

## 19. 航空管制シミュレータの製作

電子航法評価部 ※岡 恵 蔭山 康太 相澤 大輝 井無田 貴 福島 幸子 三垣 充彦

### 1. はじめに

近年、航空需要は伸びを続けており、今後もさらに増加することが予想されている。また、中部国際空港や神戸空港等、新たな空港の建設が予定されており、首都圏第三空港の整備等も検討されている。

我が国の空域は非常に混み合っており、さらなる便数の増加や新たな空港への離発着を行うには、安全性や効率が保たれるよう、事前に十分な調査を行う必要がある。

空域や飛行経路、管制処理容量等の検討を行う際には、管制官が参加し実際と同じように管制を行うリアルタイムシミュレーションが有効な手法の一つである。そこで航空交通が集中している空域における空域・経路設計等の評価を行うため、当所では平成9年に航空管制リアルタイムシミュレーション装置（以下、シミュレータ）を製作し、以後改良を行ってきた。

リアルタイムシミュレーションでは、管制官が実際の業務と同じように管制指示を音声で発出し、それを受けて擬似パイロット（以下、パイロット役）がシミュレータに操縦コマンドを入力する。シミュレーション結果の信頼性を高めるためには、管制官が通常の業務と同じ方法で管制を行えるような環境を整えることや、パイロット役が実際のパイロットと同じように管制指示に対して迅速かつ正確に航空機を動作さ

せる必要がある。

本稿では、これらの点を考慮して製作したシミュレータの構成機器および機能概要について紹介する。

### 2. 全体構成

シミュレータの全体構成を図1に示す。

ターミナル管制シミュレーションユニット（以下、ターミナルユニット）、エンルート管制シミュレーションユニット（以下、エンルートユニット）の各機器、および、飛行場管制卓（以下、飛行場卓）は、シミュレーションパラメータによって、使用・未使用を選択することができる。

#### 2.1 シナリオ処理装置およびコンソール

シミュレーションで使用するデータの管理は全てシナリオ処理装置（以下、サーバ）で行われる。シミュレーションに使用する主なデータを表1に示す。専用 GUI や変換プログラムを使って入力されたデータはサーバに保存され、シミュレーション実行時には、これらのデータに基づき模擬航空機の位置演算が毎秒行われる。

それぞれの卓に表示される出力データの管理もサーバで行われる。卓間通信は TCP/IP プロトコルを使用しており、サーバ・管制卓間には UDP を、それ以外には TCP を使用している。レーダ

