航空機の燃料消費の観点からの管制処理戦術評価ツール

○中村 陽一、青山 久枝（電子航法研究所）

狩川 大輔（東北大学大学院工学研究科）

Evaluation Tool of Air Traffic Control Strategies from Viewpoint of Aircraft Fuel-burn

Yoichi NAKAMURA, Hisae AOYAMA (Electronic Navigation Research Institute)

Daisuke KARIKAWA (Graduate School of Engineering, Tohoku University)

1. はじめに

増加する航空交通需要に対し、航空運航の中心を担う管制官の教育・訓練の高度化が必要不可欠である。航空管制業務は、航空機間に規程の間隔を設けて安全性を確保するとともに、秩序ある交通流を形成することを目的に行われる。常に変動する多様な気象状況や航空交通状況に適切に対処することが求められるため、安全のために確保すべき管制間隔をはじめとした達成目標が規定される一方で、その実現のための処理プロセスの定式化が現実的に不可能であり、状況に応じて各々の管制官の判断により業務を遂行する。従来の管制官養成訓練においても、シミュレータ等を用いた反復訓練によって技能の伝承が行われているが、更なる教育・訓練の標準化や高度化のためには、多角的な観点による客観的な評価が必要不可欠である。

本研究グループでは、管制官に内包される実践知の明確化を支援するために、管制タスクの処理プロセスおよびパフォーマンスを可視化する COMPASi (Cognitive system Model for simulating Projection-based behavior of Air traffic controller in dynamic Situations in interactive mode)を開発している¹⁾。これまでに、COMPASiが各航空機に対して必要な管制タスク、途中経過、および結果を適切に可視化可能であること、可視化結果が異なる管制処理プロセスの安全性とタスク処理パフォーマンスの差違に関するインストラクタの説明に整合するものであることを確認している。これらは、管制官の立場から見た管制処理パフォーマンスの評価であるが、一方で航空交通システムにおいては、より効率的かつ環境へ配慮した運航の実現が求められており、管制指示を受けて飛行する航空機側の立場から見たパフォーマンスの評価も行われている²⁾。客観的な評価結果を提供することにより、管制官のみならず、航空会社をはじめとしたステークホルダ全体が共通の認識を持ち、全体として課題の解決に取り組むことが重要である。

そこで、本稿においては、COMPASiに航空機のパフォーマンス評価指標の一つである燃料消費量の計算機能を実装し、管制処理プロセスの違いが航空機の燃料消費量に与える影響を分析した。

2. COMPASiの概要¹⁾

COMPASiは本研究グループが開発を行っている管制処理プロセス可視化インタフェースである。航空交通流のシナリオの初期状態と管制指示のログを入力することにより、発出された管制指示のログに従い航空機が飛行する様子が再現され、速度や高度を含む航空機の動態情報の時刻歴についても計算される。航空交通状況を自動的に分析し、各航空機に対して必要な管制処理および時間的制約をレベルとして定めたタスクレベルを可視化することにより、各処理プロセスの効率性を相対的に評価する機能を有するが、本稿では新たな評価指標の一つとして、航空機の動態情報に基づく燃料消費量の計算機能を実装した。

3. 燃料消費量計算の概要

燃料消費量の計算においては、ユーロコントロールにより開発・維持されている BADA (Base of Aircraft Data)を利用した³⁾。ジェットエンジン搭載の航空機の燃料流量は以下の式により与えられる。

$$f_{nom} = \eta \times Thr \quad (1)$$

$$f_{min} = C_{f3} \left(1 - \frac{H_p}{C_{f4}} \right) \quad (2)$$

$$f_{cr} = \eta \times Thr \times C_{fcr} \quad (3)$$

ここで、 Thr は推力、 H_p は気圧高度であり、係数 C_{f3} 、 C_{f4} 、 C_{fcr} は BADA において型式毎に定義される。一般に燃料流量は f_{nom} で示され、推力に係数 η を乗じることにより計算される。

降下時におけるアイドリング状態の燃料流量は f_{min} として高度の関数により与えられ、巡航時の燃料流量は f_{nom} に係数 C_{fr} を乗じることに
より与えられる。ここで、式(1)、(3)に示す係数 η は下記の式で表される。

$$\eta = C_{f1} \times \left(1 + \frac{V_{TAS}}{C_{f2}} \right) \quad (4)$$

V_{TAS} は真対気速度 (TAS) であり、係数 C_{f1} 、 C_{f2} は BADA において定義される。航空機の推力は、航空機に働く抗力 D 、航空機の力学的エネルギーと航空機に対する仕事率の関係を表す Total Energy Model³⁾ を利用し、COMPASⁱ により計算された TAS、高度、およびその変化率を用いて以下の方程式により計算した。

$$(Thr - D)V_{as} = mg \frac{dh}{dt} + mV_{as} \frac{dV_{as}}{dt} \quad (5)$$

4. 解析結果

一例として、図1に示すように、多数の航空機が規程の間隔を保持しつつ同一の共通ポイント (CP) を通過するトラフィックシナリオ¹⁾において、2つの管制処理プロセス (Proc.1、Proc.2) を比較した。図2に示す3機 (ENR012、ENR010、ENR008) は、CPからほぼ同距離の位置を飛行しているが、管制官が各々の判断に基づきCP通過の順序付けを行うため、Proc.1およびProc.2ではその順序付けが異なっている。初期位置において最も対地速度 (GS) が速いENR010に注目すると、同機を3機の先頭にしたProc.1の場合と比べ、3番目にしたProc.2では飛行距離の増加に伴い燃料消費量が2割以上増加した。表1に全航空機の共通ポイント通過順序を、図3にProc.1を基準としたProc.2における各機の燃料消費量増加割合を示す。表中破線で示す前述の例のように、Proc.2においてより後方へ順序付けられた航空機の燃料消費量は大きく増加する一方で、順序が繰り上げられた航空機の減少量はわずかである。

本解析における2つの管制処理プロセスは共に安全性上問題のない処理であるが、燃料消費の観点から評価するとその差は大きいことが示された。今後は管制処理と消費燃料に関する考察をはじめとして、管制処理プロセス可視化インタフェースの更なる有効性向上のため、適切な可視化手法や指標値に関する更なる検討が必要不可欠

である。

図1 トラフィックシナリオ例

図2 プロセス間の航空機の航跡の差違

表1 各プロセスの到着順序

	ENR002	ENR006	ENR004	ENR010	ENR008	ENR012	ENR016	ENR040	ENR018	ENR014	ENR022	ENR024	ENR020	ENR028	ENR026	ENR030	ENR036	ENR032	ENR034	ENR038
Proc. 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Proc. 2	1	2	3	6	4	5	10	8	9	7	13	11	12	14	15	16	17	19	20	18

図3 Proc.1に対するProc.2における燃料消費量の変化割合

参考文献

- 1) 狩川 大輔他：“航空管制分野におけるレジリエンス指向型ヒューマンファクター研究-管制タスクの協調的処理プロセスの可視化ツール-”，日本人間工学会誌 第50回特別号，Vol. 50, Supplement, pp. 204-205, 2014.
- 2) Civil Air Navigation Services Organisation: Recommended Key Performance Indicators for Measuring ANSP Operational Performance, <https://www.canso.org/sites/default/files/RecommendedKPIforMeasuringANSOOperationalPerformance.pdf>, 2015.
- 3) Project BADA : “User Manual for the Base of Aircraft Data (BADA) Revision 3.10,” Eurocontrol Experimental Centre, 2012.