

空港工学講座

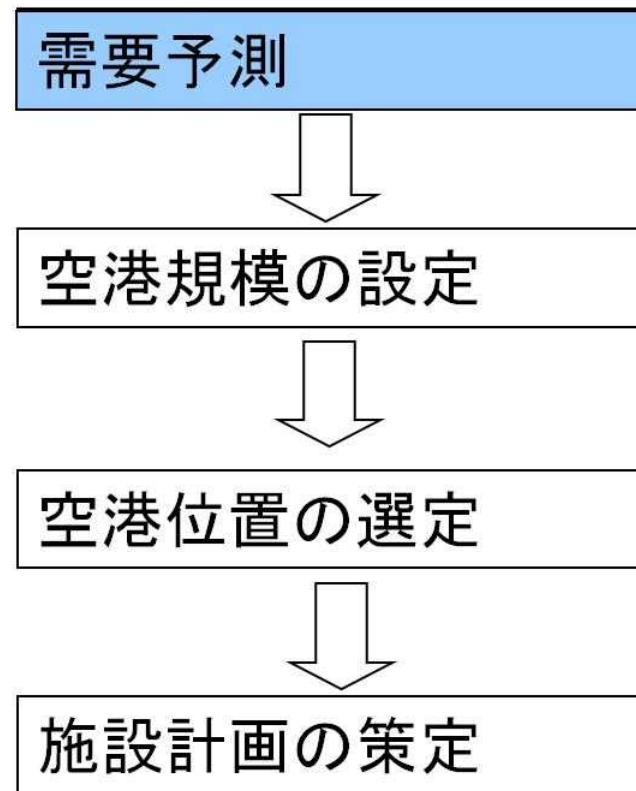
# 空港の計画

フジタ道路株式会社  
中央区晴海一丁目8番10号  
トリトンスクエア オフィスタワーX  
TEL:03-5859-0670(代表)  
<http://www.fujitaroad.co.jp/>

# 内容

- 需要予測
- 空港規模の設定
- 空港位置の選定
- 施設計画の策定
  - 滑走路の計画
  - 誘導路の計画
  - ターミナル地域の計画

# 空港計画の流れ



- ・空港基本計画(滑走路・誘導路・エプロン)
- ・ターミナル地域基本計画

# 需要予測

# 輸送需要の予測方法

- 直接予測法
  - 競合する他の輸送機関との需要の分担を考慮せずに、当該輸送機関の需要を直接的に予測
- 間接予測法
  - まず、輸送の総流動を予測し  
次に、総流動を輸送機関別に分配

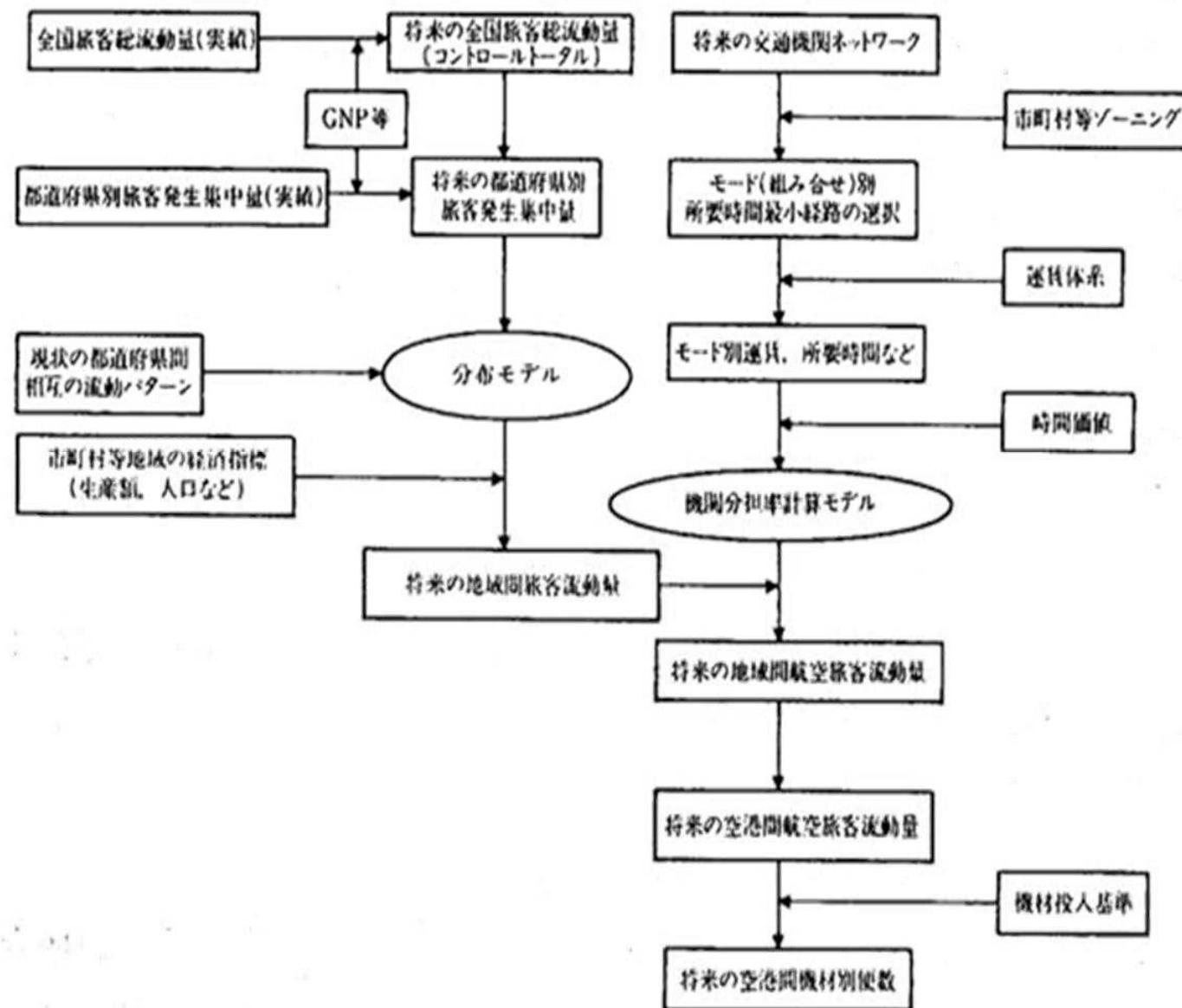
# 直接予測法

- 時系列予測
  - 需要を時間の関数として予測
  - 過去の実績値の傾向が将来にも継続する場合には、予測値に信頼がおけるが、経済情勢等の変化には当然対応できず、長期予測には適さない
- 回帰分析
  - 需要を経済指標等を説明変数とする関数で予測
  - 航空輸送関係では過去に説明変数として、GNP、競合輸送機関の運賃・所要時間などが用いられ予測されたことがあるが、競合輸送機関との関係が十分に考慮されないので、最近は採用されていない。

# 間接予測法

- 航空旅客需要
  - わが国の国内航空旅客需要の予測に用いられている
- 総合交通モデル
  - 1971年に運輸政策審議会から答申された「総合交通体系に関する答申」で用いられた.
  - 総合交通モデルにおいては、生産所得、人口等の地域ポテンシャルと距離の指標を用いたグラビティモデル等で地域間旅客総流動を推計し、次に利用者が交通機関の選択を、運賃と所要時間により行うと仮定した時間価値モデルにより、総流動から輸送機関別流動量を予測している.

# 国内線航空需要予測手順の例



# 輸送機関別分担率推測モデル

- ・犠牲量モデル

- ある区間を移動する旅客は、利用できる交通機関の運賃と、その交通機関を利用した場合の所要時間の貨幣換算量の和を、旅客が負担する貨幣換算の総犠牲量とし、その犠牲量が最小となる交通機関を選択するとして推計

- ・ロジットモデル

- すべての利用者は、選択可能な交通機関のうち最大の効用を得る交通機関を選択するという考え方に基づく

# 犠牲量モデル

犠牲量は、次式による。

$$S_i = C_i + \omega T_i$$

$S_i$ ：交通機関  $i$  を利用した場合の犠牲量（円）

$C_i$ ：交通機関  $i$  を利用した場合の総運賃（円）

$T_i$ ：交通機関  $i$  を利用した場合の総所要時間（時間）

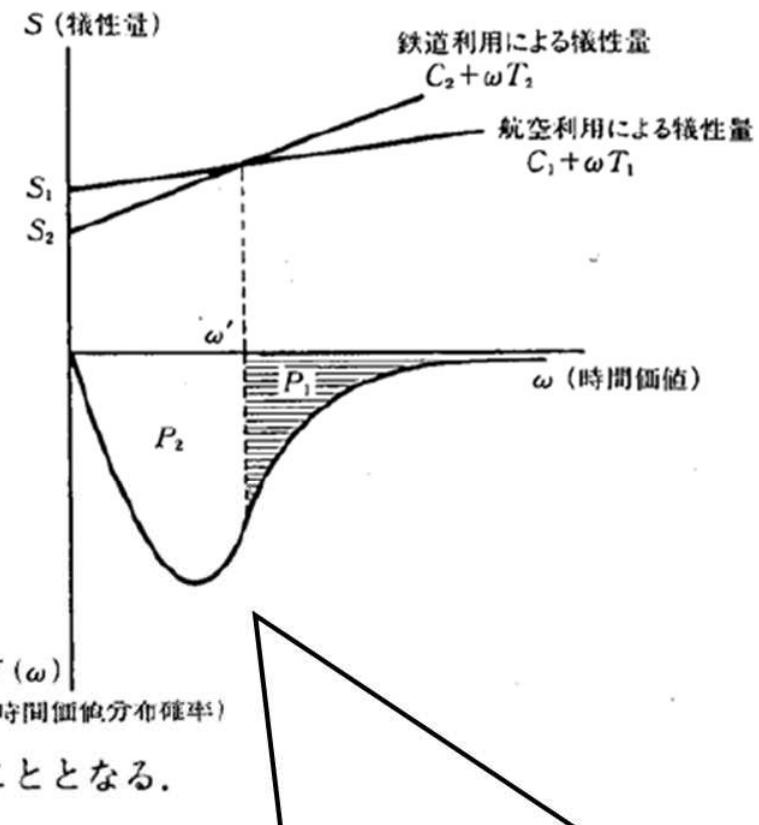
$\omega$ ：時間価値（円／時間）

たとえば交通機関 1 を航空、交通機関 2 を鉄道とすれば、

$$\text{航空利用による犠牲量} : S_1 = C_1 + \omega T_1$$

$$\text{鉄道利用による犠牲量} : S_2 = C_2 + \omega T_2$$

であり、 $S_1 < S_2$  ならば航空を、 $S_1 > S_2$  ならば鉄道を利用することとなる。



時間価値は人によって異なるので、縦軸を犠牲量あるいは時間価値分布確率、横軸を時間価値とした場合、ある発着地域間の犠牲量  $w'$  で交わったとすれば、その発着地域間では  $P_1$  の割合で航空が利用されることとなる。

