

溶断火花の飛散範囲および火災リスクに関する実験的検討

Experimental study of particle scattering and fire risk against gas cutting spatters

玉井 裕介*1、正木 智大*2、鈴木 秀和*3、豊田 康二*4

1. はじめに

建設工事現場において、溶接・溶断時に発生する火花が原因となる火災が問題となっている。これは、新築あるいは解体工事中に、露出した有機系断熱材の近傍で溶接・溶断作業を行い、その際に発生する火花が火源となり、有機系断熱材に引火して延焼する事例が多発しているからである。筆者らはこれまでに、有機系断熱材に対する溶断火花を火源とした試験・評価方法についての検討結果を報告している¹⁾。しかし、実際の火花がどのように飛散し、その際の熱的な影響がどれほどあるのかについては、一般的にもあまり検討が進んでいない。そこで本稿では、火源となる溶断火花の飛散範囲や熱影響に着目し、それらが火災リスクに及ぼす影響について、実験的検討を行ったので報告する。

2. 実験方法

溶断火花の飛散範囲・熱影響の程度を把握し、実用的な対策を検討するため、鉄板を溶断して火花を発生させる4シリーズの実験を計30回行った。溶断火花の発生装置は既報¹⁾と同じ自動ガス切断機(図-1)を使用した。本装置はJIS A 1323(建築工事用シートの溶接及び溶断火花に対する難燃性試験方法)に用いられる装置を参考に、改良を加えたものである。その特徴として、溶断火口を固定し鉄板を移動させることにより、常に一定の位置から溶断火花を発生させることができる。実験時の装置設定および溶断時間(実験時間)は表-1の通りである。

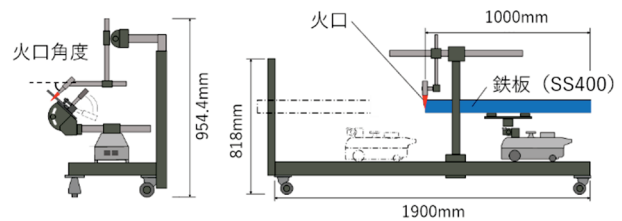


図-1 自動ガス切断機

表-1 自動ガス切断機の設定

	9mm 鉄板 溶断時	12mm 鉄板 溶断時
切断酸素流量	25L/分	34L/分
予熱酸素流量	4.7L/分	12.5L/分
プロシガス流量	2.3L/分	3.4L/分
切断速度(鉄板移動速度)	350mm/分	475mm/分
溶断時間	120 秒	100 秒



図-2 実験様子

*1 TAMAI Yusuke : (一財)日本建築総合試験所 試験研究センター 耐火部 評価業務室 主査
 *2 MASAKI Tomohiro : (一財)日本建築総合試験所 試験研究センター 耐火部 防耐火構造・材料試験室
 *3 SUZUKI Hidekazu : (一財)日本建築総合試験所 試験研究センター 耐火部 防耐火構造・材料試験室
 *4 TOYODA Koji : (一財)日本建築総合試験所 試験研究センター 耐火部 評価業務室 室長 博士(工学)

2.1 火花飛散範囲に関する実験 (シリーズ I)

表-2に示す実験条件にて、溶断条件(火口角度・鉄板厚・火口高さ)が火花飛散範囲に与える変化を検証した。溶断火花の飛散範囲記録には、市販の模造紙(厚さ:約0.1mm)を用い、火花飛散先のコンクリート床面上に模造紙を敷き広げ、飛散火花による熱影響(焦げや貫通痕など)を記録した。実験の様子を図-2に示す。記録対象は熱影響箇所に限定し、冷却され模造紙上に存在する火花粒子は除外した。従って、本稿で述べる飛散範囲とは、模造紙に与える熱影響範囲と定義する。

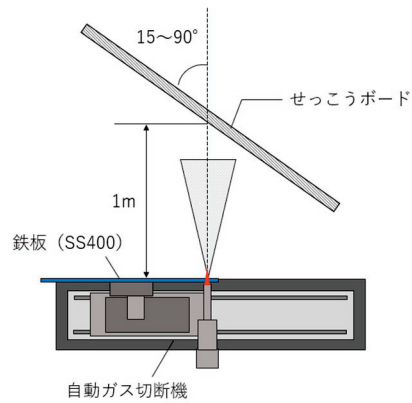


図-3 遮へい物設置の様子

表-2 実験条件 (シリーズ I)

