

ターミナルレーダー管制シミュレータの開発と管制指示方法に関する基礎的分析*

Development of a Terminal Rader Control Simulator and Fundamental Analysis of Air Traffic Control Procedures*

高田潤一郎**・屋井鉄雄***・平田輝満****

By Junichiro TAKADA**・Tetsuo YAI***・Terumitsu HIRATA****

1. はじめに

首都圏空港では慢性的な容量不足が問題となっている。現在、羽田空港再拡張等の事業が計画・進行中であるが、容量拡大後、需要の堅調な伸び等により再び容量不足となることも十分考えられる。さらに一部の地方空港でも需給が逼迫した状況となっており、ハード面による容量拡大と併せて、航空管制からみた、既存ストックの有効活用による容量拡大の検討を行なう必要がある。

しかし航空管制はこれまで一部の専門家や限られた機関でのみ議論されがちな分野であり、航空管制に関する情報は入手が困難で、データの制約が大きいという問題がある。しかし、計画や施策検討を行なう際、議論の透明性確保や、また関連研究の進展を促すためにも、データの公開促進とともに多くの視点から議論を行なうことが望ましいと考えられる。

以上の問題意識から本研究ではターミナルレーダー管制業務を模擬可能なシミュレータを開発し、実験時の取得データについて簡易な検証を行うことを目的とする。

2. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

Ignaccolo¹ は待ち行列理論を応用したシミュレーション分析により、単一滑走路における遅れと容量の関係进行分析している。平松² ら、平田³ は航空機材毎の特長を再現可能なシミュレータの開発を行い、戦略的なATMによる空港容量増加の可能性を定量的に分析している。しかしこれらは最終進入以降を対象としており、提案している運用方式の実行可能性について更なる検討が必要である。

Lucio⁴ はターミナルエリアにおける航空交通流を

*キーワード：航空管制、管制指示、シミュレータ

**正員、修(工)、株式会社オリエンタルコンサルタンツ
(東京都渋谷区南平台16-28 グラスシティ渋谷、
TEL03-6311-7551(代)、FAX03-6311-8011)

***正員、工博、東京工業大学大学院総合理工学研究科
人間環境システム専攻

****正員、博(工)、財団法人運輸政策研究機構 運輸政策
研究所

対象としているが、速度調整や変針による安全間隔の設定(以下レーダベクター)が考慮されておらず、実際の管制状況との乖離が見られる。山本ら⁵ は航空管制システムを再現した電子航法研究所の実時間シミュレータを用いて、航空路等が安全性・効率性に及ぼす影響を分析している。上記のような研究は非常に少なく、実際の管制データを用いた研究を行なっていく必要がある。

以上より本研究の対象範囲と位置づけを図1に示す。独自のツールを用いて研究用のオリジナルのデータを取得し、さらに関係者とコミュニケーションを図ることで実際の状況の理解を深め、より現実に即した有益な提言が可能となると考えられる。

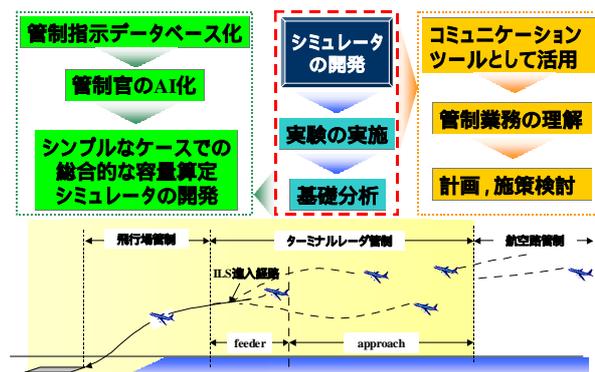


図1 本研究の対象範囲と位置づけ

3. ターミナルレーダー管制業務

ターミナルレーダー管制業務とは、航空路管制よりハンドオフされ進入管制区へ入域した計器飛行方式による航空機に対して、レーダーを用いて各航空機の位置情報、飛行方位、高度、速度を識別し、到着航空機の着陸順序付け、高度処理と併せて、安全に着陸するための速度調整、飛行方位指示によるレーダベクターを行ない、さらにタワー管制にハンドオフするために到着航空機を誘導し同一高度で一列に配列する一連の業務を指す。

