

《一般講演抄録》

動物研究施設内の飼育ラック転倒防止対策

加藤 恒雄¹⁾ 小林 英治²⁾ 羽根田千江美³⁾ 長尾枝澄香³⁾

¹⁾(有)キョウエー ²⁾(株)セノ ³⁾藤田保健衛生大学・疾患モデル研究センター

動物研究施設内の飼育ラック転倒防止対策

加藤 恒雄¹⁾ 小林 英治²⁾ 羽根田千江美³⁾ 長尾枝澄香³⁾

¹⁾(有)キョウエー ²⁾(株)セノ ³⁾藤田保健衛生大学・疾患モデル研究センター

【目 的】

先の震災の教訓でもあるように、動物研究施設内において飼育ラックの転倒防止措置は、研究機能を維持する為に重要な役割を担う。東北大学の笠井らは、先の震災における被害状況の分析において、床及び壁面に固定具により固定したラックは固定具が外れて移動したものの転倒せず、室内中心部に設置された未固定平型ラックは転倒したことから、飼育ラックの耐震固定は有効であったとしている¹⁾。新設される動物施設であれば、転倒防止を考慮した配置や耐震措置を組み込んでいくことが可能であるが、既設施設においては、多様な飼育ラックが混在するケースもあり、耐震固定の共通化が難しく未対策のままであることも多い。今回、藤田保健衛生大学・疾患モデル教育研究センターの協力により、我々の開発した Pro-7 耐震マット付耐震金具ジャッキスター（以下、耐震金具）を用いて、既存施設の飼育ラックの共通化した耐震固定方法について検討を行った。

【方 法】

検討した飼育室の形状およびラックの配置を図1に示す。当該施設は飼育室の形状が多角形であることに加え、壁面の耐震強度の関係等から壁面および天井に穴を開けての固定を避けることが求められていた。また、床面の防水加工や排水性を持たせるための床の傾斜、形状の異なるラックの混在、キャスター付のラックに対応できる耐震固定方法が必要であった。これらの課題を踏まえ、図1内の以下の2種類のラック（図1）に耐震固定を施した。

- (1) 壁際に設置された飼育ラック
- (2) 室内中心部に島状に配置された飼育ラック

耐震固定に用いた耐震金具を図2に示した。これは上下マット付 SUS 製ジャッキスターである。なお、耐震固定の施工においては、飼育作業や日常の動物管理業務に支障が出ないように配慮をした。

