

令和元年6月12日現在

機関番号：80122

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06599

研究課題名（和文）積雪期の降雨によって生じる建築物の雪害リスクとその評価

研究課題名（英文）Snow damage risk of buildings caused by rainfall during snow season and its evaluation

研究代表者

堤 拓哉（TSUTSUMI, TAKUYA）

地方独立行政法人北海道立総合研究機構・建築研究本部北方建築総合研究所・研究主幹

研究者番号：40462345

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：積雪期の降雨による雪荷重の増加および落雪による雪害リスクの評価に係る知見を整備することを目的に研究を行い、以下の成果が得られた。1) 冬季降水量に基づく積雪重量の評価のための基礎的知見を整備した。2) 降雨と融雪を伴う気象条件における積雪重量評価において積雪モデルの有用性を示した。3) 落雪実験により降雨後の落雪による衝撃荷重に関する知見を得た。4) 北海道の多雪区域における積雪期の降雨による雪害リスク評価を行い、北海道の多雪区域では、積雪荷重に及ぼす降雨の影響はさほど大きくない状況にあるが、落雪による衝撃荷重が増加することを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、2014年に発生した関東甲信地方における雪氷災害と地球温暖化に伴う積雪時の降雨頻度の増加を背景とし、建築物の雪に対する安全性向上に資するため実施したものである。本研究の成果は、建築技術者向けの設計情報として情報提供するほか、日本建築学会の建築物荷重指針および雪荷重に係る国際規格（ISO4355）等の諸基準策定における基礎資料として活用される。

研究成果の概要（英文）：The study was conducted with the purpose of improving knowledge on evaluation of snow damage risk induced by rain on snow, and the following results were obtained. 1) Basic knowledge for the evaluation of snow weight based on winter precipitation have been obtained. 2) The usefulness of the snowfall model in the snow weight evaluation under the weather condition with rainfall and snowmelt have been shown. 3) Basic knowledge about impact load due to snowfall after rainfall by snowfall experiment have been obtained. 4) Risk assessment for snow damages due to rainfall have been estimated in heavy snow areas in Hokkaido, the influence of rainfall on snow load is not so great, but the impact load due to snow could increase.

研究分野：建築雪氷工学

キーワード：積雪荷重 落雪 ROS 雪害 衝撃荷重 リスク

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

2014年2月の関東甲信における大雪災害では、降雪と降雨が連続的に起きたことにより、雪荷重に加え雨による荷重が付加的に作用したため建物倒壊が相次いだ。一方、北海道や新潟などの豪雪地帯においても温暖化等の影響により積雪期に降雨が度々生じており、雪荷重の増加のみならず、降雨による落雪の発生などの雪害が発生する恐れがある。積雪深に一律の単位重量を乗じる従来の雪荷重算定法は、実態を正しく評価していないことが指摘されている。降水量と気温に基づいて地上積雪重量を推定する手法は、降雪と降雨が連続的に生じるような気象現象を反映出来ることから、積雪時の降雨が頻発するような気象条件において有用な手法である。また、落雪による衝撃力は雪塊の密度等に影響されるため、降雨による重量増や氷化により、落雪時の衝撃力が増える恐れがある。

2. 研究の目的

本研究は、積雪期の降雨による雪荷重の増加および落雪による雪害リスクの評価に係る知見を整備することを目的としている。

3. 研究の方法

1) 冬季降水量および積雪重量の評価に関する知見整備

気象データの解析、実測等により冬季降水量および積雪重量の評価に関する知見を整備する。

2) 降雨の影響を加味した積雪重量の推定

気象データの解析、積雪モデル等を用いて積雪重量の推定を行う。

3) 降雨後の落雪を想定した落雪実験

せん断強度の測定、落雪実験等により降雨が落雪に及ぼす影響を実験的に把握する。

4) 降雨によって生じる建築物の雪害リスクの評価

1)～3)の検討を踏まえ降雨によって生じる建築物の雪害リスクを評価する。

4. 研究成果

4. 1 冬季降水量および積雪重量の評価に関する知見整備

(1) 多雪区域を対象とした2017-2018冬期における比較観測

観測は北海道旭川市にある北海道立総合研究機構北方建築総合研究所の敷地内で実施した。降水量の測定には気象庁が積雪地の降水量観測で用いている助炭（風除け）付きの温式降水量計（RT-3）を用いた。積雪重量は積雪による圧力を重量に変換する積雪重量計を用いて測定すると共に、月に数回、神室型スノーサンプラーで積雪サンプルを採取し、重量を計測した。併せて降水量計受水口高さの風速をプロペラ式風向風速計で測定した。降水量計および風向風速計の設置高さは地上から2.5mである。観測は2017年11月1日より実施した。

