

UDC 629.735.7.001.4:
621.452.32

航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-358

フライングテストベッド高度制御拘束実験

—— 第3次実験 ——

滝澤直人・宮本義人・甲斐忠夫・田辺義一
渋谷昭義・小川敏雄・藤枝郭俊
小野幸一・鳥崎忠雄・後藤芳夫

1974 年 3 月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

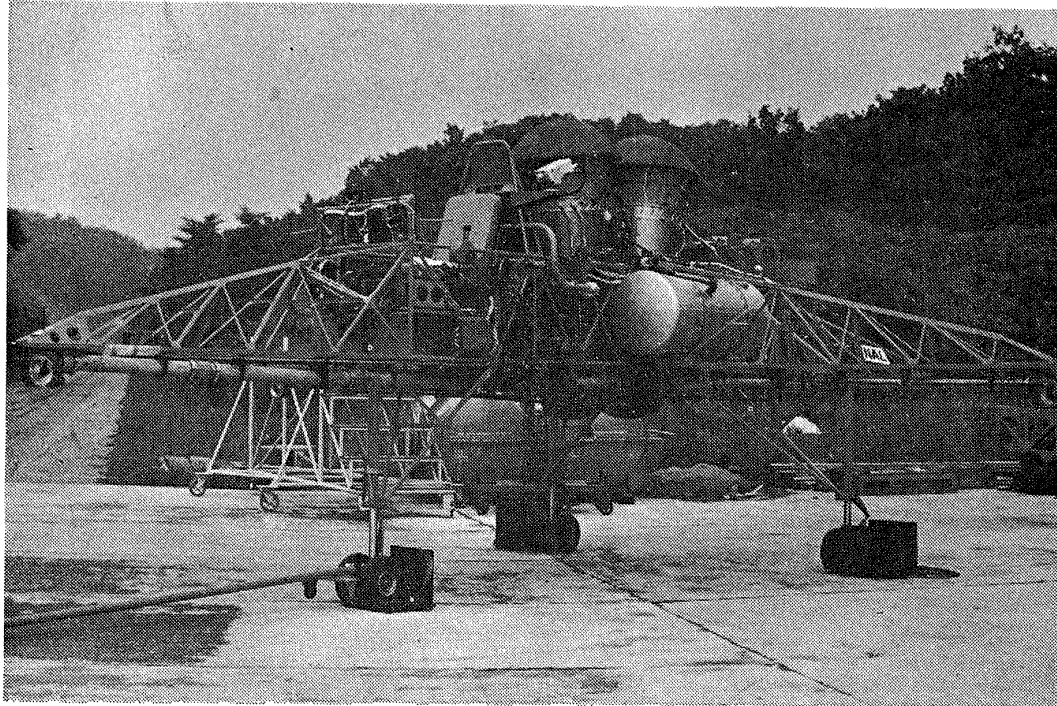


Figure 1 NAL Flying Test Bed 航技研フライングテストベッド

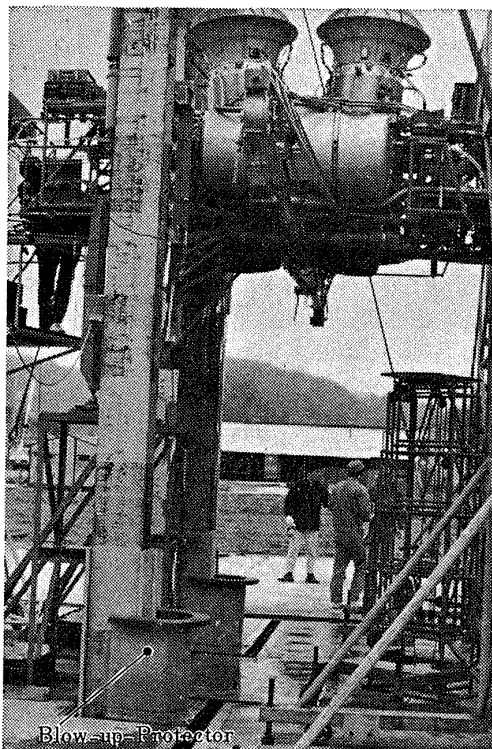


Figure 2 Constrained FTB
拘束状態の機体

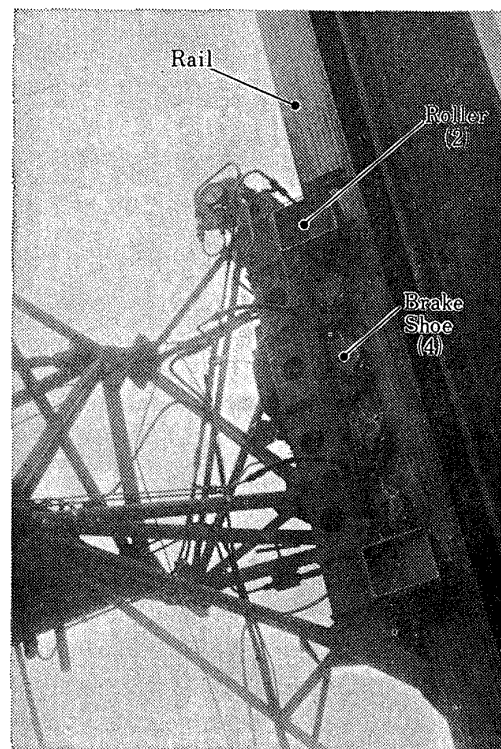


Figure 3 Port guide installation
左舷ガイド取付

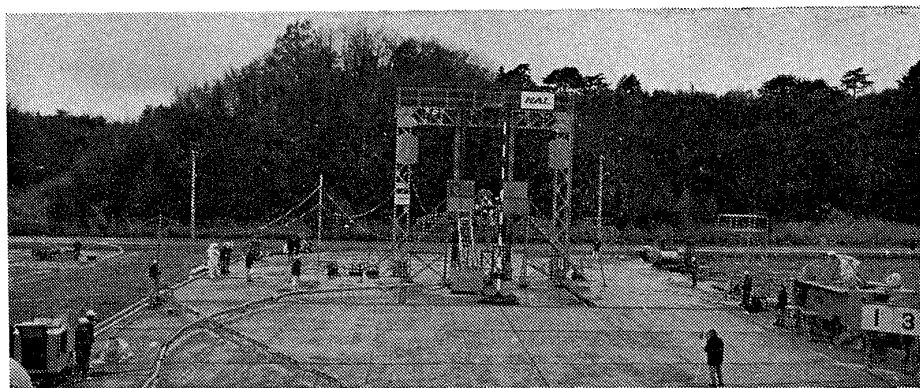


Figure 4 Ground operation by crew, 機体固定搭乘運転

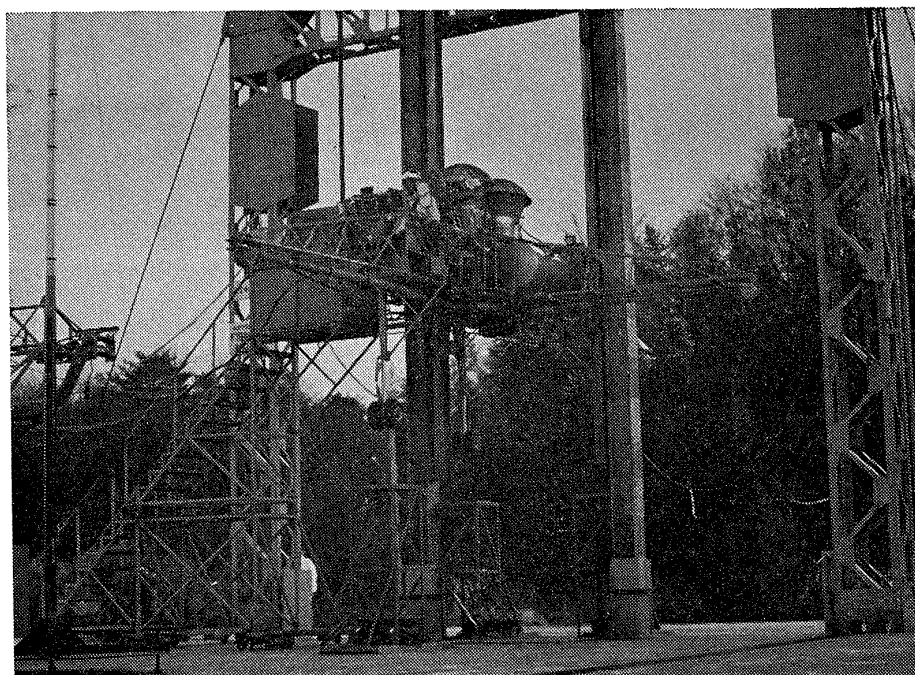


Figure 5 Climb and descent by crew, 機体昇降搭乘運転

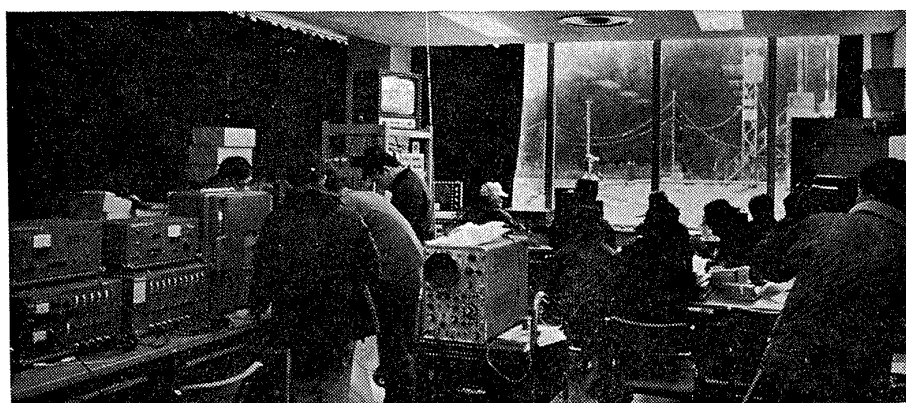


Figure 6 Conducting and instrument room, 指揮計測室

目 次

1. ま え が き	1
2. 記 号 単 位	2
2.1 主記号および単位	2
2.2 添 字 記 号	2
2.3 略 字 記 号	3
3. FTB	3
3.1 正 規 状 態	3
3.2 高度制御システム	3
3.3 実 験 用 機 装	4
3.4 機 能 試 験	8
4. 実 験 設 備	8
5. 計 測	8
5.1 計 画 一 般	8
5.2 直 接 計 測	8
5.3 テレメータ計測	10
5.4 地 上 計 測	11
6. 実 験 運 営	11
6.1 計 画	11
6.2 器 材 展 開	11
6.3 実 験 準 備	13
6.4 実 験 要 領	13
6.5 運 転 整 備 記 録	13
6.6 撤 収	13
7. 実 験 内 容	13
8. 実 験 結 果	14
8.1 運 転 記 録	15
8.2 作 動 特 性	15
8.3 飛 行 結 果	16
8.4 高度制御特性	18
9. 高度制御拘束実験に関する特記事項	19
9.1 ASE	19
9.2 高度制御用操縦桿	19
9.3 2台のエンジン回転数のずれ	20
9.4 高度制御拘束実験装置	20
10. む す び	20
文 献	21
付録 搭乗員手順表	54

担 当 部 長 武田 峻（新型航空機部），松木正勝（原動機部），荒木 浩（飛行実験部）

担 当 者

全般および機体 ◎滝澤直人，○渋谷昭義，田辺義一，小川敏雄，藤枝郭俊，甲斐忠夫，宮本義人，岡田典秋，西村博史（以上新型航空機部），小野幸一（機体第一部），十河 弘，山下浩之，角田則夫，川崎純男，細谷英敏，若月賢瑞，高木康友，茨城裕二，小口宏蔵，篠原文夫，長井日出夫，尾池義人，中沢政美，大関貞夫，味野和誠一，横山良平，増子禎佑，荻部昭寿（以上富士重工業株式会社），増原 恢，池上 博（以上日本電気株式会社），竹内和之（機体第一部）

エ ン ジ ン ◎鳥崎忠雄，吉田 晃，岩部柱相，関根静雄，武田克己（以上原動機部），笹生芳男，相原健一，武藤 功，畠山忠利，園田 繁（以上石川島播磨重工業株式会社）

操 縦 ◎後藤芳夫（飛行実験部），鈴木 昇（富士重工業株式会社）

庶 務・警 備 角田支所管理課

広 報 管理部企画課

デ ー タ 解 析 滝澤直人，宮本義人，田辺義一，小川敏雄，藤枝郭俊，甲斐忠夫，渋谷昭義，小野幸一

執 筆 者 滝澤直人，宮本義人

【注】 ◎；主任， ○；副主任

フライングテストベッド高度制御拘束実験*

—— 第3次実験 ——

滝澤直人**・宮本義人**・甲斐忠夫**・田辺義一**

渋谷昭義**・小川敏雄**・藤枝郭俊**

小野幸一***・鳥崎忠雄****・後藤芳夫*****

Semi-constrained Height Control Tests of Flying Test Bed for VTOL Aircraft

By Naoto TAKIZAWA, Yoshito MIYAMOTO, Tadao KAI, Yoshikazu TANABE
Akiyoshi SHIBUYA, Toshio OGAWA, Hirotooshi FUJIEDA
Koichi ONO, Tadao TORISAKI and Yoshio GOTO

This paper describes the semi-constrained height control tests of the Flying Test Bed which has been developed by National Aerospace Laboratory for the purpose of studying the problems associated with hovering, vertical takeoff and landing of VTOL aircraft.

The FTB was installed between two upright rails in a gantry of height 9 m and set on three 2 m-stands. The permitted vertical movement was about 3.5 m.

The tests were carried out in three steps. The first step was ten running tests by remote control. The second step was thirteen ground operation tests by the crew. The last step was seven climb and descent tests by the crew.

The running tests and the ground operation tests showed good characteristics of the engines and other sub-systems of the FTB.

The height control test records were as follows: maximum altitude, 1.72 m; maximum speeds, 0.55 m/s at climb, -0.65 m/s at descent, -0.28 m/s at touch down; maximum acceleration, 0.11 g at climb, -0.07 g at descent, 0.37 g at touch down; flight time, maximum 4 min 17 s, mean 2 min 26 s.

The flight tasks given to two pilots were takeoff and landing, hover, climb and descent by slow and step control.

The height control test results showed that the height control systems including the automatic stabilization equipment have good speed-control-characteristics and sensitivity, although there was some backlash in the systems. The hovering characteristics were influenced by static friction between the FTB and rails, which assisted the pilot in achieving hover and disturbed the pilot in leaving hover condition.

1. ま え が き

VTOL 機の垂直離着陸およびホバリング時の飛行性を研究するためのフライングテストベッド^{1),2)}

* 昭和48年12月27日受付

** 新型航空機研究グループ

*** 機体第一部

**** 原動機部

***** 飛行実験部

(FTB, Flying Test Bed) は昭和43年12月、遠隔操作方式によって全機作動実験を実施し、エンジンならびに関連系統の機能および性能を確認した³⁾。

機能確認により安全性が十分と判定されたので本来の操作方式である搭乗運転による全機作動実験を行なうことが必要となる。同時にエンジンの性能が本体の浮揚に十分耐えることも確認されたので、操縦機構、自動安定装置 (ASE, Automatic Stabilization Equipment)、搭乗員との組み合わせによる高度制御に関する

実験を自由飛行以前に行なうことが重要となる。

搭乗運転による実験は第2次実験と全く同じ機体設定状態で遠隔操作装置を取り外して実施すれば安全なことは勿論であるが、全機作動時の安全性はすでに確認されているので、(1)機体設定法の多少の変更は問題なく、むしろつぎの実験状態に合わせておく方がよい、(2)搭乗操作だけのために大掛りな野外実験を計画することは得策でない、(3)搭乗員の慣熟という観点からすれば機体運動を伴う操縦にこそ意味がある、などの理由により搭乗運転に引続いて有人による高度制御実験を一括実施することにした。このため搭乗運転における機体の設定は高度制御実験に備えたので、第2次実験と多少ことなることになった。

実験は昭和44年11月21日から29日まで角田支所において実施し、ほかに展開に17日、撤収に5日を要した。機体は上昇下降のみの自由度を有する拘束実験装置⁴⁾に取り付けられ、必要に応じてダミー脚によって台上に固定された。実験はつぎの3段階に分けて行なった。(1)機体を固定して約60mの遠隔操作による運転。(2)機体固定のまま遠隔操作装置を取り外しての搭乗運転。(3)搭乗員の操縦による上昇、下降、ホバー。

本報告ではこれらの実験の方法ならびに結果について報告する。この種の実験では高度制御特性などに関する検討もさることながら、結果を得るに到るまでの経過ならびに計測データそのものが重要と考えて、これを忠実に報告するようにつとめた。

本実験によって垂直離着陸時の高度制御能力の確認ならびに搭乗員の慣熟が行なわれた後、姿勢制御実験の段階へすすむことになる。

2. 記 号

2.1 主記号および単位

A [cm²]; 面積, Area

a [cm]; アクチュエータ変位, Actuator displacement

D [deg]; 方位角, Directional angle

F [kg]; 推力, Thrust, 力, Force

g [g]; 重力の加速度, Gravitational acceleration,
機体の上下振動加速度, Vertical vibrating acceleration

H [%]; 相対湿度, Relative humidity

h [m]; 高さ, 高度, Height, Altitude

K ; ゲイン, Gain

k [kg/m]; バネ定数, Spring constant

N [rpm]; エンジン回転数, Engine speed

P [kg/cm² abs] [kg/cm² G] [mmHg]; 圧力, Pressure

S [1/s]; ラプラス変換のパラメータ, Parameter of Laplace transformation

S [m]; オレオストローク, Oleo-stroke

T [°C] [°K]; 温度, Temperature

T [s]; 時定数, Time constant

t [min] [s]; 時間, Time

V [m/s]; 速度, Velocity

W [kg]; 重量, Weight

\dot{W} [kg/h]; 重量流量, Weight flow

z [m]; 高度, Vertical displacement

\dot{z} [m/s]; 上下速度, Vertical velocity

\ddot{z} [g]; 上下加速度, Vertical acceleration

δ [deg] [mm] [%]; 操縦装置変位, Control displacement

2.2 添字記号

a ; 大気, Atmosphere, ロール, Roll, アクチュエータ, Actuator

c ; 修正値, Corrected or normalized value

$$N_c = N \sqrt{288/T_a} [^\circ\text{K}]$$

$$P_c = P(760/P_a [\text{mmHg}])$$

$$T_c = T(288/T_a [^\circ\text{K}]) [^\circ\text{K}]$$

c ; コーストダウン, Coast down, 高度制御, Height control

d ; 接地, Touch down

E ; エンジン, Engine

e ; ピッチ, Pitch

F ; 燃料, Fuel

f ; 着火, Fire, フィルタ, Filter, 摩擦, Friction

G ; 加速度計, Accelerometer

g ; 合計, total, 全備, gross

h ; ホバー, Hover

i ; 入力, Input, アイドル, Idle

L ; スロットルレバー, Throttle lever

l ; リード, Lead

M ; 計測指示, Measure-indicating, 混合, Mixing

m ; 最大連続回転数, Maximum continuous rating

n ; 空気ジェットノズルまたはその入口, Air jet nozzle or its inlet

o ; 燃料カット, Fuel cut off

R ; リングタンク, Ring tank

S ; サーボ, Servo, 貯気槽, Air tank

s ; 始動, Start

T; 推力, Thrust
 t; 接地, Touch down
 u; 離昇, Lift off
 W; 風, Wind
 w; ダンピング, Damping
 Σ ; 遅れ, Lag
 X; 縦フレーム, Longitudinal framework
 Y; 横フレーム, Lateral framework
 2; エンジン圧縮機入口, Engine compressor inlet
 3; エンジン圧縮機出口, Engine compressor outlet
 5; ジェットパイプ, Jet pipe
 11; $N=11000$ rpm
 12; $N=12000$ rpm
 〒; テレメータ計測, Telemetry
2.3 略字記号
 abs; 絶対, absolute
 ASE; 自動安定装置, Automatic stabilization equipment
 BAP; 抽気圧力, Bleed air pressure
 BAT; 抽気温度, Bleed air temperature
 BATT; バッテリ, Battery
 C; 搭乗昇降, Climb and descent by crew
 C/B; サーキットブレーカ, Circuit breaker
 CDP; 圧縮機出口圧力, Compressor delivery pressure
 CON; 運転, Control
 DC; 直流, Direct current
 E/G, ENG; エンジン, Engine
 EGT; 排気温度, Exhaust gas temperature
 EMS; 非常信号, Emergency signal
 FTB; フライングテストベッド, Flying Test Bed
 FDP; 燃料圧力, Fuel delivery pressure
 G; ゲージ, Gauge
 GEN; 発電機, Generator
 HYD; 油圧, Hydraulic
 IAT; 吸気温度, Inlet air temperature
 IGN; 点火, Ignition
 IND; 指示計, Indicator
 INST; 計器, Instrument
 J/P; ジェットパイプ, Jet pipe
 M; 搭乗地上運転, Ground operation by crew
 Max; 最大, Maximum
 Min; 最小, Minimum
 OP; 操作, Operation

PRESS; 圧力, Pressure
 R; 遠隔操作運転, Running by remote control
 RPM; エンジン回転数, Engine speed [rpm]
 S/B; 待機, Standby
 SW; スイッチ, Switch
 TEMP; 温度, Temperature
 VIB; 振動, Vibration

3. FTB

3.1 正規状態

FTB の正規状態における構造および機能は、文献 2) に計画されたとおりにほぼ実現されているので、ここでは、FTB の写真を Figure 1 に、また全般的な要目を Table 1 に示すにとどめる。

3.2 高度制御システム

本実験では、搭乗員の操縦による上昇、下降、ホバ一等の実施を最終目標課題とした。この運動を行わせるための、高度制御システムは、つぎのとおりである。

搭乗員の操作による高度制御用操縦桿の動きによってエンジンの推力を変えて機体の上昇下降運動を与える。上昇下降運動は 3 個の加速度計によって検出され、加速度とその不完全積分値(速度)の和を出力信号とする 3 重系計算回路および 2 重系油圧サーボをとおしてフィードバックされ、機体の昇降運動に対するエンジン時定数の影響を抑える効果および機体に速度ダンピングを与える効果を発生させる。高度制御用操縦桿の動きと油圧アクチュエータの動きは、リンク機構によって 1 対 1 に加算され、エンジンの燃料管制レバ

Table 1 Summary of FTB
FTB 要目

Length	10m
Span	7m
Height	3m
Gross weight	2,000 kg (Normal) 2,280 kg (Here)
Fuel	480 kg (JP-4)
Crew	1
Power plants	JR 100 F×2
Total thrust	1,320 kg×2 (Figure 9)
Bleed air pressure	3.5 kg/cm ² abs. (max.)
Bleed air flow	3.6 kg/s (max.)
Flight time	10 min (max.)
Safety altitude	4m (clear)

一を動かし（両者はそれぞれ単独でもその管制レバーの全行程を操作できる）、エンジンの推力を制御する。線形化した高度制御系統ブロック図を Figure 7 に、系統機構図を Figure 8 に、エンジン性能を Figure 9 に、エンジン操作レバースケジュールおよびそれと高度制御用操縦桿位置、ASE アクチュアタ位置との対応を Figure 10 にそれぞれ示す。またエンジン制御システムそのものについては文献 3) に、また高度制御システムについては文献 2), 5), 12) に詳述してある。

3.3 実験用機装

全機作動実験終了後から本実験開始前までに、FTB に対してつぎのような工事を行なった。

- (1) はじめての搭乗実験に備えての ASE およびテレメータの総合的性能点検^{5), 6)}ならびに一部改修。
- (2) エンジン性能変更にとまう空気ジェットノズル換装⁷⁾、ならびに ASE 加算抵抗カード（エンジンのジャイロ効果打消し用）換装。

(3) 燃料始動ブーストポンプ調整弁復旧およびバイパス回路の追加を行なって設定圧と吐出量の関係を修正⁸⁾。

(4) 脚支柱の高度制御拘束試験用脚支柱⁴⁾との換装 (Figure 3)、高度計測用金具の取り付け。

(5) スロットルカバーの溝の段付およびマーキングの実施。

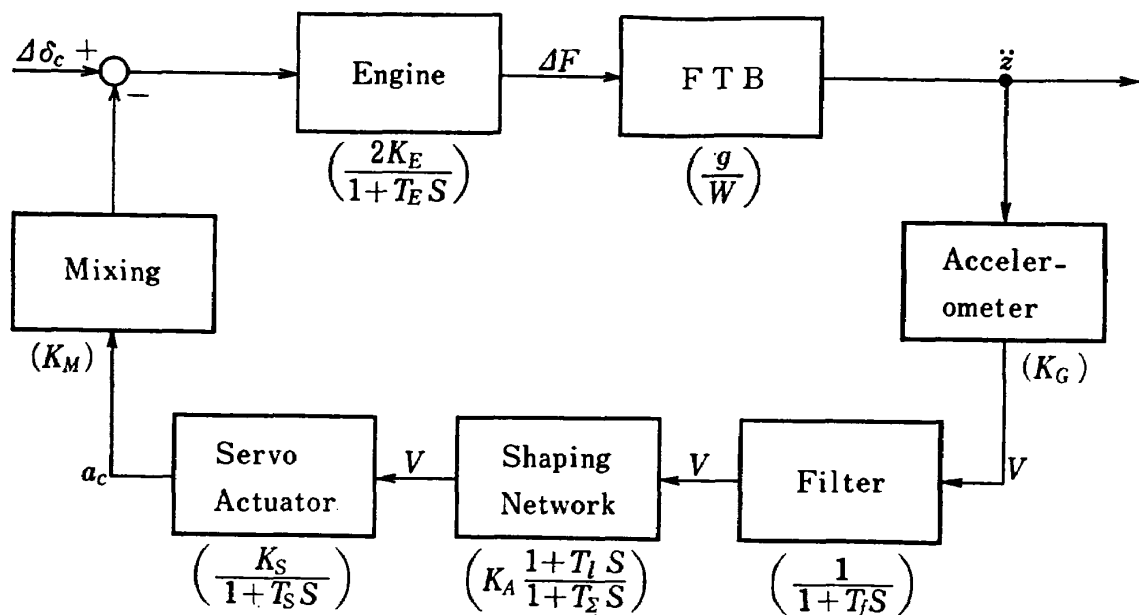
(6) 高度制御用操縦桿とスロットルレバーの連動機構およびその切換機構を変更してガタを少なく、また操作容易にした⁹⁾。

(7) 計器および配線（第 2 次実験において焼損）の点検、修理または交換。

(8) 計器板頭部の左に緊急指示灯を取り付けた。頭部にはほかに照準用目印、エンジン回転計 2 個が全機作動実験時に取り付け済。計器板を Figure 11 に示す。

(9) 高度制御拘束装置用ブレーキ取り付け⁴⁾。

(10) 第 2 次実験³⁾と同様のエンジンセンサー取り付け



[Note] () ; Transfer function, Δ ; Displacement from hover position

$K_E = 42$ or 72 kg/cm , $T_E = 0.6 \text{ s}$, $W = 2280 \sim 1800 \text{ kg}$, $K_G = 1.97 \text{ V/g}$,

$T_f = 0.08 \text{ s}$, $K_A = 169 \text{ V/V}$, $T_l = 0.5 \text{ s}$, $T_z = 10 \text{ s}$, $K_s = 0.41 \text{ cm/V}$

$T_s = 0.05 \text{ s}$, $a_{c\max} = \pm 3.5 \text{ cm}$, $\delta_{c\max} = 20.3$ or 11.9 cm , $K_M = 2.9$ or 1.7

Height control stick sensitivity ; $2K_E g/W \doteq 0.04$ or 0.07 g/cm

Loop gain ; $2K_E (g/W) K_G K_A K_s K_M \doteq 17$

Figure 7 Height control system block diagram

高度制御系統ブロック図

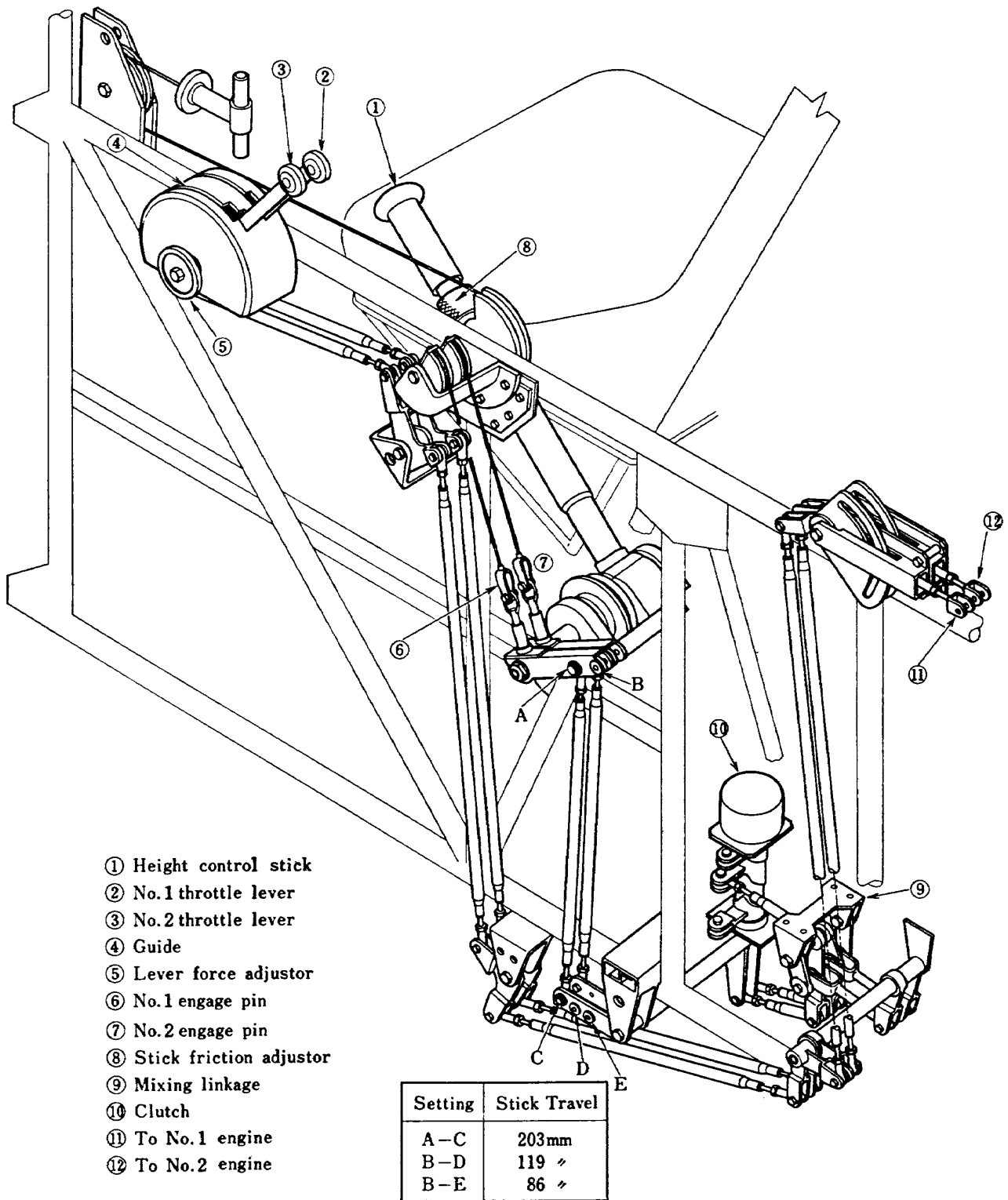


Figure 8 Linkage of height control system

高度制御系統機構図

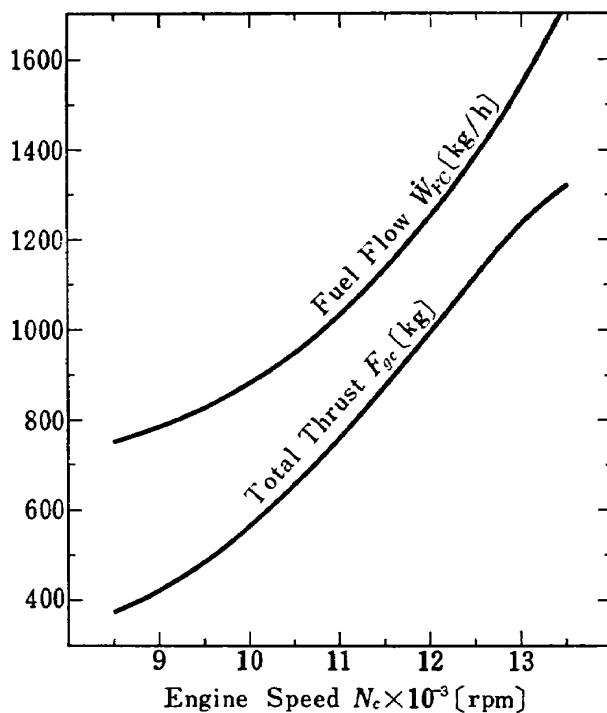


Figure 9 Engine performance (at sea level)