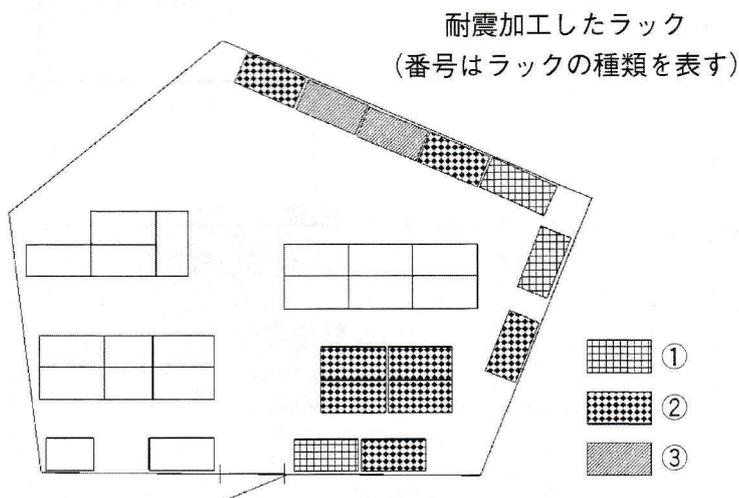


図1 多角形飼育室とラックの配置図

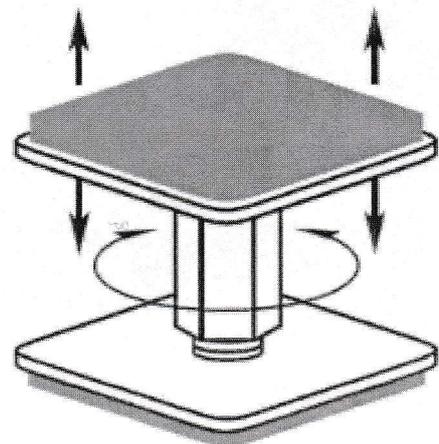


図2 ジャッキスター（耐震金具）

【検討・施工結果】

(1) 壁際に設置された飼育ラック

壁際に設置されたキャスター付ラックの耐震金具を用いた施工例を図3に示した。

一般的な排水性を持たせた床面の傾斜であれば上下マット部の微調整で施工が可能であるが、今回実施した飼育室では、外部廊下への出入り口付近の床面は段差が約10cmあり、室内が低くなる構造であった。段差解消用にスロープが設けられていたため、室内に向けて壁際とは別な傾斜があった。そのため、出入口横の壁際は、2方向からの傾斜が合成された床面であった。通常設置位置は、ラックの前後左右のキャスターに近い四隅位置を選定するが、出入口に隣接する床面では、施工が難しい状態であった。この対策として、耐震効果に影響が出ないことを確認した上で、設置位置を出入口の傾斜に影響されないより中央部に近い場所を選定した。これにより壁に穴を開けることなく、傾斜のある床においても飼育ラックを安定して固定できた。また、穴を開ける必要がないことから粉塵等の発生がない上に、作業は原則として飼育ラックを現状配置から移動せずに行ったため、施工開始から6時間の養生経過後に日常管理体制に復帰することができた。



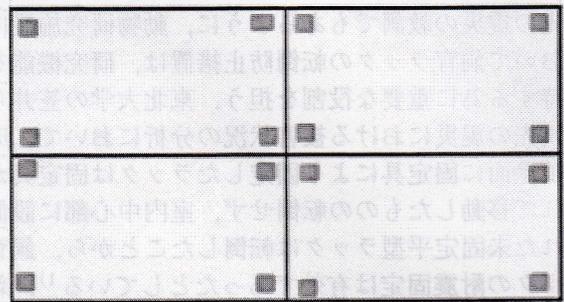
図3 壁際のラックの固定写真

(2) 室内中心部に島状に配置された飼育ラック

室内中心部に島状に配置された飼育ラックの固定には、島状に配置された個々の飼育ラックを耐震金具で固定する方法(図4)及び島状に配置された飼育ラックをSUS製脱着可能なワイヤー(以下ワイ

ヤー)及び耐震金具の併用で固定する方法(図5)を検討した。前者では、個別に最適な耐震固定ができる利点がある一方で、ラック1台に最低4個の耐震金具が必要となり、コストが上昇するという問題点が考えられた。後者では耐震金具数の削減、即ちコスト削減を図ることができるが、対象とするラックの仕様が同じものである必要がある。また、中心部をワイヤーで止める作業は一人では効率が悪いことから、設置後の配置変更が容易ではないという問題点が考えられた。

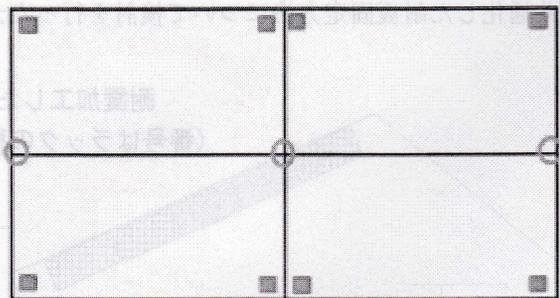
個別固定案:最適仕様採用



■ 上下マット付SUS製ジャッキ

図4 島状配置の個別固定案

コスト改善案:耐震金具+ワイヤー併用



■ 上下マット付SUS製ジャッキ

○ SUS製ワイヤー

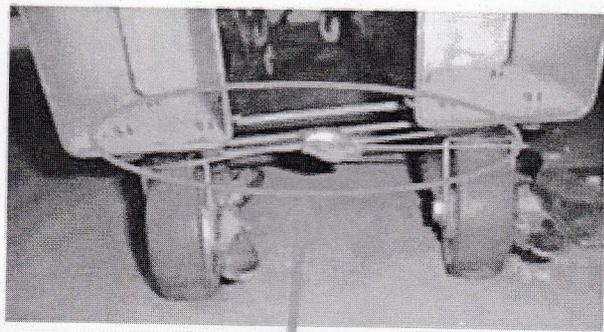
図5 島状配置のコスト改善案

今回実施した飼育室は、ラックの仕様が同一のものであること(図6)、設置後の予測配置変更頻度が少ないことから後者を採用し、耐震固定を行なった。図7にラック間をワイヤーで結合した状態を、図8に各ラックの四隅を耐震金具で床との固定を行なった状態を示した。

ところが実際に施工を開始すると、4台とも、同一メーカー、同一型番であったにもかかわらず、納入(製造)年月によりラックの外形寸法及び、底板の形状寸法が異なっていた。そのため、4台を島状にすると、中心部は4台の柱がぴったりと合致しなかった。そこで、この問題点を解消するために、4台を微妙に移動させて、最大公約的にラックをワイヤーにて結合できる位置を選定し固定した。



図6 飼育室中央部に島状に配置したラックの様子



脱着可能なワイヤーでラック同士を固定

図7 ラック同士をワイヤーで固定した写真



耐震金具でラックの底と床を固定(キャスターの横に各一個)

