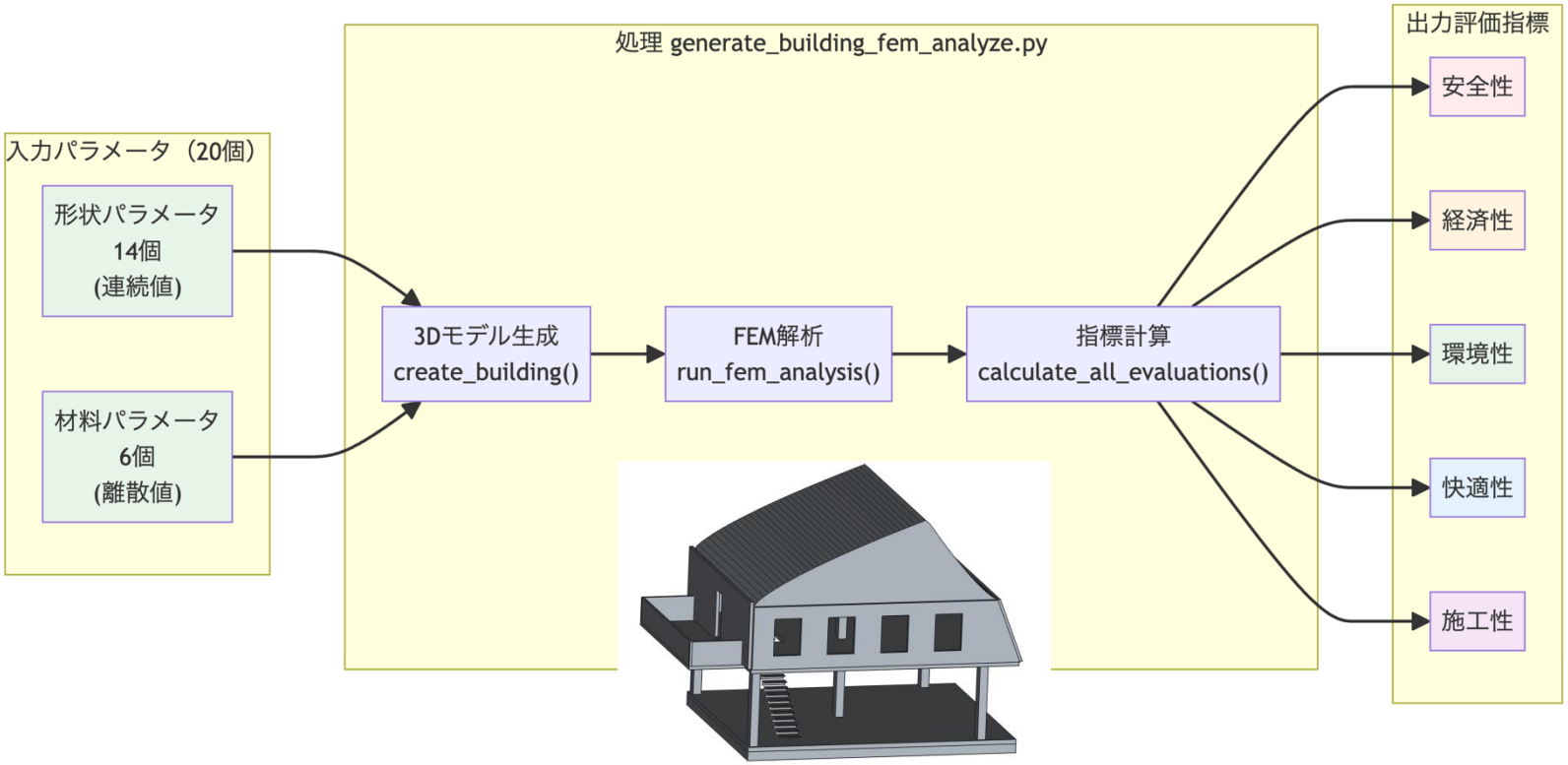
建築デザイン設計問題へのPSOの適用

- PSOによる建築設計の最適化
  - 何を最適化するか？
  - 何を目的として最適化を行うか？



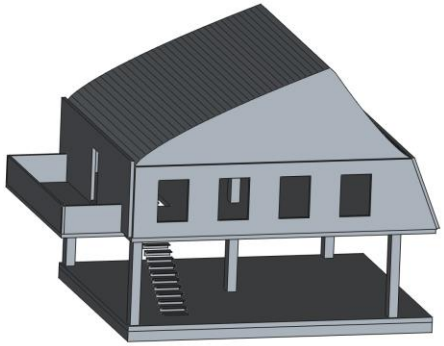
ブラックボックス最適化としての定式化

設計変数

x_1
x_2
x_3
⋮
x_{20}

最適化の対象

入力



設計変数に従い
建物を設計

FEM
解析

出力

評価指標

f_1: 安全率
f_2: 建築コスト
f_3: CO2排出量
f_4: 快適性
f_5: 施工性

$\boldsymbol{y} = (f_1, \cdots, f_5)$

$\boldsymbol{y} = f(\boldsymbol{x})$

f はブラックボックス関数

建物のパラメータ (設計変数 $\boldsymbol{x}$)を
入れると評価指標 $\boldsymbol{y}$ が返ってくる

ただし，内部の挙動
（数式）はわからない

最適化問題を解く手順

1. 問題の定義:
