

遠心ブロアの最適設計データベースに対する 決定木とラフ集合の適用

日本機械学会 計算力学部門 複合領域における設計探査研究会

Multidisciplinary Design Exploration Lecture Series 2

2007年6月8日(金)

日立機械研

杉村和之

東北大流体研

大林茂、鄭信圭

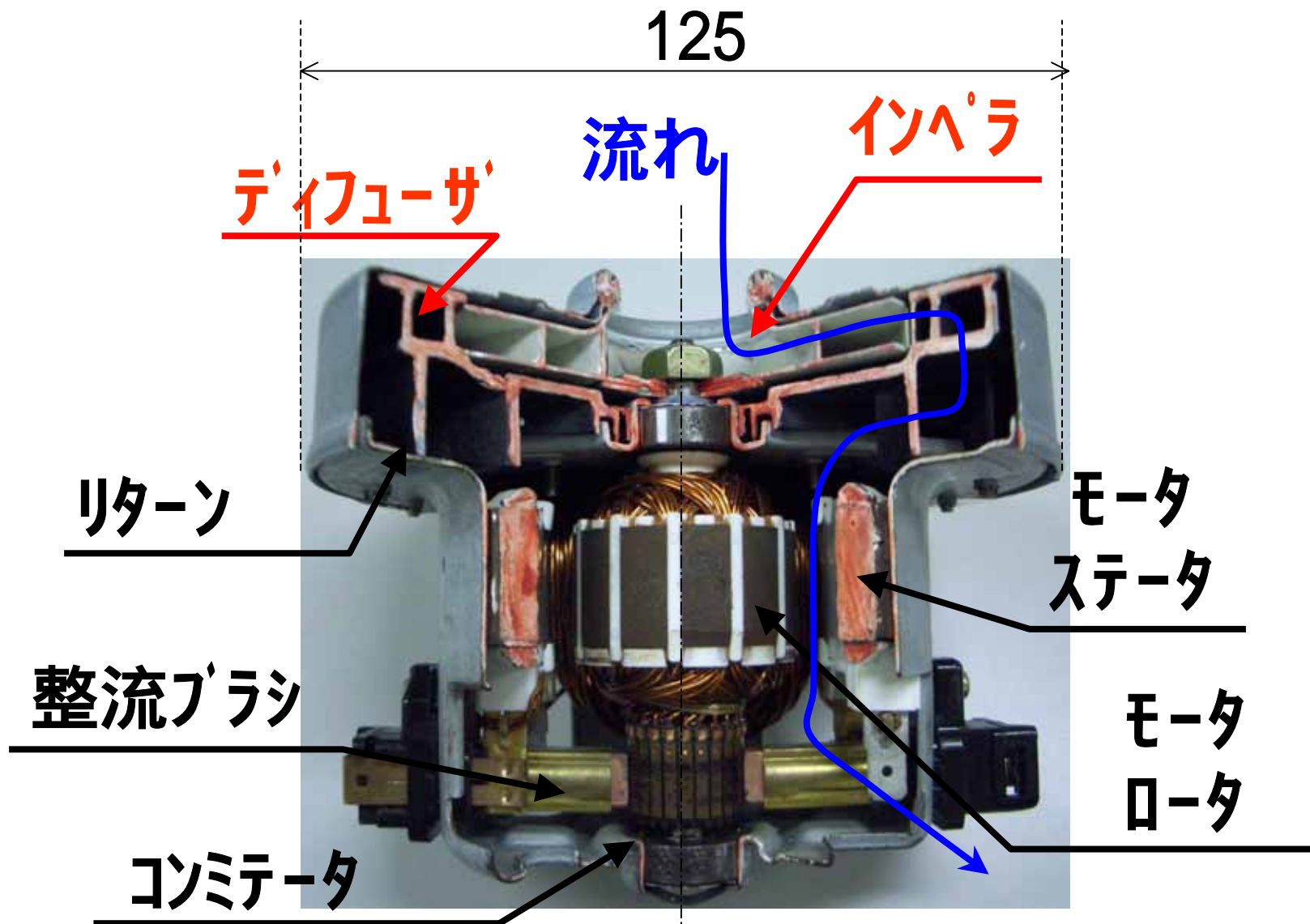
- 緒言
- 遠心ブロアの多目的最適設計
- データマイニング手法の適用
 - 決定木
 - ラフ集合
- 結言

吸込仕事率競争

- 各部の低損失化による出力向上
- 塵埃量に左右されない安定運転



遠心ブロアの構造

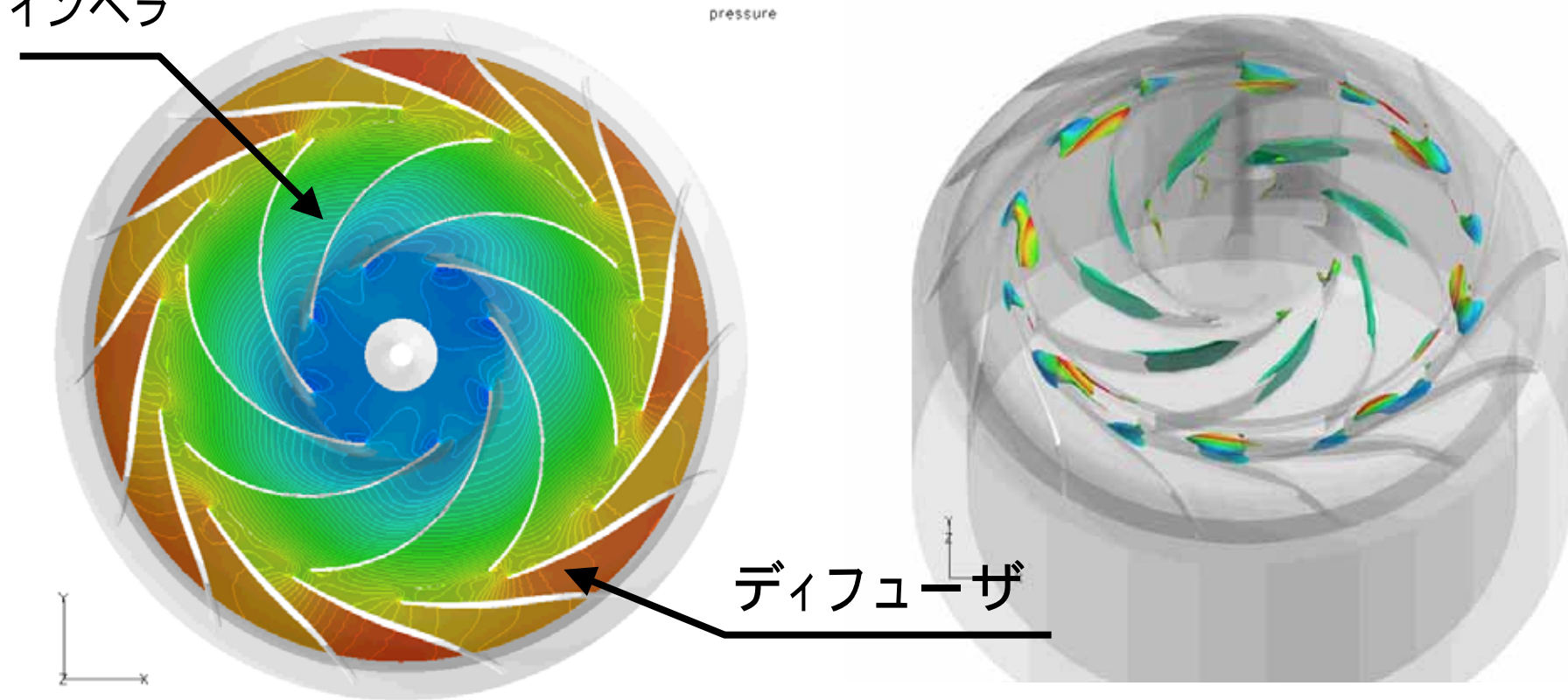


【1】効率向上と空力安定性確保 (失速抑制)

