

優良解探索を考慮した遺伝的アルゴリズムによる  
構造物の形態創生

本間研究室 堀切秀作



研究目的

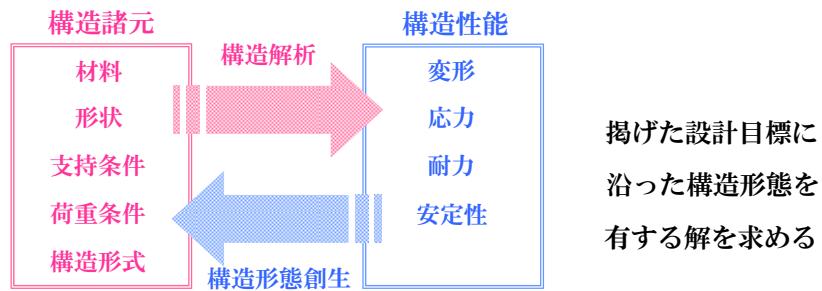
## 構造形態創生

### 構造解析

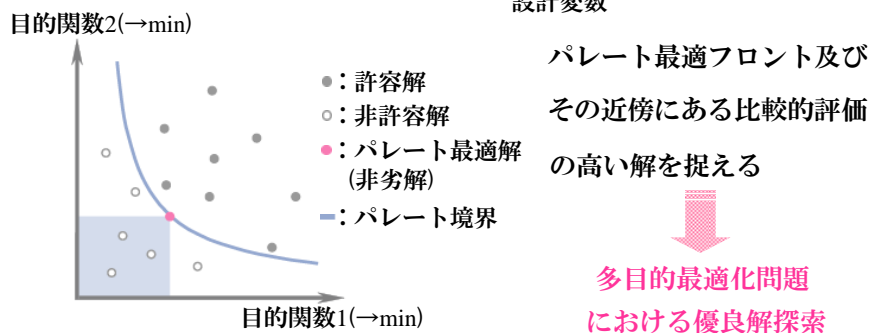
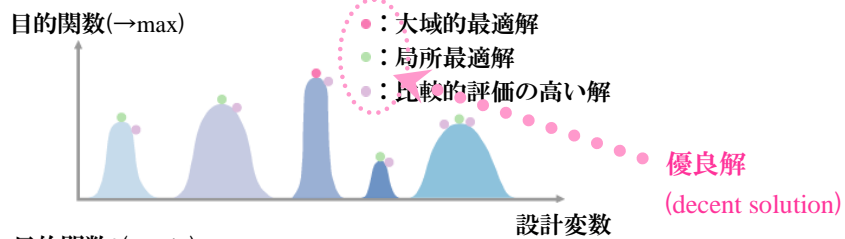
与えられた構造諸元により要求される構造性能を求める

### 構造形態創生

与えられた構造性能を満たす構造形態を求める



## 解の分類



## 研究目的

---

優良解探索により得られた種々の構造形態を有する解は  
設計者に豊富な選択肢として与えられ、多種多様な構造形態の創生に役立つ

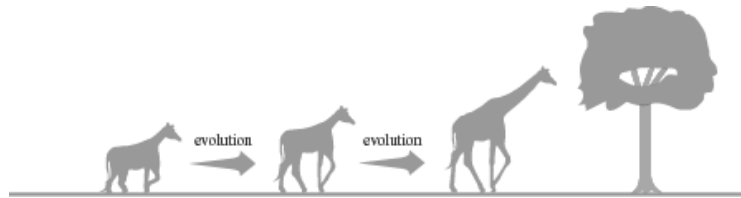
構造物の多目的最適化問題において多様な優良解が得られる  
ISGA(GA with immune system)を適用し、多様性を重視した優良化を行う  
SPEA2(strength pareto evolutionary algorithms 2)との比較を試み  
ISGAの優良解探索により視覚的にも多様な構造形態を創生する

