論 文

CONTRIBUTED PAPERS

STOL 専用空港の離着陸容量に関する一研究*

A Study on Capacity of a Single Runway STOL Port

室 津 義 定**・藤 原 直 史**
Yoshisada MUROTSU, Naofumi FUJIWARA
西 村 芳 朗***
and Yoshiro NISHIMURA

Abstract

This paper is concerned with the determination of capacity of a single runway STOL port. An automated air traffic control procedure for landing and take-off is proposed which takes into consideration the delays of the aircraft to control commands, the variations of the approach speeds due to wind velocities, etc. Capacity of a single runway STOL port using the proposed procedure is determined, using digital simulations and queuing theory. The effect of various factors, such as length of common path, time and distance separation rules, the variations of the related quantities, etc. on the capacity is discussed.

1. ま え が き

近年の航空輸送の伸展には目をみはるものがある。その増大する需要に答えるために、ジャンボ機の導入や空港施設の拡充が行なわれてきた。しかし、現在使用されている空港のほとんどは大都市の中心部に位置し、これ以上施設を拡充することは不可能な状態である。また、ジャンボ機の運行や便数の増加にともなう騒音公害も問題となってきた。新空港の建設も行なわれつつあるが、成田の東京新空港や関西新空港のように建設は思うにまかせないのが現状である。そこで、既存の小さい空港を使用できる STOL 機が注目されてきた。航空輸送に大きな比重を占める中近距離輸送を STOL 機で行なうことにより、混雑を緩和できるものと期待されている^{1)~3)}。そこで、新たに STOL 機を導入するに当たり、どれほどの離着陸容量を期待できるかを決定することは重要な問題である。CTOL 機に対するこれらの研究は多くの研究者らによってなされているが^{4)~7)}、STOL 機では、着陸速度が低いために風などの外乱による影響を受けやすく、管制指令

に対する応答のばらつきや高揚力装置による後流の影響などを考慮しなければならず、それらの結果をそのまま適用することはできない。STOL 機に対する研究としては、V. W. ATTWOOD⁸⁾ らによるものがあるが、用いられているモデルやデータに不明瞭な点が多い。そこで、本研究では、STOL 空港の管制方式として、ゲート通過時刻や着陸進入速度などのばらつきを考慮した自動管制方式を提案し、その方式を用いた単一滑走路をもつ STOL 専用空港の離着陸容量をデジタル・シミュレーションおよび待ち行列理論によって決定する方法を与える。そして、離着陸容量に関与する種々のパラメータの効果について検討する。

2. 空港モデル

空港モデルとしては、第 1 図に示すように滑走路が 1 本で、着陸が離陸に優先し、その制限のもとに先着優先である空港を考える。

着陸は待機空域に待機していた航空機がゲート (gate) を通過したときに始まり、進入径路上 (common path) を等速度で飛行し、滑走路進入端 (threshold) に接地後等減速度で滑走し、定められた速度になって滑走路を離脱したときに終了するものとする。離陸は待機地域に待機していた航空機が滑走路に進入したときに始まり、滑走路の末端を通過したときに終わるものとする。なお、管制指令に対するパイロットの応答遅れや風速等の影響により、着陸機のゲート通過時刻、着陸進入速度と滑走路上の減速度および離陸機の滑走路進入時刻と滑走路占有時間には指定さ

第 1 図 空港モデル

*昭和 48 年 11 月 7 日飛行機シンポジウムにて発表
昭和 49 年 7 月 11 日原稿受理

**大阪府立大学工学部

***三菱電機・通信機製作所

れた値からのばらつきがあるものとし、それらの確率分布は正規分布 $N(\cdot, \cdot)$ であると仮定する。

3. 離着陸機に対する制約の定式化

3.1 着陸機間隔の制約 着陸する先行機と後続機の間には次のような制約があるものとする。ニア・ミスやレーダ上での誤認を避けるために、i) 進入経路上では距離間隔が δ 以上必要である。先行機に事故などがあった場合、後続機が安全に退避できるように、ii) ゲート上で h_g 、iii) 滑走路進入端で h_i 以上の時間間隔が必要である。後流の影響を受けないために、iv) 進入経路上では h_f 以上の時間間隔が必要である。v) 滑走路内に2機以上の着陸機が存在してはならない。

