

住宅・建築の 省エネルギー性能評価手法の高度化 —省エネ基準の技術的根拠に向けた研究—

環境研究グループ：桑沢保夫

I はじめに

建築研究所における住宅・建築の省エネルギーに関する研究



省エネ法の技術的根拠として活用

講演の内容

- 研究の背景：省エネ基準を取り巻く状況
- 建築研究所における

住宅および業務用建築の

省エネルギー性能評価手法に関する研究開発の例

Ⅱ 研究の背景：省エネ基準を取り巻く状況

1) 温室効果ガス削減目標

COP21 (国連気候変動枠組条約第21回締約国会議、パリ、2015年11月30日～12月13日)

➤ 2020年以降の温暖化対策の国際枠組み「パリ協定」を採択

日本の削減目標

国内の排出削減・吸収量の確保により、

2030年度に2013年度比 ▲26.0% (2005年度比 ▲25.4%)

内訳：業務その他部門、家庭部門のいずれも40%削減

(エネルギー転換部門で28%削減)

➤ 目標の達成には、住宅・建築に関して大幅な省エネルギーが期待されている。

Ⅱ 研究の背景：省エネ基準を取り巻く状況

2) 省エネ基準の変遷 ①住宅

- 住宅の断熱・気密性を高めることで暖冷房負荷を減らしてきた。

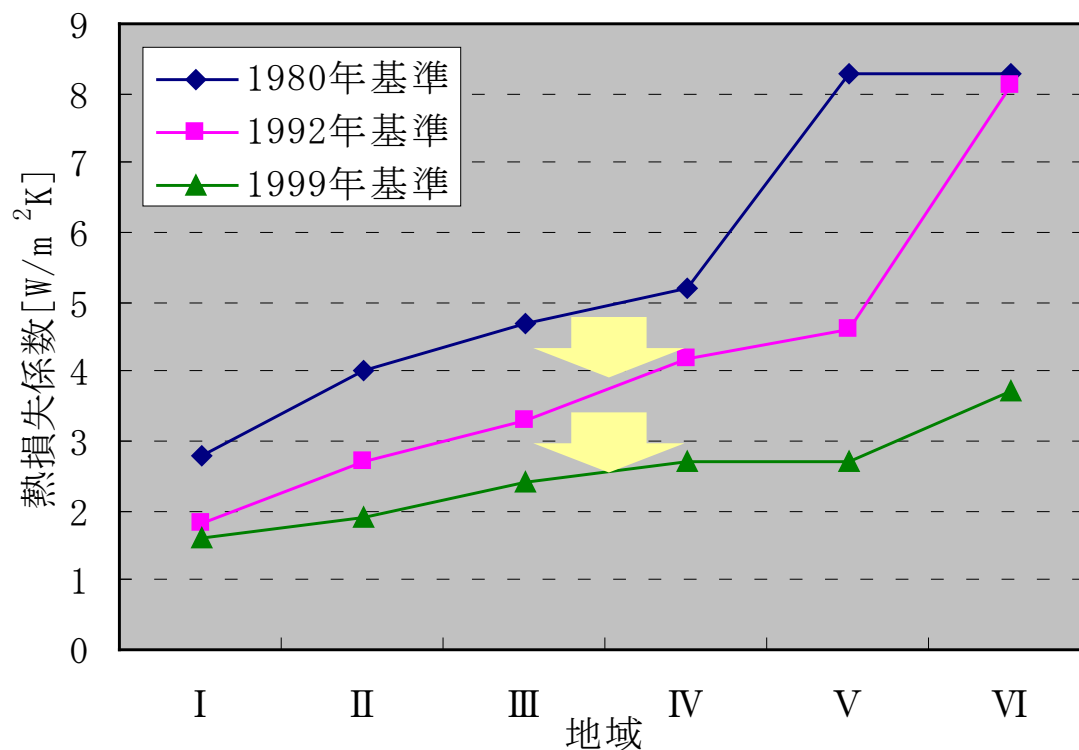
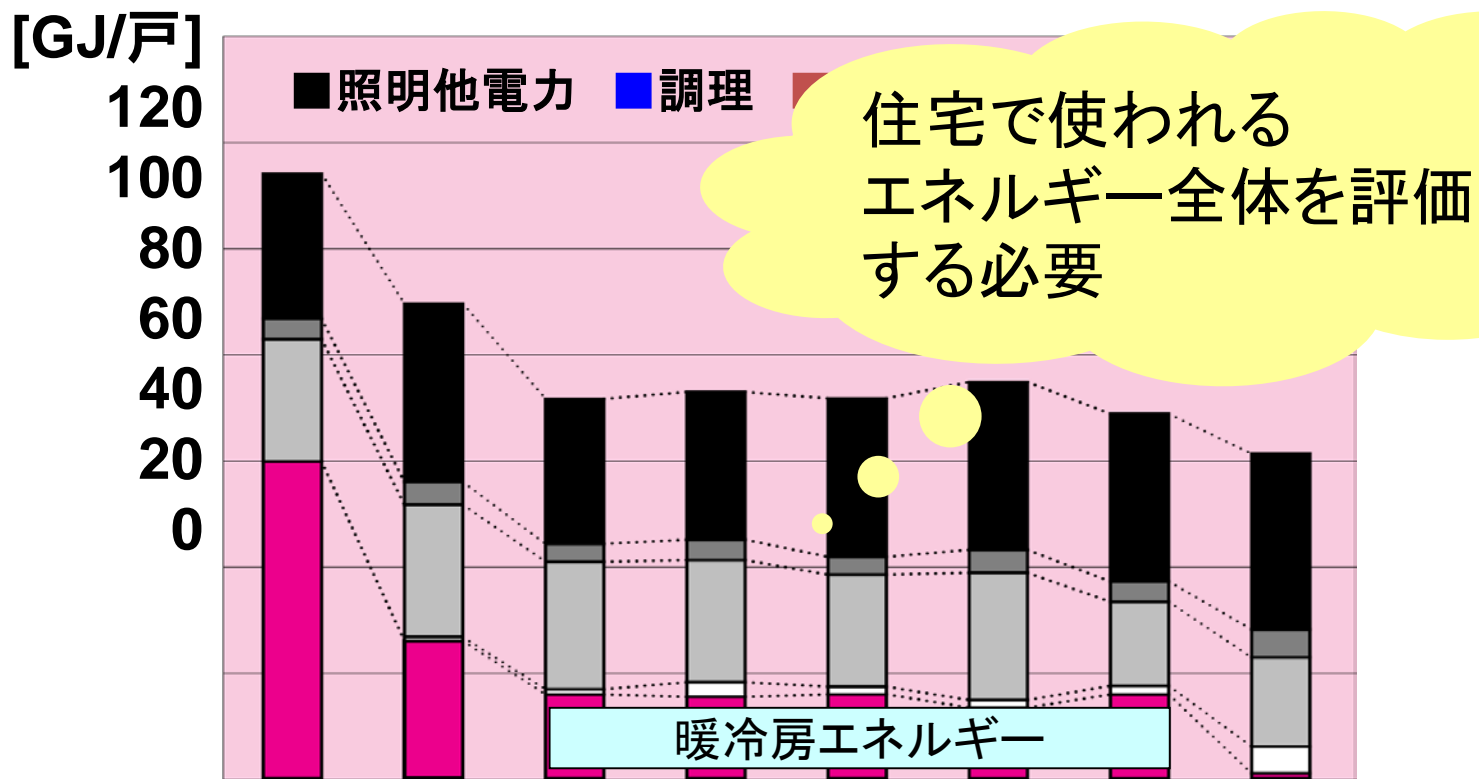


図 戸建て住宅の熱損失係数基準値

Ⅱ 研究の背景：省エネ基準を取り巻く状況

2) 省エネ基準の変遷 ①住宅



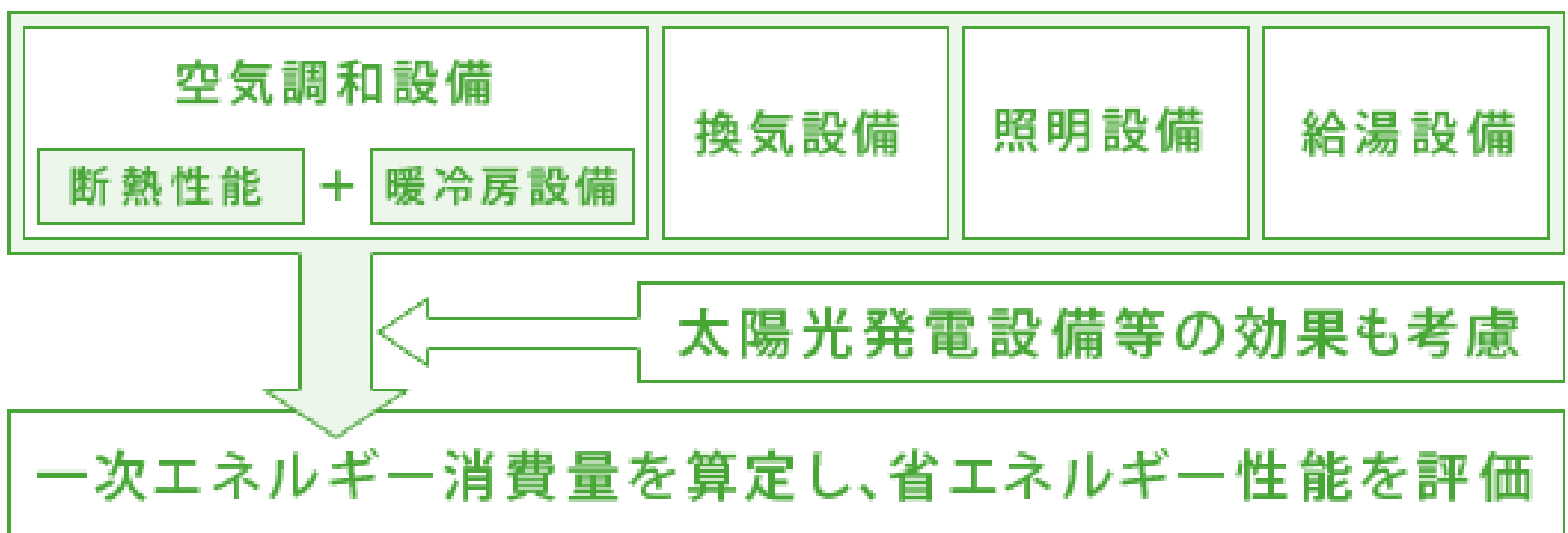
札幌 仙台 新潟 東京 名古屋 京都 福岡 那覇

図 住宅におけるエネルギー消費の現状
—8都市域の戸建て住宅に関する比較—

Ⅱ 研究の背景：省エネ基準を取り巻く状況

2) 省エネ基準の変遷 ①住宅

2013年(平成25年)基準



Ⅱ 研究の背景：省エネ基準を取り巻く状況

2) 省エネ基準の変遷 ②業務用建築物

■建築物の外壁、窓等を通しての熱の損失の防止のための措置

PAL (Perimeter Annual Load)

適切な配置計画、平面計画、外壁、窓等の断熱の向上、窓からの日射の制御等

■エネルギーの効率的利用のための措置

CEC (Coefficient of Energy Consumption)

