

研究論文

耐震性，居住性，取り扱いの容易さを考慮した飼育設備の開発

塩見 雅志¹，伊藤 隆¹，田村 敏昌¹，矢田 龍男¹，天野 宣正²

1 はじめに

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）で，神戸大学医学部附属動物実験施設は甚大な被害を受けた。当施設も震度7の揺れにさらされたものと推定している。思わぬ社会的な問題へ進展する危険性があるため，被災状況等については公表しない方がよいとの意見もあり，今日まで慎重に配慮してきた。しかし，当該震災以降も震度5以上の地震が続発しており，「日本列島は地震の活動期に入った可能性がある」との地震学者の発言もあることから，震災を教訓にして当施設が開発した耐震飼育設備について紹介することにした。

2 方法（耐震飼育設備の開発方針）

耐震飼育設備の開発に当たっては，①震災の教

訓の活用，②居住性への配慮，③取り扱いの容易さ，④収容ケージ数の減少の抑制を基本方針とし，10年後においても使用可能であることを目標とした。なお，飼育設備はステンレス製を原則とし，ケージの一部にはアルミニウムのアルマイト加工板を使用した。

1) 耐震性

表1に阪神・淡路大震災時の飼育設備の被害状況をまとめた。震度7の直下型地震では，縦揺れは重力の加速度より大きいことが指摘されており，大型設備を飼育室に固定したとしても固定しきれるものではないと考えられる。今回の震災では，大型設備の損傷が著しかったのに対して，軽量設備あるいは飼育室と一体型の飼育設備の損傷は軽微であった。なお，震度7の地域においても，周囲のビルが倒壊しているにもかかわらず，最新の

表1 阪神・淡路大震災による飼育設備の被害

	自動飼育機	水洗式飼育棚	置き式飼育棚
飼育設備の移動	×	×	△
飼育設備の衝突	△	○	△
飼育設備の転倒	△	○	△
支柱の外れ	△	○	○
汚物処理の不能	×	△	…
給水管の断裂	×	×	…
排水管の断裂	…	×	…
ケージの落下	○	○	△

×，全飼育設備に被害；△，一部の飼育設備に被害；○，被害なし；…，該当せず

1：神戸大学医学部附属動物実験施設 〒650 神戸市中央区楠町7-5-1

2：株式会社アスク 〒650 神戸市兵庫区荒田町3-2-27

耐震基準に基づいて建築された高層ビルが倒壊を免れていたことから、飼育設備の開発においても震度7に対応させることは有意義であると考え。さらに、当施設では外部から入手できない動物を系統維持しているため、災害の規模にかかわらず系統動物を維持できることを重視し、また、勤務時間中に地震が発生した場合においても、飼育設備の転倒・移動による人身事故を防止することに重点を置き、震度7の直下型地震に対応した飼育設備を開発することとした。なお、震度7に対応した飼育設備の開発によって、震災時の動物の逃亡も防止できる。したがって、耐震性の基本として、軽量飼育設備を飼育室に固定することとし、さらに、ケージの落下を防止することとした。また、断水時の汚物処理、器材洗浄、消毒に使用する衛生用水の使用量への配慮と確実な飲水の供給を可能にする構造とした。

2) 居住性

国内で使用されているケージは、欧米の規格に比較して小さいものが多い。居住性を考慮した飼育設備（ケージを含む）の開発の基本方針として、①四肢を伸ばして横臥したときに動物体が飼育設備の壁に触れないこと、②方向転換の容易さ、③実験用動物の一般的な行動に対応した高さ、④動物の特性を考慮した床材および止まり木等の採用を原則とした。その他に、摂餌しやすい給餌器の形状および飼育設備への取り付けについても配慮した。動物福祉の観点からは実験用動物であっても群飼育をするべきであるとの意見もあるが、社会的順位によるストレス、各動物が一定の摂餌量を維持すること、健康状態の観察の容易さ等、

