

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) 村上桂一, 林謙司(JAXA) 福嶋祐貴, 岡田慎太郎, 南角卓弥(鳥取大学)

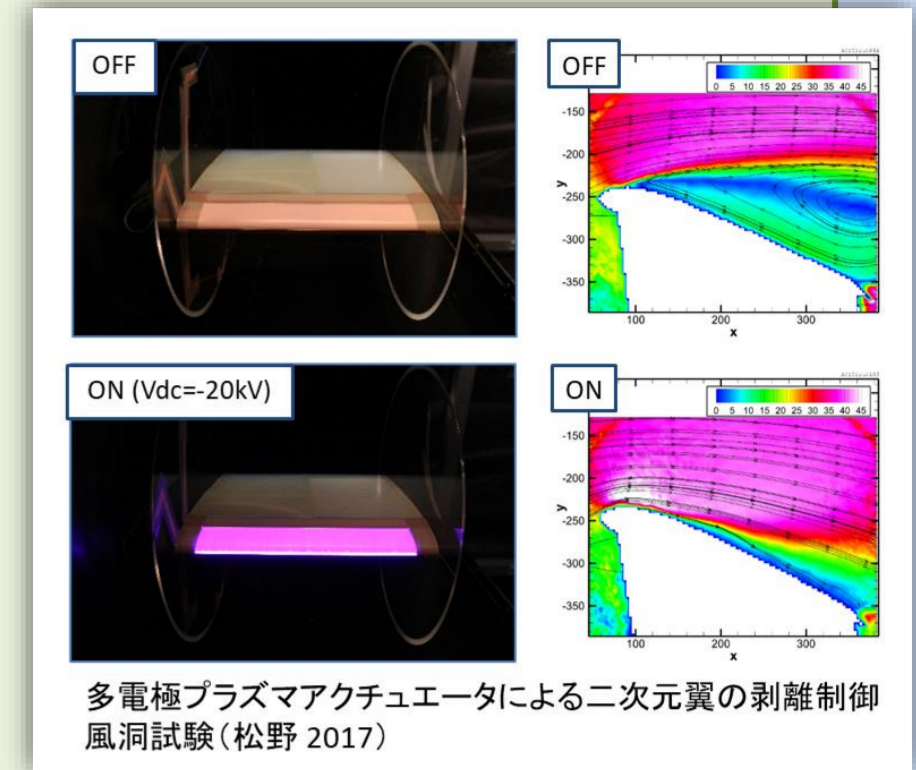
背景

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”)

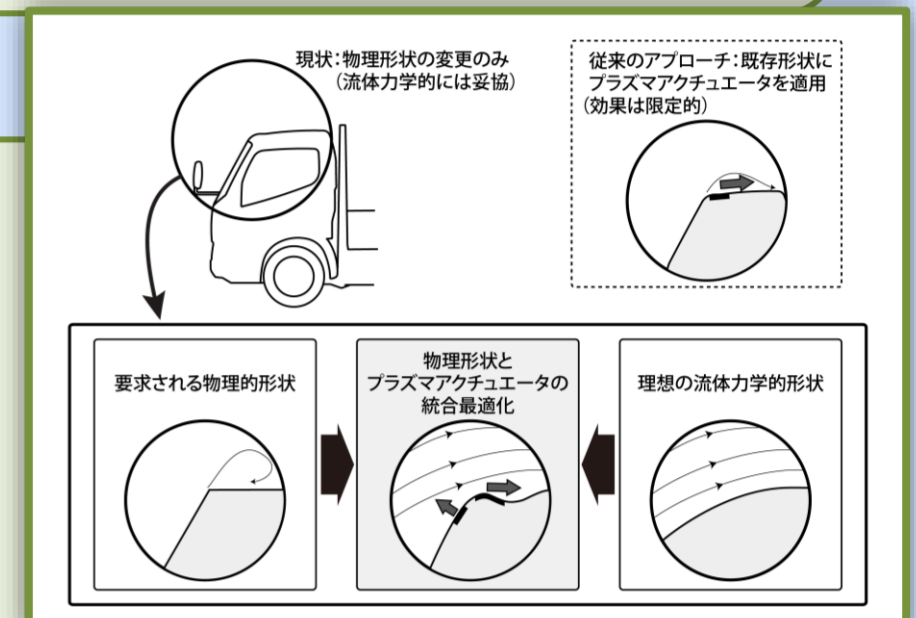


多電極プラズマアクチュエータによる二次元翼の剥離制御風洞試験(松野 2017)

