

- 研究 -

木質セメントボードの強度発現過程の研究

- 脱型・養生期間とボードの材質について -

板垣博一*	穴沢忠
北沢政幸	藤本英人
江畑進	山岸宏一

Studies on Appearance of Mechanical Properties of Wood-Cement Boards

- The relationship between the properties and
the time for declamping and setting -

Hiroichi ITAGAKI	Tadashi ANAZAWA
Masayuki KITAZAWA	Hideto FUJIMOTO
Susumu EHATA	Koichi YAMAGISHI

This paper aims to find the most suitable conditions for declamping and setting in manufacturing wood-cement boards from larch thinnings. The wood-cement boards were made with the time for declamping and setting varied so as to find how their mechanical properties were affected thereby.

The results are summarized as follows:

- (1) Boards clamped for 16 hours and set for 4 weeks had a density of about 1.1.
- (2) Boards clamped for 20 hours had a bending strength of 40kgf/cm² just after they were declamped, and 100kgf/cm² after one-week's setting.
- (3) Boards clamped for 18 hours and set for 2 weeks had a Young's modulus of 25×10^3 kgf/cm².
- (4) Boards clamped for 16 hours and set for 4 weeks had an internal bonding strength of 5.7kgf/cm².
- (5) The water-absorption of the boards tended to become smaller as the clamping time was lengthened.
- (6) The internal temperature of the boards exceeded 80 °C in 12 hours after they began to be clamped, and remained above 50 °C even in 48 hours.

In general, the board properties tended to improve as the boards were clamped and set for a longer time. In practical manufacture, however, it was found that 18 hours of clamping was enough to make their strength properties adequate for factory work, and that two weeks of setting was enough to make their properties suitable for marketing them.

カラマツ間伐材を原料とする木質セメントボードの適正な脱型、養生条件を見いだすことを目的とした。強制圧縮時間、養生期間の異なるボードを製造し、それらの時間及び期間中におけるボードの強度発現過程について検討した。

得られた結果を以下に示す。

- 1) ボード比重は16時間脱型、4週養生で約1.1を示した。
- 2) 曲げ強度は、20時間脱型ボードが脱型時に目標値である40kgf/cm²に達し、さらに1週養生後には同様に100kgf/cm²に達した。
- 3) 曲げヤング係数は18時間脱型、2週養生で 25×10^3 kgf/cm²に達した。
- 4) 内部結合力は、16時間脱型ボードが脱型時に3.0kgf/cm²を示し、4週養生後に5.7kgf/cm²に達した。
- 5) 吸水率は、脱型時間の長いボードほど小さくなる傾向にある。
- 6) ボードの内部温度は、圧縮開始後12時間で80℃を超え、48時間経過後も50℃以上の高温を維持している。

総じて強制圧縮時間、養生期間の長いボードほど強度、性能が向上する傾向にある。しかし実生産においては、18時間脱型で作業に必要な強度が、また2週養生で市販ボードとして必要な強度が得られることが分かった。

1. 緒言

本道の人工林面積は140万haで、そのうちの36%に当たる50万haをカラマツ人工林が占めている。カラマツ人工林の大部分は戦後植栽されたもので、～ 齢級の小・中径木の生育面積が全体の80%、39万haを占めており、間伐作業が急務とされている。しかしカラマツ間伐材の用途はパルプチップ、ダンネージ、梱包材等の付加価値の低い製品がほとんどで、そのため集運材作業に必要な経費を生み出すことも容易でないとわれ、間伐作業がなかなか進まないのが実状である。

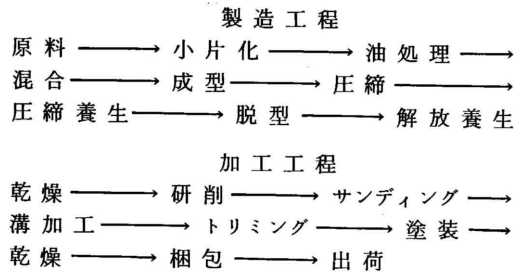
林産試験場ではカラマツ人工林の間伐作業の促進を図るため、間伐材の有効利用法の確立に努めてきた。カラマツの木質ボード類への利用という観点からは、構造用パーティクルボード、木質難燃ボード等の研究が進められ、その一環としてカラマツを原料とする木質セメントボードの製造技術の開発に着手してきた。木質セメントボードとは、木材小片をセメントをバインダーとして結合して製造する複合材料のことで、古くからその性能の良さが知られ、外壁材等に使用されている。近年の住宅産業の工業化、住宅の洋風化と共に乾式工法による外壁が広く普及しているが、木質セメントボードを含む窯業系サイディングボードはこの数年急激な成長を遂げ、全国の外壁材料総需要量10461万m²（昭和58年度）の25%、2640万m²を占める

