

「空飛ぶクルマ産業界構築のための人材育成プログラムの提案と実践」の成果の概要について

実施体制	主管実施機関	国立大学法人東海国立大学機構	実施期間	令和2年度～ 令和4年度 (3年間)	実施規模	予算総額（契約額） 19.5百万円		
	研究代表者名	名古屋大学 教授 砂田 茂				1年目	2年目	3年目
	共同参画機関	国立大学法人信州大学、学校法人金沢工業大学				4.6百万円	6.3百万円	8.6百万円

背景・全体目標

本課題では、空飛ぶクルマ産業の発展に必須であるにもかかわらず、我が国に欠けている「航空安全技術」及び「認証技術」と、それらが世界的に認められるために必須となる「飛行試験技術」に関する感覚と知見を有した人材育成のための教育スキームの確立を目標とする。本課題終了時には、航空機産業界をはじめとする幅広い知見を本格的に取り入れた、空飛ぶクルマ社会の実現に貢献する人材育成のための我が国初の教育スキームを完成させる。

全体概要・主な成果

3つの教育スキームに関する成果

- ①安全技術・認証技術・飛行試験技術に関する講義テキスト作成
- ②遠隔キャビンフライトシミュレータ実習法の確立
- ③仮想空飛ぶクルマからの騒音の作成：ネットで入手可能な空飛ぶクルマ、他の航空機からの騒音と合わせて使用

- ◎ 安全技術・認証技術に関する講義
- ◎ 空飛ぶクルマ周辺環境に関する実習
- ◎ 飛行試験技術に関する講義・実習



航空機産業界をはじめとする幅広い視点を本格的に取り入れた空飛ぶクルマ社会の実現に貢献する人材育成のための我が国初の教育スキーム

「ライフスタイル」・「獲得情報の質・量」の劇的な変化に対する我が国の主導的役割



空飛ぶクルマに係る次世代産業界人材



空の革命の実現後
空飛ぶクルマ産業での我が国のイニシアチブ獲得

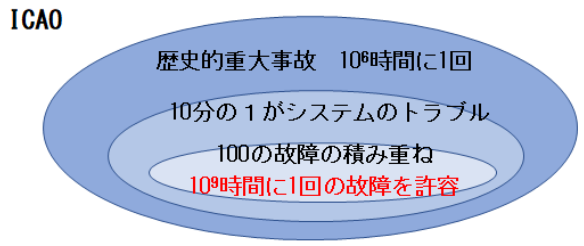
① 「空飛ぶクルマに係る安全技術、認証技術に関する講義」

実施内容・成果

令和2年度：講義教材作成（既に確立した航空機の安全技術、認証技術＋今後構築されていく空飛ぶクルマに関するそれらの技術動向に関する知見を加えたもの）
 今後もオリジナルテキストを用い、飛行力学の講義等において、空飛ぶクルマに関する安全技術、認証技術に関する講義が可能になった。

令和3・4年度「夏の実習」：講義実施
 各年度、航空機メーカーで安全技術、認証技術に携われた方のサポートが得られた。下右表は、受講生と議論に用いた資料である。

5
 [安全性証明手法]
 (1) 安全性解析で、故障確率要求を満足していること
 (致命的故障 < 10^{-9} 、危険な故障 < 10^{-7} 、重大事故 < 10^{-5})
 FIT(Failure In Time)= 10^9 時間稼働させた際に発生するする故障回数
 例) 1FIT= 10^6 個の部品を1年(10^4 時間)稼働させた際、1回の故障発生



オリジナルテキストの一部

(1/4)

0. 想定する飛行状態 (Flight Condition)

	民間航空機	戦闘機	ヘリコプター	E-VTOL	自動車
Acceptable flight condition	Safe flight and landing (Divert to nearest airport)	Return to base with high skilled pilot	Safe flight and landing (Divert to nearest airport)	Safe flight and landing (Divert to nearest airport) ¹	Safe controlled stop
	(Parashoot?)	Eject from airplane	Autorotation (Controlled landing in specific area)	Controlled landing in specific area ² <i>EASA Enhanced</i> <i>EASA Basic</i>	
Unacceptable flight condition (not limited to shown conditions)	CAT condition more than $10E-09$			Uncontrolled landing in specific area ³ <i>Proposal</i>	
	Rupture / detach in air			CAT condition more than $10E-0x$ ⁴ Rupture / detach in air	Uncontrolled stop Detach in drive
	Unsafe in Particular Risk 等			Unsafe in Particular Risk 等	Unsafe in crash ⁵

受講生との議論用資料の一部

② 「空飛ぶクルマの基準策定などに有益となる、環境状況（騒音）に関する実習」

実施内容・成果

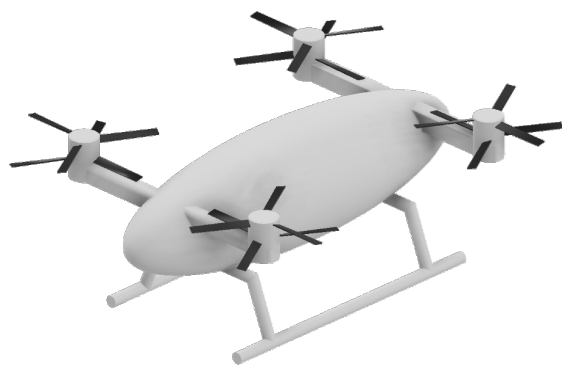
令和2年度：仮想の空飛ぶクルマからの騒音をシミュレーションにより作成した。

令和3・4年度「夏の実習」：講義実施

○騒音を受講生に聞かせ、空飛ぶクルマの騒音の程度を把握させた。

○回転翼から発生する騒音の評価方法を受講生に講義した。回転翼からの騒音の講義は大学・大学院でも少なく、特に飛行する回転翼からの講義は極めて少ない。

現在、開発中の空飛ぶクルマ、及び既存のヘリコプタの騒音をネットで聞くことが可能になっている。複数の機体形状の回転翼機からの騒音を聞くことができるが、飛行高度や回転翼機の重量はバラバラであり、機体形状の差による騒音の差を正確には示してはいない。しかし、他の機体形状の回転翼機に比べて、空飛ぶクルマの静音性は理解可能である。



