

## 地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

### 研究課題別中間評価報告書

#### 1. 研究課題名

パリ協定による 2030 年目標に向けた高温多湿気候下のインドネシアにおける低炭素アフォーダブル集合住宅の開発 (2021 年 6 月～2026 年 6 月)

#### 2. 研究代表者

2. 1. 日本側研究代表者：久保田 徹

(広島大学 大学院先進理工系科学研究科 教授)

2. 2. 相手側研究代表者：Muhammad Nur Fajri Alfata

(インドネシア公共事業・住宅省人間居住総局 研究員)

#### 3. 研究概要

本プロジェクトでは、インドネシアで今後増加する中高層集合住宅を対象に、蒸暑地域ならではの低炭素建築技術を開発し、実際の建物や同国の国家規格など法的拘束力のある建築規制へ導入することを目指す。また、包括的低炭素技術をハードとソフトの両面で社会実装することにより、インドネシアの建築セクターにおける低炭素化を通して、2016 年のパリ協定による同国の温室効果ガス削減目標の達成に貢献する。将来的には、インドネシア国内の研究拠点の拡大や周辺国への情報発信、技術共有も目指すことを目標としている。

プロジェクトは下記の 5 つの研究題目で構成されている。

(1) Urban Climate：インドネシアの都市気象の将来予測、インドネシア主要都市における標準年気象データ

(2) Human：蒸暑地域を対象とした熱的快適性の適応モデルの開発、住宅内の空気質と居住者の健康

(3) Building：蒸暑地域に適応するクーリング技術の開発

(4) Energy：ライフサイクルエネルギー・CO2 排出量分析

(5) Implementation：アフォーダブル集合住宅を対象とした低炭素技術の基準化

#### 4. 評価結果

総合評価：A

(所期の計画と同等の取組みが行われ、成果が期待できる。)

本プロジェクトは、蒸暑地域の中高層集合住宅における低炭素建築技術を開発するため、気象予測、熱的快適性のモデル開発、クーリング技術開発、エネルギー・CO2 排出量分析などの研究題目で構成されている。新型コロナの影響や相手国側の省庁再編などの外的要因による影響はあ

ったものの、WEB の活用によるアンケートなどでリカバリーしており、各研究題目の進捗については概ね順調である。特に、本プロジェクトの要でもある Building の題目では充実したシミュレーションにより、所期の計画以上の取組みが行われていると思われる。今後は、題目間の情報交換や連携をさらに深めることで、研究の効率化が期待できる。

しかしながら、内容が多岐に渡っていることから、パッシブ技術<sup>1</sup>を活用した低炭素アフォーダブル集合住宅の開発という目標の達成に向けて、焦点がやや不明確になっている懸念がある。開発した技術については、前提条件や評価指標関数を明確にすることや、競合技術との比較検討など、プロジェクトの目標達成に向けて活動全体を客観視することが望まれる。また、相手国側参加者のモチベーションや成果についても配慮し、共同研究を進めてほしい。以上の懸念点に対応することで、今後さらなる成果が期待できる。

#### 4-1. 国際共同研究の進捗状況について

プロジェクトの要でもある Building の題目を中心に、全体としては概ね順調に進捗している。新型コロナウイルスの影響で実施できていない内容もあるが、代替手段を考えながらマネジメントされている。各研究題目については以下のとおりである。

研究題目(1)の「Urban Climate : インドネシアの都市気象の将来予測、インドネシア主要都市における標準年気象データ」については、気象観測データを集めて、気候特性・区分を示し、さらにAIなどを駆使して、土地利用解析と予測を組み合わせることが目標となっており、統計的手法と力学的手法を合わせて、解析を行っている。当初計画より一部遅れは見られるものの、問題はないと考えられる。日本人研究者が渡航できない間も、相手国研究者とオンラインでの打合せや指導を行っており、その結果、相手国研究者が現地で主体的に調査を実施し、データを取得している。現在、設置した計測機器を用いて時刻別の標準気象データを測定しており、今後の進捗が期待できる。

