

航空管制における セパレーション(管制間隔)の推移

2018年6月16日
(2021年6月25日 一部改定)

NPO法人 航空鉄道安全推進機構

正会員 松田 宏

(松田宏コンサルティング事務所 代表)

自己紹介



松田 宏

(略歴)

1947年(昭和22年)生 山形市出身
山形大学理学部物理学科卒業

運輸省東京航空交通管制部 航空管制官
日本電気 システムエンジニア(航空管制システム)
三菱総合研究所 主任研究員/室長(宇宙開発システムなど)
日本ヒューレットパカード シニアコンサルタント(情報システム戦略)/人材開発部長
コンサルティング会社 自営(航空管制/情報システム/人材開発)
航空安全報告分析委員会 委員

(所属団体等)

NPO法人 航空・鉄道安全推進機構(ARSaP) 正会員
一般財団法人 航空交通管制協会(ATCAJ) 賛助会員
航空管制OB会 会員
航空運航システム研究会(TFOS) 正会員
NPO法人 日本シンクタンクアカデミー(JTTA) 正会員
異分野交流サロン 主宰

本日の話題

Part-1 航空管制とは何か

- 航空管制の5W1H(いつ、どこで、誰が、何を、なぜ、どのように)
- ~~イメージビデオ(5分30秒)~~
国土交通省WEBサイトの更新により削除されました (2021年6月25日)

Part-2 セパレーション(管制間隔)

- 縦間隔(Longitudinal separation)
- 横間隔(Lateral separation)
- 垂直間隔(Vertical separation)
- 後方乱気流管制間隔(Wake Turbulence)

Part-3 セパレーションの不思議

- レーダー間隔
- 安全性目標レベル
- 単位系の混在
- トピックス

Part-1 航空管制とは何か

(1) 航空管制の5W1H

- [いつ] 飛行計画提出～駐機場を出発／エンジンを始動～誘導路走行～離陸～上昇～巡航～降下～進入～着陸～誘導路走行～駐機場到着／エンジン停止
- [どこで] 飛行場／空港の駐機場、誘導路、離陸滑走路、出発経路、航空路、進入経路、最終進入経路、着陸滑走路、誘導路、駐機場
- [誰が／誰に] 航空管制官 ⇔パイロット

(地上の運航管理者が飛行計画作成から運航状況監視までを支援)

- [何を] 飛行経路(標準出発経路、標準ターミナル到着経理、航空路、直行ルート)、針路、飛行高度(上昇／降下段階を含む)、飛行速度、順序／タイミングを指定
 - ⇒ セパレーション(管制間隔)を確保する
- [なぜ] 航空機相互間及び走行地域における航空機と障害物との間の衝突予防、並びに航空交通の秩序ある流れを維持促進
- [どのように] 無線電話(直接／間接)またはデータリンク承認、指示、命令

Part-1 航空管制とは何か

(参考1) 世界初の旅客機の空中衝突事故



Farman F-60 (F-GEAD)
Le Bourget, Paris 発
Croydon, London 行 (乗員2名)



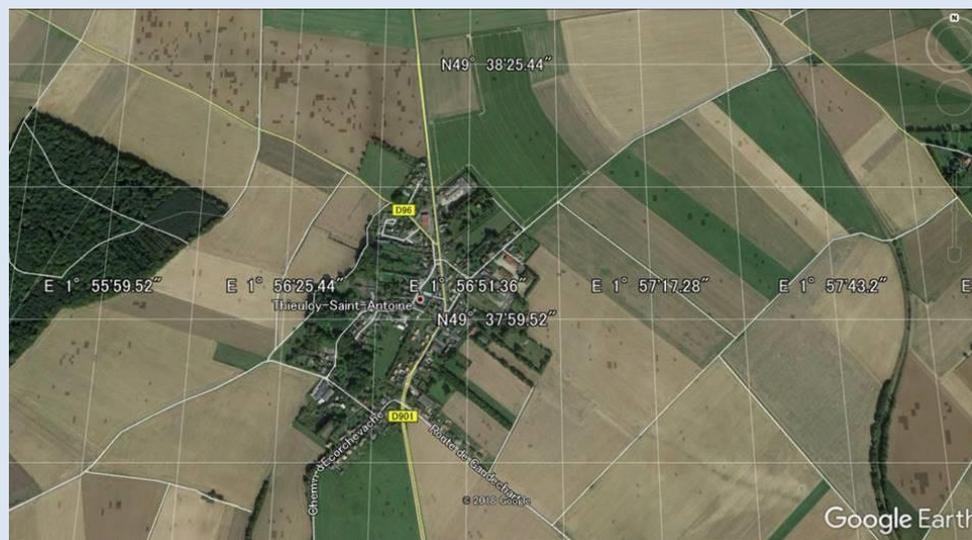
1922年4月7日
パリ北方110km
Thieuloy Saint-Antoine
高度150m。全員死亡。



de Havilland DH-18A (G-EAWO)
Croydon, London 発
Le Bourget, Paris 行 (乗員乗客5名)

霧雨で視界が悪かった
ので両機の操縦士は地上の
道路を見ながら飛行し、
正面を見ていなかった。

(出典: Wikipedia
地図: Google Earth)



その後、Croydon
空港で関係者が再発防止策を協
議。無線機の搭載、方向探知機
の導入、公式な航空路の設定等
を行った。

Part-1 航空管制とは何か

(参考2) 黎明期の航空管制



旗で離着陸を指示した
Flag Man (写真:FAA)