図1に降水量計RT-3で計測した累積降水量、積雪重量の日最大値、日最深積雪深の推移を示す¹⁾。観測期間中の積雪深の最大値は98cm(2018/3/2)、積雪重量の最大値は、積雪重量計が175kg/m²(2018/3/4)、スノーサンプラーが211kg/m²(2018/3/8)である。図1によれば、根雪以降の降水量の累積値は、積雪重量の経時的変化を良く捉えている。積雪重量計による測定値はスノーサンプラーによる値よりも幾分小さい傾向にある。



(a) 機器設置状況

(b) 積雪時の状況

写真1 2017-2018 比較観測の状況

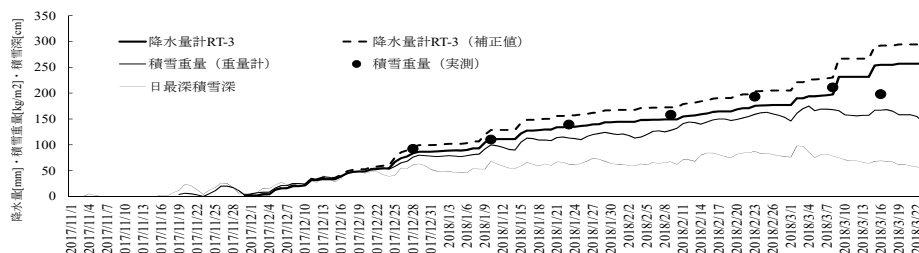


図1 累積降水量、積雪重量、日最深積雪深の推移

(2) 多雪区域を対象とした2018-2019冬期における比較観測

2018-2019冬期において寒冷地にある気象庁の地域気象観測所(アメダス)近傍で実測した積雪重量とアメダスで観測された降水量を比較した。実測は、北海道の上川および空知地方の10

地点のアメダスを対象に2019年1月から2月にかけて行った。調査対象の一覧を表1に示す²⁾。

調査対象としたアメダスの降水量計には全て風防(助炭)が取り付けられており、地上から2~3mの位置に設置されている(写真2)。風速計は調査対象の全てに設置されているが、積雪深計が設置されているのは5ヶ所(No.4、6、8、9、10)である。積雪重量の実測は、アメダス近傍の平坦地において、神室型スノーサンプラーを用いて積雪のサンプルを3~5個採取し、重量を測定した。重量測定は各地点で1回ずつ実施した。

図2に積雪重量の実測結果と実測実施日までの日降水量に基づき推定した積雪重量との比較を示す。風速による捕捉率補正を行わない推定値は、大部分の地点で過小評価となっているが、捕捉率の補正を行うことにより¹⁾、両者の相関が良くなる傾向が見られる。

表1 調査対象

No.	地点名	緯度/経度	風防	積雪深計	風速計
1	比布	43°52.5'N/142°28.8'E	○	-	○
2	東川	43°42.1'N/142°30.5'E	○	-	○
3	志比内	43°38.6'N/142°28.8'E	○	-	○
4	美瑛	43°35.3'N/142°29.6'E	○	○	○
5	上富良野	43°27.3'N/142°27.9'E	○	-	○
6	富良野	43°20.0'N/142°24.0'E	○	○	○
7	石狩沼田	43°48.9'N/141°55.6'E	○	-	○
8	深川	43°43.1'N/142°4.4'E	○	○	○
9	滝川	43°52.5'N/142°28.8'E	○	○	○
10	芦別	43°31.2'N/142°11.4'E	○	○	○

