

住宅・建築の快適性と健康性に関する研究

研究代表者 金 ジョンミン
(理工学術院総合研究所 次席研究員)

1. 研究課題

近年、日本において停電を伴う災害が頻発しているが、東京都では避難所不足などの理由により、居住に問題がない場合は自宅での在宅避難が推奨されている。よって、災害時における在宅避難を普及する第一歩として、住宅の停電対策の強化は喫緊の課題である。本研究では、停電時における集合住宅のレジリエンスを検証する目的で、48 時間自立できるインフラ設備等を整備した、実験集合住宅にて停電模擬実験を実施し、①48 時間自立システムの有効性検証、②エネルギー利用制限下における住環境評価、③疑似停電体験による居住者の災害への意識の向上について評価を行った。

2. 主な研究成果

2.1 停電実験概要

(1) 対象住宅概要

表 1 に対象集合住宅概要、表 2 に居住者プロフィールおよび住戸性能、使用可能電力量を示す。本研究では、大阪府大阪市天王寺区に位置する実験集合住宅にて実験を行った。対象集合住宅はスケルトンインフィル構造であり、住戸ごとに設計者や建設年、導入している設備等が異なっている。各住戸の U_a 値は $0.2 \sim 1.28 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ であり、全住戸の断熱性能は異なっている。また、エネルギーシステムとしてガスエンジンコージェネレーション (以下、CG) と燃料電池システム (以下、SOFC) が導入させている。熱源の種類に応じ、各住戸の使用可能電力が 700W か 1200W に設定され、使用可能電力の制限を超過すると電力供給が停止となるよう設定を行った。エアコンについて、3B, 5A, 5B 住戸はセントラル空調であるため、停電実験期間中には使用できないこととなっていた。上水に関しては、地下の 12m^3 の上水貯水槽から上水ポンプで供給される。居住者数を 50 名と想定し、各住戸では家族 1 名・1 日当たりの使用を 61L に制限し、飲用水や調理用は別途備蓄しているペットボトルの水で賄うこととした。

本研究は、停電時における自立回路上での設備機器の起動と住宅避難の実現可能性の検証を目的に 3 日間の停電実験を行った。実験は 2020 年 8 月 28 日正午から 30 日正午に行われ、実験期間中の平均外気温においては 8/28 が 33.4°C 、8/29 が 36.7°C 、8/30 が 37.0°C であった。

表 1 対象集合住宅概要

Building type	Collective residence	
Location	Osaka, Japan	
Floor	B1F~6F	
Site area	1543 m^2	
Gross area	4577 m^2	
Completion	1993/10/1	
Structure	B1F~2F: SRC / 3F~6F: PCa+RC	

表 2 居住者プロフィールおよび住戸性能、使用可能電力量

Unit	Subject (M: Male / F: Female)	U _a value	Air conditioner method	Available power		
				CG	SOFC	Total
3A	M (50's) / F(40's) / Child	1.00	Personal	700W	-	700W
3B	M (30's) / F(30's) / Infant	0.76	Central	500W	700W	1200W
3C	M (50's) / F(50's)	0.77	Personal	700W	-	700W
4A	M (50's) / F(50's) / Child	1.28	Personal	500W	700W	1200W
5A	M (50's) / F(50's) / F(80's)	0.50	Central	500W	700W	1200W
5B	M (50's) / F(40's) / Child / Child	0.84	Central	700W	-	700W
5C	M (40's) / F(40's) / Child / M(70's) / F(70's)	0.20	Personal	500W	700W	1200W
5D	M (40's) / F(40's) / Child / Child	0.80	Personal	500W	700W	1200W
6A	M (30's) / F(30's) / Infant	0.80	Personal	500W	700W	1200W
6B	M (30's) / F(30's) / Infant	0.84	Personal	700W	-	700W

2.2 停電実験結果・考察

(1) 電力自給評価

図 1 に住戸負荷電力、図 2 に 1200W 制限住戸の AC 消費電力を示す。全住戸において、合計 1200W (CG+SOFC) あるいは 700W (CG) の電力供給ができたことが確認された。700W 制限住戸はいずれの住戸でも電力制限を超過することなく、平均電力量は 333W となり、最大でも 500W であった。一方、1200W 制限住戸においては 5D 住戸が 2 日目の 14 時ごろに最大 1300W で電力制限を超過する傾向がみられたが、他の住戸は制限電力内に収まった。また、1200W 制限住戸の 4A・5D・6A 住戸においては寝室のエアコンの使用が確認され、3 住戸の AC 消費電力は平均 364W、最大 810W となった。3B 住戸は 1 日目にエアコンを 17 時と 19 時に 2 回稼働したが、電力供給が止まったことから、実験期間中にはエアコンの利用ができないと判断し、以降の実験期間中は使用をしなかったと考えられる。