# ロジットモデル

- 効用は測定困難な原因、情報の不確実性、各個人の志向性などにより確率的に変動すると考えられ、その効用を確率的に変動する部分(確率項)  $E_i$  と、変動しない部分(確定項)  $V_i$  に分け、 $U_i = V_i + E_i$  として線形性を仮定する。
- 効用関数の設定の仕方により、犠牲量モデルにおける説明要因(総所要時間、総所要費用)以外の要因を考慮できるという長所がある一方、利用者の選択行動データをもとに、その行動を最もよく表現する効用関数を求めるため、さまざまな説明変数(乗り換え回数や便数など)の抽出、ならびに複数のパラメータや定数項を設定するための多変量解析が必要になるという短所がある。

$$P_k = \frac{U_k}{\sum_i (U_i)}$$

$$U_i = a_i + \sum a_{ij} \cdot X_{ij}$$

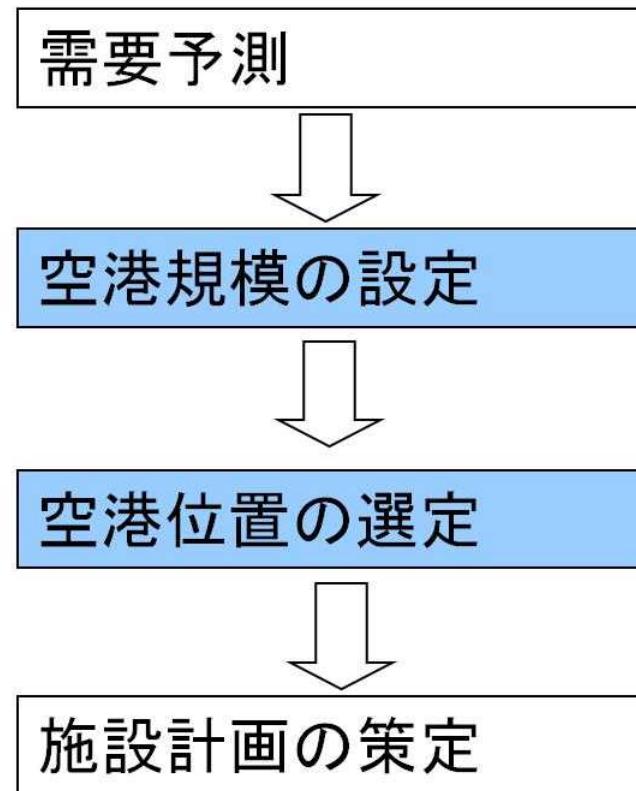
$P_k$  : 交通機関  $k$  の分担率

$X_{ij}$  : 交通機関  $i$  の  $j$  番目の要因

$a_{ij}$  : 交通機関  $i$  の  $j$  番目のパラメータ

$a_i$  : 交通機関  $i$  の定数項

# 空港計画の流れ



- ・空港基本計画(滑走路・誘導路・エプロン)
- ・ターミナル地域基本計画

# 空港規模の設定

- ・ 計画目標年次における必要な空港の機能が、十分に発揮されること
- ・ その後の航空需要の増大に対しても弾力的な対応が図られること
- ・ 決定すべき項目

滑走路の長さ・数・配置、エプロンの数、ターミナル地域の面積、誘導路の形状・配置 etc.

# 空港位置の選定

# 位置選定における検討事項(1)

- 航空技術的要件  
(航空機の安全運航の確保)
  - 気象条件
    - 一定限度以上の横風の発生頻度がある値以内
  - 地形条件
    - 滑走路の周辺に障害物となる地形が存在しない
  - 空域条件
    - 制限空域、訓練空域等が航空機の運航に障害とならない
- 建設技術的要件
  - 工費、工期、将来の拡張に対する弾力性

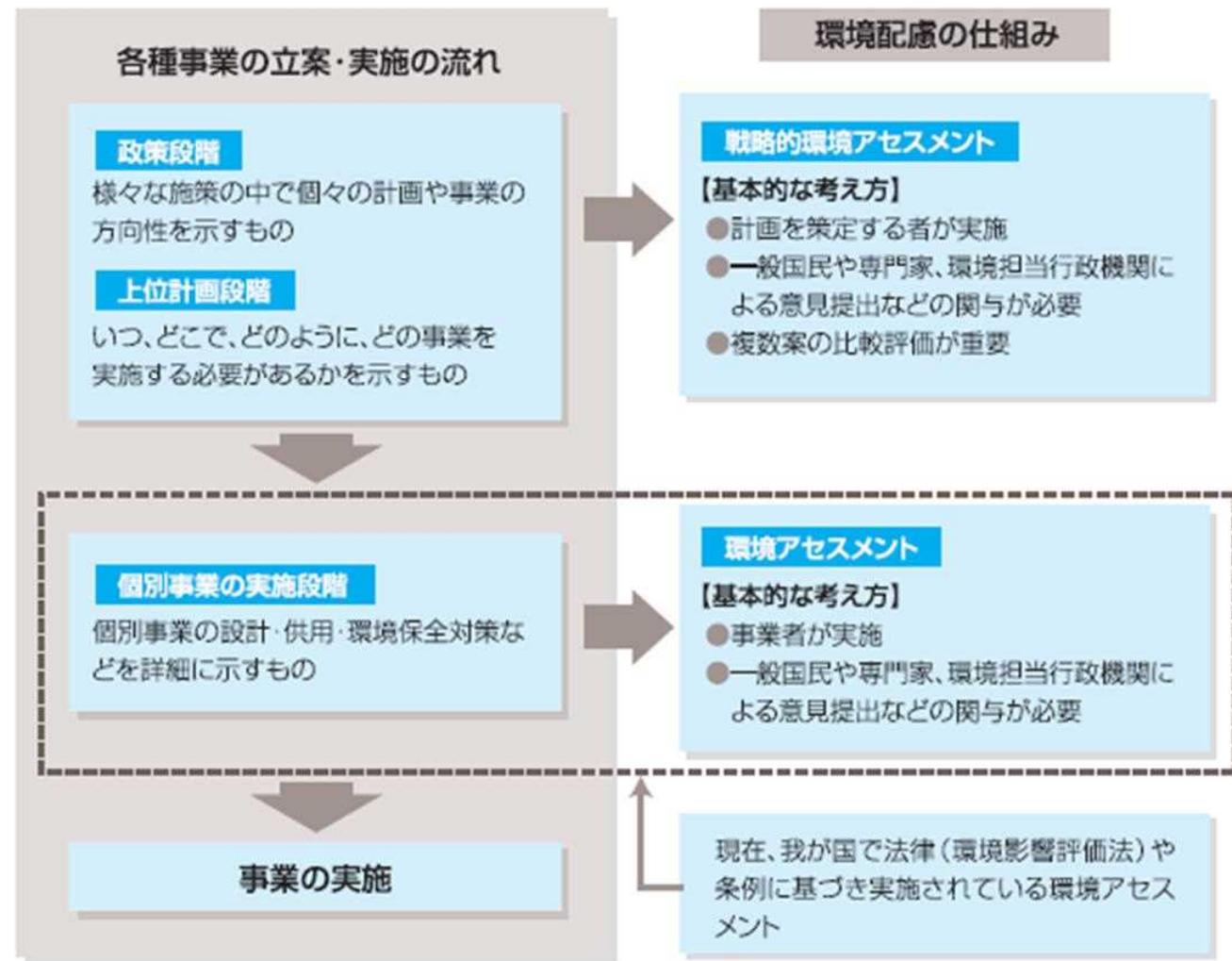
# 位置選定における検討事項(2)

- 他計画との整合性
  - 土地利用計画, 道路計画, 鉄道計画等との十分な事前調整
- 社会的要件
  - 地域のコンセンサス
- 利便性
  - 母都市とのアクセス(特に軌道系)

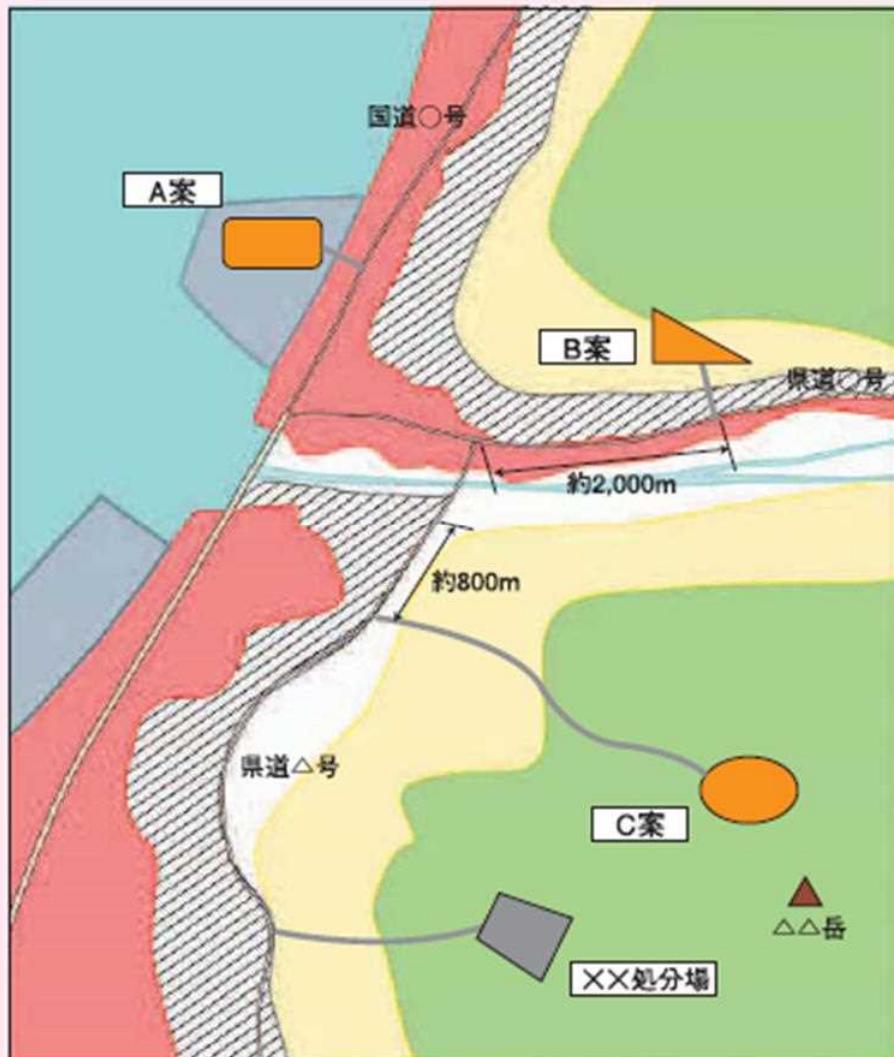
# 戦略的環境アセスメント (Strategic Environmental Assessment, SEA)