に至っている。この窯業系の急上昇の傾向は特に本道において著しく、その占有率は70%、448万m²に達しており、59年度以降もさらに上昇し続けている¹⁾。

カラマツを木質セメントボードの原料とする上で、最大の問題点はセメントの硬化不良である。セメントは硬化する際に有機物の混入を極度に嫌うが、カラマツは水溶性の多糖類（主にアラビノガラクトン）を多く含み、それらがセメントの硬化を阻害することからこれまでボードの原料とすることは不可能とされていた。山岸らはカラマツ小片を特殊な油で処理し小片全体を油で覆うことにより、多糖類の溶出を抑えセメントの硬化を正常に進める技術を見いだした²⁾。さらに57年度にはカラマツセメントボードの製造技術を確立し、道内の民間企業に技術移転が行われた。そのなかで筆者らは適正な生産工程の設定のため、ボードの強度発現過程について検討を加えてきた。

第1図に木質セメントボードの生産工程を示したが、セメントボードが他の複合材料と異なることは、セメントの強度発現状況が合成樹脂等とは違い、一定の圧縮養生と解放養生とを必要とすることである。この圧縮養生期間（以下脱型時間と呼ぶ）、解放養生期間（以下養生期間とする）の設定は製造、加工工程での生産性、作業効率の高低に多大な影響をおよぼす。

脱型時間は製造工程での作業に必要なボードの初期



第1図 木質セメントボードの生産工程

強度を一定時間内に発現させるためのものである。この初期強度はセメントと水の十分な反応によって得られるが、そのためには圧縮状態で一定の反応温度を一定時間維持することが必要である。また養生期間は製品として使用上必要な強度を得るためのものである。これら脱型時間、養生期間の設定いかんによっては、ボードに十分な強度が得られず作業が円滑に進まない、工程期間が長くなる等の問題が生じてくる。したがってボードの実生産では脱型時間、養生期間におけるボードの強度発現過程を把握し、的確な脱型、養生条件を見いだすことが重要である。しかしながら木質セメントボードの強度発現過程は複雑で、これまでその状況を究明した報告はない。

本報はカラマツ間伐材を原料とするセメントボードを脱型時間を変えて製造し、脱型時及び養生期間におけるボードの材質測定から、適正なボードの脱型時間、養生期間の検討を行ったものである。その結果脱型、養生中の強度発現過程が明らかとなり適正な脱型、養生条件を見いだすことができたので、その詳細を報告する。なお、本報の一部は第19回日本木材学会北海道支部大会（昭和61年10月、札幌市）で発表した。

2. ボードの製造条件と材質試験方法

2.1 製造条件と脱型・養生条件

ボードの製造条件を以下に示す。

水/セメント重量比	3/5
木/セメント重量比	1/3
リン酸エステル添加率（対木質重量）	5%
塩化マグネシウム添加率 （対セメント重量）	3%

原料はカラマツフレークで大きさが50mm（長さ）×0.4mm（厚さ）、含水率が100%である。セメントには普通ポルトランドを用い、硬化不良防止剤としてリン酸エステルを噴霧混合処理し、また凝結促進剤として塩化マグネシウムを添加処理した。製造に際しては混合、成型、養生の各条件を一定にして行った。このような条件設定で脱型時間を2～24時間まで、2時間ずつ変えたボードを製造し、脱型直後の強度を測定した後それらのボードを1～4週間、25℃、65%RHの恒温恒湿室で解放養生し、各週ごとの材質試験に供した。