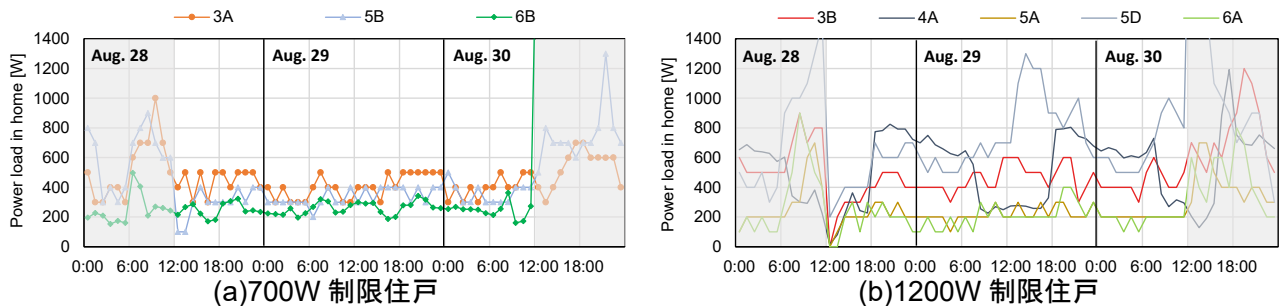


図 1 住戸負荷電力

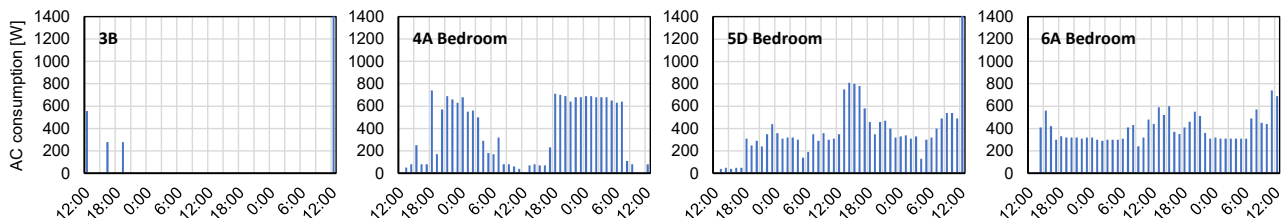


図 2 1200W 制限住戸の AC 消費電力

図 3 に住戸別の発電量、図 4 に住戸別の電力自給率を示す。電力自給率は住戸負荷電力を CG と SOFC による発電量で割った値とし、建物内への電力融通分を除いた、宅内消費に使用された電力量の割合を示す。発電可能な最大値である、使用可能電力は 700W 制限住戸で合計 33.6kWh、1200W 制限住戸で合計 57.6kWh であった。全住戸において、発電可能な最大値である使用可能電

力に対し、実際に発電した電力量は 49%で半分程度であった。電力自給率に関して、700W 制限住戸は平均 50%、1200W 制限住戸は平均 38%となり、使用可能電力が少ない住戸の方で電力自給率が高い結果となった。

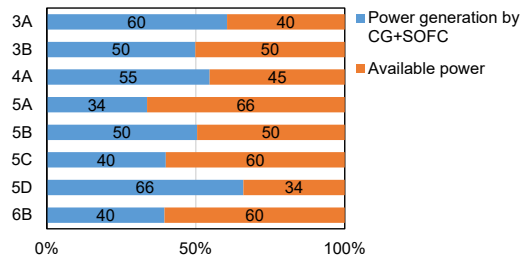


図 3 住戸別の発電量

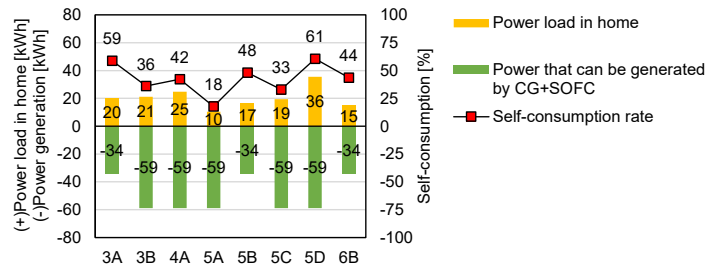
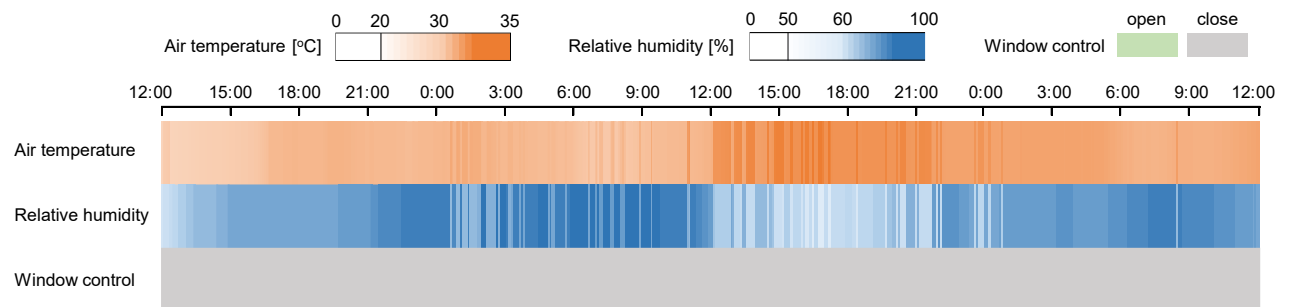