SEA:

環境への負荷をより少なくするためには事業の計画段階や政策意思決定段階で行う、計画や政策を対象とした環境アセスメント



# SEAの事例



## A案(海岸部案)

自然環境に配慮するとともに住宅地を避け、海岸部の埋立地に設置する案

## B案(扇状地案)

国道○号の北側部では慢性的な渋滞が発生しているため、渋滞箇所の交通量を少なくした案

## C案(山岳部案)

地形を活かしコストを低減する案

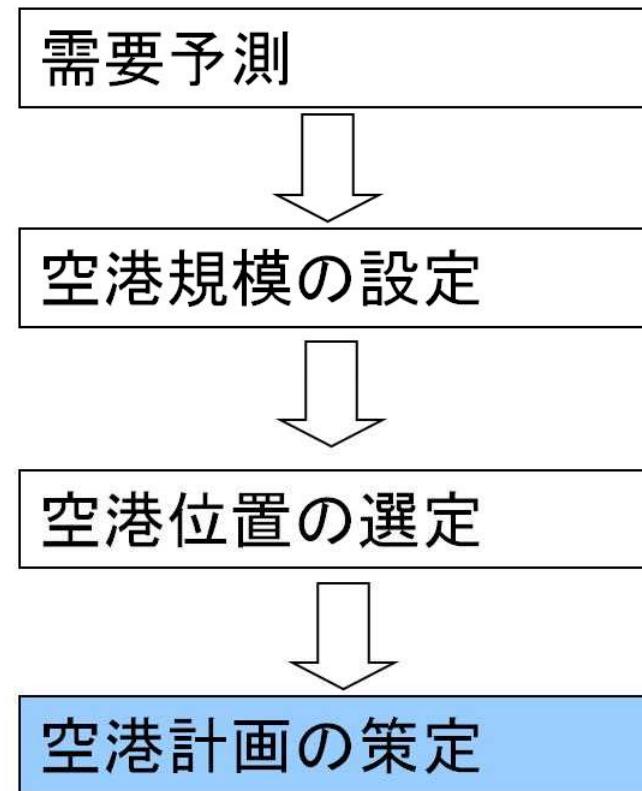
### 凡例

■ 山林	■ 埋立地	■ 河川
■ 田畠、水田、果樹園等	↔ 住居系用途地域 の通過区間	— アクセス道路
■ 住居系用途地域		■ 現在の処分場
■ 商業系用途地域	— 道路	■ 候補地

※1:平成18年度環境影響評価制度等総合研究調査業務報告書  
～戦略的環境アセスメント総合研究調査 技術手法編～から引用

(最初から、海岸部、扇状地、山岳部ありきではない)

# 空港計画の主な流れ

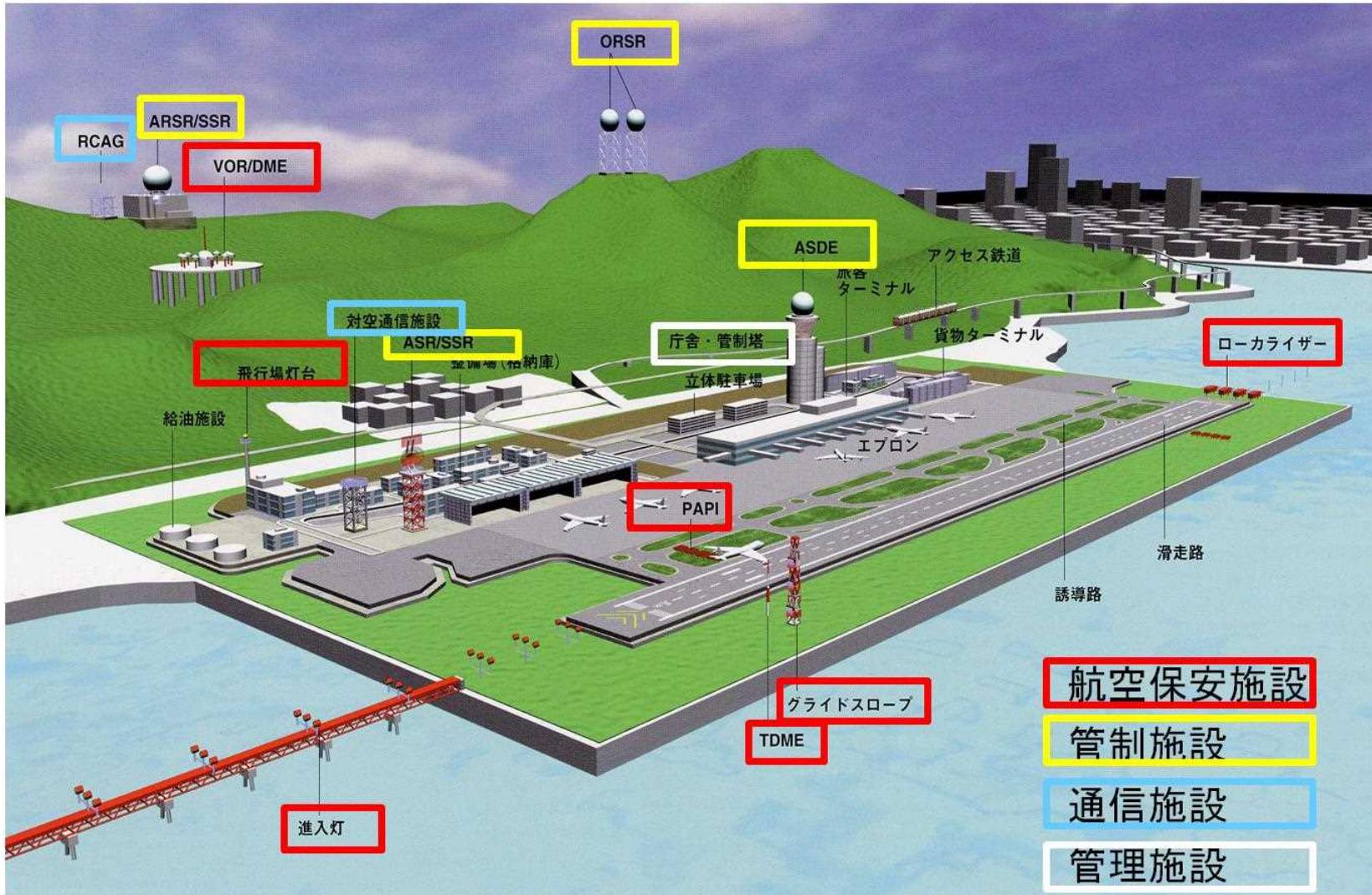


- ・空港基本計画
- ・ターミナル地域基本計画

# 空港施設(1)

- 基本施設
  - 滑走路, 着陸帯, 誘導路, エプロン
- 付帯施設
  - 場周道路, 場周柵, 保安道路, 排水施設等
- 空港ターミナル施設
  - エプロン, ターミナルビル, 駐車場
- 航空保安施設
- 管制施設
- 通信施設
- 管理施設

# 空港施設 (2)



# 滑走路の計画

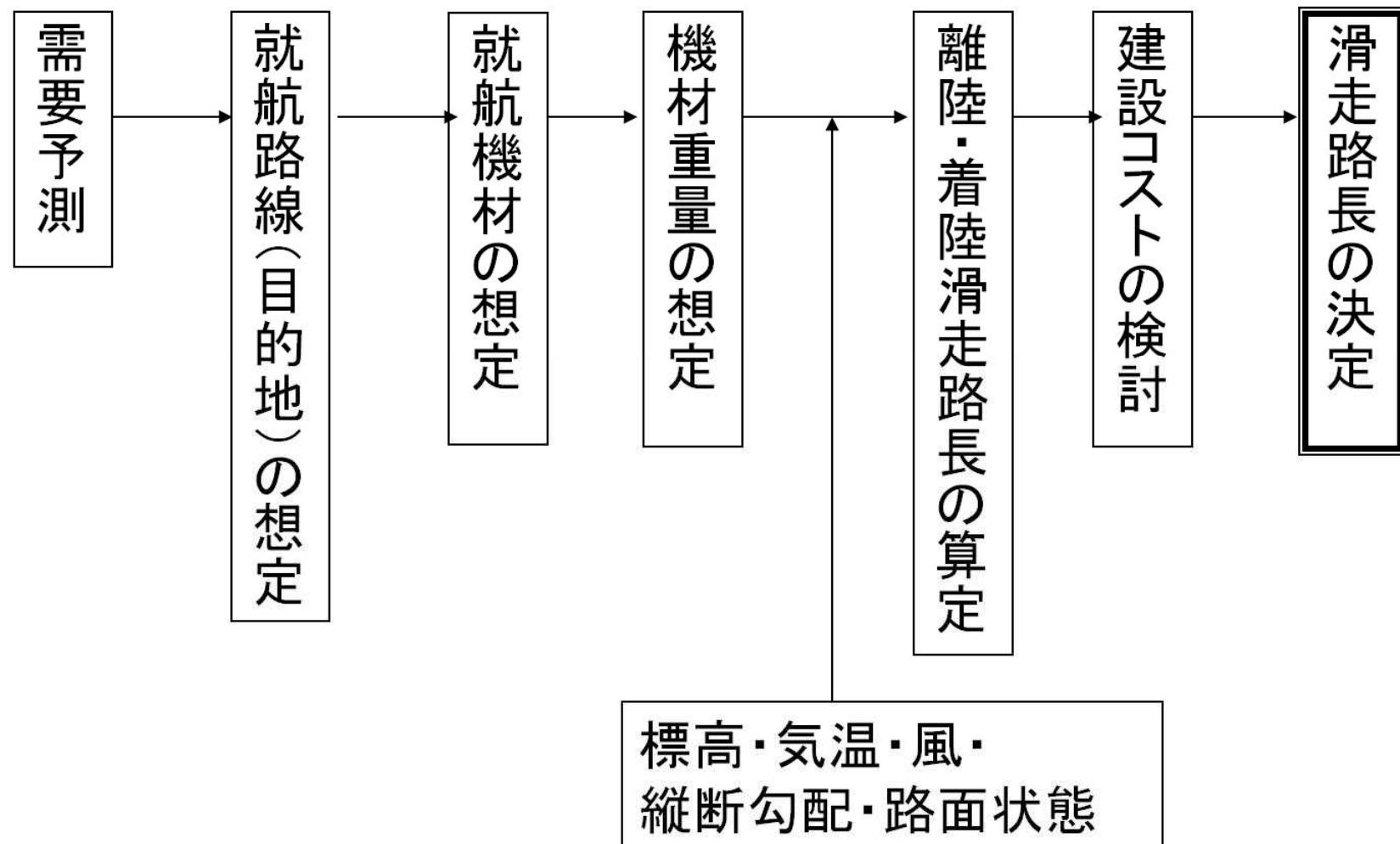
# 滑走路

- Runway (R/W)
- 空港機能の中心となる最も重要な施設
  - 空港の能力、規模等を決定する
- 計画要素
  - 滑走路長
  - 滑走路方位
  - 本数と配置