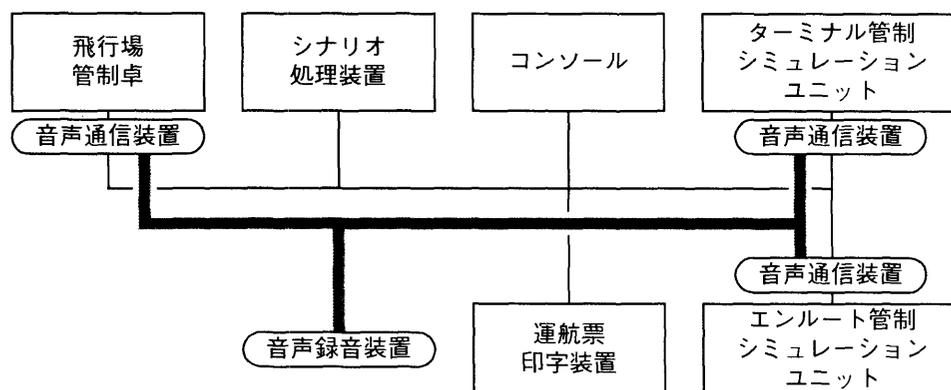


図1. シミュレータの全体構成

表1. シミュレーションに使用する主なデータ

名 称	内 容	最大登録数	
シナリオ	フライトプランの内容（コールサイン、型式、飛行計画経路等）、使用滑走路、SID（標準計器出発方式）・STAR（標準到着経路）名称、等	512	
空域環境データ	FIX	名称、緯度経度	2048
	SID	名称、構成FIX、通過高度、型式毎通過速度、等	128
	STAR	名称、構成FIX、通過高度、型式毎通過速度、等	128
	飛行場	名称、緯度経度、滑走路情報（1飛行場につき5本まで）、等	64
	航空機特性	名称、高度層毎上昇率・降下率・加減速率・旋回率、等	64
	セクター	名称、構成定点緯度経度、上限・下限高度、等	100
シミュレーションパラメータ	各卓の席割り当て情報、担当空港名、使用気象データ、シミュレーション開始時刻、等		

ディスプレイの表示は実運用に準じてターミナルでは4秒に1回、エンルートでは10秒に1回更新され、それ以外の卓の表示は毎秒更新される。

また、各卓からの入力も一括してサーバで処理される。表示制御入力はサーバへ通知後、出力データの整形が行われ、航空機操縦コマンド入力はサーバへ通知後、航空機位置演算に反映されるとともにログにも保存される。

その他にも航空機同士の異常接近の検出や、滑走路上での出発機同士の間隔（飛行場卓使用时）、条件付き操縦コマンド入力時の動作開始点の検出等、サーバでは様々な計算が行われる。

コンソールではシミュレーションの実行・停止、ログ再生等の進行制御が行われる。また、シミュレーション実行時に必要となるシミュレーションパラメータの設定、専用GUIによるデータの編集もコンソールで行われる。

## 2.2 ターミナルユニット

空港周辺の空域の管制を行うターミナル管制においては、到着機の大まかな順序・間隔付けを行うアプローチ席、滑走路に到着するための間隔を設定するフィーダー席、出発機の管制を行うディパーチャー席等、複数の席で役割を分担しており、それぞれの席では1台のレーダディスプレイ（DEDS: Data Entry and Display Subsystem）を監視しながら管制を行う。本シミュレータではこの1つの席を単位として考え、ほぼ実運用機と同じ機能を持つDEDSとそれに対応したパイロット卓、モニタ卓とで1対とし、図2に示すように全体で4対製作した。DEDSの外観を図3に示す。

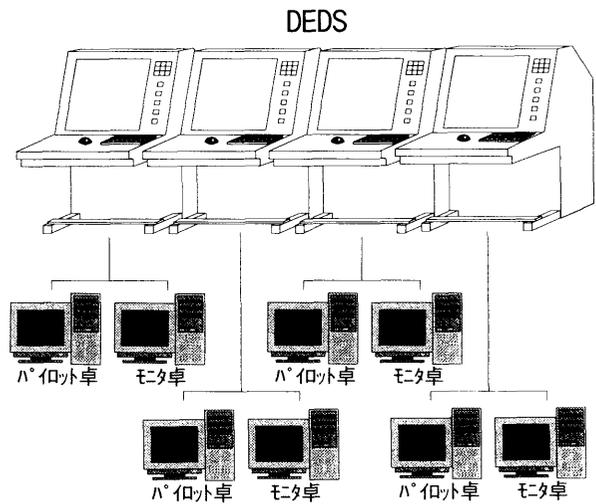


図2. ターミナルユニット



図3. DEDS 外観

## 2.3 エンルートユニット

エンルート管制においては空域をセクターとよばれる単位に分割して管制を行うため、この1つのセクターを1つの構成単位と考えた。そ

それぞれのセクターでは複数の管制官が1台のレーダディスプレイ（PVD: Plan View Display system）を監視し航空機に管制指示を与え、運航票の並べられた調整卓で将来の交通流の予測を行う。本シミュレータでは、PVD、調整卓と、パイロット卓、モニタ卓を1対の構成とし図4に示すように2対製作した。