管制塔が出現



複数の方向探知機を使い
飛行機の現在位置を監視



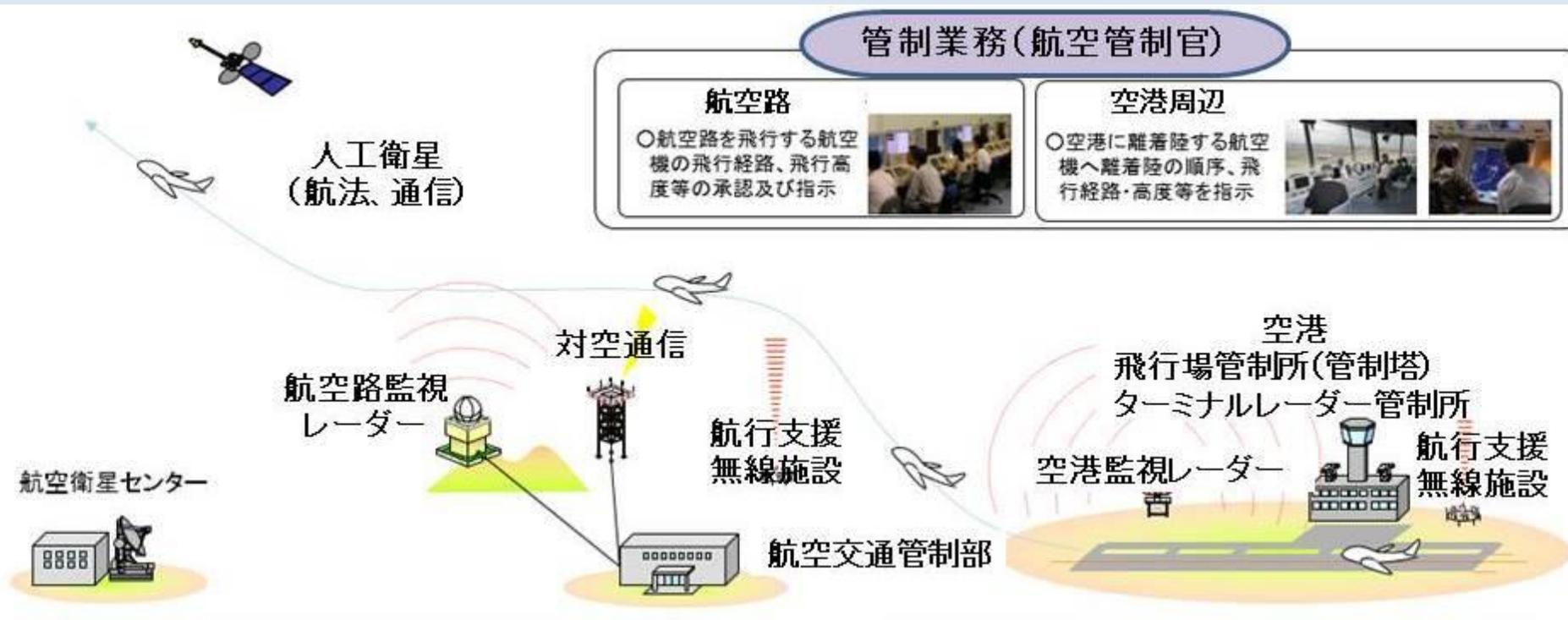
管制官が無線電話と
信号灯で離着陸を指示



無線電話で位置通報を受け、
飛行経路や高度を指示

Part-1 航空管制とは何か

(参考3) どこでどんな業務が行われているか？

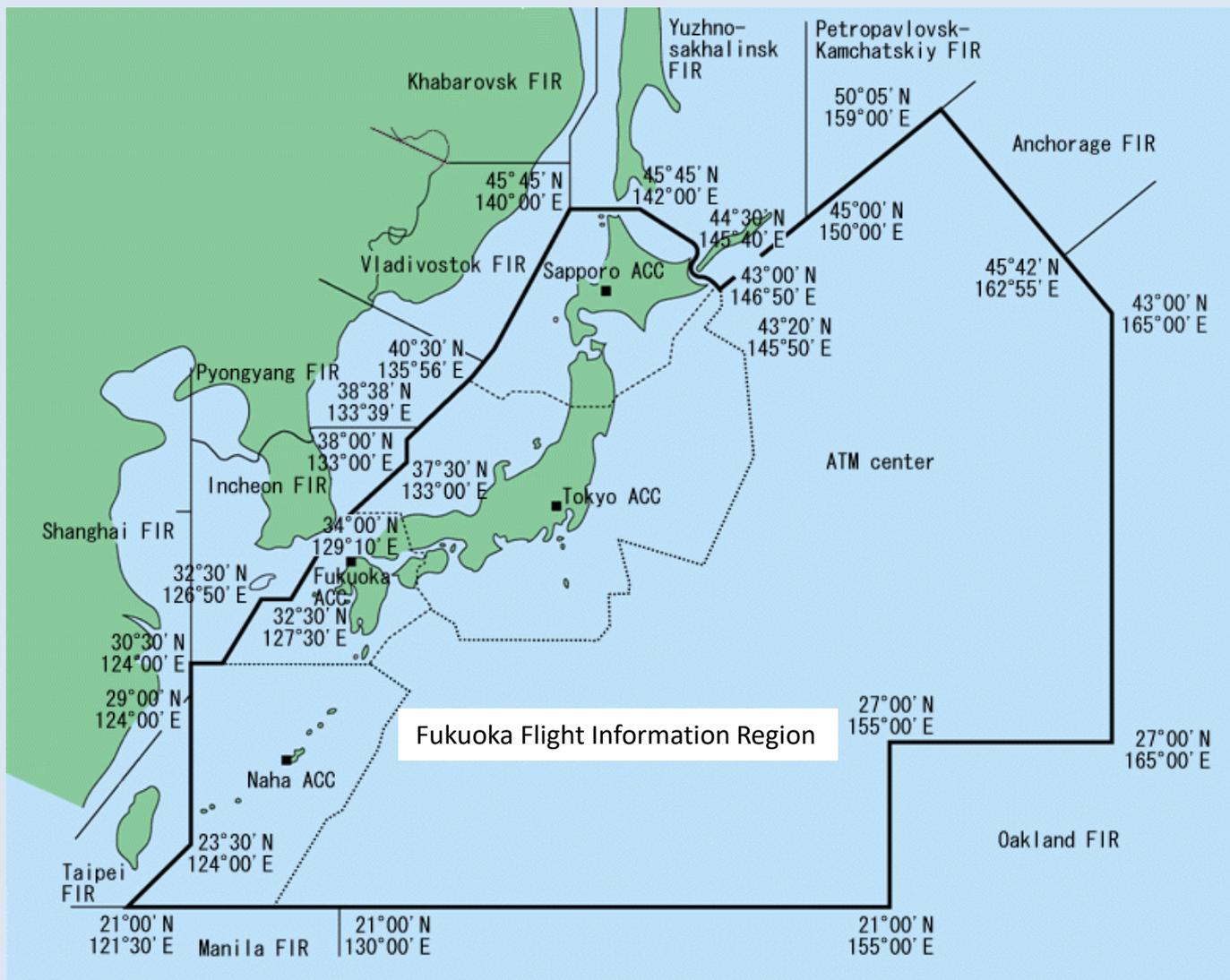


(資料: 航空局)

- 航空交通管理管制業務
- 航空路管制業務
- 飛行場管制業務
- 進入管制業務
- ターミナル・レーダー管制業務
- 着陸誘導管制業務

Part-1 航空管制とは何か

(参考4) 日本が航空管制を分担している空域(福岡飛行情報区)



Part-1 航空管制とは何か

(参考5) 近年の航空管制: 空港



空港監視レーダー
(ASR+SSR)



飛行場管制(ローカル席)



飛行場管制(グラウンド席、
クリアランスデリバリー席)



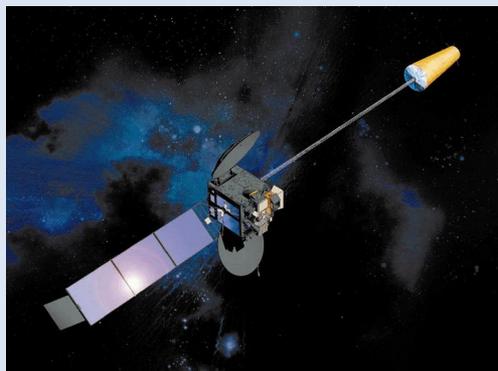
管制塔の外観
屋上: 場面監視レーダー
(ASDE)



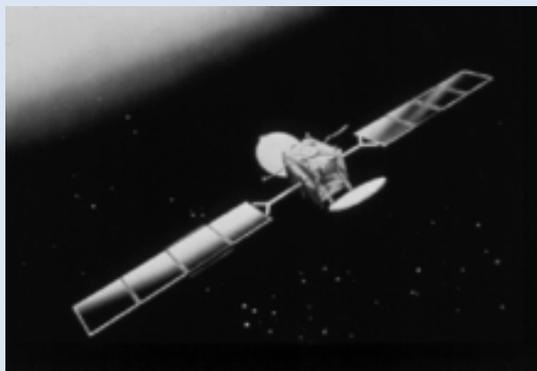
ターミナルレーダー管制所

Part-1 航空管制とは何か

(参考6) 近年の航空管制:航空路(含・洋上管制区)



運輸多目的衛星(MTSAT)



インマルサット(INMARSAT)



全地球測位システム(GPS)



航空路監視レーダー
(ARSR+SSR)



航空交通管制部



遠隔無線通信施設(RCAG)

Part-1 航空管制とは何か

(参考8) ある朝の航空交通



Part-1 航空管制とは何か

(2) イメージビデオ「AREA CONTROL CENTER ～もうひとつの管制塔～」

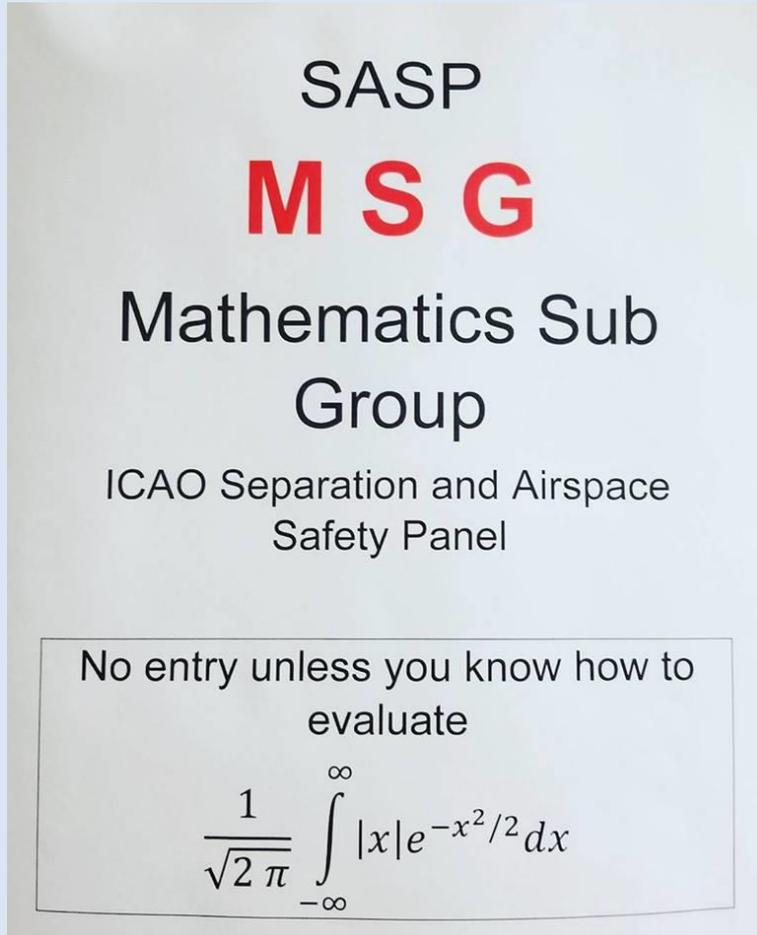


制作:福岡航空交通管制部(5分30秒)

