航空機設計法 実践編

——小型ジェット旅客機からハイブリッド
電動航空機の概念設計まで——

工学博士 李 家 賢 一 著

コ ロ ナ 社

ま　え　が　き

拙著「航空機設計法――軽飛行機から超音速旅客機の概念設計まで――」を上梓してから8年が経過したが，お蔭様で多くの方に受け入れていただいたと聞いている。もともとは東京大学工学部航空宇宙工学科の学部3年生後半から4年生前半までの1年間をかけて講義している「航空機設計法」で使用する学部学生向けの教科書として刊行されたわけであるが，企業や研究所の現場で実務に携わっておられる方々にも使用していただけたのは望外な喜びであり，大変有り難く感謝している次第である。

一方で，上記教科書（以降，「前著」と呼ぶ）は，ページ数の制約の関係で，1年間の講義内容のすべてを盛り込むことはできなかった。特に二部構成の後半部分（Ⅱ部[注]）の記述は，設計の考え方と進め方を紹介する程度になり，具体的な設計データや設計例を紹介することができなかったため，心苦しく思っていた経緯がある。

本書は，前著の続編として，具体的な設計例を示すことで，学部レベルではあるが，読者に航空機概念設計の全体を把握していただくとともに，設計例を参考にして，機体規模や形態の異なる航空機についても設計例と同様な概念設計を行っていただくことを目的としている。そこで，本書を「航空機設計法実践編」と名付けることとした。

ところで，前著刊行時には，わが国初めてのジェット旅客機 Mitsubishi SpaceJet（旧称 MRJ）の開発がすでに始まっていたが，まだ実際には機体は飛行していない状況であった。それが現在では，型式証明を得るための飛行試験を行う段階に至っている。このような認証に至る過程で，航空機設計と開発に際して考慮すべき多くの事項が新たに判明してきている状況でもある。そこで，本書では，これらの最新の航空機開発を取り巻く実情を多少なりとも読者

に掴んでもらうことを考え，各章の末尾に掲載する「コーヒーブレイク」にて紹介することとした。なお，「コーヒーブレイク」では，前著と同じく航空機の運用に関する話題も，今回はおもに計器飛行に関連した話を中心にしていくつか紹介している。

本書は，三部構成となっている。I 部では，前著の *I* 部と *II* 部で紹介した概念設計の流れを初めから具体例を挙げて示している。前著を読了した読者を対象とするため，前著に記載した内容の細かい説明は省いてある。設計例として，わが国で将来開発が行われることが期待される小型ジェット旅客機を取り上げた。前著で詳しくは掲載できなかった設計推算手法や設計データについては付録に記載するとして，I 部では設計の流れを示すことに集中した。ただし，付録 A は前著で記すことのできなかった機体の空力特性推算法を詳細に述べているので，これを参照しながら読み進めていただきたい。II 部では，「新型航空機に対する概念設計手法の適用」と題して，I 部で取り上げた一般的な機体とは異なる形態や機能を有する新型航空機について概念設計を行う考え方を理解してもらうことを目的とした。そのために，将来の環境適合型航空機として現在注目されているハイブリッド電動航空機を具体例に取り上げて紹介する。III 部では，「航空機システムの考慮」と題して，航空機システムとも呼ばれる航空機に用いられる数多くの装備品に関する事柄を取り上げる。航空機を開発し認証を得るためには，機体やエンジンの開発だけではなく，この航空機システムの開発が非常に重要な要素となっている。ここでは，航空機システムの概要を述べるとともに，機体の概念設計と航空機システムの関連についても説明する。

ところで，I 部の前半の設計作業は手計算で設計作業を行うことが十分に可能であるが，後半は作業量が多いために，各種の設計支援ツールを用意した。詳しくは付録 C で説明しているが，I 部の設計作業で実際に用いたツールを読者に提供している。具体的には，コロナ社 Web サイトの本書の紹介ページ† よ

