

# CO2をベースとした室内の汚染状況の評価に関する研究

## － 10物件での比較 －

### Keywords

CO2濃度 換気 室内環境  
感染 解析 尖度・歪度

DZ20113 高市悠希

### 1. 研究の背景と目的

コロナ対策の基準として、厚生労働省は必要換気量1人当たり30m<sup>3</sup>/h以上と定めた。その基準を満たしていれば「換気が悪い空間」には当てはまらないとしている。しかし、コロナ対策のために厚生労働省の定めた必要換気量を満たしていれば感染症を確実に予防することができると根拠があるわけではない。

本研究では、CO2濃度から用途や規模の異なる建築物の室内における空気環境を評価した。機械換気において、CO2濃度を減少させる可能性のある条件を変数として、様々な条件で解析を行った。その評価に基づき、どの要素が室内のCO2濃度に強く影響を与えているのか調査する。更にどの要素を調整することが、より効果的に空気質汚染の改善ができるのかを検討すること目的である。

本研究では、CO2濃度を室内の空気質の指標とし、数値流体解析を使用してCO2濃度を算出する。解析条件には換気量などの要素を変数とし、非定常解析を30分まで行う。床から1.8mの高さを居住域と定義し、居住域におけるCO2濃度の変化を計算する。換気量、収容人数、吹き出し風速がCO2濃度に与える影響を調査し、それぞれの要素の影響の程度を検討するため、3水準の変数を各要素に与える。これらの変数は設計値を第2水準値とし、基準値よりも小さい値と大きい値は、それぞれ第1水準値と第3水準値とする。

これらの変数に対して各水準値を変更した6つのモデルを作成する。これにより、合計7パターンのモデルを解析する。同様の手順を過去の研究を含め10の建物モデルを対象として解析を行った。

### 2.2 分析手法

7つのモデルの解析から、室内全体と居住エリアのCO2濃度の分布を、10ppmごとの累積頻度として算出する。度数から尖度と歪度を算出し、それぞれの三要素が室内のCO2濃度に与える影響を調べる。

### 2.3 解析対象建築物の概要

本年度新たに解析対象として加えたものは、パーキングエリアI、宿泊施設A、サービスエリアS、サービスエリアOの4つの建築物であり、これらの解析概要条件を表1に、一人当たりの換気量・収容人数・空調の吹き出し速度の3要素の定めた水準値を表2に示す。

表1 解析対象概要

解析対象	最高天井高	床面積	体積	解析領域体積	換気システム	空調
PA-I	2.6	182.1	473.5	327.8	第3種換気	PAC+HEX
宿泊施設A	7.7	271.7	1245.9	365.3	第1種換気	AHU+FE
SA-S	3.4	738.9	2512.2	1330.0	第1種換気	PAC+HEX
SA-O	2.5	2446.0	6115.0	4402.8	第1種換気	PAC+HEX

表2 解析した4物件の水準値

解析対象	変数	第1水準値	第2水準値	第3水準値	
		一人当たりの必要換気量[(m <sup>3</sup> /h)/人]	20	30	35
PA-I	最大収容人数[人]	27	52	62	
	空調の吹出風速[m/s]	0.87	1.74	3.47	
	一人当たりの必要換気量[(m <sup>3</sup> /h)/人]	20	30	35	
宿泊施設A	最大収容人数[人]	15	30	45	
	空調の吹出風速[m/s]	ロビー	0.17	0.34	0.68
		食堂	0.29	0.58	1.16
	一人当たりの必要換気量[(m <sup>3</sup> /h)/人]	20	30	35	
SA-S	最大収容人数[人]	103	205	236	
	空調の吹出風速[m/s]	0.9	1.8	3.6	
	一人当たりの必要換気量[(m <sup>3</sup> /h)/人]	20	30	35	
SA-O	最大収容人数[人]	150	310	610	
	空調の吹出風速[m/s]	0.9	1.8	3.6	