以上5つの条件を満足するように着陸機の間隔が決定されるべきであるが、ゲート通過時刻などには確率的変動がともなうので、上記の条件を確率1で満足することはできない。そこで、管制方式として、上記の条件が確率 p 以上で満たされるように着陸機間隔を決定するものとする。

さて、上記の条件を定式化する前に、まず変数の定義を行なう。まず、進入経路の距離すなわちゲートから滑走路進入端までの距離を γ とする。次に、 i 番目に着陸を要求した着陸機に対して指令されたゲート通過時刻を $\bar{T}_i$ とし、実際にその着陸機がゲートを通過する時刻を T_i とすると、管制指令に対するパイロットの応答遅れや風速の変動のために、 T_i には $\bar{T}_i$ からのバラツキがあり、その標準偏差を σ_g とする。そして、 T_i の確率分布を $N(\bar{T}_i, \sigma_g)$ とする。なお、 T_i が正規分布 $N(\bar{T}_i, \sigma_g)$ であると仮定すると、理論的には、 T_i が $T_{i-1}, T_{i-2}, \dots, T_{i-k}, \dots$ より小さくなる場合も考えられるが、実際にはすでに着陸してしまつた T_{i-k} よりも小さくなる場合は存在しない。したがって、 T_i は完全な正規分布ではない。しかし、一般には $\bar{T}_i - \bar{T}_{i-k}$ に比べて σ_g が小さい場合には、正規分布の特性より、すその部分の確率は急激に減少するので、 T_i が T_{i-k} より小さくなる確率は非常に小さい値となる。このことを考えれば、 T_i が正規分布であるという仮定のもとに近似的な取扱いを行なってもあまり不都合は生じないと考えられる。同様の議論は以下に述べるすべての確率分布の仮定についても適用できる。また、着陸進入速度および滑走路上での減速度をそれぞれ、 V_i, α_i とし、その確率分布は $N(\bar{V}_i, \sigma_v)$ および $N(\bar{\alpha}_i, \sigma_a)$ であるとする。なお、それぞれの標準偏差 $\sigma_g, \sigma_v, \sigma_a$ は簡単化のため機種によって変わらないものとする。また、 i 番目の着陸機が距離 x を飛行するのに要する時間を t_i^* とすると

$$t_i^* = x/V_i \quad (1)$$

となり、 t_i^* の分布は近似的に正規分布 $N(x/\bar{V}_i, x\sigma_v/\bar{V}_i^2)$ をもつと仮定できる¹⁴⁾。さらに、着陸機の滑走路離脱速度を V_E とすると、 i 番目の着陸機の滑走路占有時間 a_i は

$$a_i = (V_i - V_E)/\alpha_i \quad (2)$$

となり、近似的にその分布は $N(\bar{a}_i, \sigma_{a_i})$ となる。ここに

$$\bar{a}_i = \frac{\bar{V}_i - V_E}{\bar{\alpha}_i}, \sigma_{a_i} = \frac{1}{\bar{\alpha}_i^2} \times \sqrt{\bar{\alpha}_i^2 \sigma_v^2 + (\bar{V}_i - V_E)^2 \sigma_a^2 + \sigma_v^2 \sigma_a^2} \quad (3)$$

である。このとき、上記5つの条件は次のように確率制約式として定式化される。

$$\text{i) (a) } \bar{V}_i \geq \bar{V}_{i+1} \text{ のとき} \quad \text{Prob}[T_{i+1} \geq T_i^*] \geq p \quad (4a)$$

$$\text{(b) } \bar{V}_i < \bar{V}_{i+1} \text{ のとき} \quad \text{Prob}[T_{i+1} - T_i^* \geq T_i'] \geq p \quad (4b)$$

$$\text{ii) Prob}[T_{i+1} \geq T_i + h_g] \geq p \quad (5)$$

$$\text{iii) Prob}[T_{i+1} \geq T_i' + h_i] \geq p \quad (6)$$

$$\text{iv) (a) } \bar{V}_i \geq \bar{V}_{i+1} \text{ のとき} \quad \text{Prob}[T_{i+1} \geq T_i + h_{fi}] \geq p \quad (7a)$$

