

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	2004 10層フレーム加振試験による履歴減衰型・粘性減衰型制振部材併用時の応答特性に関する研究：その1 実験概要および制振部材諸元の検討(構造)
Title	
著者(和文)	小川 薫, 佐藤 大樹, 佐々木和彦, 宮崎充, 北村春幸, 藤田隆史, 吉江慶祐, 石井正人
Authors	daiki sato, Kazuhiko Sasaki, Mitsuru MIYAZAKI, Haruyuki Kitamura, Takafumi FUJITA
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集 I, , No. 78,
Citation(English)	, , No. 78,
発行日 / Pub. date	2008, 1
rights	日本建築学会
rights	本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである
relation	isVersionOf: <a href="http://ci.nii.ac.jp/naid/110006941758">http://ci.nii.ac.jp/naid/110006941758</a>

10層フレーム加振試験による履歴減衰型・粘性減衰型制振部材併用時の応答特性に関する研究

その1 実験概要および制振部材諸元の検討

正会員 ○ 小川 薫\*1 同 佐藤大樹\*1 同 佐々木和彦\*2  
同 宮崎 充\*2 同 北村春幸\*1 同 藤田隆史\*3  
同 吉江慶祐\*4 同 石井正人\*4

構造—制振

履歴減衰型制振部材 粘性減衰型制振部材

振動台実験 実効変形比

1. はじめに

制振構造におけるエネルギー吸収機構は、地震時に生じる層間変形や速度を利用して、制振部材に地震エネルギーを吸収させるものであり、履歴減衰型と粘性減衰型に分けられる。これらの制振部材を各層に取り付ける場合の、高さ方向の降伏耐力・減衰力分布や平面配置について数多くの検討<sup>1)2)</sup>がなされているが、これら両制振部材を併用する際の検討は数少ない。

そこで筆者らの一部は、数値解析により40階鋼構造建物を対象として履歴減衰型・粘性減衰型制振部材を併用する際の高さ方向における最適配置の提案をした<sup>3)</sup>。その最適配置とは下層部に履歴減衰型制振部材を、上層部に粘性減衰型制振部材を配置することで、それらを単独で用いる場合よりも制振効果が得られるというものである。2006年には、併用配置における制振効果の実証を目的とし、3層フレーム加振試験を実施した<sup>4)</sup>。

本研究では引き続き、10層フレーム試験体で振動台実験を行い、併用における制振効果の検証、および併用時の応答特性を検討する。本報(その1)では、試験概要および両制振部材量を決定することを目的とする。

2. 試験体および試験計画概要

2.1 試験体および計測概要

10層フレーム試験体および制振部材の概要を図1に示す。主架構の総重量は加振台が支持できる最大の重量と設定し、39.2kNとした。各層の重量はそれぞれ3.92kNである。平面構成は各層とも1000mm×500mmで階高はそれぞれ380mmである。床スラブとして厚さ100mmの鉄板を用いており、6本のボルトにより柱とボルト接合されている。柱材は板ばねを用いており1~3階、4~6階、7~10階でそれぞれ3種類の剛性(板厚)の異なるものを使用した。1本当たりの剛性は $k (=12EI/h)$ 、 $h$ :階高、 $E$ :鋼材のヤング係数( $=2.05 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ )、 $I$ :断面二次モーメントである。各階の板ばね寸法および剛性は表1に記す。各床は4枚の板ばねにより支えられ