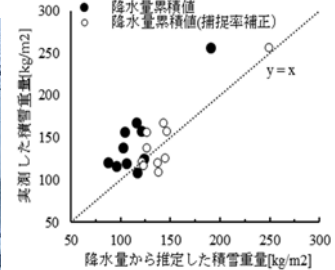


写真2 アメダスの降水量計 図2 積雪重量の推定値と実測値との比較

(3) 一般区域を対象とした降水量に基づく雪荷重評価に係る調査

本項では一般区域(垂直積雪量が1m未満の区域等)を対象とした降水量に基づく雪荷重評価について、降水量計の種類および降水量計の受水口付近の風速に関わる気象観測地点の観測環境調査および一般区域における降水量と気温資料に基づく地上積雪重量の比較を行った。

調査対象は、首都圏を中心とした一都七県(東京都、千葉県、神奈川県、埼玉県、茨城県、栃木県、群馬県、山梨県)において、地上積雪深の100年再現期間に対する値が1.0m未満かつ降水量、気温、風速の3項目を観測している69ヶ所の観測所とした。

図3に各観測所における降水量計の受水口高さを示す。荷重指針³⁾の捕捉率設定条件では、降水量計の受水口高さを気温計の高さ(当該地域ではGL+1.5m)として統一されていたが、本調査によるとGL+0.5~2.0mの高さに設置されていることがわかった。平均高さは1.01mである。降水量計の受水口付近の風速は、その高さによって変わるため、捕捉率に影響を与えると考える。

図4に各観測地点の地表面粗度区分に関する調査結果を示す。本調査結果では、荷重指針に対して地表面粗度区分Ⅲが減少し、Ⅱの観測地点が増加している。このことから、風速の値が大きく評価され捕足損失の増加がみこまれ地上積雪重量が大きくなる可能性が指摘できる。

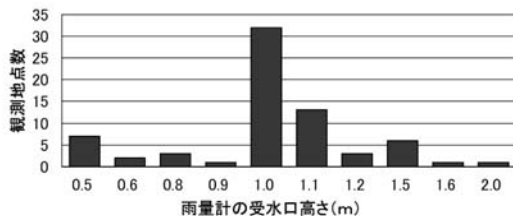


図3 降水量計受水口高さ

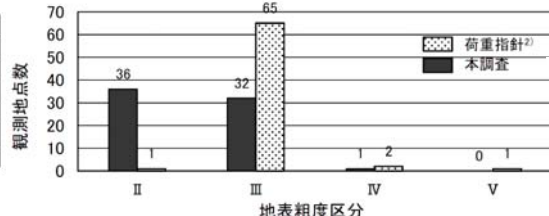


図4 観測地点の地表面粗度区分

4. 2 降雨の影響を加味した積雪重量の推定

ここではTakahashi, et. al. (2001)⁴⁾による積雪モデルを用いて降水量と気温から地上積雪重量を推定することを試みた。このモデルは1日の降雪が1つの層を形成すると仮定し、積雪の各層ごとに、積雪重量、単位積雪重量、層厚を算定するものである。検討対象は、2018年寒候期に積雪時に降雨が度々あり、3月半ばに屋内運動場の倒壊があった北海道羽幌町とした。図5に気象庁アメダスの観測による気象状況、図6に積雪モデルを用いた積雪重量の推定結果を示す。降水量の累積値(累積水当量)は、融雪による重量減少を加味していないため、積雪重量の増減はみられないが、積雪モデルでは融雪による重量減少も評価できており、3月半ば過ぎに荷重のピークを迎えていたことは概ね整合が取れる。