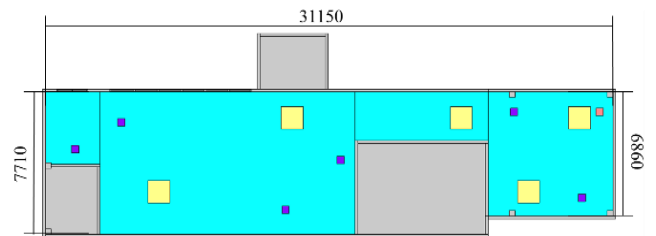


図3 パーキングエリアIの平面図



図4 サービスエリアSの平面図

### 3 解析結果

#### 3.1 パーキングエリアIの解析結果

図中では、水準値を3桁の数字で表し、最初の1桁は換気量の水準値、2桁目は収容人数の水準値、3桁目は空調の吹き出し速度の水準値を表すこととする。

図5に、パーキングエリアIにおいて、3要素のうち1人当たりの必要換気量のみ第1水準値(換気量:20 $\text{m}^3/\text{h}$  収容人数:52人 風速:1.74 m/s)で他の要素は第2水準値とした平面コンターを示す。図6に1人当たりの必要換気量のみ第3水準値(換気量:35 $\text{m}^3/\text{h}$  収容人数:52人 風速:1.74 m/s)の平面コンターを示す。図7に空調の吹き出し速度のみ第1水準値(換気量:30 $\text{m}^3/\text{h}$  収容人数:52人 風速:0.87 m/s)の高さ2mでの平面コンターを示す。図8に空調の吹き出し速度のみ第1水準値(換気量:30 $\text{m}^3/\text{h}$  収容人数:52人 風速:3.47 m/s)の高さ2mでの平面コンターを示す。図9にパーキングエリアIの1人当たりの必要換気量における相対頻度を示す。図10にサービスエリアSの空調の吹き出し速度における相対頻度を示す。

パーキングエリアIにおいて、図5と図6を比較すると1人当たりの必要換気量を上げてても給気口のない左側のCO<sub>2</sub>濃度の高濃度の部分の改善があまり見られないことがわかる。次に図7と図8を比べると、これも換気量と同様に給気口のない左側部分にCO<sub>2</sub>濃度の高濃度な部分が残ってしまっていることがわかる。これにより、この物件では、単に1人当たりの必要換気量を増加させる、または空調の吹き出し速度を上げただけではCO<sub>2</sub>濃度の高濃度部分の改善には効果はあまり得られないように見受けられるので、より詳細な解析を行った。

図9より、1人当たりの必要換気量についてはどの水準値でも、分布幅にほとんど変化はなく、室内の平均的なCO<sub>2</sub>濃度への影響もわずかしかないことがわかる。図10より、空調の吹き出し速度の分布幅が第1水準値と第2水準値では400ppmから1260ppmなのに対して、第3水準値では400ppmから1100ppmになっているので、図7と図8を比較したときには読み取れなかったが、第1水準値と第2水準値のときに1100ppm以上だった汚染された空気は空調の吹き出し速度を調整することで改善されることがわかる。吹き出し速度が第1水準値(0.87m/s)では、800ppmから1300ppmの空気量が高くなっているのに対して、第3水準値(3.47m/s)では600ppmから1100ppmでの空気量が高くなっているため、CO<sub>2</sub>濃度が高濃度な空気の改善はパーキングエリアIでは改善できることがわかる。収容人数に関しては、パーキングエリアIもこれまでの研究結果と同様に、収容人数を減少させるとCO<sub>2</sub>濃度の高濃度部分の改善と室内の平均的なCO<sub>2</sub>濃度の減少への影響力は3要素の中で1番高く、汚染された空気の改善への確実性が最も高い。

パーキングエリアIの解析結果としては、1人当たりの必要換気量については、CO<sub>2</sub>濃度の高濃度部分の改善と室内の平均的なCO<sub>2</sub>濃度の減少のどちらにもあまり効果