† https://www.coronasha.co.jp/np/isbn/9784339046632/

り入手できるようにしているが，ツールを使用したことによる結果の影響については一切の責任を負いかねるので，読者の責任においてのみの利用としていただきたい。

本書の内容が，将来の航空機設計開発に携わりたいと考えている学生諸氏ならびに若い技術者の方々に少しでも役立てば幸いである。

2019 年 11 月

李家　賢一

注）　前著「航空機設計法――軽飛行機から超音速旅客機の概念設計まで――」の見出しの番号や図表番，式番などを本書中で表記する場合はイタリック体（斜体）で表記しているので，必要に応じて前著の該当箇所を参照していただきたい。

目　　次

Ⅰ部　航空機概念設計の詳細
～小型ジェット旅客機を例にとって～

1.　設計要求と機体一般配置の決定

1.1　設　計　要　求 …… 2
1.2　機体一般配置の決定 …… 3
コーヒーブレイク　認　証　取　得 …… 6

2.　主要諸元の決定（第１次）

2.1　最大離陸重量の見積り …… 7
2.2　主翼面積とエンジン推力の見積り …… 9
2.2.1　揚抗比と抵抗の推算 …… 10
2.2.2　離陸性能のサイジング …… 11
2.2.3　着陸性能のサイジング …… 12
2.2.4　上昇性能のサイジング …… 12
2.2.5　巡航性能のサイジング …… 13
2.2.6　サイジングプロット図 …… 14
コーヒーブレイク　航空機開発で直面する「死の谷」 …… 15

3.　初期機体三面図の描画に向けた作業

3.1　胴　体　設　計 …… 17
3.2　主　　翼 …… 19
3.2.1　主翼断面形状 …… 19

3.2.2 主翼平面形状 …… 19
3.3 尾 翼 …… 21
3.3.1 水平尾翼 …… 21
3.3.2 垂直尾翼 …… 24
3.4 重 量 推 算 …… 26
3.5 初期機体三面図の描画，重心位置と脚配置の決定 …… 28
コーヒーブレイク 新しいパイロットライセンス MPL …… 32

4. 全機空力特性の推算

4.1 巡航時揚力の推算 …… 34
4.1.1 揚力傾斜と零揚力角の見積り …… 34
4.1.2 最大揚力係数の見積りと揚力曲線の描画 …… 35
4.2 高揚力装置の特性推算 …… 36
4.2.1 後縁フラップ …… 36
4.2.2 前縁フラップと揚力曲線の描画 …… 38
4.3 抵 抗 推 算 …… 39
4.3.1 有害抵抗 …… 39
4.3.2 誘導抵抗 …… 40
4.3.3 抵抗推算のまとめと抵抗–揚力曲線の描画 …… 41
コーヒーブレイク 操縦に必要な計器の配置 …… 43

5. 主要諸元の決定（第 2 次）

5.1 エンジン性能曲線の見積り …… 45
5.1.1 ターボファンエンジンの寸法と重量 …… 45
5.1.2 エンジン性能曲線 …… 46
5.2 第 2 次サイジングとカーペットプロットの描画 …… 47
5.3 第 2 次サイジング結果の吟味 …… 50
コーヒーブレイク VOR 航法装置を用いた飛行 …… 52

6.　機体性能評価と機体三面図の見直し

6.1　機体の性能推算 …… 54
6.1.1　エンジンの推力と最大飛行速度 …… 54
6.1.2　上 昇 性 能 …… 56
6.1.3　巡 航 性 能 …… 57
6.1.4　離着陸性能 …… 60
6.2　機体三面図の見直し …… 60
6.3　設計結果の吟味 …… 62
コーヒーブレイク　空港への VOR アプローチ …… 64

