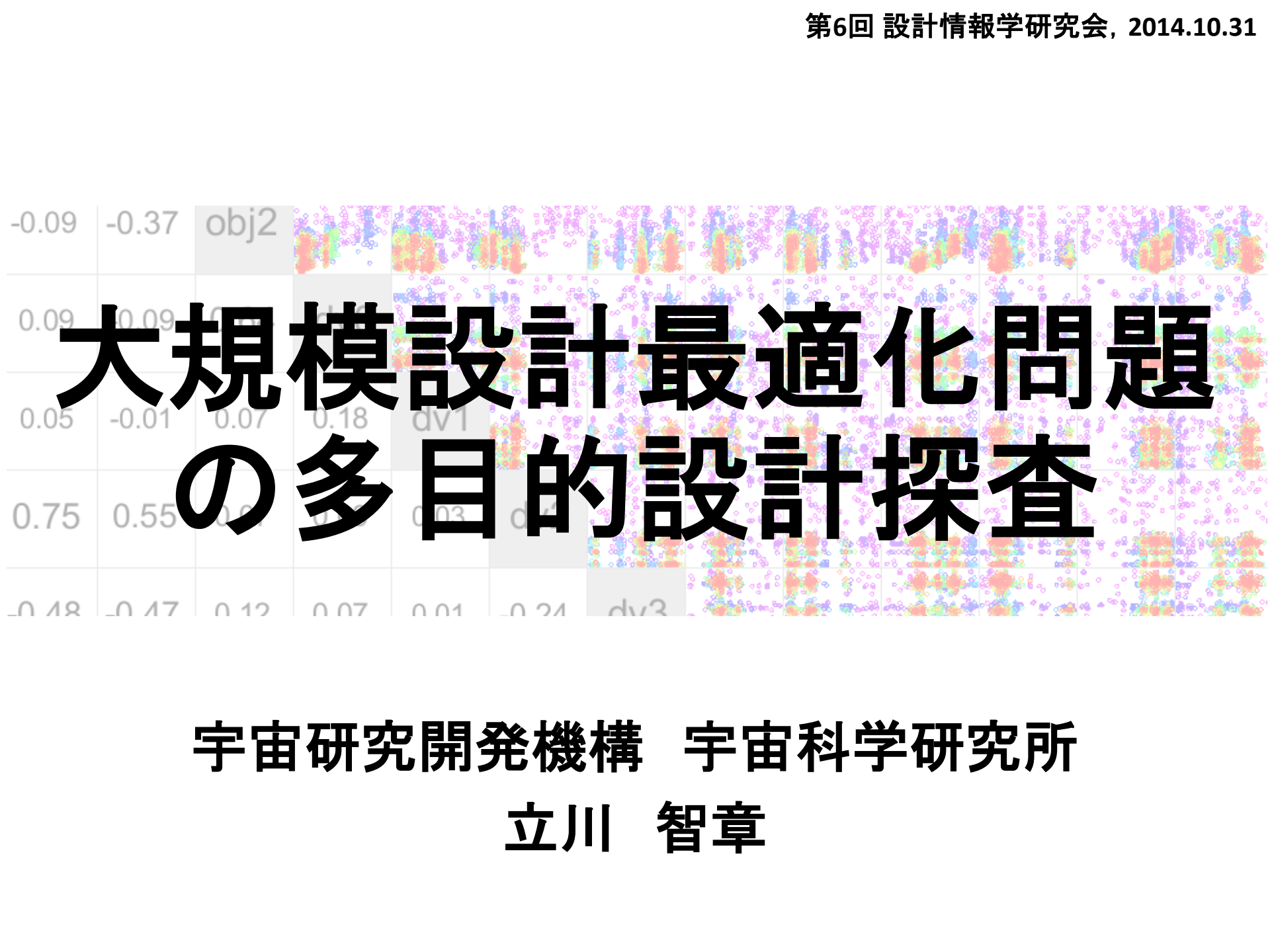




大規模設計最適化問題 の多目的設計探査

宇宙研究開発機構 宇宙科学研究所
立川 智章

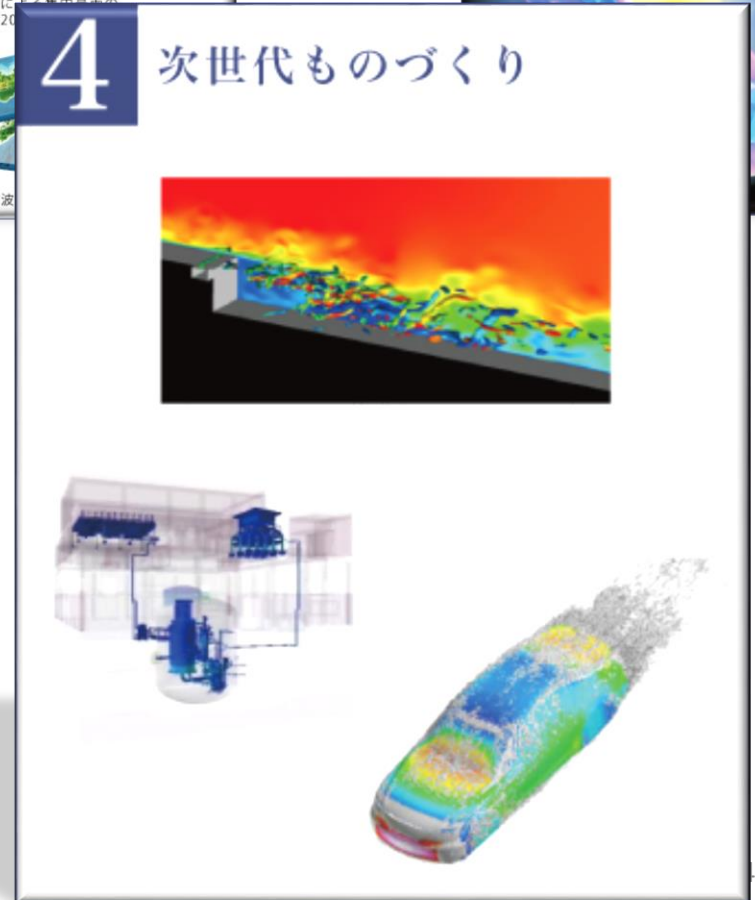
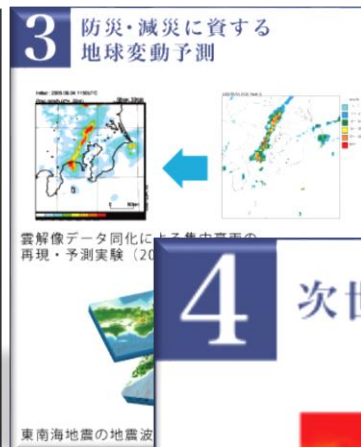
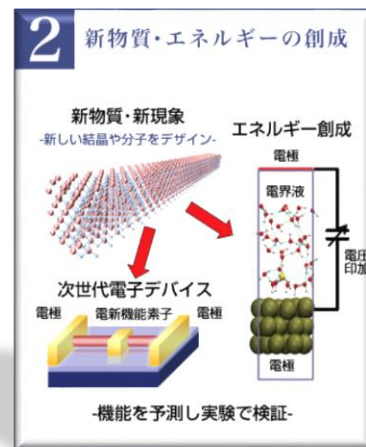
自己紹介

- 東京工業大学大学院 機械宇宙システム専攻(2002 - 2004)
 - 宇宙構造物、宇宙ロボット、超小型衛星に関する研究開発
- 日本SGI株式会社(2004 - 2010)
 - 3D CGエンジニアとして可視化ソフト等の開発に従事
(モットー“百聞は一見にしかず”)
- 東京大学 航空宇宙工学専攻(2007 - 2012)
 - 多目的遺伝的プログラミングを用いたデータマイニング手法の研究
- JAXA 宇宙科学研究所(2012 -)
 - 大規模設計最適化・設計探査に関する研究



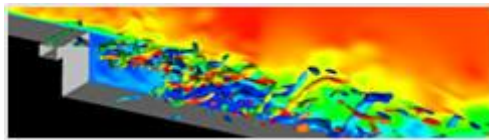
	NAME	SPECS				
1	Tianhe-2 (Milkyway-2)	NUDT, Intel Ivy Bridge (12C, 2.2 GHz) & Xeon Phi (57C, 1.1 GHz), Custom interconnect	NSCC Guangzhou	China	3,120,000	33.9
2	Titan	Cray XK7, Operon 6274 (16C 2.2 GHz) + Nvidia Kepler GPU, Custom interconnect	DOE/SC/ORNL	USA	560,640	17.6
3	Sequoia	IBM BlueGene/Q, Power BQC (16C 1.60 GHz), Custom interconnect	DOE/NNSA/LLNL	USA	1,572,864	17.2
4	K computer	Fujitsu SPARC64 VIIIfx (8C, 2.0GHz), Custom interconnect	RIKEN AICS	Japan	705,024	10.5
5	Mira	IBM BlueGene/Q, Power BQC (16C, 1.60 GHz), Custom interconnect	DOE/SC/ANL	USA	786,432	8.59

