

住宅建築技術国際展開支援事業

(うち事業環境整備に関する事業)

ケニアにおける高品質住宅建築に向けた
産学連携による「厚肉床壁構造住宅」の社会実装化事業

成果報告書

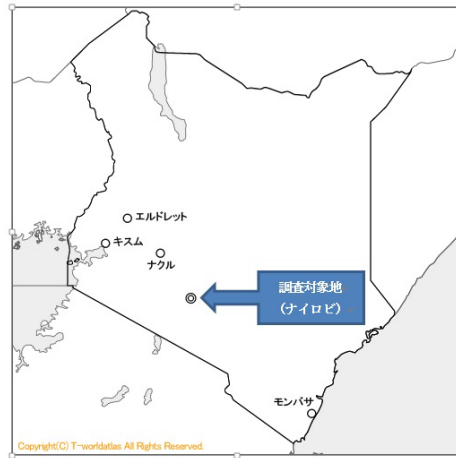
概要版

2024年3月

一般社団法人 OSA ジャパン

第1章 本調査の概要

【調査位置図】



【基礎データ】

国・地域名	ケニア共和国 Republic of Kenya	
面積	582,646 km ²	(日本の約 1.5 倍)
人口	5,455 万人	2023 年、ケニア国家統計局
首都	ナイロビ、人口:5,325,000 人	2023 年、Macrotrends.net
言語	スワヒリ語、英語	
実質 GDP 成長率	4.8%	2022 年(推定値)
名目 GDP 総額	124.2(10 億ドル)	2022 年(推定値)
一人当たり名目 GDP	2,278(ドル)	2022 年(推定値)
消費者物価上昇率	7.3%	2023 年、ケニア国家統計局
輸出額	4,985(100 万ドル)	2023 年、上半期
輸入額	10,988(100 万ドル)	2023 年、上半期
政策金利	10.50%	2023 年、ケニア中央銀行
対米ドル為替レート	117.87(ケニア・シリング)	2022 年、期中平均値
日系企業進出状況 企業拠点総数	114 社(2022 年 10 月 1 日現在)	外務省「海外進出日系企業拠点 点数調査」(2023 年版)
在留邦人	681 人(2022 年 10 月 1 日現在)	外務省「海外在留邦人数調査 統計」(2023 年版)

(特記なき数値は JETRO「概況・基本統計(ケニア編)」による)

JICA 精算レート ケニアシリング(KES) 1 KES = 1.0547 円 (2023 年 2 月現在)