Ⅱ部　新型航空機に対する概念設計手法の適用
～ハイブリッド電動航空機を例にとって～

7.　地球温暖化防止を目指したハイブリッド電動航空機について

7.1　は　じ　め　に …… 67
7.2　地球温暖化防止に向けて …… 68
7.3　ハイブリッド電動航空機の分類 …… 70
7.4　完全電動航空機の機体成立性の検討 …… 73
7.4.1　完全電動航空機による飛行を可能とするバッテリーの重量 …… 73
7.4.2　完全電動航空機に搭載されるバッテリーの性能について …… 75
7.4.3　完全電動航空機の成立性検討のためのパラメトリックスタディ …… 76
コーヒーブレイク　機　体　整　備 …… 77

8.　ハイブリッド電動航空機の概念設計法と設計例

8.1　ハイブリッド電動航空機の推進系統の考慮 …… 79
8.1.1　推進方式の検討と選定 …… 79
8.1.2　本章で概念設計する機体の推進方式の設定 …… 81

8.2 ハイブリッド電動航空機の概念設計法 …… 83
8.2.1 ハイブリッド電動航空機の推進系統の各種効率 …… 83
8.2.2 ハイブリッド電動航空機の推進系統の重量と寸法の推算 …… 84
8.2.3 概念設計手法 …… 87
8.3 概念設計例 …… 92
コーヒーブレイク ICAO 騒音規制 …… 96

Ⅲ部 航空機システムの考慮

9. 航空機システムとは

9.1 航空機システム …… 99
9.1.1 飛行制御系統 …… 100
9.1.2 エンジン制御系統と燃料系統 …… 101
9.1.3 航法通信機器系統 …… 102
9.1.4 電気系統と灯火 …… 102
9.1.5 油圧系統と降着装置（脚） …… 103
9.1.6 高圧空気系統，防氷系統，空調系統 …… 104
9.1.7 緊急時対応（酸素系統，防火系統，RAT） …… 104
9.1.8 補助動力装置（APU） …… 105
9.2 2 次動力とは …… 105
9.3 航空機システムの開発プロセス …… 107
9.4 More Electric Aircraft : MEA …… 110
コーヒーブレイク ファミリー機体の開発 …… 112

10. 2 次動力システムの構成と概念設計への影響

10.1 2 次動力システムの構成 …… 114
10.1.1 空調系統（ECS） …… 114
10.1.2 防氷系統（IPS） …… 117
10.1.3 油圧系統 …… 119

10.1.4　電 気 系 統 …… 121
10.1.5　エンジン補機 …… 122
10.2　航空機概念設計への影響 …… 122
10.2.1　概念設計に影響する三つの要素 …… 122
10.2.2　2 次動力システムを考慮に入れた概念設計手法 …… 123
10.2.3　2 次動力システムの影響（電動化された ECS の場合）…… 125
10.2.4　層流制御システムを取り入れた航空機に対する適用 …… 126
コーヒーブレイク　機体開発に関わる航空機産業の構成 …… 127

付録 A　機体に働く揚力と抵抗の推算方法

A.1　巡航時揚力の推算 …… 129
A.1.1　揚力傾斜と零揚力角の見積り …… 129
A.1.2　最大揚力係数の見積りと揚力曲線の描画 …… 130
A.2　高揚力装置使用時の揚力推算 …… 135
A.2.1　後縁フラップ …… 135
A.2.2　前縁フラップと揚力曲線の描画 …… 137
A.3　抵　抗　推　算 …… 137
A.3.1　有 害 抵 抗 …… 138
A.3.2　誘 導 抵 抗 …… 149

付録 B　エンジン性能曲線の見積り

…… 152

付録 C　表計算ソフトを活用した各種推算支援ツール

C.1　推算支援ツールの種類 …… 154
C.2　空力特性推算支援ツールの使用法 …… 155
C.2.1　ツール全般に対する注意事項 …… 155
C.2.2 「必要推力推算シート」に関する特記事項 …… 155
C.3　第 2 次サイジング用推算支援ツールの使用法 …… 156
C.4　本書で使用したデータ …… 160

