

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289177

研究課題名(和文) 柱中間部浮き上がり機構を有するロッキング架構の耐震性能

研究課題名(英文) Seismic Performance of Rocking Frames with Column Mid-height Uplift Mechanism at the First Story

研究代表者

緑川 光正 (Midorikawa, Mitsumasa)

北海道大学・工学(系)研究科(研究院)・特任教授

研究者番号：90126285

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：鉛直荷重は建築構造物の耐震性能を損なうものと一般に考えられている。柱中間部浮き上がり(CMU)機構を有するロッキング架構は、鉛直荷重を活用して地震応答低減を図る構造システムである。先行研究では、浮き上がりに伴って容易に降伏するベースプレートに柱脚部に設置したロッキング架構の地震応答低減効果や地震時挙動を明らかにした。本研究では、今までの研究成果に基づき、CMU機構を有するロッキング架構(CMU架構)の耐震性能を明らかにすることを目的として、簡易解析モデルによるCMU架構の基本力学特性、CMU機構(荷重伝達+エネルギー吸収)の静加力実験に基づく性能評価、CMU架構の地震応答特性を解明する。

研究成果の概要(英文)：The steel frames with column mid-height uplift (CMU) mechanism at the first story are implemented as response-control structural systems that reduce the seismic effects by exploiting the gravity effect generally deteriorating the seismic performance of ordinary structures. In the previous studies, the reduction effect on the seismic response of the column-base uplift (CBU) rocking systems with columns allowed to uplift has been evaluated and examined. The advantages and disadvantages of the systems have also been discussed. This study presents the seismic performance of CMU rocking frames with emphasis on the fundamental mechanical properties of CMU frames based on the simplified analytical models, performance evaluation of CMU mechanism resulted from the cyclically static loading tests and the seismic response behavior of CMU frames. Finally, some suggestions and recommendations are made on the seismic design of the rocking systems.

研究分野：建築耐震構造、鋼構造、建築振動

キーワード：建築構造 制振 ロッキング 地震応答低減 耐震設計

1. 研究開始当初の背景

建築構造物に要求される基本性能の一つは、鉛直荷重を支持することである。ちなみに、建物重量の位置エネルギーは地震入力エネルギーに比べて遙かに大きく、地震動により建物が損傷を受けて鉛直荷重支持能力を失うと、位置エネルギーが解放されることで、建物の損傷が著しく進行することが指摘されている。このように、鉛直荷重は一般に建物の耐震性能を損なうものと見なされている。一方、既往の地震被害調査等から、地震動を受けた建物の被害がロッキング振動に伴う浮き上がりにより軽減される場合があることが指摘されており、これは鉛直荷重が建物の耐震性能に正の効果をもたらす場合があることを示唆している。研究代表者らが提案し、取り組んできている浮き上がりによって降伏するベースプレート(以下、BPUという)を柱脚部に設置したロッキング構造は、鉛直荷重を正の効果として活用することにより、簡易で安価な方法で地震応答低減を図るものである。建物の浮き上がりに関する研究は現在まで様々な観点から論じられており、その地震応答特性が次第に明らかにされつつある。また、建物程度の規模になると転倒に必要なポテンシャルエネルギーが大きくなるために転倒が起こり難くなることも指摘されている。これらの知見に基づいて、研究代表者らの研究の他にも様々な浮き上りを伴うロッキング構造に関する研究が行われている。

以上の背景の下、研究代表者らは、提案したBPUを有する架構(BPU架構)について、地震応答低減効果や平面及び立体架構の地震時挙動を実験と解析により明らかにしてきている。即ち、最下層柱脚部を浮き上がらせるBPU架構は実際規模の鋼構造架構に適用可能なこと、地震応答低減によって耐震性能の向上を図れることを明らかにし、BPUを有する縮小模型立体架構の3次元振動台実験を行い、その地震時3次元挙動を実験により初めて検証した。また、BPU架構の課題としては、柱脚部の回転に対する固定度減少に伴って最下層層間変位が柱脚固定時に比べて増加する場合があることが挙げられる。

