

管制支援機能が管制業務作業量に及ぼす影響

航空交通管理領域 ※平林 博子, 井無田 貴, 瀬之口 敦
ビクラマシンハ ナヴィンダ キトマル, 虎谷 大地, 村田 晓紀

1 はじめに

安全かつ効率的な航空交通流形成のために、航空管制業務が遂行可能である交通量を適切に管理していく容量管理が重要である。現在日本で実施している航空路管制セクターを対象とした容量管理はセクター単位で実施される。その方法は、予測交通流のセクター滞在時間を基に管制業務作業量を推定し、一定時間内の管制業務作業量が容量値を超過した時に、出発時刻制御（EDCT：Expect Departure Clearance Time）、入域機の間隔の調整等の交通流制御を実施する。

管制業務作業量は、取り扱う交通量だけでなく使用するシステムの機能、操作性、空域、経路構成等にも影響を受けるため、それらが変更されるときに基準となる容量値を見直す必要がある。現在の航空路管制処理システムは TEPS（Trajectory En-route Traffic Data Processing System）（図1）と呼ばれ、管制業務に関する支援機能および自動化が強化されたシステムである。管制業務に関するシステムは安全に直結することから、システム障害時には一部の機能を制限することで業務続行を可能とするフォールバック運用が考慮されている。夜間のシステムメンテナンス時にもフォールバック運用が使用されることがある。

電子航法研究所では、航空路管制における管制官支援機能がもたらす管制業務作業量について計測するために、二つの支援機能（AIDC: Air Traffic Service Interfacility Data Communications および CPDLC: Controller Pilot Data Link Communications）を模擬するツールを開発し、開発ツールを使用した航空路管制リアルタイムシミュレーション実験を実施した。AIDCは外国機関間との交通情報交換機能であり、CPDLCは管制官とパイロット間の通信に航空管制用データリンクを使用する機能である。本稿は、電子航法研究所で実施した前述のシミュレーション実験結果について報告し、この

結果に基づく支援機能と管制業務作業量の関係性について考察するものである。

まず、第2章で航空路管制業務体制の概要および本稿の対象である AIDC および CPDLC それぞれの機能について、第3章で実験用に開発したツールおよび実験体制について説明する。次に、第4章で AIDC に関する実験について、第5章で CPDLC に関する実験について、それぞれ結果と考察を述べる。第6章でまとめを述べる。

2 航空路管制業務体制について

航空路管制業務は主に航路を巡航中の航空機に対する管制業務である。日本上空はほぼレーダー覆域内であることからレーダーを用いた管制業務を実施している。レーダー管制を実施する航空路管制セクターは令和6年3月時点で約40に区分されており[1]、ひとつのセクターに通常二人の管制官（R席およびC席）が着席する。R席はレーダーによる航空機の現在位置、状態等をシチュエーション領域で監視しながら、航空機の高度、針路、速度等をパイロットとの通信を通じて指示する役割を担い、C席は管轄

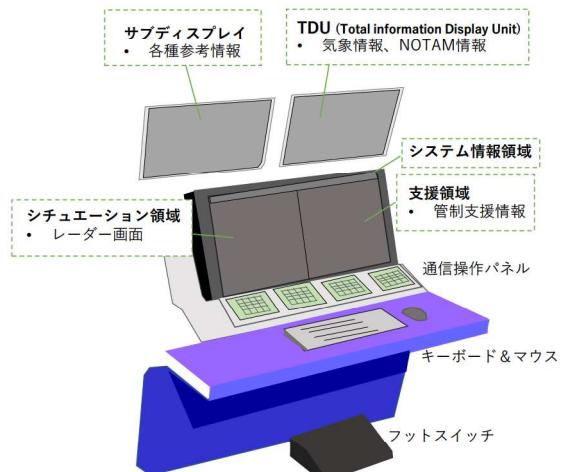


図1 TEPSイメージ図

中のまたは管轄予定の交通流を周囲のセクター担当者と調整する役割を担う。R席 C席それぞれに一組の TEPS が配置される。

2.1 AIDC 機能

管制業務では、管轄空域へ入域が予定される交通流を事前に把握し戦略を立てることが重要であり、入域予定交通流の事前の把握のために、逐一更新される交通情報をセクター間で共有することが必要となる。各飛行の交通情報は、出発前においては、事前に運航者から提出される飛行計画を基に飛行計画経路の各ポイントにおける予定通過時刻、高度等が地上システムにより予測される。出発後ではレーダー捕捉により逐一位置情報が更新されていく。これらの更新情報は、国内セクター間であれば共通の管制システムを介して情報交換される。しかし、他国との間では使用システムが異なることもあり、各国との取り決めにより交通情報交換が実施される。