実験成績への影響を考慮し、現時点においては、体格がウサギ以上の動物を1匹飼育とした。

3) 取り扱いの容易さ

耐震設備にしたことによって平常時の飼育管理に支障を来すならば、時間の経過とともに耐震機能を取り外してしまうことになりかねない。また、ケージの大型化によって飼育管理効率が低下する可能性がある。したがって、日常業務で耐震性能を解除する必要がある設備では、耐震機能のセットと解除がワンタッチでできる構造とし、さらに、日本人の体格でもケージ交換、汚物処理、給餌給水、清掃、洗浄・消毒、動物の観察、動物の出し入れが容易にできることを原則とした。

4) 収容ケージ数の減少の抑制

施設の物理的構造を変更することが困難なため、居住性の重視にともなうケージの大型化による収容ケージ数の低下を抑制する方法を検討した。さらに、ケージ洗浄装置、オートクレープ、エレベータ、滅菌缶、ケージ運搬台車、飼育室の扉のサイズ等についても検討した。

5) その他

実験用動物の飼育管理上必要な衛生管理の容易さ、健康観察の容易さにも配慮した。

3 結果（開発した耐震飼育設備）

1) 飼育棚およびケージのサイズ

表2に開発した飼育棚のサイズを示す。齧歯類は通常1ケージに複数匹を収容しているため、ケージ当たりの収容匹数を調製することとし、従来から市販されているケージを使用した。ウサギ、イヌ、ネコについては、座居における頭高等およ

表2 開発した飼育棚のサイズ

マウス用(7列6段)	ラット用(4列5段)	ウサギ用(3列3段)	ウサギ用(4列3段)
1440 ^W ×330 ^D ×1950 ^H	1540 ^W ×400 ^D ×1950 ^H	1930 ^W ×750 ^D ×1950 ^H	2500 ^W ×750 ^D ×1950 ^H

単位は mm

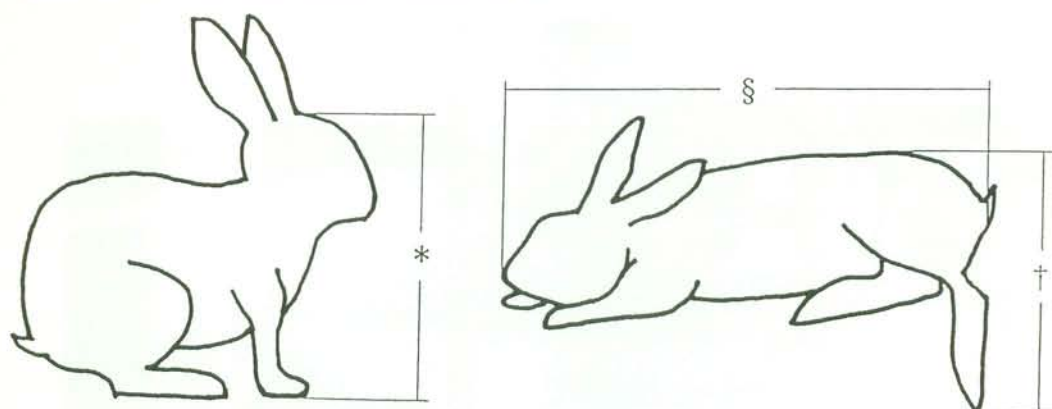


図1 ケージサイズ決定のための動物のサイズの測定部位

- a 座居における頭高(*)
b リラックス姿勢（前肢伏臥後肢横臥）における頭胴長(§)および臀部—後肢趾先端部長(†)

び前肢伏臥後肢横臥（あるいは前後肢横臥）のリラックス姿勢で測定した頭胴長、臀部—後肢趾先端部長あるいは背肩甲間部—前肢先端部長を測定し（図1、表3）、その結果を基準にしてケージサイズを決定した（表4）。

2) マウス、ラット用飼育設備

断水時の衛生管理, 居住性, 観察の容易さ, 術後管理を考慮した場合, 水洗式飼育設備に比較して樹脂ケージを使用した床敷飼育の方が適切であると考え、オートクレーブ処理が可能なポリサルファン製ケージを採用し、飲水の供給は給水瓶とした。飼育棚は、マウス用およびラット用ともに同様の構造とし、キャスターを設置した。飼育棚の転倒防止対策としては、飼育室の壁にステンレス製のLバーをアンカーボルトで固定し（飼育室

