

UDC 531.76.083 :
629.76/78.054

航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-230

アナログトルク平衡方式による浮動振子型
加速度計の研究

大月正男・鈴木孝雄・円居繁治

1971年1月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

アナログトルク平衡方式による浮動振子型 加速度計の研究*

大 月 正 男**・鈴 木 孝 雄**・円 居 繁 治**

Study on the Analog Torque Rebalance Floated-Pendulum-Type Accelerometers for Guidance and Control Applications

By Masao OTSUKI, Takao SUZUKI
and Shigeru ENKYO

SUMMARY

Null-balance floated-pendulum-type accelerometers combined with analog feedback servo amplifiers have been studied, aiming at rocket vehicle guidance and control applications.

The first prototype accelerometer employing a microsyn type torquer was achieved as reported in our previous paper.*** Subsequently, we have developed a new accelerometer having a permanent magnet type torquer and a signal generator excited at much higher frequency than that of the first prototype.

The design and experimental results of the new accelerometer and its comparison with that of the former are shown.

1. ま え が き

宇宙飛行体の誘導制御には、高分解能、かつ広い測定範囲にわたって直線性ならびに静的および動的特性のすぐれた高精度加速度計が必要である。このためわれわれは、AC サーボ増幅器で制御する零平衡¹⁾浮動振子型加速度計の試作・研究を行なってきた。

第一次試作では、浮動振子型加速度計の試作における問題点および今後の性能向上に必要な基礎資料を得ることを目的に、先に試作した浮動式1自由度広角度積分ジャイロ²⁾の成果を応用して、ジャイロホイールの代わりに振子をジンバル内部に置き換えた浮動振子型加速度計の原型とも言うべきものを試作した。その結果、第一次試作の目標であった測定範囲 $\pm 4g$ (注)、分解能 $1 \times 10^{-3}g$ を達成でき、次期試作のための資料³⁾を得た。

これに基づき第二次試作では、第一次試作の際マイクロシン型であったトルク発生器 (以下 TG と略記する) を、特に微小トルクにおける直線性・安定性のすぐれた可動コイル-永久磁石型に変更し、加速度計として望ましい寸法のジンバル構造とし得た。すなわちジンバルの慣性能率を小さく、また分解能を低下することなしにペンデュラスティ (振子の有効長に振子の質量を乗じた値、以下 P と略記) を小とし得た。その結果、最大入力加速度が大となり測定範囲が拡大され、 $\pm 12g$ を $2 \times 10^{-5}g$ の分解能で測定できるようになった。また実験の結果、回転角検出器 (以下 SG と略記) の励磁周波数を 400 Hz から一挙に 12 kHz に高められることを確かめ、サーボ増幅器の動特性を向上でき、ジンバルの慣性能率を小さくできたことも相まって、系全体の動特性の向上ができた。

以下二次試作の結果を一次試作の場合と比較しながら報告する。

* 昭和 45 年 6 月 23 日受付

** 計 測 部

*** Technical Memorandum of National Aerospace Laboratory NAL TM-147

注) 混乱をさけるため、重力加速度は g または G で、質量の単位は gr. で表わす。

2. 記号

- C ; ジンバルの出力軸回りの粘性抵抗係数
 $G_a(s)$; サーボ増幅器の利得 (i_{tg}/e_{sg})
 J ; ジンバルの出力軸回りの慣性能率
 $K(s)$; 系の等価的バネ定数 (T_1/θ_0)
 K_{sg} ; 回転角検出器 (SG) の感度 (e_{sg}/θ_0)
 K_{tg} ; トルク発生器 (TG) の感度 (T_3/i_{tg})
 M ; ジンバルの質量
 P ; ジンバルのペンデュラスティ ($M \cdot l$)
 R ; 電流読み取りのための抵抗
 T_1 ; a_i が P に作用して生ずるトルク
 T_2 ; 慣性とダンピングによるリアクション・トルク
 T_3 ; TG が発生するトルク
 a ; 加速度
 a_i ; 加速度計の入力軸にそった方向の加速度
 e_0 ; R の両端に生ずる電圧 ($R \cdot i_{tg}$)
 e_{sg} ; SG の出力電圧
 f ; 周波数
 g ; 重力加速度
 i_{tg} ; TG のコントロール巻線に流れる電流
 l ; 浮動振子の有効長
 s ; ラプラスの演算子
 ζ ; 減衰係数
 θ_0 ; ジンバルの回転角
 $\dot{\theta}_0$; ジンバルの回転角速度
 ν ; 粘性油の動粘性係数
 ρ ; 粘性油の密度
 ω ; 角振動数

3. 第二次試作における改良点

3.1 第二次試作における問題点

浮動振子型加速度の構造、原理などについては、前報告³⁾を参照していただくとして、系のブロック図を図1に示す。

系の伝達関数は、 $T_1 = Pa_i$, $e_0 = Ri_{tg}$ なる故

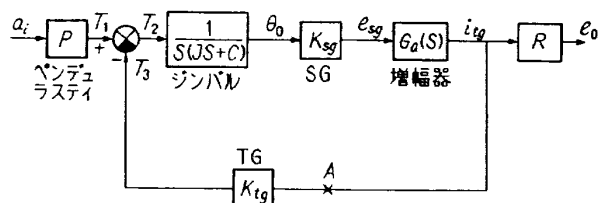


図1 サーボ増幅器を含む加速度計全体の系のブロック図

$$\frac{e_0(s)}{a_i(s)} = \frac{PR/K_{tg}}{1 + \frac{C}{K(s)}s + \frac{J}{K(s)}s^2} \quad (3.1)$$

ただし、

$$K(s) = K_{tg} \cdot K_{sg} \cdot G_a(s) \quad (3.2)$$

$K(s)$ はサーボ増幅器と SG, TG の働きにより電磁力バネ定数となる。

さて、上式より加速度計の静特性、動特性向上の問題点を考察する。

(a) (3.1) 式において $s=0$ とおけば

$$Pa_i(0) = K_{tg}i_{tg} \quad (3.3)$$

まず分解能を向上するための問題点は、微小なトルクの範囲では TG の発生するトルクの直線性が失われることである。マイクロシン型 TG ではその構成要素である磁性材料のヒステリシスが主な原因である。このような TG を用いた加速度計では、微小な入力 $a_i(0)$ に比例した電流 i_{tg} を得ることができない。

次に、測定範囲の拡大、すなわち大きな $a_i(0)$ に対しても (3.3) 式が成立つようにするためには、サーボ増幅器の出力電流および TG に供給できる最大電流 i_{tg} には上限があるため、 P をなるべく小とする必要がある。 P を小とすれば、微小入力 $a_i(0)$ に対しては、さらに微小なトルク範囲において TG を用いることとなり、したがってさらに微小なトルク範囲まで TG の直線性が要求される。逆に言えば、極わめて微小なトルク範囲まで直線性のすぐれた TG が得られれば、 P を小としても、分解能を高めかつ測定範囲を拡大することが可能となる。

(b) 動特性については、(3.1) 式をみて、 $K(s)$ が考えている周波数領域で一定であるとすれば、系は単純に二次と考えることができ、

$$\left. \begin{aligned} \omega_n &= (K(s)/J)^{1/2} \\ \zeta &= \frac{1}{2}C(K(s)J)^{-1/2} \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

と書ける。

本加速度計の AC サーボ増幅器では、平衡変調された振幅変調波を位相検波して復調する際に生ずる高調波（搬送波周波数の偶数倍^注）および搬送波の漏れを除去するため $G_a(s)$ にローパス特性を持たせる必要があるが、 $G_a(s)$ のカットオフ周波数 f_{∞} が低いと、系を簡単に二次として扱えないばかりか、入力加速度の信号周波数 f_s の上限 f_{sm} で $K(s)$ が小となり、そのため ω_n が小となって系の動特性上も好ましくない。今 f_{sm} として 100 Hz を考えれば、 $G_a(s)$ を二次系として、 f_{sm} における利得低下が無視でき、かつ位相遅れも 10° 以内とするためには、 f_{∞} として

1 kHz 以上を選ぶ必要がある。 $G_a(s)$ は f_{∞} 以上の周波数領域では 40 dB/デカードの割合で減少しているから、周波数 f_{∞} において搬送波の成分が 40 dB 以上減少しているためには $f_c/f_{\infty} > 10$ に定める必要がある。したがって $f_c > 10 f_{\infty} = 10 \text{ kHz}$ のごとく極めて高い周波数で SG を励磁 (SG の励磁周波数 = 搬送波の周波数) する必要がある。

3.2 可動コイルー永久磁石型 TG による静特性の向上

静特性向上の際の問題点は 3.1 節で述べたように、微小トルクにおける直線性のすぐれた TG の開発であった。

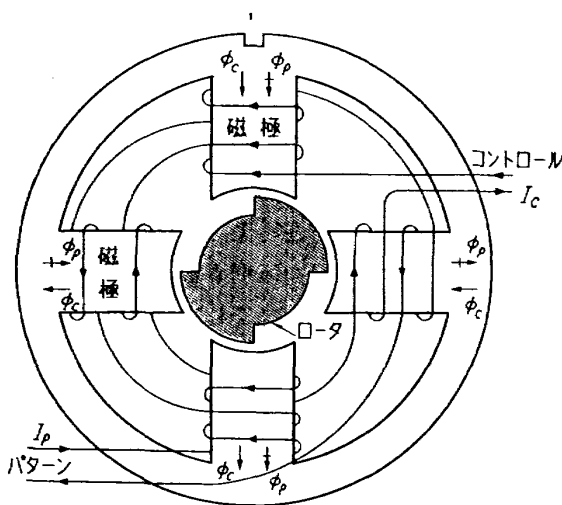


図 2 マイクロシン型トルク発生器の断面図
(ϕ_p, ϕ_c はそれぞれパターン電流 I_p およびコントロール電流 I_c による磁束)

第一次試作で用いた TG はマイクロシン型⁴⁾でその断面図は図 2 に示すとおりである。パターン側から一定の電流 I_p を流しておく。今コントロール側に電流を流さない時、ロータを通る磁束 ϕ_p は平衡しており、ロータは図 2 の位置に静止しているが、図 2 のように I_c を流せば磁極に生ずる磁束に不均衡を生じ、図 2 では C.C.W. のトルクを生ずる。 I_c の向きを逆にすれば、トルクも逆になる。

マイクロシン型 TG では、一磁極当りのコイルの巻数を N 、磁気回路のパーミアンスを $P_e(\text{cm})$ 、パターンおよびコントロール電流をそれぞれ I_p, I_c (ampere) ロータの回転角を θ とすれば、TG の発生するトルク $T(\text{dyn}\cdot\text{cm})$ は、

$$T = 8\pi \cdot 10^{-3} N^2 \frac{dP_e}{d\theta} I_p I_c \quad (3.5)$$

のようにあらわされる。 $\frac{dP_e}{d\theta}$ は θ が大になると一定でなくなり、原理的にトルクの直線性は悪い。またロータは磁性材料でできているので、そのヒステリシスのため零点におけるトルクの安定性が悪く、あまり微小なトルク範囲では用いることができない。

次に、われわれが先に試作した浮動式 1 自由度広角度積分ジャイロに用いて好結果であった可動コイルー永久磁石型 TG⁵⁾ の断面を図 3 に示す。永久磁石によって作られた磁束の中におかれた電流は力を受けるという原理を応用した TG である。図 3 において電流の流れる可動コイルはボビンに固定されているから、トルクはボビンに発生する。ボビンの直径を $D(\text{cm})$ 、磁束密度を B (gauss)、コイルの軸方向の長さ (図の紙面に垂直方向の長さ) を $l(\text{cm})$ 、コイルに流れる電流を I (ampere) とすれば、トルク $T(\text{dyn}\cdot\text{cm})$ は、

$$T = 2 DBIl \cdot 10^{-1} N \quad (3.6)$$

と書ける。この方式の TG では、完全に $T \propto I$ が成立ち、原理的に直線性がすぐれている。零点における安定性も、ロータが磁性材料ではなく単なるコイルであるから極めて良い。また可動部重量が軽くなったためジンバルの慣性性能率を減少することができる。可動コイルー永久磁石型 TG のすぐれた特性は前述のジャイロにおいても実証されて来ているので、第二次試作の加速度計においてもこの方式の TG を採用し、特性の向上を計ることとした。

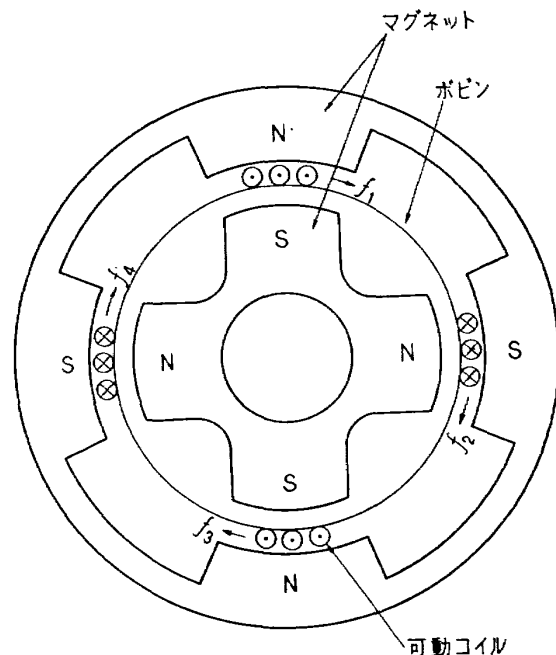


図 3 可動コイルー永久磁石型 トルク発生器

注) 参考文献 3) p. 11

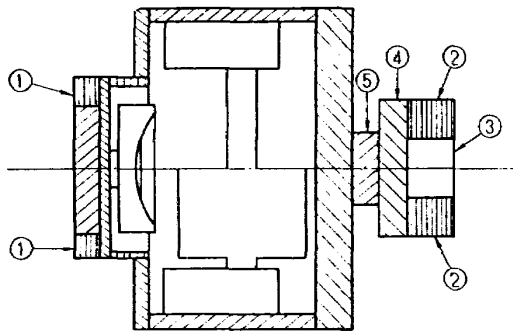


図 6 第一次試作加速度計のジンバル断面図(原寸)

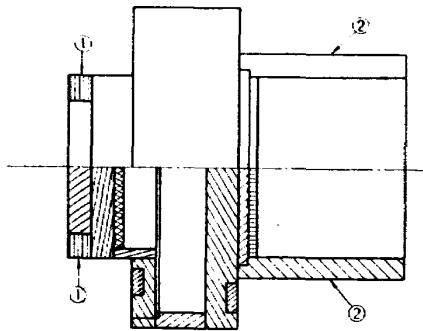


図 7 第二次加速度計のジンバル断面図(原寸)

である。このように、第二次試作ではジンバルの慣性性能率を減少できた理由は、3.1 節 (a) で前述のように TG をマイクロシン型から可動コイル-永久磁石型に変えたためペンデュラスティを小とできたことおよびジンバル本体を小型化（直径は変わらないが、出力軸（回転軸）方向の長さが約 1/2）できたことによる。これにより動特性向上のための一つの要因が達成できた。

つぎに (b) の問題点については、3.1 節 (b) で前述したごとく SG の励磁周波数を高めなければ解決できない。この時生ずる問題点およびその解決策を以下に記す。

3.3.3 SG の励磁周波数を高めること

SG の感度 K_{sg} は (3.8) 式⁷⁾によってあらわされる。

$$K_{sg} = \frac{dE_0}{d\theta} = 10^{-9} 2\pi f_c p I_p N_p N_s \frac{d\rho_e}{d\theta} \quad (3.8)$$