   - 最適化問題を明確に定義する（達成したい目的，守るべき制約など）

2. 定式化:
   - 問題を数学的に表現する．設計変数を定義し，目的関数・制約条件を設計変数の関数として表現する

3. 解法(solver)の選択:
   - 定式化された問題に対して，適切な解法(最適化手法)を選択する

4. 解の探索:
   - 選択した解法を使って，問題の解を求める

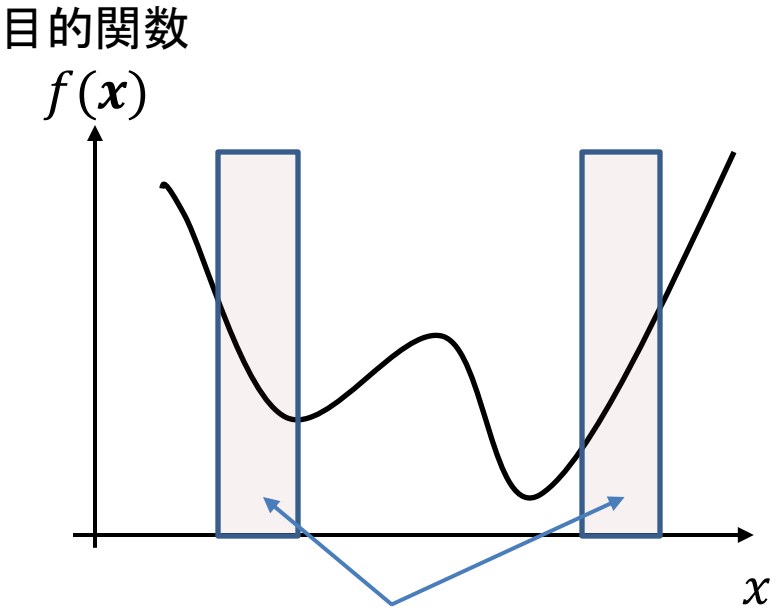
5. 解の検証:
   - 得られた解が適切か（制約条件を満たしているか）を確認する

内部の数式を知らなくても，
試行錯誤的に良い解を探す手法

目的関数と制約条件

目的関数（Objective Function）

- 最適化問題で求めたい結果を表す数式
- 値を変化させるものが変数
- 最小 or 最大にしたい関数値が目的関数
  - （例：利益，コスト，効率など）



制約条件（Constraints）

- 最適化問題の解が満たすべき条件を表す式
- 制約条件は，目的関数を最大化または最小化すると同時に満たす必要がある
- （実世界の問題ならば）制約条件は，資源の制限，法律的制限，技術的制限など

