

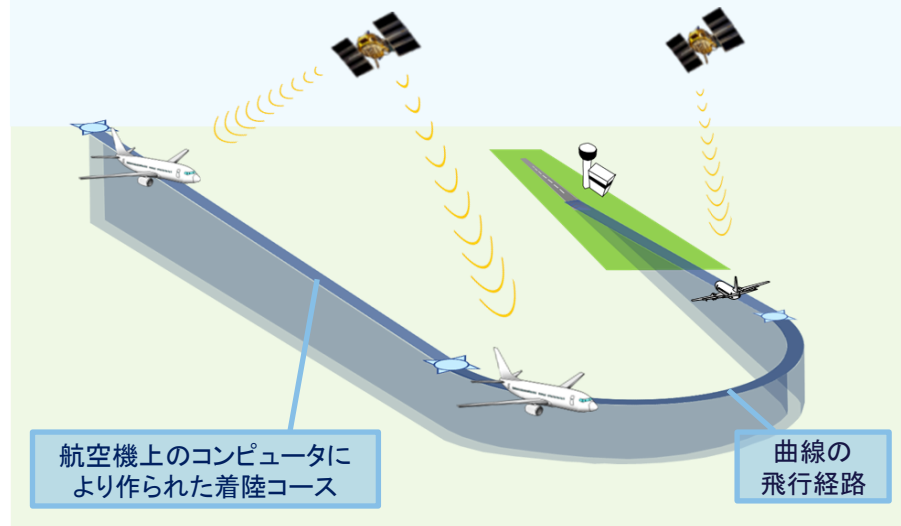
飛行方式の検討について

【RNP-AR】

(Required Navigation Performance-Authorization Required)

【概要】

測位衛星からの信号を元に、航空機に搭載されたコンピュータが自機の位置を把握しながら計算して飛行する、精度の高い曲線経路を含む進入方式



【具体的取組事項】

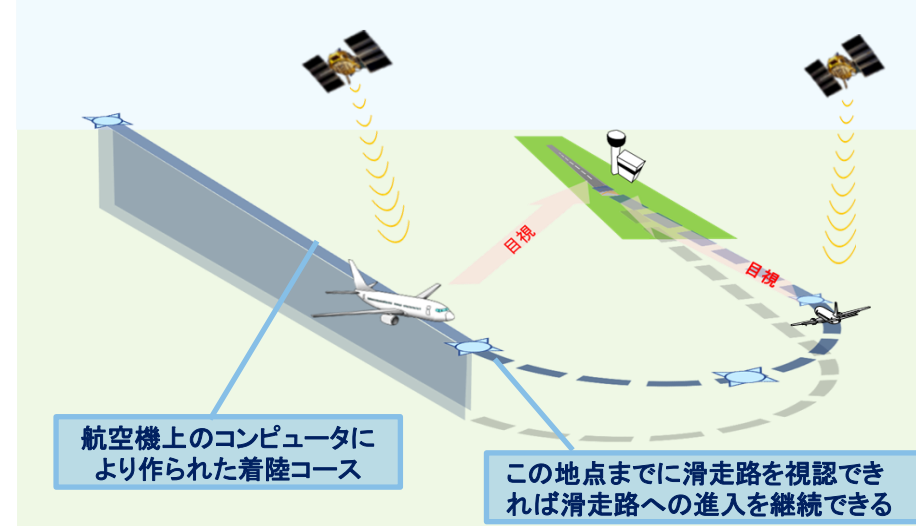
- A・C滑走路への同時進入のための安全性評価⇒基準策定
- RNP-AR進入方式の実施率向上のための許可要件見直しに係る検討
- 対応機材拡大のための運航者への働きかけ

【RNP+WPガイダンス付き】

(Way Point)