エンジン性能 (海面上)

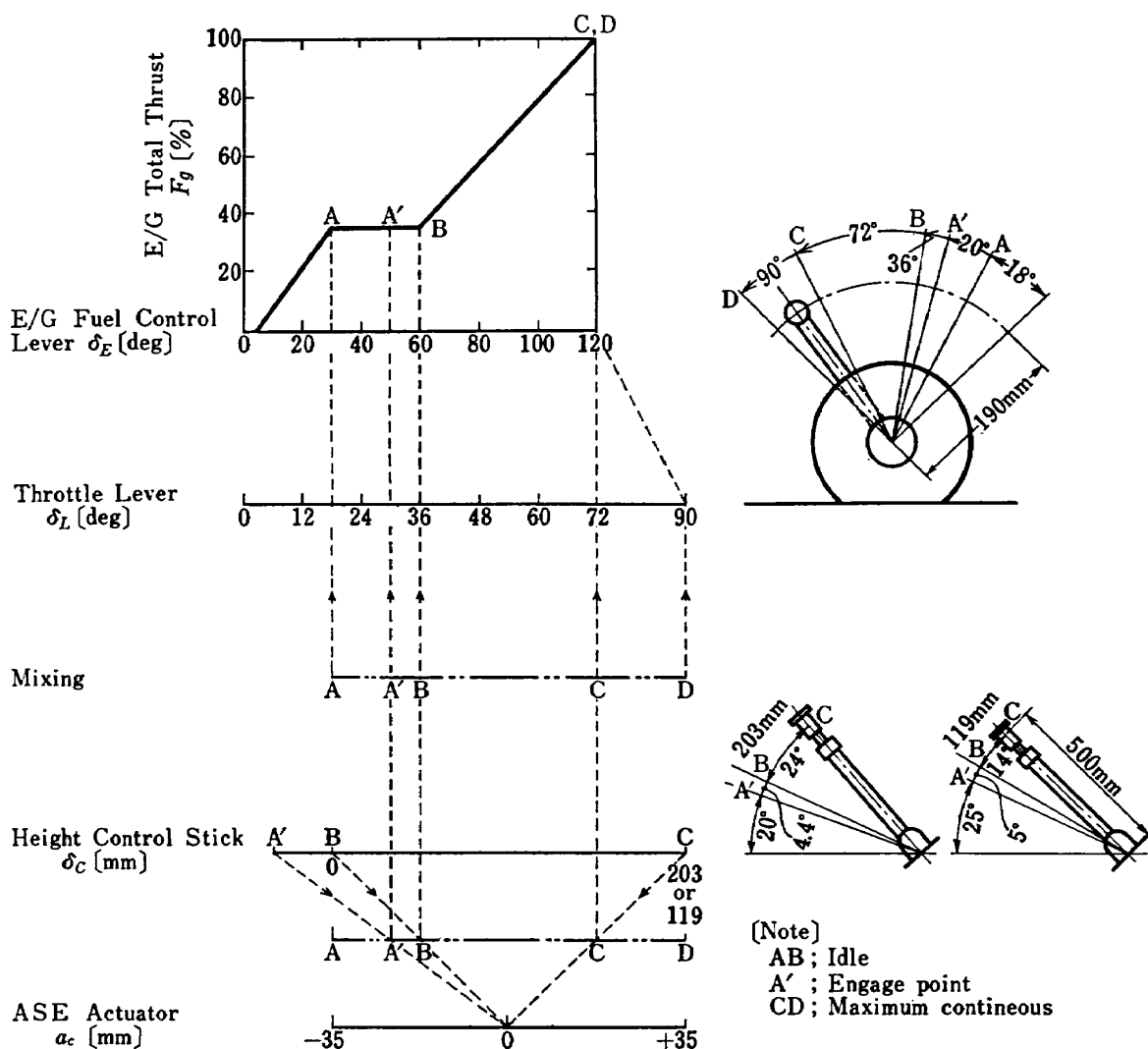
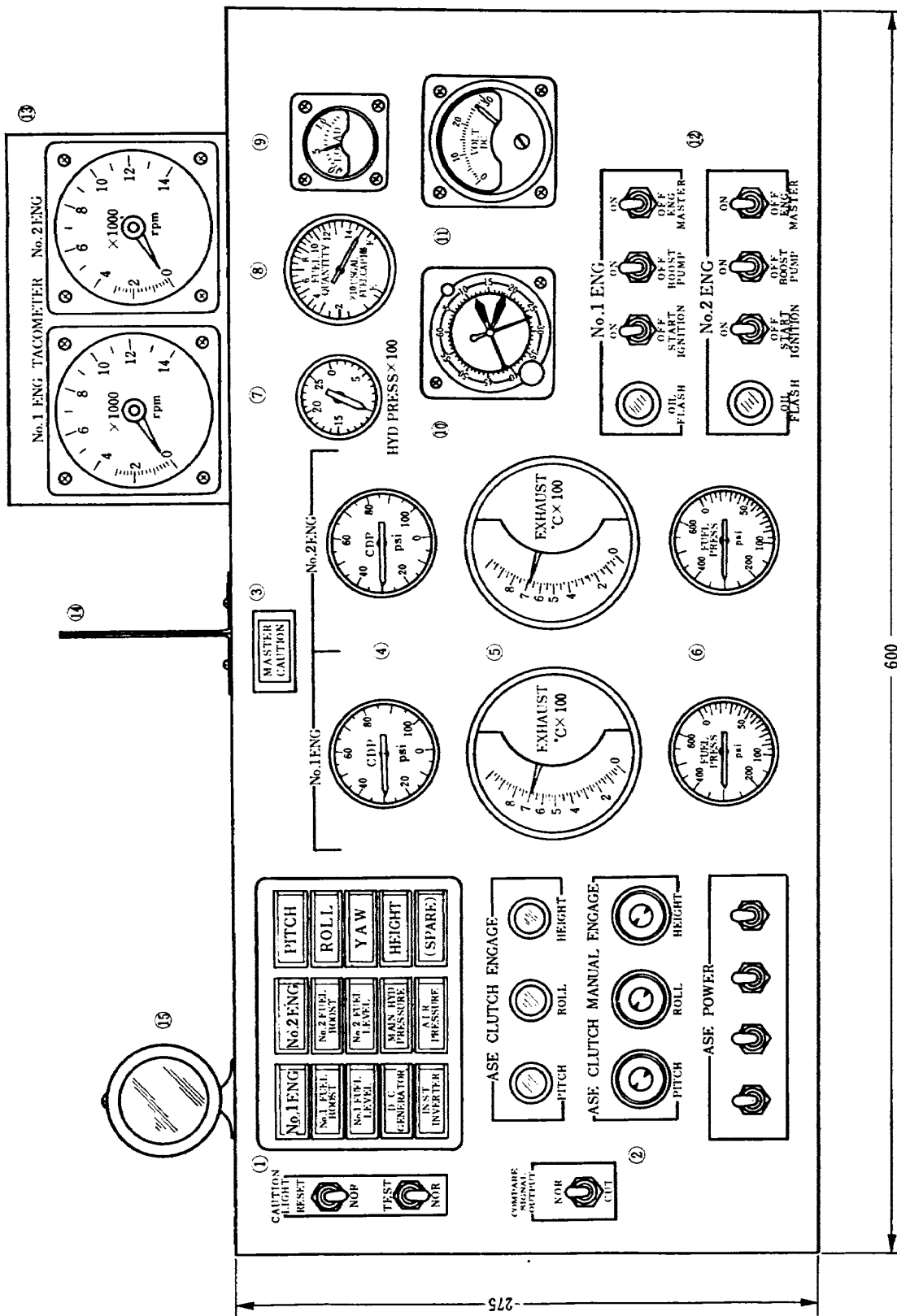


Figure 10 Engine control schedule, エンジン操作スケジュール



- [Note] ① Caution panel and switch ② ASE warning light and switch ③ Master caution light ④ Compressor delivery pressure indicator(2) ⑤ Exhaust gas temperature indicator(2) ⑥ Fuel pressure indicator(2) ⑦ Hydraulic pressure indicator ⑧ Fuel quantity indicator ⑨ Ampere meter ⑩ Clock ⑪ Volt meter ⑫ Engine starting switch (2 set) ⑬ Tachometer (2) ⑭ Rear-sight ⑮ Emergency light

Figure 11 Instrument panel layout, 計器板配置図

けおよび配線, エンジンスイッチ警報灯配線 (遠隔操作作用), エンジン計測用配線 (遠隔操作作用)。

(11) 空気タービン¹⁰⁾故障にともない, これを撤去し, 外部電源方式に変更し, 電源回路の変更および可変吐出型油圧ポンプ駆動用モータの取り付けを行なった。

(12) 機体中央フレーム左右各 2ヶ所に整備用ステップを取り付け高所における安全対策とした。

3.4 機能試験

全機作動実験終了後から本実験開始前までに, FTB に対して, つぎのような系統別機能試験を行なったが, これらはすでに報告されているので内容を省略する。

- (1) ASE 総合試験⁵⁾
- (2) テレメータ総合試験⁶⁾
- (3) 空気系統試験⁷⁾
- (4) 燃料系統試験⁸⁾
- (5) 操縦系統試験⁹⁾
- (6) 空気タービン試験¹⁰⁾
- (7) エンジン単体試験 (定格確認)

4. 実験設備

FTB の実験設備については, 文献 4) に詳しいので, ここでは使用した設備区分のみを挙げるにとどめる。

地上支援設備では, 整備補給設備, 補助動力設備, 点検調整設備, 一般支援設備のほとんどすべてを使用した。補助動力設備のうちの地上空気源は実験当初は全機作動実験と同様の遠隔操作作用の配線および配管を行ない, 搭乗実験ではこれを取り外した。

拘束実験設備では高度制御拘束実験設備を使用した。計測設備では, 直接計測, テレメータ計測, 地上計測の設備から適宜選んで使用した。計測の内容については「5」に述べる。

地上施設では建屋および拘束実験場を使用した。

実験中における設備の使用状態については「6.2」に述べる。

5. 計 測

5.1 計画一般

計測は FTB から地上または計測室まで配線や配管を施して行なう直接計測, FTB から計測室までのテレメータ計測, 独立した地上計測の 3 つに大別した。

直接計測は, エンジンの遠隔操作時にのみ計測を行なうものは主として FTB の左舷から操作作用のもの

と一緒に配線を行ない, これらは第 2 次実験の場合とほとんど同様とした。また全実験を通じて, あるいは搭乗実験時に行なう計測用配線は FTB の昇降時にも障害とならないように, FTB の右舷側方約 8m に高さ約 5m の柱を立て (Figure 12), その頭部から FTB 右舷まで空中を通した。

テレメータ計測は, 送信機が完全に改修されなかったこと, および, はじめての有人実験でもあったので第 2 次実験同様, 有線によって地上にデータを送るようにした。

独立した地上計測は, 時間関係, 大気関係, 風, 補給関係, 表面温度, 写真とした。

計測記録は, 指示計の読取りおよび, ペンレコーダ 4 台によって行なった。またモニタに重点を置いて指示計からの読取りを行なわないものもあった。ペンレコーダや指示計などからの読取値を予め定められた様式の記録表に書込むようにしたもののはつぎのとおりである。天候と気候, エンジン運転記録, テレメータのペン記録を物理量に換算する表, 直読記録 (P_R , デジタル N), 運転記録 (時間), 運動記録 (z , \dot{z} , \ddot{z}), 補給記録。

計測配線等の総括表を Table 2 に, また計測室の状況を Figure 6 に示す。

5.2 直接計測

- (1) エンジン回転数, N

文献 3) に同じ, ただし FTB 右舷より取り出し, 全実験を通じて計測した。

- (2) 燃料圧力, P_F

計器板コネクタより分岐して, FTB 右舷より取り出し, 運転室の指示計 (FTB 計器³⁾と同じ) 2 つに接続し, 全実験を通じて計測した。

- (3) エンジン圧縮機出口圧力, P_3

計器板コネクタより分岐して, FTB 右舷より取り出し, 計測室の指示計 (FTB 計器³⁾と同じ) 2 つに接続し, 全実験を通じて計測した。

- (4) 排気温度, T_6

文献 3) に同じ, ただし搭乗運転時には計器板への配線を復旧した。

- (5) エンジン振動 (ピーク間の振幅)

文献 3) に同じ, ただし搭乗運転時には, 2 台エンジン各 1 箇所を選定し, FTB 右舷より取り出して運転室でモニタした。

- (6) スロットル角度, δ_L (δ_E として計測)

計測範囲を $0 \sim 120 \text{ deg}$ に拡大したほかは文献 3) に同じ, ただし搭乗運転時には取り外した。

Table 2 Summary of wiring and piping
配線配管総括表

Item	Table No.	Origin	Terminal	Application	Remarks
N	2	□	○→△	R, M, C	Monitor
P_F	2	□	△	R, M, C	
P_3	2	□	○	R, M, C	
E/G VIB	2	□	△	R, M, C	
	8	◇	△	R	
Telemeter	1	□	○	R, M, C	Table 3
Electric Power	1	×	□	R, M, C	
P_S	(1)	×	△	R, M, C	
E/G Remote CON.	14	◇	△	R	Monitor
E/G Remote CON.	(2)	◇	△	R	
T_5	2	◇	△	R	
E/G Bearing TEMP.	4	◇	△	R	
δ_L	2	◇	△	R	
Air Remote CON.	8	×	△	R	Start only
Air Supply	(1)	×	□	R, M, C	
P_R	(1)	◇	×	R, M	
Emergency Light	1	○	□	M, C	{ Pen 1-4 (Right) Pen 3-5 (Left)
Emergency Brake	1	×	□	M, C	
Television	1	□	○	M, C	
\dot{z}	2	×	○	C	
z	2	×	○	C	
D_W, V_W	2	×	○	R, M, C	{ Pen 1-5 (Right) Pen 3-6 (Left) Pen (exclusive)
T_a, P_a, H	3*			R, M, C	
Surface TEMP.	Many*			R, M	
Pictures	4*			R, M, C	

[Note] (); Piping

*; No wiring or piping

□; FTB starboard

◇; FTB port

×

○; Instrument room

△; Operating room

R; Running by remote control

M; Ground operation by crew

C; Climb and descent by crew

(7) 地上空気源貯気槽圧力

文献 3) に同じ。

(8) リングタンク抽気圧力, P_R

文献 3) に同じ, ただし配管を約 10m 長いものと交換した。昇降運転時には取り外した。

(9) 昇降速度, \dot{z}

高度制御用拘束実験装置の左右レール支柱の上下に各 1 個のプーリを, さらにその下部プーリにはタコジ

エネレータを取り付け, プーリにはピアノ線を巻きつけて, 「3.3, (4)」の金具に着脱できるようにした。指示計 2 個を計測室のパネルに取り付けて FTB 右舷側より配線を行ない, いずれか 1 個の指示を行う切換え装置を用意し, また同時に 2 つの信号をペンレコードで記録するようにした。指示範囲は指示計では ± 2.5 または 0.25 m/s, ペンレコードでは ± 0.4 m/s であり, 精度は指示計では 0.01 または 0.001 m/s,

ペンレコードでは 0.002 m/s である。

(10) 高度, z

前項(9)においてタコジェネレータと共にポテンシオメータを一緒に取り付け配線等も全く同時に行なった。指示範囲は指示計では $-0.5 \sim 5\text{m}$, ペンレコードでは $-0.5 \sim 3\text{m}$ であり, 精度は指示計では 0.01 m, ペンレコードでは 0.01 m である。

(11) テレビジョン

操縦席背当左方にカメラを取り付け, 右舷後方より配線を取り出して計測室および運転室の受像器に接続

し, 同時に計測室のビデオテープレコードに記録した。撮影対象は計器板および操縦桿の動きである。

5.3 テレメータ計測

テレメータ計測については文献 2), 6) に詳しい。ここでは計測項目, 設定範囲, サンプルングスイッチ使用の有無および適用実験区分を記す。記録および範囲の設定法は文献 3) に同じである。テレメータの総括表を Table 3 に示す。

(1) エンジン回転数, N

文献 3) に同じ。ただし, No. 2 エンジンに対応す

Table 3 Summary of telemetering

テレメータ総括表

Item	Channel No.			Sensor	Sampling No.			Recording No.			Range
	R	M	C		R	M	C	R	M	C	
N-1	1	1	1	Pulse pickup				1-1	1-1	1-1	{2000~10000 rpm 5000~13000 rpm
N-2	2	2	2	"				2-1	2-1	3-1	"
EMS	2	2	2	Relay				2-1	2-1	3-1	
P _s -1	3	3	3	Strain gauge				1-2	1-2	1-2	0~3 kg/cm ² G
P _s -2	4	4	4	"				2-2	2-2	3-2	"
P _F -1	5	15	5	"		2-3		1-3	2-8	1-3	0~20 kg/cm ² G
P _F -2	6	15	6	"		2-4		1-3	2-8	1-3	"
P _R	7	7	7	"				2-4	2-4	2-4	0.5~2.5 kg/cm ² G
P _{ne}	8	8	8	"				2-5	2-5	2-5	"
P _{na}	9	9	9	"				2-6	2-6	2-6	"
\ddot{z}	10	10	10	ASE				1-4	1-4	3-4	$\pm 0.2\text{ g}$
g_X	11			Strain gauge				1-5			$\pm 1\text{ g}$
g_Y	12			"				1-6			"
T _s -1	13	14	14	Thermo couple	3-1	1-1	1-1	1-7	2-7	2-7	350~700°C
T _s -2	13	14	14	"	3-2	1-2	1-2	1-7	2-7	2-7	"
T _R	14	14	14	"	1-3	1-3	1-3	2-7	2-7	2-7	100~200°C
T _{ne}	14	14	14	"	1-4	1-4	1-4	2-7	2-7	2-7	"
T _{na}	14	14	14	"	1-5	1-5	1-5	2-7	2-7	2-7	"
T ₂ -1	15	15	15	Resistance	2-1	2-1	2-1	2-8	2-8	2-8	-10~70°C
T ₂ -2	15	15	15	"	2-2	2-2	2-2	2-8	2-8	2-8	"
δ_{na}		5		Potential					1-8		
δ_{ne}		6		"					1-6		
δ_c		11	11	"					1-3	3-3	
δ_a		12		ASE					1-7		
δ_e		13		"					1-5		
a_c			12	"						3-7	$\pm 35\text{ mm}$
a_c S/B			13	"						3-8	"

[Note] R; Running by remote control
M; Ground operation by crew
C; Climb and descent by crew

る N の記録上に非常時信号³⁾が出るようにした。

(2) 燃料圧力, P_F

文献 3) に同じ。機体固定搭乗運転時にはサンプリングスイッチ使用。

(3) 吸気温度, T_3

文献 3) に同じ。ただし、サンプリングスイッチ使用。

(4) エンジン圧縮機出口圧力, P_3

文献 3) に同じ。

(5) 排気温度, T_5

設定範囲を $350 \sim 700^\circ\text{C}$ とし、サンプリングスイッチを使用した。

(6) 抽気温度, T_R , T_{na} , T_{ne}

設定範囲を $100 \sim 200^\circ\text{C}$ とし、サンプリングスイッチを使用した。

(7) 抽気圧力, P_R , P_{na} , P_{ne}

設定範囲を $0.5 \sim 2.5 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ とした。

(8) 機体振動, g_x , g_y

文献 3) に同じ、機体固定遠隔操作時のみ計測

(9) 空気ジェットノズル開度, δ_{na} , δ_{ne}

空気ジェットノズル (左, 前) 2つの開度を、それぞれポテンショメータで検出した。設定範囲は、 $\delta_{na} \pm 20.5 \text{ mm}$, $\delta_{ne} \pm 23 \text{ mm}$ とした。機体固定搭乗運転時のみ計測した。

(10) 高度制御用操縦桿変位, δ_c

設定範囲は $0 \sim 1$ (4.7 または 8 in に対応) とし、搭乗運転時に計測した。

(11) 操縦桿変位, δ_a , δ_e

操縦桿の左右および押引の変位を計測し、設定範囲は左右を $\pm 76 \text{ mm}$, 押引を $\pm 102 \text{ mm}$ とした。機体固定搭乗運転時のみ計測した。

(12) アクチュエータ変位, a_c , $a_{cs/B}$

ASE の高度制御用アクチュエータ 2 個の変位を、機体昇降搭乗運転時に計測した。設定範囲は $\pm 35 \text{ mm}$ とした。

(13) 昇降加速度, \ddot{z}

設定範囲は $\pm 0.2 \text{ g}$ とした。

5.4 地上計測

(1) 表面温度

FTB および地上の要所を適宜選定してサーモカラーを塗り表面温度のモニタを行ない、計測記録を系統的には実施しなかった。

(2) 運転時間

文献 3) の内容のほかに、機体の浮揚時間を計測した。

(3) 大気, T_a , P_a , H

文献 3) に同じ。

(4) 風向, D_w , 風速, V_w

拘束実験場の北隅の推力測定台 (高さ約 2 m) 上に高さ約 0.75 m の台を置き、その上に設置した風向風速計 (矢羽根, 風車式) で検出し、計測室に設置した専用ペンレコーダに記録した。

(5) 撮影, 録音

文献 3) に同じ。ただしビデオテープレコーダを使用した。

6. 実験運営

6.1 計画

本実験は、機体固定遠隔操作運転、機体固定搭乗運転、機体昇降搭乗運転の 3 段階にわたる大規模な野外実験であり、かつはじめての有人実験でもあるので、前回の全機作動実験同様、実験の運営には特別な配慮が必要となる。

実験に関して作成した計画書等の資料は全機作動実験と同様 9 種類であるが、内容については当然異なる部分が多く、これらについては適宜述べる。

機装, 器材, 計測についてはそれぞれ「3」, 「4」, 「5」で述べた。輸送や人員の計画は全機作動実験に準じて行なった。

実験計画に当たって行なった主な技術検討事項は、既述のものを除き、つぎのとおりである。機体固定状態での荒天対策としての機体カバー、高度制御実験中の落下状態と脚の強度余裕、高度制御の基本特性と不感帯や ASE ドリフトの影響、離着陸の推力や地面反力と ASE 特性の関係、最小重量でアクチュエータ暴走時に下降可能な高度制御用操縦桿の最低位置 (この検討の結果、最低位置を僅かに下げた)、機体の暴走を防ぐためのブレーキ用リミットスイッチのレール上の位置、機体とレールの摩擦の運動におよぼす影響、搭乗員の事前訓練の要否 (ASE があり、かつホバー近傍では訓練不要と断定)、データ整理法と監視法などである。

現地における実験に関する事項について以下順を追って述べる。

6.2 器材展開

拘束実験場 (約 $30 \text{ m} \times 45 \text{ m}$) のほぼ中央の架構のレールに FTB 高度制御用脚支柱を取り付け (Figure 2, 3), これに推力測定台用固定脚を取り付けて、高さ約 2 m の台上にそれぞれボルトで固定した。この脚は昇降実験時には正規の脚と交換する。エンジン始

動に必要な地上電源および地上空気源配置, 整備昇降台 (脱出台) 取り付け, FTB 遠隔操作配線配管, 標識板配置, 消火器配置, 燃料補給方法, 計測用配線, 地上空気源よりのホース配管などは全機作動実験の場

合とはほぼ同様である。推力測定台を使用せず, FTB 左舷前方の実験場の隅に置いてその上に風向風速計をのせたこと, 消火原液を使用する消火用ホースを FTB 右舷側方に新たに設置して搭乗実験に備えたこ

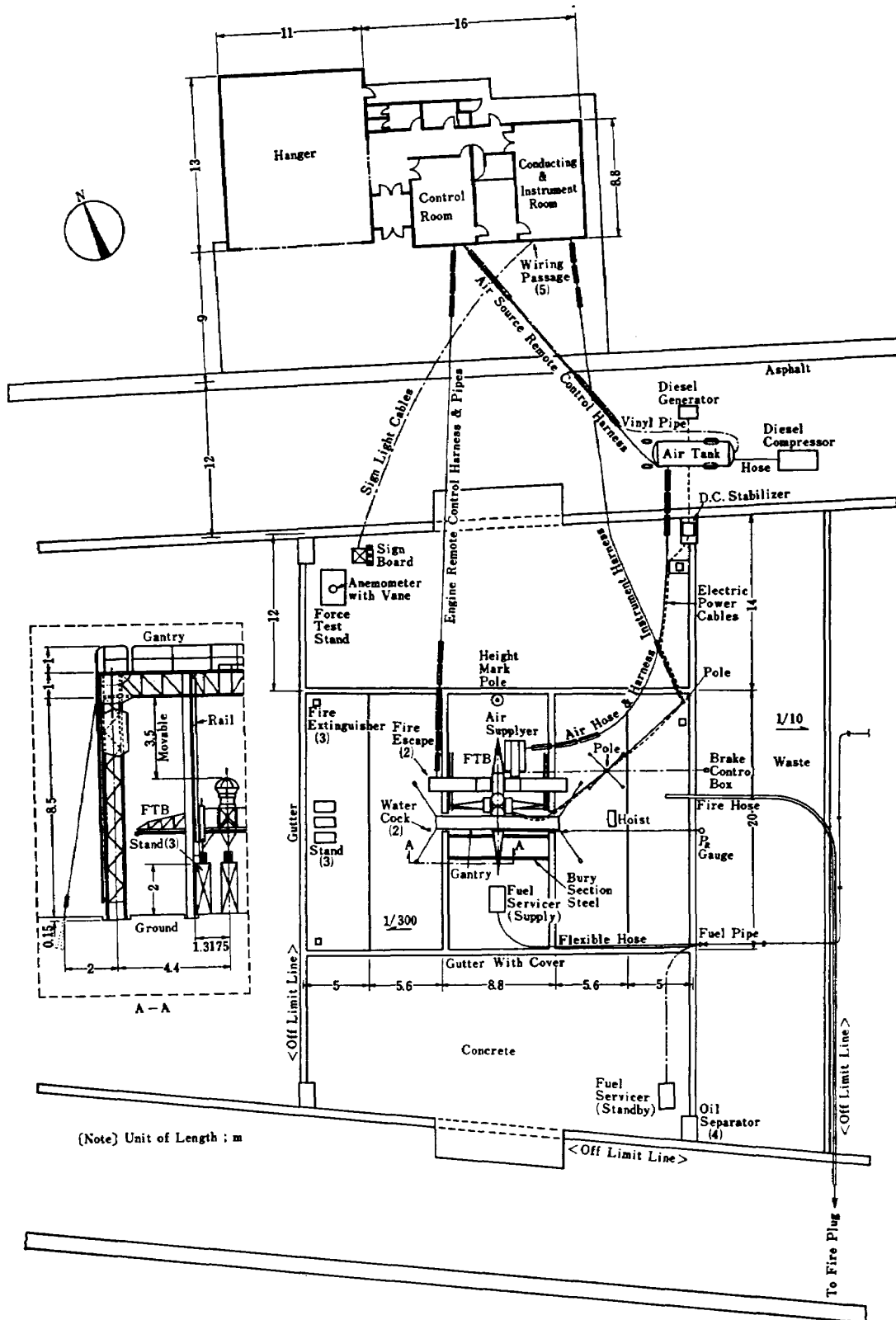


Figure 12 Plan view of experimental layout

実験配置平面図

となどが新たに追加された。また右舷脱出台にレールとほぼ同じ高さの鋼管（外径約 5cm）を立て、搭乗員脱出用とした。昇降実験時には、左舷脱出台を取り外した。

昇降実験中搭乗員は、FTB の 2 つの目印と FTB 前方約 3m の位置に立てた高さ約 8m の柱のマーキングによって高度を識別できるようにした。マーキングは FTB 最低位置相当以下を緑、離昇位置相当以上を白として、最低位置から 0.5, 1, 1.5, 2m の位置に黒印、上昇限度 3.5m 相当以上を赤とした。

器材展開の状況を Figure 12 に、また配線配管の総括表を Table 2 に示す。

6.3 実験準備

器材展開後、実験直前には、実験状態の変更、改修、調整、計測準備、補給、地上整備、点検などの作業がある。

実験状態の変更としては、固定脚から正規脚の交換、遠隔操作関連装置の取り外しと FTB の復旧、空気ジェットノズル開口面積変更金具の着脱、ASE サーキットブレーカのオンオフと運動検出器配線の着脱、正規脚の索による固定、高度制御操縦桿感度（レバー比）の変更などである。

改修は主として不具合箇所の修理であるが、特記すべきようなものはなかった。

調整は、操縦系統、ASE、機上計測装置、計器指示系統を主として対象としたが、特に中 2 者の調整は時間を要した。

計測準備、補給、地上整備は文献 3) とほぼ同様である。

点検は文献 3) とほぼ同様であるが、ASE と機上計測装置に関する技術員の点検調整を追加した。これらの内容は文献 5) または 6) とほぼ同様なので省略する。搭乗運転時の搭乗員による点検については「6.4」で述べる。

6.4 実験要領

実験準備完了後、実験打合わせを行なって実験に入る。実験要員は、機体、エンジン、搭乗員の 3 グループより構成される。このうち実験指揮者と大部分の計測員は室内に、その他の要員は屋外に配置された。

室内要員への連絡指示、屋外要員の個人装備、実験実施法、実験中の禁止事項、計測記録法、遠隔操作によるエンジン始動および停止手順は文献 3) と同様である。搭乗員に対する連絡は無線機および計器板上の緊急指示燈によった。

搭乗運転時の搭乗員の操作はすべて手順表によって

行なわれ、実験中に実験内容の変更は一切行なわず、非常事態の発生確認と処置についても予め定められた手順に従うように定めた。手順表は、始動前操縦席内点検、エンジンドライモータリング、エンジン燃料放出モータリング、エンジン単独始動、同停止、No. 1, No. 2 エンジン始動、同停止、緊急状態一覧、緊急時エンジン正常停止、緊急時エンジン非常停止、フライトリクエスト No. 1~6, の 16 であるが 1 回の運転時に使用するのは、緊急手順を除きモータリングでは 2, その他では 4 である。ただし整備運転時にはフライトリクエストを使用しないので、手順表は 3 つである。これらの手順表の内容は付録にまとめておく。

実験終了後は、FTB の点検を行い、また実験結果の速報を全員に知らせて実験内容の周知を測り、さらに遅滞なくつぎの実験ならびに作業予定を指示するようにした。

6.5 運転整備記録

運転整備記録の必要な理由および記録の内容は文献 3) と同様である。ただし、本実験では ASE 記録を新たに追加し、その内容はテレメータ記録⁹⁾と同様である。

6.6 撤収

撤収の手順等はすべて文献 3) と同様である。

7. 実験内容

実験内容は 0 から 27 までの Case No. によって表示され、Case 0 はモータリングとして適宜実施し、Case 1~6 は機体固定遠隔操作運転 Case 7~19 は機体固定搭乗運転、Case 20~27 は機体昇降搭乗運転（ただし Case 20, 24 は索で脚支柱を固定）である。実験は原則的には、各 Case 1 回であるが必要に応じて追加した。各実験 Case の内容を Table 4 に示す。

機体固定遠隔操作実験は全機作動確認のための実験である。エンジン単独運動時には、空気ジェットノズル開口面積を正規の 1/2 としてエンジンの抽気量を調整した。

機体固定搭乗実験は、エンジンの運転操作に対する搭乗員の慣熟を主目的とした実験で、特にスロットルレバーと高度制御用操縦桿を連動させたり解除したりする操作に重点を置いた。また空気ジェットノズル開口面積の変更、ASE のオンオフ、ASE オンで検出器オフ、などの状態設定を行なった。

