

リチウムイオン蓄電池の貯蔵等に係る試験結果について

リチウムイオン蓄電池に係る危険物規制に関する検討会（第2回）

消防庁危険物保安室

1 加熱実験

(1) 目的

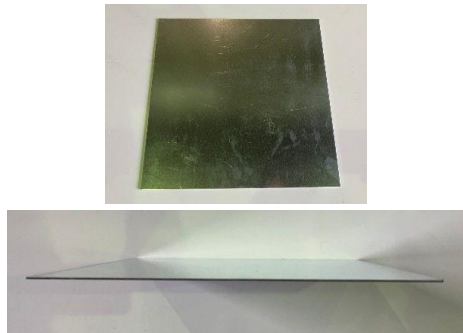
「リチウムイオン蓄電池の貯蔵及び取扱いに係る運用について」（平成23年12月27日付け消防危第303号）に記載のある「厚さ1.6mm以上の鋼板と同等以上の性能を有する材料」についての当該性能に関する試験基準を検討するため、「リチウムイオン蓄電池に係る危険物施設の安全対策のあり方に関する検討報告書」（平成23年12月）を参考に実験を行い当該実験データを取得する。

(2) 試験材

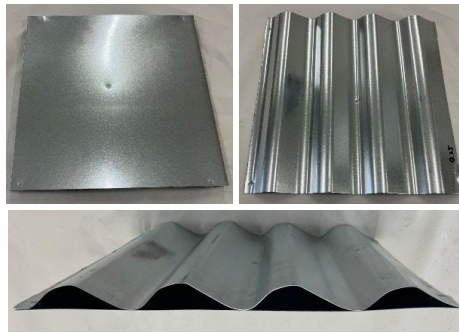
試験材は、次の①から④のとおりとし、一辺の長さはそれぞれ310mmとする。

- ① 厚さ1.60mmの鋼板（以下「1.6平」という。）
- ② 厚さ0.35mmの丸波板と厚さ0.35mmの平板を組み合わせた複合鋼板（以下「0.35波+0.35平」という。）
- ③ 厚さ0.40mmの角波板と厚さ0.40mmの平板を組み合わせた複合鋼板（以下「0.4角波+0.4平」という。）
- ④ 厚さ0.50mmの丸波板と厚さ0.50mmの平板を組み合わせた複合鋼板（以下「0.5波+0.5平」という。）

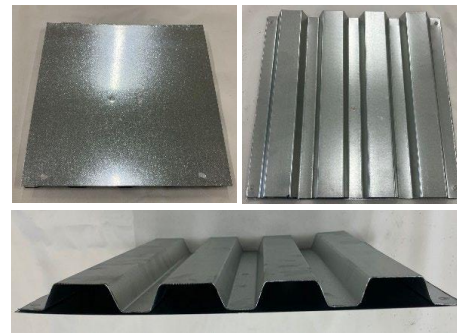
試験材一覧



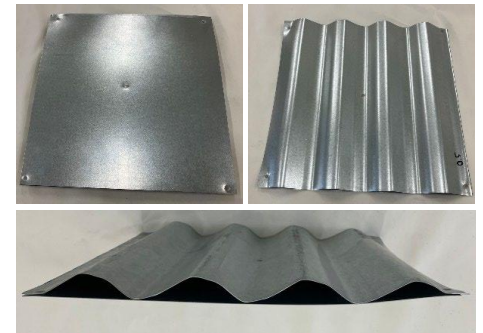
① 1.6平



② 0.35波+0.35平



③ 0.4角波+0.4平



④ 0.5波+0.5平

1 加熱実験

(3) 実験に用いる蓄電池

蓄電池は、リチウムイオン蓄電池18650（直径18mm、高さ65mmの円筒形）で、充電率が100%及び50%のものを用いる。

(4) 実験に用いるバーナー等

火炎は、毎分180mLのLPガスを燃焼させたもので、火炎の長さを10cmとし、その先端が試験材に直接当たるものとする。

試験時間短縮のため、1種類の試験材に対して、下記3個のバーナーを同時に使用した。
LPガスの供給は、1本のLPガスボンベから、同口径のホースを用いて3口に分流し、それぞれ約180mL/分となるよう設定した。



実験に用いたLPガスボンベ



実験に用いたバーナー



実験テーブル

(5) 実験回数 (N数)

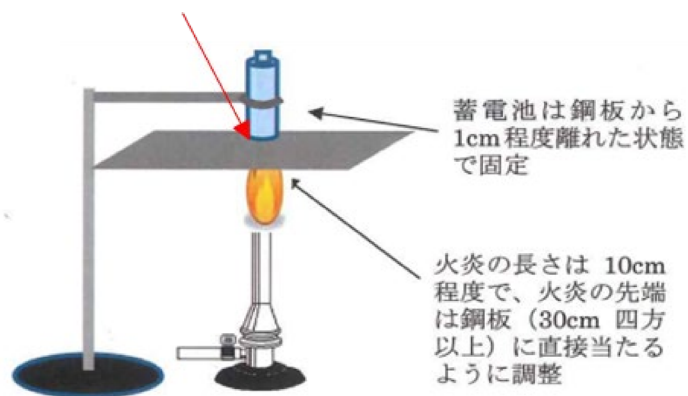
個々の蓄電池及びバーナーに差異がある可能性を考慮し、少なくとも3回実施する。

1 加熱実験

(6) 実験方法

- ア 試験材を火炎と蓄電池の間に挿入して、当該試験体から1cm離れた位置に蓄電池を固定する。
- イ 着火後20分が経過した時点での蓄電池の表面温度の値から着火直前の蓄電池の表面温度の値を差し引いた値（温度上昇値）を計測する。

蓄電池下部を、熱電対で計測（試験前と試験後）



実験方法のイメージ

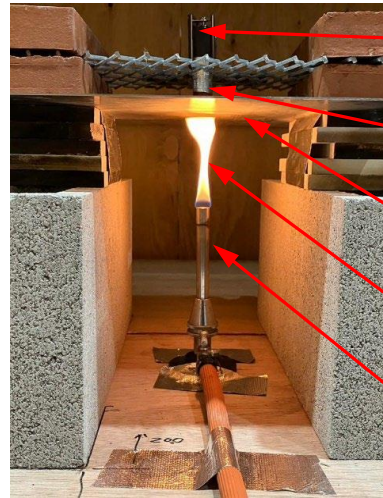
※「リチウムイオン蓄電池に係る危険物施設の安全対策のあり方に関する検討報告書」（平成23年12月）から抜粋

(7) 検証事項

- ア 試験材①から④における蓄電池の破損、液漏れ等の有無について確認する。
- イ 試験材①の温度上昇値と試験材②から④のそれぞれの温度上昇値を比較する。

1 加熱実験

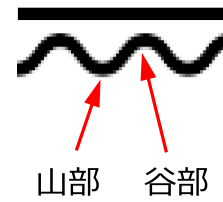
加熱実験の様子



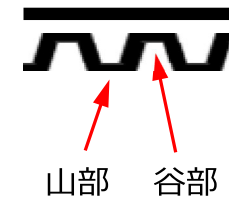
- リチウムイオン蓄電池18650
- 試験材と蓄電池は1cm離す
- 試験材
- 火炎の長さは10cm
- LPガスを180mL毎分で供給

