

20. 空港面交通シミュレーションによる出発時刻調整手法の検討

航空交通管理領域 ※住谷 美登里、青山 久枝、山田 泉、マーク ブラウン、森 亮太

1. はじめに

航空交通量の増大に伴い、混雑空港の空港面では、出発便の地上走行による離陸待ち等の滞留が生じている。空港面の混雑による地上運航の滞留は、地上運航時間や、それに伴う消費燃料の増加につながり、航空機運航の不確定要素となる。効率的な航空機の運航のために、このような不確定要素を軽減することが望まれている。

電子航法研究所では、航空局の長期ビジョン（CARATS：Collaborative Actions for Renovation of Air Traffic Systems）^[1]に計画されている将来の軌道ベース運用（TBO：Trajectory Based Operation）を可能にするための「空港面運用の効率化」を目指して、羽田空港を対象に、空港面の地上走行による滞留状況を把握し、出発時刻調整手法をシミュレーションにより検討してきた。

本稿では、当所が開発した空港面交通シミュレータを用いて行った、滑走路の離着陸数に着目したスポット出発時刻調整のシミュレーション検証結果について報告する。

2. 羽田空港の空港面交通状況

羽田空港は、1日1,000便以上離発着する日本で最も繁忙な空港である。

羽田空港は、2組の平行滑走路が井桁状に配置されており、風向きにより滑走路運用形態が異なる。空港面の交通管理手法の一つである出発時刻調整手法について南風運用時について検討を行ってきたが、今回は北風運用時を例に報告する。

図1に羽田空港の北風運用における滑走路運用形態（矢印）および交通状況例を示す。

北風運用の場合、図1のように滑走路05付近で離陸待ちによる滞留が生じている。そのため、地上走行時間が長く、消費燃料も多くなるという課題が生じている。

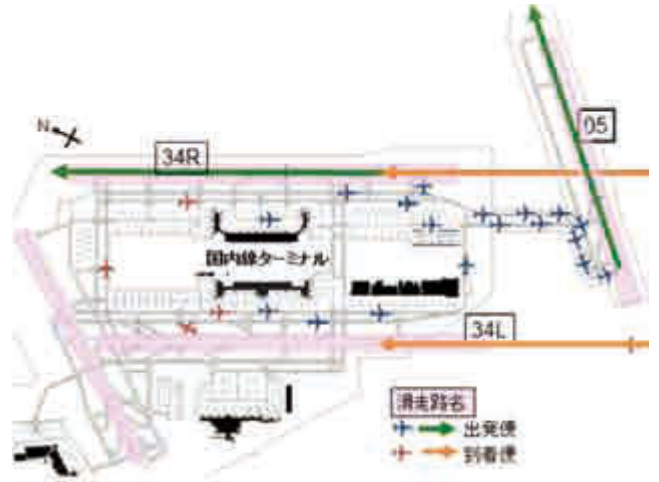


図1 羽田空港の北風運用時の交通状況例

3. 空港面交通シミュレータ

3.1 目的

空港面の滞留を軽減するための手法をシミュレーションで検証するために、当所では、まず空港面交通流を模擬する空港面交通シミュレータを開発した^[3]。

3.2 走行フェーズ

シミュレーション上の各出発便は、図2のような走行フェーズで地上走行を模擬する。

ターミナル付近にあるスポットに駐機している各出発便は、スポット出発要求時刻にプッシュバック（以下、PBとする）経路を設定しPBを開始する。この時刻をスポット出発時刻とする。PB経路走行終了後、走行経路を検索し停止線まで走行する。そして停止線通過後、離陸条件に従って離陸する。停止線手前では離陸待ちが生じることもある。（図2のフェーズ④）



図2 出発便の走行フェーズ

3.3 シミュレーション用データ

シミュレーションを行うために使用した空港面の航空機の地上走行に関するデータは、国土交通省航空局より提供いただいた空港面の地上交通データをもとに、当所が補間、平滑化などの処理を行いデータベース化した。この処理後のデータ（以下、地上走行DBとする）には出発スポット、到着スポット、出発時刻、到着時刻等が含まれる。この地上走行DBを利用してシミュレータ用の入力シナリオ（表1）を作成する。なおスポット出発要求時刻は、地上走行DBのスポット出発時刻とした。

