

GES 造建物の地震応答値に及ぼす梁の履歴モデルの影響に関する研究

時刻歴地震応答解析 告示波 層間変形角
履歴曲線

準会員 ○前野圭亮*1 正会員 秋田知芳*2
正会員 稲井栄一*3

1. はじめに

CES (Concrete Encased Steel) 構造とは、鉄骨に繊維補強コンクリート (FRC) を打設して構成される構造形式で、次世代の合成構造システムとして開発がなされてきた^{1)~4)}。CES 構造の耐震性能評価法の提案に向けて現在も活動が続けられている⁵⁾。既往の研究^{6)~9)}では、柱梁接合部のモデル化が CES 造建物の耐震性能に及ぼす影響について主に検討してきた。その際、CES 造建物の時刻歴応答解析では梁の履歴モデルに RC 造梁部材に一般的に用いられる Takeda モデルを使用してきた。これは、汎用の構造解析プログラムでは CES 造梁部材用の履歴モデルがまだ用意されていないためである。本研究では、汎用の構造解析プログラムで利用可能な履歴モデルの中から CES 造梁部材の履歴モデルとして適当と考えられる3つの履歴モデルを選択し、これらを用いて時刻歴地震応答解析を行い、最大応答値の比較より最も適当な履歴モデルを示す。

ジ長さは柱せい D の 1/2 とした。柱梁接合部は剛域としてモデル化した。

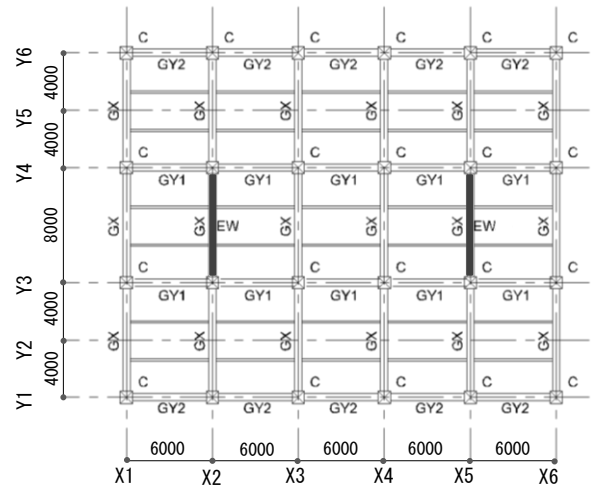
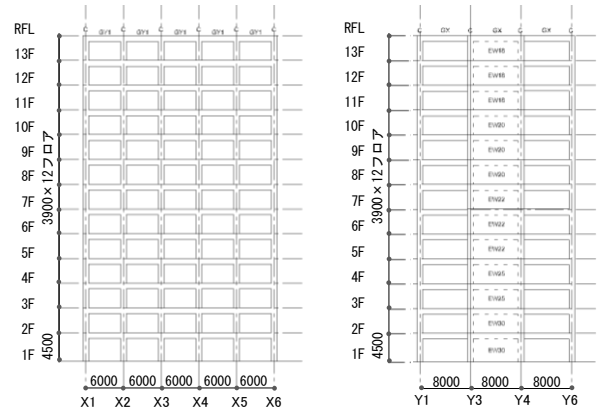


図1 基準階略略図

2. 解析用建物

解析用建物には、文献 10) で用いられている直接基礎の CES 造の地上 13 階建て事務所ビルを使用した。建築面積は 775 m²、延べ床面積は 10,075 m²、最高高さは 52.5m、基準階高さは 3.90m である。基準階略略図を図 1、略軸組図を図 2、各部材 (柱・梁・耐震壁) の断面を表 1~3 にそれぞれ示す。X 方向は純フレーム構造で 5 スパン (スパン長 6m)、Y 方向は連層耐震壁が X2、X5 通りの Y3-Y4 間に 2 か所配してある壁フレーム構造で 3 スパン (スパン長 8m) である。柱、梁は CES 造、壁は鉄筋コンクリート造で、スラブはコンクリートスラブである。表 4 に建物の 1 次固有周期、剛性率の最小値、偏心率の最大値を示す。偏心はなく接合部せん断余裕度 (cQpu/cQbu : cQpu および cQbu は接合部パネルせん断終局強度および梁曲げ終局強度を柱せん断力に換算した値) は全て 1 以上であり、梁降伏型の建物となっている。



