

令和2年度地球観測技術等調査研究委託事業  
「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」

委託業務成果報告書

令和3年5月

国立大学法人東海国立大学機構

本報告書は、文部科学省の地球観測技術等調査研究委託事業による委託業務として、国立大学法人東海国立大学機構が実施した令和2年度「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」の成果を取りまとめたものです。

## 目次

1. 委託業務の目的	p. 2
2. 実施体制	p. 3
3. 実施内容	pp. 4-11
4. まとめ	pp. 12-13
5. 添付資料	pp. 14-35

## 1. 委託業務の目的

近年、空飛ぶクルマ等の身近で三次元的なモビリティによる生活の大きな変化、通称「空の移動革命」が叫ばれ、身近な航空ニーズが急激に増加しつつある。本事業では、空の移動革命を実現し、空飛ぶクルマ産業の国際的イニシアティブを獲得するため、我が国に欠如している「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する人材育成を目的とする。そのために、(1) 空飛ぶクルマに係る安全技術、認証技術に関する講義、(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、(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・実習から構成される教育スキームを構築する。

## 2. 実施体制

令和2年度の実施体制を以下に示す。

主管実施機関である名古屋大学は、空飛ぶクルマ周辺環境実習の取りまとめを担当する。受講生募集、各年度の成果報告紙「実機飛行教育通信」の発行、本プロジェクト HP の作成・管理、各種事務作業を担当する。

共同参画機関である金沢工業大学は、フライトシミュレータ実習を担当する。令和2年度は、フライトシミュレータ実習の準備として機内環境を再現する計測員用モックアップを新設する。また、信州大学とともに飛行試験技術を担当する。

共同参画機関である信州大学は、従来の航空機に関する技術についての指導を担当する。また、金沢工業大学とともに飛行試験技術を担当する。

協力機関として、以下の大学が参加する。プログラム検討会において本プログラムの検討に参加するとともに、学生への本プロジェクトの周知を行う。

東北大学、東京大学、横浜国立大学、金沢大学、京都大学、鳥取大学、群馬大学、大阪府立大学、愛知工業大学、中部大学、東海大学、航空大学校、（研究協力者）群馬大学船津賢人准教授。

協力機関である(株)SkyDrive より、空飛ぶクルマの開発、空飛ぶクルマの飛行に関する国の制度整備、空飛ぶクルマの市場に関して、また従来の航空機の安全技術、認証技術について情報提供を受ける。

協力機関である(株)NTT データ MHI システムズより、安全技術、認証技術について情報提供を受ける。講義資料作成等において、これらの技術に習熟している同社の技術者の支援を受ける。

### 3. 実施内容

#### ①空飛ぶクルマに係る安全技術、認証技術に関する講義

##### [計画]

次年度以降に行う講義の内容を検討するため、従来の飛行機に関する安全技術、認証技術について、関連企業や研究機関等の研究者、技術者から情報収集する。さらに、得られた技術情報の空飛ぶクルマへの適用可能性について、同研究者、技術者と討論する。空飛ぶクルマの安全技術、認証技術については世界中で検討段階であり、本プロジェクト遂行中に検討結果が逐次、公開されていくと思われる。公開情報を反映しながら、本プロジェクトでの検討は3年間継続して行われる。令和2年度における準備活動は、既存の航空機に関する安全技術、認証技術と、これまでの空飛ぶクルマに関する公開情報の整理である。

##### [実施内容]

航空機の安全技術、認証技術に関する文献から、情報を収集した。文献からは分からない点は、航空機メーカーの技術者等に問い合わせた。得た情報は、講義資料（添付資料（1））としてまとめた。本資料の中心は従来の航空機に関するものであるが、これまでの空飛ぶクルマに関する検討事項についても記載した。両者の関係についてはプログラム検討会での意見交換の成果として④で記載するが、従来の航空機に対する安全技術、認証技術、空飛ぶクルマの安全技術、認証技術に関する公開情報を基に、受講生が今後、空飛ぶクルマに関する安全技術、認証技術について検討していくことを狙いとしている。今後、空飛ぶクルマに関する安全技術、認証技術に関する情報に加え、本プロジェクトでの受講生の提案も講義資料に加筆していく予定である。

#### 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

##### [計画]

次年度以降の実習で使用する装置を整備する。具体的には、空飛ぶクルマの騒音に関する受講生の理解を深めるため、他の研究プロジェクトにおける空飛ぶクルマのロータから発生する音の計算結果を有効利用し、空飛ぶクルマ周りの騒音を作り出す装置を整備する。

空飛ぶクルマの最大の問題の1つは騒音である。我々が日常聞く回転翼機の騒音はヘリコプターの騒音であるが、ヘリコプターと空飛ぶクルマとではロータ回転数が大きく異なるため、騒音も大きく異なる。受講生に、これまで聞いたことのない空飛ぶクルマの騒音を体感させ、空飛ぶクルマを社会に取り込むために必要なルール、技術を検討するための情報を与えることがねらいである。3年間でより実際に近い騒音、より効果的な騒音体験環境を作り、受講生の教育効果向上を図る。本年度は、次年度以降、実習を通して改良して行く「騒音、騒音を作り出す装置」の初版を製作する。

##### [実施内容]

科研費基盤研究（B）「有人・無人マルチロータ機の安全性向上・周辺への影響評価に関する研究」において作成した「回転翼に働く圧力評価プログラム」と「回転翼から発生する騒音評価プログラム」を利用し、自重400kgの空飛ぶクルマの4つの2重反転ロータから発生する騒音を作成した。科研費研究では、低騒音化がメインの研究テーマであり（廣瀬将輝、前田翔太郎、砂田茂、山口皓平、田辺安忠、得竹浩、米澤宏一（2019）：空飛ぶクルマの空力騒音解析、日本航空宇宙学会第58回飛行機シンポジウム、6ページ）、一方、本プロジェクトでは空飛ぶクルマの騒音の特徴を受講生に把握させ、空飛ぶクルマの問題点、社会への取り込み方法を検討することをねらっている。「回転翼から発生する騒音評価プログラム」では、Farassatによる波動方程式（Farassat, F., Derivation of Formation 1 and 1A of Farassat,

NASA TM-2007-214853, 2007.) の右辺各項の積分を行い、観測者での音圧変化を求める。

$$4\pi p(\mathbf{r}_{\text{ob}}, t) = \frac{\partial}{\partial t} \int_{f=0} \left[ \frac{\rho_0 v_n}{r(1-M_r)} \right]_{\tau} dS(\mathbf{r}_b) + \frac{1}{c_s} \frac{\partial}{\partial t} \int_{f=0} \left[ \frac{p_b \cos \theta}{r(1-M_r)} \right]_{\tau} dS(\mathbf{r}_b) + \int_{f=0} \left[ \frac{p_b \cos \theta}{r^2(1-M_r)} \right]_{\tau} dS(\mathbf{r}_b) \quad (1)$$

第 1 項の値はブレードの形状、運動で決まり、第 2、3 項の値はブレードの圧力で決まる。ブレードの圧力を計算するのが、「回転翼に働く圧力評価プログラム」である。科研費研究では、ブレードの圧力計算において、(手法 1) JAXA の開発した rFlow3D、(手法 2) 翼を揚力線で近似した渦法、(手法 3) 翼素理論と運動量理論を組み合わせた手法を採用した。(手法 2)、(手法 3) ではコード方向の圧力分布を求めるために、守屋の方法等を用いている。(手法 1)、(手法 2)、(手法 3) の順に高精度の手法であるが、この順により多くの計算機パワーを必要とする。実験室内でのロータ騒音の実測値との比較において、(手法 1) を用いると実験に極めて近い音圧変動が得られることが確認されている(岡本涼太、廣瀬将輝、砂田茂、山口皓平、田辺安忠(2019) : 空飛ぶクルマの実用化に向けた音圧環境解析に関する研究、日本航空宇宙学会第 57 回飛行機シンポジウム、5 ページ)。