# 滑走路長

- ・ 就航可能な航空機の機種、就航路線を決定する最も重要な要素
- ・ 空港の建設コストを左右
- ・ 将来、就航が予想される航空機の離着陸性能、路線等を想定して決定
- ・ 決定要因は、航空機の機種・重量、標高、気温、滑走路縦断勾配、風

# 滑走路長決定のフロー



# 滑走路長の検討要因

- 離着陸距離
  - 離陸距離, 加速停止距離, 着陸距離
- 標高
  - 標高が高いほど離陸距離が長い
- 気温
  - 気温が高いほど離陸距離が長い
- 風: 通常は無風状態で検討
- 滑走路の表面状態: 積雪, 寒冷地で要検討
- 滑走路の縦断勾配
  - 離陸方向に上り勾配であれば離陸距離が長い

# 離着陸距離 (1)

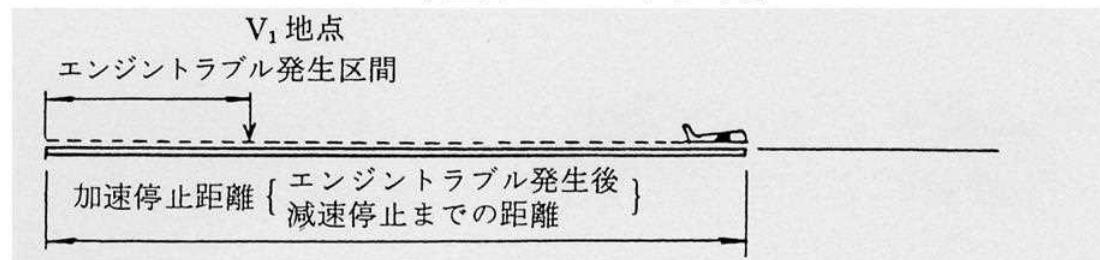
- 必要滑走路長
  - 就航航空機の離陸に必要となる滑走路長と着陸に必要となる滑走路長のうち長いほう
  - 通常、着陸滑走路長は、離陸滑走路長よりも長くはない。ただし、表面状態が雪氷等の場合に着陸時の停止距離が長くなることもある。

# 離着陸距離 (2)

- 加速停止距離
  - 離陸を始めた後に離陸決定速度( $V_1$ )に達する前にエンジントラブルが生じた場合でも航空機が安全に停止できる距離
- 離陸距離
  - 離陸滑走中の航空機が $V_1$ に達した後に一つのエンジンが停止した場合に、離陸を継続して滑走路末端で35ftに達するのに必要な距離と、全エンジンが正常な状態で35ftの高さに達するのに必要な距離の115%の距離のうち長いほう
- 着陸滑走路長
  - 航空機が滑走路末端上方50ftを通過した後、滑走路に着陸し安全に停止できる距離を0.6で除したもの

# 離着陸距離 (3)

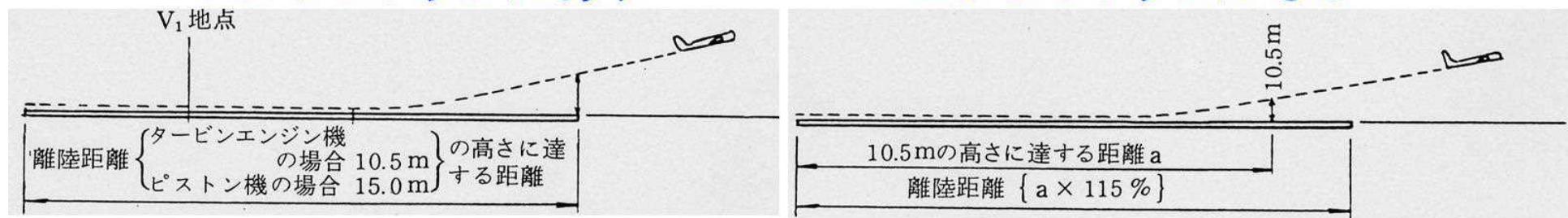
## 加速停止距離



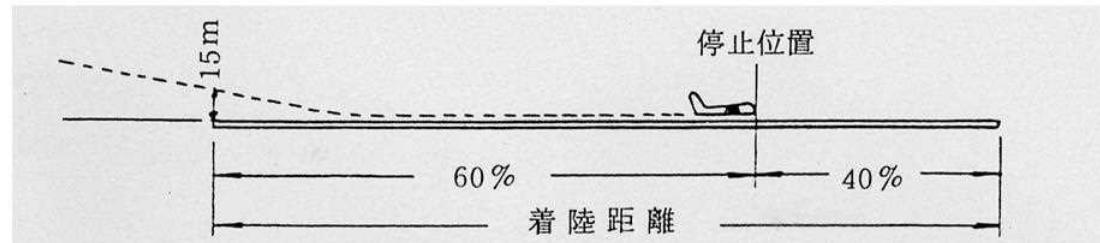
## 離陸距離

エンジントラブルあり

エンジントラブルなし



## 着陸滑走路長



# 標準滑走路長(国内路線)

機材区分	主な航空機	標準滑走路長
大型ジェット機	B747, B777, DC10, MD11	2,500 m
中型ジェット機	B767, A300	2,000 m
小型ジェット機	MD81, B737, A321, A320	2,000 m
プロペラ機	YS11, SAAB340B	1,500 m
小型機	DHC6, N24A, DO228	800～1,000 m

# 滑走路の幅

滑走路長	滑走路幅
1,280m以上	45m以上
900m以上, 1,280m未満	30m以上
500m以上, 900m未満	25m以上

## – コードEの航空機が就航する場合

- 翼幅: 52m以上, 65m未満  
主脚車輪外縁間距離: 9m以上, 14m未満  
 60mとすることが望ましい

## – コードFの航空機が就航する場合

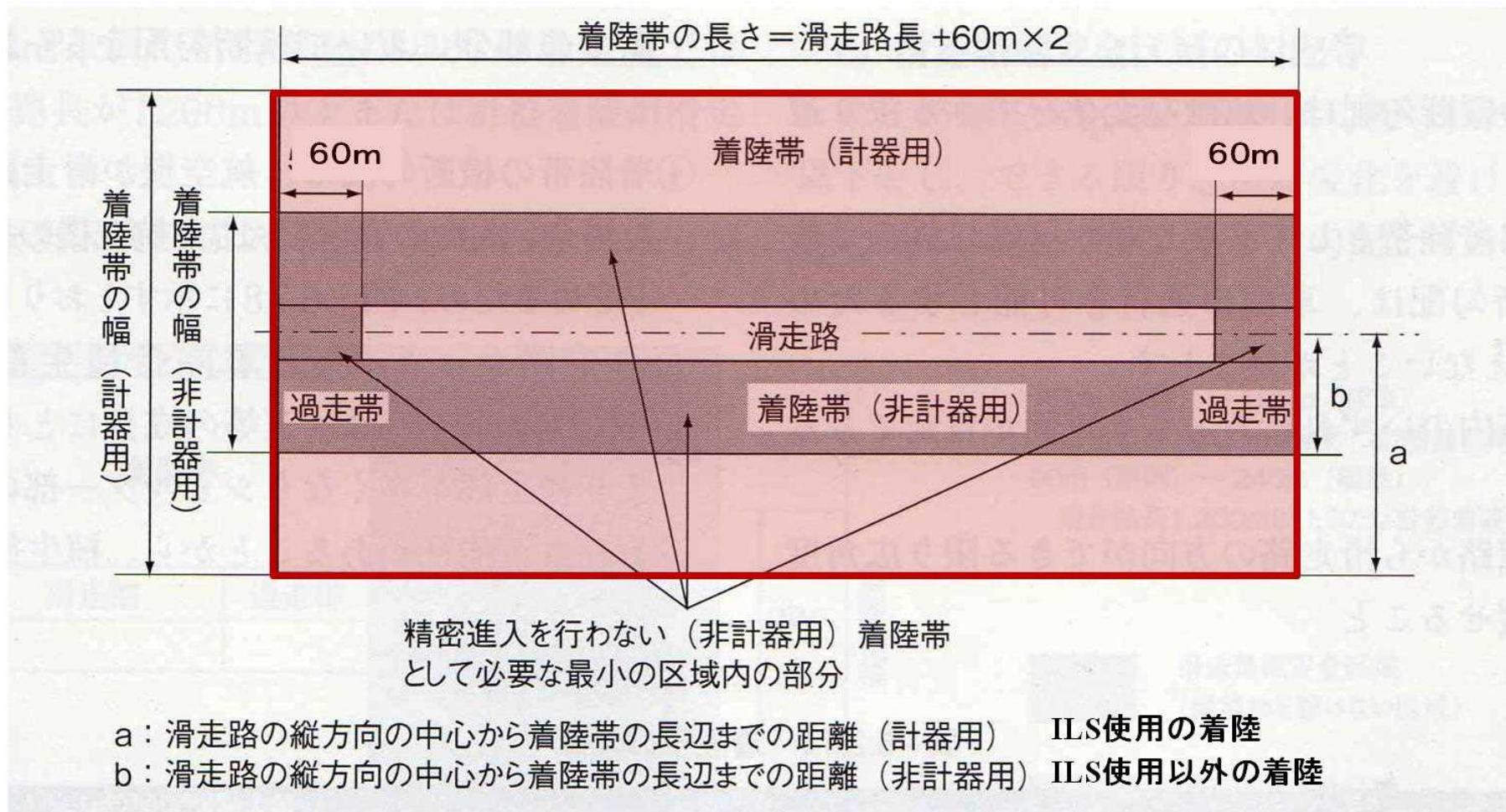
- 65m以上, 80m未満／14m以上, 16m未満  
 60mとする

# 着陸帯等

## ・ 滑走路周囲

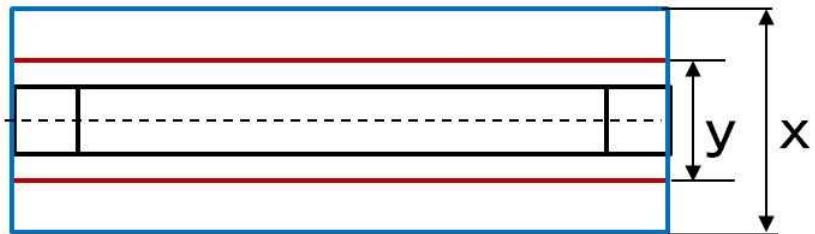
- 過走帯, 着陸帯, 滑走路安全区域を設定
- 過走帯
  - 航空機が滑走路内で停止できなかった場合等に備えて, 滑走路の延長方向の両側に設けられる部分(60m以上の長さ)
- 着陸帯
  - 航空機の滑走路からの逸脱時の航空機の安全確保・被害軽減のために滑走路の周囲に設けられる部分
- 滑走路端安全区域
  - 航空機が着陸帯内で停止できなかった場合等に備えて設けられる, 滑走路延長方向の両側部分の着陸帯

