

ゴム・木質チップマットの着火性

菊地 伸一 大官 康則*¹ 山岸 宏一*²

Ignitability of a Rubber-Wood Chip Mat

Shin'ichi KIKUCHI Yasunori OHMIYA*¹ Kouichi YAMAGISHI*²

A rubber chip mat and rubber-wood chip mat were manufactured by mixing rubber chips, wood chips and isocyanate resin. These mats were treated with various fire retardants including of halogenated compounds to improve their fireproof performance. The fireproof performance of these mats was evaluated by the ISO ignitability test. The results were as follows :

- 1) The ignition times of these mats increased linearly with increases in specific gravity.
- 2) The ignition temperature of the fire retardant rubber chip mat was 340~380°C when the irradiance level was 20kW/m², 350~390°C at 25 and 30kW/m², and 360~400°C at 40kW/m².
- 3) A brominated aromatic compound was effective for preventing the ignition of the rubber chip mat.
- 4) Brominated aromatic triazine and the brominated aromatic compound were effective for preventing ignition of the rubber-wood chip mat. However, they were less effective than with the rubber chip mat.

Keywords: irradiance, ISO ignitability test, ignition temperature, fire retardant, halogenated compound
輻射, ISO着火性試験, 着火温度, 難燃剤, ハロゲン化合物

ゴムチップおよび木質チップを混合・成形し、ゴムチップマットおよびゴム・木質チップマットを試作した。また、これらのマットの難燃性を向上させるためハロゲン系難燃剤を添加した。防火性能はISO着火性試験で評価した。

- 1) ゴムチップマットは比重が大きくなるほど着火時間が長くなった。
- 2) ゴムチップマットの着火温度は、輻射量20kW/m²では340~380°C、輻射量25および30kW/m²では350~390°C、輻射量40kW/m²では360~400°Cの範囲にあった。
- 3) ゴムチップマットに対して、臭素化芳香族化合物が着火遅延効果を示した。
- 4) ゴム・木質チップマットに対しては、臭素化芳香族トリアジン系難燃剤および臭素化芳香族化合物系難燃剤が着火遅延効果を示した。しかし、いずれもゴムチップマットに対する性能を下回るものであった。

1. はじめに

ゴムチップと木質チップとを原料とする成形マット（以下、ゴム・木質チップマット）について、床下地材として用いた場合の床衝撃遮音性能^{1,2)}、床弾力性³⁾などが検討されてきた。また、そのクッショ

ン性を生かした通路資材としての可能性も検討されている。これら床用部材として用いる場合には、建築基準法による防火制限は受けない。

しかし、ゴムの発熱量は約11,000cal/g⁴⁾で木質系材料の約3倍大きく、着火後にはその熱分解を中断

させるのが難しいとされている⁵⁾。また、タイヤに用いられているスチレンブタジエンゴムは、クロロブレンゴムなどに比べ難燃性が劣るとされている⁴⁾。これらのことから、初期火災以降の建築物内部の火災拡大においてゴム・木質チップマットの火災危険性は無視できないと考えられる。このため、ゴム・木質チップマットの燃焼特性を把握し、難燃化手法を考慮しておく必要がある。

ゴム系材料の燃焼性は、電線やケーブルに使用されたときに問題となる。特にケーブル火災ではその被害・影響が広範囲に及ぶことから、難燃ケーブルが開発・実用化されてきている⁶⁾。また、鉱山などで使用されるコンベアベルトのカバーゴムも難燃化が進められている⁷⁾。これらは、JIS K 6324, ISO 340等で試験され、材料の自己消火性が評価される。しかし、ゴムチップマットが建築材料として使用される場合、その燃焼特性は建築火災の進展段階に応じた試験方法によって評価される必要がある⁸⁾。そこで、ゴム・木質チップマットの防火安全性を、火災初期の燃焼拡大に重要な意味を持つ着火性で評価した。また、ゴム・木質チップマットの難燃性を向上させるための予備的な検討を行った。

2. 実 験

2.1 供試体

供試体は、ゴムチップを成形したゴムチップマット、およびゴムチップに木質チップをマット全体の約10%（重量比）混合したゴム・木質チップマットである。用いたゴムチップは廃タイヤを原料とする粒度5～16メッシュのもの、木質チップは木材の粉碎物で粒度5～16メッシュのものである。接着剤には水分硬化型イソシアネート系樹脂を用いた。