付録 D　加速停止距離の見積り

D.1　エンジン一発停止後に離陸を続行する場合の離陸距離 …… 170
D.1.1　離陸滑走距離 …… 170
D.1.2　上昇への遷移に要する距離と離陸上昇距離 …… 172
D.2　エンジン一発停止後に滑走路上で停止するまでの停止距離 …… 173

お　わ　り　に …… 175
引用・参考文献 …… 179
索　　引 …… 188

I　部

航空機概念設計の詳細
～小型ジェット旅客機を例にとって～

1 章から *14* 章に至るまで各章内で紹介した概念設計法を用いて，定員 120 名，航続距離 2 500 nm の小型ジェット旅客機の概念設計を行う。この I 部の終わりまでに機体三面図の描画と見直しを終え，修正された機体三面図を完成させることまでを目標とする。

1

設計要求と機体一般配置の決定

I 部では，前著で詳述した概念設計の流れを一つの機体例に対して実際に適用する。この例を通じて，概念設計の詳細を把握してもらいたい。なお，本書での「概念設計」とは，前著でも述べたとおり，あくまでも設計の最初の段階で行う作業であり，ここで得られた機体設計例がそのまま実機とはならないことをあえて繰り返しておく。

1.1 設 計 要 求 (*1.1.4* 項)

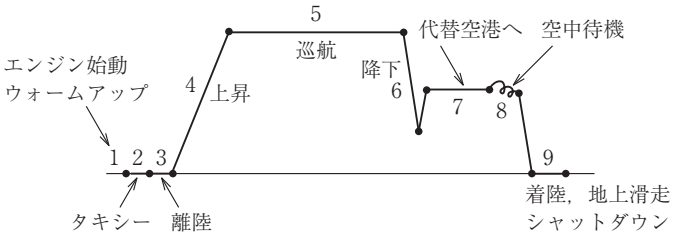
小型ジェット旅客機を例にとって概念設計を行う。現在開発中のリージョナルジェット機 Mitsubishi SpaceJet（旧称 MRJ）は定員 90 名であるが，今後わが国で開発される機体の一つの可能性として，Mitsubishi SpaceJet よりも定員と航続距離を増した小型ジェット旅客機がある。ここでは，そのような機体について概念設計を行うことを考えたい。

ここで検討する機体の**設計要求**が，**表 1.1** のように与えられているとする。定員 120 名，航続距離 2 500 nm の小型ジェット旅客機である。大手航空機メーカーの Boeing 737 や Airbus A320 よりも小型であり，ボンバルディア社の C シリーズ（現 Airbus A220）やエンブラエル社の E-Jet シリーズとほぼ同規模の機体である。このような機体は，大手メーカー機市場とリージョナルジェット機市場の隙間を狙った機体に該当し，将来的に一定の機体需要があると予測されている[1)†]。

† 肩付き数字は，巻末の引用・参考文献の番号を表す。

表 1.1　120 人乗り小型ジェット旅客機の設計要求例（飛行フェーズ説明図付き）

ペイロード	乗客 120 名 （単一クラス，ほかにパイロット 2 名とキャビンアテンダント 3 名）
航続距離	2 500 nm，200 nm 先の代替空港，さらに 45 分の空中待機
巡航高度	35 000 ft
巡航速度	マッハ 0.78
離陸距離	6 000 ft（FAR），海面上
着陸距離	$W_L = 0.85\,W_{TO}$ にて 5 000 ft（FAR），海面上
エンジン	ターボファン
法　規	FAR25



1.2　機体一般配置の決定（*2* 章）

概念設計の最初の段階として，*2* 章に従って，**機体一般配置**の決定を行う。

まず主翼の上下位置について，**表 1.2** にまとめた。なお，中翼配置は，客室内を主翼が貫通することもあり，旅客機への適用は考えられないために表からは省いた。今回の設計機体は旅客機であるため，乗客の安全性を考えて，表 1.2 の低翼配置を選択する。

