

航空路管制業務のタスク分析

佐藤 裕喜

Survey and Analysis of the Air Traffic Controller's Tasks for En Route ATC

Hiroki SATO

Abstract

ENRI is now engaged in the development of a new method for presenting critical information on air traffic control (ATC) display consoles.

ATC is a very complex process that depends to a large degree on the human operator's capabilities. The design of an advanced and efficient ATC console for the future requires an understanding of the nature of the interaction between the controller and the four basic available sources of information : (1) aircraft pilots, (2) the radar display console, (3) paper flight progress strips, and (4) other controllers concurrently on duty.

A task analysis of the current en route ATC system was conducted by observing a radar controller/coordinator team over a 4500 second observation period. Analysis indicated a very high work load for both members of the team as measured by work time. For example, the combined time spent on the twelve sub-tasks over the 4500 second interval was 6415 seconds for the radar controller and 6244 seconds for the coordinator, indicating that two or more tasks were being performed simultaneously by team members.

This paper also presents additional useful technical data related to both ATC console issues and future air traffic control working environments.

1 はじめに

航空管制官（以下、管制官という）は、航空交通の安全と秩序を保つため、無線通信、レーダー表示装置及び運航票を媒体とする航空機情報を基にして、常に担当空域内の航空機の動きを把握している。航空管制卓（以下、管制卓という）は、このための作業場であり、各種情報を一括して管制官に提供しており、管制官の業務環境を決定する中心的な存在である。

国際民間航空機関（International Civil Aviation Organization：ICAO）は、1986年の総会において、将来の航空界の健全な発展を期するために、ヒューマン・ファクターの作業部会の発足を決定し、1990年に作成されたヒューマン・ファクターに関する10ヶ年計画（1990年～1999年）の中で、運航乗務員と同様に管制官と航空整備士の人的過誤への取組の重要性について指摘している。また、そのためのガイドブックとして1993年にICAOサーキュラー（航空管制特集）を作成し発行している¹⁾。

迫り来る航空需要の増大に適切に対処するためには、管制官による人的過誤を最小限にとどめることを考慮に入れた、管制卓を開発するための多角的な研究が必要である。その際重要なのは、航空管制情報処理システムの性能向上により管制処理能力の向上を目指すだけでなく、ICAOの指摘のように、システムと共に業務を遂行する管制官の業務方式あるいは行動様式の改善である。管制官に提供される情報は、管制官が行う判断の基となりその行動を決定する。このことから、新しい航空管制情報表示を考える場合、それに表現すべき情報をどのような形に加工構成し、どのような方法で提供するかが、研究開発の中心となるべきである。

本研究では、航空路管制業務において一つの空域（セクター）を共同して管制する管制官の作業のうち、主要な作業を担当するレーダー管制官と調整管制官（以後、調整官という）の行う具体的な作業行為についてタスク分析を行った。レーダー管制官と調整官のタスク分析に当たっては、両管制官のすべての行為を、パイロット、レーダー情報表示装置、運航票及び隣接セクターを受け持つ他の管制官との情報交換（対話）の作業として捉え、作業項目毎の作業時間、回数などを計測した。その計測データを基に、管制官のタスクの特性を分析し、その分析結果からレーダー情報表示装置と運航票情報の情報の統合の重要性を明らかにした。

なお、ICAOの提唱するFANS構想では、現在の無線通信、運航票の基となる飛行計画の通報方法が改善され

る空地データリンクの導入、航空管制機関と航空会社の運航管理センターとの間の情報交換の緊密化等が提案されているが、本研究は管制業務に関わる管制官の作業を基礎的に分析しており、FANS構想の具体化に当たって管制官への情報提供のあり方の示唆を与えるものと考え

2 航空路管制業務

2.1 我が国の航空路管制業務

日本では札幌、東京、福岡、那覇の4つの航空交通管制部により航空路管制業務が実施されているが、それぞれの航空交通管制部では、交通の流れ、レーダー及び無線の覆域、管制官のワークロードなどを勘案して、管制空域を適切な大きさに分化している。この一区切りの空域をセクターと呼ぶ。現在、札幌航空交通管制部の空域は5セクターに、また東京、福岡、那覇の各航空交通管制部の空域は、それぞれ20、6、6、のセクターに分けられている。

現在、我が国の航空路管制業務では、主にレーダーを用いてのレーダー管制業務が実施されている。そこでは、レーダー情報を基に航空機の動きを監視するレーダー管制官と航空機の動きを把握しつつ隣接空域を受け持つ管制官との調整を行う調整官が協力し合い、担当するセクター内の全ての航空機に対する航空管制業務を行っている。

2.2 目的別分類

航空路管制業務は、全体的には航空機の運航者と共に飛行計画に基づく運航を実現させることであり、部分的には個々の航空機に対し航空情報や管制指示を与え、航空機同士及び航空機と障害物の接近防止や秩序ある交通流を保つことである。

現在の航空路管制業務を目的別に分類すると、

- (1) 管制間隔の維持
- (2) 交通流の保持
- (3) 一機一機のフライト（通信設定から管制移管まで）の完了
- (4) ターミナル空域への順序づけ

となる。

そして、これらの業務目的を達成するためにレーダー管制官と調整官が必要とする情報には、次の様なものがある。

- (1) 個々の航空機の二次元位置と飛行高度

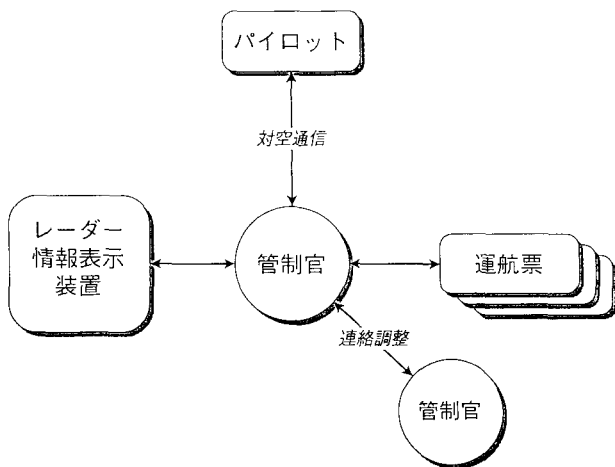


図1 現行の航空路管制業務の概念図

- (2) 他の航空機との相対関係
- (3) 航空機流全体の流れ
- (4) 隣接セクターとの境界付近の航空機の状態
- (5) 少し後の時間における混雑具合

2.3 4つの情報源との対話

図1は、現行の航空路管制業務の概念を示す。レーダー管制官と調整官は、次の4つの情報源と常に対話しながら業務を遂行しており、それらとの関係は、

- (1) 担当セクター内を飛行する航空機のパイロットと無線通信を保ち
- (2) レーダー情報表示装置により示される航空機の動きを追跡し続け

(3) 運航票に印字された情報を読みまた運航票に記述し

(4) 隣接セクターを担当する管制官と航空機の移管などについて様々な調整を行なう

というものである。

2.4 航空路管制業務の基本ループ

レーダー管制官と調整官は、2.3に記した4つの対話対象を通じて取得する2.2に列挙した管制上必要な各種情報に注意を払いながら、図2の様な管制間隔の確認作業を周期的に繰り返している。

レーダー管制官は、レーダー情報表示装置の前で

- (1) 担当セクター内の全ての航空機の動きをレーダーと無線通信により監視（モニター）し、将来（近未来）の交通状況を常に予測している。また、新たな航空機が入域する毎に、当該機を含めて近未来の状況予測を行う。
- (2) 近未来においても、全ての航空機に必要最低限の管制間隔が維持されると判断した場合は、引き続きレーダーと無線通信により航空機の監視を行う。
- (3) しかし、近未来において、管制間隔が維持されないと判断した場合は、管制指示をパイロットに伝える。具体的には、高度、方位（磁方位）または速度について、あるいはこれらの組み合わせにより、航空機のベクトルを変更させる、
- (4) 更に、管制指示に伴う付随的な作業として指示内

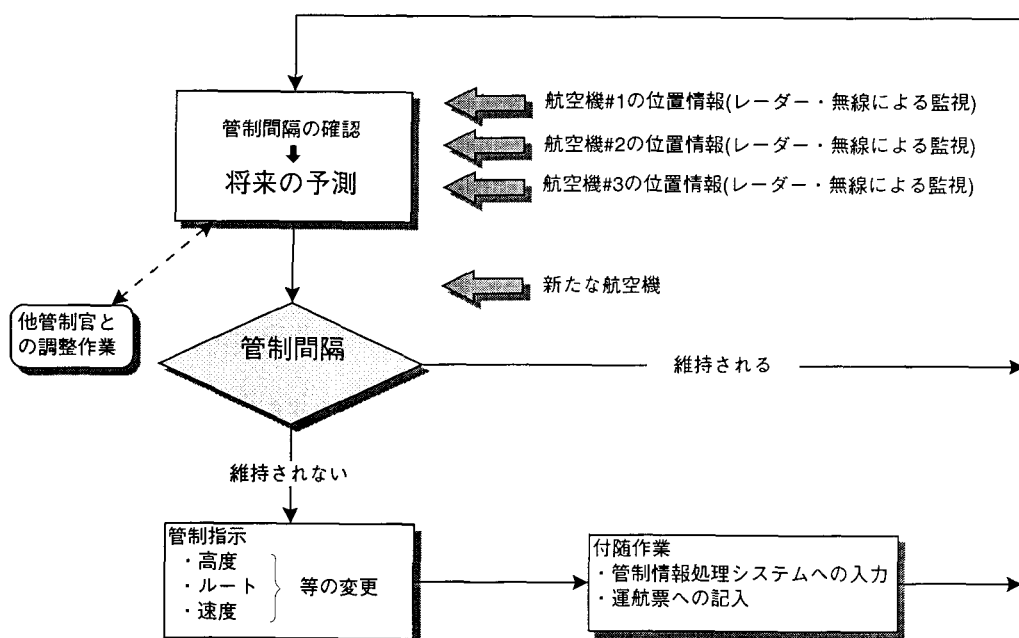


図2 航空路管制業務の基本ループ

容を管制情報処理システムにキーボード入力すること、及び、運航票に筆記具を用いて記入することが義務づけられている。これらの付随作業は、航空機の監視を中断させる要因になっている。