の床から1450mmの高さ）、このLバーに飼育棚を連結する方式とした。具体的には、飼育棚の両側に設置したクランク型の丸棒およびLバーに連結した40cmの長さの鎖で飼育棚と転倒防止用Lバーを着脱可能方式で連結した（図2-a, b）。鎖による連結は、飼育室の清掃・消毒時にケージを乗せた

表3 各種動物の頭高, 臀部—後肢趾先端部長, 頭胴長

	体重	頭高	臀部—後肢趾 先端部長	頭胴長
ウサギ	3.5 kg	32 cm a (45 cm)	28 cm	54 cm
イヌ	15 kg	68 cm	52 cm	77 cm
	20 kg	75 cm	67 cm	94 cm
ネコ	4.0 kg	39 cm	33 cm	48 cm

a, 耳を立てた場合の高さ
データは測定した10匹の動物の最大値

表4 開発したケージのサイズ(収容部分)と各種規格との比較

	ウサギ(<3.5kg)	イヌ(<15kg)	ネコ(<4.0kg)	サル(<15kg)
開発したケージ	^a 0.33×0.45	1.10×2.00	0.63×0.86	0.91×1.41
震災以前のケージ	0.18×0.32	0.55×0.68	0.19×0.45	0.64×1.40
NIH 規格	0.28×0.36	1.11×0.91	0.28×0.61	0.74×0.92
EC 規格	0.30×0.40	1.20×1.40	0.40×0.50	1.10×1.25
^b 4 Bed Space 規格	0.37×0.40	1.70×1.20	0.53×0.90	0.57×0.84