PSOの設計変数 x と適応度関数 f

N は粒子数
D は問題の次元数

各粒子 i の持つ情報 $(i = 1, \cdots, N)$:

$\boldsymbol{x}_i$	x_1	x_2	$\cdots$	x_D	$f(\boldsymbol{x}_i)$
$\boldsymbol{pbest}_i$	p_1	p_2	$\cdots$	p_D	$f(\boldsymbol{pbest}_i)$
$\boldsymbol{v}_i$	v_1	v_2	$\cdots$	v_D	

D 次元ベクトル

最小化問題

達成したい目的に応じた
適応度関数を設定
（制約条件も考慮）

最適化の対象
$\boldsymbol{x} = (\boldsymbol{x}_1, \boldsymbol{x}_2, \cdots \boldsymbol{x}_{20})$ $D = 20$

20個の変数 ⇨ 適応度関数 f ⇨ 適応度

設計変数 x はすべて連続値とし，
事前に決めた範囲内でランダムに生成
（探索中もはみ出さないように修正）

設計変数 x の扱い：形状パラメータ

変数	変数名	意味	単位
x_1	Lx	X方向長さ	m
x_2	Ly	Y方向長さ	m
x_3	H1	1階高さ	m
x_4	H2	2階高さ	m
x_5	tf	床スラブ厚	mm
x_6	tr	屋根スラブ厚	mm
x_7	bc	柱幅	mm

変数	変数名	意味	単位
x_8	hc	柱奥行き	mm
x_9	tw_ext	外壁厚	mm
x_{10}	wall_tilt_angle	壁傾斜角度	度
x_{11}	window_ratio_2f	2階窓面積比	-
x_{12}	roof_morph	屋根形状係数	-
x_{13}	roof_shift	屋根ずれ係数	-
x_{14}	balcony_depth	バルコニー奥行き	m

- **mm 単位の形状変数**は評価直前に**整数**へ丸める（四捨五入）
- 各変数の定義域 (下限, 上限) は pso_config.py で指定する

```
14  # ============================================
15  # 設計変数の範囲定義
16  # ============================================
17  variable_ranges = {
18      "Lx": (8, 12),              # 建物幅 [m]
19      "Ly": (6, 12),              # 建物奥行 [m]
20      "H1": (2.6, 3.5),           # 1階高さ [m]
21      "H2": (2.6, 3.2),           # 2階高さ [m]
```

設計変数 x の扱い：材質パラメータ

変数番号	部材	材料
x_{15}	柱	0 or 1
x_{16}	1階床	0 or 1
x_{17}	2階床	0 or 1
x_{18}	屋根	0 or 1
x_{19}	壁	0 or 1
x_{20}	バルコニー	0 or 1

