

# 背反・異種の多性能を同時に 実現する設計解を求める手法

石川 晴雄

電気通信大学 特任教授 | [ishikawa@mce.uec.ac.jp](mailto:ishikawa@mce.uec.ac.jp)





## スピーカーのご紹介

### 石川 晴雄

電気通信大学に勤務し、最近の10年余は設計工学に関する教育、研究に従事。特にここ数年は、企業における開発設計部門との共同研究遂行のために特任教員として活動。活動内容は企業の製品開発で常に課題になる相反・異種性能をいかに低コストで、工数をかけずに解決するかに関する設計手法の共同研究です。

設計手法に関係する論文は多数ありますが、著書としては、多目的最適化設計ーセットベース設計手法による多目的満足化ー(コロナ社)、セットベース設計, 実践ガイド(森北出版)などがあります。

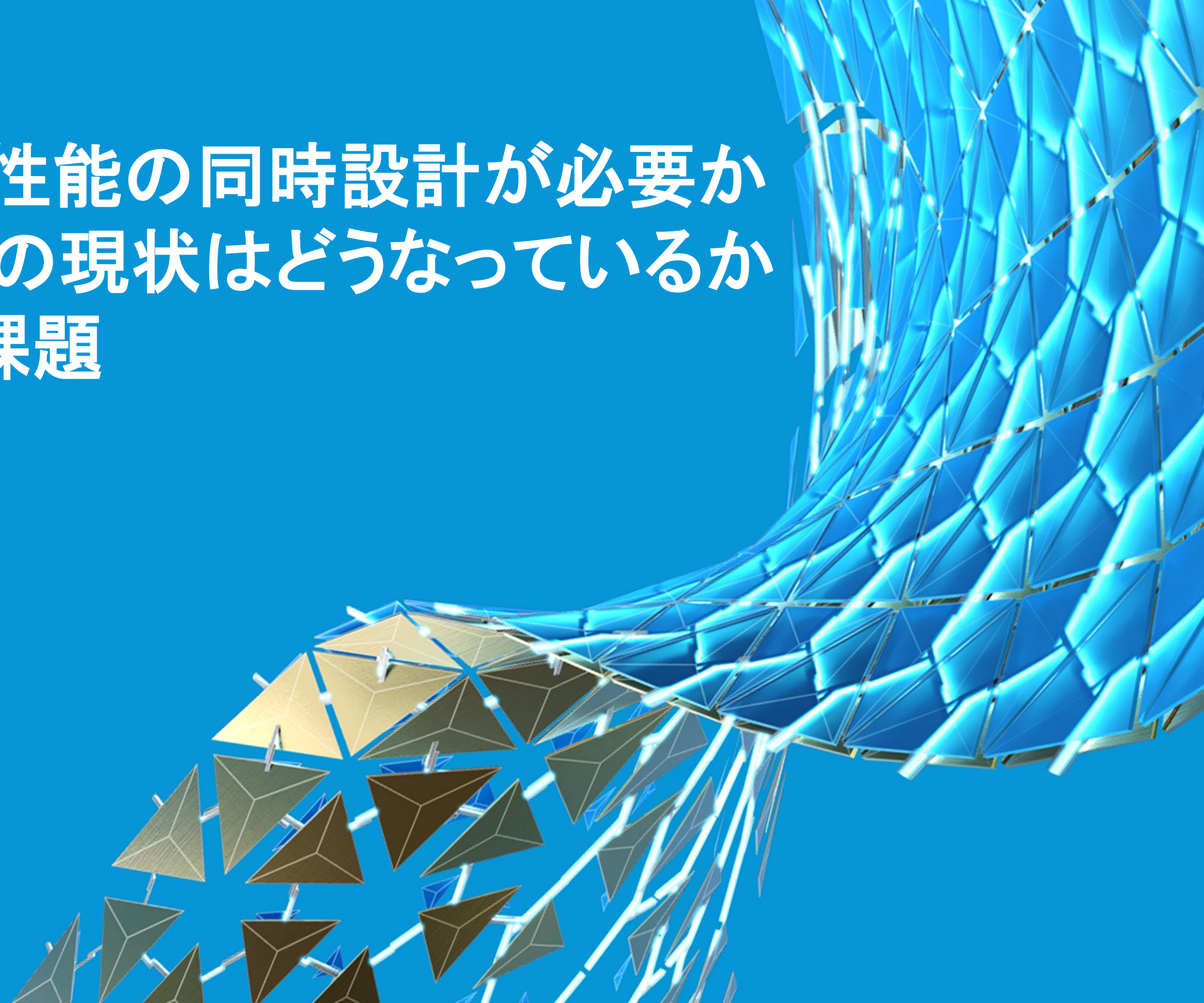
(連絡先: [ishikawa@mce.uec.ac.jp](mailto:ishikawa@mce.uec.ac.jp))

# 発表内容

1. なぜ多目的性能の同時設計が必要か
2. 多目的性能の同時設計の現状はどうなっているか、(1), (2)
3. CAE手法の課題
4. 選好度を考慮したセットベース設計(PSD)手法
5. セットベース設計(PSD)手法の適用例
6. ソフト(PSDソルバー)の実演



1. なぜ多目的性能の同時設計が必要か
2. 多目的設計の現状はどうなっているか
3. CAE手法の課題





# 1. なぜ多目的性能の同時設計が必要か

○製品（部品から機器まで）は本来的に多目的性能を有している。

例えば、普通のエアコンには、冷房、暖房、除湿などの複数機能がある。

機械部品であるボルトでも、強度と耐腐蝕性などの複数性能が有り得る。

○さらに、性能の枠組みの範囲を広げると、つまりコスト、軽量化、外観なども性能になる。最近では、これらも性能と考え、設計対象となっている。

例えば、a)車の衝突安全性と軽量化とコスト、b)装置の機構と構造と制御系、c)髭剃りの切れ味と静音性と持ちやすさとコスト、など

○つまり、背反・異種の多目的性能を実現する設計の重要視化。

# 多目的性能の同時設計の現状はどうなっているか(1)

## 1. 日本の伝統としては、「すり合わせ」。

各性能の担当者の参加する打合せで意見交換を繰り返し、落としどころを探る。打合せ時間ばかりかかってスムーズにいかないことも多い。

## 2. 多目的最適化法を採用する。トレードオフ問題に適用。

手法としては、

- a) 荷重和法（重みを付けた各性能の和の最小値を求める）、
- b) 制約法（単性能だけに注目し、他性能は制約条件化）、
- c) パレート解法、など

本当の意味の同時最適ではない(a,b)、適用対象に制限がある(a,b,c)、最適値ではない(c)。

# 多目的性能の同時設計の現状はどうなっている(2)

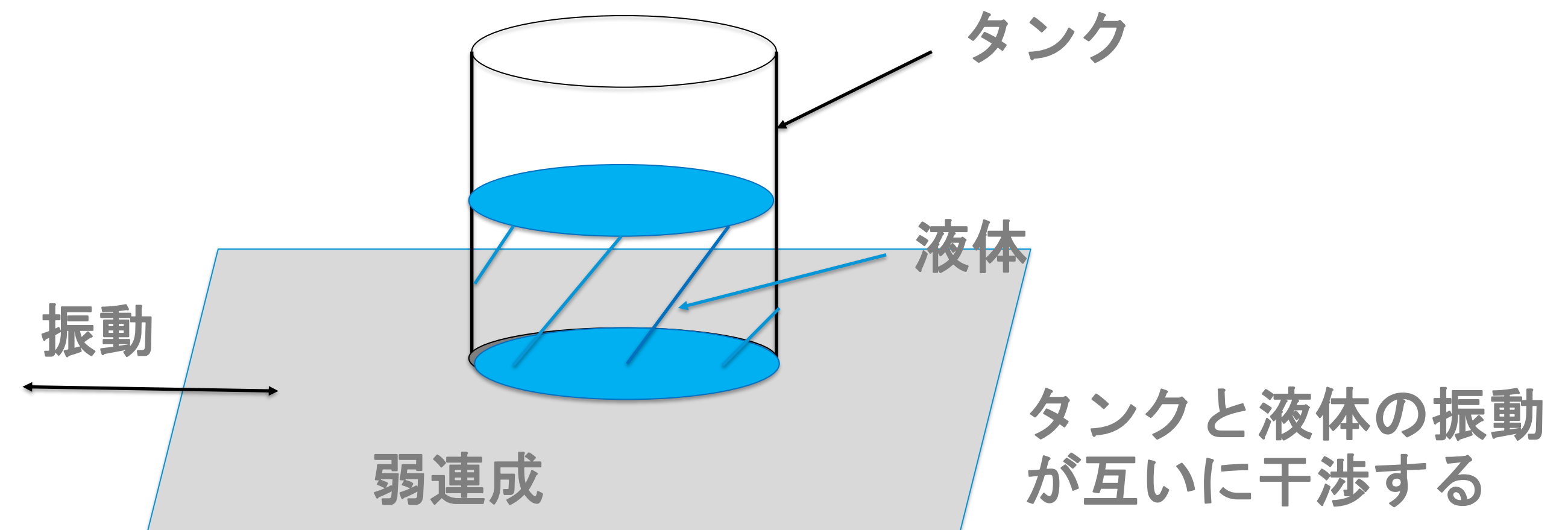
## 3. 連成計算法（複数の物理現象に関するCAE解析の一体化）

ア）強連成：各現象の支配方程式を一つに統合して解く方法

大規模な連立方程式→計算機資源の大規模化、計算時間の長大化

イ）弱連成：各現象を別々に解き、時間ステップごとに計算結果を現象の境界面のデータとして受け渡して、個別計算を続ける手法

計算精度が高くない



# CAE手法の課題：基本データの構成単位

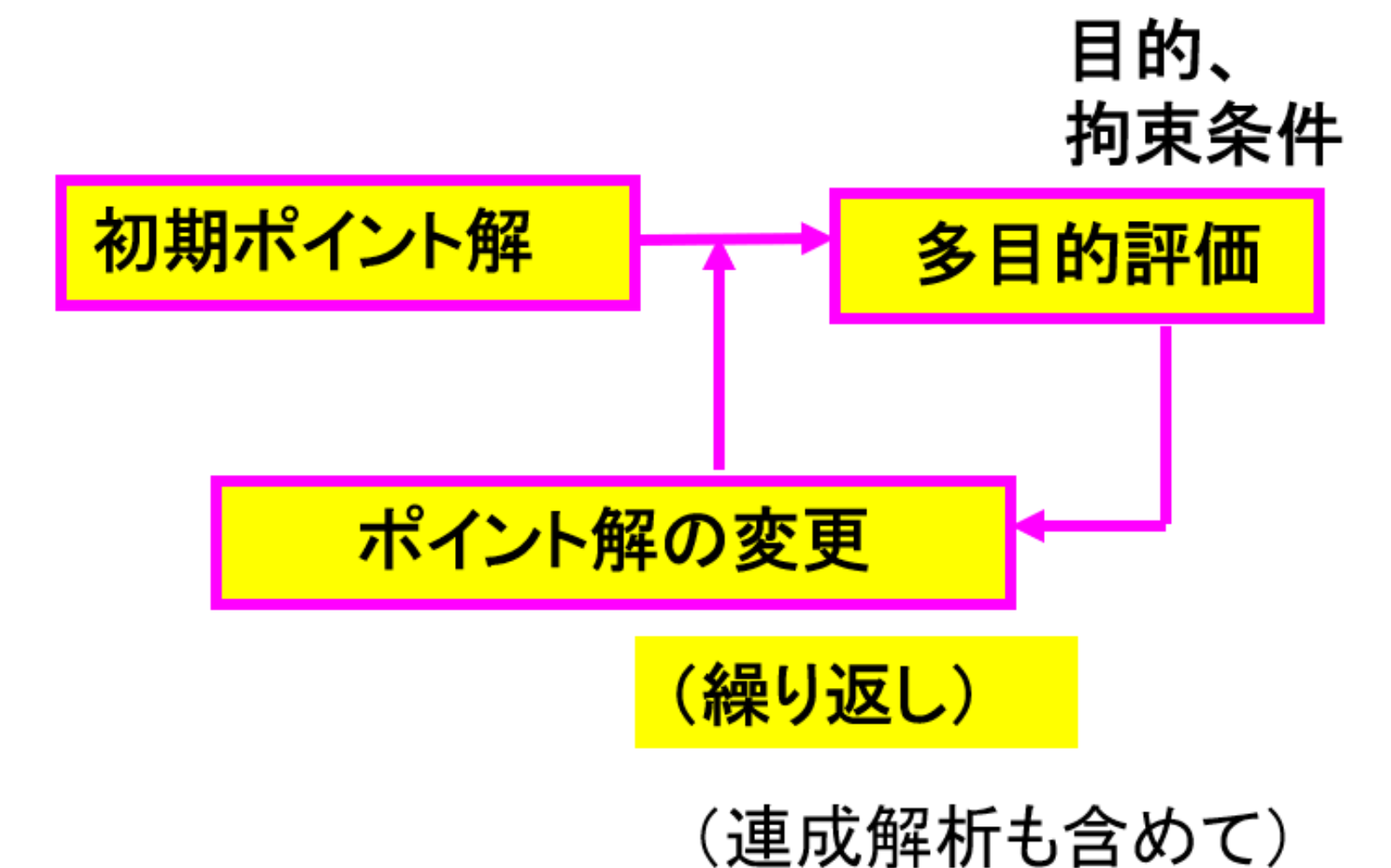
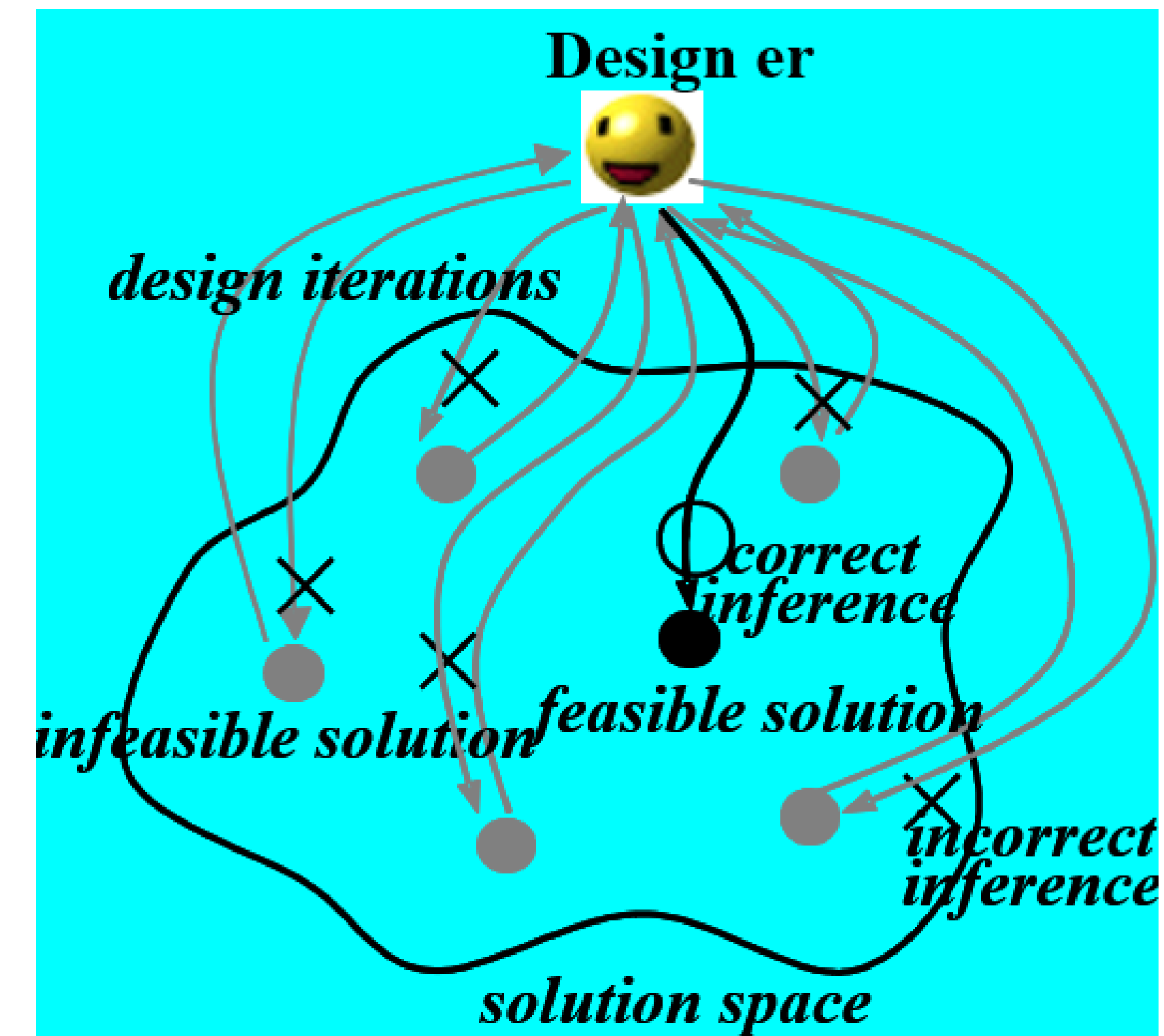
\* 最適化手法も含めて、CAE手法における解探索の

