慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	オンデマンド航空サービスのシステムデザイン
Sub Title	System Design of On-Demand Aviation Service
Author	奥津, 智貴(Okutsu, Tomotaka) 中野, 冠(Nakano, Masaru)
Publisher	慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
Publication year	2013
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2013年度システムエンジニアリング学 第127号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40002001-00002013-0017

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文　　2013 年度

オンデマンド航空サービスの
システムデザイン

奥津　智貴

(学籍番号：81233112)

指導教員　中野　冠

2014 年 3 月

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科

システムデザイン・マネジメント専攻

論　　文　　要　　旨

学籍番号	81233112	氏　名	奥津　智貴

論 文 題 目：

オンデマンド航空サービスのシステムデザイン

（内容の要旨）

現在，地方の過疎化による定期航空路線の減便や路線の廃止等によりユーザーが要求したときに航空サービスを利用できないという問題が発生している．また，大都市の地上交通の混雑等を回避したい場合において，航空サービスが利用したい場合も定期航空路線が存在しないため，航空サービスが利用できないという問題が存在する．これらの問題の解決策としてオンデマンド航空サービスが提案されている．

本研究では，オンデマンド航空サービスの市場調査を行い，現状における問題点を指摘し，今後の普及に向けたシステム提案を行うことを目的とした．

研究方法について，現状のサービスにおける問題点及びユーザー要求の獲得のためオンデマンド航空サービス事業者にインタビュー調査を行った．本インタビューは，既存のオンデマンド航空サービスの事業者にインタビューを行い，サービス実施に対する現状の問題点に関して，各事業者 90 分程度のヒアリングを行った．結果，燃費の向上や機体構造の簡略化等のユーザー要求が導出された．ユーザー要求を基に機体コンセプトを選択し，動力源の選択を行った．これらを統合し，オンデマンド航空サービス用航空機コンセプトを導出した．導出されたコンセプトの実現可能性を検証するために，動力システムの検討を行った．

結論，インタビュー調査により航空機コンセプトを導出し，エネルギー的成立可能性について考察を行った．結果，従来の内燃機関を使用した機体コンセプトと比較して，同程度の機体重量同士の機体コンセプトにおいてより多くのユーザーニーズが達成できることを確認できた．

キーワード（5 語）
オンデマンド航空，　航空機，　コンセプト，　ハイブリッド，過疎化

SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION

Student Identification Number	81233112	Name	Tomotaka Okutsu

Title

System Design of On-Demand Aviation Service

Abstract

The problem that an aviation service is not available to occurs now when users required it by the decrease number of flights or the abolition of the route by the local depopulation.

In addition, there is a problem not to be available to aviation services because no airline has regular airline when customer wants to evade congestion of the grand transportation of the big city and to use aviation service. An on-demand aviation service is suggested as solution to these problems.

In this study, the marketing research of the on-demand aviation service and pointing out the problems in the present conditions are carried out. And, the object of this research is to propose a system for the future spread of on-demand aviation service .

Interview survey to the on-demand aviation service company for the acquisition of the problems in the present service. This interview to the company of the existing on-demand aviation service was to find the present problems for the service enforcement. Each company around 90 minutes.

User requirements were improvement of the mileage or the simplification of the body structure.
A body concept was selected based on a user requirements, and the power source is selected.
After integration of these, a aircraft concept for on-demand aviation services was derived. And tests to exam the power system to inspect the feasibility of a derived concept were carried out..

As a conclusion, The concept could achieve more user needs than the conventional aircraft concept using the conventional internal combustion engine.

Key Word(5 words)

On-Demand Aviation, Aircraft, Concept, Hybrid Energy System, Depopulation

目次

1 序論 5
1.1 研究背景 5
1.1.1 現代日本における問題 5
1.1.2 少子高齢化 5
1.1.6 小型航空機の安全性に関する問題 9
1.2 対象とする交通手段 12
1.3 本研究の必要性 13
2 定義または用語の解説 14
2.1 オンデマンド航空の定義 14
2.1.1 本研究におけるオンデマンド航空サービスの定義 14
2.1.2 オンデマンド有人航空サービスの位置づけ 14
2.2 オンデマンド航空サービスの解説 15
2.2.1 エアタクシー 15
2.2.2 エアクラフトシェアリング 16
2.2.3 個人航空機所有 16
3 既往研究 17
3.1 平均旅行速度の低下に関する問題 17
3.2 ハブアンドスポークに関する問題 17
4 研究目的 20
5 研究方法 20
6 オンデマンド有人航空サービスに関する調査 20
6.1 既存オンデマンド航空サービスの分類 20
6.2 エアタクシー法人に対するヒアリング 20
7 フィールドワーク結果およびユーザー要求 24
8 結果コンセプト作成 26
8.1 機体概要 26
8.2 動力系及び使用エネルギーに関する検討 27
8.2.1 エネルギー保持方法に関する検討 27
8.2.2 動力システム検証 29
9 まとめ 35
9.1 結論 35
9.2 今後の課題 35
10 参考文献 36

1　序論

1.1　研究背景

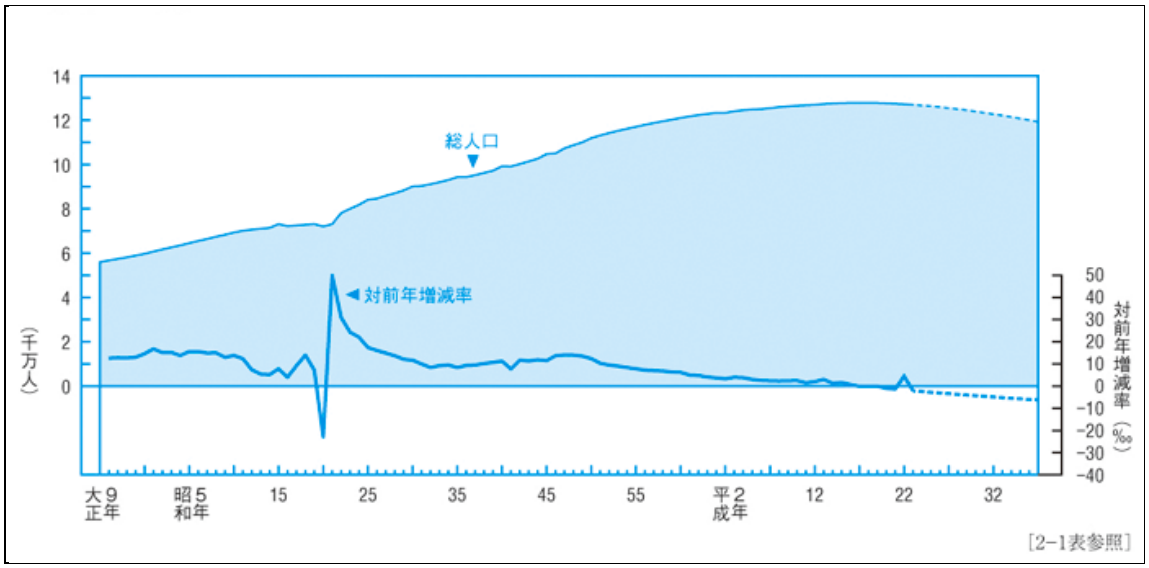
1.1.1　現代日本における問題

現代の日本は，多くの社会問題を抱えている．特に「少子高齢化」，「高度成長期に作られた社会インフラの老朽化」，「過疎化」，「都心部の人口増加」，「急速な気候変動等による大規模自然災害」においては深刻な社会問題として局所で顕在化している．またこれらは，将来的に国家が持続的に活動を続けていくうえで対処しなければならない問題群であるといえよう．

特に，交通部門について考慮これらの問題群の影響を指摘するならば，交通インフラストラクチャーストックが一定であるにもかかわらず，利用量が減少傾向であることに伴い，インフラストラクチャーの維持が困難になり，衰退の一途を辿ってしまうという問題が挙げられる．これは結果的に，国土全体の発展を妨げる要因となり得，国家の利益削減に繋がってしまうからだ．これらの問題に対して長期的視点から対処することが求められている．**本項では，上述の項目に関してそれぞれ記述する．**

1.1.2　少子高齢化

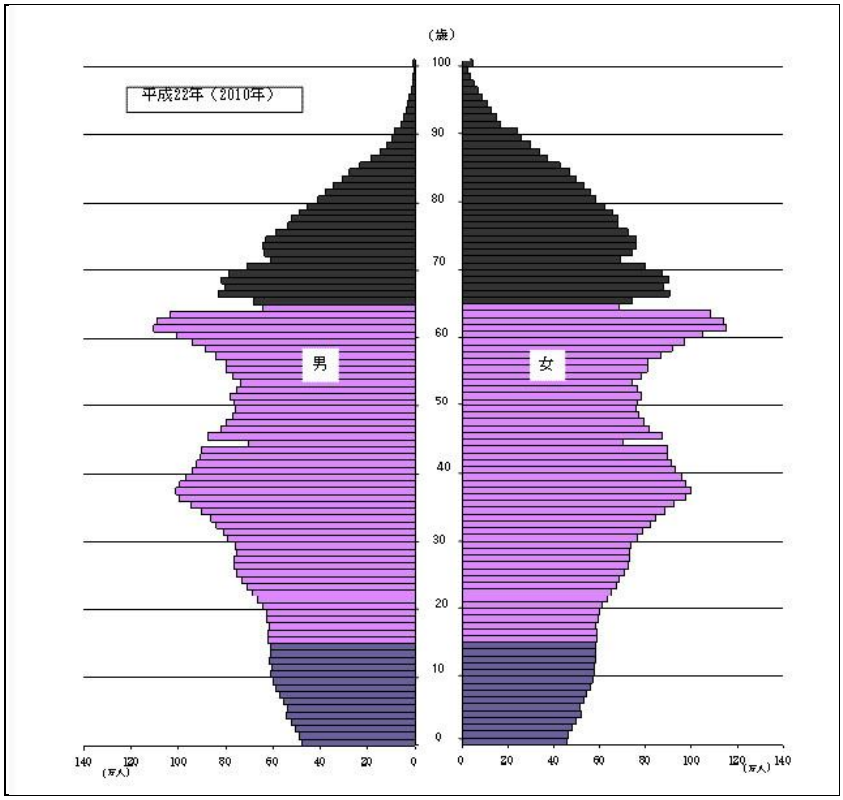
日本の人口は図 1-1 で示すように，バブル期を境に横這い傾向にあり，団塊の世代の退職期を迎え，図1-２のように高齢化が一層進行している．2013年，高齢化率は25.1%と日本の人口の約４分の一を占めている．またこの高齢人口は，年々増加の一途を辿っていることは明白であろう．2060 年には，この割合は 39.9%・約 2.5 人に一人が高齢者となる．



出典：総務省　統計局 2010 年国勢調査

http://www.stat.go.jp/data/nihon/g0302.htm

図 1-1:日本の総人口の推移



出典：総務省　統計局 2010 年国勢調査

http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2010/kouhou/useful/u01_z19.htm

図 1-2：人口ピラミッド

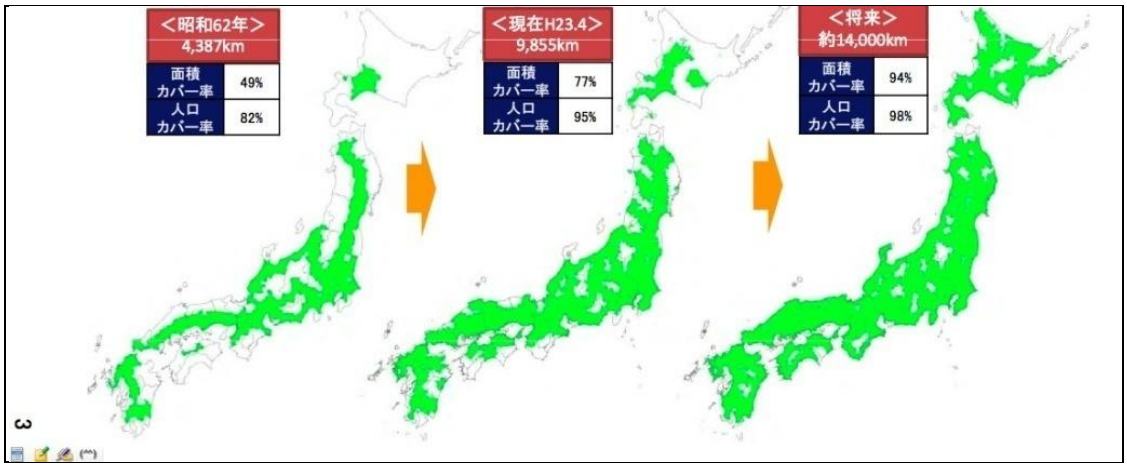
このまま，少子高齢化が進行した場合，経済活動が現在よりも縮小することが懸念される．従って，交通インフラの使用回数そのものが減少することが推測される．