混雑空港では主に到着順序付けを行なうアプローチ管制と、安全間隔を調整し到着機を一列に配列しタワー管制にハンドオフするフィーダー管制に分離されておりピーク時には3~4名の管制官が業務にあたっている。

4. ターミナルレーダー管制シミュレータの開発

4.1 シミュレータ開発の目的と意義

研究を進めていく上で必要な管制指示データ，指示時の各航空機の位置情報の取得を目的として，独自のターミナルレーダ管制シミュレータを開発する．

さらにシミュレータを自ら開発する意義・利点として以下の点を挙げる事ができる．

- 独自のツールを用いて管制官とコミュニケーションを図り実際の管制状況を理解することが可能．
- 新たな視点で提案していくことで，幅広い議論が促進される．
- 非常に低コストかつ柔軟な設定変更が可能
- 取得データを用いて研究を行うことで，航空管制に関する研究が活性化する．

4.2 基本コンセプトとアルゴリズムフロー

3で述べたターミナルレーダ管制業務に関して必要最低限の部分を模擬可能なシステムとすることを基本コンセプトとし，モニター上の2次元に高度を数値として考慮した3次元シミュレータとする．図2にシミュレータのアルゴリズムフローを示す．

各航空機の性能設定は航空保安大学校で使用している訓練シミュレータの機材別性能データを参考とし，さらに実際の航空機挙動に関して管制経験者の方にヒアリングを行なった上で表1に示す各性能を設定した．

到着航空機1機1機に対して管制官役（外部）から指示を出し（入力），各航空機は指示に従って表1に示す性能にて飛行し滑走路に着陸する．ILS進入経路会合以降は自動航行する設定であるが，航空機の移動は基本的にシミュレータ上のヒューマンインターフェースを用いて手動で行なうものとする．

尚，本研究で開発したシミュレータは管制官役一人への実験を前提としているため，前述のようなアプローチ，フィーダー管制の区別はないものとする．

4.3 システム実行画面と出力データ

図3にシミュレータ実行画面を示す．各FIX，滑走路位置等は羽田空港を参考に設定し，半径約50NMを対象範囲とする．図3中の(1)はILS進入経路の延長線，(2)は航空機と飛行状況を示すデータブロック，(3)は管制指示ダイアログ．(4)は各航空機の飛行状況と，どのような管制指示下で飛行しているかを表示している．各航空機には固有のIDを持たせおり，管制指示は当該航空機のみ有効となる．