データ構成：ポイント値

CAEに基づく設計：ポイントベース設計

\* その特徴：

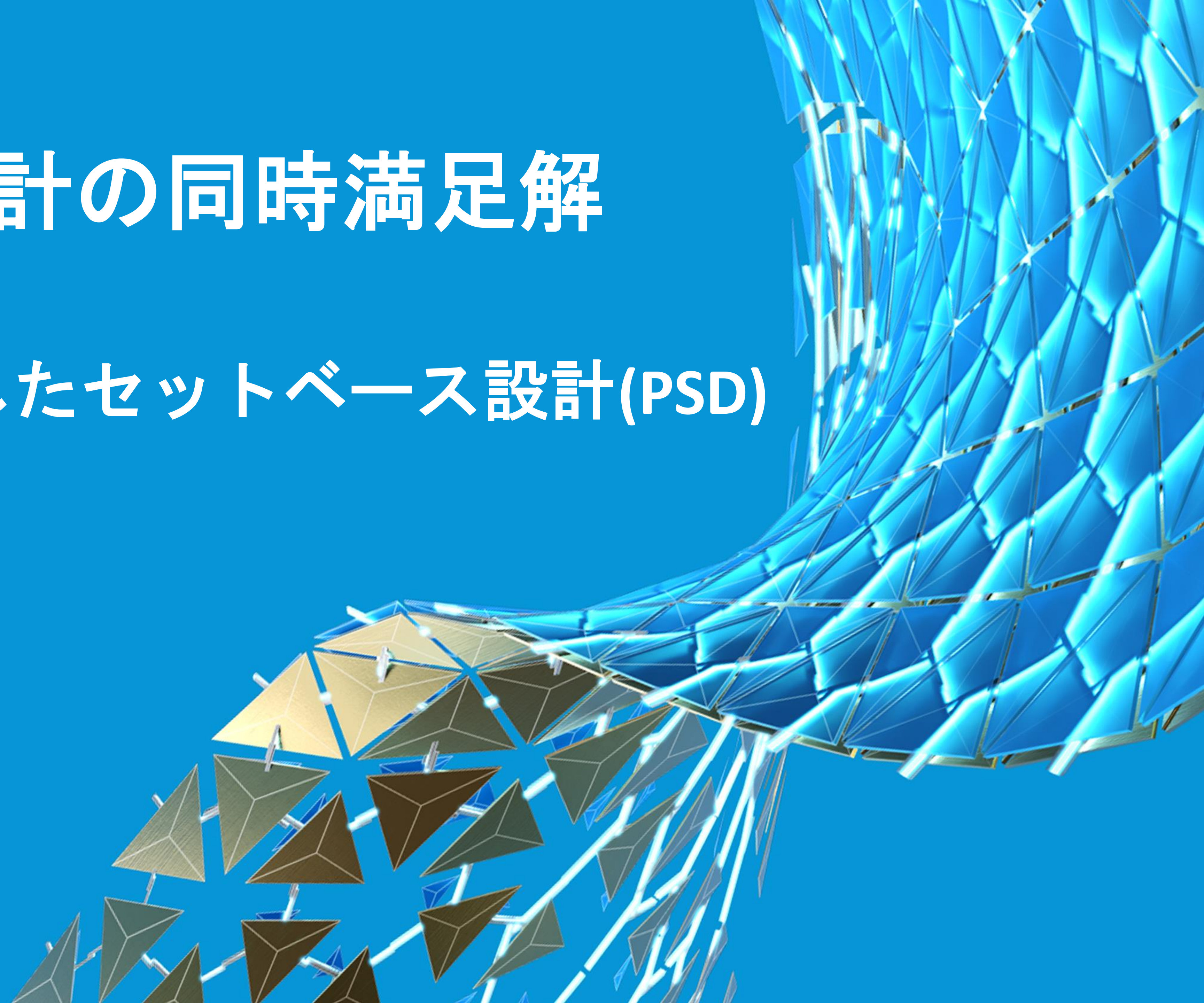
- ✓ 初期解がよくないと収束解を得るための多数の繰り返しが必要となる。
- ✓ 収束解が得られる保証がない。特に多目的問題の場合  
はそうである。
- ✓ 設計の上流過程での解の最適性は下流過程での最適性を保障しない。
- ✓ 不確定性の表現に向いていない。





# 4. 多目的設計の同時満足解

選好度を考慮したセットベース設計(PSD)  
手法





# 提案手法：最適化ではなく、満足化、そして範囲ベース

- 満足化とは、目標に対する充足度

品質工学では、目標とは、以上(望大)、以下(望小)、  
程度(望目)で与えられる。

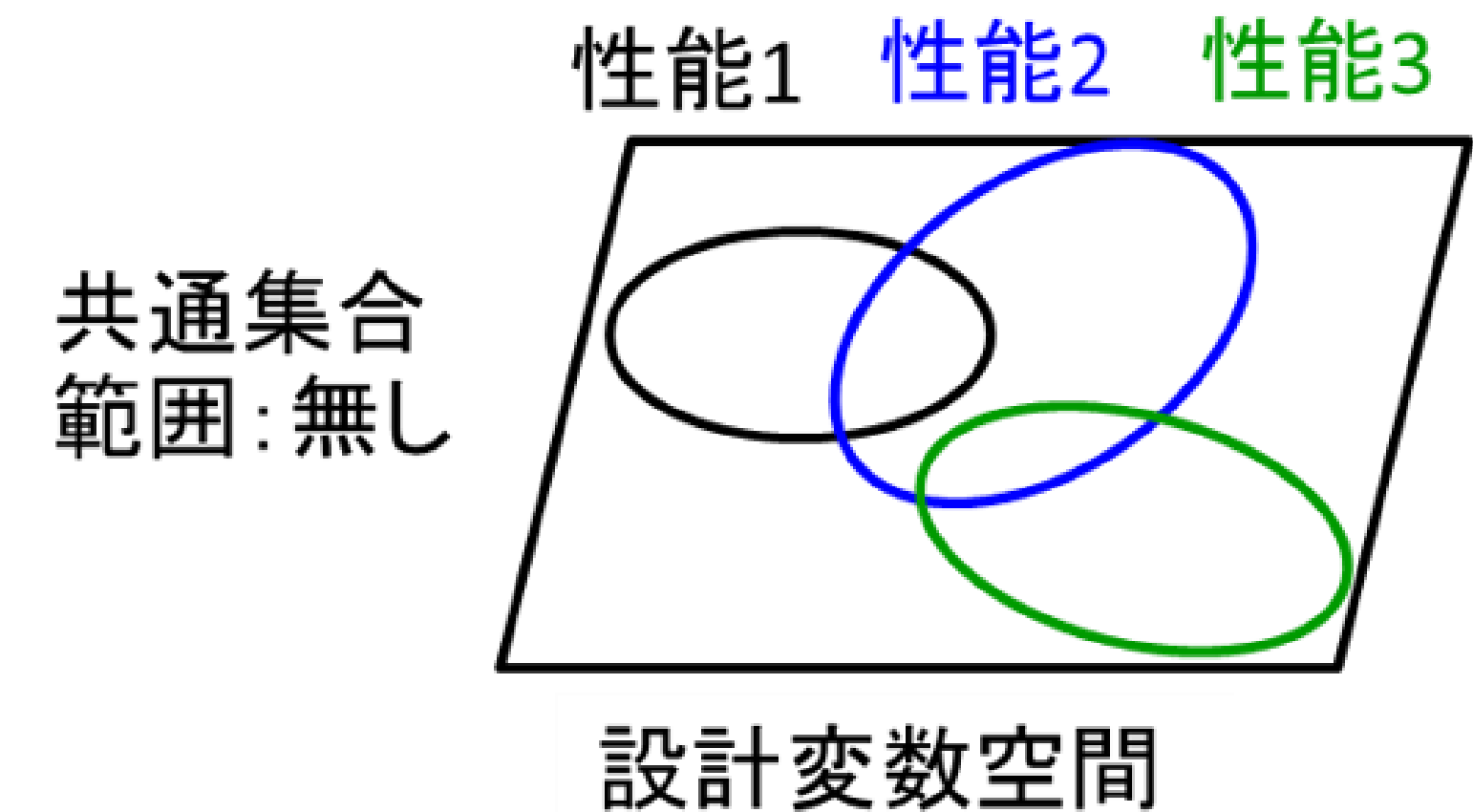
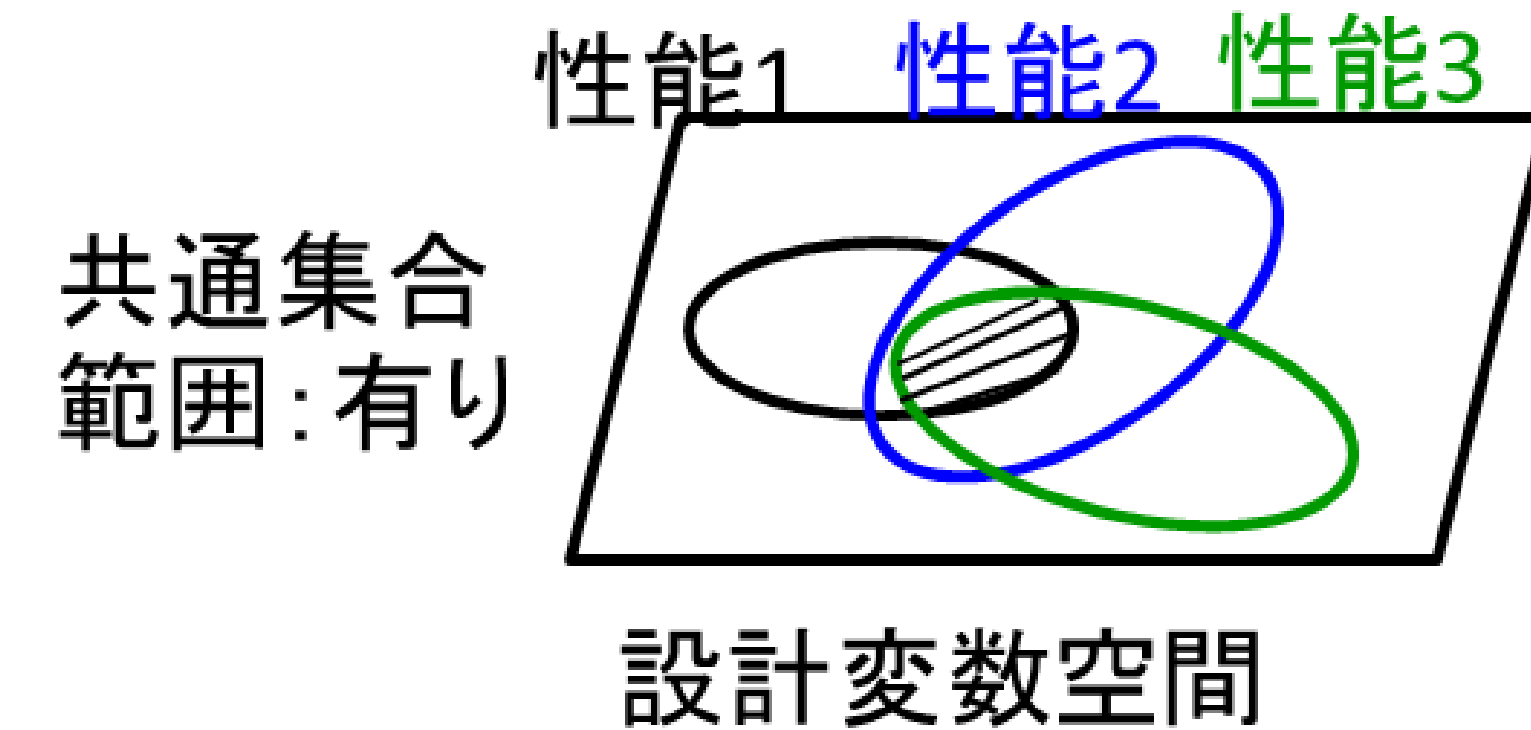
⇒ 目標を範囲で与える。

- 目標範囲を満足する影響因子の範囲が求まれば、設計が可能(果てしない、計算機力によるポイント解探索から解放)

