

# 環境評価と力学的性能を考慮した壁配置最適化 Optimization of Wall Arrangement Considering Environmental Assessment and Mechanical Performance

○小南 修一郎\*1, 藤田 慎之輔\*2  
Shuichiro KOMINAMI\*1, Shinnosuke FUJITA\*2

\*1 北九州市立大学大学院 国際環境工学研究科 大学院生

Graduate Student, Faculty of Environmental Engineering, The University of Kitakyushu

\*2 北九州市立大学大学院 国際環境工学研究科 准教授

Assoc. Prof., Faculty of Environmental Engineering, The University of Kitakyushu, Dr. Eng.

キーワード：壁配置最適化; Grasshopper; シェル構造

Keywords : Optimization of the wall arrangement; grasshopper; shell structure

## 1. はじめに

シェルなどの大スパン構造物は、形状のみならず境界条件の差異によってもその力学性状は大きく変化する。既往の研究では、シェル屋根に対して柱配置の最適化をすることによる力学的性能の評価を行っている。<sup>1)</sup>

本研究では、RC建物の壁配置最適化を行う。壁の配置は、力学性状に影響を与えると同時に、建物空間の環境にも影響を与える。そこで、力学的性能を示すひずみエネルギーと環境評価を示す日射取得量の多目的最適化を行い、得られた結果を考察する。

## 2. 理論準備

### 2.1. 壁配置の表現

シェル屋根は全部で  $\bar{n}$  個の壁に支持されるものとし、屋根を構成する四辺形シェル要素の各辺に  $1 \sim n$  までの番号付けをした後、長さ  $\bar{n}$  の整数変数ベクトル  $\mathbf{t}$  を定義する。

$$\mathbf{t} = (t_1 \ \cdots \ t_{\bar{n}})^T \quad t_i \in \{1, \dots, n\} \quad i = 1, \dots, \bar{n} \quad (1)$$

$\mathbf{t}$  はシェル屋根を支える壁配置を表し、 $t_i=j$  のとき辺番号  $j$  に壁が存在するものとする。

82	83	84	85	86	87	88	89	90	99	108	117	126	135	144	153	162	171	180
73	74	75	76	77	78	79	80	81	98	107	116	125	134	143	152	161	170	179
64	65	66	67	68	69	70	71	72	97	106	115	124	133	142	151	160	169	178
55	56	57	58	59	60	61	62	63	96	105	114	123	132	141	150	159	168	177
46	47	48	49	50	51	52	53	54	95	104	113	122	131	140	149	158	167	176
37	38	39	40	41	42	43	44	45	94	103	112	121	130	139	148	157	166	175
28	29	30	31	32	33	34	35	36	93	102	111	120	129	138	147	156	165	174
19	20	21	22	23	24	25	26	27	92	101	110	119	128	137	146	155	164	173
10	11	12	13	14	15	16	17	18	91	100	109	118	127	136	145	154	163	172

(a) 辺番号 1(X 方向)

(b) 辺番号 2(Y 方向)

図1 辺番号の表現方法 ( $n = 180$  のとき)

### 2.2. 環境評価の表現方法

本研究では、環境評価の指標として日射取得量を用いる。その際、Grasshopper のコンポーネントである Ladybug により、日射取得量を算出する。観測値は下関とし、観測時期は冬 (11月1日0時~3月31日23時) とし、日射取得量は最大化することとする。観測範囲は建物床面とし、1 m × 1 m のグリッドごとに値を算出する。観測されるグリッド数を  $u$  とする。本研究で目的関数とする値は、各グリッドごとに算出される日射取得量  $\bar{I}$  の総和とする。図2に本研究のモデルに対する方向を示す。

