

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420582

研究課題名(和文) インドネシア主要都市で急成長する中間層を対象とした集合住宅のパッシブクーリング

研究課題名(英文) Passive Cooling Techniques for Middle-Class Apartments Rapidly Growing in Major Cities of Indonesia

研究代表者

久保田 徹 (Kubota, Tetsu)

広島大学・国際協力研究科・准教授

研究者番号：80549741

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：インドネシア主要都市における中間層向け集合住宅のパッシブクーリング手法を開発した。まず、既存集合住宅の室内熱環境を把握した。3タイプの集合住宅を同一条件下で比較したところ、無居住の場合、新型・公共集合住宅と民間集合住宅よりも、熱容量が大きくバルコニーの設置された旧型・公共集合住宅の方が日中の室温は低温であった。一方、寝室においてエアコンを使用する前提で、その冷房負荷を低減する方法を検討した。その結果、天井高を抑え気積を小さくし、さらに壁の内側に断熱材を施すことで、最大45%の冷房負荷削減が可能となった。さらに、導入技術の最適な組み合わせを求め、最終的に総合的なパッシブクーリング手法を提案した。

研究成果の概要(英文)：This study developed passive cooling techniques for middle-class apartments in major cities of Indonesia. First, we investigated the current conditions of their indoor thermal environments. For example, air temperatures in the old public apartments, which had the high thermal capacity and a balcony, were found to be lower compared with those in new public and private apartments, under the unoccupied conditions. Second, given an air-conditioning is used in a bedroom, we examined the means to reduce the cooling loads in the room. The result showed that the cooling load was reduced by 45% when the room volume was reduced and the inner walls were insulated. Furthermore, optimum combinations of passive cooling techniques were determined and the comprehensive passive cooling techniques were then proposed.

研究分野：建築・都市環境工学

キーワード：パッシブクーリング 省エネルギー 高温多湿気候 東南アジア 熱的快適性 インドネシア 国際研究者交流 自然換気

### 1. 研究開始当初の背景

インドネシアは特に近年において高い経済成長を遂げ、膨大な人口を抱える低所得層が今まさに中間層へと移行している状況にある。世界銀行の推計によれば、中間層の総人口比は 03 年には 38%であったが、10 年には 57%に達した。2 億人を越える同国の人口規模を考えると、こうした主要都市の中間層の成長を持続可能なものへと導いていくことは極めて重要といえる。

同国主要都市の殆どは一年を通じて高温多湿であるため、近年ではオフィスのみならず住宅にもエアコンが普及し始めており、こうした冷房用エネルギー消費を効率的に抑えることは喫緊の課題といえる。今後、インドネシアの主要都市では、一層の過密化によって特に集合住宅の建設が推進されると考えられるが、熱帯地域における集合住宅内の熱環境を調査した研究で、新興・途上国を対象とした例は非常に少ない。

### 2. 研究の目的

(1)インドネシア主要都市において既存集合住宅を対象とした熱環境に関する実測とシミュレーションを実施し、それらの結果から、同国において急成長する中間層を対象とした集合住宅のパッシブクーリング手法を開発する。

(2)インドネシアには約 3 世紀に渡るオランダ統治の歴史がある。そこで、その時代に建設されたコロニアル建築においても同様の実測を行い、そこに培われた土着的パッシブクーリング手法を見出し、それらを現代集合住宅に応用する。

### 3. 研究の方法

研究全体は以下の3つのサブテーマによって構成した(図1)。既に共同研究の実績がある 4 名の現地研究者との連携の下に実施した。

#### (1)既存集合住宅の熱環境に関する実測(対象:スラバヤ)

インドネシアの集合住宅は、施工年と管理形態から、大きく、旧型・公共集合住宅、新型・公共集合住宅、民間集合住宅の3種に分類できる。ここでは、カテゴリー別に代表的集合住宅団地 2 地区、計 6 地区を選出し熱環境に関する実測を行った(2014 年 8~10 月)。

