

7. 関西空港への継続降下運航（CDO）の現状と改善点

航空交通管理領域 ※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

1. はじめに

航空機が降下・着陸するときは、エンジンラストをアイドル（推力最小）の状態連続的に降下することが、燃料節減の面で望ましい。また、より高高度を飛行する方が騒音も低減できる。消費燃料や騒音を低減するために、世界的に多くの空港で継続降下運航（CDO; Continuous Descent Operation）^[1]が検討・導入されてきている。我が国でも、国土交通省の「将来の航空交通システムに関する長期ビジョン（CARATS）」では、CDOを3段階にわけて導入する予定である^[2]。関西国際空港（以下、関西空港）ではCDOの試行運用を経て、平成25年3月7日からCDOが正式運用となった。さらに、那覇空港や鹿児島空港でもCDOが試行運用されている^[3]。

CDOは航空機にとって最適な降下であるため機種や重量、気象条件による差が大きく、航空管制官（以下、管制官）にとっては予測精度の低い運用である。CDO機前後の間隔を確保するために通常よりも広めの間隔を確保する必要があり、現在の運用は交通量の少ない時間帯に限定されている。また運用時間帯であってもCDOは承認されない場合や中止する場合がある。運航者からはCDOの運用拡大が求められているが、CDOの承認のための周辺交通流との相互関係の確認やCDO中止後の降下は管制官には負担であり、現在よりも交通量の多い時間帯への運用拡大には懸念がある。

そこで本研究では、関西空港でCDOが承認されなかった事例や承認されたCDOが中止された事例を分析している。また、運用時間外も含めて、CDOを要求すれば安全に降下できた例を示し、CDO運用時間帯拡大の可能性を報告する。

2. 事例分析

2.1 関西空港のCDO

関西空港では、23時から7時までに到着する到着機に対して、CDOを運用している。図1に関西進入管制区への5つの移管地点名と移管元の航空交通管制部（以下、管制部）名を示す。

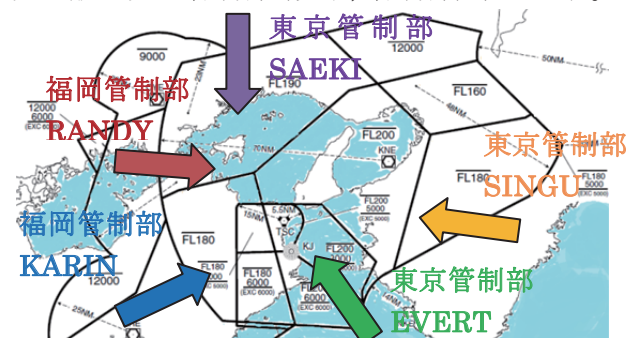


図1 関西空港への到着経路

移管地点のうち、EVERT, KARIN, RANDYからの到着機に対して、パイロットからの要求と周辺交通流に応じてCDOを運用している。

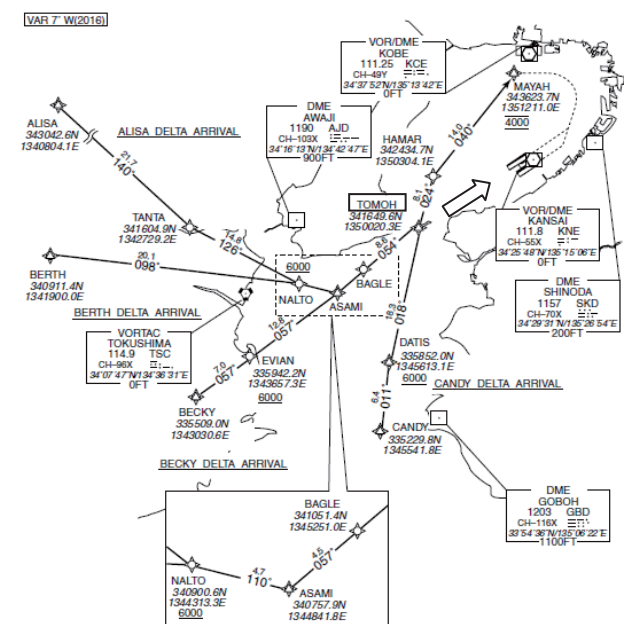


図2 関西空港のCDOの経路の一部

(矢印はRW06L/R, 細線はRW24L/R)

