

1 2. 管制経験者による CDO 運用拡大に必要な要件の検討

航空交通管理領域 ※平林 博子, ビクラマシンハ ナヴィンダ キトマル, 虎谷 大地

1 まえがき

航空機運航の降下過程において、エンジン推力を最小の状態ですべて連続的に降下する継続降下運航（CDO; Continuous Descent Operations）は、消費燃料が節減される効率的な降下であると同時に騒音低減にも効果があり、国際民間航空機関（ICAO; International Civil Aviation Organization）の世界航空交通計画（GANP; Global Air Navigation Plan）において優先的に導入が勧められている降下方式である^[1, 2]。我が国では平成 25 年 3 月に関西国際空港において CDO の正式運用が始まり、その後那覇空港、鹿児島空港で試行運用が継続されている^[3, 4]。

運航効率が良く環境に優しい運用であることから CDO の運用が拡大されることは望ましいが、CDO は航空機の自由な降下が可能なため降下プロファイルの予測が難しく、安全間隔をとらなければならない他の航空機（競合機）が存在すると CDO の実施は難しくなる^[5, 6]。そのため、交通量の少ない深夜、早朝に CDO の運用時間帯は限られている。一方で、簡易的なシミュレーション計算から、交通量がある程度多くなる CDO 運用時間帯外に CDO の運用可能な到着機があることが示されている^[7]。このような潜在的 CDO 運用可能到着機が CDO を実施できる環境を整えることは、CDO 運用拡大につながる要素のひとつである。CDO は管制官の承認によって実施されることから、上記のような潜在的 CDO 運用可能到着機に関する支援情報を、降下開始前の時点で管制官に提供することは有効であると筆者は考える。そこで、CDO の許可判断時における管制運用上の課題抽出及び許可判断に必要な要素の提案のために、管制経験者による関西国際空港を対象としたリアルタイムシミュレーションを実施した。本稿ではその結果を報告する。

2 日本における CDO の概要

現在、我が国では関西国際空港、那覇空港及

び鹿児島空港の 3 つの空港において CDO が運用されている。この章では、シミュレーションの対象である関西国際空港を中心に CDO の現状について報告する。

2.1 関西国際空港における CDO 運用方式

関西国際空港では現在 12 の CDO 経路が設定されている。各 CDO 経路は、関西国際空港の進入管制区への各移管点（航空路レーダー管制からターミナルレーダー管制へ管制業務の移管が実施される地点）を経由し、標準計器到着経路（STAR; Standard instrument arrival）に接続する経路である。CDO 経路の概略を図 1 に青色線で示す。関西国際空港進入管制区には 5 つの移管点があり、そのうち 3 つの移管点において CDO 経路が設定されている。

CDO はパイロットからの要求をきっかけとして次のように運用される。

- (1) パイロットは、降下開始点（TOD; Top of descent）の 10 分前までに管制機関に対して CDO の要求を行う。
- (2) 要求時パイロットは、CDO 経路名に TOD 及び移管点の通過予定時刻を付す。
- (3) 管制機関は、CDO 実施可能な場合は、パイロットからの要求に対して CDO を承認する。

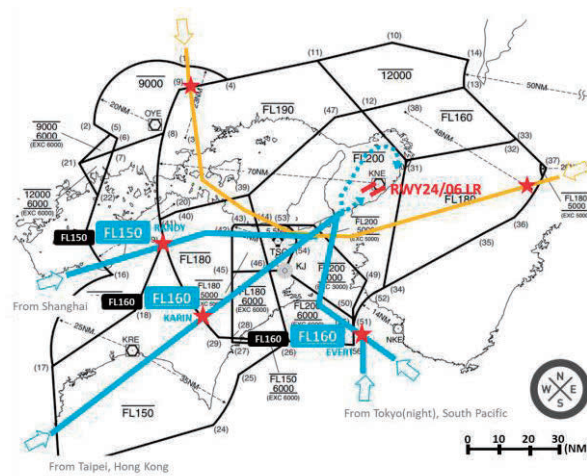


図 1 CDO 経路の概略図

図1の星印で示した点が移管点である。通常、関西空港到着機のTODは移管点以遠になり、よって、CDOは航空路レーダー管制内で要求されることとなる。

2.2 CDO 要求数及び実施率

図2に各空港における2017年、2018年のCDO要求件数及びそれに対するCDO承認件数を示す。要求時点でキャンセルされた場合を”cancel”，途中でCDOがキャンセルされた場合を”partial CDO”，そして最後までCDOを実施した場合を”full CDO”とする。CDO要求数の最近2年間の傾向は、一日あたり関西国際空港