空気調和設備(CEC/AC).....効率の高い熱源、適切な制御方法等

空気調和設備以外の機械換気設備(CEC/V).....適切な搬送計画、制御方法等

照明設備(CEC/L).....適切な配置、昼光利用等の照明制御等

給湯設備(CEC/HW).....効率の高い熱源、配管の断熱等

エレベーター(CEC/EV).....必要な輸送能力に応じた設置計画等

Ⅱ 研究の背景：省エネ基準を取り巻く状況

2) 省エネ基準の変遷 ②業務用建築物

表 1 業務用建築物の省エネルギー基準の変遷

1980年	建築の省エネ基準を制定。 2000 m ² 以上の事務所建築の省エネ措置(PAL とCEC/ACのみ)を建築確認時に行政窓口の判断でチェック。
1993年	CEC/V,L,HW,EV が追加される。病院、学校も対象に。
1999年	基準値を強化(京都議定書への対応)。
2002年	住宅を除く2000 m ² 以上の建築に対して、省エネ措置の届出(新築・増改築)を義務化。
2003年	仕様基準(ポイント法)の制定:届出の義務化への対応
2006年	2000 m ² 以上の住宅にも省エネ措置の届出を義務化。 2000 m ² 以上の全建築に、大規模修繕の際の省エネ措置と定期報告を義務化。
2009年	2000 m ² 以上の全建築に省エネ措置を「義務化」
2010年	300 m ² 以上の全建築に省エネ措置の届出を義務化

Ⅱ 研究の背景：省エネ基準を取り巻く状況

2) 省エネ基準の変遷 ②業務用建築物

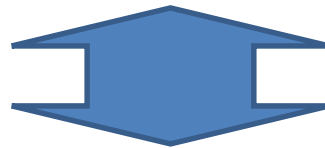
2013年(平成25年)基準

- ❖ 外皮の熱性能に関する基準(PAL)は既存のまま→後にPAL*へ。
- 5設備のCEC値(効率)による判断から、
一次エネルギー消費量(量)を指標とした判断基準に
 - 設計段階だけではなく、運用段階でも使える指標に
- 対象設備(空調+換気+照明+給湯+昇降機+効率化設備)は変更なし
 - 告示上は「その他エネルギー消費量」を加えている。
- 判断基準値は、単位面積あたりの年間一次エネルギー消費量として**室用途別に与えられる**。
 - 当該建物の室用途構成に応じて建物全体の判断基準値を算出し、これと各設備のエネルギー消費量計算値(評価値)を比較して、基準適合の判断を行う。

Ⅱ 研究の背景：省エネ基準を取り巻く状況

3) 現行基準において検討が必要な点

- 使用状況等は一定の想定で一次エネルギー消費量を算出
→ 実態値を確認して、想定された条件による計算値と実態値の乖離がなるべく小さくなるように条件を決める必要
- 各種の機器等のエネルギー消費量算出：機器の性能値が必要



- 新しい機器など性能値を決める公的な規格が存在しない機器
実験等で確認された性能値のうち比較的低い値で計算
→ それらの性能差を評価できない
→ 性能値の測定方法を定義する必要

Ⅲ 住宅の 省エネルギー性能評価手法に関する研究開発

1) 実測調査による検証

①目的

省エネルギー基準適合住宅のエネルギー消費を詳細に把握することは、今後省エネルギー基準における一次エネルギー消費推計の与条件を検討する際などに有用



温暖地(5地域)における省エネルギー基準適合住宅3件を対象にエネルギー消費の計測調査を実施

Ⅲ 住宅の 省エネルギー性能評価手法に関する研究開発

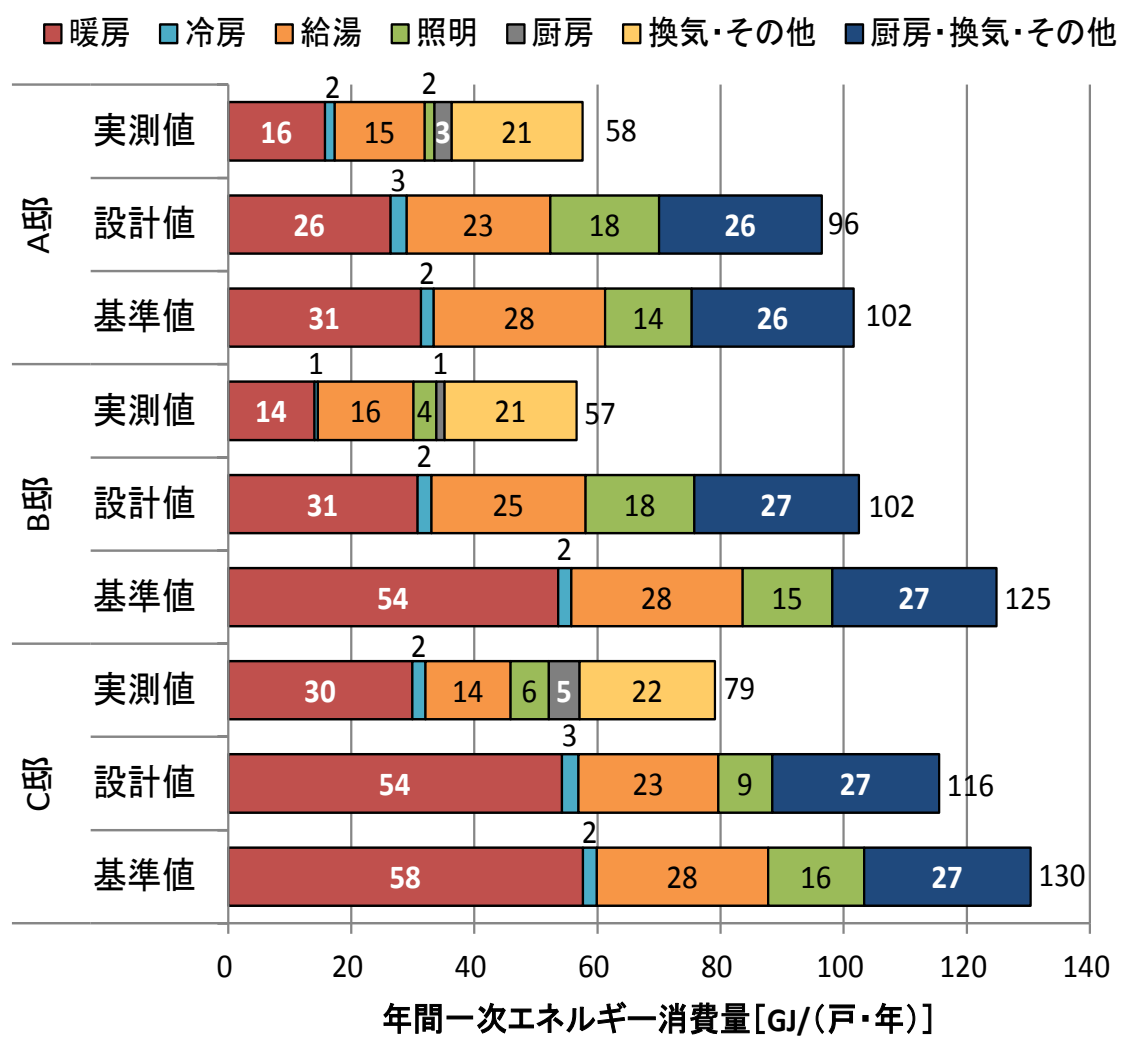
1) 実測調査による検証

② 調査概要

略称	A邸	B邸	C邸
建築年	2009年	2013年	2013年
住宅規模	132.49㎡	138.28㎡	149.05㎡
外皮平均熱貫流率 (U_A 値)	0.76	0.52	0.50
冷房期の外皮平均日射熱取得率 (η_A 値)	2.74	2.04	1.98
単位温度差あたりの外皮熱損失量 (q 値)	255.8	180.54	188.25
単位日射強度あたりの冷房期日射熱取得量 (m_C 値)	9.25	7.03	7.51
単位日射強度あたりの暖房期日射熱取得量 (m_H 値)	17.58	11.26	14.53
家族人数	3	3	4
家族構成	夫婦+子(幼児)	夫婦+子(幼児)	夫婦+子2
暖房設備	ガスFF暖房機/ エアコン	ラジエータ (石油熱源)	電気蓄熱暖房機
給湯設備	ガス潜熱回収型 給湯機	石油従来型給湯機	電気ヒートポンプ式 給湯機
厨房設備	ガスコンロ	ガスコンロ	IH

年間一次エネルギー消費量

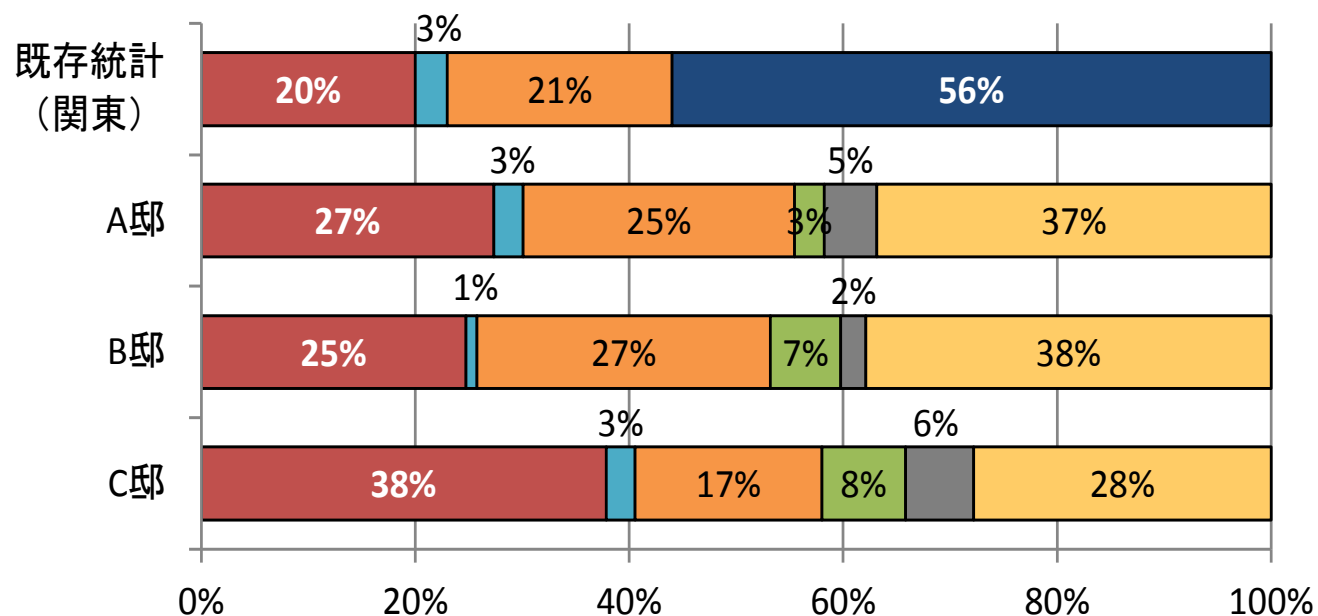
- 3世帯ともに実測値は設計値より小さい
 - 要因
 1. 設計値の標準モデルより家族人数が少ない
 2. 子供の年齢が若い
 3. 設備機器の使い方が異なる
- C邸の年間一次エネルギー消費量が最も大きい
 - 電気蓄熱暖房機の使用による暖房消費量が大きく、実測値でも同様の傾向を確認



