

1. 成田空港における出発便の走行機数調整のシミュレーション検証

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

1 まえがき

航空交通量の増加に伴い、繁忙空港では、空港面の混雑の緩和が課題となっている。空港面の混雑は、地上走行時間の増加につながり、運航の効率を低下させる。また、地上走行時間の不確かさにつながるため、個々の航空機の運航および航空交通流の管理を計画的に進めていく際の支障となる。とりわけ出発便は、混雑により滑走路端に長い待ち行列を形成して滞留するため、空港面の交通に及ぼす影響が大きい。

このような課題への対応策として、出発便の地上走行をスケジュール管理することによって空港面の混雑を緩和し、地上走行の効率と定時性を向上する手法の導入が世界的に進められている。欧州では、航空交通管理における CDM (Collaborative Decision Making: 協調的意思決定) の考え方を空港面の交通流に適用してスポット出発時刻の事前調整を行う「空港 CDM」の方式が導入され、米国、アジアにおいても導入が進められている^[1]。日本では、国土交通省航空局の長期ビジョン CARATS (Collaborative Actions for Renovation of Air Traffic Systems) において、空港 CDM を羽田空港および成田空港に導入することを検討している^[2]。

電子航法研究所では、成田空港を対象に、地上走行を円滑化する交通管理手法の研究を進めている。成田空港では、現在、地上走行の円滑さが保たれる水準を超える機数の出発便が地上走行しようとした場合に、臨時にスポット出発を待機させることにより空港面の混雑を緩和する対応策（以下、「スポット待機」と称する）が行われている。本発表では、成田空港のスポット待機について、当所の空港面交通シミュレータを用いたシミュレーションにより、スポット待機を仮に行わなかった場合と現状との比較を行い、スポット待機による走行機数調整の有効性を検証した結果を報告し、空港 CDM において見込まれる効果について考察する。

2 成田空港の特徴

2.1 レイアウトと交通量の特徴

成田空港は、図 1 に示すように、平行な 2 本の滑走路（A 滑走路：4,000m、B 滑走路：2,500m）によって構成されている。出発便は離陸滑走に長い距離を要するため、約 9 割が、長い方の A 滑走路を用いる。一方、到着便は B 滑走路を用いる割合が多い。

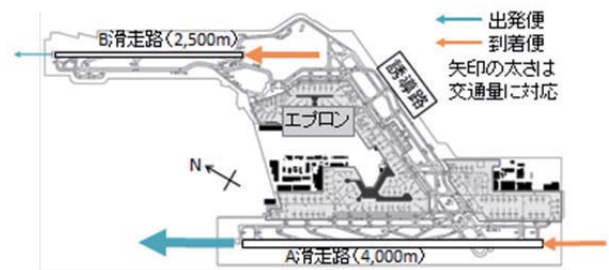


図 1 成田空港のレイアウト

交通量は、出発、到着それぞれ 1 日あたり約 300 便である。また、図 2 に示すように、午前 10 時台と 11 時台、および、夕方の 17 時台から 19 時台に出発のピークがあり、12 時台から 16 時台に到着のピークがある。この傾向は、国際線において、出発便の到着地、到着便の出発地との時差を考慮してダイヤが編成されることによる^[3]。

夕方は交通量が最も多い中での出発ピークのため、地上走行が最も混雑する。このとき、A 滑走路周辺に長い待ち行列が形成される。

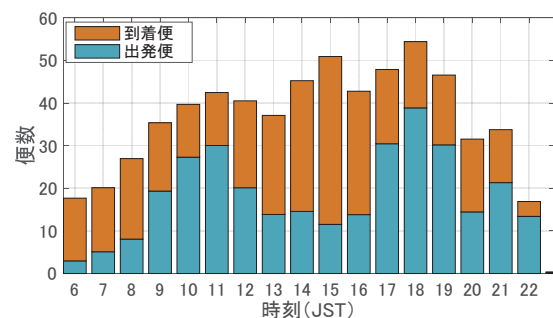


図 2 1 時間あたりの交通量と内訳

2.2 管制運用の特徴

成田空港では、通常、出発準備完了の通報に対し、管制官は即時に飛行計画に関する管制承認を発出する。一方、出発便の混雑時間帯に行うスポット待機では、走行機数がある水準を超えたときに、管制承認の発出時刻を調整することにより、走行機数を一定以下に抑え、地上走行の混雑緩和を図っている。