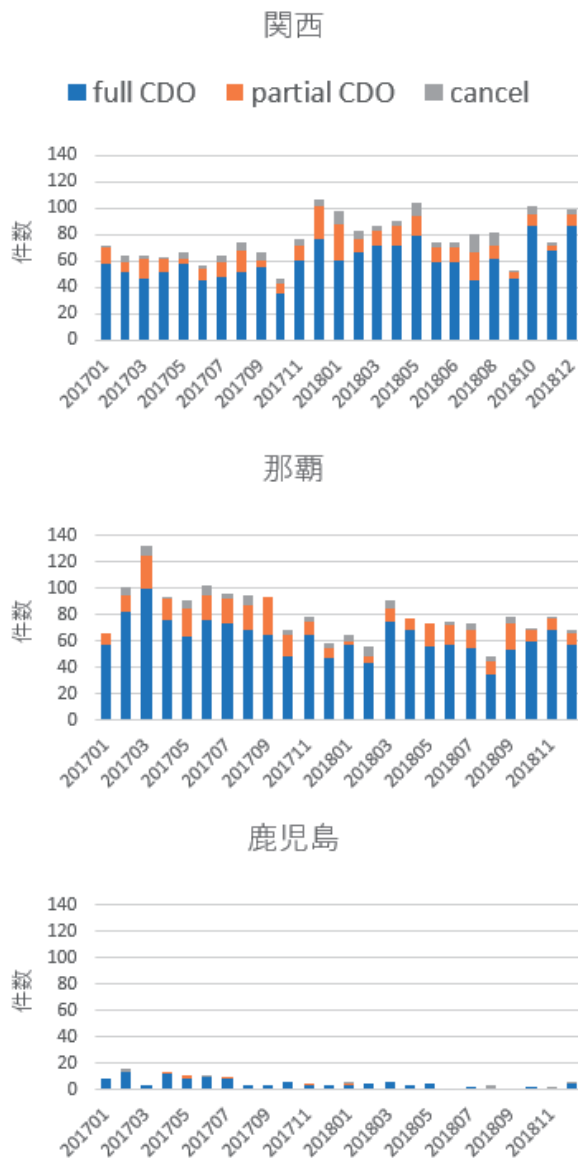


図2 各空港におけるCDO要求件数及びそれに対するCDO許可機数

及び那覇空港では2.6件、そして鹿児島空港では0.2件であった。鹿児島空港は空港の運用時間の関係からCDO実施運用時間帯が短いため少ない実績となっている。一方で、関西国際空港及び那覇空港はある程度コンスタントなCDO要求があり、それらに対するfull CDO実施率はどちらの空港でも約78%であった。

図3は、関西国際空港におけるCDOのキャンセルが、航空路レーダー管制内（ACC）であったか、またはターミナルレーダー管制内（TMA）であったかの割合を示す。ターミナルレーダー管制内でのキャンセル率が高い。これは、CDOの許可を発出する時点では予測できない競合機がターミナルレーダー空域内に存在していることを示している。

3 管制経験者によるリアルタイムシミュレーション

CDOの運用では、要求を受けた管制官はTODより手前の時点でCDO実施の可否を判断しSTARの終点までの承認を発出することとなる。CDOの可否判断時における課題抽出及び必要な要素の提案を目的に、管制経験者によるリアルタイムシミュレーションを実施した。

3.1 CDO 実施判断支援ツール

当所所有の「CDO 実施判断支援ツール」（以下「ツール」とする。）はCDOに特化したファストタイムシミュレーション機能と管制指示コマンドの反映が可能であるリアルタイムシミュレーション機能を有するツールである。シミュレーションには当該ツールを使用した。

シミュレーションの対象は関西国際空港への到着機とした。CDOは航空路レーダー管制とそれに続くターミナルレーダー管制において運用されることから、同時に航空路及びターミナ