【概要】

測位衛星からの信号による経路を飛行ののち、進入復行点以降、ウェイポイントを参考にしながらパイロットの目視により進入する方式



【具体的取組事項】

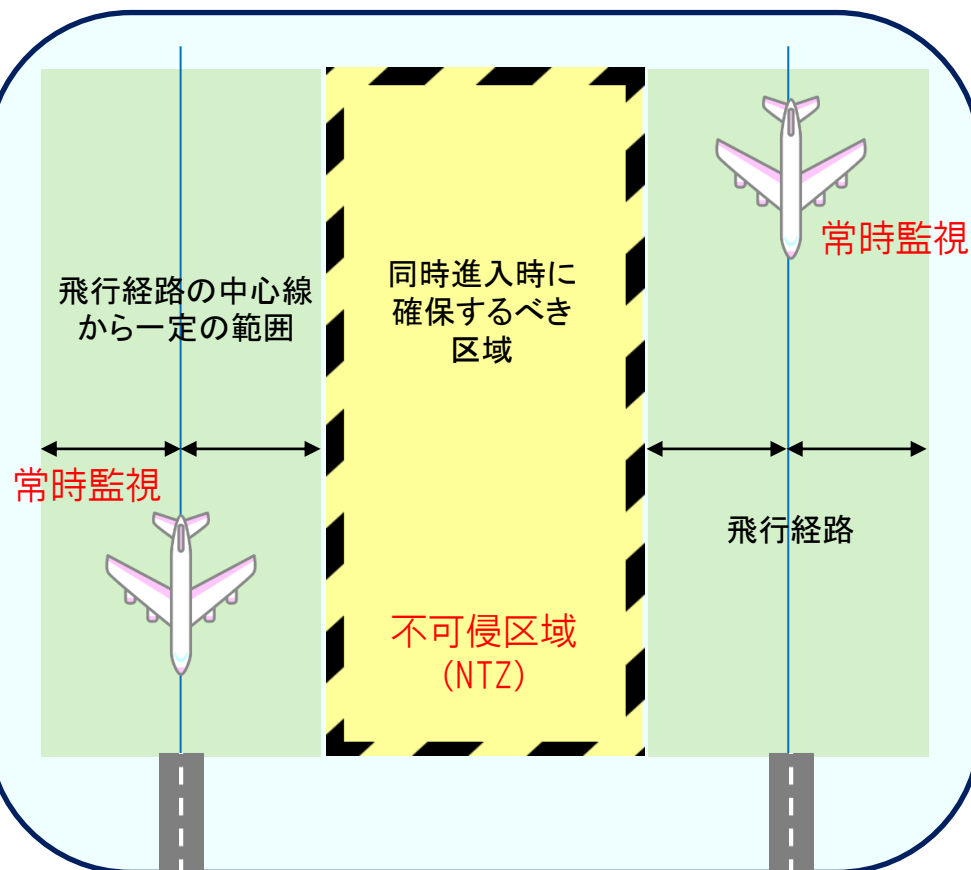
- 飛行方式単体の安全性評価⇒基準策定
- A・C滑走路への同時進入のための安全性評価⇒基準策定
- 航空機の運航に関する基準の整理
- シミュレーションによる運航手順、パイロット操作負荷等の検証

- 第4回検討会で選定した2方式について、具体的な取り組みの状況は以下のとおり。
- 同時運用のための安全性検証は完了した。

前提条件設定	モデルの検証	経路の設計・検証	関係者との調整
✓導入における海外状況の確認 ー導入事例、飛行方式設定基準、導入プロセス、評価手法を確認 ✓暫定基準・モデル方式の作成 ーセグメント最小値、保護空域等を考慮 ーモデルとなる方式設計を実施	✓基準評価シミュレーション実施 ー飛行方式の飛行可能性、目視物標視認検証 ーワークロードの確認 ✓障害物評価手法の評価 ー経路からの逸脱度合いやその頻度を評価 ✓同時進入監視要件の設定 ー経路逸脱量・頻度を検証 ーTCAS RA鳴動検証、衝突回避手法検討	✓航空局でのシミュレーション実施 ー暫定経路の作成、ATCによるリアルタイムシミュレーションを実施し、評価改善 ✓航空会社でのシミュレーション実施 ー航空局での検証を経た経路案を航空会社に提示 ー航空会社によるシミュレーションや調整を実施	✓国際民間航空機関(ICAO)との調整 ー関係作業部会との調整 ✓運航者との調整 ー飛行方式の安全性・運用ルールを説明、理解を得る ※赤字は終了 ※青字は今後実施予定のもの

1. 同時運用の安全間隔の考え方

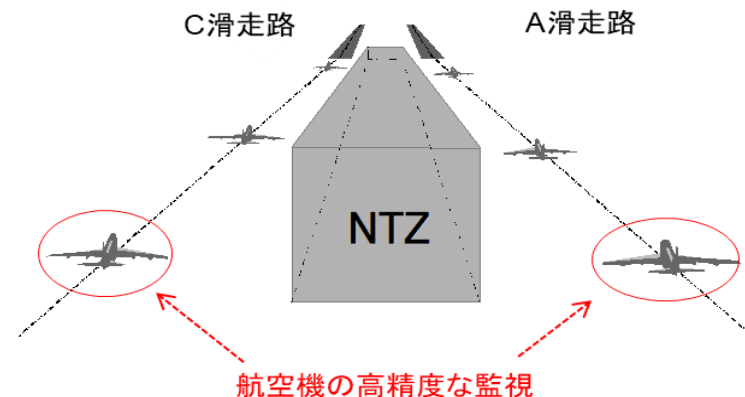
- 国際基準により、1310メートル以上離れた平行滑走路においては、両方の滑走路を同時に独立して離着陸に使用できることとなっている。《羽田空港の平行滑走路(A・C滑走路)の間隔は1700メートル》
- 加えて、それぞれの滑走路に独立して進入するためには、進入経路間に航空機が他の滑走路へ進入する航空機に影響を与えないための区域(不可侵区域:NTZ)を設け、この区域に侵入しないよう専門の管制官により常時監視を行うことで可能となる。