2.2 材質試験方法

ボードの測定項目は以下のとおりである。

比重

曲げ強度、曲げヤング係数

内部結合力 - はく離抵抗

吸水率

ボードの内部温度

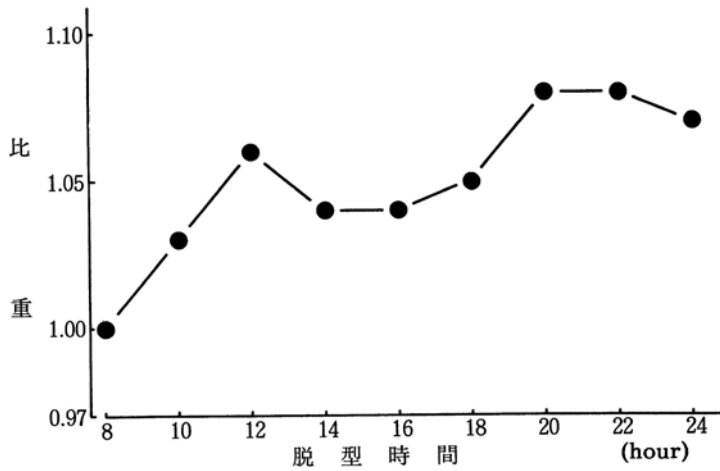
曲げ試験片の大きさ28cm（長さ）×5cm（幅）、はく離、吸水試験片は5cm×5cmである。はく離試験は試験片の両面に鉄製アタッチメントをエポキシ樹脂で接着し、容量500kgfのオルゼン型試験機によりクロスヘッド速度10mm/minで行い、内部結合力を求めた。ボードの内部温度の測定には200cm×100cmの実大サイズを用い、圧縮開始直後から2時間ごとに64時間にわたって圧縮及び解放養生中の材温を測定した。

なお、脱型時間が2～6時間のボードはセメントの硬化が不十分であったため脱型破壊を起こし、上記の測定は不可能であった。

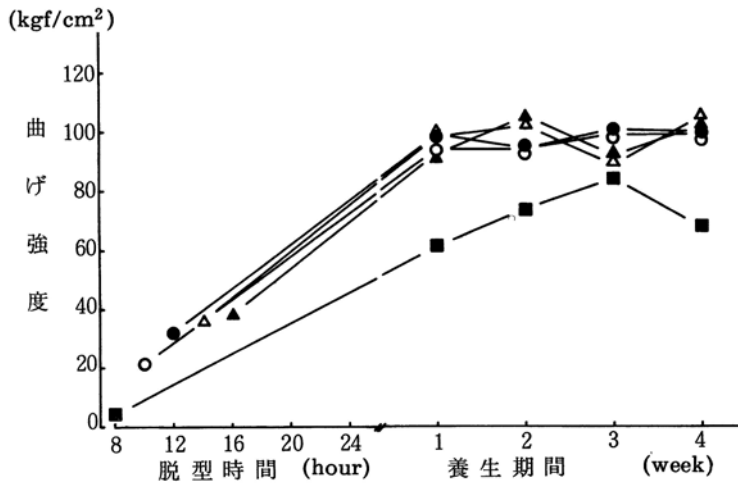
3. 試験の結果と考察

3.1 比重

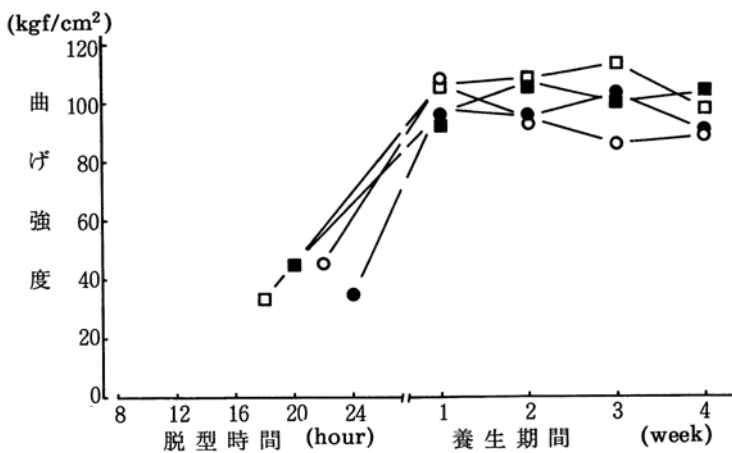
第2図に脱型時間と4週養生のボード比重との関係を示した。相対的に脱型時間が長いほど、比重が高くなっている。このことは圧縮時間が長くなるほど、強固なボードになることを意味している。しかし脱型時間が20時間以降比重は一定し、安定したボード比重となっている。したがって比重から見た場合、20時間の



第2図 脱型時間と比重の関係 (4週間養生)