調整官は、運航票卓の前で、空域内の航空機の動きを監視し続け、レーダー管制官が行う判断を追いかけている。そして、レーダー管制官が発しようとする管制指示に必要な調整を行い、レーダー管制官が行おうとする業務の環境を整えている。

3 フィールド調査

3.1 調査の目的

本フィールド調査は、実際の管制業務がどのように行

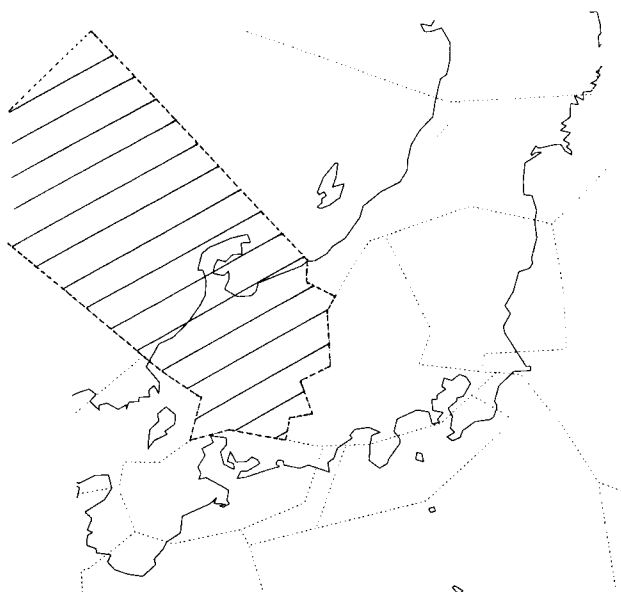


図3 調査セクターの管轄空域

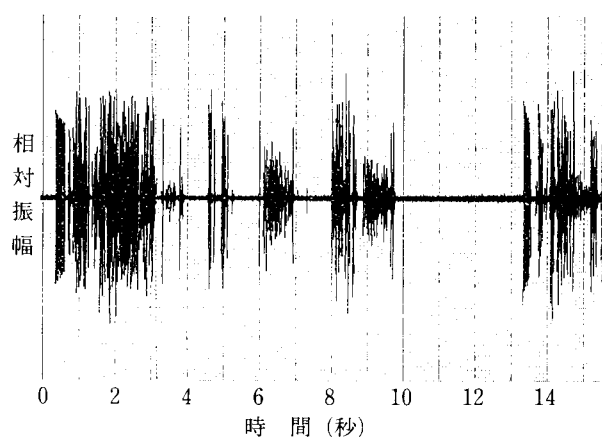


図4 音声データ記録の例

われているかを調べることを目的として、航空路管制の運用現場においてレーダー管制官と調整官が行っている全ての作業を対象とした。

3.2 フィールド調査方法

図3に調査対象セクターの管轄空域を示す。対象とした東京航空交通管制部のセクターは、本州中部に位置し、名古屋空港及び大阪伊丹空港の離発着便を中心に、羽田空港、成田空港から九州方面への西方向便が頻繁に通過し、この西方向の交通流に新潟空港、小松空港、富山空港から近畿地方への南西方向便が輻輳する空域である。

調査当日は、日頃より交通流の整理が難しいセクターの一つであることに加えて、積乱雲の発生による航空機からの経路変更要求が相次ぎ、かなり忙しい状態であった。

管制官の動作及び管制官が扱う情報を記録するため、ビデオカメラ (VTR) を用いて2方向からレーダー管制官及び調整官の動作を記録し、同時にテープレコーダーを用いて当該セクターを担当する管制官が行う通信・調整などを録音した。

また、管制情報処理システムである飛行計画情報処理システム (FDP: Flight Data Processing System) と航空路レーダー情報処理システム (RDP: Radar Data Processing System) への入力及び同システムからの出力歴、ならびに当該セクターで使用された運航票の写しを取得した⁽²⁾。

3.3 データの記録方法

3.3.1 音声データ

管制官が航空機との間で行う対空通信及び他の管制官



図5 画像データの解析例

との連絡調整の際の音声は、テープレコーダーによる録音の他に、ペンレコーダーにより波形として直接記録用紙に記録した。図4に記録した波形を示す。

3.3.2 画像データ

データ解析を容易にするため、2台のVTRにより得られたビデオ画像を時刻同期を行い同一画面に合成、さらに録音した音声を重畳させ、1本のビデオテープに統合した。データの合成に際しては、1分毎に同期の修正を行った。図5に合成した画像データを示す。図の左上の部分はVTR#1による管制卓に向かって正面の画面、右下の部分はVTR#2による管制卓に向かって右側側面より見た画像である。

3.3.3 システム入力データ

管制情報処理システムの入出力の時刻と、ビデオ画像上で管制官が行った管制情報処理システムへの入力時刻とを参照し、管制官が行ったシステム入力操作の内容と、それによる出力情報を特定し記録した。

3.3.4 運航票データ

使用された運航票には、管制官により手記された印やメモなどの記述があり、航空機に対する承認、指示の内容、当該機に関わる他の管制官との調整内容を知ることができる。本調査では、データ内容は直接には分析の対象とはせず、行われた作業を特定するためだけに用い、上記の画像データを中心に作業時間などを計測した。

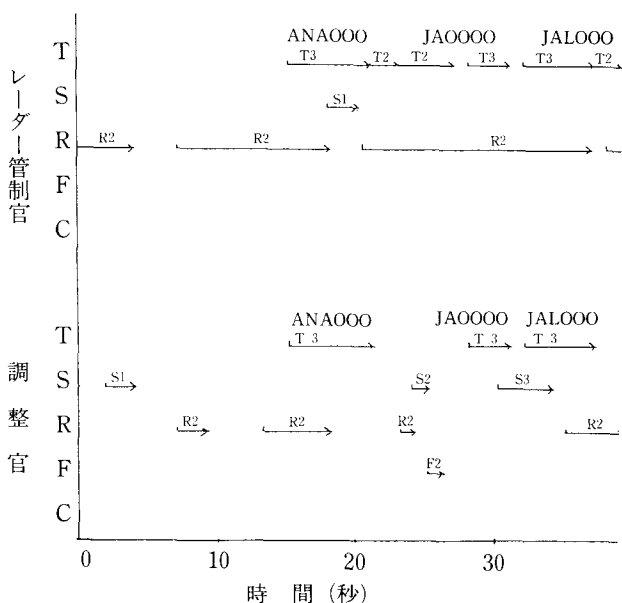


図6 航空路管制業務の時間推移例

4 航空路管制業務のタスク分析

4.1 作業分類

航空路管制業務を担当するレーダー管制官と調整官は、レーダー情報表示装置と運航票の両者と頻繁に情報を交換しながら、業務を進めている。例えば、レーダー管制官は、レーダー画面の監視により航空機同士の接近を予測した場合、その接近を事前に回避するために、(1)航空機に伝えるべき最適な指示を決定し、(2)その内容に対空通信により当該航空機のパイロットに伝え、(3)その内容をRDPシステムに入力し、(4)その内容を筆記具を用い運航票に記入している。

タスク分析の目的は、航空路管制業務における管制官の作業を、タスクとして分類しそれらの作業割合を求めることである。ここにいうタスクとは、目的を伴って管制官が行う動作及び行為のことである。

フィールド調査により取得したデータを分析するため、対象セクターのレーダー管制官と調整官が行った作業をT(パイロットとの対空通信)、S(運航票との対話)、R(RDPシステムとの対話)、F(FDPシステムとの対話)及びC(他の管制官との連絡調整)の5項目に分類し、さらに各項目を次に示す12種類の作業に分類した。

- T 1 ; 無線周波数の切り替え (サイト切り替えを含む)
- T 2 ; 対空送信
- T 3 ; 対空受信 (周波数モニターのための受信傍受を含む)
- S 1 ; 運航票への記入
- S 2 ; 運航票の操作
- S 3 ; 運航票の読み取り
- R 1 ; RDPシステムへの入力
- R 2 ; RDP (レーダー) 画面の監視
- F 1 ; FDPシステムへの入力
- F 2 ; FDP (CRT 出力) 情報の読み取り
- C 1 ; 他のセクターを担当する管制官との電話回線による連絡調整
- C 2 ; 同一セクターを担当する管制官との口答による連絡調整