(a) Y3 通り (b) X2 通り

図2 略軸組図

表1 柱および梁の断面表

階	Fc	柱		梁	
		B × D	鉄骨	B × D	鉄骨
RF	-	-	-	-	-
13	30	800 × 800	H-600 × 300 × 9 × 22	500 × 900	H-700 × 300 × 9 × 16
12			H-650 × 350 × 9 × 19		H-700 × 300 × 9 × 19
11					H-700 × 300 × 12 × 19
10			33		850 × 850
9	H-700 × 400 × 9 × 22				
8					
7	36	900 × 900	H-700 × 400 × 16 × 25	500 × 1000	H-800 × 300 × 12 × 22
6					
5			-	-	
4			-	-	
3	-	-			
2	-	-			
1	-	-			

3. 解析概要

3.1 モデル化

部材は線材置換し、剛床を仮定した立体骨組モデルを用いた。梁は単軸バネで曲げとせん断をモデル化し、軸方向に関して剛床仮定により変形しないものとしている。柱および耐震壁のモデルについては MS(Multi Spring) モデルで軸方向と曲げのモデル化を行い、単軸せん断バネでせん断のモデル化を行った。なお、MS モデルの抵抗ヒン

表 2 梁の断面表

梁				
階	B×D	GY1 鉄骨	B×D	GY2 鉄骨
RF	500×900	H-700×300×9×16	500×900	H-700×300×9×16
13				H-700×300×9×19
12				H-700×300×9×19
11				H-700×300×12×22
10				H-700×300×9×19
9				H-700×300×12×25
8				H-700×300×12×25
7				H-700×300×12×25
6				H-700×300×12×18
5				H-700×300×12×18
4	500×1000	H-800×300×12×22	500×1000	H-800×300×12×22
3				
2				
1	-	-	-	-

表 3 耐震壁の断面表

符号	EW18	EW20	EW22	EW25	EW30
壁厚	180	200	220	250	300
配筋	D13@200 ダブル	D13@150 ダブル	D13@100 ダブル	D16@150 ダブル	D19@175 ダブル
備考	11~13階	8~10階	5~7階	3~4階	1~2階

表 4 1次固有周期、剛性率、偏心率

	X方向	Y方向
1次固有周期(s)	1.045	0.859
剛性率	0.742(5階)	0.766(8階)
偏心率	0	0

既往の実験結果^{11)~14)}より逆対称曲げモーメントを受ける CES 部材(柱および梁)の挙動は、材端に曲げひび割れが発生し、その後鉄骨が降伏し、最大耐力に達したのち徐々に耐力低下するという経過を辿ることが明らかとなっている。また、CES 部材(柱および梁)の履歴特性は、一般的に鉄骨部材に使用される Normal Tri-Linear モデル(図 3)と、RC 部材に一般的に使用される Takeda モデル(図 4)との中間的な性状を示すことが分かっており、Takeda モデルおよび Clough モデルを参考にして、CES 部材の履歴モデルが提案されている^{15),16)}。本解析で用いる梁の履歴モデルは、Normal Tri-Linear モデルおよび Takeda モデルと、図 5 に示す両者の中間的な位置づけとなる中間モデルの 3 種類とした。なお、解析時に用いる減衰は瞬間剛性比例型とし、減衰定数は 1 次固有周期に対して 3% とした。

3.2 入力地震動

本解析の入力地震動には告示波を用いた。用いた告示波は解放工学的基盤における極めてまれに発生する地震動とし既往波の位相を模擬した 3 波(ART EL, ART HAC, ART JMA)とそれらの加速度を 1.5 倍した 3 波の合計 6 波である。ここでは前者を 1.0 倍波、後者を 1.5 倍波と呼称する。表 5 に入力地震動の最大加速度、最大速度と継続時間を、図 6 に加速度応答スペクトルを示す。1.0 倍波では梁のひび割れから降伏前までの応答値を得ること、1.5 倍波では梁の降伏後の応答値を得ることを意図している。

