輻射加熱による構造要素試験装置と一実験結果*

A Rapid Radiant Heating Apparatus and an Experiment on the Thermal Deformation of Clamped Square Plate

植 村 益 次**・砂 川 恵**
Masuji UEMURA, Megumi SUNAKAWA

冬 木 稔**
Minoru FUYUKI

Abstract

The rapid radiant heating apparatus having a capacity of 20 KW is outlined. This apparatus had been established for trial for the purpose of a preliminary study of the equipment on a large scale of 200 KW which was installed just recently in the Aeronautical Research Institute, University of Tokyo, by the grant-in-aid for the scientific research of the Ministry of Education.

Next, an experiment on the thermal deformation of the clamped square plate is described. It is shown that the experimental relation between the temperature rise and the deflection at the midpoint of plate agrees satisfactorily with the theoretical one which was reported before by one of the present authors.

1. ま え が き

東京大学航空研究所では、空力加熱による構造の強度・剛性問題の実験的研究のため、池田・吉村両教授をはじめ構造強度関係者が相集まって、文部省機関研究により、輻射加熱による 200KW の大型急速加熱構造試験装置を試作し、松下通信工業株式会社の尽力により整備され調整中であるが、それに先立ち、その基礎とするための準備的研究を兼ねて、20 KW の小型構造要素輻射加熱装置を試作した。本文ではその概要を述べ、それによる平板の熱変形についての一実験結果をも報告し、解析結果と比較する。

記 号

- a, b, d 矩形平板の半長, 半幅, 板厚.
- h 熱伝達係数.
- q 単位面積単位時間当りの熱入速度.
- u, v, w 中立面の x, y, z 方向の変位.
- A_1, A_2 x 方向縁材および y 方向縁材の断面積.
- C_1, C_2 積分常数 (それぞれ $\bar{\sigma}_{11}, \bar{\sigma}_{22}$ の平均値を与える).

E 縦弾性係数.

T_{aw} 断熱界面温度.

T_w 物体表面温度.

α 線膨脹係数.

δ 中立面中央の最大撓み.

$\epsilon_{11}, \epsilon_{22}$ x, y 方向の軸歪.

σ_{11}, σ_{22} x, y 方向の軸応力.

ν ポアソン比.

χ 応力函数.

添字 “ x ”, “ y ” はそれぞれ x, y に関する偏微分を意味する. 添字 “ P ”, “ F ” はそれぞれ平板, 縁材に関する量を示す. 上線 “ $-$ ” は中立面成分を示す.

2. 輻射加熱装置の概要

2.1 系統ならびに動作原理 本装置は、高速飛行体の構造模型あるいは構造要素に、飛行中に起こると相似な加熱状態を与えるものであって、加熱源として赤外線ランプを使用し、これを相似型電子計算機の手法により制御を行ない、定量的な熱発生を行なうことが可能である。第1図に本装置の系統の概要を示

第1図 急速輻射加熱装置の系統

* 昭和 36 年 7 月 28 日 日本航空学会宇宙科学技術シンポジウムにおいて講演. 昭和 36 年 10 月 12 日原稿受理

** 東京大学航空研究所

第2図 加熱実験装置の全景

し、第2図に実験装置の全景を示す。

本装置は試験体の表面に(2.1)式の関係を保つ熱入速度 q を定量的に与える。

$$q = h(T_{aw} - T_w). \quad (2.1)$$

(2.1)式および第1図において、 h および T_{aw} は飛行体の速度、高度、基準点からの位置および表面の状態等の函数であるが、これらは飛行状態によって求められるので時間の函数と考え、あらかじめ函数発生器に設定して発生させる。 T_w は試験体にとりつけたpick upにより電圧の形で測定される。そして、乗算器においてまず $(T_{aw} - T_w)$ の演算が行なわれた後に $h(T_{aw} - T_w)$ が作られ、比較器に入る。比較器は高利得差動増幅器であって、flux meterで測定した輻射加熱器の発生熱量 q と乗算器からの $h(T_{aw} - T_w)$ とを比較し、その差に対応する出力電圧 V をイグナイトロン制御器に与える。イグナイトロン制御器の出力電流は V によって変化し、輻射加熱器に流入する電力が操作されるので、 $V=0$ すなわち $q=h(T_{aw} - T_w)$ の関係が常に成立するように、自動的な制御が行なわれる。