第3-1図 曲げ強度の発現状況



第3-2図 曲げ強度の発現状況

圧縮が必要ということになる。

図に示した比重は、4週養生直後の気乾状態のボードから測定したものである。前述したが混合、成型及び養生条件はすべて一定であるので、各々の比重の差はボードの厚さかあるいは結合水の量に起因していると推定される。しかしボードの厚さについては、脱型時間の長さによる変化は見られなかった。したがってセメントに含まれる結合水の量が比重の大小に影響する最大の因子となる。

ところでセメントは硬化する際に水を取り込みながら結晶を形成し、結晶の成長によってセメント自体の強度を徐々に増していく³⁾。しかし脱型時間が20時間まで比重が上昇していることから、それ以前にはまだセメント内に十分な結合水が取り込まれておらず、結晶の成長が不十分であると考えられる。そのため自由水が4週間の養生過程で徐々に蒸発し比重が小さくなったものと思われる。

3.2 曲げ強度、曲げヤング係数

実生産においては、脱型後のボードの移送は種々の機械によって行われるが、その際にボードには曲げ、

はく離等の力がかかる。そのため各工程でのボードの強度に一定以上の値が必要であり、脱型時にはその機械的な作業から曲げ強度として最低40kgf/cm²を、また解放養生の際には運搬等の作業から100kgf/cm²程度を必要とする⁴⁾。

第3-1, 3-2図に曲げ強度の発現状況を示した。まず脱型時間との関係から見てみると、8~14時間までは、脱型時の曲げ強度が5~36kgf/cm²と不十分である。16時間脱型時でほぼ40kgf/cm²に達し、それ以降は一定とみなせる。したがって脱型時の曲げ強度からは16時間以上の圧蹄が適当と言える。次に養生期間との関係であるが、1週目まで曲げ強度は上昇しそれ以降はほぼ一定に推移している。8時間脱型のボードを除くと、1週で100kg/cm²前後に達していることから、1週養生で2次加工工程に移行できると思われる。以上から、曲げ強度からは脱型時間16時間、養生期間1週間が適正な条件といえることができる。

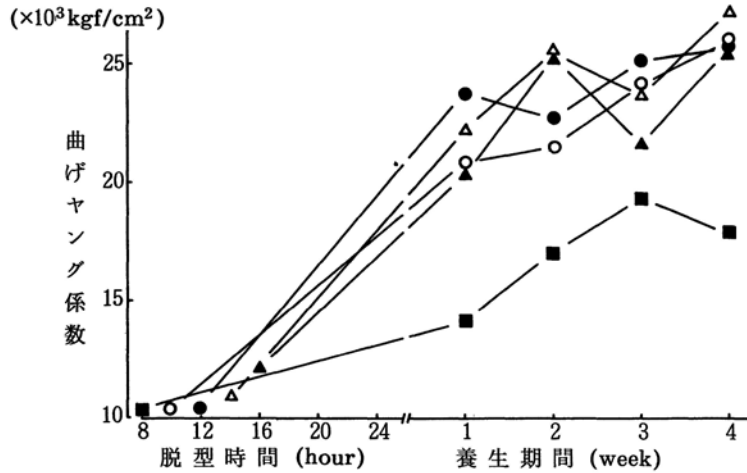
第4-1, 4-2図に曲げヤング係数の変化を示した。曲げヤング係数の挙動は曲げ強度のそれに類似しているが、一定状態になるまでの時間が曲げ強度に比べて若干長い。また曲げヤング係数は2週目までは直線的に上昇し25×10³kgf/cm²付近に到達し、その後も緩やかな上昇を続けている。このことはセメントの結晶化が2週目まで比較的速く進行し、それ以降も徐々にではあるが進んでいること