つぎに**エンジン配置**について，**表 1.3** にまとめた。今回の設計機体の類似機体を参照してエンジンは双発とする。エンジン配置のうち主翼埋め込み式は，将来のエンジン換装に不向きであり，整備性も悪いため，表から省いた。また，Honda Jet に採用されている主翼上方配置は，地上に伝播するエンジン騒音の低減の効果は期待できる。ただし，主翼上方配置でかつ主翼が低翼機の場合は乗客の視界を遮ることもあり，また主翼上のエンジンの整備性も悪いた

表 1.2　主翼上下位置の検討

	高翼機	低翼機
利点	・床面が低いため貨物の積卸しに便利 ・短距離離着陸航空機（STOL）に向いている（主翼に取り付けられた高揚力装置の効果を発揮しやすい）	・客席の床を高めることで，機体規模にもよるが床下に貨物を積める ・非常着水（ditching）時に乗客の脱出が容易 ・胴体着陸時に客席へのダメージが少ない
欠点	・主脚が長くなる，あるいは胴体内にバルジを設けて主脚を収納する必要がある	・エンジンが主翼下方取付け型の場合は，エンジンと地面との距離が短い

表 1.3　エンジン配置の検討

	胴体後方取付け	主翼下方取付け
利点	・主翼にエンジンがないため，主翼の空力特性が向上，フラップの効きも良い ・機体後方を除いて，客席内の騒音が比較的低い	・構造的利点あり（主翼翼根部曲げモーメントの低減と空力弾性現象の緩和） ・エンジン整備性が高い
欠点	・水平尾翼との位置関係によってディープストールのおそれあり ・全機重心が後方になりやすい	・エンジン片発停止時の機体に働くヨーイングモーメントに注意 ・エンジンと地面の距離が小さい

め，ここでの検討からは省いた。表 1.3 より，胴体後方取付け，主翼下方取付けの両者共に，今回の設計機体への適用は可能（それぞれの欠点は致命的なものではない）と一旦判断しておく。

尾翼配置のうち垂直尾翼は，一般的な 1 枚翼を採用する。二重垂直尾翼方式あるいは V 尾翼方式もあり得るが，前者は飛行運動性の高い機体向きであること，また後者は操舵機構が複雑になることもあり，共に今回の設計機体では採用は考えない。

つぎに，水平尾翼について**表 1.4** にまとめた。上述のエンジン配置において胴体後方取付けを選んだ場合は，水平尾翼は高翼配置（T-tail 方式）になり，主翼下方取付けを選んだ場合は，低翼配置を選ぶことになる。

最後に**脚配置**であるが，尾輪配置，自転車配置共に旅客機には不向きであり，主翼に主脚 2 基，胴体前方に前脚 1 基を配置する前輪配置を選択することになる。

表 1.4　水平尾翼配置の検討

	低翼配置	高翼配置
利点	・胴体に取り付けるため，構造的に無理がない	・アームレングスが長いため，水平尾翼面積を小さくできる
欠点	・主翼からの吹き下ろし位置に設置しないように注意する	・整備性が悪い ・垂直尾翼の構造強度を高める必要あり ・ディープストールに注意する

