

UDC 629.136.3
624.023.88
620.174

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-136

NAL-16・31 および NAL-25・31 二段ロケット

結合部の曲げ剛性試験

中井 暎一・飯田宗四郎・高木俊朗
安藤泰勝・菊地孝男

1968 年 5 月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

既 刊 資 料

TM-92	リフトジェットエンジン試験設備(I) 一台上運転設備一	1966年10月	大山耕一, 吉田晃昇 中山晋, 菅原晃昇 五味光男
TM-94	J-3 ジェットエンジン用タービン動翼 の固有振動特性	1966年11月	武内澄夫, 宮地敏雄 星谷昌二
TM-95	超軽量軸流圧縮機動翼の固有振動特性	1966年11月	武内澄夫, 宮地敏雄 星谷昌二
TM-96	2024-T4および7075-T6有孔平板の曲 げ疲労試験と2024-T4平滑丸棒の軸 荷重疲労試験	1966年11月	佐野政明, 菰岡一洋
TM-97	高マッハ数風洞について(II)	1967年1月	吉永崇, 井上建二 広田正行, 楯篤志
TM-98	40kWプラズマ発生装置の諸特性	1967年1月	野村茂昭, 相原康彦
TM-99	搭載機器用環境試験装置の特性	1967年2月	大月正男, 鈴木孝雄 田畑浄治, 円居繁治
TM-100	二連型リフトエンジンの吸込み抵抗	1967年3月	近藤博, 大城章一郎
TM-101	低圧環境下における固体ロケットモ ータの性能	1967年3月	望月昌, 斎藤信弥 五代富文, 伊藤克弥 湯沢克宜
TM-102	弾性支持片持板の振動	1967年3月	堀武敏, 築地恒夫 越出慎一, 林洋一
TM-103	結合梁の振動について	1967年3月	築地恒夫, 林洋一
TM-104	平板翼模型の固有振動モードの測定	1967年4月	中井映一, 森田甫之
TM-105	非定常境界層方程式を含む放物型微積 分方程式の数値解法	1967年4月	関口清子
TM-106	動安定微係数測定用風洞天秤について	1967年5月	高島一明, 榊原盛三 原亘利, 北出大三 金正好
TM-107	プロペラ後流偏向型 STOL 機の風洞 試験(II)	1967年6月	犬丸矩夫, 岡部祐二郎 北村清美, 川幡長勝 高橋 侔, 木村友昭
TM-108	インダクタンス型小型圧力変換器の試 作とその応用	1967年7月	長洲秀夫, 柳沢三憲
TM-109	ロケットの飛しょう径路計算のための プログラム	1967年7月	戸川隼人, 石黒登美子
TM-110	二次元スラットおよびスロッチッドフ ラップの実験的研究(I)	1967年8月	犬丸矩夫, 北村清美 川幡長勝
TM-111	リフトジェット VTOL 機の離陸径路 に関する近似解	1967年8月	西村博史
TM-112	極超音速風洞用ペブル加熱器の特性	1967年8月	橋爪 宏, 橋本 登
TM-113	リフトジェットエンジン試験設備(II)	1967年9月	森田光男, 岩部柱相己 関根静雄, 武田克己
TM-114	五段遷音速軸流圧縮機の空力設計	1967年9月	藤井昭一, 松木正勝 五味光男
TM-115	燃料蒸発管に関する研究(I)	1967年9月	大塚貞吉, 鈴木邦男 田丸 卓, 乙幡安雄
TM-116	高負荷燃焼器の空気孔からの流れにつ いて(I)	1967年9月	鈴木邦男, 相波哲朗
TM-117	ロケット用テレメータ機上装置の集積 回路化	1967年9月	新田慶治, 松崎良継
TM-118	操縦桿レート信号によるアイアンバー ド制御の安定効果とパイロットのモ デルについて	1967年9月	村上 力, 真柳光美
TM-119	ペーン型気流方向検出器の特性	1967年11月	田畑浄治, 松島弘一 成田健一, 塚本憲男

NAL-16・31 および NAL-25・31 二段ロケット

結合部の曲げ剛性試験*

中井 暎一**・飯田宗四郎**・高木俊朗**
安藤泰勝**・菊地孝男**

概 要

NAL-16・31 および NAL-25・31 二段ロケット結合部の実物大部分供試体に静的曲げ荷重を負荷して結合部の曲げ剛性値を実験的に求め、これらの値と断面形状および使用材料より計算によって求めた曲げ剛性の理論値を比較し実際のロケット結合部の曲げ剛性を調べた。また実際のロケット結合部の曲げ剛性の低下のおもな原因と考えられる結合部部品のガタなどによる結合部での回転を調べるために結合部での結合部回転定数 (Joint Rotation Constant) を求め、典型的な実際のロケット結合部についての多くの実験から得られた資料の値と比較した。

1. 目 的

一般に多段ロケットの結合部は、切離しが容易で切離し時の機軸の揺れが少なく、強度および剛性が高く、かつロケット全体の空力特性に悪影響を与えない構造であることが要求される。

本試験は NAL-16・31 および NAL-25・31 二段ロケットの結合部の実物大部分供試体に静的な曲げ荷重を負荷して、たわみおよびひずみを測定し、これらの測定値より結合部の曲げ剛性実験値を求め、これらの値と結合部の部分が完全に一体であるとみなして求めた曲げ剛性理論値との比較を行ない NAL-16・31 および NAL-25・31 二段ロケットの振動特性におよぼす結合部の剛性低下の影響を検討するための資料ならびにこれらと同種の構造の接合部に対する資料をうることを目的としたものである。

2. NAL-16・31 および NAL-25・31

二段ロケットの概要

本試験に用いた結合部を有する NAL-16・31 および NAL-25・31 二段ロケットの主要諸元はつぎの通りで、全体概観図をそれぞれ図 1 および 2 に示している。

NAL-16・31

全 長 8,100 mm
全備重量 600.7 kg

	サステーナ	ブースタ
長 さ	4,058 mm	4,042 mm
外 径	165 mm	312 mm
重量 (推進薬を含む)	123.7 kg	477.0 kg
推進薬重量	65.2 kg	338.5 kg

NAL-25・31

全 長	8,800 mm	
全備重量	796.2 kg	
	サステーナ	ブースタ
長 さ	4,663 mm	4,137 mm
外 径	250 mm	311 mm
重量 (推進薬を含む)	297.6 kg	498.6 kg
推進薬重量	135.9 kg	341.5 kg

図 1 および 2 で斜線の施されている部分が本試験に使用した供試体の部分である。

NAL-16・31 ロケットのサステーナとブースタとの結合部の構造は図 3 に示されており、サステーナ側は止りばめで 6 mm φ のねじで止められて、はめ合面は直径 158 mm、幅 50 mm で、はめ合の公差は $\begin{pmatrix} +0.10 \\ -0.15 \end{pmatrix}$ mm) であり、サステーナ・ノズル部におじ込みによって結合されている。ブースタ側は前後の止りばめによって結合され、後部のはめ合部の円周上の 3 箇所を軟鋼の 3.5 mm φ のノック・ピンで止められている。前部のはめ合面の直径は 268 mm、幅は 20 mm、はめ合の公差は $\begin{pmatrix} +0.052 \\ -0.069 \end{pmatrix}$ mm) で、後部のはめ合面については、これらの値はそれぞれ 298 mm、20 mm、および $\begin{pmatrix} +0.052 \\ -0.069 \end{pmatrix}$ mm) である。前部および後部のはめ

* 昭和 42 年 11 月 30 日受付

** 機体第一部

合面の距離は 70 mm である。

NAL-25-31 ロケットのサステーナとブースタとの結合部の構造は図 4 に示されており、前後の止りばめで、アルミニウム合金の 6 mmφ のねじ 3 本で止められており、ブースタ・モータ部とはねじ込みによって結合されている。前部のはめ合面の直径は 235 mm、幅は 25 mm、はめ合の公差は $\begin{pmatrix} +0.029 \\ -0.029 \end{pmatrix}$ mm で、後部のはめ合面については直径が 233 mm で他の値は前部のものと同である。前部と後部のはめ合面の距離は 193 mm である。

なお供試体の寸法および公差は、これらの値に合致したものである。

3. 供 試 体

NAL-16-31 および NAL-25-31 の結合部部分供試体の形状および主要寸法をそれぞれ図 5 および 6 に示す。

供試体には切離し試験に使用した実物大の部分模型を使用した。供試体のブースタ側の末端には取付けのための軟鋼製フランジ (直径 470 mm, 厚さ 20 mm) が溶接されている。

4. 試 験 方 法

供試体は取付フランジによって三角鉄塔の垂直座板に 6 本の 1/2 インチ六角ボルトで固定され片持固定の状態にした。供試体の三角鉄塔への設定状況を NAL-16-31 および NAL-25-31 についてそれぞれ図 7 および 8 と写真 1 に示す。

試験曲げ荷重は図 7 および 8 に示すように NAL-16-31, NAL-25-31 とともにサステーナ側結合部から先端方向へ 1,000 mm のところに重錘を吊り下げて垂直下方に荷重をかけた。荷重の大きさは NAL-16-31 の場合は 10 kg までは 5 kg きざみ, 10 kg 以上は 10 kg きざみで 50 kg で負荷し, NAL-25-31 の場合は 15 kg きざみで 105 kg まで負荷した。

ひずみ測定位置は NAL-16-31 および NAL-25-31 についてそれぞれ図 9 および 10 に示す断面の上面と下面とをひずみ測定点としてひずみゲージを貼付した。NAL-16-31 のみ、このほかにロックピン部 2 箇所にもひずみゲージを貼付してロックピン付近のひずみを測定した。