ここに、

- I_p 一次(励磁)電流の振幅
- N_p, N_s 一次, 二次コイルの巻線数
- p ステータの極数
- ρ_e 磁気回路のパーミアンス
- f_c 励磁周波数

(3.8) 式が示すように、 K_{sg} は原理的には f_c に比例するはずであるが、極わめて高い周波数の電流で SG を励磁する場合は、SG 巻線の自己インダクタン

スと巻線の浮遊容量による電氣的共振が存在し、 K_{sg} 特性にピークを生ずるため、このピークの近くの周波数範囲では K_{sg} と f_c の直線関係が失なわれ、(3.8) 式が成立たないことが実験によりわかった。(図 8 参照)

したがって高い周波数で励磁する場合、共振周波数を励磁周波数に比べ十分高い所へ移動させ、共振の影響が励磁周波数に及ばないようにする必要がある。この共振周波数は一次および二次巻線の巻数、巻線の直径、巻き方、ロータおよびステータの形状、材質などにより定まるため、解析的に導くことは不可能に近い。そこで巻き方を均一化し、そして一次および二次巻線の巻数、巻線の直径を数通り変えた SG を作り実験を行なって所期の特性をもつ SG を求めることとした。

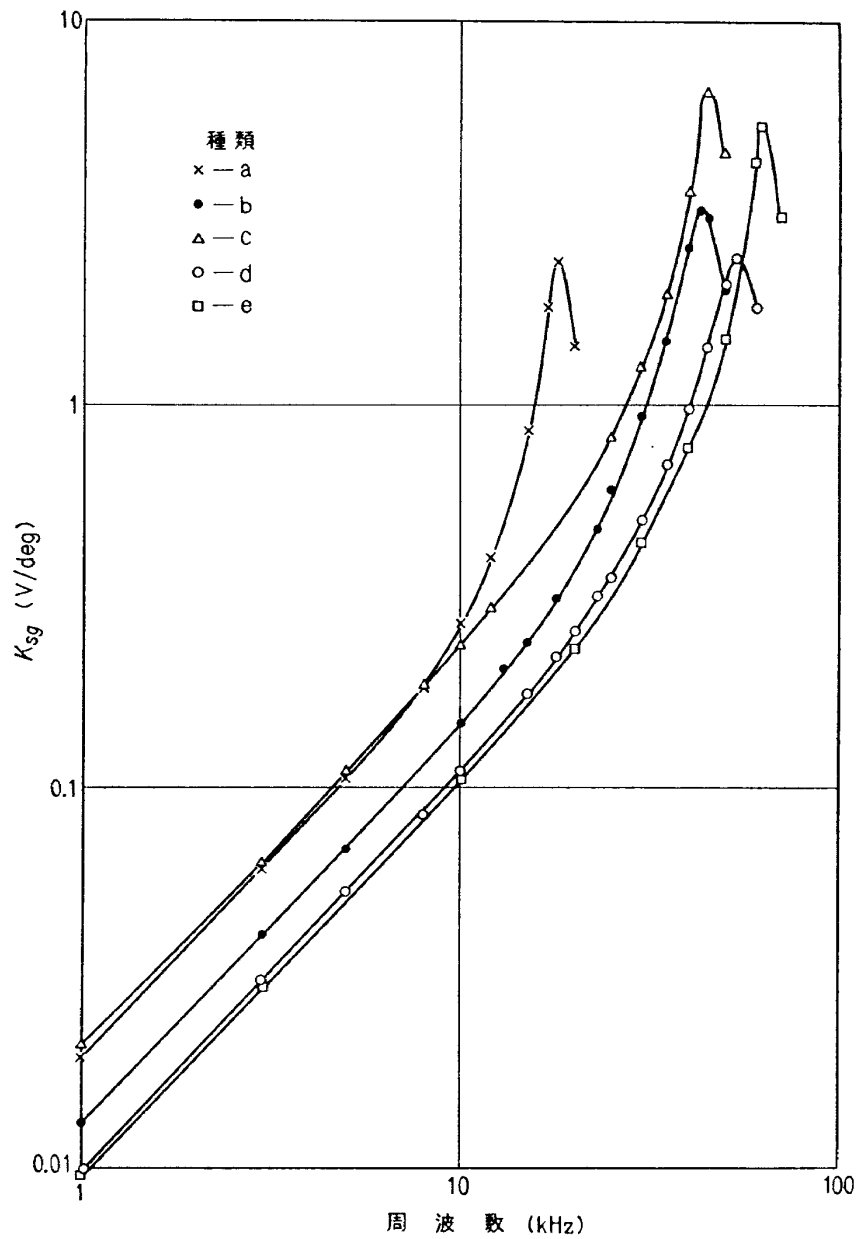
ここで実験に用いた SG の原型は当所において研究試作した浮動式 1 自由度積分ジャイロ（航技研ニュース No. 122, 1969-7 に紹介）に用いた信号発生器と同型のデュアルシン型回転角検出器^{注)}であり、その断面図を図 9 に示す。ロータおよびステータはパーマロイ (Mo; 4%, Ni; 79%) の成層（一枚の厚さ 0.15 mm×24枚）でできている。一次および二次巻線はステータの二つの極を一まとめにして図 9 のごとく巻いてある。

さて、ここで実験のために試作した SG は原型を含めて表 1 に示すとき 5 種類あり、これらについて行なった実験結果が図 8 である。3.1 節 (b) で述べたように必要な励磁周波数は 10 kHz 以上であったから、原発振に 24 kHz の水晶振動子を用い、原発振周波数を 1/2 に通降した 12 kHz で SG を励磁することとする。図 8 をみて原型 (a) では 12 kHz 付近の直線性がよくないが、改良型 b, c, d, e では直線性が改良された。この中で最も共振周波数を高められた型を選んで加速度計の SG に用いることとした。

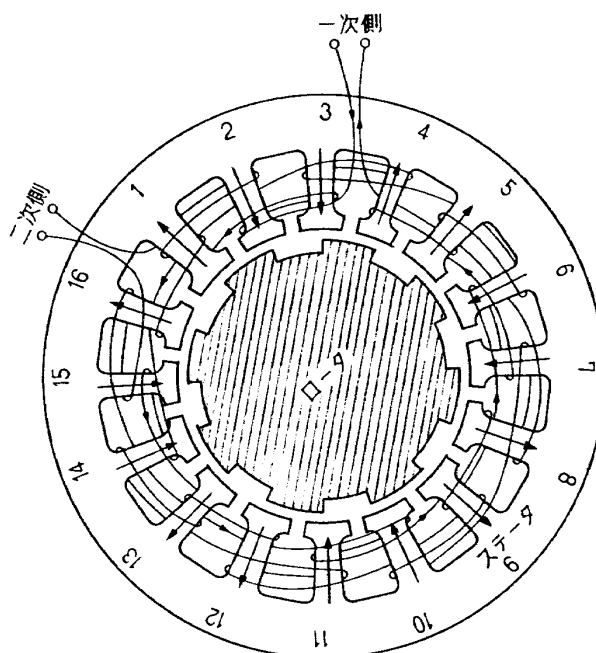
3.3.4 サーボ増幅器の特性

SG の励磁周波数を高められた結果、サーボ増幅器の特性を決定するローパスフィルタの特性を 3.1 節 (b) で要求されたとおりのものにすることができるようになった。ローパスフィルタは IC 化された DC アンプを用いた能動フィルタ⁸⁾で構成するのが、利得調整、入力インピーダンスの面から有利である。フィルタの回路は図 10 に示すとおりで、IC の利得を K とすれば、伝達関数は (3.9) 式で表わされる。

注) 回転角検出器に微小トルク発生器を組み合わせて 1 個にまとめたもの。参考文献 14) p. 58



↑
図 8 回転角検出器の感度 (K_{sg}) の励磁周波数に対する特性



← 図 9 デュアルシン型回転角検出器断面図 (回転角検出器の巻線のみ示す)

表 1 試作した SG の規格

規格 種類	一 次 巻 線	二 次 巻 線	共 振 周 波 数	励 磁 電 流
a (原型)	0.12 mmφ, 80回	0.06 mmφ, 210回	18 KHz	50 mA
b	0.12 mmφ, 40回	0.04 mmφ, 130回	43 KHz	10 mA
c	0.12 mmφ, 80回	0.07 mmφ, 130回	45 KHz	10 mA
d	0.12 mmφ, 100回	0.03 mmφ, 100回	53 KHz	5 mA
e	0.12 mmφ, 60回	0.10 mmφ, 80回	62 KHz	10 mA

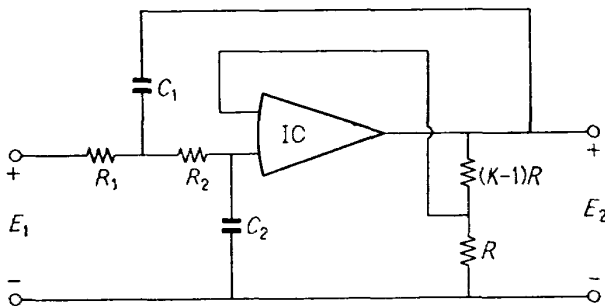


図 10 ローパスフィルタの回路

$$\frac{E_2}{E_1} =$$

$$\frac{K}{S^2 R_1 R_2 C_1 C_2 + s \{ (R_1 + R_2) C_2 + R_1 C_1 (1 - K) \} + 1} \quad (3.9)$$

ゆえにフィルタの固有振動数 f_{ni} , 減衰比 ζ_i は

$$f_{ni} = (R_1 R_2 C_1 C_2)^{-1/2} \quad (3.10)$$

$$\zeta_i = \frac{1}{2} \{ (R_1 + R_2) C_2 + R_1 C_1 (1 - K) \} (R_1 R_2 C_1 C_2)^{1/2} \quad (3.11)$$

3.1 節 (b) で述べたようにフィルタのカットオフ周波数 (D.C. における利得を 0dB としたとき, 利得

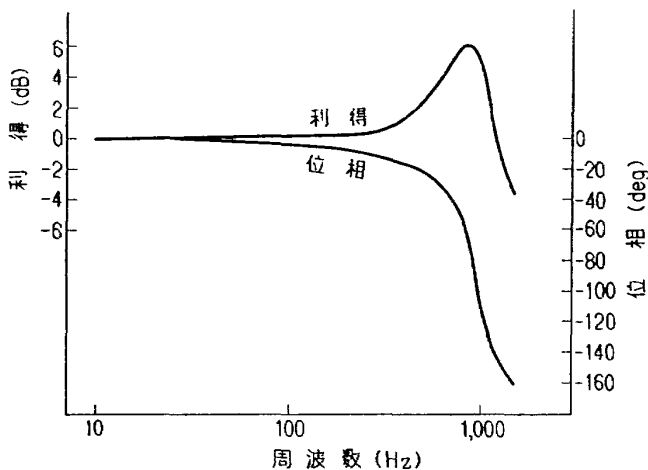


図 11 サーボ増幅器の周波数特性

が -3 dB になる周波数) は 1 KHz 以上を選ぶことが必要であったので, $f_{ni}=930$ Hz, $\zeta_i=0.25$ に設定した。 ζ_i を多少小さくしたのは, 位相特性を良くするためであり, この結果利得特性には小さなピークを生ずるが, このように高い周波数では加速度計の機構が応答しないので問題は生じない。図 11 はサーボ増幅器全体の周波数応答特性の実測値を示したものである。

4. 粘性油の動作温度

浮動振子型加速度計のジンバルとケースの間には, 高密度, 高粘度の液体を充満させ, ジンバルを液中に浮かせ, 出力軸受にかかる摩擦抵抗を極力小として分解能を高めるとともに, ジンバルが出力軸まわりに回

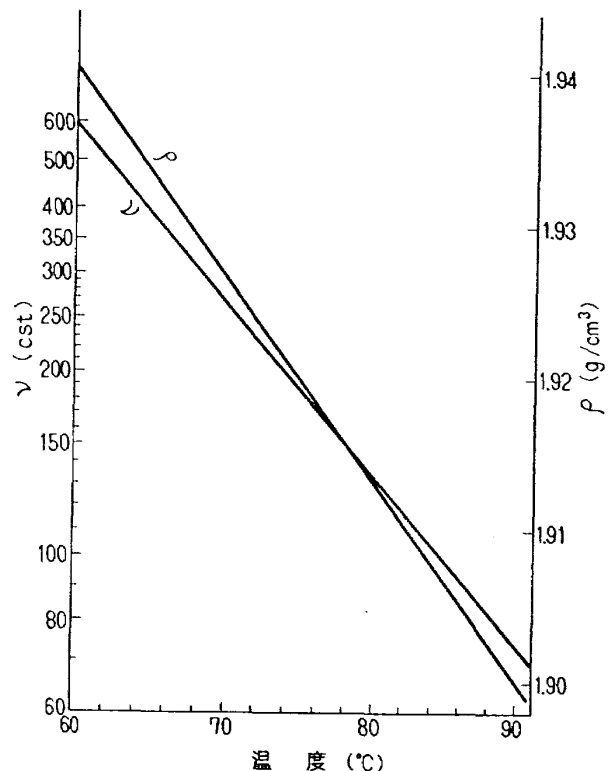


図 12 動粘性係数 (ν), 密度 (ρ) の温度特性

転しようとするとき粘性抵抗によってダンピングを与えるようにしてある。ここに用いる高密度、高粘度の液体（以下単に粘性油という）としては、化学的、物理的に安定な三弗化塩化エチレン低重合油（ダイキン工業 DAIFLOIL）を選んだ。この粘性油は動粘性係数 (ν) および密度 (ρ) が温度とともに図 12 のように変化する。われわれの加速度計では、ケース内にヒータ巻線および温度センサ用巻線を設け（図 26 参照）、ヒータ電流を制御することにより粘性油の温度をある一定値に保つことができる。したがって粘性油の温度を、常にジンバルの重さと浮力が釣り合うような温度に制御することにより高分解能が得られる。

一方動特性から考えると、油の粘性抵抗係数（温度による）に基づく系のダンピングが上記の温度で適当な大きさになっている必要がある。この場合、まず「高分解能」が得られる温度に設定した後、「ダンピング」はサーボ増幅器の利得にもよるので、利得調整により適当な大きさに設定することとした。

4.1 温度設定

出力軸受の摩擦抵抗を直接測定することはできないので、その代わりに加速度計を開ループにして出力軸まわりのヒステリシス（回転角）を粘性油の温度を変化させながら測定した。図13のように、加速度計の出

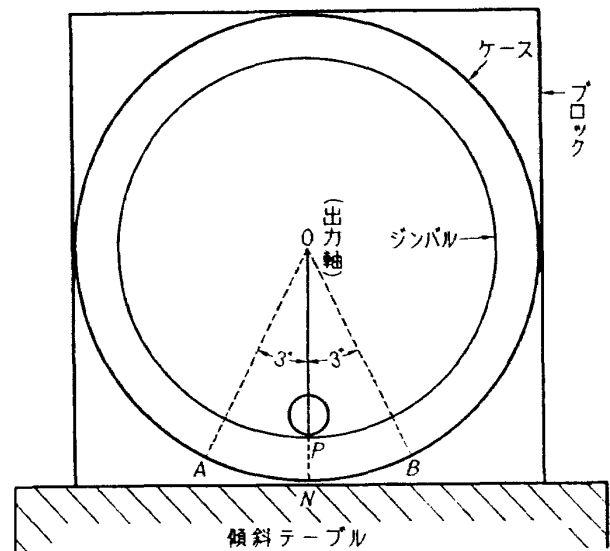


図 13 出力軸回りのヒステリシスの測定方法

力軸を水平にして傾斜テーブルの上にのせる。傾斜テーブルを出力軸と垂直な面内で回転させるとき、ペンデュラス軸 OP は常に下向きになるが、出力軸の摩擦抵抗により OP は必ずしも鉛直方向と一致しない。ケース上の基準線 $ON(0^\circ)$, $OA(-3^\circ)$, $OB(+3^\circ)$ を鉛直方向に合わせたとき、出力軸受の摩擦抵抗がなければジンバルの回転角は正しく 0° , -3° , $+3^\circ$ となるはずである。（ジンバルの回転角は SG の出力電圧か

