

## 20. 国際線の到着機の航空交通流管理手法について

電子航法評価部 ※福田 豊 岡 恵 福島 幸子 井無田 貴 塩見 格一

### 1. はじめに

現在、東アジアで大規模空港の整備が進められており、将来はアジア太平洋地区の航空交通量の増加が予測されている。

航空交通流管理は、航空交通状況の予測を行い、特定の航空路や空港への航空機の一時的な過度の集中を防止し、円滑な航空交通流を形成する。我が国では、航空交通流管理センターが国内空港からの出発機の出発待機等による航空交通流制御を実施している。

新東京国際空港を利用する航空機の大部分は国際線である。そのため、航空交通流管理の対象の他の国内空港と同様な航空交通流管理手法が適応できない。増加が予想される国際航空交通量に対応し、航空機の安全で効率的な運航を図るためには、国際線の到着機を対象とした航空交通流管理手法の開発が必要である。

本報告は、空港を対象とする航空交通流管理の支援機能を検討するために製作した通過計画調整シミュレータについて述べる。初めに、新東京国際空港を対象として、到着機の調整方法をまとめる。次に、将来の国際線の到着機に関する航空交通流管理について検討する。最後に、本シミュレータの機能を紹介し、簡単なシミュレーション例を示す。



図1 新東京国際空港への到着交通流の例

### 2. 到着機の調整方法の現状

#### 2.1 国際線の到着機の調整方法

図1に新東京国際空港の到着機の航空交通流を示す。北米からの洋上経路、欧州からのシベリア経路、韓国、東アジアからの経路等が合流している。

国際線は、利用者の利便性を考慮して、飛行路線毎に運航スケジュールがほぼ一致している。また、飛行時間が長時間であるため、ジェット気流等の気象条件により、到着時刻が運航スケジュールから変動する。そのため、到着機が目的空港に一時的に集中する場合がある。

空港の1本の滑走路は複数の航空機が同時に利用することができない。航空機が集中する場合には、航空機の滑走路使用時刻の調整が必要となる。

新東京国際空港における到着機の滑走路使用時刻の調整の現状について、簡単にまとめる。

空港周辺のターミナル空域に入域した先着順に基本的な到着順位が決められる。予定到着時刻が他の航空機と競合する場合は、到着順位の後ろの航空機がターミナル空域内のレーダ誘導、速度調整、および、待機旋回により時間調整をする。

ターミナル空域内のみでの時間調整が困難となることが予測される場合は、隣接するエンルート空域を担当する航空交通管制部に到着業務量調整を依頼する。到着業務量調整の方法としては、ターミナル空域に入域する到着機に対して、先行機と後続機の縦間隔を大きくする方法、速度を減速させる方法等がある。

#### 2.2 空港を対象とする航空交通流管理

現在実施されている国内空港を対象とする航空交通流管理手法をまとめる。

航空機の予定到着時刻および先行機との管制間隔を考慮した到着時刻に基づいて待機時間を求める。待機時間が設定値以上の場合、航空交

通流制御を実施する。航空交通流制御は、主に出発待機が利用される。

新東京国際空港は、その到着機の大部分が国外空港からの出発である。そのため、他の国内空港と同様な航空交通流管理手法が適応できない。現在、新東京国際空港を対象とする到着業務量調整以外の航空交通流管理は実施されていない。

### 3. 将来の到着機の航空交通流管理モデル

#### 3.1 航空交通流管理モデルの概要

国際民間航空機関が推進している新CNS/ATM構想では、航空機の運航者が予定する出発・到着時刻で希望する飛行経路を、規定の安全レベルを維持しつつ、最少の制限で運航することを可能とするシームレスな全世界的航空交通管理システムの実施を推進するとある<sup>(1)</sup>。また、運航者側と航空交通管理側が協調して意思決定を行うCDM (Collaborative Decision Making) を実現する運航シナリオが検討されている<sup>(2)</sup>。

データ通信による運航者側と航空交通管理側の密接な情報交換が可能となる環境下での空港を対象とする航空交通流管理モデルを図2に示す。

##### (1) 滑走路使用予測

出発機および到着機の運航スケジュール、飛行計画情報、位置情報に基づいて、航空機毎に予測滑走路使用時刻を求める。予測の精度を向上させるためには、早期の段階から正確な情報を入手することが重要である。そのためには、運航者側および隣接する飛行情報区 (FIR: Flight Information Region) を担当する管制機関との情報交換が重要である。現在は、航空管制側が飛行計画情報処理システム (FDP: Flight Data Processing System) により、予測到着時刻を計算している。将来的に運航者側の希望を含めるためには、運航者側より希望到着時刻を入手する方法も考えられる。

