

IV-336 空港周辺空域の航空交通容量に関する基礎的研究

原子燃料工業株式会社 正会員○信原 伸司
鳥取大学工学部 正会員 喜多 秀行
(株)原子力エンジニアリング 正会員 本間 一

1. はじめに

航空需要の増加にともない、複数の空港が近接して設置される状況が生じている。これら相互に近接する空港が同じ空域を共通の進入管制空域として使用するようになると、各空港に離発着する航空機の総数は、当該空域の交通容量によって制約される場合が出てくる。これまで空域の交通容量に関する研究は主として所与のセクタ分割の下でのものであったが、先に示した分析フレーム¹⁾に、空港周辺空域全体の管制作業を各管制セクタに可能な限り均等に振り分ける最適セクタ分割法を提案し、最適分割されたセクタにセクタの交通容量推定モデルを適用して空港周辺空域の管制交通容量を算定する方法を示す。また、仮想空域を対象に数値実験を行い、安全飛行間隔から定まる交通容量との相対的な大きさを比較する。

2. 空港周辺空域の交通容量

本研究で取り扱う空港周辺空域とは、航空路管制空域(水平飛行をしている部分にはほぼ相当する)から飛行場管制空域(滑走路への離着陸を管制する)に航空機の管制を受け渡す間のいわゆる進入管制空域である。このような空域では管制作業が非常に多いため、空域をさらにセクタと呼ばれる空域に分割し、何人かの管制官により管制作業を分担することが多い。

空域のセクタ分割の数を増やすと個々のセクタ内に同時に飛行する航空機数が減り、管制官一人当たりの管制作業量が減少するため、より多くの交通量に対処することが可能である。しかし、あまりセクタ数を増やすと航空機がセクタを瞬時に通過してしまうため管制不可能となり、隣接セクタ間での航空機の受け渡し作業(ハンドオフ作業)が増えるため全体としての処理能力の低下を招く。また、各セクタの作業量に大きなばらつきがあると管制作業量の多いセクタがネックとなり、全体として処理可能な交通量を規定してしまう。

3. 空港周辺空域の最適セクタ分割法

空港周辺空域のセクタは当該空域を三次元的に分割した空間であるが、航空機は基本的に航空路しか飛行できないため、各管制官が受け持つ航空路ネット

ワークの区間をもって実質的なセクタとみなすことができる。そこで本研究では、セクタ分割としてこのネットワークの切断を取り扱う。空域全体からみて最も効率的なセクタ分割は各管制官の作業量が等しい場合であり、この場合、最も多くの航空機の管制処理が可能である。しかし、現実的なセクタ分割となるように以下のルールを設けているため、管制作業量が均等となるセクタ分割が必ずしもすべての場合に可能なのではない。

1. 各合流点・流入点で行われる管制作業は複数セクタで分担することができない。

2. セクタ内のルートは連結していなければならない。

セクタはいくつかの合流点・流入点とそれらを結ぶルートセグメントおよび当該セクタと隣接セクタとを結ぶルートセグメントの一部から構成されるが、セクタを決定するには当該セクタと隣接セクタとを結ぶルートセグメントのどこまでを当該セクタに割り当てるか決定しなければならない。そこで、確定セクタとサブエリアの概念を導入し、セクタ分割を行いネックとなるセクタを探索する。ここで言う確定セクタとは、セクタのうちの切断されるルートセグメントを除く部分であり、サブエリアは、いくつかの確定セクタとそれらを直接相互に結ぶルートセグメントのみから構成される。

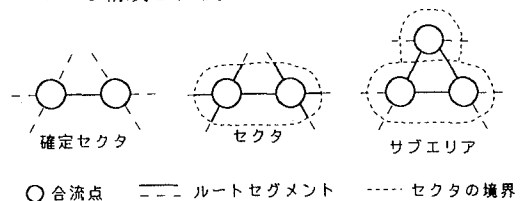


図1 確定セクタとサブエリアの概念図(実線部分)

最適セクタ分割は以下の手順に従う。

- 1) 空域の全ての合流点・流入点を組み合わせて空域を確定セクタに分割する。
- 2) 得られた確定セクタの組み合わせとして構成されるサブエリアの管制作業時間を、すべての場合について計算する。

3) 2) の各サブエリアにおけるセクタの平均作業時間を求め、その最大となるものを求める。

4) 1) の確定セクタの全ての組み合わせについて2),3) の計算を行い、セクタの平均作業時間の最大値が最小となるものを求める。

以上のようにして求めた管制作業時間をもつセクタの組み合わせが最適分割されたセクタである。この時の作業時間が最大となるセクタが管制上のネックとなるセクタであり、進入管制空域全体の容量を規定する。