HPCI戦略プログラム



分野4「次世代ものづくり」

- ① 輸送機器・流体機器の流体制御による革新的高効率化・低騒音化
(JAXA, 九大, 東芝, 他)
- ② 次世代半導体集積素子におけるナノスケール配線製造プロセス
シミュレーション (物材研, 企業コンソーシアム)
- ③ 乱流の直接計算に基づく次世代流体設計システム
(東大, 北大, 企業コミュニティー)
- ④ 多目的設計探査による設計手法の革新
(JAXA, 東北大, 企業コンソーシアム)
- ⑤ 原子力施設の次世代耐震シミュレーション
(JAEA, 東大, JAXA, 他)



多目的設計最適化
問題の定義



多目的設計最適化



多目的進化計算
応答曲面近似法



パレート最適解
DBの獲得



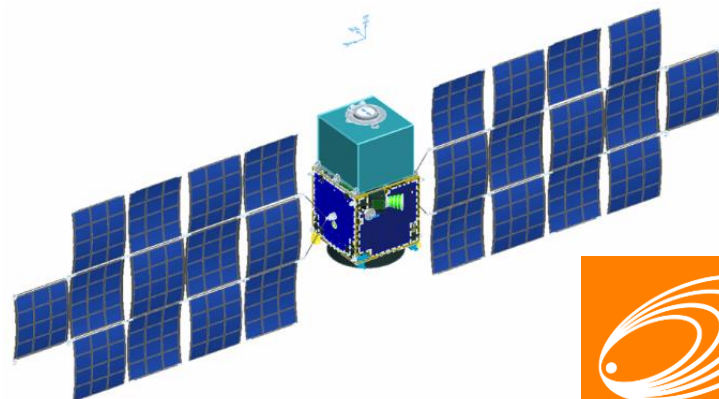
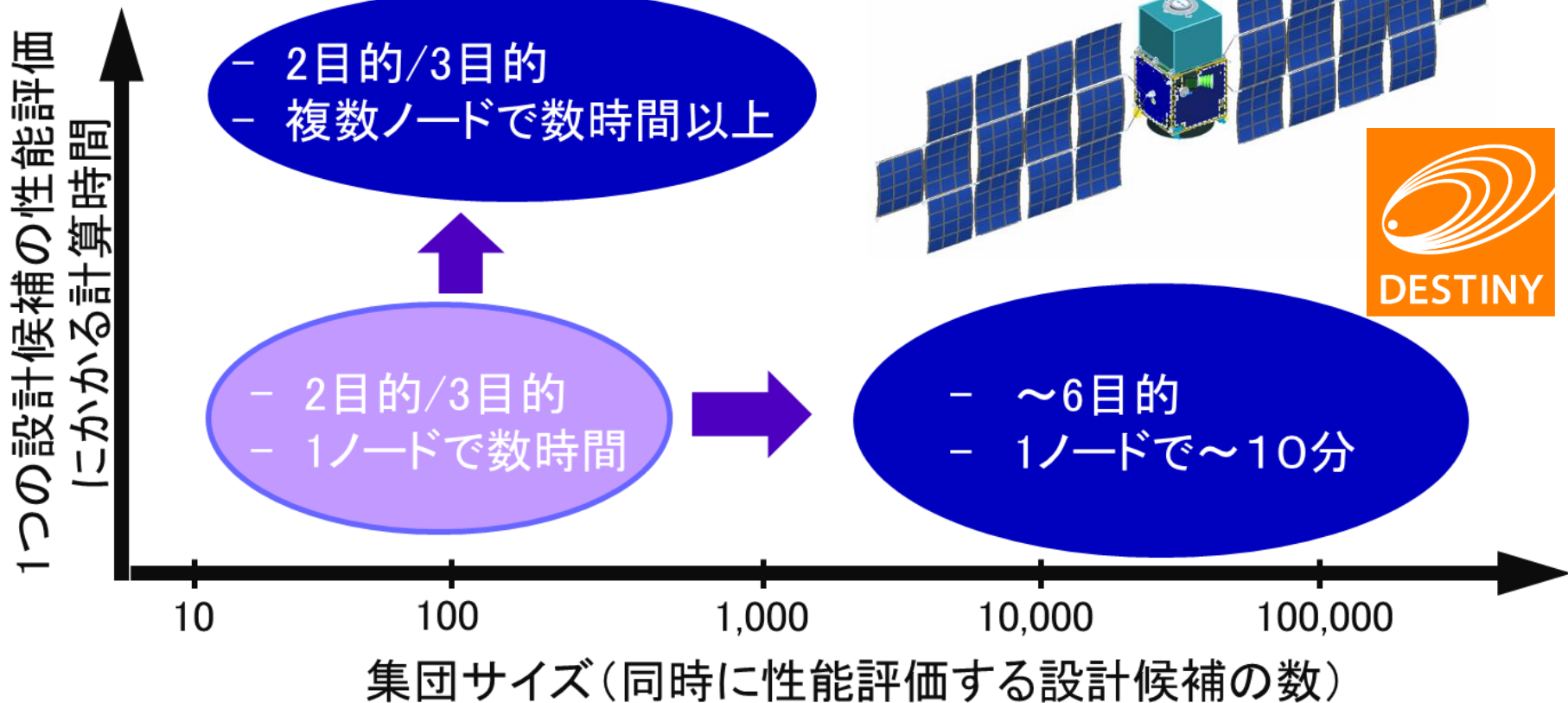
パレート最適解DBの
データマイニング