2.2 構成 本加熱装置はつぎのものより構成される。

- i) 函数発生器
- ii) 乗算器
- iii) 比較器
- iv) イグナイトロン制御器
- v) 加熱ランプおよび支持台
- vi) 電源

以下簡単にこれらを説明する。

i) 函数発生器(第2図の①, 第3図)——本器はポテンショメータから数多くのタップを出し、これに函数に対応する電圧を設定し、このポテンショメータの摺動子を一定速度で駆動することによって、任意の函数波形を折れ線で近似する装置である。

ii) 乗算器(第2図の②)——交流増幅器、2相サ

第3図 函数発生器

ーボモータおよび4連ポテンショメータから構成され、相似型電子計算機の乗算要素として使用されるものである。

iii) 比較器(第2図の③)——本器は二つの符号の異なる電圧の絶対値を比較して、その差に相当する電圧を発生する装置であって、相似型電子計算機の加算器に相当する装置が2組組み込まれている。

iv) イグナイトロン制御器(第2図の④, 第4図)——本器は輻射加熱器に与える電力を0~20KWの範囲内で、比較器の出力電圧0~50Vで制御する装置であり、交流50c/sの各サイクルにおいて、その点弧すべき位置を比較器からの入力電圧で定まるサイラトロン回路のパルス位相で与え、入力電圧に相当する出力電流を連続的に発生するようになっている。

第4図 イグナイトロン制御器の内部

この方式は可飽和コア・リアクトル方式に較べ感応時間も早く、急速な過渡的加熱状態をシミュレートするのに適している。つぎに制御回路の原理についてやや詳しく説明する。

a) 点弧回路: 負荷回路に逆並列に接続した2本のイグナイトロン IG1, IG2 (第5-1図) およびイグナイトロンを点弧させるサイラトロン TH1, TH2の対称なる一対の回路から構成されている。その中のIG1グループについて述べる (IG2は全く同じ)。第5-2図はIG1グループの点弧回路の原理回路である。すなわち、TH1の格子-陰極間に常時 E_B なる負のバイアス電圧が印加されているので、TH1は放電しない状態にある。また陽極-陰極間にはコンデンサCの充電電圧が印加されている状態にある。このような状態にあるときIG1の陽極に正の交番電圧が加わったとすると、キック・トランス TR2に負のバイアス電

圧 E_B に打ち勝つキック電圧を発生せしめれば TH1は導通し、コンデンサCの電圧はCH→TH1→IG1の順に流れ放電する。このときイグナイトはイグニッションするのでIG1は通電となる。TR2に発生せしめるキック位相を、つぎに述べるようにIG1の交番電圧位相の適当なところで発生させれば、IG1の通電の時期を制御することができる。

b) 位相制御回路: 本回路は、点弧回路で述べたキック電圧の位相をイグナイトロン電圧位相に合わせてそのキック位相を制御する回路である。第5-3図は一般的に用いられているCRの位相回路であって、入力電圧位相 (IG1, IG2と同相) に対し出力電圧位相を 90° 遅らせるよう抵抗Rにより調整されている。またVRは移相された出力電圧の大きさを変化せしめるようになっている。第5-4図のTH3, TH4の回路はキック電圧位相を変化させる回路である。

c) 直流固定バイアス回路: 本回路は定電圧放電管による固定バイアス回路で、TH3, TH4の格子-陰極間に負のバイアスを加えている。この負のバイアス電圧と直流制御電圧は第5-5図のごとくなる。いま直流固定バイアス電圧に対し打ち消すように直流制御電圧を加えると、イグナイトロンの負荷電流は図の斜線波形のごとく変化する。(A)図の(=)の直線は直流制御電圧が零の場合であって、負荷の電流も零であるが、(E)図の(=)の直線は直流固定バイアスを十分打ち消してTH3 (TH4)の格子を(+)にして(+)の波形に対して移相された電圧波形を(E)図のごとくのことになるので負荷電流は最大になる。このように直流制御電圧を制御することによってイグナイトロンの通電の位相が制御されるのが分かる。すなわち、負荷