なお、本研究で対象とするロッキング構造は、上部構造の降伏に先行して最下層柱中間部を浮き上がらせることにより転倒モーメントを制御するもので、簡易なCMU機構により大地震動時の上部構造被害を軽減することができる所が特色であり独創的な点である。また、CMU機構は従来には殆ど例が無いが、既存の製作、施工技術で十分対応できる。本研究により、従来には無かった新たなロッキング構造が実現され、これによって杭の引抜力の軽減や圧縮側柱の座屈・圧壊などが抑制し易くなり、上部構造の耐震設計の合理化を図ることができる。この研究の意義は、ロッキング構造を簡易な機構により実現することを可能とし、建物の耐震性能を向上

できる所にある。また、この構造システムは、新築ばかりでなく既存建物の耐震改修にも適用できるものと考えられる。

2. 研究の目的

柱脚部浮きがり(BPU)架構では最下層層間変位が柱脚固定の場合より増加する場合があるという課題を解決するための新たなロッキング構造を提案し、その地震応答特性を明らかにする。具体的には、最下層柱中間部に浮き上がりを許容する(CMU)機構を設けたCMU架構を検討の対象とし、(1)簡易解析モデルによるCMU架構の履歴特性、(2)CMU機構の静加力実験に基づく荷重伝達性能・履歴ダンパーの履歴特性及び塑性変形性能、(3)骨組解析モデルを用いたCMU架構の地震応答特性をBPU架構との比較を通して明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では次の3課題について研究を行い、耐震設計に関する提言をまとめる。

(1)柱中間部浮き上がり(CMU)機構を有するロッキング架構(CMU架構)の簡易解析モデルによる履歴特性の評価、即ち、CMU架構の力学機構を簡易に表した解析モデルを用いて静加力時および地震応答時の履歴特性を評価し、その基本力学特性を把握する。(2)CMU機構を有する柱部材の静加力実験を行い、その荷重伝達性能・履歴ダンパーの履歴特性並びに塑性変形性能を評価する。履歴ダンパーの鋼材種、加力パターン、変位振幅などを実験変数とする。(3)多層CMU架構の地震応答解析を行い、その応答特性を把握する。その際、CMU機構に併設するダンパーに履歴型ダンパーを想定し、柱脚部浮き上がり(BPU)ロッキング架構と比較しつつ、2次元並びに3次元地震応答特性を明らかにする。

4. 研究成果

(1)柱中間部浮き上がり(CMU)機構を有するロッキング架構(CMU架構)の簡易解析モデルによる履歴特性の評価

多層架構を等価1質点系に置換した簡易解析モデルを用いて柱中間部浮き上がり(CMU)機構を有するロッキング架構(CMU架構)が静的水平力を受ける際の履歴特性を評価した。これによりCMU架構の基本的な履歴特性を把握し、別途行う地震応答解析により求まる履歴特性を検討する際の基礎資料とする。その結果、以下の知見を得た。

CMU架構には「浮き上がり前」、「浮き上がり後・ダンパー弾性時」、「浮き上がり後・ダンパー弾塑性時」の3つの状態があり、トリリニアの旗型の履歴形状を描く。ダンパー降伏耐力がある値以下なら、静的な釣り合いを考えると、CMU架構は常に原点に復帰し、双方の柱が同時に浮き上がることはない。最下層柱脚から浮き上がり位置までの下

部柱の変形が CMU 架構頂部の水平変位角に与える影響は 10 層程度以上の架構で 15% 以下であり、下部柱の変形の影響は小さくなる。なお、上記とは先行研究で行った BPU 架構の場合と同様の結果である。

(2) 静加力実験に基づく CMU 機構の荷重伝達性能・履歴ダンパーの履歴特性並びに塑性変形性能の評価

CMU 機構を有する柱部材（縮小模型）の静加力実験を行い、その荷重伝達性能・履歴（鋼材ハニカム）ダンパーの履歴特性並びに塑性変形性能を評価した。CMU 機構は、柱軸方向には自由に変位すると同時に柱せん断力を伝達出来る機能とダンパー機能を併設したものである。主な実験変数は、CMU 機構に組込む履歴ダンパーの鋼材種、加力パターン、変位振幅、履歴ダンパーの柱取り付け位置とした。