$$\text{(b) } \bar{V}_i < \bar{V}_{i+1} \text{ のとき} \quad \text{Prob}[T_{i+1} \geq T_i' + h_{fi}] \geq p \quad (7b)$$

$$\text{v) Prob}[T_{i+1} \geq T_i' + a_i] \geq p \quad (8)$$

ここで、 $T_i^* = T_i + t_i^*$ であるから、式(4a)は

$$\text{Prob}[y \geq 0] \geq p \quad (9)$$

となる。ここに、 $y \triangleq T_{i+1} - T_i - t_i^*$ である。 y は正規確率変数の和であるから、その分布は $N(\bar{y}, \sigma_y)$ となり、式(9)は

$$\text{Prob}[y \geq 0] = \int_{-(y/\sigma_y)}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-1/2u^2} du \geq p \quad (9)'$$

となる。ここで

$$p = \int_q^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-1/2u^2} du \quad (10)$$

を満たす q を定義すれば、式(9)'は次の確定制約式となる⁹⁾。

$$\bar{y} + q\sigma_y \geq 0 \quad (11)$$

式(11)は式(4a)の確率制約式と近似的に等価となる。

なお、式(11)の $\bar{y}$ と σ_y は

$$\bar{y} = \bar{T}_{i+1} - \bar{T}_i - \frac{\delta}{\bar{V}_i}, \sigma_y = \sqrt{2\sigma_g^2 + \frac{\delta^2 \sigma_v^2}{\bar{V}_i^4}} \quad (12)$$

となるから、式(11)は次のようになる。

$$\bar{T}_{i+1} - \bar{T}_i \geq t_a(\delta, 0) \triangleq t_{ia} \quad (4a)'$$

ここで、 t_a は ξ, η を変数として次のように定義した。

$$t_a(\xi, \eta) = \frac{\xi}{\bar{V}_i} - \frac{\eta}{\bar{V}_{i+1}} - q \sqrt{2\sigma_g^2 + \sigma_v^2 \left(\frac{\xi^2}{\bar{V}_i^4} + \frac{\eta^2}{\bar{V}_{i+1}^4} \right)}$$

上述と同様の手順により、残りの確率制約式(4b)~

(8)はそれぞれ次のように確定制約式に変換される。

$$\bar{T}_{i+1} - \bar{T}_i \geq t_a(\gamma, \gamma - \delta) \triangleq t_{1b} \quad (4b)'$$

$$\bar{T}_{i+1} - \bar{T}_i \geq h_g - q\sqrt{2\sigma_g^2} \triangleq t_2 \quad (5)'$$

$$\bar{T}_{i+1} - \bar{T}_i \geq h_i + t_a(\gamma, \gamma) \triangleq t_3 \quad (6)'$$

$$\bar{T}_{i+1} - \bar{T}_i \geq h_{fi} - q\sqrt{2\sigma_g^2} \triangleq t_{4a} \quad (7a)'$$

$$\bar{T}_{i+1} - \bar{T}_i \geq h_{fi} + t_a(\gamma, \gamma) \triangleq t_{4b} \quad (7b)'$$

$$\bar{T}_{i+1} - \bar{T}_i \geq \bar{a}_i + \gamma(1/\bar{V}_i - 1/\bar{V}_{i+1}) - t_b \triangleq t_5 \quad (8)'$$

ここに

$$t_b = q\sqrt{2\sigma_g^2 + \sigma_{a_i}^2 + \gamma^2\sigma_v^2 \left(\frac{1}{\bar{V}_i^4} + \frac{1}{\bar{V}_{i+1}^4} \right) - \frac{2\gamma\sigma_v^2}{\bar{a}_i^3\bar{V}_i^3} (\bar{a}_i^2\bar{V}_i + V_E\sigma_a^2)}$$