たわみは断面の上面または下面にそってならべられたダイヤルゲージによって測定された。ダイヤルゲージの設定位置は NAL-16-31 および NAL-25-31 についてそれぞれ図 11 および 12 に示されている。

5. 測 定 結 果

NAL-16-31 および NAL-25-31 についての各試験荷重に対する断面の上面および下面のひずみ測定値をそれぞれ表 1 および 2 に、ダイヤルゲージによるたわみ測定値をそれぞれ表 3 および 4 に示す。

6. 考 察

6.1 曲げ剛性

供試体の各断面の実験値は、せん断力の影響を無視すると、その断面に作用する曲げモーメントならびに表 1 および 2 に示される断面の上面および下面のひずみ測定値から次式によって求められる。

$$[EI]_{\text{exp}} = \frac{D \cdot M}{|\epsilon_U| + |\epsilon_L|} \quad (1)$$

ここで

$[EI]_{\text{exp}}$: ひずみ測定値から求めた曲げ剛性実験値, kg·mm²

ϵ_U : 断面の上面に生じた軸方向ひずみ測定値

ϵ_L : 断面の下面に生じた軸方向ひずみ測定値

D : 断面の外径, mm

M : 断面に作用する曲げモーメント, kg·mm

表 1 および 2 のひずみゲージによるひずみ測定値を使って (1) 式によって求めた曲げ剛性実験値を NAL-16-31 および NAL-25-31 についてそれぞれ図 13 および 14 に丸印で示す。一方、断面の各部品が完全に一体となって結合している一体構造とみなして断面の形状寸法および使用材料から求めた曲げ剛性理論値 $[EI]_{\text{cal}}$ を NAL-16-31 および NAL-25-31 についてそれぞれ図 13 および 14 に実線で示す。これらの図からサステーナ部分およびブースタ部分では曲げ剛性実験値は理論値とほとんど一致しているがフレーヤ区間においては曲げ剛性実験値は理論値より著しく小さいことがわかる。これは NAL-16-31 および NAL-25-31 二段ロケットの構造からサステーナ部分およびブースタ部分はほぼ単一円筒殻から構成されているのに対しフレーヤ区間では多くの部品で構成されているためと考えられる。

6.2 たわみ

供試体の断面の各部品が一体に結合しているとみなすと供試体のたわみ理論値は次式による図式積分で求まる。

$$\delta_{\text{cal}} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \frac{M}{[EI]_{\text{cal}}} \Delta x_i \cdot \Delta x_j \quad (2)$$

ここで

δ_{cal} : たわみ理論値

M : 曲げモーメント

$[EI]_{cal}$: 曲げ剛性理論値

$\Delta x_i, \Delta x_j$: それぞれ n 個および m 個に分割された細区間の幅

6.1 で述べたようにひずみ測定値から算出した曲げ剛性実験値と断面の各部品が一体となって結合しているとみなして求めた曲げ剛性理論値とを比較すると、サステーナ部分およびブースタ部分では実験値と理論値はほぼ一致している。しかしながらフレヤ区間では実験値は理論値よりかなり小さい。そこで実験にたわみ曲線と理論たわみ曲線を比較してフレヤ区間での曲げ剛性の理論値からの低下の割合を調べるためにフレヤ区間の曲げ剛性を次式のように考える。ただしこの区間において曲げ剛性は均等な割合で低下しているものとする。

$$[EI]_f = \eta [EI]_{f, cal} \quad (3)$$

ここで

$[EI]_f$: フレヤ区間の曲げ剛性

$[EI]_{f, cal}$: フレヤ区間の曲げ剛性理論値

η : 曲げ剛性理論値に対する効率

$$0 < \eta \leq 1$$

フレヤ区間以外での区間、すなわちサステーナ部分およびブースタ部分での曲げ剛性実験値の曲げ剛性理論値からの低下はほとんどないので、これらの部分における曲げ剛性は理論値に等しいと考える。すなわち

$$\left. \begin{aligned} [EI]_S &= [EI]_{S, cal} \\ [EI]_B &= [EI]_{B, cal} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここで

$[EI]_S$: サステーナ部分の曲げ剛性

$[EI]_B$: ブースタ部分の曲げ剛性

$[EI]_{S, cal}$: サステーナ部分の曲げ剛性理論値

$[EI]_{B, cal}$: ブースタ部分の曲げ剛性理論値

それぞれ (3) 式および (4) 式で表わされるフレヤ区間ならびにサステーナ部分およびブースタ部分の曲げ剛性値を (2) 式に代入し、 η をパラメータとして求めたたわみ曲線とダイヤルゲージによって測定したたわみによる実験たわみ曲線を重ね合せて比較すると、NAL-16-31 および NAL-25-31 についてそれぞれ図 15 および 16 のようになる。ただしこの場合の曲げ荷重は NAL-16-31 および NAL-25-31 についてそれぞれ 50 kg および 60 kg である。また、これらの図の実験たわみ曲線はダイヤルゲージの読みそのままのものでなく供試体の固定端に取りつけたダイヤル

ゲージ (図 11 および 12 参照) によって求めた固定端の回転によるたわみを各ダイヤルゲージの読みから差し引いて補正したものである。

図 15 および 16 からフレヤ区間の曲げ剛性がフレヤ区間の各部品が一体となって結合しているとみなして求めた曲げ剛性理論値から均等な割合で低下しているものと考え、実験たわみ曲線は NAL-16-31 の場合 $\eta=0.15$ 、NAL-25-31 の場合 $\eta=0.05$ のたわみ曲線に合致している。すなわちフレヤ区間の実際の曲げ剛性は NAL-25-31 の場合、曲げ剛性理論値の約 15% に、NAL-25-31 の場合、曲げ剛性理論値の約 5% に低下していると考えられる。

6.3 結合部での回転

実際のロケットの結合部での曲げ剛性の低下は、結合部のねじあるいははめ合部のガタ、フランジのたわみ、殻構造の変形などによると考えられる。しかしこれらのたわみへの効果は非線形で、かつ解析的に評価するのは困難で实际的でない。結合部のモーメント荷重によって生ずる回転の大きさで表わされる結合部回転常数 (Joint Rotation Constant) κ_u を導入することによって、より高い精度の振動モードが得られている (ref. 1)。

$$\kappa_u = \frac{\alpha_j}{M_j} \quad (5)$$

ここで

α_j : 結合部での回転角, rad

M_j : 結合部に作用する曲げモーメント, kg·cm

まず結合部での回転角を求めるために結合部での回転によるたわみ δ_R を求める。 δ_R は次式で表わされるものとする (図 17 参照)。

$$\delta_R = \delta_{exp} - \delta_{cal} \quad (6)$$

ここで

δ_{exp} : 実験によるたわみ測定値

δ_{cal} : 結合部の部品が一体となって結合している ($\eta=1$) とみなして求めたたわみ理論値

(6) 式によって求めた結合部での回転によるたわみを NAL-16-31 および NAL-25-31 についてそれぞれ図 18 および 19 に示す。

図 18 および 19 から (5) 式で定義される結合部回転定数を求めると NAL-16-31 の場合 $\kappa_u = 6.30 \times 10^{-8} \text{ rad/kg} \cdot \text{cm}$ ($7.26 \times 10^{-8} \text{ rad/lb} \cdot \text{in}$)、NAL-25-31 の場合 $\kappa_u = 6.49 \times 10^{-8} \text{ rad/kg} \cdot \text{cm}$ ($7.48 \times 10^{-8} \text{ rad/lb} \cdot \text{in}$) であった。

図 20 は NASA の Langley Research Center で、構造の異なる 10 の結合部の実測値を基にして幾何学

的に相似な結合部の剛性は直径の三乗に逆比例するという理論によって、半実験的に求められた結合部の直径に対する結合部回転定数の曲線で、“Excellent”、“Good”、“Moderate” および “Loose” の四つの基準に大別されている。またこれらの基準に該当する結合部の構造を図 21 のように分類して示している。図 20 に NAL-16・31 および NAL-25・31 の結合部回転定数の値をプロットすると、これらのロケットの結合部はともに “Moderate” に属していることがわかる。

7. む す び

NAL-16・31 および NAL-25・31 二段ロケット結合部の実験による曲げ剛性値は、フレーヤ区間の部品が一体となって結合しているとみなして求めた曲げ剛性

の理論値のそれぞれ約 15% および約 5% であった。このような曲げ剛性の著しい低下はおもに結合部の部品のガタなどに起因する結合部での局所的な回転によるものと考え結合部回転定数の概念を導入した。

NAL-16・31 および NAL-25・31 の結合部回転定数の値はそれぞれ 6.30×10^{-8} rad/kg·cm および 6.49×10^{-8} rad/kg·cm であって、これらの値は多くの典型的なロケット結合部回転定数の値と比較して “Moderate” に属していることがわかった。

文 献

- 1) V.L. Alley Jr. and S.A. Leadbetter; Prediction and Measurement of Natural Vibrations of Multistage Launch Vehicles, AIAA Journal, Vol. 1, No. 2 pp. 374-379.