実験の様子

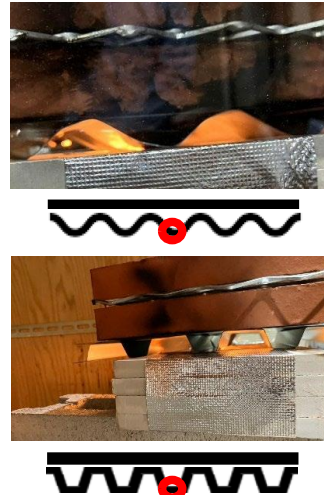
試験材②及び④



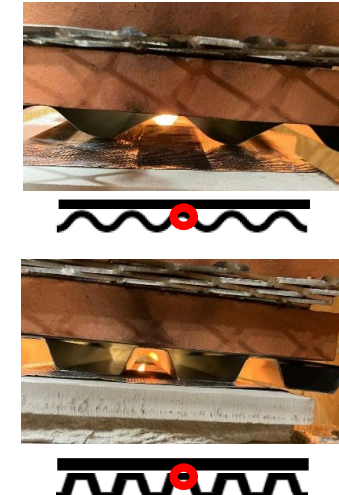
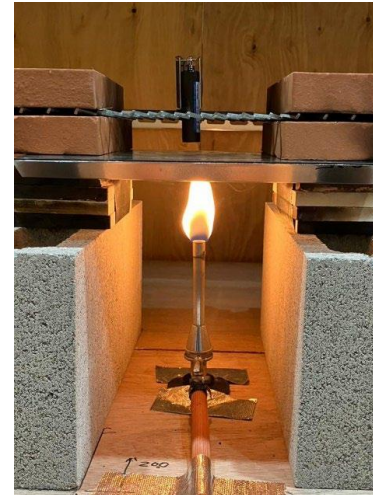
試験材③



試験材②～④は、山部と谷部の両方で実験する。



実験の様子 (赤丸 = 試験材②～④の波板の山部)



実験の様子 (赤丸 = 試験材②～④の波板の谷部)

1 加熱実験

充電率100%のリチウムイオン蓄電池の温度上昇値（計測結果一覧）

試験材	加熱部	N数	蓄電池の破損、液漏れ等の有無	蓄電池の表面温度(°C)		温度上昇値(°C)	平均温度上昇値(°C)	
				着火直前(a)	着火後20分(b)	(b)-(a)	谷部又は山部	全体
試験材① 1.6平		1	無	25.6	38.6	13.0		7.5
		2	無	25.5	29.6	4.1		
		3	無	25.6	31.0	5.4		
試験材② 0.35波+0.35平	谷部	1	無	25.8	35.0	9.2	7.0	6.3
		2	無	25.8	32.2	6.4		
		3	無	24.9	30.2	5.3		
	山部	1	無	26.5	35.0	8.5	5.5	
		2	無	26.4	31.7	5.3		
		3	無	25.5	28.3	2.8		
試験材③ 0.4角波+0.4平	谷部	1	無	23.3	32.5	9.2	7.6	6.1
		2	無	23.8	32.2	8.4		
		3	無	23.5	28.7	5.2		
	山部	1	無	25.1	32.5	7.4	4.6	
		2	無	25.8	29.9	4.1		
		3	無	25.1	27.3	2.2		
試験材④ 0.5波+0.5平	谷部	1	無	24.9	33.3	8.4	6.4	5.8
		2	無	25.4	31.5	6.1		
		3	無	26.1	30.7	4.6		
	山部	1	無	25.2	31.4	6.2	5.2	
		2	無	25.2	31.1	5.9		
		3	無	25.4	28.9	3.5		

