

防熱板の有効性に関する検証

菊地 遼輔*, 佐藤 歩**, 金子 公平*, 細谷 昌右*

概 要

防熱板の設置については、「特定不燃材料以外の仕上げ部分の表面温度が 100℃を超えないもの」としており、防熱板材料の違い等による特定不燃材料以外の仕上げ部分への熱的影響は未知である。

本検証では、ガスこんろに設置した防熱板の材料、板厚及び通気空間を変化させ、防熱板の基準に適合する仕様を明示することを目的とし実験を実施した。

その結果、板厚及び通気空間が大きくなれば特定不燃材料以外の仕上げ部分の温度は低下する傾向にあったが、加熱により防熱板が反り、防熱板となべ底部とが接触すると、特定不燃材料以外の仕上げ部分の温度が高温となり、より大きな通気空間が必要となることが分かった。

1 はじめに

火災予防条例¹⁾第3条第1項第1号イにより、入力 21kW 以下のガスこんろ等を設置する場合、側方及び後方に 15cm 以上の離隔距離を設ける必要がある。

この離隔距離を確保できない場合は、離隔距離を保つことを要しない場合の基準等に適合させる必要がある。それらの措置のうちの一つである防熱板の基準は、予防事務審査・検査基準²⁾に記載があるものの、設置するにあたり特定不燃材料以外の仕上げ部分の温度を測定し、基準を満足しているか確認する必要がある。

本検証では、防熱板の材料、板厚及び通気空間を変化させた実験を実施し、基準を満たす仕様を明確にすることを目的とする。

2 検証方法

本検証に用いたガスこんろは、平成 30 年 8 月時点で市販されている家庭用ガスこんろの中でもガス消費量が大い 4.65kW/h のもの（以下「ガスこんろ」という。）である（図 1）。試験用なべ（以下「なべ」という。）は、JIS S 2103（家庭用ガス調理機器）の表 5（試験用なべの大きさ）を準用し、ガス消費量に応じたものを選定した（図 2）。熱電対は、一般財団法人日本ガス機器検査協会の JIA F 030 - 10（家庭用こんろに使用される防熱板検査規程）（以下「JIA 基準」という。）に準拠し設置した（図 3）。赤外線熱画像カメラ（以下「カメラ」という。）を図 4 及び各防熱板を表 1 に示す。各防熱板は、各実験で同じものを使用した。

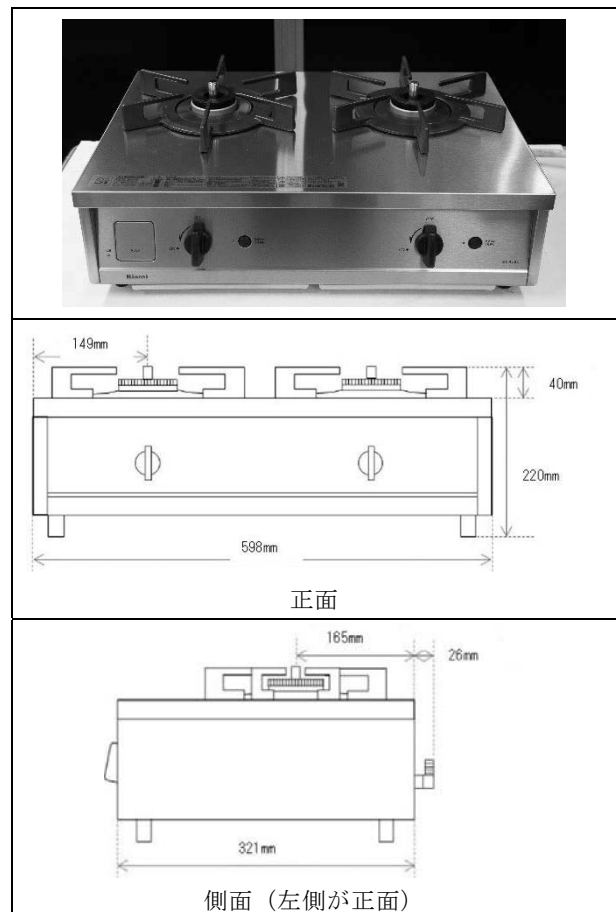
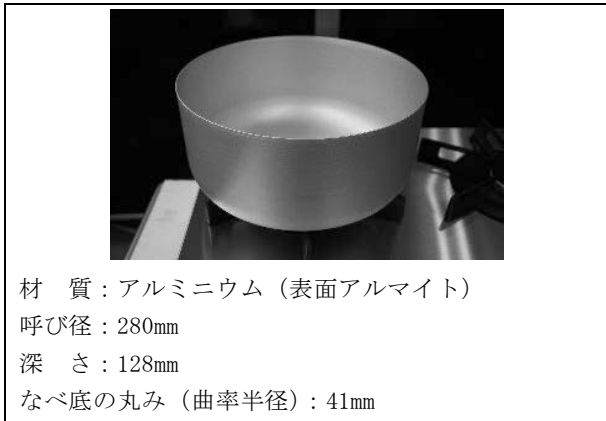


