

UDC 629.1073:  
629.735:  
62-752:  
159.938

# 航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-486

航空機の動揺のり心地に関する一実験

幸尾 治朗 ・ 斎藤 秀夫 ・ 矢沢 健司

塚野 雄吉 ・ 小野 孝次

1977 年 1 月

航空宇宙技術研究所  
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

# 航空機の動揺のり心地に関する一実験\*

幸尾治朗\*\*・斎藤秀夫\*\*\*・矢沢健司\*\*\*

塚野雄吉\*\*\*・小野孝次\*\*\*

## An Experimental Investigation on the Riding Qualities of Aircraft

By Jiro KOO, Hideo SAITO, Kenji YAZAWA  
Yukichi TSUKANO and Takatsugu ONO

### ABSTRACT

Recently, it has been claimed that motion sickness is due to confusion created in the central nervous system of the brain by conflicting position and motion informations arriving from visual and vestibular organs.

This is one of the series of experimental studies designed to determine what are the physiological and psychological causes of motion sickness.

Using a "variable stability aircraft" as a wave like heaving motion accelerator, in-flight experiments were carried out to introduce a psychological comfort characteristic curve which relates to riding qualities and motion period.

"Method of Pair Comparisons" in the field of psychology were adopted to analyze the experimental data. It was found that the discomfort peak appeared near the 5 second heaving motion period.

### 1. ま え が き

航空機の乗り心地を支配する数多くの要因としては振動、動揺などの乗物の動きに加えて、昼夜（明暗）、気圧、騒音、温度、湿度、臭気、座席の位置（前後、もしくは窓側、通路側の別）などの環境条件があげられる。これらの因子は入りまじって働いたり、相乗作用を起したりするのみならず、乗客の飛行経験、体力、体質、体調、性格、心理状態にも大きく影響され、それらの総合的な効果を考慮した乗り心地の判定基準をきめる事はむずかしい。今、これらの中で比較的定量的な取扱いが可能と思われる機械的な動きを取り上げ、これを繰り返し周期の長さによって人体生理学上の立場から分類し、周期1秒以下を振動、それより長い周期の動きを動揺と呼ぶ。<sup>1)</sup>

動揺運動によって発生する症状は動揺酔（Motion Sickness）と呼ばれ、航空機酔（Air Sickness）のみならず、自動車、船舶から、最近では宇宙船塔乗者に度々発生する宇宙酔（Space Sickness）の分野まで幅広く包括されている。動揺酔の発生は、人体に備わるいくつかの感覚器官から送られる知覚信号の間に、矛盾が検知された時に起るものであるとされている。<sup>2)</sup> 例えば、航空機が山あいを飛び交う様子を機内の操縦席から撮影した画面を、迫真力のあるシネラマ劇場の固定席で観覧した様な場合、観客、特に飛行機のパイロットは不快感をいだくことが多い。シネラマ酔（Cinerama Sickness）と呼ばれるこの症状は、身体が映画館の観客席に固定され、体感としては静止中であるとの情報を得ているのに、視覚情報ははげしい旋回、上昇、下降、運動感覚を脳中枢に送るため、両者の感覚情報の矛盾が不快感をもたらすことになる。特に飛行機の運動について体感覚と視覚

\* 昭和51年12月9日 受付

\*\* 計測部

\*\*\* 飛行実験部

の関連に関する記憶がはっきりしているパイロットの場合に、矛盾感引いては不快感が強いのである。模擬視界装置を備える固定席シミュレータの操作にたづさわるパイロットの間にも同様な症状が報告され、シミュレータ酔 (Simulator Sickness<sup>2)</sup>) と名づけられている。

本報告は航空機の乗り心地に関する研究の一部として、動揺のカテゴリに入る長い周期を持つ航空機の上下運動を人体に加えた場合に発生する不快感について、動揺周期と不快感の関係を検討する目的で乗り心地の評価曲線を実験的に導いたものである。

