九州大学情報基盤研究開発センター

民間利用成果報告書

提出日： 2023年 9月 19日

<table>
<tr><td colspan="2">利 用 課 題 名</td><td colspan="5">流体解析・機械学習・最適化の組み合わせによる自動設計手法の可能性調査</td></tr>
<tr><td rowspan="3">課題責任者</td><td>企 業 名</td><td colspan="5">一般社団法人 日本自動車工業会</td></tr>
<tr><td>フリガナ
氏 名</td><td>トヨオカ タエコ
豊岡 妙子</td><td>部署名</td><td>安全・環境領域 3部</td><td>職 位</td><td>主任</td></tr>
<tr><td>連 絡 先</td><td colspan="4">住 所：〒105-0012
東京都港区芝大門1-1-30 日本自動車会館
E-mail：toyooka-t@mta.jama.or.jp</td><td>TEL 03-5405-6125
FAX</td></tr>
<tr><td colspan="2">利 用 期 間</td><td colspan="5">2023年 5月 1日 ～ 2023年 7月 31日</td></tr>
<tr><td colspan="2">利用成果公開延期希望の有無</td><td colspan="5">■ 即時公開 ・ □ 公開延期（成果公開予定： 年 月）</td></tr>
</table>

※利用成果報告書は原則公開ですが、課題終了後最大2年間公開を延期することが可能です。

- 本様式の変更はできません。
- 補足資料を付加することは可能です。

受 付 番 号		受付日 年 月 日

■利用計画全体の概略（申込書と同じ内容を記述してください）

1） 利用目的

日本の自動車業界は、グローバル競争の中で、安全性、燃費、快適性など車の更なる性能向上と、低コスト化の両立が必須となっている。安全基準、環境基準が厳しくなる中、高いレベルで複数の性能を両立させることはますます難しくなっており、シミュレーション利用の拡大が重要になっている。

そのために、自動車メーカ各社が連携して各社が現在保有しているスパコンでは実施できない計算を外部の計算機で実施することにより、10 年先の実用化が期待出来るシミュレーション活用技術の検討と開発を行う。

2） 利用意義

新たなシミュレーション活用技術の検討と開発には自動車メーカ各社が実施するモデル作成や実験との検証などの取り組みに加え、アプリケーションソフトウェアの高度化・高性能化および利用技術の向上が不可欠である。そのため、自動車メーカだけでなく、アプリケーションソフトウェアベンダと協力して取り組むことが必要である。

本研究では、日本のすべての自動メーカが加盟している日本自動車工業会が実施することにより、ソフトウェアベンダ及びハードウェアベンダと協力体制を取ることが可能で、各社単独では困難な商用アプリケーションの利用高度化を実現する体制を作った。これまでも、自動車開発に重要なシミュレーション技術の開発にとりくんできた。技術開発の目的は主に３つに分けられる

① 実験評価しかできない性能評価をシミュレーションに置き換える
② シミュレーションを使った革新的な開発プロセス実現のための手法開発を実施
③ 実験室での性能評価ではなく、リアルワールドでの性能評価をシミュレーションで実現することで、自動車の開発期間短縮、コスト削減、性能向上の両立をはかる

従来のシミュレーション活用は上記①の狙いがほとんどであったが、高性能コンピュータと AI などのデータ分析手法他の最新技術を活用することで、②③の実現を目指して取り組む。

3） 必要性

本研究の成果は、自動車メーカ各社において、開発に適用するための更なる応用研究を経て、実用化され、自動車の開発期間短縮、コスト削減、環境・安全などの性能向上を実現し、日本の自動車産業全体の競争力強化に資するものである。また、開発した手法、および手法実現にむけた課題を公開し、幅広い産業で実用化に向けた研究を可能にする。

さらに、シミュレーション技術の開発を通じ、アプリケーションの高速化、高機能化を実施する。そのアプリケーションについては、全業種、全世界に対し、利用を開放する。また、自動車工業会が本研究の成果を対外的に発信することで、シミュレーション先端技術が産業応用に繋がることが周知され、他の商用アプリケーションソフトウェアの高度化や、自動車業界以外の産業における応用にもより一層広がることが期待される。各社が単独で実施する場合に比べ波及効果は大きい。