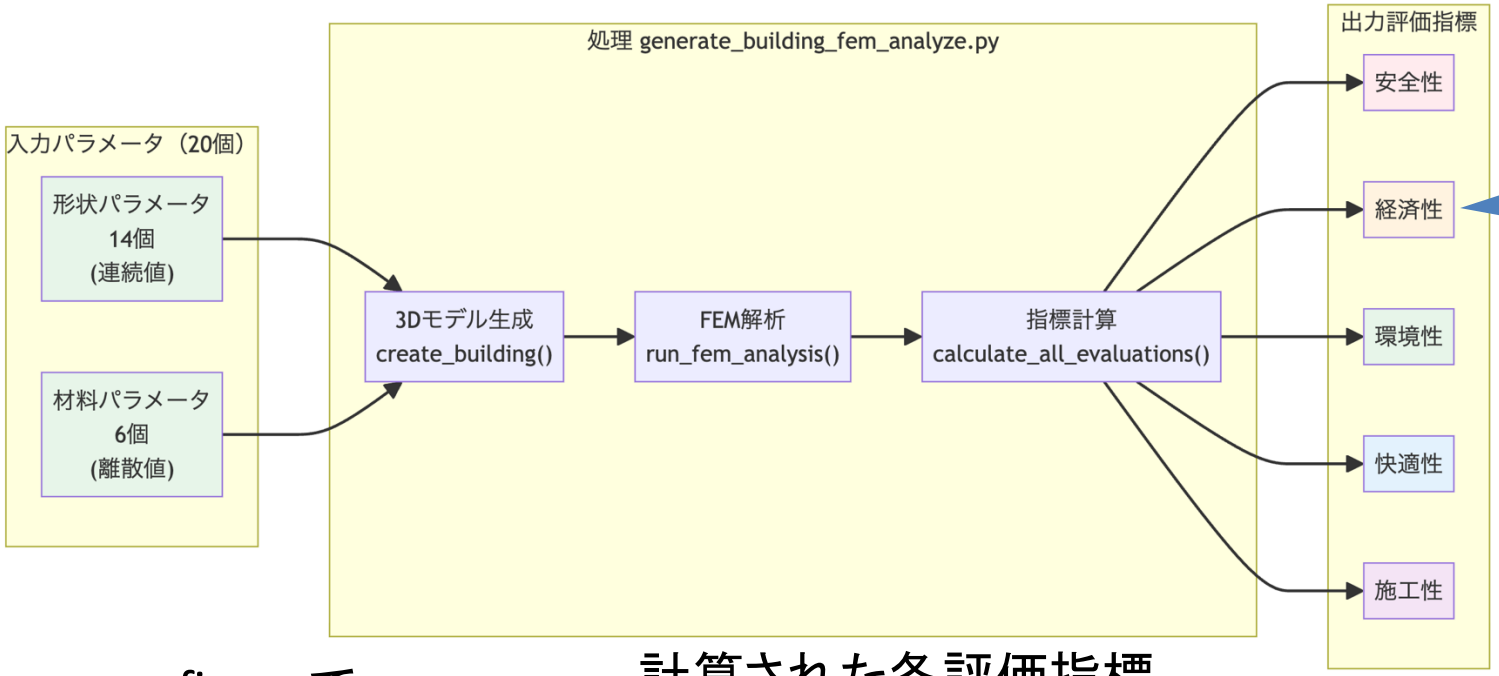
0=木材
1=コンクリート

- **材質パラメータ** $x_{15} \sim x_{20}$：連続値 $[0,1]$ として保持し，**評価時**に

$$m_i = \begin{cases} 0 & (x_i < 0.5) \\ 1 & (x_i \geq 0.5) \end{cases} \qquad (i = 15, \ldots, 20)$$

と離散化してFEMに渡す（0＝木材，1＝コンクリート）.

適応度関数の意味(1/2)



