

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560649

研究課題名(和文)尿分離による資源循環・低エミッション型排水処理システムの構築

研究課題名(英文) Establishment of resources recycling and low emission type waste water treatment system by urine diversion

研究代表者

中川 直子(nakagawa, naoko)

首都大学東京・都市環境科学研究科・准教授

研究者番号：70452034

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、水環境への汚濁負荷排出削減、水消費量削減、エネルギー消費量削減を図るため、尿分離による資源循環・低エミッション型排水処理システムを構築した。具体的には、水消費量、電力消費量を大幅に削減しつつ使用感は従来の水洗トイレと変わらない尿分離型トイレを開発した。開発途中で新たに考案した方式については、2件の特許出願を行った。さらにこの尿分離型トイレを我が国のサービスエリア・パーキングエリアに設置するため、各サービスエリアの施設調査を行い、データを収集し、本システムを導入した場合に、水消費量、エネルギー消費量、および水環境への汚濁負荷削減がどの程度になるか、精緻なシミュレーションを行った。

研究成果の概要(英文)：In this study, the resources recycling and low emission type waste water treatment system by urine diversion was developed to reduce the water consumption, the energy consumption, and the pollution load to the water environment. The super water-saving toilets, such as water-recycling urine-diverting toilets and water-recycling urinals were developed. Two patents were applied regarding these newly developed toilets. Then the environmental load reduction by the replacement of conventional toilets with the newly developed super water-saving toilets at highway service areas in Japan was examined. The results obtained show that the environmental load from the service areas would be reduced greatly by introducing the newly developed super water-saving toilets.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：資源循環 環境低負荷型トイレ 尿分離 低エミッション 排水処理 高速道路サービスエリア 環境  
負荷削減 水消費量削減

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 現在、日本においては、下水道普及率は70%近くに達し、合併浄化槽の普及も合わせると、ほぼ9割の生活排水がいずれかのシステムによって処理されており、さらにその率は今後上がることが見込まれている。しかし、下水道整備地域において、高度処理化(窒素、リンの処理)は喫緊の課題となっているが、大都市域の下水道は雨水合流処理型のものが多く、降雨時における汚濁対策(合流改善対策)が進められているものの、高度処理化は単に予算が嵩むだけでなく、下水処理場の増設に必要な敷地の確保が困難、という問題も抱えている。また、普及が進んでいるBOD型浄化槽は、BOD負荷については90%除去するとしているものの、窒素・リンについては除去能力が充分でなく、水環境保全のためには、同様に改善が必要である。

(2) これまで生活排水を発生源で処理をして水循環の健全化を図ろうとする研究は、科学技術振興機構のクレスト研究「持続可能なサニテーションシステムの開発と水循環系への導入に関する研究(代表者:船水尚行 平成14年~19年)」で行われた。これは、尿尿処理として水を使わないコンポスト型トイレを用いて水循環系から分離し、生活排水の中で、汚濁負荷の大きい尿尿と、それほど大きくはない雑排水とを分離して処理することで、生活系排水の汚濁負荷を削減するというコンセプトである。このプロジェクトと並行して、大学発ベンチャー創出推進事業「家庭用有機物資源化排水装置(代表者:石崎勝義 平成15年~16年)」では、地下水汚染が問題となっている沖縄県宮古島の個人住宅に尿尿処理としてコンポスト型トイレを、その他の雑排水処理として人工湿地と浄化池から構成される雑排水処理装置を設置し実証実験を行った。しかしながら、従来用いていたコンポスト型トイレは、水循環系から分離されており尿尿の汚濁負荷を水環境に排出しないという利点はあるものの、尿尿中の尿を蒸発させるために容積のダウンサイジングが出来ず、処理槽内のおがくずを攪拌するために消費電力が約4kwh/日(容積が250Lの場合)と高いという欠点があった。

(3) 高速道路におけるサービスエリア・パーキングエリア(以下SA・PA)は、「駐車場」「トイレ」「電話」「園地(休憩スペース)」を基本施設として、またこれらに付帯する形で「飲食施設」「物販施設」等が整備されており、大多数の国民が使用することから、快適・清潔・安全であり、かつ環境に負荷を与えないことが要求されている。関東・新潟・東北・北海道におけるNEXCO東日本の約300ヶ所のSA・PAでは、近年