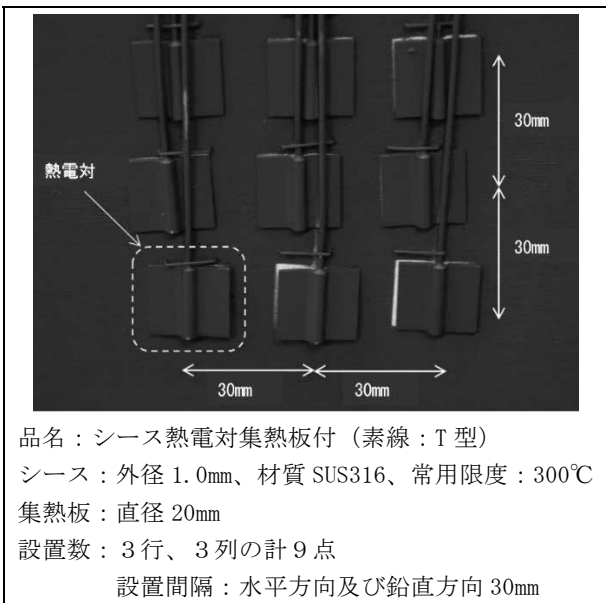
図 1 ガスこんろの外観と仕様

* 装備安全課 ** 大森消防署



材 質：アルミニウム（表面アルマイト）
 呼び径：280mm
 深 さ：128mm
 なべ底の丸み（曲率半径）：41mm

図2 なべの外観及び仕様



品名：シース熱電対集熱板付（素線：T型）
 シース：外径 1.0mm、材質 SUS316、常用限度：300℃
 集熱板：直径 20mm
 設置数：3行、3列の計9点
 設置間隔：水平方向及び鉛直方向 30mm

図3 熱電対の外観及び仕様



検出器：2次元非冷却センサ（マイクロボロメータ）
 測定波長：8～14μm
 測定温度範囲：0～2000℃
 測定距離範囲：10cm～∞

図4 赤外線熱画像カメラ外観及び仕様

表1 検証対象の防熱板

材料	板厚 (mm)
ステンレス板	0.3, 0.5, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2.0, 2.5
鋼板	0.5, 0.8, 1.0
0.8 けい酸カルシウム板	6, 8, 10, 12

(1) 防熱板の受熱環境

各防熱板として必要な大きさを確認するため実施した。ステンレス板防熱板板厚 0.3mm、鋼板防熱板板厚 0.5mm 及びけい酸カルシウム板 6mm をなべに接するように配置した。ガスこんろの上には、高さの2分の1を超える位置まで水を入れたなべを載せ、実験中に蒸発しても水位がなべ高さの2分の1を下回らないように適宜充水した。各防熱板は、両面黒体化（放射率 0.96）し、点火してから1時間後のなべに接している面の裏面の熱環境をカメラで記録した（図5）。



図5 ステンレス板防熱板受熱環境の実験状況

(2) 特定不燃材料以外の仕上げ部分の受熱環境の予測

前(1)と同様になべに水を入れ、防熱板を黒体化し設置した（図6）。各防熱板から10mmの通気空間を確保した位置に、表裏黒体化した銅板を設置し、その裏面温度を点火から1時間連続してカメラで測定した。

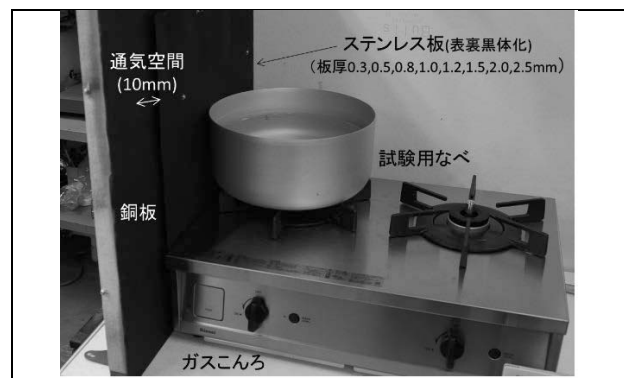


図6 特定不燃材料以外の仕上げ部分の受熱環境の予測

(3) 特定不燃材料以外の仕上げ部分の温度変化

防熱板裏面の特定不燃材料以外の部分の温度が 100℃を超えない条件を探るため実施した(図7)。前(1)と同様になべに水を入れ、防熱板を黒体化し設置した。

表1に示す各防熱板について、通気空間(防熱板と特定不燃材料以外の仕上げ部分の間)の大きさを変え、特定不燃材料以外の仕上げ部分(木)の表面温度を図3のT型熱電対で測定した(図8)。実験はJIA基準に準拠し1時間実施したが、実験中に特定不燃材料以外の仕上げ部分(木)の表面温度が100℃を超えた場合は、その時点で実験を中止した。

なお、実験時の室温が35℃とならない場合は、対象火気設備等及び対象火気器具等の離隔距離に関する基準(平成14年3月6日消防庁告示第1号)、第4運用上の注意、二を準用し、試験周囲温度の校正を下式のとおり実施し、実験結果とした。