# 着陸帯の形状



# 着陸帯の長さと幅

- 着陸帯の長さ
  - 滑走路長+120m
- 着陸帯の幅



着陸帯の等級	滑走路長	着陸帯の幅(全幅)	
		精密進入を行う着陸帯 (計器用) x	精密進入を行わない 着陸帯(非計器用) y
A～E	1,280m以上		150m以上
F, G	900m以上 1,280m未満	300m以上	120m以上
H	500m以上 900m未満	150m以上	60m以上

# 滑走路の方向

- できるだけ人口集中地区を避ける
- 飛行経路に障害物がない
- 横風の頻度が極力少ない方向(恒風方向)  
⇒ ウィンドカバレージ\* > 95%

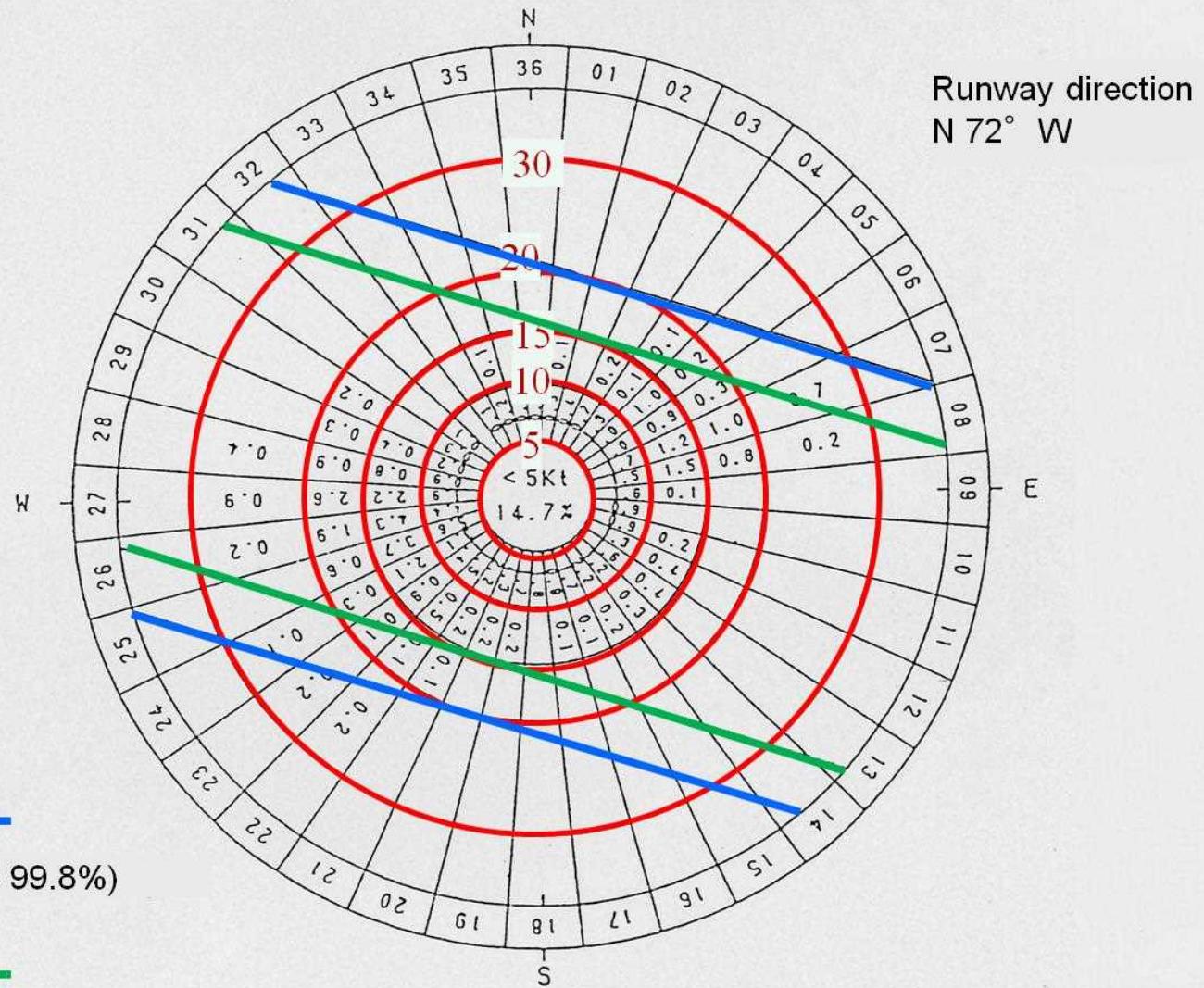
滑走路長	最大許容横風限界値
1,500m以上	20ノット(10.3m/s) (摩擦係数が不十分な場合には13ノット)
1,200m以上1,500m未満	13ノット(6.7m/s)
1,200m未満	10ノット(5.2m/s)

\* 滑走路方向に関し最大許容横風限界値を超えない風の割合

# ウインドカバレージの算出方法

- ・ 空港予定地(またはその付近)での風向, 風速について 1日8回以上, 3ヶ年にわたる観測結果を, 風向・風速階級別に出現頻度を算出
- ・ 風向・風速階級別の出現頻度からウインドローズを描く
- ・ ウィンドローズにおいて, 許容横風限界値の円に接して滑走路方向の接線を2本ひく
- ・ 2本の接線に囲まれた部分の出現頻度合計がウインドカバレージ

# ウインドローズの例

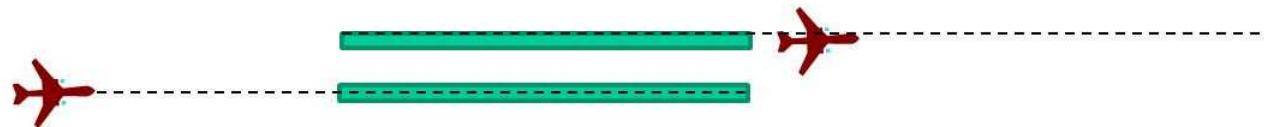


# 滑走路の本数

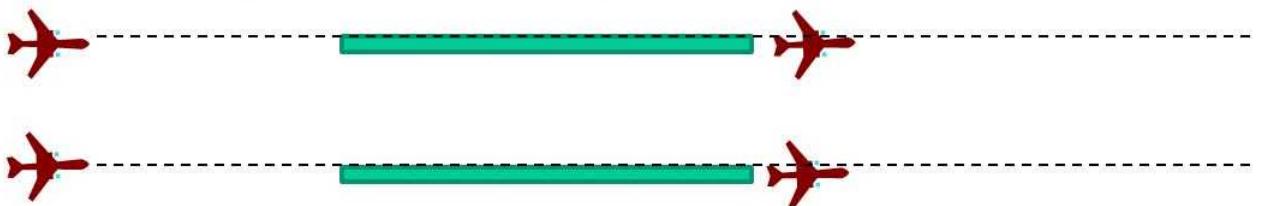
- 複数滑走路の設置の検討が必要な場合
  - 航空機の離着陸の回数が多く、1本の滑走路の能力を上回る
  - 1本の滑走路では所要のウインドカバレージが確保できない
  - 民間機と軍用機等異なる航空機が混在し、安全上の観点から使用滑走路を分離したほうが望ましい
  - 積雪等特殊要因により滑走路の閉鎖等が避けられず、代替滑走路を確保する必要がある

# 平行滑走路

- ・ 実際の離着陸回数に対して、1本の滑走路では容量が不足する場合
- ・ クロースパラレル配置
  - 滑走路中心線間隔 300m以上1,310m未満
  - 滑走路容量は1本の1.3倍

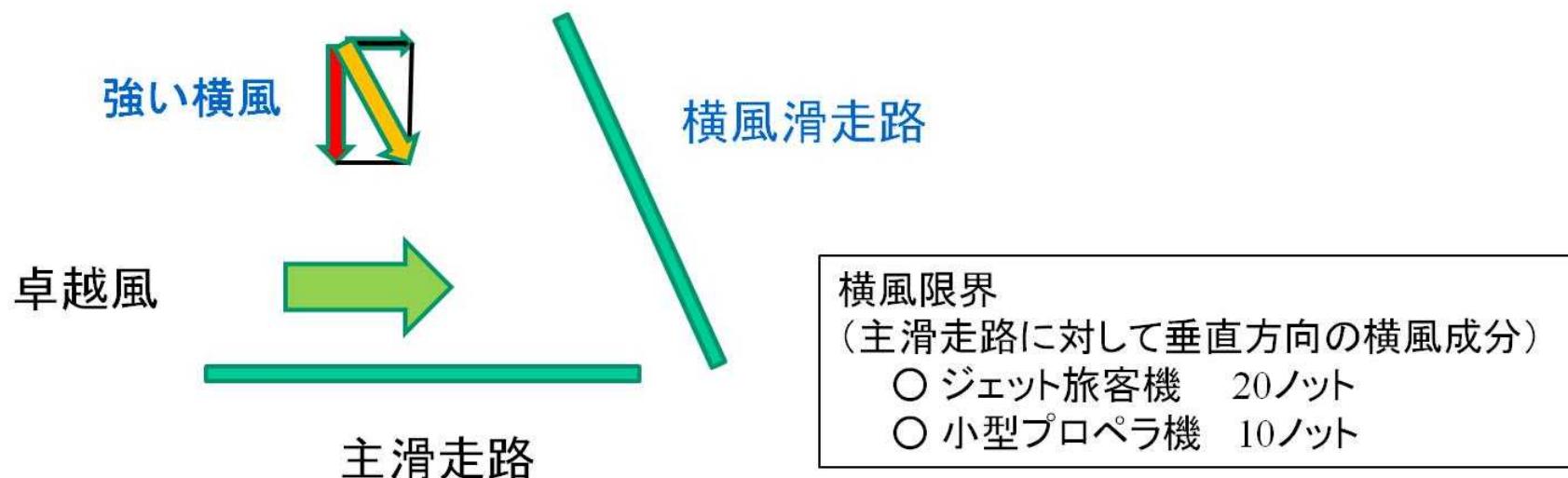


- ・ オープンパラレル配置
  - 滑走路中心線間隔 1,310m以上
  - 滑走路容量は1本の2倍



# 横風滑走路

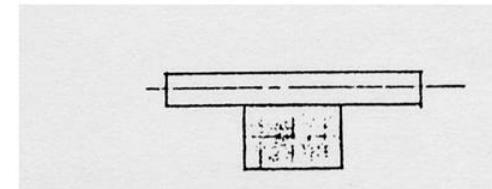
- 主滑走路の方向に対して、横方向から一定限度を超える強風が吹く場合
  - 航空機はその滑走路に離着陸することができない
  - そのような場合にも離着陸が可能なように横風滑走路を設置
    - 特に横風に弱い小型機を主に扱う空港