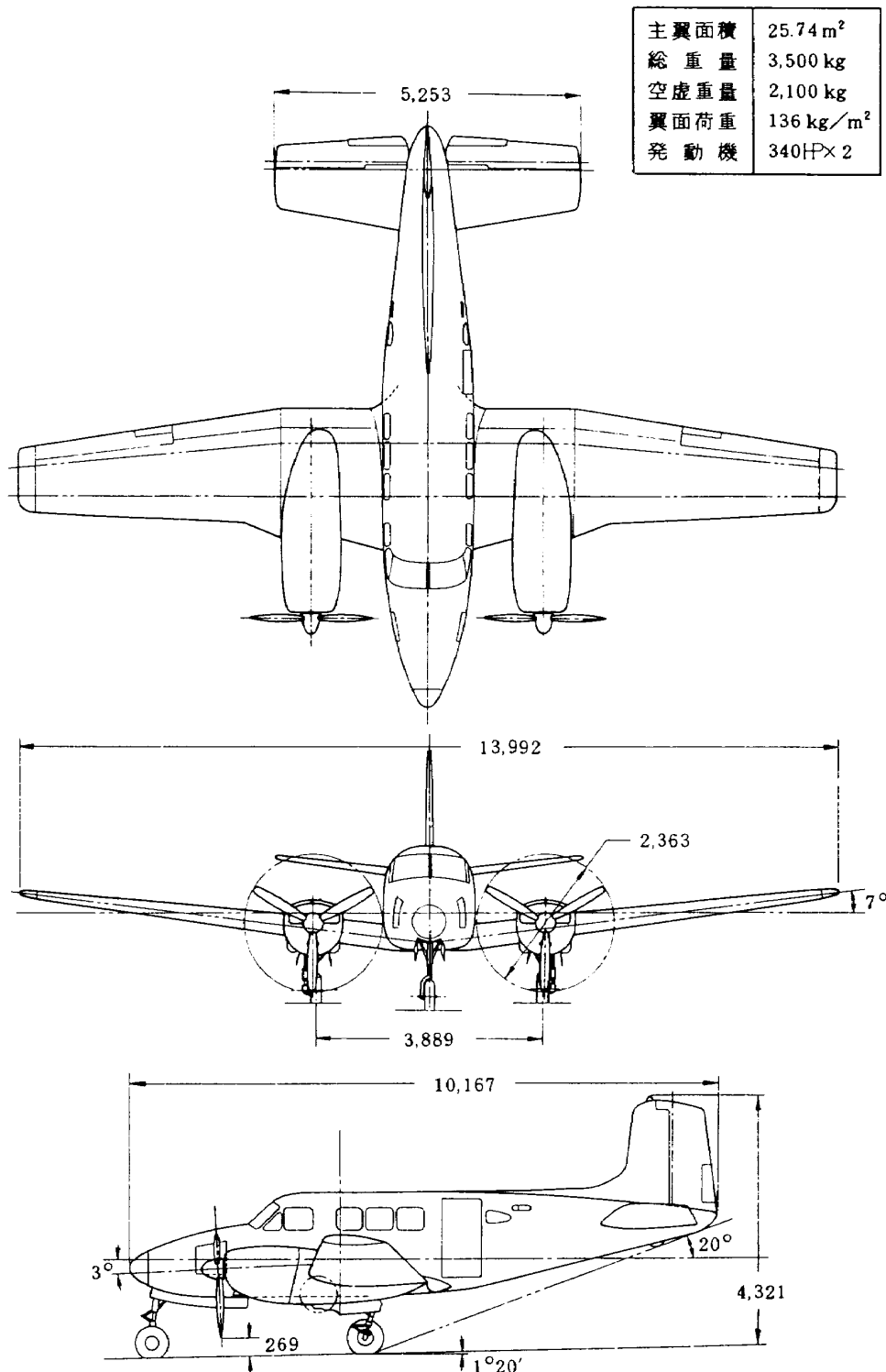


図 1

## 2. 実験および解析

VSA (可変安定飛行機) 装置<sup>3)</sup>を備えた当所の実験用航空機クイーンエア65型の昇降舵に電気信号に従って駆動される正弦波状操舵入力を加え、所期の大きさの加速度、および希望の周期を持つ上下動揺運動を起させ、塔乗した被験者によってなされた報告を解析した。上述の飛行機を一種の加振装置として用い、周波数のちがいによる不快感の差を8名の被験者に報告させたものである。本実験およびデータ処理は定量的に測る事が困難な感情値とか美的価値、或いは好き嫌いなどの度合を定める場合に用いる心理的尺度のきめ方の一つとして、心理学実験で用いられている「1対比較法<sup>4)</sup>」の手法に基づいて行われ、最終的には6種の異なる周期の動揺運動についての不快感の心理的尺度が得られた。

### 2.1 実験機

用いた実験機の三面図および諸元を図1に示す。原型機は米国ビーチクラフト社製の小型ビジネス用プロペラ機である。本機はオートパイロットPB20J (YS-11機に使用)を備え、種々の機体の状態量の変化に対応する方向舵、昇降舵あるいは補助翼の操作をサーボモータにより行なわせ、機体の運動特性、操縦応答特性を変化させうるものである。これらの特性は、各状態量をフィードバックさせる比例常数を変える事で随意に変化させるもので、この様な装備を持つ飛行機を可変安定飛行機 (Variable Stability Airplane) と呼ぶ。本実験では与えられたプログラムに従って昇降舵操作のみを行った。

### 2.2 実験要領

本実験は飛行機を加振装置として用いた点が特長である。人体に所要の上下動揺運動を加える実験飛行は次の

要領で行われた。

- i) 飛行形態および条件
  - 飛行速度：130 哩/時
  - 飛行形態：巡航状態 (水平定常)
  - 飛行高度：3,000 ~ 6,000 呎
  - 実験空域：出来るだけ気流の穏かな空域をえらぶ。
- ii) 発生させる動揺運動の周期および加速度
  - 周期：2, 3, 4, 5, 6, 8 秒 (6 種)
  - 波形：正弦波
  - 上下最大加速度：± 0.2 g
  - (加速度の大きさは予備飛行試験を行ない、不快感の判別に適していると思われる値を取った。試験によれば、± 0.1 g 程度では小さすぎて判別困難であり、± 0.3 g 程度になると速やかに不快感が高まり、酔ってしまう被験者も現われたので、± 0.2 g が適当であると判断した。)
- iii) 実験順序 (図2参照)
  - a. 空域の選定および飛行速度、高度の設定
  - b. 動揺周期の組合せカードの選定および加速度の設定
  - c. 45 秒間加振、30 秒間休止

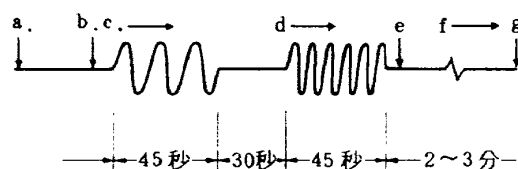


図2 実験順序

表1

	被験者	年齢	身長 cm	体重 kg	飛行時間 hr	飛行経験 hr	備考	耐酔性
1	GTY	51	167	60	5,000		操縦士	A-2
2	TRY	30	170	72	1,050		操縦士	A-1
3	KOJ	48	171	55	120	500	研究員 (操縦経験あり)	B-3
4	STH	48	166	61		20	研究員	C-1
5	TKY	33	168	59		500	全上	B-1
6	KMY	31	168	65		100	全上	A-1
7	YZK	30	178	65		100	全上	A-2
8	ONT	28	163	54		200	全上	B-3

- d. 別の周期で 45 秒加振
- e. 乗り心地の良否を比較, 報告
- f. 水平定常飛行を 2~3 分継続
- g. 他の組合せのケースに移る。

iv) 実験上の注意事項

- a. 悪気流によっておこる不快感の影響をさけるため気象条件には特に留意し, 空域, 高度を選んで, 気流の乱れの少ない飛行空域を定める。
- b. 被験者を著しい不快感に陥入らせる事のない様に留意する。(著しい不快感を経験すると, その後の乗り心地の評価, 判断を誤るおそれがある。)
- c. 乗り心地の比較, 報告に際しては被験者相互間の意見の交換, 調整をさける。
- d. 実験中は開眼で飛行方向に着席し, ほぼ前方の一定方向(操縦席との隔壁)に視線を向け, 一点の注視をさける。
- e. 被験者は精神的, 肉体的状態を良好に保持する様に心掛け, 特に宿酔, 睡眠不足がない様に留意する。