研究項目テーマ毎の必要性と効果は以下の通り。

【テーマ】流体解析・機械学習・最適化の組み合わせによる自動設計手法の可能性調査
空調ダクトの CFD 解析を用いたシミュレーション

現象把握と物理量の計測によりダクト内および車室内における現象を再現する。今回は流れ現象を検討対象とするが、将来的には熱や音へと考慮範囲を広げることで自動車開発におけるより高い快適性解析への応用が期待できる。シミュレーション結果からの製品形状抽出のための手法は、他部品は言うに及ばず、CAD 設計を行う全産業分野への展開が期待できる。

多様化社会におけるお客様ニーズに応えるため、各自動車メーカは従来に比べより短期間での車両開発が求められている。開発期間短縮に向けては、試作車を作らずに車両性能を予測するシミュレーション技術が広く利用されている。こうした性能予測は製品形状創成後に実施することを前提とした検討が多いが、実際の開発現場で求められているのは目標性能をはじめとした製造制約等を含めた製品形状を得ることであり、その形状 CAD の生成に他ならない。本来の狙いである開発期間短縮には、このような初期形状生成、性能予測、改良形状のフィードバック、再設計といった一連の流れからの脱却が必要であり、自動設計はプロセス改革の大きなカギであると言える。

本研究では、この自動設計に対し、シミュレーションを原動力に機械学習および最適化手法の組み合わせによる製品形状の自動生成の可能性を探る。

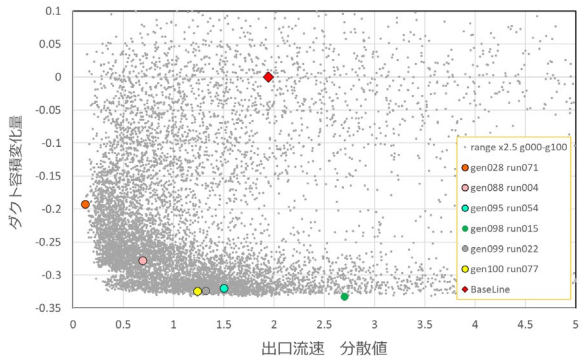
■成果の概要

1） 本課題で得られた具体的な成果

成果１：設計変数の範囲拡大検討

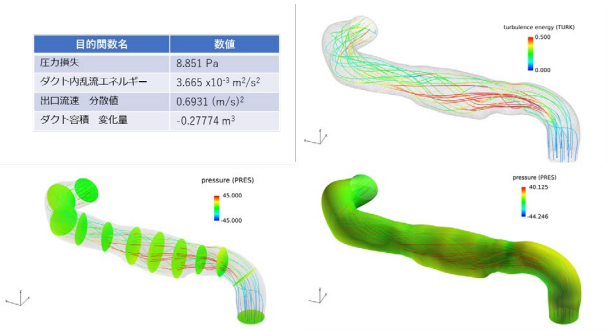
2022 年度に実施した車両用空調ダクトを模擬した簡易ダクトの形状最適化モデルを使用し、形状に関する設計変数を 2.5 倍の範囲に拡大できるように対応し、より自由な形状で設計探索ができることを確認した。

- 設計変数の範囲拡大によりダクト形状の自由度が増し、より良好な性能の形状を探索できるようになった。
- 設計バリエーションが増加するため、より多くの計算試行が必要となる傾向を確認した。



図A.　ダクト容積と出口流速 最小化の探索結果

目的関数名	数値
圧力損失	8.851 Pa
ダクト内乱流エネルギー	3.665 x10^{-3} m^2/s^2
出口流速　分散値	0.6931 (m/s)^2
ダクト容積　変化量	-0.27774 m^3



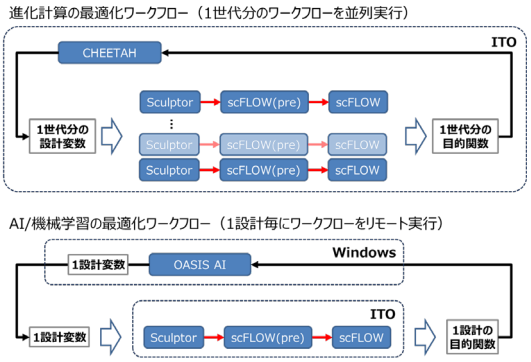
図B.　圧力損失最小のダクト形状と結果

- 形状変更によるモーフィングや解析計算のエラーに対応し、最適化計算が停止しないように改修
- 設計変数を 2.5 倍の範囲に拡大し最適化を実行。4 目的（圧力損失、乱流エネルギー、出口流速の分散値、ダクト容積の変化量）、110 設計変数（形状パラメータ）の形状最適化で、10000 ケース（1 世代 100 個体×100 世代）の解析計算を ITO で実行