年間一次エネルギー消費量の構成比

- 既存統計※と比較すると、A邸はほぼ同じ構成比となっていた。
- B邸は、冷房の割合が小さく、機器の使い方が影響していると考えられる
- C邸は電気蓄熱暖房機を使用しているため、他2世帯や既存統計よりも暖房の割合は大きい

■暖房 ■冷房 ■給湯 ■照明 ■厨房 ■換気・その他 ■照明・厨房・換気・その他



※(株)住環境計画研究所：「家庭用エネルギー統計年報」，2015年1月

用途別一次エネルギー消費量（11月～4月）

- いずれの世帯も1～2月のエネルギー消費量が最大
- C邸の電気蓄熱式暖房機は他世帯の暖房設備と比較し消費量が多い
- A邸、C邸は1～3月の給湯消費量が多い（湯の使用場所多、給水温度低）
- C邸の厨房消費量は他世帯よりやや消費量が多い

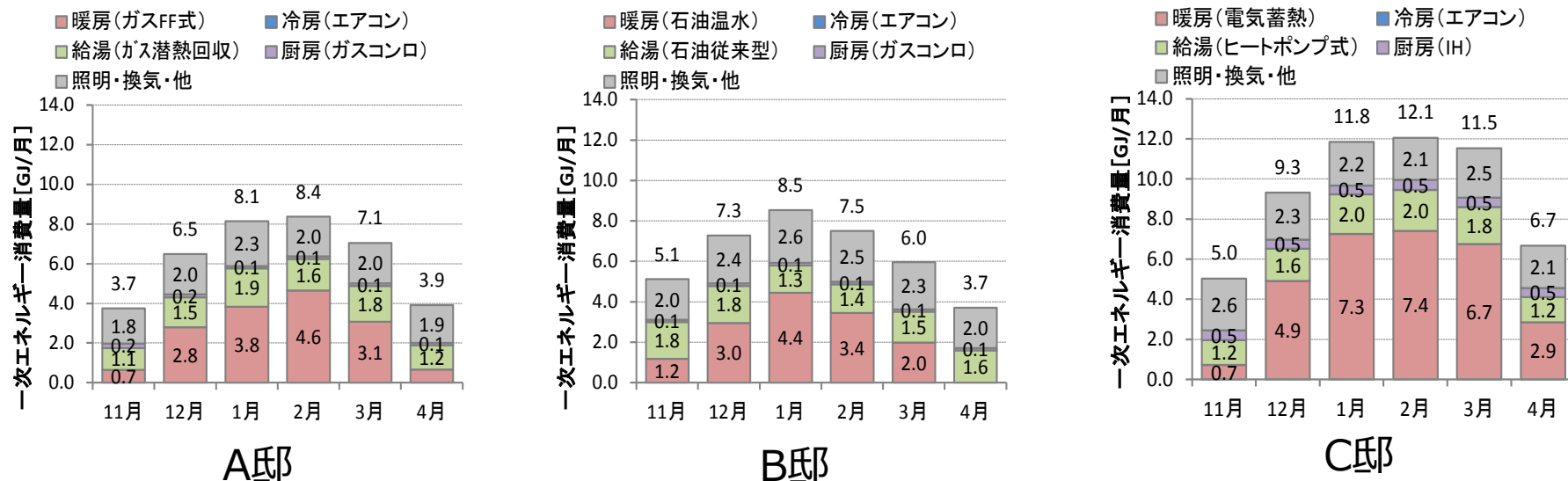


図. 用途別一次エネルギー消費量（11月～4月）

用途別一次エネルギー消費量（5月～10月）

- B邸は他世帯と比較し大容量、長時間運転だが冷房消費量が少ない
 - 終日カーテン閉、省エネ自動運転モードが要因の可能性
- いずれの世帯も給湯消費量は冬期より低水準
 - シャワーのみ、低い給湯温度設定、高い給水温度

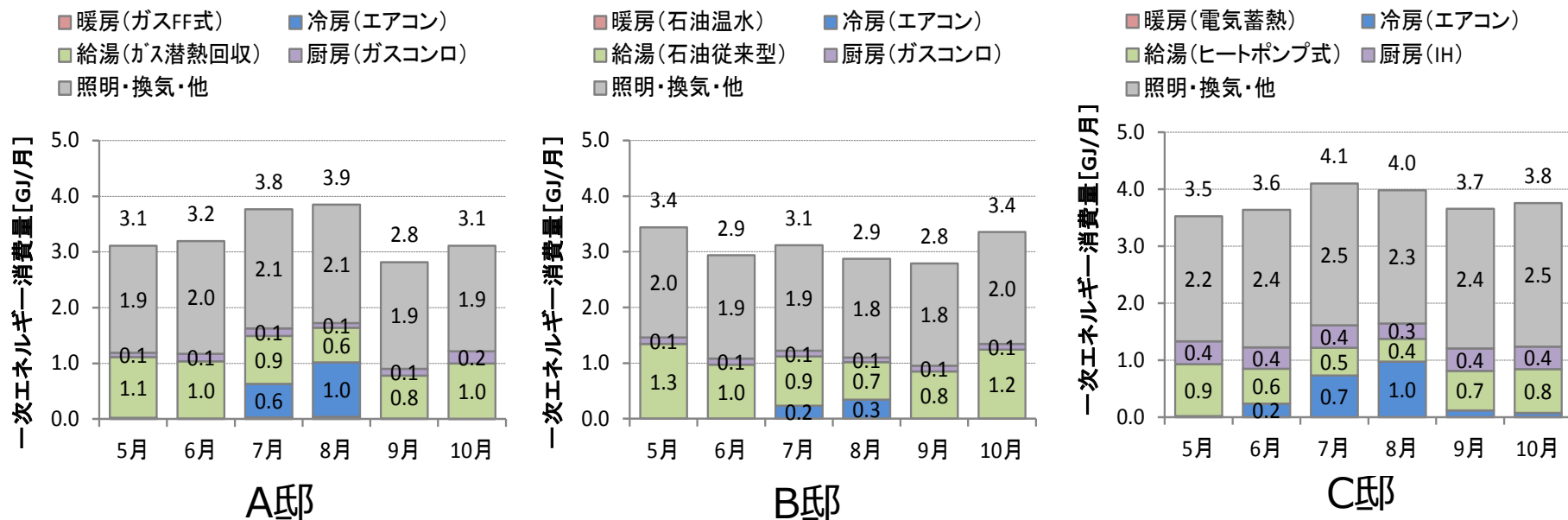


図. 用途別一次エネルギー消費量（5月～10月）

機器別電力消費量（11月～4月）

※暖冷房、給湯、厨房設備除く

- 各世帯照明・換気・他の家電（主に照明・換気）の占める割合が大きい
- 各世帯冷蔵庫が一定の電力を消費している
 - ただしB邸の冷蔵庫は他世帯より製造年が新しく低電力消費
- 近年普及の進む食洗機も比較的電力多消費設備（B邸）

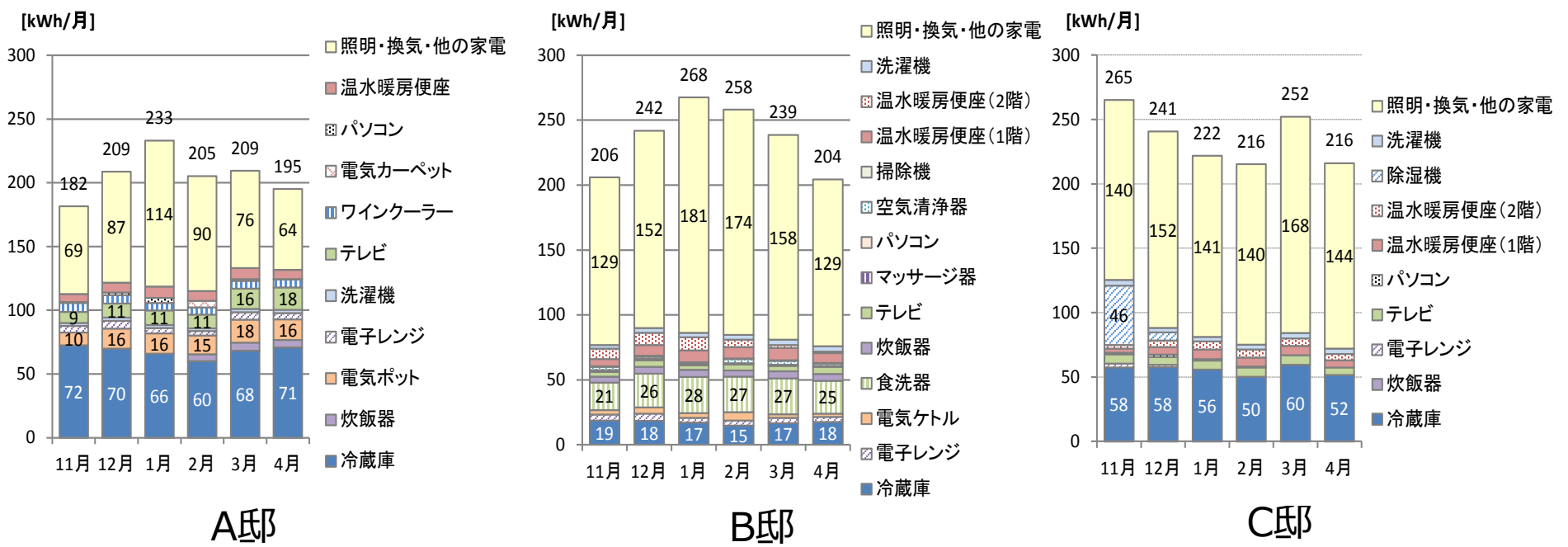


図. 機器別エネルギー消費量（11月～4月）

機器別電力消費量（5月～10月）

※暖冷房、給湯、厨房設備除く

- 夏期は冬期より冷蔵庫の電力消費量が多い
- A邸はワインクーラーの消費量が夏期に増大傾向
- A邸、B邸は夏期の照明・換気・他の家電の消費量が冬期より少ない
 - 夏期は日照時間が長く照明の短時間使用が一要因