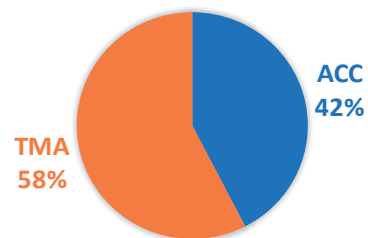


図3 CDOのキャンセルが発生する機関の割合

ルレーダーの二つのレーダー管制席を設置した。

ツールでは、レーダー管制用の画面を模擬した表示画面以外に、マトリックス表示画面及びタイムライン表示画面を支援情報として用意した。図4に支援情報画面を示す。

マトリックスは福島らの提案による管制官に対する支援情報概念であり、縦軸に高度、横軸に時刻を示し、CDO 降下軌道に対する競合機の存在を時系列に示すものである^[5]。今回のシミュレーションでは航空路レーダー担当用の支援情報として次のように作成した。縦横軸の交差するセルに、該當時刻に特定の地点を該当高度で飛行する到着機が CDO 軌道で降下した場合、競合機が存在する確率をカラースケールで表現した。時間軸は 10 分単位とし、10 分間に CDO 軌道上に競合機が存在する確率が高いほど濃い色で示すこととした。

タイムライン表示は、指定する通過地点及び滑走路における航空機間の間隔を示すものである。今回のシミュレーションではターミナルレーダー担当用の支援情報として使用した。

3.2 リアルタイムシミュレーション

シミュレーションで使用するシナリオは、関西国際空港とその周辺の空港への出入域機及び

上空通過機を実際の飛行スケジュールを参照し作成した。

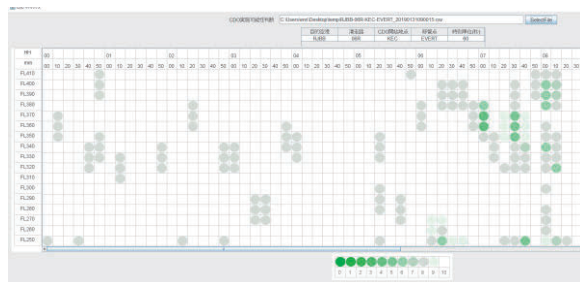
関西国際空港のターミナルレーダー管制業務または航空路レーダー管制業務の経験のある 3 人の元管制官が管制官役としてシミュレーションに参加した（図5）

管制官役は、前提条件に基づき、ツールから管制指示コマンドを入力し航空機間に必要な間隔を設定する。

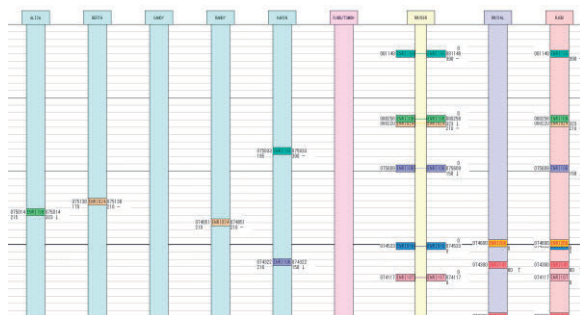
シミュレーションの前提条件は次のとおり。

- (1) 関西国際空港到着機は全て CDO を要求する。
- (2) CDO 実施機に対する速度指示は可能とする。高度変更また針路変更を実施する必要がある場合は、CDO キャンセルとする。
- (3) 航空路レーダー管制において CDO をキャンセルする場合は、通常に移管高度でターミナルレーダーに移管する。
- (4) 同じ移管点を通る到着機の縦間隔は移管点で 10 NM 以上とする。
- (5) 到着経路にかかる運用制限は実際のものと同様とする。
- (6) ターミナルレーダーからタワーへの移管は初期進入フィックスまたは中間進入フィックス手前とする。

操作完熟を含め、7 日間で 6 つのシナリオに対して約 10 回シミュレーション実験を実施した。



マトリックス表示画面



タイムライン表示画面

図4 CDO 実施判断支援ツールで示す各画面



図5 リアルタイムシミュレーション実験

起因していた。特に「移管点・競合地点における CDO 機の通過高度の予測困難」、「CDO 経路による移管点での通過高度のばらつき」等、CDO 機の特定地点における高度予測の困難性が上げられた。

表 2 に、今回のシミュレーションに使用するシナリオ作成時に計算した CDO 軌道のある移管点を通る高度の統計値を STAR 毎に示す。適用する経路によって通過高度が異なり、飛行毎にばらつきがあることがわかる。経路による通過高度の相違は、移管点から滑走路末端までの経路長が異なることから生じ、巡航高度、航空機型式の違いから同じ経路においてもばらつきが生じる。

