

# 定温倉庫に用いる断熱材の燃焼実験

湯浅 弘章\*、山村 重行\*、渡邊 茂男\*

## 概 要

定温倉庫で広く使われている各種硬質ウレタンフォームを使用した断熱材の燃焼実験を行い、以下の燃焼性状を確認した。

- ・ サンドイッチパネルは、熱を受けた部分の硬質ウレタンフォームがガス化し、空洞となった。
- ・ 小火源を接炎させ続けた場合、一般的な硬質ウレタンフォームは容易に着火し燃焼するが、難燃化された硬質ウレタンフォームは自己消炎した。
- ・ 不燃材料以外の硬質ウレタンフォームは、接炎しなくても高い外部放射を受ける環境下において突然発火、延焼した。
- ・ 不燃材料の硬質ウレタンフォームは接炎させ、高い外部放射を受ける環境下において接炎部分が燃焼した。

## 1 実験目的

2009年6月、耐火造3/0市場内の定温倉庫一区画400㎡が焼損した火災では、内壁のウレタン断熱材が激しく燃焼し、部屋全体に延焼拡大した。定温倉庫に用いられていた断熱材は硬質ウレタンフォームと呼ばれ、現在一般的に使用されている。発泡プラスチック系の断熱材の燃焼性状については過去さまざまな実験によりその燃焼特性が調べられているが、今回火災の発生した市場で用いられていた断熱材の相当品を含む各種硬質ウレタンフォームについて改めて燃焼性状を確認し、知見を得ることで、今後の消防活動等に資することを目的とする。

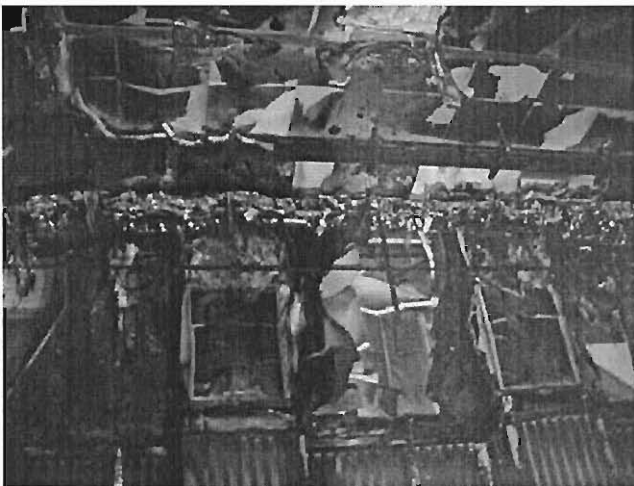


写真1 燃損した内壁の硬質ウレタンフォーム断熱材

## 2 実験に用いた硬質ウレタンフォーム

表1に硬質ウレタンフォームについての説明を、表2に今回実験に用いた硬質ウレタンフォームを示す。今回は易燃性とされる硬質ウレタンフォームを金属製薄板で挟み込んだサンドイッチパネル(試験体①)、火災の発生した市場で用いられていた断熱材の相当品である易燃性の硬質ウレタンフォーム(試験体②)、その他、硬質ウレタンフォームの中でも難燃性が高いとされる硬質イソシアヌレートフォームについて建築基準法が定める不燃材料としての認定を受けていないもの(試験体③)と受けているもの(試験体④)につき、それぞれ燃焼性状を確認した。表3にこれら硬質ウレタンフォームの燃焼面から見た大まかな位置づけを製造業者からの情報提供に基づいて示す。