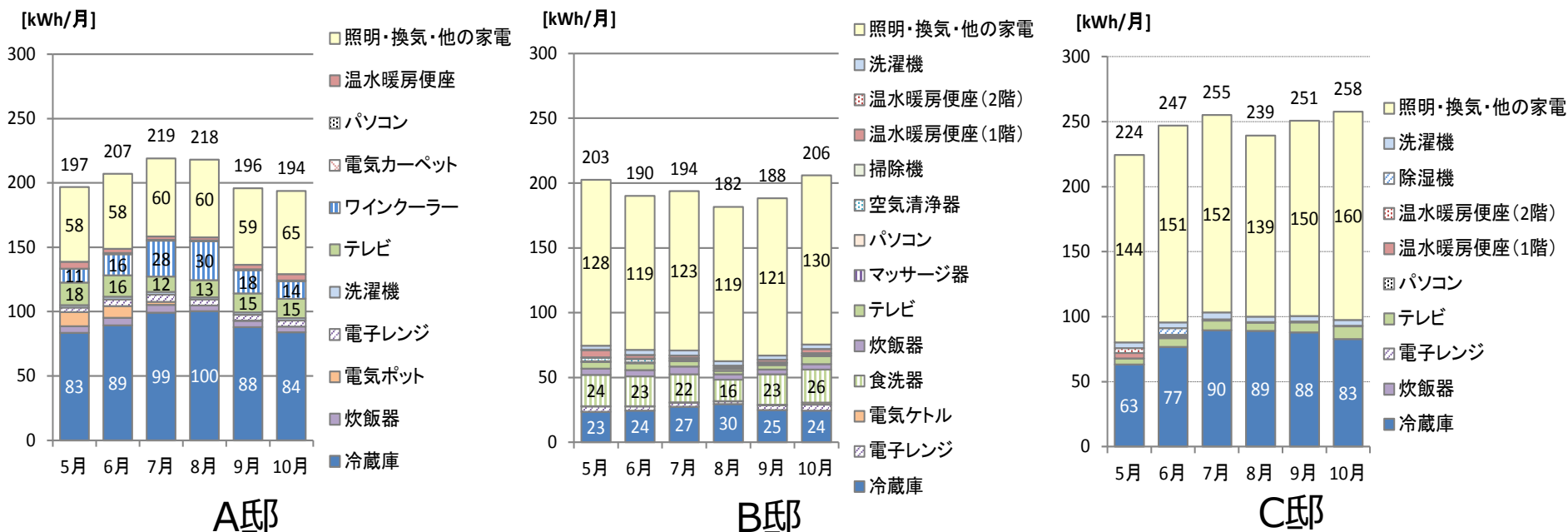


図. 機器別エネルギー消費量（5月～10月）

Ⅲ 住宅の

省エネルギー性能評価手法に関する研究開発

2) 設備等に関する性能評価手法の例

① 日射熱の利用

(1) 概要

日射熱を活用するには住宅の熱容量を考慮する必要

熱容量を大きくする → 温熱環境が安定

温熱環境を変化させる ← 時間が掛かる・熱量が多く必要

従来は蓄熱量 $170\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ を境界として蓄熱の有無を判断



戸建て住宅(温暖地)を対象とした熱負荷シミュレーション(外皮の熱性能、日射熱の取得状況、地域、暖房方式、蓄熱容量等をパラメータ)で簡易な評価手法を提案

①日射熱の利用

(2)計算方法

a) 計算対象住戸

建築面積69.56m²、床面積120.07m²の木造2階建て住宅

b) 暖房熱負荷計算の条件

表 5 暖房熱負荷計算の条件

項目	条件数	内容
地域	2	5地域（宇都宮）、6地域（岡山）
外皮の断熱性能（Q値）	5	4.11, 3.08, 2.55, 2.03, 1.44 [W/(m ² ・K)]
日射取得の条件（窓付属品）	3	窓付属品無し、レースカーテン、外付けブラインド
主開口の方位	5	S, S-45°, S-15°, S+15°, S+45°
暖房方式	2	全館連続、居室間歇
蓄熱容量（床面への追加分）	11	0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 255 [kJ/(m ² ・K)]

※地域は平成25年省エネルギー基準による地域区分
主開口の方位がS以外の場合は、蓄熱容量（床面への追加分）を4種類(0, 100, 180, 255 [kJ/(m²・K)])に限定した。
レースカーテン、外付けブラインドは閉のまま固定である。

①日射熱の利用

(3)計算結果

(4)蓄熱等が暖房熱負荷に与える影響の検討

a)蓄熱時の暖房熱負荷の予測式

Q値(熱損失係数)と日射取得係数 (μ_H)による重回帰
(地域、暖房方式、蓄熱容量ごと)

b)暖房期日射取得量に関する検討

日射量、周辺状況による補正($\mu_H \rightarrow \mu_H^*$)
暖房期日射量地域区分(H区分)
隣棟遮蔽係数

c)主開口の方位による影響の検討

方位による補正

①日射熱の利用

(4)蓄熱等が暖房熱負荷に与える影響の検討

d)暖房熱負荷の削減率の簡易な評価手法

基準となる条件

蓄熱容量(床面への追加分)	: 0
窓附属品	: レースカーテン
主開口の方位	: $S \pm 15^\circ$
地域	: 対象住宅と同じ
Q値(熱損失係数)	: 対象住宅と同じ
暖房方式	: 対象住宅と同じ
暖房期日射量地域区分(H区分)	: 対象住宅と同じ
隣棟遮蔽係数	: 対象住宅と同じ

①日射熱の利用

(4)蓄熱等が暖房熱負荷に与える影響の検討

d)暖房熱負荷の削減率の簡易な評価手法

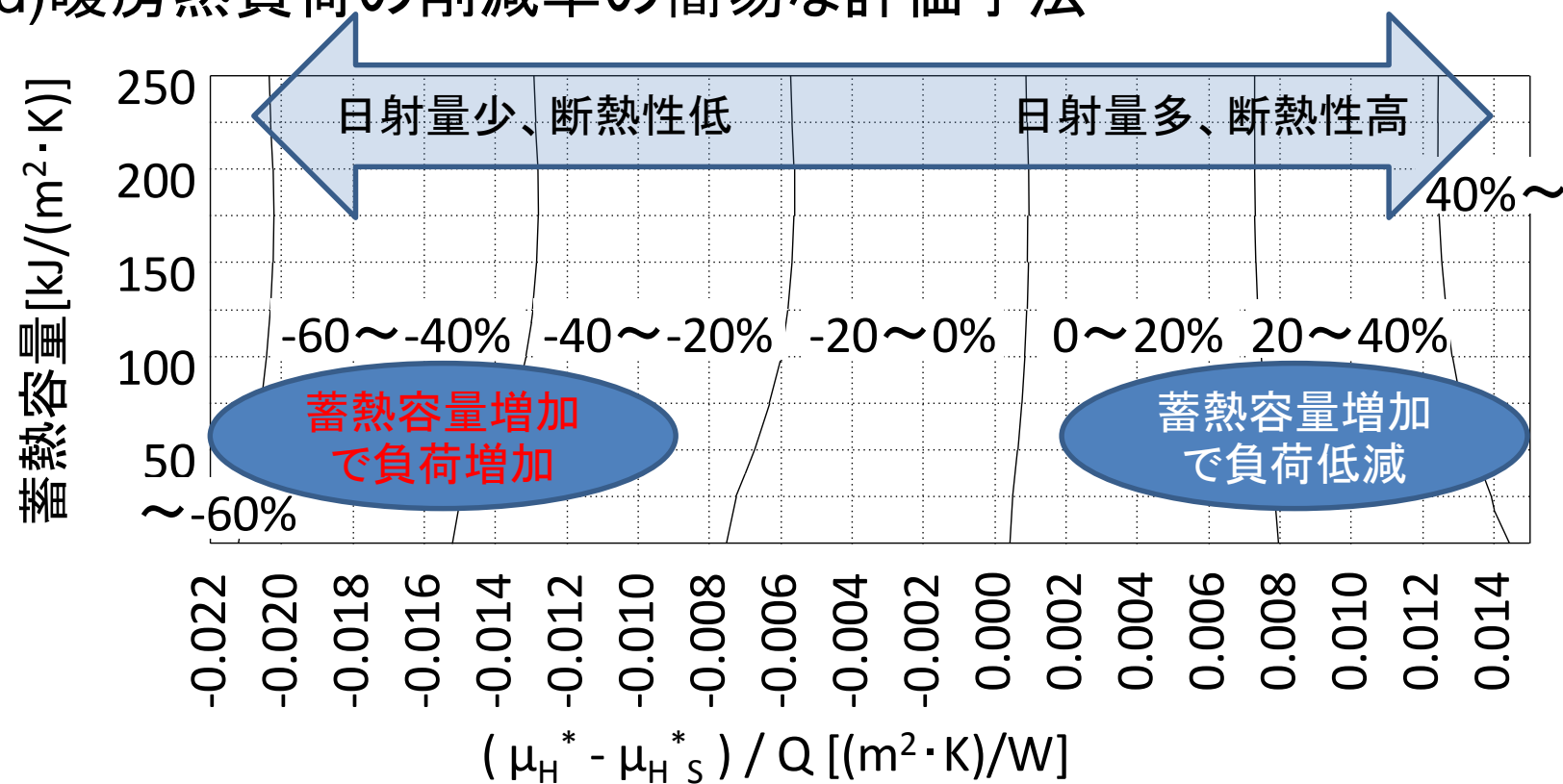


図 19 暖房熱負荷削減率と、蓄熱容量（床面への追加分）、
 $(\mu_{H^*} - \mu_{H^*s}) / Q$ 値の関係（居室間歇、主開口方位 $S \pm 15^\circ$ の場合）

①日射熱の利用

(4)蓄熱等が暖房熱負荷に与える影響の検討

d)暖房熱負荷の削減率の簡易な評価手法

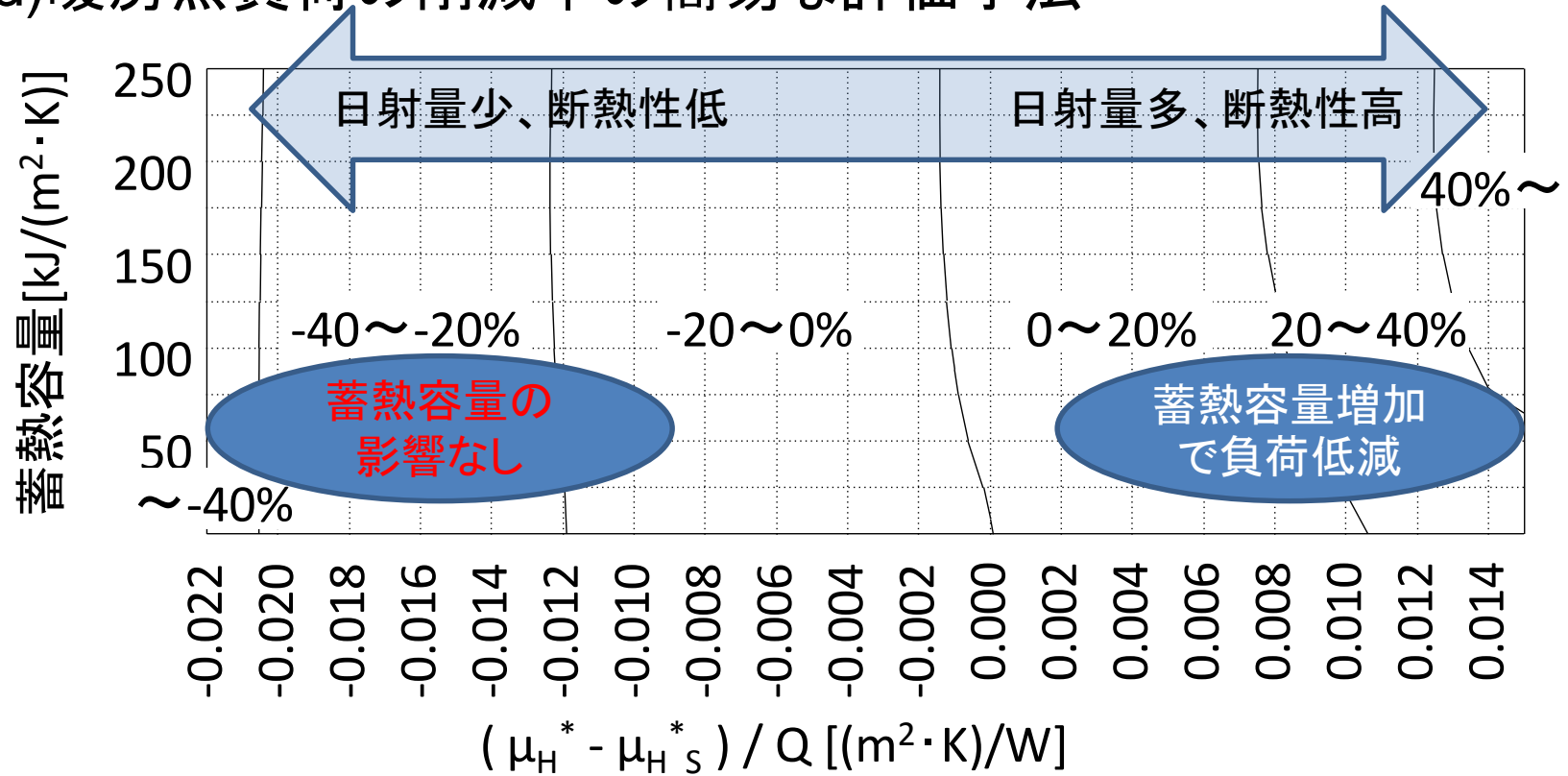


図 21 暖房熱負荷削減率と、蓄熱容量(床面への追加分)、 $(\mu_H^* - \mu_{H^*s}) / Q$ 値の関係(全館連続、主開口方位 $S \pm 15^\circ$ の場合)