CDO 経路の一部を図 2 に示す。なお、EVERT からは CANDY, KARIN からは BECKY, RANDY からは BERTH という地点に向かう。

CDO 実施を要求する到着機のパイロットは降下開始点 (TOD; Top Of Descent) の 10 分以上前に管制機関に CDO 実施を要求する。要求時、TOD の位置と移管地点の通過予定時刻を通知する。

図 2 に示すように、北風時は滑走路 06L/R (以下、RW06) を使用し南からの進入を行うが、南風時は滑走路 24L/R (以下、RW24) を使用し、北からの進入となる。図は RW24 運用時の STAR (Standard Terminal Arrival Route : 標準到着経路) であるが、RW06 運用時は図中 TOMOH 付近から矢印のように滑走路に向かう。RW06 運用の方が多く、RW06 運用時の移管高度は理想的な高度に近い。滑走路運用による経路長の差は約 26NM である。このため RW24 運用時の CDO 実施時は RW06 よりも TOD の位置が空港に近くなる。

2.2 分析対象期間

2013 年 5 月～2016 年 1 月 (奇数月のある 1

表 1 CDO 実施状況

| | 管制部 (滑走路方向) | | | 関西空港 | | |
|--------|-------------|-------|-------|------|----|-----|
| | 要求 | 非承認 | 承認後中止 | 承認 | 中止 | 承認 |
| 201305 | 12 | | | 12 | 1 | 11 |
| 201307 | 10 | | | 10 | 1 | 9 |
| 201309 | 12 | | | 12 | | 12 |
| 201311 | 5 | | | 5 | | 5 |
| 201401 | 12 | | | 12 | | 12 |
| 201403 | 14 | | 1(06) | 13 | | 13 |
| 201405 | 16 | | | 16 | 2 | 14 |
| 201407 | 13 | 1(24) | | 12 | 5 | 7 |
| 201409 | 16 | 1(06) | | 15 | 3 | 12 |
| 201411 | 16 | 1(24) | | 15 | 2 | 14 |
| 201501 | 13 | | 1(06) | 12 | 2 | 10 |
| 201503 | 16 | 1(06) | | 15 | 3 | 12 |
| 201505 | 24 | 1(24) | | 23 | 7 | 16 |
| 201507 | 18 | | | 18 | 8 | 10 |
| 201509 | 12 | | | 12 | 2 | 10 |
| 201511 | 17 | | 1(06) | 16 | 3 | 13 |
| 201601 | 19 | 1(24) | 1(24) | 17 | 2 | 15 |
| 合計 | 255 | 6 | 4 | 245 | 41 | 201 |

空欄は全て 0

週間) 分を解析対象とした。関西空港の CDO の要求、承認 (非承認)、中止の実績記録から、電子航法研究所が関西 ARTS (Automated Radar Terminal Systems) データ及び RDP

(Radar Data Processing System) データの提供を受けている期間内を分析対象とした。実施件数を月ごとに抽出し表 1 に示す。管制部での非承認/中止については月に 1 件未満であり、そのときの滑走路方向を括弧内に記載した。

CDO の要求に対して、管制部で非承認/承認後の中止となった割合は 4%程度であるが、進入管制区内で中止となる割合は約 16%であった。管制部で非承認や中止となった件数は RW06 と RW24 はほぼ同数であった。滑走路運用としては RW06 の方の割合が高いので、RW24 の方が非承認/中止となる割合は高い。

2.3 管制部での非承認の要因

表 1 より CDO 要求が承認されなかったのは 6 件であった。この主な要因について示す。

管制部での非承認の要因は多く分けて 3 つある。1 つは図 3 に示すように、同一航空路から同一地点を目指す後続到着機の巡航高度が低い場合である。

もう 1 つは、通過機との関係である。交差航空路に巡航高度の異なる低い通過機が飛行した場合、高度条件をつけて交差させる場合もあるが、特に航空路に巡航高度の異なる複数の通過機が飛行していた場合は、条件を付加した CDO