表 1 (a) NAL-16.31 上面ひずみ測定値($\times 10^{-6}$)

荷重(kg) ゲージ番号	0	5	10	20	30	40	50	
U-1 {	往	0	2	3	8	10	15	19
	帰	-2	0	2	7	10	15	✓
U-2 {	往	0	2	2	5	5	8	10
	帰	-2	-1	0	2	4	7	✓
U-3 {	往	0	1	1	1	3	6	7
	帰	-2	-1	0	1	2	5	✓
U-4 {	往	0	0	0	0	0	0	0
	帰	-3	-4	-3	-5	-3	-2	✓
U-5 {	往	0	0	0	0	0	0	0
	帰	-1	-1	-1	-1	-1	0	✓
U-6 {	往	0	-1	-1	0	-1	-2	-3
	帰	-3	-2	-3	-3	-4	-3	✓
U-7 {	往	0	-1	0	0	0	0	1
	帰	-2	-2	-1	-1	0	0	✓
U-8 {	往	0	1	3	5	7	10	12
	帰	0	0	3	5	7	10	✓
U-9 {	往	0	3	6	13	20	25	30
	帰	0	0	5	10	17	25	✓
U-10 {	往	0	2	6	13	20	26	33
	帰	-1	0	5	11	17	25	✓
U-11 {	往	0	5	10	23	35	48	59
	帰	0	4	11	23	34	48	✓
U-12 {	往	0	3	5	10	15	21	25
	帰	0	2	5	11	15	21	✓
U-13 {	往	0	8	22	43	70	96	117
	帰	0	15	30	58	80	102	✓
U-14 {	往	0	8	17	33	50	65	80
	帰	0	9	16	32	49	65	✓
P-1 {	往	0	-1	0	-1	-1	-1	-4
	帰	-2	-4	-3	-3	-3	-3	✓
P-2 {	往	0	0	0	-1	-1	-2	-4
	帰	-2	-3	-3	-4	-4	-4	✓

注) 正は引張り負は圧縮ひずみを表わす
 図 9 参照

表 1 (b) NAL-16・31 下面ひずみ測定値($\times 10^{-6}$)

荷重(kg)		0	5	10	20	30	40	50
ゲージ番号								
L-1	往	0	-2	-5	-10	-13	-18	-20
	帰	-4	-5	-6	-10	-15	-18	✓
L-2	往	0	0	-4	-5	-10	-10	-14
	帰	-4	-4	-5	-8	-10	-10	✓
L-3	往	0	-4	-5	-6	-10	-12	-16
	帰	-8	-10	-10	-11	-14	-14	✓
L-4	往	0	-2	-5	-5	-10	-11	-16
	帰	-7	-10	-10	-11	-13	-13	✓
L-5	往	0	-2	-4	-5	-10	-15	-20
	帰	-3	-5	-7	-13	-15	-19	✓
L-6	往	0	-2	-5	-8	-14	-25	-38
	帰	0	-8	-14	-21	-28	-34	✓
L-7	往	0	-2	-5	-8	-12	-15	-18
	帰	-1	-3	-5	-8	-11	-14	✓
L-8	往	0	0	-5	-11	-16	-23	-28
	帰	0	-4	-5	-11	-16	-21	✓
L-9	往	0	-3	-5	-11	-20	-27	-35
	帰	-7	-10	-13	-20	-25	-30	✓
L-10	往	0	-5	-7	-15	-23	-30	-38
	帰	0	-5	-10	-15	-22	-30	✓
L-11	往	0	-7	-15	-28	-43	-56	-70
	帰	-4	-10	-20	-30	-45	-57	✓
L-12	往	0	-4	-6	-11	-18	-21	-28
	帰	-4	-6	-10	-14	-20	-23	✓
L-13	往	0	-10	-27	-50	-82	-114	-143
	帰	-2	-20	-35	-69	-98	-125	✓
L-14	往	0	-10	-20	-35	-55	-70	-89
	帰	-2	-10	-20	-38	-55	-71	✓

注) 正は引張り, 負は圧縮ひずみを表わす

図 9 参照

表 2 NAL-25-31 ひずみ測定値($\times 10^{-6}$)

荷重(kg)		ゲージ番号								
		0	15	30	45	60	75	90	105	
上 面	U-1	往	0	-2	+3	6	11	13	13	16
		帰	-9	-5	0	4	7	10	15	✓
	U-2	往	0	2	10	11	25	30	31	42
		帰	-16	-5	4	12	19	24	35	✓
	U-3	往	0	9	18	25	33	43	50	58
		帰	5	14	20	29	36	44	51	✓
	U-4	往	0	10	17	26	31	41	48	53
		帰	6	13	20	30	32	40	46	✓
	U-5	往	0	6	11	16	19	25	30	35
		帰	8	12	16	21	22	26	31	✓
下 面	L-1	往	0	-3	-5	-11	-9	-11	-19	-19
		帰	-5	-3	-6	-9	-11	-14	-18	✓
	L-2	往	0	-13	-23	-30	-37	-46	-63	-66
		帰	-7	-12	-19	-29	-40	-51	-62	✓
	L-3	往	0	-6	-14	-20	-28	-34	-40	-50
		帰	+11	+2	-9	-15	-22	-32	-39	✓
	L-4	往	0	-5	-10	-16	-23	-30	-36	-45
		帰	+7	0	-7	-15	-22	-29	-37	✓

注) 正は引張り, 負は圧縮ひずみを表わす
 図 10 参照

表 3 NAL-16.31 たわみ測定値

荷重(kg) ゲージ番号	0	5	10	20	30	40	50	
D-1 {	往	0	0	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	0.005
	帰	-0.003	-0.003	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	✓
D-2 {	往	0	0	0	0	0.003	0.003	0.01
	帰	0.005	0.005	0.010	0.01	0.01	0.01	✓
D-3 {	往	0	0	0	0.005	0.01	0.015	0.02
	帰	0	0	0.005	0.01	0.01	0.015	✓
D-4 {	往	0	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04	0.045
	帰	0	0.01	0.01	0.02	0.03	0.045	✓
D-5 {	往	0	0.01	0.015	0.025	0.04	0.045	0.07
	帰	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	✓
D-6 {	往	0	0.01	0.02	0.025	0.04	0.06	0.08
	帰	0.01	0.015	0.025	0.04	0.05	0.06	✓
D-7 {	往	0	0.01	0.015	0.03	0.05	0.07	0.09
	帰	0.005	0.015	0.025	0.04	0.06	0.07	✓
D-8 {	往	0	0.01	0.025	0.04	0.06	0.08	0.11
	帰	0.015	0.02	0.04	0.06	0.075	0.09	✓
D-9 {	往	0	0.01	0.02	0.05	0.075	0.10	0.14
	帰	0	0.02	0.035	0.06	0.09	0.11	✓
D10 {	往	0	0.02	0.035	0.06	0.10	0.13	0.16
	帰	0.01	0.03	0.05	0.09	0.11	0.14	✓
D11 {	往	0	0.03	0.06	0.11	0.17	0.23	0.295
	帰	0.01	0.04	0.08	0.14	0.20	0.25	✓
D-12 {	往	0	0.04	0.09	0.17	0.27	0.36	0.46
	帰	0.005	0.05	0.11	0.21	0.30	0.38	✓
D-13 {	往	0	0.06	0.14	0.275	0.43	0.58	0.72
	帰	0.005	0.09	0.18	0.333	0.47	0.60	✓

注) 図 11 参照

単位: mm

表 4 NAL-25-31 たわみ測定値

荷重(kg)		0	15	30	45	60	75	90	105
ゲージ号番									
D-0	往	0	0	0	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02
	帰	0	0	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	✓
D-1	往	0	0.04	0.07	0.11	0.15	0.19	0.23	0.27
	帰	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20	0.23	0.26	✓
D-2	往	0	0.02	0.04	0.06	0.06	0.08	0.10	0.13
	帰	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.11	0.12	✓
D-3	往	0	0.03	0.06	0.08	0.11	0.13	0.17	0.20
	帰	0.02	0.04	0.07	0.10	0.12	0.15	0.18	✓
D-4	往	0	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20	0.24	0.28
	帰	0.01	0.05	0.09	0.13	0.17	0.21	0.25	✓
D-5	往	0	0.04	0.08	0.13	0.17	0.21	0.26	0.31
	帰	0.01	0.05	0.10	0.14	0.18	0.23	0.27	✓
D-6	往	0	0.04	0.09	0.14	0.18	0.23	0.28	0.33
	帰	0.01	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	✓
D-7	往	0	0.05	0.10	0.16	0.22	0.28	0.34	0.41
	帰	0	0.06	0.12	0.18	0.24	0.30	0.36	✓
D-8	往	0	0.06	0.14	0.22	0.30	0.37	0.45	0.53
	帰	0.04	0.12	0.19	0.27	0.34	0.40	0.47	✓
D-9	往	0	0.07	0.17	0.28	0.37	0.46	0.56	0.66
	帰	0.09	0.18	0.27	0.35	0.43	0.51	0.59	✓
D-10	往	0	0.10	0.22	0.35	0.47	0.59	0.72	0.84
	帰	0.16	0.26	0.37	0.47	0.57	0.67	0.76	✓
D-11	往	0	0.12	0.26	0.41	0.57	0.71	0.87	1.02
	帰	0.21	0.34	0.47	0.59	0.70	0.81	0.93	✓
D-12	往	0	0.12	0.30	0.48	0.64	0.80	0.96	1.13
	帰	0.25	0.39	0.53	0.66	0.79	0.90	1.03	✓
D-13	往	0	0.15	0.33	0.52	0.70	0.88	1.06	1.24
	帰	0.30	0.45	0.60	0.74	0.87	1.00	1.13	✓
D-14	往	0	0.17	0.38	0.59	0.80	1.00	1.20	1.40
	帰	0.34	0.52	0.69	0.84	1.00	1.14	1.28	✓
D-15	往	0	0.21	0.48	0.74	1.00	1.25	1.51	1.76
	帰	0.45	0.68	0.88	1.07	1.25	1.42	1.61	✓
D-16	往	0	0.23	0.52	0.82	1.11	1.38	1.66	1.95
	帰	0.50	0.76	0.98	1.19	1.39	1.58	1.78	✓
D-17	往	0	0.30	0.65	0.99	1.34	1.67	2.00	2.33
	帰	0.64	0.93	1.19	1.43	1.68	1.90	2.13	✓
D-18	往	0	0.33	0.70	0.97	1.44	1.80	2.16	2.52
	帰	0.69	1.00	1.30	1.56	1.82	2.06	2.31	✓