1.1.3 地方インフラ維持費の増大に関する問題

現在，日本の地域人口推移は，国勢調査の都道府県別人口推移を参照すると，沖縄と三大都市圏を除いては減少傾向にある．しかしながら，これからもすべての地域に対して，高速な移動を提供することのできる，新しい交通インフラは，提供されていくべきであると考えられる．本章では，高速道路，空港，鉄道を例にそれぞれの交通システムの問題点をまずは提起したい．

まず，高速道路について述べる．高速自動車国道は高速自動車国道法第 4 条によると，「全国的な自動車交通網の枢要部分を構成し，かつ，政治経済文化上特に重要な地域を連絡する道路その他国の利害に特に重大な関係を有する道路」とされている．第 2 次大戦以降，高度経済成長期にかけて多くの日本の交通インフラは整備された．図 1-3 に示すように，高速道路は，人口カバー率は平成 23 年 4 月現在，約 95%まで拡大した．高度経済成長

以降も高速道路網は発展し続け，現在の日本の高速道路総延長は 9855km に達している．将来は，カバー率 98%が予定されている．



出典：国土交通省　高規格幹線道路計画の変遷

図 1-3：高速道路人口カバー率推移

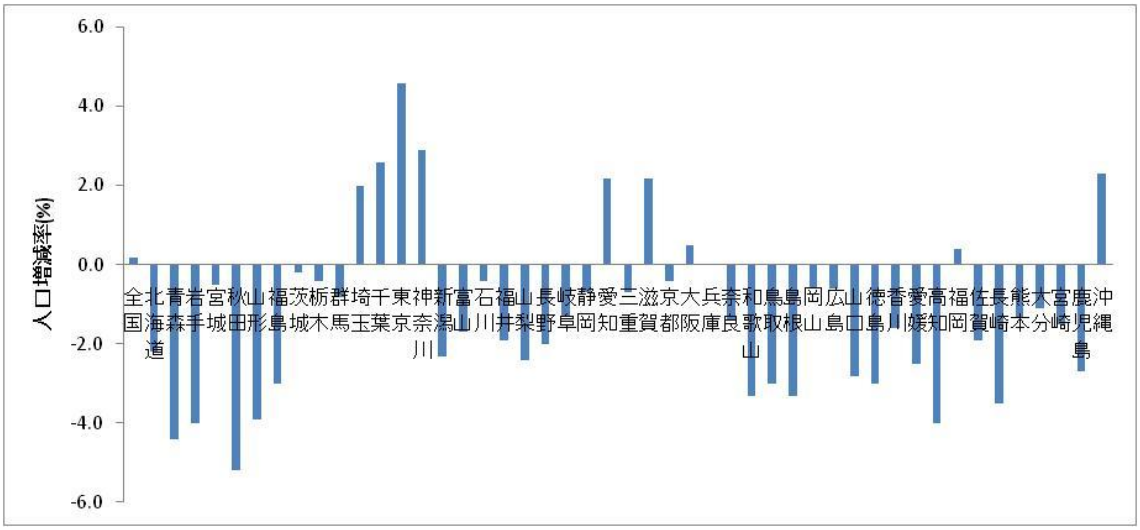
一部の東名高速道路等に代表される大都市間を結ぶ高速道路を除く多数の高速道路においては，上述した少子高齢化および過疎化の進行を鑑みるとこれらのインフラの維持に対して利用者が過小である可能性が指摘できる．

高速道路の用途は運輸部門の中で旅客と貨物に大別できる．本論では特に旅客部門における効用について主張したい．前項でも示したが，少子高齢化およびその後に予測されている人口減少により，すべての人口を高速道路や新幹線のような高速な旅客輸送サービス網でカバーすることは国家にとって非効率的な手段になりつつあると考えられる．従って，固定的な設備を有することなく必要な目的地に必要な回数だけ利用することのできる高速な旅客輸送サービスを提供することこそが，効率的に高速な移動サービスを全国土で享受できるようになる方法であると考えられる．

次に空港においては，国策により各都道府県に空港が整備され，現在日本の空港は 99 存在する．空港ぞ維持管理運営には多くの費用が必要とされ，非常に混雑している主たる空港に関しては拡大と修繕が繰り返されているが，他方で小規模の空港においては経営が困窮し補助金に頼った運営を余儀なくされている．

1.1.4　都心部の人口増加問題

2000 年代後半から 2010 年に至るまで，日本の人口は減少傾向をたどっているが，これに対し三大都市圏に関しては増加傾向を示している．図 1-4 に平成 23 年度国勢調査における人口増減率を示す．



統計庁ホームページより作成

図 1-4:人口増減率

1.1.5 空港混雑に関する問題

旅客動態調査によれば，空港容量のひっ迫が指摘されている空港は国内99空港のうちわずか4空港であり，ハブアンドスポークの限界が指摘されている．加えて，1969年にNASA内部における試算によれば，現在の定期航空における平均旅行速度は乗り換え回数と比例して低下することが早期に指摘されている．また，定期航空路線ネットワークがハブアンドスポーク形状になっていることがこれを低下させる一因になる可能性があると，複数の先行研究から指摘されている．これは，既存の航空ネットワークが目的地が多様化するほど高速性を発揮できていないことが指摘されていると考えることが出来る．FAA の試算によれば，今後旅客需要は増加することが懸念されており，本問題は一層悪化することが懸念されている．

垂直離着陸機が離発着するための設備（ヘリポート）は国土交通省が発表するところによると，公共用ヘリポートは全国で21箇所存在する．非公共用ヘリポートが91個所，非公共用飛行場は6か所存在する．米国の基準に照らし合わせると，非常に少ない．これは，オンデマンド航空サービスが普及している米国とのユーザーの要求が異なり，航空機や離着陸設備のコンセプトが日本の特性にフィットしていない可能性がある．

現在，地方航空路線は大変厳しい経営環境にあり，新規参入業者の破産等も見受けられる状態だ．図 1-5 に平成 21 年度空港整備勘定の内訳を示す．空港整備勘定のうち，歳出の多くが羽田空港等の整備に充てられており，地方航空に充てられている金額は多くない．

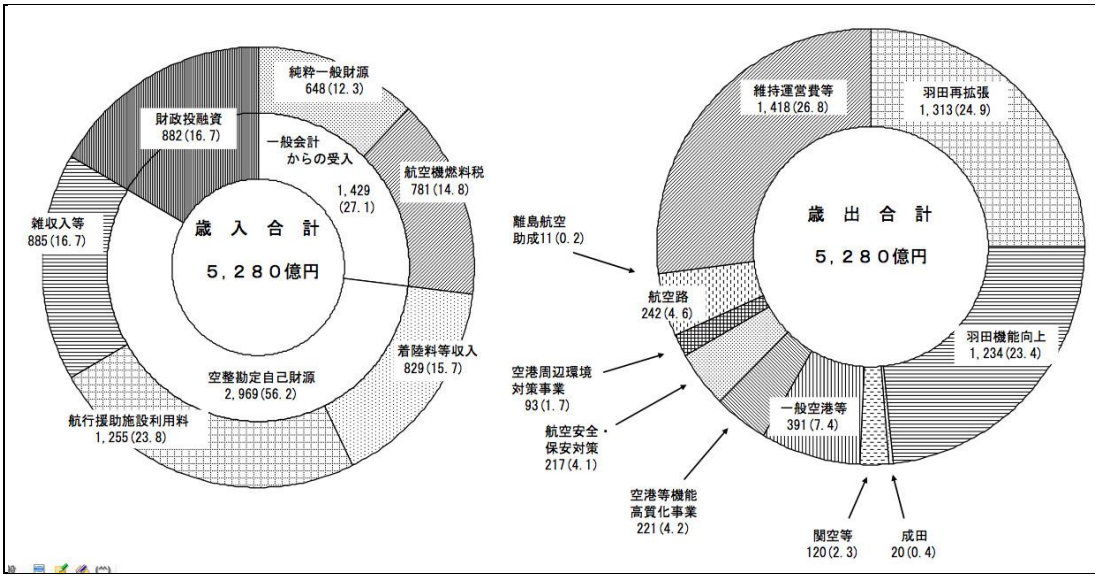


図 1-5：平成 21 年度空港整備勘定

1.1.6 小型航空機の安全性に関する問題

国土交通省の調査によると，図 1-6 に示すように，小型航空機の安全性に関して，大型の航空機に比べ事故率が高いことが指摘できる. 1991 年から 2000 年まで通じてすべての年において小型航空機の事故件数が多くを占めている.

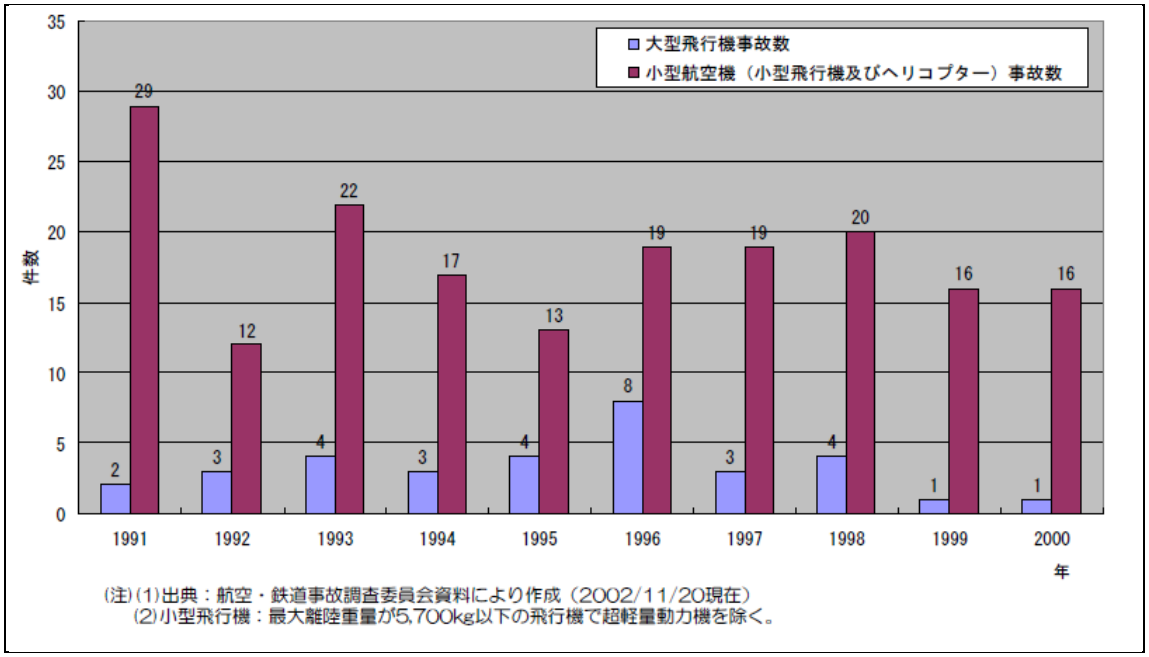


図 1-6：小型航空機の事故件数推移

加えて，運輸安全委員会の報告によれば，図 1-7 に示すように全体の事故件数のうち

34%が回転翼機において発生した事故である．すでに多数の文献で指摘されていることだが，回転翼機の構造自体の危険性が高く，固定翼機に比して事故率が高くなっていることが確認できる．

小型航空機の事故原因については，事故等調査報告書記載の事故原因を，人的要因，機械的要因，環境的要因，組織的要因の各項目に当てはめて分類すると，人的要因が 38 件(51.4%)，人的，環境的要因が 18 件(24.3%)，人的，機械的要因が 5 件(6.7%)などとなっており，全体の約 8 割が「人的要因，または人的要因が関連する複合要因」である．

人的要因の例として，失念，思い込み，未確認，操作不適切･操作不十分，判断誤り，決断遅れがある．

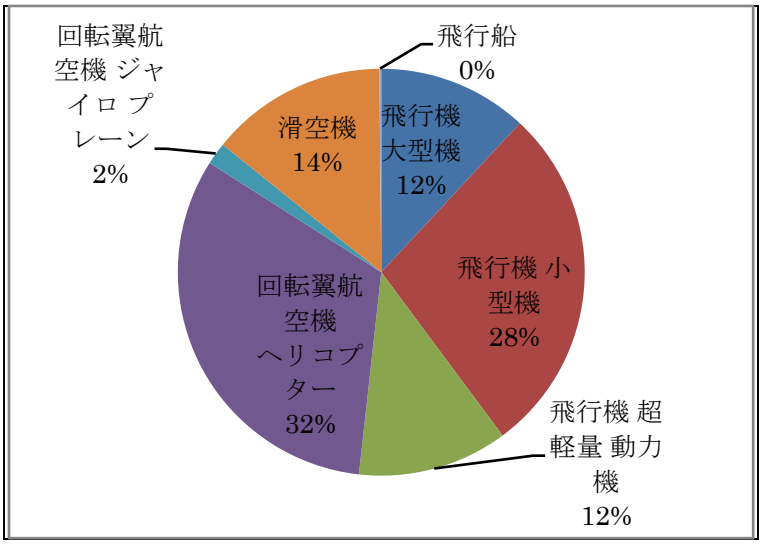


図 1-7:機種別事故件数割合(1974 年-2013 年)