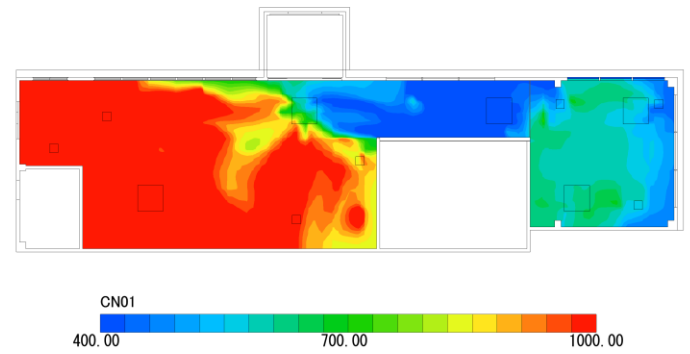


図5 Z=2m  
換気量:20 $\text{m}^3/\text{h}$  収容人数:52人 風速:1.74 m/s

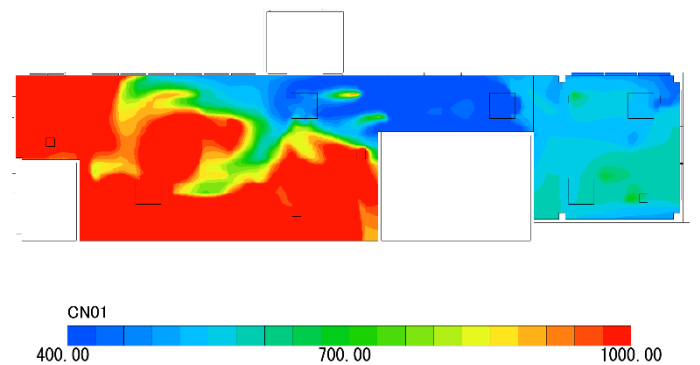


図6 Z=2m  
換気量:35 $\text{m}^3/\text{h}$  収容人数:52人 風速:1.74 m/s

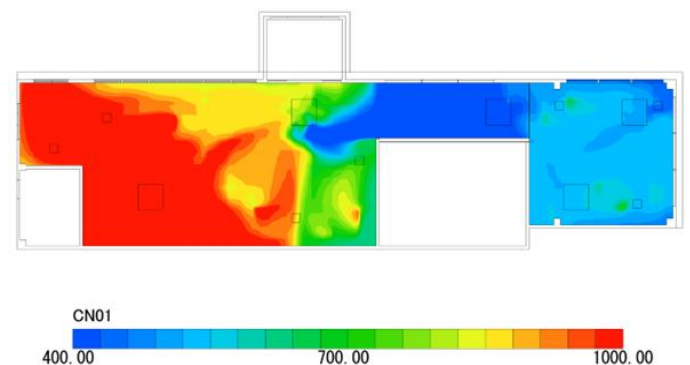


図7 Z=2m  
換気量:30 $\text{m}^3/\text{h}$  収容人数:52人 風速:0.87m/s

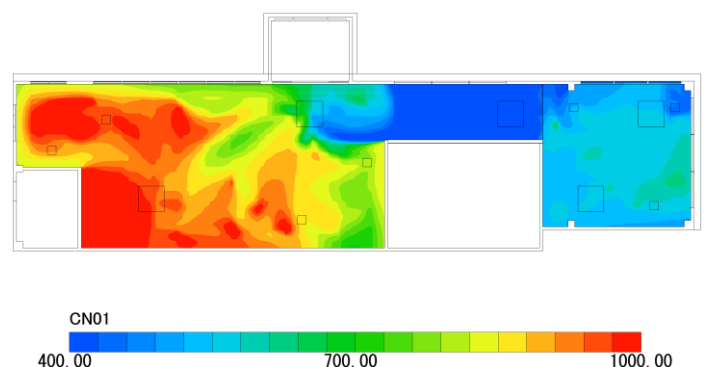


図8 Z=2m  
換気量:30 $\text{m}^3/\text{h}$  収容人数:52人 風速:3.47 m/s

がなく、空調の吹き出し速度は収容人数ほどではないが、CO<sub>2</sub>濃度が高濃度な空気の改善に効果がある。収容人数はどちらに対する影響力も1番高いという結果になった。

### 3.2 サービスエリアSの解析結果

図11にサービスエリアSの3要素すべて第2水準値(換気量:30m<sup>3</sup>/h 収容人数:205人 風速:1.8 m/s)の基準となる平面コンターを示す。図12に一人当たりの必要換気量だけ第3水準値(換気量:35m<sup>3</sup>/h 収容人数:205人 風速:1.8 m/s)の平面コンターを示す。図13に空調の吹き出し速度だけ第3水準値(換気量:30m<sup>3</sup>/h 収容人数:205人 風速:3.6 m/s)の平面コンターを示す。図14にサービスエリアSの一人当たりの必要換気量における相対頻度を示す。図15にサービスエリアSの風速における相対頻度を示す。

サービスエリアSにおいて、図11と図12を比べると1人当たりの必要換気量を上げるだけでは、室内のCO<sub>2</sub>濃度の高濃度部分の改善があまりできていないことがわかるのに対して、図11と図13を比べると空調の吹き出し速度を上げるとCO<sub>2</sub>濃度の高濃度な部分をかなり改善できていることがわかる。

