

航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

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)

小川 敏一・野口 義男

1968 年 2 月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

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)

小川 鉦一**・野口 義男**

The Measurement of Thermal Properties of Reinforced Plastics at Temperatures up to 150°C (Infra-red Radiation Method¹⁾)

By Koichi OGAWA and Yoshio NOGUCHI

This paper presents the technique of measuring thermal properties, such as thermal diffusivity, heat capacity and thermal conductivity of reinforced plastics, and particularly the characteristics of those materials at temperatures up to 150°C using the infra-red radiation method.

Eighteen different reinforced plastics were tested, these materials consisting of phenol, epoxy, polyester, silicon, flax and melamine for the resin material, and glass, Teton, asbestos, nylon, cotton cloth and paper for the reinforcing material, respectively.

From the results of measurement of thermal properties of reinforced plastics at temperatures up to 150°C, the following conclusions are deduced:

1) Thermal diffusivity α decreases as the temperature rises and its value is more affected by the reinforcing material than that of the resin.

2) Heat capacity ρc increases as the temperature rises and the effect does not depend so much on the reinforcing and resin materials.

3) These plastics have different characteristics as to thermal conductivity k , depending upon the material, the influence of the reinforcing material predominating over that of the resin.

1. ま え が き

最近強化プラスチックが各方面に使用されるようになり、航空機やロケット等の高速飛しょう体にも数多く用いられるようになった。高速飛しょう体に強化プラスチックが使用された場合、空力加熱による機体の温度上昇を計算により求めておくためには使用された強化プラスチックの熱的物性値をあらかじめ知る必要がある。一般金属においては熱的物性値はほとんどが知られているのに対して強化プラスチックの熱的物性値は使用される樹脂、基材および製造法等によりその値が異なることが報告¹⁾されているにもかかわらず、強化プラスチックの熱的物性値についての報告はあまりなされていない。したがって強化プラスチックを応用した物の熱的物性値を知る場合には、そのつどその強化プラスチックの熱的物性値を測定

することが望ましい。熱的物性値の測定には一般に簡単ではないし、また時間を要するものであるが、著者の一人がすでに報告した輻射加熱による固体の熱的物性値測定法¹⁾によれば非常に簡単に求められ、かつ150°Cの高温まで十分測定できるので、この方法にもとづき常温より50°Cおきに150°Cまでの温度に対する強化プラスチックの熱的物性値すなわち温度伝導率 α 、熱容量 ρc および熱伝導率 k を求めた結果につき報告する。測定を行なった強化プラスチックの種類は樹脂としてフェノール、エポキシ、ポリエステル、シリコン、フランおよびメラミンの各樹脂にガラス布、紙、布、テトロン布、アスベスト布およびナイロン布を基材としたもの15種、耐熱FRP3種および90%は空気といわれる発泡ポリスチレンシートのみ計19種類について行なった。

2. 熱的物性値測定法の原理

測定法の原理についてはすでに報告¹⁾してあるので

* 昭和42年11月21日受付

** 機体第一部

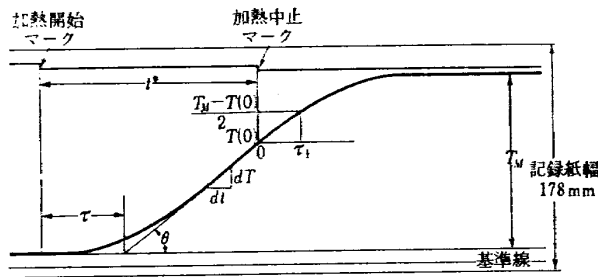


図 2.1 電磁オシログラフによる試料裏面温度の記録説明図

ここでは簡単にその方法について述べることにする。

試料平板の片側表面を、試料よりある一定距離はなれた位置に置かれた赤外線ランプの様な輻射熱量 $q(\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ で裏面温度の過渡状態が終り準定常状態になるまで t^* 時間加熱する。このとき裏面は断熱と仮定すると裏面温度は図 2.1 に示すように時間 t^* に相当する温度 $T(0)$ まで上昇する。 t^* 時間後に急激に加

熱を中止したときの試料内部の温度分布は厚さ方向 x の二次関数となっていて、加熱面が高く、裏面が低い温度である。したがって加熱中止後も表面、裏面を断熱と仮定するならば、試料内部の厚さ方向温度分布が一樣になるまで裏面温度は上昇し、図 2.1 に示すように時間とともに平衡温度 T_M に近づく。図 2.1 のような測定結果より加熱中止後に到達する平衡温度 T_M と加熱を中止した瞬間の温度 $T(0)$ の差の半分、すなわち $\{T_M - T(0)\}/2$ まで裏面温度が上昇するに要する時間を $\tau_{1/2}(\text{sec})$ とすると温度伝導率 α は $\tau_{1/2}$ と試料の板厚 $\delta(\text{cm})$ を用いて

$$\alpha = 0.875 \frac{\delta^2}{\pi^2 \tau_{1/2}} \left[\frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \right] \quad (2.1)$$

として求められる。また熱容量 ρc は後述する加熱熱量率 $q(\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ 、加熱時間 $t^*(\text{sec})$ 、平衡温度 T_M ($^{\circ}\text{C}$) および板厚 $\delta(\text{cm})$ を知って

$$\rho c = \frac{qt^*}{\delta T_M} \left[\frac{\text{cal}}{\text{cm}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}} \right] \quad (2.2)$$

表 3.1 試料

結合剤	フェノール樹脂	同左	同左	同左	同左	同左		
基材	細糸布	ガラス布	ナイロン布	太糸布	アスベスト布	紙		
記号	LP-51N	LP-61N	LP-91N	LP-55N	LP-64N	LP-44N		
硬さ	HB	35~45	45~55	—	30~40	30~45	—	
引張強さ	kg/mm ²	6~9	12~20	4~9	6~9	6~9	7~13	
曲げ強さ(層に垂直)	kg/mm ²	10~18	14~22	7~14	9~15	8~12	12~18	
圧縮強さ	層に垂直	kg/mm ²	24~30	30~45	—	24~30	20~30	—
	層に平行	kg/mm ²	20~25	12~18	—	18~23	—	—
衝撃強さ	層に垂直	kg-cm/cm ²	10~20	—	—	15~30	15~30	—
	層に平行	kg-cm/cm ²	4~8	30~50	—	10~15	—	—
耐熱性試験温度	°C	140	180	110	140	180	130	
比重量*	g/cm ³	1.27	1.62	1.19	1.32	1.63	1.33	
吸水率(厚さ)	%	0.9~1.2	1.8~2.0	0.2~0.4	1.1~1.6	1.5~2.5	0.5~0.9	
試料厚さ	mm	1.95	1.47	0.68	3.00	1.73	1.65	
特性用途		機械加工性良好 高級電気絶縁用	耐熱性 高強度 一般電気絶縁用	耐湿 最高級電気絶縁用	耐衝撃性 耐摩耗性 機械用	耐熱性 耐摩耗性	加温打ち抜き加工性良好 高級電気絶縁用	

* 実測値

として求めることができる。さらに α と ρc が (2.1), (2.2) 式より求めたなら熱伝導率 k は

$$k = \alpha \cdot \rho c \left[\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}} \right] \quad (2.3)$$