注) 図 12 照参

単位: mm

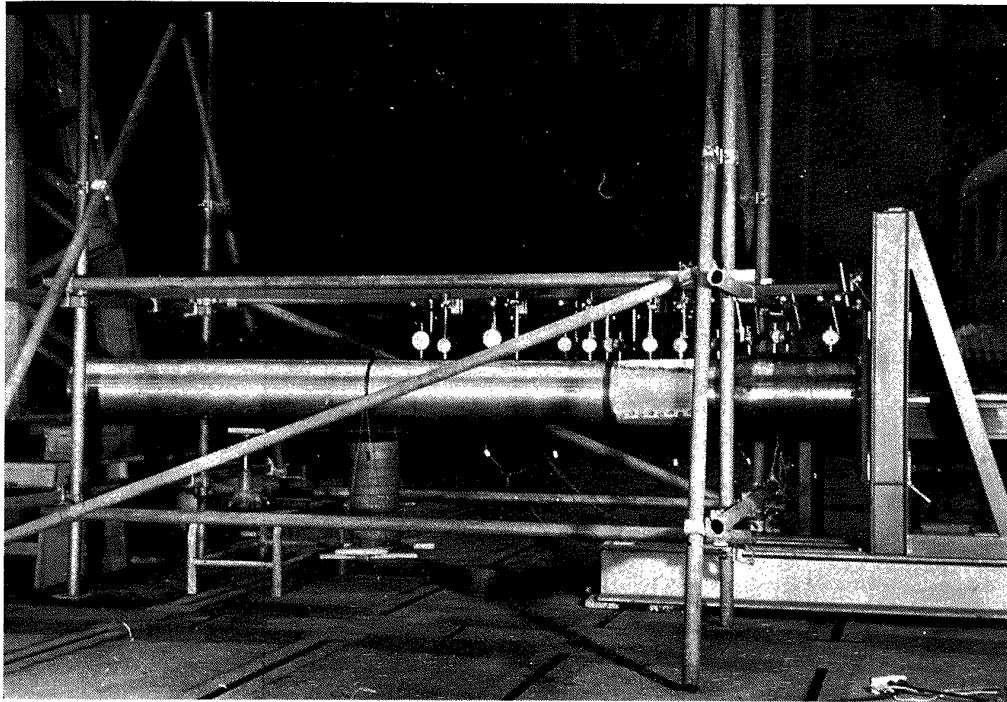


写真 1 NAL-25・31 ロケット結合部の曲げ剛性試験状況

全	長=8,100mm	全備重量=600.7kg
長さ	サステーナ 4,058mm	ブースタ 4,042mm
外径	165mm	312mm
重量(推進薬を含む)	123.7kg	477.0kg
推進薬重量	65.2kg	338.5kg

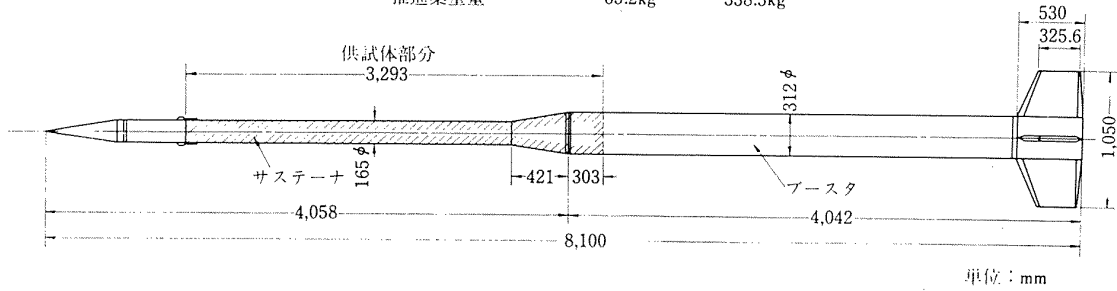


図 1 NAL-16・31 二段ロケット外観図

全	長：8,800mm	全備重量：796.2kg
長さ	サステーナ 4,663mm	ブースタ 4,137mm
外径	250mm	311mm
重量(推進薬を含む)	297.6kg	498.6kg
推進薬重量	135.9kg	341.5kg