騒音作成で仮定した空飛ぶクルマ

空力音響学の基礎

流体の方程式「連続の方程式とNS方程式」 Lighthillの波動方程式

$$\frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} - a_0 \nabla^2 \rho = \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j}, T_{ij} = \rho u_i u_j + (p - a_0^2 \rho) \delta_{ij} + \mu_{ij}$$

物体(回転翼)が置かれた場合: FfowcsWilliams and Hawkingの波動方程式

$$\text{Farrasatの解の形} \quad 4\pi p(\vec{x}, t) = \rho \frac{\partial}{\partial t} \int \left[\frac{v_n}{s(1-M_r)} \right]_{\tau} dS(\vec{y}) +$$

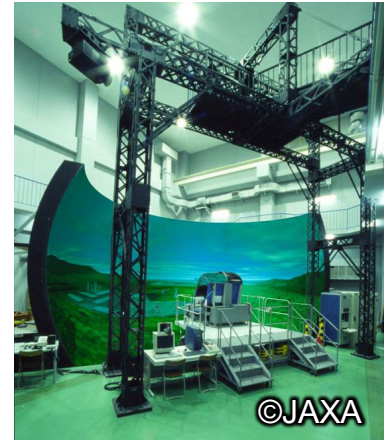
$$\frac{1}{a_0} \frac{\partial}{\partial t} \int \left[\frac{p \vec{n} \cdot (\vec{x} - \vec{y})}{s^2(1-M_r)} \right]_{\tau} dS(\vec{y}) + \int \left[\frac{p \vec{n} \cdot (\vec{x} - \vec{y})}{s^3(1-M_r)} \right]_{\tau} dS(\vec{y})$$

(マッハ数が小さいとし、4極子を無視)

③ 「安全・認証などの技術実証のための飛行試験技術に関する講義・実習」

実施内容・成果

令和2年度：講義テキストを作成した。実際の飛行試験データから飛行の動画を作成。基礎的な飛行試験項目に関するものである。



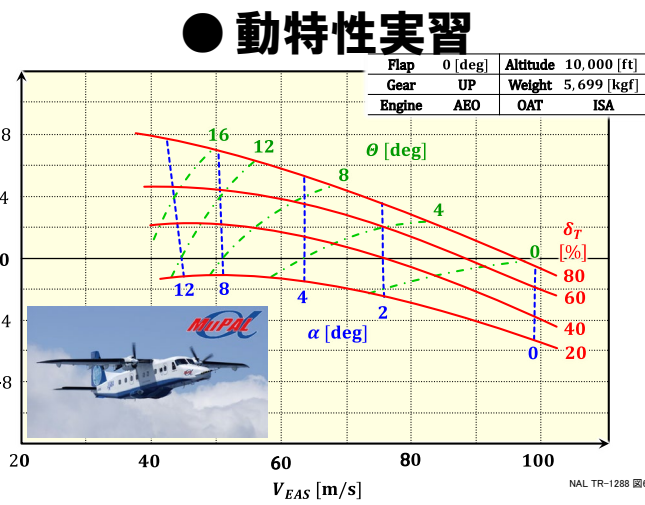
令和3・4年度：
 「夏の实習」
 フライトシミュレータ講義・実習
 (令和3年度は遠隔で講義のみ、令和4年度は対面で講義・実習)

「冬の实習」(両年度とも対面)
 講義・実習等
 宇宙航空研究開発機構(JAXA)の協力の下、JAXAの3種類のフライトシミュレータを利用した実習等、多数項目の実習

● 操縦実習 (ヘリコプタ)

● V-γ線図作成

飛行シミュレータによる釣合い飛行/迎角スイープ飛行から取得したデータを用いてV-γ線図を作成



④「プログラム検討会」

実施内容・成果

令和2・3・4年度

○協力機関、共同参画機関、主管実施機関のメンバーで1年間の活動の検討を遠隔で行った。

「令和2年度のフライトシミュレータ(FS)の教育効果の議論におけるFSの長所」

- ・パイロットや他の同乗者との基本的コミュニケーション訓練には最適 → 計測員フライトシミュレータの意義
- ・教育効果を高めるためには、実飛行試験に習熟した指導者が必要 → 指導者不足に対応可能 → 遠隔シミュレータ化で指導者1人当たりの受講生を増やせる
- ・シナリオ進行中に一時停止や巻き戻しができる → 初心者に親切な教育ができる。
- ・システム故障や異常姿勢などの危険な状況を再現できる → 実飛行で困難なことが容易にできる

○プログラム検討会に合わせて、航空機・空飛ぶクルマに関する講演会を行った。この講演会は一般に公開した。

令和2年度

三菱航空機(株)MRJ(スペースジェット)初飛行パイロット 安村佳之氏

軍用機民間機を問わず、航空機開発に関わるテストパイロットの役割は重要です。特に操縦経験のあるテストパイロットにしかわからない、パイロットワークロード評価や操縦性に関わるハンドリングクオリティー評価などは航空機設計の是非を大きく左右することになります。過去の自らの経験に基づき、テストパイロット視点での航空機開発の現場を紹介します。