として求めることができる。

加熱中は試料平板の裏面, 加熱中止後は表面, 裏面ともに断熱と仮定したが, 実際には熱伝導の小さい空気が試料平板の表面, 裏面に境界しているので熱の損失, すなわち熱伝達や輻射により空気中に失われる熱損失があるものと考えられる。しかし本測定においてはこのような損失を少なくし, 理論的に断熱という条件から導びき出された (2.1)~(2.3) 式を満足するように試料の温度上昇を 10°C 以下におさえることにする。一般に熱的物性値は温度の関数である。本方法による熱的物性値の測定は試料平板の表面から輻射加熱で t^* 時間加熱するわけであるから試料の温度は上昇するしまた試験温度も加熱前の温度と異なってくる。しかし加熱時間および試料の温度上昇はわずかで

あり, この程度の温度変化では一般に熱的物性値は変わらないので試料がおかれた雰囲気の温度を試験温度とみなしてよい。このように考えて $T(^\circ\text{C})$ の炉内に試料をおき試料が一様に $T(^\circ\text{C})$ になるまで約 30 分間この温度に保持した後, 輻射加熱を t^* 時間だけ加えるなら裏面温度の変化を測定し, (2.1)~(2.3) 式を用いて $T(^\circ\text{C})$ における熱的物性値を求めることができる。

3. 試 料

試料は表 3.1⁶⁾, 図 3.1 および表 3.2 に示すようにH社製の強化プラスチックでフェノール, エポキシ, ポリエステル, シリコン, フランおよびメラミンの各樹脂にガラス布, 紙, 布, テトロン布, アスベスト布, ナイロン布を基材としたもの 15 種類 (大きさ $65 \times 95 \text{ mm}$)。表 3.2 に示すように耐熱 FRP 3 種類 (大きさ $150 \times 150 \text{ mm}$) および 90% は空気といわれる発泡ポリスチレンシート (比重約 0.1, 大きさ 150

特 性

メラミン樹脂	同 左	シリコン樹脂	エポキシ樹脂	同 左	フラン樹脂	ポリエステル樹脂	同 左	同 左
細糸布	ガラス布	ガラス布	ガラス布	テトロン布	細糸布	無アルカリガラス布	含アルカリガラス布	テトロン布
LU-57N	LU-61N	LS-61N	LE-61N	LE-97N	LF-52N	LG-61N	LG-63N	LG-97N
35~50	40~50	—	—	—	—	—	—	—
5~10	15~20	8~12	—	—	8~9	>15	>10	4~6
10~15	20~30	10~20	35~45	9~15	>16	>25	>20	>10
20~30	40~50	30~45	—	—	>17	—	—	—
15~20	10~15	5~10	—	—	—	—	—	—
4.5~10	—	—	10~15	10~20	—	—	—	—
2~5	30~50	—	—	—	—	—	—	—
140	160	200	180	140	—	—	—	—
1.46	1.83	1.71	1.76	1.27	1.31	1.47	1.67	1.31
0.7~1.0	1.5~1.9	0.2~0.35	0.2~0.35	0.2~0.4	0.9~1.2	0.1~0.3	0.1~0.3	0.3~0.5
0.91	1.82	1.61	0.99	2.08	1.85	1.08	2.22	1.52
耐アーク性 機械加工良好 一般電気絶縁用	耐熱性 耐アーク性大 高強度 一般電気絶縁用	最高級耐熱性 耐アーク性大 電気絶縁用	高絶縁 高耐湿 寸法安定性大	高絶縁 高耐湿 常温打ち抜き加工用	耐食性 耐摩耗性 耐湿熱性	高強度 表面平滑 電気絶縁用	低価格 機械用	常温打ち抜き加工用

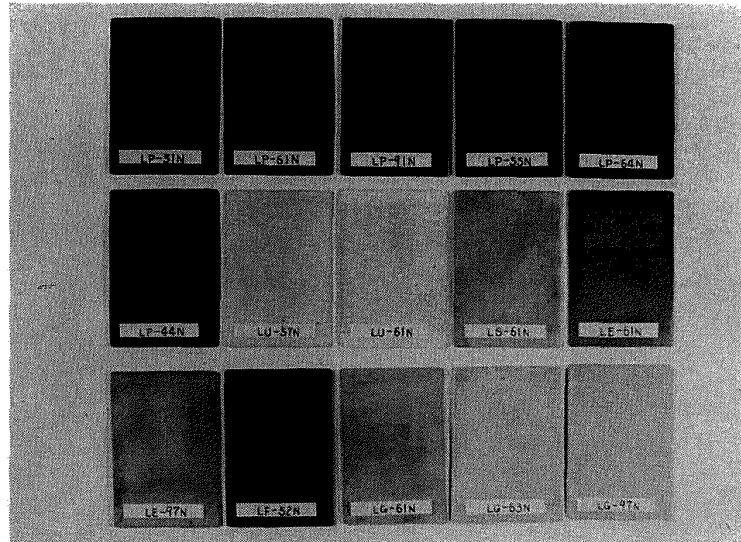


図 3.1 強化プラスチック試料

表 3.2 耐熱 FRP および発泡ポリスチレンシート

試料	LP-1	LP-2	LP-3	発泡ポリスチレンシート
結合剤	フェノール樹脂	フェノール樹脂	フェノール樹脂	発泡ポリスチレン
基材	グラファイト (4枚) Eガラス (3枚)	Eガラス (6枚)	リフラジル (5枚)	—
加圧 (kg/cm ²)	13	13	13	—
樹脂含有率 (%)	41	41	42	空気約 90%
大きさ (mm)	150×150×3.24	150×150×2.74	150×150×3.02	150×150×1.10

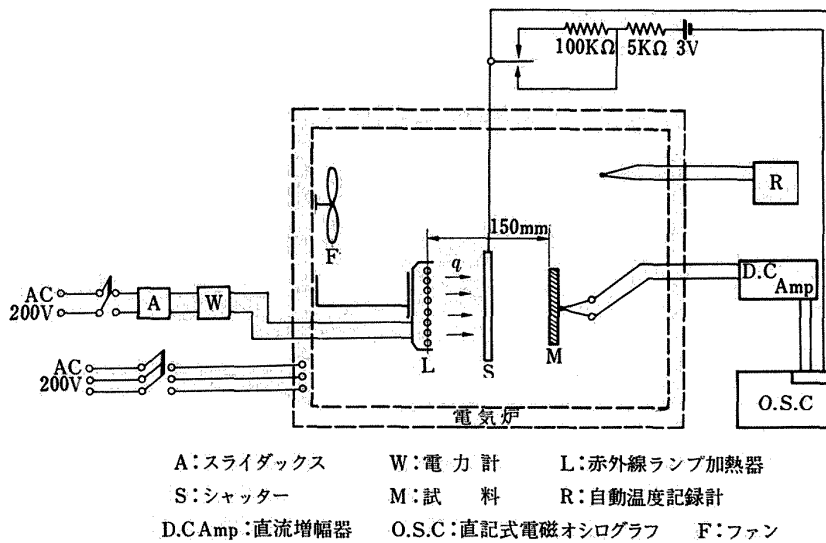


図 4.1 熱的物性値測定装置

×150) の計 19 種類について行なった。

4. 測定装置および測定法

4.1 測定装置

図 4.1 および図 4.2 に示すように既設の電気炉内に赤外線ランプ加熱器、シャッター装置、試料固定台お

よび熱電対接続端子をそれぞれ設置し、外部には加熱器に供給する電力を制御するためのスライダックスおよび供給電力を測定するための電力計が赤外線ランプ系統に接続されてある。シャッターにはパイプが取り付けられ、このパイプが電気炉上面まででていて、電気接点をシャッターの開閉につれ作動させ電磁オシ