2.3 被験者

被験者は計 8 名で, 2 名はパイロット, 他は研究員であった。研究員の内 5 名は実験飛行の塔乗経験に富み, その中の 1 名は自家用操縦士であった。年齢は 28 才から 51 才までで, すべて男性である。詳細は表 1 に示す。パイロット 2 名は, 実験中常に操縦席において評価, 報告を行った。前節の iii) において c 及至 d の過程では, パイロットは飛行状態に大きな変化が見られない限り, 原則として操縦は行わず, VSA 装置の操舵によって正弦波運動が継続される。パイロットは実験中, 視線を前方に向け焦点は定めないうようにしている。他の被験者は 1 飛行につき 3 名塔乗した。被験者の内, 1 名は動揺周期, 加速度値の設定操作を行ない, 1 名は実験中の加速度発生状況を適宜監視しながら評価, 報告を行なった。表 1 で耐酔性とは従来の悪気流中での飛行経験に基づいて, 酔い易さを定性的に示したものである。強い方から A, B, C とし, 各々を更に 1, 2, 3 に分類した。

表 2 乗り心地試験に用いた動揺周期組合せカード

カ リ ド	4-2	b カ リ ド	5-2	c カ リ ド	6-2	d カ リ ド	4-4	e カ リ ド	8-6	f カ リ ド	2-2
	5-5		5-4		4-5		8-8		2-8		8-4
	6-6		3-8		6-3		6-8		2-6		4-3
	3-6		6-5		5-8		4-8		3-5		4-6
	3-2		8-2		2-5		8-3		6-4		3-3
	5-3		2-3		3-4		5-6		8-5		2-4

註: 各数字は動揺周期(秒)を示す。

表 3 各実験飛行における被験者とカードの表

飛行 番号 被験者	飛行番号																								シリーズ 数	飛行 数
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
1 GTY	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	d	e	f	d	e	f	d	e	f	d	e	f	4	24
2 TRY	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	d	e	f	d	e	f	d	e	f	d	e	f	4	24
3 KOJ	a	b	c	a	b	c	a			b	c	d	e	f	d		f	d	e	f		e		3	18	
4 STH	a		c		b	c	a	b				d	e			e	f				d		f	2	12	
5 TKY		b		a					c	a	b	c			f	d	e		d	e			f	2	12	
6 KMY							b	c	a												d	e	f	2	6	
7 YZK	a	b	c	a	b	c							d	e	f	d					f		e	2	12	
8 ONT							a	b	c	a	b	c					e	f	d	e	f	d		2	12	

2.4 実験結果の解析

心理学的測定法の分野においては、与えられた刺激をすぐその目盛に合せて測れる様な物理的尺度は一般的には見うけられない。本報告においては心理学的尺度法と呼ばれる1群の方法の中の一つである。「1対比較法」によって動揺乗り心地を尺度化した。

2.4.1 1対比較法

1対比較法とは、心理学的尺度の値を決めたいと思ういくつかの刺激の中から1対の刺激を取り出して観察者に示し、観察者はある定められた観点から、その対の一方が他方より量的に大きいかどうかを判断して行くのが基本である。例えば大根、人参、さつま芋など、野菜の

好き嫌いの心理学的尺度を作る場合を取れば、大根とさつま芋はどちらが好きか？人参と大根ではどちらか？と云った質問を繰返し、その答えを集積して好き嫌いの等間隔の尺度上にプロットする方法である。この場合、観察者は自分の意志によってのみ判断する事が要求される。この方法には、1人の観察者がすべての刺激対について、おのおの多数回の判断をする場合と、逆に、多くの観察者が、各刺激対をそれぞれ1回だけ判断する場合の2つがある。われわれはこの両者を併用し、多数の観察者による、多数回の判断から得られたデータを用いた。

2.4.2 実験データの整理

今回の実験では、被験者は総員8名の中から1回の飛

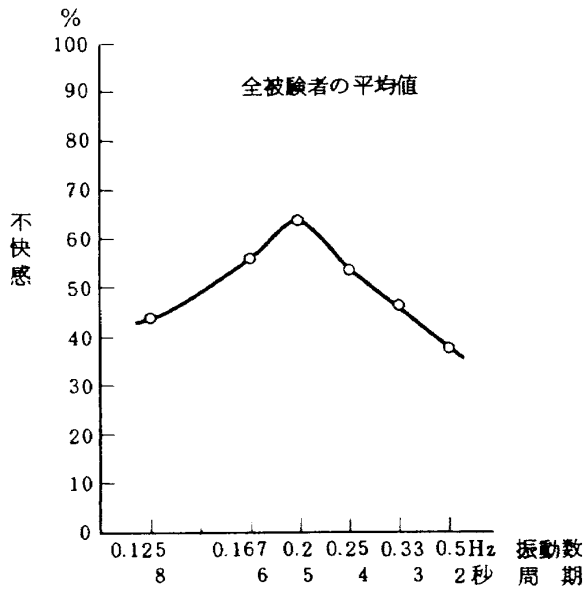


図3 (I)

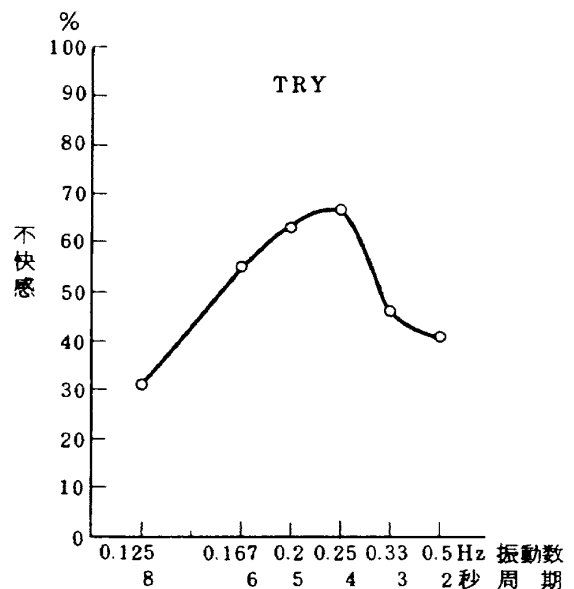


図3 (III)