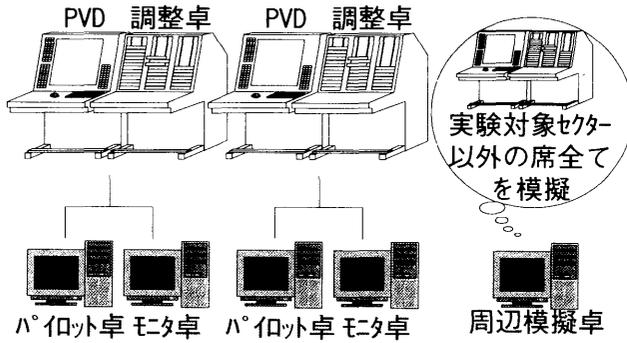


図4. エンルートユニット

エンルート管制では、通常隣接セクターやターミナルとの間で高度や経路の変更等様々な内容の調整が行われる。実験対象セクターから実験対象外セクターへ調整が行われた場合、対象機ではないのでパイロット卓からは入力できない。そこで、全航空機に対してパイロット卓と同等の入力を行える調整用の端末として、周辺模擬卓を製作した。PVD および調整卓の外観を図5に示す。

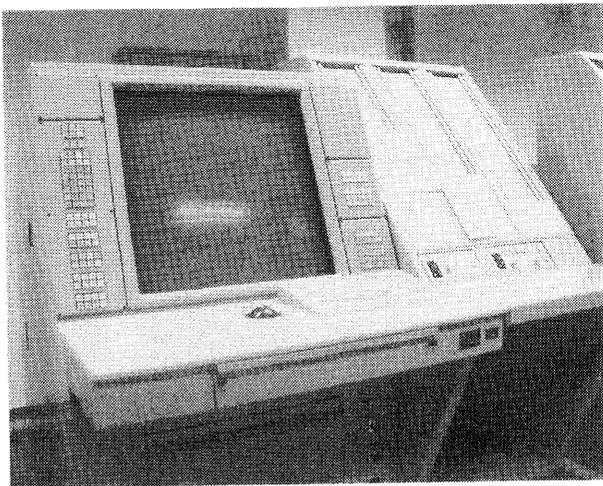


図5. PVD・調整卓の外観

## 2.4 パイロット卓およびモニタ卓

パイロット卓では以下の項目が入力できる。

- ・ 高度、上昇降下率
- ・ 速度、速度変化率
- ・ 針路、旋回率
- ・ 目的FIXへの直行
- ・ 待機旋回
- ・ 出発時刻調整
- ・ FIX通過時条件付き入力
- ・ FIX通過後条件付き入力
- ・ 操縦権移管
- ・ ILS進入経路、航空路、FIXへの会合指示
- ・ AUTO入力
- ・ ターゲット消去

高度、速度、針路、各々の変化率については、リストから表形式での入力が行え、また事前にデータを登録することで候補リストを表示して入力を簡素化することもできる。

パイロット卓のレーダ画面には管制卓と同様に、ターゲット、データブロック(コールサイン、高度、速度、型式)、マップ等が表示される。

管制指示が発出されるとパイロット卓では、内容確認のための復唱とともに管制指示の入力がなされる。交通量の多い時には1卓で十数機分の入力を行う場合もあり、負担が大きく誤入力の可能性も高くなる。そのため、復唱のみを行う実験要員とコマンド入力のみを行う実験要員との2名で対応できるように復唱用の端末であるモニタ卓を用意した。

## 2.5 飛行場卓

飛行場卓には、滑走路近辺のレーダ画面、滑走路画像、管制対象機リスト等が表示され、出発機に対しては、出発時刻調整、出発承認が、到着機に対しては、高度・速度調整、進入復行がそれぞれ入力できる。飛行場卓の使用により、滑走路近辺の航空機の間隔を詳細に考慮した評価を行うことが可能となる。

## 2.6 音声装置および運航票印字装置

音声通信装置を使用して、管制卓とパイロット卓間の通信および調整卓間の通信を行うことができる。通信に使用するヘッドセットは現在管制官が使用しているものと同等のものであり、

