

3. 実時間シミュレーションにおける航空管制通信量の一解析

航空交通管理領域 ※蔭山 康太、山本 哲士、岡 恵、青山 久枝

1. はじめに

航空管制通信（以下、管制通信）は、航空管制官（以下、管制官）とパイロット間で管制指示の発出・復唱や情報の提供などを目的として、現在は一部を除いて音声を通じて行われている。管制通信は、航空交通管制（以下、航空管制）の作業において本質的な役割を果たす。

今後の航空需要の増加に伴い、管制通信量の増加が予想される。管制通信は各席に割り当てられた原則的に1本の回線を管制席・各航空機で共有するため、通信量の増加により回線が使用中の状態にある割合が増大する。この結果、管制官による管制指示や航空機側からの要求を適切なタイミングで発出することが困難になり、航空管制業務の円滑な実施へ影響を与えることが予想される。

音声通信量の低減を目的として CPDLC（Controller Pilot Data Link Communication）など、空地間のデータ通信の管制通信への導入が検討されている。データ通信は管制指示に直接の影響を与えず、かつ迅速な応答を必要としない定型的内容の通信を対象として音声通信を代替することが想定される。

データ通信の導入により音声通信量の低減が期待できるが、導入に際しては現在の通信形式での音声通信量の把握や、導入による低減量の検討が必要である。

実時間シミュレーションでは、同一の交通流および条件に対する管制通信データを多数取得することが比較的容易である。そこで実時間シミュレーションによる管制通信データを解析し、データ通信の導入による音声通信の低減量を検討した。本稿では、その結果を示す。はじめに管制指示の発出用語を適正化した上で音声通信量を解析した。また、通信内容を項目に分類し、代替が可能と想定される項目が占める割合を検討することで、データ通信の導入による音声通信の低減量を検討した。

2. 通信データの取得

実時間シミュレーションにおいて管制官役は、実運用と同様に音声による通信を行い、自身の予測・

判断に基づき管制指示を発出する。

解析の対象としたシミュレーションでは、1つの航空路管制セクタを対象とした。同セクタは空港ターミナル空域に隣接し、同ターミナル空域に進入する到着機のみを管制の対象とする。複数の箇所から進入する到着機の流れを1本にまとめ、同時に各機の高度を規定値まで降下させることが主たる管制作業の内容となる。また、ターミナル空域の境界線近傍で管制権を移管するが、移管時には予め定められた一定の間隔を先行機に対して確保する必要がある。

各試行時間は21分間であり、全ての試行で9機の航空機を扱う同一の交通流シナリオを使用した。管制機が存在しない状態から交通流シナリオは開始される。また、試行の終了時には全ての航空機に対する管制作業が完了することを想定した。

実時間シミュレーションの実施中に記録された音声データを再生し、管制官役とパイロット役の間で行われた各通信について通信の開始・終了時刻および通信内容の書き取りを行うことで8試行分の通信データを取得した。各試行を以下、1から8までの番号で表す。

データにおいては管制官役およびパイロット役が通信装置の通信ボタンを押してから離すまでを1件の通信として計数した。各件の通信の開始・終了時刻は、通信ボタンを押下した時刻・離れた時刻をそれぞれ1秒単位で記録することで取得した。また、管制官役・パイロット役から発出された内容をそのまま書き取ることで通信内容を取得した。

3. 通信データの解析

3.1 通信内容の検討

過去の解析結果からは、管制官役の個人差や単位時間の通信件数の影響により、同一の管制指示内容に対する使用語句の変動が認められた [1]。使用語句の違いは、正確な意思の伝達に支障となる場合が生じる。そこで、管制官役より発出された各件の通信における語句を調べて必要な場合には使用語句を定められた形式 [2] に適正化した後に、通信時間を適正化後の使用語句に合わせた値とした。適正化後の