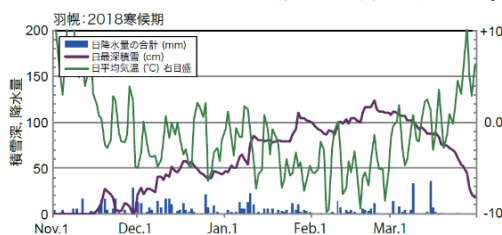


図5 気象状況

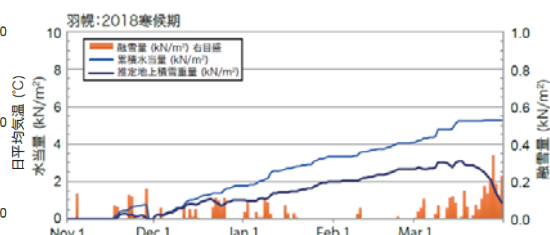


図6 積雪重量の推定結果

4. 3 降雨後の落雪を想定した落雪実験

降雨による雪密度の増加が落雪時の衝撃荷重に及ぼす影響について実験的検討を行った。実験では、屋外に堆積した自然状態の積雪から雪塊（面積 0.23m×0.23m×高さ 0.34m）を採取し（写真 3）、降雨前の雪塊、降雨後の雪塊、氷化後の雪塊の 3 種類の衝撃力を測定した。降雨後の雪塊は、採取した雪塊に噴霧器による模擬降雨（降雨量：約 13mm/hr×2hr）を与え、含水状態の雪塊を作成した。氷化した雪塊は、模擬降雨を与えた雪塊を低温室もしくは屋外に放置して氷化させた。雪塊を 3.2m の高さから落とし、鉄板（t=9mm, 0.8m×0.8m）に衝突させ、衝突時の荷重を鉄板に挟んだ 4 個のロードセルで測定した（写真 4）。

落雪後の状況を写真 5、衝撃荷重の測定結果を図 7 に示す。図 7 に示すように、降雨後に落雪した場合、衝撃荷重は降雨前よりも増加し、降雨直後に落雪した際の衝撃荷重は降雨前に比べ約 24%増加し、氷化した後に落雪した場合には、衝撃荷重が約 2 倍増加した。一般に落雪による衝撃荷重は雪密度と硬度に影響されるため^{6)~8)}、降雨による雪密度の増加、氷化による硬度の増加が衝撃荷重の増加に繋がっていると考えられる。



写真 3 雪塊 写真 4 ロードセル 写真 5 落雪後の状況

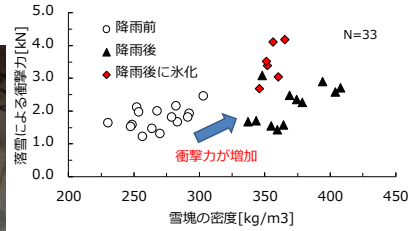


図 7 落雪衝撃荷重の測定結果

4. 4 降雨によって生じる建築物の雪害リスクの評価

図 8 に札幌市の過去 30 年間における年最大積雪重量と積雪時に降雨があった際の積雪重量の比較を示す。図 8 の年最大積雪重量は、式 (1) で求めた単位積雪重量に該当年の年最深積雪深を乗じて求めた⁹⁾。また、降雨時の積雪重量については、式 (1) を用いて降雨があった際の積雪深から積雪重量を求め、降雨量を重量として加算して求めた。

$$P = 0.72\sqrt{d} + 2.32 \quad (1)$$

ここで、 d : 年最大積雪深 [m]、 P : 等価単位積雪重量 [kN/m³]

図 8 によれば、いずれの年においても最深積雪深から求めた積雪重量が降雨時の積雪重量を上回っている。図 9 に最深積雪深時と降雨時における年最大積雪重量の再現期待値の比較を示す³⁾。降雨時における年最大積雪重量は最深積雪深時の重量と比較して 2 割ほど小さい値である。北海道の多雪地域において、過去の気象資料に基づいて積雪重量を評価した場合、積雪荷重に及ぼす降雨の影響はさほど大きくない状況にある。図 10 に最深積雪深時と降雨時における落雪衝撃荷重の再現期待値の比較を示す³⁾。落雪衝撃荷重の算定は雪密度と衝撃荷重との関係に基づき、ここでは小竹ら (2001) が示した最大衝撃荷重の包絡線の上限值とした⁶⁾。衝撃荷重を求めるための雪密度は、上述の積雪重量を求める際に求めた等価単位積雪重量とし、降雨時の等価単位積雪重量は、積雪深は変化せず降雨分の重量が増加すると仮定した。図 10 に示すように、降雨の影響により雪密度が増したことにより、落雪衝撃荷重は、最深積雪深時よりも最大 4 割程度増える結果となった。

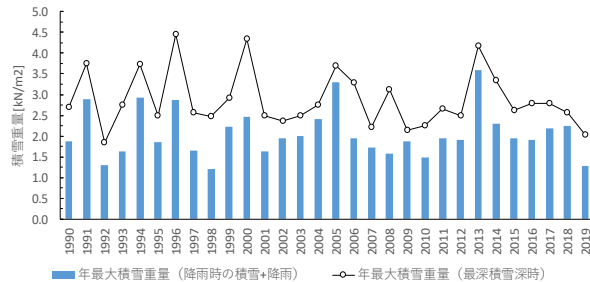


図 8 最深積雪深時と降雨時における年最大積雪重量の比較 (札幌市、1990~2018)