また、滑走路の管制運用の特徴として、SPID（Simultaneous Parallel Independent Departure: 同時平行出発方式）と呼ばれる離陸方式が挙げられる。SPIDは、RNAV SIDを用いて離陸許可を滑走路ごとに独立に行う方式である¹⁴⁾。SPIDにより、滑走路の処理容量を保ちつつ出発便をB滑走路に振り分けることができるため、出発便のA滑走路への集中が緩和される。SPIDの運用では、SIDの初期上昇経路に沿って飛行していることを確認する必要があるため、導入当初は管制塔からの目視による監視を行うため好天時のみに適用が行われていたが、平成27年度当初からは、広域マルチラレーションの導入により、滑走路視認が可能な程度の低視程時まで運用が拡大されている。

3 スポット待機の有効性の検証

現状において行われているスポット待機による走行機数調整が行われなかったと仮定した比較シナリオと、現状を模擬するシナリオについて、シミュレーション結果を比較することにより、スポット待機によってどれだけの潜在的な混雑が緩和されていたのかを検証する。

3.1 離陸までの所要時間の内訳

出発便の出発準備完了から離陸までの所要時間について、図3のとおりの内訳で区分し、それぞれ下記のように値を定義する。

1. スポット待機時間：出発準備完了時刻から、スポット出発時刻までの時間。スポット待機が適用されていない出発便についてはゼロとする。
2. 基準走行時間：スポット出発から離陸までに、空港面の混雑によらず要する地上走行時間。スポットと滑走路の組み合わせから定まる定数。
3. 滑走路端の待ち時間：スポット出発時刻か

ら基準走行時間だけ経過した時点から、離陸時刻までの時間。スポット出発時刻から基準走行時間だけ経過しないうちに離陸した場合はゼロとする。

上記のうち「スポット待機時間」と「滑走路端の待ち時間」は、混雑に起因して生じる基準走行時間からの超過分であるため、以下では2つを総称して「待ち時間」と称する。

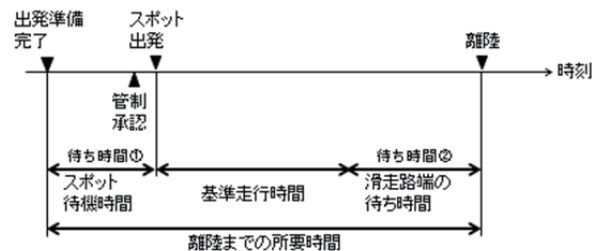


図3 離陸までの所要時間の内訳

3.2 検証項目

3.2.1 出発便の検証項目

1. スポット待機による走行機数調整の直接的な効果として、滑走路端での待ち時間が平均的に減少するか検証する。この検証においては、スポット待機時間と、スポット待機によって減少した滑走路端の待ち時間との関係を確認する。
2. 滑走路端の待ち時間のバラツキが減るか検証する。滑走路端の待ち時間のバラツキは、各出発便が滑走路端の待ち行列に並ぶ際の順番の不確かさに対応している。この不確かさは、各出発便の離陸時刻の不確かさにつながり、各出発便の運航および航空交通流の管理の計画的な実施を困難にするものである。

3.2.2 到着便の検証項目

1. スポット待機が行われる場合、出発便がスポットを占有する時間が長くなるため、スポットが空いていないために到着便が誘導路で待機する状況（スポット空き待ち）が生じる可能性が増すおそれがある。そこで、スポット待機が行われた場合のスポット空き待ちの発生について検証する。
2. 混雑緩和の副次的な効果として、到着便の交通が妨げられにくくなることが期待される。この効果の確認として、到着便の走行時間（着陸からスポット到着までの時間）が減少するか検証する。

