

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

JHPCN

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)

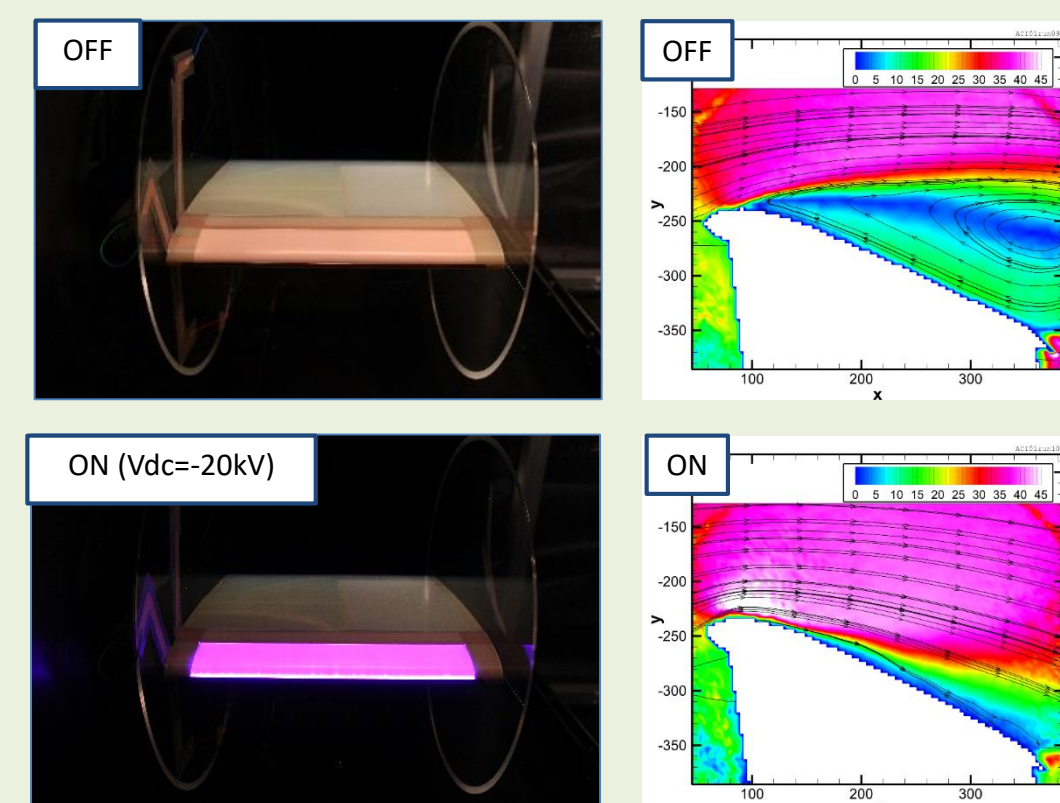
背景

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