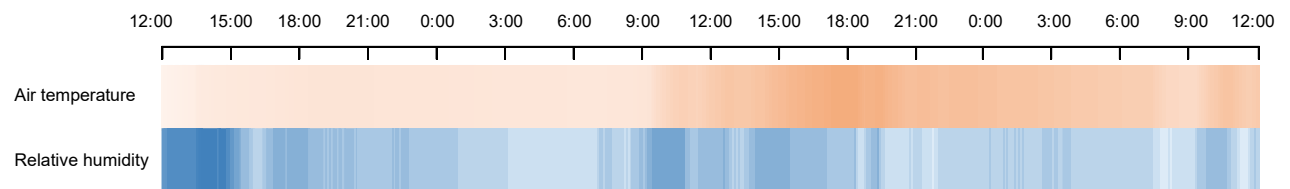
図 4 住戸別の電力自給率

(2) 温熱環境評価

図 5 に代表住戸のリビングの温熱環境と窓開閉状況を示す。700W と 1200W 制限住戸の代表住戸として 3A と 6A 住戸について述べる。700W 制限住戸の 3A 住戸に関して、室温は 28.5～36.5℃を推移し、平均室温は 31.9℃であった。湿度については 55～71%を推移し、平均湿度は 65%であった。窓開閉状況において実験期間中に開放されなかったことが原因で室温が上昇したと考えられる。1200W 制限住戸の 6A に関して、室温は 24.9～32.7℃を推移し、平均室温は 30.5℃であった。湿度については 60～69%を推移し、平均湿度は 63%であった。6A 住戸はエアコンを利用したことで、最低室温が 3A より 3.6℃低く、湿度には大きなばらつきはなかった。



(a)700W 制限住戸 3A



(b)1200W 制限住戸 6A

図 5 代表住戸のリビングの温熱環境と窓開閉状況

2.3 まとめ

本研究では、レジリエンスを考慮した ZEH-M 相当の集合住宅における停電時の電力自給および室内環境と快適性を調査する目的で、コージェネレーションや燃料電池による停電自立システムを有した集合住宅において、48 時間の停電自立実験を実施した。以下に本報で得た知見を示す。

1) 電力自給評価より、全住戸において、実験期間中に想定通りの電力供給ができたことが確認された。自家消費率において、700W 制限住戸が平均 50%でエアコン以外の家電機器を積極的に使用した。一方、1200W 制限住戸はエアコン利用ができたことにもかかわらず平均 38%でとどまった。居住者が使用電力量の超過による、電力供給停止を考慮したために、使用可能電力を十分に使用できなかったと考えられる。

2) 温熱環境評価より、700W 制限住戸はエアコンを使用できず、窓開放による自然通風を利用し、室温は 30°C 以上を推移した。1200W 制限住戸のうち 3 住戸はエアコンを使用し、室温を 30°C 以下に保つことができた。また、各室別の滞在時間より、生活空間とする居室を居間と寝室で限定してエアコンを使用する、エアコンの設定温度を高くで使用する、などの工夫が確認された。特に、5D 住戸は生活空間とする居室を寝室で限定してエアコンを連続運転したことで、平均室温が 27.4°C、平均 PMV が 0.5 で停電環境下にもかかわらず、快適な環境で過ごせることができた。

3. 共同研究者

田辺 新一（創造理工学部建築学科 教授）

4. 研究業績

4.1 学術論文

・金ジョンミン，田辺新一，「太陽光発電と燃料電池の併用発電の有効性に関するライフスタイル別評価」，日本建築学会環境系論文集，一般社団法人日本建築学会，第 86 巻，第 783 号，2021. 05

