

Press Release

2026 年 2 月 20 日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学

国立大学法人九州大学

**AI が「理想の主翼」を自律設計、計算コスト 1/10 で
大型旅客機主翼の最適形状を導出
—水素・アンモニア燃料機など脱炭素機の開発加速に期待—**

【発表のポイント】

- 多目的ベイズ最適化^(注1)により、膨大な計算が必要な主翼設計を、従来比 10 分の 1 の計算回数で実現しました。
- 空気の力による翼のたわみと材料の破壊を同時に考慮し、AI が自動で補強・軽量化を行うことで、空気抵抗と重量を最小化した理想の形状群を導き出しました。
- 部材ごとの材料特性や製造時の炭素繊維のズレの影響を解明。水素・アンモニア燃料機など、新しい形態の次世代航空機開発において大幅なスピードアップに繋がります。

【概要】

炭素繊維強化プラスチック（CFRP）^(注2)を用いた次世代航空機の設計において、燃費向上のための「翼の細長化（高アスペクト比^(注3)化）」と「軽量化」の両立は最大の課題です。東北大学流体科学研究所の Liu Yajun 特任研究員、阿部圭晃准教授、および九州大学大学院工学研究院の下山幸治教授らの研究チームは、強力な AI 手法である「多目的ベイズ最適化」を導入し、膨大な計算（数千回）が必要な設計解析を従来の 10 分の 1 まで短縮することに成功しました。

本研究の最大の特徴は、空気力による翼のたわみを計算しながら、材料が壊れないギリギリの厚みを自動調整する手法を開発した点です。AI が「強度が足りない部分は補強し、無駄な部分は削ぎ落とす」工程を自律的に繰り返すことで、空気抵抗と重量を最小化した理想の主翼を自動で導き出せます。

この自動設計により、主翼の下面パネルは最新材料で劇的に軽くなる一方、後ろ桁の重さは材料よりも翼の長さに左右されるという設計上の重要な特性を解明し、製造時の繊維のズレが性能に与える影響も初めて定量化しました。この AI 技術は、設計期間を大幅に短縮するだけでなく、水素やアンモニア燃料を用いる脱炭素機、高高度無人機など、これまでにない新しい形態の航空機開発を加速させる鍵となります。

今回の研究成果は、2026 年 2 月 6 日に複合材料に関する専門誌 Composite Structures に掲載されました。

【詳細な説明】

研究の背景

次世代の航空機開発において、軽くて強い炭素繊維強化プラスチック（CFRP）は欠かせない材料です。しかし、燃費向上のための「空気抵抗の低減」と、安全性を保つための「軽量化・強度確保」は、一方が良くなればもう一方が悪くなるという難しい関係（トレードオフ）にあります。特に、空気の力で翼が大きいたわむ現象（流体構造連成）を正確に予測するには膨大な計算が必要であり、無数の設計案から最適なものを選び出すことは大きな障壁となっていました。

今回の取り組み

本研究では、少ない試行回数で効率的に最適解を見出す AI 手法、多目的ベイズ最適化（MBO）を採用しました。この手法は、まず数少ないシミュレーション結果を元に、設計空間全体の性能を予測する「サロゲートモデル（代理モデル）」^{（注 4）}を構築します。次に、予測精度の低い未知の領域を探索する「探索（Exploration）」と、既に良い性能が見込まれる領域をさらに追い込む「活用（Exploitation）」のバランスを賢く判断しながら、次にシミュレーションすべき設計案を決定します。この仕組みにより、従来の遺伝的アルゴリズムが必要とした数千回の計算に対し、わずか 10 分の 1（100 回）の計算で、より多様で優れた性能を持つ主翼形状を特定することに成功しました（図 1）。

また、研究チームは、空気の力と構造の変形を相互に計算する流体構造連成解析^{（注 5）}のループ内に、複合材料特有の破壊力学に基づく部材寸法の設計プロセスを統合しました。このシステムは、翼形状が変化するたびに、翼に生じる空気力と変形を計算し、各部材にかかる力が限界を超えないか、破壊力学に基づいて判定します。その上で、安全率を確保しつつ最小の重量となるよう部材の厚みを再設計する、というプロセスを自律的に繰り返します。この自動化により、人の手による調整を介さず、最適解を得ることが可能となりました。