令和3年度

(株)SkyDrive CTO 岸信夫氏

モビリティ分野の新たな動きとして、世界各国で空飛ぶクルマの開発が進んでいます。2020年8月に有人での公開飛行に成功した当社の空飛ぶクルマは、日本初・発の技術の結集で開発を進めてきました。また、空飛ぶクルマの技術を生かし、30kg以上の重量物を運ぶ「物流ドローン」も開発しています。人の移動の「空飛ぶクルマ」、物流用のドローン、空を日常的に活用する2つのプロダクトの開発状況やユースケース、新産業創造の課題や取り組みについてお話しします。

令和4年度

東京大学未来ビジョン研究センター特任教授 鈴木真二氏

小型無人航空機ドローンを大型化することで人が搭乗できる電動の垂直離着陸機(eVTOL)が「空飛ぶクルマ」として世界中で開発が進められている。ただし、安全性の認証制度の整備と技術開発が同時に進む状況であり、運航に関する方式も従来の小型機やヘリコプターの有視界飛行よりも自動飛行が求められ、管制方式や離発着施設にも技術革新が求められる。こうした、制度と技術の課題と開発動向を概観したい。

⑤ 「広報誌作成」

実施内容・成果



2024年3月時点での最新の機体はコチラ

令和2・3・4年度

毎年度末、1年間の成果を広く周知するために、広報誌を120部作成し関係者等に配布し、また名古屋大学フライト総合工学教育研究センターのHPでも周知した。また、毎年度、空飛ぶクルマに関する情報も記載し、空飛ぶクルマへの理解向上をねらった。

令和2年度の活動

プロジェクトでは、公募で選抜された受講生に、以下の講義・実習を行い、空飛ぶクルマへの応用を検討する機会を提供します。

- ① 飛行機のフライトシミュレータ実習
- ② 空飛ぶクルマの騒音体験
- ③ 航空機での飛行実習・飛行試験
- ④ 飛行機の安全・認証技術

令和2年度は、①~④について、以下の活動を行いました。

① 飛行機のフライトシミュレータ実習

金沢工業大学において、フライトシミュレータの整備を行いました。このシミュレータを用いて、来年度からシミュレータ実習を開始します。

フライトシミュレータ

従来、フライトシミュレータは、旅客機訓練や、実験開発における設計検討のデータ取得や飛行試験の事前確認を目的として、機体搭載装置や飛行運動機構複製等から構成されています。

今回、機内環境を再現した「計測用モックアップ」を製作し、金沢工業大学が所有する従来型フライトシミュレータと接続させることで、後席搭乗員（実験開発においては技術者が計測員として搭乗することがあります。飛行実習では実習生が後席に座ります。）の搭乗が絶えず可能となります。



従来型フライトシミュレータ



製作した計測用モックアップ室内

計測用モックアップ外観

④ 空飛ぶクルマの騒音体験

他のプロジェクトで製作したロータから発生する音の評価プログラムを利用し、仮想的空飛ぶクルマからの音を試作しました。また改良を継続します。

空飛ぶクルマの安全対策

現在、検討されている空飛ぶクルマは回転翼機と見做されています。これまでの回転翼機が持つべきオートローテーション機能と同等の機能が求められる可能性があります。

① ヘリコプターのオートローテーション

ヘリコプターでエンジンが故障した際、ロータを風車として利用し、なるたけ低下速度を遅くして着陸する飛行をオートローテーションと呼びます。オートローテーションには、垂直に落下するオートローテーションと前進速度を持つオートローテーションとがありますが、ロータを回転するために必要なパワーが小さくて済む、後者を指すことが多いと思います。オートローテーションにおいて、ロータの回転速度を落とさないために、ロータの回転軸回りの慣性モーメントが大きいために要求されます。この点からは、現在の空飛ぶクルマのブレードはオートローテーションには向いていない機に見えます。

前進速度のあるオートローテーションでの着陸プロセスは、以下の様になります。①ロータのピッチ角を下げ、ロータを高効率の風車として作動し、ロータ推力を高く維持する。②着陸直前にロータのピッチ角操作(サイクリックピッチ)で機体の頭上げ運動を起こし、着陸速度を十分に遅くする。安全に着陸できる高度(H)と前進速度(V)の領域を表した図、高度-速度(H-V)線図は、ヘリコプターの性能を表す重要な資料です。

② Wayne Johnson氏等の提案

Wayne Johnson氏は空飛ぶクルマのモータ故障時の安全対策として以下の提案をしています[1,2]。図1に示す様に、モータのトルクを集約し、統合されたトルクを複数ロータに供給する案です。この機構によって、1つのモータが壊れても、モータが故障していない時と同様に全ロータを動作させることができます。もちろん、1つのモータに余力があることが必要です。Nロータの場合、N/(N-1)倍のパワ出力の能力が求められます。しかし、加速飛行のために、モータ出力にはこの程度の余力を持つので、モータ性能に対する異常な要求ではありません。この機構を利用するために、各ロータの回転数を一致させるため、ロータ推力をロータのピッチ角(コレクティブピッチ)で変化させることが求められます。複数エンジンでのロータを駆動する機構は、既存のヘリコプターでも採用されています。

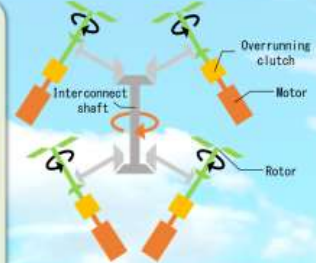


図1 複数モータで複数ロータを駆動する機構[3] (インターコネクティブシャフトとオーバーランニングクラッチを用いている。この図は名古屋大学中村賢氏による。)

文獻[1] Silva, C. and et al. "VTOL Urban Air Mobility Concept Vehicles for Technology Development," 2018 Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, AIAA AVIATION Forum, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2018. [2] Johnson, W., Silva, C., and Solis, E., "Concept Vehicles for VTOL Air Taxi Operations," AHS Specialists' Conference on Aeromechanics Design for Transformative Vertical Flight, San Francisco, CA, 2018.