3.3 使用したデータ

各出発便について、離陸までの所要時間を構成する3つの時間を算出するため、下記のデータを用いた。

3.3.1 航空機位置情報

基準走行時間を算出するためには、交通状況の分析から、滑走路端で離陸待ちしなかった出発便を抽出する必要がある。交通状況分析のため、当所が作成した成田空港の地上走行データベースを用いた。これは、国土交通省航空局から提供を受けている空港面の地上交通データを補間、平滑化することにより、各航空機の毎秒の位置、速度などの地上走行データを算定・作成し、飛行経路・機種などの対応する飛行計画情報とともにデータベース化したものである^[5]。

本データベースを用いた交通状況分析から、滑走路端で離陸待ちをしなかった出発便について、スポット出発から離陸までの時間を、スポットと滑走路の組み合わせごとに平均して基準走行時間を求めた^[6]。

3.3.2 運航票データ

下記の項目については、東京航空局成田空港事務所より提供を受けた運航票データを用いた。

- ・ スポット待機が適用されたことが確認できる場合（記載された出発準備完了時刻と管制承認発出時刻に差異がある場合）の出発準備完了時刻
- ・ SPID 運用の有無

3.3.3 NAA の運航データ

使用スポットとスポット出発／到着時刻については、3.3.1 項の位置情報では、スポット付近における精度の制約から、正確に把握できない場合がある。これらの項目については、成田国際空港株式会社（NAA）の運航情報管理システムのデータ（以下、NAA データと称する）にスポット管理実績が記録されているので、提供を受けて用いた。

3.4 シミュレーションの設定

3.4.1 シミュレータと現状模擬シナリオ

本検証には、当所において開発を進めている空港面交通シミュレータを用いた。本シミュレータは、出発便および到着便の発生地点（スポット／滑走路）、発生時刻（スポット出発時刻／着陸時刻）、行き先（滑走路／スポット）、

滑走路の出入口をシナリオで設定することにより空港面の交通を模擬することができる^[7]。

現状の交通状況を模擬するシナリオ（以下、現状模擬シナリオ）では、シナリオ設定項目について、表1に示すとおりデータを用い、終日のシナリオを作成した。

表1 現状模擬シナリオの設定項目と仕様

設定項目	データ源	精度
使用スポット	NAA データ	
使用滑走路	位置情報	
滑走路出入口誘導路	位置情報	
スポット出発時刻	NAA データ	分単位
着陸時刻	位置情報	秒単位

上記のスポット出発時刻は、スポット待機が適用された場合にはスポット待機を経たスポット出発時刻である。このため、現状模擬シナリオにより、スポット待機がある状況を模擬したシミュレーションが行われる。

3.4.2 比較シナリオ

比較シナリオでは、運航票データにより、スポット待機が適用された出発便について、シナリオ項目のうちスポット出発時刻を、運航票に記載された出発準備完了時刻によって置き換えた。この設定により、比較シナリオでは、スポット待機の対象となった出発便について、スポット待機せず、出発準備完了時にスポットを出発する状況を模擬したシミュレーションが行われる。

3.4.3 注目する時間帯

本検証では、現状模擬シナリオと比較シナリオの間で、スポット待機による走行機数調整の効果として交通状況に違いが現れた時間帯について、待ち時間等を比較する。次項に挙げるシミュレーション対象日のうち、Day 4 を例として、6時から23時まで1分おきの出発便の走行機数（当該時刻においてスポット出発済みであり、かつ、離陸していない出発便数）について、現状模擬シナリオと比較シナリオを比較した例を図4に示す。

図4から、Day 4 では、概ね17時半から19時半の間のみ、出発便の走行機数に差異が生じ

たことが示される。いずれの対象日についても、両シナリオで交通状況に差異が生じる時間帯は同様であった。そこで、各日について、スポット出発時刻が17時半から19時半の間である出発便について待ち時間等を比較する。

