

第5章 住宅・建築のための新たな省エネルギー要素技術の開発

住宅・建築のための新たな省エネルギー要素技術として、自然通風計画手法、照明計画手法に関する検討を行った。通風計画手法に関しては、住宅地において期待できる風圧係数差データの整備を中心に検討した。また、照明計画手法については、多灯分散照明導入時の明るさ評価と省エネルギー性に関する検討を行った。

5.1 住宅地における通風駆動力データの整備

通風による冷房エネルギー消費削減効果を定量的に評価することは難しいのが現状である。通風によって室内に導入される空気の量(通風量)は、主に、外部風向・風速、内外温度差、対象住宅周辺の状況(周辺の密集度、隣接住戸との距離、植栽や外構等)、対象住宅の形状・プラン、開口部の位置と種類・面積等に左右される。また、通風により移動する熱量は通風量と共に内外温度差によって決定され、通風時に形成される室内環境は、外皮の断熱性状、開口部の日射遮蔽性能によっても大きく影響を受ける。また、居住者の温熱感には、気流速、空気温湿度、表面温度等が影響を及ぼすことになる。さらに、居住者が開口部の開閉・冷房の利用についてどのような行動をとるかによっても、通風による省エネルギー効果は大きな影響を受ける。通風時の温熱環境は気象条件から居住者の行動まで広範な要因が複雑に影響を及ぼして形成されることが定量的な評価を難しくしている所以である。

なかでも対象とする住宅の形状・プランとその周辺の状況が通風の駆動力(風圧)にどのような影響を及ぼすかを定量的に予測することは非常に難しいのが現状である。ある特定の住宅(と周辺状況)を対象とした風圧の検討は風洞実験や数値流体力学(CFD)によって可能であるが、風圧に及ぼす影響を住宅形状や周辺状況を変更しつつ計画・設計に取り入れることは容易でなく、現実的とはいえない。

本節では、通風による冷房エネルギー消費削減効果を簡易に検討する際に必要となる、通風の駆動力となる風圧係数差を検討した結果を示す。密集住宅地を模した模型群を使用した風洞実験で風圧の測定を行い、風圧係数差に住宅地の密集度、風向が及ぼす影響を、風圧変動を考慮して定量的に検討した。

5.1.1 簡易評価に必要とされる風圧係数差データ

通風計画時に設計実務者が最も必要とする情報は、適切な通風環境を実現するための開口部の位置と面積であると考えられるが、一般的に想定される室内の網目状(ネットワーク状)の通風経路で評価を行うと換気回路網計算が必要となり、室内圧と経路上流量が各経路上の抵抗(面積と流量係数)のバランスにより決定されるため、開口部の位置と面積の直截的な評価を行うのは困難となる。また、外部境界条件としての風圧係数分布が経路上の流量・流れの向きに大きく影響するため周辺の状況を反映した対象住宅の適切な風圧係数分布が得られていることは、換気回路網計算による計算では前提となる。

しかし、換気回路網を使わずに簡単な計算から開口条件が適切かどうかを判断する方法を求められることも(特に設計実務者から)多く、そのためには正確度は劣っても妥当といえる風圧係数データが境界条件として必要とされる。

ここでは、簡易評価法として、通風量の計算にあたり、分岐のない(直列の)通風経路を想定するモデル化を行っている(図5.1.1)。一般的に想定される網目状(ネットワーク状)の通風空間と異なり、直列の通風経路を選択することで、換気回路網の計算を行わずに必要な通風量から開口部面積を簡単に同定することが可能となる。このモデル化により同定された開口部面積が網目状の経路で換気回路網を繰り返し計算し同定した面積と同等(もしくは安全側)とは一概には言えないものの、代表的な通風経路を選択することで開口部面積に求められる要件を検討可能だと考えている。

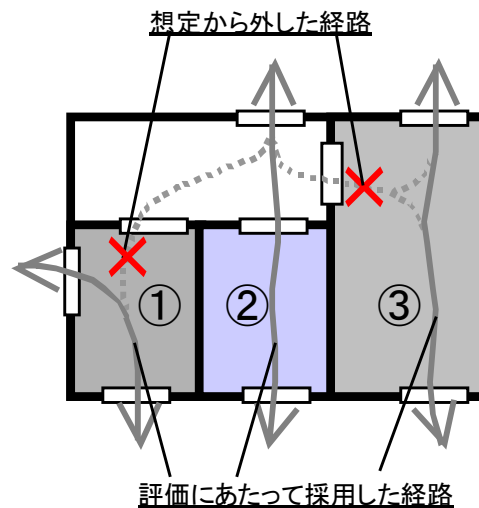


図5.1.1 通風経路の想定例

直列の通風経路においては、両端にあたる二開口部間に作用する風圧係数差が境界条件として必要となるが、風圧係数差には対象住宅周辺の状況や風向が及ぼす影響が反映されている必要がある。また、密集住宅地においては風圧係数差が非常に小さくなるため、経時的な風圧変動によって室内に流入する風量の影響も無視できないと考える。本節では、対象住宅周辺の状況を簡単にグロス建蔽率で代表させ、グロス建蔽率と風向が風圧係数差に及ぼす影響を、風圧変動を考慮して定量的に検討している。

5.1.2 風洞実験概要

風洞実験は地表面粗度区分IV($\alpha=0.27$)の速度プロファイルにあわせた境界層風洞(高さ1.8m、幅2.2m)に、1/83の住宅群モデルを導入して行った。実験時の境界層外の風速は25m/sに設定している。

測定対象モデルは都市域の2階建戸建住宅を想定して作成(図5.1.2)し、表面に216点(壁面に121点、屋根面に95点)の圧力測定タップを設けている(図5.1.3)。測定模型を取り囲むように、測定模型と同型ならびに切妻屋根の2階建戸建住宅を配置し密集住宅地を再現しており、住宅の配置は、建物間距離を表5.1.1、図5.1.4のように変更して12ケース設定し、それぞれのケースで16風向、1風向につき5回の実験を行っている。1回の実験の時間は29.5sであり、555.6Hzで同時サンプリングを行っている。

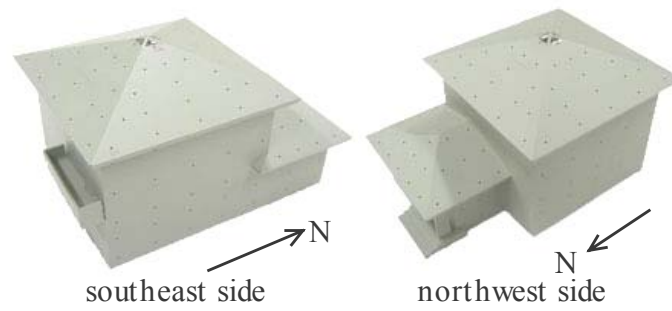


図5.1.2 測定対象模型

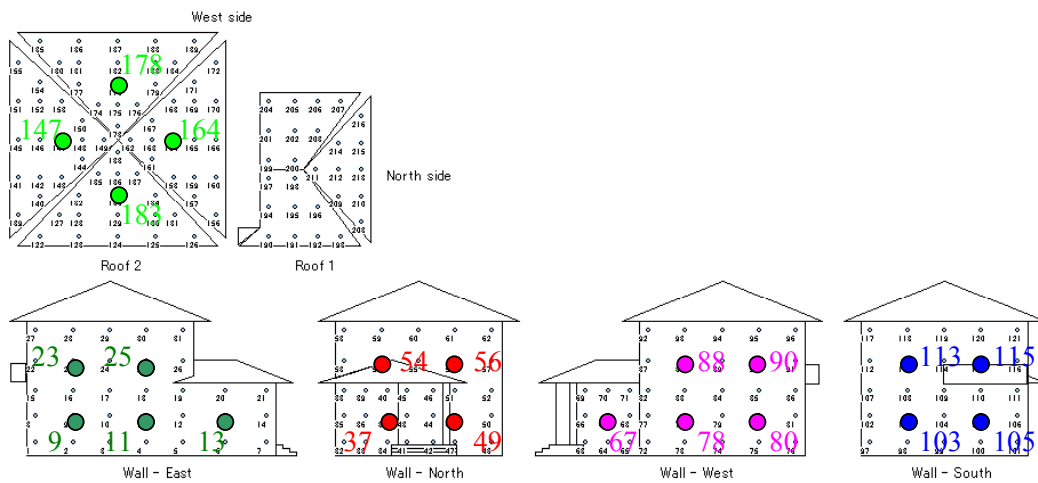


図5.1.3 圧力測定タップ配置

表5.1.1 住宅地の設定

ケース	L ₁	L ₂	L ₃	グロス建蔽率	
1	—	—	—	(3.6%)	単独(参照用)
2	1 m	4 m	0 m	42.5%	最過密条件
3		6 m		41.0%	
4		7.5 m		39.2%	
5		4 m	4 m	40.6%	
6		6 m	6 m	37.7%	
7	2 m	4 m	0 m	39.4%	
8	4 m			33.3%	
9	8 m			25.3%	
10	2 m		4 m	37.3%	
11	4 m			31.9%	
12	8 m			24.1%	