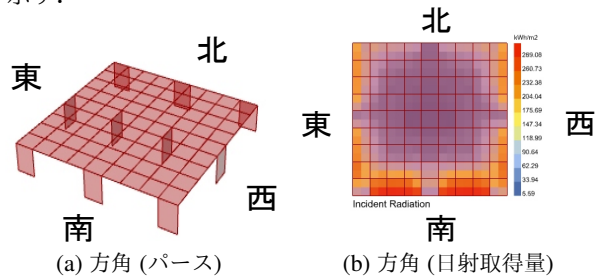


図2 解析モデルにおける方向

## 3. 最適化問題の定式化

本研究では、ひずみエネルギーと日射取得量の双方を目的関数とした多目的最適化を行う。長期荷重時のひずみエネルギーを  $f_L$ 、X、Y 方向地震時のひずみエネルギーをそれぞれ  $f_X$ 、 $f_Y$  とする。弾性解析には OpenSees<sup>2)</sup> を用いる。地震時水平力は、面荷重 + 自重の鉛直荷重  $w_i (i = 1, \dots, n)$  と設定した水平震度  $K$  の積  $Kw_i$  を、各節点重量に応じて X、Y 方向にそれぞれ作用させるものとする。本研究では設計変数を  $\mathbf{X} = \mathbf{t}^T$  と

して次の最適化問題を解く。

$$\begin{aligned}
 & \text{minimize}_X \quad S = f_L + f_X + f_Y \\
 & \quad \quad \quad -I = \sum_{i=0}^u \bar{I}_i \\
 & \text{subject to} \quad \sum_{i=0}^{e1} \sum_{j=i+1}^{e1} |t_i - t_j| \leq 2, \quad i, j = 0, \dots, n/2 \\
 & \quad \quad \quad \sum_{i=0}^{e2} \sum_{j=i+1}^{e2} |t_i - t_j| \leq 2, \quad i, j = n/2, \dots, n \\
 & \quad \quad \quad t_i \neq t_j \quad i, j = 0, \dots, n \\
 & \quad \quad \quad S \leq \bar{S}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

最適化計算には遺伝的アルゴリズムによる多目的最適化を行うことのできる Grasshopper のコンポーネントである Wallacei<sup>3)</sup> を用いる。Wallacei は最小化問題のみに対応しているため、日射取得量には  $-1$  を掛けることで最大化することとする。本研究では、制約として壁が連続して配置できる数を 2 枚までとし、選択する位置が重複しないものとする。選択された梁番号が  $n/2$  以下の壁の枚数を  $e1$ ,  $n/2$  以降の壁の枚数を  $e2$  とする。また、明らかに剛性の低い壁配置の発生を防ぐため、最適化後のひずみエネルギー  $S$  は解析モデルのひずみエネルギー  $\bar{S}$  よりも小さいものとする。

#### 4. 解析モデル

本研究では、壁数の違いによる結果の比較を行うため 2 種類の解析モデルを用意する。屋根と壁ともに鉄筋コンクリートを想定したモデルとする。モデルの平面形状は  $20\text{m} \times 20\text{m}$  の正方形平面としシェル屋根および壁は表 1 に示す材料及び断面を有するものとする。解析モデルにおけるひずみエネルギーおよび日射取得量を表 2 に示す。荷重条件は、鉛直荷重は自重に加えて鉛直下向きに面荷重  $1\text{kN/m}^2$  を、地震時水平力については水平震度  $K=0.3$  とした集中荷重をそれぞれ作用させることとする。すべての解析において Wallacei の計算回数は GenerationSize を 50, GenerationCount を 150 とする。

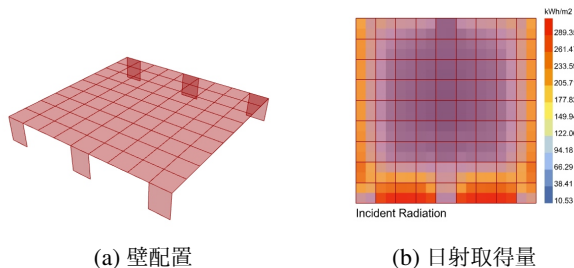


図 3 モデル 1(壁 8 枚)