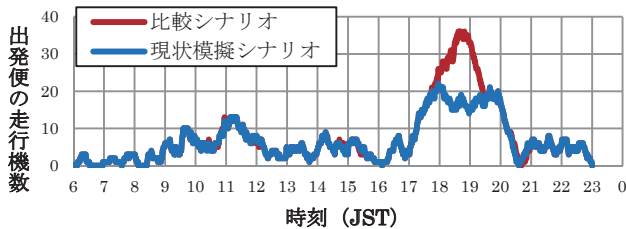


図4 交通量の比較：Day 4 の例

3.4.4 シミュレーション対象日の交通量

シミュレーション検証は、平成27年1月および3月の合計8日間について、現状模擬シナリオと比較シナリオのシミュレーション結果を比較することで行った。表2に、各日の17時半から19時半までの間に出発準備完了となった出発便数、そのうちA滑走路を用いた便数、スポット待機の件数、着陸した到着便数、SPID運用の有無を示す。

表2 シミュレーション対象日の交通量

シナリオ	出発便数	A滑走路 出発便数	スポット 待機	到着 便数	SPID 運用
Day 1	69	58(84%)	16	34	有
Day 2	72	72(100%)	29	39	無
Day 3	77	63(82%)	17	37	有
Day 4	64	63(98%)	48	40	無
Day 5	77	77(100%)	34	37	無
Day 6	75	71(95%)	20	42	無
Day 7	74	55(74%)	2	33	有
Day 8	70	52(74%)	2	40	有

4 結果

4.1 平均的な待ち時間の比較

滑走路端の待ち時間の平均とスポット待機時間の平均を積み上げ棒グラフで表示し、現状模擬シナリオと比較シナリオを比較した結果を図5に示す

図5から、下記の2つの量がほぼ同じであることが示された。

- 比較シナリオにおける、滑走路端の待ち時

間の平均

- 現状模擬シナリオにおける、滑走路端の待ち時間の平均に、スポット待機時間の平均を加えた量

このことは、スポット待機により、平均的には、滑走路端の待ち時間の一部がスポット待機時間にほぼ等価に置き換わっていることを意味している。

また、図5からは、滑走路端の待ち時間の平均について、比較シナリオにおいては最大35分程度に達するのに対し、現状模擬シナリオにおいては概ね20分以内に抑えられていることが示された。

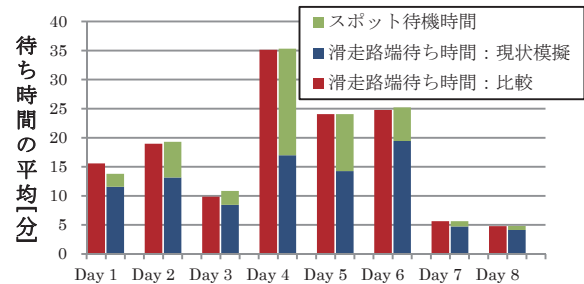


図5 出発便の平均的な待ち時間の比較

4.2 滑走路端の待ち時間のバラツキの比較

滑走路端の待ち時間のバラツキに対応する指標として標準偏差を棒グラフで表示し、現状模擬シナリオと比較シナリオを比較した結果を図6に示す。

図6から、スポット待機により、滑走路端の待ち時間のバラツキが減少することが示された。

また、表2と図6の対照から、スポット待機が多く行われた日ほど、滑走路端の待ち時間のバラツキの減少幅が大きいことが示された。

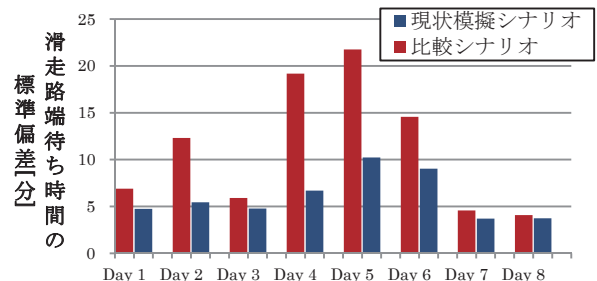


図6 滑走路端の待ち時間の標準偏差の比較

4.3 到着便のスポット空き待ちの確認

スポット待機の出発便がスポットを占有していることにより、到着便がスポット空き待ちのため5分以上待機している件数を数えた。

到着便の交通状況を調べた結果、到着便のス

ポット空き待ちちは、Day 4において1件のみであった。よって、スポット待機が到着便のスポット空き待ちに及ぼす影響は、シミュレーション対象日の交通量においては軽微であると考えられる。