*L₁: 東西方向建物間距離, L₂: 北面道路幅, L₃: 南北方向距離の最過密条件からの増分

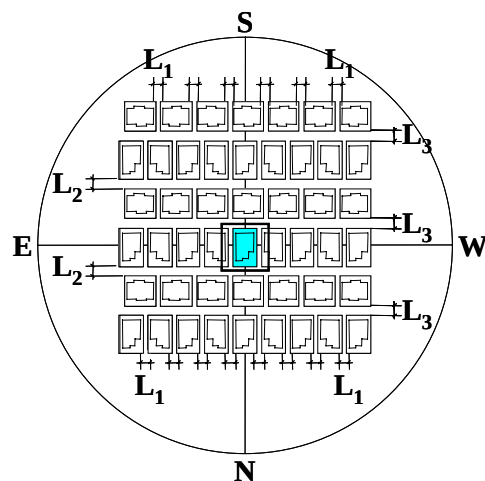


図5.1.4 住宅配置

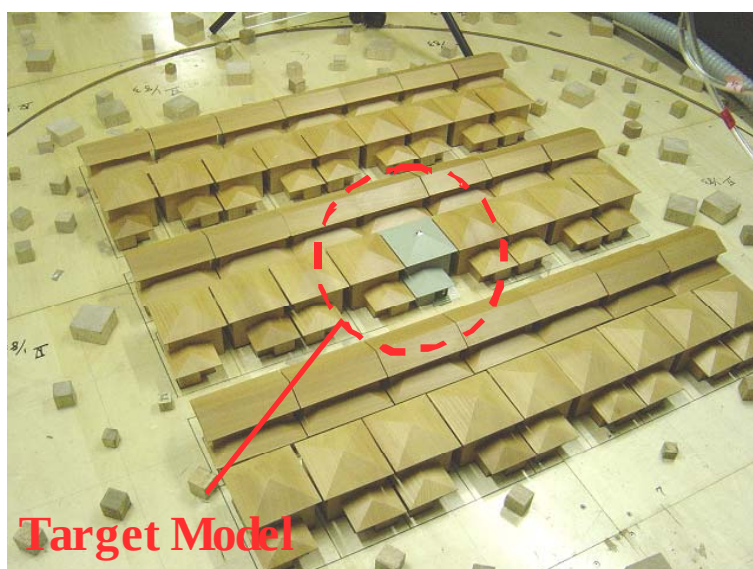


図5.1.5 風洞実験の実施状況(最過密条件)

5.1.3 風圧係数差の分析

(1) 分析方法

通風用開口部が設置されると想定した測定点(図5.1.3で大書した番号位置)の組合せにより、5グループの通風経路を想定し、グループ毎に風圧係数差の分析を行った(図5.1.6)。

グループA、Bは1階、2階で直角に曲がった通風経路(図5.1.1中の経路①)であり、一居室に二面の開口がある場合を想定したグループである。また、グループC、Dは、大きな居室を横切る経路(図5.1.1中の経路③)、もしくは、居室から内部開口部を介して隣接空間につながる経路(図5.1.1中の経路②)を想定している。グループEは2階壁面の開口部と屋根面の天窓を結ぶ経路を想定したグループである。

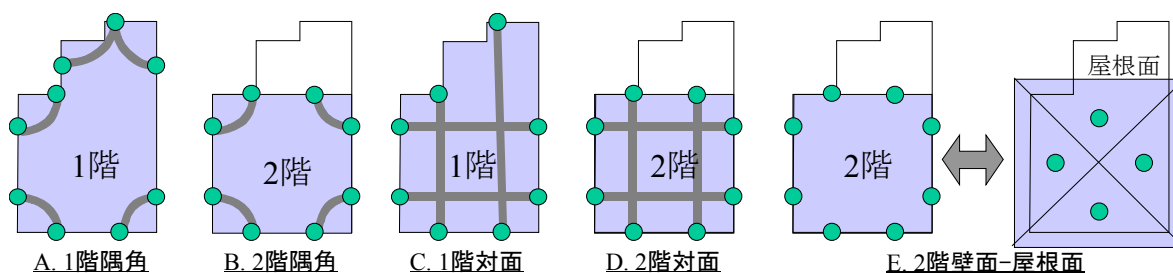


図5.1.6 分析で想定した開口部位置の組み合わせ

以上のグループで開口部間の風圧係数差の検討を行ったが、風圧係数差を評価するにあたり、一般に用いられる平均風圧係数差(本節では ΔC_{p0})の他に、別に定義した ΔC_{p1} 、 ΔC_{p2} 、 ΔC_{p3} を導入し検討を行っている(図5.1.7)。

ΔC_{p0} は、点a、bの瞬時の風圧係数 C_{pa} 、 C_{pb} の差の時間平均値であり、平均風圧係数 $\bar{C}_{pa}$ 、 $\bar{C}_{pb}$ から式1で求まる。

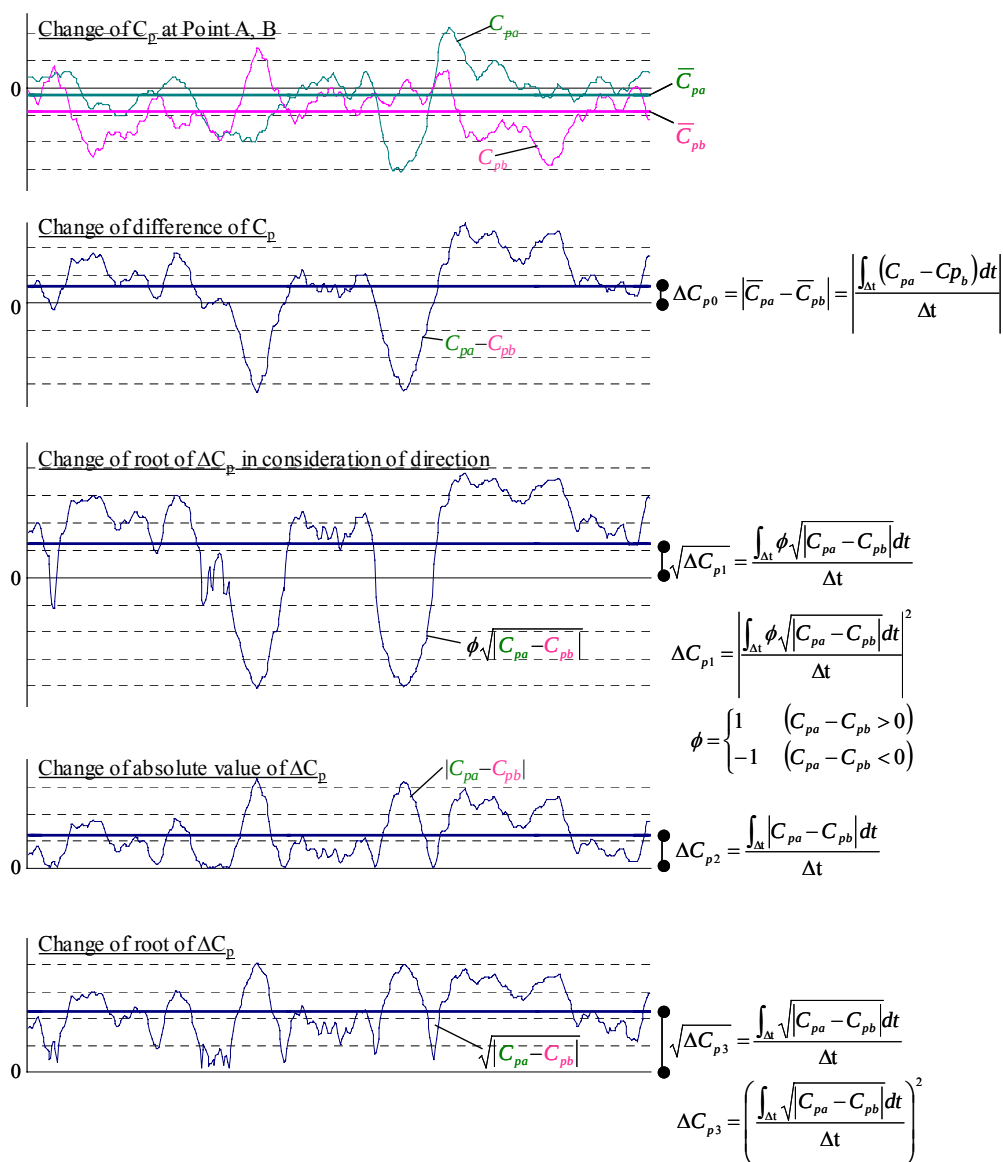


図5.1.7 風圧係数差の定義

$$\Delta C_{p0} = \left| \int_{\Delta t} (C_{pa} - C_{pb}) dt \right| / \Delta t = \left| \overline{C}_{pa} - \overline{C}_{pb} \right| \quad (1)$$