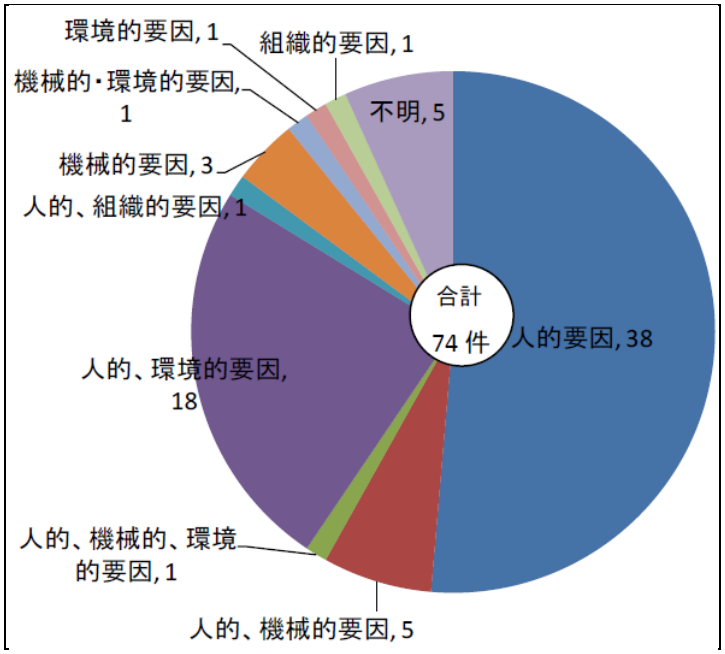


図 1-8:原因分類別事故件数

現在運用の自由度が高いことから既存のオンデマンド航空サービスでは回転翼機が多く用いられている．ここで，回転翼機それぞれの機体コンセプトについて述べる．

図 1-9：ロビンソンＲ２２

図 1-9 はロビンソンＲ２２の写真である．現在世界的に用いられている小型ヘリコプターの代表例である．本項空気の長所としては直接運航費が低く運用が容易である点が挙げられる．本航空機に用いられているエンジンはセスナ等にも用いられているライカミング社製エンジンが用いられており，使用実績が長く信頼性のあるエンジンを用いることにより，確実な運用を可能としている．

図 1-10 は Groen Brothers 社 Hawk4 である．オートジャイロの代表的な機体である．オートジャイロは推進方向と水平方向に翼を持つ航空機である．特徴として回転翼機の中では高い安全性を誇るが，一部の特殊な機体を除き，構造上ホバリングや垂直離着陸ができないという欠点がある．

図 1-10：Groen Brothers Hawk4

図 1-11 は Agusta Westland 社 AW609 である. Boeing 社 V-22 オスプレイと同様の構造を持つ民間用チルトローター機である．チルト機構の複雑さから 8 名以下の定員の航空機には適用できない機構的問題が指摘されている．

図 1-11：Agusta Westland AW609

1.2 対象とする交通手段

本研究においてはオンデマンド有人航空を対象とし，競合交通手段としては，自家用車，定期航空路線，鉄道が競合対象であると仮定する．

1.3 本研究の必要性

上述の議論において，ユーザーが要求したときに航空サービスが利用できない原因を図 1-12 に図示した．現在の日本が抱えるこれらの問題を解決するにあたり，航空サービスを活用するに際し，現在の航空サービスは米国基準でシステム構築がなされており，顧客にフィットしていないシステムを利用している可能性が存在している．現在の有人航空サービスシステムおよびユーザ要求を把握する必要があると考えられる．

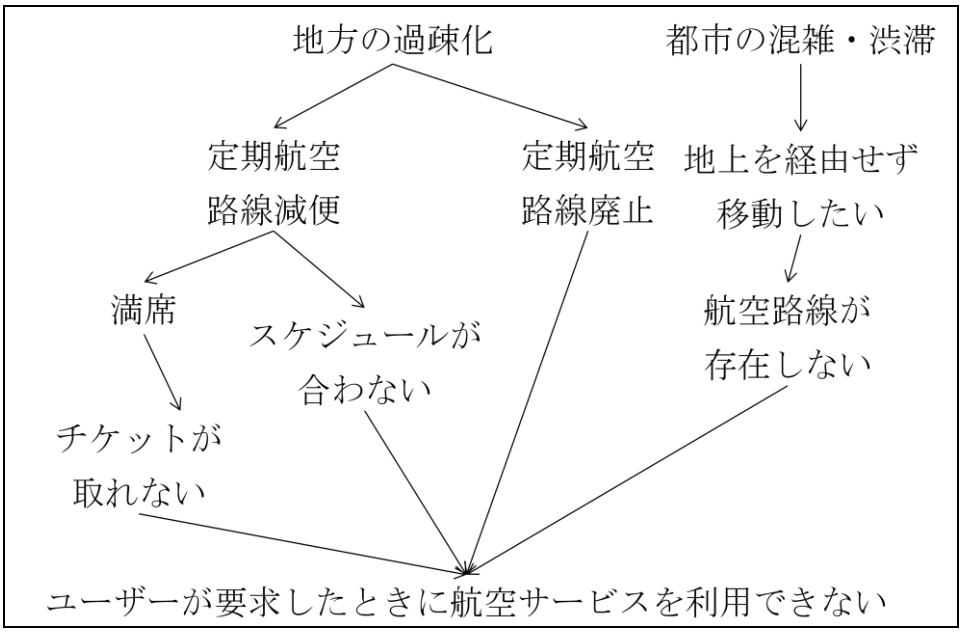


図 1-12: オンデマンド航空サービスの必要性

2　定義または用語の解説

本項では以下に本論文で用いる用語について，定義または解説する．同時に航空サービスの中で本研究において取り扱う範囲についても定義する．

2.1　オンデマンド航空の定義

2.1.1 本研究におけるオンデマンド航空サービスの定義

ユーザーが要求したときに要求された地点間を移動するサービスと本研究では定義する．

2.1.2 オンデマンド有人航空サービスの位置づけ

図 2-1 に示す集合関係により，オンデマンド航空サービスを位置づけする．オンデマンド航空サービスとは，航空サービスの中の不定期航空サービスの一部を成すものである．

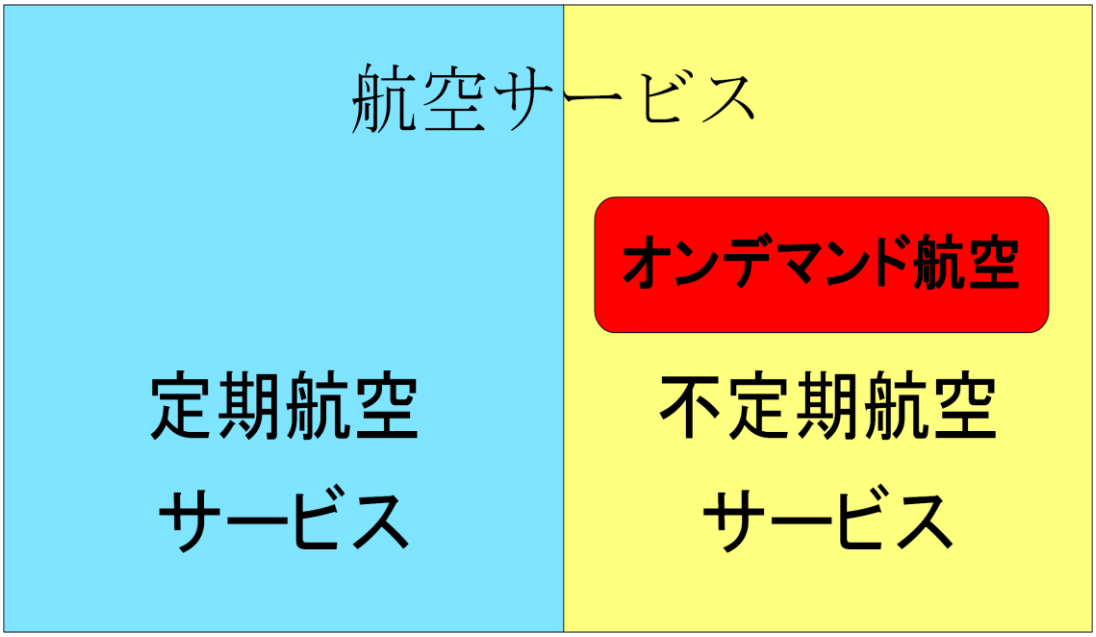


図 2-1：オンデマンド有人航空サービスの位置づけ

定期航空サービスとは，空港から空港に決められた時間に定期的に運航される航空機によるサービスである．一方，不定期航空とはチャーターフライトに代表される定期的に運航されない航空サービスの総称である．オンデマンド航空は不定期航空サービスの一部を成すものである．本研究ではオンデマンド航空サービスに用いるための航空機について取り扱う．

本研究においてオンデマンド航空サービスに用いるための航空機として考慮する範囲を図 2-2 に示す．航空機は，気球や熱気球の様に空気よりも軽い性質を利用して浮上する軽航空機と翼の揚力によって浮上する重航空機に大別することが出来る．本研究においては，

重航空機を対象とし検討を行うこととした.

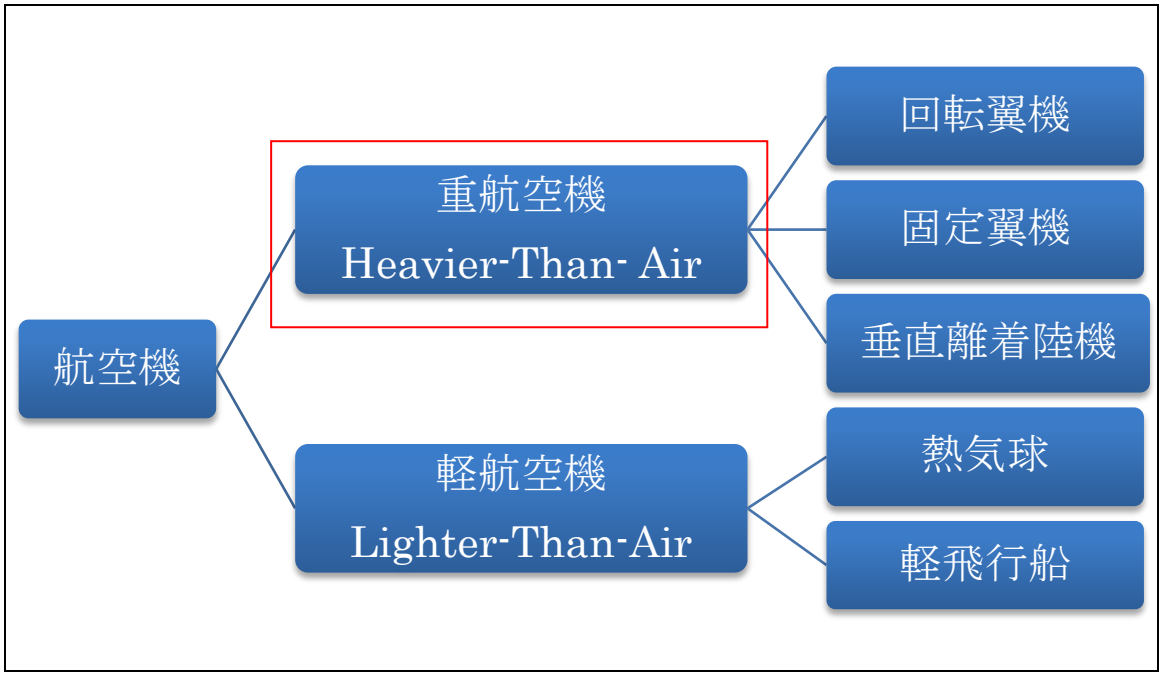


図 2-2：オンデマンド航空サービスのための航空機の位置づけ

以上のように位置づけられるものである.

2.2 オンデマンド航空サービスの解説

本項では，既存のオンデマンド航空サービスについてそれぞれ解説を行う.

2.2.1 エアタクシー

エアタクシーとは, NEDO の報告によると不定期目的地間直行運行形態の航空会社のことを指す. 本サービスは一部の国では既に採用されており，米国においては地域の空港(regional airport)まで自動車で行き，そこから本サービスを利用する形態をとっている. 価格は大手航空会社のビジネスクラスチケットと同程度である. 本サービスの利点として，利用者は混雑するハブ空港，運行遅延，乗り継ぎミスなどのリスクを回避することが出来ることが指摘されている.