現在福岡 Flight Information Region (FIR) は図 2 に示すように複数の FIR と接しており、そのうち 6 の FIR との間で交通情報交換を実施している。TEPS を使用した航空路管制業務に関わる外国機関との交通情報交換の自動化機能を AIDC と呼ぶ。AIDC が機能していれば FIR 境界線上の交通情報交換は自動的に実施されるため、国内セクターと同様の取り扱いが可能となる。しかし、AIDC はフォールバック運用時に制限されることから、フォールバック運用時には管制官が手動（マニュアル）で交通情報交換

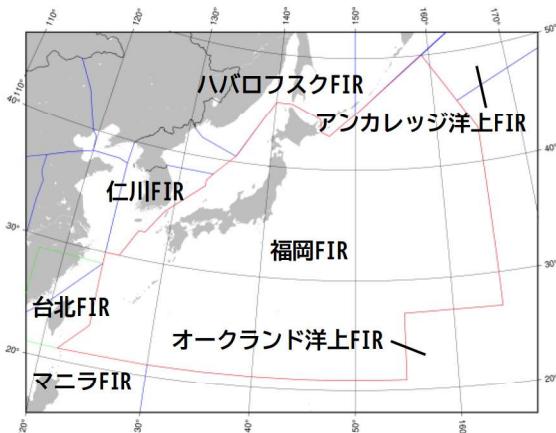


図 2 福岡 FIR と交通情報交換を実施している周辺 FIR

を実施しなければならない（以下、手動による交通情報交換業務を「トランスマスター業務」と呼ぶ）。トランスマスター業務は、主に C 席管制官の業務となる。C 席管制官は電話回線等を使用し隣接 FIR の担当管制官と口頭で交通情報を交換し、得られた情報を TEPS へ入力することで、国内での交通情報交換同様に利用できる。

2.2 CPDLC 機能

CPDLC は管制官とパイロット間の双方向のデータリンクシステムであり、管制官は音声通信に代わりテキストメッセージをパイロットに送信することが可能である。日本では、衛星通信を使用した CPDLC が太平洋上空域を対象に 1998 年から導入されており、近年の太平洋空域での CPDLC 対応機材の装備率は 9 割以上である。レーダー管制を実施する国内空域での CPDLC（国内 CPDLC）は、特定の指示等に限り 2022 年 3 月から一部の空域（FL335 以上）への導入が開始され、2023 年 5 月からは全セクターを対象に段階的に進められている。現在日本に導入されている国内 CPDLC では、管制官からパイロットへの指示は次の 3 つに限定されている。

- (1) 通信移管指示
- (2) Discrete Beacon Code (DBC) 指定
- (3) マイクロホンチェック

これらの指示は、航空機軌道に変化を与えることはなく、また自動化が可能であることから、CPDLC 導入効果が得やすい指示と言える。今後は、高度変更、経路変更、速度変更、地点通過時刻指定、到着方式の指定等、航空機の軌道変更を伴う指示への CPDLC の適用拡大が予定されている[2]。

3 評価実験用ツールを使用したリアルタイムシミュレーション実験

電子航法研究所ではリアルタイムシミュレーション実験を実施するために評価実験用ツールを開発した。

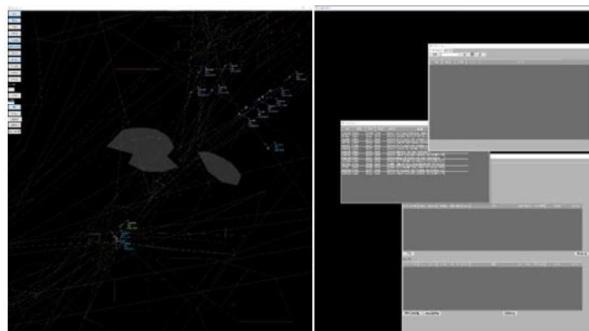
3.1 評価実験用ツールの全体像

実験では、管制官席、パイロット席、およびその他席（他セクターおよび他機関）等の複数の役割を用意し、それぞれの役割毎に計算機を使用することを想定しツール開発を進めた。図