4. 管制処理待ち時間に着目した交通容量算定モデル

各セクタにおける管制官の管制作業は航空機に対するサービスとみなすことができ、セクタ内の交通容量が増加すると単位時間当たりの管制処理作業が多くなり、管制官によって航空機は管制待ちの状況となる。管制官は航空機の管制要求に対して基本的には先着順に処理を行う。また、航空機はそのセクタ内を飛行している間は常にそのセクタを担当している管制官の管制下にあり管制作業を繰り返し受ける。このような特性から、客の特性としての平均管制要求間隔と交通量、ルートの構造等の関係を整理し、セクタにおける管制作業を一種のタイムシェアリング型待ち行列としてモデル化した²⁾。そして、モデルの出力として得られる平均管制処理間隔と平均管制要求間隔の差が実質的な管制待ち時間とし、この待ち時間がある一定限度を越えないときの航空機数を管制処理能力から定まる交通容量とした。

5. 仮想空域を対象とした数値分析

図2に示す2空港、3流入点を結ぶネットワークを有する仮想空域を想定し、一定のODパターン、航空機の数、各管制処理作業に要する時間、ルーチン作業の必要な平均距離間隔を与え、セクタ分割数に対する交通量と待ち時間について数値計算を行い、以下のような結果を得た。

1) セクタ数と待ち時間

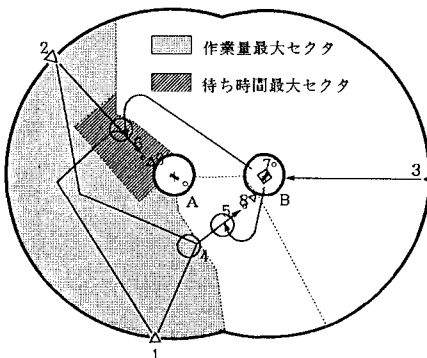


図2 セクタ分割の結果の一例

セクタの数を増やしても空域の管制交通量は必ずしも増加するとは限らず交通容量の面からみて最も有利となるセクタ分割数が存在した。

2) 管制上のネックとなるセクタ

交通量が増えると、セクタ数に関係なく合流点を含む特定のセクタがネックとなる場合が多い。

本事例における交通量と管制待ち時間との関係を図3に示す。本図から管制交通容量が39機/hであること読み取れる。一方、進入管制空域における最も航空機が集中するルートセグメントの安全飛行間隔から定まる航空路の交通容量は航空機の平均速度が450km/hの時、空域全体では50機/hである。

検討した事例に関しては管制面から定まる交通容量の方が安全間隔から定まる交通容量よりも小さいという結果となった。ちなみに、安全飛行間隔から定まる交通容量いっぱいまで管制した場合、平均管制処理待ち時間は84.5秒となる。これは、約10kmの間無管制状態で飛行する状況に相当し、とうてい安全とはいえない。

6. おわりに

本研究では、所与のネットワーク構成の下で、管制官の管制作業に着目した。空港周辺空域の最適セクタ分割法を提案した。そして、空域全体からみた管制交通容量について検討し、いくつかの知見を得た。

しかし、空域の交通容量は航空路のネットワーク構成にも依存している。今後、ネットワーク構成と管制処理作業量の関係、および、最適セクタ分割下の待ち時間との関係を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 喜多・舟木・大江: 空港周辺空域の最大交通容量に関する一考察, 土木計画学研究・講演集 No.14(1), pp.97 ~ 104, 1991.
- 2) 信原・本間・喜多: 管制処理能力からみた航空交通管制セクタの交通容量, 第44回土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集, 1992.

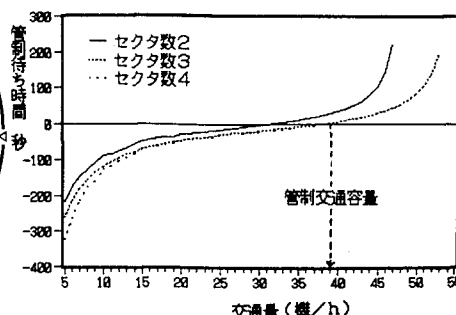


図3. 管制待ち時間

設定条件

①OD交通量 …… 間比率
ODパターン

	0\0	空港A	空港B
流入点	1	0.2	0.15
2	0.2	0.2	0.15
3	0.1	0.2	0.2

②航空機の平均速度 一律に450km
③管制処理時間
ルーチン作業……………10秒
交差コンフリクト解消作業…40秒
ハンドオフ作業……………15秒
④ルーチン作業を行う平均距離間隔 30km
⑤許容待ち時間 0秒