図8 耐震金具と床を固定した写真

【まとめ】

我々の開発したPro-7耐震マット付耐震金具ジャッキスターを用いて、既存動物施設の飼育ラックの耐震固定を行ない以下の事項が確認された。

- (1) 飼育室内の壁・天井・床に穴を開けることなく耐震固定が可能であった。
- (2) 排水性のために床が傾斜している場合でも個別に飼育ラックの耐震固定が可能であった。
- (3) 室内中央に設置された島状配置の飼育ラックについては、ラック毎に耐震固定を行なう又はラックを結合させての耐震固定を行なうことが可能であった。

今回採用した耐震金具は、やり方を覚えれば動物施設内職員にて取り付け・取り外しが可能である。しかし、耐震性能を維持しつつ、取り付け・取り外し作業がワンタッチで可能になれば、レイアウト変更やラックの交換など、もっと簡便に実施できるようになるため、今後金具の改良を検討したい。

また、床に穴を開けない耐震固定方法は、手術毎にレイアウト変更する臨床手術室内機器の耐震固定にも応用可能ではないかと考えている。

【謝辞】

東日本大震災の被害状況を詳細にご教示下さいました、東北大学大学院 医学系研究科附属動物実験施設 施設長 笠井教授に感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 笠井憲雪, 鈴木加代子:「東日本大震災東北大学動物実験施設報告書」. 4-5頁, 東北大学大学院医学系研究科附属動物実験施設, 宮城, 2012.

著者プロフィール

加藤 恒雄 (かとう つねお)

静岡県内にて、40年間理化学機器の販売に従事する。

東海地震対策用として、床・机に穴を開けずに耐震度7の耐震固定を試験室内機器類に施工中。

東日本大震災以降は、事前震災対策による減災化を国内にて進めている。

《一般講演抄録》

動物実験施設内のボンベ固定に関する新耐震固定方法の提案

加藤 恒雄¹⁾，小林 英治²⁾，近藤 大介³⁾，和田 有司⁴⁾

(1)(有)キョウエー (2)(株)セノ (3)東京大学生産技術研究所 (4)(独)産業技術総合研究所

《一般講演抄録》

動物実験施設内のボンベ固定に関する新耐震固定方法の提案

加藤 恒雄¹⁾, 小林 英治²⁾, 近藤 大介³⁾, 和田 有司⁴⁾

(1)(有)キョウエー (2)(株)セノ (3)東京大学生産技術研究所 (4)(独)産業技術総合研究所

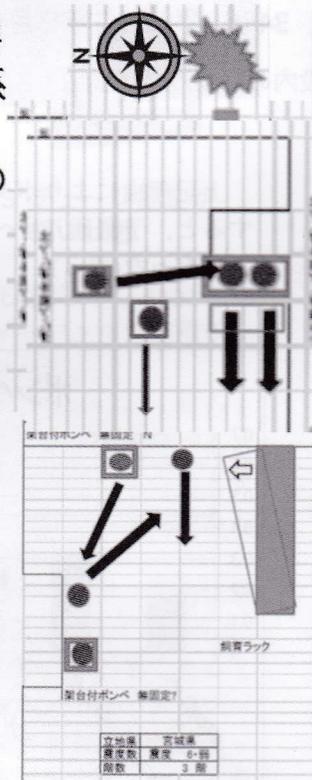
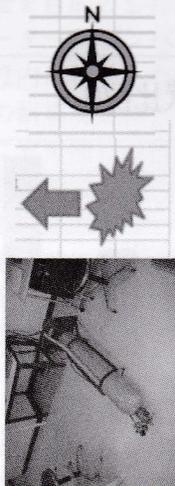
【背景・目的】

平成23年3月11日に発生した東日本大震災は、東北地方の動物実験施設にも被害を与え、特に耐震未対策各種ボンベ類は、ボンベ収納架台(以下、架台と表記)も含めて転倒被害が多くみられた(図1)。

平成25年9月開催の日本実験動物技術者協会第47

回岡山総会ランチョンセミナーLS-4に於いて実験動物施設内の危険度認識調査アンケートを実施した結果、各機器・設備類のうちアンケート回答者の過半数がボンベ+架台の組合せは転倒の危険性が高く、人的被害も予測されるとの認識で有った。配布数 85名 有効回答者 29名 回収率 34% 平成25年9月28日実施(表1)。