実験 No.	火口角度	鉄板厚[mm]	火口高さ[m]
1	水平	9	1.6
2		12	
3		9	0.65
4			2.6
5			5.95
6	1.6		
7	30° 上向き	9	2.6
8	30° 下向き		1.6
9	30° 下向き	9	2.6

表-3 実験条件 (シリーズ II)

実験 No.	せっこうボード (遮へい物) 角度
10	15°
11	30°
12	45°
13	60°
14	75°
15	90°
16	60° スパッタシート A 種取付け*

※: シートは床面にも約 10cm 被せて実施した。

2.2 遮へい物による火花集積に関する実験 (シリーズ II)

遮へい物が存在する場合における飛散状況の変化を検証するため図-3に示すように、溶断火花の飛散方向にせっこうボード(2000×1000mm:厚さ12.5mm)を設置し、飛散範囲を記録した。なお、溶断条件は実験 No.3に揃え、せっこうボード中心と火口の距離は1mとした。熱影響の記録はシリーズ Iと同様に模造紙を用い、せっこうボードは表-3のとおり15°から90°まで15°刻みで角度変化をつけて設置した。また、角度60°においてはスパッタシート(A種)をせっこうボードに取付けた検証も行った。

2.3 有機系断熱材への熱影響に関する実験 (シリーズ III)

溶断条件(火口高さ・火口角度)が有機系断熱材に及ぼす熱影響を把握するため、押出法ポリスチレンボード(1820×910mm:以下スチレンボード)を用い、溶断火花を飛散させた。実験条件を表-4に示す。なお、鉄板厚さは9mmで実施した。

表-4 実験条件 (シリーズ III、鉄板厚:9mm)

実験 No.	火口高さ[m]	火口角度	スチレンボード
17	1.6	30° 下向き	厚さ 20mm
18			厚さ 220mm
19			厚さ 200mm ^{※2}
20	5.95	水平	
21	4.15		
22 ^{※1}			

※¹: スチレンボード奥端部にせっこうボードを立てかけた。

※²: 厚さ 100mm スチレンボード 2 枚の間に段ボールを挿入。

2.4 溶断火花の対策効果検証に関する実験 (シリーズ IV)

シリーズ IIIにてスチレンボードが着火延焼した条件に対し、表-5に示すとおり、各種の溶断火花対策を施して着火抑制効果を検証した(溶断条件は実験 No.19とした)。また、一般に普及しているシート系保護材料においては、建設工事現場で想定される立てかけ設置状況を再現し、火花貫通抑制の効果も比較検証した(実験 No.28~No.30)。

表-5 実験条件 (シリーズⅣ)

実験 No.	保護材料	設置方法
23	スパッタシート A 種	平置き
24	スパッタシート C 種	
25	防災シート	
26	鋼板 (0.27mm)	
27	スパッタシート A 種	平置き・2枚重ね
28	スパッタシート A 種	立てかけ
29	スパッタシート C 種	
30	防災シート	

3. 実験結果

3.1 火花飛散範囲に関する実験結果

実験後の模造紙写真に対し、画像解析 (画素抽出) を行い、熱影響が確認できた画素数を求めた。図-4は模造紙全体 (約7m×2.3m) の中から、一部を約1m×0.8mのサイズで抜き出した画像である。解析後は、溶断火花により熱影響を受けた箇所 (変色部) と、それ以外の部分が、白黒に二色化処理され、画素数が算出されている。

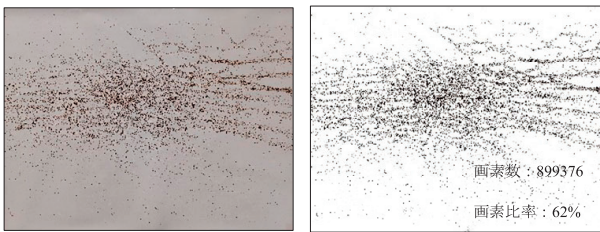


図-4 画像解析の様子 (左: 解析前、右: 解析後)

火花飛散エリアを上記のサイズで21分割し、各エリアと全体を比較することで飛散率を算出した。一連の結果を図-5に示す。溶断条件と溶断火花飛散の関係性については、以下のとおり考察した。