多様な水回り改善が進められ、これらの施設の快適性は高い水準で維持されており、利用者の評価も高い。しかし、24時間稼働していると同時に設備規模が大きいことから、水消費量、電力消費量およびこれらに伴うコストが膨大であることが問題となっている。商業施設を除けば、各SA・PAで水消費量が大きいのはトイレ施設である。トイレ排水を処理するためにかかる電力消費量も大きいという問題点があった。

### 2. 研究の目的

(1) 分離した尿を液肥として循環利用する、資源循環・低エミッション型排水処理システムを構築することを目的とし、その要となる水消費量、エネルギー消費量を極限までおさえたトイレを開発する。

(2) 洗浄水循環型尿分離トイレと洗浄水循環型男子用小便器を試作し、それらを実際に高速道路のサービスエリア、パーキングエリアに導入した場合、どの程度、水消費量、消費電力、そして汚濁負荷(BOD、COD、T-N、T-P)排出量が削減されるのかをシミュレーションする。

### 3. 研究の方法

(1) 開発中の洗浄水循環型尿分離大便器及び洗浄水循環型男子用小便器を設計、試作し、試用し、さらに改良を加える。

(2) 尿分離を行う際に尿管に尿石が付いて詰まりを起こす問題を解決するため、尿石防止剤を循環洗浄水に混ぜて稼働させる実験(循環水の塩素濃度を約1ppm程度に保持しているか否かの確認も含める)を行った。

(3) 高速道路サービスエリア、パーキングエリアのエネルギーや水道水消費状況に関して、数ヶ所のサービスエリア、パーキングエリアにおけるエネルギー、水道水消費の経年推移、年間の変動を把握する。さらに、汚水処理施設(浄化槽)の設計図書、汚水処理実績、美野里PA浄化槽施設の構造と処理性能を把握する。各SA、PAのし尿の排出量、雑排水と併せた汚水の排出量、及び排出汚濁負荷量の年間の変動パターンも把握する。

(4) 本システムを導入した場合の水消費量、エネルギー消費量、および汚濁負荷の削減をシミュレートするために、LCA(ライフサイクルアセスメント)も行い、既存のシステムと提案している環境低負荷型システムとで、製造過程から廃棄に至るまでどれだけの環境負荷排出をしているかの比較も行い、本システムを多面的に評価する。このようにして費用対効果が大きく持続可能な資源循環・低エミッション型排水処理システムの構築をす

る。

#### 4. 研究成果

(1) 実験や試行錯誤を繰り返しながら、一回の廃棄水量を0.6(L/回)まで削減し、消費電力3.3W(待機中)45.3W(洗浄時)まで絞り、かつ使用感のよい洗浄水循環型尿分離トイレを開発した。また、洗浄水循環型男子用小便器は廃棄水量0.25(L/回)、消費電力3.3W(待機中)10W(洗浄時)である。この二つの便器については特許申請を行っている。

(2) 尿石防止剤を循環洗浄水に混ぜて稼働させる実験の結果に関しては、残留塩素値は非常に安定していた。但し、尿量が一定になると中止していたので毎日の使用人数は15人以下であった。尿石防止剤の消費に関しては2ヶ月ほど水中でも保つことが判った。しかし使用頻度をもっと上げ、多人数使用に対応する塩素剤の置き方の研究を要する。尿分離に関しては、2ヶ月間使用して循環洗浄水に尿の流入した気配はなく、管路附着尿でわずかな色が見える程度で臭気は全くなかった。塩素臭もなかった。実験後の分岐部の尿石附着もなく、弁パッキングや作動部にも尿石の附着は全く見られず、パッキングの変形変色も無かった。以上の結果より、特願2011-156109「尿分離洗浄水循環システム」が出願文の技術効果を十分に果たすことが実証された。