- 共通集合範囲

「もしあれば」、多目的の同時満足範囲

「なければ」、「ない」ことが分かることも重要





# 選好度概念に基づくセットベース設計(PSD)手法

0) 右図では性能を2次元表示（視覚的に見やすくするため）。  
外側の四辺形はひとつの設計変数の範囲表現（2次元表示）

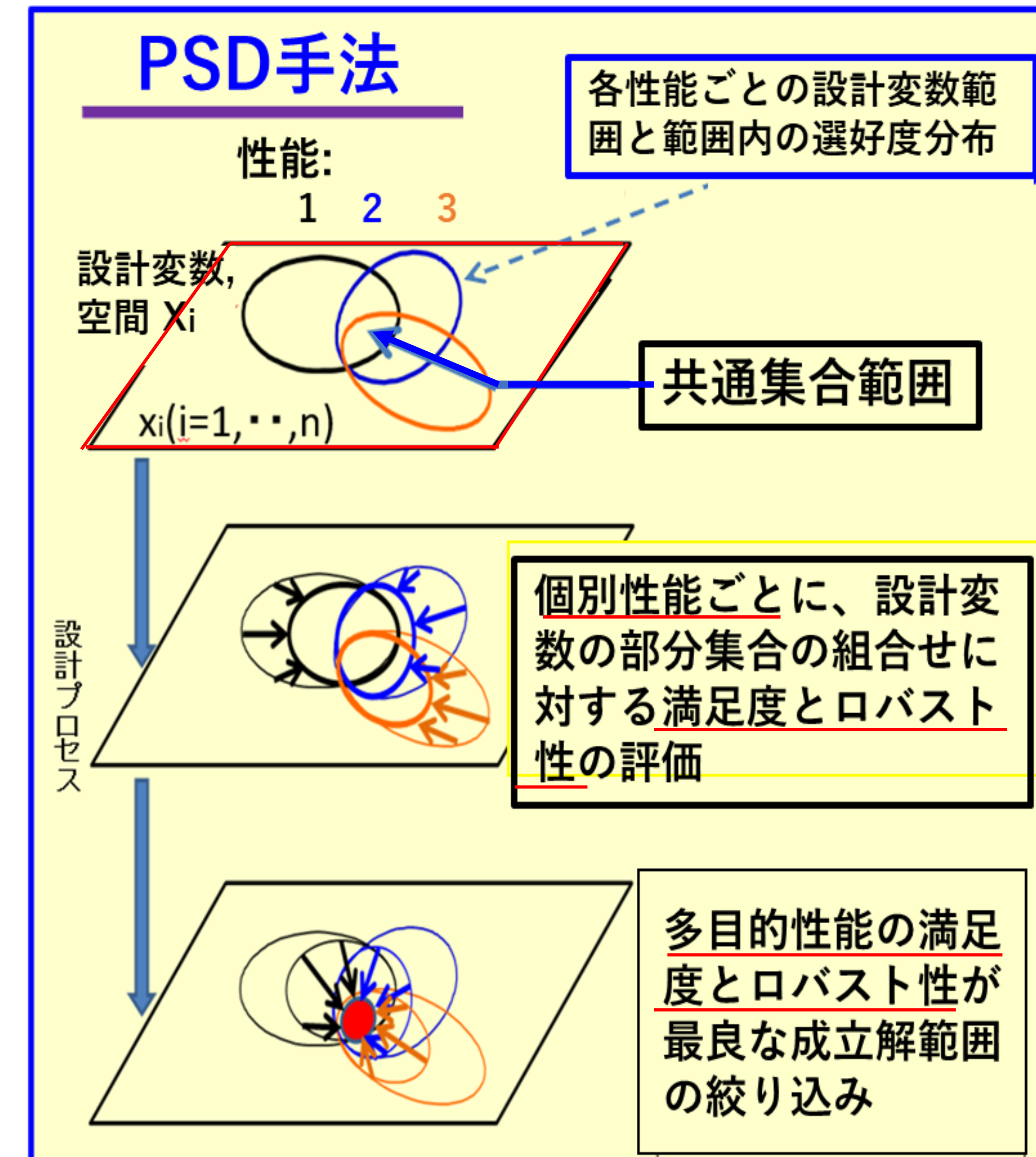
PSD : Preference Set-  
Based Design

1) **共通集合範囲**は全性能を満たす設計変数の範囲となる。

2) **性能と設計変数の関係には望大・望小等の特性**があり，共通集合でも性能に対する満足性等は異なる。

3) 各設計変数の初期範囲を分割し，分割の組合せごとに**個別性能**に対すると**満足度とロバスト性**を評価する。

4) 満足度とロバスト性の表現に、性能と設計変数に対する**範囲内選好度**を導入する。

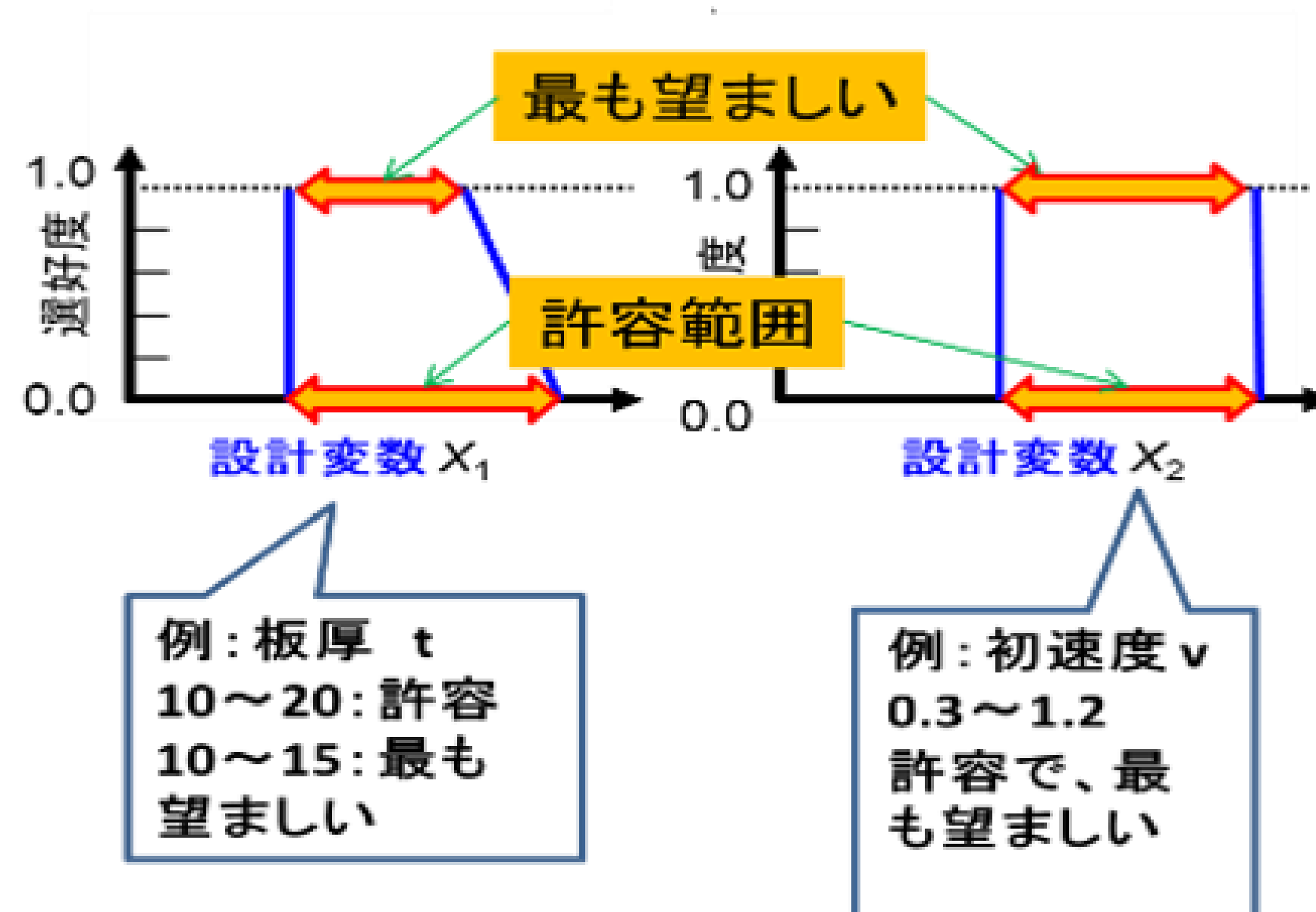


# 選好度とは

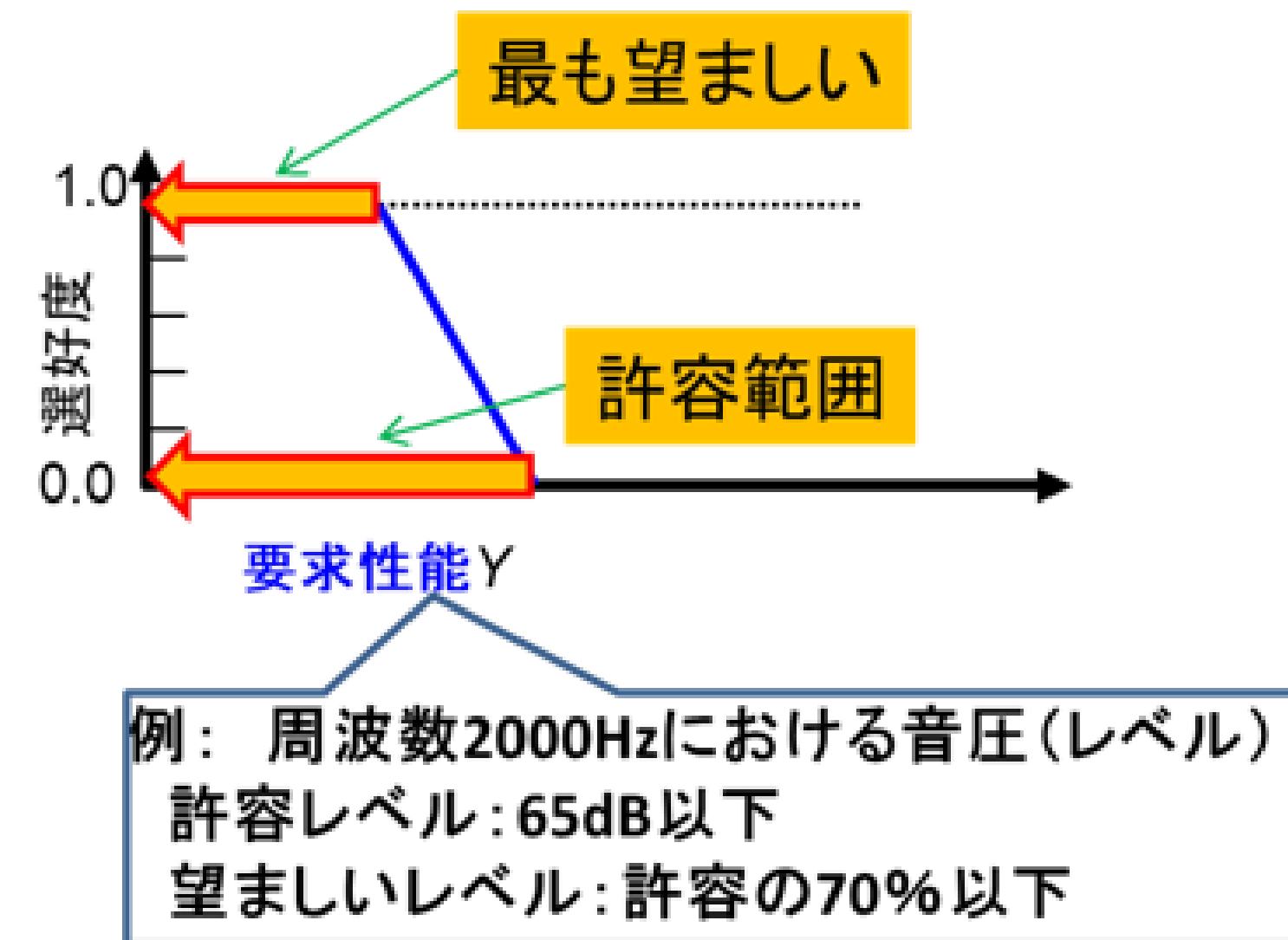
セットベース設計は、設計変数と性能を範囲で表現する。それらの範囲に対して、

1) 許容範囲と其中的の最良範囲をそれぞれ選好度0の範囲、選好度1の範囲として表現する。

2) これらの情報は、設計者の知識、判断で入力する。



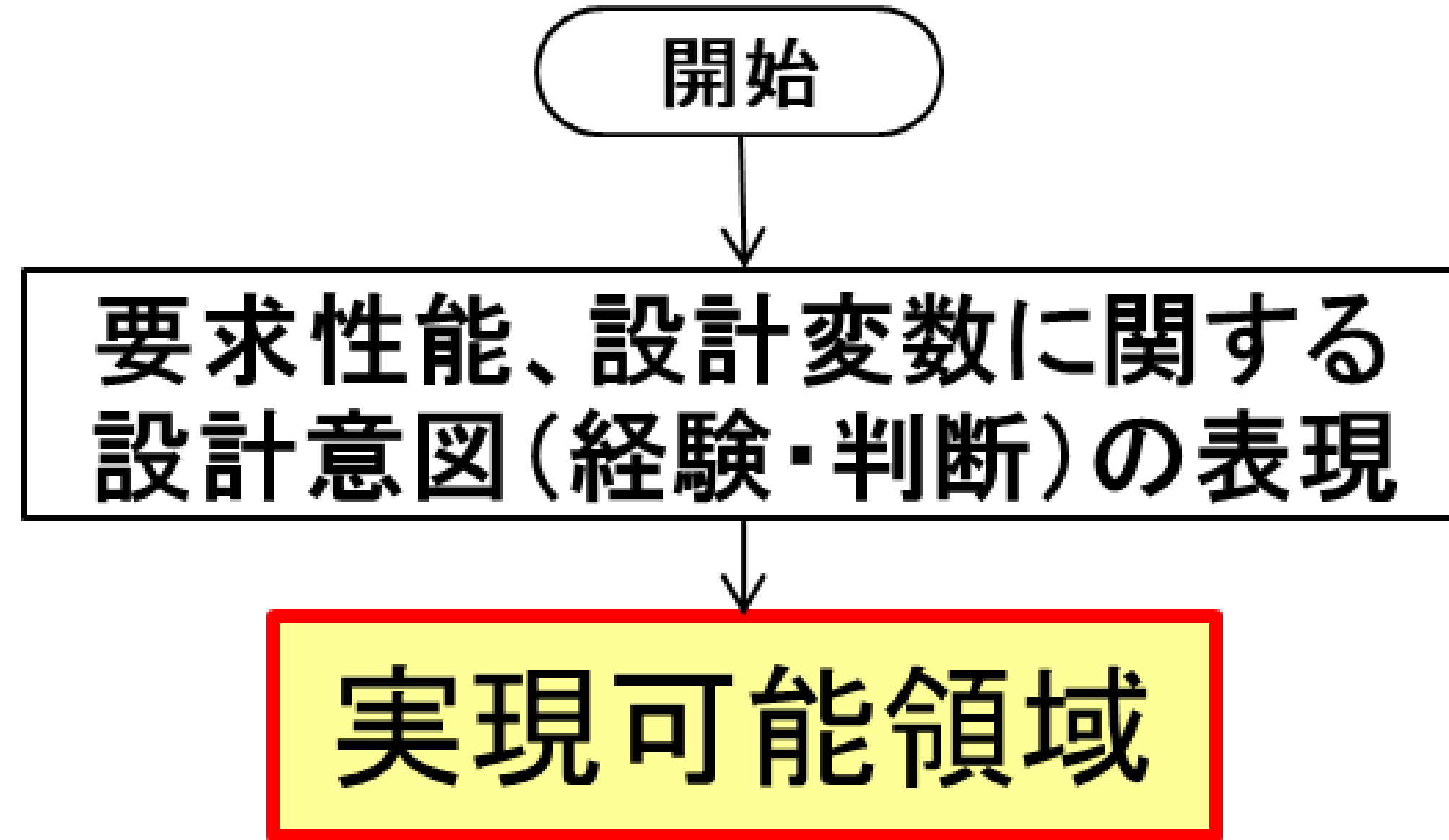
設計変数の例



性能変数の例



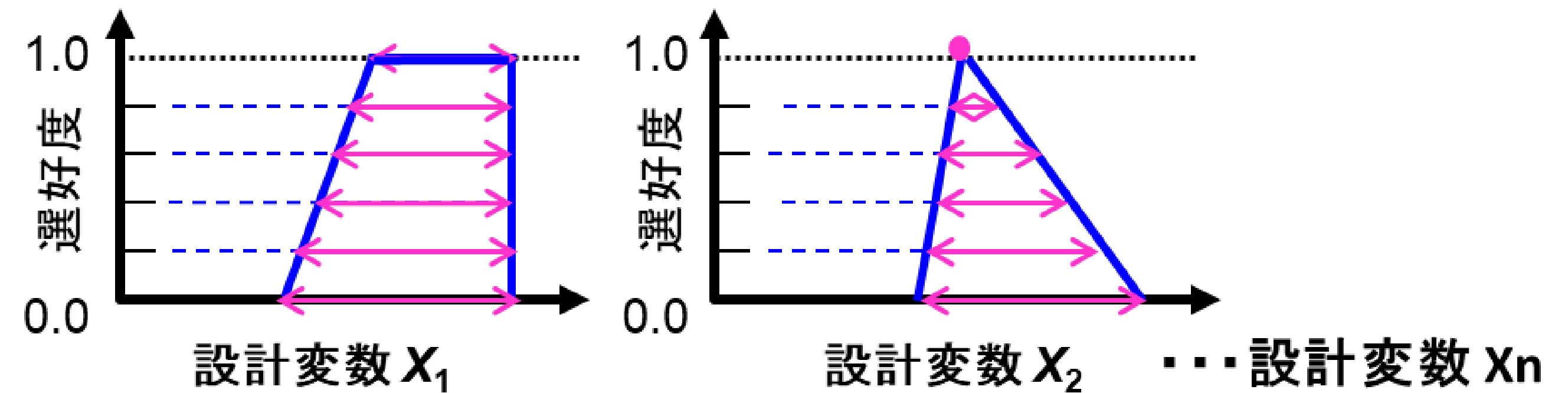
# PSD (Preference Set-Based Design) システムの流れ(1)