a, 床面積(m²)×高さ(m); b, 科学研究費佐藤班の規格

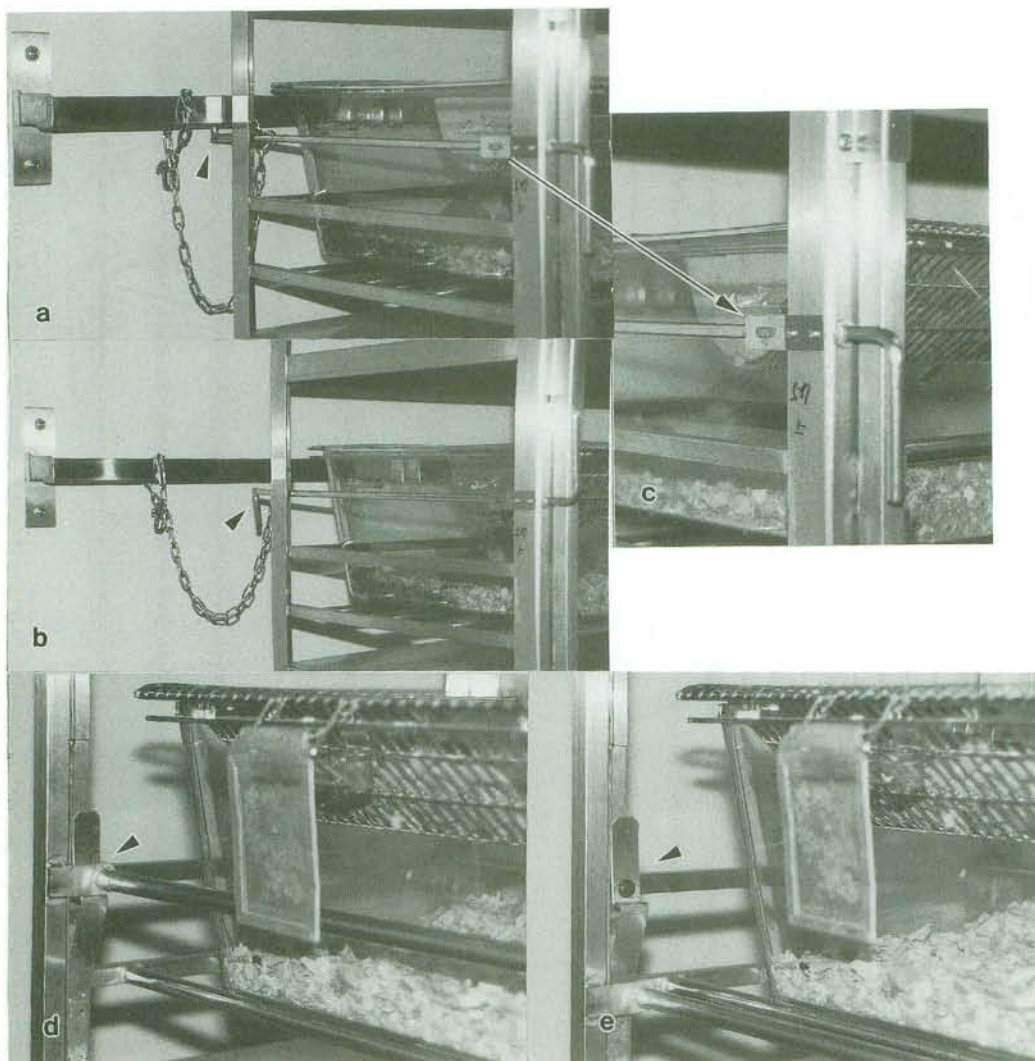


図2 マウス・ラット類飼育棚の地震対策

- a 壁に固定されたステンレス製Lバーと飼育棚の連結。飼育棚に設置されたクランク型丸棒およびLバーに設置された鎖により飼育棚の転倒を防止。鎖はスナップによって着脱可能、クランク型丸棒を回転させることによって飼育棚をLバーから着脱可能。
- b 飼育棚をLバーから外し、鎖で連結した状態
- c クランク型丸棒の自由回転を抑制する板バネ。
クランク型丸棒に一回り径が小さい丸棒を溶接し、溶接した丸棒を板バネで押さえることにより、地震の揺れによるクランク型丸棒の回転を抑制。
- d ケージ落下防止装置のセット。落下防止用パイプを板バネの位置まで手で持ち上げることによって、すべての段でケージ落下防止装置をセットできる。
- e ケージ落下防止装置の解除。板バネを手で押すことによって、すべての段のケージ落下防止装置を解除できる。

