

半導体クリーンルーム用除振床

Micro-Vibration Isolation Floors Applied to the Cleanroom of Semiconductor Manufacturing System

LSIやレーザ応用製品などの加工はきわめて微細になりつつあり、わずかな振動によっても製品の損傷が避けられない。その対策として、日立プラント建設株式会社、株式会社日立建設設計では微振動を効率よく吸収する積層ゴムと空気ばねを用いた三次元除振床を開発し、半導体製造用クリーンルームに納入している。この装置の除振性能は入力する微振動に大きく影響されるため、計画にあたって事前に建家の振動特性を十分に把握しておくことが必要である。日立プラント建設株式会社らは除振床に入力する微振動について検討し、建家の固有振動数に依存すること、および階高が高くなるに従って増幅されることを明らかにした。そして除振床の設置にあたって、基礎の増強および独立床方式を合わせて採用することで、微振動を大幅に低減できるようにした。

早 津 昌 樹* *Masaki Hayatsu*
浅見欽一郎* *Kin'ichirō Asami*
竹 下 章 治** *Akiharu Takeshita*
藤 田 隆 史*** *Takafumi Fujita*

1 はじめに

LSIやレーザ応用製品などの精密製品を加工する工場では、製品の加工、検査の精度が、工場内設備や付近の交通から伝搬される微振動に大きな影響を受ける¹⁾。このような設備には、微振動(加速度が $10^{-4} \sim 10^{-2} \text{ m/s}^2$ 、変位が $10^{-7} \sim 10^{-3} \text{ m}$ の振動)を効率よく吸収する除振床を適用することが必要とされる。

日立プラント建設株式会社と株式会社日立建設設計は、東京大学生産技術研究所と共同で、多段積層ゴムと空気ばねを用いた除振床を開発し²⁾、クリーンルーム内加工・検査設備向けに数多くの納入実績を持っている。しかし、この装置の除振性能は、建家の床などから入力する微振動に大きく影響されるため、クリーンルームが設置される地盤の特性および建家の特性を、事前に十分に考慮する必要がある。本稿では、除振床適用にあたって、計画上考慮すべき点とその適用例について述べる。

2 微振動の要因とその伝搬

建家内に設置された精密機器に微振動が入力される要因と伝搬経路は、図1に示すように、地盤を伝搬して建家に入る外部振動と、建家内の設備などによって発生する内部振動に分けられる³⁾。

外部振動は、地盤、建家基礎、柱、はり、二重床を通して精密機器へと伝搬し、その過程で減衰や増幅を繰り返し、最終的に精密機器の性能に影響を与えることになる。この振動の周波数帯域は、一般的に10 Hz以下であり、比較的低い周波数の水平方向振動が多い。

内部振動には種々の要因がある。スラブ床上に設置した回転機などの設備・機械振動が、束柱を通して二重床に伝搬する場合と、作業時に二重床上を人が歩行することで発生する振動であることが多い。この振動の周波数帯域は10 Hz以上で、比較的高い周波数の鉛直方向振動が多い。精密機器に除振床を適用する場合であっても、建家計画の段階でできるだけこのような微振動要因を低減することが、全体として効果の大きい微振動対策ができることになる。

3 建家側の除振計画

3.1 建家の振動

建家は外部振動によって、一次固有振動数で水平方向に振動している。一次固有振動数と建家高さとの関係を図2に示す⁴⁾。建家高さが高くなると、鉄筋コンクリート、鉄骨構造などの建家種別にかかわらず固有振動数は低くなる。最近のク