本プロジェクトでの空飛ぶクルマからの騒音の製作では、空飛ぶクルマからの騒音の特徴を捉えれば良いため、現在は計算機パワーが少なくて済み、より短い時間でブレードの圧力変化が得られる(手法2)、(手法3) ((手法3)はホバリングのみ) によってブレードの圧力変化を求めた。想定した空飛ぶクルマの諸元は以下の通りである。なお、今回の計算では、各ロータの推力変化は回転数変化でなくコレクティブピッチ変化によるとしている。これは、回転数変化よりもコレクティブピッチ変化の方が応答が速いため、今後の空飛ぶクルマで適用される可能性を考慮したためである(砂田等(2021) : マルチロータ機の性能向上に関する一検討、日本ロボット学会誌、Vol. 39, No. 4, pp. 357-362)。

表 1 仮定したロータ等機体諸元

半径・コード長・翼根部半径	0.6m・0.075m・0.12m
1ロータのブレード数	3
回転角速度	235rad/s
上下ロータ間距離	0.3m
振り下げ	0deg
翼型	NACA0009
前後ロータ間距離	2m
左右ロータ軸間距離	2.5m
質量	400kg
胴体寸法(長さ・直径)	3.5m・1m
前後ロータ間距離	2m
左右ロータ軸間距離	2.5m

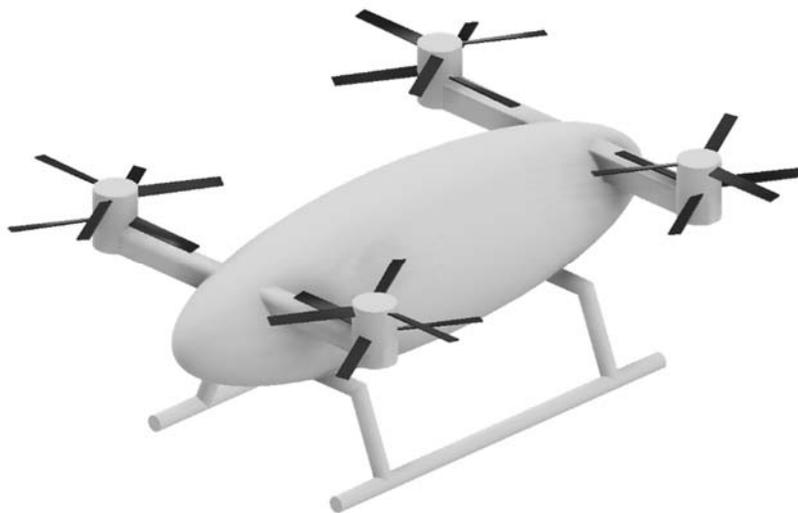


図1 仮定した機体形状（廣瀬将輝、令和2年度名古屋大学大学院修士論文より）

実際の空飛ぶクルマの騒音は把握できていないため、得られた騒音の妥当性についての検討は十分にできていない。しかし、ロータ回転数×ブレード枚数で決まる周波数がヘリコプタより高く、その周波数成分を主成分とする騒音であり、ヘリコプタとは異なった空飛ぶクルマ特有の騒音になっていると思われる。

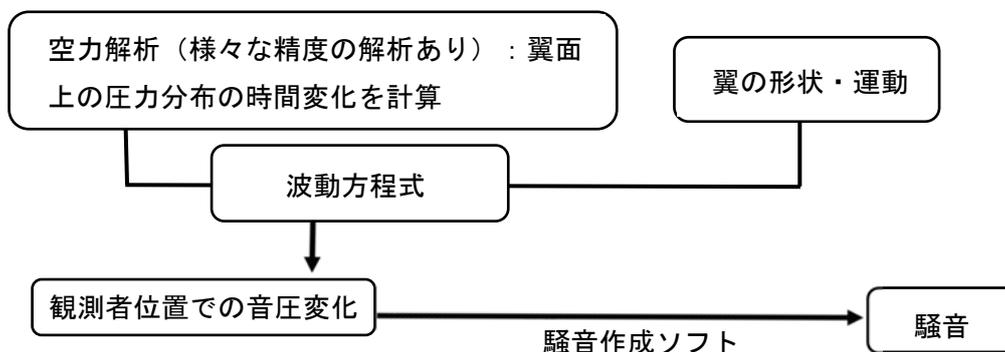


図2 空力騒音の作成方法

手法(2)を用いて、高度15mを速度50km/hで近づいてくる空飛ぶクルマの騒音を、名古屋大学大学院生田中陸久氏が作成した。手法(2)については、ロータ方位角の計算分割数による計算精度等、検討の余地があり、また前後ロータの干渉、モータからの騒音等、考慮されていない効果がある。科研費研究において検討を継続する。その成果によっては、作成する空飛ぶクルマからの騒音がより実際の騒音に近くなる可能性がある。令和3年度以降のフライトシミュレータ実習と同時に行う環境状況（騒音）に関する実習では、その時点で最も実際に近いと思われる騒音を受講生に体験させる。

計算された音圧変化のファイルを音声ファイルに変換し、スピーカ（DALI SPEKTOR VOKAL B、DALI SPEKTOR 6B（2機）、DENON DSW-37、Denon SC-A37（2機）、Denon SC-EN10）を通して音を発生する環境を整備した。これらスピーカの組み合わせ、配置は、受講生により臨場感を持って騒音を体験させるために選択されている。

### 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

#### [計画]

(i) プログラム検討会において、現役パイロットがパイロット視点での飛行試験の実際に関して講義を行う。(ii) 既存の飛行試験データを利用して、飛行試験における飛行機の運動の動画を製作する。(i)で得られた情報、(ii)で製作された動画は、次年度以降の講義において利用する。

また、次年度以降に実施を予定しているフライトシミュレータ実習の準備として、機内環境を再現する計測員用モックアップを製作する。なお、令和3年度以降、フライトシミュレータ実習を行い、受講生の意見を反映させながら改良を繰り返す予定である。

#### [実施内容]

パイロット視点での飛行試験に関して、三菱航空機(株)のチーフテストパイロット安村佳之氏から講義を受けた。実施機関、共同参画機関、協力機関に属する者にとって、空飛ぶクルマを含めた航空機は研究、開発対象であり、パイロットにとっては操縦対象である。一方、空飛ぶクルマは一般の人の操縦対象になる。当該講義の第1の目的は、本プロジェクトを推進する主管実施機関、共同参画機関、協力機関の研究者、技術者がパイロットからの情報を収集し、本プロジェクトでの講義に操縦者の視点を取り込むことである。本講義(講演会)の案内は添付資料(3)の通りである。

講義は遠隔講義として広く公開し、大学関係者(教員、学生)、企業技術者、研究機関研究者等、102名の参加があった。主管実施機関、共同参画機関、協力機関以外では、企業技術者、研究機関研究者の参加が中心であった。共同参画機関、協力機関の大学の学生の参加も多かった。安村氏はテストパイロットであり、航空機開発にも意見を述べる立場にあり、操縦者の視点だけでなく、研究者・開発者の視点でも航空機を見ている。そのため講義は、研究者、開発者にとって理解し易いものがあった。本プログラムの充実化のために、今後も空飛ぶクルマ、及び本プロジェクトに関して御意見を頂戴する予定である。講義は以下の3点についてであった。

1. テストパイロットの仕事
2. 定性的データの評価方法
3. 機体認証と理想的な航空機

さらに最後に、パイロット操縦(搭乗する)、パイロット操縦(リモートコントロール)、自律無人操縦の比較について紹介された。空飛ぶクルマの技術レベル、使用者の層、数によって、操縦方法が変わって行くと想像される。今後、異なる操縦方法があることを考慮し、空飛ぶクルマの安全技術、認証技術、社会への取り込みを検討する。