##### (2) 滑走路使用計画作成

滑走路使用予測に基づいて、滑走路使用時間間隔等の制約条件を満足するように空港の滑走路の使用計画を作成する。この時、航空機の滑走路割当方法、優先権の設定方法、調整時間の割当方法等による問題解決ルールを利用する。また、

各航空機には調整時間を計算する。ここで、調整時間とは、予測滑走路使用時刻と制約条件を満足する計画滑走路使用時刻の時間差とする。

##### (3) 計画の実施および修正

滑走路使用計画および航空機毎の調整時間を運航者側と航空管制側に提供し、可能であれば、早期の段階から航空機の時間調整を実施する。

現在は国際的な航空交通流管理が実現していない。そのため、航空機の時間調整は、航空機がわが国のFIRに入域してからの実施となる。将来的に国際的な航空交通流管理の環境が構築されることにより、出発待機等の出発前およびFIR入域前の時間調整の実施が可能となる。

航空管制では、短期的な問題の解決が中長期的な問題の解決よりも優先する。そのため、空港の滑走路使用計画等の中長期的な問題解決の計画が実現できなくなる場合がある。そのような場合は、計画の修正が必要となる。

##### (4) 運用後の評価・検討

より実現しやすい計画の作成のために、運用後に評価・検討を実施する。運航実績データに基づいて、計画が実現できない要因等を検討し、計画作成方法の改善を行う。また、運航スケジュール段階での調整の必要性を検討する。

#### 3.2 将来の航空交通環境の変化への対応

新東京国際空港では、新滑走路の整備が進められている。新滑走路では、その長さの制約から、利用できる航空機の型式が制限される。その

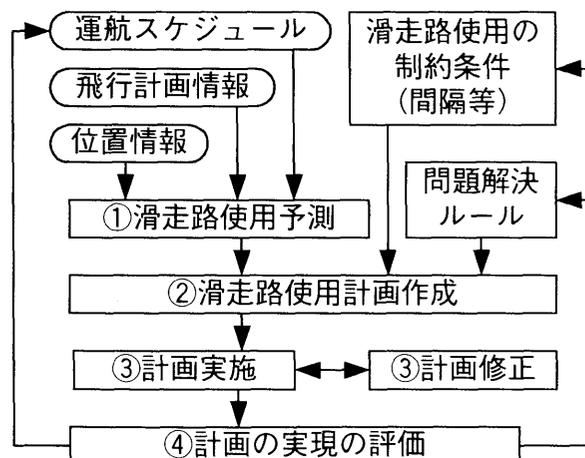


図2 将来の航空交通流管理モデル

ため、型式を考慮した計画が必要となる。

主要な洋上空域では、航空機間の管制間隔において、垂直間隔短縮（RVSM: Reduced Vertical Separation Minimum）が実施され、水平間隔の短縮が段階的に進められている。現在は、洋上空域の大きな管制間隔による交通容量の制約により、洋上空域から入域する航空交通量の集中が平滑化されている。将来は、洋上空域の交通容量の増加により、洋上空域から航空機が集中して入域することが考えられる。そのため、より高密度の交通量への対応が必要となる。

### 3.2 航空交通流管理の利点

ターミナル空域内での待機旋回は、管制官の作業量を増加させる。また、低高度での待機旋回は燃料消費の効率上に問題がある。そのため、早期に空港への航空機の一時的な集中を検出することにより、より効率的な時間調整方法を実現できる。

運航者側では、航空機の到着時刻は、運航スケジュールの管理および空港の地上作業の管理の点で、重要な情報である。現在は、時間調整を含まない到着機の予測到着時刻は、計算が可能であるが、他の航空機との関係で時間調整する場合の予測は困難である。滑走路使用計画を作成することにより、運航者側がある程度正確な到着時刻情報を入手することができる。また、計画段階と運用後の実績データを集計することにより、目的空港の予測調整時間が確率的に得られれば、航空機の燃料搭載量の検討に利用できる。

到着機は、接続便等の関係により、その定時性の重要度が異なる。そのため、滑走路使用計画の到着機の順序付けに運航者側の希望を含めることにより、運航の効率化に貢献することができる。

