

# 航空交通管理システム概論

伊藤 恵理 [著]

コロナ社

# まえがき

航空交通管理は、航空機の運航において不可欠な存在であり、きわめて重要な学術・研究分野でもある。将来的に、航空輸送の需要は増大すると予測されており、さらには無人航空機などさまざまな形態の運航が関わることも予想される。一方で、世界的にもまだまだ新しい分野であるため、その基盤となる知識体系をまとめた羅針盤となる専門書が必要である。そこで本書では、航空交通管理をハードウェア、ソフトウェアだけでなく、航空機の運航に関わるさまざまなプレーヤを含む人間社会のような、多様な要素から構成される社会技術システムと捉え、その成り立ちと現状、システム設計と評価に関わる研究開発、社会実装に至るプロセスと課題を概観して論じる。本書は、著者が東京大学大学院工学系研究科で担当している「航空交通管理特論」の講義ノートを編集した教科書である。著者が講義を始めた当初は、航空宇宙工学を専攻する大学院生を受講対象に想定していた。しかし思いがけず、理系分野の他専攻だけでなく、法学や経済学などを専門にする学生からも受講の希望があり、2022年からはリカレント教育を対象とした講義科目にも認定されるなど、分野の拡がりを感じている。そこで、さまざまな専門分野の読者を想定した、本書の構成と読みかたを図に表した。

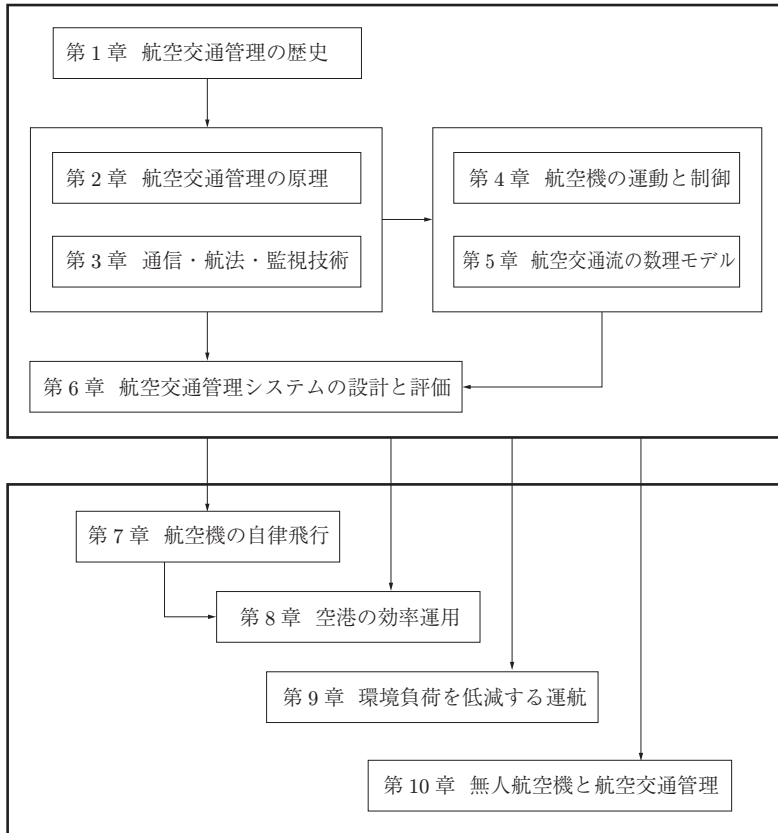
本書は、第1～第6章を第Ⅰ編、第7～第10章を第Ⅱ編と整理している。第Ⅰ編「航空交通管理システムの成り立ち」各章の内容は以下のとおりである。

**第1章：** 1903年のライトフライヤー号初飛行から今日の航空交通管理に至る歴史と、将来の航空交通管理システムの展望

**第2, 第3章：** 航空交通管理システムの理解に必要な最小限の専門知識

**第4章：** 航空交通における航空機運動の理解を深めるための、航空機の力学モデルと誘導制御則

第 I 編 航空交通管理システムの成り立ち



第 II 編 新しい航空機運航と航空交通管理システム

図 本書の構成と読み方

第 5 章： 複数の航空機からなる航空交通流を模擬する数理モデルの解説

第 6 章： 航空交通管理システムの設計と、社会実装に向けた評価方法

数式を扱いたくない読者は、第 4, 第 5 章を読み飛ばし、第 1, 第 2, 第 3, 第 6 章、と読み進めていただいても、分野全体の基礎を学ぶことができる。