表1 入力するシナリオの項目

	始点	終点
出発便	出発スポット名 出発要求時刻	離陸滑走路名
到着便	着陸滑走路名 着陸時刻	到着スポット名

シナリオを入力してシミュレーションを実行すると、各航空機の走行経路を模擬することが出来、図2のような出発便の各フェーズの通過時刻や到着便のスポット到着時刻等を出力する。

出発時刻調整手法を適用したシナリオ（調整シナリオとする）によるシミュレーション結果から、調整前後の空港面交通流を比較することができ、適用した手法の評価が可能となる。

3.4 基準シナリオ

2012年5月の北風運用であったある日の地上走行DBから基準シナリオを作成し、そのシミュレーション結果を基準出力結果とする。基準シナリオの便数を表2に示す。

表2 基準シナリオの便数

滑走路	出発便	到着便
05	352	0
34R	164	129
34L	3	403

4. 出発時刻調整手法

4.1 滑走路の離着陸数

北風運用では滑走路05の出発便と滑走路34Rの到着便の飛行経路が干渉しているため、各滑走路での独立した運用が出来ず、繁忙時は離陸時刻や着陸時刻に影響を及ぼす。そこで基準シナリオの出力結果における両滑走路の5分間あたりの離着陸数を調べ、図3に示す。

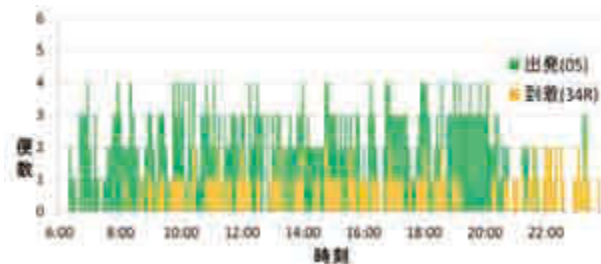


図3 5分間あたりの離着陸数(基準シナリオ)

図3より滑走路の5分間あたりの離着陸数は最大で4便、10分間あたりでは最大7便で運用されていることがわかる。このように滑走路の離着陸数には、制限があるため、これら以上の交通量の場合、出発便が滑走路付近で離陸待ちを生じてしまう。そこで本稿ではこの離陸待ちを軽減するために出発便の離陸時刻の予測に基づいて滑走路離着陸数の制御によりスポット出発時刻を調整する手法について検討する。

4.2 離陸時刻の予測

各便の離陸時刻を予測するにあたり滞留は主に離陸待ち地点以降に生じることから、離陸待ち終了時刻から離陸まで（図2のフェーズ⑤）の基準シナリオによる走行時間をもとめたとすると、平均2分30秒であることがわかった。そこで、今回は予測離陸時刻を基準シナリオの離陸待ち地点の通過時刻の2分30秒後とする。

滑走路05出発便の予測離陸時刻と、飛行経路が干渉する滑走路34R到着便の到着時刻で5分間あたりの予測離着陸数を求め図4に示す。その際に滑走路05出発便のうち、離陸待ちあり、なしで区別して表示する。

この結果、5分間あたりの予測離着陸数 ≥ 3 便になると離陸待ちすることが多く、離陸待ちが一回発生するとそれ以降15分程度、離陸待ちが続いていることがわかる。

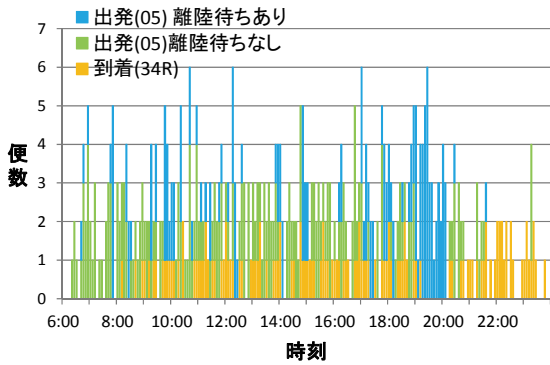


図4 5分間あたりの予測離着陸数

4.3 調整手法アルゴリズム

本稿では、予測離陸時刻に基づく5分間あたりの経路が干渉する滑走路の離着陸数の条件を5分間で4便以下かつ10分間で7便以下に設定し、図5のような調整手法を提案する。