【NTZ 監視】

2本の滑走路の中心に「NTZ※(不可侵区域)」を設定し、監視専用の管制卓により、進入する航空機を**WAMIにより専門の管制官が常時監視**する。

※羽田空港同時RNAV進入(A滑走路・C滑走路)に活用



※ No Transgression Zone (不可侵区域)

WAM : 航空機の位置情報を、より監視精度の高いレーダー(1秒間隔)を使用して、高精度に位置測位が可能となる。

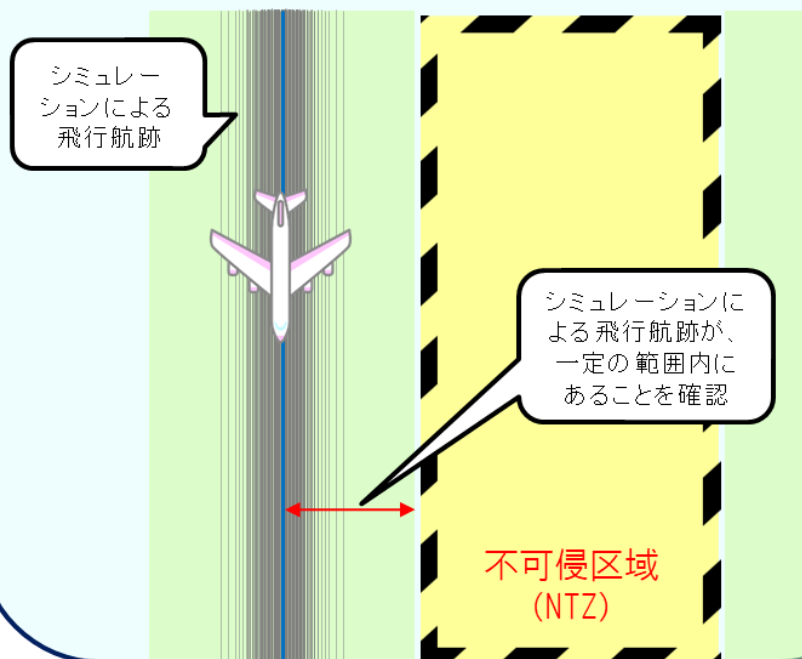
2. 検証項目①～②

同時運用のための安全性検証の項目①

【経路からの逸脱に関する検証】

- 通常の運航（進入・着陸のやり直しを含む）時に発生する、経路からの逸脱について、その頻度及び量を評価する。
- 通常の運航（進入・着陸のやり直しを含む）時における、TCASの作動状況の評価する。

経路からの逸脱に関する検証イメージ

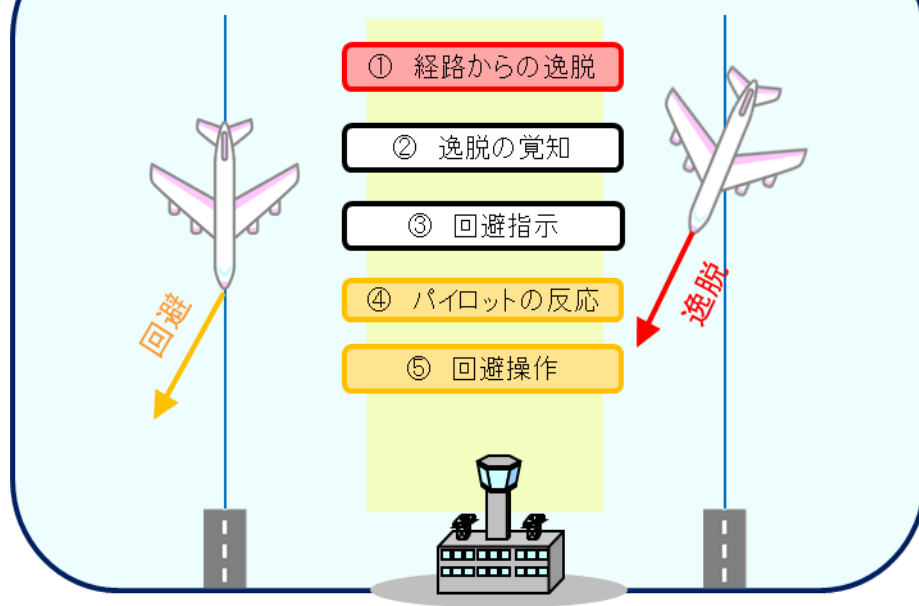


同時運用のための安全性検証の項目②

【同時運用の監視要件・方法等に関する検証】

- 通常でない運航（管制官の回避指示が必要となる逸脱を伴う運航）が発生した場合において、曲線経路を用いた同時運用に係る一連の衝突回避が、安全な水準で実施可能であるかどうかを検証する。