Ⅲ 住宅の

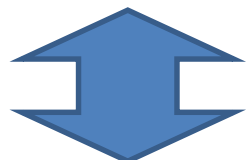
省エネルギー性能評価手法に関する研究開発

2) 設備等に関する性能評価手法の例

② 容量可変型エアコン

(1) 概要

エアコンは暖冷房負荷が小さい場合エネルギー消費効率が低下



コンプレッサのシリンダ容量を可変にすることで、
低負荷時でも高効率な運転が可能な機器が開発された



該当機種をLCCM住宅デモ棟に導入して効果検証実験を行い、
従来エアコンを用いた実験結果と比較

②容量可変型エアコン

(2)実験概要

生活行動等に基づいた内部発熱

エアコンを在室スケジュールに従って運転

年間を通じた無人のフィールド実験により機器特性を把握

(計測は平成26年8月～平成27年3月に実施)

(3)実験装置

a)住宅

延床面積 142m²(43坪)

構造 木造在来工法 地上2階建

Q値 1.98 W/m²K(計算値)

C値 1.2 cm²/m²(計測値)



②容量可変型エアコン

b)エアコン

LCCM住宅の全居室(3ヶ所)に、負荷計算の結果から概ね必要とされた能力(能力不足が生じる時間が全運転時間の5%未満とする)を持つエアコンを新たに設置

場所	H23実験時	今回設置	必要能力
1F_LDK	2.8 kW	5.6 kW	5.0 kW
2F_西	2.2 kW	2.2 kW	2.2 kW
2F_東	2.2 kW	4.0 kW	4.0 kW

※LDKは本製品のラインナップに5.0kWが無い場合、最も能力の近い5.6kWを選択。

LDK設置状況



②容量可変型エアコン

(4)実験結果

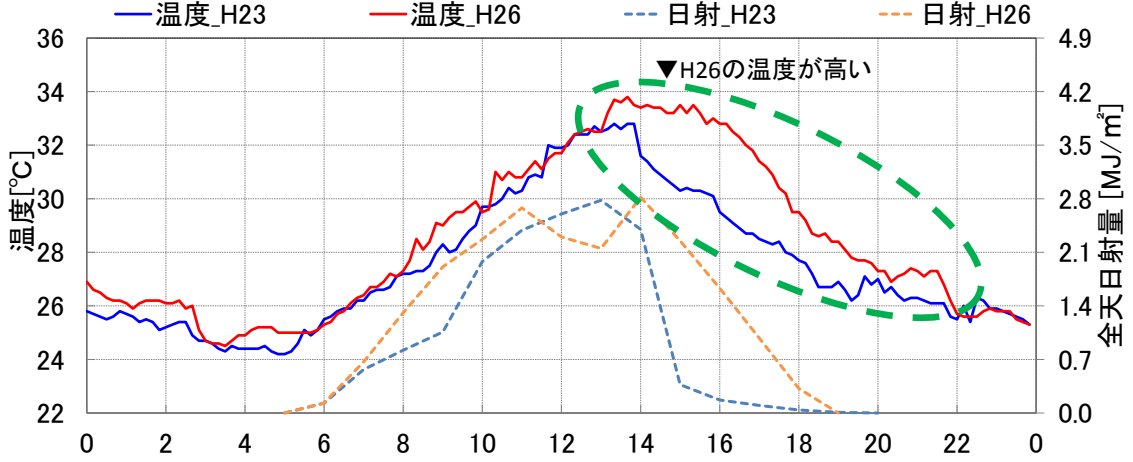
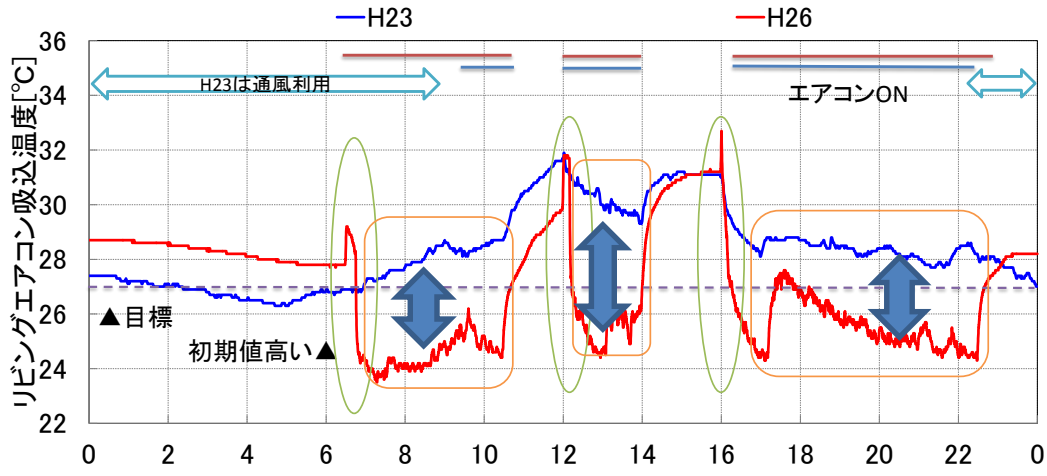
a)室内環境

- 暖冷房能力の大きなエアコンを導入したことによる、室内環境の改善効果を確認するために、外気温度や日射量などの外気条件が比較的似通った日を抽出した。

時期	H23年度試験	H26年度試験
夏期	H23年8月7日	H26年8月22日
冬期	H24年1月29日	H27年1月29日

②容量可変型エアコン

夏期

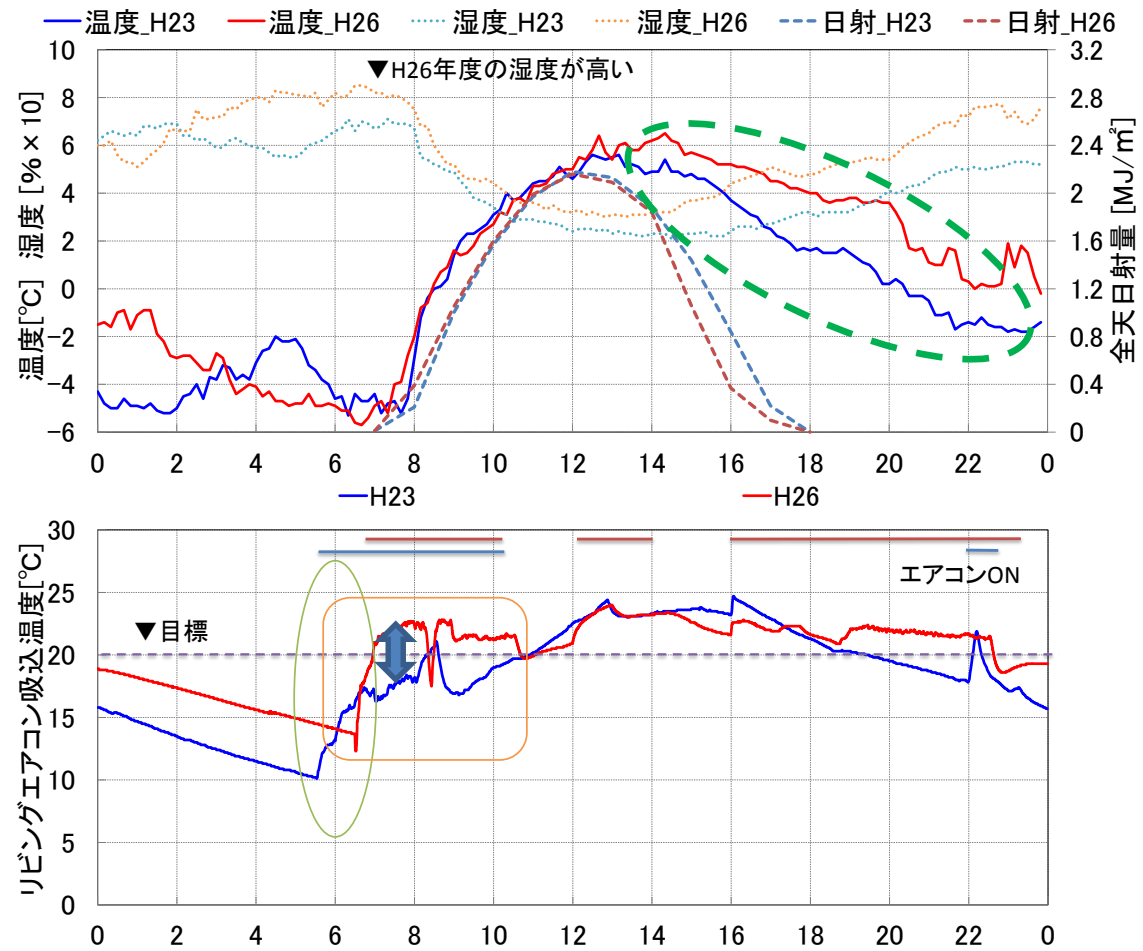


■ H26年度の方が空調負荷は大きい状況であったが、室内環境をより快適な状態に保つことができていた。



②容量可変型エアコン

冬期



■ ほぼ同様な前提条件のもとで、H26年度のほうが室内環境をより快適な状態に保つことができていた。



(4)実験結果

b)CO₂排出量

比較結果

暖房時の排出量削減効果は高くほぼ半減

冷房時は、室内環境や運転時間に大きな乖離



従来機と同じ日平均運転時間とした結果(表括弧内)で比較
→差は約10%となりほぼ同様のCO₂排出量で室内環境を改善

CO ₂ 排出量[kg-CO ₂]	従来機	本機器
冷房	27.3	203.7 (35.2)
暖房	997.6	499.1
年間	1024.9	702.8 (534.3)

(4)実験結果

b)CO₂排出量

夏期(運転時間の確認)