1-1 調査の背景

- ・ ケニアにおける近年の経済成長を背景にした都市部への人口流入の急増に伴う住宅ニーズ
- ・ 都市部の住宅建築においては、近年では2022年後半にナイロビ郊外で複数のビルの倒壊が相次ぎ、品質、安全の面で適正な供給が行われていない実情
- ・ 2023年2月に発生した「トルコ・シリア地震」での被害が建築基準法の不徹底に起因するとの指摘もあり、同様の事態がケニアでも起こりうる状況
- ・ こうした状況に対し、日本の戦後復興から1960年代の高度成長期以降の住宅建築における政策的・技術的知見の蓄積・経験の活用、住宅機器・建材のパッケージ化、最新技術との連携等、「日本独自の強み」を活かした取り組みが有効
- ・ 上記の観点から、2019年度において、国交省「住宅建築技術国際展開支援事業(うち事業環境整備に関する事業)」を通じて、「ケニアにおける高品質住宅普及に関する事業化調査ならびに本邦研修事業」を実施
- ・ 2020年度においては「ケニアにおける住宅建築の実態と自然災害全般への脆弱性改善に向けた技術検証ならびに課題抽出事業」を実施し、モデル住宅(地上4階建て/延床1,080㎡)を設定し、「PCa柱梁構造」及び「PCa厚肉床壁構造」の2通りの構造設計にて標準設計を作成
- ・ 2021年度においては「ケニアにおける高品質住宅建築の普及に向けた技術検証ならびにパイロットプロジェクト形成事業」(以下、「2021年度事業」)を実施し、「プレキャストコンクリート(以下、PCa)厚肉床壁構造」に関する構造実証実験、JKUATとの技術検証、現地カウンターパートとの連携を維持
- ・ 2022年度事業では、過去3年度にわたる事業の成果を踏まえつつ、特に、2021年度事業においてその施工性、構造性能を検証した「PCa厚肉床壁構造」に着目し、JKUAT、NCA等の現地カウンターパート、現地関連事業者に対し、同構造のメリット、可能性をより明確に示すため、I. 国内での技術検証、II. 現地情報の収集および普及促進を実施
- ・ 2022年度事業の現地調査では、「PCa厚肉床壁構造」に関し、次につながる知見とネットワークえお得る中で、ケニアの現時点の建設関連の状況においてはPCa部材、とりわけ「PCa厚肉床壁構造」で想定している大型のPCa部材の製造、利用については、「時期尚早」との判断
- ・ 一方で、「厚肉床壁構造」に関しては、柱梁構造との比較で優れた施工性とこれによる短工期、並びに、建物の耐久性に優れるという点で、概ね高評価
- ・ 2022年度現地調査による上記の知見から、ケニアにおける「厚肉床壁構造」による住宅建築の展開は、大型PCa部材に限定せず、現場施工RCや、既にケニア現地で普及が進んでいる小型PCa部材(T型梁、軽量充填部材等)、CLTやNLT(Nailed Laminated Timber)等の木質材料との複合化等による多様な工法を図るべきとの結論
- ・ JKUATとは、同大との「産学連携」による「厚肉床壁構造住宅」事業に関して、その事業概要と事業組織について素案を共有、同事業の実現に向け、「厚肉床壁構造住宅フレームモデル建設」を想定し、相互の連携による準備を進めることについて提案を受理

- ・ NCA については、JKUAT との「産学連携」による「厚肉床壁構造住宅」事業、また同事業が前提する多様な工法についての理解を得ることができ、今後も密接な協力関係を維持
- ・ 上記の成果を踏まえ、本事業では、JKUAT との「産学連携」による「厚肉床壁構造住宅」の社会実装化に向け、下記の活動を実施

項目	観点
I. 国内での技術検証	1. 厚肉床壁構造住宅の多様な工法に関する技術的実現性の検証 2. 厚肉床壁構造住宅「工法別標準詳細図・仕様書」の作成 3. 「厚肉床壁構造住宅フレームモデル基本設計図書」の作成 4. 厚肉床壁構造住宅における「二酸化炭素削減」へ向けた技術検証
II. 現地情報の収集および産学連携事業促進	1. オンラインによる情報収集 2. 現地での情報収集/情報共有 3. JKUAT との産学連携合意形成

1-2 調査団員構成

- ・ 一般社団法人 OSA ジャパン、外部専門家で構成

1-3 調査期間・工程

- ・ 調査期間：2023年7月～2024年3月
- ・ 国内および現地において、I. 国内での技術検証、II. 現地情報の収集および産学連携事業促進を実施
- ・ 現地渡航については、下記の期間、人員により、実施
 - 第1回：2023年9月22日（金）～同左9月30日（土）：坂田
 - 第2回：2023年11月6日（月）～同左11月11日（土）：坂田
 - 第3回：2024年2月2日（金）～同左2月10日（土）：坂田・Olango・青島

項目	業務地	2023年						2024年		
		7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
I：国内での技術検証	国内									
・厚肉床壁構造住宅「工法別技術検証」										
・厚肉床壁構造住宅「工法別標準詳細図/仕様書」作成										
・「厚肉床壁構造住宅フレームモデル基本設計図書」作成										
・「二酸化炭素削減」へ向けた技術検証										
II：現地情報の収集および産学連携事業形成	国内/現地									
・オンラインによる情報収集		●	●	●	●	●	●	●		
・現地での情報収集/情報共有										
・JKUATとの産学連携合意形成										
III：成果報告書	国内									
凡例		■ 現地業務		■ 国内業務			● オンライン業務			

