

5. 時間管理手法の評価システムの開発

航空交通管理領域 ※福田 豊、岡 恵、山本 哲士

1. はじめに

航空機は、飛行計画経路に基づいて、航空管制官の管制指示に従いながら飛行している。航空機間には、最低安全間隔（管制間隔）が定められており、航空管制官は、管制間隔を確保するように航空機を誘導している。

2機の航空機が空間（緯度、経度、高度）と時間で一致した場合に衝突が発生する。航空機の衝突を防止するためには、2機の航空機に空間と時間の4次元のいずれかで間隔を確保すればよい。将来時間に対する制約のない航空機の位置を正確に予測することは難しい。そのため、現状では空間内に飛行経路を定義し、航空機が経路上またはその周辺を飛行することで、空間を限定し、管制間隔を確保する業務を単純化している。

航空機の円滑な航空交通流を形成するため、交通需要および空間分割を考慮した経路が定義されている。主要な都市間には、RNAVによる効率的な航空路が定義されている。航空路は、その交差位置や交差点の数が考慮され、2次的に定義される。また、空港周辺のターミナル空域では、出発機と到着機を空間的に分離するため、高度を指定した3次的な経路が定義されている。このような空間を区分した経路設定は、定常的に航空交通流が競合している場合、両者の効率性についての中間利益的な定義になっている。そのため、他の航空交通流の関連機がない場合において、必ずしも効率的でない運航となることがある。

今後の航空交通量の増加に対応しながら、航空機の安全で効率的な運航を実現するためには、これまでの空間的な間隔確保に加えて、時間を考慮したより動的な間隔確保が有効であると考えられている。そのために、航空機の4次的な位置を把握し管理するトラジェクトリマネージメントが将来の航空交通管理における重要な要素として提案されている。

トラジェクトリマネージメントでは、航空機が飛行する全区間において、他の航空機との間隔を確保することを目指している。電子航法研究所は、トラジェクトリマネージメントを目指した時間

管理手法として、滑走路やフィックス等の航空機が集中する地点において、航空機の通過時間を把握して管理する手法を検討している。本報告では、時間管理手法の概要、評価システムの機能を紹介する。

2. 評価システムの機能

2.1 概要

時間管理手法では、管理対象の地点を航空機が通過する時刻を予測し、関連機との時間間隔が確保できるかを検査する。そのままでは間隔が確保できない場合には、間隔確保のために要求される時刻を算出し、それに合わせるように、航空機を効率的に制御することを目指している。

時間管理が有効と考えられる状況は、全航空機が一点に集中する滑走路についてである。着陸時は多方面からの到着機が目的空港に集中するので、出発時と比較して時間管理がより有効となる。現在、混雑空港では、ターミナル空域内での時間調整のための迂回による飛行距離の増加や低高度の水平飛行による燃料消費量の増加が生じている^{[1],[2]}。時間管理を実現することにより、低高度での迂回の低減等の航空機の効率的な運航、航空管制官とパイロットのワークロード低減が期待できる。

時間管理は、新たな手法であり、航空管制官等への体系的な支援が必要である。システムの構築のためには、管理に必要な情報の収集、情報処理、情報の提供、制御ルール等の検討が必要となる。これらに関係者が理解し、受容することにより、新たな手法の運用ができる。そこで、時間管理手法の開発と検証、また、関係者の理解を得るための共通な検討の基盤として、評価システムを開発した。今回開発した評価システムは、時間管理が最も有効と考えられる到着交通流の管理に焦点を当て、その機能を検討した。

時間管理手法に必要な主な機能は、管理対象地点を通過する時刻の予測、地点の最低通過間隔等の通過条件を満足させる通過時刻および滞留時間^[3]の算出、航空機の滞留時間を効率的に実

現する制御方法の策定である。以下に評価システムの各機能を述べる。

2.2 通過予測

初めに、滑走路の手前の最終進入フィックス等の時間管理の対象とする地点を定義する。これを管理フィックスとする。そこを通過する予定の航空機を抽出し、各航空機が管理フィックスを通過する時刻を予測する。この時刻を予定通過時刻とする。予定通過時刻は、関連する航空機がない場合の飛行を想定している。実際の管制運用では、関連機がない場合は、レーダ誘導によるショートカットが使用されることがあるが、それをシステムに定義することは煩雑となるため、ここでは飛行計画経路を基準とする。