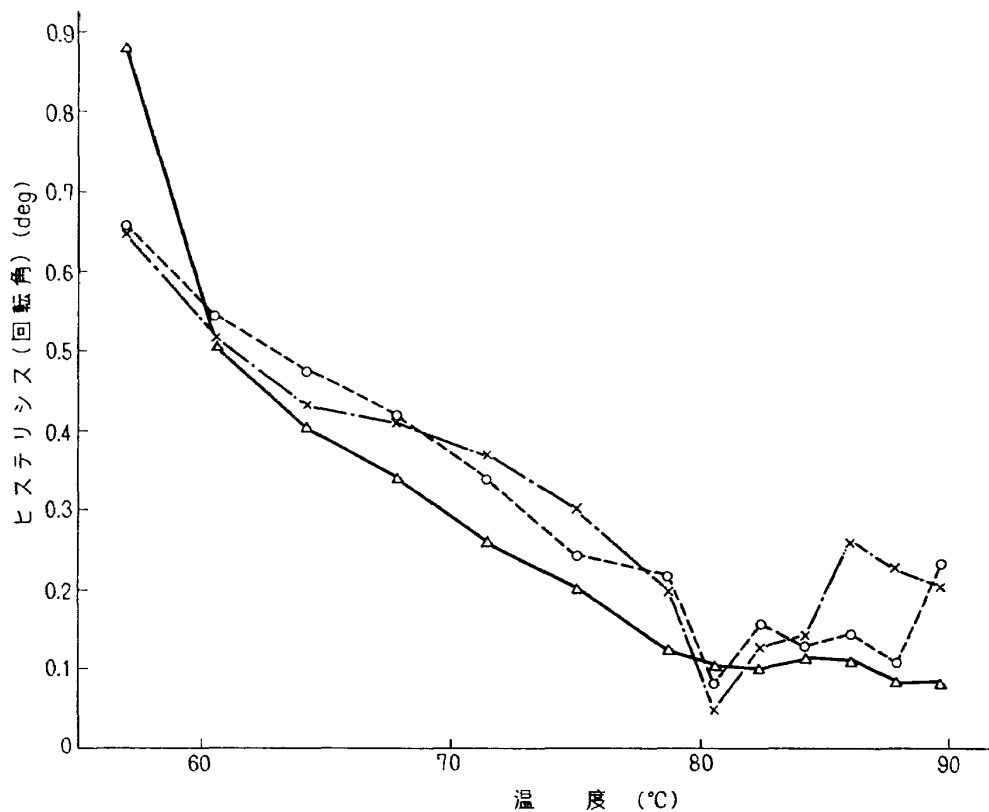


図 14 出力軸のヒステリシスと粘性油の温度の関係
ケースの設定角 -3° (×), 0° (○), $+3^\circ$ (△) におけるヒステリシス

ら知ることができる。)しかし実際はこういうことにはならないで、例えば ON を鉛直方向に合わせるとき、ケースを時計方向に回転させて合わせた場合と反時計回りに回転させて合わせた場合、ジンバルの位置(回転角)は違って来る。したがってこのジンバル位置の違い、すなわち回転角の差(ヒステリシス)を3個所(OPとONの作る角度が 0° , -3° , $+3^\circ$ の位置)で測定した結果を図14に示す。図14が示すようにヒステリシスは粘性油の温度で変わり、温度が高いところおよび低いところでは大きく、中間の温度(80.7°C)で最小になった。低い温度では浮力がジンバルの重さより大きく、出力軸を上向きに押し上げるため、また高い温度では浮力よりジンバルの重さが大きくジンバルの重さの一部が出力軸受にかかるため、ヒステリシスが大となると考えられる。ゆえにこの加速度計では粘性油の温度を 80.7°C に設定することにより高分解能の得られることが期待される。

4.2 分解能が最良となる温度における系のダンピング

上記温度における浮動用粘性油の動粘性係数および密度は図12より求め、計算式⁹⁾に加速度計の諸元を代入して計算した粘性抵抗係数(理論値)を図15に示す。図15には系の開ループ特性(後述5.1節)から求めた実験値も併わせて示してある。図15が示すように理論値は実験値より若干小さくなっているが、この理由としては次の二つが考えられる。

(a) 理論計算では SG, TG の取り付けられている

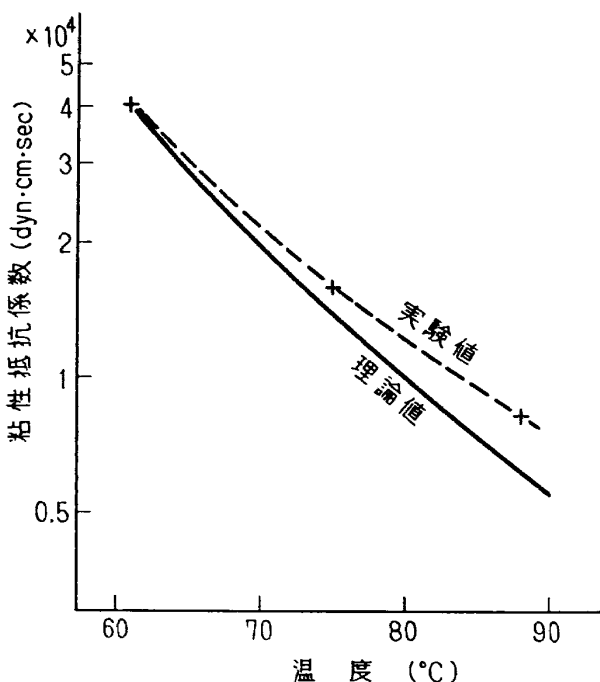


図15 粘性抵抗係数の温度による変化

ジンバルの左右両端部の粘性抵抗を無視した。

(b) ジンバルが回転するとき、可動コイル永久磁石型 TG は電磁気的なダンピング力を発生するがこれを無視した。可動コイル—永久磁石型 TG では、可動コイルを巻くボビン(材料はアルミニウムで導電性がある)が永久磁石で作られる磁束の中を動くから、ボビンの中には渦電流が流れ、このエネルギーは熱となって消散する。しかし、(a), (b) ともに概算ではその値が数百 $\text{dyn}\cdot\text{cm}\cdot\text{sec}$ と小さい。また図15では右へ行くほど二つの曲線は開くようにみえるが、これは半対数方眼紙に曲線を書いたためであって、二曲線の差はほぼ一定である。

4.1節で求めた高分解能を与える粘度油の温度 80.7°C における粘性抵抗係数 $11500 \text{ dyn}\cdot\text{cm}\cdot\text{sec}$ (実験値)に対して、系のダンピングを0.7にするサーボ系の利得を求める。

(3.4)式において、 $C=11500 \text{ dyn}\cdot\text{cm}\cdot\text{sec}$, $J=37.8 \text{ gr}\cdot\text{cm}^2$ (実測値)に対して、 $\zeta=0.7$ を与えるサーボ系の利得 $K(s)$ は $1.75 \times 10^6 \text{ dyn}\cdot\text{cm}/\text{rad}$ とする。(3.2)式により、サーボ増幅器の利得 $G_a(s)$ は $G_a(s)=K(s)/(K_{t\theta}K_{sg})=1.25 \times 10^3 \text{ mA}/\text{V}$, すなわちサーボ増幅器の利得をこの値に設定すれば良い。 $(K_{t\theta}, K_{sg})$ の値については表2参照のこと)なお、この時、 $\omega_n=215 \text{ rad}/\text{sec}$, $f_n=34.2 \text{ Hz}$ となる。

4.3 温度変化の影響

粘性油の温度は連続比例制御されており、その温度変動は高々 0.05°C 程度と推定されるが、今仮りに、 $80.7^\circ\text{C} \pm 0.1^\circ\text{C}$ の変動があるものとして、加速度計の特性にどのような影響があるかを考えてみる。

まず静特性については、図14より $80.7^\circ\text{C} \pm 0.1^\circ\text{C}$ では、出力軸のまさつ抵抗にあまり変化はなく、したがって分解能もあまり変わらないものと思われる。

次に動特性については、固有振動数は原理的に変化しないが、粘性抵抗係数 C は

$$C=2\pi\rho\nu r^3 l/dx^9)$$

であり、 ρ, ν は温度により変化するから

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{2\pi r^3 l}{dx} \left(\nu \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \frac{\partial \nu}{\partial t} \right)$$

図10をみて、 $\frac{\partial \rho}{\partial t} \approx 0$, また 80.7°C では、 $\nu=125 \text{ Cst}$, $\frac{\partial \nu}{\partial t} = -7.5 \text{ Cst}/^\circ\text{C}$ であるから、 $80.7^\circ\text{C} \pm 0.1^\circ\text{C}$ にて

$$\Delta C = C \times \frac{\mp 7.5}{125}$$

$$\frac{\Delta C}{C} = \pm 6 \times 10^{-3}$$

ゆえに、減衰係数 ζ は $80.7^\circ\text{C} \pm 0.1^\circ\text{C}$ に対して、

$$\zeta = 0.7 \pm 0.042$$

となり、動特性の変化も少ない。

5. 特性実験

5.1 実験方法

(1) 系の開ループ特性

加速度計の機構が計画どおりであるかを確認し、併わせて粘性抵抗係数を実験的に求めるため、加速度計の開ループ特性を実験により求めた。

サーボ増幅器から TG にフィードバックする信号系統 (図 1 の \times 印点 A) を切断し、低周波発振器を TG 側に接続し、TG に一定の電流を供給する時 SG, の出力 (e_{sg}) またはサーボ増幅器の出力電流を電圧に変換した出力 (e_0) を測定する、発振器の周波数を変化させ、出力電圧および位相について、動作温度を 3 とおりにかけて測定した。

(2) 分解能

パーニアで最小目盛 2 秒まで読める精密傾斜台 (西独 Leitz 社製) に加速度計を取り付け鉛直面内で傾斜させ、重力加速度の分力を与えて分解能を調べた。

(3) 直線性

1g 以下は (2) と同じ方法で、1g 以上は遠心式加速度試験機で調べた。

(4) 零点のドリフト

加速度計の電源スイッチ投入後 12 分経過後の零

点の変動を入力零の状態で測定した。

5.2 実験結果および考察

前述のような方法で試作した加速度計について実験を行ない、図 16, 17, 18, 19, 20, 21 の特性を得た。

図 16 および図 17 はそれぞれ e_{sg} の利得および位相特性を示す。サーボ増幅器の特性は図 11 に示した

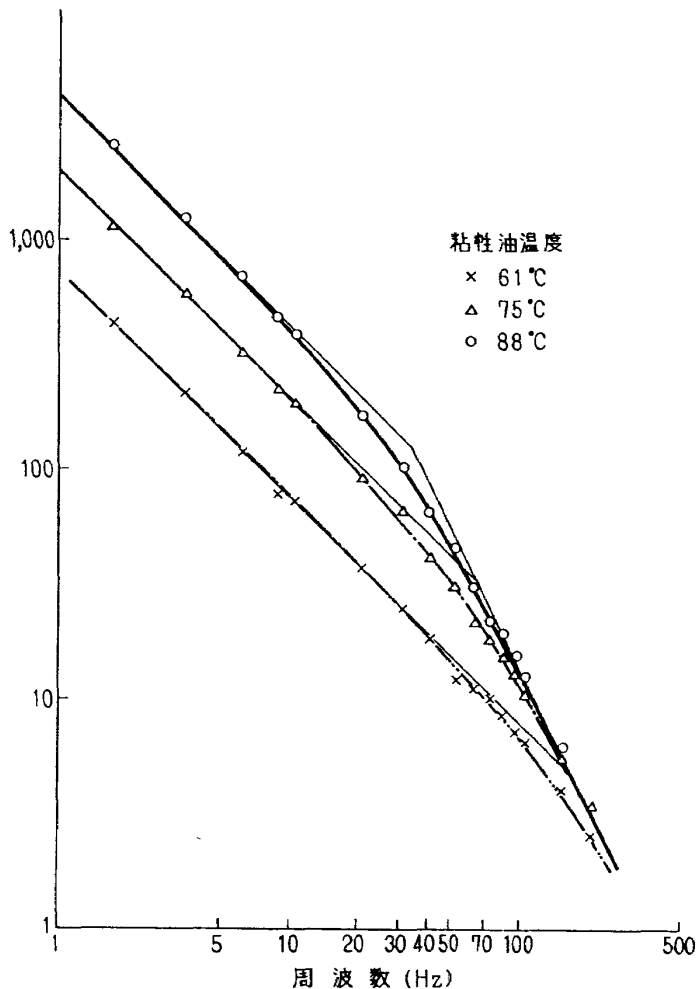


図 16 利得特性 (開ループ)

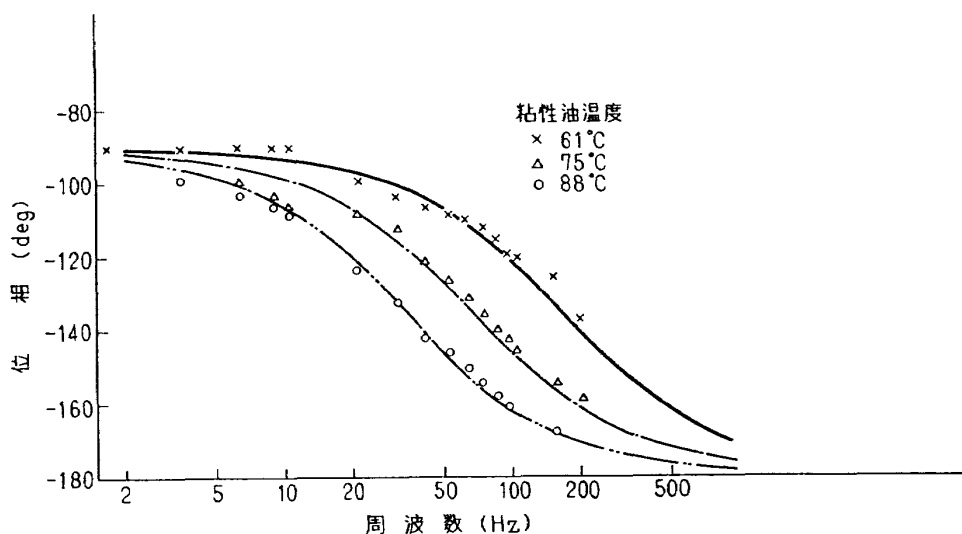


図 17 位相特性 (開ループ)

