2016年9月6日
BECC JAPAN 2016

室内外環境の見える化システム構築に関する研究

中島 裕輔（工学院大学）

はじめに

家庭の省エネ対策の1つとして近年注目され、スマートハウスやスマートマンションへの導入事例も増えているHEMSは、その名の通り、家電の操作・制御や電力の計測・表示を始めとしたエネルギーマネジメント機能が中心である。

一方、住宅で安全で快適な生活を送る上では室内環境の調整・維持も重要なファクターであるが、温度や湿度など室内環境が表示されるものは非常に少ない。

そこでこれまで、室内の温熱環境への関心を高め、住まい手の工夫や季節に応じたパッシブ技術の活用を促進するための仕組みとして、「室内外環境の見える化」システムを開発し、導入による省エネ効果と室内環境の改善効果を確認してきている。

本報告では、以下の研究について紹介する。

・長屋型住宅における見える化システムの開発

・機器類を小型・パッケージ化して汎用性を高めた「室内外環境の見える化システムキット」の開発

長屋型住宅における見える化システムの開発

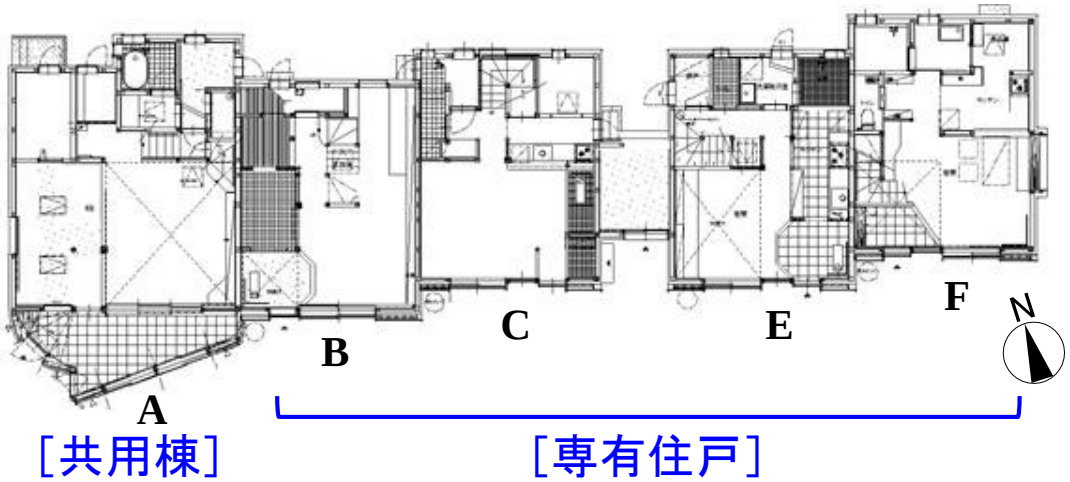
対象住宅の概要

建物：2011年2月竣工

専有住戸4棟と共用棟（コモンハウス）から成る長屋型住宅

建物概要

立地場所	神奈川県相模原市	
構造／戸数	木造2階建／4戸＋共用棟	
延床面積	A棟（共用棟）	84.77㎡
	B棟	71.22㎡
	C棟	74.36㎡
	E棟	66.35㎡
	F棟	73.15㎡
給湯設備	ガス給湯器	
冷房設備	なし	
暖房設備	ｶﾞｽﾌｧﾝﾋｰﾀｰ（A～C）， 薪ｽﾄｰﾌﾞ（E），ﾍﾟﾚｯﾄｽﾄｰﾌﾞ（F）	
環境配慮要素	自然素材断熱材，無垢材・土壁による蓄熱，天窓排熱換気，空気式屋根集熱システム等	



対象住宅1階平面図

コモンキッチン（A棟）

コモンミール風景（A棟）

【特徴】

- 自然素材と伝統工法
  （無垢木材・竹小舞・土壁・漆喰）
- 様々なパッシブ手法の導入
  （ﾀﾞｲﾚｸﾄｹﾞｲﾝ、排熱換気天窓など）
- 「コーハウジング」のライフスタイル
  （コモンミール、設備のシェアなど）