3にツールのディスプレイ上で表示される管制官役が使用する画面イメージを示す。一組のディスプレイは、航跡の2次元位置を表示するシチュエーション画面およびその他支援情報を表示する支援画面の二つに区分される。管制官役はこれらの表示画面からマウスやキーボードを使用しパイロットへの指示等を入力送信する。パイロット役にはパイロット役専用に用意した画面からパイロットリクエスト等を入力送信する。役割毎の計算機端末から入力更新される情報は、所内ネットワークを介して共有可能となるように設計した。

3.2 実験体制

評価実験用ツールを使用したリアルタイムシミュレーション実験では、航空路管制業務経験者がR席、C席およびパイロット席を担当した。図4に実験中の様子を示す。AIDCに関する実験では、隣接FIR管制官役は対象セクターの様子を意識することなく業務模擬を実施できるよ



(左) シチュエーション画面 (右) 支援画面



シチュエーション画面上の航空機ターゲット表示
シンボル：航空機位置、ベクトル：数分後までの針路
トレイル：軌跡、データブロック：航空機の現在情報
リーダー：シンボルとデータブロックを結ぶ線

図3 評価実験用ツールのディスプレイ画面

う別室から実験に参加することとした。なお、隣接FIR管制官役は管制業務未経験者が務めたが、業務未経験者でもトランスマッチ業務を実施可能となるよう事前に業務概要を把握しセリフの練習を実施してから実験に参加した。R席—パイロット間、およびC席—隣接FIR管制官／他セクター管制官の音声によるコミュニケーションは、ウェブ会議システムを使用した。

実験を1試行にあたって、交通量等条件を変化させた約30分の交通流シナリオを基に実施した。連続して試行を実施する場合は、試行と試行の間に20分以上の休憩を挟んだ。

3.3 主観評価

航空管制業務で研究されているワークロードモデルでは、航空交通状況が複数レベルの複雑性を引き起こし、経験、技術、戦略等が主観的な作業負担（メンタルワークロード）を発生させるとされており、暗黙的に図5に示すopen-loopモデルが採用されている[3, 4]。このため、容量値を検討する際、取り扱う交通量だけでなく、管制官自身が感じている負担感（主観的な作業負荷）も考慮する必要がある。EUROCONTROLにおいて空域・容量改善提案の検証および実装の支援のために使用される高速シミュレーターの機能であるCAPAN[5]では、観察または計測可能であるタスクが70%を超えると過負荷とする。また、日本の容量管理で適



図4 実験の様子

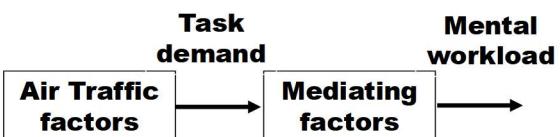


図5 メンタルワークロード研究において暗黙的に採用されている一般的なメンタルワークロードのopen-loopモデル（参考文献[4]Figure 1参照）

用している MMBB 法 (Modified-MBB; MBB 法 [6]をアレンジした手法) に取り入れられている空域容量評価手法である英国の DORATASK では、約 2 割の *recuperation* として、任意のバッファを設けている。よって、CAPAN の約 30%および DORATASK の約 2 割は、図 5 の mediating factors を考慮する意味合いがある。

実験では、管制官が感じている負担感を測るために、約 30 分の管制業務模擬中約 5 分間隔で、これ以上業務遂行ができない状態を 100%とした場合に感じている負担感を[0%, 100%]の値で口頭で評価してもらった。なお、CPDLC に関する実験時は、それまで実施してきた実験結果を踏まえ負担感の目安が必要と感じ、表 1 に示す負担感目安を用意した。また試行後に、NASA Task Load Index (NASA TLX)[7], TLX を基盤としたチームの負担感を測る Team Workload Questionnaire (TWLQ) [8], および他の人とどれだけ親密に感じているかを測定する Inclusion of Other in The Self (IOS) [9]を実施した。