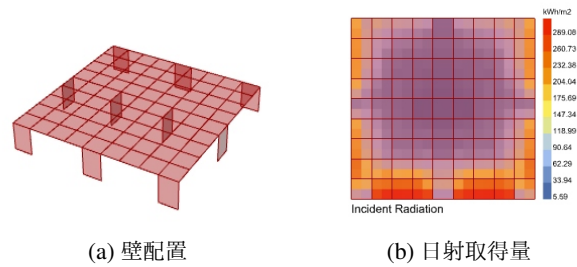


図 4 モデル 2(壁 10 枚)

表 1 材料物性情報

	ヤング係数 $E$ [kN/m <sup>2</sup> ]	ポアソン比	重量密度 [kN/m <sup>3</sup> ]
屋根, 壁 (RC)	$2.10 \times 10^7$	0.2	24

表 2 ひずみエネルギー値および日射取得量

	$f_L + f_X + f_Y$ [kNm]	$f_L$ [kNm]	$f_X$ [kNm]	$f_Y$ [kNm]	日射取得量
モデル 1	16.967	16.553	0.005	0.409	27843
モデル 2	0.78	0.75	0.015	0.022	25765

### 5. 壁配置最適化

#### 5.1. ひずみエネルギーを目的関数とした壁配置最適化

最適化問題 (2) を Wallacei により解く。モデル 1 の最適化後の柱配置および日射量を図 5 に、モデル 2 の最適化後の柱配置および日射量を図 6 に、最適化後のひずみエネルギーと日射取得量を表 3 にそれぞれ示す。

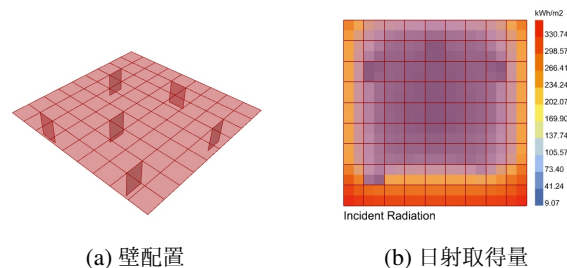


図 5 モデル 1 最適化結果

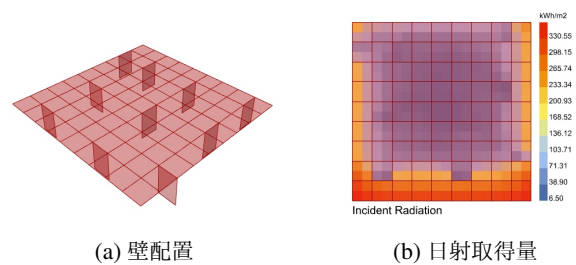


図 6 モデル 2 最適化結果

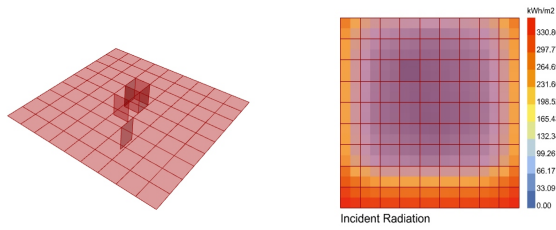
表 3 ひずみエネルギー値および日射取得量

	$f_L + f_X + f_Y$ [kNm]	$f_L$ [kNm]	$f_X$ [kNm]	$f_Y$ [kNm]	日射取得量
モデル 1	0.664	0.645	0.013	0.006	30964
モデル 2	0.207	0.193	0.009	0.004	28846