である。着陸機は以上6つの条件をすべて満足しなければならないので、結局着陸機のゲートにおける平均時間間隔の制約は次のような1つの制約となる。

$$\bar{T}_{i+1} - \bar{T}_i \geq S(l_i, l_{i+1}) \quad (13)$$

$$S(l_i, l_{i+1}) \triangleq \begin{cases} \max(t_{1a}, t_2, t_3, t_{4a}, t_5) & (\bar{V}_i \geq \bar{V}_{i+1}) \\ \max(t_{1b}, t_2, t_3, t_{4b}, t_5) & (\bar{V}_i < \bar{V}_{i+1}) \end{cases}$$

ここに、 l_i は i 番目の着陸機の機種である。

3.2 離陸機に対する制約 着陸が離陸に優先するため、離陸は着陸機の間をぬうようにして行なわれる。したがって、離陸機が着陸機に続いて滑走路に進入できるためには次の4つの条件を満たしている必要がある。vi) 先行の着陸機が滑走路を離脱し、vii) その着陸機による後流の影響が滑走路内で消えており(着陸機が滑走路進入端に着地してから r_a 時間後)、viii) 次の着陸機が滑走路進入端より距離 δ_d (この地点を z 地点と記す) 以内に進入しておらず、ix) その着陸機が滑走路進入端を通過するとき、離陸機の後流の影響が滑走路内ですでに消えていなければならない(離陸機が滑走路末端を通過したのち r_d 時間後)。また、離陸機が先行の離陸機に続いて滑走路に進入するためには、上記の条件 viii) と ix) のほかに次の2つの条件が必要である。すなわち、x) 先行の離陸機が滑走路末端を通過しており、xi) 後流の影響を避けるために、後続の離陸機が滑走路末端を通過するとき、先

行機が滑走路末端を通過してから h_{fa} 時間以上経過していなければならない。

上述の条件を定式化するために、 j 番目の離陸機の滑走路進入時刻と滑走路占有時間をそれぞれ T_j', d_j とし、それらの確率分布は $N(\bar{T}_j', \sigma_{T_j}')$, $N(\bar{d}_j, \sigma_d)$ であるとする。ここに、 $\bar{T}_j'$ は j 番目の離陸機に対して指令された滑走路進入時刻であり、 σ_{T_j}, σ_d は機種によらず一定とする。また、 i 番目の着陸機の z 地点通過時刻、滑走路進入端通過時刻および滑走路離脱時刻をそれぞれ zT_i, zT_{ie}, T_i とする。このとき、条件 vi) ~ ix) は次のように表わされる。

$$vi) \text{ Prob}[T_j' \geq zT_i] \geq p \quad (14)$$

$$vii) \text{ Prob}[T_j' \geq zT_i + r_{ai}] \geq p \quad (15)$$

$$viii) \text{ Prob}[T_j' \leq zT_{i+1}] \geq p \quad (16)$$

$$ix) \text{ Prob}[T_j' + d_j + r_{dj} \leq zT_{i+1}] \geq p \quad (17)$$

ここに、 $zT_i = T_i + t_i' + a_i$, $zT_{ie} = T_i + t_{ie}'$, $zT_{i+1} = T_{i+1} + t_{i+1}' - \delta_d$ である。したがって、着陸時と同様にして次のような確定制約式を得る。

$$\bar{T}_j' - \bar{T}_i \geq \gamma/\bar{V}_i + a_i - t_c \triangleq t_6 \quad (14)'$$

$$\bar{T}_j' - \bar{T}_i \geq r_{ai} - t_d(-\gamma, \bar{V}_i, 0) \triangleq t_7 \quad (15)'$$

$$\bar{V}_j' - \bar{T}_{i+1} \leq t_d(\gamma - \delta_d, \bar{V}_{i+1}, 0) \triangleq t_8 \quad (16)'$$

$$\bar{T}_j' - \bar{T}_{i+1} \leq -r_{dj} - \bar{d}_j + t_d(\gamma, \bar{V}_{i+1}, \sigma_d^2) \triangleq t_9 \quad (17)'$$