データマイニング手法



設計に役立つ知見の
獲得



トピック

1. ロケット射点形状の非劣解DBの分析
2. DESTINY軌道の非劣解DBの分析

SOM vs SPM

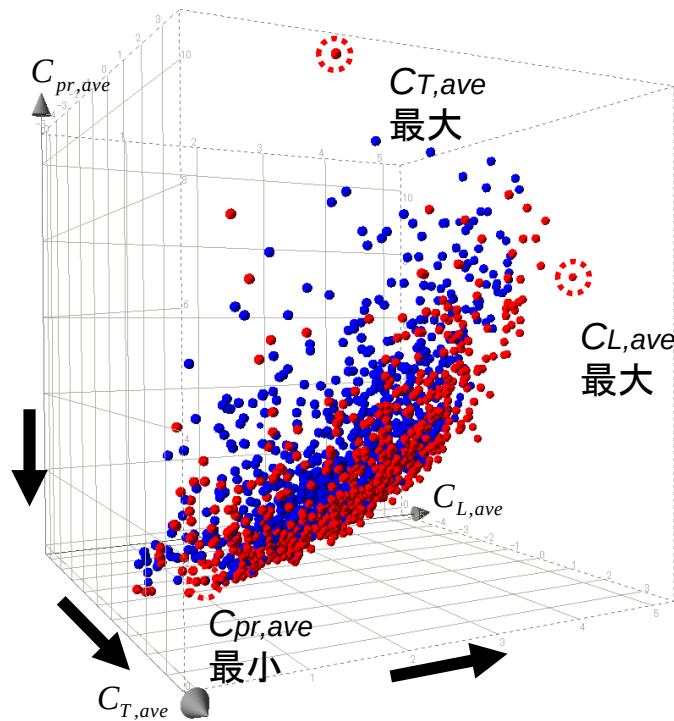
自己組織化マップ

散布図行列

どのように使い分ける！？

パレート最適解からの設計情報

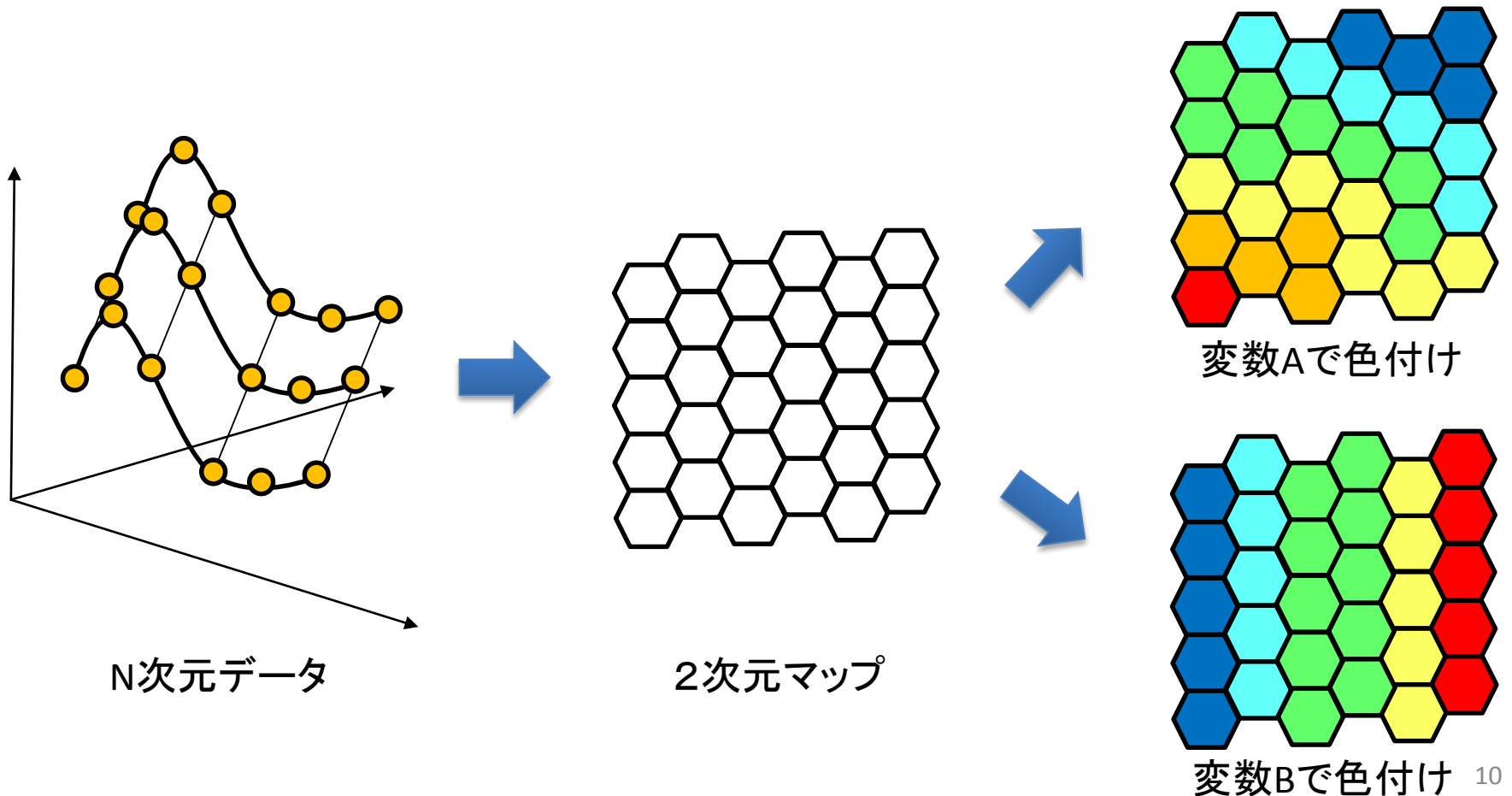
- 目的関数間のトレードオフ関係
- 目的関数と設計変数との関係
- 設計変数間の関係



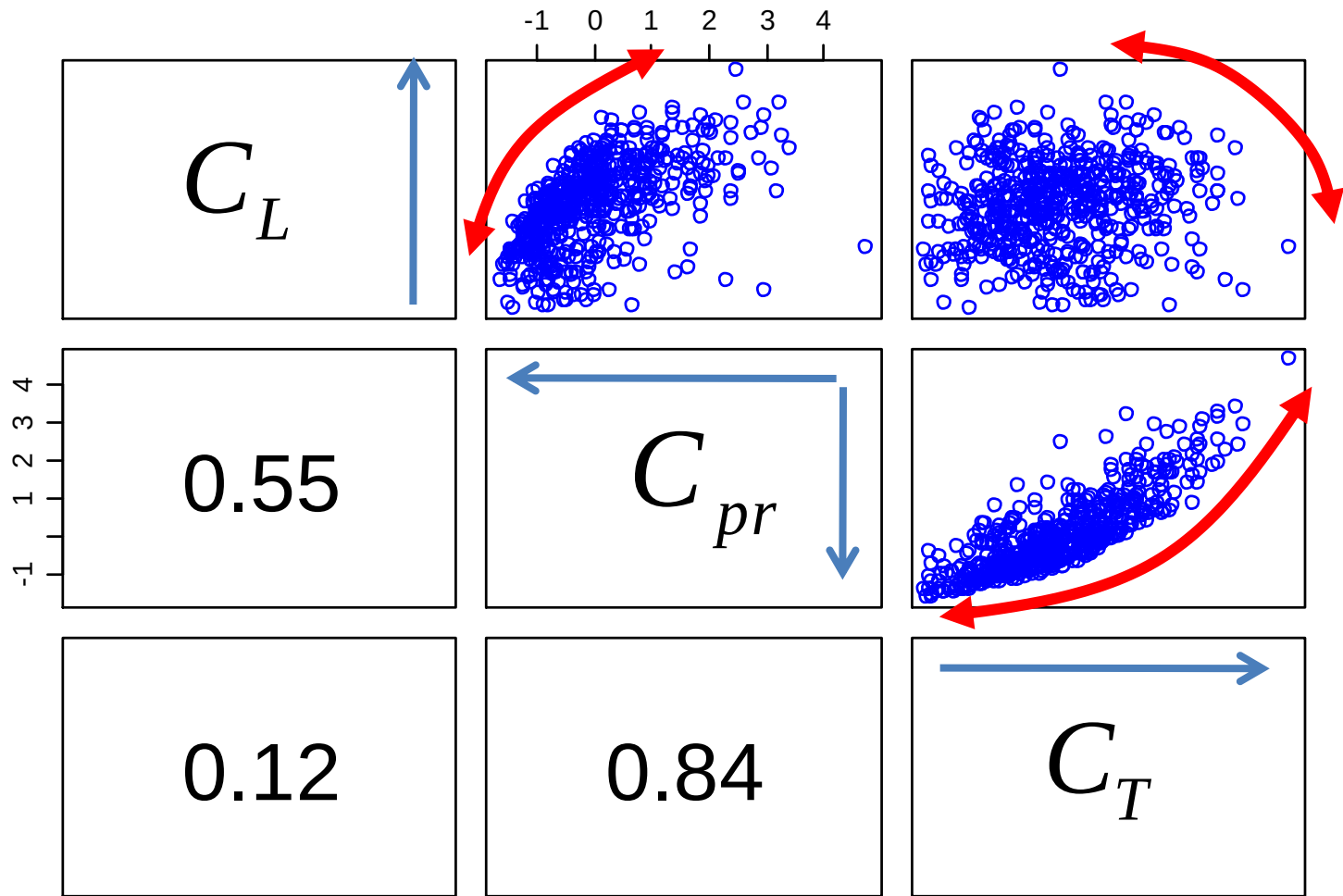
- 非劣解 (パレート最適解)
- 劣解

自己組織化マップ (Self-Organizing Map, SOM)

教師なし学習のニューラルネットワークの一つ

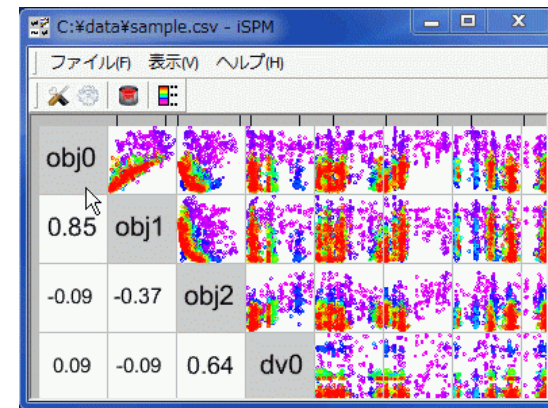
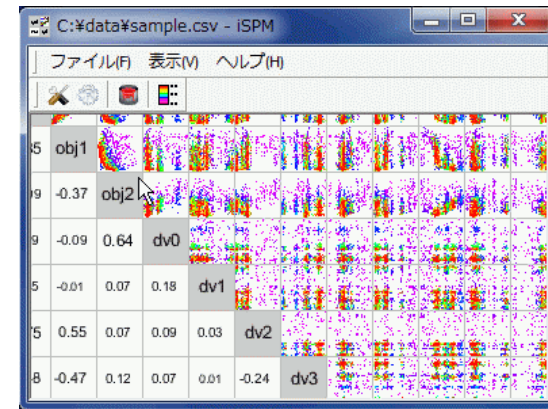


散布図行列 (Scatter Plot Matrix, SPM)