コストのみ
を最小化

pso_config.py で
指定する

計算された各評価指標

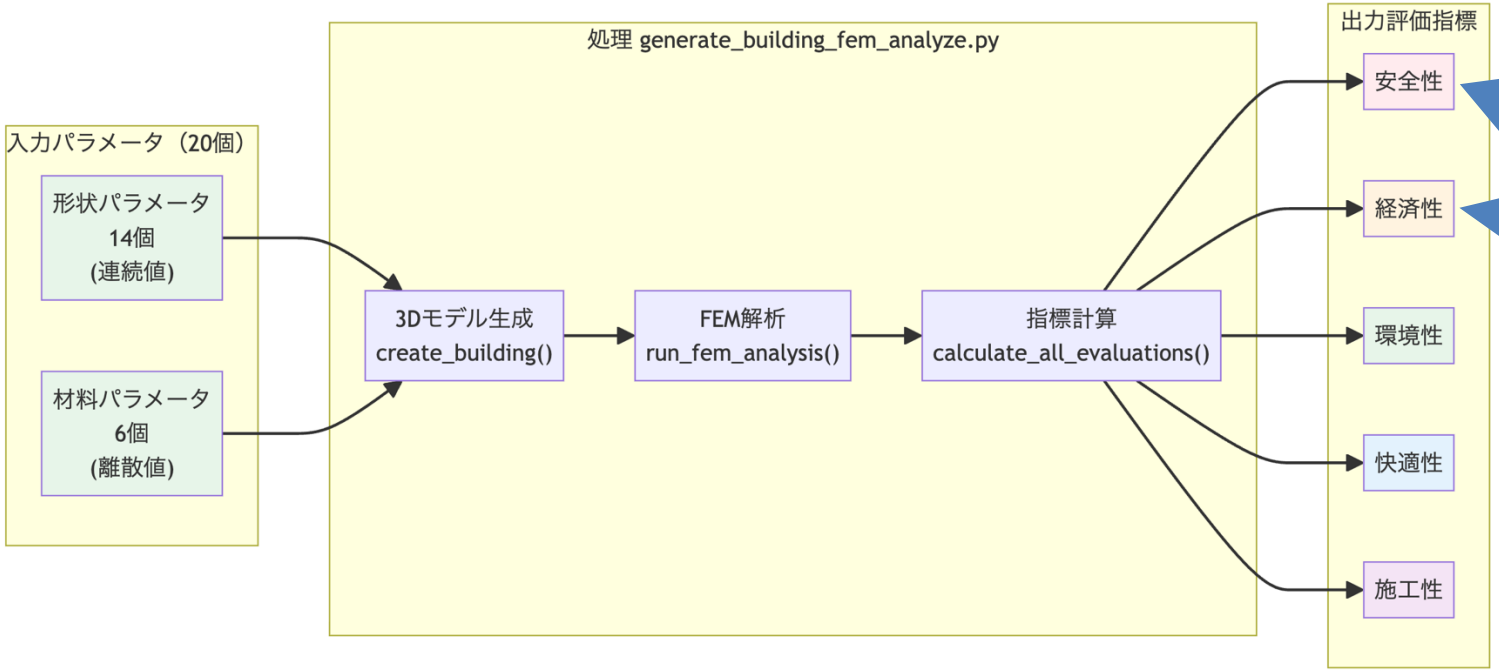
コスト　安全性　環境性　快適性　施工性

```
def calculate_fitness(cost, safety, co2, comfort, constructability):

    # 基本適応度：コストのみ
    fitness = cost

    return fitness
```

コストが小さいほど良い設計
⇨ コストがそのまま粒子の適応度（良さ）

他の評価指標は（計算したが）無視

適応度関数の意味(2/2)



安全性を
考慮した上で
コストを
最小化

```
def calculate_fitness(cost, safety, co2, comfort, constructability):

    # 安全率の閾値
    SAFETY_THRESHOLD = 2.0

    # 基本適応度：コストのみ
    fitness = cost

    # 安全率ペナルティ
    if safety < SAFETY_THRESHOLD:
        fitness += (SAFETY_THRESHOLD - safety) * 10000


    return fitness
```

(コストが小さくても)
安全率が 2 より小さいと
ペナルティを加算

+= は「加算して代入」
x += 3 は
x = x + 3 と同じ意味

ペナルティの加算

```
def calculate_fitness(cost, safety, co2, comfort, constructability):

    # 安全率の閾値
    SAFETY_THRESHOLD = 2.0

    # 基本適応度：コストのみ
    fitness = cost

    # 安全率ペナルティ
    if safety < SAFETY_THRESHOLD:
        fitness += (SAFETY_THRESHOLD - safety) * 10000


    return fitness
```