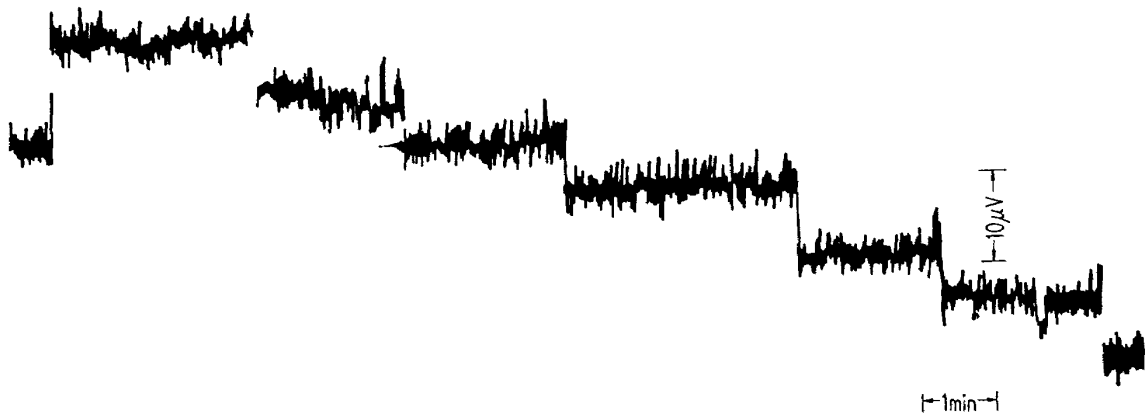


図 18 分解能試験

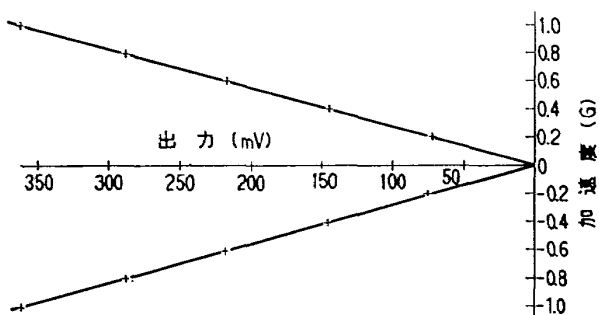


図 19 入出力特性 (1)

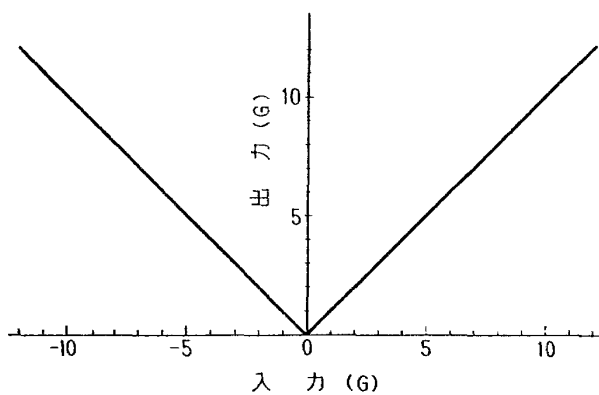


図 20 入出力特性 (2)

ごとくすぐれているので、 e_0 の特性は e_{sg} の特性とほとんど一致した。したがって e_0 の特性図は省略する。

図16にみるごとく、低周波領域では粘性項（温度による）が優勢であり、高周波領域では慣性項（温度によらない）が優勢である。利得は、低周波領域で -6 dB/oct. 高周波領域で -12 dB/oct. と理論どおりの特性になった。粘性項と慣性項が等しくなる周波数すなわち折れ点周波数 f_B を読み取って、粘性抵抗係数（実験値）を求めた。折れ点においては $J\omega_B^2 = C\omega_B^2$ であるから、 $C = 2\pi f_B J$ のように求まる。このようにして求めた粘性抵抗係数は図15に示してある。

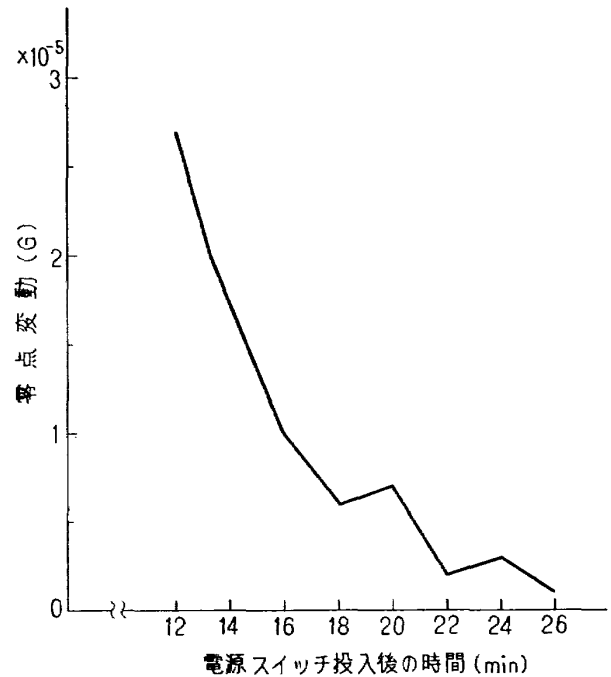


図 21 零点の安定経過

図 17 の位相特性も理論通りとなり、この場合の折れ点（位相角が -135 度になる周波数）は利得特性の場合の折れ点（図 16）とよく一致した。

図18において、各ステップは加速度計をのせた精密傾斜台を 4 秒 ($2 \times 10^{-5} g$) ずつ段階的に傾けた時の加速度計の出力電圧（TG に流れる電流を 50Ω の精密抵抗でドロップさせ、そこに生じた電圧）を記録したものである。分解能は $2 \times 10^{-5} g$ 以上あるものと思われる^注。なお各ステップの上ののっている振動成分は地面振動の影響¹⁰⁾と思われる。

注) $2 \times 10^{-5} g$ を検出するとき、ジンバルに働くトルクは $1.04 \times 2 \times 10^{-5} \times 980 = 0.02 \text{ dyne} \cdot \text{cm.}$ 片手を太陽光線に向けた時受ける solar radiation による力が約 0.01 dyne であること¹³⁾を知る時、 $2 \times 10^{-5} g$ の小ささがわかる。

図19は $0 \sim \pm 1g$ までの入出力特性である。この範囲で、加速度計の出力と傾斜台の傾き角から計算した入力を比較したところ、最大誤差の絶対値は $2.24 \times 10^{-3}g$ であった。したがって、フルスケール ($12g$) に対する直線性は 0.019% である。

図20は ($1 \sim 12$) g までの入出力特性を示す。環境試験用遠心式加速度試験機¹⁹⁾を用いたので高精度な測定は望めないが、グラフが示すように $\pm 12g$ までは直線性良好である。

図21は零点の安定経過を示す。電源投入後12分経過すると零点変動が減少し、22分以後は $0.3 \times 10^{-5}g$ ときわめて小さくなることを示す。

6. 結 言

以上のようにして得た試作加速計の性能諸元を表2に示す。比較する意味で第1次試作のものも併せて記載した。

結論として、

(1) 測定範囲および分解能共に第1次試作に比し著しい向上をみた。これは主として、高精度 TG の採用とペンデュラスティ P を小とし得たためである。TG の最大トルクはあまり変わらず、 P を約 $1/5$ にし得たので測定範囲は5倍まで拡大できるはずであるが、サーボ増幅器の直線性の良い範囲で作動させることとし、上限を $\pm 12g$ とした。

(2) SG の励磁周波数を高めた結果、SG の感度

向上ならびにサーボ増幅器の特性向上ができた。

(3) 慣性能率を小さくできたことおよび(2)により系の固有振動数を高められた。

(4) 以上の他に若干ではあるが、小型化、軽量化ができた。

今後の問題としては、

(5) 直線性の向上。すなわち分解能は $2 \times 10^{-5}g$ あるにもかかわらず、 $0 \sim \pm 1g$ に対して $2.24 \times 10^{-3}g$ の誤差は大きい。この原因としては次のことが考えられる。

(a) 測定時間が長いので、地面振動などの外乱を受ける。

(b) ジンバルは浮動となっているが、軸受の必然的なクリアランスによるガタが存在し、不確実トルクを生ずる。

(6) (5)―(a) に対しては防振などを考慮した実験室¹¹⁾内で測定することが必要となる。(5)―(b) に対しては、電磁力を応用した軸受を採用し、出力軸の変動を極力強制することが必要となる。

(7) $0 \sim \pm 1g$ までは精密傾斜台で測れるが、 $1g$ 以上を精密に測定するための装置が必要である。

最後に、本研究に関し有益な助言をいただいた計測部 樋口一雄部長、また製作に当たってご協力いただいた日本航空電子工業(株)の秋田技師長ならびにジャイロ課山田興、田島三千男、中神浩一諸氏に感謝する次第である。

表 2 試作加速度計の代表的諸元

	単 位	二 次 試 作	一 次 試 作
加 速 度 測 定 範 囲	g	± 12	± 4
分 解 能	g	2×10^{-5}	1×10^{-3}
ペンデュラスティ	$gr \cdot cm$	1.04	5.02
ジンバルの慣性能率	$gr \cdot cm^2$	37.8	57.8
SG 粘性抵抗係数	$dyn \cdot cm, sec$	1.15×10^4	1.0×10^4
SG 励磁周波数	Hz	12000	400
SG の 感 度	V/rad	9.91	5.05
TG の 感 度	$dyn \cdot cm/mA$	141	541
TG の 最 大 ト ル ク	$dyn \cdot cm$	2.12×10^4	2.12×10^4
増 幅 器 の 利 得	mA/V	0~8050	0~1100
エラスティック・リストレイント定数	$dyn \cdot cm/rad$	$0 \sim 1.12 \times 10^7$	$0 \sim 3.0 \times 10^6$
出 力 感 度	mV/g	362	497
直 線 性	%	0.02	0.025
固 有 振 動 数	Hz	34($\zeta=0.7$)	19
外 形 寸 法	mm	$62\phi \times 65$	$72\phi \times 104$
重 量	g	480	654

参 考 文 献

- 1) E.O. Doebelin; Measurement Systems: Application and Design (1966) pp. 101—304, McGraw-Hill
- 2) 田畑浄治, 大月正男, 鈴木孝雄, 秋田千秋, 堀内禧次; 浮動式1自由度広角度積分ジャイロの開発について, 昭43和年度精機学会春季大会学術講演会前刷 p. 311
- 3) 大月正男, 鈴木孝雄, 円居繁治; 浮動振子型加速度計の試作, 船技研資料, TM-147, Nov., 1968
- 4) P.H. Savet; Gyroscopes: Theory and Design (1961) p.p. 340-344, McGraw-Hill
- 5) 田畑浄治, 大月正男, 鈴木孝雄, 秋田千秋, 堀内禧次, 小島雅夫; 浮動式1自由度広角度積分ジャイロの研究, 第12回宇宙科学技術講演会・講演集, 昭和44年1月, p. 124
- 6) R.J. Mayhue; NASA ST-1 Flight-Test Results and Analyses, Launch Operations, and Test Vehicle Description, NASA TND-1240 (1962/6) pp. 178-179
- 7) 4) に同じ, p. 334
- 8) BURR-BROWN; HANDBOOK OF OPERATIONAL AMPLIFIER, ACTIVE RC NETWORKS, p. 80
- 9) 3) に同じ, p. 11 付録 2
- 10) E.J. Douze and J.D. Kerr; The Acceleration Environment Obtainable in Deep Holes, AIAA/AON Guidance and Control Conference (1965/8) pp. 360-365
- 11) W.M. Weil, W.E. Sroed and R.M. Barrows; Description of an Inertial Test Facility Located 1,100 feet below the Surface of the Earth, AIAA Guidance, Control and Flight Dynamics Conference (1967/8) AIAA Paper No. 67-538, pp. 1-11
- 12) 大月正男, 鈴木孝雄, 田畑浄治, 円居繁治; 搭載機器用環境試験装置の特性, 航技研資料, TM-99, Feb., 1967, pp. 35-40
- 13) J.M. SLATER and D.E. WILCOX; How Precise are Inertial Components? Control Engineering, 1958, July, p. 87
- 14) M. Fernandez and G.R. Macomber; Inertial Guidance Engineering (1962) Prentice-Hall, Inc.

付 録

浮動振子型加速度計の機構

(1) 加速度計の外観写真および断面図(原寸)をそれぞれ図 22 および図 23 (一次試作), 図24 (二次試作) に示す。一次試作にくらべ二次試作では全体とし

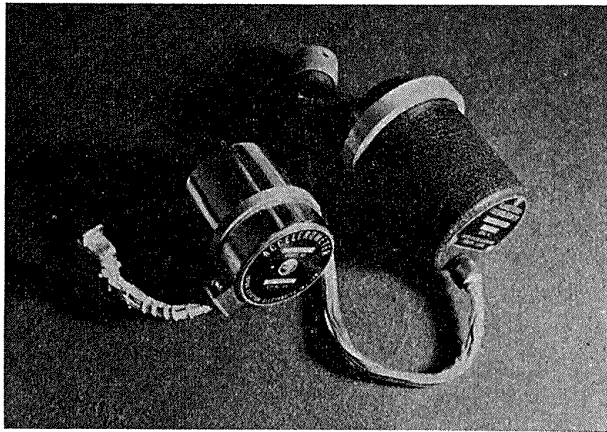


図 22 加速度計外観写真 (右側 一次試作, 左側二次試作)

て, 小型, 軽量にできた。これはジンバル(フロート)が小型化できたことによる。また, 浮動用粘性油の量も少なくでき, 粘性油の温度上昇による膨張をにげるためのベローズも 1 ケで足りた。

(2) 以下に示す写真は全て二次試作のものである。図 25 の左側はデュアルシン・ステータ, 右側はデュアルシン・ロータおよびトルク発生器可動コイルをもつフロート・ジンバルで, これらは図 26 に示すハウジング(ケース)内に入る。ハウジングの外側の巻線はヒーターおよび温度センサである。ハウジングの右端には図 27 に示す永久磁石による磁気回路(4 極)があり, ジンバル右側の可動コイルが磁極間の溝に入る。ハウジングの左端は, 図 28 に示すベローズでふたをする。

(3) 宝石軸受は図 29 に示すとおりで, 極めて工作精度が高い。軸受中央部における軸受とピボット間のクリアランスは $(1 \pm 0.5) \mu$ となっている。