ISGA(GA with immune system) 計算アルゴリズム

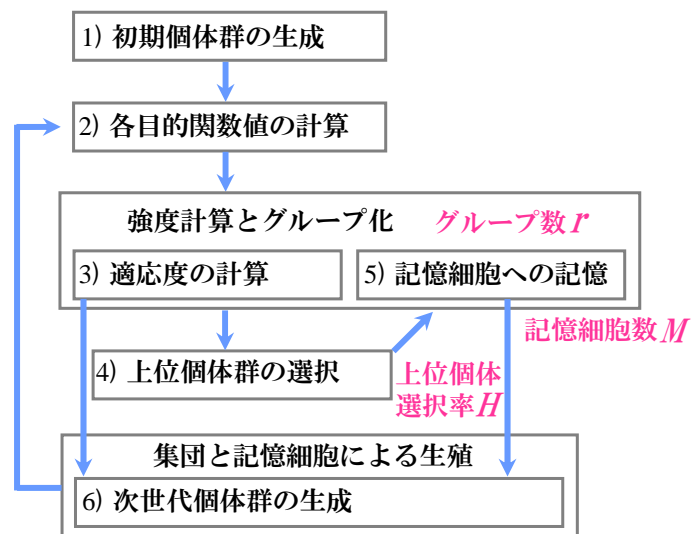
## 遺伝的アルゴリズム(genetic algorithms:GA)

### 生物集団の環境に対する適応的な進化過程を工学的に模倣した手法

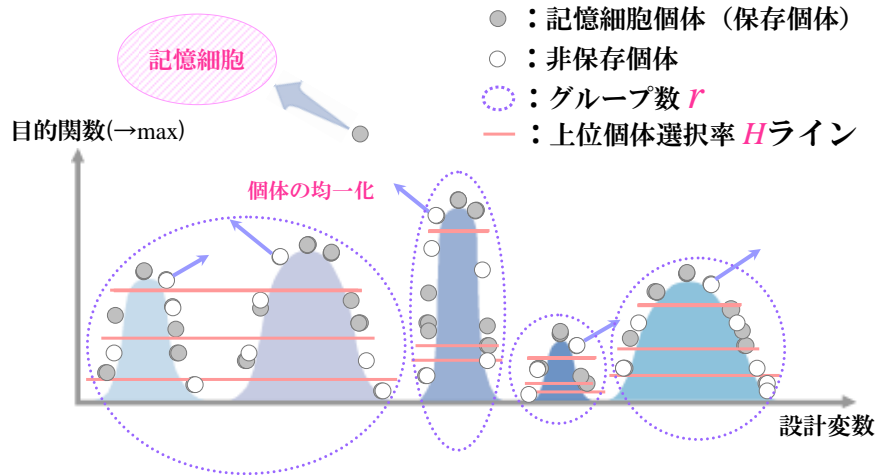
全ての設計変数を2進数型や実数型に置き換えた  
遺伝子列の集合(個体群)を、先に設定した世代数まで  
選択, 交叉, 突然変異などを繰り返しながら  
評価の高い遺伝子列を順次入れ替え最適化を行う



## ISGA(GA with immune system)計算アルゴリズム



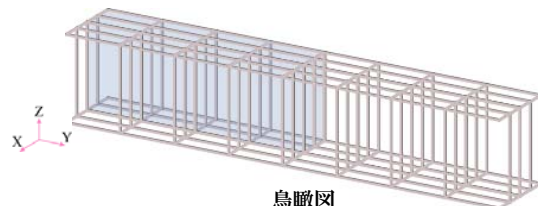
## ISGA(GA with immune system)の解探索



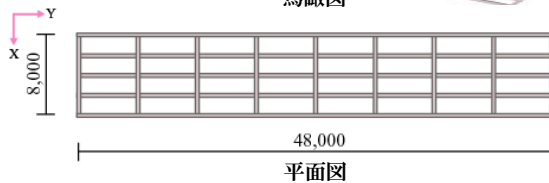
構造物の形態創生

## 3次元鋼橋モデルの多目的最適化問題

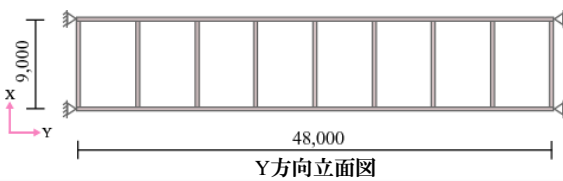
### 3次元鋼橋モデル(88節点, 192部材)