また、本分野の基礎知識を有する読者は、第 I 編を読み飛ばして、第 II 編に進んで欲しい。第 II 編「新しい航空機運航と航空交通管理システム」はおもに著者が携わった研究開発を中心にした内容であり、各章の内容は以下のとおり

である。

**第 7, 第 8 章：** 新しい航空交通管理システムの代表例として、航空機の自律飛行と、大規模空港における航空機の到着・出発・空港面の航空交通の効率運用を支援するシステムの紹介

**第 9 章：** 燃料消費量の削減など、航空機の運航の観点から地球環境への負荷を低減する運用の紹介

**第 10 章：** ドローンなどのさまざまな形態の無人機について、飛行リスクを最小にする運用概念

第 7 章に表すシステム (7.4 節参照) は、第 8 章に表す航空機の到着管理システム (8.1 節参照) と相互に作用しているので参考にしていただきたい。また、第 9, 第 10 章には、近年、特に注目される社会課題を含む内容を取り上げた。

このように、分野のすべてを一冊に盛り込むことこそできないが、分野全体を見渡せるよう、本書の構成には工夫を凝らした。取り上げたキーワードと引用・参考文献を起点に、読者のさらなる知的探求に繋げていただきたい。本書が航空交通管理における学際的发展と、新規開拓に役立つことを願ってやまない。

本書の執筆にあたり、研究室の一期生である東京大学の加藤古都さん、日笠航希さん、森川暢明さんには、初の読者として忌憚なき意見をいただいた。読者を引き受けてくださった、電子航法研究所の蔭山康太さん、大津山卓哉さん、宮崎裕己さん、東京大学の岩田大輝さん、東京理科大学の関根将弘さん、国土交通省航空局の齋藤賢一さんと関係各所の皆様からは、専門的かつ有益な助言を頂戴した。加えて、本書の企画から出版に至るまで、編集、イラスト、校正、印刷、製本に携わっておられる方々の多大なご協力をいただいた。皆様方に、心から感謝の意を表したい。

2023 年 1 月

伊藤恵理

# 目 次

## 第 I 編 航空交通管理システムの成り立ち

### 第 1 章 航空交通管理の歴史

1.1 黎明期：1903 年～1920 年代 .....	1
1.2 航空管制システムの基盤構築：1930 年代～1960 年代 .....	4
1.3 日本の航空管制 .....	6
1.4 21 世紀の航空交通管理 .....	8
1.4.1 CNS / ATM 構想 .....	8
1.4.2 世界の航空交通管理システム研究開発 .....	9
1.4.3 統合管制情報処理システム .....	10
引用・参考文献 .....	12

### 第 2 章 航空交通管理の原理

2.1 航空交通業務と空域 .....	14
2.1.1 航空交通業務 .....	14
2.1.2 飛行情報区 .....	14
2.1.3 空域の分類 .....	17
2.1.4 航空保安業務 .....	19
2.2 運用の基準 .....	20
2.2.1 単 位 .....	20
2.2.2 高 度 .....	21

2.2.3	位置と距離	22
2.2.4	速度	22
2.2.5	方位	23
2.3	飛行経路	25
2.3.1	航空路とRNAV経路	25
2.3.2	洋上経路	27
2.3.3	標準計器出発方式（SID）と標準計器到着方式（STAR）	28
2.4	管制間隔	30
2.4.1	縦・横・垂直方向の最小間隔	30
2.4.2	後方乱気流区分	31
2.5	管制業務	32
2.5.1	航空路管制業務	32
2.5.2	進入管制業務	33
2.5.3	飛行場管制業務	34
2.5.4	航空交通管理管制業務	35
2.5.5	出発から到着までの航空交通管理の流れ	37
2.6	運用方式	38
2.6.1	間隔調整	38
2.6.2	ポイントマージ	39
2.6.3	ファン	40
2.6.4	トロンボーン	40
2.6.5	待機	41
2.6.6	着陸・進入復行	42
2.7	航空気象	44
2.7.1	航空機と気象	44
2.7.2	高高度および飛行場周辺の気象情報	46
2.7.3	航空気象情報	47
	引用・参考文献	49

