

建築内装用有機系サンドイッチパネルの防火性能向上に関する実験的検討

藤沼 智洋 高橋 一郎
富田 泰宇

概 要

火災が生じた際、建築内装用有機系サンドイッチパネルは、パネル内部の延焼拡大が進行し、甚大な火災被害を引き起こすリスクを抱えている。そこで、筆者らは、現行の法令における不燃認定水準を満たし、かつ、サンドイッチパネル専用の防火性能試験方法であるISO 13784-1の試験においても高い防火性能を示す、サンドイッチパネルの開発を主目的として、シリーズ1とシリーズ2の2段階での技術的検討を行った。各検討シリーズから得られた知見は以下の通りである。

- 1) 不燃認定を取得したポリイソシアヌレートのみを芯材に使用したサンドイッチパネルは15分以内に試験中断となった。
- 2) 繊維補強せっこう板とポリイソシアヌレートを併用したサンドイッチパネルは20分の加熱時間を満たした。

以上の一連の試験結果から、芯材として、無機系の繊維補強せっこう板を積層させることは、サンドイッチパネルの防火性能の向上に大きく寄与することが確認された。

Experimental study on fire resistance performance of organic sandwich panel for building interiors

Abstract

In the event of a fire accident, organic sandwich panels for building interiors have a risk of causing enormous fire damage due to the spread of fire inside the panels. Therefore, the main purpose of this research is to develop a sandwich panel that satisfies the non-combustible level under current Japanese law and shows high fire protection performance even in the ISO 13784-1 test, which is a fire protection performance test method exclusively for sandwich panels. A two-stage technical study of Series 2 was also conducted.

The technical findings obtained are as follows.

- 1) The sandwich panel using as the core material only polyisocyanurate, which has obtained non-combustibility certification, as the core material was discontinued within 15 minutes.
- 2) The sandwich panel using fiber-reinforced gypsum plate and polyisocyanurate achieved a heating time of 20 minutes.

From the above series of test results, it was confirmed that laminating fiber-reinforced gypsum plate, which is an inorganic heat-insulating material, greatly contributes to an improvement in the fire protection performance of a sandwich panel.

キーワード: 有機系サンドイッチパネル、
防火性能、ISO 13784-1

§1. はじめに

有機系断熱材を芯材として、両面を鋼板等の不燃性の表層材で接着させたサンドイッチパネル(以下:SWP)は優れた断熱性および容易な施工性を有していることから、冷凍倉庫やクリーンルームなどの建築内装材として広く普及している。しかしながら、可燃材を芯材に用いており、火災が発生すると、SWP 内部の延焼拡大が急速に進行することがあり、甚大な火災事故のリスクを有している点がこれまでに多数指摘^{1)~4)}されている。したがって、安心・安全な SWP を市場に普及させていくためには、SWP の防火性能の向上が不可欠であり、当社も参画している、建築研究開発コンソーシアムにおいて、適正な試験方法、評価基準等についての諸検討が現在取り組まれており、多数の報告^{5)~6)}がなされている。しかしながら、後述の ISO 13784-1 (Reaction to fire test for sandwich panel building systems)の試験方法で高い防火性能を示した事例は、少なくとも日本国には存在しない。そこで、筆者らは、現行法令での不燃認定水準を満たし、かつ、上述の ISO 13784-1 でも、高い防火性能を示す SWP の開発を目標とし、種々の技術的検討を重ねてきた。

本報告では、これまでの開発過程における検討内容をシリーズ 1 およびシリーズ 2 として時系列的に再整理し、最終的な製品仕様として確立したハイブリッド型 SWP に至った技術的知見および防火性能試験の結果について主に報告する。