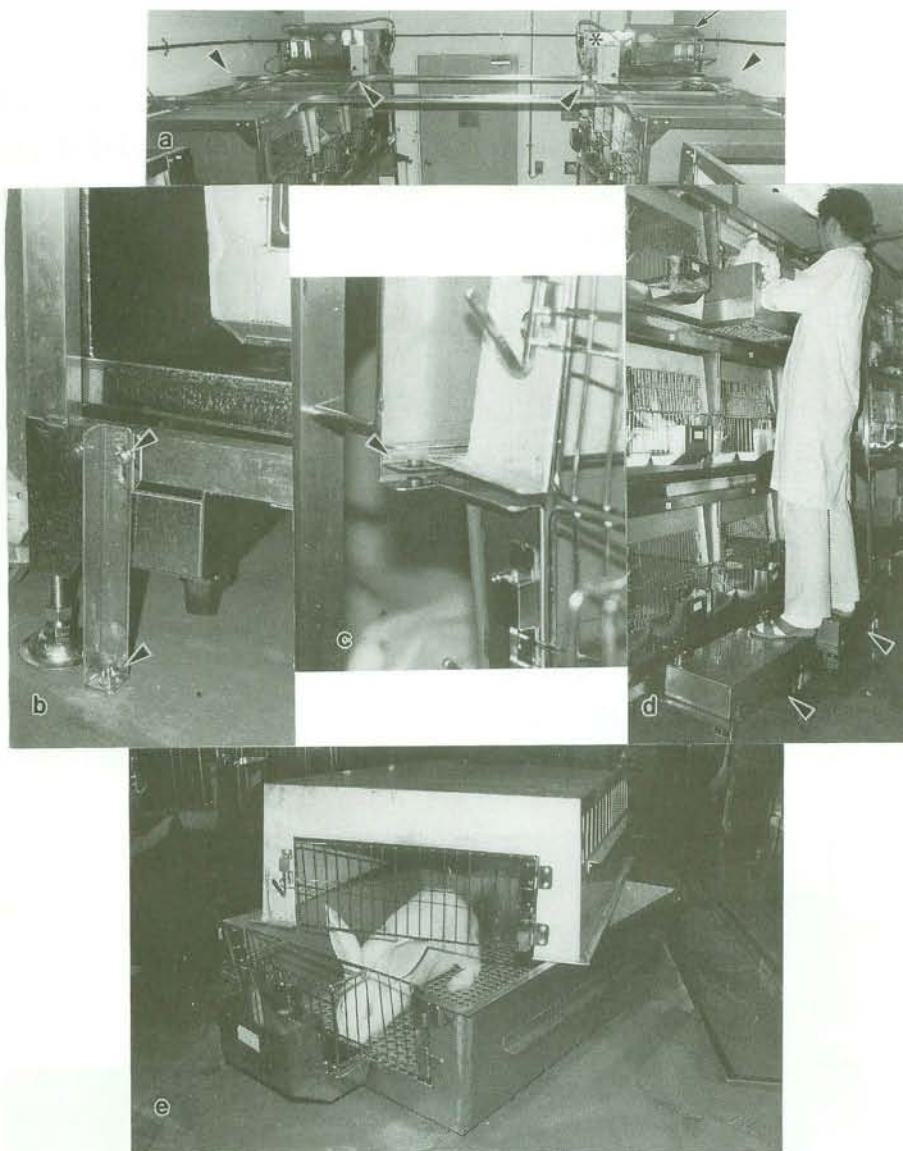


図3 ウサギ用飼育棚の地震対策.

- a 飼育棚と壁および飼育棚同士の固定. ステンレス製のLバーを壁および飼育棚と固定し, 地震の横揺れに対応, 給水タンクは飲水用(矢印)と汚物処理用(*)に分けて2基設置.
- b 飼育棚を床に固定. 地震の縦揺れに対応するために, 飼育棚をアンカーボルトで床に固定.
- c ケージの落下防止. ケージ落下防止用の突起をケージ搭載位置に設置.
- d 上段のケージに対応するための収納式ステップの配置. 収納式ステップを飼育棚の下部から引き出し, 折り返して重ねて使用(高さ25cm).
- e 上下2分割式ケージ. 上部がアルミニウム製, 下部がステンレス製のケージ(0.55m(W)×0.6m(D)), フラットトップのアルミニウム製床網を使用. 3.5kgのウサギを収容した状態.

まま飼育棚をLバーから外す場合の転倒防止用であり(図2-b), 飼育棚を大きく移動する必要がある場合には, 鎖とクランク型丸棒の両者を外すこととした。飼育棚のLバーからの着脱は飼育棚着脱用丸棒を回転させることによって容易に行なえるが, 地震の縦揺れによって回転して外れることがないように, クランク型丸棒に突起を溶接し, この突起を板バネで押さえ, 回転を抑制した(図2-c)。転倒防止用の鎖の着脱にはスナップを使用した。ケージの落下防止として, 飼育棚の前面に上下動するケージ落下防止装置を設置(装着時にはケージ下部から65mmの部位を固定)し, 後面および側面には角パイプを配置した。ケージ落下防止装置は, 飼育棚の前面両側に設置した板バネを手で押すことにより解除し, 手で上げることによりセットできる構造とした(図2-d, e)。なお, 本飼育棚は日本クレア社に作製依頼した耐震飼育棚をさらに改造したものである。

3) ウサギ用飼育設備

キャスター付きの簡易水洗式飼育棚3列3段および4列3段を飼育室の床および壁にM8 アンカーボルトで固定し, さらに飼育棚同士をLバーで固定した(図3-a, b)。床への固定は縦揺れへの対応であり, 壁およびラック同士の固定は横揺れへの対応である。ケージの落下防止として, 飼育棚のケージ搭載部分の棧に高さ5mmの突起を設置した(図3-c)。飼育棚の上段に搭載したケージの取り扱いを容易にするために, 飼育棚下部に高さ250mmの収納式のステップを配置した(図3-d)。搭載するケージは体重3.5kgのウサギの収容を想定してサイズを決定した(図3-e)。ケージの取り扱い(ケージ交換, ケージ洗浄, オートクレープ処理, 動物の出し入れ等)を容易にするためにケージは上下2分割とし, 下側をステンレス製, 上側をアルミニウム製とした。収容ケージ数の減少を抑制するために, 現飼育室のスペースに対応さ