ゴムチップマットの難燃処理には第1表に示す8種類の難燃剤を、ゴム・木質チップマットには4種類の難燃剤を用いた。難燃剤の添加量はマット重量に対して3%または5%とした。

2.2 着火性試験方法

供試体マットの着火性は、ISO 5657⁹⁾に準拠した着火性試験装置を用いて評価した。この試験は、水平上向きに保持した試験体を円錐型輻射ヒーターを用いて一定の輻射熱で加熱しながら、試験体に一定間隔でパイロットフレームを近づけ、熱分解ガスが着火するまでの時間を測定するものである。供試体に対する輻射熱は1.5, 2, 2.5, 3, 4W/cm²の5段階とした。着火時間は、4秒以上の持続する燃焼が開始した時間と定義され、4秒以下の炎はフラッシュ

第1表 難燃剤の種類

Table 1. The kind of fire retardants used for the rubber chip mat.

難燃剤の種類 Kinds of the fire retardant	組成 Formation	分解点 Decomposition point (%)	ハロゲン含有率 Halogen contents (%)	リン含有率 Phosphorus contents (%)
A	臭素化フェニルアルキルエーテル Brominated phenylalkyl ether	333	50以上	0
B	ハロゲン含有リン酸エステル Halogens containing phosphate	282	40以上	5.5以上
C	ハロゲン含有リン酸エステル Halogens containing phosphate	272	36.4	10.8
D	臭素化脂環族化合物 Brominated alicyclic compound	265以上	72以上	0
E	臭素化芳香族トリアジン Brominated aromatic triazine	420以上	65以上	0
F	臭素化芳香族化合物 Brominated aromatic compound	280以上	80以上	0
G	塩素・臭素化芳香族化合物 Chlorinated and brominated aromatic compound	310以上	49以上	0
H	塩素・臭素化芳香族化合物 Chlorinated and brominated aromatic compound	327	65以上	0

とされる。加熱時間はISO 5657に定められているとおり15分とし、15分で着火しない場合は未着火とした。

さらに、供試体表面温度を赤外線放射温度計で測定した。赤外線放射温度計による供試体表面温度の測定はコーン型ヒーターと供試体マスキング板のすき間からおこない、測定位置はパイロットフレームの影響を避けるため中央から約20mm離れた位置を中心とするおおよそ20×20mm程度の範囲とした。赤外線放射温度計には、測定波長8～14μm、測定温度範囲-50～1000℃のものを用いた。放射率は1とした。

着火性試験は、各供試体について3～5回繰り返した。

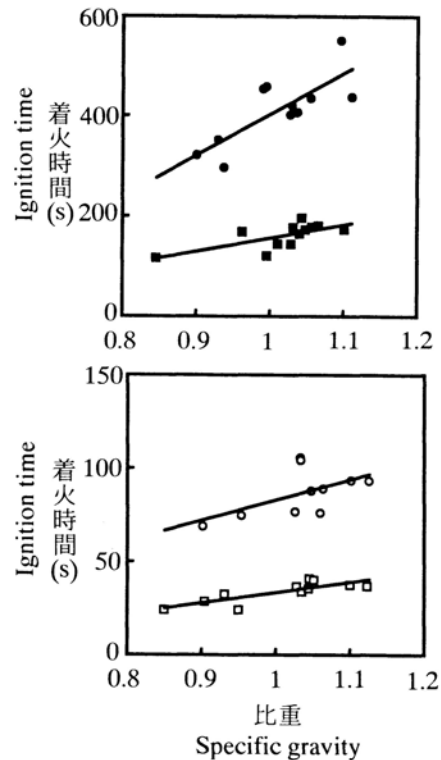
3. 結 果

3.1 ゴムチップマットの着火時間

ゴムチップマットの比重と着火時間の関係を、輻射量20～40kW/m²について第1図に示した。なお、輻射量15kW/m²では、15分加熱後も着火しなかった。木材の比重と着火時間の関係¹⁰⁻¹²⁾と同じように、ゴムチップマットも比重が大きくなるほど着火時間が長くなった。

固体表面での着火は、加熱された表面がその材料固有の一定温度になったとき起きると仮定するケースが多い。このとき、材料表面から失われる熱量は表面温度と外気温の差に比例する、熱伝導率、比重、比熱は着火温度まで変化しない、などを仮定した場合、着火時間と比重とは直線的な相関関係を取ることが知られている。ゴムチップマットの着火特性も、これまで知られている固体表面の着火特性にほぼ類似する挙動を示した。