表1 硬質ウレタンフォームと硬質イソシアヌレートフォーム<sup>2)</sup>

硬質ウレタンフォーム	NCO(イソシアネート)基を2個以上保有するポリイソシアネートとOH(ヒドロキシル)基を2個以上有するポリオールを、触媒(アミン化合物等)、発泡剤(水、炭化水素)、整泡剤(シリコンオイル)などと一緒に混合して、泡化反応と樹脂化反応を同時に行わせて得られる、均一なプラスチック発泡体。
硬質イソシアヌレートフォーム	硬質ウレタンフォームと同様にポリイソシアネートとポリオールから得られるプラスチック発泡体で、広い意味で硬質ウレタンフォームの一つ。特定の触媒を用いることでイソシアネートの三量化反応からイソシアヌレート環が生成される。このイソシアヌレート環はウレタン結合に比べて結合の熱安定性が高く、これを含む硬質ウレタンフォームは高い難燃性を有する。通常の硬質ウレタンフォームと区別するため、一定の割合以上のイソシアヌレート環を含むフォームに「硬質イソシアヌレートフォーム」という呼称を用いている。

\* 装備安全課

表2 実験に用いた硬質ウレタンフォーム (断面)

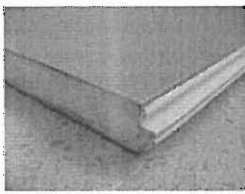
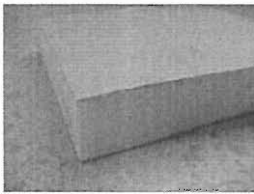
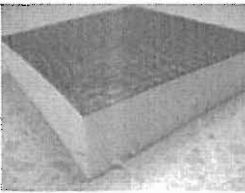
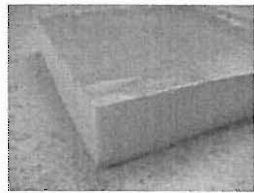
	
①サンドイッチパネル 厚さ 44 mm 表、裏面材 SUS 304(JIS G 4305)、NO-2B 仕上げ	②出火した市場で用いられていた 断熱材の相当品 厚さ 30 mm 表、裏面材 ポリクラフト紙
	
③硬質イソシアヌレートフォーム 厚さ 30 mm 表面材 トーチ工法用特殊面材 裏面材 ガラス不織布特殊面材	④硬質イソシアヌレートフォーム (建築基準法不燃材料認定品) 厚さ 30 mm 表、裏面材 アルミ箔

表3 硬質ウレタンフォームの燃焼面から見た位置づけ

呼称	一般的な燃えにくさ	実験に用いた断熱材
硬質ウレタンフォーム	易燃 ↓ 難燃	①サンドイッチパネル (内部)
硬質イソシアヌレートフォーム		②市場で使用されていた断熱材の相当品
		③硬質イソシアヌレートフォーム
		④硬質イソシアヌレートフォーム (建築基準法不燃材料認定品)

### 3 サンドイッチパネル加熱実験 (実験1～5)

#### (1) 実験条件

試験体を表4に示す火源を用いて図1 (写真3) のように加熱した。加熱中は写真4のように熱電対をサンドイッチパネル裏側から前面パネル裏に接触するまで貫通させ、温度変化を記録した。表5に示す条件を目安に加熱時間、加熱部位を変化させ5種類の実験を行い、加熱後に表面材をはがし内部の状況を確認、記録した。

#### (2) 実験1～5に用いる断熱材

表2①に示す硬質ウレタンフォームを金属製薄板で挟み込んだサンドイッチパネルを写真2のように30 cm角に切断し、周囲をアルミテープで目張りした試験体 (試験体①) を使用した。