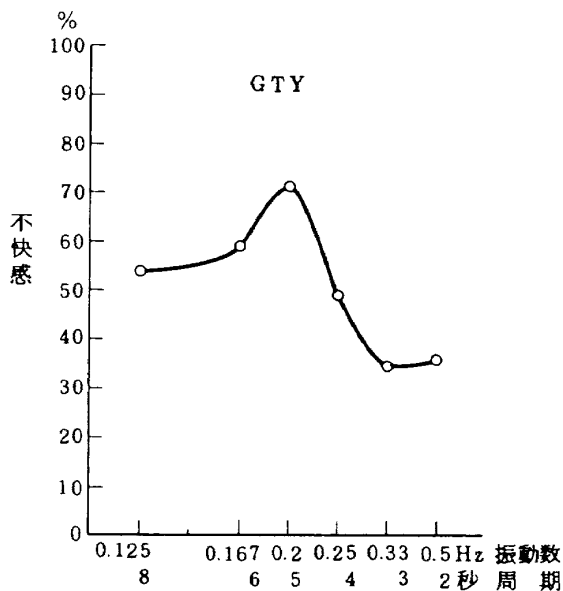


図3 (II)

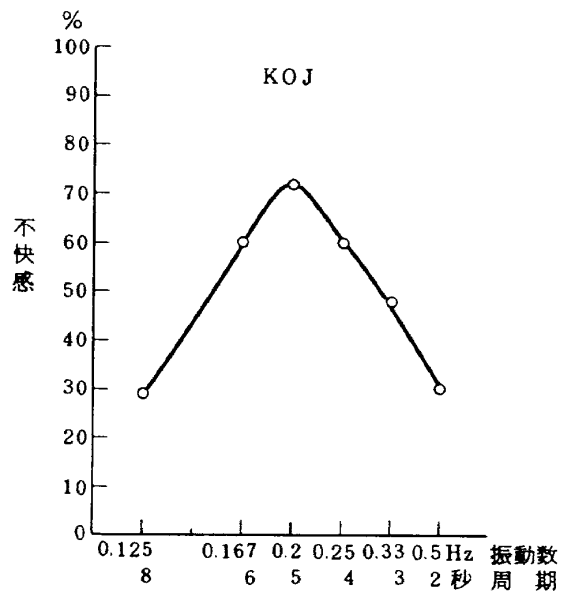


図3 (IV)

行試験につき5名(そのうち2名はパイロット)を選び、上述の比較判断すべき刺激としては乗り心地を判断するための6種の異なる周期(2, 3, 4, 5, 6, 8秒)の動揺運動を用いた。前項の二つの方法を取り混ぜて、被験者8名のうちパイロット2名はすべての飛行(24飛行)について乗り心地の評価を行ない、残り6名の内1名は3シリーズ、4名は2シリーズ、他の1名は1シリーズの飛行について評価をした。表2は6種の動揺運動からランダムに2種を選んで作成したカードであり、各カードが一回の飛行を意味するので1シリーズ(aからfまで)は6回の飛行からなる。

通常、1対比較法の場合は、比較すべき刺激の数を $n$

とすれば比較対の数は $n(n-1)/2$ (従って本実験の場合は15対)対である。今回の実験では2つの刺激の呈示順序が評価に影響を与える可能性がある事を考慮し、影響を消すために $n \times n = 36$ の比較対について比較評価を求めた。なお、同一周期の比較のケースが含まれているのは後節(2.4.3)で出てくる $P_{ii} = 0.50$ になる事を確認する目的のためである。実験は、合計20人シリーズとなり1枚のカードにつき20人回の試験データを得た事になる。表3に各飛行の被験者とカード名を表示する。

実験の要領は前に述べた通りで、例えば、表2のaカードの場合は先づ4秒周期の動揺を加え、約30秒水平飛行ののちにさらに2秒周期の動揺を加え、各被験者に不

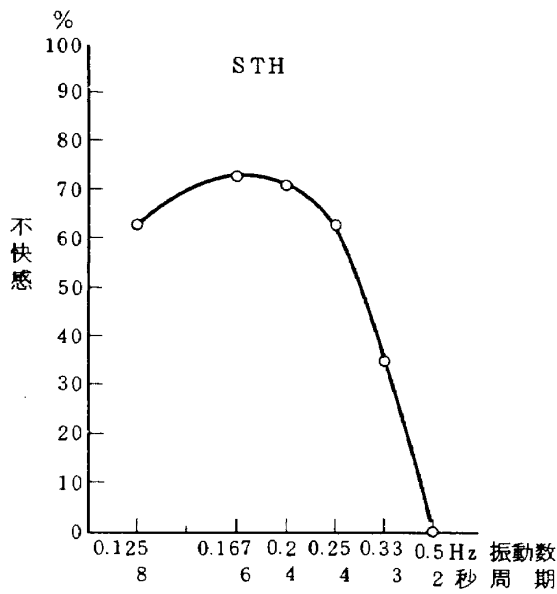


図3 (V)

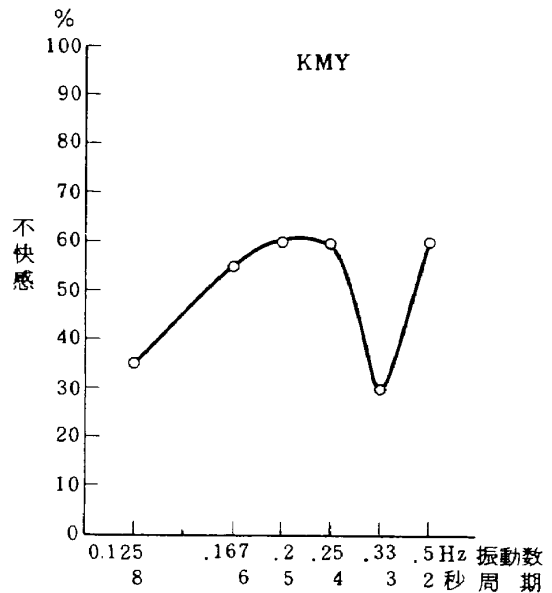


図3 (VII)