# 滑走路の配置(1)

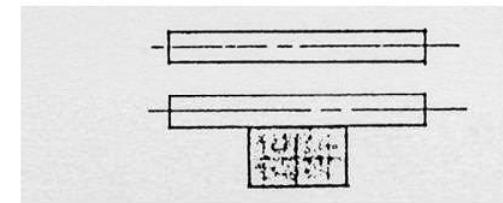
- 単一滑走路

- 高速脱出誘導路の配置により最大32回／時程度まで離着陸の処理が可能。我が国のほとんど の空港で採用。



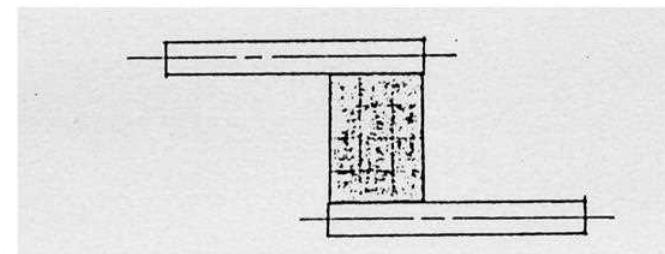
- クロースパラレル滑走路

- 独立運用は不可。離陸用・着陸用に使用することにより、41回／時程度まで処理が可能。[大阪伊丹空港](#)



- オープンパラレル滑走路

- 2本の滑走路を十分な距離を(一般に約1,310m以上)離して配置。  
各滑走路が独立に運用可能。  
最大64回／時程度まで処理が可能。世界的に主流。[東京羽田空港](#)

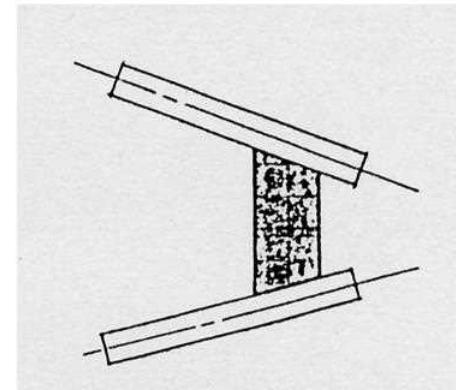


# 滑走路の配置(2)

- オープンV滑走路

- 弱風時に離陸用・着陸用に使用することにより50回／時程度の処理能力が可能.

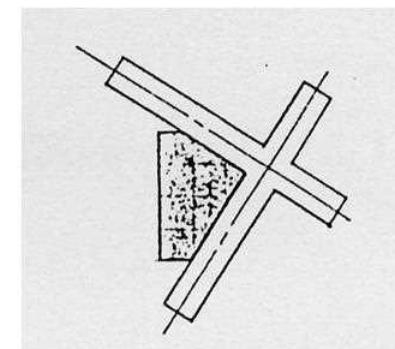
長崎空港



- インターセクション滑走路

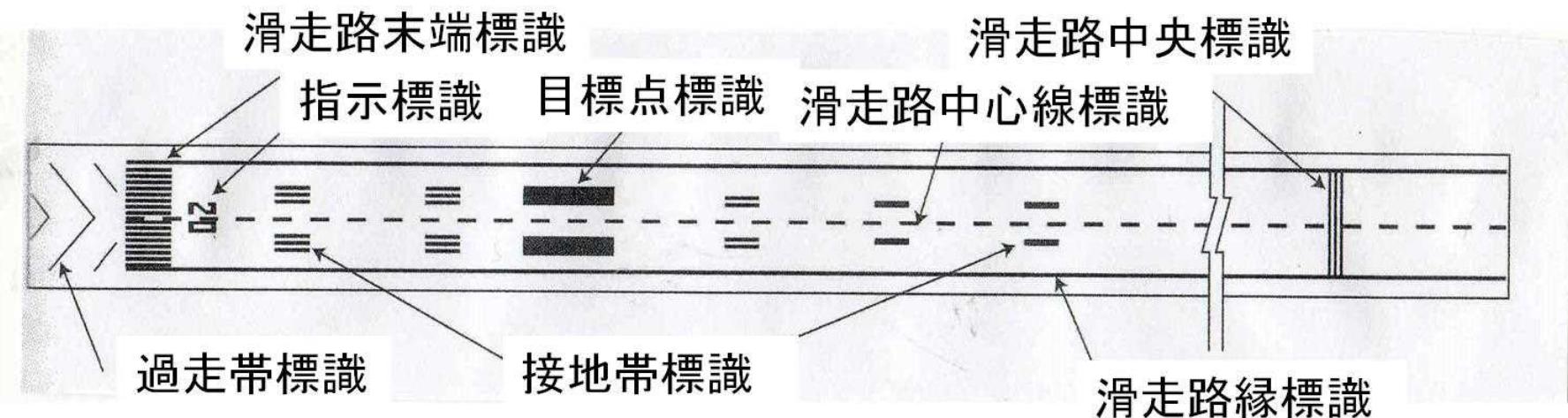
- 処理能力は単一滑走路とほぼ同じ.

大阪八尾空港



# 滑走路標識

- 離着陸する航空機のパイロットに対して、重要な視覚誘導情報を提供

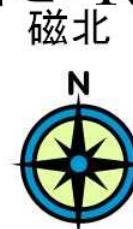
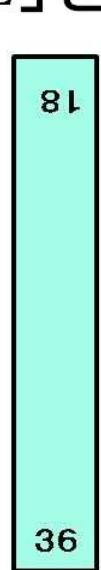


# 滑走路の記号

- ・ 滑走路両末端部に滑走路の方向を表す記号を付けて、識別
- ・ 記号は、磁方位に対する10度単位の数値で表示
- ・ 2本の平行滑走路がある場合は、数字の他に、左側の滑走路に「L」を、右に「R」を付加

記号の向きは、着陸するパイロットの目から見た方向

「36着陸」、「36離陸」という言い方をする



(2本の平行滑走路の場合)

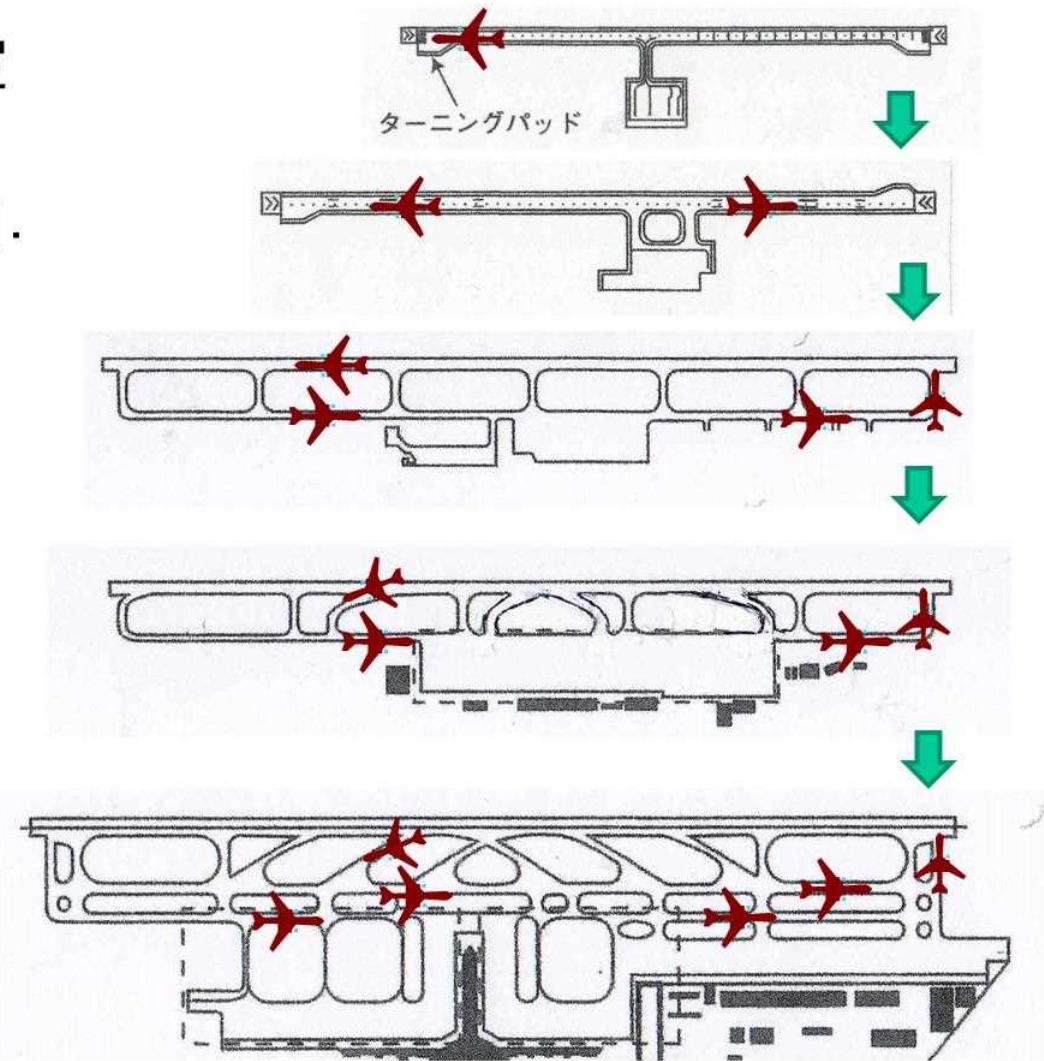
# 誘導路の計画

# 誘導路

- Taxiway (T/W)
- 滑走路とターミナル地域を結ぶ連絡路としての機能
- 計画要素
  - 平行誘導路
    - 必要性の有無
  - 高速脱出誘導路
    - 必要性の有無

