

松野 隆 (鳥取大学)

## 流体制御デバイスと物体形状の統合最適設計における効率的解探索手法の検討

共同研究者: 金崎雅博(東京都立大学・副代表) 棟朝雅晴(北大) 高橋 孝, 林謙司(JAXA) 南角卓弥, 西村大生, 秦力也(鳥取大学)

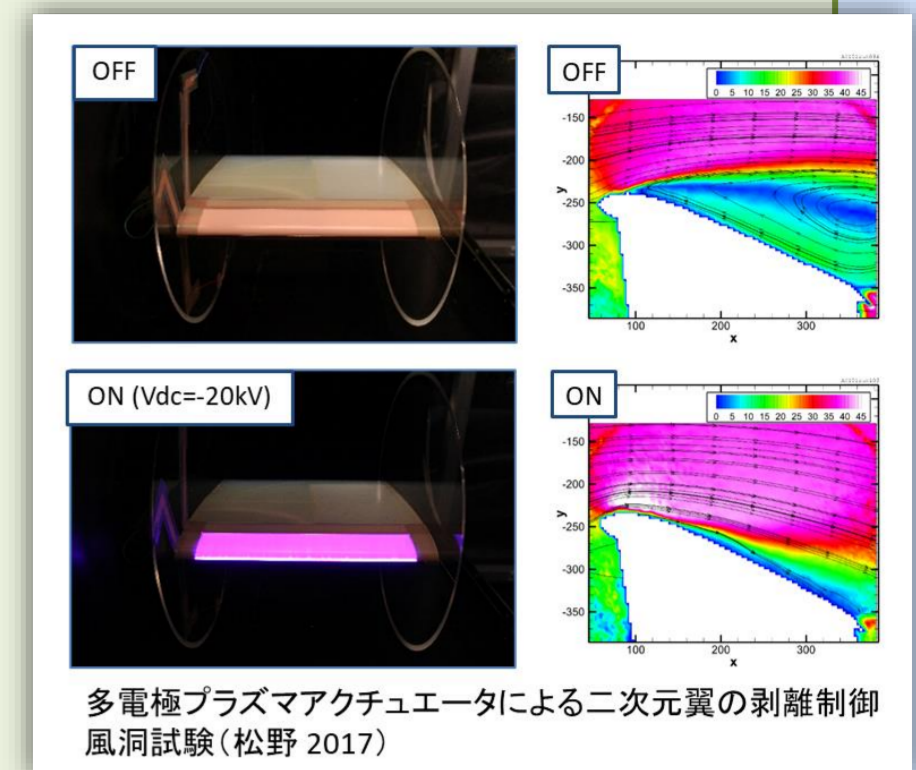
## 背景

## プラズマアクチュエータ等の流体制御デバイスの産業的実用化への障壁

- 実問題への適用手法が未開拓: ほとんどの研究は, 既存の形状に対して後付け設置を想定
  - 制御因子が非常に多く, 最適な設計が困難

## 流体制御デバイスの存在を前提とした空力形状設計コンセプト

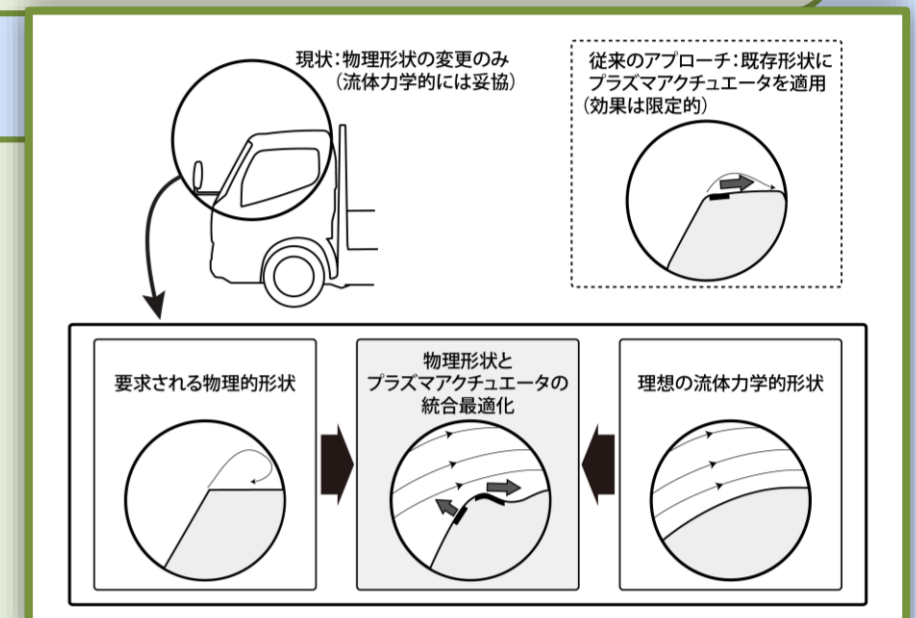
- 物体の物理形状と, 多数のプラズマアクチュエータを統合した空力最適設計を実施
  - 空力制御効果の最大化・物体形状への物理的要求達成の両立
  - × 設計問題の制約・設計変数の増加に伴い解探索効率が低下し, 形状設計が困難になる(“次元の呪い”)