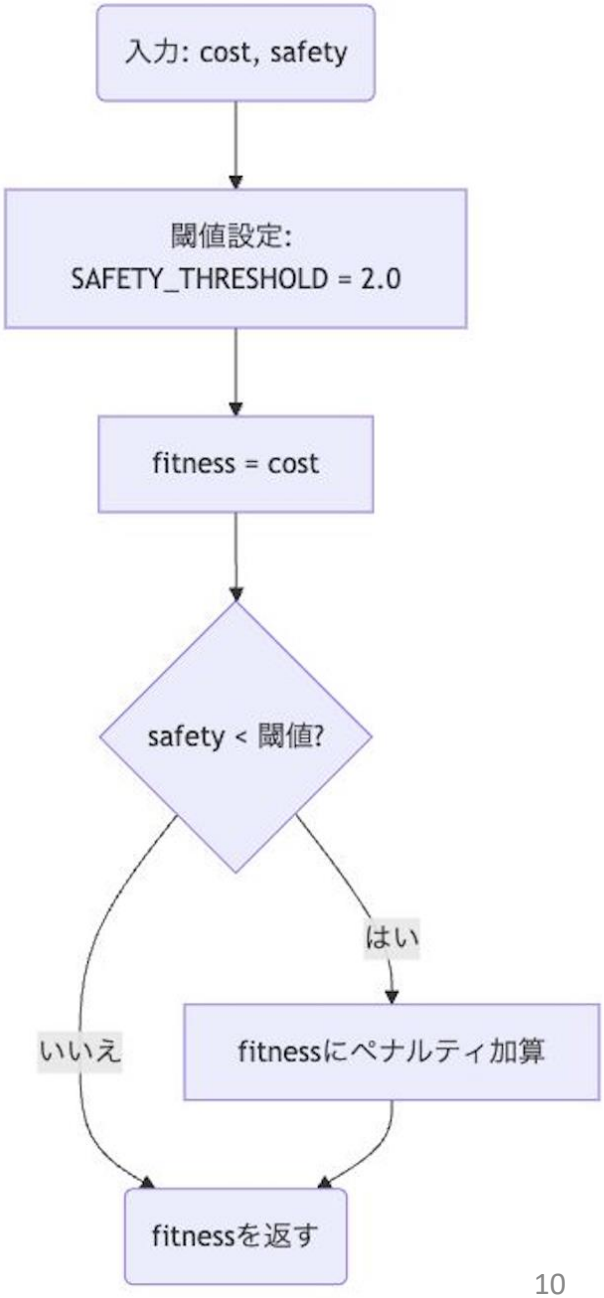
最低限確保すべき安全率を満たしていない場合は，その不足分に 10000 を掛けた値を fitness に加算（コストに上乗せ）する

代入

fitness = fitness + 不足分 x 重み

自由に設定可能

適応度:
「コスト」と「安全率」を**1つの評価指標に合成**



適応度関数の切り替え (1/2)

まとめてコメント化

Notepad++の設定

```
46  def calculate_fitness(cost, safety, co2, comfort, constructability):
47
48      # 基本適応度：コストのみ
49      fitness = cost
50
51      return fitness
52
```

```
46  def calculate_fitness(cost, safety, co2, comfort, constructability):
47
48      # 基本適応度：コストのみ
49      fitness = cost
50
51      return fitness
52
```

マウスで範囲指定して，
Ctrl + K

```
46  # def calculate_fitness(cost, safety, co2, comfort, constructability):
47
48      # # 基本適応度：コストのみ
49      # fitness = cost
50
51      # return fitness
52
```

まとめてコメント化される
（この部分は無視される）

適応度関数の切り替え (2/2)

まとめてコメント化を解除

```
54  # def calculate_fitness(cost, safety, co2, comfort, constructability):
55
56      # # 安全率の閾値
57      # SAFETY_THRESHOLD = 2.0
58
59      # # 基本適応度：コストのみ
60      # fitness = cost
61
62      # # 安全率ペナルティ
63      # if safety < SAFETY_THRESHOLD:
64      #     # fitness += (SAFETY_THRESHOLD - safety) * 100000
65
66      # return fitness
67
```