§2. SWPの各防火性能試験の概要

2.1 コーンカロリメータ試験の概要

(1) コーンカロリメータ試験の測定項目

SWP の防火性能試験として、日本の現行法令では、総発熱量、発熱速度、防火上有害な変形(裏面まで貫通する亀裂及び穴)を評価項目として、規定しているコーンカロリメータ試験が国土交通大臣認定試験として運用されている。しかしながら、コーンカロリメータ試験では、小規模な寸法の試験体の使用、防火性能上の脆弱部となりがちな嵌合部や目地部を含めないパネルの一般部を試験対象としていることから、SWP に限ると、目地処理や工法を含めた評価が困難であるという指摘⁵⁾がある。すなわち、コーンカロリメータ試験は材料試験としての位置付けで SWP の防火性能に関するポテンシャルを検証するうえでは有用だが、実火災を想定し、建物区画の観点で防火性能の検証を行う場合、いささか不十分であると懸念されている。

(2) コーンカロリメータ試験の試験方法

嵌合部を含まない、パネルの一般部より切り出した 99mm×99mm×50mm の直方体形状を試験体として用い、50kW/m² の輻射熱を試験体の表面に均一に照射して、20 分間の加熱試験を実施する。

(3) コーンカロリメータ試験による判定基準

不燃認定要件としては、20 分間の加熱試験において、以下の 3 項目をすべて満足したものと規定されている。

- ・ 8MJ/m² 以下の総発熱量
- ・ 最高発熱速度が 10 秒以上継続し、200kW/m² を超えないこと
- ・ 防火上、有害な裏面まで貫通する亀裂及び穴がない

2.2 ISO 13784-1試験の概要

(1) ISO 13784-1 試験における測定項目

ISO においては、SWP の防火性能試験方法として、ISO 13784-1 が制定されている。当該試験においては、発熱速度の測定およびフラッシュオーバー(以下:FO)、試験体倒壊、その他の外観異常の観察を行う。また、ISO 13784-1 では、図 1 に示すような、区画を構成した試験体を用いることから、実火災を想定した建物区画の観点で SWP の嵌合部も含めた性能検証が可能である。

(2) ISO 13784-1試験の試験方法

試験体の隅角部に、火源としてのバーナーを設置し、試験開始から 10 分までは 100kW、10 分から 20 分までは 300kW の加熱強度で合計 20 分間の加熱時間を与える。加熱終了後、5 分間の観察を継続し、試験終了となる。

(3) ISO 13784-1試験による判定基準

ISO 13784-1 は試験方法の規定がなされているものの、評価基準についての規定は存在しない。したがって、合格/不合格といった判定の概念は存在しない。一方、建築研究開発コンソーシアムでの諸検討⁵⁾においては、発熱速度が 1000kW を超過し、10 秒以上が経過する現象を FO と定義している。そこで、筆者らの SWP の開発過程では、FO を防火性能の指標とし、技術的検討を行う方針とした。

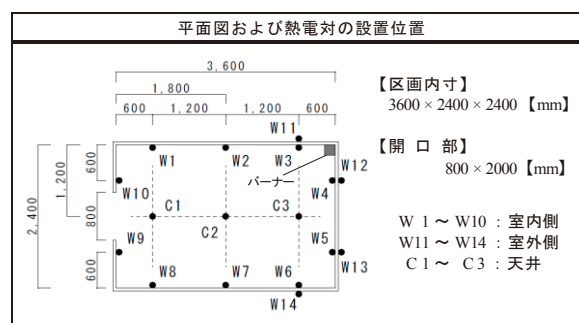


図1 ISO 13784-1の試験体概要

§3. シリーズ1の試験概要

3.1 シリーズ1のSWPの積層構成および構成材料

シリーズ1のSWPの構成を図2に示す。シリーズ1のSWPの芯材、有機系断熱材Aはポリイソシアヌレートである。なお、使用したポリイソシアヌレートは、防火性能の向上のため、一般的なポリイソシアヌレートに難燃助剤を添加しており、鋼板を被覆せず不燃認定を取得している。シリーズ1のSWPの端部は、一端が凹形、別の一端は凸型であり、端部同士を突合せ、嵌合部を形成している。加えて、SWPの嵌合部は、防火性能上の脆弱部であるケースが多いため、火災に伴って生じる変形抑制のため、ビス留めによって固定した。