* 日立プラント建設株式会社 ** 株式会社日立建設設計 *** 東京大学 生産技術研究所 工学博士

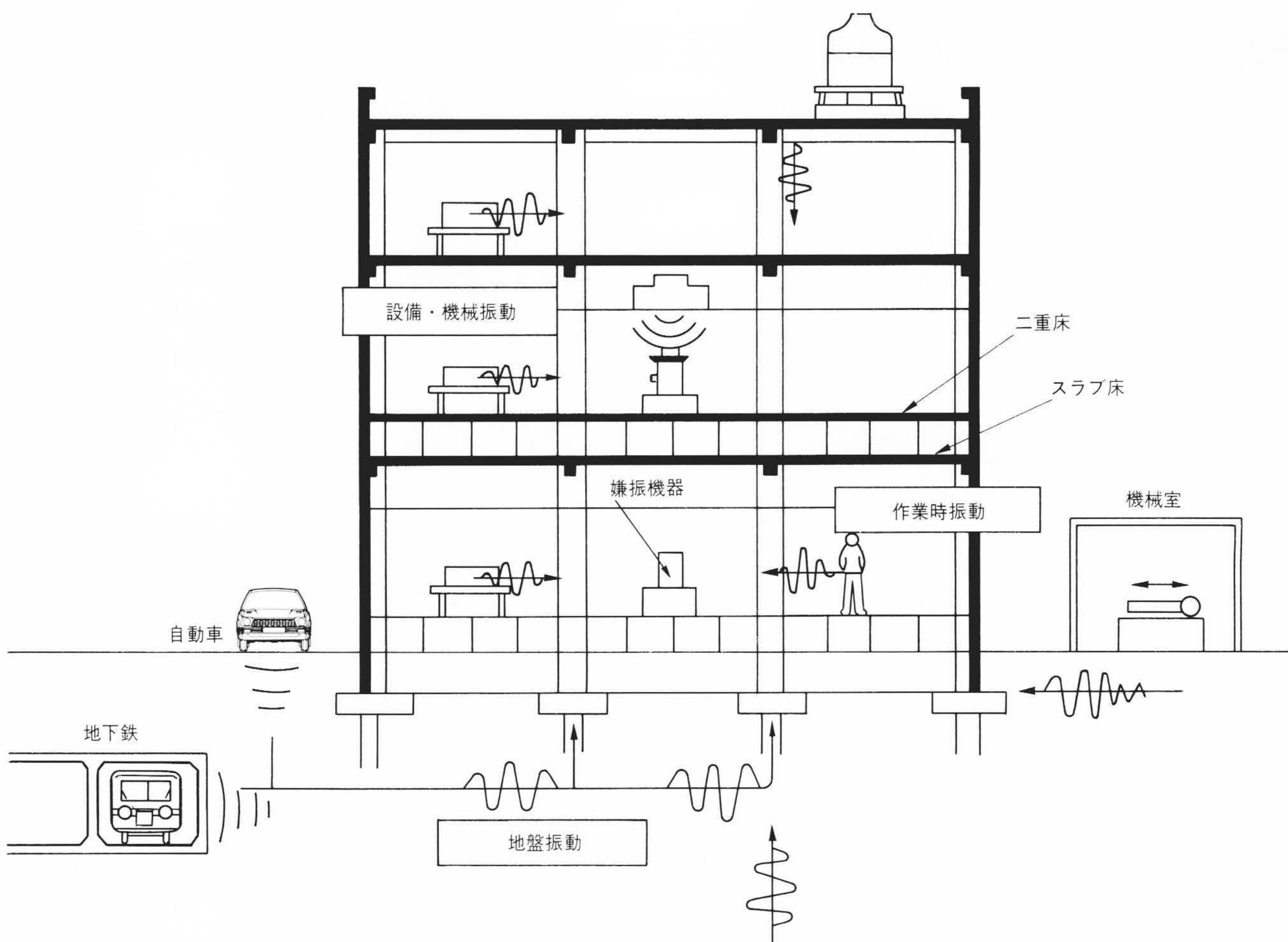


図1 微振動要因と伝搬経路のモデル図 微振動は、外部から伝達するものと建屋内部で発生するものとの二通りある。

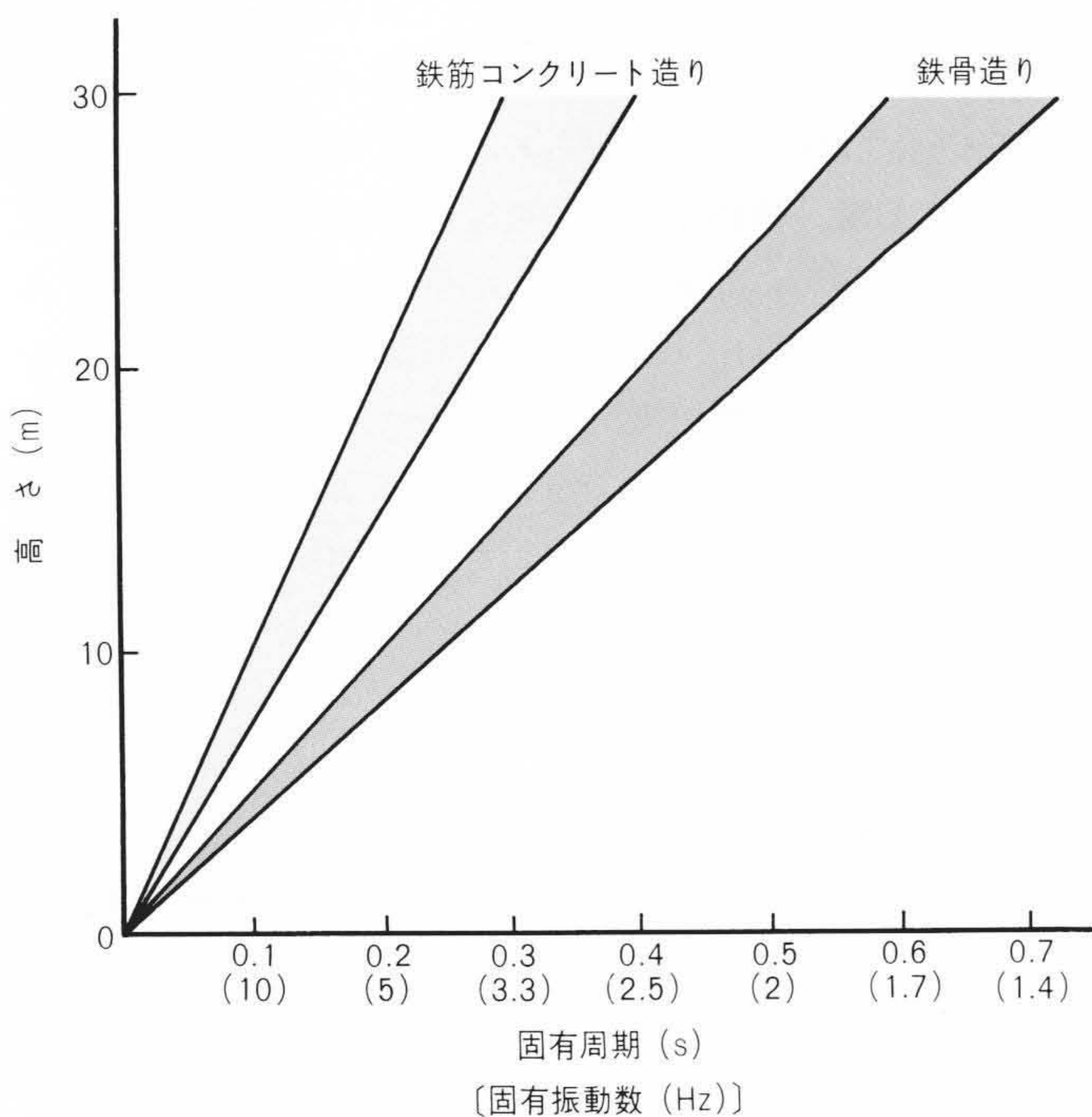


図2 クリーンルーム建家の固有周期(固有振動数)と高さの関係
高さとはいすゞまでの高さ(メートル)である。一般建家の固有周期は、鉄筋コンクリート造り $T=0.02 \times$ 高さ(s)、鉄骨造り $T=0.03 \times$ 高さ(s)で示される。

クリーンルーム建家は、敷地スペースとの関係から一般に高さ30 m程度となり、その固有振動数は2～3 Hz程度である。

次に、クリーンルーム建家での階高ごとの微振動増幅効果を調べた事例を図3に示す。水平方向の微振動は階高によって増大している。したがって、振動を嫌う精密機器はできるだけ1階に設置することが望ましい。また、鉛直方向の振動は建家の内部振動に起因することが多く、階高にはあまり影響されない。

3.2 建家計画時の防振対策

一般に建家の防振対策としては、次の方法が考えられる。

- (1) 距離減衰を考える。：振動源を離す。
- (2) 表面波を切る。：溝、地中壁、地下室などを造る。
- (3) 剛、重で抑える。：コンクリート量を増す。
- (4) 固有振動数を変える。：ばね、ゴムで支える。
- (5) 独立床で絶縁する。：嫌振機器設置床を独立させる。

上記の対策のうち、日立プラント建設株式会社で施工した例について述べる。

(1) コンクリート増強例

鉄筋コンクリート1階建ての例を図4に示す。建家質量をまず、地盤をばねと考えて防振設計を行うが、建家下部のコ

ンクリート層が地中深いほど振動が小さくなるので、このことを考慮して基礎深さを決める。同図の例では、スラブ厚を1 mにした基礎で、防振対策項目の(2), (3), (4)に対応しており、クレーン車走行時の振動を約 $\frac{1}{40}$ に低減することができた。