同時進入時の回避手法



2. 検証項目③～安全性の判定

同時運用のための安全性検証の項目③ 【安全性評価(リスク管理)】

- 飛行方式・同時運用方式の導入にあたり、関係者(航空局・運航者等)約40名から構成される「安全性評価会」を設置し、右の①～③の手順に沿って、定性的に評価する。

Safety Risk		Severity				
Probability		Catastrophic A	Hazardous B	Major C	Minor D	Negligible E
Frequent	5	5A	5B	5C	5D	5E
Occasional	4	4A	4B	4C	4D	4E
Remote	3	3A	3B	3C	3D	3E
Improbable	2	2A	2B	2C	2D	2E
Extremely improbable	1	1A	1B	1C	1D	1E

*ICAO DOC9859 Safety Management Manualから抜粋

① **ハザードの特定**
運用上・運航上起こりうるリスク事象を検討し、特定する。

② **リスク評価**
特定されたリスクについて、その「発生確率」と発生した場合の「被害の重大度」を5段階で評価する。評価結果は、ハザードごとに「**受容可能**」、「**限定付き受容可能**」、「**受容不可**」の3段階で判定する。

③ **リスク低減策の検討**
リスク評価の結果、限定付き受容可能と判定されたハザードは、リスクが「合理的に実現可能な範囲でできるだけ低いレベル」に抑えられた状態とするための、リスク低減策の検討・実施をする。

同時運用のための安全性の判定

- 同時運用のための安全性検証の項目①及び②から判明した衝突の確率が、達成すべき安全レベルを満たすことができるかどうかを判定する。
- 同時運用のための安全性評価の項目③では、同時運用を行うにあたり起こりうるリスク事象に対して、「受容不可であるリスク事象の排除」又は「限定付き受容可能であるリスク事象に対するリスク低減策の実施」が可能であるかどうかを判定する。

3. 安全性検証の前提条件

【達成すべき安全レベル】

○ 達成すべき安全レベルとして、両経路を飛行する航空機同士が衝突する確率を、 1×10^{-9} ／進入以内と定めた。

米国のCode of Federal Regulationsにおいては、航空機の機器、システムが準拠すべき要件が規定されており、それらの壊滅的な損失可能性は「極めてまれ」でなければならないとされている。当該規則を補足するために米国の航空当局であるFederal Aviation Administrationが発行するサーキュラーにおいては、当該規則における壊滅的事象を機体の損失や複数人の死者等を伴うものとし、その発生可能性として規定された「極めてまれ」を数値化した上で、飛行時間ごとに 1×10^{-9} 以下としている。また、欧州の民間航空機産業における安全に関する分野での規則やその管理をするEuropean Union Aviation Safety Agencyにおいても同様に、航空機の重要なシステムや耐久性について、壊滅的な事故の発生は、飛行時間ごとに 1×10^{-9} 以下としなければならないと規定している。

本同時進入において衝突事故が発生した場合には、壊滅的な結果となることが想定されることから、壊滅的な事故の発生可能性として、航空システムの安全性の指標として一般的に用いられる 1×10^{-9} を目標することとした。なお、米国における同様の安全性検証においても、当該数値を用いて検証の結論を出している。

【同時運用の前提条件】

○ 安全性検証にあたり、以下の前提条件を定めた。

項 目		内 容		備 考
滑走路		羽田空港のA滑走路(16R)及びC滑走路(16L)		滑走路間の間隔は1700m
進入方式	滑走路16R	既存の方式		
	滑走路16L	RNP AR方式 ※最終進入区間ではRNP0.3を指定	RNP+WPガイダンス付き方式	○ 検証のための経路案 ○ 降下角は、3.0度
運航要件		○ 「RNAV航行の許可基準及び審査要領」(平成19年6月7日制定 国空航第195号 航空機第249号) 付属書8 「RNP AR APCH航行に関する運航基準」により運航	○ Auto Pilot又はFlight Directorを使用して、Navigation Databaseを参照し、出来る限り経路の中心線上を飛行することを推奨 ○ 復行時に経路の中心線上を飛行できない場合には、速やかに公示された磁針路で飛行	
管制運用・気象・システム		○ 同時進入を実施するために必要な条件を満たしていること		監視機器、レーダー表示画面、通信機器等
NTZ		○ NTZの最小幅である610Mが確保されていること ○ レーダー監視を実施するにあたり必要な環境があること		NTZの形状及び監視範囲は、ICAO Doc 9643 "Manual on Simultaneous Operations on Parallel or Near-Parallel Instrument Runways (SOIR)" Appendix A "Established on RNP AR APCH"に基づく

4. 検証結果①ー1

同時運用のための安全性検証の項目① 【経路からの逸脱に関する検証】

RNP AR方式、RNP+WPガイダンス付き方式それぞれに、通常の運航（進入・着陸のやり直しを含む）時に発生する、経路からの逸脱について、その頻度及び量を評価する。