上記の作業項目について、管制官の作業を順に拾い出し、時間を横軸に取り、レーダー管制官と調整官が行った作業を、線分として書き留めた。無線周波数の切り替えやシステムへの入力など動作を伴う作業は、その作業の開始から終了までを作業時間とした。また、レーダー画面の監視や運航票の読み取りなど動作を伴わない作業は、顔がそれらの方を向いていることで作業中と見なし

た。作業状況の推移の一例を図6に示す。

4.2 作業集計

図6に示すような航空路管制業務の時間推移のデータから、レーダー管制官、調整官それぞれの作業時間を集計した。1秒未満の作業は、全て1秒に繰り上げて集計した。

表1及び表2に75分(4500秒)間にわたり、5分毎の各作業時間を示す。同様に、各作業回数を表3及び表4に示す。

ここで5分(300秒)毎の作業時間が、何れの時点でも300秒を越えているが、これは対話の対象(項目)が異なる作業をそれぞれ独立した作業として、先に述べたT, S, R, F, Cを別々にカウントし集計したためである。

4.3 タスク分析結果

4.3.1 管制官の作業負荷状況

図6に示す作業状況からわかるように、レーダー管制官、調整官共に、秒単位での作業を行っている。また、レーダー管制官、調整官共に異なる種類の作業を連続的

表1 レーダー管制官作業時間集計

計測時間(分)	(0~)5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	合計(%*1)	%
(作業項目)	(作業時間, 秒)																
周波数切替(T1)	14	0	6	2	14	6	3	5	9	3	1	2	2	0	3	70 (1.6)	1.1
対空送信(T2)	64	70	56	26	48	12	20	41	45	46	40	35	28	33	49	613 (13.6)	9.6
対空受信(T3)	83	87	61	29	50	13	20	55	60	26	69	61	48	45	73	780 (17.6)	12.1
運航票記入(S1)	42	26	11	11	31	14	19	29	10	6	28	36	16	14	27	320 (7.1)	5.0
運航票操作(S2)	2	0	4	3	3	9	1	0	1	1	0	10	2	0	12	48 (1.1)	0.7
運航票読取(S3)	9	3	9	17	14	83	18	31	23	14	9	28	37	35	10	340 (7.6)	5.3
レーダー画面監視(R2)	214	264	274	267	226	176	211	222	246	259	246	227	242	245	298	3617 (80.4)	56.4
システム入力(R1)	17	59	59	48	27	7	20	22	28	17	21	14	21	22	13	395 (8.8)	6.2
CRT 読取(F2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1 (0.0)	0.0
他セクター調整(C1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	5	9 (0.2)	0.1
セクター内調整(C2)	22	9	8	1	0	20	10	22	6	19	5	14	38	35	13	22 (4.9)	3.5
合 計	467	518	488	404	413	340	322	427	428	391	419	428	434	433	503	6415(142.6)	100.0

(*1) 作業時間÷計測時間(4500秒)

表2 調整官作業時間集計

計測時間(分)	(0~)5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	合計(%*1)	%
(作業項目)	(作業時間, 秒)																
周波数切替(T1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 (—)	—
対空送信(T2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 (—)	—
対空受信(T3)	59	68	49	16	49	10	12	41	49	21	48	45	41	42	58	608 (13.5)	9.7
運航票記入(S1)	50	28	30	37	22	13	20	33	27	18	15	16	15	7	11	342 (7.6)	5.5
運航票操作(S2)	29	41	42	49	85	65	33	16	65	43	40	31	17	61	75	692 (15.4)	11.1
運航票読取(S3)	74	90	99	121	98	175	185	168	160	149	121	160	136	137	177	2050 (45.6)	32.8
レーダー画面監視(R2)	82	112	123	57	42	32	31	68	76	72	131	67	106	94	107	1200 (26.7)	19.2
システム入力(F1)	0	0	0	9	1	0	0	5	0	0	0	0	0	5	0	20 (0.4)	0.3
CRT 読取(F2)	23	12	2	22	7	23	30	6	5	24	5	2	27	7	0	195 (4.3)	3.1
他セクター調整(C1)	70	109	41	106	30	20	87	88	76	95	57	48	28	12	29	896 (19.9)	14.4
セクター内調整(C2)	11	8	8	1	0	47	9	24	8	20	5	14	38	35	13	241 (5.4)	3.9
合 計	398	468	394	418	334	385	407	449	466	442	422	383	408	400	470	6244(148.8)	100.0

(*1) 作業時間÷計測時間(4500秒)

表3 レーダー管制官作業回数

計測時間 (分)	(0~)5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	合 計	%(*2)
(作業項目)	(作業回数)																
周波数切替(T1)	14	0	4	1	10	3	3	5	7	3	1	1	1	0	2	48	3.5
対空送信(T2)	18	19	18	5	14	4	5	12	11	9	13	10	11	12	13	174	12.7
対空受信(T3)	17	25	17	6	14	4	5	12	14	8	18	13	13	13	15	194	14.1
運航票記入(S1)	16	9	5	4	7	6	6	12	5	2	11	12	7	7	10	119	8.7
運航票操作(S2)	1	0	3	2	2	5	1	0	1	1	0	2	2	0	4	24	1.7
運航票読取(S3)	4	4	8	6	4	11	5	14	16	8	6	14	17	17	5	139	10.1
レーダー画面監視(R2)	26	19	16	13	26	27	32	42	37	22	29	26	27	29	18	389	28.3
システム入力(R1)	13	24	28	18	17	7	11	13	14	13	20	15	19	21	11	244	17.8
CRT 読取(F2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0.1
他セクター調整(C1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	5	5	0.4
セクター内調整(C2)	2	3	3	1	0	4	1	2	2	4	1	1	6	4	3	37	2.7
合 計	104	103	102	56	94	71	69	112	107	70	99	95	103	106	83	1374	100.0

(*2) 作業回数÷全作業回数

表4 調整官作業回数

計測時間 (分)	(0~)5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	合 計	%(*2)
(作業項目)	(作業回数)																
周波数切替(T1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—
対空送信(T2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—
対空受信(T3)	15	19	15	5	14	4	3	9	13	7	13	10	12	13	12	164	11.6
運航票記入(S1)	13	11	13	12	4	4	6	13	12	10	7	7	8	3	5	128	9.0
運航票操作(S2)	8	10	6	9	11	12	12	4	9	10	9	8	8	13	12	141	10.0
運航票読取(S3)	24	27	31	26	20	21	25	27	29	38	39	28	35	31	24	425	30.0
レーダー画面監視(R2)	25	24	40	23	11	12	16	19	27	16	33	18	31	23	26	344	24.3
システム入力(F1)	0	0	0	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	5	0.4
CRT 読取(F2)	13	9	2	9	5	3	8	5	4	19	4	2	4	4	0	91	6.4
他セクター調整(C1)	9	7	5	7	6	3	6	5	5	6	5	4	4	3	2	77	5.4
セクター内調整(C2)	1	3	3	1	0	6	1	3	3	4	1	1	6	4	3	40	2.8
合 計	108	110	115	94	72	65	77	86	102	110	111	78	108	95	84	1415	100.0

(*2) 作業回数÷全作業回数

に行っており、さらに複数の作業を同時に行っていることも判読できる。

表1及び表2から、レーダー管制官と調整官の作業時間の大きいことが分かる。レーダー管制官、調整官共に、常に何れかの項目について作業を行っている。レーダー管制官の作業時間の総和は6415秒で、作業時間の総和を計測時間4500秒で割った値(作業時間率)は142.6%、同様に調整官の作業時間の総和は6244秒、作業時間率は138.8%で、共に100%を大きく越えている。これらは、先に述べた様に同時に複数の作業を行っているためである。

レーダー管制官では、表3より対空送信と対空受信は1対1の関係であることが分かり、無線による受け答えは一連の作業として連続しているといえる。また、周波数切り替え数48回と対空送信数174回から、対空送信は4回に1回の割合で周波数の切り替えまたは無線サイトの切り替え作業を伴っていることが分かる。

調整官は、対空通信は通常行わないが、パイロットとレーダー管制官との通信内容を傍受し、またレーダー画面の監視を行っている。これは、受け持ち空域内の交通状況の変化を常に把握し、必要となる連絡調整に備えて

いるためである。

4.3.2 作業項目毎の特性

管制官の項目別作業時間を図7に示す。管制官の作業で最も多いのは「レーダー画面の監視」であり、レーダー管制官と調整官の作業時間の合計は4817秒で、総作業時間の38.1%に達する。第2位は「運航票の読み取り」の、2390秒(18.9%)である。続いて、第3位は「対空受信」の1388秒(11.0%)、第4位は「連絡調整」の1368秒(10.8%)である。

運航票に関わる作業をまとめてみると、「運航票の読み取り」2390秒、「運航票の操作」740秒、「運航票への記入」662秒を合わせると、3792秒(30.6%)に達し、これら運航票に関する作業合計は「レーダー画面の監視」に続いて二番目に大きな割合である。

