

8. 航空路管制セクタの高度分割に関する一考察

航空交通管理領域 ※福島 幸子、福田 豊、住谷 美登里、瀬之口 敦

1. はじめに

将来の航空交通の増加に対して、管制容量の増加が期待されている。また、飛行運航効率の向上のために、広域航法（R・NAV; Area Navigation）経路が増加している。わが国の航空路管制では、空域をセクタという単位に分割して、管制を行っているが、平面的な分割が多い。管制官の作業量を低減するために、さらに細かく平面分割を行うと、セクタの面積が狭くなり、管制作業がやりにくくなる空域もある。

そこで、交通量の増加に対応して、セクタの上下分割が検討されている。1セクタを上下に分割するのではなく、複数個の低高度セクタの上空部分を、1個の高高度セクタとすることを検討している。これは、R・NAV 経路は一定高度以上の制限がついていることが多く、また、経路どおり飛行することが多いと予想され、管制指示の傾向からも、広範囲な高高度セクタを検討するためである。

わが国では、航空交通管理センターにおいて、航空交通管制部の全セクタ及び主要空港に対して航空交通流管理（ATFM; Air Traffic Flow Management）が実施されている。容量値は管制作業量を基本としているため、セクタ構成の変更では、管制作業量の検討が不可欠である。

諸外国では、空域の上下分割は一般的に行われており、分割による交通量や管制作業量について研究されている^[1,2]。当所でもファストタイムシミュレーションによる検討を行い、分割高度によるコンフリクトの分散や高度指示数の差異を明らかにした^[3,4]。また、セクタ内の高度の変更量に着目した、管制作業量の検討を行っている^[5]。

平成20年2月～3月に、近畿西セクタと北陸セクタについて、空域の上下分割に関する、管制官参加のリアルタイムシミュレーション実験を行った。高高度セクタとして、近畿西セクタと北陸セクタをあわせた空域を設定し、2種類の高度で分割した場合の管制運用や管制作業量

の差を解析した。

本稿では、まず現行の航空交通流管理について述べる。次にシミュレーション手法を述べ、上下分割による効果や、分割高度による差異を報告する。

2. 航空交通流管理

ATFM とは出発前に各管制空域の交通量を予測し、容量超過が予測される時には、事前に交通量を調整し、航空交通の円滑な流れと安全を確保するものである。

空域の容量には多くの考え方があるが^[6]、わが国の航空路管制では、管制官の作業量を基本とする容量を用いている。これは、英国のDORA 法^[7,8]とドイツのMBB 法^[7,9]を元にしたMMBB 法（Modified MBB Method）^[10]を基本としている。このパラメータの導出には管制作業の分析が必要である。

セクタごとに、航空機を出発機、到着機、通過機、域内機の4種類にわけ、それぞれの管制処理に1分あたり何秒間の作業時間を必要とするかが定義されている。作業時間は、管制指示内容（例、巡航高度変更指示）ごとの通信時間、運航票の操作、レーダ表示卓（PVD; Plan View Display）の操作などの時間や、その指示の発生確率を解析して、計算されている。

出発前に各空域への入出域時刻を予測し、管制作業量をもとに、30分間で必要とされる管制作業量を1分ごとに予測する。作業時間が30分を超えるときは、交通流制御（出発遅延や経路変更）を行い、交通量を分散させる。