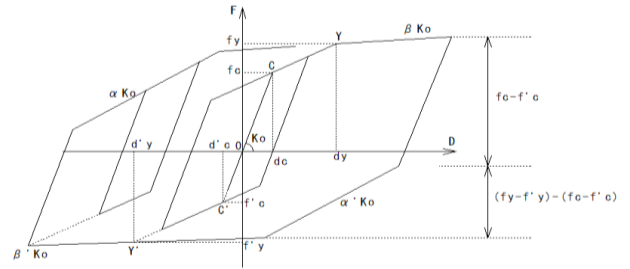


図 3 Normal Tri-Linear モデル

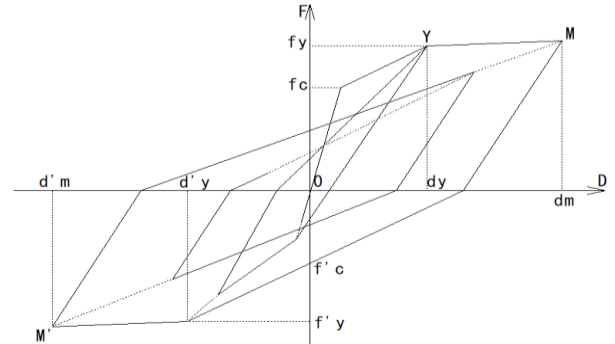


図 4 Takeda Model モデル

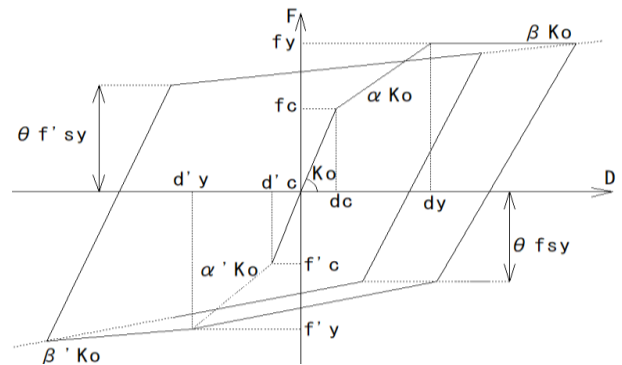


図 5 中間モデル

表 5 地震波の最大加速度・最大速度・継続時間

地震波	最大加速度(cm/s ²)	最大速度(cm/s)	継続時間(s)
ART EL	377.6	51.7	53.74
ART HAC	384.3	66.6	50.98
ART JMA	378.1	63.1	69.98

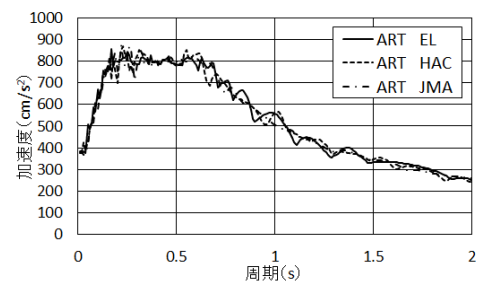


図 6 地震波の応答スペクトル

4. 解析結果と考察

4.1 最大応答値

時刻歴応答解析によって得られた最大層間変形角の分布を図7に、最大層せん断力の分布を図8にそれぞれ示す。各地震動においていずれの履歴モデルの場合も、層間変形角は5層付近で最も大きくなっている。履歴モデル同士で比較すると、概ね Takeda モデルが最も層間変形角が大きく、次に Normal Tri-Linear モデル、最も小さい層間変形角となるのが中間モデルとなっている。層せん断力

も概ね同じ傾向を示している。3.1 節で述べたように中間モデルは Normal Tri-Linear モデルと Takeda モデルの中間的な位置づけとしており、最大応答値も両者の中間となることが予想されたが、異なる結果となった。

1.0 倍波入力時と 1.5 倍波入力時を比較すると、Takeda モデルと Tri-Linear モデルでは 1.5 倍波入力時の層間変形角は 1.0 倍入力時の層間変形角の 1.5~2.0 倍大きくなっているのに対して、中間モデルでは 1.2 倍程度大きくなっているに留まっている。