国土交通省WEBサイトの更新により削除されました(2021年6月25日)

Part-2 セパレーション(管制間隔)

0. 前提となる知識



国際民間航空機関(ICAO)の管制間隔および空域安全性パネル(SASP)内の数学サブグループ(MSG)が求める前提知識で「この式の意味をご存知ない方は立入禁止です」とあります。

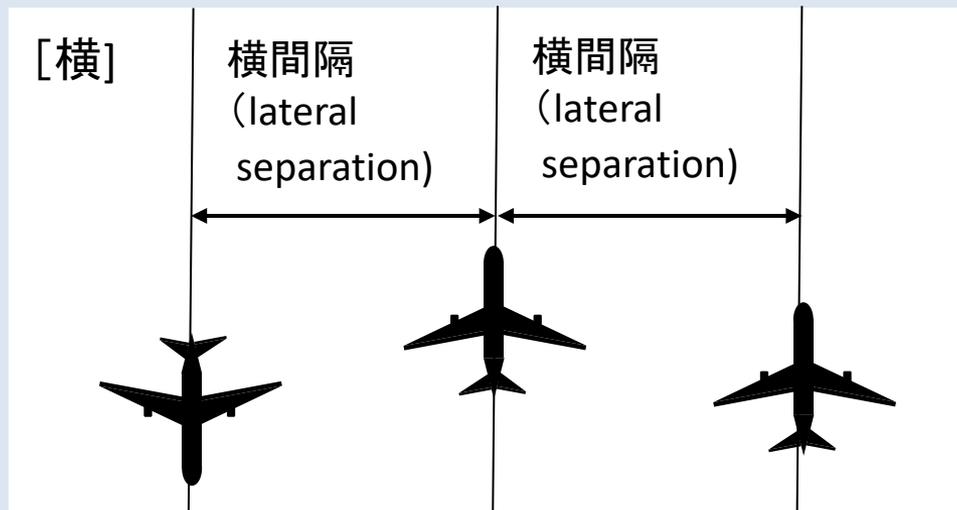
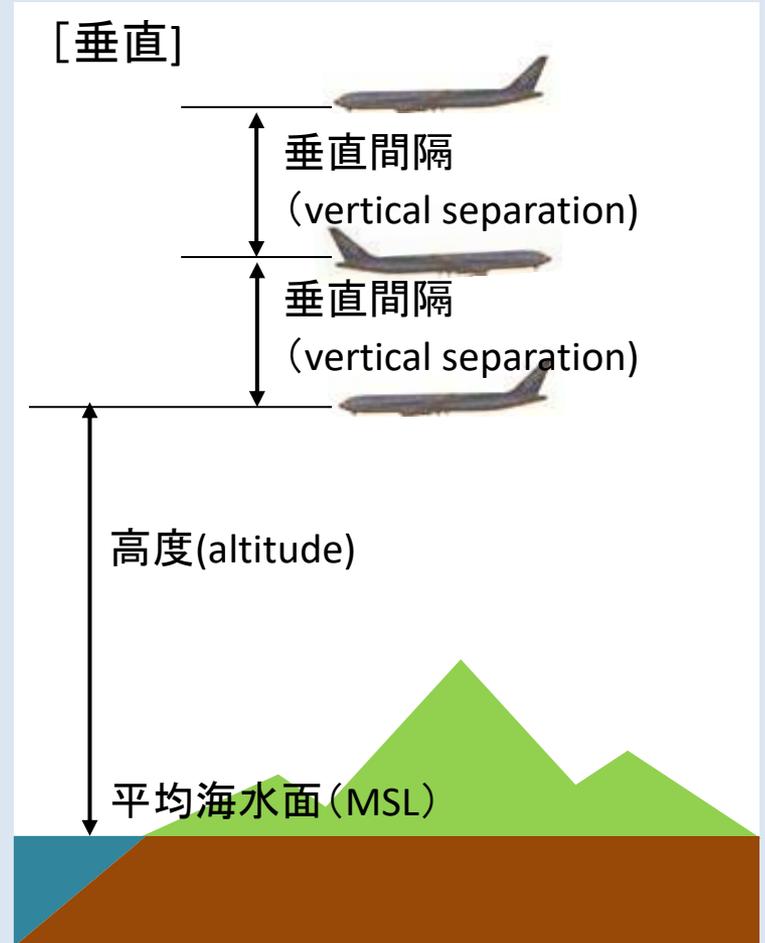
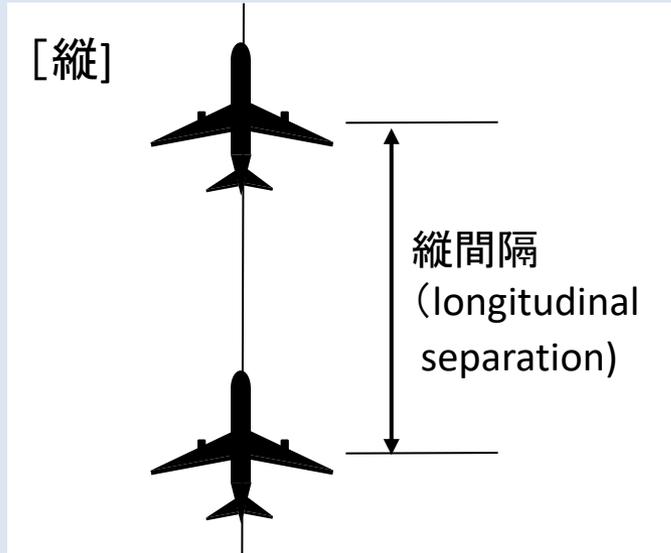
航空管制のセパレーション(管制間隔)は目標安全性レベル(TLS)を確率的に確保できる値が決められています。

でも、この講演では数学の話はしませんので、どうか最後までお付き合いください。

2021年6月25日追加

Part-2 セパレーション(管制間隔)

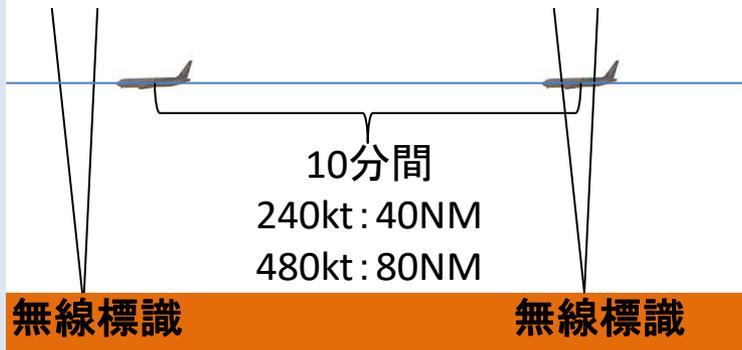
(1) セパレーションの種類



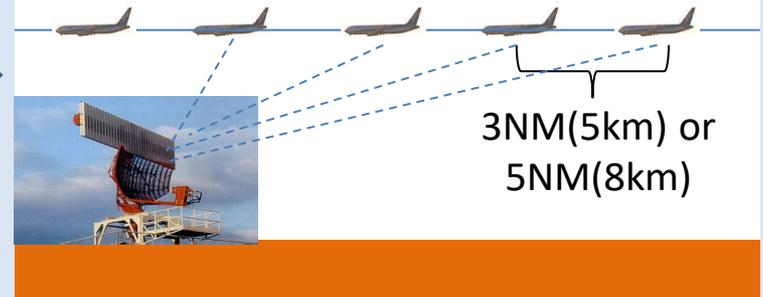
Part-2 セパレーション(管制間隔)