4.2 総説・著書

4.3 招待講演

4.4 受賞・表彰

・住宅総合研究所 第 6 回博士論文賞、2021

4.5 学会および社会的活動

【国内学会】

1) 金ジョンミン、高木みき、高橋秀介、松尾和弥、志波徹、田辺新一、伊香賀俊治、秋元孝之、集合住宅での 48 時間停電自立実験における快適性・健康性に関する研究（第 3 報）冬季の停電実験における住戸別の電力自給の分析、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2021

2) 高木みき、金ジョンミン、高橋秀介、松尾和弥、志波徹、田辺新一、伊香賀俊治、秋元孝之、集合住宅での 48 時間停電自立実験における快適性・健康性に関する研究（第 4 報）冬季の停電実験における住戸別の温熱環境の分析、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2021

3) 松尾和弥、高橋秀介、高木みき、菅野颯馬、金ジョンミン、志波徹、田辺新一、集合住宅における断熱性能・居住者属性を考慮した熱的快適域予測モデルに関する研究、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2021

4) 天田侃汰、稲葉愛永、金ジョンミン、秋元瑞穂、深和佑太、田辺新一、森戸直美、冬季停電時におけるゼロ・エネルギーハウスの電力自給と温熱環境の評価 第 1 報 対象住宅概要および停電

時の生活スケジュール作成、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2021

5) 稲葉愛永、天田侃汰、金ジョンミン、秋元瑞穂、深和佑太、田辺新一、森戸直美、冬季停電時におけるゼロ・エネルギーハウスの電力自給と温熱環境の評価 第2報 停電模擬実験時の電力需給と温熱環境、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2021

6) 金ジョンミン、高木みき、高橋秀介、松尾和弥、志波徹、田辺新一、伊香賀俊治、秋元孝之、48時間停電自立実験におけるエネルギー・温熱環境に関する研究 その2：夏季の停電実験における住戸別の電力自給の分析、日本建築学会大会学術講演梗概集、2021

7) 高木みき、金ジョンミン、高橋秀介、松尾和弥、志波徹、田辺新一、伊香賀俊治、秋元孝之、48時間停電自立実験におけるエネルギー・温熱環境に関する研究 その3：夏季の停電実験における住戸別の温熱環境と窓開閉状況の分析、日本建築学会大会学術講演梗概集、2021

8) 松尾和弥、高橋秀介、高木みき、菅野颯馬、金ジョンミン、志波徹、田辺新一、集合住宅における断熱性能を考慮した熱的快適域予測モデルに関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、2021

9) 森戸直美、天田侃汰、金ジョンミン、秋元瑞穂、稲葉愛永、蟹江梓乃、深和佑太、田辺新一、在宅避難を考慮したゼロ・エネルギーハウスにおける夏季の停電模擬実験（第1報）対象住宅概要および停電時の生活スケジュール作成、日本建築学会大会学術講演梗概集、2021

10) 稲葉愛永、天田侃汰、金ジョンミン、秋元瑞穂、蟹江梓乃、深和佑太、田辺新一、森戸直美、在宅避難を考慮したゼロ・エネルギーハウスにおける夏季の停電模擬実験（第2報）シミュレーションによる停電実験条件の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、2021

11) 稲葉愛永、天田侃汰、金ジョンミン、秋元瑞穂、蟹江梓乃、深和佑太、田辺新一、森戸直美、在宅避難を考慮したゼロ・エネルギーハウスにおける夏季の停電模擬実験（第3報）停電模擬実験における電力自給および温熱環境評価、日本建築学会大会学術講演梗概集、2021

【国際学会】

1) Miki Takaki, Jungmin Kim, Shusuke Takahashi, Toru Shiba, Shin-ichi Tanabe, Toshiharu Ikaga, Takashi Akimoto, Power Consumption and Thermal Environment under Power Outages at a Collective Residence, Healthy Buildings 2021

2) Manae Inaba, Jungmin Kim, Mizuho Akimoto, Naomi Morito, Shin-ichi Tanabe, A NET ZERO ENERGY HOUSE CONSIDERING STAYING AT HOME WITH HEALTH DURING POWER OUTAGES, Healthy Buildings 2021

【その他】

1) 金ジョンミン、高木 みき、田辺新一、志波 徹、48時間停電自立実験におけるエネルギー・温熱環境に関する研究、BECC JAPAN 2021 シンポジウム

2) 金ジョンミン、田辺新一、次世代住宅 / ZEH / ABW、早稲田オープン・イノベーション・フォーラム 2021 (WOI'2021)

5. 研究活動の課題と展望

- ・ エネルギー工学、機械分野、電気分野などの領域を含み極めて学際的な研究を行った。
- ・ 災害時の在宅避難およびレジリエンスに関して、社会変革を踏まえて研究を行う。
- ・ 国際学会参加および国際ジャーナルなどに論文掲載を行う。