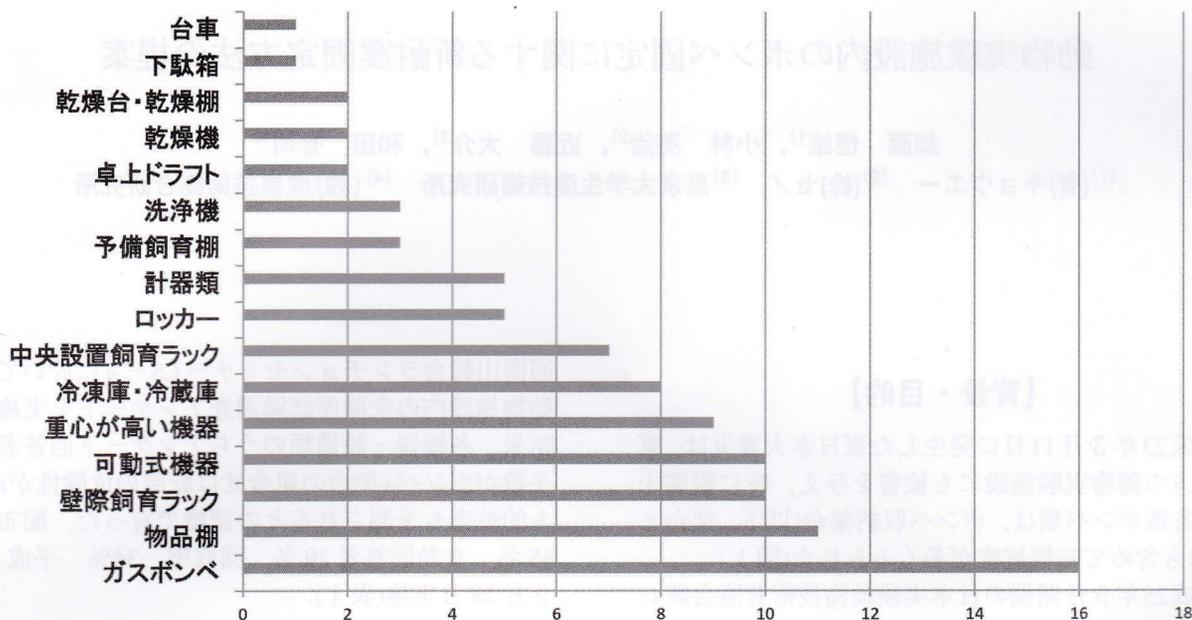
- ①震源からの揺れ方向に無関係に転倒した
- ②壁に固定済のボンベは転倒しなかった。



(臨床分室) 手術室・実験室は壊滅。ボンベ、代謝ケージは不安定で、壁等に固定されていなかったため転倒した



図1 東北大学における東日本大震災のボンベ被害例



日本実験動物技術者協会 第47回岡山総会ランチョンセミナーLS-4アンケート回答
配布数 85名 有効回答者29名 回収率 34% 平成25年9月28日実施

表1 実験動物施設内の危険度認識調査

更に独立行政法人防災科学技術研究所にて実施した「大地震を受ける超高層建物内部の被害様相と防災啓発」により形状比の視点から高さに比べて奥行の無い物体の転倒する目安が示された(表2).

上記理由によりボンベ及びボンベ+架台にも検証すると、予測通りすべて、転倒限界値である0.45以下であった(表3).

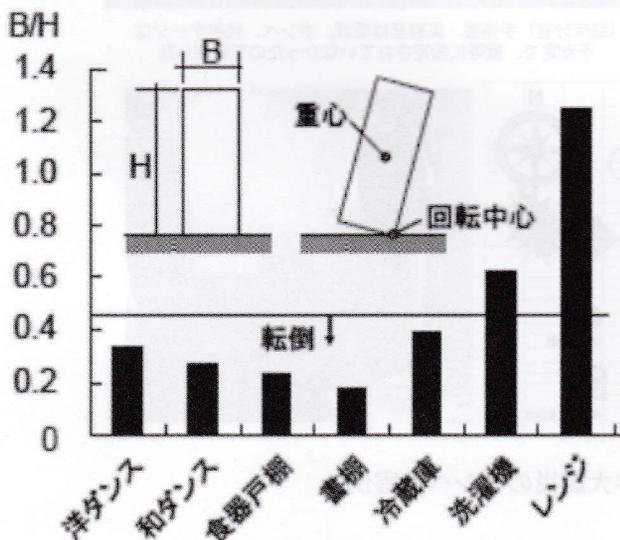
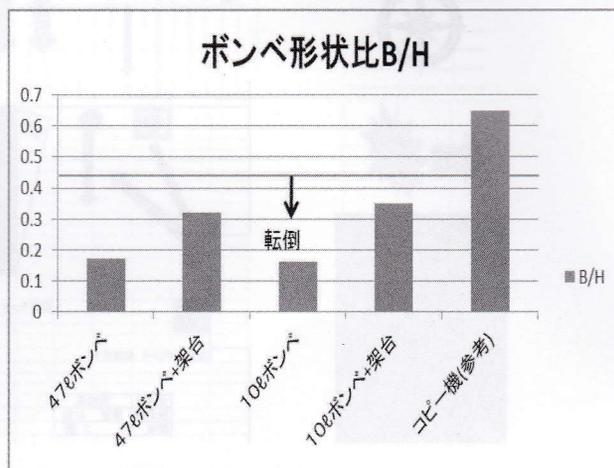