(2) 縦間隔の短縮

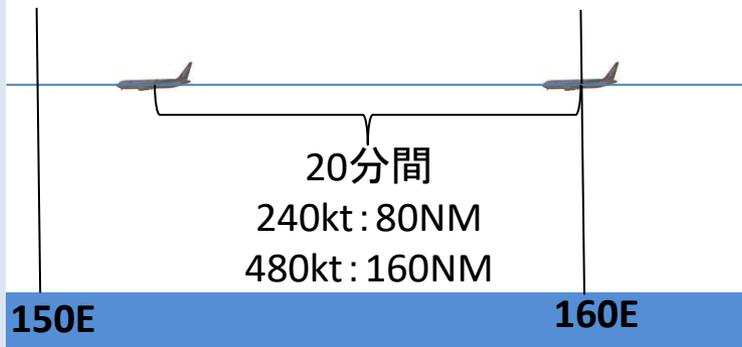
(国内)位置通報による時間差



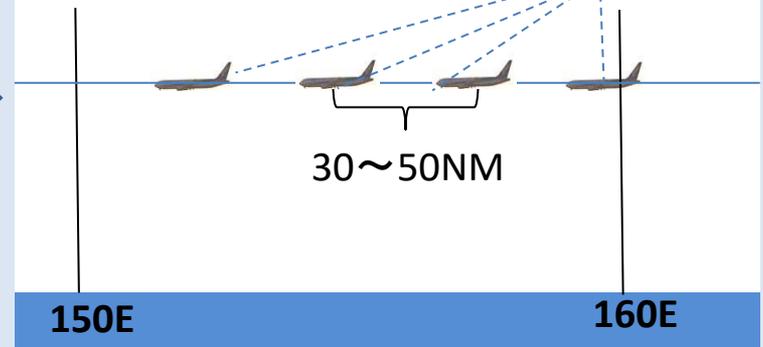
(国内)レーダーによる距離



(洋上)位置通報による時間差



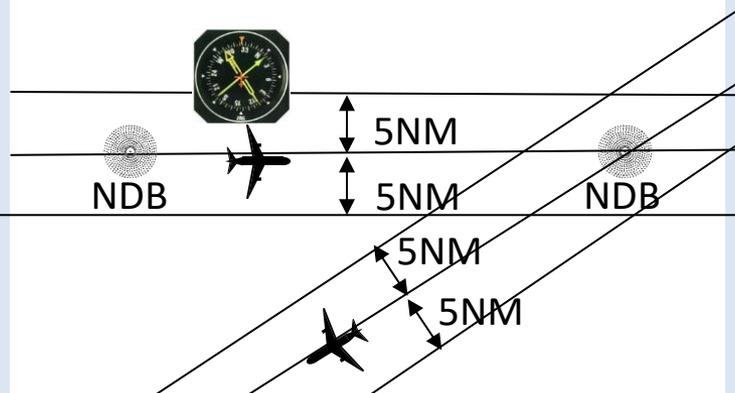
(洋上)GPSによる距離



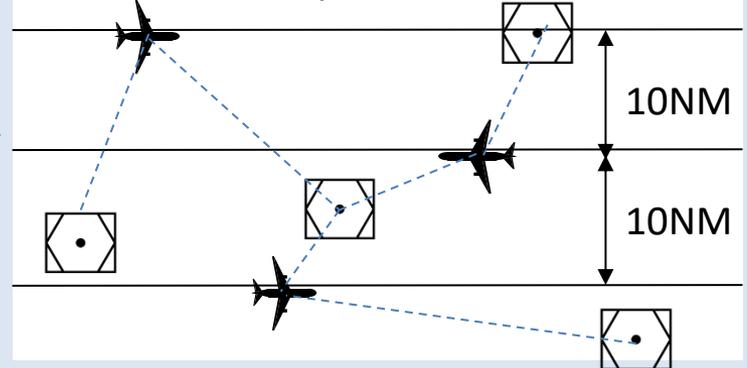
Part-2 セパレーション(管制間隔)

(3) 横間隔の短縮

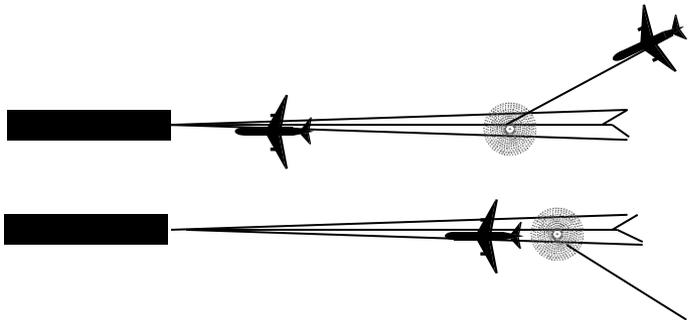
(国内)無線標識を結ぶ航空路



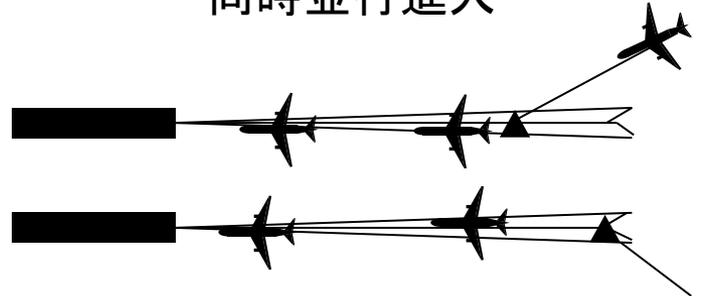
(国内)レーダー監視下の広域航法 (RNAV)