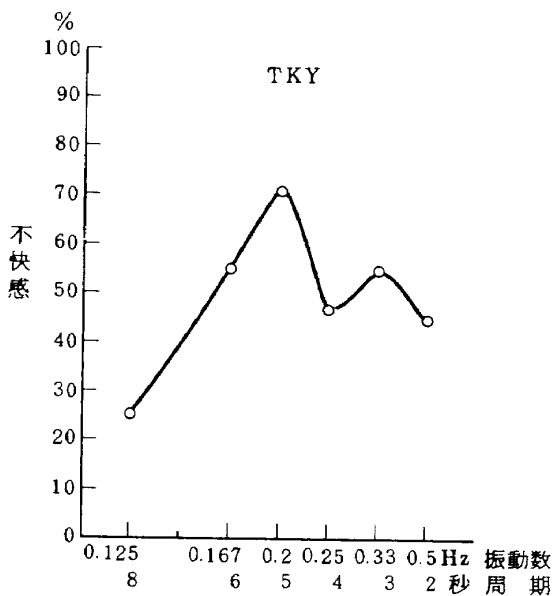


図3 (VI)

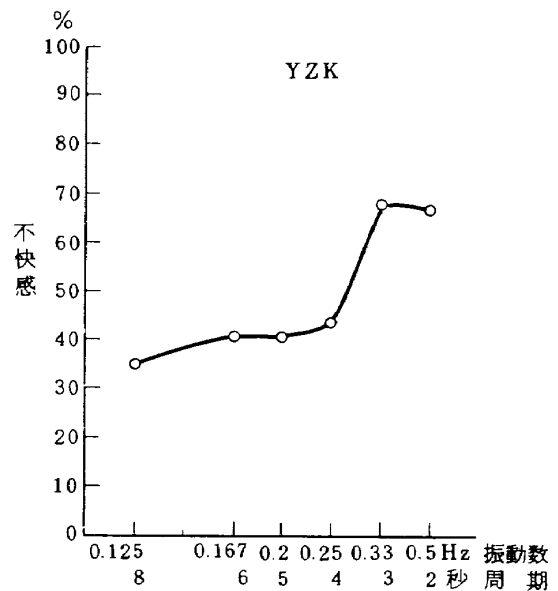


図3 (VIII)

快感の大きい方を選択報告して貰う。各カードの動揺周期の組合せ、および各カードの試験実施順序は被験者にあらかじめ知らされていない。

この様にして集計された報告資料をもとに、より不快と感じる動揺周期の百分率を全被験者について求めた。(2.4.3参照) これらを図3に示す。図3(I)は全被験者の平均値であって、より不快と感じる回数が多い動揺周期は5秒(0.2 Hz)にある事がわかる。図3(II)から図3(IX)に各被験者の判定曲線を示す。(II),(III)の

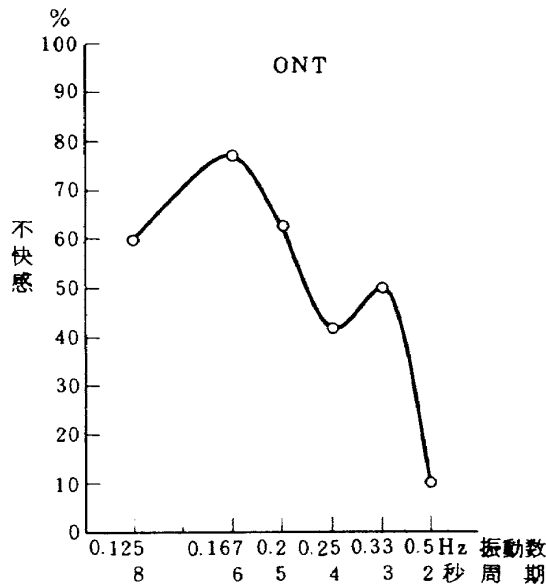


図-3 (I)

加速度計取付位置

1. 操縦席下:  $g_1$
2. 主 桁:  $g_2$
3. 翼 後 縁:  $g_3$

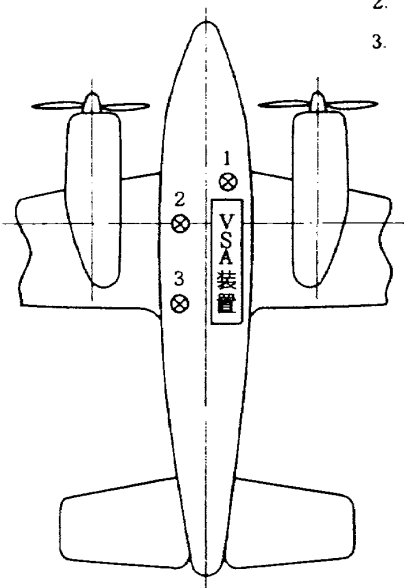


図4

被験者はパイロットで、全飛行を通じて常に操縦席にあって評価を行った。この図で、兩名の不快感のピーク的位置は若干異なるが、同じ傾向を示している。(IV)の被験者は耐酔性は低く自家用パイロットの技能証明を持っており、飛行機の重心位置より後方の座席で何等の作業もせずにより心地の評価を行ったものである。不快感のピークが5秒周期の所にあり(I)の全平均値の傾向とよく似ている。(V)の被験者は耐酔性は低く比較的飛行体験は少ない。座席は重心より一番遠い位置にあり、加速度計の指示を時々読むだけの作業で、乗り心地の評価に従事した。不快感のピークは5~6秒周期附近に現れ、2秒周期の動揺は他の何れと比較しても不快感が少ないと報告している。

(VI),(IX)の被験者は飛行試験の塔乗経験豊かで、重心位置よりやや後方の座席にあり、動揺信号を発生させる機器のON, OFF 作業を行ないながら評価を行なった。これらの場合も不快感のピークは5~6秒附近にあり、全体として似通った傾向を示しているが、4秒周期附近で両者共に曲線が一度落込んでいる点が面白い。