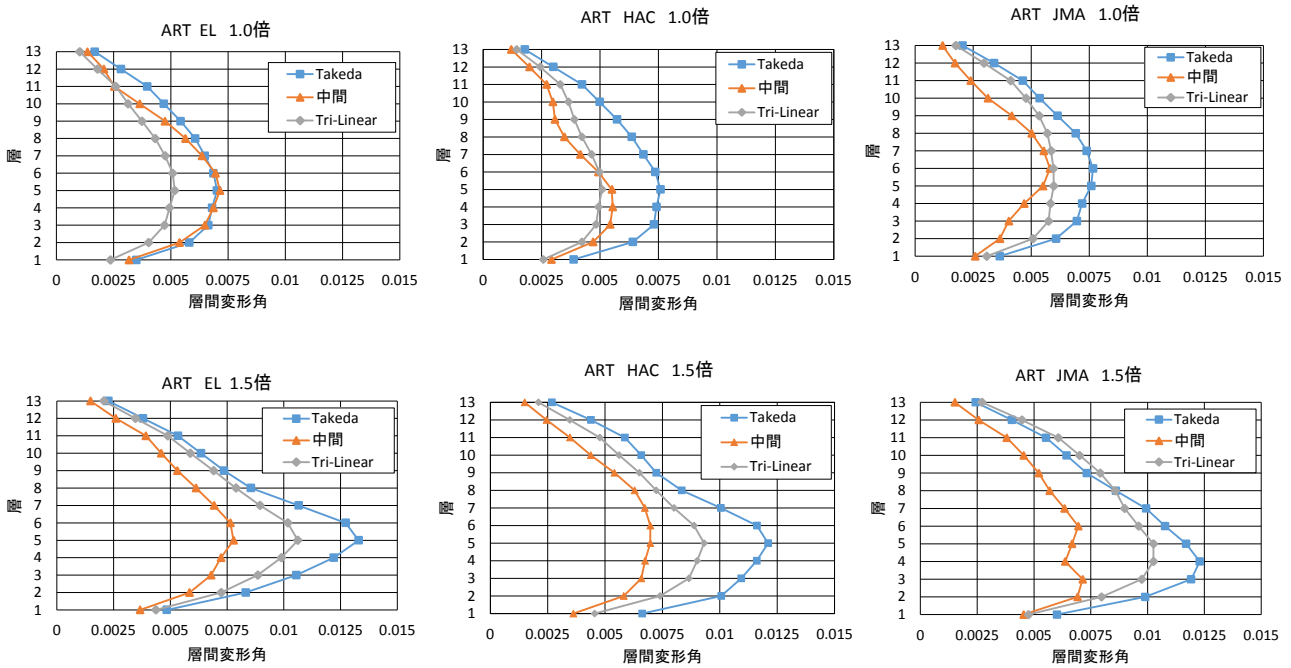


図7 最大層間変形角の分布（上段：1.0倍波，下段：1.5倍波）

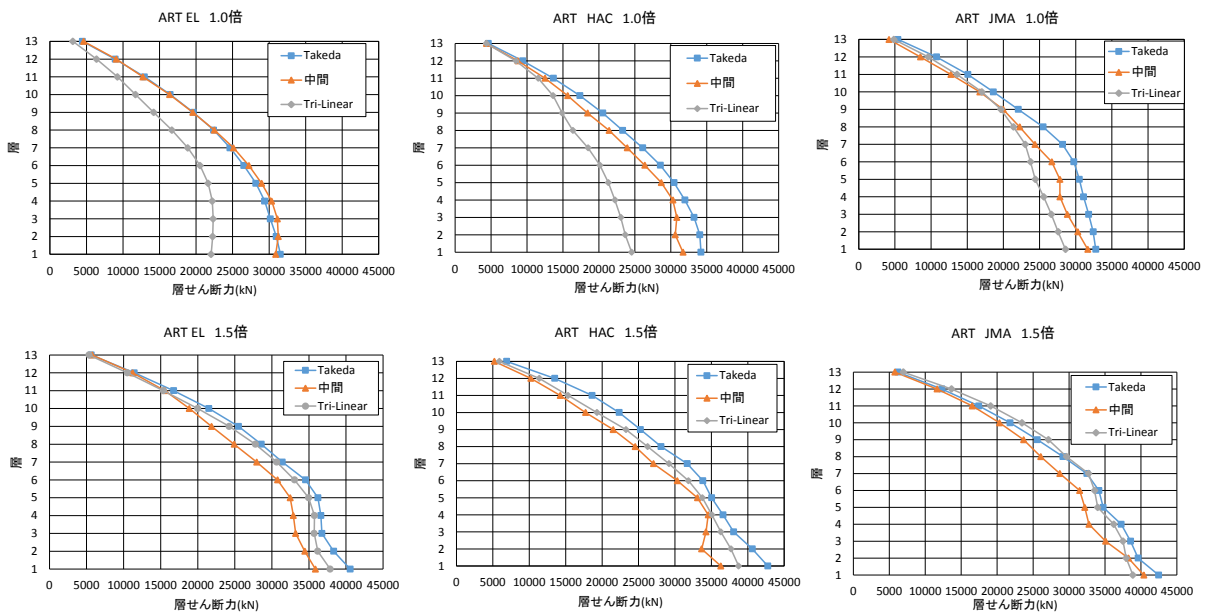


図8 最大層せん断力の分布（上段：1.0倍波，下段：1.5倍波）

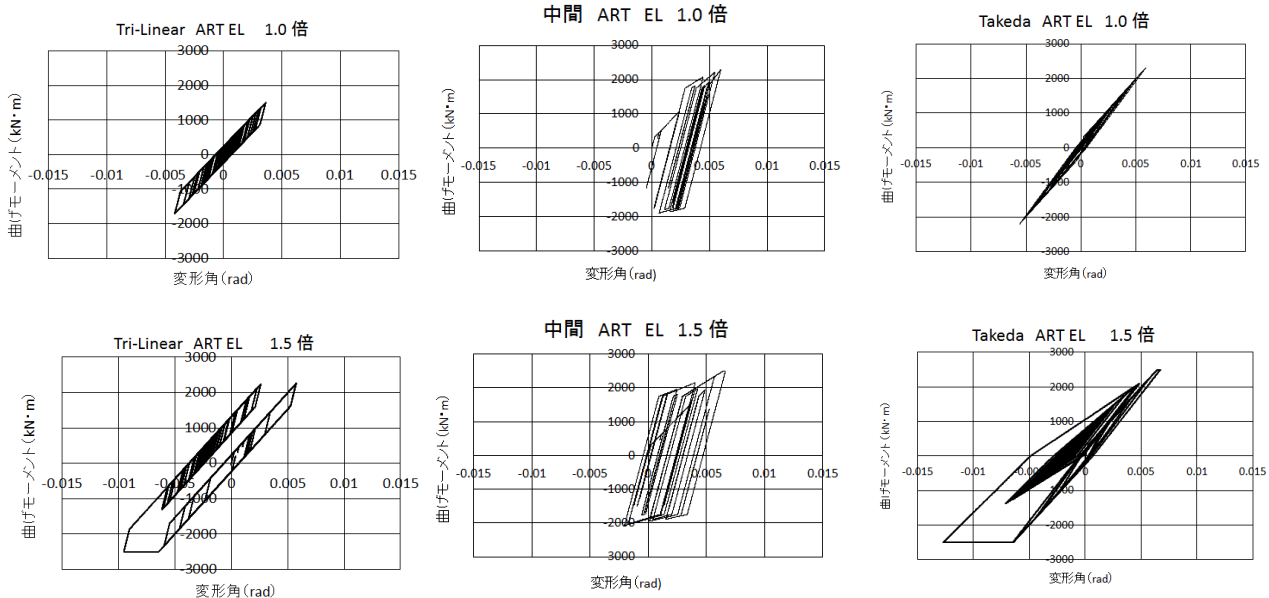


図9 ART EL 入力時における6階梁の履歴曲線（上段：1.0倍波，下段：1.5倍波）

4.2 層の履歴曲線

ART EL 入力時における6階梁（図1中のY1構面のX2-X3間の梁）の履歴曲線を図9に示す。1.0倍波入力時は概ねひび割れから降伏前までの応答、1.5倍波入力時は概ね降伏後の応答が得られている。Normal Tri-Linear や中間モデルではドリフトが生じているケースがある。また、中間モデルはその他のモデルに比べて繰返し時の剛性が高く、1.0倍波と1.5倍波で変形角の差が小さくなっているため入力が大きくなっても層間変形角が大きくなり難いことが分かる。

4.3 CES 梁部材に適用する履歴モデル

4.1節および4.2節の結果より現状ではCES梁部材に適用する履歴モデルはTakedaモデルを用いることが無難であると考えられる。

5. まとめ

3つの異なる履歴モデルを梁に適用してCES造建物の時刻歴地震応答解析を行い、以下の知見が得られた。

- 1) Normal Tri-Linearモデル、Takedaモデル、中間モデルの中ではTakedaモデルの応答値が最も大きくなった。
- 2) Normal Tri-Linearモデルおよび中間モデルではドリフトが生じ易い。また、中間モデルは繰返し時の剛性が高く、地震動が大きくなっても応答値が大きくなり難い。
- 3) 現状ではCES梁部材の履歴モデルにはTakedaモデルを用いることが無難である。