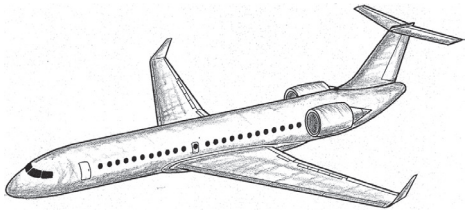
以上，まとめると，今回の設計機体で考えられる機体一般配置としては，2種類あり

（a）　主翼：低翼，エンジン（双発）：主翼下方取付け，尾翼：低翼，脚：前輪式

（b）　主翼：低翼，エンジン（双発）：胴体後方取付け，尾翼：高翼，脚：前輪式

と分類できる。**図 1.1** に 2 種類のスケッチ図を示す。両者共に機体成立性では

（a）　エンジン主翼下方取付け型



（b）　エンジン胴体後方取付け型

図 1.1　設計機体スケッチ図の例

遜色がないと考えられるが，ここでは，エンジンや機体の整備性が比較的高いと思われる機体（a）を以降の設計対象として扱うこととしたい。

コーヒーブレイク

認　証　取　得

1.1.5〔*5*〕項で述べたように，開発されてきた航空機が実際に運用を開始して飛行するためには，航空当局による検査に合格して，**型式証明**（T/C，type certification）を取得したうえで，機体ごとに**耐空証明**（A/W，airworthiness certification）を取得しなければならない。型式証明と耐空証明の両者を合わせて**認証取得**と呼ばれ，わが国でこれらの取得作業は航空法に基づいて行われている。ここでは文献 1)，2）に基づいて，その概要を簡単に紹介したい。

航空機は世界中を飛行するため，国際民間航空条約（シカゴ条約）の下で国際的な枠組みが決められている[1)]。まず，機体設計国が設計に関する基準適合性を確認して型式証明（T/C）を発行する。型式証明の基準の一つめとして，安全が確保されるための機体の強度，構造，性能に関する基準があり，わが国では航空法の耐空性審査要領が該当する。基準の二つめは，騒音やエンジンからの排出物に関する国際民間航空条約に規定された環境基準である。つぎに，機体製造国は，耐空性（飛行の安全性があるか）を有する航空機が製造されているかを保証する。これらに基づいて実際に機体を保有して飛行させる国（登録国）は，耐空証明（A/W）を発行する。また，その機体が飛行を続けている間は，運航者が時間経過に伴う劣化を適切に整備することで，継続的に耐空性が維持されていることを確認する責任を登録国は有している（更新耐空証明）。一方で，すでに他国で認証を受けた機体を輸入する際に，重複して検査を行うことを避けるために，他国がすでに行った検査や認証を相互に受け入れる航空安全協定（**BASA**，Bilateral Aviation Safety Agreement）の締結が，現在各国間で積極的に進められている[2)]。

このように，新たに機体が設計開発される場合は，航空当局は設計図や各種書類の審査を行うとともに，構造試験や飛行試験のような各種の試験に立ち会う。これらの過程を経て，上述した設計に関するすべての基準を満たしていることを航空当局が確認して初めて型式証明（T/C）が発行される。

索　　引

【あ】

アクチュエータ 119
圧縮空気駆動ポンプ 120
アプローチチャート 64
アームレングス 5, 22, 24

【い】

1 次動力 105
1 次熱交換器 115

【う】

薄翼失速型 134
運用空虚重量 9, 28

【え】

エアコンパック 116
エアサイクルマシン 115
エルロン 20
エンジン駆動ポンプ 120
エンジン制御系統 101
エンジン整備 78
エンジン配置 3
エンジン補機 106, 122

【お】

オズワルドの航空機
　効率係数 10, 40, 149
オレオ 103

【か】

カスタマーサポート 176
加速停止距離
50, 60, 156, 170
型式証明 6
カットオフレイノルズ数 139
カーペットプロット 47
カーボンオフセット 69
環境適合型航空機 67
干渉係数 140
完全電動型 70
完全電動推進 68

【き】

機体一般配置 3
脚配置 4
ギャレー 17
キンク 20

【く】

空気漏れ・突起物抵抗 143
空虚重量 28
空調系統 104, 114
クリアランス 64
クリーン形態 11

【け】

計器着陸方式 64
計器飛行気象状態 43
計器飛行証明 32
計器飛行方式 64
形状係数 139
化粧室 17, 104

【こ】

高圧空気系統 104, 115
後縁失速型 133
後縁フラップ 36, 135
航空環境保全委員会 68
航空機サブシステム 99
航空機システム 99
航空機製造技術者 176
航空機の価値構成 128
更新耐空証明検査 77
降着装置 103
高度計 43
航法通信機器系統 102
交流モータ駆動ポンプ 120
国際航空運送協会 68
国際民間航空機関 68
コモナリティ 113