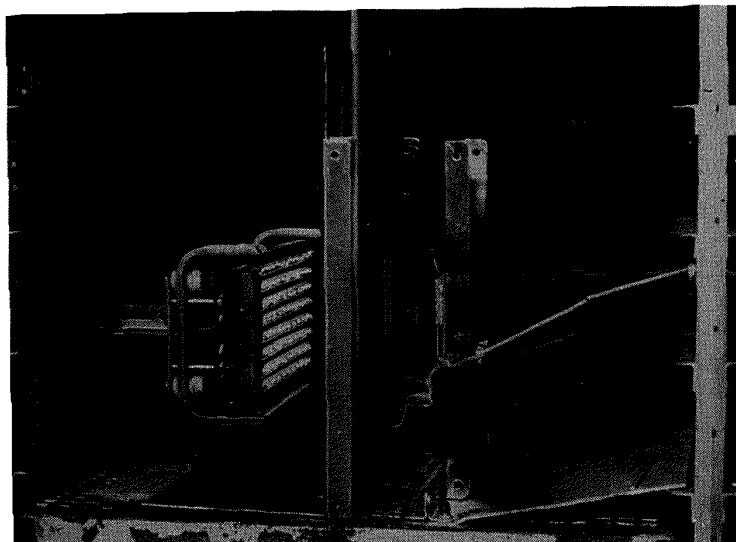


図 4.2 炉内測定装置

表 4.1 使用器具

計 器 名	型 式	規 格	備 考
電気精密恒温槽	型式 51	電 源 3φ 200V 容 量 4.8 kW 電 流 14A 最高温度 400°C 大 き さ 400×500×600 mm	田村製作所
電磁オシログラフ	Type EMO-1	12チャンネル 紙 幅 178 mm 紙送り速度 2.5, 5, 10, 25, 50, 100 cm/s cm/m	横河電機
直流増幅器	Type EM-A31	Range 100~10V 10~1V, 1~0.1V, 100~10 mV	横河電機
赤外線ランプ加熱器		240Vにて 8 kW 480Vにて 24 kW 管 径 10 mm フィラメント長さ 250 mm	管形赤外線ランプ 8 本使用 ランプ・東芝 反射器・リサーチ社
単相電力計		60/120/240/600V 25/50A, 単相	横河電機
スライダックス		電 圧 0~260V 最大電流 30A	山菱電機
自動温度記録計	ER-12	250/500/750°C 12点, 打点式	横河電機
携帯用電位差計	Type P-31A	クロメル-アルメル用 0~40 mV, 0~500°C	横河電機

ロググラフ上に加熱開始、中止を知らせるマークが入るようになっている。加熱器ランプ中心より 150mm の位置に試料が置かれ、この試料の裏面には熱電対が取り付けられてあり、この出力電圧を直流増幅器で増幅した後電磁オシログラフに記録される。また電気炉内の温度を常時測れるように雰囲気中にも熱電対が置かれ自動温度記録計に接続されてある。以上のような装置で使用された各器具を表 4.1 に示す。

4.2 測定法

(a) 試料裏面温度の測定について

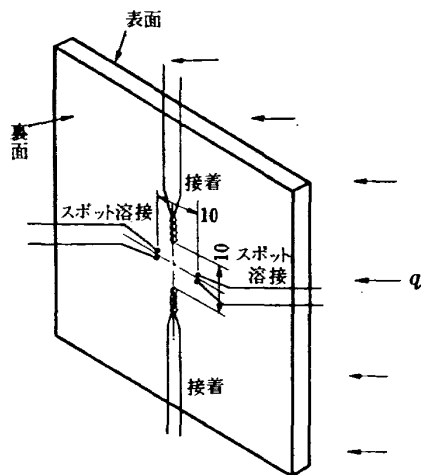


図 4.3 熱電対のスポット溶接および接着位置

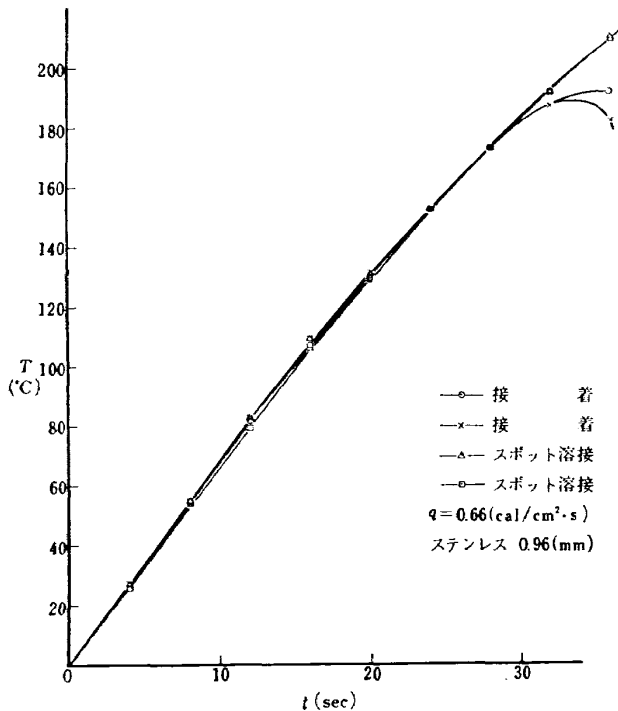


図 4.4 熱電対取り付け方法（接着およびスポット溶接）による平板裏面温度測定値の比較

試料裏面には 0.1ϕ のクロメル-アルメル熱電対を強力接着剤アロンアルファ #201 を用いて接着してある。普通金属の温度測定には熱電対を溶接して取り付けるが、強化プラスチックのような非金属には溶接することができない。そこで本測定においては接着剤を用いて取り付けただけであるが高温になると熱電対が脱落する恐れがあった。そこで図 4.3 のようにステンレス鋼厚さ 0.96 mm の平板裏面に 0.1ϕ クロメル-アルメル熱電対をスポット溶接したものとアロンアルファ #201 を用いて接着したものを比較したところ図 4.4 に示すように 180°C までは脱落もなくかつほとんど誤差なく測れることがわかった。このようにして本測定では常温、 50°C 、 100°C および 150°C の温度について熱的物性値を測定した。

熱電対を用いて温度を測る場合通常図 4.5 のように冷接点 (Cold Junction) を用いて測る。本測定には冷接点を省略して接続端子は図 4.6 のように電気炉内部に配置し、赤外線ランプ加熱器による輻射加熱の温度上昇分だけを記録できるようにした。

試料により異なるが輻射熱量 q で加熱する時間は 20 秒前後であり、また直接輻射加熱を受けないように接続端子は遮蔽してあるので冷接点に相当する接続端子の温度上昇はみとめられない程度である。したがって図 4.5 では図 4.7 の A のような結果が得られるが本測定においては図 4.6 のようにしたので図 4.7 の B のような結果が得られる。このようにすると熱的物性値の測定に必要な温度の変化分のみ記録できる。