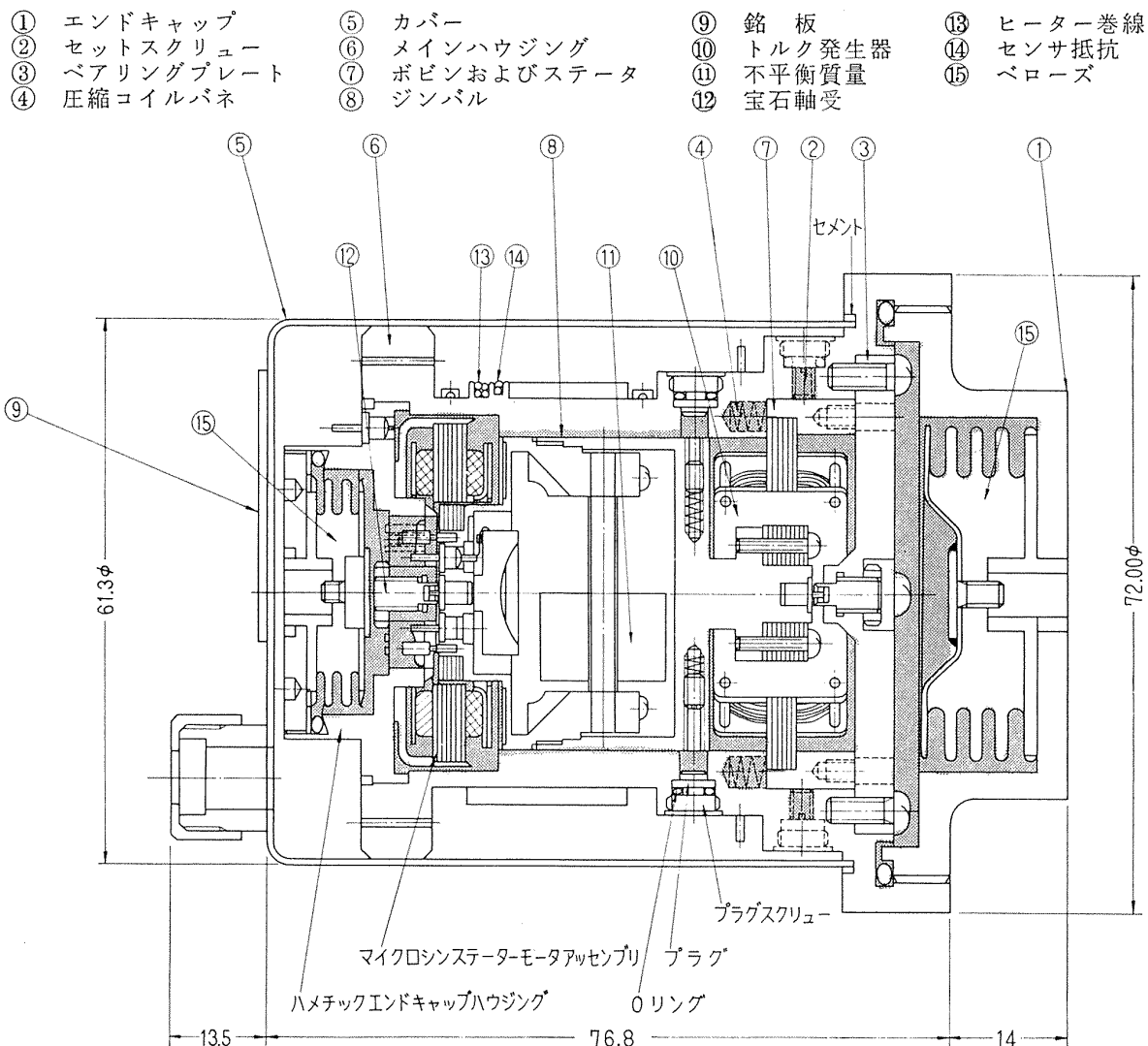


図 23 断面図 (一次試作), 原寸

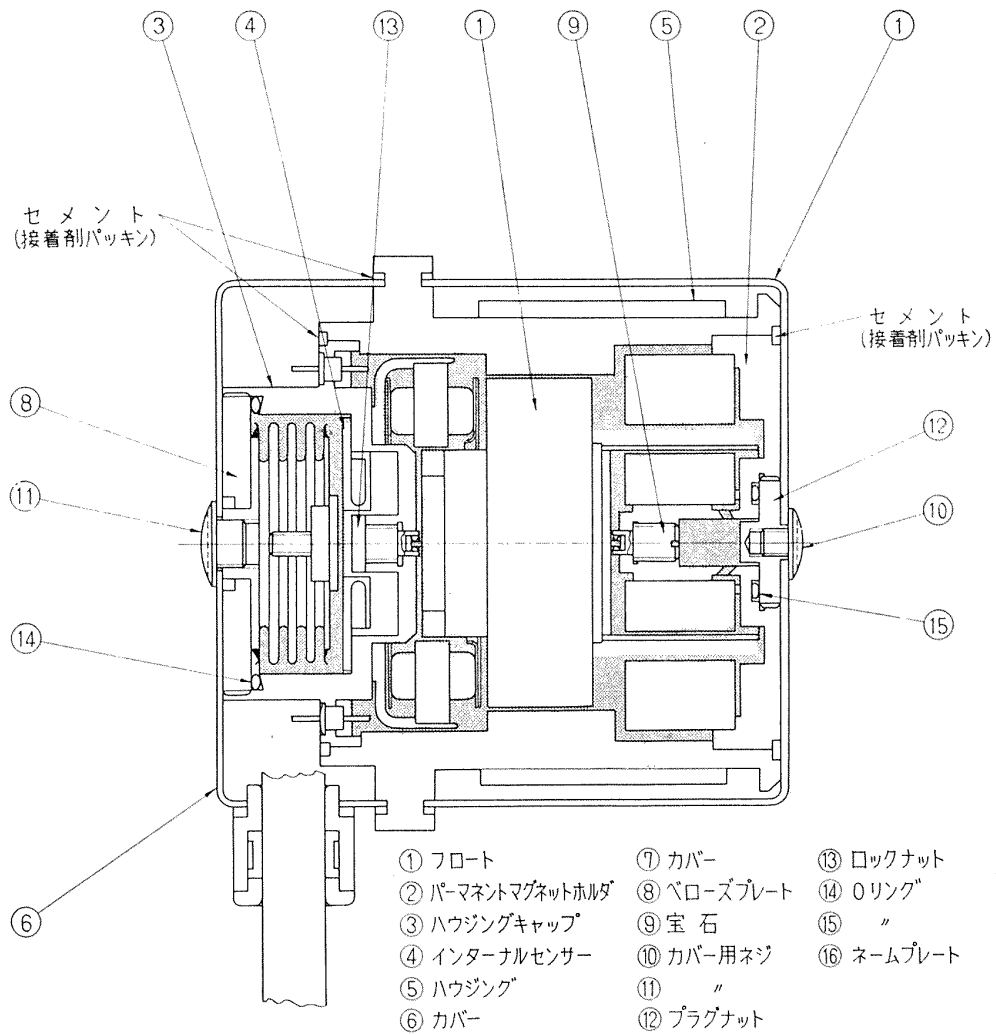


図 24 断面図 (二次試作) 原寸

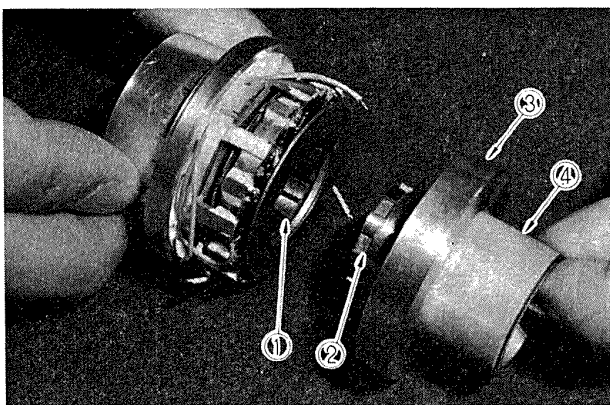


図 25 デュアルシン ステータ①, デュアルシン ロータ②, フロート③, 可動コイル④

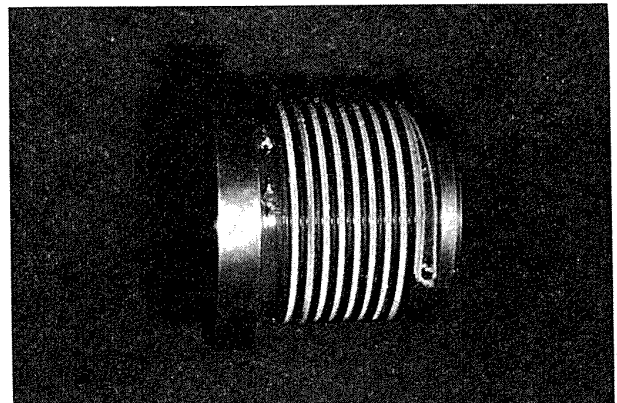


図 26 ハウジング 巻線はヒータ(白), およびセンサ(黒)

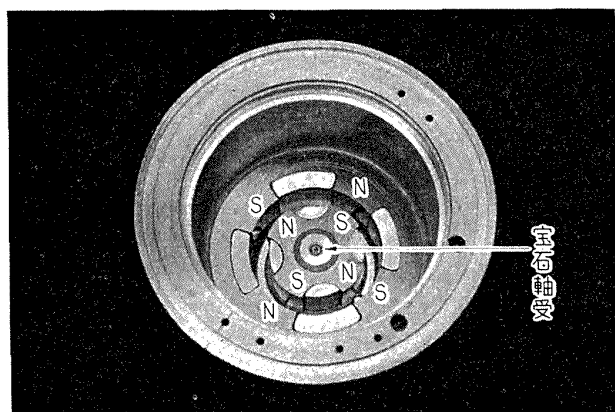


図 27 ハウジングの底に見える永久磁石（4極）



図 28 ペローズ

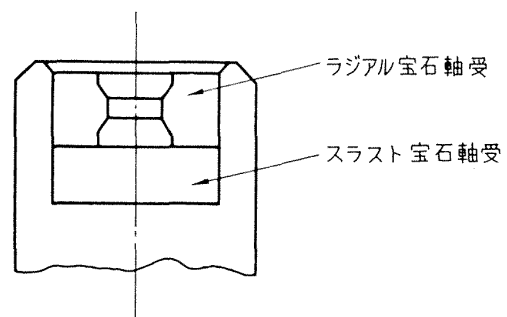


図 29 宝石軸受

既 刊 報 告

- | | | | |
|-------|---|-------------|----------------------------|
| TR-1 | 遷音速風洞測定部に関する予備実験
Preliminary Investigation of N. A. L. Transonic Wind-Tunnel Test-Section | 1960 年 2 月 | 平 木 一, 石井孝雄
大島信彦 |
| TR-2 | 遷音速風洞用 22.5 MW 主送風機
I. 模型送風機による性能試験
22.5 MW Main Blower for N. A. L. Transonic Wind Tunnel
I. Performance Test of the Model Blower | 1960 年 5 月 | 山内正男, 松木正勝
塩入淳平, 富永守之 |
| TR-3 | 風洞用角度計の試作実験
An Experiment on Angle Measuring Instruments of Airplane Models in Wind Tunnel Test | 1960 年 8 月 | 小橋安次郎, 長洲秀夫
高島一明, 波木井 潔 |
| TR-4 | 回転円板の強度
Strength of Rotating Discs | 1960 年 9 月 | 佐藤和郎, 永井文雄 |
| TR-5 | 航空技術研究所 (60cm×60cm) 遷音速フラッタ試験設備の計画と整備試験
Design and Development of N.A.L. 60cm×60cm Transonic Blowdown Wind Tunnel for Flutter Testing | 1960 年 12 月 | 中井暎一, 橋爪 宏
中村泰治 |
| TR-6 | 高温歪ゲージの温度特性
Temperature Characteristics of High Temperature Strain Gage | 1960 年 12 月 | 竹中幸彦 |
| TR-7 | 遷音速風洞の測定部
On the Transonic Test Section | 1961 年 1 月 | 村崎寿満 |
| TR-8 | 繰返し荷重試験装置の予備試験
Preliminary Study for Development of Repeated Load Testing Rigs for Full-Scale Aircraft Structures | 1961 年 3 月 | 竹内和之, 飯田宗四郎 |
| TR-9 | 遷音速流小擾乱理論の研究 (I)
—非線形補正理論—
Studies on the Small Disturbance Theory of Transonic Flow (I)
—Non-Linear Correction Theory— | 1961 年 3 月 | 細川 巖 |
| TR-10 | 喰違い角の大きい減速翼列の研究
Cascade Tests of High Stagger Compressor Blades | 1961 年 3 月 | 松木正勝, 高原北雄
西脇英夫, 森田光男 |
| TR-11 | 軟鋼円板の回転による降伏
Yielding of Rotating Discs of Mild Steel | 1961 年 4 月 | 佐藤和郎, 永井文雄 |
| TR-12 | 薄肉開断面梁の自由振動について
On the Natural Vibration of Thin-Walled Beams of Open Cross Section | 1961 年 5 月 | 川井忠彦, 埴 武敏 |
| TR-13 | 衝撃波と境界層の干渉についての実験的研究
Experimental Results of the Interaction between Shock Wave and Turbulent Boundary Layer | 1961 年 7 月 | 須郷道也, 伝田幸雄 |
| TR-14 | 電磁流体の圧縮性境界層
On Compressible Boundary Layer in Magnetodynamics | 1961 年 7 月 | 須郷道也, 小沢五郎 |
| TR-15 | 振動翼用圧力ピックアップの試作・校正
Miniature Pressure Pickups for Measuring the Pressure on Oscillating Airfoils in Supersonic Flow | 1961 年 8 月 | 石井孝雄, 柳沢三憲 |
| TR-16 | 放物型偏微分方程式の混合境界値問題の差分法による数値解法
On the Difference Method Solutions of the Mixed Boundary Value Problems of Parabolic Partial Differential Equations | 1961 年 12 月 | 樋口一雄, 三好 甫 |
| TR-17 | 荷電ビームによる気流密度測定の理論的考察
A Theoretical Comment on the Charge-Beam Method of Measuring Gas Density | 1961 年 12 月 | 和田 勇, 細川 巖
三好 甫 |

TR-18	前置静翼翼列と喰違い角の大きい減速翼列の二次 元低速翼列性能と回転翼列性能との比較 Comparison of Inlet Guide Vane and High Stagger Compressor Blande Performance in a Rotor and in Cascade	1961 年 11 月	松 木 正 勝
TR-19	高速翼車の回転強度 Strength of High-Speed Rotor	1961 年 12 月	佐 藤 和 郎, 永 井 文 雄
TR-20	Blasius 型微分方程式の両側無限遠境界値問題の 数値解法 A Numerical Method for Solving Blasius' Type Differential Equation	1962 年 1 月	樋 口 一 雄, 戸 川 隼 人
TR-21	還音速における二次元操縦面の研究 (I) An Investigation of Two-dimensional Control Surface at Transonic Speed (I)	1962 年 1 月	神 谷 信 彦
TR-22	変断面梁の曲げ自由振動について On the Free Lateral Vibration of a Beam with Variable Cross Section	1962 年 2 月	川 井 忠 彦, 戸 川 隼 人 林 洋 一
TR-23	いくつかの型の偏微分方程式の境界値問題のモン テカルロ法による解法とその実験 Monte Carlo Solutions of the Boundary Value Problems for Some Types of Partial Differ- ential Equations	1962 年 2 月	樋 口 一 雄, 高 橋 利 之 鳥 海 良 三
TR-24	航空技術研究所のターボ・ジェットエンジン要素 試験設備 Test Facilities of Turbo-Jet Engine Components at N.A.L.	1962 年 2 月	航空技術研究所原動機部
TR-25	航空技術研究所 2m×2m 還音速風洞の計画と構 造 Design and Construction of the 2m×2m Transonic Wind Tunnel at the National Aeronautical Laboratory	1962 年 3 月	航空技術研究所
TR-26	吹出式超音速風洞のノズルの予備実験 Preliminary Tests of Supersonic Nozzles for the Supersonic Blowdown Wind Tunnel	1962 年 3 月	河 崎 俊 夫, 岡 部 祐 二 郎 尾 形 吉 和, 安 藤 尚
TR-27	非定常還音速流の近似解析 An Approximate Analysis for Unsteady Tran- sonic Flow	1962 年 7 月	細 川 巖, 三 好 甫
TR-9T	Studies on the Small Disturbance Theory of Transonic Flow (I) —Nonlinear Correction Theory—	July 1962	Iwao HOSOKAWA
TR-28	疲労亀裂について On Fatigue Cracks	1962 年 8 月	竹 中 幸 彦
TR-29	1m×1m 吹出式超音速風洞の計画と構造 On the Design and Construction of the 1m× 1m Supersonic Blow-down Wind Tunnel	1962 年 10 月	空 気 力 学 第 二 部
TR-30	平板翼の振動について On the Natural Vibration of Plate-Like Wings	1962 年 10 月	川 井 忠 彦, 堀 武 敏 戸 川 隼 人, 高 橋 利 之 越 出 慎 一
TR-31	熱応力を受ける薄翼の安定とその微小捩り振動に ついて On the Instability and Small Natural Torsional Vibration of a Thin Wing under Thermal Stress	1962 年 11 月	川 井 忠 彦, 林 洋 一 戸 川 隼 人
TR-32	補強板の圧縮強度に関する一解析 A Method of Analysis on the Compressive Strength of Stiffened Plates	1962 年 11 月	川 井 忠 彦, 江 川 幸 一
TR-33	主翼繰返し荷重試験装置 Repeated Load Testing Rigs for Full-Scale Aircraft Wing Structures	1962 年 12 月	竹 内 和 之, 飯 田 宗 四 郎 小 野 幸 一