$$T_2 = T_1 + (35^\circ\text{C} - T_0)$$

T_0 : 室温 T_1 : 実測温度 T_2 : 校正温度

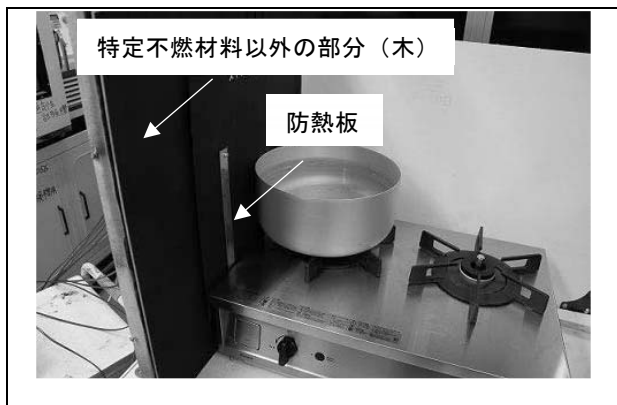


図7 特定不燃材料以外の仕上げ部分(木)の温度測定

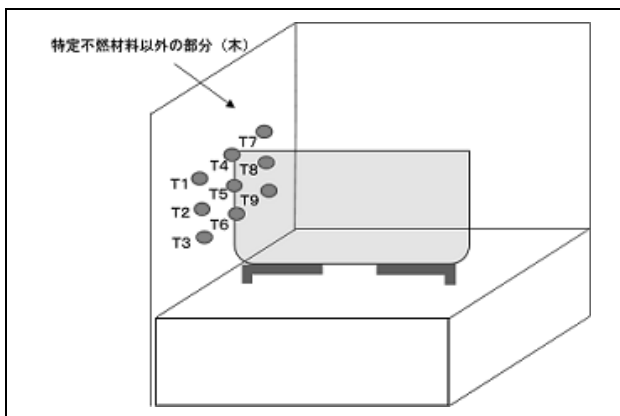


図8 熱電対測定位置

3 検証結果

(1) 防熱板の受熱環境

ア ステンレス板防熱板

実験結果を図9に示す。

ステンレス板防熱板はなべとの接触点からU字型に分かれるような形の受熱をしており、最高温度点はなべ底付近で、ステンレス板防熱板裏面の最高温度は、276℃であった。

ステンレス板防熱板の裏面において100℃を超える範囲は、なべを中心として高さ225mm、幅189mmであった。このことから、ステンレス板防熱板の大きさは高さ40cm以上、幅は五徳を中心として左右15cmとしていれば十分であるといえる。

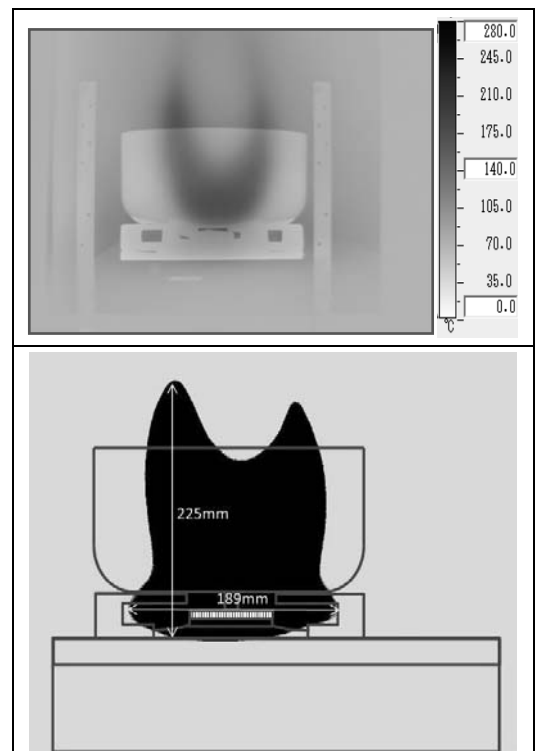


図9 ステンレス板防熱板裏面の熱環境

イ 鋼板防熱板

実験結果を図10に示す。

鋼板防熱板はなべとの接触点からU字型に分かれるような形の受熱をしており、最高温度点はなべ底付近で、鋼板防熱板裏面の最高温度は、226℃であった。

鋼板防熱板裏面において、100℃を超える範囲はなべを中心として高さ205mm、幅177mmであった。このことから、鋼板防熱板の大きさは高さ40cm以上、幅は五徳を中心として左右15cmとしていれば十分であるといえる。

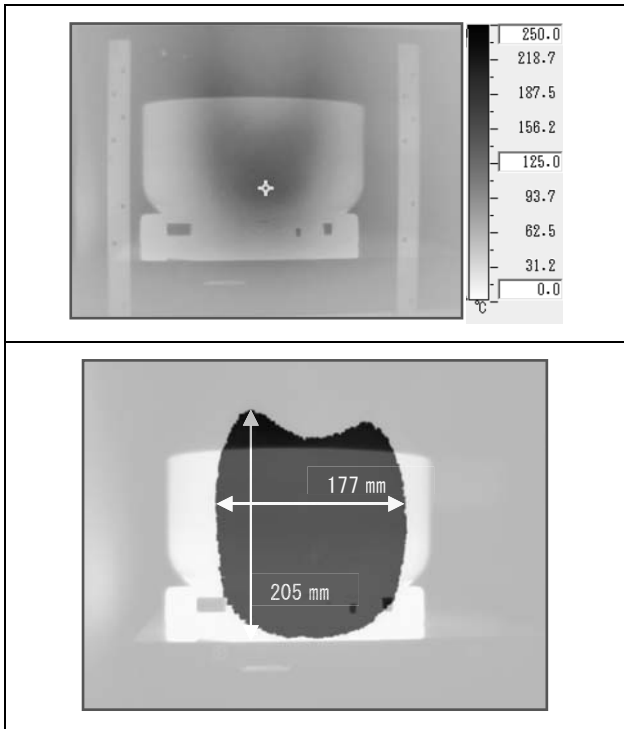


図 10 鋼板防熱板裏面の熱環境

ウ けい酸カルシウム板

実験結果を図 11 に示す。

けい酸カルシウム板は、なべとの接触点から U 字型に分かれるような形の受熱をしており、最高温度点はなべ底付近で、けい酸カルシウム板裏面の最高温度は、285℃であった。

