資　料　編

第１回　航空需要に対応した空港運用研究会
議　事　録

日時　2015 年 11 月 27 日（金）15：00～
場所　大阪キャッスルホテル

「首都圏空港の容量拡大に向けた取り組みと課題」
茨城大学　工学部　都市システム工学科　准教授　平田　輝満

■自己紹介

茨城大学工学部都市システム工学科で准教授をしております、平田輝満と申します。どうぞよろしくお願い致します。私の研究分野は空港計画ですが、バックグラウンドは土木工学の都市計画や交通計画をやっていた関係で、ドクター論文は道路分野でとっていました。10年前ぐらいに運輸政策研究所で航空の研究を開始して、本日ご紹介する内容の大半がそこでの研究内容になります。そこに入った時から、首都圏空港のいろいろな問題意識のもとで研究をやり始めました。今日は少しマニアックな話になってしまうかもしれません。関西圏の空港の研究会ということですので、事例研究を通して少しでも関西圏空港及び地域の発展のためにこれらの情報がご提供できればと思っています。どうぞよろしくお願い致します。

今日は１回目ということで、恐らく皆さんも少し関心のあると思われる首都圏空港の容量拡大、とくに羽田の容量拡大策についてです。今まで使っていなかった空域、東京都心の上空の低高度空域を使って容量拡大しようということについてご紹介したいと思います。

１枚目に自己紹介が書いていますが、私、先程申し上げた通り、運輸政策研究機構という研究所に入ってから航空分野の研究を始めました。その時に航空保安大学校で聴講生として半年間航空管制の勉強をさせて頂きました。ここで航空管制のイロハを習っているので、管制のことは比較的わかっているつもりです。そういう話も今日は多少出てくると思います。

今、茨城空港は神戸便が主力ですが、羽田便が茨城空港にはないので羽田経由で地方に行くのは非常に不便です。

仙台とか静岡とか羽田路線をもっていない空港は関西圏の空港にもっと接続すれば、西の方に非常に行きやすいということです。そのため、ぜひ神戸、伊丹、関西の地方ラインと茨城がつながってくれると助かると思っています。

１．首都圏空港の現状と課題

■航空需要予測

首都圏空港検討小委員会の中で、羽田・成田だけでなく、首都圏の空港は茨城空港、静岡空港､横田などがあり､福島も含めて容量を最大限に使う方策はないかと検討してきました。静岡もこの１年で中国路線が大幅に増え、茨城も国際線は上海しか１年前はなかったんです

けど、香港と深センと杭州を最近始めました。搭乗率も非常に高いようです。そういう意味では中国からの旅客というのは、関空とか成田だけでなく周辺の茨城とか静岡にもすごく恩恵をもたらしています。

これは国土交通省の検討委員会で配られた需要予測です。首都圏のトータルの発着需要を予測すると 2020 年には中位ケースの予測でも発着容量を超えてしまう。中長期で見ると年間約 7 万回から 23 万回の容量不足になるだろうということで、技術的な検討を行いました。

■機材の平均サイズ:世界の主要空港との比較（2005vs2012）

私が航空の研究を始めて一番最初に言われたのが、日本の国内線でジャンボが飛んでいるというのが異常だというか、ジャンボが国内を飛んでいるのは日本ぐらいだと言われて、そんなものかなと思っていました。

確かにアトランタ、アメリカ、ヨーロッパ、アジア、成田、羽田の 1 便あたりの平均座席数を比べると、アメリカも 100 席前後、ヨーロッパも 150 席前後で、非常に小型機が平均的にも多いことがわかります。

ただ羽田・成田も容量がだんだん緩和してきたので、平均サイズもここ 7、8 年でぐっと落ちてきています。逆にアメリカヨーロッパは、私が始めた頃は海外に行くと 50 席とか 30 席とかがメジャーなクラスでした。

燃料費の高騰や、競争激化で LCC が入ってきたりという市場変化もあり、座席を増やさないとシートあたりのコストが厳しくなってきたので、アメリカは逆にアップサイズしています。だから日本とアメリカ、ヨーロッパ、だんだん近づいてきている状況にありますけど、日本はまだまだ大型機が多いというのが実情だと思います。

■機材サイズ別の運航便数シェア（2012）

7 ページ目は具体的に座席数別の資料を示しています。平均現在値と同様に青が 100 席以下ですけど、アメリカはリージュナルジェット、プロップとかがすごく多く、200 席以上はほとんど飛んでいない状況です。

■世界の主要空港と日本の空港（2007 年）

さらに古いですが、よくヒースローと羽田が比較されることが多いです。横軸に年間旅客数、縦軸に一機あたり旅客数をとると、羽田は一機あたりのお客さんが多く、少ない機材でたくさん運んでいる。ヒースローは年間では同じぐらいのお客さんを運んでいるんだけど、一機のサイズは 3 分の 2 とか半分ぐらいになります。その分、発着回数が多い。当然ユーザーの利便性から言えば 1 日の便数が多い方が良いのは当たり前です。この差はどこから生まれるのか。単なる容量の問題なのかということで問題意識を当初は持っていました。今日はあまり詳しく申し上げられませんけど、大型機が増えると管制運用上、小型機の後方乱気流が結構悪さをして 1 便処理するのに倍ぐらいの時間がかかってしまうんですね。大きな飛行機ならたくさんのお客さんを 1 回で運べるのだけれど、その分発着回数が減ります。そういう意味では空港がお客さんを運ぶ能力というのは、機材を大きくすれば良いというものでなく、発着回数と一機あたりの座席数のバランスが必要になる。

■米国における小型多頻度運航の例（NY3 空港）

2007 年 1 月のデータですが、ニューヨークの 3 空港について、路線別の頻度、1 日あたりの便数を縦軸にとっている。これを路線距離の少ない方から並べています。色は、それぞれの便のシート数の大きさです。そうすると 1000 キロ未満の短距離路線だと、どんなにお客さんが増えても半分以上は 100 席以下になっています。長距離になると大型化するのですが、それでも 200 席未満とか 250 席未満が多いことがよくわかります。

■羽田の機材サイズ別運航頻度

羽田の場合、真っ赤というか、アメリカとは次元の違う大型化が進んでいます。例えば、アメリカだと 1 日 3〜4 便飛んでいる路線を、日本は 1 日 1 便しか飛んでいないということです。

■リージョナル・ジェット機の地域別運航機数（2007 年末）

リージョナル・ジェット機の地域別運航機数も 2007 年当時はこのぐらいの差がありました。日本もどんどん増えてくると思います。

■リージョナル・ジェット、ターボプロップ機

先般やっと飛んだ MRJ が非常に期待されています。運航コストがどうなるのかわかりませんが、カタログだけで見るとすごく性能が良い。燃費も良いし、国土の狭い日本だったらこう言うのがもう少し飛んでも良いのかなと思います。

■首都圏空港容量不足の航空輸送サービスへの影響

研究当初に持っていた問題意識ですけれど、この赤の元凶は何だと辿っていくと、首都圏空港の容量不足というのに行きつくわけです。空港の容量が足りないと、エアラインとしては需要があるので、飛行機を大きくせざるを得なかったのです。たくさんのお客さんを少ない回数で運ぶためには機材の大型化が必要だったということになります。そうすると同じお客さんを大きな飛行機で運ばないといけないので、一定のお客さんの場合だと当然低頻度サービスになります。低頻度サービスになると当然、需要は減っていきます。大きな飛行機がどんどん増えていくと、今回問題になっている陸域の騒音が大きくなる。地方空港も大型機をさばくために滑走路を長くしなければならない。大型化で騒音対策費や滑走路の整備コストが増える。空港の容量不足が当時の日本の航空事情のいろんな課題につながっていることを整理した図です。そこで、何はともあれ首都圏空港の拡大が、日本全国の市場の活性化に非常に重要だろうということで研究を始めたわけです。もう一本滑走路が必要と言いたいところですが、その前に、ソフトの政策で容量拡大できる余地があるのかを見極めなければいけませんでした。ソフト政策の研究は日本ではほとんどされていなかったので、やってみようということでした。

■国内路線数と路線あたり運航回数

路線数が減って、1 路線あたりの年間の運航回数は増えるということで、わかりやすく言

えば羽田路線のような幹線路線にどんどん集中していき、地方路線はどんどん切られていくという事態だったと思います。

■（参考）成田空港と仁川空港の比較分析（総旅客数①）

国土交通省の資料です。上の棒グラフは 2004 年と 2013 年の国際線の就航都市数です。2004 年時点ですでに国際線の就航都市数はインチョンの方が多かったんですが、1 週間あたりの提供座席数はまだ成田の方が多かったんです。しかし、2013 年になると提供座席数でも逆転されました。

■（参考）成田空港と仁川空港の比較分析（国際・国際乗り継ぎ①）

今度は際・際乗り継ぎのお客さんが圧倒的に成田・羽田経由が多かったのが、2012 年に抜かれました。

■ピーク時間帯の需要逼迫

成田というのは年間発着回数の議論が多く、時間別発着回数の議論ががあまりないんです。成田みたいにハブ・アンド・スポークをやっていると、ぱっと集めて、お客さんを乗り換えさせてぱっと離陸していく。エアラインのサービス形態がそうなので、特定の時間帯に集中します。ある時間帯は空いているんですけど、夕方の特定のピークではエアラインから飛びたいという希望が多い。ただ時間発着枠は決まっているので断っています。実際に 15 時台～17 時台では 30 回ぐらい希望に応えられなくて、その内の半分は前後の時間帯に移ってもらっている。その分エアラインのコストが非常に上がっているはずですが、半分は就航を希望だけして、実際には他の空港に逃げている場合もあります。成田は年間発着枠ベースではそこそこ入っているんだけど、時間容量というのか、1 時間あたりの発着回数を上げるのが重要だということです。

■羽田空港の再拡張事業と国際線地区の更なる拡充

羽田は 2010 年に D 滑走路が供用開始されました。この事業は、国土交通省になって初めて連携してできたプロジェクトだと聞いています。建設省の河川局と運輸省の航空局との合作プロジェクトです。D 滑走路は川の流れを妨げないように、河口部は桟橋方式で作って、他は安い埋め立てをしています。

２．運輸政策研究所における調査研究

■国交省での技術検討（2013 年 11 月～）

羽田空港の再拡張ですが、2000 年の首都圏第 3 空港検討委員会という、武蔵野工大の中村先生を委員長にした委員会で、首都圏に 3 つ目の空港を作らないといけないということで、具体的に検討して候補がいっぱいあがりました。結局、最後は羽田空港の 4 本目を進めるべきだということで 2000 年ぐらいに終わって、ずっとその先、政策展開はありませんでした。

表向きはなかったはずです。これで良いのかなということで、我々は 2005 年ぐらいからずっと研究してきたんですけど、ようやく動き出したのが昨年です。先程の首都圏空港機能強化技術検討小委員会で 2013 年から、羽田・成田両空港を中心に機能強化する技術的な選択肢を洗い出しているところです。2014 年からは具体案について地元協議を進めている最中です。実際にこれができるかはまだ分かりません。これは最後の 3 番目でご紹介したいと思います。

先程ご紹介した首都圏空港機能強化技術検討小委員会が 2013 年に始まった時に「タブーなし」というキーワードが、世間にすごく出てきました。

■首都圏空港機能強化の経緯

首都圏空港機能強化の経緯を振り返ってみると、先程言いました再拡張を決める検討会が、首都圏第 3 空港調査検討会です。10 年後に羽田再拡張を優先的に実施することを決定と書いてありますけど、優先的に実施するだけであって、実は、長期的な首都圏第 3 空港の候補地の調査は生きているようです。こまめに羽田の発着枠は、毎年少しずつ増えているんです。これも次回以降少し紹介していきたいのですが、滑走路の能力はどうやって決まっているのかというと、非常に単純な計算で決まっています。もっとこういう風に考えたら上げても良いんじゃないかという研究を一番初めにこの辺でやっています。2007 年 9 月の 30 回から 31 回というのは、こうすれば増えるという我々の研究を使っていただいて、羽田の発着枠の時間 1 回増えたんですね。1 枠の経済効果が 20 億と言いますから、10 枠増えれば 200 億ぐらいの経済効果です。そんな効果が非常に単純なアイディアで、羽田の容量が増えるというのは個人的には非常に不思議なものでした。もっと、いろいろ外部から言った方が良いなと改めて思った次第です。

最初の「タブーなし」という話に戻りますが、成田は歴史的に暗い過去があるので、成田の容量を増やすというのはそれこそタブーでした。それが地元と 30 万回に増やすと合意し、成田のタブーがなくなり、次は羽田のタブーだという話が当時ありました。おそらくそんなこともあって羽田のタブーと言われた都心上空の開放の議論が、タブーではなくなってきたということだと思います。

■運輸政策研究所:首都圏空港将来蔵検討調査委員会（2007～09）

運輸政策研究所で 2007 年から 2 年間ぐらい、ANA 総研さんと一緒にやった共同研究の内容についてご紹介したいと思います。この中で出した容量拡大方策は一部参考にしていただいたかどうかはわかりませんけど、非常に似たような内容になっています。シンポジウムを開いて書籍も出しました。

■将来あるべき航空政策（提言の概要）

運用の話だけじゃなく、航空政策自体オープンスカイ政策扱いを進めるべきだとか、羽田成田の機能分担を廃止した方が良いとか、世界のどこでもやってないけどカボタージュの開放も検討すべきだとか、かなり大胆な提言をしました。私が担当しましたのは、市街地上空ルートの見直しに関する議論などです。

■首都圏の航空需要予測結果

我々なりに 2030 年までの航空需要予測をポテンシャルとして出してみました。国内線で言えば人口減少の影響もあるので長期的には伸びない。しかし国際線の需要は増えるということです。当時もこんなに増えるのかと言われましたが、今の状況を見るとそんなに外れていないかなという感じです。成田の能力を 30 万回としても 2017 年～2020 年ぐらいには容量オーバーするというような結果が出ていました。

■鉄道網（中央新幹線）の整備の影響　～交通機関分担率の変化（2030 年）～

2030 年だとリニア新幹線もできているから、例えば大阪と東京間の需要もある程度リニア新幹線にシフトするので、多少羽田にも余裕ができるということも考慮して先ほどの需要予測はしています。

■鉄道網（中央新幹線）の整備の影響　～旅客数と発着回数～

羽田－関西の国内線旅客数は 972 万人から 400 万人に減るとか、国内線発着回数ベースで年間 2.2 万回ぐらいに減って、羽田の余力を増やす能力がリニアにはあります。航空機材の小型化も考えて需要予測をしています。日本の GDP や人口、海外や中国の人口、GDP というデータを使って予測しているので、ほとんど中味は中国人のインバウンドが増えるという予測でした。当時はこんなに増えないとかなり言われましたが、中国はやはり大きいと思います。

■容量拡大方策の検討対象

容量拡大方策について誰もものが言えなかったので、初めて表立った議論をしたのがたぶん我々が最初だったと思います。初め成田空港もやろうと思ったんですが、当時、成田空港の 30 万回という地元との合意が出ていましたので、羽田空港に焦点をあてて容量拡大の技術検討を行ないました。

■交差する滑走路からの離着陸の場合

羽田は世界でも稀な運用をしています。非常に難しく、管制官にとっては難易度の高い管制をしています。D 滑走路をこの位置に作ったのは、都心上空に飛ばさないためです。管制官は、離陸機と着陸機があまり近づき過ぎないように、最低安全間隔を満たすように判断をしていきます。B767 以上の大型機が離陸すると後方乱気流の影響が残るので、そこに着陸機がつっこむと危ないので、大型機が出た後の着陸には非常に長い時間をとらないといけない。そうすると空港の容量が落ちることになります。こういう難しい判断を機種の大きさも見ながらもいちいち判断して、着陸許可を出しています。飛行機の大きさとか、着陸の仕方を見ながら、順序をどうやっていくかでかなり滑走路の容量が変わります。それを出たとこ勝負で、来たものから順に離陸させていくとあまり容量が上がらないけど、うまく順序を入れ替えたりすると、非常に処理能力が上がります。そういうのは近い未来、実現するだろうという風に私は考えています。

■再拡張後の発着回数の計画値（航空局公表）

羽田には北風運用と南風運用の２つのパターンがあり、南風運用の時、D 滑走路の着陸と A と C の離陸が交差します。したがって、D 滑走路への着陸と、A、C 滑走路の離陸とは従属関係にあります。A と B の間にも、A の離陸機のジェットブラストなどが B の着陸機に影響するので、ここも従属関係にある。従属関係をモデル化すると、計算上どう考えても南風の方が容量が 2 割ぐらい少ない結果が出ます。

■①管制運用の高度化による容量拡大

そのため、容量を上げる方策を考えました。①は管制運用の高度化による容量拡大ということで、大型機をヘビー、中型機以下をミディアムと言いますが、C 滑走路の離陸でヘビーとミディアムの順序づけを上手くやると、1 時間あたりの容量が 40 回から 44 回へと 1 割上がります。計算モデル上、これだけ上げられるということです。

■②A 滑走路の南側延伸による容量拡大

A 滑走路の B 滑走路との従属関係をなくすためのインフラ整備も考えました。A 滑走路を南側に延伸してやることによって、１時間あたりさらに 1 回ぐらい増えます。

■③内陸上空ルートの活用

さらに、羽田の北側の都心上空から A・C 滑走路へ着陸する、東京都心ルートを提案しました。さらに、川崎方面、空港の西側へ離陸すると、１時間あたり 40 回だったものが 2 割増えます。ただこれを 1 日中する前提で騒音コンターをかくと、今のままであれば、東京湾内に離着陸ルートが閉じ込めているので問題は起きませんが、都心上空からの着陸と川崎方面への離陸をいれると、品川や大井町、渋谷の上空を通るので、東京や川崎方面で環境基準を超えるような騒音影響が出てしまいます。

■④旧 B 滑走路の再整備

では、どうするのかと考えたのが旧 B 滑走路の再整備です。旧 B 滑走路と呼ばれる昔の B 滑走路を使って、伊丹みたいにクロース・パラレルで使い、この 2 本に交互に着陸すると、計算上は結構着陸能力が稼げます。これと管制運用の工夫をすると、都心上空を開放したぐらいまで容量を上げられるんじゃないかとなりました。飛行経路は今のままなので東京湾内に飛行ルートはおさまります。しかし、騒音域をなくすためにわざわざ沖合に滑走路を移したのに、また使うのかとすごく批判されて駄目になりました。私は結構良い案だと思っていたのですが…。

なお、羽田も今まで都心上空を全く使っていなかったかというと、実は使っていて 1 日数便あります。川崎方面へ離陸していく経路がありました。

■⑤C 滑走路平行滑走路整備

昔、C 滑走路沖に平行な滑走路ができるのかを検討しました。この場所には東京湾第 1 航

路があって、コンテナ船がどんどん入り、しかもコンテナ船の高さがどんどん上がっていますので、滑走路を作ると、制限表面と第1航路が抵触する問題がありました。そのため滑走路を南に寄せる検討も詳細にしました。法律上の制限表面は厳しいのですが、D 滑走路を離陸専用にすることによって、OAS という障害物表面を緩和してやると、そんなに厳しくないところに新しい滑走路をおけるのかとかいろいろ考えました。

その結果、オープンパラレルで作れば、1時間 60 回になります。40 回が 60 回になりますので、かなり上がることがわかります。ただ、もう1本作っても、都心上空の空域を使わなかったら、容量が全然増えないのは明らかです。また、フルに滑走路の持っている能力を使うと環境基準を満たしません。

回数をどこまで縮めれば、陸域にコンターがかからなくなるかを計算すると大体 55 回ぐらいでした。したがって、1時間 40 回から 50 回ぐらいには上げられるとなりました。ただし、都心上空飛行は必要になります。ということで、5 本目の滑走路を作る時は少なくとも都心上空の開放は必要だということを当時から提言していました。

■新規滑走路の制限表面と東京タワー

都心には、東京タワーの他に、ミッドタウン、六本木ヒルズなどとても高い建造物が増えています。提案した都心上空ルートは今の滑走路の制限表面は東京タワーのぎりぎりのところを通るので、法律上は問題ないと考えました。ただ新しい滑走路の延長上にはちょうど東京タワーがあって際どいです。もっと厳しいのはミッドタウンで、それを避けるために、RNP という高精度の進入方式を使えば、一応3本の着陸経路はできます。

■空域から見た再拡張後の羽田と独立運用可能な滑走路配置

首都圏第3空港と類似した議論として、羽田でないところにもう1本独立した滑走路を作れないかという検討をしました。ただし羽田の飛行機の経路には極力制約をかけず、羽田の容量を減らさない前提で検討しました。空域の飛行経路の検討を詳細にすると初めは厳しいと思いましたが、結果、ウミホタル周辺や木更津の沖合などだったら、羽田の着陸機の下を通る形になりますが、いけなくはない。当時は小型機専用の滑走路をここに作ったら良いのではということでやっていました。着陸経路の下を通って離着陸するという例は那覇空港などにあります。2 年前に国土交通省の首都圏技術検討小委員会でいろいろなオプションを出しましたが、その前に我々として提言し、少しはインパクトがあったと思います。

■ 滑走路以外の空港施設配置案:６３．０万回対応案

■ アクセス鉄道計画案

空港の中味の整理やアクセスの鉄道道路なども必要だとして総合的にやりました。新しい鉄道を使うとアクセスの不便な地域が解消し、便利なエリアが広がるということも運輸政策研究所でやりました。

■時間限定の都心上空活用による容量拡大

最後に、4 本のままで、都心上空を活用して増やす方法はないかということを、私が個人

的に検討していた例を紹介します。

先に紹介した都心上空案というのは、今まさに東京湾を通っている着陸経路を都心上空から入れる案ですが、環境基準を超えるので、1日4時間とか6時間とか、都心上空を利用する時間を限定する容量拡大策を考えました。

どこまで騒音を減らして住居地域で環境基準が超えないようにできるかということで検討を進めると、羽田のピーク時間帯だけ都心上空を使わせてもらって、1日6時間とか4時間だけだったら環境基準上は大丈夫だということで提言しました。

これからの課題になりますが、今、国土交通省が考えられている都心上空の案も低高度の飛行になります。伊丹の着陸では普通ですが、それが都心上空にくるのはやはり刺激が強いです。都心上空を使う時もどうやって騒音を軽減できるかを考えないといけません。当時提案したのが、新しい技術を使って、オフセットをいれることです。都心上空の経路を多少分散させ、特定の地域に騒音が集中しないようにします。通常、騒音というのは特定の地域に閉じ込めて集中して対策をするというのが普通ですが、意外と海外の空港では航空交通量が増えてくると、特定の地域に騒音を閉じ込めるという発想がもたなくなってきて、なるべく皆でシェアするという考え方にシフトしている例もあります。

午前と午後とに時間帯を分ければ、1日4時間を2時間と2時間にシェアできることになります。そうすると、千葉の騒音と東京の騒音が不公平だとずっと言われていたんですが、これをやるとコンター上では、WECPNL という昔の環境基準で同程度になります。飛行経路を分散させれば影響地域は広がるけれど、地域的な偏りは少なくなるということです。

■羽田空港発着便の騒音負担の現状

羽田の再拡張が決まった後、羽田空港再拡張資料に関する協議会で、千葉県の堂本知事が「再拡張によって千葉上空を通過する機数がある程度増加することは受け入れざるを得ないと覚悟しているが、騒音問題を首都圏全体で共有し納得いく分担で実現することが前提である」と文書で書いています。このようにずっと言われ続けている中で、おそらく国としては、難しいけど検討しますと言い続けてきたのだと思います。

再拡張を、空域で見てみると2本の着陸経路なので、滑走路の運用上、手前の空域で合流作業ができなくなりました。これも大きな問題ですけれど、GPS を使った着陸をするようになったのでとても精度が高まりました。昔は飛行経路がバラバラしていたのですが、皆同じところを通ってくれます。その分、特定の地域に騒音が集中します。当然、羽田再拡張後の運用で苦情がどんとくるわけです。当時の新聞には「県内の羽田空港騒音問題」と書かれました。この交差点地域が着陸でうるさいので、東側の少し人口が過密でない位置、閑静な住宅街に交差する地点を移しました。実はこの千葉の陸域上空で使える高度が昔は 3000 フィートまで下げて良かったのですが、うるさいので 4000 フィート、5000 フィート、6000 フィートと上がっているわけです。そうすると管制官としては使える空域がどんどん減っていきますので、滑走路の処理容量上で重要なターミナル空域での管制処理がとてもやりづらくなってきます。そうすると、滑走路の容量がそんなに増えないという悪影響が出ます。したがって、騒音問題は管制のワークロードに影響しますし、管制の処理効率の低下にもつながっていると思います。

■千葉市着陸経路交差地点

写真は今の着陸経路の交差点のところです。とても閑静な住宅街です。人が少なくて静かな分、ストレスは大きいと思います。伊丹と比べれば飛行高度は非常に高いです。

■成田空港の飛行経路の柔軟化（空域混雑の防止策）

騒音にはとても抵抗があったので、成田空港も以前は南側に飛んでいく際には九十九里浜の沖に出るまでは、この飛行経路から絶対出てはいけませんとか、厳しいものでした。しかし、ここしか飛べないというのは、ここしか空域が使えないということで、上空の混雑が顕著になり容量にも影響があります。そうすると、30 万回に容量拡大するために、地域からある程度の騒音であれば、いつでもブレイクして最短距離を行ってください、空域内容量を緩和してくださいということで、地域と合意することになりました。成田ではすっかり状況が変わって、地域が空港の容量を上げることに積極的に協力してくれています。追加の騒音を多少は受け入れて混雑の緩和に協力するという姿が、当時から見られていたということです。

■海外空港の事例

（1）ニューアーク空港における離陸経路分散と容量拡大

こういう事例は諸外国でもありまして、例えばニューヨーク、ニュージャージーの西側にあるニューアーク空港ですね。ここも非常に混雑していてピーク期の遅延が平均１～2 時間超えていたという無茶苦茶な状況で、当時のブッシュ大統領が何とかしろと言ったというニュースがありました。それぐらいひどかった空港です。

当時のニューヨーク首都圏の大規模な空域再編を調べて、私は色々と感銘を受けました。ニューアーク空港では、離陸側にエリザベスシティというダウンタウンがあり、そこを避けるように離陸していました。これが遅延の元凶の一つになっていました。そこで、ピーク時の遅延がひどい時だけ、この都心上空を利用する離陸経路を新しく引きました。そして、管制運用も、単一の経路でいくよりも離陸経路を分散させると、離陸の容量が 1.5 倍と結構上がります。容量が上がるから遅延が減るということです。こういうのを 2007 年から実施しています。小型機が多いからできるという意見もあると思います。騒音影響が大きいので、ピーク時、高需要の時間帯のみの限定でやります。

■（2）ヒースロー空港～滑走路運用上の騒音考慮

有名なヒースロー空港でも同じようなことをしています。ここ 50 年間 60 年間と滑走路の整備をほとんどせず、滑走路自体は何も変わっていない中で需要は世界最大規模です。2 本の平行滑走路の場合、通常両方とも離陸・着陸で共用した方が容量は上がります。だけどヒースローはこれだけ需要圧力が強い中で、離陸と着陸を分離方式で運用しており，さらに毎日定時に離陸と着陸を交代します。西風の時は、毎日 15 時に着陸と離陸の滑走路を入れ替えています。そうすると何が良いかというと、午前中に着陸でうるさくても午後は静かになり、静かな時間を提供することができます。リスパイト・ピリオドと呼ばれている無騒音時間を提供するのに非常に苦労し、政策の大きな目標にしています。

■　(2) ヒースロー空港～滑走路運用上の騒音考慮

■ ヒースロー空港から離陸禁止地域（Cranford Agreement）

滑走路を入れ替えることをランウェイ・オルタネーションと言いますが、風向きが変わって、東風運用の時は同じようにはやっていません。

北側の滑走路の東にクランフォードという小さな地区があります。そこに 50 年以上、単なる口約束みたいなクランフォード・アグリーメントというものがずっと残っていて、この地域の上に離陸経路はひかせないというのがずっと残っていて頑に守られてきました。そうするとランウェイ・オルタネーションができず、ずっと着陸経路の直下の地域はうるさいままです。

■近年の動きから離陸禁止エリアの開放

ずっと東風が吹いていると、リスパイト・ピリオドという静かな時間の恩恵をこの地域の人達は受けられないということで、2009 年にクランフォード・アグリーメントの解消が、騒音の公平な負担の実現にむけて決定しました。それが資料にも英語でも書いていますが、「distribute noise more fairly around the airport」とあります。より公平に騒音を負担するということをヒースローも言い始めました。

■ (3) シドニー空港における Noise Sharing ～飛行経路の分散

その最先端をいくのがシドニーです。1990 年前半に第 3 滑走路を作る時に騒音が社会問題化しました。この時の反省を踏まえて、騒音を全地域に公平に負担する方式に切り替えました。そのために滑走路の運用方式をたくさん持っています。処理能力は落ちますが、ノイズをシェアするための運用方式を可能な限り持っているという、かなり珍しい空港です。

■航空機騒音に関する近年の評価例

ノイズシェアリングと呼ばれる環境正義のコンセプトというのは、非常に広く受け入れられるようになってきました。騒音に関しては、今まで「騒音が受容できるか？」ということでしたが、そういう問いではなく、「本当に公平なのか？」という点に住民の関心が移ってきていることが言われてきています。

■都心上空活用について議論が必要

資料に示すように、空港の容量拡大、騒音、管制負荷のことなどを踏まえながら、首都圏の都心上空について、せめて技術検討をして本当に使えないのか議論するべき時期だということで検討を行いました。

■沖合展開前のコンター

これは昔の資料で、羽田の沖合展開前のものです。昔の羽田の滑走路は２本しかないので、都心上空を通過して着陸したのかなと思い込んでいました。しかし、コンターを見ると、天気の良い日は曲線進入というか、旋回進入していたのでコンターは図のように曲がっていた

と思われます。

３．国における首都圏空港機能強化の取り組み状況と今後の課題

■首都圏空港機能強化に関する近年の国の検討経緯

ここからは国土交通省の検討状況についてです。先程出てきました技術検討小委員会の期間は、あまりに短すぎたと私は思います。こんなに短い間にこんな重要な取りまとめができるのかなと思いましたが、とにかく半年ぐらいで中間取りまとめを出しました。

羽田の都心上空ルートはとても環境影響が大きいので、「首都圏空港機能強化に関するコミュニケーションのあり方アドバイザリー会議」を設置しました。どう計画を進めるか、どう住民対応をするか、どんな情報を出せば良いのを議題にした会議を立ち上げました。今年の夏に 2〜3 ヵ月間、第 1 フェーズとして、羽田空港機能強化の必要性、都心上空の利用の必要性を中心に、オープンハウスという新しい手法で住民説明会を実施しました。来月から第 2 フェーズです。ここでいただいた意見を踏まえ、どういう環境対策がありえるのか、新飛行経路の詳細な運用方法に少し踏み込んで説明して意見をいただくという感じです。来年夏までに環境影響に配慮した方策を予定しているようです。

■羽田空港の機能強化方策

滑走路処理能力の再検証ですが、前提をなおすとか、そういったことを何にもやらなくても、１時間 80 回だとされていたものが、88 回までポテンシャルが上がりました。もともと計算上ではこれぐらいだったわけですけれど、今回あらためて南風と北風でいろいろと違うということを初めて公表しました。

かなりマニアックですが、羽田の特定時間帯でとても細かい検討をして、着陸枠を 1 便ひねり出すという努力もやっています。そう考えるとプラス 6 回はできます。メインは飛行経路の見直しで、都心低高度空域の開放で、1 日 107 便です。都心上空 4 時間、容量が増えるのは実質 3 時間で 1 日 107 回ぐらいは増やせます。これがメインの方策で検討が進んでいます。

飛行経路は先程考えたのとまったく同じで、都心上空に 2 本着陸経路を入れて、離陸は川崎上空へ出すということです。

今までこういう都心上空を使っていなかったのを使いましょうということです。私は考えていなかったのですが、北風時も C 滑走路から都心に向かっていく経路と、D 滑走路離陸が接近するところが近すぎるので、これも従属関係となります。ここを独立して運用しないと容量が増えないので、荒川橋という都心の河川上空を通してクリアランスを確保することも併せてやっています。河川の上を通すのは、ワシントンでもポトマック川の上を GPS を使ってくねくねと、天気の悪い時でもやっています。

また、「羽田空港のこれから」という、情報提供のウェブサイトを作っています。アニメーションを使いながら、新しい飛行経路の影響や効果を説明しています。

■説明会（オープンハウス型）の様子

新宿駅西口や品川区の公民館などいろいろなところで航空局のスタッフが住民とフェース・トゥ・フェースで長い時間議論する形です。最近集まったいろんな意見を公表しています。

■中長期方策　滑走路増設案　羽田

中長期的な方策として、滑走路増設案を出されています。詳細な議論はまだこれからだと思いますけれど、C 滑走路に近いクロース・パラレルが一番有望だと今の段階では結論づけられています。しかし、環境影響を考えると厳しいかもしれませんが、詳細はちょっとわかりません。

■成田の機能強化　高速離脱誘導路の整備

成田の機能強化は高速離脱誘導路を整備すれば、処理能力が高まります。成田空港には 2 本の滑走路があり、メインの A 滑走路が古い基準で高速離脱誘導路がかなりレアな角度となっています。高速離脱誘導路を使って、滑走路からなるべく早く離れないといけないので、角度とその離脱する距離とのバランスが重要です。ICAO の基準は 30 度ですが、成田は昔の角度のままとなっています。そこを現在の基準に変えると、滑走路にいる占有時間が短縮できて、空港処理能力が増えるので、今、取り組んでいます。

■成田の機能強化　管制機能の高度化（WAM(管制機能の高度化に必要な監視装置)の導入）

平行滑走路で着陸は従来から独立でやれるのですが、同時に離陸するというのは意外とできなくて、それはレーダーにすぐ写らなかったりするためです。そのために Wide Area Multi-lateration、通称 WAM という新しい監視システムを地上側で整備しました。これだと、とても高い精度で航空機の位置がわかります。さらに、独立してどんどん離陸機を出せるようになりました。今までなら隣に離陸機がいたら出せなかったんですが、どんどん出せる。悪天候でもです。そういうことで容量は上げられます。このような新しいシステムを入れて容量を上げることはこれからも増えていくでしょう。

■夜間飛行制限の緩和

成田は騒音の関係で、カーフュー時間や 22 時台の離着陸が制限されています。検討委員会で提言したわけではありませんが、LCC がカーフューの時間帯を過ぎても遅延で入ってくる場合、困るので追加でお金を払えば、23 時すぎても着陸して良いと地域が理解を示してくれました。LCC が成田の競争力を確保しているので、地域としても受け入れましょうということです。ただ、なし崩しで運用時間を拡大することにならないように、新たなダイヤ設定をしないということが確認書に出ています。

■中長期方策　滑走路増設案　成田

成田の 3 本目の滑走路増設案について、昨年度、いろいろな案を検討しました。資料の案 2 だと、地上走行も短くなる案です。ただ、騒音影響は広がるので、ハードルが低いわけで

はありません。騒音影響と容量拡大のバランスを取って考えるということだと思います。

■今後の課題

長くなりましたが、今日は、都心上空活用を含めた首都圏空港の取り組み状況について紹介しました。次回は、混雑空港の騒音負担のあり方や、都心上空活用時の騒音軽減策、諸外国でどういうことをやっているかという研究事例もあわせて騒音にフォーカスをあてた事例紹介をしたいと思います。3回目と4回目は少し踏み込んだ技術的な話です。

結局、滑走路だけを考えて、容量を増やしたり、騒音を軽減したりする時代ではなく、その手前として、飛行経路、空域の設計などまで踏み込んで最適化しないといけないという話と、それをさらに支える技術革新です。

飛行機の技術はかなり先をいっています。地上の管制システムはまだ遅れているので、飛行機の能力を最大限に使うというコンセプトです。次世代航空交通システムを導入して、リノベーションするという、2010年に作った計画があります。私も非常に期待しています。

公共事業の計画制度は土木よりの話ですが、少し問題意識を提供したいと思います。関西の事情については、私が皆さんから教えていただくことになると思います。

以上で、終わらせていただきます。ありがとうございました。

〔質疑応答〕

○　将来の航空需要の予測で、空港の年間発着回数を計算する場合、たしか1時間の発着回数を14倍して365日分を出したのが、年間発着回数だった記憶があります。今でもそれは変わっていないでしょうか。

→　14時間というより、夜のように容量があっても需要がないこともあるので、朝・夕は階段状に積んでいきます。容量を考えるという意味では、時間発着枠×需要時間ということで、フルに使うような計算はしません。特定時間帯という概念や、遅延を吸収するための枠みたいなのを引いたりするなどして計算します。

○　資料の76ページに、平成27年3月に「羽田空港機能強化に関するコミュニケーションのあり方アドバイザリー会議」とありますが、この場で、どういう風にことを進めればコミュニケーションがとれたとするのか、あるいはコミュニケーションをとるためには何が必要だということになっているのかという質問が一つあります。

もう一つは、フェーズ1の時にいろいろな質問が出て、ホームページにもアップされていますが、実際、住民の方の質問がすべて同列に書かれています。どの声が大きかったのかわかりませんが、その辺りの情報を教えていただきたいと思います。

→　私はこのアドバイザリー会議に参加していないので、詳しいことが言えません。

どこまでやれば良いのかというのは、具体的に書いていなかったと思います。本当に影響

を受ける人、言いたいのに言えない人、そういうのをサイレント・マジョリティといいますが、そういう人達の声をなるべく拾おうと努力して、説明会を何回もしています。多くの人、なるべく広域の人達の意見を聞きましょうということだったと思います。どこまでやれば良いのかはなかなか難しいので、少なくとも第1フェーズ、第2フェーズという段階を踏んでやっていこうというぐらいだと思います。

また、どういう意見が多かったのかも私もあまりわかりません。データでわかっているわけではありません。説明会では、実際どのぐらいの音がするのかわからないという方のために、実際に音を出してみたりしています。映像も流して、やれることはやっています。そういう意味では、過去に航空局がやられている以上のことを短期間ですがしていると思います。

○　説明会に参加された方からの意見を見た時に、騒音コンターについての意見が誰もありませんでした。説明会では発着回数のことだけを言っているし、住民の方が音を聞いてこんなのかと思われたのかもしれません。そこのところが気になりました。今後、段階をおって、最初は計画論を説明して、それから具体的・最終的な内容の説明をするのかなと思って質問した次第です。

→　議論の終盤までいって、そもそもやる意味はあるのかなんていう、初めの議論に戻ることがあります。そういうことになるべくならないように、段階を踏んでいます。言葉でいうと、まだまだコンターなどの言葉は出していなかったと思います。ステップを踏んでやる。次回から、そういう言葉も出てきます。軽減対策も含めて出てくると思います。

○　アメリカのシカゴ空港での記憶ですが、1時間あたり 70 回超えているとのことで、いろんな方向に勝手に飛んでいるような感じがしました。あれは管制技術の差なのかなと思いました。そんなに空域が広いとも思えないんです。ヨーロッパはたしか管制も民営化されていると聞いています。日本は国がやっているから、慎重なのかなと思った記憶があります。その辺、空域の容量や滑走路なども関わりがあると思いますが、管制能力を上げて、これが限界だというようなものがあるんでしょうか。日本は世界標準の管制より慎重な気がしていますが、その辺り、先生のご意見はいかがでしょうか。

→　よく受ける質問です。私も 2006 年に初めて空港の能力について勉強し始めた時、管制のことがよくわかりませんでした。羽田とヒースローとニューヨークって単純に滑走路の本数と処理能力を比べると全然違っていて、何の差なんだろうと思いました。結論からいくと、別に日本の管制官の能力がないとか、さぼっているとかではないと思います。ぎちぎちに詰めないといけない感じにまだないというか、やらせていないということです。管制技術だけでなく、パイロットも含めた航空の運航の仕方というんでしょうか。アメリカで容量を上げられる最大の理由は、管制をしていないことです。天気の良い時はパイロットの感覚で着陸をしています。レーダーで捕捉した時にその誤差を踏まえて何マイル離れていないといけないというのがルールであります。天気の良い時は目で見えているので、感覚的にこれだけ離れているので大丈夫という判断になる。そのため天気の良い時のアメリカの容量を比較する

と、確かに倍半分違います。日本のパイロットがそういうことをすると増えるかというと、逆に慎重になって容量が減るかもしれません。

アメリカは天気の良い時の容量にあわせて回数というか発着枠の配分を決めるので、天気の悪い時の遅延がすごいわけです。ヨーロッパと日本は天気の悪い時、つまり容量の低い時にあわせて発着枠を決めているので、天気が悪くても遅延はさほど起きません。

定時性をとるか発着枠の大きさをとるか。アメリカは自由を重んじるので、空港の発着枠の制限自体に抵抗があるんですね。誰でもアクセスできることが大切で、きっと容量の大きいところにあわせて発着枠を配分することにつながっています。

日本の管制運用の制約は、空域・飛行経路の制約が一番大きいです。もう一つは機材の構成です。大型機が多い。この２つで大体説明できます。そうすると管制技術が云々というのはプラスアルファくらいでしかありません。例えば、1 本の滑走路からの離陸でも、ヒースローにはニューアークみたいに離陸方向が 3 つも 4 つもあります。北向き、南向きと交互に出すことによって、離陸路を稼いでいます。管制技術というより、そういう経路を引いているからできることです。しかし、同じことを大型機でやっても容量は増えないんです。滑走路上に後方乱気流が残るので、羽田にヒースローの管制官を連れてきても、そんなには増えないでしょう。だから、そんなに管制官の技術がどうのこうのということでもありません。

でも、もう少し努力することはあるのかなと思います。順序づけなどはヒースローですら一生懸命やっています。コンピュータで一部をオートメーション化して、ヘビー、ヘビー、ミディアムというように推奨される着陸順序を先読みでやっています。順序入替のやりやすい空域設計というか、飛行機の設計をしているのでできるんですが、そういうのを日本でもこれから採り入れていけるでしょう。昔、羽田のヘビー率は 7 割でした。ヒースローは 3 割で、羽田も今は 5 割以下まで下がっています。ヒースローのような柔軟な順序づけがもっとできれば、容量が上がると信じています。

民営化についてはよくわかりませんが、最後は労働問題になるかもしれません。羽田の管制官が 1 日プラス 10 便処理しても、彼らの給料に反映されるわけではないし、羽田の管制官の給料も地方の管制官も大差はないと思います。大きく変わらないのはそれはそれで良いかもしれませんが、インセンティブが足りない中で管制官にもっと頑張れというのは、今の組織体制ではどこかで限界がくるかもしれません。

○　航空機騒音の環境基準についての質問です。シンガポールなどは夜間でもばんばん飛んでいるように思います。夜に乗り継ぎをした経験が何回かあるのですが、そういうことを考えると日本も国際線をどんどん増やすためには夜間の飛行機も考えないといけない。

しかし、環境基準では夜間は何倍かにカウントされていたと思います。人に迷惑をかけている分を料金にちゃんと反映させようと思ったら、夜間は高い料金にしないとという気もします。しかし、そんなことをやっていたら国際化には反する気もします。中国とかシンガポールとかの外国と日本とで環境基準の差はあるのでしょうか。

→　あまり責任をもって言えませんが、基本的に考え方は一緒だと思います。WECPNL は日本と 2、3 カ国ぐらいでしか作っていないものです。

日本も Lden という新しい環境基準変わりましたが、夜の騒音を重く見る考え方は変わっていません。

○ 42 ページには、出発の方式設計勾配が標準 3.3%とずいぶん細かく小数点第 1 位まで書かれていて、これを 5〜7%上げることが可能と書いていますが、その間の 4%などはないのでしょうか。また、この 5〜7%というのは機種別に違うのかなと思ったのですが、その辺りを細かく教えていただけませんか。

→ 5〜7%というのは私が書いただけで、5%以下もあります。そこはもう空港関係者などが自分の判断でできる範疇だったと思います。この時は基準をそんなに考慮していなかったので、すべての基準で当てはまる最低基準だったような気がします。また、機種を考えていないです。後日、正確な情報をお伝えします。

○ 昔、東京・大阪間の飛行機の所有時間が 30 分くらいだったと聞いたことがあります。この首都圏空港容量の検討の中で、空港間の所有時間を短くする方策は検討されたのでしょうか。また、短縮できる可能性はあるのでしょうか。リニアが大阪までくると航空分担率が減りますので、そういう検討も重要ではないかと思い質問させていただきます。

→ そういう検討はしていません。また、空港容量の検討では今の所要時間をベースにしています。羽田はスポットアウトしてから 20 分も地上で待たされるときもあります。飛行時間だけでなく、スポットアウトしてから離陸するまでの時間を削減するために何ができるかを考えています。これらの時間は実態としてどんどん伸びています。滑走路を作れば滑走路の容量は増えますが、空は有限なリソースなので交通量に比例して遅延は増えます。

最短で経路を引けば、昔みたいに 30 分の飛行経路はできる気がします。ただ、そうなると、滑走路の待ちはどうするのかということです。離着陸の順序を上手く調節すれば容量が上がるという利点を上げましたが、もう一手考えられるのは、車の ETC みたいなシステムです。そういったものが普及していけば、全体の空域容量も上がります。しかし、誰がそのお金を出すのかが難しいし、中途半端な普及率だと空港全体の容量が落ちるので過渡期は難しいです。大きな課題として今、研究されています。

○ 50 ページの下の図にある滑走路以外の空港配置案ですが、羽田空港の 63 万回に対応するために、滑走路の方式ではなく空港全体の対応案は考えられていますか。

→ ここは何機だったらどのぐらいの広さが必要かを出して、そのために必要な面積を書いただけです。交通工学云々ということでは作っていなくて、他にもきっとオプションがあると思います。

こういう施設配置をすると、滑走路の横断が結構発生してしまいます。その時、滑走路は使えません。その影響は無視できないかもしれません。

本当に航空の世界は面白いと思った事例は、アトランタやダラスで滑走路横断を減らすた

めに、制限表面の下をくぐっていけるようなところに誘導路を作るんですよ。アトランタは地面を掘って半地下に掘り下げて離陸機の下をすり抜けていく。そうすると、滑走路横断も自由にできる。それを見た時、何でもやるなあと思いました。

航空交通システムでは他にもいっぱいあるんです。いろいろとご紹介したいぐらいですが、本気で各空港が工夫して実行しているのは面白いです。

以上

首都圏空港の容量拡大に向けた取り組みと課題

平田　輝満
茨城大学工学部都市システム工学科
terumitsu.hirata.a@vc.ibaraki.ac.jp

自己紹介　　平田 輝満（ひらた　てるみつ）

＊職歴：

2005.4-2006.3：日本学術振興会 特別研究員DC2/PD
2006.4-2013.3：（財）運輸政策研究機構 運輸政策研究所 研究員
（2007.4-9：国土交通省航空保安大学校専修科103期　聴講生）
（非常勤兼務：JAXA 客員研究員，東京工業大学連携准教授）
2013.4-　　：茨城大学工学部都市システム工学科 准教授

＊研究分野：

・交通工学、運輸政策、空港計画、航空管制・航空交通管理（ATM)

＊関西関連：

・新・保安大
・茨城ー神戸ー・・・（近くて遠い羽田・遠くて近い神戸（関西））
・関空の国際LCC（を利用）

本日の報告内容

1. 首都圏空港の現状と課題
2. 運輸政策研究所における調査研究
3. 国における首都圏空港機能強化の取り組み状況と今後の課題

首都圏空港の一角！？

出典）http://iwase-akihiko.hatenablog.com/entry/2015/02/13/234751

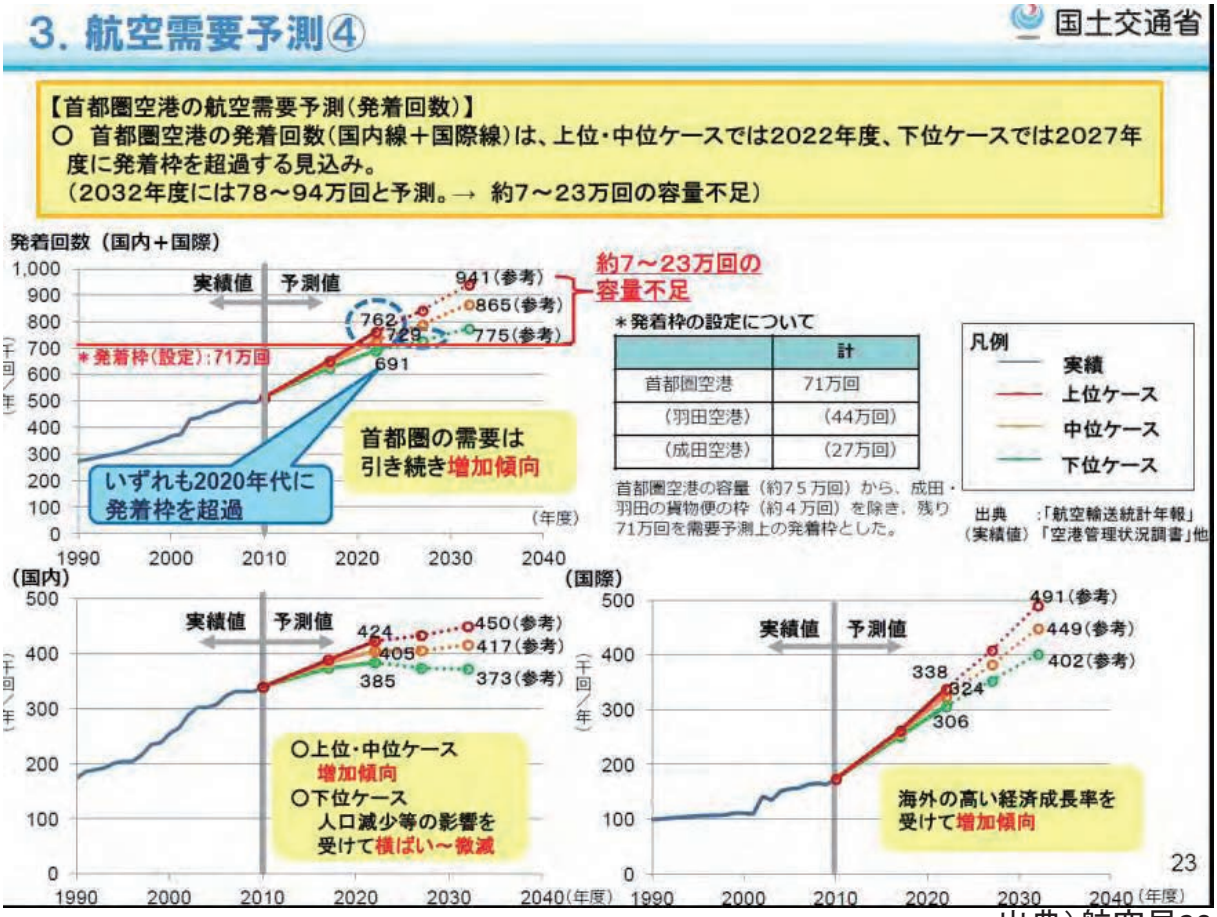
2014年9月？

出典）http://tai-yama-part2.blog.so-net.ne.jp/2014-03-11

2015年10月現在

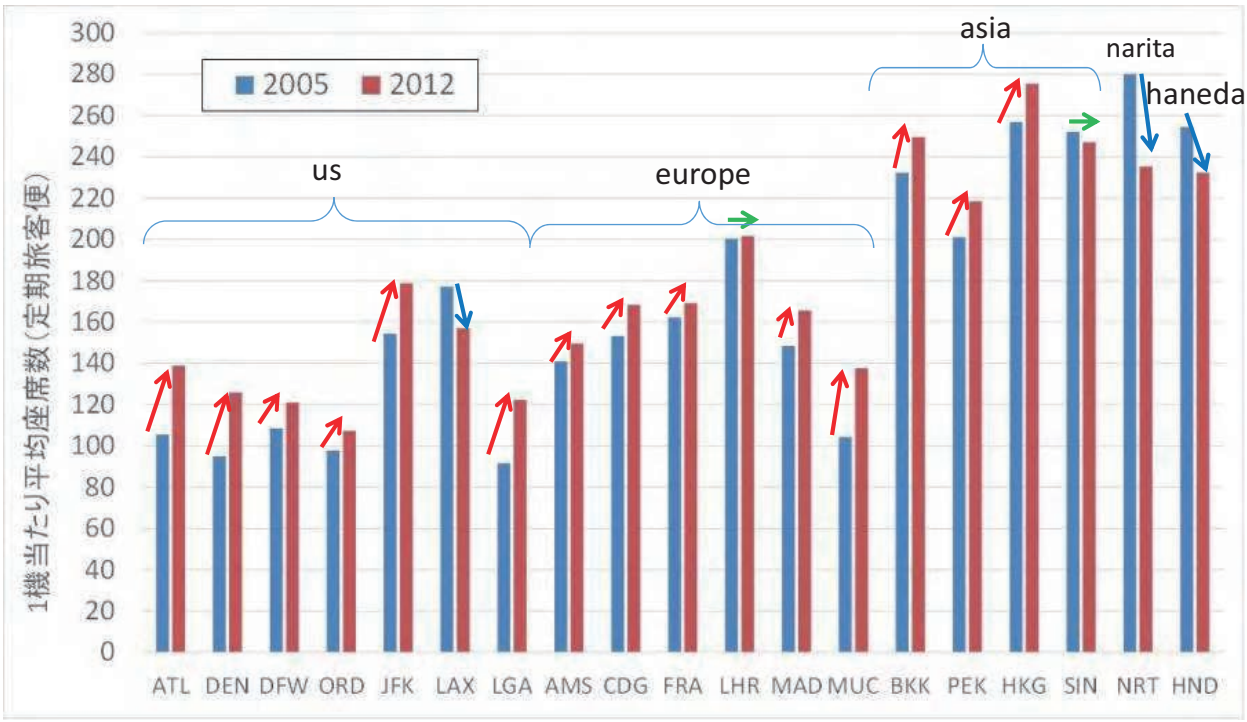
出典）静岡空港

出典）茨城空港



出典）航空局2013

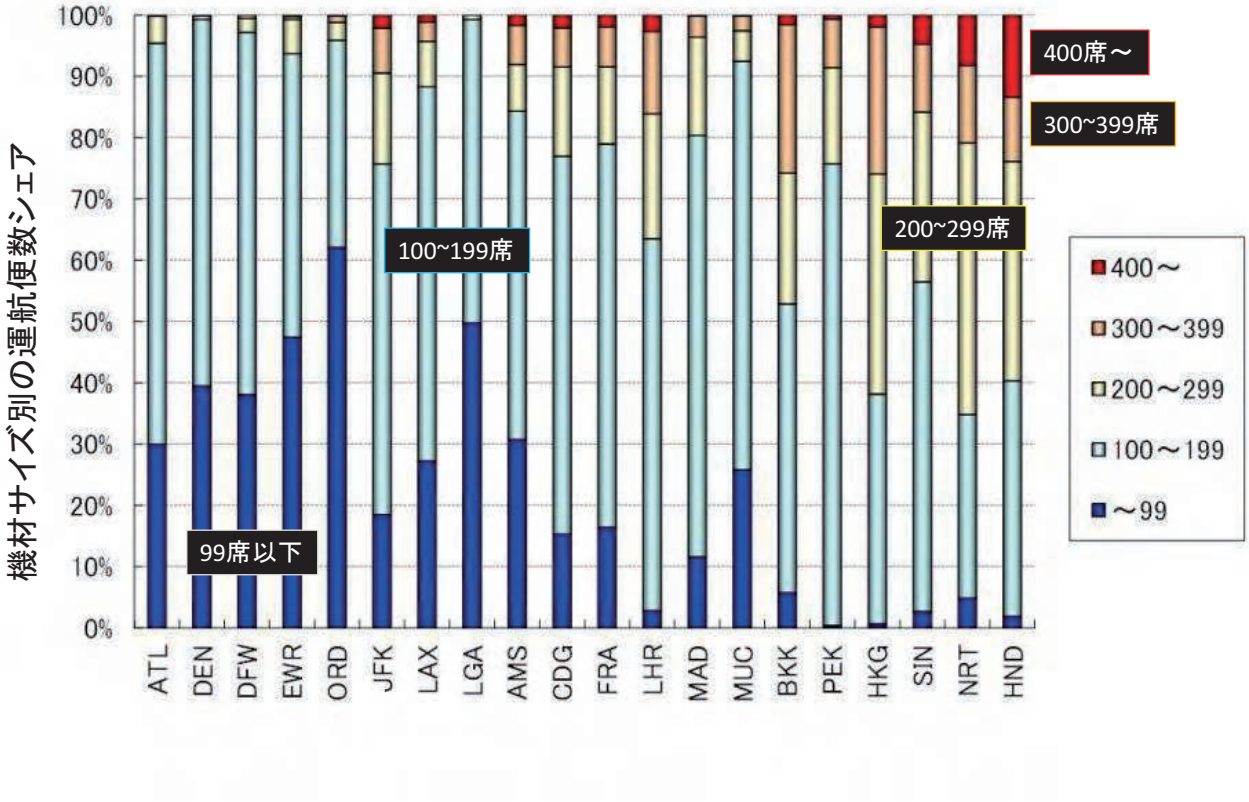
機材の平均サイズ：世界の主要空港との比較（2005 vs 2012）



データ出典）OAG時刻表9月データから計算（定期旅客便のみ）

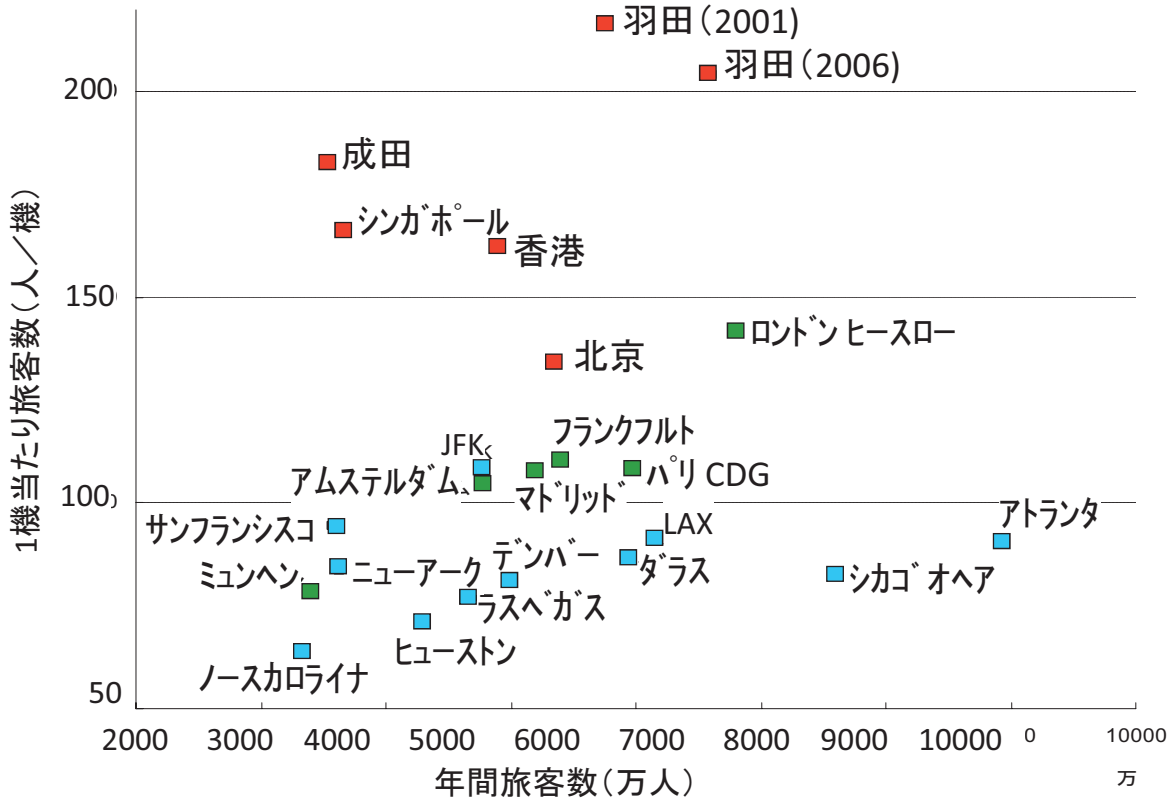
欧米では以前は小型化が進展→近年は燃料費高騰や不景気で大型化傾向
我が国では容量拡大やエアラインの経営効率改善，新規参入のため小型化が進展

機材サイズ別の運航便数シェア（2012）



データ出典）OAG時刻表9月データから計算（定期旅客便のみ）

世界の主要空港と日本の空港（2007年）

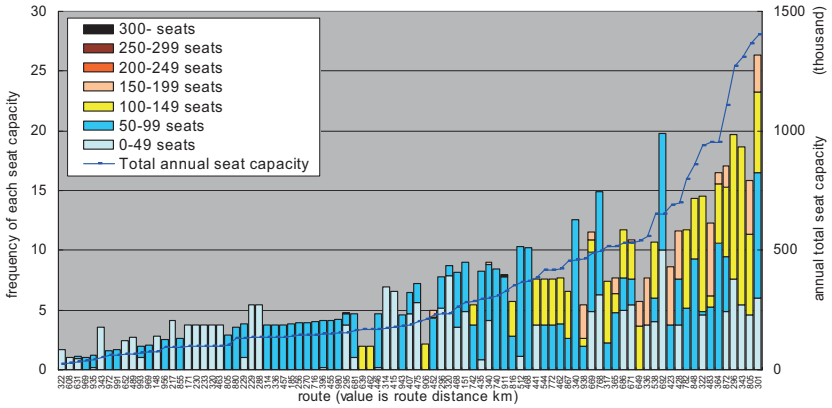


＊）一機当たり旅客数＝年間・乗降客数／年間・発着回数

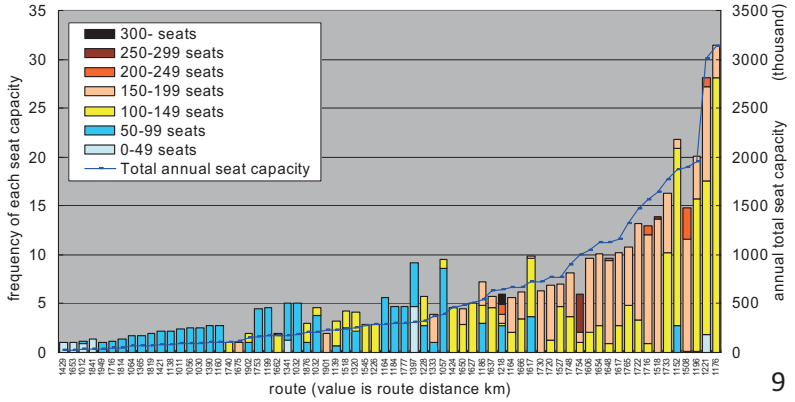
参考資料）ACI（2007），空港HP（2007），羽田は空港管理調書（2006）

米国における小型多頻度運航の例（NY3空港）

NY3空港からの国内線機材別運航頻度(JFK, LGA, EWR)
(January 2007, 路線距離: 1000km未満)

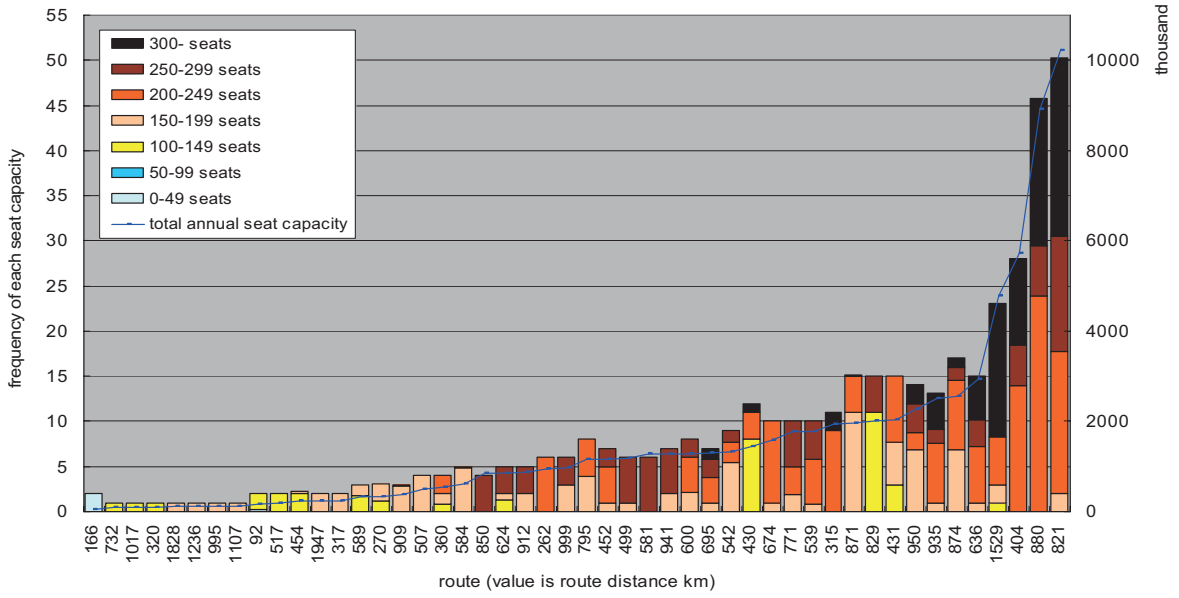


NY3空港からの国内線機材別運航頻度(JFK, LGA, EWR)
(January 2007, 路線距離: 1,000 – 1,999 km)



9

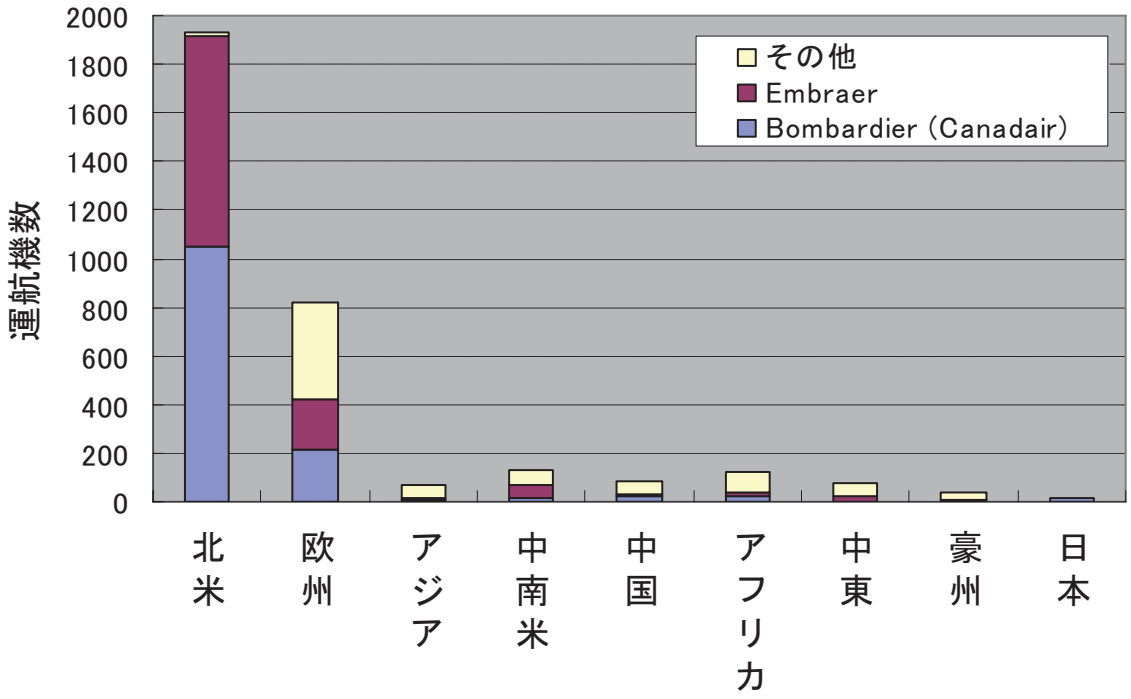
羽田の機材サイズ別運航頻度



羽田国内線の機材別運航頻度(January 2007)

10

リージョナルジェット機の地域別運航機数（2007年末）

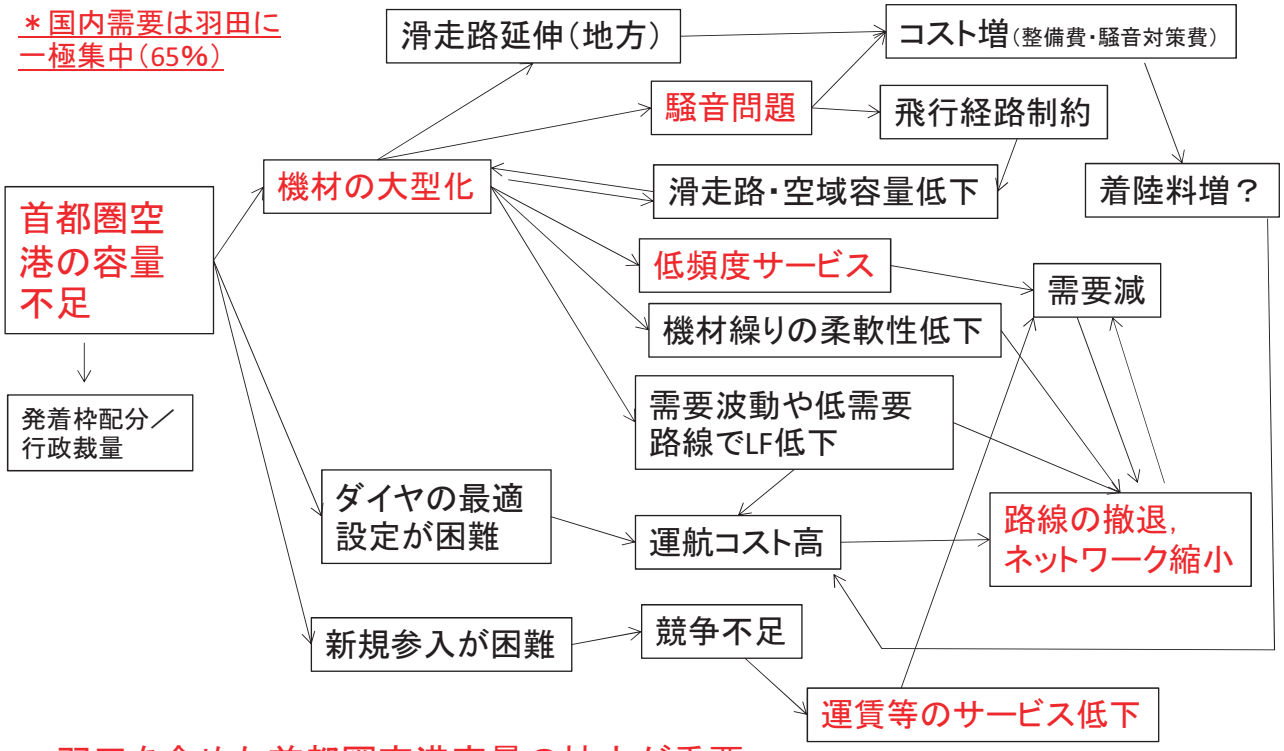


参考資料）民間航空機関連データ集／日本航空機開発協会（財）

リージョナル・ジェット，ターボプロップ機

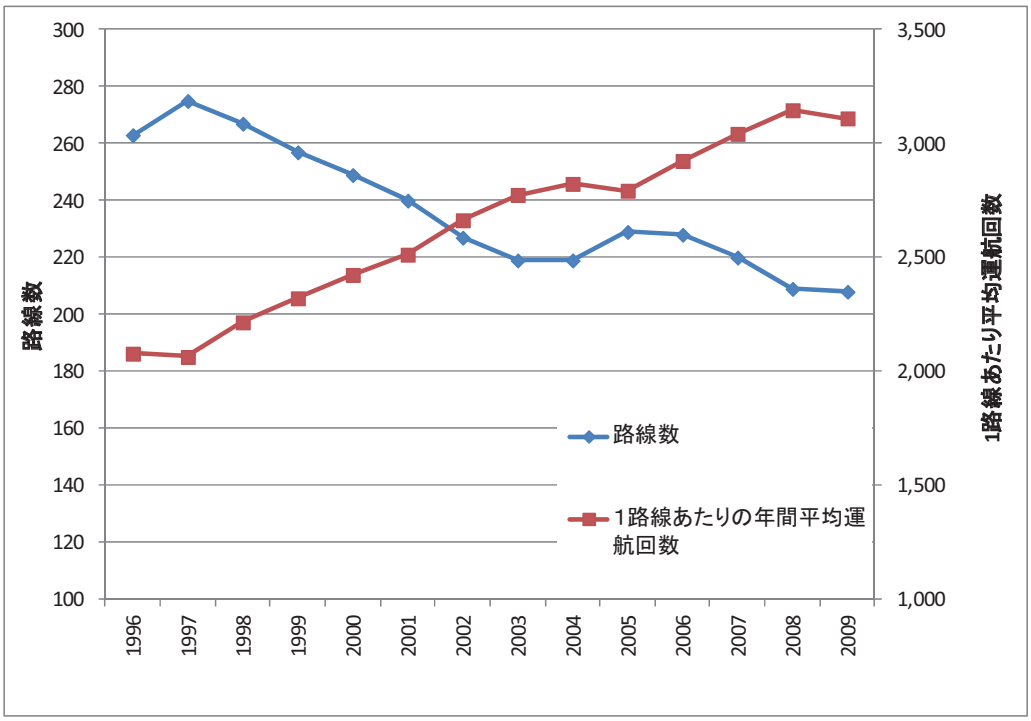
首都圏空港容量不足の航空輸送サービスへの影響

＊国内需要は羽田に一極集中（65%）



⇒羽田を含めた首都圏空港容量の拡大が重要
（↔整備コスト．管制高度化等のソフト施策）

国内路線数と路線あたり運航回数



出典：国土交通白書

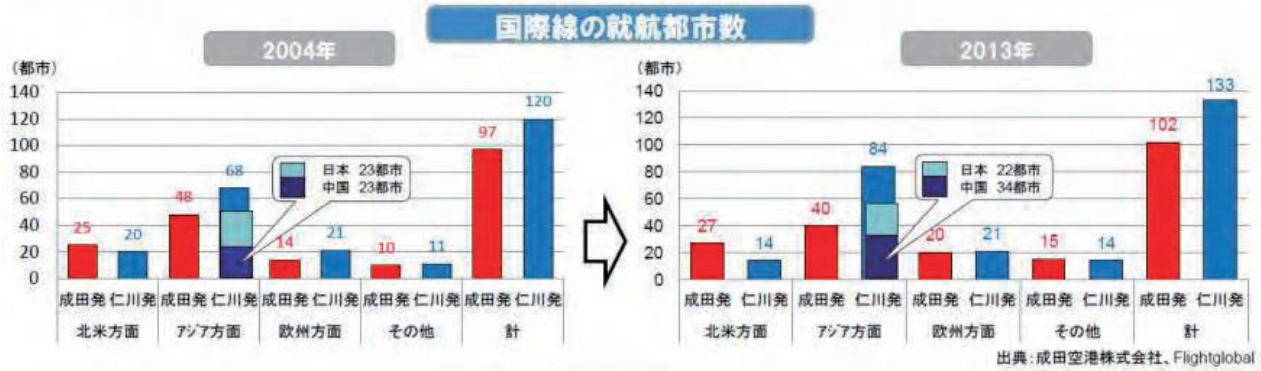
ネットワークの縮小，多頻度化

（参考）成田空港と仁川空港の比較分析（総旅客数①）

国土交通省

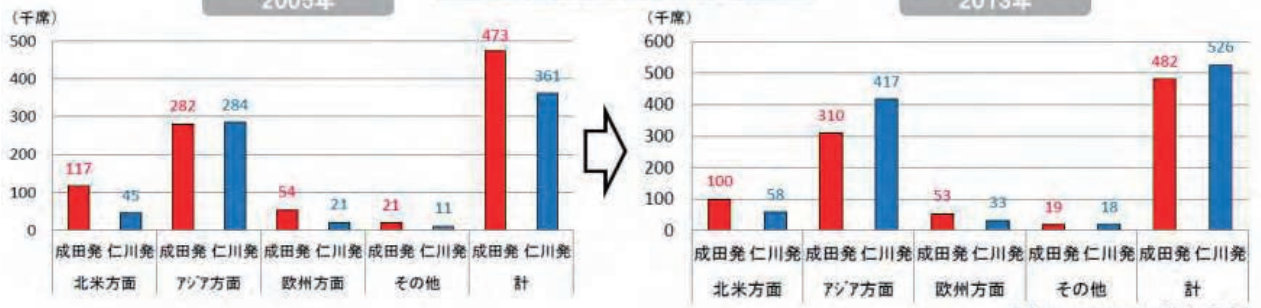
○ 仁川空港では、近年、主にアジアへの就航都市数が増加し、提供座席数も増加している。

国際線の就航都市数



出典：成田空港株式会社、Flightglobal

1週間あたり提供座席数



出典：Flightglobal、いずれも7月時点

17

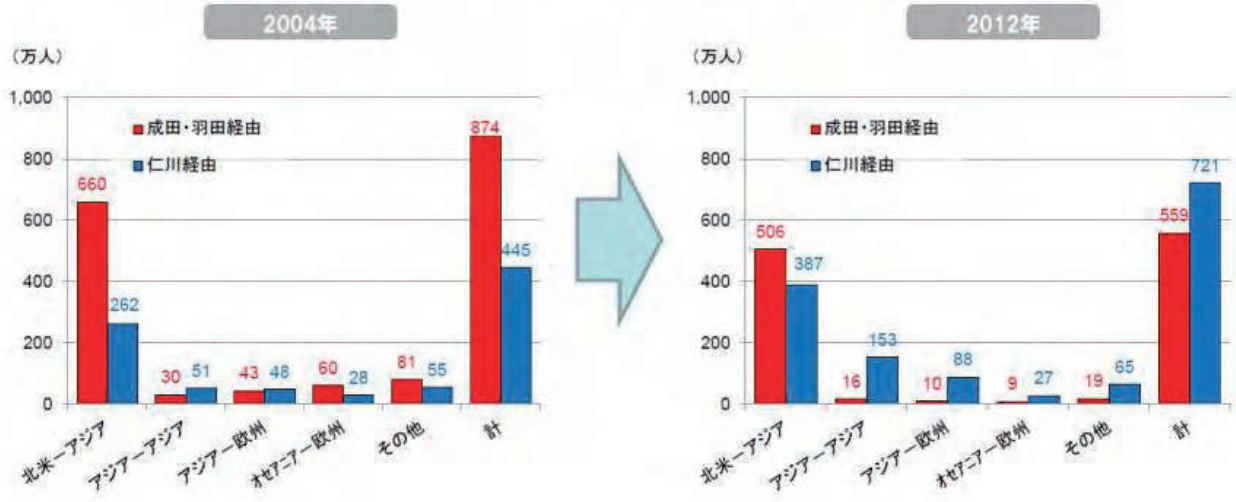
出典：航空局2013 15

（参考）成田空港と仁川空港の比較分析（国際・国際乗り継ぎ①）

国土交通省

○ 仁川空港では、国際・国際乗り継ぎを大きく伸ばしている。

国際・国際乗り継ぎの旅客数の比較



21

出典：Sabre ADIの入国（出国）ベースの値を2倍にして出入国ベースに換算して作成

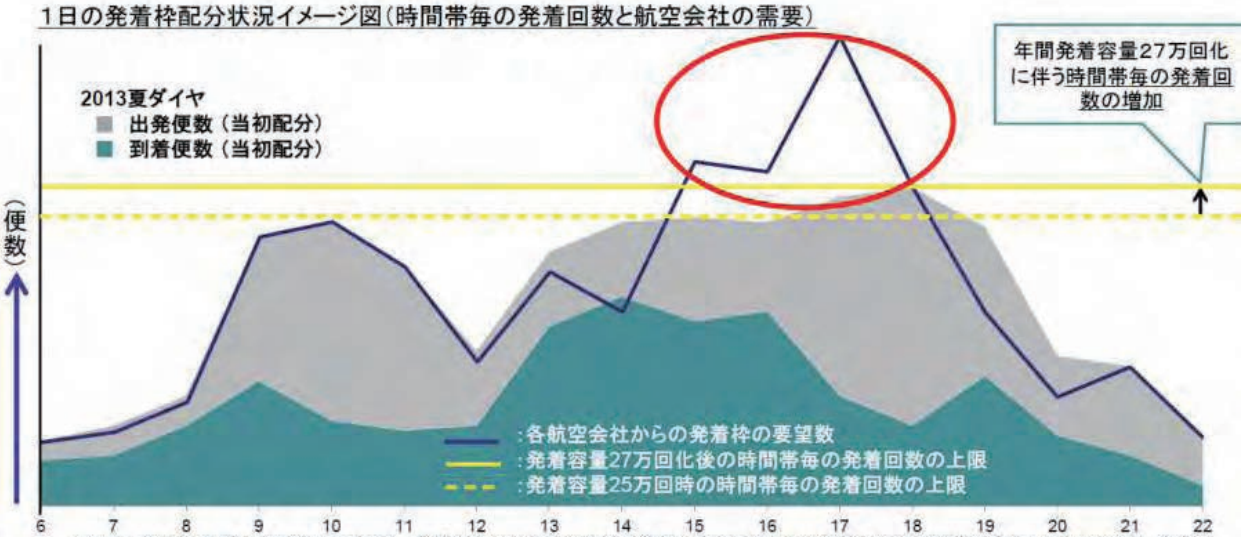
出典：航空局2013 6

3. ピーク時間帯の需給逼迫④：成田空港におけるピーク時間帯の需給逼迫

国土交通省

○ 成田空港では、年間発着容量の拡大により、到着・出発の需要が集中する時間帯への就航について改善が図られているが、需要が集中する時間帯においては、引き続き、航空会社からの就航需要に応え切れていない時間帯も発生。