3. シミュレーション手法

3.1 シミュレータ

当所のシミュレータ構成を図1に示す。シミュレータにはレーダ管制官、レーダ調整管制官の2名の管制官を配置する。

航空路管制シミュレータは便名、飛行経路などを設定したシナリオに従い、ターゲットを発

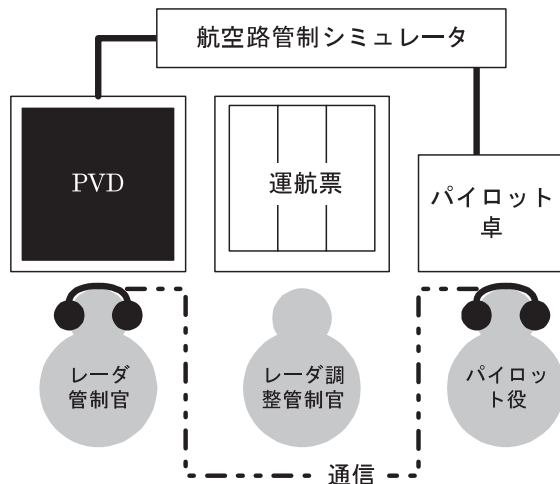


図 1 シミュレータ構成

生させ、10秒ごとの位置をレーダ表示装置（PVD; Plan View Display）に送信する。PVDはターゲットの位置情報や地図情報、飛行計画情報を表示する。レーダ管制官はPVDを見ながら管制を行い、パイロット役と管制通信を行う。パイロット役は、管制指示を入力する。レーダ調整管制官はPVDと運航票を見ながら、調整業務を行う。

3.2 空域の設定

対象空域は現行の、近畿西セクタ（T21）および北陸セクタ（T27）とした。図2に示す隣り合うセクタで、それらを合わせた上空部分をT28（仮称）として、設定した。

T21は、韓国の仁川飛行情報区に隣接しており、仁川空港、金海空港や中国の北京空港、大連空港と日本や北米を行き来する航空機（主に、

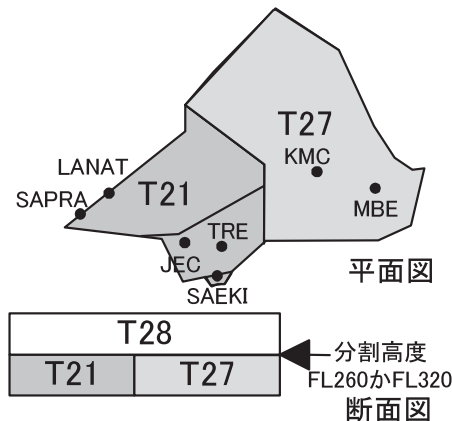


図 2 対象空域

LANAT、SAPRA を通過）が飛行する。また、関西空港のターミナル空域にも隣接しているため、関西空港の北東方面や北西方面からの到着機が多く飛行する。代表的な地点としては三保（JEC）や鳥取（TRE）がある。

T27は多くの通過機を扱う。ヨーロッパや韓国、中国と行き来する国際線だけでなく、国内でも、北方面と南西方面の空港を結ぶ通過機を多く扱う。代表的な地点としては小松（KMC）や松本（MBE）があり、代表的な空港は中部空港や小松空港がある。

本稿では、表1のセクタ名を仮称として用いる。T21-T27間の管制移管条件は現行同様とし、低高度-高高度セクタ間の管制移管は、高度の境界に最も近い自セクタの高度で移管することとした。関西空港の到着機は、FL320で分割したときはJEC付近、FL260のときはTRE付近で、飛行方面ごとに10NM程度の間隔をつけて低高度セクタに移管することとした。

表 1 実験でのセクタ名

セクタ名	取り扱い範囲
T21	現行 T21
T21_FL260	現行 T21 の FL260*未満
T28_FL260	現行 T21+T27 の FL260 以上
T21_FL320	現行 T21 の FL320 未満
T28_FL320	現行 T21+T27 の FL320 以上

*FL ; フライトレベル(flight level) の略で、

FLh(hは3桁の数値)は高度h×100ftを示す。

なお、分割高度としてFL260とFL320を検証するのは、ファストタイムシミュレーションによる検討結果^{3,4)}による。FL320の分割は管制作業量や潜在的コンフリクト数を低減させ、FL260の分割は増加させたという結果がでている。

3.3 交通量の設定

飛行情報管理システム（FDMS; Flight Date Management System）の統計データから、2007年8月24日の交通量を基本とし、シナリオを設定した。シナリオには、便名や航空機機種、出発・目的空港、飛行経路、飛行高度等を定義した。韓国・中国行き交通流に対しては出発承認が発出されているものとした。

表1の分類に従い、対象シナリオで1時間の通過航空機数をセクタごとに予測し、図3に示す。OVRは通過機、ARRは到着機、DEPは出発機を示す。また、OVR-Aは通過機であるが、次セクタでの到着機で移管前に降下処理が必要なもの、OVR-Dは前セクタでの出発機であるが、上昇処理が必要なものを示す。