- TR-34 高速軸流圧縮機の研究 (I)
—翼型と翼列の検討—
An Investigation of High Speed Axial Flow Compressor (I)
—The Selection of Compressor Cascade—
1963 年 1 月 松木正勝, 大山耕一
宮地敏雄
- TR-35 高速軸流圧縮機の研究 (II)
—単段試験装置の設計と全体性能—
An Investigation of High Speed Axial Flow Compressor (II)
—Design and Over-all Performance of a Single Stage Axial Flow Compressor—
1963 年 1 月 松木正勝, 宮地敏雄
大山耕一, 吉田晃
西脇英夫, 岩部柱相
- TR-36 衝撃波風洞による表面熱伝達の実体
Studies of Surface Heat Transfer Using a Hypersonic Shock Tunnel
1963 年 1 月 和田 勇, 松崎利一
- TR-37T Studies of the Flow in a Low Pressure Hypersonic Shock Tunnel Using an Electron-Beam Densitometer
Jan. 1963 Isamu WADA
- TR-38 鋳鉄のような脆性材料からなる円板の回転強度
Strength of Rotating Discs of Brittle Material Like Cast Iron
1963 年 1 月 佐藤和郎, 永井文雄
- TR-39 高負荷燃焼器の研究 (第1報)
—その性能におよぼす各種因子の影響の定性的考察—
A Study of High Intensity Combustor (I)
—Its Qualitative Analysis—
1963 年 2 月 大塚貞吉, 鈴木邦男
- TR-40 胴体内圧繰返し荷重試験装置について
Repeated Load Testing Facility for Full-Scale Aircraft Fuselage Structures
1963 年 2 月 竹内和之, 川島矩郎
野原利雄
- TR-41 輻射熱量計の較正
Calibration of Radiometer
1963 年 2 月 竹中幸彦, 江川幸一
小川敏一
- TR-42 非定常境界層の相似解とその安定
A Similar Solution of Unsteady Laminar Boundary Layer and Its Stability Characteristics
1963 年 7 月 小橋安次郎, 恩地 瑛
- TR-43 超音速における操縦面の効きについて
On the Effectiveness of Control Surfaces in Supersonic Flow
1963 年 2 月 河崎俊夫
- TR-44 高速翼列の実験について
(流入角の大きい減速翼列の予備実験)
Some Notes about the Effect of Tunnel Configuration and Testing Technique on Compressor Cascade Performance
1963 年 2 月 近藤 博, 養田光弘
坂口 一, 山崎紀雄
- TR-45 固有値問題 ($\sum \lambda^k A_k$) $x=0$ の数値解法
A Numerical Method for the Eigenvalue Problem ($\sum \lambda^k A_k$) $x=0$
1963 年 4 月 戸川隼人
- TR-46 翼の固有振動数に関する一解析法
On the Vibration Analysis of Aircraft Wings
1963 年 6 月 川井忠彦, 泉 日出夫
戸川隼人, 林 洋一
- TR-47 鋳鉄円板の回転破壊におけるコリオリの力の影響
Influence of Coriolis' Force on the Burst of Rotating Disc of Cast Iron
1963 年 7 月 佐藤和郎, 永井文雄
- TR-48 曲面に沿う境界層
Effects of Surface Curvature on Laminar Boundary-Layer Flow
1963 年 8 月 林 二 識
- TR-49 高速軸流圧縮機の研究 (III)
—翼の厚さの影響—
An Investigation of High Speed Axial Flow Compressor (III)
—Effects of Blade Thickness—
1963 年 9 月 松木正勝, 宮地敏雄
大山耕一, 吉田晃
西脇英夫, 岩部柱相

TR-50	境界収縮法による偏微分方程式の境界値問題の数値解法 Numerical Method for Boundary Value Problems of Partial Differential Equation by Boundary Contraction	1963 年 9 月	樋口一雄, 能美 力
TR-51	人間の静的不安定系の制御能力 Human Control Ability of the Statically Unstable System	1963 年 9 月	武田 峻
TR-52	粒状加熱器の熱特性 Thermal Characteristics of a Pebble-Bed Heater	1963 年 10 月	林 二 識
TR-53	円管流の非定常熱伝達 (第1報) 一壁温が時間と流向距離のみによる場合— Thermal Characteristics of the Unsteady Flow through a Circular Pipe whose Temperature depends on Time and Flow-Directional Distance only	1963 年 10 月	林 二 識
TR-54	偏微分方程式の混合境界値問題の差分法による数値解法 Difference Method for the Mixed Boundary Value Problems	1963 年 10 月	三 好 甫
TR-55	ボスをもった車盤の回転強度 Rotating Strength of Rotor which Has a Boss	1963 年 11 月	佐藤和郎, 永井文雄
TR-56	亜音速および遷音速における二次元非定常空気力の測定 (第1報) Measurements of the Unsteady Airloads for Two-Dimensional Flow at Subsonic and Transonic Speed Range (I)	1963 年 11 月	中村泰治, 田辺義一
TR-57T	Measurements of the Aerodynamic Derivatives of an Oscillating Biconvex-Flat Airfoil in Supersonic Flow at Mach Number 2 to 3	Jan. 1964	Takao ISHII Mitsunori YANAGIZAWA
TR-58	高度 500 フィートないし 10,000 フィートにおける上下突風の測定および解析 Measurements and Analyses of Gust Velocities from 500 to 10,000 feet Altitude	1964 年 1 月	竹内和之, 小野幸一 山根皓三部
TR-59	磁気テープデータ処理設備とその性能 The Magnetic Tape Data Reduction System and Its Performance	1961 年 1 月	田畑浄治, 中正夫 山本芳樹, 三浦雅男
TR-60	変厚平板翼の振動について On the Natural Vibration of Plate-Like Wings of Variable Thicknesses	1964 年 1 月	堀 武敏, 越出慎一 戸川隼人, 川井忠彦
TR-61	後退角 45°, テーパー比 0.6 の薄い片持翼の遷音速におけるフラッタ特性におよぼすマッハ数の影響の実験的研究 Some Effects of Mach Number on the Transonic Flutter Characteristics of Thin Cantilever Wings Having a Taper Ratio 0.6 and a Sweptback Angle of 45°	1964 年 2 月	中井暎一, 小原 瑛
TR-62	超音速における翼端板効果 The Effects of the End-plates at Supersonic Speeds	1964 年 2 月	尾形吉和
TR-63	非定常流中の円柱に作用する空気力について Aerodynamic Forces Acting on a Circular Cylinder in Unsteady Flow	1964 年 2 月	小橋安次郎, 遠藤 浩 北村清美
TR-64	航空力学における磁歪計器の応用 Some Developments of the Magnetostriction Type Measuring Instruments for the Study of Aircraft Dynamics	1964 年 3 月	幸尾治朗
TR-65	非定常境界層の安定に関する実験 An Experimental Investigation of Stability Characteristics of Unsteady Laminar Boundary Layer	1964 年 7 月	小橋安次郎, 恩地 瑛

TR-66	変分法による平板翼の撓み, 振動解における自然境界条件の数値的吟味 (片持平板翼の場合) Numerical Examination on the Fulfilment of Natural Boundary Conditions by the Approximate Solutions for Bending and Vibration of Uhin Elastic Plates based on the Rayleigh-Ritz's Procedure (in Case of Cantilevered Wing Plates)	1964 年 6 月	川井忠彦, 塙武敏 越出慎一, 戸川隼人 落合 薫
TR-67	プラズマ発生装置の諸特性 Characteristics of a Vortex Stabilized Plasma Generator	1964 年 4 月	井上建二, 野村茂昭
TR-68	回転翼の線形理論 (I) —揚力面理論— Linearized Aerodynamic Theory of Rotor Blades (I)—Lifting Surface Theory—	1964 年 6 月	市川輝雄
TR-69	高速軸流タービンの研究 (I) —(タービンノズル円環翼列の研究)— An Investigation of the High Speed Axial Flow Turbine (I) —An Investigation of the Annular Turbine nozzle Cascade—	1964 年 7 月	鳥崎忠雄, 能瀬弘幸 森田光男
TR-70	汎用飛行シミュレータ設備の計画, 構造および特性 Design, Construction and Characteristics of Flight Simulator at National Aerospace Laboratory	1965 年 1 月	松浦陽恵, 樋口一雄 池谷光栄, 堀川勇壮 村上 力, 百名盛之 三好範子, 岡部正典
TR-71	塑性の三方向せん断理論 塑性変形による異方性 塑性流動に及ぼす中間主応力の影響 応力状態と塑性変形の形 Three-Shear Theory of Plasticity Anisotropy Due to Plastic Deformation Influence of Intermediate Principal Stress on Plastic Flow Strain Ratio Relationship in Plastic Deformation	1964 年 7 月	中西不二夫, 佐藤和郎
TR-71T	Three Shear Theory of Plasticity Anisotropy Due to Plastic Deformation Influence of Intermediate Principal Stress on Plastic Flow Strain Ratio Relationship in Plastic Deformation Internal Shearing Resistances in the Three Shear Theory of Plasticity	Sep. 1964	Fujio NAKANISHI Yasuo SATO
TR-72	補助翼バズに関する一実験 Some Experiments on Control-Surface Buzz	1965 年 1 月	中村泰治, 田辺義一
TR-72T	Some Experiments on Control-Surface Buzz	Nov. 1964	Yasuharu NAKAMURA Yoshikazu TANABE
TR-73	軸対称凝み点付近の溶融層の安定性 Stability of the Melted Layer near the Axisymmetric Stagnation Point	1964 年 11 月	相原康彦
TR-74	遷音速パネルフラッタの研究 The Experimental and Theoretical Studies of Transonic Panel Flutter	1964 年 11 月	石井孝雄, 柳沢三憲
TR-75	統計流体力学の初期値問題について —Hopf 特性汎関数方程式の一般解— On the Initial-Values Problem in Statistical Hydromechanics —A General Solution of the Hopf Characteristic Functional Equation—	1964 年 12 月	細川 巖
TR-76	高速軸流圧縮機の研究 (IV) —NACA 65 系翼型を修正した近似二重円弧翼形の動翼相対入口マッハ数 1.5 までの回転翼列試験—	1965 年 1 月	大山耕一, 松木正勝 西脇英夫, 岩部柱相 片山泰治

- An Investigation high Speed Axial Flow Compressor (IV)
—Rotor Performance at Relative Inlet Mach Numbers up to 1.5 of NACA 65—Series Compressor Blades Modified Approximately to Double Circular-Arc Blades—
- TR-77 Galerkin 法の収束性について
On the Convergence of Galerkin's Method 1965 年 1 月 島海良
- TR-78 二次元準線型双曲系の特性曲線法による数値解法
Characteristic Method for the Numerical Solution of Two-Dimensional Quasi-linear Hyperbolic Systems 1965 年 1 月 三好甫
- TR-79 引張りまたは圧縮をうける四角弾性平板の大振幅振動の影響について
Influence of Large Amplitude on Flexural Vibrations of Rectangular Elastic Plates under Initial Tension or Compression 1965 年 1 月 田寺木一, 古関昌次
泉日出夫
- TR-80 変分法直接解法において解に及ぼす束縛の数値的影響
—薄肉開断面片持梁の純捩り振動の例—
Numerical Effect of Constraints Calculus of the Direct Variational Method
—In Case of Pure Torsional Vibration of Thin Walled Beams of Open Cross Section— 1965 年 1 月 堀武雄, 越出慎一
- TR-81 FRP コーティングの断熱特性
Thermal Insulation Characteristics of FRP Coating 1965 年 1 月 竹中幸彦, 江川幸一
小川鏡一
- TR-82 多段軸流圧縮機の部分負荷特性の簡易計算法
A Simple Method of Calculating the Off-design Performance of Multi-Stage Axial-Flow Compressor 1965 年 2 月 松木正勝, 藤井昭一
- TR-83 亜音速流中のパネルフラッタとダイバージェンス (I)—非圧縮流理論—
Theoretical Study of Two-Dimensional Panel Flutter and Panel Divergence in Subsonic Flow (I)—Incompressible Flow Case— 1965 年 2 月 石井孝雄
- TR-84 還音速タービン翼列二次元試験 (II)
Experimental Investigation on Transonic Turbine Cascades (II) 1965 年 3 月 近藤博, 蓑田光弘
山崎紀雄
- TR-85 回転翼の線形理論 (II)
—揚力線理論—
Linearized Aerodynamic Theory of Rotor Blades (II)
—Lifting-Line Theory— 1965 年 3 月 市川輝雄
- TR-86 高速多段軸流圧縮機の部分負荷特性の一計算法
A Method for Predicting the Off-design Performance of Multi-Stage Axial-Flow Compressors Operating in the Transonic Flow 1965 年 5 月 松木正勝, 藤井昭一
五味光男
- TR-87 亜音速流中のパネルフラッタとダイバージェンス (II) 圧縮流理論 (III) 実験的研究
Theoretical Study of Two-Dimensional Panel Flutter and Panel Divergence in Subsonic (II) Compressible Flow Case (III) Experimental Study 1965 年 6 月 石井孝雄
- TR-88 尾翼, 胴体結合構造物の地上振動試験結果に関する定性的な吟味
Qualitative Examinations on the Results of Ground Vibration Tests of Tail Wing-Fuselage Combination Structure 1965 年 6 月 堀武敏, 越出慎一
- TR-89 垂直突風および航空機の突風応答に関する実験的研究
An Experimental Investigation on Vertical Gusts and the Airplane Response 1965 年 6 月 小野幸一, 山根皓三郎

- TR-90 ヒステリシス・ループの形、繰返しによる形の変化および繰返し後の塑性流動応力の上昇(第1報実験, 第2報ねじりの場合の理論)
The Shape of Mechanical Hysteresis Loop, Its Deformation Due to Stress Repetition and Resulting Increase in Flow Stress (Part 1. Experiment, Part 2. Theory for Torsion) 1965 年 7 月 中西不二夫, 佐藤和郎
永井文雄
- TR-91 固体プロペラントの割れ目内への火炎伝ば (I)
Flame Propagation into the Gap of Solid Propellant Grain (I) 1965 年 7 月 五代富文
- TR-92 ロケット胴体をまわる超音速流の一近似法 (I)
—迎角のとき—
An Approximate Calculation for Supersonic Flow Past Bodies of Rocket Vehicles (I)
—Linearized Flow with Axial Symmetry— 1965 年 8 月 谷 喬
- TR-93 遷音速動安定試験
Dynamic Testing at Transonic Speed 1965 年 10 月 小橋安次郎, 河野長正
西武徳
- TR-94 翼幅方向に一樣な揚力分布をもつ半無限の後退翼
On the Camber Lines of Semi-Infinite Swept-back Wings which Give Uniform Spanwise Load Distribution 1965 年 10 月 河崎俊夫
- TR-95 飛行機の縦の操縦特性に関する二三の考察
A Few Comments on the Longitudinal Handling Qualities of Airplanes 1965 年 11 月 荒木 浩
- TR-96T A Generalized Functional Formalism for Turbulence Dec. 1965 Iwo HOSOKAWA
- TR-97 圧縮性と壁形状を考慮した軸流ターボ機械の作動円盤理論 (I)
—軸対称流れ—
A Theoretical Investigation of the Compressible Flow Through the Axial Turbo-Machines (I)
—Non-Swirling Fluids in Ducts— 1965 年 12 月 藤井昭一
- TR-98 後退角 45°, アスペクト比 4.0 の薄片持翼の遷音速フラッタ特性に及ぼすテーパ比の影響の実験的研究
Some Effects of Taper Ratio on the Transonic Flutter Characteristics of a Series of Thin Cantilever Wings Having a Sweptback Angle of 45° and an Aspect Ratio 4.0 1965 年 12 月 中井咲一, 高木俊朗
安藤泰勝
- TR-99 計器のよみやすさに関する研究
A Study of Dial Legibility 1966 年 2 月 三好範子, 岡部正典
石川澄子
- TR-100 回転翼の線形理論 (III)
—揚力線の方程式の解法—
Linearized Aerodynamic Theory of Rotor Blades (III)
—Method for Solving Lifting-Line Equations— 1966 年 2 月 市川輝雄
- TR-101 航空機の着氷気象条件について (I)
Meteorological Conditions on Aircraft Icing (I) 1966 年 2 月 古関昌次, 田寺木一
泉日出夫, 太田幹雄
峰岸正勝
- TR-102 ロケット胴体をまわる超音速流の一近似解法 (II)
—迎角のあるとき—
An Approximate Calculation for Supersonic Flow Past Bodies of Rocket Vehicles (II)
—Linearized Flow with Attack Angle— 1966 年 3 月 谷 喬
- TR-103T Basic Considerations for Treating Non-Equilibrium Fluids
—A Functional Approach to Non-Equilibrium Statistical Mechanics— Mar 1966 Iwo HOSOKAWA
- TR-104 翼幅方向に一樣な揚力分布をもつ三次元後退翼のそり 1966 年 4 月 河崎俊夫, 海老原正夫