図4 開発したイヌ飼育設備

収容部分のサイズは1m(W)×1.1m(D)×2.0m(H)。地震対策として飼育設備を床にアンカーボルトで固定(写真b)。樹脂コートの床網を採用(矢印)。タイマーで自動水洗。仕切板(*)を取り除けば大型犬にも対応。

耐震性、居住性、取り扱いの容易さを考慮した飼育設備の開発
せてケージを縦長とした。ケージの床は長期飼育
時に発生しやすい後肢踵部の潰瘍性皮膚炎を予防
する目的で、アルミニウム板の打抜きを採用した。
ケージは定期的に変換・洗浄してオートクレーブ
滅菌し、飼育棚はケージ交換時に清掃・消毒する
こととした。飲水の供給は、汚物処理用水用ステ
ンレス製タンクとは別に飲水専用の透明樹脂製タ
ンクを設置し（図3-a）、自動給水とした。

4) イヌ用飼育設備

図4に開発したイヌ用ケージを示す。汚物洗浄
装置付きのステンレス製ケージをM8アンカーボ



図5 開発したネコ飼育設備

収容部分のサイズは、 $0.73\text{m(W)} \times 0.86\text{m(D)} \times 0.86\text{m(H)}$ 。地震対策として飼育設備を床にアンカーボルトで固定。生活用棚板採用、挟体板設置。4.0kgのネコを収容した状態。



図6 開発したサル飼育設備

収容部分のサイズは $0.8\text{m(W)} \times 1.14\text{m(D)} \times 1.41\text{m(H)}$ 。地震対策として飼育設備を床にアンカーボルトで固定。生活用棚板採用、挟体板設備。体重15kg以下のサルの収容を想定。

ルトで飼育室の床に固定し、収容部分の床材には樹脂コーティングしたステンレス製の網を使用した。汚物洗浄装置は、斜めに設置した汚物処理用水洗板の後方から定期的に水が流れ出し、前面の溝に汚物を洗い落とす方式とした。飲水の供給には2000mlの用量の丸型給水カップを使用した。

5) ネコ飼育設備

図5に開発したネコ用ケージを示す。ステンレス製のケージを飼育室の床にM8アンカーボルトで固定した。ケージには生活用棚板（550mm×300

mm)、挟体板および汚物処理用水洗板を設置した。飲水の供給には950mlの用量の給水器を使用した。なお、床網については、扉側1/2をフラットトップのアルミニウム板とし、奥側1/2をステンレス製スノコとした。

6) サル飼育設備

図6に開発したサル用ケージを示す。ステンレス製のケージを飼育室の床にM8アンカーボルトで固定した。ケージには生活用棚板2段と挟体板および汚物処理用水洗板を設置した。飲水の供給には給水瓶を使用した。

4 考 察

1) 耐震性

震度6以上の地震が発生した場合には、建物の倒壊、水道、ガス、電気、交通等の遮断、空調の停止が予想され、衛生的な飼育管理が困難になると考えられることから、耐震設備としては震度5程度に対応させるべきであるとの考え方がある。しかし、外部から入手が困難な特殊な系統動物の維持等においては、地震の規模にかかわらず、動物を飼育する必要がある。その場合、SPF動物においては、復旧後に微生物検査を実施し、必要があるならば、再度SPF化することによって、系統を維持しつづけることが可能である。また、飼育設備の転倒・移動が原因の人身事故を防止するためにも震度7に対応した耐震設備の導入が望ましい。兵庫県南部地震においては、当施設は震度7の地域に隣接していたが、施設が高層の階に位置するため、施設内の揺れの力は震度7の地域の揺れの力に相当していたと推定している。飼育設備の固定にはM8アンカーボルトを使用した。このアンカーボルトは震度7の力に対応していると計算されている。震度7の縦揺れの力は重力の加速度より大きいことが兵庫県南部地震によって実証されたことから、大型の飼育設備を飼育室にア