令和4年度の活動予定

令和4年6月：日本航空宇宙学会を通じて、受講生公募

同8月：フライトシミュレータ実習@金沢工業大学...安全・認証に関する講義、空飛ぶクルマ騒音体験

令和5年2月：飛行実習@JAXA(佐賀航空宇宙センター飛行場分室)...飛行試験に関する講義・実習

2022.3 名古屋大学 信州大学 金沢工業大学

2023年3月段階での空飛ぶクルマの開発動向

3タイプに分けられます。下記はネット等で得た情報です。

2025関西万博に登場予定の空飛ぶクルマ(ニュースより)

下の①「VoloCity (Volocopter): 2人乗り」, 「SD-05 (SkyDrive): 2人乗り」
下の③「Joby S4 (Joby): 5人乗り」, 「VX4 (Vertical Aerospace): 5人乗り」

① マルチコプタータイプ

「ドローンを大きくしたものだ」というのが分かり易いと思います。[主な開発機体] EHang216 (EHang), SD-03 (SkyDrive), SD-05 (SkyDrive), VoloCity (Volocopter), CityAirbus (Airbus)。この中でも、EHang216, SD-03は、コンパクト化のためと思われるが2重反転回転翼を採用しています。VoloCity (Volocopter) は18の回転翼を持ちます。



https://skydrive2020.com/archives/13886

② リフトアンドクルーズタイプ

「プロペラ機に鉛直上向きの空気を発生する回転翼を組み合わせたもの」というのが分かり易いと思います。[主な開発機体] VT30 (EHang), VoloConnect (Volocopter), CityAirbus NextGen (Airbus), Mk-5 (tetra aviation)。この他に機体HONDAも開発案を示しています。ガスタービン発電機とバッテリーを利用したパワーユニットを採用し、長い航続距離(400km程度)を予定している様です。



©Honda / R&D Co., Ltd. https://www.honda.co.jp/future/EngineerTalk_eVTOL/

③ ヴェクタードラスタイプ

プロペラを傾ける機体が多いです。全ての機体では分かりませんが、回転数、さらにコレクティブピッチ(1回転中で一定)は変化できませんがヘリコプターロータで見られるサイクリックピッチ(1回転中で正弦波状に変化)が変化できません。前進速度が小さい時は、プロペラの回転面が水平に近く、前進速度が大きい時は、プロペラの回転面は鉛直に近いです。[主な開発機体] S4 (Joby), Nexus (Bell) 等があります。Nexusはダクトドファンを持ちます。これらの他、Lilium JetではDucted Electric Vectored Thrustという推力の向きの変更機構を採用しています。翼のフラップ上面にあるダクトドファンがフラップの角度変化と共に傾きます。

以下の協力機関、協力研究者(群馬大学松津賢人准教授)に御協力頂きました。東北大学・東京大・横浜国立大学・金沢大学・鳥取大学・大阪公立大学・東海大学・愛知工業大学・中部大学・航空大学校・晩NTTデータMHIシステムズ冬の実習では、宇宙航空研究開発機構に多大な御協力を頂きました。3年間に及び、ありがとうございました。感謝申し上げます。

2023.3 名古屋大学 信州大学 金沢工業大学

⑥ 「シンポジウム等での成果発表」

実施内容・成果

令和3・4年度

日本航空宇宙学会飛行機シンポジウムで、成果報告を行った。令和4年度は、令和3年度の実習参加学生も、受講者視点での成果報告を行った。同シンポジウム参加者は、航空機、空飛ぶクルマに関心のある方で、聴講者は30名程度であったと思われる。本プロジェクトの活動を知らない方も多く、本プロジェクトを広く周知するためには、シンポジウムでの発表は適していた。また、受講生の発表は、受講生が実習の意義を整理するために有効であったと思われる。質問に対しても極めて適切に回答しており、実習の理解が高いことが確認できた。