機体昇降搭乗実験は、FTB の高度制御特性の確認と、垂直離着陸操作に対する搭乗員の慣熟を目的とし

Table 4 Experimental cases

実験 ケース

Case No.	Landing Gear	Operation	Bleed Air [%]	ASE	Throttle Engage	E/G Speed [rpm]	Flight Request	Operator
0		Motoring						
Running by Remote Control	1	Dummy	Remote	50	OFF	OFF	13000*	E/G Operator
	2	"	"	"	"	"	13000**	"
	3	"	"	100	"	"	12500	"
	4	"	"	"	"	"	"	Mechanic
	5	"	"	"	"	"	"	Pilot-1
	6	"	"	"	"	"	"	Pilot-2
Ground Operation by Crew	7	"	Crew	50	"		12500*	Pilot-1
	8	"	"	"	"		12500**	"
	<9>	"	"	100	(ON)	ON	—	No. 1
	<10>	"	"	"	"	"	—	No. 2
	<11>	"	"	"	ON	"	—	No. 3
	<12>	"	"	"	(ON)	"	11000	Mechanic
	13	"	"	"	"	"	—	No. 1
	14	"	"	"	"	"	—	No. 2
	15	"	"	"	ON	"	—	No. 3
	16	"	"	"	(ON)	"	11000	Mechanic
	17	"	"	"	"	"	—	No. 1
	18	"	"	"	"	"	—	No. 2
	19	"	"	"	ON	"	—	No. 3
Climb and Descent by Crew	20	Normal	"	"	(ON)	"	11000	Mechanic
	21	"	"	"	ON	"	—	No. 4
	22	"	"	"	"	"	—	No. 5
	23	"	"	"	"	"	—	No. 6
	24	"	"	"	(ON)	"	11000	Mechanic
	25	"	"	"	ON	"	—	No. 4
	26	"	"	"	"	"	—	No. 5
	27	"	"	"	"	"	—	No. 6

[Note] < >; Not applicable

(ON); Sensor off

*; No. 1 E/G

**; No. 2 E/G

た実験である。1日の実験のはじめには、脚を索で地上に固定し、また ASE の運動検出器配線を取り外した状態で整備運転を行なうようにした。この実験では左舷側の脱出台を撤去した。

運転は、エンジン試運転技師 1 名（遠隔操作時のみ）、FTB 整備士 1 名、FTB パイロット 2 名、によって行なった。

8. 実験結果

実験は、つぎの 3 段階に分けて行なった。(1)機体を固定した状態で、約 50m の遠隔操作による全機作動実験 10 回。(2)機体を固定した状態で搭乗員の操作による全機作動実験 13 回（内 4 回は Preflight check として(3)の途中で実施。）。(3)搭乗員の操縦による上昇下降およびホバーの 1 自由度飛行実験 7 回。

これらの実験により、FTB の機能、搭乗操作特性および高度制御特性が自由飛行に耐えるものであることを確認した。得られた結果をつぎに述べる。実験中の写真を Figure 4, 5 に示す。特記のほか、計測値は Table 7~12 にまとめた。

8.1 運転記録

実験の経過を知るために必要と思われる事項については、出来る限り詳細に記録に留めるようにした。これをまとめて運転記録として Table 5 に示す。運転記録は、開始日時、実験の順序と Case、天候、大気、運転者、貯気槽圧力、経過時間、燃料消費量（自由搭乗実験時では、機体重量、最大高度、最大速度、飛行時間）、備考の順に書いてある。

実験開始時刻は、No. 1 エンジンへの送気開始時刻と一致する。

実験順序は Run No. で示し、実験 Case は Table 4 のとおりである。

実験中の大気圧 $P_a=755.8\sim773.3\text{ mmHg}$ 、大気温度 $T_a=2.6\sim11.2^\circ\text{C}$ 、湿度 $H=42\sim75\%$ 、風速 V_W は 5 m/s 以下、風向 D_W は $45\sim360^\circ$ であった。

貯気槽圧力 $P_s=6.5\sim7.5\text{ kg/cm}^2\text{G}$ でエンジン始動を行なった。

経過時間はエンジンの始動、着火、アイドル到達、回転数設定、離陸、着陸、冷却運転（アイドル）、停止、コーストダウンなどの時間を必要に応じて計測した。計測値は、実験開始時刻を基準にした。

燃料消費量は実験前後の FTB の燃量計の読みから算出した。

本実験におけるエンジンの総運転時間は、No. 1; $3\text{ h }39\text{ min}$ (28 回)、No. 2; $3\text{ h }1\text{ min}$ (28 回)、モータリングは No. 1, No. 2 とも 10 回であった。燃料 (JP4, MIL-J-5624 E) の総消費量は約 6900 kg であり、また潤滑油 (MIL-L-7808 D) の総消費量は約 12 l (標準消費量 20 cc/min であるので、これは約 10 h 分に相当) であった。

搭乗操作実験は、初めての実験であるので特に安全対策の一環として Run 18 前に脱出および放水訓練を行ない、搭乗員のエンジン緊急停止手順実施と脱出に約 15 s を要することおよび放水の量と到達距離が十分であることを確認した。

上昇下降実験における飛行記録は「8.3」に述べる。

8.2 作動特性

遠隔および搭乗操作による全機作動実験では、第 2 次実験で重要と判断された、エンジン関連、抽気および排気、テレメータのほか、空気ジェットノズル特

性、姿勢操縦系統作動特性を対象とした。

実測値は、Table 7~8 に挙げてある。以下個々の結果について述べる。

(1) エンジン作動特性

エンジンの作動特性は、始動特性とそれ以後の運転中の性能によって良否が判断される。前者については第 2 次実験³⁾と同様概ね良好と判断され、後者については、Figure 13 に示す結果が得られた。以下この図にもとづき定常運転中のエンジン性能および関連特性について述べる。この図は、エンジン燃料管制器レバー変位、または、回転数を基準に整理し、必要と思われる量には修正値 (「2.2」) を用いて一般性を付与した。エンジン燃料管制器レバー変位 δ_E に対するエンジン回転数 N_e の変化は、 $\pm 300\text{ rpm}$ 程度の散布を示したが、計測誤差によるものが大きいと考えられる。この δ_E は、Figure 10 に示す様に $30^\circ\sim60^\circ$ がアイドルに、また 120° がエンジン最大回転数 (13000 rpm) に対応する。

エンジン回転数 N のデジタル回転計の読みに対して、テレメータ計測による値は、アイドル以上で約 $-2\sim+5\%$ の間に散布している。テレメータ計測値は、データ整理上の利点が多いので、本報告では特記のほかエンジン回転数の基準としてこれを採用ことにした。

燃料圧力 P_F は、回転数の増加とともに増し、アイドル以上で約 $\pm 10\%$ 程度の散布を示した。

エンジン圧縮機入口温度 T_2 は排気再循環 (Recirculation) の指標と考えられる。したがって大気温度 T_a との差、 T_2-T_a を回転数 N に対してプロットした。Run 3, 4 において温度上昇が起ったのは、ガイドレールに沿って排気の吹上げが起ったため、Run 5 以後では、Figure 2 に示す様な、排気吹上げ防止対策を実施した。この結果、Run 5 以後では、温度変化は、 $\pm 3^\circ\text{C}$ 以内におさまリ、排気再循環は認められなかった。

エンジン運転によって生じる縦フレーム、および横フレームの上下振動加速度 g_x, g_y (上下ピーク幅の $1/2$) は、エンジン回転数 N に拘らず散布が大きく、また前者はエンジン回転数の増加とともに大きくなる傾向を示しているが、後者はほぼ無関係であって第 2 次実験³⁾の場合と異なり、さらに最大値はそれぞれ $1\text{ g}, 0.77\text{ g}$ であり、第 2 次実験の $0.065\text{ g}, 0.9\text{ g}$ と逆の傾向を示しているが、これらの相違は、脚支柱をレールに取り付けたための影響と考えられる。

エンジン圧縮機外側およびタービン外側における振

動振幅は制限値 (3 mil) 以内にあった。

エンジンの2つの軸受温度も制限値 (200°C および 300°C) 以下であった。

(2) 抽気および排気特性

抽気および排気特性を Figure 14 に示す。総体に第2次実験³⁾の場合と同様の特性を示した。

エンジン圧縮機出口圧力 P_3 は、エンジン回転数 N に比例して増加し、エンジン単体試験の値にほぼ一致し、約 5% 幅に散布している。

エンジン排気温度 T_6 は、第2次実験同様、エンジン単体試験の値より低めにかつ散布が大きい。

抽気圧力は3者とも P_3 より低く、またリングタンクと左ノズル入口ではほぼ同様の特性を示したが、後ノズル入口ではこれより低めの値を示し、エンジンから離れるほど圧力が低下する傾向を認めることが出来た。

抽気温度は3者ともほぼ同様の特性を示したが、エンジン単体試験における抽気温度よりは低めであった。

(3) 空気ジェットノズルの特性

前述の3つの圧力は、1組の空気ジェットノズル開度 δ_{ne} または δ_{na} の変化に対して Figure 15 の如く変化する。下の図は4つの空気ジェットノズルの中立状態を基準にして、1つのノズルを全閉 (対応するもう1つは全開)、または全開としたときの圧力変化を示したもので、全閉ノズル前、リングタンクおよび他の2つの中立のノズル前の圧力は増加し、全開ノズル前の圧力は低下するが、特に全閉ノズル前圧力は、エンジン圧縮機出口圧力 P_3 に近い値まで上昇する。ノズル開度と圧力の、時間に対する変化はほぼ対応し、3つの一定エンジン回転数における定常ノズル開度に対する当該ノズル前圧力の関係は Figure 15 の上の図のようになる。

(4) 姿勢操縦系統特性

操縦桿変位 δ_e または δ_a の増減に対してそれぞれの空気ジェットノズル開度 δ_{ne} または δ_{na} の変化をプロットすると Figure 16 の如くそれぞれヒステリシス曲線を描く。操縦桿またはノズルの中立位置におけるこれらの値を Table 6 に示す。ヒステリシスはエンジン回転数 N の増加、すなわち、ノズル前圧力の増加とともに大きくなる傾向を示し、ピッチで最大約 5%、ロールで約 8% に達する。エンジンを運転しないときのガタは、これより小さく、概ね基準値 (1%) 以下である⁹⁾。

このようなヒステリシスがあっても、Figure 17

(Run 32 における操作の1例) に示すように、操縦桿変位とノズル開度の関係に顕著な遅れや操作異常などは認められなかった。

(5) クラッチの切換え

高度制御系統のクラッチの切換えレベルは、ASE アクチュエータ相互間のずれが全行程の 30% (2.5 V) に達した場合に作動するように設定した。切換え実験は、Run 29, 32 の実験中に実施した。切換えは確実にこなわれ、切換え前後において、搭乗員の体感および計測記録に異常は認められなかった。

8.3 飛行結果

搭乗員の操縦による上昇下降およびホバーの1自由度飛行実験における搭乗員の主要課題は、離陸、ホバー、ゆるやかな上昇下降、ステップ操作による上昇下降および着陸であった。搭乗員は1名であり、2名が交代で担当した。運転記録を Table 5 に、実験結果を Table 9~12 に示す。

(1) 主要実験記録

総飛行時間	17 min 1 s
平均飛行時間	2 min 26 s
最大飛行時間	4 min 17 s (Run 49)
最大離陸重量	2225 kg
平均飛行重量	2106 kg
最小着陸重量	2010 kg
上昇加速度	+0.02 g (mean) +0.11 g (max.)
下降加速度	-0.03 g (mean) -0.07 g (max.)
上昇速度	+0.13 m/s (mean) +0.55 m/s (max.)
下降速度	-0.13 m/s (mean) -0.65 m/s (max.)
最大高度	1.72 m
接地時衝撃加速度	0.15 g (mean) 0.37 g (max.)
接地速度	-0.1 m/s (mean) -0.28 m/s (max.)
高度制御用操縦桿操作量	3 cm (mean) 6.4 cm (max.)
アクチュエータ作動量	4.2 mm (mean) 11 mm (max.)
ゲイン設定ロータリ SW	[3, 3]
一巡ゲイン	17 (Figure 7)

(2) 代表的操作の記録

(i) 離陸 (Figure 18, Run 42) 離陸は、つぎ

の3つの過程を経る。すなわち、①エンジンアイドル状態から推力を増して、脚オレオが伸びきるまで。②離昇。③停止操作からホバー状態まで。Figure 18では、離昇 26s 後に 0.7m の高度でホバー状態に入った。

(ii) 上昇下降操作 (Figure 19, Run 43) 通常の上昇下降操作の例で、1.1m でのホバー状態から下降して 0.3m でホバー、続いて 1.3m まで上昇してホバーを行なった。

(iii) 上昇ステップ操作 (Figure 20, Run 49)

脚が地面から、わずかに離れた所で高度制御用操縦桿変位 13mm のステップ操作を行なって上昇を開始し、上昇速度が 0.32m/s に達した所から停止操作に入り、0.7m で停止して、ホバーを行なった。

(iv) 下降ステップ操作 (Figure 21, Run 49)

高度 1.45m でのホバー状態から高度制御用操縦桿変位 13mm のステップ操作を行なって下降を開始し、下降速度が 0.32m/s に達した所から停止操作に入り、0.3m で停止してホバーを行なった。

(v) さぐり操作 (Figure 22, Run 48) 高度 0.7m におけるホバー状態で、機体の高度操縦感覚を把握するために、パイロットが繰り返し操作を行なった。 δ_c に対する δ の追従性は良好と認められ、速度制御型の特性を示した。また遅れは 1s 以内にあり設計基準を満足している。

(vi) 着陸 (Figure 23, Run 42) 高度 1.2m のホバー状態から 0.05~0.15m/s の下降速度となるように高度制御用操縦桿を静かに下げて下降接地し、接地と同時に最低位置まで下げる。接地時に生ずる上向きおよび下向きの衝撃加速度は、ASE の働きによりアクチュエータが逆に作動して、エンジン推力が運動を打消すように作用し、FTB のバウンド現象を防止している。

(3) 実験の経過とパイロット所見

(i) Run 37, Case 21 (Figure 29) [記事]: 離昇後ピッチ警報灯点灯のため、その後の Flight Request を中止して、正常手順による下降、接地停止を行なった。滞空時間 10s。[パイロット所見]: 離昇後、徐々に高度制御用操縦桿を上げたら急に加速を感じ、これを異常と判断して高度制御用操縦桿を抑えて止め操作をした所、衝撃的に停止した。その後、ブレーキペダルを 1, 2 回使用しながら下げ操作をやや早めに実施して機体下降が着いた所でピッチ警報灯点灯に気がついた。[事後対策]: 高度制御用操縦桿の全行程を 119mm から 203mm に変更して操縦感度を下げた。

機体とレールの摩擦を緩和するために、離昇付近で姿勢制御用操縦桿の前後操作を行なうことにした。ピッチ警報灯点灯の対策として、今回の実験では、以後姿勢制御用 ASE のゲイン設定をゼロとした。

(ii) Run 41, Case 21 [記事]: 滞空時間 2min 17s, 最大高度 0.75m, 最大速度 0.3m/s を記録。離着陸、ホバー概ね良好。[パイロット所見]: 高度制御用操縦桿による上昇の抑えは微量であり、かつ効きも敏感で停止位置がつかみ難い。下降も微少速度を得ることは難しく、簡単に速度がつく。高度制御用操縦桿に対するエンジン回転数のつきを計器で見ても運動と結びつかないので意味がない。高度制御用操縦桿のガタは 1cm 程度感じられる。

(iii) Run 42, Case 22 (Figure 18, 23) [記事]: 公開実験。滞空時間 2min 25s, 最大高度 1.72m, 最大速度 0.19m/s を記録。上昇下降操縦性極めて良好。[パイロット所見]: No. 2E/G エンゲージに手間どった。高度制御操縦桿の下降操作に比較して上昇操作は加速度がつき気味である。

(iv) Run 43, Case 23 (Figure 19) [記事]: 滞空時間 2min 44s, 最大高度 1.65m, 最大速度 0.55m/s を記録。ステップ操作による上昇下降実施。[パイロット所見]: 離昇 (0.08m/s) は円滑。0.5m ホバーはオーバーシュート気味。ステップによる上昇は加速を感じなかったので予定高度以上までのぼした。ステップが小さいと機体は運動に入らない。ホバーに入るとびたりと止まる。高度制御用操縦桿は全行程を 203mm としても感度を下げ過ぎたという感じはないが、最大位置で床面からの角度が大きくなるので、立ち過ぎる感じがする。ガタは負担になるけれど、とくに異常とは言えない。普通の操作は 0.5~1cm であるが最大 2cm 位やることがある。

(v) Run 47, Case 25 [記事]: 滞空時間 1min 35s, 最大高度 0.6m, 最大速度 0.34m/s, 離昇速度 0.2m/s, 接地速度 0.4m/s を記録。離着陸ホバー概ね良好。離昇後 1 度接地し、再び離昇した。[パイロット所見]: ブレーキ解除直後に操縦桿を押すと姿勢変化を感じるが、離昇直前には感じない。高度制御用操縦桿のつきがほんの少し悪い感じで、たとえば上昇時、停止位置設定後も加速を感じて止め舵を使うが、すぐには止らないので下げ舵を使うと下り過ぎてまた上げ舵を使う。上昇からホバーに入れるとき、瞬間的にホバーしてまた上る感じがあるときとそのままとときがある。上げよりも下げ操作のつきが良い感じである。

(vi) Run 48, Case 26 (Figure 22) [記事]: 滞空時間 3 min 33 s, 最大高度 1.15 m, 最大速度 0.26 m/s, 離昇速度 0.14 m/s を記録。上昇下降操縦性良好。姿勢操縦桿の押引操作を入れる。無線機不調。[パイロット所見]: 操縦桿の押引による機体のピッチ運動はアイドルでは感ぜず, $N=11000$ rpm で感じた。上げは良いが下げは急に下り過ぎる感じがある。ホバー中, 高度制御用操縦桿そのまま操縦桿を一旦引いて中立に戻す頃, 機体の浮く感じがすることがあった。レールの高い所の方が低い所よりも細かい上下の舵は使いやすく, よくつく感じがする。上昇下降中の操縦桿の押引は, 特に運動に影響を与えないようである。高度制御用操縦桿を操作して発散気味の運動を抑えようとする逆によりオーバーコントロールになる感じがする。

(vii) Run 49, Case 27 (Figure 20, 21) [記事]: 滞空時間 4 min 17 s, 最大高度 1.45 m, 最大速度 0.32 m/s, 離昇速度 0.12 m/s, 接地速度 0.46 m/s を記録。ステップ操作による上昇下降実施。姿勢操縦桿の押引と左右操作を入れる。[パイロット所見]: 姿勢操縦桿の押引一杯およびロールを感じた時左右の操作を行なった。ホバー時に操縦桿左右操作を行なうと毎回浮き速度(微少上昇加速度)が感じられ, 押引操作よりも効果があった。低い所での高度制御用操縦桿のつきが悪く, 高い所の方がやや良い感じで高さ 0.5 m と 1 m でも違いが感じられる。高度制御の操縦操作は目標柱を見ながらの場合と外界を見ながらの場合とがあり, 特に区別はしなかった。

8.4 高度制御特性

(1) 高度制御用操縦桿の特性

FTB では, エンジンの始動からアイドルまでは操縦席のスロットルレバー 2 本でそれぞれのエンジン燃料管制器レバーを動かすが, アイドル状態において 1 本の高度制御用操縦桿をこれらに連結(エンゲージ)して, 以後はこの操縦桿で 2 台のエンジンの燃料流量設定を行なうようになっている(Figure 10)。高度制御用操縦桿変位 δ_c は, $\delta_c < 0$ でアイドル状態, $\delta_c > 0$ でエンジン回転数 N と比例するように設定される。 δ_c に対する N の変化を Figure 24 に示す。図(b)は, $\delta_{c\max}=119$ mm と設定した場合(Run 27~37)で, 実験値は $\delta_c=-42\sim 95$ mm にあり, また Run 32 におけるヒステリシス曲線ではヒステリシス幅は $4\delta_c$ で約 30 mm と大きい, 昇降実験(Run 37 のみ)中は上げあるいは下げの一方向操作にのみ注目したためか, 実験中特に支障は認められなかった。図

(a)は, $\delta_{c\max}=203$ mm とした場合(Run 38~50)で, 実験値は $\delta_c=-37\sim 135$ mm にあり, また Run 50 におけるヒステリシス曲線では多少の相違はあるにしても図(b)とほぼ同様の傾向を示し, 昇降実験中にも特に支障は認められなかった。ヒステリシス曲線は, エンジン温度の上昇によって, エンジンの燃料制御特性と回転数特性にずれを生じる性質および高度制御用操縦桿のガタによると考えられ, 特に前者が主因とすれば, δ_c = 一定での N の散布は 200~350 rpm と見ることができ, これは計器誤差の程度とも考えられるが, 一方 N = 一定での δ_c の散布は 20~30 mm と大きい。操縦感度については「9.2」に述べる。

(2) ASE によるダンピング効果

ASE の働きは, エンジン時定数の影響を抑える効果を与えることおよび速度ダンピングの効果を与えることである。前者はガタの影響を分離し難く, またペンレコードから読み取り難いことなどの理由により, 実験結果から効果を知ることは難かしい。速度ダンピングは Figure 20 から読み取ると $z_w \approx -0.7$ 1/s 程度であり概ね期待どおりの効果を与えていることが判った。ASE ゲインの設定については「9.1」に述べる。

(3) ホバー中の燃料消費にともなう重量変化

本実験における FTB の最大全備重量は 2280 kg, 最大搭載燃料重量は 480 kg である。したがって機体重量は 2280 kg から 1800 kg まで変化し得る。上昇下降実験時における離着陸時の重量を Figure 25 に示す。これによると平均離陸重量 2197 kg, 平均着陸重量 2014 kg であり, したがって平均飛行重量は 2106 kg となる。ホバー中にも燃料消費が著しいので時間とともに機体重量が少なくなり, それに応じて必要なエンジン回転数も低下する筈である。この関係を知るために Run 48 におけるホバー時のエンジン回転数の減少を Figure 26 に示す。図中の計算値は, $t=100$ s, $N=12150$ rpm におけるエンジン燃料流量計画値を採って, これにもとづいて求めたものである。

(4) 接地特性

接地時の衝撃力 $\dot{z}_t W/g$ は, 接地直前の浮揚推力 F と機体重量の差に, オレオ緩衝行程 s によるバネの反力 ks を加えたものに等しいと考えれば, 機体の持つ位置のエネルギー $(W-F)s$ と運動のエネルギー $\dot{z}_t^2 W/(2g)$ [\dot{z}_t は接地直前の速度] の和は, バネに貯えられる歪エネルギー $(W-F)s + ks^2/2$ に等しいので, 接地後の反撥加速度 \ddot{z}_t はつぎのように表わすこ

とができる。

$$\ddot{z}_t = g \left(1 - \frac{F}{W} \right) - \sqrt{k \frac{g}{W}} \dot{z}_t$$

\ddot{z}_t と \dot{z}_t の関係を実験値 (Table 9~11) よりプロットすると Figure 27 のようになる。

この図から、 $g(1-F/W)=0 \sim -0.6$ および $\sqrt{k g/W} \approx 17$ であることが判り、接地時には $F/W=1 \sim 1.06$ となっている。実験中に現われた \dot{z}_t の最大値は -0.4 m/s (Run 37) であるが、このときの \ddot{z}_t はスケールオーバー (2 m/s^2 以上) していた。

(5) 昇降運動中の種々の特性

昇降運動中の種々の特性の相対度数分布を Figure 28 に示す。

図 (a) から高度制御用操縦桿のトリム位置からの操作量は、30 mm 付近の頻度が最も多く、最大使用量は 64 mm であった。

図 (b) からアクチュエータの作動量は、4.2 mm 付近の頻度が最も多く、最大値は 11 mm であった。

図 (c) は最大昇降加速度の分布を示し、上昇では 0.13 と 0.4 m/s^2 、下降では 0.2 と 0.4 m/s^2 が頻度が多く、また 0.17 m/s^2 以下の小さな加速度は上昇の方が下降より頻度が高く、0.17~0.7 m/s^2 では逆となる。

図 (d) から最大昇降速度は、上昇下降とも 0.13 m/s 付近の頻度が最も多く、最大値は上昇 0.3 m/s 、下降 0.4 m/s 以上であり、また 0.2 m/s 以下の頻度は上昇の方が下降より多く 0.2 m/s 以上では逆となる。

図 (e) からエンジン回転数変化は 150 rpm が最も多く最大値は 450 rpm であり、この範囲で昇降運動を行なっていることになる。

図 (f) は FTB とレールの静止摩擦力 F_f を \dot{z} と N の関係から読取った値の分布であるが上昇では 15 kg、下降では 8 kg の頻度が最も多く、40 kg 以下の頻度は上昇の方が下降より多く、40 kg 以上では逆となる。

9. 高度制御拘束実験に関する特記事項

FTB の高度制御特性およびその実験の実施に影響を与えたいくつかの事項を取り上げてその概要を述べる。

9.1 ASE

(1) ゲインの設定

ASE は加速度および速度 (加速度の不完全積分値) に比例してアクチュエータが作動するようなフィードバックを与え、それぞれのゲインはロータリスイッチ

で5段階に設定できるようになっている。本実験では飛行性基準¹¹⁾およびその他の検討¹²⁾を勘案して、両者共第3段階を選定し、それぞれ 6.65 mm/m/s^2 、および 13.3 mm/m/s とした。この設定によりエンジン時定数 T_E を 0.6 s (Figure 7) から見掛け上 0.34 s に短くする効果およびダンピング $z_w \approx -0.9^1/\text{s}$ を与える効果、すなわちホバーからの高度制御用操縦桿変位 $\Delta \delta_c$ に比例して昇降速度 \dot{z} が発生する速度制御型の効果が期待できる ($\delta_{c\max}=20.3 \text{ cm}$ に設定したとき、 $\Delta \delta_c = \pm 1 \text{ cm}$ に対して $\dot{z} \approx \pm 0.25 \text{ m/s}$)。

(2) アクチュエータのガタの影響

アクチュエータの全行程に対して、ガタは、No. 1 E/G; 2.84%, No. 2 E/G; 1.53% であり、また、ヒステリシス幅は、No. 1, No. 2 E/G とも 8.6% である⁹⁾。これらの影響がどのように現われるかを Figure 21 にもとずいて述べる。ガタ量が多い時には、ASE アクチュエータの動きが小さい範囲内では、パイロットの操縦が速度制御型から加速度制御型に変わるので、機体の一定高度保持が困難になる。またガタ分だけ機体の上下加速度が残るために速度の正確なコントロールが困難になる。これらの影響は、パイロット所見として、「機体を意図した高度に止めようとするとなかなか止まらない」、「絶えず、機体 g が残っている感じがし、突風中でヘリコプタを操作しているような感じである。」として表現された。

(3) ドリフト

ASE のドリフトは約 3% 存在するが、これは 0.24 m/s^2 の加速度を生じさせることになり、これは高度制御用操縦桿の約 6 mm のトリム操作を必要とすることになる。しかし、このドリフトは実際の運動にはあまり影響を与えない。

9.2 高度制御用操縦桿

(1) 操縦感度

操縦感度 z_s の値が適正であるかどうかは高度制御特性の良否に微妙な影響を与えることは良く知られている。一般に z_s が過小で、たとえば $z_s < 0.1 \text{ g/in}$ (0.04 g/cm) のようなときには、所要の運動を得るのに大きな操縦動作を必要として、ホバーのための 1 g 推力状態を保持することさえ困難となり、また z_s が過大でたとえば $z_s > 0.39 \text{ g/in}$ (0.118 g/cm) のようなときには、オーバーコントロールになりがちなのでこれを避けるために非常な困難を伴うといわれている¹³⁾。しかしながら、本機の場合には ASE の機能によって速度制御型の操縦システムを採っているので、 z_s についての前述の定説はそのまま適用されるもの

ではないと考えられる。

本実験において、Run 1~37 では、高度制御用操縦桿最大変位を $\delta_{cmax}=119\text{ mm}$ としたので $z_s=0.07\text{ g/cm}$ となり、Run 38~50 では、 $\delta_{cmax}=203\text{ mm}$ としたので $z_s=0.04\text{ g/cm}$ となる (Figure 7)。Run 37 の後で操縦感度を変更した経過は、「8.3 (3) (i)」で述べた。Run 37 の実験記録を Figure 29 に示す。この図からつぎのようなことが判る。離昇後 \dot{z} と z の増加を緩和するために、 δ_c の下げを行なったが、 z は直ちに現われず約 0.2s の遅れがあったので δ_c を大きく下げる結果となり、下降加速度が大きくなり過ぎてつぎに上げ操作、さらに下げ操作の後、 \dot{z} , \ddot{z} , z のほぼ一定となる δ_c を設定した後、着陸に入っている。すなわち、舵を大きく使い過ぎるので感度を下げた方がよいということになった。

(2) ガタの影響

高度制御用操縦桿の全行程に対して、ガタは、No. 1 E/G; 2.84%, No. 2 E/G; 1.53%, ヒステリシス幅は、それぞれ 3.8% および 5% 存在する⁹⁾。これらの影響がどのように現われるかを示したのが Figure 30 (Run 43) である。以下この図にもとずいて述べる。

図中の A-A' のような見かけ上のエンジン応答の遅れ約 0.3s を生ずる。

図中の B に見られるように、 $\Delta\delta_c < 10\text{ mm}$ の操作量に対して、エンジン回転数 N はほとんど変化しない。このことは昇降運動中に $\Delta\delta_c < 10\text{ mm}$ 以下の $\Delta\delta_c$ の操作量頻度が極めて少ないこと (Figure 28-a) にも現われている。

図中の C に見られるように、ホバーから機体を動かすのに必要な δ_c の操作量が感覚的につかみにくいために 3 段階の操作で所要目的を達している。

(3) 最低位置

高度制御用操縦桿の最低位置 (エンゲージ点) は、最小機体重量で ASE アクチュエータがエンジン推力を出す方向に一杯 (+35 mm) 作動した場合でも下降可能であるように設定した (Figure 10)。この設定によってエンゲージ点での推力は、 $\delta_{cmax}=119\text{ mm}$ の場合は $F=1440\text{ kg}$, $\delta_{cmax}=203\text{ mm}$ では $F=1760\text{ kg}$ となった。

9.3 2 台のエンジン回転数のずれ

Figure 31 に示すように、飛行状態で、2 台のエンジンの回転数 N のずれは最大約 $\pm 200\text{ rpm}$ であり、これによるピッチングモーメント ($\pm 1.9\text{ kg}\cdot\text{m}$) はピッチコントロールパワの約 4% 以下に相当する。こ

れはまたエンジン最大連続回転数 12500 rpm の 1.6% であり、規準値 3%²⁾を十分下廻っている。

9.4 高度制御拘束実験装置

(1) FTB レール間の静止摩擦の影響

約 15 kg の静止摩擦が存在し (「8.4 (5)」), この影響がどのように現われるかを示したものが Figure 32 (Run 43) である。この図は 0.3 m でホバーをしていた状態から昇降運動を行なった場合の操作例である。以下この図にもとずいて述べる。

図中の A-A' のように見かけ上の機体応答の遅れ約 0.2s が見られる。

図中の B に見られるように動き出すと摩擦力が小さくなるので、急加速状態が見られる。

図中の C では、 $\dot{z}=0$ となると摩擦力が大きくなるので $\dot{z}=-0.03\text{ g}$ から急に $\dot{z}=0$ となり、ホバーに入り易いことを示している。

図中の D は、 $\dot{z}=0$ 付近では、静止摩擦により \dot{z} も急に減少し、このためパイロットは、停止操作量 (もどし操作) を小さくとるので $\dot{z}=0$ の点を行き過ぎてしまう結果となり、パイロットの操作量感覚を狂わせていることを示している。

摩擦に関連するパイロット所見は、「一定高度保持は、手離しで出来る。ホバーからの機体の応答は一息ついてから出てくる感じである。」とのことで前述の図に見られた現象を裏書きしている。

(2) 上昇時リミットスイッチ位置

上昇時の機体の暴走を防ぐため、レールにブレーキ用リミットスイッチを取り付けた。その位置は、FTB の出し得る上昇速度を 4 m/s として、機体のダンパがストッパに当たって作動する時の速度が 2 m/s となるように、地面からの高さ 7256 mm に設定した。ここからブレーキが効いてさらに 1244 mm 上昇して機体のダンパがストッパに当たることになる。

10. む す び

以上 FTB の高度制御拘束実験について述べた。これを要約するとつぎのとおりである。

(1) 門型架構内に 2 本のレールを立て、これに沿ってまわるローラおよびレール締め付け用のブレーキシューを取り付けた主脚支柱を機体に換装し、地上約 2 m の 3 つの台上に脚を固定または置いた。機体の可動範囲は約 3.5 m に制限した。