表2 家具の転倒条件



ボンベは更に重心が高く、転倒し易い

表3 ボンベの形状比

このことにより、想定南海トラフ地震（東海・東南海・南海 3 連動地震）対策としての耐震固定の優先順位が高いと思われる。

更に動物実験施設におけるボンベの実態を調査して、下記内容が多いことを確認した。

- ① S P F 施設内や狭い場所では、床に穴を開けられずに未固定が多い(図 2)。
- ② チェーン固定は架台支柱と密着せず、不安定である(図 3)。



図 2 SPF 施設内の狭い場所に設置



図 3 チェーン固定が緩い状態

- ③ 動物福祉を目的とした安楽死用ボンベ、CO₂ インキュベーター用ボンベ、イメージング装置用ボンベと施設内に持ち込むボンベが多い。

従来の耐震固定は、ボンベ又はボンベ+架台を床、壁に穴を開けて固定する方法が一般的であるが、S P F 施設など特殊環境機能維持を必要とする動物実験施設においては、安易に穴を開ける方法を採用することは望ましく無い。

その為に施設内に持ち込むボンベは、架台に乗せてあるが耐震固定未対策の状態が多くみられる。上記現状から新耐震固定法の検討が必要であると考へて、近年発達してきたウレタンエラストマーの分子間力により粘着する特性を有する耐震マット+分解可能な固定金具を利用する床・壁に穴を開けない耐震固定方法を検討した。

【方法・検討項目】

床に穴を開けない新耐震固定法を開発するに当たり、下記項目を検討した。

- 【1】新製品対象ボンベの確認
- 【2】使用部材の耐震マット、S U S 固定金具の耐震度特性（1000gal, 2000gal 加震）の確認

- 【3】従来法と新製品との応用性比較
- 【4】事故事例から教訓を導き出し、耐震効果継続維持を目的とした産総研で開発された事故分析手法（Progress Flow Analysis）を用いて東日本大震災の被害例における発災時の時間経過毎の付近の人の行動解析を行い、開発仕様に反映させた。

【開発結果】

検討項目に基づく開発を進めた結果、下記結果が得られた。

【1】新耐震固定法の目標開発仕様

- (1) 対象ボンベ：10ℓ，47（40）ℓ の架台及びボンベ運搬車の 2 種類の形状を対象とした。
- (2) 設置環境：床に穴を開けられない施設も対象（SPF 施設，RI 施設，バイオハザード施設等）を含むことにした。
- (3) 材質の選定

近年、飼育ラック等飼育機材に対して SPF 施設では、衛生管理・感染防止の観点から定期的にオートクレーブによる滅菌化が求められているが、それに対処するには、現在のウレタン製エラストマーの耐熱性（常用 60℃）では、不十分で有るので、より、耐熱性に優れたシリコン製でないと対応できない。

しかし、シリコン製はウレタン製に比較して高価であるために、販売価格を押し上げる要因となり、新製品の普及に支障が予測される。

そこでエラストマーの材質は、SPF 施設内設置でもアルコール消毒が可能なウレタン製を採用した。

今回開発製品の訴求点としては、「床に穴を開けない耐震固定方法」であり、その為には、耐震施工時に床に穴を開ける必要が無く「クリーン度維持」の利点を「耐熱性」より、優先することにした。

- (4) 耐震性能：緩いチェーン固定でも耐震度 7(1000gal) 維持

産総研で開発された事故分析手法 PFA を用いて、東日本大震災の被害例（東京都新宿区内 9 階におけるボンベ転倒事故）発災時の時間経過毎の付近の人の行動解析を行い、発災時に付近の人が揺れて倒れようとしている 47ℓ 3 連架けボンベ架台を抑えることの無謀さ、教育訓練不足から生ずる危険な状況下での行動が人災発生に繋がるメカニズムが解明された(図 4)。

又、ボンベをボンベ架台に密着固定しないと効果が無いことも判明した。

理由として、ボンベは架台の上に乗せるが市販品の多くはチェーン使用の為、架台支持柱との間で隙間が発生している。

その為、地震動による揺れ以外にポンペが架台支柱と衝突して別の周波数が発生し、耐震固定具はより強い衝撃波を受けることになる。

使用者の立場からは、ポンペ交換時の作業性からつい、チェーンによる固定を緩めに行いが

ちとなる。

前述の事故分析手法 P F A にて、このような恣意的な耐震性能を劣化させずに、耐震固定後も機能維持を目的としたチェック項目を定めたマニュアル管理規定も例示した (図 4)。