発表資料

令和3年度 飛行機シンポジウム
3E10 「空飛ぶクルマ産業界構築のための
人材育成プログラムの提案と実践」の
教育活動について

○砂田茂（名古屋大学）、柳原正明（信州大学）、橋本和典（金沢工業大学）

令和4年度 飛行機シンポジウム

3B15 「空飛ぶクルマ産業界構築のための人材育成プログラムの提案と実践」の教育活動について（その2）

○橋本和典（金沢工業大学）、柳原正明（信州大学）、砂田茂（名古屋大学）

3B16 宇宙航空科学技術推進委託費 「空飛ぶクルマ産業界構築のための人材育成プログラム の提案と実践」に参加して

○井上裕介（岐阜大学）、小原知行（信州大学）

フライトシミュレータ実習 プログラムの内容③

従来型フライトシミュレータシステム

コックピット内
A: イメージジェネレータ情報を用いて
キャビンの窓からの情景を表示
B: 飛行運動解析用情報を用いて
運動状況を実習生用ディスプレイに表示

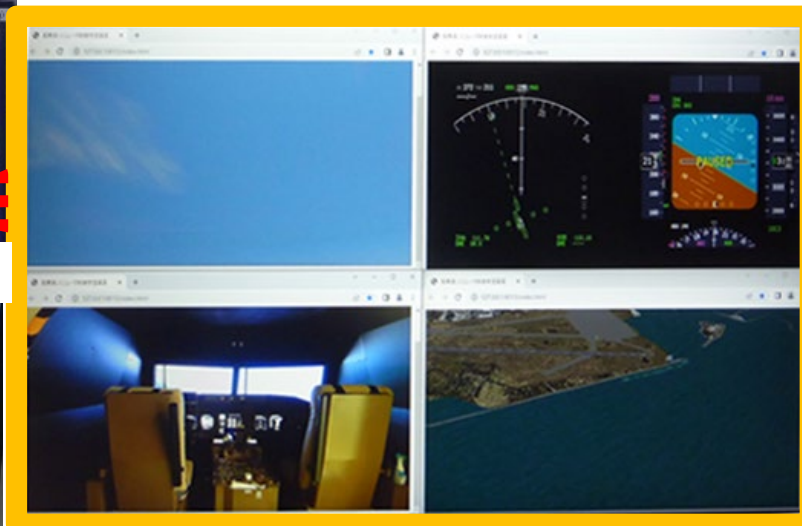
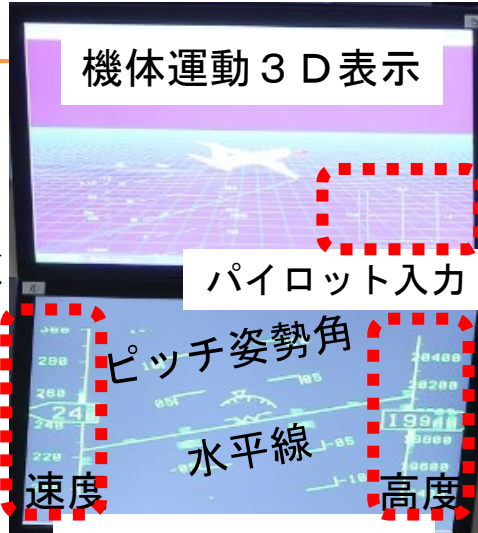
コックピットの様子を
キャビン内に表示

その他の成果

これまで得られた成果 (特許出願や論文発表数等)	特許出願	査読付き 投稿論文	その他 研究発表	実用化事業	プレスリリー ス・取材対応	展示会出展
	国内 : 0 国際 : 0	国内 : 0 国際 : 0	国内 : 3 国際 : 0	国内 : 0 国際 : 0	国内 : 0 国際 : 0	国内 : 0 国際 : 0
	受賞・表彰リスト		なし			

成果展開の状況・期待される効果

・空飛ぶクルマについての理解を広めるためには、空飛ぶクルマの操縦体験が効果的である。しかし、1台のフライトシミュレータで同時に操縦体験できる人数は1名である。そこで、フライトシミュレータを操縦するだけでなく、航空機の運動、航空機から見た風景、計器を観察できる**計測員フライトシミュレータ**を提案した。さらに、上記情報を遠隔に配信できる、**遠隔配信可能な計測員フライトシミュレータ**を提案した。これらによって、同時に多数の者が飛行の模擬体験が可能となる。



今後の研究開発計画

遠隔配信される情報

- ・2023年10月22日には、名古屋大学フライトセンター主催、日本航空宇宙学会協賛でフライトシミュレータフェスタを行う。その中で、金沢工業大学からのフライトシミュレータ情報を名古屋大学で受信し、**遠隔配信可能な計測員フライトシミュレータ**の効果を検討する。
- ・現在のフライトシミュレータでは、空飛ぶクルマの飛行は再現できていない。空飛ぶクルマは、従来航空機と異なるコンフィギュレーションを有するためである。様々なタイプの空飛ぶクルマの飛行性性能を評価し、その評価値をフライトシミュレータに入力し、**空飛ぶクルマ用遠隔配信可能な計測員フライトシミュレータ**を開発する。
- ・日本航空宇宙学会航空宇宙技術技術ノートに「計測員シミュレータの遠隔運用について」を2023年11月初旬に投稿予定。

事後評価票

令和5年3月末現在

1. プログラム名 宇宙航空人材育成プログラム
2. 課題名 空飛ぶクルマ産業界構築のための人材育成プログラムの提案と実践
3. 主管実施機関・研究代表者 国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学・教授 砂田茂
4. 共同参画機関 学校法人金沢工業大学、国立大学法人信州大学
5. 事業期間 令和2年度～令和4年度
6. 総経費 14.9百万円
7. 自己点検結果
(1) 課題の達成状況
「所期の目標に対する達成度」 ◆ 所期の目標 本課題では、空飛ぶクルマ産業の発展に必須であるにもかかわらず、我が国に欠けている「航空安全技術」及び「認証技術」と、それらが世界的に認められるために必須となる「飛行試験技術」に関する感覚と知見を有した人材育成のための教育スキームの確立を目標とする。 本課題終了時には、航空機産業界をはじめとする幅広い知見を本格的に取り入れた、空飛ぶクルマ社会の実現に貢献する人材育成のための我が国初の教育スキームを完成させる。 ◆ 達成度
① 空飛ぶクルマに係る安全技術、認証技術に関する講義 令和2年度に講義教材を作成した。既に確立した航空機の安全技術、認証技術に、今後構築されていく空飛ぶクルマに関するこれらの技術動向に関する知見を加えたものである。講義は令和3,4年度の「夏の実習」で行った。各年度、航空機、空飛ぶクルマの安全技術、認証技術を習熟された技術者にサポート頂いた。令和3年度はコロナ禍のため遠隔で行い、令和4年度は金沢工業大学において対面で行った。対面で行う実習の場合、受講生、指導員間に垣根が消え議論がしやすく、また休憩時間等、議論できる時間も増える。令和4年度の実習における講義の方が、質問、議論が盛んであった。