(2) 独立床適用例

精密機器の床を独立させた例を図5に示す。これは、内部

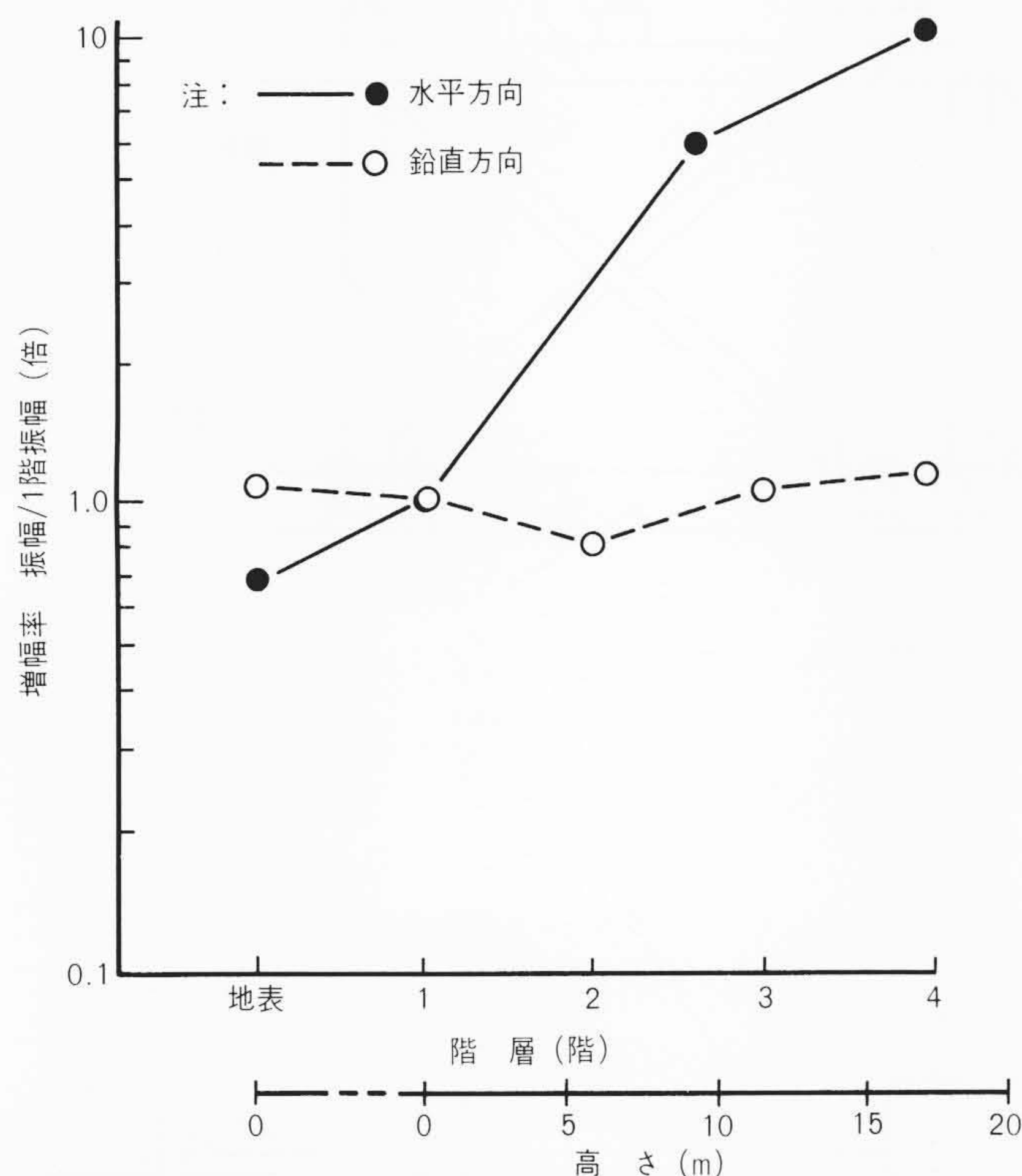


図3 地盤振動のクリーンルーム建家内での増幅効果実例 地表と1階はほぼ同程度の振動であるが、上階ほど増幅されている(上下方向を除く)。

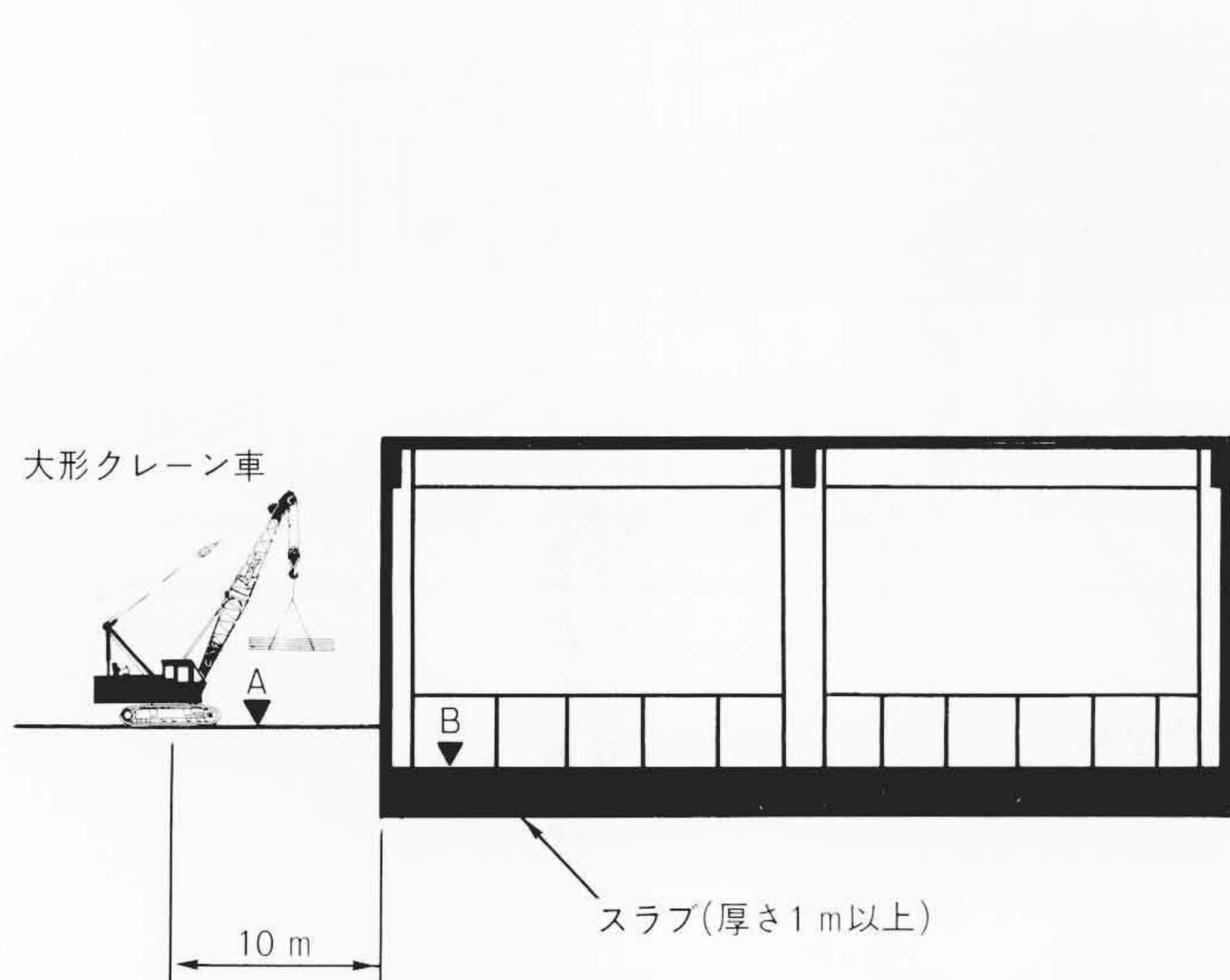


図4 マットスラブ構造時の振動測定例 A点での振動は、B点では常時振動内に低減されている。

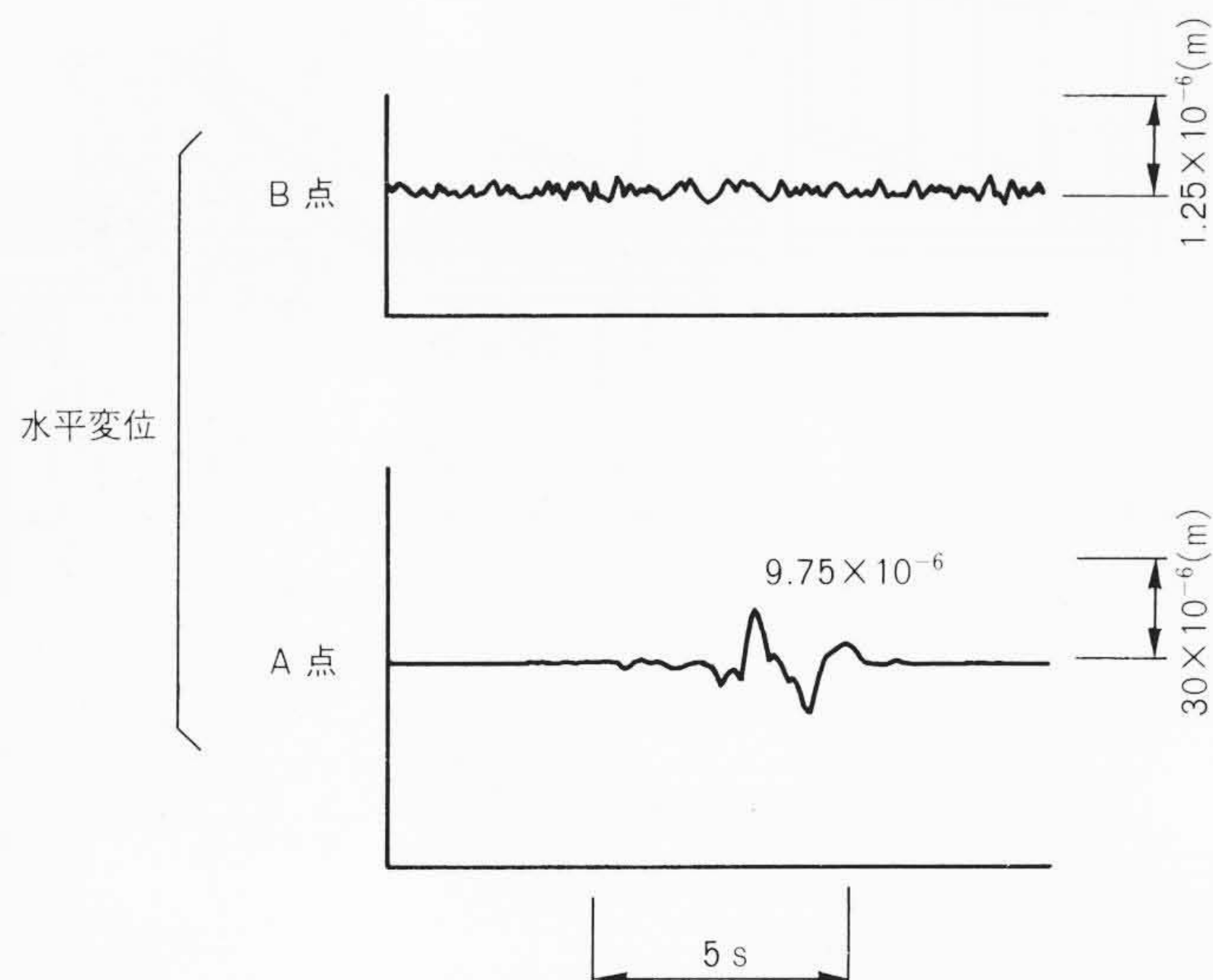
振動の主要因の一つである歩行振動を精密機器に直接伝えないようにしたものである。束柱の下には、はりを設け、独立床を支えるスラブ床の剛性も大きくして歩行振動の伝達を防止した例で、歩行床上の振幅 10^{-5} mの振動を約 $\frac{1}{5}$ 以下に低減することができた。