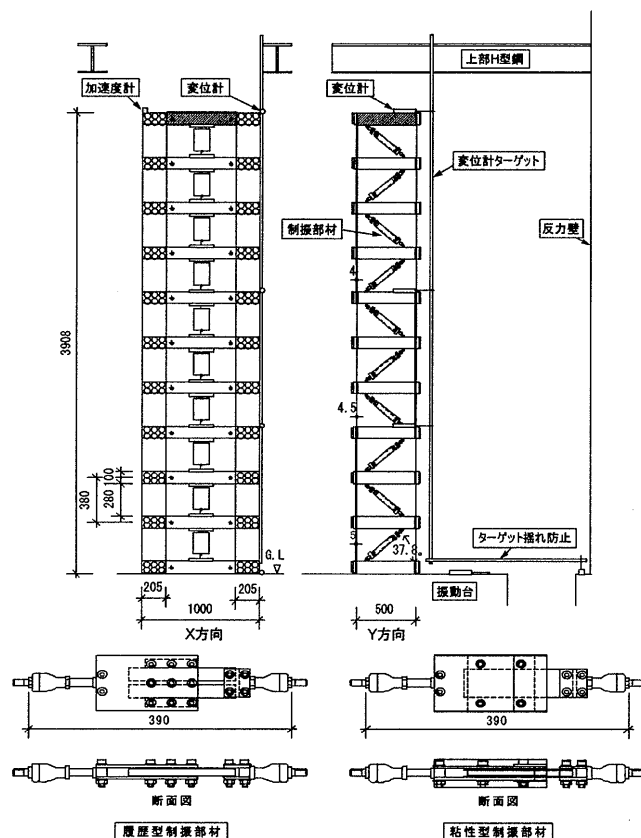


図1 試験体および制振部材

表1 各階板ばね剛性

階	部材幅 b (mm)	部材厚 h (mm)	剛性 k (N/mm)
7~10	205	4	123
4~6	205	4.5	174
1~3	205	5	239

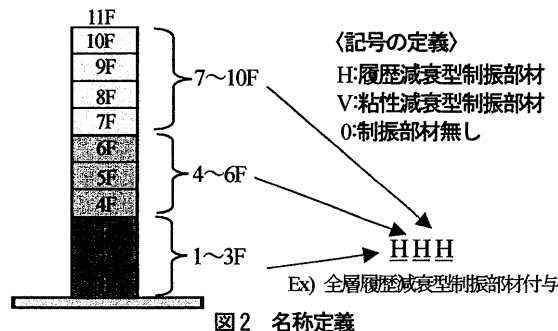


図2 名称定義

ている。制振部材は交互に  $\theta=37.8^\circ$  の勾配で配置をし、履歴減衰型制振部材として摩擦型の制振部材を、粘性減衰型制振部材として粘性型の制振部材を取付ける(図1)。制振部材は、1-3, 4-6, 7-10階に異なるものを用いる(3種類)。取付け方および実験ケースの名称・定義を図2に示す。

実験における計測項目を表2に示す。計測数は全45chである。加速度計を全階の床スラブに、変位計は4, 7, 11階に設置した(図1)。計測は  $\Delta t=0.01s$  でサンプリングを行う。また、6, 7階はビデオカメラによる撮影を行ない、動画計測ソフトを使用し、加速度、速度、変位応答を求める。

表2 計測項目

計測項目	計測場所	Ch数	計器
1 加速度	1~11F	11	サーボ型加速度計
2 絶対変位	1,4,7,11F 6,7F	4	インダクタンス式変位計 ビデオカメラ
3 制振部材変位	1~10F	10	インダクタンス式変位計
4 制振部材荷重	1~10F	10	ロードセル
5 制振部材温度	1~10F	10	温度計

表3 入力地震波名称

位相	Sv(cm/s)	実験	継続時間(s)	最大加速度(cm/s <sup>2</sup> )
HACHI	10	Hachi 10	32.0	153.575
	20	Hachi 20		307.150
	40	Hachi 40		614.300
KOBE	10	Kobe 10	32.0	184.860
	20	Kobe 20		369.720
	40	Kobe 40		739.440
TOMAKO	10	Tomako 10	64.0	182.467
	20	Tomako 20		364.934
	40	Tomako 40		729.868