- The Camber Distribution of a Spanwise Uniformly Loaded Subsonic Wing
- TR-105 パイロットの心理的負担に関する研究 (I)
—操縦時の脈拍と呼吸の変化—
A Psychological Study on the Mental Stress of Pilots (I)
—Pulse and Respiratory Rate During Flight— 1966 年 4 月 三好 範子, 百名盛之
岡部正典
- TR-106 遷音速における操縦面の逆効き
On Reversal of Effectiveness of Control Surfaces in Transonic Flow 1966 年 5 月 神谷 信彦, 瀬川 晋作
- TR-107 円錐型電磁衝撃波管内の流れ
Ionized Flow in a Conical Shock Tube 1966 年 5 月 松崎 利一
- TR-90T The Shape of Mechanical Hysteresis Loop, Its Deformation Due to Stress Repetition and Resulting Increase in Flow Stress (Part 1. Experiment, Part 2. Theory for Torsion) June 1966 Fujio NAKANISHI, Yasuo SATO & Fumio NAGAI
- TR-108 二次元遷音速衝動タービン翼列の一実験
Some High-Speed Tests on Impulse Turbine Cascades 1966 年 6 月 近藤 博, 養田 光弘
山崎 紀雄, 古川 昇
- TR-109 大型空気エゼクタの研究
A Study on the Large-Scale Air Ejector 1966 年 7 月 藤井 昭一, 五味 光男
菅原 昇
- TR-110 電磁流体の非粘性境界層
Some Investigations on Inviscid Boundary Layer of Magnetohydro-dynamics 1966 年 8 月 井上 建二
- TR-111T An Asymptotic Solution of the Nonlinear Equations of Motion of an Airplane Aug. 1966 Hiroshi ENDO
- TR-112 圧縮性と壁形状を考慮した軸流ターボ機械の作動
円盤理論 (II)
—円周速度のある流れ—
A Theoretical Investigation of the Compressible Flow Through the Axial Turbo-Machines (II)
—Swirling Fluids— 1966 年 8 月 藤井 昭一
- TR-113 地面近くでホバリングするヘリコプタ・ロータに関する実験
Experimental Study on the Ground Effect of a Model Helicopter Rotor in Hovering 1966 年 8 月 幸尾 治朗, 岡 遠一
- TR-114 フライングテストベッドの高度制御システムの検討 (I)
Analytical and Simulation Studies on the Height Control System of the Flying Test Bed (I) 1966 年 8 月 武田 峻, 甲斐 忠夫
- TR-115 NAL-16 ロケットの研究試作および飛しょう実験
—D型およびIT型—
Single-Stage Solid Propellant Rocket (NAL-16)
—Desing and Flight Experiments— 1966 年 8 月 ロケット性能研究室
- TR-116 50cm 極超音速風洞の計画と構造
Design and Construction of the 50cm Hypersonic Wind Tunnel at National Aerospace Laboratory 1966 年 9 月 極超音速風洞建設グループ
- TR-117 弾性振動方程式の差分解に関するエネルギー不等式
Energy Inequalities for the Difference Solutions of Equations of Elastic Vibration 1966 年 10 月 三好 甫
- TR-118 高負荷燃焼器の箱形模型による実験
Some Experiments on High Intensity Combustor with Partial Models 1966 年 10 月 大塚 貞吉, 福田 廣
相波 哲朗
- TR-119 多次元 1 階準線型双曲方程式の解の存在について
On the Existence of Discontinuous Solutions of the Cauchy Problem for Quasi-Linear First-Order Equations 1966 年 10 月 小島 清史

TR-120 航技研フライングテストベッドの姿勢制御方式の検討 Analytical and Simulation Studies on the Attitude Control System of the Flying Test Bed	1966 年 11 月	武田 峻, 堀川 勇 壮 小川 敏 雄, 森 幹 彦
TR-121 パルスレシオ変調回路およびその修正回路について Some Circuits for Pulse Ratio Modulation and their Modified Circuits	1966 年 11 月	村 上 力
TR-122 失速が起こるような高い迎角で, 調和振動する二次元翼に働く空気力に対する半実験的理論 Semi-Empirical Theory to Estimate the Air-forces Acting on the Harmonically Oscillating Two-Dimensional Wing at High Angle of Attack Where Separation Can Occur	1966 年 12 月	磯 貝 紘 二
TR-123 姿勢制御用空気ジェットノズルの研究 Design and Experimental Study of Air Jet Nozzles for the Attitude Control of VTOL Aircraft	1966 年 12 月	滝 沢 直 人, 西 村 博 史 藤 枝 郭 俊, 田 辺 義 一 渋谷 昭 義
TR-124 FM 多重テレメータの動特性 Dynamic Characteristics of FM Multichannel Telemetry System	1966 年 12 月	新 田 慶 治, 桜 井 善 雄 松 崎 良 継
TR-125T Experimental and Calculated Results of Supersonic Flutter Characteristics of a Low Aspect Ratio Flat-Plate Surfaces	Jan. 1967	Eiichi NAKAI, Toshiro TAKAGI, Koji ISOGAI, Toshiyuki MORITA
TR-126 高負荷燃焼器の箱形模型による実験 (II) Some Experiments on High Intensity Combustor with Partial Models (II)	1967 年 2 月	大 塚 貞 吉, 福 田 廣 相 波 哲 朗
TR-127 周波数変換による微小回転角の計測 Measurement of Small Rotating Angle by the Frequency Modulation Technique	1967 年 3 月	大 月 正 男, 鈴 木 孝 雄 円 居 繁 治
TR-128 放射加熱による固体の熱的物性値の測定法 Infra-red Radiation Method of Determining Thermal Diffusivity, Heat Capacity, and Thermal Conductivity of Solid Materials	1967 年 3 月	小 川 鑛 一
TR-129 金属箔による円管流の熱絶縁 Thermal Insulation of Metal Foil for the Case of Circular Pipe Flow	1967 年 3 月	井 上 建 二
TR-130T An Experimental Study of the Melting Phenomena in the Axisymmetric Stagnation Region of Thermally Highly-Conducting Materials	Mar. 1967	Yasuhiko AIHARA
TR-131 風があるときのロケットの運動の近似解析およびランチャ角修正法 An Approximate Analytical Solution for Dispersion of Unguided Rockets Due to Wind with Its Application to the Calculation of Wind Compensation for Launching	1967 年 4 月	毛 利 浩
TR-132 軸方向に補強されたパネルの最大軸圧縮力 (近似解) Ultimate Axial Forces of Longitudinally Stiffened Plate Panels	1967 年 4 月	築 地 恒 夫
TR-133 解離した極超音速流中での Teflon への熱伝達の測定 Measurements of Heat-Transfer to Teflon in Dissociated Hypersonic Flow	1967 年 4 月	野 村 茂 昭
TR-134 高速単段軸流圧縮機の研究 —二重円弧翼の性能— The Aerodynamic Performance of a Single-Stage Axial-Flow Compressor with Double-Circular-Arc Blades	1967 年 5 月	藤 井 昭 一, 西 脇 英 夫 吉 田 晃, 五 味 光 男 武 田 克 巳, 菅 原 昇

- TR-135 同軸型電磁衝撃波管の作動機構
Driving Mechanism of an Electric Shock Tube
with a Coaxial Gun 1967 年 5 月 松崎利一
- TR-136 Nearly-Free-Molecule-Flow におけるオリフィス
型圧力管
Experimental Study of an Orifice-Type Pressure
Probe in Nearly-Molecule Flow 1967 年 5 月 恩地 瑛, 山本稀義
- TR-137 梁, 板結合構造物の振動 (I)
On the Natural Vibration of Plate-Beam
Combination Structures (I) 1967 年 6 月 越出慎一, 林 洋一
堀 武敏
- TR-138 変厚片持板の静撓みについて
Deflection Analysis of Variable Thickness
Cantilever Plate 1967 年 7 月 堀 武敏, 越出慎一
- TR-139 多発動機付ヘリコプタの片発停止時における最適
着陸操作—前進速度 0 の場合—
Optimal Vertical Descent Procedure with Par-
tial Power of Multi-Engined Helicopters
—The case of Rejected Take-Off— 1967 年 8 月 古茂田真幸
- TR-140 流線法によるダクト流れ
Streamline-Curvature Approach to Duct-Flow
Problems 1967 年 9 月 藤井昭一, 宇野威信
- TR-141 マトリクス内力法による半張殻構造の応力解析に
ついて
Semi-Monocoque Structures Solved Numerically
by the Matrix Force Method 1967 年 10 月 川島矩郎
- TR-142 動的模擬模型による姿勢のオンオフ制御実験
Experimental Studies on Some On-Off Attitude
Control Systems Using a Dynamic Model 1967 年 10 月 樋口一雄, 堀川勇壮
村上力, 小川敏雄
真柳光美
- TR-143 高負荷燃焼器の一次燃焼領域の研究
Experimental Studies on the Primary Zone
of High-Intensity Combustors 1967 年 10 月 大塚貞吉, 鈴木邦男
相波哲朗, 石井浅五郎
広瀬健樹
- TR-144 円管流の非定常熱伝達
—第 2 報 薄い壁の場合—
Transient Heat Transfer through a Thin
Circular Pipe Due to Unsteady Flow in the
Pipe 1967 年 11 月 林 二識, 井上建二
- TR-145 ロケット用耐熱材料の研究
Study on Heat Insulation Materials for Rocket 1967 年 11 月 古田敏康
- TR-146 半導体歪ゲージを用いる小型高感度加速度計の研
究
Study on the Miniature Type Hight Sensitivity
Accelerometer Using Semiconductor Strain
Gages 1967 年 11 月 田畑浄治, 大坪孔治
滝沢 実
- TR-147 固体ロケット・モータのノズルにおける熱伝達の
実験的研究
—プロペラント内へ添加されたアルミニウムの
影響—
An Experimental Investigation of Heat Transfer
in the Nozzle of High-Aluminized Solid
Rocket 1968 年 2 月 五代富文, 湯沢克宣
伊藤克弥, 西村久男
- TR-148 失速角以上で振動する翼のまわりの流れの観察
—失速フラッタの研究 (I)—
Optical Observation of the Separated Flow
around an Oscillating Aerofoil at High Mean
Angles of Attack with Special Reference to
Stall Flutter 1968 年 2 月 中村泰治, 磯貝紘二
江尻 宏
- TR-149 よどみ点におけるグラファイトのアブレーション
の実験的研究
An Experimental Study of the Ablation of
Graphite in the Stagnation Region 1968 年 2 月 相原康彦, 野村茂昭
渡辺泰夫

- | | |
|---|--|
| TR-150 強化プラスチックの熱的物性値について
(輻射加熱による測定)
The Measurement of Thermal Properties of
Reinforced Plastics at Temperatures up to
150°C (Infra-red Radiation Method) | 1968 年 2 月 小川 鑣一, 野口 義男 |
| TR-151 空気力学的加熱の少ない極超音速飛しょう体
Minimum Heat Transfer Body at Hypersonic
Speeds | 1968 年 3 月 相原 康彦 |
| TR-152 二次元二重円弧翼列の遷音速実験
High Speed Tests of Compressor Cascades With
Double Circular Arc Blade Sections | 1968 年 3 月 近 藤 博, 菱田 光弘
山崎 紀雄, 古川 昇 |
| TR-153 アーク加熱衝撃波管による物体のまわりの高温気
流の研究
Study of High Temperature Flow around Body
Using an Arc-Driven Shock Tube | 1968 年 4 月 松崎 利一, 上瀬 千春 |
| TR-154 フライングテストベッドの計画
—本体のシステムデザイナー—
System Design of Flying Test Bed for VTOL
Aircraft at National Aerospace Laboratory | 1968 年 5 月 新型航空機部 |
| TR-155 遷音速における Control-Surface Buzz に関する
研究
An Investigation on Control-Surface Buzz at
Transonic Speeds | 1968 年 5 月 中村 泰治 |
| TR-156 二次元湾曲ジェットの相似構造と乱流混合におよ
ぼす曲率の研究
Effects of Curvature on the Similar Structure
and Turbulent Mixing of Two-dimensional
Curved Jets | 1968 年 5 月 遠 藤 浩 |
| TR-157 電子線密度測定法による低密度極超音速流の実験
的研究
Experimental Study of Low Density Hypersonic
Flow by Using Electron-Beam Densitometry | 1968 年 6 月 和田 勇, 曾 我国 男 |
| TR-158 局所凸線形位相空間内の非線形初期値問題に対す
る近似について
On Approximations for Nonlinear Cauchy
Problems in Locally Convex Spaces | 1968 年 6 月 小島 清史 |
| TR-159 T型結合板の振動
The Vibration of T-Shape Plates Structure | 1968 年 7 月 塙 武敏, 築地 恒夫
越 出 慎一 |
| TR-160 梁, 板結合構造物の振動 (II)
On the Natural Vibration of Plate-Beam Com-
bination Structures (II) | 1968 年 8 月 塙 武敏, 築地 恒夫
多田 保夫, 越 出 慎一
林 洋一, 日下 和夫 |
| TR-161 宇宙飛しょう体の直接式最適誘導法
An Optimal Explicit Guidance Equation for
Space Vehicle | 1968 年 8 月 新田 慶治, 松島 弘一
大坪 孔治, 志 甫 徹 |
| TR-162 よどみ点領域での非定常空力加熱の測定
Measurements of Unsteady Aerodynamic Heat-
ing at Stagnation Region | 1968 年 9 月 野村 茂昭 |
| TR-163 双発プロペラ STOL 機の安定操縦性に関する考
察
Investigation on the Stability and Control
Characteristics of a Twin-propeller STOL
Airplane | 1968 年 9 月 別府 護郎 |
| TR-164 熱伝導を考慮した空力加熱による薄肉機体外板の
温度上昇とその電気抵抗アナログ回路
Investigation of the Streamwise Heat Conduc-
tion Effect on the Transient Aerodynamic
Heating of Thin-skinned Bodies by the
Resistance Network Analog Method | 1968 年 10 月 小川 鑣一 |
| TR-165 有限要素法による箱型梁の解析
Applications of the Finite Element Method to
Box Beams | 1968 年 11 月 三本木 茂夫 |