4 除振床による除振計画

4.1 除振床の基本構造とその性能

建家側の微振動対策だけで必要な除振効果が得られない場合、除振床の適用が必要になる。日立プラント建設株式会社が開発した三次元除振床のクリーンルームへの適用計画例を図6に示す。この装置は、多段積層ゴムと空気ばね、および水平ダンパで構成している。水平方向の振動は多段積層ゴムと水平ダンパの組み合わせで吸収し、鉛直方向の振動は積層ゴムで支持された二次元床上に取り付けた空気ばねで吸収する。ここで、建家の水平方向の固有振動数は、前述のように2~3 Hzであることから、これとの共振を避けるためには除振床の固有振動数を十分に小さくする必要がある。本装置は、最大水平方向は0.5 Hz、鉛直方向は1.0 Hzの固有振動数まで計画することができるために、建屋の共振帯域から外れた計画とすることができる。本装置の構造上の特徴は、水平方向二次元床をクランク構造とし、搭載台高さを0.5 m程度と低くすることで、除振床を設置していないフリーアクセス床と同一のレベルにしたことである。また、各ベイごとに空気ばねの特性を変えられるようにしてあるので、機器の質量や振動特性に合わせることができる。これらの構造により、クリーンルーム内の作業性を阻害することなく、設備のレイアウト変更が容易になる。