1日の発着枠配分状況イメージ図（時間帯毎の発着回数と航空会社の需要）



※ 上記は、2013年夏ダイヤ設定時における、各航空会社からの発着枠の要望とそれに対する発着枠の当初配分を図表化したものであり、実際の認可ダイヤの内容とは異なる。また、定期便の数のみであり、チャーター便等の数は含まれない。

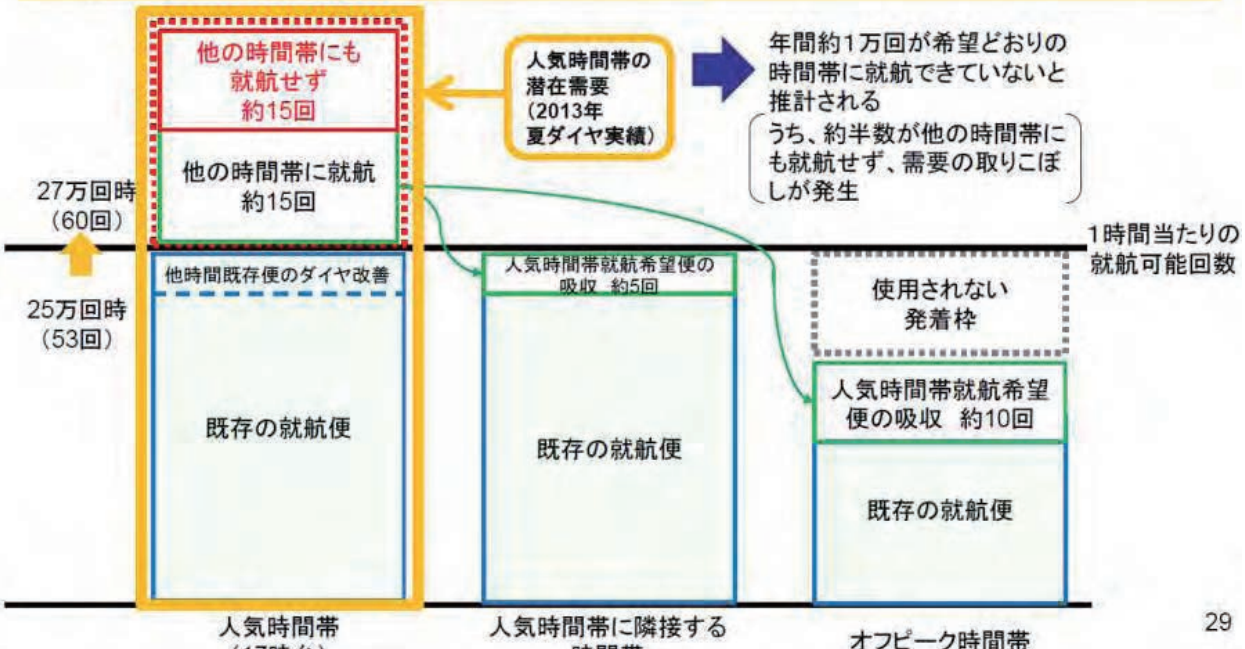
※ 発着回数の上限は最大値として示したものであり、実際の運用においては、当該時間帯の到着と出発の組み合わせに応じ変動するため、図表上では上限に達していないが、これ以上配分出来ない時間帯もある。（15時台など） また、これとは別に、夜間時間帯における発着回数の抑制や、航空機の遅延による混雑を吸収するために、発着回数を抑制する時間などが設けられている。

出典）航空局2013

3. ピーク時間帯の需給逼迫⑤：成田空港における現在の混雑状況（イメージ）

国土交通省

○ 国際空港では、各航空会社が目的地までの所要時間や時差を考慮してダイヤを編成する結果、特定の時間帯に出発・到着が集中する傾向。
○ 航空会社が希望した時間帯に就航できない場合に、隣接する時間帯でも需要を吸収しきれず、結果的に、就航できないケースも発生。
○ 一方、オフピーク時間帯は人気時間帯から離れているため、人気時間帯に就航できなかった航空会社の受け皿になりにくい。



出典）航空局2013

羽田空港の再拡張事業と国際線地区の更なる拡充

出典）国交省

本日の報告内容

1. 首都圏空港の現状と課題
2. 運輸政策研究所における調査研究
3. 国における首都圏空港機能強化の取り組み状況と今後の課題

国交省での技術検討（2013年11月～）

- 羽田空港の再拡張（4本目の滑走路）以降、具体的な政策展開がなかった・・・

- 2013年から羽田・成田両空港を中心に、横田、百里（茨城）等の更なる活用等も含め、首都圏空港の更なる機能強化に資する技術的な選択肢の洗い出し
- 2014年から自治体や航空会社等との協議を経て，現在，都心上空活用案による羽田の機能強化案について住民説明会・意見収集を実施中

国土交通省

ホーム | 国土交通省について | 報道・広報 | 政策・法令・予算・審議会 | 統計情報・白書

報道・広報

ホーム > 報道・広報 > 報道発表資料 > 75万回化達成以降の首都圏空港の更なる機能強化に向け、具体的な検討に着手します！

75万回化達成以降の首都圏空港の更なる機能強化に向け、具体的な検討に着手します！

首都圏空港（羽田空港、成田空港）については、平成26年度中に両空港での年間合計発着容量を75万回化することを最優先課題として着実に取り組んでいるところです。

一方、本年6月14日に閣議決定された日本再興戦略において、ヒトやモノの国際的な活動を活性化し、我が国の立地競争力強化を図るため、「首都圏空港の機能強化」が盛り込まれました。

また、先般2020年のオリンピック開催地に東京が選ばれたことを受け、我が国の玄関口である首都圏空港のより一層の機能強化及び利便性向上が求められることとなります。

75万回達成以降も羽田・成田両空港の更なる機能強化を図り、成長著しいアジアなど世界の成長力を我が国に取り込んでいくため、首都圏空港の更なる機能強化に向け、具体的な検討に着手することと致します。

具体的には、現在開催されている交通政策審議会航空分科会基本政策部会の場において首都圏空港をめぐる航空政策上の課題を整理し、それを踏まえ、今年度中に、学者、専門家の皆様に具体的な機能強化策の選択肢を技術的に洗い出して頂く予定です。それをもとに、来年度以降は、自治体や航空会社など関係者も参加した新たな場を設け、合意形成を図ってまいります。

詳細は別紙をご参照ください。

添付資料

プレスリリース（PDF形式：117KB）

土木トップ > 最新記事 > 記事 （前のページ）

「タブーなし」で首都圏空港の機能強化を検討、国交省が専門委設置

2013/11/05

国土交通省は11月1日、首都圏空港のさらなる機能強化を視野に、外部の有識者と関係部署の部課長級を集めた「首都圏空港機能強化技術検討小委員会」を開催した。同省は9月26日に交通政策審議会航空分科会基本政策部会の場で、「今後の首都圏空港のあり方について」というテーマを提示。同小委員会は基本政策部会の下部機関という位置付けで、技術的な面に絞って可能性や選択肢を洗い出す。今年度中に一定の報告をまとめる予定だ。

同省は2014年度中を目標に羽田空港と成田空港の年間合計発着容量で75万回達成を目指し、例えば羽田では滑走路の改良や延伸、駐機場の新設といった整備に取り組んでいる。同基本政策部会や小委員会では、この75万回達成後が検討課題となる。

同小委員会の委員長は、家田仁・東京大学大学院工学系研究科教授。そのほか外部有識者としては航空交通問題の研究者、元管制官、元パイロットなど8人の専門家が参加。小委員会開催の冒頭で、同省の田村明比古航空局長は、「国内航空需要のほぼ3分の2を占める首都圏空港の機能でいろいろな選択肢を増やしていくうえで、将来を考えるとインフラを含めて十分ではないのではないかという問題意識を持っている」と述べた。

「2020年に五輪が開かれるが、一過性のイベントのためだけに議論するわけではない。従来ならいろいろな関係から議論のテーブルに載せることがはばかられるような選択肢もあるが、この小委員会では利害関係を切り離して、まずは純粋に技術的な面から選択肢を洗い出してほしい」（田村局長）。

国交省：平成25年9月10日

http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/const/news/20131101/638650/?rt=nocnt

首都圏空港機能強化の経緯

2000年～　首都圏第3空港調査検討会
2001年　　羽田再拡張を優先的に実施することを決定
（長期的な首都圏空港のあり方など，第3空港の候補地は調査を継続）
2003年7月　羽田着陸容量：28→29回/時（離陸32回/時）
＊着陸速度一定化など
2005年10月　同　：29→30回/時
＊滑走路占有時間短縮など
2007年9月　同　：30→31回/時
＊高速離脱誘導路整備・容量算定方式変更など
2008年9月　横田空域削減（羽田西行き便の高度制限緩和）
2010年1月　関東空域再編開始（空域統合）
2010年3月　成田B滑走路北伸（容量20→22万回/時）
2010年10月　成田空港30万回化について地域と合意
2010年10月　羽田D滑走路供用開始
（数年かけて段階的に40回着陸・40回離陸/時まで拡大）
2012年　成田22万回→25万回/年
2013年　成田25→27万回/年
2014年7月　首都圏空港機能強化技術検討小委員会の中間取りまとめ
2014年8月　首都圏空港機能強化の具体化に向けた協議会
2015年3月　成田27→30万回/年　*WAMによる同時平行離陸など

管制運用の重要性・・・

2006年7月　運研コロキウム
2007年4~9月　保安大
2007年10月　運研空港調査（～2009年9月）
2009年4月　CARATS研究会（～2010年2月）
2009年11月　国交省成長戦略会議

2012年5月　運研報告会

運輸政策研究所：
首都圏空港将来像 検討調査委員会（2007～09）

目的

長期的な（2030年）首都圏空港の将来像を描く

・利用者利便を向上するための航空制度のあり方を検討
・首都圏の空港容量の拡大方策を検討
⇒ 将来の首都圏空港について幅広い議論が展開される契機に

検討項目

（1）将来のあるべき航空・空港政策の検討
（2）首都圏空港の将来需要の見通しの検討
（3）空港容量拡大方策の検討
（4）空港施設の機能拡充と周辺地域の活用方策の検討
（5）空港アクセス交通の検討

運輸政策研究所・ANA総合研究所の共同研究

首都圏空港将来像シンポジウム（2009年9月24日開催）

25

将来あるべき航空政策（提言の概要）

①首都圏空港を含めた全面的なオープンスカイ政策へ転換を図るべき

②空港の機能分担を廃止し、利用者に空港選択の自由を与えるべき

③カボタージュの開放に向けた検討を進めるべき

④航空産業の分野でも資本の自由化を進めるべき

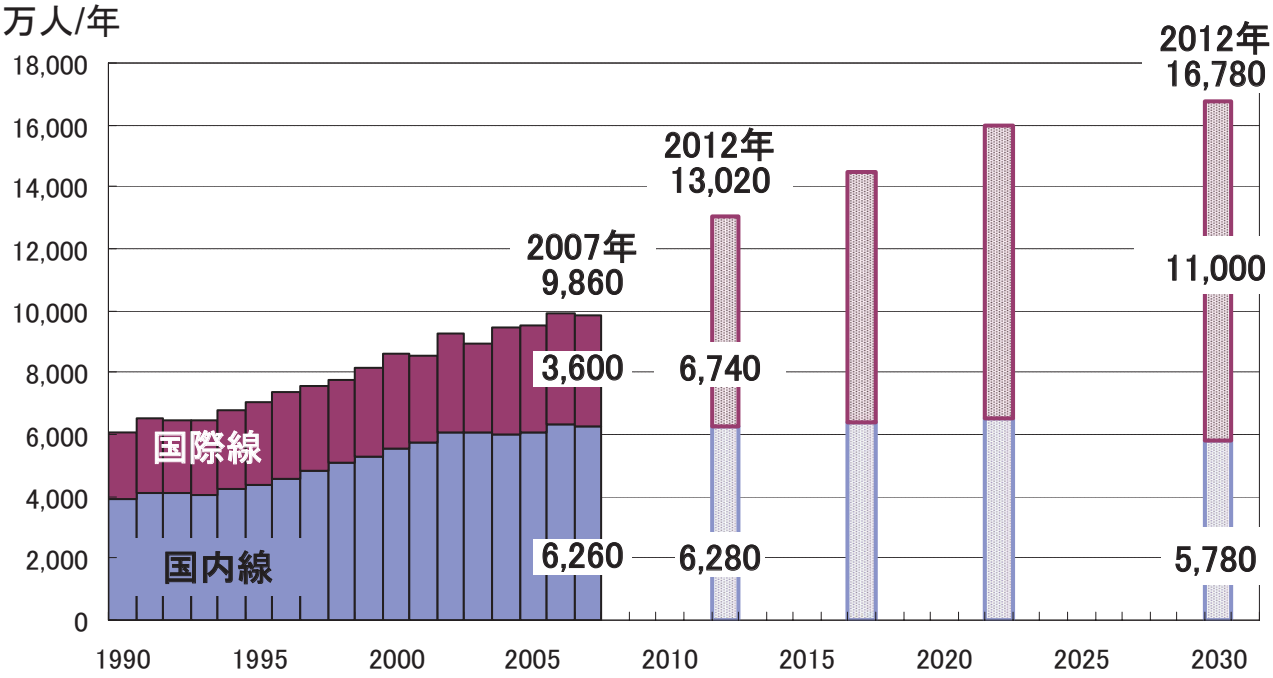
⑤質の高い乗務員の持続的な確保に向け労働の自由化を進めるべき

⑥LCC等の新規参入を可能とする環境づくりが重要

⑦市街地上空ルートの見直しに関する議論が必要

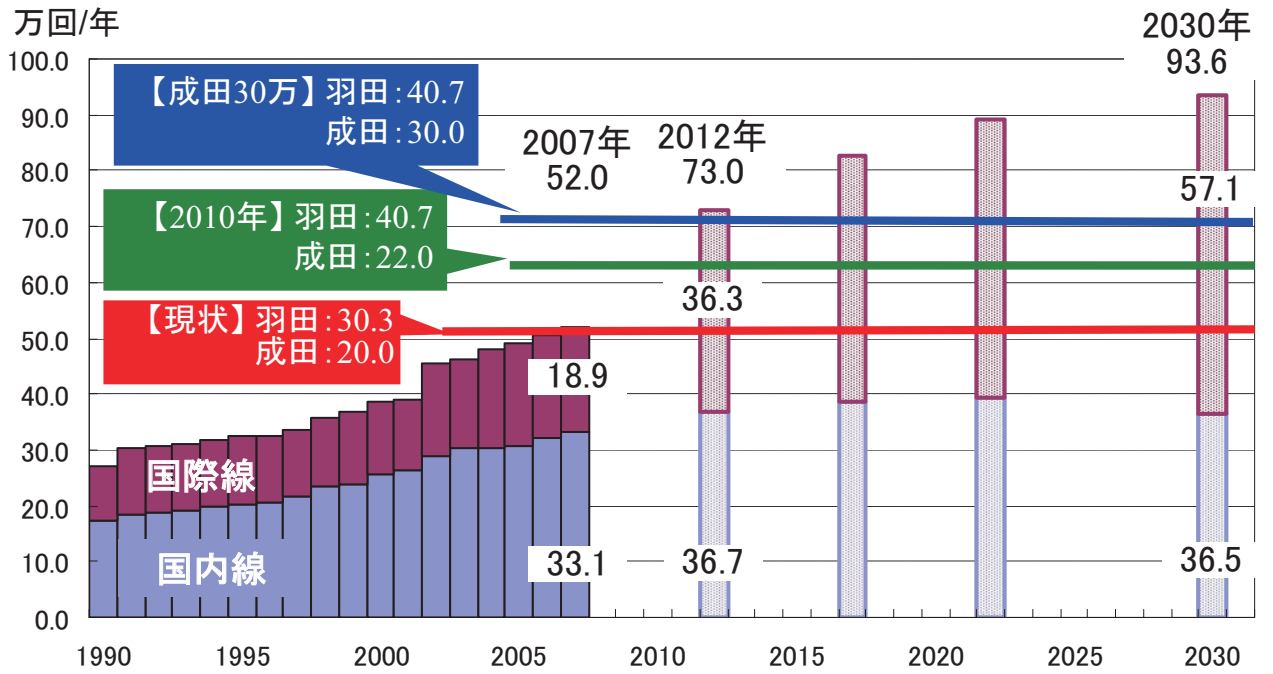
26

首都圏の航空需要予測結果～年間旅客数



◆2030年の首都圏の航空旅客は国内・国際合わせて、約1億7000万人で現在の約1.7倍に増加

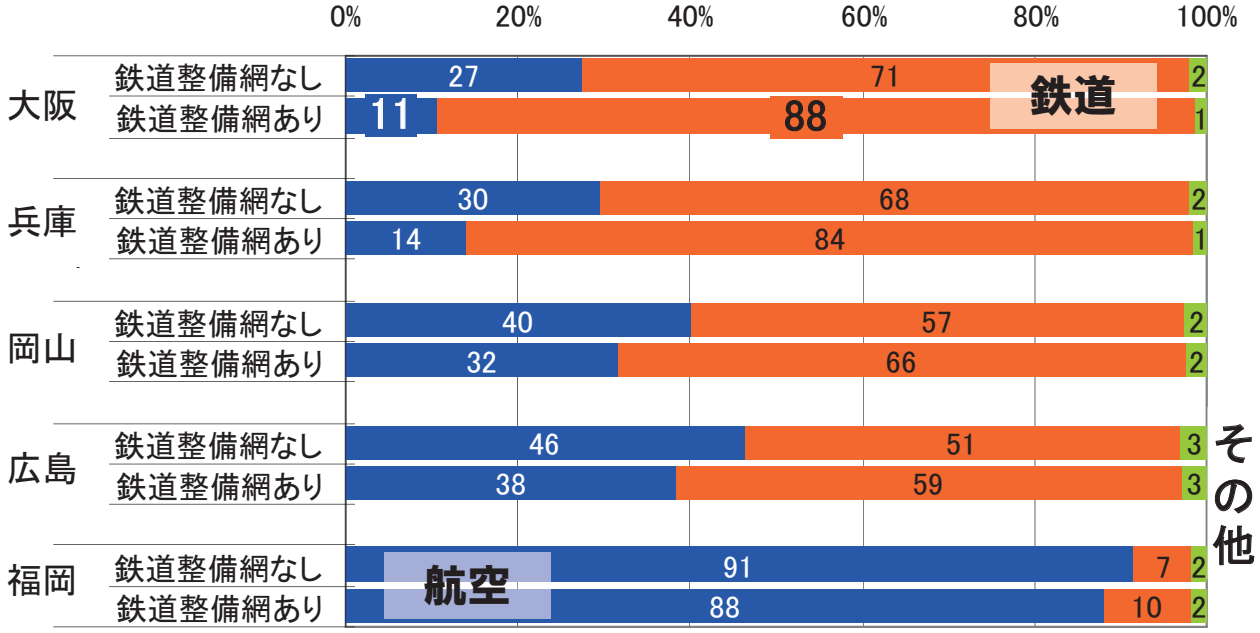
首都圏の航空需要予測結果～年間発着回数



全面的オープンスカイ，高速鉄道網整備等を想定した航空需要
⇒発着回数は，数年以内に2010年の羽田成田の容量拡大を上回る

※羽田：30.3万回（現状）、40.7万回（D滑走路供用）／成田：20.0万回（現状）、22.0万回（滑走路北伸）

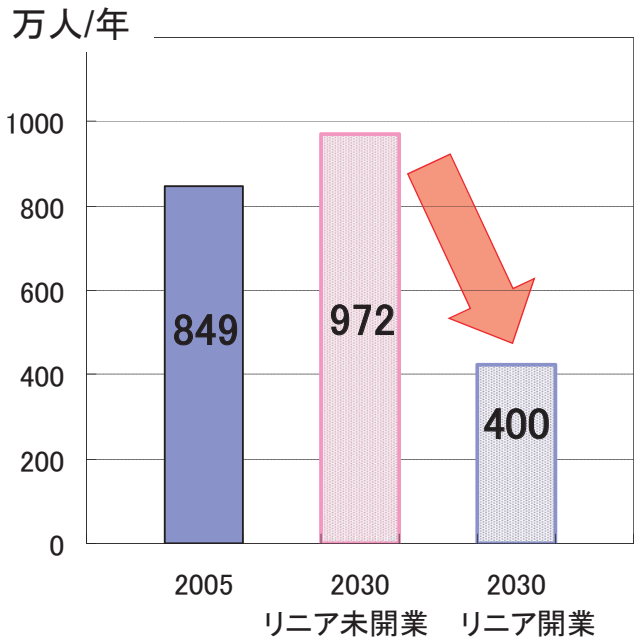
鉄道網（中央新幹線）の整備の影響
～交通機関分担率の変化（2030年）～



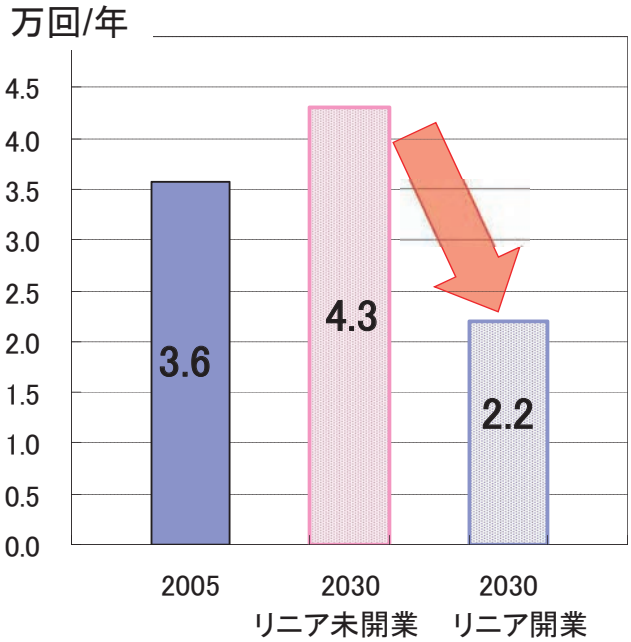
◆関西以西の空港と鉄道の交通分担率が大きく変化
◆東京-大阪間をみると、リニア整備により
　航空分担率が27%から11%に減少

鉄道網（中央新幹線）の整備の影響～旅客数と発着回数～

羽田－関西の国内線旅客数

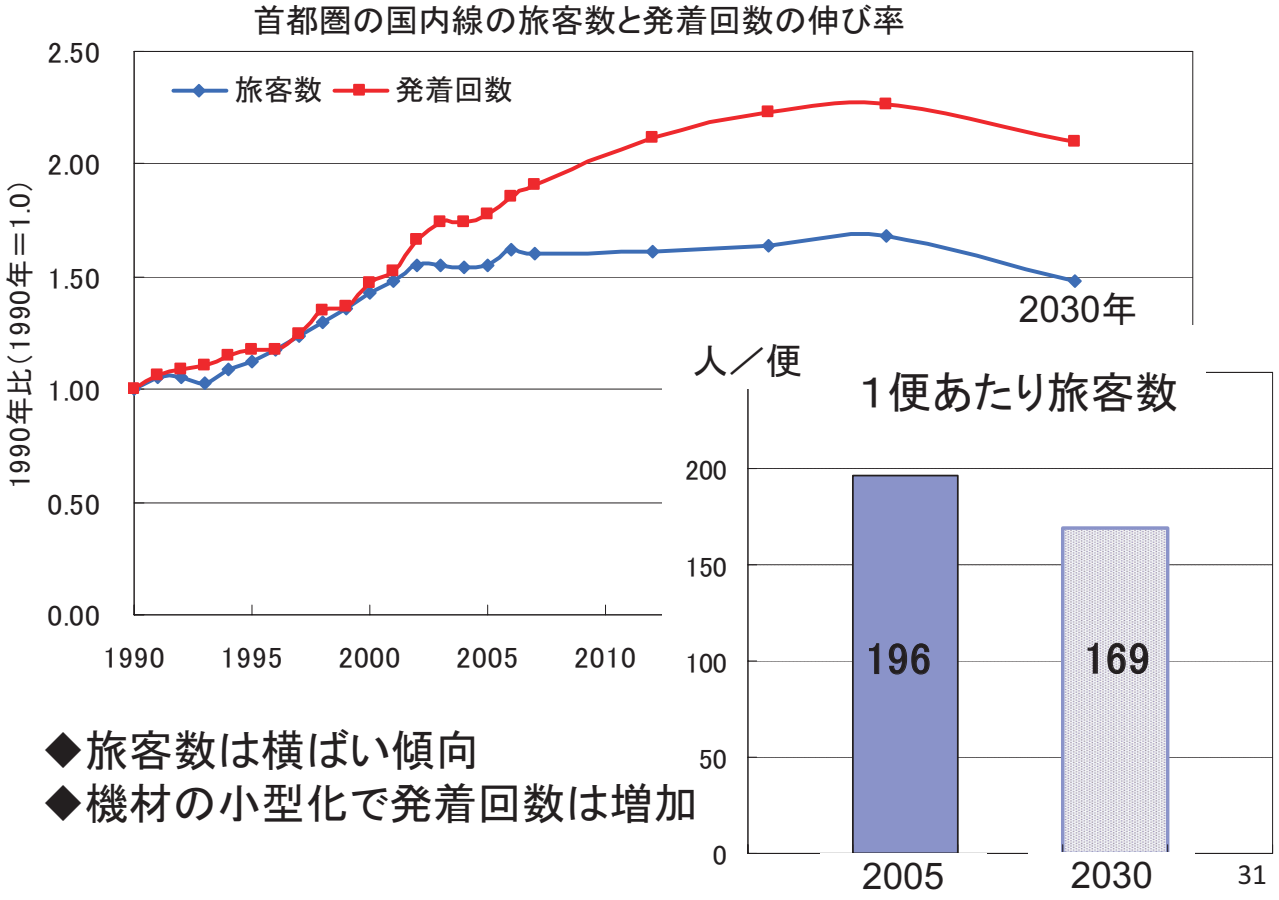


羽田－関西の国内線発着回数



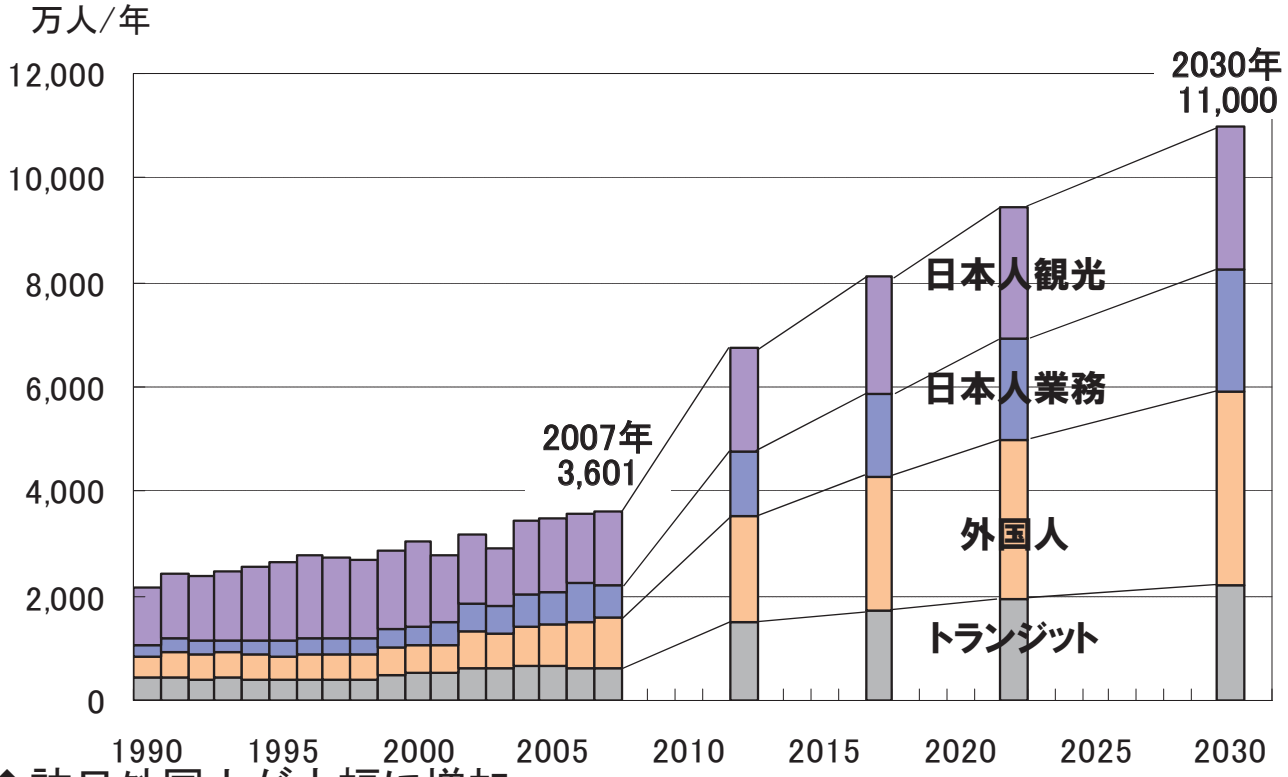
◆リニア開業より　旅客数が、約400万人に減少
◆　　羽田空港の発着回数が、2.2万回に

旅客数と発着回数～機材の小型化～



◆旅客数は横ばい傾向
◆機材の小型化で発着回数は増加

首都圏の国際航空旅客の推移



◆訪日外国人が大幅に増加
◆日本人は、企業の海外展開等に伴い、業務目的が増加

容量拡大方策の検討対象

◆羽田空港：

再拡張後のストックの有効活用，新たな滑走路整備による容量拡大方策を検討

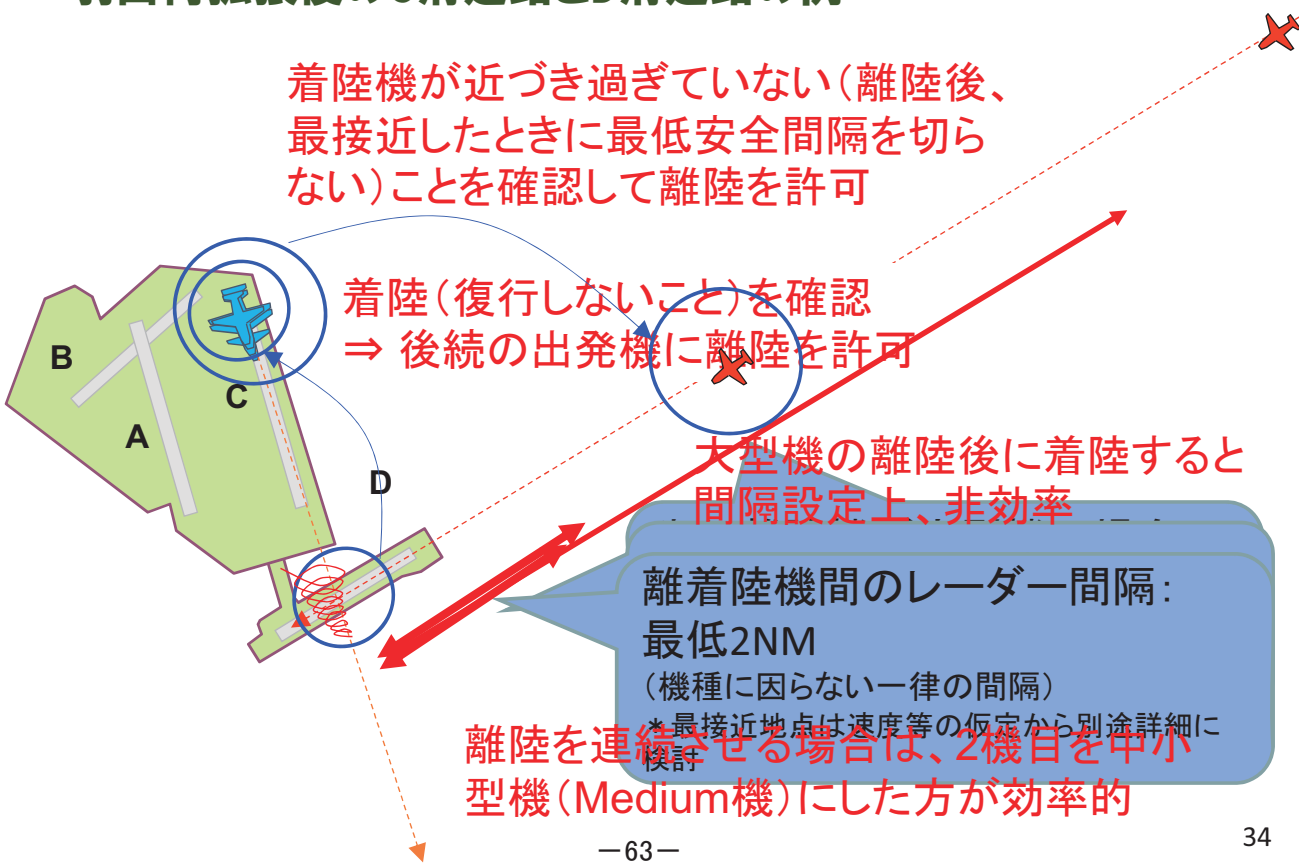
◆成田空港：

空港会社（NAA）の技術検討で，管制方式の変更，騒音制約の緩和，誘導路等の施設整備等を前提に，技術的な空港容量として最大30万回／年と報告⇒ この値を想定

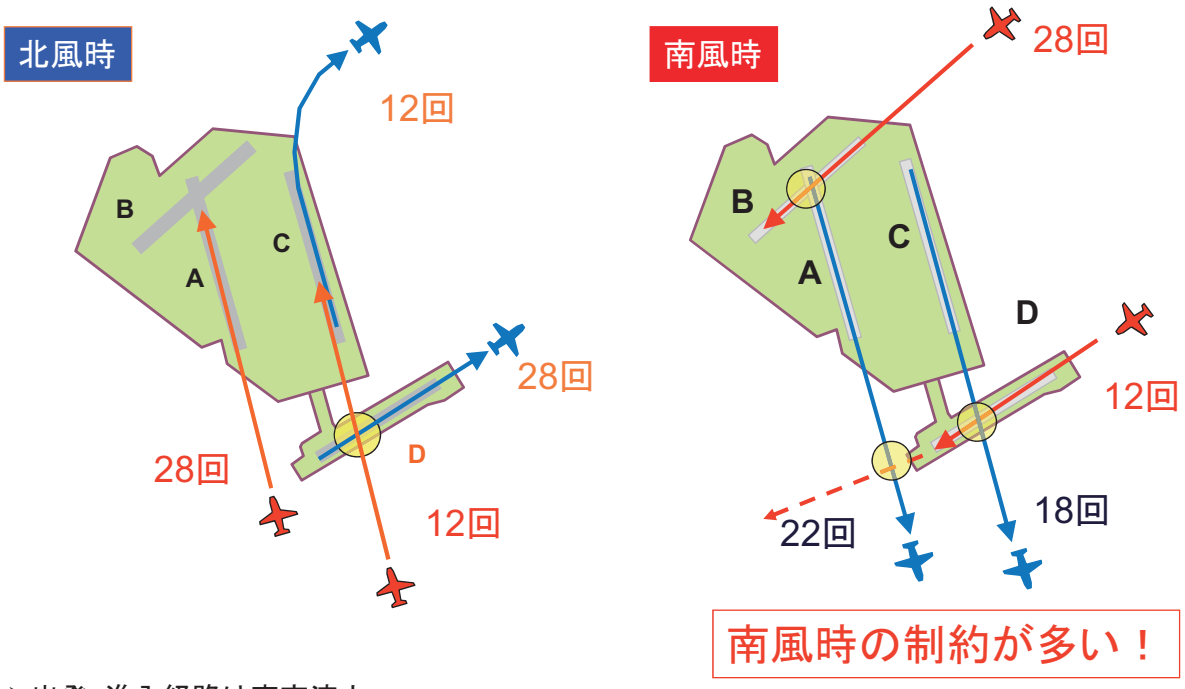
◆横田空港および茨城空港：

技術的な制約よりも軍民共用という特性や都心とのアクセス性が制約となるため，特に容量拡大方策の技術検討は行わない

交差する滑走路からの離着陸の場合
～羽田再拡張後のC滑走路とD滑走路の例～



再拡張後の発着回数の計画値（航空局公表）



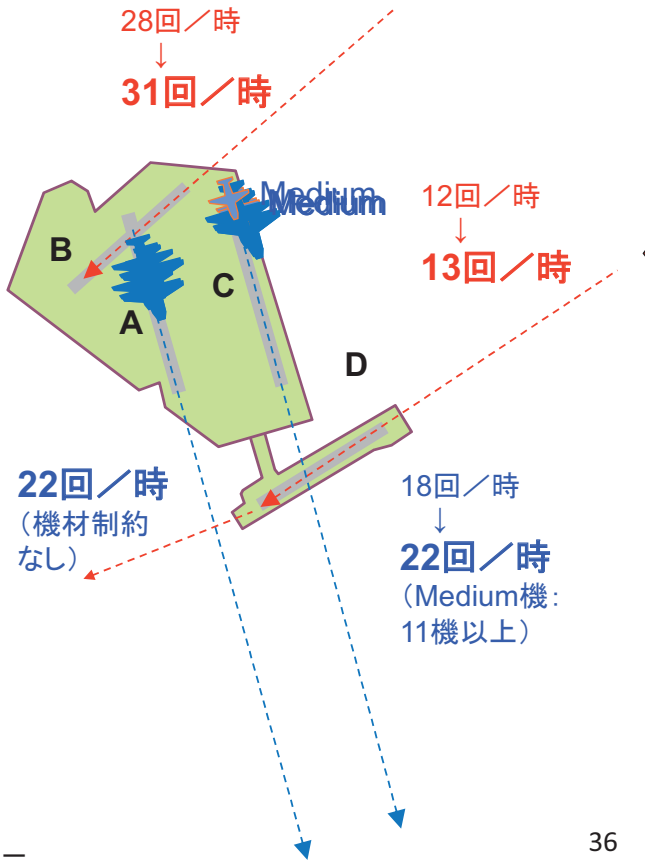
- 出発・進入経路は東京湾内
- 空域で輻輳する交通を円滑に処理するための方面別滑走路運用
- First Come First Serve（先着順で処理）
- 航空管制官によるシミュレーションを実施し，40回／時（40.7万回／年）の処理が可能と結論

① 管制運用の高度化による容量拡大

ポイント：

- D着陸機は原則一定間隔で着陸させ（着陸誘導を簡略化），間にA・Cから2機ずつ離陸させる．
- C離陸機の2機目（D着陸機に先行する離陸機）をMedium機に限定．そのために，Medium機はC滑走路をメインに離陸させる．
- これらによりC離陸およびD着陸を増加可能

40回／時（40.7万回／年）
↓
44回／時（44.7万回／年）

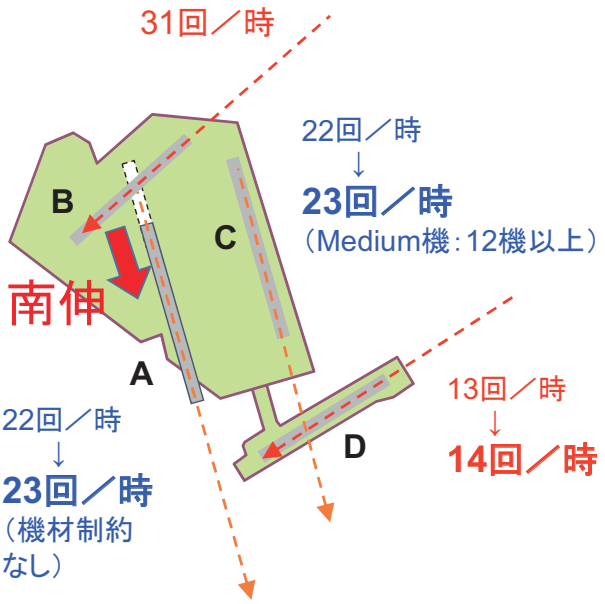


② A滑走路の南側延伸による容量拡大

ポイント:

- A滑走路を南側に延伸し，B滑走路との従属性を解消
- 運用方法は「①管制運用の高度化」と同様であるが，上記従属性の緩和により，A･C離陸およびD着陸が1回／時ずつ増加

40回／時（40.7万回／年）
↓
45回／時（45.8万回／年）
（離陸は46回／時まで可能）

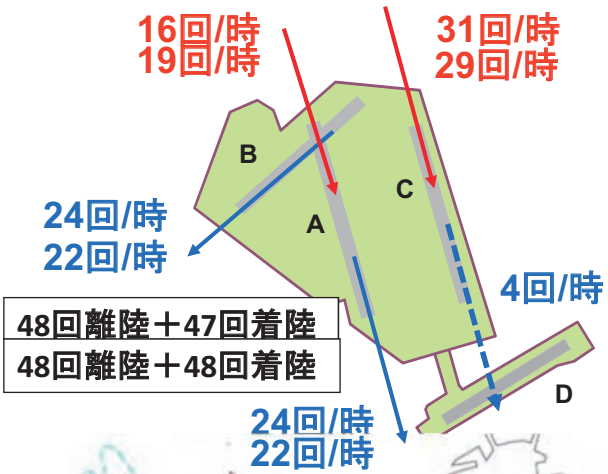


③ 内陸上空ルートの活用

ポイント:

- 羽田の北側からのA･C滑走路への直線進入および川崎方面へのB滑走路からの離陸を実施
- C滑走路を着陸専用なら47回/時，
- C滑走路を離着陸共用にすれば48回/時まで可能（北風時はハミングバード）

40回／時（40.7万回/年）
↓
「48回離陸」＋「47回着陸／時」
「48回離陸」＋「48回着陸／時 」
（48.8万回／年）



- 東京，川崎方面に環境基準を超える騒音影響が発生→時間限定使用の可能性あり

＊北風時も対照型の運用

④旧B滑走路の再整備

ポイント:

- **旧B・現B滑走路に交互着陸**

⇒滑走路占有時間の制約を緩和

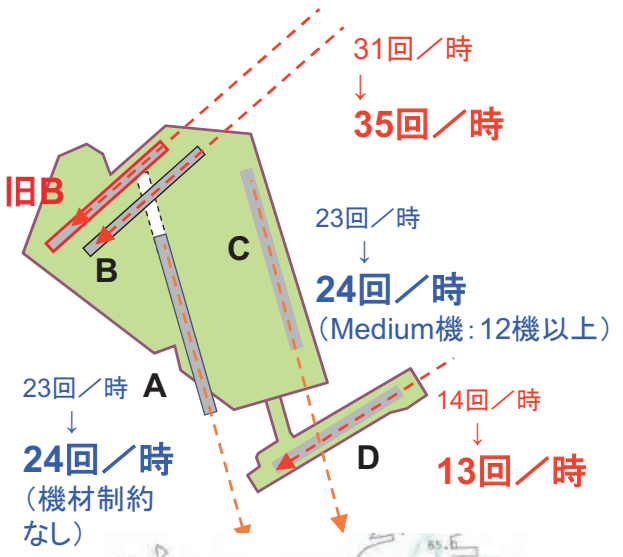
⇒飛行中の間隔基準で容量が決定

- A・C・DはA滑走路南伸時と同様
- 南風時は離着陸ともに48回／時，北風時は離陸が48回／時，着陸が内陸上空ルート活用（ハミングバード）の有無で47～48回／時

40回／時（40.7万回/年）

↓

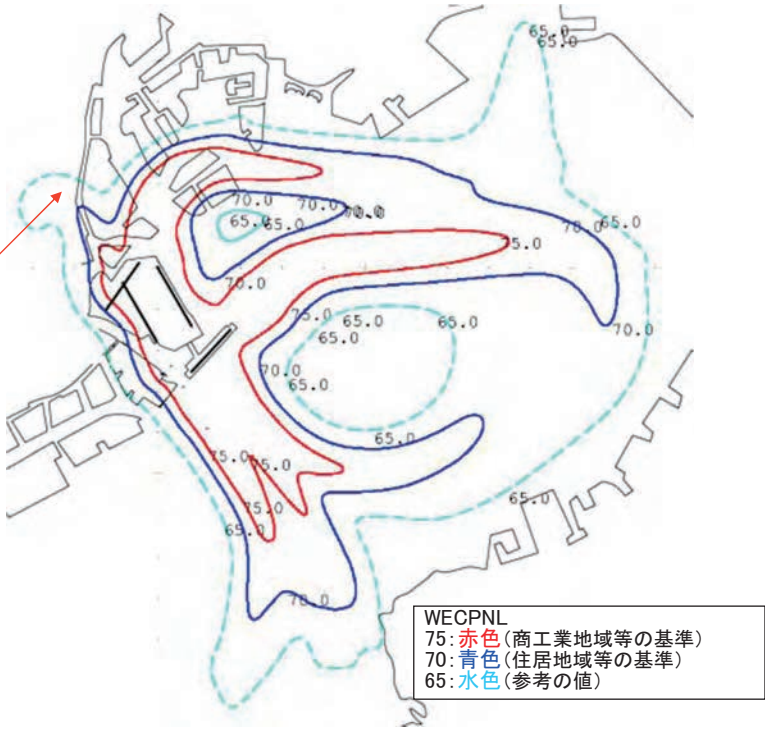
- **48回離陸＋47回着陸（47.8万回/年）**
  （内陸上空ルート活用なし）
- **48回離陸＋48回着陸（48.8万回/年）**
  （内陸上空ルート活用あり（ハミングバードを4便/時）：環境基準は満たす）



39

北風時、A滑走路北側離陸（ハミングバード）4便を使用時のコンター：旧B滑走路活用

北風時ハミングバード4便／時のコンター
（離陸後約4km直進してから左旋回+国内線限定：そのまま直進でも可）



⑤ C滑走路平行滑走路整備 ～はじめに

C滑走路沖の平行滑走路およびD滑走路と東京港第一航路の関係

- C平行滑走路は北側の障害物表面を考慮して位置を検討
  ⇒ 若干，南に配置の必要あり

- Dランは着陸のための障害物表面で評価して東端が決定
  ⇒ 離陸専用にすることで障害物表面の制限を緩和し，さらに沖合いに延伸可能
  （本調査では，飛行方式設定基準で定められている「出発の方式設計勾配」を使用）

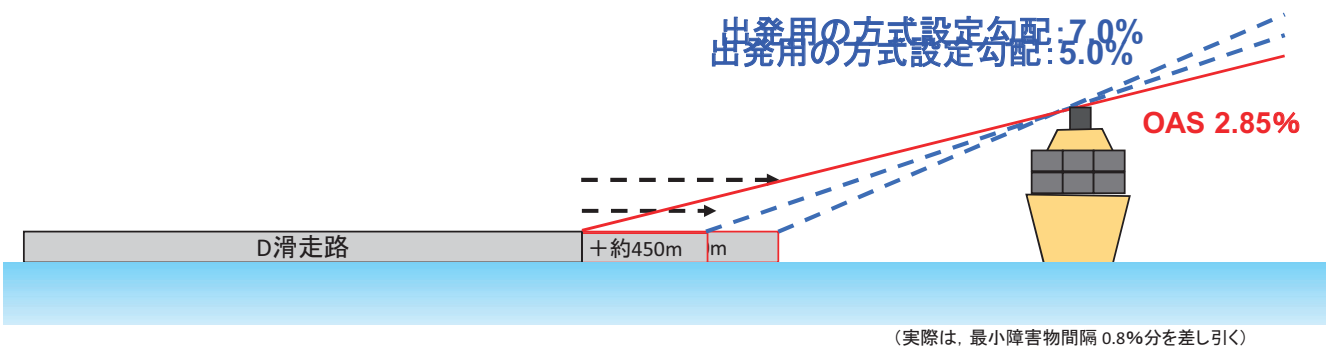
参考）羽田空港新滑走路建設工事に係る入札の過程等に関する情報の公表について，国土交通省 関東地方整備局，H17

⑤ C滑走路平行滑走路整備 ～はじめに

D滑走路と東京港第一航路の関係

Dランを離陸専用にすることで障害物表面の制限を緩和し，さらに沖合いに延伸

⇒「出発の方式設計勾配」は標準3.3%だが，5~7%に上げることが可能（5%以上は運航者との調整が必要）

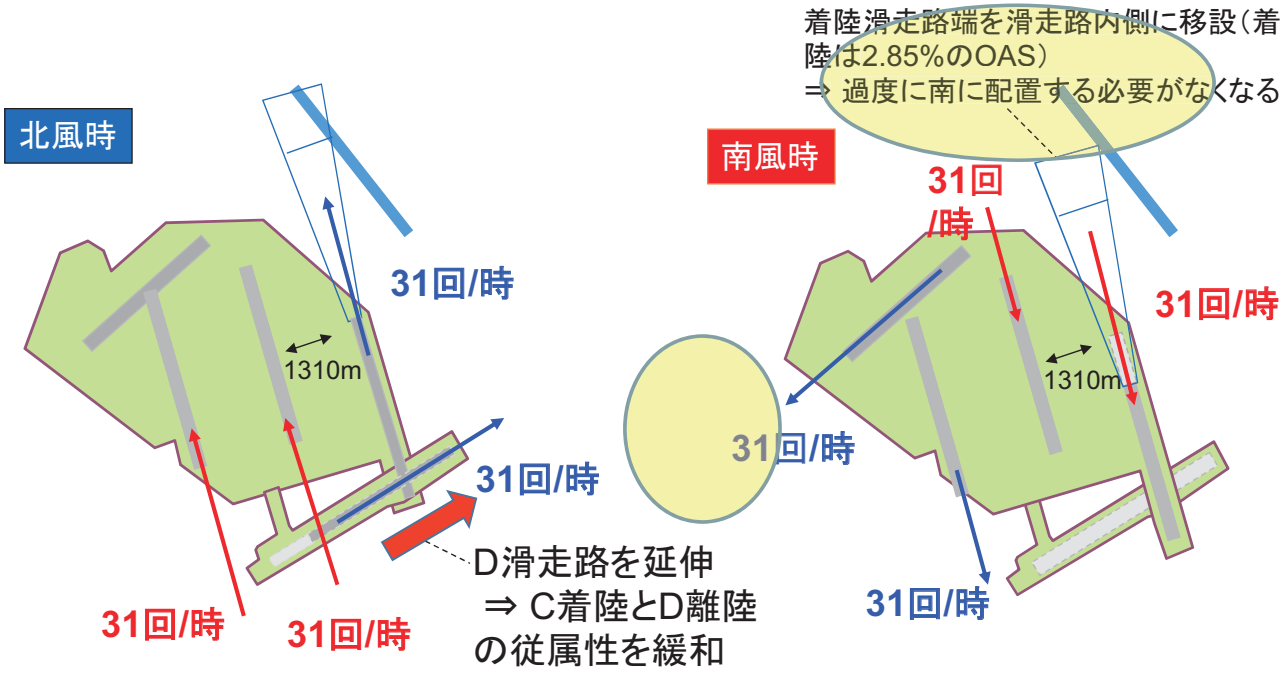


（実際は，最小障害物間隔 0.8%分を差し引く）

参考）羽田空港新滑走路建設工事に係る入札の過程等に関する情報の公表について，国土交通省 関東地方整備局，H17

⑤ C滑走路平行滑走路整備

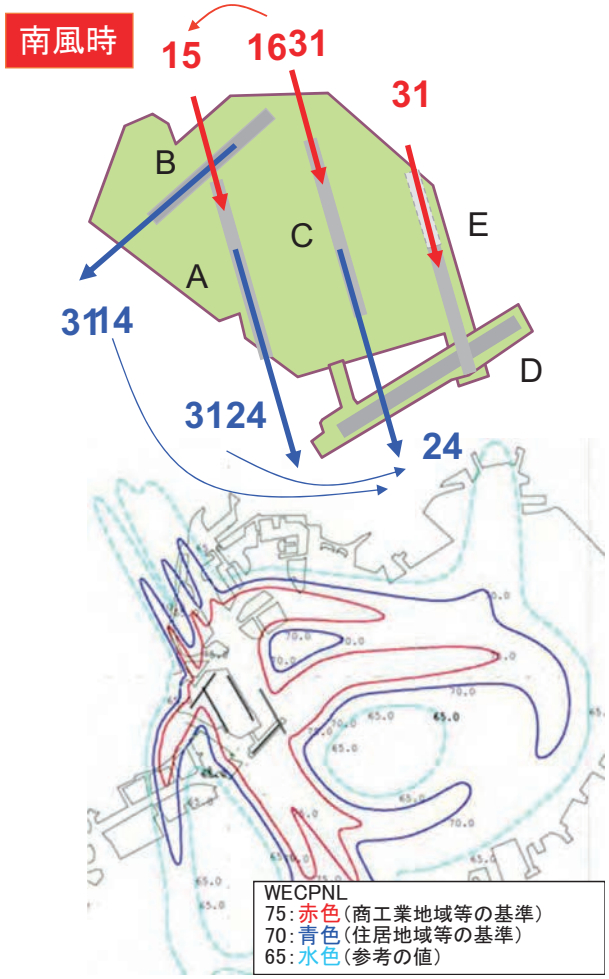
2本を着陸専用，2本を離陸専用



発着容量：62回/時（63万回/年）
・・・技術的な最大容量

南風時の東京・川崎への騒音が環境基準を超える地域が広く発生
⇒ 離着陸経路を分散

⑤ C滑走路平行滑走路整備（離着陸経路を分散）



ポイント：

- 南風時にA・C滑走路を離着陸共用とし，着陸・離陸の経路を分散
- A・C滑走路からの離陸機は機材サイズからみた戦略的順序付けを実施することで63万回/年が可能

【発着容量】
62回/時（63万回/年）

- A滑走路北側，B滑走路西側に依然環境基準を超える地域が発生

⇓

環境基準内に収まるように発着回数を制限

② C滑走路平行滑走路整備（環境基準内の発着容量）

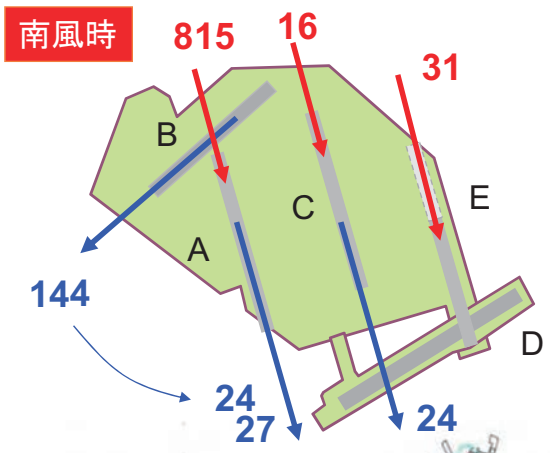
<u>ポイント:</u>

- A滑走路の着陸機数を半減
- B滑走路からの離陸を3分の1に減らし，国内線の機材に限定（重量の関係で上昇率が上がり，騒音を軽減）

【発着容量】
55回/時（56万回/年）

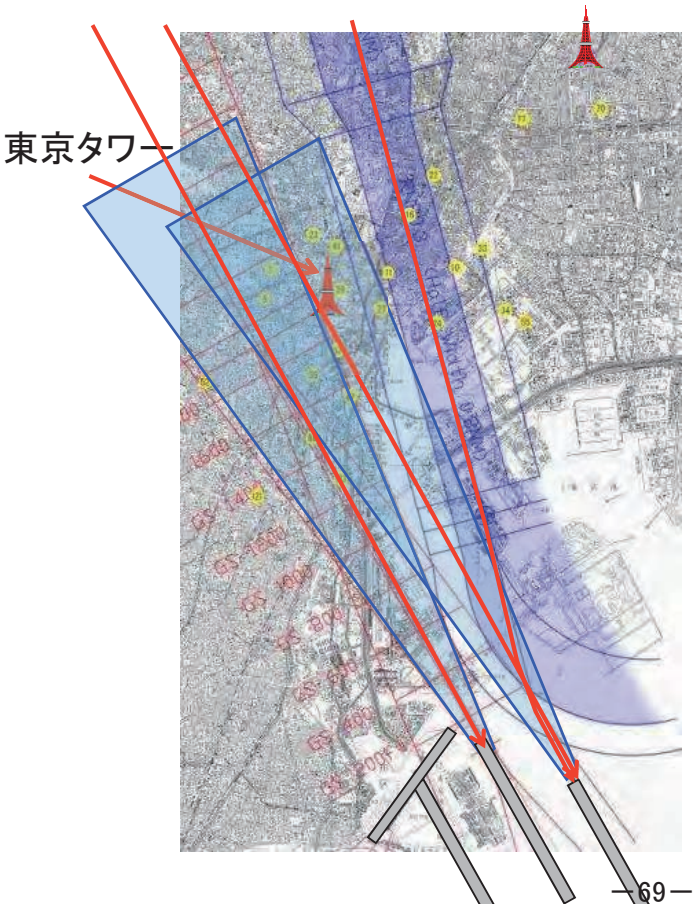
騒音影響は環境基準内

＊さらなる容量拡大を行うには，これまで原則実施されていない「都心上空飛行ルート」の利用が不可欠



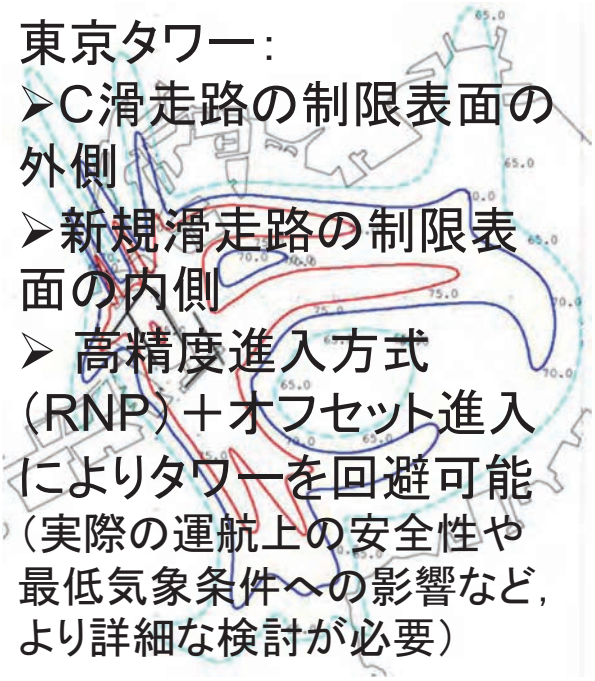
45

新規滑走路の制限表面と東京タワー



東京タワー:

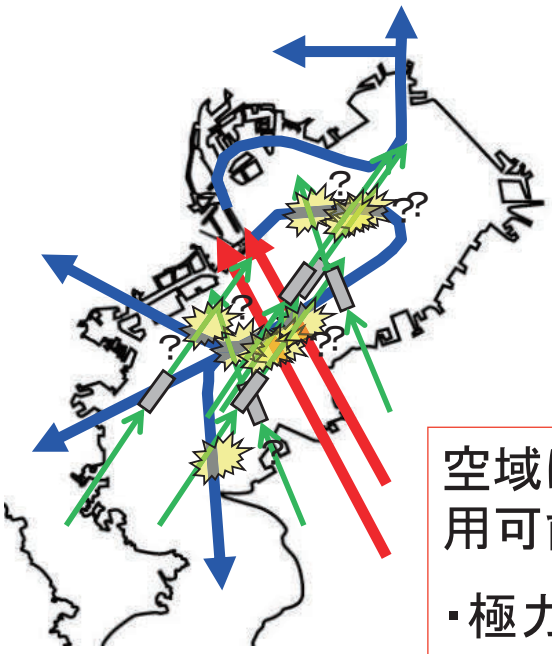
- C滑走路の制限表面の外側
- 新規滑走路の制限表面の内側
- 高精度進入方式（RNP）＋オフセット進入によりタワーを回避可能（実際の運航上の安全性や最低気象条件への影響など，より詳細な検討が必要）



C滑走路ILSとE滑走路RNP（オフセット進入）の際の騒音コンター（56万回／年）

46

⑥ 空域から見た再拡張後の羽田と独立運用可能な滑走路配置



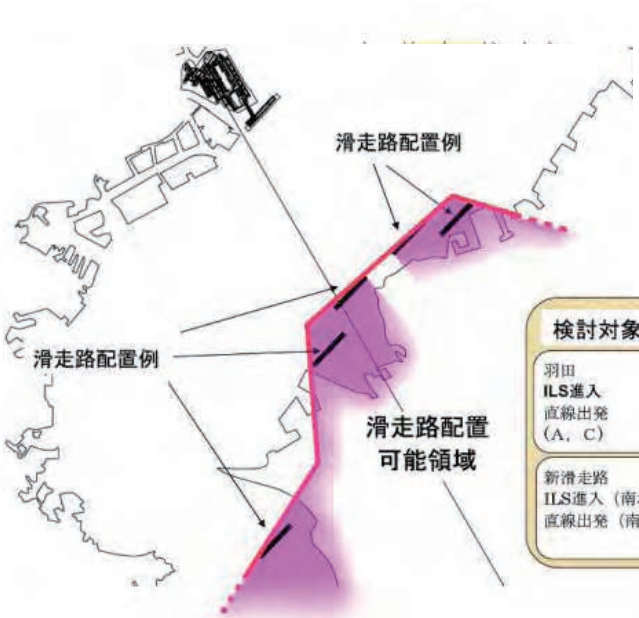
➢ 羽田近傍の新規滑走路
⇒ 既存4本の滑走路との従属性が必ず残る

➢ もし，既存滑走路と独立運用が可能な新規滑走路が配置できれば，それが容量拡大の最大限

空域における飛行方式設定から独立運用可能な滑走路配置の可能性を検討

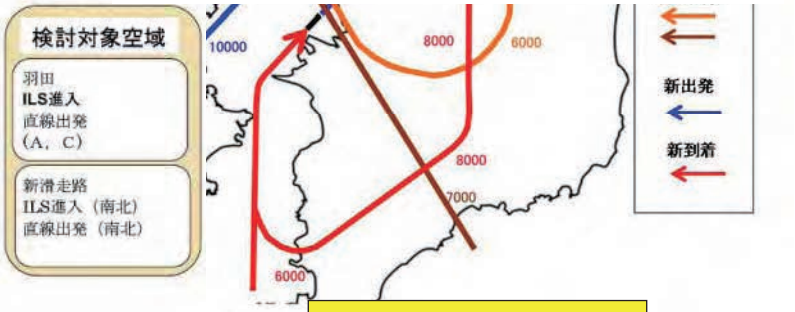
・極力，羽田再拡張後のルートを前提
・陸域通過の最低飛行高度は現状程度

⑥ 空域から見た羽田再拡張後と独立運用可能な滑走路配置（例）



滑走路配置可能領域

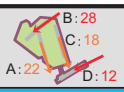
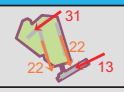
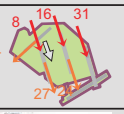
新滑走路による容量拡大：
最大：68.3万回／年
・新滑走路の22.5万回／年（離着陸完全交互運用時の容量）
・羽田が「A滑走路南伸」の45.8万回／年



飛行経路の例

陸域通過最低高度：
・到着経路では，東京・千葉上空で4,000～5,000ft程度（羽田再拡張後の北風時到着と同じ）
・出発経路では千葉で5,500ft，東京で6,000ft（羽田再拡張後の出発と同程度か若干低高度）

運研研究～容量拡大方策のまとめ（一覧表）

ケース名	滑走路の配置・運用（南風時）	発着容量（離着陸合計）	管制運用に対する制約	整備・拡張の必要性	空港近傍の内陸飛行：回数／時	
					羽田北方	羽田西方
基本（D滑走路供用後）		80回／時 （40.7万回/年）	―	―	なし	なし
（1）滑走路4本（Dラン供用後の既存ストック）の有効活用						
管制運用の高度化		88回／時 （44.7万回/年）	戦略的な間隔制御・機材配置ともに必要	なし	なし	なし
A滑走路の南伸（＋管制運用の高度化）		90回／時 （45.8万回/年）	戦略的な間隔制御・機材配置ともに必要	多摩川河口部の用地展開	なし	なし
内陸上空ルート活用		96回／時 （48.8万回/年）	戦略的な間隔制御が必要	なし	A:4離陸（北風） A:19着陸（南風） C:29着陸（南風）	B:22離陸（南風）
（2）滑走路5本（第5滑走路の新設）の運用　＊Aランの南伸は実施を前提						
B滑走路平行（旧Bラン復活）		95～96回／時 （47.8～48.8万回/年）	戦略的な間隔制御・機材配置ともに必要	旧B滑走路跡地の再整備のみ	なし ～ A:4離陸（北風）	なし
C滑走路平行（オープンパラレル）＋Dラン延伸 ：環境基準考慮		110回／時 （56.0万回/年）	戦略的な間隔制御が必要	C滑走路沖に用地拡張（大規模）＋Dラン延伸	A:8着陸（南風） C:16着陸（南風） E:31着陸（南風）	B:4 離陸（南風）
羽田（再拡張後）と独立の滑走路		132回／時 （68.3万回/年） 羽田45.8万回/年）＋新規滑走路22.5万回）	・戦略的な間隔制御と機材配置ともに必要 ・羽田および新規滑走路の離着陸機に対する飛行高度制限あり	東京湾内に滑走路新設	なし	なし

■滑走路以外の空港施設配置案：63．0万回対応案

【国内旅客、国内貨物ターミナル】
現状施設を活用（エプロンの一部を国際線用に転用）

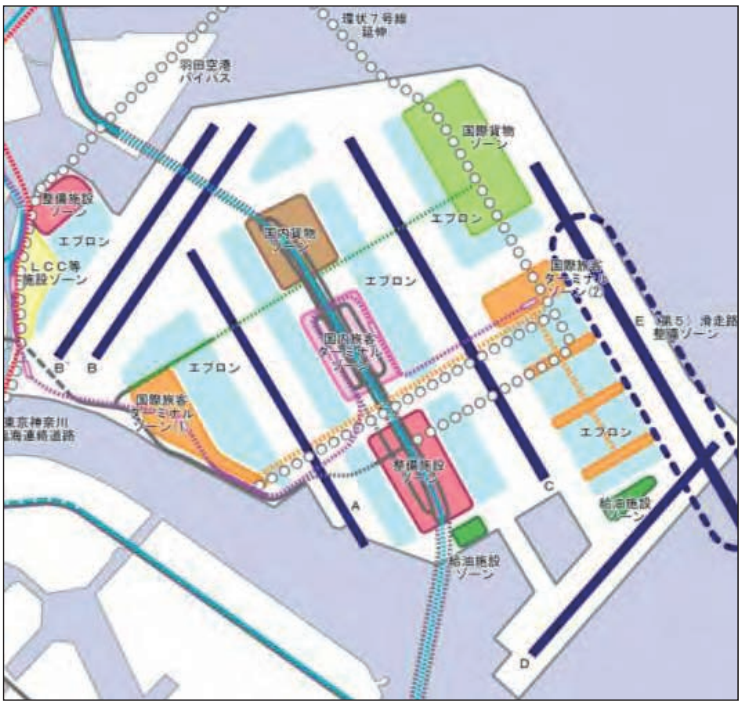
【国際旅客・貨物ターミナルゾーン】
国際旅客ターミナルゾーン、エプロン等をC滑走路沖に拡張整備

【その他】
給油施設、整備施設、LCC等対応施設の整備

【軌道系アクセス】
京浜急行及び東京モノレールの新国際旅客ターミナルゾーンへの延伸

【空港内連絡通路の整備】
・国内国際旅客ターミナル間の専用連絡ステムの導入
・貨物輸送のためのGSE連絡通路の整備

【道路系アクセス】
・空港内連絡道路の整備
・国道357号線の整備
・環状8号の拡幅、線形改良と環状7号線との接続
・東京神奈川臨海連絡道路・羽田バイパスの整備



■アクセス鉄道計画案

東京モノレール
東京駅乗入れ
完全複線化

東京臨海高速鉄道臨海副都心線の建設及び羽田アクセス新線の新設
※東京テレポート、品川、大井町（副都心方面）へ乗入れ

区部環状公共交通の整備（葛西臨海公園－蒲田）

京急蒲田駅の改良・複線化

京急空港線と東急多摩川線を短絡する路線

羽田空港

川崎縦貫鉄道と京急大師線相互直通運転

京急大師線の羽田空港への乗入れ

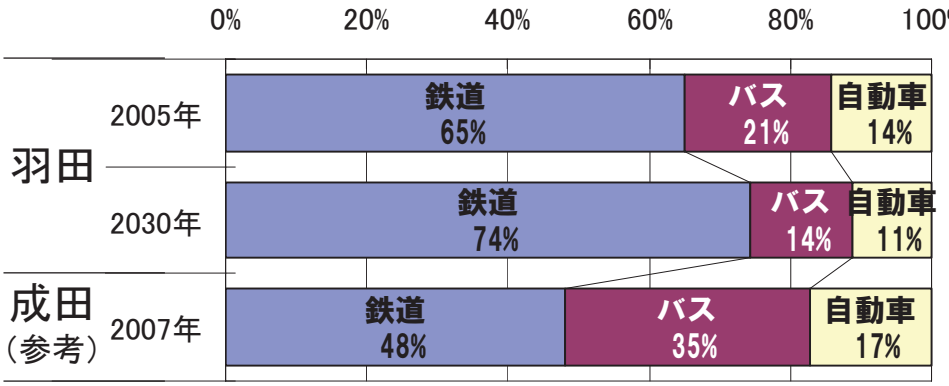
東海道貨物支線の旅客化
（桜木町－品川）

既存の空港アクセス鉄道
18号答申計画路線
新たな提案路線

51

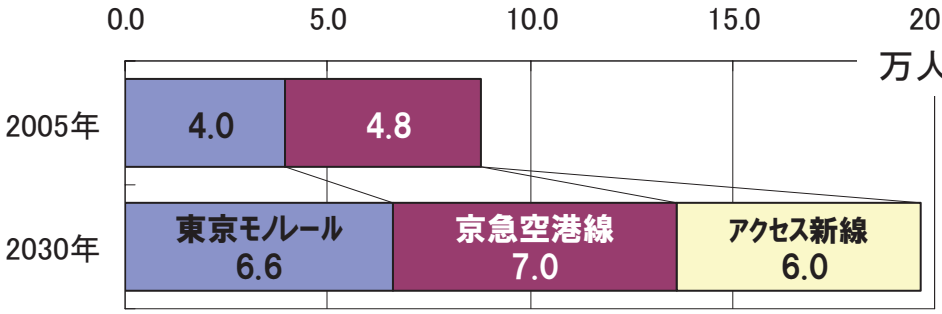
アクセス交通～需要予測結果

空港アクセス交通機関の分担率



羽田空港の鉄道分担率が65%から74%へ上昇

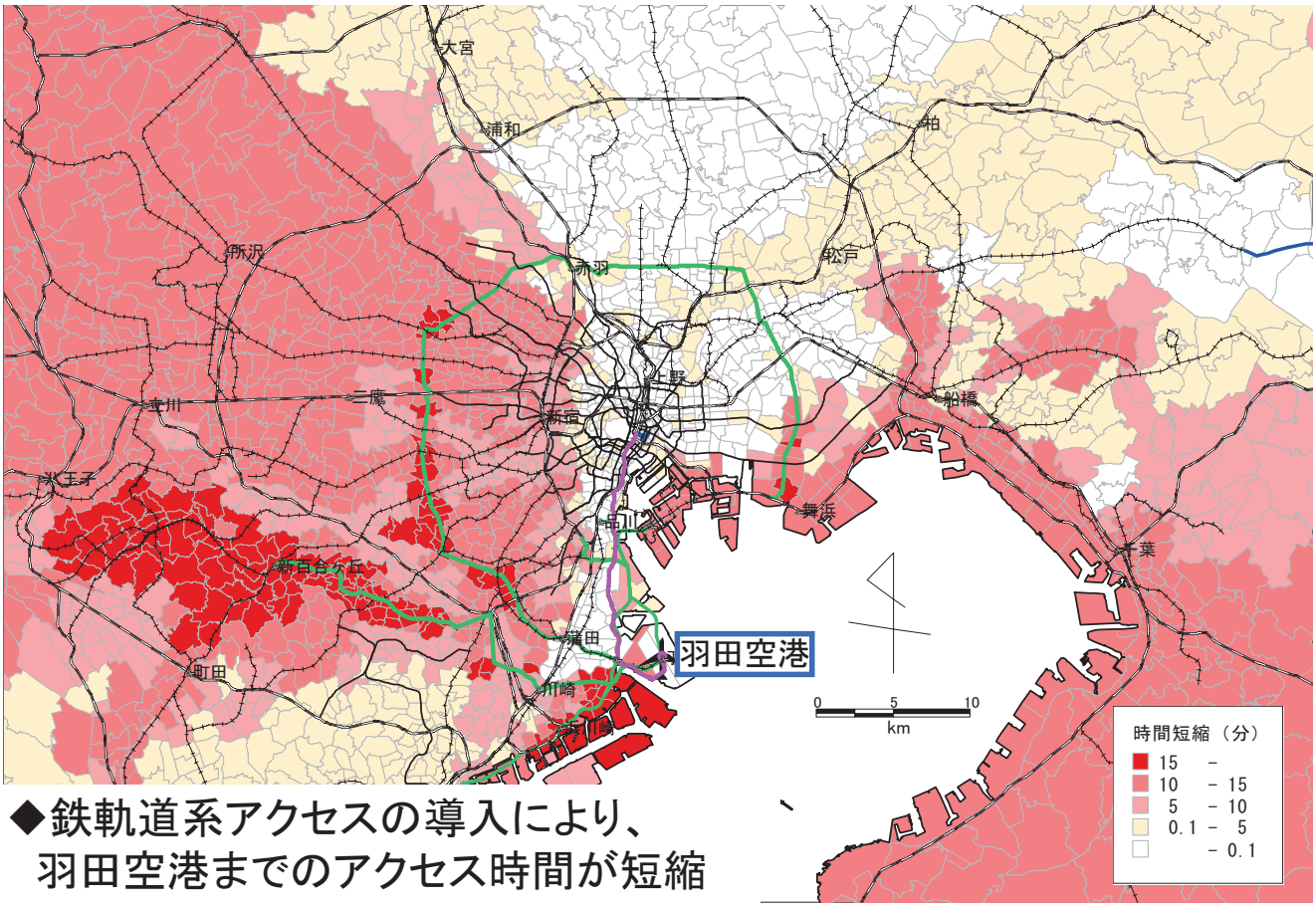
空港利用者の路線別鉄道利用者数



鉄道利用者が約2倍

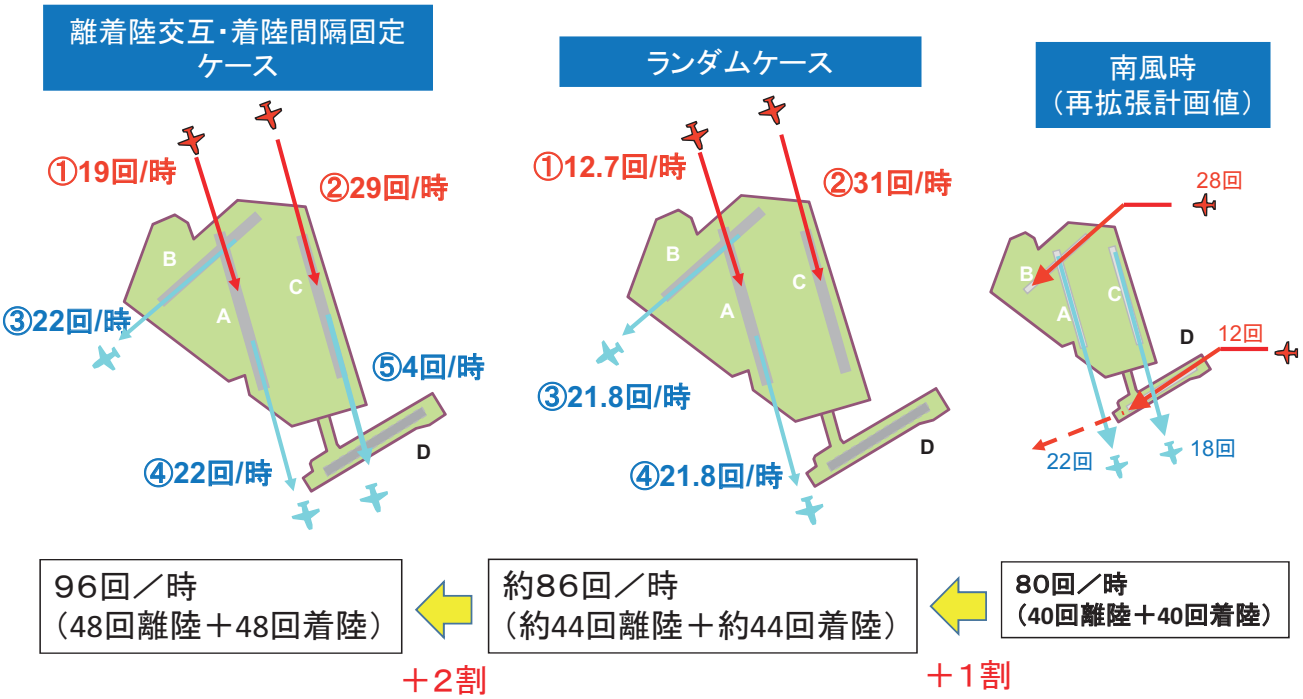
52

アクセス不便地域の解消　～所要時間の短縮～



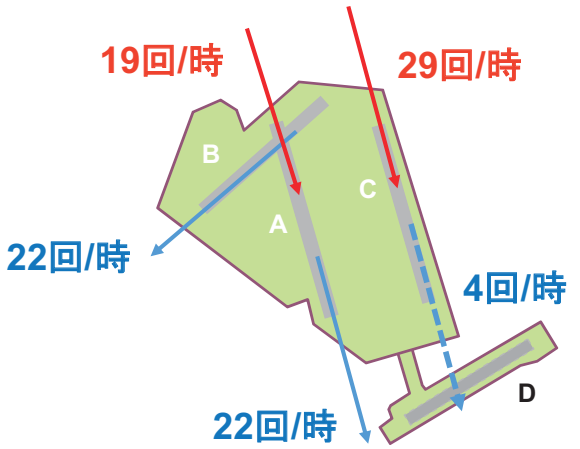
◆鉄軌道系アクセスの導入により、
羽田空港までのアクセス時間が短縮

⑦時間限定の都心上空活用による容量拡大



理想的な順序付けケースでは2割増，ランダム順序付けケースでは1割増程度と推計．

終日使用したケース(A)の騒音影響(コンター図)