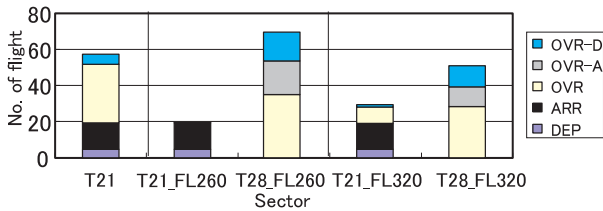


図3 通過予定機数

T21_FL260、T21_FL320はほとんどが、出発機もしくは到着機となる。また、T28_FL320の交通量はT21とほぼ同じであるが、T28_FL260はT21よりも通過予定機数が多く、通過機の数はほぼ同じであるが上昇・降下をする航空機も増加している。T28_FL320と比較すると、全ての種類で増加している。

3.4 試行回数と使用データ

レーダ管制官、レーダ調整管制官の2人を1チームとし、表1のセクタについて、1回ずつ実施した。A、B、Cの3チームの管制官によりそれぞれ実施し、計15試行分のデータを得た。シミュレーションは時刻05:30から06:50まで行い、05:50から06:50の1時間分のデータを解析した。

4. シミュレーション結果

4.1 同時管制機数

Cチームの行った5試行について、同時管制機数を図4に示す。

T21の忙しい時間帯を対象としているので、分割後はそれぞれのセクタの作業量が、T21よりも減少していることが望ましい。

T21とT28_FL320はほぼ同じ機数であるが、T28_FL260はT21に比べてかなり機数が多い。T21_FL320はT21と比べて、70%程度の機数であり、T21_FL260は機数が少ない。

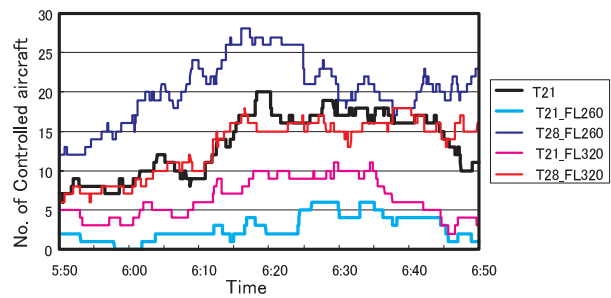


図4 同時管制機数

4.2 管制指示数

グループCの行った5試行について、1時間の管制指示数を図5に示す。Sは速度、Dは直行、Hは針度、Aは高度の指示件数を示す。

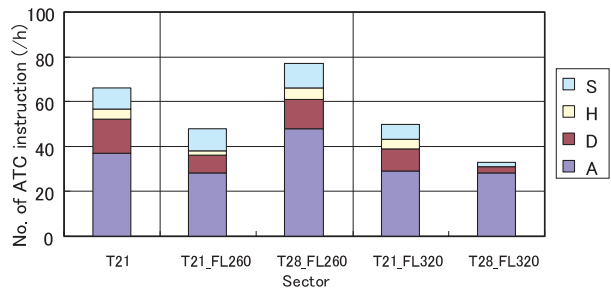


図5 管制指示数

FL320で分割した場合は、T21_FL320、T28_FL320の管制指示の総件数はT21を上回るが、セクタ毎ではそれぞれ件数が減少しており、空域分割としては適切である。しかし、FL260で分割した場合、T28_FL260の指示数はT21を上回った。分割により指示数が増加するので、このような分割は適切ではない。

同時管制機数は、T21とT28_FL320がほぼ同数であったが、管制指示数はT28_FL320が最も少なく、ほとんどが高度指示であった。これはA、Bチームの試行においても、同様であった。これは高高度を巡航する航空機に対する管制指示が少ないことを示している。

T21_FL260、T21_FL320は管制機数が少ない割には、指示数が多く、また、これらの指示数の差は少なかった。低高度セクタは関西空港の出発・到着機の管制を行うため、それらへの指示が多くを占めるためと推測される。