クリーンルーム内に設置した実施例を図7に示す。この例



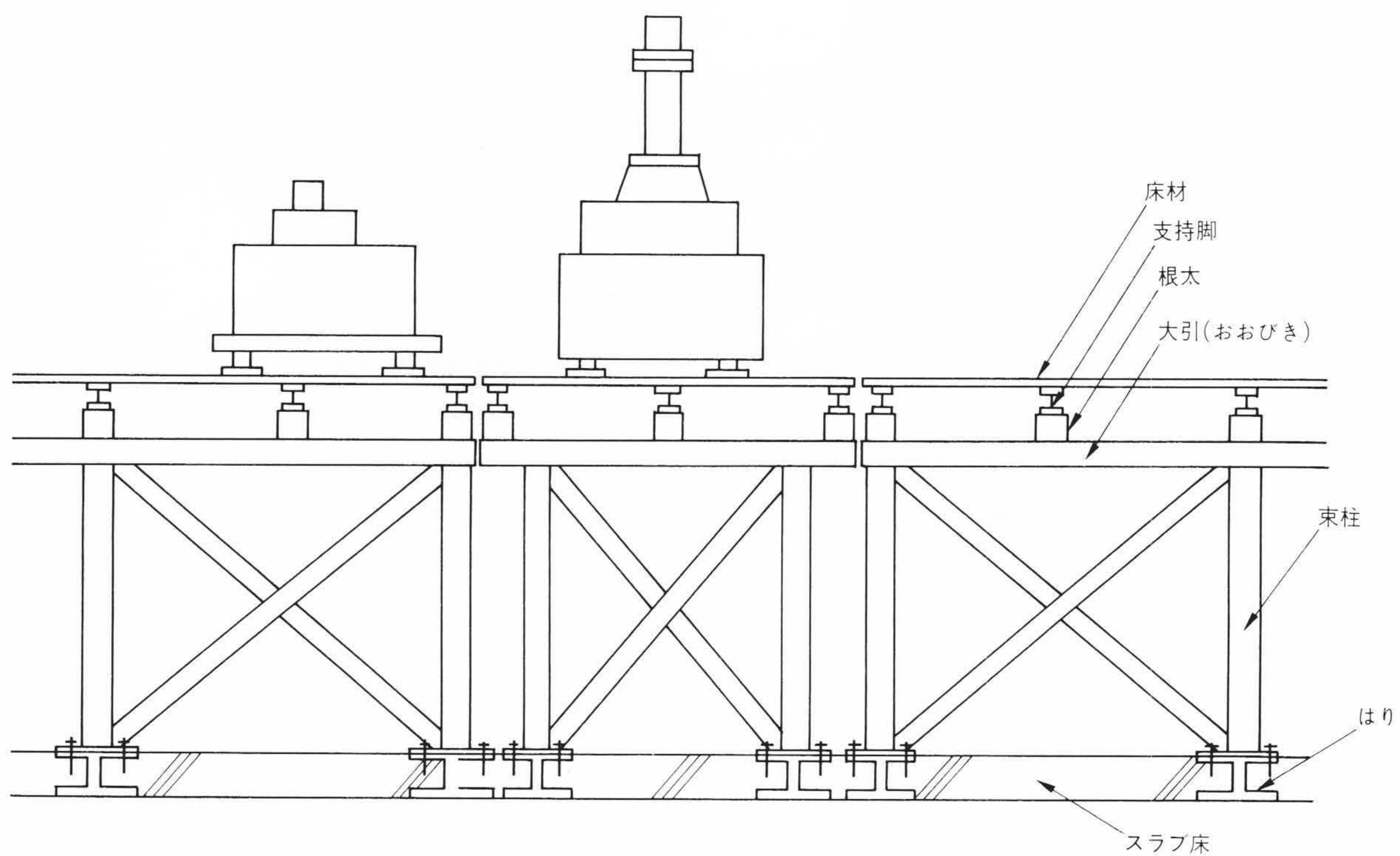


図5 独立床の例 フリーアクセス部と機器を設置する床とを切り離した例を示す。

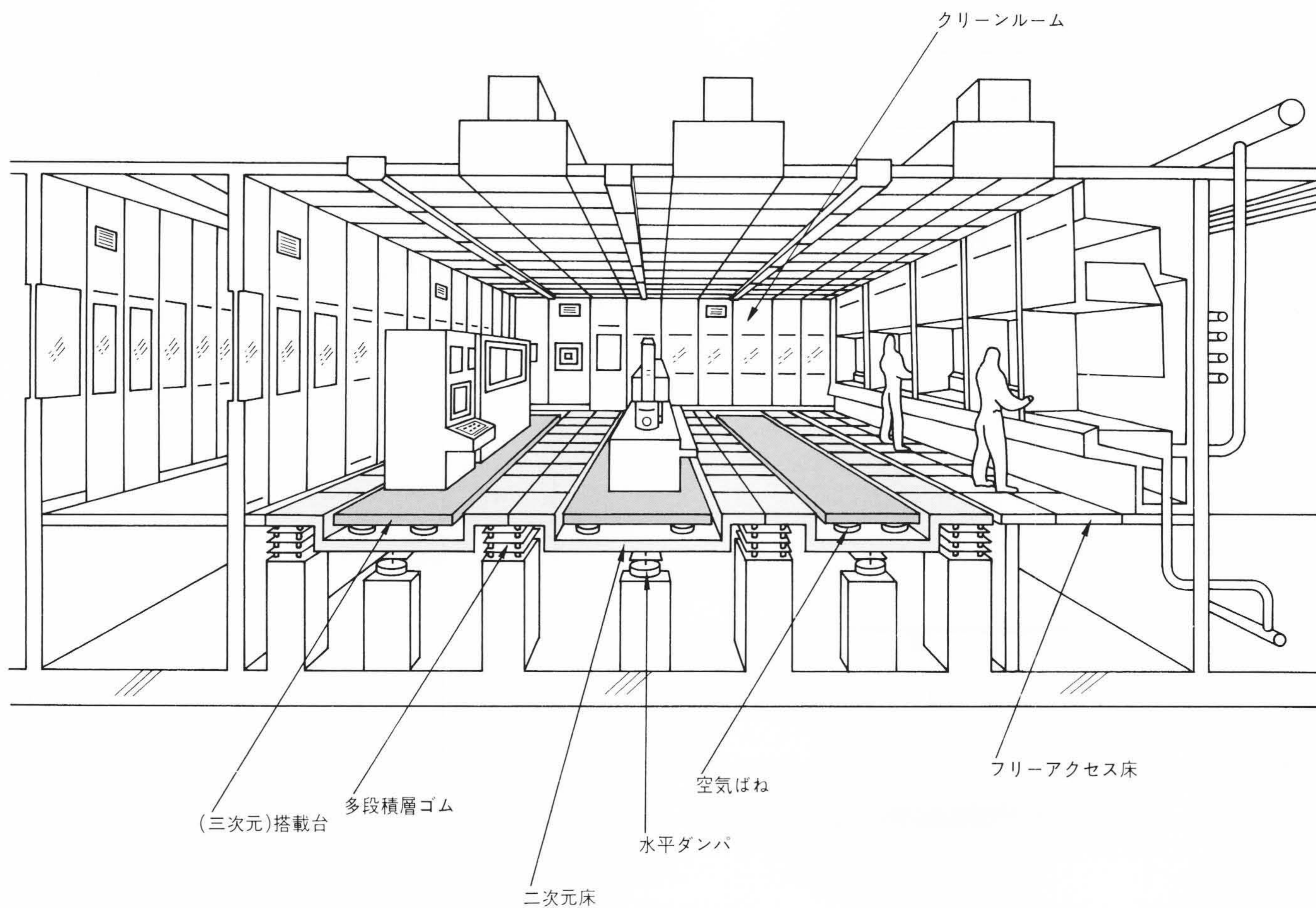


図6 除振床システム適用例 クリーンルーム内の機器に本システムを適用した例を示す。歩行部は二次元除振床であり、機器部は三次元除振床となっている。

はホトリソグラフィ室に設置したもので、フリーアクセス床と除振床とはスラブ床で絶縁されている。この除振床の外形は幅2.1 m、奥行き2.3 m、高さ0.55 mで、全質量は3,800 kgである。また、除振床の固有振動数は建屋特性を考慮して、水平方向が0.6 Hz、鉛直方向が2.0 Hzとしてある。

この除振床の入力加速度と応答加速度の波形を図8に示す。水平方向の入力加速度は約 $1 \times 10^{-2} \text{ m/s}^2$ 、鉛直方向の入力加速度は約 $5 \times 10^{-2} \text{ m/s}^2$ であり、各方向の応答加速度は約 $\frac{1}{10}$ に低減し、良好な除振効果を得ている。