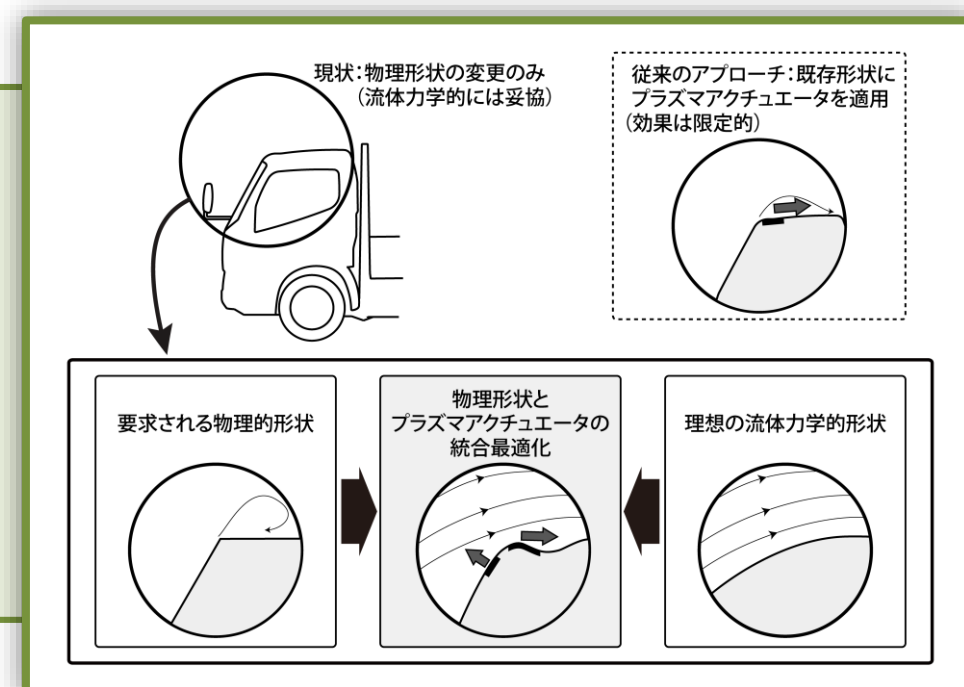


多電極プラズマアクチュエータによる二次元翼の剥離制御風洞試験(松野 2017)

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

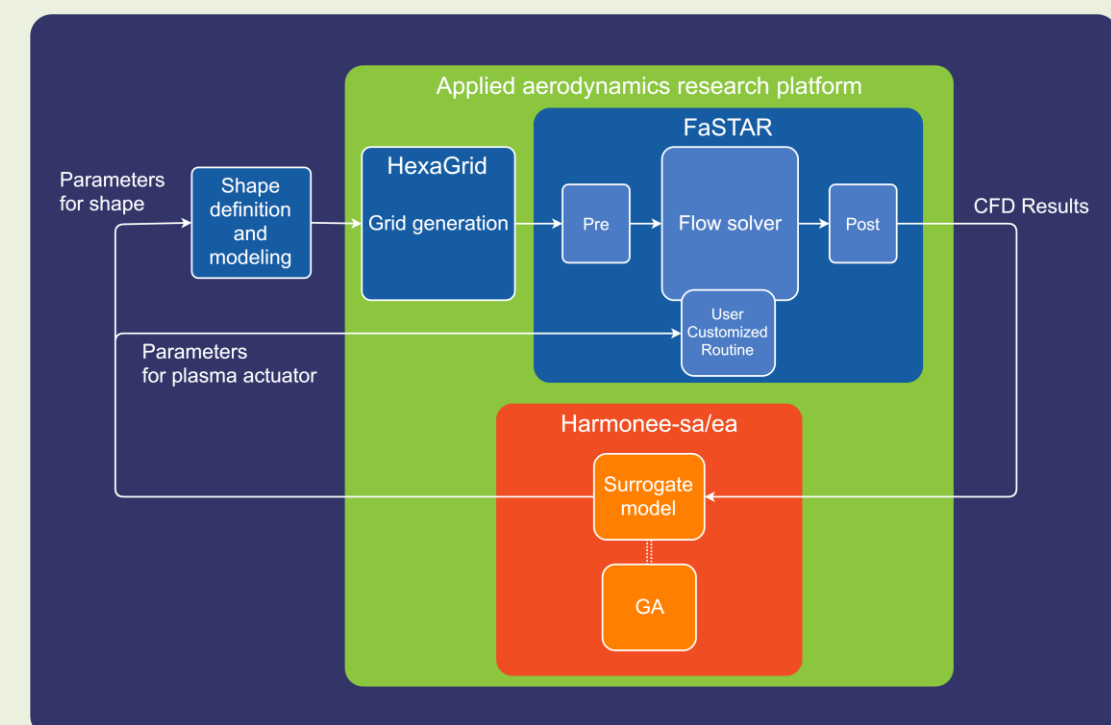


手法

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)