なお、すべての板厚で表面から裏面にまで達する亀裂が生じたため、防熱板に不適であると判断し、他の実験は実施しなかった。

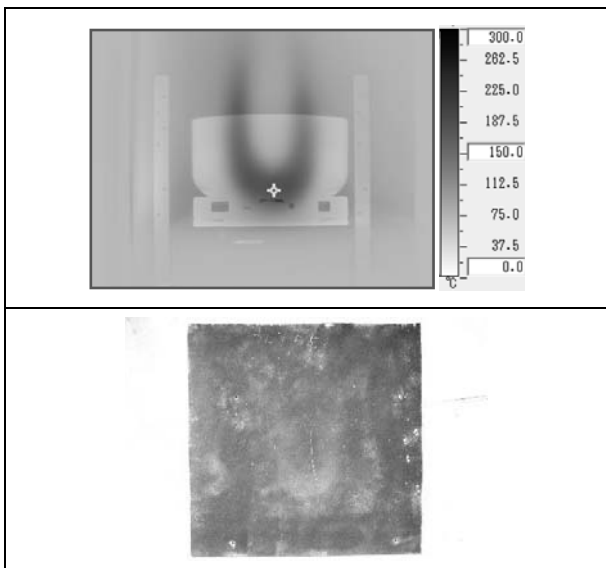


図 11 けい酸カルシウム板裏面の熱環境及び亀裂発生状況

(2) 板厚を変化させたときの特定不燃材料以外の仕上げ部分の受熱環境の予測

ア ステンレス板防熱板

図 12 より、ガスこんろ使用時の銅板裏面には 100℃以上の熱が伝わっていないことがわかる。どの板厚でもガスこんろに点火してから 1500 秒後には最高温度が安定していることから、1500 秒後以降実験終了までの銅板裏面の最高温度の値を平均した。その結果、ステンレス板防熱板板厚 0.3mm では 77.4℃、0.5mm では 83.9℃、0.8mm では 79.6℃、1.0mm では 73.5℃、1.2mm では 71.7℃、1.5mm では 61.9℃、2.0mm では 61.7℃、そして 2.5mm では 70.9℃であった。

図 13 より、特定不燃材料以外の仕上げ部分の受熱は、接触点を中心としてたまご型に分布していることがわかる。最高温度は、ステンレス板防熱板の板厚により上下しており、板厚 1.0mm 及び 1.5mm では下方に移行することが分かった。

なお、防熱板はガスこんろによる加熱により反りを生じた。このうち、板厚 1.0mm 及び 1.5mm のステンレス板防熱板は、加熱に伴いガスこんろに向かって凸状に反る現象が生じた。反りの状況を図 14 に示す。