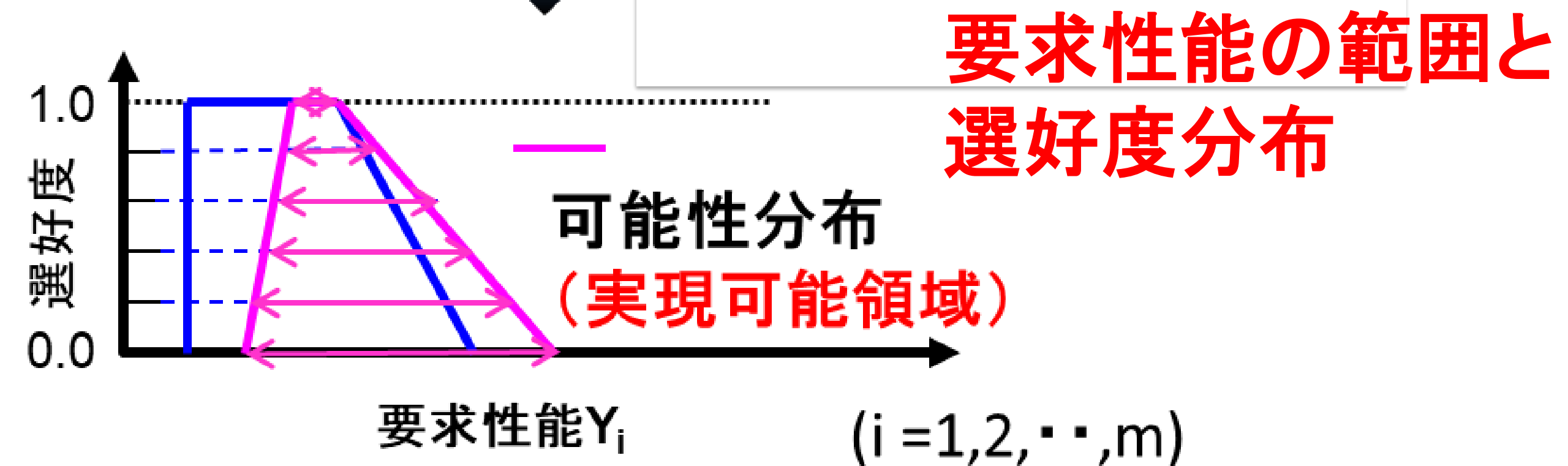
設計変数 $X_j$ と性能 $Y_i$ の関係式  
(理論式、実験式、近似式)を  
用いて、  
選好度の値ごとに範囲伝搬

$$Y_i = F(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

設計変数の範囲と選好度

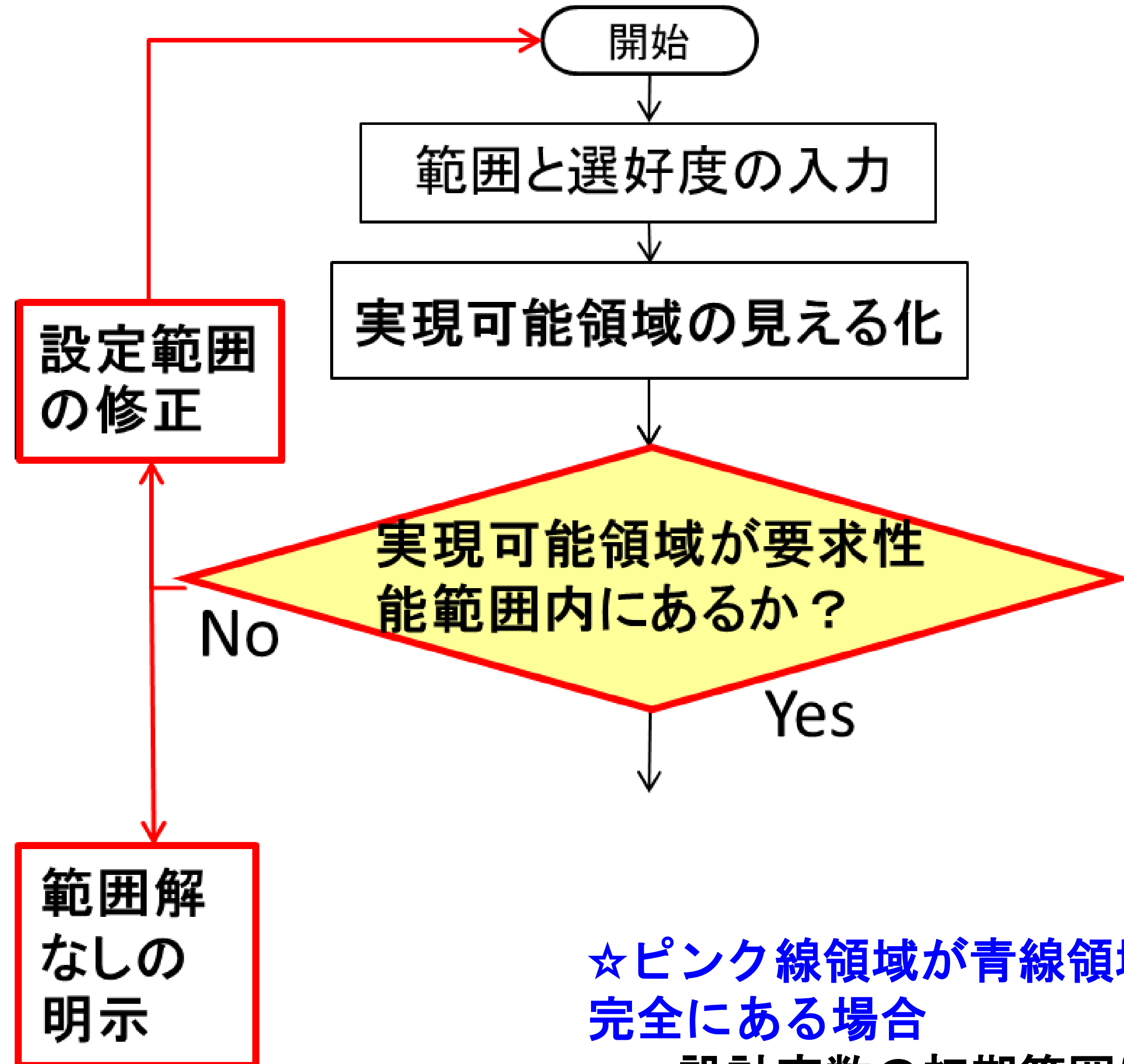


範囲伝搬：関係式の利用

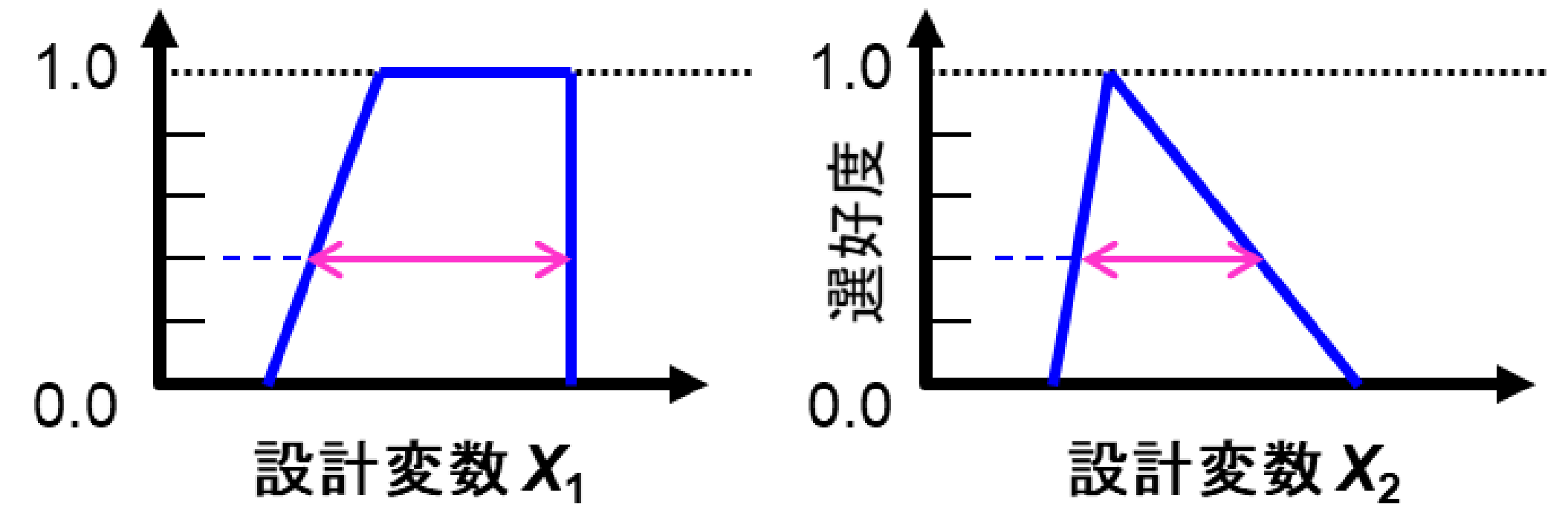


— 初期要求性能(範囲の場合)

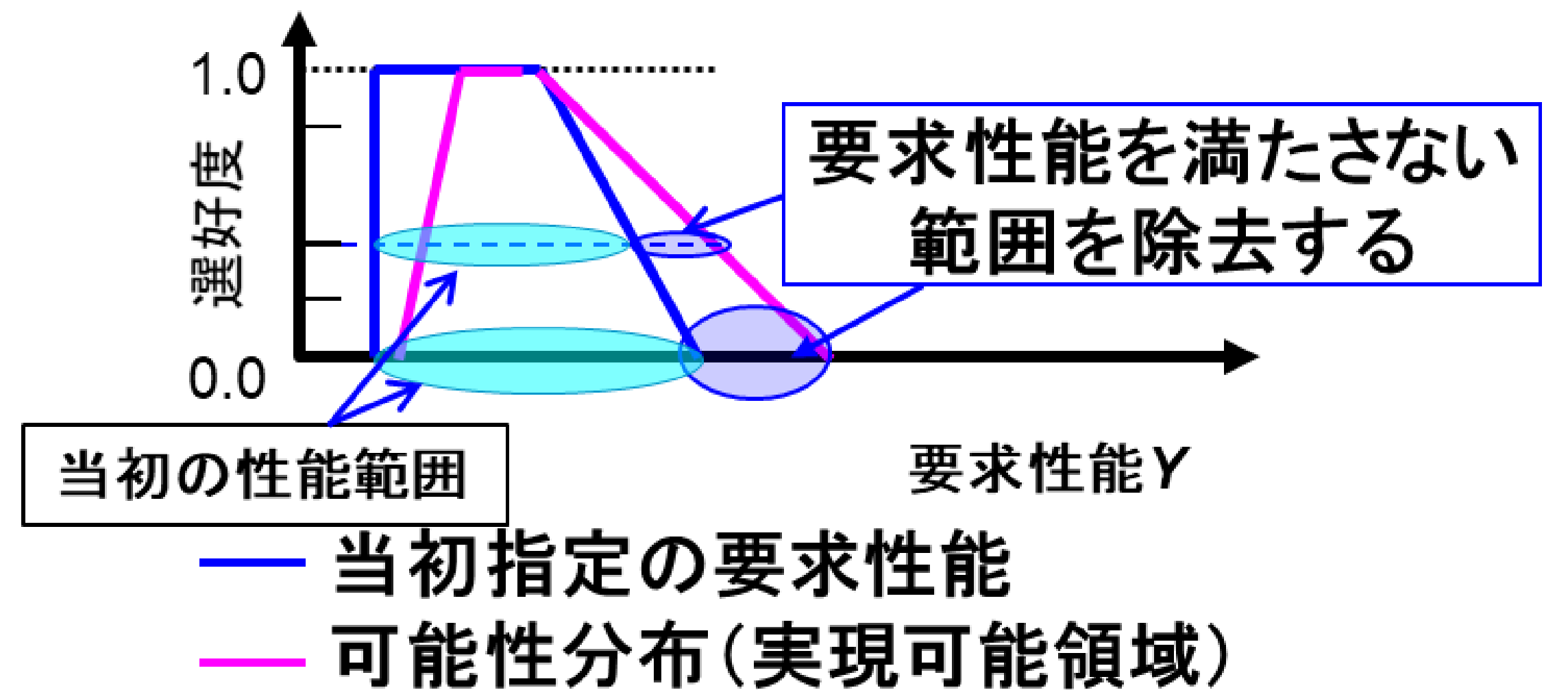
# PSDシステムの流れ(2)



☆ピンク線領域が青線領域の中に完全にある場合  
→設計変数の初期範囲は性能目標範囲を満たす。



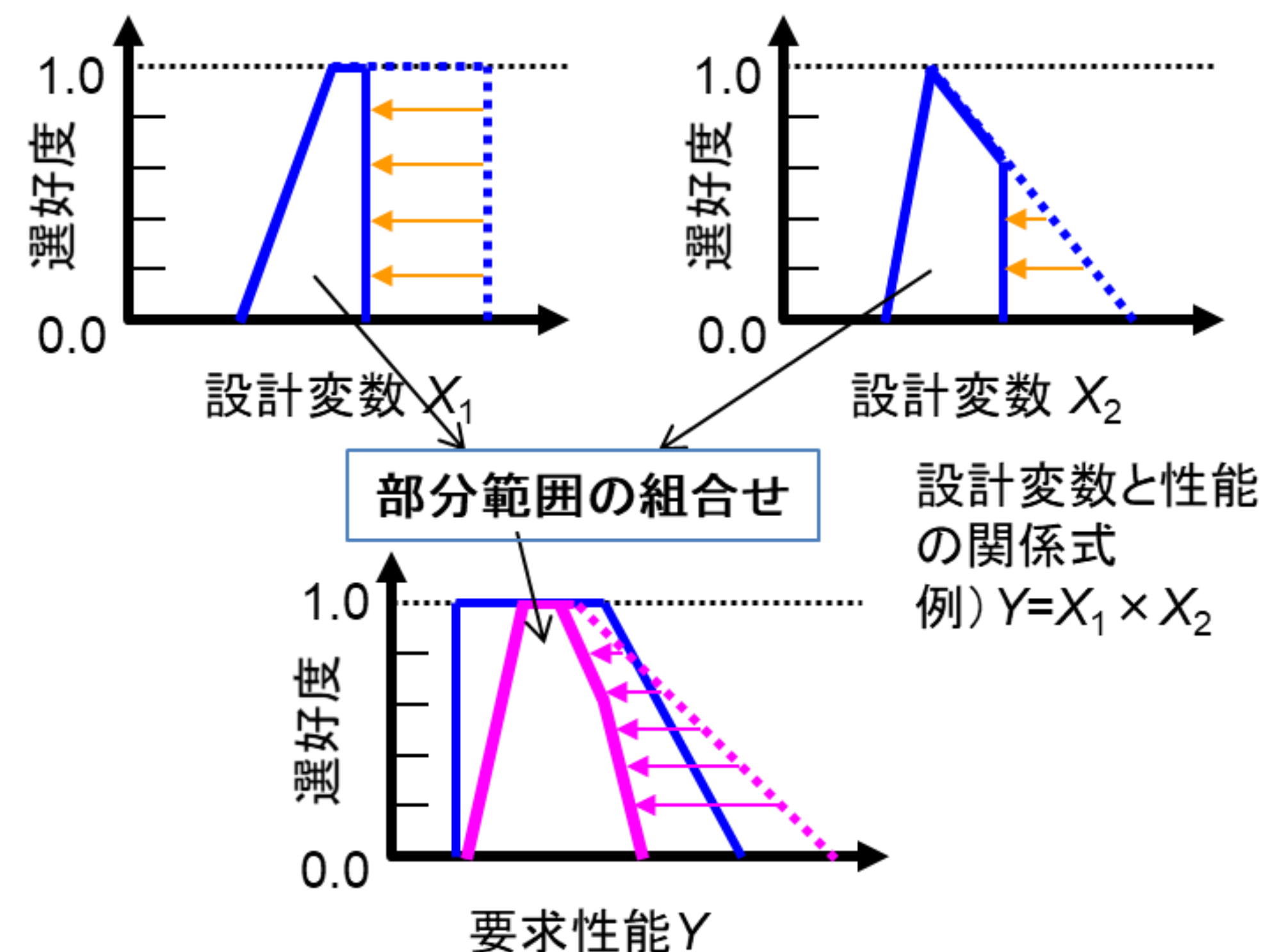
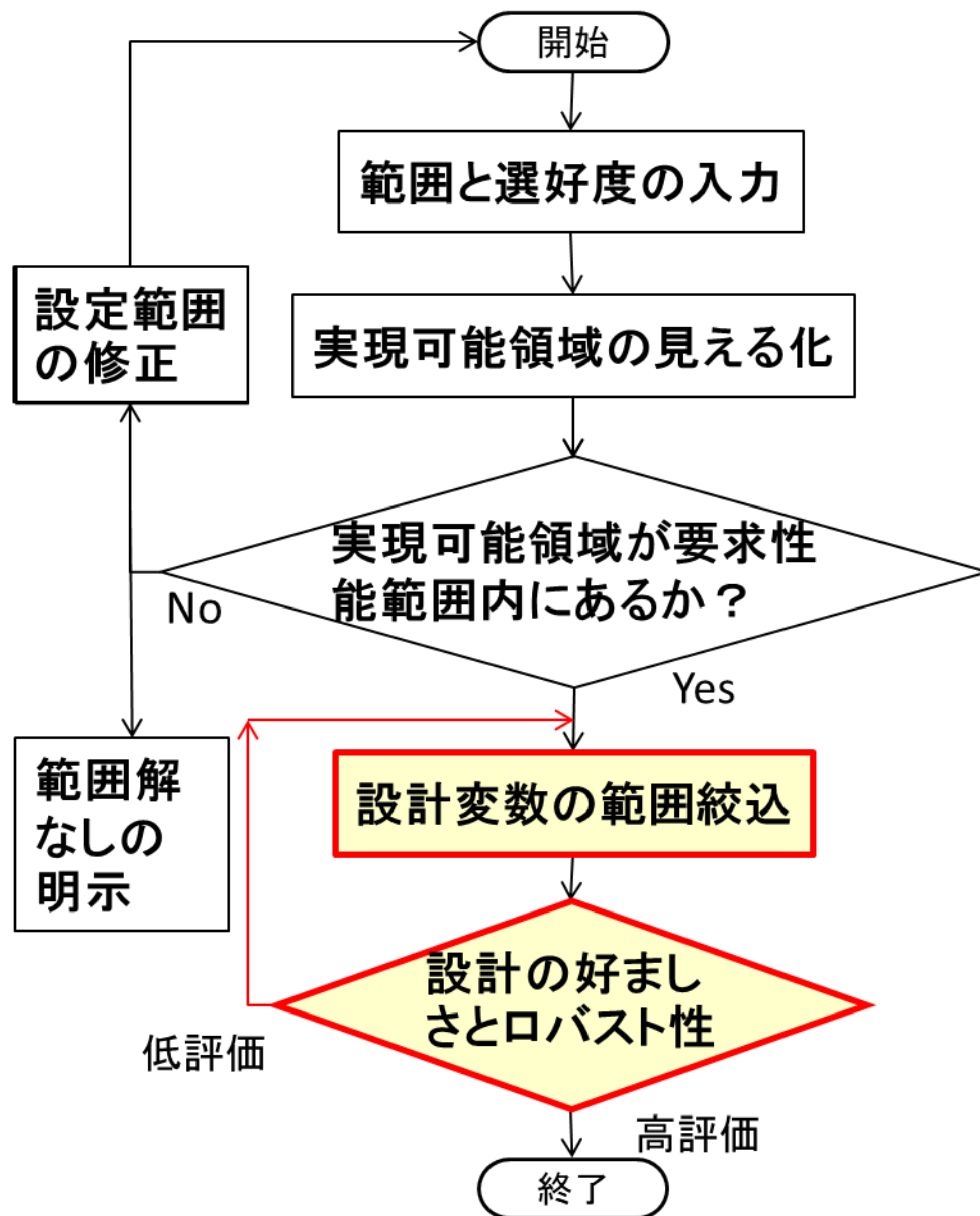
設計変数と性能の関係式  
例)  $Y = X_1 \times X_2$