(b) 輻射加熱熱量率について

試料を加熱する熱源は赤外線ランプ加熱器より発生

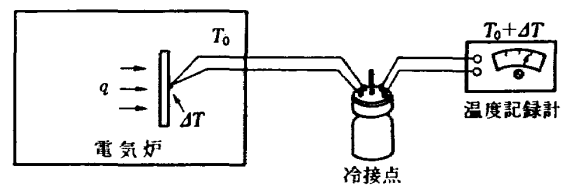


図 4.5 冷接点が零度の場合の試料温度測定図

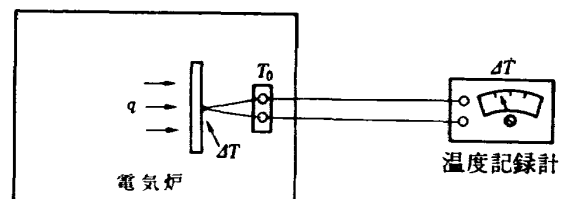


図 4.6 冷接点が炉温の場合の試料温度測定図

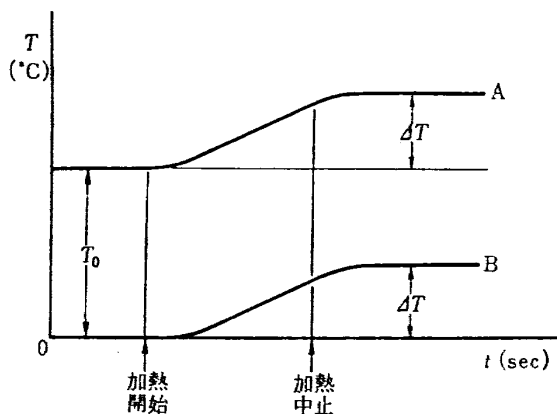


図 4.7 冷接点位置による試料温度上昇の説明図

する輻射熱である。加熱器の電力が一定で加熱器と試料間の距離が一定なとき試料に入る輻射熱量率¹⁾ q は一定で

$$q = \rho c \delta \frac{dT}{dt} \quad [\text{cal/cm}^2 \cdot \text{s}] \quad (4.1)$$

で与えられる。ここで ρc は試料の熱容量で温度の関数である。しかし温度勾配 dT/dt が求められる範囲内で温度上昇を小さくすれば ρc は一定とみてよい。 δ は厚さおよび dT/dt は準定常状態における温度上昇率である。したがって熱容量 ρc および厚さ δ があらかじめわかっている試料を用いて裏面温度の変化を測定し、準定常状態における温度上昇率 dT/dt を知れば (4.1) 式より試料に入る輻射熱量率を知ることができる。この原理にもとづき表 4.2 のような既知の物性値 ρc および試料厚さ δ を得て図 4.1 の装置で加熱器と試料間の距離 150 mm 一定とした場合、加熱器に加える電力 P と試料が受ける輻射熱量率 q の関係を求めると図 4.8 となる。

(c) 熱的物性値の測定

加熱源の赤外線ランプ加熱器は図 4.2 の写真にみるように管型赤外線ランプ 8 本を同一平面上で等間隔に平行に取り付けた加熱器である。このランプは管径 10 mm フィラメント長さ 250 mm で、電圧 240 V に

表 4.2

加熱器出力	試料	熱容量 (cal/cm ³ °C)	厚さ (mm)	輻射熱量率 q (cal/cm ² s)	q の平均値
0.75 kW	ステンレス鋼	0.923	3.15	0.0562	0.04776
	パーマロイ	0.909	3.04	0.0552	
	黄銅	0.782	2.00	0.0443	
	鉛	0.353	2.03	0.0401	
	軟鋼	0.861	4.91	0.0458	

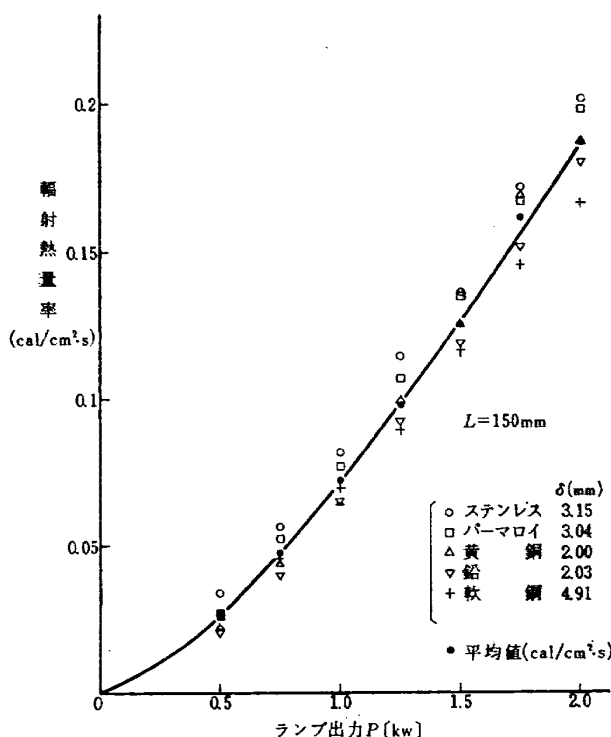


図 4.8 試料入射熱量率 q と加熱器出力 P の関係 (試料—加熱器ランプ間距離 $L=150$ mm)

おける 1 本当りの出力は 1 kW, 倍の 480 V では 3 kW である。

試料の表面よりはいる輻射熱量率 q が試料を変えても、加熱器と試料の距離および加熱器電力が一定のときはつねに同一になるように水溶性の酸化コバルトを表面に塗って黒化してある。

電気炉内温度を $T(^{\circ}\text{C})$ 一定に保ち 30 分間この温度で保持した後、加熱器に加える電力を 0.75 (kW) [$q=0.04776$ (cal/cm²·s)] 一定とし、電磁オシログラフの紙送り [紙送り速度=10 (mm/s)] を始動したのちシャッターを急速に取りのぞく。このとき図 4.1 に示したようにシャッターが加熱器の半分開いたとき加熱開始用接点が動き、記録紙上に加熱開始を知らせるマークが入る。一定時間 t^* だけ加熱した後シャッターを閉じると加熱中止を知らせるマークが再び記録紙上に入るようになっている。これらの様子を示したのが図 2.1 である。記録紙幅は 178 mm で紙幅いっぱい 10[°]C の温度変化が記録できるように直流増幅器の利得と電磁オシログラフの減衰器で調整してある。温度記録の較正には携帯用直流電位差計 (横河電機・P-31 型) を用いた。

以上のようにして得られた測定結果の一例を図 4.9 に示す。

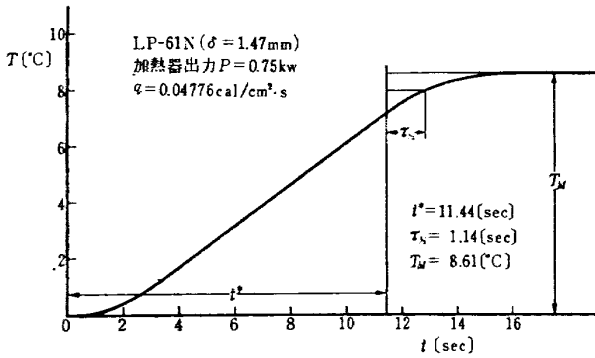


図 4.9 記録例 [LP-61N]

5. 測定結果および結果の検討

5.1 測定結果

15種類の強化プラスチックの内ガラス布基材にフェノール(LP-61), メラミン(LU-61N), シリコン(LS-91N), エポキシ(LE-61N) およびポリエステル(LG-61N) の各樹脂を変えた強化プラスチック, フェノール樹脂に対し基材となる紙(LP-44N), 細糸布(LP-51N), 太糸布(LP-55N), ガラス布(LP-61N), アスベスト布(LP-64N) およびナイロン布(LP-91N) を変えた強化プラスチック, さらにこれらの系統に入らない強化プラスチックに大別できる。