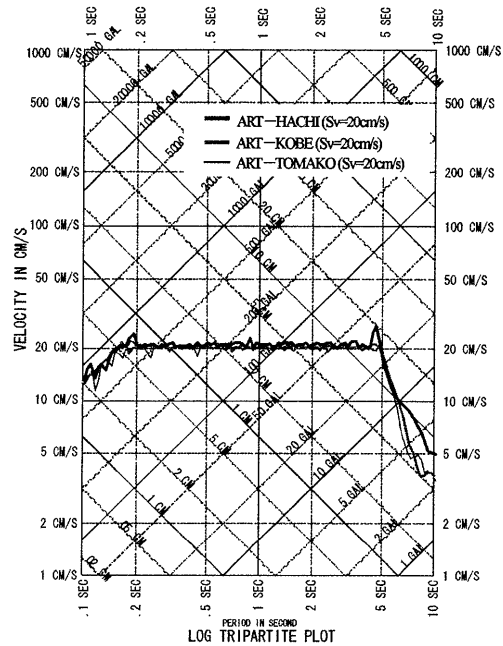


図3 入力地震波の応答スペクトル

## 2.2 試験計画

実験に用いる入力地震波は、位相特性 HACHINOHE EW, JMA KOBE NS, TOMAKO MAINS を用い、告示の速度応答スペクトルと相似形に Sv=10cm/s, 20cm/s, 40cm/s の3つの大きさになるように作成した模擬地震動3波形である。解析(3章)における試験体の主架構の一次固有周期が0.94s、履歴減衰型制振部材付与時(HHH)の試験体の弾性一次固有周期が0.28sであったので、どの実験ケースに対しても速度応答スペクトルが一定の範囲内になるよう告示波の時間軸を1/4に圧縮した。入力地震波の名称を表3に示す。また、各波 Sv=20cm/s での応答スペクトル(h=5%)を図3に示す。

試験体の伝達特性を調べるため、告示波の他に White Noise(最大加速度=20cm/s<sup>2</sup>, 40cm/s<sup>2</sup>, 80cm/s<sup>2</sup>, 200cm/s<sup>2</sup>)でも加振を行う。主架構の振動特性を把握するために自由振動試験も実施する。

実験に用いる振動台の限界性能であるが、水平方向の最大振幅を±15cm、最大速度±75cm/sであり、作成された入力地震波は全て許容値を満たす。

制振部材併用における実験ケースを表4に示す。各層における制振部材はAi分布に基づき3種類用いる(3章)。併用の組合せに関して、中層に履歴減衰型または粘性減衰型を配置し、上・下層に他方の制振部材を配置するという組合せは、今回の実験では検討していない。

表4 実験ケース

入力波	速度・加速度	HHH	HHO	HHV	HWV	VVV	VHV
Hachi	10cm/s	○	○	○	○	○	○
Kobe		○	○	○	○	○	○
Tomako		○	○	○	○	○	○
Hachi	20cm/s	○	○	○	○	○	○
Kobe		○	○	○	○	○	○
Tomako		○	○	○	○	○	○
Hachi	40cm/s	○	○	○	○	○	○
Kobe		○	○	○	○	○	○
Tomako		○	○	○	○	○	○
WhiteNoise	20cm/s <sup>2</sup>	○	○	○	○	○	○
	40cm/s <sup>2</sup>	○	○	○	○	○	○
	80cm/s <sup>2</sup>	○	○	○	○	○	○
	200cm/s <sup>2</sup>	○	○	○	○	○	○

その他、自由振動も実施する。

○ : 実施ケース

## 3 制振部材諸元の検討

### 3.1 制振部材投入量の検討

試験体をモデル化し、数値解析により実験で用いる制振部材量を検討する。制振部材の性能を厳密に把握するため、主架構の減衰を0%として解析を行う。入力地震波はHachi 20である。解析による

両制振部材のモデル化は、既往の研究<sup>3)</sup>にて行われた方法に準ずる。

HHH における  $i$  層の制振部材の降伏応力度  $\sigma_{yi}$  は、次式で表される。

$$\sigma_{yi} = \beta_i \cdot \sigma_{y1} \quad , \quad \sigma_{y1} = \frac{Q_{y1}}{\cos \theta} \cdot \frac{1}{A_1} = \frac{Mg}{\cos \theta \cdot A_1} \cdot \alpha_{y1} \quad (1a, b)$$

ここで、 $Q_{y1}$ : 1 層の降伏せん断力(=  $Mg \cdot \alpha_{y1}$ )、 $M$ : 主架構総質量、 $g$ : 重力加速度、 $A_1$ : 1 層制振部材の断面積であり、 $A_1$  は以下の式で示される。

$$A_1 = \frac{k_{b1} \cdot L_{b1}}{E} \quad , \quad k_{b1} = \frac{k_{h1}}{\cos^2 \theta} \quad (2a, b)$$

$k_b$ : 1 層の制振部材の軸剛性、 $k_h$ : 1 層の制振部材の水平剛性であり、1~3 階で用いる板ばね 1 本あたりの剛性  $k$  の 10 倍としている。また、 $L_{b1}$ : 1 層の制振部材長さである。なお、本研究では  $k_{b1} = k_{b1}$ 、 $L_{b1} = L_{b1}$  である。