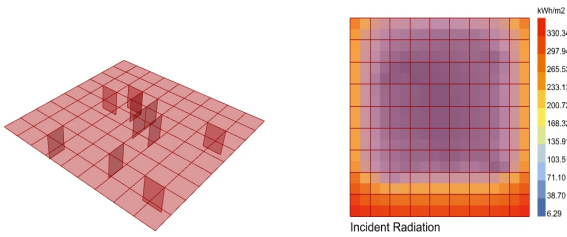
#### 5.2. 日射取得量を目的関数とした壁配置最適化

最適化問題 (2) を Wallacei により解く。モデル 1 の最適化後の柱配置および日射量を図 7 に、モデル 2 の最適化後の柱配置および日射量を図 8 に、最適化後のひずみ

エネルギーと日射取得量を表3にそれぞれ示す。



(a) 壁配置 (b) 日射取得量  
図7 モデル1最適化結果



(a) 壁配置 (b) 日射取得量  
図8 モデル2最適化結果

表4 ひずみエネルギー値および日射取得量

	$f_L + f_X + f_Y$ [kNm]	$f_L$ [kNm]	$f_X$ [kNm]	$f_Y$ [kNm]	日射取得量
モデル1	15.469	15.422	0.039	0.008	32706
モデル2	0.707	0.697	0.005	0.005	31399

### 5.3. ひずみエネルギーと日射取得量を目的関数とした壁配置最適化

最適化問題(2)をWallaceiにより解く。モデル1のパレートフロントを図9に、パレート最適解をCluster1からCluster5の5つに分類し、それぞれのClusterの中での代表的な解における壁配置と日射量を図10, 図11, 図12, 図13, 図14に、パレート最適解のひずみエネルギーと日射取得量を表5に、モデル2のパレートフロントを図15に、壁配置と日射量を図16, 図17, 図18, 図19, 図20に、に、パレート最適解のひずみエネルギーと日射取得量を表6にそれぞれ示す。

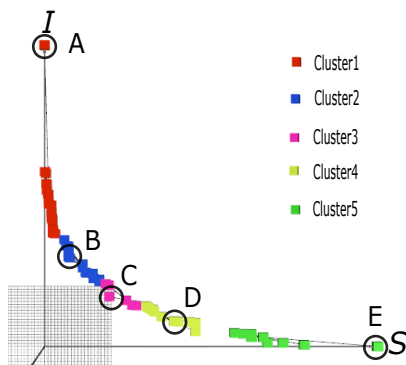
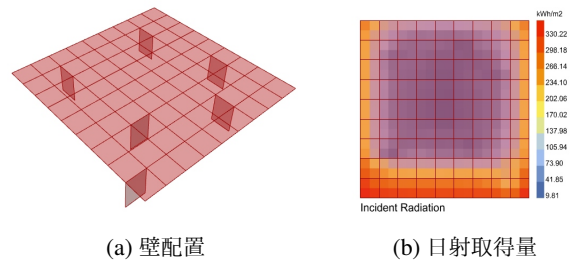
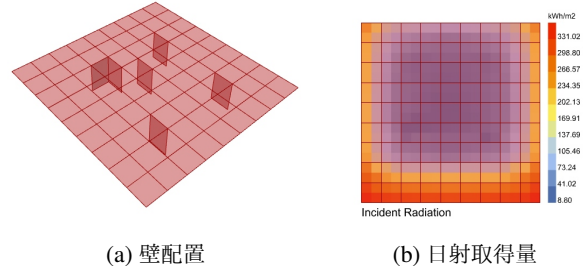


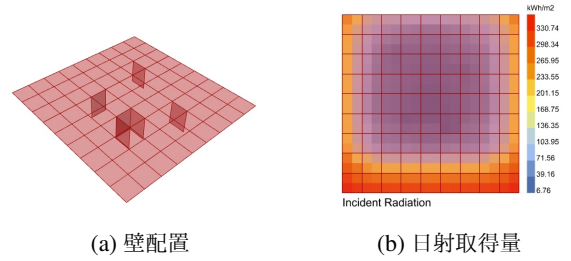
図9 パレートフロント (モデル1)