本サービスが出現した理由について, NEDO による調査によると，航空電子工学の進歩，小型ターボファン，超軽量ジェット･マイクロジェット機の開発，コンピュータの進歩が指摘されている. 使用機材としては，主としてエクリプス 500, SR20 が用いられている. 本サービスでは，乗客は運行には携わらず，専属の乗務員が運行を行う.

複数の先行調査･研究により，本サービスに用いられる機材には高い安全性，メンテナンス

性が求められることが指摘されており，上述した機材が多く用いられる現状となっている．

一方，日本においても類似のサービスが開始されている．主に空港アクセス，BCP(Business Continuity Planning:事業継続計画)対策等に用いられている．日本における本サービスによるメリットは主として慢性的に混雑した地上交通または災害等により使用不能になった地上交通を回避し，移動できることである．

本サービスが出現した理由について，NEDO による調査によると，航空電子工学の進歩，小型ターボファン，超軽量ジェット・マイクロジェット機の開発，コンピュータの進歩が指摘されている．使用機材としては，主としてエクリプス 500, SR20 が用いられている．本サービスでは，乗客は運行には携わらず，専属の乗務員が運行を行う．

複数の先行調査・研究により，本サービスに用いられる機材には高い安全性，メンテナンス性が求められることが指摘されており，上述した機材が多く用いられる現状となっている．

2.2.2 エアクラフトシェアリング

本サービスはユーザーの要求に応じて航空機を会員に時間貸しするサービスである．ユーザーは航空機を自ら操縦し移動するものである．航空機を所有するのは，企業や NPO 法人等がである．現在は観光用途や都市間移動等に際して用いられる．

2.2.3 個人航空機所有

最も基本的な航空機の利用方法である．航空機を自ら所有することで任意に航空サービスを享受することが出来る．一方で，航空機取得の初期コストが高く，登録等が煩雑でコストを要するため 1 フライトあたりの単価は割高になるという問題がある．本研究では，以後本所有形態では考慮しない．

3　既往研究

3.1　平均旅行速度の低下に関する問題

現在の航空システムは，空港，飛行場，またはヘリポートまで移動して搭乗し，目的地近くまで移動して，さらに他の交通手段を用いて最終目的地まで移動するというプロセスが用いられている. Thomas の報告によると平均旅行速度が航空機を移動に用いる中で押し下げられる場合について以下のパターンが示されている.

- 乗り換えの場合
- 宿泊する場合

3.2　ハブアンドスポークに関する問題

本問題は平均旅行速度低下に関する問題の一部であると考えられる.

3.3　Moore の研究

Moore の研究によれば，パーソナルエアロヴィークルを研究を開始するにあたって，最も重要なことを「パーソナルエアロヴィークルを個人の移動需要に合わせて自身が運用することができる移動体として定義することである. それゆえに，パーソナルエアロヴィークルは必ずしも個人が所有したり，整備を行ったりする必要はなく，フラクショナルオーナーシップのように利用回数を増加させることによるコストの優位を作り出すことができる.」としている.

同氏の研究においては，航空機の機体コンセプトおよび離着陸設備が併せて提案されている. 図 3－1,2 においては一人乗りパーソナルエアロヴィークル(Puffin)コンセプトが示されている. また，離着陸設備に関しては，航空機の収納設備と融合された，新規の施設を建設することとして，提案がされている. これらのコンセプトを導出するうえで，小型航空機の事故率は主として定期航空で用いられている中型・大型航空機のそれよりも格段に高くこれが他の交通手段よりも懸念される理由の一つになっていることが考慮されている.

同氏によってパーソナルエアロヴィークルシステムにおける技術的課題については以下の点が指摘されているので列挙する.

- 機体構造簡略化のための電気推進システムおよび浮上システム
- 通常から逸脱した環境下における自動運転システムの可能性
- センサーの精度向上と IVHM システム
- 航空工学に制約された浮上と推進システム
- 軽量構造体
- 大量生産を前提とした航空デザイン(自動車産業のようなリーン製造工程を導入することで，現在の小型航空機の製造には 2000 人時を要しているが，自動車と同様に 100 人時まで工数を削減する.)

これらの課題を解決することにより，現在小型航空機が倦厭される原因となっている高額な出費と事故率の高さの解消を目指したコンセプトとなっている．しかしながら，技術レベルの未成熟から実際のコンセプト実現には至っていない．

図 3-1:Moore による PAV 専用離着陸場コンセプトイメージ

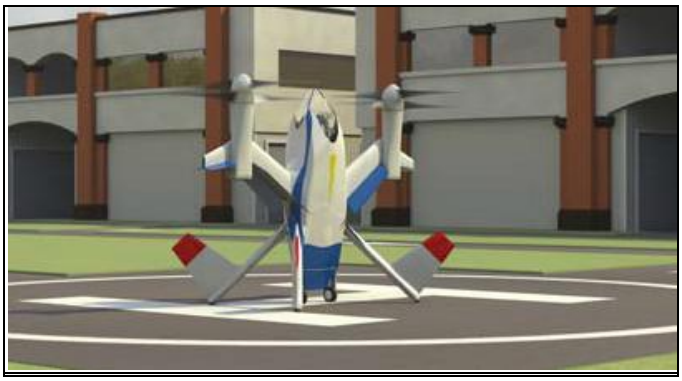


図 3-2:Moore による PAV コンセプト

3.4　先行研究に関する問題点のまとめ

表 3-1 に示すように，従来研究として，ユーザーの要求に応じて目的地まで移動することに関する研究は多く存在する．これらは，航空機の構造や動力源インフラストラクチャーに着目し研究を行われている．安全性に関しても議論はされているものの，現在のオンデマンド航空で主に用いられている小型航空機の事故率が前述したように高く課題が残されている．

，

表 3-1:従来研究の比較と課題

著者	取り組んだ課題						残された課題
	空港インフラ	旅行料金	運航スケジュール	動力源	安全性	機体コンセプト	
Moore	✔			✔	✔	✔	エネルギー密度と航続距離
Thomas L. G.		✔	✔				使用できる空港と需要
Yuri Gaudiac	✔		✔				リスクと自動運転ConOps
James Fallows				✔	✔	✔	安全性と機体認証制度

4　研究目的

本研究では，オンデマンド航空サービスの市場調査を行い，現状における問題点を指摘し，今後の普及に向けたシステム提案を行うことを目的とする．

5　研究方法

本研究では，現状のサービスにおける問題点及びユーザー要求の獲得のためオンデマンド航空サービス事業者にインタビュー調査を行う．本インタビューは，既存のオンデマンド航空サービスの事業者にインタビューを行い，サービス実施に対する現状の問題点に関して，各事業者 90 分程度のヒアリングを行う．後に,現状における問題点を解決するための航空機コンセプトの設計及び技術的実現性に関する試算を行った．

6　オンデマンド有人航空サービスに関する調査

6.1　既存オンデマンド航空サービスの分類

既存のオンデマンド航空サービスでは医療，貨物，旅客，軍事，報道等様々なケースにおけるサービスが展開されている．本研究では，特に旅客目的におけるオンデマンド航空サービスの市場調査を行った．調査の結果をマトリックス状に想定される航空機ユーザーとサービスドメインの 2 軸で整理した．本マトリクスは付録 11.3 に付したので，参照されたい．

6.2　エアタクシー法人に対するヒアリング

主たる需要としては，「東京-成田ヘリダイレクトサービス」である．本サービスは木金土曜日の夕方を中心に高速に都心へアクセスされる目的で成田発都心着の利用が多い．利用者はハイヤーと比較してサービスを比較し選択する．鉄道のグリーン車は比較されることはプライベート性が無く，価格も違いすぎるためないとのことであった．

現在の不満点を，使用機材，インフラの観点からそれぞれ述べる．

航空機の性能に起因すると考えられる不満点として，荷物の搭載可能量が一人30kgまでと一般の定期航空路線における制限と比べて少なく制限が厳格であることがある．制限オーバーした荷物が別送になることに対する不満は多い．エグゼクティブほど，荷物と本人が同時に到着されることを希望する傾向にある．また，現在の機材(EC135)は 5 人まで搭乗できるが，気温が上昇した場合出力が不足するため，2~３人しか搭乗できない．顧客側がこの課題を理解できないためクレーム原因となり運航会社としても問題に感じている．

インフラに関する不満点を述べる．成田空港のヘリパットがターミナルから遠く，構内車で移動に 10 分程度時間がかかってしまう．CIQ(Customs Immigration Quarantine)や空港会社が定期旅客優先の体質であるため，優先ゲート等の設置ができず，ヘリによって時間短縮をしてもターミナルからは一般客と同様の導線になってしまうため時間の優位性が薄れ

てしまう．現在は空港に乗り入れる場合，少なくとも５時間前までに空港側に申し込みをする必要があり，飛び込みの顧客には対応できない．通常の場合最低でも前日までに申し込みが必要である．実際にあったケースとして，すぐ利用したいお客様がヘリポートに直接来てしまい，待たせてしまったというケースがあった．

天候不順等の運行できないリスクに対する取り組みに関して述べる．天候不順による運行可否については基本的に２時間前に判断して連絡される．成田行きの場合は後続の交通機関の出発時間の制約のため２時間前，成田発便やチャーター等の場合には直前判断も可能である．運行できない場合は，代替交通手段として，ハイヤーを手配する．空港シャトルの場合の就航率は成田発便で 85%，赤坂発便で 70%と大きく異なる．

顧客の要求があるにもかかわらずサービスが提供できない問題について述べる．羽田再国際化以降羽田発着のオーダーが増えたが需要に応えられずサービスが提供できない状態となっている．これの原因は，空港会社が乗り入れを許可しないためである．また，燃料の補給ができる空港が限られているため運行範囲が制限されサービス提供できない場合もある．現在この件についてステークホルダーに働きかけを行っているが，解消できていない．

この結果として需要はあるにもかかわらず，収益が伸びないため，機体の年間維持費（約 1 億 5000 万円）を賄うことが旅客サービスのみで賄うことが出来ない．このため，BCP 用利用権の販売等の収入によって年間維持費を捻出し事業継続している現状である．

6.3　エアクラフトシェアリング法人に対するヒアリング

本サービスは航空機を NPO 法人が所有し，航空機を借りるための時間当たりの料金を利用者が支払い，航空機を利用するものである．本サービスについて NPO 法人スカイシャフト代表に対しインタビュー調査を行った．同法人は，個人所有機オーナーに対する支援活動も同時に行っているため，併せてインタビュー調査を行った．

同法人のサービスの利用者（以下会員）の航空機利用目的利用は下記の 4 種類に分類できる．

- 単純に飛ぶだけで楽しいと感じるため
- 移動するため
- アクロバット飛行を楽しむため
- 遊覧のため

このうち複数の理由を挙げる利用者も存在する．現在は特に他の交通手段と対比されることはない．日本においては，航空機は特別な場合を除き任意の場所から離発着できるわけではない．同法人においては，離発着地と出発地または最終目的地を結ぶための交通手段として，それぞれ自家用車，レンタカーまたはタクシーが組み合わせて用いられる．

現在顧客から出ている不満点を下記に列挙する．

- 駐機場が不足している．
- 合理的に駐機できない．

- 着陸料が高い.
- 規制が多く国の関与が多い.
- 燃料の供給ができる空港が制限されている.

現在航空用ガソリン（Avi. Gas）の供給をできる空港は全国の空港のうち３割程度にとどまる．現在の大手航空会社が使用している機材のほとんどはケロシンであり，大手が利用する燃料が優先される風土がある．プロペラ機も同様にターボプロップであり，燃料はケロシンである．現在，離島系の航空会社における小型機運用等でも航空用ガソリンの給油問題が同様に発生している．

現在同法人が所有している航空機はすべて航空用ガソリンを用いるエンジンを搭載しており，補給に際しては事前に着陸地のガソリンスタンドに用意してもらう等の手配が必要であり，柔軟な利用の妨げとなっている．

これらの制約条件に加えて，個人利用の航空機が着陸できる空港は日本にある９９空港のうち，個人利用の航空機が利用できる空港は 70%に限られている．その他の空港が使用できない理由としては，空港ごとにそれぞれ以下に列挙する理由がある．軍用空港であり民間機の利用が制限されている場合，駐機場を巡る利権争いによる，反社会的勢力の介入で民間機の利用が制限された場合，極めて高額な着陸料により実質的に個人での支払いが不可能であるため着陸不可能である場合だ.