3.2 試験方法および試験条件

上述したように、シリーズ1で使用した芯材は単体で不燃要件を満たしていることから、鋼板を含めたSWPでは、不燃要件を満たすと考え、コーンカロリーメータ試験を割愛し、シリーズ1では、2章で記載した規定寸法および試験方法に従って、ISO 13784-1試験のみ実施した。

3.3 シリーズ1の試験結果および考察

試験時の様相を時系列的に並べたものを写真1に示す。シリーズ1の試験では加熱開始から13分で開口噴出火炎が生じると共に、時間が経過するにつれ、燃焼が激しくなり、燃焼によって発生した多量の黒煙が集煙フードの外に漏れだした。そこで、安全上の観点から、開始16分程度で試験中断を余儀なくされた。なお測定データによると、1600kwの発熱速度が試験開始16分頃に計測され、FOの発生が確認された。試験中断の後、試験体を解体し、燃焼後の芯材の様相を中心に観察した。解体後の芯材を写真2と写真3に示す。炭化層やひび割れが全面的に発生しており、パネルの内部で延焼していたことがうかがえる。

以上の結果から、単体で不燃要件を満たしたポリイソシアヌレートのみ依存した区画設計仕様では20分間の規定時間を満たせないことが実証された。

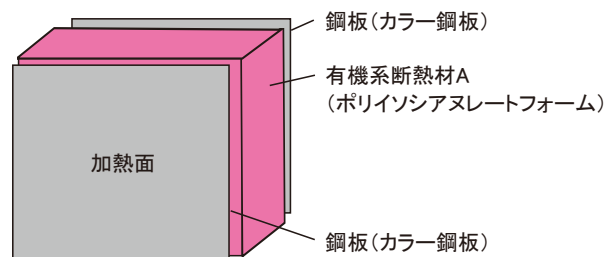


図2 シリーズ1のSWPの積層構成(一般部)

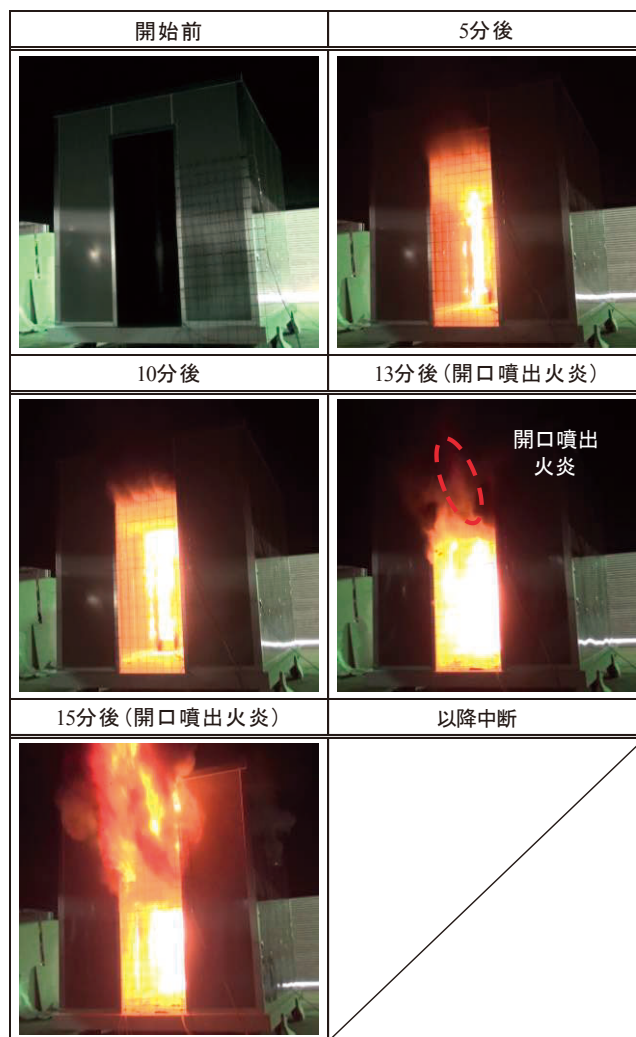


写真1 シリーズ1のISO 13784-1試験の様相



写真2 シリーズ1の燃焼後の芯材(壁面)