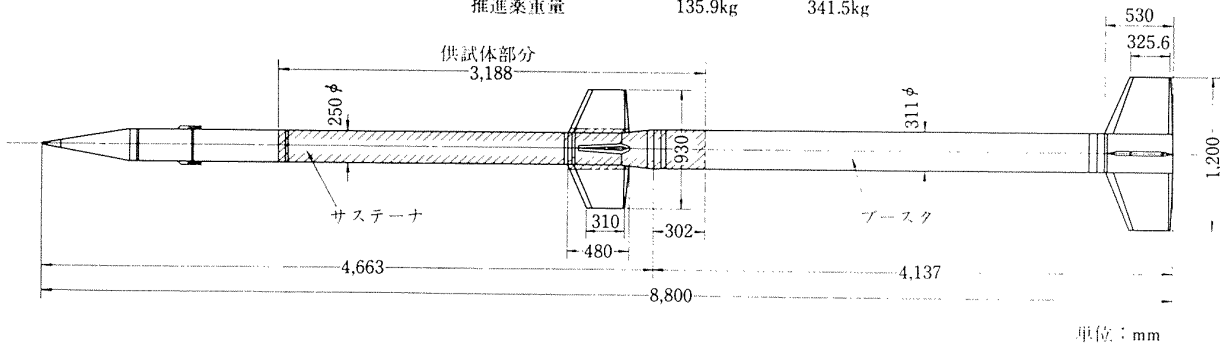


図 2 NAL-25・31 二段ロケット外観図

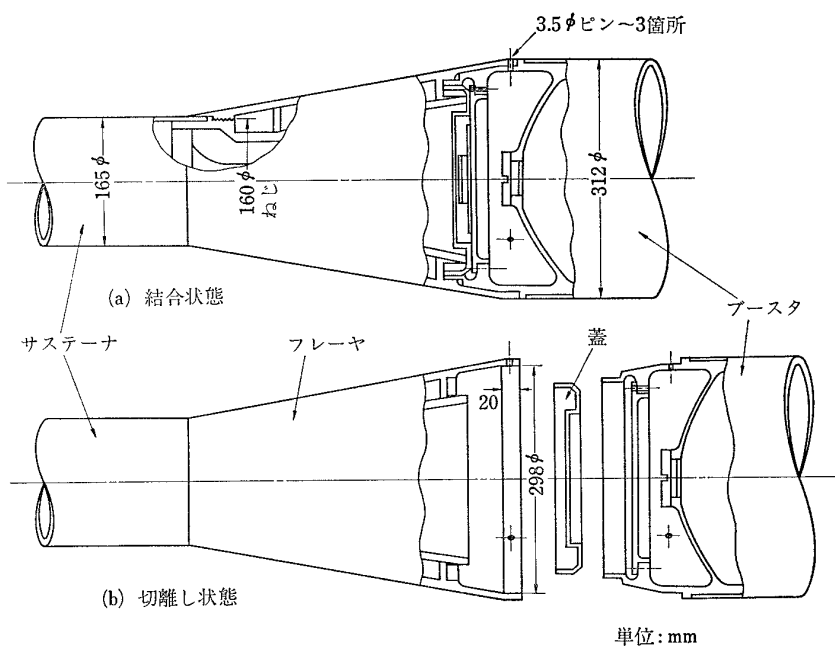


図 3 NAL-16-31 二段ロケット結合部構造

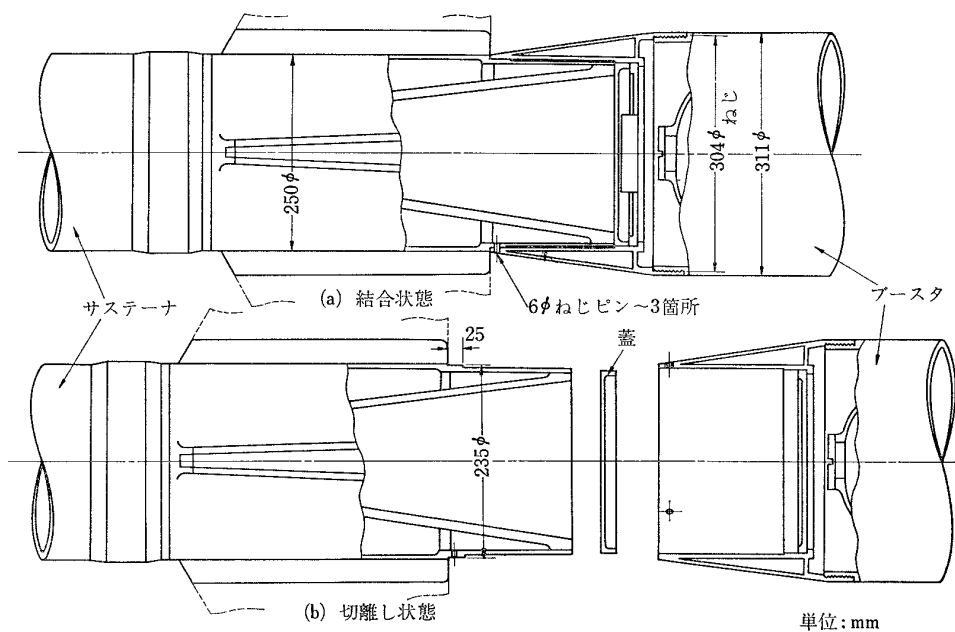


図 4 NAL-25-31 二段ロケット結合部構造

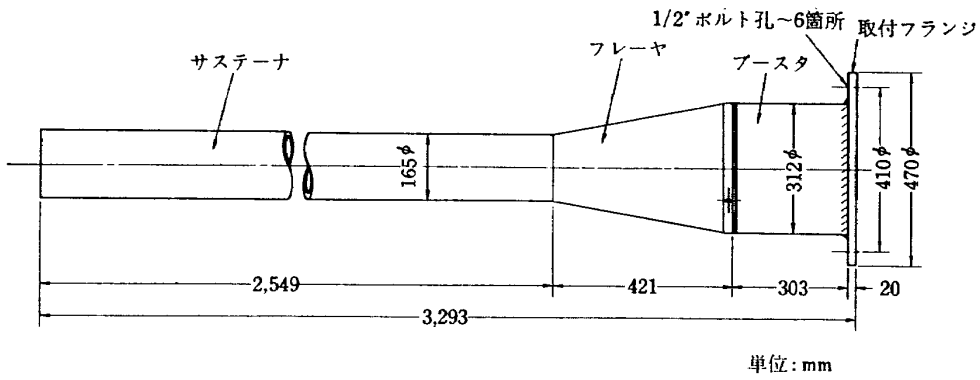


図 5 NAL-16-31 供試体

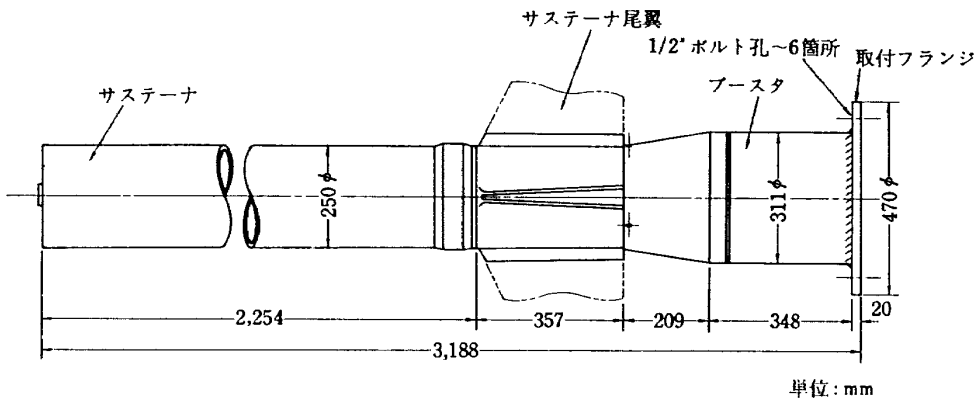


図 6 NAL-25-31 供試体

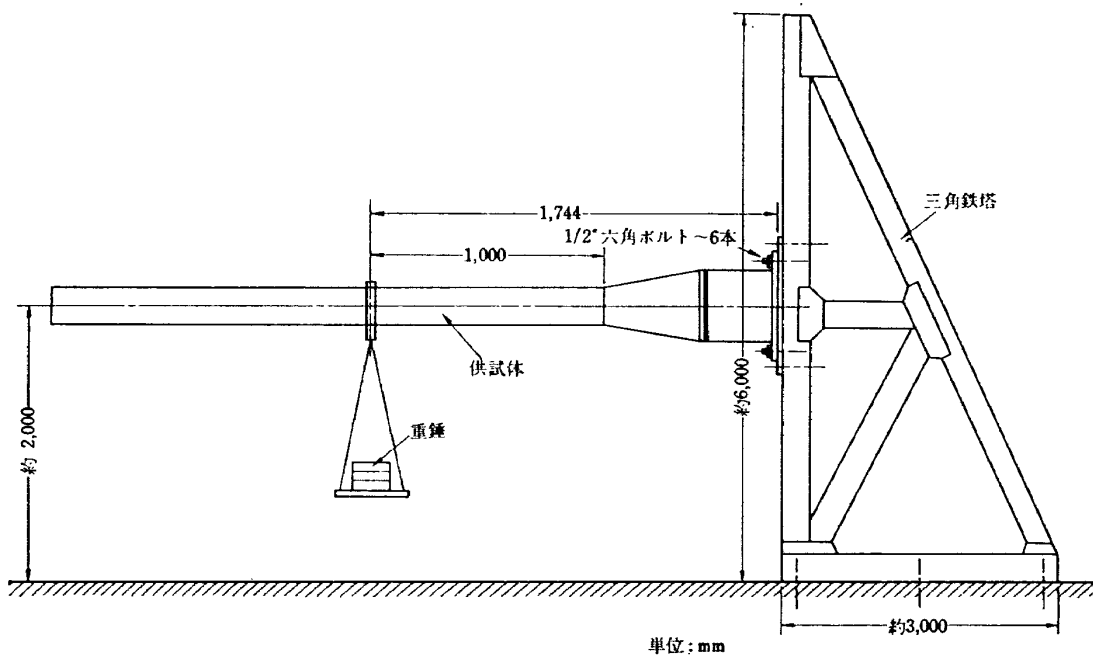


図 7 NAL-16-31 供試体設定図

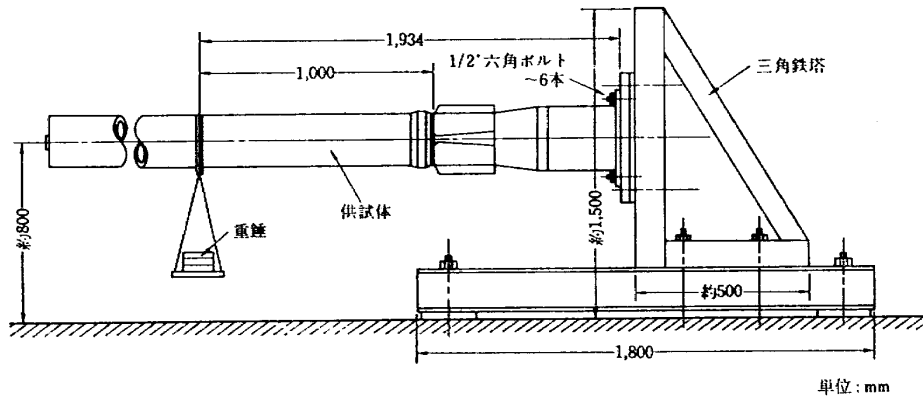


図 8 NAL-25・31 供試体設定図

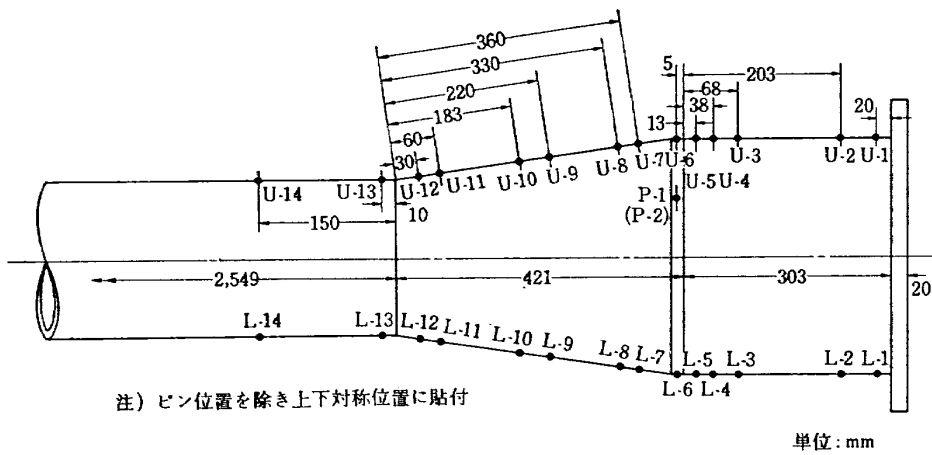


図 9 NAL-16・31 ひずみゲージ貼付位置

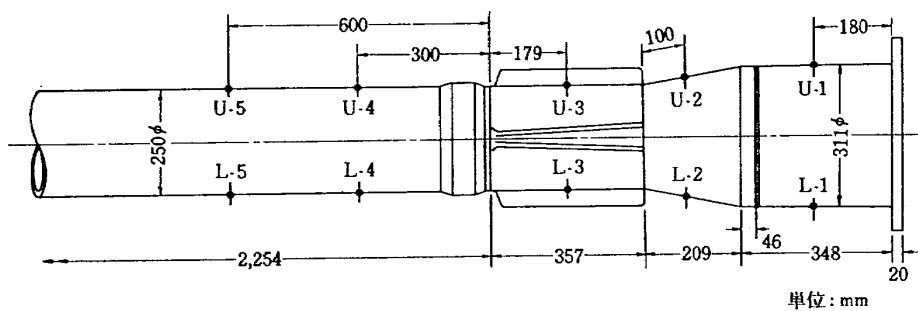


図 10 NAL-25・31 ひずみゲージ貼付位置

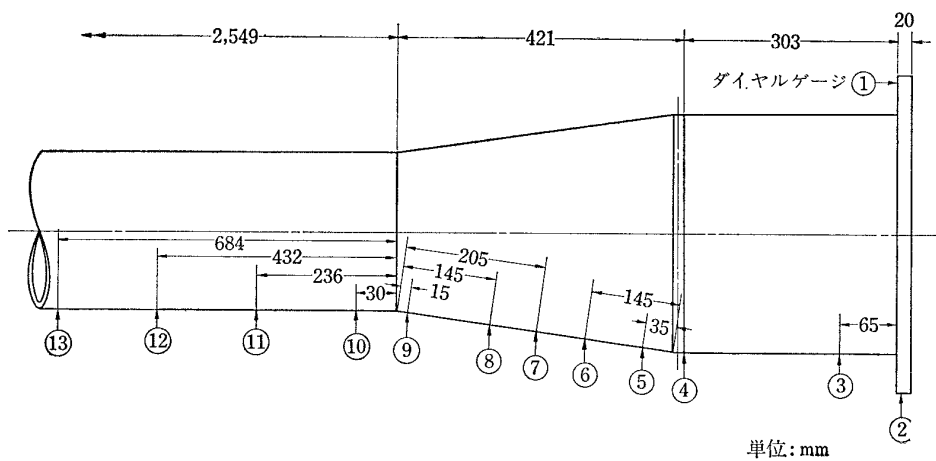


図 11 NAL-16.31 ダイヤルゲージ設定位置

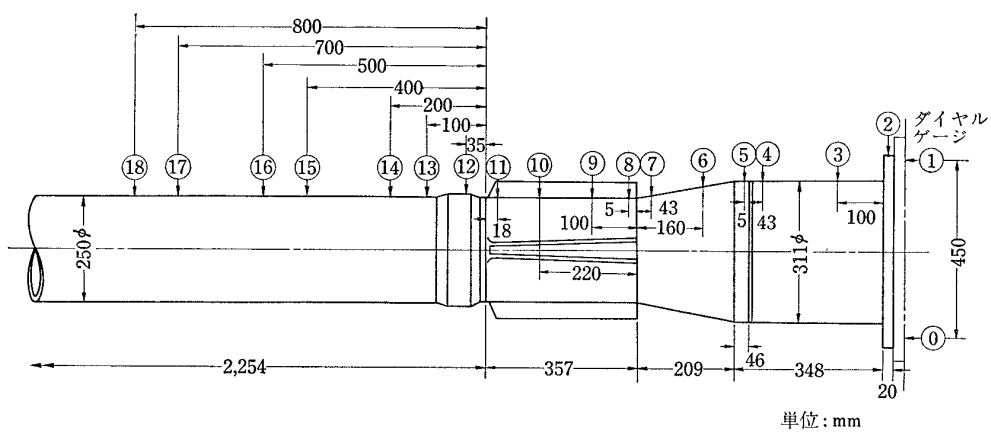