4 AIDC 機能に相当する作業量

AIDC 機能が実装されない場合における一定時間内のトランスファー業務取り扱い可能機数等について計測するために、2022 年 8 月に AIDC 機能に関するリアルタイムシミュレーション実験を実施した。対象セクターは仁川 FIR に接する近畿西セクターとした。19 試行の分析可能なデータを取得した。

本実験はトランスファー業務に焦点をあてているため、C 席の業務に関する測定となる。そこで、C 席における業務イベントを表 2 に示す

表 1 負担感の目安

負担感	目安
0%-20%	<ul style="list-style-type: none"> ・少ない交通量 ・時間を持て余す
30%-40%	<ul style="list-style-type: none"> ・少なめの交通量 ・十分な考慮時間（戦略立て） ・余裕をもって業務を実施
50%	<ul style="list-style-type: none"> ・適当な交通量 ・適当な考慮時間（戦略立て） ・テンポよく業務を実施
60%-80%	<ul style="list-style-type: none"> ・多めの交通量 ・考慮時間が少なく後手後手に回りつづかる
90%-100%	<ul style="list-style-type: none"> ・限界に近づきつつある
100%を超える	<ul style="list-style-type: none"> ・頭真っ白状態

ように分類した。

各業務イベントに費やした平均作業時間を表 3 に示す。一度のトランスファーにおいて複数機の情報を交換することがほとんどであり、作業時間は一機あたりの値として算出した。この結果、その他作業を除き仁川 FIR 出入域機に関する業務のみ (TA, TS, HI 及び HA) に絞った作業時間の平均は 24.7 秒であった。

各試行回での C 席作業時間の割合（約 30 分間の作業時間割合）を図 6 に示す。CO (濃緑) 以外の作業時間は AIDC が機能していないことで実施しなければならなくなってしまった作業時間である。さらに、作業時間が長くなることで負担感は増すかどうかを検討するため、C 席作業時間と約 5 分毎の負担感を比較した。図 7 は 5 分毎の負担感の平均値を横軸に、C 席作業時間割合を縦軸に、実験参加者毎に色分けしプロットした図である。両者の間に明確な相関関係は見られない ($r=0.21$)。作業時間だけではなく作業内容により負担感に差ができることが考えられる。また、実験観察から、C 席において絶えずレーダー画面をモニターし交通流を注視している様子がうかがえた。C 席には R 席の管制業務をダブルチェックする役割もあることから、トランスファー業務に追われるとレーダー画面をモニ

表 2 C 席業務イベントの分類

業務イベント	記号
トランスファー継承	TA
トランスファー移管	TS
隣接セクター調整	CO
レーダー移送の移管	HI
レーダー移送の継受	HA
その他	OT

表 3 一機あたりに必要な C 席業務イベントの作業時間

記号	平均作業時間 (秒)	件数
TA	27.0	93
TS	23.8	151
CO	34.5	10
HI	21.5	24
HA	23.9	26
OT	25.4	32

ターする時間がなくなると想像する。これは R 席だけでなく C 席においても図 5 に示す mediating factors を考慮する必要があることを示唆する。

ケーススタディとしていくつかの試行回を例に、トランプファーオブジェクトの受入可能機数を推定する。C 席の負担感は作業時間よりは作業内容の影響を受けると推察するが、ここでは、作業時間に焦点をあて推定する。この時、余裕を持たせる意味で mediating factors を考慮する。一定時間 T における受入可能機数 $N_{transfer}$ を次式で推定する。

$$N_{transfer} = \frac{TP_{transfer}(1 - P_{mediation})}{D_{transfer}}$$

ただし、 $P_{transfer}$ は C 席作業時間に占めるトランプファーオブジェクト作業時間、 $P_{mediation}$ は管制業務の mediating factors の割合、 $D_{transfer}$ は一機あたりに必要なトランプファーオブジェクト作業時間である。