B777 クラスの大型機を想定し、異なる炭素繊維を用いて自動最適化を行い、主翼の各部位が次世代の高性能繊維によってどれだけ軽量化されるかを比較し、以下のような知見を得ました。まず、主翼下面パネルは高性能繊維の採用により大きく軽量化が可能で全体重量の削減に直結する一方、後ろ桁の重量は材料特性よりも「翼の長さ」に伴う荷重に支配されるという、部材ごとの異なる特性を解明しました。これにより、新しい材料を使うべき部材、そうでない部材を特定する「適材適所」の設計知見を明らかにしました（図 2）。また、CFRP の製造過程では、炭素繊維が設計通りに真っ直ぐ並ばず、わずかに傾いてしまう初期配向誤差^{（注 6）}が避けられませんが、本研究ではこの現象を微視力学モデルに基づき解析し、高アスペクト比の翼ほど、繊維のわずかな傾きを補うために大幅な重量増が必要になることを定量的に解明し、製造品質が設計性能に及ぼ

す影響を初めて明らかにしました。

今後の展開

本研究により、どの部材に高性能材料を投入すべきか、また製造精度をどこまで高めるべきかという「設計の優先順位」が、AIと自動設計技術によって明確になりました。今後は、突風荷重やフラッターなどの動的な影響も考慮に入れ、より実用的で信頼性の高いデジタルツイン技術へと発展させることで、様々な形態の次世代航空機開発へと貢献できるよう研究開発を進めていくことが期待されます。これにより、水素・アンモニア燃料機や高高度無人機といった新しい形態の航空機開発を劇的にスピードアップさせ、航空分野の脱炭素化に貢献することを目指します。