第2章 対象国における住宅建築の概況

2-1 対象国の政策課題

	住宅供給	住宅建築の品質確保
課題	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 200万戸の低所得住宅の需要に対し、年5万戸ペースでの供給 ✓ SDGsターゲット11: 「2030年までに、すべての人々の、適切、安全かつ安価な住宅及び基本的サービスへのアクセスを確保し、スラムを改善する」 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 住宅品質の低さ <ul style="list-style-type: none"> ・ 2016年4月大雨によるアパート倒壊 ✓ 建築関連法体系の未整備、許認可に係る行政能力の低さ ✓ 建築技術者の不足 ✓ 適正な技術・製法・工法の不足
政策取組	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 2022年9月に就任した現職のルト大統領は、前ケニヤッタ大統領に引き続き、住宅政策を重視 ✓ 就任直後の2022年10月、ナイロビ近郊のムクル地区におけるアフォーダブル住宅建設現場視察後の会見で、非公式居住区に住む600万人以上のケニア人が住宅にアクセスできるようにするために、毎年20万戸以上のアフォーダブル住宅を建設する意思を表明した。 (<i>"The Sunday Standard"</i>、2022年10月12日) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 国家建設局(NCA)による、建築会社、建築労働者、現場監督を対象とした能力向上施策と認定制度

2-2 課題に関連する国際的な支援状況

【日本の主な開発協力方針】

- ✓ 国別援助方針
 - ・ 貧困削減及び経済成長の基礎となる人材の育成
 - ・ 都市インフラの適切な計画・整備
 - ・ 都市人口の増大による都市環境悪化の改善
- ✓ 2022年8月開催 TICAD8「チュニス宣言」
 - ・ アフリカの潜在性が世界の成長の原動力。「人への投資」が一層重要
 - ・ 経済に対する支援方針として「持続可能な経済成長と発展のための構造転換の実現」のための「民間投資、技術移転、産業人材育成」
- ✓ 2015年COP21「パリ協定」に基づく成長戦略としての「長期戦略」
 - ・ わが国の脱炭素化技術の適用による途上国における課題解決への貢献
- ✓ JICAによる開発協力
 - ・ ケニアでの住宅建築における品質の適正化のために「官民が連携した住宅計画や住宅機器の標準化、並びに関連法規（建築基準法、省エネ法、品確法等）が必要」（JICA「民間企業の製品・技術の活用が期待される課題（ケニア国）より」）
 - ・ 2025年8月開催予定 TICAD9（横浜）へ向けての「社会開発分野」における展望
 - 長年にわたる日本の協力のアセット（研究所・大学）の活用
 - アフリカにおける JICA 協力の拠点大学として JKUAT を位置づけ

【主な国際的な支援状況】

- ✓ 都市部貧困層の増加に伴うスラムの拡大に対する制度面・金融面からの支援
- ・ 国際連合人間居住計画、アフリカ開発銀行、世界銀行、Shelter Afrique
- ✓ 国際連合プロジェクトサービス機関
- ・ 10万戸の住宅供給プロジェクト実施についての署名（2018年9月）

第3章 国内での技術検証

3-1 厚肉床壁構造住宅「工法別技術検証」

- ・ 「厚肉床壁構造住宅」における多様な工法として小型 PCa 部材、CLT 等の木質材料との複合化等に関して、それぞれの技術的実現性を検証
- ・ JKUAT の工学系学部における「二酸化炭素削減型建材」、特に「土壌ブロック」開発実験の状況、「二酸化炭素削減」の観点から、厚肉床壁構造住宅における「工法別技術検証」の中で「土壌ブロック」の適用を採り入れるべきと判断
- ・ 昨年度事業において配筋設計を現地適合理化した厚肉床壁構造住宅の躯体モデルにおける「厚肉床版」の一部を除去し「木質系床材」または「土壌ブロック」による「BBF 工法」に置き換える「床複合化」ための構造的条件を検証