ンカーボルトで固定したとしても、震度7の地震発生時には、アンカーボルトを打ち込んだ周囲の床材の強度によっては、床材が崩壊して飼育設備が移動する可能性を否定できない。運動によって発生する力は質量の二乗に比例することから、飼育設備が軽量であれば床材の崩壊の危険性は低い。重量が増加するにしたがって床材の崩壊の危険性が増大することになる。したがって、耐震設備の開発に当たっては、軽量設備を飼育室に固定することが望ましいと考える。耐震性の議論において、キャスターによる飼育設備の移動の是非については両論がある。しかし、勤務時間中の地震発生を考慮した場合、人身事故を防止することに重点を置くならば、地震によって飼育設備が移動しないよう対策を講ずることが賢明と考える。この場合、飼育棚からのケージの落下を防止することによって、動物の被害を抑制できると考える。

マウス・ラット用飼育棚の転倒防止バーの取付位置は、飼育棚の高さの約3/4の位置とし、しかも着脱操作が容易な高さとした。また、マウス・ラット用飼育棚のケージ落下防止装置のセット位置は、縦揺れによってケージが落下防止装置を越えることがないように、ケージを配置した場合のケージ上面と天板との距離に等しくすることが望ましい。

長期断水時の給水対策として、マウス・ラット類では給水配管の断裂時においても衛生管理が比較的容易な給水瓶を選択した。また、ウサギ用飼育棚では汚物処理用水槽とは独立して給水用水槽を設置し、1回の水槽への補水で、1日分の飲水の供給を可能にした。イヌについては大型の給水カップを使用した。ウサギと同様に給水専用の水槽を飼育室に設置する方式も有効と考える。

なお、耐震飼育設備の導入経費は、自動飼育機の導入経費よりも安価であった。

2) 取り扱いの容易さ

耐震性を向上させることによって日常の飼育管理に支障を来し、やがて耐震装置が撤去された例がある。したがって、耐震装置の開発に当たっては日常の飼育管理に支障を来さないことが重要である。マウス・ラット類の飼育棚の場合、耐震機能はワンタッチでセット・解除が可能であり、飼育管理作業（給餌・給水、ケージ交換、飼育棚の清掃・消毒、飼育室の清掃・消毒等）において、耐震機能が障害になることはなかった。また、透明樹脂製ケージの採用により、金属製のブラケットケージに比較して、動物の健康状態の観察が容易になった。なお、当施設では、すべての小型齧歯類の飼育を自動飼育機から床敷飼育へ変更したが、乾燥機能付きのケージ洗浄装置を導入し、ケージ洗浄装置の末端でケージに床敷を充填することによって作業を効率化した（1時間当たりのケージ洗浄・床敷充填数は610ケージ/2人）。

ウサギ飼育設備の構造は基本的には従来の水洗飼育棚と同じであり、地震対策が飼育管理上の問題とはならず、耐震アンカーボルトは着脱可能であるため飼育棚の移動に支障はなかった。しかし、ケージの容積が従来の約2.5倍と大型になったため、上下2分割としたものの、ケージの洗浄には従来より時間を必要とした。飼育室の形状に併せて収容ケージ数を最大にするために奥行きを長いケージ（600mm）を採用したが、奥行きを長いケージで予想されるケージから動物を出す場合の困難さを軽減するために、上下2分割式のケージを考案した。上下2枚の扉を開き、下側のケージのみを引き出すことによって、動物をケージから容易に出すことが可能であった。また、上段のケージ下部までの高さが1450mmあるため、上段に対する健康観察および飼育管理を容易にするために収納式引出ステップ（使用時の高さ250mm）を配置した。

イヌ、ネコ、サルのケージについては、汚物水洗板の下部と飼育室の床およびケージ背面と飼育室の壁との間に約20cmの間隔を設けたことで、飼育室の水洗・消毒が容易になった。さらに、ケージの大型化により動物の観察や汚物処理、ケージの洗浄が従来より容易となり、飼育管理に要する時間が短縮された。とくにイヌについては、前面の扉を3通りの方法（全体、上部のみ、下部のみ）で開くことが可能な構造としたことによって、休日に個々のイヌの性質を把握していない平日とは異なる技術者が飼育管理する際のイヌの逃亡防止、咬傷事故の防止に役立っている。イヌ、ネコ、サル用ケージは飼育室の床にアンカーボルトで固定されているため、ケージの洗浄は毎日飼育室内で実施し、消毒は動物が退室した際に飼育室内で両面活性剤およびアルコールを用いて実施している。