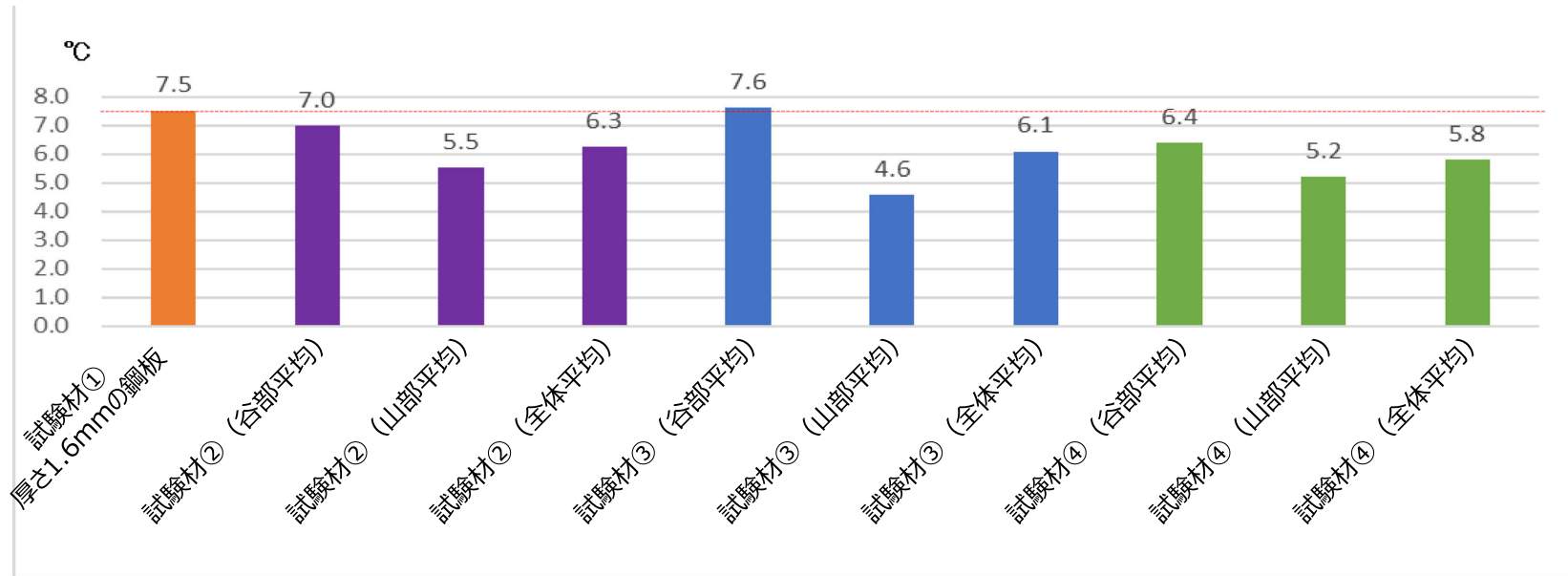
1 加熱実験

充電率50%のリチウムイオン蓄電池の温度上昇値（計測結果一覧）

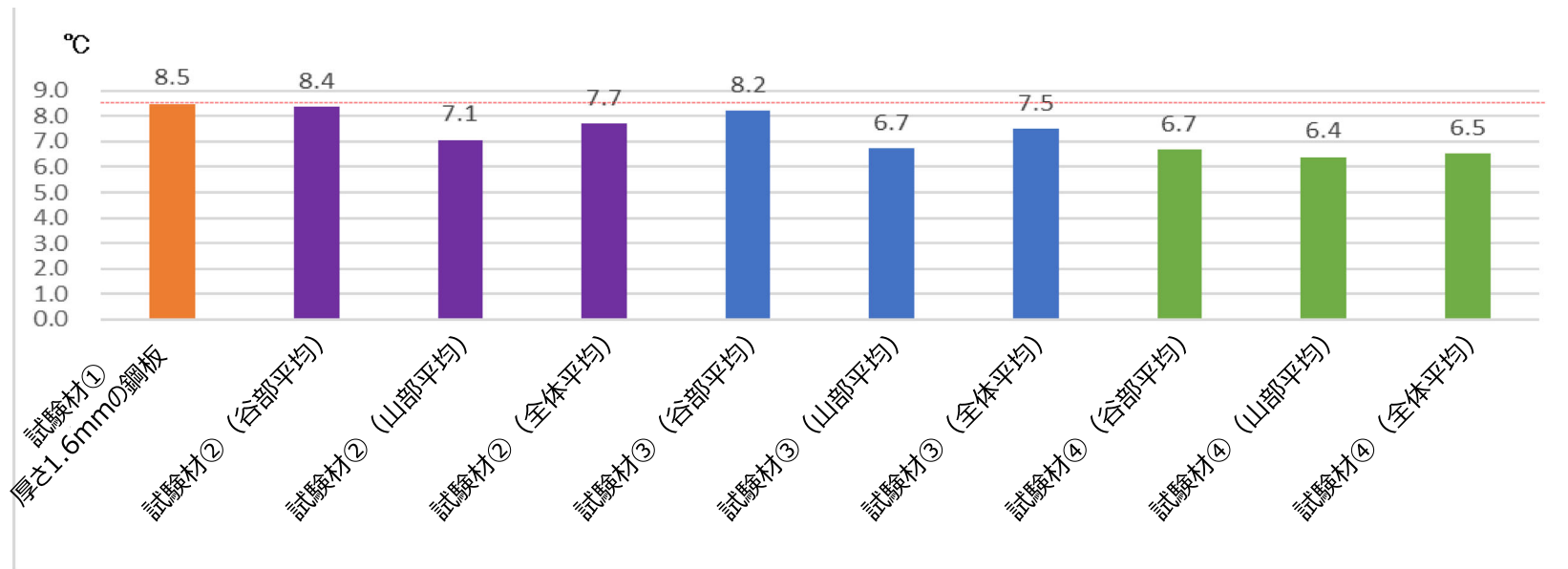
試験材	加熱部	N数	蓄電池の破損、液漏れ等の有無	蓄電池の表面温度(℃)		温度上昇値(℃)	平均温度上昇値(℃)	
				着火直前(a)	着火後20分(b)	(b)-(a)	谷部又は山部	全体
試験材① 1.6平		1	無	25.0	33.9	8.9		8.5
		2	無	25.8	33.2	7.4		
		3	無	25.1	34.3	9.2		
試験材② 0.35波+0.35平	谷部	1	無	24.8	33.2	8.4	8.4	7.7
		2	無	25.9	33.4	7.5		
		3	無	24.4	33.6	9.2		
	山部	1	無	25.7	32.8	7.1	7.1	
		2	無	25.5	32.7	7.2		
		3	無	24.5	31.4	6.9		
試験材③ 0.4角波+0.4平	谷部	1	無	24.0	35.1	11.1	8.2	7.5
		2	無	25.1	33.2	8.1		
		3	無	24.1	29.6	5.5		
	山部	1	無	24.8	32.2	7.4	6.7	
		2	無	25.9	32.8	6.9		
		3	無	24.6	30.5	5.9		
試験材④ 0.5波+0.5平	谷部	1	無	23.6	30.5	6.9	6.7	6.5
		2	無	24.2	32.2	8.0		
		3	無	23.5	28.6	5.1		
	山部	1	無	24.4	32.5	8.1	6.4	
		2	無	26.0	30.9	4.9		
		3	無	24.6	30.8	6.2		

1 加熱実験

充電率100%のリチウムイオン蓄電池の温度上昇値（平均値の比較）



充電率50%のリチウムイオン蓄電池の温度上昇値（平均値の比較）



1 加熱実験

(8) 実験結果

ア 蓄電池の破損、液漏れ等の有無

➡ いずれの場合も蓄電池に破損、液漏れ等は、認められなかった。

イ 試験材①との温度上昇値の比較

➡ 充電率が100%のリチウムイオン蓄電池において、試験材③の角波板の谷部の数値が試験材①よりも大きい数値となったが、その他のものは全て試験材①よりも小さい数値となった。

充電率100%のリチウムイオン蓄電池

試験材	谷部	山部	平均
試験材② 0.35波+0.35平	○	○	○
試験材③ 0.4角波+0.4平	× (+0.1°C)	○	○
試験材④ 0.5波+0.5平	○	○	○

充電率50%のリチウムイオン蓄電池

試験材	谷部	山部	平均
試験材② 0.35波+0.35平	○	○	○
試験材③ 0.4角波+0.4平	○	○	○
試験材④ 0.5波+0.5平	○	○	○

※ 試験材①（厚さ1.6mmの鋼板）よりも温度上昇値が小さい場合は「○」、大きい場合は「×」とする。

2 耐火実験

(1) 目的

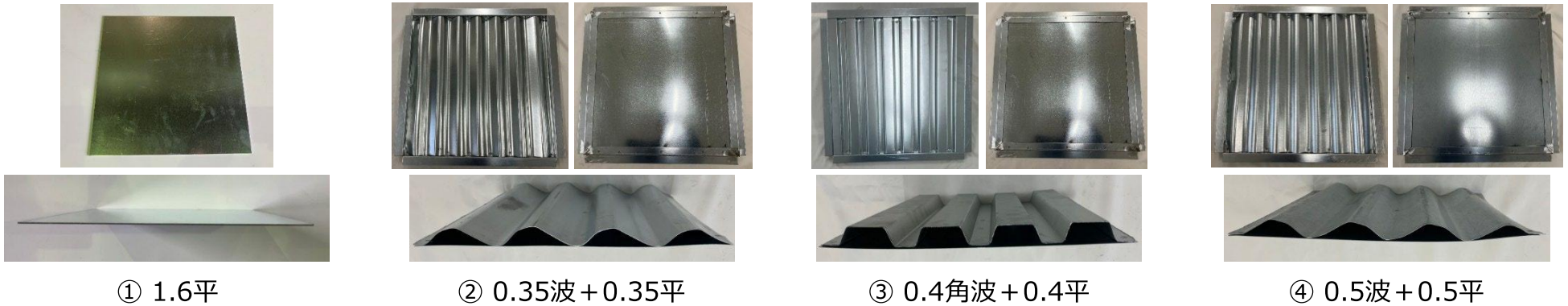
検討中の特例基準に係る遮へい板の性能や、「リチウムイオン蓄電池の貯蔵及び取扱いに係る運用について」（平成23年12月27日付け消防危第303号）に記載のある「厚さ1.6mm以上の鋼板と同等以上の性能を有する材料」についての当該性能に関する試験基準を検討するため、防火設備の遮炎性能試験を参考に実験を行い当該実験データを取得する。

(2) 試験材

試験材は、次の①から④のとおりとし、一辺の長さはそれぞれ540mmとする。

- ① 厚さ1.60mmの鋼板（以下「1.6平」という。）
- ② 厚さ0.35mmの丸波板と厚さ0.35mmの平板を組み合わせた複合鋼板（以下「0.35波+0.35平」という。）
- ③ 厚さ0.40mmの角波板と厚さ0.40mmの平板を組み合わせた複合鋼板（以下「0.4角波+0.4平」という。）
- ④ 厚さ0.50mmの丸波板と厚さ0.50mmの平板を組み合わせた複合鋼板（以下「0.5波+0.5平」という。）