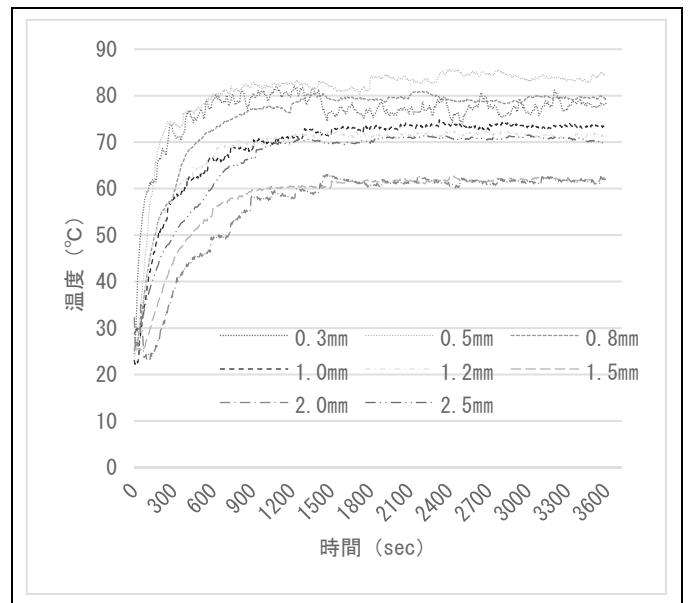


図 12 ステンレス板防熱板使用時の銅板裏面最高温度の変化

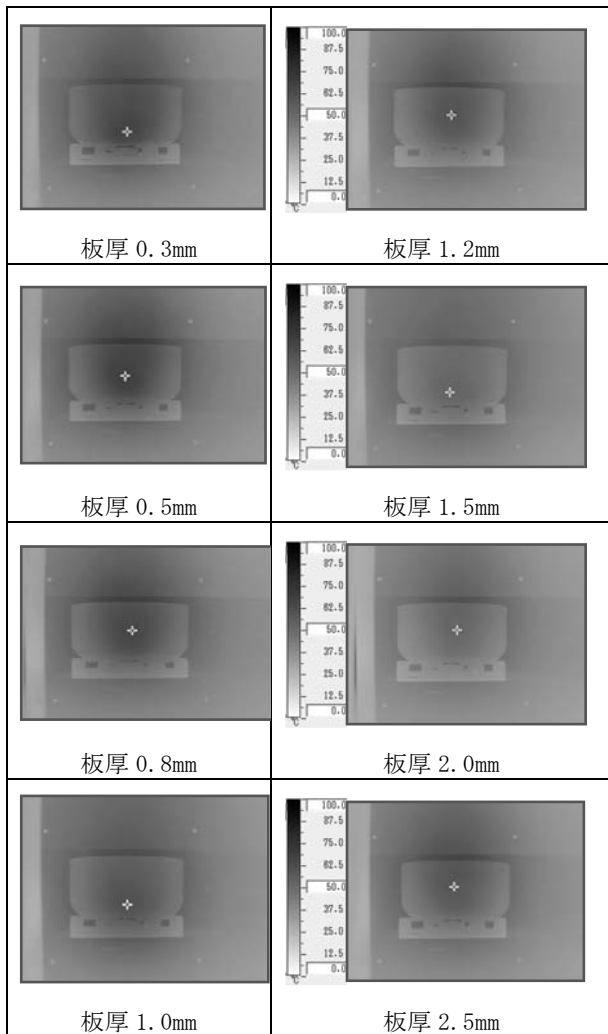


図 13 ステンレス板防熱板使用時の銅板裏面温度分布

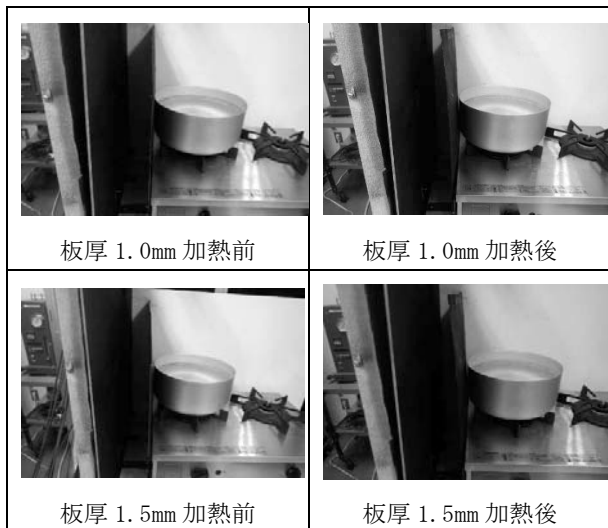


図 14 ステンレス防熱板板厚 1.0mm 及び 1.5mm の加熱前後の反り

イ 鋼板防熱板

図 15 より、鋼板裏面には 100℃以上の熱が伝わっていないことがわかる。どの板厚でもこんろに点火してから 1500 秒後には最高温度が安定していることから、1500 秒後以降実験終了までの最高温度の値を平均した。その結果、鋼板防熱板板厚 0.5mm では 45.1℃、板厚 0.8mm では 42℃、そして板厚 1.0mm では 51.2℃であった。

図 16 より、特定不燃材料以外の仕上げ部分の受熱は、防熱板となべの接触点を中心として円型に分布していることがわかる。最高温度は、板厚 0.5mm 及び 0.8mm でほぼ同じ位置だったが、板厚 1.0mm ではその他の板厚よりも下方に移行していた。

なお、防熱板はガスこんろによる加熱により反りを生じた。このうち、板厚 1.0mm の鋼板防熱板は、加熱に伴いガスこんろに向かって凸状に反る現象が生じた。反りの状況を図 17 に示す。