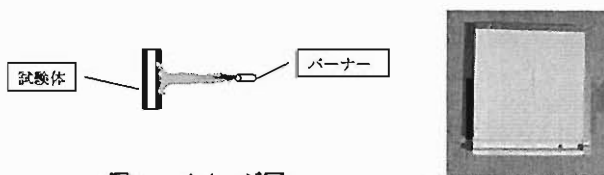


図1 イメージ図

写真2 試験体①



写真3 実験1～4 写真4 裏面 写真5 実験5接合部

表4 火源概要

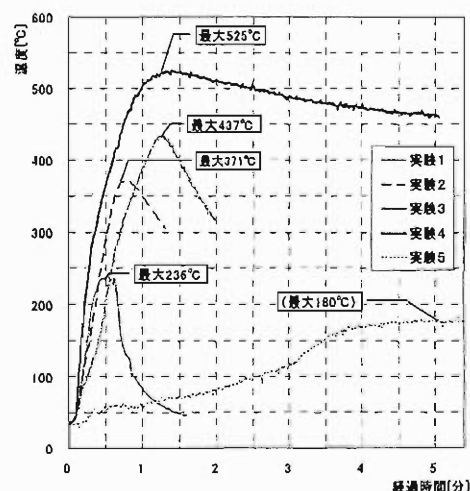
	発熱量	加熱距離
ガストーチ	最高 160kJ/min	約 5cm

表5 実験条件

	加熱部位	目標とした加熱時間
実験1	試験体中央	加熱裏面温度が 100℃ (ウレタンの使用温度の限界) になるまで
実験2	試験体中央	加熱裏面温度が 310℃ (引火点近傍) になるまで
実験3	試験体中央	加熱裏面温度が 415℃ (発火点近傍) になるまで
実験4	試験体中央	ウレタン着火後 5s
実験5	接合部 (写真5)	ウレタン着火後 5s

#### (3) 実験結果

表6にグラフ1の温度履歴下 (実験5は接合部近傍の参考温度) で加熱されたときの試験体の状態を示す。局所加熱をサンドイッチパネルに加えた場合、引火点、発火点とされる温度においても有炎燃焼せず、熱を受けた部分がガス化し、空洞となった。接合部を加熱した実験5は写真6の様に実験中に炎が確認できたが、加熱終了後 18s で消炎した。



グラフ1 前面パネル裏温度

表6 実験結果

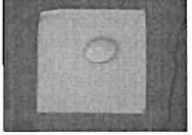
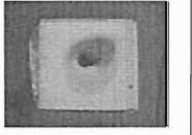


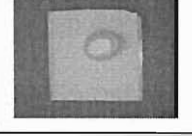

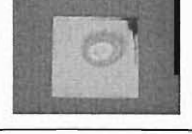

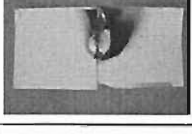
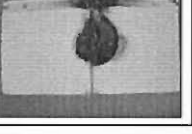
	表面	内部	最大温度等
実験1			236℃ 加熱時間 約15秒
実験2			371℃ 加熱時間 約40秒
実験3			437℃ 加熱時間 約1分10秒
実験4			525℃ 加熱時間 約5分
実験5			接合部(写真5)を加熱 加熱時間 約5分



写真6 実験5

4 小火源による硬質ウレタンフォーム燃焼実験(実験6)

(1) 実験条件

区画内において図2のように表7の小火源を試験体に接炎させ続けた場合の着火、燃焼拡大の状況を確認し、各データを測定した。実験区画と測定位置等の詳細を図3、4、小火源の設定状況を写真7、各試験体の着火前の様子を表8に示す。

(2) 実験6に用いる断熱材

表2②、③、④に示す各硬質ウレタンフォームを周囲の養生等無しに幅91cm、高さ182cmの試験体として使用した。

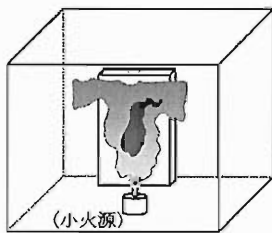


図2 実験6 イメージ図

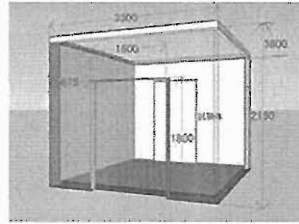


図3 実験区画(mm)

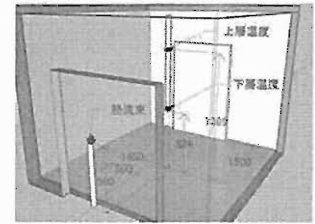


図4 測定内容と測定位置(mm)