インペラ

pressure

ディフューザ



【2】設計知識の獲得による中長期的視点での設計力強化

多目的最適化

多目的遺伝的アルゴリズムによる効率と安定性の最適化



パレート解の吟味・検証



データマイニング

クリギング応答曲面の作成



データマイニング用データベースの取得

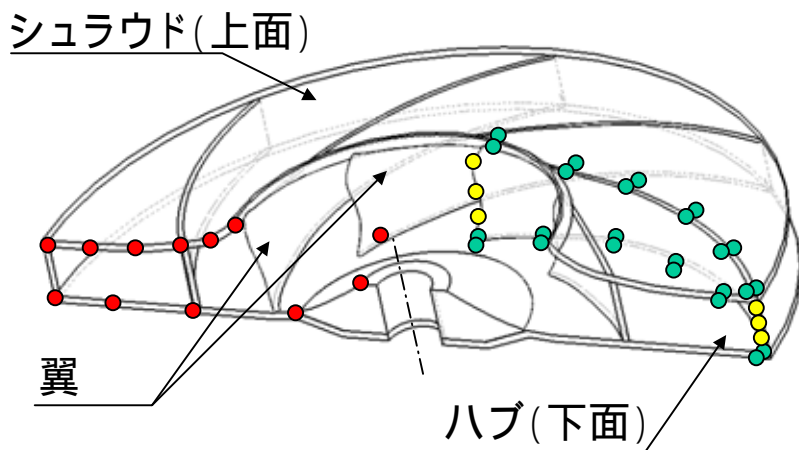


決定木とラフ集合による設計ルールの抽出

多目的最適設計

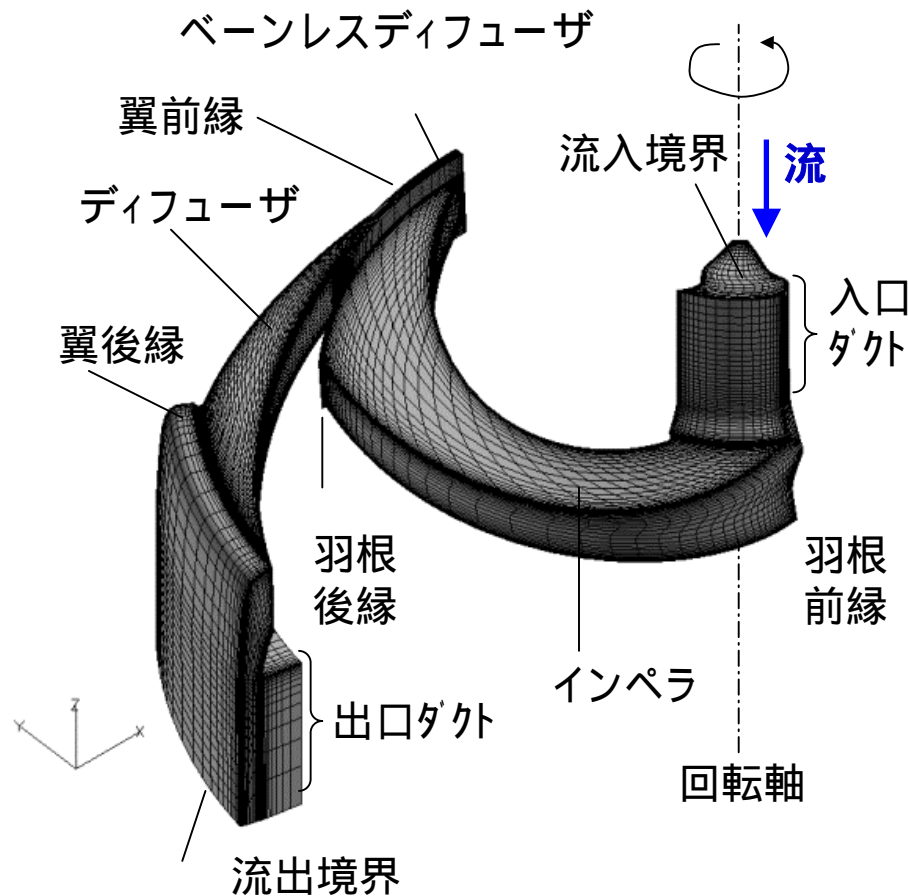
設計対象：インペラ単体

- ディフューザ性能を最大限引き出すインペラを設計する方針を採択
- NURBS曲線による形状定義
- 慣習的な設計パラメータとの関連付け



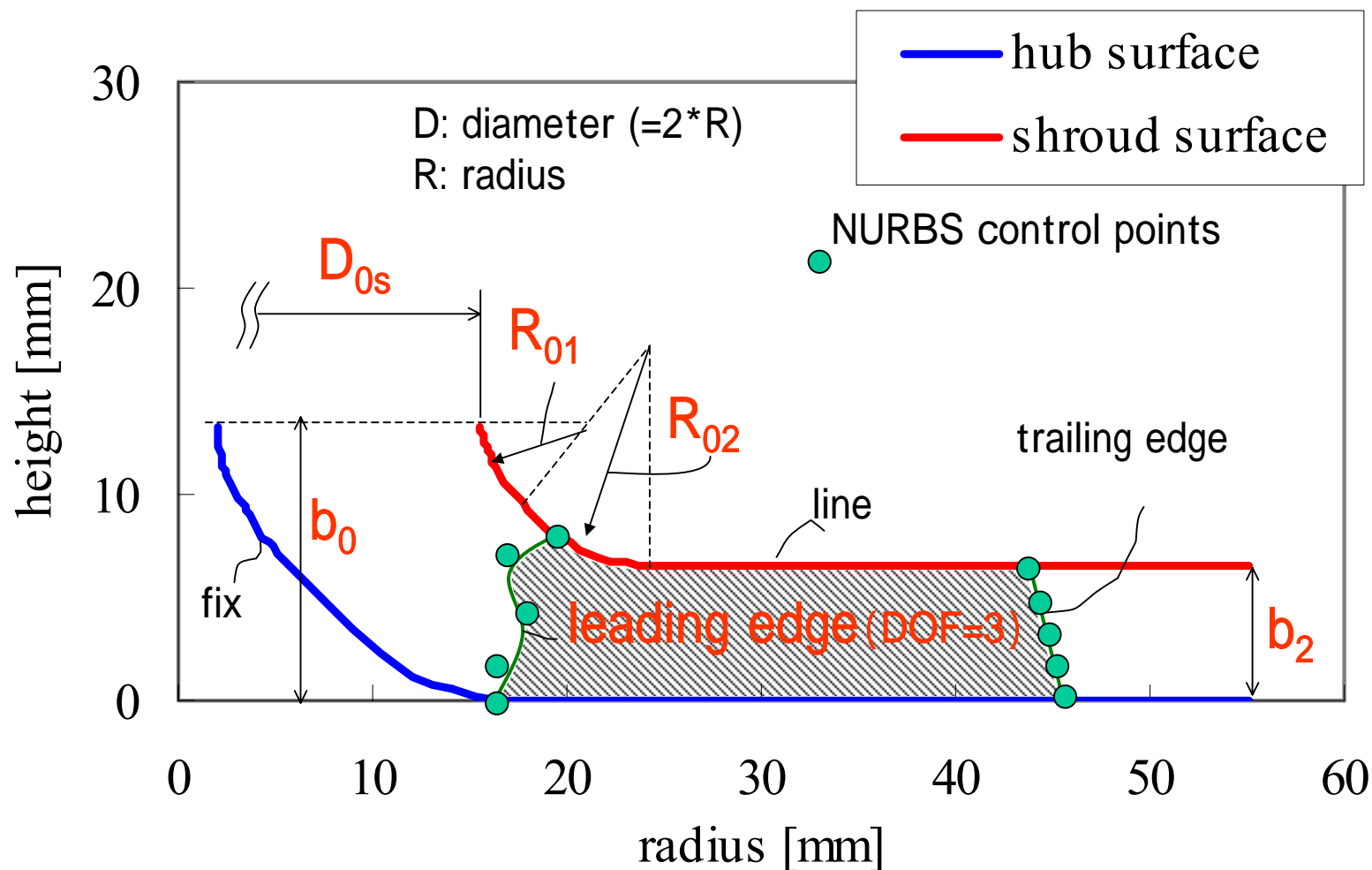
● ● ● NURBS制御点

性能評価：インペラ+ディフューザ

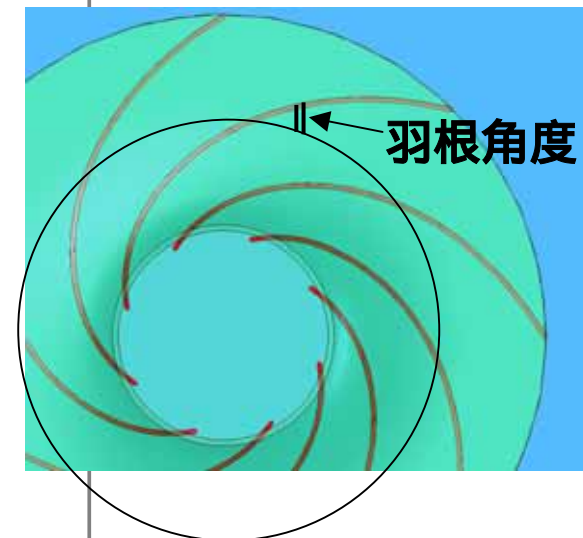
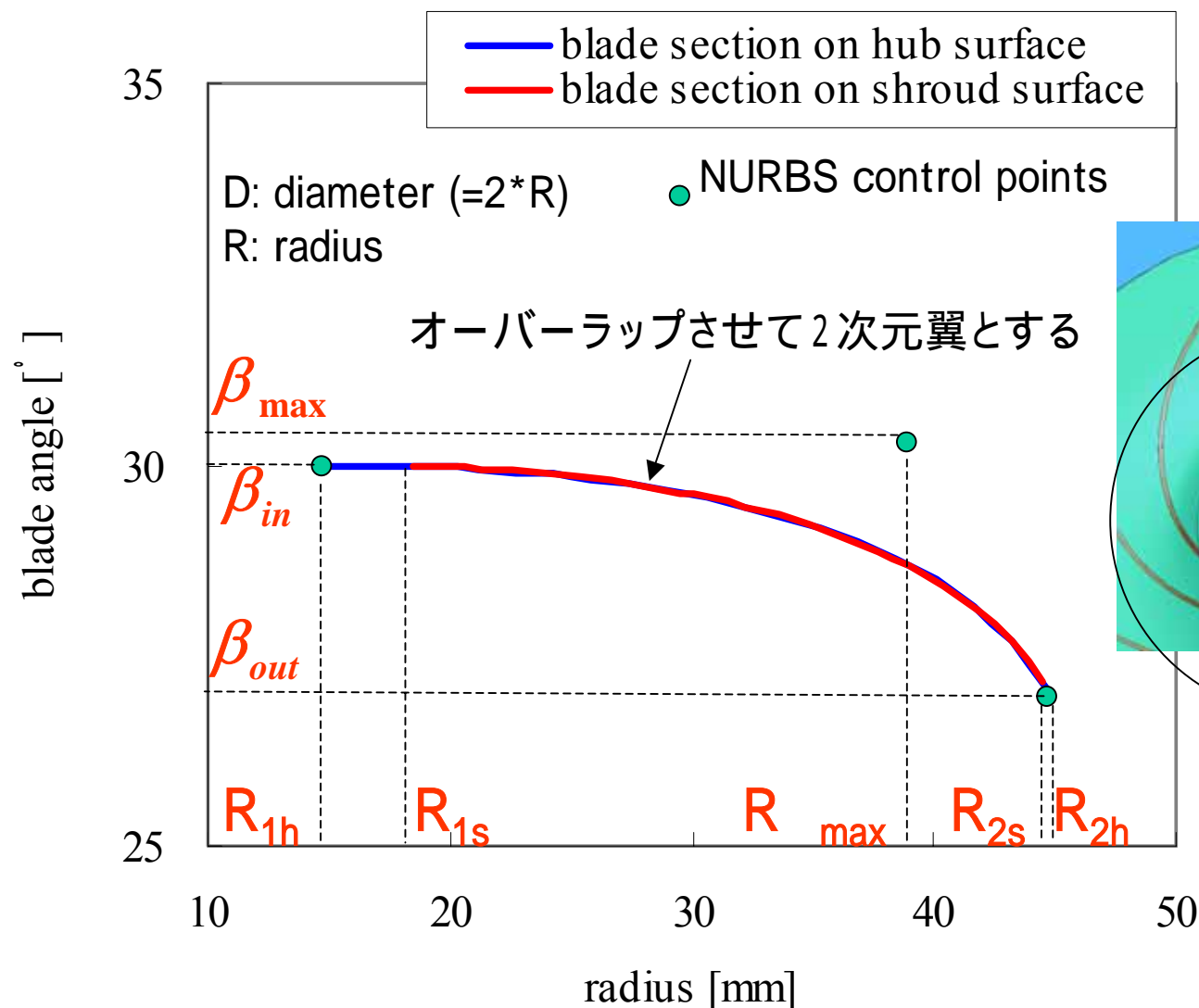