既存の飛行試験データを用いて、飛行試験に関する講義用動画を作成した。その飛行試験データは、4種類の飛行試験((1)縦静安定性、(2)長周期特性、(3)縦短周期特性、(4)定常旋回による縦操舵特性)中の飛行機の運動データであり、この動画を見ることによって、飛行試験中の飛行機の運動を飛行機の外側からの視点で理解することができる。例として、1画面を添付資料(4)に示す。この動画は令和3年度以降の講義で使用予定である。来年度以降の講義において本動画を用い、機体外部からの視点での飛行試験を受講生に説明し、その反応から本動画の教育効果について検討を行う。

令和3年度以降に実施を予定しているフライトシミュレータ実習の準備状況は、以下の通りである。

フライトシミュレータは、操縦者訓練や、実機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、模擬操縦装置や飛行運動模擬装置等から構成されている。今

回、機内環境を再現した「計測員用モックアップ（以降キャビンと称す）」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システム[写真1]（以降シミュレータと称す）と接続させることで、後席搭乗員（実機開発においては技術者が計測員として搭乗することが有る）の経験が地上で可能となった。

フライトシミュレータとの接続は、フライトシミュレータから常時出力されているイメージジェネレータ情報および飛行運動解析用情報を、フライトシミュレータに影響を与えない方法で入手し、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し[写真2中A]、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する[写真2中B]。[写真3]にキャビン外観を示す。また、フライトシミュレータのcockpitを動画カメラで撮影し[写真4]、リアルタイムでキャビン前面のディスプレイに表示する[写真5]様にした。これにより、以下の2つの問題を解決した。

(1) 金沢工業大学が所有するシミュレータは、胴体直径が6m以上有る大型ワイドボディ双発ジェット機のcockpitを模擬しているのに対して、今回製作したキャビンは胴体直径が1.5m程度のビジネスジェット機を模擬しており、直接接続することができない。cockpit映像をキャビン前方のモニタに映し出すと共に、音声でのやり取りを可能とするためにヘッドセットを準備し、cockpitとキャビン間で映像と音声繋がる様にした。

(2) 金沢工業大学が所有するシミュレータのcockpitは、施設内に設置／固定されており、今回製作したキャビンの中心をcockpit中心と合わせることは、建築物の柱が邪魔をして不可能であり、左に1m程度シフトする必要がある。cockpit映像をキャビン前方のモニタに映し出すことで、中心を合わせる必要がなくなり、位置関係に関する自由度を持たせることが出来た。なお、cockpitで操縦するパイロットと、キャビン内の実習生はインカムを用いて通話出来るようにしている。

以上により、実習生は実機に近い状況で実習を行うことが可能となった。



写真1 金沢工業大学が所有するフライトシミュレータ

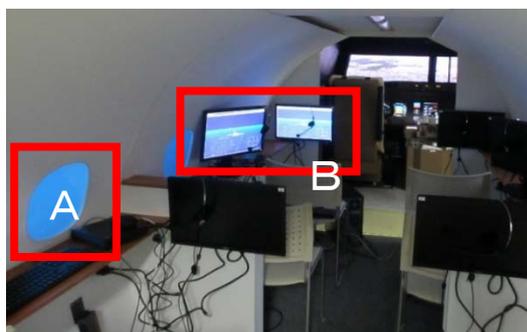


写真2 キャビン内



写真3 キャビン外観



写真4 動画カメラでコックピットを撮影



写真5 キャビン内のディスプレイに表示

飛行を理解させる方法としては実機飛行体験とフライトシミュレータ等を通じてのバーチャルな飛行体験、そして大学等での座学講義があるがどれも異なった教育特性を持つと思われる。企業技術者との議論から、実機飛行体験とフライトシミュレータ等を通じてのバーチャルな飛行体験の特徴を比較、検討した。その結果は以下の通りである。

#### 1. リアルな飛行体験（実環境）の特徴

- ・実飛行環境下（思考能力半減、作業環境悪い）で、体と精神を飛行試験に慣れさせるには最適。
- ・予期しないことが多々発生し、事象に対する柔軟な対応やパイロットとのコミュニケーション能力が向上。
- ・ある程度の予備知識があるエンジニアが更に能力を高めるには最適。
- ・初心者にはハードルが高く、費用対効果は低い（高額な割には得るものが少ない）。

#### 2. バーチャルな飛行体験（シミュレータ）の特徴

- ・シナリオ進行中に一時停止や巻き戻しができるため、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、緊急事態対応訓練などが簡単にできる。
- ・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（どの場面で何を考える等）。
- ・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（適切な指導者がいないとただの体験になってしまう）。

上記の比較から、飛行の初心者に空飛ぶクルマの飛行を理解させるために行う慣熟訓練（教育）には、シミュレータを使った、飛行試験経験者（テストパイロット等）が行う教育が効果的と考えられる。本プロジェクトで製作したフライトシミュレータ、後述する飛行試験動画等、バーチャルな飛行体験のツールの重要性は大きいと考える。来年度以降も本フライトシミュレータの充実化を継続していく予定である。現在予定している改良事項は以下の通りである。

(1)各席に準備したディスプレイには同じ画面を表示しているが、各席にデータ表示用PCを準備しネットワークに接続することで、各席のニーズに応じた表示を各自で選択できるようにする。本年度は1台のみ準備し、その機能を確認した。来年度は各席分の機材を準備する。なお、表示は「機体運動を俯瞰して見ることが出来る3D表示」と、「昨今の民間航空機に採用されているパイロットHUD表示」の2種類が準備出来ている。

(2)主操縦士席と訓練生席に加え、副操縦士席とシミュレータオペレータ席および全体指揮

者用のインカムを追加する。副操縦士席用の追加は訓練生に操縦席での体験を積ませるのに役立つ。また、シミュレータオペレータ席用および全体指揮者用の追加によって実習中に大声で指示する必要がなくなり、コロナ禍下での感染症対策としても有効である。

(3)換気扇を2セル(1セル当り4名)で1個設置しているが、セル間に低い壁が有り空気の流れを阻害している。換気扇を1個追加し(1セル当り1個とし)、キャビン内の換気能力を向上させる。

(4)入口角に頭をぶつけて怪我をする恐れがあるのでクッションを追加する。

#### ④ プログラム検討会

##### [計画]

当該年度の講義・実習の改善点を検討し、次年度の活動に反映させるため、金沢工業大学、信州大学、関連企業、研究機関等と連携して、プログラム検討会を行う。協力機関の大学関係者とはプログラム検討会を通じて、本プロジェクトのねらい、内容等を共有し、協力機関の大学の学生に本プロジェクトを広く周知して頂く。

##### [実施内容]

主管実施機関、共同機関、協力機関の研究者、技術者によって、令和3年3月22日にwebによってプログラム検討会を実施した。令和2年度の実施内容について報告した。特に、①で作成した安全技術、認証技術に関する教材、②で作成した空飛ぶクルマからの騒音、③で作成した飛行試験の動画について報告した。令和3年度以降、本プログラムで使用するものである。それらの教育効果については、受講生に対して事後アンケート調査を行い評価していく予定である。

プログラム検討会においては「令和2年度、飛行試験が実施出来なかったことが残念であった。来年度以降も主管実施機関、共同参画機関を中心に努力を継続してほしい。」が主要なコメントであった。また、「空飛ぶクルマのルール作りについて、近々、公的な発表があるので、その発表を注視し本プロジェクトも進めるべきである。」という指摘も受けた。