上記のような、特定地点の通過高度が不確定なことから起こり得る管制運用上の課題として、「担当空域外での航空機移管の発生」及び「垂直間隔設定不可」が上げられた。前者に関しては、通常の降下機はターミナルレーダー空域に設定されている上限高度以下で移管されるが、CDO 機は上限高度より高い高度で移管地点を通過することがあり、ターミナルレーダー担当者としては自管轄空域外を飛行する航空機を取り扱うイレギュラーな業務となる。後者に関しては、通常航空機間に維持されるべき管制間隔は水平方向または垂直方向のどちらかが満たされれば良いが、CDO 機に対しては垂直方向の間隔設定が困難となることから水平方向のみ適用となり、管制措置の選択肢が少なくなる。特に、競合機が交差または正面からの経路を飛行する場合は垂直間隔を適用することが多く、そのような経路に競合機が発生することが予測された時点で CDO はキャンセルせざるを得ない。

他にも、「CDO 許可判断時期（地点）が到着より遠方であるため競合機を想定しきれない」、「競合機が出発機である場合は、出発機の正確な情報は CDO 許可発出後でなければわからない」等 CDO 許可判断のタイミングによる課題も抽出された。表 3 に抽出された要因及び課題についてまとめる。

4.3 CDO 可否判断に有効な支援情報

4.2 節で抽出された課題に対する管制運用上の支援情報として次の項目について検討した。

表 2 シナリオに反映させたある移管地点の通過高度

到着経路 (STAR)	平均	標準偏差	シナリオ内飛行数
到着経路 A	21,253 ft	1,665 ft	46
到着経路 C	28,577 ft	2,257 ft	27
到着経路 D	26,581 ft	1,992 ft	17
到着経路 E	30,401 ft	2,685 ft	15

参考：通常降下時は FL160 (約 16,000 ft) が移管高度

表 3 抽出された要因及び課題

要因	課題
飛行高度予測の困難	・担当空域外での移管 ・垂直間隔設定不可
早期の CDO 許可判断	・競合機の想定困難
CDO を優先	・競合機の負担増

- 競合機の存在を早期に提示
- CDO 機の予測軌道（特に高度プロファイル）を提示

今回のシミュレーション実験時に使用したマトリックス表示及びタイムライン表示は前者への対応策となる。管制経験者によるフィードバックでは、航空路管制においてマトリックス表示は有効であるとの感想を得た。ただし、情報の正確性が求められる。各飛行の予測で許容できる誤差範囲等、今後の課題である。

タイムライン表示においては、出発機の情報も同じタイムラインで示す工夫をした。出発機情報をタイムライン上で得られることは有効であるとの感想を得た。全体の流れを把握し順序付けの決定のために、特にフロアマネージャ等の席における活用が有効であるとの意見であった。また、シミュレーション上では出発機はタイムラインで示す時刻に出発するが、実際は出発時刻の調整はまだ難しいと思われる。A-CDM (Airport Collaborative Decision Making) が発展することが効果的であると推察する。

後者における対応策は今回のシミュレーション実験では提示しなかった。CDO を含め到着機の軌道予測及びその情報の提示方法は今後の課題となる。

他にも、現状の関西国際空港に特化した検討として、CDO 経路につながる STAR の変更（競合機との交差点を滑走路より遠方になる到着経路へ変更する）、CDO 実施のために必要な出発機の地上待機時間、航空路管制空域における減速による時間間隔の設定等、CDO 拡大につながると思えるいくつかの検討を実施した。ここでは詳細は論じないが、いずれの場合も航空機運航効率と管制運用効率のトレードオフが発生する。例えば滑走路 24 への到着でより遠方で出発機が交差する STAR を選んだ場合、CDO 可能となる状況は増加するが、STAR を変更することにより機種にもよるが 1,2 分、数百ポンドの違いが生じる。

4.4 制限付き CDO のメリット及びデメリット

巡航高度から自由な降下が CDO の軌道予測を困難とするならば、例えば CDO 経路の通過高度を制限する等、制限付き CDO の運用が CDO の運用拡大につながる可能性がある。米 国連邦航空局（FAA; Federal Aviation Administration）による OAPM（Optimization of Airspace & Procedures in the Metroplex）の一環としてヒューストン・ジョージブッシュ国際空