H26年度のほうが排出量は多かった原因は以下と考えられる

1. H26年度のほうが達成された室内温度が目標温度に近く(やや低め)制御されていたこと
2. H23年度の実験は**居住者が窓開け等を行いエアコンの使用時間を少なくしており、運転時間に約6倍の差があった。**

■ なお、日平均運転時間はLCCM住宅に設置された3台の実験期間中の全運転時間を実験日数で除して求めた。

実験年度	日平均運転時間	日平均CO ₂ 排出量	日平均気温
H23年度	5.4時間	3.5 kg/h	28.7°C
H26年度	31.5時間	6.6 kg/h	27.7°C

※日平均運転時間は3台の合計(最大値は72時間)

IV 業務用建築の

省エネルギー性能評価手法に関する研究開発

1) 実測調査による

一次エネルギー消費量評価手法の検証

①概要

- 構築した**エネルギー消費量算出方法の検証**
 - － 実態値と計測値との比較
- 研究のポイント
 - － 個別技術の検証はしっかり行っているが、建物全体としての推定精度は？
 - 空調、換気、照明、給湯などのバランス
 - － 建物の『使われ方』が与える影響
 - 基準では「標準的な使われ方」を想定。
 - － 室の使用時間、空調設定温度、コンセント電力等

②検討手順

表13 分析対象建築物

	建物用途・名称	所在地	延床面積 [㎡]	竣工年	熱源設備種別
東北					

②検討手順

検討対象建物で、Webプログラムを用いた一次エネルギー消費量の計算



実績値との比較



設備の運転時間などの運用条件の違いを確認



計算値と実績値の差異の要因を検討



照明点灯時間、空調運転時間、換気運転時間等の
実運用の条件にて計算値の補正



補正した計算値と実績値の比較

③実績値と計算値の比較

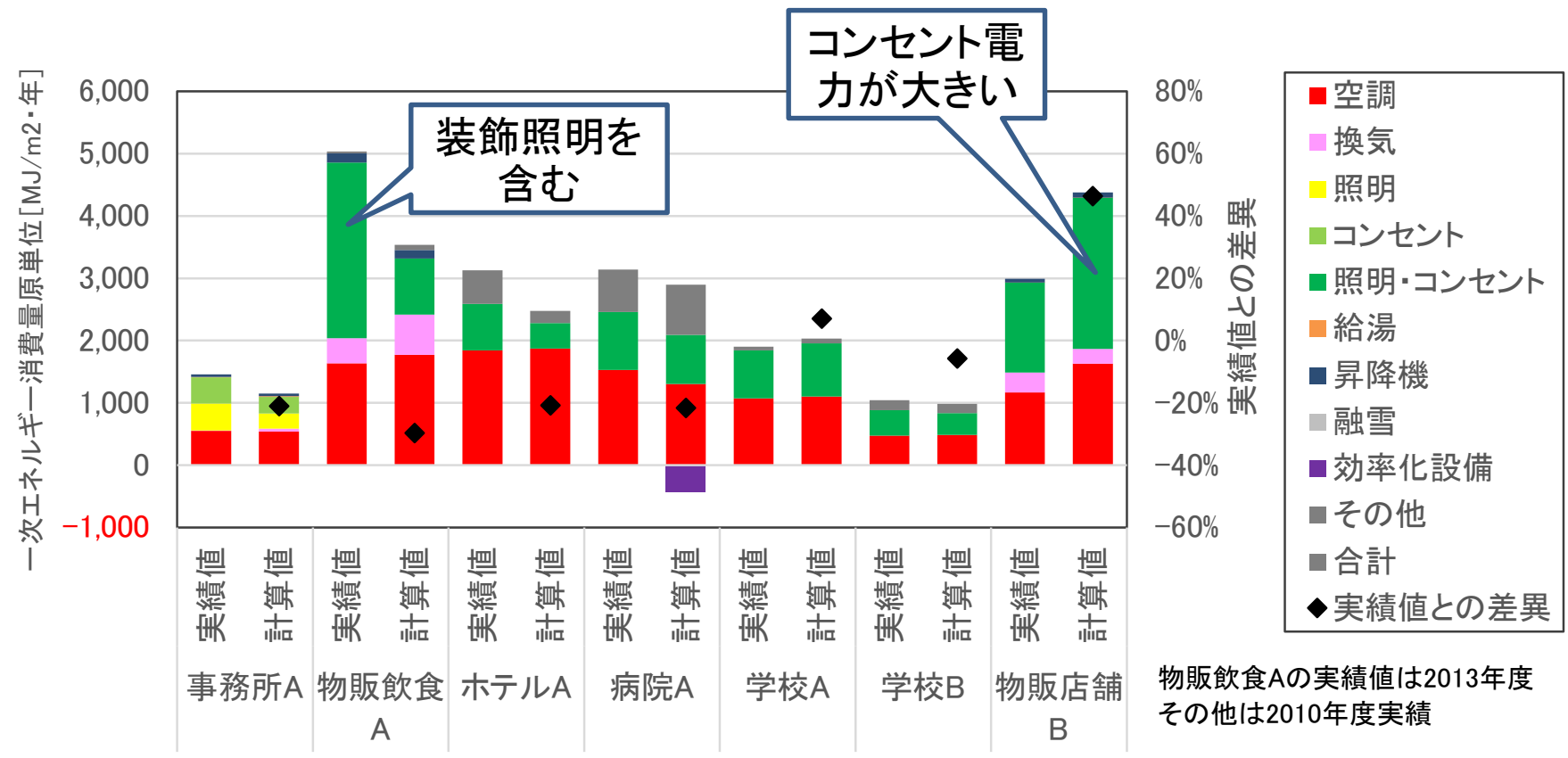


図 34 実績値と計算値の比較 (温暖地)

③実績値と計算値の比較

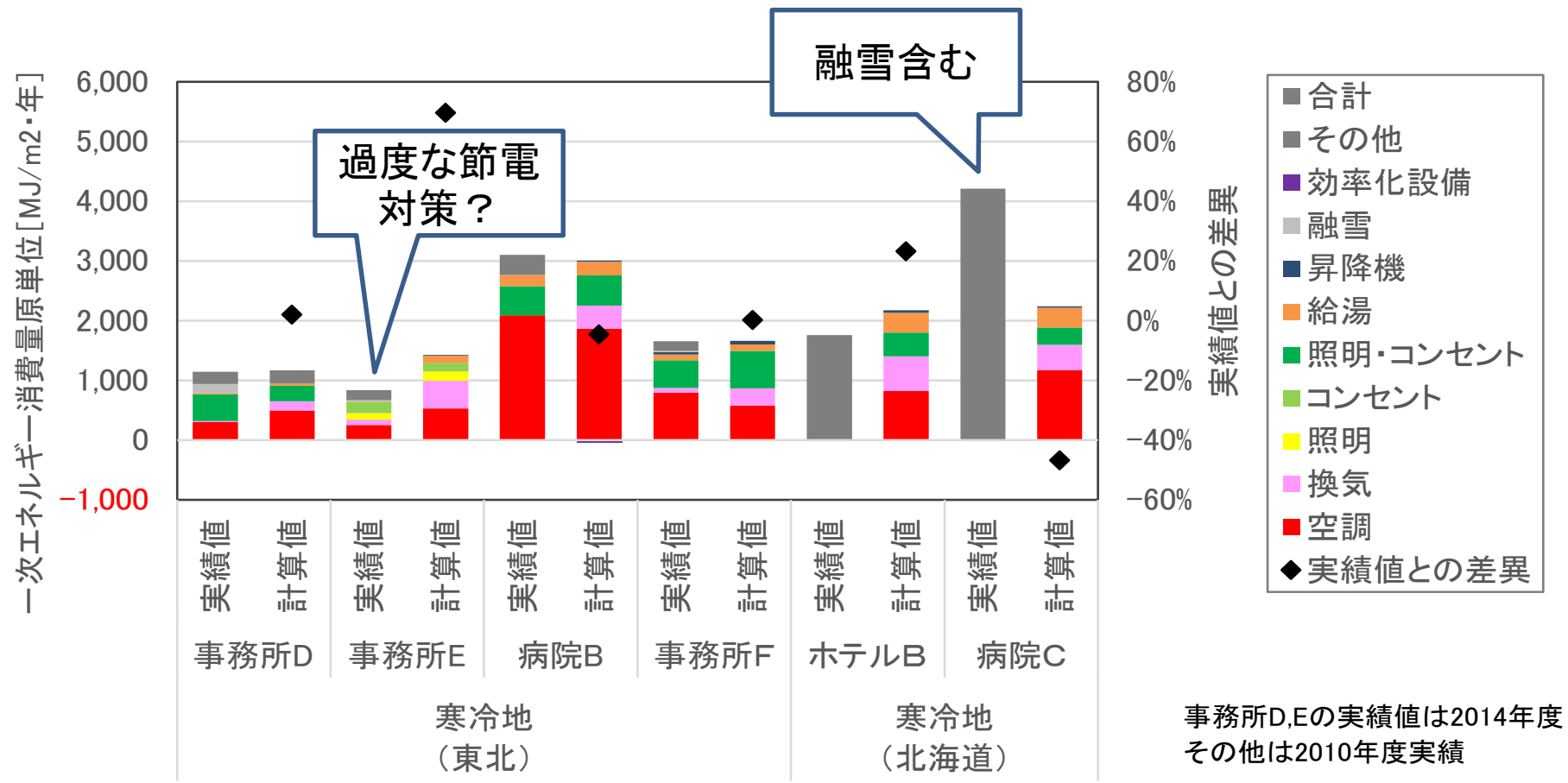


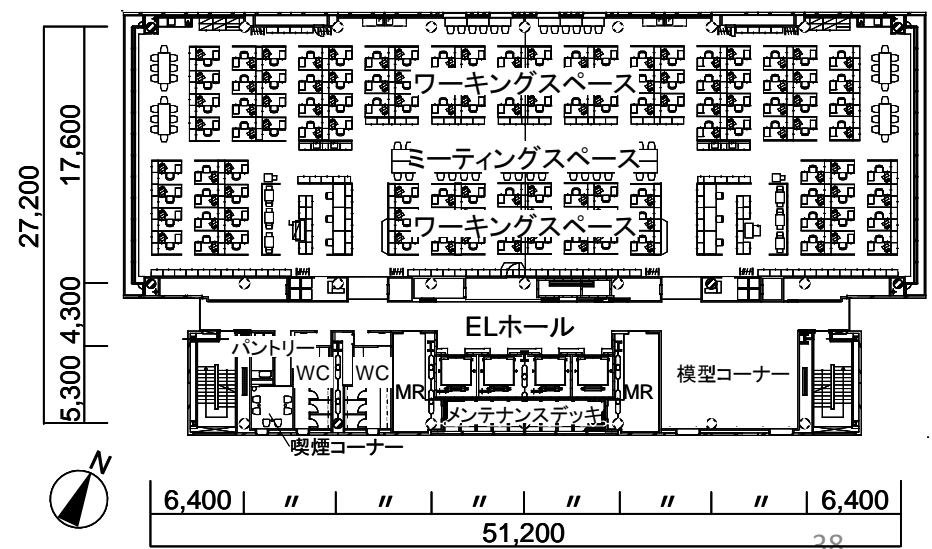
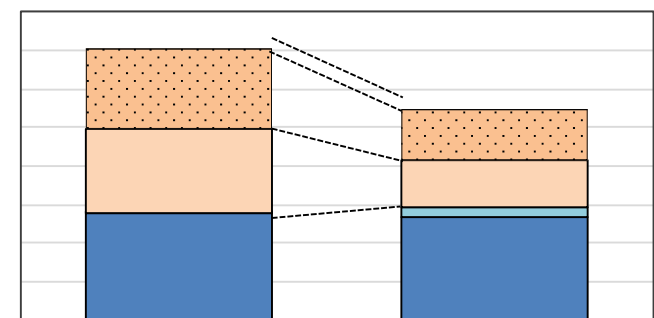
図 35 実績値と計算値の比較(寒冷地)