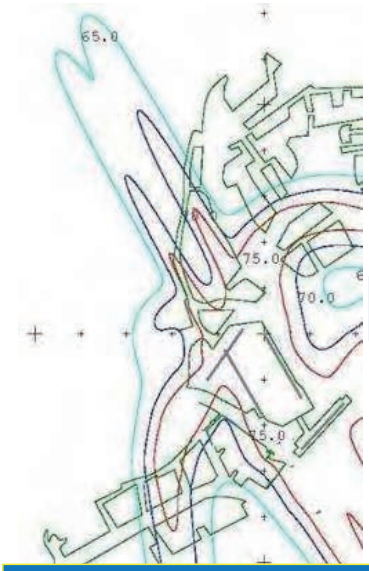


96回／時(48回離陸＋48回着陸)

東京，川崎方面に環境基準を超える騒音影響が発生

ピーク時に使用を限定
(例:4時間，6時間ケース)

時間限定ケース(B)の騒音影響指標(コンター図)の変化



終日使用(前頁)
(南風時のみ)

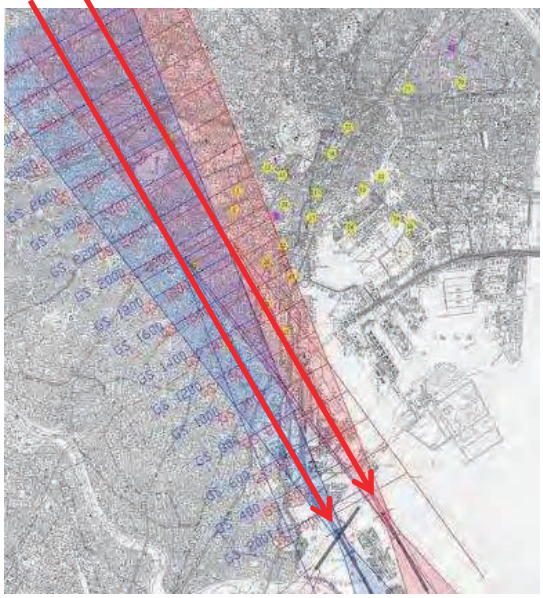
午前と夕方*に3時間ずつ
(計6時間／日)
＝＋96回／日に相当
*17:00～19:59を仮定

午前と夕方*に2時間ずつ
(計4時間／日)
＝＋64回／日に相当
*17:00～18:59を仮定

東京方面の環境基準はクリアできる可能性が高い
⇔　本運用実施時は千葉方面の到着機騒音が軽減

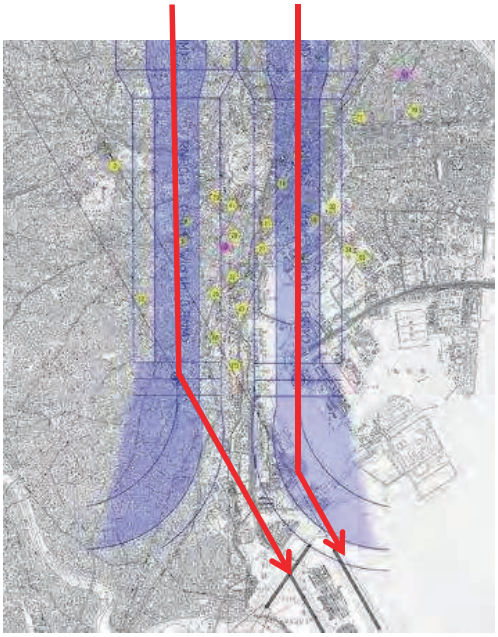
WECPNL
75:赤色(商工業地域等の基準)
70:青色(住居地域等の基準)
65:水色(参考の値)

時間限定ケース(B)+経路分散(C)



直線進入(ILS)

＋

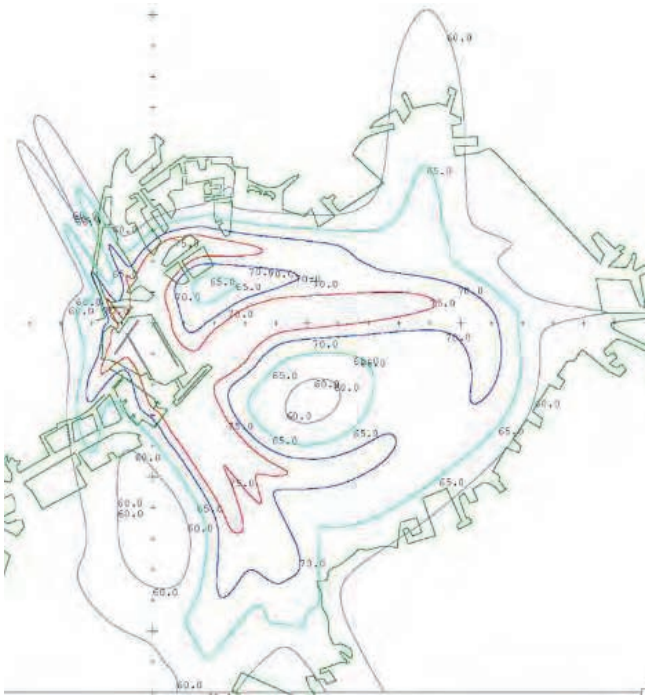


非直線進入(RNP)*

→ピーク時を2回に分け(例えばAMとPM)，異なる進入方式で運用

＊ 現在の滑走路22・23へのLDA進入と同様な方式だが滑走路の間隔はより狭い．図はRNP進入(RNP0.3)を想定して描いたイメージ図的なものであり，主要な物件高さは考慮してあるものの、全ての地上物件の高さを詳細に考慮したものではない．進入経路の配置(進入経路延長線と滑走路延長線との交点の位置と交差角)，進入復行開始点の位置，最低降下高度など，今後検討が必要な事項は多い．

時間限定ケース(B)(前述のコンターについてW値60まで記載)



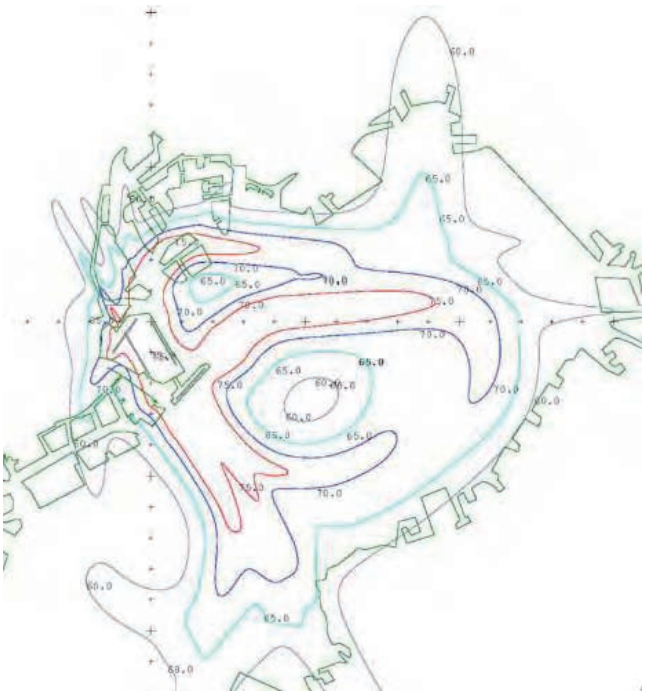
午前，夕方，3時間ずつ(計6時間／日)
＝96回／日に相当

午前，夕方，2時間ずつ(計4時間／日)
＝64回／日に相当

WECPNL
75：赤色(商工業地域等の基準)
70：青色(住居地域等の基準)
65：水色(参考の値)
60：灰色(参考の値)

時間限定ケース(Ｂ)＋経路分散(Ｃ)の騒音コンター

午前，夕方，3時間ずつ(計6時間／日)
＝96回／日に相当



午前，夕方，2時間ずつ(計4時間／日)
＝64回／日に相当

WECPNL
75:赤色(商工業地域等の基準)
70:青色(住居地域等の基準)
65:水色(参考の値)
60:灰色(参考の値)

羽田空港発着便の騒音負担の現状

羽田発着便の騒音負担
⇒ 以前から地域的な偏りが課題
(特に千葉県)

(例)
2003年:千葉県堂本知事(当時)
(羽田空港再拡張事業に関する協議会)

「羽田再拡張プロジェクトによって，千葉県上空を通過する機数がある程度増加することは受け入れざるを得ないと覚悟しているが，騒音問題等を首都圏全体で共有し，納得のいく分担を実現することが前提である」

羽田空港再拡張後の飛行経路とその影響について
——騒音、電波障害など住民への影響の共有化について
(平成15年6月12日)

1　千葉県の基本姿勢

本県は、国内線を充実させるため、羽田空港を再拡張することに反対するものではない。

また、グローバル化が進む21世紀の今日、一定の国際便を羽田空港に就航させることの必要性も認識している。

この羽田再拡張プロジェクトによって、千葉県上空を通過する機数がある程度増加することは受け入れざるを得ないと覚悟しているが、騒音問題等を首都圏全体で共有し、納得のいく分担を実現することが前提である。

2　羽田再拡張事業に関して検討が必要と考える事項

(1) 地上施設と空域利用計画とを一体として設計するという、原点に戻った検討の必要性(「40.7万回」を前提としない検討)

(2) 飛行経路等を最優先で検討し、騒音等のマイナス面を首都圏全体で共有することの必要性

(3) 飛行経路等を検討する際の留意事項

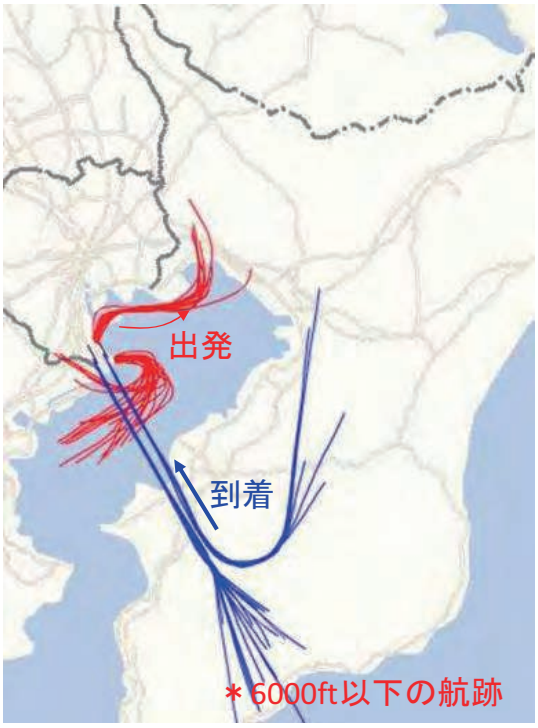
(4) 住民の「体感」を踏まえた騒音影響評価の必要性

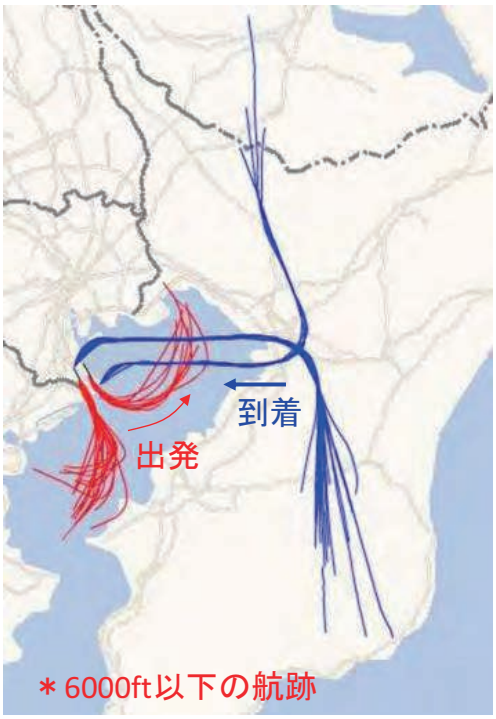
(5) 大規模公共事業実施におけるプロセスの重要性(「成田」におけるボタンの掛け違いの教訓を生かす)

出典)第3回羽田空港再拡張事業に関する協議会(2003)資料
(国交大臣と地元周辺7都県市で構成)

羽田空港の飛行ルート（現状）

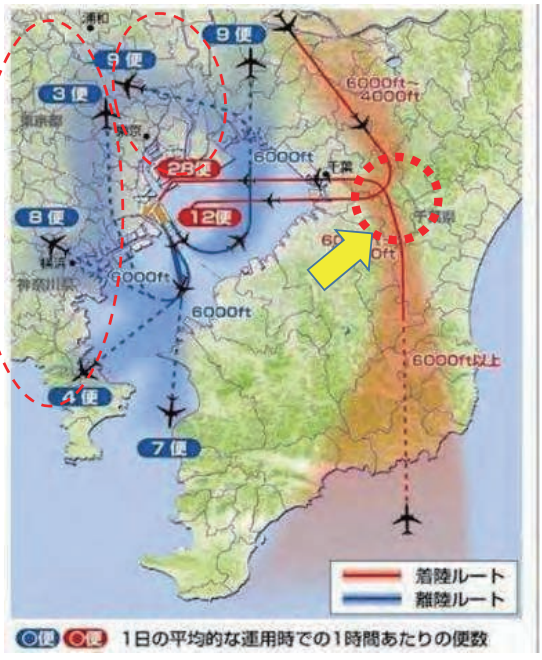
飛行高度6000ft以下の航跡図の例（夕方1時間の実績）





出典）航空局：羽田飛行コース公開ページ

羽田再拡張後の千葉市における騒音集中とルート変更（2011年11月）



出典）国交省

県内の羽田空港騒音問題

飛行ルート一部変更

国交省が改善案提示

国土交通省は16日、羽田空港の滑走路拡張に伴う千葉県内の騒音問題で、県や周辺自治体に対して一部の飛行ルートを変更する改善案を提示した。千葉市など一部の自治体では騒音が減る可能性があるといい、県も「一定の前進があった」と評価している。

国交省の提案では、南風の好天時に千葉市内を通過する飛行機は飛行ルートを東側に移すことで騒音の軽減を図る。ルートの詳細は未定だが、現在の住宅密集地の上空から人が少ない地域に変更するという。

千葉市上空では北と南の両方から来た航空機が市中心部の上空で進路を変えて羽田に向かう。航空機が集中するケースがあるため、騒音が深刻になっている。千葉市の熊谷俊人市長は「騒音軽減の第一歩。来春から運用してもらいたい」と改善案を受け入れる方針だ。

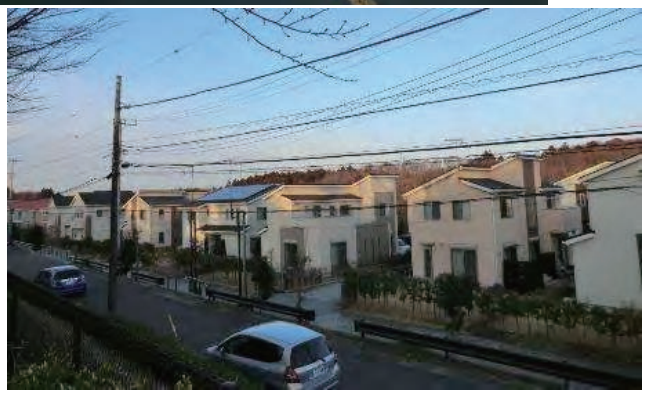
また、深夜早朝に富津沖を通る便を来春から陸からより離れた経路に変更することで、木更津市内の騒音軽減につなげるとしている。

しかし、県が国に求めている千葉県全体での飛行ルートの分散化については、管制システムの問題などから解決策は示されていない。このままでは抜本的な問題の解決にはつながらないとして、県は「早期に飛行ルートを分散するよう引き続き国に要望していく」（空港地域振興課）としている。

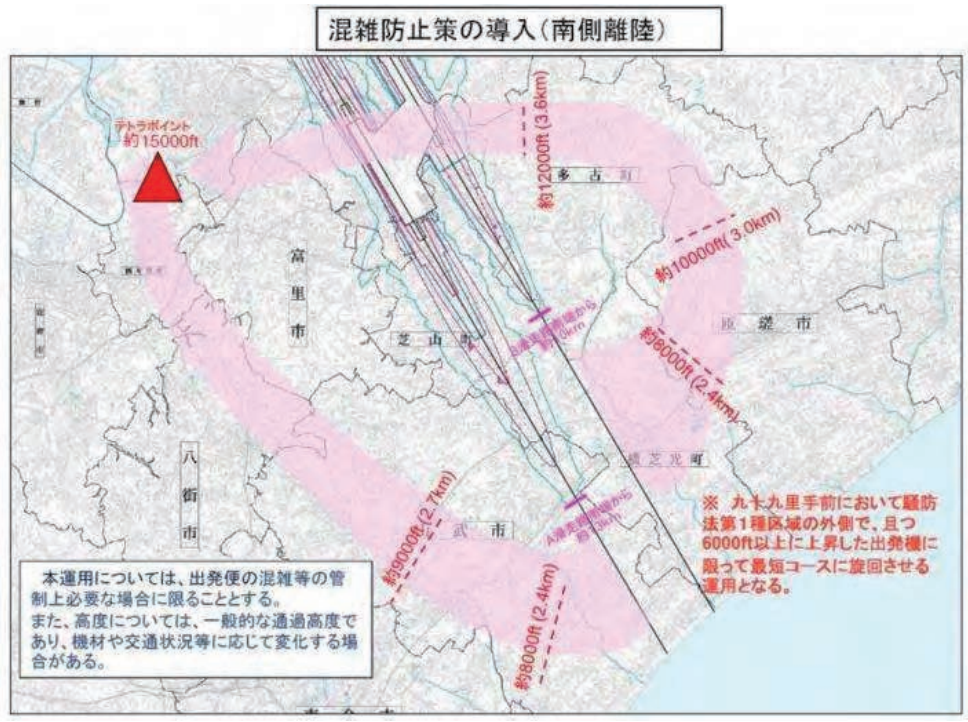
出典）日経　地方経済面　千葉　2011.11.17

- 都心上空や横田空域の制約から使用空域が限定
  - → 複雑な滑走路運用・飛行経路設定
  - → ・特定地域への騒音集中，管制ワークロードの上昇
    ・容量拡大への障壁

千葉市 着陸経路交差地点



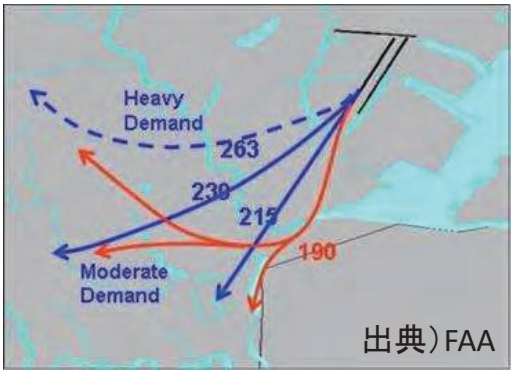
成田空港の飛行経路の柔軟化（空域混雑の防止策）

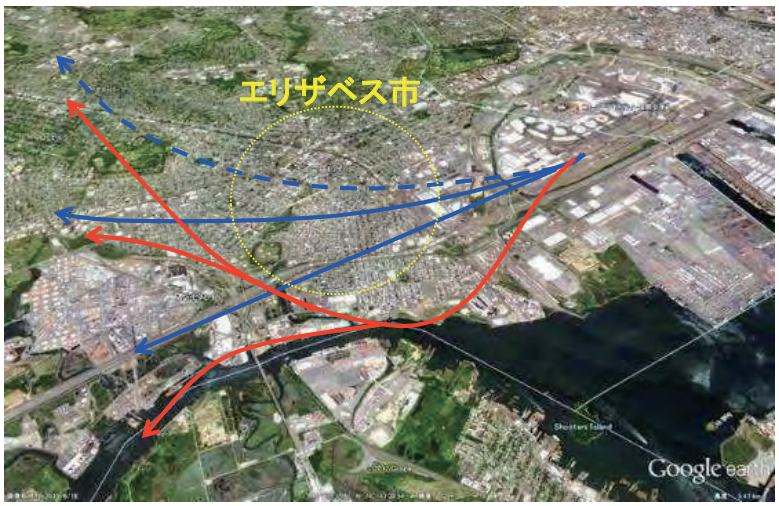


出典）
成田空港HP

混雑時間帯限定だが，追加的な騒音負担の受け入れによる空域混雑の緩和

海外空港の事例(１)ニューアーク空港における離陸経路分散と容量拡大





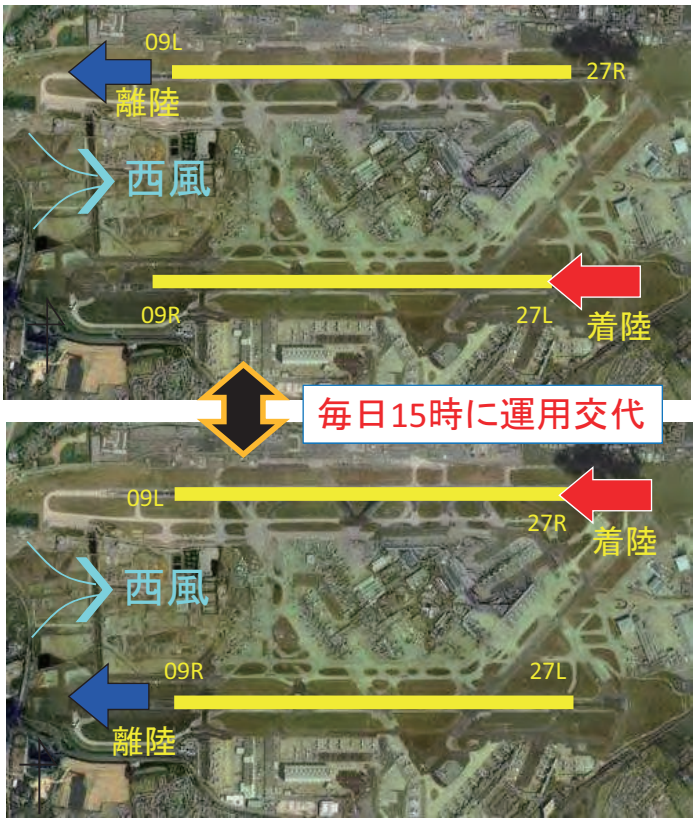
NY首都圏の大規模空域再編(2007～)

離陸経路分散による容量拡大を実行(Fanned Departure)

→ これまで避けていた市街地上空にも出発経路を設定

(＊但し，騒音軽減のためピーク時などの高需要時間帯のみに限定)

(２)ヒースロー空港 ～滑走路運用上の騒音考慮

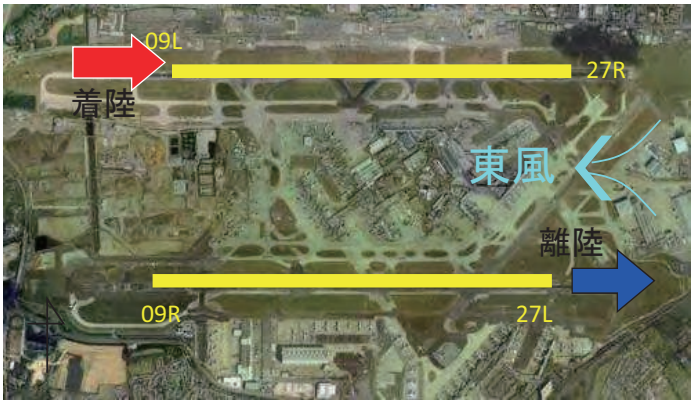


２本の平行滑走路を離着陸分離方式で運用

⇔離着陸共用方式(Mixed-mode：容量大)は騒音対策上，原則行っていない．

定時に滑走路運用を交代し，地域に無騒音時間(Respite Period)を提供(Runway Alternation)

（２）ヒースロー空港 ～滑走路運用上の騒音考慮



２本の平行滑走路を離着陸分離方式で運用
⇔離着陸共用方式（Mixed-mode：容量大）は騒音対策上，原則行っていない．

定時に滑走路運用を交代し，地域に無騒音時間（Respite Period）を提供（Runway Alternation）

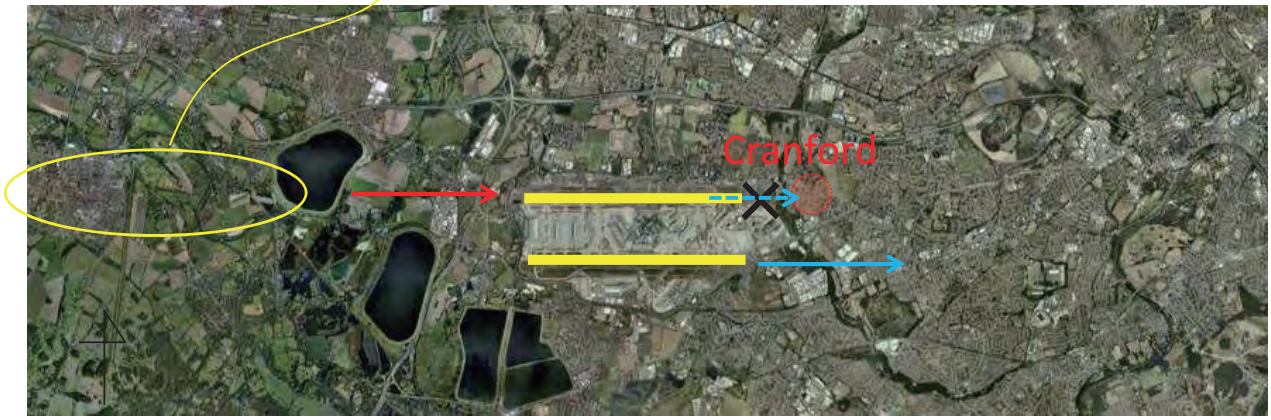
⇒東風運用時はNG
（Cranford Agreementの存在）

ヒースロー空港 ～離陸禁止地域（Cranford Agreement）

✓ Cranford Agreement（50年以上前のAgreement）

「Cranford地区上空は出発経路として使用しないとする合意」

東風運用時はRunway Alternationが実施できず，
騒音が特定地域に集中



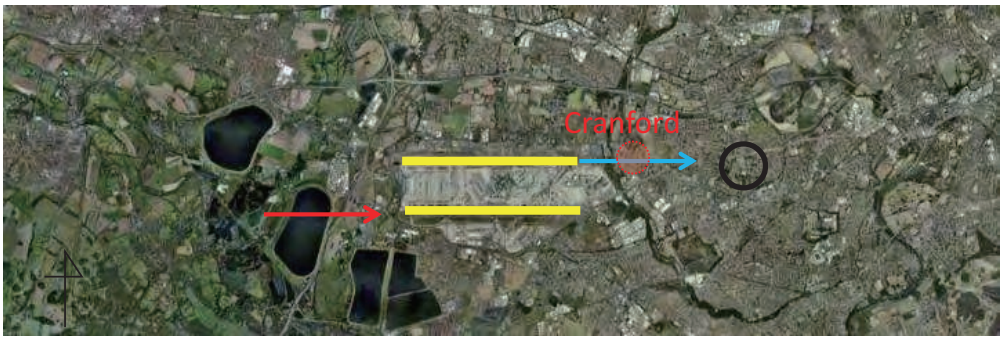
参考）DfT,2010

近年の動き ～離陸禁止エリアの開放

✓ Cranford Agreement（50年以上前のAgreement）

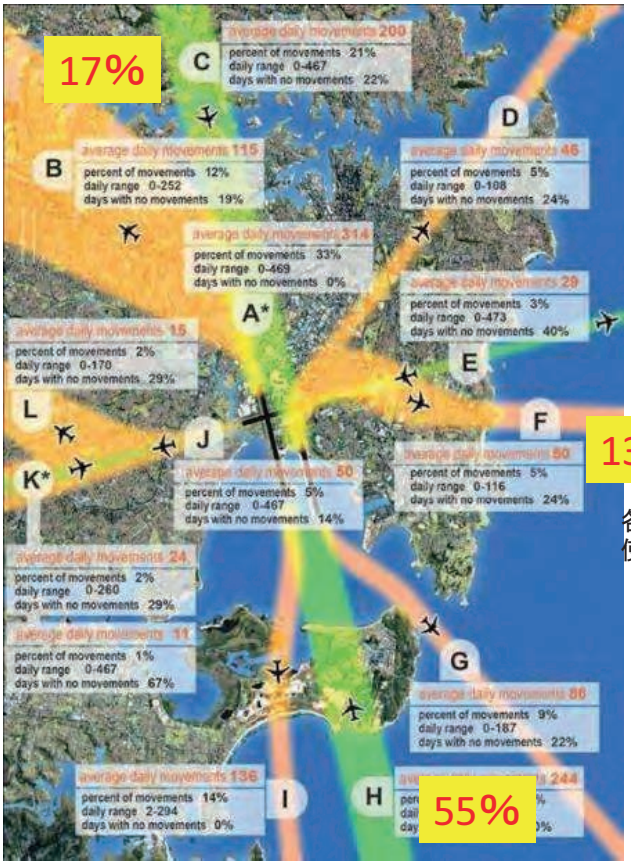
✓ 2009年，同Agreementの解消を決定（2010年，新政府でも再確認）
⇒ 東風運用時にもRunway Alternationを実施
⇒ 騒音のより公平な負担の実現（誘導路等の施設整備後）

"This decision was based on the desire to distribute noise more fairly around the airport and extend the benefits of runway alternation to communities under the flight paths during periods of easterly winds."



参考）DfT, 2010

（３）シドニー空港におけるNoise Sharing～飛行経路の分散



各飛行経路の
使用比率目標

出典）Sydney Airport Master Plan 2009

空港運用の基本方針（1997～）:

- 3本全ての滑走路を活用
- 居住エリア上空の飛行による騒音は公平に負担する（fairly/equitably shared）

Noise sharingのための滑走路運用モード

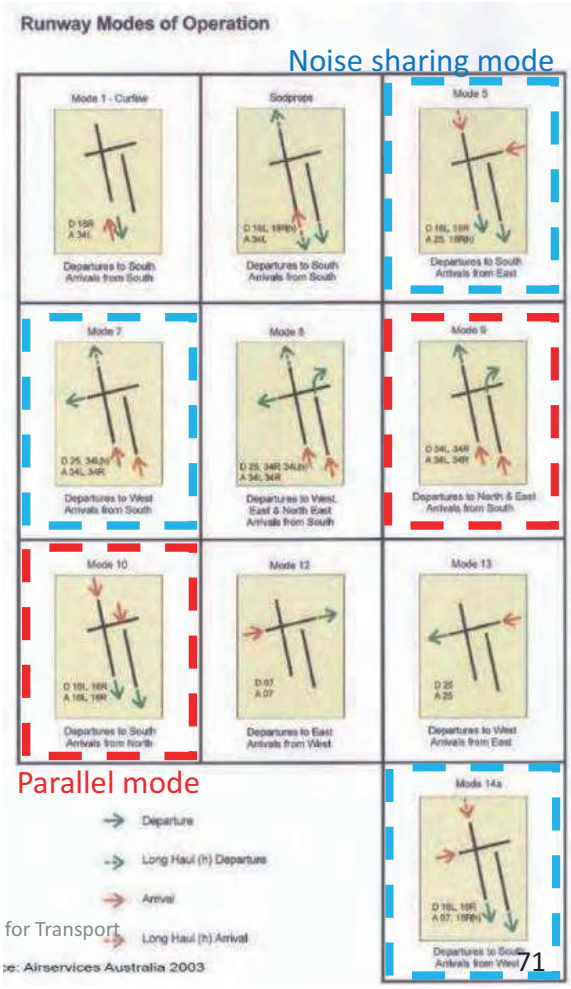
- 全ての離着陸経路を活用し，10種類の滑走路運用方式を使用.

- 騒音の公平なシェアにおいては「Respite（小休止，一時的中断）」の時間を極力作ることを考慮.

処理能力の高い「南北平行滑走路運用方式（Parallel mode）」

⇕ 選択

処理能力の低い「騒音分散運用方式（Noise sharing mode）」



図出典）Sydney Airport Master Plan 2009

(C)Dr. Terumitsu HIRATA, Institute for Transport Policy Studies, 2012

航空機騒音に関する近年の評価例

Dave Southgate氏（2011）（Aviation and Airports, Australian Government Department of Infrastructure and Transport）：

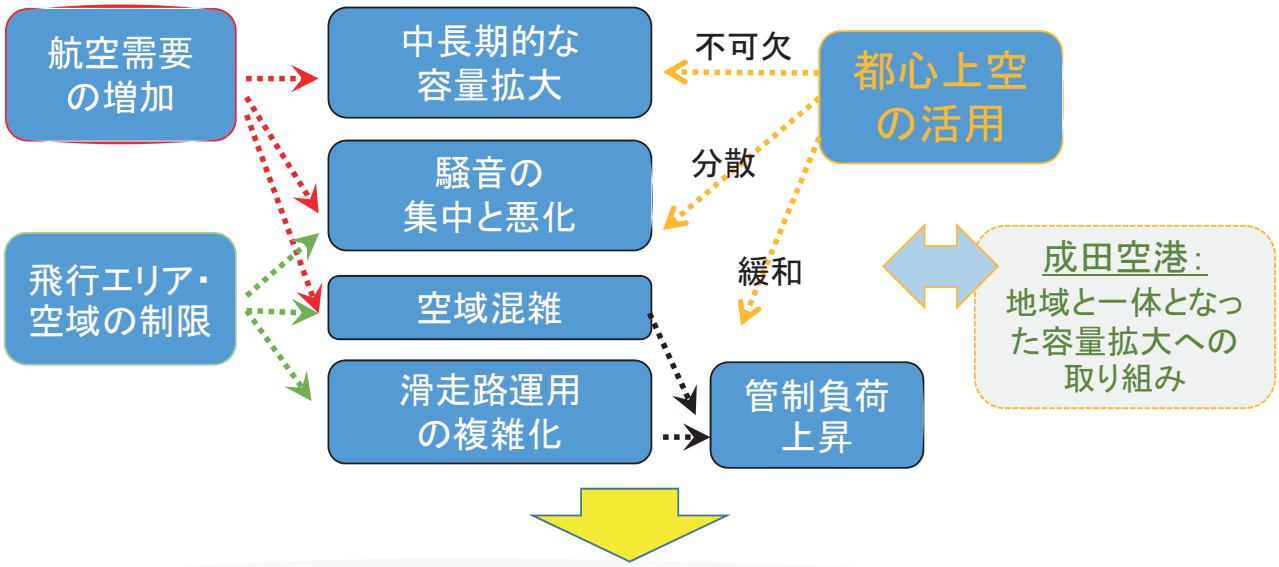
「Noise-sharing」という環境正義のコンセプトは広く受け入れられるようになってきた．騒音に関して「受容できるか？」から「公平か？」という問いに変化．騒音の絶対量より相対的な量に，共通した関心が置かれている．

National Aviation Policy White Paper 2009：

- 空港から離れた地域からの騒音苦情や対策要望が増加．
- 発着回数の増加により，Respite時間の減少が苦情の原因になっている．
- 騒音軽減のための飛行経路（迂回経路）は，CO2排出の面では望ましくない．
- 高精度の航法システムにより飛行経路（騒音）が特定地域に集中
- 将来的には，他の環境要因も含めた総合的な騒音管理手法を検討する必要がある．

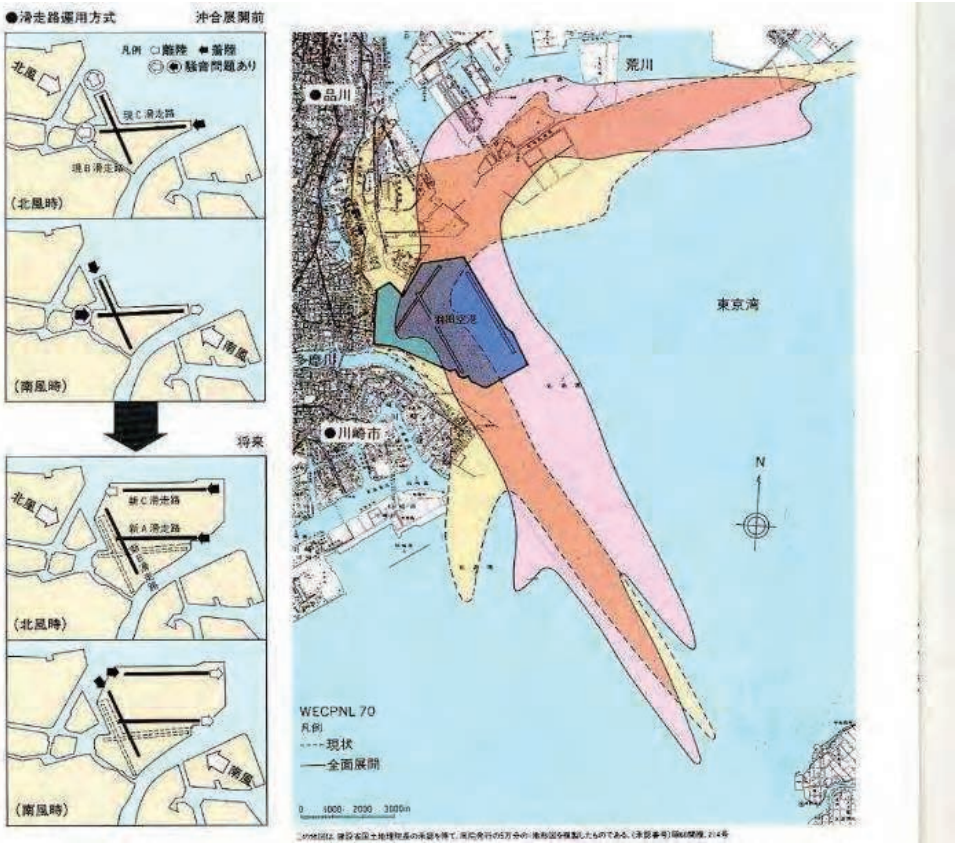
参考）Dave Southgate：The Evolution of Aircraft Noise Descriptors in Australia over the Past Decade, Proceedings of ACOUSTICS 2011.
AU Gov.: Aviation White Paper - Flight Path to the Future, 2009.

都心上空活用について議論が必要



航空機の低騒音化が進展した今，首都圏の空域全体の有効活用による容量拡大と騒音の共有，管制負荷軽減に向けて，現在はタブー視されている都心上空空域の活用可能性についても改めて議論をする必要があるのではないか

沖合展開前のコンター



出典）運輸省（1989）羽田空港沖合展開のあらまし

本日の報告内容

1. 首都圏空港の現状と課題
2. 運輸政策研究所における調査研究
3. 国における首都圏空港機能強化の取り組み状況と今後の課題

75

首都圏空港機能強化に関する近年の国の検討経緯

平成25年10月29日 「首都圏空港機能強化技術検討小委員会」の設置
平成26年6月6日　同 「中間取りまとめ」
平成26年8月26日 国の主催による「首都圏空港機能強化の具体化に向けた協議会」設置，東京都「羽田空港の機能強化に関する都及び関係区市連絡会」を設置
平成27年3月16日 「羽田空港機能強化に関するコミュニケーションのあり方アドバイザリー会議」
平成27年7～9月 羽田空港機能強化に関する説明会（第1フェーズ：機能強化の必要性や実現方策等を中心）
平成27年12月～平成28年1月　羽田空港機能強化に関する説明会（第2フェーズ：環境対策、新飛行経路の運用方法等の詳細な事項を中心）

→平成28年夏までに環境影響に配慮した方策を策定予定

76

羽田空港の機能強化方策

⓪現状

北風・南風時　出発40回＋到着40回＝計80回/時

①五輪以前の方策

A)　滑走路処理能力の再検証

→北風時88回/時，南風時83回/時

B)　特定時間帯の未活用枠の活用（環境アセス時の想定枠60のうち20が未活用）

→+6回/日（Aの増枠分とセット）

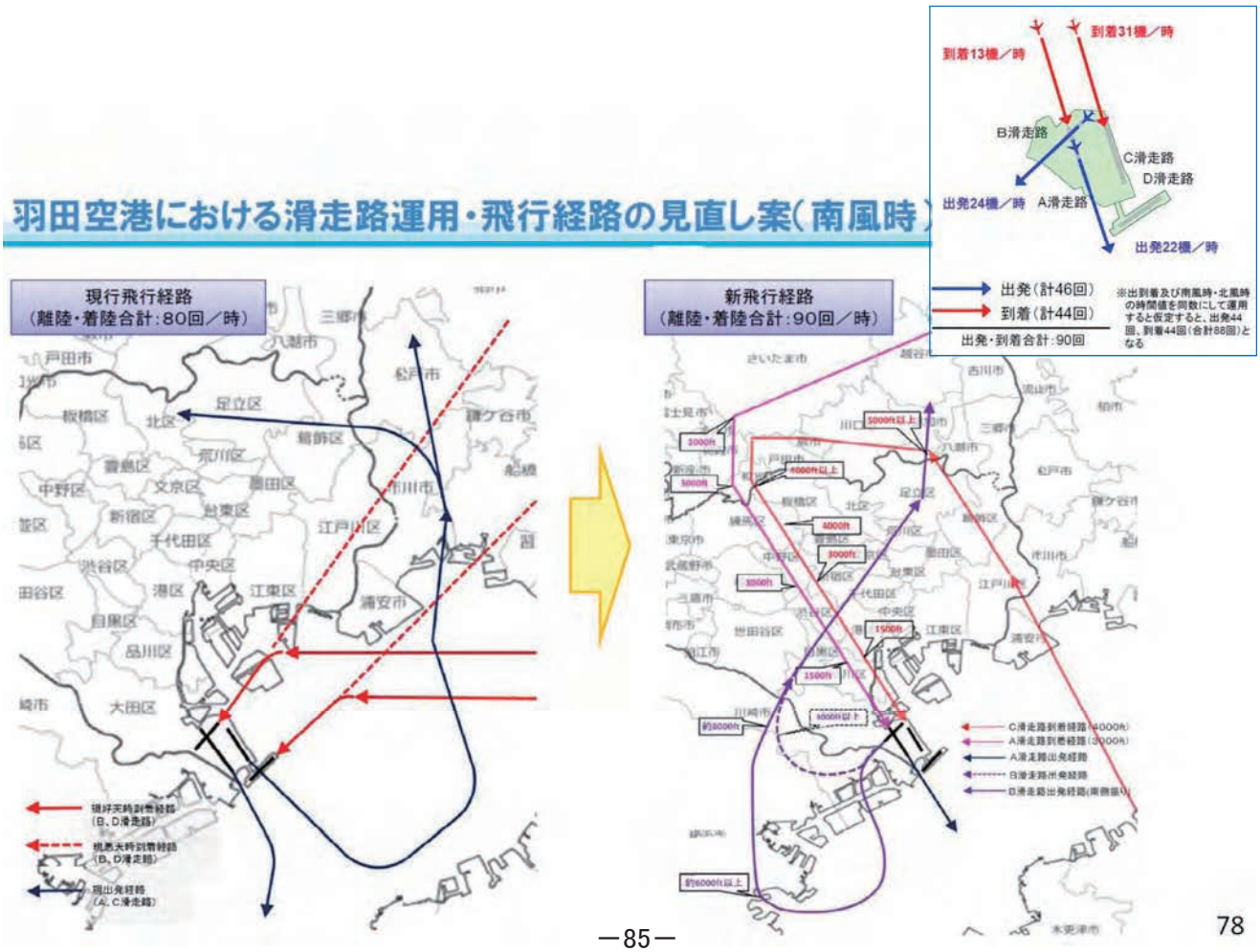
C)　飛行経路の見直し（都心低高度空域の開放）

→北風時90回/時，南風時90回/時→107回/日(都心上空4時間活用時）

D)　スライディングスケールの導入・多様化

→＋42回/日（B・Cとセット）

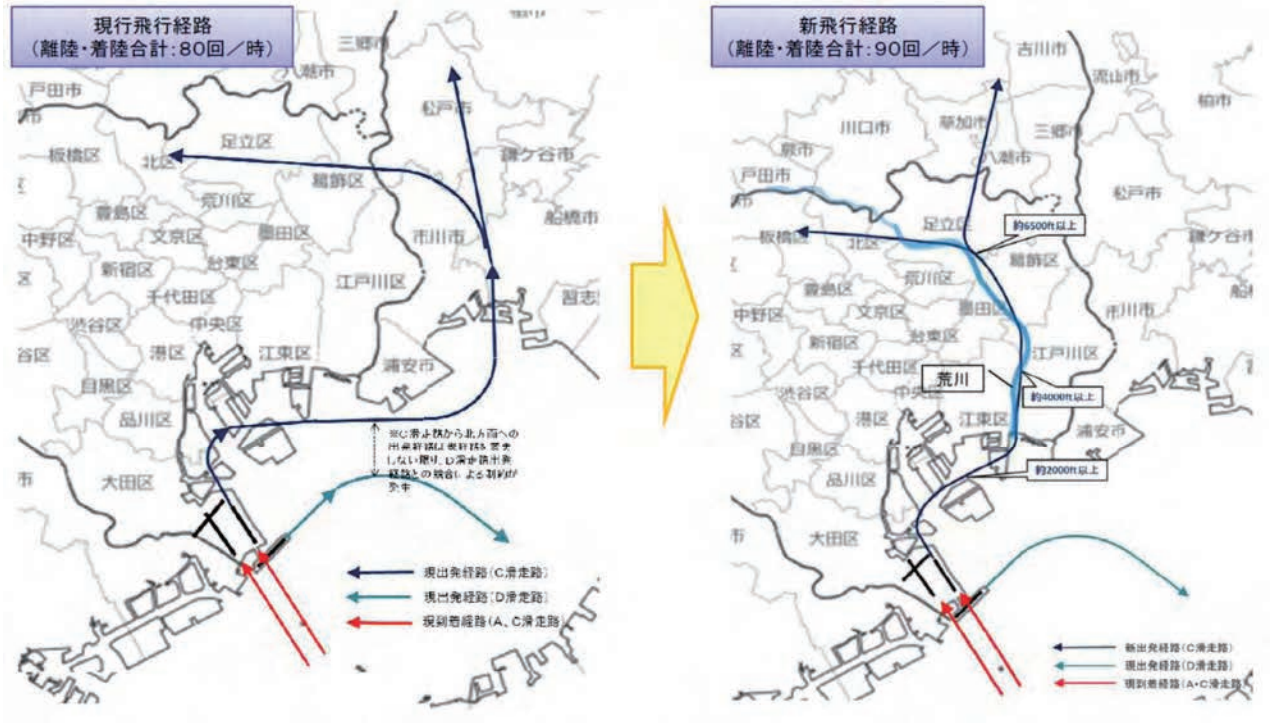
77



78

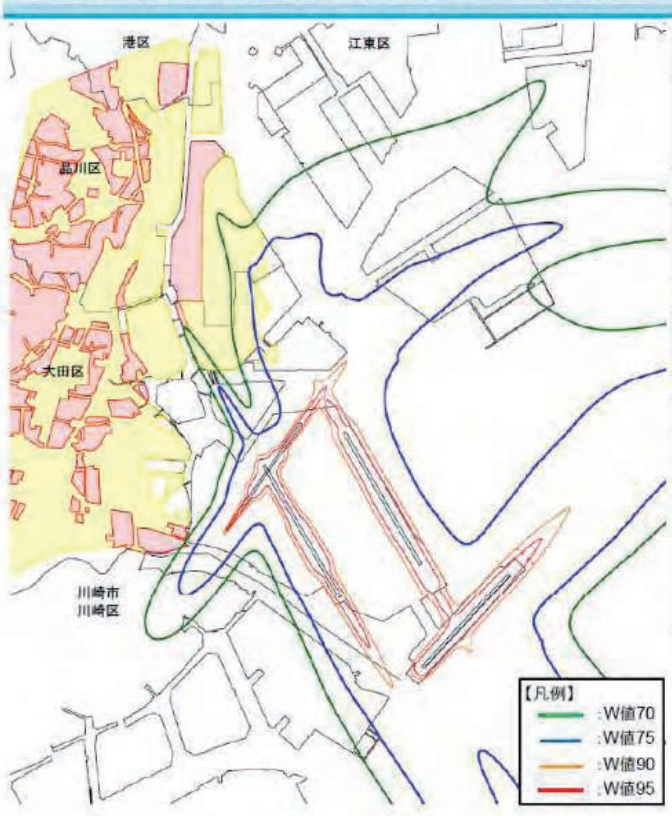
羽田空港における滑走路運用・飛行経路の見直し案（北風時）

国土交通省



騒音影響の評価（都心上空4時間活用時）

2. 滑走路運用・飛行経路の見直し～騒音影響



騒音予測コンター作成にあたり想定した条件

・夕方の国際線の出発・到着ピーク時間帯を含む4時間は、新たな飛行経路（南風時は南風案2（南振り）、北風時は北風案1）で運用。

・上記時間帯以外の10.5時間における飛行経路は、南風時は現行経路、北風時は北風案1で運用。

航空機騒音障害防止法に基づく騒音対策事業

概ねW値70以上	：学校、病院等の防音工事
W値75以上	：住宅防音工事
W値90以上	：移転補償、土地の買入れ
W値95以上	：緩衝緑地整備

環境基準との関係

・東京都については、次のような地域類型が指定されている。

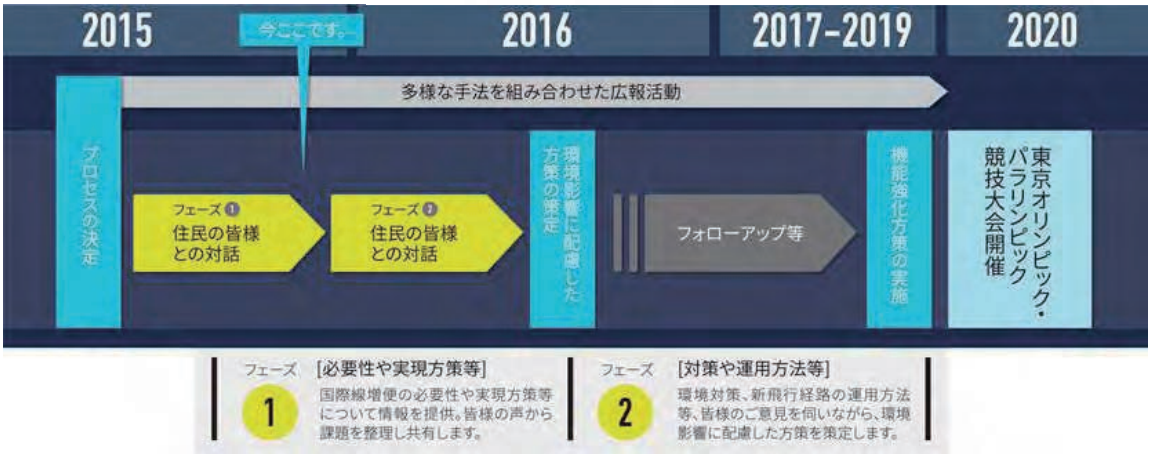
：住居系地域（住居専用地域、住居地域、準住居地域）でW値70（——）以下とすることが望ましい地域

：商業地域、準工業地域等でW値75（——）以下とすることが望ましい地域

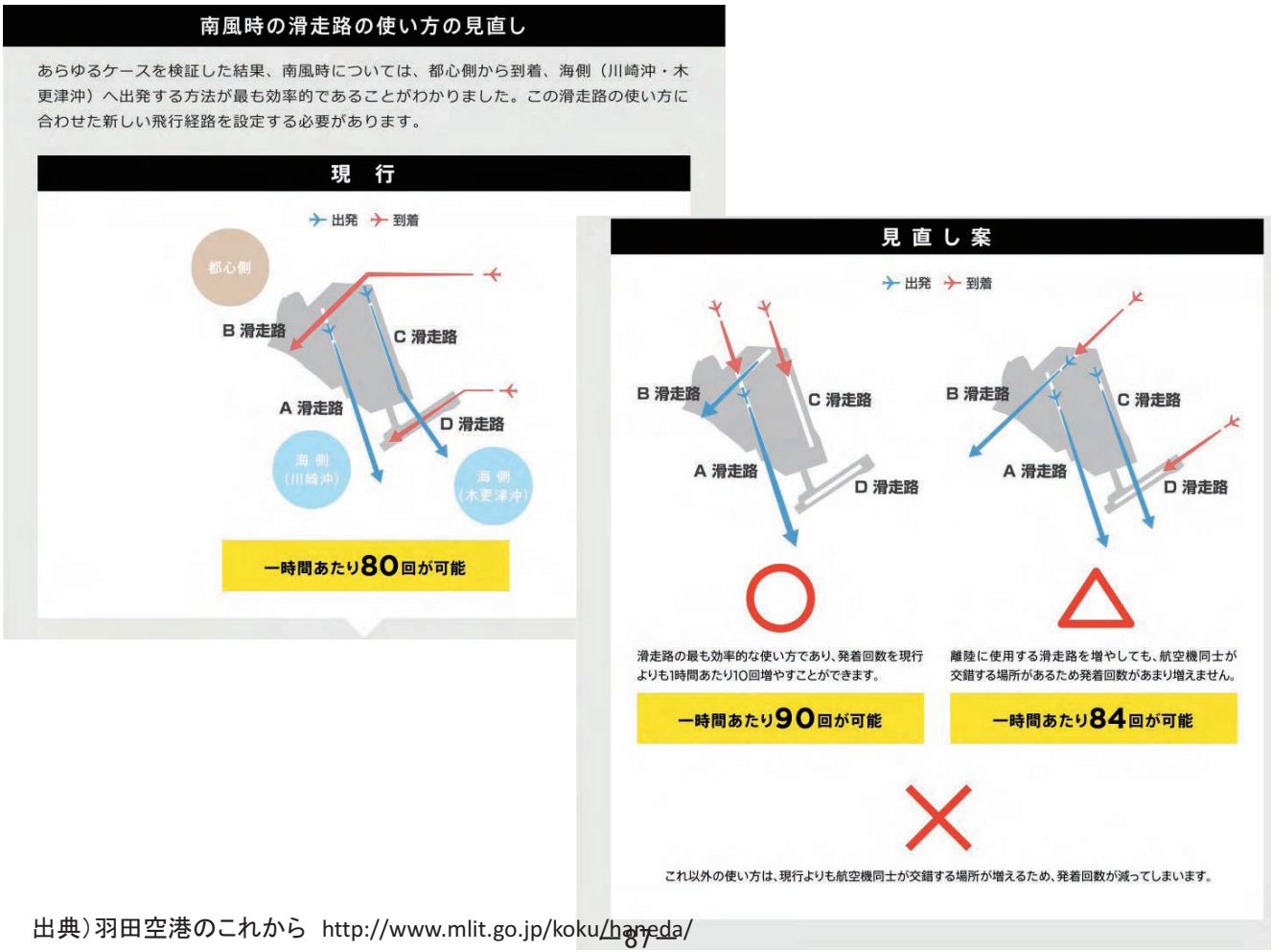
・神奈川県については、現在環境基準の地域類型指定はされていないが、準工業地域の一部にW値75の線が及んでいる。住居系地域にはW値70の線が及んでいない。

※この騒音予測コンターは、各種の条件について一定の想定の下で作成したものであり、今後、飛行経路、運用時間、使用機材等の条件に応じて更なる精査が必要。

出典）航空局



出典）羽田空港のこれから http://www.mlit.go.jp/koku/haneda/ 81



出典）羽田空港のこれから http://www.mlit.go.jp/koku/haneda/

説明会（オープンハウス型）の様子

7月24日～27日・

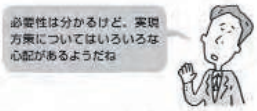
7月26日～29日・ミューザ川崎2階オフィス棟ロビー

7月21日～22日・タ

羽田空港のこれから

皆さまから寄せられたご意見
～意見要旨（案）※～

※9月までに整理された意見要旨（案）です。



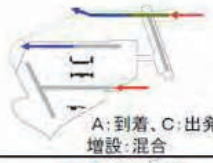
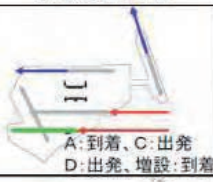
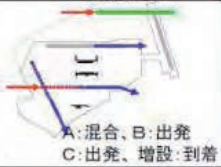
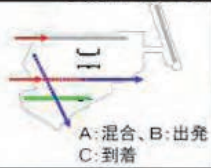
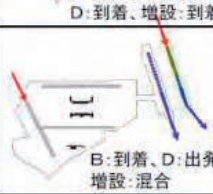
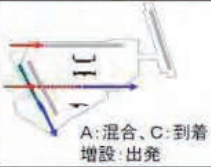
1. 羽田空港国際線増便の必要性と実現方策

羽田空港国際線増便の必要性

羽田空港国際線増便の実現方策

羽田空港のこれから　ニュースレターNo.1，No2
http://www.mlit.go.jp/koku/haneda/news/i/nl20151029.pdf

②中長期方策：滑走路増設案　羽田

	オープンパラレル（1,310m以上間隔）	セミオープンパラレル（760m以上間隔）			クロースパラレル（380m）
	①C滑走路に平行	②A滑走路に平行	③C滑走路に平行	④D滑走路に平行	⑤B滑走路に平行
北風時運用方法					
南風時運用方法					
効果	暫定時間値：104回 （出発54回、到着50回）	暫定時間値：91回 （出発45回、到着46回）	暫定時間値：112回 （出発58回、到着54回）	暫定時間値：102回 （出発54回、到着48回）	暫定時間値：91回 （出発45回、到着46回）

出典）航空局

成田の機能強化

2. 高速離脱誘導路の整備

○ シミュレーションによれば、A･B滑走路における高速離脱誘導路の整備により、滑走路占有時間を短縮できると想定され、WAMの導入と併せて行うことにより、最大時間値72回を達成できる可能性がある。（空港処理能力拡大効果は約4万回。）

A滑走路における高速離脱誘導路の再編整備（時間値＋2回）

・ A滑走路において、高速離脱誘導路の取り付け位置を変更し、到着機の滑走路からのスムーズな離脱を実現。

B滑走路における高速離脱誘導路の追加整備（時間値＋2回）

・ B滑走路において、高速離脱誘導路を追加整備し、到着機の滑走路からのスムーズな離脱を実現。

・ 将来的には、地上走行を行う飛行機と輻輳させないための誘導路の線形改良を実施。

※ 時間値向上効果については、施設供用（最短で2017年度頃までに可能）後、運航実態調査により確認が必要。
※ 最大時間値72回を達成するためには、別途、駐機場、旅客ターミナルビルの整備が必要。

49

出典）航空局

成田の機能強化

2. 管制機能の高度化（WAM（管制機能の高度化に必要な監視装置）の導入）

○ 2014年度から、より高い精度での航空機の監視が可能となるWAM（管制機能の高度化に必要な監視装置）の導入により、最大時間値68回を達成できることが明らかになった。（空港処理能力拡大効果は約2万回。）

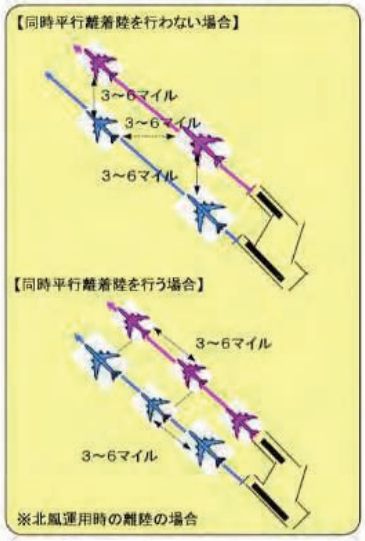
・ 成田空港では、2011年10月より同時平行離着陸方式を導入。

・ 管制機器の高度化（WAM※の導入）により、悪天候による低視程時においても、管制官が航空機の位置を精密に把握して同時平行離陸を行い、2本の滑走路を独立に運用し、最大時間値68回を達成できることが明らかになった。

・ 2014年度中に実現する予定。

※ Wide Area Multi-lateration ： 管制機能の高度化に必要な監視装置

同時平行離着陸のイメージ



48

出典）航空局

2. 夜間飛行制限の緩和

○ カーフュー時間帯の短縮、22時台の便数制限の緩和については、空港処理能力拡大方策の一つと考えられるが、地域との合意形成が必要。
○ 2013年3月より、航空会社の努力では対応できないやむを得ない場合には、23時台に限り離着陸を認める「カーフューの弾力的運用」を開始したが、この際にも、現行のカーフュー時間帯及び22時台の便数制限を引き続き厳守することを地域と確認しているところ。

2013年3月29日　成田空港の離着陸制限（カーフュー）の弾力的運用に関する確認書
（「成田空港に関する四者協議会※」における合意）

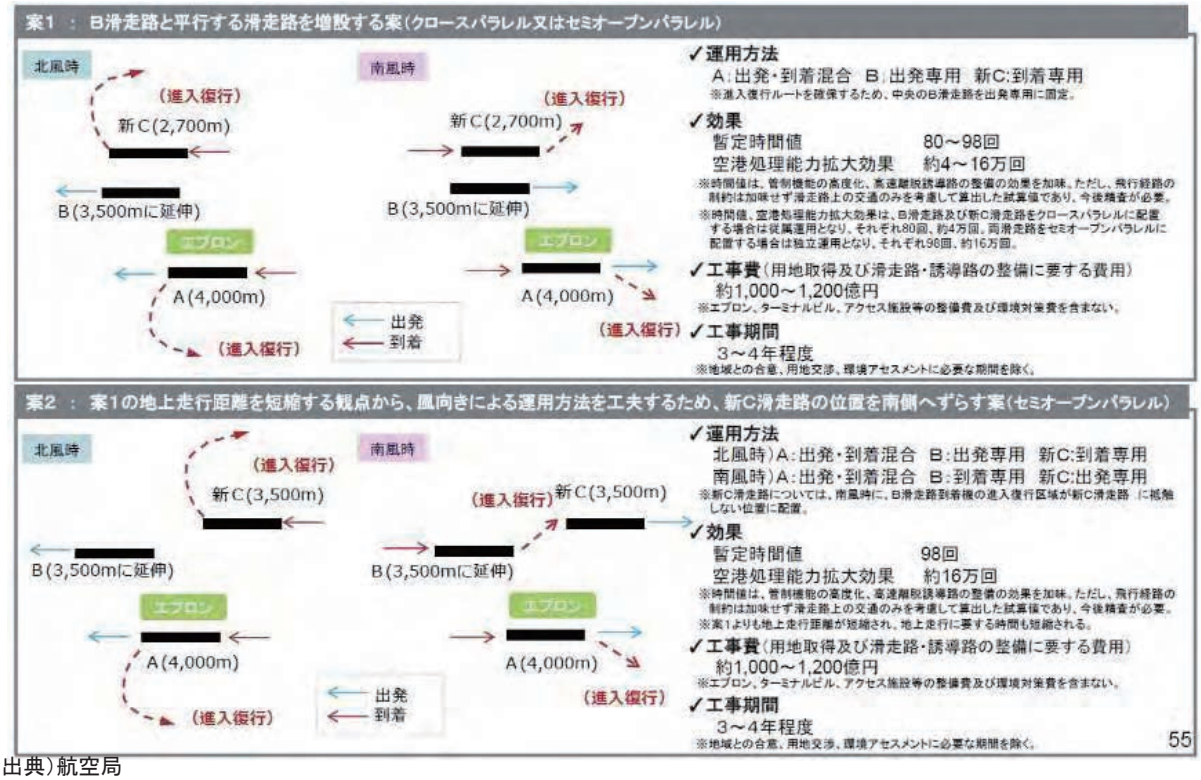
1. 現行の成田空港の離着陸制限（カーフュー）時間及び22時台の便数制限（A・B滑走路とも10便まで）を引き続き厳守するとともに、弾力的な運用が最小限となるよう航空会社の指導を強化すること。
2. 弾力的な運用によって、なし崩し的に運用時間が拡大することのないよう、23時以降に新たなダイヤを設定しないこと。

※成田空港に関する四者協議会メンバー
国土交通省航空局長
千葉県知事
成田空港圏自治体連絡協議会
（成田市長、富里市長、山武市長、香取市長、多古町長、芝山町長、横芝光町長、栄町長、神崎町長）
成田国際空港株式会社代表取締役社長

51

87

②中長期方策：滑走路増設案　成田



出典）航空局

88

第 2 回　航空需要に対応した空港運用研究会

日時：平成 28 年 3 月 4 日（金）15:00～17:00
場所：大阪キャッスルホテル　6 階　鳳凰の間

「混雑空港における騒音対策」
茨城大学　工学部　都市システム工学科　准教授　平田輝満

■第 1 回目テーマでの質問に対する回答

まず第 1 回の「首都圏空港の容量拡大に向けた取り組みと課題」に対する質問に回答します。

①前回資料の 29 ページ。前職の運輸政策研究所で 2030 年時点の首都圏空港のあり方を提言したとき、航空需要を予測しました。前回大阪に来たこともあって簡単にご紹介したのですが、特に大阪と首都圏を結ぶ路線について、リニア鉄道（中央新幹線）ができた場合、そのときの航空分担率が東京～大阪間ではリニア整備により、航空分担率が 27%から 11%に減少するという話をしました。この航空分担率が減少することに関しての考え方や数値の算出方法について質問を受けました。

需要予測モデルでは、各旅客の出発地と到着地のことを OD（origin-destination）と呼んでいます。各 OD 間で旅客による交通機関の選択、つまり都市間交通でいえば航空、鉄道、高速バス、乗用車、一部船といったすべてのモードを確率的に選択するモデルを、この需要予測モデルで内包しています。実際に例えば東京～大阪間では 3 割ぐらいが航空だという実績値から、交通機関選択のサービスレベル、具体的な所要時間や運賃、便数、皆さんが交通機関を選ぶときに考慮するサービスレベルを関連の式でつないで、それぞれの運賃の重み、所要時間の重みを考慮し、総合的な指標から各交通機関の選択確率を求めます。

航空が 3 割、鉄道が 6 割、その他が 1 割という選択確率に OD 間の年間の需要をかければ各交通機関の需要量がでます。東京～大阪間でリニアが整備されると、東京～大阪間のみならず、さらに区間を含む広域の地域間、例えば東京、広島や岡山、茨城などについても、途中区間の鉄道サービスレベルがあります。新幹線で 2 時間半かかっていたのが、リニアなら 1 時間で結ばれるわけです。そうすると圧倒的に鉄道の選択確率が上がるので、結果的に航空から鉄道に旅客がシフトするという計算をしています。

航空も 2030 年には国内線の競争が激化し、大阪～東京間の幹線にも LCC が一定程度入り、もっと機材が小型化し、同じ需要でも多頻度運航することを想定しています。航空自体のサービスレベルも上がっているのですが、所要時間は変わらないので、航空の LCC による運賃低下のサービスレベルの向上に比べて、リニアの鉄道サービスレベルの向上の効果が今回は大きかったということです。

②前回資料の 44 ページ。これは運輸政策研究所で提案した羽田の 5 本目の滑走路のときに、今 40 万回のところを技術的には 60 万回程度いけるという運用を示したものです。ただし都心上空を使うので、騒音コンターが住宅地の環境基準を超えるから、発着回数を減

らし、住宅地に騒音のコンターがかからないようにする。このような話をしたのですが、そのときに、発着回数を減らせばコンターが縮小することは事実だが、夜間との加重影響を考慮しないのか、羽田ではピーク時の対応で考えているのか、というご質問がありました。

当然夜間の加重影響は考慮しています。通常の環境基準、今はLden（時間帯補正等価騒音レベル）、昔はWECPNLですが、いずれも同様の時間区分でペナルティーを考慮しています。都心上空で時間限定で使うときには、ペナルティー時間を外すとコンターが過小評価になるので、私はあえて1時間だけペナルティー時間にかけて計算しました。しかし現在国土交通省で具体的に羽田の都心上空ルートを使う時間の想定は、国際線のピーク時間の15時から19時まで、つまりペナルティーのない時間ぎりぎりのところまでで運用を止めるというものでした。

ただ、これは今の想定なので、具体的にどうなるかはわかりませんが、都心上空は非常に低高度になって騒音域が大きいので、ペナルティーがある時間、つまり騒音に対して敏感な時間帯は都心上空を止めようというわけです。

③前回資料の64ページ。成田空港の事例で、容量拡大のための騒音の追加的な負担に合意するに至る過程に関してのご質問を頂きました。

成田空港は2本の滑走路から南側に離陸していく場合、九十九里を越えるまで直線上昇で、この経路から1歩も出るなという措置が20〜30年前に千葉県と国土交通大臣のあいだで取り決められました。成田を出て西側に行く便が必ずここのテトラポイント、管制用語でフィックスといいますが、出発のフィックスを必ず通ります。

テトラポイントで現在の幹線の運用上のルールとして、10マイル間隔で西側にどんどん出して行きましょうという運用をしていました。しかしそうすると、この2本の滑走路が同時離陸したときに、10マイル間隔を海に出るまでにつけられないと、さらに10マイルつけるために、もう少し行って回らなくてはならない。そうすると飛行時間が非常に長くなってしまい、こちらに着陸機も通るので、下手するとこの空域が混雑しすぎてしまいます。

このため、成田では22万回から30万回まで発着枠を拡大する歴史的な合意をしたわけです。その際に前提として、管制運用の制約を取っ払わないと厳しいこともあったのですが、そもそも2010年当時も、すでに空域の混雑が悪化していて、この混雑も軽減したいというニーズがあったようです。

千葉県のホームページにありますが、成田空港に関する地域と空港との合意は、成田空港会社、国、千葉県、周辺市町村の4者協議ですべて決めています。30万回は、そこで合意したのですが、30万回になる前にすでに混雑が発生しています。羽田で夜間が増えてきて、成田の現状でもその空域は混雑し、そのせいで出発が遅延している現状は、成田の競争力、国際競争力だけでなく、羽田と比べてみた競争力をも削いでいるということから、4者協議では30万回の合意とは別に合意したようです。飛行ルートについては、4者協議でも説明しているようですが、4 者協議とは別にもう少し広域の市町村とも別途この協議をしたそうです。

④前回資料の 76 ページには、都心上空ルートの検討経緯を示しています。短期で決めていったし、環境影響も大きいので、どのように住民と合意形成をはかるべきかということです。それを行政と住民、もしくは自治体と、まずはコミュニケーションのあり方自体について、アドバイザリー会議を設置し、有識者から意見を聞くことにしました。それに従って昨年の夏以降現在も説明会が続いています。この説明会は特にオープンハウス形式という、日本では比較的新しい方式を取り入れて住民への説明会、意見収集を行って双方向コミュニケーションの場を提供していることを紹介しました。これに至る検討プロセスで公開できるものがあるかという質問でした。

3、4 回くらいアドバイザリー会議が短期間で開かれました。ホームページにその資料が全部公開されています。

ほかの事例に関し、どこの事例かという質問ですが、オープンハウスの事例だと思います。オープンハウス自体は別に新しいわけではなく、外国では非常に前からやっているし、身近な航空分野でいくと日本では比較的遅く、大規模にやったのは福岡空港拡張の検討で、今の空港に 2 本目をつくるか、沖合に新空港をつくるかも含めて、パブリックインボルブメント（PI）のスキームを使って随分長く検討しました。数年前、現空港の拡張、クロースパラレルでいくことが決定しました。

もう一つは那覇で、これも 2 本目の検討です。2 本目のときも那覇は空港の容量拡大検討の大優等生と私たちの間で呼ばれています。環境影響評価に関し、戦略的環境アセスというものを先進的に取り入れました。しかも環境影響評価前にやっていたということでした。あと戻りしないためにです。そういうことを初めてやったプロジェクトです。そこでも那覇を中心にオープンハウス形式を取り入れていると思います。

事例が多いのは道路だと思います。横浜環状北西線の事例では、それとは別の区間での反省を踏まえて、オープンハウスを含めた PI 方式にし、そのときは技術検討の段階から複数の案を出し、何もしない案と比較しながら、どんな案がいいかと話し合いました。時間はかかるのですが、先に検討された区間とは異なり、反対意見も非常に限られて、極めて順調に計画が進んだそうです。「急がば回れ」「決める前に問う」ということで、オープンハウスなどを活用した PI での双方向のコミュニケーションが社会資本整備において非常に重要なのです。

（本日の議題）

①　諸外国における空港の騒音対策の検討事例

■Balanced Approach

今回は騒音対策に特化した話です。ほとんどが海外の事例です。航空機騒音というと、どこでも大抵この ICAO の Balanced Approach が最初に出てきます。2004 年に ICAO からガイドラインが出ました。発生源対策として航空機のエンジンの音自体を小さくする、そういった対策だけによらないさまざまな側面からの調和のとれた騒音対策のガイドラインを策定して、2007 年に改定されています。

Balanced Approach には 4 つの基本対策があります。従来型の発生源対策、土地利用計画と管理、騒音軽減運航方式。1、2、3 をやってこれを十分精査してから、4 の運航制限あるいは便数の減少、大型機をシャットアウトし、以前伊丹でされていたようなプロップ機に限定する。これら 4 つの基本対策のほかにも、プラスとして騒音課金、これも伊丹ではやっています。こういう経済的な処方で低騒音機を誘導します。最後の People issues は住民とのコミュニケーション戦略、情報公開の高度化などです。

航空機の低騒音化について。航空機のカテゴリーとして Chapter3、Chapter4 などがあり、これが上がると飛行機の騒音レベルが下がる、比較的新しい飛行機だと思います。航空機の発生源の音の測り方は、着陸時点の直下、横、離陸時の直下といった複数のポイントでの騒音を総合的な指標で表して、その値がある一定以下になるようにコントロールします。それが Chapter3 の基準だと、その値をある一定以下にするわけです。Chapter4 の基準はそれをもっと下げる。そういったことでチャプターは国際的な基準としてどんどん規制を上げてきています。機材別の騒音レベルを見ると、EPN の値がどんどん下がってきています。

■運航制限～Noise Quota Count System

運航制限の例です。1993 年からロンドンのヒースロー、ガトウィック、スタンステッドにおいて、騒音の大きさに応じて夜間の運航回数制限を決めるクォータカウントシステム（Quota Count System）が採用されています。各エアラインが持っているクォータのソースが決まっていて、それを上限に機数が決められています。大きい飛行機はクォータカウントが大きいので少ない便数しか飛ばせず、小さいと 1 機当たりのクォータが小さいので、多く飛ばせるわけです。こうして運航回数制限を決めています。ただし低騒音機なら多く飛ばせるという柔軟性は持たせています。

英国のリーズ空港は小さく、混雑空港ではないのですが、珍しい例として載せています。滑走路ごとに最大の許容離陸騒音レベルが異なっています。例えば Runway 32 と 14 があるのですが、32 から離陸する場合は 85 デシベル、昼の場合は 35 デシベルまで、14 方向に離陸するときは 92 まで許容しています。

騒音課金、騒音税は今では当たり前になっており、世界的にも多く実施されています。最初に騒音課金を行った空港の一つが、1974 年のフランクフルト空港。騒音税はフランクフルトの場合、時間帯に応じても随分変えています。

10 ページは国土交通省航空局による、騒音値に応じた着陸料体系の例です。伊丹空港は、実測値に応じて着陸料が算出されます。成田も騒音インデックス制度という、同じようなことをしています。Noise sharing について調べた過程で、いろいろ見つけました。オーストラリアではシドニーで、Noise sharing の前にかなり社会問題化し、これはまずいと、とにかく積極的に情報も公開しています。

11 ページは Transparent Noise Information Package という、ウェブで提供されているソフトウェアです。いろいろなパラメータがあり、機材はこうしたらどうか、運用時間変えたらどうか、ここからどこに行く飛行経路はどうか、などを選択するとデータが出てきます。交通量を変えたらどうかといった将来予測や、もしこうなったらどうなるかという What-if 分析、そんなことまで分析できるソフトです。

WebTrack、これもシドニーですが今は日本でもやっています。リアルタイムで飛んでい

る飛行機の映像などが見られます。サンフランシスコは3次元で飛行経路のリアルタイムの映像を出します。SFO Live Flight Tracksと呼んでいますが、この飛行機を押して、パイロットビューのボタンをさらに押すと、今パイロットが見ている画面が出てきます。着陸機のボタンを押すとその着陸の風景が見える。こんなのを出してなんの意味があるのかと当時は思いましたが、「なんでも出しますよ」という空港、行政の姿勢だと思うのです。

騒音指標も環境基準は世界ではLdenが多く、WECPNLはほとんどどこも使っていませんが、いずれにしろこのような単一の指標だけだと、結局どのくらいうるさいのか、夜間はどうなのか、何機飛ぶのかなど、直感的にわかる指標ではないため、住民にとっては分かりません。それがシドニーで社会問題化した一つの原因でした。

14ページにFlight Path Movement Chart（FPMC）がありますが、これはオーストラリアで開発されたものだと思います。「average daily movements32」は、「1日当たりの平均32機があなたのルートの上を飛びます」ということです。平均して1日の4、5%の時間で上を飛んでいます。「daily range」、最低はゼロ機、天気や風向きによって変わりますが、「ゼロ機から最大86機飛びます」ということ。1機も飛ばない日は30%あります。これでだれでも直感的にわかります。こういうのもadditional informationとして、EIAという環境影響評価書に載せていこうと、オーストラリアで初めて取り組まれました。ヒースローも2008年、FPMCと同様のものが載っていたので、オーストラリアの例を導入したのではないでしょうか。

米国ではN70が使われています。N70というのは70デシベルを越える飛行機の回数です。うるさい音が1日何便、何機通るかという直感的な指標をLdenの補足指標として出していたり、コンテンツだけではなくて、ビジュアル的に飛行経路の幅、音を色で表現したりという情報提供の工夫もあります。

15ページは、Brisbane Airport、これもオーストラリアの1例です。14ページは年間の平均値みたいなものですが､そうではなくて15ページは747レベルの非常に大きい航空機が1機来たとき、これをシングルイベント（Single event）と呼んでいますが、単発のときの音の影響も出します。A320のような小さいものだと非常に小さいです。こういったものがたくさんあります。多ければ多いほど混乱しますが、出せるものは出す方針でやっています。

これは、シドニー第2空港の環境影響評価書・Environmental Impact Statement（EIS）に載っていた図から転載したものです。

■滑走路運用・飛行経路設定からみた騒音対策の考え方

一般的には、特定地域への騒音の閉じ込めをして騒音暴露人口を最小化し、集中して騒音対策をします。それとは少し異なる騒音の広域分散、公平な負担、今まで使っていない都心上空の空域緩和による容量拡大といった話の紹介です。

一つめがニューヨーク、ニュージャージー、フィラデルフィア首都圏空域再編プロジェクトです。ニューヨークといえば世界最大の混雑空港だと思いますが、遅延が深刻化していました。当時の平均遅延が1〜2時間程度だったと思います。アメリカはほとんどスロット規制していません。空域の設計も40年、50年基本設計を変えずに非効率だったことから、ネクストジェネレーション（Next Generation）という次世代の管制運航システムを入

れようとしていました。そもそも空域の形状が複雑で前時代的だと、その効果も発現しないことから、大規模に空域を変えようということで、単に空域の区割りを変える従来型ではなく、新しいコンセプトの管制組織をつくる案に決まりました。それを検討したのがニューヨーク、周辺のニュージャージー、南のフィラデルフィアというニューヨーク首都圏の空域再編プロジェクトです。