対象住宅写真

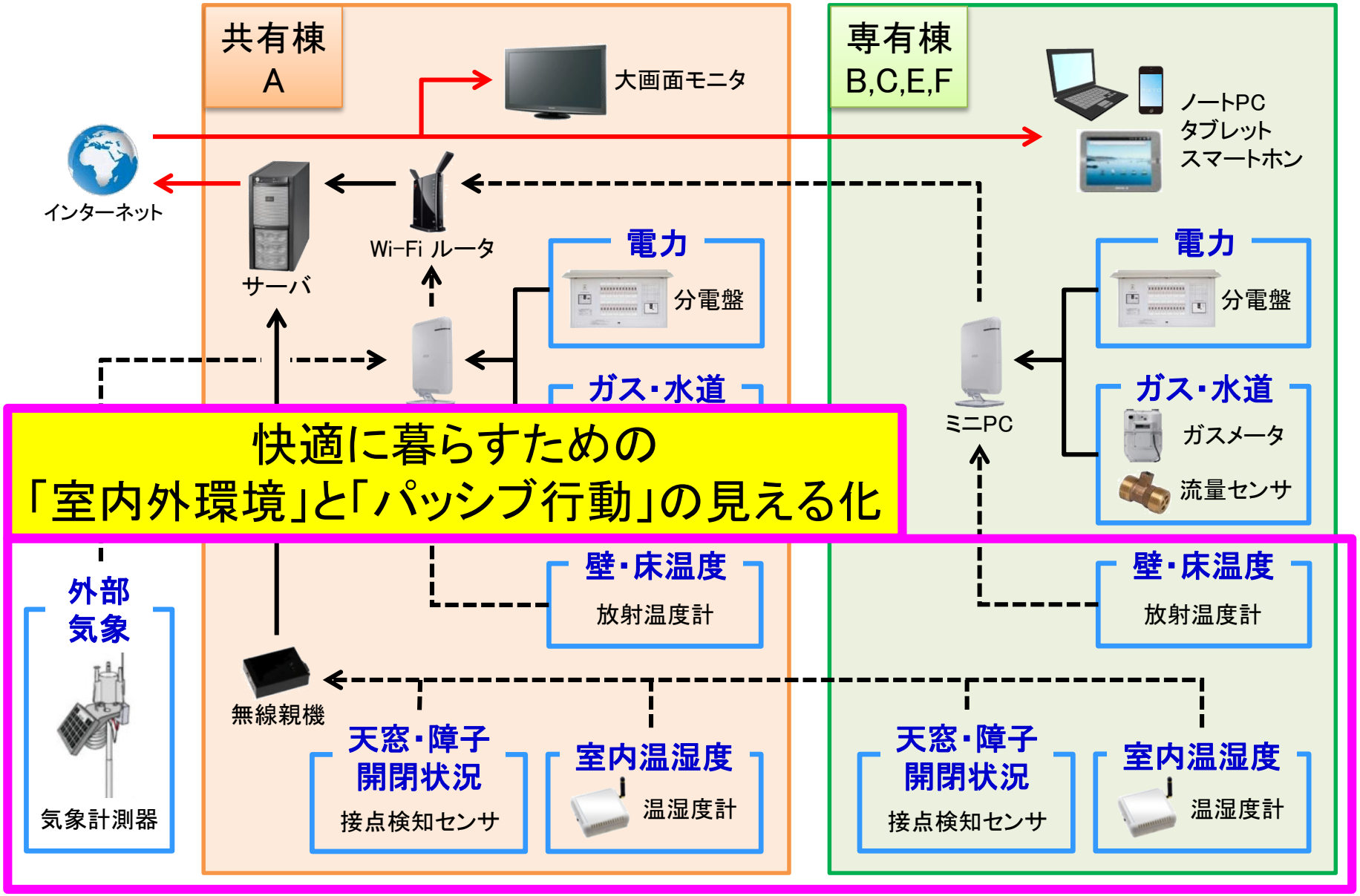
コモンハウス側からの眺め

各棟が目の前に畑を持つ

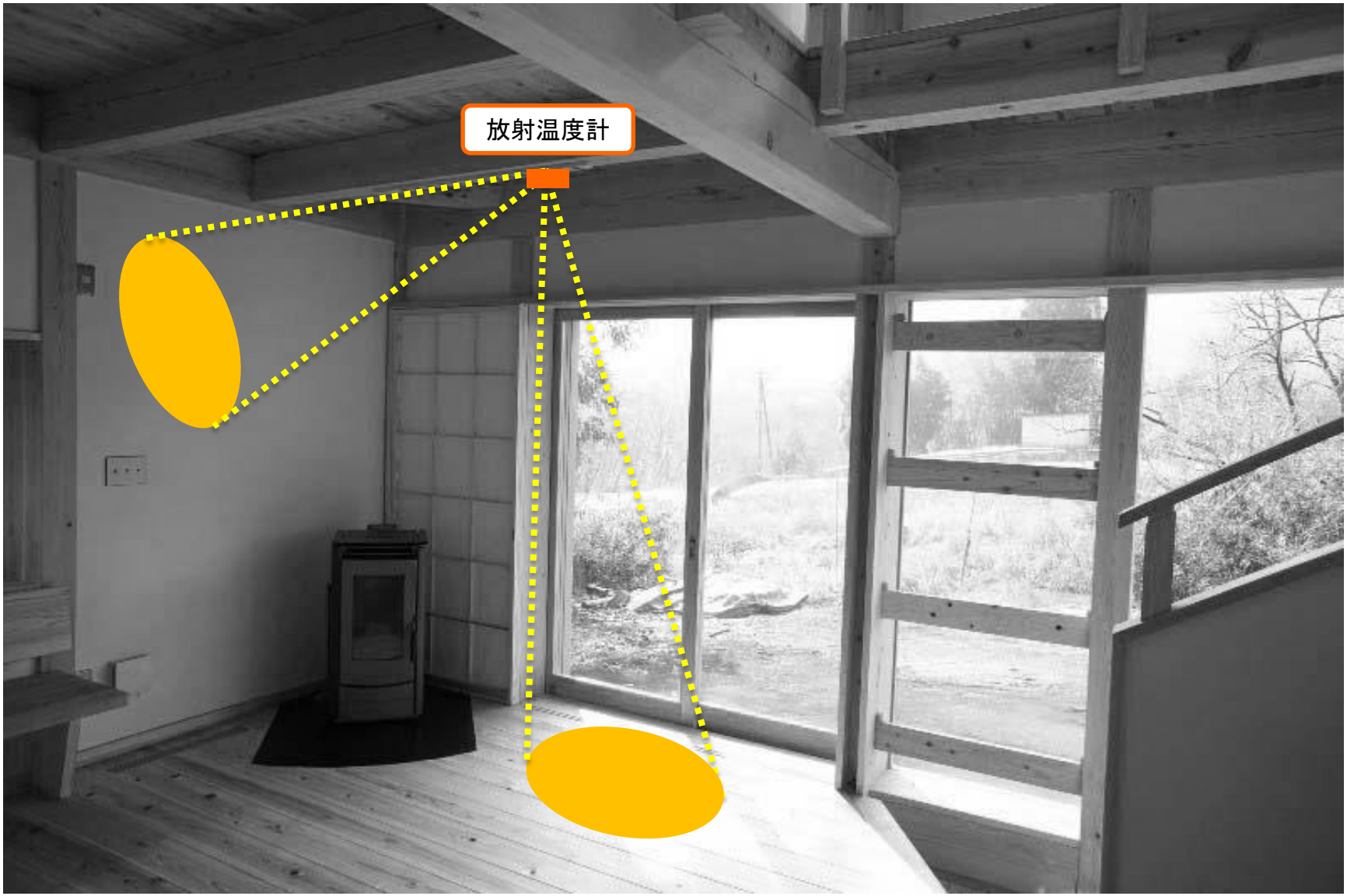
竹小舞＋土壁による内外壁

無垢木材と土壁の内装

環境情報表示システム「長屋かわら版」システム図



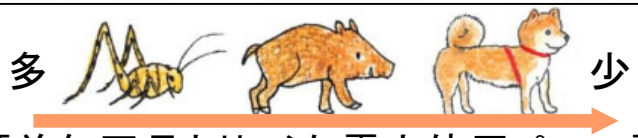
室内環境の測定（壁・床表面温度）



「長屋かわら版」（iPad利用）

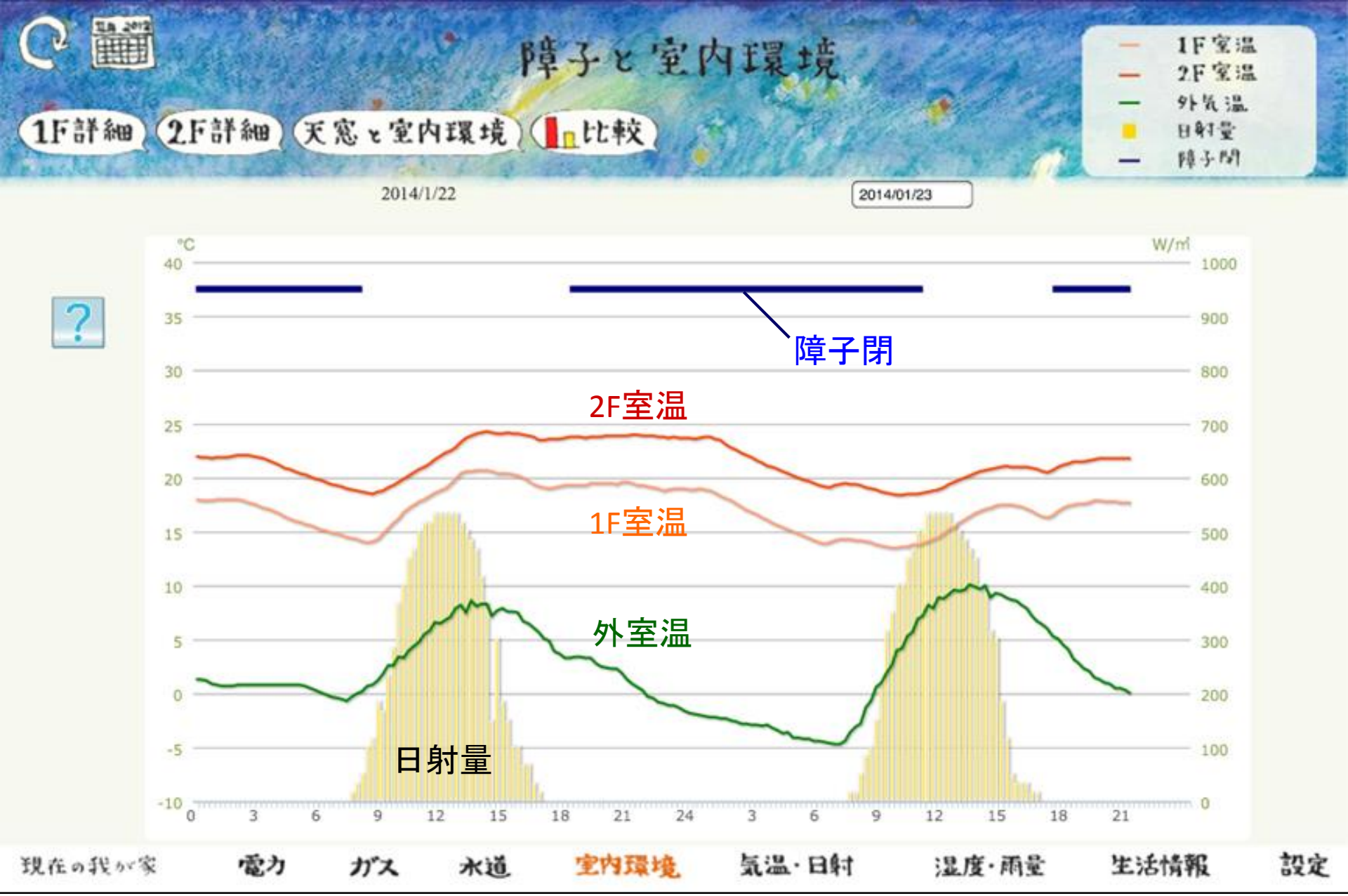
［熱中症注意］

［乾燥注意］



［前年同月と比べた電力使用ペース］

時刻別・日別・月別の各種消費量グラフ（電力・ガス・水）

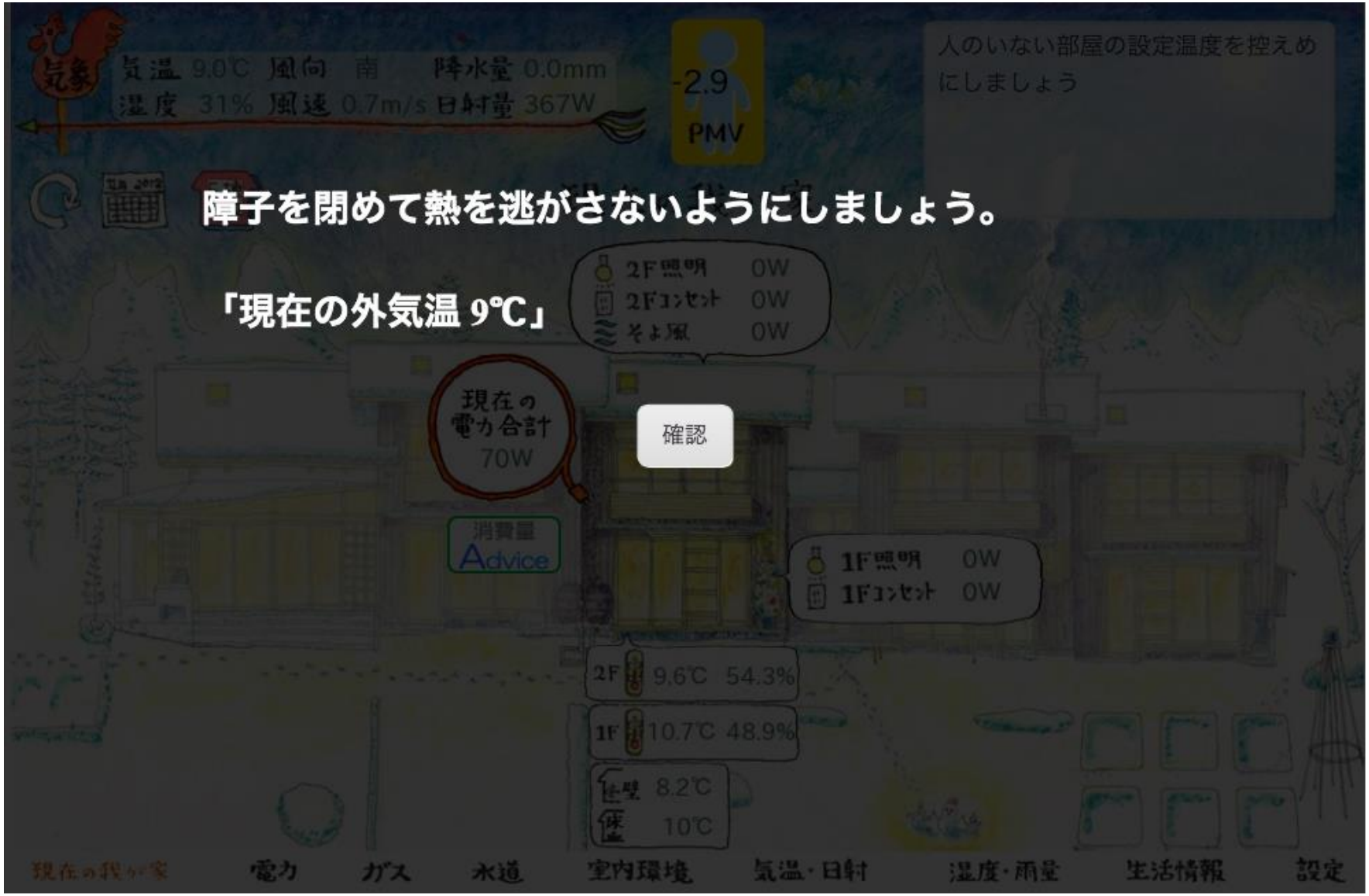


障子開閉と室温変化グラフ ➡ 日射取入効果の把握

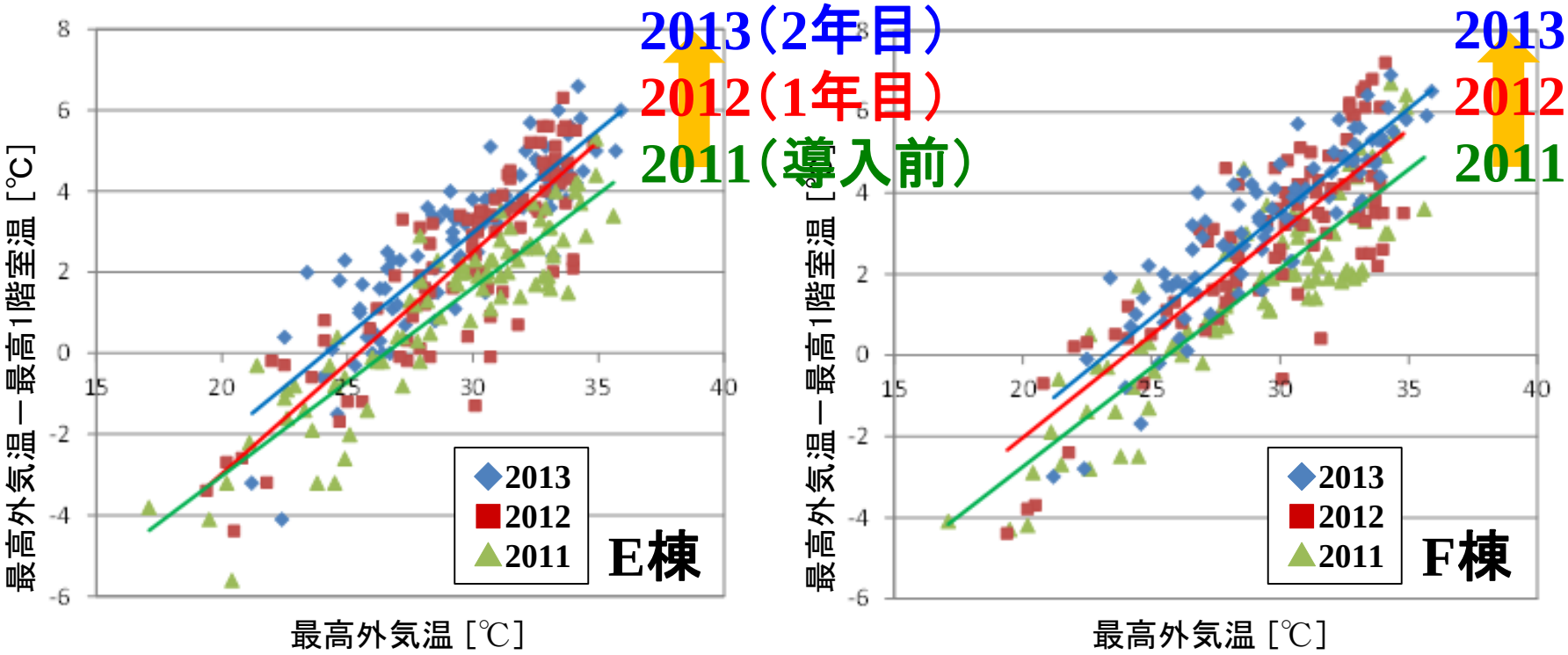
他住戸情報の共有 ➡ 快適・省エネのための工夫の共有

カレンダー画面（我が家・コモンハウス）