今後もオリジナルテキストを用い、飛行力学の講義等において、空飛ぶクルマに関する安全技術、認証技術に関する講義が可能となった。空飛ぶクルマ、航空機に関する安全技術、認証技術の講義は、大学、大学院、高専ではほとんど行われていない講義であるので、その意義は大変大きい。

[達成度]96

(根拠) 令和4年度の夏の実習アンケートに於いて5段階評価で平均4.8であった。

改善すべき点

・空飛ぶクルマに関する最新の情報は国内の専門家の書き物に依存したが、情報量の増加が必要。

② 空飛ぶクルマの基準策定などに有益となる、環境状況（騒音）に関する実習

令和2年度に仮想の空飛ぶクルマからの騒音をシミュレーションにより作成した。「夏の実習」でその騒音を受講生に聞かせ、空飛ぶクルマの騒音の程度を把握させた。現在、開発中の空飛ぶクルマ、及び既存のヘリコプタの騒音は、空飛ぶクルマの1開発企業によってネットで聞くことが可能になっている。複数の機体形状の回転翼機からの騒音を聞くことができるが、飛行高度や回転翼機の重量はバラバラであり、機体形状の差による騒音の差を正確には示してはいない。機体パラメータを共通化し機体形状の差による騒音の差が分かる騒音のシリーズを作成すれば、現在ネットで聞ける騒音によるよりも工学的価値の高い騒音体験が可能となる。

実習では、回転翼から発生する騒音の評価方法を受講生に講義した。回転翼からの騒音の講義は大学・大学院でも少なく、特に飛行する回転翼からの講義は極めて少ない。受講生には貴重な機会になったものと思うが、講義時間が短かった。勉強するきっかけになれば良いと考えている。

[達成度]76

(根拠) 令和4年度の夏の実習アンケートに於いて5段階評価で平均3.8であった。

改善すべき点

・作成した騒音は1ケースにとどまった。作成ケースを増やすとともに、ネットで得られる空飛ぶクルマの音も利用する。

③ 安全・認証などの技術実証のための飛行試験技術に関する講義・実習

令和2年度に講義テキストを作成した。なお、実機フライト試験が行えない場合の飛行理解向上のために、令和2年度に実際の飛行試験データから飛行の動画を作成した。基礎的な飛行試験項目に関するものである。講義テキストも動画も、令和3,4年度の実習で用いた。

令和3,4年度は「夏の実習」、「冬の実習」でフライトシミュレータ講義・実習（令和3年度は遠隔で講義のみ、令和4年度は対面で講義・実習）を行った。「冬の実習」では、宇宙航空研究開発機構（JAXA）の協力の下、多数項目の実習を行った。その中にはJAXAの3種類のフライトシミュレータを利用した実習も含まれた。

上記の様に本プロジェクトでは実機飛行でなくフライトシミュレータを用いた実習を中心とした。フライトシミュレータは実機飛行に比べ廉価であり、操縦者体験の場合、一定の効果があることは知られている。本プロジェクトでは、フライトシミュレータ実習に多くの力を注ぐ様にした。特に、計測員の役目で参加し、さらに対面だけでなく遠隔で受けられる「遠隔配信可能な計測員フライトシミュレータ」を実現した。

[達成度]91

(根拠) 令和4年度の夏・冬の実習アンケートに於いて「5段階評価で平均4.6」・「3段階評価で平均2.7」であった。これらの値の平均値を達成度とした。

プラス要因 :

- ・ JAXA での実習が質・量共に、JAXA の研究者の協力で当初の予定よりも格段に向上した。
- ・ 遠隔配信可能な計測員フライトシミュレータを実現した。将来的には、空飛ぶクルマのデータを入力し、遠隔配信可能な空飛ぶクルマ用計測員フライトシミュレータを実現する。

マイナス要因 :

- ・ 実機飛行実習ができなかった。

④ プログラム検討会

毎年度、協力機関、共同参画機関、主管実施機関のメンバで1年間の活動の検討(フライトシミュレータの教育効果の議論を含む)を遠隔で行った。プログラム検討会に合わせて、航空機・空飛ぶクルマに関する講演会を行った。この講演会は一般に公開した。プログラム検討会を「冬の実習」に合わせて対面で行うことは、3年間、コロナ禍のため実現しなかった。協力機関のメンバは「実習」に参加できず、実習の状況を共同参画機関、主管実施機関のメンバから聞く形であった。活動内容のガイドラインは理解して頂いたが、実習を体験していないため実習内容に対する意見が頂けなかった。令和2年度のフライトシミュレータの教育効果の議論は、その後の活動に極めて有効であった。

[達成度] 70

(根拠) 下記、プラス要因、マイナス要因の点を基準点とした60点に加え、その点を達成度とした。

プラス要因

- ・ 講演会を合わせて行い(聴講者は100名程度)、一般に公開し、航空機・空飛ぶクルマへの関心を高めた。(+10)
- ・ 令和2年度のフライトシミュレータの教育効果の議論が、その後の活動に極めて有効であった。(+10)