■NY 空域再編の計画プロセスと計画決定

空域を変える、飛行経路を変えるということは、かなり広域で騒音の影響が変わります。当然地域住民とのコミュニケーションが重要になってくるわけで、アメリカは航空機騒音もそうですし、道路もそうですが、環境影響評価の制度法体系が世界でも先んじてつくられた国です。有名な NEPA プロセス（National Environmental Policy Act）、国家環境政策法といいますが、これは 47 年前 1969 年につくられた制度です。環境影響が一定程度あるときは、スコーピング（Scoping）をし、技術的な検討をして、どういう範囲でどういう要素、どういうエリアでやるべきかを、これを決める段階から公聴会やオープンハウスなどで住民の意見を取り入れながらやらねばならず、スコーピングとはその絞込みのことをいいます。本格的なスコーピングの前にプレ・スコーピング（Pre-Scoping）があり、それをもとに技術検討を行って EIS（環境影響評価書）の作成を告知します。

そして、検討範囲は十分かといったスコーピングを行い、そこから環境影響評価書の案（Draft Environmental Impact Statement）、これも日本で同じようにやっていますが、ドラフトを出してまた意見収集をします。それを踏まえ、FAA として最善案を決定します（Preferred Alternative）。ここではノーアクションプランも含め代替案を用意しなければいけません。これが法律で決まっているのですが、そういった中で FAA としての最善案を決定して、最終の環境影響評価書（FEIS）を出します。

30 日間置いて最後に必ず Record of Decision を出して実行計画を決定します。この空域再編に約 9 年かけています。日本の空域再編は 1 年くらいで終わります。日本は環境影響評価法の中で、空域再編では環境影響評価をしなくてもいいことになっています。

FAA つまりアメリカ連邦航空局の職員が出向いて非常に広域で何回もオープンハウスのような説明会を開き、パネルを用意して住民 1 人 1 人と意見交換することを地道に続けました。こういうのも法律にやれと書いてあります。最終決定案に決定後、特に騒音が悪化する地域から数多くの訴訟が起きましたが、原告側の訴えは棄却されています。

■ニューアーク空港における離陸経路分散と容量拡大

ニューヨークの西側、ニュージャージーのエリアにニューアーク空港があります。ここもかなり混雑しており、特にピーク時の離陸遅延がひどかったのです。3 本の滑走路があり、例えば南側に出るときは、従来はここにエリザベス市という 2、30 万くらいの都市があって、そのダウンタウン上空を、まさに都心上空を避けるようなルートで、川のほうに出てから高度を上げて都市の上空、特に公園の緑地帯の上を通っていくルートを設定しました。これは河川ルートです。しかし管制運用上、離陸の飛行方位、離陸直後のヘディングが複数用意されていて、15 度以上の分岐した経路を交互に使うと、もともと例えば 1 分半くらいの出発間隔があったのを、60 秒とか 50 秒に縮められます。ルール上は 1 マイル

となっていますが、離陸の容量が増えます。それで遅延は解消します。ただしそのためには都心上空を飛ばなければいけないということで、これを検討してきました。

これも騒音影響が大きいので、ピーク時間帯だけやるということで、地域と合意したわけです。これは広域の騒音変化です。コンターの変化で、色の濃いところが現状よりも悪化する。ノーアクションプランは、現状ではなく、何もしなかったときの目標年の環境影響ということです。ICC というのは、今のエンルートとターミナルの区域を合わせてさらに大きくし､そこを一元的に管制する新しい区域および複合管制機関です｡これが Preferred Alternative として Record of Decision に出した案です。それと比較すると、エリザベス市の上では当然悪化するので、今まで飛行経路にあったこの外側の住宅地の騒音はむしろ軽減されます。当然この地域から反対がくるわけで、どう乗り越えたかは非常に気になりました。

飛行経路の分散のことを Fanned Departure といいます。2007 年、Record of Decision が出た直後に、異なる団体から 10 以上の訴訟が起こりました。訴訟大国のアメリカなので、こうなると訴訟が起きるのは当たり前のようです。空域再編により騒音値が上昇する地域、エリザベス市のようなところから多く訴訟が起こりました｡原告団は FAA の再編フロジェクト調査に関する内容ではなく手続きについて、法律で決まっている NEPA プロセスに従っていないなどの理由で訴訟を起こしました。

当時の FAA 空域再編室長 Steve Kelley 氏によると、今後 1 年程度は法廷で争うことになり、その判決次第では再編計画に修正が必要になるかもしれないとのことでした。FAA 側としては、8 年間かけて NEPA プロセスに適切に準拠して計画してきたので問題はないと考えているが、裁判官の判断や政治的圧力により判決はどうなるか分からないということでした。

訴訟の例ですが、ニューヨークの北の Rockland County やエリザベス市（City of Elizabeth）。以前もやっていたのでしょうか、安全性の問題も挙げています。その後しばらくたち、2 年後くらいですが、このニュース（「Blue Skies for New York Airspace Redesign」）をホームページで見て、ああよかったと思いました。いろいろ訴訟があったけれども、裁判で原告の訴えを棄却したので、そのまま実行してください、差し止めもない、ということで進んだようです。訴訟によって 2 年くらい止まったのだと思います。

■ヒースロー空港

2 番目がヒースロー空港。2 本の平行滑走路があって、本当は離着陸共用にすれば容量が 1.5 倍くらいになるのですが、あえて離着陸分離にして毎日 15 時に離陸、着陸の滑走路を変えた。無騒音時間（Respite Period）をやるためには離着陸を分離するしかありません。両方とも離着陸共用でやるとずっと飛びっぱなしなのでよくないということです。離着陸分離にすれば発着時間当たりの回数は減りますが、時間当たりの回数よりも騒音がない時間が増えたほうが住民にとってはいいということを、イギリス国民は重視しています。

ただし東風運用のときには Runway Alternation という滑走路の変更をしておらず、Cranford 地区で 60 年前以上の Agreement があったので、東風運用のときは 09L 着陸、09R 離陸でずっとやってきました。だからこの地域の人は Runway Alternation の便益である Respite Period（無騒音時間）が享受できない問題があったのですが、同じように Respite

Period を提供しましょう、裏返すと公平な騒音の負担をやりましょう、ということで、50年間続いた Cranford Agreement、この上は離陸しないという合意を破棄しました。50 年ぶりです。当時の政権が“distribute noise more fairly around the airport”、空港周りにより公平にノイズを分散しましょうということを政策目的にかかげました。たぶん英国では初めてだと思います。

関連情報でいうと、ロンドンヒースロー空港はずっと見ていますが、大きなところでは2003 年の航空白書（The Future of Air Transport White Paper）。日本の白書とは違い、国の基本方針か空港のマスタープランみたいなものです。ヒースローに第 3 滑走路は絶対必要、ただし騒音の環境条件を満たせばということで国から提言されて、それをもとにいろいろなプロジェクトが進んできました。ここでもかなり大規模なコンサルテーションを行いました。コンサルテーションは日本でいうパブリックコメントで、約 7 万件の意見が提出されました。約 7 年という長い検討のすえ、第 3 滑走路を政府として承認しました。多数の反対があった中での承認で、当時行ったときはすごいなと思っていました。

その中で Mixed mode は離着陸共用で、2 本での離着陸共用をすれば、3 本目はつくるまではいきませんが、容量拡大効果があるのでそれとも比較したのですが、それは Respite Periodt がなくなるからやめましょうとなり、第 3 滑走路が選択されました。ヒースロー拡張プロジェクトは前の政権が決めたのですが、敵対する政権がそれをやり玉に上げ、政策公約でこれのキャンセルをかかげて、そちらが政権をとったので、これだけ長く計画を続けて決めたのに元に戻ったのです。ここがヒースローの悲運の始まりで、まだ続いています。

ヒースローの拡大は国の一番の重要プロジェクトですが、これを政争の道具にすべきではないと、いろいろ細かい検討もあったのですが、Mixed mode ではなく 3 本目をつくったほうがエリアは広がるが薄くなる、Respite Period ができるオプションが広がる、ということでそちらを押していたのが一つの理由だったと思います。

■近年の動き

1 回政府から切り離して独立委員会をつくりました。早期解決しなさいと、現政権は独立委員会として Airports Commission（空港委員会）を設立して容量問題に関する調査と提言を託しました。2013 年に中間報告、2015 年に最終報告を行う予定で動き出して、2013 年時点で 3 つの案に絞り込みました。このときもいろいろな案を政府だけでつくるのではなく、民間のコンサルタントやシンクタンクからも提案を受けました。有名なロンドン市長、ボリス・ジョンソンは昔からヒースローを廃止してテムズ川の河口に大規模な空港をつくるのが持論で、まだそれを主張していますが、三つの案に絞り込みました。まずヒースローの第 3 滑走路。二つ目は、これも面白いのですが、今の滑走路の 1 本を倍に延ばして 8,000 メートル滑走路をつくる。三つ目はガトウィックの第 2 滑走路、この三つです。

昨年の 7 月 Commission から、ヒースロー第 3 滑走路（北西部）が最良案として独立委員会で決定しました。昔キャンセルになった案というのはこちら側にあったのですが、それを少し延ばして北西部へ移すという案になりました。そのほうが騒音影響が少なくなると考慮されたのだと思います。これはガトウィックです。1 本あってもう 1 本つくるというもの。周りは畑なので騒音影響も少ないし、そういう意味ではリーズナブルでこれを推

す人もかなり多いようですが、ハブが二つになることは避けたい感じでした。
騒音影響も、どこに騒音が増えるか、地域別の棒グラフも出しています。この図も、緑は騒音が減るところ、青が増えるところのようです。

■Respite Period（無騒音時間）
37 ページの図は、今ある滑走路を延ばすと 2 本分で扱えるということを示しています。実際運用するときは真ん中は切れています。2 本の滑走路がまったく同じ延長線上に並ぶことが技術的に可能だとして案を出していました。赤丸に Respite と書かれているところが無騒音です。こういう運用をすればここが無騒音になります。いろいろな場所でいろいろなオプションで無騒音時間が提供できるということが、このレポートでは強調されています。だから時間を非常に大切にしているということです。
38 ページ。「A quieter Heathrow」、これは air noise mitigation strategy（騒音軽減戦略）で、先ほどの ICAO の Balanced Approach です。周辺の土地利用を計画して運航方式をいろいろ工夫します。まずは「Quieter skies」で「１．Minimise Total people affected」騒音暴露人口を最小化しつつ、「２．Minimise New people affected」新たに暴露を受ける人も最小化し、「３．Maximise RESPITE for people affected」最終的に騒音影響を受ける人に Respite を最大限提供する、ということが政策目標に入っています。それができなかったら Compensation か Insulation ということで、補償したり移転の手続きをしたりするということで、このあたりが英国風というところです。

■HALS による後方乱気流の回避と容量増加
41 ページ。フランクフルト空港では後方乱気流が影響するので、2 本の並行する滑走路と、もう 1 本離陸の滑走路があり、今は第 4 滑走路ができています。当時は 2 本のクロースパラレルの着陸機を交互に入れていましたが、大型機の後方乱気流が隣の滑走路の着陸機に影響しているので、大型に後続する小型機が隣の滑走路に来ても後方乱気流間隔の 5 マイル以上取らなくてはならず、容量が非常に減る。それを避けるために編み出したのが、Displaced threshold です。
そうすると、航空機の後方乱気流は気流の関係で基本的に下へ落ちていくので、この着陸のパスが上がると、後方乱気流は避けられます。従って小型機の影響は関係なく、レーダー間隔の 2.5 マイルまで短縮可能となります。しかし、結局は運用が難しく、やろうと思っていたが、その間に第 4 滑走路ができて必要なくなったから、さんざん検討したのに今はやっていません。ドイツでできなかったから日本のどこかでやってくださいとお願いされたのを覚えていますが、伊丹はまさにこれができます。今も滑走路がずれているから可能性があるかもしれません。ただ、大型機の影響がなければ意味がないですが。

■London City Airport
42 ページ。London City Airport も有名です。昔の、船を整備するドックを空港につくりかえたところです。ヒースローに比べてロンドンの中心部にかなり近い。ここには金融街があるので、なり珍しい Glide Slope です。飛行機は通常 3 度のパスで降りてきますが、それを先ほどのドイツの HALS の場合は着陸ポイントを内側に入れることで、高度を上げた

のですが、そうではなく着陸の角度自体を上げて、着陸経路直下の騒音の低減を試みました。

City の場合、東側から来るときは住宅地なので、その騒音を軽減するために Steep Approach を行いました。誰でもできるのならどこもやっているでしょうが、ジャンボや B777 などはできないと思います。STOL 機（Short Take-Off & Landing）のような特別な飛行機、Certify された航空機だけができます。最 Steep Approach Certified Aircraft の例ですが、アブロリージョナルジェットや EMBRAER や A318 があります。

■シドニー空港の Noise sharing

シドニー空港の平行滑走路について。もと交差滑走路のところに第 3 滑走路をつくるときに、騒音影響があったのを、容量拡大のために平行滑走路をつくったので、こういうフローで飛行機を流しました。そうすると今まで四方八方に騒音が行っていたのが、ロンドンの中心市街地のところばかりを飛ぶようになりました。今まで 20％しか飛んでいなかったのが 47％に集中したのです。事前に住民と十分にコミュニケーションを取らなかったことも影響し、社会問題化しました。その結果として出されたのが 97 年の LTOP（Long Term Operating Plan）の中の Noise sharing というスキームです。3 本の滑走路を活用し、交差滑走路も使い、海上エリアをなるべく使う。その中で居住エリアの騒音はなるべく公平に負担する（fairly/equitably shared）。

政策目標としても、海側を最大 55％にする。ただ気象条件などの問題からこちら側ばかりは使えないので、3 方向で 15、17、13％と、なるべく公平に飛行経路を分散させます。経路自体も、交差経路だけではなく、横に外れた経路も積極的に使うということです。

騒音の苦情数は、増えて減って、何かやるとまた増えて、というのを繰り返していました。Noise sharing するために新しい騒音暴露地が出るのですが、そのときに一気に増えてしばらくすると落ち着く。そんなことがこの論文に一部出ていました。そこでおもしろいのが、Noise sharing をするための滑走路運用方式を 10 種類も持っていることです。日本の空港はこんなに持っていません。平行滑走路をフルに使う Parallel mode は処理能力の高い運用です。ただしこれをやると北の地域に騒音が集中するので、シェアするためには交差滑走路を使わなくてはいけません。交差滑走路をつくると当然全体の容量が落ちます。しかし Noise sharing するためにはこれをやらねばなりません。Noise sharing mode といって、処理能力が低くなります。管制運用上これをどう選択するかが問題になってくるのですが、このときも Respite をなるべくつくることを考慮しているようです。

シドニーは発着数に山が結構あります。朝と夕方のピークがあるのでこれに合わせると、オフピーク時間はそれより処理容量が低くてもいいので、こういう時間は Noise sharing mode にします。そういう時間帯はなるべく朝、晩、静かにしてもらいたいので、そういう意味では特定のところに集中しないのは、騒音に対するニーズにも合致しています。ただしピーク時間帯は Core period で Parallel mode になります。

その運用方式は管制官の勝手や経験で決めているわけではなく、TARDAS（The Advanced Runwav Decision Advisorv Svstem）というオートメーション・システムを入れています。気象条件、交通条件、過去の短期（1 週間など）および長期（1 か月など）の運用履歴、どの方向にどのくらい飛行機が飛んだかという履歴を参考に、先ほどの政策目標、各方面別の

発着回数の Noise sharing の目標を達成するために、次の 1 時間はどのモードでやるかを管制官にシステムから推奨しているようです。これはシドニーが初めてではなく、アメリカのボストン・ローガン空港の PRAS（Preferential Runway Advisory System）を参考にしたとレポートに書いてありました。ウェブで残っているのはこれくらいしかなく、（Enhanced Preferential Runway Advisory System）ENPRAS とありますが、同じようなことが書いてありました。ボストンのホームページです。

実績もモニタリングしており、公表しています。赤い線が各方面別の使用比率です。実績は当然気象条件や需要にも関わるのでうまくはいかないのですが、目標に向かってなるべく合わせようとしているといえます。北側の需要が増えてくると、北側の Core period が増えるのが悩みの種だったようです。シドニーは都心の上空を飛んでいるので、騒音の意味からキャップが時間 80 回に決まっています。ピーク時が増えていくと、Noise sharing period が減っていくことが問題視されていました。

もう限界なので、ここも同じように独立委員会を組織して、これもシドニーの第 2 空港で、遠いところにつくるのは昔から話があったようですが、全然話が進まないので、独立委員会で第 2 滑走路をつくり、時間容量を 5 回くらい上げるようにと提言されていました。2014 年に政府が、国有地があったところで昔から検討要請をしていた BadgerysCreek を第 2 空港建設候補地に選定し、計画開始して、数か月前このドラフトの環境影響評価書を公開しました。これが先ほどのシングルイベントが載っている環境影響評価書です。

シドニーがここで、70km くらい離れたところに空港をつくる計画があります。始めはこれ 1 本で、2 本体制が将来計画のようです。二つの空港はおそらく羽田、成田のように使い分けるのだと思います。こちらでいうと伊丹、関空です。

Point-Merge 管制システムで合流を効率的にします。これは関空、伊丹でもできると思いますが、こういった新しいシステムが今入ってきています。これは環境正義の話です。航空機騒音を受容できるかということより、公平化に住民の関心は移っているのです。

■シアトルタコマ空港の新着陸経路導入

シアトルタコマ空港では南北にフローがあります。従来型の管制運用では、一旦 3000 フィートくらいに落として水平飛行させて、ファイナル・アプローチ・フィックスを通過するのですが、そうすると飛行機は水平飛行で非常に燃料を消費します。できれば CDA（Continuous Descent Approach）で、つまり飛行距離が事前に決まっていれば、巡航高度からエンジンを切ってアイドル状態でいくと、燃料も使わないし、騒音も静かな状態で着陸できます。

それをやるために、今の RNAV の 発展版である RNP アプローチというものがあります。この高精度な航法で経路短縮をして、CDO によって燃料消費を削減します。このようなプランのことを Greener Skies といいます。精度が高くて、いつも同じところを飛ぶと騒音が特定のところに集中します。したがって、新しい技術を入れて燃料消費の削減は環境にはいいのですが、騒音の集中という面では悪影響があるなど、空港容量と騒音のトレードオフだけではなく、環境面でも C02 と騒音でのトレードオフもあります。

ヨーロッパは C02 の削減に力を入れているで、空港からの C02 抑制も重視されています。ヒースローの拡張も C02 や騒音を絶対増やさないという条件でやっています。これからは、

難しいですが空港容量と騒音という二律背反ではなく、環境の中のトレードオフも今から考えるのが、グローバルな視点では重要だと思います。

■海外混雑空港における騒音対策事例まとめ

ニューアーク、ヒースロー、シドニーの 3 空港の事例をまとめると、従来使用を避けていた市街地上空区域を解放し、容量拡大、騒音の公平負担をしています。追加的な騒音負担を伴うときには、ピーク時、遅延拡大時、容量低下時など、時間限定で実施します。長期の政策方針に基づく空港計画プロセスが重要だということです。

② 羽田空港の運用方法と騒音影響に関する考察（私案）と環境影響評価制度について

■羽田空港の運用方法と騒音影響に関する考察（私案）

現在，国交省で検討している羽田空港の都心上空ルート活用策について、国交省でも騒音の軽減策が検討されています。65 ページには都心上空ルートを例に、私が個人的に考えた空港運用方法の工夫と騒音影響に関する考察を示しています。

72 ページの図はアムステルダム空港で Wave System と言われています。

羽田で今検討しているのは直線進入だけですが、東京タワーを避けるようにオフセットして曲がった進入経路も、RNP アプローチを入れると、Decision Height が少し上がってしまいますが、都心上空の経路自体を分散することも可能だと昔から提案しています。羽田の場合、着陸と離陸が従属関係にあるので離陸を増やすと着陸が減り、離陸を減らすと着陸が増えるというトレードオフの関係にあります。これはアムステルダム・スキポール空港が有名です。

アムステルダムが成功した一番の理由は、皆さんもご存じの通り、一番はじめにオープンスカイをアメリカと結んで、アメリカに対して第 5 の自由という以遠権を与えたこと。35 年前にヨーロッパで初めて以遠権を開放したので、アメリカのキャリアがアムステルダム経由でヨーロッパ域内に行きます。乗り継ぎ客です。こうしてアムステルダムからのネットワークが広がりました。

その地位を今でも維持しているわけですが、乗り継ぎ客は到着して別の便に乗り換えます。エアラインの戦略としては、同じような時間帯に世界からどっと着陸させて、例えば 1 時間後に一気に出発させる。また次の時間帯にどっと着陸させて、次の時間帯に出ていく。そうするとかなりネットワークのオプションが増えます。これが Wave System ですが、アムステルダムは 7 つの Wave を持っているので 7Wave System と呼んでいます。発着スロット自体も第 3 者機関がコントロールしています。

71 ページの表は、上が離陸スロット、下が着陸のスロットを表し、離陸スロットが高いときは着陸が低い。着陸が高いときは離陸が低いという、凸凹したスロット配分をしています。これは Wave System が KLM を中心に展開しているので、スロット自体もこうなっているし、発着回数もこれに合わせています。基本的に着陸が多いときは 2 本で着陸して 1 本で離陸する。離陸が多いときは 2 本で離陸して 1 本で着陸する。もっと複雑ですが単

純にいうとそういうことで、これを 2+1 Runway System と呼んでいます。滑走路が多いからできる技ですが、こうしてエアラインのダイヤ戦略、スロットのコントロール、滑走路の運用全部がセットになってうまくいっているのです。

■ミニ WAVE システムのイメージ

76 ページは、これを羽田でやったらどうなるかと思い、勝手にミニ Wave System という名前を付けて考えてみました。航空局が提案している今の計画は、午後 4 時から 6 時台まで都心上空を使い、ほかは普通の運用をします。そうするとスロット自体は羽田は容量がいっぱいなので、すべての時間で離着陸が一杯になっています。

羽田も国内線でいえばハブになっているので、集計してみると、制限がかかっているのに意外と出発機比率が上がったり下がったりを周期的に繰り返しています。羽田は滑走路形状からいくと着陸を 1 機増やすと離陸が 2 機減るので離陸を増やしたほうが効率がいい。そうすると、通常の運用のときに、都心上空を今の計画では着陸機が通りますが、先の Wave System で考えると、都心上空の着陸通過を 44 から 38 に減らせます。離陸はあまり都心上空に影響しませんが、川崎方面には影響します。都心上空の時間帯が終わって通常に戻ったら不足の着陸を一気にさばけば､都心上空の飛行回数を 3 時間で 12 機減らせますが、一方で川崎方面の離陸は増えてしまうので、そちらも考慮しなければなりません。

■JAXA モデルの例

JAXA モデルといって滑走路の処理容量の最適化を検討するツールです。滑走路の処理容量は、離着陸の順序をうまくやると羽田でも最大 5%くらい容量が増えるという数値計算です。ヒースローやアメリカの空港もやっています。伊丹も関空も同じです。滑走路容量を上げるためには順序づけが非常に重要です。

■環境アセス制度

最後に環境アセス制度について。日本の環境影響評価制度では、飛行経路や空域再編は環境影響評価の対象になっていません。日本はものをつくらないと法律で環境評価をしなくていい制度になっています。例えば空港でいくと、滑走路は 2500m 以上つくった場合、第一種事業とみなして必ず環境アセスメントを行わなければいけません。滑走路をつくらない飛行経路の変更はこの法律には引っかかってきません。

国だけではなく条例アセスも当然あります。自治体の環境影響評価です。同じように基準は低いですが、やはり何かをつくらないとやらなくていいことになっています。しかし、アメリカは違います。日本は環境影響評価をやる数が少ないとよく言われます。新しいフィジカルなモノをつくったときくらいしか環境影響評価をしないので、数が少ない。

■米国 NEPA

アメリカでは、本格的なアセスの前に簡易アセスがあります。NEPA（National Environmental Policy Act）では、何かやると提案があったときに、明らかに環境影響が小さい場合は Categorical Exclusion とされ、アセスをやらなくてもいいと決まっています。しかし、そこそこ影響がある場合は簡易なアセスメントをやる必要があります。その結果、重

大な影響は無いときは、FONSI（Finding of No Significant Impact）と呼ばれる、重大な影響がないことを証明する簡単な数枚のレポートを出せば終わります。影響がある場合にはMitigated FONSI を行い、少し方策を変えて計画提案をすればいいということです。

重大な影響がある場合だけ、日本でやっているような詳細なアセスをしなさいという制度になっています。だから、簡易アセスを入れると非常に多くのアセスが年間で実施されています。だから環境影響評価のデータや実績も多数あり、アセスもやりやすく、抵抗も少ないと思われます。FAA では内部規定があり、出発到着経路・エンルート経路の新設・変更を行うとときは、まず簡易アセスをすることが決められています。

■戦略的環境アセス

戦略的環境アセスは諸外国では当たり前になっていますが、日本でも平成 14 年くらいから埼玉県が率先してやっています。従来の事業アセスでは、事業計画段階で、どこに路線を引くか、空港の滑走路をどうデザインするか、といった段階で環境アセスを行うので、ほとんど計画が固まって、環境の影響があるとわかったときには、それを低減するために取りうる措置が限られます。後戻りできないのです。行政も後戻りする気がない段階で出しているので、どうしても守りに入ります。そうすると闘う姿勢になって、計画が 10 年凍結ということも考えられます。

それではだめだと、埼玉県では、政策(Policy)、計画(Plan)、プログラム(Program)の３つの P を対象に戦略的環境アセスをしてください、計画の初期段階からアセスメントをして住民との合意形成をはかってくださいという方針で始まり、その他にも広がっていると思います。

■計画策定プロセスの体系

それ以前に、環境アセスではなくても、公共事業を進める段階で計画策定プロセスにおいて国交省からそういう問題があったので、2008 年に公共事業の構想段階における計画策定プロセスガイドラインというものが出ています。そこでは、計画検討の発議や事業の必要性と課題の共有を図り、複数案を設定し、比較して選定し、計画決定する一方で、技術検討もする。その段階で住民とコミュニケーションせよとは随分前から言われているわけです。

■空港の整備プロセス

これは空港でも同じようなことがされています。福岡、那覇はこれにのっとってやった先進的な空港の事例です。那覇も計画の構想をつくる前に、調査段階で平成 15 年から平成 19 年まで 4 年くらいかけています。現状の調査だけで、計画の必要性を裏付けるための調査資料をつくったということです。構想段階、施設計画段階もさらに 2 年かけて行い、今はなんの反対もなく着工しています。

〔質疑応答〕

○　航空機の RNP のところで、経路が密集してしまう問題があるとのことでした。経路が密集したり、それを分散するために時間帯で分けたりなど、ほかの空港でもいろいろされていることを例にあげておられましたが、機材別や時間帯ではなく、別の方法で対応されている例はありますか。

→　少しマイナーな話になりますが、JFK で昔、内陸に飛んでいく離陸経路は小型機に限定していたり、それは確か障害物があって小型機しか回り込めなかったから小型機専用、プロップ機だけという経路がありました。

アムステルダム空港で小型機のように小回りが利く経路でいける機材に限定して、しかも小型機は騒音の影響がないから、普段飛ばないところでも例えばショートカットして入れることがあります。

先ほどのシアトル・タコマの例などが良いかもしれませんが、こっちから来る飛行機とあっちから来る飛行機の合流作業になります。このときにたまたま隙間があって普段はこの内陸、ここは飛べないとするときに、今ならこの隙間には入れるというときは、通常のジャンボ機はだめだが小型機ならいけるといった話を、アムステルダムで聞いた記憶があります。今思い出すのはその程度ですが、なくはないと思います。特に小型機、低騒音機、小回りの利く機材に限った限定ルートのようなものがあると思います。

○　シドニーで飛行機の騒音を公平に負担する考え方が取り入れられたことについてですが、三つ目の滑走路が導入されたことによって、いったん北側に負担が増え、東西の負担がなくなってから、再度もともと負担していた東西に負担を求める形になっているようですが、こういったもので従前の負担がなく、単純に分散したような例はあるのでしょうか。

→　この話をすると必ずこの点を聞かれます。シドニーは特殊だと私も思います。もともと事例があるので比較的受け入れやすかった。ただしシドニーの場合も、従前に使っていない経路も、シェアするためには使うようになりました。騒音初体験地域に限れば、シェアするために新しい経路を引いたことにはなります。同じようなレベルで周辺にシェアしている人が、もともといたということから照らし合わせてみれば、それほど新規ではない気もします。

ニューアークも、元々ダウンタウンは飛んでいなかったので、まったく新しく飛んだといえば飛んだのですが、あれもかなり以前、一度飛んでいたという記載があります。訴訟の中で、ダウンタウンの上空を飛ぶもので安全上の問題があり、1950 年代、同様の運用で 3 件の事故あり、だから 50～60 年前に飛んだけれども今住んでいる人のほとんどにとっては新規の騒音暴露ということになります。

ニューアークは、ノイズを共有しよう、分担しようという発想ではないのですが、新規の暴露をかなり引き受けた事例です。しかし、目的はノイズの共有ではありません。ノイズ共有のために新たな飛行経路をかなりのボリュームで引き受けたというケースはないと思います。騒音共有自体を打ち出しているところはないかもしれません。どちら

かというと今度のヒースローの第3滑走路がそういうことになるかもしれません。あれは容量拡大が一番の目的ですが、それと併せてなるべく公平に騒音を負担しましょうというコンセプトも見えるので少し近いかもしれません。

羽田も参考になります。67ページの右上の図を見てください。右上の航空局の案では南風、南西風の場合、都心上空、川崎方面にB滑走路から離陸することが提案されています。羽田は南東風はあまり吹かないといわれているのですが、南東風が吹くと都心上空への離陸は厳しい。そこで、右下の図は私の案ですが、北風のときに使うD離陸、南北の運用をミックスしたような運用が南東の風向きのときにできます。こういう風向きだと川崎方面への離陸はゼロにでき、容量も上がります。

月別の風向きの統計を見ると南東風は少ないのですが、川崎離陸に 1 時間あたり 24 回ですし、高さは何百フィートとなりますので、工業地帯がメインですがなるべく減らすことができる。これくらいのオプションは持っていたほうがいいのではと個人的には思いました。

ついでに申しますと、ヒースローは容量を増やさなければいけない一つの大義名分があります。ヒースローは乗り継ぎ旅客のためのWave Systemで離陸着陸がべたっとなっていますが、容量を上げればエアラインの希望に添ったダイヤ設定が可能になります。それによって利便性も上がって競争力が上がります。こんなこともいろいろ書かれていました。

ガトウィックを拡大すると、ガトウィックとヒースローで容量が分散して乗り継ぎ旅客の利便性が下がります。日本ではこれから人口が減りますが、ヨーロッパでも人口が減ったりすると、お客さんの取り合いになって、ヒースローの発着需要だけでは、特に細い路線は維持できなくなってくるので、なるべくヒースロー経由でヨーロッパに行ってもらいたい。各空港で、パリやフランクフルトで、そういうことをやっています。乗り継ぎ客を獲得するために、まさにWave Systemを導入して乗り継ぎ利便性を上げないと勝ち残っていけないのです。今、ヒースローはマドリッド、アムステルダム、パリ、フランクフルトに完全に負けていると書かれています。その一つの理由は、とにかく容量が足りないことなのです。

31ページ。ヒースローの容量拡大を待っているのが大変なので、現有滑走路で少しでも容量を上げようと、Operational Freedom Trial を3年間限定でやっていました。無騒音時間を提供するためのRunway Alternationの制約で離着陸分離方式を基本にしているのですが、朝は到着がピークで、夜中に飛んできて朝方ドーンと到着する。その到着のピークを緩和するために、限定的に今も同時着陸をやっています。空域での待機時間をある程度モニタリングをしていて、到着が増えそうなときに特別に滑走路２本とも着陸に使う運用を発動するトリガー条件を緩和しています。

容量低下時、特にヒースローは去年からやっていますが、向かい風が強いときは、飛行機の空気に対する速度、対気速度が決まっています。だから安全に着陸するために、例えば着陸の間隔は管制官が距離を見るのですが、距離で管制するので同じ距離で対気速度が一定だとすると、向かい風が強くなると対地速度が落ちて処理容量が落ちます。それがヒースローにとっては死活問題なので、向かい風が強いときは管制間隔を縮めて管制のルールを変えています。おそらくこれは、風が強いと後方乱気流がすぐ拡散して

終わってしまうので、物理的な検証を踏まえてやっていると思います。これは Time Base Separation と呼んでいます。

ここに A380 や小型機の到着を離陸専用滑走路へ、後方乱気流の影響軽減と書いてあるので、当時この A380 が増えていました。

後方乱気流間隔の面からいくと A380 は特殊で、通常の 747 クラスのときは 5 マイル空ければいいのですが、先行機が A380 だと 6 マイルか 7 マイル空けなければいけません。2、3 機分の容量がとられるわけです。それが着陸専用滑走路にいると、後続機との間隔を 2 機分空けねばならないので非常に容量がとられます。そこで、A380 は離陸の滑走路に下ろす。離陸の量が減るかというと、着陸機の後方乱気流は当然離陸機に影響しません。後続機が非常に小さい飛行機だと、受けるほうの体力も減るのでだめなのです。そういうのが来ると、そこも空けなければいけないので影響を与えやすい。影響を受けやすい小型機の着陸も優先して離陸の滑走路を利用し、朝の到着のピークが多い時間は離陸用の滑走路が空いているので離陸用滑走路に入れるということをしているのではと思います。

○　RNAV についての話がありましたが、RNAV によって飛行経路が集中するため、航空機騒音の影響が狭い範囲に大きくなる傾向だというお話だったように解釈しました。見方を変えると、RNAV によって飛行機の音を分散することはできないのかと思うのですが、RNAV と今後の航空機騒音との関係性が改善される方法があるのか、それともそれをするためには、また別の対策をしないとできなくなるのか、参考に教えていただきたく思います。

→　RNAV というのは GPS で自分の位置がわかります。通常は地上の無線施設に向かってしか飛ぶことができず、それを結ぶ経路しかできなかったのです。RNAV の一番の効用は、無線施設に依存しない自由な経路を引けることがまず一つあります。無線施設を使うと、そこからの距離が遠い場合、電波の誤差で経路のばらつきがあるため、隣の経路の誤差を考えて離さなければいけません。経路を密集化できるとありますが、同じスペースで経路を複線化できるのが二つ目の効用です。

あえて悪影響をあげるなら、確かに経路が集中するといいますか、同じところを飛びやすくなります。ただ同じ無線施設の場所に飛んでいくときに、従来型の VOR/DME に向かって飛んでいく場合と、RNAV で飛んでいく場合では、そんなに騒音は変わらないので、そこまで影響はないのです。もともと、四方八方からくる着陸機をある間隔で並べていく際に、いろいろな間隔で入ってくるので少し遠回りさせたり、ショートカットさせたりしていたのですが、RNAV の経路を引いたときに、無線施設に従って飛ぶという概念がなくなって、管制官の指示に従って右に、左に、下に行け、となるので、結果として非常にばらつきが出る。

それを RNAV でやらずに、羽田でいうとそういう作業をすごく遠くでやり始めました。最近エンルートの中間区域を飛んでいますが、昔は羽田の直近でそういう作業をやっていたので、例えば着陸機の騒音が千葉の上でかなりばらついていました。それを、合流作業をまずなくして、間隔調整を航空路幹線から遠くで行い、あとは RNAV 経路に

乗って羽田に入ってきます。そういう複合的な要因が重なり、羽田でいうと特定地域に騒音が以前に比べてかなり集中してしまったということがあります。通常無線施設に飛んだところにRNAVを入れたからといって急に集中するわけではありません。少し私の言い方が誤解を生んだようなので補足させてもらいました。

ただ、今おっしゃられた問題について、ニュースで見て調べていくと、シドニー空港に行きつきました。そのときにNoise Sharingについて向こうのウェブのニュースを見たのですが、当時はNoise Sharingが始まっていたので、RNAVを入れると特定のところに集中したが、高度が高かったので、Noise Sharingへの悪影響はさほどないと、そのときは理解をしていました。

しかしやはり、広域のところを今までは管制官の経験的なベクタリングでターミナル区域に入れていたのを、決まった経路で入れ始めたので、RNAV経路があるということは目印があるということで、その通り飛べば集中しますね。そういうケースはあります。シドニーのときも、RNAV経路をたくさん引くことによって、経路を単一ではなく複数用意してそれを選択させる、ベクタリングとRNAVの中をいくようなやつでシェアしましょうということが、ニュースで言われていたと記憶しています。そのときのタイトルは「get ready to Noise sharing」というものでした。「RNAVでもNoise sharingの準備が整いました、やりましょう」みたいな記事でした。だからそこを両立していくというのは十分あります。RNAVは、特定のパスに簡単に誘導できるのがメリットですが、それをやり過ぎると騒音が増えるので、経路を複数用意して集中を少し緩和するというのは十分あり得ると思います。

以上

混雑空港における騒音対策

平田　輝満
茨城大学工学部都市システム工学科
terumitsu.hirata.a@vc.ibaraki.ac.jp

本日の報告内容

1. 諸外国における空港の騒音対策の検討事例
2. 羽田空港の運用方法と騒音影響に関する考察（私案）と環境影響評価制度について

Balanced Approach(ICAO,2004)

ICAOが，発生源対策のみによらない様々な側面からの調和のとれた騒音対策のガイドラインを策定(2004)．2007に改定．

4つの基本対策:

①発生源対策　Reduction of noise at source
②土地利用計画と管理　Land-use planning and management
③騒音軽減運航方式　Noise abatement operational procedures
④運航制限(①～③を十分精査してから)　Operating restrictions on aircraft

＋騒音課金(税) noise charge
＋People issues(住民とのコミュニケーション戦略，情報公開の高度化など)

航空機の低騒音化(ICAO航空機騒音基準の改正)

国土交通省

○ ICAOの航空機騒音基準は、これまで段階的に強化されてきており、2013年2月に開催されたICAO航空環境保全委員会(CAEP:Committee on Aviation Environmental Protection)においては、現行基準(Chapter 4基準)の更なる強化について合意された。

Chapter3基準(1976年制定)
- ICAO Annex16 Volume I のChapter3において定められた基準で、航空機騒音規制のベースとなっている。
- 具体的には、図1に示す離陸直下(A)、離陸側方(B)、着陸(C)の3カ所の騒音評価点における規制値が航空機の最大離陸重量に応じて定められている。

Chapter4基準(2001年制定)
- 各騒音地点における騒音マージン(航空機の騒音値とChapter3規制値との差)に関する基準が新たに追加された。
- 具体的には、①A～Cの3地点の騒音マージンの累積値が10EPNdB(Effective Perceived Noise in decibels)以上であること、②各地点でChapter3規制値を満たした上で、どの2地点の騒音マージンの和も2EPNdB以上になること、が新たに要求されることとなった。

基準強化の動き(CAEP/9における合意事項)
- 2013年2月に開催されたCAEP/9において、以下のとおり新たな航空機騒音基準の導入について合意され、第38回ICAO総会において採択。
- 新基準の名称:Chapter14
- 新基準の内容:①A～Cの3地点における騒音の累積値をChapter4規制値より7EPNdB(Chapter3規制値より17EPNdB)低減させること
  ②A～Cの各地点でChapter3規制値に対し1EPNdB以上のマージンを有すること
- 適用時期:2017年12月31日(最大離陸重量が55トン未満の航空機にあっては2020年12月31日)

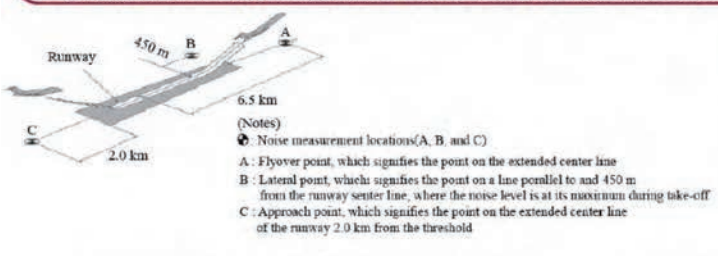


図1 ICAO の航空機騒音基準における騒音計測位置(3地点)

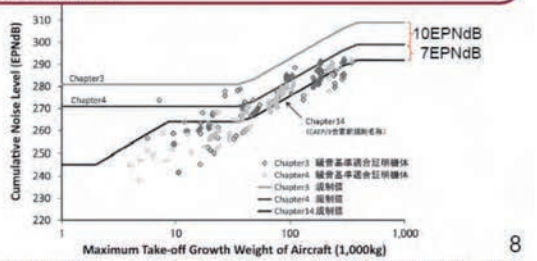


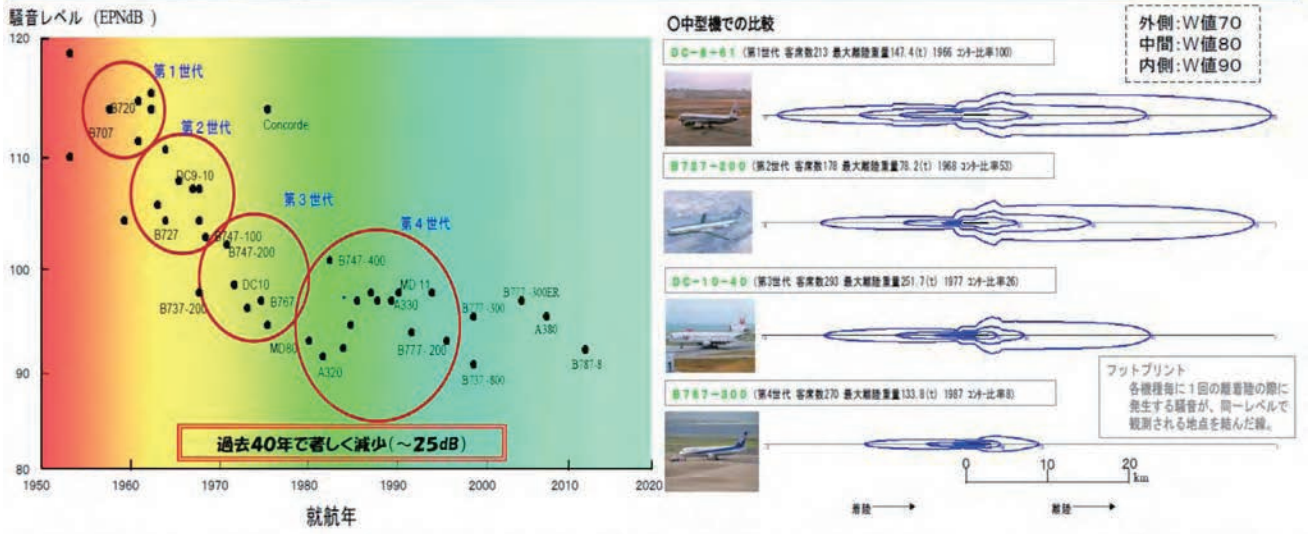
図2 騒音規制値に対するChapter3/Chapter4騒音基準適合証明機体の騒音値の比較

出典)国土交通省航空局

航空機の低騒音化の推移

国土交通省

○ 技術の進歩により、時代の経過とともに航空機の騒音レベルは低下している。
○ 「フットプリント」による比較では、1回の離着陸の際に発生する騒音は、第1世代から第4世代の航空機にかけて著しく低下している。



- 航空機の低騒音化とともに、ICAOの騒音基準も強化されてきたが、外航社を中心に依然として騒音値の大きい旧型機も就航。
- 低騒音機材の一層の導入促進に向けた経済的な手法の導入可能性について検討することが必要。

9

出典）国土交通省航空局 6

運航制限の例～Noise Quota Count System（Noise budget）

- 1993年から，ロンドンのヒースロー，ガトウィック，スタンステッド空港において，騒音の大きさに応じて夜間（23:30-6:00）の運航回数制限を決めるQuota Count Systemを採用.
- 例えば，Boeing 747-400は離陸4・着陸2，Airbus A380は離陸2・着陸0.5. →低騒音機への更新インセンティブ
- 他にも，アムステルダム・スキポール空港（昼夜別に地点別で異なる制限）やハンブルグ空港などで実施
- Quotaの大きな機材の運航禁止や夜間運航禁止（Curfew）の空港も多数存在．Curfew違反金も存在（ワシントンナショナルなど．最大5000ドル）.

◆騒音値とQuota Countのリスト

Noise Classification	Quota Count
84 - 86.9 EPNdB	0.25
87 - 89.9 EPNdB	0.5
90 - 92.9 EPNdB	1
93 - 95.9 EPNdB	2
96 - 98.9 EPNdB	4
99 - 101.9 EPNdB	8
Greater than 101.9 EPNdB	16

◆1シーズン中の累積Quota上限値

(a) at Heathrow Airport: 5610;

(b) at Gatwick Airport: 6700;

(c) at Stansted Airport: 4900.

出典）UK CAA, UK NATS（2007）: SUPPLEMENTS TO THE UNITED KINGDOM AIP

7

運航制限の例～滑走路運用ごとに異なる騒音規制

英国リーズ空港：
滑走路ごとに最大の許容離陸騒音レベルが異なる．夜の規制値も厳しい．

（UK　AIPより抜粋）
e. Target Noise levels

Daytime means 0700-2300 (local)
Night-time means 2300-0700 (local)

All aircraft (excluding supersonic and military jet aircraft) shall be operated in such a way that at the relevant monitoring point they will not generate a noise level:
i. After take-off from Runway 32 more than 85 dB(A) by day or 77dB(A) by night;
ii. After take-off from Runway 14 more than 92 dB(A) by day or 84 dB(A) by night
iii. On approach to Runway 32 more than 85 dB(A) by day or 79 dB(A) by night.

騒音課金，騒音税

- 多くの空港で騒音レベルに応じた追加課金などを実施．
- 最初に騒音課金を行った空港の一つがフランクフルト空港（1974）
- 騒音レベルに応じて着陸料を変えている空港も存在（欧州では約半数の空港で騒音レベルに応じた着陸料を設定し，また昼夜でも異なる．例：アムステルダム（3カテゴリで10%割引～30%割増），オスロ，ブリュッセル，ドイツの各空港，成田，伊丹など）

Table 9.1 Landing and noise charges at Frankfurt airport 2008

Category	Typical aircraft	Landing charge per tonne (€)	Noise charge per landing/take-off	Additional night charge (22.00–22.59 and 05.00–05.59	Additional night charge (23.00–04.59)
0.	B737-600, Avro RJ	0.88	0.00	35.00	43.75
1.	A318/319/320, 757-200/300	0.88	12.00	35.00	43.75
2.	A300/310/321, B767	0.88	31.00	90.00	112.50
3.	A330/340, B777	0.88	75.00	170.00	212.50
4.	B747-400	0.88	270.00	310.00	387.50
5.	B747-100/200/300	0.88	610.00	1250.00	1562.50
6.	–	0.88	6750.00	13 500.00	16 785.00
7.	AN124, IL76	0.88	14 250.00	28 500.00	35 625.00

Source: Frankfurt airport.

出典）R. Girvin：Aircraft noise-abatement and mitigation strategies, Journal of Air Transport Management 15 (2009) pp.14–22

騒音値に応じた着陸料体系の例

国土交通省

国管理空港

● 最大離陸重量と騒音値に応じた着陸料体系で、騒音割部分は騒音の大きさに比例して着陸料が高くなる仕組みとなっている。

ターボジェット機

		（最大離陸重量t-100t）× 1,650円	（最大離陸重量t-200t）× 1,800円
（最大離陸重量 t）× 950円（※）	（最大離陸重量t-25t）× 1,380円（※）	127,250円	292,250円
23,750円			
（騒音値 -83）× 3,400円	（騒音値 -83）× 3,400円	（騒音値 -83）× 3,400円	（騒音値 -83）× 3,400円
25t以下	26t～100t	101t～200t	201t～
航空機の最大離陸重量			

※騒音値：離陸測定点と進入測定点における航空機の騒音値を相加平均して得た値（単位：EPNdB）。

成田空港

● 国際線着陸料は、航空機騒音インデックス(注)の区分に応じて設定した料金率に最大離陸重量を乗じて算出される。

航空機騒音インデックス

区分	A	B	C	D	E	F
料金率（円/t）	1,550	1,650	1,750	1,850	1,950	2,000

(注)航空機騒音インデックスは、ACI(国際空港評議会)において採択された指標であり、ICAO第16付属書Chapter3に定められている3測定地点（離陸、側方、進入）の騒音基準値と比較した際の騒音レベルに応じ、AからFの6区分に分類される。

※成田空港においては、平成25年3月31日より、航空会社の努力では対応できないやむを得ない場合には、23時から24時に限り離着陸を認める「カーフューの弾力的運用」をインデックスA～Cの低騒音機を対象に開始しており、その場合、左記着陸料とは別に、同額の割増料金を徴収し、割増分は全額地域に還元している。

伊丹空港

● 機材毎の騒音値（実測値）の大きさに応じ、一定の係数を既存料金に乗じて着陸料が算出される。

騒音値	騒音値≧81	81＞騒音値≧80	80＞騒音値≧79	79＞騒音値
機　材	B773、B77W、B735	B763、B772	A320、B738、B788(※)	B737
係　数	×1.2	×1.1	×0.9	×0.8

※B788については、低騒音機枠での取扱いが未定のため、取扱いが決まるまでの間は、係数を1.0とする。
※騒音値：実測値（単位：dB）

ヒースロー空港

● 騒音レベルに応じた独自のランク付けを行い、騒音の大きい航空機ほど着陸料が高くなる仕組みとなっている。

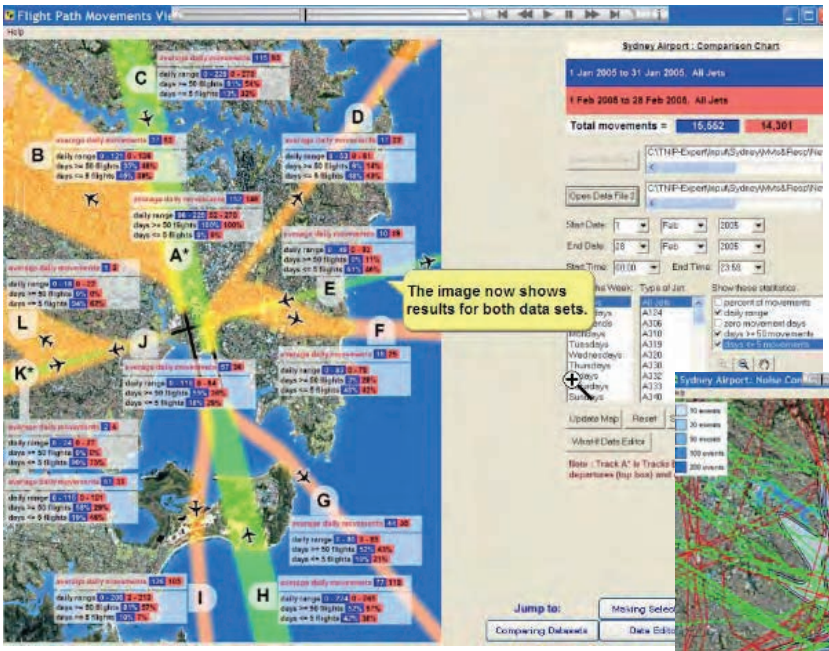
Noise Charging Category	Ch2	Ch3 high	Ch3 base	Ch4 high	Ch4 base	Ch4 minus
Relative Charges (Chapter 3 base)	300%	300%	100%	60%	50%	30%

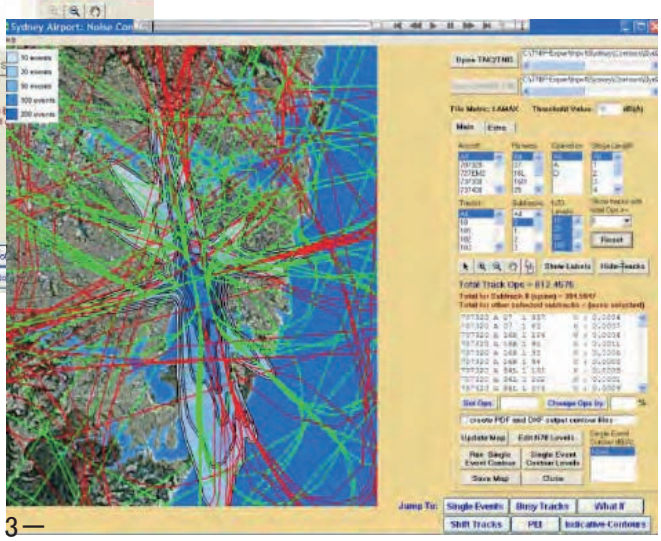
※ヒースロー空港においては、騒音超過課金制度（騒音測定局での離陸時騒音レベルが一定の値を超えた場合、運航者に課金する制度）が導入されている。

10

出典）国土交通省航空局

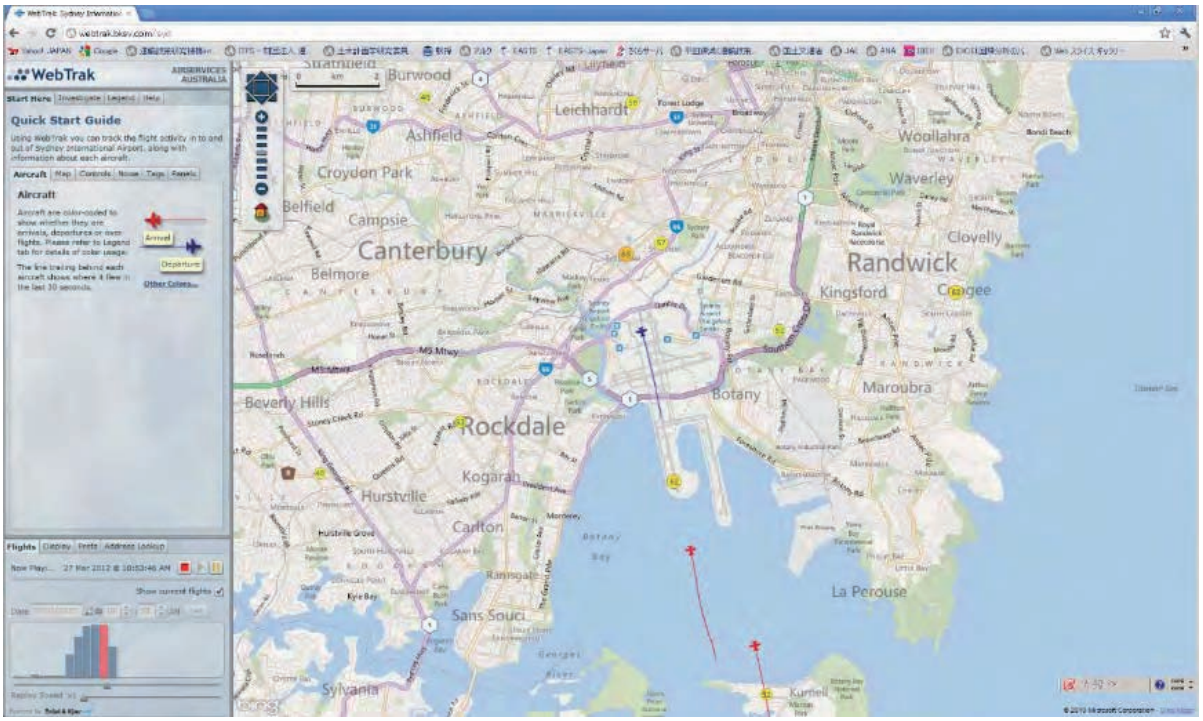
豪州：騒音分析ソフトウェア：TNIP（Transparent Noise Information Package）





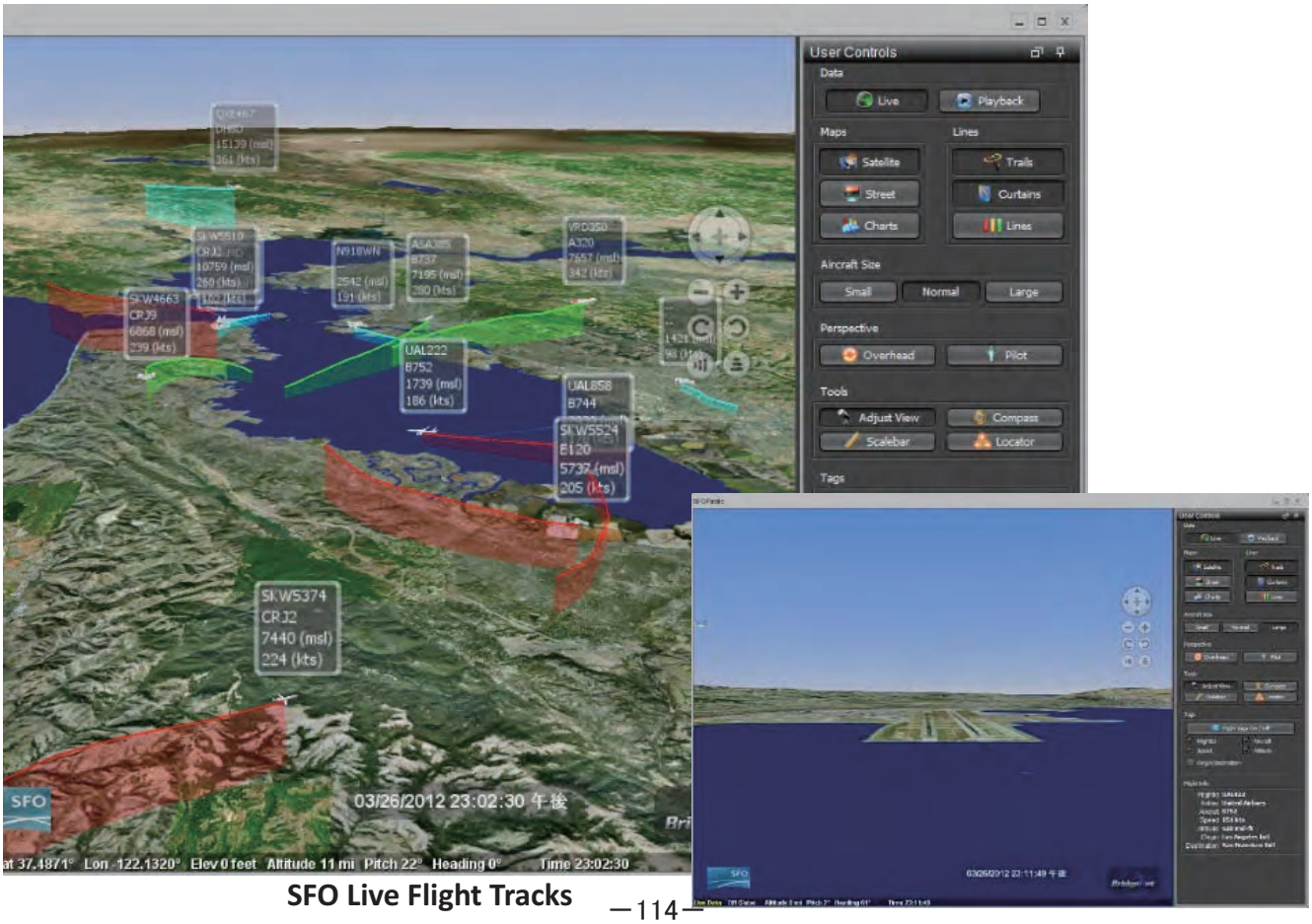
- 様々な騒音に関わるデータや指標を表示可能.
- 将来予測やWhat-if分析も可能（滑走路運用変化，機材構成変化などの影響分析）

WebTrack

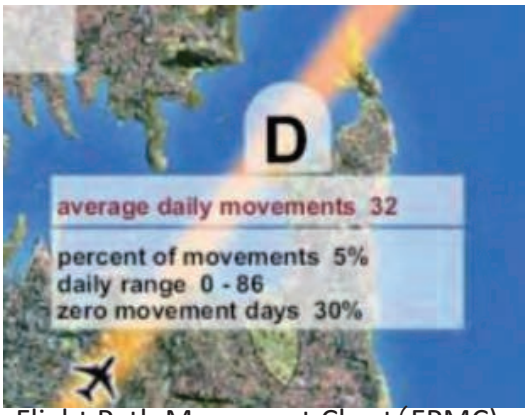


http://webtrak.bksv.com/syd

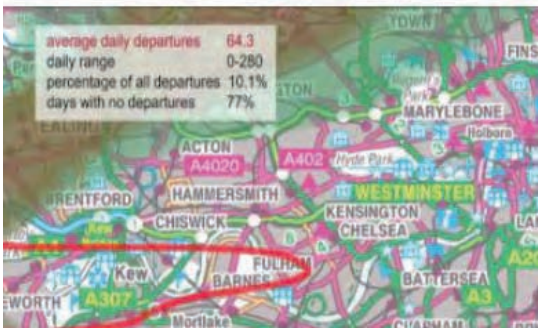
近年，リアルタイム化



SFO Live Flight Tracks



Flight Path Movement Chart（FPMC)



ヒースロー（2008）の例：AUの指標を導入

＊米国でのN70を補足指標として活用

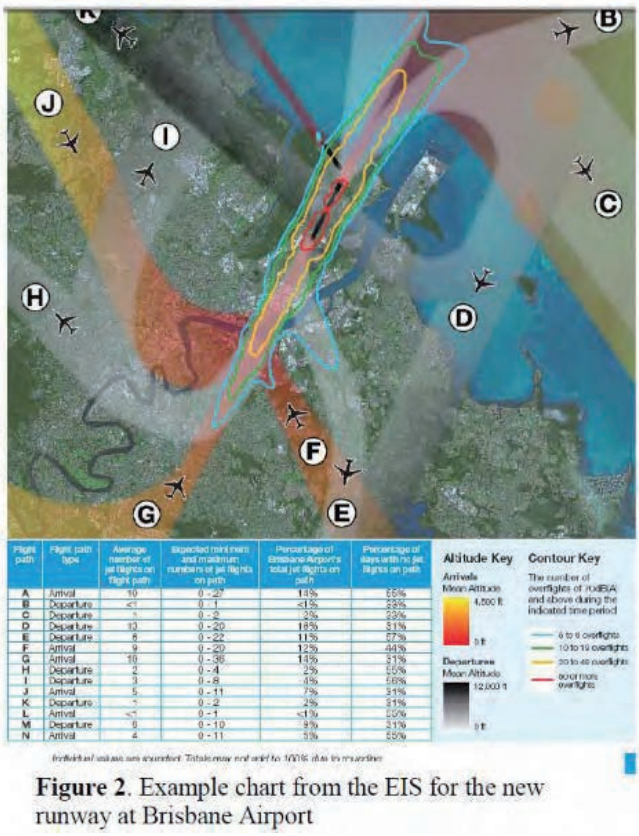


Figure 2. Example chart from the EIS for the new runway at Brisbane Airport

Brisbane空港の新滑走路EIS

14

Single event (B747)

Single event (A320)

Source: Western Sydney Airport – Environmental Impact Statement – Volume 1

15

滑走路運用・飛行経路設定からみた騒音対策の考え方

特定地域への騒音の閉じ込め

- 騒音暴露人口を最小化

騒音の広域分散・公平負担／空域制約の緩和による容量拡大

- 広域分散による一人当たりの騒音暴露量を抑制
- 地域間で公平な負担
- 空域制約の緩和による容量拡大

→ シドニー空港
→ ロンドン（ヒースロー空港）
→ ニューヨーク（ニューアーク空港）

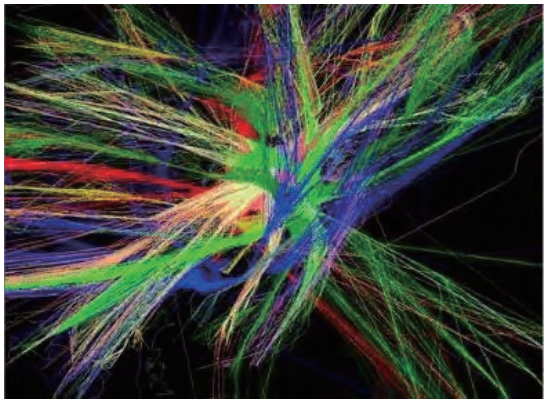
（１）NY/NJ/PHL首都圏空域再編プロジェクト

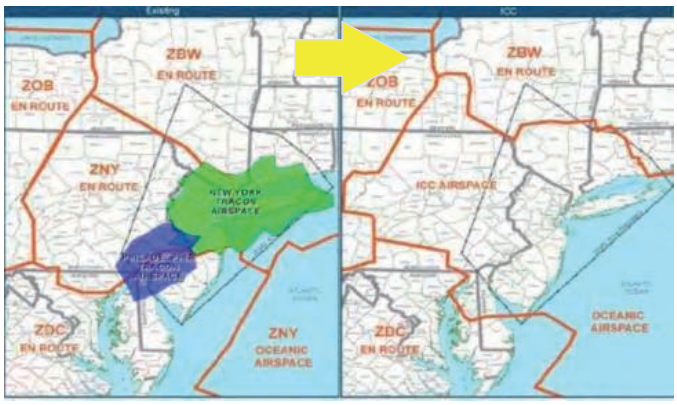
（NY/NJ/PHL Metropolitan Area Airspace Redesign）

- ✓ 遅延問題の深刻化
- ✓ 空域設計の複雑性・非効率性

→

- ✓ NY/NJ/PHLエリア全域の空域・航空路の再編
- ✓ Integrated Airspace with Integrated Control Complex（ICC）の創設





出典）FAA，MITRE

NY空域再編の計画プロセスと計画決定

- NEPAプロセスに則り，約9年間に及ぶ計画
- 広域エリアを対象に120回を超えるPublic Meetingを開催
- 騒音軽減策を講じながら，最終的に国として空域再編計画を決定
- 最終計画案決定後に，特に騒音が悪化する地域から数多くの訴訟が起きたが，今年6月に原告側訴えを棄却

NEPAプロセス（国家環境政策法）　　空域再編プロセス

あらゆる段階で公聴会等を実施し，意見収集

99年7月～ プレ-スコーピング (Pre-Scoping：検討範囲の絞込)

・コンセプト作成
・モデリング
・代替案の作成

01年1月 EIS作成の告知(Notice of Intent)

01年1月 スコーピング(Scoping)

05年12月 環境影響評価書（案）(DEIS)

07年4月 FAAとしての最善案を決定 (Preferred Alternative)

意見収集(Public Review)

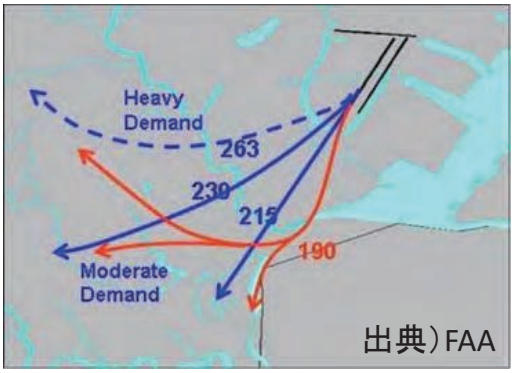
07年8月 環境影響評価書（最終）(FEIS)

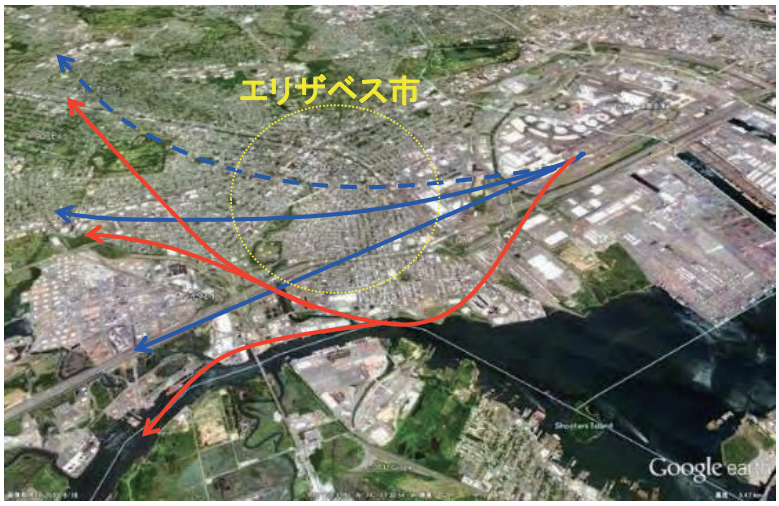
30 Days Hold Period

07年9月 実行計画の決定(Record of Decision)

07年12月～11年（予定） 計画の実行

ニューアーク空港における離陸経路分散と容量拡大





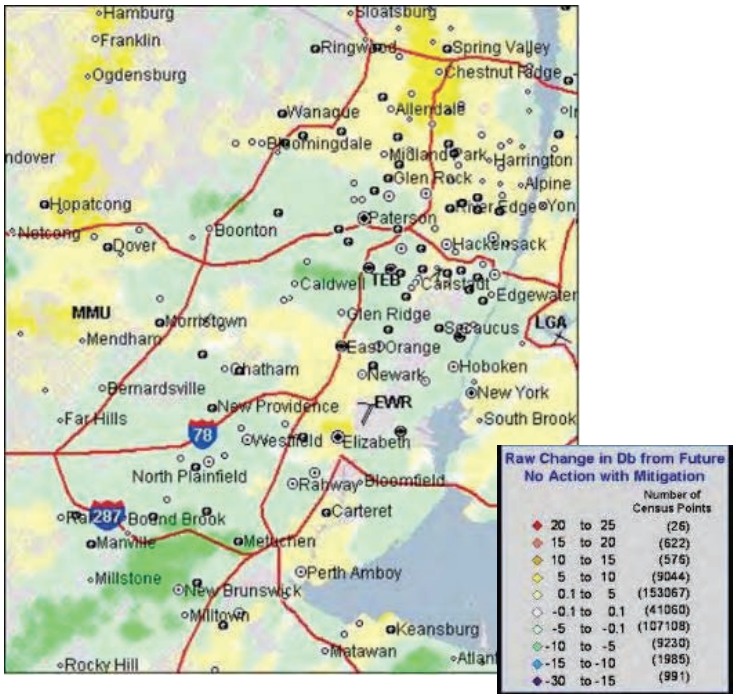
NY首都圏の大規模空域再編（2007～）

離陸経路分散による容量拡大を実行（Fanned Departure）

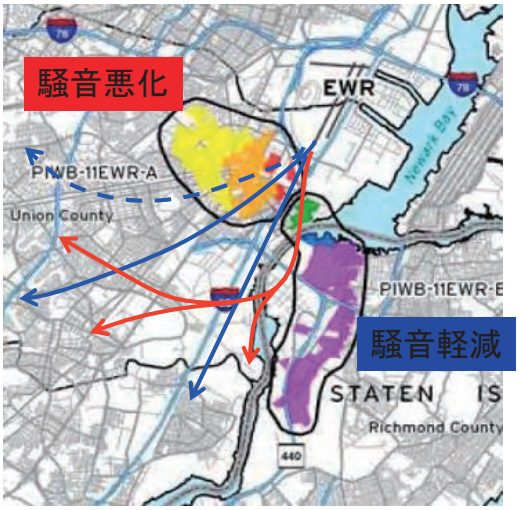
→ これまで避けていた市街地上空にも出発経路を設定

（＊但し，騒音軽減のためピーク時などの高需要時間帯のみに限定）

騒音への影響（ICCとNo Actionの差）



出典）FAA



出典）FEIS

一部地域で騒音が悪化
（出発到着経路の再編，Fanned Departure，などのため）

Record of Decision後の訴訟

FAAは120回にも及ぶPublic Meetingを開催してきたにも関わらず，現在，異なる団体から10以上の訴訟が起きている．

空域再編により，騒音値が上昇する地域からの訴訟が多い．
原告団は，FAAの再編プロジェクト調査に関する手続きについて，NEPAプロセス等に従っていない等の理由で訴訟を起こしている．

原告団の例：
Rockland County，City of Elizabeth，Delaware County，Eastern Connecticut region など

＊Steve Kelley氏（FAA）によると，今後1年程度は法廷で争うことになり，その判決次第では再編計画に修正が必要であるとのこと．
FAA側としてはNEPAプロセスに適切に準拠して計画してきたので問題はないと考えているが，裁判官の判断や政治的圧力により判決はどうなるか分からない．

訴訟の例

➢ Rockland County（EWR北）:
⇒ 空域再編計画の差し止め，調査のやり直しを要求
・FAAは，NEPAや1990 Airport Noise and Capacity Expansion Actの騒音軽減策に対する要件についての議会及び最高裁の決定に従っていない．FAAが使用している
・昼夜平均騒音レベルでは騒音レベルを過小評価している．
・公園やレクレーションエリア上空の分析が不十分
・低所得者居住地域上空でのホールディングなど，環境正義（Environmental Justice）についてきちんとみていない．

（Airport Noise Law/News (2007.9.1)）

➢ City of Elizabeth（EWR南，直近）:
・NEPAの規定に従っていない．
・Elizabeth地域の騒音が従前より非常に悪化し，FAAの軽減策も効果が疑われる．
・Fanned Departureにより安全上の問題あり（1950年代，同様の運用で3件の事故あり）．

（City of Elizabeth Press release (2007.9.5)）

➢ Delaware County:
・FAAはFederal Clean Air Actで要求されている手続きに従っていない．

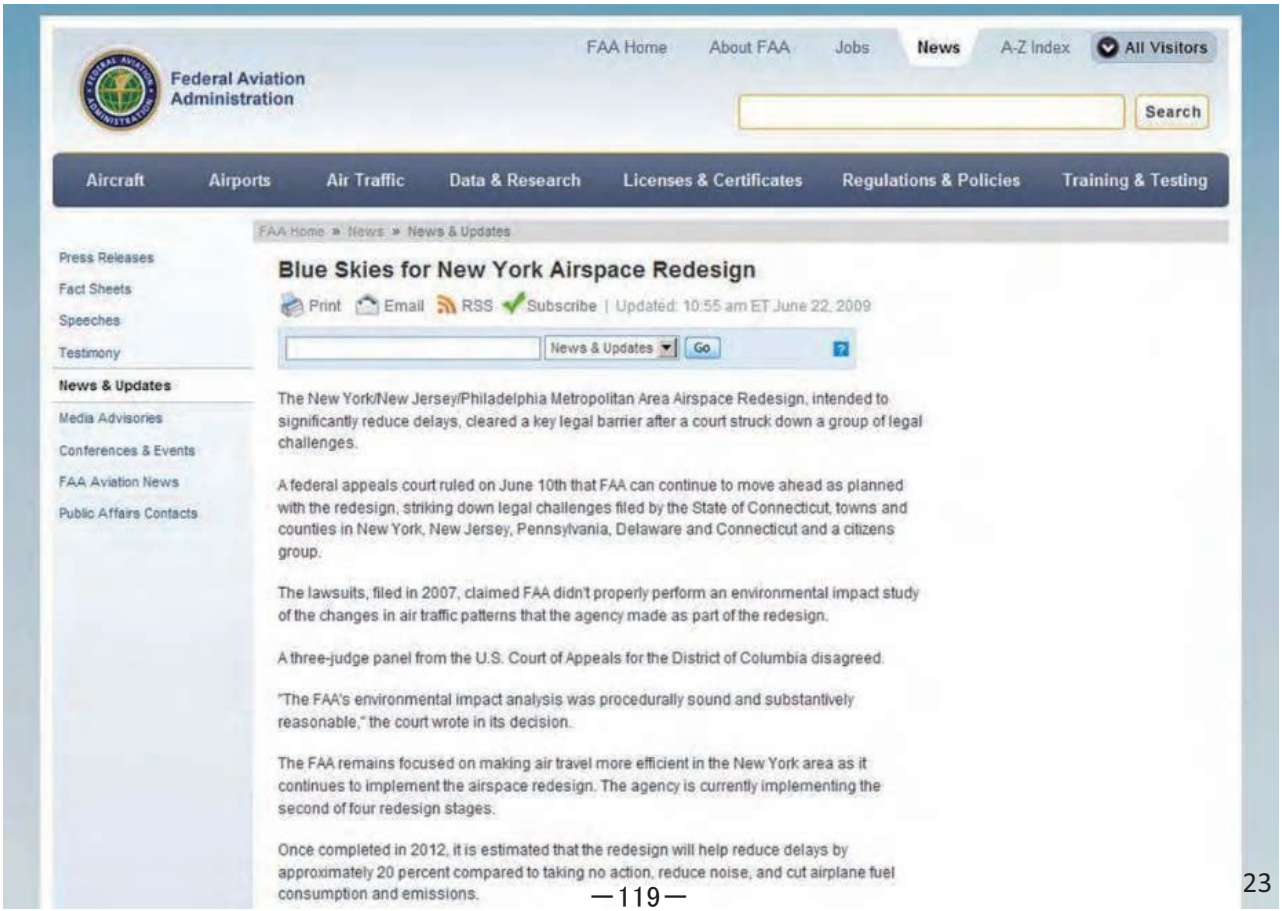
（MyWire，The Philadelphia Inquirer（2007.9.15））

➢ Eastern Connecticut region（the towns of Greenwich, Wilton, Darien, Redding, Weston, Ridgefield, Norwalk, Stamford and Pound Ridge, N.Y.）:
GAOに対して，市場原理（混雑料金等）によるスロット調整方策の検討を要求

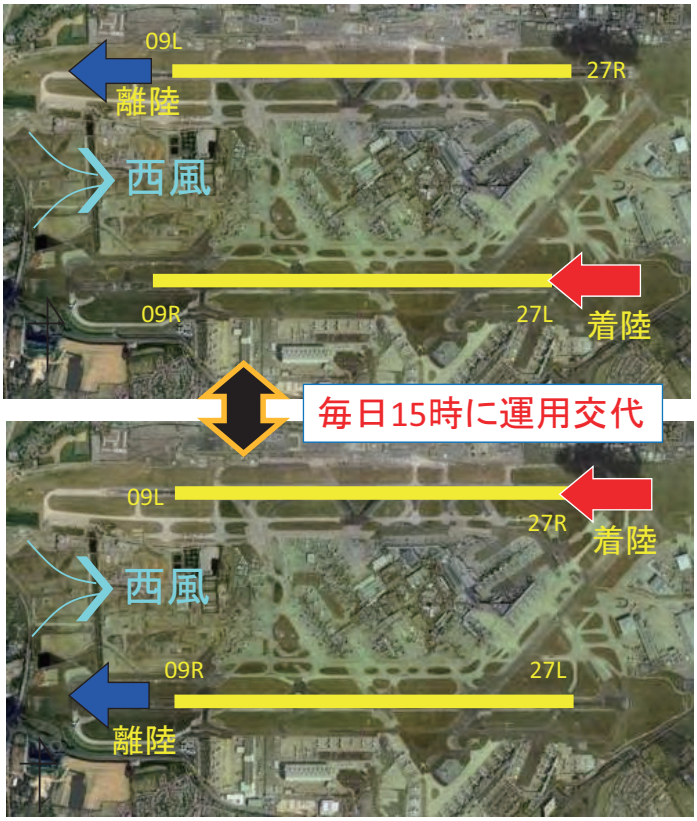
（New York Times（2007.11.18））

法的障壁のクリア（FAA，2009年6月）

出典）
http://www.faa.gov/news/updates/?newsId=58761



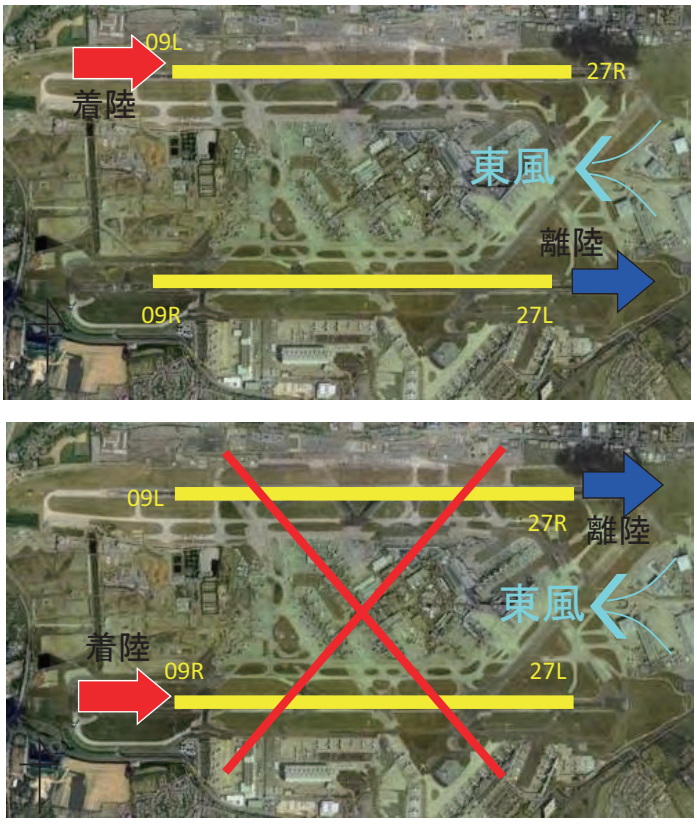
（２）ヒースロー空港 ～滑走路運用上の騒音考慮



２本の平行滑走路を離着陸分離方式で運用
⇔離着陸共用方式（Mixed-mode：容量大）は騒音対策上，原則行っていない．

定時に滑走路運用を交代し，地域に無騒音時間（Respite Period）を提供（Runway Alternation）

（２）ヒースロー空港 ～滑走路運用上の騒音考慮



２本の平行滑走路を離着陸分離方式で運用
⇔離着陸共用方式（Mixed-mode：容量大）は騒音対策上，原則行っていない．

定時に滑走路運用を交代し，地域に無騒音時間（Respite Period）を提供（Runway Alternation）

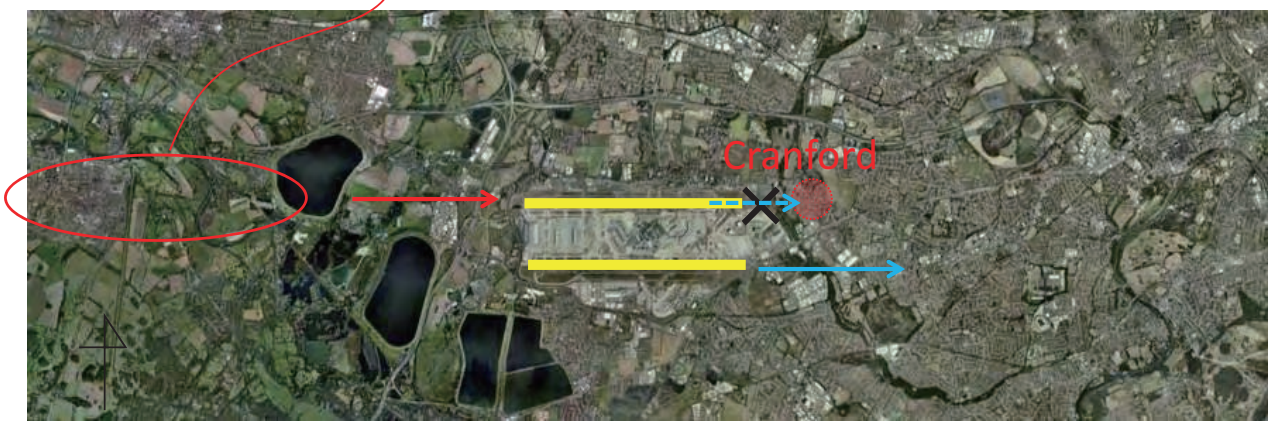
⇒東風運用時はNG
（Cranford Agreementの存在）

ヒースロー空港 ～離陸禁止地域（Cranford Agreement）

✓ Cranford Agreement（50年以上前のAgreement）

「Cranford地区上空は出発経路として使用しないとする合意」

東風運用時はRunway Alternationが実施できず，
騒音が特定地域に集中



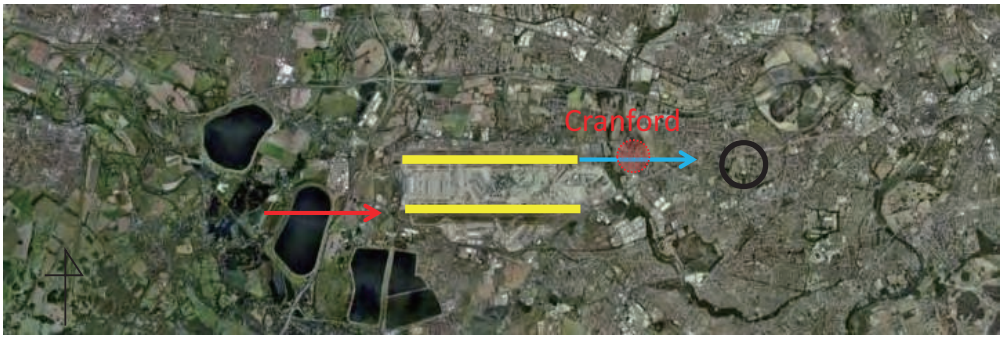
参考）DfT,2010

近年の動き① ～離陸禁止エリアの開放

✓ Cranford Agreement（50年以上前のAgreement）

✓ 2009年，同Agreementの解消を決定（2010年，新政府でも再確認）
⇒ 東風運用時にもRunway Alternationを実施
⇒ 騒音のより公平な負担の実現（誘導路等の施設整備後）

“This decision was based on the desire to distribute noise more fairly around the airport and extend the benefits of runway alternation to communities under the flight paths during periods of easterly winds.”