ここに、

$$t_c = q\sqrt{\sigma_g^2 + \sigma_{a_i}^2 + \sigma_{T_j}^2 + \frac{\gamma^2\sigma_v^2}{\bar{V}_i^4} - \frac{2\gamma\sigma_v^2}{\bar{a}_i^3\bar{V}_i^3} (\bar{a}_i^2\bar{V}_i + V_E\sigma_a^2)}$$

$$t(\xi, \eta, \zeta) = \zeta/\eta + q\sqrt{\sigma_g^2 + \sigma_{T_j}^2 + \xi^2\sigma_v^2/\eta^4 + \zeta}$$

である。また、 $j+1$ 番目の離陸機が j 番目の離陸機に続いて滑走路に進入できるためには viii), ix) の条件で T_j' を T_{j+1} とおきかえたものと次の条件

$$x) \text{ Prob}[T_{j+1}' \geq T_j' + d_j] \geq p \quad (18)$$

$$xi) \text{ Prob}[T_{j+1}' + d_{j+1} \geq T_j' + d_j + h_{fj}] \geq p \quad (19)$$

すなわち

$$\bar{T}_{j+1}' - \bar{T}_j' \geq \bar{d}_j - q\sqrt{2\sigma_{T_j}^2 + \sigma_d^2} \quad (18)'$$

$$\bar{T}_{j+1}' - \bar{T}_j' \geq h_{fj} + \bar{d}_j - \bar{d}_{j+1} - q\sqrt{2(\sigma_{T_j}^2 + \sigma_d^2)} \quad (19)'$$

の条件を満足すればよい。以上より、 i 番目の着陸機に続いて $j, j+1, \dots, j+n$ 番目の離陸機が離陸できるためには次の条件が満たされなければならない。

$$\left. \begin{aligned} \bar{T}_j' &\geq \bar{T}_i + A(l_i, l_j') \\ \bar{T}_{j+k}' - \bar{T}_{j+k-1}' &\geq B(l_{j+k}', l_{j+k-1}') \quad (k=1, 2, \dots, n) \\ \bar{T}_{j+n}' &\leq \bar{T}_{i+1} + C(l_{j+n}, l_{i+1}) \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

ここに、

$$\left. \begin{aligned} A(l_i, l_j') &= \max(t_6, t_7) \\ B(l_{j+k}', l_{j+k-1}') &= \bar{d}_{j+k-1} + \max[-q\sqrt{2\sigma_{T_j}^2 + \sigma_d^2}, \\ &\quad h_{fj(j+k-1)} - \bar{d}_{j+k} - q\sqrt{2(\sigma_{T_j}^2 + \sigma_d^2)}] \\ C(l_{j+n}, l_{i+1}) &= \min[t_8, t_9] \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

である。

4. 自動管制方式

i および $i+1$ 番目に着陸要求を行なった航空機の機種 l_i, l_{i+1} が判明すれば、その平均進入速度 $\bar{V}_i$,

$$\langle T_{i+1} \rangle = \max [\langle T_i \rangle + S(l_i, l_{i+1}), D_{ai+1}] \quad (22)$$
$$\max [\langle T_i \rangle + A(l_i, l_j'), D_{aj}] \leq \langle T_{i+1} \rangle + C(l_j', l_{i+1}) \quad (23)$$
$$\begin{aligned} & \max [\langle T_j' \rangle + B(l_j', l_{j+1}'), D_{d_{j+k}}] \\ & \leq \langle T_{i+1} \rangle + C(l_{j+1}', l_{i+1}) \end{aligned} \quad (25)$$

となる. (26)

5. 離着陸容量の決定

$$\overline{W}_a = \frac{\rho^2(1+C_s^2)}{2\lambda_a(1-\rho)} \quad (27)$$

5.3 シミュレーションによる離着陸容量の決定

着陸要求はポアソン分布に従うものとし，4節で与え

た管制方式に対してシミュレーションを実行する。そのフロー・チャートを第2図に示す。なお、離陸容量とは平均最大離陸率のことであるから、離陸要求は常に存在しているものとする。