【鉄板厚さ】実験No.1・No.2より、鉄板厚さが厚くなると、溶断火花の最長到達距離は増加し、分布も1箇所に集中せず拡散する傾向が確認できた。これは自動ガス切断機の各種ガス流量、切断速度が増加したため、溶断直後の火花向きが放射状に大きく広がったこと、また火花の初速が速くなり、着地後の転がり距離も長くなったことが要因と考えられる。

【火口角度：上向き】実験No.1・No.6およびNo.4・No.7より、溶断角度が上向きとなることで、飛散範囲が手前側にシフトする傾向が確認できた。これは、火花の軌跡が山なりに近づき、着地直前における火花粒子の運動

が、直進方向から垂直落下方向へ移行し、着地後の転がり挙動が抑制されたためと考えられる。

【火口角度：下向き】実験No.1・No.8およびNo.4・No.9より、溶断角度が下向きとなる場合においても、飛散範囲が手前側にシフトする傾向が確認できた。これは上向きの場合とは要因が異なり、下向き角度により着地距離が近づいたことが主要因と考えられる。また、その他として、高温火花に接触した模造紙が凹凸に変形し、一部の火花粒子の転がりを阻害したことが考えられる。

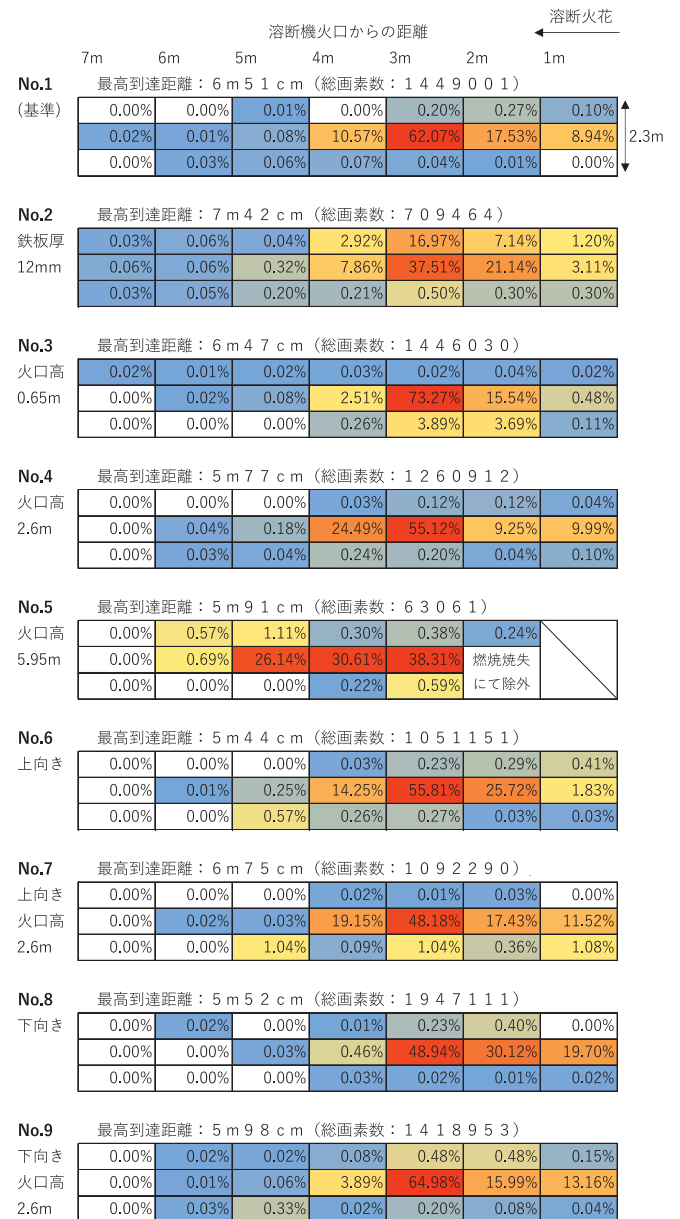


図-5 飛散分布結果

【火口高さ】実験No.1・No.3・No.4・No.5より、火口高さを高くすることで、飛散範囲が遠くにシフトすることが確認できた。実験設備の関係上、実験No.5は手前2mまでの記録は正確にできない部分があったが、全体的に熱影響の範囲は少なくなる傾向が確認できた。火口高さ別の熱影響範囲の結果を、それぞれ火口角度ごとにグラフ化すると図-6のようになり、高さ方向の離隔距離が、火花の床面到達時の熱影響を低減していることがわかる。また、火口角度により高さ方向の影響度が変化することも確認できた。