空飛ぶクルマに関するルール作りの状況や方向性について意見交換したが、その要旨は以下の通りである。

- ・従来の航空機と現状の空飛ぶクルマの技術レベルには大きな差があり、また両者の利用方法にも大きな差がある。前者に比べ後者は、よりパーソナルな乗り物で、我々のより周辺で利用される乗り物である。よって、空飛ぶクルマの安全技術、認証技術のルール構築は、従来の航空機のルールをベースに行われるが、両者のルールには大きな違いがあることは疑いがない。

- ・空飛ぶクルマに近い航空機に関するルールが以下の様に空飛ぶクルマに応用されていくであろう。小型飛行機(A, U, N, C類)の耐空性審査要領が「飛行機普通N類」に統合され、Performance Basedの審査要領に改訂されようとしている(パブリックコメント実施中)。eVTOLは、旧Part23やPart27を参考にしながら、新しいPerformance Basedの審査要領に適合するように機体認証を進める必要がある。

- ・今後も、FAA、EASAの新しいルール作りの動向を参考にしながら、日本でも具体的なルール作りが進んでいくと思われる。空飛ぶクルマメーカー等、民間の活動とルール策定とが相互に影響を与え合う可能性もある。

来年度以降も、ルールに関する最新の情報、空飛ぶクルマメーカーの活動に関する最新の情報に注意しながら本プロジェクトを進めて行くことを、主管実施機関、共同参画機関、協力機関で確認した。

## ⑤ 広報誌作成

### [計画]

本事業の意義及び当該年度の成果を広く周知し、航空人材の裾野を拡大するために広報誌「実機飛行教育通信」を発行する。

### [実施内容]

実機飛行教育通信(カラー、A4×4ページ)を120部作成し、協力機関をはじめ、本プログラムに参画していない大学、企業、個人に配布した。本プログラムを周知し、今後の活動に協力や支援を得るためである。

添付資料(5)に示すように、空飛ぶクルマ社会の実現に貢献する人材を育成する効果的な方法の確立を目指す本プログラムの概要と令和2年度の活動内容を紹介するだけでなく、配布先の学生に講義・実習への参加を検討してもらうため令和3年度の活動予定を掲載した。なお、受講生の公募において日本航空宇宙学会の協力を得ることについては調整を終えている。また、空飛ぶクルマの開発現状の周知のために空飛ぶクルマの形式についても紹介した。

来年度以降も、その年度の報告、次年度の以降の活動、及び空飛ぶクルマのトピックス(本年度の空飛ぶクルマの形式の紹介に相当する記事)を掲載し、空飛ぶクルマ社会の実現に貢献する人材の育成の一助となることを目指す。

### 3. まとめ

令和2年度には、令和3年度以降の準備として、以下の活動を行った。

#### ・安全技術、認証技術に関するテキストの作成

従来の飛行機に関する安全技術、認証技術について情報収集し、講義用テキストにまとめた。来年度以降、このテキストを用い講義を行い、受講生には「空飛ぶクルマ」の安全技術、認証技術について提案書を作成させる。テキストでは、既存の航空機に関してだけでなく、空飛ぶクルマの安全技術、認証技術についても触れている。これらに関してルール策定が進んでいくと予想されるので、このテキストは今後も、加筆、修正して行く。また、その際、受講生の提案も取り込んで行く予定である。受講生の想像力、構想力に期待している。

#### ・空飛ぶクルマからの騒音の作成

科研費研究で開発したロータから発生する騒音計算プログラムを利用し、仮想の空飛ぶクルマからの騒音を作成した。ヘリコプタより高い周波数成分を主成分とする騒音である。来年度以降、受講生に作成した騒音を体験させ、空飛ぶクルマと我々との関係、空飛ぶクルマの社会への取り込み方を検討させる。上記プログラムは改良を継続し、受講生には、その時点で最も実際に近いと思われる騒音を体験させる予定である。また、計算された音圧変化のファイルを音声ファイルに変換し、スピーカを通して音を発生する環境を整備した。

#### ・パイロット視点での飛行試験の実際に関する講義

三菱航空機(株)のチーフテストパイロット安村佳之氏の講演会を行った。パイロット視点での飛行試験についての講義であり、広く多くの方の参加があった(102名参加)。空飛ぶクルマが実現した際には、一般の人がパイロットになるため、パイロット視点での空飛ぶクルマの理解は必須である。操縦しない搭乗者、操縦者、機体の外の者、これら3者の視点で、空飛ぶクルマの検討を行っていく。

#### ・飛行試験動画の製作

既存の飛行試験データを用いて、飛行試験に関する動画を製作した。本動画を用い講義を行うことで、受講生は機体外側からの視点での飛行試験の体験が可能となる。令和3年度以降、講義において本動画を用い、機体外側からの視点での飛行試験を受講生に説明し、その反応から本動画の教育効果について検討を行う。

#### ・フライトシミュレータ実習用、計測員用モックアップ製作

機内環境を再現した「計測員用モックアップ」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システムと接続させることで、後席搭乗員の経験が地上で可能となった。企業技術者との議論から、実機飛行体験とフライトシミュレータ等を通じてのバーチャルな飛行体験の特徴を比較、検討した。その結果、飛行の初心者には空飛ぶクルマの飛行を理解させるために行う慣熟訓練(教育)には、シミュレータを使った、飛行試験経験者(テストパイロット等)が行う教育が効果的と考えている。よって、本プロジェクトで製作したフライトシミュレータ、飛行試験動画等、バーチャルな飛行体験のツールの重要性は大きい。来年度以降も本フライトシミュレータの充実化を継続していく予定である。

#### ・プログラム検討会の実施

主管実施機関、共同機関、協力機関の研究者、技術者によって、令和3年3月22日にwebによってプログラム検討会を実施した。令和2年度の実施内容について報告した。特に、①で作成した安全技術、認証技術に関する教材、②で作成した空飛ぶクルマからの騒音、③で製作した飛行試験の動画について報告した。令和3年度以降、本プログラムで使用するものである。それらの教育効果については、受講生に対して事後アンケート調査を行い評価してい

く予定である。

「令和2年度、飛行試験が実施出来なかったことが残念であった。来年度以降も主管実施機関、共同参画機関を中心に努力を継続してほしい。」が主要なコメントであった。

空飛ぶクルマに関するルール作りの状況や方向性について意見交換した。「新しいPerformance Basedの審査要領に適合するように機体認証を進める必要があること」、「FAA、EASAの新しいルール作りの動向を参考にしながら、日本でも具体的なルール作りが進んでいくこと」、「その際、空飛ぶクルマメーカー等、民間の活動とルール策定とが相互に影響を与え合う可能性があること」、「来年度以降もルールに関する最新の情報、空飛ぶクルマメーカーの活動に関する最新の情報に注意しながら本プロジェクトを進めて行くこと」等が中心の話題であった。

・ 広報誌作成

空飛ぶクルマ社会の実現に貢献する人材を育成するために、広報誌「実機飛行教育通信」（カラー、A4x4ページ）を120部作成した。本プログラムのねらい、令和2年度の活動、令和3年度の活動予定、空飛ぶクルマの主な形態について記した。協力機関をはじめ、本プログラムに参画していない大学、企業、個人に配布した。今後の本プロジェクトの紹介にも使用する。

文部科学省宇宙航空科学技術推進委託事業  
「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」

安全技術、認証技術

2021年3月

目次

1. 従来の航空機の安全, 技術認証	pp. 2-14
2. 従来の航空機の安全, 技術認証の問題点	pp. 15-30
3. 空飛ぶクルマの安全, 技術認証	pp. 31-36
4. 課題	p. 37
5. 参考文献	p. 38