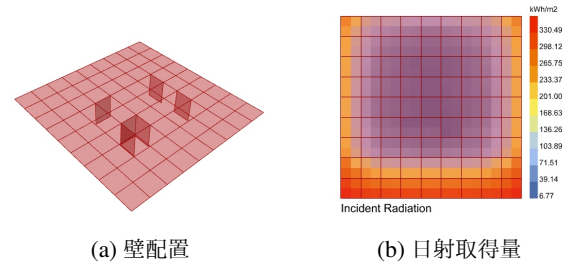
(a) 壁配置 (b) 日射取得量  
図10 モデル1最適化結果 (解A)



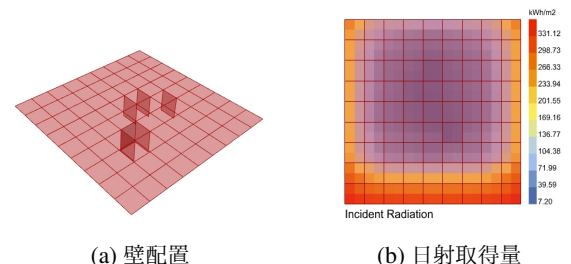
(a) 壁配置 (b) 日射取得量  
図11 モデル1最適化結果 (解B)



(a) 壁配置 (b) 日射取得量  
図12 モデル1最適化結果 (解C)



(a) 壁配置 (b) 日射取得量  
図13 モデル1最適化結果 (解D)



(a) 壁配置 (b) 日射取得量  
図14 モデル1最適化結果 (解E)

表5 ひずみエネルギー値および日射取得量 (モデル1)

	$f_L + f_X + f_Y$ [kNm]	$f_L$ [kNm]	$f_X$ [kNm]	$f_Y$ [kNm]	日射取得量
A	0.835	0.827	0.008	0.020	31271
B	2.732	2.727	0.002	0.003	32322
C	4.744	4.705	0.003	0.036	32470
D	5.594	5.554	0.003	0.037	32489
E	10.582	10.563	0.007	0.012	10.563

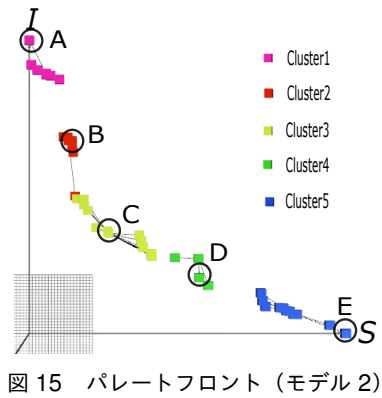
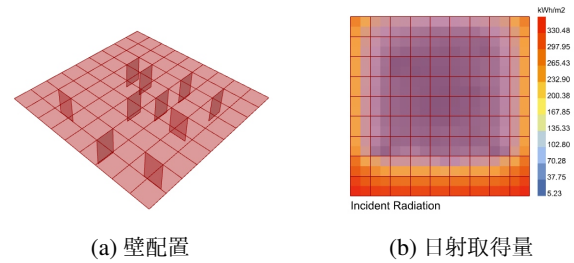


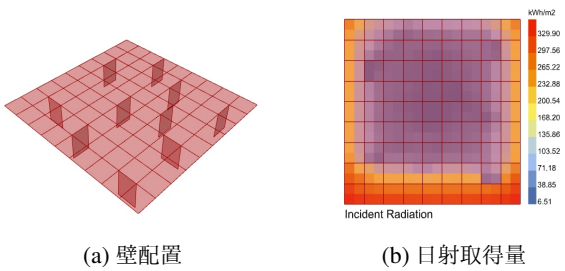
図 15 パレートフロント (モデル 2)



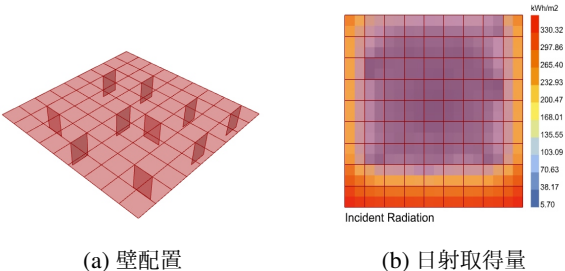
(a) 壁配置 (b) 日射取得量  
図 20 モデル 2 最適化結果 (解 E)