☆ピンク線領域が青線領域の外に完全にある場合  
→設計変数の初期範囲は性能目標範囲を全く満たさない。



# PSDシステムの流れ(3)



選定した設計変数の部分範囲の性能に対する実現性を次の2つの無次元量の積で表現

## □ 設計の好ましさの評価

- 実現可能領域が要求性能範囲に入っている面積

## □ ロバスト性の評価

- 設計変数の変化に対する性能の変化のしにくさ
- 設計変更の可能性の少なさ

# 設計の好ましさとロバスト性を表す指標PRIとAPRI

設計変数ごとの部分範囲の組合せの個別性能に対する実現性(満足度)に対して、

①指定したレベルの未達は削除

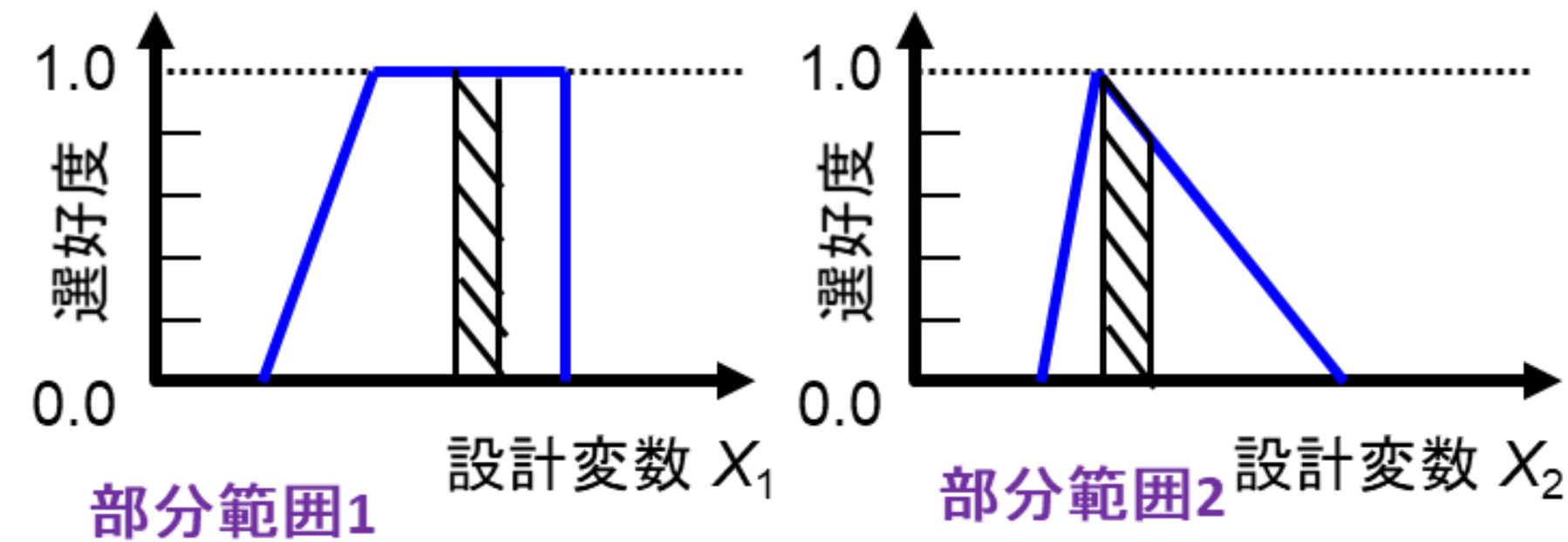
②それ以外の組合せに対して、満足度(好ましさ)とロバスト性の両特性([0,1]の無次元表現)の積で評価

→ 指標 PRI

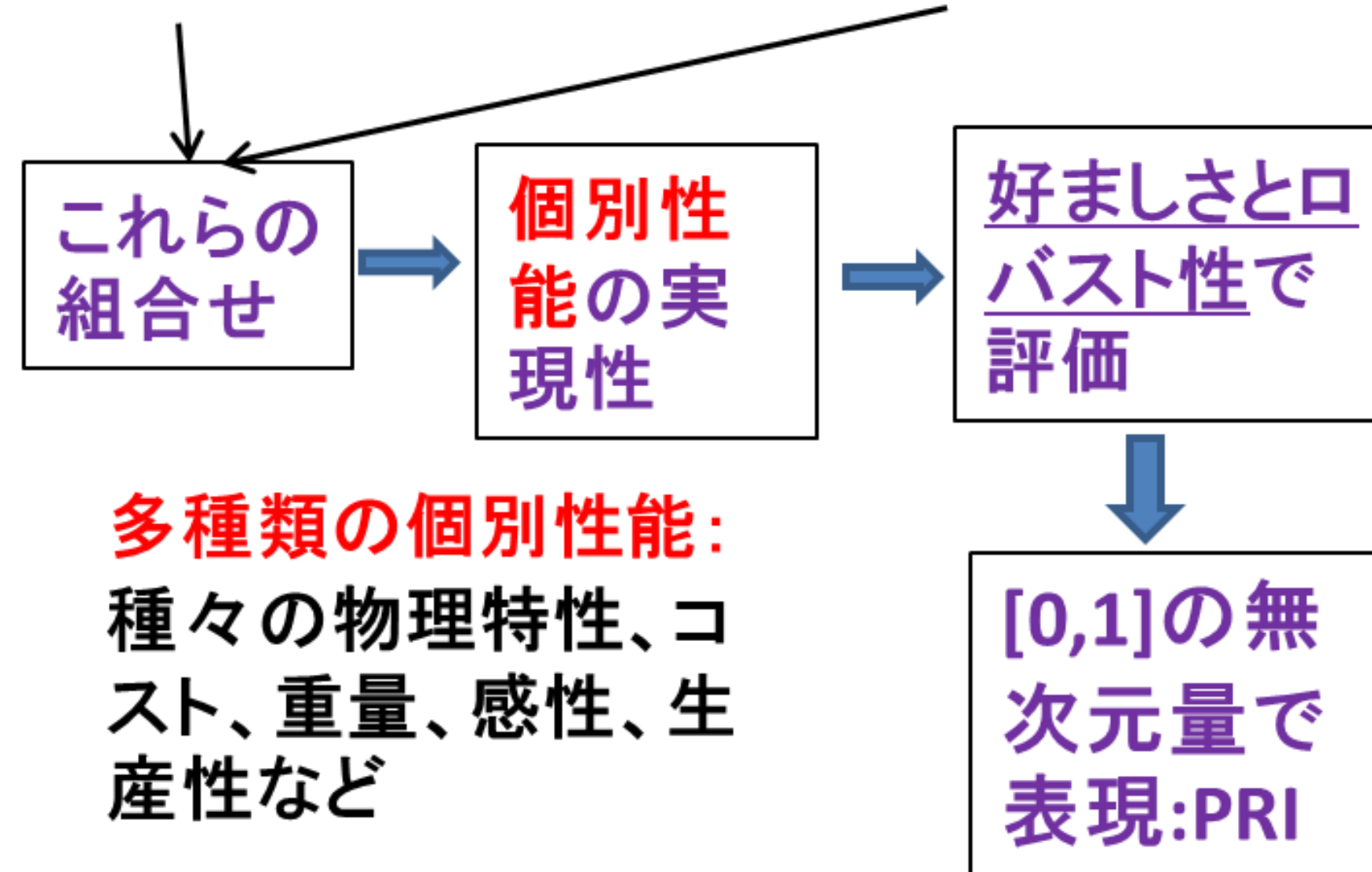


指標 APRI:

多種類の個別性能の無次元場での総合評価（重み付き平均評価）の  
高い設計変数の部分範囲の組み合わせの導出



部分範囲の  
設定アルゴ  
リズム



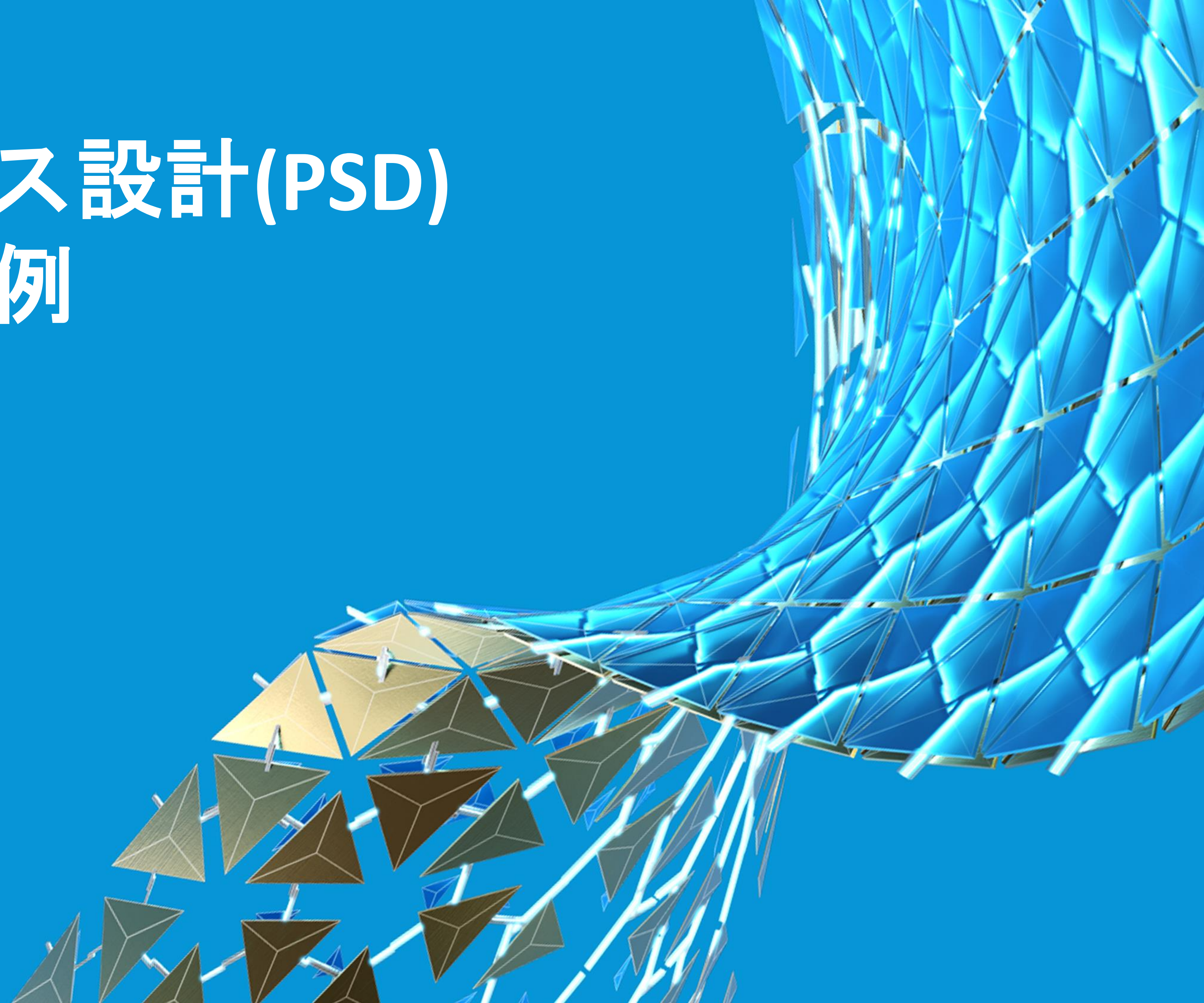


# PSD手法の特徴（まとめ）

- 背反性・異質性を有する多目的性能の同時実現
- 設計対象分野は問わない
- 技術の継承・共有（選好度分布(範囲と選好性) の明示的表現)
- 解がないこともわかる
- ソフトの稼働計算機は通常のパソコン
- 新しいアイデアの成立性の迅速な確認（範囲の両端だけに注目）
- 結果として、開発期間の短期化と低コスト化