### 第3章 通信・航法・監視技術

3.1 通 信	51
3.1.1 航 空 通 信	51
3.1.2 周波数帯と電波の特徴	52
3.1.3 遠隔対空通信	52
3.1.4 国際対空通信	53
3.1.5 航空衛星通信	53
3.1.6 航空管制官-パイロット間データリンク通信	53
3.1.7 運航管理通信用データリンク	54
3.2 航 法	54
3.2.1 航 法 の 種 類	54
3.2.2 地 文 航 法	55
3.2.3 天 文 航 法	55
3.2.4 電 波 航 法	55
3.2.5 自 律 航 法	56
3.2.6 衛 星 航 法	56
3.2.7 推 測 航 法	58
3.2.8 広 域 航 法	59
3.3 監 視	60
3.3.1 監 視 レーダー	60
3.3.2 自 動 従 属 監 視	61

### 第4章 航空機の運動と制御

4.1 航空機運動の基礎	62
4.1.1 機体姿勢と地球座標	62

4.1.2	速 度 系	64
4.1.3	操 縦 と 舵 面	65
4.2	航空機運動の力学モデル	66
4.2.1	航空交通管理と航空機モデル	66
4.2.2	大 気 モ デ ル	68
4.2.3	対気速度の変換	70
4.2.4	全エネルギーモデル	71
4.2.5	空 力 係 数	72
4.2.6	運航可能範囲	73
4.2.7	推 力	75
4.2.8	燃 料 消 費 量	77
4.2.9	航空会社の運航手順	78
4.2.10	最 大 加 速 度	79
4.2.11	バ ン ク 角	80
4.2.12	待 機 速 度	80
4.2.13	地上走行速度	81
4.3	質点モデルにおける航空機の軌道と誘導制御モデル	81
4.3.1	航空機の軌道計算	81
4.3.2	対地速度と横滑り角	83
4.3.3	誘 導 制 御 則	84
4.3.4	水平面の制御 – LNAV モデル –	85
4.3.5	速度と飛行経路角の制御 – VNAV モデル –	87
	引用・参考文献	91

## 第 5 章 航空交通流の数理モデル

5.1	待ち行列モデル	92
5.1.1	航空交通を模擬する待ち行列モデル	92



5.1.2	$G/G/c$ モデル	98
5.1.3	待ち行列モデルの応用	101
5.2	確率的動的彩色型ペトリネットモデル	102
5.2.1	大規模複雑システムのモデル	102
5.2.2	マルチエージェントモデル	104
5.2.3	ローカルモデル	105
	引用・参考文献	110

## 第6章 航空交通管理システムの設計と評価

6.1	社会実装に向けた研究開発	113
6.2	データサイエンスの応用	116
6.2.1	航空交通データ	116
6.2.2	データ分析	117
6.2.3	機械学習の応用	122
6.3	シミュレーション実験	122
6.3.1	ファストタイムシミュレーション	122
6.3.2	リアルタイムシミュレーション	123
	引用・参考文献	124

## 第II編 新しい航空機運航と航空交通管理システム

### 第7章 航空機の自律飛行

7.1	航空管制と自律飛行	127
7.1.1	オートメーションサプライズ	127
7.1.2	人間オペレータと協調する自動化システム	129
7.2	機上監視応用：ASA	130

7.2.1	ASA の 概 念	130
7.2.2	ASA 方式の実装レベル	130
7.3	ATSA の代表的な応用方式	132
7.3.1	AIRB	132
7.3.2	VSA	133
7.3.3	SURF	133
7.3.4	ATAS	134
7.3.5	ITP	134
7.3.6	CAVS	135
7.4	IM	136
7.4.1	IM 応用方式の概要	136
7.4.2	研究開発と実用化	137
7.4.3	便 益	138
7.4.4	IM アビオニクス	139
7.4.5	FIM速度制御則	141
7.4.6	GIM の 機 能	144
	引用・参考文献	145

## 第 8 章 空港の効率運用

8.1	到着管理システム：AMAN	147
8.1.1	AMAN の 概 念	147
8.1.2	TMA	148
8.1.3	到着遅延と運用コスト	165
8.1.4	地域特性に応じたシステム設計	169
8.2	出発・空港面管理システム：DMAN / SMAN	173
8.2.1	出発スケジューリング	173
8.2.2	地上走行の支援機能	175

8.2.3 滑走路容量…………… 178  
 引用・参考文献…………… 179

## 第9章 環境負荷を低減する運航

9.1 航空機の運航と地球環境…………… 182  
 9.2 継続降下運用：CDO…………… 183  
 9.3 OPD…………… 184  
 9.4 FPA 降下…………… 185  
 9.5 高エネルギー状態と CDO…………… 186  
 引用・参考文献…………… 187