4.4 到着便の走行時間の比較

17時半から19時半までに着陸した到着便について、着陸からスポット到着までの走行時間の平均を棒グラフで表示し、現状模擬シナリオと比較シナリオを比較した結果を図7に示す。

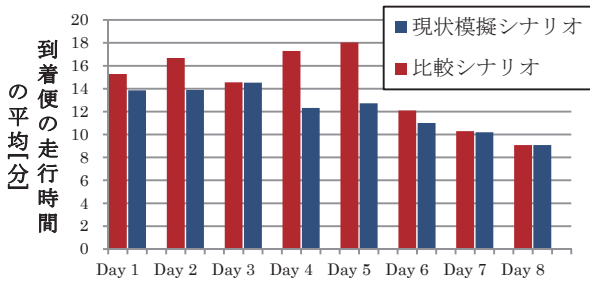


図7 到着便の平均走行時間の比較

表2と図7の対照から、スポット待機が多く行われたDay 2, 4, 5については、到着便の走行時間も減少していることが示された。これは、図8に示すような交通状況に起因している。図8は、比較シナリオにおいて、滑走路端に向かう出発便の待ち行列に到着便が巻き込まれた状況を示している。現状模擬シナリオでは、スポット待機による混雑緩和の効果により、到着便を巻き込む長い待ち行列の形成は稀であった。

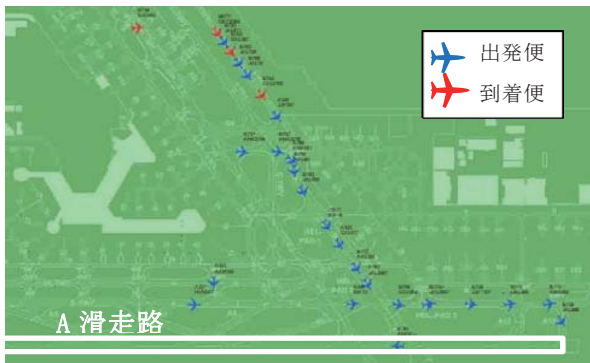


図8 比較シナリオの交通状況の例 (Day 4)

5 考察

5.1 SPIDの効果

表2と図5の対照から示されるとおり、SPIDが運用されなかったDay 2, 4, 5, 6では、スポット待機が多く実施され、平均して長いス

ポット待機時間となった。一方でSPIDが運用されたDay 1, 3, 7, 8においては、スポット待機の実施は少なく、また、比較シナリオにおいても滑走路端の待ち時間が短かった。

表2と図5の対照から、次の傾向が示される。

- SPIDが運用されない場合、出発便のほぼすべてがA滑走路を用いるため、A滑走路に向かう出発便の混雑が増し、対応してスポット待機の件数および平均のスポット待機時間が増える。
- SPIDが運用される場合、B滑走路に振り分けられる出発便の割合が増えるため、A滑走路に向かう出発便の混雑が生じにくくなり、スポット待機は少なくて済む。

これらの傾向から、現状の交通量においては、SPIDが効率的な空港面交通のために果たす効果は大きいと考えられる。このため、SPIDの適用可能性の拡大が、安定して効率のよい空港面交通のために有効と考えられる。

5.2 空港CDMに見込まれる効果

4.1節、4.2節の結果から、スポット待機には、滑走路端の待ち時間の平均、バラツキとともに減少させる効果があることが明らかとなった。このことは、スポット待機を実施することにより、一旦スポットを出発すれば、スポット待機を実施しない場合に比べて時間が短く、かつ、不確かさの少ない地上走行が可能となることを示している。

スポット待機は、図9に示すように、スポット出発の過程に仮想的な待ち行列を新たに設け、出発準備の完了した出発便をそこに並ばせる仕組みと見ることができる。仮想的な待ち行列は滑走路の待ち行列の一部をスポットに移したものとなるため、出発準備完了から離陸までの所要時間に含まれる待ち時間については、滑走路端の待ち時間の一部がスポット待機時間に置き換わる。