まず、軸方向単調引張載荷、軸方向漸増変位振幅繰返し載荷（一軸載荷）、軸方向及び軸直交方向（水平方向）の漸増変位振幅繰返し載荷（二軸載荷）の 3 種類の静加力実験から以下の知見を得た。

CMU 機構は載荷の方向及び浮き上がりの有無に関わらず柱の圧縮軸力およびせん断力を伝達できる。普通鋼 SGH400 のダンパーは、載荷の初期段階では耐力が大きいためエネルギーの吸収能力が高いが、塑性変形能力に乏しく載荷が繰返されるとハニカム鋼板の亀裂が進行するため、耐力、エネルギー吸収性能が低下する。低降伏点鋼 SPCE のダンパーは最大耐力が小さいものの塑性変形能力に優れており、載荷が繰返されても耐力がある程度まで保たれる。水平力の有無や加力方向による CMU 機構の性能の相違は見られない。

次に、軸方向定振幅繰返し載荷（変位振幅 20mm、10mm、5mm）の静加力実験から低サイクル疲労特性に関する以下の知見を得た。

ダンパーの破断に至る繰返し回数と変位振幅の関係はマンソン-コフィン則で概ね近似できる。低降伏点鋼 SPCE は普通鋼 SGH400 よりも載荷初期での耐力低下が小さい。即ち SGH400 では変位振幅が 20mm、10mm、5mm いずれの場合においても、最大荷重の 95% までは少サイクルのうちに荷重が低下し、その後は破断するまで荷重が緩やかに低下する。一方、SPCE では変位振幅が 20mm の場合には 2 サイクル目で最大荷重に達した後は、試験終了まで荷重が緩やかに低下する。しかし、変位振幅が 5mm の場合は 300 サイクル目で亀裂が生じた後も耐力が上昇し、355 サイクル目を過ぎて急激に耐力が低下する。

(3) CMU 架構の地震応答特性の評価

有限要素解析による CMU 架構の時刻歴地震応答解析を行い、その地震応答特性を把握した。多層架構を対象とし、柱脚部浮き上がりロッキング架構(BPU 架構)との比較を

して、その地震応答特性を明らかにした。先行研究では、鉛直動入力成分の浮き上がり応答への影響はあまり大きくないことが指摘されており、CMU 架構についてもその影響を確認した。主な解析変数は、層数(4-10 層)、スパン数(1-3 スパン)、CMU 機構に組込むダンパーの耐力・剛性、鉛直動入力成分の有無、地震動強さとした。

まず、地震応答特性として次の知見を得た。

CMU 架構と BPU 架構は、上部構造が浮き上がることで基礎固定(FIX)架構に比べて応答周期が伸びる。また、CMU 架構は BPU 架構と同様に上部構造浮き上がり中に高次の振動成分が顕著に現れる。CMU 架構の動的履歴は静的な旗形の履歴に高次の振動成分が加わった形状を呈し、CMU 架構の最大基部転倒モーメントは FIX 架構に比べて頭打ちとなる。CMU 架構と BPU 架構は、FIX 架構に比べて最大ベースシア係数が低減する。また、ロッキング架構の最大頂部水平変位角は浮き上がりに伴う変位角を含むため FIX 架構に比べて大きくなる。CMU 架構は FIX 架構に比べて上部構造の変形が抑制され、最大層せん断力係数が FIX 架構と同程度またはそれ以下に低減する。また、CMU 架構最下層の最大層間変位角は FIX 架構と同程度になる。CMU 架構の層数が増加するに従って上部構造浮き上がり中の高次振動成分が多く出現する。