① まず、集中実測では、カテゴリー別に代表的な 1 棟の集合住宅を取り上げ空き家をそれぞれ 1ヶ月程度借り、居住者のいない状況で

実測を行った(図2)。夜間換気等、自然換気条件を変え実測を行うことで、その室内熱環境改善効果を考察した。

- ② また、ここでは居室だけでなく廊下などの共用空間や建物周辺も実測の対象とした。
- ③ 実測項目は、気温・湿度、グローブ温度、風速、表面温度で、さらに室温については多点で鉛直分布を求めた。
- ④ 次の簡易実測(居住者有)では、上記の 6 地区から居住階数の異なる 24 世帯を選出し、計測器を居間と主寝室に 10 日間設置した。小型データロガーを用い、気温・湿度、グローブ温度を計測した。

#### (2)コロニアル建築の熱環境に関する実測(対象:バンドン)

エアコンを使用していないこと、また、集合住宅設計に役立てられるよう比較的大規模な建物であることを条件として、バンドン市内に現存するオランダ植民地時代のコロニアル建築 2 棟を選出し熱環境に関する実測を行った(2015 年 8~10 月)(図4)。

- ① 各建物で 2 週間程度の集中実測を行った。
- ② コロニアル建築の土着的技術は、室内のみならず、建物外皮や建物周辺においても見られると予想されたので、室内だけでなくベランダ等の半屋外空間も実測の対象とした。
- ③ 実測項目は、上記(1)の集中実測と同様である。

#### (3)集合住宅のパッシブクーリング手法の開発・提案

ここでは研究の総括として、研究メンバー全員の議論によって、今後の中間層向け集合住宅のパッシブクーリング手法を提案した。

- ① 現状の問題点を踏まえ、まず「現代技術」の導入を検討し、次に、コロニアル建築で見出した「土着的技術」の導入可能性をシミュレーションによって検討した。
- ② 上記の現代技術と土着的技術を組み合わせたパッシブクーリング手法を考察した。ここでは、主寝室でのエアコン使用を認める「部分冷房」を基本要件とした。

### 4. 研究成果

#### (1)既存集合住宅の熱環境に関する実測(対象:スラバヤ)

- 実測期間中の屋外気温は 22.2~34.6℃で、平均値は 28.3℃であった。また、相対湿度は 22~86%であった。降雨はなかった(図3)。
- 無居住の場合には、熱容量の大きい旧型・公共集合住宅の室温が最も低く、昼のピークで外気温よりも 3.1~3.8℃低かった。また、居室に面するベランダによる日射遮蔽効果が大きかった。
- 一方の新型・公共集合住宅と民間集合住宅では、居室にベランダが設置されておらず、直達日射が長時間に渡って入射し、室温と放射温度を大きく上昇させた。
- また、自然換気方法に関しては、いずれの住戸とも日射の影響が大きく、特に、新型・公共集合住宅と民間集合住宅では、室温が