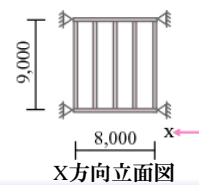
鳥瞰図



平面図



Y方向立面図



X方向立面図

minimize

$$f_1(\mathbf{A}, \mathbf{R}) = \mathbf{L}(\mathbf{R})^T \mathbf{A}$$

$$f_2(\mathbf{A}, \mathbf{R}) = \Delta^T \mathbf{f}$$

$$f_3(\mathbf{A}, \mathbf{R}) = \max_j \delta_j(\mathbf{A}, \mathbf{R})$$

$\mathbf{A}$  : 部材断面積ベクトル

$\mathbf{L}$  : 部材長ベクトル

$\mathbf{R}$  : 節点座標ベクトル

$\mathbf{f}$  : 荷重ベクトル

$\delta_i(\mathbf{A}, \mathbf{R})$  :  $i$  節点変位

$$\Delta = [\delta_1(\mathbf{A}, \mathbf{R}) \quad \delta_2(\mathbf{A}, \mathbf{R}) \quad \dots \quad \delta_n(\mathbf{A}, \mathbf{R})]^T$$

: 変位ベクトル

### 3次元鋼橋モデル(88節点, 192部材)

#### 一般構造用炭素鋼管(STK:490)

#### 設計変数

1. 下弦材の座標値(x, y, z)
2. 断面リストと対応させた整数変数

#### 弾性係数

$$E = 2.05 \times 10^8 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

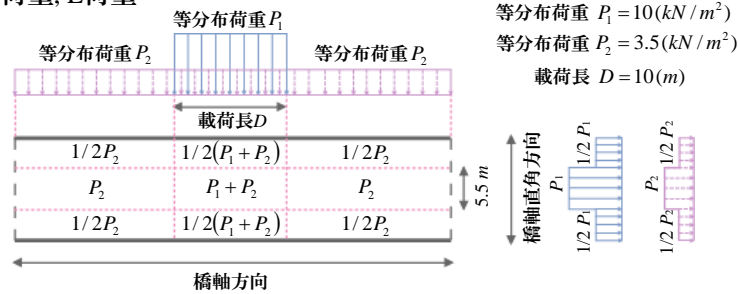
#### せん断弾性係数

$$G = 7.8 \times 10^7 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

number	外径 (mm)	厚さ (mm)	A mm <sup>2</sup> (×10 <sup>4</sup> )	I mm <sup>4</sup> (×10 <sup>8</sup> )	Z mm <sup>3</sup> (×10 <sup>6</sup> )
1	406.4	12.0	1.487	2.890	1.420
2	406.4	12.7	1.571	3.050	1.500
3	406.4	16.0	1.962	3.740	1.840
4	406.4	19.0	2.312	4.350	2.140
5	457.2	12.7	1.773	4.380	1.920
6	457.2	16.0	2.218	5.400	2.360
7	457.2	19.0	2.616	6.290	2.750
8	500.0	14.0	2.138	6.320	2.530
9	508.0	16.0	2.473	7.490	2.950
10	508.0	19.0	2.919	8.740	3.440
11	508.0	22.0	3.359	9.940	3.910
12	558.8	16.0	272.8	10.10	3.600
13	558.8	19.0	322.2	11.80	4.210
14	558.8	22.0	3.710	13.40	4.790
15	609.6	19.0	3.525	15.40	5.050
16	609.6	22.0	4.061	17.10	5.760
17	711.2	22.0	4.763	28.30	7.960

### 活荷重(動荷重)

#### B活荷重, L荷重



#### 衝撃による応力増分

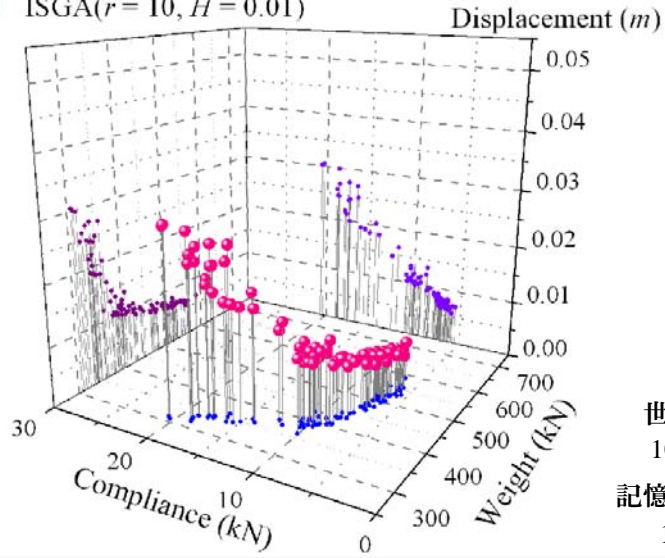
$$\sigma = \sigma_s + \sigma_d = \sigma_s(1+i) \quad , \quad i = \frac{20}{50+L}$$