そこで図 5.1 には樹脂が熱的物性値におよぼす影響をみるためガラス布基材にフェノール, メラミン, シリコン, エポキシおよびポリエステルの各樹脂を変え

た強化プラスチックの熱的物性値の温度による特性を示した。

図 5.2 は基材が熱的物性値におよぼす影響をみるためフェノール樹脂に紙, 細糸布, 太糸分布, ガラス布, アスベスト布およびナイロン布の各基材を変えた強化プラスチックの熱的物性値の温度特性を示した。

図 5.3 は図 5.1, 図 5.2 の系統に入らない強化プラスチック, 耐熱 FRP および発泡ポリスチレンの熱的物性値の温度特性を示した。

以上の全結果を示したのが表 5.1 である。

5.2 結果の検討

(1) 温度伝導率 α

強化プラスチックの温度伝導率は耐熱 FRP と発泡ポリスチレンシートを除き温度の上昇にともない減少する。図 5.1 および図 5.2 を比較するとわかるように強化プラスチックの温度伝導率 α は樹脂より基材となる材料に大きく左右され, アスベスト布基材が最も大きくまた温度上昇によるその値の減少も大きい。一方ナイロン布基材は最も小さい。発泡ポリスチレンシートは強化プラスチック LG, LE-97N と同程度に小さくまた温度上昇につれての値はわずかに増大する。