マイナス要因

- ・ コロナ禍のため協力機関の方が実習に参加できず(参加者数を極力抑えた)、実習の実際の状況を把握できなかった。そのため、1年間の活動内容の検討が深まりにくかった。(-10)

⑤ 広報誌作成

毎年度末、1年間の成果を広く周知するために、広報誌を120部作成し関係者等に配布し、また名古屋大学フライト総合工学教育研究センターのHPでも周知した。また、毎年度、空飛ぶクルマに関する情報も記載し、空飛ぶクルマへの理解向上をねらった。

[達成度] 60

(根拠) 下記、プラス要因、マイナス要因の点を基準点とした60点に加え、その点を達成度とした。

プラス要因

広報誌は本プロジェクトを紹介する際、役に立った。(+10)

マイナス要因

広報誌に対する反応はなく、その効果に疑問が残った。(−10)

⑥ シンポジウム等での成果発表

令和3,4年度、日本航空宇宙学会飛行機シンポジウムで、成果報告を行った。令和4年度は、令和3年度の実習参加学生も、受講者視点での成果報告を行った。同シンポジウム参加者は、航空機、空飛ぶクルマに関心のある方で、聴講者は30名程度であったと思われる。本プロジェクトを知らない方も多く、本活動を広く周知するためには、シンポジウムでの発表は適していた。また、受講生の発表は、受講生が実習の意義を整理するために有効であったと思われる。質問に対しても極めて適切に回答しており、実習の理解が高いことが確認できた。

[達成度] 80

(根拠) 下記、プラス要因、マイナス要因の点を基準点とした60点に加え、その点を達成度とした。

プラス要因

- ・本プロジェクトを多くの方に周知できた。(＋10)
- ・受講生の理解度を確認できた。(＋10)

「必要性」

・[若手技術者の育成]

空飛ぶクルマを含む航空機の開発において、安全技術、認証技術、飛行試験技術は重要、不可欠な技術である。これらの技術を習得した若手技術者は、これからの空飛ぶクルマ産業において我が国がイニシアチブをとるために必要不可欠である。本プロジェクトでは、若手技術者育成のための「安全・認証技術・飛行試験技術のテキスト、空飛ぶクルマからの騒音、飛行試験動画、遠隔配信可能な計測員フライトシミュレータ」を完成させた。

・[社会的・経済的意義]

上記の様に若手の技術者を教育できることは、我が国の航空機産業の底上げに貢献できる。特に遠隔技術の利用は教育できる受講生数を格段に大きくでき、貢献度を高められる。

「有効性」

・[人材の養成]

本プロジェクトにおける受講者数は16名で多くはない。しかし、アンケートから本プロジェクトでの講義・実習は受講生から一定の評価を得ている。本プロジェクトで作成した「安全・認証技術・飛行試験技術のテキスト、空飛ぶクルマからの騒音、飛行試験動画、遠隔配信可能な計測員フライトシミュレータ」は、今後の人材養成に有効である。

・ [新しい教育手段の構築]

通常の飛行力学の講義は、力学、数学の講義に近い。力学、数学を通じての講義の優れた点もあるが、3次元運動する航空機の魅力を伝えることは極めて難しい。本プログラムで作成した飛行試験中の飛行機の運動の動画（短周期モード、長周期モード等）を講義で使用するによって、3次元運動する航空機の魅力を感じる学生を期待できる。

JAXAでのシミュレータを本プロジェクト代表者（砂田）も体験したが、操縦方法を覚えるためにフライトシミュレータは極めて効果的であることが分かった。操縦方法が分かっていると、飛行のメカニズムの理解が容易になる。操縦者としての体験はもちろんのこと、キャビンに搭乗する計測員としてであっても、飛行を理解するためには、座学に合わせてフライトシミュレータを体験することが効果的である。①フライトシミュレータを動かす前に、何を目的とし、どのような飛行試験を行うかを実習参加者で議論し、②フライトシミュレータ駆動時には飛行機の外の景色、計器を観察し、その後、③フライトデータを分析する。この一連のプロセスで計測員フライトシミュレータ実習が構成される。この実習を経験することは、飛行の理解に有効であることが、本プロジェクトの受講生との議論でも確認できた。

なお、コロナ禍以降、遠隔教育が盛んになったが、本プロジェクトでは金沢工業大学の計測員フライトシミュレータ実習での情報を遠隔に配信することも可能にした。遠隔での受講生も上記①-③の全プロセスに参加すれば、金沢工業大学での計測員受講生と同等の飛行の理解が得られることが期待できる。今後、金沢工業大学を中心とした計測員フライトシミュレータ実習の効果を明らかにして行く。現在、大学の航空宇宙工学科では専門の細分化が進み、全ての学科で飛行力学を専門とする教員がいるとは限らない。この点からも遠隔フライトシミュレータによる実習の意義を確実視している。

「効率性」

・ [開発の手段やアプローチの妥当性]

金沢工業大学におけるフライトシミュレータを基に計測員フライトシミュレータを製作し、その情報を遠隔配信可能とした。この開発により、1人の指導者が多くの受講生に対して、フライトシミュレータを利用した飛行の教育を行うことが可能となった。飛行の教育を行える知識を有する者、フライトシミュレータ、共に数少ない。本プロジェクトで開発した遠隔配信可能な計測員フライトシミュレータは、極めて高効率で教育を行える装置である。

