

分散型プラズマアクチュエータと物体形状の統合最適設計による 仮想空力形状の実現



共同研究者：金崎雅博(首都大学東京・副代表)、樋口隆浩(鳥取大学)、林謙司(JAXA)

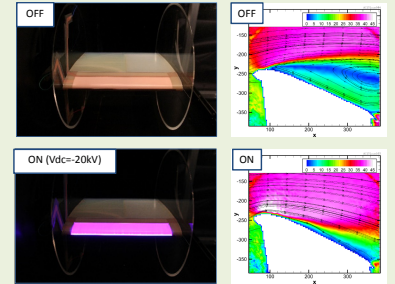
背景

プラズマアクチュエータ (PA): 放電プラズマを利用した流体制御デバイス

- ・ 可動部分なし、単純構造、高速応答
- ・ 流体制御への応用: 剥離制御、遷移制御 ... 実験室レベルでは有効

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**
 - ・ 流体制御デバイスのポテンシャルが生かされていない
- ・ 制御因子が非常に多く、最適な設計が困難

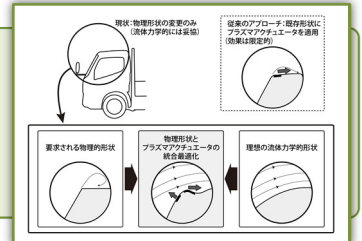


多電極プラズマアクチュエータによる二次元翼の剥離制御風洞試験(松野 2017)

目的

流体制御デバイスの存在を前提とした高性能な空力形状(“仮想空力形状”)の実現

- ・ **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

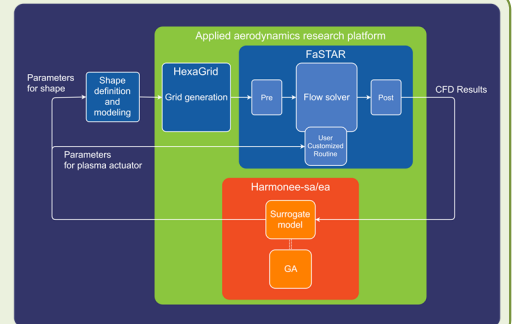


手法

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(JAXA)), jh180079-NAH(代表者:松野)

- ・ **グリッド生成・空力解析: HexaGrid + FaSTAR**
 - ・ プラズマアクチュエータは体積カソースとして実装
 - ・ 物体形状定義(修正PARSEC法)→3Dモデル生成(STL)→グリッド生成(HexaGrid)を自動実行
- ・ **空力最適化フレームワーク: Harmonee-sa/ea**
 - ・ 改良NSGA-IIによる大域的最適化/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
- ・ **利用計算資源**
 - ・ マルチプラットフォーム
 - ・ 北海道大学 CX400, 名古屋大学 FX100, CX400



研究計画

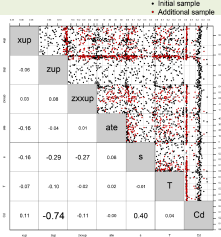
これまでの研究内容

- ・ **最適化・設計手法の開発と実装**
 - ・ 直接GA法による評価・最適化手法選択ガイドラインの提示
 - ・ 制約付き最適化問題に対する有効な手法の導入
 - ・ EGO法の効率的実行手法・投機的実行手法の調査
- ・ **形状/PA統合最適設計**
 - ・ Phase 1 (Feasibility Study): 単純形状の統合最適設計試験
 - ・ ブラフボディの抗力最小化問題
 - ・ PARSECによる形状変数とPAの位置・強度を最適設計

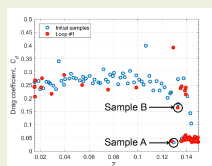
→ 本手法の有効性を確認した

今年度の研究計画

- ・ **最適化・設計手法の高度化**
 - ・ 制約付き最適化問題へのEGO-MAS法への応用
 - ・ EHV1および重み付きEIの導入とメタ最適化
 - ・ 直接GA法とのハイブリッド化(最適化手法選択の自動化)
- ・ **形状/PA統合最適設計**
 - ・ Phase 1.5: 最適設計手法の自由度・信頼性の向上
 - ・ 形状定義の自由度向上, 3次元物体への拡張
 - ・ 多数分散型プラズマアクチュエータの導入
 - ・ Phase 2: 統合最適設計による仮想空力形状の実証
 - ・ 空力制御効果の最大化・物理的要求達成の両立

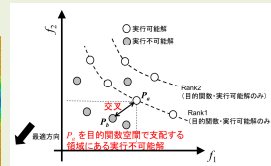
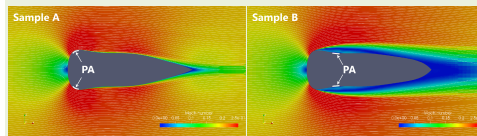


統合最適設計のサンプル散布図行列:
追加サンプルの大部分は厚さ z_{up} が大きくPA位置 s が小さい領域に集中しており、抗力係数 C_d も同領域で低下している



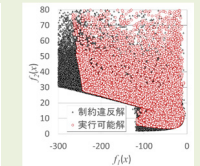
物体厚さ z_{up} と C_d の関係:

物体厚さが大きい場合のみ、PA駆動と組み合わせることで抵抗が低減された。またその場合にも、PAが前縁近傍に設置されている場合は抵抗低減する(Sample A)が、そうでない場合には剥離抑制効果はなく、抵抗は大きい(Sample B)



指向性交配による解選択の概念図:

制約違反解を活用し、計算工数を増やすことなく良好な制約満足解を得るため、指向性交配法を導入した



指向性交配の性能検証:

6制約付きの2目的同時最小化の数学問題に指向性交配を適用し、従来のペナルティ法と比較してより大域的なパレート解を得た