(2) 熱容量 ρc

発泡ポリスチレンシートを除いた強化プラスチックはすべて温度が上昇すると熱容量 ρc が増大し, どの強化プラスチックの熱容量 ρc も同じ程度の値で

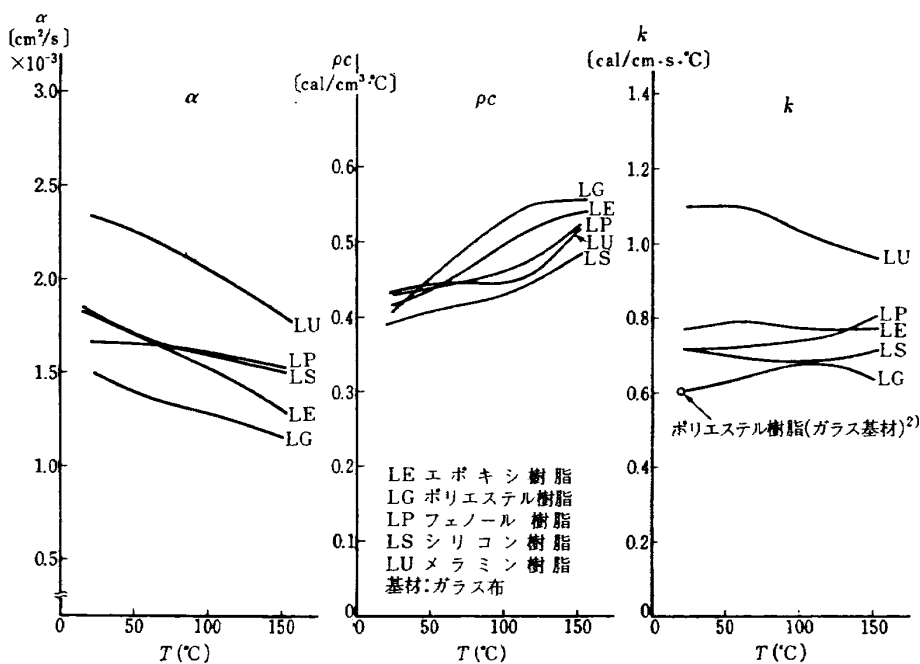


図 5.1 各種樹脂強化プラスチック (ガラス布基材) の温度による熱的物性値変化

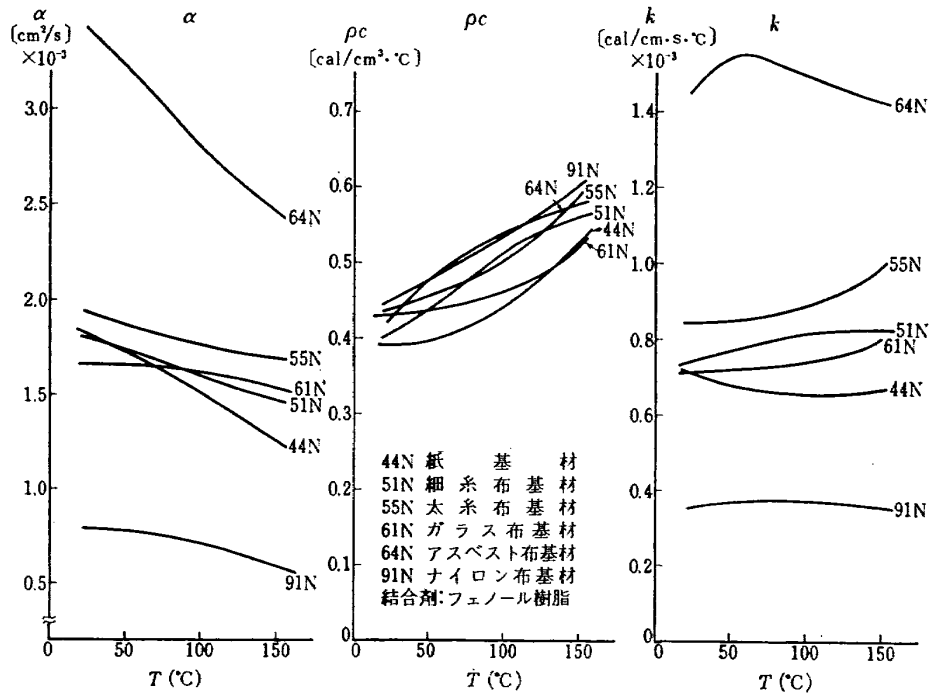


図 5.2 フェノール樹脂強化プラスチック (各種基材) の温度による熱的物性値変化

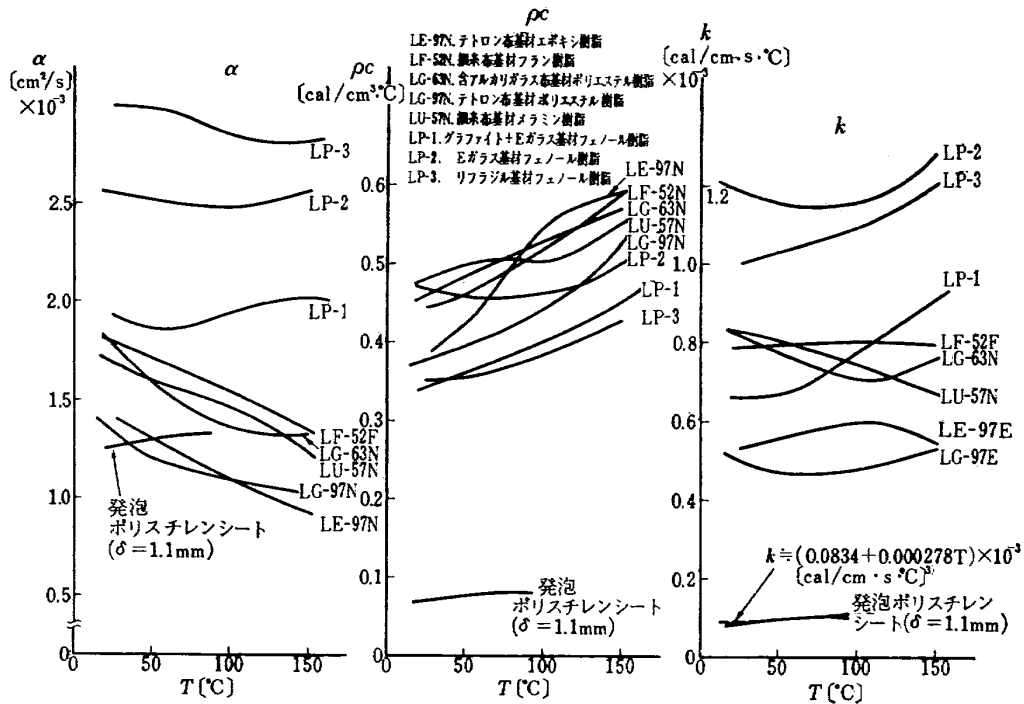


図 5.3 各種強化プラスチックおよび発泡ポリスチレンシート の温度による熱的物性値変化

表 5.1 強化プラスチックの熱的物性値測定結果一覧表

試料	温度* T(°C)	温度伝導率 α (cm ² /s)	熱容量 ρc (cal/cm ³ °C)	熱伝導率 k(cal/cm ² s°C)	試料	温度* T(°C)	温度伝導率 α (cm ² /s)	熱容量 ρc (cal/cm ³ °C)	熱伝導率 k(cal/cm ² s°C)
フェノール樹脂 (紙基材) LP-44N	17	1.842×10 ⁻³	0.393	0.724×10 ⁻³	エポキシ樹脂 (ナイロン布基材) LE-97N	29	1.390×10 ⁻³	0.389	0.541×10 ⁻³
	55	1.700	0.400	0.680		60	1.257	0.443	0.557
	101	1.490	0.441	0.657		107	1.065	0.560	0.597
	150	1.251	0.532	0.666		148	0.926	0.594	0.550
フェノール樹脂 (細糸布基材) LP-51N	21	1.802	0.410	0.738	フラン樹脂 (細糸布基材) LF-52N	27	1.785	0.445	0.794
	59	1.738	0.450	0.782		61	1.695	0.469	0.795
	101	1.575	0.515	0.811		107	1.510	0.531	0.802
	151	1.472	0.561	0.827		149	1.348	0.589	0.795
フェノール樹脂 (太糸布基材) LP-55N	26	1.916	0.440	0.843	ポリエステル樹脂 (ガラス布基材) LG-61N	27	1.477	0.413	0.610
	55	1.855	0.459	0.852		59	1.360	0.470	0.639
	101	1.752	0.505	0.885		102	1.279	0.533	0.682
	147	1.685	0.585	0.985		146	1.160	0.554	0.642
フェノール樹脂 (ガラス布基材) LP-61N	26	1.660	0.431	0.715	ポリエステル樹脂 (含アルカリ ガラス布基材) LG-63N	18	1.828	0.455	0.832
	57	1.645	0.440	0.724		56	1.550	0.493	0.763
	110	1.590	0.470	0.747		98	1.365	0.522	0.713
	147	1.538	0.520	0.800		148	1.323	0.572	0.757
フェノール樹脂 (アスベスト 布基材) LP-64N	27	3.400	0.431	1.465	ポリエステル樹脂 (テロン布基材) LG-97N	16	1.394	0.370	0.517
	60	3.160	0.490	1.548		53	1.188	0.399	0.474
	102	2.762	0.539	1.490		102	1.086	0.442	0.480
	149	2.455	0.584	1.432		150	1.020	0.529	0.534
フェノール樹脂 (ナイロン布基材) LP-91N	25	0.782	0.449	0.351	フェノール樹脂 (グラフィ トEガラス 基材) LP-1	25	1.94	0.342	0.663
	53	0.765	0.480	0.367		56	1.83	0.361	0.661
	103	0.693	0.532	0.369		103	1.96	0.401	0.787
	151	0.592	0.605	0.358		160	2.02	0.467	0.943
メラミン樹脂 (細糸布基材) LU-57N	20	1.756	0.476	0.836	フェノール樹脂 (Eガラス基材) LP-2	19	2.56	0.469	1.20
	58	1.570	0.508	0.798		55	2.52	0.452	1.14
	107	1.447	0.505	0.731		103	2.48	0.467	1.16
	151	1.230	0.551	0.677		151	2.57	0.505	1.29
メラミン樹脂 (ガラス布基材) LU-61N	25	2.328	0.471	1.098	フェノール樹脂 (リフラジ ル基材) LP-3	30	2.99	0.354	1.06
	60	2.221	0.495	1.100		56	2.95	0.352	1.04
	105	2.065	0.495	1.022		105	2.83	0.390	1.10
	151	1.799	0.537	0.967		155	2.82	0.427	1.20
シリコン樹脂 (ガラス布基材) LS-61N	20	1.823	0.391	0.713	発泡ポリスチレン シート	27	1.260	0.0712	0.0898
	62	1.665	0.415	0.691		49	1.294	0.0755	0.0976
	110	1.630	0.433	0.677		62	1.310	0.0795	0.1040
	145	1.510	0.478	0.720		86	1.326	0.0817	0.1083
エポキシ樹脂 (ガラス布基材) LE-61N	27	1.775	0.437	0.776	* 炉内温度 + $\frac{T_M}{2}$	61	1.673	0.489	0.818
	104	1.502	0.509	0.765		149	1.338	0.580	0.777

ある。発泡ポリスチレンシートの値は強化プラスチックの1/5程度で温度の影響はごくわずかである。

(3) 熱伝導率 k

熱伝導率 k の値は試料によりまちまちであるが温度伝導率と同様に図 5.1, 図 5.2 より明らかなように強化プラスチックの結合剤である樹脂より基材となる材料に大きく影響され、アスベスト布基材が最も大きく、ナイロン布基材が発泡ポリスチレンシートを除き最も小さい。発泡ポリスチレンシートは最も k の大きい LP-64N 強化プラスチックの約 1/14, 最も小さい LP-91N 強化プラスチックの約 1/4 で空気が試料中に含有するといかに熱を通しにくくなるかということがわかる。

温度による強化プラスチックの熱伝導率 k の変化は試料により増大, 減少およびあまり変化のないものがあり, 定まった傾向は見られなかった。

(4) 比熱 c

比熱 c は本方法によっては直接求めることはできない。しかし熱容量 pc が求まるので比重 ρ がわかれば比熱 c を求めることができる。比重 ρ も温度と共に変化するものと考えられるが, 150°C 程度までならあまり変化はないといわれているので図 5.4 に常温における比重 ρ を用いて熱容量 pc より求めた比熱 c の値を参考までに示した。図より明らかなように強化

プラスチックの比熱は温度上昇にともない増加する傾向にあり, またガラス布を基材とした強化プラスチックの比熱は他の強化プラスチックの比熱より温度による増加は少ないことがみとめられる。

以上熱的物性値の温度による影響について検討した。強化プラスチックの熱的物性値はさらに図 5.1 ~ 図 5.3 にみられるように使用する材料すなわち結合剤である樹脂および基材によっても大きく左右される。特に基材による影響が大きいので, いま伝熱工学資料⁶⁾にある基材と同じ材料の熱伝導率を表 5.2 に示し, 表 5.3 には同じ材料を基材としフェノール樹脂を用いた強化プラスチックの熱伝導率を示す, これらの比較検討を行なってみる。