同法人はパイロット育成プログラムも行っており，プロフェッショナルでないパイロットに対して飛行支援を行っている．気圧高度が低いことにより，夏はハードランディングしやすく，季節によっては離陸の難易度が高い空港・滑走路が存在する．

季節によって燃費が下がってしまう．天候不順等の運行できないリスクに対する取り組み．天候不順による運行可否については，当日の機長の判断で決定される．

天候不順やマシントラブル時のメカニックの手配はクラブから行う．天候情報は NOTAM からのもの携帯系端末から確認できる．ハンガーでも，情報が渡されブリーフィングに用いられる．代替交通手段は適宜判断される．

同法人では，会員以外のステークホルダーとの共存を目指している．遊覧目的のラウンドフライト(ローカルフライト)では近隣住民に対する騒音問題，他の航空機(県営名古屋空港に隣接している中部国際空港へのトラフィックとの干渉問題，自衛隊(管制の熟練度と意思疎通に関する問題)

クロスカントリーフライト（移動を目的とするフライト）におけるパイロット支援としては，経路に関する情報，離着陸地の地形に関する情報(難易度に関しては地域差が存在する(高度，滑走路長))，天候機体トラブル時の帰宅手段確保等のサポートが行われる．

会員パイロットのフライト頻度は 1 回/2 ヶ月～3 ヶ月がもっとも多いケースであり，最も多いケースでで 1 回/2 週間である．年間平均してほとんどの会員のフライト回数は 4～20 回/年である．安全上の配慮としては, 3 ヶ月以上フライト実績が無い場合には, FAA の規則に準拠し準拠タッチアンドゴー訓練を課す. CAB 主催の講習会については, ICAO のルー

ル更新の浸透が主目的である．

次に，同法人のサービス普及のための取り組みについて述べる．同法人が所有している機材の使用時間は 400hours/(機・年)であり，標準的な法人所有機の年間使用時間の約 2 倍である．これにより時間当たりの機体使用料を引き下げ普及を目指している．機材のシェアについては 50〜70 人/機が限界値であり，現在は 20000 円/hour でサービスを提供している．なお，同業他社のサービス提供価格は 50000 円/hour であるが，海外基準から比較すると同法人の価格設定は比較的高額な部類にあたる．

クロスカントリー飛行時には同法人から以下のサポートが行われる．

- 目的地空港に飛行経験のあるパイロットからのノウハウ伝授
- 途中の無線サイト
- GPS 端末による支援
- 機材故障の際のサービスの出張
- 情報提供
- 休憩場所の確保
- 書類提出代行
- フライトプラン提出
- ブリーフィング
- NOTAM 情報提供

長距離の飛行実績としては，釜山，中標津等がある．

パイロットに対する情報提供に関して詳細を述べる．近年では携帯電話で必要情報のほとんどが取得可能となっている．クロスカントリーフライトの復路など，遠隔地からフライトである場合にはフライトプランは口頭で提出される．管制とのやり取りの中でパイロットに渡される情報は瞬間的な情報が提供される．この中には，自機･他機の位置情報が含まれる．

現在，新型機を中心に普及している航空用 GPS 端末が販売されている．価格は 30 万円程度であり，所持品として機内に持ち込めるハンディタイプを用いるのが主流である．しかしながら，装備品として設置することができず，耐空検査が通過できないためグレーゾーンな装備となっている．現在，航空会社が所有している機材に上述の GPS 等が普及してきたため，レーダーサイトが予算削減で減少している．従って，安全に運航するためのパイロットに対する情報が不足した状態による飛行が強いられている．

機体の安全に関する問題として，当法人は通年でサービスを提供しているが，下記においては気圧高度が低いことにより，夏はハードランディングしやすいという問題を抱えている．季節によっては離陸の難易度が高い空港･滑走路が存在する．これは，前述のように他の航空事業者であっても共通の問題といえる．

7　フィールドワーク結果およびユーザー要求

インタビュー結果を総合すると,現在の日本の社会環境下でオンデマンド航空サービス向け航空機に対する要求を整理する場合,現在の空港等の需要の大部分を占める定期航空に最適化されたインフラストラクチャーに対して取り組むことは不適切であると考えられる.ため，機体側で問題解決を試みる場合の要求事項について整理した.

インタビュー調査を基に，オンデマンド航空の問題構造の因果関係を図 7-1 に示した.オンデマンド航空サービスの収益の悪化を招いているのは複雑な機体構造による整備費およびオンデマンド航空サービスの提供機会が少ないことであると考えられる．これらを基にして，機体へのユーザー要求を図 7-2 において整理した.

機体コンセプトにより問題解決を図る場合，収益機会を増やすためにペイロード，最大離陸重量等を増加させると整備費や燃油費がが増加し支出を増大させる結果となり,相反する要求があると考えられる.

従って，エンジンの大きさを抑えつつペイロードを拡大させることが求められることが明らかになった.

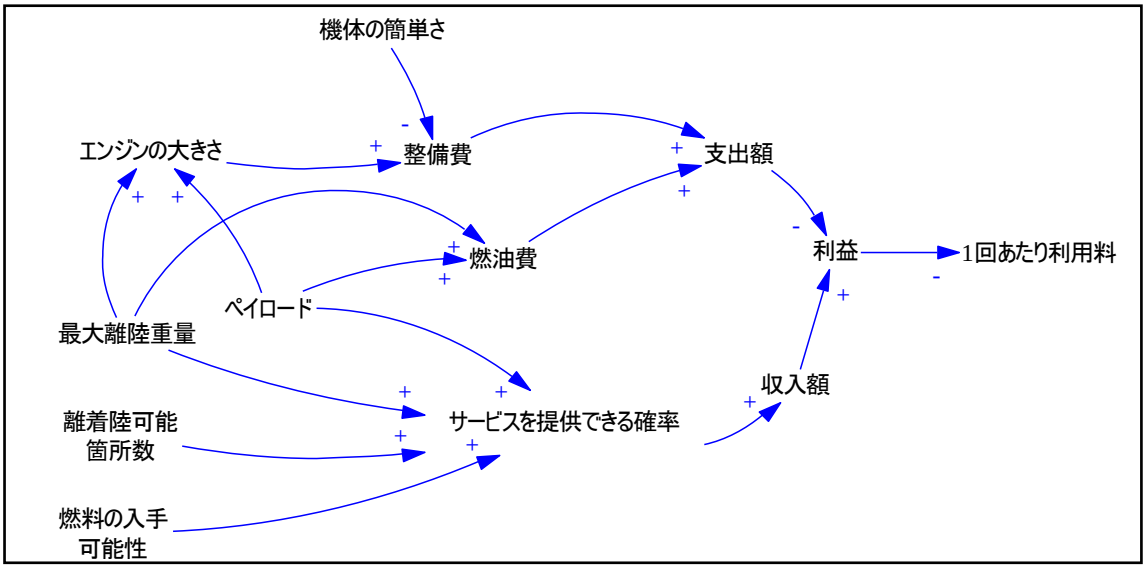


図 7-2: 現状のオンデマンド航空の問題構造

前章において得た情報とユーザー要求の対応関係を図 7-3 の様に整理した.

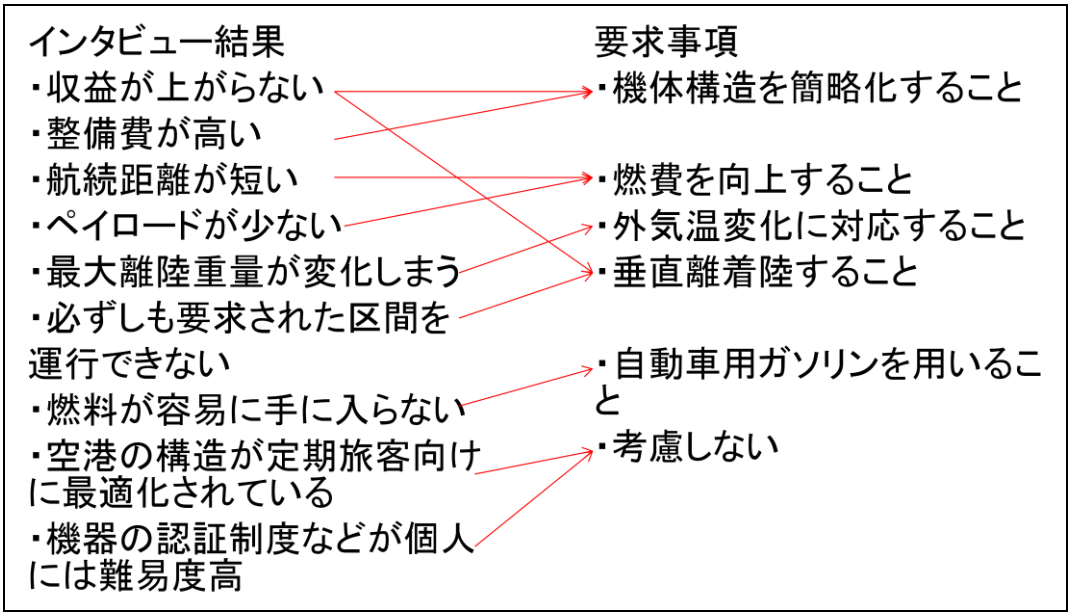


図 7-3：インタビュー結果から要求事項

8　結果コンセプト作成

ユーザー要求に従い，オンデマンド航空サービスのための航空機のコンセプトを作成した．以下に，検討プロセスを示す．既存の各機体コンセプトを Pugh Concept Selection によって表 8-1 の様に比較する．各航空機に関して事故事例や技術資料等による文献調査を行い，評価を行っている．

表 8-1:航空機コンセプトの比較

	ヘリコプター	オートジャイロ	チルトローター	固定翼機
安全性	DATUM	+	−	+
機構の簡単さ		S	−	+
直接運航費		S	−	S
小型化できる		S	−	S
垂直離着陸		−	S	−
航続距離		+	+	+
∑of +		2	1	3
∑of −		1	4	1
∑of S		3	1	2
Overall		1	-3	2

上記より，前章のユーザー要求を満たすためにはヘリコプターを基本とし，オートジャイロの安全性を付加し，固定翼機やチルトローター機のような航続距離の特性を持つことが必要であると分かった．機体の構造を決定の後，動力系の構造に関する検討を行った．最終的には，動力系に用いる物性に関する検討を行い，エネルギー的試算を行った．

8.1　機体概要

航空機のコンセプトは表 8-1 を基本とし，図 8-1 のようになった．

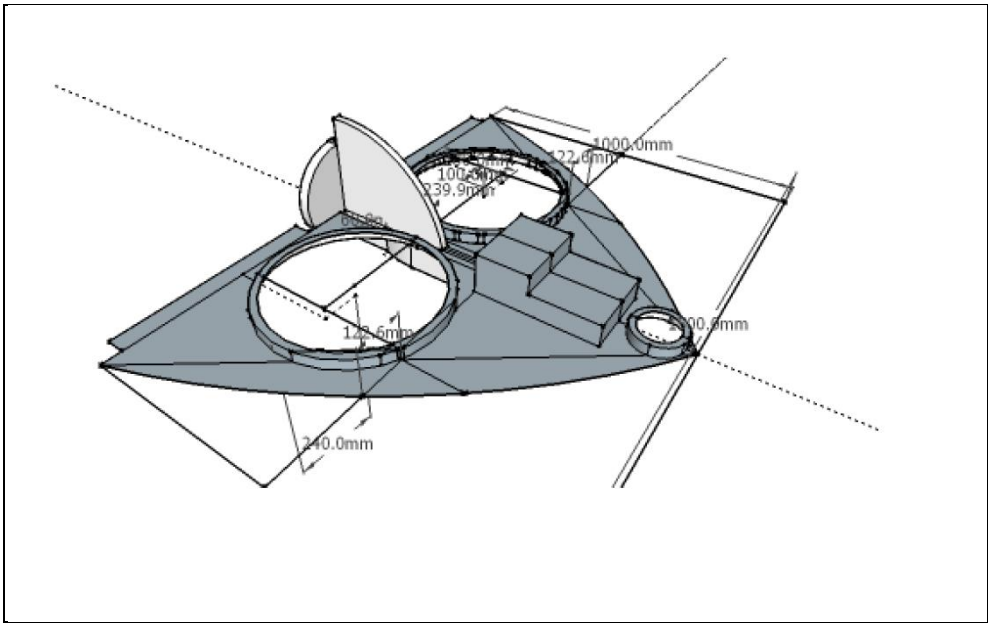


図 8-1：オンデマンド航空サービス用航空機コンセプト

本コンセプトでは，回転翼は固定翼の中の左右および機体後方に設置され，すべてモーターで駆動させる．これは既存の航空機における変速機等を省略し，エンジンとプロペラとの配置関係を自由にするためである．

8.2　動力系及び使用エネルギーに関する検討

本航空機コンセプトのエネルギー的成立可能性について検討する．使用エネルギー源として発電用の内燃機関及び蓄電源である．採用した動力システムは図 8-2 のようにシリーズハイブリッドで，上昇力や推進力のためにプロペラに入力されるエネルギーはすべてモーターから与えられるのが特徴である．図 7-2 で分析されたの要求事項より，内燃機関を大型化せずに航続距離を延長することが求められている．シリーズハイブリッドは電動駆動の一種と考えられ，機体に要求される最大出力を内燃機関の最大出力とする必要がない機構であり，内燃機関の小型化に寄与すると考えられる．