各5分間の予測離陸時刻順が早い順に並べ、離着陸数の条件を満たさない場合、離陸時刻の遅い便の予測離陸時刻に調整時間（5分）を足していく。1回の調整で条件を満たさない場合は、条件を満たすまで、調整時間を足し続ける。

このように予測離陸時刻を調整するために、各便のスポット出発時刻を調整したシナリオを作成する。

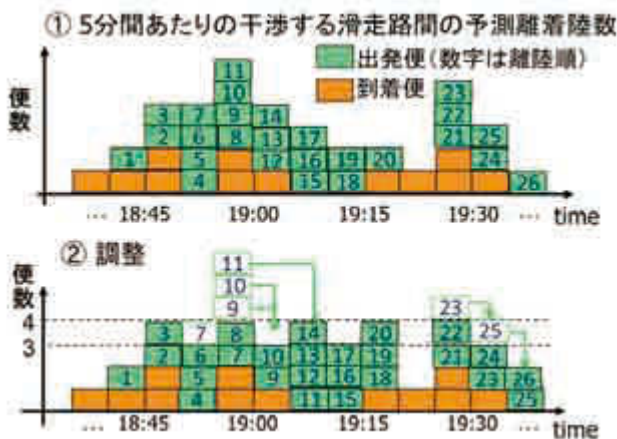


図5 調整手法のアルゴリズム

5. シミュレーション検証

5.1 調整シナリオ

基準シナリオの出力結果の予測離陸時刻をもとに、4.3節の調整手法アルゴリズムを適用し

た結果、1回調整（5分間）が64便、2回調整（10分間）が7便で、3回（15分間）以上の調整はなかった。この結果に基づいてスポット出発時刻を調整したシナリオによるシミュレーションを行った。

5.2 予測離陸時刻との差

4.3節で求めた基準シナリオをもとに調整した予測離陸時刻（ T_{pre} ）と調整シナリオの出力結果の離陸時刻（ T_{mod} ）との差（ $T_{pre} - T_{mod}$ ）を求め、1分あたりの度数分布図を図6に示す。

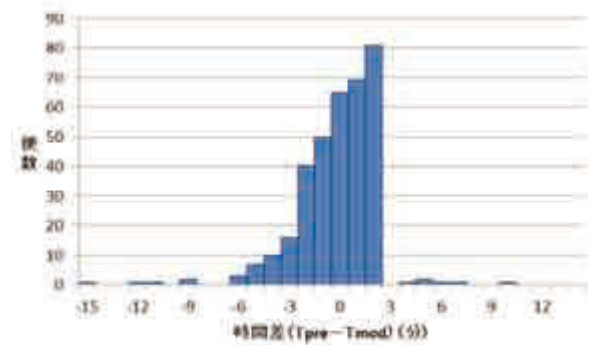


図6 離陸時刻の差

調整シナリオの出力結果の離陸時刻の方が予測離陸時刻より平均59秒遅くなった。これは、予測離陸時刻を求める際に離陸待ち、滑走路手前付近のみと仮定したので、その地点より前の地点で経路検索等によって所要時間が伸び離陸時刻が遅れた便があったためである。出発便の83%の出発便について調整した予測離陸時刻と調整シナリオの出力結果の離陸時刻との差が±2.5分以内であった。

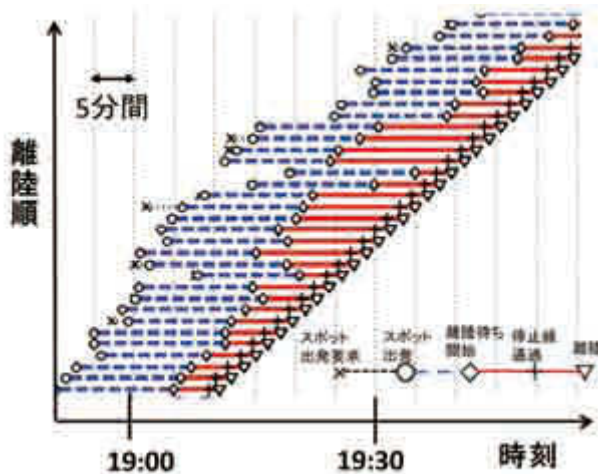
調整シナリオの出力結果の離陸時刻をもとに5分間あたりの離着陸数を求めたところ、5分間あたり4便以下、かつ10分間あたり7便以下という条件をほぼ満たしていた。これは、提案した調整手法が妥当であることを示している