# セットベース設計(PSD) 手法の適用例





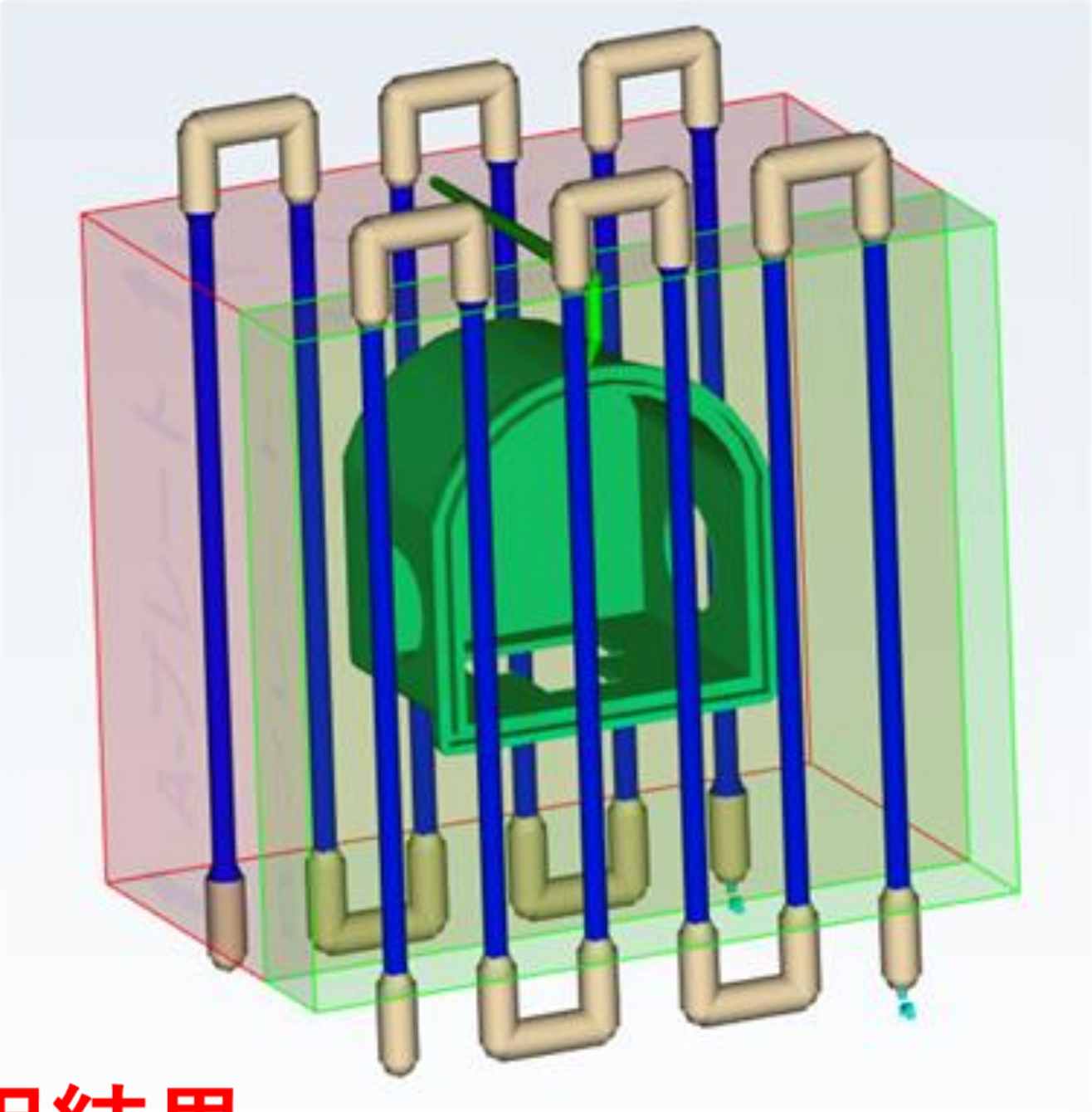
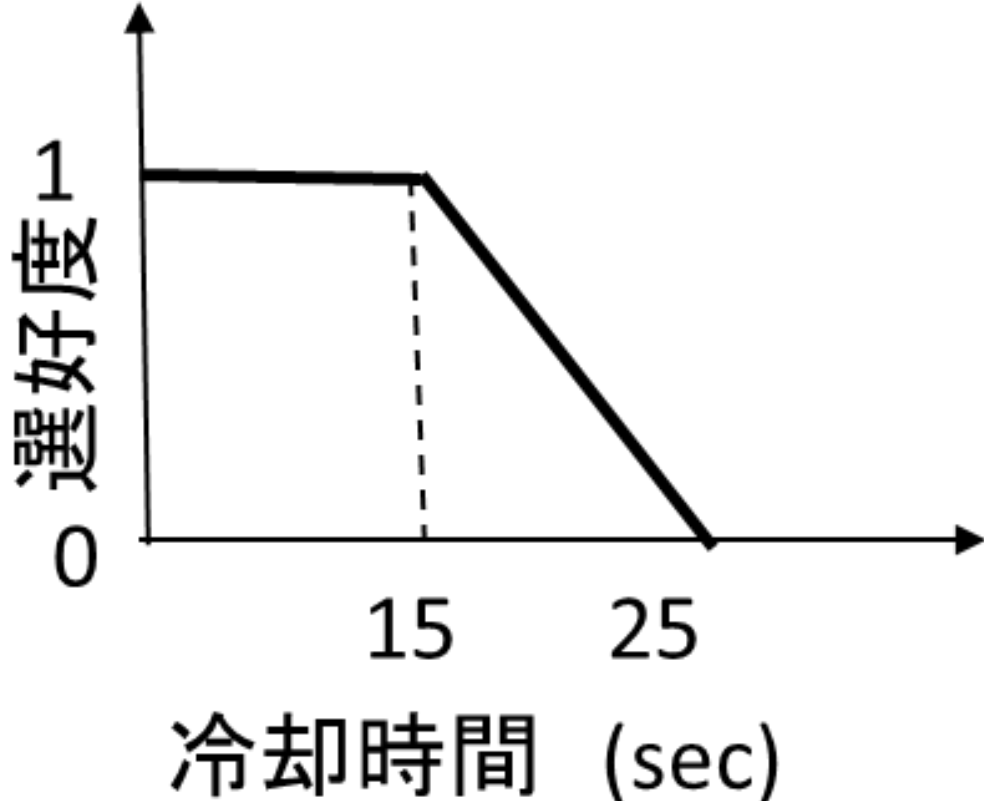
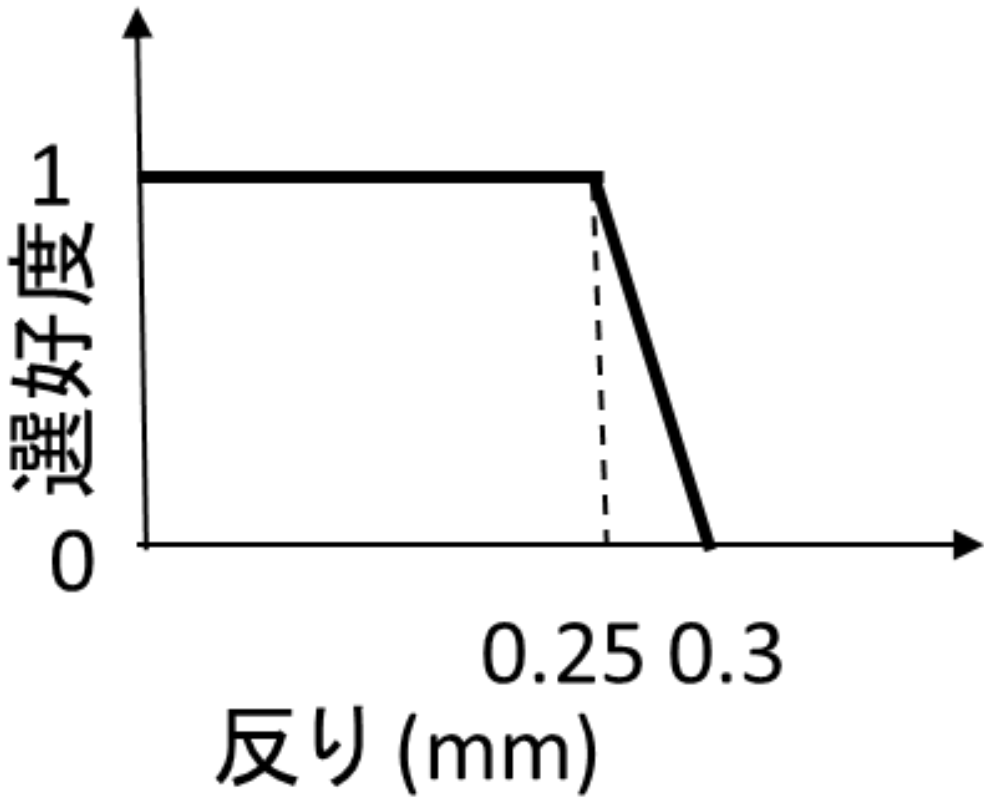
# 射出成型シミュレーションソフト(Moldflow Adviser\*)の利用

## 金型設計 冷却管の配置設計

\*Autodesk社のソフト

### 2 性能とその初期範囲：

反り、  
冷却時間



### PSDの適用結果

### 3 設計変数とその初期範囲

設計変数	初期設定範囲
直径，d	[2, 10] (mm)
本数，n	[2, 10] (本数)
成型品との距離,CI	[5, 25] (mm)

許容範囲と  
最良範囲が一致

設計変数	範囲解
直径，d	[8, 10] (mm)
本数，n	[6, 8] (本)
成型品との距離,CI	[15, 20] (mm)

性能の満足解範囲	範囲解
反り，Wa	[0.216, 0.291](mm)
冷却時間，Ct	[5.54, 22.68] (sec)



# 開発・設計への適用事例

\*:論文公表済み

## 構造系

(a)自動車の触媒マフラー\*

3性能, 6設計変数

(b)フロントサイドフレームメンバー\*

5性能, 8設計変数

(c)吸音/遮音材料設計\*

4性能, 15設計変数

(d) 乗用車用ドア構造の初期設計\*

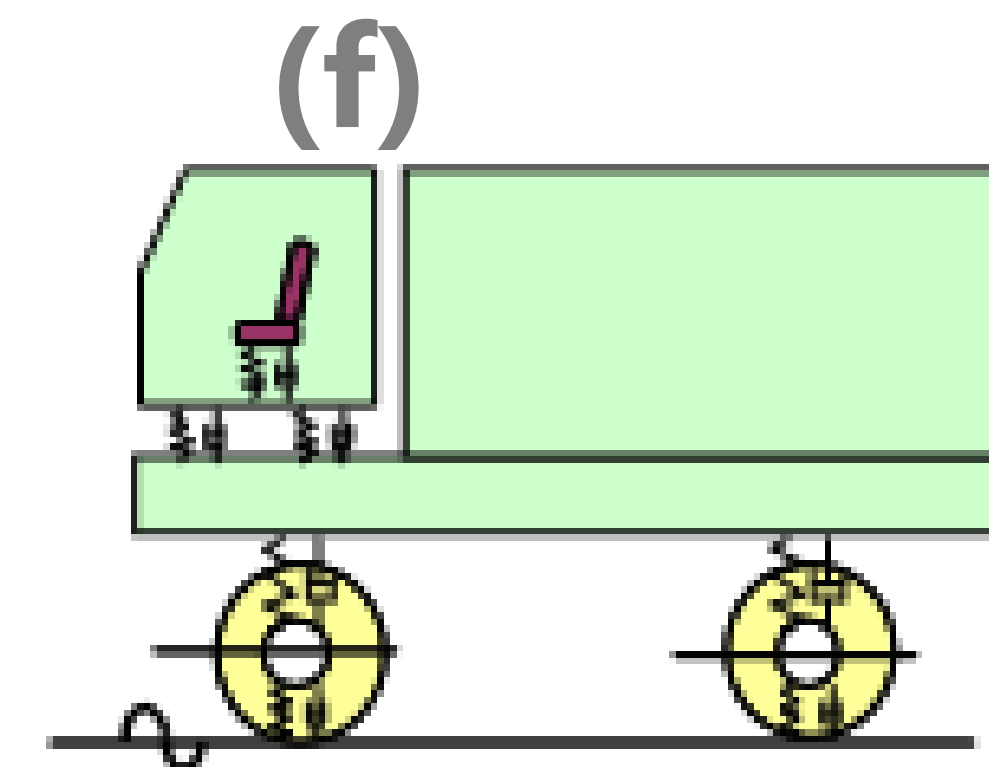
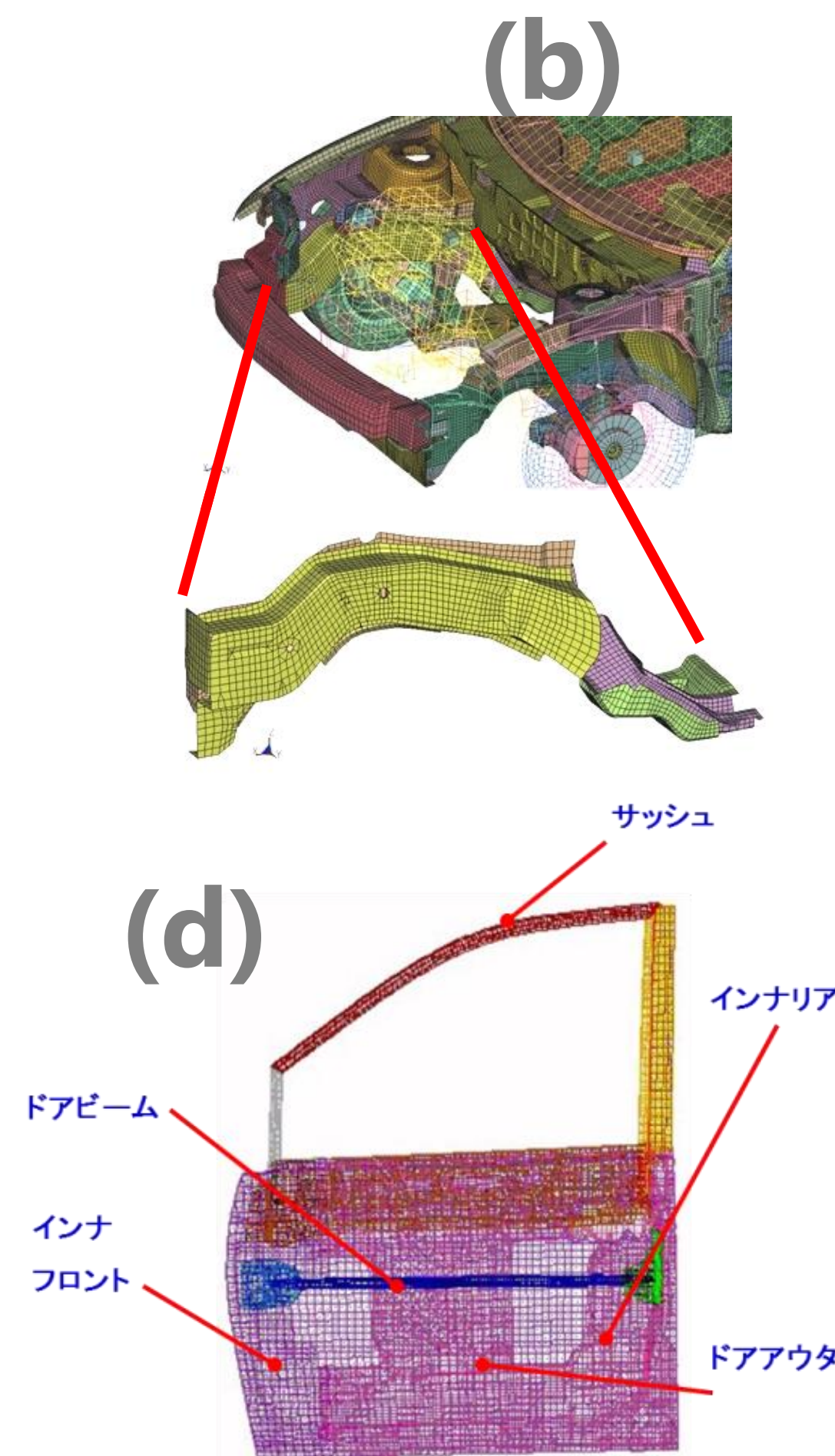
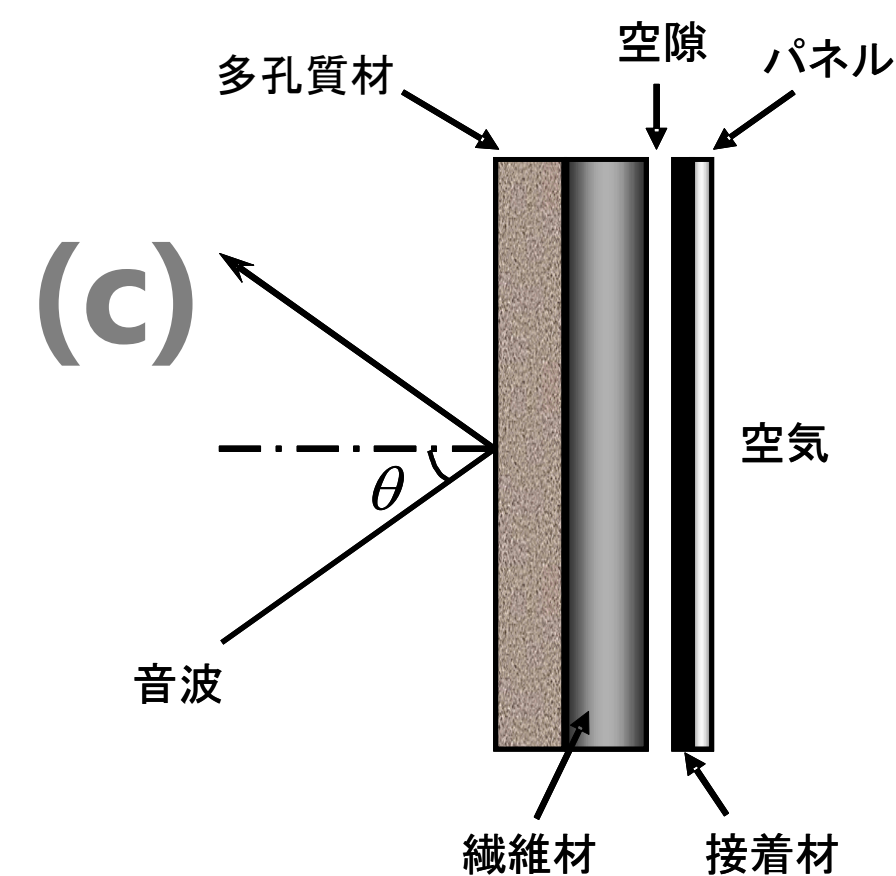
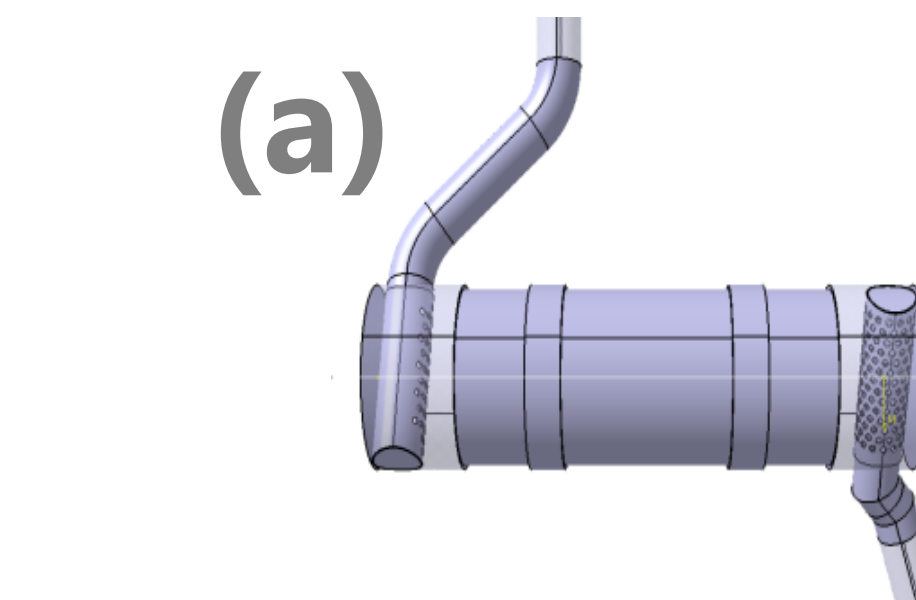
8性能, 5設計変数