(空港)時間差による並行進入

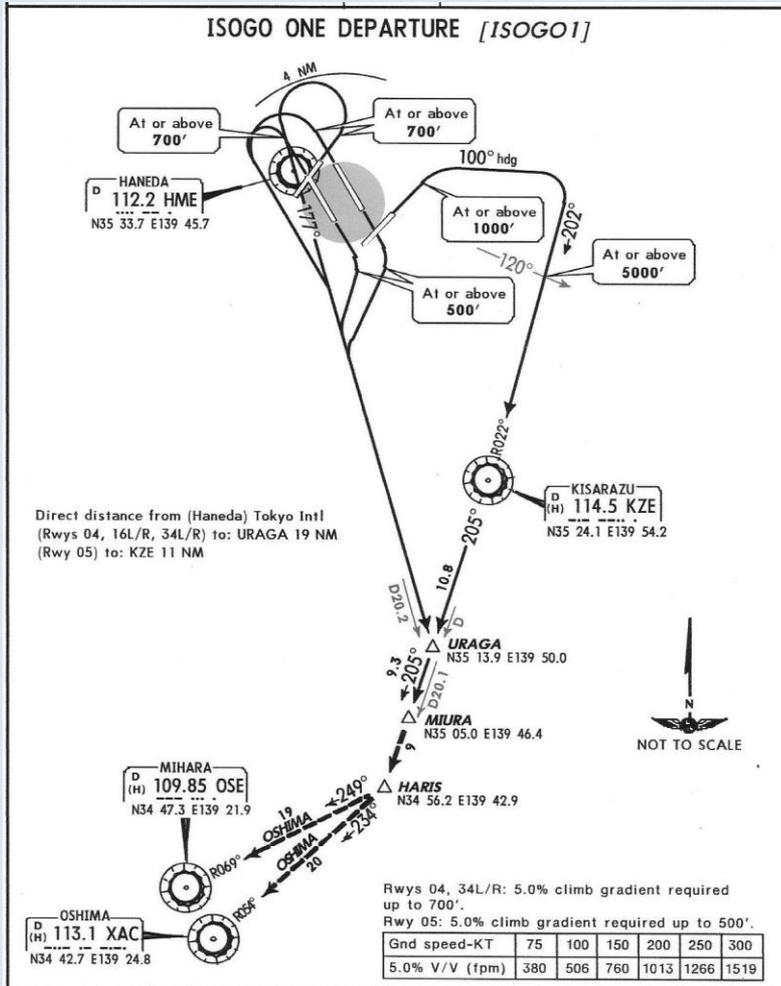


(空港)レーダー監視下の同時並行進入

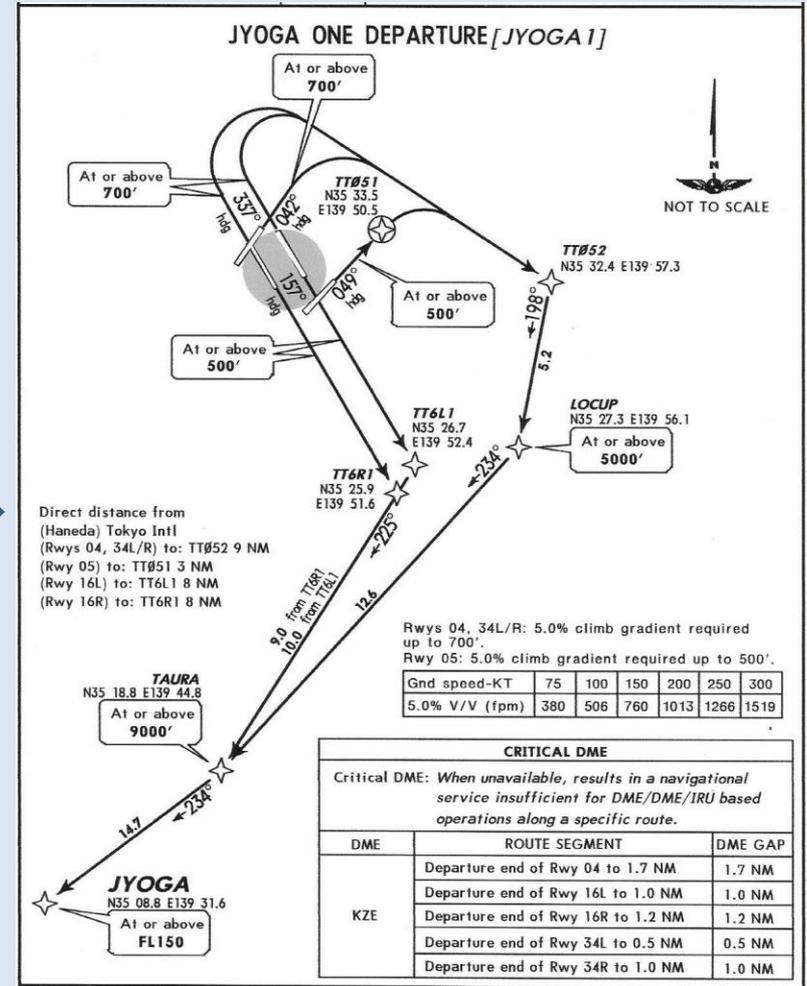
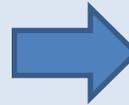


Part-2 セパレーション(管制間隔)

(3) 横間隔の短縮(その2:ターミナル空域...RNAV-SID/STAR)



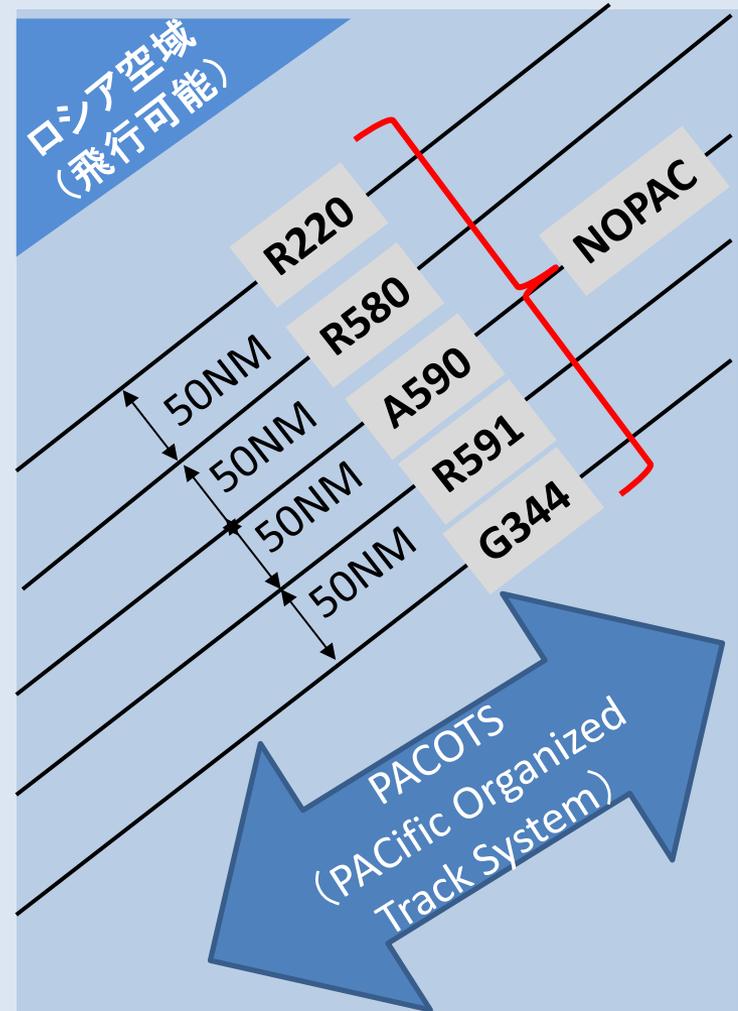
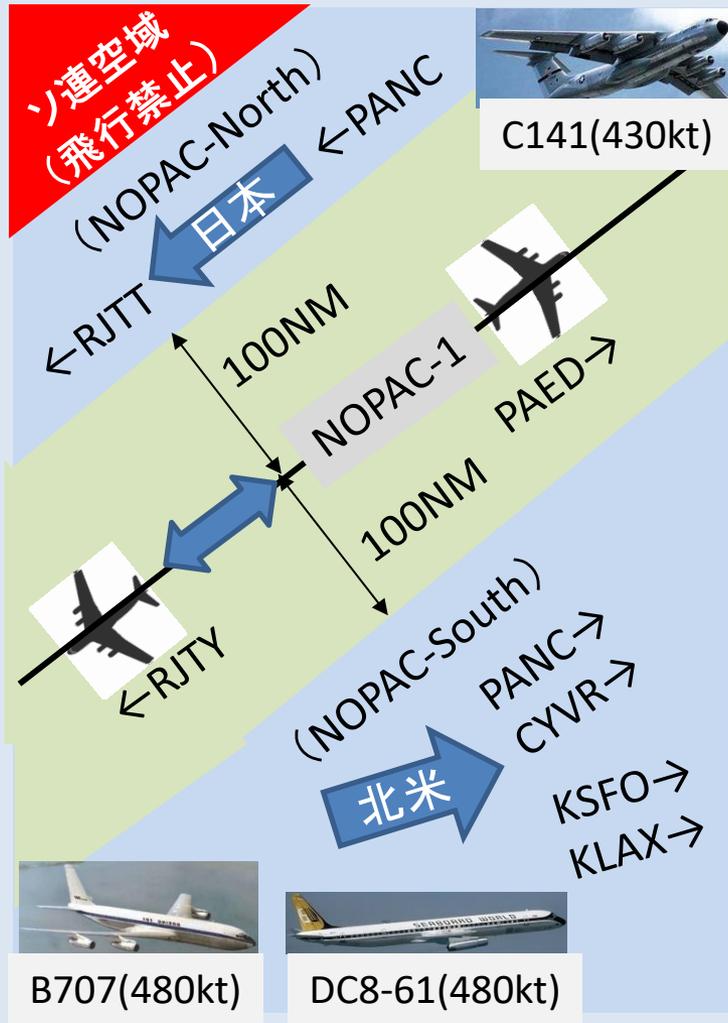
無線標識を結ぶ出発経路



任意の地点を結ぶ出発経路

Part-2 セパレーション(管制間隔)