(2) 成果

「アウトプット」

・ 育成した人材像

既存の航空機の安全・認証技術・飛行試験に関する知識を有し、空飛ぶクルマに対するそれらの技術の検討に関心を持つ人材

・ 育成を行った人数 16名（全プログラムを受講した人数）

・ 開発した教育教材、教育プログラム数

安全・認証技術のテキスト 1、飛行試験技術のテキスト 1、空飛ぶクルマからの騒音 1
飛行試験動画 1、遠隔配信可能な計測員フライトシミュレータ 1

・ アンケート結果（2022年度） 主要な項目を抜粋、100点満点評価

夏の実習	安全、認証に関する講義	91
	空飛ぶクルマの騒音体験	76
	シミュレータ関連	92
冬の実習	シミュレータ関連	90
	事故調査実習	96
	飛行力学研究・飛行実験関連	90

・ プログラム終了後

日本航空宇宙学会航空宇宙技術、技術ノートに「計測員シミュレータの遠隔運用について」を11月初旬に投稿予定。

「アウトカム」（令和5年10月末時点）

令和5年10月22日に主催名古屋大学フライト総合工学教育研究センター、協賛日本航空宇宙学会、協力金沢工業大学・航空大学校でフライトシミュレータフェスタの第1回目（於：金沢工業大学）を行った。オープンキャンパスに来られた方がフライトシミュレータを体験した。なお、名古屋大学では、金沢工業大学からのフライトシミュレータ実習の画像、音声データを受け、その実習に参加した。「クイズ方式や選択方式で目的に合った操作を選ばせる、次の操作に対する結果を予測させる等、視聴者参加型がより効果的でないか」と感じた。今後の検討事項である。また、安全・認証技術・飛行試験技術のテキスト、空飛ぶクルマからの騒音、飛行試験動画も、講義等で活用して行く。

（3）今後の展望

金沢工業大学のフライトシミュレータを中核とした遠隔配信可能な計測員フライトシミュレータの手法が構築できたので、希望する組織に対してフライトシミュレータ実習を実施し、その効果を検討する。フライトシミュレータ実習に合わせて安全・認証・飛行試験技術に関する講義も行うことも検討しているが、この際、本プロジェクトで作成したテキストを用いる。今後は、空飛ぶクルマの飛行性能データをフライトシミュレータに入力し、フライトシミュレータで空飛ぶクルマの飛行体験の実現をねらう。空飛ぶクルマ用のフライトシミュレータの存在は知らない。空飛ぶクルマが社会に取り込まれようとしている今、極めてタイムリーな計画であると考える。

上記にまとめた予算は不要である。

8. 評価点

B

評価を以下の5段階評価とする。

S) 優れた成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に著しく貢献した。

A) 相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献した。

B) 相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献しているが、一部の成果は得られておらず、その合理的な理由が説明されていない。

C) 一部の成果を挙げているが、宇宙航空利用の明確な促進につながっていない。

D) 成果はほとんど得られていない。

9. 評価理由

本事業は、世界で空飛ぶクルマの社会実装への取り組みがなされているなか、その実現に重要な「航空安全技術」と「認証技術」、それらを実証する「飛行試験技術」について、講義、フライトシミュレータ実習等で学ぶ機会を準備し、産業界に有益な人材育成を目指す意欲的な取り組みであり、我が国の航空分野の技術者育成の観点から有意義な事業であると評価できる。

空飛ぶクルマに係るフライトシミュレータの開発は成果を挙げており、宇宙航空利用の促進への貢献が見込まれる。

しかしながら、本事業で実施できた結果は、一部を除き既存の固定翼機に関する教材を集めただけでも言え、課題にある空飛ぶクルマの産業界構築を担う人材の育成に貢献できるか有効性が十分示されていない。個別ツールの開発状況ではなく、それらの総体としての教育プログラムの完成状況やその教育効果といった、本事業の本来目的に関する達成状況が示されていない。掲げた目標は高いが本事業の成果については、その意義・価値に疑問が残る。

教育プログラムとしての出口（進路の想定やそのための産業界連携等）や人材要件に関する定義とそれを踏まえた成果も十分に示されていない。

人材育成結果についても受講者数が20名弱と費用対効果の観点から少なく、人材育成については十分な考察をされていないものと思われる。

事業終了後の継続性について、今後の研究活動に関わる記述が多く、人材育成の観点からの継続方針が示されていない。

採択審査等において民間事業者と連携し空飛ぶクルマの耐空性、運用性から課題となる技術を見出してアプローチするようなシラバスの構築を求めていたが、産業界や官庁との連携は一部講演者を除きほとんどなく、JAXAとの協力も既存の設備や研究開発成果の利用・紹介にとどまっている。産学官ともに未開拓の分野であり取り組みの切り口を見つけることには困難が伴ったと思われるが、上記のような連携の幅を広げる取り組みを行っていけばさらなる成果が得られたのではないかと思われる。

教育スキームの開発を目指しているが、結果的にはその教育スキーム自体の評価が行われていない。人材育成に係る成果の評価指標を明確にすることや、企業からのニーズや学生の意識調査等を通じた本事業への丁寧なフィードバックが不足していると思われる。

以上より、本課題は、相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献しているが、一部の成果（人材育成の効果についての評価、産業界や官庁との連携）は得られておらず、その合理的な理

由が説明されていない。

今後は、以下の点が期待される。

- 本事業で開発した個別ツールの総体としての教育プログラムを完成し、今後の継続と効果の本格的な発揮を期待する。
- 定量的な評価基準を設定し、カリキュラムデザインの評価、あるいは育成したい学生像に即した評価指標による評価を行うことを期待する。
- 産業界や官庁との連携や、企業からのニーズや学生の意識調査等を行い、教育プログラムへのフィードバックを行うことを期待する。