(VII)は飛行体験に富み、耐酔性の高い被験者であるが、時間的制約もあってaからfまでの1シリーズの試験のみに参加した結果である。

(VIII)は可なりな飛行体験のある耐酔性の高い被験者で(VI),(IX)の場合と同じ位置で、同じ作業をしながら評価したものである。この被験者は他と著しく異った傾向を示し、2~3秒附近に不快感のピークが現れ、5~6秒附近の不快感は低く報告されている。

以上、各被験者の耐酔性と不快感曲線の相関について考察してみると、耐酔性の低い被験者の場合は不快感の最大値が比較的長い周期に現れる様に思われる。更に多くの被験者について実験を行なって見たいと考える。

図4に機体実際に発生した加速度の計測点を示す。

1.点はパイロットの位置、2.点は主翼の主桁の位置でほぼ重心位置に当り、動揺信号発生機器の操作席はこれよりやや後方にある。3.点は後方席の位置で最後方位置席はこれよりやや後方にある。図5(a)(b)は機体に発生した上下加速度( $g$ )と縦ゆれ角速度( $q$ )の実測例で、 $g_1, g_2, g_3$ はおおの1.点, 2.点, 3.点の値を示す。図6にVSA装置および動揺加速度指示記録器の装着状況を示す。

### 2.4.3 主観的乗り心地の尺度値の計算

前項で示されたデータに1対比較法の解析手法を適用すると心理学的尺度としての主観的乗り心地の尺度値が得られる。本手法の詳細は他書<sup>4)</sup>にゆづり、本節ではその手順について、ごく簡単にのべる。本実験でより不快と判断された回数及びその百分率をそのまま表4に示す。



例えば、2秒周期が8秒周期より不快であると報告された総回数は、合計40回の報告のうち16回であった事を意味する。この表は不快感報告総回数の小さいものから大きいものへ、順次ならべてある。さらに6種の動揺周期の不快感に関する比率の行列  $P$  を表5に示す。この表では、より不快と判断された回数の比率の合計  $\sum P_{jk}$  が左から右へ順次増大するように配列されている。次に表

5の比率行列  $P$  から正規分布曲線表を用いて尺度化を始める。その結果表6に示す6種の動揺周期についての尺度距離行列  $Z$  が作られ、 $Z$  の列の合計  $\sum z_{jk}$  からその平均値  $M z_{jk}$  を求める。これらの値が6種の動揺運動の不快感の心理学的尺度値となる。この尺度値の負号を除くため、最低を0とする操作を行なうと表の最下行にある、新しい  $R_j$  の値が得られ、これが主観的乗り心地の等間

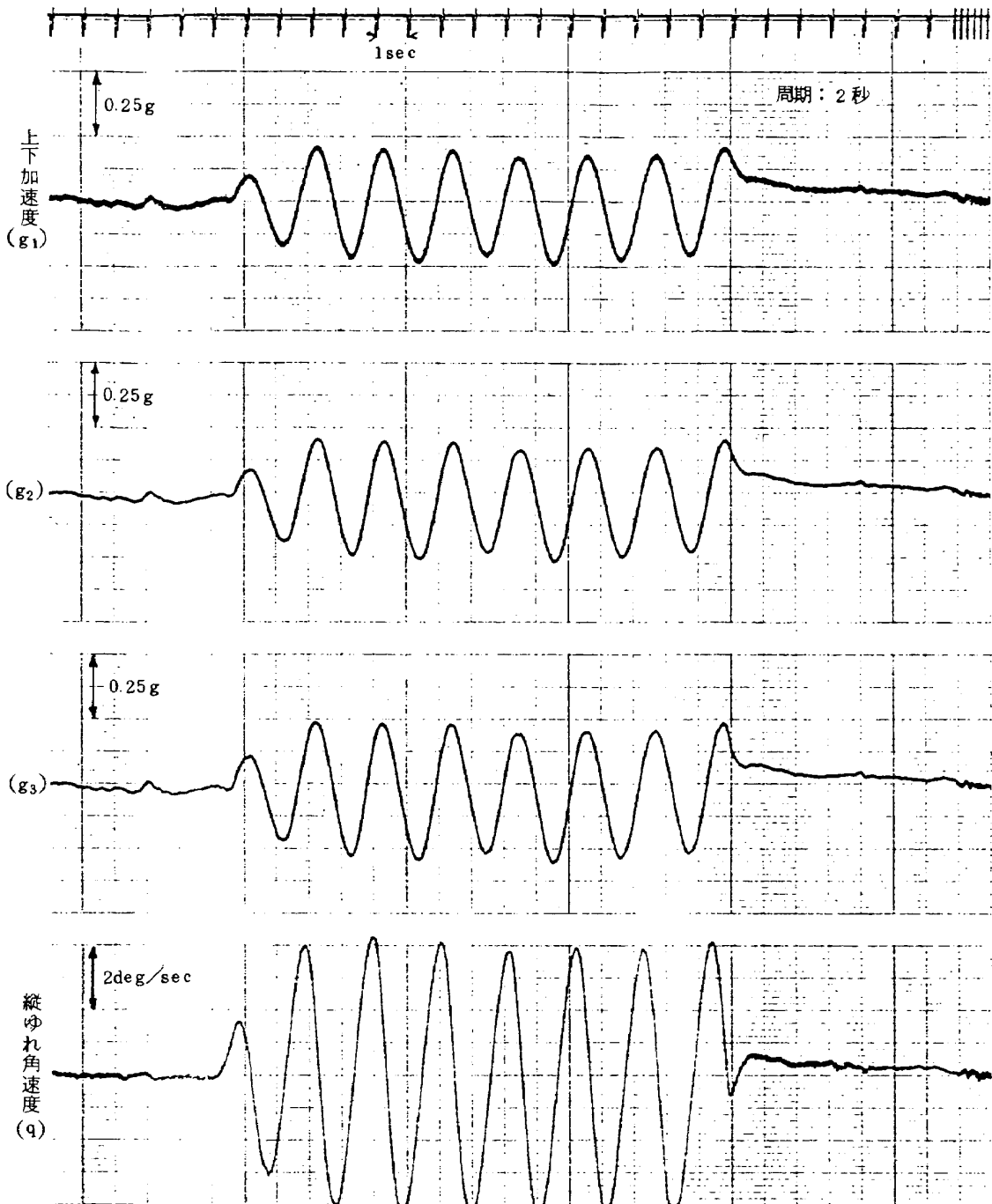


図5 (a)