参考）DfT, 2010

ロンドンヒースロー空港の容量拡大検討の経緯

03年
- 航空白書（国の基本方針）*"The Future of Air Transport White Paper"*
  ⇒ ヒースローに第3滑走路が必要（*騒音等の環境条件を満たせば*）

04年
- ヒースロー拡張整備プロジェクト（技術検討）*"Project for the Sustainable Development of Heathrow (PSDH) " (in DfT)* →3年間の技術
  （第3滑走路，Mixed-mode，現状の運用制約緩和（Cranford Agreementの解消など）の効果と影響）

07年 11月
- ヒースロー拡張整備プロジェクト（ コンサルテーション）
  " Adding Capacity at Heathrow Airport Consultation Report "
  ⇒ 2008年2月末までコンサルテーション
  ⇒ 約7万件の意見提出

09年 1月
- ヒースロー拡張整備プロジェクト（政策決定）*" Britain's Transport Infrastructure - Adding Capacity at Heathrow: Decisions Following Consultation "*
  ⇒ 政府として「第3滑走路」を承認．Mixed-modeは却下．Cranford Agreementも解消を決定．

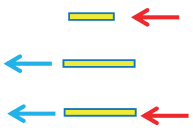
10年
- （政権交代）⇒第3滑走路計画，その他容量拡大計画のキャンセル

11年
- 航空輸送の持続可能なフレームワークの構築に向けて *"Developing a sustainable framework for UK aviation: Scoping document"*
- 運用効率化実験 " Operational Freedom Trial "（2011～2013）

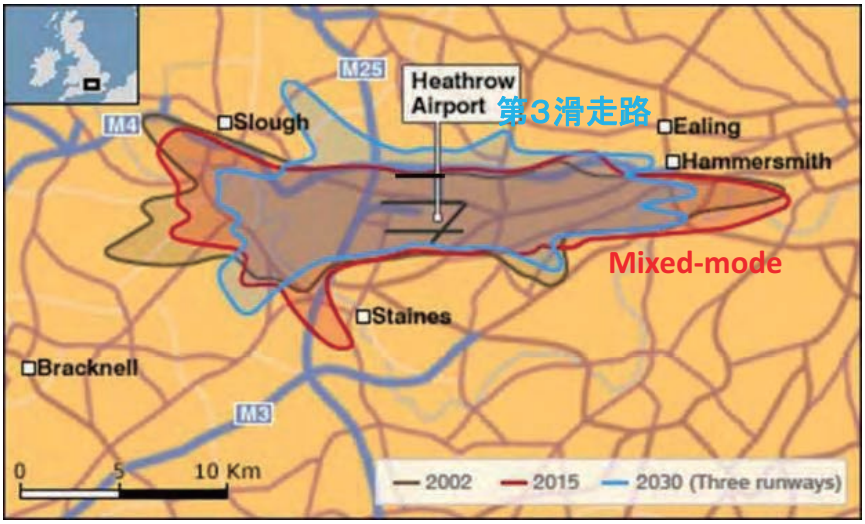
参考）DfT

（参考）Mixed-mode，第3滑走路の検討

離着陸共用方式
（Mixed-mode）



第3滑走路

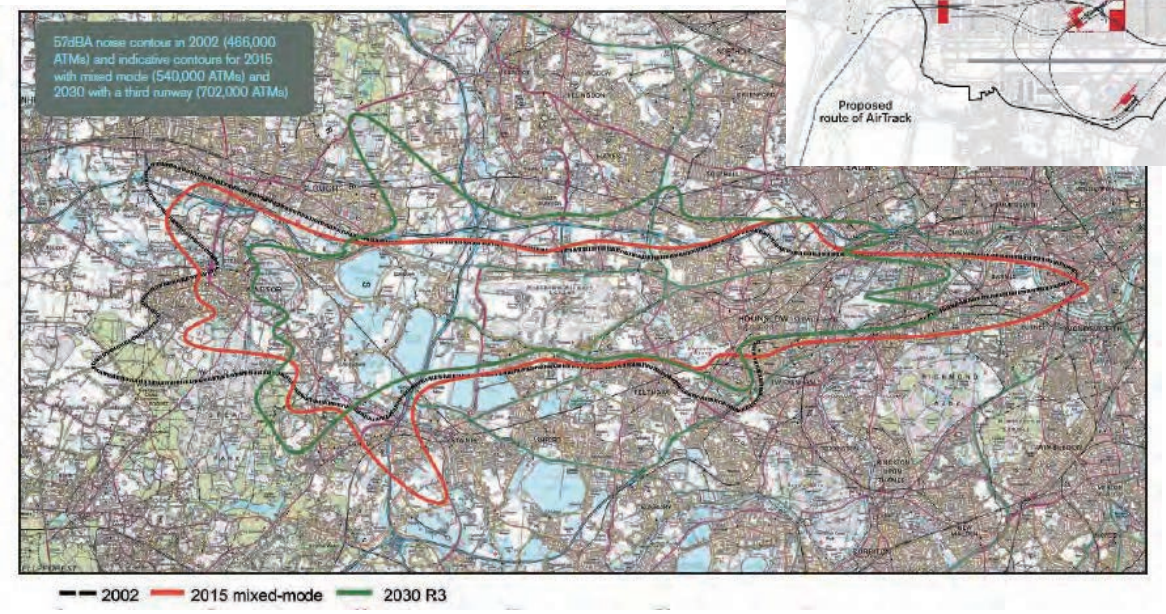


「Mixed-mode」ではなく「第3滑走路」を選択（2009）
→ Mixed-modeでは，現在の騒音暴露地域でのRespite Periodがなくなり，特定地域への騒音負担が増すことが理由の一つ

参考）DfT
出典）http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/politics/7107693.stm

■ヒースロー空港の将来方針案
（国による政策検討2007-）

オプション1：2本で48万回／年（離着陸分離） 現状のまま
オプション2：2本で54万回／年（mixed mode)
オプション3：第3滑走路の混合利用と既存2本の分離利用で
約70.2万回／年



出典）UK，DfT

近年の動き② ～運用効率化 Operational Freedom Trial（2011－2013）

Runway Alternation制約を従来より緩和（＝Respite Periodの減少）
⇒遅延拡大時などのバッファー容量の確保

現状　離着陸分離方式
＋
「限定的に2本着陸」

Trial中

離着陸分離方式
＋
「Operational Freedom」

- 2本着陸（離陸専用滑走路への着陸）を実施できるトリガー条件を緩和
  - 遅延時間，定時性
  - 容量低下時（向かい風20kt以上）など
- 2本離陸も同様に実施
- A380や小型機の到着を離陸専用滑走路へ
  - 後方乱気流の影響軽減
- 騒音軽減離陸経路（NPR）からの逸脱誘導
  - 離陸容量の増加　　etc

騒音負担を公平にしつつ，運用制約の一部緩和により容量拡大（遅延軽減）も実施

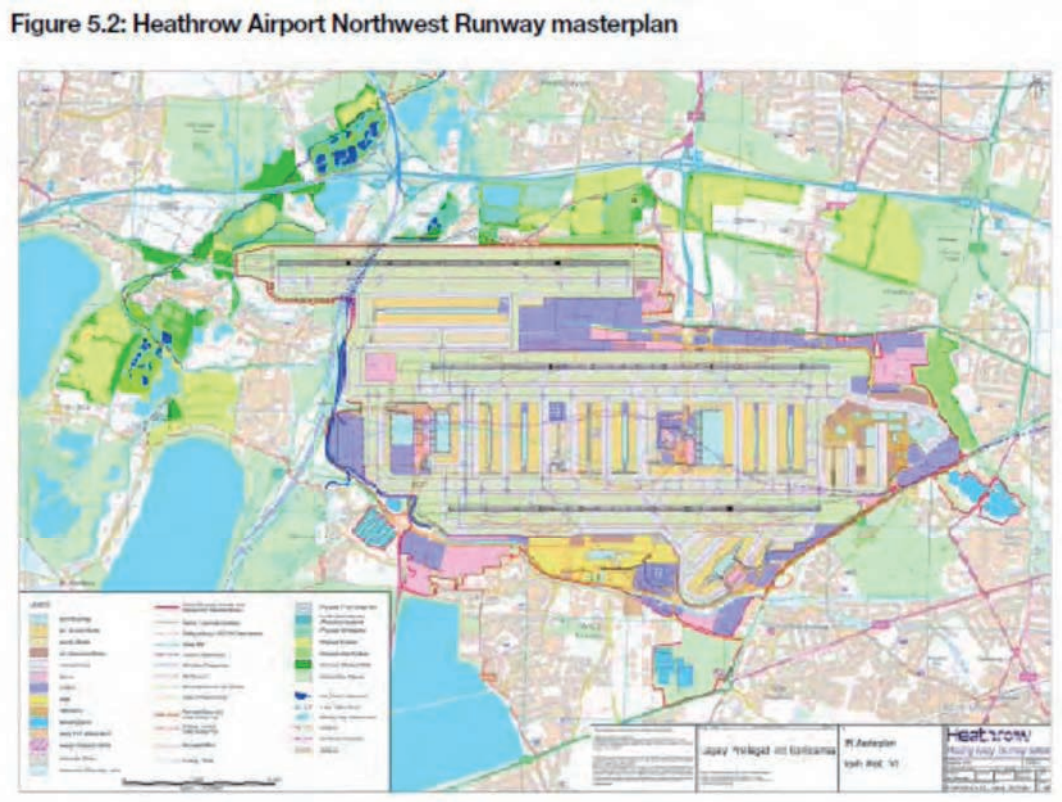
参考）DfT

最近の動き③：2012年11月　Airports Commissionの設立と2015年7月の最終提案

- エアラインや経済界から現政権に対して，ヒースロー第3滑走路建設により容量問題を早期解決せよとのプレッシャー
- 現政権は独立委員会としてAirports Commission（空港委員会）を設立し，空港容量問題に関する調査と提言を付託
- 2013年に中間報告，2015年に最終報告を行う
- その後，政府が英国の空港容量問題への政策方針を決定する予定（2015年の総選挙後）
- 2013年　3つの案（①LHR第3滑走路，②LHR滑走路超延伸，③GTW第2滑走路）に絞り込み
- 2015年7月　CommissionからヒースローLHR第3滑走路（北西部）が最良案として提案

https://www.gov.uk/government/speeches/membership-and-terms-of-reference-of-the-airports-commission

32



出典）Airport Commission Final Report (2015)

Figure 5.1: Gatwick Airport Second Runway masterplan

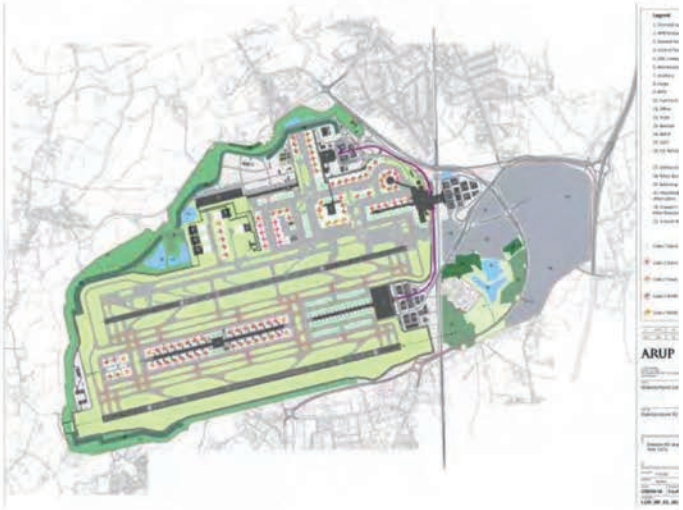
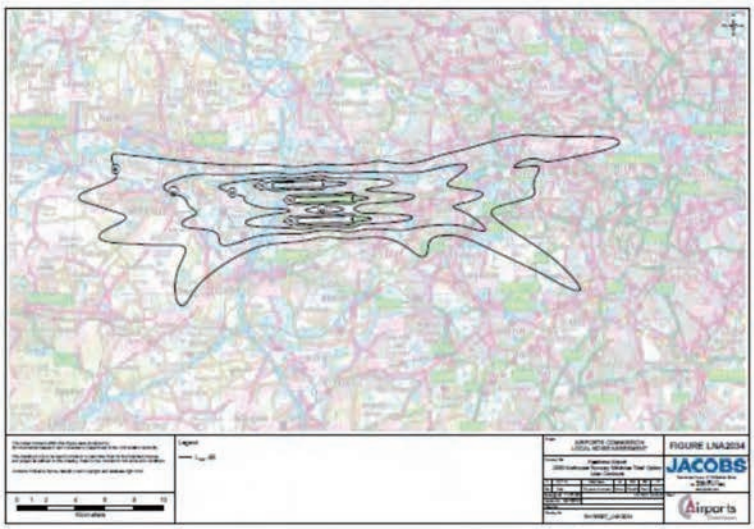
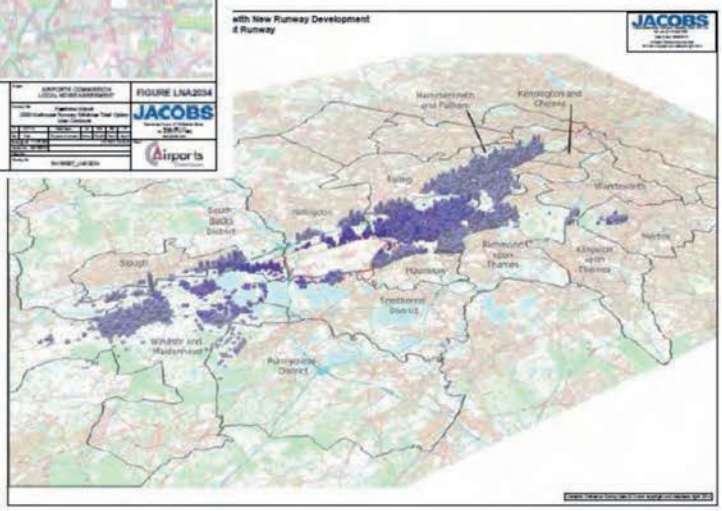


Figure 5.3: Heathrow Airport Extended Northern Runway mast

出典）Airport Commission Final Report (2015)

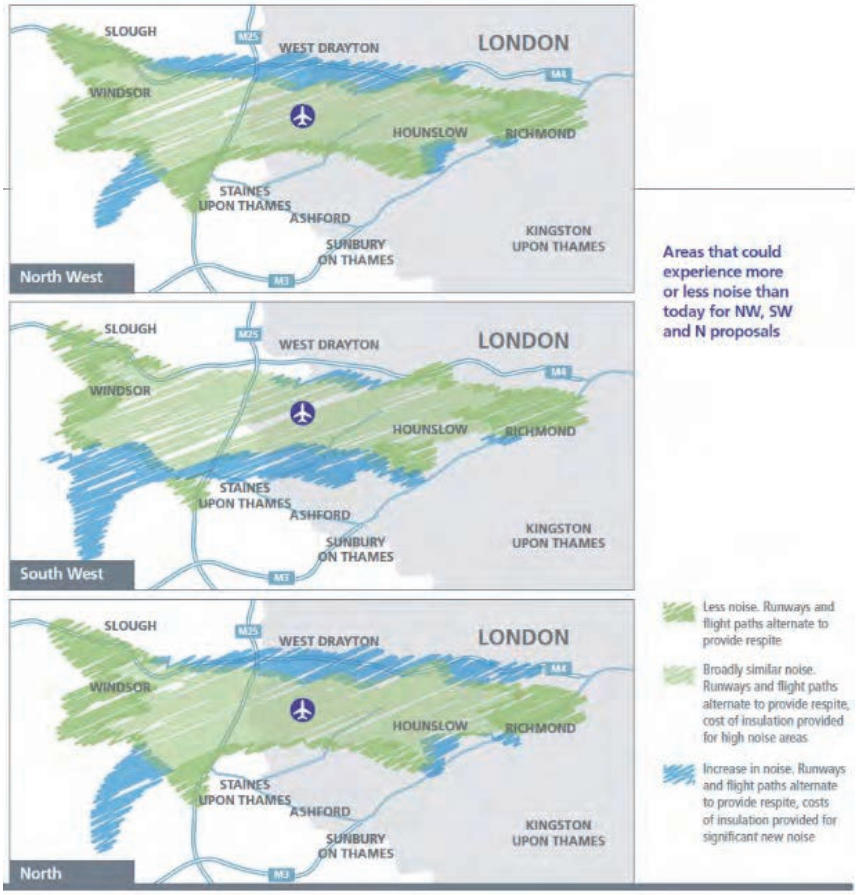
Figure 9.4: 55L_{den} contours for Heathrow Airport Northwest Runway, carbon-capped, *assessment of need*, 2050





出典）Airport Commission Final Report (2015)

Source: DfT and Jacobs

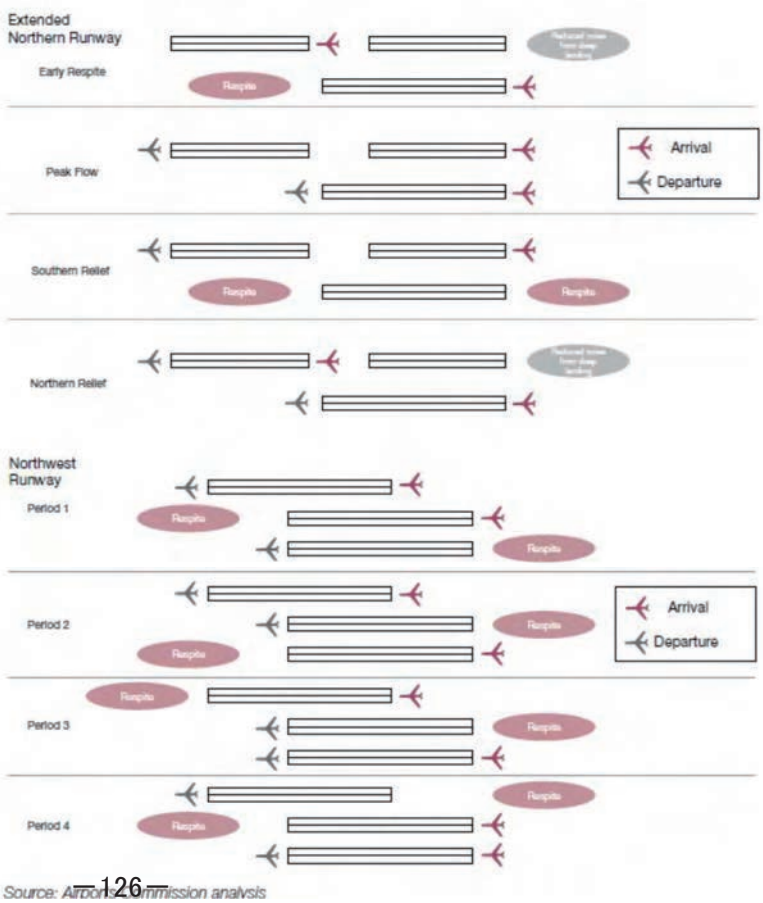


出典）LHR Airports Limited WEB: http://www.heathrowairport.com/

Respite
（無騒音時間）

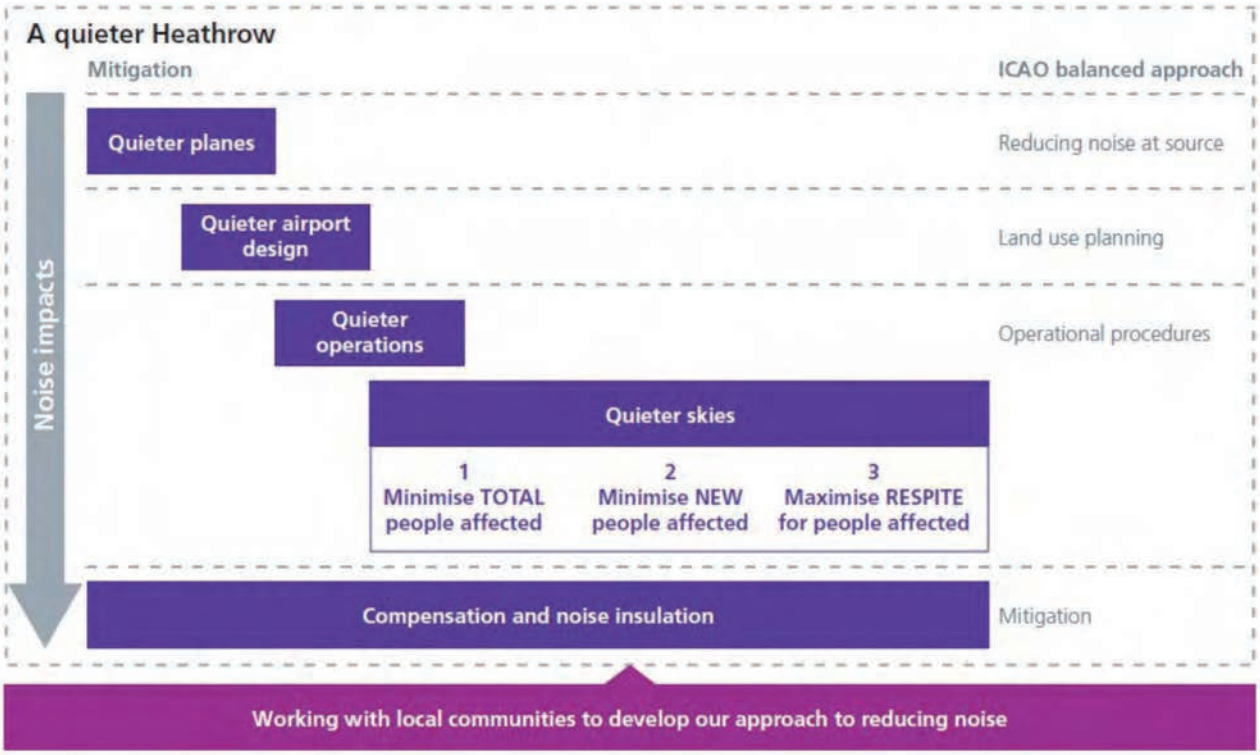
9.33 These runway alternation schemes are shown in the figures below:

Figure 9.10: Runway alternation at the Heathrow schemes



出典）Airport Commission Final Report (2015)

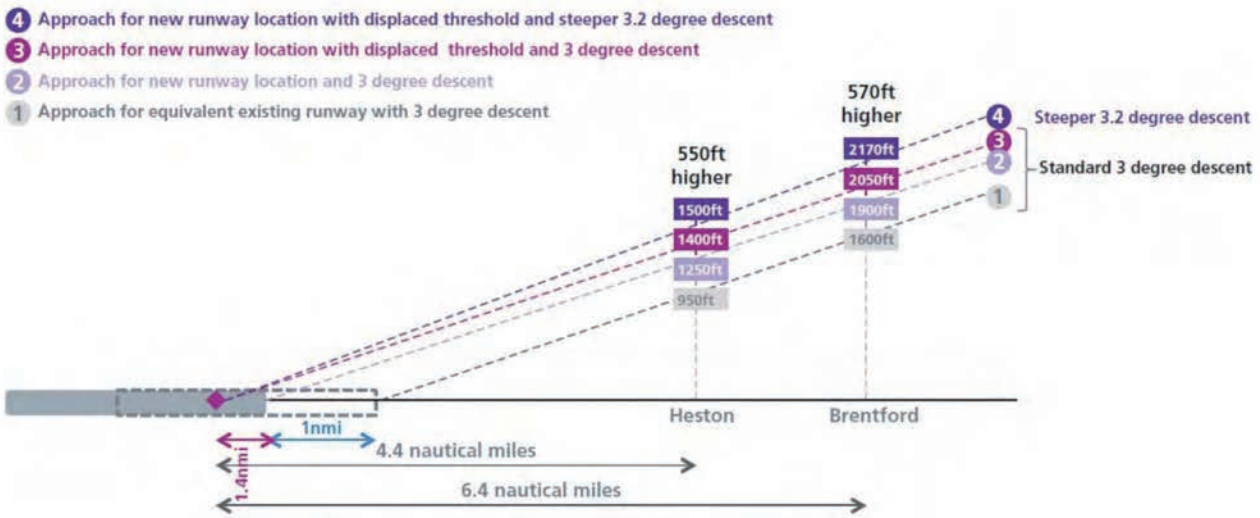
Figure 5.5: Our air noise mitigation strategy



出典）https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/368779/01_Heathrow_Taking_Britain_Further_-_Volume_1.pdf

騒音軽減のための滑走路運用の案

Figure 5.7: Designing the airport to reduce noise impacts



出典）https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/368779/01_Heathrow_Taking_Britain_Further_-_Volume_1.pdf

飛行経路案

Figure 2 – Heathrow Airport North West Runway: Indicative Arrival and Departure Paths during Westerly Runway Operations[12]

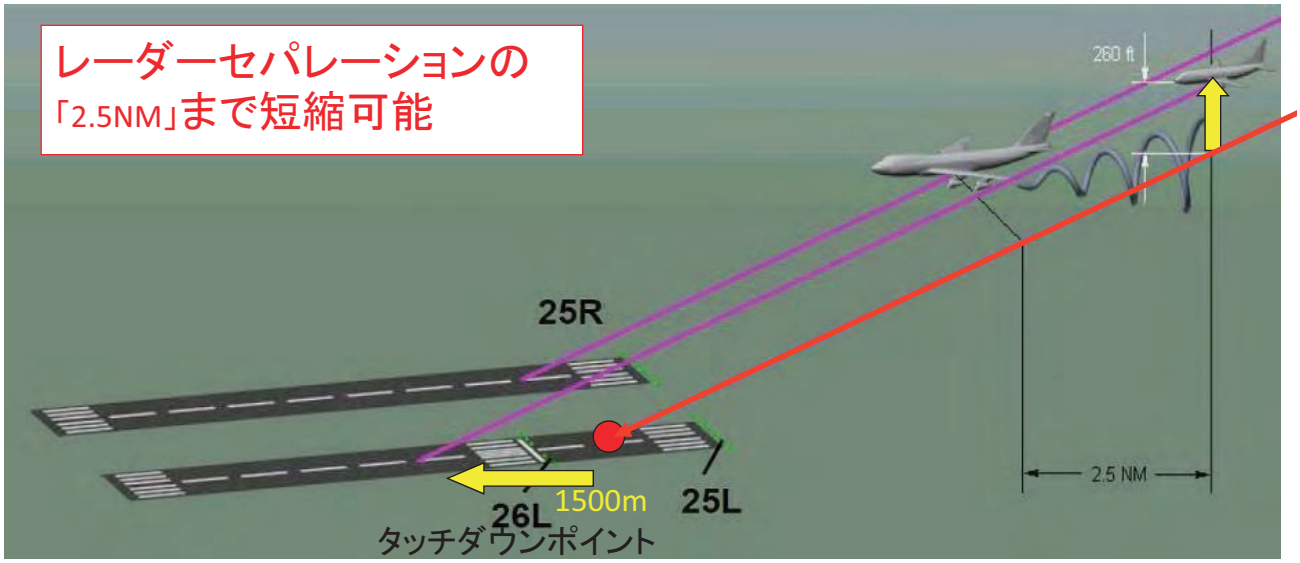
Figure 3 – Heathrow Airport North West Runway: Indicative Arrival and Departure Paths during Easterly Runway Operations[12]

出典）operational-efficiency-fast-time-airspace-simulation （2014）

HALSによる後方乱気流の回避と容量増加 :フランクフルト

滑走路25Lの滑走路端を内側にずらし，並行する最終進入コースに高度差を設定することで後方乱気流の回避が可能

⇒ 着陸間隔の短縮 （結局，本格実施は見送り）

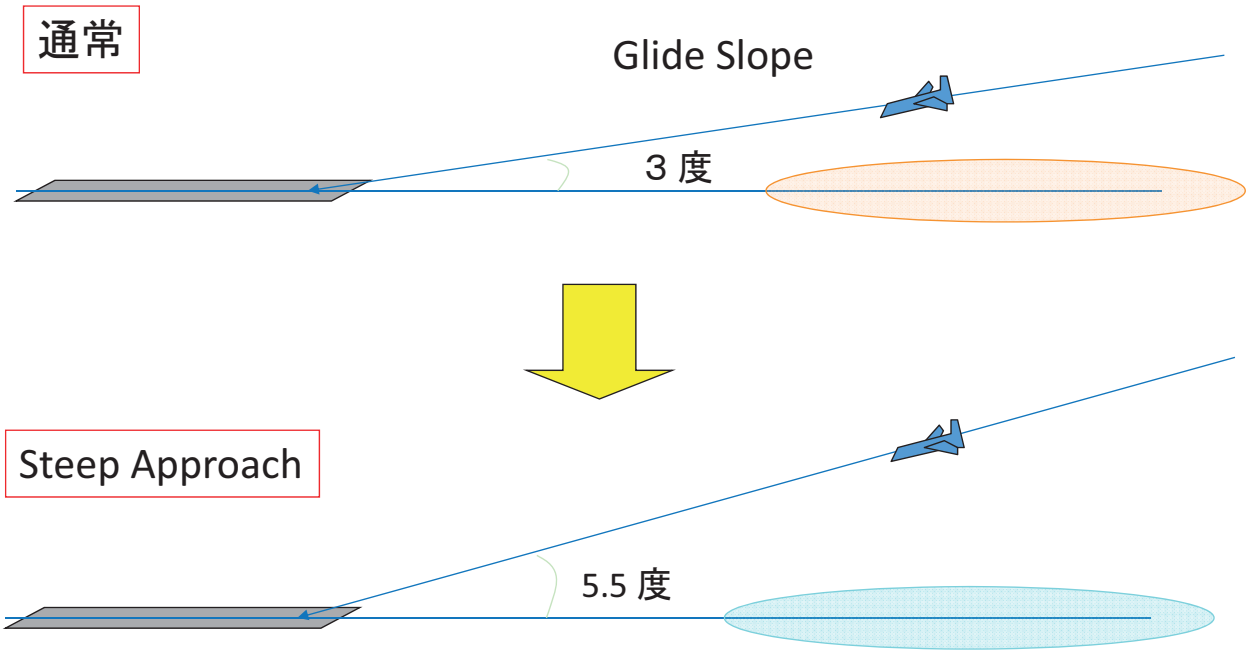


出典）Stefan Mauel: Frankfurt Airport Capacity Enhancement Program
The Role of Wake Vortex Reducing Measures, 2nd WakeNet 2 - Europe Workshop,2004

London City Airport

Londonの中心部に近い．1987年Open．旧ドック

Steep Approachによる騒音低減



STOL機のみ可能
(Short Take-Off & Landing)

着陸経路直下の騒音を低減

Steep Approach Certified Aircraftの例

BAe 146（アブロRJ）

A318

BAが2機購入を決定.
LCY－NYに就航予定

EMBRAER 170

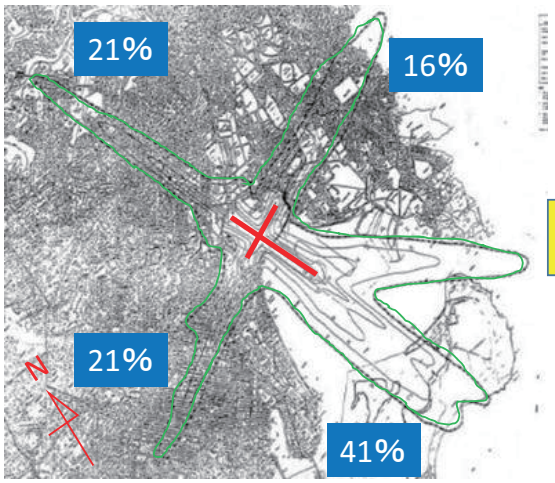
（３）シドニー空港におけるNoise Sharing

シドニー市街地に近接し，
南側は湾に面している

- 以前から航空機騒音が社会問題化
- 90年代半ばの第3滑走路建設を機に騒音負担の考え方が大きく転換
- 広域で騒音を分担する運用方式を積極使用
- 現在，航空機騒音対策に関して世界のリーダーと認識

第3滑走路建設を巡る騒音問題の経緯（１）

1993年以前（第3滑走路供用前）

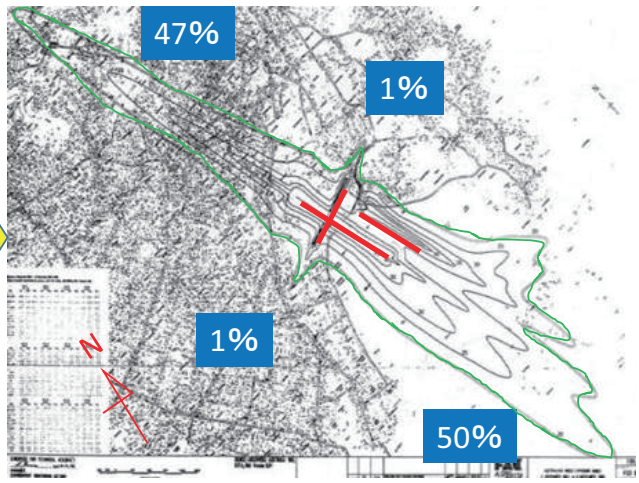


1993年コンター（第3滑走路建設前）

2本の交差滑走路を使用

陸域の飛行ルートは全方面で同程度の使用比率

1994年（第3滑走路供用開始）



1995年コンター（第3滑走路建設後）

3本の滑走路を使用

・南北平行滑走路による容量拡大

・ 空港北部への騒音集中

⇒北部地域住民の反対運動が激化

図出典：Airservices Australia：Long Term Operating Plan for Sydney Airport & Associated Airspace, 1996

46

第3滑走路建設を巡る騒音問題の経緯（２）

95年
- 上院の特別委員会報告
  ⇒騒音軽減のための運用方法等の検討が必要

96年
- 新政権（自由党・国民党）がAirservices Australia（管制会社）に対して，騒音の公平な負担を達成するための東西滑走路の使用頻度増加と，長期運用計画（Long Term Operating Plan：LTOP）の作成を指示．
- Airservices Australiaを中心としたTask Forceによる技術検討
  → Public Consultation
  → 31のRecommendationからなるLTOPを策定．

97年
- LTOPに基づく運用を開始

参考：
- Airservices Australia：Long Term Operating Plan for Sydney Airport & Associated Airspace, 1996
- Commonwealth Department of Transport and Regional Development: Sydney Airport Long Term Operating Plan- Proponent's Statement (Excerpt), 1997.
- Dave Southgate, The Evolution of Aircraft Noise Descriptors in Australia over the Past Decade, Proceedings of ACOUSTICS 2011.
- Giovanni Nero, John A. Black: A critical examination of an airport noise mitigation scheme and an aircraft noise charge: the case of capacity expansion and externalities at Sydney (Kingsford Smith) airport, Transportation Research Part D 5 (2000) pp.433-461
- John Black:空港の民営化とその経済的，環境的影響への対応，第14回運輸政策研究セミナー，運輸政策研究，Vol.3，No.1，2000.

47

Long Term Operating Plan:LTOP 1997～

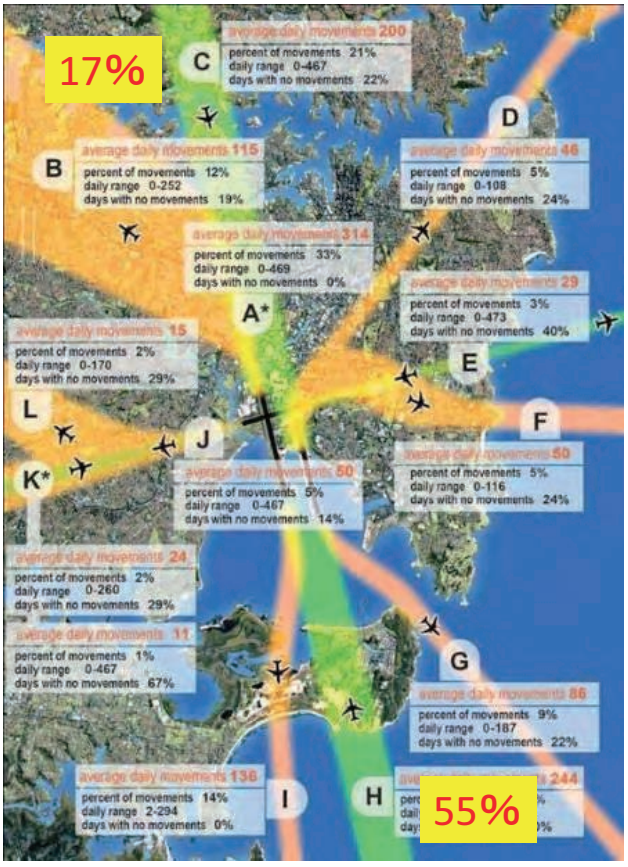
LTOPの基本方針:

- 3本全ての滑走路を活用
- 海上と非住居エリアの飛行経路を最大限活用

- 居住エリア上空の飛行による騒音は公平に負担する（fairly/equitably shared)

- 運航の安全に支障はきたさない
- 軍空域の影響を調査する

飛行経路の分散の様子

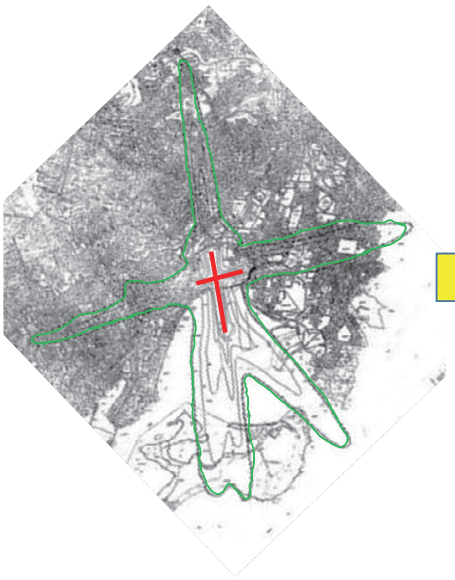


各飛行経路の使用比率目標

13%

出典）Sydney Airport Master Plan 2009

Long Term Operating Plan:LTOP



1993年コンター
（第3滑走路建設前）

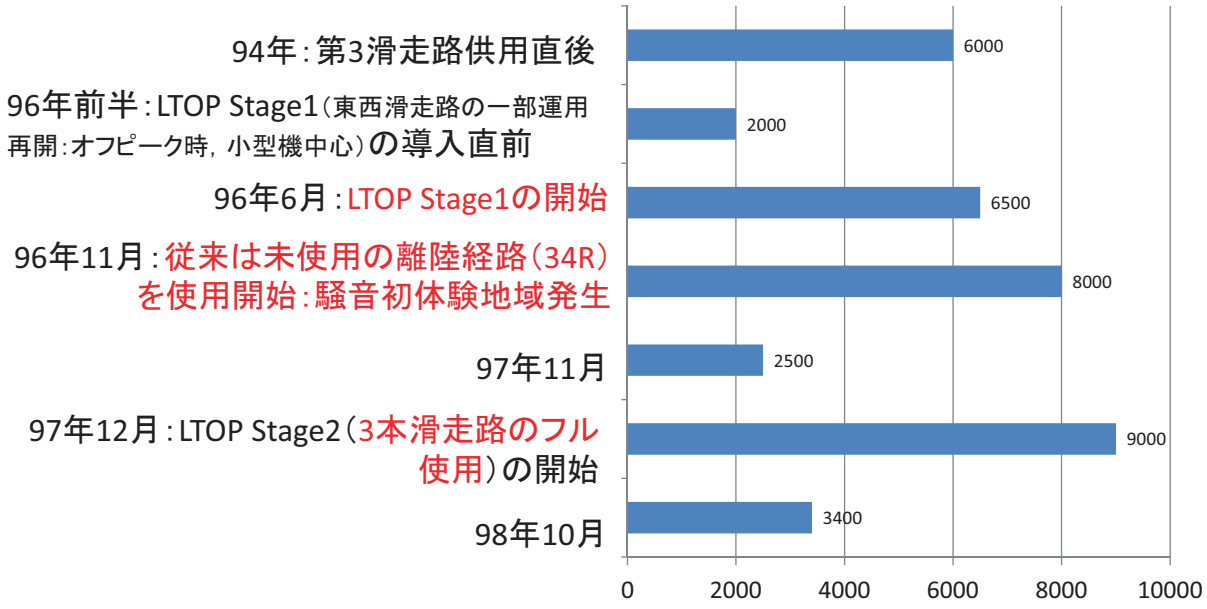
LTOP予測コンター

飛行経路の検討図

図出典：
Airservices Australia：Long Term Operating Plan for Sydney Airport & Associated Airspace, 1996
Commonwealth Department of Transport and Regional Development: Sydney Airport Long Term Operating Plan- Proponent's Statement (Excerpt), 1997.

苦情数の推移

＊1993年から1998年にかけて騒音影響が大きく変化：



データ参考）Giovanni Nero, John A. Black: A critical examination of an airport noise mitigation scheme and an aircraft noise charge: the case of capacity expansion and externalities at Sydney (Kingsford Smith) airport, Transportation Research Part D 5 (2000) pp.433-461

新規騒音暴露地域においても一定期間を経ると苦情件数は低下
（同程度の騒音暴露地域が他にもあるため受容性が高い？）

Noise sharingのための滑走路運用モード

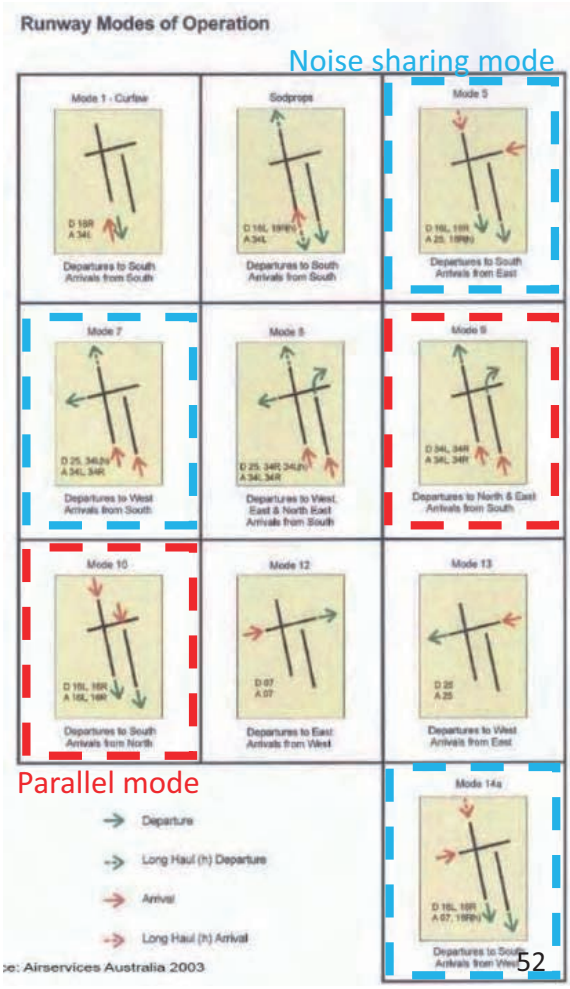
- 10種類の滑走路運用方式を使用.

- 騒音の公平なシェアにおいては「Respite（小休止，一時的中断）」の時間を極力作ることを考慮.

処理能力の高い「南北平行滑走路運用方式（Parallel mode）」

⇕ 選択

処理能力の低い「騒音分散運用方式（Noise sharing mode）」



図出典）Sydney Airport Master Plan 2009

時間帯別の需要と滑走路運用方式の選択

Noise-sharing modeの処理能力が低い
⇒オフピーク時（*早朝，夜間*，昼間帯）にNoise-sharing modeを使用

＊騒音に敏感な時間帯⇒ Noise-sharingを促進すべき時間帯

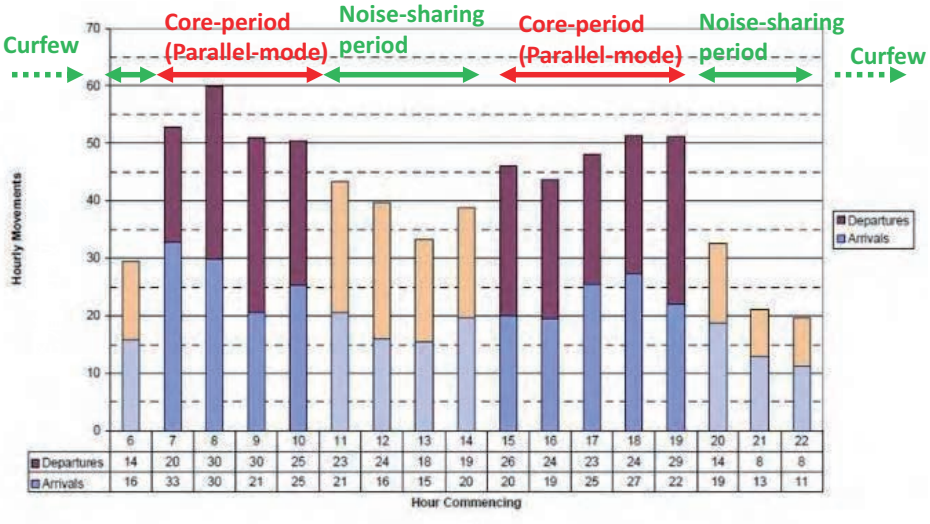


Figure 3.6 2003 Average Weekday – Hourly Aircraft Movements

出典）Sydney Airport Community Forum: Long Term Operation Plan- Review of LTOP Performance Report, 2005.

滑走路運用方式の選択に対する管制支援システム

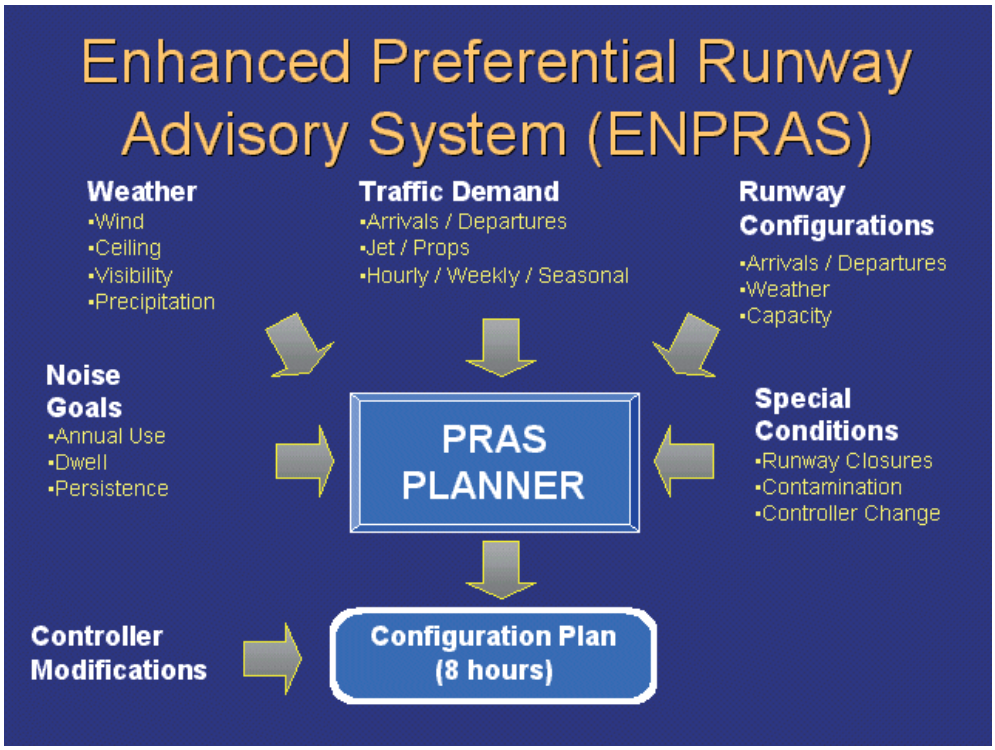
滑走路選択においては，
気象条件（安全性）や交通量（効率性）の影響も受け，
Noise sharing modeも複数ある・・・

TARDAS（The Advanced Runway Decision Advisory System）

⇒ 気象条件や交通条件，また，過去の短期および長期の運用履歴を参考に，Noise-sharingの目標を達成するための滑走路運用方式選択について管制官に推奨．

＊もともと，ボストン・ローガン空港で活用されていた優先滑走路選択支援システム（PRAS：Preferential Runway Advisory System）を参考にシステム開発を実施．

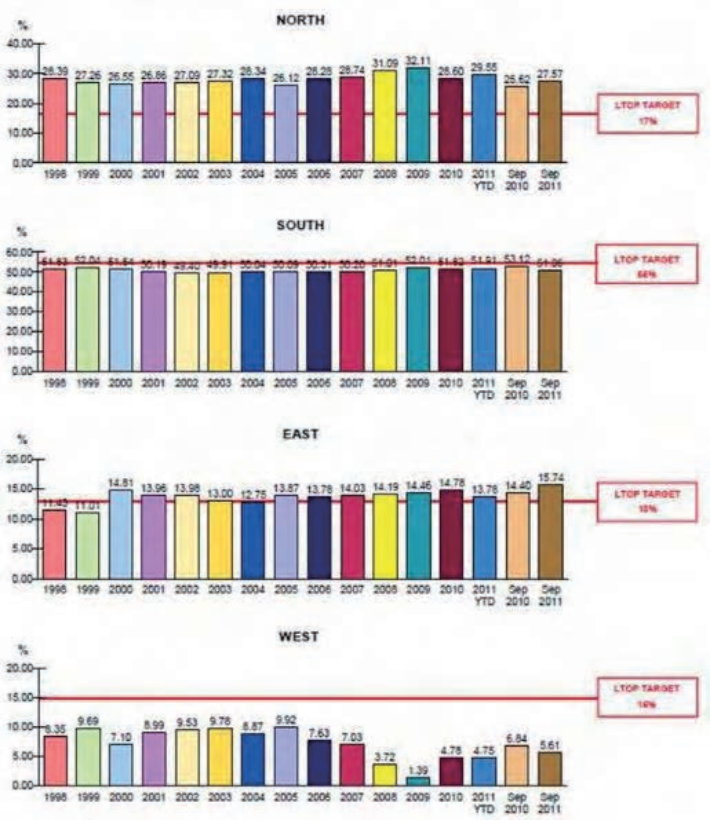
参考：
Airservices Australia：Long Term Operating Plan for Sydney Airport & Associated Airspace, 1996
Commonwealth Department of Transport and Regional Development: Sydney Airport Long Term Operating Plan- Proponent's Statement (Excerpt), 1997.



出典）Flight Transportation Associates, Inc，http://www.ftausa.com/enpras.htm

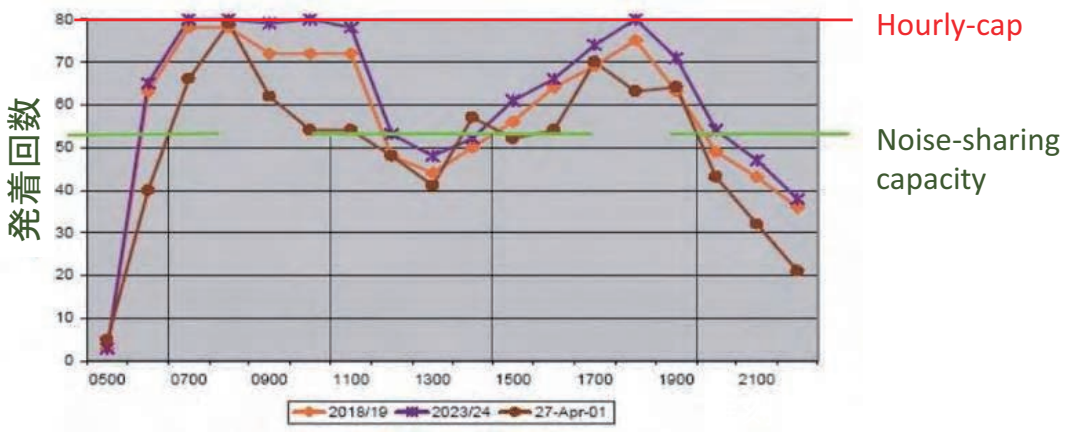
使用滑走路の実績モニターと評価例

- Noise-sharingの実績をモニター
- 気象条件や需要に応じて，必ずしも目標を達成できているわけではない



出典）Sydney Airport Operational Statistics, September 2011

航空需要増加によるNoise-sharing率の低下予測と対応



- 将来的に，時間発着回数の上限（80回）もありピーク時間が増加．
- 交差滑走路の容量拡大の検討が必要（MAESTRO：メタリング支援）
- 2012年3月，独立委員会からシドニーエリアの空港容量に関する報告書　→　時間容量制約緩和（80→85回），第2空港建設の可能性検討に関して提言
- 2014年4月，政府がBadgerys Creekを第2空港建設候補地に選定し，計画開始．
- 2015年10月，Draft EIS公開

出典）- Sydney Airport Community Forum: Long Term Operation Plan- Review of LTOP Performance Report, 2005.
- Joint Study on aviation capacity for the Sydney region，2012

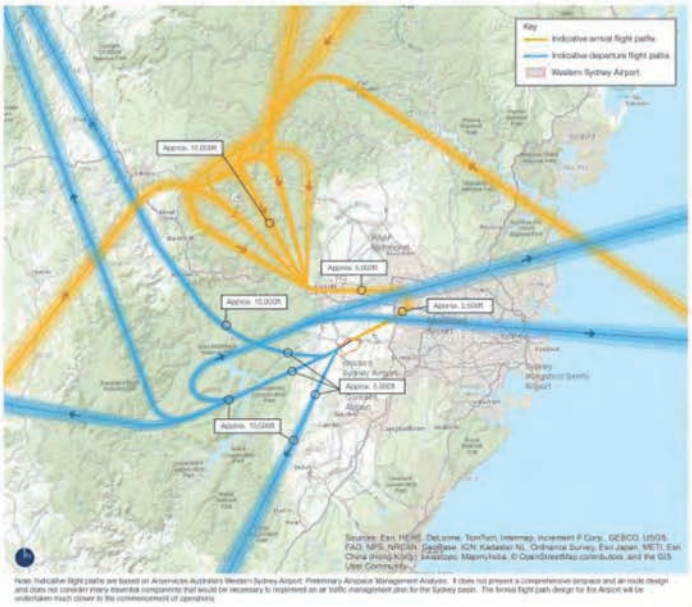
Figure 2: Indicative Airport Layout (Stage 1)

Figure 4: Indicative Airport Layout (Long Term)

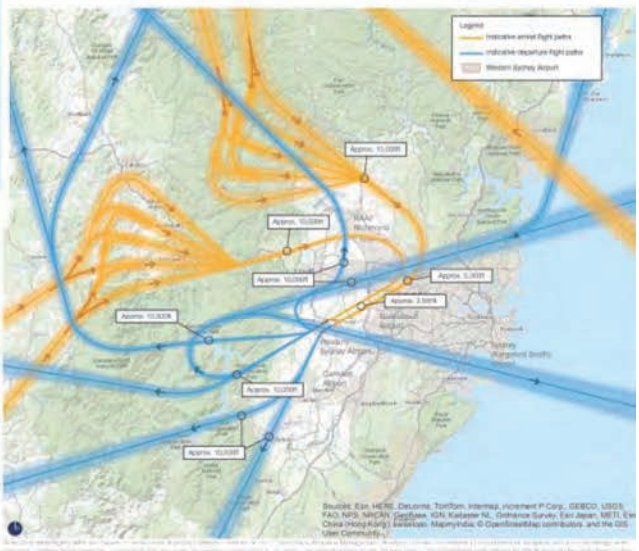
Figure 1: Airport Site Location

出典）Western Sydney Airport Draft Plan(2015)

Figure 14: Indicative Flight Path for Stage 1 Operations – Single Runway : 23 mode



gure 16: Indicative Flight Path for Long-Term Operations – Parallel Runways: 23 mode



Point-Merge Systemの採用案

出典）Western Sydney Airport Draft Plan(2015)

航空機騒音に関する近年の評価例

Dave Southgate氏（2011）（Aviation and Airports, Australian Government Department of Infrastructure and Transport）：

「Noise-sharing」という環境正義のコンセプトは広く受け入れられるようになってきた．騒音に関して「受容できるか？」から「公平か？」という問いに変化．騒音の絶対量より相対的な量に，共通した関心が置かれている．

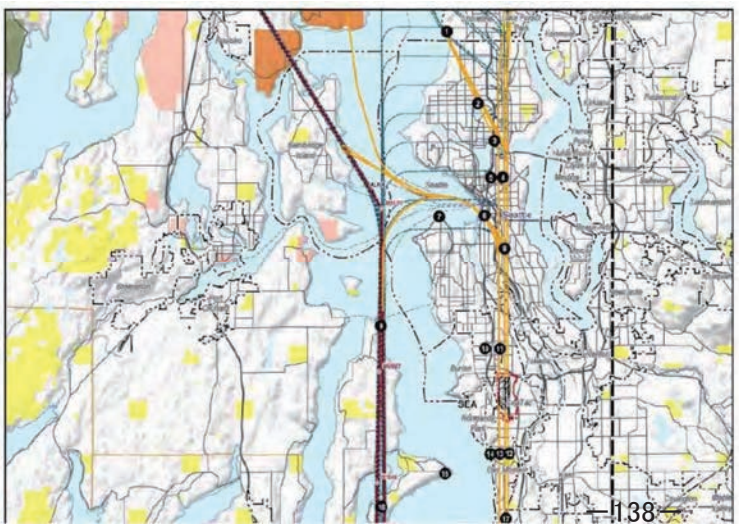
National Aviation Policy White Paper 2009：

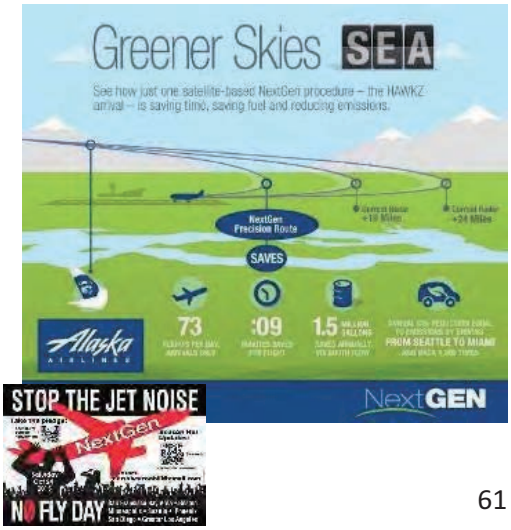
- 空港から離れた地域からの騒音苦情や対策要望が増加．
- 発着回数の増加により，Respite時間の減少が苦情の原因になっている．
- 騒音軽減のための飛行経路（迂回経路）は，CO2排出の面では望ましくない．
- 高精度の航法システムにより飛行経路（騒音）が特定地域に集中
- 将来的には，他の環境要因も含めた総合的な騒音管理手法を検討する必要がある．

参考）Dave Southgate：The Evolution of Aircraft Noise Descriptors in Australia over the Past Decade, Proceedings of ACOUSTICS 2011.
AU Gov.: Aviation White Paper - Flight Path to the Future, 2009.

（４）シアトルタコマ空港における新着陸経路導入

2012年　FAAがGreener Skies Projectを承認
→RNP（Required Navigation Performance)アプローチによる経路短縮，CDO→燃料消費削減
＊ILS合流地点付近の地域から反対運動．高精度航法により特定地域に騒音が集中か？
＊技術革新により従来の飛行経路制約が緩和され，同様の事例は多い．比較的低高度の飛行経路変化なので，騒音影響の変化も小さくない．
＊容量と騒音のトレードオフだけでなく，環境の中でのトレードオフ（CO2と騒音など）もあり，欧州では気候変動対策で空港からのCO2抑制も重視されている





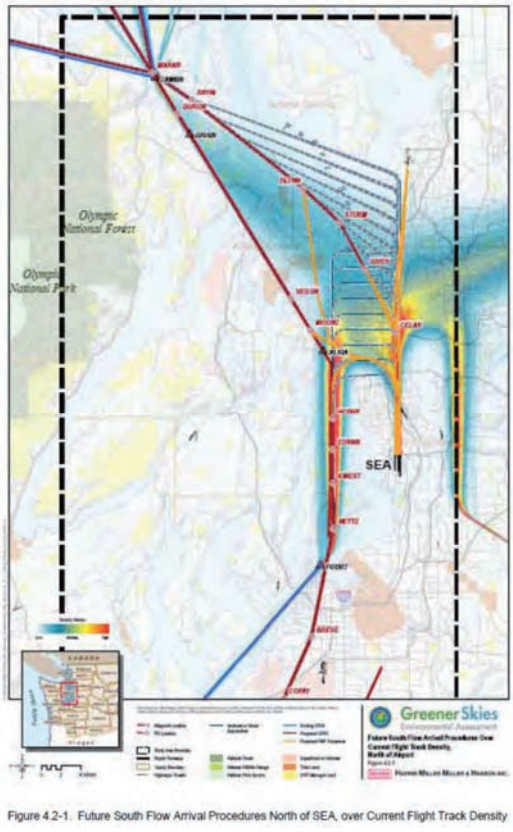
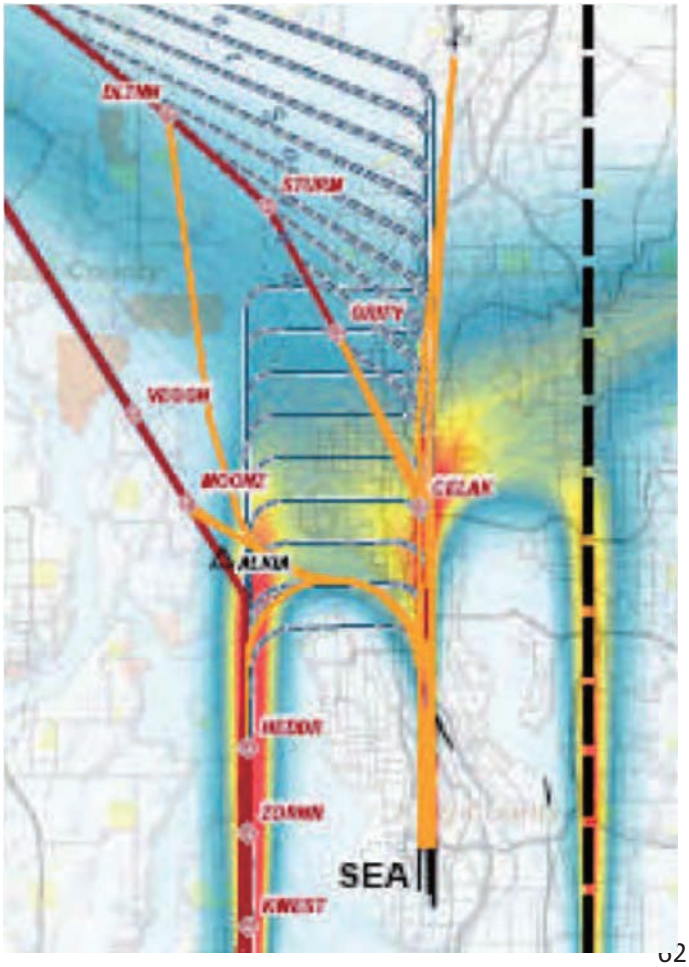


Figure 4.2-1. Future South Flow Arrival Procedures North of SEA, over Current Flight Track Density



62

海外混雑空港における騒音対策事例 ～まとめ

ニューアーク	ヒースロー	シドニー
• 空港近接市街地の上空開放による容量拡大	• Cranford Agreementの解消による騒音負担の公平化 • Runway Alternation制約の緩和による容量拡大 • 第3滑走路提案におけるRespite能力の重視	• 広域でのNoise-sharing • 多数の運用方式の選択をシステムで支援 • ピーク／オフピークで運用変更

- 従来は使用を避けていた市街地上空空域を開放
  ⇒ 容量拡大，騒音の公平な分担
- 追加的な騒音負担を伴う飛行経路の分散や容量拡大
  ⇒ ピーク時，遅延拡大時，容量低下時など時間限定で実施
- 各国首都圏地域における空港容量不足への危機感と長期の政策方針に基づく空港計画プロセスの重要性

本日の報告内容

1. 諸外国における空港の騒音対策および容量拡大の検討事例
2. 羽田空港の運用方法と騒音影響に関する考察（私案）と環境影響評価制度について

64

羽田空港の運用方法と騒音影響（考察：私案）

① 騒音影響を大きく変えるには，抜本的には飛行経路をいじるしかない
→特定の気象条件で可能な新たな離陸経路

② 新たな飛行経路をもっと広域で共有して，特定地域への騒音集中を軽減
→既存and/or新航法技術の活用による経路分散

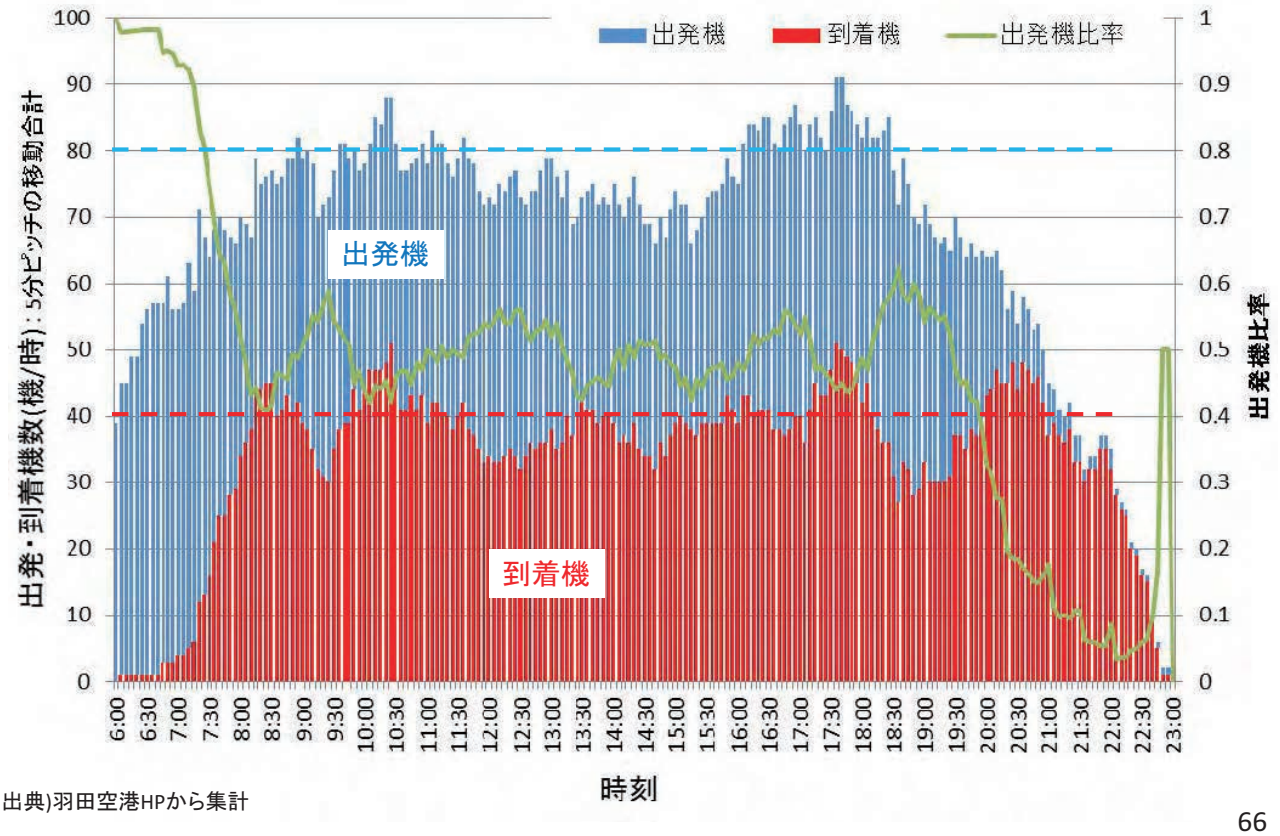
③ 騒音影響が軽微な北風運用になる気象条件が比較的多く発生する時間帯で都心上空活用等を想定する

④ 離着離容量のスライディングスケールを考慮した離着陸容量のアンバランス化（ハブ空港でのWaveシステムのイメージ）
→例えば，都心上空活用時は離陸容量を優先し，通常運用時に着陸容量を優先させるなど

⑤ 現飛行経路で戦略的順序付けで容量拡大するか，スロットだけ微増（遅延増）させ，都心上空活用時間を短縮

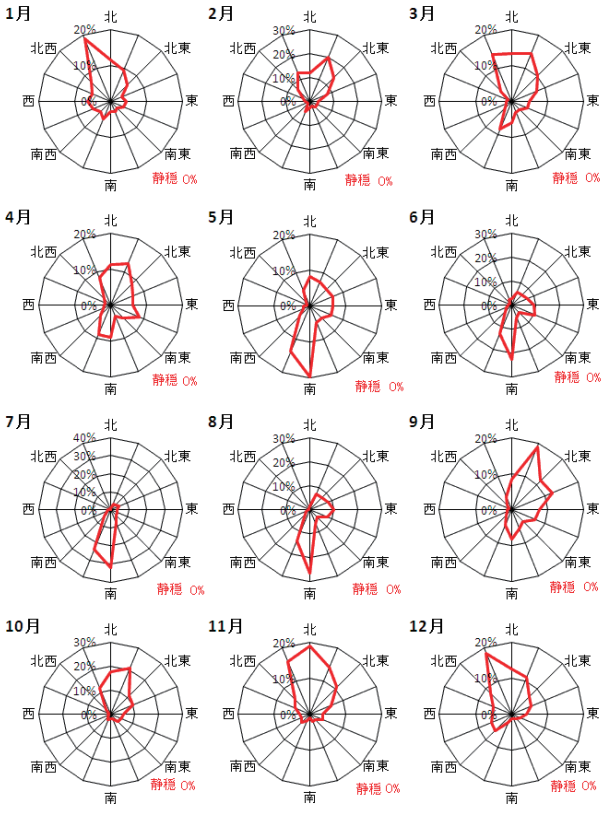
65

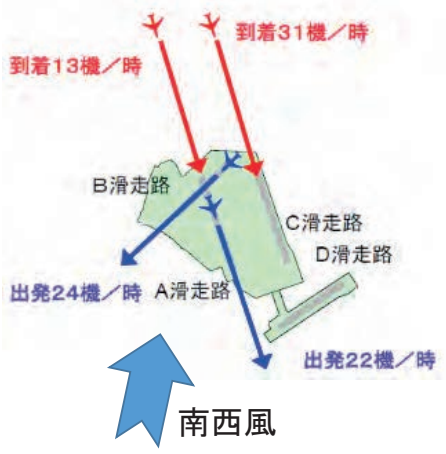
時間帯別の羽田発着便数（2016年3月ダイヤ）

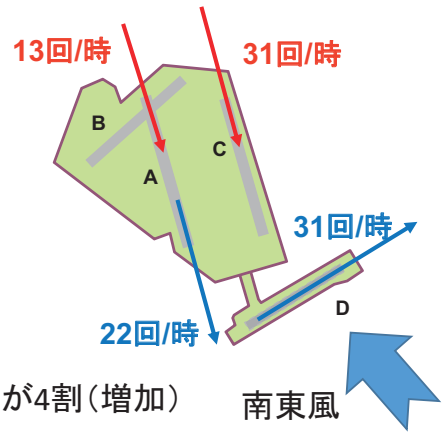


出典)羽田空港HPから集計

騒音影響の緩和策（南北風運用MIX）



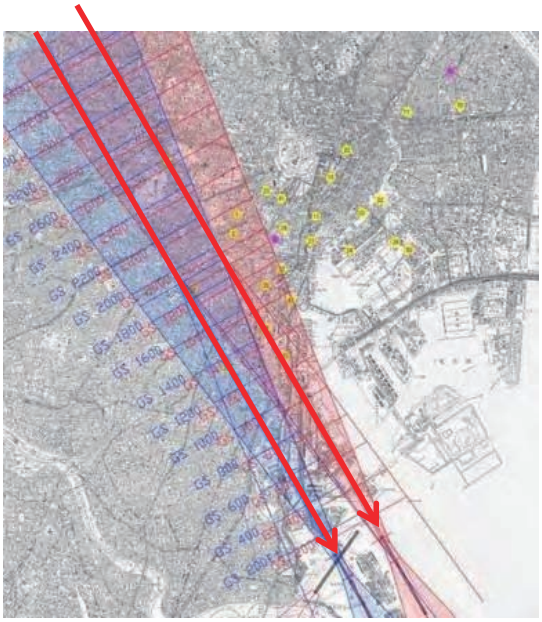




南風比率が4割（増加）

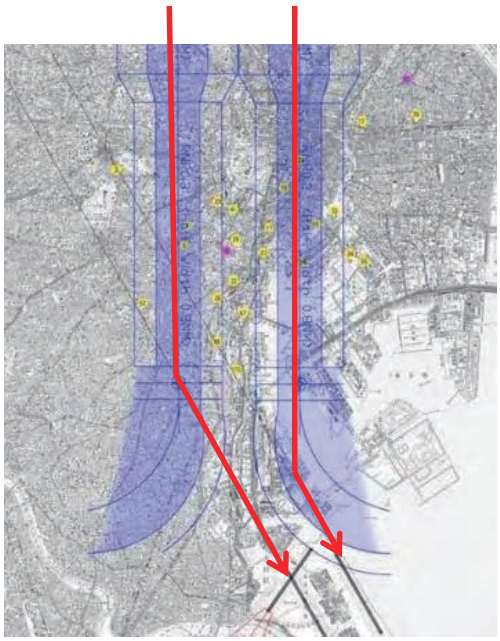
風配図出典）東京管区気象台　http://www.jma-net.go.jp/tokyo/sub_index/tokyo/kikou/t_fuuhaizu/fu44166.htm