(3) 高速道路のSA・PAの水回り改善の一環として、環境低負荷型トイレを導入した場合の環境性や経済性を、規模や処理方法の異なる3箇所のSA・PAにおいて評価した。3つのシナリオを設定し、エネルギー負荷およびコスト計算には、LCA手法も用いて、運用部分のみならず、環境低負荷型トイレを導入する際にかかるエネルギーやコストも考慮し検討を行った。その結果、従来のトイレを環境低負荷型トイレに置き換えることで、図-1,2に示すように従来システムと比較して、汚濁負荷排出量、水消費量、エネルギー消費量が大きく削減され、環境負荷削減に大きな効果を得られることが示された。特に大、小便器共に尿分離トイレである尿分離システムを、下水道処理による汚水処理をしている大規模SAに導入する場合は、図-3,4に示すように新たに敷設される尿タンクの製造や設置、輸送などにかかる負荷を考慮しても、エネルギーやコストの導入負荷は3年以内という比較的短期間で回収できることがわかり、尿分離システムの有用性が示された。

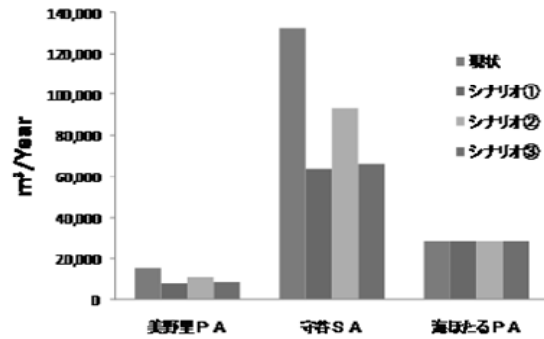


図-1 上水量の変化

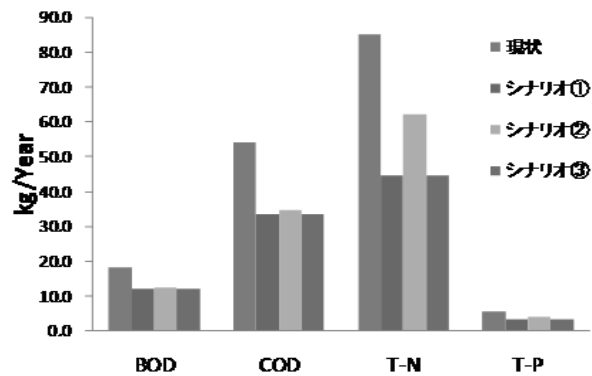


図-2 汚濁負荷排出量の変化

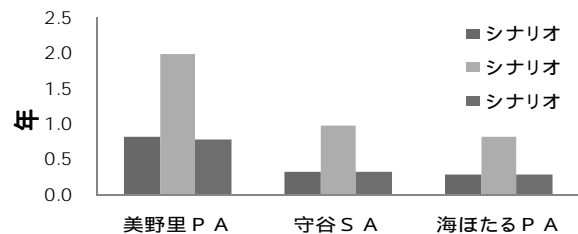


図-3 本システムの導入エネルギー回収に要する年数

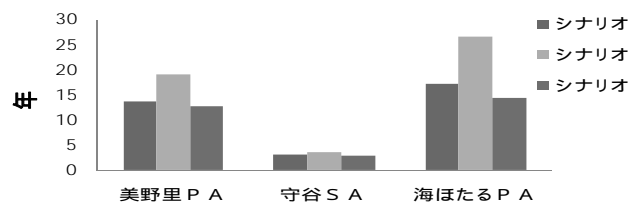


図-4 本システムの導入コスト回収に要する年数

#### 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 12 件)

1. 中川直子・河村 明・天口英雄・湯浅信平 都市河川流域を対象とした地震豪雨複合災害時における病原感染リスク評価手法の提案, 土木学会論文集 B1(水工学),

- Vol.70, No.4, pp. I\_907-I\_912, 2014. 査読有  
<https://www.jsce.or.jp/collection/index.htm>  
 1
2. Nguyen, T.T., Kawamura, A., Tong, T.N., Nakagawa, N., Amaguchi, H. and Gilbuena, R.L., „Spatial classification of groundwater chemistry monitoring data in the Red River Delta, Vietnam using self-organizing maps., *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser.B1 (Hydraulic Engineering)*, Vol.70, No.4, pp.I\_241-I\_246, 2014. 査読有  
<https://www.jsce.or.jp/collection/index.htm>  
 1
  3. Gilbuena, R.L., Kawamura, A., Medina, R.R., Amaguchi, H., Nakagawa, N. and Bui, D. D., „Environmental impact assessment of structural flood mitigation measures by a rapid impact assessment matrix (RIAM) technique: A case study in Metro Manila, Philippines. *Science of the Total Environment*, No.456-457, pp.137-147, 2013. 査読有  
<http://www.journals.elsevier.com/science-of-the-total-environment/>
  4. 天口英雄・河村 明・中川直子, 震災時の雨水・下水道管路被害を想定した浸水リスク評価, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.69, No.4, pp. I\_1609-I\_1614, 2013. 査読有  
<https://www.jsce.or.jp/collection/index.htm>  
 1
  5. 田内裕人・天口英雄・河村 明・中川直子, 1/2500 地形図標準データファイルを用いた高度な地物データ GIS の自動構築に関する研究, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.69, No.4, pp. I\_523-I\_528.2013. 査読有  
<https://www.jsce.or.jp/collection/index.htm>  
 1
  6. Gilbuena, R.L.L., Kawamura, A., Medina, R.R., Amaguchi, H. and Nakagawa, N. Gap analysis of the flood management system in Metro Manila, Philippines: a case study of the aftermath of Typhoon Ondoy. *IAHS Publication*, No.357, pp.32-40, 2013. 査読有  
<http://iahs.info/Publications-News.do>