参考文献

- 1) 倉本洋：今伝えたいトピックス CES 合成構造システム、建築雑誌、Vol.120、No.1535、pp.34-35、2005.7
- 2) 松井智哉、倉本洋：CES 柱梁接合部の構造性能に及ぼす作用軸力の影響、日本建築学会構造系論文集、第663号、pp.1025-1031、

2011.5

- 3) 鈴木卓、松井智哉、倉本洋：壁縦筋の定着方法の異なるCES造連層耐震壁の非線形FEM解析、日本建築学会構造系論文集、第666号、pp.1533-1540、2011.8
- 4) 石釣吉、牧元祐太、Juan Jose CASTRO、松井智哉、倉本洋：H型鉄骨内蔵CES柱の変形能力評価に関する研究、日本建築学会構造系論文集、第682号、pp.1977-1982、2012.12
- 5) 日本建築学会：2013年度日本建築学会大会（北海道）構造部門（SCCS）PD資料「CES造建築物の構造性能評価指針（案）の制定に向けて」、67pp、2013.8
- 6) 井上翔、秋田知芳、稲井栄一：試設計建物を用いたCES構造性能評価法の適用性に関する研究、日本建築中国支部研究報告集、第38巻、pp.249-252、2015.3
- 7) 仲野叶子、秋田知芳、稲井栄一：柱梁接合部のモデル化がCES造建物の耐震性能に及ぼす影響に関する研究、日本建築中国支部研究報告集、第39巻、pp.213-216、2016.3
- 8) 高橋一希、秋田知芳、稲井栄一：柱梁接合部のせん断余裕度が異なるCES造建物の等価1自由度系応答値に関する研究、日本建築中国支部研究報告集、第41巻、pp.281-284、2018.3
- 9) 蒲生智、高橋一希、秋田知芳、稲井栄一：柱梁接合部のせん断余裕度が異なるCES造建物の地震応答値に関する研究、日本建築中国支部研究報告集、第42巻、pp.303-306、2019.3
- 10) 今井琢也、松風友哉、鈴木卓、倉本洋：CES造建築物の地震応答評価に関する研究（その1、その2）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1325-1328、2015.9
- 11) 足立智弘、倉本洋、川崎清彦：繊維補強コンクリートを用いた鉄骨コンクリート合成構造柱の構造性能に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文集、第24巻、第2号、pp.271-276、2002.6
- 12) 柴山豊、倉本洋、永田諭、川崎清彦：繊維補強コンクリートパネルで被覆した鉄骨コンクリート柱の復元力特性に関する研究、コンクリート工学年次論文集、第27巻、第2号、pp.241-246、2005.7
- 13) 田口孝、永田諭、松井智哉、倉本洋：H型鉄骨を内蔵したCES柱の構造特性、コンクリート工学年次論文集、第28巻、第2号、pp.1273-1278、2006.7
- 14) 石川智康、小山勉、松井智哉、倉本洋：CES合成構造建築物における梁の静的加力実験、コンクリート工学年次論文集、第37巻、第2号、pp.1057-1062、2015.7
- 15) 藤本利昭、倉本洋、松井智哉：交差H型断面鉄骨を内蔵したCES柱の構造性能、第8回複合構造の活用に関するシンポジウム講演集、Paper No.4（CD-ROM）、2009.11
- 16) 石釣吉、倉本洋、藤本利昭、松井智哉、牧元祐太：H型鉄骨内蔵CES柱の復元力特性のモデル化に関する研究、日本建築学会構造系論文集、第693号、pp.2019-2025、2013.11

*1 山口大学工学部感性デザイン工学科 学部生

*2 山口大学大学院創成科学研究科講師 博士（工学）

*3 山口大学大学院創成科学研究科教授 博士（工学）

Student, Dept. of Perceptual Sciences and Design Eng., Faculty of Eng., Yamaguchi Univ.

Lecturer, Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi Univ., Dr. Eng.

Professor, Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi Univ., Dr. Eng.