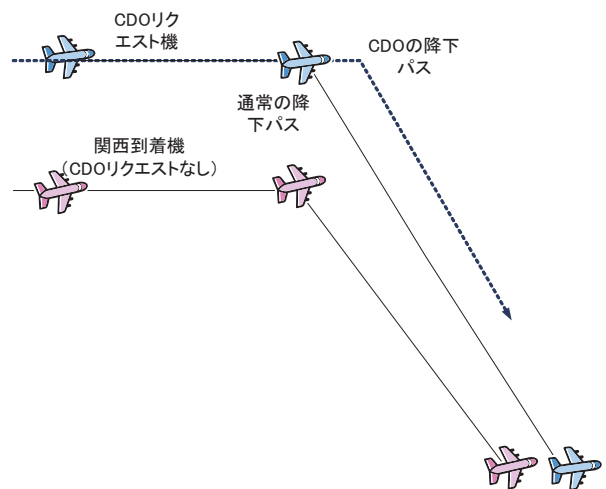


図 3 非承認の要因 1 (後続機の巡航高度が低い)

の指示が難しい。このケースは EVERT からの到着機や KARIN からの到着機に見受けられる。

特に RW24 運用時の場合は移管地点から滑走路までの距離が長く RW06 運用時に比べて TOD の位置が空港に近くなるので、交差航空路との交差時の高度は RW06 運用時に比べ高くなる。KARIN からの到着機が航空路 Y81 と交差するときの例を図 4 に示す。CDO 実施例で、RW06 運用時の場合は滑走路までの距離が短いので Y81 通過高度は解析対象期間で 21,300～28,800ft の幅であったが、RW24 運用時の場合は 21,600～30,000ft の幅であり、その不確実性は CDO の中止要因として大きい。図 4 以外にも交差時に高度によっては承認できない場合がある。

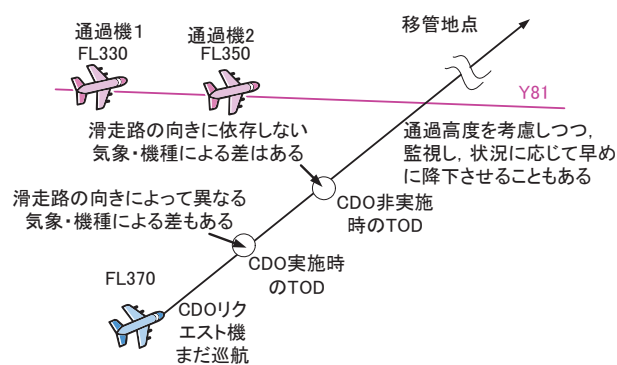


図 4 非承認の要因 2（複数の通過機）

また CDO を実施していなくても、ショートカットを行っている場合（非承認の要因 3）があった。これは単なる経路短縮の場合もあったが、通過機との交差を避けるためのショートカットもあった。

2.4 管制部での中止要因

表 1 では 4 件の承認機（降下中を含む）について CDO 中止があった。

非承認の要因 1 に似ているが、承認時は安全に擦過できると予想されたが、先行機の降下が遅かったものと推測されるものがあった。また、非承認の要因 2 と同様に、承認時は安全に擦過できると予想されたが、

- 水平飛行していた隣接セクタからの通過機が予想以上に早く上昇もしくは降下を始めた。

- 当該機が降下を始めたところ間隔欠如が予想された。

という場合があった。

しかし、CDO を中止し予定の CDO よりは早めに降下はしたものの、通常の降下よりは理想的な降下となったものもあった。

2.5 関西進入管制区での中止要因

表 1 では CDO 実施中の到着機について 41 件の中止があった。主な中止理由は以下の 6 つであった。

最も多い中止理由は先行機の存在である。通常、進入管制区入域時に先行機と 10NM の間隔があれば、大きな誘導はなく着陸できる。しかし、CDO の場合は航空機毎の最適な降下を実施しているため、前後機の機種組み合わせにもよるが、20NM 程度の間隔がないと間隔確保を担保できない。

特に、先行機が間隔確保のために誘導されていた場合（中止要因 1）は、20NM 程度の間隔では確実に中止になっている。

先行機との距離がある程度確保されている場合でも進入管制区への移管地点が同一の場合には 20NM 程度あれば中止されないケースが多かったが、異なる移管地点の場合（中止要因 2）は 40NM 程度あっても中止となった場合があった。

同様に多い理由は、出発機の存在による中止である（中止要因 3）。進入管制区に入域してしばらくしてから出発した場合、出発機の経路によっては経路交差前に 1,000ft の高度差を確保（例：出発機を 9,000ft、到着機を 10,000ft で水平飛行）して交差させている。交差例を図 5 に示す。