1

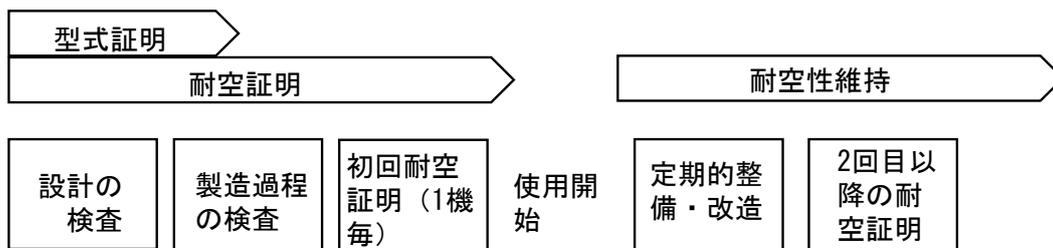
## 航空機の認証に関する制度 国際民間航空条約（シカゴ条約）

- 設計国：航空機の設計に関し基準適合性を確認して型式証明（耐空性基準，環境基準）を発行
- 製造国：能力を認定した製造者が承認された設計通りに量産機（耐空性を有する航空機）を製造
- 登録国：個々の量産機に対し，耐空証明を発行し耐空性を維持

2

2

## 航空安全管理体制



3

3,4

### 耐空証明AC(Airworthiness Certificates), C of A (Certificates of Airworthiness)

航空機を飛行させるために必要な証明である(※1, ※2)。これを取得するには、以下の基準を満足する必要がある。

- ① 強度・構造・性能についての基準
- ② 騒音の基準
- ③ 発動機の排出物の基準

有効期限は1年であり、毎年更新が必要である。

(航空機機体、使用条件、整備体制、耐空性維持、品質確保等の要件が整えば、連続式耐空証明を取得することができる。)

- ※1 開発中の機体の試験飛行は耐空証明を必要としない。  
(国土交通省の許可が必要)
- ※2 自衛隊機など例外がある。

14

## 8 認証における新たな動向

### ① システム開発のプロセス保証 標準化団体

1980年代よりコンピュータ制御技術が積極的に航空機に採用されるなど、技術革新が急速に推進されるなか、それに関連する航空機事故も発生するようになった。

連邦航空局FAAは1991年にARACを設置した。ARACは、特定の目的のために、限られた期間で臨時的に設置されるARCを置くこともできる。

- ・ 航空規則制定諮問委員会 (ARAC: Aviation Rulemaking Advisory Committee)  
常設の諮問委員会
- ・ 航空規則制定委員会 (ARC: Aviation Rulemaking Committee)  
特定の課題に対する臨時委員会

15

米国では、航空安全に関わる規則作りを民間と連携していく方針が、1996年に発生したTWA800便の太平洋上の空中分解事故を契機にさらに高まった。当時のクリントン大統領は、航空安全向上に向けた委員会(White House Commission on Aviation Safety and Security, ゴア委員会とも呼ばれる)を設置し、耐空証明の基準に関する改善を求め、以下を提言に含めた。

- ・ 認証技術の標準化を行う。
- ・ 新技術を採用できるパフォーマンスベースのルール(※)にする。

※パフォーマンスベースのルールとは、達成すべき性能などを規定し、それを達成する手段を規定しないものとするものである。文献2, 10によると、「手段を規定する処方箋的Prescriptive方式でなく、Performance Based式に」。

ゴア委員会の提言に応える形で、欧米の標準化団体では航空安全設計に関するガイドラインの策定が進んだ。標準化団体とは、非営利の技術団体である。

#### 非営利民間団体

- ・ RTCA(Radio Technical Commission for Aeronautics)
  - DO-178B (DO-178C) (ソフトウェア開発プロセスのガイドライン)
  - DO-254 (ハードウェア開発プロセスのガイドライン)
- ・ SAE(Society of Automotive Engineers) 等
  - ARP (Aerospace Recommended Practice) (航空機全体の開発プロセスのガイドライン)
  - ARP 4761 (安全性評価プロセス)
  - ARP 4754 (システム開発保証プロセス)

○ガイドラインを、FAAが推奨

- 8
- ・ 欧州の場合：EUROCAE（欧州の非営利民間団体）がガイドラインを策定

OEASAが推奨

- 3
- ・ 民間規格を当局が採用する方式  
米：MOC (Means of Compliance) , 欧：AMC(Acceptable Means of Compliance)

18

9

### 民間標準団体について

- ・ SAE Internationalをはじめとする民間標準団体発行の技術標準が、方針適合の技術的な基盤として利用されている。米国では、400以上のSAE標準規格がFAAにより、欧州では150以上の同規格がEASAにより活用されている。
- ・ 航空機のシステムは複雑化しており、プロセスマネジメントの重要性が高まっている。また技術進化が目覚ましい中、イノベーションのスピードと現在の航空安全レベルを両者とも阻害しないように官民の関係も新しい関係が築かれてきている。FAAのような航空当局が民間の団体に対して安全基準のガイドラインをつくることを要求し、民間団体はボランティア的にこれに協力して、そのガイドラインを作る関係は、最先端の技術の安全性をいち早く評価でき、また当局による要求性能への適合基準が民間企業にとって明解になる。競争する企業が連携し、標準、基準という非常に基礎的な部分を強化することによって、企業同士が大きなメリットを得ることができる。

SAE(Society of Automobile Engineers)1905～：自動車産業の標準規格団体

1916～：航空機などさまざまな産業の標準規格団体

19

3

## ②組織認証

設計検査の一部に民間能力を活用する.

認定事業場（現在, MHI, MITAC, KHI, FHI）で設計した飛行機について,  
国が行う設計検査を一部省略できる.

米国での民間能力の活用

1940年代 DER(指定技術者代理) 個人

1980年代 ODAR(組織指定耐空証明代理) 組織

2000年代 ODA(組織認証許可: Organization Designation Authorization)  
に統一

21

2,3,4

## ③相互認証

運航国と製造国が異なる場合, 運航国の航空当局からの型式証明も必要  
運航国と製造国間で相互認証協定を結び, 効率化

BASA(Bilateral Aviation Safety Agreement) : アメリカ

Working Arrangement : ヨーロッパ

- 各国で異なる基準が存在すると, 設計の負担が大きくなったり, 審査が個別に必要になりコストと手間がかかることになる. 基準を共通化するためにFAAはARAC(Aviation Rulemaking Advisory Committee)の下にWorking Groupを設置し, EASAとFAAの基準を共通化するためのHarmonization活動が行われている.  
現在では多くの基準が共通化されつつある.
- 航空機の輸出入において, 検査の重複を避けるために, 相手国の検査結果を認める協定, 航空安全協定(BASA : Bilateral Aviation Safety Agreement)を締結する動きが盛んになっている. 耐空性や環境適合性, 整備などの諸分野を対象としている.

22

8

### 米国における検査認証方式の変遷

- ✓1940年代以前：民間の航空当局の検査認証部門が認証を行う。
- ✓1940年代：CAA(民間航空機関)は審査を個人で代行できる制度を導入。耐空証明認証作業を委任するDER(指定技術者代理)である。
- ✓1967年：FAA(連邦航空局)が設置される。
- ✓1980年代：個人にはDAR(指定耐空証明代理)、組織にはODAR(組織指定耐空証明代理)を導入した。
- ✓2004年：認証手続きをODA(組織認証許可：Organization Designation Authorization)として統一。(2009年に制度に移行)
- ODAは個人の資格で認証を行うのではなく、FAAにより認証を委託できる能力を持つことが認められた製造会社や運航会社が自主的に認証を実施し、FAAが最終的にそれを許可するというスタイルをとる。