$\alpha_{y1}$  をパラメータとして、(1)式より各層の制振部材の降伏応力度  $\sigma_{yi}$  を変化させて、ケーススタディを行なう。

VVV に対するパラメータの設定は以下のようにした。 $i$  層の粘性減衰型制振部材の減衰抵抗力  $F_{di}$  は、粘性係数  ${}_D C_{1,i}$ 、 ${}_D C_{2,i}$  および  $i$  層の制振部材の変形速度  $v_{di}$  を用いて以下のように表される<sup>3)</sup>。

$$F_{di} = {}_D C_{1,i} \cdot v_{di} \left( \frac{v_{di}}{d} \leq 1 \right) \quad , \quad F_{di} = {}_D C_{2,i} \cdot v_{di}^{0.59} \left( \frac{v_{di}}{d} > 1 \right) \quad (3a, b)$$

$${}_D C_{1,i} = \beta_i \cdot {}_D C_{1,1} \quad ; \quad {}_D C_{2,i} = \beta_i \cdot {}_D C_{2,1} \quad (4a, b)$$

ここで、 $d$ : せん断隙間である。 ${}_D C_{1,1}$  および  ${}_D C_{2,1}$  は 1 層制振部材の粘性係数であり、次式よりそれぞれ表される<sup>3)</sup>。

$${}_D C_{1,1} = \frac{4.12 \exp(-0.043T)}{d} \cdot S_1 \quad (5a, b)$$

$${}_D C_{2,1} = \frac{4.12 \exp(-0.043T)}{d^{0.59}} \cdot S_1$$

$T$ : 粘性体温度、 $S_1$ : 1 層の制振部材のせん断面積( $\text{cm}^2$ )である。よって、制振部材の  $S_1$  をパラメータとして各層の  ${}_D C_{1,i}$ 、 ${}_D C_{2,i}$  および  $F_{di}$  を変化させることによりケーススタディを行う。

ここで、式(1a)および式(4)の  $\beta_i$  は各階の  $\sigma_{yi}$  および  ${}_D C_{1,i}$ 、 ${}_D C_{2,i}$  のそれぞれ 1 階の値に対する割合を表しており本研究では図4に示すように Ai 分布における 1, 4, 7 階の値から決定した。

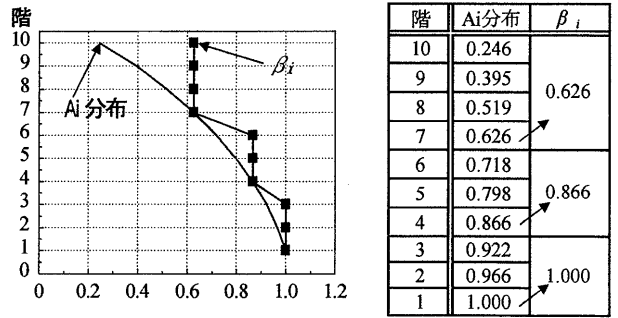


図4  $\beta_i$ 分布

### 3.2 制振部材諸元の検討

検討対象ケースは HHH, VVV, HHV の 3 ケースとする。

図5は HHH, VVV に関して、 $\alpha_{y1}$  と  $S_1$  を変化させた場合の各層の層せん断力応答の変化を示す。なお、粘性減衰型制振部材の剛性  $k_d$  は  $0.07\text{kN/mm}$  を用いた<sup>3)</sup>。HHH では、応答層せん断力が極小となる点が存在しており、 $\alpha_{y1} = 0.03$  の場合の応答が最も低減している。また、VVV では投入量により応答が単調に減少してしまうことから極小となる点が判断できない。

