

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02333

研究課題名（和文）恒久転用可能なZEH型仮設住宅の開発と備蓄供給計画に関する調査研究

研究課題名（英文）Research for permanent transformable ZEH type emergency house and its storage supply plan

研究代表者

高口 洋人（Takaguchi, Hiroto）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：90318775

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,200,000円

研究成果の概要（和文）：地震や風水害による被災地に、建設型応急仮設住宅を建設する需要は一定数存在するが、本研究は現在の供給体制を補完する、恒久転用可能な備蓄型の応急仮設住宅を提案するものである。また東日本大震災に見られたように被災地によっては長期にわたり停電やインフラが停止することもあることから、エネルギーを自立できるZEH型とすることで地域が停電している期間から建設に取りかかれる仕様の仮設住宅を開発した。

また、そのあるべき供給体制をエージェントシミュレーションによる検証し、仮設住宅入居待ち日数は約33%改善されるとし、またその備蓄は全国等分に備蓄した方が、全体としての輸送距離が短くなることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2024年の能登半島地震において、高齢化が進んだ過疎地域での復旧復興に従事する人員、職人の不足が問題となり、建設型応急仮設住宅の供給も早期に実現することが困難な状況にある。また幹線道路が破壊されたことにより、遠方から通勤するにしても時間がかかり、それを解消するために職人用宿舎から整備されている。

このような状況も、必要数の仮設住宅を全国に備蓄し供給することができれば相当改善できる。能登では、共同研究を行っていた事業者が木造のコンテナ型仮設住宅を被災地に供給したが、新築したものであり備蓄ではない。本研究成果は全国に応急仮設住宅をどのように備蓄するのか、その指針を与えるものでその社会的意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：There is a certain amount of demand for emergency temporary housing in areas affected by earthquakes, windstorms, and floods, and this study proposes a permanently convertible, stockpile-type emergency temporary housing to supplement the current supply system. In addition, as seen in the Great East Japan Earthquake, there are cases of long-term power outages and infrastructure stoppages in some affected areas.

The ideal supply system was verified through agent simulation, and it was found that the waiting period for moving into emergency housing could be improved by about 33%, and that the overall transportation distance could be shortened if the stockpile was equally distributed throughout the country.

研究分野：地域防災 建築環境工学 都市環境工学

キーワード：応急仮設住宅 ゼロエネルギーハウス ZEH 備蓄計画 供給計画

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

- (1) 大規模な地震や水害などの自然災害が発生した場合、早急な自立再建が困難な被災者の為に応急仮設住宅が自治体から提供される。気候変動や地震による災害の激甚化により応急仮設住宅が提供される機会が増加するなか、本研究が問うのはプレハブ建築協会等による供給に代わる、迅速に上質で安価な仮設住宅を供給する新たな仕組みを考案することにある。先進国とされる日本において、「かくも低質な避難所暮らしが長引くのはなぜか」「なぜ応急仮設住宅の提供にこれほど時間がかかるのか」「なぜ最初から恒久的な住宅が提供できないのか」。応急仮設住宅には、プレハブ建築協会や地方工務店が建設する「応急建設住宅」と自治体の公営住宅や民間賃貸住宅を借り上げる「応急借上住宅」の2種類がある。東日本大震災では、応急建設住宅は最短42日目で入居が開始されたが、入居までに7ヶ月以上要するケースもあった。熊本地震でも最初の入居までに52日を要している。その間被災者は体育館などの劣悪な環境で避難所暮らしを余儀なくされている。他方で応急仮設住宅の入居期間は2年間とされているが、阪神淡路大震災では最長5年、東日本大震災での入居期間はさらに長くなり、仮設住宅解消は2020年以降にずれ込む見込みで、「2年間の短期入居だから最低限の品質で良いという建前」は事実上破綻している。一方、阪神淡路大震災に始まったみなし仮設は、その後「応急借上住宅」として制度化され、応急仮設住宅の中心になりつつある。しかし緊急対応や通勤通学時間の増大、コミュニティの維持を考えれば、全てを「応急借上住宅」で賄うのは困難で「応急借上住宅」と「応急建設住宅」の役割分担を再定義することが重要となる。