一翼間流路の流れ解析モデル

子午面に関する設計変数



翼に関する設計変数



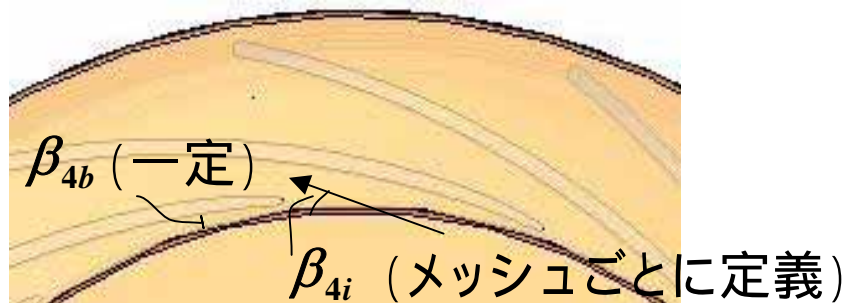
設計変数合計
16個

目的関数

ブローア効率の最大化 $\eta_{blower} = \frac{Q \cdot (p_7 - p_1)}{W_{ax}}$

ディフューザへの流入角分布一様性の最大化 (角度偏差の最小化)

$$\sigma(i_b) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n g_i \cdot (\beta_{4i} - \beta_{4b})^2}{\sum_{i=1}^n g_i}}$$



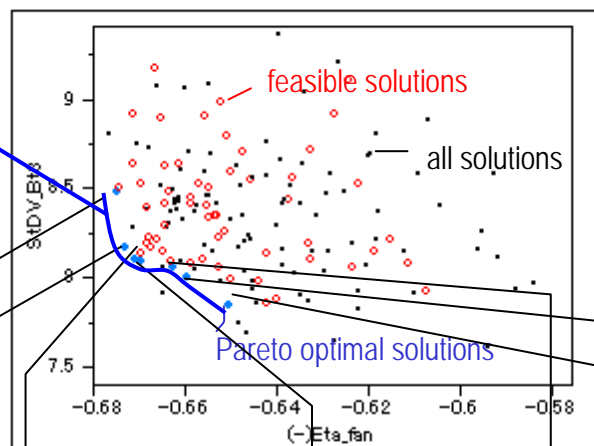
制約条件

インペラ軸入力

多目的遺伝的アルゴリズム

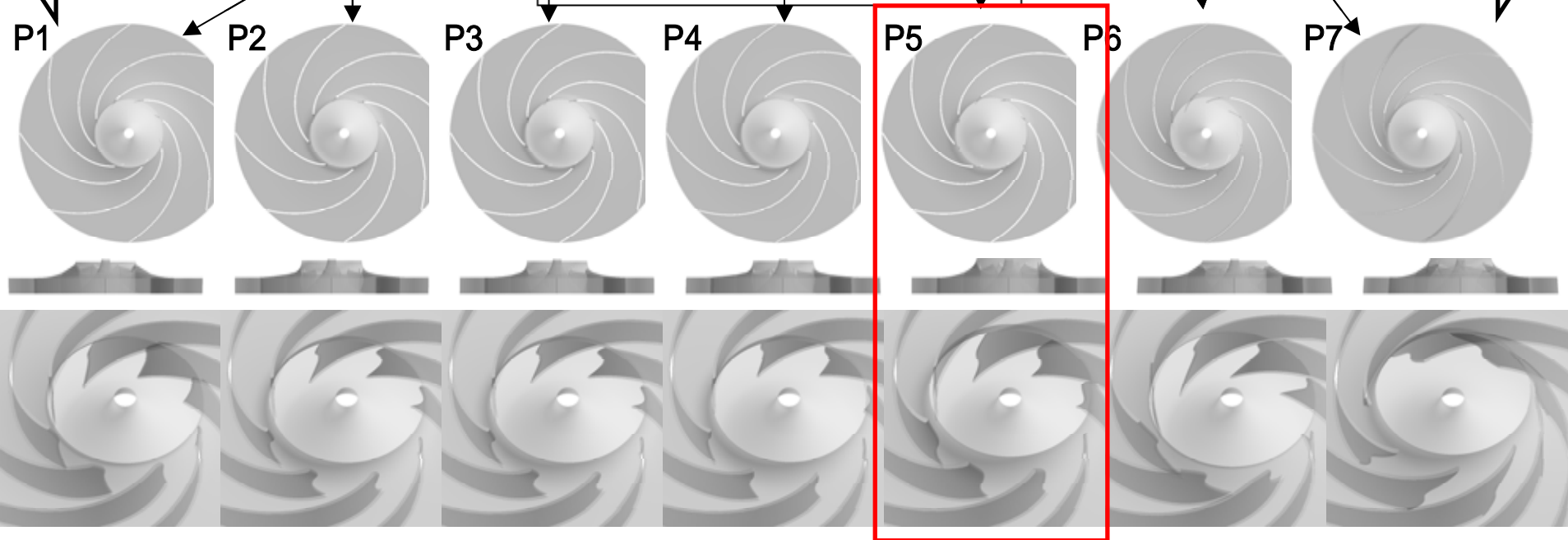
評価: Pareto-ranking, fitness-sharing, 交叉: BLX-,
突然変異: non-uniform mutation, 世代交代: Best-N選択法