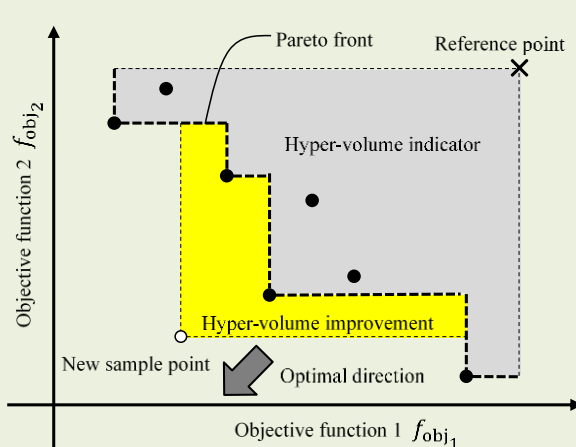
- グリッド生成・空力解析: HexaGrid + FaSTAR
 - 物体形状定義(修正PARSEC法)→3Dモデル生成(STL)→グリッド生成(HexaGrid)を自動実行
- 空力最適化フレームワーク: Harmonie-sa/ea
 - 多点追加サンプリングEGO法による低コストサンプリング
- 利用計算資源
 - マルチプラットフォーム(北海道大学 CX400, 名古屋大学 FX100, CX400)



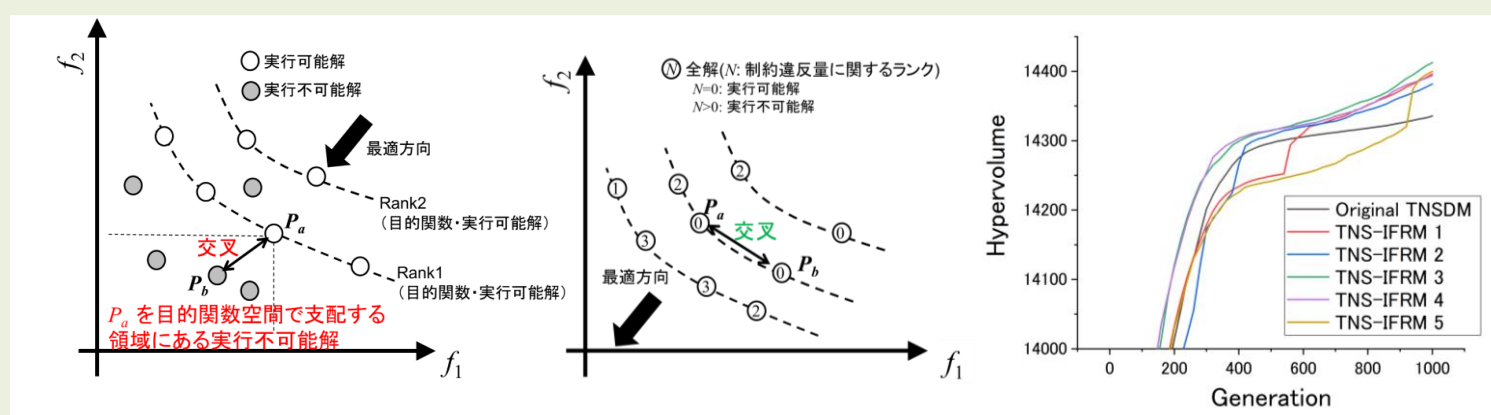
研究成果

最適化・設計手法の高度化

- Expected Hypervolume Improvement: EHVIの導入
 - 2目的関数を持つ多目的問題について, ExactなPareto解に到達するサンプル点を得ることができた。
- 制約付き最適化問題に対する手法検討
 - 2段階非優劣ソーティングを基盤とする手法(TNSDM, TNS-IFRM)の併用を検討した。多制約問題ではTNS-IFRM併用手法が有効であることが明らかとなった。
- 流れ場の解析法の検討
 - 畳み込みニューラルネットワークを時系列方向に拡張し, CFDの流れ場から計算ステップを内挿する中間流れ場を取得する手法を提案し, 任意時間における流れ場の様相の再現ができることを示した
 - 流線などが形成する形状に基づくトポロジー分析を行った。非定常流れのトポロジー分析法の適用の他, 構成されるトポロジー要素に対応する文字がどのように遷移するかを可視化した。