(3) 横間隔の短縮(その3: 洋上空域...北太平洋の例)



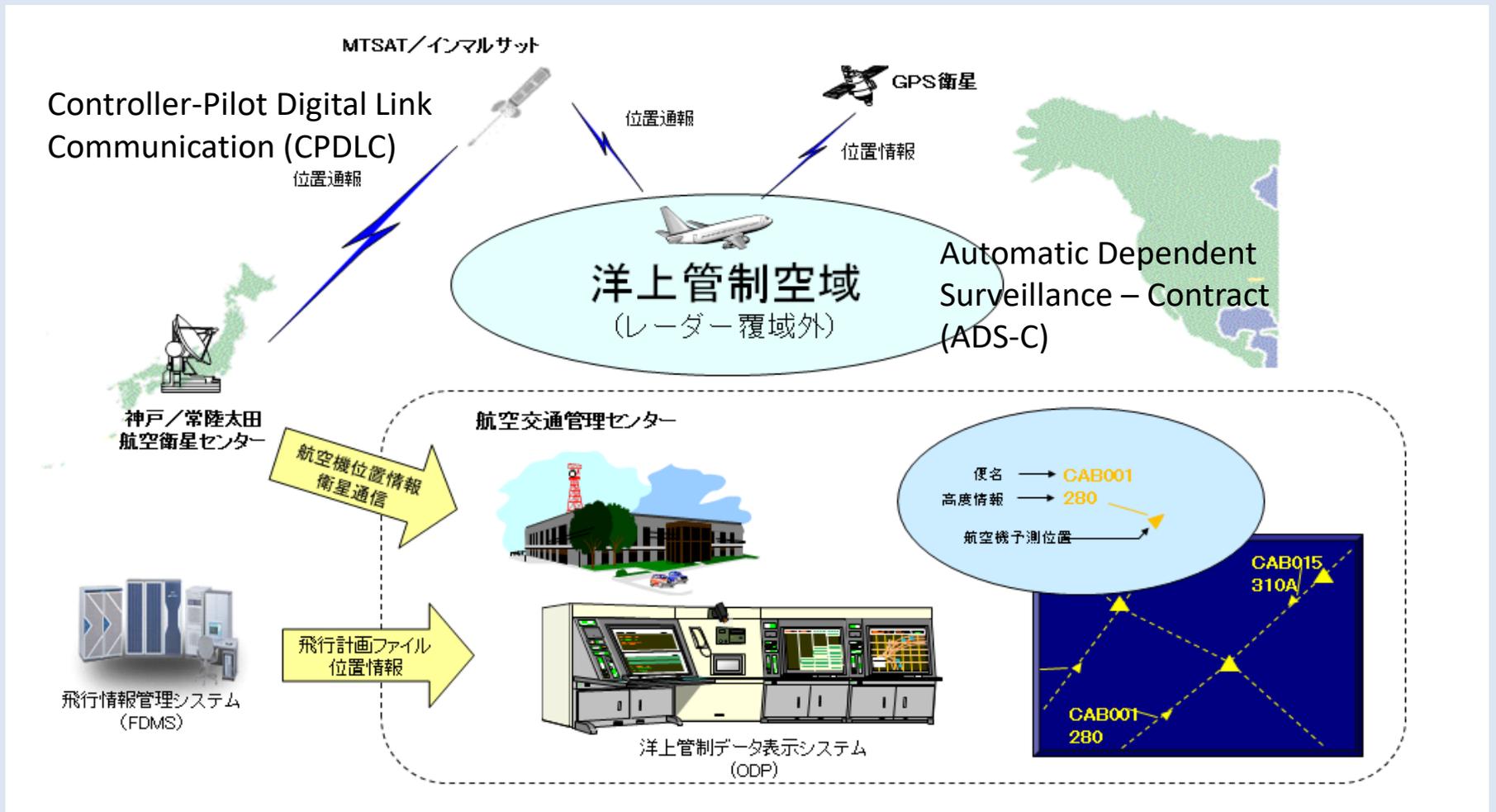
Part-2 セパレーション(管制間隔)

(参考) ある午後の北太平洋



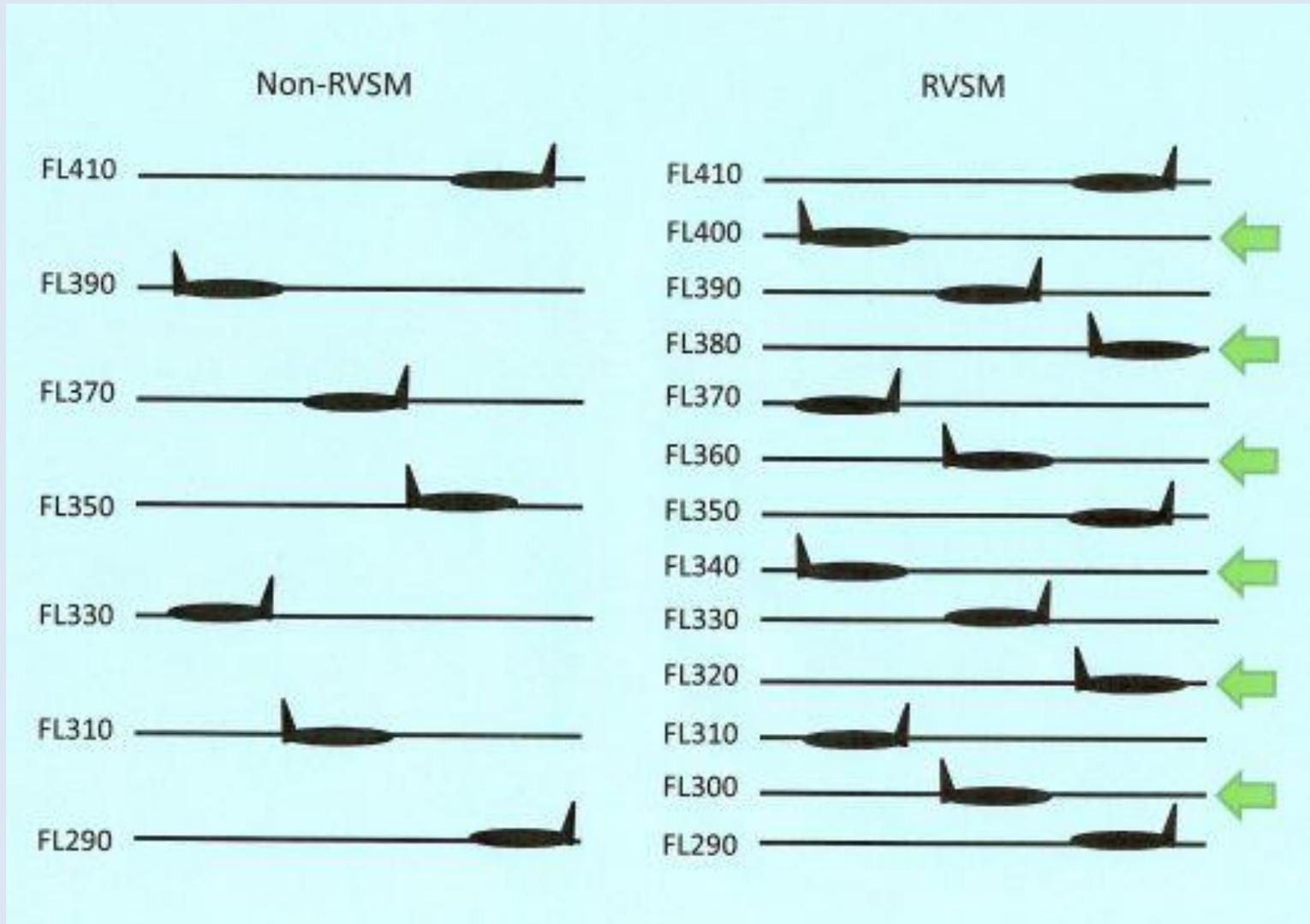
Part-2 セパレーション(管制間隔)

(参考) 洋上管制の通信(C)・航法(N)・監視(S)



Part-2 セパレーション(管制間隔)

(4) 短縮垂直間隔 (Reduced Vertical Separation Minima: RVSM)の導入



Part-2 セパレーション(管制間隔)

(4) 短縮垂直間隔(続き・・・他の間隔短縮の場合も同じ)