## 第10章 無人航空機と航空交通管理

10.1 無人機の運航…………… 189  
 10.2 低高度空域における無人機の運用概念…………… 192  
     10.2.1 低高度空域での交通管理…………… 192  
     10.2.2 飛行認証と安全性…………… 193  
     10.2.3 リスクの定量化…………… 194  
 10.3 高高度空域における無人機の運用概念…………… 198  
     10.3.1 機材と運航…………… 198  
     10.3.2 運航とリスク…………… 201  
     10.3.3 高層クラス E での交通管理…………… 206  
 引用・参考文献…………… 208

# 第 I 編 航空交通管理システムの成り立ち

## 第 1 章 航空交通管理の歴史

1903年にライトフライヤー1号が飛行に成功してから、航空機の動力飛行の歴史が幕をあけた。本章では、航空交通管理の今日に至るまでの発展の歴史を概観し、航空交通管理システムの研究開発における背景を説明する。なお本章は、著者が寄稿した解説記事<sup>1)†</sup>の一部に改訂を加えたものである。

### 1.1 黎明期：1903年～1920年代

1903年12月17日、ライト兄弟が人類初の固定翼による有人動力飛行に成功した。それまでに発明された機体は地上をジャンプする程度だったが、ライトフライヤー1号は36mの飛行に成功し、初飛行の2年後には、滞空時間を40分、航続距離を40kmと延ばした。今日から振り返れば技術革新の始まりとなる大きな出来事だったが、当時の世間は航空機に懐疑的な眼差しを向けており、将来の航空輸送が実現するとは信じられていなかった。そこで、航空機の研究開発や飛行に携わるパイオニアたちが、飛行距離を競い合ったり、エアメールなどの物資を運んだりするなど、航空輸送の可能性をアピールしていった。

1910年には、ツェッペリン飛行船による世界初の定期航空旅客事業が開始し、ドイツのフランクフルト・バーデン＝バーデン間を就航した。1911年には、世界初の公式エアメールが、インドのアラハバード・ナイニ間で運ばれた。1913年には、ロシアのイーゴリ・シコルスキーの大型旅客機が、旅客10名を乗せて飛行した。そして、1914年に始まった第一次世界大戦での軍事利用を経て、

<sup>†</sup> 肩付き数字は章末の引用・参考文献の番号を表す。

1918年に大戦が終結すると、軍用機を操縦していたパイロットが民間機に転向し、エアメールの輸送や新しい航空路の開拓に従事した。1919年にはパリ国際航空条約が締結され、領空主権や飛行に必要な規制の国際共通化などが盛り込まれたが、当時はまだまだ航空交通量が少なく交通整理をする必要がなかったため、航空交通管理に関する条項は盛り込まれなかった。この条約は、1944年に締結される国際民間航空条約（シカゴ条約）によって破棄されることになる。

1921年には、初めての夜間飛行が成功し、日中だけでなく夜間も飛行が可能になったことから、エアメールの輸送量が増加し、同時に航空路が拡大した。そこで、1925年には、米国政府が初めて航空業界に介入し、エアメール輸送が後押しされた（Air Mail Act of 1925）。翌年には、米国政府により、航空機製造や点検に関してメーカーが守るべき規定と手順をまとめた書面（Morrow Report）が議会に提出され、航空機による民間輸送を促進する決議がなされた。1927年には、チャールズ・リンドバーグが大西洋単独無着陸飛行に成功した。1928年には、エアメール用の航空路に無線施設が導入され、パイロットの航行を支援する無指向性無線標識（NDB：non-directional radio beacon）が利用されるようになった。こうして、航空輸送に対する信頼が増し、1920年代後半になると航空交通量が大きく増加したため、いよいよ空の交通整理を担う航空管制が必要になった。

1929年には、米国のミズーリ州にあるセント・ルイス空港で、世界で初めて公式に航空管制官が雇用された（図 1.1 参照）。当初の航空管制官の業務は、飛行場で離着陸の指示をするための旗振りであったことから、「フラッグマン」と呼ばれた。世界初の管制官となったアーチ・リーグ（Archie W. League）氏の前職は、旅芸人であり、曲技飛行を行う航空機の整備士でもあり、経営者でもあった。管制官になった彼は、手押し車に、折りたたみ式の椅子、メモ帳、二本の旗、ランチと飲料水を持って、飛行場の滑走路に出勤した。そして、滑走路の端から、晴れの日も雨の日も、夏の日も冬の日も、夜間はスポットライトの前に立ち、離着陸する航空機に旗を振り続けた。しかし、航空機の離着陸回数が増加するにつれて、このような航空管制のやりかたでは、空港の交通整理