ΔC_{p1} は、オリフィス式(式2)により平均通過風量を適切に計算するために式3で定義した平均風圧係数差となる。

$$\overline{Q} = \int_{\Delta t} Q dt / \Delta t = C_d V_{ref} \int_{\Delta t} \phi |C_{pa} - C_{pb}|^{0.5} dt / \Delta t \quad (2)$$

$$\Delta C_{p1} = \left(\int_{\Delta t} \phi |C_{pa} - C_{pb}|^{0.5} dt / \Delta t \right)^2 \quad (3)$$

オリフィス式では、風圧係数差の0.5乗に風量が比例するため、 ΔC_{p0} を風圧係数差として計算した風量 Q は式2の風量平均値とは一致しないことになる。この齟齬を修正し、適切な風量を計算するために定義した平均風圧係数差が ΔC_{p1} であり、瞬時の風圧係数差を積分する際にルートをとって積分することとしている(ϕ は2点の風圧の大小によって決まる流れの向きを表す係数。図5.1.7参照)。

一方、 ΔC_{p0} 、 ΔC_{p1} から求めた風量は、ある時間間隔内の一方向への風量平均値の意味を持つ。これは、ある平均時間間隔内に風圧係数差の正負が逆転する場合では、 ΔC_{p0} 、 ΔC_{p1} から求めた風量は相殺した値で算出されることを意味し、風圧変動による風量の脈動が評価されていないことになる。大きな平均風圧係数差が得られる状況では、風圧差の正負(流れの向き)の逆転が生じることが相対的に小さくなるためそれほど問題にならないが、風圧係数差が小さくなる密集住宅地では、風圧差の変動により室内に導入される風量は無視できなくなる。風圧変動により室内に導入される風量を評価できるように定義した平均風圧係数差を ΔC_{p2} 、 ΔC_{p3} としている。

$$\Delta C_{p2} = \int_{\Delta t} |C_{pa} - C_{pb}| dt / \Delta t \quad (4)$$

$$\Delta C_{p3} = \left(\int_{\Delta t} |C_{pa} - C_{pb}|^{0.5} dt / \Delta t \right)^2 \quad (5)$$

ΔC_{p2} は、積算時に風圧係数差の絶対値をとることで(ΔC_{p0} (式1)の積分内で絶対値をとるように変更している)、二開口のどちらから流入した風量も正值としてカウントすることで風圧変動の効果を組み入れている。 ΔC_{p3} (式5)は、 ΔC_{p1} に風圧変動の効果を組み入れた式となっており、 ΔC_{p3} を風圧係数差としてオリフィス式で風量を計算することで、風圧変動も加味して室内に流入する風量を算定することができることになる。

(2) 導入した風圧係数差の関係性の検討

前項で導入した4種類の風圧係数差の性状について検討した。

図5.1.8に、通常用いられる風圧係数差 ΔC_{p0} と ΔC_{p1} 、 ΔC_{p2} 、 ΔC_{p3} の関係を、ケース1(単独条件)とケース2(最過密条件)、グループAとグループEについて示す。

オリフィス式により平均風量を正確に求めるために導入した ΔC_{p1} は、常に ΔC_{p0} を下回る結果となった。これは ΔC_{p0} を用いると一方向流れの平均風量は常に過大評価されることを意味する。この傾向は、 ΔC_{p0} が小さい範囲で顕著である。

一方、風圧変動の効果を平均風圧係数差に取り込むために導入した ΔC_{p2} 、 ΔC_{p3} については、

ΔC_{p0} が0に近づいても、 $\Delta C_{p2}>0$ 、 $\Delta C_{p3}>0$ であることが分かる。 ΔC_{p3} の最小値は、グループAで0.03程度となっている。また、最過密条件であるケース2のグループEにいたっては、 ΔC_{p0} が0であっても ΔC_{p3} では0.2程度確保できる結果となっている。これは、風圧変動により通風経路の両端の開口から室内に流入する風量が如実に増大していることを意味する。

また、風圧変動による二方向流れの通過風量を正確に求める際に使用する ΔC_{p3} は、 ΔC_{p0} が小さい範囲で $\Delta C_{p3}>\Delta C_{p0}$ と、 ΔC_{p3} が大きくなると $\Delta C_{p3}<\Delta C_{p0}$ となる傾向を示す。これは、一般に使用される風圧係数差 ΔC_{p0} を用いて計算すると、風圧変動を考慮して室内に流入する風量にくらべ、風圧係数差が小さいレンジで過少に、風圧係数差が大きい範囲で過大に評価することを意味している。

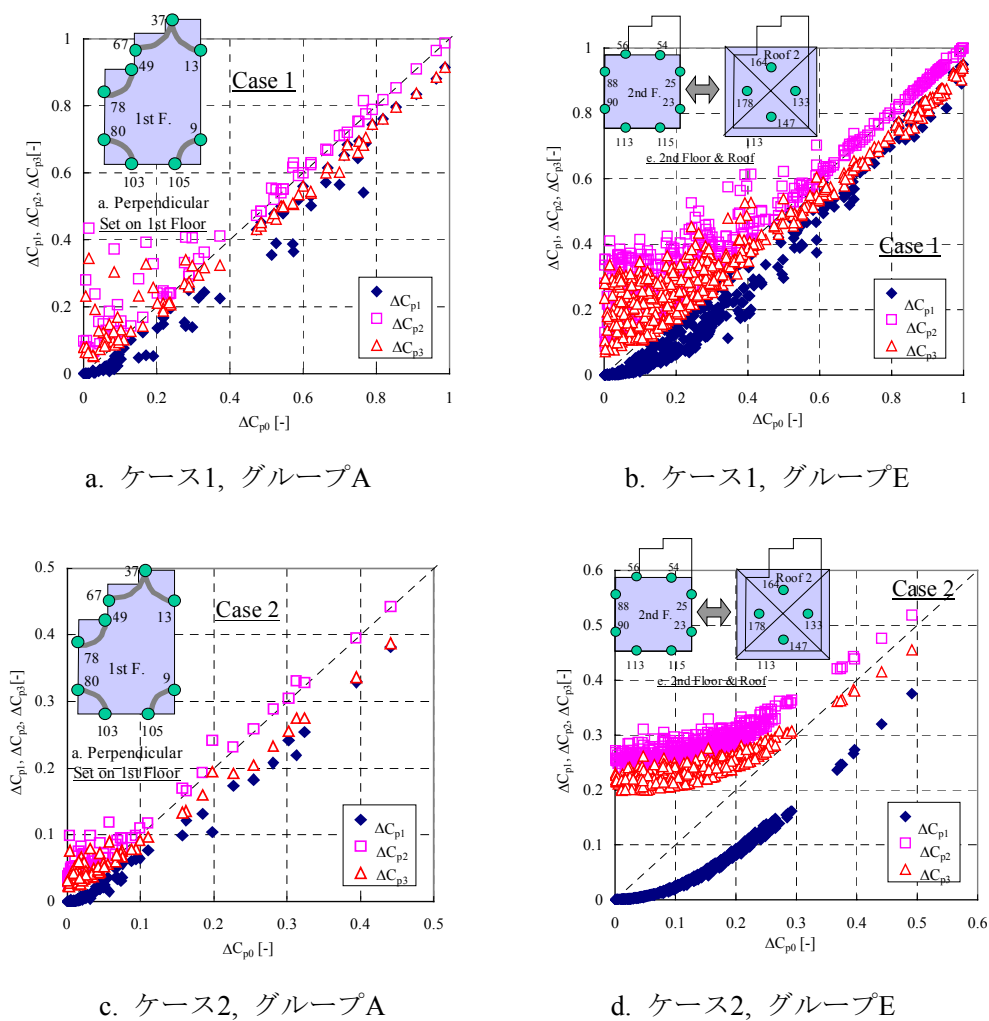


図5.1.8 風圧係数差の関係

また、本節で定義した ΔC_{p1} 、 ΔC_{p2} 、 ΔC_{p3} は、変動成分を表す指標として風圧差の標準偏差 $\sigma_{\Delta C_p}$ とあわせて通常使用される風圧係数差 ΔC_{p0} と近似的に関連づけることができる。図5.1.9は、 ΔC_{p3} と ΔC_{p0} の比と風圧差変動の強度($\sigma_{\Delta C_p}/\Delta C_{p0}$)の関係を全ケース、全グループ、全風向について示したものである。 $\Delta C_{p3}/\Delta C_{p0}$ と $\sigma_{\Delta C_p}/\Delta C_{p0}$ の間には強い関係性がうかがわれ、図中の式で関係を近似することができた。 ΔC_{p1} 、 ΔC_{p2} についても同様に風圧差変動の強度($\sigma_{\Delta C_p}/\Delta C_{p0}$)で整理

することができ、以下の関係式を得られている。

$$\begin{aligned}\Delta C_{p1} &= \text{Min}[1.22 \Delta C_{p0} \cdot \exp(-0.5 \sigma_{\Delta C_p} / \Delta C_{p0}), \Delta C_{p0}] \\ \Delta C_{p2} &= \text{Max}[0.2 \Delta C_{p0} + 0.7 \sigma_{\Delta C_p}, \Delta C_{p0}] \\ \Delta C_{p3} &= \text{Max}[\Delta C_{p0} - 0.1 \sigma_{\Delta C_p}, 0.3 \Delta C_{p0} + 0.6 \sigma_{\Delta C_p}]\end{aligned}\quad (6)$$