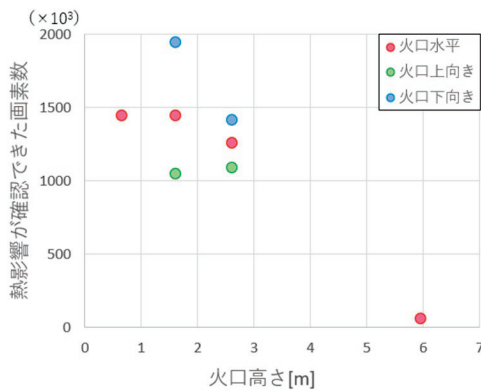


図-6 火口高さによる熱影響の変化

3.2 遮へい物による火花集積に関する実験結果

実験後の模造紙画像について、熱影響があった部分を画像処理により赤く表示したものを図-7に示す。

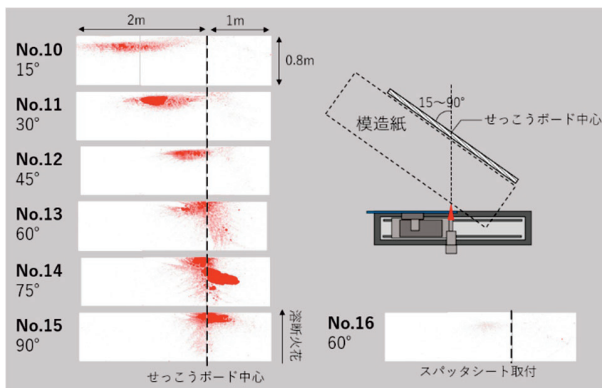


図-7 遮へい物による飛散状況の変化

図-7では、実験No.10～No.15までせっこうボードの角度変化に応じて結果を並べており、溶断方向に対し角度が垂直に近づくほど、飛散分布が手前側に集中する傾向が確認できた。また、実験No.14・No.15では模造紙の着火が発生しており、溶断火花が遮へい物に衝突した後、火花の集積が生じ、該当部位がより高温になっ

ていることが確認できた。このことから、実際の建設工事現場における溶断においても、障害物等の影響により、予期せぬ箇所に集積した溶断火花粒子が蓄熱し、それが着火源となり火災に至る可能性があると考えられる。また、せっこうボードにスパッタシートを取り付けた実験No.16については、スパッタシートにより火花粒子の跳ね返りが抑制された(図-8)。



図-8 スパッタシート取付時の様子

3.3 有機系断熱材への熱影響に関する実験結果

実験No.17・No.18ではスチレンボード厚さの違いを検討した。厚さ20mmとした実験No.17ではスチレンボードに火花が接触した部分が溶融するのみであったが、厚さ220mmとした実験No.18では約20秒程度で着火し、その後火炎の拡大を確認した(図-9)。

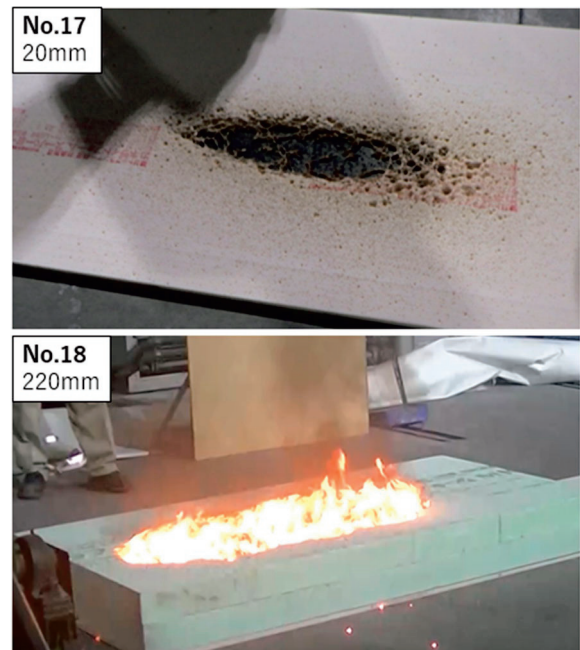


図-9 スチレン厚さ比較

スチレンボードが厚くなることで、①溶融して発生する可燃性ガス量が増加したこと、②溶融してできた孔に可燃性ガスが滞留して着火に至ったこと、③熱慣性が小さいため、溶融し液化したスチレンの燃焼が促進されたことが要因として考えられる。実験No.19では③の効果をより高める目的で、スチレンボードの間に段ボールを挿入したが、着火時間に優位差はなかった(燃焼写真は図-11に掲載)。このことより、実験No.19のスチレンボード条件を以降の実験で採用した。