通過時刻の予測のために、航空機のトラジェクトリモデルを想定する。水平面では、飛行計画の経路に別ファイルで定義した出発経路と到着経路を接続して、ウェイポイントで繋がれた経路を形成する。航空機はこの経路を飛行することを想定する。経路を外れて飛行していると判断される場合は、次のウェイポイントに向かうとして予測する。

高度面では、区間を上昇、巡航、降下に分けて考える。上昇区間では、速度と高度変化率からウェイポイントの高度と通過時刻を予測する。同様に、上昇から水平飛行に移行する地点を推定する。巡航区間では、飛行計画の高度と速度で飛行するとしてウェイポイントの通過高度と通過時刻を予測する。降下区間では、降下勾配を考慮して降下開始地点を推定する。また、速度と高度変化率から各ウェイポイントの高度と通過時刻を予測する。各区間の速度と高度変化率は、航空機性能情報で高度毎に定義した数値を利用する。この数値は、EUROCONTROLのBADA (the Base of Aircraft DAta) を使用する¹⁴⁾。また、高層風の影響を考慮して、予測を行う。

航空機の離陸前は、航空機が離陸予定時刻に出発空港を離陸することを想定して予測する。飛行中は、現在位置を基点として予測する。

2.3 滞留時間の算出

管理フィックスに航空機の通過条件を定義す

る。これは先行機と後続機の型式等を考慮した時間間隔や距離間隔等である。航空機の管理フィックスの予定通過時刻の先着順に条件を検査する。航空機が条件を満足しない場合は、条件を満足させるまで、通過時刻を遅くする。条件を満足する通過時刻を計画通過時刻とする。また、予定通過時刻と計画通過時刻の差である滞留時間を算出する。

2.4 滞留計画の策定

計画通過時刻を実現するための航空機の滞留を効率的に実現させる滞留計画を策定する。ターミナル空域の航空管制官のワークロードを低減するため、および、航空機の燃料消費量を低減するためには、滞留時間を消費する区間は、高高度を飛行中が望ましい。しかし、この区間での滞留は、管理フィックスを通過するまでの時間が長いため、予測誤差が大きくなる。そこで、制御の実施においては、実現できる滞留時間を管理フィックスからの区間毎に定義して、それを越えた時間は、管理フィックスから遡る形で実現することとする。

3. 評価システムの入出力

3.1 動作モード

評価システムの動作モードは航跡データを再生処理するオフラインモード、および、航空管制シミュレータと接続するオンラインモードがある。オフラインモードはレーダで収集した航空機の航跡データや管制シミュレーション実験の結果のデータを使用し、現実や仮想のシナリオでの検討を目的とする。また、管制シミュレータと接続するオンラインモードは、滞留時間を消費するための航空機の制御方法を試行錯誤的に検討することを目的とする。

データを処理するタイミングであるシナリオ再生時間進行は、実時間から20倍速まで変更できる。また、データが定義されている時間範囲内で開始時刻を任意に修正できる。さらに、動作の確認のためコマ送りのようなステップ実行もできる。これらの高速実行と一時停止等の再生時間進行処理機能により、効率的に動作を確認できる。