隔尺度値となる(図7参照)。

図8は動揺運動の周期と主観的乗り心地の尺度値との関係を示すものである。

### 3. む す び

航空機の乗り心地に関する研究の一環として周期の長い(1秒以上)動揺運動を取り上げ、動揺周期と人間の不快感の関係を示す資料を得た。人体の感じる不快感に

ついては各人の経歴、体験、体質等によっても判断の基準にちがいが見られる事がわかった。一例として、この種の動揺運動に強いと思われる被験者の場合(図3Ⅷ)は不快感の尺度がどちらかと云うと危険感の尺度に近づいたのではないかと考えられる節がみられた。周期5秒の近くに不快感のピークが見られる実験例は他にも見られるが正弦波動揺でなく単なる上下動を人体に加えた結果によるものである<sup>3)</sup>

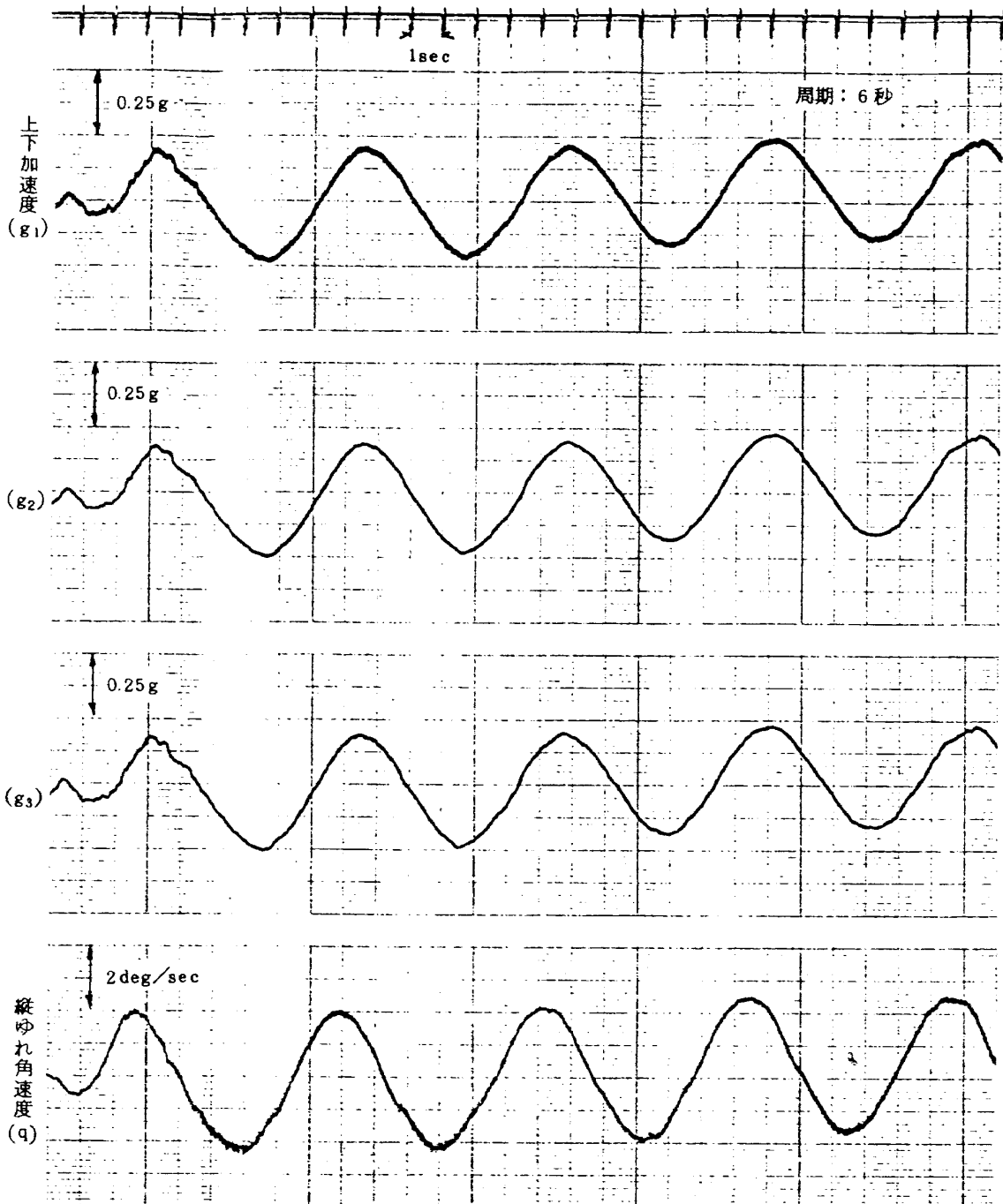


図5 (b)

まえがきにも述べた様に、動揺不快感はいくつかの感覚器官の感覚情報の間の矛盾が原因であるとするればこの5秒周期の近くに最大の矛盾を発生するメカニズムが存在するのであろう。<sup>1)</sup> 本実験は上下の正弦波動揺を取り上げたものであるが、更に前後、左右の動揺ならびに、上下、左右、前後軸まわりの回転運動と不快感の関係の把握、進んで不快感の発生メカニズムの解明が今後の課題として残されている。

終りに本実験に際して、VSAについては当所飛行実験部長 別府護郎氏、実験飛行については、飛行課長 後藤芳夫氏、飛行専門職 照井祐之氏、整備係長 鎌田幸男氏、の惜しめない協力を得た事を附記する。又、心