を意味している。

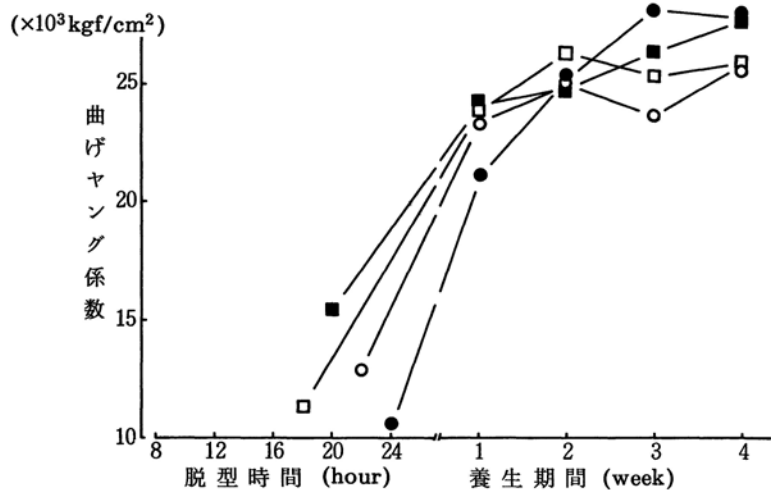
実生産では前述したものと同一理由から25×10³kgf/cm²以上必要であるので、曲げヤング係数でみると脱型時間18時間、養生期間2週間以上が適正な条件と言える。

3.3 内部結合力

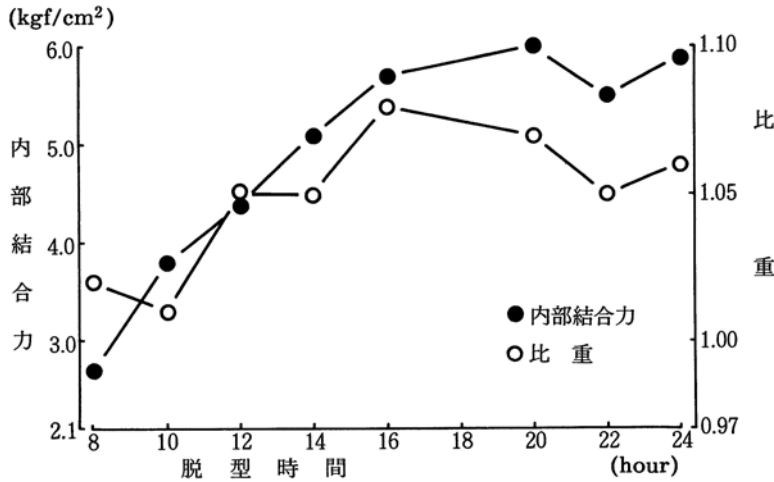
木質セメントボードの強度はセメントと木材の結合、セメントの結晶化、木質同士の絡みあいによって生じる。特に内部結合力については圧縮養生段階で十分に反応条件を維持することが大切で、それにより適正値が得られる。



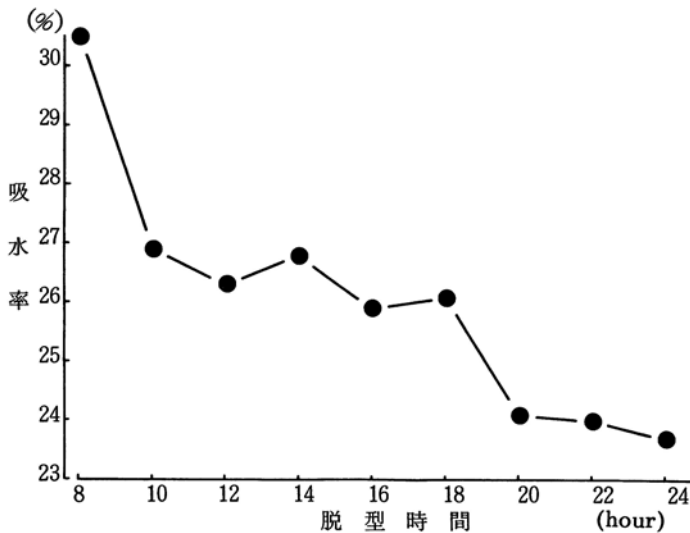
第4-1図 曲げヤング係数の発現状況



第4-2図 曲げヤング係数の発現状況



第5図 脱型時間と内部結合力及び比重との関係（4週養生）
注）18時間脱型ボードについては不適当な数値であったため除外した。



第6図 脱型時間と吸水率の関係（4週養生）

第5図に脱型時間と内部結合力（4週養生）の関係を示した。内部結合力は8～16時間まで直線的な上昇を示し、16時間脱型ボードでは5.7kgf/cm²と8時間の2.7kgf/cm²に比べて2倍以上になっている。圧縮解放直後の内部結合力は8時間脱型で0.5kgf/cm²、16時間脱型で3.0kgf/cm²程度であることから、解放後の8～16時間にセメントと水の反応が急速に進行し、それに伴いセメントの硬化も一段と進み、さらにはボードの内部結合力も飛躍的に上昇するものと推定される。また第5図には比重の変化も示したが、その挙動は内