トレードオフ関係の存在



効率
重視

一様性
重視



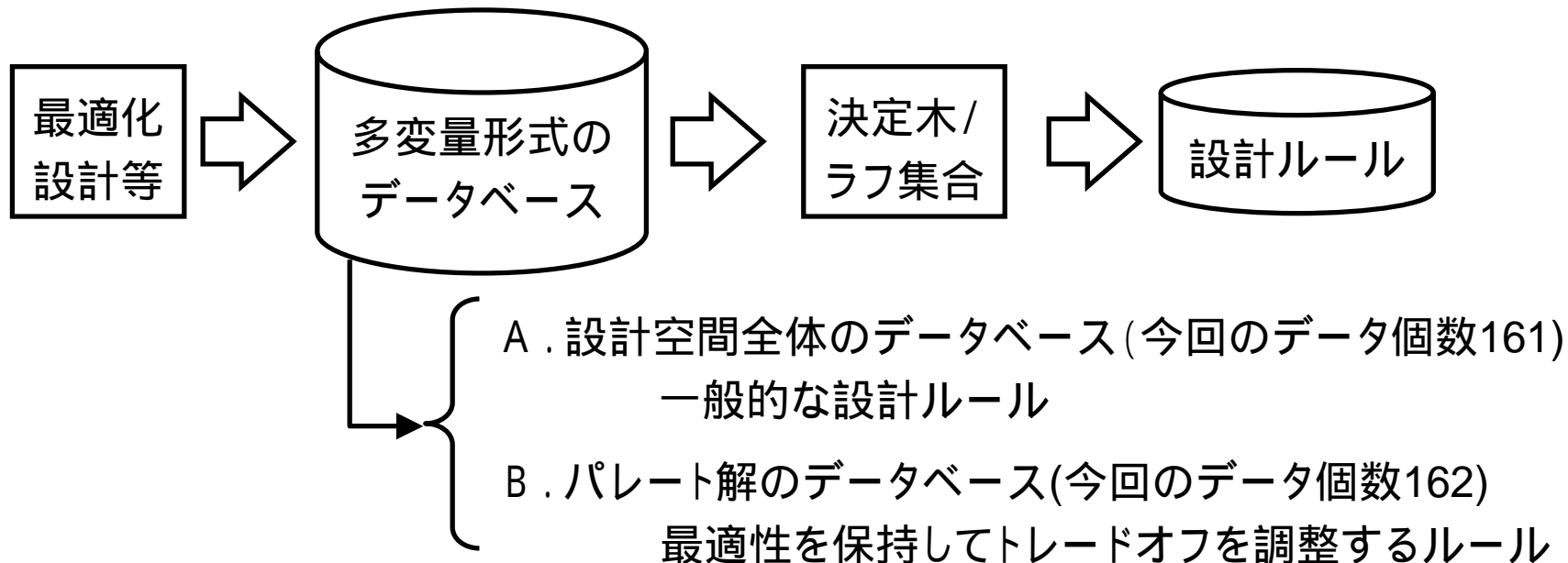
データマイニング

設計ルールの定義

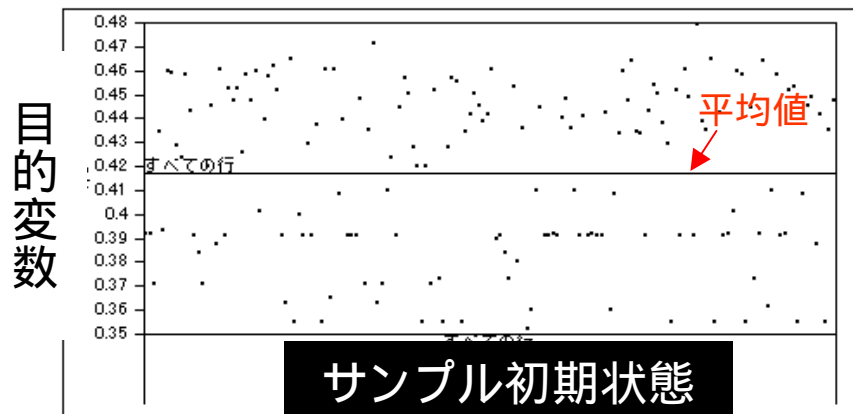
目的関数などの評価指標 (= 目的変数) を所定の水準にするために必要な条件を複数の設計変数 (= 説明変数) の水準の組合せでもって、If-Then形式で表現したもの

(例) if (設計変数1を水準1) and (設計変数2を水準4) … then (目的関数1を水準1)
… then (クラスタ1に帰属)

設計ルール抽出の流れ

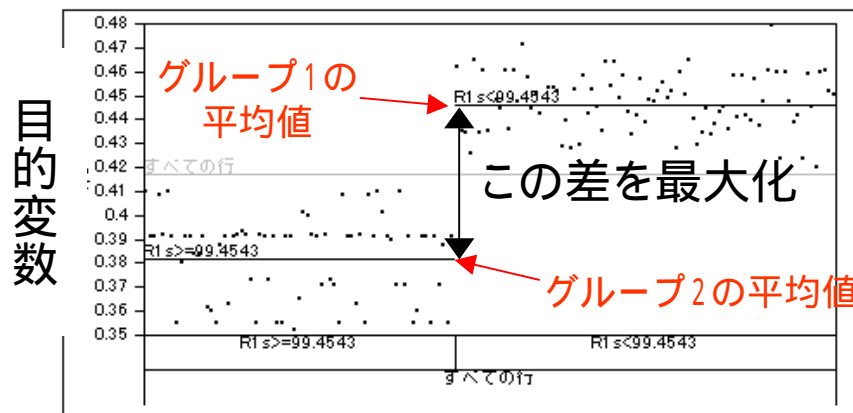


■分散分析を応用したクラスタリング

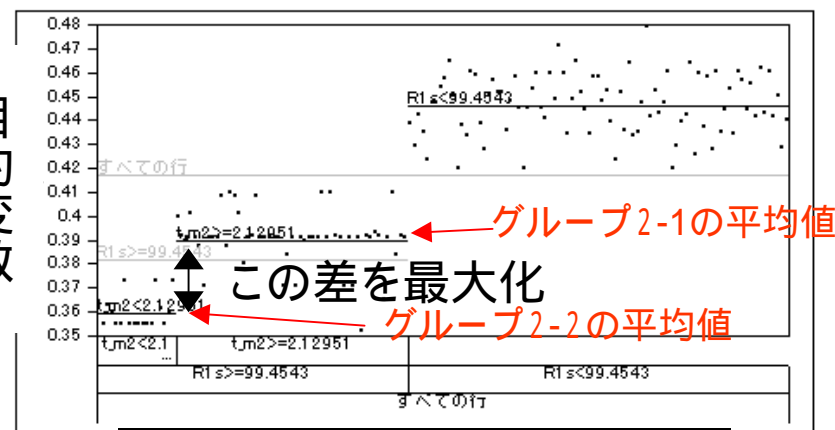


1. ある設計変数のある境界に着目し、全体を2グループに分ける
2. 各グループごとに元のグループ平均からの分散を計算する。
3. 分散が最大となる境界を見つけるまで続ける