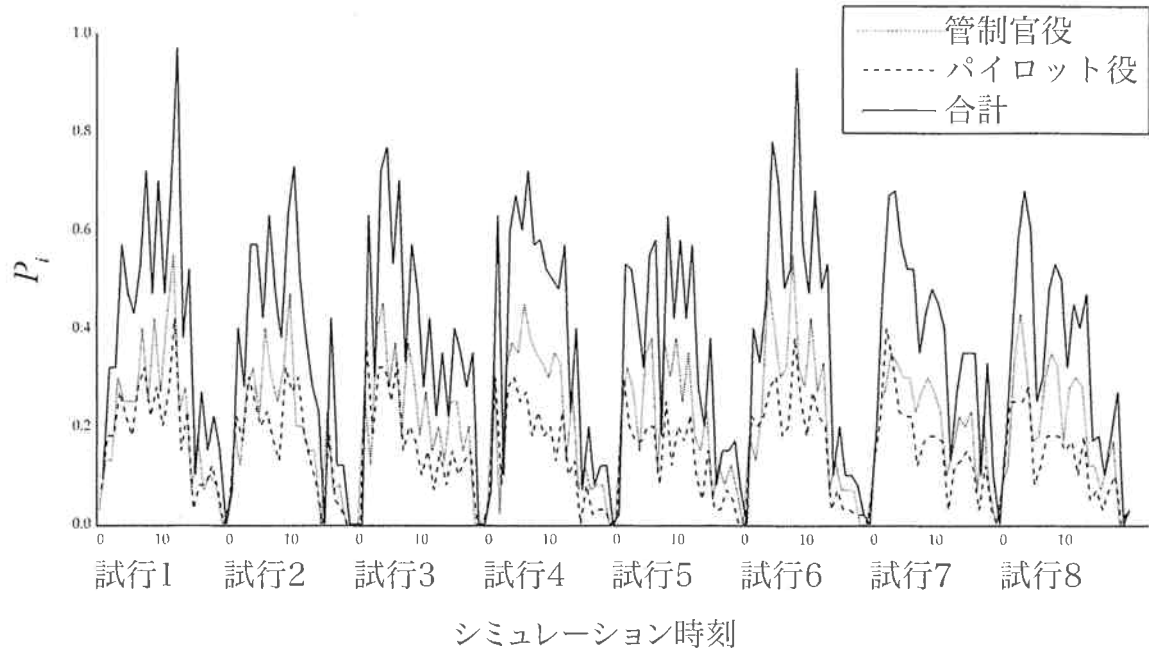


図 1 各試行の P_i の時間推移

通信時間は、他の指示で適切な語句が使用されていた場合の所要時間に基づき類推した。

なお、使用語句と同様に、レーダ誘導による航跡の組み立て方や暫定維持高度など管制指示発出の方針は通信件数に影響を与える。管制指示発出の方針は管制官役により異なる場合があるが、実時間シミュレーションでは複数の管制官役が参加したため、試行により通信件数や通信時間の合計値は異なることが予想される。

管制官役による通信語句に対する適正化項目の例は、以下ようになる。

- 規定値よりも低い高度への降下の承認には、“Area QNH 2992” という通報を付与。
- 経路変更の指示 “Cleared Direct to (地点名), Rest of Route Unchanged” は、“Cleared via Present Position Direct (地点名), …” に変更。
- 指示された高度に未到達の航空機に速度指示を発出する場合、指示の順番を明確化するために “Reduce Speed to (速度値), then Descend and Maintain (指示高度値)” と高度指示を改めて発出。
- 速度維持の指示 “Maintain Speed (速度値)” は “Maintain (速度値)” に変更。
- レーダ誘導以外の指示に “for Spacing” が付与されている場合は除去。

パイロット役による通信の使用語句に標準的な形式は存在しない。一方、パイロットにより発出される通信件数などは全体の件数の半数以上となる場合

も予想され、管制指示と同様に使用語句の標準化が望ましい。そこで、パイロット役による通信についても同様に適正（標準）化を行い、通信時間も適正化後の語句に合わせた値に変更した。

パイロット役による通信語句に対する適正化は、発出された管制指示内容などへの簡潔な回答を目的とした。適正化項目の例は以下ようになる。

- 同一の通信で管制指示の復唱などが続く場合には “Roger” などの返答は除去。
- 問い合わせに対する対気速度の通報が “Speed (速度)” という形式の場合、“Speed” を除去。
- 針路指示に対する復唱は “Left (Right) (針路)” という形式に変更。
- 経路変更の指示 “Cleared via Present Position Direct (地点名)” に対する復唱は “Direct (地点名)” に変更。

各試行より得られた総通信時間を表 1 に示す。表には管制官役、パイロット役より発出された適正化前後の通信時間の合計値を総通信件数とともに記している。

適正化では、必要と考えられる語句の追加や不要と考えられる語句の除去を行った。その結果、1つの試行を除いて総通信時間は増加した。一方、その差は1つの試行を除いて30秒未満であり、適正化による大きな違いは生じなかった。