部結合力のそれと非常に類似している。

脱型時間が16時間以降はほぼ一定に推移している。内部結合力は実生産においては5.5kgf/cm²以上必要であるから脱型時間は16時間以上が適正な条件ということになる。

3.4 吸水率

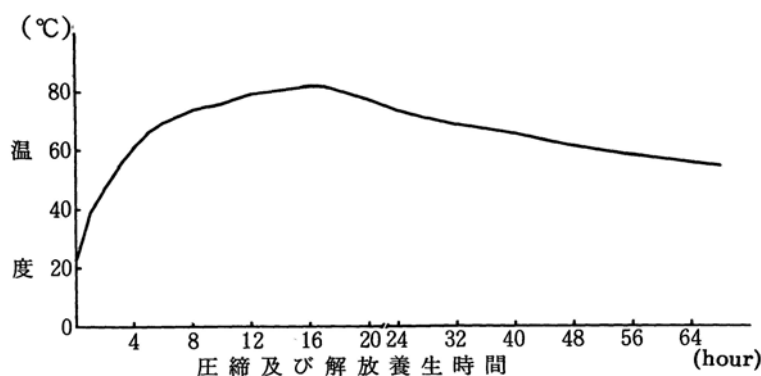
第6図に脱型時間と吸水率（4週養生）の関係を示した。相対的に脱型時間が長くなるほど、吸水率が小さくなる傾向にある。8～10時間まで急減し、以後10～18時間まで漸減し、18～20時間でまた急減した後ほぼ一定となっている。同図には示していないが、比重の変化は吸水率のそれと全く逆の挙動を示しており、相関係数を求めてみたところ絶対値で0.95と高く、両者に密接な関係があることを示している。

3.5 ボードの内部温度

第7図は実大サイズのボー

ドを用い、圧縮養生から解放養生までの内部温度の変化を示したものである。混合物の温度が20℃、外気温が20℃の条件では圧縮開始から4時間経過すると60℃、12時間で80℃となりさらに17時間後に最高温度82℃を記録した。セメントは水と接触すると反応熱を発生することから、混合直後から急激な反応が起こり、それが著しく増大し大量の反応熱が放出されるものと推定される。

17時間経過後脱型し解放養生に移行したが、移行後もボードの温度は下がらず、24時間経過後で64℃、48



第7図 実大ボードの内部温度の変化

時間後で54°Cと依然高温を維持している。このことは前述した反応の余熱のみならず、セメントと水がまだ反応し続けていることを示している。

4. まとめ

本研究は木質セメントボードの材質、強度が圧縮養生、解放養生の際にどのような変化を示すのか、また適正な脱型時間、養生期間の設定について検討を加えたものである。その結果次のことが明らかになった。

- 1) 安定したボード比重を得るためには脱型時間が長い方が有利であり、20時間程度必要である。
- 2) 脱型時及び解放養生時の曲げ強度からみた場合、脱型時間16時間以上、養生期間1週間以上が必要である。
- 3) 曲げヤング係数からは、脱型時間が18時間以上、養生期間が2週間以上必要である。
- 4) 内部結合力からは、脱型時間が16時間以上必要である。
- 5) 吸水率は、脱型時間が長くなるほど小さくなり、比重とは良好な負の相関関係にある。

- 6) 混合物の温度が20°C 外気温が20°Cの条件では、ボードの温度は圧縮養生開始後12時間で80°Cを超え、48時間経過後も50°C以上の高温を維持しており、セメントと水の反応は急速でしかも長期間に及ぶことが認められる。

さらにこの結果を総合的に判断すると脱型時間は18時間、養生期間は2週間程度が適正であると言える。

以上、木質セメントボードの強度発現過程が明らかになり、最適脱型、養生条件を見いだすことができたと考える。

文 献

- 1) 産業統計研究所：住宅外壁市場の全調査（昭和59年発行）
- 2) 山岸宏一ほか12名：林産試験場研究報告，第74号，（1985）
- 3) 高木茂栄：化学，Vol. 4，270（1976）
- 4) 北海道立林産試験場ほか：北海道共同研究報告書，（1980）

—* 浦河林務署—
 （前木材部 改良木材科）
 —木材部 改良木材科—
 （原稿受理 昭62. 5. 13）