シミュレーション実行中は10秒に1回，各航空機位置情報，飛行方位，高度，速度データを記録している．また管制指示時には各指示内容と共に上記と同様の情報を

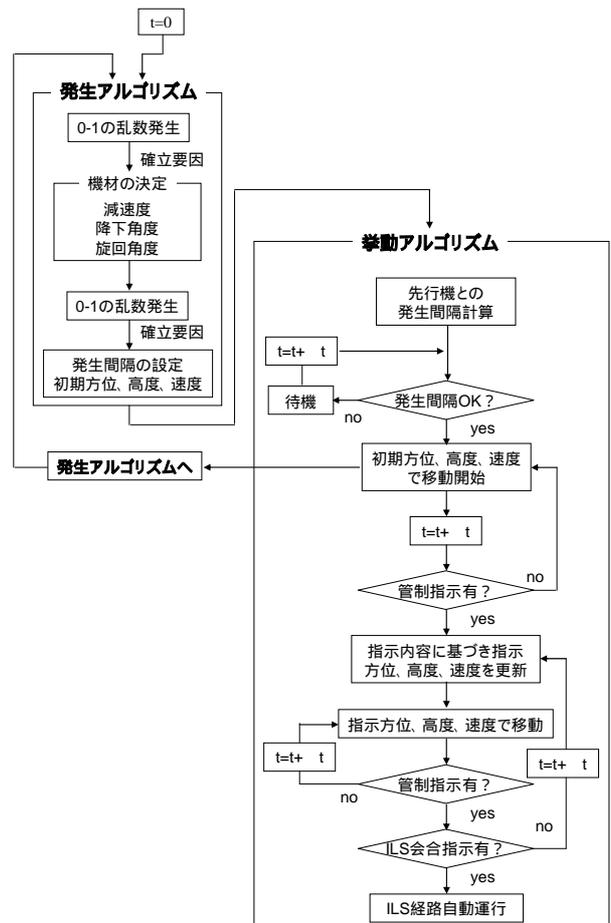


図2 アルゴリズムフロー

表1 機材別性能データ，機材別最終進入速度

機材	旋回角度	降下角度	減速度
B747	1.25(deg/sec)	300(ft/mile)	1(kt/sec)
B767	1.25(deg/sec)	320(ft/mile)	1(kt/sec)
B737	1.25(deg/sec)	300(ft/mile)	1(kt/sec)

機材	9.1NM	5NM	3NM	0NM
B747	180kt	160kt	146kt	146kt
B767	180kt	160kt	134kt	134kt
B737	180kt	160kt	127kt	127kt

(NM=1852m, kt=NM/hour)

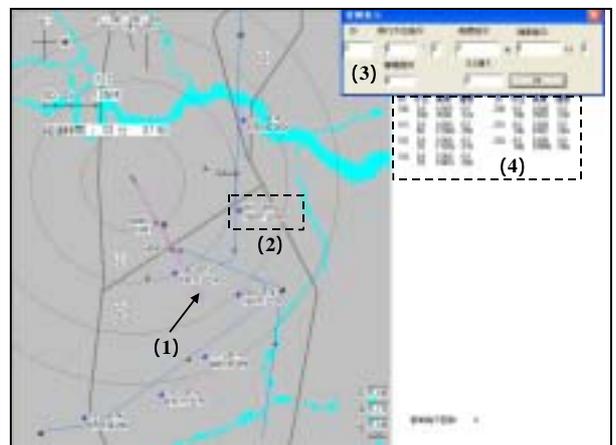


図3 シミュレーション実行画面

記録する．一例として図 4に取得データより作成した管制指示と指示内容に対応した航空機挙動推移を示す．

5 . シミュレータを活用したターミナルレーダー管制模擬実験と取得データに関する基礎的実験

5 . 1 実験概要

管制指示データと指示時の航空機位置情報の同時取得を行なうことを目的として実験を行なった．

また下記に示す実験条件にて5名の管制経験者の方々に実験に協力していただきデータを取得した．

- 管制官の音声による指示をパイロット役がインターフェースにて入力する．
- 最大管制機数が7機程度になるよう作成した航空機発生シナリオを用いて行なう．
- 最終進入時の先行機とのセパレーションは通常よりの長めの10NMを目標として管制する．
- 最終進入開始点で速度180kt, 高度3000ftまで処理することを前提に誘導する．

5 . 2 取得データとシステムの検証

図 4に取得データの一部を示したが, データの不具合等は検出されておらず構築したシステムの意図した通りのデータを取得することができた．

システムの検証を行なうためには実データが必要不可欠であるが, 航空管制はこれまで述べてきたようにデータの制約が大きく, また仮に実データを取得できたとしても天候や実施する管制官によって状況が異なるため一概に検証といっても簡単には行なえずないであろう．

図 5には管制指示内容別の割合を示している．括弧内の数値は30分間での発生航空機数を示している．方位指示の割合が多く, 重要なファクターである傾向があることがわかり, これは事前のヒアリングや調査と一致するものである．これよりシミュレータの設定, 動作上の問題で, 実際と比べて, ある管制指示が極端に多く出されるといったことはないことが窺える．

図 6は国土交通省航空局ホームページ⁶上で公開されている羽田空港離着陸機の飛行ルートと本シミュレータによる実験での取得データとの比較である．先にも述べたが本シミュレータは羽田空港を参考に設定しているため, 羽田空港の航跡図との比較も行ない易い．これら2つの図に関しては, 到着航空機数, 風向風速等が異なるため一概に比較から再現性の検証を行なうことはできない．しかし, 滑走路から10NM以遠付近でILS進入経路に会合している点等実際の状況と近似した結果を得ることができており, 今後さらに改修すべき点はあるが, 管制指示に対する航空機のレスポンスとしてはある程度の再現性, 妥当性を有していると考えられることができる．