研究題目(2)の「Human : 蒸暑地域を対象とした熱的快適性の適応モデルの開発、住宅内の空気質と居住者の健康」については、新型コロナウイルスの影響でほとんど活動できず、当初計画より遅れている。しかしながら、代替する内容として、オフィスまたは工場における着衣量のエアコンの有無の影響や快適性を評価するための一般居住者向けアンケートアプリを開発してアンケート調査を実施するなど、代案を考えて対処している点は評価に十分に値する。加えて、気温、気流、熱放射、相対湿度を記録する計測器を開発し運用するとともに、居住者の行動適応を把握するため、実験住宅(SATREPS開始前にテガル市に建設)において窓の開閉状況、在室状況、CO2濃度を記録する機器を製作・設置した。今後はこれらから得られるデータを用いて、着衣と冷房設定気温の対応、着衣と地域性、職種の関係性を明らかにしていく予定であり、インドネシアに適した建築基準の検討に活用されることが期待される。

---

<sup>1</sup> 建物内の環境を適切に維持するために必要なエネルギー量(エネルギーの需要)を減らすための技術

研究題目(3)の「Building: 蒸暑地域に適応するクーリング技術の開発」については、当初計画よりも順調に進捗している。日中の通風と建築材料による夜間蓄冷効果を同時に得るために、潜熱蓄熱材を床に敷設した場合の効果を実験結果および数値シミュレーションにより検証し、効果的な組み合わせを決定したことは大きな成果である。また、テガル市の実験住宅には鉛直ヴォイドを用いた自然換気システムがあり、この実験住宅を用いた実証を行った。床下換気による室温の低減効果が大きいこと、さらにヴォイド上部からの排熱を組み合わせることにより、上層階の居室においても日中の室温の低減効果を高めることができることを示した点は評価できる。

研究題目(4)の「Energy: ライフサイクルエネルギー・CO2 排出量分析」については、家庭におけるエネルギー使用量の多寡に対する心理的要因を調査中である。当初は現地に渡航してアンケートを実施する予定であったが、新型コロナの流行により渡航できなかったため、オンラインアンケートに切り替えて実施した。約3000の回答数が得られ、伝統的住居の居住者は社会的なほど外出機会が多いためエネルギー消費量が小さいこと、一方で現代的アパート居住者の場合は社会的なほど自宅に人を招くため、エネルギー消費量が大きくなるといった大変興味深い結果が得られている。また、建材企業から生産時のエネルギー消費量データを収集しており、今後の結果にも期待が持てる。

研究題目(5)の「Implementation: アフォーダブル集合住宅を対象とした低炭素技術の基準化」については、当初計画通りに進捗している。プロジェクト後半に建設予定の実験住宅について、コンクリートと木造のハイブリッド構造にすることで、日中は居室側、夜間は寝室側の温熱環境を重視した設計を計画している。インドネシア国内でも低炭素・脱炭素は盛り上がっており、木造とのハイブリッド化によりCO2排出を20-30%削減できることは、社会的インパクトが大きい。しかしながら、相手国のニーズやコストなど様々な面を考慮した上で詳細を詰める必要があり、両国間で議論を繰り返し、計画を固めていくことが望まれる。また、相手国の経済発展を踏まえ、エアコンの普及率など将来を予測し、それに対応する検討も必要だと考えられる。

以上、各研究題目において興味深い知見が得られており、論文発表や口頭発表も多数行われているが、内容が多岐に渡っており、達成すべき目標を今一度整理して研究を進めてほしい。

#### 4-2. 国際共同研究の運営体制について

日本側研究チームについては、研究代表者の優れたリーダーシップにより、多くの研究機関・研究者からなる体制がしっかりまとめられている。各研究題目についても適切かつ効果的にプロジェクトを推進していることから、プロジェクト全体の研究活動が円滑に進んでいると判断できる。また、相手国側からの留学生は現在までに14名ほど受け入れており、人材育成の点からも評価に値する。しかしながら、相手国側の体制が流動的なところもあり、相手国側のニーズを再確認して対応していくことが必要だと考えられる。一方で、相手国側に導入された機材や設備などは有効に活用されている。