(e)トラックキャブ構造設計

2性能, 7設計変数

(f)乗り心地設計\*

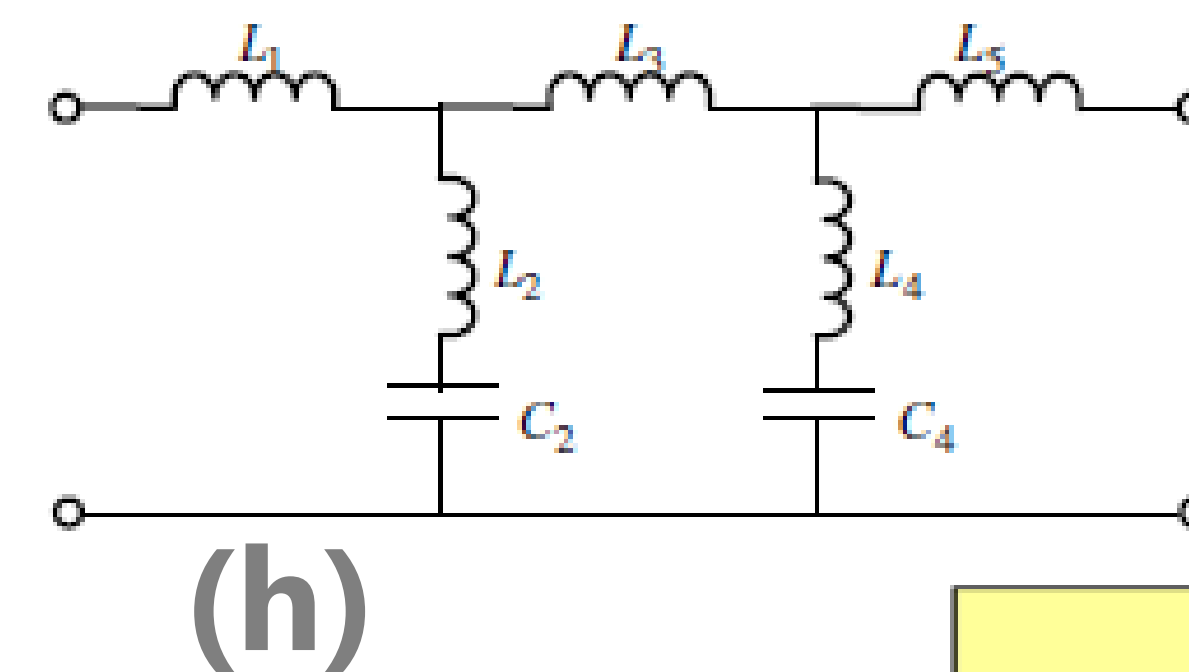
18性能, 12設計変数





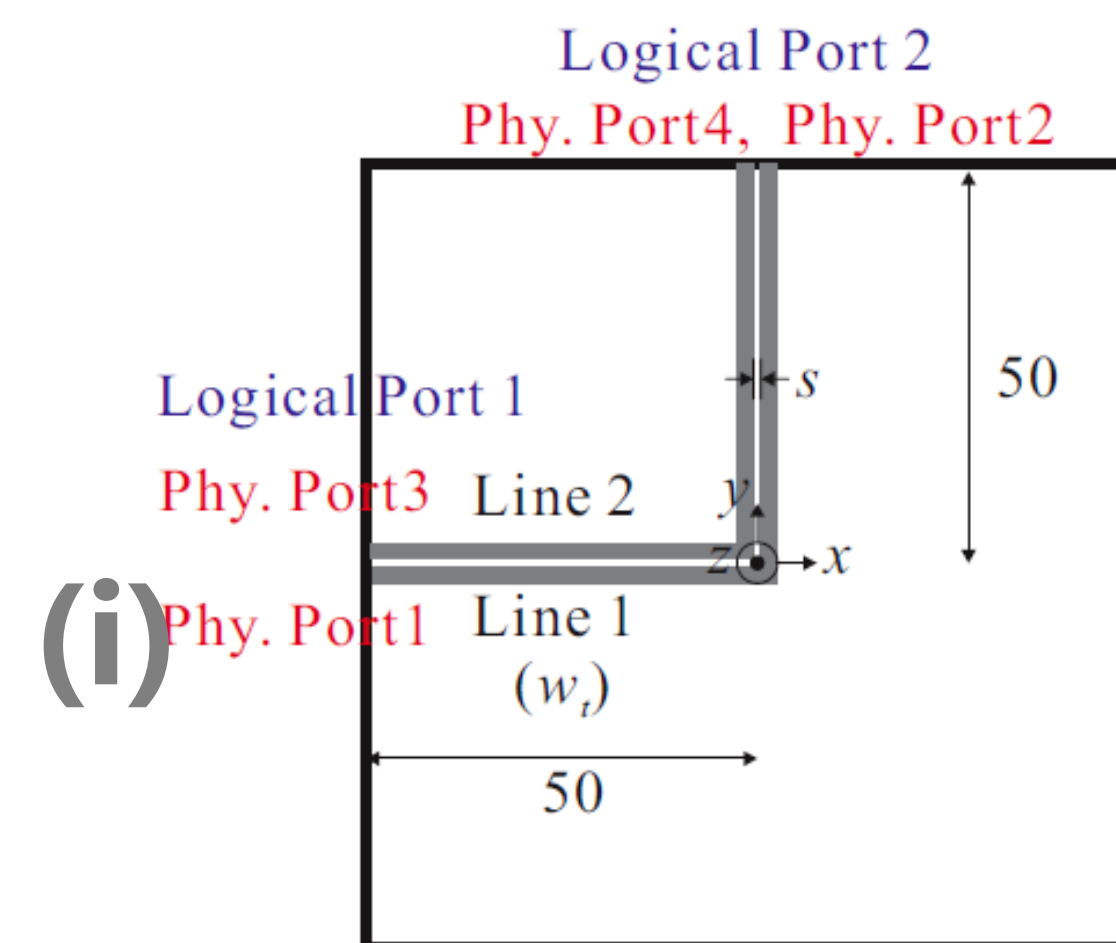
# 電子系(EMC(electromagnetic compatibility)関連)