仁川 FIR 出入域機に関する業務の作業時間平均は 24.7 秒であったことから、 $D_{transfer} =$

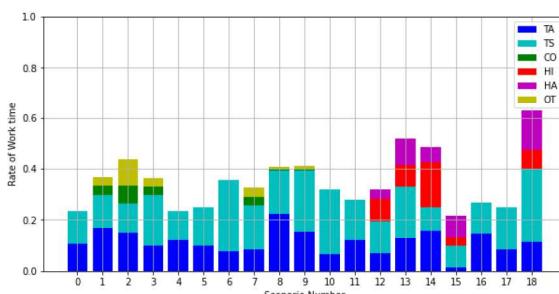


図 6 各試行回の C 席作業時間割合

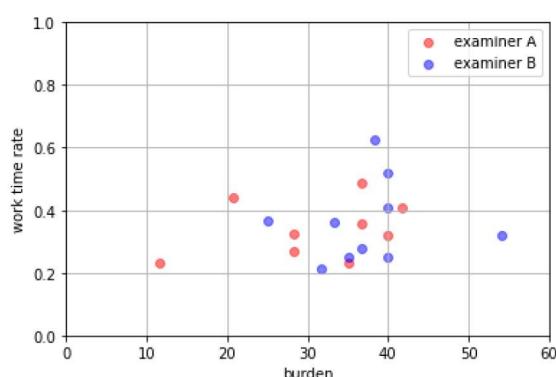


図 7 負担感と作業時間

25, mediating factors を 2 割 ($P_{mediation} = 0.2$) とし、試行回 2 を例にとり 30 分あたり ($T = 1800\ sec.$) のトランプファーオブジェクト受入可能機数を推定する。試行回 2 の C 席作業時間に占める TA 及び TS 作業時間の割合は 59% ($P_{transfer} = 0.59$) であることから、30 分あたりの TA, TS 受入可能機数は 34 機となる。試行回 14 で同様に推定すると、30 分あたり 29 機となる。C 席業務に占める TA および TS 業務割合がある程度把握可能であれば、トランプファーオブジェクト業務で受入可能機数を推定することが可能であることがわかった。

5 CPDLC 機能

CPDLC に関する実験では、現在実施中の通信移管指示等に加え、将来的に実装する計画のある指示も想定し実験を実施した。追加機能を円滑に運用するために、針路、高度、速度に関する管制指示の自動化（入力コマンドを自動的にアップリンクメッセージとして使用する）、指示をアップリンクする前に再確認するための注意喚起機能およびパイロットリクエストを見落とさないようにする注意喚起機能等を電子航法研究所で独自に開発した。

5.1 CPDLC 機能による作業量低減

通常管制業務では、逐一更新する交通情報を共有するために発出した管制指示等をシステム端末から入力する。音声通信時に伴う入力作業をそのまま CPDLC データ通信に使用することで、CPDLC 機能により管制官業務作業量が低減されることが考えられる。CPDLC 機能により低減される作業量の程度を測定するために、2023 年 2 月と 11 月～12 月に CPDLC 機能に関するリアルタイムシミュレーション実験を実施した。42 試行の 30 分以上の分析可能データを取得した（単独の管制指示に関する分析は一試行 30 分に満たなかった 7 試行を追加し 49 試行分から分析した。）。

本実験では R 席とパイロット席の通信記録に焦点をあてた実験であり、一回の管制指示に必要な管制席の作業時間は、管制官役が一度に発出する管制指示をパイロット役が確認実行するまで（ここでは「1 ラウンド」とする。）の時間として集計した。

表4にラウンド数およびラウンドあたりの作業時間に関する統計値を示す。全てのラウンドを総合すると、1ラウンドあたりの作業時間の平均値はCPDLC 20秒および音声29秒、中央値はCPDLC 13秒および音声19秒であり、CPDLCは音声と比較し平均、中央値共に作業時間は約3割減であった。図8は管制指示毎の1ラウンドあたりの作業時間をCPDLC（水色）と音声（オレンジ色）を区別して箱ひげ図で示す。なお、図に示す値は管制官から通信が開始されるラウンドに限定した値である。以降、各イベントを次のように記号化して表す。