一方、二点間の風圧係数差の標準偏差($\sigma_{\Delta C_p}$)は、二点の風圧係数の標準偏差 $\sigma_{C_{pa}}$ 、 $\sigma_{C_{pb}}$ の和と関係づけることができる(図5.1.10)。多少のばらつきがあるものの、式7で近似できた。

$$\sigma_{\Delta C_p} = 1.24 (\sigma_{C_{pa}} + \sigma_{C_{pb}}) - 0.42 \quad (7)$$

式6と式7を用いることで、通風経路の両端に位置する開口での平均風圧係数 C_{pa} 、 C_{pb} と風圧係数の標準偏差 $\sigma_{C_{pa}}$ 、 $\sigma_{C_{pb}}$ から、 ΔC_{p1} 、 ΔC_{p2} 、 ΔC_{p3} を近似的に求めることが可能となった。一般に、風圧係数分布のデータベースは平均風圧係数の他には風圧係数の標準偏差を備えているかどうかであり、二点間の風圧係数差の標準偏差($\sigma_{\Delta C_p}$)は、二つの開口部として想定される無数の測定点から二点を特定する必要がある、また風圧データの経時変化を保持している必要があることから、データベースとして保持することは実際的には不可能である。式7で二点の風圧係数の標準偏差から $\sigma_{\Delta C_p}$ を近似的に求めることが可能となったため、既存のデータベースを活用して風圧変動の効果を加味した平均風圧係数差を算定する道筋が開けたと言える。

図5.1.11は、実験で得られた経時変化から直接算出した ΔC_{p3} (実験値)と式6、7を使って算出した ΔC_{p3} (予測値)の関係を示した図である。風圧係数差が小さい領域でばらつきが大きくなっているが、実用上大きな問題はないと考えている。

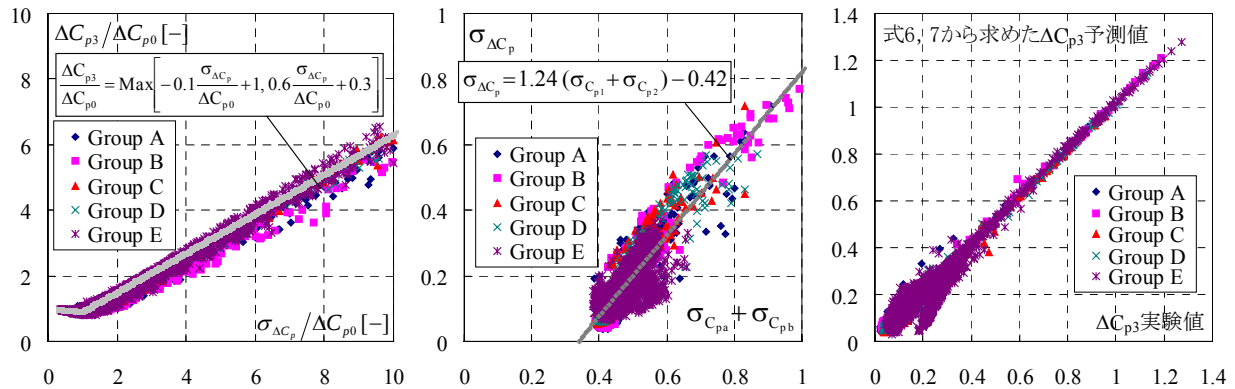


図5.1.9 $\sigma_{\Delta C_p} / \Delta C_{p0}$ と $\Delta C_{p3} / \Delta C_{p0}$

図5.1.10 σ_{C_p} と $\sigma_{\Delta C_p}$

図5.1.11 実験値と予測値

5.1.4 住宅の密集度、風向と風圧係数差の関係

図5.1.13に、想定した通風経路のグループ毎に、住宅地の密集度(グロス建蔽率)と風圧係数差 ΔC_{p0} 、 ΔC_{p3} の関係を示す。図5.1.13には各ケース(グロス建蔽率)の全風向のデータが反映されており、平均、最大、最小値の他にパーセンタイル値(P** : **パーセンタイル値)を示している。また、風向の影響を検討するために、グループA～Dでは、「風上側」に面した開口を含む経路と含まない経路に二分しそれぞれの平均値を示している。ここでは、「風上側」とは開口面が風向に45°以内で面する場合としている(図5.1.12)。また、2階壁面の開口部と屋根面の天窓を結ぶ経路を想定したグループEについては、「風上側」壁面開口+「風下側」天窓と、「風上側」を除く壁面開口+「風下側」天窓の風圧係数差の平均値をあわせて図示している。

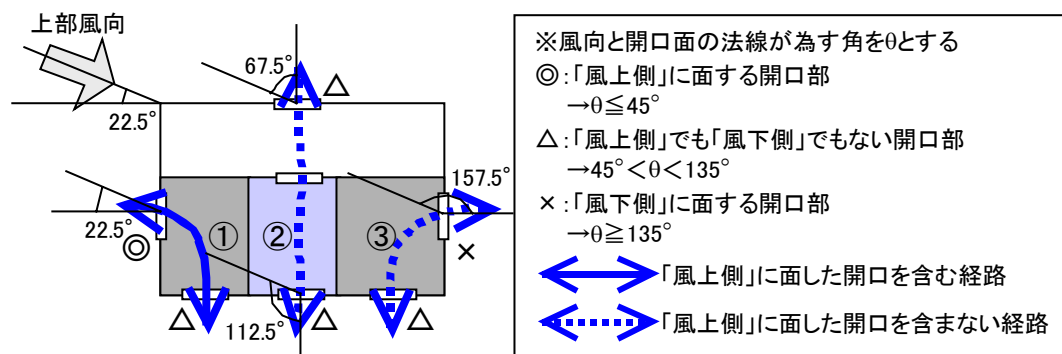


図5.1.12 風向と開口部の位置関係

図5.1.13からは、一般的に使用される平均風圧係数差 ΔC_{p0} と本節で導入した ΔC_{p3} の間には、グロス建蔽率との関係においてそれほどの違いはなく、 ΔC_{p0} 、 ΔC_{p3} でともに、グロス建蔽率が大きくなるにつれ風圧係数差が低下する傾向にある。違いがある点としては、 ΔC_{p0} の最小値がほぼ0となるのに対し、 ΔC_{p3} の最小値が0.05程度となることである。これは、一般的な平均風圧係数差 ΔC_{p0} を使用すると、風圧係数差が小さいレンジでは、風圧変動の効果を評価していないことから、室内に流入する風量を過少に評価してしまうことを意味している。逆に言えば、風圧変動の効果を考えれば、平均風圧係数差で0.05程度の導入風量は最低限確保できることになる。

グロス建蔽率が3割を超えると、期待できる風圧係数差は大きく変化せずほぼ横ばいとなり、グロス建蔽率が25%程度のケース9、12においても、3割以上とくらべて若干大きくなる程度である。これら住宅地模型群(ケース2～12)における風圧係数差の結果は、測定対象模型を単独で配置し周辺模型を排除した単独条件(ケース1)で平均的に得られる ΔC_{p3} が0.4～0.6程度との結果とかけ離れている。住宅地のグロス建蔽率が20%～40%程度であることを考えると、住宅地内の住宅は、密集度の多少の違いにかかわらず、全般的に通風駆動力を得るには不利な状態と言える。

また、風向の影響についても、単独条件(ケース1)では風向を意識した開口配置(風上側に開口部を配置等)をとることで大きな風圧係数差を確保することが可能であるが、一方でグロス建蔽率3割以上のケースでは、風向を意識した開口配置をとっても得られる通風駆動力に際だった違いは生じない。以上から、住宅地においては全般的に通風の駆動力は小さく、風向による影響も小さいため、通風計画においては開口配置計画より開口面積の確保を重視する必要があると言える。

以上の検討から、5.1.1で記した簡易評価法の境界条件として採用した風圧係数差を表5.1.2に示す。風圧変動の効果を加味した平均風圧係数差 ΔC_{p3} について、想定した通風経路のグループ、住宅の密集度(住宅地と単独)、風向の影響で整理し、簡易評価法に用いる妥当な平均風圧係数差を設定した。住宅地においては風向と開口配置の関係によらずに0.05とし、卓越風の風下側に天窓等の高窓を使用する場合には0.15を使えるものとした。また、単独条件に近い状況にある住宅については、卓越風向側に開口が面しているときに0.5、面していないときには0.2とし、卓越風の風下側に天窓を使用する場合には0.5を使えるものとしている。