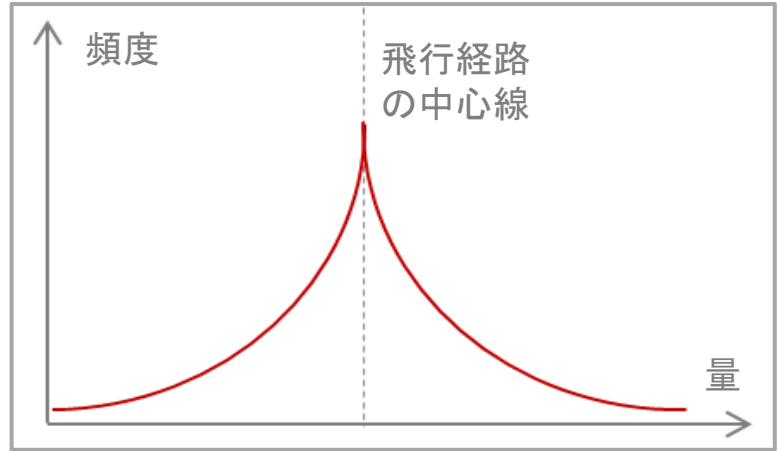
《手 順》

- ① フライトシミュレータにより、検証のための経路案を3つの飛行方法（Flight Directorを使用／Auto Pilotを使用／いずれも使用せずに目視により飛行）によりシミュレーションを実施

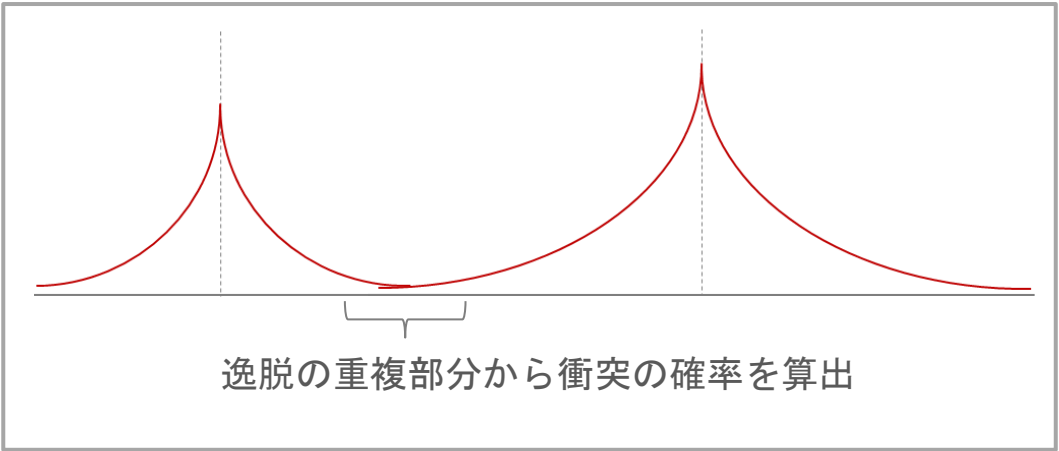
シミュレーション実施条件

- 風向風速 無風状態、地上風（向かい風、横風、背風）、上空風（向かい風、横風、背風）の状況から、微風～強風までの条件を与え、複数のケースを設定
- 地上気温 標準大気（15℃）、夏場の高気温、冬場の低気温

- ② ①のシミュレーションデータを用いて、滑走路16Lの飛行経路からの逸脱頻度・逸脱量をモデル化
- ③ 既存飛行方式の実績データを用いて、滑走路16Rの飛行経路からの逸脱頻度・逸脱量をモデル化
※モデル化は、指数分布を用い、その指数分布のパラメータは逸脱量分布の平均で推定することでおこなった。
- ④ 実際の運航環境のもと、②及び③の逸脱モデルを用いて衝突の確率を算出