SPMからインタラクティブSPMへ

散布図行列を高速に描画し，ズームイン，ズームアウトだけでなく変数の並べ替え，表示範囲の絞込み，評価値に基づいた色づけなどの操作をインタラクティブに行うことができるツール



	SOM	SPM
長所	・多次元情報を2次元平面上に投影できるため、多数の目的関数、設計変数であっても可視化することができる ・クラスタリングすることで分類、集約に使える	・多数の目的関数、設計変数であっても可視化することができる ・方向と距離の情報があるため、直感的でわかりやすい
短所	・観察者の主観が入るため、情報を見落とす可能性がある ・目的関数、設計変数が増えるにつれてマップの数が多くなり、ひと目で全体を把握することが難しい ・方向と距離の情報が失われるため、初心者にはわかりづらい	・目的関数、設計変数が増えるにつれて行列のサイズが大きくなり、ひと目で全体を把握することが難しい ・目的関数、設計変数が増えるにつれて行列のサイズが大きくなり、描画に時間がかかる



iSPMの開発へ

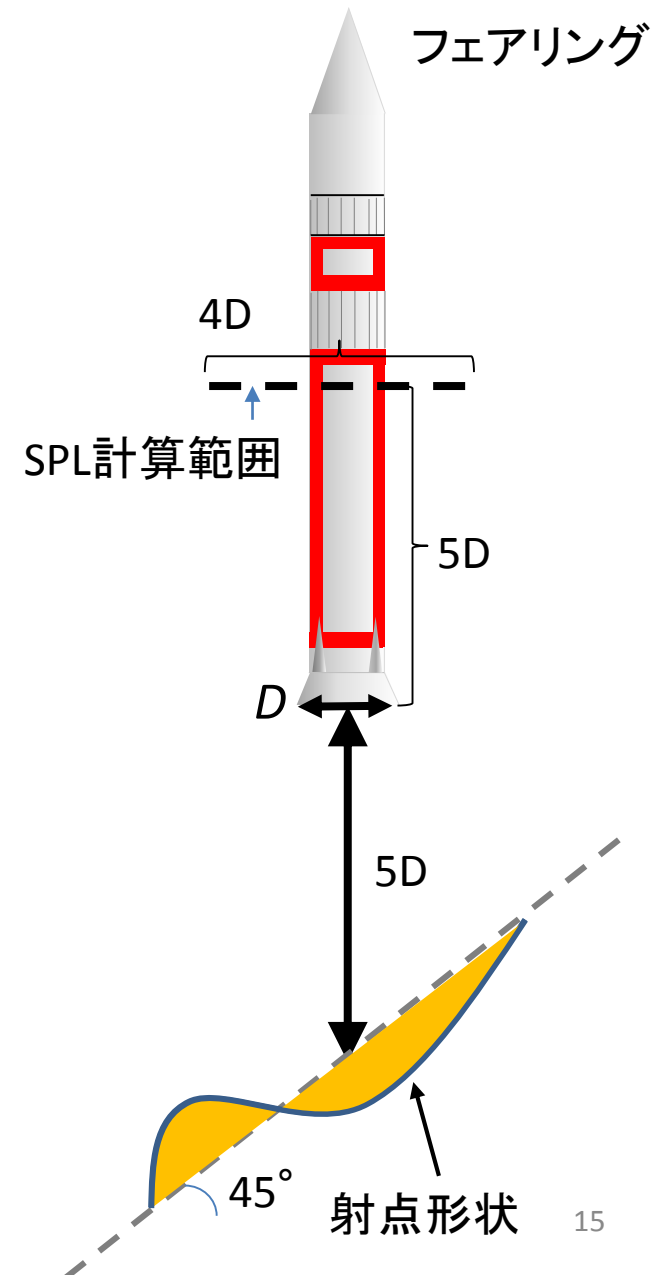
パレート最適解データベースの データマイニング

- ロケット射点形状最適化の例 -

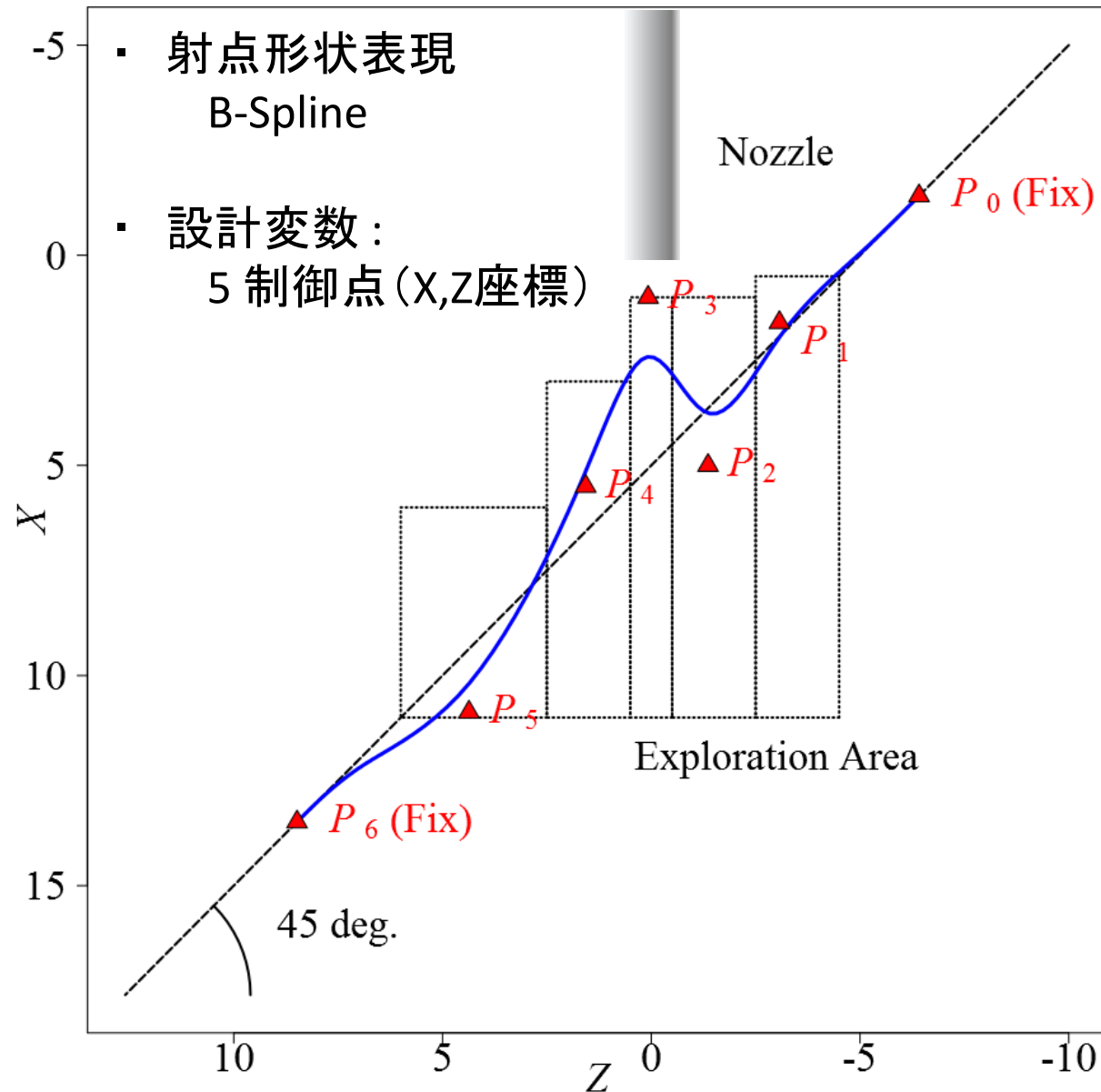
設計問題の定式化

目的関数

1. フェアリングまわりの平均音圧レベルの最小化
2. 射点表面における最大圧力の最小化
3. 45度斜め平板からの形状変化量の最小化



設計問題の定式化



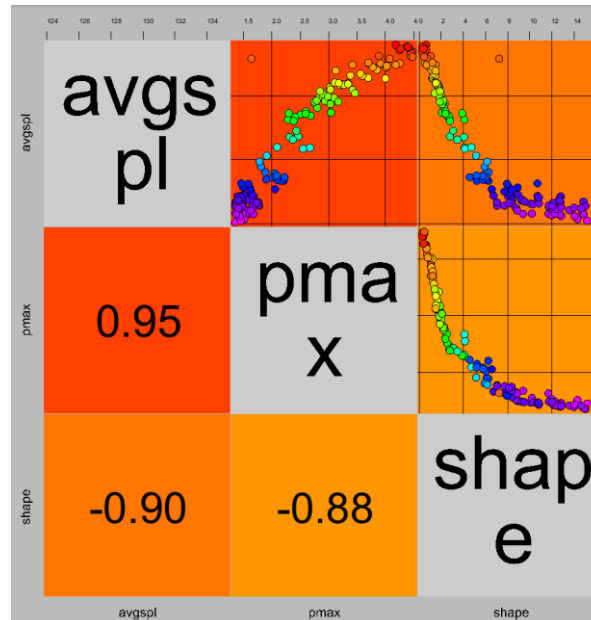
計算手法

- 流体シミュレーション
 - 支配方程式：3次元圧縮性 N-S 方程式
 - 流体計算手法：LES
 - 対流項：7次精度 WCNS
 - 粘性項：6次精度中心差分
 - 時間積分：2次後退差分、ADI-SGS陰解法
- 最適化
 - 多目的進化計算(50個体x50世代 = **全2,500ケース**)