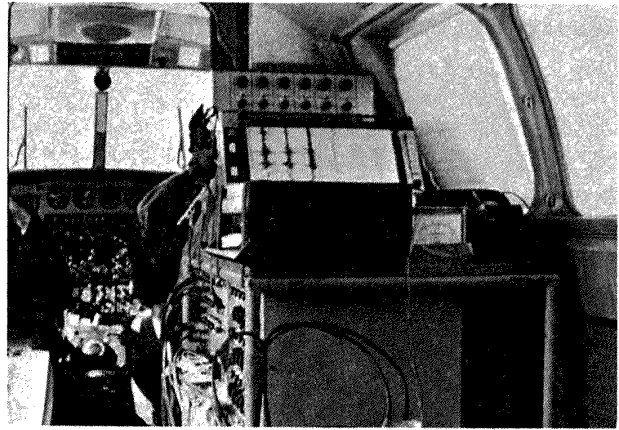


図6 VSA装置及び動揺加速度指示記録器

表4 1対比較法でより不快と感じた回数及びその百分率

周期	2 (秒)	8	3	4	6	5
2 (秒)	20	24	29	25	21	31
8	16	20	22	27	24.5	26
3	11	18	20	23.5	27	29
4	15	13	16.5	20	25	22.5
6	19	15.5	13	15	20	23.5
5	9	14	11	17.5	16.5	20
総回数	90	104.5	111.5	128	134	152
百分率 (%)	37.5	43.6	46.5	53.4	55.9	63.4

表5 6種の周期に関する比率行列P

	2 (秒)	8	3	4	6	5
2 (秒)	.500	.600	.725	.625	.525	.775
8	.400	.500	.550	.675	.613	.650
3	.275	.450	.500	.588	.675	.725
4	.375	.325	.413	.500	.625	.563
6	.475	.388	.325	.375	.500	.588
5	.225	.350	.275	.438	.413	.500
$\sum P_j > k$	2.250	2.613	2.788	3.201	3.351	3.801

理学実験の手法について、京都大学助教授 百名盛之氏、  
当所計測部 人間工学研究室長 岡部正典氏に色々と教  
示を得た事を記して謝意を表わす。

- 3) 別府護朗：乱れた気流中における飛行機の横方向の  
操縦性の研究 TR-429, 1975年10月.
- 4) J.P. Guilford (秋重義治 監訳)：精神測定法,  
培風館 (1954).
- 5) S.J. Alexander et al.: Wesleyan University  
Studies of Motion Sickness : Part I, J. Ps-  
ychology, 19 (1945).

参 考 文 献

- 1) 幸尾治朗：航空機の乗り心地について、航技研資料  
TM-181, 1970年6月.
- 2) J.T. Reason, J.T. Brand : Motion Sickness,  
Academic Press, (1975).

表 6 6種の周期についての尺度距離行列 Z

	2 (秒)	8	3	4	6	5	$\Sigma$
2 (秒)	.000	.253	.598	.319	.063	.755	1.988
8	— .253	.000	.126	.454	.285	.385	.997
3	— .598	— .126	.000	.220	.454	.598	.548
4	— .319	— .454	— .220	.000	.319	.156	— .518
6	— .063	— .285	— .454	— .319	.000	.220	— .901
5	— .755	— .385	— .598	— .156	— .220	.000	— 2.114
$\Sigma z_{jk}$	— 1.988	— .997	— .548	.518	.901	2.114	.000
$M z_{jk}$	— .331	— .166	— .091	.086	.150	.352	.000
$R_j$	.000	.165	.240	.417	.481	.683	1.986

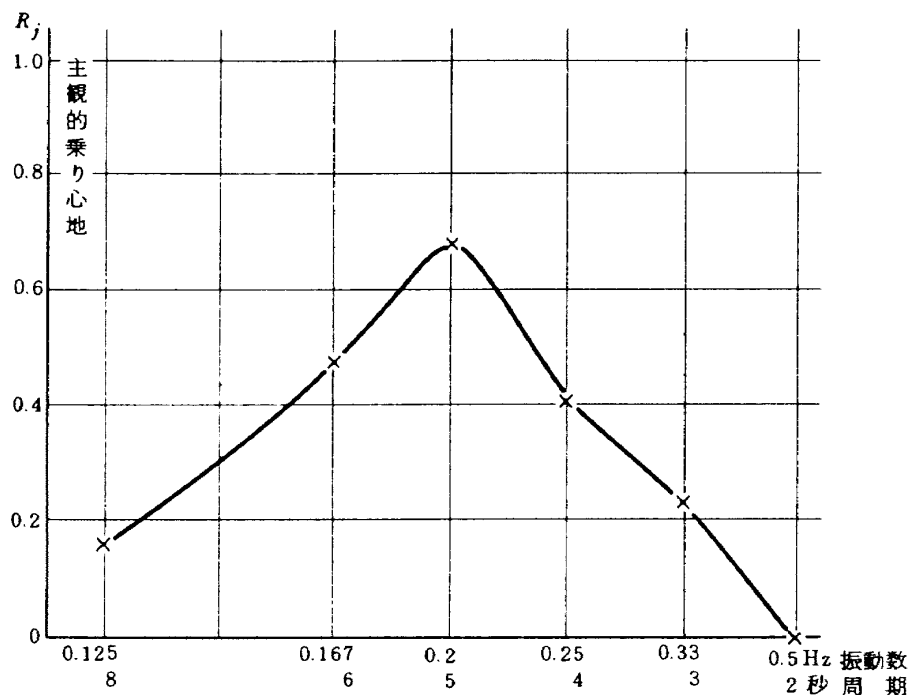
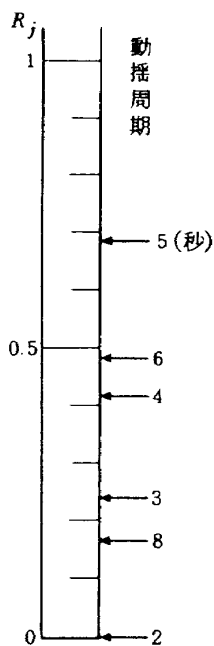


図 7 主観的乗り心地の尺度値

図 8 動揺乗り心地曲線 (上下運動)

---

## 航空宇宙技術研究所報告486号

昭和52年1月発行

発行所 航空宇宙技術研究所  
東京都調布市深大寺町1880  
電話武蔵野三鷹(0422)47-5911(大代表)〒182  
印刷所 株式会社 共 進  
東京都杉並区久我山4-1-7(羽田ビル)

---