全体を分岐

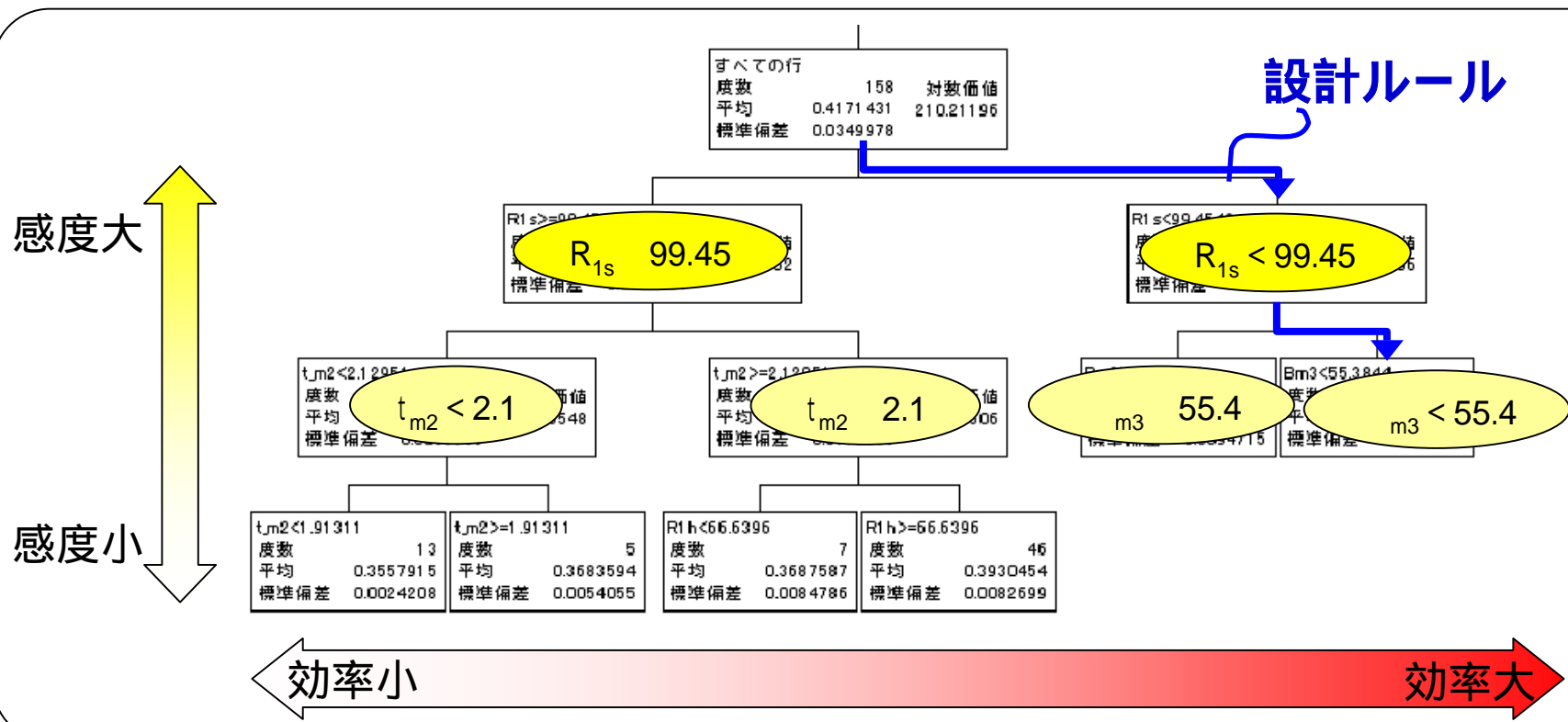


グループ2を分岐

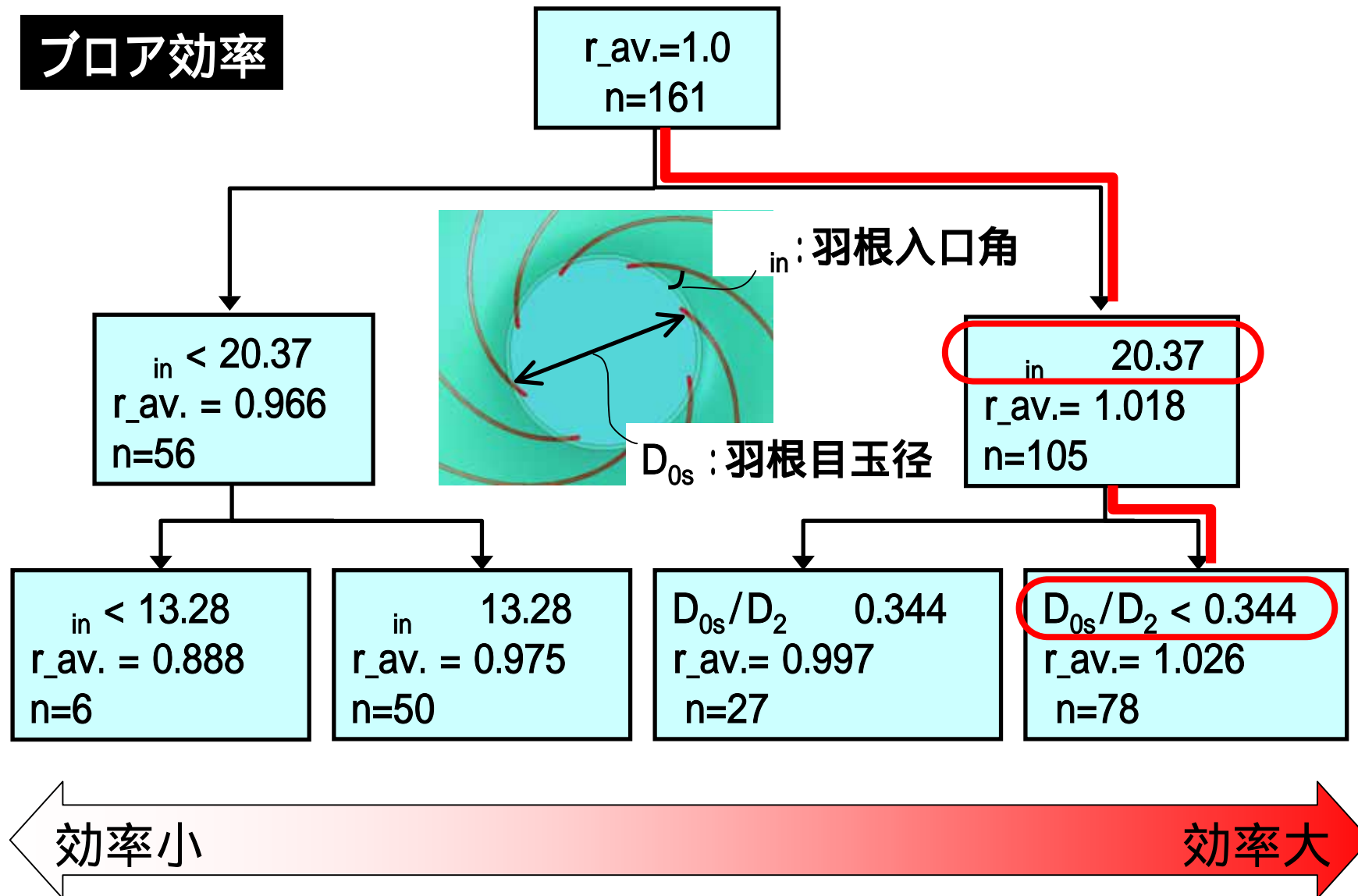


特徴

- 設計ルールは1つ(優先順位付き)
- 統計的にもっともらしいルールとなるが、ルールに従わないデータも存在する。
- 説明変数間の交互作用が強い場合に、複雑な水準組合せで表されるルール抽出は困難

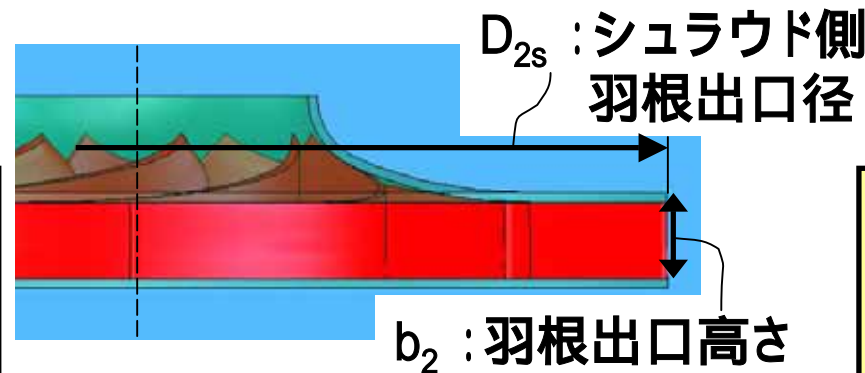


ブロー効率



入射角一様性

$r_{av.}=1.0$
 $n=161$



b_2 6.24
 $r_{av.} = 0.982$
 $n=93$

$b_2 < 6.24$
 $r_{av.} = 1.024$
 $n=68$

$D_{2s} < 89.96$
 $r_{av.} = 0.968$
 $n=49$

D_{2s} 89.96
 $r_{av.} = 0.998$
 $n=44$

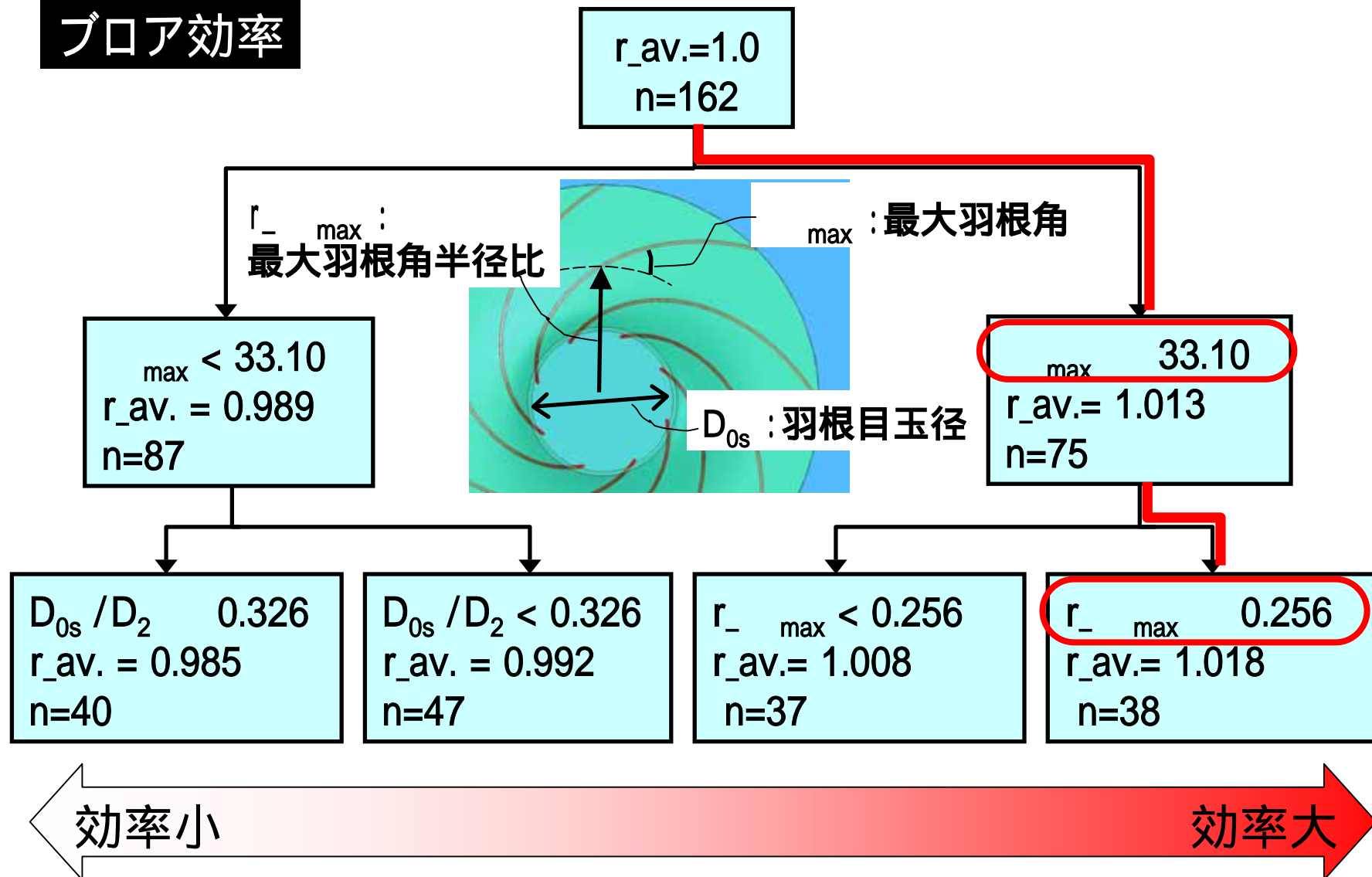
$D_{2s} < 90.21$
 $r_{av.} = 1.013$
 $n=52$