空域安全性の事前評価

適合航空機の認定・登録

短縮垂直間隔の導入

継続的な安全性の監視

- ・高度逸脱報告の分析
- ・適合航空機データベース
- ・空域安全性の監視
- ・航空機の実高度測定
- ・空域構造改良(複線化等)



(世界で12カ所ある空域安全性監視機関のひとつ)

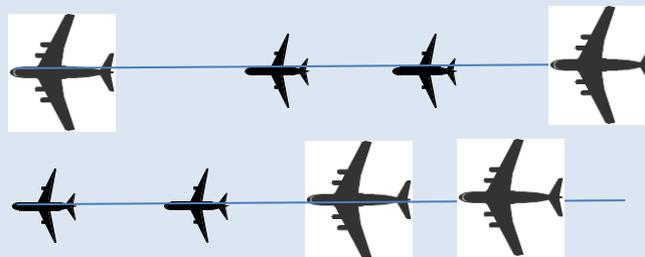
Part-2 セパレーション(管制間隔)

(5) 後方乱気流区分による管制間隔

出発機の管制間隔				
後続機\先行機	J	H	M	L
J(A380)	2分間	2分間	※	※
H	2分間	2分間	※	※
M	2分間	2分間	※	※
L	2分間	2分間	※	※

到着機の管制間隔				
後続機\先行機	J	H	M	L
J(A380)	2分間	2分間	※	※
H	2分間	2分間	※	※
M	3分間	2分間	※	※
L	4分間	3分間	3分間	※

* 順序を入れ替えると処理容量が向上する
(first come, first servedの原則には反する)



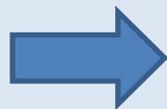
最大離陸重量	航空機区分
15,500lb(7t)未満	ライト(L)
15,500lb(7t)以上 300,000lb(136t)未満	ミディアム(M)
300,000lb(136t)以上	ヘビー(H)
エアバスA380	スーパーヘビー(J)

Part-3 セパレーションの不思議

(1) レーダー間隔はなぜ3 or 5NMなのか

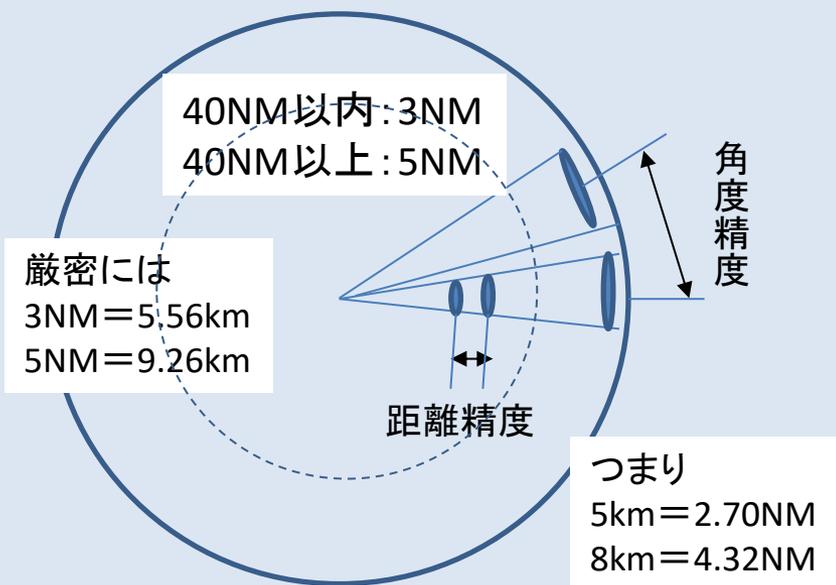


1次レーダー(PSR)の画像



ARV002	— 便名(航空機識別符号)
047 A320	— 高度/機種名(対地速度/後方乱気流区分)
34L02 17	— 到着予定滑走路/到着順位/スポット番号
A	— 管制席シンボル/間隔測点

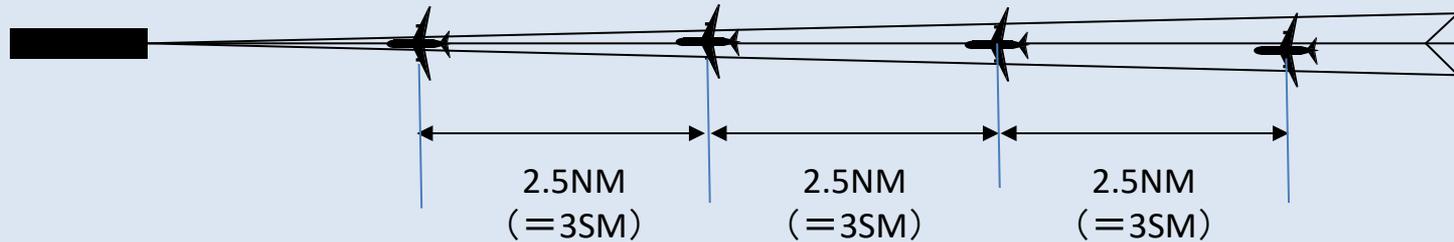
2次レーダー(SSR) + 英数字(AN)情報の画像



Part-3 セパレーションの不思議

(2) レーダー間隔を短縮している例

- ① 米国西海岸の一部大空港では最終進入時の間隔を2.5NMに短縮している。米国では昔、Statute Mile(約1.6km)を使っており、3SM(≒2.6NM)の間隔で安全性が証明されているため、とのこと。

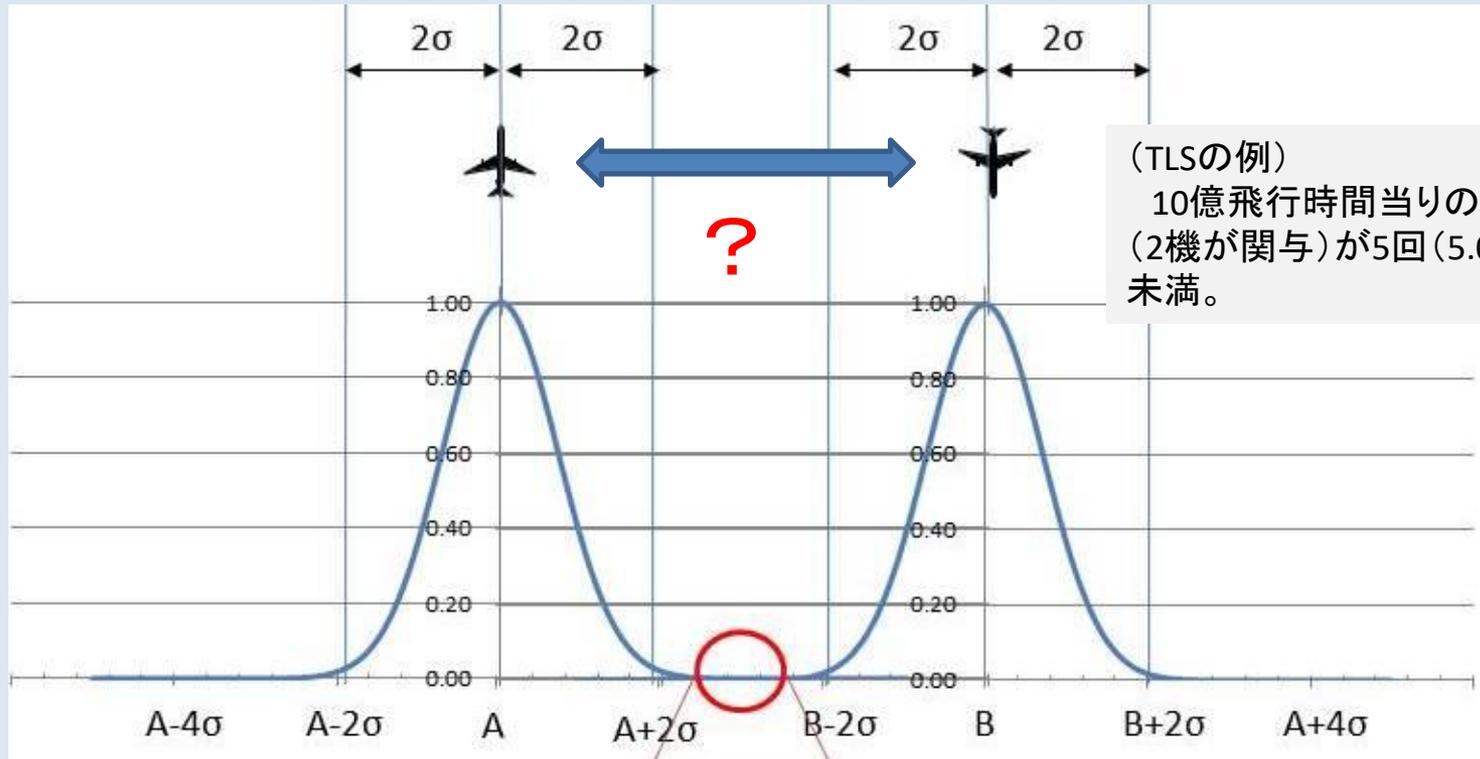


- ② 英国のロンドン・ヒースロー空港では、向い風が強いと距離間隔(3NM)では着陸機の時間間隔が大きくなり滑走路の用効率が低下するので、専用の監視システム(TIME-BASED SEPARATION TOOL)により時間ベースの着陸間隔の設定を行っている。