また、レーダー管制官と調整官のそれぞれの作業項目毎の時間としては、レーダー管制官では、「レーダー画面の監視」作業が3617秒と非常に多く、レーダー管制官の総作業時間の56.4%を占めている。第2位はパイロットとの無線通信に関する作業で、「対空受信」780秒(12.2%)、第3位は「対空送信」613秒(9.6%)である。以下第4位「(RDP及びFDP)システムへの入力」395秒(6.2%)、第5位「運航票の読み取り」340秒(5.3%)、第6位「運航票への記入」320秒(5.0%)が続く。レーダー管制官は航空機に対して指示を出した場合、その内容を運航票へ記入し、さらに同様の内容を管制情報処理システムの端末から入力することが義務づけられている。これらの重複は、作業の高ワークロードをもたらしている。

ている。

他方、調整官では、「運航票の読み取り」が最も多く、2050秒である。これは、調整官が行う総作業時間の32.8%に達する。続く第2位は「レーダー画面の監視」で1200秒(19.2%)、第3位は「連絡調整」で1137秒(18.2%)である。

調整官の作業においても「レーダー画面の監視」が頻繁に行われるのは、レーダー情報、とりわけ航空機的位置情報が調整官が行う連絡調整においても有用であることを示している。しかしながら、現状ではレーダー画面はレーダー管制官の正面に位置しており、調整官は横からのぞき込むようにレーダー画面を監視しなければならない。

4.3.3 管制官毎の特性

対空送信はレーダー管制官が担当している。また、対空送信のために必要となる無線周波数の切り替えもレーダー管制官が行っている。その他、主にレーダー管制官が行う作業として、「システムへの入力」と「レーダー画面の監視」がある。

他方、調整官は、「運航票の操作」及び「運航票の読み取り」の他、「連絡調整」を担当している。作業時間を基に考えると、「運航票の読み取り」に続き「レーダー画面の監視」となり、これは「連絡調整」や「運航票の操作」を上回っている。

また、レーダー管制官と調整官の両者がほぼ同じ割合で行っている作業に「対空受信」と「運航票への記入」がある。レーダー管制官にとって、「システムへの入力」395秒(6.2%)、「運航票の読み取り」340秒(5.3%)及

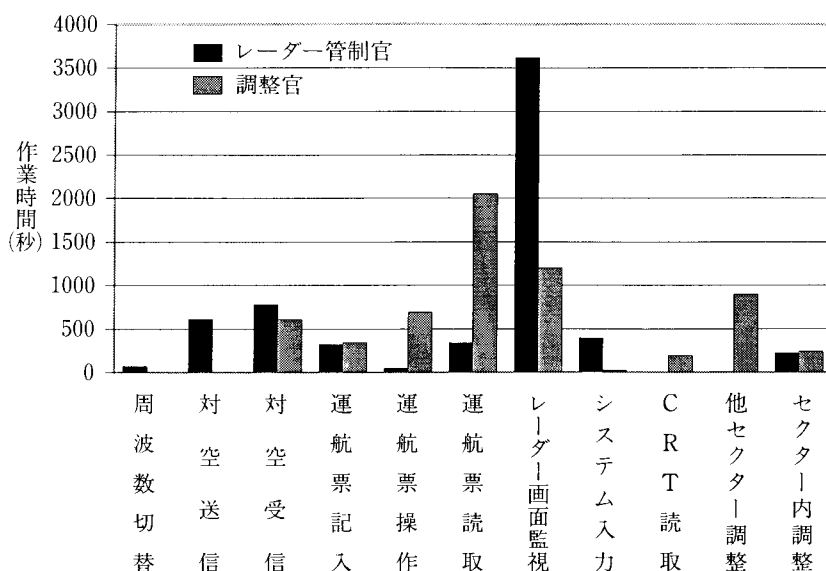


図7 レーダー管制官と調整官の作業比較

び「運航票への記入」320秒（5.0％）は、航空機の動きを把握するための作業「レーダー画面の監視」の中断をもたらす要因になる。航空機が輻輳し、レーダー画面の監視の中断ができない状況では、これらの作業の実行は遅れる。

レーダー管制官が、忙しさのあまり「運航票への記入」や「システムへの入力」ができない時は、調整官がこれらの作業を補うべく代行するが、両者ともより優先度の高い作業に迫られる状況にあっては、調整官がレーダー管制官の作業を補うことができないこともあった。

なお、将来の研究の資料とするために、作業項目毎の作業時間度数分布を付録に示す。これらの付図は、レーダー管制官及び調整管制官が行う作業の類似性あるいは相違性を示す。

4.3.4 管制機数と作業量変化

レーダー管制官と調整官が行った作業時間及び作業回数の時間変化を、担当セクター内の同時管制機数（航空機数）と共にそれぞれ図8と図9に示す。表1から表4の集計が5分単位であるので、作業時間と作業回数の値

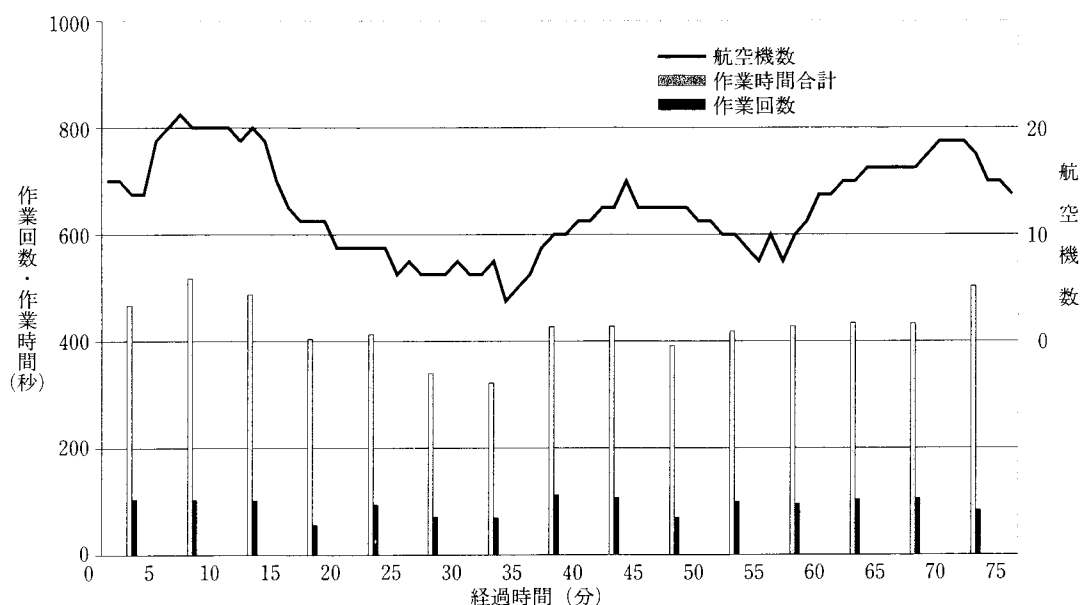


図8 レーダー管制官における同時管制機数と作業時間及び作業回数

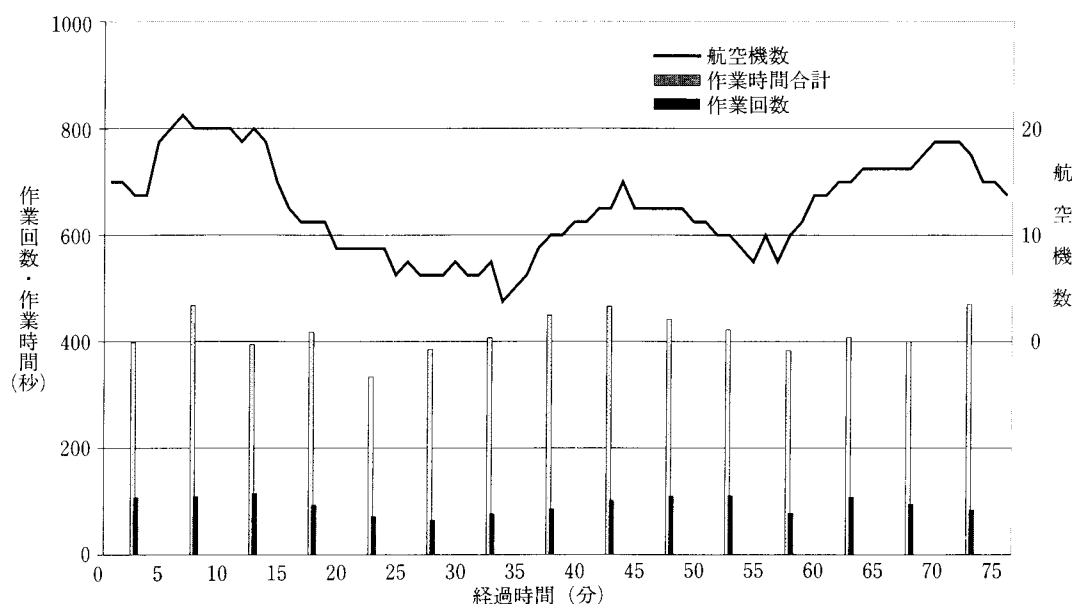


図9 調整官における同時管制機数と作業時間及び作業回数

は、経過時間（横軸）の各区分の中間点（+150秒）に棒状に印した。また、折れ線は1分毎の航空機数を示している。

図10は、図8より求めた、航空機数に対するレーダー管制官の作業時間及び作業回数である。航空機数と作業時間及び作業回数の回帰分析による相関係数はそれぞれ0.8666、0.5190である。図11は、図9より求めた、航空機数に対する調査官の作業時間及び作業回数の相関図である。航空機数と作業時間及び作業回数の相関係数はそれぞれ0.3895、0.6527である。図10及び図11から分かるように、レーダー管制官、調整官とも航空機数の増加に伴って、作業時間、作業回数が増加しており、それぞれ正の相関関係を示している。特に、レーダー管制官における航空機数と作業時間は高い相関係数を有している。