$\sigma$ : 設計応力     $\sigma_s$ : 静的作用による応力     $\sigma_d$ : 動的作用による応力

$i$ : 衝撃係数     $L$ : 支間長(m)

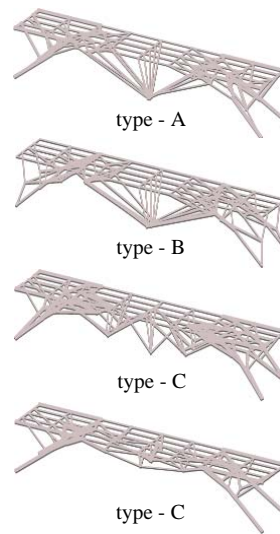
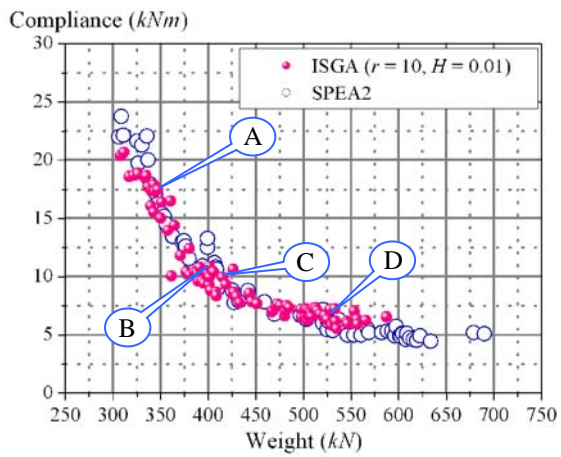
解析結果

• ISGA( $r = 10, H = 0.01$ )



世代数  
10000  
記憶細胞数  
100

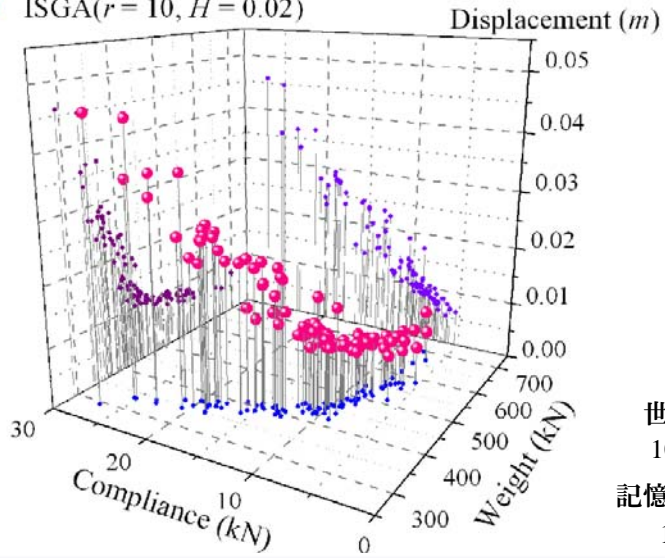
解析結果





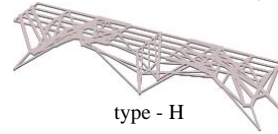
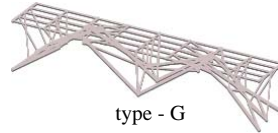
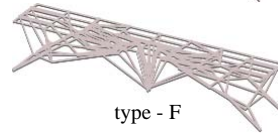
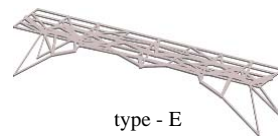
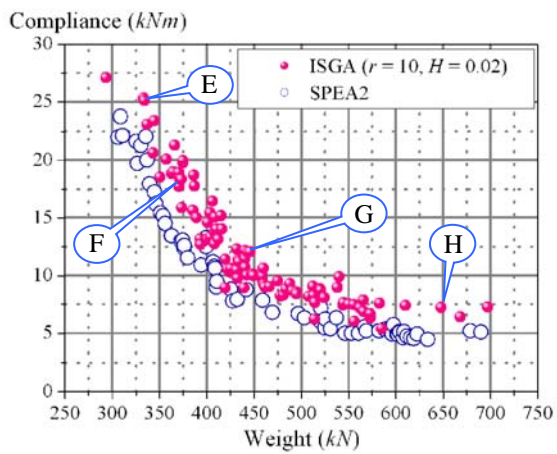
解析結果