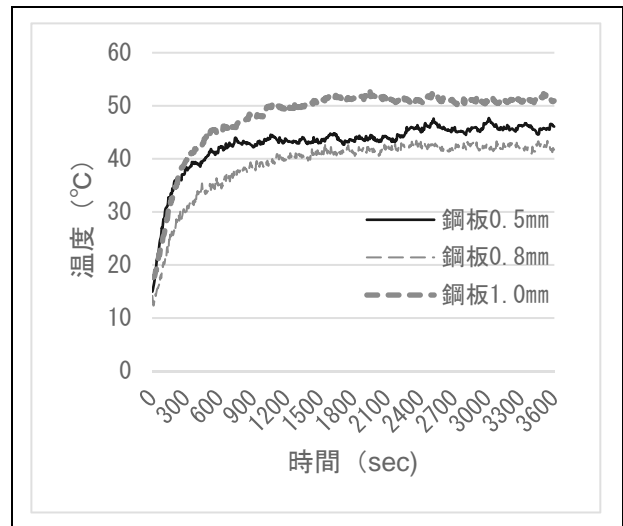


図 15 鋼板防熱板使用時の銅板裏面最高温度の変化

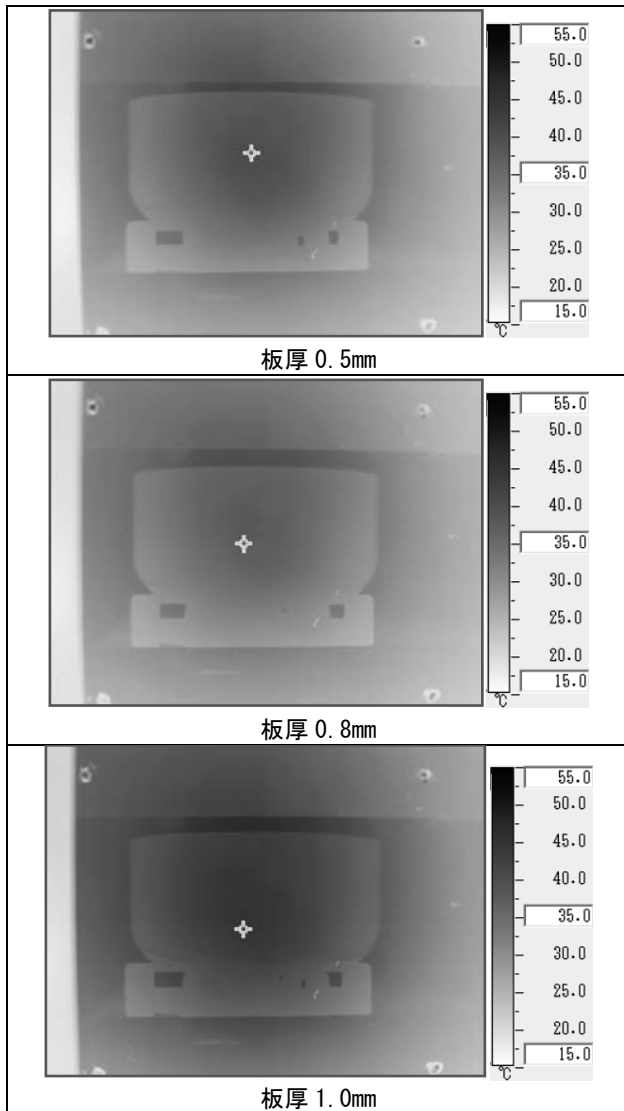


図 16 鋼板防熱板使用時の銅板裏面温度分布

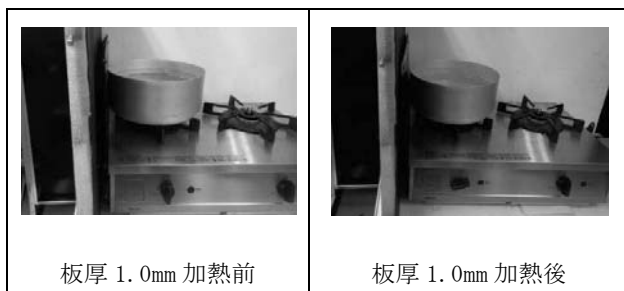


図 17 鋼板防熱板板厚 1.0mm 加熱前後の反り

(3) 通気空間を変化させたときの特定不燃材料以外の部分の温度変化

ア ステンレス板防熱板

試験周囲温度の校正に用いた室温を表 2 に示す。校正後のステンレス板防熱板を用いた場合の実験結果を表 3 及び表 4 にそれぞれ示す。

板厚 0.3mm 通気空間 100mm、板厚 0.5mm 通気空間 50mm、板厚 0.8mm 通気空間 50mm、板厚 1.0mm 通気空間 110mm、板厚 1.2mm 通気空間 50mm、板厚 1.5mm 通気空間 100mm、板厚 2.0mm 通気空間 50mm 又は板厚 2.5mm 通気空間 50mm 以上とすれば、特定不燃材料以外の部分（木）の表面温度が 100℃を超えないことが分かった。

表 2 ステンレス板防熱板実験実施時の室温

	通気空間 (mm)											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	
板厚 (mm)	0.3	15.3	18.9	17	9.6	14.3	9.8	12.3	13.6	11.3	-	-
	0.5	16.1	19.6	14	10.6	13.5	8.1	11.3	-	-	-	-
	0.8	16.3	20.5	13.8	11.3	12.1	11.8	-	-	-	-	-
	1.0	16.7	20.8	13.8	11.8	12.1	13.3	13.9	8.2	11.6	11.6	14.3
	1.2	15.5	21.1	15.5	11.9	9.4	-	-	-	-	-	-
	1.5	14.8	21.1	15.7	10.6	13.6	7.8	-	-	-	-	-
	2.0	16.1	16.8	18.4	10.3	12	-	-	-	-	-	-
	2.5	14.7	17.6	18.4	9.3	12	-	-	-	-	-	-

※「-」の記載については、未実施のもの。数字はそれぞれ温度 (°C) を示す。

表 3 ステンレス板防熱板実験実施結果

	通気空間 (mm)											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	
板厚 (mm)	0.3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	○	-
	0.5	x	x	x	x	○	○	○	-	-	-	-
	0.8	x	x	x	x	○	○	-	-	-	-	-
	1.0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	○
	1.2	x	x	x	x	○	-	-	-	-	-	-
	1.5	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	○
	2.0	x	x	x	x	○	-	-	-	-	-	-
	2.5	x	x	x	x	○	-	-	-	-	-	-

※「-」の記載については、未実施のもの。○は 100℃を超えなかったもの、×は 100℃を超えたものを示す。

表 4 ステンレス板防熱板実験最高温度

	通気空間 (mm)											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	
板厚 (mm)	0.3	152.9	141.2	133.2	128	114.5	115.5	124.6	117.5	103.1	93.1	-
	0.5	198.2	120.3	114.8	107.1	96.2	97.5	88.1	-	-	-	-
	0.8	214.1	117	122.1	116.3	93.7	92.4	-	-	-	-	-
	1.0	161.2	144.3	127.9	134.8	125.3	122	124	106	104.3	102.1	99.1
	1.2	150.9	120.3	109.7	105	90.7	-	-	-	-	-	-
	1.5	150.5	131.8	134.5	137.9	117.4	128.5	-	-	-	-	99.4
	2.0	133	111.8	103.4	108.7	83.2	-	-	-	-	-	-
	2.5	154.6	110.2	101.7	105.2	87.8	-	-	-	-	-	-

※「-」の記載については、未実施のもの。

イ 鋼板防熱板

試験周囲温度の校正に用いた室温を表 5 に示す。校正後のステンレス板防熱板を用いた場合の実験結果を表 6 及び表 7 にそれぞれ示す。

板厚 0.5mm 通気空間 60mm、板厚 0.8mm 通気空間 50mm 又は板厚 1.0mm 通気空間 60mm 以上とすれば、特定不燃材料以外の部分（木）の表面温度が 100℃を超えないことが分かった。

表5 鋼板防熱板実験実施時の室温 (°C)

板厚 (mm)	通気空間 (mm)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0.5	-	-	-	14	11	12	-	-	-	-
0.8	-	9.6	8.8	6.5	6.6	5.4	10	-	-	-
1.0	-	-	9.6	9.2	8.7	8	9.7	-	-	5.9