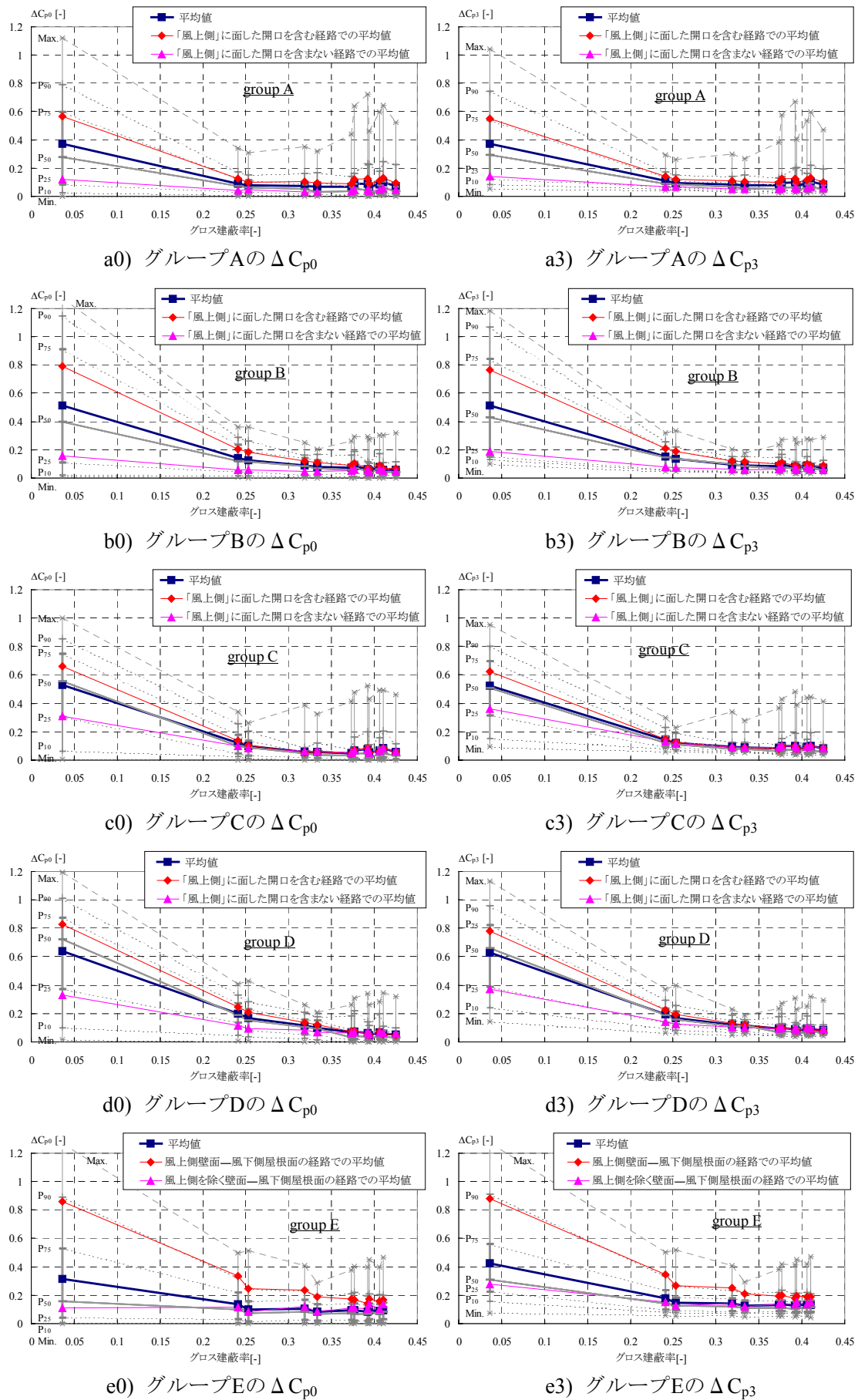
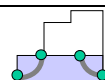
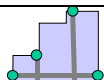
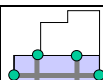


図5.1.13 グロス建蔽率と風圧係数差の関係

表5.1.2 簡易評価法に採用した風圧係数差

想定した通風経路						開口位置と風向の関係	
立地条件 開口位置と風向の関係		A. 1階隅角	B. 2階隅角	C. 1階対面	D. 2階対面	E. 2階壁面-屋根面	
住宅地	開口部が風上側にある場合	0.1~0.14	0.08~0.21	0.08~0.15	0.08~0.23	天窓が風下側屋根面にある場合	0.15~0.22
	開口部が風上側でない場合	0.05~0.07	0.06~0.08	0.08~0.13	0.08~0.14		
	設定にあたり採用した値→		0.05				採用値→
単独	開口部が風上側にある場合	0.55	0.77	0.62	0.78	天窓が風下側屋根面にある場合	0.49
	設定にあたり採用した値→	0.5					採用値→
	開口部が風上側でない場合		0.14	0.19	0.36	0.37	
設定にあたり採用した値→		0.2					

5.1.5 まとめ

開口位置と面積から通風による冷房エネルギー消費削減効果を検討するための簡易評価手法を作成するにあたり必要となる通風空間の簡易モデルを概説した。境界条件となる風圧係数差に求められる要件を整理し、対象住宅周辺の状況を表すグロス建蔽率と風向の及ぼす影響を、風圧変動を考慮して風洞実験結果から検討した結果、住宅地においては全般的に通風の駆動力は小さく風向による影響も小さいため通風計画においては開口配置計画より開口面積の確保を重視する必要があることを確認した。また、簡易評価法でのパラメータとして妥当な平均風圧係数差を設定している。ここでの検討結果は、平成21年4月1日施行予定の住宅事業建築主の判断の基準の中で、通風の冷房負荷削減量算定に反映される見込みである。

参考文献

- 1) S. Nishizawa, et al., "Evaluation of effect of the wind pressure fluctuation for cross ventilation in the residential district", Proceedings of AIVC 2008, Vol.2, pp.367-362, 2008.10

5.2 多灯分散照明の考え方と実空間におけるケーススタディ

5.2.1 多灯分散照明による光環境の質と省エネルギー性両立の考え方

住宅の照明エネルギー消費量は、実は住戸全体の消費量のかなりの部分を占めており、機器の効率化にもかかわらず増加し続けている。また、住宅の照明は、室内の雰囲気形成など、質的な観点での役割も有している。

したがって、機器の効率だけではない、使い方という観点から省エネルギーを図りつつ光環境の質を向上させる新たな方法が求められている。

多灯分散照明方式は、そのような背景のもと、三木ら¹⁾によって提案された手法である。一室多灯照明方式（一つの部屋に複数の照明設備を配置する照明方式）に省エネルギーの考え方を付加した新しい照明方式であり、設計時に複数の照明設備の合計W数を制限し、運用時に照明設備の点灯パターンをコントロールすることで光環境の向上と照明の省エネルギーを両立するというものである。

設置された設備のW数の単純な合計を考えると、複数の照明機器による照明よりも、一室一灯（一つの空間に一つの照明機器を設置する照明方式）による照明の方が効率は高いと通常みなされやすいが、リビングルームのようにある程度広く様々な生活行為が求められる場所では、生活行為や求める雰囲気によっては室全体を万遍なく照らす必要はなく、複数の機器の点灯の設定によって必要な箇所だけ照明することで、光環境の質を向上させつつ省エネルギー性を確保できる可能性が高い。ただし、設計時のW数の制限がなければ居住者の使用状況に依存する部分が大きくなり、必要に応じた照明の点灯を行っても消費量が逆に増加してしまうというリスクがあることから、設計時のW数の制限が非常に重要となる。

多灯分散照明方式は、理論的には、複数の行為を行う居室全てで考えることが可能であるが、光環境の質と省エネルギーの観点から、なされる生活行為の種類が多く、かつ在室時間が長いリビングルームやダイニングルームを主な対象とするのが有効と考えられる。

住宅照明で省エネルギーを重視すると、間接照明のような比較的効率の低い照明を使わないで光環境の質を犠牲にするという傾向が強くなるが、多灯分散照明方式は複数の照明器具の組み合わせで様々な光環境を創り出す照明方式であることから、間接照明を採用しても運用次第で省エネルギーを実現することが可能となる。

5.2.2 多灯分散照明による明るさ評価と省エネ性に関するケーススタディ

(1) はじめに

既往研究¹⁾では、多灯分散照明の考え方に基づき、27個の照明パターンについて評価実験を行い、生活行為・雰囲気への対応といった光環境の質と、一室一灯よりも少ない消費電力の両立が可能であることを示したが、空間の明るさ評価については未検討であった。

そこで、本実験は、集合住宅のリビング・ダイニング室で典型的な一日の生活パターンが進められることを想定し、多灯分散照明が用いられた場合に生ずる光環境の明るさ評価と省エネルギー性に関する基礎的検討を行うことを主たる目的としている。具体的には、(独)建築研究所に設置された実験用集合住宅において、一日の標準的な生活パターンに基づいた昼光の利用状況、多灯分散照明の点灯・消灯状況を再現し、その光環境の輝度画像を測定するとともに、あわせて局所的・空間的な明るさに関する被験者評価を行う。さらに、得られた輝度画像から、輝度・明るさ

変換システムを用いて明るさ画像を得る。このようにして得られた輝度画像・明るさ画像および被験者評価を分析し、各光環境がもつ問題点を把握するとともに、各光環境を構成する照明器具の点灯W数を勘案することで、住宅における多灯分散照明における明るさ評価と省エネルギー性に関する基礎的知見を得る。