図14より、すべての水準値で分布幅が400ppmから1200ppmとなっていることからここからもCO<sub>2</sub>濃度の高濃度な部分の改善に1人当たりの換気量を増減させることは効果的ではないとわかる。しかし、1人当たりの換気量を増加させることでボリュームゾーンは若干左に寄っているため、室内の平均的なCO<sub>2</sub>濃度を減少させることはできていることがわかる。

図15では、空調の吹き出し速度が第1水準値(0.9m/s)のときは分布幅が400ppmから1100ppm、第2水準値(1.8m/s)のときは分布幅が400ppmから1150ppm、第3水準値(3.6m/s)のときは分布幅が400ppmから1000ppmとなっていることから、空調の吹き出し速度はこの物件では収容人数ほどではないが、CO<sub>2</sub>濃度の高濃度部分の改善に効果があることがわかる。しかし、第1水準値(0.9m/s)と第2水準値(1.8m/s)を比べると、空調の吹き出し速度の低い第1水準値(0.9m/s)より空調の吹き出し速度の高い第2水準値(1.8m/s)のほうがCO<sub>2</sub>濃度の高濃度部分が増加していることから、空調の吹き出し速度は単純に速度を上げればCO<sub>2</sub>濃度を減少させられるわけではなく、その物件に適した吹き出し速度が存在しているのではないかと考察できる。また、空調の吹き出し速度は室内の平均的なCO<sub>2</sub>濃度を減少させることにも効果があることがわかる。

サービスエリアSの収容人数に関しては、第1水準値(103人)のときの分布幅が400ppmから890ppmで、第2水準値(206人)のときの分布幅が400ppmから1150ppmで、第3水準値(236人)のときの分布幅が400ppmから1400ppmであり、室内の人数を減少させるとCO<sub>2</sub>濃度の高濃度部分の改善に効果が大きく、室内の平均的なCO<sub>2</sub>濃度を減少させることができている。