**京コンピュータ(128GPlops/Node)の6,500ノード(約7%)
を用いて約2週間の計算を要した**

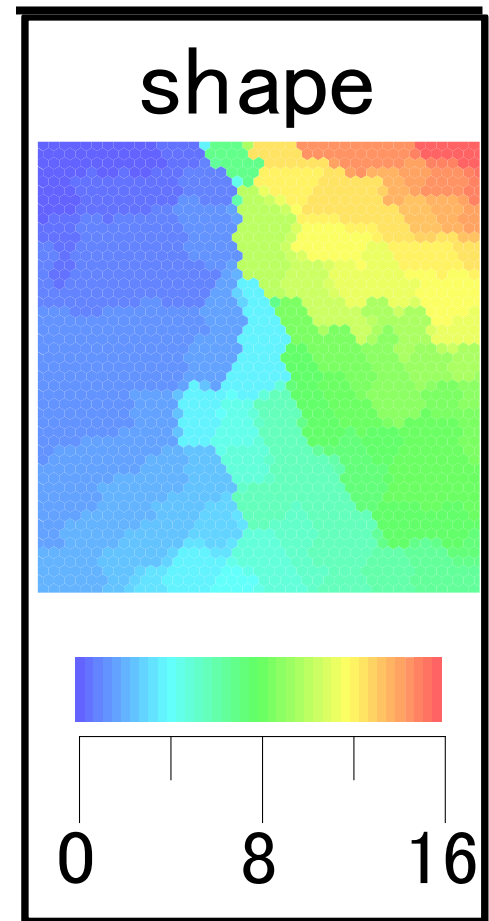
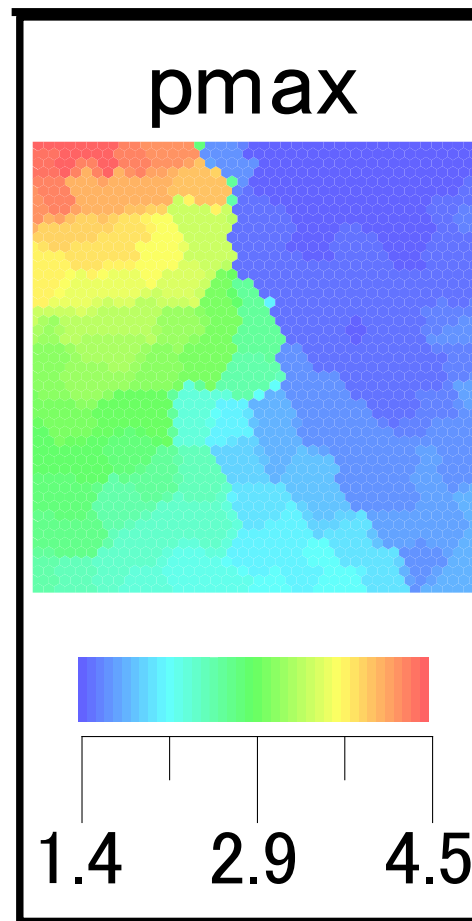
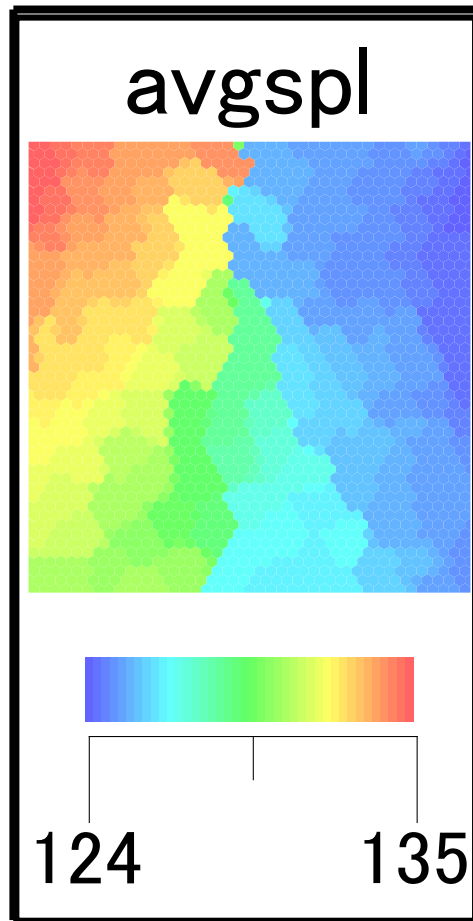
目的関数間の関係

- iSPMを用いて可視化 -

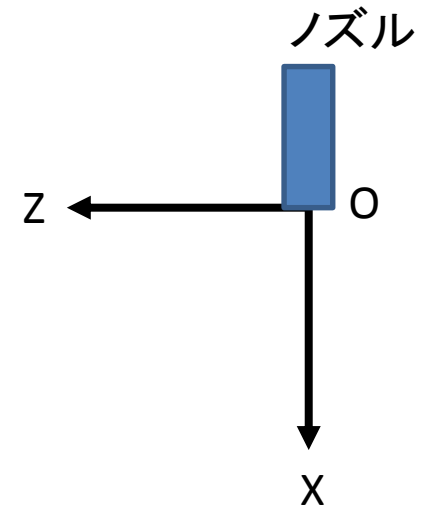
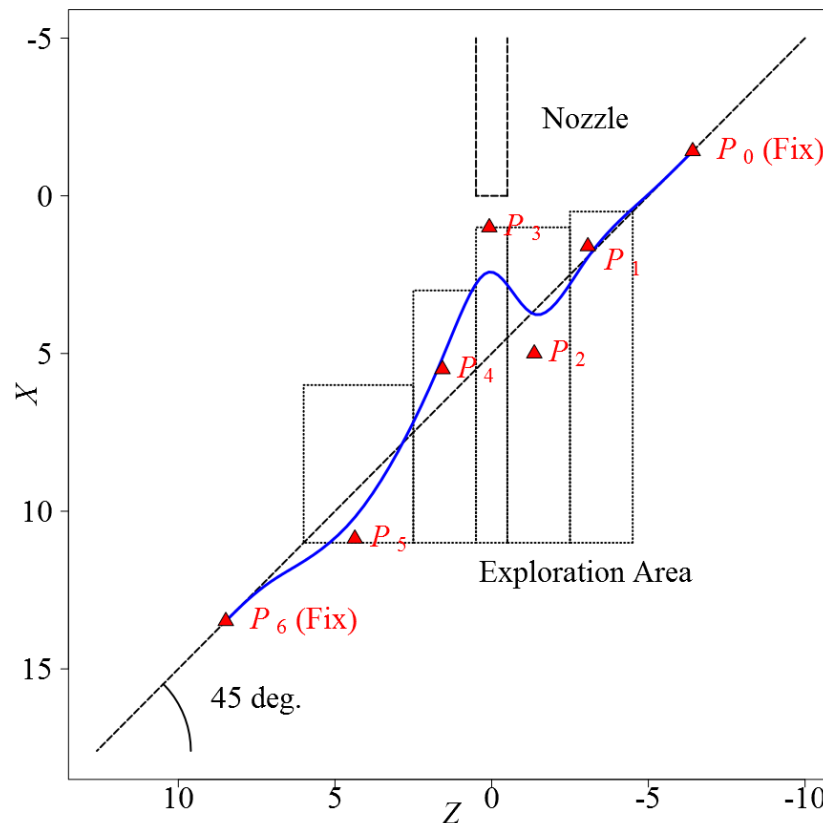