4.2 検査機器の性能に及ぼす除振床の効果

走査電子顕微鏡の画像に及ぼす除振床の効果を調査した例を図9に示す。除振床を設置しない場合は、像の境界部に走査線のずれが発生しているのに対し、設置した場合は走査線のずれが発生していない。次に、走査電子顕微鏡を強制的に加振し、このときの周波数と振幅に対して画像障害を起こす範囲を調べた結果を図10に示す。この走査電子顕微鏡の例では周波数が3～5 Hzの範囲で微振動に敏感となっている。したがって、建家の固有振動数が2～3 Hzのもとで周囲の環境振動が大きい場合は、十分な画像が得られず除振床が必要となる。

4.3 除振床の計画

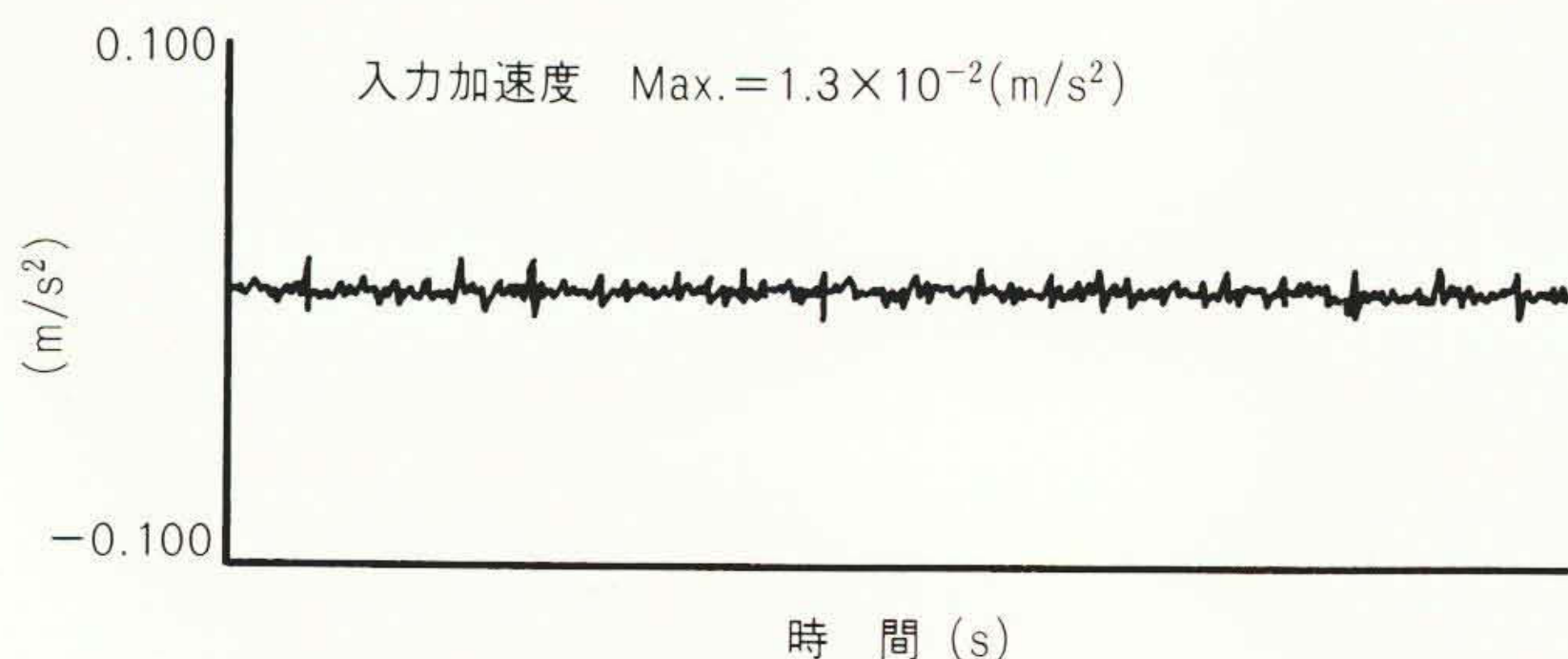
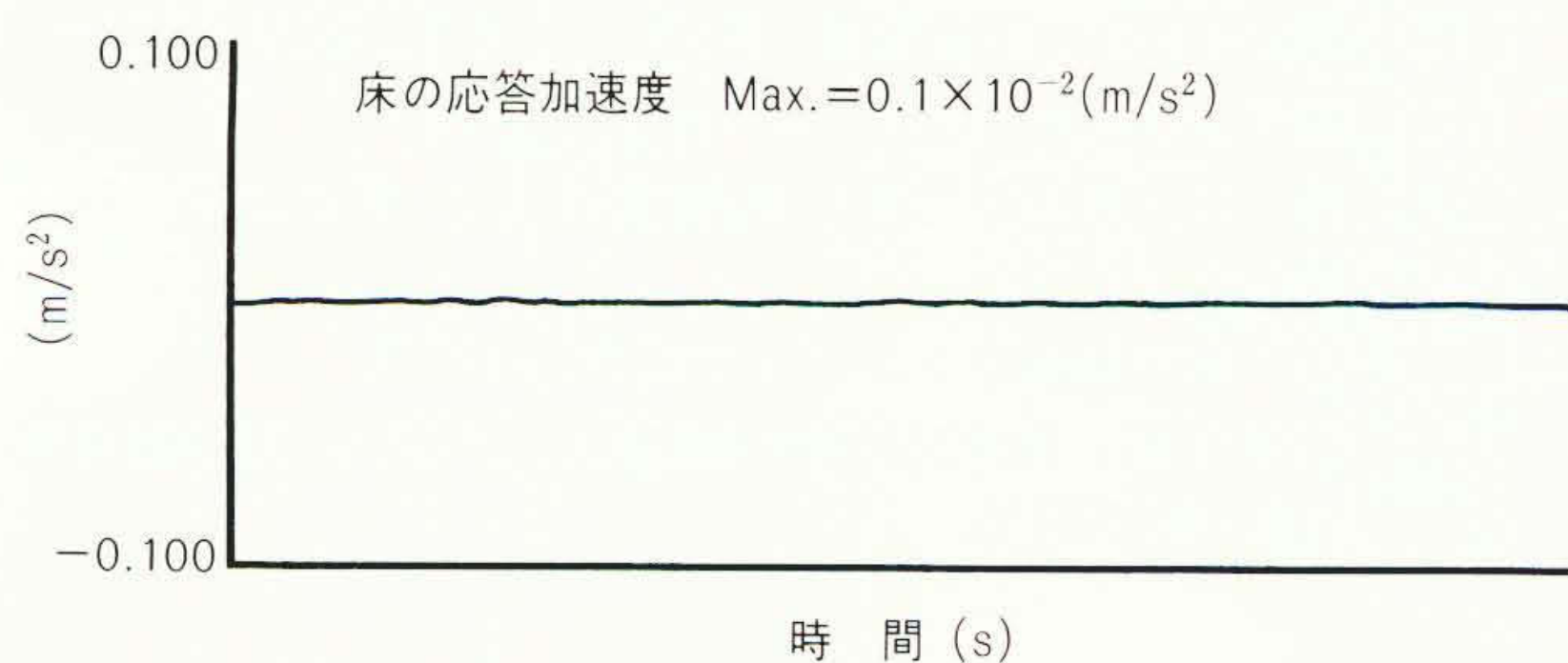
一般に微振動が精密機器に与える影響は個々の機器によって異なるので、機器側で微振動の許容値を把握しておくことが望まれる。この許容値を除振床上の応答条件とし、除振床を設置する床の振動特性を建家側からの計画、または実測によって把握することで入力条件とする。これらの条件を満たす最適な除振床を容易に計画できるように、図11に示す3自由度シミュレータを開発した。本モデルは水平方向と鉛直方