23

### 8 型式証明の検査認証方法 課題

- 2018年10月29日と2019年3月10日に連続して発生したボーイング737MAXの墜落事故により、**開発メーカーに認証を委託するシステムの課題が露呈した。**
- 2019年10月11日に発表されたJATR(※)は、認証方式に関してボーイング社とFAAのより綿密なコミュニケーションを求めている。特に、複雑化した航空機システムにおいて、すべての事象が検証できているかどうかの検討を当局と製造業者相互で確認することが重要であるとし、**ボーイング社に対しては、設計開発チームとは独立した認証チームを設置することを求め、FAAに対しては他の民間航空当局と協力し、システムの改修が機体全体に及ぼす影響を総合的に検証する視点を求めている。**また、FAAに対しては、業界コンセンサスであるSAE 4754の適用を明確にすることを求めている。

※関係当局合同技術審査報告書のこと。オーストラリア、ブラジル、カナダ、中国、欧州、インドネシア、日本、シンガポール、アラブ首長国連邦の民間航空当局者が参加してまとめたもの。

24

### ①新技術の型式証明方式や使用方法の検討に 民間の知を活用すべき

---

- 新技術に関して、安全性や信頼性を確実に保証するための仕組みである型式証明の方式を、行政関係者のみで確立することは困難。
- 国内での航空技術開発を推進するためには、民間の専門家も委員とする米国の航空規制制定諮問委員会 (ARAC : Aviation Rulemaking Advisory Committee) のような委員会を常設するとともに、テーマに応じて民間の専門家を集めた臨時の委員会 (米国では航空規則制定委員会 ARC : Aviation Rulemaking Committee) を設置すべき。

27

### ②新技術の型式証明方式策定に 官民でのコンセンサスを活用すべき

---

- ARACやARCでの議論の裏付けには、民間での技術標準化団体と呼ばれる各種非営利団体の活動がある。そこでは、新技術を開発する企業や研究機関のみならず、それを利用するエアラインや空港、さらには監督官庁関係者、学術専門家が参加し、企業の利害を超えた議論がなされている。
- 日本でも、小型無人航空機 (ドローン) や電動垂直離着陸機 (空飛ぶクルマ) などの新たな分野では、官民協議会を設置し、官と民の関係者が政策や開発目標を議論できる場ができています。航空技術全般についても、新技術の実用化を推進するために、技術標準化活動を官民連携で推進すべき。

28

### ③認証における**確実性**、**透明性**を向上させる新たな制度設計に取り組むべき

- 航空機の型式証明認証は基本的に国・行政が実施しており、型式証明の一部には開発会社の社内認証の制度も活用されている。  
ただし、当事者のみの閉鎖的な環境が十分でないことが問題となっている。2018年10月29日と2019年3月10日に連続して発生したボーイング737MAXの墜落事故がその例である。
- 型式証明等の航空安全認証プロセスの**確実性**、**透明性**を向上させるための新たな制度設計に各国と協力して取り組むべき。

29

### <sup>3</sup> **無人航空機の型式証明**

無人航空機に関する明確な型式証明の基準は世界的にも確立されていない。

- **大型無人航空機**（有人機と同じ空域を運航するもの RPAS: Remotely Piloted Aircraft Systems）

現在、ICAOが、2020年代完成を目的に、シカゴ条約Annexに無人航空機の規定を組み込む作業を進めている。

・有人機に匹敵する安全性、有人機のルールに従って飛行すること、管制官の指示に従い、衝突防止装置を備える。

日本：大型無人航空機＝無操縦者航空機（航空法第87条）

- **小型無人航空機**

各国の航空法で規定されている。国内では明確な型式証明が存在しなかったが、2022年度の有人地帯目視外飛行の実現を目指し、小型無人航空機に関する型式証明の制度設計に取り組むことが示された。

30

3

## 空飛ぶクルマ（eVTOL）の型式証明

有人機の場合、航空機に分類されるが、これまでの類別で耐空性や型式証明が行われるかどうかは明確ではない。

eVTOLとして型式証明/耐空証明において新たに基準作りが求められる項目は以下のようになる。

- バッテリ、電動またはハイブリッド推力の認証
- 多発ロータ/ロータの安全基準
- AIを含む自動飛行システムの審査基準
- 遠隔操作システムの審査基準

(1) 操縦免許に関しても類別ごとに国家免許が必要となる。

(2) 航空機を利用して運送事業、使用事業を行う際も航空法での許可を受ける必要あり。

(3) Uberが想定している様なeVTOLによるオンデマンド運航に関しては新たな制度設計が必要。

31

3

## 空飛ぶクルマ（eVTOL）の型式証明

○現行ルールにおいては、「特別要件」、「同等の安全性」、「適用除外」での特別審査を受けることになる。

○小型機の耐空証明（米：Part23、欧：CS23）の新たな取り組みが、米、欧で連携し進められている。Part23/CS23のパフォーマンスベースの手法と民間標準の活用に注目。

32

## 空飛ぶクルマ（eVTOL）の型式証明

### 欧州

eVTOLの型式証明発行に向け、必要な技術仕様の条件（SC：special condition）を2019.07.02に発表した。

対象：乗員9人以下、3175 kg以下の有人VTOL機

カテゴリー	Basic（個人利用で安全なエリアの飛行に限定）	Enhanced（有人地帯上空飛行または商用目的）
緊急着陸の要件	<ul style="list-style-type: none"> <li>ヘリコプタのオートローテーションのような緊急着陸</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>安全な飛行の維持</li> <li>パイロットの特殊な技能がなくても着陸地点まで飛行可能であることが求められる。 （有人ヘリCS27, CS29とほぼ同じ安全要求）</li> </ul>

33

### SCの特長な要件

- ・フライトレコーダーの搭載（耐空性証明の要件）
- ・バードストライク対策（7人以上のBasicとEnhancedの機体が対象）
- ・単一故障基準：どんなcatastrophicな故障状況も1つのシステムの故障から起きてはならない。Enhancedでは機体構造にまで要求される。
- ・クラッシュウォーシネス：機体内の人が守られるならば、限定的に損害は認められる。

EASA: 民間標準団体EUROCAEと連携し、技術基準の策定を進めている。

34

## 空飛ぶクルマ（eVTOL, UAM）の型式証明

### 米国

Experimental Aircraftに関するPart 21.17(b)の特別クラスの機体の項目を利用して耐空証明を付与する検討がなされている。検討されている特別クラスの回転翼機とは、以下の項目のうち3つ以上が該当することが条件で、eVTOLの多くがそれに該当することになる。

- ・ 飛行には主に3つ以上のロータによって生成された揚力を利用し、各ロータの出力を変化させることにより、水平移動を制御する。
- ・ 電気またはハイブリッド電気推進を利用する。
- ・ 設計に高度な飛行制御システム（フライバイワイヤーによる飛行制御システムなど）を含む
- ・ 従来のオートローテーションには対応していないが、それに変わるようなエンジン停止後の安全な着陸方法を持つ。

35

## 空飛ぶクルマにおける課題

### 標準化

- ・ 機体の安全認証標準
- ・ 機体のソフトウェア標準
- ・ 運航管理システム標準
  - (i) 運航経路計画, (ii) 運航スケジューリング, (iii) 管制・衝突・回避
- ・ サービスプラットフォーム標準
  - 空飛ぶクルマを利用したサービス関係者間の情報共有の方法についてのルール

36

## 課題

### 空飛ぶクルマの安全・技術認証について 各自の提案書を作成して下さい

(本テキストは、社会のルール策定状況、皆さんの提案によって、加筆、修正して行きます。)