パッシブ行動アドバイス（夏期：日射遮蔽・通風等／冬期：日射取入・断熱等）



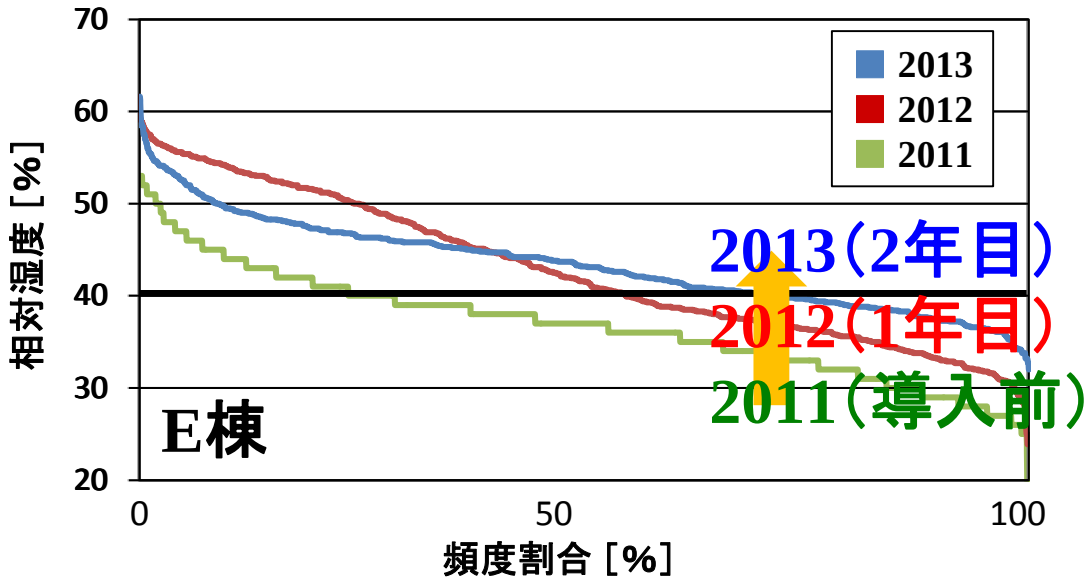
室内外温度差の年度別集計（夏期7-9月）

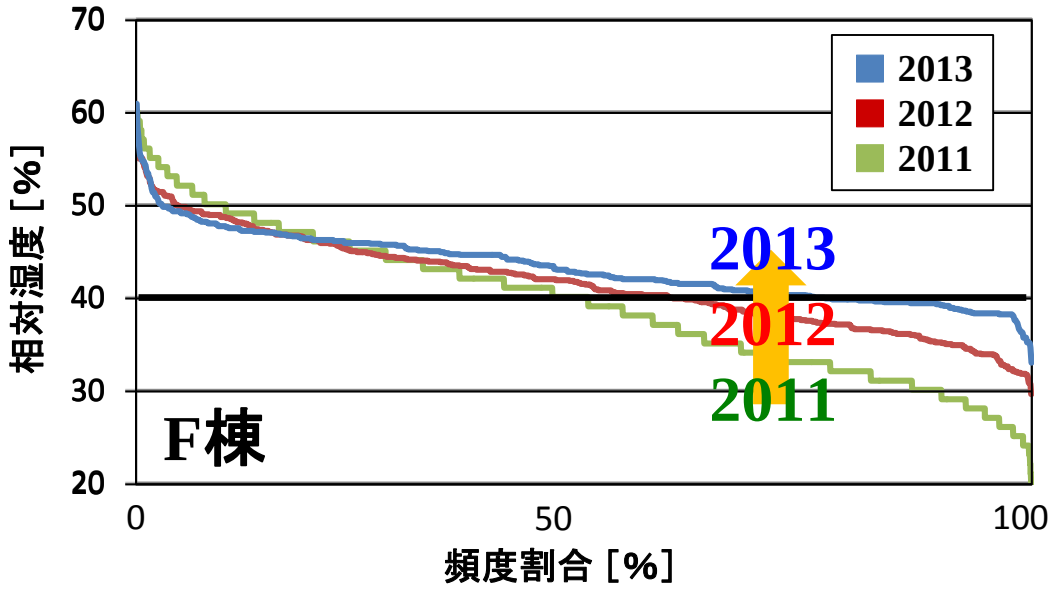


両棟とも、経年で「最高外気温－最高室温」の温度差が拡大

涼しく過ごすための工夫（パッシブ行動）が徐々に習慣化

室内湿度の頻度分布（冬期11-1月・在宅時のみ）



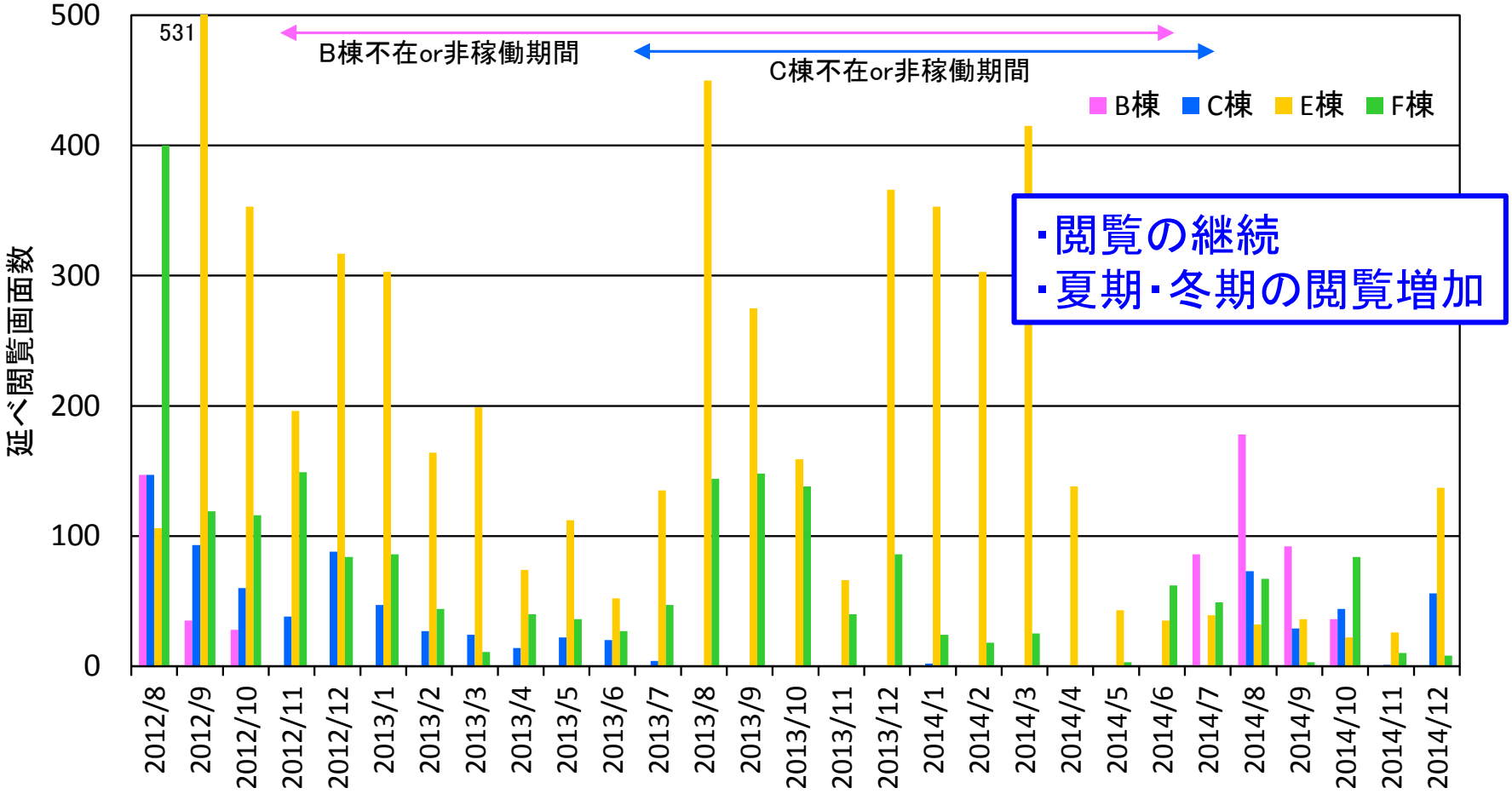


両棟とも経年で湿度レベルが上昇し、湿度40%以下の割合も大幅に減少。

湿度グラフの閲覧も増加。

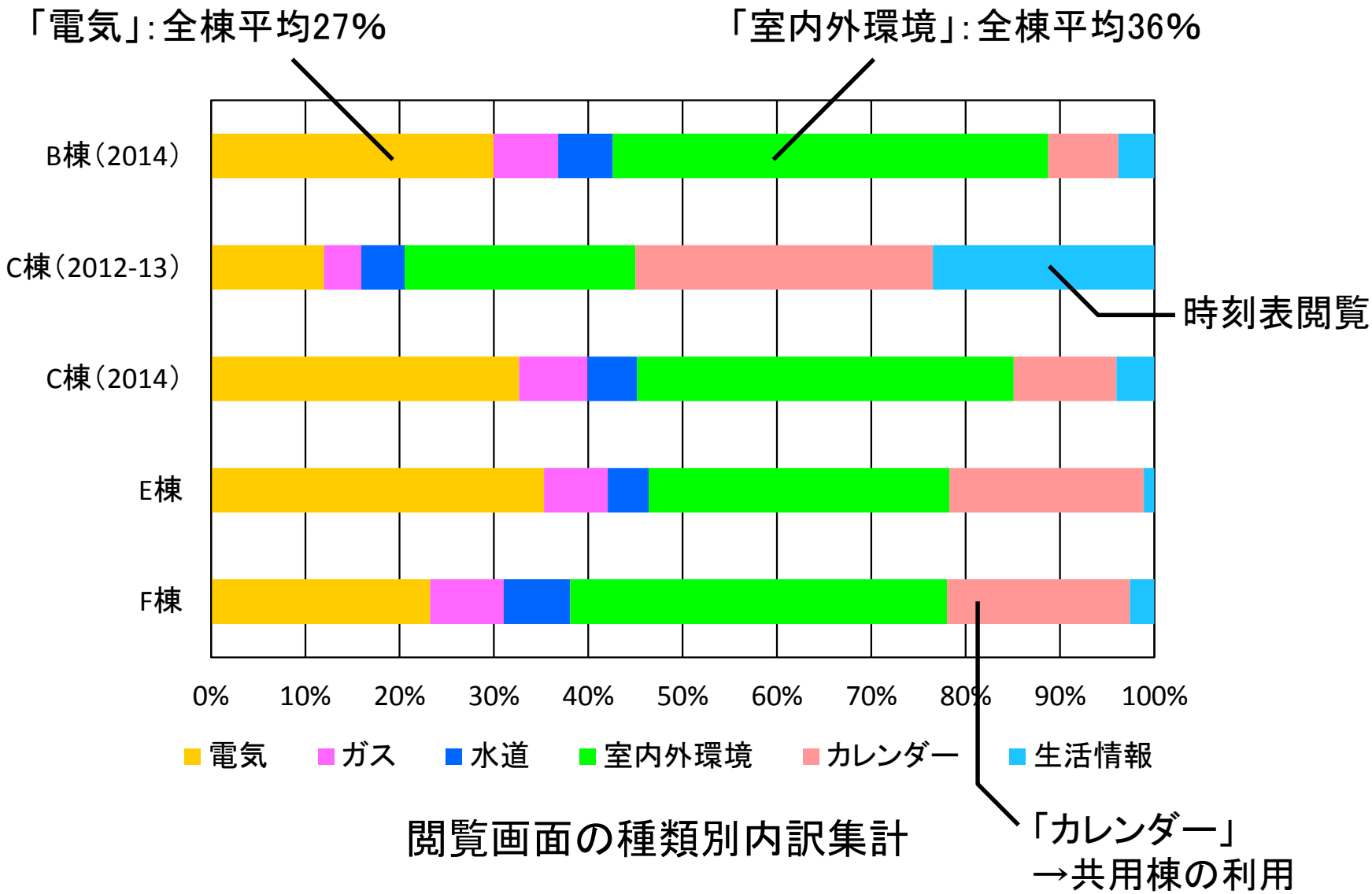
冬期の湿度調節の工夫が身についた。

画面閲覧状況の経年変化



閲覧画面状況の時系列変化（月別）

閲覧画面の内訳



閲覧画面の種類別内訳集計

長屋型住宅におけるシステム運用のまとめ

・パッシブ行動の実践においてシステムの活用が確認され、夏期の室温抑制、及び冬期の湿度上昇の傾向が見られた。