（逸脱モデルのイメージ）



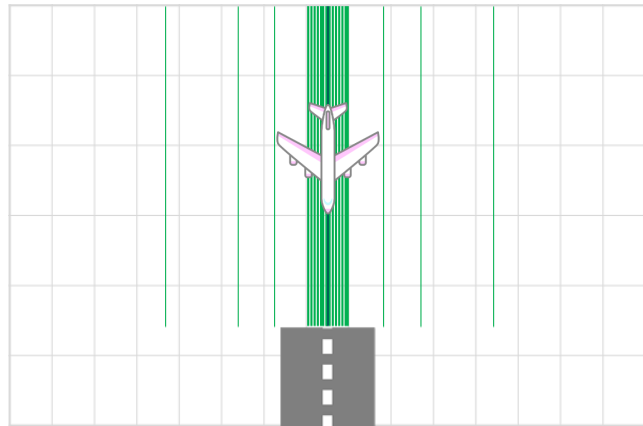
（衝突の確率算出のイメージ）

4. 検証結果①ー2

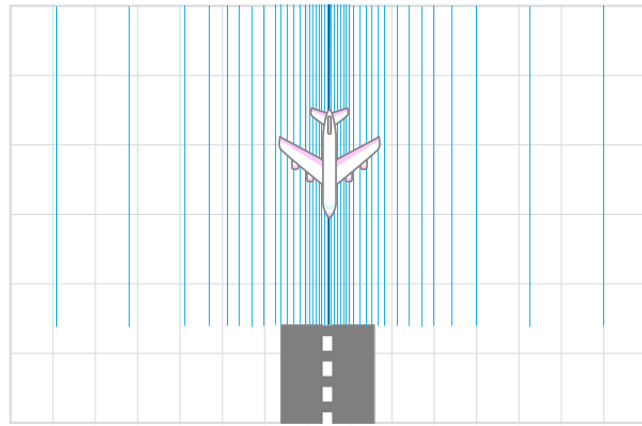
同時運用のための安全性検証の項目① 【経路からの逸脱に関する検証】

《結 果》

- Auto Pilotを使用した進入では、一部の機種が進入・着陸のやり直し時にわずかに経路から逸脱する傾向
- Flight Directorを使用した進入では、一部の機種が進入・着陸のやり直し時に逸脱が大きくなる傾向
- Auto Pilot、Flight Directorのいずれも使用しない目視による進入では、進入継続時、進入・着陸のやり直し時のいずれにおいても大きく逸脱が発生する傾向
- RNP AR方式では、多くの進入においてAuto Pilotが使用されること、Auto Pilot又はFlight Directorが必ず使用されることから、逸脱の頻度・量ともにわずかであった。
- RNP+WPガイダンス付き方式では、ほとんどの進入においてFlight Directorが使用されること、Auto Pilot、Flight Directorのいずれも使用しない目視による進入もまれに発生することが想定されることから、一部の飛行では逸脱が顕著に大きくなる傾向であった。



(RNP AR方式の逸脱傾向のイメージ)



(RNP+WPガイダンス付き方式の逸脱傾向のイメージ)

《衝突の確率》

- 滑走路16LへのRNP AR方式を用いた同時運用における通常の運航(進入・着陸のやり直しを含む)時の衝突が発生する確率は、 0.046×10^{-9} / 進入。
- 滑走路16LへのRNP+WP方式を用いた同時運用における通常の運航(進入・着陸のやり直しを含む)時の衝突が発生する確率は、 0.187×10^{-9} / 進入。

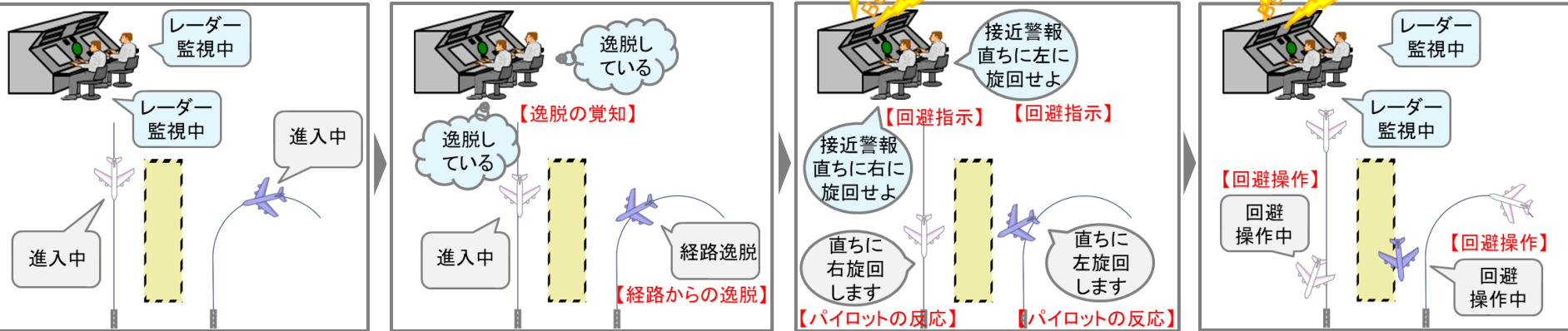
4. 検証結果②-1

同時運用のための安全性検証の項目②【同時運用の監視要件・方法等に関する検証】

通常でない運航(管制官の回避指示が必要となる逸脱を伴う運航)が発生した場合において、曲線経路を用いた同時運用に係る一連の衝突回避が、安全な水準で実施可能であるかどうかを検証する。

《手 順》

- ① 研究機関・運航者等との意見交換を行った上で、通常でない運航に伴う横方向の逸脱が発生する状況を想定
- ② ①の状況ごとにシナリオを設定
 - ア 逸脱した航空機が飛行する航跡をパターン化
 - イ 逸脱発生時の環境(航空機型式、重量、風などの衝突する確率に影響する可能性のある項目)を設定
 - ウ 管制官及びパイロットの行動をモデル化



(航空機が経路から逸脱したときの、一連の衝突回避イメージ)

管制官の行動モデルについて

- ① ランダムに逸脱が発生するシナリオをシミュレータに設定し、管制官がシミュレーションを実施【経路からの逸脱】
- ② 管制官が逸脱を覚知し、回避指示を発出するまでの行動や反応時間を計測、記録【逸脱の覚知】～【回避指示】
- ③ ②の内容から、管制官の発言時間モデル、指示タイミングモデルを作成