  7. Gilbuena, R.L., Kawamura, A., Medina, R.R., Amaguchi, H. and Nakagawa, N., Environmental assessment of flood mitigation structures in metro manila, Philippines using the rapid impact assessment matrix (RIAM) technique, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser.B1 (Hydraulic Engineering)*, Vol.69, No.4, pp.I\_7-I\_12, 2013. 査読有  
<https://www.jsce.or.jp/collection/index.htm>  
 1
  8. Bui, D., D., Kawamura, A., Tong, T., N., Amaguchi, H. and Nakagawa, N., Spatio-temporal analysis of recent groundwater-level trends in the Red River Delta, Vietnam., *Hydrogeology Journal*, Vol.20, Issue 8, pp.1635-1650, 2012. 査読有  
<http://www.springer.com/earth+sciences+and+geography/hydrogeology/journal/10040>
  9. 中川直子・河村 明・天口英雄, 高速道路サービスエリアの水回り改善による環境負荷削減, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.68, No.4, pp. I\_1447-I\_1452, 2012. 査読有  
<https://www.jsce.or.jp/collection/index.html>
  10. Gilbuena, R.L., Kawamura, A., Medina, R.R., Amaguchi, H. and Nakagawa, N., „Multi-criteria gap analysis of flood disaster risk reduction management in Metro Manila, Philippines. *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser.B1 (Hydraulic Engineering)*, Vol.68, No.4, pp.I\_109-I\_114, 2012. 査読有  
<https://www.jsce.or.jp/collection/index.html>
  11. Jin, Y.-H., Kawamura, A., Park, S.-C., Nakagawa, N., Amaguchi, H. and Olsson, J. Spatiotemporal classification of environmental monitoring data in the Yeongsan River basin, Korea, using self-organizing maps. *Journal of Environmental Monitoring*, No.13, pp.2886-2894,2011. 査読有  
<http://pubs.rsc.org/en/journals/journalissues/em?issueid=em014011&issnprint=1464-0325#lissueid=em014011&type=archive&issnprint=1464-0325>
  12. Bui, D.D., Kawamura, A., Tong, T.N., Amaguchi, H., Nakagawa, N. and Iseri, Y., Identification of aquifer system in the whole Red River Delta, Vietnam. *Geosciences Journal*, Vol.15, No.3, pp.323-338, 2011. 査読有  
<http://www.springer.com/earth+sciences+and+geography/journal/12303>
- 〔学会発表〕(計 38 件)
1. Nakagawa, N., Kawamura, A. and Amaguchi, H. (26 February 2014) Environmental load reduction by introduction of super water-saving toilets at highway service areas in Japan., *Proc. of the 35th Hydrology and Water Resources Symposium*, Perth, Australia, pp. 597-604.
  2. Nguyen, T.T., Kawamura, A., Tong, T.N., Amaguchi, H. and Nakagawa, N. (16 November 2013) Hydrogeochemical characteristics of groundwater in Hanoi, Vietnam..*Proc. of the AAA+ (Answers to Asian Aquatic Problems) International Symposium*, pp.19-27. Tokyo, Japan.
  3. Nguyen, T.T., Kawamura, A., Tong, T.N.,