輻射量30kW/m²で加熱された比重約0.8のカバ材の着火時間は約200秒、比重約0.7のタモ材の着火時間は約150秒である¹³⁾。輻射量30kW/m²の場合、比重0.9～1.1のゴムチップマットは70～100秒程度と、木材の半分程度の加熱時間で着火した。また、輻射量25、40kW/m²で加熱した場合も、ゴムチップマットの着火時間は木材の1/2程度であった。



第1図 ゴムチップマットの比重と着火時間の関係
凡例：●：輻射量 20kW/m² ■：輻射量 25kW/m²
○：輻射量 30kW/m² □：輻射量 40kW/m²

注：比重と着火時間の相関関係

輻射量 20kW/m ²	r=0.78
輻射量 25kW/m ²	r=0.70
輻射量 30kW/m ²	r=0.57
輻射量 40kW/m ²	r=0.82

Fig.1. Relationship between the specific gravity of the rubber chip mat and the ignition time.

Legend: ●: Irradiance 20kW/m² ■: Irradiance 25kW/m²
○: Irradiance 30kW/m² □: Irradiance 40kW/m²

Note: Correlation coefficient of specific gravity and the ignition time

Irradiance 20kW/m ²	r=0.78
Irradiance 25kW/m ²	r=0.70
Irradiance 30kW/m ²	r=0.57
Irradiance 40kW/m ²	r=0.82

3.2 難燃ゴムチップマットの着火時間および着火温度

このように、ゴムチップマットは木材よりも易燃性であることが示された。そこで、難燃剤添加による難燃性の改良を試みた。難燃剤には、不燃性ガスによる希釈効果およびラジカルの補足による連鎖反応阻止作用を有する市販のハロゲン系薬剤を用いた(第1表)。難燃ゴムチップマット供試体は比重が1.0となるようにゴムチップ、難燃剤および接着剤を配合した。しかし、用いた難燃剤が可塑性を持つことから、得られた供試体の比重は0.8～1.0の範囲にあった。

難燃ゴムチップマットの着火時間を第2表に示した。難燃処理していないゴムチップマットで示されたように、着火時間は比重の影響を大きく受ける。したがって、添加難燃剤の種類によって比重が異なる供試体を評価した第2表の結果から、難燃剤の優劣を直接比較することはできない。そこで、供試難燃ゴムチップマットと同じ比重を持つ無処理ゴムチップマットが示すであろう着火時間を第1図から計算し、それらを比較して難燃効果を検討した。

着火時間の抑制効果の比較結果を第2表に変化率として示した。この変化率とは、難燃処理ゴムチップマットが示した着火時間の変化量と難燃処理していないゴムチップマットの着火時間との比である。すなわち、この数値が大きいほど難燃効果が優れていると判断できる。加熱の強さによって、各難燃剤の効果は一部異なるが、臭素化芳香族化合物の難燃剤Fがどの加熱強度でも比較的優れた着火遅延効果を示し、30%程度着火が遅くなった。ついで、ハロ

ゲン含有リン酸エステルの難燃剤B、臭素化芳香族トリアジンの難燃剤Eがそれぞれ20%程度の着火遅延効果を示した。このような着火抑制効果を示した難燃剤では、添加量3%と5%とで有意な差は示されなかった。

臭素化フェニルアルキルエーテルの難燃剤Aおよびハロゲン含有リン酸エステルの難燃剤Cの着火抑制効果は10%程度であった。難燃剤Cは難燃剤Bと同様のハロゲン含有リン酸エステルであるが、遅延効果は難燃剤Bの約半分であった。難燃剤Bは臭素、難燃剤Cは塩素系の化合物であり、このようなハロゲンの違いが影響していると考えられる。

臭素化脂環族化合物の難燃剤D、塩素・臭素化芳香族化合物の難燃剤G、塩素・臭素化芳香族化合物の難燃剤Hは、添加量が5%になると着火抑制効果が失われた。また、加熱条件によっては無処理ゴムチップマットより早く着火する場合もあり、十分な着火抑制効果が示されなかった。

第2表 難燃剤添加ゴムチップマットの着火時間
Table 2. The ignition time of the rubber chip mat with fire retardants.