図 12 NAL-25.31 ダイヤルゲージ設定位置

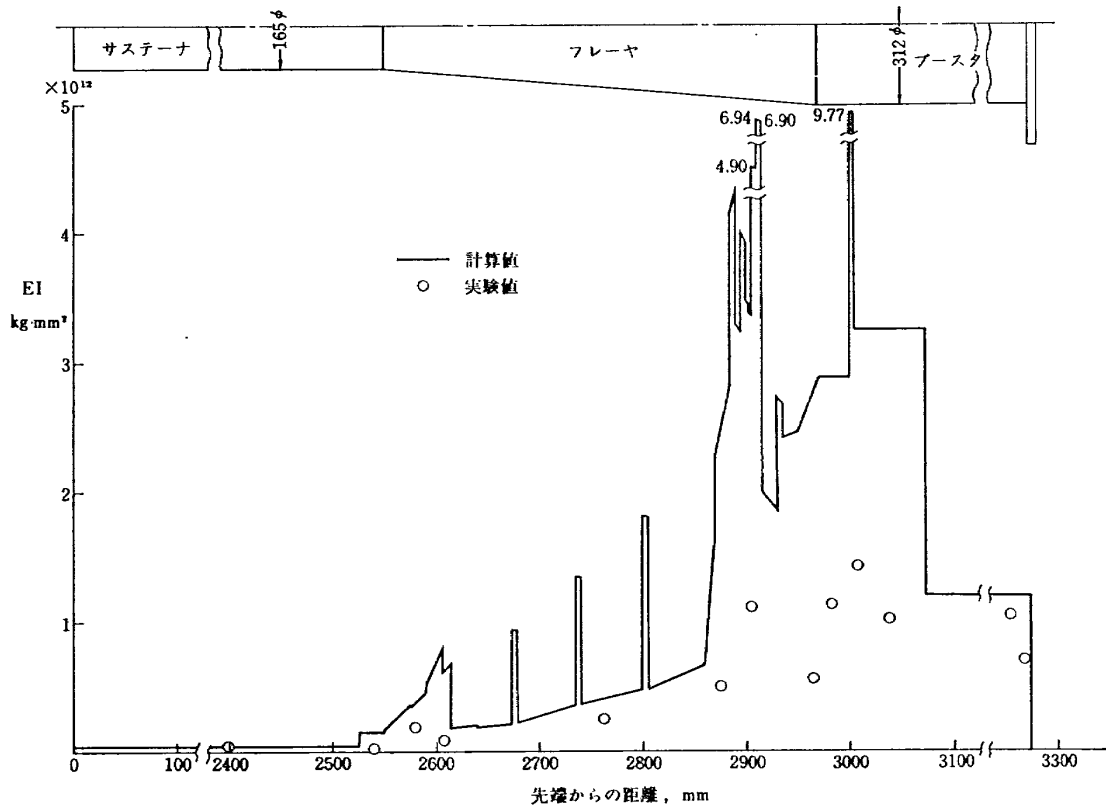


図 13 NAL-16-31 EI 分布

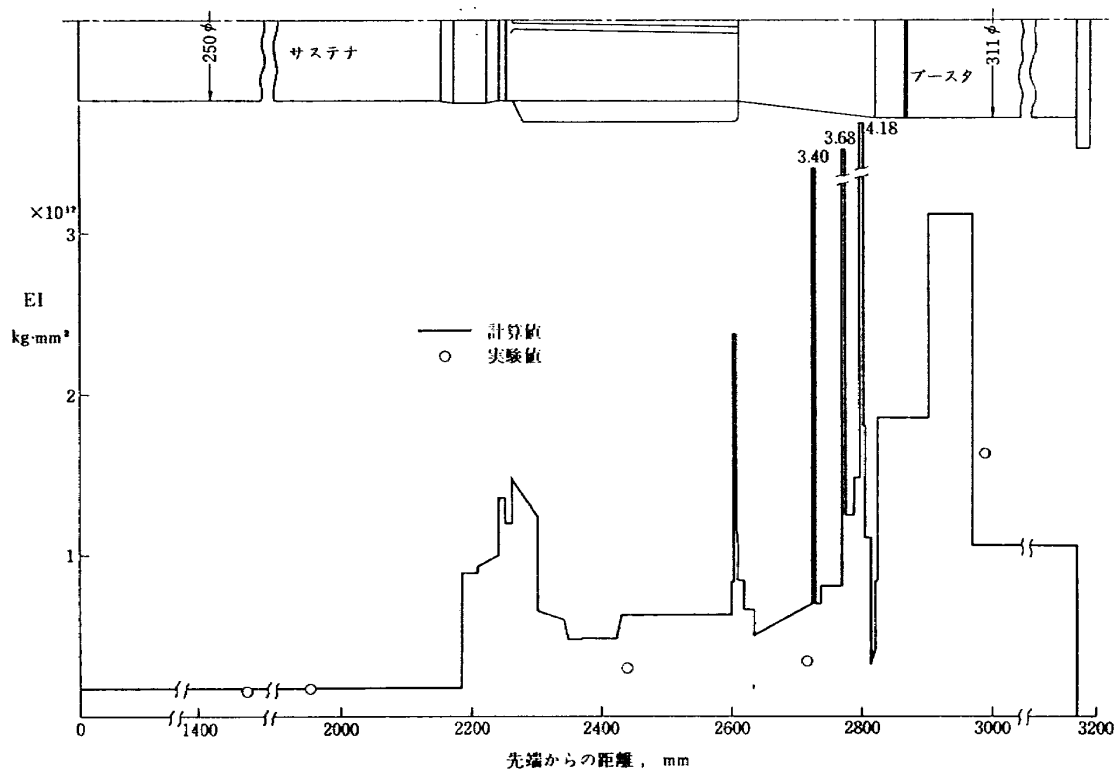


図 14 NAL-25-31 EI 分布

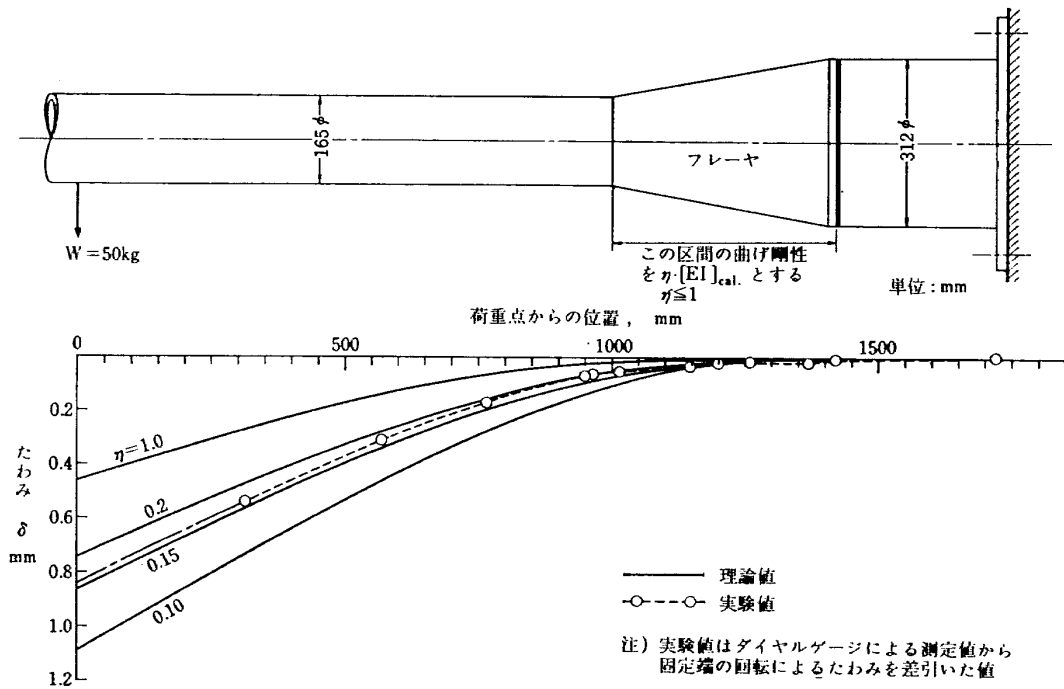


図 15 NAL-16.31 たわみ曲線

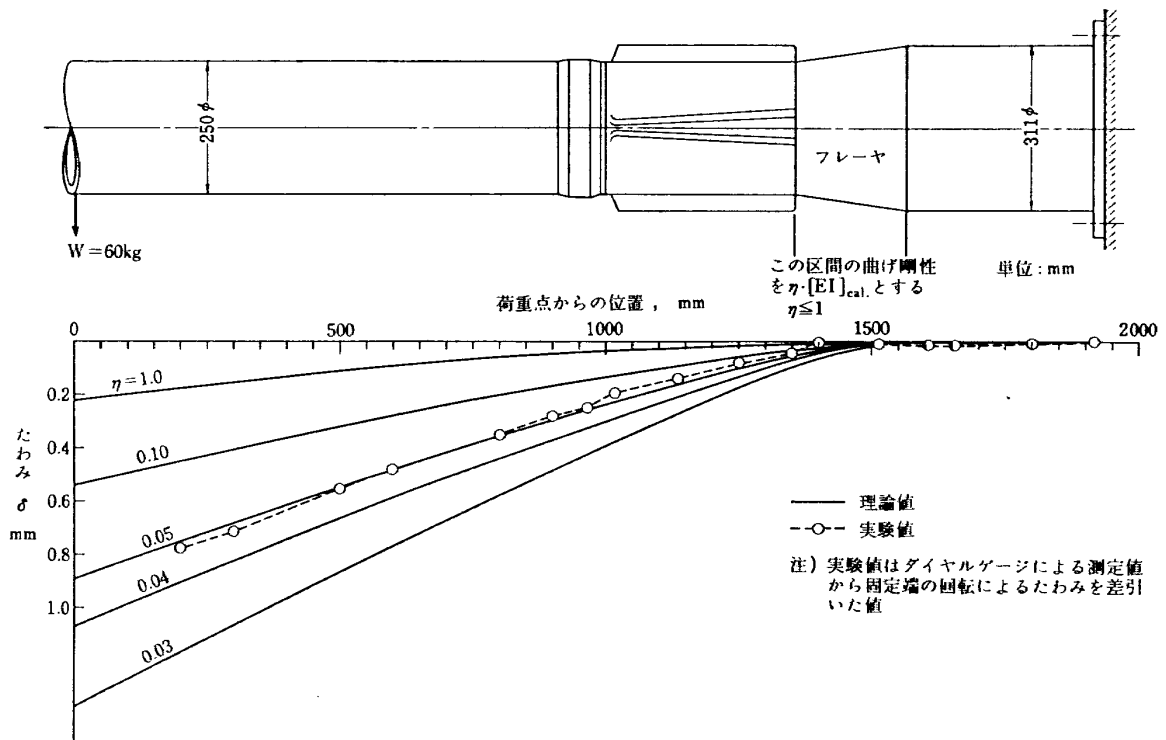


図 16 NAL-25.31 たわみ曲線

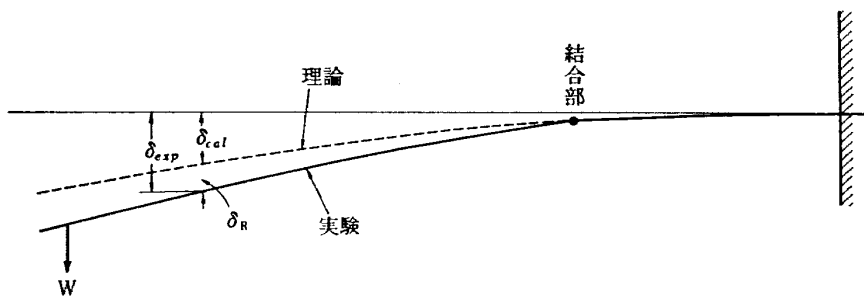


図 17 結合部での回転によるたわみ

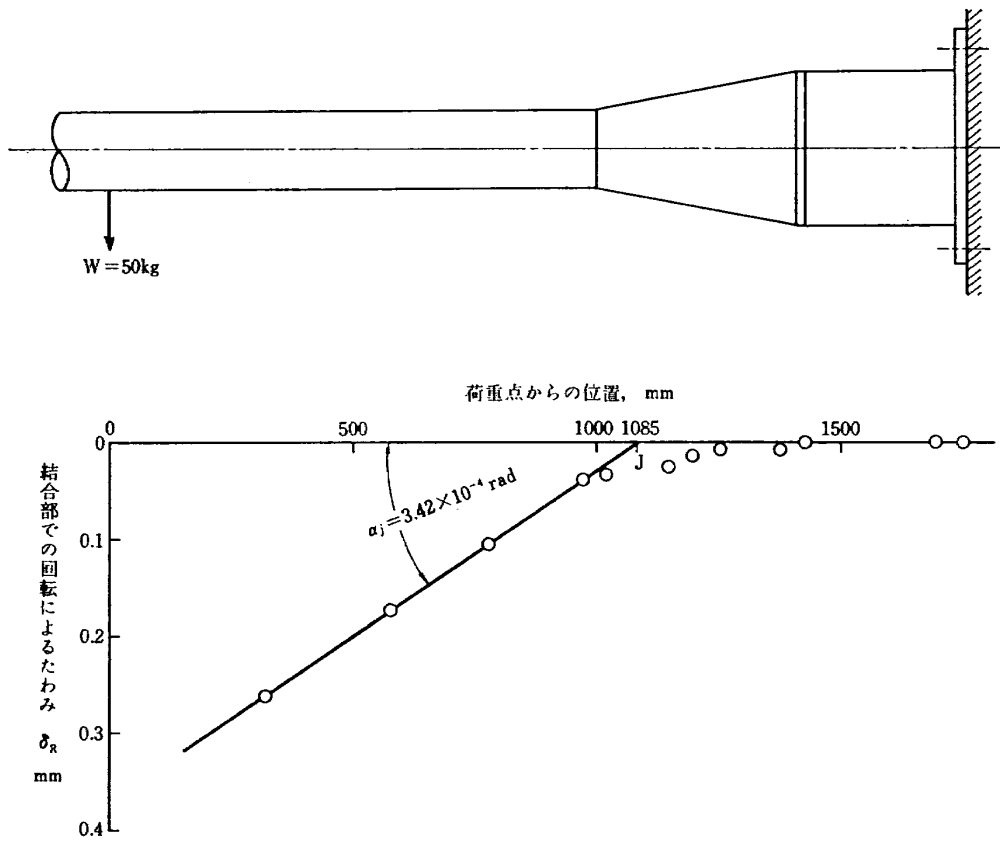


図 18 NAL-16-31 の結合部での回転によるたわみ

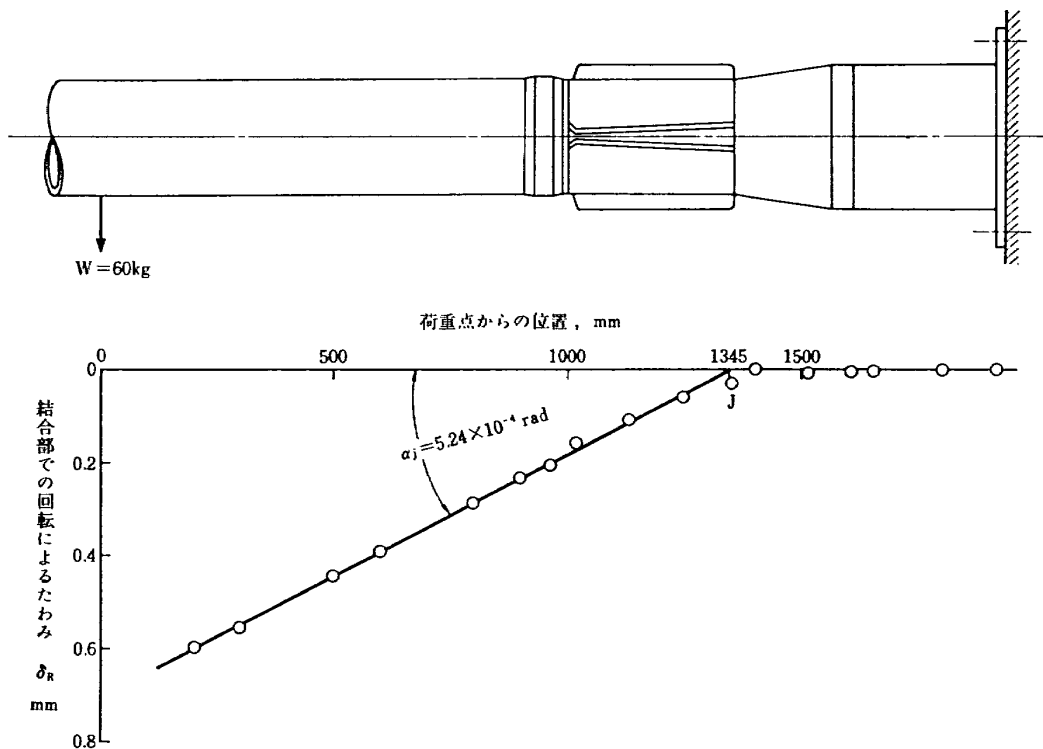


図 19 NAL 25-31 の結合部での回転によるたわみ

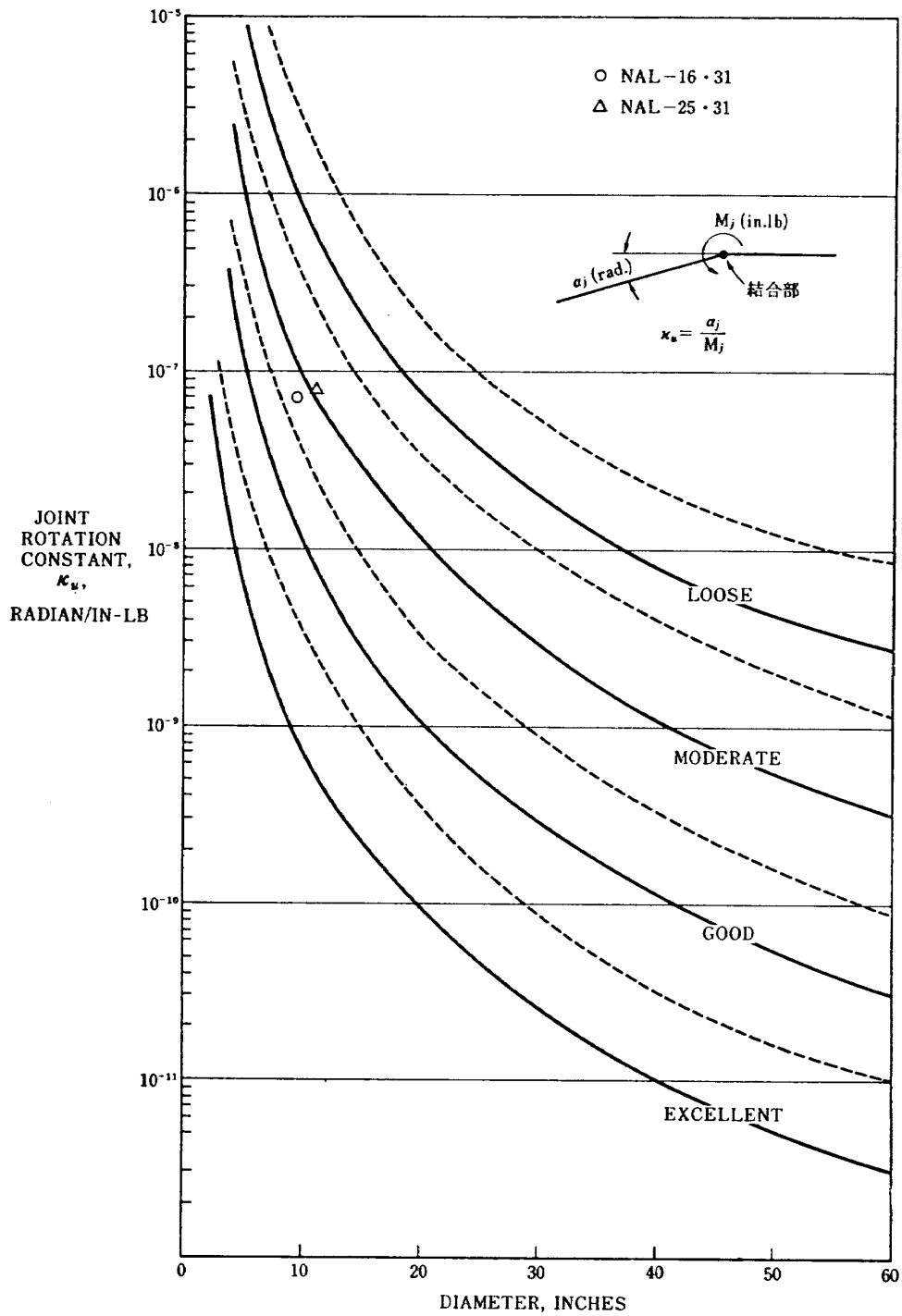


図 20 結合部回転定数

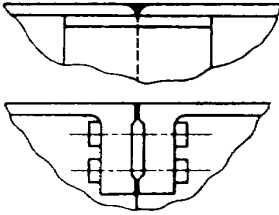
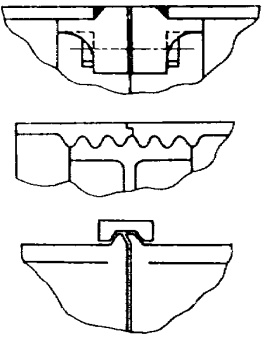
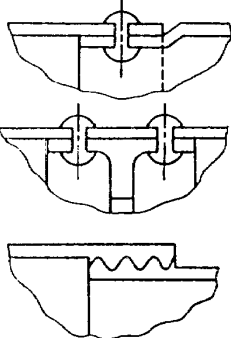