## 4. 通過計画調整シミュレータ

### 4.1 基本機能

滑走路使用計画の作成を支援する機能を検討するために、通過計画調整シミュレータを製作した。以下に基本的な機能を示す。

#### (1) 予測機能

航空機の飛行経路を図3のようなグラフ構造

として、点とそれを結ぶ枝で構成する。航空機の飛行計画は、通過高度等の属性を持つ点の列としてシナリオ定義ファイルに定義する。点の通過時刻は、飛行計画データの最初の点の通過時刻を基準として、枝の長さ（航空機型式毎の平均飛行速度）により計算する。予測誤差への対応方法を検討するため、任意時刻での飛行計画の変更をシナリオ定義ファイルで定義することができる。

#### (2) 制約条件による問題検出機能

一部の点を間隔設定等の制約条件を持つ検査点として定義する。制約条件は、滑走路専有時間および管制間隔を考慮した先行機と後続機の航空機間隔等を時間間隔として定義する。今回は、空港を検査点として定義する例を示すが、空港以外の点を定義することもできる。また、複数の検査点を同時に定義することもできる。

気象状況の変化等に対応する制約条件の動的な変更を模擬するため、任意時刻での制約条件の変更をシナリオ定義ファイルで定義することができる。

シナリオ定義ファイルで定義された時刻で、定義された時間帯に検査点を通過する航空機について、制約条件に対する定期的な監視を行う。また、飛行計画および制約条件の変更に対応する非定期的な監視機能を持つ。

#### (3) 問題解決機能

上記で検出された問題を解決するために、滑走路の割当、航空機の優先権の設定、時間調整の実現による問題解決を行い、滑走路使用計画を作成する。

滑走路の割当は、航空機型式別、出発機・到着

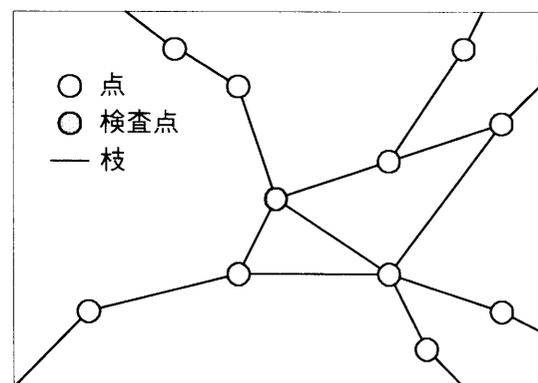


図3 飛行経路のグラフ構造

制御・統計情報ウインドウ
コンソールウインドウ
滑走路時刻ウインドウ

The screenshot displays a flight simulation interface with three main sections:

- Control/Statistics Information Window (制御・統計情報ウインドウ):** Located at the top left, it shows simulation parameters like '時刻' (Time) and '飛行計画' (Flight Plan) with various status indicators.
- Console Window (コンソールウインドウ):** Located at the top center, it displays a log of system messages and warnings, such as 'Warning A/C(ANA9022 RJAA2 SEP)' and 'Warning A/C(CAL410 RJAA2 SEP)'.
- Runway Time Window (滑走路時刻ウインドウ):** Located at the top right, it shows a table of runway usage times for various aircraft, including flight numbers like 'ANA337' and 'ANA338'.

Below these windows are two adjustment list windows and a performance display window:

- Adjustment List Window (RJA1) (調整リストウインドウ (RJA1)):** A table listing aircraft (FIXID, C/S), departure (DEPT), and arrival (ARR) times for RJA1.
- Adjustment List Window (RJA2) (調整リストウインドウ (RJA2)):** A table listing aircraft (FIXID, C/S), departure (DEPT), and arrival (ARR) times for RJA2.
- Performance Display Window (機数表示ウインドウ):** A table showing performance metrics for RJA1 and RJA2, including '時間' (Time) and '合計' (Total) values.

図4 通過計画調整シミュレータの画面表示例

機別が設定できる。航空機の優先権は、検査点の通過時刻順，出発時刻順等が設定できる。

既に計画時刻が確定された航空機を考慮して，優先権の高い航空機から，制約条件を満足するように計画時刻を求める。

航空機の時間調整の方法としては，出発前航空機については出発待機，飛行中の航空機に対しては速度調整および待機旋回を想定した任意時間の遅延とする。速度調整では，航空機型式毎に最低速度と最高速度間で飛行することを想定する時間調整範囲内で計画時刻を求める。その範囲で問題が解決できない場合は，待機旋回を