プレストークまたはフットペダルスイッチのON/OFFで通話の切り替えを行う。また、音声録音装置で各卓間の通話をそれぞれ別のチャンネルに録音することができる。

コンソールからシナリオを選択することにより、シミュレーションに必要な運航票を一括印字することが可能となる。印字可能な運航票のフォーマットは、ターミナル管制出発機用、到着機用、エンルート管制出発機用、通過機用の4種類で、印字色は黒と赤の2種類である。

### 3. 主なシミュレーション機能

航空管制においては役割を分担して管制を行うために管制権の移管が行われるが、本シミュレータでは航空機の飛行予定経路から次の管制予定席を自動検出する機能を持つ。管制権の移管元や移管先がシミュレータの中に存在しない場合は、シミュレータによって自動的に管制権移管の相手役が補われる。

また、本シミュレータは時刻に対応した各航空機の緯度経度、高度、速度等の運行ログデータや、同様に時刻に対応した対象航空機および入力内容のコマンドログデータを記録するログ管理機能を持ち、航跡表示やコンフリクト解析等の統計解析処理を行うことができる。

さらに、航空機の制御機能については図6に示すように①自動②半自動③手動の3つのモードを設けた。航空機は、まず高度・速度・針路ともに自動制御される自動モードで発生する。自動モードにおいては各航空機毎にシナリオ・空域環境データから飛行すべきFIX列とその通過高度・速度が求まるので、それらを満足するよう上昇降下開始点、加減速開始点を逆算する。自動モードで高度や速度等の針路指示以外の操

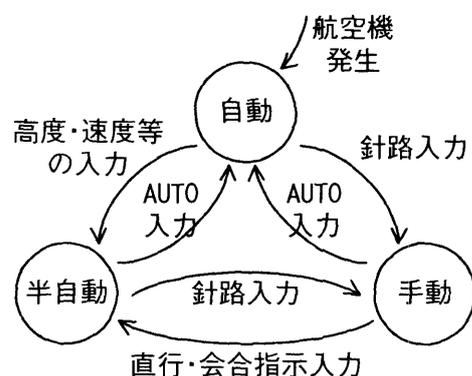


図6. モード遷移図

縦コマンドが入力されると半自動モードとなる。半自動モードにおいては、航空機は飛行予定経路上を飛行し通過高度・速度は入力値が優先される。自動モード、半自動モードに関わらず針路指示が入力されると手動モードとなる。手動モードにおいては次の目的FIXが存在しなくなるため、高度・速度等も含め全ての要素が手動となる。手動モードで、直行指示や会合指示等の元の飛行経路へ戻る指示が入力されると半自動モードとなる。半自動モード、手動モードからAUTOが入力されると、自動モードとなる。

### 4. まとめ

以下のような特徴を持つ航空管制リアルタイムシミュレーション装置の製作を行った。

1. 実運用機とほぼ同等の機能を有する管制卓
2. ターミナル管制卓4席、エンルート管制卓2席、飛行場管制卓3席の構成で、広範囲な空域のシミュレーションが可能
3. 操縦コマンド入力の負荷の軽減を図ったパイロット卓インターフェース
4. 管制指示全てに対応可能な操縦コマンド群

当所では、このシミュレータを使用したターミナルシミュレーション実験をすでに実施しており、その際に管制官からは概ね実運用に近い状態で管制が可能との感想を得た。

しかし、パイロット卓の入力ミスにより、交通流に影響を与えたケースや、詳細な調査を行うためには管制卓数が不足したケースも発生した。これらの問題点をふまえ、シミュレータを拡張・機能向上し、現在データの整備を行っている。これにより、今後は複数のターミナル空域のシミュレーションを行う等、さらに広範囲な実験を行うことや、パイロット卓の入力負荷の軽減、データベースの拡張によるより詳細なシミュレーションの実施が可能となる。改良後のシミュレータについては今後機会を改めて報告する予定である。

### 謝辞

シミュレータの製作にあたりご協力頂きました、東京航空交通管制部の関係各位、また実験にご協力頂きました東京航空局、大阪航空局の関係各位に深く感謝いたします。