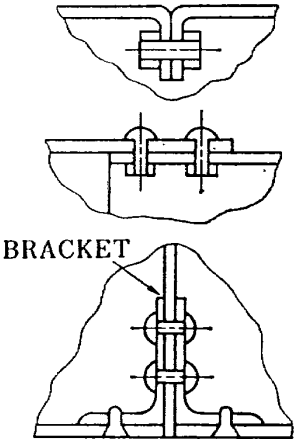
<p>EXCELLENT JOINT BUTT WELDED SKIN HEAVY BOLTED, PRELOADED</p>	
<p>GOOD JOINT HEAVY FLANGE BOLTED THREADED DIAPHRAGM MARMAN BANDS</p>	
<p>MODERATE JOINT RIVETED, LAPPED RIVETED TO INNER RING SCREW SECTION WITHOUT BUTT</p>	
<p>LOOSE JOINT LIGHT FLANGES, BOLTED OR RIVETED LAPPED WITH SCREW FASTENERS EQUALLY SPACED BRACKETS</p>	

図 21 各種接合部構造の分類

TM-120	円錐管レンズの設計とその応用	1967年11月	山中龍夫, 奥嶋澄男
TM-121	大きなマトリクスの逆行列計算および連立一次方程式の計算のためのプログラミング技術	1967年11月	戸川隼人, 戸川保子
TM-122	NAL-7-P ロケットの強度および燃焼試験結果	1967年11月	竹中幸彦, 古田敏康, 小川鉦一, 朝田洋富, 原恒彦, 五代富克, 湯沢克宜, 五伊藤敏文, 西村久男, 藤原文弥
TM-123	“NAL-16・31” および “NAL-25・31” 二段ロケットの振動試験	1967年11月	中井映一, 古関昌次, 田寺木一, 高田俊, 安藤泰勝, 森田地, 峯岸正勝, 太田幹雄, 朗之男