SOM

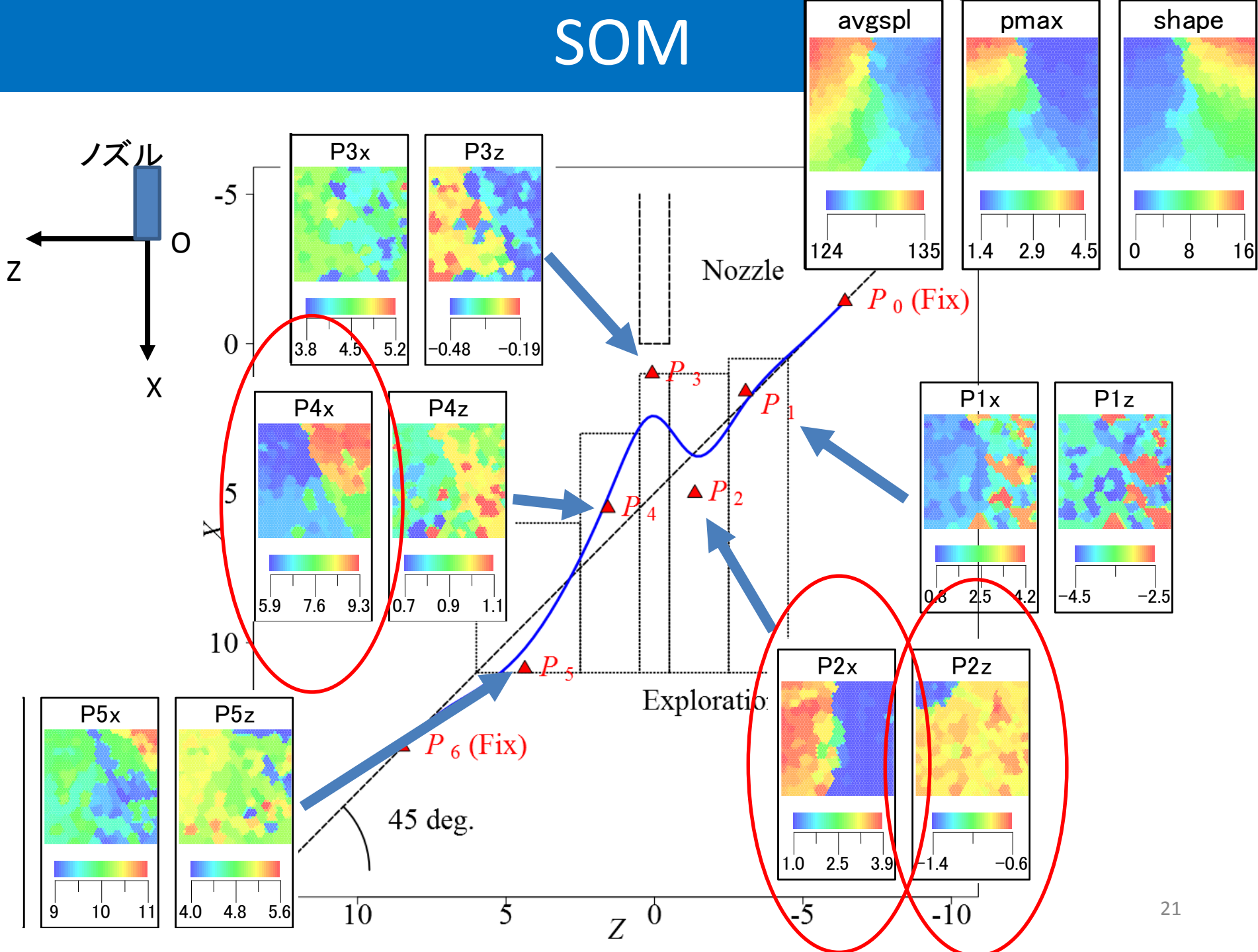
目的関数でクラスタリング



目的関数—設計変数間の関係 - iSPMを用いて可視化 -



SOM



まとめ

- SPMとSOMから得られた設計知見
 1. 平均音圧レベルと形状変化量にはトレードオフ関係
 - 非線形なトレードオフ関係はSOMでは一見ではわからない(クラスタごとに調べる必要性がある)
 2. 平均音圧レベルと最大圧力には正の相関
 3. 衝突点付近の傾きを大きくすると、平均音圧レベルを低減

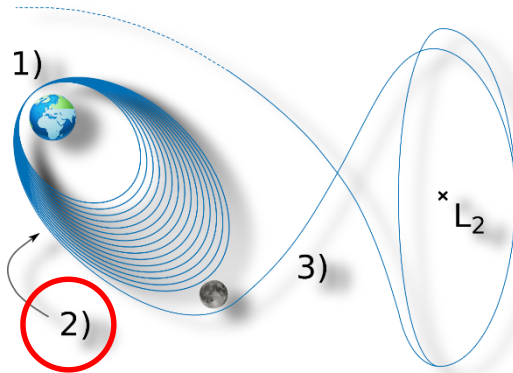
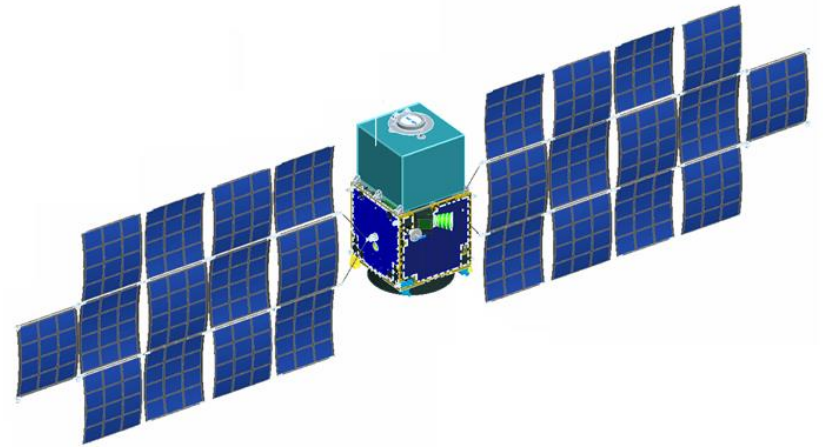
パレート最適解データベースの データマイニング

- DESTINY軌道最適化の例 -

DESTINY (**D**emonstration and **E**xperiment of **S**pace **T**echnology for **I**nterplanetary vo**Y**age)

Features

- (1) High energy mission by Epsilon rocket.
- (2) Ultra-Lightweight solar panel.
- (3) Large scale ion engine $\mu 20$.
- (4) Advanced thermal control.
- (5) Orbit determination under low thrust operation.
- (6) Automatic/autonomous onboard operation.
- (7) Halo orbit transfer and maintenance.

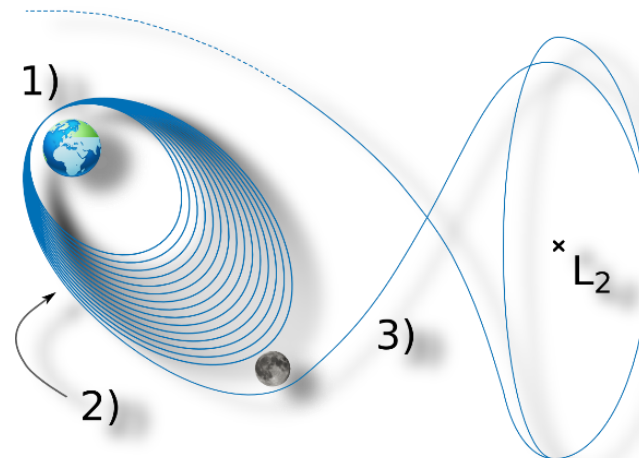


- 1) Launched by Epsilon Rocket
- 2) Accelerate with Ion Engine (Target of optimization)
- 3) Inject into L_2 Halo Orbit and escape from L_2 Halo Orbit

設計問題の定式化

- 目的関数

1. イオンエンジン (IES) の噴射時間最小化
2. 飛行時間 (TOF) 最小化
3. ヴァン・アレン帯通過時間最小化 (t_{belt})
4. 最大日陰時間最小化 (t_{maxecl})