・導入から約1年半の経過分析で、室内環境画面を中心に利用が継続されていることが確認された。

・もともとエネルギー消費量はかなり小さいが、システム導入後にさらに消費量が削減された世帯も見られた。

↓

夏期の室温抑制や冬期の湿度上昇は、省エネだけでなく、熱中症や風邪の予防など、健康や安全に配慮した行動と言える。

中古住宅の断熱改修ニーズも年々増加しており、既存住宅へも設置が容易な小型パッケージ化した「健康・安全配慮ツール」としての確立を目指す。

室内外環境の見える化システムキットの開発

システムキットの開発コンセプト

開発コンセプト

・既存住宅への設置容易性
・閲覧の簡便性
・省電力設計
・データ収集の簡易化
・各住戸間での比較

→

・小型化・パッケージ化
・スマートフォン対応
・乾電池による長期駆動
・家庭のネットワークへ接続
・データをサーバで一元管理

計測項目

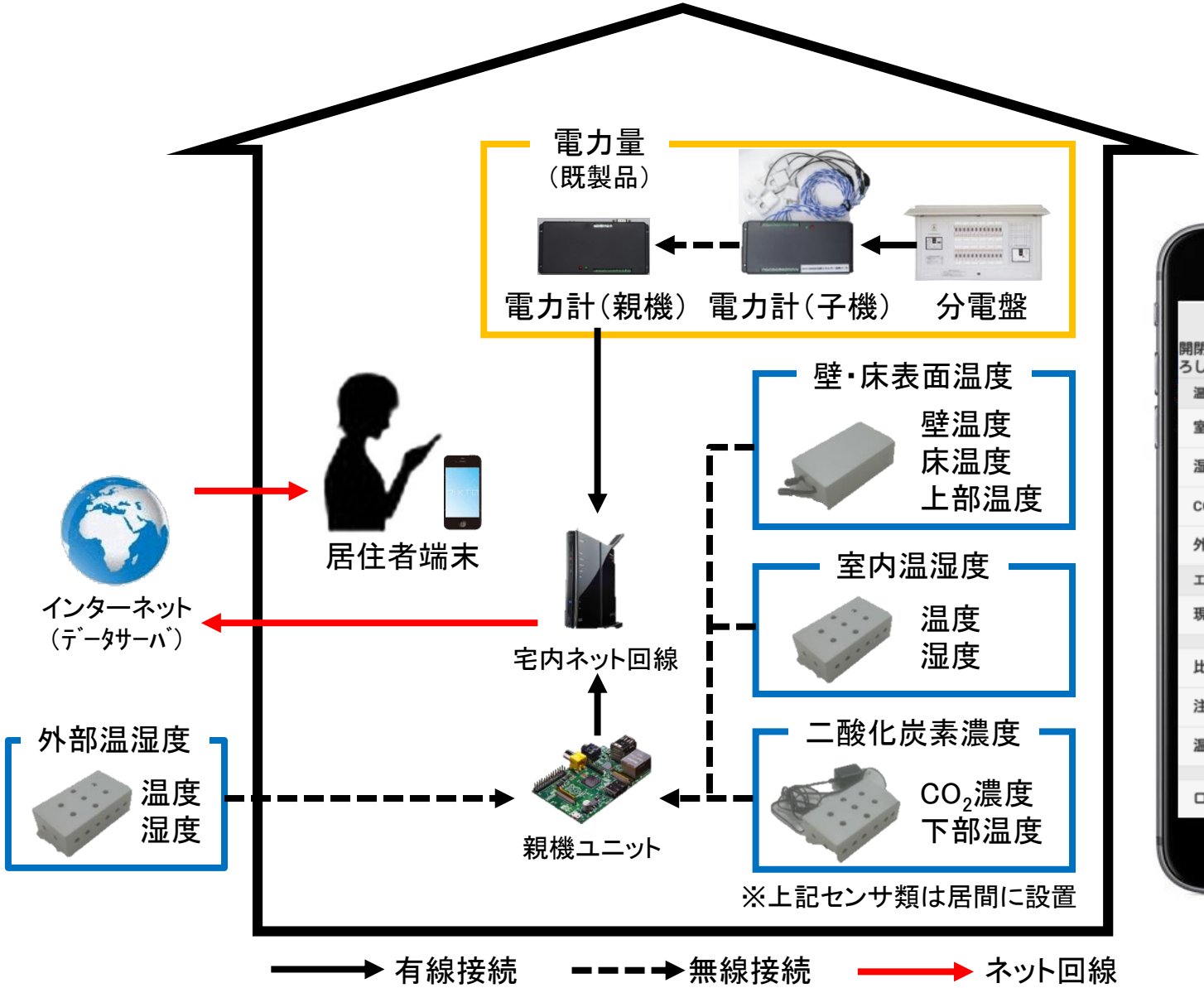
・温度（室内外）
・湿度（室内外）
・放射環境（周囲表面温度）
・空気質環境（換気通風状況）