騒音影響の緩和策: 経路分散



直線進入（ILS）

＋

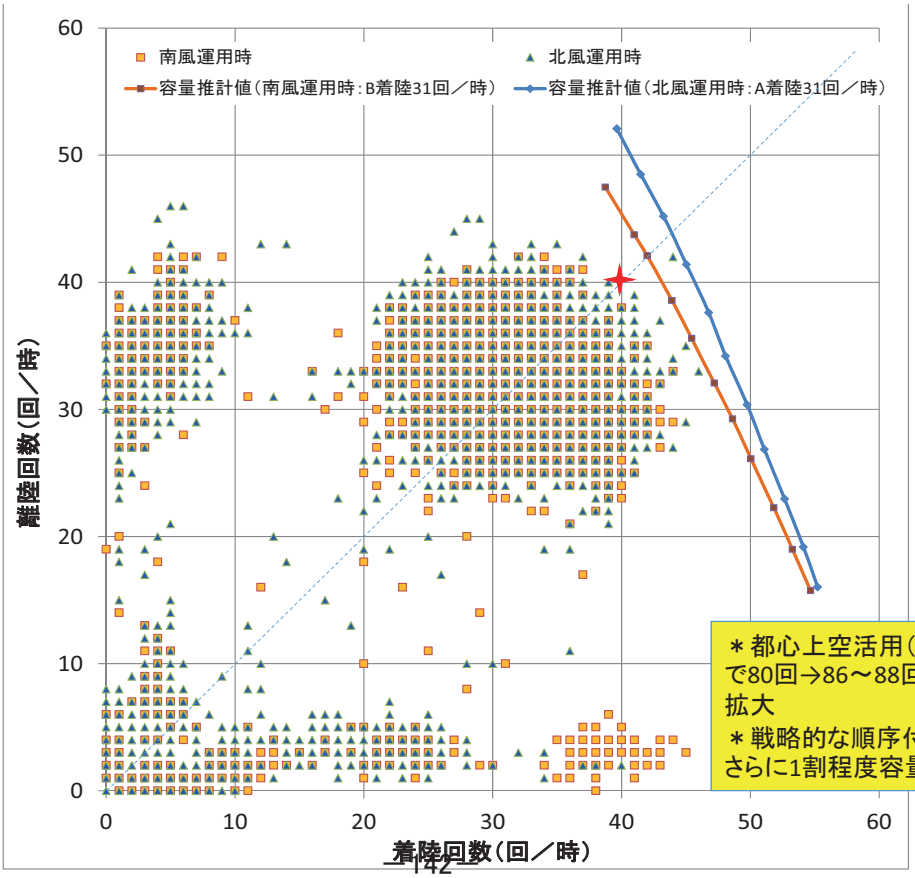


非直線進入（RNP）*

→ピーク時を2回に分け（例えばAMとPM），異なる進入方式で運用

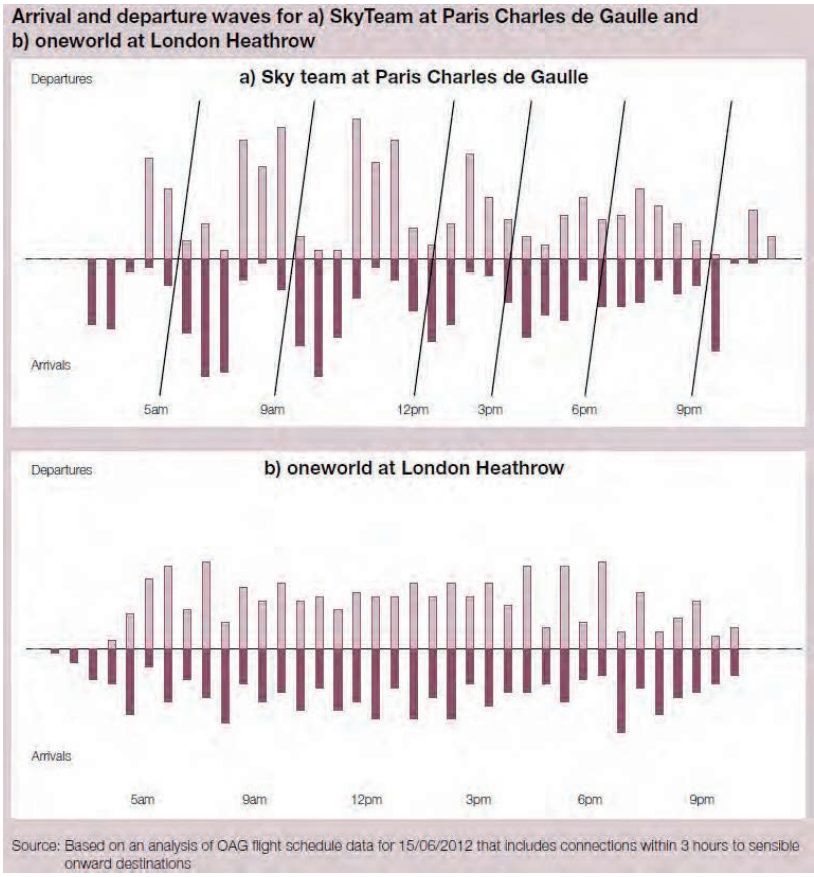
＊ 現在の滑走路22・23へのLDA進入と同様な方式だが滑走路の間隔はより狭い．図はRNP進入（RNP0.3）を想定して描いたイメージ図的なものであり，主要な物件高さは考慮してあるものの、全ての地上物件の高さを詳細に考慮したものではない．進入経路の配置（進入経路延長線と滑走路延長線との交点の位置と交差角），進入復行開始点の位置，最低降下高度など，今後検討が必要な事項は多い．

離着陸処理回数　実績vsモデル推計値



＊都心上空活用（≒北風運用）で80回→86～88回／時に容量拡大
＊戦略的な順序付けを行えば，さらに1割程度容量増加

出発・到着Wave

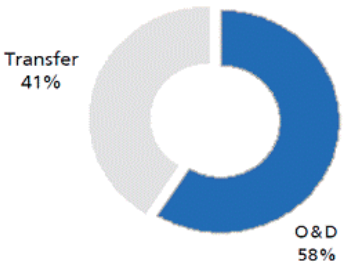


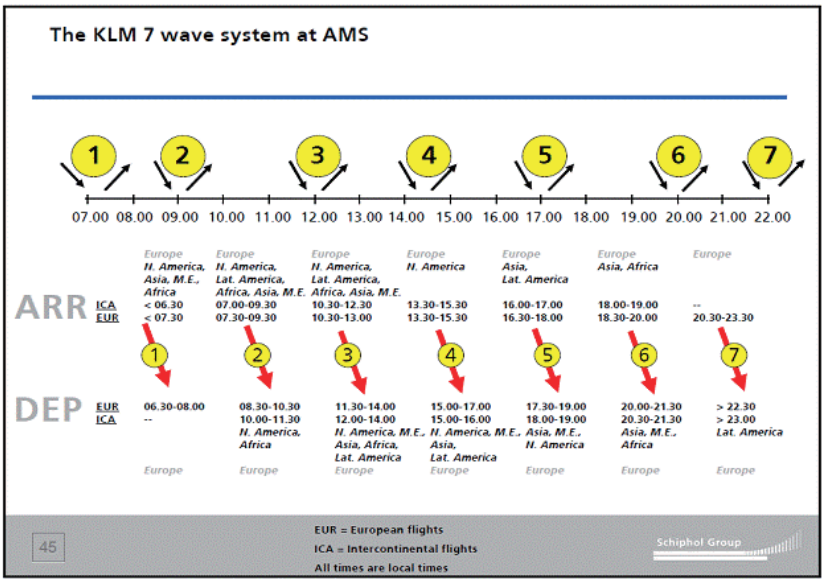
出典）Airport Commission

アムステルダム スキポール空港（AMS）の旅客特性

Transfer vs. Origin & Destination

乗継旅客が比較的多い
⇒ KLMのダイヤ設定：7 Wave System





出典）Schiphol空港会社
提供資料

AMSの旅客・運航特性に応じた滑走路運用とスロット配分

KLMの7 Wave System
⇒ 周期的に，離陸と着陸のピークが交互に存在

「2+1 Runway System」の採用

滑走路運用
① 2本：離陸，1本：着陸
② 1本：着陸，2本：離陸

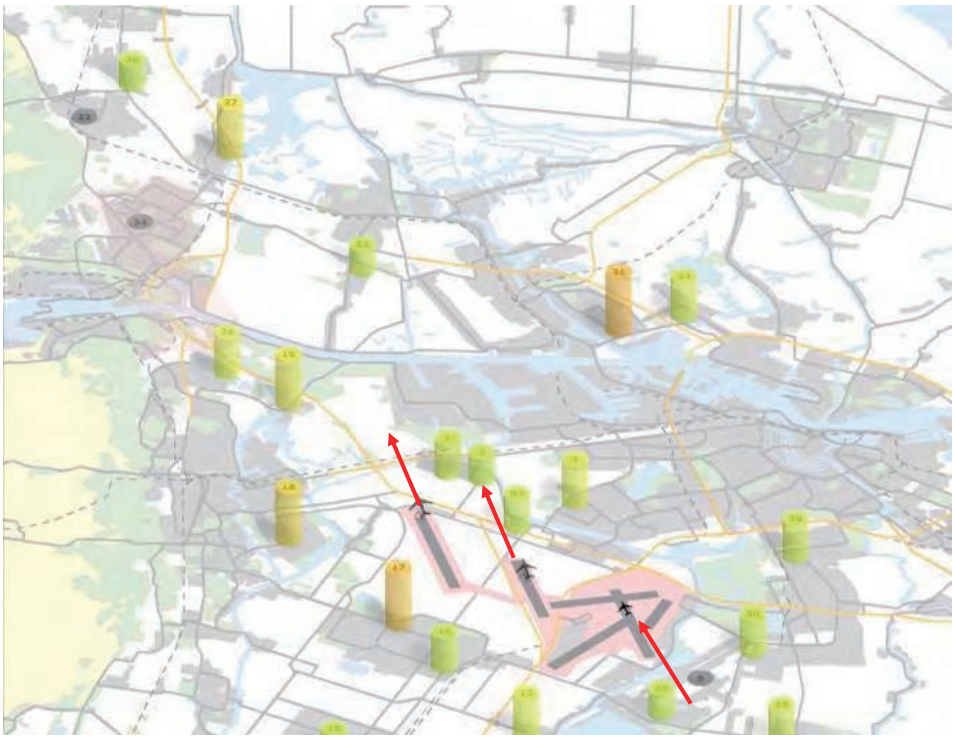
72

2+1 Runway System

出典）Schiphol空港

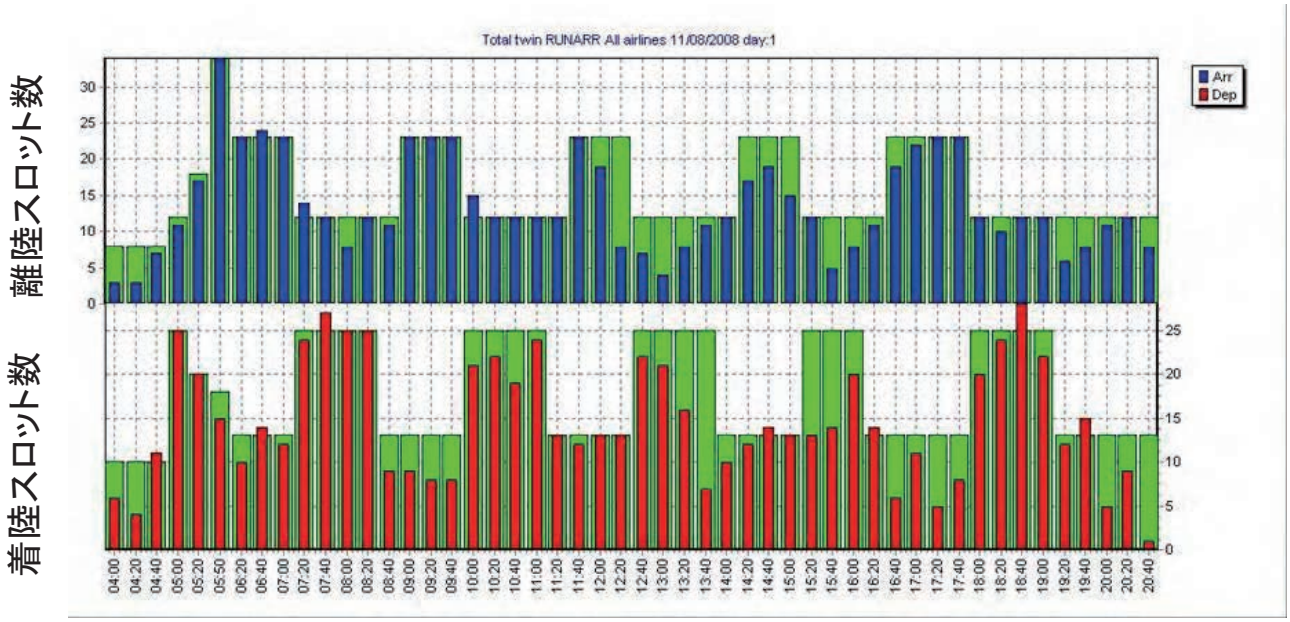
73

2+1 Runway System



出典）Schiphol空港

スロット配分も滑走路運用を考慮



Reference: http://www.slotcoordination.nl/info_graphs.asp

ミニWaveシステムのイメージ

*羽田の滑走路特性上，概ね，着陸を1機増やすと，離陸2機が減る（逆もしかり）

Non-wave

		着陸	離陸	トータル
15時台	通常	40	40	80
16時台	都心上空	44	46	90
17時台	都心上空	44	46	90
18時台	都心上空	44	46	90
19時台	通常	40	40	80
計		212	218	430

Mini-wave

		着陸	離陸	トータル
15時台	通常	46	28	74
16時台	都心上空	38	58	96
17時台	都心上空	44	46	90
18時台	都心上空	38	58	96
19時台	通常	46	28	74
計		212	218	430

・都心上空着陸数が12機／3時間減らせる
・ただし，離陸は増加

JAXAモデル（2014）の例

羽田の4本滑走路を対象とした非線形数理計画法＋制約プログラミングによる離着陸順序最適化ツール

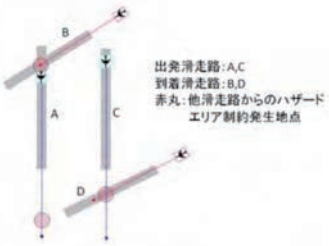


図８ 羽田空港南風運用図

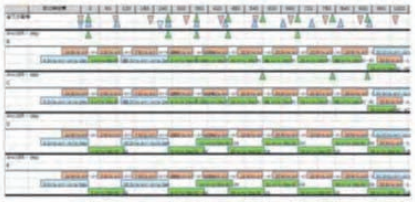


図２ ハザードエリアガントチャート

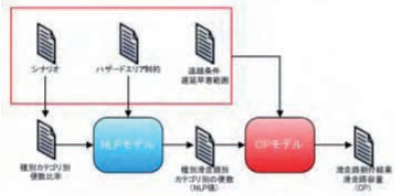


図３ 離着陸容量計算の処理フロー概要

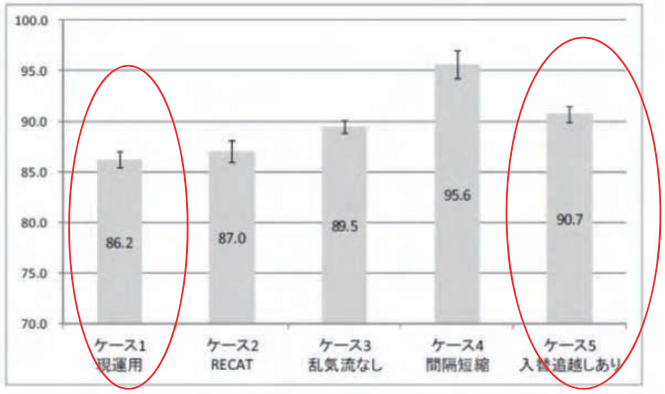


図９ １時間あたりの空港離着陸回数
平均値±SD

＋5%増

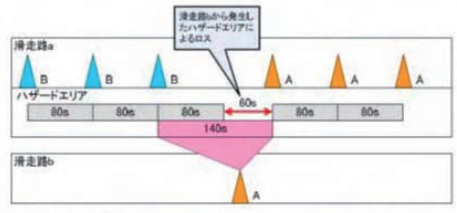


図６ 他滑走路からのハザードエリアによる容量ロス

出典）相原磨世，綛　宜史，又吉直樹：数理計画手法を用いた空港離着陸容量検討ツールの開発，第52回飛行機シンポジウム講演集，2014

環境アセス制度について

- 現在、都心上空活用案に関して自治体や航空会社等との協議が行われている
- 現在検討している都心上空活用による羽田の容量拡大方策に関しては，環境影響評価法の対象ではない

  ⇔騒音影響の変化は非常に大きい

- 過去，横田空域の削減による飛行経路変更や関東空域再編もアセスの対象外

- 米国のNEPA（National Environmental Policy Act）では飛行経路変更，出発到着方式変更，空域再編もアセスの対象

我が国の環境アセス（法）の対象事業

対象事業		第一種事業 （必ず環境アセスメントを行う事業）	第二種事業 （環境アセスメントが必要かどうかを個別に判断する事業）
1 道路			
	高速自動車国道	すべて	－
	首都高速道路など	4車線以上のもの	－
	一般国道	4車線以上・10km以上	4車線以上・7.5km～10km
	林道	幅員6.5m以上・20km以上	幅員6.5m以上・15km～20km
2 河川			
	ダム、堰	湛水面積100ha以上	湛水面積75ha～100ha
	放水路、湖沼開発	土地改変面積100ha以上	土地改変面積75ha～100ha
3 鉄道			
	新幹線鉄道	すべて	－
	鉄道、軌道	長さ10km以上	長さ7.5km～10km
4 飛行場		滑走路長2,500m以上	滑走路長1,875m～2,500m
5 発電所			
	水力発電所	出力3万kw以上	出力2.25万kw～3万kw
	火力発電所	出力15万kw以上	出力11.25万kw～15万kw
	地熱発電所	出力1万kw以上	出力7,500kw～1万kw
	原子力発電所	すべて	－
	風力発電所	出力1万kW 以上	出力7,500kW～1万kw
6 廃棄物最終処分場		面積30ha以上	面積25ha～30ha
7 埋立て、干拓		面積50ha超	面積40ha～50ha
8 土地区画整理事業		面積100ha以上	面積75ha～100ha
9 新住宅市街地開発事業		面積100ha以上	面積75ha～100ha
10 工業団地造成事業		面積100ha以上	面積75ha～100ha
11 新都市基盤整備事業		面積100ha以上	面積75ha～100ha
12 流通業務団地造成事業		面積100ha以上	面積75ha～100ha
13 宅地の造成の事業（「宅地」には、住宅地、工場用地も含まれる）			
	住宅・都市基盤整備機構	面積100ha以上	面積75ha～100ha
	地域振興整備公団	面積100ha以上	面積75ha～100ha
○港湾計画		埋立・掘込み面積の合計300ha以上	
港湾計画については、港湾環境アセスメントの対象になる。			

出典）環境省　https://www.env.go.jp/policy/assess/1-1guide/1-4.html

条例アセスの対象事業（東京都）

種類	対象事業の要件 （内容・規模の概要）	個別計画の要件 （内容・規模の概要）
1 道路の新設又は改築	高速自動車国道・自動車専用道路： [新設] すべて [改築] 1km以上* その他の道路（4車線以上）： [新設] 1km以上* [改築] 1km以上* *新設又は改築する区間の長さが1km未満でも対象事業の一部又は延長として実施するものは対象とする。 *改築については、幅員が増加せず4車線以上になるものを含む。 大規模林道の新設： [新設] 幅員6.5m以上かつ長さ15km以上	その他の道路（4車線以上）： [新設] 2km以上 [改築] 2km以上
3 鉄道、軌道又はモノレールの建設又は改良	鉄道（専用鉄道を含む）・軌道・モノレール：[新設] すべて [改良]（本線路の増設、地下移設、高架移設、その他の移設）1km以上* *改良する区間の長さが1km未満でも対象事業の一部又は延長として実施するものは対象とする。	鉄道（専用鉄道を含む）・軌道・モノレール： [新設] 新幹線を除くすべて [改良] （本線路の増設、地下移設、高架移設、その他の移設）2km以上（新幹線に係る改良を除く）
4 飛行場の設置又は変更	陸上飛行場・陸上ヘリポート： [新設]すべて 滑走路： [新設・位置の変更] すべて [延長] 等級の変更を伴うもの等	陸上飛行場・陸上ヘリポート： [新設] すべて 滑走路： [新築・位置の変更]すべて

80

米国NEPA（1969～）

- 対象事業：原則として連邦機関が関与するあらゆる提案行為

- 手続き：

提案 ⇒ （*各機関のリストを参考に）

＊環境影響 小

⇒ Categorical Exclusion

＊環境影響 大

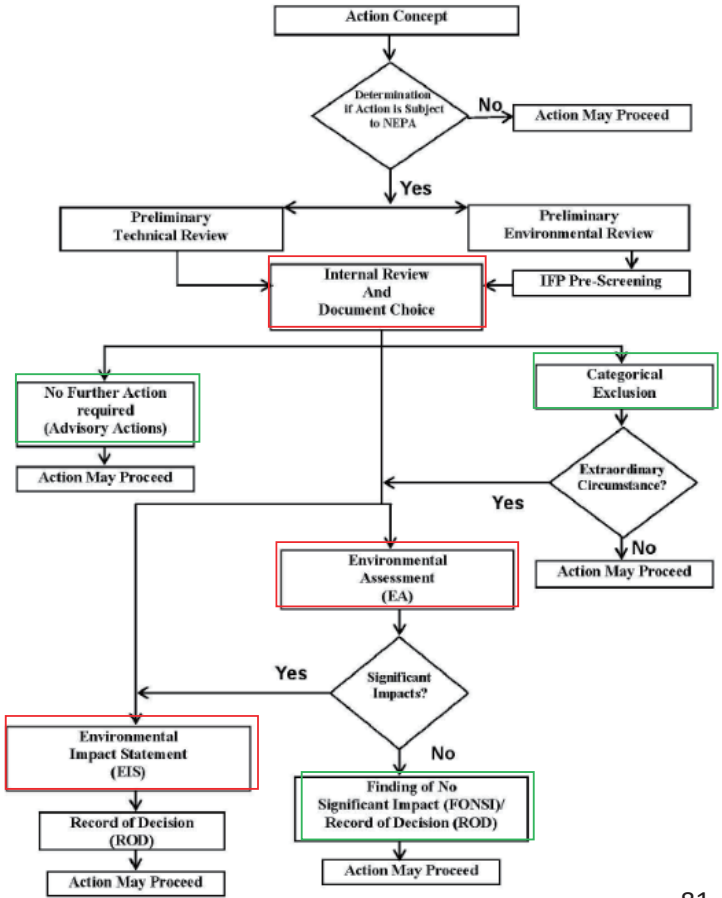
⇒ 簡易アセス（EA）

簡易アセス(EA)

重大影響なし⇒FONSI(Finding of No Significant Impact)

影響あり⇒ Mitigated FONSI

重大影響あり ⇒ 詳細アセス（EIS）



出典）FAA Order JO 7400.2K - Procedures for Handling Airspace Matters

81

米国NEPA　～空港関連　FAAの内部規則

- internal FAA environmental regulations

FAA Order 1050.1E (Environmental Impacts: Policies and Procedures)

FAA Order 7400.2K (Chapter 32) (Procedures for Handling Airspace Matters)

■通常、簡易アセスを行うべきAction

✓ 新型航空機への型式証明発行
✓ 管制施設の新設、移設
✓ ILSの新設、移設
✓ 空港の設置位置検討、滑走路新設・延伸
✓ 空港に関連した土地収用
✓ 定期便未就航空港への定期便の就航
✓ Noise sensitive areaの上空3000ft以下に設定される出発到着経路・エンルート経路の新設・変更、新規の管制方式の検討

etc

82

戦略的環境アセス（SEA）

- 従来の事業アセスでは「事業計画」段階で環境アセスを行うため

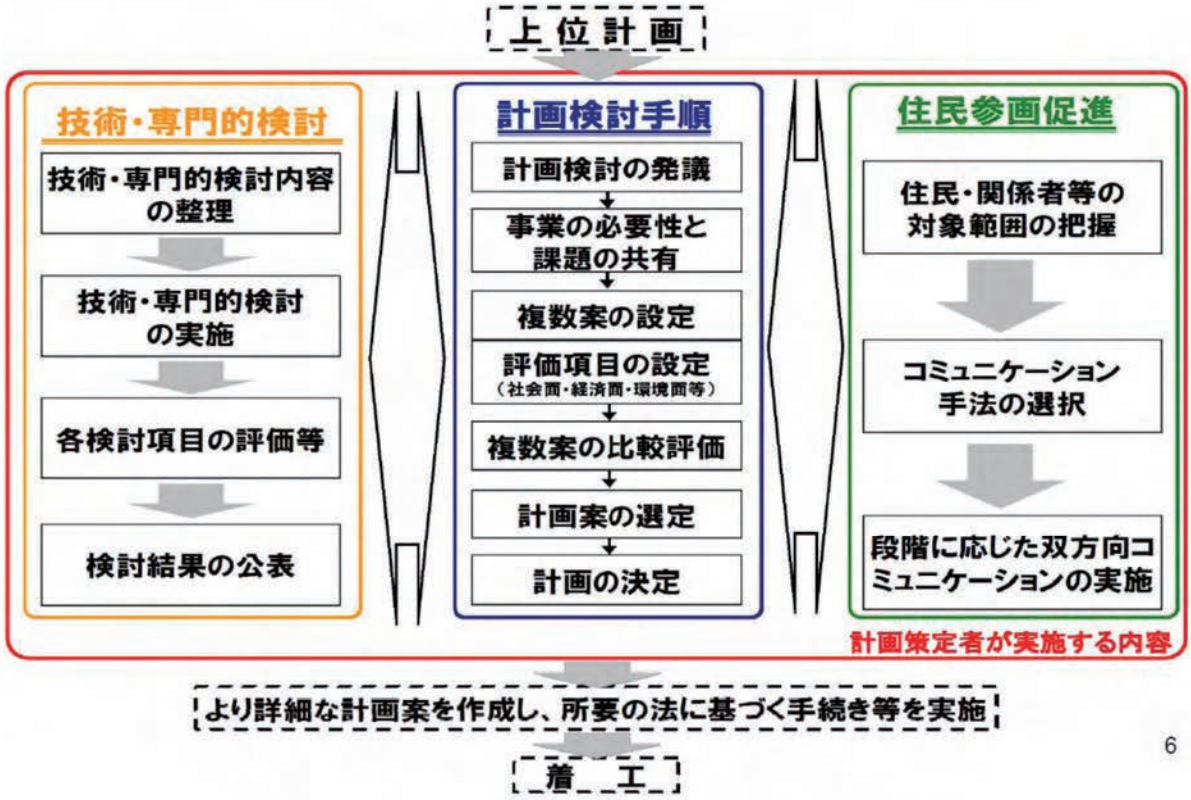
→計画が固まっているため、環境負荷を低減するための取りうる措置が限られる（後戻りできない）

- 戦略的環境アセス：個別の事業実施に先立つ「戦略的(Strategic)な意思決定段階」、すなわち、政策(Policy)、計画 (Plan)、プログラム(Program)の「３つのP」を対象とする環境アセスメントであり、早い段階からより広範な環境配慮を行うことができる仕組み

- 埼玉県戦略的環境影響評価実施要領」策定（平成14年）
- 戦略的環境アセスメント導入ガイドライン（平成19年4月）

83

計画策定プロセスの体系
（公共事業の構想段階における計画策定プロセスガイドライン：国交省2008）

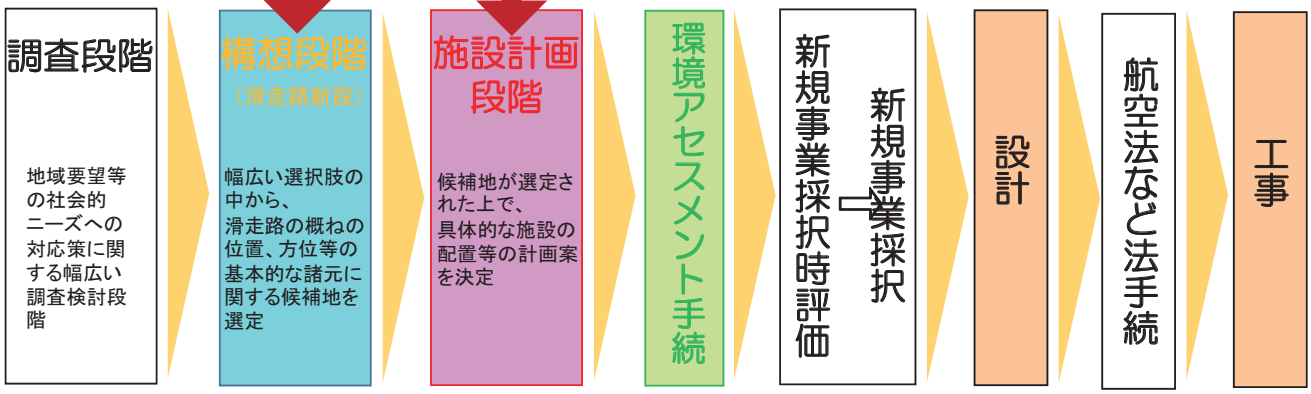


6

空港の整備プロセス

空港周辺地域の住民等を対象とした
パブリック・インボルブメント（PI）
の実施

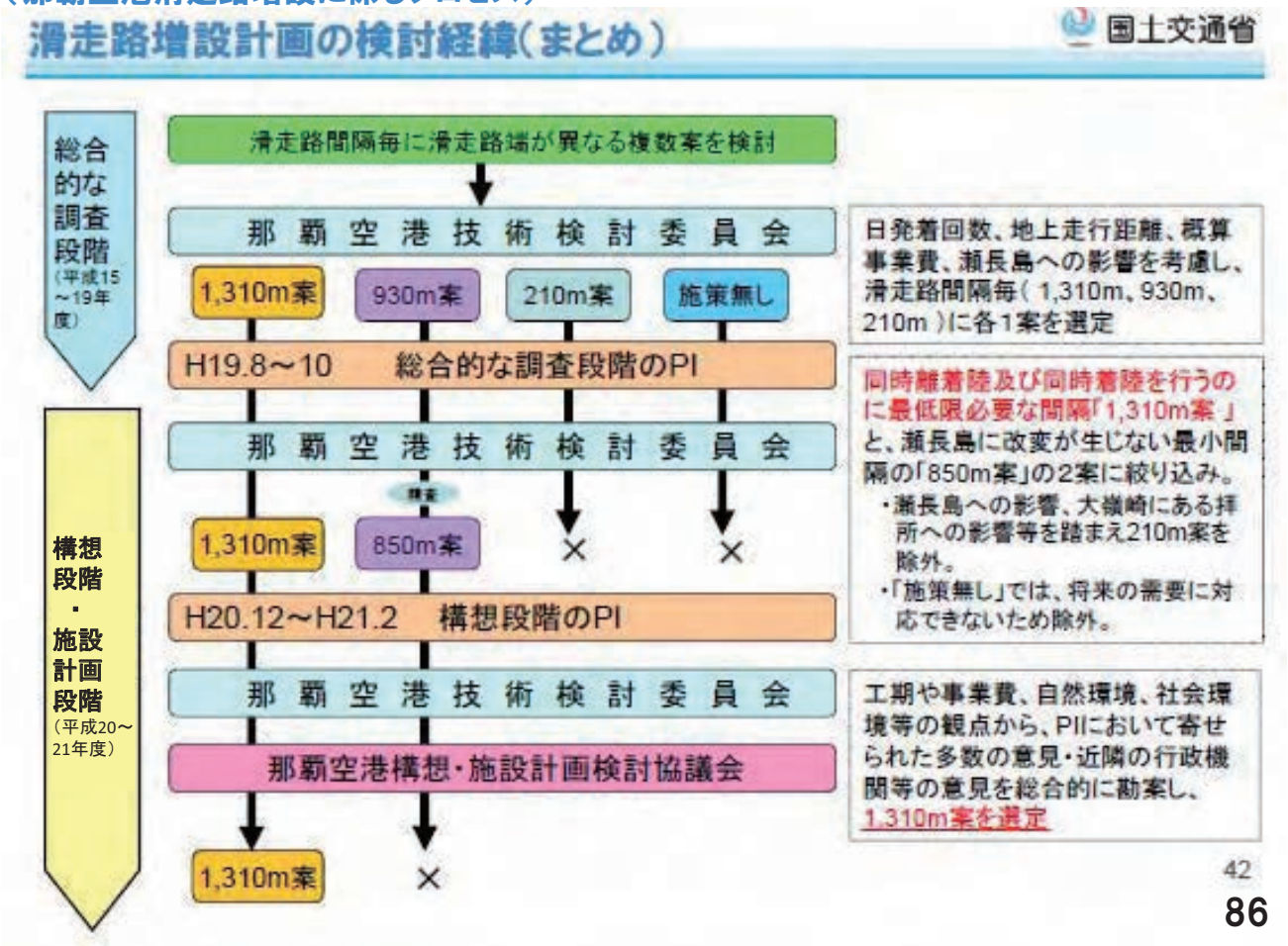
パブリック・インボルブメント（PI）
空港整備計画の検討段階において、空港整備主体が関係地方公共団体と連携して、空港周辺地域住民等のPI対象者に、情報を公開した上で、広く意見を把握し、計画策定過程にPI対象者の参画を促すこと



【事業の評価項目・評価基準】

- **●事業の必要性：** 旅客等需要、航空機就航／路線開設等の見通しがあること。就航率の向上、運航制限緩和等が見込めること。
  代替手段（整備なし含）との比較が十分なされた上で、整備内容がその目的の達成手段として最も適切と認められること。
- **●候補地の比較：** 複数の候補地における比較検討が十分行われ、適切な評価・候補地選定がなされていること
- **●計画の妥当性：** ①空港計画…施設の適切な規模・配置、空域・飛行経路の設定、将来拡張性への配慮等、適切な空港計画であること。
  ②アクセス条件…空港アクセスが適正な時間・費用で確保できること
  ③他計画との整合…土地利用計画、道路計画、用途地域指定等、他の法定or公的計画等と整合性があること
  ④事業規模…合理的な整備工法・工期であること。概算事業費が適正な範囲であること
- **●事業の実現性：** ①必要用地の確保の見極めができること。
  ②空港整備・運用に伴う周辺環境への影響の概略が把握され、かつ重大な問題が生じないことが確認されていること。
  ③PIを通じて意見が集約され整備主体が計画案の確定について適切に判断できる状態に到達すると見込まれること。
- **●事業の効果：** 費用便益分析等の評価結果が妥当な範囲であること　など

（那覇空港滑走路増設に係るプロセス）



本日のまとめ

第2回 「混雑空港における騒音対策」

1. 諸外国における空港の騒音対策および容量拡大の検討事例
   - ✓ ICAO BALANCED APPROACH
   - ✓ 飛行経路設定からみた騒音負担・軽減と容量拡大の事例

2. 羽田空港の運用方法と騒音影響に関する考察（私案）と環境影響評価制度について
   - ✓ 騒音影響の大きな都心上空経路の活用オプションと騒音影響
   - ✓ 環境影響評価・公共事業の計画制度

第3回 航空需要に対応した空港運用研究会
議　事　録

日時：2016年10月14日（金）15:00～
場所：大阪キャッスルホテル

「滑走路容量の考え方と容量拡大方策の事例」

茨城大学　工学部　都市システム工学科　准教授　平田 輝満

１．離着陸の管制方法と滑走路容量に影響を与える要因

■航空交通管制業務

本日は、滑走路処理容量の拡大方策の事例を紹介したいと思います。少し教科書的な話になってしまいますが、管制の運用方法や容量の算定の方法を日本ではどうやっているかという話をします。航空交通管制業務は大きく 4 つに分けることができます。

一つ目が「飛行場管制」と呼ばれるもので、空港の管制塔に上って目で見て離着陸の許可をする業務です。目視で見える範囲の空港から半径約 9km、高度では 3 千フィートくらいまでの管制業務です。別名タワーと呼ばれています。

二つ目は「進入・ターミナルレーダー管制」です。混雑空港の周りには進入管制区と呼ばれるところがあります。離陸機もそうですが特に着陸機に対して、管制官が 1 列にきれいに並べていきます。しかもその間隔を容量が最大化するようにうまく調整する管制をしているところがこの進入管制区です。

三つ目は「航空路管制」です。混雑していない地方の空港では進入管制区がなくて、いきなり上空の巡航高度を管制する航空路管制に接続されているケースがあります。上空の巡航高度の管制は札幌、東京、福岡、那覇と 4 つに分かれています。

四つ目は「航空交通管理」です。ATM センターと呼ばれる航空交通管理センターが福岡にあります。ここだけは飛行機に直接指示はしません。どちらかというと全体のマネージャー的な感じで、ある空港で非常に混雑が予想される場合には、離陸の飛行機の時間を少し遅らせてその混雑を緩和する「出発制御」ということに代表される航空交通管理をしています。これは飛行機に指示をするのではなくて、各管制業務をやっている人の管制官に指示をする管制官ということになります。

こういう 4 つの管制の中で、これから重要になってくるのは全体のマネージャーである ATM センターの管理管制官です。人が個別最適でやってきたことを、全体の最適化をこの管理管制官がシステムを使いながらやっていくという時代になっています。

■空港容量とは

空港容量といったり、滑走路容量といったり、容量にもいろいろあります。今日はほとんど滑走路容量ばかりをやるのですが、ターミナル容量、アクセスの交通容量、駐機場・エプロンの容量、空域の容量といろいろあります。

空港容量は、ターミナル側のランドサイドと、エプロンより滑走路側の飛行機が使う部

分のエアサイドの 2 つのサブシステムの容量からなります。サブシステムを構成している滑走路、誘導路、エプロンなどのどこかでボトルネックが生じると、その容量を上げなければ空港全体の容量は上がりません。空港容量は一番弱い部分の容量で規定され、ボトルネックが混雑や遅延を生じさせています。ほとんどの場合、滑走路の容量がボトルネックとなることが多いと私も思っていましたが、最近の例を見ると、滑走路容量を上げたときに、駐機場も一緒に容量を上げなければ全体の容量が上がらないケースが多くなってきたという印象があります。

学術的に、容量は静的な容量と動的な容量と定義されます。静的な方はある瞬間の収容能力、ストアリング・キャパシティ（Storing capacity）です。駐機場のスポット数のような容量、そんな収容能力の容量のことです。

今日の話は滑走路の容量なので動的（ダイナミックな）容量の方です。これは、単位時間当たりに何機処理できるかという処理率です。瞬間的に何機おけるかということとは種類は違うので、静的な容量と動的な容量に分けたりします。

■空港容量の推計方法

空港容量は各空港で計算したり推計したりしますが、その方法として今でも世界中の各空港でどのようにやっているかというと、ブラックボックスになっているところも多いのですが、いろいろ話を聞くと三つに大別されます。

一つ目がカウンティング手法です。これは簡単でピーク時に何機処理をしたかという、過去の実績を見ます。例えば 1 時間に 45 機処理しているので、45 回の処理容量にするというやり方をしたりします。でも、これでやると要因分析や予測・計画、運用を変えたときにどうなるかという予測ができないので、そういうものをやるためには容量の影響要因をモデル化して、環境が変わったときにどれくらい容量が変わるかという予測・計画行為ができるような方法が必要になります。これをモデリング手法といいます。三つ目のシミュレーション手法はパソコンの中で空港や区域の運用を再現して、実際に飛行機をある運用のルールを元に流して何機処理ができたかという、力ウンティング手法をパソコンの中でやるようなイメージですがこういう手法もあります。メジャーなのはモデリング手法が多いと思います。

■エアサイド（滑走路）の容量の規定要因

滑走路を使うときには接続する離陸経路と着陸経路が一体で運用されるので、結局、手前の着陸空域処理の仕方で容量が決まることが多いので、この二つを一つのシステムとして通常は分析します。

滑走路容量に影響を与える要因として、固定的な要因と変動的な要因があります。固定的な要因としては、空港デザインや滑走路のレイアウト、長さなどで、滑走路が 2 本あれば 2 本の滑走路の間隔などが固定的な要因として影響してきます。変動的な要因としては、気象条件があります。向かい風が強ければ容量が減るというたぐいの話があり、気象条件によって航空機の運用方式などは一番影響を受けます。

気象条件は、天気の良いときの「有視界気象状態・VMC」と、天気が悪く、パイロットが目で見たり管制官が目で見て飛行機の位置がわからないときには、計器に頼って飛行するわけですが、そのような状態を「計器飛行状態・IMC」といいます。気象条件はこの 2 種

類に大きく分かれていて、この 2 種類で運用が変わってきます。

VMC は飛行機のパイロット同士が目で見ながらお互いの間隔を決められるので、そこに管制のレーダー使用時に必要な間隔や概念はなくパイロットまかせの間隔になります。究極的にはぶつからなければ良いのでパイロットの力量で安全を確保しつつどこまで間隔を縮められるかということで容量が決まってくる。天気が良いと、通常は間隔を縮められるので、通常、VMC のときの空港容量はかなり高くなります。特にアメリカなどでは高いです。天気の良い VMC の状態の容量に合わせて、例えば滑走路スロット数、容量を決めてエアラインにスロットを配分してしまうと、天気の悪いときには容量が落ちるので、大遅延を引き起こすことになります。アメリカは空港へのアクセスの自由を重んじるので、あまりスロット規制もしません。どちらかというと VMC 状態の一番ピーク時の容量に合わせてスロットを配分したりします。しかし、日本やヨーロッパは天気の悪い「計器飛行状態・IMC」のときの容量に合わせて空港の容量も決めています。だから、天気が悪くなっても安定的に遅延しないでオペレーションができます。スロットの数よりも安定運航を重視している国とそうでない国が世界にはあるということです。特に IMC のときは ICAO と呼ばれる国際民間航空機関という国際組織で、標準的な管制間隔の基準が決まっています。

■エアサイドの容量の規定要因として、

９ページの「その他の要因」として、「航空機の特性」があります。その空港を使っている航空機の中で、大型機がどれくらいのシェアで、小型機がどれくらいかということで容量が変わります。通常大型機ほど後方乱気流、翼端渦と呼ばれますが、羽の先で揚力が羽の下にかかるので最後羽がなくなったところで上にくるっと回り込む、この渦で非常に大きな乱気流ができてしまいます。それが大型機ほど揚力が大きくてこの渦が大きいので、先行機が大型機ほど、後続機が小さいほど安全のために後方乱気流間隔を大きく取らなければいけないので、先行機と後続機の組み合わせで管制間隔が決まっています。
資料 9 ページのハイフンで書いてあるところは全部 3NM と書いていますが、正確にいうとここは後方乱気流間隔は規定されていません。飛行機の組み合わせによらない共通のレーダー間隔で、これはレーダーを使っている場合の最低間隔が、レーダーの誤差を考慮して一律 3NM、もしくは短縮すると 2.5NM、そんなところが共通で決まっているから、ハイフンで書いてあるところは全部 3NM と書いています。

10 ページの「その他の要因」として重要になってくるのは、「航空管制の運用戦略（離着陸の順序付けなど）」です。また、「騒音軽減方式、騒音の影響」から離陸経路、着陸経路が自由に引けない場合に、空港容量が増やせないというケースがたくさんあります。日本はこういうケースが多いです。

■着陸の管制と容量

11 ページは、着陸の管制をどうやってやっているのかということと、 容量はどういうところで決まっているかということを表したアニメーションです。大きく二つ要因があって、一つは飛行中の最低安全間隔。先ほどの 3NM や後方乱気流 4NM、5NM、6NM というものがあります。もう一つは滑走路占有時間で、1 機の飛行機が滑走路に入って離脱するまでの時間、これを滑走路占有時間と呼んでいますが、この二つの間隔や時間が着陸容量

を決める大きな要因になっています。滑走路占有時間がなぜ重要かというと、国際ルールで滑走路を同時に使って良い飛行機は 1 機のみという大前提があるので、1 機の着陸機が滑走路を平均的に占有する時間とそのバラつきが重要になってきます。滑走路占有時間は機種の組み合わせによらずに一律に必要になってきます。先行機が大型機の場合、例えば先行機 Heavy、後続機 Medium という組み合わせは 5NM 空けた上に、プラス 2 分追加した間隔が必要となります。間隔がひらくと容量が落ちます。

管制官が目で見たり、地上のレーダーを見ながら、先行機が滑走路を離脱していることを確認して、後続の飛行機に着陸について、クリア・トゥ・ランド という言葉で許可を出すことになります。これが出たときに滑走路直前に来ていると何もできないので、余裕のマージンとして日本では 1NM というマージンを取って、ここから滑走路占有時間をかぞえるような方法を取っています。仮に先行機が残っている場合には、この 1NM 時点で、このままいくと 2 機同時に使うという安全上望ましくない状況が起こるので、管制官が着陸復行、ゴーアラウンドを指示して着陸をやり直すことになります。そして、もう一回 3 千フィートくらいまで上がって、もう一回 10NM くらい離れてもう一回入ってくることになります。そのため、1 機処理できない時間が発生する上に、またプラスでもう一回処理しなくてはいけないので、容量的には復行がどういう確率で起きるかというのが重要なパラメーターになってきます。復行すると、「危ない運航をしている」と一般の人で言う人がいるかもしれませんが、復行は通常のオペレーションなので何も問題はないということです。

■滑走路容量の基本的な考え方

以前は、日本は大型機が多く、空港が非常に手狭だったので、滑走路占有時間の影響が飛行中の間隔に比べて大きかったので、今なお滑走路占有時間のみで空港や滑走路の容量を決めている状況にあります。最近は環境が変化し、空港のレイアウトも変わってきて、機材の小型化も進んできたので、飛行中の間隔についても容量算定で十分に考慮する必要があります。3NM などの基準は最低間隔なので、実際にはの間隔がそれにバッファーを加えて管制官は運用していくことになります。間隔にどれくらいのバッファーを入れるか、占有時間も飛行機の大きさやパイロットの操縦、気象条件などでばらつくわけです。そのばらつきを見て、比較的大きな占有時間のときをベースに占有時間を決めるようにしています。バッファーをどう考えるかというのが処理容量を決めるときの重要な視点になります。

■離陸の管制と容量

離陸も単一経路なら着陸と基本的には同じ考え方です。大きく違うのは、離陸経路が 2 本以上ある場合でルールが違います。1 本の場合は着陸と同じように先行機が離陸して、先行機が Medium であれば後方乱気流間隔はいらないので、レーダー間隔 3NM がついた時点で、次の飛行機にクリア・フォー・テイクオフということで離陸許可を出します。先行機が大型機の場合は 4NM、5NM、6NM という間隔がついてから、次の離陸許可を出すことになります。

日、米、欧で離陸の容量に差がある一つの大きな原因はこれです。離陸経路が複数ある場合、一機目が左の経路で、2 機目が右の経路へ行く場合は、先ほどのレーダー間隔の

3NM もいらない。同じ経路を行かないで、横にどんどん離れていく経路の場合は、初期のレーダー間隔は 1NM で良い。先行機が滑走路を離れたから、次の離陸を出しても良いというくらいの間隔で出せます。ただし、仮に分岐していても先行機が大型機の場合は、後方乱気流を残すので、4〜6NM というのは分岐経路であろうがそれは変わらないということになります。日本のように大型機が過去に多かったときは、仮に離陸経路が分岐していても容量は上がらなかったのですが、最近は羽田においても Heavy 級が以前の 7 割から 4 割くらいにまで減ってきましたので、こういう分岐経路による離陸容量の増加策というのは真剣に検討すべき課題です。しかし、飛行経路を新たに引くことになるので、騒音の影響とうまくバランスをとるところが難しいところです。

■離着陸共用（Mixed-Mode）の容量

離着陸共用、Mixed-Mode と海外では言っていますが、1 本の滑走路を離陸と着陸で両方に使うことです。滑走路を離陸専用、もしくは着陸専用として使うよりも、離着陸共用にした方が全体の容量ははるかに上がります。一つの要因は、離陸の後方乱気流が後続の着陸機には影響しないからです。飛行機が飛ぶときに初めて後方乱気流は揚力がかかって発生しますが、着陸機は離陸地点の手前で着陸するのでこの影響はありません。逆もしかりで着陸機の後方乱気流は、次の離陸機には影響しません。大型機が多くても、離着陸を交互に入れると滑走路の全体の容量が上がります。14 ページの下の図は、羽田の占有時間をベースに昔シミュレーションをした結果です。例えば、到着機の割合が 5 割の場合、1 時間で飛行機の着陸と離陸が半分ずつ来るというケースの中でも、ランダムに離着陸をするときの容量は 36.5 回／時というふうに計算ができます。基本的にスロットを決めるときには意図的な順序付けを仮定しないで、ファースト・カム、ファースト・サーブ（first come , first serve）でやることを前提に計算します。また、完全に交互に入れた場合は、容量は 43 回／時くらいまで上がります。

■滑走路処理容量と着陸復行率

着陸がいっぱいいるからということで連続して離陸を待たせていると全体の容量が落ちます。少し着陸の間隔を空けて、間に離陸を入れれば全体の容量が上がり遅延は減ります。間隔を空けられた着陸機に対して遅延が発生するのですが、全体として良くなります。今の日本は滑走路占有時間だけで容量を基本的に決めています。着陸機が滑走路端から 1NM 地点から滑走路を離脱するまでの時間の一例が 15 ページのような確率分布となります。平均的な滑走路占有時間で容量を決めると、半分の飛行機がそれ以上の占有時間なので、半分が着陸復行になってしまいます。スロット数を決めるということはそれだけの交通量が発生するということで、その交通量を単位時間で処理できる間隔で運用すると半分の飛行機が復行してしまいます。そんなことはありえないので、バッファーとして標準偏差の何倍かの係数を掛けて占有時間を多く見積もって、何パーセントくらいが復行してもいいかというところを計算して、その損失分を考慮して最大限容量が稼げるところはどこかということを考えます。バッファーの大きさをどんどん大きくしていくと占有時間を大きく見積もるのでスロットが減って、空港に到着する飛行機がどんどん減っていきます。バッファーを小さくすれば到着機数、スロットが上げられるのですが、復行する飛行機が増えていくので、この分を差し引かなければいけなくなります。実着陸機数は、到着

機数引く着陸復行機数で図のようなカーブをとります。これが実際に処理できる容量なので、これが最大になるバッファーのところが最大容量となります。最近はこのことを調べていないのでわかりませんが、以前はこういうふうにやっていて、今も基本的に変わっていないと思います。

復行確率 0.5 パーセントくらいで、200 機に 1 機が復行するというくらいの確率なので、羽田でいうと 1 日に 2、3 便が復行することになります。実際はそんなに復行していないと思いますが、計算上はそういうことを考えています。

■羽田における滑走路占有時間

滑走路占有時間をさらに分割して計算したりします。最後のファイナルの 1NM を何秒で飛行するか、本体部分の滑走路を何秒で通過するかなどです。

例えば 1 時間の容量を出す場合には、1 時間 3,600 秒を、着陸機 1 機の処理するトータルな時間（バッファー混みの時間）で割るという単純な計算をしています。着陸の場合、これで計算するとだいたい 30 機になります。これは空港によって大差はありません。着陸専用であれば 30 機くらいが目安になります。

■福岡空港の総合的調査における計算例

離陸も同じです。こういう話が一番詳しく残っているのが 18 ページと 19 ページです。福岡空港の拡張計画は、パブリック・インボルメントという市民参画手法を使って詳細に検討したので、住民向けに、どのように容量を計算しているのかを細かく説明を書いています。

例えば、離陸機のあとに着陸機が入る場合には、離陸機の占有時間があって、着陸の場合には最後の 3NM 離れるまで待たなければいけないという部分は着陸機に対してはいらないので、その分かぶせていける。こういう意味でも離着陸共用にしたほうが容量が増えるのですが、こういう話を福岡、那覇でもやっています。

■一般的な単一滑走路の容量モデル／単一滑走路における典型的な時空間図

日本には空港容量の教科書はないのですが、海外には数多くあります。滑走路占有時間と飛行時間のどっちか大きい方を取ります。飛行中の最低間隔を、横軸に時間、縦軸に滑走路までの距離をとった時空間図で見ると、傾きが緩いほど速度が遅いということです。先行機が小さい機材の場合は遅くて、次の飛行機が早い場合は傾きが急になって、後ろがどんどんキャッチアップしてくることになります。そういう時はどこで間隔を決めるかというと、一番間隔が狭まる滑走路端に先行機が来たときの間隔から、この最終進入のポイントの間隔に戻して時間間隔を決めるということをやります。

逆の場合は、最終進入にのるところで最低間隔を確保して、その先はどんどん広がっていきます。

■処理間隔をもとにした容量算定

この式も単純な式で、滑走路占有時間と飛行時間の間隔の大きい方をひたすらカウントして、確率的な平均値を取ります。先ほどの私の話を式で書くとこのような式になります。これが 1 本の滑走路容量の考え方です。

■平行滑走路の管制と容量

平行滑走路の場合は、いろいろ別のルールがあります。1 本の滑走路の周りには、これを滑走路として使うために安全上必要な着陸帯というのが必要になってきます。着陸帯の幅、例えば滑走路の幅がルールで決まっていますが、IMC の状態で計器進入するような場合は着陸帯の幅は 300m 以上取ります。目視で進入する場合は 150m 以上で良いということになります。目で見ているので非精密と書いていますが、目で見てわかる天気の良い時なので安全バッファーはいりません。誤解を招く表現ですが、計器を使うということは電波に頼らなくてはいけない状態を想定していて、誤差があったり目で実際には見えないので安全上必要になる着陸帯は計器着陸の方が広くなっています。

平行滑走路は、滑走路の間隔によってルールが異なってきます。クロースパラレル・近接平行滑走路と呼ばれるものは、2 本の滑走路で使用するためには最低 210m 必要らしいのです。210m がなぜかというのはわかりませんが、210m から 300m の場合ということです。760m 未満は全部クロースパラレルもしくはクローズドパラレルと呼ばれる形態です。その時には、基本的に 1 本の滑走路と同じで、飛行機が違う滑走路に降りようが同じ滑走路に降りようが、この間隔は 3NM 必要になります。

福岡のケースがそうですが、新しくできる平行滑走路との間隔は 210m しか取れない。茨城空港も 210m しかない。そうすると着陸帯が重なってしまう。重なるということは独立して着陸帯を取れないので、片方は 300m の幅の着陸帯を取ったときに、もう片方が取れなくなります。片方は ILS の進入はできるが、片方はできないという状態が起きてしまいます。だから、福岡は、天気が悪い時、片方にしか着陸はできないことになります。760m 未満の場合には 1 本の滑走路と同じようにレーダー間隔の 3NM や後方乱気流間隔の 4NM、5NM、6NM と必要になります。

伊丹はクロースパラレルで、確か 500m くらいだったと思います。760m より離れるとセミオープンパラレルと呼ばれますが、何が一番変わるかというと、後方乱気流間隔が必要でなくなります。ただし、レーダー間隔は必要です。しかし、滑走路間がそれないに離れているので、異なる滑走路に着陸する航空機間の間隔は 2NM で良いということになります。また、後方乱気流が横に広がっていくのですが、760m 以上離れていれば、隣の滑走路に着陸する飛行機には影響しないので後方乱気流間隔が必要なく、非常に容量が上げられます。

オープンパラレルになると独立で運用できるので、容量的にはダブルになる。実際には独立で運用するなら、離陸経路は平行ではなくて 15 度分岐しなくてはいけません。着陸復行の経路もルールが決められていて、復行経路と離陸経路が 30 度以上離れていないといけないなど、そういう条件を満たしたときに初めて独立運用できるようになります。

成田空港はオープンパラレルですが、騒音を直線上の区域に閉じ込めるために平行離陸になっていて、15 度分岐させていませんので、独立運用できなかったのです。

しかし、最近は、平行離陸でも特殊なレーダーWAM と呼ばれる、ワイド・エリア・マルチラテレーション（Wide Area Multilateration）という高精度のモニターをすることで平行離陸でも独立運用にできるようになり、同時離陸が可能になって成田の容量は向上しました。

オープンパラレルでも、離陸の経路、復行の経路が適切に取れているかということが重要になってきます。

２．滑走路容量拡大方策の事例

海外の空港で容量拡大のための事例として、何年か前に調べたロンドン・ヒースロー、フランクフルト、サンフランシスコ、NY 空域再編、アトランタを紹介します。

■ヒースローと羽田（再拡張前）の滑走路容量

27 ページの図は、ヒースローと再拡張前の羽田です。羽田は今は 4 本目の D 滑走路がありますが、2010 年以前は 3 本の滑走路で運用していて、基本的には 2 本の滑走路をそれぞれ着陸・離陸専用として分離運用していました。

羽田はヒースローと比較されて、羽田はなぜこんなに容量が低いのかと言われます。数字は少し古いのですが、ヒースローも以前の羽田と同じように、オープンパラレルで 1 本が着陸専用、1 本が離陸専用で運用しています。しかし、容量を見ると、ヒースローは時間当たり 78 回に対して、当時の羽田は着陸と離陸を足して 63 回で 15 回くらい差がありました。

調べればすぐわかるのですが、先ほどから私がしてきた、どういう要因が滑走路容量に影響するかという説明でほとんど説明ができます。

一つが大型機比率の差です。後方乱気流の大きい Heavy 機・大型機の比率が当時ヒースローが 3 割で、羽田が 7 割だったため、後方乱気流の影響でかなり容量が落ちます。

もう一つは離陸の経路で空域制約や騒音の影響で、飛行経路の柔軟性が違います。具体的にはヒースローは離陸経路が分岐していますが、羽田は都心上空は使えないので 1 本しかないということです。「戦略的な離陸順序付けの有無」というのは、ヒースローは二つ以上の離陸経路があって、異なる飛行経路を交互に出るように方面別に並べ替えていて、先着順ではない運用をしています。

三つ目は、おそらく滑走路占有時間がヒースローの方が短いだろうということです。

四つ目が一番特徴的ですが、容量拡大の効果としては一番小さいものです。待機経路の活用をして、着陸についても戦略的に順序付けをしているというところです。

29 ページは、NATS で出しているチャートです。ヒースローの場合、離陸経路が滑走路 1 本当たり 3 本などたくさんあります。羽田の離陸は、東京のダウンタウンを避けるように離陸して、しばらくしてから最後は北と南に分かれます。容量を上げるには分岐するのは離陸直後でないといけません。

■離陸容量の試算（Heavy 率、経路分散の影響）

仮に先行機が Heavy 機の場合の影響を計算すると、後方乱気流間隔が 120 秒です。4NM、5NM という距離間隔でやる場合と、離陸の場合は 120 秒待つという秒間隔でやる場合もあります。単純に 120 秒でやっていますが、Medium 機の場合は 90 秒くらいで 30 秒くらいロスがあります。経路分散しない場合には 3NM 離れて出すので 95 秒くらい必要になります。経路分散した場合には、3NM が 1NM で良いので、だいたいで計算すると 1 分くらいで出せることになります。

こういうパラメータを決めて、羽田は Heavy 率が 0.7、経路分散率はゼロとして計算すると、時間あたり 32 回となり、当時の羽田の離陸容量と一致します。ヒースローは Heavy 機が少なくて 0.3、経路分散率は仮の値で、私は当時現地で 1〜2 時間かぞえたら 7、8 割くらいが交互に出したので、仮に 0.8 として計算すると 43 回の離陸になります。

ヒースローと羽田の容量の違いは、離陸に関してはHeavy機の比率、経路分散の効果でほぼ説明がつきます。

着陸はヒースロー空港は昔から2本の滑走路のレイアウトでやってきました。世界一混雑している空港の一つで、滑走路整備をまったくできず、3本目の滑走路をどうつくるかということでも10年以上論争しています。政権交代などで、決まっては断ち切れで苦労していますが、2本の滑走路でインフラは変わっていないが容量はどんどん増えています。なぜ増えているかというとソフトでやっているわけです。インフラがない中で容量を上げなければならないニーズが非常に高いので、ヒースローは世界で見ても色々なおもしろい運用をしているという背景があります。ヒースローを調べるととてもおもしろくて、滑走路の特殊な運用のデパートみたいな空港です。

■ロンドンヒースロー空港：到着フロー（実際，混雑時）

到着機も大西洋方面、アメリカ方面やヨーロッパの東ヨーロッパ方面などアジア方面からヒースローに向かって基本的に四つのフローで到着し、空港からある程度離れたところに４つのホールディングスタック、つまり空中待機経路に接続されています。

私はホールディングを使ってうまく順序付けをするためにホールディングをやっていると思ったら、そうではなくて、私がUK NATS の方に一度ヒアリングに行ったときに聞いた話では、混雑している時間帯は、あまりに到着機がありすぎて、この数を処理するためには、このように一度ホールディングで空中待機させないと1列に並べられないと言われました。到着の順序付けのためではなくて、ここで1回止めて処理するのが最初の理由なのです。ヒースローへ行かれた方はだいたいわかると思いますが、到着するとここで2、3回はまわされることが多いと思います。

ＡＩＰにも許可なくホールディングの先に進んではいけないと書いてあるので、到着機はみんなここでぐるぐる回されます。1,000フィートごとに7、8段くらい縦に積みますが、一番下から滑走路に向かって到着機を出し、順番に上から下に降ろしていくということをやっています。一番下が 7,000 フィートだったと思います。ここまでは単にしょうがないからやっているということですが、ヒースローの偉いところはホールディングを使って、後方乱気流間隔から見た着陸順序の入れ替えをやっています。

離陸の順序付けは地上でやるのでやりやすいのですが、到着機は空中で先行機を後ろにまわして前に回すというのは難しいです。ホールディング・スタックが四つあるので、ここから出す順序は比較的コントロールしやすいです。ここの各スタックの一番下の層に入っているHeavy機Medium機Medium機Heavy機とあったときに、どういう順序でやったら一番間隔が短くなるかということを計算して、ここの出す順序だけを変えれば良いので順序付けをしやすいのです。32 や 35 ページはポンチ絵があればわかりやすいと思って書いたものです。空域もターミナルレーダー管制のところを、ホールディング・スタックをそれぞれ専門に管制する空域をつくって、ヒースロー・アプローチという管制の下に、合流専門のターミナル管制をする人に分けています。他ではあまり見ないようなことをやって、ヒースロー・アプローチの管制官は順序付けをやっているわけです。

具体的なイメージですが、例えば　Heavy機、Heavy機、Medium機Medium機とあったら、それがグチャグチャに来るよりはHeavy機を先にまとめて入れて、そのあとにMedium機をまとめて入れる。バラバラに来るよりは後方乱気流間隔上はまとめてばっと入れたほ

うがトータルの間隔が狭まります。

この順序づけは、管制官が経験的にやるのではなくて、空中待機時間が 10 分を超えている時は、順序の最適化計算をコンピュータにやらせ、システムが推奨する順序で管制官が指示することによって、全体の遅延を減らそうということをやっています。

■フランクフルト空港～滑走路運用方法

ドイツのフランクフルト空港は 2 本の平行滑走路を持っていて、滑走路の間隔が 518m と伊丹くらいです。760m 以下なのでクロース・パラレルになります。間隔が狭いので、片方の滑走路で発生した後方乱気流が、もう片方の滑走路の飛行機に影響します。

問題になっていたのは、クロース・パラレル滑走路における後方乱気流の管制間隔への影響でした。特に朝に、大陸横断便、大型機が数多く到着するときに遅延が常態化していました。

遅延する一つの理由は、クロースパラレルなので、大型機が着陸したら、隣の滑走路にも後方乱気流が影響するからです。Heavy 機と Medium 機の場合だと 5NM の間隔が必要になります。

これをなんとか縮められないかと考えたのが HALS(High Approach Landing System）で、片方のタッチダウンのポイント、つまり着陸の位置を滑走路の内側にずらして、着陸経路を全体的に上げる方法です。そうすると後方乱気流は物理的に下降していくので回避できます。

■後方乱気流の計測例と HALS による回避

39 ページの図はドップラー・ライダという装置で後方乱気流を観測した図です。これで何回も繰り返して何メートルくらい上げれば後方乱気流を物理的に避けられるかということを計測して、どのくらいタッチダウンのポイントをずらすかということをしています。これはディスプレイスド・スレッショルド（Displaced Threshold）といわれますが、そういうことで、セミオープンパラレル並の感覚に短縮することをしています。

ヨーロッパは条件を満たすとレーダー間隔を 2.5NM まで短縮できます。5NM が 2.5NM になるので大きいです。39 ページの図は、滑走路を着陸のうしろから見たもので、上の図は大型機の後方 2.5NM、下の図は大型機の後方 5NM における後方乱気流の強さを表しています。ウェイク・ボルテックス・ジェネレータ・ポジション（Wake Vortex Generator Position）は渦を発生させている大型機の位置を示しています。ボルテックス・インテンシティ（Vortex Intensity）は渦の強度です。渦の強度を見ると、隣の滑走路まで普通は渦が影響するのですが、中型機の方をこれくらいまで上げると届いていないなどを観測して検証を進めていきました。

■トライアルの結果

HALS では、北側の滑走路 25R は大型機専用とし、南側の平行滑走路 26L は小型機／中型機専用とされました。滑走路 26L を使用する場合には、元々の 25L のライティング・システムはすべて消灯して、パイロットから間違われないようにしました。

ルフトハンザ航空のシミュレーターでライティング・システム（Lighting System）の設計と評価をし、パイロットの感想を聞くと安全上問題ないことを確認しました。

実際の空港への導入と試験着陸を 5,000 回やって着陸を成功し、安全性に問題ないのでやろうということになりました。

■HALS の欠点と DTOP

しかし、HALS には滑走路運用で欠点がありました。

HALS だと Heavy 機が連続した場合に南滑走路が使用できないため効率が落ちます。滑走路が短くなるから Heavy 機が使えないということだと思います。

HALS をさらに発展させて、南滑走路について、元の滑走路端も使用可能にして、同時に二つの滑走路端があるという運用をやろうとしたのがダブル・スレッショルド・オペレーション（Double Threshold Operation：DTOP）です。

HALS の場合は 1 本の滑走路を短縮して使うので、短い滑走路に降りられる Medium 機に限られるという欠点がありました。そこで、DTOP は 1 本の滑走路なのに、二つの着陸ポイント、スレッショルドがあります。42 ページの右下のように、Heavy 機の場合は北側だけでなく、南側の滑走路も通常の長い滑走路として使って、Medium 機は南側の滑走路のディスプレイス（displace）したポイントに着陸します。これを DTOP と呼んでいて、先ほど言ったような HALS での制約が取れるのでさらに良いということです。

■DTOP の安全性等の試験

DTOP もシミュレーター実験をして、パイロットのワークロードには問題がないのですが、先ほど説明したような到着の管制は難しいので、43 ページの図のように、トロンボーン型の着陸経路を引いておいて、1 回空港に近づくのですが、滑走路と逆の方向に戻って、また空港に近づくようにする。こうすると管制官はこの間飛行機をコントロールしなくてすみます。最後は着陸経路を乗るところの先行機の場所を見ながら、次の飛行機を入れています。これはトロンボーン型のリニア（Linear）ホールディングと言いますが、こういう形式で着陸の間隔の精度を上げつつ管制官のワークロードも下げるという経路設計もやっているわけです。

■Circular と Linear ホールディングの組み合わせ

44 ページの図を見ていただくと、AIP に「NO TURN ONTO FINAL UNLESS CLEARED BY ATC OR DURING LOST COM（管制承認があるまで最終進入経路に向けて旋回してはいけません）と書かれています。この図のように、最後はあるポイントで最終進入経路に向かって旋回しなさいと指示するだけなので非常に管制はやりやすい。しかも間隔の精度がよく取れるということです。通常の Circular 型のホールディングなども使いながらうまく交通量をコントロールしています。

■Point-merge system

最近、日本も導入を検討しているような話を聞きましたが、ポイント・マージ・システムと呼ばれるものがあります。合流の作業効率化を戦略的にやるのを管制官は嫌がるというか、非常に難しくてワークロードが上がるのでどうするかということで、先ほどのリニア・ホールディングのようなものを考えたり、図のようなポイント・マージ・システムを考えたりします。

ポイント・マージ・システムで、最後の着陸経路に乗るポイントがマージ・ポイントです。全部の着陸機がこのポイントを通ることになるのですが、そこから同心円状にアークを書いて、例えば 0.5NM ずつでも、1NM ずつでも良いのですがアークを引きます。

飛行機が来たら、リニア・ホールディングのように 1 回反対に戻らせるのではなくて、合流ポイントから同じ距離のアーク上をずっと飛ばさせる。こんな曲線経路を引けるのも RNAV ができたからです。反対側から来た飛行機も 45 ページの絵のように飛ばします。

リニア・ホールディングに近いですが、この方が幾何学的に精度が高く、効率は良いというのが直感的にわかります。

このシステムは、すでにオスロ、ダブリン、ソウルやパリなどで実施しています。最近は、ガトウィックやロンドン・シティというロンドンの小さな空港でもしています。

航空管制のおもしろいところはこういうところです。ちょっとした幾何学的な経路設定の工夫でやって処理効率が上がるのがおもしろい。

■レギュラー運用に移行できていない理由

先ほどの DTOP や HALS ですが、レギュラー運用に移行できていません。私がヒアリングに行ったのは 2008 年か 2009 年だったと思いますが、当時、「もうできないんだよ。ここまでさんざん実験したのに運用しないんだ」と不満を言われました。2012 年に新しい滑走路ができることが決まって、それに忙しくてオペレーションの方が考えられないということもあった。

また、現場の管制官から、二本の平行滑走路で三つも滑走路の着陸地点（スレッショルド）があって大変だという強い反対もあったようですが、4 本目の滑走路ができればそこまでやる必要性がなくなった。さんざん検討して実用できる段階になったが、ニーズがなくなったというのが結末のようです。

■フランクフルト　第 4 滑走路

フランクフルト空港の周りは騒音問題が大きく、騒音問題や力一ゴ（貨物機）に対するカフュー（離着陸禁止）緩和問題で裁判になって、当時は有名でした。この 4 本目の滑走路を短い 2,800m の滑走路ですが、高速道路と反対側に、着陸専用滑走路として作りました。離陸には使わない滑走路を作って容量拡大して、時間容量が 83 回から 120 回に上がっています。これを作ったので HALS や DTOP のような複雑なオペレーションがいらなくなったのです。離れたところに平行滑走路ができたので、今度はオープン・パラレルとしての運用ができるようになったと思います。私が印象深く残っているのは、せっかくやったので日本のどこかでクロース・パラレルのようなことがあったらぜひこれをやってほしい。フランクフルト発の技術を使って欲しいと言われたのを今でも覚えています。当時はそんなところが日本にあるかなぁと考え、思い浮かんだのは伊丹でした。伊丹などは混雑もしているのでできるかもしれないと当時は話をしていました。

■後方乱気流関連の取り組み

後方乱気流の管制間隔区分見直しの取り組みについてのお話で、これは一般論です。これは JAXA の資料で、さきほど Heavy、Medium、Small という後方乱気流には 3 区分というラフなカテゴリーしかなかったのですが、最近ボーイング 787 型機や大きいリージョナル

ジェットなど多様な飛行機がでてきて、単純な 3 区分では安全上、処理効率上問題があるということで 6 区分に変えることとしていて、リキャット（RECAT）と呼ばれています。かなり検討が進んで実際に導入しているところがあるかもしれません。

近接平行滑走路（CSPRs:Closely Spaced parallel Runways）で 2 本の滑走路があって、例えば離陸するときに次の離陸機を別の滑走路から出したり、着陸が連動する場合にもクロースパラレルの場合は隣の滑走路の後方乱気流が影響します。しかし、例えば、着陸するときに横風が強い場合には、この風下にある滑走路の後方乱気流は風で流されます。風上の飛行機は後方乱気流が物理的に影響しないわけです。これもフランクフルトで昔計測していたと思いますが、時々刻々と気象条件を観測して、さらに予測をすることによって、横風が強い場合、近接平行滑走路の横風を活用した離着陸間隔の短縮というのを検討していました。CSPR s もシヤルル・ド ・ゴール空港などで運用例があるようです。

■TBS(Time-based Separation)

TBS(Time-based Separation)というのはヒースローでやっています。これもスロットを上げるというよりは気象条件が悪いときの容量の減少をどう抑えるかという観点です。基本的に管制は 3NM、4NM、5NM というふうに距離で管制しますが、飛行機は基本的に空気に対する相対速度で飛ぶので、向かい風が強ければ強いほど、地上に対する速度が落ち、着陸に要する処理の時間間隔が延びます。距離ベースで管制していると、ヒースローのようなタイトなところは、向かい風が強いと容量がかなり落ちてしまいます。距離ベースではなくて時間ベースの間隔が一定になるようにして距離を短縮するのが、タイム・ベースド・セパレーションです。

もともと後方乱気流管制間隔は安全を考えて決めた間隔なので、縮めても良いのだろうかとなります。しかし、風が強いと、後方乱気流の強度は早く減衰します。だから、その分は詰めても良いというのがタイム・ベースド・セパレーションの根拠です。

■サンフランシスコ国際空港：２組のクロースパラレル

次は 51 ページ。サンフランシスコ国際空港です。ここはかなりめずらしい滑走路のレイアウトをしていて、2 本のクロースパラレルで、滑走路間隔が 250m か 300m の狭いものが 2 組あります。合計 4 本あるのですが、2 組の滑走路を例えば左から風が吹いているときには、横の 2 本の滑走路を着陸で使って、交差する縦の滑走路から離陸を出すということをしています。2 本の着陸、2 本の離陸というのを基本的なスタイルにしています。

ただ、クロースパラレルで間隔は 300m もなかったと思いますので、二本同時に使えないわけです。クロースパラレルなので片方に着陸したら、次の飛行機は間隔を空けて着陸しなければいけません。

■有視界飛行状態（ＶＭＣ）時の運用

しかし、アメリカは冒頭に言いましたように、VMC というか天気の良いときには天気の良い時なりの攻めた運用をしています。私が過去調べた中で一番びっくりしたのがサンフランシスコの有視界飛行状態での運用です。つまり飛行機同士が見えています。見えているときには、滑走路間隔は狭いのに飛行機がほぼ隣に着陸させたりします。向こうの管制

官はこれをサイド・バイ・サイドと呼んでいます。前の飛行機を少し前に出して、必ず隣の先行機を見ながら、つかず離れずで必ず行くことを条件に同時に着陸させます。クロース・パラレルの場合は通常容量は 1 本の場合と変わらないのですが、ここでは単純に倍になります。オープン・パラレルと同じような着陸容量になります。1 本当たりだいたい 30 回の着陸容量なので、単純に VMC のときは着陸容量が 2 倍の 60 回になります。ルール上は、目視間隔をとってぶつからなければ良いので問題がないわけです。離陸も同じように着陸した隙間で次の飛行機をショットガンのようにボンボンと出す。ここもまたサイド・バイ・サイドで先行機を横目に見ながら次の飛行機を出す。上に上がると管制官が見えなくなるのでレーダー間隔が必要になってくる。同じ方向に上がってしまうと危ないので必ず方面別に分けて離陸させるというようなことをしています。先ほど言ったようにつかず離れずやるといった理由は、後方乱気流は徐々に横に広がるので、広がる前に飛ぶためです。かなりアクロバティックなことをやっていて、1NM 以内であれば横に広がる時間差で後方乱気流を回避できるということです。離陸も同じです。

■計器飛行状態（ＩＭＣ）時の運用

問題は IMC の時です。IMC の時は、アメリカも目で見えないので、日本と同じように隣の滑走路に着陸している飛行機が Heavy 機の場合は 4NM くらい必要です。3NM の場合でもバッファー込みで 4NM くらいの間隔で着陸するということです。

離陸も同じです。滑走路の容量が単純に半減することになります。サンフランシスコは霧の街ですから空港に霧がかかったり、天気が悪いと急に容量が落ちて大混雑や大遅延が発生することになります。

■ＳＯＩＡ（Simultaneous Offset Instrument Approach）

ここからが重要なところで、もっと中間的なことはないかということです。天気も良くないが、そこそこ雲も高いので 1,000 フィートくらいは見えるという気象条件もあるわけです。そういう時にも、先ほどの同時着陸のようなことができないかと考えたのが、ソイア（SOIA）と呼ばれる方法です。着陸機二機のうち片方をオフセットして計器進入できるというものです。何をやっているかというと、片方は通常のＩＬＳで直線的に入らせて、片方を 3NM 取れるような間隔から徐々に近づけていきます。これは角度がオフセットするという意味でオフセットという言葉を使っています。オフセットしている方は、羽田でも今やっている LDA という方向を指示する電波を斜めに出して、それに乗って来ます。滑走路の手前数マイルで、隣の飛行機が見えたら、オフセットしていた方はビジュアル・アプローチに切り替えて、そこからはサイド・バイ・サイドで行くということをやっています。もともとのサイド・バイ・サイドは、ずいぶん手前からつかず離れずで来るので、相当天気の良い時しかできないのですが、それをやや天気の悪い時にもやるためにこういう運用をやります。57 ページはそのイメージ図です。通常平常着陸で用意する NTZ（Non-Transgression Zone）不可侵区域というのだと思うのですが、オープンパラレルでも同時着陸する場合には、こういう入ってはいけないゾーンをレーダー上で区域設定して、そこを専門に見る管制官を配置します。少しでもそこに入ってズレている飛行機がいると、その飛行機にすぐ離脱するように指示ができるような体制で同時着陸をしています。オフセットの場合も、オフセット型の NTZ を用意して、管制官が常にモニターしています。近づい

て来た時に近すぎていないことを常にモニターしている。あるところまで来て、雲を抜けて先行機が見えたらビジュアル・アプローチに切り替えて入るということをやっているわけです。この方法で、先ほどサイド・バイ・サイドでやると 30 回が 60 回になるのですが、SOIA だと 36 回から 40 回くらいに着陸容量の増加が期待できるというたぐいの話です。そんなに劇的な容量で増えないですが、6〜10 回は大きいです。

■ニューアーク空港における離陸経路分散と容量拡大

すでに以前の研究会の時に紹介しましたが、ニューアーク空港では、離陸経路 1 本を市街地を避けるようにもともと引いていたのを、離陸容量をあげるために、市街地上空ルートも引いて容量を上げました。騒音影響が大きいのでピーク時間帯などの高需要時間帯のみに限定しています。

■NY 首都圏

59 ページは、ニューヨーク首都圏エリアの空域構成とＮＹ TRACON を示しています。アメリカでは、複数空港に発着する航空機を TRACON で一元的に管制しています。TRACON というのは日本でいうターミナルレーダーの管制区域です。アメリカは大きいので複数空港を束ねてターミナルレーダー管制をしています。この管制エリアは 150×125NM という広さで、東京から中部くらいまで入るような規模です。

60 ページ。こういう混雑している空域に、ニューアーク、ラガーディア、ジョン・F・ケネディ空港があって、羽田なみの着陸があります。テタボロはゼネラル・アビエーション(General aviation)の空港で、普通の自家用ジェットが飛べるようなところですが、ここも羽田ほどの回数を飛んでいて、それがかなり狭いところで飛んでいます。

61 ページ。同じスケールで比べてみると、羽田と成田の間に、グチャグチャといっぱい空港があるということです。

63 ページは、ラガーディア、ニューアーク、JFK の着陸の航跡だけでも混んでいると思うのですが、この間をラガーディア、ニューアーク、JFK からそれぞれ離陸しています。さらに、フィラデルフィアの着陸、離陸、テターボロ、アイスリップ空港などたくさんの空港がニューヨークにはあって上空通過も大変なことになります。

■NY/NJ/PHL 首都圏空域再編プロジェクト

昔からこの空域の航跡は、つぎはぎ、つぎはぎで航空経路が複雑に絡み合って、レベル飛行したり、なかなか上へ上がれなかったりと非効率でした。これをなんとか変えて、全体で一番良い空域設計をして、飛行経路を引くということを 10 年掛けてやったのがニューヨーク空域大再編プロジェクトです。

NY TRACON とNY Center を統合し、最新の管制システムを使ってICC（Integrated Control Complex）として新しい空域・管制機関をつくりました。上空の航空路の管制とターミナルの管制を全部加えて一体型の管制をして全体の効率を上げるものです。

基本的に違う組織でバラバラに管制していると効率が落ちます。所沢と羽田で管制したり、関西の空域だと、伊丹と関空のターミナルレーダー管制官と福岡の航空路管制がこの辺りの空域を上下に分けてやっているわけです。ICC は上下を一体でやる、統合された管制複合体というものです。