3-2 厚肉床壁構造住宅「工法別標準詳細図・仕様書」作成

- ・ 厚肉床壁構造住宅の躯体モデルにおける「厚肉床版」の一部を「木質系床材」または「土壌ブロック」による「BBF 工法」に置き換える複合工法（以下「床複合工法」）に関し、「標準詳細図・仕様書」を作成
- ・ 床複合工法の躯体モデルに関し、基本的な解析プロセスを英文と図版により記述したフローチャートを作成
- ・ 床複合工法の躯体モデルに関し、構造図を作成、躯体および鉄筋の数量を算出

3-3 「厚肉床壁構造住宅フレームモデル基本設計図書」作成

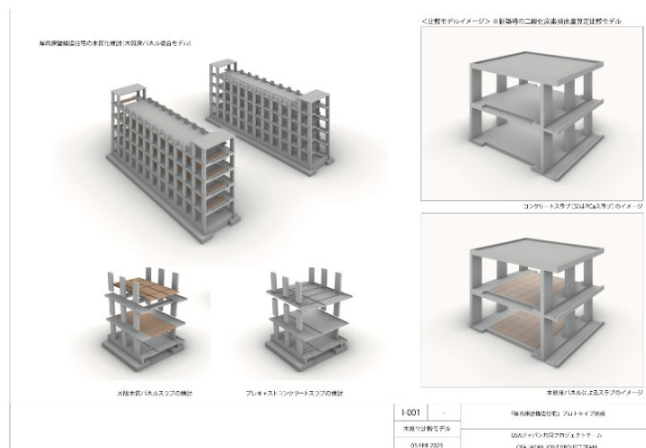
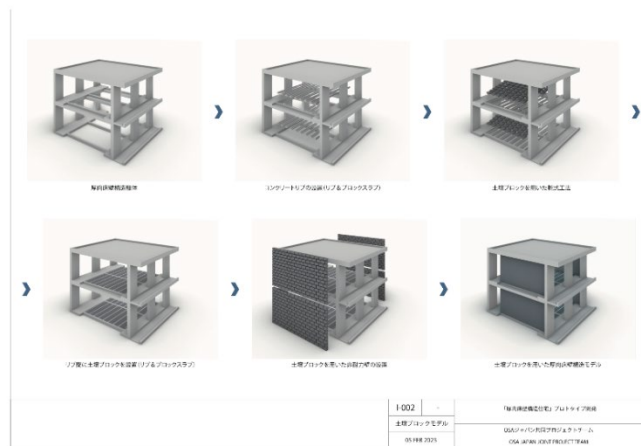
- ・ 「工法別標準詳細図・仕様書」を基に「厚肉床壁構造住宅フレームモデル」の「基本設計図書」を作成
- ・ 但し、JIKUT 構内においては、同フレームモデル自体の建設は想定せず、同フレームモデルに適用する「二酸化炭素削減型」建材、部材として「CLT 厚板」「土壌ブロック」等の試作、展示を想定
- ・ BBF 工法の現地事業者との打ち合わせのために「床複合工法」における「土壌ブロック」適用バリエーションを示す動画（下図参照）を制作
- ・ 「土壌ブロック」に関しては、ケニアの問題土壌「黒綿土」の再資源化に関する実証実験を JKUAT と進めている(株)インバック、他の事業者、土壌関連研究者とヒアリングを実施し、来年度事業以降の技術的連携の可能性を協議

3-4 「二酸化炭素削減」に向けた技術検証

- ・ 「二酸化炭素削減」の観点から 2022 年度事業で実施した「PCa 厚肉床壁構造」の「スラブ（床版）」についての「一部木質化」の検証を発展させ、「厚肉床壁構造