・エネルギー（電力・ガス）
→既製品の組込（今回は電力のみ）

→

［向上・改善を目指す項目］
・省エネ性
・快適性
・健康安全性
（熱中症・乾燥・換気など）

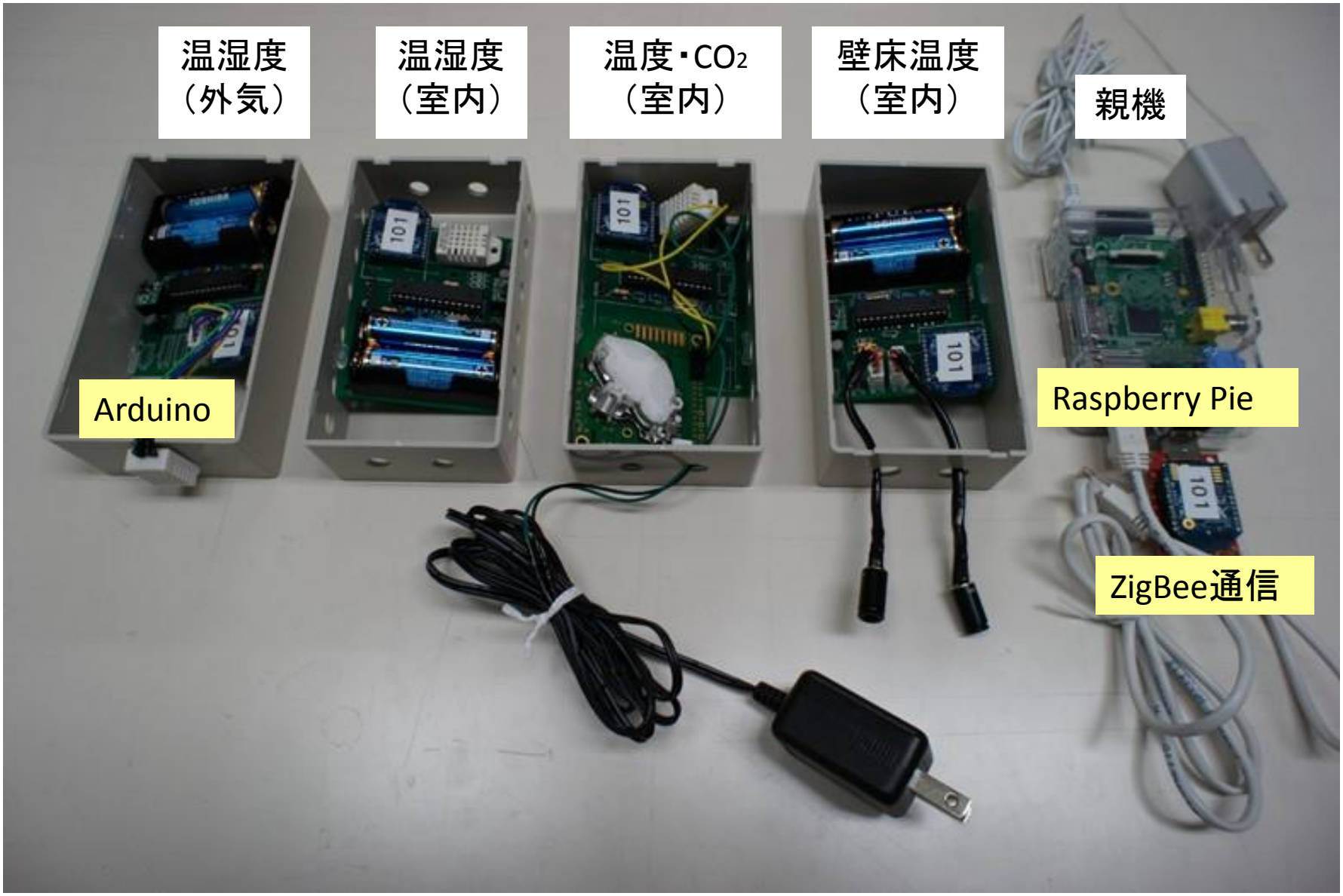
システムキットの構成（2014年バージョン）



ホーム画面

システムキット機材

システムキット機材


温湿度
（外気）
温湿度
（室内）
温度・CO2
（室内）
壁床温度
（室内）
親機
Arduino
Raspberry Pie
ZigBee通信

機器設置例

壁床温度（放射温度計）

温湿度計（外気用）

CO_2濃度計

システム画面例

実測値

注意報

ホーム画面

「熱中症注意報」「乾燥注意報」を
WBGT・湿度のレベルから算定して表示。

グラフ表示

現在値

室温

壁・床

上部・下部

日時選択

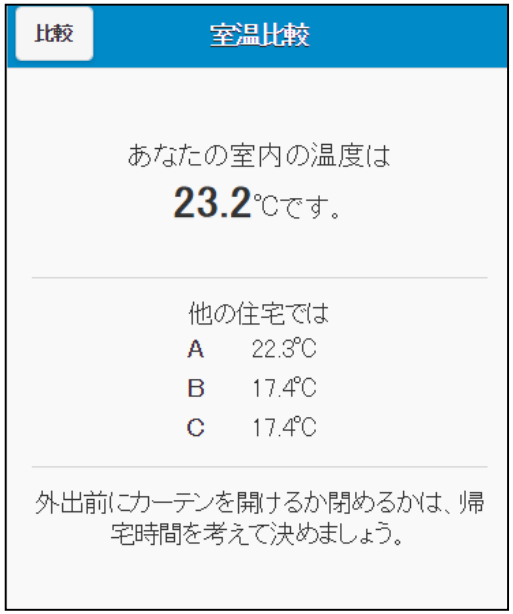
期間選択

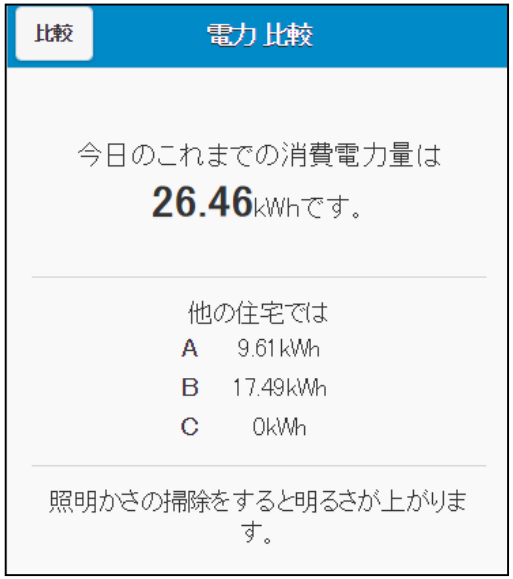
アドバイス

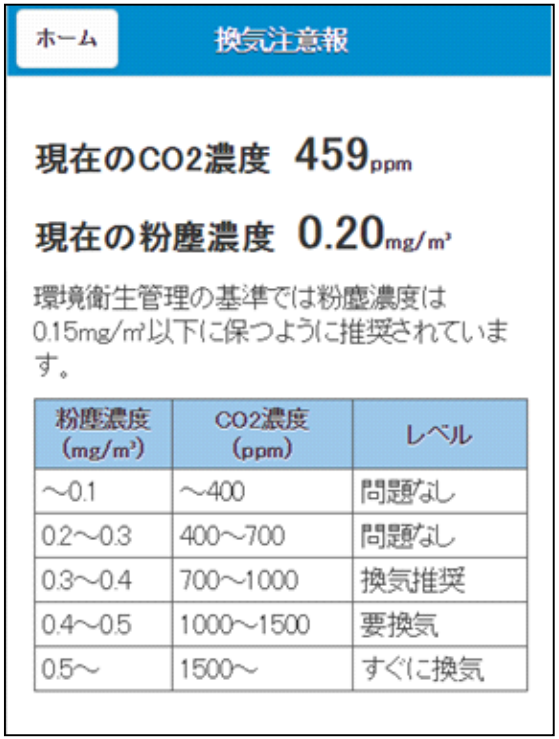
室内温度画面

システム画面例

比較画面（トップ）







換気注意報

冬期実測概要

前述の見える化システムキットを4セット製作し、冬期において首都圏の計6世帯に対して被験者実験を実施した。

各邸ともシステムキットを設置した後、以下のように実験を行った。

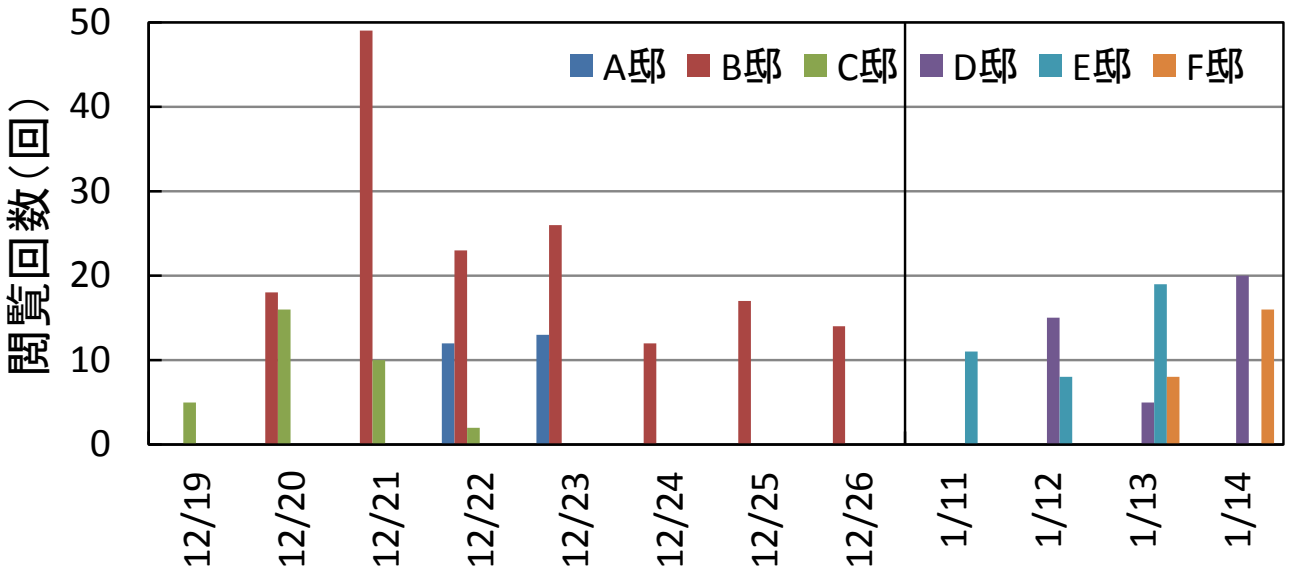
◇前半（1～2週間）　情報提供なし（データ計測のみ）

◇後半（1～2週間）　情報提供あり

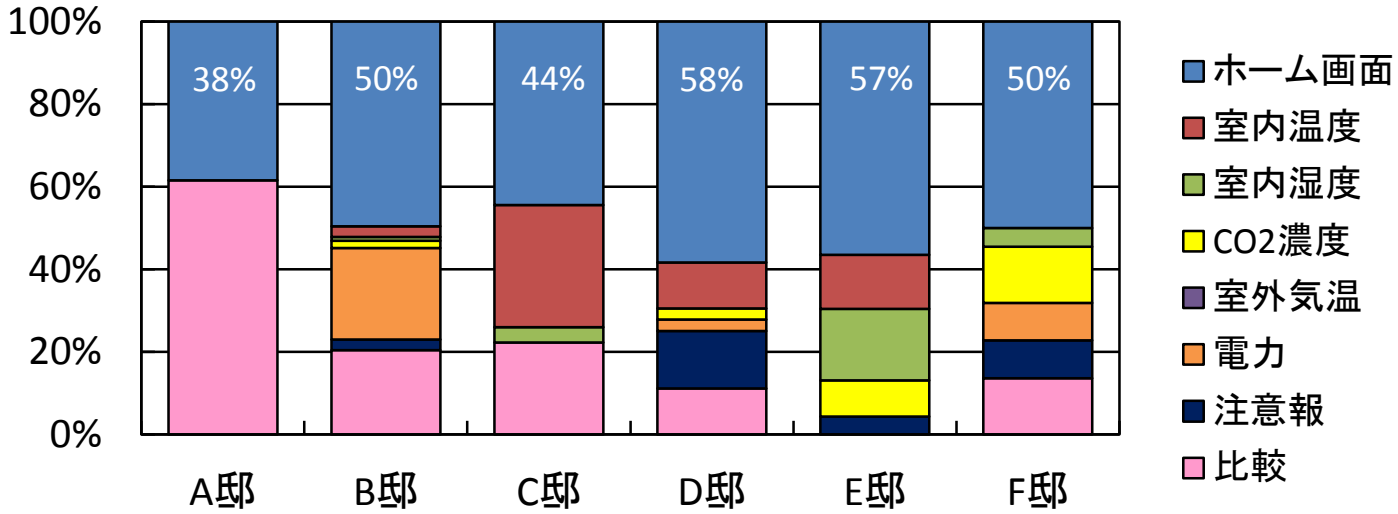
被験者実験の期間と世帯人数

	世帯名	期間		世帯人数
		見える化無	見える化有	
第一回目	A邸	12/5～20	12/21～26	4人
	B邸	12/12～19	12/20～26	4人
	C邸	12/10～18	12/19～26	1人
第二回目	D邸	1/8～1/11	1/12～1/14	4人
	E邸	12/29～1/10	1/11～	3人
	F邸	1/1～1/11	1/12～1/17	2人

システム閲覧状況



各住戸の日別画面閲覧数



各住戸の画面別閲覧割合

環境行動・意識の変化

表2　住環境への意識に関するアンケート調査項目

分野		意識調査内容
温度	a	温度調節に気を遣う
	b	カーテンの開閉に気を遣う
	c	上下温度差を小さくする工夫をする
	d	現在の室内温度が予測できる
	e	自分の快適な温度がわかる
	f	暖房器具をなるべく使わない温度調節方法を実践した
	g	壁床温度が体感温度への影響することに気付く
	h	上下温度分布が体感温度への影響することに気付く
湿度	i	湿度調節に気を遣う
	j	現在の室内湿度が予測できる
	k	加湿器をなるべく使わない温度調節方法を実践した
換気	l	換気に気を遣う
着衣量	m	着衣量の調節に気を遣う
室内全般	n	外出先から自宅の室内環境が気を遣う
	o	外出前の自宅の室内環境の調節に気を遣う
	p	就寝前の自宅の室内環境が調節に気を遣う
電力	q	待機電力が大きいことに気付く
	r	家電の使用に気を遣う
	s	無駄な電力の使用を控える

【評価】　2：あてはまる　　0：あてはまらない（以前と変わらない）
1：ややあてはまる

アンケート調査の結果

分野		意識調査内容	A邸	B邸	C邸	D邸	E邸	F邸	合計
温度	a	温度調節に気を遣う	×	○	△	×	×	×	3
	b	カーテンの開閉に気を遣う	×	△	○	△	×	×	4
	c	上下温度差を小さくする工夫をする	×	×	△	×	×	△	2
	d	現在の室内温度が予測できる	×	△	△	×	○	△	5
	e	自分の快適な温度がわかる	△	○	△	×	○	×	6
	f	暖房器具をなるべく使わない温度調節方法を実践した	△	○	×	×	×	×	3
	g	壁床温度が体感温度への影響することに気付く	△	△	△	×	×	×	3
	h	上下温度分布が体感温度への影響することに気付く	×	△	△	×	×	△	3
湿度	i	湿度調節に気を遣う	○	△	△	△	×	△	6
	j	現在の室内湿度が予測できる	△	△	×	×	○	△	5
	k	加湿器をなるべく使わない湿度調節方法を実践した	△	×	×	×	×	×	1
換気	l	換気に気を遣う	×	△	△	×	×	△	3
着衣量	m	着衣量の調節に気を遣う	×	○	×	△	×	×	3
室内全般	n	外出先から自宅の室内環境が気を遣う	△	○	×	×	○	×	5
	o	外出前の自宅の室内環境の調節に気を遣う	×	○	△	×	×	×	3
	p	就寝前の自宅の室内環境が調節に気を遣う	×	○	×	×	×	×	2
電力	q	待機電力が大きいことに気付く	△	○	×	○	○	△	8
	r	家電の使用に気を遣う	△	○	×	×	△	×	4
	s	無駄な電力の使用を控える	△	○	×	×	×	×	3
		合計	11	27	11	5	11	7	

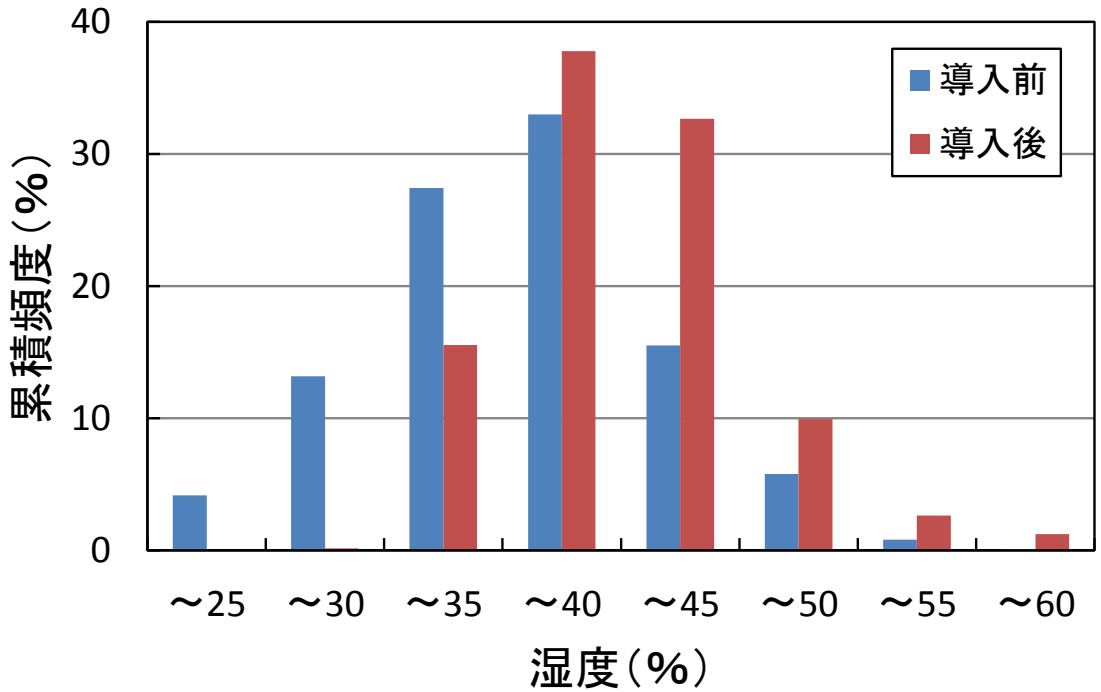
意識向上につながっている項目

- 湿度の調節
- 快適温度や実際の温湿度の把握
- 待機電力の大きさへの気付き　等

意識・実践していない項目

- 上下温度差解消の工夫
- 就寝前の室内環境の調整
- 換気への配慮　等

室内湿度改善の事例（F邸）

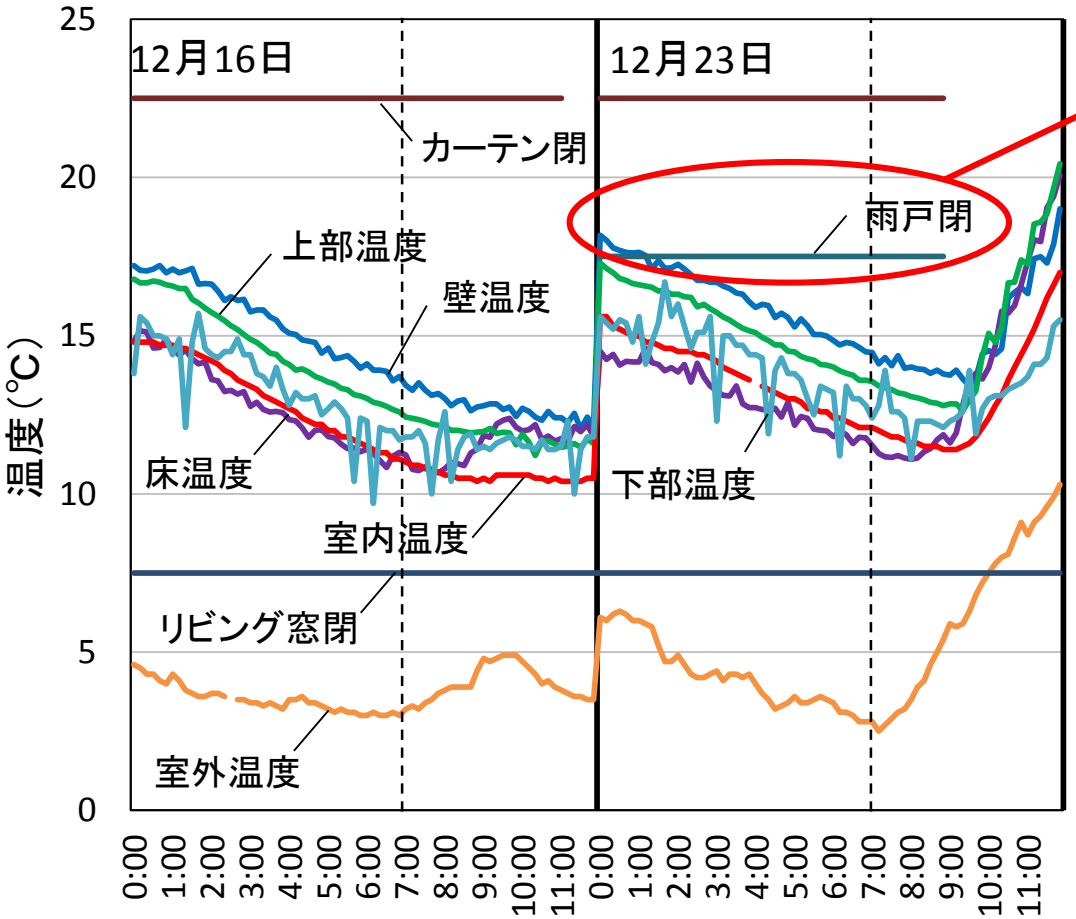


室内湿度ヒストグラム（在宅時のみ）

システム導入前後で
～40%　＋4.8ポイント
～45%　＋17.2ポイント
～50%　＋4.2%ポイント

システム導入前後での外気湿度レベルに大きな違いは見られないため、短期間での室内湿度分布の上昇は、湿度に対する意識向上と取り組み実践（洗濯物の部屋干し等）の効果と考えられる。