- Nakagawa, N. and Amaguchi, H. (28 August 2013) Decadal change in the hydrogeochemical facies of Groundwater during dry and rainy seasons in Hanoi, Vietnam. *Proc. of the The Thrid International MAHASRI/HyARC Workshop on Asian Monsoon and Water Cycle*, pp.97-107. Danang, Vietnam.
4. Nguyen, T.T., Kawamura, A., Nakagawa, N., Amaguchi, H. and Gilbuena, R.L. (4 June 2013) ,Temporal changes in the hydrochemical facies of groundwater in two main aquifers in Hanoi, Vietnam., *Proc. of the 6th International Conference on Water Resources and Environment Research*, Koblenz, Germany, pp.374-387.
  5. Gilbuena, R.L., Kawamura, A., Medina, R.R., Nakagawa, N. and Amaguchi H. (4 June 2013) Environmental impact assessment of structural flood mitigation measures in Metro Manila, Philippines using an analytical evidential reasoning approach. *Proc. of the 6th International Conference on Water Resources and Environment Research*, Koblenz, Germany, pp.195-210.
  6. Gilbuena, R.L., Kawamura, A., Medina, R.R., Amaguchi, H. and Nakagawa, N. (5 November 2012) Assessment of management gaps in the flood mitigation and flood preparedness strategies in Metro Manila, philippines. *Proc. of the 2nd International Conference on Water Resources (IHP-VII Technical Documents in Hydrology No.7)*, Langkawi, Malaysia, ID:189.
  7. Amaguchi, H., Kawamura, A. and Nakagawa, N. (5 November 2012) Storm runoff analysis in the upper Kanda catchment by the Tokyo storm runoff model. *Proc. of the 2nd International Conference on Water Resources (IHP-VII Technical Documents in Hydrology No.7)*, Langkawi, Malaysia, ID:175.
  8. Nakagawa, N., Kawamura, A. and Amaguchi, H. (5 November 2012) A fundamental study of an infection risk caused by the compound disaster of a great earthquake and flood in metropolitan areas., *Proc. of the 2nd International Conference on Water Resources (IHP-VII Technical Documents in Hydrology No.7)*, Langkawi, Malaysia, ID:146.
  9. Nguyen, T.T., Kawamura, A., Vu, M.C., Bui, D.D., Amaguchi, H. and Nakagawa, N. (24 May 2012), Interactions between the surface water and groundwater of the Red River in Hanoi, Vietnam., *Proc. of the World Environmental and Water Resources Congress 2012*, ASCE, pp.98-109. Albuquerque,U.S.A.
  10. Nakagawa, N., Kawamura, A. and Amaguchi, H. (23 May 2012) Energy and cost benefit evaluation of a urine diversion system –A Case Study at Highway Service Areas in Japan.,*Proc. of the World Environmental and Water Resources Congress 2012*, ASCE, pp.2795-2802. Albuquerque,U.S.A.
  11. Gilbuena, R.L., Kawamura, A., Medina, R.R., Nakagawa, N. and Amaguchi H. (23 May 2012) Water quality assessment during river channel alteration for flood mitigation in Metro Manila, Philippines. *Proc. of the World Environmental and Water Resources Congress 2012*, ASCE, pp.580-591. Albuquerque,U.S.A.
  12. Kawamura, A., Bui, D.D., Amaguchi, H. and Nakagawa, N. (2 December 2011), Trend detection in groundwater levels in Hanoi, Vietnam by the Mann-Kendall test. , *Proc. of the International Symposium on Southeast Asian Water Environment, Vol.9 (Part1)*, Bangkok, Thailand, pp.255-262.
  13. Nakagawa, N., Kawamura, A. and Amaguchi, H. (2 December 2011), Environmental assessment of a urine diversion system concerning environmental load reduction at highway service areas in Japan.,*Proc. of the International Symposium on Southeast Asian Water Environment, Vol.9 (Part1)*, Bangkok, Thailand, pp.73-80.
  14. Nakagawa, N., Kawamura, A. and Amaguchi, H. (27 October 2011), Life cycle assessment of a urine diversion system at highway service area in Japan., *Proc. of the IHP Symposium on Extreme Events "Meteorological Hydrological and Tsunami Disasters: Social Adaptation and Future"*, Kyoto, Japan, pp.103-108.
  15. Gilbuena, R.L., Kawamura, A., Medina, R.R., Nakagawa, N. and Amaguchi, H. (26 October 2011), Assessment of the flood forecasting and warning systems in Metro Manila, Philippines., *Proc. of the IHP Symposium on Extreme Events "Meteorological Hydrological and Tsunami Disasters: Social Adaptation and Future"*, Kyoto, Japan, pp.72-79.
  16. Amaguchi, H., Kawamura, A., Olsson, J. and Nakagawa, N. (26 October 2011) Impacts for climate change in urban storm runoff in Arvika, Sweden., *Proc. of the IHP Symposium on Extreme Events "Meteorological Hydrological and Tsunami Disasters: Social Adaptation and Future"*, Kyoto, Japan, pp.57-65.
  17. Bui, D.D., Kawamura, A., Tong, T.N., Amaguchi, H. and Nakagawa, N. (23 August