港とその周辺の空港への到着経路を見直す際に取り入れられたのが”Altitude window”である¹⁸⁾。STAR 経路上の通過地点において、上限高度、下限高度及び通過速度が指定されている。これらの指定高度幅及び速度は複数回におよぶフルフライトシミュレーションから得られたものである。このように降下過程において高度幅を考慮して降下方式を設計する方法が考えられる。ここでは仮に「回廊方式」とする。さらに高度幅を縮めると、Fixed-FPA（Flight Path Angle）となる。

CDO に加え回廊方式が管制運用に与える影響についても検討した。表 4 は、通常の降下方式、CDO、そして回廊方式による管制運用上のメリット及びデメリットをまとめたものである。回廊方式におけるメリットが比較的多い。今後の到着経路検討のひとつとして考慮することは有効であると考えられる。

5 まとめ

CDO の許可判断時における管制運用上の課題抽出及び許可判断に必要な要素の提案のために、管制経験者による関西国際空港を対象とし

表 4 各降下方式の管制運用上のメリット及びデメリット

	メリット	デメリット
CDO	<管制運用> 通信負荷の軽減 <航空機運航> 自由度が高い 燃料効果が大きい 騒音軽減	<管制運用> 許可判断が困難 軌道（特に高度）予測が困難 <航空機運航> 競合機の影響が大きい
回廊方式	<管制運用> 通信負荷の軽減 間隔設定が容易 <航空機運航> 自由度は中程度 燃料効果は中程度 騒音軽減	<管制運用> 空域をブロックする <航空機運航> 競合機が制限を受ける
通常降下	<管制運用> 慣れている 航空機相互間の間隔設定が容易	<管制運用> 通信負荷が増大 <航空機運航> 自由度が低い 燃料効率が悪い

たリアルタイムシミュレーションを実施した。現状の CDO を実施するうえで管制運用上課題となる主な要因は、飛行高度予測の困難性及び早期の CDO 許可判断であることが明らかとなった。それぞれ、垂直方向の管制間隔設定が不可となる、及び競合機の想定が困難となる、という課題が生じる。シミュレーション実験では後者に関する支援情報として、マトリックス表示画面及びタイムライン表示画面を管制官役に提示、それらの情報の有効性について検討した。航空路管制においてマトリックス表示は有効であるとの感想を得た。ただし、情報の正確性が求められる。各飛行の予測で許容できる誤差範囲等、今後の課題である。また、タイムラインに関しては、出発機情報を得られることは有効であるとの感想を得た。全体の流れを把握し順序付けの決定のために、特にフロアマネージャ等の席における活用が有効であるとの意見であった。合わせて制限付き CDO のメリット・デメリットについても検討した。降下過程において高度幅を考慮して降下方式を設計する方法（ここでは「回廊方式」とする。）は、CDO 及び通常降下と比較して、管制運用上、航空機運航上ともにメリットが多いことから、今後の検討材料のひとつになると考える。

謝辞

飛行スケジュールに関するデータ提供の協力をいただきました航空局関係者各位及びリアルタイムシミュレーション実験協力者各位に感謝いたします。

参考文献

- [1] ICAO, “Continuous Descent Operations (CDO) Manual”, ICAO Doc9931, 2010.
- [2] ICAO, “Global Air Navigation Plan 2016-2030”, ICAO Doc9750 Fifth edition, 2016.
- [3] 国土交通省航空局, AIP Japan RJBB AD 2, 2019年2月28日参照.
- [4] 国土交通省航空局, AIP Japan AIC031/15, 030/16, 2019年2月28日参照.
- [5] 福島幸子, 平林博子, 上島一彦, “継続降下運航が実施可能な時間帯の予測” 第14回電子航法研究所研究発表会講演概要 pp.67-72, 2014年6月.
- [6] 福島幸子, 平林博子, 岡恵, 伊藤恵理, ビ

- クラマシンハ・ナヴィンダ・キトマル, “関西空港への継続降下運航 (CDO) の現状と改善点,” 第16回電子航法研究所研究発表会講演概要集 pp.44-49, 2016年6月.
- [7] 平林博子, 福島幸子, 岡恵, ビクラマシンハ・ナヴィンダ, 虎谷大地, “航跡データ解析を用いた関西国際空港における継続降下運航運用拡大の可能性に関する一考察”, 第55回飛行機シンポジウム講演概要 JSASS-107-5037, 2017年11月.
- [8] FAA, “Optimization of Airspace and Procedures in the Metroplex (OAPM)”, Houston OAPM EA Appendix E Study Team Final Report, Jan. 2013.