難燃剤 Kinds of fire retardant	輻射量(kW/m ²) Irradiance		20		25		30		40		平均変化率 ²⁾ Average Changing rate
	添加量 Content (%)	比重 Specific gravity	着火時間 Ignition time (s)	変化率 ¹⁾ Changing rate (%)	着火時間 Ignition time (s)	変化率 ¹⁾ Changing rate (%)	着火時間 Ignition time (s)	変化率 ¹⁾ Changing rate (%)	着火時間 Ignition time (s)	変化率 ¹⁾ Changing rate (%)	
A	3	0.83	304.3	14.9	126.3	11.0	72.3	12.6	28.4	21.9	15.1
B	3	0.91	343.3	3.1	179.4	35.0	83.2	14.1	37.1	31.1	20.8
	5	0.92	353.1	-3.6	172.9	33.0	81.9	11.9	36.5	33.2	18.6
C	3	0.90	342.1	4.1	152.6	15.5	72.8	2.4	34.4	26.0	12.0
D	3	0.96	350.6	-3.4	181.1	24.0	86.6	10.5	39.4	26.7	14.4
	5	0.95	367.2	-2.3	146.2	3.5	77.2	0.1	34.6	13.4	3.7
E	3	0.96	366.7	1.6	188.8	25.6	94.7	20.3	38.1	22.1	17.4
	5	0.99	438.1	8.9	176.2	15.8	111.3	37.7	41.8	29.0	22.9
F	3	0.91	378.7	19.5	161.8	25.0	111.5	51.1	37.7	34.6	32.6
	5	0.91	384.4	15.7	131.9	1.5	109.9	48.5	41.4	47.9	28.4
G	3	0.94	318.6	-6.5	156.8	13.8	78.2	1.0	36.9	20.2	7.1
	5	0.91	347.0	3.4	133.6	2.5	68.8	-4.6	30.1	8.3	2.4
H	3	0.89	348.3	10.2	151.8	19.3	70.2	-0.4	31.4	16.3	11.4
	5	1.90	340.6	7.5	160.1	20.3	63.2	-11.5	27.9	1.8	4.5

1): 変化率=(FRTig-COTig)/COTig×100

COTig=難燃処理していないゴムチップマットの着火時間

FRTig=難燃処理ゴムチップマットの着火時間

2): 平均変化率: 20, 25, 30, 40kW/m²における各着火時間変化率の平均

1): Changing rate=(FRTig-COTig)/COTig×100

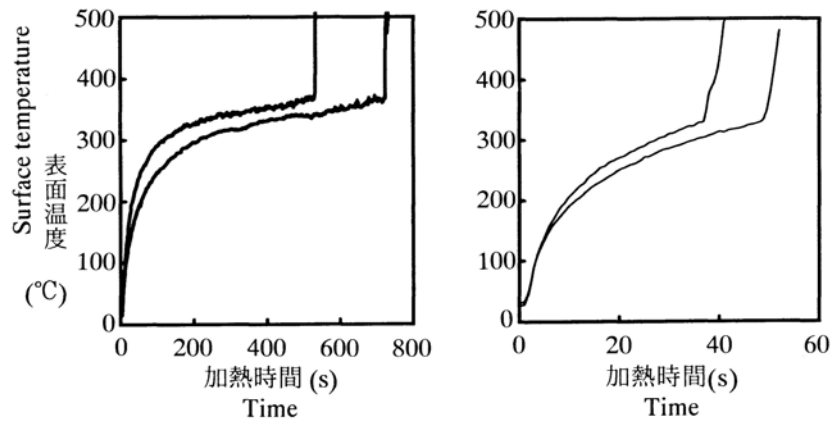
COTig=Ignition time of rubber chip mat without fire retardants

FRTig=Ignition time of rubber chip mat with fire retardants

2): Average changing rate: Average of changing rate of ignition time at 20, 25, 30, 40kW/m²