(2) 研究方法

1) 測定対象

自立循環型住宅総プロ（平成13～平成16年度）で設定された標準的な生活パターンにおいて、昼光の状況、点灯照明器具の違いなどを考慮して、表5.2.1に示すような11の生活シーンを設定した。

そしてその生活シーンの光環境を、(独)建築研究所に設置された実験用集合住宅において図5.2.1の照明配置により再現し、その輝度分布を測定した。

表5.2.1 選択された11の生活シーンと照明パターン

シーン番号	時間帯	場所/生活行為	点灯照明器具	合計W数
1	平日6:45～7:15	ダイニング/新聞・朝食	P3, P4	24W
2	平日7:30～8:15	リビング/テレビ	P2	12W
3	平日8:30～9:00	リビング/掃除	D6,D7,D8	36W
4	平日12:15～12:45	ダイニング/昼食	P3	12W
5	平日16:00～16:30	リビング/テレビ	P2, D7	24W
6	平日17:00～17:15	リビング/家事、趣味、お茶	P2, D7, B2, T3	40W
7	平日17:15～18:30	リビング/家事、趣味、お茶、テレビ	P2, D7, B2, T3, P3	52W
8	平日18:30～19:30	リビング/テレビ	P2, D7	24W
9	平日19:30～20:15	ダイニング/夕食	B2, P3, P4	32W
10	平日22:30～23:15	ダイニング/パソコン	P3, P4	24W
11	平日23:15～23:30	リビング/テレビ、ダイニング/パソコン	P2, D7, P3, P4	48W

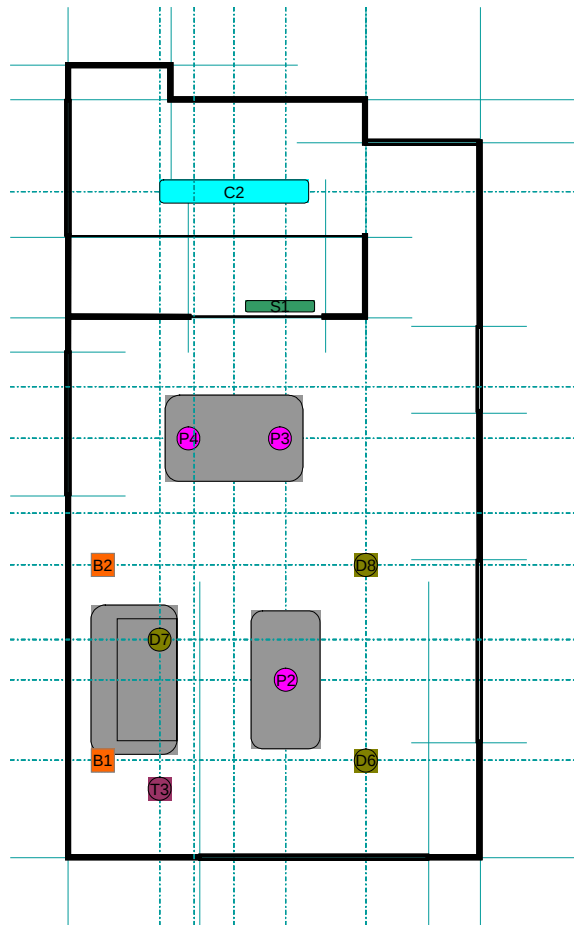


図5.2.1 照明器具配置（リビング側が南）

2) 測定方法

輝度画像の測定は、LD室の入り口の部分から、①正面の窓方向、②南西隅方向という、二つの方向について行った。測定画角は、横方向 57.4° 、垂直方向 44.3° である。図5.2.2に、輝度画像の測定事例（方向①と方向②）に測定された輝度画像の例を示す。

輝度画像の測定と同時に、輝度画像の変換により導かれる明るさ画像（後述）の検証のため、被験者5名にて、図5.2.3に示す測定ポイントと評価シートのようにあらかじめ設定した13ポイントについて局所的な明るさに問題ないかどうかを判定し、さらに部屋全体の明るさ感を評定した。

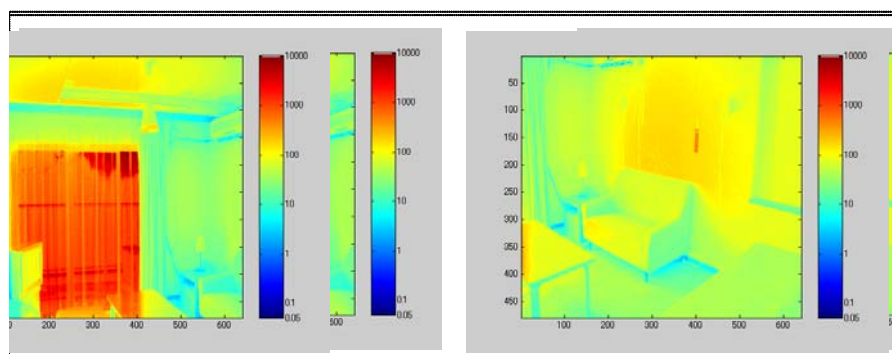


図5.2.2 輝度画像の測定事例（方向①と方向②）

評価用紙

氏名: _____



- ① センターテーブル面
- ② ダイニングテーブル面
- ③ ソファ座面
- ④ ブラケットの間
- ⑤ 南側ブラケットの下
- ⑥ 北側ブラケットの下

- ⑦ 南西隅天井近くの壁面
- ⑧ 南側天井の下がった部分の側面
- ⑨ テレビ背面の東側の壁面
- ⑩ ソファ北側の床面
- ⑪ 西側壁面の奥まったところの側面
- ⑫ 窓の外のベランダ
- ⑬ センターテーブル上のペンダントの下端

	明るすぎる	問題ない	暗すぎる		明るすぎる	問題ない	暗すぎる
①				⑦			
②				⑧			
③				⑨			
④				⑩			
⑤				⑪			
⑥				⑫			
				⑬			

室全体の明るさ感

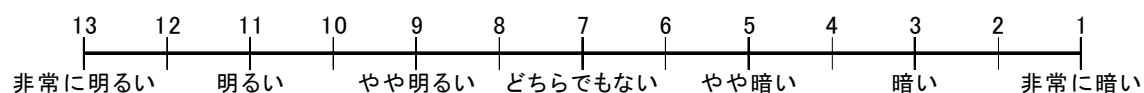


図5.2.3 測定ポイントと評価シート

(3) 結果と考察

1) 明るさに関する結果と考察

前述の11シーンのそれぞれについて、測定された2枚の輝度画像を変換し、2枚の明るさ画像が作成された。図5.2.4に例としてシーン1の輝度画像及び変換された明るさ画像を示す。なお、輝度画像から明るさ画像への変換は、文献²⁾に示された方法を採用した。

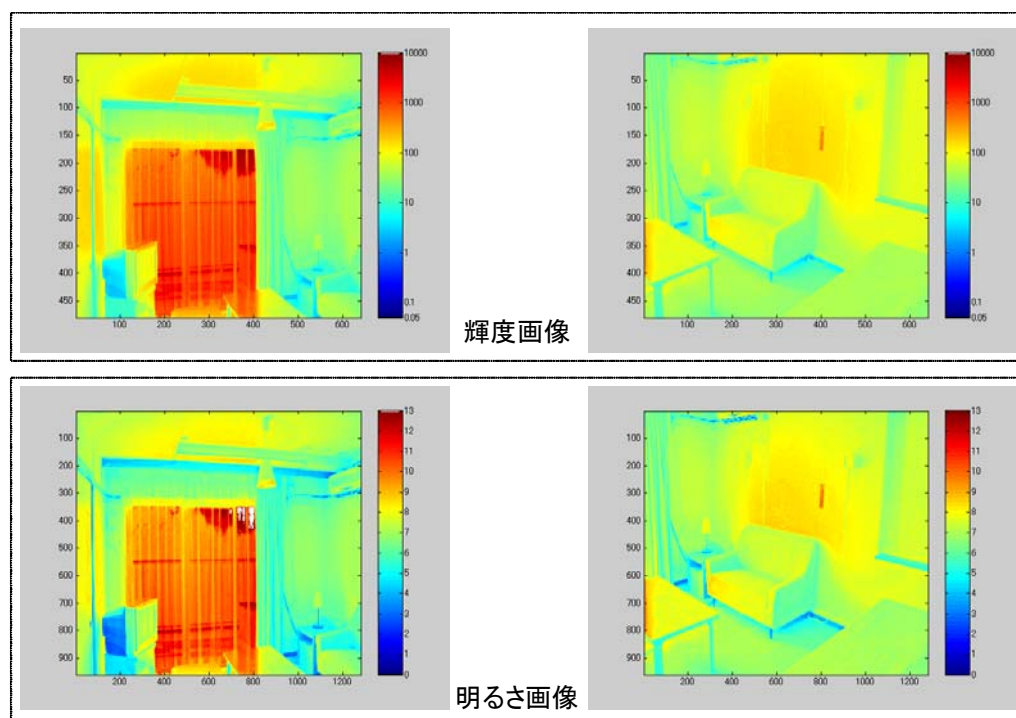


図5.2.4 シーン1の測定画像

まず、得られた輝度画像および明るさ画像より、明るさに問題があるかどうかを判定した部位について、視角2度程度の領域と仮定し、その部分の輝度および明るさ尺度値の平均を求めた。その結果を表5.2.2および表5.2.3に示す。なお、明るさ尺度値の数値と明るさを表現する形容詞の関係は、図5.2.5に示すようなものである。