## 目的

## 統合最適設計における安定・高効率な解探索手法を開発し, 有効性を示す

- 制約付き・多次元/非独立設計変数を対象とする最適設計の課題を解決する
- 流体制御デバイスつき物体の空力制御効果向上のための設計指針を得る



## 先行研究の成果と知見

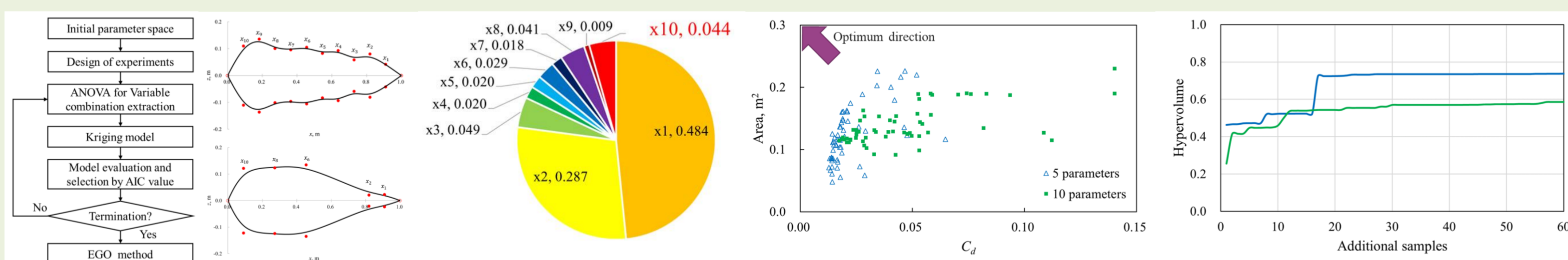
## 最適設計における高い自由度の物体形状定義法と, その効率的な解探索手法の提案

- 形状定義にNURBSを用いる際, 多くの制御点について多目的最適設計を行う場合の解探索効率の悪化を防ぐ手法を検討した
  - 設計空間の縮約を行う手法を提案した:
    - 実験計画法により少数のサンプルを設計空間に分布
    - ANOVAにより重要な設計変数を求める
    - AICにより変数の組合せに対して適合度を評価する
  - ベンチマーク関数および最適設計問題により, 適切な変数が選択され, 設計空間が適切に表現されることを示した
  - 適用可能な設計空間の特性について, 更なる検討が必要

- 流体制御デバイスを含めた統合最適設計に設計空間縮約手法を適用した
  - 12変数→7変数. 初期サンプル50点+追加サンプル120点によりパレート面を得た. デバイス設置位置は従来手法で得られる結果とは異なる特徴を示した