室内温度改善の事例（C邸）



システム導入後は、夜間に雨戸を閉めるようになった

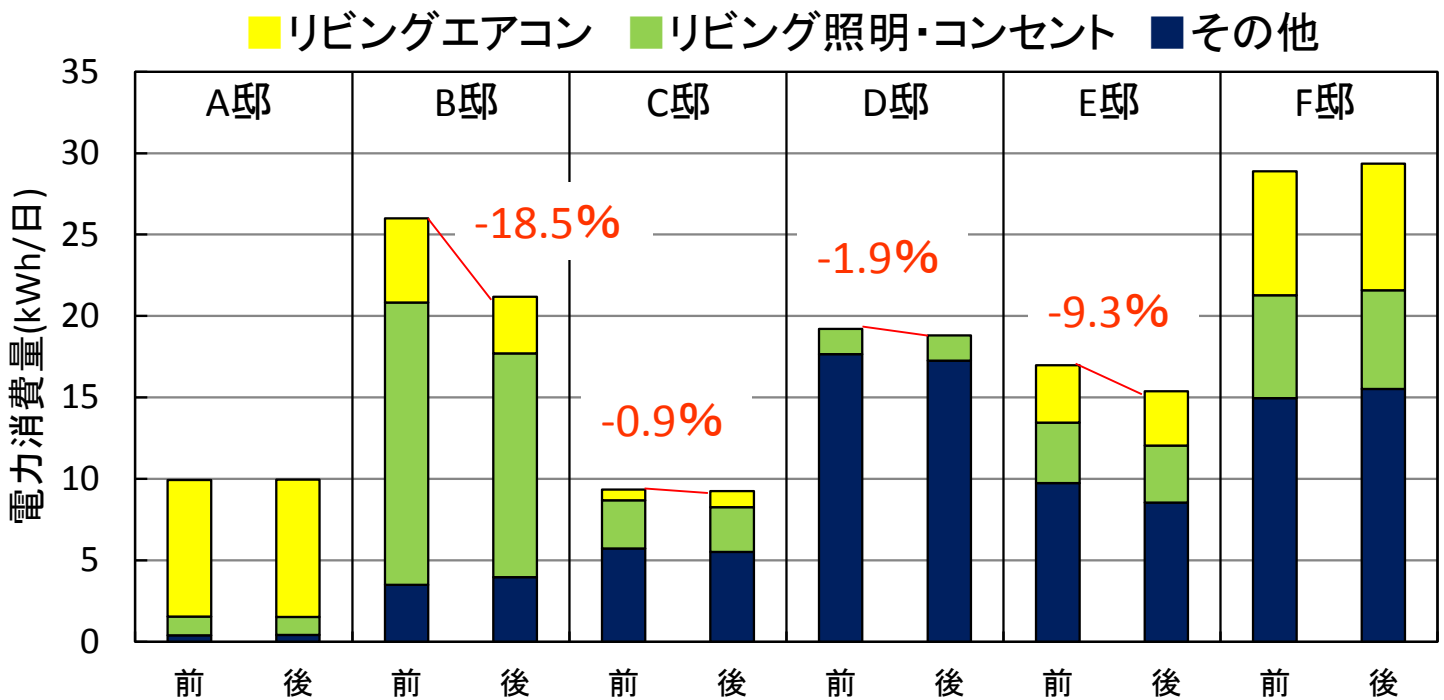
雨戸を閉めたことにより室内全体の温度低下が緩やかになっている

室内温度 ＋1.1℃

朝7:00の各部温度比較

雨戸		壁温度	床温度	上温度	室内温度	下温度
開	12/16	13.43	11.23	12.43	11	11.8
閉	12/26	14.47	11.53	13.55	12.1	12.4

電力消費量



※A邸のリビングエアコンは
分電盤の都合上異なる用途。

実験期間中の電力消費量比較

6邸中4邸はほとんど変化が見られなかったが、2邸では減少が見られ、中でもB邸では18.5%の減少であった。
このB邸の閲覧回数（ホーム＋電力グラフ）は期間中80回以上と最も多く、アンケート結果でも電力関連の意識向上が顕著であり、システム使用による意識の変化や行動が電力消費量の減少につながった可能性が高いと考えられる。

開発システムの実験結果のまとめ

	開発時の想定	アンケートによる意識調査分析	結果・考察
温度調節	カーテン開閉などで温度調節を行う	世帯により関心が異なる	一部の世帯で改善が見られた
湿度調節	乾燥に気付いて加湿の工夫を行う	多くの世帯で湿度環境に関心	一部の世帯で改善が見られた
換気	CO_2濃度に応じて換気を行う	ほとんど気にしていない	冬期以外にも実験が必要
体感温度	パッシブ手法・体感温度への理解向上	温湿度レベルの把握はできた	もう少し長期間の実験が必要
省エネ効果	暖房や家電の使い方を見直す。	待機電力や家電の消費を気にしている	一定の効果が確認できた

その他　・寝室などリビング以外の環境も知りたいという意見が複数あった。
・環境調整して欲しいタイミングで見ているとは限らない点は課題。

システムキットのバージョンアップ（2015年版）

「健康・安全面の注意喚起」の強化を中心にシステムを改良

「健康・安全」に着目した環境見える化キットの開発

「健康・安全」面の見える化

- 夏の「熱中症」注意
- 冬の「乾燥」注意
- 暖房時などの「換気」注意

「快適」面の見える化

- 室内外の温度比較
- 室内の上下温度差表示
- 体感温度の表示

上記をスマホ画面を見なくても
すぐに「気づいてもらう」仕掛け

➡ LEDランプ表示器

「熱中症」(夏)
「乾燥」(冬)
アラート

「要換気」
アラート

CO_2と粉塵濃度で判断

中間期の表示例

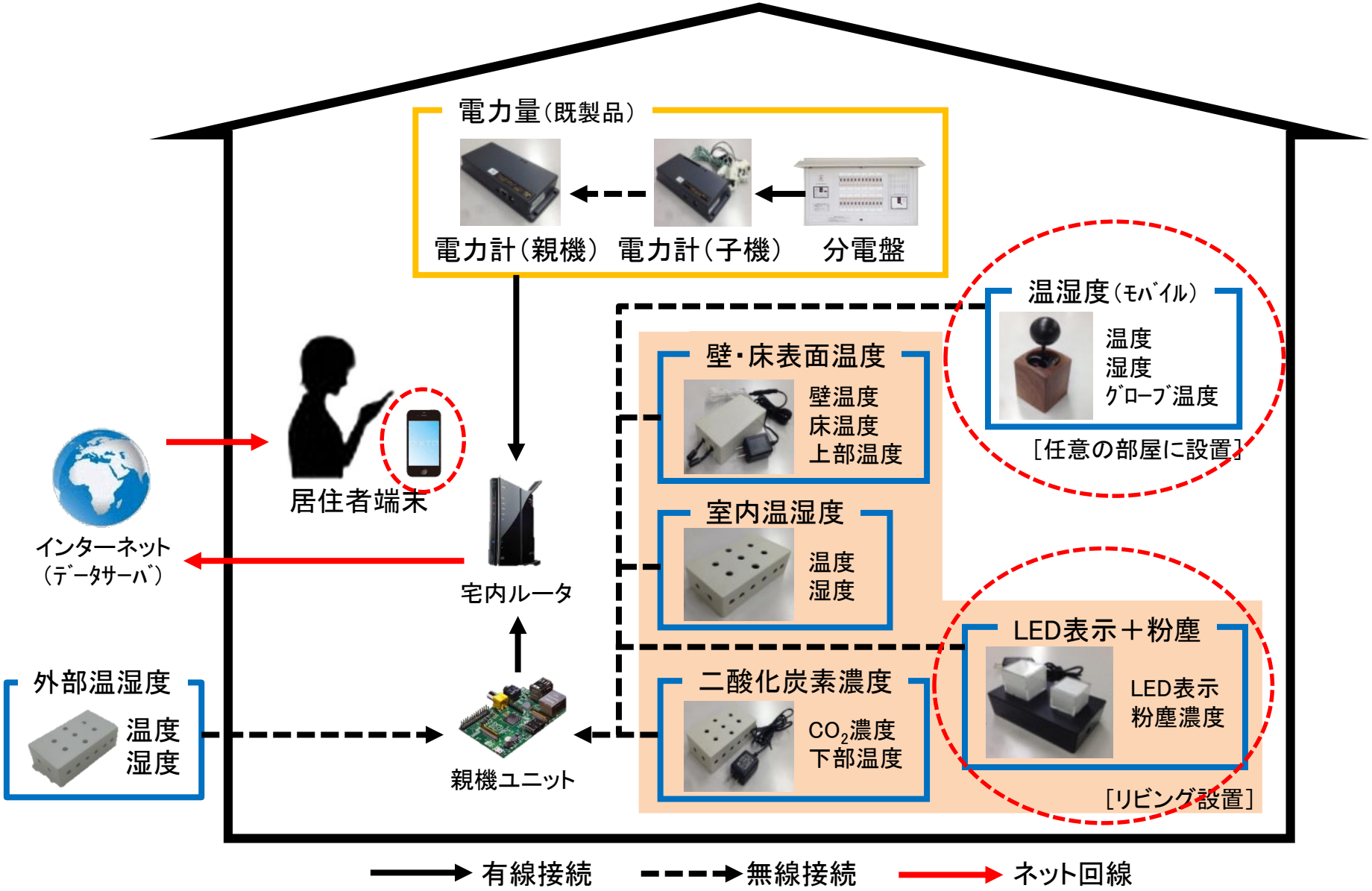
色	温度(℃)
🔴	27℃以上
🟠	23℃以上27℃未満
🟡	19℃以上23℃未満
🟢	15℃以上19℃未満
🔵	15℃未満