D_{2s} 90.21
 $r_{av.} = 1.059$
 $n=16$

一様性大

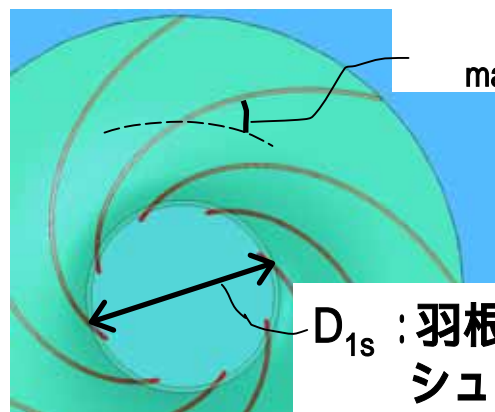
一様性小

ブロー効率



入射角一様性

$r_{av.}=1.0$
 $n=162$



$max < 33.59$
 $r_{av.} = 0.980$
 $n=89$

$max = 33.59$
 $r_{av.} = 1.025$
 $n=73$

$D_{0s} / D_2 = 0.319$
 $r_{av.} = 0.974$
 $n=61$

$D_{0s} / D_2 < 0.319$
 $r_{av.} = 0.991$
 $n=28$

$r_{D_{1s}} < 0.048$
 $r_{av.} = 1.013$
 $n=36$

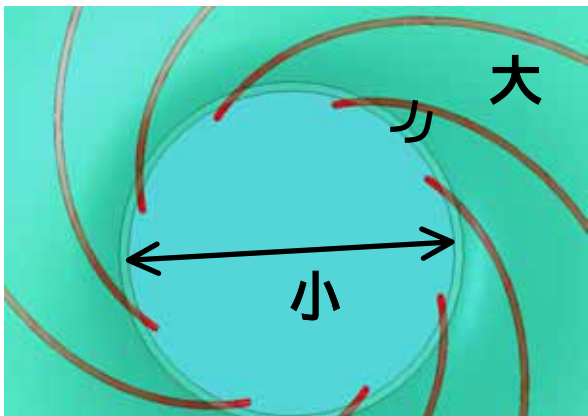
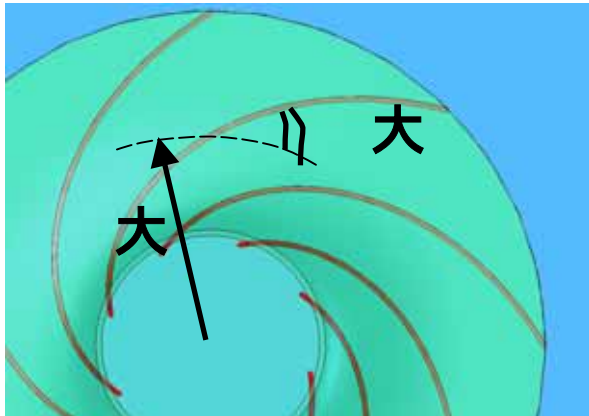
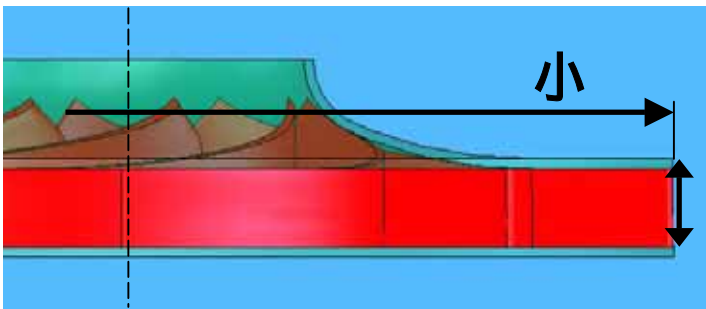
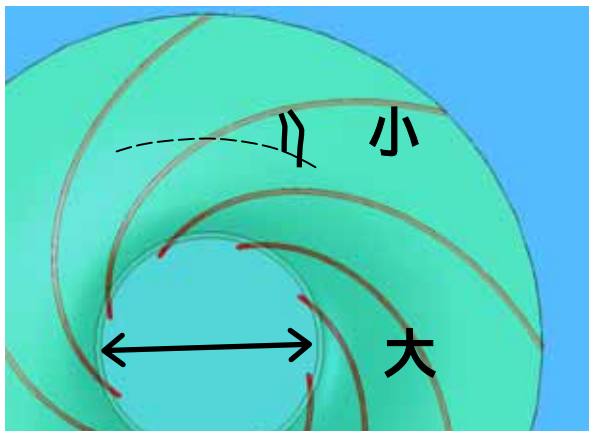
$r_{D_{1s}} = 0.048$
 $r_{av.} = 1.036$
 $n=37$

一様性大

一様性小

決定木適用結果まとめ

21

	一般ルール	トレードオフ最適制御ルール
効率	 <p>最大の摩擦損失発生部位に関連</p>	 <p>羽根負荷分布に関連</p>
一様性	 <p>ベーンレスディフューザ寸法に関連</p>	 <p>入口減速と羽根負荷分布に関連</p>

■集合演算を応用した決定ルール抽出

設計変数1	設計変数2	目的関数
水準1	水準2	水準1
水準3	水準1	水準2
...
水準2	水準3	水準1

ルールを記述している
設計データベースを
ベン図で表すと

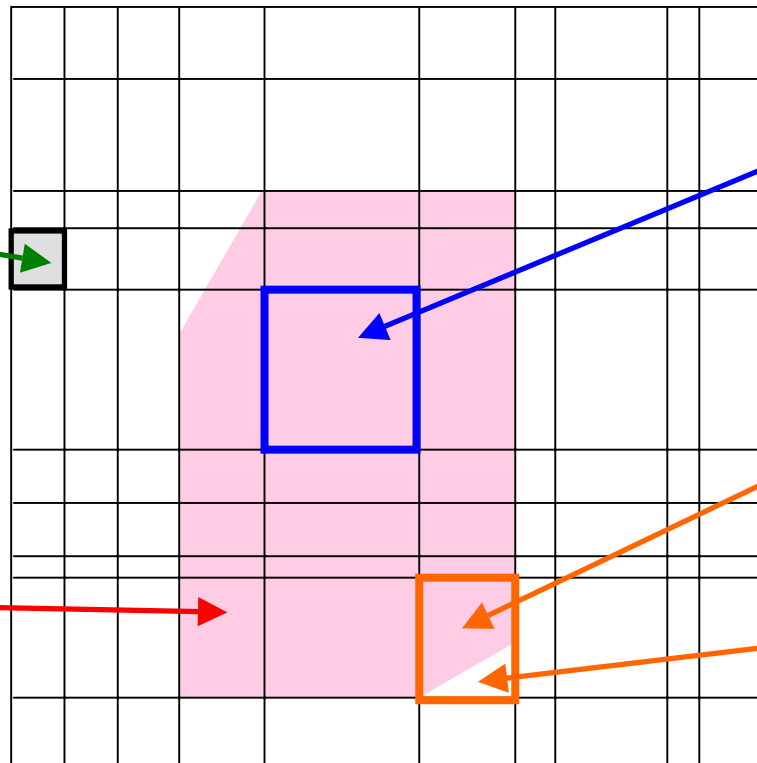
ルール生成に使用

設計変数の
水準組合せ

(例) If (A=3) and (B=2)

目的関数の
特定的水準

(例) (X=1)



下近似 (十分条件)

If (A=1) and (B=3)
then (X=1)

上近似 (必要条件)

If (A=2) and (B=1)
then (X=1)

If (A=2) and (B=1)
then (X=2)

■もっと簡潔なルールを導く手順

設計データベース (属性は適宜編集する)

設計変数1	設計変数2	設計変数3	設計変数4	設計変数5	目的関数1	目的関数2
10.2	3	-10	1.6	3.0	2.3	0.95
...
11.0	5	-50	0.5	3.5	6.6	0.80



離散化(概念化)

離散化されたデータベース

設計変数1	設計変数2	設計変数3	設計変数4	設計変数5	目的関数1	目的関数2
水準1	水準2	水準4	水準3	水準2	水準1	水準4
...
水準3	水準5	水準1	水準2	水準2	水準5	水準5

水準1の決定ルールを求める

離散化されたデータベース

設計変数1	設計変数2	設計変数3	設計変数4	設計変数5	目的関数1	目的関数2
水準1	水準2	水準4	水準3	水準2	水準1	水準4
...
水準3	水準5	水準1	水準2	水準2	水準5	水準5



条件属性に基づく縮約

水準1の決定ルールを求める

縮約ルール集合

設計変数1 水準5	設計変数2 水準2	設計変数5 水準5	目的関数1 水準1
...
設計変数3 水準2	設計変数4 水準3	設計変数5 水準1	目的関数1 水準1