図6は  $\alpha_{y1}$  と  $S_1$  を変化させた場合の実効変形比の変化を示す。実効変形比とは、層間変形最大値に対する制振部材の水平変形(実効変形)成分最大値の比率<sup>3)</sup>である。HHH では、 $\alpha_{y1}$  が大きくなると実効変形比が低下し、上層は顕著である。 $\alpha_{y1} = 0.04$  で、10 層の実効変形比が 0.74 と著しく減少している。それに対し VVV の実効変形比は、全層で  $S_1$  によらずほぼ一定である。よって、上層部に粘性減衰型制振部材を併用させた場合、実効変形比の低下を修正し、制振効果の向上を図ることができると考えられる。実効変形が低くなる部材量を選択することで本研究の目的である、併用効果が確認しやすい試験体となる。しかし、HHH10 層の実効変形比は  $\alpha_{y1} = 0.30$  で最も低下しているものの(図6)、応答層せん断力が上昇していること(図5)を踏まえると、履歴型制振部材の過剰投入となる。そこで本研究では  $\alpha_{y1} = 0.04$  を選択した。HHV に関しては VVV における 1 層の  $S_1$  に  $\beta_i$  を乗じたものを 7~10 階に併用する。よって粘性減衰型制振部材の 1 層のせん断面積  $S_1$  をパラメトリックに変化させることによる HHH, HHV, VVV の応答の変化を検証し、両制振部材投入量を決定する。入力地震波は Hachi 40 であり、各ケースにおける制振部材投入量を表5に示す。なお、 $i$  層における履歴減衰型の制振部材量は、部材軸方向の降伏耐力  $F_{di}$  ( $= \sigma_{yi} \cdot A_i$ ) で、また粘性減衰型の制振部材量は  $S_i$  で記す。

図7は  $\alpha_{y1} = 0.04$ 、 $S_1 = 150(\text{cm}^2)$  における、高さ方向に関する各ケースの応答比較を示す。層せん断力応答は 1~5 階で HHV が HHH より応答が低減している。また、7~10 階では HHV と VVV はほぼ同じ値を示している。層間変形応答も 1~5 階で HHV が HHH より

り小さく、7~10階ではVVVよりもHHVの応答が低減している。HHVの10階における実効変形比がHHHに比べ10%、VVVよりも3%上昇している。

以上の結果を考慮し、HHVがHHH、VVVよりも応答低減があると見込まれるので、履歴型の制振部材量を $s_{\alpha_{y1}}=0.04$ 、粘性型制振部材量 $S_f=150(\text{cm}^2)$ を実験に投入する部材量と決定した。

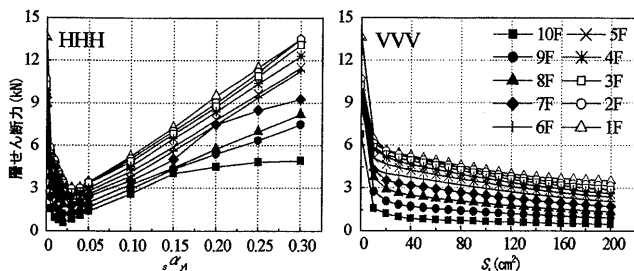


図5 履歴・粘性量変化による層せん断力応答比較

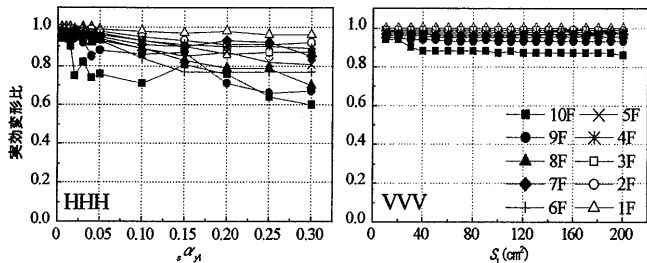


図6 履歴・粘性量変化による実効変形比比較

表5 各層における制振部材量

階	HHH	VVV	HHV	
	$F_{dyi}$ (kN)	$S_f$ (cm <sup>2</sup> )	$N_{yi}$ (kN)	$S_f$ (cm <sup>2</sup> )
10	1.256	93.9	/	93.9
9	1.256	93.9		93.9
8	1.256	93.9		93.9
7	1.256	93.9		93.9
6	1.739	129.8		0.177
5	1.739	129.8	0.177	
4	1.739	129.8	0.177	
3	2.008	150	0.205	
2	2.008	150	0.205	
1	2.008	150	0.205	