乾燥注意報表示

レベル	湿度
	40%以上
	30%以上40%未満
	30%未満

※40%未満で点滅

システムキットの構成（2015年バージョン）



「うちレポ」閲覧画面の改良

2014年度のホーム画面

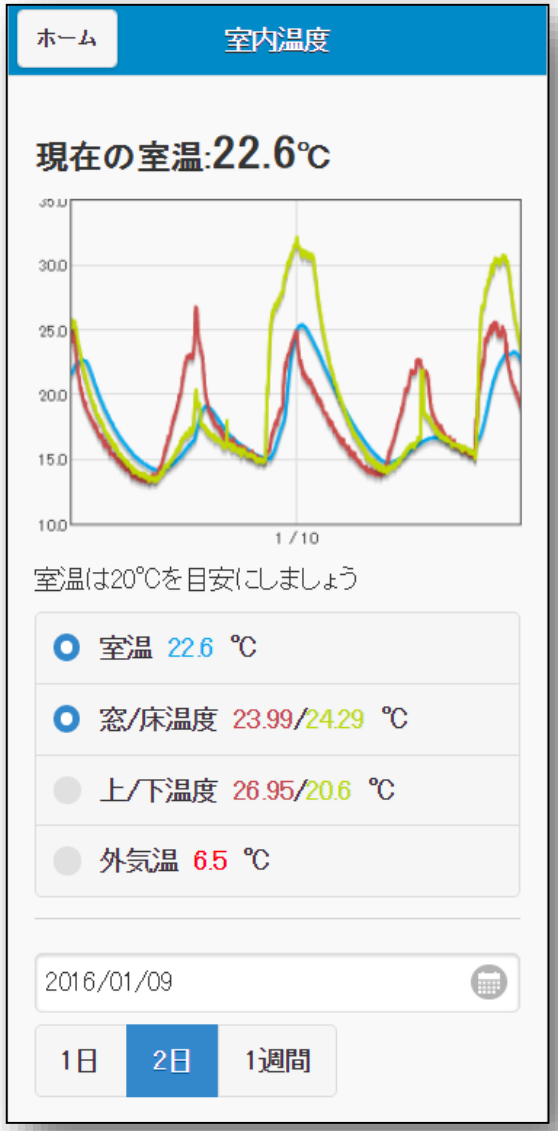
注意報表示の強調

天気予報

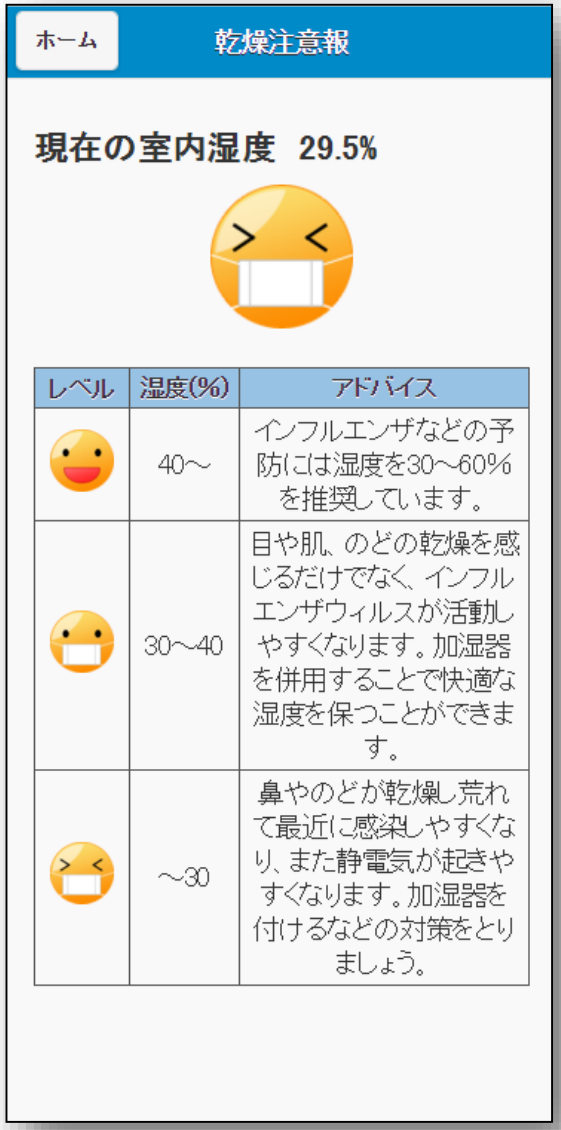
モバイル用温湿度・体感温度表示

2015年度のホーム画面

「うちレポ」閲覧画面の改良



室温グラフ画面

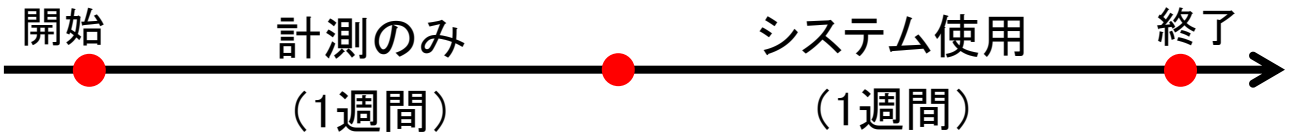


乾燥注意報画面

被験者実験の概要

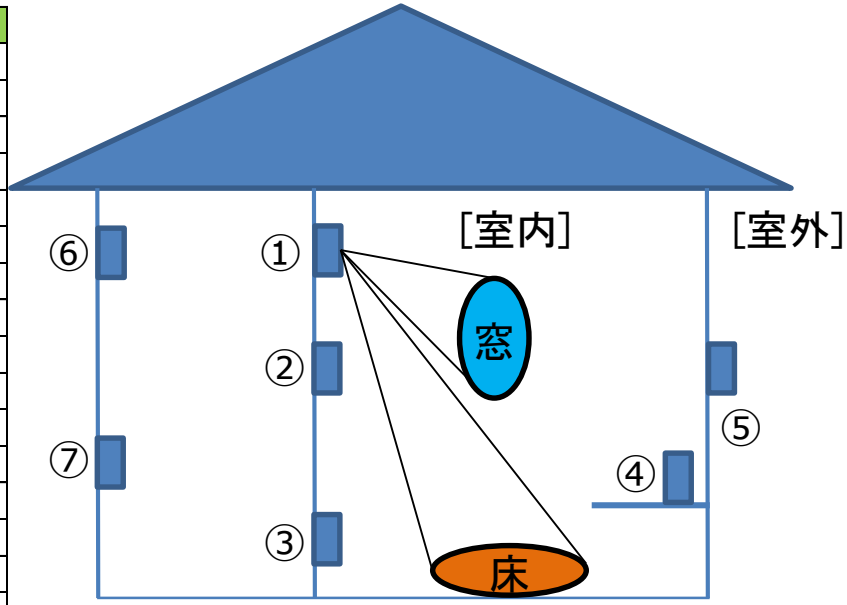
建物概要				
世帯名	所在地	世帯人数	住居形態	構造
A邸	東京都町田市	5人	戸建	木造
B邸	神奈川県平塚市	5人	戸建(2階のみ)	木造
C邸	東京都町田市	4人	戸建	木造
D邸	埼玉県さいたま市	4人	マンション(4階)	鉄筋

外気温湿度計



LED表示器

	番号	計測項目
屋内	①	窓放射温度
		床放射温度
		補正用(上)温度
	②	温度
		湿度
	③	二酸化炭素
		下温度
	④	粉塵濃度
屋外	⑤	温度
		湿度
電力	⑥	家全体
		リビング
		エアコン
別室	⑦	グローブ温度
		温度
		湿度

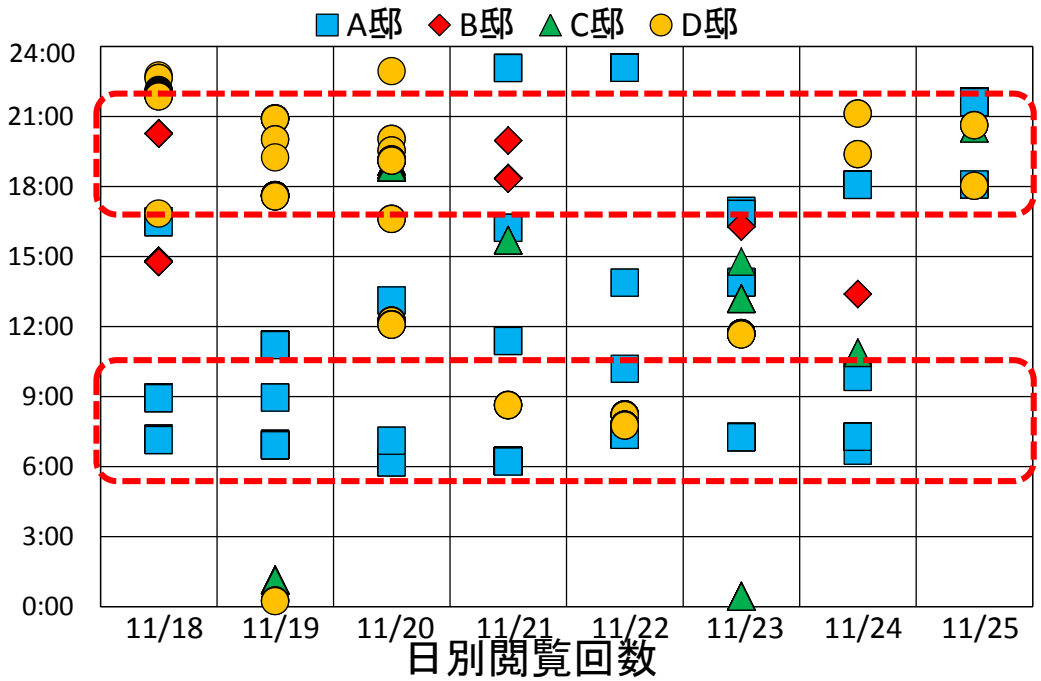


システム計測機器設置例

アンケート内容

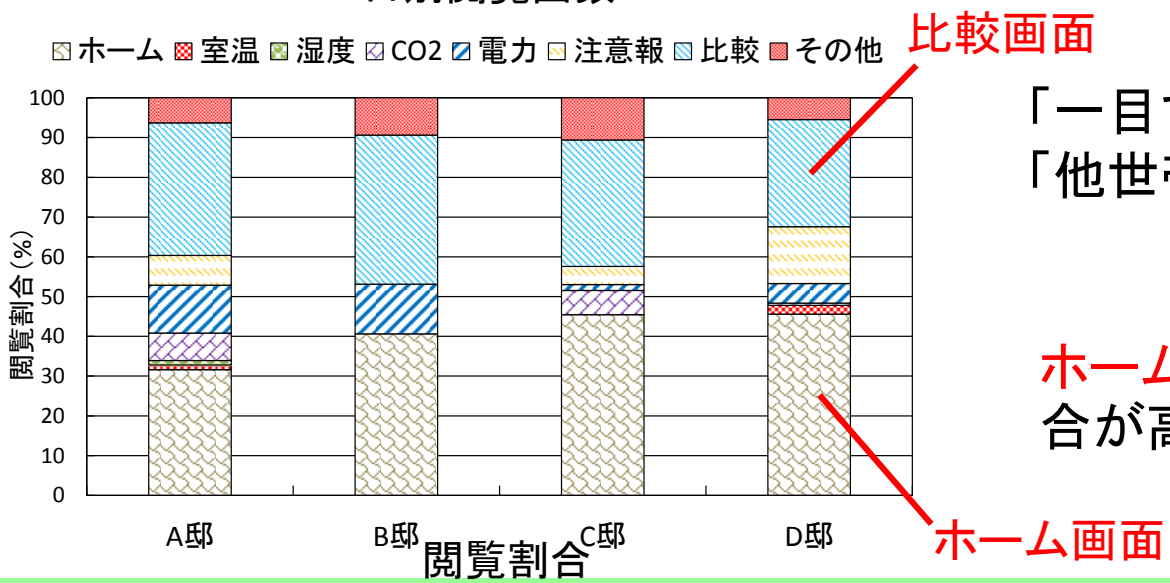
被験者について	性別
	年齢
	住居形態
	機材設置場所
	中間期の過ごし方
	省エネ意識や行動
閲覧画面について	画面デザイン
	閲覧タイミング
	システム活用について
	光キットについて
	システムの感想

システム閲覧状況



室内環境への興味関心やライフスタイルによって頻度が分かれた

A邸（■）は朝方、D邸（●）は夜に定期的な閲覧が見られた



「一目で多くの情報が閲覧できる」
「他世帯と比較できるのが面白い」

ホーム画面と比較画面の閲覧割合が高くなっていた

アンケートによる環境意識・行動の変化の分析

分野		環境意識調査項目	A邸	B邸	C邸	D邸	
温度	a	温度調節に気を遣うようになった	○	△	△	△	5
	b	現在の室内温度が予測できるようになった	○	×	○	○	6
	c	自分の快適な温度がわかるようになった	○	△	×	○	5
	d	暖房器具をなるべく使わない温度調節方法が実践できた	○	×	×	△	3
	e	直射日光を室内に取り入れるようになった	△	○	△	○	6
	f	カーテンの開閉に気を遣うようになった	△	×	△	○	4
湿度	g	湿度調節に気を遣うようになった	○	×	△	△	4
	h	現在の室内湿度が予測できるようになった	△	×	○	○	5
	i	加湿器をなるべく使わない湿度調節方法が実践できた	×	×	×	△	1
換気	j	換気に気を遣うようになった	○	×	○	○	6
室内環境	k	外出先から自宅の室内環境が気を遣うようになった	×	△	×	○	3
	l	外出前の自宅の室内環境の調節に気を遣うようになった	△	△	×	△	3
	m	就寝前の自宅の室内環境が調節に気を遣うようになった	△	△	△	△	4
電力	n	家電の使用に気を遣うようになった	○	○	△	○	7
	o	無駄な電力の使用を控えるようになった	○	○	△	△	6
	p	テレビは見ていないときはこまめに切る。	○	○	○	○	8
	q	長時間使用しない家電はプラグを抜く。	△	○	×	△	4
伝達方法	r	光キットのような光での情報表示は有効である。	○	×	○	○	6