試験材一覧



2 耐火実験

(3) 実験に用いる加熱炉等

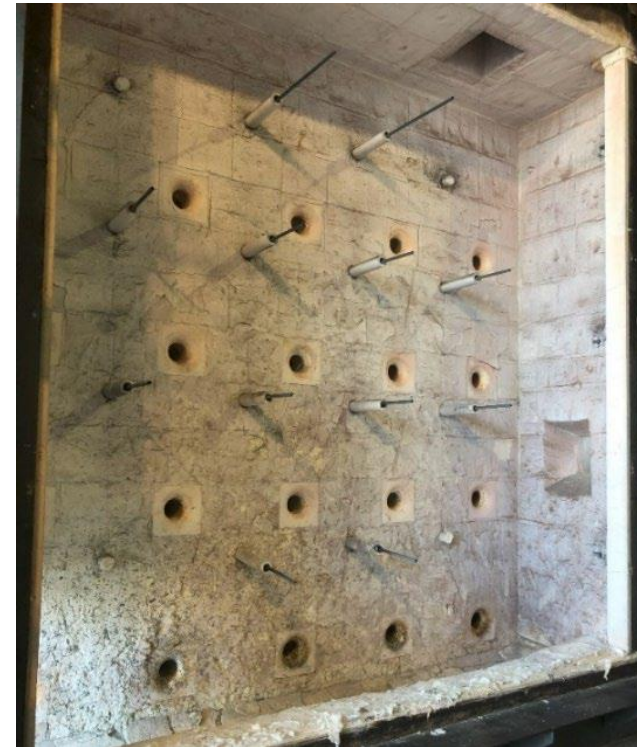
ア 加熱炉は、(3)イに掲げる温度の時間的変化を加熱面の全面にほぼ一様に与えられるものとする。

イ 加熱炉は、試験材の片面を加熱できる構造のものとする。

ウ 炉内温度を測定するための熱電対の熱接点を9個以上、火炎面に均等に配置し、試験材から10cm離れた位置に設置する。



加熱炉の全景



火炎吹出し口の外観
(飛出し部は、火炎面の熱電対)

2 耐火実験

(4) 実験方法

ア 加熱炉により、試験材の片面を60分間加熱し、非加熱面での火炎、亀裂その他の損傷の有無を確認するとともに、非加熱面の温度を計測する。

イ 加熱は、炉内の温度の時間経過が次式で表される数値となるようにする。

$$T = 345 \log_{10} (8t + 1) + 20 \quad (T \text{は平均炉内温度 (}^\circ\text{C)、} t \text{は試験の経過時間 (分))}$$

ウ 非加熱面の温度は、当該面から 1 cm 及び 5 cm 離れた位置 (次ページ参照) で計測する。



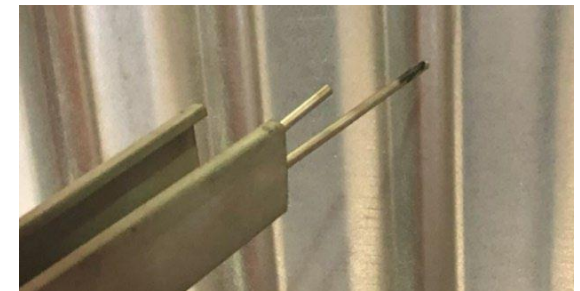
試験用サンプル扉 (火炎側)



熱電対の設置状況
(非加熱面から 1 cm、5 cm 離れた位置)



温度ロガー



熱電対の設置状況
(非加熱面から 1 cm、5 cm 離れた位置)

(5) 検証事項

ア 非加熱面へ10秒を超えて継続する火炎の噴出がないことを確認する。

イ 非加熱面で10秒を超えて継続する発炎がないことを確認する。

ウ 火炎が通る亀裂その他の損傷を生じないことを確認する。

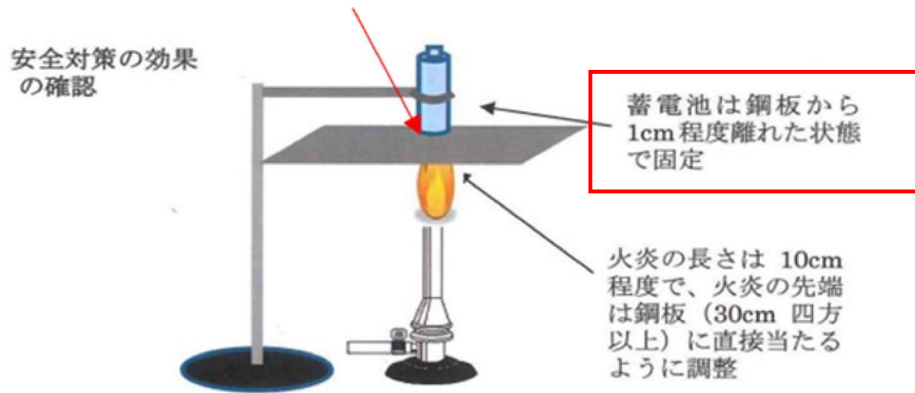
エ 加熱開始から60分が経過した時点での試験材①の非加熱面の温度と試験材②から④のそれぞれの非加熱面の温度を比較する。

2 耐火実験

1 計測位置を非加熱面から 1cm とする理由

「リチウムイオン蓄電池に係る危険物施設の安全対策のあり方に関する検討報告書」（平成23年12月）での実験では、蓄電池と鋼板を 1 cm 離れた状態としているため、当該実験を参考とし、温度の計測位置を非加熱面から 1 cm とした。

蓄電池下部を、熱電対で計測（試験前と試験後）



加熱実験の様子

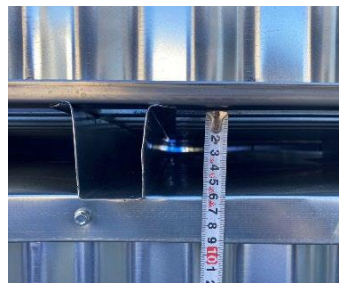
※「リチウムイオン蓄電池に係る危険物施設の安全対策のあり方に関する検討報告書」（平成23年12月）から抜粋

2 計測位置を非加熱面から 5 cm とする理由

試験体と同様の材料で造られた容器による一般貨物の保管状況を調査したところ、容器間に 5 cm 程度の間隔が認められた。そのため、温度の計測位置を非加熱面から 5 cm とした。



一般貨物の保管状況



容器同士の間隔-上下方約6cm
(桁高さ)



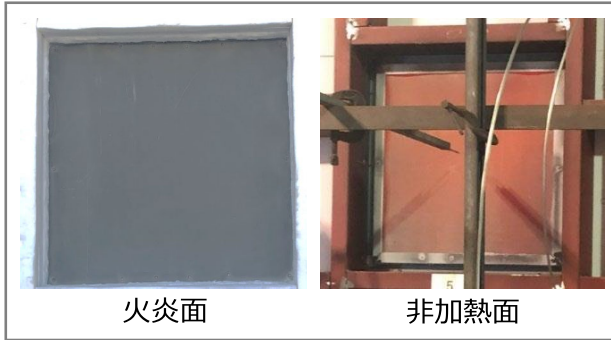
容器同士の間隔-前後約6cm
(場所によって変動)



容器同士の間隔-左右約50cm
(場所によって変動)