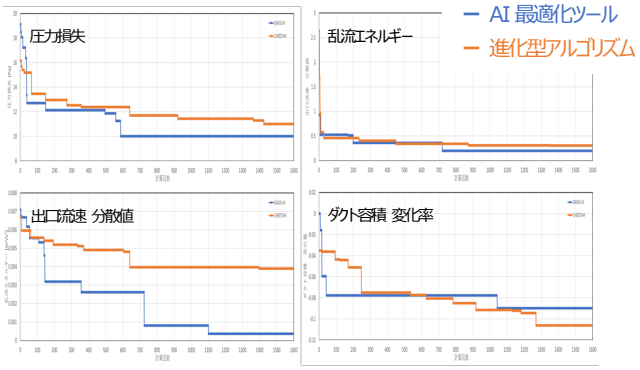
成果 2：AI 実用可能性調査

AI/機械学習を使用する商用の最適化ツールで形状最適化を実施し、探索の過程や最適化の到達度などを進化型アルゴリズムと比較した。今回使用した AI 最適化ツールは、進化型アルゴリズムと探索の進み方が違うものの、最適化実行の早い段階で各目的関数のベスト解を探索できた。また、1 設計毎に探索をするので各試行で設計を評価できるなどの利点があることを確認した。

- 目的関数間のパレート解の探索は進化型アルゴリズムの方が進んでいる。
- 今回評価した AI 最適化ツールは、目的関数毎のベスト解を早い段階で探索した。また、1 設計毎に探索を進めるので、進化型アルゴリズムよりも少ない試行回数で設計を評価できる可能性がある。



図C.　AI 最適化ワークフローの改修



図D.　目的関数毎のベスト解推移

- 進化型アルゴリズム用の最適化ワークフローを AI 最適化ツール用に改修（1 設計毎に探索を進める）
- 1600 回の試行回数で形状最適化（4 目的、110 設計変数）を実施。進化型アルゴリズムで同じ試行回数となる 16 世代（1 世代 100 個体×16 世代）の最適化結果と比較

2)　社会・経済への波及効果の見通し

簡易ダクトを用いた形状最適化で、より自由な形状で設計探索ができることを確認できた。複雑で多様な形状に対し形状の自由度を拡大できることで、設計者はより柔軟な形状で最適設計を検討することができるようになる。必要とする計算資源は増加する傾向であるが、後述の AI/機械学習などを使用する最適化ツールなども含め、利用方法の検討を進めることができる。

今回評価した AI 最適化ツールは進化型アルゴリズムと違い、1 設計毎に設計値を評価できるので、計算資源が制限される環境などで活用できる可能性がある。利用環境やツールの特性に合わせた使用により効果が期待できると考える。

3)　その他

―

■利用アンケートにご協力ください

1) 利用に関して有益であった事項

・使用方法等の質問に対しては、貴センター運用サポート窓口のご担当者様、ならびに担当ベンダー様からの迅速かつ丁寧なご対応を頂き、大変助かりました。

・最適化計算の様な小規模・多頻度の計算にHPCが活用できることが確認できた点で有意義であったと思います。

・小規模・多頻度の計算を行っていることから、小規模計算に適したリソースグループや計算ノードの隙間時間を見つけて割り込みを行うジョブ投入の管理をしていただいているのは、弊テーマの実施には非常にありがたい状況でした。

2) 利用に関して生じた問題点など

・商用ソフトを使用する際のライセンスサーバーをご準備いただけると利便性が高まると思います。
民間利用において商用ソフトの利用は不可欠と考えますので、ご配慮いただけましたら幸いです。

・グループ内メンバー間で共有できる作業ディレクトリの設定ができるとより円滑に作業分担ができると考えます。

3) ユーザーサポートとして必要と考えられることについて

特にありません。

4) 施設利用に係る感想・改善を希望することについて

・計算機の利用に際し、保守頻度の低減や保守期間の短縮などをご検討いただけると助かります。

・契約期間いっぱいまでジョブ実行が可能な反面、計算データの引き上げも契約期間内に実施しなければならなかった点は多少の不便を感じました。計算ジョブの実行が不可となってからログインとデータアクセスのみ可能な期間を設けるような運用方法をご検討いただけますと助かります。

5) 本事業で得られた成果や公表する予定の成果があれば以降に記述をお願いします