表5.2.2 各部位の輝度（平均）

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬
シーン1	80.24	39.95	59.59	150.43	95.50	101.58	40.71	63.13	32.83	15.58	45.02	707.74	128.61
シーン2	71.04	18.06	39.07	78.42	61.97	66.32	32.37	51.70	38.32	5.90	24.03	754.99	1984.60
シーン3	70.58	19.67	43.48	95.61	72.36	75.30	38.69	59.83	47.53	6.42	30.02	951.48	150.71
シーン4	53.03	19.98	40.25	80.57	54.88	58.34	28.00	49.90	46.57	6.15	24.30	828.37	138.97
シーン5	7.20	2.37	8.12	15.72	6.51	8.23	5.13	5.40	3.56	1.93	2.53	33.87	1710.00
シーン6	9.66	4.34	10.25	20.38	18.84	538.64	19.49	8.55	4.07	1.06	3.81	38.42	2558.50
シーン7	9.91	8.35	10.42	19.85	15.53	594.43	10.01	8.22	4.55	3.28	5.61	7.26	2167.40
シーン8	5.27	2.10	5.26	13.19	9.59	8.73	3.52	5.17	2.16	0.19	1.22	4.01	2486.70
シーン9	2.54	11.43	2.43	3.24	2.53	534.00	2.73	3.86	1.39	5.84	9.89	2.37	3.91
シーン10	2.62	9.58	2.29	2.70	1.87	4.33	2.35	2.57	1.07	2.48	10.05	1.44	2.69
シーン11	8.33	10.74	8.42	16.79	6.58	11.35	5.55	6.93	4.07	2.64	11.02	3.16	2013.70

表5.2.3 各部位の明るさ尺度値（平均）

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬
シーン1	7.76	6.86	7.18	8.39	7.84	7.84	7.02	6.85	5.98	5.37	6.83	10.13	8.53
シーン2	6.13	6.22	6.93	7.86	7.52	7.58	6.58	6.83	6.33	4.20	6.44	9.98	12.37
シーン3	7.86	6.38	7.15	8.09	7.70	7.72	6.99	7.07	5.88	4.98	6.64	10.71	8.55
シーン4	7.45	6.33	7.09	7.96	7.40	7.45	6.57	6.91	6.34	4.51	6.38	10.74	8.57
シーン5	5.04	4.94	6.30	7.21	5.60	6.26	5.60	5.70	5.51	3.07	4.69	8.09	13.71
シーン6	6.38	5.51	6.46	7.29	6.94	11.79	6.37	6.06	5.86	4.84	4.99	8.00	13.86
シーン7	6.41	6.01	6.33	7.16	6.61	12.06	6.53	6.33	5.70	4.74	5.31	5.63	13.97
シーン8	6.30	5.15	6.20	7.21	5.57	6.72	5.54	6.22	5.53	3.24	4.31	5.89	15.36
シーン9	5.57	6.67	5.21	5.53	5.19	11.84	5.51	6.08	4.40	5.32	6.35	5.30	5.94
シーン10	5.77	6.59	5.19	5.35	5.15	5.79	5.53	5.81	5.07	5.06	6.42	5.13	5.74
シーン11	6.59	6.28	7.09	5.45	6.42	6.20	5.75	6.51	6.04	4.67	6.46	6.05	14.92

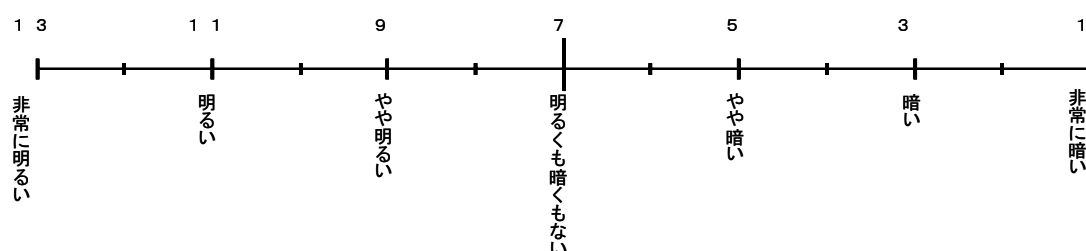


図5.2.5 明るさ尺度値と形容詞の対応

一方、それぞれの部位に対する明るさに問題があるかどうかの判定は、表5.2.4のようになった。表にある数値は表5.2.5に示すような意味を持っている。なお、表の評価値は各被験者の平均値である。

表5.2.4 明るさに問題があるかどうかの被験者による判定結果

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬
シーン1	4.4	5.2	4	5	5	5	4	4.6	5	3.8	4.6	5.8	5
シーン2	4	3.8	5	4.4	5	5	3.8	5	5.2	3	4.2	4.6	6.4
シーン3	5	4.4	5	5.2	5	5	5	5	5.2	4.4	4.8	6.4	5
シーン4	5	4.6	5	4.4	4.2	5	3.6	4.2	5.2	4.4	4.8	6	5
シーン5	5.4	4.2	5.4	5.2	4.4	4.8	4	4.4	5.2	4.2	3.4	4.2	6.4
シーン6	5.2	4.4	5.8	4.8	4.6	6	5.2	4.4	5	4.6	2.8	5.2	6.2
シーン7	5	4.8	6	5	5	6	4.8	4.2	4.2	5.2	4.4	4.8	6.2
シーン8	5.8	4	5.2	5.2	3.8	4	4.4	4.2	4.8	3	3.4	4.5	7.8
シーン9	3.8	5.2	4	3	3.8	5.4	4.6	4.4	4.4	5.2	5	4	4
シーン10	4	6.2	4	3.8	3	4.8	4	5	4	5.6	5.4	4	4.25
シーン11	4.8	6.2	5.8	5	4.4	5.6	3.8	5	4.8	4.8	5	4.8	6.8

表5.2.5 問題判定値の意味

評価	暗すぎる	問題ない	明るすぎる
得点	1-2-3	4-5-6	7-8-9

表5.2.5よりわかるように、暗くて明るさに問題がある場合は評価値が3以下、明るくて問題がある場合は評価値が7以上となる。このような数値の意味を参考に表5.2.4の数値を見てみると、基本

的に大きく問題となる部分はないが、シーン2とシーン8では⑩(ソファ北面の床面)が、シーン9では④(ブラケットの間)が、シーン10では⑤(南側ブラケットの下)が、評価値3と「暗くてやや問題がある」と判断されている。一方、シーン8の⑬(中央の照明器具)は、評価値7.8と「明るくてやや問題」と判断されている。そこで、これらの問題の明るさ尺度値を表5.2.3より読み取ると表5.2.6のようになった。

表5.2.6 明るさに問題がややあると判断された部分の評価値と明るさ尺度値

	評価値	明るさ尺度値
シーン2 ⑩	3	4.20
シーン8 ⑩	3	3.24
シーン9 ④	3	5.53
シーン10 ⑤	3	5.15
シーン8 ⑬	7.8	15.36

既往文献³⁾によると、視野内の大きな領域に対し、明るさ尺度値が5以下となるような暗い部分を作らない、また明るさ尺度値10以上となるような部分を作らないとされているが、暗いと判断された4つの部位は領域としては比較的狭いことから、あまり大きな問題とはならないと考えられる。一方、明るい⑬の部分も、領域として狭いことから大きな問題であるとは言えないが、明るさ尺度値が13の「非常に明るい」を超えていることから、グレアを発生させてしまっていることは明らかである。⑬の領域のシーンごとの明るさ尺度値の推移を見ると、この程度の大きさの光源の場合、明るさ尺度値が13を越えた辺りから問題が発生していることが分かる。次に、部屋全体の明るさ感の評定を見てみる。各被験者の明るさ感の評定結果の平均値は表5.2.7のようになった。また、表には文献²⁾の方法を基に算出した部屋の明るさ感予測値と画像平均輝度(対数)も示してある。まず、明るさ感の評定結果を見ると、評価のシーン毎のばらつきが、6.2(どちらでもないやや暗いの中間点)から10.4(やや明るいと明るいの中間点)と、問題のない範囲にばらついていることが分かる。居住者に好みを聞くとおそらく7以上の明るさ感を要求するとは考えられるが、客観的にいえば、住宅室内の明るさとしては大きな問題といえるだろう。

表5.2.7 明るさ感と予測値の関係

	評定値	予測値	輝度(対数)
シーン1	9	13.75	2.49
シーン2	6.2	12.89	2.43
シーン3	8.4	13.47	2.53
シーン4	7.8	13.00	2.49
シーン5	6.8	8.44	1.23
シーン6	9.2	9.58	1.33
シーン7	10.4	8.79	1.06
シーン8	6.8	6.99	0.73
シーン9	7	6.86	0.27
シーン10	6.4	6.53	0.15
シーン11	10	8.25	0.82