5.3 滞留状況の比較

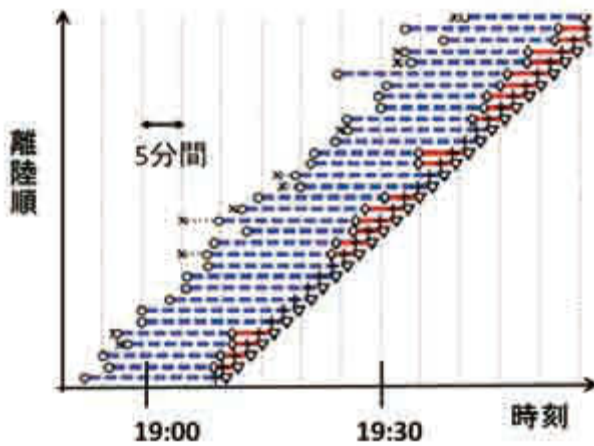
基準シナリオおよび調整シナリオの出力結果による滞留状況を比較するために、滑走路05の出発便352便の離陸待ち便数等の集計結果を表3に示す。またそれぞれのシナリオについて、図2のように各出発便をフェーズ毎に一本の横線で表し、離陸順に縦方向に積み上げて、交通状況を表した。

表3 離陸待ち状況の比較

	基準	調整
離陸待ち便数	146	110
平均離陸待ち時間	3分10秒	1分39秒
最大離陸待ち時間	14分5秒	5分17秒
離陸待ち時間の 総和	7時間 42分28秒	3時間 0分53秒



(A)基準シナリオの出力結果



(B)調整シナリオの出力結果

図7 交通状況図の比較

図7の赤線が離陸待ち開始から離陸までの時間を表している。表3および図7の(A)と(B)を比較した結果、スポット出発時刻の調整によって離陸待ち時間が軽減していることがわかる。

6. まとめ

羽田空港で、出発便の離陸待ちによる滞留を軽減するために、北風運用の日を対象に空港面交通管理手法の一つである5分間あたりの離着陸数に着目したスポット出発時刻調整を行いシミュレーションにて検証した。

まず離陸待ち状況を把握するために経路が干渉する滑走路の5分間あたりの離着陸数に着目した。その結果滑走路05出発便の離陸待ちは、滑走路05の出発便と滑走路34Rの到着便の経路が干渉するため、5分間あたり合わせて3便以上になると発生しやすくなり、一度このような状況が発生すると解消するまでに15分程度続くことがわかった。

次に出発便が滞留しなかったときの離陸時刻の予測をもとに滑走路05の出発便と滑走路34Rの到着便の5分間あたりの予測離着陸数が4便以下かつ10分間あたり7便以下になるよう制御するスポット出発時刻調整手法を提案した。これにより出発便352便のうち71便を調整することになった。調整により、離陸待ち便数および離陸待ち時間が軽減された。調整前は1便あたりの平均離陸待ち時間が3分10秒であったのに対し、調整後には1分30秒に軽減された。

今後は成田空港を対象に、離陸待ち地点として滑走路手前だけでなく、スポット周辺の交通状況等も考慮し、効率的な空港面交通管理手法の適用条件（調整時間、対象となる調整便等）について更に検討を進めていきたい。

参考文献

- [1] 国土交通省航空局、「将来の航空交通システムに関する長期ビジョン」、2010.<http://www.mlit.go.jp/common/000123890.pdf>
- [2] I. Yamada, et al. "A Simulation Study on a Method of Departure Taxi Scheduling at Haneda Airport", Proceedings of the 3rd ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2013), EN-024, 2013 February.
- [3] 山田他、“空港面交通シミュレータの開発”、H25年度電子航法研究所研究発表会講演概要、2013