【さ】

最終進入開始点 65
最小降下高度 65
サイジング 9
サイジングプロット図 14
最大燃料積載量 58
最大揚力係数 12, 35, 130
最大揚力を達成する迎角 132
最大離陸重量 7, 28
最大離陸推力 14
雑抵抗 141
サプライチェーン 127
酸素系統 104

【し】

シェブロンノズル 97
自家用操縦士免許 32
事業用操縦士免許 32
姿勢計 43
失速限界 56
失速特性 134
実用上昇限 56
シートピッチ 17
死の谷 15
重心位置 28
重整備 78
主翼アスペクト比 10
主翼後退角 19
主翼上下位置 4
主翼スパン長 19
主翼取付け角 19
主翼面積 14
巡航時揚力係数 41
准定期運送用操縦士 33
昇降計 43
上昇率 56
上反角 19
初期進入開始点 65
シリーズ–ハイブリッド型 72
進入復行点 65

【す】

垂直尾翼面積 25
垂直尾翼容積 24
水平尾翼面積 22
水平尾翼容積 21
推力・機体重量比 9
推力–マッハ数曲線 55
スケールファクタ 45
スーパー Tier 1 128
スーパークリティカル翼型 19
スポイラー 20
スラット 38, 137
スロッテッドフラップ 136

【せ】

精密進入方式 64
セカンドセグメント 48
設計急降下速度 158
設計要求 2
絶対上昇限 56
零揚力角 35, 130
前縁失速型 134
前縁剝離渦 132
前縁フラップ 38, 137
旋回計 43

【そ】

操縦系統 100
造波抵抗 40, 144
装備効率 153
装備品 99
装備品整備 78
層流制御技術 126
速度計 43

【た】

耐空証明 6
耐空性を継続するための指示書 78
タービン発電・電動推進 67
ダブルスロッテッドフラップ 21, 36, 136
ターボエレクトリック型 73
ターボエレクトリック推進 67
ターボファンエンジンとしての推力 81

【ち】

チーフエンジニア 176
チーフデザイナー 176
着陸距離 12
超短波全方向式無線標識 52

【て】

定期運送用操縦士 32
抵抗推算 137
抵抗発散マッハ数 144
抵抗–揚力曲線 150
ディープストール 4
テーパー比 19
電気系統 102, 121
電動化された ECS 125
電動化された推進系 68
電動ファンの推進効率 83
電動モータ効率 83

【と】

灯　火 102
等価摩擦抵抗係数 10
胴体の濡れ面積 27
ドーサルフィン 32
ドック整備 78
トリム抵抗 63

【に】

2 次動力 105
2 次動力システム 122
2 次熱交換器 115
認証取得 6

【ぬ】

濡れアスペクト比 10

【ね】

熱効率 83
燃料系統 101
燃料重量 7, 9
燃料消費率 46, 152
燃料タンク容積 20

【は】

バイオ燃料 69
バイパス比 152
ハイブリッド電動航空機 67
ハイブリッド電動推進 67
バッテリーの重量エネルギー密度 74
バッテリーの体積エネルギー密度 94
発電効率 83
バフェット限界 56
パラレル–ハイブリッド型 70
パワーエレクトロニクス機器 70
パワーオフテイク 106
パワー・バイ・ワイヤ 101
パワーマネージメント機器 70
パワーマネージメント系統の効率 83

【ひ】

飛行制御系統 100
非常口 18
非精密進入方式 64
必要推力 54
必要パワー 56
表面粗さ係数 139
尾翼配置 4

【ふ】

ファウラーフラップ 136
ファミリー機体 112
フライ・バイ・ライト 101
フライ・バイ・ワイヤ 101
プライマリ・フライト・ディスプレイ 44
フラッター限界 56
プリクーラー 115
ブリードエア 104
ブレゲーの式 57
プレーンフラップ 136
プロジェクトマネージャー 176