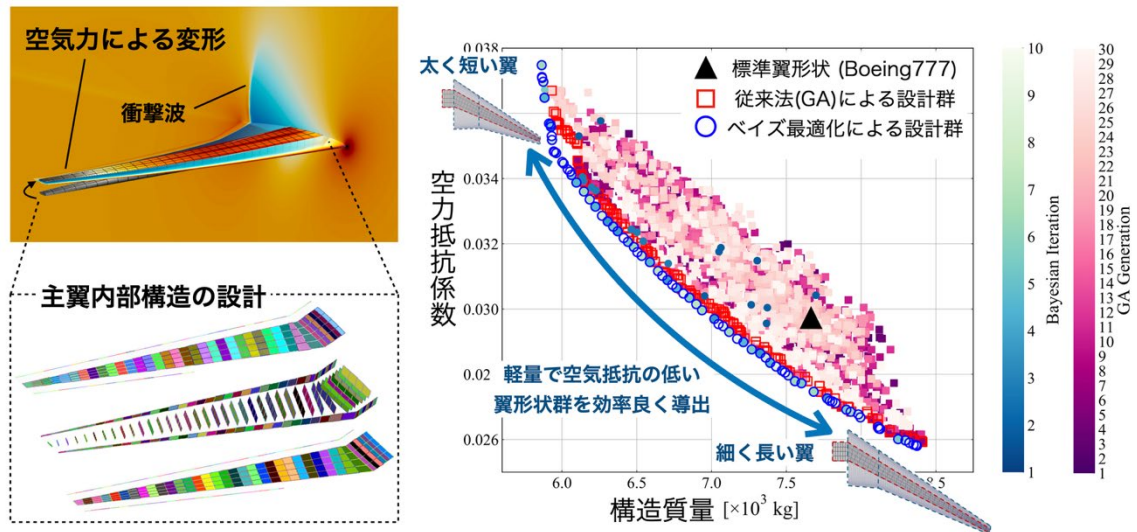


図 1. AI 手法の 1 つである MBO により計算コスト 1/10 で大型旅客機主翼の最適形状を導出

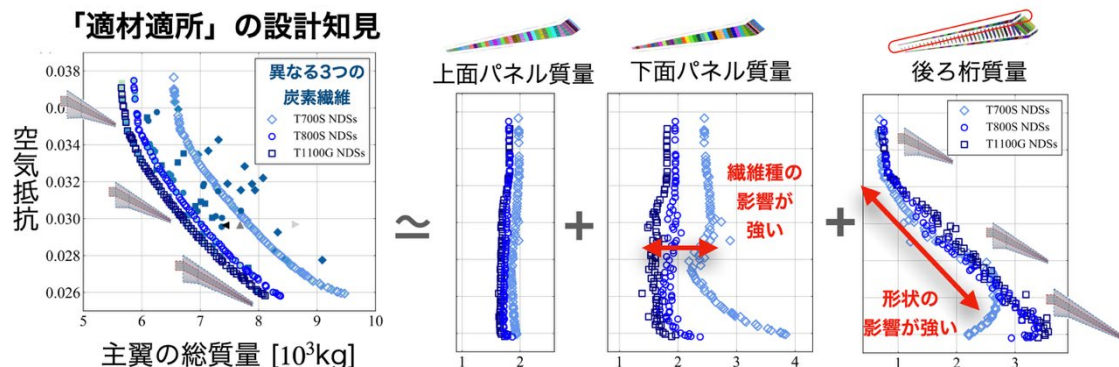


図 2. 新しい材料を使うべき部材、そうでない部材を特定する「適材適所」の設計知見

【謝辞】

本研究は、科学技術振興機構（JST）創発的研究支援事業（JPMJFR2124）および日本学術振興会科学研究費助成事業（24K01074）の支援を受けて行われました。また、本成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP20010）、および文部科学省（MEXT）「スーパーコンピュータ『富岳』成果創出加速プログラム」（JPMXP1020230320）による支援も一部受けています。

【用語説明】

- 注1. 多目的ベイズ最適化（MBO：Multi-objective Bayesian Optimization）：限られたデータから、「正解」となる可能性の高いものを予測する AI 手法の一種です。「燃費を良くしたい（空気抵抗の低減）」と「機体を軽くしたい（重量削減）」のように、片方を立てればもう片方が立たないトレードオフの関係にある複数の目的を、同時にバランスよく解決するために用いられます。
- 注2. 炭素繊維強化プラスチック（CFRP）：炭素繊維（カーボンファイバー）を樹脂で固めた複合材料です。「軽くて強い」のが最大の特徴で、近年の大型旅客機では、機体重量の約 50%にこの材料が使われており、燃費性能を支える主役となっています。
- 注3. アスペクト比：翼の「細長比」のことです。翼の幅（スパン長）を翼の付け根から先端までの平均的な長さで割った値です。高アスペクト比の翼は、空気抵抗を減らして燃費を向上させるのに有利ですが、その分たわみやすく、強度の確保が難しくなるという課題があります。
- 注4. サロゲートモデル（代理モデル、代替モデル）：膨大な計算時間を要する精密なシミュレーションを、AIで高速に再現した「代替りの予測モデル」です。材料や形状のデータを学習させることで、本来なら数時間かかる計算結果を一瞬で予測できるようになります。
- 注5. 流体構造連成解析：空気の流れ（流体）と、それによって変形する機体（構造）を、互いに影響し合うものとして同時に解析する手法です。高速で飛ぶ航空機の翼は、空気の力で大きくたわみます。その「たわみ」によって空気の流れも変わるため、両方を同時に計算しなければ正確な性能は予測できません。
- 注6. 配向誤差（はいこうごさ）：炭素繊維を重ねて部品を作る際、繊維が設計上の理想的な向きからわずかにズレてしまう製造上の「クセ」や「ミス」のことです。どんなに丁寧に作っても完全なゼロにはできませんが、このわずかなズレが、特に薄くて細長い翼の強度に大きな影響を与えることが今回の研究で改めて浮き彫りになりました。

【論文情報】

タイトル : Multi-objective Bayesian optimization of composite aircraft wings using various carbon fibers

著者 : Yajun Liu, Yoshiaki Abe*, Ryosuke Kano, Yuki Yatsu, Katsumi Nakamura, Koji Shimoyama, Tomonaga Okabe, Shigeru Obayashi

***責任著者** : 東北大学流体科学研究所 准教授 阿部圭晃

掲載誌 : Composite Structures

DOI : 10.1016/j.compstruct.2026.120105

URL : <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2026.120105>

【問い合わせ先】

(研究に関すること)

東北大学流体科学研究所

准教授 阿部 圭晃

TEL: 022-217-5233

Email: yoshiaki.abe@tohoku.ac.jp

HP: <https://www.ifs.tohoku.ac.jp/mulphd/jap>

(報道に関すること)

東北大学流体科学研究所

国際研究戦略室 (広報)

TEL: 022-217-5873

Email: ifs-koho@grp.tohoku.ac.jp

九州大学総務部広報課

TEL: 092-802-2130

Email: koho@jimu.kyushu-u.ac.jp