(2) 実験は機体固定状態での約 50 m の遠隔操作実験 10 回、搭乗操作実験 13 回および有人による 1 自由度高度制御拘束実験 7 回を実施した。

(3) 遠隔および搭乗操作による全機作動実験により、エンジンおよび関連システムの作動特性、機体システムの特性、排気や振動が操縦席環境におよぼす影響などは全般に良好であることが確認された。

(4) 高度制御拘束実験では、最大到達高度 1.72m, 最大速度; 上昇 0.55 m/s, 下降 0.65 m/s, 接地 0.28 m/s, 最大加速度; 上昇 0.11 g, 下降 0.07 g, 接地 0.37 g を記録し、飛行時間は最大 4 min 17 s, 平均 2 min 26 s であった。飛行課題は離着陸, ホバー, 緩およびステップ操作による上昇下降であり, これらは 2 名によって行なわれた。

(5) ASE はアクチュエータ変位が小さい範囲でガタに起因する加速度制御型の傾向を示したほかは全般に良好な速度制御型の特性を示し, また高度制御用操縦桿にも遊びが認められたが操縦感覚上は殆んど問題なく, さらに操縦感度も全般に良好と判定された。

(6) 機体とレールの静止摩擦の影響はかなり認められ, 機体をホバーに入れやすいこと, ホバーからの動きはじめに急加速状態が見られること, 姿勢操縦桿の操作が静止からの動きはじめを容易にすることなどの現象が現われた。

本実験に際して, 富士重工業 (株), 石川島播磨重工業 (株), 日本電気 (株) の御協力に負う所が大きく, ここに深甚なる謝意を表する。また地元角田市の方々には大きな御支援を頂き, 併せて厚く御礼申し上げる。実験には角田支所の全面的協力を頂いた。図および原稿の整理は新型航空機第 2 グループの岡田典秋技官, 村木貴子嬢によった。

文 献

- 1) 滝澤直人; フライングテストベッド (FTB) について, 日本機械学会誌, 71 巻, 598 号 (1968/

- 11)
- 2) 新型航空機部; フライングテストベッドの計画—本体のシステムデザイン, 航技研報告 TR-154 (1968/5)
- 3) 滝澤直人, 田辺義一, 渋谷昭義, 小川敏雄, 藤枝郭俊, 甲斐忠夫, 宮本義人, 小野幸一, 鳥崎忠雄; フライングテストベッド全機作動実験—予備・第 1 次・第 2 次実験, 航技研報告 TR-319 (1973/6)
- 4) 滝澤直人, 渋谷昭義, 小川敏雄, 藤枝郭俊, 甲斐忠夫, 宮本義人, 田辺義一, 竹内和之, 小野幸一; フライングテストベッド用付帯設備の計画, 航技研報告 TR-306 (1972/11)
- 5) 小川敏雄, 甲斐忠夫, 十河 弘, 増原 恢; フライングテストベッド自動安定装置性能試験 (II)—実験前性能試験, 航技研資料 TM-218 (1972/7)
- 6) 小野幸一, 十河 弘, 池上 博; フライングテストベッドのテレメータ性能試験, 航技研資料 TM-220 (1972/5)
- 7) 田辺義一, 小暮泰之, 川崎純男; フライングテストベッド空気系統試験, 航技研資料 TM-213 (1972/2)
- 8) 田辺義一, 小暮泰之, 川崎純男; フライングテストベッド燃料系統試験, 航技研資料 TM-214 (1972/2)
- 9) 藤枝郭俊, 牧野 健, 川崎純男; フライングテストベッド操縦系統試験, 航技研資料 TM-227 (1972/7)
- 10) 宮本義人, 川崎純男, 中村公昭, 東海林秀幸; フライングテストベッド空気タービン試験, 航技研資料 TM-233 (1972/11)
- 11) NATO; Recommendations for V/STOL Handling Qualities, AGARD Rept. 408 (1962/10)
- 12) 武田 峻, 甲斐忠夫; フライングテストベッドの高度制御システムの検討 (I), 航技研報告 TR-114 (1966/8)
- 13) J.R. Kelly, J.F. Garren, P.L. Deal; Flight Investigation of V/STOL Height-Control Requirements for Hovering and Low-Speed Flight under Visual Conditions, NASA TN D-3977 (1967/5)

Table 5 Operational records

	Date (1969)	Start Time	Run	Case	Weather	P_a [mmHg]	T_a [°C]	H [%]	V_W [m/s]	D_W [°]	Operator	P_s [kg/cm ² G]		t_f No. 1
												No. 1	No. 2	
Running by Remote Control	Nov. 21	14 : 45	1	0	clear	765.5	11.2	49	2.0	320	Muto	6.5	—	—
		14 : 52	2	0	"	765.9	11.2	51	1.7	320	"	—	6.5	—
		15 : 33	3	1	"	766.6	10.0	50	2.1	310	"	7.5	—	—
		15 : 54	4	2	"	767.1	9.2	53	1.2	330	"	—	7.5	—
	22	10 : 12	5	0	cloudy	769.2	5.2	73.5	0.6	330	"	7.5	—	—
		10 : 16	6	0	"	769.1	5.2	72	0.2	315	"	—	7.5	—
		10 : 28	7	3	"	768.9	5.3	72	0.3	315	"	7.5	7.5	—
		12 : 24	8	3	rainy	767.5	5.1	74	0.0	360	"	7.5	7.5	—
		14 : 56	9	4	cloudy	765.9	6.0	71	0.5	310	Oike	7.5	7.5	—
		15 : 37	10	5	"	765.4	6.0	71.5	0.2	330	Goto	7.5	7.5	—
		16 : 13	11	6	"	765.2	5.9	71.5	0.5	290	Suzuki	7.5	6.5	—
		16 : 55	12	0	"	765.3	5.9	71.5	1.0	310	"	—	7.5	—
	23	10 : 25	13	0	clear	763.3	9.6	47	1.9	330	Oike	7.5	—	—
		10 : 29	14	0	"	763.3	9.6	49	2.0	360	"	—	7.5	—
		10 : 40	15	4	"	763.3	9.9	44	1.0	360	"	7.5	7.5	—
		11 : 05	16	6	"	763.1	10.3	43	3.5	315	Suzuki	7.5	7.5	—
		11 : 38	17	4	"	762.9	10.4	42	4.0	360	Oike	7.5	7.5	—
Ground Operation by Crew	Date (1969)	Start Time	Run	Case	Weather	P_a [mmHg]	T_a [°C]	H [%]	V_W [m/s]	D_W [°]	Operator	t_i No. 1	t_s No. 2	t_i No. 2
	Nov. 24	14 : 55	18	0	clear	756.0	7.8	71	1.0	180	Goto	—	—	—
		15 : 02	19	0	"	756.0	7.6	72	1.0	180	"	—	—	—
		15 : 21	20	0	"	756.0	6.7	72	1.0	180	"	—	—	—
		16 : 00	21	7	"	756.2	6.2	77	1.0	270	"	1'	—	—
		16 : 18	22	8	"	755.8	5.2	73	0.4	45	"	—	—	1'
	25	10 : 30	23	0	rainy	759.0	5.0	73.5	1.6	270	"	—	—	—
		10 : 39	24	0	"	759.0	5.0	73.5	1.6	270	"	—	—	—
		10 : 55	25	13	cloudy	759.0	5.0	70	2.9	310	"	—	—	—
		12 : 01	26	17	"	759.0	5.0	63	5.0	315	Suzuki	1'30"	2'	2'45"
		14 : 38	27	14	"	761.1	4.2	60	3.0	290	Goto	—	—	—
		15 : 31	28	18	"	760.0	3.0	62	2.0	300	Suzuki	—	—	—
		16 : 30	29	15	"	762.3	2.6	58	1.8	360	Goto	—	—	—
	26	10 : 27	30	0	clear	768.3	4.0	75	1.0	360	Suzuki	—	—	—
		10 : 31	31	0	"	768.3	4.0	75	1.0	360	"	—	—	—
		10 : 48	32	19	"	768.2	4.6	73	1.2	270	"	—	—	—
		11 : 42	33	16	"	767.2	5.3	67	1.7	350	Oike	—	—	—
Climb and Descent by Crew	Date (1969)	Start Time	Run	Case	Weather	P_a [mmHg]	T_a [°C]	H [%]	V_W [m/s]	D_W [°]	Operator	t_i No. 1	t_s No. 2	t_i No. 2
	Nov. 27	14 : 54	34	0	clear	767.6	7.8	61	2.0	135	Oike	—	—	—
		15 : 02	35	0	"	767.4	7.3	65	1.8	135	"	—	—	—
		15 : 13	36	20	"	767.1	6.8	71	1.6	135	"	—	—	—
		16 : 10	37	21	"	765.6	4.2	73	1.0	310	Goto	2'	1'	2'40"
	28	10 : 48	38	0	cloudy	766.4	9.0	75	1.2	300	Oike	—	—	—
		10 : 53	39	0	"	766.6	8.9	67	3.2	300	"	—	—	—
		11 : 03	40	20	"	766.9	7.9	67	3.0	315	"	2'	—	—
		11 : 57	41	21	"	767.0	8.0	57	3.0	315	Goto	—	—	—
		13 : 48	42	22	"	767.4	5.3	59	3.0	335	"	—	—	—
		15 : 30	43	23	"	768.9	4.5	53	3.0	330	"	—	—	—
		15 : 30	43	23	"	768.9	4.5	53	3.0	330	"	—	—	—
	29	10 : 28	44	0	clear	773.3	6.5	54	2.0	135	Oike	—	—	—
		10 : 33	45	0	"	773.1	6.5	54	1.5	200	"	—	—	—
		10 : 42	46	24	"	772.9	6.6	54	1.0	270	"	—	—	—
		11 : 59	47	25	"	772.4	7.6	48	1.0	180	Suzuki	—	—	—
		14 : 00	48	26	"	772.1	8.3	45	1.9	220	"	—	—	—
		14 : 50	49	27	"	772.5	8.5	50	1.0	290	"	—	—	—
		15 : 51	50	28	"	772.4	7.0	52	1.0	280	Oike	—	2'	—

[Note] No. 1, No. 2; Engine No.

運 転 記 録

t_i No 1	t_s No 2	t_f No 2	t_i No 2	t_{11}	t_{12}	t_m	t_i	t_0	t_c		W_F [kg]	Remarks
									No 1	No 2		
—	—	—	—	—	—	—	—	30"	2'05"	—	—	No. 1 Wet Motoring
45"	—	—	—	—	—	—	—	30"	—	2'04"	—	No. 2 "
—	—	—	—	—	—	—	—	5'	2'13"	—	75	
—	—	—	43"	—	—	—	—	6'	—	1'35"	99	
—	—	—	—	—	—	—	—	30"	1'52"	—	—	No. 1 Dry Motoring
—	—	—	—	—	—	—	—	20"	—	1'58"	—	No. 2 "
55"	1'15"	—	1'53"	—	—	—	—	7'	2'08"	1'31"	216	
35"	1'	—	1'29"	—	—	—	—	7'	2'09"	1'31"	198	
58"	2'	—	2'46"	—	—	—	—	10'	2'10"	1'32"	261	
47"	2'	—	2'45"	—	—	—	—	5'	2'18"	1'30"	66	
30"	2'	—	—	—	—	—	—	6'	2'08"	×	69	No. 2 N-Meter Abnormal
—	—	—	—	—	—	—	—	30"	—	1'52"	—	No. 2 Dry
—	—	—	—	—	—	—	—	25"	1'59"	—	—	No. 1 "
—	—	—	—	—	—	—	—	20"	—	2'01"	—	No. 2 "
45"	1'	—	1'29"	—	—	—	—	3'	2'15"	1'58"	57	
31"	1'	—	1'30"	—	—	—	—	6'57"	2'15"	1'35"	219	
30"	2'	—	2'43"	—	—	—	—	7'47"	2'16"	1'40"	264	

t_{11}	t_m	t_{11}	t_i	t_0	t_c		W_F [kg]	Remarks
					No 1	No 2		
—	—	—	—	—	1'54"	—	—	No. 1 Dry* After Escape Training $\delta_{cmax}=119$ mm
—	—	—	—	1'40"	—	—	—	No. 1 Dry
—	—	—	—	1'19"	—	1'57"	—	No. 2 Dry*
2'30"	3'30"	—	5'	5'25"	—	—	90	*; After Fuel Drainage
—	—	—	3'50"	5'	—	—	(87)	() ; Presumption
—	—	—	—	—	1'58"	—	—	No. 1 Dry
6'20"	—	—	—	1'	—	1'57"	—	No. 2 "
5'40"	8'	8'20"	8'50"	10'05"	—	—	250	
—	—	—	9'	12'30"	2'12"	1'36"	352	
—	—	—	—	9'34"	2'12"	1'35"	292	
—	—	—	—	7'54"	2'10"	1'35"	242	
—	—	—	—	7'30"	2'10"	1'36"	242	Include ASE Clutch Change Test
—	—	—	—	—	1'53"	—	—	No. 1 Dry
—	—	—	—	—	—	1'56"	—	No. 2 "
—	—	—	—	9'30"	2'10"	1'34"	306	Include ASE Clutch Change Test
—	—	—	—	7'15"	2'10"	1'38"	190	

t_u	t_d	t_0	t_c		W_u [kg]	W_d [kg]	z_{max} [m]	\dot{z}_{max} [m/s]	$-\dot{z}_{max}$ [m/s]	t_h	W_F [kg]	Remarks
			No 1	No 2								
—	—	—	1'55"	—	—	—	—	—	—	—	—	No. 1 Dry
—	—	—	—	2'	—	—	—	—	—	—	—	No. 2 "
—	—	7'	2'10"	1'43"	—	—	—	—	—	—	181	
—	—	6'	2'11"	1'38"	—	2070	0.60	0.55	0.65	10	193	Pitch Caution
—	—	—	1'56"	—	—	—	—	—	—	—	—	No. 1 Dry $\delta_{cmax}=203$ mm
—	—	—	—	2'	—	—	—	—	—	—	—	No. 2 "
—	—	6'55"	2'10"	1'43"	—	—	—	—	—	—	188	
5'38"	7'50"	9'57"	2'11"	1'37"	2135	2035	0.75	0.17	0.30	137	307	
5'	7'23"	8'30"	2'11"	1'34"	2160	2030	1.72	0.19	0.17	145	290	Exhibition Test
—	—	10'	2'48"	1'43"	2200	2010	1.65	0.33	0.55	164	305	
—	—	—	1'55"	—	—	—	—	—	—	—	—	No. 1 Dry
—	—	—	—	1'56"	—	—	—	—	—	—	—	No. 2 "
—	—	8'	2'11"	1'41"	—	—	—	—	—	—	197	
—	—	8'54"	2'10"	1'37"	2200	2050	0.60	0.28	0.34	95	262	
—	—	9'08"	2'12"	1'35"	2225	1995	1.15	0.19	0.26	213	315	
—	—	9'04"	2'12"	1'35"	2220	1965	1.45	0.31	0.32	257	324	
—	—	7'33"	2'11"	1'35"	—	—	—	—	—	—	124	

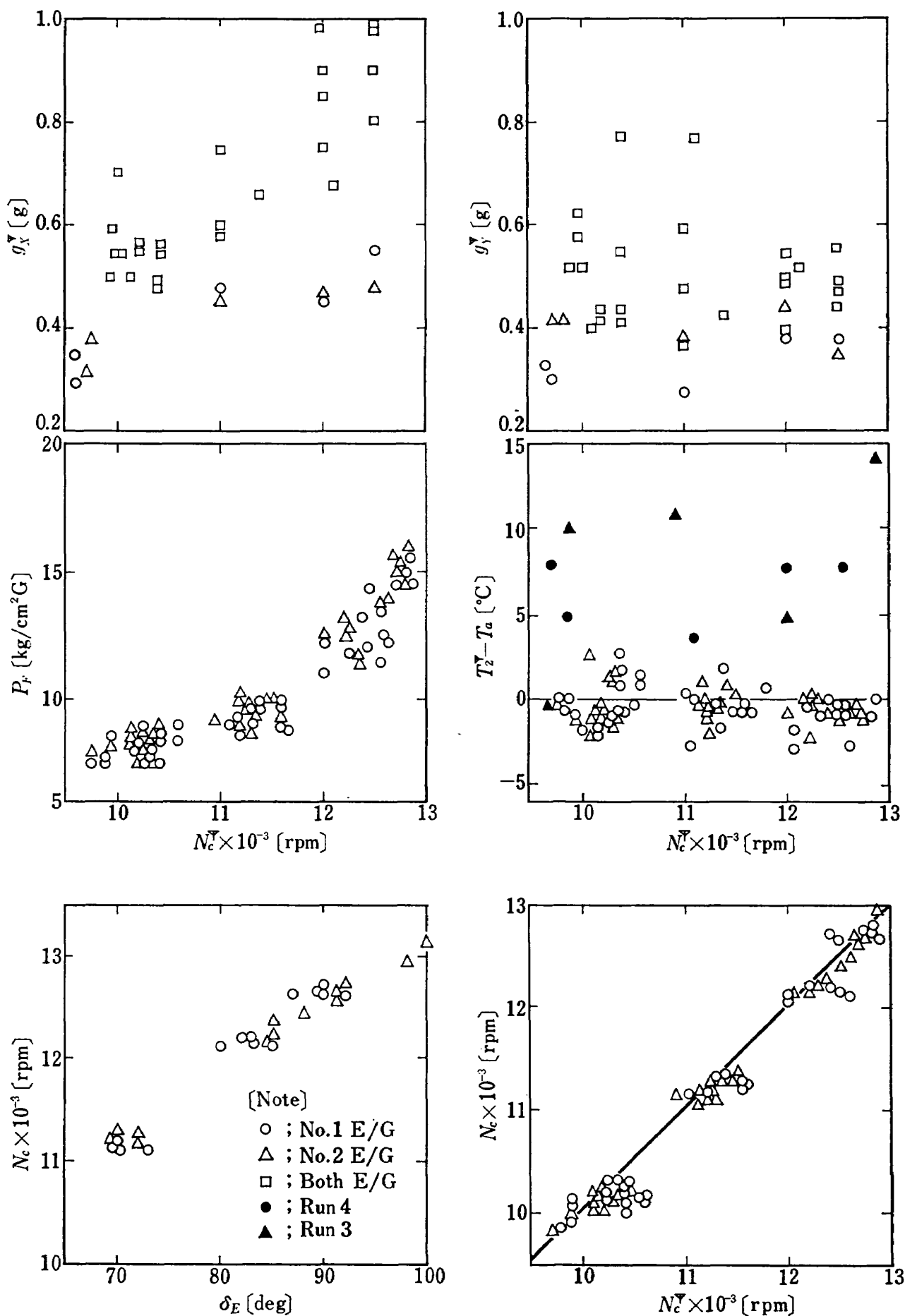


Figure 13 Engine and vibration data, エンジンおよび振動データ

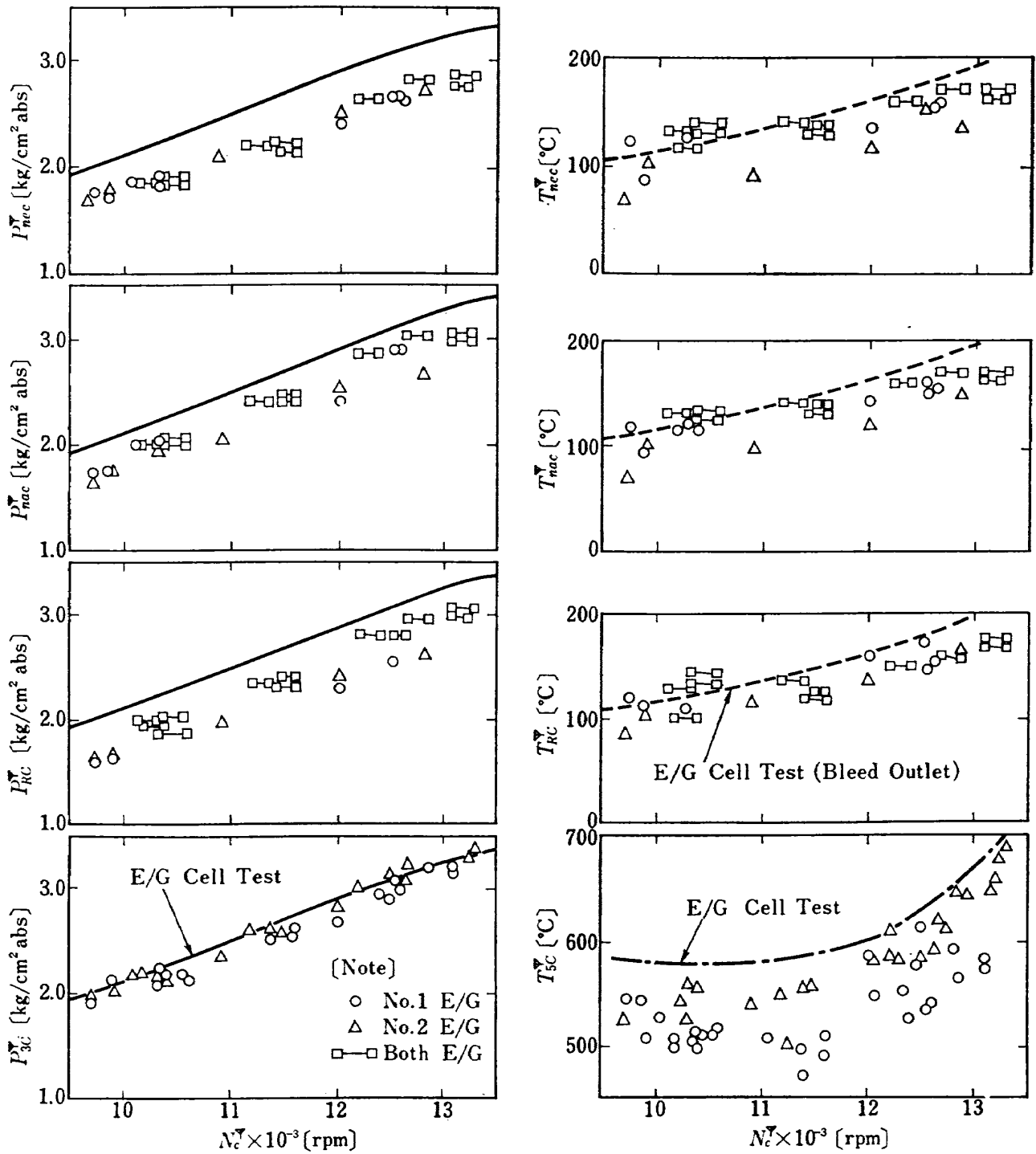


Figure 14 Bleed air and exhaust gas data
 抽気および排気特性

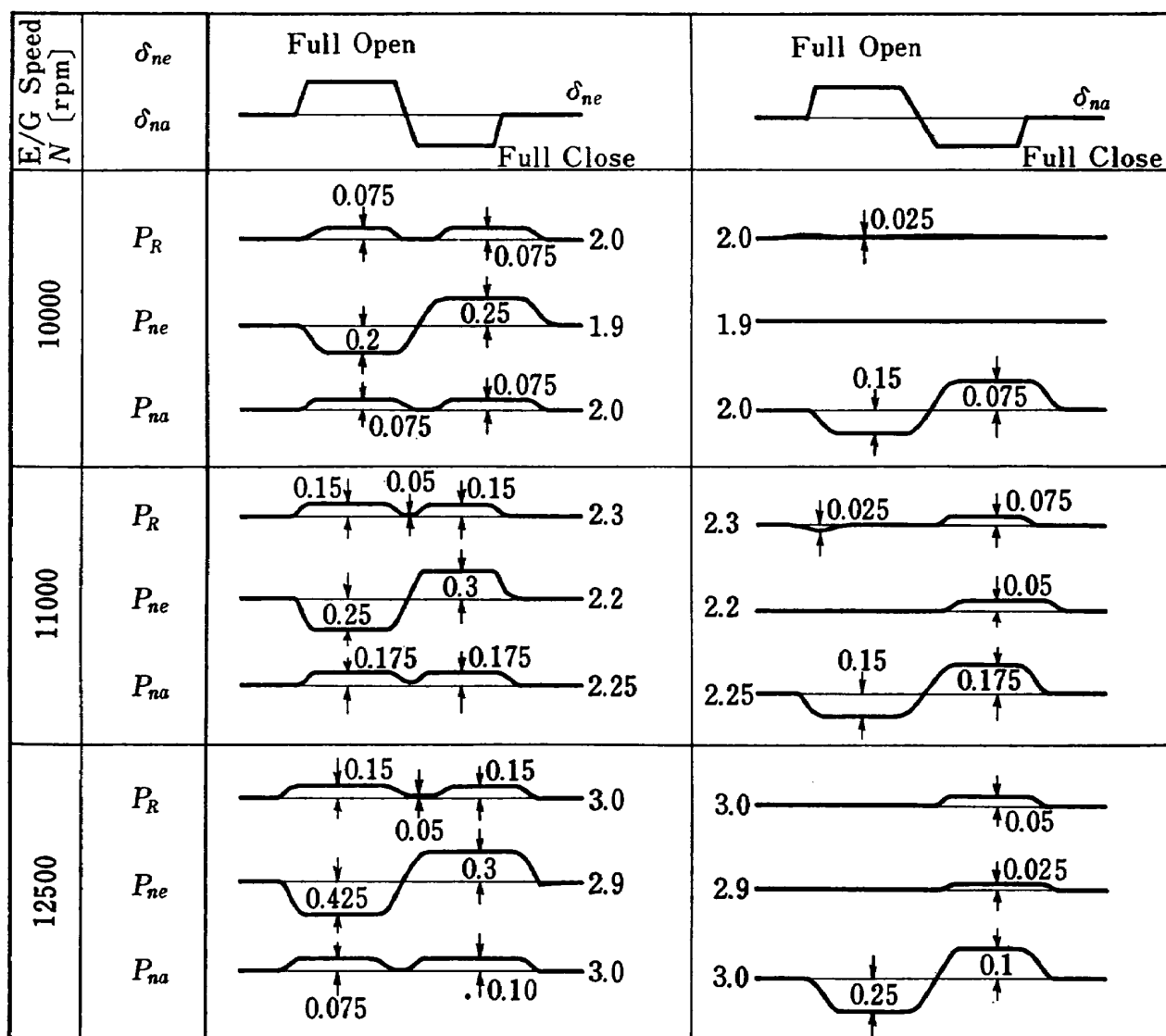
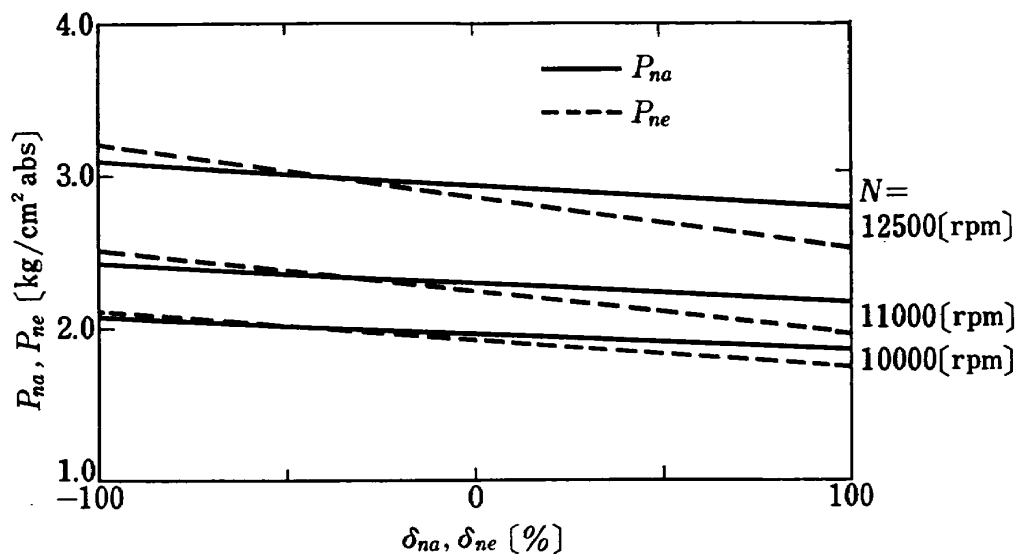


Figure 15 Pressure behavior of air jet nozzle

空気ジェットノズルの圧力変化

Table 6 Hysteresis of attitude control system
姿勢操縦系統ヒステリシス

E/G Speed N [rpm]	Pitch ($\delta_{e\max} = \pm 102 \text{ mm}$)				Roll ($\delta_{a\max} = \pm 76 \text{ mm}$)			
	P_{ne} [kg/cm ²]	$\Delta\delta_{ne}$ [mm]	$\Delta\delta_e$ [mm]	$\Delta\delta_e/\delta_{e\max}$ [%]	P_{na} [kg/cm ²]	$\Delta\delta_{na}$ [mm]	$\Delta\delta_a$ [mm]	$\Delta\delta_a/\delta_{a\max}$ [%]
0	1.0	1.2	5.3	2.6	1.0	1.8	6.7	4.4
10000	1.88	1.5	7.1	3.5	1.94	2.0	7.4	4.9
"	1.90	1.9	8.4	4.1	1.99	3.4	12.6	8.3
11000	2.31	2.1	9.3	4.6	2.29	2.8	10.4	6.8
12500	2.89	2.5	11.1	5.4	2.98	3.0	10.0	6.5
"	2.93	2.3	10.2	5.0	2.99	2.8	10.4	6.8
"	2.90	2.2	9.8	4.8	2.98	3.2	11.9	7.8

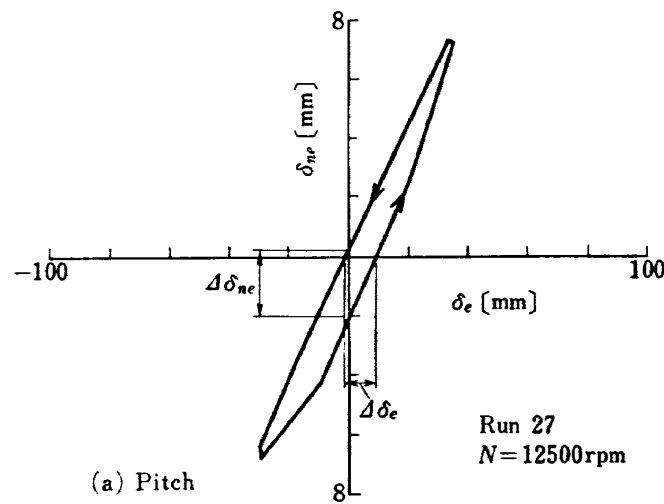
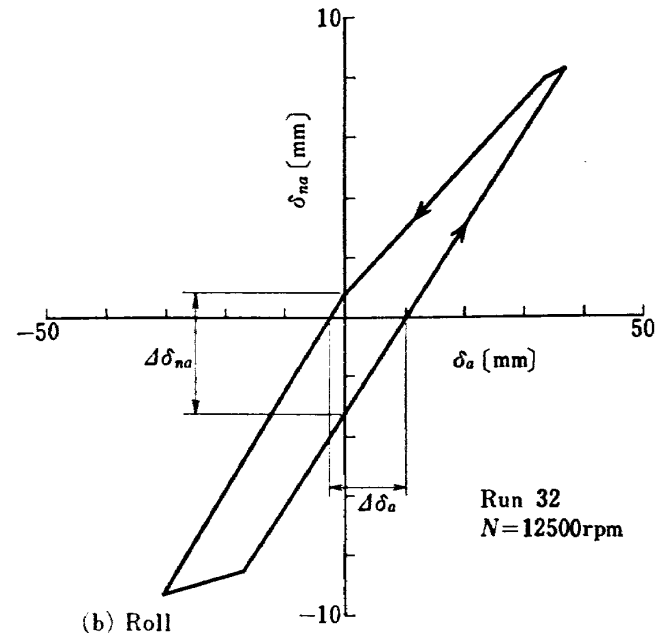