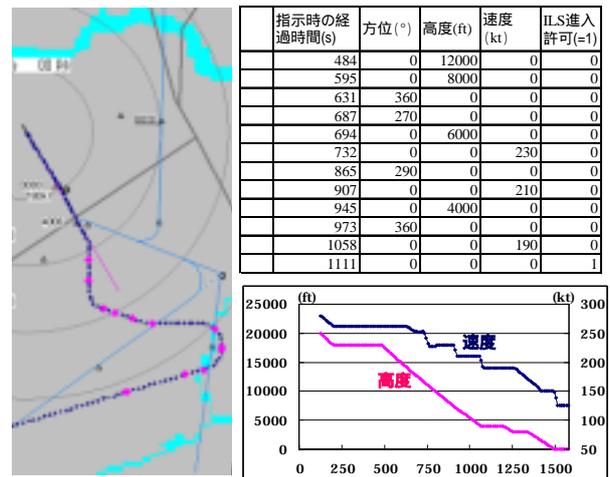


図 4 取得データと航空機挙動の一例

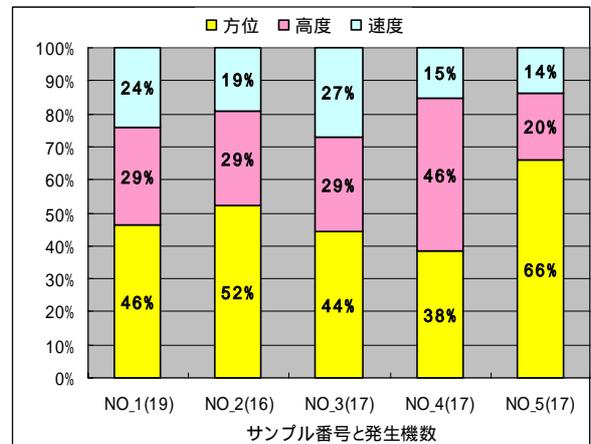


図 5 管制指示内容別割合

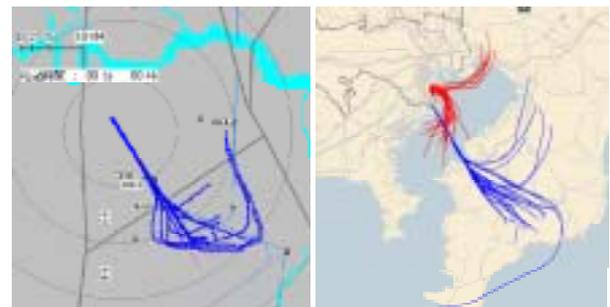


図 6 国土交通省公開データと取得データ比較

5 . 2 到着航空機の順序付け, 間隔付け

図 7は被験者C, 図 8は被験者Eの各航空機についての経過時間と最終進入開始点からの距離を示した時空間図である．これらの図より, 進入してきた航空機に対して管制指示を行ない, 設定した間隔にて到着させることが管制業務であるということを見て取れる．

到着航空機の順序付けに関しては図 8よりEは基準点までの距離が近い航空機から順に到着させている様子が窺える．一方, 図 7よりCに関しては発生した順序で到

着順序が決定しているということがわかる。しかし基準点までの距離が大幅に逆転している航空機のペアがあるにも関わらず、発生順で到着させるために、再び距離を調整して到着させている様子がわかる。図 9には図 7の被験者Cの時空間図において基準点までの距離が逆転している300秒から1000秒までの、機の航跡図、基準点までの距離と高度をそれぞれ示している。図 9より被験者Cは距離、高度ともに機を先に到着させたほうが効率的であるとも考えられるが、発生順で設定した順序で到着させようと機を東側にレーダベクターし順序を入れ替えていることがわかる。逆に考えると、機材サイズの連続性などを考慮して意図的に順序の入れ替えを行なう行為とも捉えることができる。管制指示に関するほんの一例にすぎないが、到着航空機間には機材ごとに定められている後方乱気流間隔を満たす必要があり、上記のような意図的な順序の入れ替えを行なうことが可能であれば、機材の連続性を考慮した、着陸間隔の短縮を期待することができると思われる。