事故概要		発生日時(曜日) 発生場所	
2011年3月11日(金)14:46頃、東京都新宿区 東日本大震災でレンタルラボに設置されたポンペがポンペ架台ごと転倒した。けが人はなかった。ポンペ架台が床に固定されておらず、ポンペ固定用の鎖の遊びが大きかったため、ポンペの揺れや跳ねにより重心が偏って転倒した可能性がある。			
PFA, RISCAD, AIST			
背景			
区分	原因事象	事故進展フロー	備考
経過	<p>1 -2011/3 レンタルラボにCO2ポンペ搬入</p> <p>設備設計不備</p> <p>2 ポンペを2連架け架台に設置</p> <p>3 ポンペ架台未固定</p> <p>設備上の制約* リスク評価不足** 安全意識不足*** 安全管理不足****</p> <p>4 ポンペ交換時の固定鎖の遊びが大きかった</p> <p>リスク評価不足* 安全意識不足** 安全管理不足***</p> <p>5 2011/3/11 東日本大震災発生</p> <p>6 横揺れで2本のポンペと2台の架台が左右に揺れた</p> <p>7 複数人でポンペ架台を押さえた</p> <p>安全管理不足* 危機管理不足**</p> <p>8 横揺れが激しくなり、危険を感じてポンペ架台を押さえるのを止めた</p> <p>9 ポンペの揺れや跳ねにより、ポンペ架台の重心が偏った</p> <p>安全管理不足</p> <p>10 ポンペがポンペ架台ごと転倒</p>	<p>1 -2011/3 レンタルラボにCO2ポンペ搬入</p> <p>2 ポンペを2連架け架台に設置</p> <p>3 ポンペ架台未固定</p> <p>4 ポンペ交換時の固定鎖の遊びが大きかった</p> <p>5 2011/3/11 東日本大震災発生</p> <p>6 横揺れで2本のポンペと2台の架台が左右に揺れた</p> <p>7 複数人でポンペ架台を押さえた</p> <p>8 横揺れが激しくなり、危険を感じてポンペ架台を押さえるのを止めた</p> <p>9 ポンペの揺れや跳ねにより、ポンペ架台の重心が偏った</p> <p>10 ポンペがポンペ架台ごと転倒</p>	<p>ポンペなどを扱うレンタルラボでポンペ固定の設備がなかったこと</p> <p>*レンタルラボのため床に穴を開けて固定することができなかったこと **ポンペおよび架台の転倒の事故情報収集、分析によるリスクを評価しなかったこと ***ポンペを固定されていないポンペ架台に固定し、ポンペ架台の転倒の可能性を考慮しなかったこと ****ポンペ架台の固定と固定状況のチェックをルール化していなかったこと</p> <p>*鎖の遊びによる重心移動のリスク評価をしなかったこと **鎖の遊びによるポンペの揺れに危険意識を持たなかったこと ***遊びの少ない鎖の固定方法と固定状況のチェックをルール化していなかったこと</p> <p>震源地より距離があつたため横揺れが強かつた 各架台には2本のポンペが設置されていた</p> <p>*転倒の可能性のある設備の固定や固定状況のチェックを行っていなかったこと **地震時に転倒の可能性のある設備から離れるという教育訓練を行っていなかったこと</p> <p>ポンペおよびポンペ架台の固定と固定状況のチェックをルール化していなかったこと</p>
対応操作			
恒久的対応策	<p>1 設備設計 レンタルラボでのポンペの使用を想定して、ポンペ固定の設備を設置する</p> <p>2 設備管理 レンタルラボの安全対策に関して、貸与側と協議を行い、適切な措置を施す</p> <p>3 リスク評価 実験室の危険源を特定し、リスク評価を行って必要な改善を行う</p> <p>4 安全教育 実験室の危険源に対して教育を行う</p> <p>5 安全管理 ポンペ受入時にポンペやポンペ架台の固定を確認することをルール化する</p> <p>6 安全管理 ポンペ受入時および定期的にポンペやポンペ架台の固定状況を確認することをルール化する</p> <p>7 危機管理 地震などの異常時取るべき行動について検討し、実行できるように訓練する</p>	<p>RISCAD提案</p> <p>RISCAD提案</p> <p>RISCAD提案</p> <p>RISCAD提案</p> <p>RISCAD提案</p> <p>RISCAD提案</p> <p>RISCAD提案</p>	
教訓	<p>*固定されていない架台にだまされるな・モノを支えるための架台が固定されていなければ、本来の機能は発揮できない。床に固定されていないポンペ架台は、地震の際などにはポンペと一緒に転倒するので、ポンペ架台を固定するルールを作り、定期的に確認する必要がある。</p>		

図 4 事故の時系列分析による原因把握とマニュアル化による再発防止

新製品仕様に本質的安全を付加させる目的で、一般的に流通しているボンベ架台が一番扱い易い固定方法のチェーンを緩くした状態でも、耐震性能が発揮されるように、チェーンを一番ゆるい状態で止めた形（ボンベが始めから傾斜している状態）でも、耐震性能が発揮される強度を目指した。