住宅」において「木質床パネル」を適用した工法について、日本の学会基準（環境負荷原単位）に基づき、二酸化炭素削減効果に関する検証を行なった。

- ・ 建設時の二酸化炭素排出量において、スラブの一部を「木質系床パネル」に変更することで材料から発生するCO₂が削減できることが明らかになる一方、現在、ケニアにおける木質厚板パネルの製造がないことから南アフリカからの陸上輸送によるCO₂の排出が見込まれ、大きな課題となることが判明し、木質化によるCO₂削減効果の実現には国内の生産状況が大きく影響することが明白となった
- ・ 木質系以外の「二酸化炭素削減型」建材、部材のうち「土壌ブロック」については、厚肉床壁構造住宅に適用する場合の構法の検討、二酸化炭素削減効果を検証した。
- ・ 「土壌ブロック」については、製造時に使用するセメント量を大きく削減できる点、地場産業によって陸上輸送を短くすることより、二酸化炭素排出量削減に対する効果が期待できることが示された。



「床複合工法」動画からの抜粋

第4章 現地情報の収集および普及促進

4-1 第1回現地渡航：2023年9月22日（金）～同左9月30日（土）

- 1) JKUATにおける「二酸化炭素削減型建材」開発実験に関する情報収集：2023年9月25日（月）～同左28日（木）
- 2) JKUATとの産学連携形成に関する情報共：2023年9月25日（月）～同左29日（金）
- 3) 現地関連事業者からの情報収集：2023年9月29日（水）、14:00-15:00

4-2 第2回現地渡航：2023年11月6日（月）～同左11月10日（金）

- 1) JKUATとの産学連携に向けた情報共有：2023年11月6日（月）～同左11月8日（水）
- 2) JKUATにおける「二酸化炭素削減型建材」開発実験に関する情報収集：2023年11月6日（月）～同左11月8日（水）
- 3) 建設展示会「The Big5 Construct Kenya 2023」視察：2023年11月9日（木）、11:00-16:00

4-3 第3回現地視察：2024年2月5日（月）～同左2月9日（金）

- 1) JKUATにおける「二酸化炭素削減型建材」開発実験に関する情報収集：2024年2月5日（月）、10:00-11:00
- 2) 建築学部との打ち合わせ：2024年5月5日（月）、11:30-12:30
- 3) 「黒綿土ブロック実証実験」の建材実習との連携可能性についての視察：2024年2月7日（水）、10:00-12:00
- 4) JKUATとの産学連携に向けた「MoU調印式」：2024年2月9日（金）、12:00-12:30
- 5) “Affordable Housing Village”視察：2024年2月6日（火）、10:00-12:30
- 6) NCAとの情報交換：2024年2月8日（木）、10:00-11:30
- 7) AAKとの情報交換：2024年2月9日（金）、10:00-12:30

第5章 今後の展望

5-1 本事業の位置づけ

- ・ 本事業では、過去4年度に渡る事業の成果を踏まえつつ、特に、2022年度事業において、柱梁構造との比較で、施工性と工期短縮化、並びに、建物の耐久性において優れるという高評価を得ることができた「厚肉床壁構造」に着目し、大型PCa部材に限定せず、現場施工RCや、小型PCa部材、CLT等の木質材料との複合化等による「多様な工法」を前提とした、JKUATとの「産学連携」による「厚肉床壁構造住宅」の社会実装化に向け、以下の事業を実施した。
- ・ 「I. 国内での技術検証」では、「厚肉床壁構造住宅」における「多様な工法」に関して、小型PCa部材によるBBF工法とCLT等の木質材料との「複合化」の技術的実現性の検証を実施した。
- ・ 一方、本事業の3回に渡る現地渡航を通じて、JKUATの工学系学部における「二酸化炭素削減型建材」、特に「土壌ブロック」開発実験の状況について視察した結果、また本事業が目途とする「二酸化炭素削減」の観点からも、厚肉床壁構造住宅における「工法別技術検証」の中で、「木質系部材」の他、「土壌ブロック」の適用を検討すべきとの判断を得た。
- ・ 上記の経緯により、厚肉床壁構造住宅の躯体モデルにおける「厚肉床版」の一部を「木質系部材」または「土壌ブロック」に置き換える「床複合法」のための構造的条件を検証し、その結果に基づき、当該躯体モデルの構造図、躯体、鉄筋の数量調査と併せて、「床複合法」による「厚肉床壁構造住宅フレームモデル」の「基本設計図書」を作成した。
- ・ 但し、予算確保の難しさから、JKUAT構内における同フレームモデル自体の建設は想定せず、同フレームモデルに適用する「二酸化炭素削減型」建材、部材等、特にBBF工法と「木質系部材」「土壌ブロック」の「複合床工法」の原寸モデルの作製、展示を想定した。
- ・ 「土壌ブロック」に関しては、「砂防ソイルセメント」に関する技術、知見を有する国内事業者で、ケニアの問題土壌「黒綿土」の再資源化に関する実証実験をJKUATと進めている民間事業者とヒアリングを実施した。
- ・ 同時に、セメントに由来する環境への弊害を回避する観点から、非セメント系資材（酸化マグネシウム、水硬性石灰、等）による土壌硬化ブロックに関する知見を有する国内研究者とのヒアリングも実施した。
- ・ 今後、JKUATに対する「厚肉床壁構造」の構造力学的理解に向けたガイダンスは必須であるとの観点から、床複合法の躯体モデルについて、基本的な解析プロセスを英文と図版により記述したフローチャートを作成し、次年度以降の事業における「厚肉床壁構造設計ガイドライン」作成の準備とした。