第5図 イグナイトロン制御器の原理説明図

第6図 加熱源および支持台

電流を零より最大まで連続的に変化させる目的を達している。

v) 加熱ランプおよび支持台 (第6図)——加熱器は石英赤外線ランプ [直径 3/8 in, 長さ 10 in で, 1 KW (230 Volt) または 3 KW (460 Volt)] を密に配列したもので, イグナイトロン制御装置によって点火され, 制御可能な熱流を試験体に供給する。本装置では反射板のついた支持棒に 10 本ずつ組み込まれ, 上下に対向して支持台にとりつけられているが, 片方の支持棒に 20 本全部を組み込むこともできる。試験体との距離は調節可能である。

vi) 電源

函 数 発 生 器	DC	±12 Volt (函数設定)
	"	24 " (リレー)
	AC	100 " (60 c/s)
乗 算 器	AC	100 Volt (60 c/s)
比 較 器	AC	100 Volt (60 c/s)
イグナイトロン制御装置	AC	100 Volt (60 c/s)
	"	220 " (")

3. 実 験

上記の加熱装置を用い, 四辺固定正方形平板の熱変形についての一実験を行なった。

3.1 実験の概要

i) 試験片および試験片支持棒 試験片および試験片支持棒は, それぞれ 18/8 耐熱鋼および砲金で作製し, 支持棒内部には冷却水を通して, 試験片中央部と

周辺部との間に温度変化を与えることができるようにしてある。その大要を第7図に示す。

ii) 温度上昇および撓みの測定 試験片内の温度上昇は A-C 熱電対にて測定し, 電磁オシログラフ (第2図の㊦) で記録する。温度測定点を第7図に同時に示す。

試験片中央の撓みは dial gauge で読む。

iii) 加熱実験 支持棒に通水して試験片 (正方形平板) 全体と支持棒の温度がすべて一樣になった後支持棒で周辺を固定した試験片を加熱器の支持台に載せ, 赤外線ランプに点火する。赤外線ランプは 20 本全部を試験片上方 300 mm のランプ支持棒にとりつけ, 試験片中央の撓み 0.25 mm おきに温度を記録する。

3.2 実験結果および理論値との比較検討 加熱は試験装置の全容量 20 KW を使って試験片の上面より行ない, step 函数で与えた。試験片中央における温度上昇および撓みの時間的変化を第8図および第9図に示す。なお, 加熱のごく初期を除いて, 試験片上下面に温度差は認められず, ランプが全出力に達するまでの時間は約 1 s であった。

第8図 平板中央における温度の時間的変化

第9図 平板中央の撓みの時間的変化

第7図 試験片および試験片支持棒

第8図および第9図を用いて, 試験片中央における温度上昇と撓みとの関係を示すと第10図のようになる。第10図において① (×印) の場合, ほとんど撓屈に近い現象が観察されたが (第9図参照), 完全に flat な平板を使用することは現実的には不可能に近く, 一般には初期変形の影響が加わるので② (○印) のような曲線が得られる。

試験片支持棒は通水して冷却した上, ランプにより直接加熱されるのを防ぐため木板の上にジュラルミン板を張ったカバーで覆ったが, 平板内の温度分布を示すと第11図のようになる。この平板内の温度分布は近

 第10図 平板中央における温度上昇と撓みの関係
 $\alpha = 17.1 \times 10^{-6}$

第11図 平板面内の温度分布

似的に次式で表わすことができる。

$$T = \left\{ \theta_1 + \theta_2 \left[1 - \left(\frac{x-a}{a} \right)^4 \right] \left[1 - \left(\frac{y-a}{a} \right)^4 \right] \right\} T_c \quad (3.1)$$

筆者らの一人¹⁾が前に報告した理論解析における数値計算例では2次項をもつ抛物線状の面内温度分布を仮定したが、実験結果では4次項で表わされるようである。第10図の実験結果において、①(x印)の場合の温度分布は $(\theta_1=1/4, \theta_2=3/4)$ に近く、②(o印)の場合は $(\theta_1=1/8, \theta_2=7/8)$ に近い。