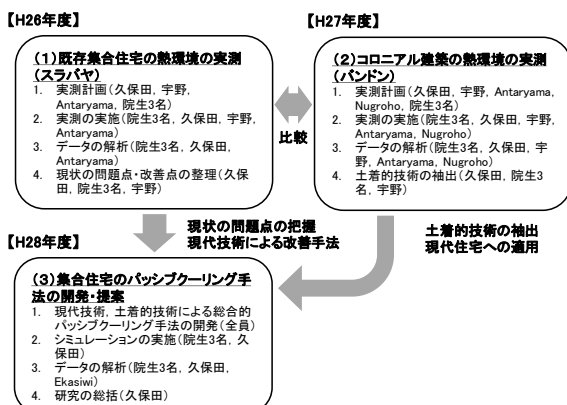


図1 研究全体のフロー

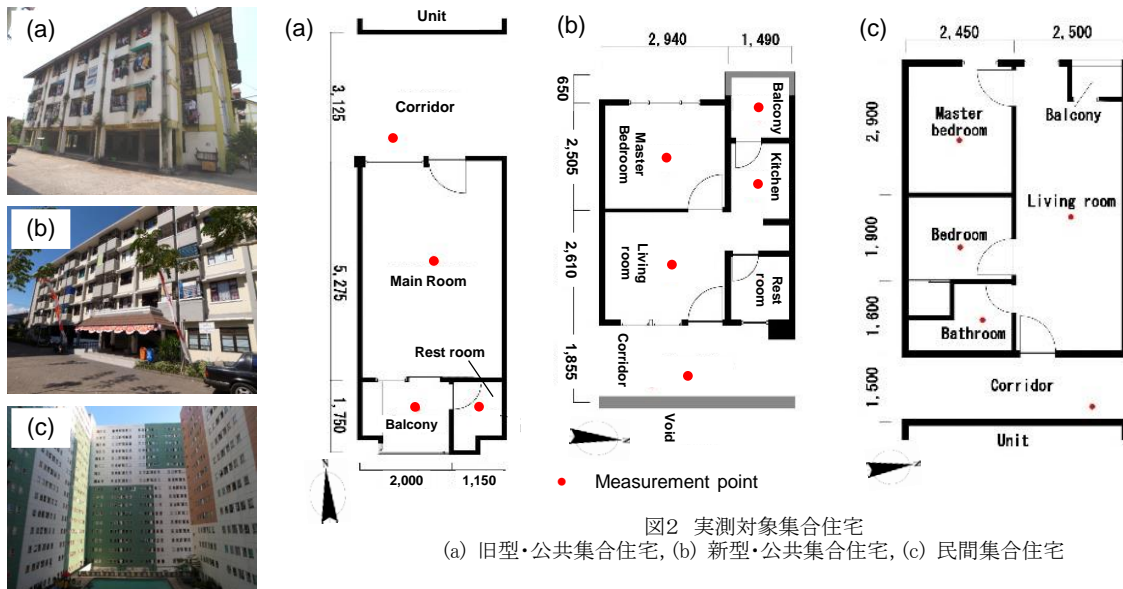


図2 実測対象集合住宅  
(a) 旧型・公共集合住宅, (b) 新型・公共集合住宅, (c) 民間集合住宅

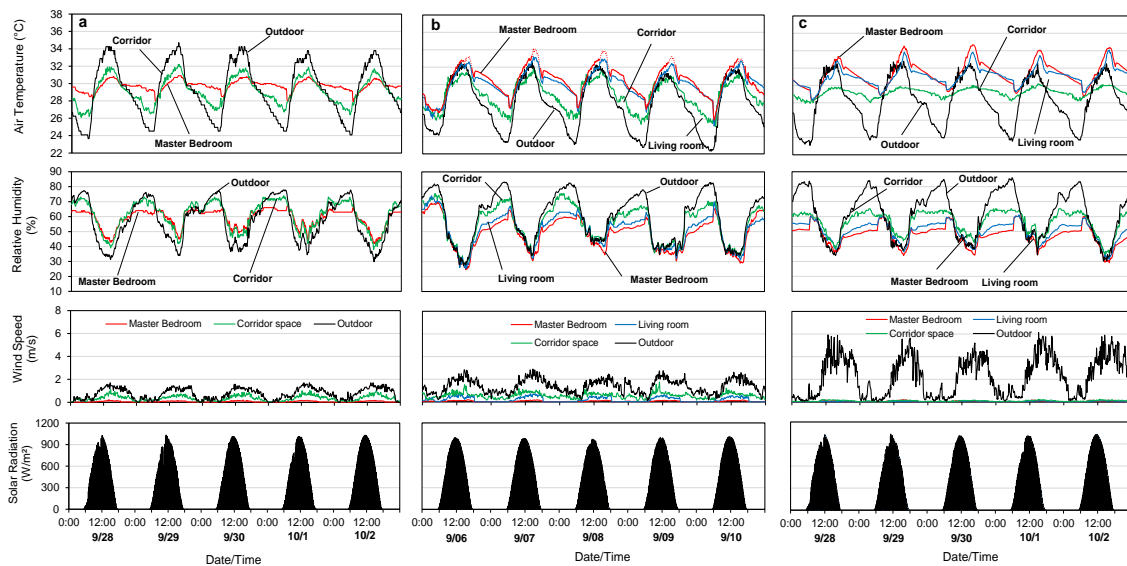


図3 スラバヤの既存集合住宅における室内熱環境の実測結果  
(a) 旧型・公共集合住宅, (b) 新型・公共集合住宅, (c) 民間集合住宅

外気温よりも高くなったので、熱的快適性について、夜間換気と終日換気による効果の違いは小さいとの結果を得た。

- 次に、実際に居住する住戸を対象とした簡易実測結果から、無居住の場合とは異なり、特に狭小の旧型・公共集合住宅の室内は、人体からの発熱により、夜間に高温となっていることが分かった。
- 新型・公共集合住宅では、建物中心に中庭（ヴォイド）が設けられ、通風において優れていたが、一方では、日中の室温を高温の外気温まで上昇させた。
- 中間層向けの民間集合住宅では、すべての対象世帯でエアコンが使用されていた。一部では、ほぼ一日中エアコンが使用され（16～24時間）、そのほかでは夜間の就寝時から昼まで使用されるケースが多かった。平均して、一日当たり12時間使用されていた。また、廊下の換気が不十分で、一日を通じて高温であった。