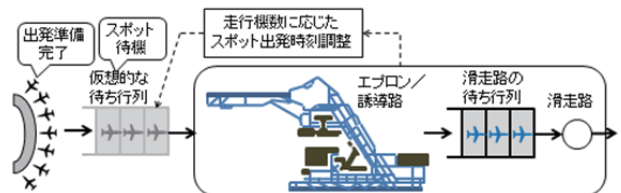


図9 仮想的な待ち行列の模式図

待ち時間の平均については、4.1 節の結果から、滑走路端の待ち時間の一部がスポット待機時間に置き換わることが確認された。一方、待ち時間のバラツキについては、4.2 節の確認で示された滑走路端の待ち時間のバラツキの減少に対応して、スポット待機時間のバラツキが新たに発生する。出発準備完了時にスポット待機を行う場合、スポット待機時間のバラツキは、出発準備完了時点でのスポット待機時間の不確かさとなるため、離陸までの所要時間の不確かさは減少するとは限らない。

スポット待機を経たスポット出発時刻を事前に確定することでスポット待機時間の不確かさを解消できれば、離陸までの所要時間の不確かさは滑走路端の待ち時間の不確かさに限られるようになる。第1章に述べた空港 CDM は、出発準備完了時刻の予定情報をもとに、混雑を緩和する地上走行スケジュール管理によりスポット出発時刻を早期に確定する方式であるため、第4章で確認された滑走路端の待ち時間の平均およびバラツキの低減に加えて、離陸までの所要時間の不確かさの低減の効果が期待される。成田空港において空港 CDM を導入した場合に見込まれる効果について、シミュレーションにより検証するのが今後の課題である。

6 まとめ

本発表では、成田空港で行われている出発便のスポット待機による走行機数調整について、仮に行わなかった場合と現状とをシミュレーション上で比較することにより、スポット待機によって緩和された空港面の混雑を検証した。スポット待機が行われている現状を模擬するシナリオと、スポット待機を行わなかった仮定による比較シナリオを合計8日分用いたシミュレーション結果の比較から、スポット待機が主に行われる17時半から19時半において、滑走路端の待ち時間の平均の一部がスポット待機時間の平均に、ほぼ等価に置き換わっていることが確認された。また、混雑緩和により滑走路端の行列が短くなり、滑走路端の待ち時間の不確かさを意味する標準偏差が減少することが明らかとなった。到着便においては、スポット待機

により出発便のスポット占有時間が長くなることが到着便のスポット空き待ちにつながったケースはごく僅かであったことを確認した。また、出発便の待ち行列が短くなることの副次的な効果として、到着便が待ち行列に巻き込まれにくくなり、到着便の走行時間が減少することが明らかとなった。

本発表における検証により、出発便のスポット待機による空港面の混雑緩和は、出発便の滑走路端の待ち時間を低減し、かつ、滑走路端の待ち時間の不確かさを低減するものであることが確かめられた。今後は、出発準備完了時刻の予定情報が得られる場合を想定して、空港 CDM におけるスポット出発時刻のスケジュール管理のアルゴリズムを適用した場合について、シミュレーションにより効果を検証することとしたい。

参考文献

- [1] ICAO, "Working Document for the Aviation System Block Upgrades," Edition 2, ver. 3, pp. 99-104, Mar. 2013.
- [2] 将来の航空交通システムに関する推進協議会 ATM 検討 WG, "平成 26 年度活動報告書," 2015 年 3 月.
- [3] 国土交通省航空局, "今後の首都圏空港のあり方について," 交通政策審議会航空分科会第9回基本政策部会, 資料 2-1, pp. 25-27, 2013 年 9 月.
- [4] 国土交通省航空局, 航空路誌, RJAA AD2, 2015 年 1 月版.
- [5] ブラウンほか, "空港面交通管理のための羽田空港の駐機スポット情報に関する解析," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 111, no. 407, SANE2011-143, pp. 9-14, 2012 年 1 月.
- [6] 住谷ほか, "成田空港の地上走行時間の特性について," 第 15 回電子航法研究所研究発表会講演概要, pp. 19-24, 2015 年 6 月.
- [7] 住谷ほか, "成田空港の空港面交通シミュレータの開発～機能の概要と性能検証," 電子情報通信学会技術報告, vol. 114, no. 152, SANE2014-45, pp. 13-18, 2014 年 7 月.