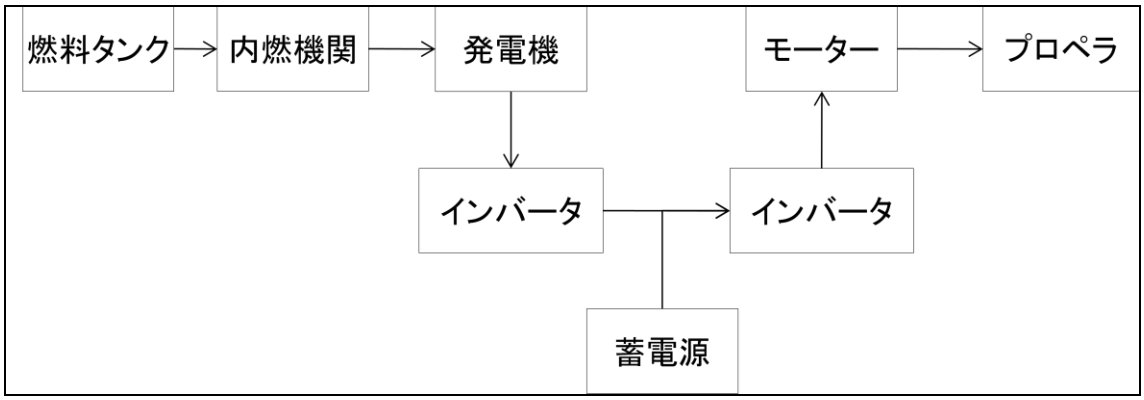


図 8-2：採用されたシリーズハイブリッド機体動力システム概略図

8.2.1 エネルギー保持方法に関する検討

過去研究でも指摘されているように，航空機におけるエネルギーの保持に関してはエネルギー密度が問題として取り上げられることが多い．

本コンセプト内で使用することのできるエネルギーの保持方法候補としては内燃機関に投入することでエネルギーを取り出す液体燃料およびモーターを駆動させるための蓄電源の3種類が存在する．本項における比較ではガソリン，リチウムイオン二次電池，キャパシタ，燃料電池を比較する．

以下，エネルギー保持方法についてそれぞれの特徴について述べる．

まず，ガソリンであるが，液体状の燃料であり，揮発性の液体であるものの，タンク等に保存すれば容易に搭載できるという利点を持つエネルギー保持方法である．

次にリチウムイオン二次電池であるが，リチウムイオン電池の利点として以下の点が指摘されている．

- エネルギー密度が非常に大きい.
- 単位セルあたりの電圧が非常に高い
- 出力密度が大きい.
- サイクル寿命特性に優れる.
- 使用温度範囲が広い.
- 急速充電が可能.
- 充放電効率が良い.
- 自己放電率が低い
- 残存容量表示が容易
- メモリー効果がない.

これらの特徴の中で，航空機の動力源として使用できるかを検討するにあたり特に重要であると考えられるのは、エネルギー密度の大きさと出力密度の大きさである．航空機のビジネス的要素を加味する場合，着陸してから折り返すまでの時間が直接運航費に影響していると考えられているため，充電時間も加味する必要があると思われるが，本検討においては省略した.

ただし，リチウムイオン二次電池の欠点として以下の点が指摘されている.

- 可燃性の有機溶媒を含むため，安全性に十分配慮する必要がある.
- 正極活物質のコストが高い.
- 過充放電に弱く，充放電制御素子を設ける必要がある.

このような特性から, 2013 年に発生した Boeing 社製 787 型機における発煙事故において航空用リチウムイオン電池が発火する可能性が指摘された．リチウムの特性上発火する可能性が原理上否定できないことは確かである．この為，航空機のエネルギー保持方法として採用するには安全に搭載することへの課題があると考えられる．一方で，ハイブリッド自動車や電気自動車へ搭載されている実績が豊富であり，技術成熟している取り扱いやすい高性能 2 次電池であるという面もあるため注意するべきだ．高性能二次電池の候補として，ニッケル水素二次電池も存在し，可燃性物質を含まず，過充放電耐性があることが挙げられるが，電池そのものの電圧が低く航空機等の重量物を作動させるためには適切でないと考えられ候補から除外し，採用しなかった.

最後に，燃料電池について述べる．燃料電池(Fuel Cell)は化学電池の一種であり，その基本構造は，化学電池と全く同じである．ただし，燃料電池の他の化学電池との大きな違いは，他の化学電池が正極および負極活物質を内部に貯蔵していることに対して，燃料電池は外部から供給されていることである．作動温度域についても様々な種類が存在し，常温，中温，高温域が存在する.

本検討ににおいては対流圏内を飛行することを前提とした航空機であるため，空気中の酸素を利用することが出来る．従って，機体を軽量にするため，搭載する燃料を単一にする必要があり，水素のみを燃料として保持するものが好ましいと考えられる.

特に固体高分子型燃料電池では，幕電極接合体自体が薄膜であるため，積層電池全体を軽量でコンパクトにできるという特徴を有する．その他電池の内部抵抗が小さく，出力密度が大きい，作動温度が低いため起動，停止が容易で扱いやすい等の利点もある．本検討においてはFCスタックを採用することとした．

下表8-1においてPugh Concept Selection手法を用いてこれらを比較した．これによればエネルギー保存の容易さなど多くの項目で燃料電池が不利になる結果となった．これの原因としては燃料の水素の構造上欠点である漏れやすさや管理のしにくさが起因したものであると考えられる．一方でリチウムイオン電池とキャパシタについては，ガソリンと異なる特性を持ちながら，ガソリンと総合評価では同程度好ましく使用できると考えられるため検討対象として残すこととした．

表8-1:エネルギー保持方法の比較

	ガソリン	リチウムイオン電池	キャパシタ	燃料電池
燃料の価格	DATUM	−	−	−
搭載のしやすさ		+	−	−
装置の複雑さ		+	+	−
エネルギー密度		−	+	−
時間当たりに取り出せるエネルギー		S	+	−
重量		−	−	−
∑of +		2	3	0
∑of −		3	3	6
∑of S		1	0	0
Overall		−1	0	−6

8.2.2 動力システム検証

本項では，前述した動力システムが航空機に搭載するにあたって実現可能であるかを検証するための試算を行う．本項の検証で考慮するのは図示した図8-3の2フェーズのみとする．機体のコンセプトが新規であるため，空気抵抗等のパラメータに関しては類似した航空機より参考値として代入している．各物性値に関しては，他産業で既に実用化されている技術レベルの物性値をヒアリング及び文献調査を行い，収集し使用した．

計算は図8-4に記載されたプロセスに従って行われ，表8−2および8-3の値が用いられた．

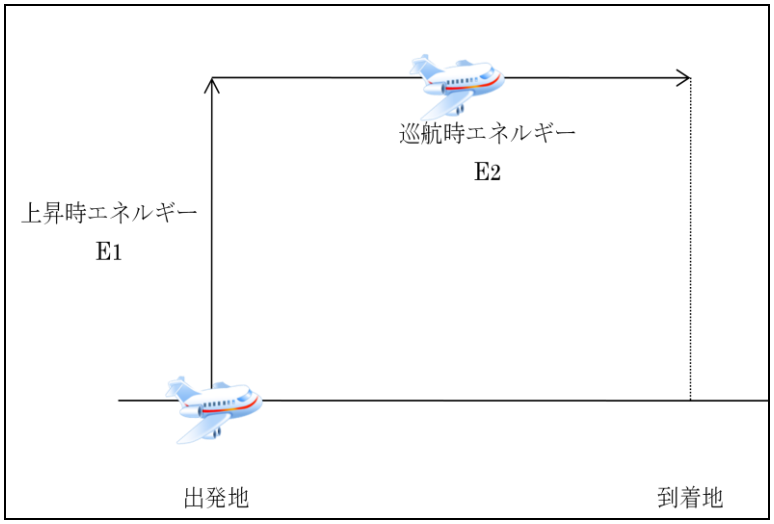


図 8-3：考慮する飛行フェーズ

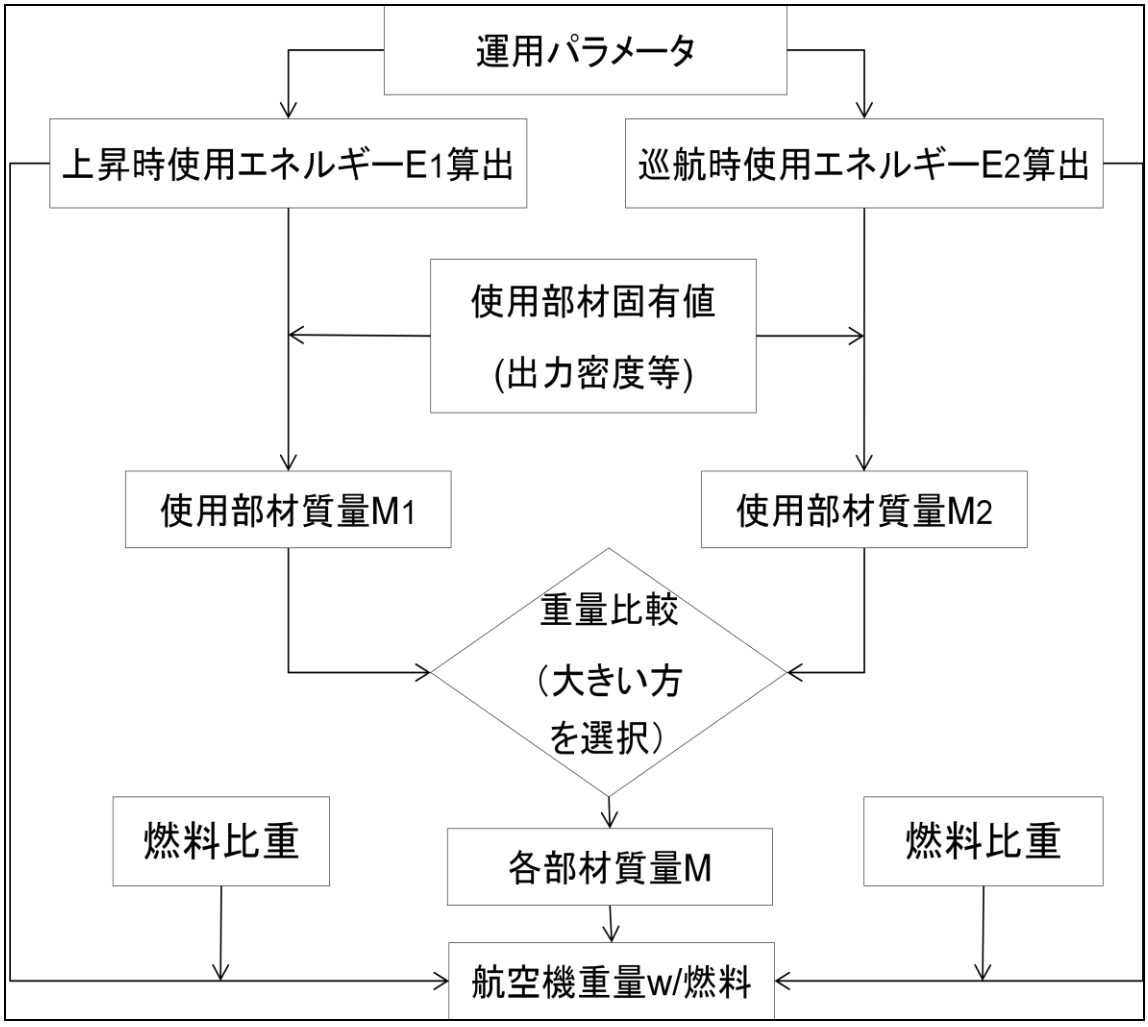


図 8-4：動力システムの実現性検証プロセス

表 8-2:使用した運用情報

パラメータ名	単位	
上昇率	ft/min	2000.00
上昇高度	ft	1000.00
上昇高度	m	304.80
航続距離	km	800.00
巡航速度	km/h	226.00
巡航所要時間	h	3.54

表 8-3：使用した機体仮スペックおよび使用部材等固有値

機体重量(w/燃料)	**kg**	**300.00**
乗員数(75kg/人)	**人**	**4.00**
貨物	**kg**	**0.00**
総重量	**kg**	**600.00**
モーター出力重量比	**kw/kg**	**6.00**
発電機出力重量比	**kw/kg**	**6.00**
インバータ出力重量比	**kw/kg**	**100.00**
推力入力比	**kgf/kw**	**6.04**
エンジン出力重量比	**kw/kg**	**1.39**
エンジンエネルギー効率	**ηe**	**0.30**
燃料単位当たりエネルギー	**wh/L**	**9600.00**
インバータ変換効率		**0.90**

表 8-4:蓄電源および最高高度の分析ケース

ケース名	蓄電源	出力密度(kw/kg)	蓄電容量(wh/kg)	最高高度(m)
内燃低高度	なし	***	***	304.8
内燃高高度	なし	***	***	762.0
電池低高度	リチウムイオン電池(LiB)	58.5	62	304.8
電池高高度	リチウムイオン電池(LiB)	58.5	62	762.0
キャパシタ低高度	グラフェンキャパシタ	2.5	150	304.8
キャパシタ高高度	グラフェンキャパシタ	2.5	150	762.0

図 8-2 における蓄電源の違いが，航空機コンセプトの成立にどのような影響を及ぼすのかを検証するため，表 8-4 の様にケースを設定し分析を行った.