Figure 16 Hysteresis of attitude control linkage
姿勢操縦系統ヒステリシス

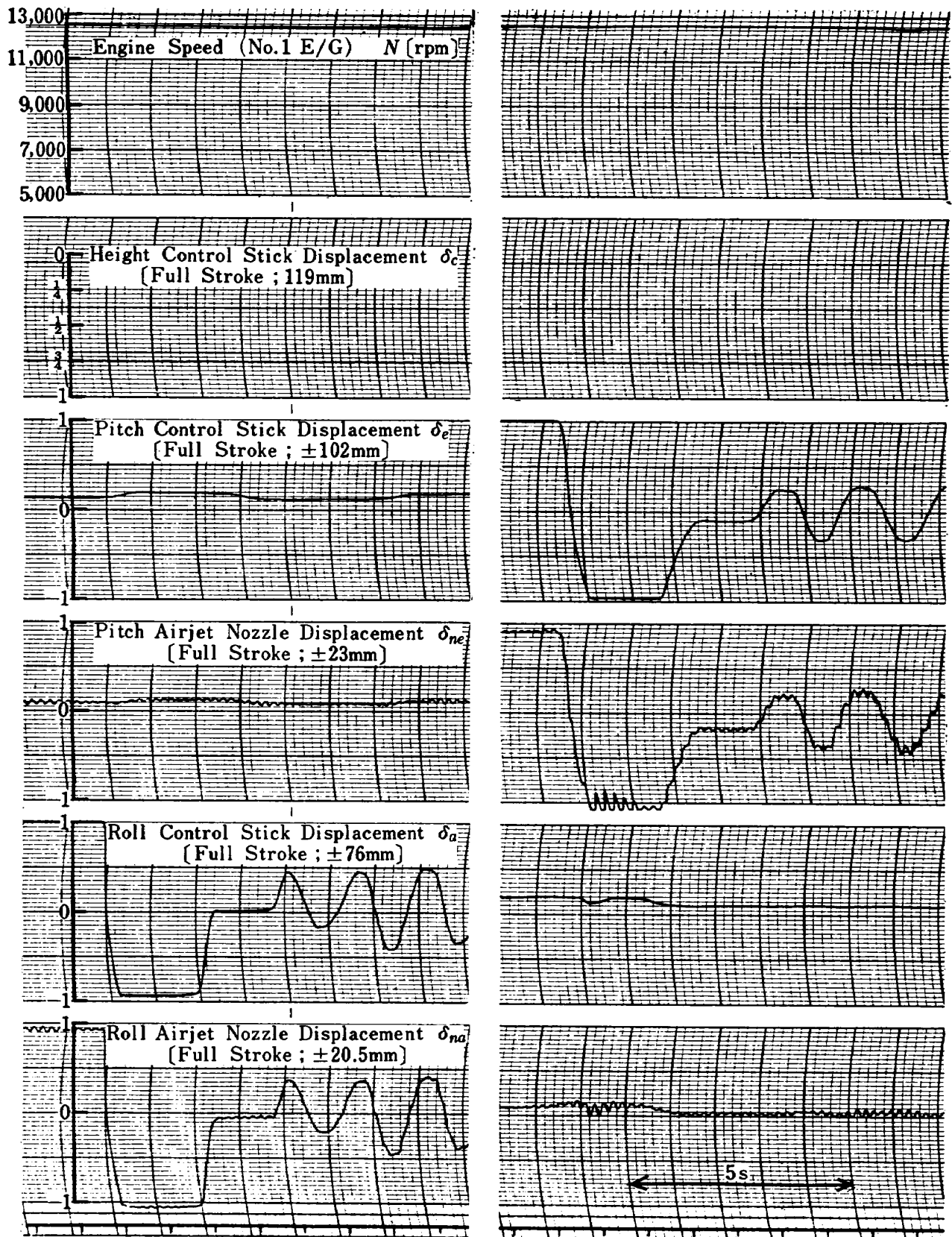


Figure 17 Operational records of attitude control system

姿勢操縦系統作動記録

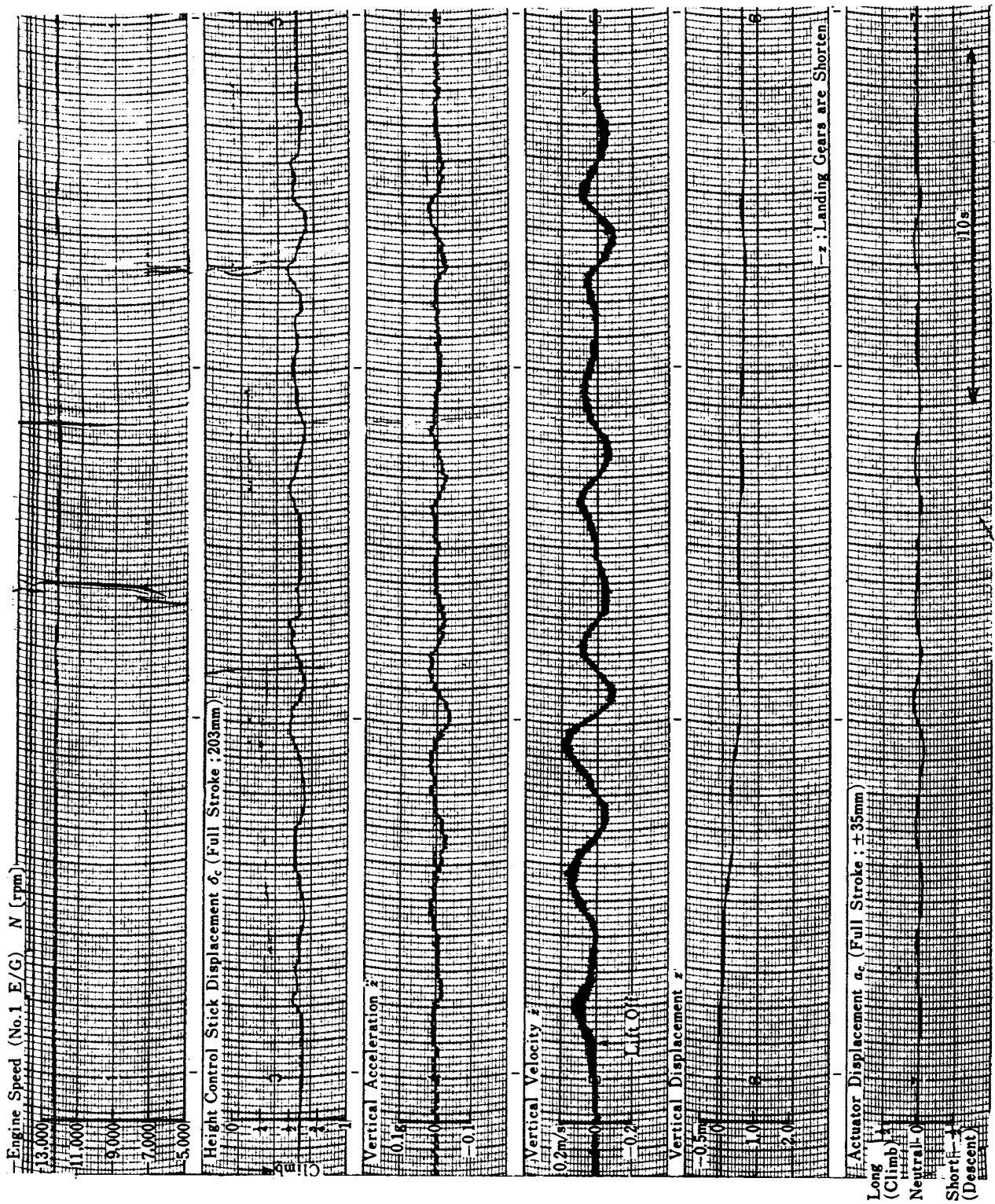


Figure 18 Lift off and Hover Records, 離陸およびホバ操作記録

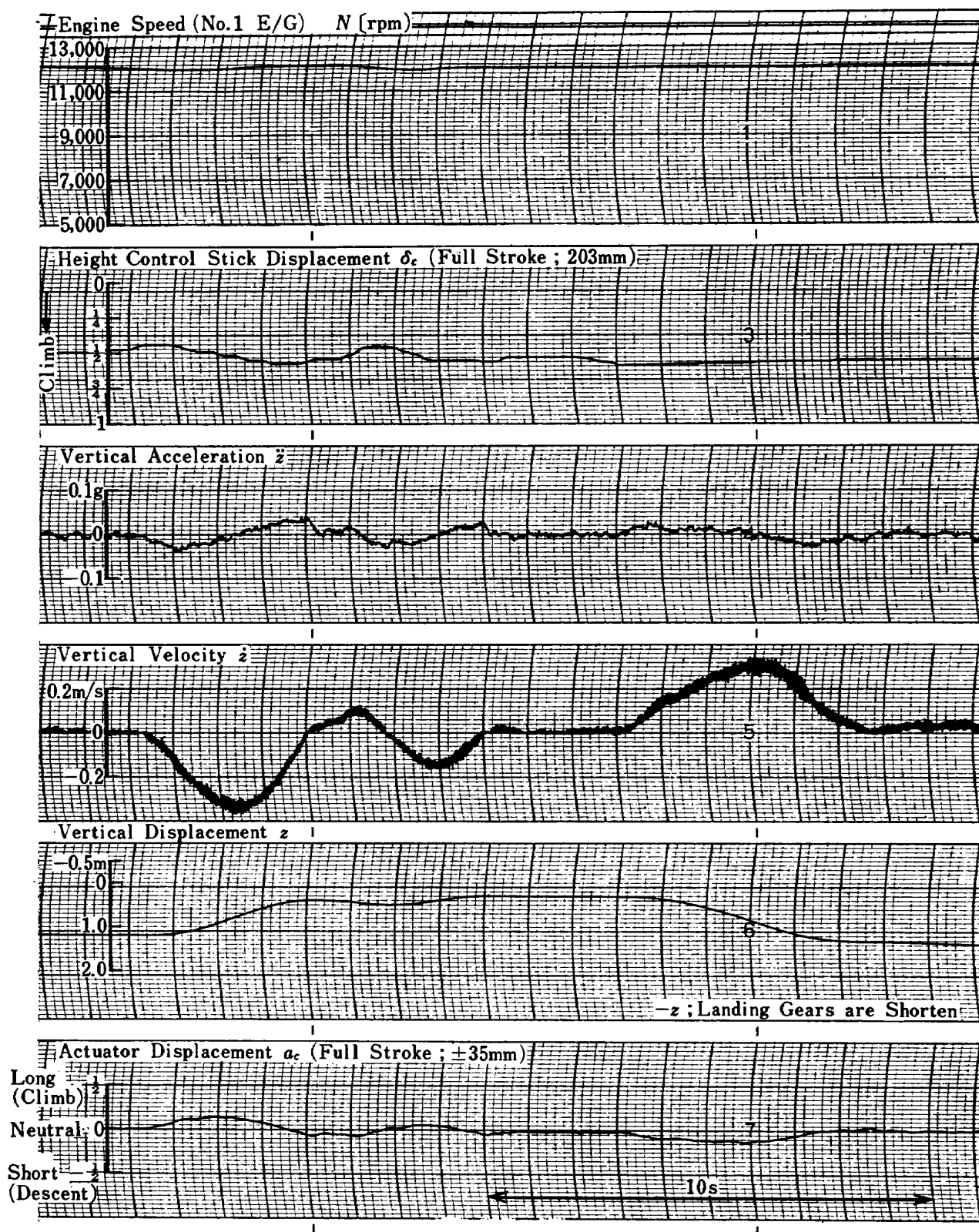


Figure 19 Climb and descent records

上昇下降操作記録

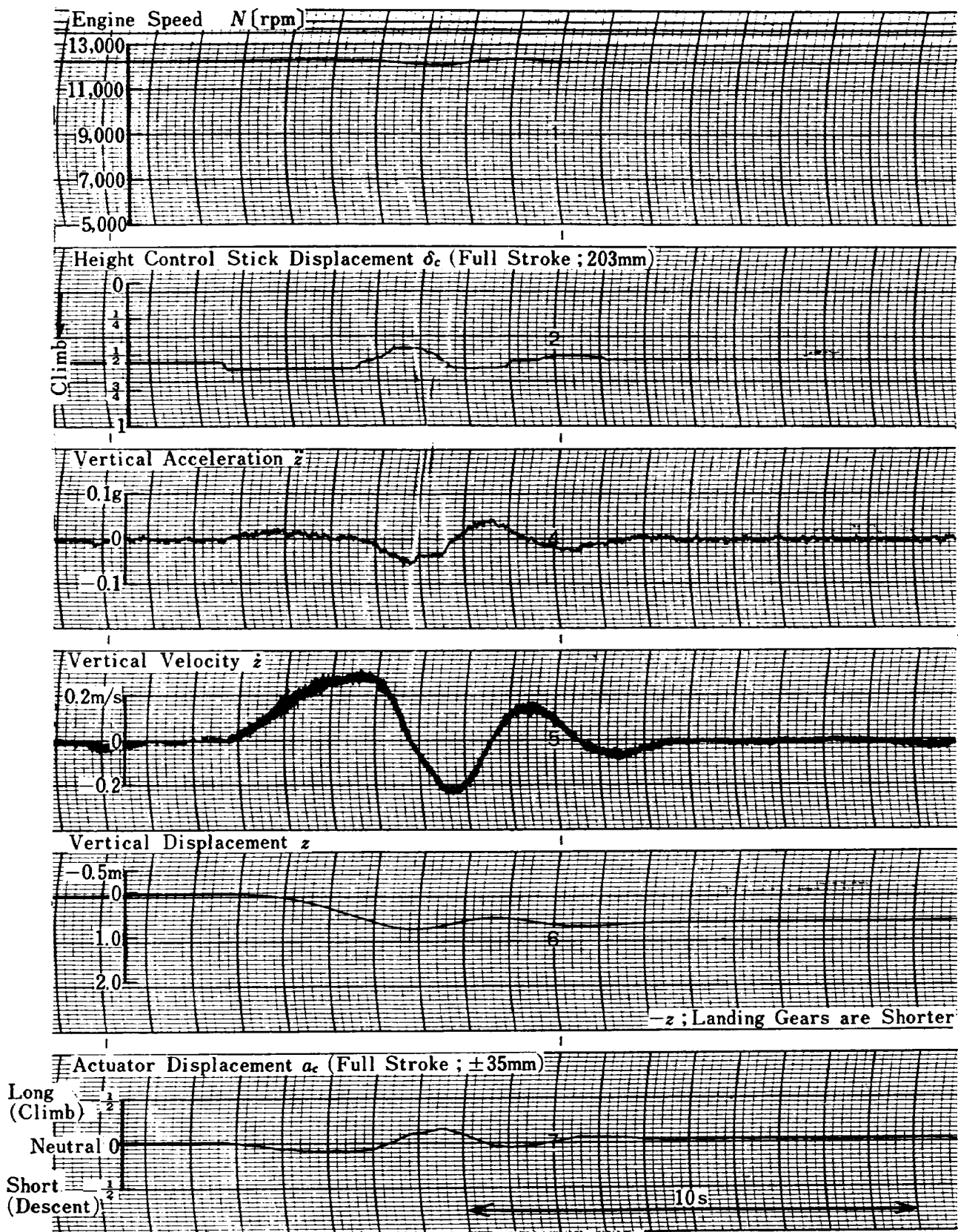


Figure 20 Step response records (climb)

ステップ操作応答記録 (上昇)

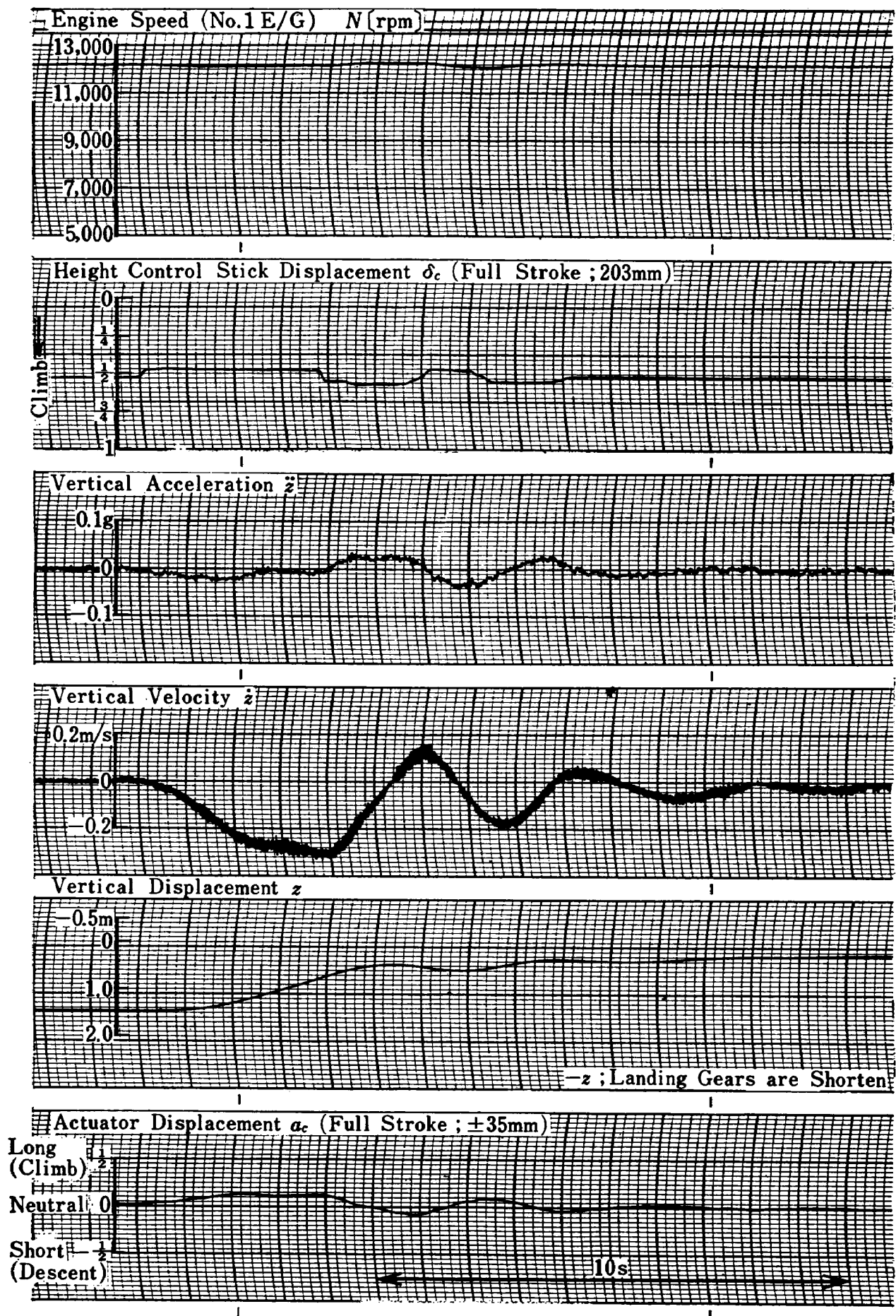


Figure 21 Step response records (descent), ステップ操作応答記録 (下降)

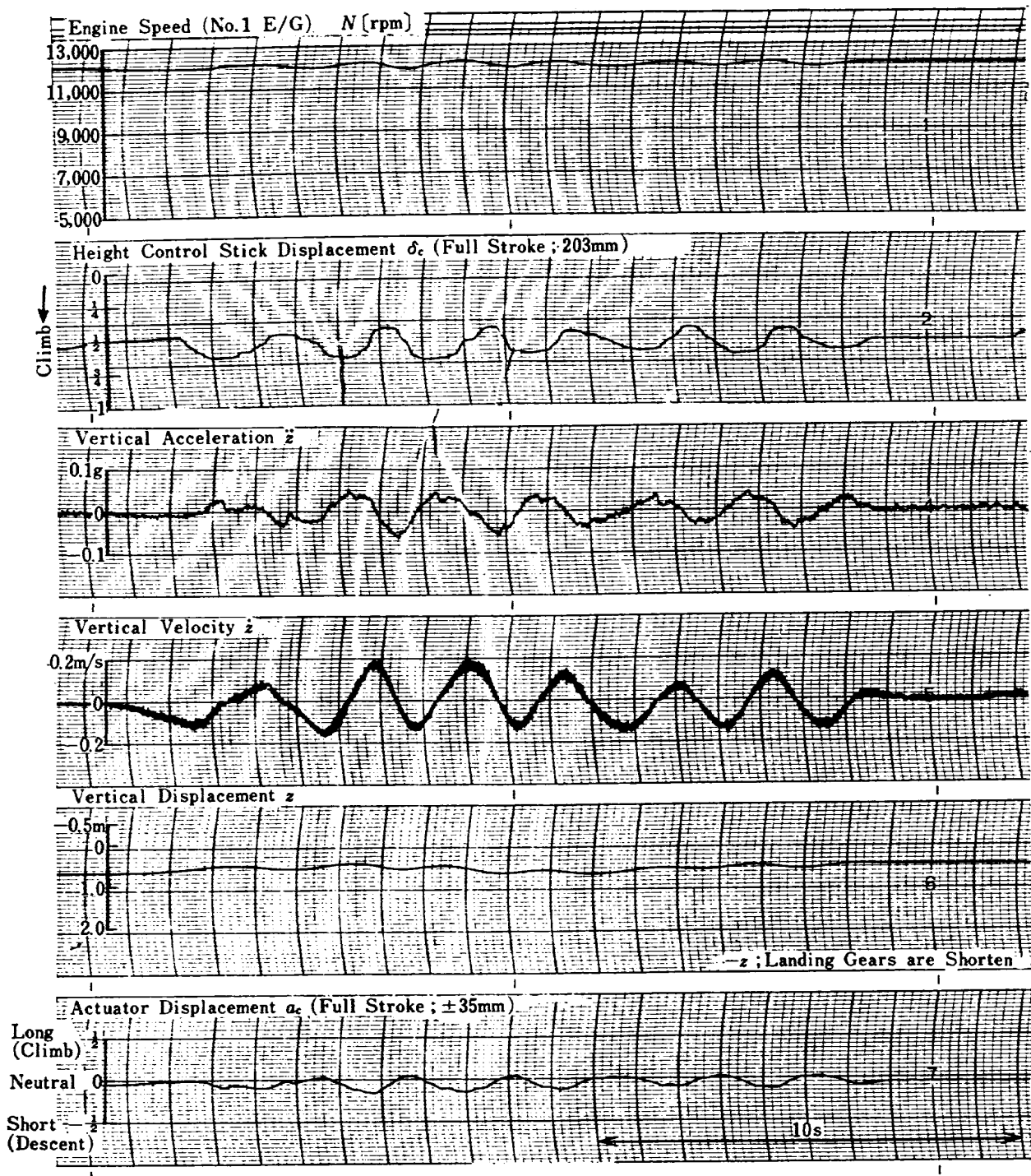


Figure 22 Pilot feeling test records

さぐり操作応答記録

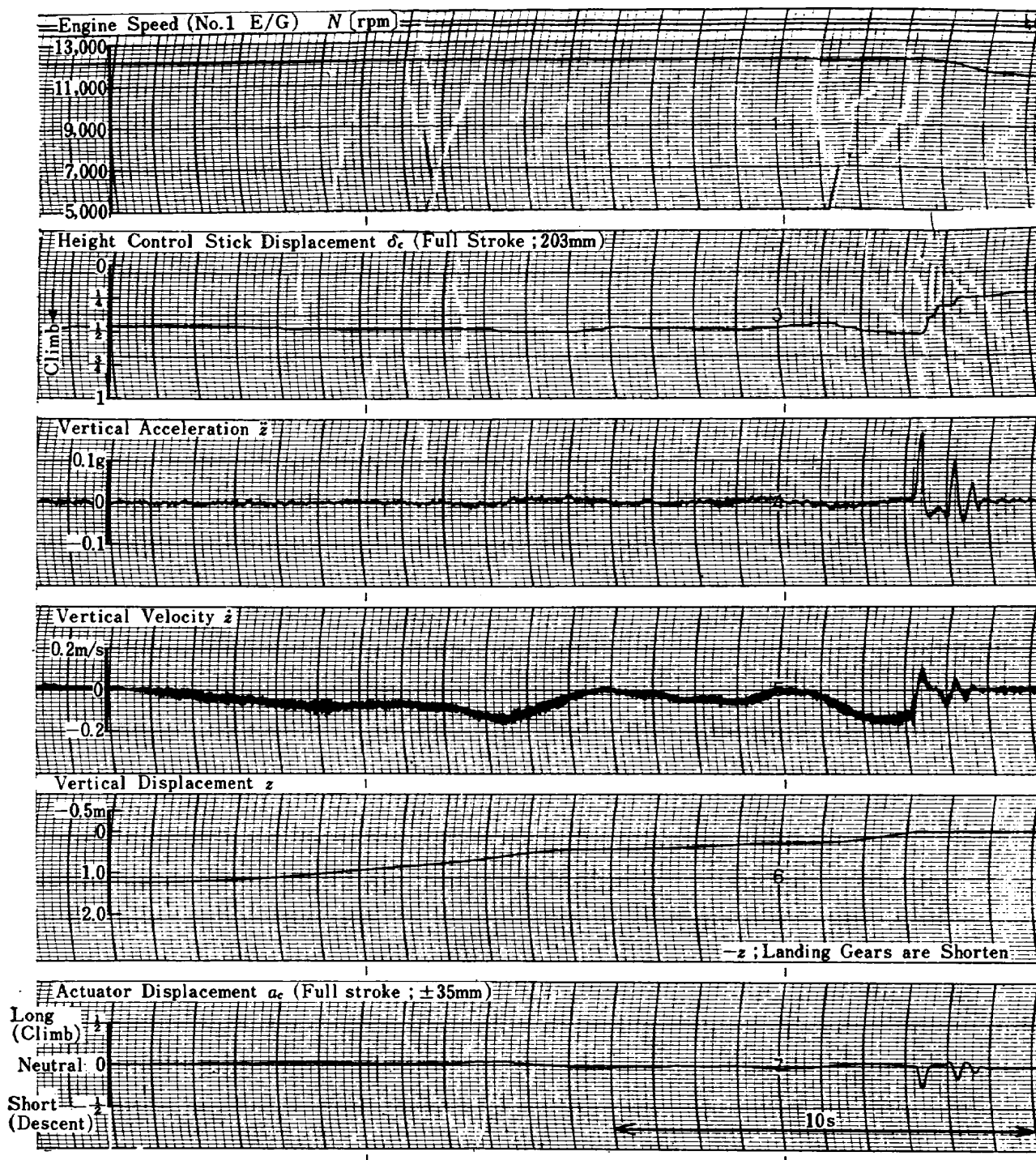


Figure 23 Landing records
着陸操作記録

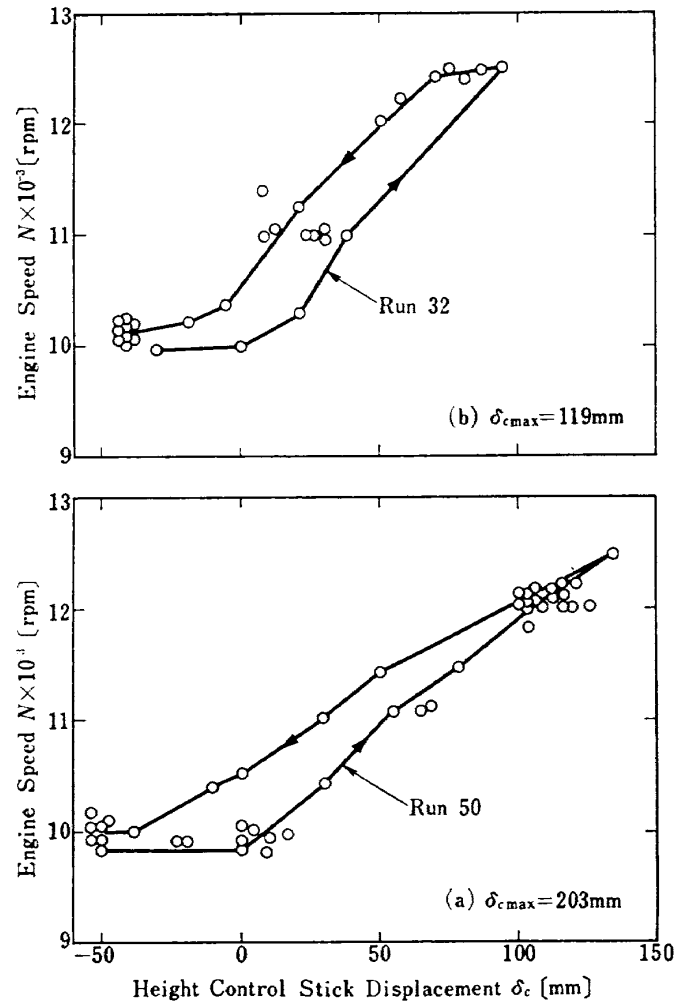


Figure 24 Height control stick displacement
高度制御用操縦桿変位

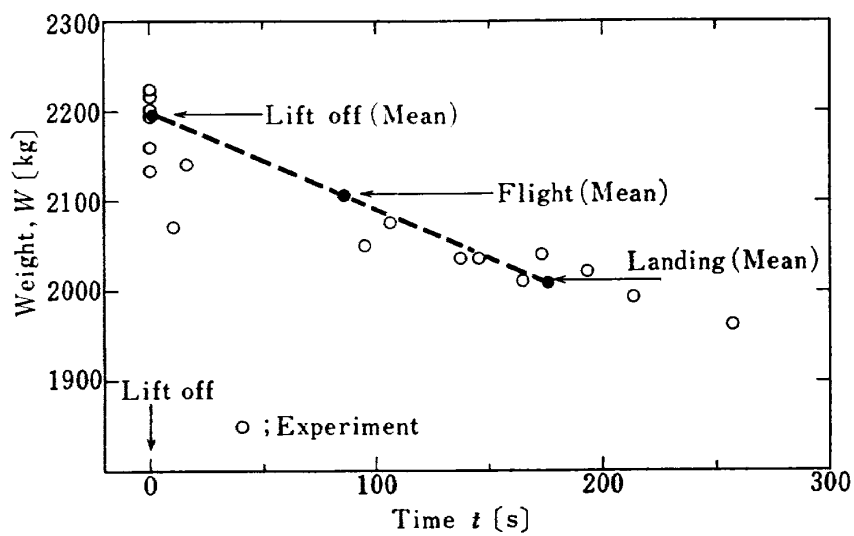


Figure 25 Weight in flight
飛行重量

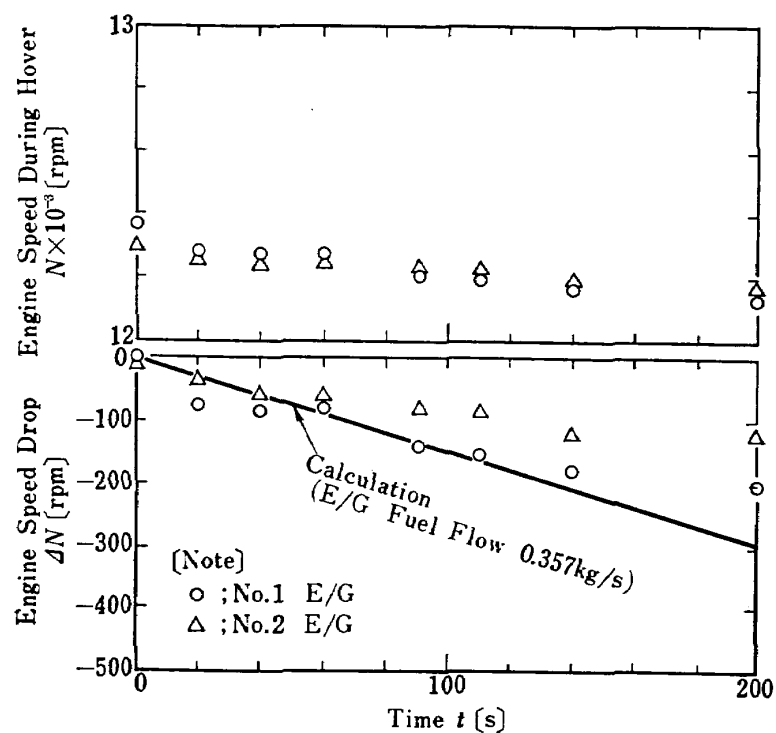


Figure 26 Engine speed variation during hover
ホバー時のエンジン回転数の変化

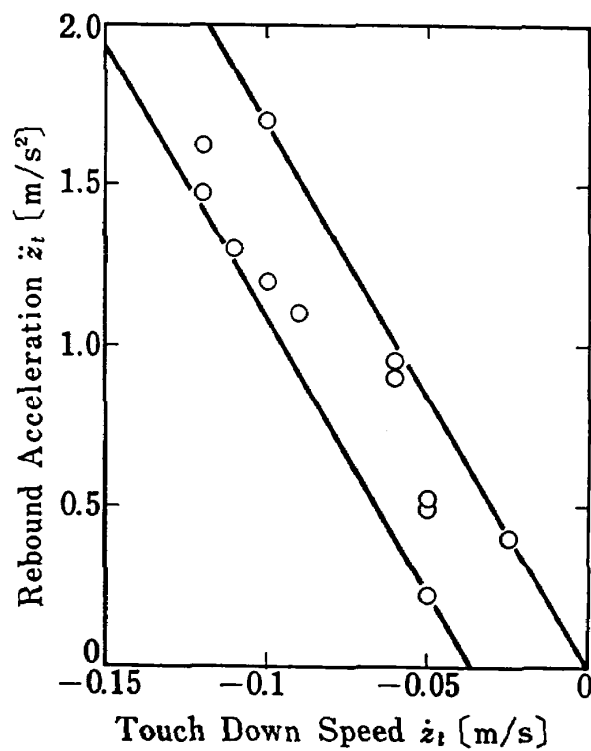
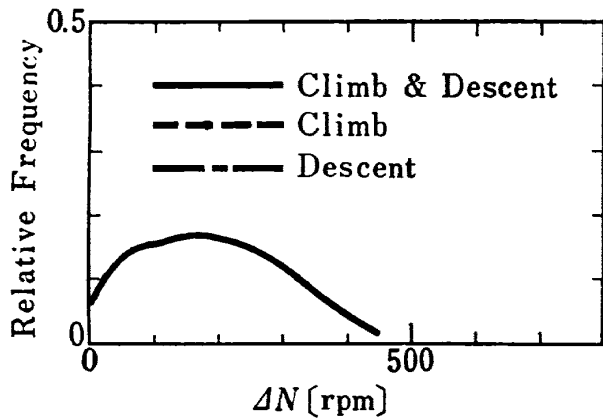
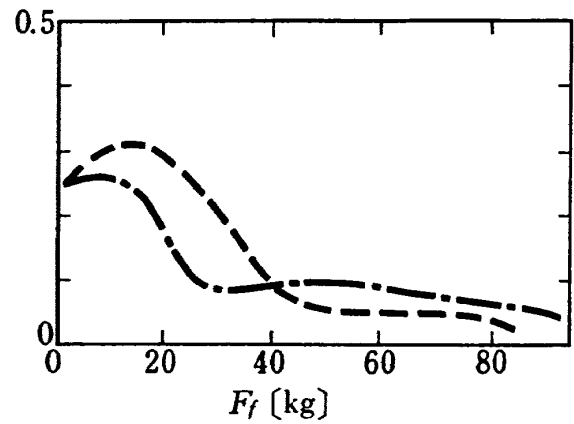