表7 使用した火源

	燃料	有効燃焼 継続時間	発熱量
小火源	アルコールバーナー (パイロテックバーナーD型)	約45分	46 kJ/min



写真7 小火源の設定状況










表8 各試験体の着火前の様子

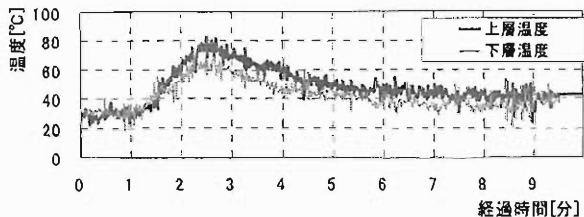
試験体②	試験体③	試験体④
		

(3) 実験結果

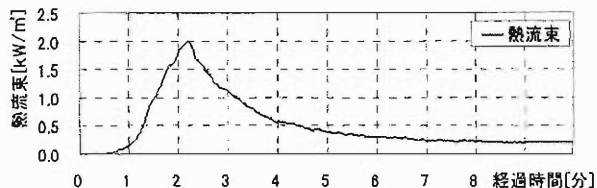
表9に実験中の様子を示す。試験体②は激しく燃焼し34分14秒後に消炎した。このときの区画内の温度と、約3m離れた開口部での受熱量についてグラフ2、3に示す。試験体③、④についてはほとんど延焼拡大することなく、試験体③は2分33秒後に、試験体④は1分36秒後に消炎した。表10に実験終了後の各試験体の様子を示す。

表9 実験6 試験体ごとの時系列燃焼状況

	試験体②	試験体③	試験体④
30秒			
1分36秒後			
2分33秒後			消炎
34分14秒後		消炎	



グラフ2 試験体② 区画内温度履歴



グラフ3 試験体② 開口部付近受熱量履歴

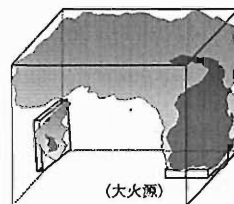


図5 実験7 イメージ図

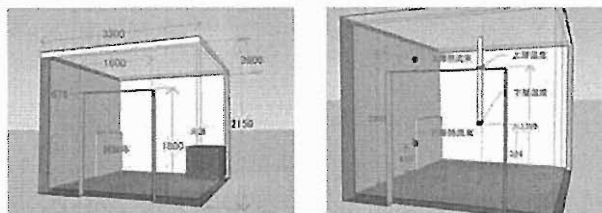


図6 実験区画(mm)

図7 測定内容と測定位置(mm)

表10 実験終了後の各試験体の様子

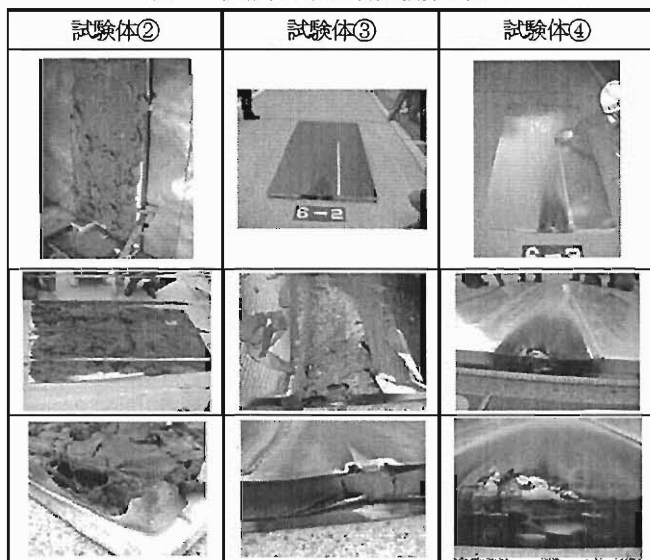


表11 使用した火源

	燃焼物
大火源	クリブ 第一模型 (A-2)



写真8 実験設定状況

## 5 大火源の外部放射による硬質ウレタンフォーム燃焼実験 (実験7)

### (1) 実験条件

区画内において図5のように大火源を試験体近傍に設定し、接炎せずに高い外部放射を受ける環境下に置いた場合の着火、燃焼拡大の状況を確認し、各データを測定する。実験区画と測定位置等の詳細を図6、7、実験設定状況を写真8、各試験体の着火前の様子を表12に示す。