- ・ レーダー管制継承：H-A
- ・ レーダー管制移管：H-I
- ・ 針路変更：H
- ・ 高度変更：A
- ・ 速度変更：S

箱の範囲（interquartile range: IQR）は第一四分位数（25%点: Q1）から第三四分位数（75%点: Q3），箱中の線は中央値（50%点）である。1ラウンドの作業時間 t が $(t < Q1 - 1.5 \text{IQR}) \vee (t > Q3 + 1.5 \text{IQR})$ を満たす場合を外れ値として示す。ひげの上端および下端は外れ値を除く最大値および最小値を示す。1ラウンドの作業時間はCPDLCの方が短い傾向があり、中央値を音声と比較すると、H-A 31%，H-I 62%，H 40%，A 67%，およびS 62%，CPDLCの方が短い作業時間であった。評価実験用ツールでは、入力と同時にアップリンクメッセージを発生させる自動化を重要視し開発を進めたことが、CPDLCの作業時間削減効果の要因のひとつと考える。

CPDLC機能に関する作業時間において課題も抽出された。表5はパイロットのリクエストから始まるラウンドに関する統計値である。CPDLCの方が音声よりも多くの作業時間を必要とする結果となり、管制官役から始まるラウンドと異なる傾向を示した。これは、CPDLC導入で期待される効果として、複数のパイロットが同時にリクエストを伝えることが可能となり通信タスクの柔軟性が向上することがあげられる。一方で、管制官役の処理は同時には実施

できず、結果リクエスト状態が長く続くことになる。効率よくパイロットリクエストに対応するためには、管制官に「並列処理による記憶メモリ増加の必要性」が求められる。

5.2 CPDLC 対応機割合と負担感

日本の国内セクターを対象とした過去の研究として、VDL（VHF Digital Link）Mode-2の伝送特性を考慮したツールを使用したリアルタイムシミュレーション実験結果から、CPDLC対応機の割合の増大により通話時間の減少傾向があり、実験後のインタビューでは高いCPDLC導入率に対する肯定的な意見が得られる等CPDLC導入効果が示唆されている[10]。各試行はCPDLC対応機率を変化させて実施したことから、CPDLC対応機率と負担感の関係性につ

表4 管制指示作業に関する集計結果

C: CPDLC, V: 音声
t: ラウンドあたりの作業時間（秒）

	C	V
ラウンド数	2013	1819
t 平均値	20	29
t 中央値	13	19

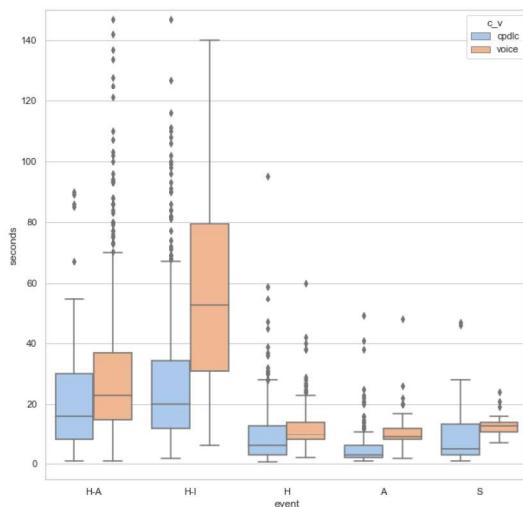


図8 各イベントにおけるラウンドあたりの作業時間分布

表5 パイロットから始まるラウンドのイベントの統計値

イベント	ラウンド数		t 平均値		t 中央値	
	C	V	C	V	C	V
H, A	466	185	33	17	20	15

いて分析した。

試行毎における交通量等のシナリオ指標、負担感指標等の指標間の相関関係を分析した。比較対象とした指標を表6に示す。負担感、親密度に関する指標は試行後のアンケートで取得し、シナリオ指標は試行毎のシナリオで設定した。AWWL (adapted weighted workload) [11]は TLX で得られる複数の値を総合的にみるための重みづけ平均値である。ここでは TWLQ においても同様の重みづけ平均値を使用した。IOS 指標は7段階をアルファベットで示し提示したが、親密度の低い方から[1, 7]で数値化し相関関係の分析に使用した。また、悪天現象を想定したシナリオは悪天要素を1、悪天現象を想定していないシナリオは0とした。