到着順序の決定には基準点までの距離の他にも周辺航空機との位置関係や飛行状況が影響していると考えられ、今後、本格的な実験を実施し詳細まで分析していく必要がある。しかし、このような議論を行なう上で大変有益なデータを取得することができたということは大きな成果であると考えられる。

6. 結論と今後の課題

本研究ではターミナルレーダー管制シミュレータを開発し、これまで困難であった管制指示内容と指示時の航空機位置情報を同時に取得することを可能とした。さらに簡易な管制実験を行い管制指示方法に関する基礎的分析を行なった。

今後の課題として、目的に応じた実験条件・実験方法の検討、システムの更新、より多くの管制指示データを取得し、管制指示方法や思考方法について詳細な分析を行うこと等が挙げられる。

謝辞

本研究を進めるにあたりご協力頂いた管制経験者等の方々、また国土交通省航空保安大学校の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Matteo Ignaccolo, A Simulation Model for Airport Capacity and Delay Analysis, Transportation Planning and Technology, Vol. 26, No. 2, pp. 135-170, 2003
- 2) 平松健志, 平田輝満, 屋井鉄雄: 空港容量算定シミュレシヨ

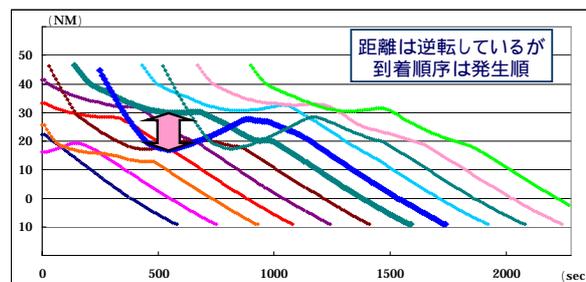


図 7 C の到着航空機時空間図

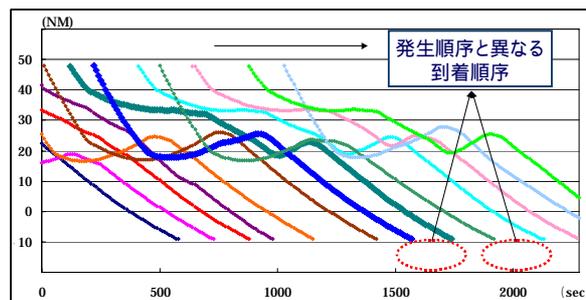


図 8 E の到着航空機時空間図

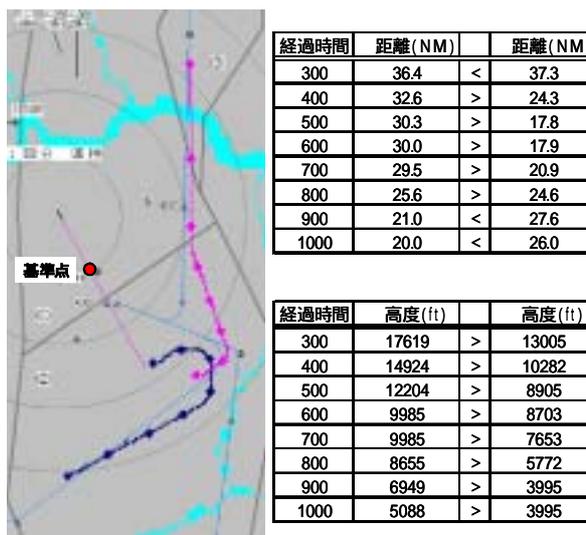


図 9 C の、機航跡図と基準点までの距離、高度比較

ンの開発と容量拡大効果に関する研究, 運輸政策研究, Vol.9, No.2, pp.25-37, 2006

- 3) 屋井鉄雄, 平田輝満: 空港管制とエアラインの行動からみた空港容量拡大方法に関する研究(第80回運輸政策コロキウム), 運輸政策研究, Vol.9, No.2, 2006
- 4) Lucio Bianco, Paolo Dell'olmo and Stefano Giordani, Coordination of traffic flows in the TMA, New Concepts and Methods in Air Traffic Management, pp95-124, 2001
- 5) 山本哲士, 岡恵: 同一滑走路の到着交通流における着陸回数, 電子航法研究所研究発表会, 2006
- 6) 国土交通省航空局HP <https://www.franomo.mlit.go.jp>