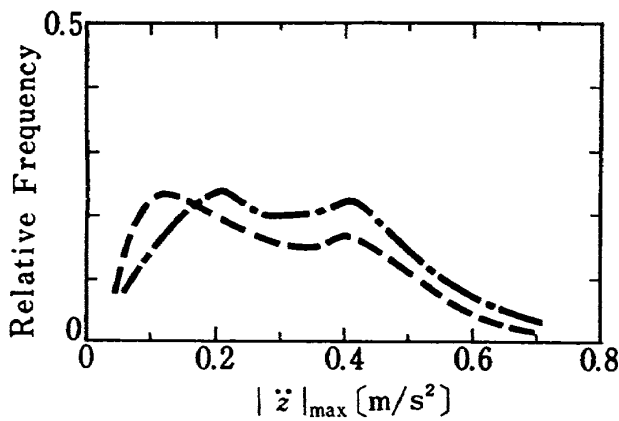
Figure 27 Touch down characteristics
接地特性



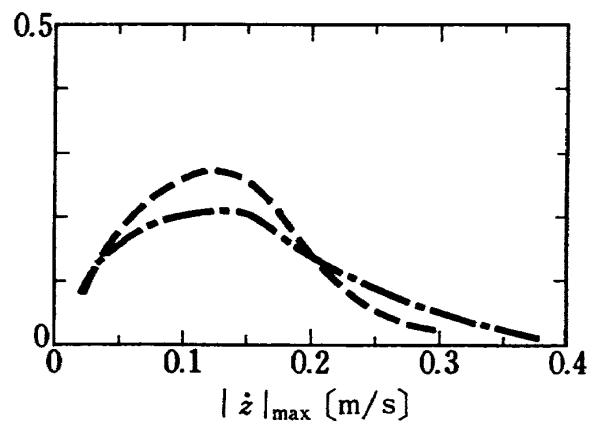
(e) E/G Speed variation



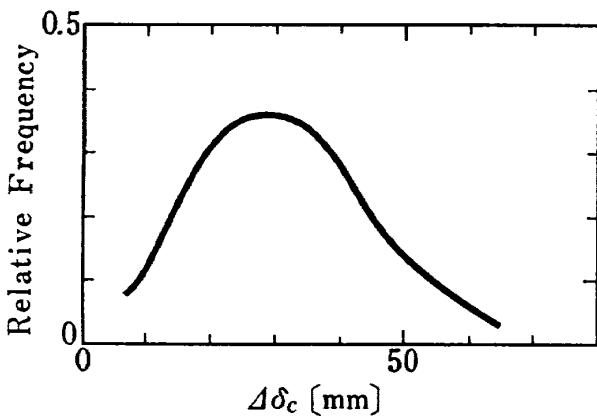
(f) Friction between FTB and rails



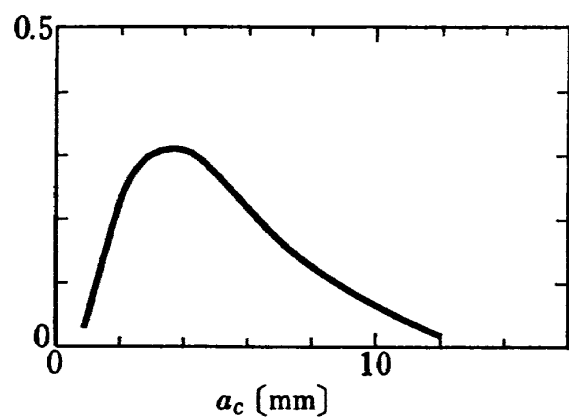
(c) Maximum vertical acceleration



(d) Maximum vertical speed



(a) Height control stick displacement



(b) Actuator displacement

Figure 28 Various relative frequency in height control motion

高度制御運動中の各種相対度数

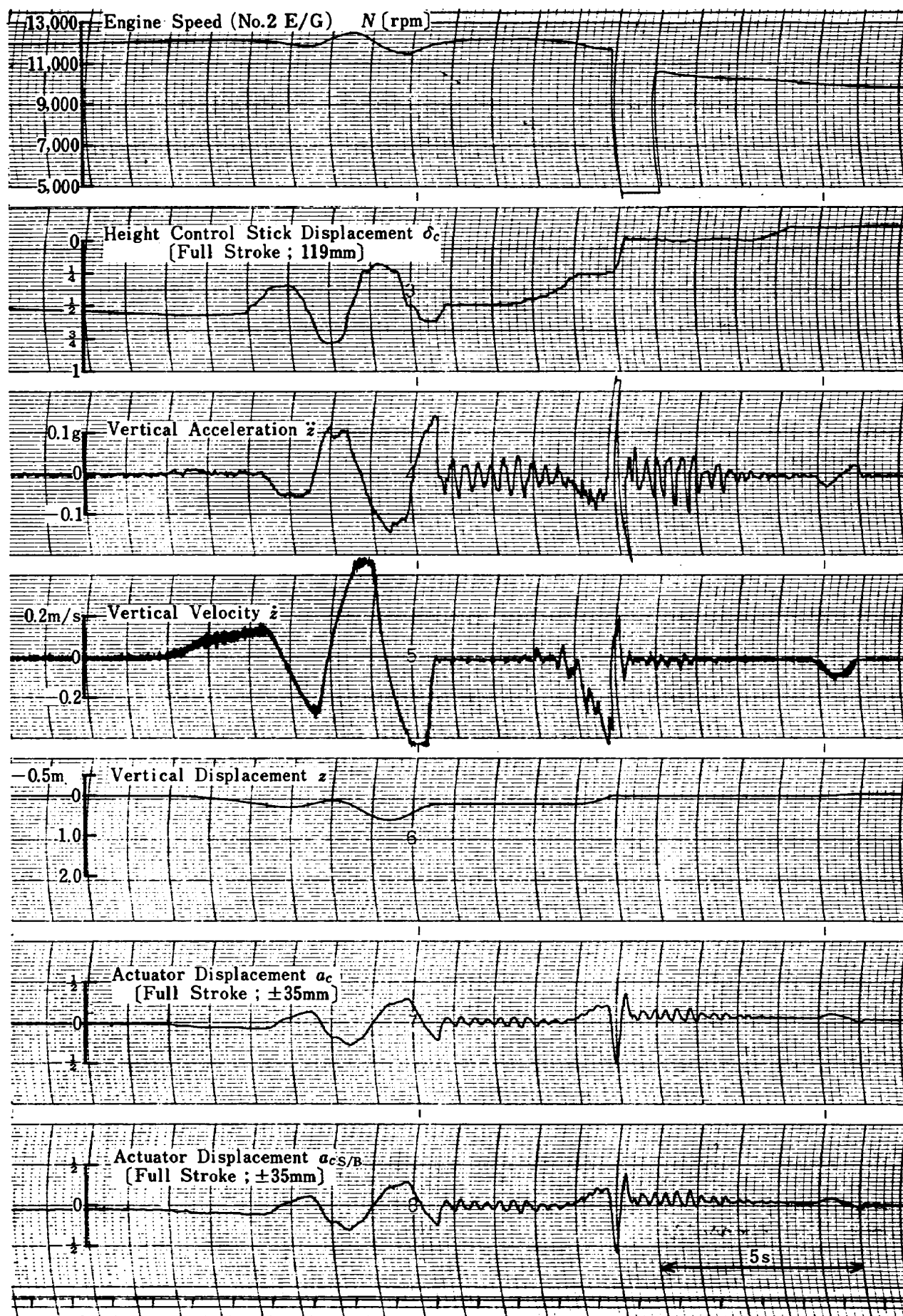
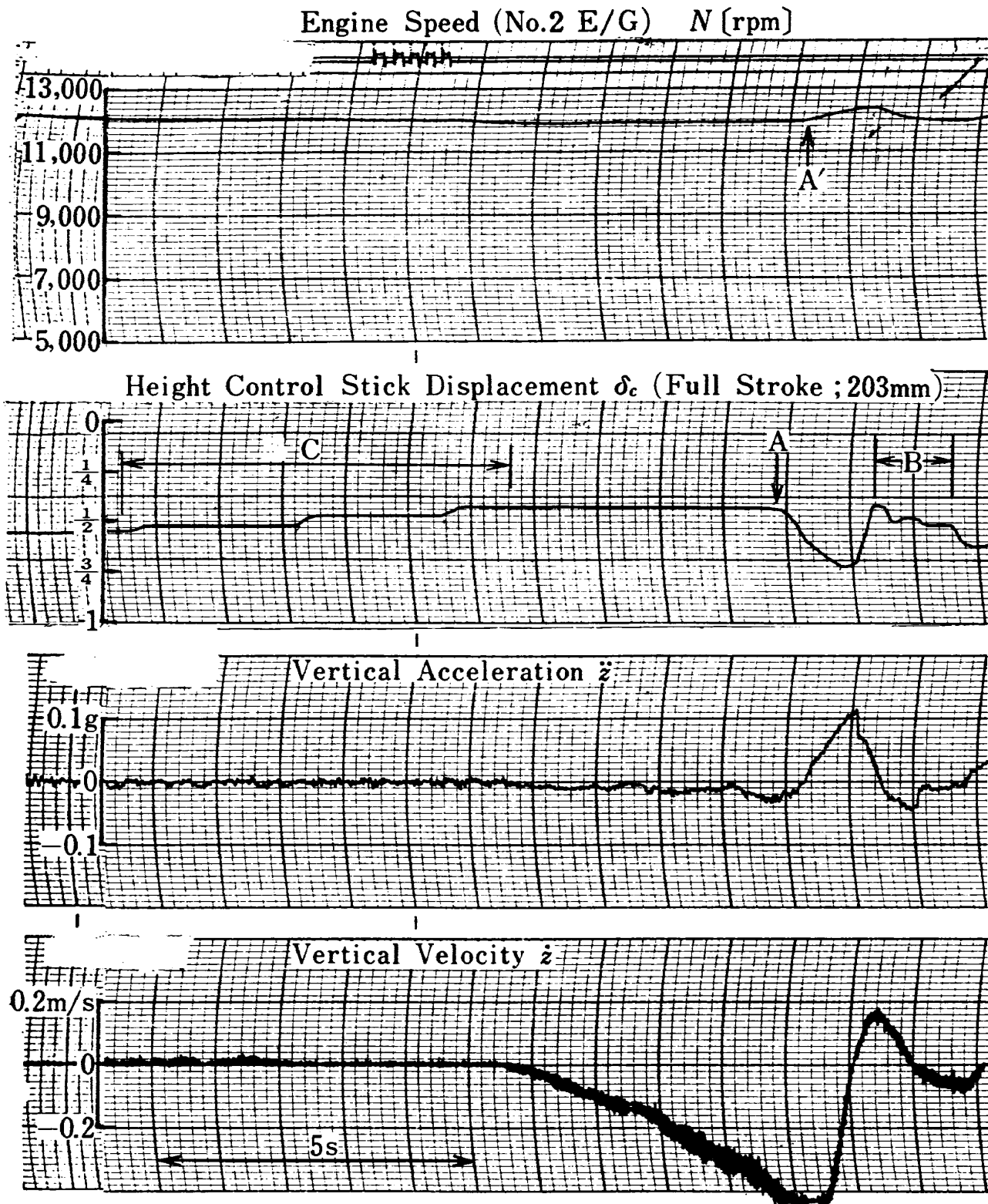


Figure 29 Flight records of high control sensitivity (Run 39), 操作記録



[Note] A—A' ; Time lag

B ; Difficult to get small δ_c

C ; Difficult to get control feeling

Figure 30 Influence of free play in height control stick

高度制御用操縦桿の遊びの影響

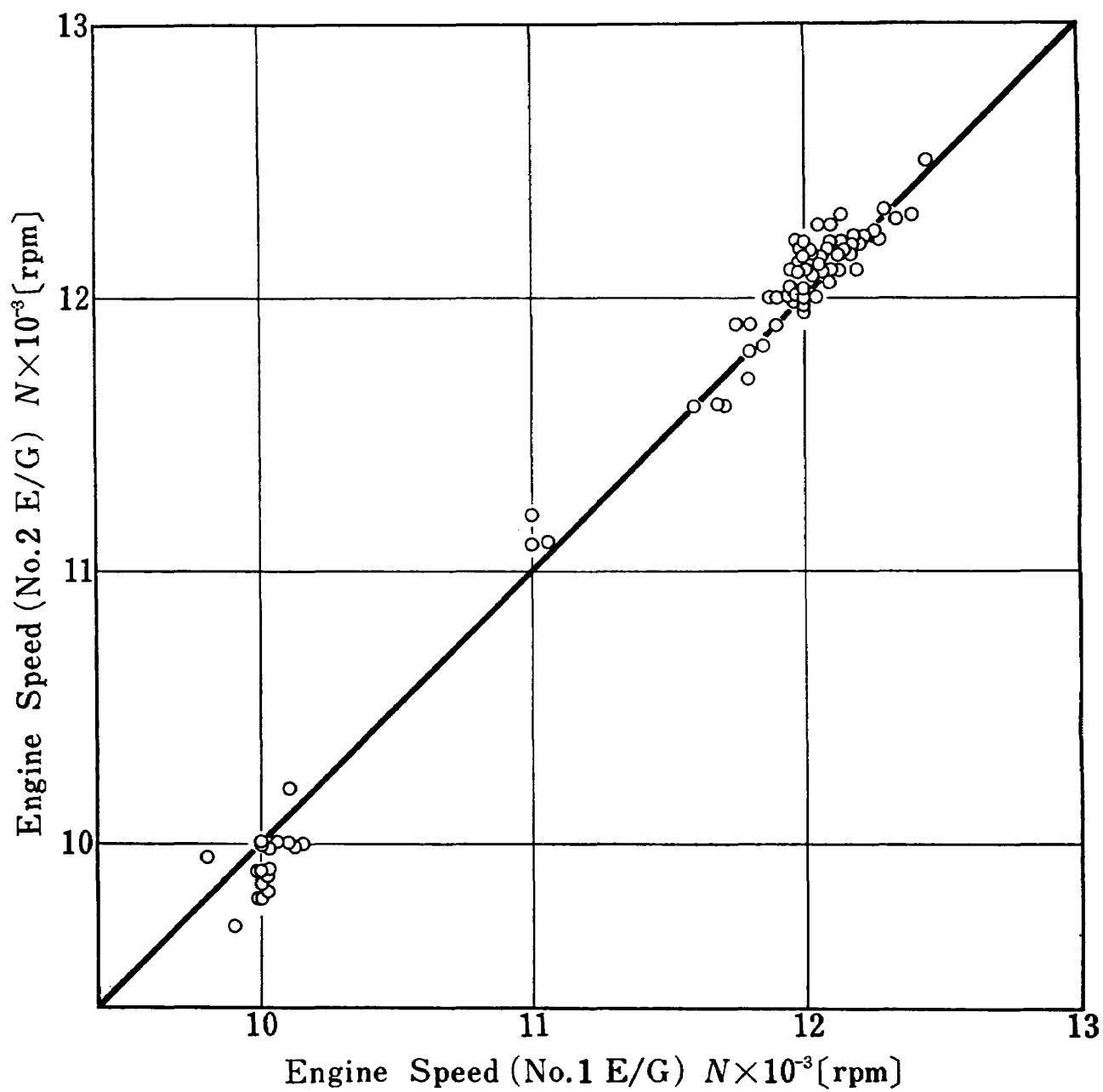
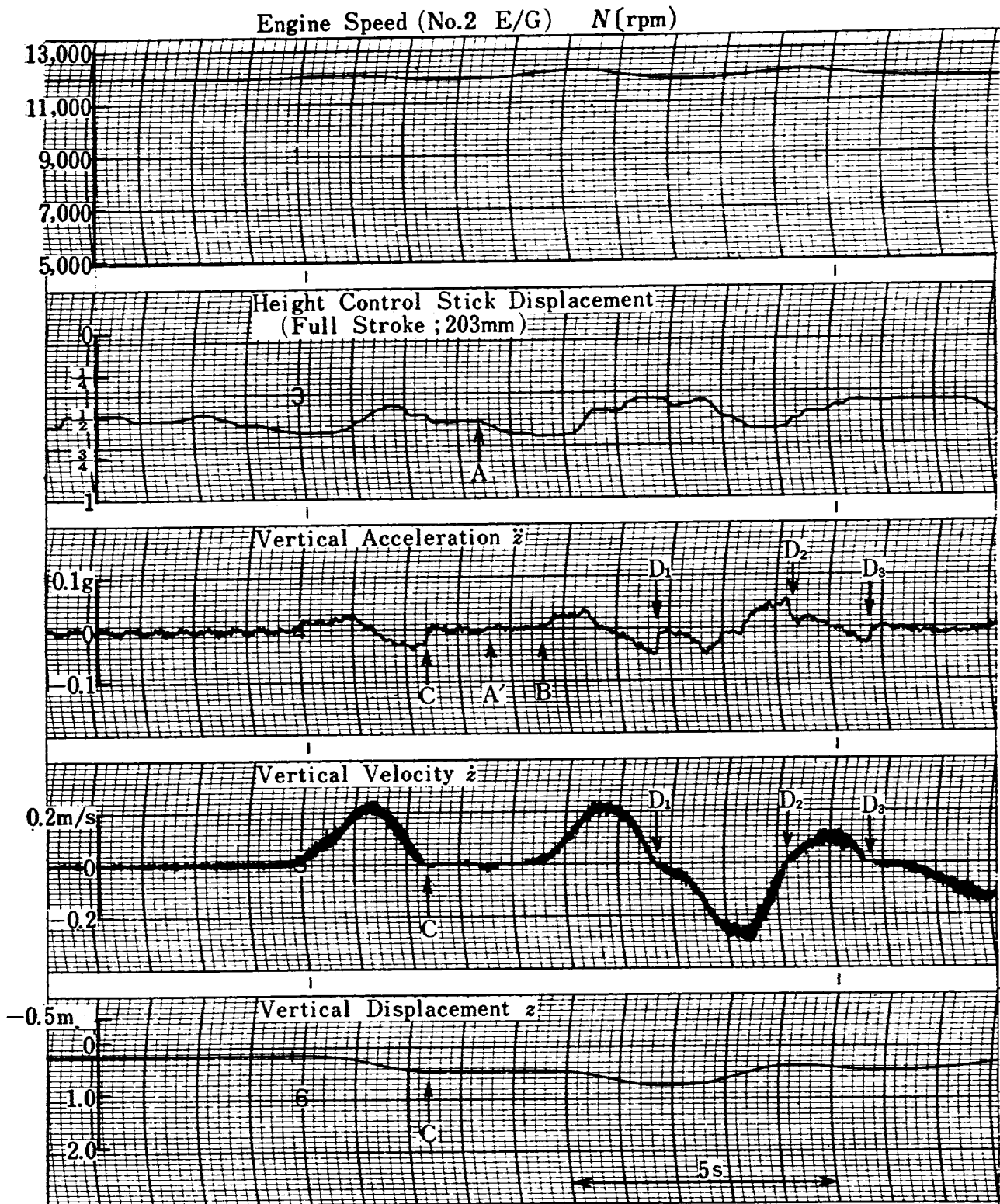


Figure 31 Difference between two engine speeds
エンジン回転数の差



[Note] A-A' ; Time lag

B ; Suddenly accelerated after control

C ; Easily entered to hover

D ; Abruptly reduced \ddot{z} near $\dot{z}=0$, because of friction

Figure 32 Influence of static friction

静止摩擦の影響

Table 7 Experimental results

Run	Case	N [rpm]				δ_L [deg]		P_F [kg/cm ² G]				P_s [kg/cm ² G]			
		No. 1 ∇	No. 1	No. 2 ∇	No. 2	No. 1	No. 2	No. 1 ∇	No. 1	No. 2 ∇	No. 2	No. 1 ∇	No. 1	No. 2 ∇	No. 2
3	1	9800	9776	—	—	idle	—	7.5	7.17	—	—	1.15	0.91	—	—
		11000	11094	—	—	73	—	8.7	8.79	—	—	1.42	1.34	—	—
		11900	12015	—	—	80	—	11.0	11.2	—	—	1.70	1.62	—	—
		12400	12510	—	—	92	—	13.5	14.1	—	—	1.90	1.83	—	—
		9650	9775	—	—	idle	—	7.5	7.03	—	—	0.95	0.91	—	—
4	2	—	—	9600	9756	—	idle	—	—	8.0	7.73	—	—	1.0	0.91
		—	—	10800	11046	—	72	—	—	9.2	9.84	—	—	1.4	1.41
		—	—	11900	12028	—	—	—	—	12.5	12.7	—	—	1.85	1.76
		—	—	12700	12810	—	98	—	—	16.0	16.9	—	—	2.05	1.97
		—	—	9800	9816	—	idle	—	—	8.2	7.73	—	—	1.05	0.98
7	3	10200	9907	10000	9855	idle	idle	8.5	7.03	8.5	7.38	1.25	0.98	1.20	0.98
		11400	11024	11200	11040	70	70	9.8	7.73	10.0	8.09	1.65	1.41	1.65	1.41
		12350	12009	12300	12169	83	85	12.5	11.2	13.7	13.4	2.10	1.76	2.15	1.76
		12850	12480	13050	12919	90	100	15.0	14.1	18.2	17.6	2.25	1.97	2.40	2.11
		10400	9947	10150	9939	idle	idle	8.5	7.03	8.5	7.38	1.20	0.98	1.18	0.98
8	3	10200	9912	10100	9874	idle	idle	8.4	7.17	8.8	7.73	1.20	0.98	1.20	0.98
		11400	11015	11250	11079	70	70	9.5	8.44	10.0	9.14	1.62	1.34	1.62	1.41
		12350	11983	12400	12233	82	88	12.3	11.2	14.0	13.4	2.05	1.76	2.05	1.83
		12850	12473	13000	12968	—	—	14.5	13.7	17.5	17.6	2.25	1.97	2.35	2.11
		10400	9941	10200	9989	idle	idle	8.3	7.38	8.5	8.09	1.20	0.98	1.20	0.98
9	4	10200	9933	9800	9900	idle	idle	8.5	7.17	9.0	7.73	1.20	0.98	1.20	0.98
		11200	10983	11000	11075	70	72	9.5	8.09	10.2	8.44	1.60	1.34	1.63	1.41
		12200	11998	12000	12050	83	85	12.0	11.2	13.2	13.4	2.00	1.68	2.05	1.76
		12650	12442	12450	12522	87	92	14.5	13.4	15.7	14.8	2.23	1.89	2.25	1.97
		10200	9982	9950	9989	idle	idle	8.3	7.73	8.9	8.44	1.20	0.98	1.20	0.98
10	5	10100	9964	9500	9587	idle	idle	8.5	7.73	8.7	8.09	1.25	0.98	1.20	0.98
11	6	9800	9698	—	—	idle	—	8.2	7.38	—	—	1.10	0.91	—	—
		11000	11018	—	—	70	—	9.7	9.14	—	—	1.60	1.34	—	—
		11400	11432	—	—	—	—	10.7	9.84	—	—	1.76	1.48	—	—
		9700	9742	—	—	idle	—	8.0	—	—	—	1.10	0.91	—	—
15	4	9750	9920	9900	9909	idle	idle	8.3	7.38	8.8	7.73	1.18	0.98	1.18	0.98
16	6	9850	9960	10000	9932	idle	idle	8.4	7.38	8.7	8.09	1.22	0.98	1.20	0.98
		10950	11074	11100	11062	70	70	9.0	9.14	9.9	9.84	1.62	1.34	1.58	1.41
		11950	12031	12100	12063	85	85	12.3	12.0	12.7	12.7	2.07	1.68	2.00	1.76
		12350	12562	12600	12556	90	91	14.6	14.1	15.2	14.8	2.25	1.89	2.24	1.97
		10100	10016	10100	10025	idle	idle	8.5	7.38	8.5	8.09	1.28	0.98	1.18	0.98
17	4	10100	9977	10000	9959	idle	idle	8.5	—	8.7	—	1.22	0.98	1.20	0.98
		11250	11094	11150	11067	—	—	9.8	10.5	9.8	10.5	1.68	1.41	1.63	1.41
		12250	12099	12150	12076	—	—	13.2	—	12.9	—	2.12	1.76	2.02	1.76
		12700	12549	12600	12545	90	91	15.5	14.1	15.2	14.8	2.31	1.89	2.25	1.97
		10350	9993	10150	9997	idle	idle	8.6	7.38	8.6	8.09	1.28	0.98	1.20	0.98

[Note] No. 1, No. 2; E/G No., —; No operation, Blank; No data

実験結果 (Run 3~17)

P_R [kg/cm ² G]		P_{na} ∇	P_{ne} ∇	T_2 ∇ [°C]		T_3 [°C]				T_R ∇ [°C]	T_{na} ∇ [°C]	T_{ne} ∇ [°C]	q_R ∇ [g]	q_X ∇ [g]	Run
∇		[kg/cm ² G]		Na 1	Na 2	Na 1 ∇	Na 1	Na 2 ∇	Na 2						
0.65	0.8	0.75	0.70	15.0	12.0	530	550	—	—	103	85	77	0.60	0.59	3
1.02	1.2	1.12	1.10	14.0	13.0	560	600	—	—	132	120	115	0.54	0.94	
1.30	1.6	1.43	1.40	18.0	12.0	570	620	—	—	150	134	125	0.75	0.90	
1.55	1.8	1.67	1.65	18.0	13.0	600	630	—	—	162	149	144	0.75	1.10	
0.63	0.8	0.73	0.75	18.0	13.0	530	580	—	—	109	108	108	0.67	0.72	
0.70	0.8	0.70	0.70	14.0	9.0	—	—	510	510	78	60	57	0.83	0.65	4
1.0	1.2	1.06	1.10	15.0	20.0	—	—	525	540	106	90	85	0.74	0.70	
1.42	1.6	1.50	1.52	16.0	14.0	—	—	565	550	125	112	106	0.88	0.92	
1.65	1.9	1.70	1.75	17.0	23.0	—	—	630	630	153	138	125	0.70	0.95	
0.72	0.9	0.77	0.77	16.0	19.0	—	—	510	520	95	91	90	0.83	0.76	
0.95	1.0	1.00	0.85	6.0	5.0	470	510	500	500	88	100	100	0.88	1.10	7
1.35	1.4	1.42	1.22	5.0	5.0	465	525	528	510	105	116	117	0.83	1.32	
1.82	1.8	1.90	1.67	5.0	4.0	510	560	560	555	130	136	138	1.10	1.80	
2.05	2.1	2.05	1.87	8.0	6.0	555	600	660	620	157	152	154	0.88	2.00	
0.95	1.0	1.00	0.85	7.0	7.0	490	520	535	500	126	117	122	1.10	1.10	
0.93	1.0	0.97	0.83	7.0	6.5	485	520	500	500	93	104	105	0.88	0.97	8
1.35	1.4	1.40	1.20	6.0	6.0	485	535	530	520	107	118	121	0.73	1.19	
1.82	1.9	1.90	1.65	4.5	4.5	515	565	565	555	136	137	141	1.00	2.00	
2.0	2.1	2.05	1.85	6.0	6.0	550	600	650	630	153	151	154	0.88	1.95	
0.98	1.0	1.04	0.88	6.0	6.0	485	515	530	500	115	112	115	0.82	1.08	
0.95		1.00	0.85	6.5	7.0	475	520	520	510	103	108	110	0.83	1.13	9
1.34	1.4	1.40	1.20	8.0	7.5	470	530	525	520	117	124	125	0.93	1.48	
1.80	1.8	1.88	1.63	6.0	6.0	505	570	560	550	134	144	146	0.78	1.70	
1.98	2.0	2.05	1.80	6.0	5.5	540	600	595	580	144	153	155	0.98	1.80	
0.98	1.0	1.02	0.85	9.0	9.0	480	520	525	520	115	115	117	0.89	1.40	
0.97	1.0	1.00	0.85	7.5	7.5	475	510	505	510	106	107	108	0.80	1.00	10
0.40		0.47	0.35	6.0	8.0	500	540	—	—	110	107	105	0.50	0.75	11
0.65	0.8	0.75	0.60	6.0	9.0	505	550	—	—	135	127	125	0.60	0.85	
0.75		0.85	0.67	5.0	9.0	505	570	—	—	140	135	130	0.55	0.95	
0.40	0.5	0.48	0.37	6.0	9.0	500	540	—	—	112	110	110	0.50	0.75	
0.95	1.0	1.02	0.80	8.0	7.5	485	510	495	510	90	100	102	1.24	1.18	15
1.00	1.0	1.05	0.82	9.5	9.5	495	530	515	510	100	104	102	1.05	1.01	16
1.35	1.4	1.44	1.18	10.5	10.0	495	550	530	530	118	120	119	1.18	1.15	
1.80	1.8	1.93	1.58	8.0	7.5	532	580	560	550	137	137	137	0.98	1.50	
2.00	2.0	2.05	1.75	10.0	10.0	565	620	597	580	152	153	153	1.12	1.60	
1.02	1.0	1.07	0.87	9.0	9.0	488	530	512	510	106	109	109	1.05	1.08	
0.98	1.0	1.05	0.85	8.0	8.0	495	520	508	510	101	101	102	1.14	1.08	17
1.38	1.4	1.50	1.20	8.5	8.0	460	540	490	520	117	118	118	1.54	1.25	
1.83	1.8	1.96	1.60	9.0	10.0	542	580	570	550	140	140	140	1.03	1.35	
2.01	2.0	2.05	1.78	9.0	9.0	580	620	600	580	152	151	151	0.95	1.60	
1.00	1.0	1.08	0.86	9.5	9.5	500	520	535	510	107	106	108	1.55	0.98	