Part-3 セパレーションの不思議

(3) 安全性目標レベル (Target Level of Safety : TLS)



(TLSの例)
10億飛行時間当りの衝突確率
(2機が関与)が5回 (5.0×10^{-9})
未満。

管制間隔が大きければ安全性は
高まるが、空域の効率が低下する。

歴史的には経験則で管制間隔を
決め、後から統計モデルと実測値
により検証した例が多い。

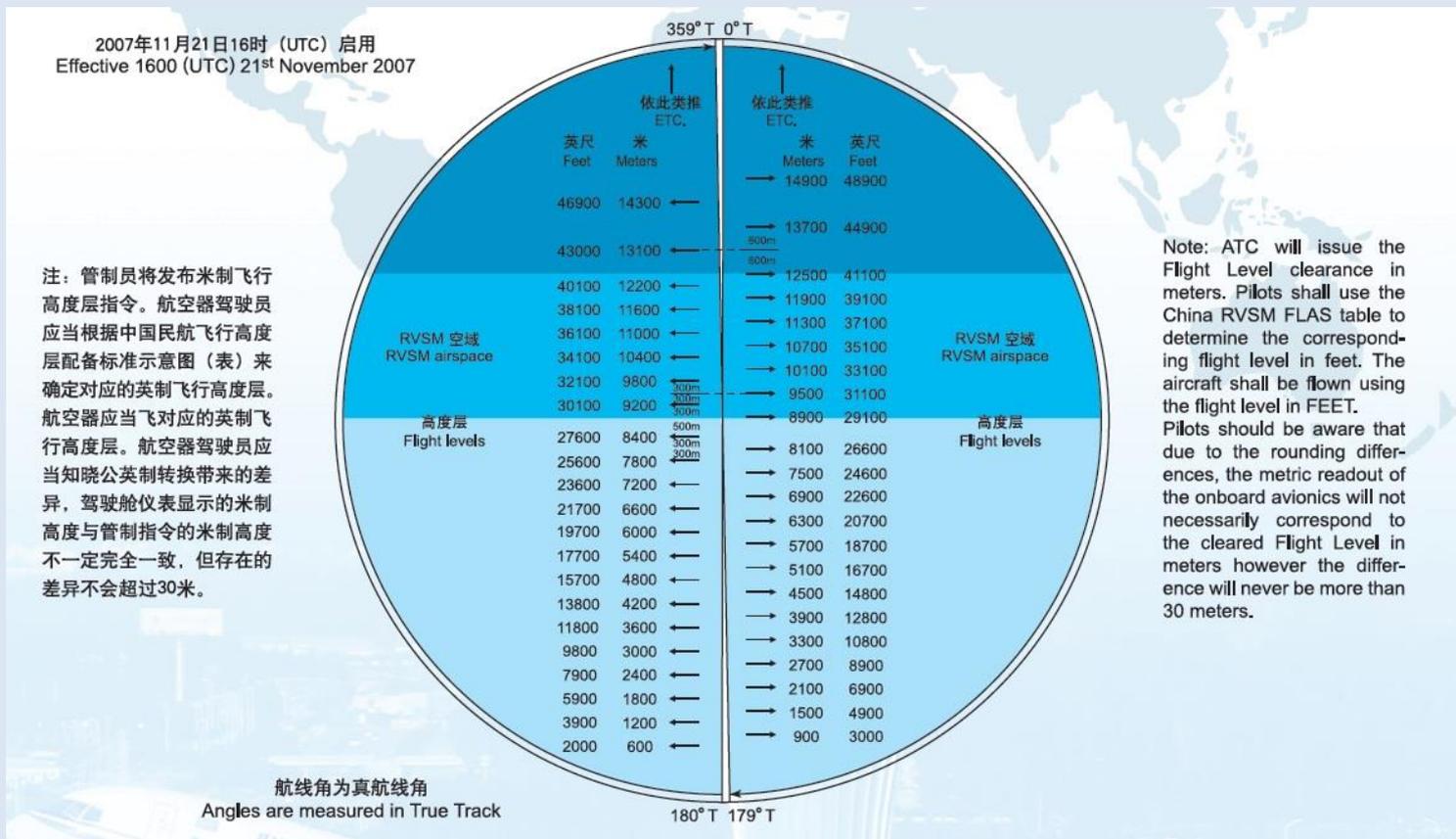
管制間隔は、航法精度、通信状態、
監視頻度を総合的に考慮して決める。

安全性目標レベル (Target Level of
Safety: TLS) は、国/地域の価値観に
応じて地域毎に合意する (ICAO)。

Part-3 セパレーションの不思議

(4) 管制間隔における単位系の混在

- ロシアでは高度を“m”で、速度を“km/h”で表示。高度差は250mで、他地域の1,000ft(300m)よりも小さい。管制空域の境界付近で移行する。
- 中国では変則メートル法を採用。高度差は300mだが、飛行高度をFL(Flight Level)で表示するので、他地域との差が出る(例:FL330→FL331)。



Part-3 セパレーションの不思議

(5) セパレーション(管制間隔)関連のトピックス

- 編隊飛行: 民間旅客機が渡り鳥のように編隊で飛行する方式の研究が行われている(エアバス社など)。貨物輸送トラックのコンボイ方式のように、1機のみには操縦士が搭乗して操縦し、他はそれに追従する方法などを検討か。
- RNP (Required Navigation Performance) 方式: GBAS (Ground-Based Augmentation System) や SBAS (Satellite-Based Augmentation System) など、GPSによる位置情報を補強する(精度を高める)システムと航空機搭載の飛行管理システム (Flight Management System) により航法精度を高めるRNP経路の導入が進んでいる。
 - 最終進入: 誤差 1NM (RNP-1)
 - 国内空域: 誤差 2NM (RNP-2)
 - 洋上空域: 誤差 10NM (RNP-10)
- RNP-AR (-Approval Required) 方式: 機体と乗員について特別な承認を受けるという条件で、山岳等を避ける曲線による計器進入/最終進入/計器出発経路を飛行する方式の導入が進んでいる。大都市圏における騒音対策にも有効だが、わが国では将来課題。
- 無人機の管制: 自律飛行/遠隔操縦する無人機と有人機(パイロットが乗り込んで操縦)が混在する空域での航空管制のあり方について議論が進んでいる。
- レーダーの退役: GPSによる位置情報を利用するADS-B(国内空域)やADS-C(洋上空域)の使用が中心になりつつある。他に、ターミナル空域では二次レーダーの応答信号により三角測量を行うマルチラテレーション (Multi-lateration) 方式による航空機の監視に移行中。

ご清聴ありがとうございます

航空管制について詳しくお知りになりたい方は

- 国土交通省：ホーム＞政策・仕事＞航空＞航空管制など
http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk1_000028.html
- 国土交通省 航空保安大学校＞航空管制科
<http://www.cab.mlit.go.jp/asc/atc/index.html>
- 一般財団法人 航空交通管制協会＞事業の紹介＞
航空交通管制に関する知識の普及
http://atcaj.or.jp/?page_id=144

ご質問などがある方は

hiroshi_n_matsuda@nifty.com