パイロットの行動モデルについて

- ① 進入中に、管制官役がランダムに回避指示を発出
- ② 指示受領から回避操作完了までの行動や反応時間を計測、記録【パイロットの反応】～【回避操作】
- ③ ②の内容から、指示受領から進入をやり直すための機体の姿勢・速度の変更操作までの操作時間モデル、その後回避を行うための操作を完了するまでの操作時間モデルをそれぞれに作成

4. 検証結果②-2

同時運用のための安全性検証の項目②【同時運用の監視要件・方法等に関する検証】

《手 順》

③ ファストタイムシミュレーションによる検証

ア パイロット及び管制官の行動モデル、航空機の挙動、頻度及び逸脱発生シナリオをパラメータとして設定

イ ファストタイムシミュレーションの実施

(ア) 航空機逸脱の発生

(イ) 管制官モデルに従い、指示開始タイミングを確定

(ウ) 管制官モデルに従い、指示終了時刻を確定

(エ) パイロットモデルに従い、回避のための操作の完了時刻を確定

(オ) 2機の航空機間に衝突があったかを判定

(カ) 上記(ア)から(オ)を繰り返し実施

④ ファストタイムシミュレーションの結果に、風向風速などの環境パラメータを考慮の上、衝突する確率を算出。

ファストタイムシミュレーション

想定環境をシミュレーションで模擬するものであり、多くの計算を行うことにより安全レベルを評価するのに用いる。実施回数の妥当性を検討するために信頼区間を確認する。統計で使用するClopper-Pearsonによって母比率の信頼区間を求めるため、ファストタイムシミュレーションの検証回数は、100万回と設定した。

本検証においては、ファストタイムシミュレーションを条件ごとに100万回実施(合計9600万回実施)。得られた衝突回数をもとに、95%信頼区間の上限値に基づき衝突確率を計算した。

《結 果》

- 滑走路16LへのRNP AR方式を用いた同時運用時において、通常でない運航(管制官の回避指示が必要となる逸脱が伴う運航)が発生し、かつ衝突が発生する確率は、 0.677×10^{-9} / 進入。
- 滑走路16LへのRNP+WPガイダンス付き方式を用いた同時運用時において、通常でない運航(管制官の回避指示が必要となる逸脱を伴う運航)が発生し、かつ衝突が発生する確率は、 1.938×10^{-9} / 進入。

4. 検証結果③

同時運用のための安全性検証の項目③ 【安全性評価(リスク管理)の実施】

飛行方式・同時運用方式について、関係者(航空局・運航者等)から構成する「安全性評価会」を設置し、定性的に評価

- ＜手 順＞
- ① 同時運用を実施するにあたり、運用上・運航上起こると想定されるリスク事象(ハザード)を検討し、特定
 - ② ハザードに係るリスクの度合いを、発生確率(1～5)と被害の重大度(A～E)により5段で評価
 - ③ 限定付き受容可能なハザードは、リスクを可能な限り小さくするため、合理的に実施可能なリスク低減策を検討・実施
- ＜結 果＞

特定したハザード	リスク評価結果	
	RNP AR	RNP+WP
旋回経路(RFレグ)飛行中において制限速度を超過することによる経路からの逸脱	2D	2C
航法用データベースに関するエラー(データベース選択時のエラー)	1E	
航法用データベースに関するエラー(データベース選択時・コーディング時のエラー)		1D
通常の運航時において進入機同士に発生する不必要なTCAS RA	1D	1D
同時運用中においてRNP AR方式に非対応である航空機の混在	5D	
同時運用中においてRNP+WPガイダンス付き方式に非対応である航空機の混在		5D
管制官によるレーダー監視に関するエラーに起因する他の航空機や障害物との接近	1C	1C
レーダー・通信機器等の管制機器の障害(同時運用の継続が可能な障害)	1C	1C
空港周辺における悪天(積乱雲・ウィンドシア・マイクロバーストなど)回避による経路からの逸脱	4A	4A
GNSSの不具合等による不正確な位置情報の算出(事前検出されないもの)	2D	2D
空港周辺を飛行するVFR機を要因とするTCAS RAの発生に伴う回避操作	1B	1B

➤ 受容不可と評価されたハザードは、同時運用を中止することとして、受け入れられないリスクを伴う事象を排除した。

4. 安全性検証の結果

評価項目①～③の結果を受け、以下のとおり安全性検証の結論を出した。

【評価項目①及び②】

- RNP AR方式を用いた同時運用の衝突確率

$$0.046 \times 10^{-9} \text{ (評価項目①)} + 0.677 \times 10^{-9} \text{ (評価項目②)} = 0.722 \times 10^{-9}$$

達成すべき安全レベルを満たしている。

- RNP+WPガイダンス付き方式を用いた同時運用の衝突確率

$$0.187 \times 10^{-9} \text{ (評価項目①)} + 1.938 \times 10^{-9} \text{ (評価項目②)} = 2.125 \times 10^{-9}$$