- ・ 3回に渡る現地渡航では、JKUATにおける「二酸化炭素削減型建材」の開発状況について視察し、その知見を国内における「厚肉床壁構造」技術検証の「土壌ブロック」による床複合案に反映させ、来年度以降の事業における原寸モデルの作製、展示の準備とした。
- ・ 第1回現地渡航時には、ケニアにおける「BBF工法」の開発、普及を進めている現地事業者と面談し、特に「黒綿土」による「土壌ブロック」（以下、「黒綿土ブロック」）についての意見交換を行い、次年度以降の事業におけるJKUATとの「黒綿土ブロック」の開発、試作への賛同と関心を得られた。
- ・ 第3回現地渡航では、JKUATとの産学連携事業に向けた「産学連携による『厚肉床壁構造住宅』普及事業構想」と「合意文書」（以下、MoU）に関する調印式を実施し、次年度以降のJKUATとの連携事業の指針並びに基盤とした。
- ・ JKUATと共に、過去4年度に渡り、一貫したカウンターパートであるNCAに対しては、JKUATとの産学連携による「厚肉床壁構造住宅事業」、並びに、来年度以降の本事業で予定している「黒綿土ブロック実証実験」について報告し、理解を得ると共に、今後も密接な協力関係を維持することとした。

5-2 来年度事業へ向けての活動方針（案）

- ・ 来年度事業では、今年度事業の成果に基づき、JKUATと日本側チームとの「産学連携」による「厚肉床壁構造住宅」の社会実装へ向けた次段階の「実証化事業」として、下記の活動を実施することが考えられる。
- I. 国内での技術検証：
- 1) 「厚肉床壁構造住宅プロトタイプ」作成
 - ・ 今年度事業で検証した「厚肉床壁構造住宅フレームモデル」に基づき、2020年度事業で作成した『設備分離型共同住宅標準設計図書』のうち、「厚肉床壁構造編」を改編し、改めて、JKUATと共有すると共に、今後の同大との『厚肉床壁構造住宅』普及事業におけるプロトタイプ（以下、「厚肉床壁構造住宅プロトタイプ」）とする。
 - 2) 「厚肉床壁構造設計ガイドライン」作成
 - ・ 今年度事業で作成した床複合工法躯体モデルの解析フローチャートに基づき、厚肉床壁構造一般の構造設計に向けた英文によるガイドラインを作成し、JKUATと共有し、同大の厚肉床壁構造に関する理解を深める
 - 3) 二酸化炭素削減型建材に向けた国内事業者・研究者との連携
 - ・ 厚肉床壁構造住宅の「床複合工法」に適用する「土壌ブロック」、とりわけケニアにおける代表的な問題土壌「黒綿土」を活用した「黒綿土ブロック」に関して、ポルトランドセメントによる固化、ならびに非セメント系資材（酸化マグネシウム、水硬性石灰、等）による固化の技術的可能性を検証する