図 1.1 世界初の航空管制官として知られる  
アーチ・リーグ氏<sup>2)</sup>

に対応しきれなくなった。そこで、空港全体を見渡せる航空管制塔（図 1.2 参照）からパイロットに指示を出す管制へ移行した。初期の頃は、ライトガンという光を発射する装置を使ってパイロットに信号を送った（図 1.3 参照）。しかし、この方法では正しい航空機に指示が届いたか確認できないため、管制官とパイロットの双方向の通信が必要となり、無線を利用する音声通信の導入が進んでいった。



図 1.2 初期の管制塔<sup>2)</sup>



図 1.3 ライトガンを使った航空管制<sup>2)</sup>

## ✈ 1.2 航空管制システムの基盤構築：1930年代～1960年代 ✈

1930年代には、航空機はより高く速く飛行できるようになり、搭載する飛行計器や通信装備品なども充実してきた。空港を離陸した航空機は、パイロットがコックピットから周囲の状況を目視して飛行する有視界飛行方式（**VFR**：visual flight rules）を適用していたが、悪天候時や夜間などは、コックピットの計器から情報を得て飛行する計器飛行方式（**IFR**：instrument flight rules）を実施できるようになった。なお、IFRで飛行する気象条件を、計器気象状態（**IMCs**：instrument meteorological conditions）という。このように、天候に左右されない飛行が可能になり、航空会社の定期運航が開始された。

1934年、米国では航空通商局（Bureau of Air Commerce）が創設され、民間航空機の安全な飛行間隔を管理するよう航空会社に要請したことから、航空路管制が始まった。初期の頃は、航空会社の運航関係者が同じ部屋に集まり、テーブルに広げた地図の上に駒を置いて航空機の予測位置を確認しあうものだったが（**図 1.4** 参照）、政府が航空管制の手順や規制などの基準を定めるようになり、フライトストリップと呼ばれる航空機の飛行情報を記載した運航票を利用する航空路管制に移行していった（**図 1.5** 参照）。

1930年代前半には、欧米各地の空港に管制塔とNDBが設置されるように



図 1.4 初期の航空路管制<sup>2)</sup>

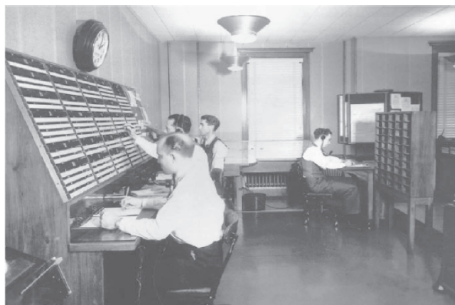


図 1.5 フライトストリップ（運航票）を利用した航空路管制<sup>2)</sup>

なった。そして、この頃から、航空管制システムの基盤は、航空機事故の事例を学びながら発展することになる。1935年、TWA（Trans World Airline）のダグラス DC-2 機が、飛行中に空港からの無線電波を喪失したことに起因する墜落事故を起こした。事故調査では、無線施設の管理不行き届きを主張する航空会社と、パイロットのヒューマンエラーを主張する通商局が対立した。そこで、航空輸送の安全性を確保するために国家の介入が必要と考えたルーズベルト大統領と米国連邦議会により、1938年に、現在のアメリカ連邦航空局（FAA：Federal Aviation Agency）の前身となるCAA（Civil Aeronautics Authority）が創設された。そして、航空管制に必要なインフラを含むシステム構築とその保守管理、事故調査などに責任を持つ政府機関を置き、航空管制官を国家公務員として採用することにした。

第二次世界大戦が始まると、軍需増加の影響を受け、1943年には航空機産業が世界最大の市場シェアを占めるようになった。終戦後の1947年には、民間航空輸送の安全性確保と需要増加に世界規模で取り組むため、国連の専門組織である国際民間航空機関（ICAO：International Civil Aviation Organization）が設立された。翌年、米国は航空無線技術委員会（RTCA：Radio Technical Commission for Aeronautics）の中に、SC31（Special Committee 31）という航空交通の管理に特化した専門委員会を創設し、将来のシステム構築に向けた提言書を国家レベルでまとめた。提言には、民間機および軍用機の航空交通