次に、架構に入力される損傷に寄与するエネルギーに着目し、エネルギーの釣り合いに基づく CMU 架構の最大応答評価手法の検討を行い、以下の知見を得た。

頂部水平変位は、ダンパー初期剛性比(ダンパー剛性/最下層柱軸剛性) $\kappa=0.05$ 程度までは κ が大きくなるに従い減少するが $\kappa=0.05$ 以上では増加する。また、ダンパー降伏耐力比(ダンパー降伏耐力/柱常時軸力) $\beta=0.4$ 前後で減少傾向が異なり、 $\beta>0.4$ の減少割合は $\beta\leq 0.4$ に比べて緩やかになる。本評価手法による CMU 架構の最大応答値は、地震動によって多少ばらつきはあるものの、時刻歴地震応答解析値と概ね対応しており、本評価手法によって最大応答を概ね評価することができる。本評価手法により求めた CMU 機構に併設される履歴ダンパーの必要累積塑性変形倍率は、静加力実験より求めたダンパーの保有累積塑性変形倍率の範囲内に概ね収まるものと推測される。

さらに、多層の CMU 架構、浮き上がり機構のない最下層柱中間部固定(CMU-FIX)架構を対象として時刻歴地震応答解析を行い、浮き上がりの有無が上部構造のエネルギー応答に及ぼす影響を検討し、次の知見を得た。

杭頭浮き上がり建物や柱脚浮き上がり建物の場合の指摘と同様に、ロッキング振動に伴って浮き上がりが生じると、上部構造の変形が抑えられるものの頂部水平変位は増加する。浮き上がりが生じる場合の最大頂部水平加速度は、浮き上がりが生じない場合と

比べてほとんど変化しない。CMU 機構に併設される履歴ダンパーには浮き上がりにより増加する頂部水平変位を抑制する効果があり、アスペクト比が大きい場合にその効果は大きくなる。浮き上がりによって最終的に蓄積される上部構造歪エネルギーは低減される。特に、地震動の卓越周期と建物の固有周期が近接する場合にその低減度合いは大きくなる。

(4)上記(1)から(3)の成果を総括してロックアップ制振建築構造システムの耐震設計に関する提言をまとめた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 11 件)

菱田俊介, 緑川光正, 岩田衛, 岡崎太一郎, 麻里哲広, " 芯材の曲げ座屈変形が座屈拘束ブレースの力学性能に及ぼす影響 ", 鋼構造年次論文報告集, 査読有, 第 23 巻, 2015, pp. 705-712 (CD-ROM, No. 102)

山崎翔, 緑川光正, 岩田衛, 岡崎太一郎, 麻里哲広, " 座屈拘束ブレースの力学性能に及ぼすモルタル強度の影響 ", 鋼構造年次論文報告集, 査読有, 第 23 巻, 2015, pp. 671-675 (CD-ROM, No. 096)

加藤百合子, 緑川光正, 河合良道, 石原直, 小谷直人, " 最下層柱中間部浮き上がり架構のダンパー実験と地震応答評価 ", 鋼構造年次論文報告集, 査読有, 第 23 巻, 2015, pp. 452-458 (CD-ROM, No. 064)

小谷直人, 緑川光正, 岡崎太一郎, 麻里哲広, 石原直, " 柱中間部浮き上り機構付き鉄骨造多層架構の地震エネルギー応答 ", 鋼構造年次論文報告集, 査読有, 第 23 巻, 2015, pp. 311-318 (CD-ROM, No. 045)

菱田俊介, 大浦匠, 緑川光正, 岩田衛, 岡崎太一郎, 麻里哲広, " 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの実験的研究 - 鋼製ずれ止め位置が力学性能に及ぼす影響及び座屈変形の評価 - ", 構造工学論文集, 査読有, Vol. 61B, 2015, pp. 141-149

加藤百合子, 緑川光正, 河合良道, 石原直,

松本博樹, " 鋼材ダンパーを組み込んだ柱中間部浮き上がり機構の静加力実験 ", 鋼構造年次論文報告集, 査読有, 第 22 巻, 2014, pp. 399-404 (CD-ROM, No. 14102)