次に、得られた2枚の明るさ画像より、文献³⁾の方法で部屋全体の明るさ感を予測してみる。ただし、文献⁴⁾では、視野角約60度の範囲内で明るさ尺度値の画像平均を求め、それを用いた予測式を提案しているが、ここでは、視野角60度では部屋全体をカバーできないことから、得られた2枚の明るさ画像の全領域の平均値を求め、この値を用いて明るさ感を予測している。なお、明るさ感の予測式は次のような式である。

$$B = 0.2203 \times B_{av}^{2.0617} \quad (1)$$

ここで、B は明るさ感、 B_{av} は明るさ尺度値の平均値を表す。

表5.2.6をもとに、明るさ感評定値と明るさ予測値の関係を図示すると図5.2.6のように、明るさ感評定値と平均輝度の対数値との関係を図示すると図5.2.7のようになった。

二つの図より分かるように、平均輝度の対数に比べて、明るさ感予測値は明るさ感評定値と対応が高いことが分かるが、全体として見るとうまく予測できていない。三つのグループ、すなわちシーン番号1から4のグループと、シーン番号5と6のグループ、そしてシーン番号7から11グループに分かれてしまっている。これらのグループは、窓外の輝度が高い場合(シーン番号1から4)、輝度が低い場合(シーン番号5と6)、窓がカーテンで覆われている場合(シーン番号7から11)である。グループ相互の関係をみると、昼間の窓面輝度が低い場合と夜間の場合が大きくは一つと考えられ、昼間（窓面輝度が高い）場合が特異なグループとして独立していると考えられる。この理由は、一つは、輝度-明るさ変換を視野角60度程度の画像を用いたことによって、大きな輝度対比が考慮されていないことだと推察される。これを解決するには、広角で輝度画像を撮影して作成する必要があると考えられる。もう一つの理由は、部屋の明るさ感評定では、昼間の高輝度の窓は評価の際に除外されて判断されることだと推察される。つまり、部屋の明るさ感を判断するとき、窓の外の明るさをカウントして答えることはせず、主に壁面の明るさを見て判断する、ということである。窓面の輝度が低い場合や夜間の場合は、窓面部分も含めて全体として判断される傾向が強いと考えられる。昼光利用による省エネ照明制御を考える上で、この空間的な明るさ感の判断システム（窓面の評価からの除外等の考慮、認識プロセス）の解明が必要と考えられる。

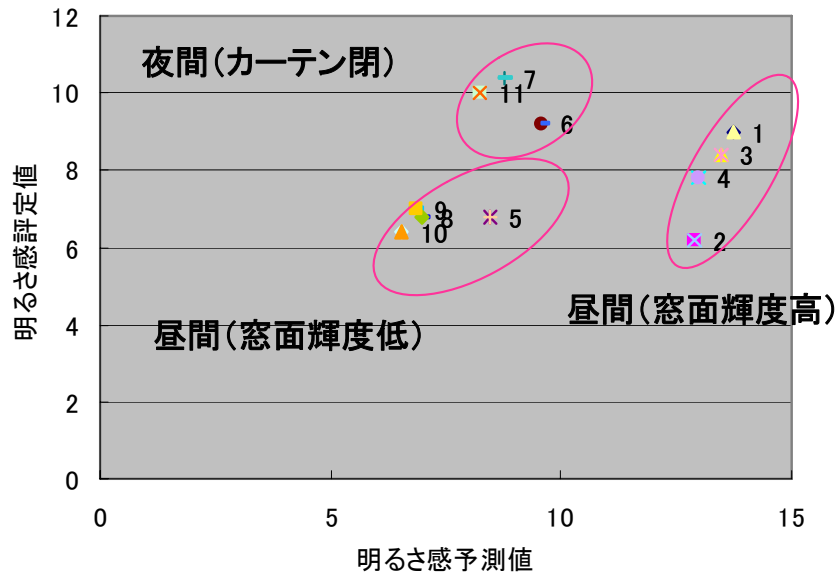


図5.2.6 明るさ感予測値と明るさ感評定値の関係

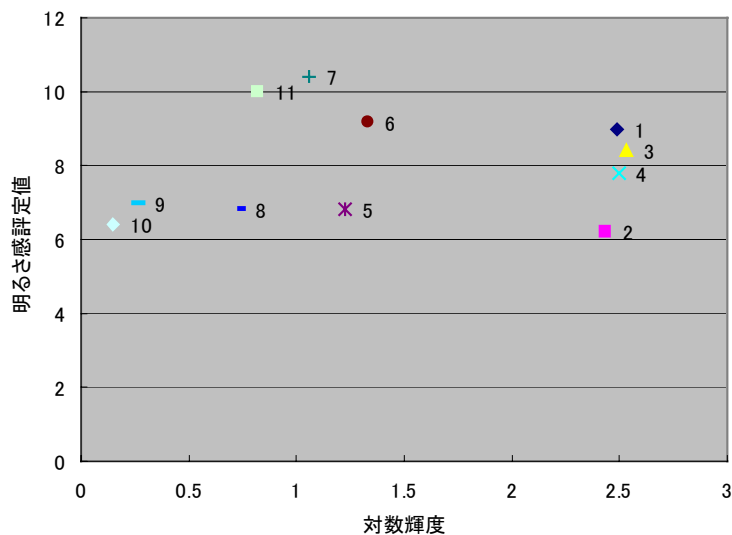


図5.2.7 対数輝度と明るさ感評定の関係

2) 明るさ評価と省エネルギー性に係る考察

局所的な明るさ知覚については、前述の通り、明るさ尺度を用いてかなり適切に評価できるから、各シーンの点灯W数と暗すぎる・明るすぎる部分の有無の関係の考察が可能である(表5.2.8)。設定されている多灯分散の11シーンは、夜間(⑦～⑪)においてもリビング・ダイニングにおける蛍光灯の一室一灯の標準的点灯W数92W(70W+22W)より低いW数となっているが、暗すぎる部分は少なく、しかも狭い領域のみであった。したがって、多灯分散照明によって、生活行為に応じた各シーンの点灯W数が低Wであっても、問題ないレベルであることがわかる

空間全体の明るさ感評価については、前述の通り、昼間においては明るさ感の評価が現段階の知見では困難であり、適切な明るさ感評価と対応させないと、過剰な点灯をしてしまう可能性が残っている。夜間においては、総点灯W数が低い場合(例えば24W)であっても、図 5.2.6、図 5.2.7の被験者評定値および明るさ感予測値より、空間全体が「非常に暗い」または「暗い」というパ

ターンはないことが分かり、多灯分散照明により低W数で空間の明るさ感確保の可能性があると分かる。

表5.2.8 各シーンの点灯W数と暗すぎる・明るすぎる部分の有無

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪
24W	12W	36W	12W	24W	40W	52W	24W	32W	24W	48W
	暗すぎる部分あり (1箇所)						暗すぎる・明るすぎる部分あり(各 1 箇所)	暗すぎる部分あり (1 箇所)	暗すぎる部分あり (1箇所)	

5.2.3 まとめ

本実験では、集合住宅のリビング・ダイニング室で典型的な一日の生活パターンが進められることを想定し、多灯分散照明が用いられた場合に生ずる光環境の明るさ評価と省エネルギー性に関する基礎的検討を行った結果、以下の知見が得られた。

- ①局所的な明るさ知覚と多灯分散照明の関係については、昼間から夜間を通じて、適切に評価ができ、省エネルギー性の高い低W数の照明であっても部分的に暗すぎると評価される箇所は少なく、かつ領域も狭い場合であるため問題ないことが分かった。
- ②空間的な明るさ感と多灯分散照明の関係については、昼光・人工照明併用時の場合は、高輝度な窓面の影響が大きく評価が困難であった。窓面と周辺の壁面の評価のプロセスに組み込むことが適切な評価に繋がると推察される。窓面輝度が低い場合や夜間の場合は、多灯分散照明の明るさ感評価は可能であり、きめ細かな光環境の調節が、空間の明るさ感を保ちつつ省エネルギー性を高める可能性が示された。

本研究で明らかになった点を、具体的な照明計画技術に落とし込んでいくことが今後の主要な課題である。

参考文献

- 1) 三木保弘, 戸倉三和子, 浅田秀男, 松下進: 小型高効率ランプを用いた多灯分散照明の提案とリビング・ダイニングにおける被験者評価及び省エネルギー性評価 住宅における多灯分散照明による光環境の質と省エネルギー性の両立に関する研究その1, 日本建築学会:環境系論文集, NO.603, pp.9-14, 2006
- 2) 中村芳樹: ウェーブレットを用いた輝度画像と明るさ画像の双方向変換—輝度の対比を考慮した明るさ知覚に関する研究(その3)—;照明学会誌、Vo.90, No.2 pp.97-101, 2006
- 3) 照明学会編:住宅照明設計技術指針、2007
- 4) 藤野雅史, 中村芳樹, 井上修作, 岩井彌: 照明設計ツールとしての輝度—明るさ変換システムの構築;日本建築学会環境系論文集、No.597, pp.13-17, 2005