2011) ,Trend analysis of groundwater levels of Holocene unconfined aquifer in the whole Red River Delta, Vietnam. , *Proc. of the The Second International MAHASRI/HyARC Workshop on Asian Monsoon and Water Cycle*, pp.333-342.Danang,Vietnum.

18. Nakagawa, N., Kawamura, A. and Amaguchi, H. (25 May 2011), Environmental Assessment concerning Environmental Load Reduction at Highway Service Areas in Japan by Introducing Low Environmental Load Toilets, *Proc. of the World Environmental and Water Resources Congress 2011*, ASCE, pp.3529-3538, Palmsprings,U.S.A.
19. Kawamura, A., Bui, D.D., Tong, T.N., Amaguchi, H. and Nakagawa, N. (24 May 2011) , Trend Detection in Groundwater Levels of Holocene Unconfined Aquifer in Hanoi, Vietnam by Non-Parametric Approaches., *Proc. of the World Environmental and Water Resources Congress 2011*, ASCE, pp.914-923. Palmsprings,U.S.A.
20. Bui, D.D., Kawamura, A., Tong, T.N., Amaguchi, H. and Nakagawa, N. (24 May 2011), Spatial decline distribution of groundwater levels of confined aquifer in the whole Red River Delta, Vietnam., *Proc. of the World Environmental and Water Resources Congress 2011*, ASCE, pp.823-832. Palmsprings,U.S.A.

〔図書〕(計 2 件)

1. 中川直子, 河村明 : 共著,資源循環型トイレへの軌跡 - (株)リンフォース工業を例として - ,ブックウェイ, 2014 年 3 月, 45.
2. 中川直子, 河村明, 石崎勝義 : 蓋を開けたら ,CAT 出版, Peter Harper & Louise Halestrap 著, 共訳, 2012 年 2 月, 133,

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 2 件)

1. 名称 : 自己選択型尿分離洗浄水循環システム  
発明者 : 中台光雄, 中川直子, 河村明, 赤野勝, 高木孝, 生駒伸久  
権利者 : 同上  
種類 : 特許  
番号 : 特許願 2013-037884  
出願年月日 : 2013 年 2 月 8 日  
国内外の別 : 国内
2. 名称 : 尿分離洗浄水循環システム  
発明者 : 中台光雄, 中川直子, 河村明, 赤野勝義, 高木孝, 生駒伸久

権利者 : 同上

種類 : 特許

番号 : 特許願 2011-156109

出願年月日 : 2011 年 6 月 28 日

国内外の別 : 国内

6 . 研究組織

(1)研究代表者

中川 直子 (NAKAGAWA NAOKO)

首都大学東京・都市環境科学研究科・特任准教授

研究者番号 : 70452034

(2)研究分担者

河村 明 (KAWAMURA AKIRA)

首都大学東京・都市環境科学研究科・教授

研究者番号 : 10177735

天口 英雄 (AMAGUCHI HIDEO)

首都大学東京・都市環境科学研究科・助教

研究者番号 : 40326012