Table 8 Experimental results

Run	Case	N [rpm]				$\delta_c \nabla$ [mm]	$P_F \nabla$ [kg/cm ² G]		P_3 [kg/cm ² G]				P_R [kg/cm ² G]	
		Na 1 ∇	Na 1	Na 2 ∇	Na 2		Na 1	Na 2	Na 1 ∇	Na 1	Na 2 ∇	Na 2	∇	
21	7	9750	9964	—	—	—	7.7	—	1.13	0.98	—	—	0.78	0.8
		10950	11037	—	—	—	9.2	—	1.57	1.34	—	—	1.16	1.2
		11950	12040	—	—	—	11.5	—	2.00	1.68	—	—	1.57	1.6
		12450	12534	—	—	—	14.5	—	2.18	1.89	—	—	1.77	1.8
		9900	10016	—	—	—	7.5	—	1.14	0.98	—	—	0.8	0.9
22	8	—	—	9700	9921	—	—	8.2	—	—	1.12	0.98	0.8	0.8
		—	—	11100	11230	—	—	9.2	—	—	1.63	1.41	1.25	1.3
		—	—	11900	12040	—	—	11.7	—	—	1.95	1.76	1.6	1.6
		—	—	12300	12455	—	—	14.0	—	—	2.14	1.89	1.8	1.8
		—	—	9800	9984	—	—	8.2	—	—	1.12	0.98	0.82	0.9
25	13	10100	10035	10000	9997	-42	8.0	8.2	1.24	1.06	1.20	1.06	0.98	1.0
		11100	11032	11000	10898	12	9.0	9.0	1.60	1.34	1.58	1.41	1.36	1.3
		12000	12045	12050	11956	52	11.8	11.8	2.04	1.76	2.00	1.76	1.80	1.8
		11000	10940	11050	10959	10	8.7	8.7	1.55	1.27	1.58	1.34	1.37	1.4
		10200	10070	10200	10039	-42	7.7	7.7	1.24	1.06	1.22	1.06	1.03	1.0
26	17	10350	9984	10050	9931	-42	7.8	8.0	1.32	1.06	1.20	1.06	0.99	1.0
		11350	10982	11100	10998	21	8.9	9.1	1.70	1.27	1.60	1.41	1.38	1.4
		12270	11937	12100	11975	57	11.7	11.8	2.10	1.69	2.00	1.76	1.80	1.8
		11450	10999	11300	11147	8	8.8	9.1	1.70	0.98	1.67	1.41	1.44	1.4
		10070	10073	10000	10027	-42	7.7	7.7	1.34	1.06	1.23	1.06	1.03	1.0
27	14	10000	10026	10000	9969	-42	8.0	8.0	1.18	1.06	1.21	1.06	0.99	1.0
		10950	10965	11000	10986	26	9.0	9.1	1.62	1.34	1.60	1.41	1.37	1.4
		12300	12397	12380	12378	81	13.7	14.0	2.25	1.90	2.20	1.97	2.05	2.0
		10100	10054	10150	10020	-42	8.0	8.0	1.30	1.06	1.25	1.06	1.05	1.0
28	18	10100	10013	10000	9981	-42	8.5	8.5	1.30	1.06	1.24	1.06	1.00	1.0
		11000	11011	10870	10822	23	9.5	9.3	1.65	1.34	1.55	1.34	1.35	1.4
		12520	12484	12450	12403	76	15.0	14.5	2.30	1.97	2.20	1.97	2.05	2.0
		10150	10060	10100	10022	-36	8.2	8.2	1.25	1.06	1.18	1.06	1.00	1.0
29	15	10100	10037	9970	9985	-42	8.5	8.5	1.30	1.06	1.18	1.06	0.98	1.0
		11030	10975	11000	10992	30	9.5	9.5	1.65	1.41	1.60	1.41	1.38	1.4
		12430	12450	12450	12422	87	14.5	14.5	2.25	1.97	2.20	2.04	2.03	2.0
		10200	10057	10100	10013	-42	8.2	8.2	1.27	1.06	1.20	1.06	1.10	1.0
32	19	9980	9978	9920	9926	-30	8.2	8.0	1.20	1.06	1.18	0.98	0.93	1.0
		11000	10988	11000	10961	38	9.2	9.5	1.66	1.41	1.61	1.41	1.35	1.4
		12500	12502	12470	12434	94	15.0	14.6	2.28	1.97	2.22	1.97	2.00	2.0
		10100	10024	10080	9976	-38	8.1	8.2	1.25	1.06	1.20	1.06	1.05	1.0
33	16	10000	9961	10100	9935	-42	8.0	8.0	1.05	1.06	1.13	1.06	0.92	1.0
		10980	10989	11150	10962	30	9.2	9.4	1.50	1.41	1.53	1.41	1.35	1.4
		10000	9996	9950	9927	-42	8.0	8.1	1.10	0.98	1.18	0.98	0.97	1.0

[Note] See note in table 7

実験結果 (Run 21~33)

P_{na}^{∇} [kg/cm ² G]	P_{ne}^{∇} [kg/cm ² G]	T_2^{∇} [°C]		T_5^{∇} [°C]		T_R^{∇} [°C]	T_{na}^{∇} [°C]	T_{ne}^{∇} [°C]	δ_a^{∇} [mm]	δ_c^{∇} [mm]	δ_{na}^{∇} [mm]	δ_{ne}^{∇} [mm]	Run
		Na 1	Na 2	Na 1	Na 2								
0.82	0.78	6.0	6.0	250	---				12.2	2.6	-0.1	-0.9	21
1.20	1.15	4.0	5.5	210	---				11.2	2.0	-0.2	-1.15	
1.60	1.53	4.0	6.0	320	---				11.4	2.0	-0.2	-1.15	
1.80	1.77	4.0	6.0	460	---				11.4	1.5	0	-0.92	
0.86	0.82	5.0	6.0	130	---				11.4	1.5	0	0.9	
0.8	0.77	8.0	2.0	---	280				11.4	1.5	0	-1.2	22
1.23	1.20	8.0	4.0	---	360				11.4	1.5	0	-1.2	
1.55	1.54	7.0	2.0	---	500				11.4	1.5	0	-1.2	
1.75	1.72	7.0	3.0	---	630				11.4	1.5	0	-1.2	
0.82	0.80	7.0	4.0	---	350				11.4	1.5	0	-1.2	
0.97	0.88	4.0	4.0	500	520	82	89	86	0.8	-5.1	-1.3	-1.7	25
1.34	1.20	4.0	3.5	500	555	95	102	100	0.8	-5.1	-1.0	-1.7	
1.75	1.62	4.0	5.0	540	560	114	123	120	0	-5.1	-0.8	-1.7	
1.33	1.20	4.0	4.0	495	535	108	107	106	0	-5.6	-1.0	-1.4	
1.00	0.90	4.0	4.0	490	525	92	92	90	0	-5.6	-1.0	-1.4	
0.96	0.87	4.0	4.5	500	530	85	92	90	-4.6	-10.2	-2.8	-3.1	26
1.35	1.23	4.0	4.0	500	540	107	108	106	-6.5	-11.2	-2.8	-3.1	
1.76	1.62	4.0	5.0	535	575	126	126	125	-6.8	-12.2	-2.6	-3.2	
1.39	1.27	4.0	5.5	495	545	118	113	110	-6.9	-12.2	-2.8	-3.2	
1.00	0.90	3.5	4.5	495	535	92	93	90	-6.5	-11.7	-3.0	-3.2	
0.92	0.85	4.0	5.0	480	520	89	83	86	72.2	-4.1	19.9	-1.5	27
1.26	1.43	5.0	6.0	480	530	108	98	100	-76	3.1	-20.5	0	
1.90	2.10	2.0	2.0	540	575	134	122	121	73.5	16.8	20.3	3.5	
0.99	1.02	5.0	5.5	480	515	93	87	90	-6.7	16.8	-2.2	3.05	
0.89	1.00	4.0	5.0	480	515	76	84	87	-8.7	-8.7	-3.2	-2.3	28
1.19	1.35	4.0	4.0	485	520	100	100	103	-8.8	-10.2	-2.4	-2.8	
1.85	2.03	5.0	6.0	570	590	127	135	136	-6.7	-3.6	-1.4	-1.1	
0.90	0.99	5.5	7.0	495	530	92	90	93	-7.6	-0.2	-2.3	-1.1	
0.87	0.98	4.0	5.0	485	520	79	87	90	-5.3	-3.1	-2.1	-1.5	29
1.23	1.37	3.0	4.0	480	530	98	99	102	-1.1	-5.6	-1.0	-2.3	
1.78	2.00	5.0	6.0	550	590	122	128	128	-2.7	-17.8	-1.0	-3.1	
1.05	0.95	4.0	5.0	490	520	95	90	90	-4.6	-3.5	-2.8	-1.5	
0.85	0.80	8.0	8.0	500	530	90	90	82	72.2	-13.2	20.8	-3.7	32
1.25	1.17	5.0	5.0	500	535	100	105	99	72.2	5.6	21	0.4	
1.82	1.75	5.0	5.5	580	600	144	140	132	71.3	-19.9	21.6	-3.9	
0.69	1.03	6.5	8.0	505	540	94	93	86	-7.2	-10.3	-0.5	-21.6	
0.84	0.92	8.0	11.0	510	540	86	96	86	-3	-4.1	-0.8	-1.3	33
1.22	1.32	6.0	8.0	490	530	97	104	97	-3	-4.6	-0.2	-1.2	
0.87	0.93	8.0	9.0	510	530	87	92	85	-3	-2.6	0	-0.8	

Table 9 Experimental results

Run	Case	Task	t [sec]	W [kg]	δ_c° [mm]	a_c° [mm]		N° [rpm]		\ddot{z}° [m/s ²]	\dot{z} [m/s]		z [m]	
						N	S/B	N_a 1	N_a 2		L	R	L	R
36	20	Idle			0	0	0	10000	9900	—	—	—	—	—
		11000			25	0	0	11500	11000	—	—	—	—	—
		Idle			-40	0	0	10000	9900	—	—	—	—	—
37	21	Idle			0	0	0	10100	9800	0	0	0	-0.1	-0.05
		Lift Off	0		68	0	0	12200	12100	0	0	0	0	0
		Climb & } max			98	10.5	10.5	12600	12500	1.3	>0.4	0.55	0.6	0.6
		Descent } min			17	-9.6	-10.5	11700	11500	-1.3	<-0.4	-0.65	0	0
		Touch Down	10		25	-18.0	-19.5	11800	11700	>2.0	-0.4	-0.4	0	0
		Idle		2070	-34	-0.6	-1.7	10100	9850	0	0	0	-0.15	-0.22
40	20	Idle			0	-0.9	-1.8	10000	9800	—	—	—	—	—
		11000			65	-1.8	-2.6	11050	11100	—	—	—	—	—
		Idle			0	-1.8	-2.6	10050	10000	—	—	—	—	—
41	21	Idle		2195	16	0	0	10000	9900	0	0	0	-0.25	-0.2
		Lift Off	0	2135	124	0	0	12100	12200	0	0	0	0	0
		Climb max			119	0	0	12200	12250	0.1	0.15	0.17	0.39	0.25
		min			90	1.7	-3.5	12000	12050	-0.2	-0.13	-0.13	0	0
		Hover	20		116	-1.7	0	12000	12150	0	0	0	0.39	0.25
		Climb max	28		131	2.6	2.6	12200	12250	0.15	0.12	0.14	0.7	0.6
		min			86	1.8	2.6	11950	12000	-0.2	-0.12	-0.12	0.39	0.25
		Hover	36		112	0	0	12000	12150	0	0	0	0.7	0.6
		Descent max	50		119	0	-0.9	12100	12100	0.15	0.02	0.03	0.7	0.6
		min			96	1.9	-3.5	12000	12000	-0.2	-0.12	-0.12	0.6	0.5
		Hover	54		103	-1.7	-3.5	12000	12200	0	0	0	0.6	0.5
		Climb & } max	58		120	-3.5	-5.3	12150	12200	0.1	0.12	0.14	0.9	0.75
		Descent } min			87	0	-1.8	11900	12000	-0.34	-0.11	-0.11	0.4	0.3
		Hover	106	2075	100	-1.8	-3.5	12000	12000	0	0	0	0.7	0.6
		Descent max	115		121	2.6	1.7	12000	12150	1.2	0.11	0.12	0.7	0.6
		min			80	-8.8	-10.5	11800	11900	-0.39	-0.27	-0.3	0	0
42	22	Touch Down	137		87	-21.0	-22.7	11800	11900	>2.0	-0.27	-0.3	0	0
		Idle		2035	-48	-1.8	-3.5	10150	10000	0	0	0	-0.1	-0.2
		Idle		2210	4	0	-1.8	10000	10000	0	0	0	-0.35	-0.35
		Lift Off	0	2160	124	0	-1.8	12140	12300	0.15	0	0	0	0
		Climb max			125	3.1	1.0	12200	12400	0.2	0.17	0.18	0.7	0.7
		min			99	-1.8	-3.5	12000	12200	-0.31	-0.08	-0.09	0	0
		Hover	26		112	0	-1.8	12100	12260	0	0	0	0.7	0.7
		Climb max	29		124	1.8	0	12200	12260	0.18	0.17	0.18	1.7	1.72
		min			102	-1.8	-3.5	12000	12400	-0.18	-0.04	-0.05	0.7	0.7
		Hover	50		106	1.0	-1.2	12050	12260	0	0	0	1.7	1.72
		Descent max	55		120	2.5	1.0	12200	12400	0.34	0.07	0.07	1.7	1.72
		min			87	-0.9	-3.2	12000	12200	-0.27	-0.15	-0.17	0.1	0.18
		Climb max	83		126	3.3	1.0	12100	12400	0.29	0.19	0.19	0.72	0.8
		min			80	-3.3	-5.2	11850	12040	-0.46	0.08	-0.1	0.1	0.18
		Hover	95		106	0	-1.8	12000	12200	0	0	0	0.72	0.8
		Climb max	110		114	1.8	0	12100	12200	0.2	0.18	0.2	1.2	1.25
		min			92	-1.8	-4.4	11900	12180	-0.24	0	0	0.72	0.8
		Hover	117		102	0	-1.8	12000	12200	0	0	0	1.2	1.25
		Descent max	127		105	1.8	0	12000	12180	0.11	0	0	1.2	1.25
		min			88	-1.8	-3.1	11900	12060	-0.11	0.14	-0.17	0	0
		Touch Down	145	2030	105	-8.7	-10.5	11950	12100	1.62	-0.1	-0.12	0	0
		Idle			-55	0	-1.8	10100	10200	0	0	0	-0.2	-0.15

[Note] See note in table 7

実験結果 (Run 36~42)

$P_F \nabla$ [kg/cm ² G]		$P_3 \nabla$ [kg/cm ² G]		$P_R \nabla$	$P_{na} \nabla$	$P_{ne} \nabla$	$T_2 \nabla$ [°C]		$T_5 \nabla$ [°C]		$T_R \nabla$	$T_{na} \nabla$	$T_{ne} \nabla$	Run
Na 1	Na 2	Na 1	Na 2	[kg/cm ² G]			Na 1	Na 2	Na 1	Na 2	[°C]	[°C]	[°C]	
8.4	8.7	1.20	1.12	0.90	0.94	0.78	8	7	500	540	93	95	96	36
9.5	10.0	1.65	1.57	1.35	1.35	1.17	6.5	6.5	485	540	100	106	110	
8.4	8.5	1.20	1.09	0.90	0.92	0.78	9	8	500	540	99	95	99	
8.3	8.8	1.21	1.06	0.90	0.94	0.81	8	9	500	550	96	95	97	37
13.5	14.0	2.18	2.06	1.90	1.90	1.74	5	7	520	590	136	135	136	
17.9	18.5	2.36	2.29	2.12	2.12	1.93	4.5	6	545	600	125	129	130	
10.0	10.7	1.87	1.80	1.62	1.63	1.45	4.5	6	490	560	121	126	130	
10.0	12.0	1.95	1.80	1.75	1.70	1.55	6.2	6	500	560	130	130	135	
8.3	8.8	1.24	1.12	0.94	0.97	0.84	6	8	490	550	97	94	98	
8.5	8.7	1.14	1.05	0.87	0.87	0.79	10	9.5	520	560	84	87	86	40
9.4	10.0	1.57	1.54	1.31	1.30	1.15	9.5	9	500	570	109	101	100	
8.4	8.6	1.24	1.13	0.90	0.90	0.82	12	10	520	560	94	91	90	
8.0	8.7	1.20	1.12	0.90	0.93	0.85	7	7	510	550	86	89	86	41
12.0	14.0	2.10	2.06	1.97	1.95	1.42	6	6	540	595	137	124	120	
13.0	14.5	2.10	2.06	1.99	1.94	1.47	7.5	6	545	595	140	135	130	
11.2	12.5	2.02	1.99	1.90	1.87	1.40	6	5.5	540	580	140	132	130	
11.7	13.5	2.06	2.02	1.94	1.90	1.45	6	5.5	540	590	134	135	130	
13.2	14.5	2.14	2.09	1.21	1.96	1.52	7	6	550	600	139	126	125	
10.5	12.5	2.02	1.96	1.89	1.85	1.42	6.5	5.5	540	590	139	126	124	
11.7	13.2	2.06	2.02	1.94	1.84	1.47	6	5.5	540	595	138	126	125	
12.5	13.5	2.06	2.02	1.95	1.90	1.47	8	7	535	595	140	128	126	
11.0	13.0	2.01	1.99	1.90	1.85	1.43	7.5	6	535	595	140	128	126	
11.5	13.3	2.02	2.02	1.91	1.86	1.45	7.5	6	535	595	140	128	126	
12.9	13.5	2.10	2.02	1.94	1.90	1.50	8.5	8	560	600	140	130	126	
10.6	12.2	1.96	1.95	1.86	1.81	1.44	6	5.5	520	580	136	123	121	
11.0	13.0	2.02	1.99	1.90	1.85	1.47	7	6	525	585	136	124	122	
12.0	13.5	2.06	2.02	1.95	1.87	1.50	7	6	530	595	135	121	121	
10.4	11.7	1.95	1.93	1.87	1.65	1.42	6	5	520	590	135	121	121	
10.5	12.2	1.95	1.92	1.80	1.50	1.40	6	5	520	580	132	119	119	
8.0	8.5	1.24	1.12	0.97	0.95	0.85	8	7	500	550	91	90	89	
8.1	8.8	1.20	1.17	0.93	0.96	0.85	7.5	7	495	540	85	89	88	42
12.7	14.2	2.10	2.08	1.96	1.94	1.50	8	8	530	595	136	124	123	
13.2	14.7	2.14	2.12	1.99	1.95	1.57	9	9	540	600	140	126	126	
11.5	13.0	2.02	2.02	1.90	1.85	1.45	7	6	520	580	136	125	125	
12.2	13.8	2.10	2.10	1.95	1.92	1.53	7	6	530	590	136	125	125	
13.2	14.6	2.11	2.12	1.98	1.95	1.57	9	9	540	600	140	127	127	
11.5	13.2	2.02	2.08	1.90	1.90	1.50	6	6	520	580	136	126	126	
12.0	13.5	2.06	2.08	1.92	1.90	1.50	7	6	520	580	136	126	126	
13.0	14.3	2.10	2.10	1.94	1.95	1.57	10	11	540	600	137	128	128	
11.2	12.6	1.98	1.99	1.83	1.82	1.48	7	6	520	580	136	126	126	
13.0	14.5	2.10	2.11	1.95	1.95	1.58	9	9	520	600	137	127	127	
10.4	12.0	1.95	2.00	1.82	1.80	1.45	7	7	500	580	135	125	125	
12.0	13.2	2.02	2.06	1.90	1.88	1.52	8	8	520	580	135	122	122	
12.5	13.4	2.10	2.08	1.94	1.90	1.55	8	8	520	580	132	122	122	
11.0	12.7	2.00	2.02	1.85	1.85	1.50	6	6	500	575	130	120	120	
11.5	13.0	2.04	2.05	1.90	1.88	1.52	6	6	510	580	131	120	120	
11.5	13.0	2.04	2.03	1.88	1.85	1.51	6	6	510	580	131	120	120	
11.0	12.2	1.98	2.01	1.84	1.82	1.49	6	5	510	575	130	120	120	
11.5	13.0	2.02	2.02	1.88	1.85	1.50	6	6	510	575	130	120	120	
8.0	8.8	1.20	1.20	0.97	1.00	0.87	9	8	480	540	91	91	89	

Table 10 Experimental results

Run	Case	Task	t [sec]	W [kg]	$\delta_c \nabla$ [mm]	$a_c \nabla$ [mm]		$N \nabla$ [rpm]		$\ddot{z} \nabla$ [m/s ²]	\dot{z} [m/s]		z [m]	
						N	S/B	N_a 1	N_a 2		L	R	L	R
43	23	Idle		2200	6	1	0	10000	9900	0	0	0	-0.4	-0.4
		Lift Off	0		120	0	-1.8	12140	12200	0	0	0	0	0
		Climb max			123	1.8	0	12150	12200	0.12	0.11	0.11	0.3	0.35
		min			100	-1.8	-1.8	12000	12140	-0.2	-0.07	-0.07	0	0
		Hover	21		106	0	-1.0	12000	12100	0	0	0	0.24	0.28
		Climb max	35		113	1.8	0	12100	12140	0.15	0.15	0.16	1.6	1.65
		min			106	-1.8	-3.5	11950	12080	-0.18	-0.02	-0.03	0.24	0.28
		Hover	61		113	0	-1.0	12000	12120	0	0	0	1.6	1.65
		Descent max	71		113	5.3	4.4	12100	12160	0	0	0.04	1.6	1.65
		min			100	-2.6	-3.8	11850	11960	-0.29	-0.38	-0.42	0.74	0.8
		Hover	80		103	0	-1.8	11980	12090	0	0	0	0.74	0.8
		Climb max	90		120	1.8	3.5	12000	12120	0.2	0.2	0.22	1.21	1.2
		min			89	-3.4	-6.5	11900	12000	-0.37	-0.06	-0.07	0.74	0.8
		Hover	94		103	0	-1.8	12060	12120	0	0	0	1.11	1.15
		Descent max	100		115	5.2	3.5	12100	12180	0.34	0.09	0.1	1.11	1.15
		min			87	-2.6	-3.5	11900	11960	-0.35	-0.23	-0.36	0.21	0.25
		Hover	107		109	0	-1.8	12000	12020	0	0	0	0.21	0.25
		Climb max	110		120	0	0	12100	12080	0.2	0.3	0.33	1.31	1.33
		min			110	-4.9	-6.5	11970	12020	-0.25	0	0	0.21	0.25
		Hover	114		102	0	-1.8	11970	12030	0	0	0	1.31	1.33
		Descent max	124		145	7.0	5.3	12200	12360	1.1	0.15	0.16	1.31	1.33
		min			87	-6.1	-7.3	11850	11940	-0.39	<-0.4	-0.55	0.17	0.1
		Hover	138		104	0	-1.8	11960	11990	0	0	0	0.17	0.2
		Climb max	143		126	0.2	1.8	12150	12200	0.29	0.22	0.23	0.75	0.8
		min			81	-0.4	-5.2	11900	11920	-0.29	0	0	0.17	0.2
		Descent max	150		120	5.2	3.5	12050	12180	0.49	0.09	0.1	0.75	0.8
		min			86	-3.5	-4.0	11750	11860	-0.34	-0.27	-0.29	0	0
		Touch Down	164	2010	94	-5.6	-7.0	11750	11900	1.10	-0.08	-0.09	0	0
		Idle			-55	0	-1.8	10100	10000	0	0	0	-0.12	-0.1
46	24	Idle			-20	-1.0	-1.8	9950	9800	-	-	-	-	-
		11000			67	-1.8	-3.5	11000	11200	-	-	-	-	-
		Idle			-22	-1.8	-3.5	10000	9800	-	-	-	-	-
47	25	Idle		2200	9	-1.8	-1.8	9900	9700	0	0	0	-0.15	-0.25
		Lift Off	0		122	-1.8	-3.5	12050	12000	0	0	0	0	0
		Climb & max			132	3.5	3.5	12100	12100	0.49	0.24	0.28	0.48	0.35
		Descent min			87	-5.8	-7.0	11800	11800	-0.69	-0.32	-0.34	0	0
		Touch Down	11		119	-8.7	-10.5	11900	11900	1.3	-0.12	-0.1	0	0
		Lift Off	16		119	-1.8	-3.2	11900	11900	0	0	0	0	0
		Climb max			132	0	0	12200	12200	0.29	0.08	0.09	0.25	0.2
		min			100	-3.5	-4.9	11900	11900	-0.29	-0.12	-0.12	0	0
		Hover	28		126	-1.8	-3.2	12000	12000	0	0	0	0.25	0.2
		Climb max	34		132	0	0	12200	12200	0.18	0.13	0.14	0.65	0.6
		min			96	-3.8	-5.6	12000	12000	-0.49	-0.05	-0.02	0.25	0.2
		Hover	45		119	-1.8	-3.2	12000	11900	0	0	0	0.65	0.6
		Descent max	66		112	0	-1.8	11900	11700	0.20	0	0	0.65	0.6
		min			87	-3.5	-5.3	11700	11800	-0.20	-0.01	-0.1	0.3	0.25
		Hover	77		103	-1.8	-3.5	11800	11800	0	0	0	0.3	0.25
		Descent max	87		93	-0.9	-1.8	11800	11700	0.98	0	0	0.3	0.25
		min			87	-1.8	-3.5	11700	11600	-0.17	-0.08	-0.08	0	0
		Touch Down	95	2050	87	-1.8	-3.5	11600	11600	0.22	-0.05	-0.05	0	0
		Idle			-50	-1.8	-3.5	10000	9800	0	0	0	-0.05	0

[Note] See note in table 7

実験結果 (Run 43~47)

P_F [kg/cm ² G]		P_3 [kg/cm ² G]		P_R	P_{na}	P_{ne}	T_2 [°C]		T_5 [°C]		T_R	T_{na}	T_{ne}	Run
No 1	No 2	No 1	No 2	[kg/cm ² G]			No 1	No 2	No 1	No 2	[°C]	[°C]	[°C]	
8.2	8.5	1.22	1.12	0.94	0.98	0.88	8	8	480	540	90	90	85	43
12.5	13.5	2.13	2.10	2.00	2.00	1.45	7	7	530	585	140	126	125	
13.0	13.7	2.18	2.10	2.02	2.00	1.48	8	9	540	590	143	130	130	
11.7	13.0	2.10	2.05	1.95	1.94	1.42	6	6	520	580	140	126	125	
12.2	13.2	2.10	2.08	1.97	1.96	1.47	7	7	530	590	143	130	127	
12.7	13.5	2.13	2.10	2.00	1.99	1.52	7	8	530	595	143	130	129	
11.5	13.0	2.09	2.04	1.92	1.90	1.45	6	6	520	580	140	125	127	
12.0	13.2	2.08	2.09	1.99	1.96	1.50	6	6	520	580	140	127	128	
13.0	14.0	2.15	2.02	2.00	1.99	1.55	10	9	535	600	140	128	130	
11.2	12.5	2.02	1.95	1.85	1.84	1.42	6	6	510	580	138	125	127	
11.2	13.0	2.06	2.06	1.92	1.90	1.50	6	6	510	580	138	125	127	
12.0	13.2	2.14	2.08	1.97	1.95	1.53	8	8	530	595	140	129	130	
11.0	12.2	2.02	2.00	1.84	1.81	1.42	5	5	510	580	136	125	126	
12.0	13.2	2.10	2.04	1.95	1.92	1.52	8	8	525	590	141	129	130	
12.5	13.2	2.10	2.08	1.96	1.95	1.55	8	8	525	590	141	129	130	
11.0	12.4	2.02	2.00	1.85	1.85	1.45	6	5.5	515	580	138	126	126	
11.7	13.2	2.09	2.04	1.96	1.94	1.55	6	5.5	520	580	138	126	126	
12.2	13.3	2.13	2.08	1.96	1.95	1.57	6	5.5	520	580	139	126	126	
11.7	12.0	2.09	2.03	1.95	1.93	1.54	6	5	520	580	138	126	126	
12.2	13.0	2.10	2.04	1.95	1.94	1.54	6	5	520	580	138	126	126	
13.7	15.0	2.20	2.17	2.02	2.00	1.63	8	8	540	610	140	128	128	
10.5	12.0	1.98	1.95	1.80	1.73	1.42	5	5	510	580	138	125	125	
11.5	12.5	2.06	2.01	1.85	1.85	1.50	8	9	515	580	140	125	125	
12.5	13.9	2.10	2.10	1.95	1.94	1.57	10	10	520	600	140	130	129	
11.0	12.2	2.02	1.95	1.75	1.77	1.40	6	6	505	570	135	125	124	
12.4	12.7	2.06	2.08	1.85	1.82	1.50	8	8	520	580	135	125	125	
10.8	11.0	1.91	1.88	1.71	1.72	1.40	6	6	500	570	134	125	122	
10.9	11.0	1.95	1.95	1.71	1.72	1.40	6	6	500	570	134	125	125	
8.1	8.5	1.27	1.20	1.00	1.02	0.84	6	6	480	530	95	91	89	
8.2	8.5	1.20	1.12	0.93	0.95	0.83	6	5	500	540	87	90	87	46
9.4	10.0	1.65	1.59	1.38	1.38	1.22	6	5	480	555	110	102	100	
8.2	8.4	1.24	1.12	0.96	0.95	0.83	6	4.5	490	540	90	90	85	
8.0	8.5	1.14	1.07	0.92	0.92	0.79	10	8	510	555	93	94	84	47
12.5	13.0	2.08	1.95	1.90	1.85	1.65	8	6	540	590	130	126	120	
13.7	14.2	2.10	2.02	1.92	1.90	1.80	6	5	550	600	130	120	130	
10.5	11.6	1.91	1.87	1.75	1.71	1.59	6	5	530	580	130	126	120	
11.5	13.0	2.02	1.95	1.85	1.80	1.70	7	6	540	595	130	130	120	
12.7	13.2	2.08	1.95	1.90	1.92	1.77	8	6	545	595	136	132	120	
13.2	13.7	2.09	1.99	1.90	1.88	1.79	8	7	550	610	135	133	122	
11.0	12.5	1.99	1.91	1.80	1.76	1.67	8	7	540	600	134	133	122	
12.0	13.2	2.10	1.95	1.82	1.85	1.75	9	7	550	610	139	134	122	
13.0	13.5	2.10	1.99	1.91	1.90	1.80	9	8	560	620	144	136	125	
10.7	12.0	1.96	1.88	1.79	1.77	1.69	9	8	540	600	144	135	125	
11.7	12.7	2.06	1.91	1.80	1.79	1.70	9	8	545	600	144	135	123	
11.2	12.0	1.95	1.87	1.77	1.70	1.70	8	8	520	595	139	130	120	
10.0	11.3	1.88	1.80	1.70	1.68	1.60	6	5	520	580	134	125	115	
11.0	12.0	1.95	1.87	1.77	1.70	1.70	6	6	520	580	134	125	115	
11.0	11.8	1.91	1.86	1.72	1.70	1.66	8	7	520	580	137	129	115	
10.0	11.1	1.84	1.76	1.63	1.60	1.56	8	7	510	580	135	126	113	
10.0	11.1	1.80	1.76	1.63	1.60	1.56	8	7	510	580	135	126	113	
8.0	8.3	1.20	1.12	0.95	0.95	0.85	6	5.5	520	550	97	94	86	