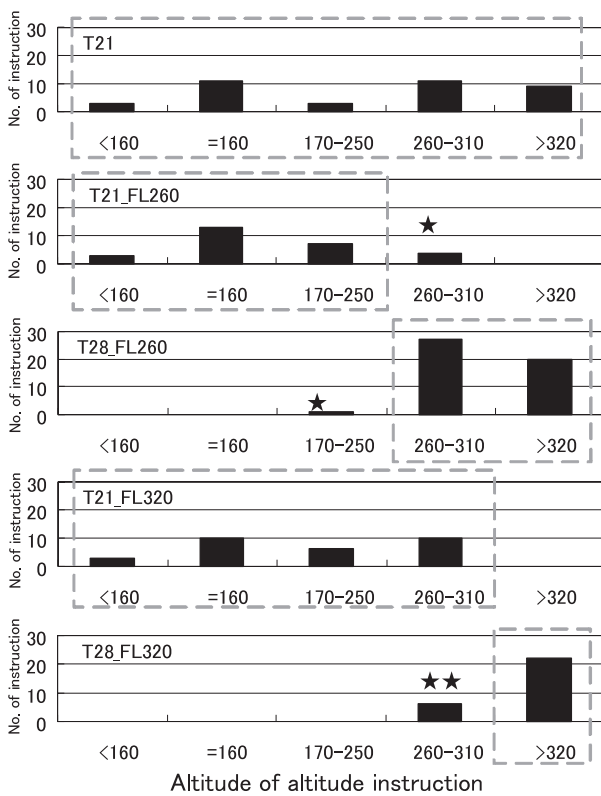


図 6 管制指示高度

C チームでの試行について、高度指示の指示高度ごとの総数を図 6 に示す。FL160 の指示数があまり変わらないのは、FL160 が関西到着機のターミナル空域への移管高度だからである。

管制対象空域の高度を点線で示す。図中★、★★は自セクタの境界外の高度指示である。これらは上下セクタ間の調整による高度指示である。このような件数が T28_FL320 で多かった。4.2 で述べたように、全体の管制機数としては T28_FL260 よりも少ないが、調整回数は多かったことがわかる。実際、関西空港の出発機や到着機が、他機と FL310 や FL320 で競合した場合に、上下セクタで調整を行い、T21_FL320 の高度 (FL310) まで降下させることが多かった。T26 の分割でも同様のことが起こった (図中★) が、国際線の飛行高度は FL260 より高い場合が多く、このような調整件数は少なかった。

4.3 航跡

C チームによる航跡を図 7 に示す。

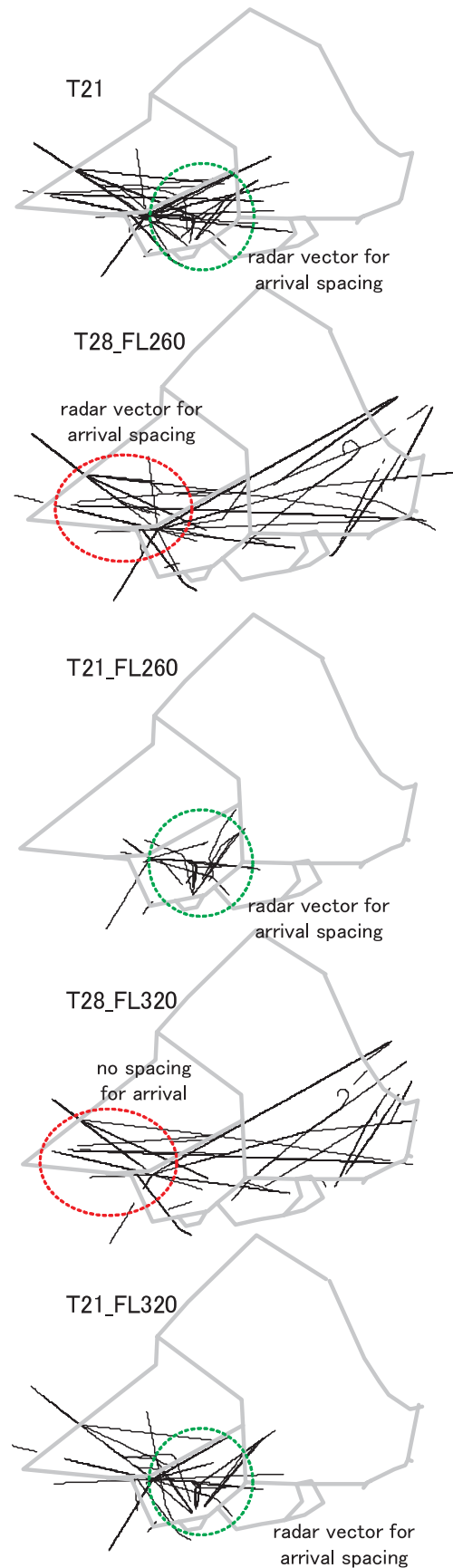


図 7 航跡図 (グループ C)