# 索引

<b>【あ】</b>	
アメリカ連邦航空局	5
<b>【い】</b>	
イリジウム衛星	53
インマルサット	53
<b>【う】</b>	
ウインドシア	45
ウェイポイント	25
運航管理通信	51
運航情報業務	19
<b>【え】</b>	
エアポケット	45
衛星通信	53
エージェントモデル	103
エプロン	81
エルロン	65
エレベータ	65
遠隔操縦航空機システム	191
遠隔対空通信施設	7
エンルート空域	15
<b>【お】</b>	
欧州航空航法安全機構	9
オートメーション サブライズ	128
<b>【か】</b>	
海里	20
海陸風	46
拡張型到着管理システム	148

確率的動的彩色型 ベトリネット	103
風モデル	105
滑走路占有時間	178
滑走路容量	178
管制間隔	30
管制官モデル	105
管制官-パイロット間 データ通信	27
管制技術業務	19
慣性基準装置	56
管制業務	19
管制区域	17
管制空域	17
慣性航法装置	56
管制支援処理システム	11
管制承認伝達席	34
管制処理容量	36
管制通信業務	19
完全性	57
<b>【き】</b>	
気圧高度	21
気球	200
気象エージェントモデル	105
机上監視応用	129
気象観測報	47
気象情報業務	49
北太平洋経路	27
軌道ベース運用	171
協調的な意思決定	37
距離測定装置	6

<b>【く】</b>	
空域管理	35
空気密度	63
空港	14
空港監視レーダー	6
空港管制処理システム	11
空港面管理	171
空港面探知レーダー	61
グライドパス	56
グランド・コントロール	34
クリアランス・デリバリー	34
グローバル ATM 運用概念	9
<b>【け】</b>	
計画到着時刻	150
計器気象状態	4
計器着陸装置	6
計器飛行方式	4
警急業務	14
継続降下運用	183
継続上昇運用	183
継続性	57
ゲート	81
ケンドールの記法	93
<b>【こ】</b>	
ゴーアラウンド	42
広域航法	25
広域マルチラテレーション	61
航空管制	14

航空機エージェントモデル 105 航空機の運動モデル 105 航空業務通信 51 航空交通管制 14 航空交通管制区 18 航空交通管制圏 18 航空交通管制通信 51 航空交通管制部 32 航空交通管理 8 航空交通管理処理システム 11 航空交通管理センター 8 航空交通業務 14 航空交通情報圏 18 航空交通流管理 35 航空交通流管理センター 8 航空通信 51 航空灯火・電気技術業務 19 航空保安業務 19 航空旅客公衆通信 51 航空路 25 航空路火山灰情報センター 48 航空路監視レーダー 7 航空路管制業務 32 航空路管制処理システム 11 航空路空域 15 航空路誌 10 航空路情報サービス 49 航空路レーダー情報処理システム 7 高高度滞空型無人固定翼機 199 航跡 23 高層クラス E 191 降着装置 66 交通管制機械業務 19 交通流制御 36 航程線航路 24 高度計規正值 21 後方乱気流 31 後方乱気流間隔 31	抗力 63 抗力係数 63 航路 23 小型無人機 191 国際標準大気 68 国際民間航空機関 5 <b>【さ】</b> 最終進入フィックス 42 サービス 92 サービス時間 92 サプリミナルコントロール 129 <b>【し】</b> ジェット気流 46 軸正対気速度 64 指示対気速度 64 指定特別航空実況 47 気象通報式 47 自動従属監視 61 自動飛行場情報サービス 49 磁方位 23 出発管理 170 出発制御時刻 36 主翼面積 63 準天頂衛星システム 57 昇降舵 65 上昇・降下率 72 初期進入フィックス 42 ショートカット 39 真対気速度 65 進入管制区 18 進入復行 42 真方位 23 信頼性 57 針路 23 <b>【す】</b> 水平方向の測位誤差モデル 105 推力 63 数値シミュレーション 115	スタビライズドアプローチ 186 スピードブレーキ 65 スラスト 63 スロット 178 <b>【せ】</b> 晴天乱気流 45 精密進入 43 精密進入レーダー 6 精密性 57 世界気象機関 47 世界航空交通計画 10 積乱雲 44 セクター 15 全球数値予報モデル 46 全球測位衛星システム 8 先進型地上走行誘導管制システム 175 先着順則 148 <b>【た】</b> 対気速度 22 大圏航路 24 対地速度 22 太平洋編成経路システム 27 ダウンバースト 45 タキシング 81 多段階到着管理 171 ターミナル空域 18 ターミナルレーダー管制業務 33 ターミナルレーダー管制所 33 ターミナルレーダー情報処理システム 7 短距離飛行用飛行場予報 47 短縮垂直間隔 31 短波 8 <b>【ち】</b> 地上管制席 34 着氷 44
---	--	---