小谷直人, 緑川光正, 岡崎太一郎, 麻里哲広, 石原直, " 柱中間部浮き上がり機構を有する 10 層架構の地震エネルギー応答 ", 鋼構造年次論文報告集, 査読有, 第 22 巻, 2014, pp. 392-398 (CD-ROM, No. 14100)

菱田俊介, 緑川光正, 岩田衛, 岡崎太一郎, 大浦匠, " 座屈拘束ブレースの力学性能に及ぼす鋼製ずれ止め位置の影響 ", 鋼構造年次論文報告集, 査読有, 第 22 巻, 2014, pp. 524-530 (CD-ROM, No. 5046)

Midorikawa, M., Iwata, M., Wakayama, T., Iizuka, R., Okazaki, T. and Asari, T., " Buckling-mode Number and Compressive-to-tensile Strength Ratio of Buckling-restrained Braces, " Proceedings of the 10th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, 査読有, Paper No. 660, Anchorage, Alaska, U.S.A., July 21-25, 2014
DOI: 10.4231/D3542J88W

緑川光正, 若山拓也, 麻里哲広, 岩田衛, " 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの実験的研究 - 摩擦力分布を考慮した圧縮引張耐力比の算定手法とその評価 - ", 構造工学論文集, 査読有, Vol. 60B, 2014, pp. 307-315

松本博樹, 成尾渉, 緑川光正, 麻里哲広, 石原直, " 柱中間部浮き上りを許容した多層鋼構造架構の地震応答 ", 鋼構造年次論文報告集, 査読有, 第 21 巻, 2013, pp. 685-692

[学会発表](計 16 件)

加藤百合子, 緑川光正, 岡崎太一郎, 麻里哲広, 石原直, 小豆畑達哉, 柱中間部浮き上がり機構を有する架構の地震応答(その 6) エネルギーの釣り合いに基づく地震応答評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 III, pp. 1255-1256, 2015.9.4-6, 東海大学(平塚市)

小谷直人, 緑川光正, 河合良道, 加藤百合子, 岡崎太一郎, 麻里哲広, 石原直, 小豆畑達哉, 柱中間部浮き上がり機構に用いる鋼材ダンパーの低サイクル疲労実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 III, pp. 1173-1174, 2015.9.4-6, 東海大学(平塚市)

小豆畑達哉, 石原直, 緑川光正, 浮き上がりと上部構造の塑性化を伴う1層モデルの振動台実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, pp. 833-834, 2015.9.4-6, 東海大学(平塚市)

石原直, 小豆畑達哉, 緑川光正, 浮き上がりによる損傷と残留変形の抑制効果に関する基礎研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, pp. 271-272, 2015.9.4-6, 東海大学(平塚市)

Midorikawa, M., Iwata M., Hishida, S., Okazaki, T. and Asari, T., "Effect of Steel Core Bending on the Seismic Performance of Buckling-Restrained Braces Using Steel-and-Mortar Planks for Buckling-Restraining System," Proceedings of 6th International Conference on Advances in Experimental Structural Engineering (6AESE) and 11th International Workshop on Advanced Smart Materials and Smart Structures Technology (11ANCRISST), Paper No. 170, University of Illinois, Urbana-Champaign, United States, 1-2 August, 2015 (at Illini Union, and Nazan M. Newmark Civil Engineering Laboratory in the M. T. Geoffrey Yeh Student Center) (USB)

Midorikawa, M., Kotani, N., Okazaki, T., Asari, T., Ishihara, T., and Azuhata, T., "Seismic Energy Response of Ten-story Steel Rocking Frames with Column Mid-height Uplift at First Story," Proceedings of 5th ECCOMAS (European Community on Computational Methods in Applied Sciences) Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering (COMPdyn2015), Paper No. C538, Crete Island, Greece, 25-27 May, 2015 (at Creta Maris Convention Center at Crete Island) (USB)