4.3.2で述べたように、調整官の作業においても、頻繁にレーダー画面の監視が行われている。図12に、レーダー管制官及び調整官における航空機数とレーダー画面監視時間を示す。また、航空機数に対する両管制官のレーダー画面監視の作業時間の相関図を図13に示す。図13から分かるように、両管制官とも航空機数の増加に伴い、レーダー画面監視の作業時間が増加している。航空機数の増加に対するレーダー画面監視の作業時間増加の相関係数は、レーダー管制官は0.5995、調整官は0.7406である。航空機数とレーダー画面監視との相関係数は、航空機数と全ての作業時間との相関係数までは大きくはない。これは、レーダー画面監視は、レーダー管制官においてはどの計測時間にあっても常に高い値を示したためであると考えられる。しかし調整官においては、レーダー画面監視は航空機数との間で高い相関関係を示している。これは、調整官は航空機数が多くなるに従い、レーダー画面を多用していることを示している。またこのことは、短時間で航空機の動きを把握する場合はレーダー画面が有効であることを示している。

5 考察

本研究の目的が、航空路管制業務において、どのような情報をいかなる方法で管制官に提供すべきかを研究することにあるので、情報の提供に関して検討してみる。

5.1 管制官への情報提供

4.2において、管制官が行う業務を項目毎の作業量として求めたが、これらの数値を図1にある4つの対象別にまとめると、図14のようになる。時間を基準とした場合、

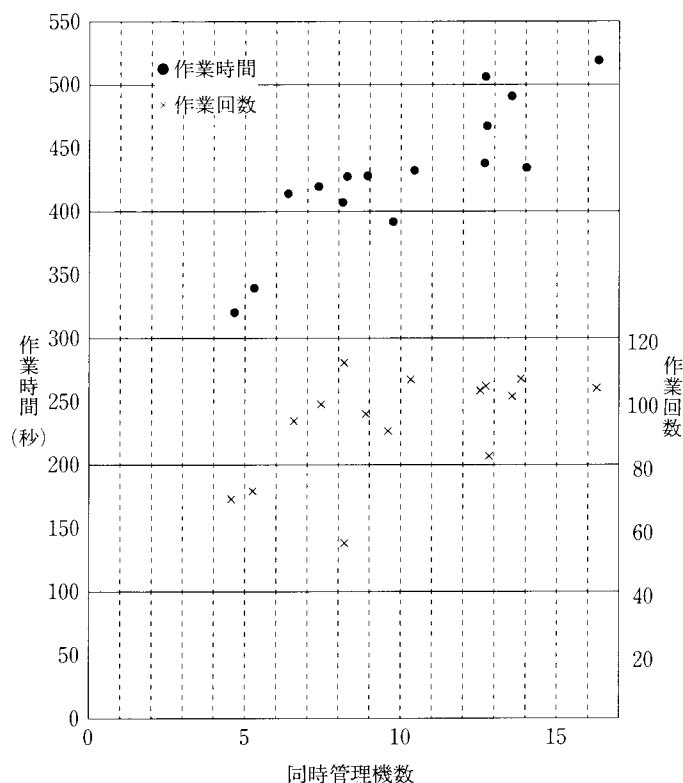


図10 レーダー管制官における同時管制機数と作業時間及び作業回数の相関図

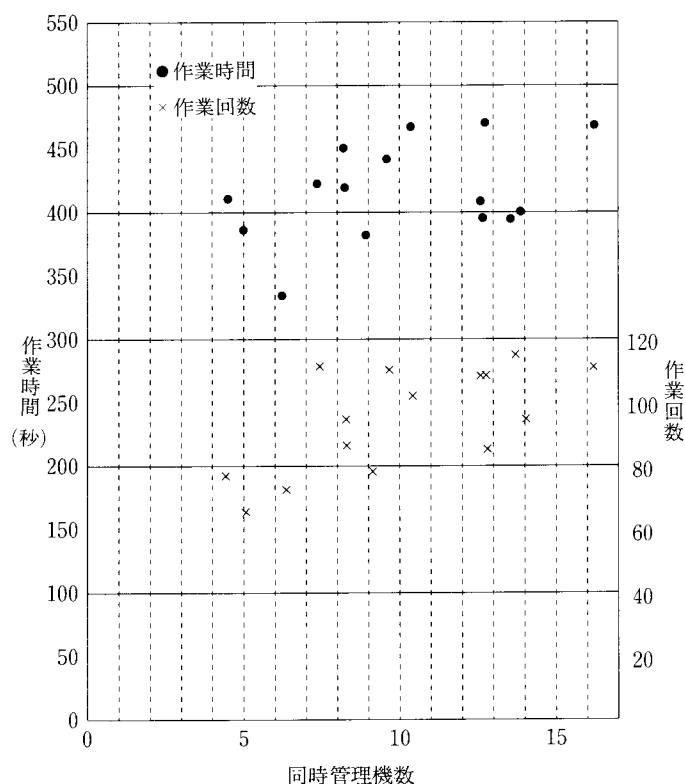


図11 調整官における同時管制機数と作業時間及び作業回数の相関図

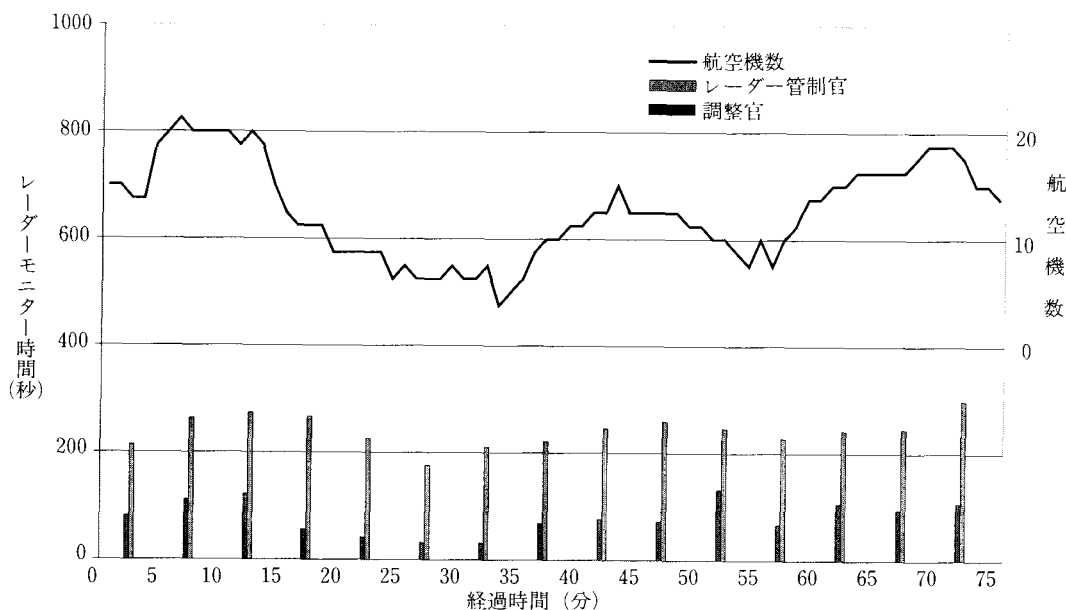


図12 レーダー管制官および調整官における同時管制機数とレーダーモニター時間

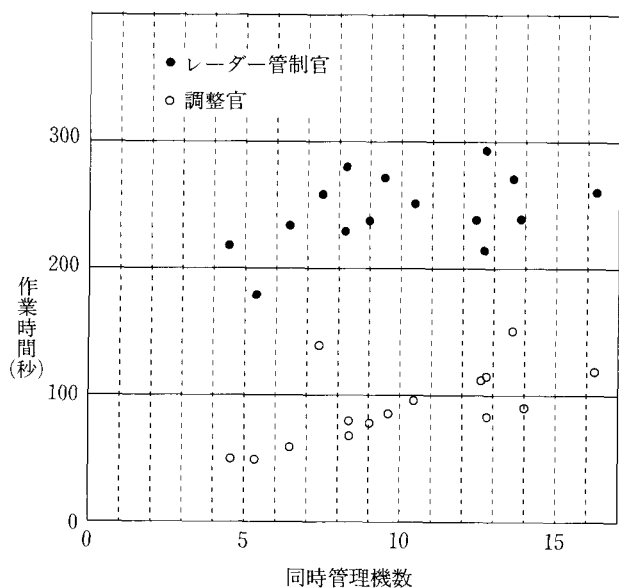


図13 レーダー管制室及び調整官における同時管制機数とレーダー画面監視時間の相関図

レーダー管制官と調整官が行う総作業時間合計12659秒の内、レーダー情報表示装置に関連する作業（レーダー監視（R 2）とRDPシステムへの入力（R 1））の合計は5212秒で全体の41.2%の作業量を占め、運航票に関連する作業（運航票への記入（S 1）、運航票の操作（S 2）、運航票の読み取り（S 3）、FDPへの入力（F 1）及びCRTの読み取り（F 2））の合計は4007秒で全体の31.7%の作業量を占める^(注1)。これら二つに関わる作業量の割合は、その他のパイロットとの対空通信に係わる作業量合