こういうのを関西は比較的入れやすいのではないかと思って、新しい空域設計と新しいシステムのショーケースになったら良いというのは、昔の研究会で言った記憶があります。

騒音影響なども 72 ページや 73 ページのように、騒音が軽減するエリアと悪くなるエリアといろいろあります。こういうことも、10 年間かけて住民を説得して今オペレーションに移っているということです。

■アトランタ空港

最後はアトランタ空港で、これは管制運用というよりは、私の専門の土木的な話で好きな容量拡大策です。アトランタは全世界で旅客数が一番多い空港です。今年 4 月の ACI 発表で、2015 年単年で、旅客数が世界で初めて 1 億人を超えました。

滑走路が 5 本あって 2 本のクロース・パラレルの滑走路の組が 2 つと、2006 年に 5 番目の滑走路ができました。この 5 番目の滑走路は、most important runway in USA と、当時呼ばれていました。アトランタ空港は、アメリカでナンバーワンのハブ空港なので、ここで発生した遅延は全米に波及するので、アトランタの遅延解消のためのこの第 5 滑走路が一番重要だということで作ったわけです。

2 本のクロースパラレルの滑走路を 1 本着陸、1 本離陸で使う、これは常套手段ですが、そのときに離陸滑走路を着陸機が必ず横断することになります。安全上、離陸機が離陸滑走中に着陸機が横断する、これはランウエイ・インカージョン（Runway Incursion）と言いますが、なかなか無くならない事故でもあります。処理容量上も着陸機が横断しているのを、離陸機が待っているので処理容量が落ちます。それを解消するために何をやったかというと、離陸経路の下をくるっと回れるようなタキシーウェイ（Taxiway）を作りました。これはペリメーター・タキシーウェイ（Perimeter Taxiway）と呼んでいますが、これを制限表面をクリアできるところまで離して渡らせると、離陸機がいても着陸機が横断できます。走行距離は延びますが安全上も容量上も問題は無いということです。

これの何がおもしろかったかというと、いわゆる制限表面（OLS）については、尾翼の高いところが制限表面にぶつからないところまで遠回りして離して横断させるのですが、同じ高さレベルで横断できるところまで離すと距離が延びるので、開削トンネルのようにオープンカットで地面を掘り下げて、なるべくこの滑走路端に近いところで渡らせるようにしています。ここが、アトランタのすごいところで、こんなことまでやるかと思います。

10m もないくらいの低さですが、この上を離陸機が飛び、その下を着陸機が渡って行くということをしています。飛んでいるのはものすごい上ですが、制限表面は法律で決まっているので、それをクリアできるようなところまで掘り下げたというところです。

■ＮＹ空域再編プロジェクト／空域再編プロジェクトにおける検討の流れ(補足)

65 ページは前回の研究会でお話しした計画プロセスです。空域再編は、NEPA プロセスという国家環境政策法に則って長年かけてやってきました。しかし、その結果、ニューアークの都心上空を飛んで、騒音が悪化する自治体やさまざまなところから訴訟が起き、1 年間差し止めされ、空域再編プロジェクトは動きませんでした。しかし、FAA・アメリカ航空局は法律に則ったプロセスで意見を聞きながら決定して、実行に移してきています。そのため、それらの訴訟に対して結果的には勝てたのはプロセスを大事にしたためで、ニュ

ーヨーク空域再編は非常に参考になります。

ニューヨーク空域再編はインフラ投資はしておらず、ただ飛行経路を変えただけです。日本なら空域再編だと環境影響評価をしなくても良いのですが、アメリカはしなくてはいけません。だから、ニューヨーク空域再編では、かなり広域で変わるので、66 ページに示すように数多くのオープンハウス的な説明会をしています。

■代替案の設定と詳細検討、最終実行プロジェクト

67 ページ。このような空域再編プロジェクトをやるときも、複数の代替案を NEPA プロセスで考えなければいけません。空域の再編を考える前に、そもそも航空の混雑を減らすため、航空以外の鉄道や道路で何とかできないだろうかとか、テレコミュニケーションを使って旅行の回数を減らしてはどうかといったことも考えています。周りのサテライト空港を活用することや、混雑マネージメント・プログラムとして混雑課金なども考えています。これはニューヨークで導入に失敗しました。あと管制技術の改善も考えています。このようにかなり幅広い一つのプロジェクトやるにしても、プロジェクトに代替するようなあらゆる方策をちゃんと検討して、全部比較しながら進めています。

空域再編の中でも、どういうやり方があるかということも、たくさんオプションを用意して、最終的に「既存ルートを前提としない最も効率的な空域設計（Integrated Airspace Concept）」を決めていっています。

■ICC による空域再編の主なねらい

技術的なところからいくと、ICC と呼ばれるものの最大のメリットを一番言わなければいけません。ターミナルレーダー管制エリアとその周りの航空路管制で何が一番違うのかというと最低間隔が違うのです。ターミナルレーダーで管制する空港周りは 3NM が最低間隔で、ターミナルレーダーは 4 秒に 1 回クルクル回ります。一方、航空路管制は飛行機の速度も速いし、比較的広域を見なくてはいけないので航空路レーダーはゆっくり回ります。レーダーは電波を出して帰ってくる時間差で距離と方位を測定するのですが、早く回りすぎると、遠くまで行って帰ってくるまでにレーダーが次のところに動いてしまうので受けられない。だから、遠くまで見るためには、ゆっくり回らなければいけないので、航空路レーダーは 10 秒に 1 回の速さで回っています。だから、管制官のレーダー画面は、航空路レーダーは 10 秒に 1 回しかデータが更新されなくて、ターミナルレーダーは 4 秒に 1 回で更新されます。それだけでも管制官のコントロールの使い勝手がたぶん違うのですが、さらにレーダーの性能の差から最低間隔も違います。

ICC は組織を統一化して、管制室は広い体育館のようなところで、個別に空域を細分化して、それぞれ 1 人 1 人を管制するのですが、ある空域から隣の空域にどんどん飛行機をパスしていくわけです。そのときに隣に人がいて次これを送って良いか、口での会話、バーバル・コミュニケーション（verbal communication）ができるというのは意外と重要らしいのです。日本のように、関西空港と福岡にいて、電話するしかないとレスポンスが悪いです。あと空気感がわからない。そんなところも影響しているようです。

ICC で TRACON エリアを拡大し、従来より広域でターミナルレーダー間隔の 3NM を適用することができるようになっています。ターミナルレーダーを広域にいっぱい配置する

ようなイメージです。

■ICC によるターミナル間隔の適用範囲拡大と到着便処理の効率化

今まで、ターミナルのエリアと航空路のエリアが分かれていた時に、始め航空路が空港に向けて引っ張ってくるわけですが、この人たちは全然この空港の周りの順序など何も考えずにどんどん入れ込んできました。あまりにも混んでくると止めるくらいはするのですが、そうすると最後順序付けするエリアが限られるので、最後のターミナル管制官がやれることは限られるわけです。

しかし、逆に、航空路管制をやっている人がさらに広域の権限を持つことによって、このまま 4 つの飛行機が来たときにどういう順序で入れたらいいかというのを、早い段階から調整できると非常に柔軟性が高くなり、無駄なオペレーションがなくなります。その結果、混雑も解消して、しかもここが 5NM から 3NM に変わることによってより近づけることもできる。最低間隔が短くなることで、より安心して、もっと複雑な管制がしやすくなることになります。到着順序が早目にわかって、順序付けが効率良くできるわけです。空港周辺だけではなく、手前の広域の空域も滑走路の最後の順序付けに影響しますので、空港の手前でどういうコントロールをさせる場を提供するかという空域設計も重要です。日本でも、そういうことも合わせてやらなければいけないということです。

■ICC による出発便処理の効率化

離陸経路も今まではグチャグチャで非効率な運行だったのですが、今は無制限に上がれる非常に運行効率の良い、燃費も良くなる運用になっています。これで管制官のワークロードも下がっています。

■騒音への影響（ＩＣＣとＮＯ　ＡＣＴＩＯＮの差）

72 ページは、騒音の影響が上がるところと減るところのマップをつくって説明しているものです。

今日は滑走路容量の考え方と拡大方策の海外のおもだった事例ということでご紹介させてもらいました。以上で終わりです。ありがとうございました。

〔質疑応答〕

○　初歩的な質問ですが、私はこれまで後方乱気流はエンジンの後ろから出るものだと思っていたのですが、そうではなく翼端流だということは、エンジンの影響というのはあまり無いということでしょうか。

→　管制間隔で取るべき後方乱気流間隔の根拠は翼端渦と私は認識しています。当然、後方乱気流をちゃんと定義すると、エンジンのジェット・ブラストの乱気流も入っています。入っていますが、強度的に翼端渦の方があり、ジェットブラストはおそらく出てすぐ消えるのだと思います。渦は１回生じるとしばらく残りますので後続機にも影響して、時間的に残ってしまう効果が大きいと理解しています。

○　今日は、空港側の工夫という観点からお話をしていただいたと思うのですが、航空機の機体側の工夫として、例えば翼端流を減らすとか、素人考えですが、ウイングレットなんかの形状を変えるなどという試みはされているのでしょうか。

→　私は飛行機自体はあまり得意ではありませんが、ウイングレットは後方乱気流を回り込むのを防ぐために付けたりしていますね。あの形状は、おそらく長年研究されてなっていると思います。あと、あれをつけるのにもコストがかかってしまうのですが、後方乱気流の抑制だけではなく、燃費にもきいてくるので、燃料価格が上がってくると、付けたほうが得になるので、最近の機種はものすごく大きいウイングレッドを付けています。だから、ウイングレットはそういう背景があるのだと思います。

それ以外は後方乱気流自体を低減する方法というのは私もわかりません。B787 などは今までのと違う羽の形状をしていて、ウイングレッド型ではなくて全体をそらしたような感じです。あとはかなり次世代の話になると、かなり未来型の飛行機を NASA や JAXA で開発されています。

○　航空機メーカーは、燃費のことを考えて翼は設計するということでしょうか。

→　そうだと思います。滑走路のインフラ側からみると、着陸料などが気になると思いますが、大きな飛行機ほど長く滑走路を占有するわけですが、むしろ後方乱気流のカテゴリー別に、着陸料に反映させるのも良いなと思います。

そうすると、メーカーやエアラインにフィードバックされて、後方乱気流を低減させる技術開発のインセンティブが出てきます。そういうふうになっていってくれたほうがシステム全体の効率、そして投資効率という意味でも良いと思います。

滑走路容量の考え方と容量拡大方策の事例

平田　輝満
茨城大学工学部都市システム工学科
terumitsu.hirata.a@vc.ibaraki.ac.jp

研究会の予定

第1回 「首都圏空港の容量拡大に向けた取り組みと課題」2015.11.27
① 首都圏空港の現状と課題
② 運輸政策研究所における調査研究
③ 国における首都圏空港機能強化の取り組み状況と今後の課題

第2回 「混雑空港における騒音対策」2016.3.4

第3回 「滑走路処理容量の考え方と容量拡大方策の事例」2016.10.14

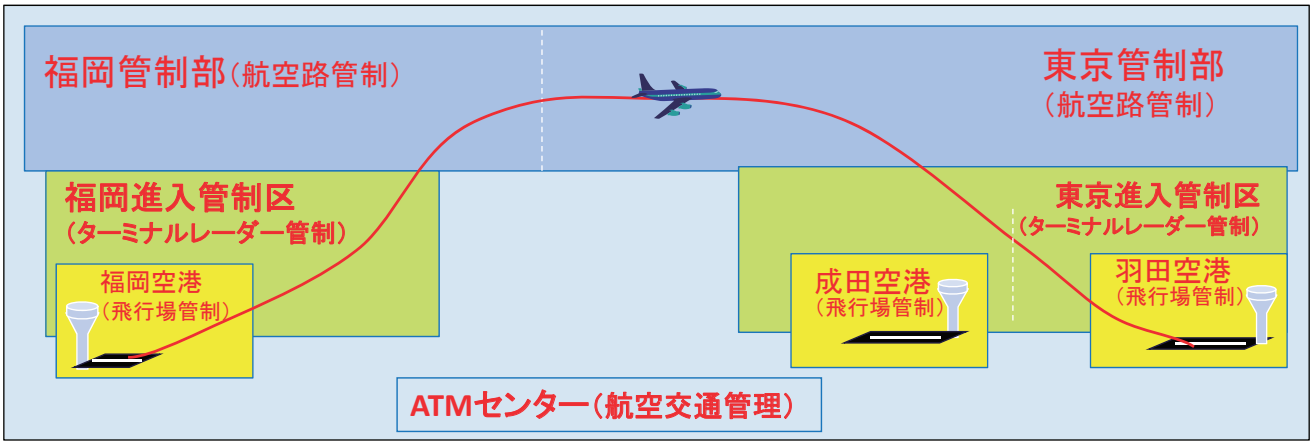
第4回 「次世代の航空交通システムと空港運用への影響」

第5回 「関西圏空港・空域の運用課題と運用オプション」

本日の報告内容

1. 離着陸の管制方法と滑走路容量に影響を与える要因
2. 滑走路容量拡大方策の事例
3. 本日のまとめ

航空交通管制業務の概要



①飛行場管制：離着陸の順序，時機，方法を指示
②進入・ﾀｰﾐﾅﾙﾚｰﾀﾞｰ管制：巡航高度までの管制指示，進入順序付け，間隔設定
③航空路管制：巡航中の間隔設定 など

①～③ ⇒ レーダーや目視により航空機の現在位置を確認し，航空機に直接管制指示

④航空交通管理：日本全国の交通状況や空域の運用を一元的に把握・管理（交通流管理，空域管理，洋上管制 など）

④ ⇒ 飛行計画や気象予報から将来の交通量や空港・空域容量を予測し，需給バランスを保つための交通流制御等を各管制機関に指示

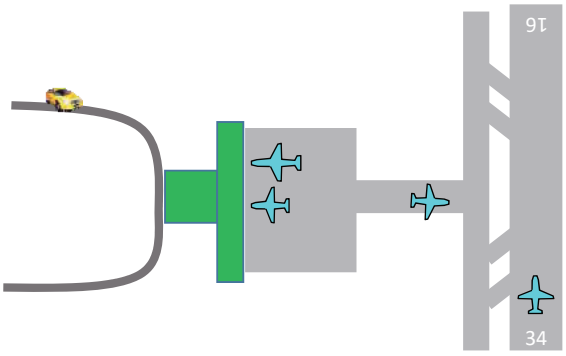
空港容量とは

「容量（Capacity）」
・・・ある施設の利用者の，一定の条件下での単位時間当たりスループット（処理回数）：通常の定義

「空港容量（Airport Capacity」
・・・ランドサイド（Landside）とエアサイド（Airside）の2つのサブシステムの容量からなる．
・・・処理される対象・モノ⇒離陸/着陸機，到着/出発旅客，荷物（バゲッジ），航空貨物など．

ランドサイド：
地上アクセスとターミナルビル（旅客，貨物）．両者の間は相互に接続し，スムーズに移動可能なような適当なインターフェイスがある．主なユーザーは旅客／貨物．

エアサイド：
Apron/Gate complex（ターミナルから航空機への移動のためのインターフェイス），Taxi-wayと滑走路である．主なユーザーは航空機．



空港容量とは

- 各サブシステムを構成する要素は一連のシステムとして配置されている
  →空港容量は一番「弱い」部分の容量で規定され（ボトルネック），ボトルネックは混雑や遅延を生じさせる．

  ＊通常，混雑空港では「滑走路」の容量がボトルネックとなることが多い．

- 静的（Static）な容量と動的（Dynamic）な容量：
  静的⇒ある瞬間の収容能力
  動的⇒単位時間当たりの処理率（Service rate）

空港容量の推計方法

「空港容量の推計方法」

（1）カウンティング手法：
実績の処理回数をカウント（要因分析や予測・計画ができない）

（2）モデリング手法：
容量の影響要因をモデル化（予測・計画が可能．キャリブレーションデータが必要）

（3）シミュレーション手法

エアサイド（滑走路）の容量の規定要因

- 「滑走路」と「空港近傍の空域」：

⇒ 従属関係が強いため，エアサイドにおける一つのシステム，コンポーネントとして通常扱われる．
＊空港近傍空域を伴う滑走路システムは，空港システムの出入り口となるので，その容量は極めて重要．

- 滑走路容量に影響を与える要因：

①固定的な要因：空港デザイン（滑走路のレイアウトなど）
②変動的な要因：気象条件⇒航空機の運用方式と運用密度を決定づける．

気象条件：
1．有視界気象状態 VMC：visual meteorological condition
2．計器飛行状態 IMC：instrument meteorological condition
の大きく2種類に分かれる．
⇒ICAO（国際民間航空機関）で規定している管制間隔（セパレーション）の最低基準を決定づける

エアサイド（滑走路）の容量の規定要因

- その他の要因

①航空機の特性：
最大離陸重量（MTOW），離着陸速度，滑走路占有時間など．
⇒ 機材構成が変わると管制間隔のルールやミニマ（最低基準）が変化し，容量も変わる．

後続機

先行機	（A380）	Heavy	Medium	Small
（A380）	（4NM）	（6NM）	（8NM）	（10NM）
Heavy	-（3NM）	4 NM	5 NM	6 NM
Medium	-（3NM）	-（3NM）	-（3NM）	5 NM
Small	-（3NM）	-（3NM）	-（3NM）	-（3NM）

Heavy： B747，B767等
Medium： B737，CRJ等
Small： ﾄﾞﾙﾆｴ，ｾｽﾅ等

＊1NM（海里）＝1.85KM

出典）NASA Langley Research Center (NASA-LaRC)

9

エアサイド（滑走路）の容量の規定要因

- その他の要因

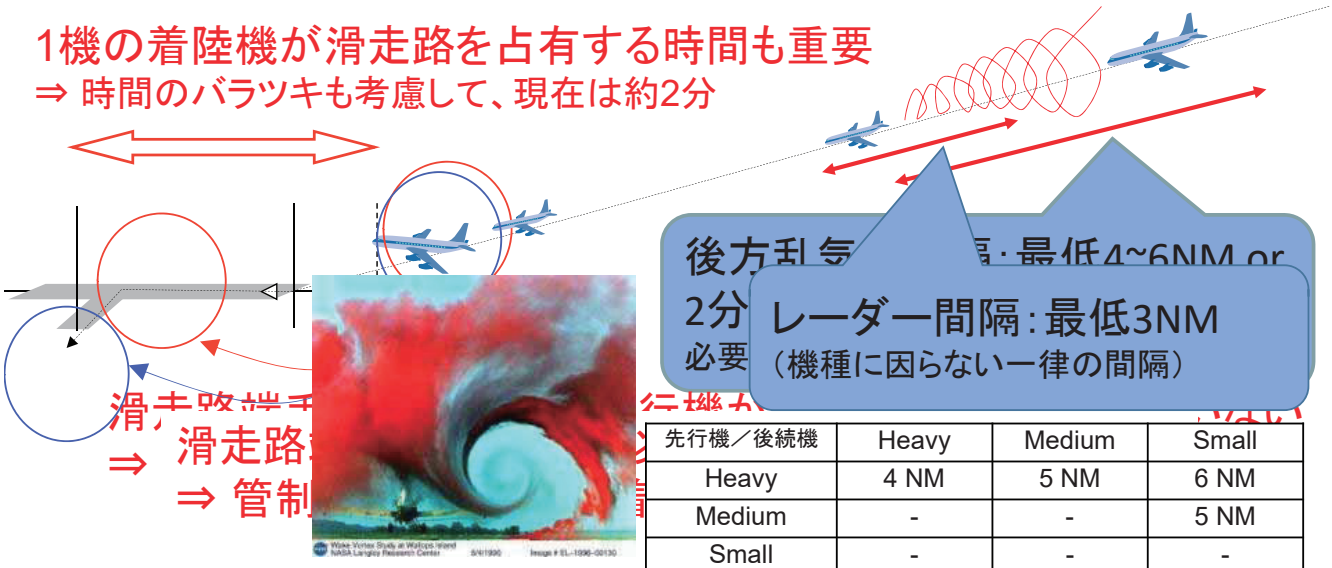
✓ 航空管制（ATC：Air Traffic Control）の運用戦略（離着陸の順序付けなど）
✓ 騒音軽減方式の影響（飛行経路の制約など）

着陸の管制と容量

着陸容量の決定要因：
① 飛行中の最低安全間隔
② 滑走路占有時間

日本では、基本的に滑走路占有時間の影響が大きい

1機の着陸機が滑走路を占有する時間も重要
⇒ 時間のバラツキも考慮して、現在は約2分



出典）NASA Langley Research Center (NASA-LaRC)

先行機／後続機	Heavy	Medium	Small
Heavy	4 NM	5 NM	6 NM
Medium	-	-	5 NM
Small	-	-	-

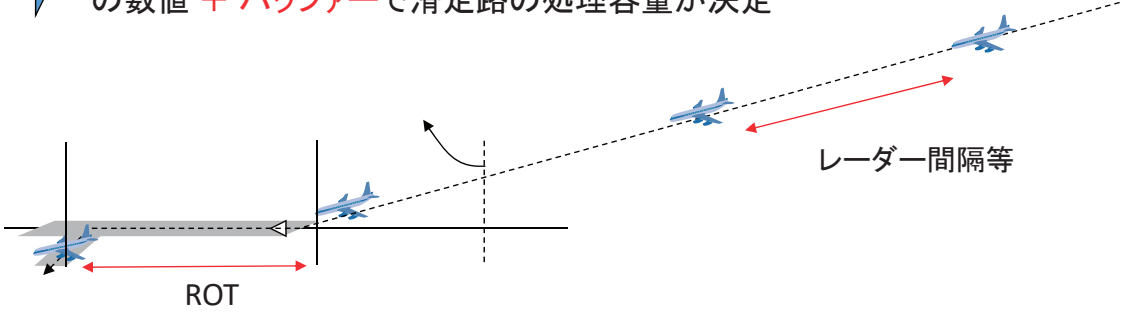
滑走路容量の基本的な考え方

管制のルールをもとに算定

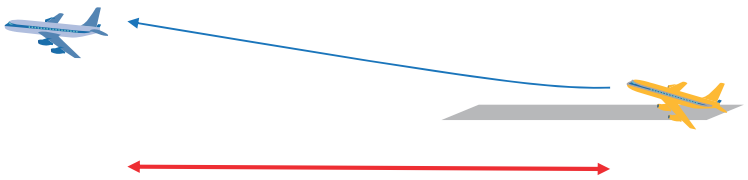
① 滑走路は同時に1機のみが使用可能
・・・滑走路占有時間（Runway Occupancy Time：ROT）

② 飛行中の航空機間に所定の管制間隔を確保
・・・レーダー間隔，後方乱気流間隔など

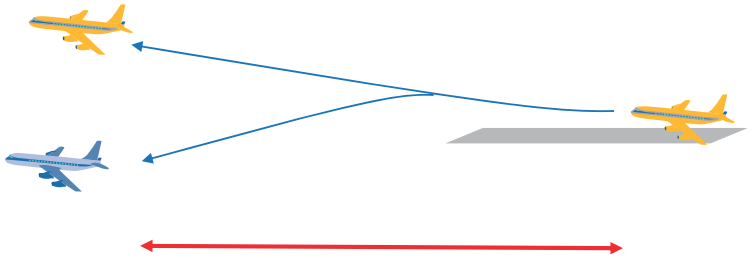
連続する離着陸機の各間隔について，①②のうち大きな方の数値 ＋ バッファーで滑走路の処理容量が決定



離陸の管制と容量



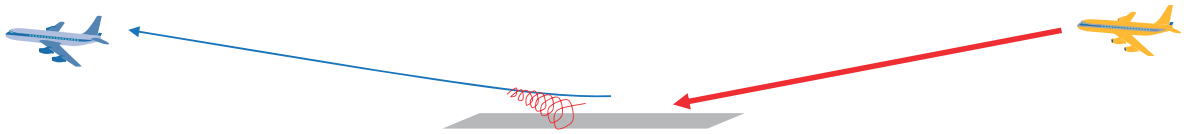
単一経路の場合：先行機とのレーダー間隔（3NM)or後方乱気流間隔（4～6NM）



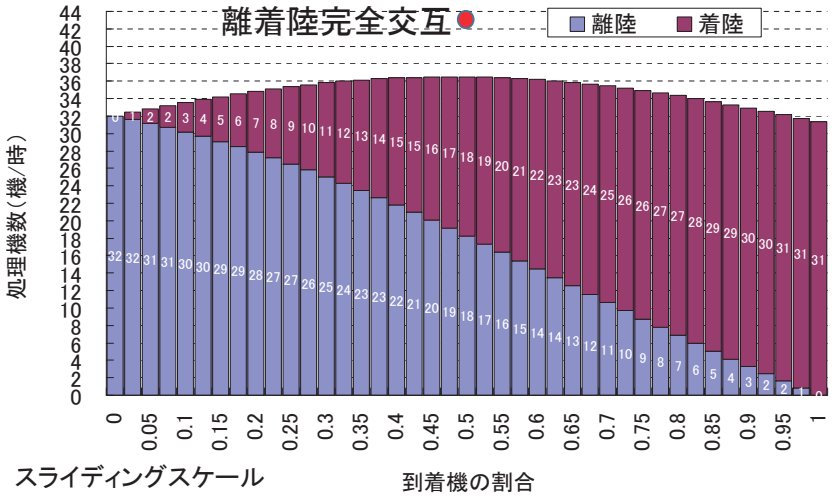
分岐経路の場合：先行機とのレーダー間隔（1NM）or後方乱気流間隔（4～6NM）

＊1NMの場合はROTが制約となるだろう

離着陸共用（Mixed-Mode）の容量



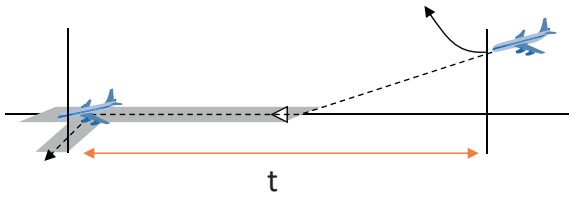
離陸後の着陸機には後方乱気流は影響しない
⇒処理容量：共用（離着陸交互運用）＞共用（ランダム）＞分離

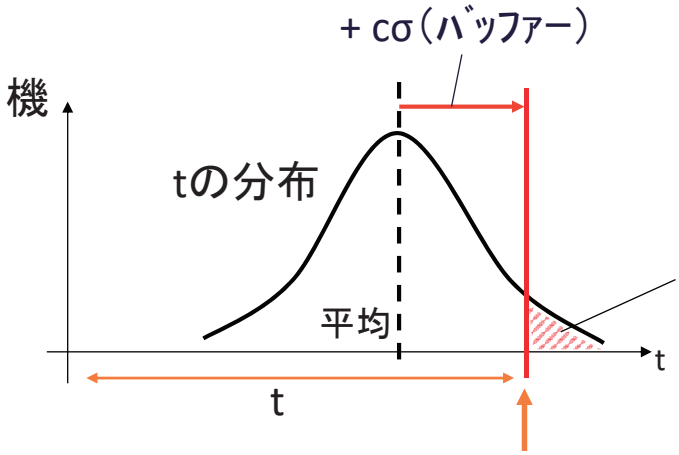


43.1回／時
（離着陸完全交互）
36.5回／時
（ランダム，離着陸同数）

滑走路処理容量と着陸復行率（日本ケース）

着陸機が滑走路を占有している時間tの観測値をもとに，復行確率がある値以下になるように滑走路処理容量を設定

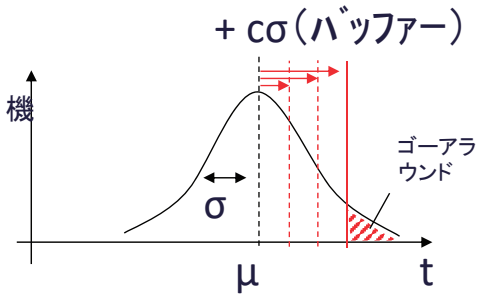


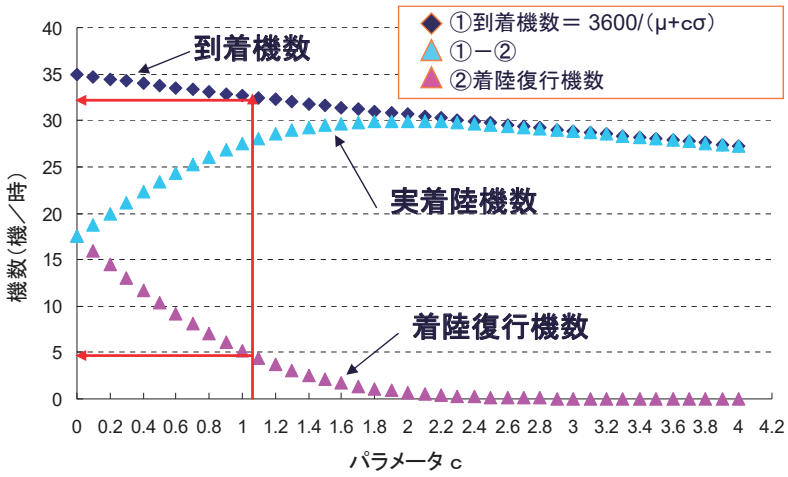


想定するtに対応した着陸復行確率

想定する滑走路占有時間

滑走路処理容量と着陸復行率（日本ケース）

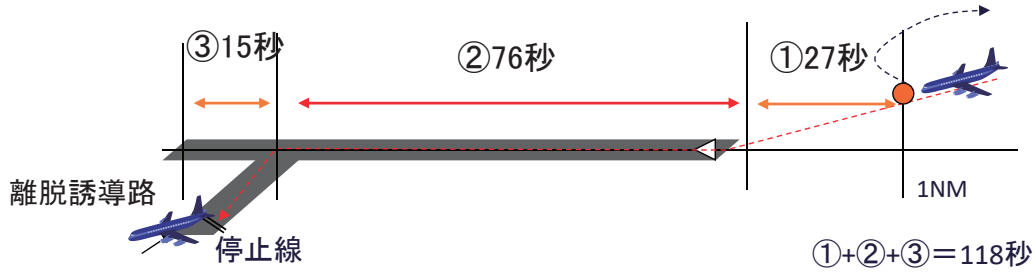




パラメータcを大きく設定し，バッファーを大きくすると，着陸復行する確率が減少するが，容量（到着機数）は減る.

許容する着陸復行率を設定 ⇒ 容量が決定
（現在は復行率を0.5%と想定）

羽田における滑走路占有時間（34L着陸）



着陸機１機の処理に要する時間 T:①+②+③の時間＝118秒

時間①	滑走路進入端から1NM地点（着陸か復行かの決断点）までの所要時間	実測値27秒（平均）
時間②	滑走路進入端を通過して滑走路縁を通過するまでの所要時間	実測値 57秒（平均） + バッファー19秒（バラツキを考慮：99.5%が着陸可能）
時間③	滑走路縁から誘導路上の停止線を通過するまでに要する時間	実測値を元に15秒

容量（機/時）＝3600／（着陸機１機の処理に要する時間 T）
＝30（回／時）→現在は②③を合算＝31回に

7

航空局資料

資料

滑走路処理容量算出方式（離陸機が連続する場合）

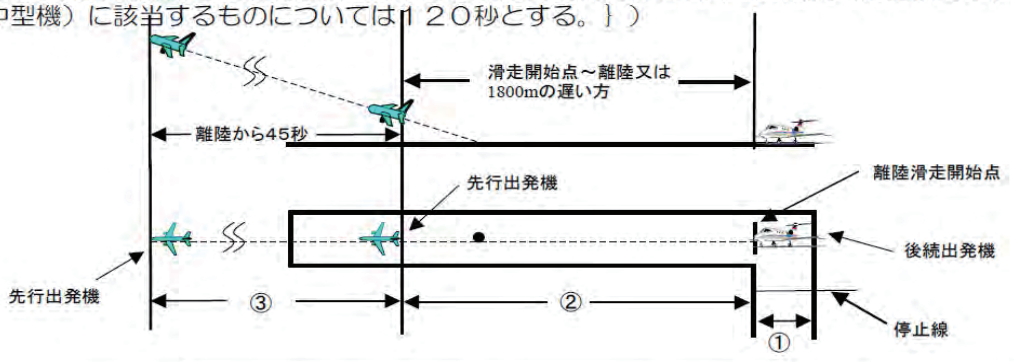
離陸機１機あたりの処理時間は、以下の①～③の時間の合計

①離陸機に対する離陸許可の発出やその後、当該機が動き出すまでの時間（実測値により１５秒）

②離陸滑走を開始して離陸又は離陸滑走開始地点から1,800メートル地点通過の何れか遅い方の時間

③先行離陸機と後続離陸機との間にレーダー間隔を設定する必要から、先行離陸機のレーダー識別及び後続離陸機への出発待機解除に必要な時間（離陸直後２マイル飛行する時間を理論値として４５秒）

｛ただし、先行離陸機と後続離陸機の間隔が、後方乱気流関連管制方式の規程（大型機同士、大型機の後の中型機）に該当するものについては１２０秒とする。｝）



（例） ①を15秒、③を45秒、②を滑走路占有時間の実測値に基づいて次の値とした場合に1時間当たりの出発機処理機数（先行離陸機が離陸する間に後続の離陸機は滑走路停止線から離陸滑走開始地点まで進行している）は、

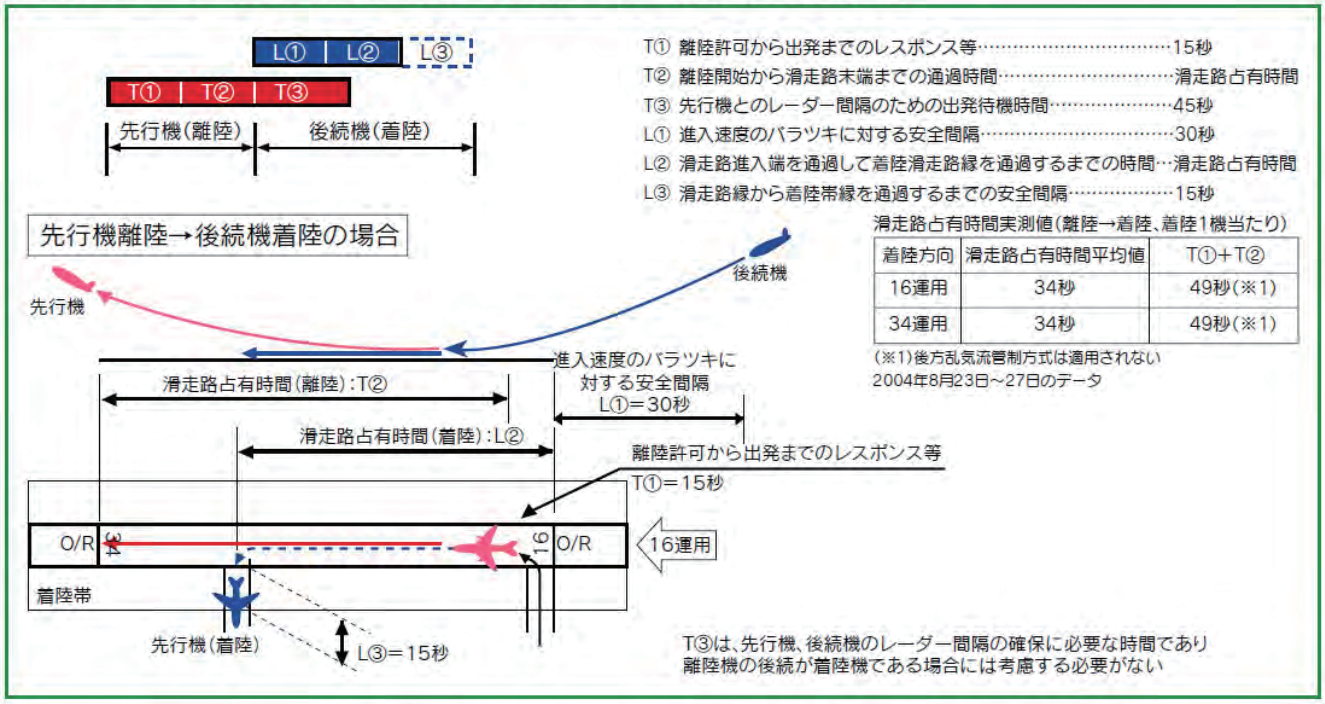
平均滑走路占有時間は約35秒で大型機の比率が70%の場合 ：
3600÷｛120×0．7＋（15＋35＋45）×0．3｝＝ 32回／時

18

福岡空港の総合的調査における計算例

（PIレポートより）

運航パターン別の処理時間-4（離陸機→着陸機の場合）



滑走路占有時間実測値（離陸→着陸、着陸1機当たり）

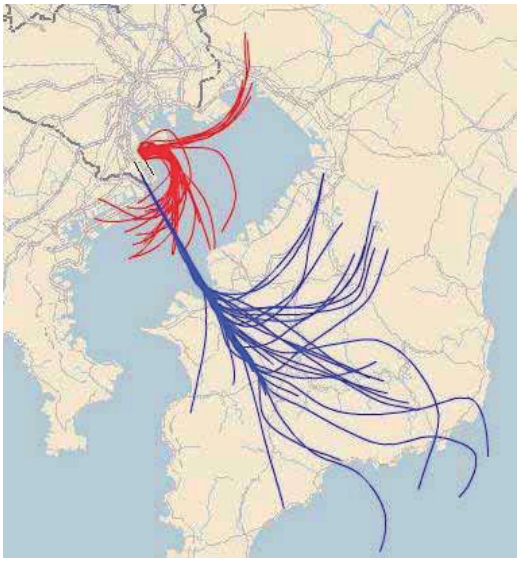
着陸方向	滑走路占有時間平均値	T①+T②
16運用	34秒	49秒（※1）
34運用	34秒	49秒（※1）

（※1）後方乱気流管制方式は適用されない
2004年8月23日～27日のデータ

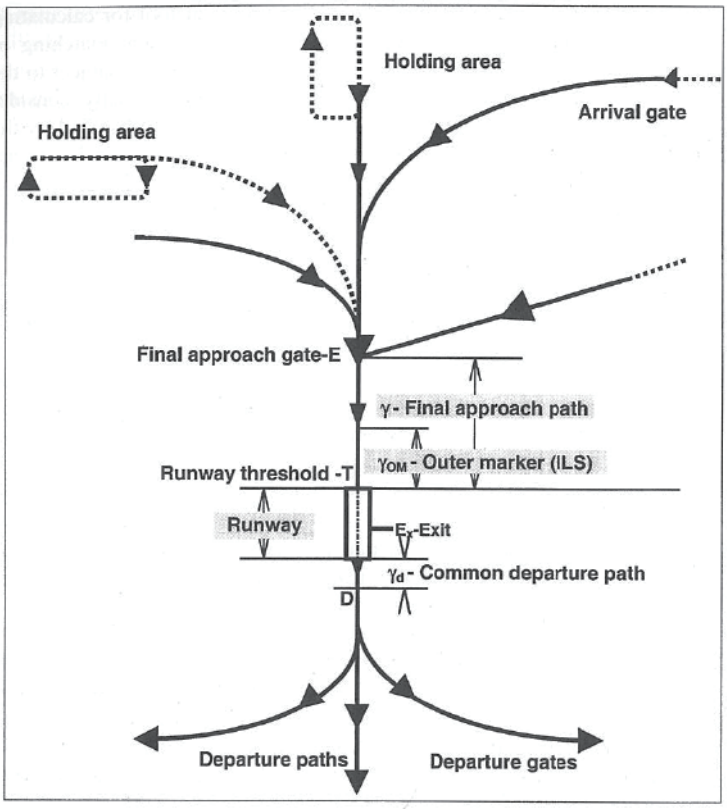
一般的な単一滑走路の容量モデル

古典的な滑走路容量の解析モデル：

滑走路＋近傍空域において，航空機が常に共有する滑走路と飛行経路を1次元空間として表現し，処理間隔から容量を算定

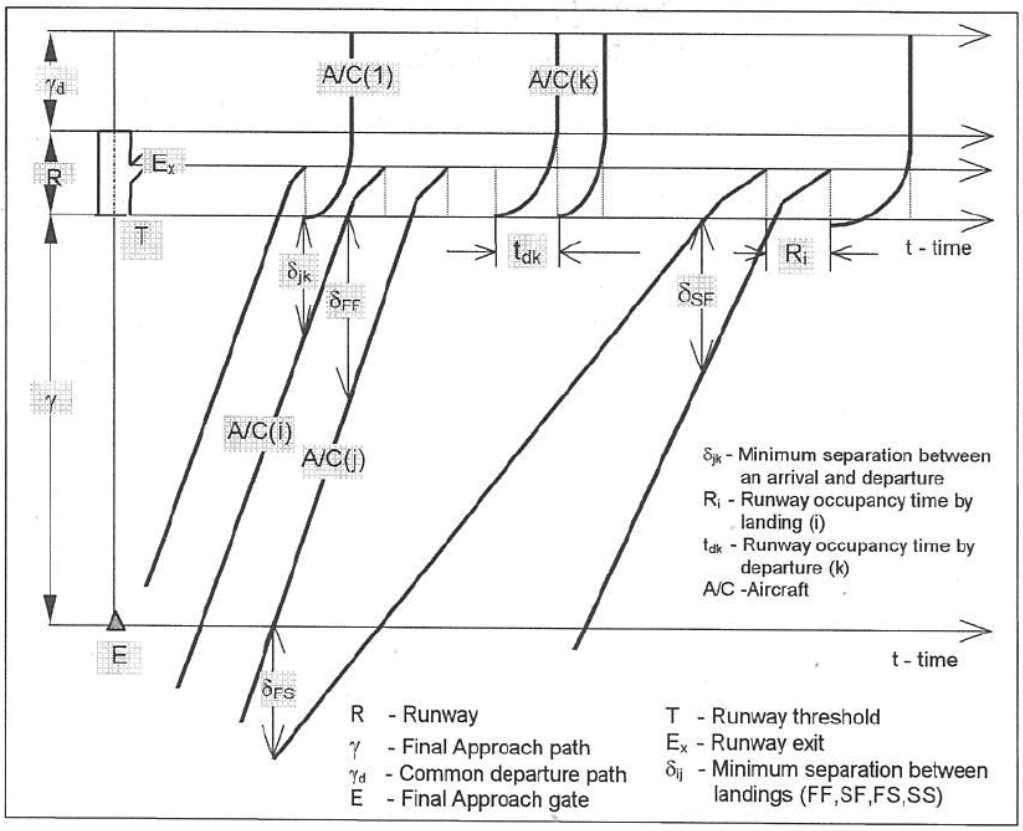


羽田出発到着軌跡の例



以降の図等出典）Milan Janic：air transport system analysis and modelling，2000

単一滑走路における典型的な時空間図
time-space diagram



処理間隔をもとにした容量算定

＊容量＝平均処理間隔の逆数

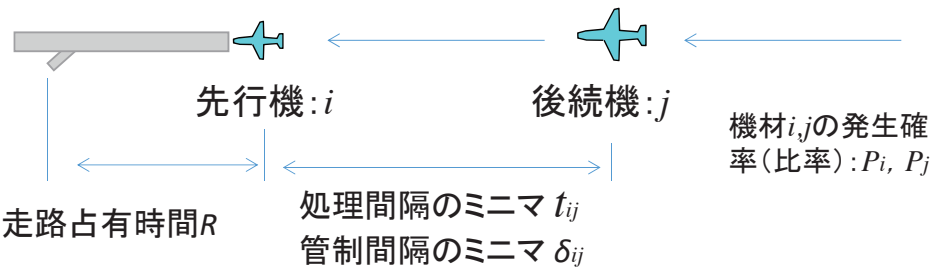
$$\lambda_A(T) = T \Big/ \left[\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} t_j\right]$$

λ：単位時間T（例えば1時間）の着陸容量（回数）

N：単位時間Tに発生した処理の回数

tj：j-1番目とj番目の航空機処理に必要な最低間隔（ミニマ）

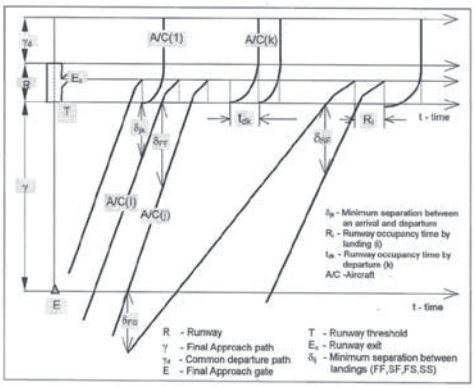
連続到着の場合



処理間隔の期待値（平均値）

$$t_A = \sum_{ij} p_i \, {}_a t_{ij} \, p_j \qquad \lambda_A = 1/t_A$$

$${}_a t_{ij} = \begin{cases} \max\left[R_{ai};\, \delta_{ij}/v_j\right] & \text{for } v_i \le v_j \\ \delta_{ij}/v_j + \gamma(1/v_j - 1/v_i) & \text{for } v_i > v_j \end{cases},$$

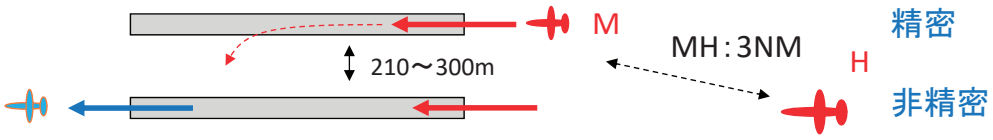


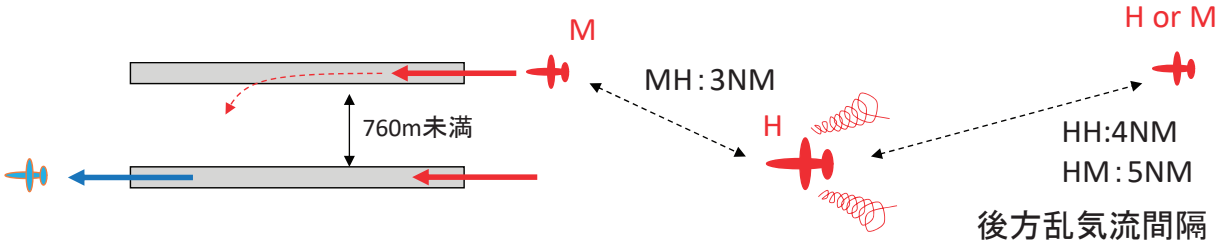
①先行機の方が遅い場合：
滑走路占有時間R（ROT：Runway Occupancy Time）と管制間隔ミニマδijの飛行時間（後続j）の大きな方
②先行機の方が早い場合：
管制間隔のミニマの飛行時間（後続j）とFinal Approach Pathで先行機と離される時間の和
＊通常，ミニマにバッファーを加えて容量算定する．

23

平行滑走路の管制と容量

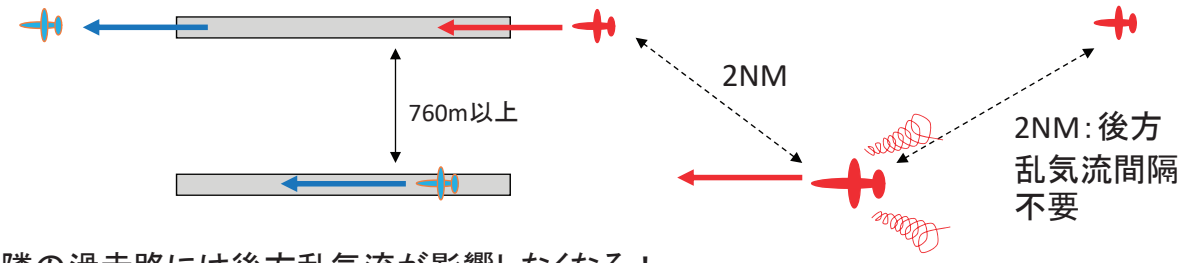
クロースパラレル（近接平行滑走路）





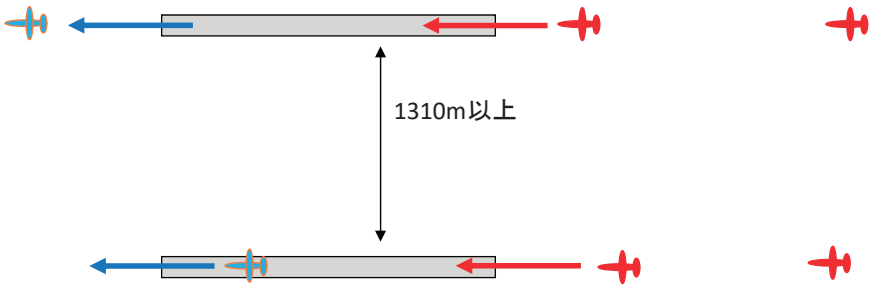
平行滑走路の管制と容量

セミオープンパラレル



＊隣の滑走路には後方乱気流が影響しなくなる！

オープンパラレル



滑走路間隔1310m以上でOpen-Parallel（独立運用可能）

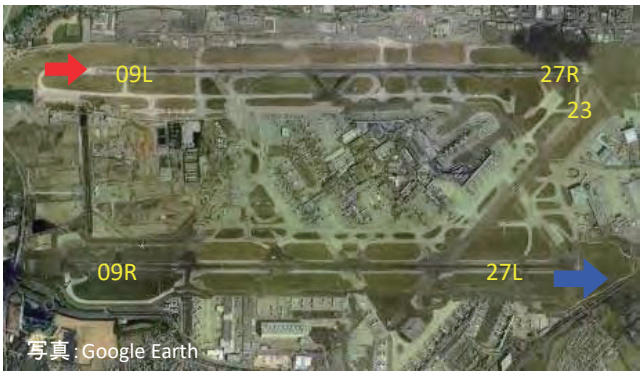
本日の報告内容

1. 離着陸の管制方法と滑走路容量に影響を与える要因

2. 滑走路容量拡大方策の事例
   - ✓ ヒースロー：離陸順序付け，着陸順序付け
   - ✓ フランクフルト：クロースパラレル滑走路における後方乱気流回避
   - ✓ サンフランシスコ：Visual Approach同時進入，オフセット同時進入
   - ✓ NY空域再編
   - ✓ アトランタ：滑走路横断対策

3. 本日のまとめ

ヒースローと羽田(再拡張前)の滑走路容量

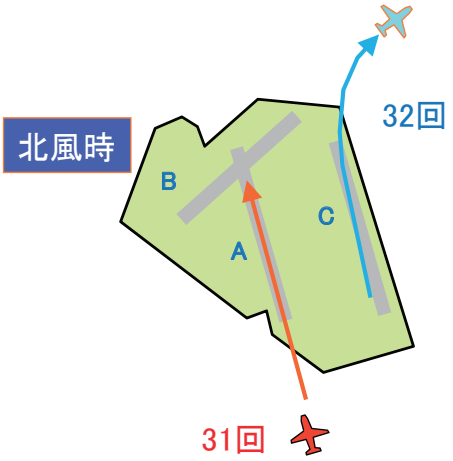


容量:回／時 (2002)			許容遅延時間 min
着陸容量	離陸容量	トータル	
44	43	78	10

滑走路容量等:出典 IATA「Airport Capacity Demand Profiles 2003」, FAA「Airport Capacity Benchmark Report 2004」, FAA:ASPM

2本の滑走路をそれぞれ離陸・着陸専用として分離運用
(ピーク時のみ限定的に離着陸共用)

参考)Heathrow Airport interim Master Plan: Draft for Consultation 2005



容量:回／時 (2009)			許容遅延時間 min
着陸容量	離陸容量	トータル	
31	32	-	-

容量差の主な理由

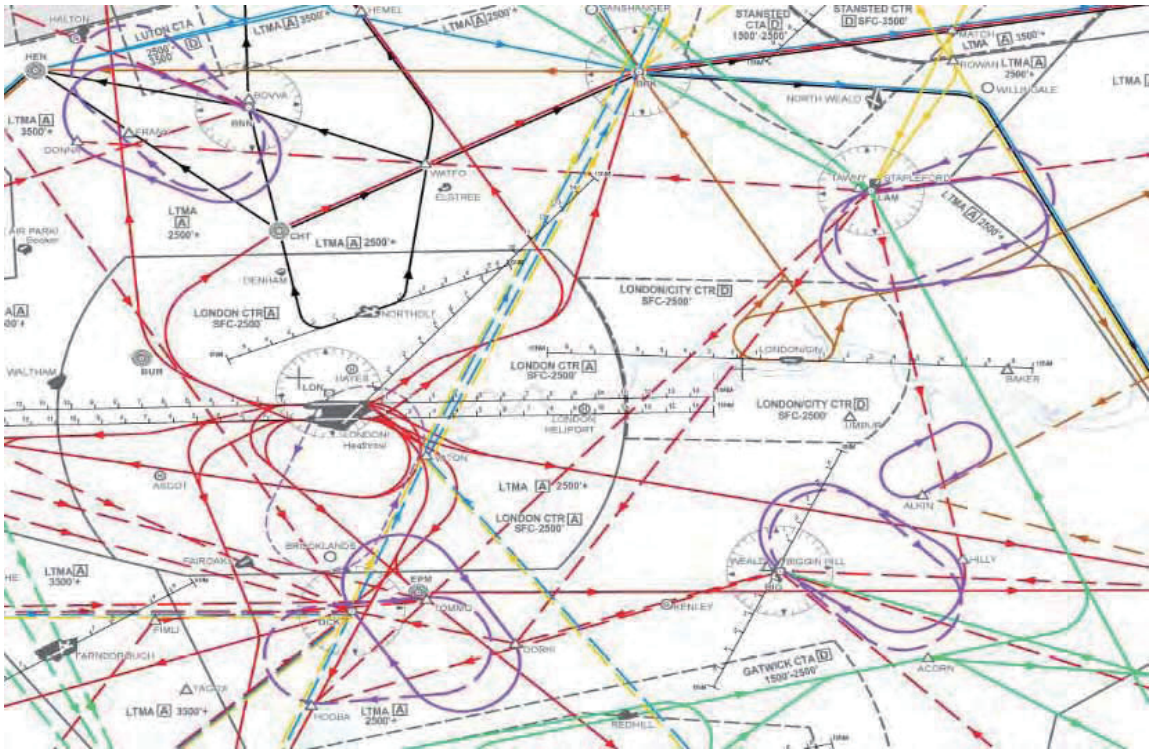
①大型機(Heavy機)比率の差(ヒースロー3割, 羽田7割)
・・・羽田も総旅客数を維持しながら小型化(Heavy機減)＋多頻度化(容量増)が可能？

②空域制約(飛行経路の柔軟性)＋戦略的な離陸順序付けの有無

③滑走路占有時間の差(滑走路・誘導路形状, ルール)

④待機経路の活用と戦略的着陸順序付けの有無

離陸経路の分散



出典）UK NATS

連続する離陸機を異なる経路で出すと管制間隔を短縮可能（約3割程度減？）

離陸容量の試算（Heavy率，経路分散の影響）

管制間隔の仮定：
①先行機がHeavy機の場合→ 後方乱気流間隔 120秒
②先行機がそれ以外の場合で経路分散なし→ レーダー間隔を考慮した95秒
③先行機がそれ以外の場合で経路分散あり→ 短縮間隔を考慮した60秒

ヒースロー：
（Heavy率 0.3，経路分散率0.8）

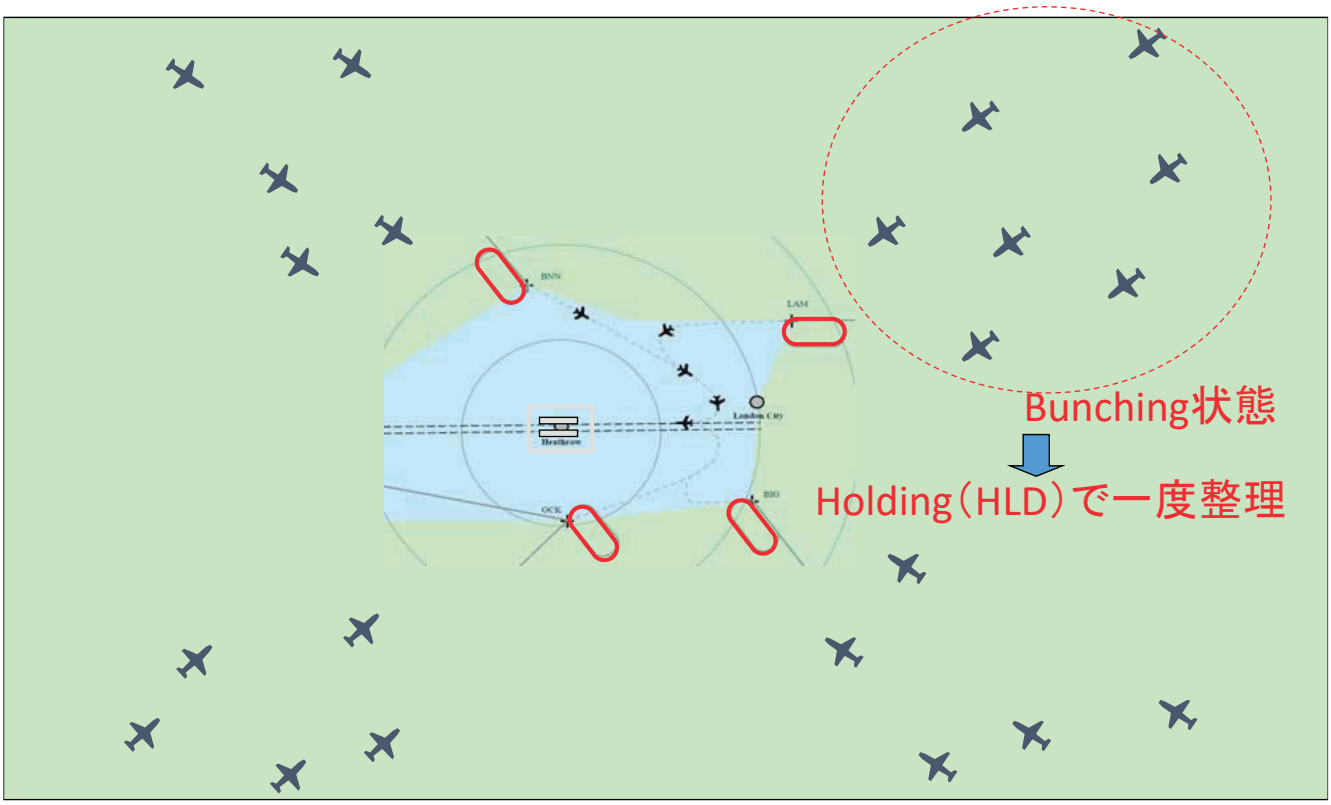
推計容量⇒ 43回

羽田：
（Heavy率 0.7，経路分散率0）

推計容量⇒ 32回

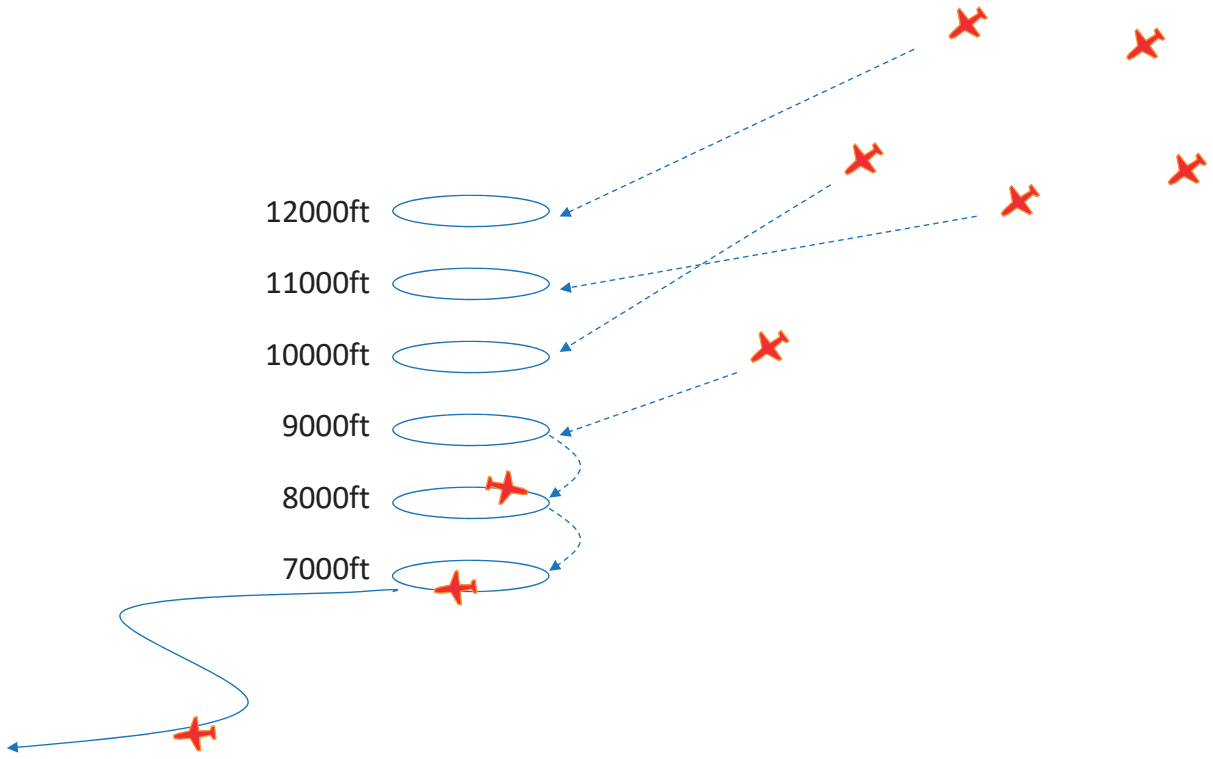
＊離陸容量は，概ねHeavy機率の差と経路分散の有無で説明可能か

ロンドンヒースロー空港：到着フロー（実際，混雑時）



31

Holding Stackによる到着機の処理



32

Holding活用のメリット

- 継続的需要（Continuous Demand)の創出

  ⇒ 滑走路を使用していない時間（Loss）を最小限にできる

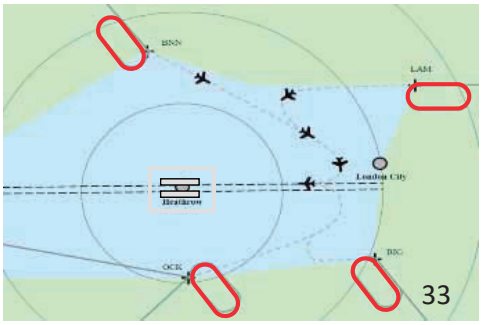
- 多数の到着機の処理が容易化，管制官の負担軽減

  （HLD無しでは処理できない程のトラフィック）

- 後方乱気流間隔の観点からみた着陸順序の入れ替え

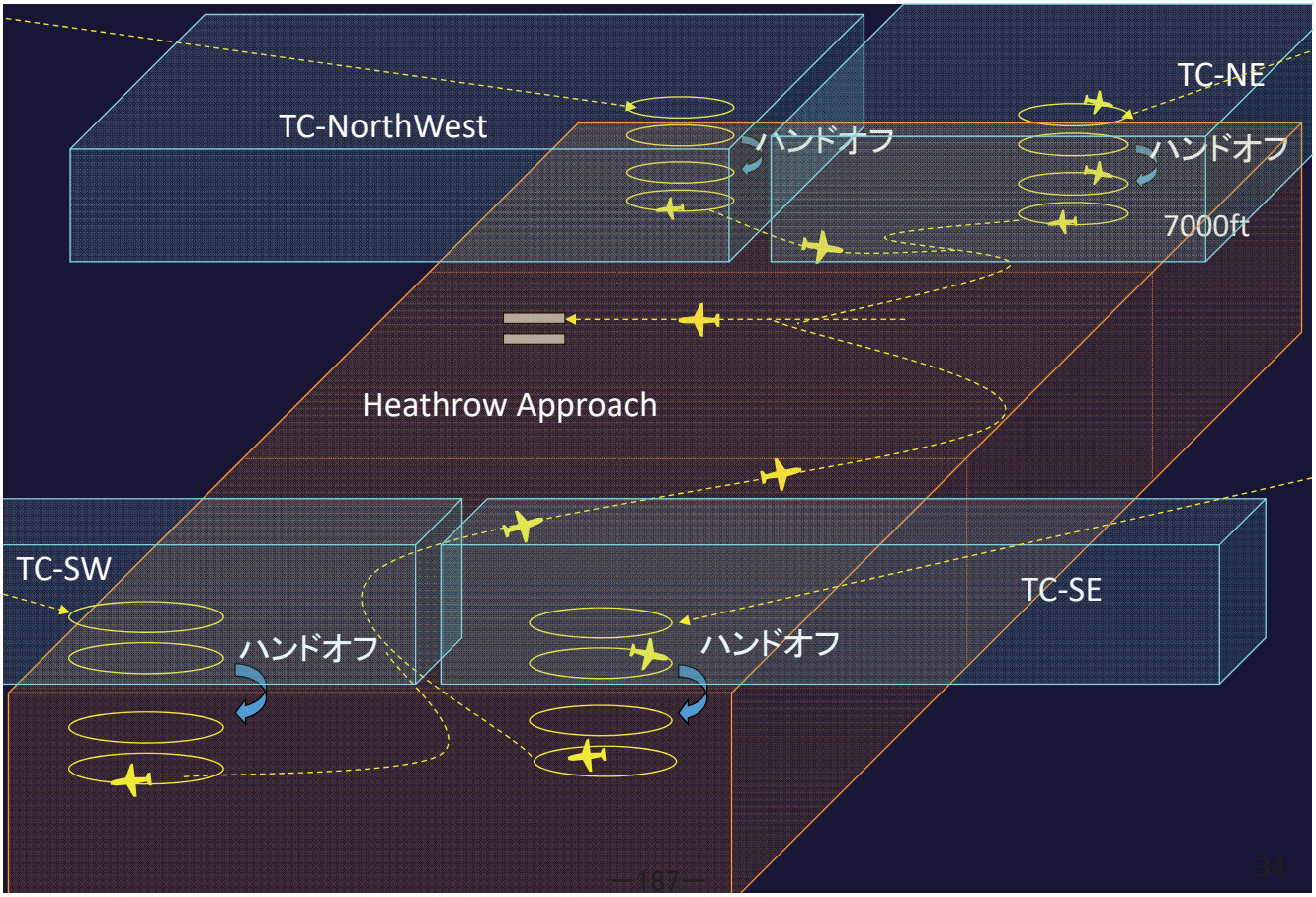
  ⇒ 滑走路容量の増加

＊ある程度の遅れ時間の許容（10分）
（管制機関，空港，エアライン等で組織したCommitteeで合意）



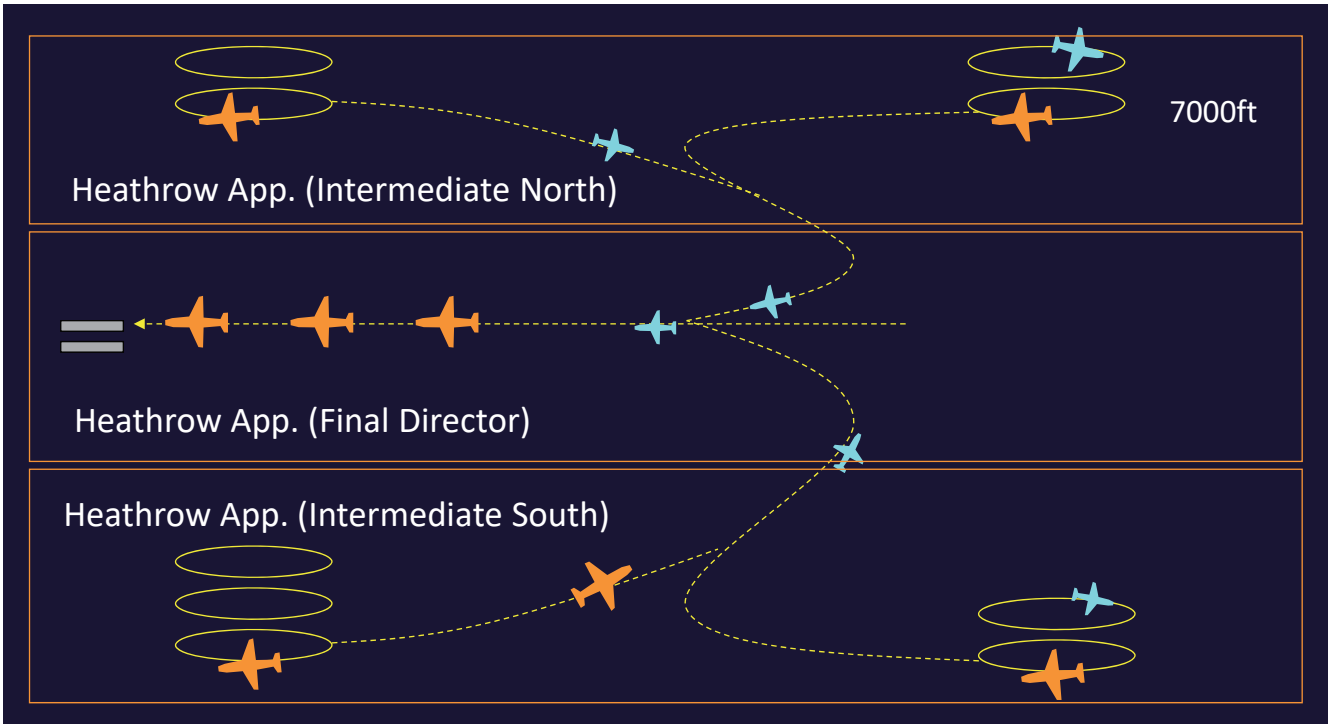
33

Holding Stack～Final Approachのコントロール



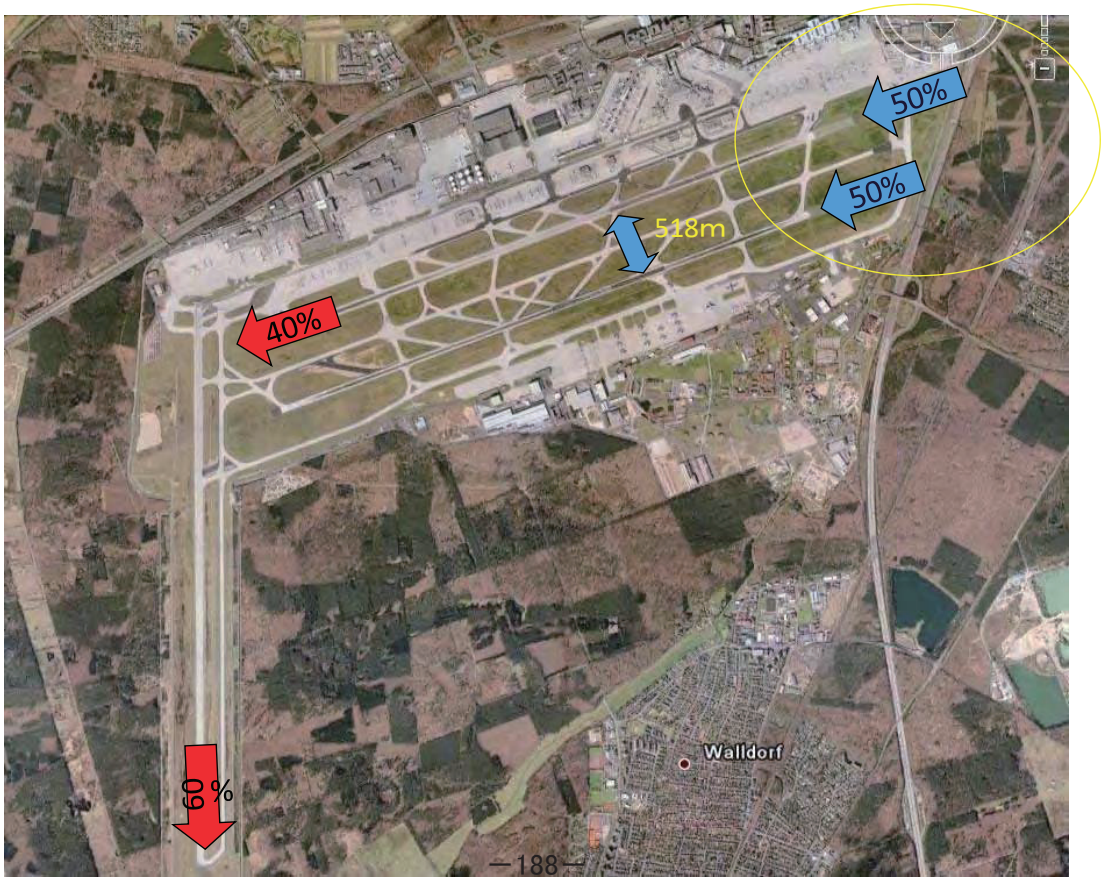
34

Holding Stack～Final Approachのコントロール

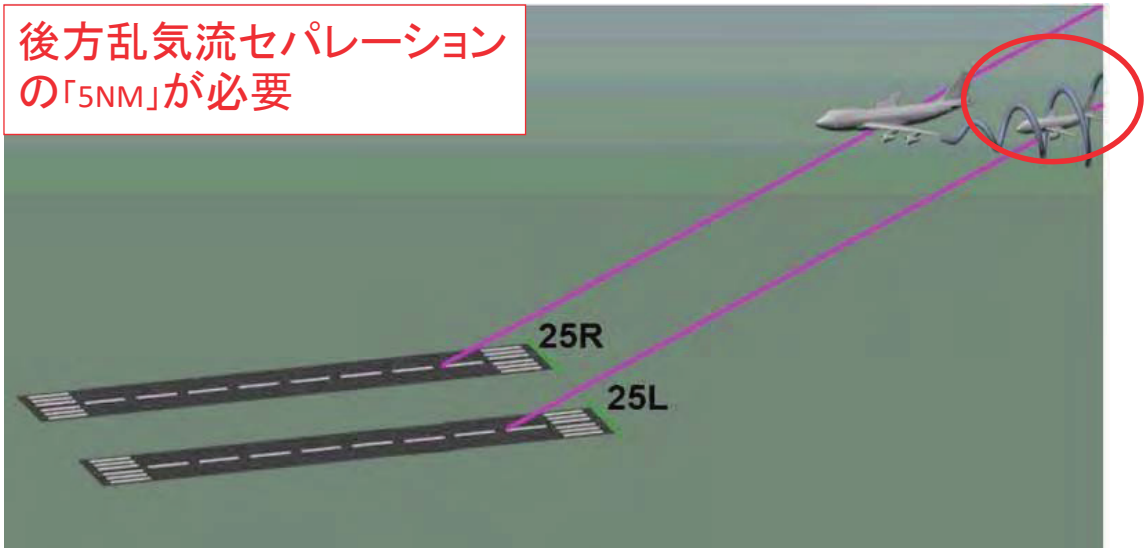


4つのHLD Stackからの着陸機をFinalに引き出す際，管制支援システムから推奨順序が提供される（Delayが10分を越えている時）

フランクフルト空港～滑走路運用方法



Closed-Parallel滑走路における後方乱気流の管制間隔への影響

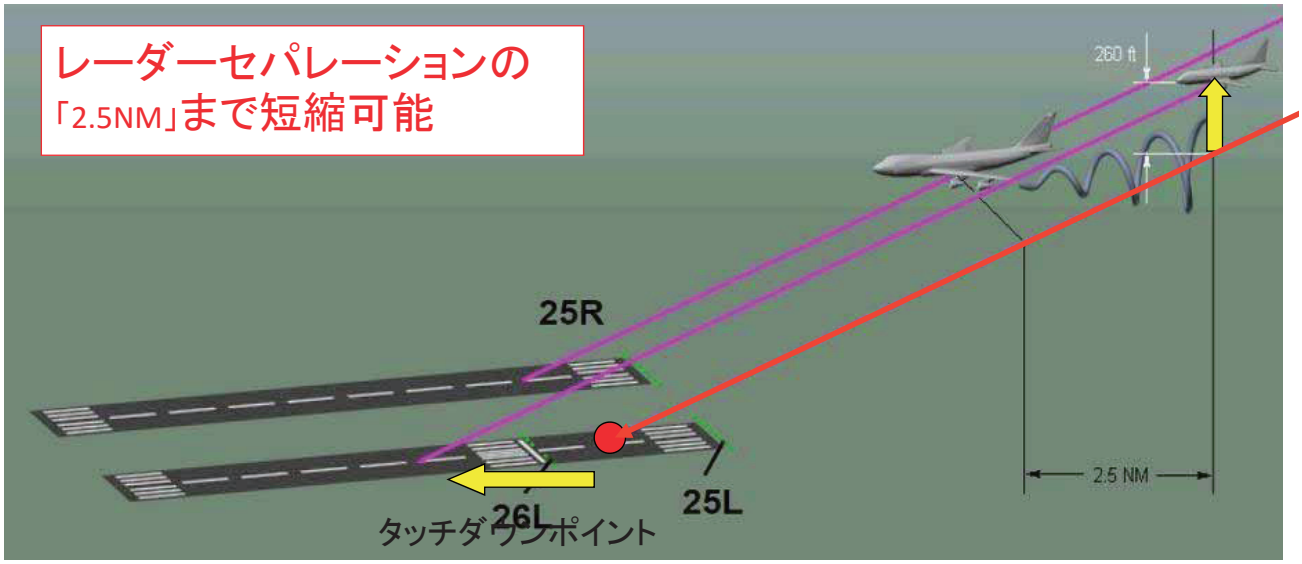


出典）Stefan Mauel: Frankfurt Airport Capacity Enhancement Program
The Role of Wake Vortex Reducing Measures, 2nd WakeNet 2 - Europe Workshop,2004

37

HALSによる後方乱気流の回避と容量増加

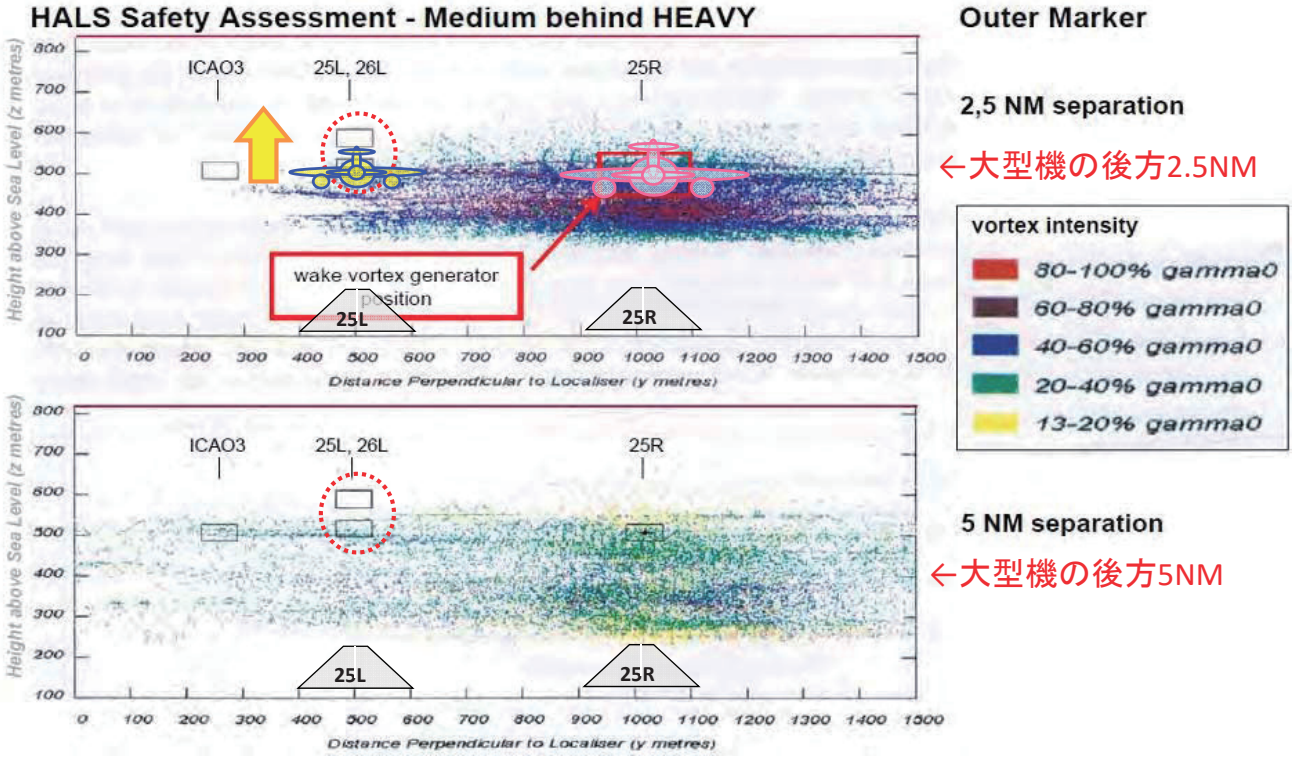
滑走路25Lの滑走路端を内側にずらし，並行する最終進入コースに高度差を設定することで後方乱気流の回避が可能
⇒ 着陸間隔の短縮



出典）Stefan Mauel: Frankfurt Airport Capacity Enhancement Program
The Role of Wake Vortex Reducing Measures, 2nd WakeNet 2 - Europe Workshop,2004

38

後方乱気流の計測例とHALSによる回避



出典）Stefan Mauel: Frankfurt Airport Capacity Enhancement Program
The Role of Wake Vortex Reducing Measures, 2nd WakeNet 2 - Europe Workshop,2004

39

トライアルの結果

✓ Lufthansaのフライトシミュレーターにより Lighting Systemの設計と評価 ⇒ 安全性などに問題なし

✓ 実際の空港への導入と試験着陸の実施 ⇒ 5000回の着陸を成功．安全性には問題なし

HALSの欠点とDTOP

・HALSでは，Heavy機が連続した場合，南滑走路が使用できないため，効率が落ちる.