• ISGA( $r = 10, H = 0.02$ )

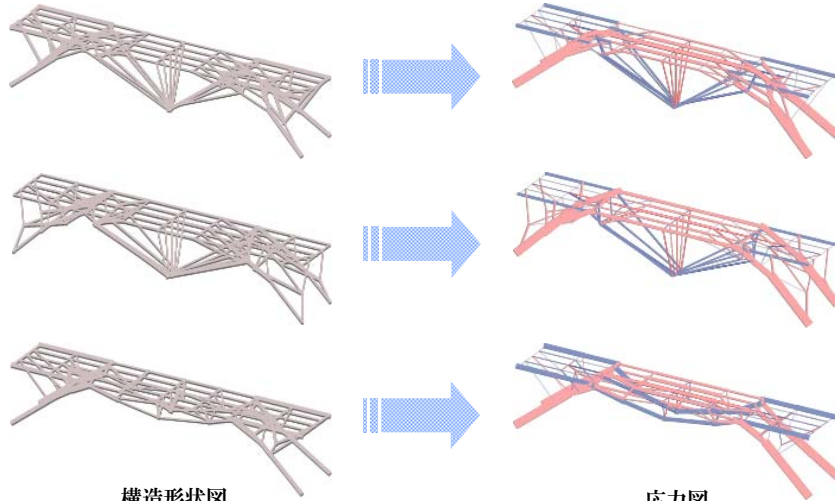


世代数  
10000  
記憶細胞数  
100

解析結果



## 解析結果



実線のサイズ：最小断面に対する断面積比

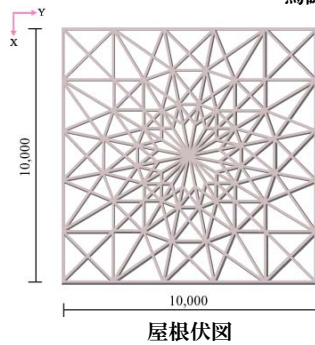
実線のサイズ：最小軸力部材に対する軸力比

## 3次元屋根構造モデルの多目的最適化問題

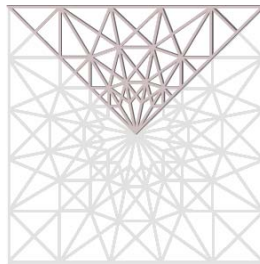
### 3次元屋根構造モデル(128節点, 352部材)



鳥瞰図



屋根伏図



外周部の変位を固定  
解析領域

minimize

$$f_1(\mathbf{A}, \mathbf{R}) = \mathbf{L}(\mathbf{R})^T \mathbf{A}$$

$$f_2(\mathbf{A}, \mathbf{R}) = \Delta^T \mathbf{f}$$

$\mathbf{A}$  : 部材断面積ベクトル

$\mathbf{L}$  : 部材長ベクトル

$\mathbf{R}$  : 節点座標ベクトル

$\mathbf{f}$  : 荷重ベクトル

$\delta_i(\mathbf{A}, \mathbf{R})$  :  $i$  節点変位

$$\Delta = [\delta_1(\mathbf{A}, \mathbf{R}) \quad \delta_2(\mathbf{A}, \mathbf{R}) \quad \dots \quad \delta_n(\mathbf{A}, \mathbf{R})]^T$$

: 変位ベクトル

### 3次元屋根構造モデル(128節点, 352部材)

一般構造用炭素鋼管(STK:400)

設計変数

1. 屋根面が水平面となす角度  $\theta(^{\circ})$  ( $10 \leq \theta \leq 30$ )
2. 断面リストと対応させた整数変数