### (2) 実験7に用いる断熱材

表2②、③、④に示す各硬質ウレタンフォームをアルミテープにて周囲を養生し、幅91cm、高さ91cmの試験体として使用した。




表12 各試験体の着火前の様子

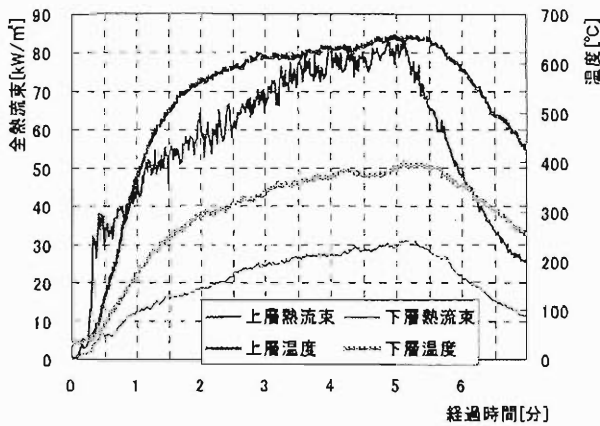


(3) 実験結果

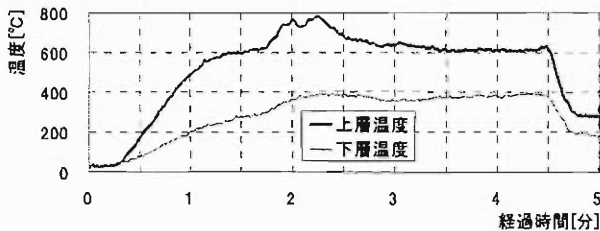
試験体②は1分41秒後、試験体③は2分21秒後に着火し、全面が燃焼した。試験体④は着火、燃焼しなかった(表13参照)。参考としてグラフ4に火源のみが燃焼したときの区画内の熱環境を、グラフ5、6に試験体②、③が着火したときの区画内温度を示す。また表14に実験終了後の各試験体の様子を示す。

表13 実験7 試験体ごとの燃焼状況

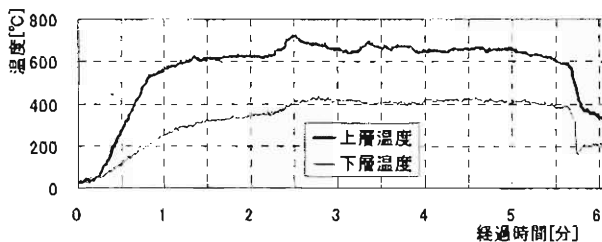
試験体②	試験体③	試験体④
		
1分41秒後着火	2分21秒後着火	着火せず



グラフ4 火源のみが燃焼したときの区画内の熱環境







グラフ5 試験体②が着火した時の区画内温度



グラフ6 試験体③が着火した時の区画内温度

表14 実験終了後の各試験体の様子

試験体②	試験体③	試験体④
		
		表面材をはがす前
		
		表面材をはがした後

6 大火源の接炎による硬質ウレタンフォーム燃焼実験 (実験8)

(1) 実験条件

実験7で有炎現象の見られなかった試験体④について、図8のように1.82m×0.91mの試験体を実験7と同じ位置で天井直下垂直に配置し、接炎する条件について実験を行った。

(2) 実験8に用いる断熱材

表2④に示す硬質ウレタンフォームをアルミテープにて周囲を養生し、幅91cm、高さ182cmの試験体として使用した。

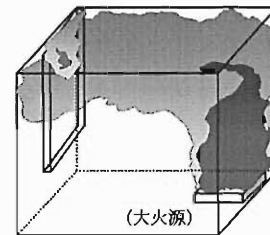


図8 実験8 イメージ図



写真9 実験設定状況

(3) 実験結果

2分27秒後に試験体④上端に着火し、上層の高温層に接する部分が燃焼、焼失した。下層の低温層に接する部分は燃焼しなかった(表15参照)。表16に実験終了後の試験体の様子を示す。