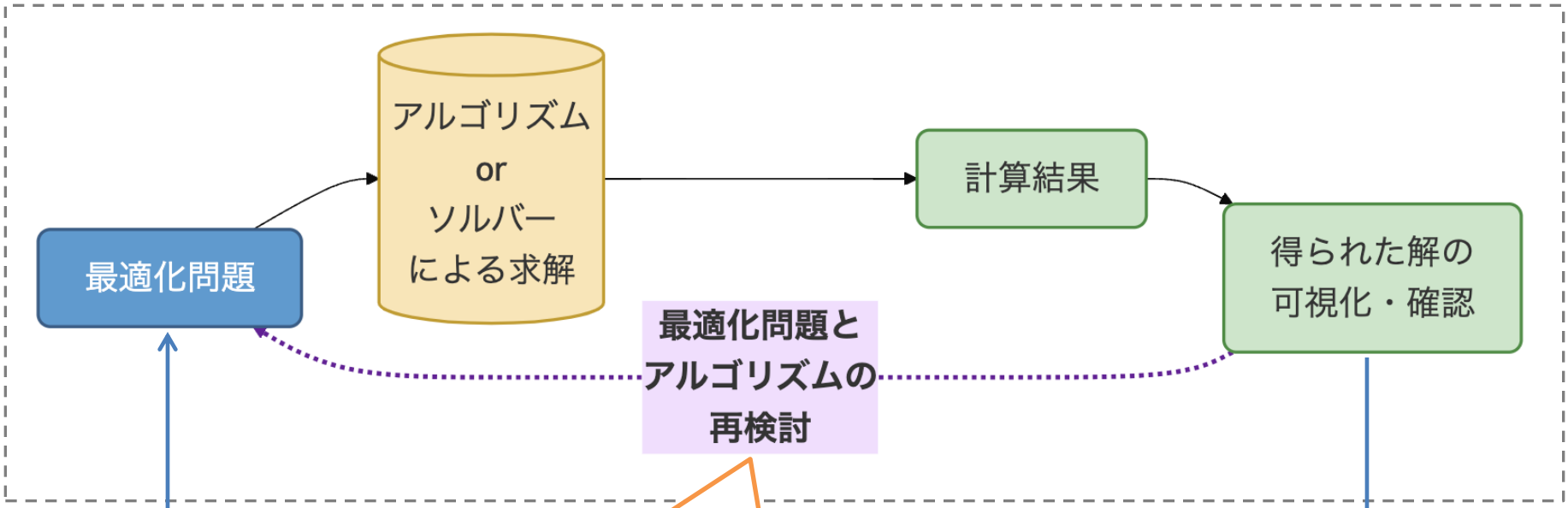
```
54  # def calculate_fitness(cost, safety, co2, comfort, constructability):
55
56      # # 安全率の閾値
57      # SAFETY_THRESHOLD = 2.0
58
59      # # 基本適応度：コストのみ
60      # fitness = cost
61
62      # # 安全率ペナルティ
63      # if safety < SAFETY_THRESHOLD:
64      #     # fitness += (SAFETY_THRESHOLD - safety) * 100000
65
66      # return fitness
67
```

マウスで範囲指定して，
Ctrl + Shift + K

```
54  def calculate_fitness(cost, safety, co2, comfort, constructability):
55
56      # 安全率の閾値
57      SAFETY_THRESHOLD = 2.0
58
59      # 基本適応度：コストのみ
60      fitness = cost
61
62      # 安全率ペナルティ
63      if safety < SAFETY_THRESHOLD:
64          fitness += (SAFETY_THRESHOLD - safety) * 10000
65
66      return fitness
67
```