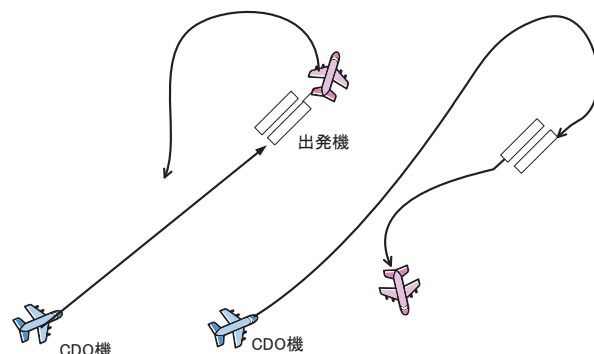


図 5 中止要因 3（出発機との交差）

また、離陸前であってもスポットアウトしていた場合、滑走路の方向によっては CDO を中止した場合があった。

先行機が CDO を実施し、後続機が 1 機の場合は後続機のために CDO を中止せず、不確実性は後続機の誘導となるが、後続機が近い位置に複数存在した場合（中止要因 4）は、CDO を中止し最低間隔を確実に確保していた。その例を図 6 に示す。

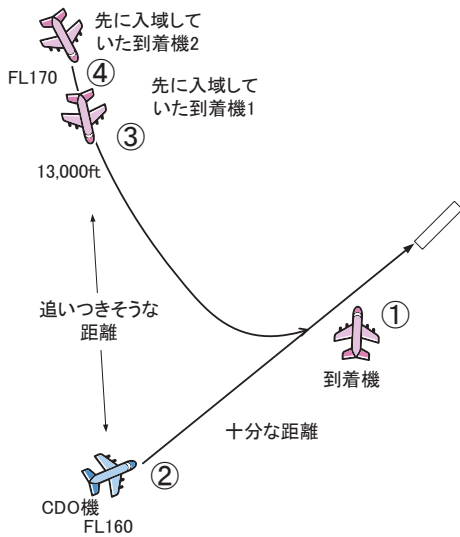


図 6 中止要因 4（後続機が複数存在）

CDO 実施機自体は間隔設定に問題がない状況でも、空域内の航空機数が多く、他機同士の交錯の可能性がある場合もあった（中止要因 5）。

要因はレーダ画面からは不明であるが、関連機がないのに経路延伸しているものや急に降下している場合があった。これは天候による（中止要因 6）経路変更や降下と推察される。

3. CDO 実施可能性の検討

2.3～2.5 の事例に匹敵する可能性があったが、中止しなかった事例を紹介する。

3.1 複数の通過機（非承認の要因 2）

複数の通過機が存在したために承認されなかった例として KARIN からの進入を例にとる。CDO を実施する KARIN 進入機は南九州東セクタ（F08）で CDO を要求／承認され、TOD で降下を始め、隣の四国南セクタ（F16）を降下しながら飛行し、そのまま進入管制区へと移管される。

表 2 に CDO 要求機の F08 入域時の F08 内の機数及び、F08 から F16 移管直前（移管後 Y81 と交差する）の F08, F16 それぞれの機数と Y81 を飛行する交差前 80NM 程度の通過機数を示す。

表 2 F08 入出域時の交通量

| | F08 入域時 | | F08 出域時 | |
|-------|---------|-----|---------|-----------|
| | F08 | F08 | F16 | Y81 交差前機数 |
| 中止機 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 承認機 1 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| 承認機 2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 承認機 3 | 0 | 4 | 3 | 2 |
| 承認機 4 | 4 | 2 | 1 | 1 |
| 承認機 5 | 0 | 3 | 3 | 3 |

承認機 4 は Y81 の交差機数は 1 機であったが、交差通過機と高度が同じであり、事前に高度を 2,000ft 下げてから CDO を承認している。この時間帯の交通量では、中止は、交通量よりも、Y81 の通過高度に起因したようである。

3.2 複数の到着機（中止要因 2, 4）

先行機が複数存在した場合、また後続機が複数続いたために CDO が中止となった例について検討する。表 3 に進入管制区入域時の空域内の到着機（後続機となるかどうかは位置による）機数の例を示す。