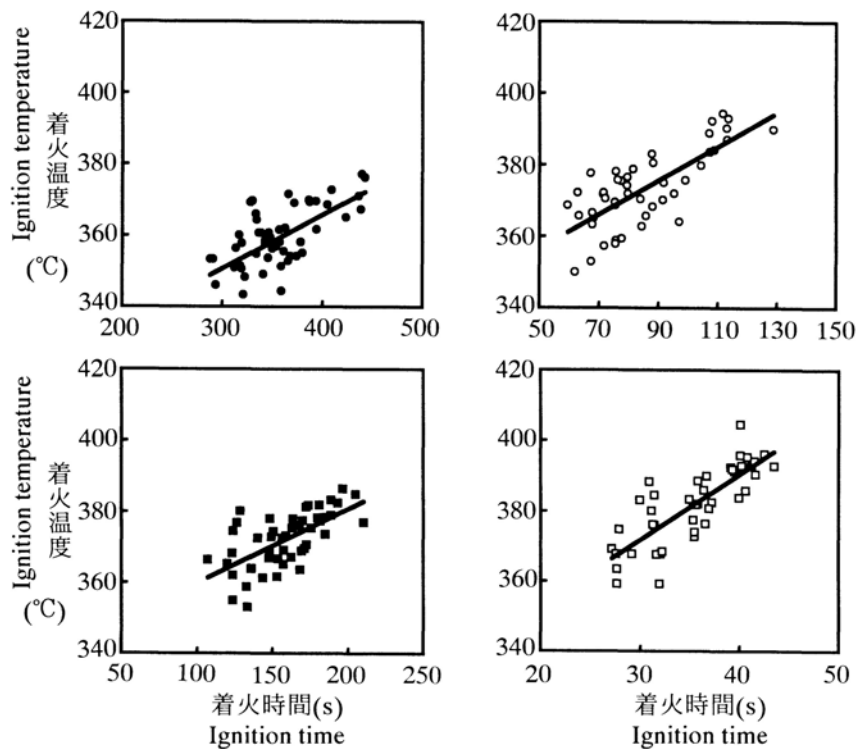
輻射熱を受けた供試体表面温度の経時変化の一例を第2図に示した。輻射量20, 30kW/m²の場合とも、表面温度は加熱初期に急上昇し、その後も漸増を続

け、ある臨界温度を超えたときに着火しているように思われる。第2図で、表面温度が急上昇するときの温度を着火温度とし、着火時間とその時の着火温



第2図 加熱を受けたゴムチップマットの表面温度変化
 凡例：———：輻射量 20kW/m²
 ———：輻射量 30kW/m²

Fig.2. The examples of the change in the surface temperature of the heated rubber chip mat
 Legend : ——— : Irradiance 20kW/m²
 ——— : Irradiance 30kW/m²



第3図 難燃処理したゴムチップマットの着火時間と着火温度の関係

凡例：●：輻射量20kW/m²；■：輻射量25kW/m²；○：輻射量30kW/m²；□：輻射量40kW/m²
 注：着火時間と着火温度の相関係数：輻射量20kW/m²，r=0.65；輻射量25kW/m²，r=0.65；輻射量30kW/m²，r=0.75；輻射量40kW/m²，r=0.81

Fig.3. Relationships between the ignition time and the ignition temperature of fire retardant rubber chip mat.
 Legend : ● : Irradiance 20kW/m² ; ■ : Irradiance 25kW/m² ; ○ : Irradiance 30kW/m² ; □ : Irradiance 40kW/m²
 Notes : Correlation coefficient of the ignition time and the ignition temperature : Irradiance 20kW/m², r=0.65 ; Irradiance 25kW/m², r=0.65 ; Irradiance 30kW/m², r=0.75 ; Irradiance 40kW/m², r=0.81

第3表 難燃剤添加ゴム・木質チップマットの着火時間
Table 3. The ignition time of the rubber-wood chip mat with fire retardants.

輻射量Irradiance(kW/m ²)		25		30		40		平均変化率 ²⁾ Average Changing rate (%)
難燃剤 Kinds of fire retardant	添加量 Content (%)	着火時間	変化率 ¹⁾	着火時間	変化率 ¹⁾	着火時間	変化率 ¹⁾	
		Ignition time	Changing rate	Ignition time	Changing rate	Ignition time	Changing rate	
		(s)	(%)	(s)	(%)	(s)	(%)	
B	3	180.4	1.7	98.1	-9.4	38.8	-8.0	-5.2
C	3	189.8	7.0	120.3	11.1	45.4	7.5	8.5
E	3	206.6	16.4	124.8	15.2	46.6	10.4	14.0
F	3	203.1	14.5	123.8	14.3	50.1	18.6	15.8
コントロール Control		177.4		108.3		42.2		

1): 変化率=(RTig-COTig) / COTig×100

COTig=難燃処理していないゴム・木質チップマットの着火時間

FRTig=難燃処理ゴム・木質チップマットの着火時間

2): 平均変化率: 25, 30, 40kW/m²における各着火時間変化率の平均

1): Chanbing rate=(FRTig-COTig) / COTig×100

COTig=Ignition time of rubber wood chip mat without fire retardants

FRTig=Ignition time of rubber wood chip mat with fire retardants

2): Average changing rate : Average of changing rate of ignition time at 25, 30, 40kW/m²