実験No.20～22は、火口高さをより高所に設定して熱影響の確認を行った。また実験No.22では、せっこうボードを立てかけて、溶断火花が集積するような状況とした。いずれも着火には至らなかったが、スチレンボードの溶融が確認できた。火口高さが低くなると溶融面積(図-10青色部)が増加しており、これは実験シリーズIで得られた火口高さ と熱影響範囲の関係性と一致する。また、実験No.22が最も溶融箇所が多く、唯一、火花粒子が中間層の段ボールまで貫通しており、実験シリーズIIで確認された火花集積の影響が、同様に現れたといえる。

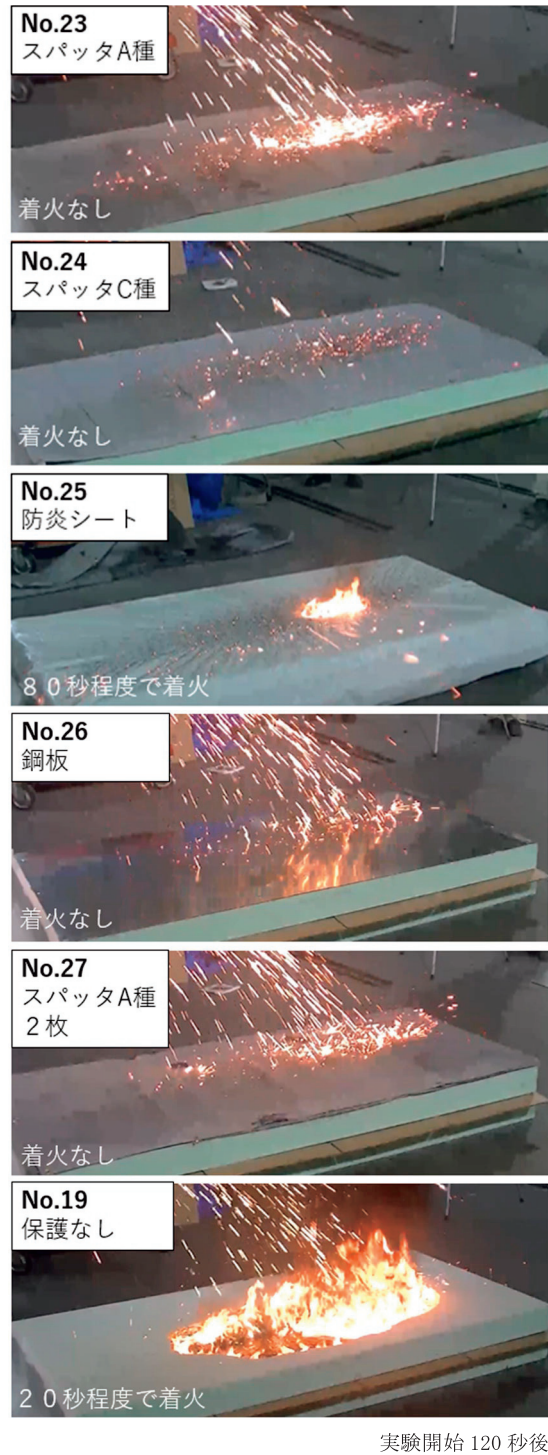
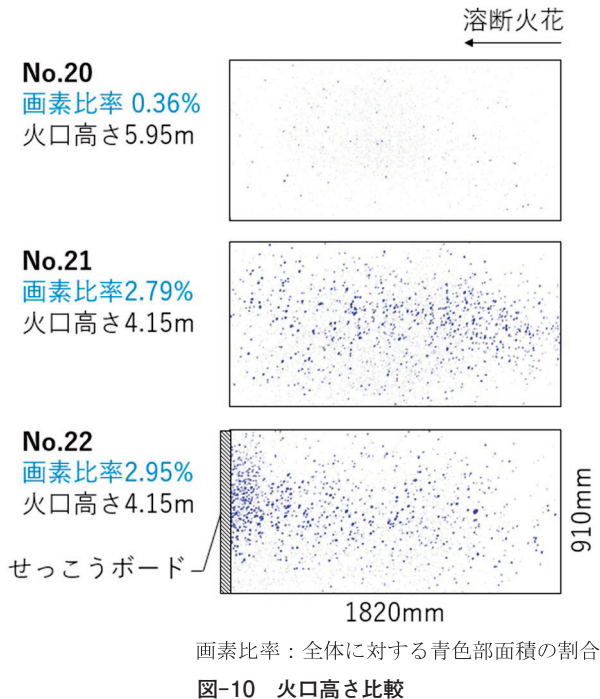