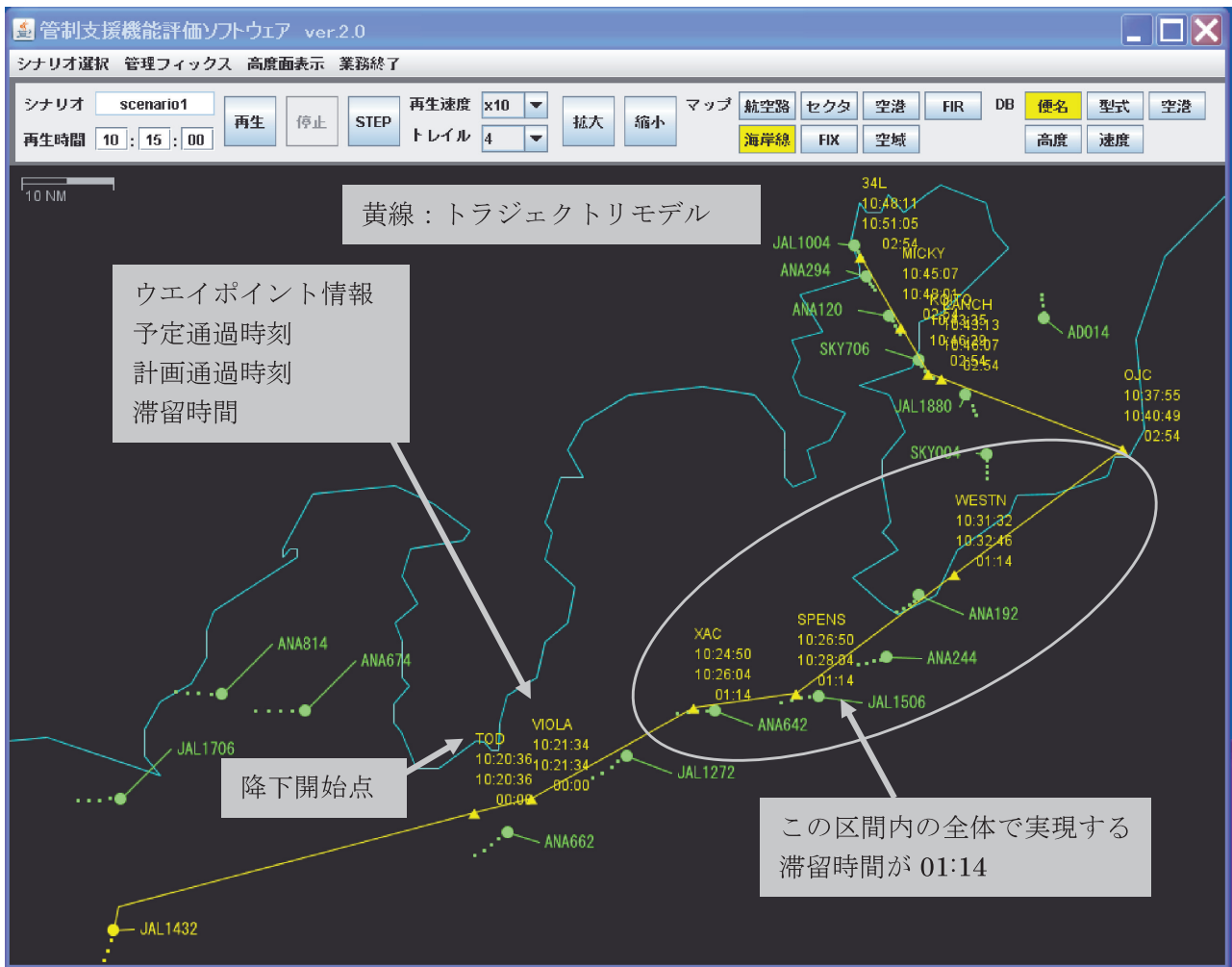


図1 水平面表示画面

3.2 入力データ

評価システムは以下のデータを入力して処理する。

- ・ 航跡情報
- ・ 飛行計画情報
- ・ 航空機性能情報
- ・ 高層風情報
- ・ 地図情報
- ・ 管理フィックス情報
- ・ 出発／到着経路情報

航跡情報は、航空機の定期的な時間間隔での緯度、経度、高度の情報であり、飛行計画情報は飛行経路等の情報である。航空機性能情報には、航空機の型式毎の上昇・巡航・降下時の速度、高度変化率等を定義する。高層風情報は、3次元の格子点での、風向と風速である。管理フィックス情報には、最低通過間隔等の通過条件、滞留時間の消費のために待機するフィックス等を定義する。

出発／到着経路情報は、空港周辺の経路である。

3.3 表示方法

評価システムの画面表示を以下に示す。

- ・ 水平面表示
- ・ 高度面表示
- ・ 管理フィックス時刻表示
- ・ 滞留時間表示

図1に水平面表示画面の表示例を示す。シナリオ進行に従った航空機の位置を地図上に表示する。予定通過時間を算出するトラジェクトリ、および、滞留計画を実現するトラジェクトリを表示する。図2に高度面表示画面を示す。指定した水平範囲の航空機を垂直の投影面に投影して表示する。これは、予測のためのトラジェクトリの高度の確認等に使用する。