図9に各指標値を標準化したのち計算した相関係数をマトリックスで示す。ここでは被験者AがR席を実施した時の結果を示す。R席の負担感に関する指標は交通指標と正相関があり、交通量が増加するにつれ負担感も増加する傾向が明らかである。CPDLC混在度に関しては負担感と負相関がある。これは CPDLC 対応機割合が増加するほど負担感は減少することを意味する。

さらに各指標の関係性の要因について洗い出

表6 相関関係の分析に使用する指標

負担感、親密度に関する指標
負担感に関する指標
TLX_AWWL : TLX AWWL 値
TWLQ_AWWL : TWLQ AWWL 値
total : 総合的負担感
親密度に関する指標
ios : IOS 指標
シナリオ指標
CPDLC混在度指標
cpdlc : CPDLC 対応機割合
交通指標
mmbb : MMBB ワークロード値 30 分値
all_tfc : 30 分間の管制下機数
悪天指標
wx : 悪天要素

すために因子分析を実施した。因子分析は因子数3でオブリマックス回転を用い実施した。被験者AがR席役時の因子負荷量を表7に示す。因子1は負担感が最も高く、交通および気象においても高い因子負荷量であり「総合的負担感」と説明できる。因子2は悪天要素における負荷量が高く「協調性」と説明できる。因子3は協調性の負荷量が高く「悪天要因」と説明できる。

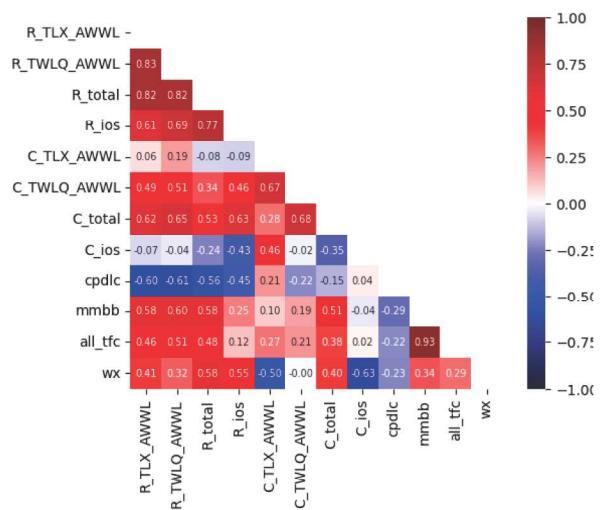


図9 被験者AがR席時の各指標間の相関係数

表7 被験者AがR席時の因子負荷量

	因子1	因子2	因子3
負担感	0.91	-0.25	-0.17
交通	0.59	-0.40	0.30
協調性	0.77	0.43	-0.10
CPDLC	-0.59	0.07	0.28
気象	0.59	0.29	0.36

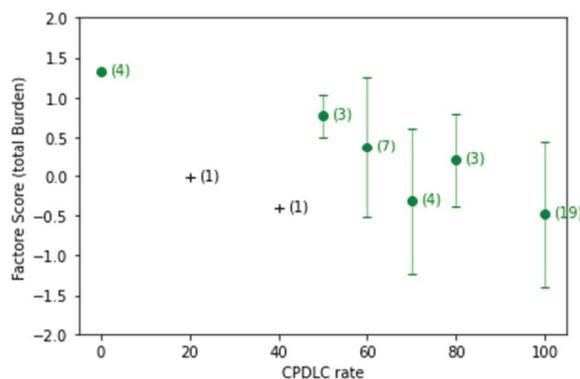


図10 CPDLC 対応機割合と総合的負担感の平均因子得点 (42 試行分)

以上のことから、各シナリオは「総合的負担感」、「協調性」、および「悪天要因」によって説明できる。

次に、総合的負担感を大きく感じるシナリオについて調査するために、各試行における総合的負担感に対する重みである因子得点と各指標を比較した。図10は各試行のCPDLC対応機割合毎の総合的負担感の平均因子得点を緑色の“・”で、標準偏差をエラーバーで示す。サンプル数が一つだけのものは黒色の“+”で示す。各マーカーの右側に括弧内にサンプル数を示す。試行におけるCPDLC対応機割合と総合的負担感の因子得点は負相関がある（サンプル数1を除くと相関係数は-0.91）ことから、CPDLC対応機割合が高まることでR席の総合的負担感が軽減されることを示した。