## (2)コロニアル建築の熱環境に関する実測(対

### 象:バンドン)

- 対象建物2棟は、バンドン市内に立地する中学校であった。実測期間中の外気温は18.2～32.8℃で、平均値は25.1℃であった。また、相対湿度は16～97%であった(図5)。
- 対象建物内の気温は、大きな熱容量のため比較的低温を保たれ、例えば、日中の室温は外気温に比して3.4～5.6℃低かった。
- 特に天井が高い(5.3～5.7m)点に特徴があり、窓を開放し自然換気をした状態でも、室内の居住レベルは比較的低温であった。
- また、建物外皮に設置された廊下の熱緩衝空間としての役割は大きく、日射遮蔽効果と断熱効果が観測された。

### (3)集合住宅のパッシブクーリング手法の提案

- 以上の知見から中間層向け集合住宅の改善案を提案した(図6)。なお、提案に際して、TRNSYS+COMISを用いた熱環境シミュレーションを行い改善効果を確認した。
- 寝室における部分冷房を基本とし、昼間と夜間で建物外皮の仕様を変えた。特に昼は風

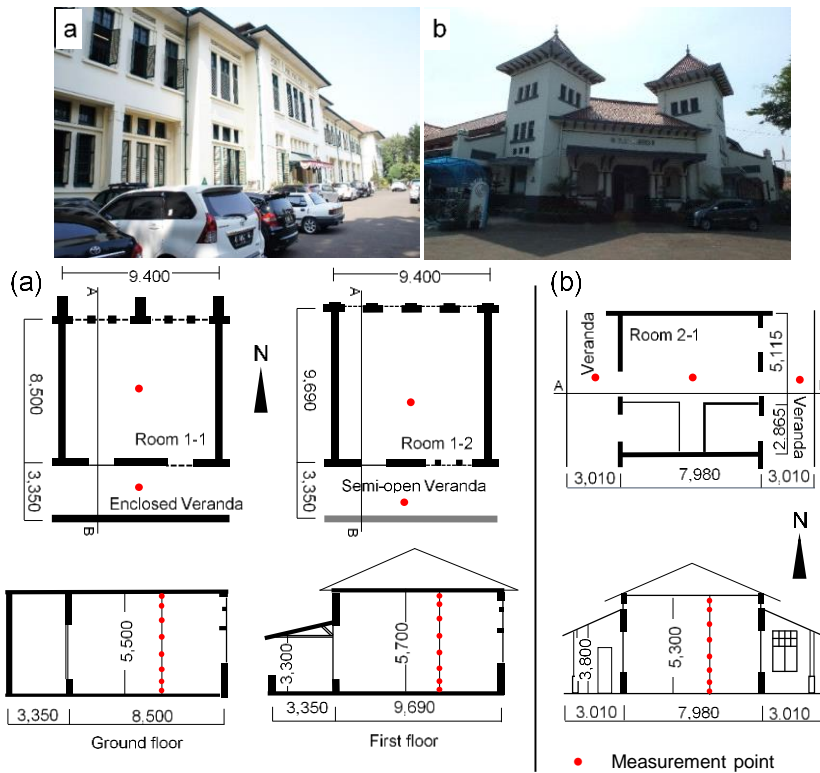


図4 実測対象コロニアル建築(バンドン)