評価　○ +2：あてはまる　△　+1：ややあてはまる　×　0：当てはまらない

実行された点

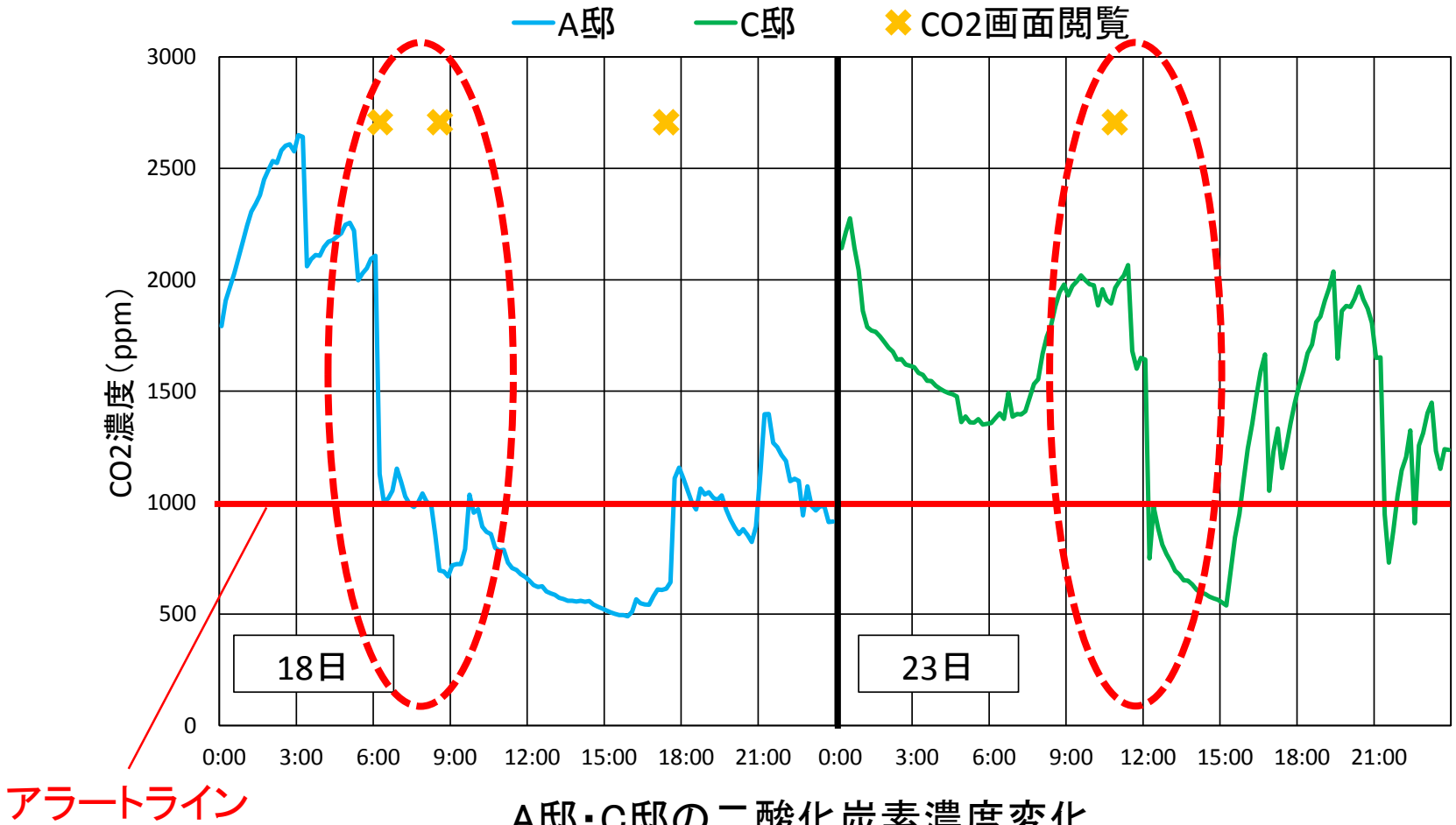
- 換気行動
- 温度予測
- 日射の取入れ
- 節電

実行されにくかった点

- 暖房器具を使用しない温度調節
- 加湿器を使用しない湿度調節
- 外出前の室内環境調節への配慮

・工夫の必要な行動
・不在時の環境調節
などは、実行度が比較的低い結果となった。

換気行動の事例（A邸・C邸）

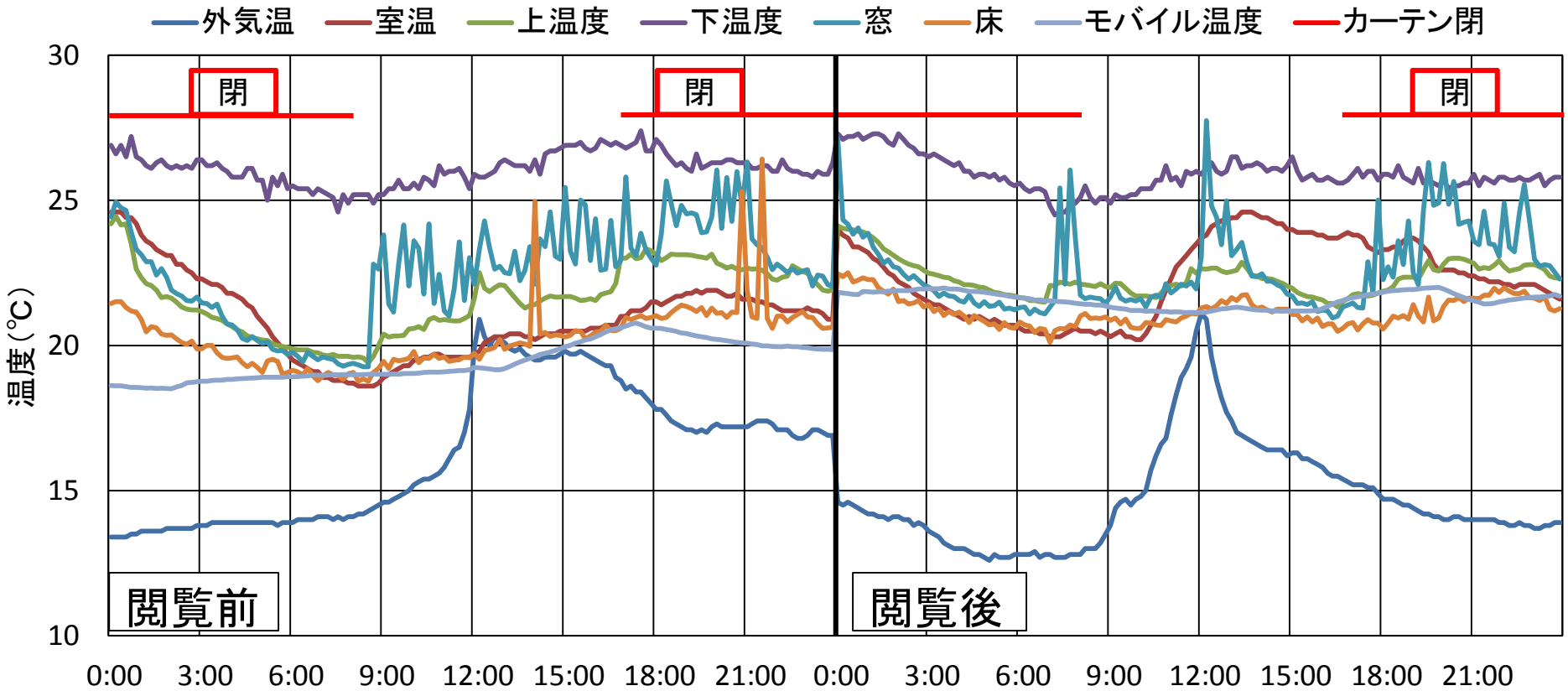


A邸・C邸の二酸化炭素濃度変化

CO_2濃度が下がった直前の時間帯にCO_2画面の閲覧がされていた。

LED表示の換気注意の点滅表示に気づいて画面を閲覧し、換気行動をおこなったことが推察された。

温熱環境への気づき（D邸）



D邸の温熱環境変化（外気温度が類似する日で比較）

画面閲覧による顕著なパッシブ行動の変化は確認できなかったが、、

アンケートから、LED表示によって、
「体感温度と実際の温度の違いに気づいた」
「温度に対する服装調節ができた」
「日射による温度変化を意識して生活できた」

「気づき」や「意識変化」の面では効果があったと言える。

その他の効果・意見

■室内環境

・日常的にLED表示器が目に入ることから室内環境への興味・関心をもてた。

・今の室温が子供にとって寒すぎないかをLEDの色で確認した。

・乾燥アラートが出ているときは加湿器をつけた。

・キットを取り外した後に、LED表示器をあてにして生活していたことに気づいた。

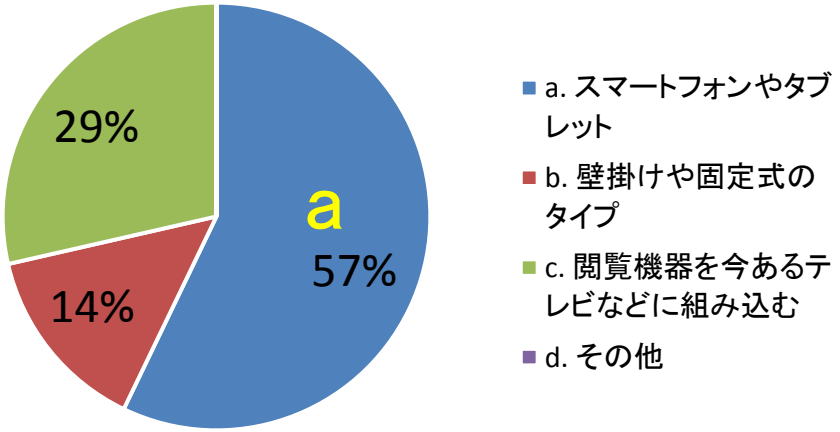
■消費電力

・暖房使用のタイミングをLEDの色で判断していた。

・電力比較画面で他世帯より省エネに生活しようと意識していた。

システムの汎用化に向けたアンケート（1）

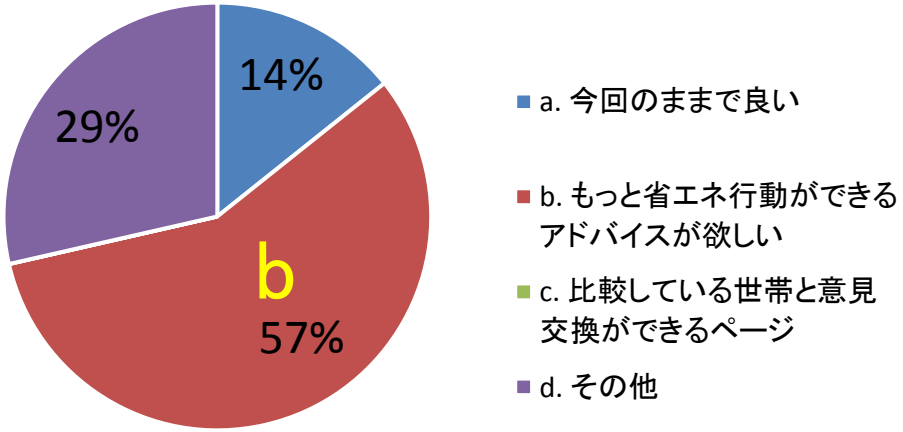
利用しやすい閲覧方法



「a. スマートフォンやタブレット」の回答が半数強を占める。

多くの世帯で今回のシステムキットの方法が受け入れられていたと言える。

追加して欲しいコンテンツ

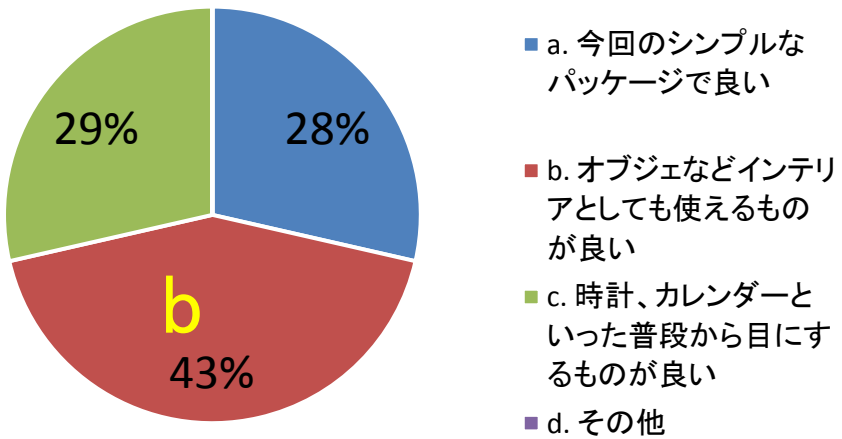


「b. 省エネ行動向けアドバイス」の回答が半数強を占める。

現システムではアドバイス表示は最小限に絞っており、追加するニーズが確認ができたと言える。

システムの汎用化に向けたアンケート（2）

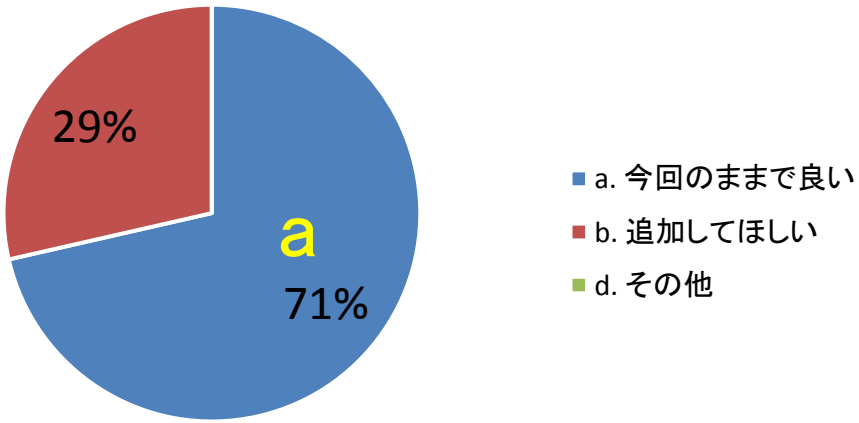
機器のデザイン



「b. インテリアとしても使えるもの」の回答が約4割を占める。

オブジェのようにインテリアとしても使えるデザインは、今後検討の余地があると言える。

LED表示器の表示内容



「a. 今回のままで良い」の回答が約7割を占める。

現状の「室内外温度＋アラート情報」のままで構わないという意見が大半を占めた。追加してほしい内容には、湿度や電力などが挙げられた。

見える化システムキット被験者実験のまとめ

・システムキット使用によって、室内外環境への様々な気づきや興味関心を持つ傾向が見られ、具体的なパッシブ行動の実践に結びつく事例も見られた。

・LED表示器によって、ほとんどの世帯で室内外環境への日常的な気づきの誘発やアラート項目への注意喚起につながっていることが確認された。

・他世帯との比較画面への関心も高い傾向が見られた。

今後は、被験者数と実験期間を増やしながら、
・注意報表示を始めとした情報伝達による環境改善効果の詳細な検証
・効果的な比較画面コンテンツの検討
・設置に手間と抵抗の少ないシステムとデザインへの改良
などを進めていく必要があると言える。

2016年バージョンの改良点

開発システムのコンセプトの1つ
・既存住宅への設置容易性

【電力計測の課題】

分電盤にクランプするタイプの電力量計（既製品）は、居住者自らが設置するには手間を伴うとともに、電源ケーブル引き回し等の煩わしさがあった。

＜以下の仕組みを組み込んで実験中＞

［総電力］
スマートメーターからデータを取得（Bルートサービスを活用）

［個別電力］
コンセント電力計測器（WeMo）の使用

【その他】

・設置機材の小型化・デザインの改良
・画面表示内容の改良
・冬期の被験者実験　等

おわりに

従来型のHEMSと比較して、
本開発の目指すところをまとめると、

「新築住宅限定」のシステムから、
「既存住宅でも手軽に使える」システムへ。

「省エネ行動」を促す仕掛けから、
「環境調整行動」も促す仕掛けへ。

「エネルギー消費」のマネジメントから、
「安全・健康・快適性」のマネジメントも。

「居住者」の省エネレベル評価ツールから、
「住宅自体」の省エネレベルも評価できるツールへ。

ありがとうございました。