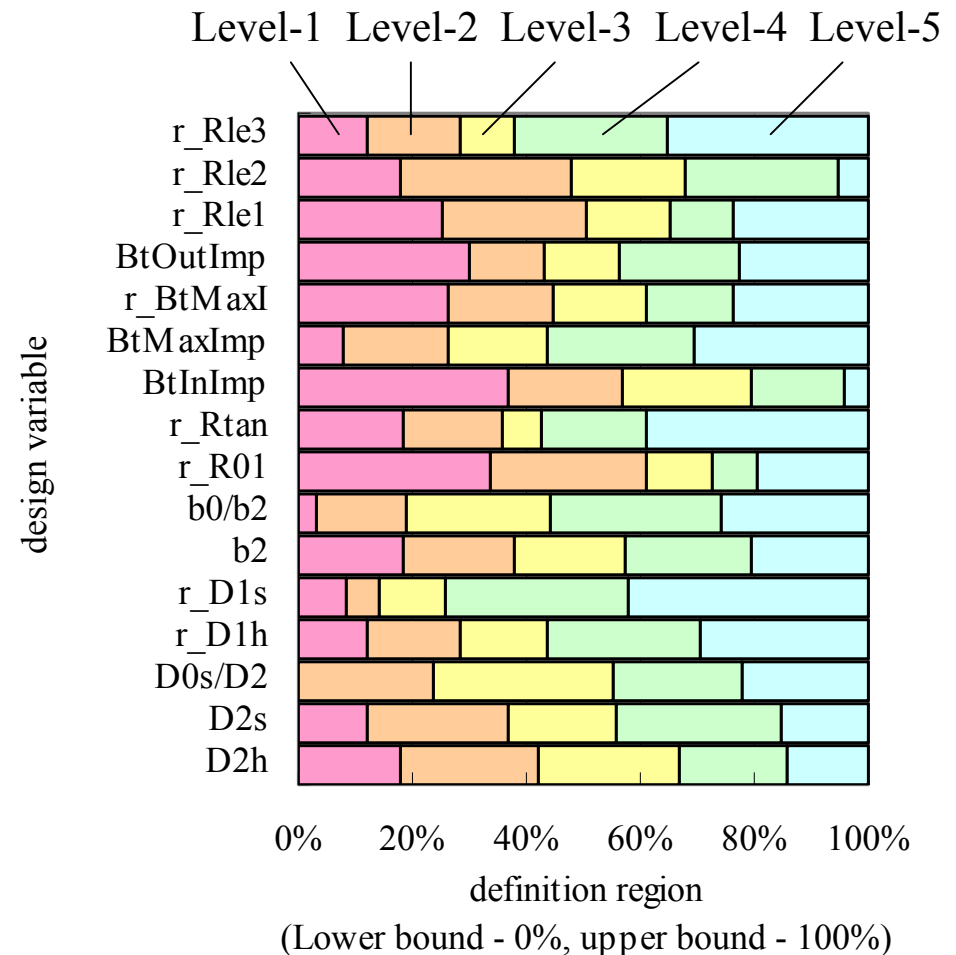


圧縮(単純化)



フィルタリング、解釈

- 対象: 全体 D B
- 条件属性 (設計変数)
5 水準に分割 (右図)
水準内サンプル数が
同数になるよう調整
- 決定属性 (目的関数)
10 等分 (効率)
5 等分 (一様性)
- それぞれの決定属性の
ベストな水準に帰属する
ためのルールを抽出



ブロア効率の例

抽出回数5回未満のルールはフィルタリング

No	Design Variable	extracted rules																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	D2h																3	
2	D2s																	
3	D0s/D2	1	1	1		1	1		1	1		1	1	1		1		
4	r_D1h			3													5	
5	r_D1s		2					2	2				2	2	2			
6	b2				4	4				4	1		4				1	
7	b0/b2		3		3		3	3		3						3		
8	r_R01	4		4	4	4	4	4										
9	r_Rtan																	
10	β_{in}										5	5			5			4
11	β_{max}																	
12	r_βmax													4				
13	β_{out}	2							2							2		
14	r_Rle1																	
15	r_Rle2													5				3
16	r_Rle3																	
counts		6	7	6	6	6	6	6	6	6	6	10	6	6	6	6	6	7

特徴

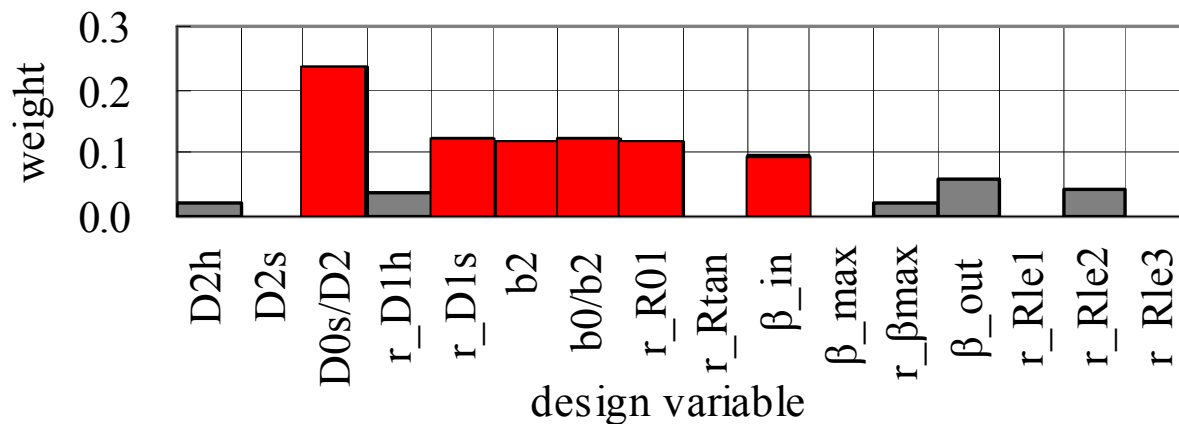
- 設計ルールは多数(優先順位はやや不明確)。
- 確実に達成されるルールが得られる。
- 複雑な水準組合せのルール抽出が可能(交互作用に強い)

優先順位, コア属性の明確化のために、統計量による評価を試みる

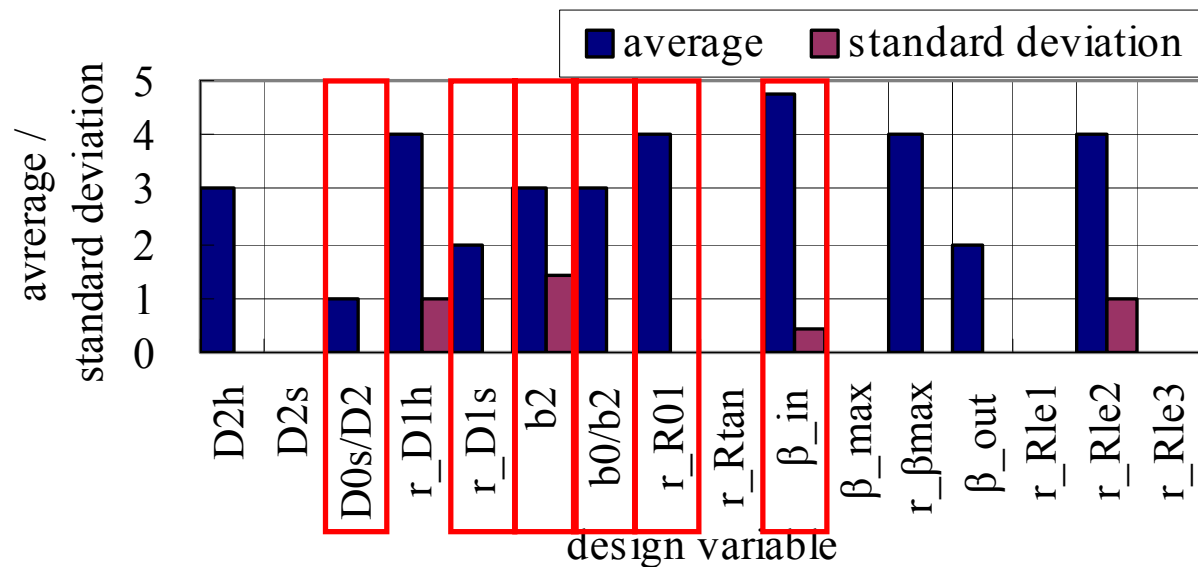
- 重み = ルール抽出回数 × ルール要素の出現回数 / ルール要素総出現数
- 水準の平均値と標準偏差を計算 (標準偏差は評価の確度の指標と考える)

No	Design Variable	extracted rules																	weight	avr.	stand. dev.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17			
1	D2h																3		0.02	3.0	0.0
2	D2s																		0.00	NA	NA
3	D0s/D2	1	1	1		1	1		1	1		1	1	1		1			0.24	1.0	0.0
4	r_D1h			3													5		0.04	4.0	1.0
5	r_D1s		2					2	2				2	2	2				0.12	2.0	0.0
6	b2				4	4				4	1		4				1		0.12	3.0	1.4
7	b0/b2		3		3		3	3		3						3			0.12	3.0	0.0
8	r_R01	4		4	4	4	4	4											0.12	4.0	0.0
9	r_Rtan																		0.00	NA	NA
10	β_{in}										5	5			5			4	0.10	4.8	0.4
11	β_{max}																		0.00	NA	NA
12	r_ β_{max}														4				0.02	4.0	0.0
13	β_{out}	2							2							2			0.06	2.0	0.0
14	r_Rle1																		0.00	NA	NA
15	r_Rle2													5				3	0.04	4.0	1.0
16	r_Rle3																		0.00	NA	NA
counts		6	7	6	6	6	6	6	6	6	6	10	6	6	6	6	6	7			

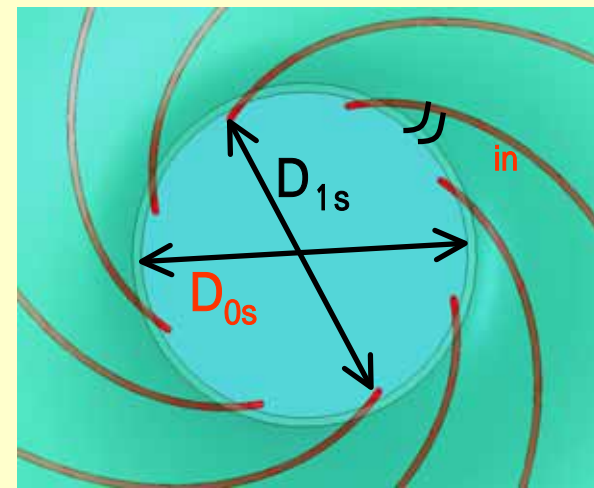
● 重み (重要性)