T28_FL320 はほとんどがレーダ誘導を行わなかったが、T28_FL260 は関西到着機のためのレーダ誘導を行った（図中赤点線）。また、T28_FL260 でレーダ誘導を行っても、T21_FL260 でもレーダ誘導が必要となっている。T21 と T21_FL320 のレーダ誘導にはあまり差がない（図中緑点線）。このことから、FL320での分割は到着機の処理を低高度のT21_FL320 が行うという業務の分担がうまく行われたが、FL260での分割は高高度、低高度両方のセクタで到着機の処理が必要となり、T28_FL260 の管制作業量を増やしていることがわかる。

4.4 アンケート結果

交通量について管制官の主観評価として、図8に示す。1～3の5段階で回答を得た。現状のT21を3とし、数字が大きいほど交通量が多いことを表す。

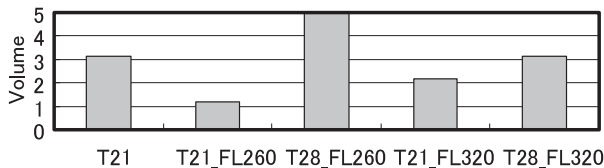


図8 交通量の感想

T28_FL320 は T21 と同じであった。T21_FL260 と T28_FL260 は「少なすぎる」「多すぎる」と分割による交通量バランスが悪かった。T21_FL320 については、やや少なめとの感想であった。FL320での分割については、検討すべき点はあるもの実現可能性について前向きな回答を得た。

5. 考察

5.1 関西空港の到着機

到着機の管制処理では、高度を空港への移管高度まで降下させ、移管点での管制間隔を設定する。これらの処理の増減は管制作業量の増減につながる。降下指示だけでなく、関西ターミナルへの移管時の管制間隔を保つために、レーダ誘導も必要に応じて行う。

T21 では、繁忙時は針度指示や直行指示が出

された。上下分割を行った場合、T28_FL260では針度指示も出されたが、T28_FL320では針度指示は出されなかった。低高度セクタではT21、T21_FL320、T21_FL260の順に多かったが、高高度と低高度セクタを合わせると、T21_FL260、T21、T21_FL320の順に多かった。

関西空港への到着機は、SAEKIをFL160で通過することになっている。そこで、Aチームが行った5試行について、SAEKIまでの高度プロファイルを図9に示す。

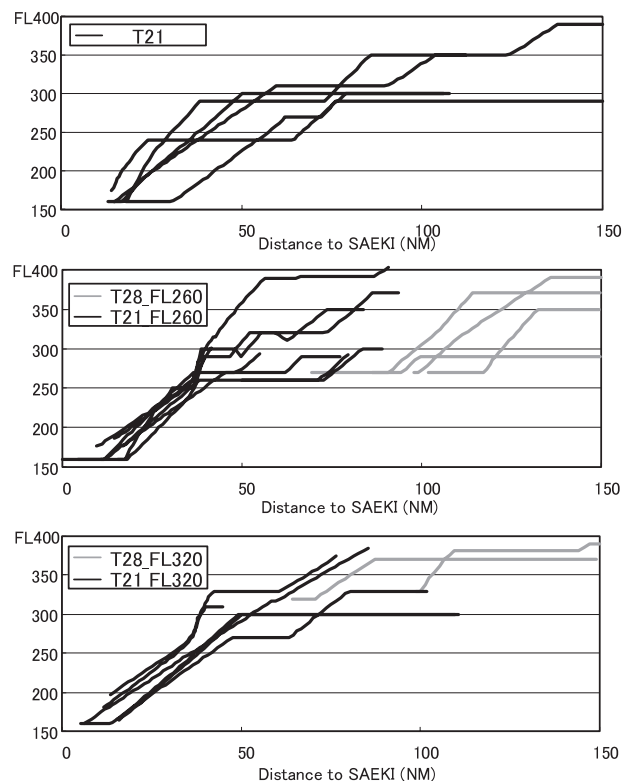


図9 関西到着機の高度プロファイル

T28_FL320での降下はT21と同様であるが、T28_FL260では、早めに高度を降下させてしまう。FL320で分割すると、T27方面から飛行してくる到着機は、T21移管前に降下させることなく、巡航高度からSAEKIに向けてプロファイルディセントに近い降下ができる。FL260で分割した場合は、TRE近くまでに高度を下げたため、現在よりもより早く降下を開始し、低高度での水平飛行が増加した。また、他のチームでは降下するスペースが足りずに、SAEKI