6. 数値計算例

現在使用中または開発中の3種のSTOL機¹¹⁾

de Havilland Canada DHC-6 と DHC-7

Breguet 941 S

が同じ確率で離着陸する場合を考える。すなわち

$$P_1 = P_2 = P_3 = 1/3 \quad (31)$$

である。各機種の特性値は第1表のものを用いた^{12), 13)}。

理論計算とシミュレーションを実行する場合の各パラメータの基準値としては

$$\left. \begin{aligned} p &= 0.95, \bar{W}_a = 5 \text{ min.}, \gamma = 6 \text{ n. m.}, \delta = 2 \text{ n. m.} \\ \delta_d &= 1 \text{ n. m.}, h_g = 40 \text{ sec.}, h_i = 60 \text{ sec.}, \sigma_g = 10 \text{ sec.} \\ \sigma_V &= 1.5 \text{ Kt}, \sigma_i = 10 \text{ sec.}, \sigma_d = 2 \text{ sec.} \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

を用い、各パラメータをそれぞれ基準値から変動させてその影響を調べた。まず、着陸機の平均待ち時間に対する離着陸容量の変化を第3図に示した。第3図より、着陸機の平均待ち時間がある程度大きくなると、離着陸容量は定常状態に近づくことがわかる。これは必要な着陸間隔 $S(l_i, l_{i+1})$ 以下の間隔で着陸機が到着すれば、着陸できる機数は増加せずに待ち時間が増加するだけであることから明らかである。なお、シミュレーションにおいては、結果の定常性を確認した後、着陸機を1,000機発生させ、平均値を計算した。第4図は着陸機の待ち時間のヒストグラムの1例である。第2表は制約を満たす確率 p を変えた場合の離着陸容量の計算結果を示している。着陸機に関しては、シミュレーションによる結果と待ち行列理論による結果を併記したが、両者はよく一致している。第2表より、制約を満たす確率 p を低くすれば着陸容量は増加することがわかる。しかし、この確率が低すぎる場合、制約を犯す機数が増加することを意味し、復行等の処置によりかえって容量を減少させるものと思われる。

第1表 STOL 機の諸量

	DHC-6	DHC-7	B 941 S
V (kt)	75.5	82	60
$\bar{a}$ (ft/sec ²)	7	7	7
h_f (sec)	55	55	70
r_a (sec)	30	30	50
r_d (sec)	40	40	60
$\bar{d}$ (sec)	18	18	18

($V_E = 0$ kt, $\sigma_a = 0$ ft/sec² とする)

第3図 離着陸容量と着陸機平均待ち時間との関係

第2表 離着陸容量に対する確率レベルの影響

p	$\bar{W}_a = 3 \text{ min}$			$\bar{W}_a = 5 \text{ min}$		
	Arr. (Operations/hr)	Dep. (Operations/hr)	Total (Operations/hr)	Arr. (Operations/hr)	Dep. (Operations/hr)	Total (Operations/hr)
0.50	23.7 (23.6)	30.5	54.2	25.7 (25.6)	28.7	54.4
0.75	21.4 (20.8)	22.5	43.9	23.4 (23.2)	19.3	42.7
0.90	19.6 (19.0)	18.9	38.5	21.7 (21.4)	16.2	37.9
0.95	18.1 (18.0)	17.0	35.1	20.7 (20.6)	14.1	34.8
0.99	17.1 (16.5)	15.3	32.4	19.1 (18.8)	12.5	31.6

(・): 理論値

第4図 着陸機の待ち時間の分布

第5図 着陸容量と距離間隔との関係

第6図 着陸容量と進入経路長との関係

また、距離間隔 δ に対する着陸容量の変化を第5図に示す。第5図より、 δ を短かくすれば着陸容量は増加することがわかる。また、 δ が 1.20 n.m. ぐらい以下になると他の制約が効いてくることがわかる。第6図に進入経路長 γ に対する着陸容量の変化を示す。第6図より、進入経路長 γ を短かくするような着陸

第7図 着陸容量と時間間隔との関係

第8図 着陸容量とゲート到着時刻の標準偏差との関係

方式を採用すれば着陸容量が増すことがわかる。着陸する先行機と後続機とのゲートおよび滑走路進入端における時間間隔 h_g, h_t に対する着陸容量の変化を第7図に示す。ともに 90 秒以下では距離間隔 δ の制約が支配的で、 h_g, h_t を短かくしても着陸容量は増加しない。第8図に、着陸機のゲート到着時刻および着陸速度の標準偏差 σ_g, σ_v に対する着陸容量の変化を示す。 σ_g は小さくするほど着陸容量が増加するのに対して、 σ_v はあまり影響しないことがわかる。このこ