弾性係数

$$E = 2.05 \times 10^8 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

せん断弾性係数

$$G = 7.8 \times 10^7 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

number	外径 (mm)	厚さ (mm)	$A \text{ mm}^2 (\times 10^4)$	$I \text{ mm}^4 (\times 10^8)$	$Z \text{ mm}^3 (\times 10^6)$
1	165.2	4.5	0.2272	0.0734	0.0889
2	165.2	5.0	0.2516	0.0808	0.0978
3	165.2	6.0	0.3001	0.0952	0.1150
4	165.2	7.1	0.3526	0.1100	0.1340
5	190.7	4.5	0.2632	0.1140	0.1200
6	190.7	5.3	0.3087	0.1330	0.1390
7	190.7	6.0	0.3482	0.1490	0.1560
8	190.7	7.0	0.4040	0.1710	0.1790
9	190.7	8.2	0.4701	0.1960	0.2060
10	216.3	4.5	0.2994	0.1680	0.1550
11	216.3	5.8	0.3836	0.2130	0.1970
12	216.3	6.0	0.3964	0.2190	0.2030
13	216.3	7.0	0.4603	0.2520	0.2330
14	216.3	8.0	0.5235	0.2840	0.2630
15	216.3	8.2	0.5361	0.2910	0.2690
16	267.4	6.0	0.4927	0.4210	0.3150
17	267.4	6.6	0.5408	0.4600	0.3440
18	267.4	7.0	0.5726	0.4860	0.3630
19	267.4	8.0	0.6519	0.5490	0.4110
20	267.4	9.0	0.7306	0.6110	0.4570
21	267.4	9.3	0.7541	0.6290	0.4700

## 風圧力

風圧力  $W(N)$

$$W = CAq$$

$$q = 0.6EV_0$$

$$E = E_r^2 \cdot G_f$$

$C$ : 風力係数

$q$ : 速度圧 ( $N/m^2$ )

$A$ : 建物の当該部分の節点負担受風面積 ( $m^2$ )