図3に予定通過時刻表示画面を示す。横軸はシナリオ再生時刻として、シナリオ進行に伴って予定通過時刻の変化がわかる表示とした。航空機1

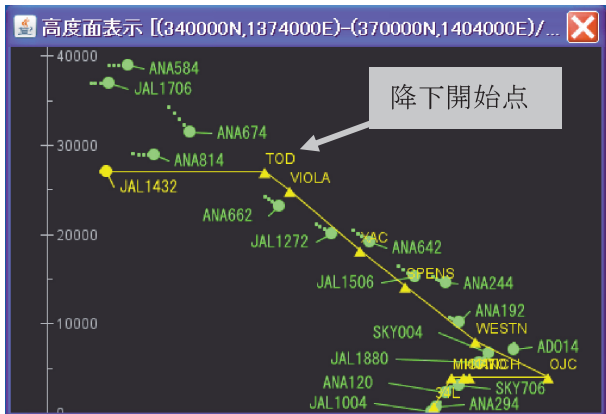


図2 高度面表示画面

機の予定通過時刻を1本の横線で示す。

図4の滞留時間表示画面も同様に横軸をシナリオ再生時刻として、滞留時間の時間変化を示す。航空機が集中している時間帯では、この値が大きくなる。

3.4 出力データ

評価システムは、その動作の解析のため以下のデータを出力する。

- ・トラジェクトリ情報
- ・管理フィックス情報

トラジェクトリ情報は、航空機が通過するウェイポイントとその予定通過時刻、計画通過時刻、滞留時間等の情報である。トラジェクトリが更新される毎に出力され、評価システムが算出したトラジェクトリの変化を調べることができる。

管理フィックス情報は、管理フィックスを通過する航空機の各時刻情報である。航空機が管理フィックスを実際に通過した時刻情報も含む。予定通過時刻と実績通過時刻を比較することにより、算出した時刻情報の誤差解析ができる。

4. まとめ

時間管理手法を検討するために評価システムを開発した。評価システムは到着交通流を対象として、最終進入フィックス等の管理フィックスを通過する航空機の予定通過時刻、滞留時間等を算出し、表示する。これまでの空域の解析では、手計算で実施していた滞留時間を自動的に計算できる。また、4次元情報を認識し易く表示する方法として、フィックスの予定通過時刻等をシナリオ再生時刻に対するグラフを実現した。

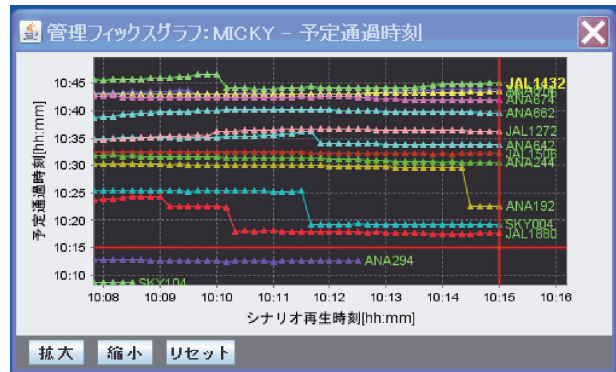


図3 予定通過時刻表示画面

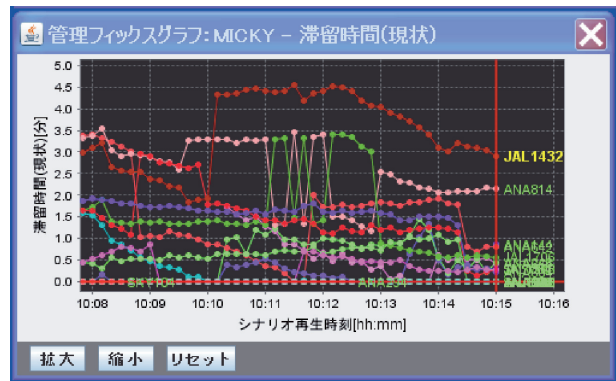


図4 滞留時間表示画面

今後、本評価システムを使用し、時間管理手法の詳細を検討する予定である。また、より正確な予測時刻を求めめるため航空機のトラジェクトリモデルを構築したい。

参考文献

- [1] 福田 豊他, “運航実績データによる飛行距離の測定手法の検討”, 第7回電子航法研究所研究発表会講演概要, pp.15-18, June 2007.
- [2] 山本哲士他, “到着機の運行効率と降下プロファイルに関する一考察”, 第7回電子航法研究所研究発表会講演概要, pp.19-22, June 2007.
- [3] 岡 恵他, “航空交通量と空域設計要件との関係について”, 第7回電子航法研究所研究発表会講演概要, pp.23-28, June 2007.
- [4] EUROCONTROL EXPERIMENTAL CENTER, “User Manual for the Base of Aircraft Data (BADA) Revision 3.6”, July 2004.