表 1 各試行の総通信時間

試行	総件数	適正化前	適正化後
1	158	7'36"	8'33"
2	135	7'17"	7'23"
3	145	8'10"	7'53"
4	142	7'57"	7'58"
5	146	7'20"	7'25"
6	144	7'41"	8'05"
7	160	7'50"	8'02"
8	128	7'07"	7'26"
平均	144.8	7'37"	7'50"

3.2 通信量の検討

適正化後の通信データに基づいて通信量を解析した。はじめに、各試行をシミュレーション時刻 $i(i = 0, 1, 2, \dots, 20)$ 分を開始時刻とする1分間の単位時間 i に分割した。そして、適切なタイミングでの管制通信発出という観点から、単位時間 i における通信量の割合 P_i を以下のように計算した。

$$P_i = \sum_j^{N_i} t_{j,i} / \Delta T$$

ここで ΔT は単位時間長（1分間）、 N_i は単位時間 i に発出された通信件数、 $t_{j,i}$ は単位時間 i に発出された $j(j = 1, 2, 3, \dots, N_i)$ 番目の通信の所用時間を表す。

図1に、8つの試行より得られた P_i の推移を示す。図において横軸はシミュレーション時刻、縦軸は各試行における P_i (実線) を表す。なお、点線は管制官役、破線はパイロット役のそれぞれより発出された通信のみを対象とした場合の通信量の割合を示す。2.に記した通り開始時には管制機が存在しなかったため、各試行で P_0 の値は非常に小さい。同様に試行5および試行8以外の試行では終了時に全ての管制作業が完了したために $P_{20} = 0$ となる。

区間幅を0.02とした P_i の累積相対度数分布は図2のようになる。 P_i が0.5以上、0.67以上となる割合は、それぞれ31%、10%程度であり、単位時間長の半分以上が通信に使用されている頻度は3割程度となる。

3.3 通信内容の分類

通信量の内訳の検討のため、通信データの内容を以下のように分類した。1件の通信に複数の管制指

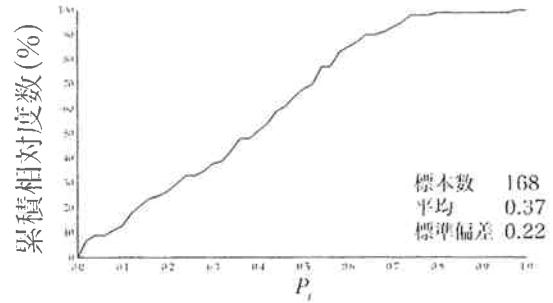


図 2 P_i の累積相対度数分布

表 2 定型的な項目の総通信時間への割合

試行	項目 f	項目 g	項目 d	計
1	0.16	0.03	0.02	0.21
2	0.15	0.07	0.05	0.26
3	0.15	0.03	0.01	0.18
4	0.16	0.05	0.03	0.24
5	0.20	0.05	0.01	0.27
6	0.18	0.04	0.04	0.25
7	0.18	0.05	0.04	0.27
8	0.20	0.05	0.00	0.26
平均	0.17	0.05	0.02	0.24

示などが含まれる場合は分割して計数した。

- a. レーダ誘導指示
- b. 経路変更指示
- c. 高度指示
- d. 速度確認（航空機への対気速度の問い合わせ）
- e. 速度調整指示
- f. 周波数移管（通信の確立およびターミナル空域への変更指示）
- g. 気象情報の提供（高度計規正值など）
- h. その他

各件の管制官役・パイロット役による通信内容に対応する項目に分類し、各項目の通信時間を集計した。なお、パイロット役による管制指示の復唱は、その指示内容が対応する項目に分類した。

項目 f, g は管制指示に直接の影響を与えず、かつ迅速な応答を必要としない定型的な指示内容と考える。また、空対地データ送信技術の導入により、音声通信の対象から項目 d も除外が可能になると考える。そこで、各試行について項目 f, g および d に分類される通信時間が、全ての項目を含む通信時間に占める割合を集計した。