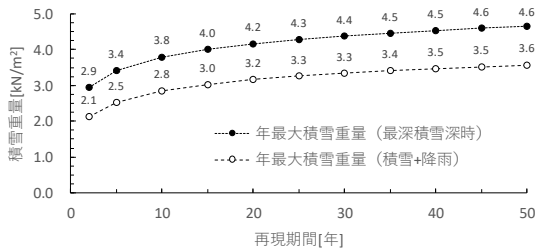


図 9 最深積雪深時と降雨時における年最大積雪重量の再現期待値の比較 (札幌市)

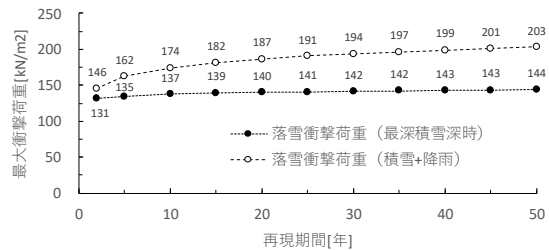


図 10 最深積雪深時と降雨時における落雪衝撃荷重の再現期待値の比較 (札幌市)

4. 5 まとめ

積雪期の降雨による雪荷重の増加および落雪による雪害リスクの評価に係る知見を整備することを目的に研究を実施し、以下の知見を得た。

- 1) 冬季降水量に基づく積雪重量の評価のため、積雪重量と降水量の比較観測を行い、降水量の積算値は積雪重量の変化によく対応することが示された。北海道内のアメダス10カ所を対象に降水量と積雪重量の比較を行ったところ、風速による補正を行うことにより、両者の対応が良くなる傾向にあった。
- 2) 小雪地域を対象に降水量計の種類および降水量計の受水口付近の風速に関わる気象観測地点の観測環境調査を行い、降水量と気温資料に基づく地上積雪重量の比較を行ったところ、風速の値が大きく評価されるために捕捉率が小さくなり、地上積雪重量が大きく見積もられるケースが確認され、地表面近傍で複雑な変化を示す風速の適切な評価が課題であることが分かった。
- 3) 積雪モデルを用いて地上積雪重量の推定を行ったところ、融雪や降雨による積雪重量の変化を含めた評価が可能であることが分かった。
- 4) 降雨後の落雪を想定した衝撃力の実験を行い、降雨後すぐに落雪すると衝撃力は雨が降らない条件と比べ約24%増加し、氷化した後に落雪すると衝撃力が2倍程度増加することが分かった。
- 5) 北海道の札幌市を対象に最深積雪深時と降雨時における年最大積雪重量の再現期待値を比較した結果、降雨時における年最大積雪重量は最深積雪深時の重量と比較して2割ほど小さい値となった。一方、落雪による衝撃荷重は、降雨の影響により雪密度が増したことから、最深積雪深時よりも最大4割程度増える結果となった。

気象庁の地球温暖化予測に依れば¹⁰⁾、北海道などの積雪寒冷地域では、降雨の増加と共に大気中の水蒸気量の増加に伴い降雪量が増えるとの予測も出されている。将来的な気候変化を積雪荷重評価に反映するのは容易ではないものの、積雪期の降雨による雪害リスクについて、更なる検討が必要である。