(g)電磁ノイズ用ローパスフィルター設計\*  
2性能, 7設計変数

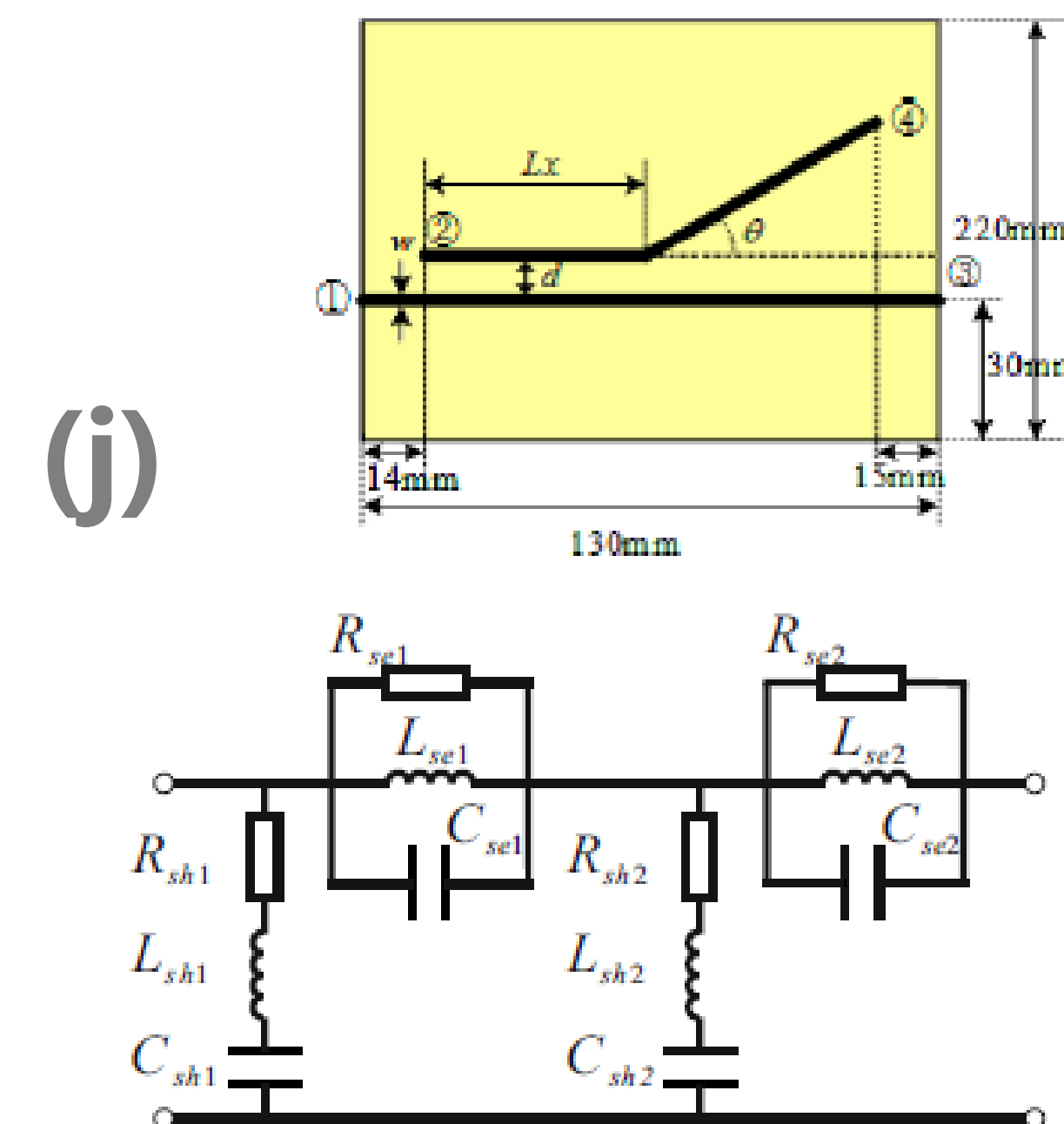


(h)電磁問題のための伝送線路設計\*  
3性能, 4設計変数

(i)屈曲差動伝送線路設計 \*  
3性能, 4設計変数

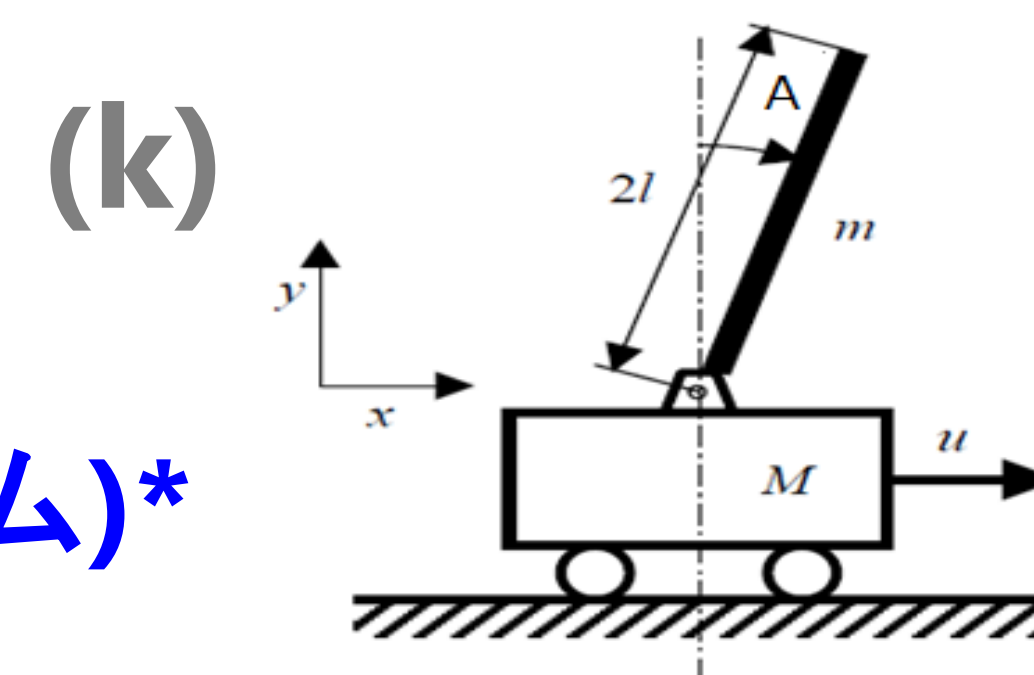


(j)負の群遅延回路設計\*  
3性能, 6設計変数

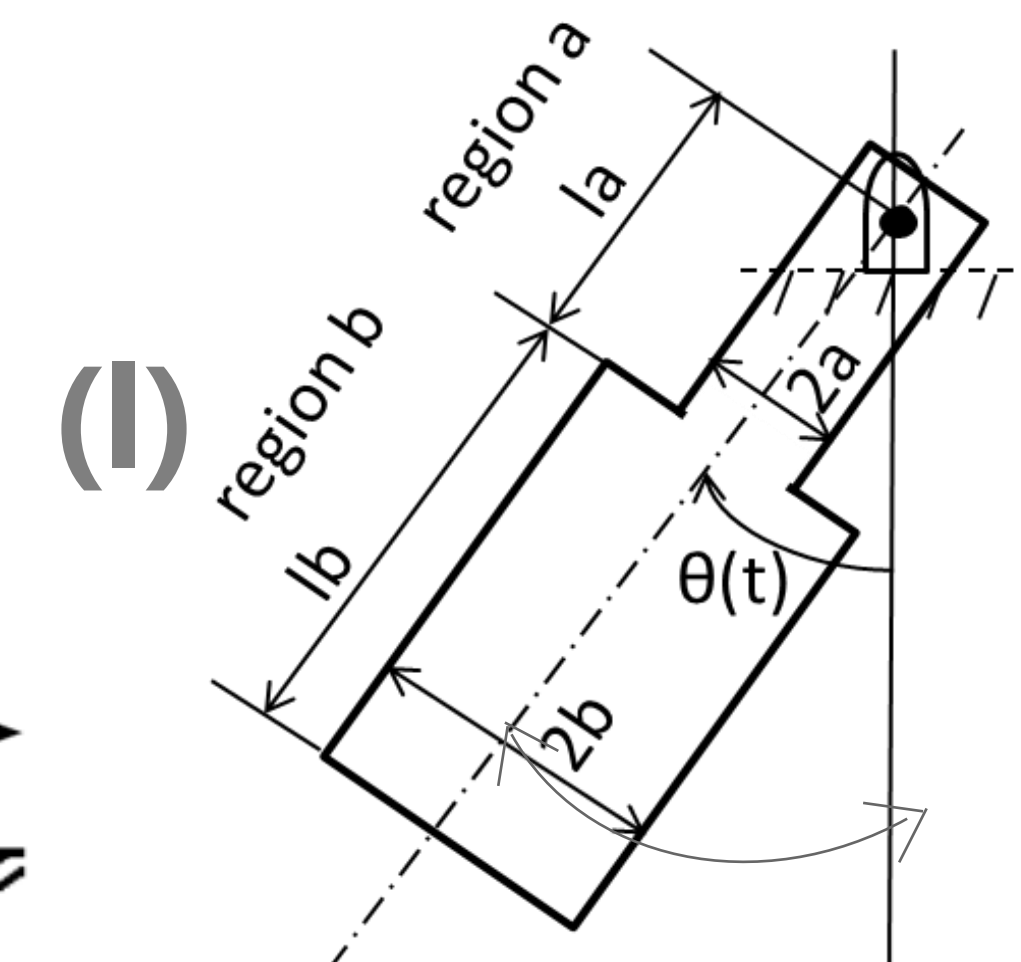


## 制御系

(k) 2 物体運動安定制御系設計\*  
6性能, 3設計変数

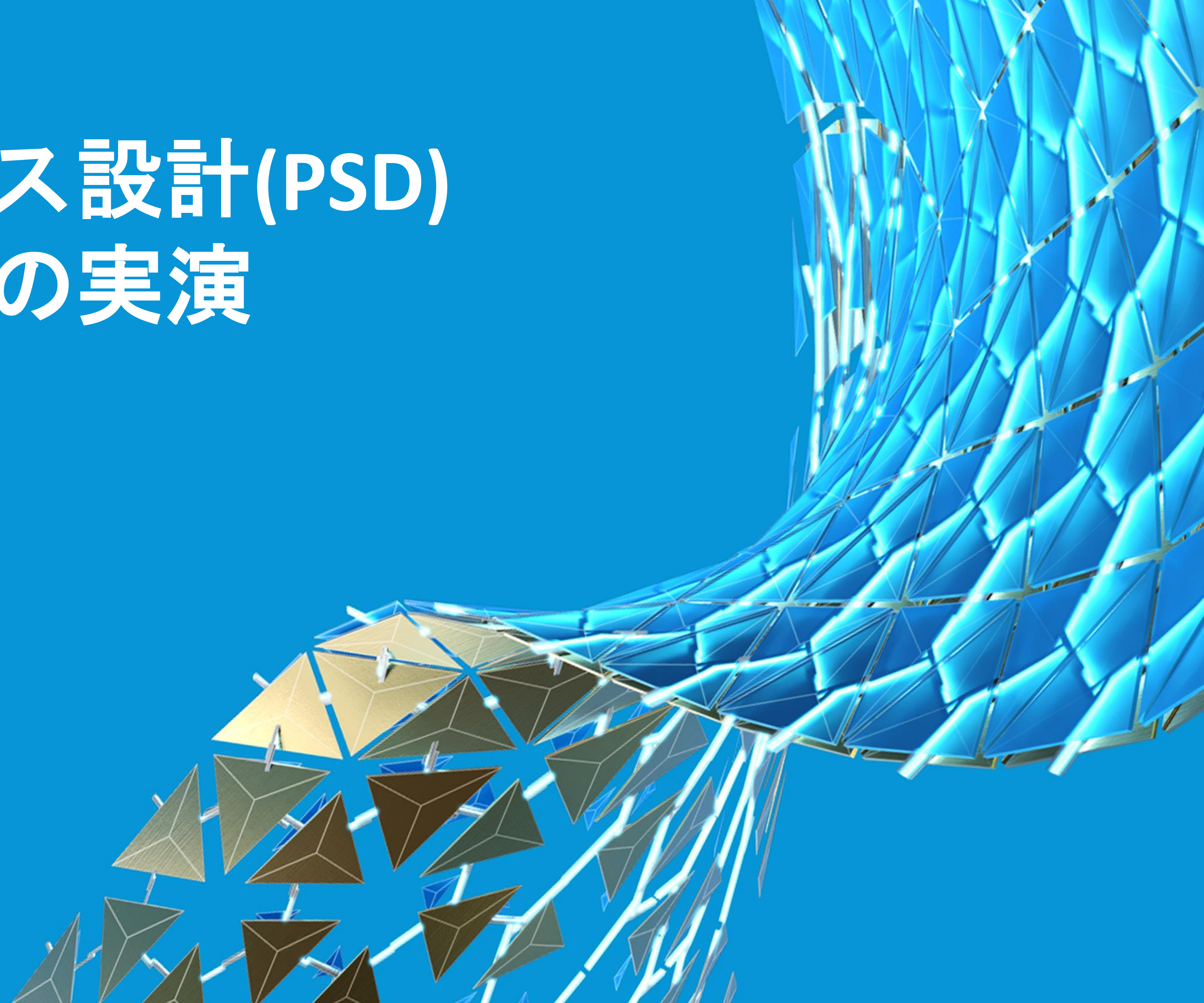


(l)制御系と構造系の同時設計(回転駆動アーム)\*  
3性能, 4設計変数





# セットベース設計(PSD) 手法ソフトの実演

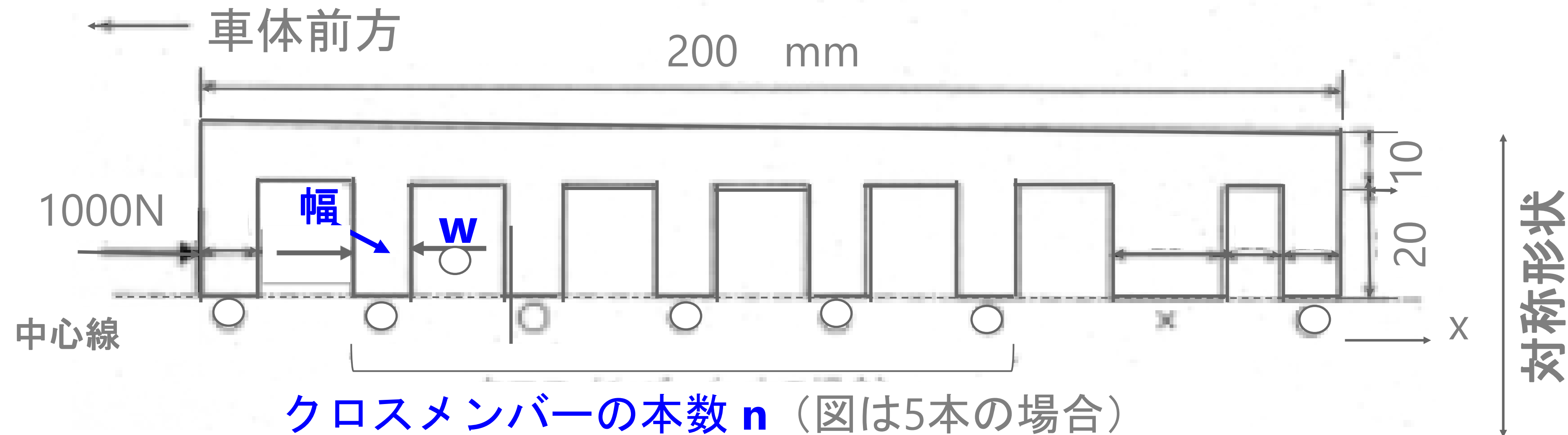
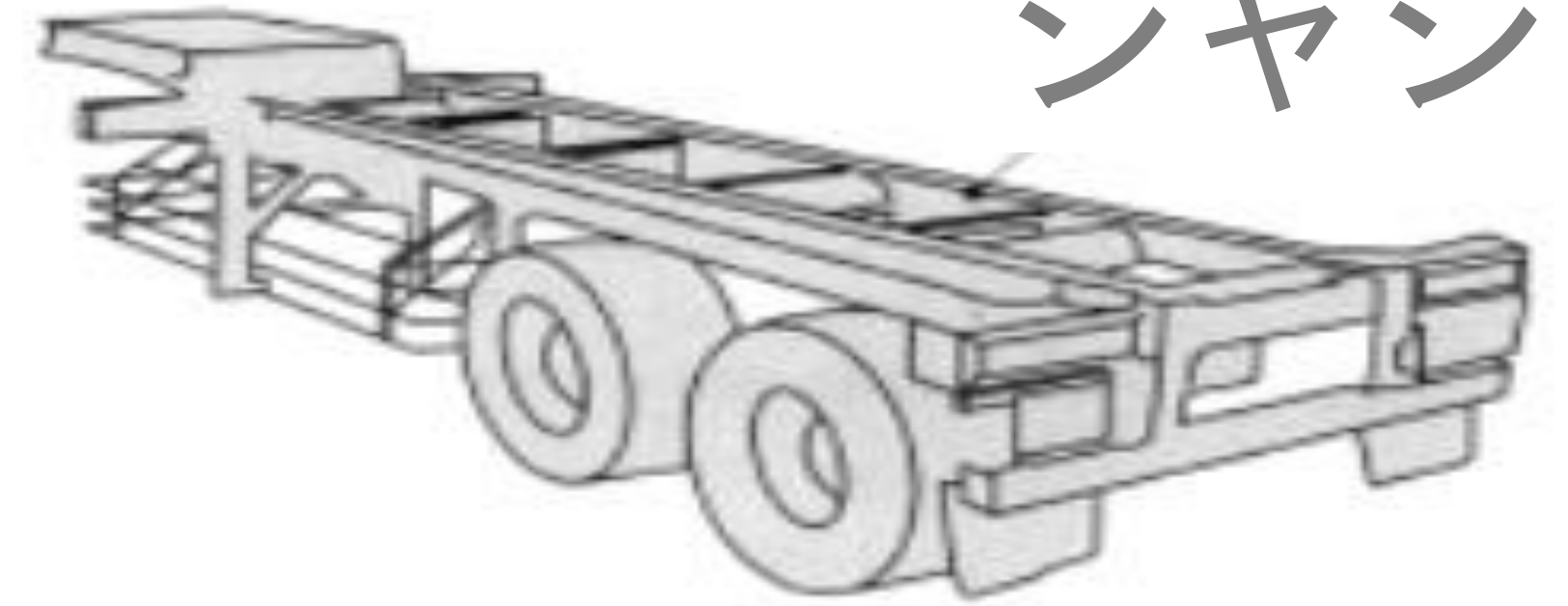




# ソフト(PSDソルバー)の実演

シャシ

例題：ラダーフレーム構造  
(トラックのシャシ構造の模擬)

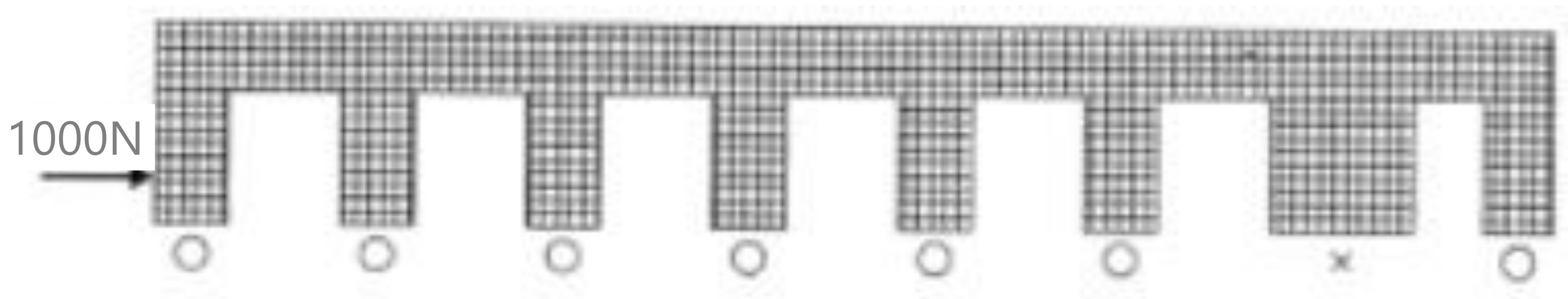


性能目標：高強度、軽量化

設計変数：クロスメンバーの本数 $n$  (離散量)  
クロスメンバーの幅 $w$

# 応答曲面式作成（2次多項式） 実験計画法の直交表の利用

有限要素法（2次元）による解析モデル(上下対称：上半分)



目標性能：高強度（最大主応力:**S**）、軽量化（面積:**Area**）

設計変数：本数：**n**、幅：**W**



# L9直交表

設計変数		性能(FEMの結果)	
幅	本数	最大主応力	軽量化(面積)
w (mm)	n	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )
6	2	60.35	3040
10	2	59.29	3440
14	2	58.08	4000
6	5	53.3	4600
10	5	52.23	5600
14	5	51.35	7000
6	8	50.69	7960
10	8	49.37	9560
14	8	47.99	11800
A	B	AB	
6	2		
10	5		
14	8		

設計変数の初期範囲		
	本数(n)	幅(W)
許容範囲	[ 2, 8]	[ 6, 14]
最良範囲	[ 2, 8]	[ 6, 14]
目標性能	最大主応力	面積
許容範囲	55.0以下	6000以下
最良範囲	50.0以下	4500以下

※尚、オンデマンド配信のセッションではさらに詳しい実演デモを行っておりますのでぜひそちらと合わせてご覧ください。

# 結論

- 多目的性能の同時設計の重要性について指摘した。
- そのための設計手法の考え方として、最適化ではなく、満足化の考え方を示した。
- 具体的設計手法として、選好度に基づくセットベース設計(PSD) 手法を紹介した。
- PSD手法の適用例として、Autodesk社のMoldflowソフト「Moldflow Adviser」を用いた金型内冷却管の配置設計の設計例を紹介した。
- その他の例題（構造系、電磁ノイズ系、制御系）への適用例も簡単に紹介した。
- PSDソフトの実演を行った。



ご静聴、ありがとうございました。



Autodesk およびオートデスクのロゴは、米国およびその他の国々における Autodesk, Inc. およびその子会社または関連会社の登録商標または商標です。その他のすべてのブランド名、製品名、または商標は、それぞれの所有者に帰属します。オートデスクは、通知を行うことなくいつでも該当製品およびサービスの提供、機能および価格を変更する権利を留保し、本書中の誤植または図表の誤りについて責任を負いません。

© 2020 Autodesk. All rights reserved.