第9図 離陸容量と距離間隔との関係

第10図 離陸容量と滑走路進入端到着時刻の標準偏差との関係

とは管制指令どおりにゲートに着陸機を到着させることが着陸容量を増加させるのに効果的であることを示している。

離陸容量に関するパラメータとして、滑走路進入端の後続着陸機との距離間隔 δ_d 、滑走路進入時刻と滑走路占有時間の標準偏差 σ_t, σ_d が離陸容量に与える影響を第9, 10図に示す。その結果、 δ_d は1 n.m. 程度が適当であり、 σ_t は小さいほどよく、 σ_d はあまり影響しないことがわかる。このことは着陸機の場合と同様に、管制指令に忠実に離陸地点に到着することが必要であることを示している。

5. あとがき

単一滑走路をもつ STOL 専用空港に対する1つの自動管制方式を提案し、その方式に従って離着陸する場合の容量をデジタル・シミュレーションおよび待ち行列理論によって決定する手法を与えた。離着陸容量に関係する種々のパラメータの影響を数値例について検討し、次の結論を得た。

- (1) 着陸容量は待ち行列理論によって計算でき、その結果はシミュレーション結果とよく一致する。
- (2) 着陸容量に大きな影響を与えるのは、進入経路長 (r)、着陸機間の距離間隔 (δ) および着陸機のゲート到着時刻のばらつき (σ_d) であり、それらを小さくすることができれば着陸容量は増加する。
- (3) 離陸容量を増加させるためには、離陸機の滑走路進入時刻の変動 (σ_t) を小さくする必要がある。

なお、1つの空港を CTOL 機と STOL 機が共用する場合に対しても同様の検討を行なっているが、その結果については紙面の都合上別の機会に報告する。

本論文に対して有益な御指摘をいただいた査読委員に感謝する。

参考文献

- 1) 村山大二郎: STOL と航法, 日本航空宇宙学会誌 21巻 231号 (1973/4), 200-208 頁。
- 2) RANSON, R.K.: STOL port nur als guter Nachbar, airport forum, Heft. 2, pp. 30-43 (1972).
- 3) ROBELTS, L.: The Promise of Aeronautics, Astronautics & Aeronautics, Vol. 9, pp. 24-31 (1971/3).
- 4) BLUMSTEIN, A.: An Analytical Investigation of Airport Capacity, Report No. TA-1358-8-1, Cornell Aeronautical Laboratory, (1960/6).
- 5) HARRIS, R.M.: Models for Runway Landing and Mixed Operations Capacities, Mitre Corporation, Washington D.C. T.R. No. 4102, (1969/10).
- 6) CHACKIN, J.M. & FOWLER, H.: A Simulation of an Aircraft Runway System, Graduate Report, ITTE, U.C. Berkeley (1969/6).
- 7) HORONJEFF, R.: Models for Runway Landing and Mixed Operations Capacities, U.C. Berkeley Course Note No. 48 (1972).
- 8) ATTWOOD, V.W. & HAYFIELD, C.P.: The Capacity of a Single-Runway STOL/RTOL Airport, The Journal of Navigation, Vol. 26, No. 1, pp. 61-74, (1973).
- 9) 室津義定, 他: 不確定性を含む非線形計画問題の研究, 計測自動制御学会論文集, 第8巻3号 (1972/6) 341-347.
- 10) 西田俊夫: 待ち行列の理論と応用, 朝倉書店 (1971).
- 11) TAYLOR, J.W.R.: Jane's All the World's Aircraft 1972-73, Netherwood Dalton & Co. Ltd. Huddersfield.
- 12) HISCOCKS, R.D.: STOL Aircraft-A Perspective, The Aero. J. Royal Aero Soc. Vol 72 (1973/1).
- 13) OLSEN, J.H., et al.: Aircraft Turbulence and its Defection, Plenum Press (1971).
- 14) E.B. HAUGEN 著, 室津他訳: 信頼性を考える材料力学設計, 学献社 (1972).