【へ】

平均空力翼弦長 20
ペイロード 7
ペイロード–航続距離関係図 57

【ほ】

方位計 43
防火系統 104

防氷系統 104, 117
補助動力装置 105
ポーラーカーブ 150

【ま】

摩擦抵抗 138
マニフォールド 120

【み】

水分離器 115

【ゆ】

油圧系統 103, 119
有害抵抗 39, 138
有害抵抗-マッハ数分布 148
誘導抵抗 40
誘導抵抗係数 40, 149

【よ】

揚抗比 10
揚力傾斜 34, 129
揚力係数-迎角曲線 35, 129
翼型前縁 sharpness パラメータ 131
翼面荷重 9
予備機 78
予備燃料 9

【ら】

ライン整備 78
ラプスレート 13, 46, 152
ラムエア 115
ラム抵抗 117

【り】

利用推力 54
利用パワー 56
離陸距離 11
臨界速度 170
臨界マッハ数 144

【る】

累積収支分岐点 15

【ろ】

露出部分面積 27

【英字】

ab-initio 33
ACM 115
ACMP 120
ADP 120
APU 105
ARP 4754 107
ATPL 32

BASA 6
base drag 142

CAEP 68
Chapter 4 96
CNG2020 68
component buildup method 138
CPL 32
CRM スキル 33

DATCOM 130
DO-178B 109

ECS 104, 114
EDP 120
EHA 111
EMA 112
FADEC 102
FAF 65
FAR 着陸距離 48
FAR 離陸距離 48
FBW 101

IAF 65
IATA 68
ICAC 48
ICAO 68
IFR 64
ILS 64
IMC 43
IPS 104, 117

long bubble 134

MAP 65
MDA 65
MEA 110
More Electric Aircraft 110
MPL 32
MRB 78

NHF 105

OEI 12
OEM 127
PCU 101
PF 33
PFD 44
PNF 33
PPL 32

RAT 105, 120
RTCA 109

SAE 107
Sears-Haack body 149
second segment climb 12
short bubble 134
similarity 証明 113
S_{LFL} 48
SSC 48
S_{TOFL} 48

Tier 1 127
Tier 2 127

validation 108
verification 109
VOR 52
VOR アプローチ 64
V&V 107
V 字モデル 107

―― 著 者 略 歴 ――

1982 年　東京大学工学部航空学科卒業
1984 年　東京大学大学院工学系研究科修士課程修了（航空学専門課程）
1984 年　東京大学助手
1988 年　工学博士（東京大学）
1988 年　科学技術庁航空宇宙技術研究所勤務
1993 年　東京大学助教授
2004 年　東京大学教授
　　現在に至る
2013 年　日本航空宇宙学会第 45 期会長

航空機設計法 実践編
――小型ジェット旅客機からハイブリッド電動航空機の概念設計まで――
Aircraft Conceptual Design: Practices and Applications
――from Short-Range Jet Transport to Hybrid Electric Aircraft――

© Kenichi Rinoie 2020

2020 年 1 月 27 日　初版第 1 刷発行　★

検印省略

著　　者　李（りの）　家（いえ）　賢（けん）　一（いち）
発 行 者　株式会社　コ ロ ナ 社
　　代 表 者　牛 来 真 也
印 刷 所　新 日 本 印 刷 株 式 会 社
製 本 所　有限会社　愛 千 製 本 所

112-0011　東京都文京区千石 4-46-10
発 行 所　株式会社　**コ ロ ナ 社**
CORONA PUBLISHING CO., LTD.
Tokyo Japan
振替 00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)
ホームページ　https://www.coronasha.co.jp

ISBN 978-4-339-04663-2　C3053　Printed in Japan　（新井）

JCOPY ＜出版者著作権管理機構 委託出版物＞
本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は，そのつど事前に，出版者著作権管理機構（電話 03-5244-5088，FAX 03-5244-5089，e-mail: info@jcopy.or.jp）の許諾を得てください。

本書のコピー，スキャン，デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は，いかなる場合も認めていません。
落丁・乱丁はお取替えいたします。