・北滑走路からの離陸機に離陸許可が出しづらい

南滑走路の元々の滑走路端も同時に使用可能とする ⇒ DTOP（Double Threshold Operation）

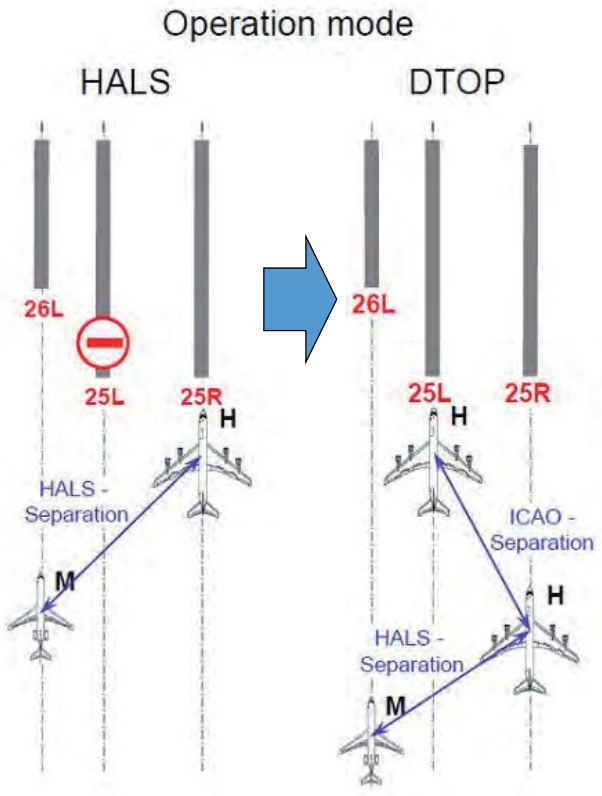
HALS：1～2着陸増加 ⇒ DTOP：2～4着陸増加

41

DTOP

2つの滑走路端（25L，26L）を同時運用
（合計3つ）

Heavyが連続する場合のロスや，25R離陸機への影響を回避



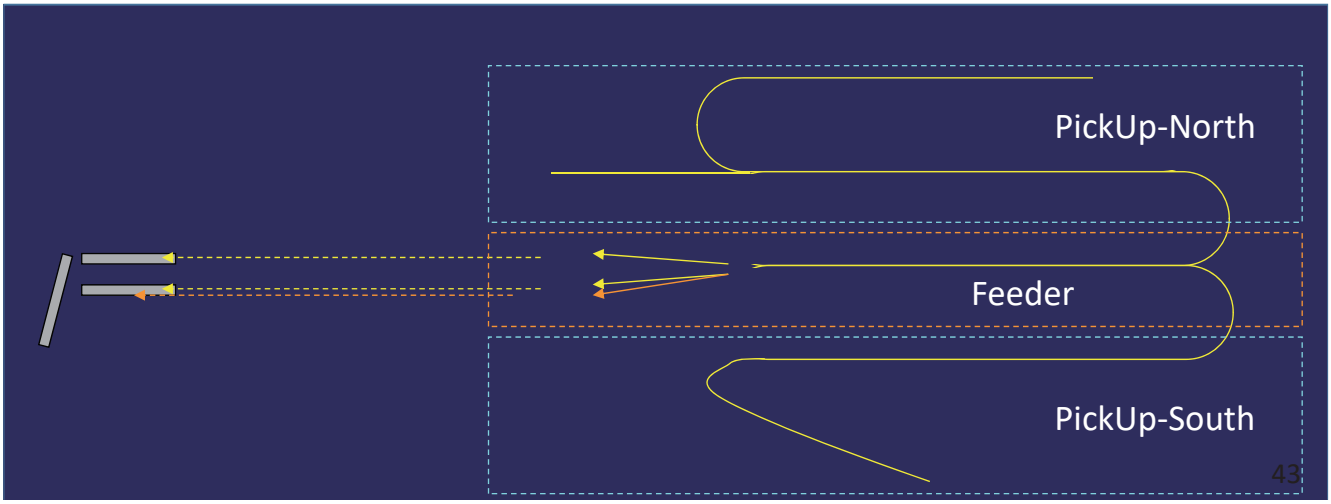
出典）Stefan氏資料

42

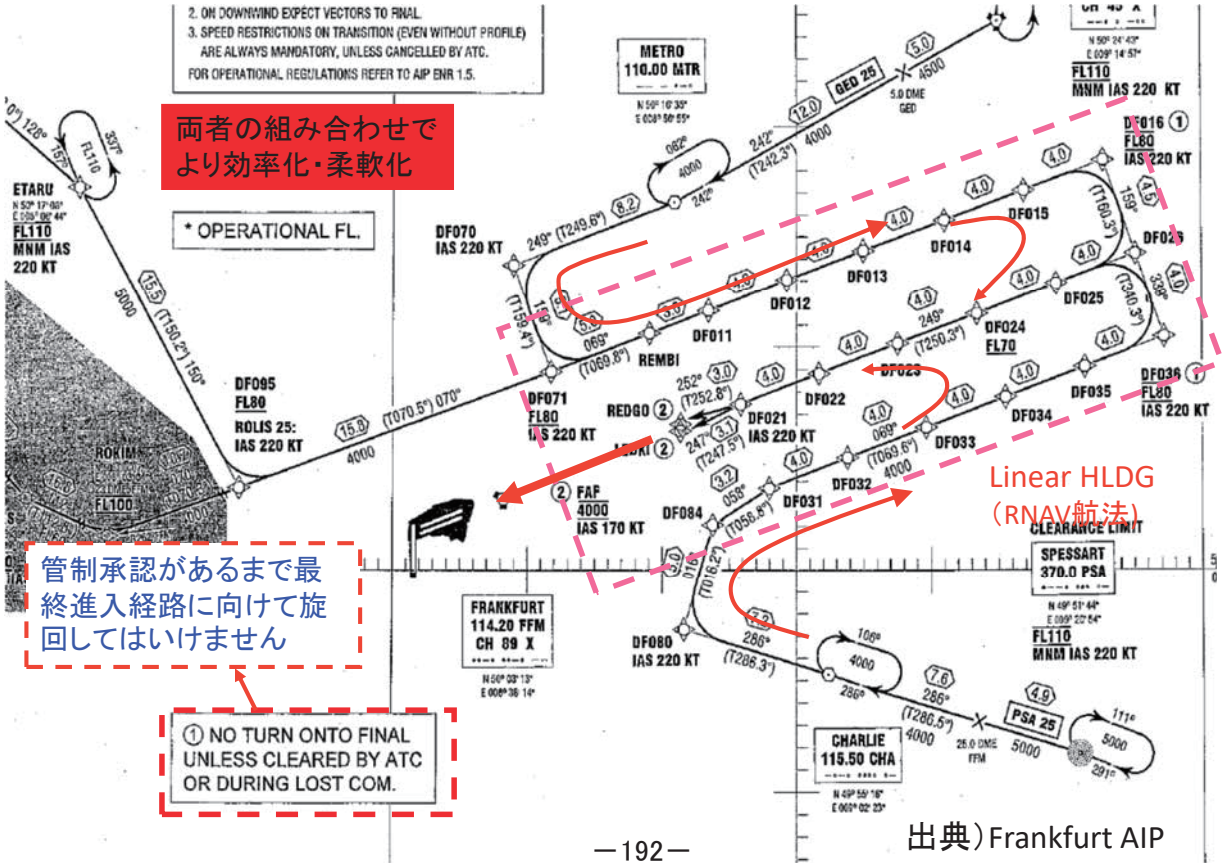
DTOPの安全性等の試験

シミュレータ実験により，パイロットのワークロードには問題なし．

但し，管制官による，3つの滑走路端への誘導（＋離陸機との調整）に関して，機材サイズを考慮して最適な配分を行うための管制支援システムが必要である．



Circular と Linear ホールディングの組み合わせ

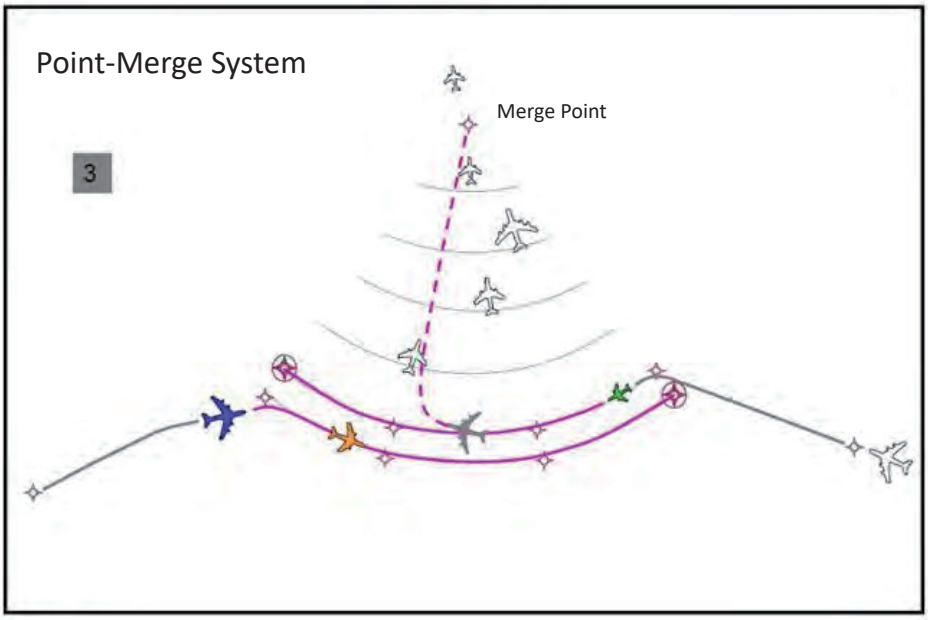


出典）Frankfurt AIP

Point-merge system

合流・間隔設定のための経路延長能力を予め確保

PMS: (Oslo (2011), Dublin (2012), Seoul (2012), Paris (2013), Gatwick and London City (2015))



合流点から等距離のアーク上を飛行させ，先行機との間隔がとれたら合流点へ直行指示するだけ．リニアホールディングより高効率で混雑時にも適用可能

出典）Eurocontrol

レギュラー運用に移行できていない理由

2012年に新滑走路（着陸専用）が供用開始

HALS/DTOP用の管制方式・システムを設計・訓練し，2008年から運用しても3年程度

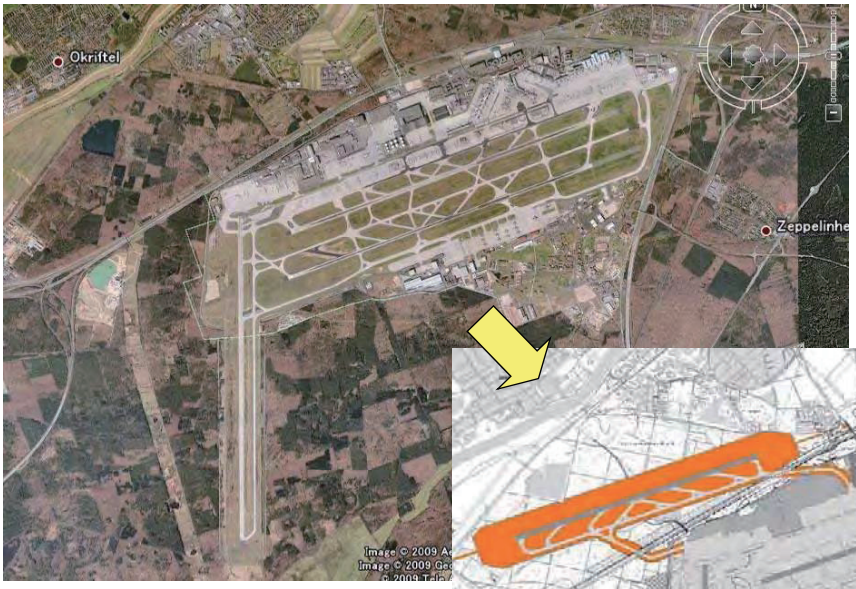
新滑走路供用後の到着・出発方式の設計も始める必要あり

現場の管制官からの強い反対により，最終的にHALS/DTOPの実適用は認められなかった．

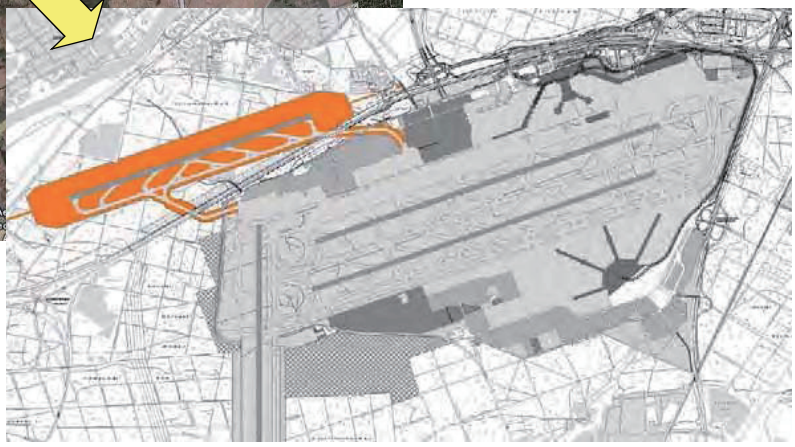
フランクフルト 第4滑走路

2009年1月に，行政裁判所から建設の承認を受け，今月着工予定．
2012年に完成予定．
（Lufthansaが要求している夜間カーゴに対するカフュー緩和は決定を切り離し，決定を保留）

時間容量：83回 ⇒ 120回
（約50万回/年 ⇒ 約75万回/年）



写真）Google Earth



2800mの着陸専用滑走路

出典）FRAPORT

後方乱気流関連の取り組み

出典）JAXA

背景：国際的な動向（1/2）

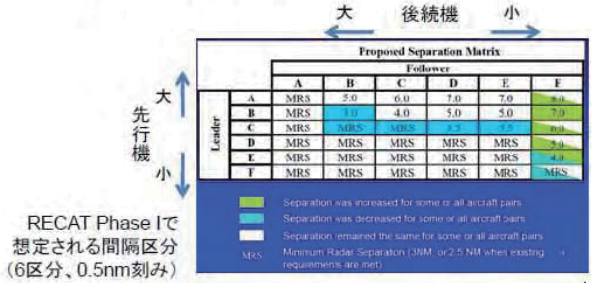
ICAOの動向

➢後方乱気流研究グループの設置（WTSG）
後方乱気流管制間隔、同間隔区分の見直しを目的に、Wake Turbulence Study Group (WTSG) を設置。
PANS-ATM改訂の準備を行う。

米国の動向

➢後方乱気流管制間隔区分の見直し（RECAT）
現在の管制間隔3区分を6区分に細分化する（Phase I）ことで、安全性向上、空港容量拡大、遅延解消を狙う。
欧州との共同で2012年からの運用を目指す。個別の機種の組み合わせに応じた管制間隔の導入（Phase II）は2015年以降、気象条件を考慮した動的な間隔短縮の導入（Phase III）は2020年以降を予定。

➢近接平行滑走路（CSPRs）での離着陸間隔短縮
先行機が中小型機の場合に着陸間隔を短縮する飛行方式を制度化し、一部空港（全米7空港）で導入開始（FAA Order 7110.308）。横風を活用した離陸間隔短縮（WTMD）は2011年以降、着陸間隔短縮（WTMA）は2015年以降の導入を予定。



RECAT Phase Iで想定される間隔区分（6区分、0.5nm刻み）

ICAO: International Civil Aviation Organization
WTSG: Wake Turbulence Study Group
PANS-ATM: Procedures for Air Navigation Service - Air Traffic Management
RECAT: Wake Turbulence Re-categorization
CSPRs: Closely Spaced Parallel Runways
FAA: Federal Aviation Administration
WTMD: Wake Turbulence Mitigation for Departures
WTMA: Wake Turbulence Mitigation for Arrivals

後方乱気流関連の取り組み

出典）JAXA

背景：国際的な動向（2/2）

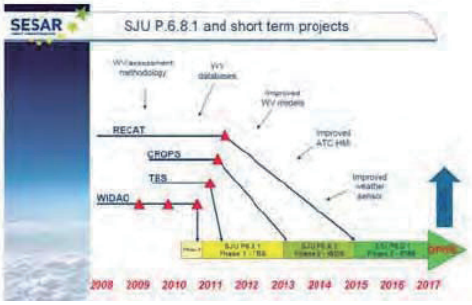
欧州の動向

➢近接平行滑走路（CSPRs）での横風を活用した離着陸間隔短縮（WIDAO）
米国WTMD、WTMAと同じく、横風を活用し離着陸間隔短縮を行う。仏シャルル・ド・ゴール空港では、限定的な間隔短縮運用を開始。

➢時間ベースの管制間隔（TBS）
管制間隔を距離ベースから時間ベースに変更。向かい風が強い際には、距離間隔を詰める効果有り。2012年以降の導入を予定。

➢横風を活用した離着陸間隔短縮（CROPS）
横風を活用した単一滑走路での離着陸間隔短縮を目指し、基礎データ取得プロジェクト（CREDOS）が終了（2009年11月）。2013年以降の導入を予定。

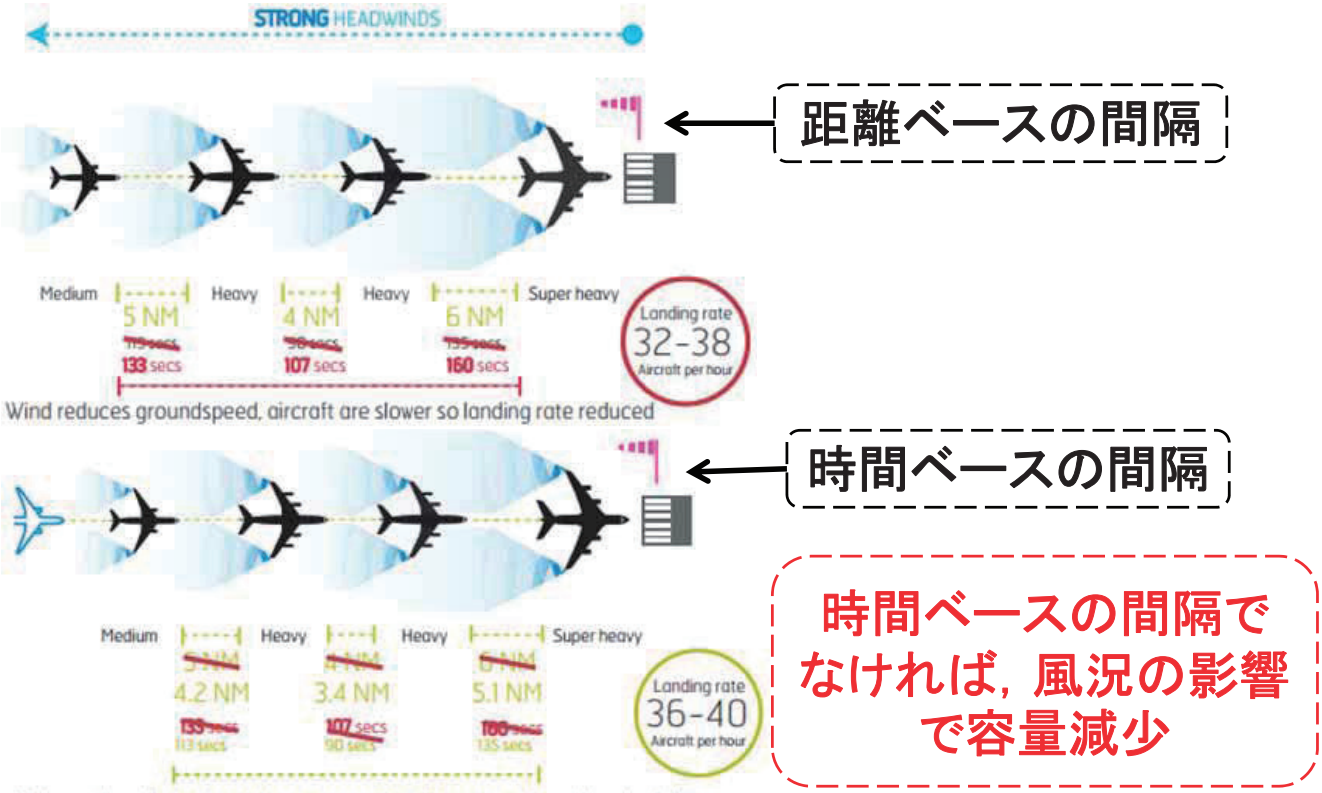
➢気象情報、航空機特性情報を活用した離着陸間隔短縮（DPWS）
横風以外の全気象条件や航空機の飛行特性情報を活用し、個別の気象条件、機種の組み合わせに応じて動的に管制間隔を設定。2017年以降のICAO提案を予定。独航空宇宙センター（DLR）等で研究。



SESARの後方乱気流関連プロジェクトの開発スケジュール

CSPRs: Closely Spaced Parallel Runways
WIDAO: Wake Independent Departure & Arrival Operation
TBS: Time-Based Separation
CROPS: Crosswind Operations
CREDOS: Crosswind-Reduced Separations for Departure Operations
DPWS: Dynamic Pair Wise Separation
DLR: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
SESAR: Single European Sky ATM Research

TBS (Time-based Separation)



時間ベースの間隔でなければ，風況の影響で容量減少

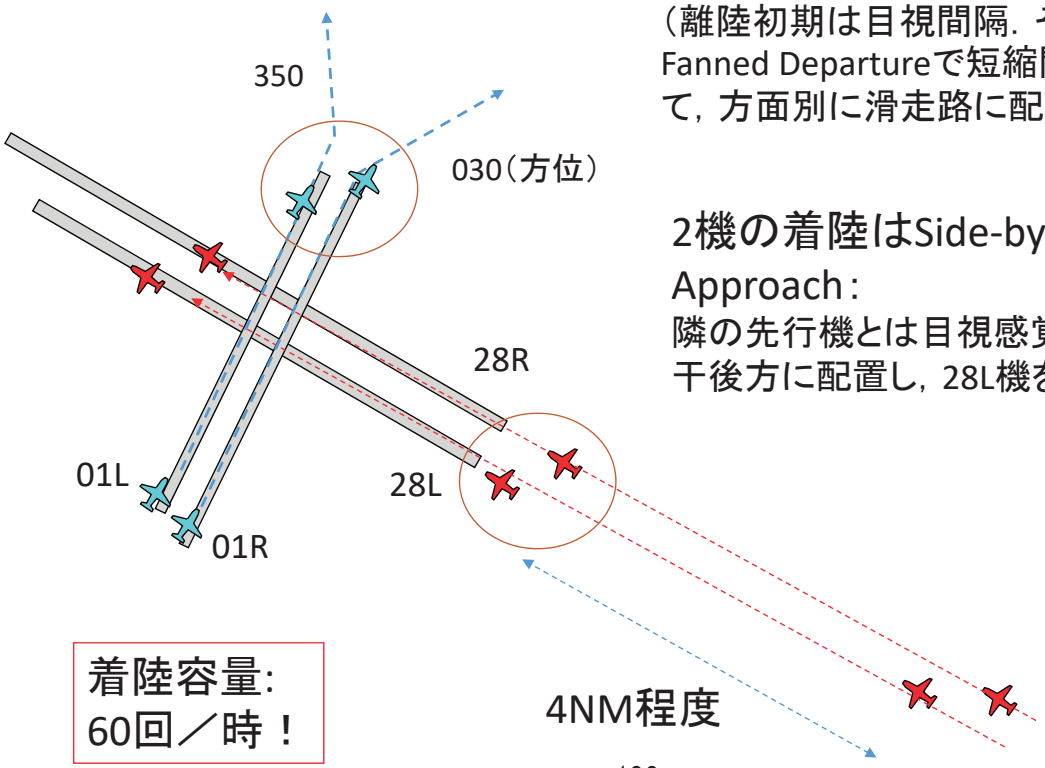
NATS：http://www.nats.aero/wp-content/uploads/2014/12/TBS-Crew-Fact-Sheet1.pdf

サンフランシスコ国際空港：2組のクロースパラレル

N

強い西風時
（20kt以上）
のみ

有視界飛行状態（VMC）時の運用：天気の良い時



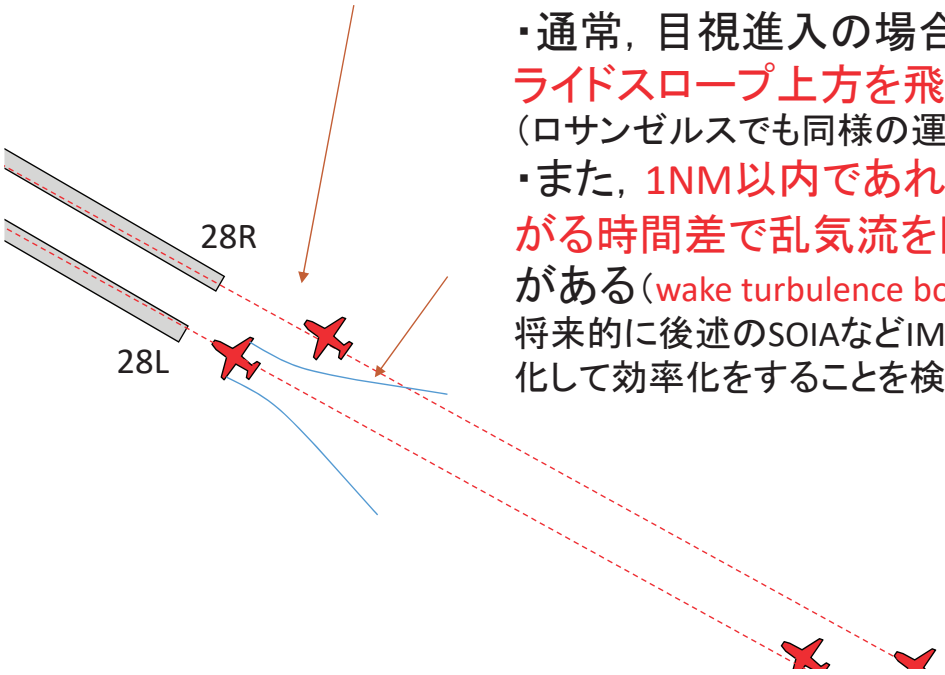
離陸機もSide-by-Sideで離陸
（離陸初期は目視間隔．その後はFanned Departureで短縮間隔適用．従って，方面別に滑走路に配置）

2機の着陸はSide-by-Side Visual Approach：
隣の先行機とは目視感覚（28R機を若干後方に配置し，28L機を目視させる）

着陸容量:
60回／時！

有視界飛行状態（VMC）時の運用
：後方乱気流の回避（到着機間）

先行28LがHeavy機の場合，後続28R機と後方乱気流間隔が必要なのでSide-by-Sideにできないのでは？

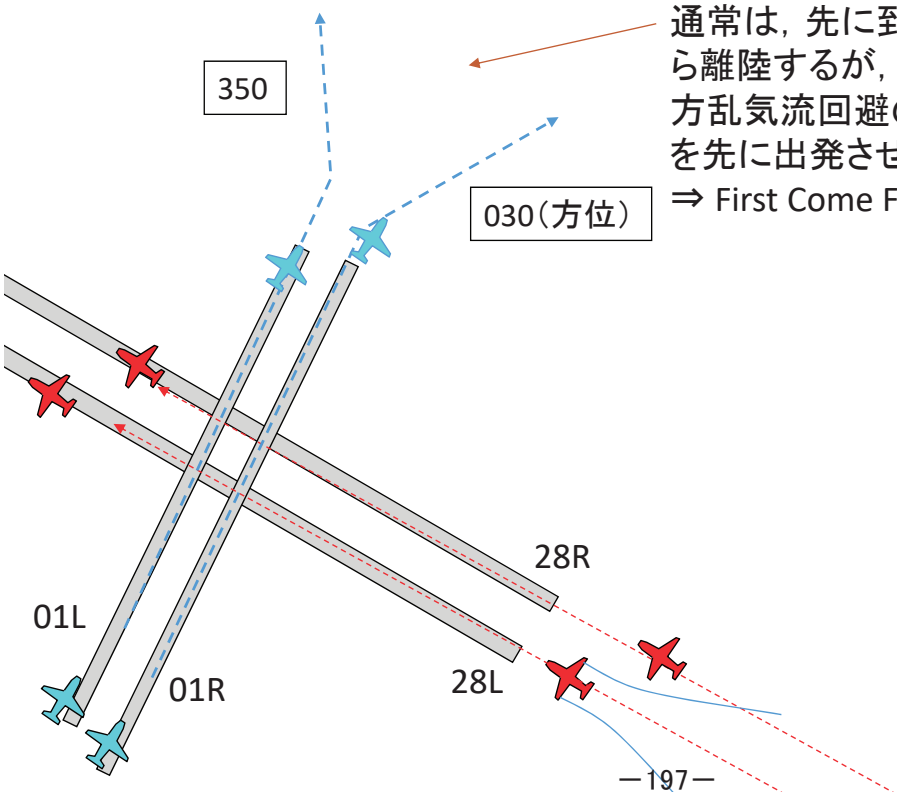


・通常，目視進入の場合，パイロット側でグライドスロープ上方を飛行し，乱気流を回避（ロサンゼルスでも同様の運用・運航を実施）．

・また，1NM以内であれば乱気流が横に拡がる時間差で乱気流を回避できる可能性がある（wake turbulence box. 現在Studyの途中で，将来的に後述のSOIAなどIMCでもこの方式をルール化して効率化をすることを検討中）

53

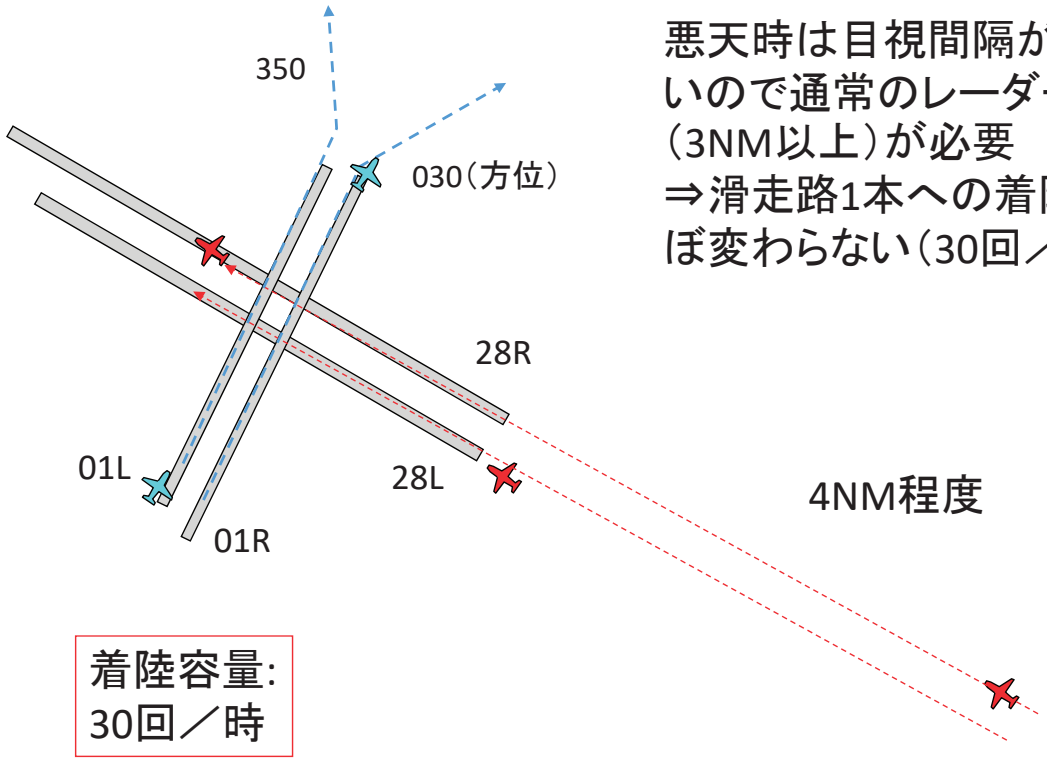
有視界飛行状態（VMC）時の運用
：後方乱気流の回避（離陸機間）



通常は，先に到着機がクリアする01Rから離陸するが，01RがHeavyの場合は後方乱気流回避のために01L（Medium機）を先に出発させる
⇒ First Come First Serve原則の例外

54

計器飛行状態(IMC)時の運用:天気の悪い時



悪天時は目視間隔が適用できないので通常のレーダー間隔(3NM以上)が必要
⇒滑走路1本への着陸容量とほぼ変わらない(30回／時)

着陸容量:
30回／時

SOIA(Simultaneous Offset Instrument Approach)

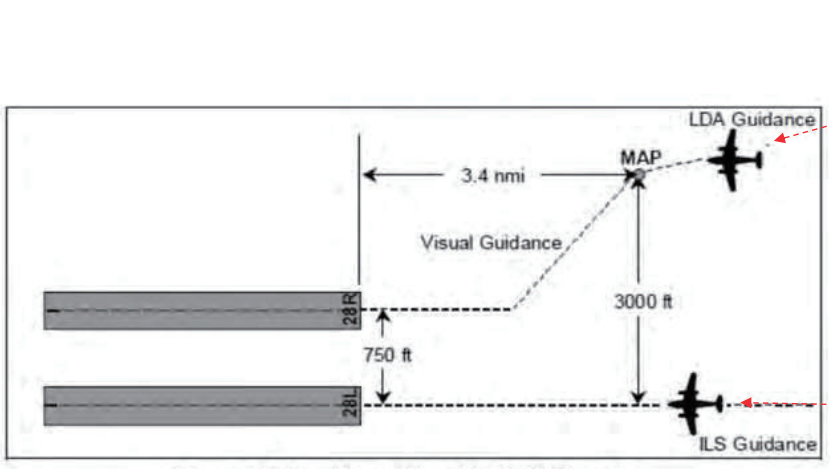


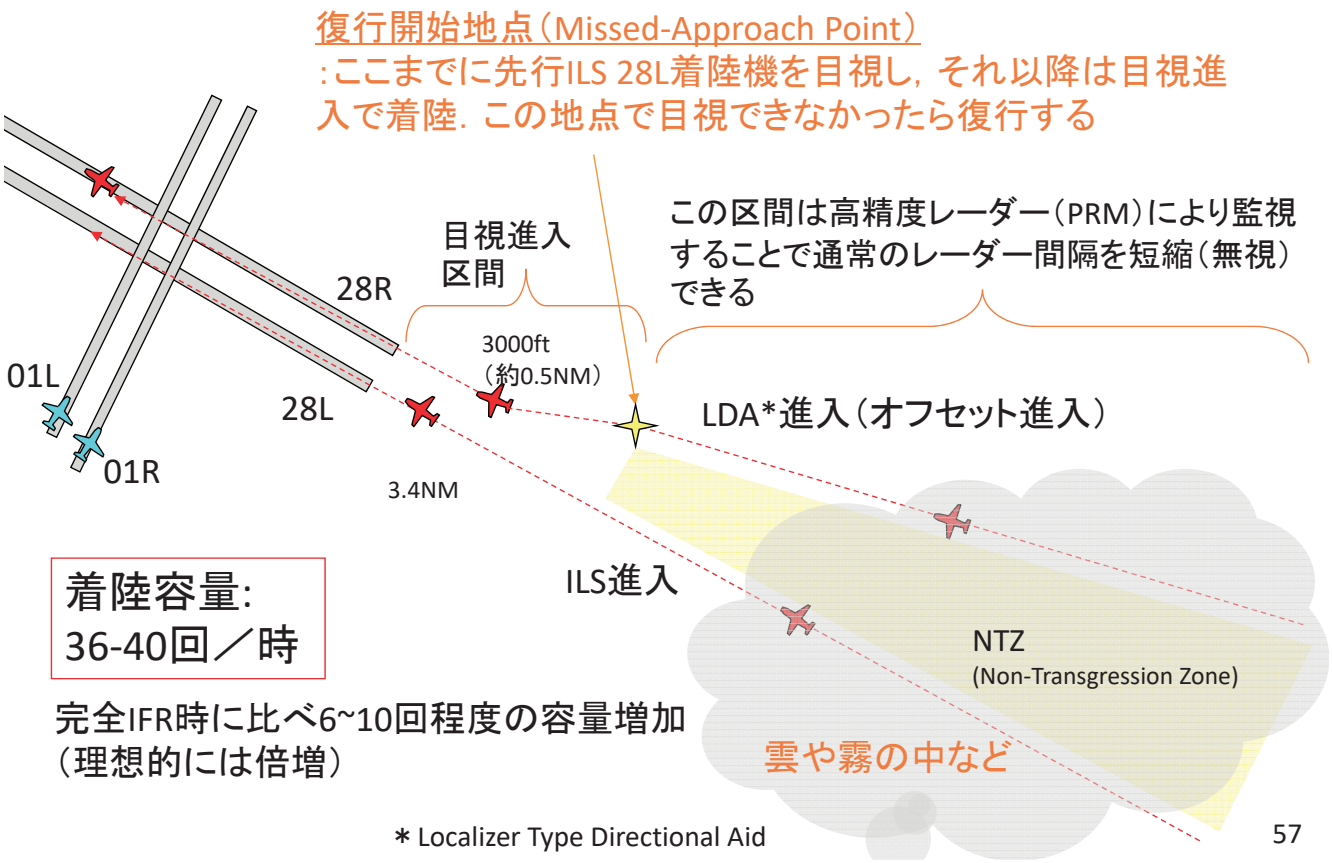
Figure 1-2 Plan View of the SFO SOIA Procedure

Arrival rate:
40 arrivals/h

出典)FAA(2006):SFO Wake Turbulence Measurement System: Sensors and Data Descriptions

Close-Parallel滑走路に対して，片方を通常のILS直線進入，もう一方をオフセットLDA進入させ，滑走路手前数マイルでVisual Approach

SOIA（Simultaneous Offset Instrument Approach）2004～

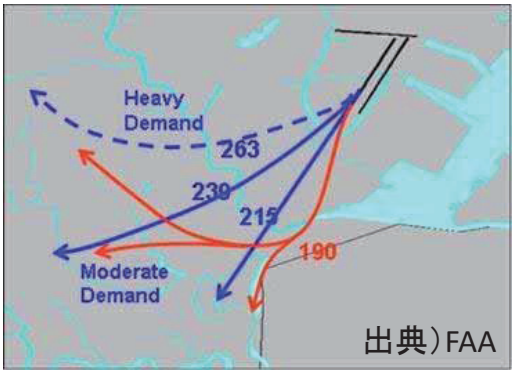


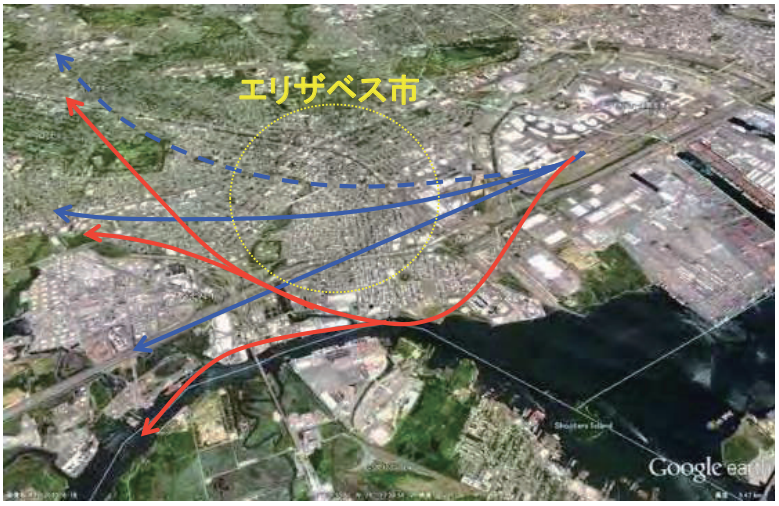
着陸容量:
36-40回／時

完全IFR時に比べ6~10回程度の容量増加
（理想的には倍増）

＊Localizer Type Directional Aid

ニューアーク空港における離陸経路分散と容量拡大





NY首都圏の大規模空域再編（2007～）

離陸経路分散による容量拡大を実行（Fanned Departure）

→ これまで避けていた市街地上空にも出発経路を設定

（＊但し，騒音軽減のためピーク時などの高需要時間帯のみに限定）

NY首都圏エリアの空域構成とNY TRACON

出典）FEIS

NY TRACON
（世界最大の混雑空域の1つ）

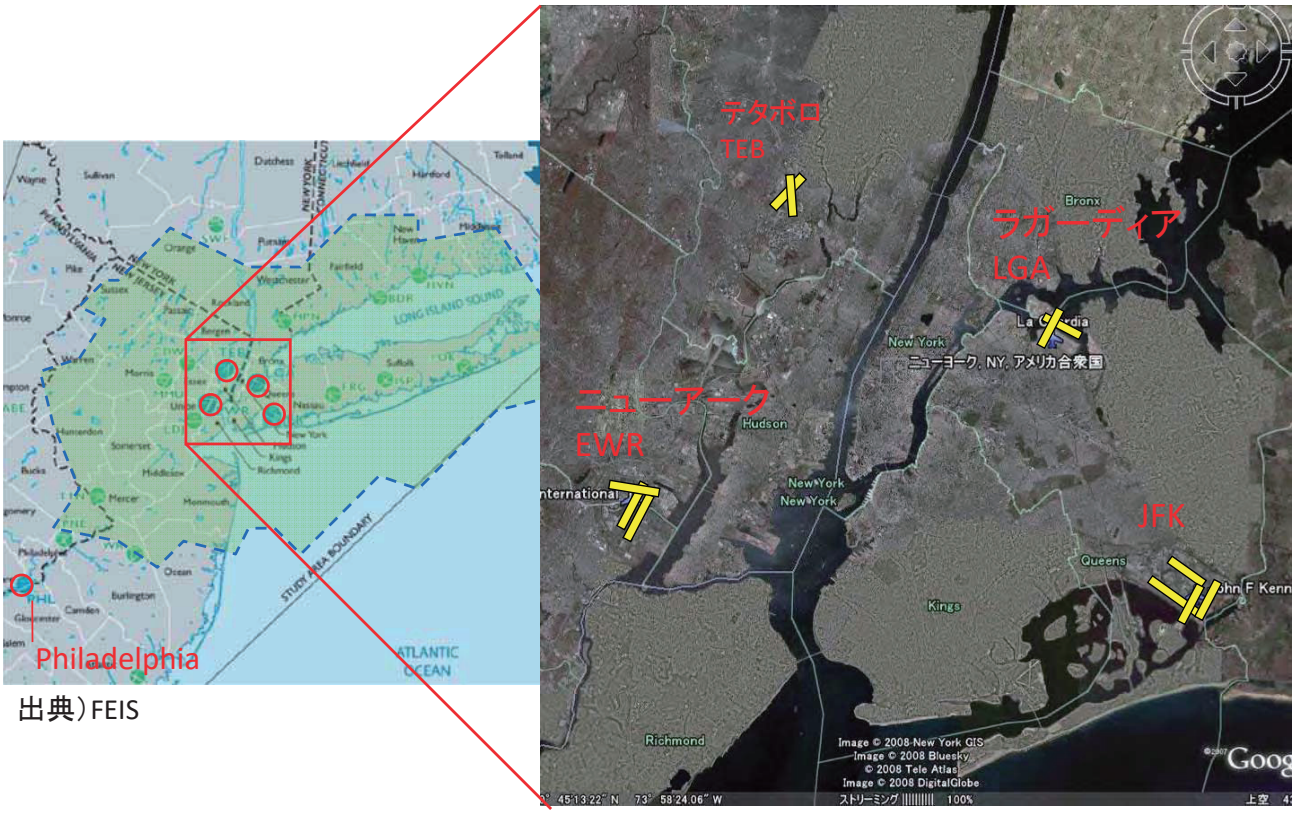
NY TRACONの管制エリア
150×125NM，17,000ft以下

米国では複数空港に発着する航空機をTRACONで一元的に管制
⇒ 空域の有効利用，柔軟な運用

日本では，関西空域で実施．2010年からは羽田・成田の空域も統合し一元管制化

59

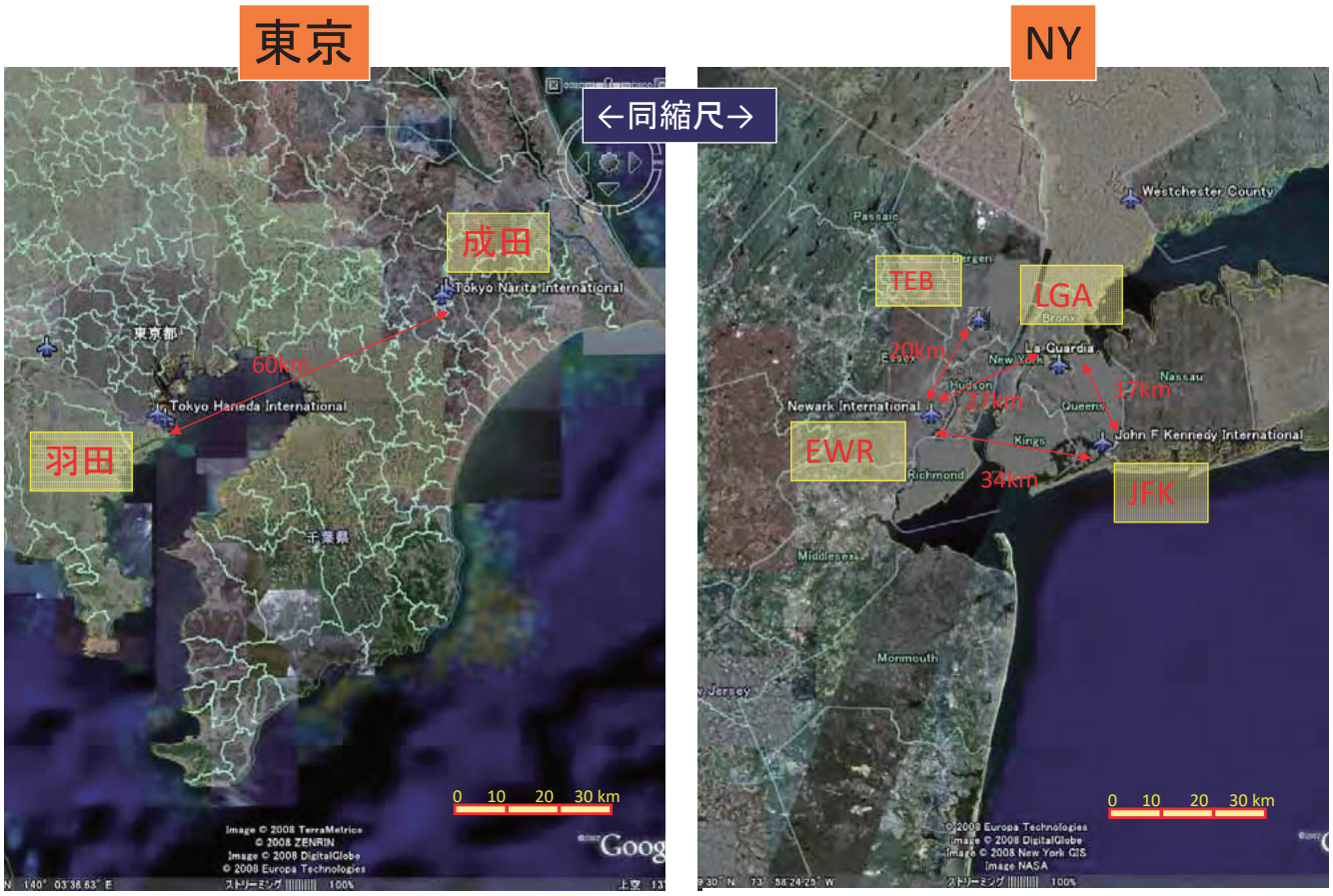
NY首都圏エリアの主な空港の配置



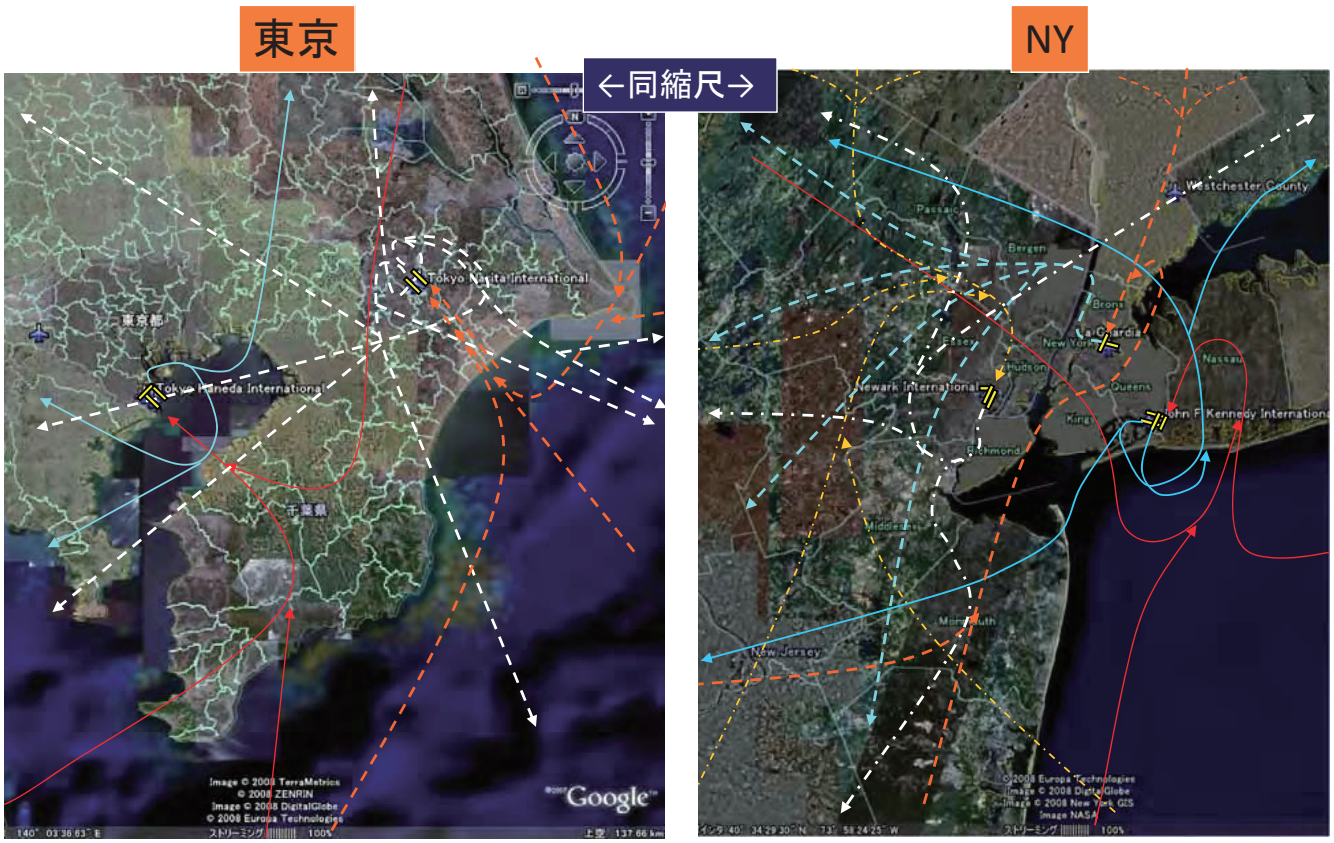
出典）FEIS

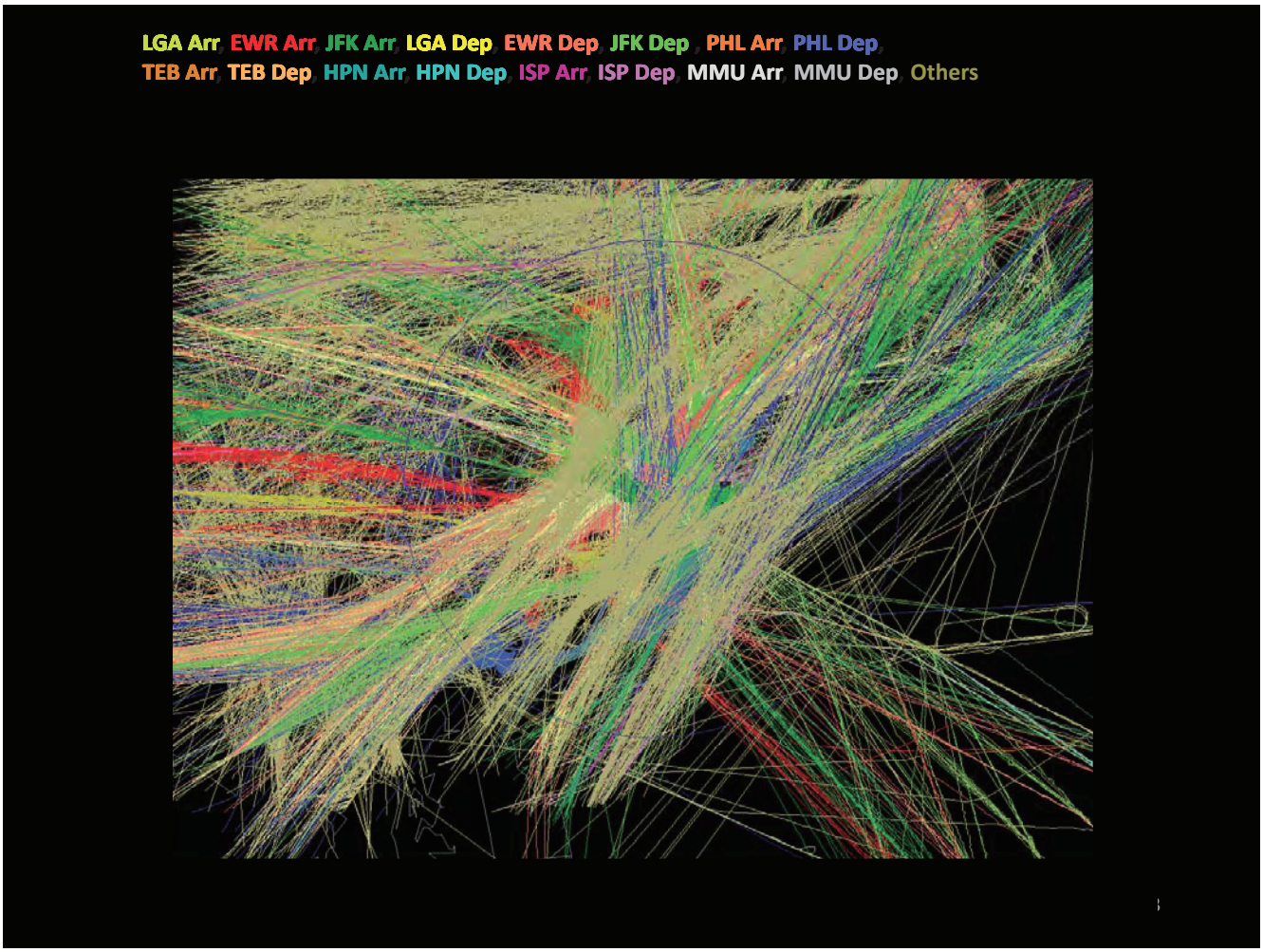
60

東京首都圏とNY首都圏の比較



出発到着経路の例（複雑に絡み合う経路）





NY/NJ/PHL首都圏空域再編プロジェクト

NY/NJ/PHL Metropolitan Area Airspace Redesign

背景

・遅延問題の深刻化
・空域設計の複雑性・非効率性

目的

NY/NJ/PHLエリア全域の空域・航空路の再編

・航空管制システムの効率性・信頼性の向上
・遅延の軽減
・次世代管制システムの導入を促進

空域再編プロジェクトにおける検討の流れ

NEPAプロセス（国家環境政策法）　　空域再編プロセス

あらゆる段階で公聴会等を実施し，意見収集

99年7月～
プレ-スコーピング
(Pre-Scoping：検討範囲の絞込)

・コンセプト作成
・モデリング
・代替案の作成

01年1月
EIS作成の告知(Notice of Intent)

01年1月
スコーピング(Scoping)

05年12月
環境影響評価書（案）(DEIS)

意見収集(Public Review)

07年4月
FAAとしての最善案を決定
（Preferred Alternative）

07年8月
環境影響評価書（最終）(FEIS)

30 Days Hold Period

07年9月
実行計画の決定(Record of Decision)

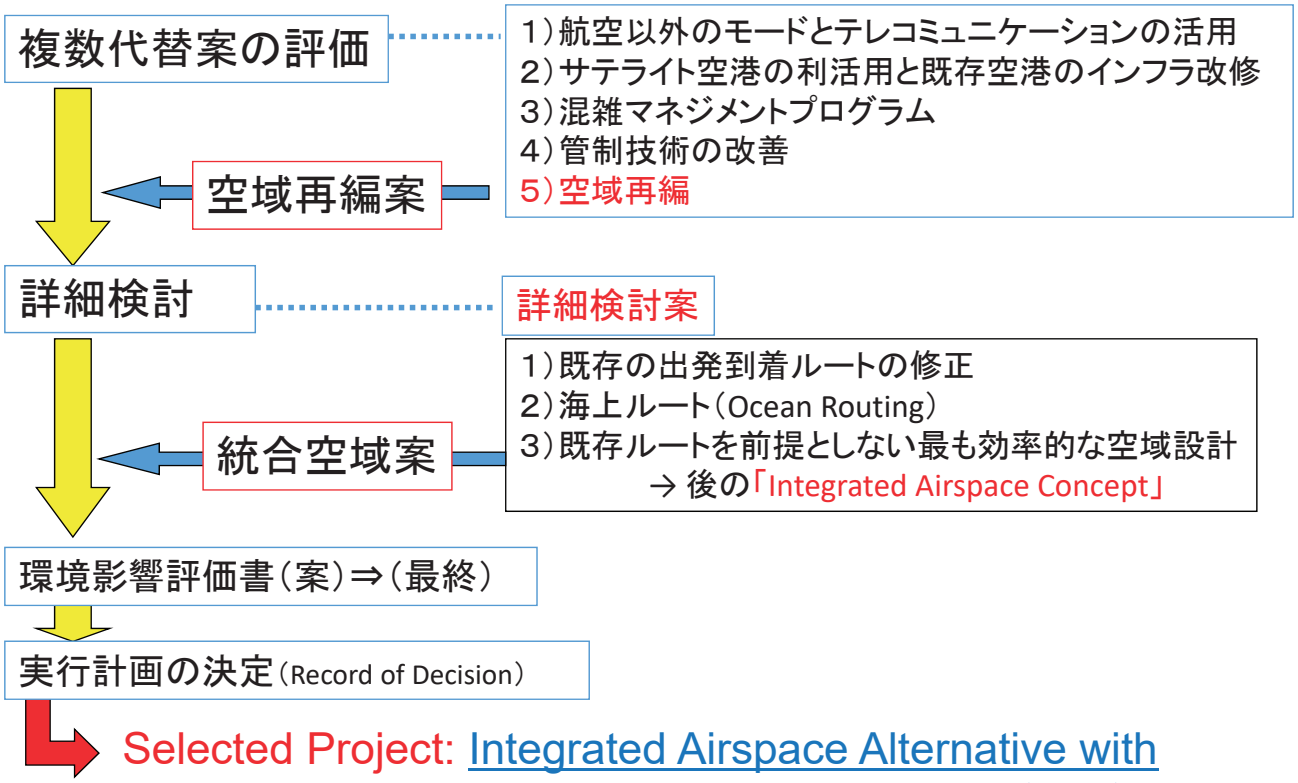
07年12月～11年（予定）
計画の実行

Public Meeting / Workshopの様子

トータル120回以上にもおよぶPublic Meetingを実施

出典）Pre-Scoping Summary Report，FAA/ Scoping Report，FAA

代替案の設定と詳細検討，最終実行プロジェクト



67

ICCによる空域再編の主なねらい

① TRACONエリアを拡大し，Centerと統合

→ Integrated Airspace with Integrated Control Complex（ICC）

ターミナルの管制間隔適用エリアを拡大

（航空路管制 5NM ⇒ ターミナルレーダー管制間隔 3NM）

NY TRACONとNY Centerを完全に統合し，同じ管制システムにより一元管制

② 出発・到着経路の再設計

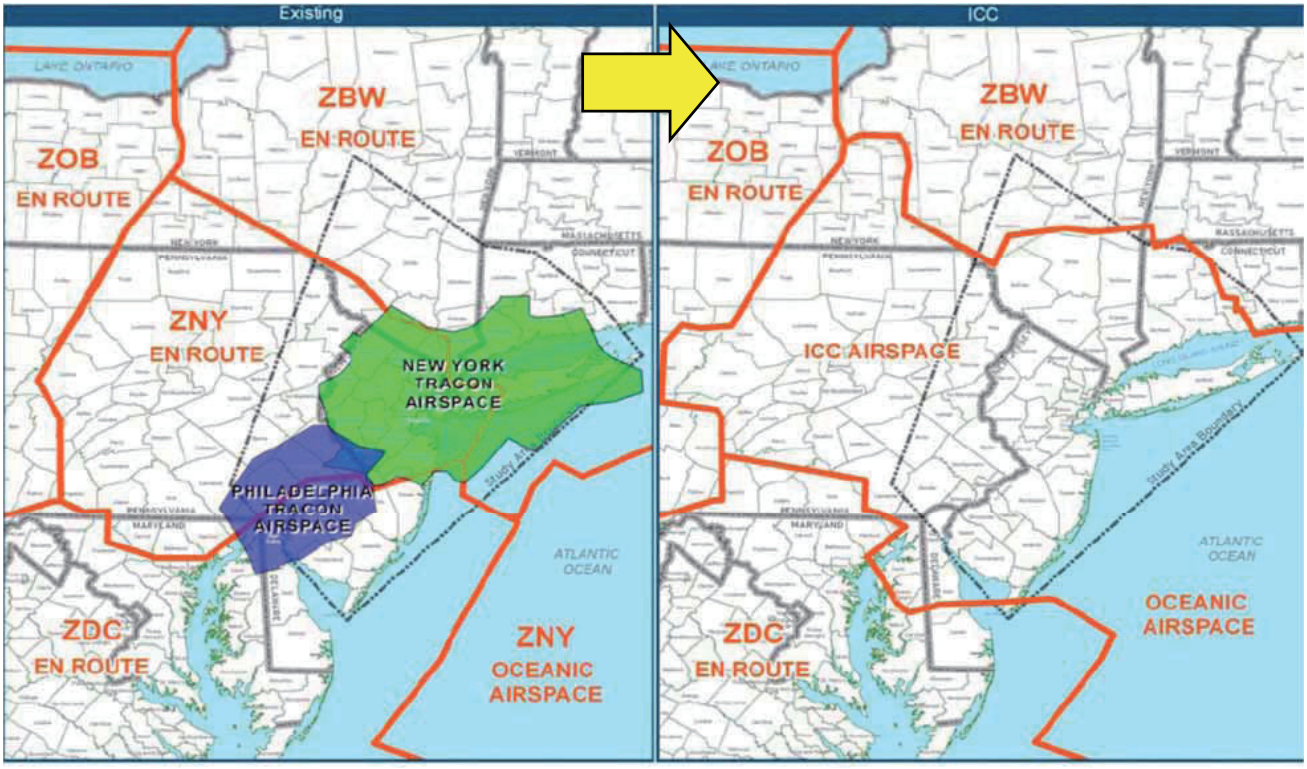
効率的な上昇・降下

西行き出発ルートの増加

③ 出発方式の工夫による離陸容量の拡大

Fanned Departure Heading（離陸方位の分散運用）

① ICCによるTRACONエリアの拡大



現状のNY TRACON（17,000ft以下）

NY ICC（23,000ft以下）

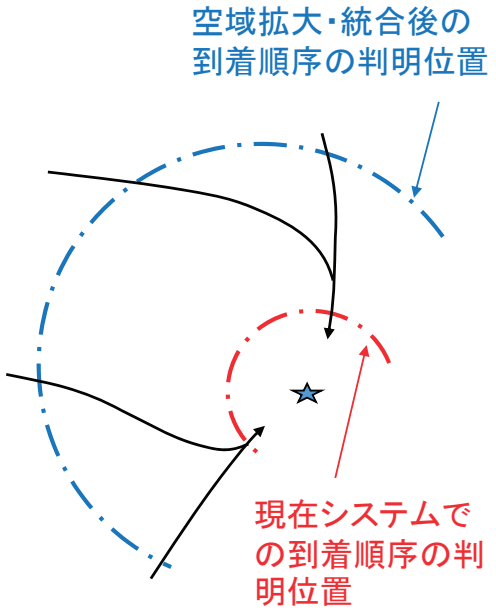
69

① ICCによるターミナル間隔の適用範囲の拡大と到着便処理の効率化

・ターミナル間隔の適用範囲の大幅拡大
⇒ 安全間隔の短縮
（エンルート：5NM ⇒ ターミナル：3NM）
（レーダー更新時間：10秒⇒4秒）

・早期の到着順序付け（シークエンシング）
⇒ 無駄な誘導を回避
⇒ 管制官のワークロード軽減

・高高度の長時間維持
⇒燃料効率，騒音影響が大幅改善



etc

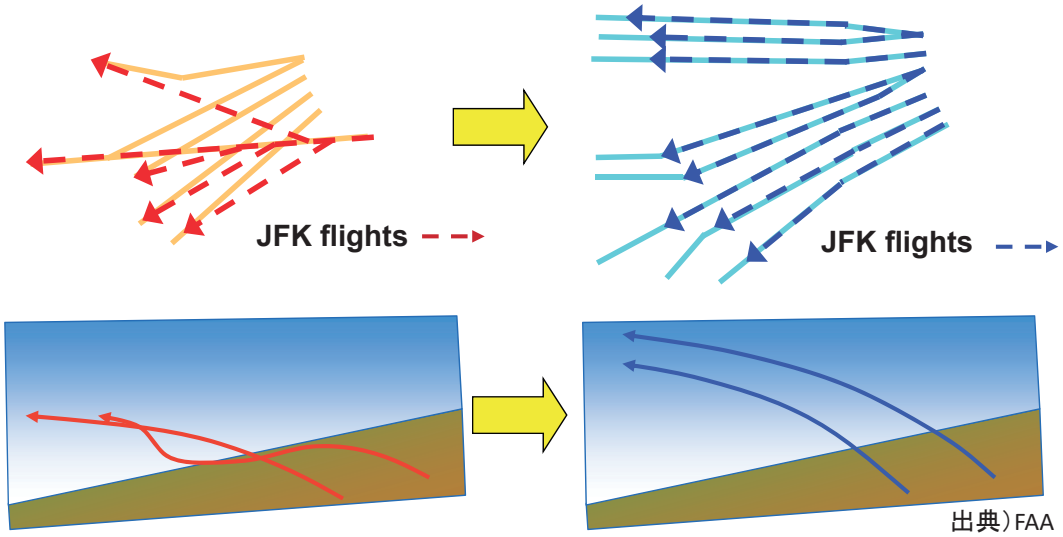
出典）FAA

70

② ICCによる出発便処理の効率化

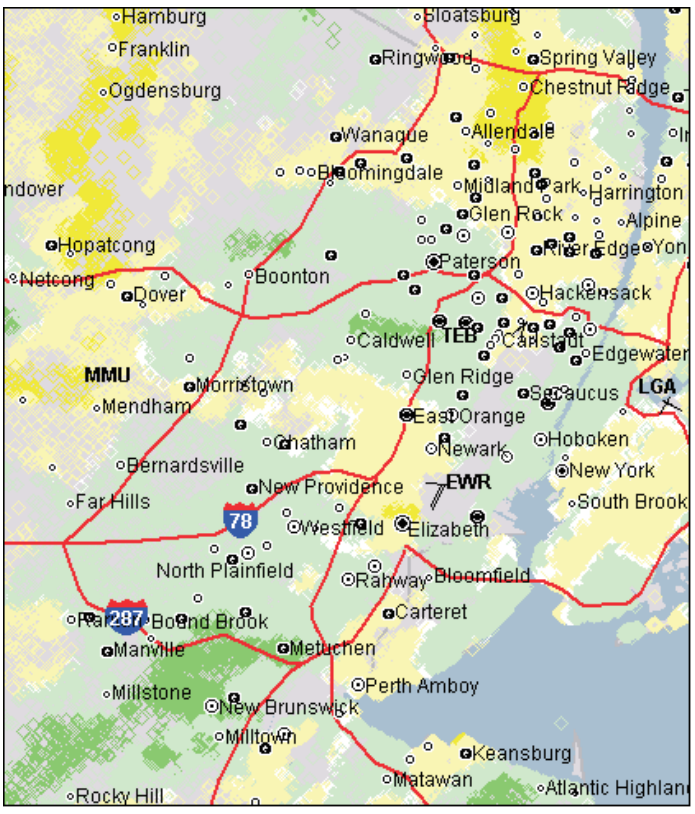
- 西行き出発ゲートの増加
- 交錯経路の解消，簡素化
- Departure Fixを複層化（Stacked Departure）

⇒ 離陸容量の増加，ワークロードの軽減



出典）FAA

騒音への影響（ICCとNo Actionの差）



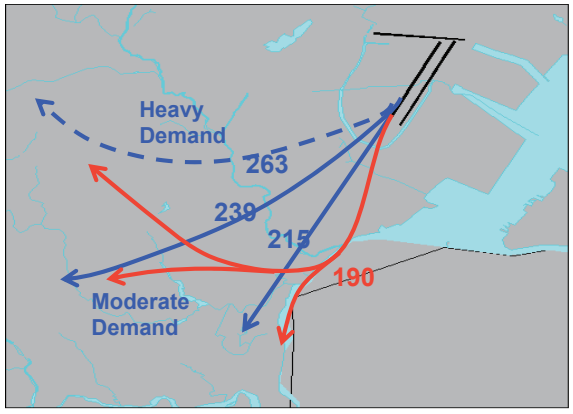
Raw Change in Db from Future No Action with Mitigation

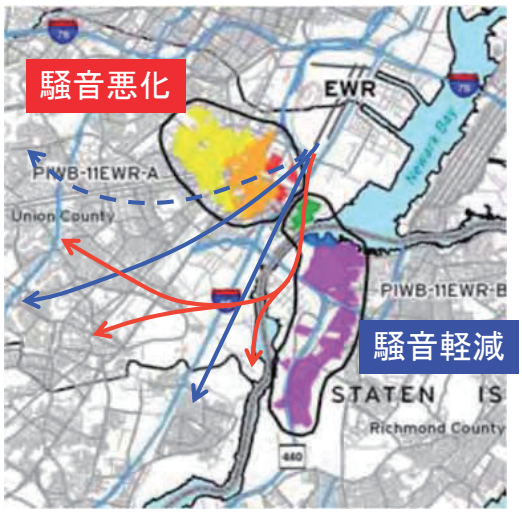
			Number of Census Points
20	to	25	(26)
15	to	20	(622)
10	to	15	(576)
5	to	10	(9044)
0.1	to	5	(153067)
-0.1	to	0.1	(41060)
-5	to	-0.1	(107108)
-10	to	-5	(9230)
-15	to	-10	(1985)
-30	to	-15	(991)

一部地域で騒音が悪化
（出発到着経路の再編，Fanned Departure，などのため）

出典）FAA

Fanned Departureによる騒音影響の変化（ニューアークの例）





出典）FEIS

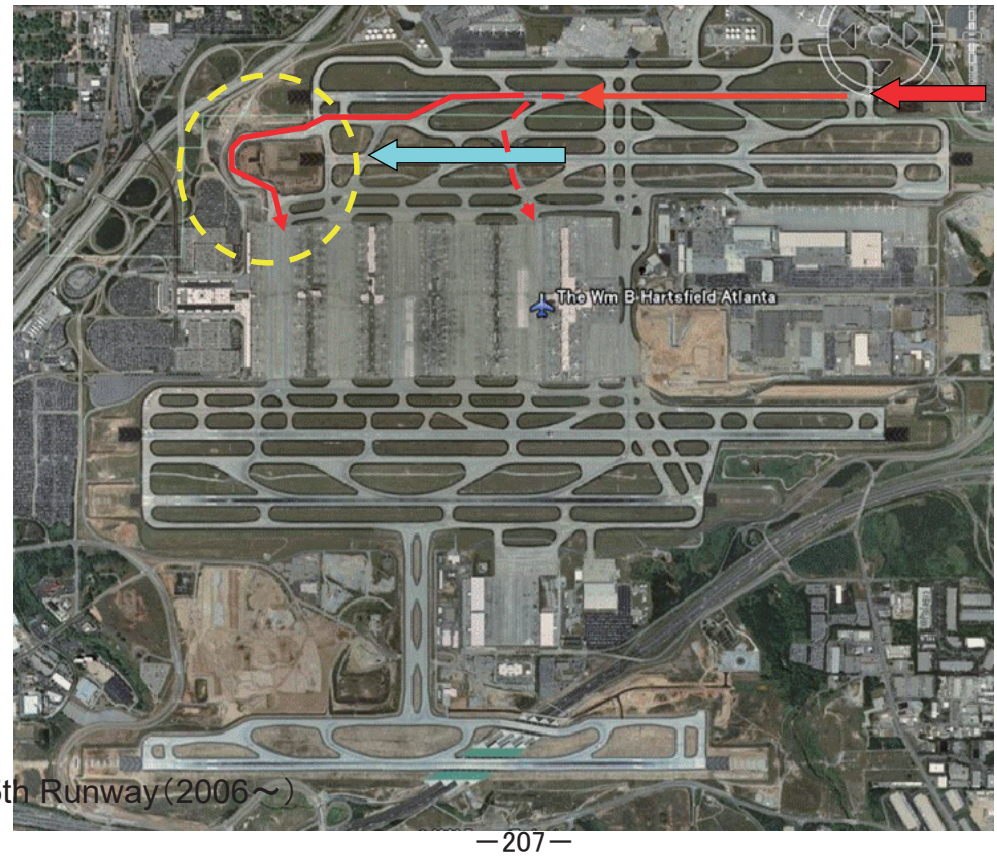
これまで避けていた市街地上空にも出発経路を設定

【騒音軽減策】

- 夜間やオフピーク時には非住宅地域や河川の上空ルートを飛行させることで，騒音を出来る限り軽減
- RNAVにより高速道路などに沿う出発経路を設定

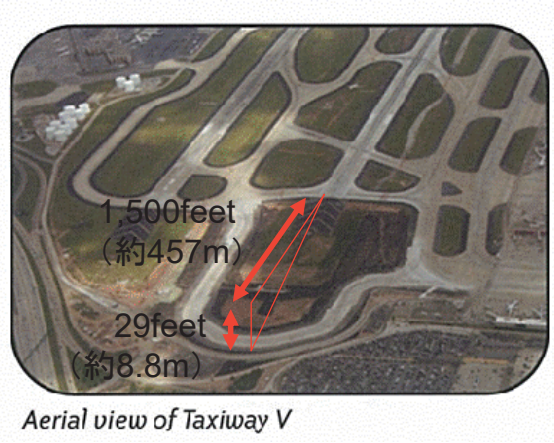
73

ATLANTA Perimeter Taxiway（Runway crossing under OLS）



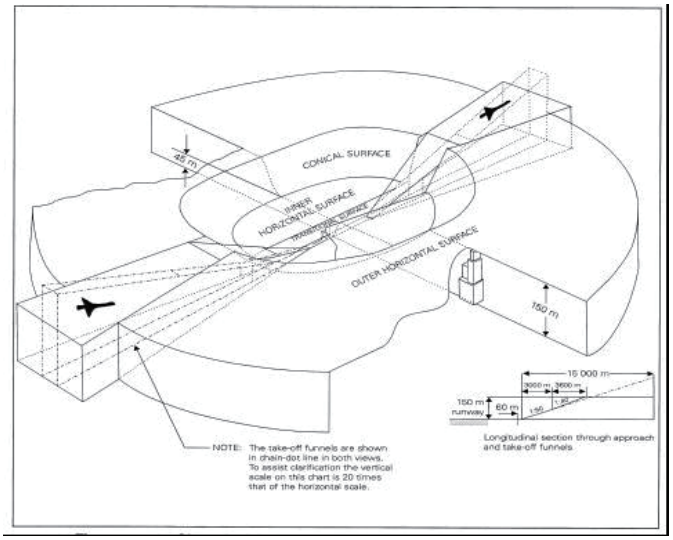
5th Runway（2006～）

ATLANTA Perimeter Taxiway (Runway crossing under OLS)

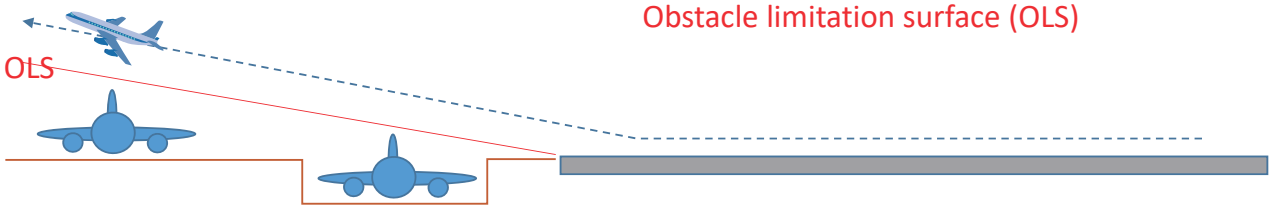


Aerial view of Taxiway V

Source: Atlanta airport



Obstacle limitation surface (OLS)



本日の報告内容

1. 離着陸の管制方法と滑走路容量に影響を与える要因
2. 滑走路容量拡大方策の事例
3. 本日のまとめ

77

本日の報告のまとめ

1. 滑走路容量の考え方
   - ✓ 空港容量
   - ✓ 滑走路容量に影響を与える要因
   - ✓ 航空管制のルールと滑走路運用
   - ✓ 滑走路容量の算定方法

2. 滑走路容量の拡大方策事例
   - ✓ ヒースロー：離陸順序付け，着陸順序付け
   - ✓ フランクフルト：クロースパラレル滑走路における後方乱気流回避
   - ✓ サンフランシスコ：Visual Approach同時進入，オフセット同時進入
   - ✓ NY空域再編
   - ✓ アトランタ：滑走路横断対策　など

78