37

## 参考文献

- 本稿は、以下の文献を参考にした。各ページに示した参考文献番号は、そのページの主な文献を示したものである。
- (1) 鈴木真二他「航空技術認証取得体制の構築に向けて～MRJ開発から分かったこと～」，日本航空宇宙学会誌，第66巻，第4号，2018，pp. 89-97.
  - (2) 篠田和英「民間航空機の安全・開発保証プロセスについて—MRJ開発における取組み—」第11回クリティカルソフトウェアワークショップ<https://www.ipa.go.jp/files/000036469.pdf>
  - (3) 鈴木真二，中村裕子「機体安全認証（耐空証明，型式証明）」，空飛ぶクルマ第5章，中野冠監修，NTS出版2020
  - (4) 航空機の型式証明について—設計，開発，製造に関わる審査・承認とその制度—，（公財）航空機国際共同開発促進基金[開発概要22-2]<http://www.iadf.or.jp/document/pdf/22-2.pdf>
  - (5) 鈴木真二「ドローンが拓く未来の空」化学同人社
  - (6) 「航空実用事典」日本航空.
  - (7) 三菱重工業技報Vol. 35, No. 5, 1998, pp. 331-333.
  - (8) 東京大学未来ビジョン研究センター次世代スカイシステム研究ユニット「航空安全認証制度と技術標準化に関する提言」[https://ifi.u-tokyo.ac.jp/news/5950/\(2020\)](https://ifi.u-tokyo.ac.jp/news/5950/(2020))
  - (9) 中村裕子，鈴木真二：「航空機のイノベーションを支える標準化活動～SAE International Aerospace Japan Symposiumを開催して」，日本航空宇宙学会誌，第67巻，第10号，2019，pp. 335-341.
  - (10) 中村裕子，鈴木真二：「「空の産業革命」「空の移動革命」のキーワード”自動化””自律化”の認証の壁と実現に向けた世界の取り組み」，日本航空宇宙学会誌，第68巻，第1号，2020，pp. 8-14.
  - (11) 中村冠監修「空飛ぶクルマのしくみ」日刊工業新聞社.

38

(2) 日本航空宇宙学会誌受講生公募

文部科学省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」  
令和2年度受講生募集

国立大学法人 東海国立大学機構 名古屋大学  
国立大学法人 信州大学  
学校法人 金沢工業大学

[本プログラムの目的]

近年、空飛ぶクルマ等の身近で三次元的なモビリティによる生活の大きな変化、通称「空の移動革命」が叫ばれています。本事業では、空の移動革命を実現し、空飛ぶクルマ産業の国際的イニシアティブを獲得するため、我が国に欠如している「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する人材育成を目的とします。

[令和2年度実施項目]

本年度は、以下の実習により飛行試験技術構築の実際を学びます。

- ・ 信州大学 柳原正明教授（元宇宙航空研究開発機構（JAXA）基盤技術統括／飛行技術研究センター長）による飛行試験技術に関する講義及び飛行データ解析ツールの使用方法に関する説明
- ・ JAXAの実験用航空機 MuPAL- $\alpha$   
(<http://www.aero.jaxa.jp/facilities/flight/facility01.html>) に搭乗しての飛行試験と、飛行データ解析ツールを使用したデータ解析を実践
- ・ 講義、実習受講後、空飛ぶクルマに向けた飛行試験技術について、各自の提案書を提出

[実施期間] 2021年2月8日（月）～12日（金）

[実施場所] JAXA 調布航空宇宙センター 飛行場分室（東京都三鷹市大沢6-13-1）

[費用] 受講料無料、交通費・宿泊費は名古屋大学の規定に従ってお支払いします。

[募集人数] 6名

[応募条件] 理工系の大学院に在籍しており、応募に関して大学の了解が得られていること。5日間すべてに参加できること。

[応募方法] 応募希望者は、下記連絡先のアドレスにメールに送ってください。

- ・ 件名 : 「空飛ぶクルマ委託費参加希望」
- ・ 内容 : 1. 氏名 (よみがな) / 2. 大学院名・専攻・学年 / 3. 年齢 / 4. 性別 / 5. 昼間時間帯に連絡がつく電話番号 / 6. 航空工学に関連して大学等で既履修・履修中の科目 / 7. 応募の動機と実習に対する抱負 (1000 字程度、添付ファイル可) / 8. 指導教員の推薦状 (様式不問) / 9. 連絡・照会先となる所属大学教員の所属、役職、氏名、メールアドレス、電話番号

[応募締め切り] 2020年12月25日 (金) 17:30

[選抜方法] 2021年1月中にWeb会議により、航空機に関する知識や空飛ぶクルマへの考え等について試問を行い、受講生の選抜を行います。

[その他]

- ・ 所属大学とJAXAの間で、学生実習制度 (技術習得方式) での受入にかかる個別協定を締結して戴きます。 [https://www.jaxa.jp/edu\\_j.html](https://www.jaxa.jp/edu_j.html)
- ・ 新型コロナウイルスの感染状況、天候、機体の状況等の理由により中止する可能性があります。
- ・ 実習参加前に医療機関等でのPCR検査を行って戴きます (費用はプロジェクトで負担)。 また実習期間中、マスク着用、手指の消毒を適時行うなどコロナ感染防止対策を実施して戴きます。

[連絡先]

名古屋大学フライト総合工学教育研究センター 砂田 茂  
shigeru.sunada@mae.nagoya-u.ac.jp

(3) パイロット視点での飛行試験の実際に関する講義

2021年3月22日(月) 17:00-18:00 (zoom)

## 三菱航空機(株)飛行試験本部

フライトオペレーショングループ長

チーフテストパイロット 安村佳之氏講演会

「テストパイロットから見た航空機開発について」

(講演概要) 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。

どなたでも聴講できます。聴講ご希望の方はメールを

shigeru.sunada@mae.nagoya-u.ac.jp までお願い致します。当日、

zoomの招待を送らせて頂きます。

[安村佳之氏御経歴]

航空自衛隊に約20年、三菱重工業(株)及び三菱航空機(株)に約20年勤務し、合計約40年間航空機業務に携わる。航空自衛隊の後半10年間はテストパイロットとして、T-4、F-2の開発等に関わる。三菱重工業(株)では防衛省機の新規開発や定期修理の飛行試験に、三菱航空機(株)ではMRJ(SpaceJet)の開発飛行試験にチー

フテストパイロットとして関与。

本講演は、令和2年度文部科学省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」の下で行われるものです。本講演の直後、上記プロジェクトのプログラム検討会を引き続き行います。プログラム検討会は、上記プロジェクトの共同参画機関、協力機関のメンバーのみの参加となります。

名古屋大学フライト総合工学教育研究センター  
砂田 茂

#### (4) 製作動画

##### 【縦操舵特性：定常旋回】

###### 画面説明

計器表示：姿勢インジケータ、方位コンパス、速度計、高度計

グラフ上：青：ロール角、赤：ピッチ角、緑：ヘディング角

左下：簡易 PFD：VG：対地速度、Roll：ロール角(deg)、ALT：高度(feet)、  
Pitch：ピッチ角(deg)、Heading：ヘディング角(deg)