設計問題の定式化

- Design parameters

Total 26 parameters

1. Start Day [0,365]

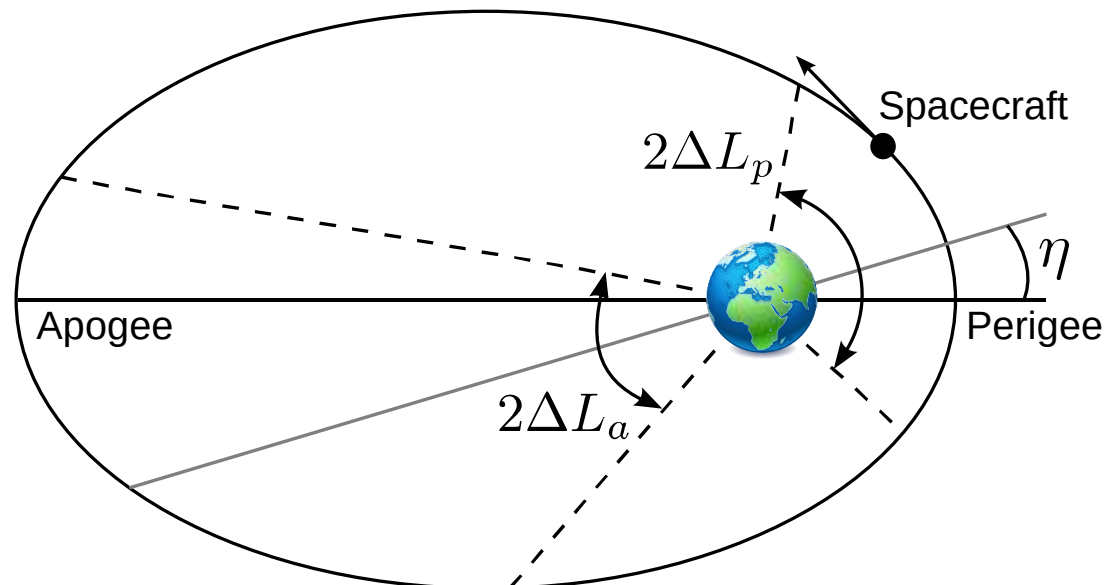
2. Start Time [0,24]

3. $\Delta L p_i$ ($i=1,\dots,8$) $[-\pi, \pi]$

4. $\Delta L a_i$ ($i=1,\dots,8$) $[-\pi, \pi]$

5. η_i ($i=1,\dots,8$) $[-\pi/2, \pi/2]$

8 segments
(68.75 days/seg.)

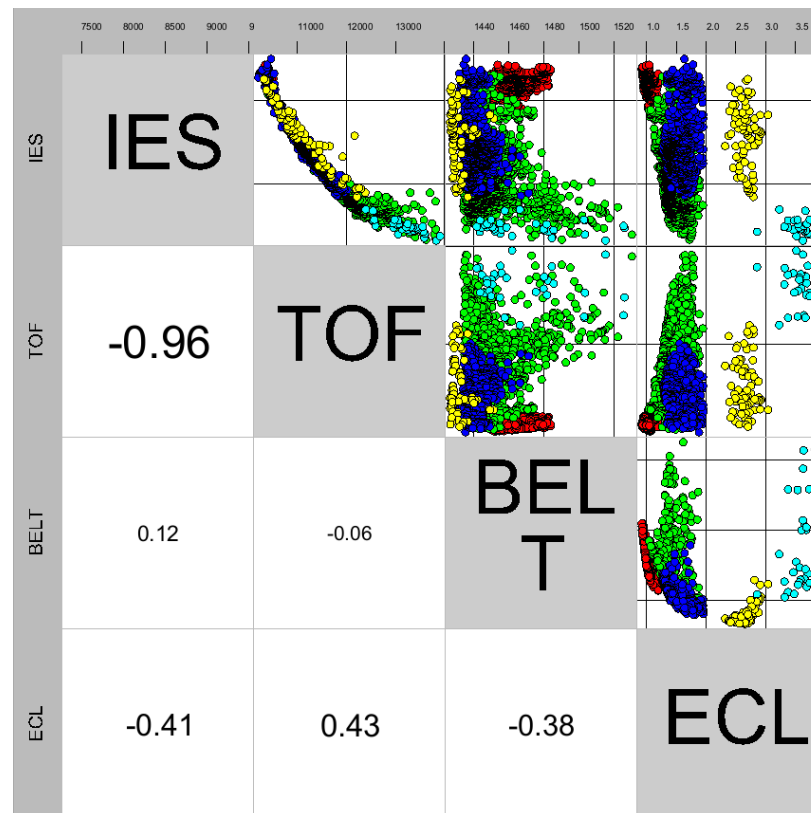


計算条件

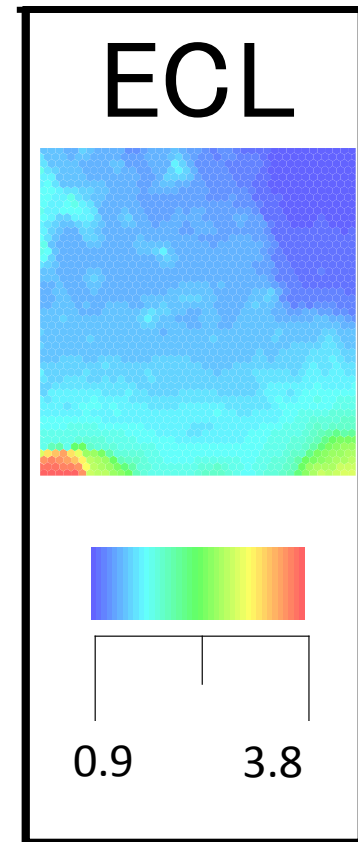
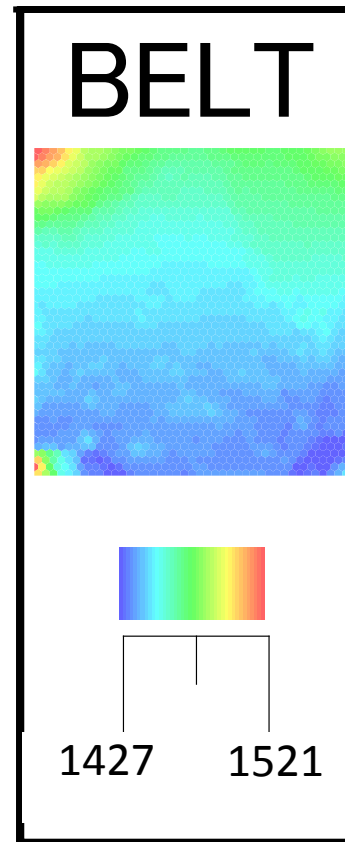
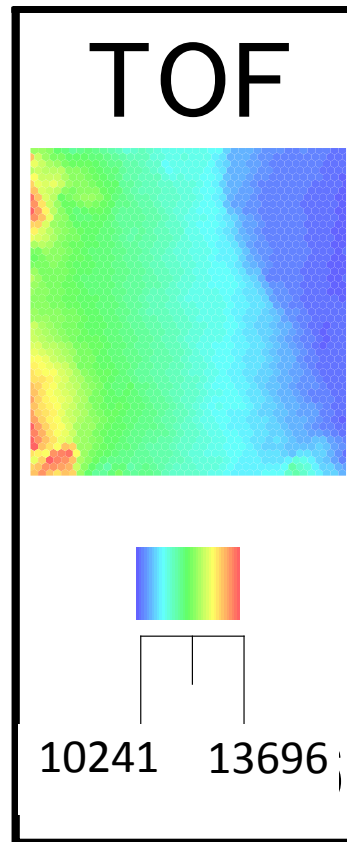
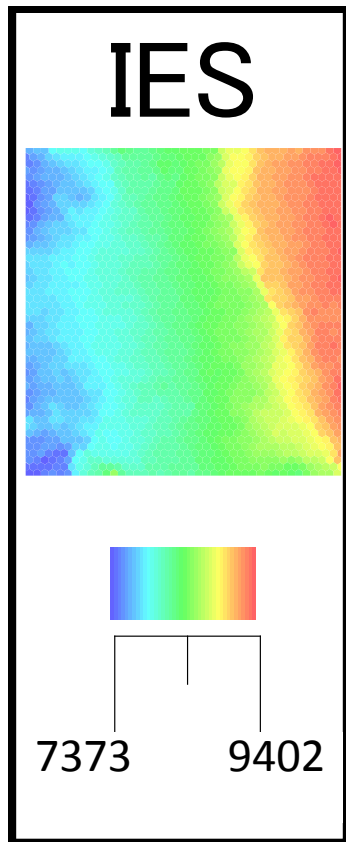
- Reference for the start date
2018/1/1
- Initial mass
400 [kg]
- Target radius on the Moon's plane
300,000 [km]
- Initial orbit parameters (J2000 Earth fixed reference frame)
 $[a(\text{km}), \text{ecc}, i(^{\circ}), \Omega(^{\circ}), \omega(^{\circ}), M(^{\circ})]$
 $= [20953, 0.68845, 32, 21, 124, 5]$