$V_0$ : 建設地点での基準速度

$G_f$ : ガスト影響係数

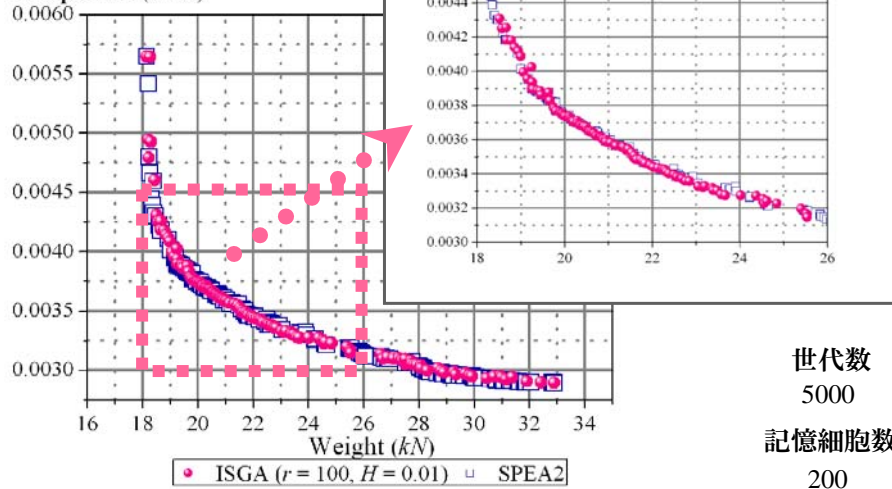
$E_r$ : 風速の鉛直方向分布

### 外圧係数

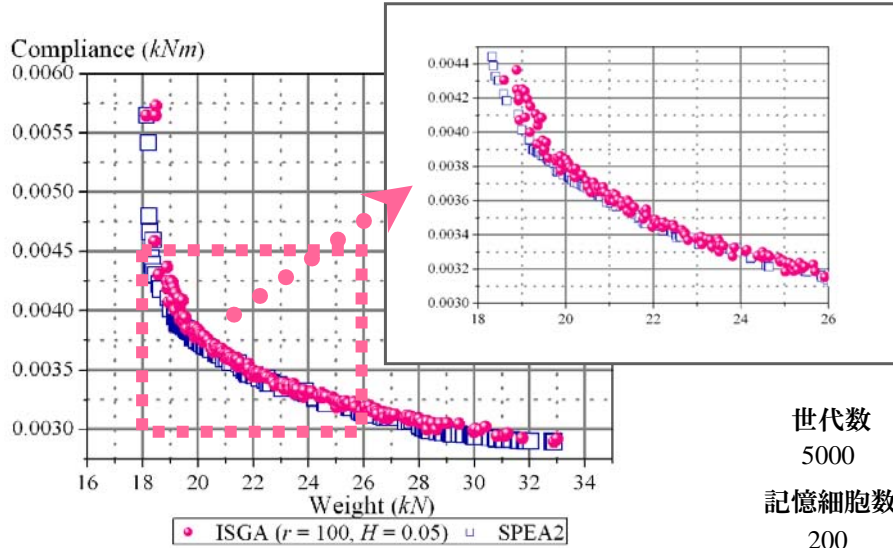
	風上面		風下面
	正の係数	負の係数	
$\theta < 10^\circ$	—	-1.0	-0.5
$\theta = 10^\circ$	0	-1.0	
$10^\circ < \theta < 30^\circ$	直線補間した値		
$\theta = 30^\circ$	0.2	-0.3	
$30^\circ < \theta < 45^\circ$	直線補間した値		
$\theta = 45^\circ$	0.4	0	
$45^\circ < \theta < 90^\circ$	直線補間した値		
$\theta = 90^\circ$	0.8	—	

## 解析結果(正圧)

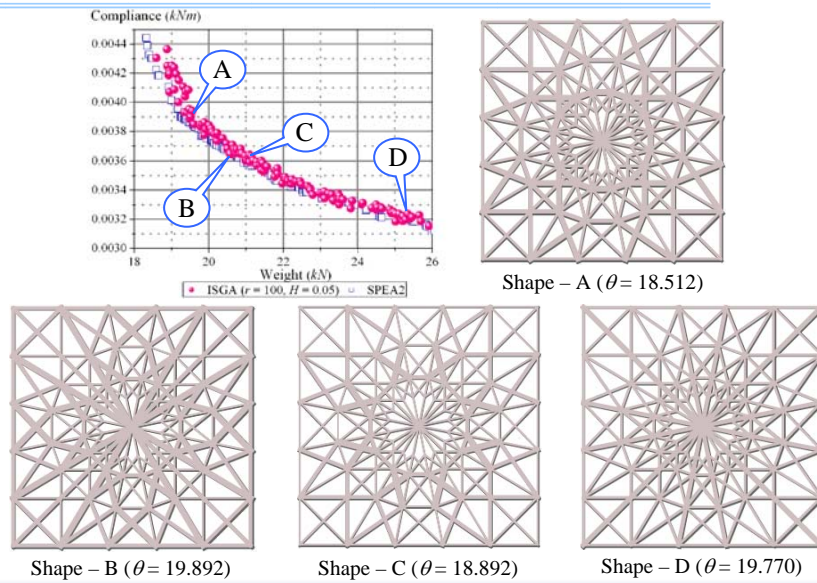
Compliance ( $kNm$ )



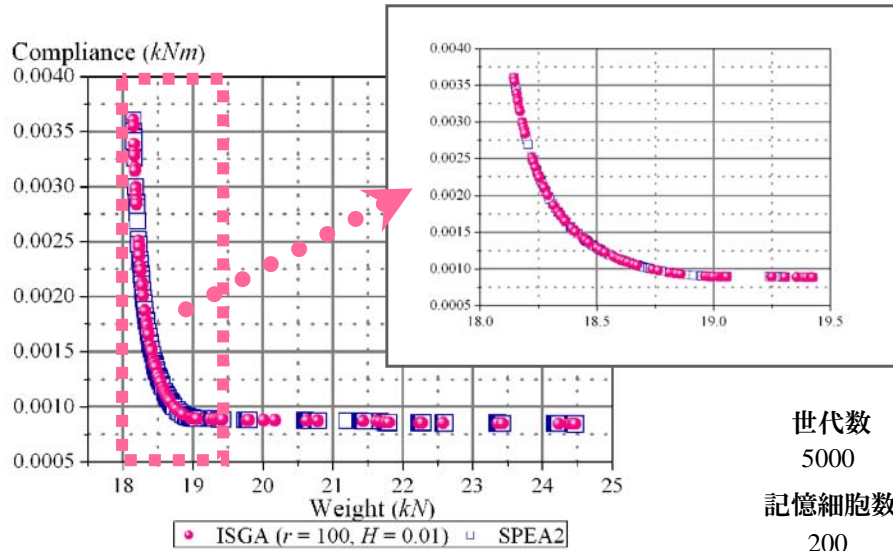
解析結果(正圧)