想定し，時間遅れ方向に任意に計画時刻を求める。また，空港以外の検査点では，高度変更が利用できる。計画時刻が確定した際に，飛行計画を構成する点の通過時刻を再計算する。

上記の自動的な問題解決方法では実現できないより複雑な計画を作成するために，マニュアル操作で計画する機能を持つ。これは，自動的に作成された計画に対して，操作者が航空機毎に滑走路の割当，滑走路使用順序等を修正することにより実現する。これらの機能を組み合わせることにより，より柔軟な計画を作成することができる。

## 4.2 画面表示情報

図4に画面表示例を示す。シミュレーション時刻0時に0時から1時まで時間帯の滑走路使用計画を作成する例である。ここで、時刻は協定世界時 (UTC: Coordinated Universal Time)である。検査点として将来の新東京国際空港を想定し、2本の運用滑走路RJAA1とRJAA2を定義した。RJAA1の利用を中型ジェット機B767級以下の航空機、RJAA2をそれ以外の航空機とする。

制御・統計情報ウィンドウは、シミュレーション時刻を制御するボタン、航空機の調整時間等の統計量の表示で構成される。コンソールウィンドウは、問題解決の実施を示すメッセージを表示する。滑走路時刻ウィンドウは、時間帯毎の計画前と計画後の航空機の滑走路使用時刻を表形式で表示する。調整リストウィンドウでは、滑走路毎に別ウィンドウとして、航空機の情報を表示する。機数表示ウィンドウは、幅広い時間帯での航空機数を表形式で表示する。

画面表示例にはないが、航空機毎の飛行計画情報ウィンドウがあり、その情報を修正することにより、マニュアル操作による修正を実施する。

## 5. シミュレーション

### 5.1 シミュレーション方法

新東京国際空港を対象とするシミュレーション例を示す。シナリオは、平成12年8月のFDPの統計データを参考として作成した。統計データに記録されている航空機の飛行経路および飛行計画の最初の点の通過時刻を基準として、シナリオを作成した。ここで、飛行計画の最初の点は、国外空港からの出発機はFIR境界付近の点、国内空港からの出発機は空港である。

滑走路使用計画の計画前の新東京国際空港の到着機と出発機の単位時間毎の航空機数を図5に示す。到着機を白色、出発機を灰色で示す。ここで、時刻は日本標準時 (JST: Japan Standard Time)とする。1日分の合計機数は364機 (出発機:186機, 到着機:178機)である。