度との関係を第3図に示した。どの加熱強度においても着火するまでの時間が長くなるほど着火温度が高くなる傾向が示された。

難燃処理ゴムチップマットの着火温度は、輻射量20kW/m²では340～380℃、輻射量25および30kW/m²では350～390℃、輻射量40kW/m²では360～400℃の範囲にあった。今回と同じ方法で木材を加熱した場合、輻射量20kW/m²では360～440℃、輻射量30, 40kW/m²では300～360℃程度の着火温度を示した¹³⁾。このように、着火温度はゴムチップマットのほうが高くなる傾向が示された。輻射量20kW/m²で木材の着火温度が顕著に高いのは、炎を出さずに燃焼する赤熱が供試体表面に生じるためであると考えられる。

3.3 ゴム・木質チップマットの着火時間

ゴムチップマットに対する着火抑制効果の結果から、難燃剤B, C, E, Fで処理したゴム・木質チップマットを試作し、着火性試験に供した。難燃剤添加量はすべて3%とした。ゴム・木質チップマットの着火時間および難燃処理していないゴム・木質チップマットの着火時間に対する変化率を第3表に示した。

ハロゲン含有リン酸エステルの難燃剤BまたはCで処理した供試体の着火時間は、難燃処理しない供試体より短いか、または変化率で10%以下の着火抑制効果であった。臭素化芳香族トリアジンの難燃剤Eおよび臭素化芳香族化合物の難燃剤Fの着火抑制効果は、10～20%であった。いずれもゴムチップマットに対する着火抑制の効果を下回るものであった。

このように、ゴム・木質チップマットに対する各難燃剤の着火抑制効果は大きいものではなかった。しかし、木質チップを混合すると、同程度の比重を持つゴムチップマットより20%程度着火時間が長くなることから、ゴムチップだけで構成されるマットより防火安全性は全体的に向上した。

4. まとめ

ゴム・木質チップマットの防火安全性を、火災初期の燃焼拡大に重要な意味を持つ着火性で評価した。また、ゴム・木質チップマットの難燃性を向上させるための予備的な検討を行った。

- 1) ゴムチップマットは比重が大きくなるほど着火時間が長くなった。
- 2) ゴムチップマットには、臭素化芳香族化合物の難

燃剤がどの加熱強度でも比較的優れた着火遅延効果を示した。

- 3) ゴムチップマットの着火温度は、輻射量20kW/m²では340～380℃、輻射量25および30kW/m²では350～390℃、輻射量40kW/m²では360～400℃の範囲にあった。
- 4) ゴム・木質チップマットには、臭素化芳香族トリアジン系難燃剤および臭素化芳香族化合物系難燃剤が着火遅延効果を示した。
- 5) 難燃剤の着火遅延効果は、ゴムチップマット>ゴム・木質チップマットであった。

文 献

- 1) 大沢清志 ほか4名：林産試験場報，5(2)，14-17(1991)。
- 2) 大沢清志，大宮康則，山岸宏一：林産試験場報，6(2)，(1992)。
- 3) 澤田哲則 ほか8名：林産試験場報，6(1)，12-19(1992)。
- 4) (社)日本化学会編著：“化学便覧応用編 改訂2版”，丸善，1973,p.960。

- 5) 小西 隆，平尾正一：“難燃剤”，幸書房，1972，p.103。
- 6) 小田英輔，林敏安：火災，29(2)，45-55(1979)。
- 7) 梅津 実：火災，35(3)，28-35(1985)。
- 8) 建設省大臣官房技術調査室監修：“建築物の総合防火設計法 第2巻 出火拡大防止設計法”，(財)日本建築センター，1989,p.2-4。
- 9) ISO 5657-1989:Fire tests-Reaction to fire-Ignitability of building products.
- 10) 棚池裕，仲谷一郎：日本建築学会大会学術講演梗概集，729-730(1988)。
- 11) 原田寿郎，平田利美：木材学会誌，40(2)，204-212(1994)。
- 12) 菊地伸一，駒沢克己，窪田実：木材保存協会第10回年次大会講演要旨集，37-42(1994)。
- 13) 菊地伸一，駒沢克己：日本木材学会北海道支部講演集，第27号，25-28(1995)。

- 性能部 耐久性能科 -

- *1 空知支庁中空知地区林業指導事務所 -

- *2 北海道東海大学 -

(原稿受理：1996.9.13)