6 おわりに

航空路管制業務を対象に、管制システム支援機能を考慮した管制業務作業量について検討するための研究を4年間にわたり実施した。本稿は、研究の一環として実施した、管制業務に関するリアルタイムシミュレーション実験の結果について報告し、結果から得られた支援機能と管制業務作業量の関係性について考察するものである。リアルタイムシミュレーション実験では電子航法研究所で開発した航空路管制システムを模擬する評価実験用ツールを使用した。

評価実験用ツールに実装した管制運用のための機能は、隣接FIRとの交通情報交換業務の自動化機能であるAIDC、および管制官一パイロット間の双方向データリンクシステムであるCPDLCである。AIDCに関しては、管轄中のまたは管轄予定の交通流を周囲のセクター担当者と調整する役割を担うC席業務に焦点をあてた分析を実施した。リアルタイムシミュレーション実験では、隣接FIRとの交通情報交換を実施するトランスマスター業務に必要な作業時間を測定するとともに、C席負担感に関する分析も実施した。分析結果から、C席業務の負担感は、作業時間より作業内容による影響が大きいと考えられ、C席業務における容量値検討では、パイロットとの通信を通じて管制指示を発出する役割を担うR席での業務をモニターする等、C

席が実際に手を動かす作業時間に表れない要素を考慮する必要性があることが示唆された。

CPDLCに関しては、音声通信を比較し作業時間が約3割減少することが示された。さらに、CPDLC対応機割合が高まることでR席の総合的負担感が軽減されることが示された。CPDLCの段階的導入に伴う容量管理においては、CPDLC対応機率が低い場合は、考慮時間を考慮する等、R席負担感を減らす対策が必要と考える。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、評価実験にご参加いただきました一般財団法人航空管制協会関係者様に感謝いたします。また、評価ツール開発においてご助言をいただきました航空局管制課および東京航空交通管制部の関係者各位、並びに技術的支援をいただきました阿部産業の中原精一氏に感謝いたします。

参考文献

- [1] 国土交通省, AIS Japan, ENR2.1, effective date March 1, 2024.
- [2] 石川 誠, “航空管制の現状,” 第45回 ATS シンポジウム 一般財団法人航空交通管制協会, 公益社団法人日本操縦士協会主催, 2023年10月.
- [3] Shayne Loft, Penelope Sanderson, Andrew Neal, and Martijn Mooij, “Modeling and Predicting Mental Workload in En Route Air Traffic Control: Critical Review and Broader Implications,” Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, Volume 49 issue 3, pp. 376 - 399, June 1, 2007. doi: 10.1518/001872007X197017
- [4] Sungju Maeng, Makoto Itoh, Hiroko Hirabayashi, Atsushi Senoguchi, “Task Modeling in air Traffic Control with Trajectorized en-Route Traffic Data Processing System,” 54th International Symposium on Aviation Psychology proceeding, pp 244 – 249, 2021.
- [5] “Pessimistic Sector Capacity Estimation,” EUROCOMTOL experimental centre report, EEC Note No. 21/03 Project COCA, 2003.

- [6] ICAO, "Air transport service planning manual," ICAO Doc 9426 – AN/924 First Edition, Part II Appendix C, 1984.
- [7] NASA, "NASA TLX: Task Load Index," NASA TLX website: <https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx/>
- [8] J. Sellers et al., "Development of The Team workload questionnaire (TWLQ)," Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting, vol.58, no.1, pp.989-993, 2014.
- [9] A. Aron et al., "Inclusion of other in the self scale and the structure of interpersonal closeness," Journal of personality and social psychology, vol.63, no.4, pp. 596–612, 1992.
- [10] 塩見 格一, 板野 賢, "航空路管制業務への CPDLC 導入時の業務負荷の変化," 第13回電子航法研究所研究発表会, 平成25年6月.
- [11] A. Aron et al., "Inclusion of other in the self scale and the structure of interpersonal closeness," Journal of personality and social psychology, vol.63, no.4, pp. 596–612, 1992.