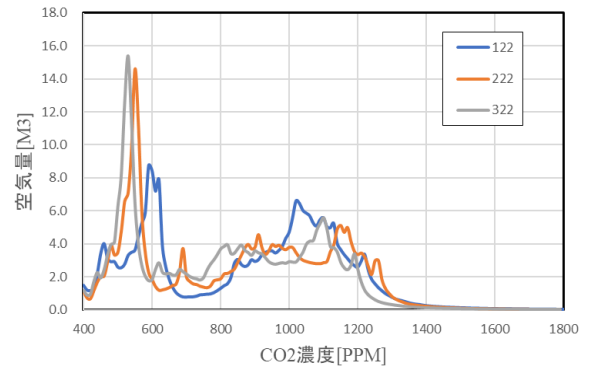


図9 パーキングエリアIの1人当たりの換気量に関する相対頻度

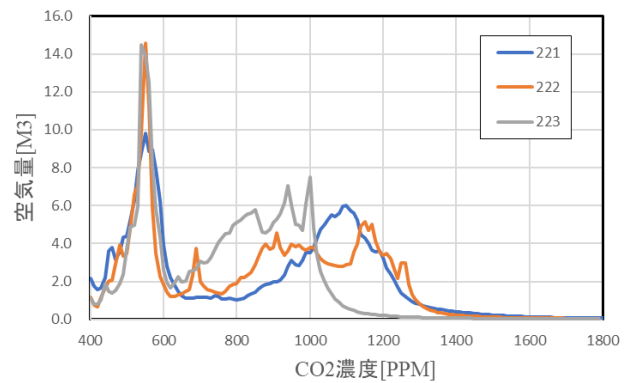


図10 パーキングエリアIの空調の吹き出し速度に関する相対頻度

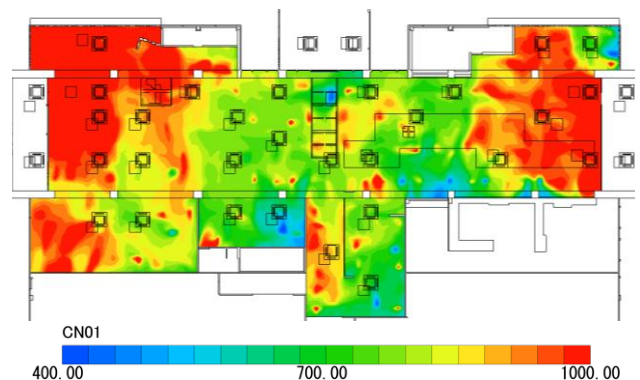


図11 Z=1.8m  
換気量:30m<sup>3</sup>/h 収容人数:205人 風速:1.8 m/s

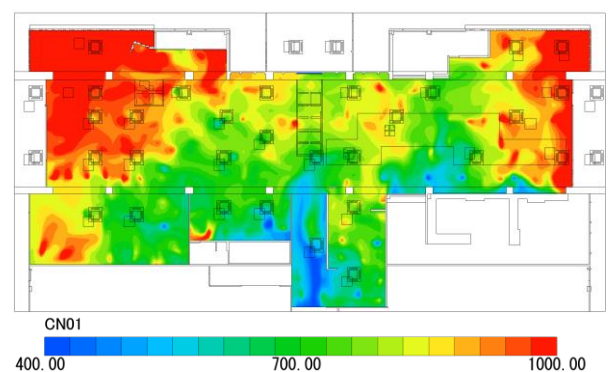


図12 Z=1.8m  
換気量:35m<sup>3</sup>/h 収容人数:205人 風速:1.8 m/s

#### 4. 過去の解析を含めた考察と今後の課題

##### 4.1過去の解析結果

過去の研究では、換気量、収容人数、風速の全ての要素でCO2濃度を下げることが可能であること、その中でもCO2濃度への影響力が最も大きい要素は収容人数であった。

1人当たりの必要換気量を増加することで、空調機の吹き出し速度よりもCO2濃度を減少させることができるため、汚染された空気の影響により効果的である。

天井高が高い物件では、空調の吹き出し速度が空気の汚染度の減少により効果的であると推測されていた。

##### 4.2過去の解析を含めた結果と過去の解析を含めた考察

10物件すべての尖度と歪度を表15に示す。尖度が高くなると分布幅が狭まり室内空気のCO2濃度の均一化が図れ、歪度が高くなるとCO2濃度の低い空気量が増加していることを示す。

表15より、今回解析した4物件を含めた10物件すべてで1人当たりの必要換気量、収容人数、空調の吹き出し速度の全ての要素でCO2濃度を下げることが可能であることがわかる。その中でも、最もCO2濃度への影響度があるのは、10物件すべてで収容人数であった。

1人当たりの換気量を増加させることで、CO2濃度の高濃度部分の改善が見られない物件でも空調機の吹き出し速度を適切な値にすることでCO2濃度の高濃度部分の改善が出来た事例も見られた。しかし、空調の吹き出し風速においては、単に風速を増加させれば空気の汚染度の改善につながるわけではなく、風速を適切な値にすることが必要である。

空調の吹き出し風速と天井高に関しては、相関関係が全く見られなかった。そのため、天井高のみが関係しているとは限らず、換気量や空調の配置なども影響する可能性があるかと推測できる。

##### 4.3今後の課題

今後の課題として、以下の事項があげられる。

- 1)天井高や床面積の大きさ、給排気口の位置などで物件を分類して統計を取るには、10物件は少なすぎるため物件数を増やす必要がある。
- 2)どのような室条件が3要素の影響の度合いに影響するのかを確かめるために、既存建築物で解析するだけでなく、例えば天井高を変更する等の室条件を変えた仮想モデルを作成し、より正確な比較をすることが必要と思われる。
- 3)1人当たりの換気量と空調の吹き出し風速を同時に最適化することで収容人数を減らさずにも、収容人数を減らした時と同等に空気の汚染度を減少させることは出来るのかについて検討する必要がある。

##### 参考文献

- 1) CO2の可視化による感染症予防の取り組み  
[http://www.i-s-l.org/shupan/pdf/SE203\\_5\\_open.pdf](http://www.i-s-l.org/shupan/pdf/SE203_5_open.pdf)
- 2) 「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気の方法  
<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000618969.pdf>