表 5.2 および表 5.3 より強化プラスチックの基材となった素材の熱伝導率順位とこれらの素材を布にして強化プラスチックにした場合の熱伝導率順位との間には何らの関係もみうけられない。したがって基材となる材料の熱伝導率が小さくとも, これを用いた強化プラスチックでは必ずしも小さいとはいえない。このようになる原因は素材とこれを布にした基材とは性質が異なり, また同じ布でも布の織り方, 繊維の太さ等にも関係すること, 図 5.3 にも示したように空気含有率の大きい発泡ポリスチレンシートは非常に熱伝導率の小さいことから考え, 強化プラスチック

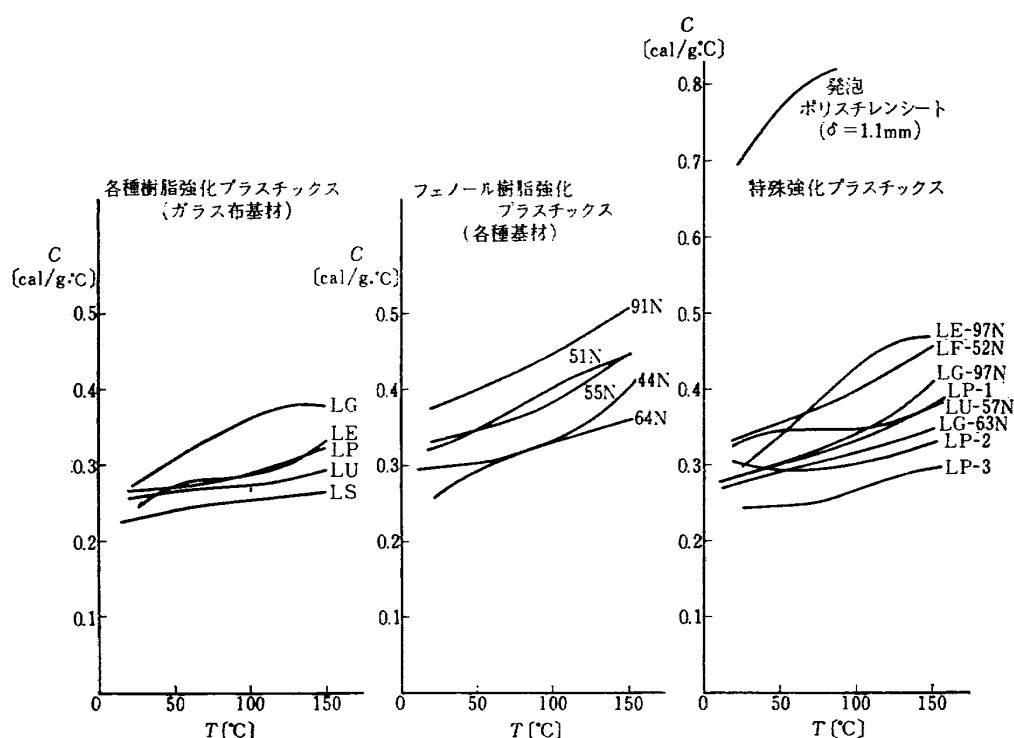


図 5.4 各種強化プラスチックおよび発泡ポリスチレンシートの温度による比熱変化図

表 5.2

大きい 順位	材 料	k^* (cal/cms $^{\circ}$ C)	温 度 ($^{\circ}$ C)
1	ガ ラ ス	1.81×10^{-3}	20
2	紙	0.306	20
3	も め ん	0.134	30
4	アスベスト紙	0.128	40

* 伝熱工学資料

表 5.3

大きい 順位	フェノール樹脂強化 プラスチック・基材	k (cal/cms $^{\circ}$ C)	温 度 ($^{\circ}$ C)
1	アスベスト布	1.54×10^{-3}	50
2	細 糸 布	0.77	50
3	ガ ラ ス 布	0.72	50
4	紙	0.68	50

を加工する際に混入する気泡量が基材により相異なるためと考えられ、さらに樹脂と基材の混合率の相異なるの影響があるものと思われる。

5.3 測定値の比較

H社製の強化プラスチック試料の機械的性質は表 3.1 に示すように与えられているが樹脂含有率とか布の状態等は与えられていない。そこで正確な比較は行なえないが樹脂と基材とがわかっているので一応のめやすとなる比較検討を行なうことにする。

まずポリエステル樹脂にガラス布基材の強化プラスチックの常温における熱伝導率²⁾を図 5.1 上に示す。

また発泡ポリスチレンシートの温度による熱伝導率の概算の値³⁾ $\{k=0.0834+0.000278T\} \times 10^{-3}$ [cal/cm \cdot s \cdot° C]} が与えられているのでこれを図 5.3 に示す。

いずれの場合も非常に良い一致を示していることがわかる。次にフェノール、ポリエステル、エポキシおよびシリコンの各樹脂にガラス布基材とした強化プラスチックの熱伝導率の温度変化⁴⁾を図 5.5 に示し、図中に本測定によって得られた結果を点線で示した。これらの図の曲線はそれぞれ測定者、測定法、比重量、樹脂含有率がことなるため、かなりのバラッキがみられる。

比熱⁴⁾についてもフェノール、ポリエステル、エポキシおよびシリコン樹脂にガラス布基材とした強化プラスチックについて求めたものを図 5.6 に示した。これらの図によると比熱は 5.2 の (4) 比熱の項で検討したようにあまり良い値を期待していなかったが傾向およびその値とも比較的良い値が得られている。

6. む す び

強化プラスチックの熱的物性値すなわち温度伝導率、熱容量および熱伝導率を赤外線ランプ加熱器による輻射加熱を利用して平板試料の裏面温度上昇を測定することにより求めた。これらの熱的物性値は常温の