計2071秒（16.4%）及び他の管制官との連絡調整に係わる作業量合計1368秒（10.8%）と比べて非常に大きい。

そこで、管制官の作業の大半を占めるレーダー情報表示装置との対話と運航票との対話作業における情報について検討してみる。

レーダー情報表示装置により管制官が取得できる航空機情報は

- a) 地図上の航空機の現在位置
- b) 地図上の航空機同士の相対的位置関係
- c) ベクトル（航空機シンボルから進行方向に表示される線分）による航空機の進行方向
- d) 航空機の現在高度
- e) 航空機の現在速度
- f) 航空機の識別符号

である。

（注1）

管制情報処理システムのRDPとFDPは互いに連結されており、そのどちらか一方へ航空機の変更情報を入力すれば他の一方へその情報は送られるが、通常RDP端末であるレーダー画面により表示されている情報を変更する場合は、RDP端末キーボードより入力が行われる。一方、運航票を管理するFDP情報を変更する場合は、FDP端末キーボードから入力される。また、他のセクターで入力された変更情報は、運航票の内容を書き換えさせるためにFDPの端末であるCRT画面に表示される。これらのことから、ここではRDP端末からの入力はレーダー情報表示装置との対話とし、またFDP端末からの入力とCRTの読み取りは運航票との対話として集計した。

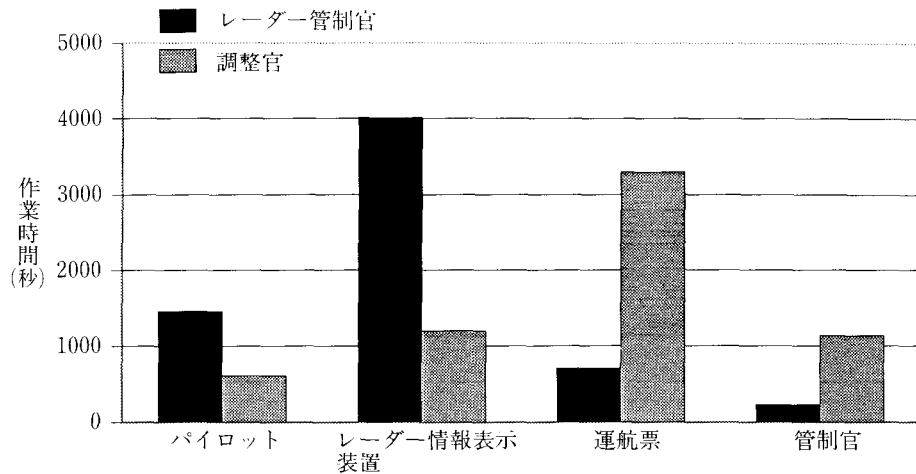


図14 対話対象別の作業量比較

他方、運航票により管制官が取得できる航空機情報は

- a') 時間を基準とした航空機の予測位置
- b') 時間を基準とした航空機同士の相対的予測位置関係
- c') 飛行経路による航空機の進行方向
- d') 航空機の手定高度
- e') 航空機の手定速度
- f') 航空機の識別符号
- g) 出発管制承認の根拠となる目的地を含む飛行経路

である。

このようにレーダー情報表示装置と運航票により管制官に提供されている情報は、運航票にある飛行経路を除いては類似しており、それらの差異は、地図を基準とした情報と時間を基準とした情報で表現しているかである。

同様に、管制官からこの両者への情報に着目すると、管制官のレーダー情報表示装置への入力

- イ) 高度変更に伴う新しい高度 (高度変更)
- ロ) 経路変更に伴う新しい経路 (経路変更)
- ハ) 巡航速度変更に伴う新しい速度 (速度変更)

であり、

管制官の運航票への記入は、

- イ') 高度変更
- ロ') 経路変更
- ハ') 速度変更
- ニ) パイロットからの要求事項
- ホ) 他の管制官との調整事項

である。

イ)、ロ)、ハ)とイ')、ロ')、ハ')を比べると、同一の情報を、一方はレーダー情報表示装置へキー入力で、他方は運航票への記述として入力していることが分かる。

このように、現状では類似の情報が異なる方法により管制官に提供されている。本来管制業務はその時々最良の情報を基に行う判断作業が主任務であるにもかかわらず、運航票への記入や管制情報処理システムへの入力など付随的な作業に追われることが、レーダー画面監視の中断の要因となり、また高いワークロードの一因になっている。このことは、管制官への情報提供のあり方とシステムへの情報入力などのあり方に改良を加える必要があることを示唆している。

5.2 対話対象と情報

ICAOでは、ヒューマン・ファクターを理解するためのモデルとして、オランダ航空のホーキンス機長 (W. H. Hawkins)が確立したSHELモデルを採用している。それによると、人的過誤 (ヒューマン・エラー)は、作業者である人 (L: ライブウェア)と、その周りに存在する手順 (S: ソフトウェア)、物 (H: ハードウェア)、環境 (E: エンバイロメント)および他の人 (L: ライブウェア)との接点での不整合により起こるものと捉えている⁽³⁾。

航空路管制業務において、管制官を中心に考えた場合、管制官とパイロット及び他の管制官との関係は、人と人 (ライブウェアとライブウェア)との接点での情報交換であり、管制官とレーダー情報表示装置及び運航票との関係は、人と物 (ライブウェアとハードウェア)との接点での情報交換となっている。

このレーダー情報表示装置と運航票は、管制官の目前

に位置する二つのハードウェアであり、それらを通じて管制官に提供される情報は、5.1で述べたように、その多くが類似している。そこで、このレーダー情報表示装置と運航票との作業を簡略化し管制官の作業量を軽減する方法として、これら二種類の媒体による情報を一つのハードウェア上に統合表示し、管制官に提供する方法が考えられる。

レーダー情報は、リアルタイム情報であるのみならず、地図情報を基にしたアナログ情報表示方法である。これは管制官にとって認知しやすい情報形態であり、航空機同士の相対位置関係を肉眼で容易に理解することができる認知度の高い情報形態である。

一方、運航票の情報は、文字と数字のデジタル情報であるので、記録することと正確さにおいてはアナログ情報に勝るが、全体的な交通量の把握や衝突の可能性の予知など直感的な認知においてアナログ情報に劣っている。

そこで、これら異なる性質の情報を、管制官が行う判断業務に適する形態に加工し、認知度の高い情報形態として統合できれば、従来レーダー管制情報表示装置と運航票として管制官に提供されてきた情報が、一つの管制情報表示装置を介して管制官に提供できる可能性がある。また、このことにより図15に示す様に、管制官が対話をしている四つの対象物（パイロット、レーダー情報表示装置、運航票及び他の管制官）が三つ（パイロット、新しい管制情報表示装置及び他の管制官）となり、作業手順の簡略化や作業量の減少など、管制官の業務環境の改善が期待できる⁽⁴⁾。

6 まとめ

フィールド調査を基に航空路管制業務のタスク分析を行った。レーダー管制官と調整官の作業を、5項目12種類に分類して、作業時間と作業回数による計測を行い集計した。その結果、航空路管制業務を担当する管制官は、4つの対象物(1)パイロット、(2)レーダー情報表示装置、(3)運航票及び(4)他の管制官と絶えず情報を交換しながら業務を遂行しており、煩雑な業務形態の中に置かれていることが確かめられた。このような運用状況にあって、管制官が最も大きな比重を掛けている作業はレーダー画面の監視であり、その時間は全体の41.2%を占めている。このことは航空路管制業務にとって、レーダー画面を通して管制官に提供されている情報が、業務遂行上最も有効なものであることを示している。また、管制官が、2番目に比重を置いているのは、運航票に係わる作業であり、その割合は、31.7%であるが、この運航票により管制官に提供されている情報と、先のレーダー管制情報表示装置により管制官に提供されている情報は、その多くが類似している。さらに、交通量の増加と管制官の作業負荷に相関関係があることが明らかになった。

これらのことから、将来の航空交通量に対応するためには、航空路管制業務における管制官の業務形態をより簡素化された形態に改善する必要がある。その一つの方法として、レーダー情報と運航票の情報を一つの管制情報表示装置に統合し管制官に提供する方法が考えられる。この方式によれば、管制官が業務遂行上において対話すべき対象を減少させることが期待でき、その結果と