達成すべき安全レベルを満たしていない。

【評価項目③】

- RNP AR方式を用いた同時運用
- RNP+WPガイダンス付き方式を用いた同時運用

いずれの同時運用においても、ハザード「空港周辺における悪天(積乱雲・ウィンドシア・マイクロバーストなど)回避による経路からの逸脱」へのリスク低減策は無いことから、ハザードが発現した際には同時運用を中止することを前提に、同時運用が可能である。

同時運用のための安全性の判定

- 羽田空港のA滑走路(16R)の既存進入方式と組み合わせた上で同時運用可能なC滑走路(16L)の飛行方式として、RNP AR方式は適当、RNP+WPガイダンス付き方式は不適当である。

5. 特定した飛行方式について

同時運用の前提条件に基づき安全性検証を実施した結果、RNP AR方式を用いて技術的にC滑走路(16L)へ導入できるものは、以下のとおり定義された。

AC = 2NM+旋回後に機体の傾きを水平に戻すのに必要な距離※

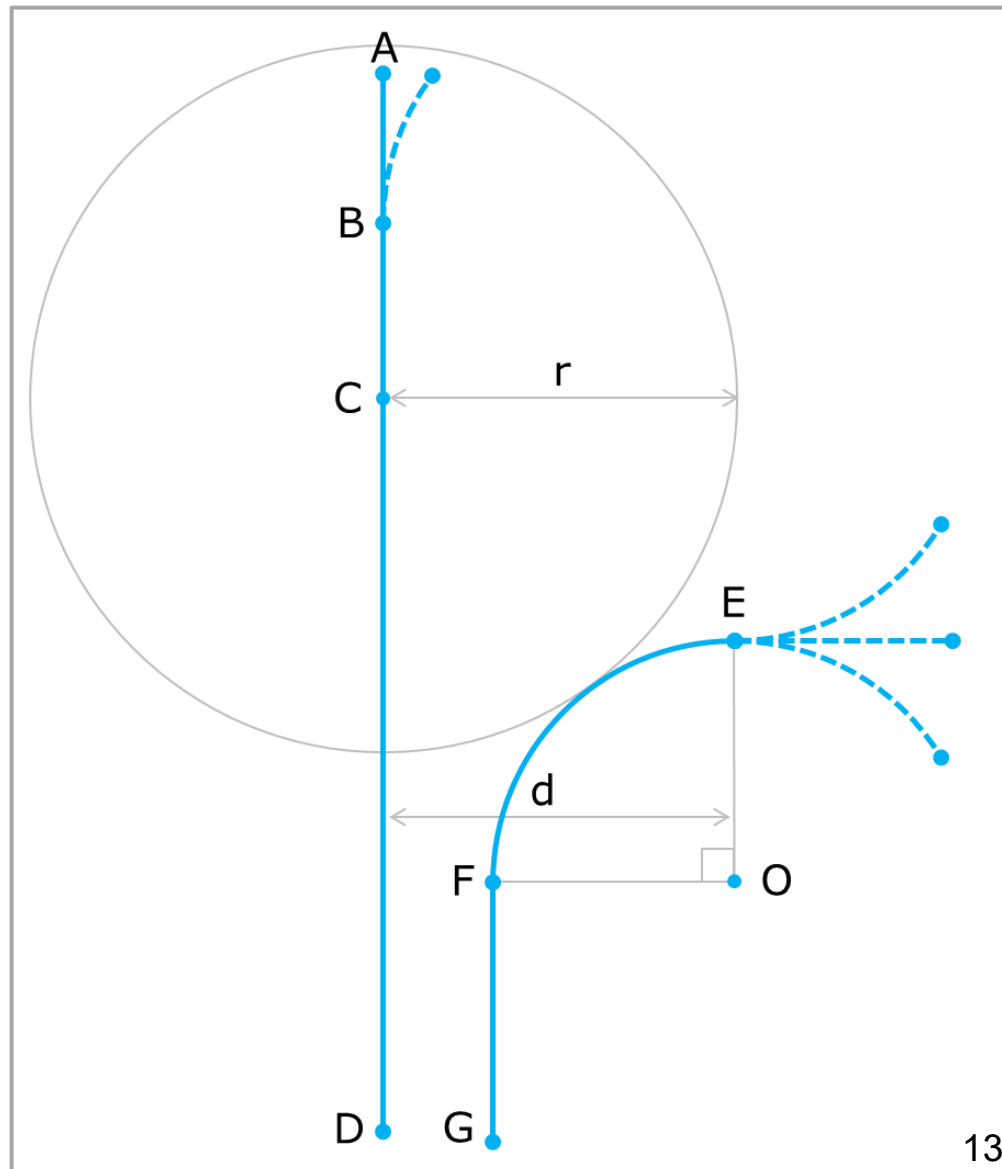
BC = 1.5NM※

FG = 以下の、いずれか長い方※
 ・決心高度到達点+0.5NM
 ・3度の降下角に対して、着陸滑走路の標高+150M相当の距離

$r = 3\text{NM}$

$d = 3\text{NM}$ 以上

AD//EO AD//FG



※ 国際基準における最小値