目的

統合最適設計における安定・高効率な解探索手法を検討・提案する

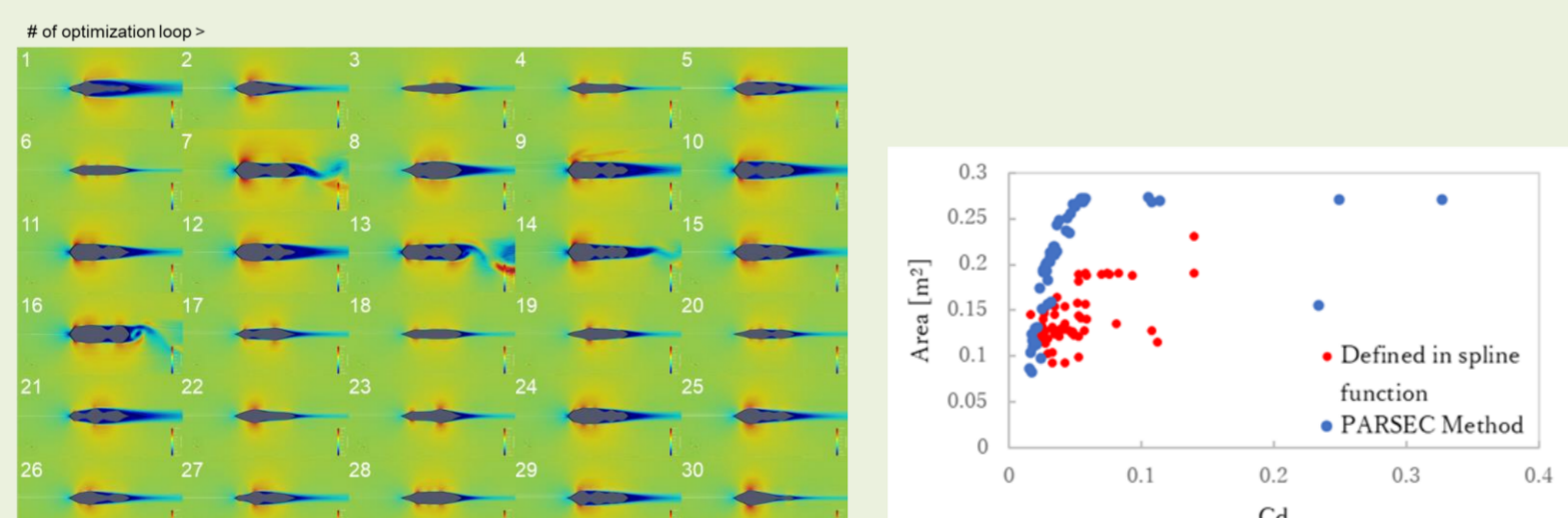
- ・ 制約付き・多次元/非独立設計変数を対象とする最適設計の課題を解決する
- ・ 流体制御デバイスつき物体の空力制御効果向上のための設計指針を得る



萌芽研究の成果と知見

物体形状の表現自由度の拡大

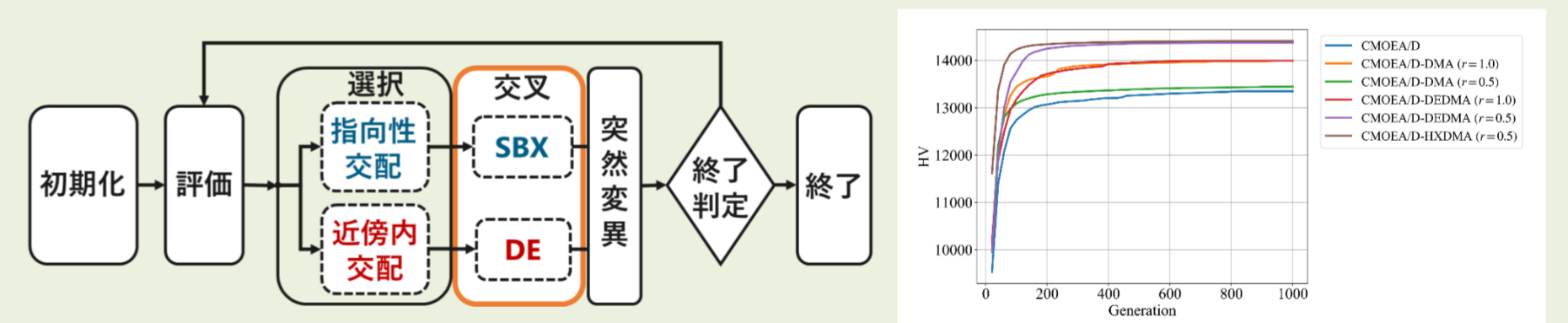
- ・ 非一様有理Bスプライン (NURBS) による形状定義法を採用し, EGO法による20点の制御点を用いた, 抗力最小化・断面積最大化の多目的空力最適設計を行った.
 - ・ 解探索効率が致命的に悪化した. 主要な原因は, スプライン曲線の制御点のような多次元かつ独立でない変数群を設計対象とする際のパラメータ間の依存関係を無視しているためと考察した.
 - ・ 本問題を解決するために, knot vectorを設計変数に含む手法や, 主成分分析により依存関係を表す変数を求める方法について検討した.