表 15 実験 8 試験体④の燃焼状況



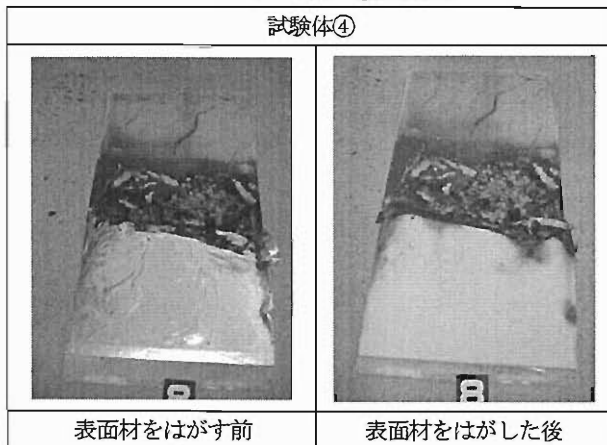
・ 総合的な燃えにくさは、下記の通りであり、その差も大きいと結論付けられる。

一般的な硬質ウレタンフォーム ≪ ヌレート指数を高めて難燃化された硬質ウレタンフォーム ≪ 建築基準法不燃材料認定品

[考文献等]

- 1) 例えば 糸毛他 発泡プラスチック系断熱材の燃焼特性に関する実験 日本建築学会大会学術講演概要集 (近畿) (2005.9)
- 2) 硬質ウレタンフォーム断熱材アキレスボード 総合カタログ

表 16 試験体④燃焼状況



## 7 まとめ

### (1) サンドイッチパネルの燃焼性状

- ・ 局所加熱をサンドイッチパネルに加えた場合、引火点、発火点を超える温度においても有炎燃焼せず、熱を受けた部分がガス化し、空洞となった。サンドイッチパネルが広範囲に熱を受けた場合は受熱面のパネルがはく離する可能性が推察される。

### (2) 硬質ウレタンフォームの燃焼性状

- ・ 小火源を接炎させ続けた場合、一般的な硬質ウレタンフォームは容易に着火し、急激に燃焼拡大した。ヌレート指数を高めて難燃化された硬質ウレタンフォームは着火するが早期に自己消炎し、延焼拡大しない。特に建築基準法不燃材料認定品は燃焼も局所的で極めて短時間で消炎する。一般的な硬質ウレタンフォームのみが着火物となりえることが推察される。
- ・ 接炎せずに高い外部放射を受ける場合、建築基準法不燃材料認定品以外は全面から発火した。これらの硬質ウレタンフォームは、火災最盛期の室内において接炎せずとも突然発火、延焼することが推察される。
- ・ 接炎し、高い外部放射を受ける場合、建築基準法不燃材料認定品は接炎部分が燃焼した。

# Combustion Experiment of the Thermal Insulating Materials Used for the Fixed-Temperature Warehouse

Hiroaki YUASA\*, Shigeyuki YAMAMURA\*, Shigeo WATANABEA\*

## Abstract

We conducted the combustion tests of thermal insulating materials made of various types of rigid urethane foam. These types of insulating materials are widely used in fixed-temperature warehouses. As a result we confirmed the following:

- The urethane foam sandwiched by the steel panels melted where exposed to heat and was gasified, forming a hollow.
- When the test article was kept in contact with a small fire source, ordinary urethane was easily ignited and burnt, but fire-retardant urethane was self-extinguished.
- When thermal insulating materials made of materials other than noncombustibles were placed in an environment exposed to high external radiation, they suddenly ignited and caused the fire spread, though it was not in contact with the flame.

When noncombustible materials were placed in an environment exposed to a high rate of external radiation, and brought into contact with the flame, the part that was in contact with the flame started to burn.

---

\*Equipment Safety Section