④事務所Aの差異の要因分析及び補正の実施

- 実測値と計算値の差のうち、『使われ方(時間)』に起因するものを除く

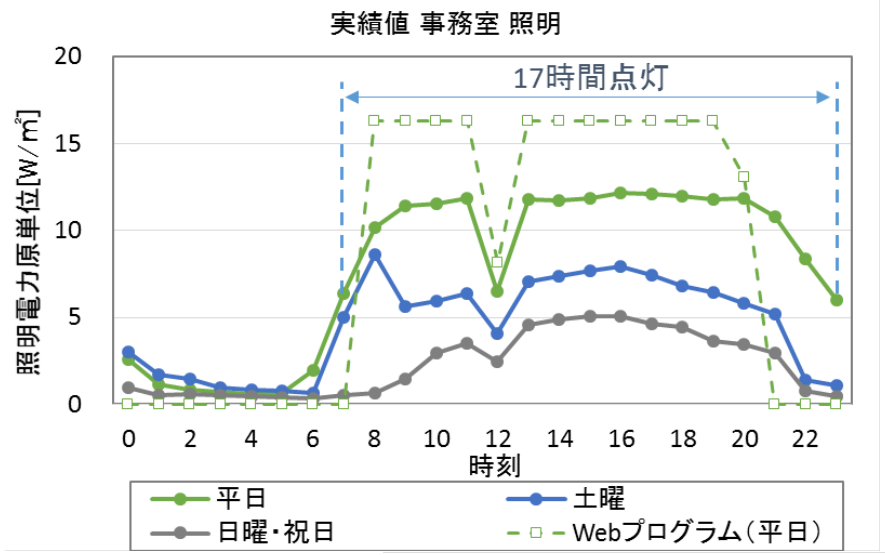
- 平日のみに限定
- 空調運転時間
 - 基準では 14 時間/日
- 換気運転時間
 - 基準では 24 時間/日
- 照明運転時間
 - 基準では 13 時間/日

機 □太陽光発電 ■その他

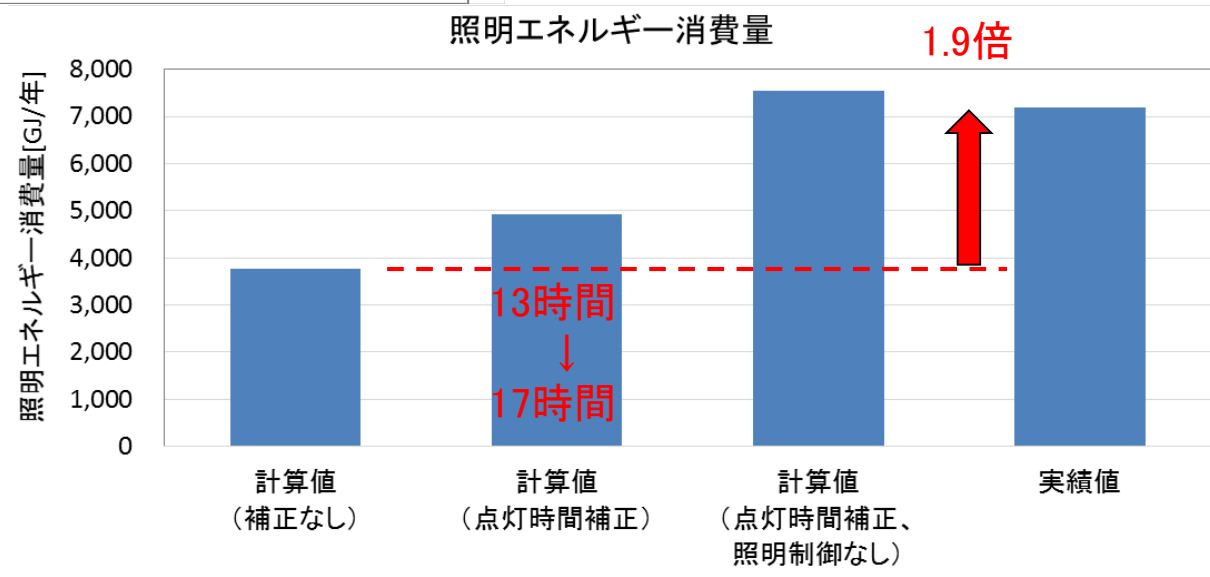


④事務所Aの差異の要因分析及び補正の実施

(1) 照明用エネルギー消費量



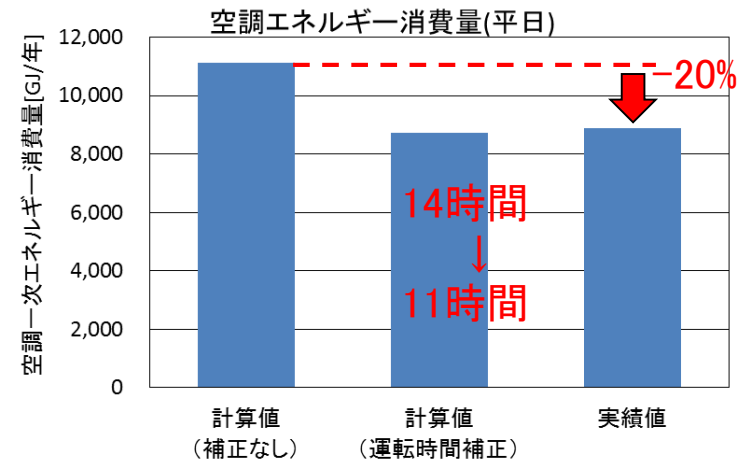
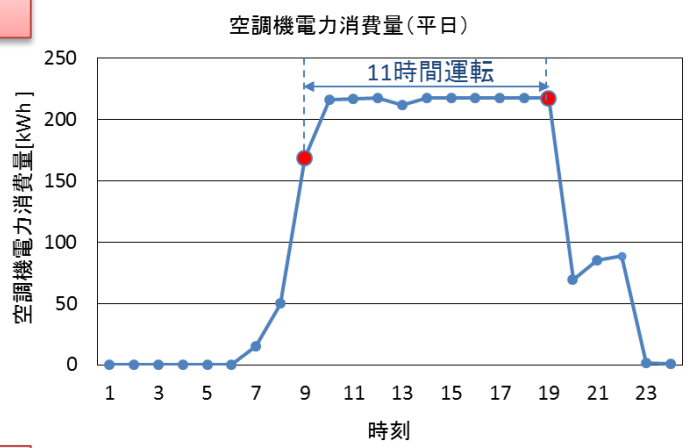
- 点灯時間を補正しただけでは一致しない
- 『昼光連動調光制御』等を「無」とすると実績値とよく一致する??



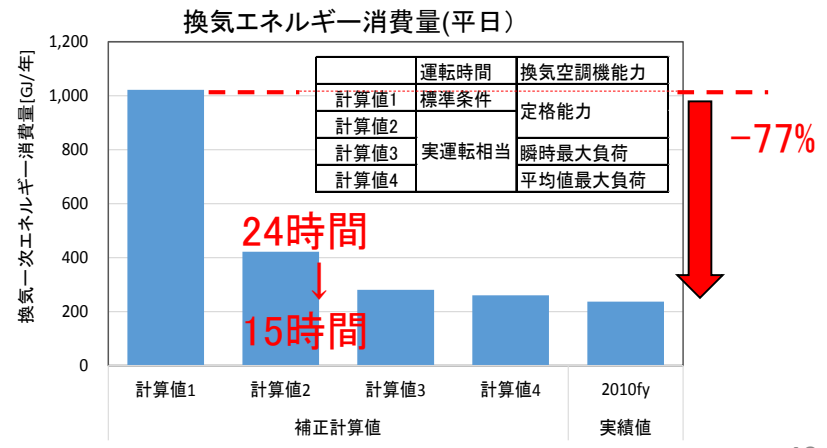
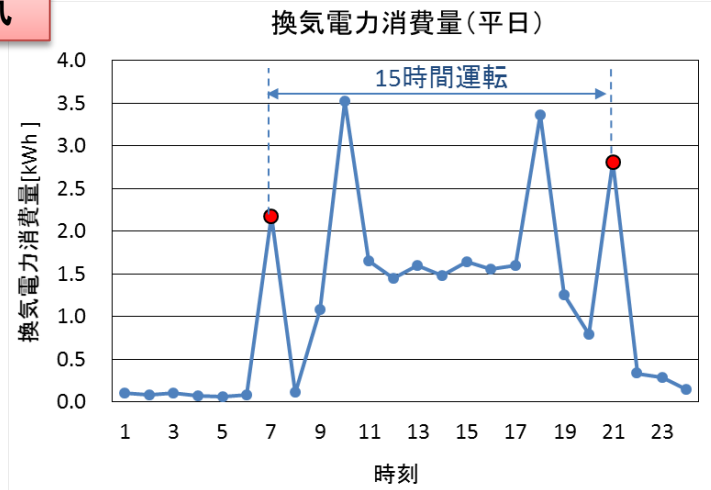
④事務所Aの差異の要因分析及び補正の実施