図6に計画前の先行機と後続機の滑走路使用时间間隔の累積度数分布を示す。航空機間隔の21%が2分未満である。

新東京国際空港の使用滑走路は1本とする。制約条件としては、滑走路使用時刻の航空機間隔を2分間隔とする。

航空機の滑走路を使用するための優先順位付けは、予測滑走路使用時刻の先着順とする。問題解決方法としては、下記の2種類を設定する。

- (1)方法1:時間遅れのみ
  - (2)方法2:2分間以内の時間進みおよび時間遅れ
- ここで、出発機と到着機は共通に取り扱うこととする。

### 5.2 シミュレーション結果

表1に調整時間の統計値の比較を示す。ここで、調整時間を計画前の時刻と計画後の時刻の差の絶対値とする。方法2は方法1に比較して、

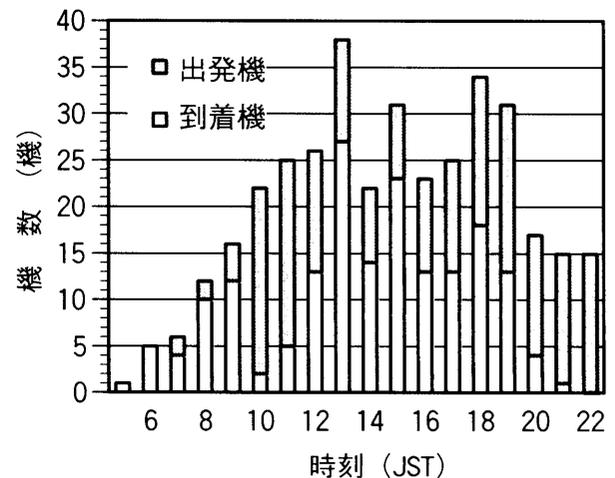


図5 計画前の単位時間毎の機数分布

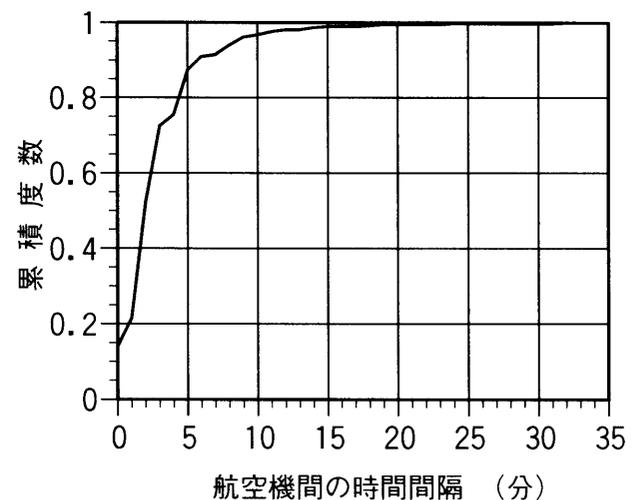


図6 航空機間の時間間隔の累積度数分布

表1 調整方法の比較

	方法1	方法2
合計調整時間	31時間47分	26時間50分
平均調整時間	5分14秒	4分25秒
標準偏差	5分24秒	4分59秒
最大調整時間	18分	17分
調整機数	275機	239機

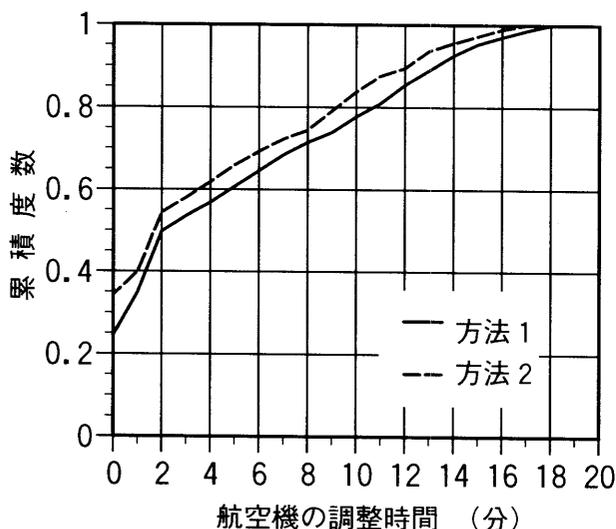


図7 調整時間の累積度数分布

合計調整時間は16%、調整機数は13%低減することができる。

航空機の調整時間の累積度数分布を図7に示す。方法1を実線、方法2を破線で示す。方法2は方法1に比較して、調整時間の分布が全体的に1分程度小さい。

方法2が方法1と比較して、調整時間が小さいのは、滑走路使用のための待ち行列の先頭機の滑走路使用時刻を早くすることにより、待ち行列中の後続機の調整時間を減少することができたためである。航空機が集中する時間において、先頭の航空機を早くすることは、後続機の待機時間の低減には有効である。

## 6. むすび

空港を対象とする国際線の航空交通流管理手法について検討し、その支援機能を検討するために製作した通過計画調整シミュレータの概要を紹介した。

空港の滑走路使用時刻の計画を作成し、その計画に基づいて、早期の段階から航空機の時間調整を実施する方法を検討した。通過計画シミュレータは、先行機と後続機の間隔等の制約条件、および、問題解決方法を定義することにより、滑走路使用計画を作成する機能を持つ。

航空機の時間調整方法を比較する簡単なシミュレーション例を示した。航空機が2分間までの時間進みを可能とする場合は、時間遅れ方向のみの場合と比較して、合計調整時間を16%低減することができた。

今後は、本シミュレータの機能向上として、実際の運用環境に対応するために、より細かい条件設定、および、より柔軟な解決方法等を実現したい。また、将来の航空交通環境を想定し、航空交通量を増加させ、複数の滑走路を同時に運用する環境下のシミュレーションを実施したい。

また、将来的な航空交通流管理モデルの滑走路使用計画に関して、

- (1) 航空機の優先権の設定方法
- (2) 運航者側の希望の反映方法
- (3) 計画の作成および修正の実施時期について、検討を進めたい。

## 謝辞

本研究において、貴重なご意見を頂きました航空会社および航空管制官の関係各位に感謝致します。

## 参考文献

- (1) ICAO: Global Air Navigation Plan for CNS/ATM Systems, 2000
- (2) RTCA: Operational Concepts and Data Elements Required to Improve Air Traffic Management (ATM) - Aeronautical Operational Control (AOC) Ground-Ground Information Exchange to Facilitate Collaborative Decision Making, 1997.10