本来は、新製品対象の47ℓ ボンベを試験器材として選択すべきであるが、耐震実験に使用する加震台（プロセブン社製作）の試験体荷重範囲を超えるために、10ℓ ボンベ+ボンベ架台を試験体とした。

【2】10ℓ ボンベに対するマット面積耐震度表
(ソフト算出値 1000gal では 24cm²)

セノ(株)が所有する必要マット面積産出ソフトを用いて必要項目 (①対策対象物名, ②α:加速度(gal), ③Z:地域係数, ④W(Kg):質量, ⑤lg1 (cm):重心までの距離, ⑥hg(cm):床面からの重心の高さ, ⑦n1:片側脚数L1(cm), ⑧L1(cm):据付ピッチn1:, ⑨設置床面n1:hg等) を記入すると耐震対象物に対する必要マット面積を産出し、各実験におけるマット面積を算出した。

1000gal, 10ℓ ボンベ+架台の条件のソフト算出のマット必要面積 24 (23.56) cm² を試験体にセットした状態を図5に示す。

10ℓ 1000gal ソフト算出値 24(23.56)cm²

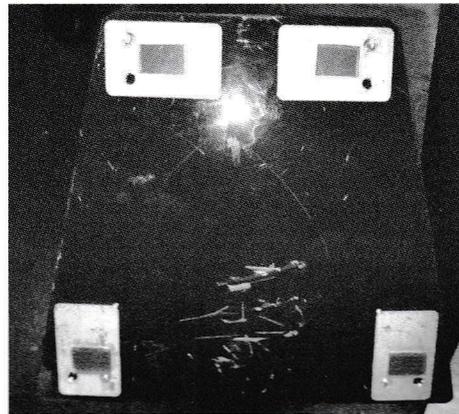


図5 試験体に開発品を取り付けた状態

又、本ソフトの妥当性を手計算により検証した結果、概略比例関係が有られた。

10ℓ ボンベ+架台をマット面積による耐震実験結果を表4に示す実験結果として下記点が確認された。

(ソフト算出値1000galでは24cm²)

耐震度 gal	3000																					
	2000	X			X			●	●	△	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
	1000	X	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
	0																					
試験体固定状況	A	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C						
マット面積(cm ²)	0	12			12			16			24			64								
固定器具種類	無	マットのみ			組立式金具+マット																	
実験結果	● 未転倒			△ 跳ねるが未転倒						X 転倒												
ボンベ固定条件	A ベルト固定			B 鎖できつく固定						C 鎖で緩く固定												
ボンベ架台に対する衝撃度比較				C > B > A																		

表4 10ℓ ボンベに対するマット面積耐震度表

- ①ソフト算出値 cm^2 は、設定耐震強度より、2 倍の加振度に耐えた。
- ②条件が厳しい状態 (チェーンを緩く固定) でも、性能が発揮された。
- ③耐震能力50%の面積値でも、設定耐震強度に耐えた。
- ④耐震強度としては、マットのみとマット+固定金具の組合せとは、同一性能で有った。