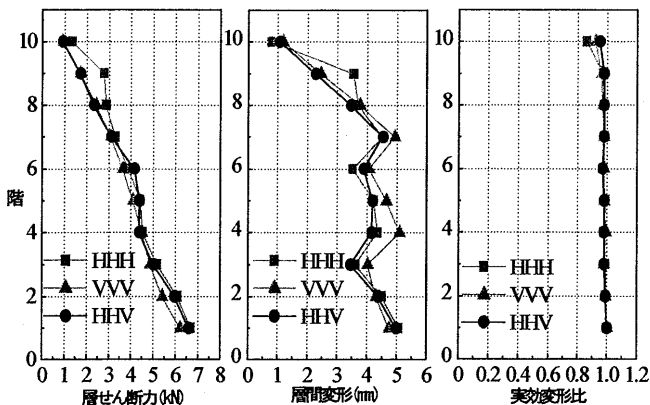


図7 高さ方向における応答比較

#### 4 制振部材単体加振試験

3章で決定した両制振部材の、単体試験における正弦波入力時の履歴ループを図8に示す。正弦波の最大振幅を2mm、4mmの2種類とし、振動数は1.0Hzの1ケースである。

履歴減衰型制振部材では、解析における1~3階の制振部材での降伏荷重 $F_{dy}=2.0\text{kN}$ で決定したように、単体試験においてもおよそ2.0kNで降伏していることが確認できる。粘性減衰型制振部材では、粘性体の温度 $T=25.2^\circ\text{C}$ 、せん断隙間 $d=0.1\text{cm}$ 、せん断面積 $S=150\text{cm}^2$ であり、剛性 $k_d$ は振幅2mmで0.22N/mm、4mmで0.12N/mmとなった。これは事前解析で用いた値(3.2節)に比べて、高い値になった。

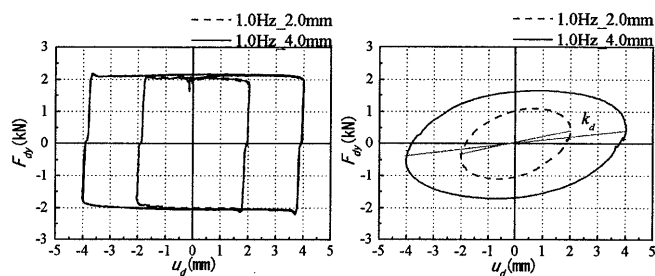


図8 単体試験 履歴ループ

#### 5 おわりに

本報(その1)では、実験における試験体、制振部材投入量および入力地震動についての概要を述べた。次報(その2)では、表4(前頁)に記載される実験ケースにおいて、加振試験結果を示す。また、(その3)では実験結果を基にシミュレーション解析を行っていく。

#### 謝辞

本研究は東京大学生産技術研究所藤田研究室、(株)日建設計、オイレス工業(株)、東京理科大学北村研究室による共同研究の一部を用いたものです。本実験は東京大学生産技術研究所、オイレス工業(株)の実験所を使用させて頂きました。また、東京大学生産技術研究所の嶋崎守氏には多大な協力をいただきました。東京理科大学北村研究室の渥美孝純氏・江口隼吾氏・石田琢志氏にはおしなほ協力をいただきました。ここに記して、感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 石井正人、太田弘俊、多田有輝、北村春幸、和田章：速度依存型制振部材付き架構の簡易モデル化手法、日本建築学会構造系論文集 No.592, pp43-50, 2005.6
- 2) 篠原達巳、多田有輝、石井正人、北村春幸：複素固有値解析に基づく速度依存型制振部材付き架構の制振性能評価指標に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 B-2/2005.9, pp1001-1004, 2005.9
- 3) 渥美孝純、北村春幸、石井正人、浦本弥樹：鋼構造超高層建物における履歴減衰型・粘性減衰型制振部材の高さ方向併用配置の提案 その1 その2 履歴減衰型・粘性減衰型制振部材の単独配置による制振効果、日本建築学会大会学術講演梗概集 B-2/2分冊 pp763-766, 2006.9
- 4) 渥美孝純、小川薫、北村春幸、藤田隆史、吉江慶祐、石井正人、佐々木和彦、宮崎充：3層フレーム加振試験による履歴減衰型・粘性減衰型制振ダンパー併用時の制振効果 その1 その2 日本建築学会大会学術講演梗概集 B-2/2分冊 pp841-844, 2007.8

\*1 東京理科大学 \*2 オイレス工業(株)

\*3 東京大学生産技術研究所 教授 \*4 (株)日建設計