まとめてコメント化が
解除される
（コードとして認識される）

最適化の流れ



定式化

現実問題

・適応度関数の設定
・定義域の設定
・PSOのパラメータの設定

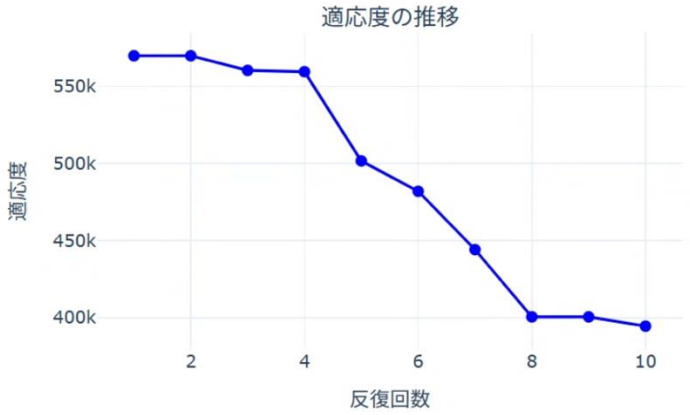
問題解決

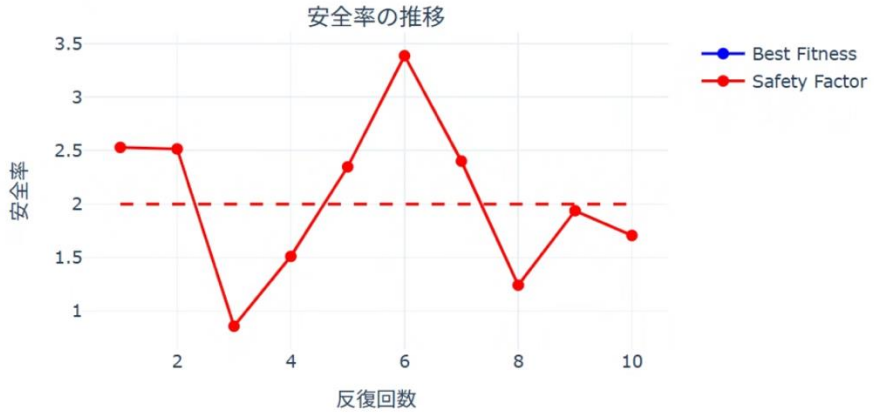
ユーザが
求める解

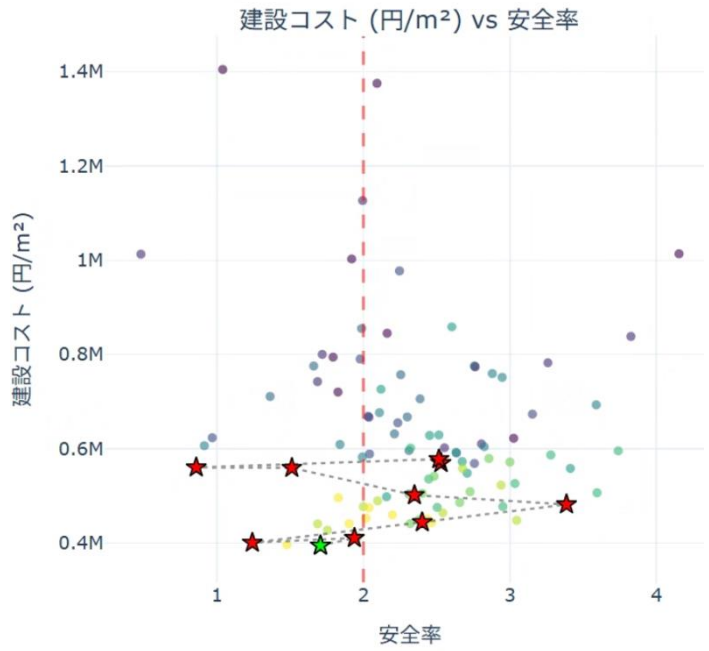
何度も最適化を
試す必要があるのでは・・・

PSOの実行例

各世代のgbestの適応度と安全率







適応度関数を

```
# 基本適応度：コストのみ
fitness = cost
```

とした場合の結果

この設定だと
コストは下がるけど，
安全性が・・・

参考となる文献

日本建築学会・情報システム技術委員会
第 37 回情報・システム・利用・技術シンポジウム 2014

修正 PSO によるトラス構造物の最小重量設計

○菅谷　明誉*1
曽我部　博之*2

キーワード：粒子群最適化　高次元問題　多峰性関数　構造最適化　最小重量設計

http://news-sv.aij.or.jp/jyoho/s1/proceedings/2014/pdf/H49.pdf

- **対象構造物**：某体育館の屋根トラス
- **モデル化**：対称性と境界条件を考慮した立体トラス（設計変数324本の部材断面積）
- **目的関数**：総重量の最小化
- **制約条件**：引張・圧縮の許容応力度を満たすこと（鋼材SS400を想定）
- **評価方法**：目的関数に制約違反部材数に比例したペナルティを加算