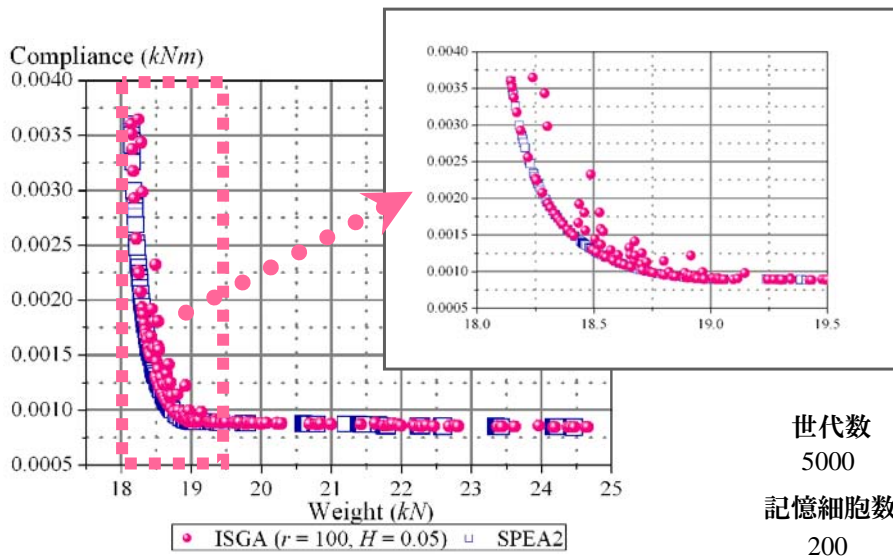
解析結果(正圧)



解析結果(負圧)

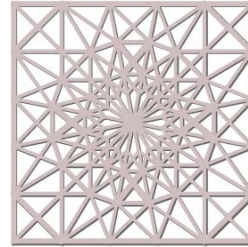
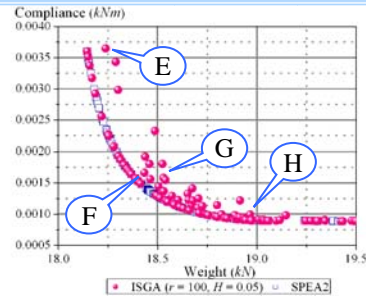


解析結果(負圧)

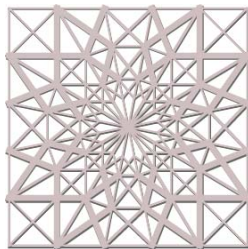




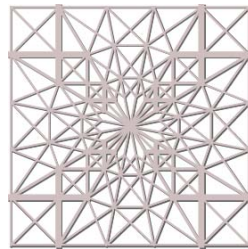
## 解析結果(負圧)



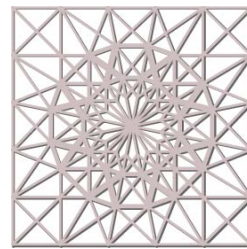
Shape - E ( $\theta = 10.004$ )



Shape - F ( $\theta = 15.609$ )



Shape - G ( $\theta = 16.147$ )



Shape - H ( $\theta = 24.175$ )

考察・まとめ

## 考察

### 3次元鋼橋モデル

$H$ の値設定により { パレート最適フロントを確実に探索  
パレート最適フロント近傍を中心に探索

### 3次元屋根構造モデル

$H$ の値設定により { パレート最適フロントを確実に探索  
パレート最適フロント及び比較的評価の高い解を探索



ISGAによる多目的最適化問題における優良解探索が行えた

## まとめ

3次元鋼橋モデル, 3次元屋根構造モデルのように  
設計変数に断面情報, 節点位置情報を取り入れる

ISGAによる視覚的にも多様性に幅を持たせた優良解探索が行え  
多様な構造形態の創生を可能とした  
幅広い優良解の揭示は設計解選定の際に有効な選択肢となり  
多種多様な構造形態の創生に役立つ