目的関数間の関係

- iSPMを用いて可視化 -

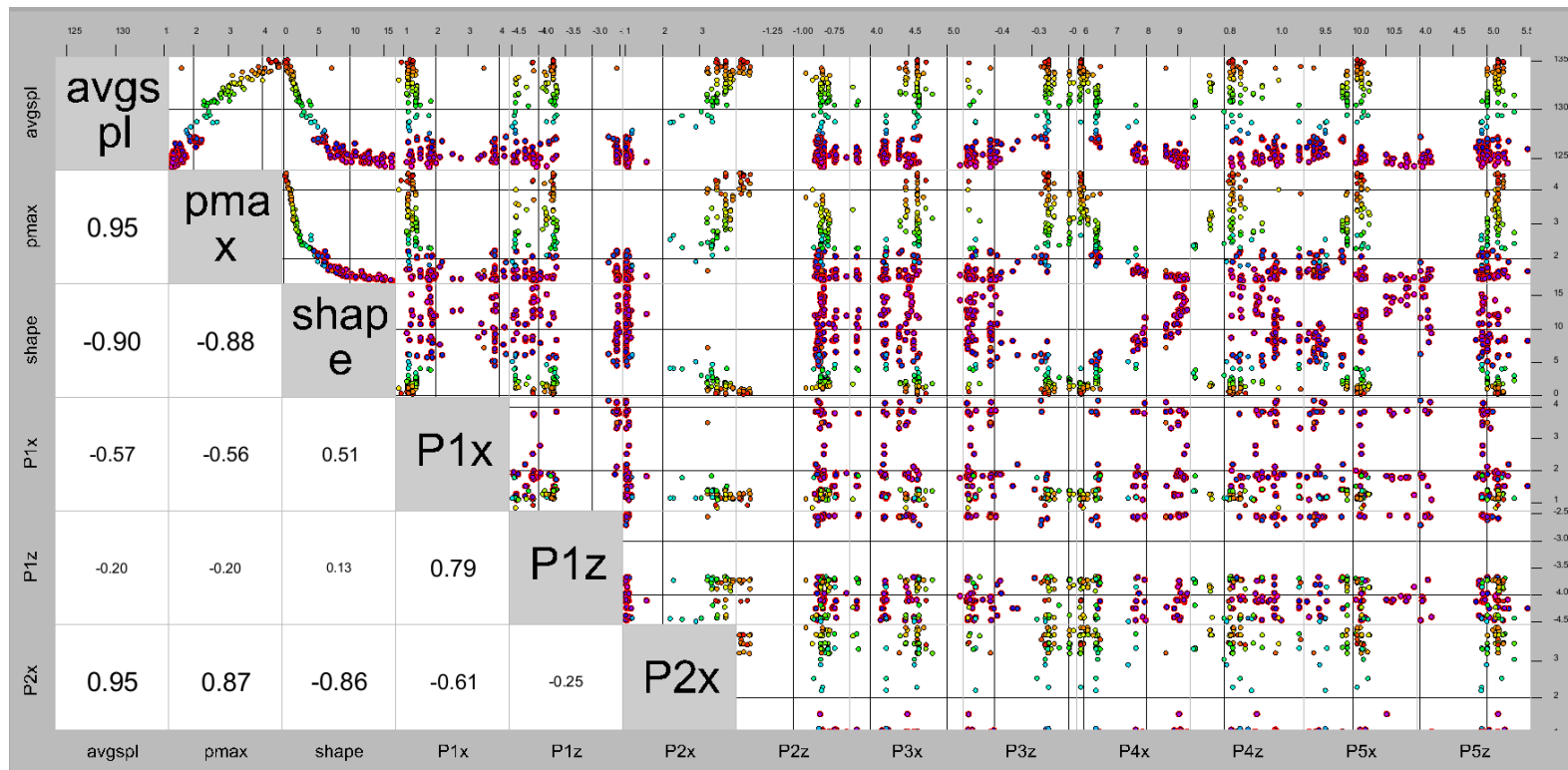


SOM



目的関数—設計変数間の関係

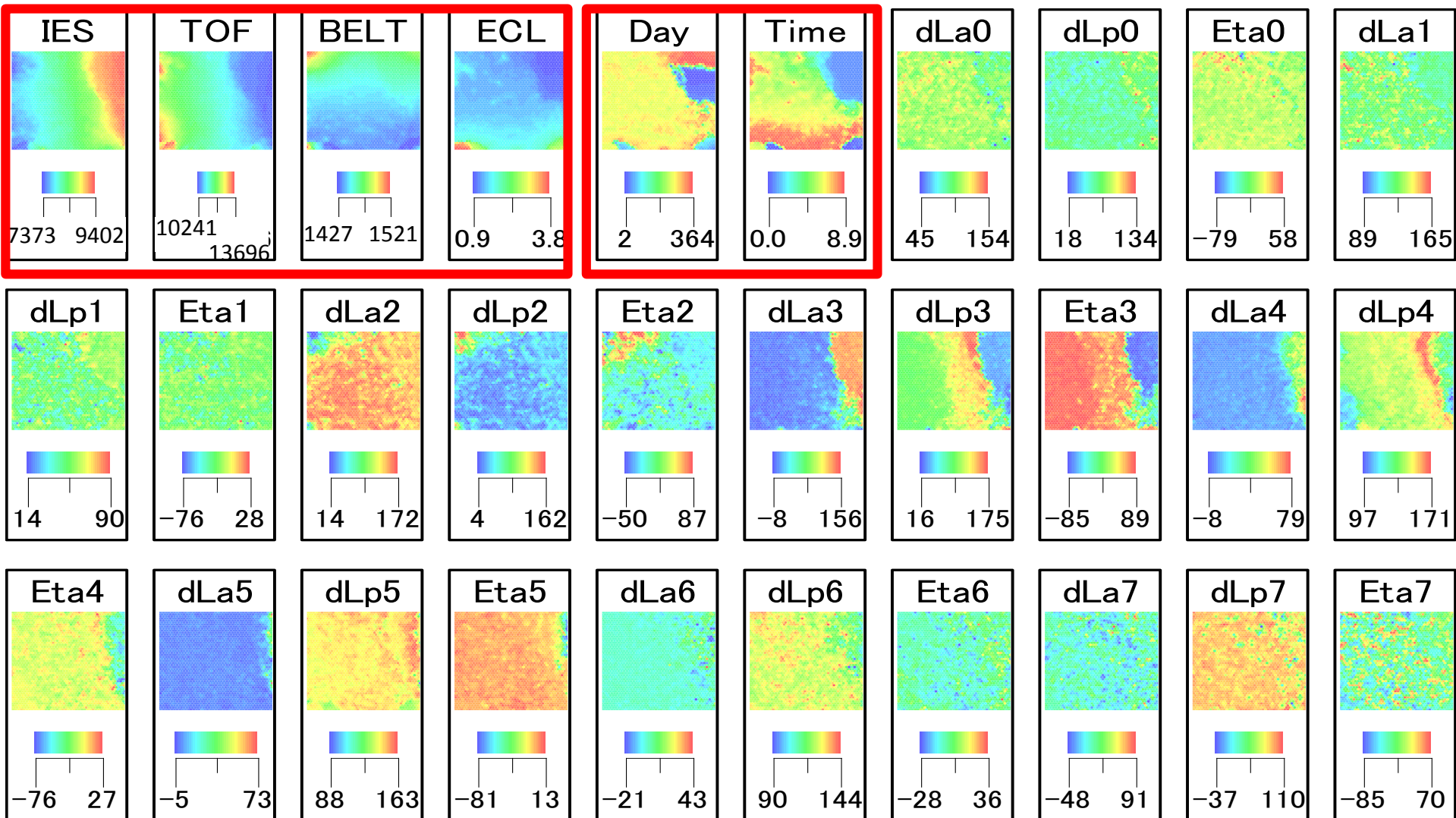
- iSPMを用いて可視化 -



SPM

目的関数

伝搬開始日時



まとめ

- SPMとSOMから得られた設計知見
 1. イオンエンジン噴射時間と飛行時間にはトレードオフ関係がある
 2. イオンエンジン噴射時間と日影時間にはトレードオフ関係がある
 - 特に、日陰時間を1.5時間まで許容するとIESを大幅に減らすことができる
 3. 日陰時間が小さい解は、年末年始の打ち上げ日に集中している
 - 逆に非劣解が存在しない期間がある

本講演まとめ

ロケット射点形状の非劣解DBとESTINY軌道の非劣解DBの分析をSOMとSPMを用いて行った

- SOM、SPMともにデータから大域的な情報を取り出すことができる
- SOMの2次元マップのみを見てデータの間関係を見ると見落とす可能性がある

SOMはクラスタリング手法として使い、
SPMで可視化するとよい？

今後の課題

- パレート最適解が持つ大規模データからの設計情報抽出手法の開発
 - 多次元データ(>3 目的関数空間)のより効果的な可視化
(気づきを与えてくれるような手法 and リファレンス実装)