- (2) 空調用エネルギー消費量
- (3) 換気用エネルギー消費量

空調

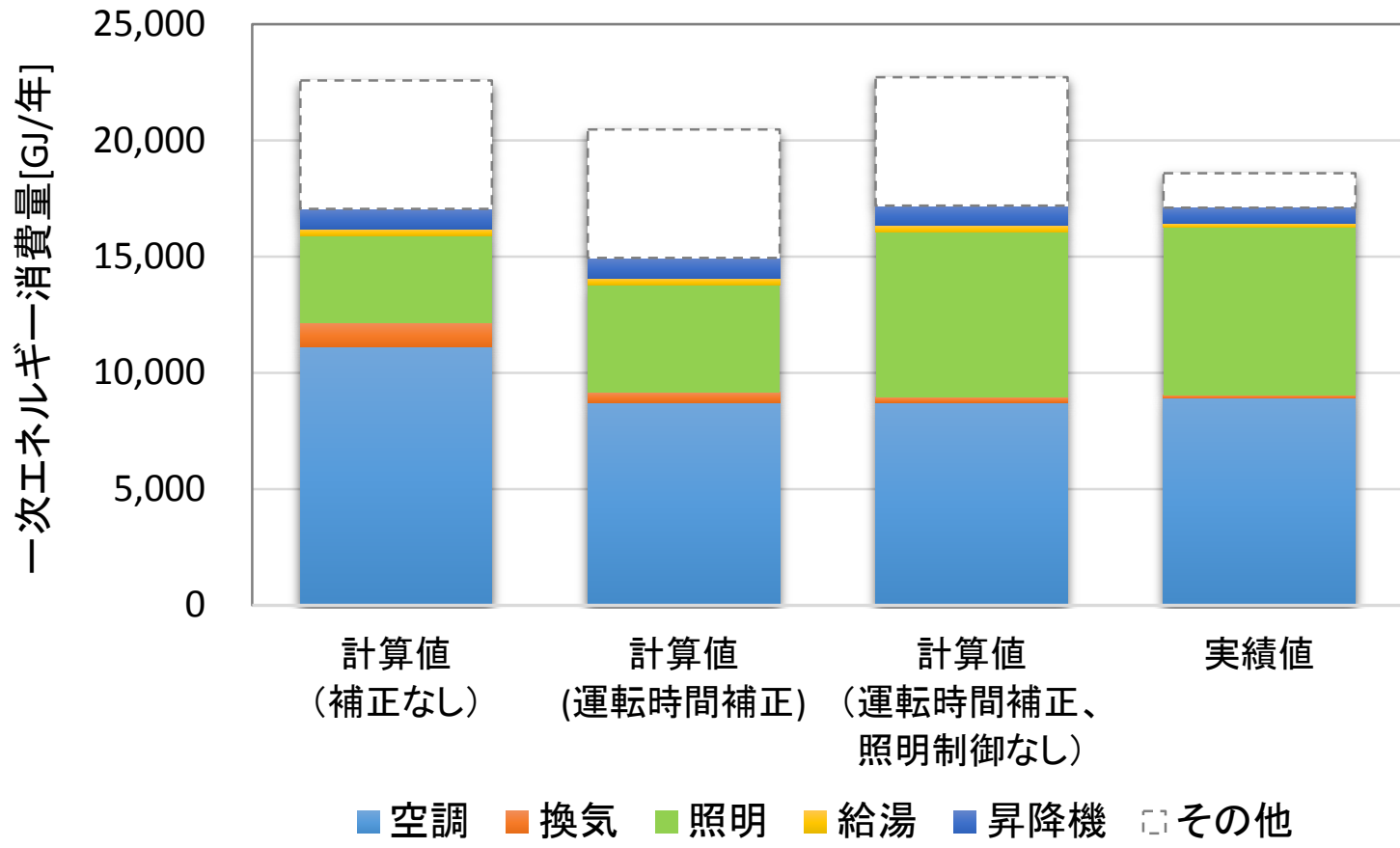


換気



④事務所Aの差異の要因分析及び補正の実施

(4) 建物全体のエネルギー消費量



IV 業務用建築の

省エネルギー性能評価手法に関する研究開発

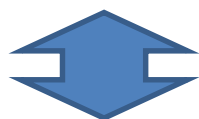
2) 外皮性能の総合評価手法の開発と検証

①背景と目的

- 平成25年省エネ基準 ← 多くのビルにおける実態調査結果
→ → → 省エネルギー技術の実性能を検証する必要
- 省エネルギーと快適な室内環境の関係???



- 模擬オフィス実験室を構築
建物外皮の壁面断熱改修、窓・空調・照明の仕様や設定変更



エネルギー消費と室内環境

②模擬オフィス実験室の概要

(1)隣室との境界壁の断熱

内壁は断熱材を付与して、隣室からの影響を抑えた。

(2) 空調機

複数の空調システムを用意

図 45 空調機の配置
 インテリア空調(青)、
 床置きローボイ(緑)、
 外気処理ユニット(オレンジ)

表 14 空調機の仕様

インテリア空調	室外機RZZP80CBT 室内機FHMP80CB × 2台
ペリメーター空調① (ローボイ)	室外機_RXYP160CA 室内機_FXYLP28MA × 6台
ペリメーター空調② (天井吹き)	室外機_RZZP50CBT 室内機_FHMP50CB
換気装置①	全熱交換器 (VKMP50HM) × 1台
換気装置②	調湿換気装置 (HDMP50C)

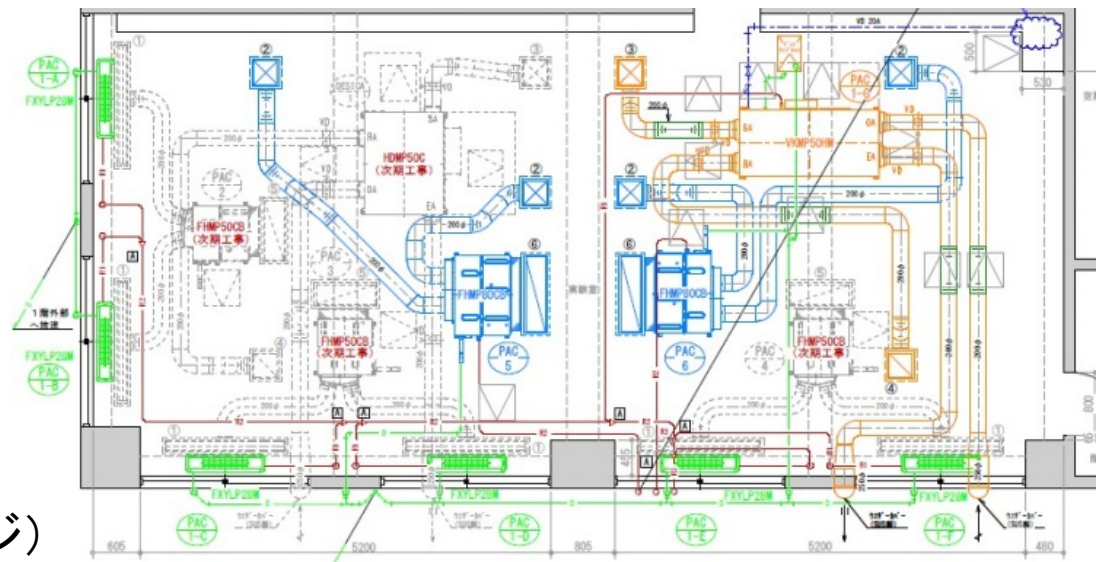


図 45 空調機の配置

②模擬オフィス実験室の概要

(3)照明設備

調光ゾーンは2系統とし、明るさセンサーによる調光を可能とした。

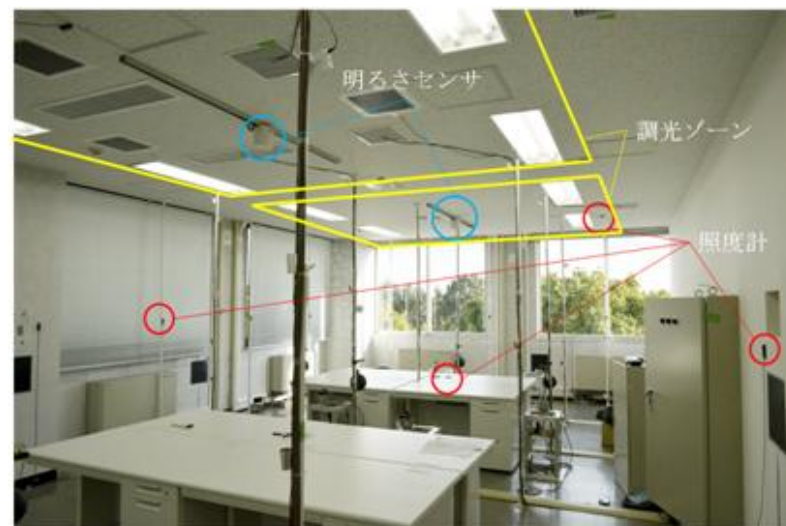


図 46 明るさセンサー等の配置

(4)気密性能の測定

目張りによる条件を変えて、気密性能の測定を実施した(2015年3月3日)。

表 15 気密性能測定時の条件と測定結果

条件	目張り位置	C値 [cm ² /m ²]]	総相当 開口面積 [cm ²]
1	入口鉄扉と窓枠、天井換気扇、アルミサッシ下枠1/2、召合框下部	4.1	296
2	窓枠、天井換気扇	5.5	396
3	天井換気扇	—	—

②模擬オフィス実験室の概要

(5)遮音性能

➤ 改修前の測定

遮音性能: Dr-15

東側窓、南側窓ともにほぼ同じ遮音性能

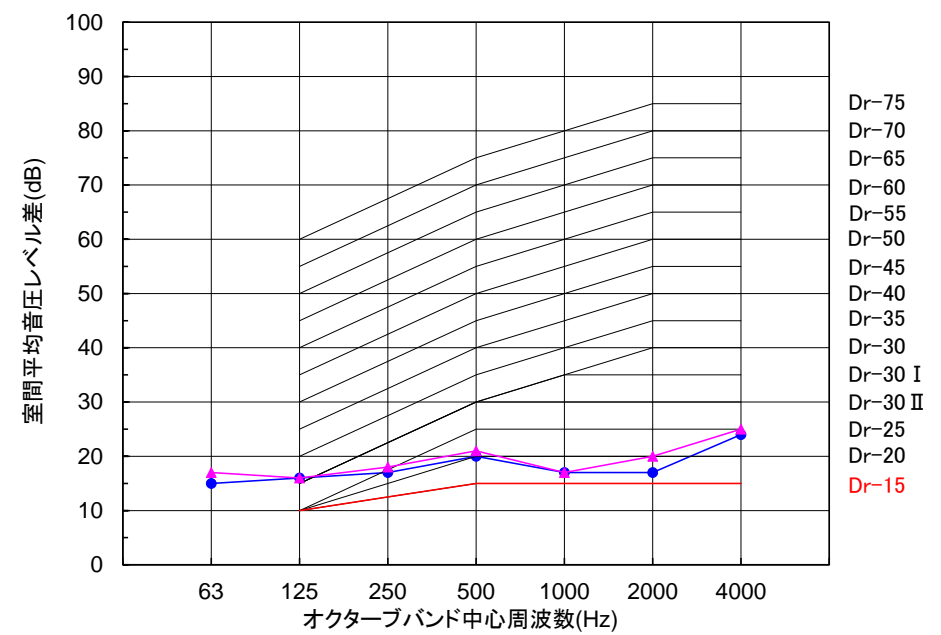


図 47 遮音性能の測定結果

➤ 外部交通騒音を想定し、室内音圧レベルを試算

表 18 日本建築学会推奨基準による室内騒音の評価

想定計算位置	騒音レベル (dBA)	日本建築学会推奨基準	
		N 値	適用等級
幹線道路沿い 2 階相当	52.8	N-55(53)	級外
幹線道路沿い 10 階相当	48.7	N-50(49)	3 級
区道沿い 2 階相当	41.7	N-40(40)	1 級
区道沿い 10 階相当	39.0	N-35(37)	特急

②模擬オフィス実験室の概要

(6)今後の研究方針

①音・熱・光を考慮した総合評価手法の開発

現在の外皮における性能と、断熱改修を行ったあとの性能を比較し、どのような差が生じるかを明らかにして、外皮はどうあるべきかを考えて、総合評価手法の開発に向けて情報を蓄積

②外皮がエネルギー消費量に与える影響の解明

従来の1質点系の考え方では、熱負荷を過小評価していることが考えられ、外皮性能と空調方式によって、実現する室内温熱環境(空間の質)がどのように変わるかを確認

③昼光利用効果の最適化技術の検討

照度センサーの位置による効果率及び視環境の変化等を確認

V おわりに

- 主に建築研究所において実施してきた、もしくは今後実施していく予定の研究内容の例を紹介



そのほか各種設備機器の性能確認など多くの研究成果は随時公表

- 今後は、室内環境とエネルギー消費との関わりや、居住者の行動などに関しても研究範囲を広げていく



省エネルギー性能評価方法の向上に対して有益な技術的情報として活用される見込み



Thank you