2 耐火実験

加熱終了後の各試験材の状態（火炎面:試験終了後に扉を取り外した直後に撮影 / 非加熱面:試験終了直後に撮影）



火炎面

非加熱面

試験材① 1.6平



火炎面

非加熱面

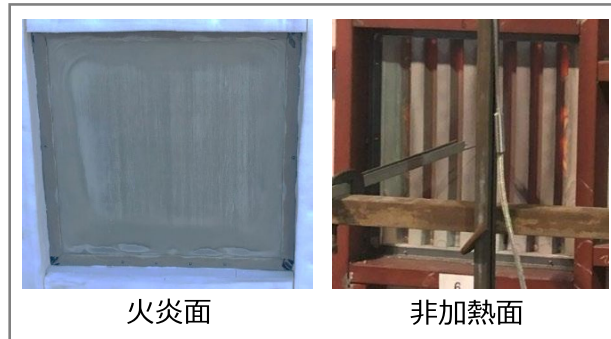
試験材② 0.35波+0.35平



火炎面

非加熱面

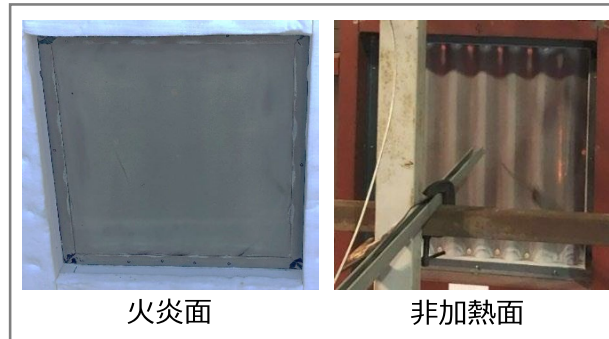
試験材④ 0.5波+0.5平



火炎面

非加熱面

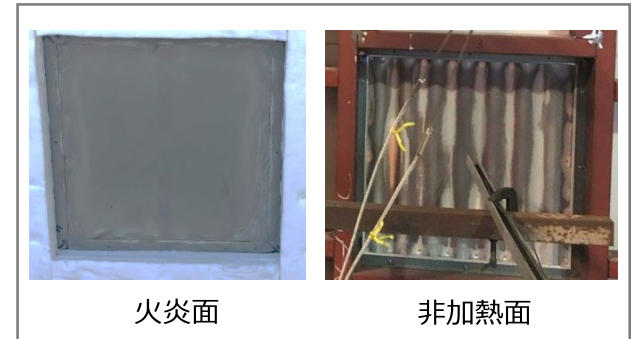
試験材 ③0.4角波+0.4平



火炎面

非加熱面

試験材② 0.35波+0.35平



火炎面

非加熱面

試験材 ④0.5波+0.5平

※赤下線の板は火炎面を指す。

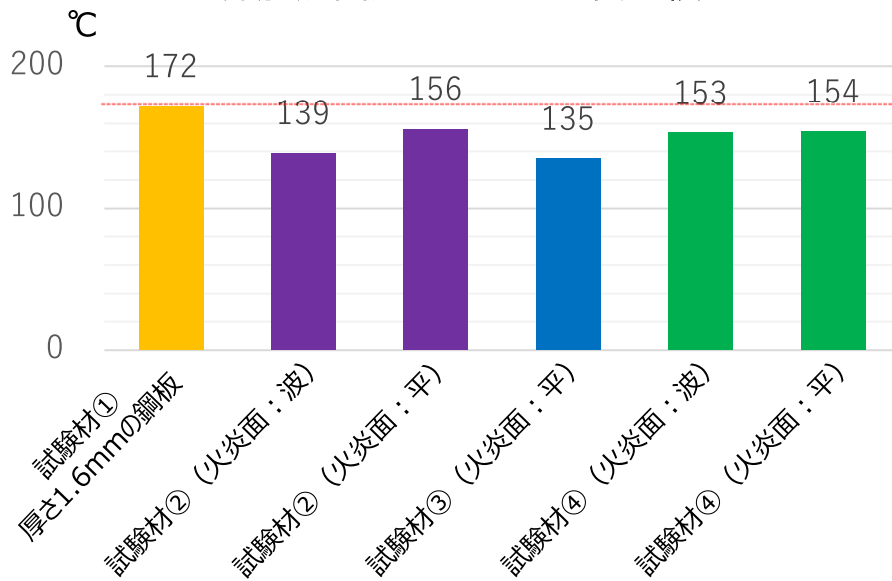
2 耐火実験

計測温度一覧

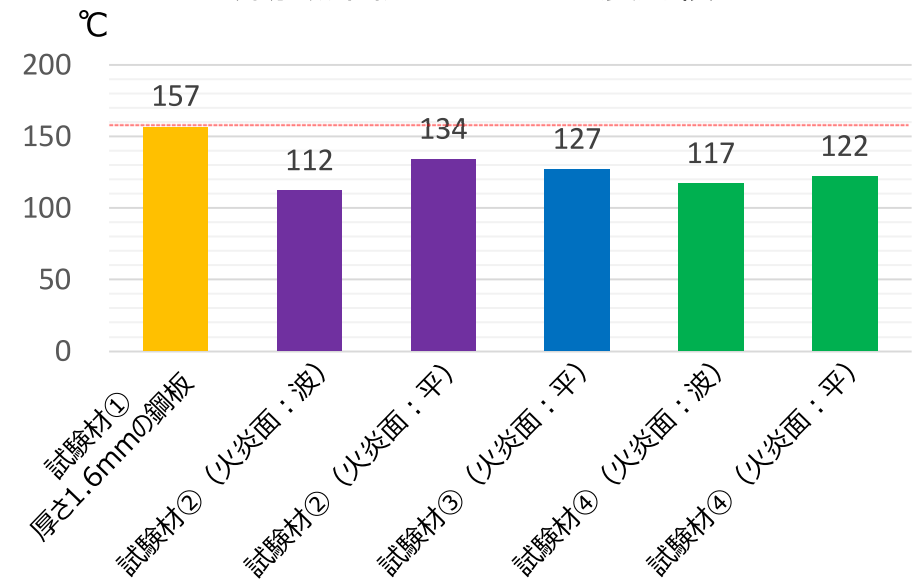
(単位：℃)

試験材	火炎面の 板形状	計測位置		
		火炎面10cm	非加熱面 1 cm	非加熱面 5 cm
試験材① 1.6平		932	172	157
試験材② 0.35波+0.35平	波	945	139	112
	平	948	156	134
試験材③ 0.4角波+0.4平	平	946	135	127
試験材④ 0.5波+0.5平	波	945	153	117
	平	949	154	122

非加熱面から 1 cmの温度比較



非加熱面から 5 cmの温度比較



2 耐火実験

(6) 実験結果

ア 各試験材の非加熱面での火炎、亀裂その他の損傷の有無について

➡ いずれの場合も火炎、亀裂その他の損傷は、認められなかった。

イ 試験材①と試験材②から④の温度の比較について

➡ いずれの場合も試験材①よりも小さい数値となった。(下表参照)

温度上昇値の比較結果一覧

試験材	火炎面の 板形状	計測の位置	
		非加熱面 1 cm	非加熱面 5 cm
試験材② 0.35波+0.35平	波	○	○
	平	○	○
試験材③ 0.4角波+0.4平	平	○	○
試験材④ 0.5波+0.5平	波	○	○
	平	○	○