TM-124	吹出式超音速風洞の集合胴圧力制御について	1967年12月	外立政隆, 近藤洋史, 原亘利
TM-125	航技研 1m×1m 吹出式超音速風洞におけるハーフモデル試験について	1968年2月	石原久藏, 原亘利, 榊原盛三, 関根英夫
TM-127	2024-T3 アルミニウム合金の 3-bay 有孔補強平板の軸荷重による疲労特性	1968年4月	飯田宗四郎, 猿本光明, 斎藤信一郎
TM-130	リフトエンジンの自然吸込みについて	1968年4月	近藤博, 大城章一郎
TM-131	遷音速タービン翼列二次元試験 (Ⅲ)	1968年5月	近藤博, 蓑田光弘, 山崎紀雄, 古川昇
TM-132	行列の最小固有値の一計算法	1968年5月	戸川隼人, 戸川保子
TM-133	フィラメント・ワインディング円筒の強度特性に関する研究	1968年5月	竹中幸彦, 齊藤浩一, 古田敏康, 川島矩一郎, 三本木茂夫, 小川鉦一, 越出慎一, 朝田洋富, 熊倉郁夫, 大竹邦彦
TM-134	AGARD 標準模型 HB-1, HB-2 の超音速風洞試験	1968年5月	齊藤秀夫, 石原久藏, 原亘利, 野田順一, 関根英夫
TM-135	歪ゲージの自己加熱による歪ドリフト	1968年5月	小川鉦一, 遠藤修司

注: 欠番は配布先を限定したもの

航空宇宙技術研究所資料136号

昭和43年5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)

印刷所 株式会社 東京プレス
東京都板橋区桜川 2-27-12