※「-」の記載については、未実施のもの。数字はそれぞれ温度 (°C) を示す。

表6 鋼板防熱板実験実施結果

板厚 (mm)	通気空間 (mm)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0.5	-	-	-	×	×	○	-	-	-	-
0.8	-	×	×	×	○	○	○	-	-	-
1.0	-	-	×	×	×	○	○	-	-	○

※「-」の記載については、未実施のもの。○は100°Cを超えなかったもの、×は100°Cを超えたものを示す。

表7 鋼板防熱板実験実施結果

板厚 (mm)	通気空間 (mm)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0.5	-	-	-	103.1	100.6	92.8	-	-	-	-
0.8	-	101.4	101.9	100.2	99	90.3	88.3	-	-	-
1.0	-	-	105.6	104.3	101.3	99.3	96.1	-	-	82.3

※「-」の記載については、未実施のもの。

4 考察

(1) ステンレス板防熱板

図18より、同じ板厚に着目すると通気空間が大きくなるほど特定不燃材料以外の部分(木)の温度は低下する傾向にあったが、板厚0.5mm通気空間50mm及び通気空間60mmの測定値のように、必ずしも通気空間が広がるほど測定値が下がる結果にはならなかった。

これは、表2の実験実施時の室温が影響していると考えられる。実験時の室温は13.5°C(板厚0.5mm通気空間50mm)及び8.1°C(板厚0.5mm通気空間60mm)であり、5.4°C差となる。①式で校正する温度は、室温が低いほど大きくなるため、このような結果になったと考えられる。

同じ通気空間であれば板厚が大きくなるほど、特定不燃材料以外の仕上げ部分(木)の温度は低くなる傾向にあった。しかし、板厚2.0mmと板厚2.5mmの結果はこれに当てはまらなかった。実験実施時室温は共に12°Cであり、校正により生まれた差ではないことがわかるが、他の通気空間で板厚2.0mm及び板厚2.5mmの実験は実施していないため、詳細な理由についてはわからない。

板厚1.0mm及び1.5mmの防熱板は、板厚の割に通気空

間を大きく確保しなければ100°C以下とできなかった。これらの板厚の防熱板は、ガスこんろの火炎により実験開始前の状態から図14のように大きくなべ側に凸状に反った。

また、図13の板厚1.0mm及び1.5mmの温度分布を見ると、板厚0.8mm、1.2mm及び2.0mmに比べ、高温部がなべ底部に移行していることがわかる。これらのことから、防熱板が加熱され、なべ側へと凸状に反りを生じた結果、防熱板がなべ底部に接触し、ガスこんろ火炎の熱が防熱板に伝導しやすくなったものと考えられる。他の板厚でも反りが生じたが、なべと反対側に反り、防熱板となべ底部は接触していなかった。

防熱板の反りが起きる原因は、ステンレスの線熱膨張係数の高さ及び熱伝導率の低さが関係していると考えられる。本検証で用いた防熱板は、オーステナイト系ステンレスの一種であるSUS304であり、家庭用品、建設材料、食品設備等に最も広く用いられている。一般的に、ステンレスは熱膨張し易く、熱伝導しにくい素材であることが知られており、常温での線熱膨張係数はSUS304が 17.3×10^{-6} 、炭素鋼 11×10^{-6} 、常温での熱伝導率はSUS304が $25.6 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ 、炭素鋼が $58 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ である³⁾。

図9のステンレス板防熱板裏面最高温度及び受熱範囲から、ガスこんろでの水平方向の線熱膨張量を以下の①式⁴⁾を用いて算出する。

$$\Delta L = \alpha (t_2 - t_1) L \quad \dots \text{①}$$

ΔL : 熱膨張量 (mm) α : 線熱膨張係数

t_1 : 変化前の温度 t_2 : 変化後の温度

L : 膨張前の長さ (mm)

ステンレス防熱板では、 $\Delta L = 17.3 \times 10^{-6} \times (276 - 20) \times 189 \approx 0.837 \text{ mm}$ の膨張が生じたこととなる。

ステンレス板防熱板に伝わった熱は、熱伝導率の低さから防熱板の加熱される部分は局所的となり、局所的な線熱膨張が発生したことにより、防熱板が大きく反ったものと考えられる。

なお、ステンレス板防熱板2.0mm以上では、目立った反りは見られなかった。これは、板厚が大きくなったことにより、防熱板の剛性が増加したため、反りが発生しづらくなったと思われる。