- ・ 上記の検証結果を実証するため、JKUAT との「黒綿土ブロック」実証実験計画を立案する

II. 現地における JKUAT との実証事業

1) オンラインによる情報交換

- ・ 「厚肉床壁構造住宅プロトタイプ」、「厚肉床壁構造設計ガイドライン」の作成を進める段階で、随時、JKUAT 建築学部とオンラインで情報交換を行う。
- ・ 「黒綿土ブロック」実証実験計画の立案に関しては、その実施パートナーである JKUAT 工学系学部建材実験室、地盤・基礎工学実験室と適宜、情報交換を行い、周到に準備する。

2) 現地渡航による実証事業

- ・ 「厚肉床壁構造住宅プロトタイプ」、「厚肉床壁構造設計ガイドライン」を JKUAT 建築学部と共有し、技術的な課題の他、現地での施工性、適合性、経済性、等につき、意見交換する
- ・ 「黒綿土ブロック実証実験」を JKUAT 工学系学部建材実験室、地盤・基礎工学実験室をパートナーに実施し、今後の普及の前提となる技術的データ、解決すべき課題、等の抽出を行う。
- ・ 実証実験については、建材実験室に隣接する屋外実習ワークヤードにおける建築学部学生による建材実習と連携を図る。
- ・ 実証実験の成果に基づき、当該ブロックのケニアにおける普及に向けた「黒綿土ブロック標準仕様書・標準施工要領書」の素案を作成する。
- ・ 実証実験の成果物については、「黒綿土ブロック」（壁用・床用）試作品、複合床工法への適用事例（図 5-1 参照）、等を建材実験室近傍や実習ワークワードに付設された「JKUAT INNOVATION EXHIBITS」に展示し、ケニアにおける関連事業者（建築設計事務所、施工業者、等）を始め、アフォーダブル住宅関連の公共機関（「MTIHUD（交通・インフラ・住宅・都市開発省）」、「NHC（公共住宅省）」、等）、民間開発事業者、等に随時、公開し、当事業の普及促進に役立てる。
- ・ また、本邦からケニア国内に進出している建設関連事業者（フジタ、等）、一般事業者の他、本邦援助機関（JICA、JETRO）に対しては、実証実験の成果物に関する説明会を実施し、本邦事業者のケニアにおける事業機会形成につなげると共に、当事業の普及促進に役立てる。
- ・ また、NCA との協力により、「Affordable Housing Village」における「黒綿土ブロック」展示の他、さらなる普及効果が期待される機会として、今年 9 月にモンバサで NCA の主催で開催される「The International Construction Research Conference and Exhibition」への参加を通じた展示、技術リポートの発表、試験施工事例の見学会等の企画も検討する。