2. 研究の目的

- (1) 「応急建設住宅」の供給方式は、地元工務店による建設やトレーラーハウス、コンテナハウスなど多様化しているが、主体はプレハブ建築協会加盟各社による供給である。協会は都道府県の要請に基づき、規格建築部会会員を斡旋し供給する体制を取っているが、平時の受注減少により会員会社の生産能力は低下しており、プレハブ協会が今後も現在と同じ供給能力を維持できるとは考えづらい。プレハブ建築協会を補完、もしくはそれに代わる応急建設住宅供給体制を構築し、仮設住宅の早期供給による避難所暮らしの短縮することが求められる。また、近年の自然災害の激甚化、入居期間の長期化を考えれば、停電や断水にも対応できること、そして恒久住宅への転用が可能な新たな応急仮設住宅が求められる。恒即仮設住宅はコンテナトラックおよび船便で運搬することを前提に、すでに開発済みのコンテナ型住宅を発展させるが、研究の主題は恒即仮設住宅を成立させるための社会経済システムの構築にある。恒即仮設住宅の備蓄コストは莫大となることが予想され、また備蓄に関しては地方自治体や民間団体の協力が不可欠となる。新しい応急建設住宅の提案は数多いが、それを成立させるための社会経済システムの検討と合わせ、実現性の高い提案を目指すところの独自性がある。
本研究では上記条件を満足する応急仮設住宅を「恒久転用可能な災害即応型仮設住宅（以下、恒即仮設住宅）」と呼ぶ。恒即仮設住宅はコンテナトラックおよび船便で運搬することを前提に、すでに開発済みのコンテナ型住宅をZEH型に改良し発展させる。
恒即仮設住宅の必要数、具体的な仕様、性能、コスト、そしてそれらが有効に機能するための備蓄供給計画を提案する。
- (2) 本研究では、3つのテーマに分けて研究に取り組む。
研究課題(A) 恒即仮設住宅の設計と試作・評価では、現在開発済みのコンテナ型の仮設住宅を、備蓄倉庫を兼ねたZEH型に改良する。
研究課題(B) 恒即仮設住宅の備蓄供給計画システムの開発では、「応急借上住宅」と「応急建設住宅」の役割分担を再定義した上で、現状の仮設住宅並のコストを実現する仕組み、具体的な備蓄戸数の決定方法、備蓄場所候補、被災地への供給方法を提案する。
研究課題(C) マルチエージェントシミュレーション(MAS)による備蓄配備および供給計画の立案では、自然災害等の諸条件をパラメーター化し、状況に応じた備蓄配備・供給戸数決定手法を開発し、一例を提案する。

3. 研究の方法

- (1) 研究課題(A): 現在開発済みのコンテナ型の仮設住宅を、備蓄倉庫を兼ねたZEH型に改良する。屋根にPVを設置する仕様としているが、コンテナとして積載することを考慮した取り付け方法を考案する。
- (2) 研究課題(B): 日本国内の自然災害被災地における「応急借上住宅」と「応急建設住宅」の供給実態調査を行う。調査方法は被災自治体の負担が最小となるよう配慮する。後半には恒即仮設の備蓄場所として想定する防災倉庫が設置されている都市公園、学校、比較的空間に余裕のある社寺境内、要求量、設置可能量を算出する。次の段階として、GIS情報を元に設置可能な場所抽出を行い実現可能性を確認する。
- (3) 研究課題(C): 社会システム提案の具体化には、自然災害を想定し、恒即仮設住宅の備蓄戸

数、備蓄地域、支援地域などのパラメーターを変えながら最適解を決定する必要がある。支援として恒即仮設を提供した地域は一定期間地域の防災性能が低下することから、被災地に対して同心円状に相互補完し合うシステムが求められる。本研究では MAS および GIS 情報を組み入れた最適配置及び利用可能戸数が決定できる手法を開発する。