社会実装の見通しについては、相手国側の政府機関との議論・連携を強化しており、人的交流

も活発化してきている。これらの人脈づくりは、開発した低炭素建築技術を実際の建物や同国の国家規格など法的拘束力のある建築規制へ導入することを目指すために不可欠であり、今後の活動の重要な礎となると考えられる。

#### 4-3. 科学技術の発展と今後の研究について

相手国側の気候に合った低炭素アフォーダブル集合住宅の開発を目指しており、そのための基盤研究と規格の提案は、温室効果ガス削減目標や相手国の科学技術力の向上に貢献することが期待できる。また、本プロジェクトの成果はインドネシアだけでなく、日本やその他のアジア各国にとっても意義のある内容であると考えられる。

今後の研究については、近年の相手国の経済成長や太陽電池コスト低下など周辺環境の変化を考慮した上で、低炭素アフォーダブル集合住宅についてパッシブ技術だけの検討で良いのか、それを基本として相手国の建築規制などに導入して良いのか、といった長期的な視点に基づいて検討すべきだと考えられる。また、プロジェクト後半で建設予定の実験住宅には、これまでの研究成果をどのように反映するのも明確にしてほしい。

論文発表については十分な量がある。また、国内外でアウトリーチ活動も活発であるため、今後も引き続き取組みを期待する。

#### 4-4. 持続的研究活動等への貢献の見込みについて

持続的研究活動において重要となる人的交流については、これまでも多くの努力が重ねられており、また新型コロナの影響が落ち着いて渡航が再開されていることから、今後より一層の発展を期待したい。また、相手国側の持続的研究体制の確立や、規格等に関する提言を実現する上で、相手国側研究者の自立性・自主性をさらに高めるための取組みを期待する。

相手国側の政府機関との議論も始められており、開発した技術の裏付けをしっかりと示せば、成果を基とした研究・利用活動が持続的に発展していくと見込まれる。相手国側にとっても、本プロジェクトは政策的にも技術的にも重要なテーマであると考えられる。

また、プロジェクト後半の実験住宅も完成すれば、今後更に様々な実証実験が可能になるため、成果の発展に期待する。

### 5. 今後の研究に向けての要改善点および要望事項

- 1) 研究期間の後半に向けて、規格化等を見据えて、低炭素建築技術のバックデータをしっかりとまとめることや、他の競合技術と比較検討することも必要である。また、技術の進展に伴う機器類の進化や再エネの普及など、境界条件の変化を十分に見据えて実施してほしい。パッシブ技術は様々な技術の中の一部であり、それを採用した根拠などの前提条件を明確にし、

混乱を招かないよう取り組んでほしい。

- 2) 木材利用など、所期の計画になく新たに実施する内容については、取り掛かる前にプロジェクトとの整合性や実施上の効率性を十分に吟味した上で進めてほしい。
- 3) 相手国側の研究の持続的発展、並びに規格に関する提言のとりまとめと実現のために、相手国側研究者の自立性・自主性をさらに高めるための取り組みを期待する。
- 4) 住宅は長期間使用することになるため、維持管理やマネジメント、可能であれば解体なども含めたライフサイクル的な視点での研究も重要だと考えられる。

以上

研究課題名	パリ協定による2030年目標に向けた高温多湿気候下のインドネシアにおける低炭素アフォーダブル集合住宅の開発
研究代表者名(所属機関)	久保田 徹 (広島大学大学院先進理工系科学研究科 教授)
研究期間	R1採択(令和元年6月1日～令和7年3月31日)
相手国名/主要相手国研究機関	インドネシア共和国/公共事業・住宅省人間居住総局(責任機関)、公共事業・住宅省人間居住・住宅部門・技術局(BT)(代表機関)、気象庁、Tegal市政府、バンドン工科大学、スラバヤ工科大学、インドネシア教育大学、プライジャヤ大学、インドネシア大学、YKK AP R&Dセンター(インドネシア)
関連するSDGs	目標 11. 包括的で安全かつ強靱(レジリエント)で持続可能な都市及び人間居住を実現する。 目標 7. すべての人々の、安価かつ信頼できる持続可能な近代的エネルギーへのアクセスを確保する。 目標 13. 気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる。