表 6 ひずみエネルギー値および日射取得量 (モデル 2)

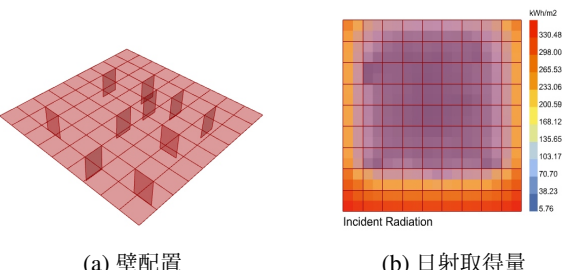
	$f_L + f_X + f_Y$ [kNm]	$f_L$ [kNm]	$f_X$ [kNm]	$f_Y$ [kNm]	日射取得量
A	0.248	0.233	0.011	0.004	30190
B	0.309	0.296	0.009	0.004	30576
C	0.421	0.407	0.010	0.004	31010
D	0.488	0.475	0.010	0.004	31029
E	0.613	0.599	0.010	0.004	31229



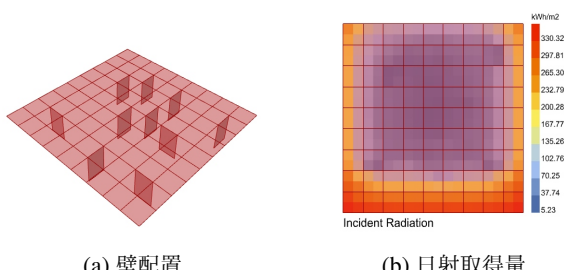
(a) 壁配置 (b) 日射取得量  
図 16 モデル 2 最適化結果 (解 A)



(a) 壁配置 (b) 日射取得量  
図 17 モデル 2 最適化結果 (解 B)



(a) 壁配置 (b) 日射取得量  
図 18 モデル 2 最適化結果 (解 C)



(a) 壁配置 (b) 日射取得量  
図 19 モデル 2 最適化結果 (解 D)

ひずみエネルギーを目的関数とすることで、ひずみエネルギーは大幅に減少され、日射取得量を目的関数とすることで、日射取得量は大幅に増加していることが確認できる。ひずみエネルギーのみを目的関数とした最適化では、ひずみエネルギーが減少していることはもちろん日射取得量も増加している。ひずみエネルギーを減少させるため壁が中心に配置されたことが要因であると考えられる。また、ひずみエネルギーと日射取得量の多目的最適化をすることで、剛性を高めつつ日射取得量を増加させることができている。解析モデル 1 (壁 6 枚)の方が日射取得量は多く、屋根中心部に配置されている。解析モデル 2 (壁 10 枚)では、解析モデル 1 と比べ屋根全体に壁が配置されている。壁の枚数を変化させることで、壁の配置は全くことなる特徴が出ることを確認できた。

## 6. まとめ

本研究では、設計者の求める建築形態に合わせた構造形態を提示することを目的としているが検討課題も残っている。今後の展望として、壁の配置できる場所に制約を設け、意匠性も考慮することが考えられる。また、壁と柱を同時に配置最適化することも考えられる。

### [参考文献]

- 1) 小南修一郎, 藤田慎之輔. シェル構造の柱配置と形状の同時最適化. コロキウム構造形態の解析と創生 2019, 2019.11.
- 2) M. Zhu, F. McKenna, and M. Scott. Openseespy: Python library for the opensees finite element framework. *SoftwareX*, Vol. 7, pp. 6–11, 2018.1.
- 3) Showkatbakhsh M. Makki, M. and Y. Song. Wallacei. *Wallacei*, 2018.