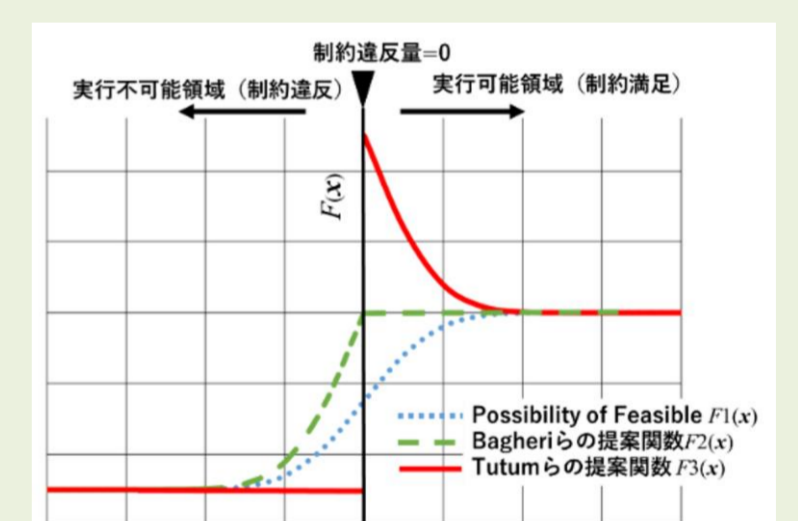
## 高効率大域的最適設計における制約処理に関する検討

- Kriging法に基づく解探索法(EGO法)に適用可能な制約条件処理法を提案・開発した
- 制約満足確率関数を仮定し, それを改善期待値(EHVI)に乗じた式の最大化を行う. 制約満足確率関数にはPossibility of Feasible, Bagehriらの手法, Tutumらの手法を評価した



NURBSの多制御点を対象とした空力最適化における設計空間縮約の効果

左2図はNURBSを用いた抵抗最小化・断面積最大化の多目的設計問題における物体形状の例である。オリジナルでは上の10変数を設定したが, 設計空間縮約により下に示す5変数のセットが選択された。左3図は数値解析結果から求めたANOVAによる各変数の寄与度であり, x1およびx2, すなわち物体後方の制御点の寄与度が特に高いことがわかる。右の2図は設計空間縮約前後それぞれの最適解探索結果であり, 同一サンプル数では変数縮約時のみ適切にパレート面が得られており, 解収束も早いことが確かめられた。



制約満足確率関数の評価

図は評価した制約条件の近似関数から定義する「制約満足確率」の例である。実行可能領域の境界における改善期待値の評価は境界取得に影響を与える。

## 研究内容

## 制約条件付き多目的問題に対する最適設計手法の実問題適用

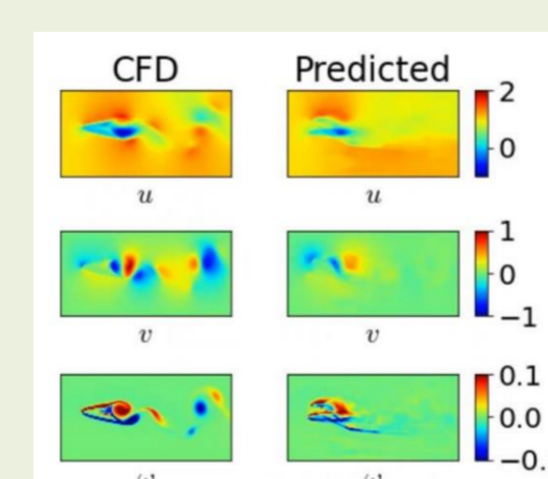
- EGO法に制約条件処理法を適用し, 空力最適設計問題を対象に手法の有効性を調査し, 制約満足確率関数の特性・解探索効率の向上を調べる

## 高自由度の設計問題に対する効率的解探索手法の開発

- 2021年度に提案した変数縮約法の解探索性能を単純問題を用いて調査するとともに, 流体制御デバイスの大規模な統合最適設計に適用し, 解探索の効率化達成を実証する

## 深層学習による数値流体力学の収束性向上に関する研究

- 大規模な最適空力設計に必要な高精度CFDの解収束を加速するために, CFDの初期値を深層学習で予測し解の取得を低コスト化する手法の大規模計算への援用を目指す



深層学習による解収束性向上手法

幾つかの代表サンプルとしてのCFD結果を用い, 予測モデルの作成を行い, 深層学習による時系列予測を行った結果を初期値としたCFDを行う。初期値が既に収束解に近づいていれば, 一様流から開始する一般的なCFDに比べて解の収束性向上が期待できる。

## 計算手法と利用資源

高速CFDコードを用いた空力応用研究プラットフォームを利用 (jh160032-NAJ, jh170047-NAJ (代表者: 松尾裕一) により提案)

- グリッド生成・空力解析: HexaGrid + FaSTAR [物体形状定義→3Dモデル生成→グリッド生成を自動実行]
- 空力最適化フレームワーク: 多点追加サンプリングEGO法による低コストサンプリング, 及びCMOEA/D-HXDMAの適用

利用計算資源: 北海道大学 Grand Chariot / インタークラウド仮想サーバ