Midorikawa, M., Kato, Y., Kawai, Y., Ishihara, T., Okazaki, T. and Asari, T., "Static Loading Tests of Column Mid-height Uplift Mechanism with Steel Dampers," IABSE Conference Nara 2015, Manuscript ID: SS-14, Nara, Japan, 13-15 May, 2015 (at the Nara Kasugano International Forum) (CD-ROM)

石原直, 小豆畑達哉, 田尻清太郎, 緑川光正, "浮き上がり許容構造の動的弾塑性挙動と損傷低減効果に関する1層モデルの解析と実験", 第14回日本地震工学シンポジウム講演論文集(DVD), 2014.12.4-6, pp. 2226-2235, 幕張メッセ(東京都)

小谷直人, 緑川光正, 岡崎太一郎, 麻里哲広, 石原直, 小豆畑達哉, 柱中間部浮き上がり機構を有する10層架構の地震エネルギー応答 2次元架構モデルによるエネルギー特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, pp. 1073-1074, 2014.9.12-14, 神戸大学(神戸市)

加藤百合子, 緑川光正, 岡崎太一郎, 麻里哲広, 松本博樹, 石原直, 小豆畑達哉, 柱中間部に浮き上がり機構を有する架構の地震応答 その5 3次元架構モデルによる地震応答解析結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 構造 II, pp. 1071-1072 2014.9.12-14, 神戸大学(神戸市)

松本博樹, 緑川光正, 岡崎太一郎, 麻里哲広, 加藤百合子, 石原直, 小豆畑達哉, 柱中間部に浮き上がり機構を有する架構の地震応答 その4 3次元架構モデルによる地震応答解析の概要と結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, pp. 1069-1070, 2014.9.12-14, 神戸大学(神戸市)

大友啓徳, 緑川光正, 岡崎太一郎, 麻里哲広, 制御型ロッキング架構の地震応答におけるエネルギー吸収部材と張力材の効果 その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 III, pp. 1351-1352, 2013.8.30-9.1, 北海道大学(札幌市)

緑川光正, 大友啓徳, 岡崎太一郎, 麻里哲広, 制御型ロッキング架構の地震応答におけるエネルギー吸収部材と張力材の効果 その1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 III, pp. 1349-1350, 2013.8.30-9.1, 北海道大学(札幌市)

松本博樹, 緑川光正, 尾崎文宣, 成尾渉, 加藤百合子, 麻里哲広, 石原直, 小豆畑達哉,

岡崎太一郎, 柱中間部浮き上がり機構を有する架構の地震応答(その3)地震応答解析結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 III, pp. 1061-1062, 2013.8.30-9.1, 北海道大学(札幌市)

成尾涉, 緑川光正, 尾崎文宣, 松本博樹, 加藤百合子, 麻里哲広, 石原直, 小豆畑達哉, 岡崎太一郎, 柱中間部浮き上がり機構を有する架構の地震応答(その2)静加力実験結果および地震応答解析概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 III, pp. 1059-1060, 2013.8.30-9.1, 北海道大学(札幌市)

加藤百合子, 緑川光正, 尾崎文宣, 成尾涉, 松本博樹, 麻里哲広, 石原直, 小豆畑達哉, 岡崎太一郎, 柱中間部浮き上がり機構を有する架構の地震応答(その1)簡易解析モデルによる履歴特性および静加力実験概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 III, pp. 1057-1058, 2013.8.30-9.1, 北海道大学(札幌市)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織
(1) 研究代表者

緑川 光正 (MIDORIKAWA, Mitsumasa)
北海道大学・大学院工学研究院・特任教授
研究者番号: 90126285

(2) 研究分担者
麻里 哲広 (ASARI, Tetsuhiro)
北海道大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号: 90250472

(3) 連携研究者
小豆畑 達也 (AZUHATA, Tatsuya)
国立研究開発法人建築研究所・国際地震工学センター・上席研究員
研究者番号: 00251629

石原 直 (ISHIHARA, Tadashi)
国立研究開発法人建築研究所・建築生産研究グループ・主任研究員
研究者番号: 50370747

岡崎 太一郎 (OKAZAKI, Taichiro)
北海道大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号: 20414964