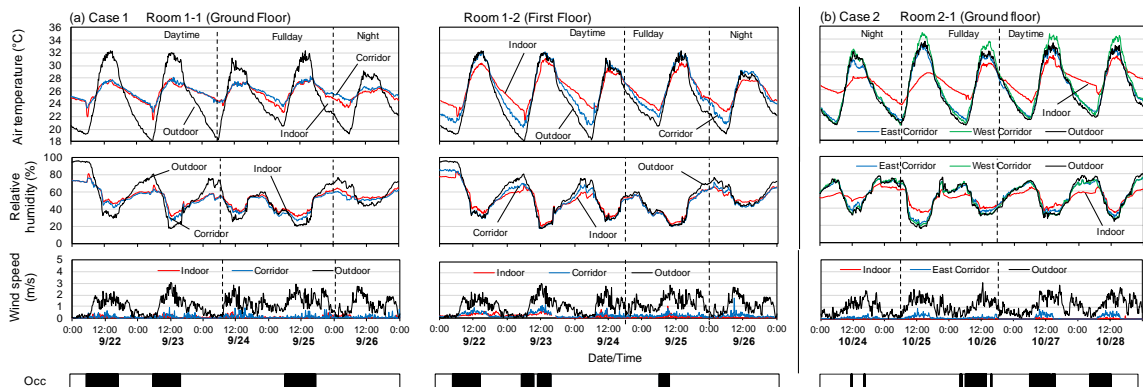


図5 バンドンのコロニアル建築における室内熱環境の実測結果

通しを重視したすまいとした。Void を設け風の流れをつくった。

- 日射遮蔽の優先順位は高い。熱帯では雲量が多く、直達日射のみならず、天空放射が大きい点に特徴がある。そこで、ベランダを配し、そこにガラリ窓を設けた。
- エアコンを使用する寝室では、出来るだけ気積を小さくし、高気密・高断熱化を図り冷房効率を高めた。断熱材を内側表面に施した。また、昼間、寝室は無居住になるが、カビ・ダニを防ぐため換気をして相対湿度を低下させた。図6のとおり、建物外皮で日射遮蔽をしながら除湿が出来れば理想的である。
- リビングでは、エアコンなしで熱的快適性を確保する。昼は、風通しを良くし、出来るだけ風速を高め、発汗・蒸発によって居住者の快適性を向上させる。換気量は大きくせず、人体に当たる風速を高める工夫を行った。
- さらに、コロニアル建築に倣い天井高を大きく取った。また、リビングの外皮には、一日の

うちで変化するような、熱帯ならではの外皮を提案する。日射を遮り、通風を確保し、さらに可能であれば居住スペースに入る前に気温を低下させる。

- 夜のリビングは無居住ながら、躯体を冷やす為に出来るだけ換気したい。ここでは、換気量を最大化し、さらに躯体近くを這わせることが重要である。

#### (4) 今後の展望

- 今後は、採択済の国際共同研究強化基金を用いて本研究を展開させ、現地研究者とインドネシア国の省エネ基準を共同策定する予定である。
- スマランに建設地を確保したので、そこに上記のアイデアをさらに深化させた4階建て集合住宅(実験住宅)を建設し実証実験を行う。その実証データに基づき、ルスマミの省エネ基準を現地研究者や日本企業との共同で開発する。研究代表者(久保田)は、合計1年間、インドネシア現地に滞在する。