着陸復行	42	飛行計画情報処理システム	7	ボルメット	49
着陸用飛行場予報	47	飛行計画モデル	105	ポンド	20
中間進入フィックス	42	飛行経路角	63		
中部太平洋経路	27	飛行検査業務	19	<b>【ま】</b>	
長距離飛行用飛行場予報	47	飛行場	14	待ち行列システム	93
超短波	8	飛行場管制席	34	待ち時間	92
超短波全方向式無線標識	6	飛行情報管理処理システム	10	待ち室	92
			10	マッハ	20
<b>【つ】</b>		飛行情報業務	14	窓 口	92
通信・航法・監視	8	飛行情報区	14	マルチラテレーション	61
		飛行船	200		
<b>【て】</b>		ビジネスストラジエクトリ	171	<b>【み】</b>	
定時飛行場実況気象通報式	47	ピッチ角	62	ミスドアプローチ	42
		ピッチ角速度	63		
電子飛行計器システム	58	ヒューマンインザループ		<b>【む】</b>	
電波高度	21	シミュレーション	115	無指向性無線標識	2
		標準計器出発方式	28	無人固定翼高速機	199
<b>【と】</b>		標準計器到着方式	28		
等角航路	24			<b>【め】</b>	
動的飛行経路変更方式	27	<b>【ふ】</b>		メソ数値予報モデル	46
特別管制空域	18	ファストタイム		メタリング	39
ドローン	191	シミュレーション	115		
トロンボーン	40	ファン	40	<b>【も】</b>	
		フィックス	25	目視外飛行	191
<b>【に】</b>		フィート	20	目視内飛行	191
人間オペレータ		福岡 FIR	15	モンテカルロ	
エージェントモデル	105	フライトレベル	20	シミュレーション	115
		フラップ舵角	66		
<b>【の】</b>		フリーズホライゾン	149	<b>【ゆ】</b>	
ノータム	11	フリーフライト	131	有視界飛行方式	4
ノット	20	フリールート空域	182	有人固定翼超音速機	198
		フローコントロール	36	ユーロコントロール	9
<b>【は】</b>					
パイロットモデル	105	<b>【へ】</b>		<b>【よ】</b>	
バックトラック	81	ベクタリング	38	洋上管制処理システム	11
発着枠	178	偏西風	27	洋上管理	35
バンク角	62	偏流角	23	洋上経路	27
				洋上転移経路	28
<b>【ひ】</b>		<b>【ほ】</b>		揚 力	63
非管制区域	17	ポイントマージ	39	揚力係数	63
非管制空域	17	方向舵	65	ヨー角	62
飛行管理装置	39	補助翼	65	ヨー角速度	63
飛行計画	33	ホールディング	41	横滑り角	23

予測到着時刻  <b>【ら】</b>  ラダー 乱気流 ランディングギア  <b>【り】</b>  リアルタイム	シミュレーション 陸域 CPDLC 利用可能性 利用者設定経路 離陸用飛行場予報  <b>【れ】</b>  レーダー管制 レーダー誘導	115 54 57 27 47  60 39	<b>【ろ】</b>  ローカライザー ローカル・コントロール ローカルモデル ロール角 ロール角速度	56 34 103 62 63
--	--	---	---	-----------------------------

<b>【A】</b>  AAC ACARS ACAS ADS ADS-B ADS-B IN ADS-B OUT ADS-C AEIS AIP AIRB AMAN ANSP AOCC APC Arrival 1 Arrival 2 ARSR ARTS ASA ASA 方式 ASBUs ASDE ASEP ASM ASPA ASR ATAS ATC	ATCC ATFM ATFCM ATIS ATM ATMC ATS ATSA A-SMGCS  <b>【B】</b>  BVLOS 飛行  <b>【C】</b>  CARATS CAS CAT CAVS Cb CCO CDM CDO CDU CENPAC Climb CNS CNS / ATM システム構想 Corrupted CPDLC Cruise CTOT	51 35 8 49 8 8 14 131 175  191  10 64 45 135 44 183 37 183 58 27 107 8 8 109 27 107 174	<b>【D】</b>  DAC DARP DAS Departure Descent DMAN DME Down DTG  <b>【E】</b>  EDCT EFB EFIS EIBT ELDT EOBT ETA ETM E-AMAN  <b>【F】</b>  FAA FACE FAF FCA FCFS FDP FIM	183 27 182 107 107 175 6 109 141  36 58 58 173 173 175 148 192 148  5 10 42 182 148 7 136
---	--	---	--	---