# 誘導路と離着陸能力

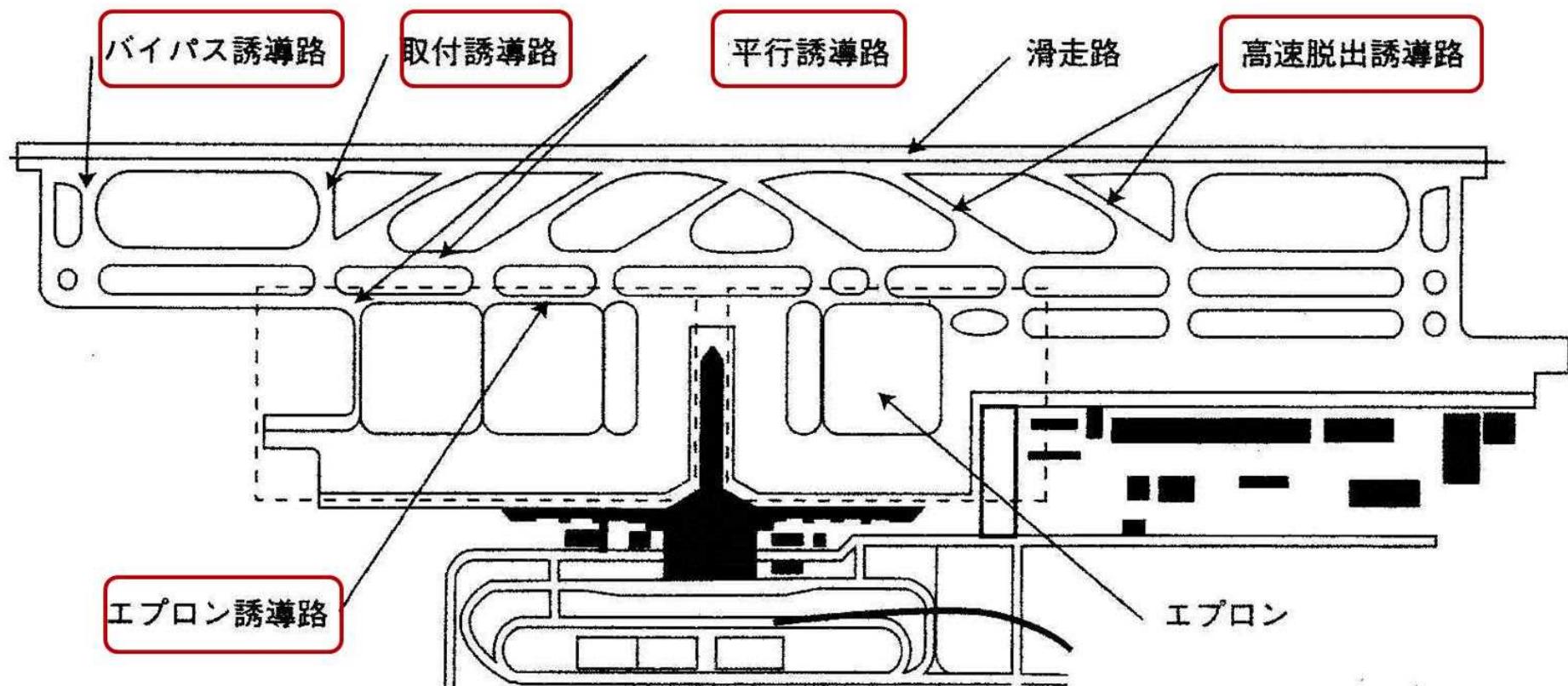
- 滑走路の離着陸能力決定要素の1つが、離着陸航空機の「滑走路占有時間」。
- 取付・平行・高速脱出の各誘導路は「滑走路占有時間」を短縮する効果を有する。
- 便数が多い空港ほど、「滑走路占有時間」短縮効果がより大きい誘導路を必要とする。



# 誘導路の種類（1）

- 取付誘導路
  - 航空機を滑走路に入れたり、滑走路から脱出させるため、滑走路に対し直角に取付け
  - 平行誘導路とともに設置される場合は複数設置
- 平行誘導路
  - 滑走路に平行に設置
  - 航空機の滑走路占有時間が大幅に短縮されるため、滑走路処理能力が大幅に向
- エプロン誘導路
  - エプロン内の航空機走行区域のうち、平行誘導路の機能を持った区域。
- 高速脱出誘導路
  - 滑走路処理能力アップのため、着陸した航空機が高速で滑走路から脱出できるよう滑走路に対し斜めに取付け

# 誘導路の種類 (2)



# 誘導路に付属する施設

- ターニングパッド
  - 平行誘導路が設置されていない場合、滑走路端部に設置した航空機の着陸後及び離陸前の旋回エリア隠岐空港
- ホールディングベイ
  - 滑走路末端の取付誘導路に設置した、離陸する航空機の待機及び迂回エリアモントリオール空港
- スポット誘導経路
  - 航空機が誘導路またはエプロン誘導路から航空機導入線へ移動するために供されるエプロン上の経路

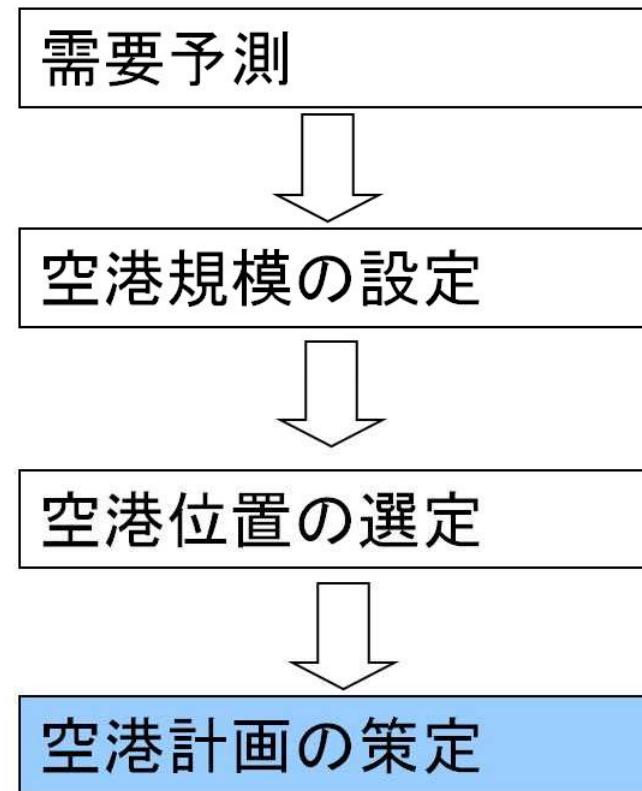
# 誘導路の配置計画(1)

- 平行誘導路の設置条件
  - ピーク時間当たりの計器飛行方式による離着陸回数が8回以上
  - 大型ジェット機が離着陸する
  - 共用飛行場で民航部分の分離のため、平行誘導路の必要性が十分認められる
- 高速脱出誘導路の設置条件
  - ピーク時間当たりの計器飛行方式による離着陸回数が25回以上
  - 離着陸が輻輳する時間帯において、大型ジェット機や小型機が混在して運航し、航空管制上から高速脱出誘導路の必要性が十分認められる

# 誘導路の配置計画 (2)

- 誘導路配置計画における留意事項
  - 滑走路の占有時間をできるだけ短くする
    - 所要の脱出誘導路の設置
  - できるだけ直接かつ単純なものにする
    - 動線の単純化と誘導走行距離の短縮
  - 滑走路または他の誘導路との交差はできるだけ回避する
    - 安全の確保
  - 一方通行が可能となることが望ましい
    - 移動のスムーズ化と衝突回避

# 空港計画の主な流れ



- ・空港基本計画
- ・ターミナル地域基本計画

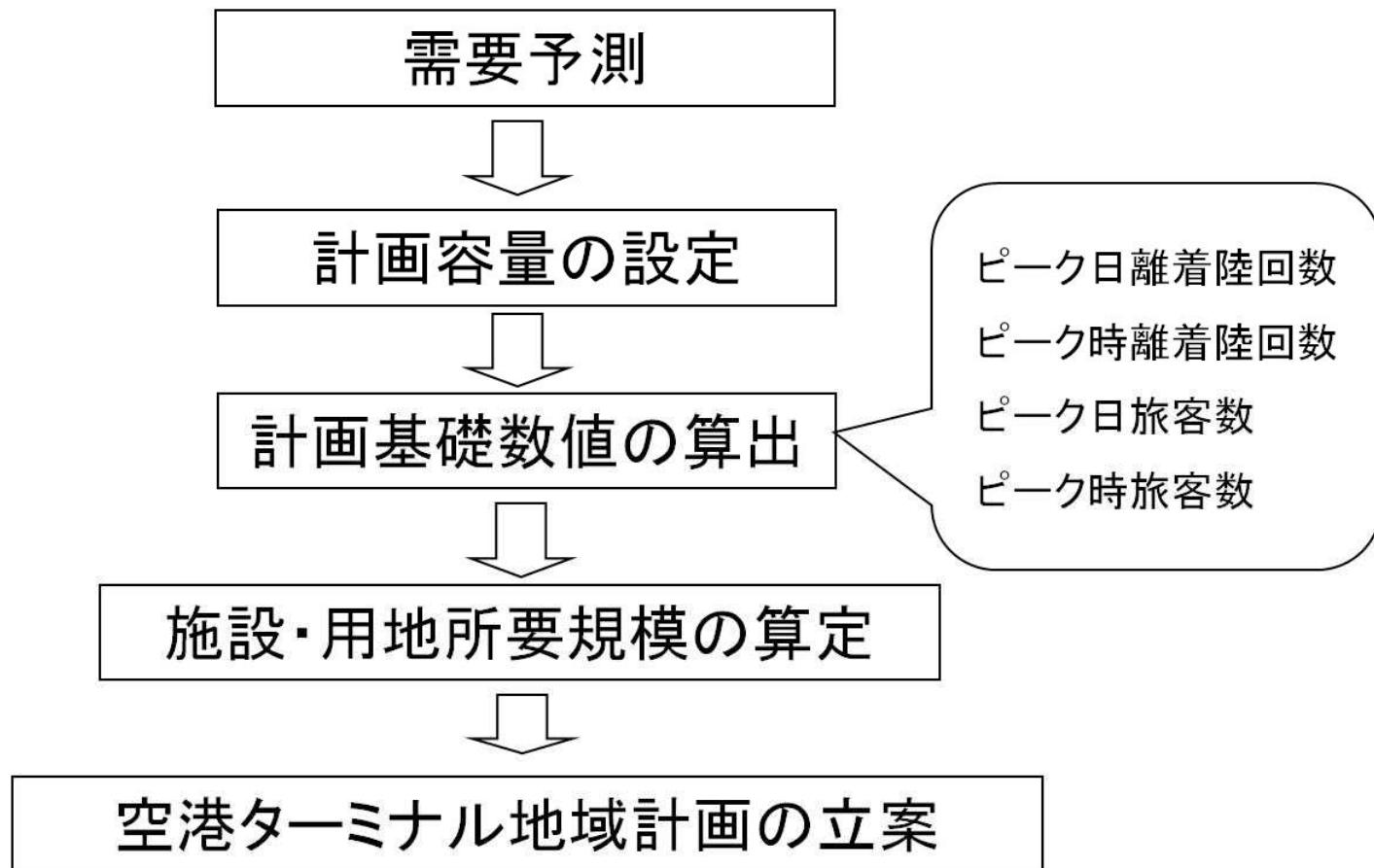
# ターミナル地域の機能

- 航空輸送と陸上輸送のインターフェイス機能
  - 旅客・貨物の流れを円滑かつ快適に制御
- 航空機の運航に必要な各種サービス機能
  - 給油, 整備等
- 空港の管理機能
  - 航空管制, 空港施設の維持等

