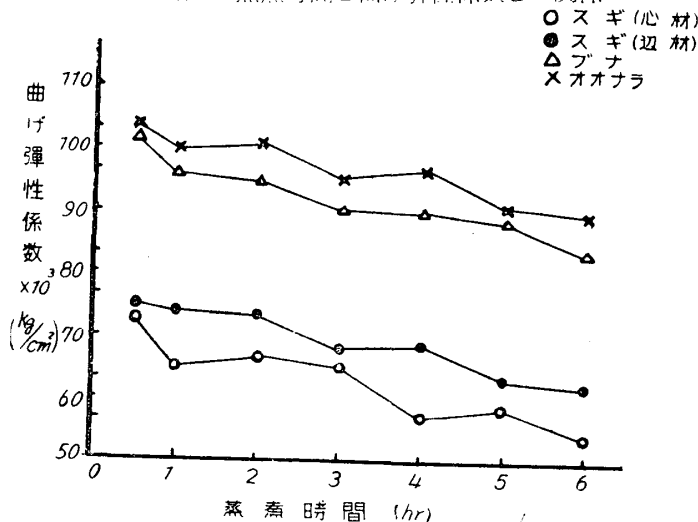


Table 5 処理時間と曲げる

弾性係数との関係

(Retation between treatment time and modulus of elasticity in bending of wood.)

処理時間 (hr)	スギ (心材) $\times 10^3$ (kg/cm ²)	スギ (辺材) $\times 10^3$ (kg/cm ²)	ブナ $\times 10^3$ (kg/cm ²)	オオナラ $\times 10^3$ (kg/cm ²)
0.5	72.0	75.8	102.3	103.7
1	65.2	74.4	97.4	100.0
2	67.7	74.3	96.5	100.3
3	65.2	67.5	91.5	95.7
4	57.3	69.0	90.2	97.6
5	58.2	64.5	89.4	91.6
6	54.2	62.2	84.2	87.2

又曲げ弾性係数は曲げ強度と同様に処理時間の経過に従って低下し (Fig 7, Table 5) 6 時間処理後の強度を30分のそれに比較するとオオナラ, ブナは約20%, スギ心材は約31%, 辺材は約23%低下することが認められる。

以上要するに圧縮強度, 圧縮弾性係

数, 曲げ強度, 曲げ弾性係数は何れも処理時間の経過に従って低下する傾向が認められる。

これは飽和蒸気の下で加熱することに依て木材の化学成分の変化特に Lignin-Kohlenhydrat の分解或は Cellulose OH 基の結合の分離に依る結晶領域の減少に帰着する様に思われる。その他木材中の Hemicellulose 特に Pentosan, Mannan の加水分解, Lignin の高熱及び水分に依る化学的変化などが材の脆弱化に寄与したものと考えられる。このことは F.Kollmann¹⁾ が Eschenholz を 0, 1, 2, 3 気圧で120分の蒸気処理を行つた際 100°C の蒸気処理では著しい材の分解は認められないが曲げ強度その他機械的強度が若干低下することを述べ又本田氏²⁾ も 100°C の高温処理に依り若干材の化学成分に変化を認め特に水分の存在に依り加水分解が著しく進行することを述べてることに依つても肯定できることである。

4) 破壊形状

圧縮及び曲げ強度共樹種に依り若干異なる破壊形状が認められたが蒸煮処理と破壊形状には特別な関係は認められなかつた。

5) 変色の程度

広葉樹特にブナでは30分の処理後、部分的に黒変が認められ時間の経過に従つてその程度は著しく又スギの心、辺材は本処理条件では変色は認められなかつた。

即ち Pentosan 含有量の多い広葉樹材は高熱と水分の作用の結果加水分解が進行し樹脂状物質等が生ずることに依るものと考えられる。又オオナラの著しい変色は Tannin 含有量に因るものと考えられる。

結 論

- 1 蒸煮中に於ける吸水率並びに体積膨脹率は各樹種共に増加し 100°C 蒸煮処理に於てスギは 2~2.5 時間後又ブナ、オオナラは 3~3.5 時間後繊維飽和状態に達した。尚6 時間処理後でも 30~32%で殆ど材内部に自由水の存在しないことが認められる。
- 2 圧縮強度並びに圧縮弾性係数は処理時間の経過と共に稍減少する傾向が認められた(Fig 4~5)。
- 3 曲げ強度並びに曲げ弾性係数は処理時間の経過と共に減少する傾向が認められる (Fig 6~7)。
- 4 材の破壊形状と蒸煮時間には一定の傾向が認められなかつた。
- 5 材の変色は広葉樹に於いて処理時間の経過と共に著しいことが認められた。

Résumé

We have studied on the effects of steaming upon the wood properties (especially bending and compression test). The wood used are Buna (*Fagus crenata* Blume), Ōnara (*Quercus crispula* Blume) and Sugi (*Cryptomeria Japonica* D. Don).

The results obtained are as follows.

- 1). The moisture content and the volumetric swelling of wood increases with duration of steaming.
- 2) The relationship between the compressive strength and the steaming is shown in Fig 4~5 and elastic modulus of compression decreases with duration of steaming.
- 3) The relationship between the bending strength and the steaming is shown in Fig 6~7 and the modulus of elasticity in bending decreases with duration of steaming.
- 4) About the relationship between the forms of failure and steaming, we could not found the significant tendency.
- 5) The colour of wood especially broadleaved tree changed by steaming.

文 献

- (1) F.Kollmann ; Holz als Roh-und Werkstoff 13d. 2.
- (2) 本田隆一 ; 加熱圧縮法に依る硬質繊維板製造に関する研究 (1951)
- (3) 中村源一 ; 日林誌 26, No, 33
- (4) 齊藤他 2 名 ; 木材工業 6, (1951).
- (5) 齊藤, 北原, 山崎 ; 日本林学大会講演集 (第61回)
- (6) 齊藤, 北原, 加納 ; 木材工業 7, (1952).
- (7) 山本晴之他 3 名 ; 木材工業 7, (1952)
- (8) 武田又哉 ; 卒業論文 (京大) (昭26)
- (9) 池田 ; 卒業論文 (京大) (昭16)