【3】新製品の応用性としては、従来法との差別化を図るために下記条件でも使用可能とした。

- ①アンカー固定不可の狭い場所も可能
 - ②錆びたボンベ架台も可能
 - ③取り外し、再取付が可能
- 従来法との応用性についての比較表を図6に示す。

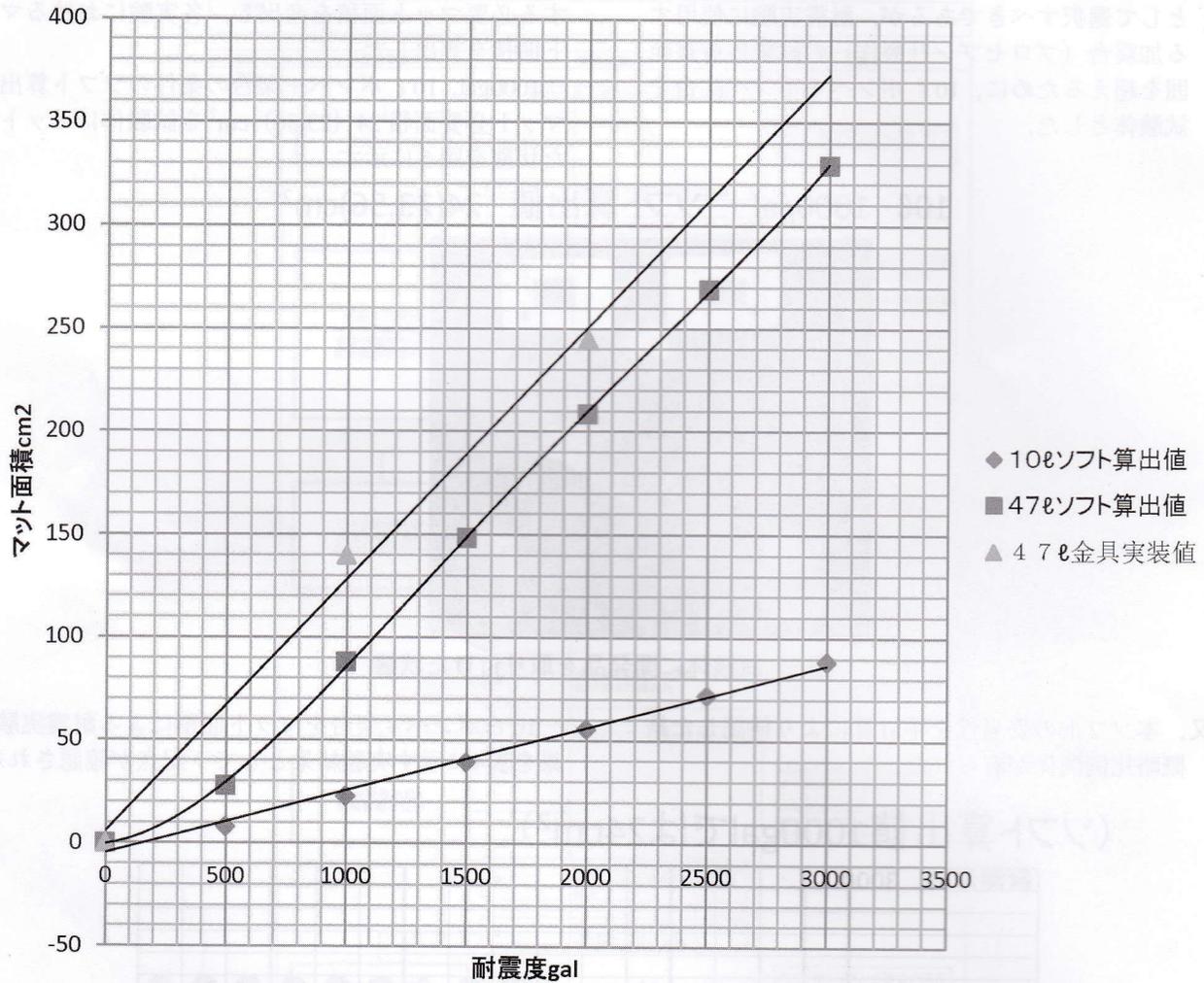


図6 ボンベ容量毎のマットの耐震能力

【4】開発した新製品の実験動物施設における設置例を図7に示す。

又、開発製品のポンベ容量毎のマットの耐震能力を表5に示す。



ドリルが入らない狭い場所でも、固定可能

ポンベ架台の底に金属製金具+マットを取り付けるので、床に穴を開けない。(後で分解移動可能)

ボルト固定式ポンベ架台の固定例

穴無式ポンベ架台の固定例

図7 開発製品を使用した穴を開けずに震度7対応のポンベ固定例

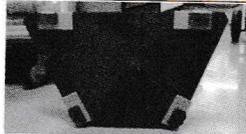
比較項目	分解可能SUS金具+耐震マット	耐震マットのみ	ケミカルアンカー-M815φ×150mm
耐剥離強度(引張体力)	1Kgf/cm ² 1000gal加震時 プロセプンHPより		102Kgf/cm ²
防水施工床への穴を開けない固定	可能 	可能	不可
狭い場所の固定	可能 	取付可能だが、取り外し困難	ドリルが入らず不可
架台底板が錆びている	可能 	表面の錆びにより粘着力が無くなり不可	可能

表5 耐震固定具応用性比較

【結果・考察】

- (1) 東日本大震災時の室内の被害状況を確認をした。ボンベ単体、ボンベ収納架台においては未固定は、転倒被害を受ける可能性が高い
- (2) 事故を時系列で分析して原因・教訓を導き出す産総研の「事故分析手法 PFA による事故進展フロー図」は、震災被害例による再発防止策(新耐震固定仕様)作成に有用な情報を与えた。
- (3) 動物実験施設内の穴を開けられない特殊な条件で被害挙動の確認試験を行った結果、「床に穴を開けずに耐震固定を行う新方法」の有効性が確認された。

【謝 辞】

今発表に当たり、東日本大震災の被害写真と聞き取り調査にご協力頂きました東北大学 笠井先生、庭野先生、慶應義塾大学 佐藤先生始め、諸先生方及び資材の貸し出しにご協力いただきました(株)京都帝酸 長谷川様 (株)桐山製作所 桐山様に感謝致します。

【参考文献】

- 1) 笠井憲雪, 鈴木加代子:「東日本東北大学動物実験施設報告書」. 4~5頁, 東北大学大学院医学系研究科附属動物実験施設, 宮城, 2012.
- 2) 独立行政法人防災科学技術研究所:「大地震を受ける超高層建物内部の被害様相と防災啓発」 「建築防災」 8:2009.