提案したコンセプトの技術的実現性を検証するためエネルギー試算を行った.本検証で試算の対象とするエネルギーは飛行プロセスの中で上昇フェーズと巡航フェーズのみとした.仮定した内燃機関による機体重量に 300kg 対して，同程度の機体重量でコンセプトが成立することを確認する．なお，インタビュー調査より，ペイロードは75kgの人間4人，すなわち 300kg とした．また，航続距離は 800km とした.

なお,機体の機器構成および各物性値に関しては,既存の実用化されている技術レベルの

値を文献調査及びヒアリング調査により収集し，それぞれ代入している．上昇フェーズで消費されるエネルギーは，内燃機関ケースを除き，すべて電池から供給されるものとしている.これは本コンセプトが,内燃機関の信頼性に依存しない本航空機のコンセプトによるものである．また，インタビュー調査により，一般的な回転翼機の運用高度等の運用情報を収集し，試算ケースを作成した．試算ケースを Table4 に示す．

以下に機体重量算出プロセスを記述する．上昇時のエネルギー消費量E_1および必要な出力W_1を求める．

$$P_1 = (\text{仮定機体重量})/(\text{推力入力比})$$
$$E_1 = P_1 \cdot (\text{上昇高度})/(\text{上昇率})$$

ただし，垂直離陸時の推力入力比については，ヤマハ発動機株式会社が製造している R MAX Type2 農薬散布用無人ヘリの値を参考値として代入した．

水平方向の出力P_2については機体のコンセプトによる推力入力比が定かではないため，同程度のペイロードであるセスナ 172 より出力を引用した．消費エネルギーE_2については上昇時と同様にを算出する．

$$E_2 = (\text{航続距離}/\text{巡航速度}) \cdot W_2$$

従って，飛行中に消費される全エネルギーE_{total}は次式である．

$$E_{total} = E_1 + E_2$$

従って，全飛行フェーズでシステムに求められる最大出力 P は次式である．

$$P = \max\{P_1, P_2\}$$

全フェーズを通して使用するのはシステムのうち電動駆動部分である．すなわち，モーターおよびインバータ，蓄電源である．一方発電部分は巡航時のみに使用するので，出力はP_2である．したがって，試算する航空機の機体重量W_{total}は次式となる．

$$W_{total} = W_{bod} + W_{bat} + \sum_{k=1}^{3} P \cdot A_k \cdot N_k + \sum_{j=1}^{2} P_2 \cdot A_j \cdot N_j + \frac{E_{total}}{H_{fuel}} \cdot \sigma$$

A_k: 電気駆動部各部品の出力重量比[kW/kg]

A_j: 発電部各部品の出力重量比[kW/kg]

N_k, N_j: 部品搭載個数

E_{total} : 全フェーズで燃料されるエネルギー[wh]

H_{fuel} : 単位体積当たりエネルギー[wh/L]

σ: 燃料の密度[kg/L]

W_{bod} : ボディ重量[kg]

W_{bat} : 蓄電装置重量[kg]

ただし，蓄電装置の容量については安全のため次式の通り上昇中に消費されるフェーズ中に消費される必要なエネルギーよりもバッファーを設けた.

$$W_{bat} = E_1/S_l \cdot 5$$

S_l : 蓄電源エネルギー密度[W/kg]

W_{bod} : ボディ重量[kg]

以上の式を用いて汎用計算ソフトで計算した結果を図8-5に示す. 目標機体重量を300kgとし，比較用に計算した内燃機関のみを用いた場合の試算結果と比較して，同程度の機体重量で本コンセプトは実現できるということが明らかになった.

これは，従来外気温に出力依存性があり需要変動に応えられなかった内燃機関の航空機の問題点を解決し，さらに多くのサービスを提供できる航空機コンセプトの一つであることを示している.

また，蓄電源に関しては上昇時に用いることからエネルギー密度との関係が強く，従来の内燃機関の航空機と同様の運用高度を確保したい場合において，蓄電源はキャパシタよりもリチウムイオン電池が好ましいことが明らかになった.

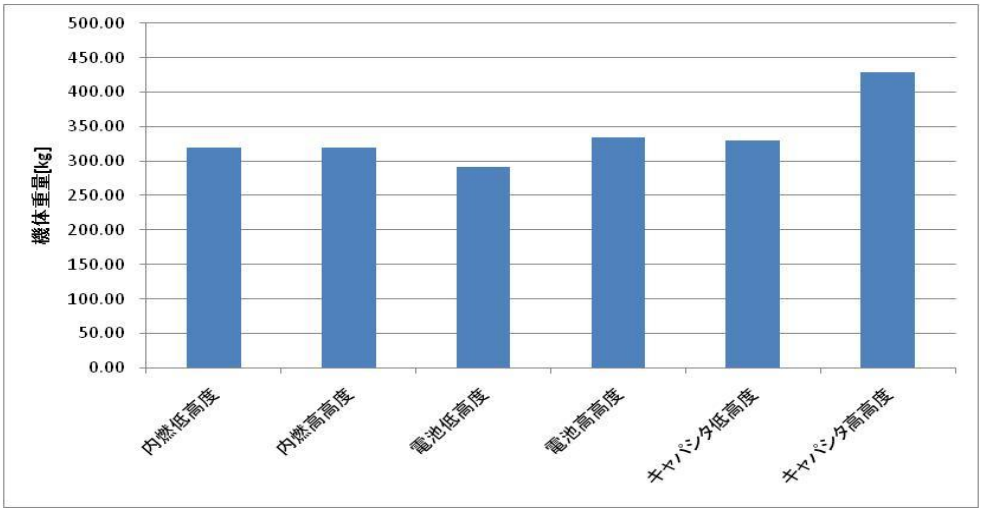


図 8-5:蓄電源および最高高度の航空機重量（w/燃料）への影響

9　まとめ

9.1　結論

本研究では，オンデマンド航空サービスに対するユーザーニーズの調査を行い，これに基づいて求められる機体のコンセプト導出を行った．また，エネルギー的試算も併せて行った．この結果，従来の内燃機関を使用した機体コンセプトと比較して，同程度の機体重量同士の機体コンセプトにおいてより多くのユーザーニーズが達成できることを確認できた．

9.2　今後の課題

本研究においては，オンデマンド航空サービスのユーザー要求のうち，基礎的コンセプトの成立を確認することを主眼として検討を行ったため，詳細な検討項目を除外して検討を行ってきた．その為，使用環境に関しては多くの仮定が用いられており，初期段階で重要でないと考えられるサブシステムの検討は，行っていない．

特に，ハイブリッドにおいては，電池の作動温度特性が内燃機関ど異なり低温における動作特性が悪いことが自動車分野においてすでに指摘されている．

今後の課題として，以下の 2 点が挙げられる．

- 今回有用とされたリチウムイオン電池および内燃機関を用いたシリーズハイブリッド方式が高度および外気温が急速に変化する航空機の使用されるプロセスにおいて安全に使用できるのか等を詳細に検討する必要がある．
- 力学的に本コンセプトが有効であり，物理的に機能することを確認する必要がある．

10 参考文献

1) James Fallows., “FREEDOM OF THE SKYS”, *The Atlantic MONTHLY June 2001* , pp.1-22, 2001.

2) Mark D. Moore, “Aviation Frontiers: On-Demand Aircraft”, *10th AIAA Aviation Technology Integration, and Operation (ATIO) Conference*, pp.1-12, 2010.

3) Yuri Gawdiac et al., “Transportation Strategic Trade Space Modeling and Assessment Through Analysis of On-Demand Air Mobility with Electric Aircraft”, *12th AIAA Aviation Technology Integration, and Operation (ATIO) Conference and AIAA/ISSM*, 2012.

4) Mark D. Moore, “NASA Personal Air Transportation Technologies”, *NASA Research Center*, 01(2413), pp. 815-816, 2006.

5) P. Scott Zink et al., “New Approaches to High Speed Civil Transport Multidisciplinary Design and Optimization”, *IEEE*, 0-7803-5846-5, pp. 355-369, 2000.

6)Thomas L. Galloway, A computer program for assessing alternate modes of transportation, NASA OART Mission Analysis Division Moffett Field, California, 1969

7) 防衛省, MV-22 オスプレイ事故率について,
http://www.mod.go.jp/j/approach/anpo/osprey/dep_5.pdf, 2012

8)Boeing　Defense, Space & Security, Backgrounder V-22,
http://www.boeing.com/assets/pdf/rotorcraft/military/v22/docs/V-22_overview.pdf

9)河合俊之, 境界要素法を活用した航空機概念設計手法について―大学における設計教育への適用―, 日本航空宇宙学会論文集, Vol. 51, No. 594, pp. 371–379, 2003

10) 防衛省, Environmental Review for Basing MV-22Aircraft at MCAS Futenma and Operating in Japan, http://www.mod.go.jp/j/approach/anpo/osprey/env_review.pdf, 2012

11) Daisuke Karikawa et. al, A Visualization Tool for Analyzing Task Demands in En-route Air Traffic Control, The Third ENRI International Workshop on ATM/CNS, 2013
http://www.enri.go.jp/eiwac/2013/pdf/Viewgraph/EN-033_Karikawa.pdf

12)吉住英典, 堀浩一, 大須賀節雄, 航空機設計法:概念設計から形状設計までを支援する発想支援システムの提案, 電子情報通信学会論文誌, 1887-1895, 1997/7 Vol.J80-D-II No.7

13)澤島秀成, 杉山陽二, 山岡俊樹：ユーザー属性と製品評価の関係分析における決定木の有用性, 15-24, 52, 4, 2005,デザイン学研究

14)朝倉照彦, 山中正彦: 新製品開発, 朝倉書店, 20-47, 70-81, 2000

15)防衛省, モロッコにおけるＭＶ－２２墜落事故に関する分析評価報告書,　2012

16)防衛省, フロリダにおけるＣＶ－２２墜落事故に関する分析評価報告書,　2012

17) John Seddon and Simon Newman, Basic Helicopter Aerodynamics Third Edition, 2011 John Wiley & Sons, Ltd, 2011

18)青木考, 辻秀樹, 航空用語辞典改訂第 12 版, 鳳文書林出版株式会社,2009

19)日本金属学会, 金属化学入門シリーズ第 4 巻改訂　材料電子科学　改訂第 1 刷, 丸善株式会社,2003
20)総務省統計局 2010 年国勢調査　http://www.stat.go.jp/data/nihon/g0302.htm
21)運輸安全委員会　航空事故の統計
http://jtsb.mlit.go.jp/jtsb/aircraft/air-accident-toukei.php

11　付録

11.1　森シティエアサービスにおけるヒアリング報告書(全文)

個人向け航空サービスに関するヒヤリングメモ

日時・場所:　2013 年 07 月 18 日（金）・15 時 00 分～16 時 15 分
東京都港区赤坂 1-12-32 アーク森ビル 37F および屋上
面談先:　森ビルシティエアサービス株式会社　ヘリコプター事業部
課長吉岡優子　様
面談者:　慶應義塾大学システムデザイン・マネジメント研究科
修士課程　奥津智貴

[結論]
現在の日本の環境では，個人の移動用航空サービス単独で利益を出すことが不可能である．これは，機体の維持等に関する固定費，発着地に関する制限等により航空機移動の持つ優位性が押し下げられているためであり，サービス利用の裾野を狭めている．これらの要因を取り除くことが必要．今後の調査についても，協力していただけるとのこと．

Q1.　どのような目的で利用される方が多いのか？
A1-1.　「東京-成田　ヘリダイレクトサービス」については木金土曜日の夕方を中心に高速に都心へアクセスされる目的で成田発赤坂便の利用が多い．
Q2.　どのような交通手段と組み合わせて利用されるか？比較されるか？
A2.　ハイヤーと比較される．鉄道のグリーン車は比較されることは無い．(プライベート性が無い，価格が違いすぎるため)
Q3.　現在顧客から出ている不満点等はあるか？
A3.