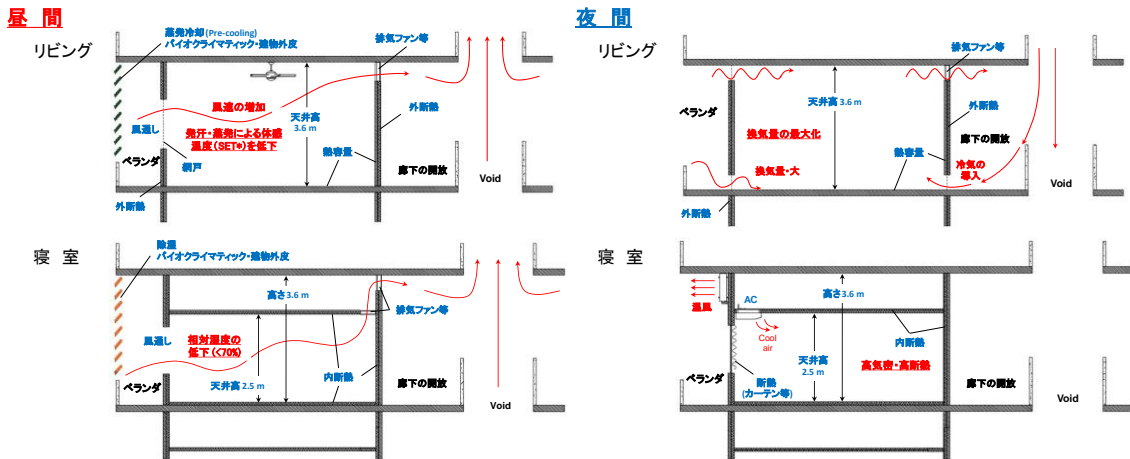


図6 インドネシア中間層向け集合住宅の改善案

## 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 17 件)

1. Kubota, T.(1 番目), ほか 5 名 (2017) Impacts of land use changes from the Hanoi Master Plan 2030 on urban islands: Part 1. Cooling effects of proposed green strategies, *Sustainable Cities and Society*, 33, pp. 295-317. (査読有) 10.1016/j.scs.2017.04.001
2. Kubota, T.(3 番目), ほか 4 名 (2017) Impacts of land use changes from the Hanoi Master Plan 2030 on urban islands: Part 2. Influence of global warming, *Sustainable Cities and Society*, 31, pp. 95-108. (査読有) 10.1016/j.scs.2017.02.015
3. Kubota, T.(1 番目), ほか 3 名 (2017) Thermal functions of internal courtyards of traditional Chinese shophouses in the hot-humid climate of Malaysia, *Building and Environment*, 112, pp. 115-131. (査読有) 10.1016/j.buildenv.2016.11.005
4. Kubota, T.(3 番目), ほか 2 名 (2017) Evaluation of current material stock and future demolition waste for urban residential buildings in Jakarta and Bandung, Indonesia: Embodied energy and CO<sub>2</sub> emission analysis, *J. of Material Cycles and Waste Management*, 19(2), pp. 657-675. (査読有) 10.1007/s10163-015-0460-1
5. Kubota, T.(2 番目), ほか 2 名 (2016) Life cycle assessment of energy and CO<sub>2</sub> emissions for residential buildings in Jakarta, Indonesia, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 128, pp.1-8. (査読有) 10.1088/1757-899X/128/1/012002
6. Kubota, T.(3 番目), Uno, T.(5 番目), ほか 5 名 (2015) Field investigation of indoor thermal environments in apartments of Surabaya, Indonesia: Potential passive cooling strategies for middle-class apartments, *Energy Procedia*, 78, pp.2947-2952. (査読有) 10.1016/j.egypro.2015.11.674
7. Kubota, T.(2 番目), ほか 2 名 (2015) Life cycle assessment of energy and CO<sub>2</sub> emissions