成果の波及効果	
日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> <li>東南アジア現地の住宅に関する実態調査データの共有</li> <li>インドネシア国家規格SNIの共同開発</li> <li>PUPRを中心とした政府系機関と現地大学研究者によって構成される官学の人的プラットフォームの共有</li> </ul>
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> <li>蒸暑地域の新興・途上国を対象とした住宅の省エネ・低炭素技術の開発・実証</li> </ul>
知財の獲得、国際標準化の推進、遺伝資源へのアクセス等	<ul style="list-style-type: none"> <li>新建材の開発(窓システム、ガラス、断熱材、蓄熱材等)</li> <li>蒸暑地域へ広く適用するための住宅のバンプデザイン・ガイドラインに関するASEAN標準化、さらに国際標準化</li> </ul>
世界で活躍できる日本人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> <li>2国間の共同研究を通じた学生交流</li> <li>インドネシアの研究拠点における中長期滞在</li> <li>日本側6大学間での人的交流。参画企業でのインターンシップ</li> </ul>
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>PUPRと複数の国内機関に設備供与。省エネ・低炭素技術の研究環境を整備</li> <li>インドネシア建築学会と連携。日本建築学会との連携も強化</li> </ul>
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	<ul style="list-style-type: none"> <li>インドネシア主要都市の現在・将来の標準年気象データの構築</li> <li>住宅の熱的快適性、省エネ、低炭素及び健康に関わるインドネシア国家規格(SNI)を新規策定・修正</li> <li>公共・民間中高層集合住宅の設計基準・ガイドラインの修正</li> </ul>

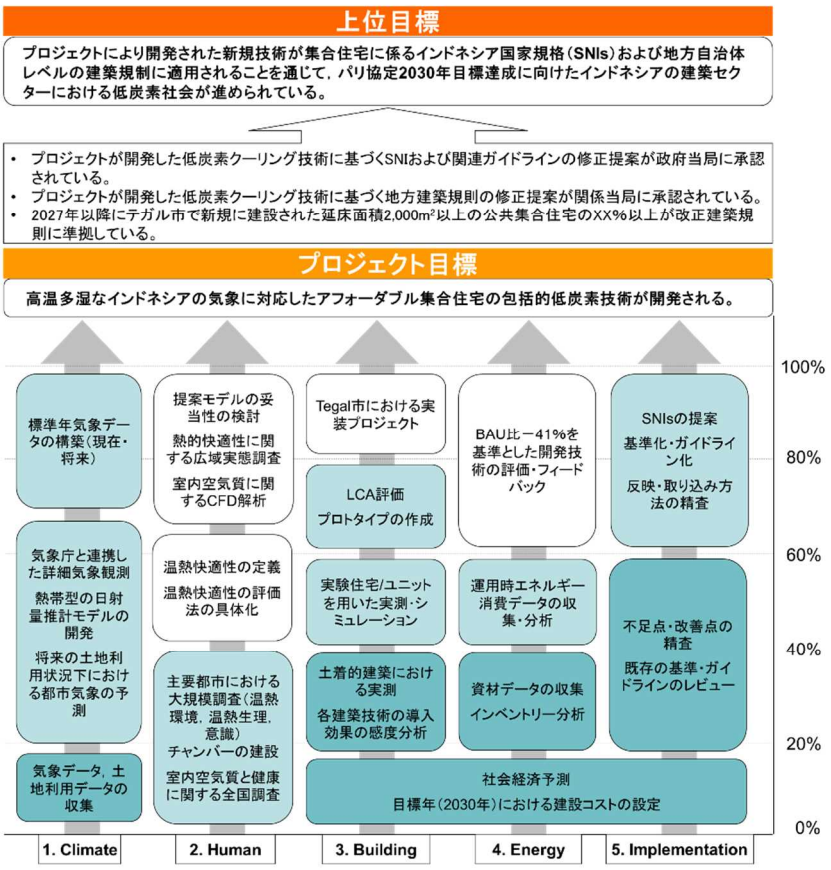


図1 成果目標シートと達成状況 (2023年6月時点)