Table 11 Experimental results

Run	Case	Task	t [sec]	W [kg]	δ_c° [mm]	a_c° [mm]		N° [rpm]		\ddot{z} [m/s ²]	\dot{z} [m/s]		z [m]	
						N	S/B	N _a 1	N _a 2		L	R	L	R
48	26	Idle			10	-0.8	-1.7	10000	9900	0	0	0	-0.2	-0.2
		Lift Off	0	2225	131	-0.8	-1.7	12200	12200	0.10	0	0	0	0
		Climb max			132	2.6	0.8	12300	12340	0.65	0.11	0.12	0.6	0.6
		min			100	-2.6	-3.8	12000	12100	-0.61	-0.23	-0.25	0	0
		Hover	32		120	-1.7	-2.6	12200	12200	0	0	0	0.4	0.4
		Climb max	69		120	0	-1.7	12200	12200	0.01	0.08	1.0	1.0	0.95
		min			110	-2.6	-3.5	12100	12180	-0.39	0	0	0.4	0.4
		Hover	84		106	-0.8	-2.1	12030	12080	0	0	0	1.0	0.95
		Descent max	89		130	1.7	0	12300	12220	0.82	0.02	0.02	1.0	0.95
		min			100	-3.5	-5.2	12000	12040	-0.15	-0.18	-0.19	0.68	0.7
		Climb max	92		124	0	-1.7	12250	12240	0.05	0.07	0.09	0.68	0.7
		min			113	-2.0	-3.5	12200	12200	-0.18	0	0	0.9	0.95
		Hover	100		114	-1.4	-2.6	12140	12200	0	0	0	0.9	0.95
		Descent max	104		129	1.4	0	12200	12200	0.39	0	0	0.9	0.95
		min			95	-3.5	-5.3	11900	12000	-0.20	-0.17	-0.17	0.7	0.75
		Hover	106		119	-1.7	-3.5	12090	11180	0	0	0	0.7	0.75
		Climb max	114		129	0	-1.7	12350	12240	0.10	0.1	0.12	1.1	1.15
		min			114	-3.5	-5.2	12090	12200	-0.29	0	0	0.7	0.75
		Hover	124		120	-1.4	-3.1	12300	12320	0	0	0	1.1	1.15
		Descent max	150		126	2.1	1.4	12300	12200	0.49	0.09	0.1	1.1	1.15
		min			84	-3.7	-5.6	11800	11900	-0.34	-0.23	-0.23	0.6	0.7
		Hover	162		104	-1.7	-3.5	12050	12150	0	0	0	0.67	0.7
		Cycle max	165		132	1.8	0	12200	12260	0.44	0.17	0.19	0.73	0.75
		min			86	-5.2	-7.0	11900	11920	-0.57	-0.15	-0.15	0.47	0.5
		Hover	182		106	-1.8	-3.5	12000	12120	0	0	0	0.54	0.55
		Cycle max	186		130	1.9	1.1	12200	12200	-0.49	0.11	0.12	0.54	0.55
		min			83	-6.5	-7.0	11900	11880	-0.49	-0.23	-0.26	0	0.05
		Descent max	198		126	3.3	1.7	12150	12180	0.38	0.15	0.19	0.25	0.25
		min			86	-5.2	-7.0	11850	11820	-0.49	-0.29	-0.3	0	0
		Touch Down	209		113	0.8	0	11900	12000	0.10	-0.29	-0.3	0	0
		Bound max			119	1.7	1.7	12000	12100	>2.0	0.20	0.2	0.15	0.15
		min			80	-19.2	-24.5	11950	12000	-0.59	-0.12	-0.12	0	0
		Touch Down	213	1995	94	-7.0	-8.7	11950	12000	1.47	-0.12	-0.12	0	0
		Idle			-50	-1.7	-3.5	10100	10000	0	0	0	0	0

[Note] See note in table 7

実験結果 (Run 48)

P_F^∇ [kg/cm ² G]		P_3^∇ [kg/cm ² G]		P_R^∇	P_{na}^∇	P_{ne}^∇	T_2^∇ [°C]		T_3^∇ [°C]		T_R^∇	T_{na}^∇	T_{ne}^∇	Run
No 1	No 2	No 1	No 2	[kg/cm ² G]			No 1	No 2	No 1	No 2	[°C]	[°C]	[°C]	
8.0	8.5	1.05	1.05	0.85	0.88	0.75	11	10.5	520	560	93	94	79	48
12.5	13.2	2.06	1.99	1.85	1.84	1.70	6.5	5.5	535	595	135	130	112	
13.0	14.0	2.10	2.01	1.95	1.95	1.97	9	8	570	615	146	136	116	
11.0	12.5	1.93	1.92	1.76	1.74	1.32	6.5	5.5	535	595	135	130	112	
12.0	13.0	2.03	1.95	1.84	1.84	1.75	8	6	540	600	145	134	116	
12.5	13.2	2.06	1.93	1.95	1.90	1.75	8	6	550	600	145	135	116	
11.0	13.0	1.98	1.87	1.83	1.83	1.43	6	5	540	590	135	130	115	
11.5	13.0	1.95	1.98	1.86	1.85	1.72	6	5	540	595	137	130	115	
12.7	13.2	2.08	1.98	1.86	1.86	1.73	6.5	5.5	540	595	138	131	115	
11.0	13.0	1.95	1.95	1.85	1.82	1.72	6	5	540	590	137	130	115	
12.5	13.3	2.06	1.98	1.88	1.87	1.80	6.5	5.5	540	590	140	132	115	
11.5	13.0	2.02	1.96	1.84	1.82	1.70	6	5	530	590	137	130	114	
11.5	13.2	2.02	1.98	1.87	1.85	1.80	6.5	5.5	540	590	140	132	114	
12.2	13.8	2.04	1.98	1.88	1.86	1.82	7	6	540	595	142	133	114	
10.5	12.6	1.89	1.95	1.80	1.79	1.63	6	5	530	590	137	131	113	
11.3	12.7	1.98	1.95	1.80	1.79	1.65	7	6	540	590	137	131	114	
13.0	13.5	2.10	2.02	1.94	1.92	1.88	7	6	540	600	145	134	115	
11.3	12.2	1.98	1.89	1.73	1.72	1.62	6	5	535	595	132	130	112	
12.5	13.5	2.06	2.02	1.94	1.92	1.88	6	5	540	595	145	134	115	
12.5	13.5	2.06	2.02	1.94	1.92	1.88	10	8	550	610	147	137	120	
9.8	13.2	1.81	1.99	1.87	1.85	1.75	6	5	540	595	140	134	115	
11.2	13.3	1.95	1.99	1.88	1.85	1.75	8	8	545	605	142	137	120	
12.5	13.4	2.06	1.99	1.88	1.88	1.86	8	8	545	605	145	137	120	
9.8	11.2	1.87	1.88	1.55	1.64	1.55	8	8	530	600	140	134	116	
11.0	12.7	1.94	1.95	1.82	1.81	1.80	8	8	530	600	145	134	115	
12.5	13.6	2.04	1.98	1.90	1.89	1.88	8	8	540	600	140	134	115	
10.0	11.0	1.87	1.81	1.73	1.72	1.72	6	6	520	580	140	130	110	
12.0	13.5	2.02	1.98	1.94	1.91	1.95	7	6	540	600	140	130	110	
9.8	11.2	1.86	1.83	1.74	1.74	1.80	6	5.5	520	580	140	130	99	
12.0	12.5	1.98	1.91	1.88	1.85	1.90	6	5.5	520	580	140	130	99	
11.0	12.4	1.98	1.95	1.88	1.85	1.85	6	5.5	520	580	140	130	99	
9.5	10.0	1.92	1.84	1.76	1.75	1.80	6	5.5	520		140	130	96	
10.7	11.8	1.92	1.88	1.80	1.80	1.85	6	5.5	520	580	140	130	96	
7.7	8.2	1.18	1.12	0.95	0.95	0.85	7	6	500	540	98	96	79	

Table 12 Experimental results

Run	Case	Task	t [sec]	W [kg]	δ_c^γ [mm]	a_c^γ [mm]		N^γ [rpm]		\ddot{z}^γ [m/s ²]	\dot{z} [m/s]		z [m]	
						N	S/B	N_a 1	N_a 2		L	R	L	R
49	27	Idle			3	0.8	0.4	10000	9900	0	0	0	-0.4	-0.4
		Lift Off	0	2220	123	0	0	12340	12280	0.49	0	0	0	0
		Climb max			120	3	1.9	12400	12300	0.01	0.1	0.11	0.25	0.25
		min			106	-1.7	-2.6	12200	12200	-0.19	-0.13	-0.13	0	0
		Hover	17		111	0.9	0	12260	12240	0	0	0	0.05	0.1
		Climb max	24		121	5.2	5.2	12400	12320	0.15	0.28	0.31	0.8	0.8
		min			92	-3.1	-3.5	12200	12240	-0.49	-0.22	-0.23	0.05	0.1
		Hover	34		106	0.8	0	12250	12220	0	0	0	0.65	0.6
		Climb max	49		117	1.8	1.7	12300	12300	0.10	0.11	0.12	0.95	0.95
		min			100	-0.8	-1.8	12200	12200	-0.24	-0.04	-0.05	0.65	0.6
		Hover	59		108	0.8	0	12260	12220	0	0	0	0.93	0.92
		Climb max	64		124	4.3	3.5	12400	12400	0.39	0.2	0.22	1.55	1.55
		min			94	-3.5	-4.3	12100	12020	-0.49	-0.18	-0.19	0.80	0.85
		Hover	95		106	0.8	0	12200	12200	0	0	0	1.47	1.45
		Descent max	99		121	4.4	3.5	12350	12200	0.26	0.12	0.13	1.47	1.45
		min			94	-2.6	-3.5	12050	12120	-0.34	-0.17	-0.32	0.25	0.25
		Hover	114		108	0	-0.8	12190	12200	0	0	0	0.25	0.25
		Climb & } max	121		113	2.6	1.8	12300	12200	0.39	0.11	0.13	0.50	0.49
		Descent } min			94	-1.7	-1.8	12100	12040	-0.49	-0.13	-0.14	0.05	0.05
		Hover	144		104	0	0	12160	12160	0	0	0	0.20	0.19
		Climb & } max	150		112	3.1	1.8	12250	12160	0.39	0.15	0.18	0.40	0.4
		Descent } min			91	-0.8	-1.8	12000	12040	-0.45	-0.15	-0.16	0	0
		Touch Down	173	2040	100	-2.0	-3.5	12100	12100	0.49	-0.08	-0.08	0	0
		Lift Off	179		111	0	0	12200	12100	0.11	0	0	0	0
		Climb & } max			113	3.5	1.9	12250	12200	0.20	0.11	0.2	0.50	0.5
		Descent } min			87	-1.9	-2.7	12050	12000	-0.39	-0.13	-0.13	0	0
		Touch Down	192	2020	100	-1.9	-3.5	12100	12050	0.39	-0.06	-0.06	0	0
		Lift Off	198		114	0	-1.8	12100	12100	0.10	0	0	0	0
		Climb max			108	3.5	2.6	12200	12160	0.20	0.18	0.18	0.70	0.7
		min			92	-1.8	-3.4	12000	12000	-0.34	-0.14	-0.16	0	0
		Hover	208		100	0.8	0	12130	12160	0	0	0	0.60	0.6
		Descent max	214		123	3.5	3.5	12350	12360	0.44	0.13	0.15	0.60	0.6
		min			88	-3.5	-4.4	12000	12040	-0.39	-0.23	-0.25	0	0
		Touch Down	229		88	-7.0	-8.8	12000	12100	1.49	-0.1	-0.12	0	0
		Lift Off	237		107	0	0	12050	12000	0	0	0	0	0
		Climb & } max			108	3.5	1.8	12150	12240	0.10	0.18	0.2	0.43	0.45
		Descent } min			92	-1.8	-3.5	11950	12180	-0.21	-0.18	-0.19	0	0
		Touch Down	251		98	3.5	1.8	12050	12000	-0.21	-0.18	-0.19	0	0
		Bound max			108	3.5	3.5	12150	12100	>2.0	0.1	0.12	0.1	0.1
		min			81	-12.2	-15.4	12000	11950	-0.49	-0.1	-0.1	0	0
		Touch Down	257		81	-5.2	-7.0	12000	11950	1.29	-0.09	-0.1	0	0
		Idle		1965	-50	0.8	-0.5	10150	10000	0	0	0	-0.05	-0.05
50	28	Idle			-55	0.9	0.4	10000	9850	—	—	—	—	—
		11000			55	0.9	0.4	11000	11100	—	—	—	—	—
		12000			113	0.9	0.4	12000	12150	—	—	—	—	—
		12500			135	0	0	12450	12500	—	—	—	—	—
		Idle			-55	0.9	0	10000	10000	—	—	—	—	—

[Note] See note in table 7

実験結果 (Run 49~50)

$P_F \nabla$ [kg/cm ² G]		$P_3 \nabla$ [kg/cm ² G]		$P_R \nabla$	$P_{na} \nabla$	$P_{ne} \nabla$	$T_2 \nabla$ [°C]		$T_5 \nabla$ [°C]		$T_R \nabla$ [°C]	$T_{na} \nabla$ [°C]	$T_{ne} \nabla$ [°C]	Run
No 1	No 2	No 1	No 2	[kg/cm ² G]			No 1	No 2	No 1	No 2				
7.9	8.4	1.14	1.05	0.86	0.90	0.80	9	8.5	510	560	100	96	78	49
13.0	13.5	2.10	1.98	1.85	1.84	1.70	7.5	7.5	545	605	129	140	118	
13.5	13.8	2.13	2.02	1.89	1.90	1.80	9	8	555	610	149	142	120	
12.2	13.5	2.04	1.98	1.85	1.84	1.70	7	7	545	605	129	140	118	
12.6	13.5	2.06	1.98	1.85	1.86	1.78	9	7	550	605	149	142	120	
13.5	14.4	2.14	2.02	1.95	1.97	1.95	9	7	560	610	150	142	120	
11.2	12.5	1.98	1.92	1.78	1.79	1.71	7	6	530	600	144	138	119	
12.2	13.3	2.04	1.98	1.86	1.85	1.75	7	6	550	605	144	138	120	
13.0	13.5	2.08	2.00	1.88	1.89	1.75	8	8	550	610	146	140	120	
11.4	13.1	2.01	1.96	1.82	1.82	1.71	7	6	540	600	144	138	120	
12.0	13.3	2.02	1.96	1.85	1.85	1.71	8	8	550	610	145	140	120	
13.5	14.2	2.14	2.04	1.94	1.94	1.86	9	8	550	615	147	140	120	
10.5	12.0	1.98	1.92	1.77	1.76	1.51	7	6	530	600	145	139	119	
11.7	12.7	2.02	1.95	1.80	1.80	1.71	7	6	530	600	146	139	119	
12.7	13.2	2.09	2.01	1.90	1.92	1.92	8	7	545	605	150	142	119	
11.0	12.2	1.97	1.91	1.80	1.80	1.43	7	6	530	600	145	137	116	
11.5	13.0	2.02	1.96	1.83	1.86	1.85	7	6	540	600	146	142	117	
12.7	13.0	2.08	1.96	1.88	1.89	1.85	7	8	540	600	147	138	117	
11.0	12.7	1.99	1.91	1.87	1.78	1.68	7	6	525	600	146	135	116	
11.5	12.7	2.02	1.94	1.82	1.82	1.74	7	6	530	600	146	136	117	
12.3	12.8	2.06	1.95	1.88	1.87	1.88	8	8	530	600	146	136	117	
10.7	12.2	1.95	1.88	1.76	1.77	1.71	7	6	520	600	145	135	114	
11.2	12.2	1.99	1.88	1.76	1.77	1.72	8	8	520	600	145	136	114	
12.0	13.0	2.13	1.95	1.88	1.87	1.88	10	7	540	600	150	140	115	
12.2	13.0	2.13	1.95	1.88	1.87	1.88	10	8	540	600	150	140	115	
10.7	12.2	1.91	1.88	1.74	1.72	1.68	7	6	530	600	147	138	115	
11.2	12.2	1.96	1.88	1.74	1.72	1.68	8	7	530	600	147	138	115	
12.0	12.5	2.02	1.91	1.80	1.80	1.75	7	6	530	600	145	135	115	
12.2	12.7	2.04	1.95	1.85	1.86	1.84	9	9	535	610	146	137	115	
10.7	11.7	1.91	1.83	1.73	1.73	1.68	7	7	520	590	145	136	115	
11.2	12.7	1.95	1.91	1.77	1.77	1.68	9	8	535	610	146	137	115	
13.0	13.7	2.06	1.97	1.89	1.89	1.90	13	11	560	620	155	144	117	
10.5	11.7	1.87	1.86	1.72	1.72	1.64	8	8	540	605	147	138	115	
10.5	12.2	1.87	1.86	1.72	1.72	1.71	13	11	540	615	155	143	116	
11.7	12.4	1.98	1.91	1.80	1.79	1.77	8	7	535	600	146	136	114	
12.0	12.4	2.01	1.91	1.80	1.79	1.77	8	8	535	600	146	136	114	
10.5	12.2	1.91	1.87	1.72	1.72	1.67	8	7	525	590	144	135	113	
12.0	12.2	1.94	1.87	1.75	1.75	1.72	8	8	530	600	145	135	114	
12.0	12.5	1.98	1.88	1.77	1.76	1.73	9	9	535	605	145	135	115	
10.0	10.5	1.90	1.84	1.68	1.69	1.65	8	7	515	585	143	133	113	
10.5	11.7	1.91	1.84	1.71	1.70	1.66	9	8	515	585	143	133	113	
7.7	8.2	1.18	1.09	0.94	0.94	0.84	8	8	510	560	99	99	82	50
8.0	8.4	1.18	1.09	0.89	0.90	0.78	7	6.5	510	530	98	99	81	
9.1	9.7	1.57	1.51	1.32	1.32	1.21	6	5	490	570	120	116	99	
12.0	13.0	2.02	1.95	1.80	1.77	1.58	6.5	5.5	540	610	142	140	120	
14.0	15.2	2.11	2.12	1.99	1.95	1.75	6	5	570	640	153	150	129	
8.0	8.3	1.20	1.11	0.92	0.94	0.80	7	6	500	560	105	101	86	

付録 搭乗員手順表

搭乗員は、始動前操縦席内点検手順表とフライトリ
クエストを 1 組、また始動と停止手順表を 1 組として

計 4 枚を携行し、ほかに緊急手順表を計器板右横に掲
示する。これらの手順表は合計 16 枚あり、その内容
を上記の順にしたがってつぎにまとめておく。

始動前操縦席内点検手順

1.	始動前整備点検, ASE 点検	○印; 整備員実施
2.	安全ベルトおよび肩バンド	—; ASE ON 時の手順
○3.	操縦桿, ペダル作動	(); ASE OFF 時の手順
4.	外部電源接続	完了確認
5.	ASE SW	点検
6.	計器板 ASE 以外全 SW	全範囲確認
7.	コンソール全 SW	ON 確認
8.	サーキット・ブレーカ	ON (OFF) 確認
9.	ASE CLUTCH ENGAGE LIGHT	OFF 確認
10.	ENGAGE LOCK LIGHT	OFF 確認
11.	RED FLASH	IN 確認
	WARNING LIGHT	消灯確認
12.	CAUTION LIGHT	消灯確認
	INDICATING LIGHT	無線合図
13.	INVERTER SW	TEST
14.	CDP IND	ON
15.	EGT IND	零位置確認
16.	FUEL PRESS IND	規定値以下
17.	HYD PRESS IND	零位置確認
18.	FUEL Q'ty IND	零位置確認
19.	時計	燃料積載量確認
20.	IAT	時刻を合せる
21.	スロットルレバー	規定値以下
22.	ハイト・コントロール・ステイック	CUT OFF 位置確認
23.	ENGAGE PIN	最低位置確認
24.	始動用空気配管	引き出し確認
○25.	HYD PUMP MOTOR SW ON (OFF)	接続確認
26.	HYD PRESS IND	合図 (確認)
27.	ブレーキ SW	規定値点検
28.	点検完了	ON
		無線合図

FLIGHT REQUEST No. 1

1	No. 1, No. 2 E/G 始動, エンゲージ
2	E/G アイドルにて約 30 秒保持
3	E/G 11000 rpm にて約 30 秒保持
4	E/G 12000 rpm にて約 30 秒保持
5	E/G 11000 rpm にて約 30 秒保持
6	E/G アイドルにて約 30 秒保持
7	ディスエンゲージ, E/G 停止

FLIGHT REQUEST No. 2

1	STICK 左右 FULL 操舵 (緩, 急) 小舵操舵約 30 秒中立
2	STICK 前後 FULL 操舵 (緩, 急) 小舵操舵約 30 秒中立
3	No. 1, No. 2 E/G 始動, エンゲージ
4	STICK 左右 (1に同じ)
5	STICK 前後 (2に同じ)
6	E/G 11000 rpm
7	STICK 左右 (1に同じ)
8	STICK 前後 (2に同じ)
9	E/G 12500 rpm
10	STICK 左右 (1に同じ)
11	STICK 前後 (2に同じ)
12	E/G アイドル
13	ディスエンゲージ, E/G 停止

FLIGHT REQUEST No. 3

1	STICK 左右 FULL 操舵 (緩, 急) 小舵操舵約 30 秒中立
2	STICK 前後 FULL 操舵 (緩, 急) 小舵操舵約 30 秒中立
3	No. 1, No. 2 E/G 始動, エンゲージ
4	STICK 左右 (1に同じ)
5	STICK 前後 (2に同じ)
6	E/G 11000 rpm
7	STICK 右 FULL 急操舵位置で, ROLL CLUTCH ON 中立
8	STICK 前 FULL 急操舵位置で, PITCH CLUTCH ON 中立
9	HEIGHT CLUTCH ON
10	E/G 12500 rpm
11	STICK 左右 (1に同じ)
12	STICK 前後 (2に同じ)
13	E/G アイドル
14	STICK 左右 (1に同じ)
15	STICK 前後 (2に同じ)
16	ディスエンゲージ E/G 停止

FLIGHT REQUEST No. 4

1	No. 1, No. 2 E/G 始動, エンゲージ
2	高度目標確認
3	台車切離し合図, ブレーキ解除合図
4	極めて緩除にエンジン増速*
5	高度約 0.35m で離陸 (合図確認)
6	緩かに上昇
7	高度約 1.5m で停止
8	約 30 秒間ホバー, 約 30 秒間小舵操作
9	緩かに下降
10	高度約 0.35m で極めて緩かに接地
11	極めて緩かに沈下
12	E/G アイドル約 1 分間
13	ディスエンゲージ, E/G 停止

* STICK 押

FLIGHT REQUEST No. 5

1	No. 1, No. 2 E/G 始動, エンゲージ
2	高度目標確認
3	台車切離し合図, ブレーキ解除合図
4	ヘリコプタなみの離陸 (高度約 0.35m)
5	ヘリコプタなみの上昇 (高度約 1m で停止)
6	ホバー (約 30 秒)
7	上昇下降慣熟 (高度 0.5~2m, 約 2分)
8	ホバー (高度約 1.5m, 約 30 秒)
9	ヘリコプタなみの下降
10	ヘリコプタなみの着陸 (状況によりハイトカット)
11	E/G アイドル約 1 分間
12	ディスエンゲージ, E/G 停止

FLIGHT REQUEST No. 6

1	No. 1, No 2 E/G 始動, エンゲージ
2	高度目標確認
3	台車切離し合図, ブレーキ解除合図
4	ヘリコプタなみの離陸 (高度約 0.35m)
5	ヘリコプタなみの上昇 (高度約 0.5m)
6	高度約 0.5m で停止し, 約 10 秒間ホバー
7	ステップ操舵 (約 0.5inch ストローク) による上昇約 3 秒間(高度約 1.5m まで)
8	高度 2m で停止し, 約 10 秒間ホバー
9	ステップ操舵 (約 0.5inch ストローク) による下降約 3 秒間 (高度約 1m まで)
10	高度約 0.5m で停止し, 約 10 秒間ホバー
11	ヘリコプタなみの下降
12	ヘリコプタなみの着陸 (状況によりハイトカット)
13	E/G アイドル約 1 分間
14	ディスエンゲージ, E/G 停止

ENG ドライモータリング手順

- | | |
|---|-----|
| 1. 点火ブースターコイルへの配線プラグ取外し
IGNITION C/B OFF
スロットル・レバー CUT OFF
ASE SW OFF | 確認 |
| 2. No. 1 (No. 2) ENG MASTER SW | ON |
| 3. No. 1 (No. 2) BOOST PUMP SW | ON |
| 4. No. 1 (No. 2) ENG 送気
送気と同時に STOP WATCH スタート, 2000 RPM
に達する迄の時間測定 (整備員) | 合図 |
| *5. No. 1 (No. 2) ENG 約 1000RPM にて START IGN SW | ON |
| 6. No. 1 (No. 2) ENG RPM (MAX) | 測定 |
| *7. ブースト圧測定 (整備員) | |
| 8. 送気停止
送気停止と同時にコースト・ダウン測定開始 (整備員) | 合図 |
| 9. ENG 停止合図 (整備員) | 確認 |
| *10. No. 1 (No. 2) ENG START IGN SW | OFF |
| 11. No. 1 (No. 2) BOOST PUMP SW | OFF |
| 12. No. 1 (No. 2) ENG MASTER SW | OFF |
| 13. 全 SW | OFF |
| 14. 外部電源 OFF (整備員) | 合図 |

〔注〕 * 印はブースト圧測定時のみ実施

ENG 燃料放出モータリング手順

- | | | |
|-----|--------------------------------|---------|
| 1. | 点火ブースターコイルへの配線プラグ取外し | |
| | IGNITION C/B | OFF |
| | スロットル・レバー | CUT OFF |
| | ASE SW | OFF |
| | | 確認 |
| 2. | No. 1 (No. 2) ENG MASTER SW | ON |
| 3. | No. 1 (No. 2) BOOST PUMP SW | ON |
| 4. | No. 1 (No. 2) ENG START IGN SW | ON |
| 5. | No. 1 (No. 2) スロットル | S 位置 |
| | 緊急時にはスロットル CUT OFF | 送気合図 |
| 6. | ENG FDP | 測定 |
| 7. | No. 1 (No. 2) スロットル | CUT OFF |
| 8. | No. 1 (No. 2) ENG START IGN SW | OFF |
| 9. | No. 1 (No. 2) BOOST PUMP SW | OFF |
| 10. | No. 1 (No. 2) ENG MASTER SW | OFF |
| 11. | 外部電源 OFF (整備員) | 確認 |
| 12. | 放出燃料除去 (整備員) | 確認 |
| 13. | 外部電源 ON | 合図 |
| 14. | ENG ドライモータリング手順 | 実施 |

ENG 単独始動手順

- | | | |
|-----|--|----------|
| 1. | 電圧 29~28 V, ENG OIL スタンバイ合図 | 確認 |
| 2. | 空気源合図 | 確認 |
| 3. | No. 1 (No. 2) ENG MASTER SW | ON |
| 4. | No. 1 (No. 2) BOOST PUMP SW | ON |
| 5. | No. 1 (No. 2) ENG 送気 | 合図 |
| 6. | No. 1 (No. 2) ENG 約 1000 RPM | |
| | No. 1 (No. 2) ENG START IGN SW | ON |
| 7. | No. 1 (No. 2) ENG 2000~2200 RPM | |
| | No. 1 (No. 2) スロットル | S 位置 |
| 8. | No. 1 (No. 2) ENG 着火 | EGT 上昇確認 |
| 9. | No. 1 (No. 2) スロットル | 徐々に IDLE |
| 10. | No. 1 (No. 2) ENG 8000 RPM 以上 | |
| | 送気停止 | 合図 |
| | No. 1 (No. 2) ENG START IGN SW | OFF |
| 11. | No. 1 (No. 2) ENG 始動後点検 | |
| | RPM, EGT, FDP, OIL FLASH, IAT | |
| 12. | FUEL EMERGENCY CIRCUIT SW | OFF |
| 13. | CAUTION LIGHT | RESET |
| | DC GEN を除き | 消灯確認 |
| [注] | ELEC POWER }
HYD } EMERGENCY CIRCUIT SW OFF | |

ENG 単独運転停止手順

- | | |
|--------------------------------|---------|
| 1. ENG 冷却運転スロットル IDLE 位置 | 1分以上 |
| 2. FUEL EMERGENCY CIRCUIT SW | OFF |
| 3. No. 1 (No. 2) スロットル | CUT OFF |
| 同時に CUT OFF 時を合図—コースト・ダウン測定開始 | |
| 4. ENG 停止合図 (整備員) | 確認 |
| 5. No. 1 (No. 2) BOOST PUMP SW | OFF |
| 6. No. 1 (No. 2) ENG MASTER SW | OFF |
| 7. 全 SW | OFF |
| 8. 外部電源 OFF (整備員) | 合図 |

No. 1, No. 2 ENG 始動手順

- | | | | |
|--|----------|-------------------------------|----------|
| 1. 電圧 29~28 V, ENG OIL スタンバイ合図 | | 確認 | |
| 2. 空気源合図 | 確認 | 確認 | |
| 3. No. 1 ENG MASTER SW | ON | 13. No. 2 ENG MASTER SW | ON |
| 4. No. 1 BOOST PUMP SW | ON | 14. No. 2 BOOST PUMP SW | ON |
| 5. No. 1 ENG 送気 | 合図 | 15. No. 2 ENG 送気 | 合図 |
| 6. No. 1 ENG 約 1000 RPM | | 16. No. 2 ENG 約 1000 RPM | |
| STAT IGN SW | ON | START IGN SW | ON |
| 7. No. 1 ENG 2000~2200 RPM | | 17. No. 2 ENG 2000~2200 RPM | |
| No. 1 スロットル | S 位置 | No. 2 スロットル | S 位置 |
| 8. No. 1 ENG 着火 | EGT 上昇確認 | 18. No. 2 ENG 着火 | EGT 上昇確認 |
| 9. No. 1 スロットル | 徐々に IDLE | 19. No. 2 スロットル | 徐々に IDLE |
| 10. No. 1 ENG 8000 RPM 以上 | | 20. No. 2 ENG 8000 RPM 以上 | |
| 送気停止 | 合図 | 送気停止 | 合図 |
| START IGN SW | OFF | START IGN SW | OFF |
| 11. No. 1 ENG 始動後点検 | | 21. No. 2 ENG 始動後点検 | |
| RPM, EGT, FDP, OIL FLASH, IAT | | RPM, EGT, FDP, OIL FLASH, IAT | |
| 22. No. 1 スロットルエンゲージ | | No. 2 スロットルエンゲージ | |
| 23. BATT SW | | | ON |
| 24. ELEC POWER, HYD, FUEL EMERGENCY CIRCUIT SW | | | ON |
| 25. COMPARE SIGNAL OUT SW | | | ON |
| 26. CAUTION LIGHT (DC GEN を除き) | | | 消灯確認 |
| 27. CLUTCH ENGAGE LIGHT | | | 消灯確認 |

No. 1, No. 2 ENG 停止手順

- | | |
|---|--------------------|
| 1. ENG 冷却運転スロットル IDLE 位置 | 1分以上 |
| 2. FUEL EMERGENCY CIRCUIT SW | OFF |
| 3. COMPARE SIGNAL OUT PUT SW | OFF |
| 4. No. 1, No. 2 スロットル・エンゲージ | 解除 |
| 5. No. 1, No. 2 スロットル | CUT OFF |
| 同時に CUT OFF 時を合図コースト・ダウン測定開始 | |
| 6. ENG 停止合図 (整備員) | 確認 |
| 7. No. 1 BOOST PUMP SW }
No. 2 BOOST PUMP SW } | OFF |
| 8. No. 1 ENG MASTER SW }
No. 2 ENG MASTER SW } | OFF |
| 9. HYD EMERGENCY CIRCUIT SW | OFF |
| 10. HYD PUMP MOTOR SW | OFF 合図, PRESS 低下確認 |
| 11. BATT SW | OFF |
| 12. ELEC POWER EMERGENCY CIRCUIT SW | OFF |
| 13. 全 SW | OFF |
| 14. 外部電源 OFF (整備員) | 合図 |

緊急状態一覧表 (赤字; 非常停止, 黒字; 正常停止)

WARNING LIGHT	INDICATOR
1. RED FLASH	1. RPM OVER
2. FIRE	2. RPM DROP
	3. CDP DROP
CAUTION LIGHT	4. EGT OVER
1. ENG	5. EGT DROP
2. FUEL BOOST	6. FDP DROP
3. FUEL LEVEL	7. HYD PRESS DROP
(4. DC GEN)	8. FUEL LOW
5. MAIN HYD PRESS	(9. LOAD ABNORMAL)
6. INST INVERTER	10. VOLT ABNORMAL
7. AIR PRESS	11. IAT OVER
8. PITCH	
9. ROLL	FEELING
10. YAW	1. LARGE VIB
11. HEIGHT	2. HOT AIR
INDICATING LIGHT	3. DANGER GAS
1. OIL FLASH STOP	4. BRAKE LOCK
2. CLUTCH	5. FLAME OUT

〔注〕 ~~~ の上の文字は赤字

エンジン正常停止手順

(時間的に比較的急を要しない場合)

- | | |
|-----------------------------|---------|
| 1. スロットル ENGAGE | 解除 |
| 2. スロットル | CUT OFF |
| 3. ENG MASTER SW | OFF |
| 4. HYD EMERGENCY CIRCUIT SW | OFF |
| (5. GEN SW | OFF) |
| 6. BATT SW | OFF |
| 7. PILOT | 脱出 |

エンジン非常停止手順

(時間的に急を要する場合, 又はスロットル ENGAGE 解除不能の場合)

- | | |
|------------------|-----|
| 1. ENG MASTER SW | OFF |
| 2. PILOT | 脱出 |

航空宇宙技術研究所報告358号

昭和49年3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 東京プレス
東京都板橋区桜川2-27-12