向に2個ずつ等価なばねとダンパを設け、水平、鉛直および回転の3方向に自由度を持たせるようにしてある。

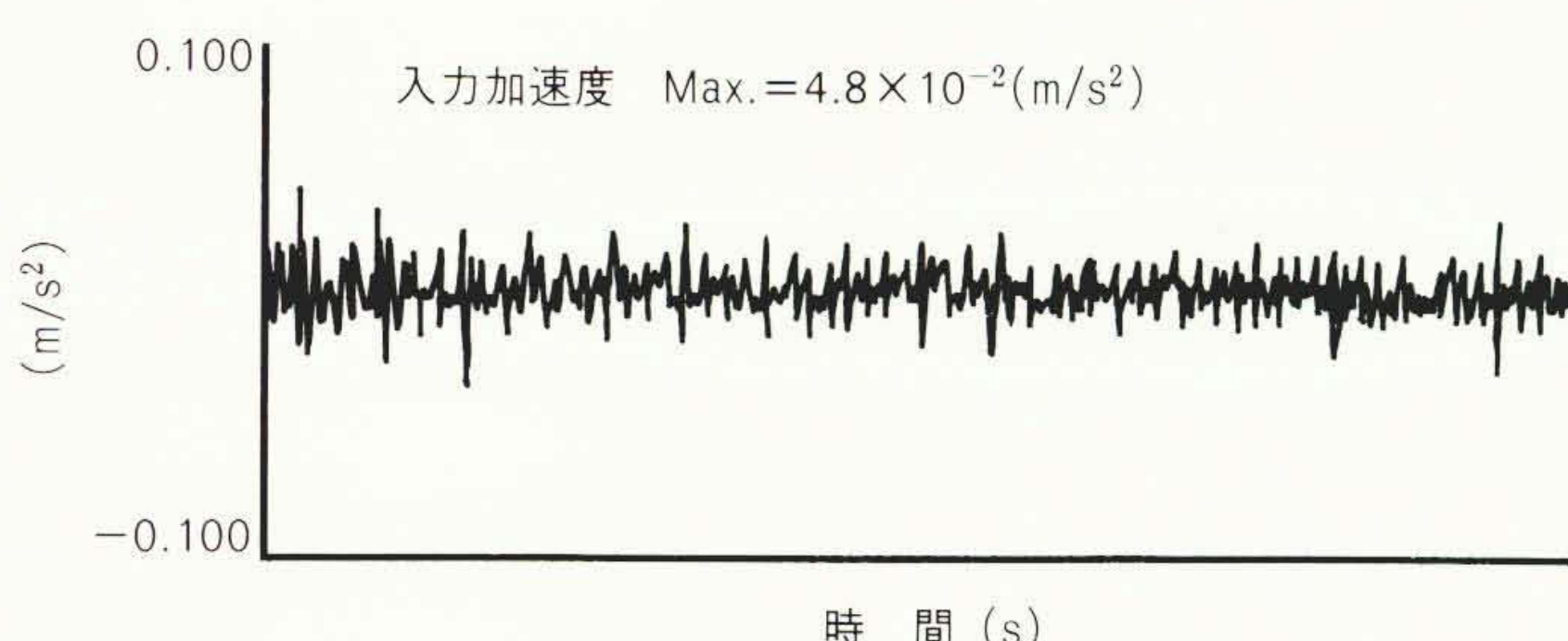
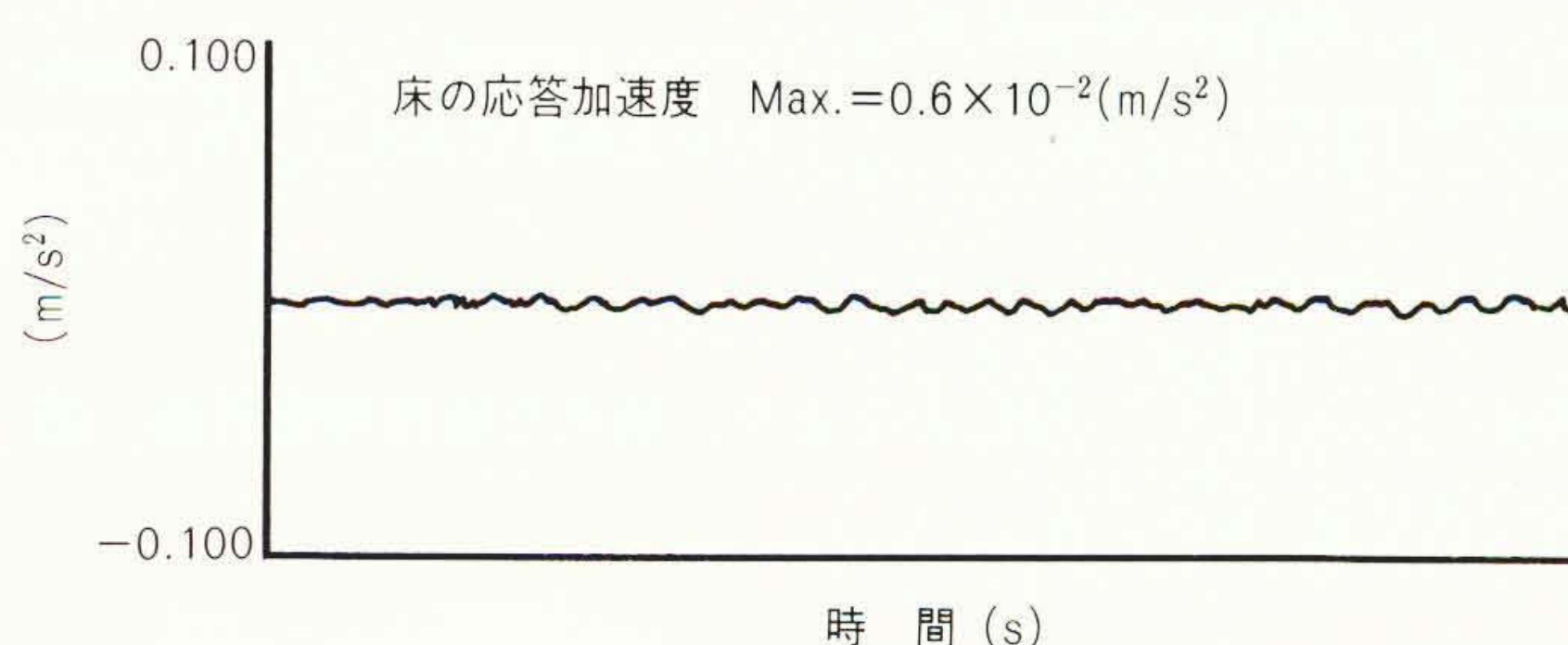
これにより、ばね上に設けられた除振床の重心位置を任意に設定して、回転振動(ロッキング振動)の影響も計算することができる。このシミュレータにより、建家および基礎の振