図-11 保護材料の比較(平置き)

3.4 溶断火花の対策効果検証に関する実験結果

図-11に各種保護材料の比較写真を示す(参考として、保護材料なしの実験No.19も掲載)。実験No.25の防災シートのみ、スチレンボードの着火が確認できた。

その他の条件では着火は発生しなかったが、実験後に保護材料を剥がすと、いずれもスチレンボードの溶融が確認できた(図-12)。溶融範囲は実験No.27のスパッタシート2枚重ねが最も少なく、またシートの折目やしわ・窪みといった箇所に火花粒子の集積が発生し、溶融が大きくなる傾向が確認できた。

No.23 スパッタシートA種

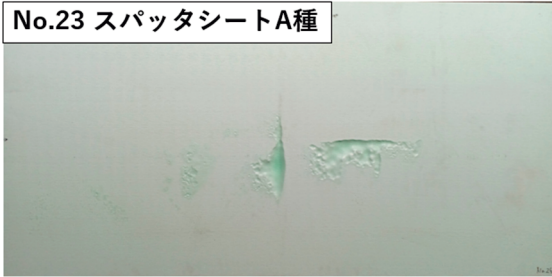


図-12 溶融の様子（シート除去後）

実験No.28～30ではシートをフレームに固定し、溶断火花の裏面貫通を観測した（図-13）。スパッタシートA種およびC種では程度が異なるが、いずれも溶断火花の貫通が確認されたのに対し、防災シートでは貫通が確認されなかった。平置きでの実験と、傾向が異なる結果となったが、これは火花接触時間とシート素材によるものと考えられる。本実験で用いたスパッタシートは耐炎繊維の織物であり、表面コーティングが損傷すれば火花の貫通が起これる。一方、防災シートはポリエステル系シートに塩ビコーティングを施したものであり、比較的緻密性は高く、本条件のような火花粒子との短時間接触であれば、火花貫通に対し効果があったと推測する。



図-13 保護材料の比較（立てかけ）

4. おわりに

本稿では、建設工事現場で起こりうる溶断条件や周囲環境が、火災リスクへどのように寄与するのかについて、限定的な範囲ではあるが実験により示すことができた。得られた知見を以下にまとめる。

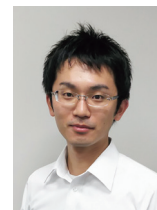
- ・溶断火花の飛散範囲や熱影響は、火口角度・鉄板厚・火口高さの影響を大きく受ける。
- ・溶断火花の飛散方向に遮へい物がある場合、火花集積が発生し着火リスクが増加する可能性がある。
- ・シート類を用いた養生での火花対策は、平置きや立てかけといった使用方法によって効果が変わる。
- ・画像解析による数値化を用いることで、溶断火花の飛散状況をより客観的に捉えることができる。

<謝辞>本検討は、令和4年度建築研究開発コンソーシアム「工事中の溶接・溶断火花が発泡プラスチック系断熱材に飛散して発生する火災の実態及び対策に関する研究会」の成果の一部であり、その助成金で実施した。また実験実施に当たって、(株)東重理科の協力を得た。記して謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 尾碕悠平, 鈴木秀和ら：溶断火花に対する有機系断熱材の難燃性試験・評価方法の検討 その1及びその2 日本建築学会大会学術講演梗概集, 防火, pp.289-292, 2022.9.
- 2) JIS A 1323, 建築工事用シートの溶接及び溶断火花に対する難燃性試験方法, JSA, 1995

【執筆者】

*1 玉井 裕介
(TAMAI Yusuke)*2 正木 智大
(MASAKI Tomohiro)*3 鈴木 秀和
(SUZUKI Hidekazu)*4 豊田 康二
(TOYODA Koji)