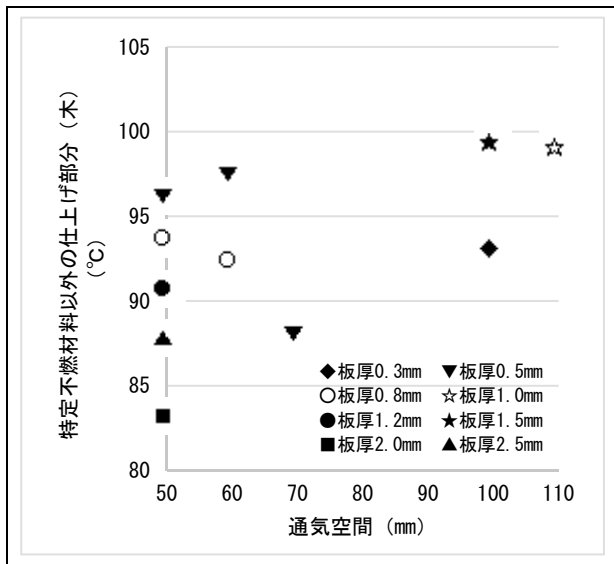


図 18 ステンレス板防熱板実験最高温度分布

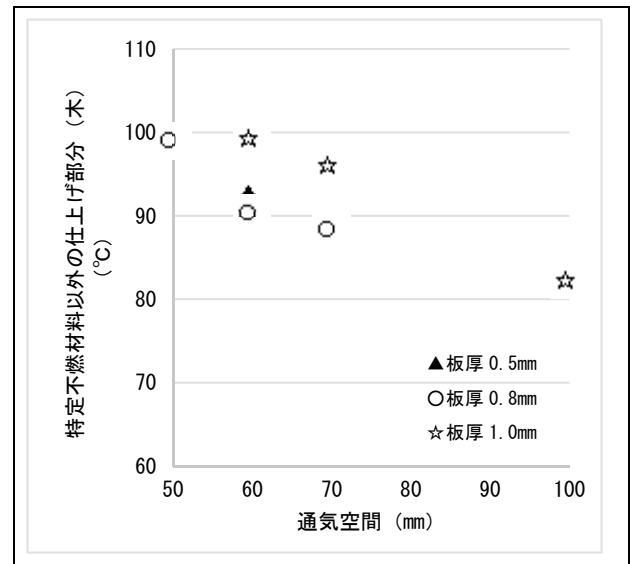


図 19 鋼板熱板実験最高温度分布

(2) 鋼板防熱板

図 19 より、同じ板厚であれば通気空間が大きくなるほど特定不燃材料以外の仕上げ部分（木）の温度は低下する傾向にあった。

同じ通気空間であれば板厚が大きくなるほど、特定不燃材料以外の部分（木）の温度は低くなる傾向にあった。しかし、板厚 1.0mm の結果はこれに当てはまらなかった。

板厚 1.0mm の防熱板は、ガスこんろの火炎により加熱され、実験開始前の状態から図 17 のようになべ側に凸状に反った。

また、図 16 の板厚 1.0mm の温度分布を見ると、板厚 0.5mm 及び板厚 0.8mm に比べ、高温部がなべ底部に移行していることがわかる。これらのことから、前(1)で述べたような加熱がなされたものと考えられる。

鋼板防熱板の熱膨張量を検討すると、常温での炭素鋼の線熱膨張係数は 11×10^{-6} であることから、図 10 の鋼板防熱板裏面最高温度及び受熱範囲から、ガスこんろでの水平方向の線熱膨張量を①式を用いて算出すると、 $L = 11 \times 10^{-6} \times (226 - 20) \times 177 \approx 0.401\text{mm}$ の膨張が生じたこととなる。

鋼板防熱板はステンレス板防熱板に比べ、前(1)で述べたように熱伝導率が高く、線熱膨張係数が小さい。ステンレス板防熱板では、0.837mm の線熱膨張だったことから、その差は 0.436mm であった。したがって、鋼板防熱板の反りは、ステンレス板防熱板より小さくなったと考えられる。

(3) けい酸カルシウム板

けい酸カルシウム板を防熱板とした場合には、加熱により表面から裏面に達する亀裂が生じることが分かった。継続使用で裏面に与える熱的環境が変化する恐れがあるため、けい酸カルシウム板を単独で防熱板として使用することは適切ではないと思料する。

5 おわりに

- (1) 防熱板の大きさについて、ステンレス板防熱板、鋼板防熱板ともにガスこんろ天板から高さ 40cm 以上、幅は五徳を中心として左右 15cm 以上とれば十分である。
- (2) ステンレス板防熱板及び鋼板防熱板は、加熱による反りでなべ底部と接触すると、防熱板の高温部が下方に移行し、特定不燃材料以外の仕上げ部分の温度も高くなる。
- (3) ステンレス板防熱板は板厚 2.0mm 以上通気空間 50mm 以上、鋼板防熱板は板厚 0.5mm 以上通気空間 60mm 以上とすれば、特定不燃材料以外の仕上げ部分が 100°C を超えない。
- (4) けい酸カルシウム板は、加熱により亀裂が生じるため、防熱板に適さない。

6 謝辞

本検証の実施にあたり、一般財団法人日本ガス機器検査協会並びに国立大学法人横浜国立大学大学院環境情報研究院長／環境情報学府長大谷英雄教授より多くの貴重な知見を賜りました。ここに感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 東京都条例第 65 号、昭和 37 年 3 月 31 日（最終改正平成 30 年条例第 122 号）
- 2) 東京消防庁：予防事務審査・検査基準Ⅱ改訂第 12 版、公益財団法人東京防災救急協会、2017 年
- 3) 大山正ほか 2 名：ステンレスのおはなし、財団法人日本規格協会、1990 年
- 4) ステンレス協会 HP：<http://www.jssa.gr.jp/>

Study on the Effectiveness of Heat Insulating Boards

Ryousuke KIKUCHI*, Ayumu SATOU**, Kouhei KANEKO*, Masasuke HOSOYA*

Abstract

With regard to the installation of heat insulating boards, the authorities require that the surface temperatures of finished parts other than specified noncombustible materials not exceed 100° C. However, it is unknown what thermal effects are caused to the finished parts other than specified noncombustible materials by the difference in heat material between heat insulating boards.

In this study, we conducted an experiment for the purpose of exemplifying specifications that meet the criteria of heat insulating boards by changing the material, thickness, and ventilation space of the heat insulating board installed close to a gas stove.

The result shows that the temperatures of the finished parts other than specified noncombustible materials tend to decrease if the plate thickness and the ventilation space increase. The result also shows that the temperatures of finished parts other than specified noncombustible materials become high and a larger ventilating space is required when the heat insulating board is warped by heating and it comes in contact with the bottom of a pan.