図7 クリーンルーム内設置例 除振床は、写真に示すようにフリーアクセス部と分けて設置される。

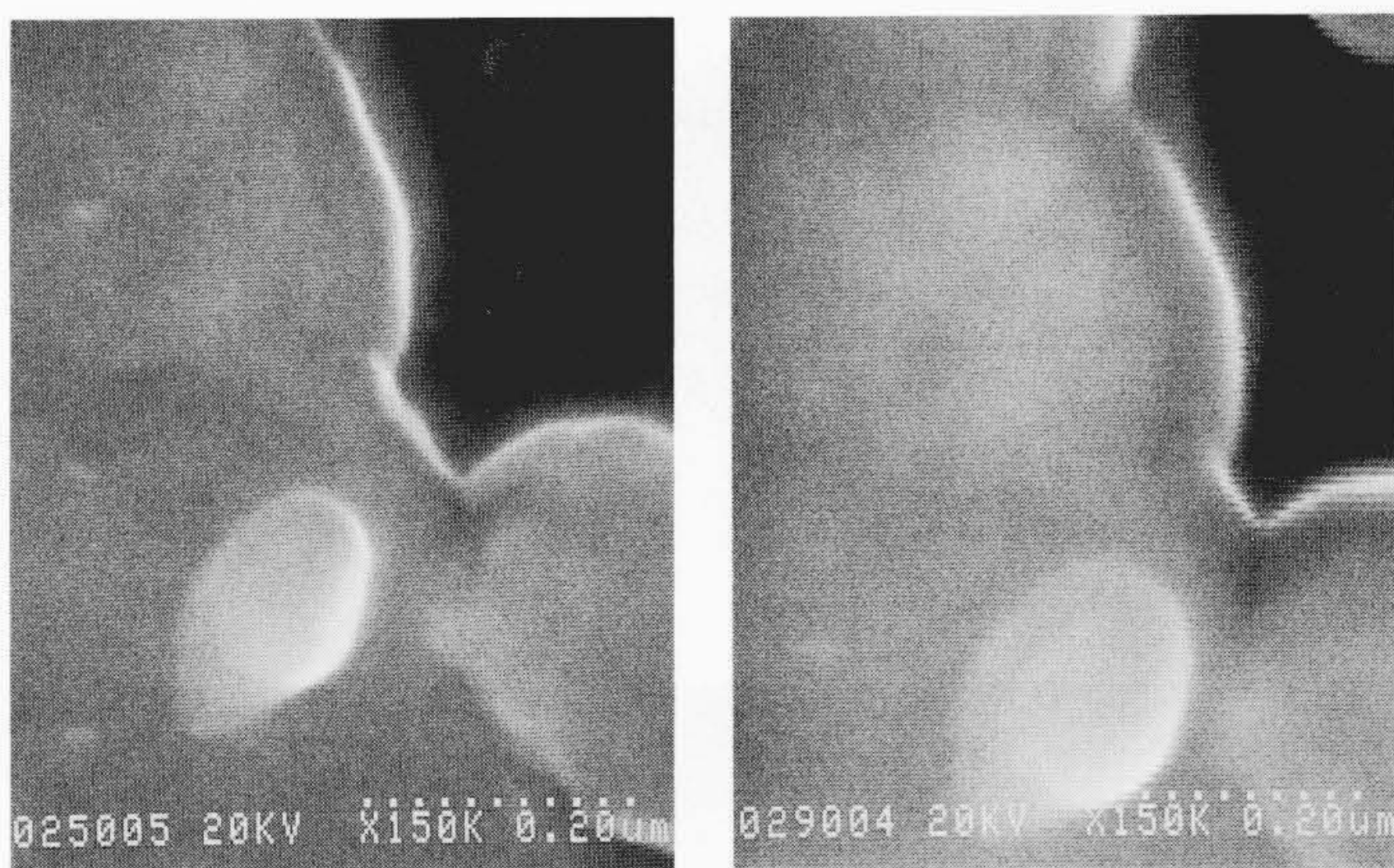


(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

図8 三次元除振床の除振性能 水平、鉛直方向とも非常に良好な除振効果が得られていることがわかる。



(a) 除振床適用

(b) 除振床なし

図9 微振動が走査電子顕微鏡の画像に与える影響 除振床を適用した場合、像に乱れがないのに対し、適用しない場合は乱れがある。

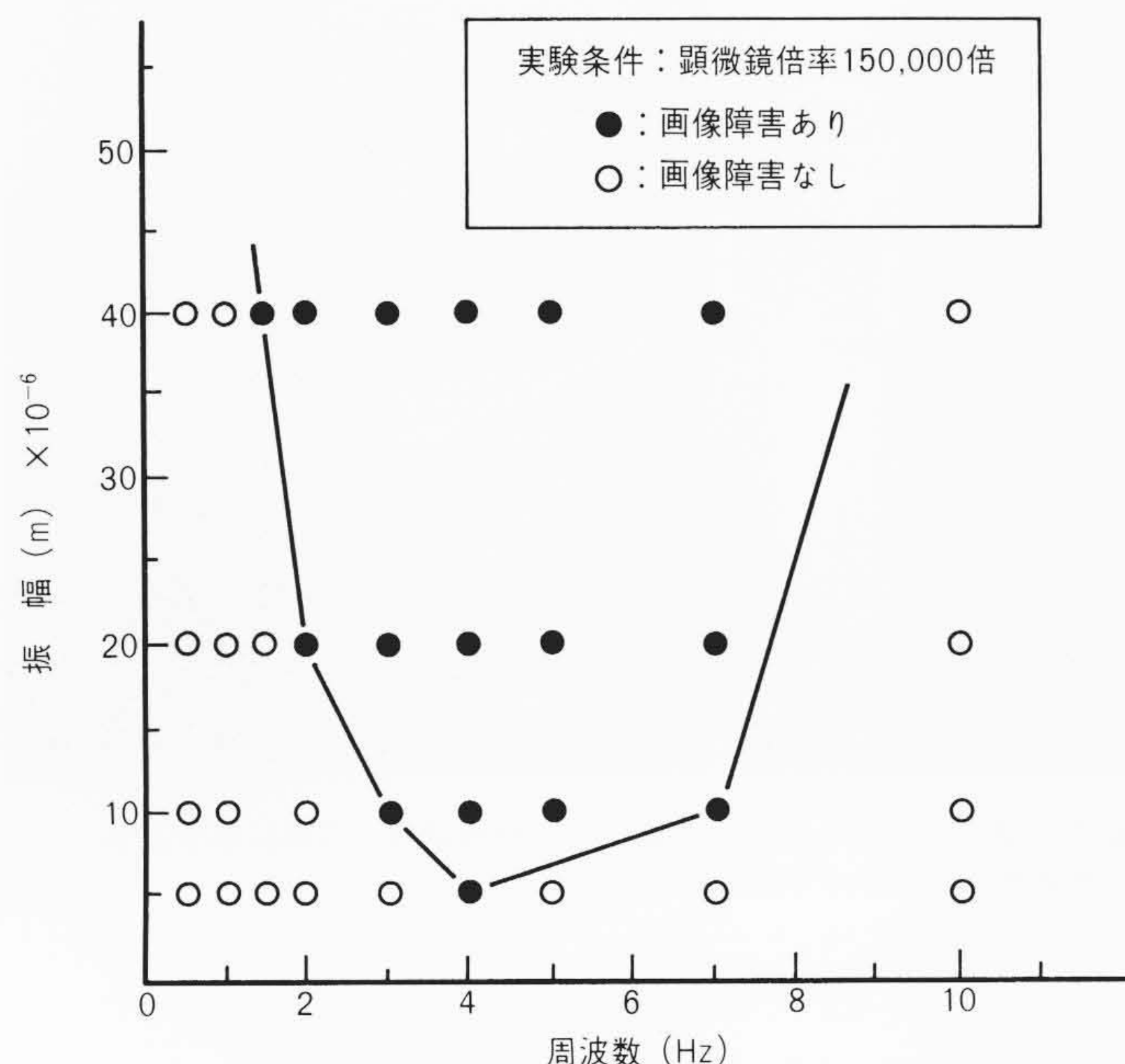
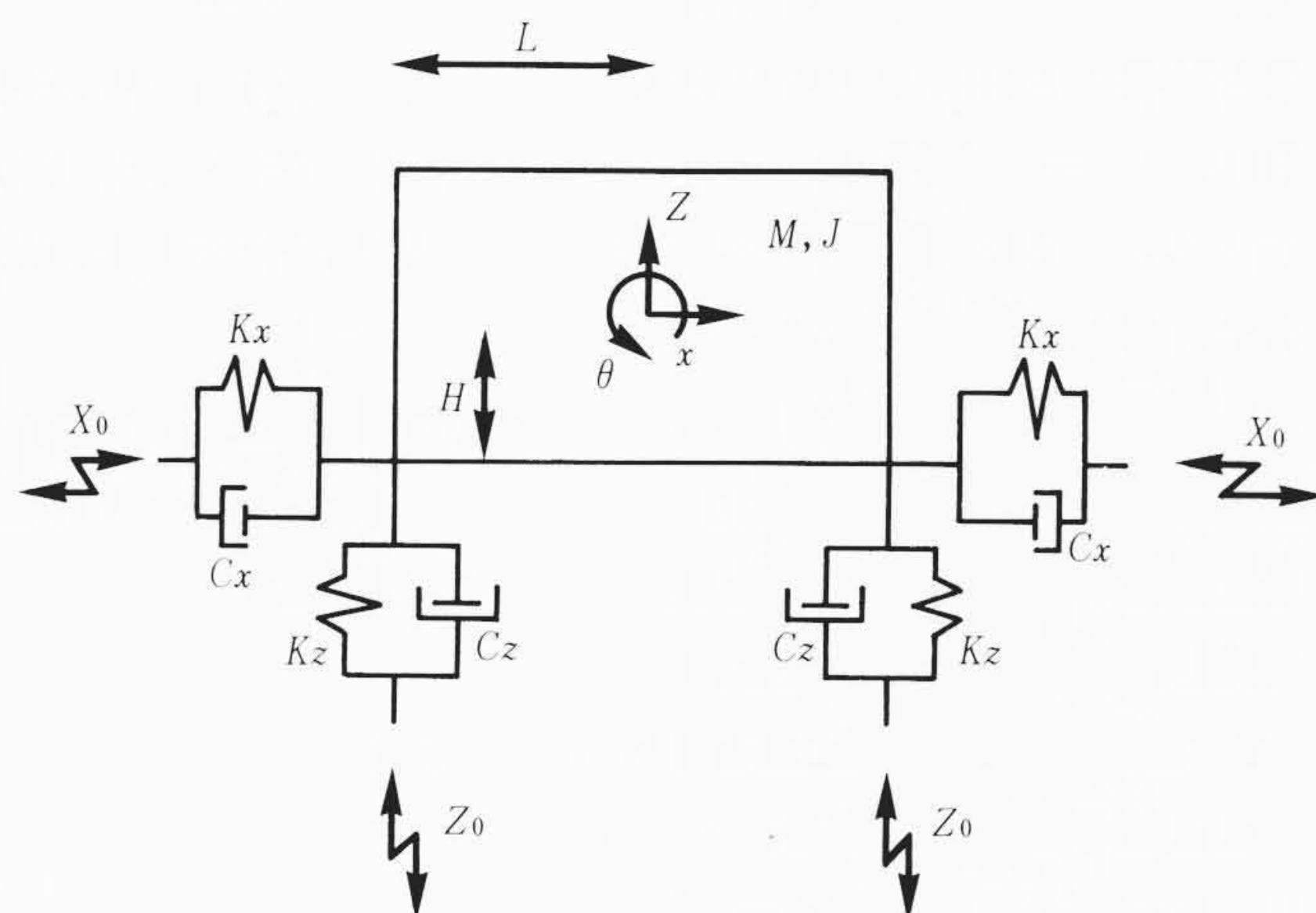


図10 微振動と画像障害の関係 微振動が悪影響を与える周波数帯域があることがわかり、この傾向は倍率を上昇させると顕著となる。

動と機器の許容振動の条件により、最適な除振床を計画、設計することができる。



注：記号説明

L (床の重心位置からの幅)	K_x (水平方向ばね定数)
H (床の重心位置からの高さ)	X_0 (地盤の水平変位)
Z (床の鉛直変位)	C_x (水平方向減衰定数)
θ (回転角)	K_z (鉛直方向ばね定数)
x (床の水平変位)	C_z (鉛直方向減衰定数)
M, J (質量, 慣性モーメント)	Z_0 (地盤の鉛直変位)

図11 除振床の解析モデル モデルは床全体を一つの剛体とみなし、 X 方向の並進(X)、 Z 方向の並進(Z)、鉛直面内の回転(θ)の自由度が考慮されている。

5 おわりに

日立プラント建設株式会社では、クリーンルーム内に除振床システムを導入する場合、周囲の振動を十分に考慮した基礎および建家構造などの建家計画と、機器の許容振動条件を把握した除振床の計画とを調和させて、クリーンルームに最も適した除振性能を得ている。

参考文献

- 1) 藤田：超LSI工場の振動問題－微振動防振技術と免震技術－，日本機械学会誌，89，809，99～104(昭61-4)
- 2) 鶴田，外：精密機器用除振・免震床の開発，日立評論，71，5，449～456(平1-5)
- 3) 時田，外：精密防振ハンドブック第2章(1989)
- 4) 日本建築学会編：建築構造物の振動実験第4章，建築構造物の振動実験(昭53-11)