※試験材① (厚さ1.6mmの鋼板) よりも温度が低い場合は「○」、高い場合は「×」とする。

3 強度試験

(1) 目的等

- 荷役や貯蔵、運搬等の際に容器に加わることが予想される応力に対する当該容器の強度について、各種試験を行い当該試験データを取得する。
- 一般的に、包装貨物の容器強度として用いられる規格としては、JIS Z 0200（包装貨物－性能試験方法一般通則）がある。同規格では、試験計画の作成手段として当事者間で確認されたハザードから試験内容及び試験レベルを選択することを記載している。
- 参考として挙げられる試験項目として、規格書 P 6－表 4 では、①振動試験／②落下衝撃試験／③圧縮試験が示されており、これらの試験項目は、多くの企業で採用されている。
- 今回は上記 3 項目の試験に加え、④傾斜安定性試験（倉庫内での容器積重ね時に容器の転倒、落下リスクの有無について確認する試験）を追加した 4 項目の試験によって、容器強度を計測する。

(2) 試験体

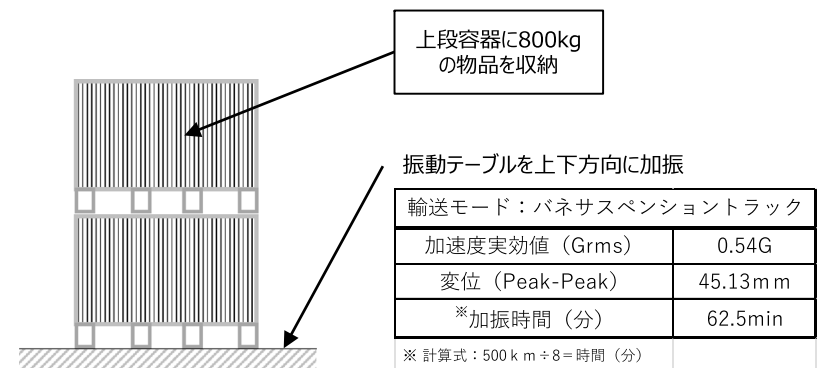
試験体は、天板及び側板を0.35波+0.35平で、底板を0.4角波+0.4平で造った容器（一辺約1.1m）とし、当該容器の構造や一般的に流通しているリチウムイオン蓄電池の寸法、重量等の実態を踏まえ、当該容器に収納することができる物品の最大重量を800kgと設定する。

(3)－① 振動試験

- 振動試験の条件として、一般的に使用される振動試験用データとしては、JIS Z 0200及びISTA規格がある。
（ISTA規格とは、国際安全輸送協会（International Safe Transit Association）の略称）
- JIS Z 0200では、個々の運搬条件等に応じて試験方法を設定できるものとなっているが、データ取得を目的とする本試験においては、より試験条件等が明確に規定されている ISTA-3H規格を用いて試験することとする。

試験方法

- ISTA-3H規格のランダム振動による試験とする。
- 輸送距離を500kmと想定する。
- 試験体を 2 段に積み重ね、上段に800kgの物品を収納した状態とする。
- 試験体の変形、破損等の有無を確認する。



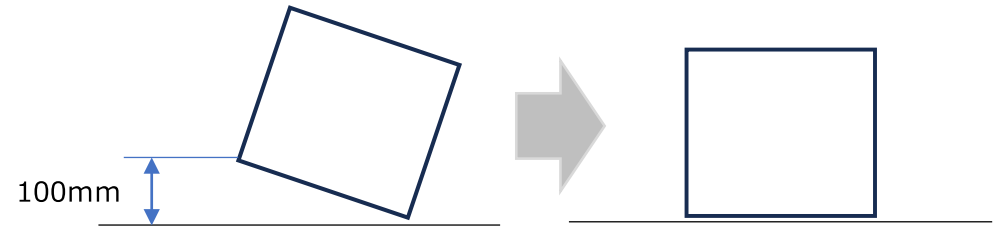
3 強度試験

(3) - ② 落下衝撃試験

- JIS Z 0200による一般荷役の試験レベルでは、落下高さを100mmとし、試験方法として片支持りょう落下試験（方法A）及び片支持平面落下試験（方法B）の2種類の試験方法からいずれか一方を選択することとなっている。
- 方法Aでは、りょうに生じる衝撃の大半は、容器の底板に曲げ荷重として伝わり、本来の目的であるりょう部分に十分な衝撃を加えることができないことが想定される。
- したがって、方法B（片支持平面落下）により試験を行う。

試験方法

- JIS Z 0200 方法Bによる片支持平面落下試験とする。
- 容器の片側を床面で支持して、容器底面を落下させる。
- 落下高さを10cmとする。
- 底面に接する4辺に対して、各1回（計4回）実施する。
- 試験体の変形、破損等の有無を確認する。



JIS Z 0200 9.5.4 片支持落下試験（機械荷役） <抜粋>

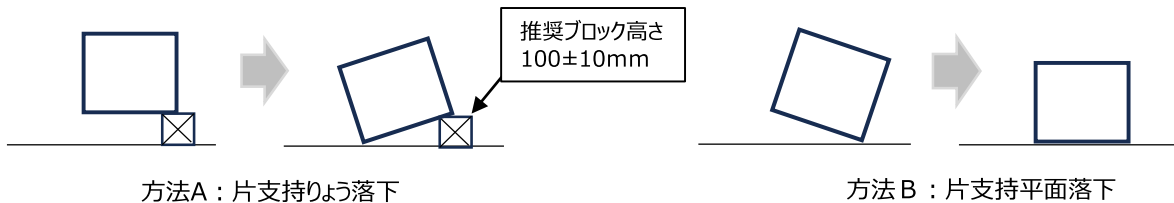
片支持落下試験の試験方法は、次の方法A又は、方法Bによる。

方法A：機械荷役を行う包装貨物には、片支持稜落下試験を適用することが望ましい。

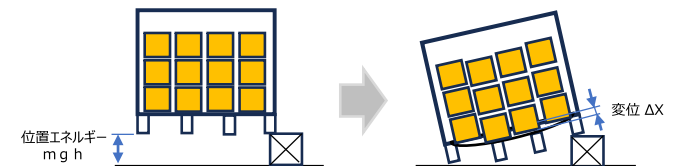
方法B：次の場合、方法Aの代わりに片支持平面落下試験を適用してもよい。

- ・供試品の背が高い又は長さが長いことで転倒するなど、試験においてリスクが予想される場合
- ・試験の対象となるりょうに十分な衝撃を加えることができないことが想定される場合