先行機が 3 機以上存在した場合は中止になる場合が多かった、また後続機がぎりぎりの間隔

表 3 進入管制区の交通量（CDO 機入域時及び到着前）

| | RJBB 入域時 | | 到着前 | |
|-------|----------|-----|-----|-----|
| | ARR | DEP | ARR | DEP |
| 中止機 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 中止機 2 | 4 | 4 | 2 | 0 |
| 中止機 3 | 4 | 4 | 2 | 0 |
| 中止機 4 | 2 | 0 | 2 | 2 |
| 承認機 1 | 2 | 0 | 2 | 0 |
| 承認機 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 承認機 3 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 承認機 4 | 1 | 0 | 2 | 0 |

で2機続いた場合も中止となる場合が多かった。

4. 考察

4.1 CDO 実施可否判断

CDO を実施できたかの判断として、以下の3つを検討してきた[4-6]。

1. 航空路管制での継続降下可能性
2. 入域時の到着間隔保持
3. 出発機との交差なし

CDO の実施判断のため、3段階で可否を判断することを提案し、そのような時間帯が現在の運用時間外に存在することを示した。

しかし、上記の条件は CDO 機の周辺交通流との管制間隔の確保は考慮しているが、CDO 機を管制する管制官の担当空域内の交通流までは考慮していない。

CDO の運用時間帯を拡大する場合の運用上の問題点として、交通量が増えることから生じる以下があげられる。

- 管制間隔が欠如する可能性が高くなる。またそれを確認するべき相手機が複数となる。
- 管制作業量が増える。

そこで新たに航空交通流管理における作業負荷を可否判断に付加したい。

4.2 航空交通流管理

我が国の航空路管制セクタの航空交通流管理では単位時間あたりの作業負荷を計算し、その値が許容値を超えないように、出発遅延や経路変更によって調整している。

時刻 t における時間 T あたりの作業負荷 $TASK_T(t)$ は、時刻 t における各航空機 i の作業負荷の総和で計算される。作業負荷は滞在時間 $ST_T(t, i)$ とセクタ毎に飛行の運航種別 CAT (出発機, 到着機, 通過機, 域内機) によって定義された管制作業負荷係数 C_{CAT} との積で表される。

$$TASK_T(t) = \sum_i ST_T(t, i) \cdot C_{CAT} \quad (1)$$

そして(2)式

$$TASK_T(t) > T \quad (2)$$

のように $TASK_T(t)$ が T の 100% を超えることが予想された場合、出発遅延や経路変更などで 100% を超えないように事前調整している。

現在、航空交通管理センターは T として 30 分を用い航空交通流管理を運用している。

しかし、上記管制作業負荷係数を設定した当時は CDO はまだ導入されていなかった。また、現在 CDO が運用されているのは航空交通流管理がかからないような交通量の少ない時間帯である。

通過機に比べて出発機や到着機にかける管制作業量は多くのセクタで多いが、CDO 機にかける管制作業量は通常の到着機にかける作業量よりも多い。通常の到着機の場合は高度指示やレーダ誘導を行う。CDO 機にはそのような指示は行わないが、周辺交通流との監視作業が増加する。またその作業量は周辺交通量が増えるにしたがってさらに増加する。今後、CDO の運用を拡大していく場合、航空交通流管理上の到着機の単価を見直す必要もしくは CDO 運用のための容量値の検討が必要である。

空港の交通流管理は時間あたりの滑走路使用機数などで定義されている。CDO を実施するときにそのぎりぎりの数値は難しい。また入域 FIX によって先行機との距離と CDO 中止判断は異なるので、入域時の滑走路方向や空域内の機数、先行機の進入 FIX とそこまでの距離などの関係性を明らかにしたい。

4.3 速度調整

非承認の要因 1 である、後続機の追いつき及び、中止要因 1 である先行機の存在については、速度調整による解決策が考えられる。

特に、CDO 実施機の後続機の間隔確保が難しいと予想される場合に、後続機を絞ることで間隔を確保することができる。

進入管制区で先行機との間隔が確保できないときに、CDO 実施機を減速させて間隔を確保するのか、CDO を中止してぎりぎりの間隔で誘導するのはどちらが効率がよいかは航空会社の意見を参考に今後検討する必要がある。