写真3 シリーズ1の燃焼後の芯材(天井面)

§4. シリーズ2の試験概要

シリーズ2では、下記の3ステップで試験を実施して、複数の試験方法による防火性能の検証を実施した。

- Step 1) 小型壁炉による予備試験
- Step 2) コーンカロリーメータ試験
- Step 3) ISO 13784-1による実大試験

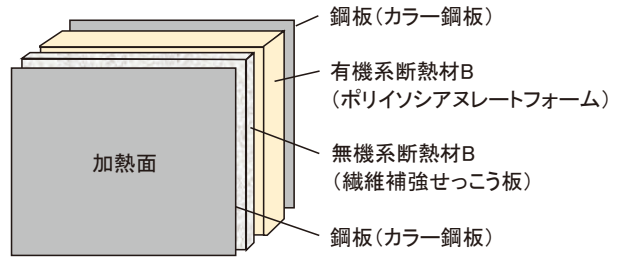


図3 シリーズ2のSWPの積層構成(一般部)

4.1 シリーズ2のSWPの積層構成および構成材料

シリーズ2のSWPの積層構成(一般部)を図3、主要構成材料の一覧を表1にそれぞれ示す。シリーズ2では、シリーズ1試験での技術的知見を踏まえ、有機系だけに依存せず、無機系材料を併用させたハイブリッド型のSWPを検討することにした。なお、シリーズ2で使用したポリイソシアヌレートは、鋼板を被覆することで不燃認定を取得したものを用いた。

シリーズ2では、予備試験をいくつか重ね、最終的には表1に示す各材料を用いたSWPに至った。本報では、最終的な仕様に関する検討内容に限定した報告をする。

シリーズ2のSWPの両端部は凹型形状であり、凹型の端部同士を突合せ、嵌合部を形成している。一般的にSWPの嵌合部は、防火性能上の脆弱部となることから、火災に伴って生じる変形抑制を強固に図るため、せっこうボードを嵌合部に挿込むことに加え、ビス留めによって、メカニカルに固定した。また、SWP間の目地部には、シリコン系のシール材を充填した。

表1 シリーズ2のSWPの主要構成材料

部位	主要構成	主要構成材料の名称
一般部	表面材	塗装溶融亜鉛メッキ鋼板
	有機系芯材	ポリイソシアヌレートフォーム
	無機系芯材	繊維補強せっこう板
嵌合部(加熱側)	表面材	塗装溶融亜鉛メッキ鋼板
	無機系芯材	ロックウール 繊維補強せっこう板
	表面材	塗装溶融亜鉛メッキ鋼板
嵌合部(非加熱側)	表面材	塗装溶融亜鉛メッキ鋼板
	有機系芯材	ポリイソシアヌレートフォーム

4.2 小型壁炉による予備試験

(1) 予備試験の試験項目

予備試験においては、基礎データである、加熱によるパネルの温度推移を計測するとともに、試験体の反りや嵌合部の損傷などの外観異常の観察を行った。

(2) 試験方法および試験条件

ISO 13784-1の試験に合わせて、20分間の加熱時間を与えた。温度設定条件については、予備試験前に行った諸検討を踏まえ、加熱開始10分で300°C、15分で500°C、20分で700°C程度になるように加熱プログラムを設定した。本予備試験の試験体概要および熱電対の各設置位置を図4に示す。熱電対は非加熱面側である表層箇所(6点)、試験体内部(3点)に設置し、温度推移をみることにした。なお、壁炉の有効加熱範囲外は、生体溶解性繊維耐火被覆で試験体への影響を抑制した。