- TR-166 ジンバルエンジン駆動用バルブの基礎的解析
Fundamental Analyses of Gimbal-Engine Positioning Hydraulic Control System Made Use of DPF Servovalve 1968 年 11 月 奥石 肇, 畑山茂樹
- TR-167 アブレーションによる空力加熱の減少の測定
Measurements of Heat Transfer Reduction by Ablation 1968 年 11 月 野村茂昭
- TR-168 角度測定周波数測定併用のトラッキングシステムの計算処理に関する研究
On the Orbit Determination Procedures for the Doppler Frequency Measurement with Angular Measurement Tracking System 1968 年 11 月 鳥海良三, 松本一夫
樋口一雄, 戸川隼人
木村武雄
- TR-169 VTOL 機操縦研究設備
Design and Construction of VTOL Flight Simulator System 1968 年 11 月 樋口一雄, 百名盛之
三好範子, 岡部正典
山本六郎, 川原弘靖
- TR-170 STOL 機の縦の自動安定制御方式に関する研究
(I) 姿勢制御方式の解析
System Studies on Automatic Longitudinal Stabilization Control Systems for STOL Aircraft.
Part 1 Automatic Attitude Control Systems. 1968 年 12 月 堀川勇壮, 森 幹彦
- TR-171 T Simple Flow Characteristics Across a Strong Shock Wave Feb. 1969 Kenneth K. Yoshikawa
- TR-172 高速における円錐体および三角翼の動安定微係数の測定
Measurement of Dynamic Stability Derivatives Cones and Delta-Wings at High Speed 1969 年 2 月 柳沢三憲
- TR-173 T Coupling Effect of Radiative Heat on Convective Heat Transfer Feb. 1969 Kenneth K. Yoshikawa
- TR-174 Navier-Stokes 方程式に対する差分法
Difference Method for Navier-Stokes Equation 1969 年 4 月 三好 甫
- TR-175 低レイノルズ数における NACA 0012 翼型の失速特性について
—失速フラッタの研究 (II)—
Stalling Characteristics of the NACA 0012 Aerofoil Section at Low Reynolds Numbers 1969 年 6 月 中村泰治, 磯貝紘二
江尻 宏
- TR-176 軸流回転機の翼の振動について
(I) 固有振動数, 振動形および振動応力分布
On the Vibration of Axial-flow Turbomachine Blades
(I) Natural Frequency, Modes and Vibratory Stress Distribution 1969 年 7 月 宮地敏雄, 星谷昌二
祖父江 靖, 網千三郎
岩部柱相, 武田克巳
- TR-177 固体ロケットモータの推力大きさ制御の研究
—特性と小型モータによる実験—
Thrust Magnitude Control of Solid Rocket Motors
—Characteristics Analysis and Small Motor Test— 1969 年 7 月 五代富文, 湯沢克宜
伊藤克弥, 西村久雄
- TR-178 測度最大の可制御領域を与える二次形式評価関数の最適重みマトリクスに対する必要条件
Necessary Conditions for the Optimal Weighting Matrix of Quadratic Performance Index to Maximize the Measure of the Controllable Set 1919 年 7 月 川幡長勝
- TR-179 テフロン非定常アブレーションの測定
Measurements of Transient Ablation of Teflon 1969 年 8 月 野村茂昭
- TR-180 鈴鹿山脈付近における乱気流の観測
Measurement and Analysis of Atmospheric Turbulence over the Suzuka Mountain Range 1969 年 8 月 竹内和之, 小野幸一
山根皓三郎, 岡 遠一
外崎得雄

- T R-181 振動翼における表面非定常圧力の測定
—失速フラッタの研究 (III)—
Unstead Surface Pressure on an Oscillating
Aerofoil at High Mean Angles of Attack
with Special Reference to Stall Flutter
1969 年 8 月 中村泰治, 磯貝紘二
江尻 宏
- T R-182 点束縛のある板の振動について
On the Natural Vibration of Plates Restrained
at Several Points
1969 年 9 月 塙 武敏, 多田保夫
泉 日出夫, 越出慎一
- T R-183 軸流圧縮機動翼植込部の強度についての実験的研究
—隙間のあるピン接合部—
Experimental Investigation of Strength of
Axial Flow Compressor Blade Root
—Pin Joint Lug having Clearance between
Pin and Pin Hole—
1969 年 9 月 池田為治, 山岸 崇
- T R-184T An Improved Method of Designing and Cal-
culating the Minimal Wave Drag Con-
figuration by Supersonic and Moment-of-
Area Rules
1969 年 10 月 Kenneth K. YOSHIKAWA
- T R-185 FRP ロケットノーズコンの赤外線輻射による加
熱実験
Thermal Characteristics of FRP Rocket
Nosecone
1969 年 11 月 小川鑛一, 遠藤修司
- T R-186 ロケット搭載用伝送線路型アンテナの解析
The Analysis on Transmission-line Rocket
Antennas
1969 年 12 月 田畑浄治, 桜井善雄
三浦雅男, 松崎良継
塚本 憲男
- T R-187 ホール効果を用いた地磁気式姿勢計の研究
A Magnetic Attitude Measuring Instrument
Applying the Hall Effect
1969 年 12 月 木村 茂, 田畑浄治
松崎良継
- T R-188 浮動型 1 自由度積分ジャイロの不等弾性誤差
Analysis of Anisoelastic Errors of a Floating
Single-Degree-of-Freedom Integrating Gyro
1970 年 1 月 大月正男, 新宮博公
田畑浄治, 鈴木孝雄
円居繁治
- T R-189 誘導制御を含んだロケットの運動のハイブリッド
シミュレーション
The Hybrid Simulation of Guided and Control-
led Flight of Rocket
1970 年 1 月 興 石 肇, 中 正 夫
森 英 彦, 大 石 晃
冠 昭 夫, 本 間 幸 造
- T R-190 超音速における鈍い物体の干渉
Interaction of Blunt Bodies in Supersonic Flow
1970 年 2 月 谷 喬, 河本 巖
榊原盛三, 野田順一
- T R-191 Nearly-Free-Molecule-Flow の物体の抵抗
Drag Measurement in Nearly-Free-Molecule-
Flow Regime
1970 年 2 月 恩地 瑛, 山本稀義
- T R-192T Transient Couette Flow of Rarefied Binary
Gas Mixtures
Mar. 1970 Katsuhisa KOURA
- T R-193 サーボ弁の非線形流量特性を考慮した油圧サーボ
系のシミュレーション研究
Simulation Study of Hydraulic Servo System
with Consideration of non-linear flow charac-
teristic of Servo Valve
1970 年 3 月 興 石 肇, 鈴木崇弘
中村光義
- T R-194 直接式誘導法を用いた誘導システムの誤差
—観測および制御システムの誤差の影響—
Guidance Errons
—The Effects of the Navigation and Control
Systems on the Guided Trajectories—
1970 年 5 月 松島弘一, 新田慶治
大坪孔治, 志 甫 徹
- T R-195 箱型主翼構造模型のひずみ分布とたわみに関する
計算と実験
Results of Strains and Deflection Measurements
carried out on Model Wings and their Com-
parison with Calculated Results
1970 年 5 月 久能和夫
- T R-196 回転式動安定測定装置による遷音速試験
Dynamic Stability Test in Transonic Wind
Tunnel Rotary System
1970 年 5 月 小橋安次郎, 河野長正
西 武徳, 宮沢政文

- | | | |
|---|-------------|---|
| TR-197T Wind Tunnel Investigation of the STOL Airplane, with Attention to the Relations between the Aerodynamic Characteristics and the Wake Structure | May 1970 | Norio INUMARU
Kiyomi KITAMURA
Nagakatsu KAWAHATA
Hitoshi TAKAHASHI
Tomoaki SUZUKI |
| TR-198 低マッハ数における翼型の翼型抗力の計算
A Calculation of the Profile Drag of Airfoils at Low Mach Numbers | 1970 年 5 月 | 河崎俊夫, 石田洋治 |
| TR-199 鈍い頭部を有する円筒物体まわりの超音速流れ
Supersonic Flow Fields around Cylindrical Bodies with Blunt Nose | 1970 年 6 月 | 河本 巖 |
| TR-200 フライイングテストベッドの高度制御システムの検討
(II) シミュレーションによる二, 三の問題点の検討
Analytical and Simulation Studies on the Height Control System of Flying Test Bed (II) On Some Problems | 1970 年 6 月 | 堀川勇壮, 甲斐忠夫 |
| TR-201 FA-200 改機の風洞試験 (III) 地面効果
Low Speed Wind Tunnel Test of The FA-200-XS Airplane Model Influenced with Ground Effect | 1970 年 7 月 | 広末健一, 高橋 宏
小野孝次, 桑野 尚明 |
| TR-202 過酸化水素分解ロケットモータの実験
The Experimental Investigation of Monopropellant Hydrogen Peroxide Reactor | 1970 年 7 月 | 清水昭紀, 種村利春 |
| TR-203 固体ロケット・多分力テストスタンドの精度について
On the Accuracy of the Multi-Component Test Stand | 1970 年 7 月 | 石井進一, 山田 晃
鎮西信夫, 引地 豊三
工藤賢司 |
| TR-204 ジェットエンジン燃焼器の燃焼性能の研究
Investigation of Combustion Performance of Turbojet Combustor | 1970 年 7 月 | 大塚貞吉, 堀内正司
本間幸吉 |
| TR-205 差分法による 2 次元非定常ノズル流の数値計算
Finite Difference Calculations of Two-dimensional Nonsteady Nozzle Flows | 1970 年 8 月 | 石黒登美子 |
| TR-206 航空機の横操縦を行なう人間の動特性についてのシミュレータ実験 (1 自由度の場合)
A Simulator Experiment to Investigate the Human Behavior in Tracking Tasks | 1970 年 8 月 | 別府護郎, 坂井紀穂
吉田純一 |
| TR-207 境界層内圧力変動による板の振動解析 (I)
—周辺単純支持板—
Response Analysis of the Simply Supported Plate to Boundary Layer Pressure Fluctuations. | 1970 年 9 月 | 藤森義典 |
| TR-208 ガスタービン燃焼器
Gas Turbine Combustors | 1970 年 9 月 | 鈴木邦男, 田丸 卓
堀内正司, 斎藤 隆 |
| TR-209 フライイングテストベッド用偏向ジェットパイプの模型実験
Model Test on Deflected Jet Pipes of NAL Flying Test Bed | 1970 年 10 月 | 田辺義一 |
| TR-210 自由飛行模型 FFM-10 の空力特性について
On the Aerodynamic Characteristics of a Free Flight Model FFM-10 | 1970 年 8 月 | 河崎俊夫, 斎藤秀夫
河本 巖 |
| TR-211 ジェット・フラップ・ローターのホバ特性に関する一模型実験
A Model Test on Hovering Characteristics of Jet-Flapped Rotor | 1970 年 9 月 | 古茂田真幸, 戸田亘洋
岡 遠一, 高沢金吾 |
| TR-212 二重噴流の空力的騒音
Aerodynamic Noise of a Circular Double Jet | 1970 年 10 月 | 河野長正 |

- TR-213 ジンバルエンジン駆動用 DPF 方式油圧サーボの
試作研究
A Study of Gimbal-Engine Actuated Hydraulic
Servomechanism with DPF Hydro-mechanical
Compensation Network 1970 年 9 月 畑山茂樹, 興石 肇
- TR-214 軸流圧縮機動翼機植込部の疲労についての実験的
研究
—隙間のあるピン接合—
Experimental Investigation of Fatigue Strength
of Axial Flow Compressor Blade Root
—Pin Joint Log Having Clearance Between
Pin and Pin-Hole— 1970 年 9 月 池田為治, 山岸 崇
- TR-215 ジェット輸送機の操縦のタスク・アナリシス
Task Analysis of Jet Transport (DC-8) 1970 年 10 月 樋口一雄, 百名盛之
三好範子, 岡部正典
川原弘清
- TR-216 横風中の次元乱流ジェットの湾曲と発達
Bending and Development and Development
Three-dimensional Turbulent Jets in a Gross
Wind 1970 年 9 月 遠藤 浩, 中村正義
- TR-217 人工粘性付 LAX-WENDROFF およびその変形
差分法に関する数値実験
Numerical Test on Lax-Wendroff Difference
Scheme with Artificial Viscosity and Its
Variations by the Two-Step Method 1970 年 9 月 安喜隆幸
- TR-218 軸流回転機の翼の振動について
II 翼根部による振動減衰
On the Vibration of Axial-flow Turbomachine
Blade. II Vibration Damping Capacity of
the Blade Mounting 1970 年 10 月 宮地敏雄, 星谷昌二
祖父江 靖, 網千三郎
熊谷隆王
- TR-219 二次元非圧縮性乱流境界層の近似について
On an Approximation of Two-Dimensional
Incompressible Turbulent Boundary Layer 1970 年 10 月 尾形吉和
- TR-220T Application of Dorodnitsyn's Technique to
Compressible Two-Dimensional Airfoil
Theories at Transonic Speeds 1970 年 10 月 Junzo SATO
- TR-221 先端のにぶいフレヤつき物体の空力特性
Aerodynamic Characteristics of a Flared Body
with Blunt Nose 1970 年 10 月 谷 喬, 河本 巖
榊原盛三, 野田順一
樋口 博 (東京大学)
- TR-222 東北地方太平洋沿岸航空路上における乱気流観測
Measurements and Analysis of Atmospheric
Turbulence on the Pacific Coast Air Route
of the TOHOKU District 1970 年 9 月 竹内和之, 山根皓三部
矢沢健司, 小野幸一
外崎得雄
- TR-223 球の仮想質量の円筒境界干渉
Cylindrical Boundary Interference on Virtual
Mass of a Sphere 1970 年 9 月 河野長正
- TR-224 吹出しをともなう鈍頭物体の衝撃波離脱距離
Shock Stand-off-Distance with Mass Injection 1970 年 12 月 吉永 崇
- TR-225 NAL-35 DT 型ロケットの構造試験
Results of Structural Experiments on NAL-
35 DT Rocket Vehicle 1970 年 11 月 ロケット構造研究グループ
- TR-226 薄い片持後退角翼の遷音速フラッタ特性におよぼ
す集中質量の位置の影響について
Some Effects of Systematically Varied Location
of One Concentrated Mass on Transonic
Flutter Characteristics of Sweptback Thin
Cantilever Wings 1970 年 11 月 中井暎一, 森田甫之
高木俊朗
- TR-227 高負荷燃焼器の空気孔からの流れについて (II)
—二孔の実験および簡単な解析方法—
Investigation of Air Stream from Combustor
—Liner Air-Entry Holes (II)—Experiments
with Paired Air-Entry Holes and A Numerical
Analysis— 1970 年 12 月 相波哲朗, 井上真幸

- TR-228 自由飛行模型 FFM-10 の運動特性と飛しょう試験におけるデータ処理法
Flight Dynamics of Free-Flight Model FFM-10 and Data Analysis Method for Free-flight Tests 1970 年 12 月 高島 一 明
- TR-229 単発 STOL 実験機 (FA-200XS) について
Development of the FA-200XS Experimental Airplane 1970 年 12 月 飛行実験部

航空宇宙技術研究所報告 230 号

昭和 46 年 1 月 発行

発行所	航空宇宙技術研究所 東京都調布市深大寺町 1880 電話武蔵野三鷹(0422)44-9171(代表)☎182
印刷所	有限会社啓文堂松本印刷 東京都文京区水道 2-7-5