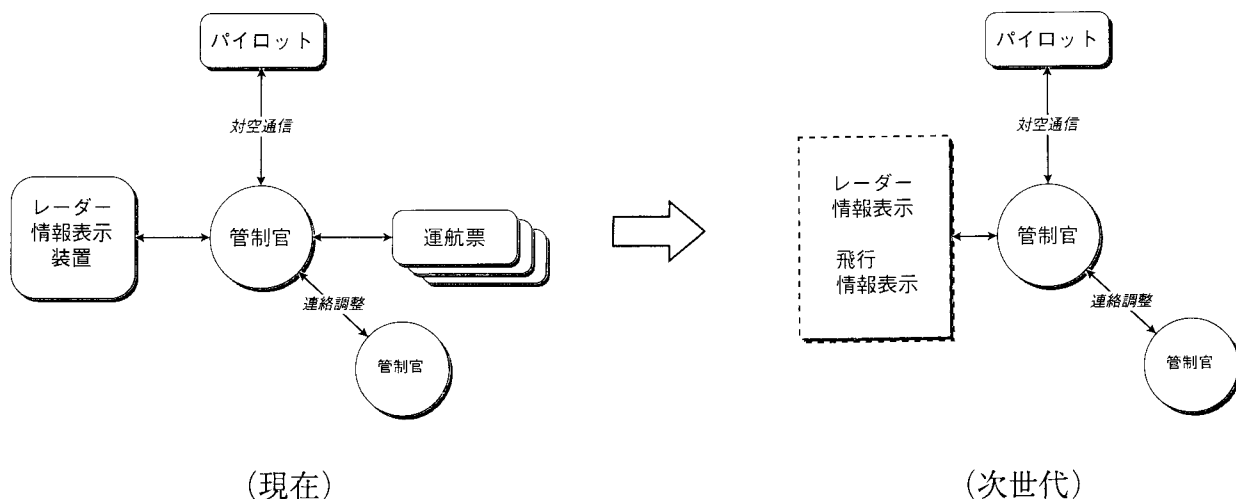


図15 次世代航空路管制業務の概念図

して、ワークロードの減少などの業務環境の改善に結びつく可能性がある。実際の業務環境の改善のためには、管制情報統合表示装置を試作し、それをを用いての管制官による更なる評価実験が必要であるが、今回の調査報告は将来における管制情報の統合表示の可能性を示すものとする。

謝 辞

本研究のフィールド調査に当たり、航空局管制保安部ならびに東京航空交通管制部各位のご理解とご協力に対し、深く感謝いたします。また、助言を頂いた井上和夫電子航法評価部長をはじめ研究官諸氏に対しお礼を申し上げます。

参考文献

- [1] HUMAN FACTOR DIGEST No.8 “HUMAN FACTORS IN AIR TRAFFIC CONTROL” ICAO

CIRCULAR 241-AN/145, 1993

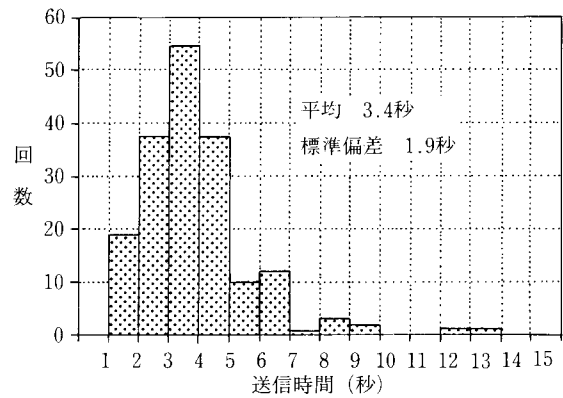
- [2] 佐藤裕喜：“航空路管制業務データの分析・処理方法について” 第26回電子航法研究所発表概要，平成6年5月（pp17～20）
- [3] Frank H. Hawkins：“Human Factors in Flight” Gower Technical Press（pp20～24），1987
- [4] Hiroki Sato “Current Developments in The Air Traffic Control Environment” Proceedings of The 32nd Aircraft Symposium（pp101～104），October 1994

キーワード

フィールド調査，タスク分析，レーダー管制官，調整官，レーダー情報表示装置，運航票，ヒューマン・ファクター，ライブウェア

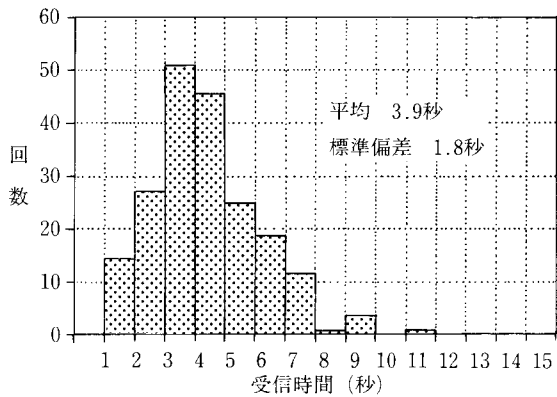
（平成7年10月9日受付，8年1月10日再受付）

付録 項目別作業時間度数分布

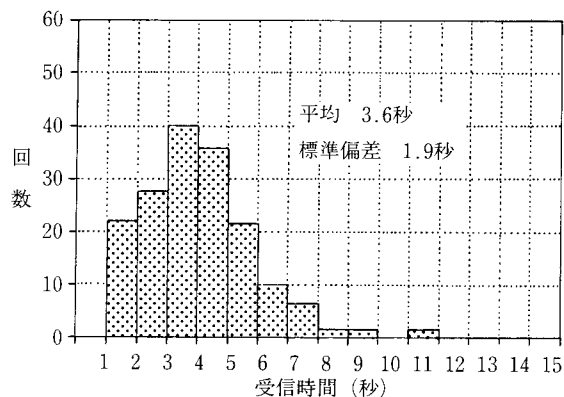


付図1 レーダ管制官の対空送信

付図1 対空送信
通常レーダー管制官が担当する作業である。1回の送信に要する時間は、3.4秒である。

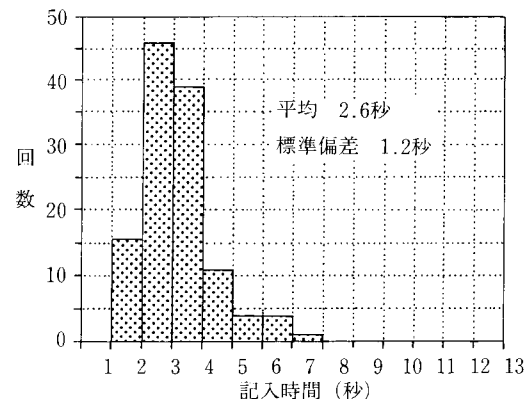


(a) レーダー管制官

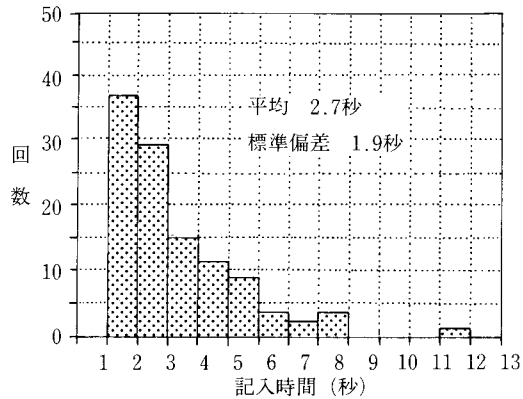


(b) 調整官

付図2 対空受信
調整官は、レーダー管制官と同様に無線周波数を傍受している。レーダー管制官に比べて平均時間が少ない理由は、優先する連絡調整作業のために対空受信を中断するからである。

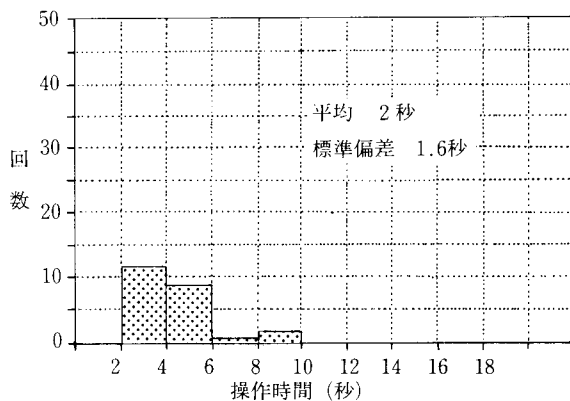


(a) レーダー管制官

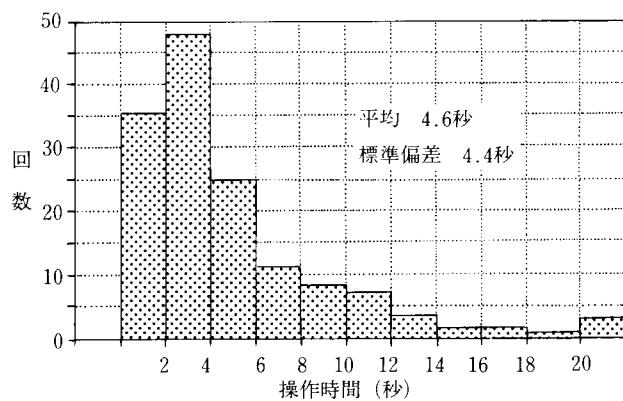


(b) 調整官

付図3 運航票への記入
レーダー管制官、調整官ともに短時間で行っている。



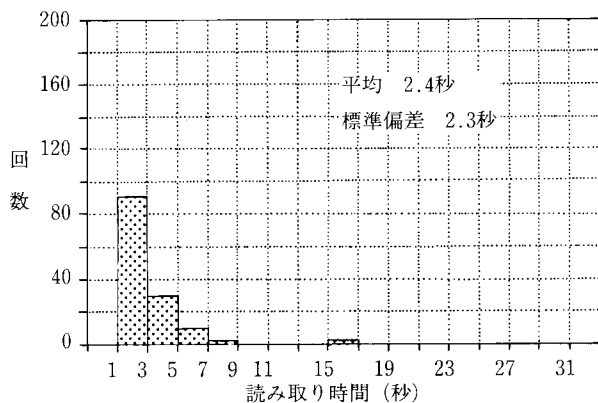
(a) レーダー管制官



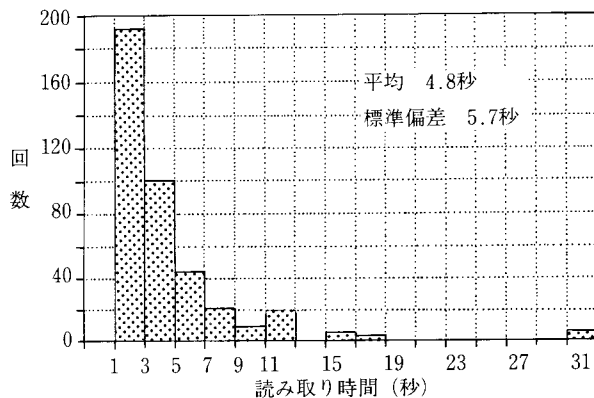
(b) 調整官

付図4 運航票の操作

主に調整官によって行われる。レーダー管制官と比べて調整官の平均時間が長い理由は、運航票を移動させながら、運航票に印字された内容を読むためである。運航票の全体の配置を大きく変えるために、長い時間を要することがある。