(3) 試験結果

予備試験の結果を図5に示す。非加熱面側(L1~L3、R1~R3)は、約30°Cを維持し、嵌合部(MK1~MK3)は、加熱時間の経過に伴い、温度上昇が続き、試験終了の加熱時間20分の時点では、最高点として300°C程度の

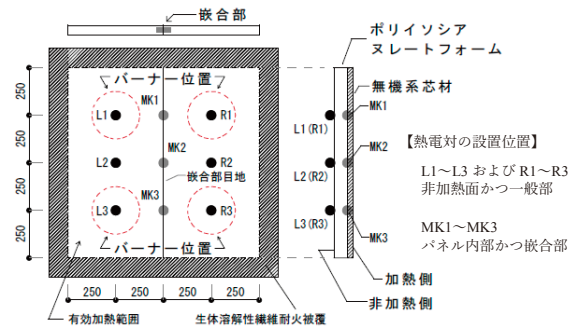


図4 シリーズ2の予備試験の試験体概要

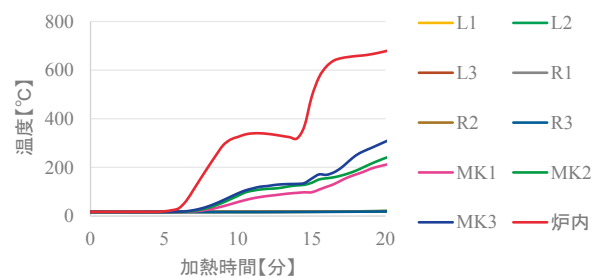


図5 シリーズ2の予備試験の結果(温度推移)

温度が確認された。また、加熱中および加熱後の異常は目視レベルでは確認されなかった。

試験終了後、試験体を解体し、各材料の燃焼の様相を確認したところ、ポリイソシアヌレートフォーム層と繊維補強せっこう板の密着が確認され、有機系断熱材Bの燃焼はほぼ生じていなかった。

4.3 コーンカロリメータ試験

(1) 試験方法および測定項目

パネルの一般部より切り出した 99mm×99mm×50mm の直方体形状を試験体として用い、上述したコーンカロリメータ試験の規定内容に従い、総発熱量、最高発熱速度、有害な変形の3項目を測定・観察した。

(2) 試験結果および考察

コーンカロリメータ試験の結果を表2に示す。試験の結果から、総発熱量、防火上有害な変形、200kW/m²を超過する最高発熱速度のいずれの評価項目においても不燃認定要件を満たしていることが確認された。すなわち、シリーズ2のSWPは現行法令上においては、不燃認定水準であることが実証された。

配置した繊維補強せつこう板が火災や熱の影響を十分に抑制したものと推察できる。

表2 コーンカロリメータ試験の結果

	総発熱量 【MJ】	最高発熱速度 【kW/m ² 】	防火上有害な 変形有無	最高発熱速度が 継続して200kW/m ² を 超過した時間
規定値	8	—	無し	10秒
試験体1	0.1	1.24	無し	0
試験体2	1.8	3.05	無し	0
試験体3	0.5	1.71	無し	0
Ave.	0.8	2.00	無し	0

4.4 ISO 1384-1による実大試験

(1) 試験方法および試験条件

試験方法および試験条件は、シリーズ1の試験同様、図1で示した寸法・形状の区画を構成した試験体を用い、加熱開始から10分までは100kW、10分から20分までは300kWの加熱強度で合計20分間の加熱時間を与える。加熱終了後、5分間の観察を継続し、試験終了となる。