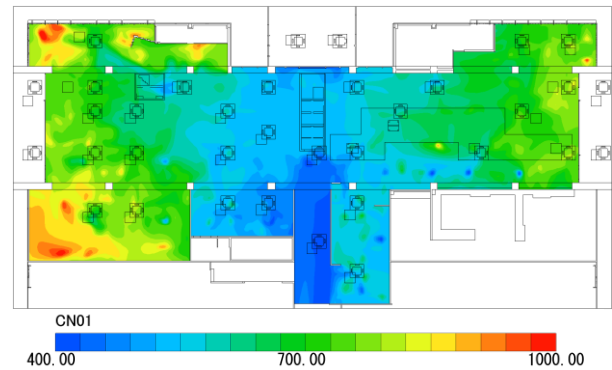


図13 Z=1.8m

換気量:30m<sup>3</sup>/h 収容人数:205人 風速:3.6 m/s

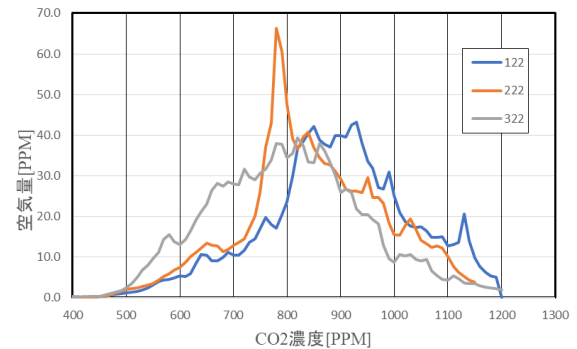


図14 サービスエリアSの一人当たりの換気量に関する相対頻度

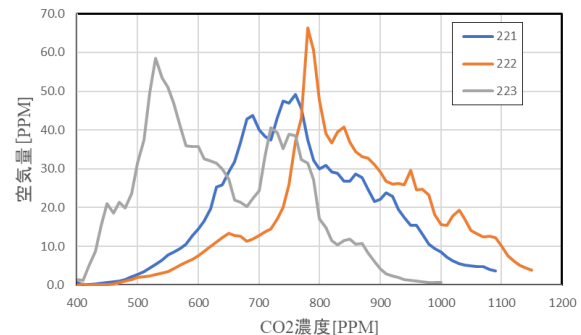


図15 サービスエリアSの空調の吹き出し速度に関する相対頻度

表16 10物件の尖度と歪度

解析対象	尖度歪度	222	122	322	212	232	221	223
ホールS	尖度	-1.35952	-1.20445	-1.4223	-1.55947	-1.30897	-1.43282	0.420045
	歪度	0.464659	0.574376	0.42713	0.329687	0.504352	-1.50719	0.368524
ホールK	尖度	-1.14783	-1.1478	-1.14784	-1.14774	-1.12513	-1.14786	-1.14771
	歪度	0.609819	0.609536	0.60992	0.607874	0.625511	0.610132	0.609013
ホールN	尖度	-1.573	-1.57322	-1.57271	-1.56988	-1.45222	-1.57322	-1.65083
	歪度	0.305841	0.308207	0.306123	0.299361	0.402143	0.30852	0.246273
理髪店L	尖度	-1.58273	-1.58275	-1.58273	-1.58269	-1.58273	-1.58283	-1.58271
	歪度	0.322102	0.322075	0.322105	0.322034	0.322102	0.322103	0.322079
会議室A	尖度	-1.55957	-1.58106	-1.58107	-1.61097	-1.29972	-1.53211	-1.93147
	歪度	0.337122	0.322707	0.322727	0.302673	0.511486	0.355461	0.107049
喫茶店Y	尖度	-1.58315	-1.51421	-1.58315	-1.58309	-1.30876	-1.5476	-1.57584
	歪度	0.321847	0.36785	0.321846	0.321772	0.505529	0.345545	0.326679
PA-I	尖度	-1.20563	-1.17719	-1.20564	-1.17732	-1.17722	-1.17718	-1.20563
	歪度	0.573957	0.592678	0.573948	0.592556	0.592665	0.592681	0.573941
SA-O	尖度	-1.52924	-1.49844	-1.5439	-1.6586	-1.4307	-1.47509	-1.58114
	歪度	0.104824	0.200126	-0.02747	-0.10353	0.357391	0.237943	-0.08403
SA-S	尖度	-1.46234	-1.43436	-1.43398	-1.63606	-1.33656	-1.49839	-1.55681
	歪度	0.400051	0.419474	0.419949	0.276658	0.486494	0.375584	0.335458
宿泊施設A	尖度	-1.20757	-1.20457	-1.20458	-1.20426	-1.20459	-1.20446	-1.20441
	歪度	0.572368	0.573974	0.574457	0.574585	0.574625	0.574627	0.574694