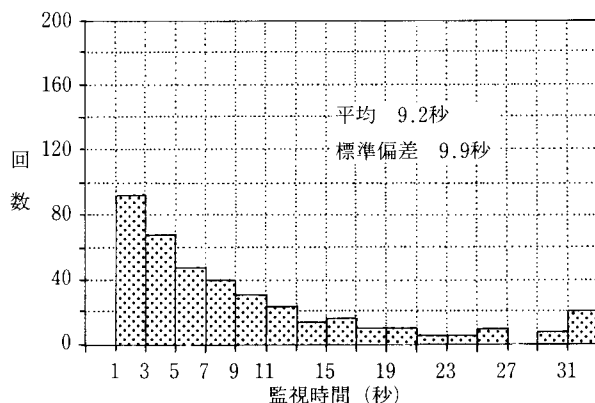
(a) レーダー管制官



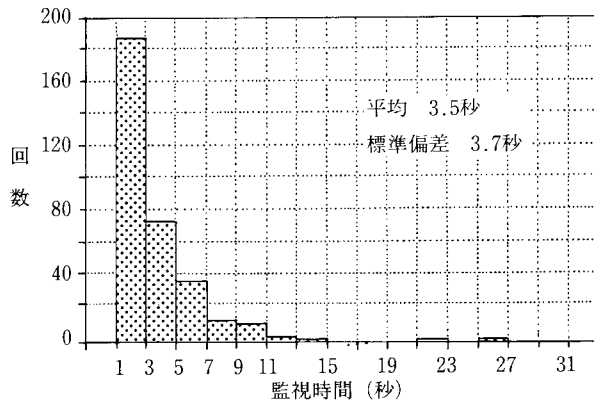
(b) 調整官

付図5 運航票の読み取り

レーダー管制官は、運航票への記入の際に、その記入場所を捜すために見る程度である。他方、調整官は、数字と英文字からなる印字内容を読み取ることから、レーダー管制官の2倍の値を示している。



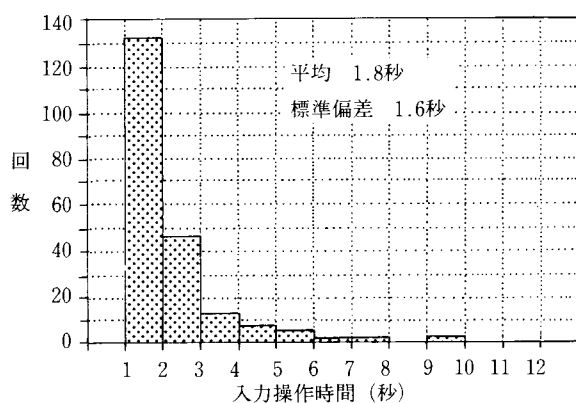
(a) レーダー管制官



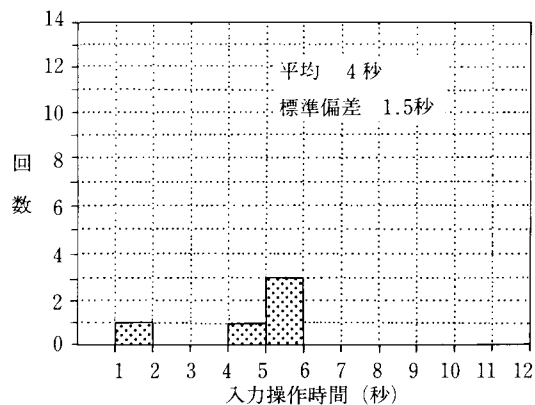
(b) 調整官

付図6 レーダーの監視

レーダー管制官は、調整官と比べて3倍近い値を示している。この作業は、両管制官の作業時間合計において、最も多い時間を要している。



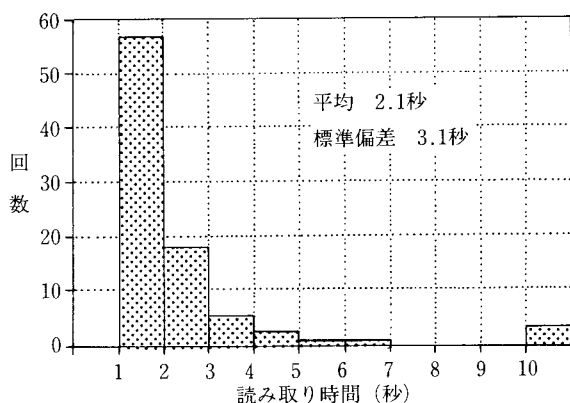
(a) レーダー管制官



(b) 調整官

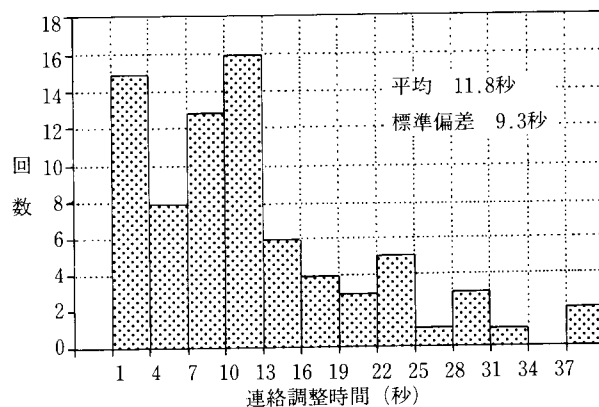
付図7 システムへの入力

システムへの入力の大半は、レーダー管制官によって行われ、その為の1回の作業時間は極めて短い。これは、レーダー管制官は、パイロットに指示を出すと同時にシステムへの入力を行うが、指示を出す交通状況では、画面に注目する必要があるからである。



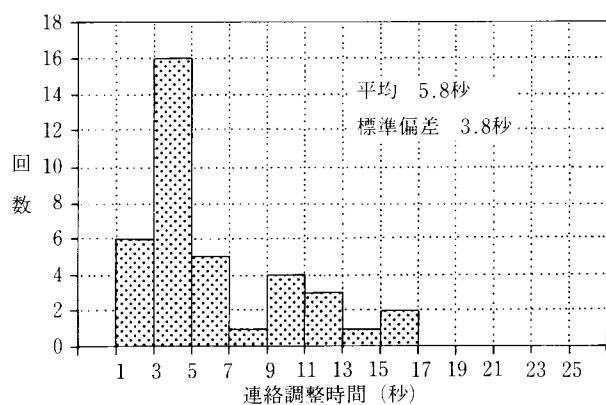
付図8 調整官のCRTの読み取り

FDPシステムから出力される情報を読み取り、運航票の印字内容（主に航空機の飛行高度や通過予定時刻）を変更する作業である。調整官が担当している。

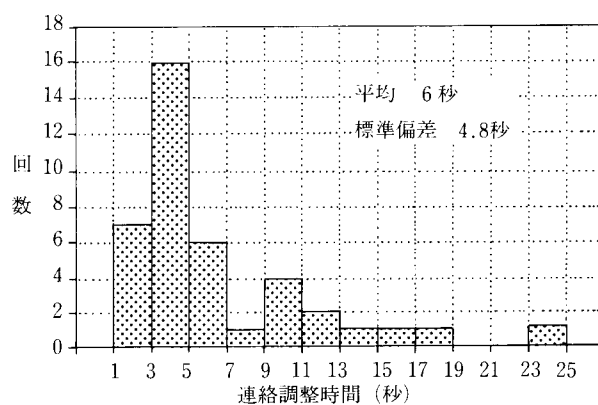


付図9 調整官の他セクターの管制官との連絡調整

他のセクターおよび空港との連絡調整は、調整官が担当する。1回の連絡調整に要する時間は、平均11.8と極めて長く、また標準偏差も大きい。これは、連絡調整の内容が多義に渡っているためである。



(a) レーダー管制官



(b) 調整官

付図10 同じセクター内の管制官との連絡調整

レーダー管制官と調整官の間で行われる連絡調整であるので、両者の値は極めて似通っている。レーダー管制官の方が調整官より平均時間が少し短いのは、対空送信を担当しているからである。