参考文献

- 1) 横山宏太郎, 大野宏之, 小南靖弘, 井上聡, 川方俊和: 冬期における降水量計の捕捉特性, 雪氷 Vol. 65, No3, pp. 303-316, 2003. 5
- 2) 気象庁: 地域気象観測所一覧, 2019. 3
- 3) 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説 (2015), 2015. 2
- 4) T. Takahashi, T. Kawamura, K. Kuramoto: Estimation of Ground Snow Load Using Snow Layer Model, 日本建築学会構造系論文集 No. 545, pp. 35-41, 2001. 7.
- 5) 設楽敬之, 高橋 徹, B. Ellingwood: クリギング法と重回帰分析による積雪荷重の推定と比較, 日本建築学会大会学術講演梗概集 B1, pp. 67-68, 2002. 8.
- 6) 小竹達也, 苔米地司, 西川薫: 屋根上積雪の落雪による衝撃荷重に関する一考察, 日本建築学会構造系論文集, No. 543, pp. 31-36, 2001. 5
- 7) 松下拓樹, 笠村繁幸, 松澤勝, 中村浩, 上田真代: 落雪による衝撃荷重と積雪硬度の関係について, 北海道の雪氷, No. 32, pp. 30-33, 2013. 5
- 8) 上石勲, 佐藤威, 本吉弘岐, 平島博行, 安達聖, 山口悟, 佐藤篤司, 石坂雅昭, 西田陽一, 橋立広隆, 大宮哲: 雪氷塊の落下衝撃実験, 第28回寒地技術シンポジウム論文集, pp. 188-191, 2012. 10
- 9) 城攻, 桜井修次: 多雪地域における等価単位積雪重量について, 日本雪工学会誌, Vol. 9, No. 2, pp. 112-114, 1993.
- 10) 気象庁: 地球温暖化予測情報第9報, 2017. 3

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- 1) 中島肇, 菰田悟史, 藤井茂人, 石鍋雄一郎: 気象観測地点の観測環境調査に基づき降水量の捕捉損失を考慮した雪荷重評価に関する基礎的研究, 日本建築学会技術報告集, No. 56, pp. 35-40, 2018. 2

[学会発表] (計9件)

- 1) 菰田悟史, 藤井茂人, 石鍋雄一郎, 中島肇, 高橋徹, 千葉隆弘, 堤拓哉: 気象観測地点の観測環境調査に基づき降水量の捕捉損失を考慮した雪荷重評価に関する基礎的研究, 日本建築学会関東支部研究報告集, No.87, pp.377-380, 2017.2
- 2) 藤井茂人, 菰田悟史, 石鍋雄一郎, 中島肇: 気象観測地点の観測環境調査に基づき降水量の捕捉損失を考慮した雪荷重評価に関する基礎的研究 (その1)気象観測地点の風環境および降水量計更新履歴の調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp.81-82, 2017.7
- 3) 中島肇, 藤井茂人, 菰田悟史, 石鍋雄一郎: 気象観測地点の観測環境調査に基づき降水量の捕捉損失を考慮した雪荷重評価に関する基礎的研究 (その2)雪荷重の評価について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp.83-84, 2017.7
- 4) 村山リサ, 原聡大, 中島肇, 石鍋雄一郎: 少雪地域の雪荷重評価における降雪と気象データ

- に関する基礎的研究, 日本建築学会関東支部研究報告集, No.88, pp.393-396, 2018.3
- 5) 堤拓哉: 冬期降水量と積雪重量の比較観測 (2017-2018), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp.11-12, 2018.9
 - 6) 石鍋雄一郎, 中島肇: 少雪地域の雪荷重評価における降雪と気象データに関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp.13-14, 2018.9
 - 7) 高橋徹: 2018 年寒候期の大雪による建築物被害と雪荷重のリアルタイム推定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp.15-16, 2018.9
 - 8) 高橋徹: 2018 年寒候期の大雪による建築物被害と降水量計を用いた荷重推定—捕捉率の補正のケーススタディー, 雪氷研究大会(2018.札幌)講演要旨集, pp.53, 2018.9
 - 9) 堤拓哉: 冬期降水量と積雪重量の比較観測, 雪氷研究大会(2018.札幌)講演要旨集, pp.242, 2018.9

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 高橋 徹
ローマ字氏名: TAKAHASHI Toru
所属研究機関名: 千葉大学
部局名: 大学院工学研究科
職名: 教授
研究者番号 (8 桁): 10226855

研究分担者氏名: 千葉 隆弘
ローマ字氏名: CHIBA Takahiro
所属研究機関名: 北海道科学大学
部局名: 工学部
職名: 教授
研究者番号 (8 桁): 40423983

研究分担者氏名: 中島 肇
ローマ字氏名: NAKAJIMA Hajime
所属研究機関名: 日本大学
部局名: 理工学部
職名: 教授
研究者番号 (8 桁): 50754735

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。