写真 1 ZEH 型仮設住宅試作棟

4. 研究成果

- (1) 研究課題 (A): 研究期間中が COVID-19 流行期間中にあたり、コンテナ型の仮設住宅を、備蓄倉庫を兼ねた ZEH 型応急仮設住宅の建設は 2022 年度までずれ込み、完成は 2023 年度にずれ込んだが無事完成に至った。その間、完成途中ではあったが、2022 年度早稲田大学の学園祭である「理工展」に、実証サイトから移動することで災害発生時を模擬し、実際の移動設置に要する費用や人員を確認した。
- (2) 研究課題 (B) および (C): 備蓄方法を 15 シナリオ設定し、仮設住宅団地完成までの速度や輸送コストを比較することで、最適な備蓄方法を検討した。エージェントシミュレーションとしては、artisoc4 を用い、平成 30 年 7 月豪雨において供与された建設型をコンテナ型に置き換えて供給することを再現するモデルを作成した。仮設住宅団地、備蓄場所、避難所、トラックの計 4 種のエージェントが空間内に存在し、トラックがコンテナ型を備蓄場所から仮設住宅団地へと輸送する。そして、すべての仮設住宅団地の需要戸数が満たされた時点で供給完了とする設定とした。如何に、各エージェントの概要を示す。
道路設定：北海道や離島を除く、本州から緊急輸送道路のみでアクセス可能な地域に限定した。輸送に使用する道路は、国土地理院の国土数値情報で公開されている緊急輸送道路の GIS データを用いた
仮設住宅団地エージェント：仮設住宅団地は平成 30 年 7 月豪雨において仮設住宅団地が建設された広島県、愛媛県、岡山県、岡山県総社市の実際の場所を設定している。各仮設住宅団地は最も近い在庫のある備蓄場所に発注を行う。仮設住宅団地でのコンテナ型の設置にかかる時間は、筆者らが行った類似の備蓄型へのヒアリングから 160 分/個とした。
備蓄場所エージェント：備蓄場所は、設定したシナリオに基づき空間内に設置される。各備蓄場所のコンテナ型の備蓄数は、後述する都道府県ごとの備蓄数分配の重み付け設定（以下、重み付け）に基づき、4500 戸（9000 個のコンテナ）が分配される。地点は指定緊急避難場所兼指定避難場所のうち対象地域内のものを選択する。備蓄場所エージェントは発注を受けると、シナリオごとの発送速度に基づいて、トラックエージェントを生成し、発注を行った仮設住宅団地にコンテナ型を発送する。各備蓄場所は供給完了後の備蓄在庫数を目的変数として取得する。
避難所エージェント：早期に応急仮設住宅が建設され、体育館などの避難所が解消されることによる運営経費削減効果を比較するため設定した。
トラックエージェント：トラックは仮設住宅団地エージェントから発注を受けた備蓄場所エージェントの座標に、シナリオごとに決定される発送にかかる時間経過後に生成される。その後、目的の仮設住宅団地への最短経路を通り輸送を行う。仮設住宅団地に到着すると待機し、コンテナ型の設置完了を待つ。設置完了後、出発地に帰る。トラックの時速は国土交通省の道路交通センサスで用いられている一般道での運搬速度 34.5km/h を参考に、35km/h と設定した。
- (3) 比較したシナリオ：比較する軸としては、「被災者の仮設住宅入居までの時間の短縮割合」と「輸送コスト」を設定し判断した。シナリオは備蓄場所として、「都道府県等分」、「人口比例」、「災害リスク比例」の 3 種を設定し、備蓄場所数は全国に、4、47、500、1500、4500 箇所に備蓄するシナリオを設定した。
- (4) 結論：コンテナ型を用いると、仮設住宅入居待ち日数は約 33%改善される。これは、発災から仮設住宅の入居までに、建設型であれば平均 68 日だったものが、45 日に改善されたことを示す。発注から入居までの日数で比較すると、建設型で平均約 43 日から、20 日に改善される。平成 30 年 7 月豪雨においてコンテナ型を供給した場合、コンテナ型 1 戸あたりの輸送コストは約 36 万円、避難所削減コストは約 150 万円になる。総輸送距離は、等分分配のときに短くなる。これは、人口比例や災害リスク比例の場合、大都市に備蓄数が偏るため、平成 30 年 7 月豪雨では備蓄場所と仮設住宅団地の距離が離れ、輸送距離が伸びたためだと考えられる。一方、待ち時間はシナリオによって大きな違いは発生しなかった。これは、どのシナリオでも 1 時間当たりの発送戸数が被災地での設置戸数を上回ったため、仮設住宅団地で滞留が生まれ建設待ちの行列ができてしまったことによる。令和 6 年に発生した能登半島地震でも、現地で働く職人の不足、道路の被害による通勤困難が、建設型応急仮設住

宅建設の障害となっており、現地での工程数を減らせる備蓄型仮設住宅の優位性が示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 坂西 悠太, 山本 大, 吉野 未莉, 鈴木 野乃花, 吉村 靖孝, 高口 洋人
2. 発表標題 恒久転用可能なコンテナ仮設住宅の備蓄・運用に関する研究
3. 学会等名 2020年度 日本建築学会関東支部研究報告集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大島 玲奈, 坂西 悠太, 鈴木 野乃花, 藤本 佳那, 高口 洋人
2. 発表標題 備蓄型応急住宅の備蓄方法とその利用実態に関する研究
3. 学会等名 2021年度 日本建築学会関東支部研究報告集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 横倉 央樹, 大島 玲奈, 坂西 悠太, 藤本 佳那, 上野 貴広, 高口 洋人
2. 発表標題 MAS を用いた備蓄型仮設住宅の備蓄と供給手法に関する研究
3. 学会等名 2022年度 日本建築学会関東支部研究報告集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤本 佳那, 坂西 悠太, 高口 洋人, 吉村 靖孝
2. 発表標題 ZEBの避難所利用における設備運用マニュアルに関する研究 その1: 設備運用マニュアルの実用性向上に向けた改善
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学I
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂西 悠太, 藤本 佳那, 吉村 靖孝, 高口 洋人
2. 発表標題 ZEBの避難所利用における設備運用マニュアルに関する研究 その2: 設備運用マニュアルの学校以外の施設への応用
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学I
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nonoka Suzuki, Miri Yoshino, Naoki Nakao, Yasutaka Yoshimura, Hiroto Takaguchi
2. 発表標題 The proposal of energy-independent stocked emergency housing
3. 学会等名 Journal of Asian Urban Environment 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大島玲奈, 坂西悠太, 鈴木野乃花, 藤本佳那, 高口洋人
2. 発表標題 備蓄型応急住宅の備蓄方法とその利用実態に関する研究
3. 学会等名 2021年度日本建築学会 関東支部研究報告集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浅田 健, 横倉 央樹, 大島 玲奈, 上野 貴広, 高口 洋人
2. 発表標題 備蓄型仮設住宅の供給方式によるリードタイムの違いに関する研究
3. 学会等名 2023年度日本建築学会 関東支部研究報告集
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	吉村 靖孝 (Yoshimura Yasutaka) (00712035)	早稲田大学・理工学術院・教授(任期付) (32689)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------