いずれの方法でも、受渡当事者間の協定によって、供試品の形状又は重心の位置に応じて、落下高さ又はブロック高さ（方法A）を変更してもよい。



方法Aの想定される問題点



$$\text{りょうに加わる衝撃エネルギー} = mgh - k\Delta X \quad (k = \text{バネ係数})$$

方法Aでは、りょうに生じる衝撃の大半は、容器の底板に曲げ荷重として伝わり、本来の目的であるりょう部分に十分な衝撃を加えることができないことが想定される。

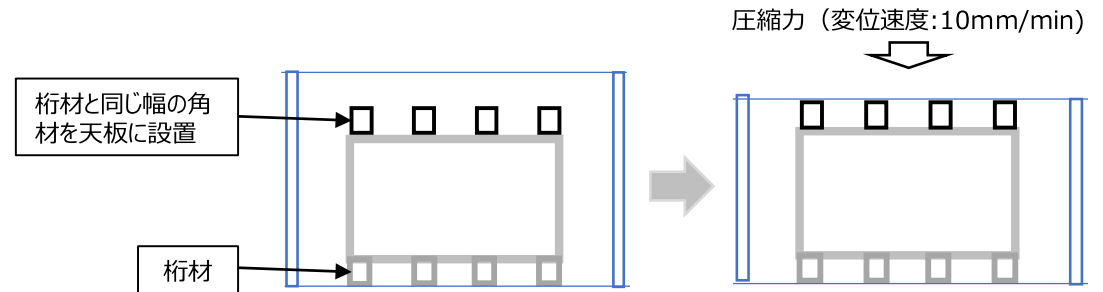
3 強度試験

(3) - ③ 圧縮試験

倉庫内での積み重ね保管を想定し、試験体の最大圧縮強度を計測する。

試験方法

- JIS Z 0212 で定める圧縮試験機による圧縮試験とする。
- 圧縮試験速度を毎分 10 ± 3 mmとする。
- 試験体の最大圧縮強度を計測する。

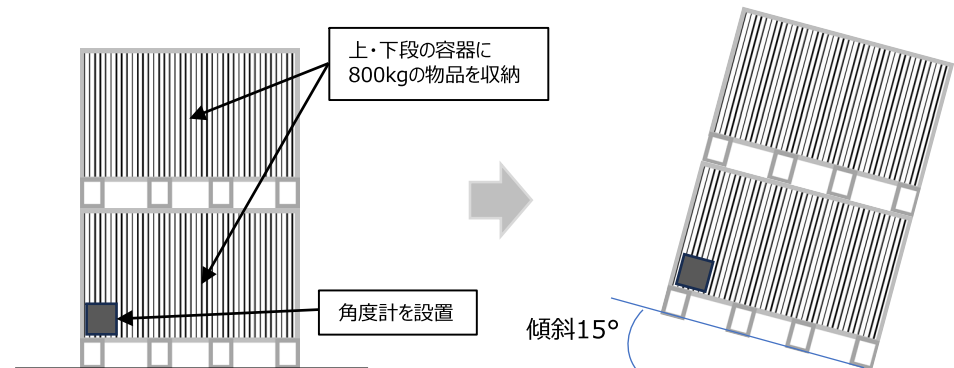


(3) - ④ 傾斜安定性試験

- 一般的な物流倉庫の天井高さは、梁下が5.5～6 m程度であり、その場合の容器の積上げ高さは最大で6 m程度となる。
- 容器を高積みすると重心位置が高くなり、転倒する危険性が高くなる。
- 電機用品安全法 別表第8 1 共通事項 (2) 構造八の規定では、床上形の電熱器具等は、15度で傾斜させたときに転倒しないこととされている。
- 上記の規定を参考とし、積み重ねた容器が傾斜角15度で転倒しないことを確認する。

試験方法

- 800kgの物品を収納した試験体を2段に積み重ねた状態とする。
- 下段の試験体の最小短辺側の接地部を支点として試験体を15度傾ける。
- 試験体の静止安定状態を確認する。



3 強度試験

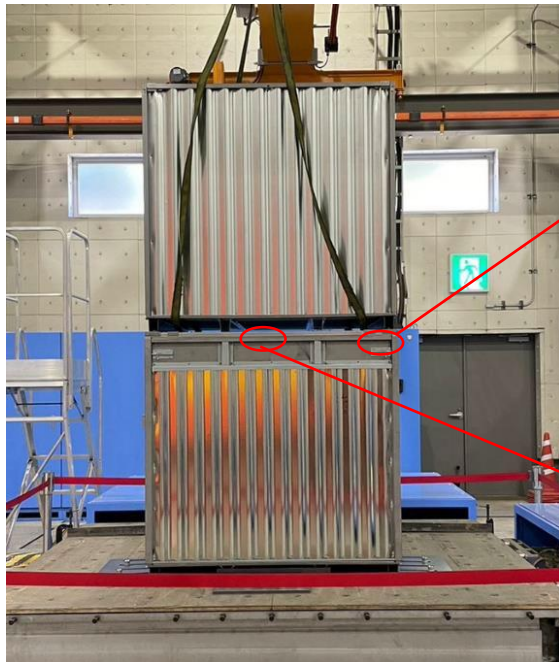
(4) - ① 振動試験結果

変形や破損のないことを確認した。

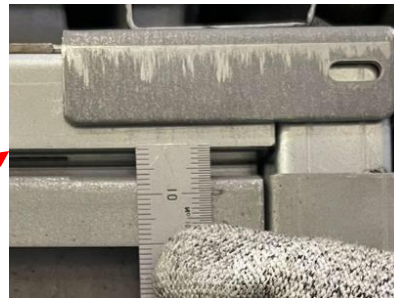
① 振動試験

試験体		収納する物品の重量	開始からの時間毎の状況			
			15分	30分	45分	62.5分
天板・側板	0.35波+0.35平	上段：800kg	○	○	○	○
底板	0.4角波+0.4平		○	○	○	○

○ = 変形、破損なし



試験終了後の様子



試験終了後、たわみ5mmを計測
(荷重開放で復元)



試験終了後の下段容器のパネル開閉状況

3 強度試験

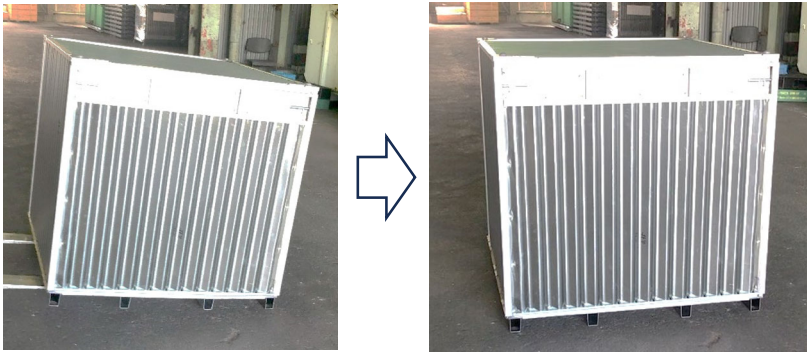
(4) - ② 落下衝撃試験結果

4 辺のすべてにおいて、変形や破損等のないことを確認した。

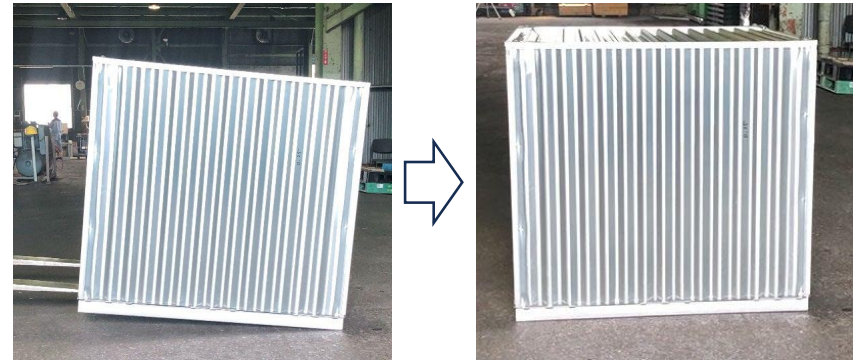
② 落下衝撃試験

試験体		収納する 物品の重量	落下高さ	サイド面 ^{※1}		エンド面 ^{※2}	
				サイド1	サイド2	エンド1	エンド2
天板・側板	0.35波+0.35平	800kg	100mm	○	○	○	○
底板	0.4角波+0.4平						