# ターミナル地域の構成

- 旅客ターミナル地区
- 貨物ターミナル地区
- 整備地区
- 給油施設地区
- 管理(施設)地区

# ターミナル地域計画の概略手順



# ターミナル地域計画策定の留意点

- 施設容量
  - 供用開始後5年以上は対応可能に
  - 用地は10年間対応可能な容量が望ましい
- 位置
  - 航空機の地上動線を最小限に 佐渡空港・那覇空港
  - アクセス交通経路も考慮
- 円滑な旅客・貨物の動線
- アメニティにも配慮

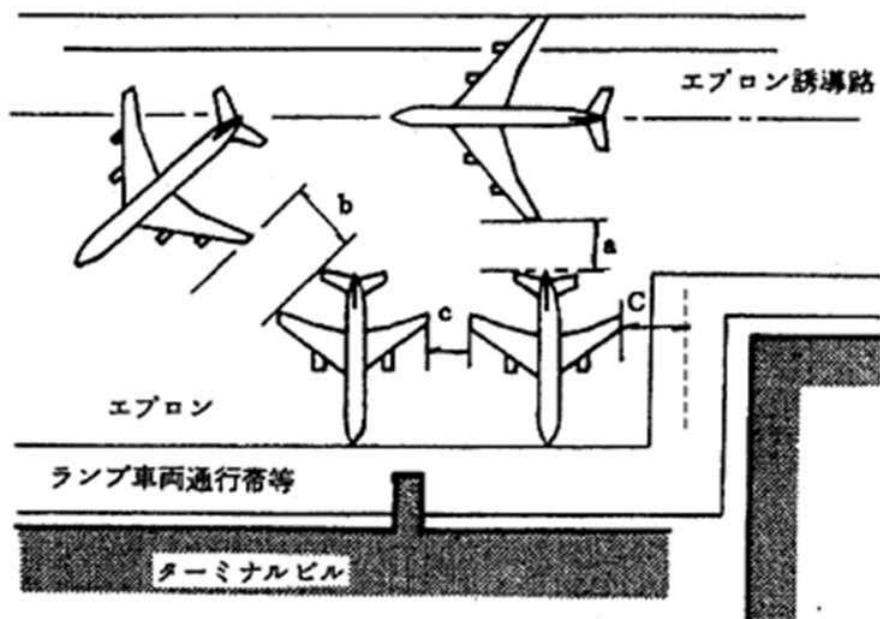
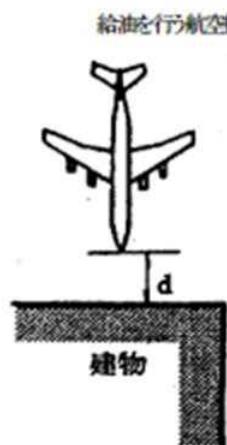
# エプロンの機能と種類

- Apron (A/P)
  - 航空機が駐機し、旅客の乗降、貨物の積卸し、給油、整備が行われる場所
- 種類
  - ローディングエプロン
  - ナイトステイエプロン
    - 基幹空港で必要
  - カーゴエプロン
    - 航空貨物の取扱い量が大きい空港で必要
  - メンテナンスエプロン
    - 整備施設に付帯して格納庫前に設置
  - ランナップエプロン
    - 航空機の整備後、試運転を行う

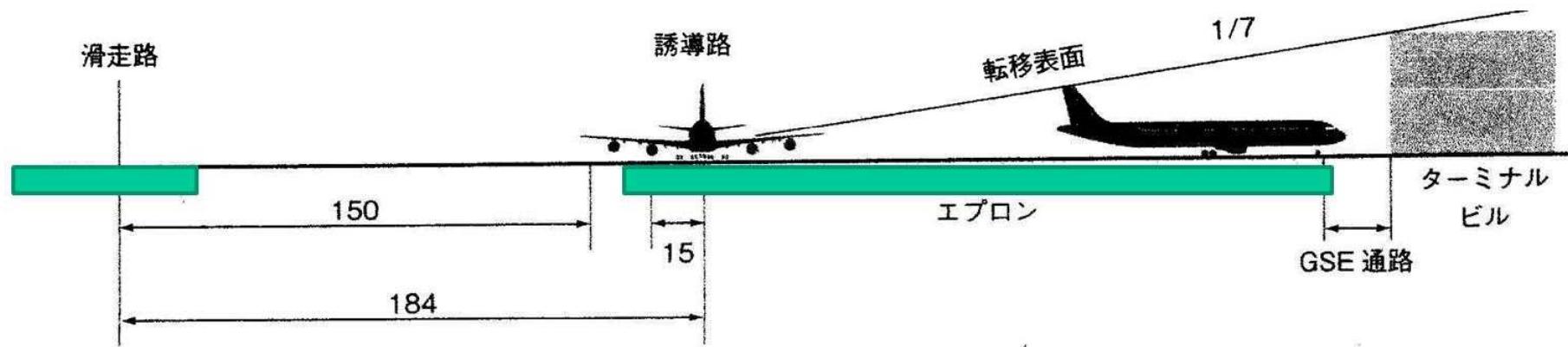
# エプロン上の航空機クリアランス

航空機のクリアランス	航空機コード					
	F	E	D	C	B	A
a エプロン誘導路走行中	15	15	14.5	*	9.5	8.75
b スポット誘導路走行中	10.5	10	10	6.5	4.5	4.5
c スポット内走行中	7.5	7.5	7.5	4.5	3	3
d 給油中	15	15	15	15	15	15

航空機コード (翼幅)
F (65m以上85m未満)
E (52m以上65m未満)
D (36m以上52m未満)
C (24m以上36m未満)
D (15m以上24m未満)
E (15m未満)

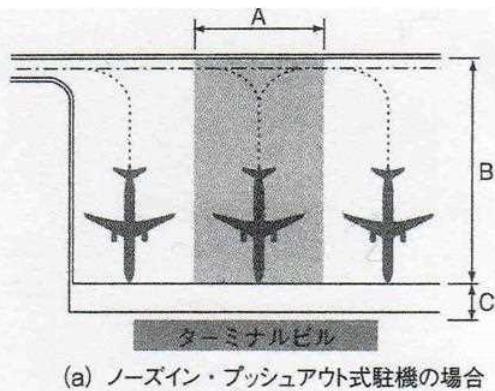


# 転移表面とエプロン形状

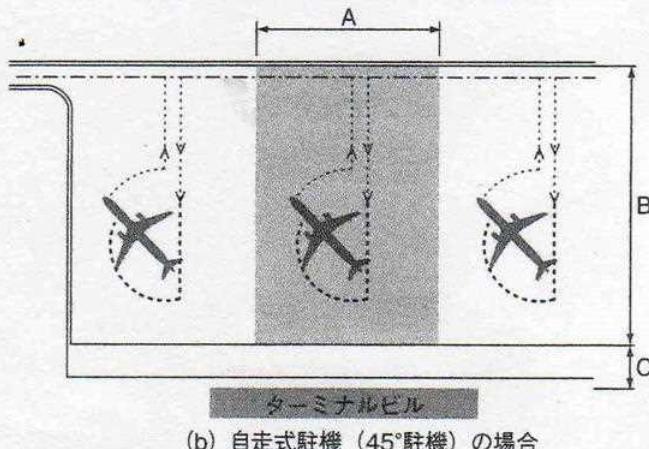


# エプロンの標準形状

## 転移表面の影響を受けない場合



航空機コード (翼幅)	ノーズイン方式	
	幅	奥行
F (65m以上85m未満)	87.5m	145m
E (52m以上65m未満)	72.5m	140m
D (36m以上52m未満)	59.5m	110m
C (24m以上36m未満)	40.5m	90m



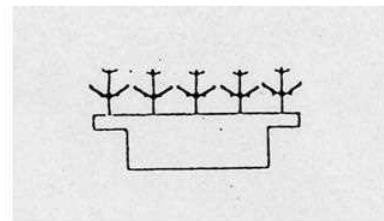
## 転移表面の影響を受ける場合

航空機コード	ノーズイン駐機		自走式(45° 駐機)	
	幅	奥行	幅	奥行
F	87.5m	220m	—	—
E	72.5m	190m	—	—
D	59.5m	155m	95m	105m
C	40.5m	110m	60m	85m
C, D (プロペラ機)	—	—	55m	70m

# ターミナルビルコンセプト

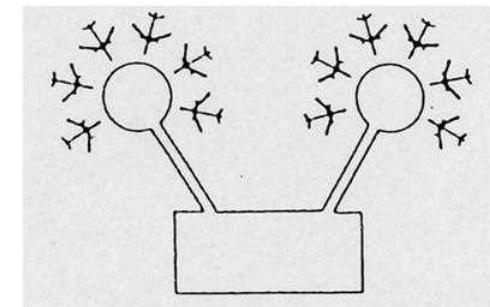
- ・ フロンタル方式

関西国際空港・多くの地方空港



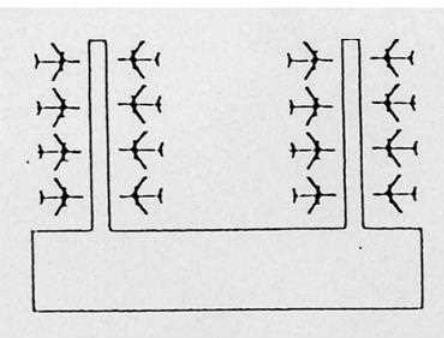
- ・ サテライト方式

成田国際空港(第一ターミナルビル)



- ・ フィンガーワイド方式

大阪伊丹空港



- ・ ハイブリッド方式

成田国際空港(第二ターミナルビル)