4.4 運用時間内での CDO 実施可能性

ある 2 日間について、運用時間内の到着機数と CDO が可能であった機数、実際の CDO 要求機数、実施機数について表 4 に示す。関西空港では 5 つの進入方向のうち 3 方向から

のみ CDO が実施可能なので、“CDO 可能方向”として 3 方向からの到着機数を併せて示す。

CDO が可能であったかの判断としてレーダデータから以下の 3 条件を満たすかで判断した。

1. レーダ誘導を行っていなかった到着機が TOD から降下したとして航空路部分で連続的に降下できた。
2. ターミナルで先行機との距離が同一移管地点であれば 20NM 以上、異なる移管地点であれば 40NM 以上離れていた。
3. 関連する経路の出発機が出発しなかった。

表 4 運用時間内の CDO 実施可能機数

| | 到着機数 | CDO 可能方向 | CDO 可能 | CDO 要求 | CDO 承認 |
|--------------|------|----------|--------|--------|--------|
| DAY1 RW06 | | | | | |
| 0000-0700 | 17 | 15 | 9 | 1 | 1 |
| 2300-2400 | 7 | 6 | 4 | 2 | 1 |
| DAY2 ほぼ RW24 | | | | | |
| 0000-0700 | 18 | 18 | 8 | 2 | 0 |
| 2300-2400 | 6 | 5 | 1 | 0 | 0 |

現在の運用時間内で CDO が実施可能であるのに要求していない機が多いことがわかる。

4.5 運用時間外での実施可能性

4.4 で検討した日について運用時間外で、CDO が可能であった機数を表 5 に示す。

運用時間内は 24 時間運用を行っていない空港の出発到着機が飛行していないが、運用時間外となると監視すべき交差航空路が増えることになる。DAY2 は RW24 であり航空路管制部分での通過機との交差や進入管制区入域後の出発機との交差など、CDO が継続できない状況が RW06 よりも多かった。4.4 での条件 2 は基礎検討をするための厳しめの条件であり、状況に応じて CDO 可能となる機数は増加する。

5. まとめ

関西空港での CDO の実施状況を分析し、航空路管制セクタでの非承認及び中止の要因として 3 件、進入管制区での中止要因として 6 件を抽出した。そして、到着滑走路の異なる 2 日間について CDO 実施可能状況をレーダデータから解析し、運用時間内で可能でありながら要求

表 5 運用時間内の CDO 実施可能機数

| | 到着機数 | CDO 可能方向 | CDO 可能 |
|--------------|------|----------|--------|
| DAY1 RW06 | | | |
| 0700-1200 | 54 | 26 | 2 |
| 1200-1500 | 39 | 24 | 5 |
| 1500-1800 | 50 | 27 | 0 |
| 1800-2200 | 58 | 38 | 7 |
| 2200-2300 | 13 | 6 | 1 |
| DAY2 ほぼ RW24 | | | |
| 0700-1200 | 53 | 27 | 2 |
| 1200-1500 | 35 | 19 | 0 |
| 1500-1800 | 49 | 29 | 2 |
| 1800-2200 | 60 | 36 | 3 |
| 2200-2300 | 12 | 5 | 0 |

していないケースがあることを示した。また、運用時間外でも数機は CDO が可能であったことを示した。

今後は、CDO の拡大として上記非承認・中止の要因をもとに拡大可能な交通量を明らかにしていく予定である。

謝辞

関西空港 ARTS データ、RDP 及び CDO 実施実績票をご提供くださった国土交通省航空局の関係者各位に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] ICAO: Continuous Descent Operations (CDO) Manual. ICAO Doc 9931, 2010.
- [2] 将来の航空交通システムに関する推進協議会: CARATS プログレスレポート 2011-2013. (<https://www.mlit.go.jp/common/000993373.pdf>)
- [3] AIP Japan, 国土交通省航空局.
- [4] 福島幸子, 平林博子, 岡恵, “混雑空港に近接する空港への継続降下運航の課題”, 第 52 回飛行機シンポジウム講演概要, 2014 年 10 月.
- [5] 福島幸子, 平林博子, 岡恵, “エンルート空域における継続降下運航の可能性についての一検討”, 年会講演会, 2015 年 4 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, “関西国際空港への継続降下運航の運用時間拡大の課題”, 第 53 回飛行機シンポジウム講演概要, 2015 年 11 月.