制約条件付き多目的問題に対する進化計算法の手法:
左図は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, 最適化ループごとの個体形状と流れ場の履歴である. 既存手法に比較して形状の自由度は飛躍的に向上した. 探索に伴い後流域が縮小しており解探索は適切になされているのがわかるが, 物体表面は平滑となっておらず収束解に至っていないことがうかがえる.
右図は本試行と従来手法(PARSEC)の目的関数空間上での解分布を示している. 本試行では解探索効率の悪化により, 正しいパレート面を得られていない.

難制約問題の効率的最適化手法の提案

- ・ 制約付き問題において, 制約違反解の選択確率を向上させて目的関数値が優秀な制約違反解の情報を活用するために, 交叉法を改善した実問題最適化に適したスキームを提案し, ベンチマーク関数を用いて評価を行った.
 - ・ (1)交叉演算子をSBXから差分進化演算子に置き換え, 指向性交配と近傍内交配を用いる手法
 - ・ (2)指向性交配にはSBXを, 近傍内交配実施時には差分演算子を用いるハイブリッド法
- ・ 提案手法は指向性交配のみを用いた手法と比較して優れた最適化性能を示した. 初期値依存性が低減し, 実世界問題への適用性が向上することも実証できた.



制約条件付き多目的問題に対する進化計算法:
左図は提案した最適化手法のうち, 選択法に適した交叉法の選択を行うハイブリッド法(CMOEA/D-HXDMA)の概要である. 優良解探索性能向上のためには指向性交配+交叉法(SBX)を用い, SBXにより非劣解を改善できる子個体を生成する一方で, 優良解の多様性向上のために近傍内交配+差分進化演算子(DE)を用い, 注目している個体の近傍個体を優良解候補として選択する.
右図は対象とする各手法でOSYを解いたときのHVの履歴である. 提案手法(1)(CMOEA/D-DEMA)や, 提案手法(2)(CMOEA/D-HXDMA)の収束性能の高さが示されている.

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検討と実問題を用いた性能調査

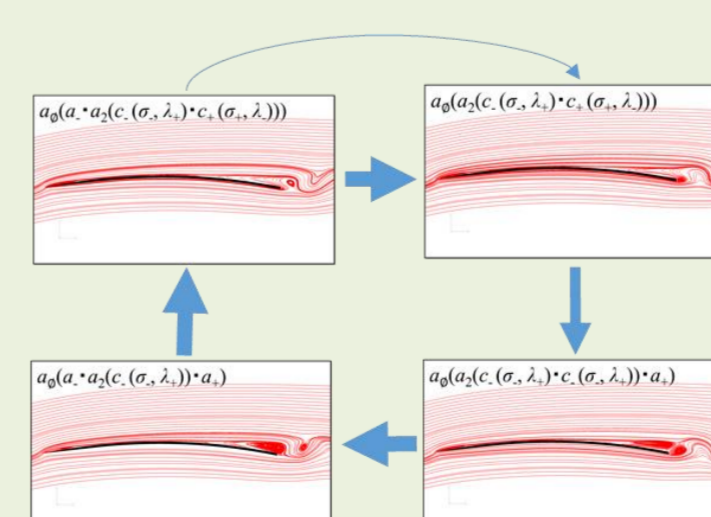
- ・ 空力設計問題を対象として本手法を適用し, 実問題における性能調査を行い, 手法の有効性を検討・実証する.

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

- ・ 最適化ループ中に設計変数の感度を評価し, 設計ループが進むにつれ重要な変数のみが残るように, 設計空間を縮退させる手法を提案し, 実装・評価を行う.

設計過程の流体場情報を用いた解評価法の検討

- ・ 流れのトポロジー分析情報を最適設計の個体評価に用い, 多目的問題における非劣解のクラスタリングと流れの特徴抽出に利用できるか調査する.



流れのトポロジーの文字列化による分析法
湧き出し位置や渦の方向などの基本的なトポロジーを文字で表現し, その組み合わせで流れ場を表記する手法である. 図は流れ場と対応する文字列を示しており, 複雑な流体場をきわめて少ない情報量で表現することができる.

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(JAXA)), jh180079-NAH, jh190076-NAJ, EX20105 (代表者: 松野)

- ・ 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