3) ケージサイズの国際比較

ケージサイズは、米国 NIH 基準、EC 基準、科学研究費佐藤班（4 BS）の基準などに囚われることなく決定した。しかし、採用したケージサイズはこれらの基準とはほぼ同等であり、ネコおよびサル用ケージについてはいずれの基準よりも大型であった（表4）。マウス・ラット類以外の動物（マウス・ラット類は従来と同一サイズのケージを使用）では、外見上は従来のケージに収容した場合に比較してくつろいでいると感じられた。

米国 NIH の基準においてもケージサイズの科学的な根拠は不明確であり、平成8年度に開催された第43回日本実験動物学会（新潟）で講演した Wolfle, TL (ILAR, USA) は、NIH のケージサイズ基準は最終的には「飼育管理経験に基づいた総合判断」によって決定されたと説明した。このことから、科学的根拠に基づいてケージサイズを決定することは困難な作業であることが判る。科学的に適正なケージサイズを検討するためには、ストレスの指標になる白血球数、血中副腎皮質ホ

ルモン値などを測定する必要があると同時に、体重増加率、寿命、行動学的な解析が必要である。また、動物の由来が実験動物として生産された動物か、野生動物か、家畜か等によって飼育形態(ケージサイズのみならず、ケージの形状・床材・止り木、ハンドリング等)を考える必要がある。事実、ネコ用ケージには生活用棚板を設置したが、ネコは1日の多くの時間この棚板の上におり、ケージサイズのみならず動物の特性に適合したケージの構造を考慮することは重要である。さらに、実験用動物を経済的に飼育するためには、どこまでケージを小さくすると動物がストレスを受ける(最小ケージサイズ)か等についての検討も必要である。これらの問題について短時間で結論を出すことは困難であろうが、ストレスを研究対象としている研究者が中心となって適正なケージサイズについて検討することが望ましい。したがって、今回採用したケージサイズが最善であると結論できないことはいうまでもないが、欧米の基準に適合していることから科学的データに裏付けされたケージサイズが示されるまでの間は使用可能であろう。

4) 収容ケージ数の減少の抑制

最大収容ケージ数については、震災前と飼育室の割当てが変更されたため、単純に比較することはできないが、地震前の収容能力の60%から188%となり、平均すると80%であった。ケージの容積を大幅に拡大したにもかかわらず収容能力の低下が少なかった要因の一つとして、飼育室の構造・形

状に合わせた飼育設備の導入が考えられる。大型の自動飼育機を導入する場合には、飼育室に飼育設備を設置できないスペースができるが、ケージ単位あるいは小型の飼育棚を導入することによって飼育室を有効利用することが可能となった。さらに、ウサギ飼育棚の場合、高さ45cmのケージを3段積みした195cmの高さの飼育棚を導入したが、上段に対応するための収納型ステップを配置したことによって、飼育管理上の支障となることなく、収容ケージ数の確保が可能となった。

5) まとめ

阪神・淡路大震災による甚大な被害を被った当施設が、その教訓を活用して、耐震性を考慮した飼育設備を開発した。開発に当たっての基本方針は、①軽量設備を飼育室に固定、②居住性への配慮、③取り扱いの容易さ、④収容ケージ数の減少の抑制であった。この基本方針にそって開発した飼育設備はおおむね当初の期待に適合したものであった。耐震設備の導入経費は自動飼育機の購入経費よりも安価であった。また、開発したケージのサイズはNIH基準やEC基準等と同等であった。なお、動物福祉の観点から考えた場合、根拠となる実験データが少ないことから、今回開発した飼育設備は今後の研究によって評価されることになる。最後に、動物実験施設の耐震性については、飼育設備のみならず、ボイラーを含む空調設備、給・排水設備、非常電源、飼育設備以外の設備、災害対策マニュアル等についても検討する必要があることを付け加えておく。