(2) 試験結果および考察

試験時の様相を時系列的に並べたものを写真4に示す。シリーズ1と異なり、シリーズ2の試験では開口噴出火炎や黒煙などが生じず、試験終了まで、大きな燃焼も試験体の倒壊も生じなかった。シリーズ2の実大試験における天井と壁の温度推移を図6、発熱速度の推移を図7に示す。温度推移については、壁面が500.4°C、天井面が609.2°Cの最高温度をそれぞれ試験時間内で示した。また、FOに関しては最高発熱速度が490.8kWだったため、シリーズ2のSWPはFO(10秒以上の1000kW)を起こさなかったといえる。また、加熱終了以降、SWPの内部での延焼が続いていた場合、温度や発熱速度は急激に低下しないと推察されるが図6と図7の両推移をみると、いずれも終了直後から低下傾向を示している。また、芯材の燃焼の度合いを目視観察しようと解体を試みたものの、強固に固定された状態が維持され、容易に解体できなかった。このような事象からも、加熱側に

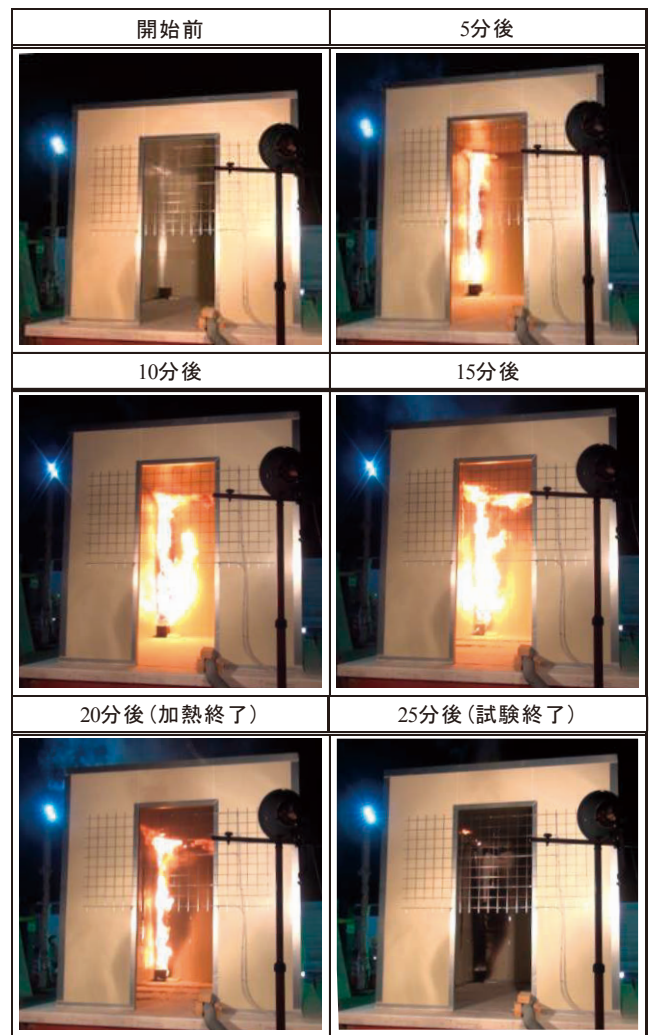


写真4 シリーズ2のISO 1384-1試験の様相

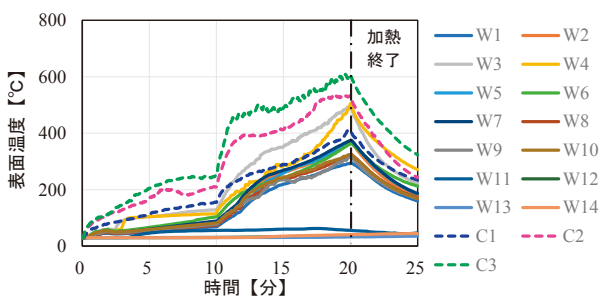


図6 シリーズ2の試験結果(温度推移)