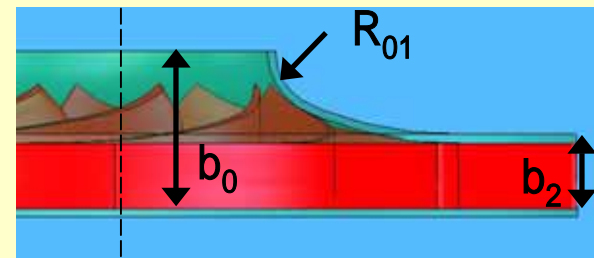
● 平均値 (決定水準) と標準偏差 (確度)



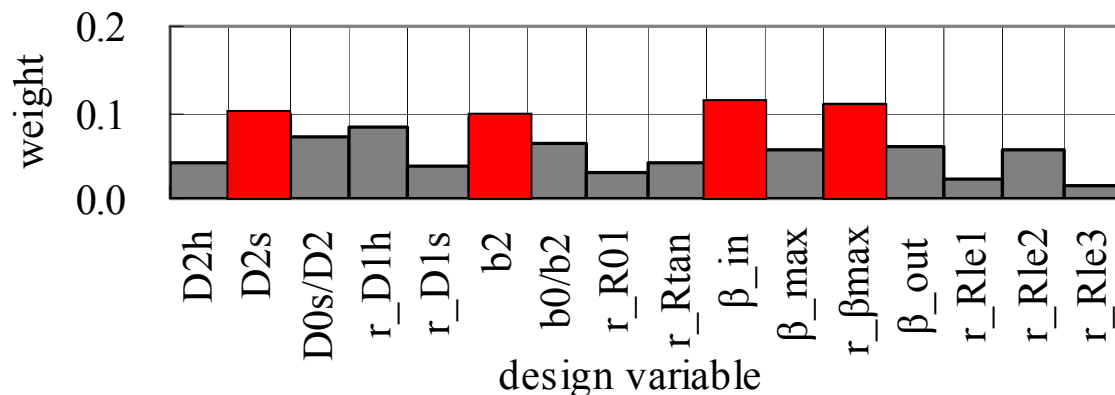
重要な寸法



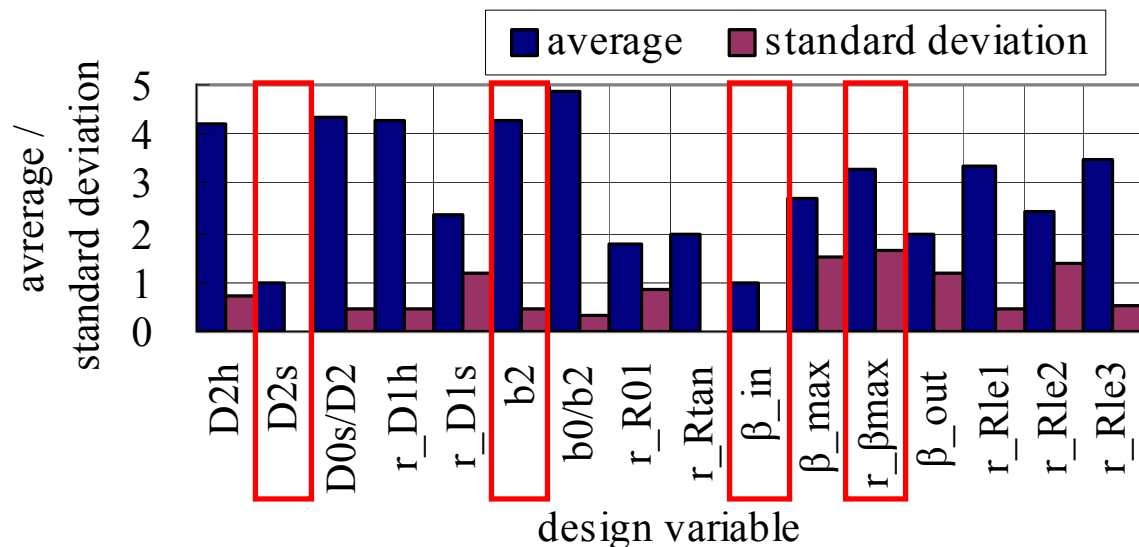
赤字は決定木で選択された変数



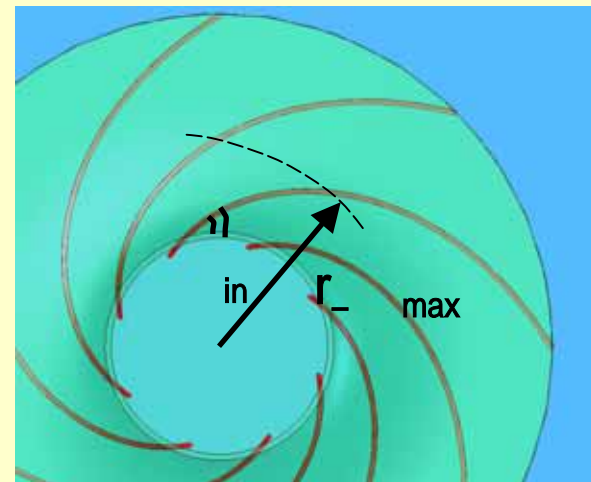
● 重み(重要性)



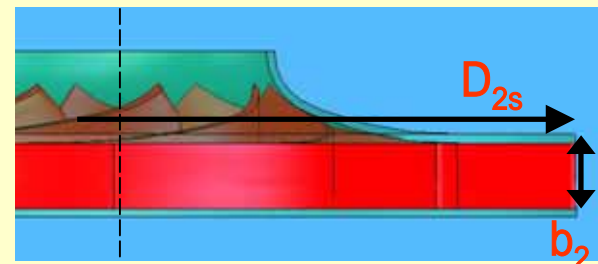
● 平均値(決定水準)と標準偏差(確度)

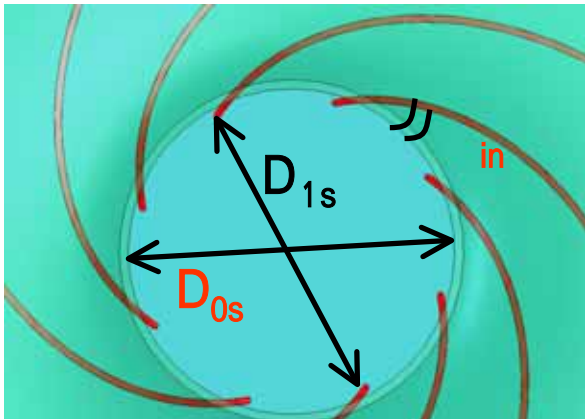
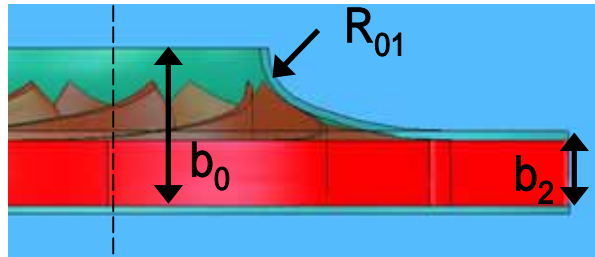
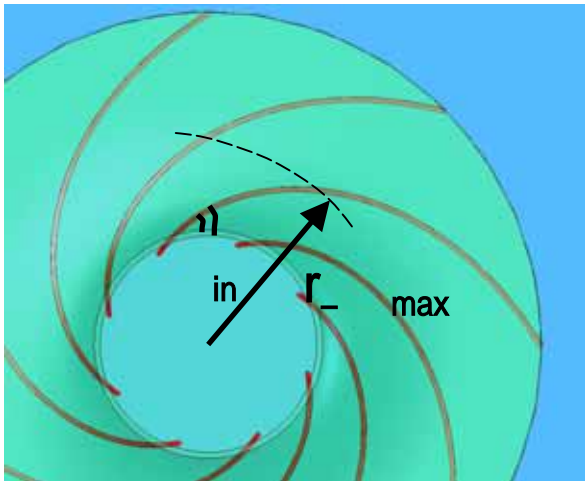
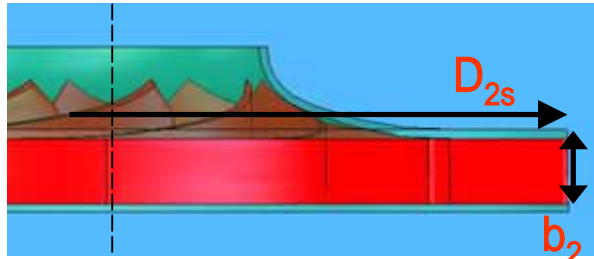


重要な寸法



赤字は決定木で選択された変数



	一般ルール	
	赤字は決定木で選択された変数	
効率	 <p>減速損失と摩擦損失に効く部位</p>	
一様性		 <p>ベーンレスディフューザ寸法に関連</p>

遠心ブローの最適設計を実施し、その設計データベースに決定木とラフ集合を適用し、以下の結論を得た。

- 決定木では統計的に有意な設計ルールが1つ得られる。優先順位が明確になるが、設計変数の交互作用に弱い。
- ラフ集合では多様な設計ルールが得られる。ルール属性の統計量を計算すると、決定木と類似した結果が得られる。
- 効率を上げるには、羽根車の目玉径を絞り、羽根入口角度を大きくする必要がある。
- 入射角一様性を上げるには、羽根出口高さを拡大し、羽根出口径をシュラウド側を小さくする必要がある。
- 効率と入射角一様性にはトレードオフ関係があり、これらを調整する因子は、羽根負荷分布などである。