までに FL160 に降下できない場合もあった。

5.2 出発機

出発機に対する管制指示は分割高度によらず、あまり変わらなかった。

6. まとめ

近畿西セクタと北陸セクタの空域を対象に、上下分割に関するリアルタイムシミュレーションを行った。シミュレーションでは FL260、FL320 の2つの分割高度について比較した。その結果、以下のことがわかった。

- 1) FL320 での分割は交通量をほぼ2分するが、FL260 での分割は高高度セクタに交通量が多く偏る。
- 2) 同時管制機数は T28_FL320 は T21 とほぼ同じであったが、T28_FL260 は多すぎた。
- 3) 管制指示数は、T21_FL260、T21_FL320、T28_FL320 は T21 よりも減少したが、T28_FL260 は増加し、負担が大きかった。
- 4) 高度分割により調整が増加した。特に FL320 の分割で増加が大きかった。
- 5) FL260 で分割すると到着機の降下処理が早すぎる傾向になった。FL320 の分割では北東方面からの降下はよりプロファイルディセントに近い降下ができた。

以上のことから、FL260 の分割は、適切な分割ではないが、FL320 の分割は、課題はあるものの管制作業をうまく分担できること、降下処理もより適切になることがわかった。また、管制官のアンケートでは、この空域の組み合わせでは FL320 の分割は適切であったが、ほかの空域では適切な高度が異なってくるという指摘を受けた。

今後、実験結果のより詳細な解析を進めるとともに、他セクタの組み合わせではどの高度で分割するのが適切かを検討したい。

研究を進めるに当たり、FDMS のデータをご提供くださった、国土交通省福岡航空交通管制部航空交通管理センターの管理管制官各位、及びシミュレーション実験にご参加いただきました、東京航空交通管制部の航空管制官各位に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] Parimal Kopardekar, "AIRSPACE COMPLEXITY MEASUREMENT: AN AIR TRAFFIC CONTROL SIMULATION ANALYSIS", ATM Seminar 2007, paper 52.
- [2] Project COCA, "A COMPLEXITY STUDY OF THE MAASTRICHT UPPER AIRSPACE CENTRE", EEC Report No. 403, Feb. 2006.
http://www.eurocontrol.int/eec/gallery/content/public/documents/EEC_reports/2006/EEC_report_403.pdf
- [3] 福島、福田、住谷、瀬之口、"航空路管制セクタの高度分割と管制作業量に関する検討"、電子情報通信学会宇宙航行エレクトロニクス研究会、SANE2007-05、pp.1-6、2007年5月。
- [4] 福島、"航空路管制セクタの分割高度によるコンフリクトの変化"、電子情報通信学会ソサイエティ大会講演前刷集、2007年9月。
- [5] 福島、福田、住谷、瀬之口、"高度変更量に着目した航空交通流管理における容量値計算方法の検討"、第6回電子航法研究所研究発表会、2006年6月。
- [6] J.M. Alliot, J.F. Bosc, N. Durand, L. Maugis, "An experimental study of ATM capacity," USA/Europe ATM Seminar, Saclay, France, 1997.
- [7] N. Tofukuji, "An Enroute ATC Simulation Experiment for Sector Capacity Estimation," IEEE Trans. on Control, Systems Technology, 1(3), Sep. 1993.
- [8] I.G.Parker, "A Review of some sector capacity estimation techniques," Civil Aviation authority DR Report 8703, Aug. 1987.
- [9] R. Seifert, K.Brauser and G. Och, "Untersuchungen zur Luftraumnutzung Band 1 Zusammenfassung," Messerschmitt-Blokow-Blohm GmbH, Aug. 1977.
- [10] (財)航空保安研究センター、"航空交通流管理における交通容量算定方式の高度化に関する調査報告書、" Mar. 2002.