右テキスト表示：sec：経過時間(秒)、Sampling：元データの抽出レコード間隔

左上図：機体外部後方視、

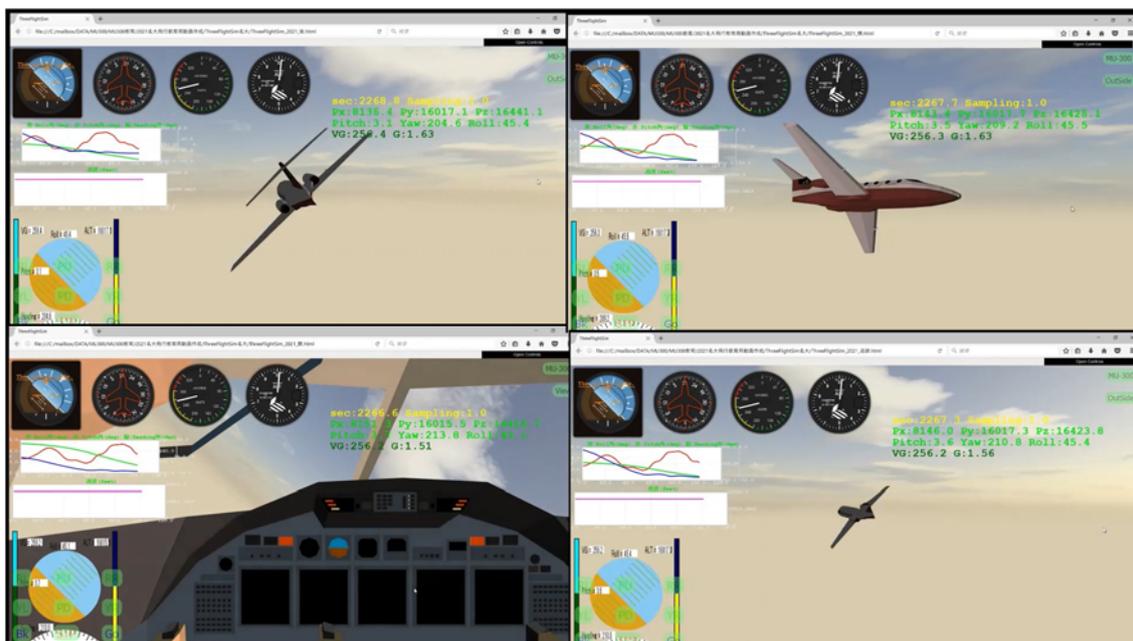
右上図：機体外部側面視

左下図：コクピット内パイロット視点、

右下図：機体外部追跡視点

(少し遅れて追跡する機体から見た視点)

これらの図は、45 度定常旋回中の機体の様子を表している。各種飛行データと共に、この動画を示し受講生に飛行試験について解説する。



## 「実機飛行教育通信」

2020年度版

令和2～4年度宇宙航空科学技術推進委託費（宇宙航空人材育成プログラム）

### 『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』

令和2年度の標記委託費が採択されました。主管機関名古屋大学、共同参画機関金沢工業大学・信州大学が主となって推進しますが、国内の多くの大学、企業にも協力機関をお願いしています。

### プログラム概要

我が国が空の移動革命を実現し、空飛ぶクルマ産業の国際的イニシアティブを獲得するために、「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する人材育成を目指します。

そのために、以下から構成される教育スキームを構築します。

- (1) 安全技術・認証技術に関する講義
- (2) 空飛ぶクルマ周りの環境状況（騒音）に関する実習
- (3) 飛行試験技術に関する講義・実習

### 理工系全専攻大学院生を対象にした教育プログラム

- ◎ 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



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  
我が国のイニシアティブ獲得

## 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、操縦者訓練や、実機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、模擬操縦装置や飛行運動模擬装置等から構成されています。

今回、機内環境を再現した「計測員用モックアップ」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（実機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。）の経験が地上で可能となります。



従来型フライトシミュレータ



製作した計測員用モックアップ室内



計測員用モックアップ外観

### ② 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、仮想の空飛ぶクルマからの音を試作しました。まだまだ改良を続けます。

## 令和2年度の活動

### ③ 航空機での飛行実習・飛行試験

協力機関である宇宙航空研究開発機構(JAXA)殿の協力を得て、同機構の実験用航空機を用いた飛行試験実習の調整を進めましたが、コロナ禍による安全面への配慮から、残念ながら本年度の実習は中止としました。

それに替えて、平成28年度宇宙航空科学技術推進委託費「実機飛行を通じた航空実践教育の展開」の一環として実施したダイヤモンドエアサービス株式会社MU-300での飛行試験\*)の飛行データから、飛行試験を再現するコンピュータ動画を制作しました。来年度以降の実習では、本動画も利用します。

\*) 山口皓平ほか、「機内持込み型飛行データ測定システムの開発と実機飛行実習の学習内容充実への活用」、日本工学教育誌、2019年67巻4号、pp.50-56

### ④ 飛行機の安全・認証技術

飛行機の安全・認証技術に関するテキスト(初版)を作成しました。

## 講演会

2021年3月に行われた本年度のプログラム検討会(web開催)では、①、②の準備状況、④に関するテキストについて報告を行い、来年度の活動について討議を行いました。

また、MRJ(現スペースジェット)の初飛行パイロットである三菱航空機株式会社飛行試験本部フライトオペレーショングループ長安村佳之氏に「テストパイロットから見た航空機開発について」というタイトルでご講演頂きました。

#### ご講演概要

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。

#### 安村佳之氏御経歴

航空自衛隊に約20年、三菱重工業(株)及び三菱航空機(株)に約20年勤務し、合計約40年間航空機業務に携わる。航空自衛隊の後半10年間はテストパイロットとして、T-4,F-2の開発等に関わる。三菱重工業(株)では防衛省機の新規開発や定期修理の飛行試験に、三菱航空機(株)ではMRJ(SpaceJet)の開発飛行試験にチーフテストパイロットとして関与。



安村佳之氏

## 令和3年度の活動予定

令和3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4年2月 : 飛行実習 @JAXA (調布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

## 空飛ぶクルマの形式

空飛ぶクルマの主な形式には以下の3つがあります。

- ① マルチロータ
- ② コンパウンドヘリコプタ
- ③ ティルトロータ, ティルトウィング

一般的に, ①, ②, ③の順に, より高速での飛行が可能です。



マルチロータ ©(株)SkyDrive

### ① マルチロータ

ドローン(無人のマルチロータ機)を有人化したものと考えられ, 比較的飛行速度が遅く, 短距離移動に向いています。一般に安全性の観点から, 複数ロータを使用することで冗長性を高めています。SkyDrive社(左写真)やEhang社の機体(<https://ehang.com>)が知られています。

### ② コンパウンドヘリコプタ

ヘリコプタと固定翼機を合わせた機体で, エアバス・ヘリコプターズの技術概念実証機Racerが有名です。ホバリング時にはヘリコプタ機能が, 飛行速度が高くなると固定翼機の機能が支配的になります。本形式の空飛ぶクルマは, リフトアンドクルーズとも呼ばれています。右写真はJAXAで開発した概念模型であり, 在来ヘリコプタの約2倍の最大飛行速度500km/hの, 4トンクラスの高速ドクターヘリを目指しています。



コンパウンドヘリコプタ ©JAXA



ティルトウィング  
©スカイリンクテクノロジーズ(株)

### ③ ティルトロータ

回転翼(ロータ)の傾きが飛行速度によって変化可能です。コレクティブピッチ, サイクリックピッチの変化が可能です。ホバリング等低速飛行に重点を置いた設計になっています。V-22オスプレイが有名です。

#### ティルトウィング

回転翼(プロペラ)だけでなく, 主翼も一緒に角度が変化します。プロペラは可変ピッチのみで, 高速飛行に重点を置いた設計です。この形式の空飛ぶクルマとしては, スカイリンクテクノロジーズ(株)が概念機を提案しています(左写真)。

## プロペラとロータ

プロペラは元来, 飛行機の前進のためのもので, 回転面は飛行機の前進方向に対し垂直です。可変ピッチ機構を持っていれば, 飛行速度によってピッチ角を変化可能です。ロータは元来, ヘリコプタのためのもので, ホバリング飛行では回転面は水平に寝ている, 前進飛行では前傾します。ロータでは, コレクティブピッチ(ブレードの回転方向位置で一定), サイクリックピッチ(ブレードの回転方向位置で変わる)の変化が可能です, それによってロータ回転面の傾きが変化します。

プロペラでは高速で高い効率が得られる様にブレード長手方向のコード(長手方向に垂直な方向のブレードの幅), 捩り分布が決まっている一方, ロータではホバリングを含めた低速で効率が高くなる様に捩り分布が決まっています。また, プロペラに比べロータは, 細長い(アスペクト比が大きい)ブレードからなります。

両者の中間にプロップロータがあります。

2021.3 名古屋大学 信州大学 金沢工業大学