表2に各項目の通信時間および、その合計値が全ての項目を含む通信時間に占める割合を試行毎に示す。全ての試行において、特に項目 f の周波数移管の

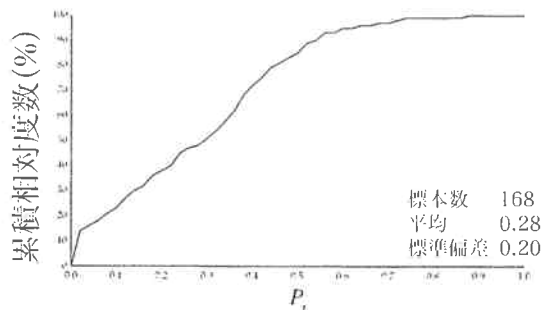


図3 P_i の累積相対度数分布（定型的な項目除去後）

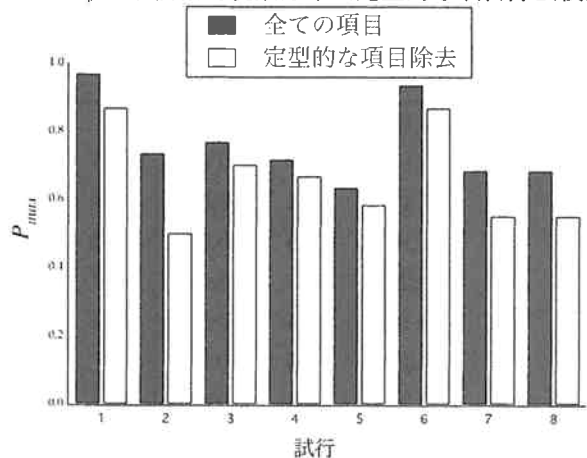


図4 各試行の P_{max}

通信時間の割合が大きい。3つの項目に分類される通信時間の合計値の全ての項目を含む通信時間に対する割合は全試行の平均で24%、最大で27%となる。

通信データから項目 f, g および d に分類される通信を除去した。区間幅を0.02とした除去後の P_i の累積相対度数分布は図3のようになる。 P_i が0.5以上、0.67以上となる割合は、それぞれ14%、4%程度であり、時間帯長の半分以上の時間が通信に使用される頻度は全ての項目を含む度数分布（図2）の半分以下となる。

試行毎に P_i の最大値 P_{max} を検討した。図4に各試行の P_{max} を全ての項目を含む場合と、項目 f, g および d を除いた場合で比較して示す。

解析の対象とした通信データでは、各試行において項目の除去により P_{max} が小さくなる。一方、定型的な項目が発出されるシミュレーション時刻は交通流シナリオに依存するため、項目の除去により P_{max} が必ず小さくなるとは限らない。

なお、管制通信の通信量などは管制の対象とする交通流の特性などにより異なる。他の空域におけるデータ通信の導入による音声通信量の低減の検討には、同様に通信データの解析が必要とされる。

4. おわりに

実時間シミュレーションの実施により取得された通信データに基づく、通信量の解析の一例を示した。

各件の通信中の使用語句を適正化し、適正化後の通信量に基づいて検討を行った。通信量の増加が管制指示発出や航空機からの要求の適切なタイミングを妨げるという観点から、単位時間中で通信に使用される時間の割合を検討した。

検討の結果、迅速な応答を要しない定型的な項目の試行の総通信時間に対する割合は全試行の平均で24%となることや、定型的な項目の除去により単位時間中の通信量の割合が0.5以上となる頻度が半分以下となることなどを示した。他の空域における低減量の検討には、同様な解析が必要である。

データ通信により代替する項目は、今後のさらなる検討が必要と考える。また、単位時間長として1分間という設定値を使用した。適切なタイミングによる通信発出の検討には、設定する単位時間長の最適値の検討が必要である。同時に通信発出時に通信回線が使用中である確率や、通信伝達のための待ち時間の期待値の検討も必要とされる。

また、解析の対象とした通信データでは、航空交通情報などの発出は行われていない。実運用における通信データの取得により、さらに厳密な通信量の解析 [3] が可能となる。

謝辞

シミュレーション実施に際してご協力を頂きました航空管制官各位に感謝します。

参考文献

- [1] Kageyama, Aoyama. An Analysis of Communications for Arrival in Real-time Air Traffic Control Simulation. In *13th International Symposium on Aviation Psychology*, 2005.
- [2] 国土交通省航空局（編）. 管制方式基準（加除式）. 鳳文書林出版販売, 1988-.
- [3] 東福寺. 管制通信方式の改善に関する研究 - その1 航空路管制における対空通信. 電子航法研究所報告第11号, 1975.