- for residential buildings in Jakarta and Bandung, Indonesia, *Buildings* 2015, 5(4), pp.1131-1155. (査読有) 10.3390/buildings5041131
8. Kubota, T.(3 番目), Uno, T.(5 番目), ほか 5 名 (2015) Thermal comfort in naturally ventilated apartments in Surabaya, Indonesia, *Procedia Engineering*, 121, pp.459-467.(査読有) 10.1016/j.proeng.2015.08.1093
  9. Kubota, T.(2 番目), ほか 2 名 (2015) The effects of courtyards on indoor thermal conditions of Chinese shophouse in Malacca, *Procedia Engineering*, 121, pp.468-476.(査読有) 10.1016/j.proeng.2015.08.1094
  10. Kubota, T.(3 番目), ほか 3 名 (2015) Configuration of green spaces for urban heat island mitigation and future building energy conservation in Hanoi Master Plan 2030, *Buildings* 2015, 5(3), pp.933-947. (査読有) 10.3390/buildings5030933
  11. Kubota, T.(3 番目), ほか 3 名 (2015) Effectiveness of energy-saving renovation techniques through passive cooling for urban houses in hot-humid climate of Malaysia, *J. of Environmental Engineering (Transactions of AIJ)*, 80(714), pp.673-683. (査読有) 10.3130/aije.80.673
  12. Kubota, T.(1 番目), ほか 1 名 (2015) Application of passive cooling techniques in vernacular houses to modern urban houses: A case study of Malaysia, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 179, pp.29-39. (査読有) 10.1016/j.sbspro.2015.02.408
  13. Kubota, T.(2 番目), ほか 4 名 (2015) Factors affecting quality of life among residents in major cities of Indonesia, *J. of Environmental Engineering (Transactions of AIJ)*, 80(711), pp.471-480. (査読有) 10.3130/aije.80.471
  14. Kubota, T.(2 番目), ほか 1 名 (2015) Comparative assessment of vernacular passive cooling techniques for improving indoor thermal comfort of modern terraced houses in hot-humid climate of Malaysia, *Solar Energy*, 114, pp.229-258. (査読有)

10.1016/j.solener.2015.01.035

15. Kubota, T. (2 番目), ほか 2 名 (2015) Impact of urban heat island under the Hanoi Master Plan 2030 on cooling loads in residential buildings, *Int'l J. of Built Environment and Sustainability*, 2(1), pp.48-61. (査読有)

10.11113/ijbes.v2.n1.56

16. Kubota, T. (2 番目), ほか 1 名 (2014) Environmental design consideration for courtyards in residential buildings in hot-humid climates: A review, *International J. of Built Environment and Sustainability*, 1(1), pp.45-51. (査読有) 10.11113/ijbes.v1.n1.7

17. Kubota, T. (2 番目), Uno, T. (6 番目), ほか 4 名 (2014) A field survey of window-opening behavior and thermal conditions in apartments of Surabaya, Indonesia, *Intercultural Understanding*, Vol. 4, pp.17-25. (査読有)

[http://www.mukogawa-u.ac.jp/~itcs/publications/IU\\_vol4/pdf/IU\\_vol.4\\_1-2\\_article.pdf](http://www.mukogawa-u.ac.jp/~itcs/publications/IU_vol4/pdf/IU_vol.4_1-2_article.pdf)

〔学会発表〕 (計 62 件)

1. Alfata, M.N.F., Kubota, T., Wibowo, A.S. (2017) The effects of veranda space on indoor thermal environments in Dutch colonial buildings in Bandung, Indonesia, *Proceedings of International Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA 2017)*, Edinburgh, U.K., 3-5 July. (査読有)

2. Alfata, M.N.F., Hirose, T., Kubota, T. (2016) Field investigation on indoor thermal environments on Dutch colonial buildings in Bandung, Indonesia, *Proceedings of the 11th International Symposium on Architectural Interchange in Asia*, Tohoku, Japan, 20-23 Sep. (査読無)

3. Mori, H., Shigekane, H., Kubota, T., Arethusia, M.T. (2015) Factors influencing window-opening behavior in urban residential buildings of hot-humid Southeast Asia, *Proceedings of the Int'l Joint-Conf., SENVAR-iNTA-AVAN 2015*, Johor Bahru, Malaysia, 24-26 Nov. (査読有)

〔図書〕 (計 1 件)

1. Kubota, T., Rijal, H.B., Takaguchi, H. (Eds) (2018) *Sustainable Houses and Living in the Hot-Humid Climates of Asia*, Springer. (印刷中)

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

久保田 徹 (KUBOTA TETSU)

広島大学・国際協力研究科・准教授

研究者番号 : 80549741

(2) 研究分担者

宇野 朋子 (UNO TOMOKO)

武庫川女子大学・生活環境学部・講師

研究者番号 : 90415620