以上

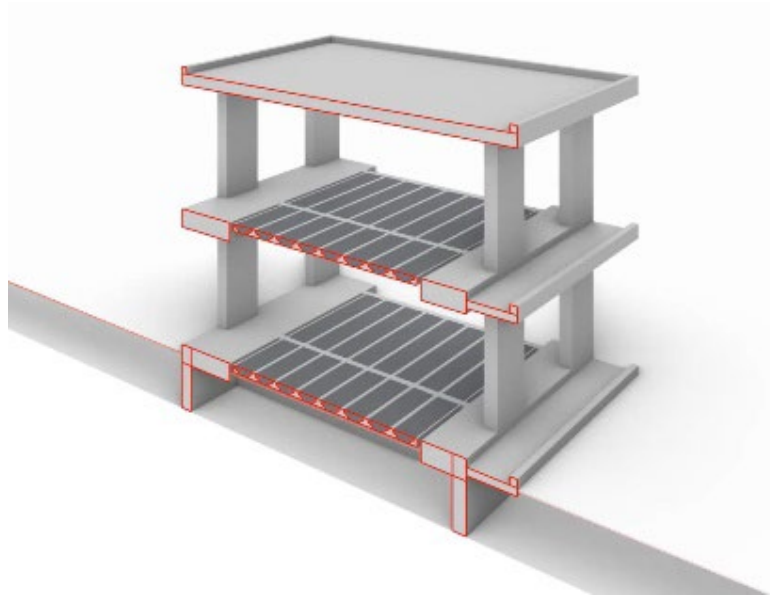


図 1 : 「厚肉床壁構造住宅」複合床工法への「黒綿土ブロック」適用事例

産学連携による「厚肉床壁構造住宅」普及事業

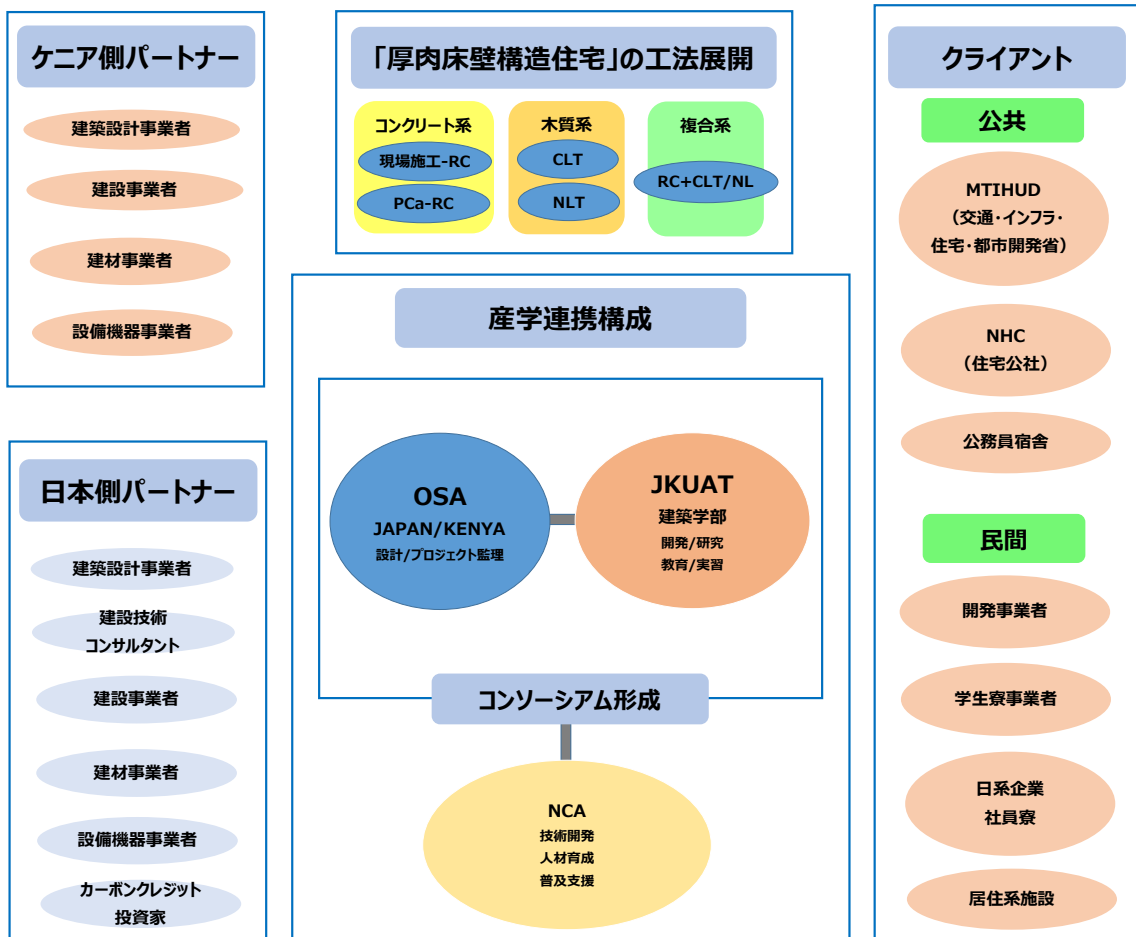


図 2 : 産学連携による「厚肉床壁構造住宅」事業全体スキーム図