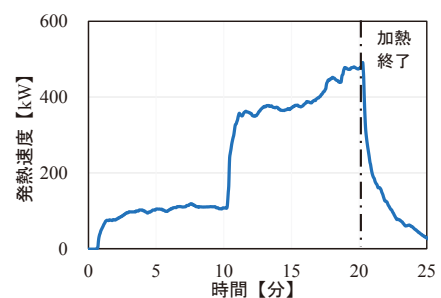


図7 シリーズ2の試験結果(発熱速度推移)

§5. まとめ

現行法令における不燃認定水準を満たし、かつ、SWP専用の防火性能試験方法であるISO 13784-1の試験でも高い防火性能を示すSWPの開発を主目的として、種々の技術的検討を行った。本検討を通じて、実施した各試験の結果と得られた知見を以下に示す。

- ・ シリーズ1の検討では、コーンカロリーメータ試験による不燃認定を取得したポリイソシアヌレート(鋼板での被覆無し)のみを芯材に使用したSWPを対象としたものの、ISO 13784-1の試験では、15分以内に開口噴出火炎が生じたため、試験中断となった。
- ・ シリーズ2の検討では、ポリイソシアヌレート(鋼板での被覆有りで不燃認定)と繊維補強せっこう板を併用し、勘合部にはせっこうボードを挿入させた、有機系と無機系のハイブリッド型のSWPを対象としたところ、コーンカロリーメータ試験による不燃認定水準を確認できた。また、ISO 13784-1の試験で20分間の加熱と加熱終了後の5分間において、開口噴出火炎、フラッシュオーバー、試験体の倒壊等の防火性能に関連する各項目において異常が無かった。
- ・ 以上の試験結果から、加熱面側に配置させた繊維補強せっこう板は、ISO 13784-1の試験での熱や炎に対する保護効果を十分に有し、ハイブリッド型SWPの高い防火性能の発現に寄与したと考察できる。

謝辞 本研究は、大和ハウス工業 株式会社と株式会社イワタニとの共同研究として実施した。各試験の実施にあたっては、コーンカロリーメータ試験については、一般財団法人 日本建築総合試験所、ISO 13784-1 試験については、国立研究開発法人建築研究所、国土技術政策総合研究所から協力を得た。また、本 SWP の開発過程において、野口貴文 教授(東京大学)から技術指導を頂いた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 日経アーキテクチュア:特報「神戸・サンドイッチパネル火災の恐怖」、No.912、2009.11
- 2) 中岡龍哉、若月薫、大宮喜文:高分子発泡体を芯材に用いたサンドイッチパネルの燃焼性状、2010年度日本建築学会関東支部研究報告集、81巻、pp.497-500、2011.3
- 3) 中岡龍哉、若月薫、大宮喜文:高分子発泡体を芯材に用いたサンドイッチパネルの燃焼性状、日本建築学会大会学術講演梗概集A-2、pp.155-156、2011.7
- 4) 中岡龍哉、若月薫、大宮喜文:サンドイッチパネル(内装材)の試験方法及び施工方法の整理、日本建築学会大会学術講演梗概集(防火)
- 5) 吉岡英樹、田中義起、田村政道、西尾悠平、棚池裕、安藤達夫、野口貴文、小林恭一、兼松学、成瀬友広、鍵屋浩司:サンドイッチパネルの火災安全性能評価に係る中規模試験方法の検討、日本建築学会技術報告集、第23巻、第53号、pp.159-164、2017.2
- 6) 田村政道、吉岡英樹、野口貴文、小林恭一、兼松学、安藤達夫、棚池裕、西尾悠平、早川哲哉、Sanjay Pareek、成瀬友広:サンドイッチパネル内装試験体に関する区画型火災試験、日本建築学会大会学術講演梗概集(防火)、pp.217-218、2018.9

ひとこと

火災は人命の損失に直結する危険な現象である。安心・安全な建物を社会に提供することを使命とする建設会社として、1件でも、火災が減らせるように、これからも技術開発に尽力していきたい。