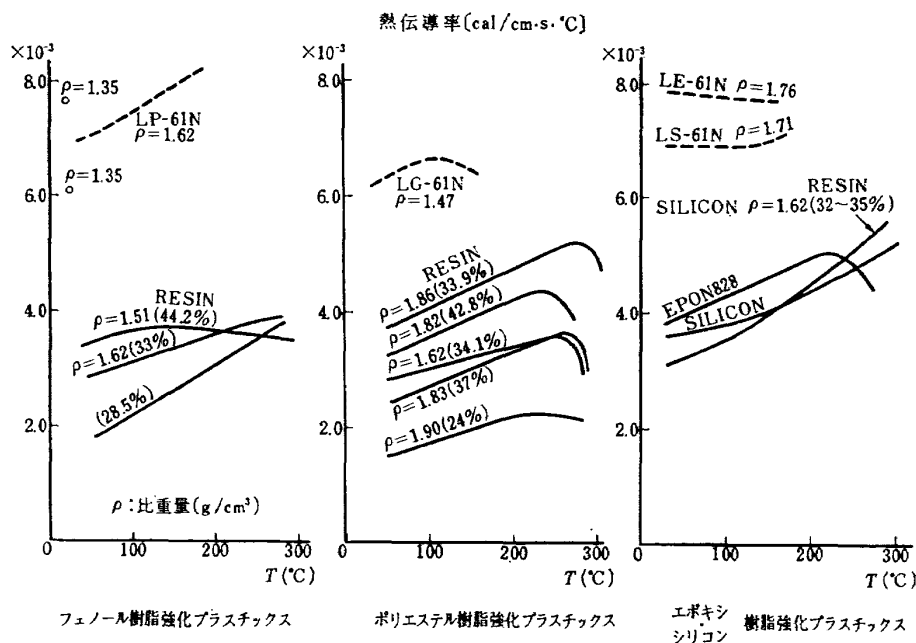


図 5.5 温度による各種強化プラスチックの熱伝導率変化

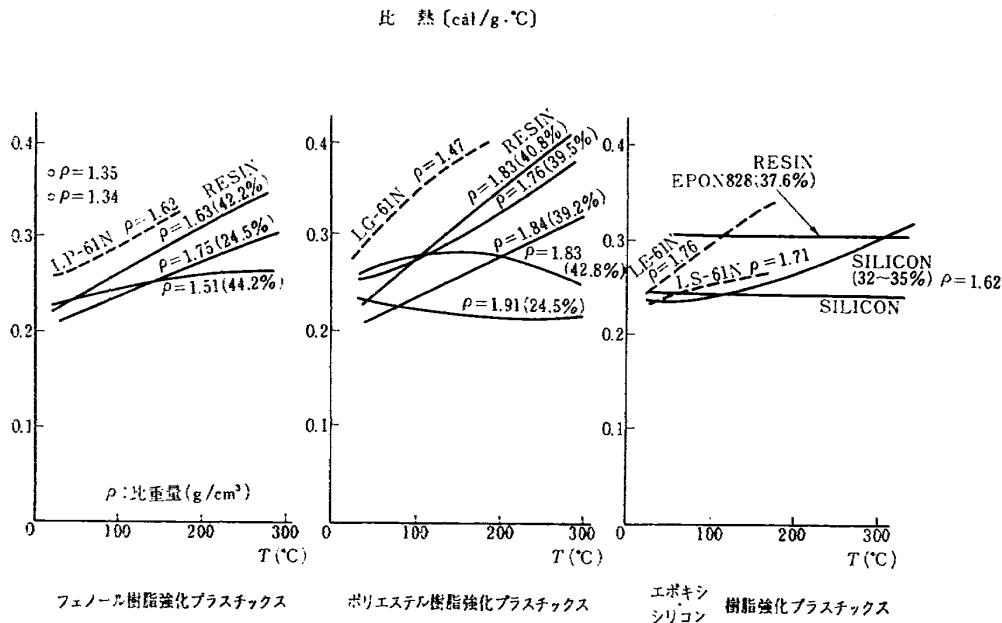


図 5.6 温度による各種強化プラスチックの比熱変化

みならず電気炉内で測定を行なうことにより 150°C までの高温における値を求めることができた。

測定結果より強化プラスチックの熱的物性値の温度による影響および使用材料による影響は

1) 温度伝導率

温度の上昇とともにその値は減少する。樹脂より基材となる材料がその値に大きく影響する。

2) 熱容量

温度の上昇とともにその値は増大する。樹脂および基材の影響はあまり受けない。

3) 比熱

温度の上昇とともに増大する。ガラス布を基材とする強化プラスチックは他の強化プラスチックに比較して温度による増加率が小さい。樹脂および基材の影響はあまりない。

等である。

熱的物性値の測定は一般的に非常に困難で、測定値についても一致しないことが多い。図 5.5～図 5.6 に示したように同じ強化プラスチックでも測定法、使用材料、樹脂と基材の比率等により大きく相異なる。したがって強化プラスチックを高速飛しょう体に用いた場合、その熱的物性値を必要とするなら同一条件で作られた試料の熱的物性値を測定することが必要である。このようなことから輻射加熱による固体の熱的物性値測定法は簡便に熱的物性値を測定できるので何かと便利である。

最後に本研究を行なうにあたって、強化プラスチックを提供して下さった日立化成工業株式会社、東京

営業所絶材課永瀬邦英氏、国策パルプ中央研究所土田幸造氏ならびに終始有意義な御指導を賜った機体第一部熱弾性研究室長竹中幸彦技官に深く感謝の意を表わします。

文 献

- 1) 小川 敏一；輻射加熱による熱的物性値測定法，日本機械学会講演論文集 No.177, 822, 42年4月 (航空宇宙技術研究報告 TR-128)
- 2) H. Schuh; Heat Transfer in Structures pp. 133, Pergamon Press 1965.
- 3) 甲藤好郎；伝熱概論 pp. 17, 養賢堂 1964.
- 4) "Handbook of Thermophysical Properties of Solid Materials" Vol. IV, The Macmillan Company N.Y., 1961.
- 5) 伝熱工学資料；日本機械学会，改訂第2版
- 6) 日立合成樹脂積層板カタログ

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 22.5MW 主送風機
I. 模型送風機による性能試験
22.5MW 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, 長州秀夫
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
Rreliminary 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)
—非線型補正理論—
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, 塙 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 Blade 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	遷音速における二次元線縦面の研究 (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 Differential 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 遷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	非定常遷音速流の近似解所 An Approximate Analysis for Unsteady Transonic 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, 塙 武敏 戸川隼人, 高橋利之 趣出慎一
TR-31	熱応力を受ける薄翼の安定とその微小振り振動について 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, 吉田晃相 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験 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	鑄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	輻射熱量計の校正 Calibration of Radiometer	1963年2月	竹中幸彦, 江川幸一 小川鉦一
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, 蓑田光弘 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折法 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	鑄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, 吉田晃相 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 Equations 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 二誠
TR-53	円管流の非定常熱伝達 (第1報) —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 二誠
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 YANAGISAWA
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 山根皓三郎
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	1964 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	塙 武敏, 趣出慎一 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ー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 Thin Elastic Plates based on the Rayleigh-Ritz's Procedure (in Case of Cantilevered Wing Plates)	1964年6月	川井忠彦, 堀武敏 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	回転翼の線型理論 (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, 百名盛之典 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	軸対称澱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—	1965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 of High Speed Axial Flow Compressor(N)
 —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 | 鳥海良三 |
| 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 | 埴 武敏, 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 敏一 |
| 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 | 遷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 | 回転翼の線型理論(II)
—揚力線理論—
Linearized Aerodynamic Theory of Roter 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 | 埴 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 Gop 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解法(I) —迎角0のとき— An Approximate Calculation for Supersonic Flow Past Bodies of 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	翼幅方向に一様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	Iwao 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	1966年12月	中井暎一，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	回転翼の線型理論(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	Iwao HOSOKAWA
TR-104	翼幅方向に一様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)
—Pules 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 晋策 |
| 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 Impules Turbine
Cascades | 1966年6月 | 近藤 博, 養田 光弘
山崎 紀雄, 古川 昇 |
| TR-109 | 大型空気エジェクタの研究
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 Compres-
sible Flow Through the Axial Turbo-Ma-
chines(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 of the
Height Control of the Flying Test Bed | 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
Single-Stage Propellant Rocket (NAL-16) | 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 50 cm Hyper-
sonic 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 Solu-
tions 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 Com-
bustor with Partial Model | 1966年10月 | 大塚 貞吉, 福田 広
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 Bet	1966 年 11 月	武田 峻, 堀川 勇 壯 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 絃 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 広 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	輻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 絃 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 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-Free-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
Comination Structures(I) 1967年6月 越出 慎一, 林 洋一
塙 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 塙 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 二謙, 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 High Sensitivity
Accelerometer Using Semiconductor Strain
Gages 1967年11月 田畑 浄治, 大坪孔治
滝沢 直人
- 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 Experinental Investigation of Heat Transfer
in the Nozzle of High-Aluminized Solid
Rocket 1968年2月 五代 富文, 湯沢克宜
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

航空宇宙技術研究所報告150号

昭和43年2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