FIR	15					RLC	25
FL	20			<b>[K]</b>		RNAV	25
flight centric operation	182	kt			20	RNAV 経路	25
FMS	39			<b>[L]</b>		RNP	59
FPA 降下	185					ROCD	72
FRA	182	lb			20	ROT	178
ft	20	LNAV			84	RPAS	191
		LRATFM			169	RTA	39
<b>[G]</b>				<b>[M]</b>		RVSM	31
GANP	10					<b>[S]</b>	
GBAS	57	M			20		
GCC	24	METAR			47	SATCOM	53
GIM	136	MSM			46	SBAS	57
GNSS	8			<b>[N]</b>		SDCPN	103
GNSS エージェントモデル						SESAR	9
	105	NDB			2	SID	28
GNSS モデル	105	NextGen			9	SIGMET	47
GPS 受信機モデル	105	NM			20	SMAN	175
GS	22	NOPAC			27	SORA	194
GSM	46	NOTAM			11	SPECI	47
				<b>[O]</b>		SSEP	132
<b>[H]</b>						SSR	60
HALE	192	Oceanic ATM			35	SSR モード S	60
HALE 無人固定翼機	199	OPD			184	STA	150
HF	8	OTR			28	STAR	28
HITL シミュレーション	115			<b>[P]</b>		SURF	133
						SWIM	177
<b>[I]</b>						<b>[T]</b>	
IAF	42	PACOTS			27		
IAS	64	PAFCFS 法			158	TACAN	6
ICAO	5	PAR			6	TAF-L	47
ICAP	11	PD			183	TAF-S	47
IF	42	PS			148	TAKE-OFF FCST	47
IFR	4	PSR			60	TAPS	11
ILS	6	PTOT			174	TAS	65
IM	136			<b>[Q]</b>		TBFM	148
IMCs	4	QNE			21	TCAS	128
INS	56	QNH			21	TEAM	11
In-trail 速度制御則	141			<b>[R]</b>		TEPS	11
IRS	56					Time-To-Go 速度制御則	142
ISA	68	RCAG			7	TMA	148
ITP	134	RDP			7	TOBT	174
		RECAT			31	TOD	183

TOPS	11				
Traffic Management					
Advisor	148				
TREND	47				
TSAS	148				
TSAT	174				
TTG 速度制御則	142				
TTOT	174				
		<b>【U】</b>			
UPR	27				
UTM	191				
		<b>【V】</b>			
		VAAC	48		
		VDL	54		
		VFR	4		
		VHF	8		
		VLL U-space	193		
		VLOS 飛行	191		
		VNAV	84		
		VOLMET	49		
		VOR	6		
		VSA	133		
				<b>【W】</b>	
				WAM	61
				WMO	47
				Work	109
				<b>【数字】</b>	
				1 次監視レーダー	60
				2 次監視レーダー	60
				4 次元軌道	171
				4DT	171

— 著者略歴 —

2002年 大阪府立大学工学部航空宇宙工学科卒業  
2004年 大阪府立大学大学院工学研究科修士課程修了（航空宇宙工学専攻）  
2004年 日本学術振興会特別研究員（DC1）  
2006年 欧州航空航法安全機構（ユーロコントロール）実験研究所博士研究員  
2007年 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了（航空宇宙工学専攻）  
博士（工学）  
2007年 電子航法研究所航空交通管理領域研究員  
2008年 オランダ航空宇宙研究所客員研究員  
2011年 電子航法研究所航空交通管理領域主任研究員  
2012年 東京大学大学院客員研究員  
2013年 NASA エイムズ研究所客員研究員  
2014年 電子航法研究所航空交通管理領域主幹研究員  
2016年 海上・港湾・航空技術研究所電子航法研究所航空交通管理領域主幹研究員  
2017年 東京大学非常勤講師  
2017年 日本学術会議連携会員・若手アカデミー会員  
2019年 南洋理工大学客員研究員  
2019年 東京大学大学院准教授  
2022年 東京大学大学院教授  
現在に至る

## 航空交通管理システム概論

Introduction to Air Traffic Management System

© Eri Itoh 2023

2023年3月10日 初版第1刷発行



検印省略

著者 伊藤 恵理  
発行者 株式会社 コロナ社  
代表者 牛来 真也  
印刷所 三美印刷株式会社  
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 978-4-339-02932-1 C3065 Printed in Japan

(西村)



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ません。落丁・乱丁はお取替えいたします。