- 荷物の搭載可能量が一人 30kg までと一般の航空機に比べて少なく制限が厳格であること．制限オーバーした荷物が別送になること．エグゼクティブほど，荷物と本人が同時に到着されることを希望する傾向にある．
- 現在の機材は 5 人まで搭乗できるが，気温が上昇した場合出力が不足するため，2~3 人しか搭乗できない．(顧客側がこの件を一般に理解できないためクレーム原因となる)
- 成田空港のヘリパットがターミナルから遠く，構内車で移動に 10 分程度時間がかかってしまう．CIQ(Customs Immigration Quarantine)や空港会社がコンサバティブであるため，優先ゲート等の設置ができず，ターミナルからは一般客と同様の導線になってしまうため時間の優位性が薄れてしまう．)
- 成田空港のビジネスジャットターミナルも同様に構内車の移動が含まれる．しかし

ながら，専用の CIQ が設置されており，ある程度スムーズに通過できる．

- 現在は空港に乗り入れる場合，少なくとも 5 時間前までに申し込みをする必要があり，飛び込みの顧客には対応できない．通常の場合最低でも前日までに申し込みが必要である．

Q4.　天候不順等の運行できないリスクに対する取り組み

A4.

- 天候不順による運行可否については基本的に 2 時間前に判断して連絡される．成田行きの場合は後続の交通機関の出発時間の制約のため 2 時間前，成田発便やチャーター等の場合には直前判断も可能である．
- 代替交通手段としてはハイヤーを手配する．
- 空港シャトルの場合の就航率は成田発便で 85%，赤坂発便で 70%と大きく異なる．
  - これの原因として，成田空港のシーリングが高いことにより，出発付加の判断がされる確率が高い．
  - もう一つの理由として，赤坂発の場合には成田着後に乗り継ぎがあるため，出発可否の判断期限が早いことにより欠航判断が出やすいことが挙げられる．

Q5.　羽田空港国際化後の影響

A5.

- ある．羽田対都心のオーダーが増えた．
  - 空港会社がコンサバティブで発着を報道以外の発着を許可しないため実現できていない．

Q6.　成田スカイアクセス開業の影響

- ない．Door to Door がライバルである．

Q7.　現在の機材の特徴

- 内装はエルメス．特別な時間を演出するため．
- オペレーションをイメージせず，前任者が買ってしまった．航続距離が短く大阪に到達できない．

Q8.　現在のロビーイング活動について

- CIQ の優先ゲート設置
- ヘリパットの移設(成田)
- ヘリパットの使用許可(成田)
- 空港での給油許可(成田)

11.2 スカイシャフトヒアリング報告書

個人向け航空サービスに関するヒヤリングメモ

日時・場所: 2013 年 07 月 28 日（日）・13 時 15 分～16 時 15 分
愛知県西春日井郡豊山町豊場林先　県営名古屋空港内　ハンガー
面談先: NPO 法人フライトクラブ　スカイシャフト
代表永田　高明　様
面談者: 慶應義塾大学システムデザイン・マネジメント研究科
非常勤講師　水谷　仁
修士課程　奥津智貴

[結論]

現在の日本の環境では，パーソナルな航空機利用の拡大を図ることは不可能である．これは，発着地や保管場所に関する制限，燃料補給に関する制限，航空管制の慣習等により航空機の利用できる範囲が狭められており，利用人口の裾野を狭めている．これらの要因を取り除くことが必要．今後の調査についても，協力していただけるとのこと．

Q1. どのような目的で利用される方が多いのか？

A1. 飛ぶ目的は以下の三種類で大別される．

- 単純に飛ぶだけで楽しい．
- 移動するため．
- アクロバット飛行を楽しむため．
- 遊覧

Q2. どのような交通手段と組み合わせて利用されるか？比較されるか？

A2. 前後は自家用車，レンタカーまたはタクシー．

Q3. 現在顧客から出ている不満点等はあるか？

A3.

- 駐機場が不足している．
- 合理的に駐機できない．
- 着陸料が高い．
- 規制が多く国の関与が多い．
- 燃料の供給ができる空港が制限されている．現在航空用ガソリン（いわゆる Avi. Gas）の供給をできる空港は全国の空港のうち３割程度にとどまる．現在の大手航空会社が使用している機材のほとんどはケロシンであり，大手が優先される風土がある．プロペラ機も同様にターボプロップであり，燃料はケロシンである．実際に離島系の航空会社における小型機運用等で給油問題が同様に発生し

ているようだ.

- Avi. Gas の補給には事前に行き先のガソリンスタンドに用意してもらう等の手配が必要.
- 着陸できる空港は日本にある９９空港のうち 70%である. 使用できない理由としては, 空港ごとにそれぞれ以下のような理由が挙げられる.
  - 軍用空港である
  - 駐機場を巡る争いと, 反社会的勢力の介入
  - 極めて高額な着陸料により実質着陸不可能
- 気圧高度が低いことにより, 夏はハードランディングしやすい. 季節によっては離陸の難易度が高い空港・滑走路が存在する.
- 季節によって燃費が下がってしまう.

Q4. 天候不順等の運行できないリスクに対する取り組み

A4.

- 天候不順による運行可否については, 当日の機長の判断で決定される.
- 天候不順やマシントラブル時のメカニックの手配はクラブから行う.
- 天候情報はNOTAMからのもの携帯系端末から確認できる. ハンガーでも, 情報が渡されブリーフィングに用いられる.
- 代替交通手段は適宜判断される.

追加質疑

Q4.　　環境やステークホルダーとの関係について

A5.

- ラウンドフライト(ローカルフライト)
  - 近隣住民　　(騒音問題)
  - 他の航空機　　(中部国際空港へのトラフィックとの干渉問題)
  - 自衛隊　　(管制の熟練度と意思疎通に関する問題)
- クロスカントリーフライト
  - 経路
  - 地形　　(難易度に関しては地域差が存在する(高度，滑走路長))
  - 天候
  - 帰宅手段確保

Q5.　　フライト頻度，技能維持について

- 1 回/2 ヶ月~3 ヶ月がもっとも多いケース．最多で 1 回/２週間
- 年間 4〜20 回
- ３ヶ月以上フライト実績が無い場合には，タッチアンドゴー訓練を課す．（FAA 準拠）
- CAB 主催の講習会については，ICAO のルール更新の浸透が主目的である．
- 機材の使用時間は 400hours/2 機・年
- 機材のシェアについては 50〜70 人/機が限界値である．

Q7.　　現在の費用

- 20000 円/hour(他社平均 50000 円/hour)

Q8・9.　クロスカントリー飛行時のサポート

- ノウハウ伝授
  - 名古屋から神戸の場合の例
    - 途中の無線サイト
    - GPS 端末による支援
    - 機材故障の際のサービスの出張
  - 長距離の飛行実績としては，釜山，中標津等がある
- パイロットに対する支援
  - 情報提供
  - 休憩場所の確保
  - 書類提出代行
  - フライトプラン提出
  - ブリーフィング
    - NOTAM 情報提供
    - 携帯電話で情報のほとんどは取得可能

- ✧ 遠隔地の場合にはフライトプランは口頭で提出

Q10. 管制とのやり取りの中で渡される情報

- Quickly な情報が提供される.

Q11. 自機の位置把握について

- 航空用 GPS が販売されている.
  - 価格 30 万円程度
  - 所持品として機内に持ち込めるハンディタイプが主流
    - ✧ 装備品として設置するには耐空検査が通過できないため
- 航空管制

Q12. 不時着時のメンテナンスについて

- 整備会社に行ってもらう

Q13. 飛行にあたって不都合な点

- 自然現象
  - 飛行中に管制官の情報が足りない
  - レーダーサイトが予算削減で減少している
  - 航空用 GPS の使用が認められない
- 旅客機優先の管制慣習
- ザル法でグレーゾーンが多く，責任問題を回避するために禁止事項が多い
- 同型機の導入でも型式証明が必要(新型機の導入障壁が高い(マニュアル翻訳の問題がある))

Q15. 現在行っている住民への配慮について

- 着陸ルール(アプローチ)の厳守
- イベント開催・出展

Q16. ライセンス取得のためのカリキュラム・コストについて

- 訓練回数
  - 海外の場合　　1week～10days の渡航　×５回
  - 国内の場合　　海外よりも高負荷高コスト
  - 取得手順はプロアマ関係無く共通のステップ

Q17. 機材の限界の認識方法

- 機体付属のスペックシートで確認する.
  - Weight and balance data という
  - 計算チャートがあり，ライセンス試験では必ず出題される
  - 通説であるが，真の限界値の 0.7 倍のスペックが記されているケースが多い

Q23. 日常の点検，保守方法，費用について(県営名古屋空港のケース)

- 飛行前点検　各自で行う
  - 点検項目はオイルレベル，燃料

- 時間点検
  - 整備ログに整備士がサインアップする
  - 整備士１名+外部委託４名（委託先：公共施設地図航空）
  - 部品手配を行う(現物支給を行う場合もある)
    - ✧ 運行費用の 5%程度が占められる
- 駐機料
  - 屋外　810 円/日
  - 屋内　10 万円/月
- 着陸料
  - 1050 円/回
- 運用費用
  - 150 万円/年　+　運航費

Q31. 個人で機材を所有するケースはあるか

- 個人で所有するケースはごくまれ
- 機材を購入したい場合はブローカーを紹介する
- 個人で保有するケースでは回転翼機が選ばれる.
  - 無許可で自宅庭から離着陸しているケースがかなり存在する

Q35.　クラブ内での事故原因

- 以下の理由によるもの
  - 悪天候
  - 無線の聞き間違い
  - ガス欠

Q40.　パーソナル航空機についてどのように思うか

- すごく良いことだ.

Q41.　車のディーラーに当たるような商売に興味はあるか？

ディーラーはやりたい. 既に米国では似たようなことをやっているケースがある.

11.3　サービス領域候補と位置づけ

サービス領域候補とその位置づけ

機材所有ユーザ	サービスのうれしさ	移動						行ったことの無い世界に					
		(物)			(人)			自由に飛んでみたい	空からしか眺められない所を見たい				
	機材利用目的	都市−都市間	都市−地方間	地域/特異点	都市−都市間	都市−地方間	地域/特異点	体験してみたい	見てみたい	行ってみたい	居所 所在状況を知りたい		
		好きな時に短時間で移動したい	好きな時に短時間で移動したい	空からしかアクセスできない所に移動したい	好きな時に短時間で移動したい	好きな時に短時間で移動したい	空からしかアクセスできない所に移動したい	飛翔	冒険	遊覧/観光	捜索/探索/観察/観測		
個人					候補事業領域 (C) [小型パーソナルジェット機]		候補事業領域 (A) [SAS]	候補事業領域 (B) フライングクラブ[モーターグライダー・ハンググライダー・パワーハンググライダー・ジャイロコプター・グライダー・パラグライダー・ハンググライダー]		候補事業領域 (B) 遊覧観光[小型プロペラ機・ヘリコプター]	候補事業領域 (F) [無人ロボット機]		
法人 一般企業			候補事業領域 (E) [VTOL/STOL中型貨物機]		自家用非定期航空(国内⇄海外)[小型ビジネスジェット]	自家用定期航空[小型ビジネスプロペラ機・小型ビジネスジェット]							
法人 航空事業者		定期航空貨物[ジャンボジェット]		非定期航空貨物[中型プロペラ機・ヘリコプター]	定期航空旅客[大型ジェット旅客機]	定期航空旅客[中型ジェット旅客機(MRJ)]	非定期航空[小型プロペラ機・ヘリコプター]			遊覧・観光[小型プロペラ機・ヘリコプター・飛行船]	民間施設監視・公共施設監視・空間情報[小型プロペラ機・ヘリコプター]		
行政				災害支援・軍事物資輸送[ヘリコプター・STOL大型ジェット輸送機]			救急・災害救助[ヘリコプター]	軍事操縦訓練[小型ジェット戦闘機]			領海不審船監視・領空哨戒・交通監視[中型プロペラ機・小型プロペラ機・ヘリコプター]		

謝辞

本研究は中野冠教授のご指導の下行われたものであります．多くのご指導を頂きましたこと心から感謝の意を表します．

副査として指導いただきました佐々木正一教授には，電気駆動やハイブリッドシステムに関して大変丁寧なご指導をいただきました．研究構成等に関しても多くの助言をいただき，大変感謝しております．

また，ビジネスエンジニアリング研究室所属湊宣明特任准教授におかれては航空システムの見地から多くの助言やアイデアを賜りました．トヨタ自動車株式会社水谷仁氏には，毎週お時間を割いていただき，ご指導・ご助言をいただきました．お忙しい中，時間を割いていただきまして感謝しております．日ごろから研究アイデアをいただいた，共同研究者であるパーソナルエアクラフト研究会のすべてのメンバー，米国 Purdue 大学留学時の Dr. Daniel DeLaurentis やオフィスメイト達にも心から感謝申し上げます．

最後に，日常的に私を支えてくれた家族に深く感謝申し上げ本研究を締めくくります．ありがとうございました．

奥津智貴