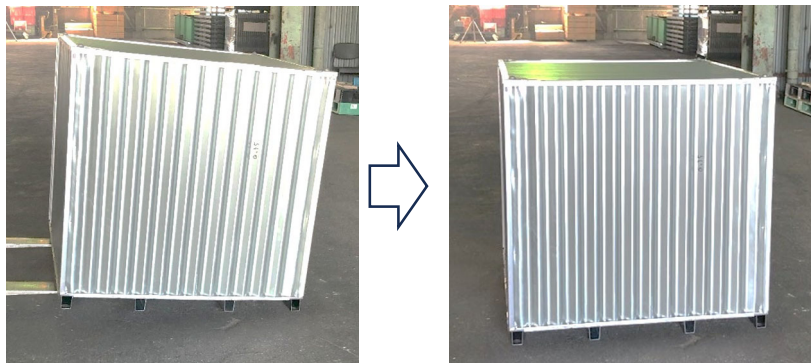
※1 フォークを差し込めない面 ※2 フォークを差し込む面 ○=変形、破損なし



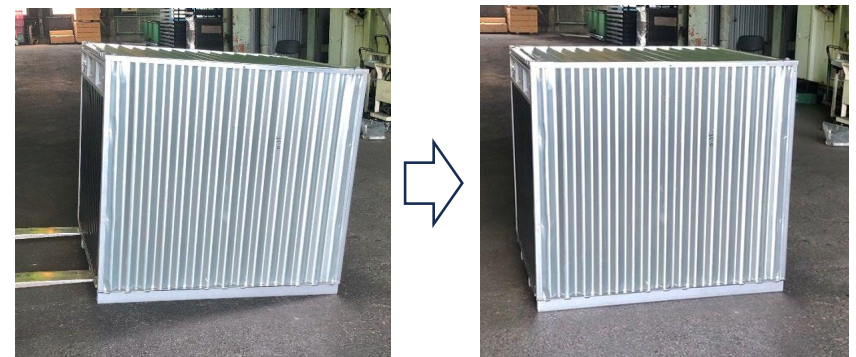
サイド1の試験の様子



エンド1の試験の様子



サイド2の試験の様子



エンド2の試験の様子

3 強度試験

(4) - ③ 圧縮試験結果

最大圧縮強度（最大荷重）98,266N（10,027kgf）を計測した。

② 圧縮試験

試験体		最大荷重
天板・側板	0.35波+0.35平	98,266N（10,027kgf）
底板	0.4角波+0.4平	



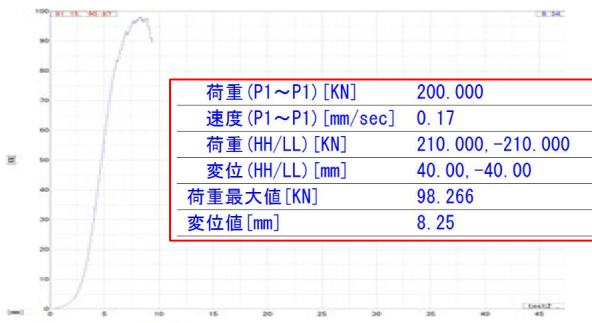
試験終了時の様子



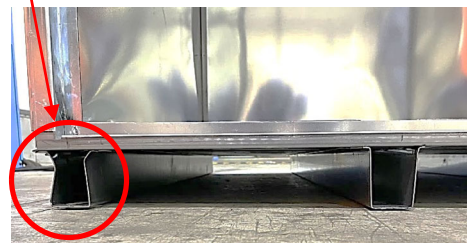
試験後（内部の状況）



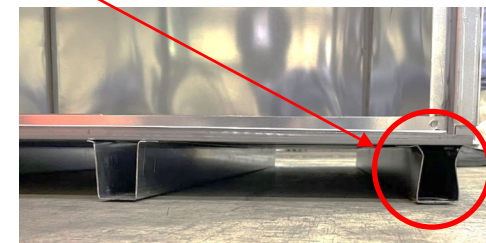
試験後（側板の座屈状況）



試験データ



試験後（桁材の座屈状況）



3 強度試験

(4) - ④ 傾斜安定性試験結果

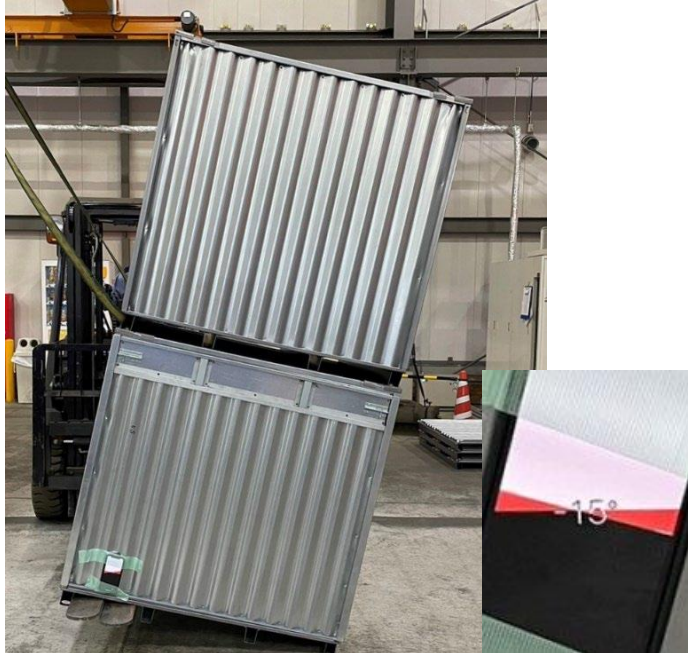
傾斜角度が15度及び18度（参考）の場合において、静止安定状態が維持されていることを確認した。

④ 傾斜安定性試験

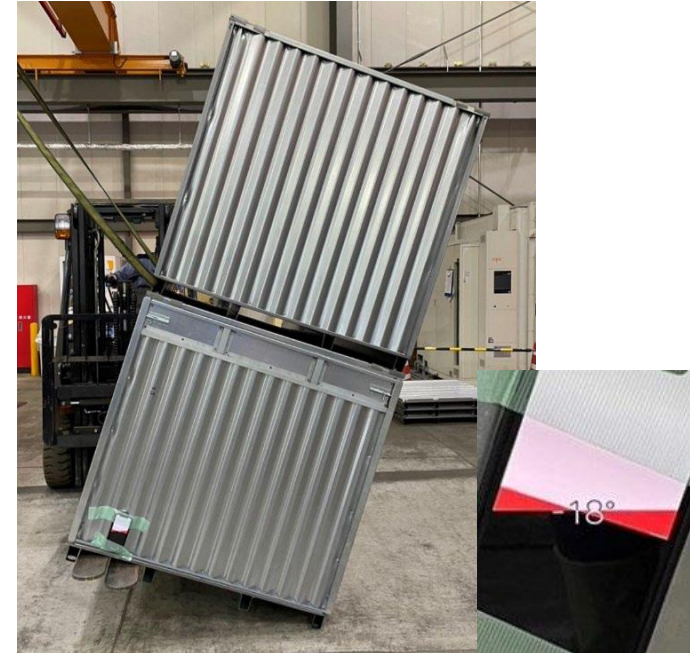
試験体		収納する 物品の重量	傾斜角度	
			15度	18度（参考）
天板・側板	0.35波+0.35平	上段：800kg	○	○
底板	0.4角波+0.4平	下段：800kg		

○ = 安定静止状態が維持されている

容器積重ね時の連結構造



傾斜角度15°



傾斜角度18°（参考）