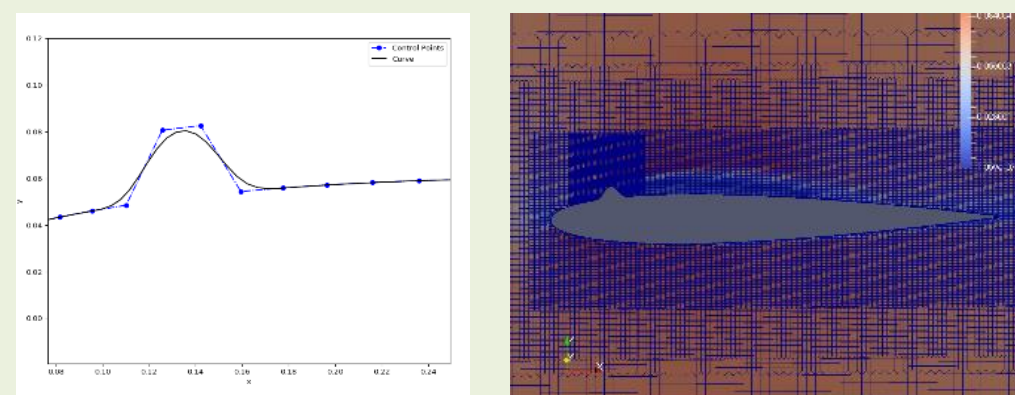
EHVIの概念図:
Krigingによる予測値による多目的解の改善期待量を表す指標であり, 最大化により, 多目的解のハイパーボリュームを最も最大化するものと期待できる設計点を指示する



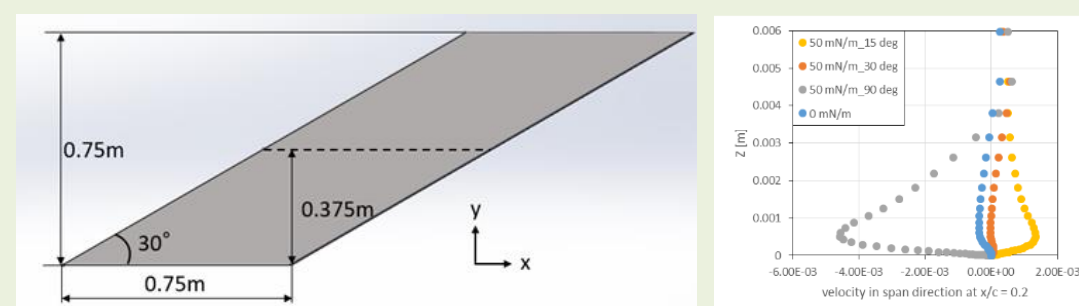
制約条件付き多目的問題に対する進化計算法の手法:
(左) TNSDMは二段階非支配ソートで制約違反量に基づいて解集団をグループ化しランキングし, 指向性交配で, ランキングの高い制約違反解と実行可能解との子を生成する。(中)TNS-IFRMはこれに対して, TNS後に制約違反量に対するランクが同一となる解同士での交配を行い子を生成する。100試行の平均値により評価を行った結果, NS-IFRMは, どの選択法においてもTNSDMより良好かつ同程度となる結果となった(右)

形状/PA統合最適設計

- 最適設計手法の自由度・信頼性の向上
 - スプラインによる局所的な形状定義手法を実装した。同時に少数の代表的なパラメータで形状を表現する, PARSEC法の利点を生かすため, PARSEC法の形状表現に局所変更をパッチする手法を検討中。
- 多数分散型プラズマアクチュエータの導入
 - 後退翼境界層の横流れを例に, 翼にプラズマアクチュエータを面状に分布させたときの境界層の特性変化を調査し, モデルの妥当性を検証した。



形状定義の自由度向上:
物体面を定義するコントロールポイントを71点設定し, スプラインにより形状定義を行った(左)。バンプ付き翼型の計算例(右)では形状が急激に変化する点では格子解像度を自動的に上げている



多数分散型プラズマアクチュエータの数値計算例:
(左)は後退角付き平板翼の概略図である。PAは前縁近傍(0.13 < x/c = 0.17)の領域に体積力ソースとして配置した。体積力の方向は前縁に対して, 15 - 90 deg の領域で変化させた。(右)は後退翼境界層内横流れ速度分布であり, 体積力ソースの導入が正しく行われていること, 最適化により境界層底部の横流れ成分が適切に緩和されていることがわかる。