そこで、温度上昇と四辺固定正方形平板中央の撓みとの関係の理論値を、①および②の場合に対し、次式¹⁾から求めて第10図に実線で示す。

$$\begin{aligned} & \frac{1}{6(1-\nu^2)} \left(\frac{d}{b} \right)^2 \left(\frac{\delta}{d} \right) + \frac{1}{256} \left[\frac{9}{(1-\nu)} + \frac{533}{50} \right] \left(\frac{d}{b} \right)^2 \left(\frac{\delta}{d} \right)^3 \\ &= \frac{64\alpha_P}{(1-\nu)\pi^4} \sum_{p,q} \sum_{\text{odd}} \frac{(p^2+q^2)\bar{T}_{pq}}{p^2(q^2-4)} \\ &+ \frac{\alpha_P}{\pi^2} \left\{ \frac{3}{2(1-\nu)} \bar{T}_{00} - \frac{1}{8} [4(\bar{T}_{02} + \bar{T}_{20}) \right. \\ &\left. - (\bar{T}_{04} + \bar{T}_{40})] + \frac{\bar{T}_{22}}{4} - \frac{1}{20} (\bar{T}_{24} + \bar{T}_{42}) \right\} \left(\frac{\delta}{d} \right), \end{aligned} \quad (3.2)$$

ここに

$$\begin{aligned} \bar{T}_{00} &= \frac{1}{4ab} \int_0^{2b} \int_0^{2a} \bar{T} dx dy, \\ \bar{T}_{i0} &= \frac{1}{2ab} \int_0^{2b} \int_0^{2a} \bar{T} \cos \frac{i\pi x}{2a} dx dy, \\ &\quad (i=2, 4, \dots, \text{even}), \\ \bar{T}_{0j} &= \frac{1}{2ab} \int_0^{2b} \int_0^{2a} \bar{T} \cos \frac{j\pi y}{2b} dx dy, \\ &\quad (j=2, 4, \dots, \text{even}), \\ \bar{T}_{ij} &= \frac{1}{ab} \int_0^{2b} \int_0^{2a} \bar{T} \cos \frac{i\pi x}{2a} \cos \frac{j\pi y}{2b} dx dy, \\ &\quad (i, j=2, 4, \dots, \text{even}), \\ \bar{T}_{pq} &= \frac{1}{ab} \int_0^{2b} \int_0^{2a} (\bar{T} - \bar{T}_e) \sin \frac{p\pi x}{2a} \sin \frac{q\pi y}{2b} dx dy, \\ &\quad (p, q=1, 3, 5, \dots, \text{odd}) \end{aligned} \quad (3.3)$$

理論値(実線)と実験値はかなりの懸隔があるが、(3.2)式からの計算結果は縁材の伸びを無視した場合に対するものであり、しかも理論値と実験値との差が直線的であることから、この相違は縁材の内力および温度上昇による伸びに起因するものと考えられる。すなわち、縁材に冷却水を通して温度の定常化を図ったが、第11図に見られるように板縁において温度上昇があり、また縁材の面内方向の変位を測定したところ第12図のようになり、加熱初期から縁材の伸びが認められた。この種の実験としては、林教授²⁾による面圧力と板内内力をうける板の撓みに関する実験があり、理論

第12図 平板中央の撓みと縁材中央の面内変位との関係

計算と比較しておられるが、その場合にも撓みと面内歪(応力)との間に一定量の相違があり、縁材の曲げ変形を考慮することによってその不一致は良く説明された。しかし本実験では、第7図からも分かるように縁材の板面内の曲げ剛性はきわめて大きいので、曲げ変形は無視して加熱後も縁材は直線状を保つと考え、さらに面に垂直方向の変位も無視し、縁材の内力および温度上昇による伸びに対する補正計算を行なう。

いま、第12図におけるがごとく縁材で補強された平板を考えると、面内における力および歪の間につぎの諸式で与えられる関係が近似的に成立する。

$$\left. \begin{aligned} \int_0^{2b} (\bar{\sigma}_{11})_P d \cdot dy + 2(\bar{\sigma}_{11})_F A_{1F} &= 0, \\ \int_0^{2a} (\bar{\sigma}_{22})_P d \cdot dx + 2(\bar{\sigma}_{22})_F A_{2F} &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

$$\left. \begin{aligned} (\bar{\epsilon}_{11})_P &= \frac{1}{E_P} [(\bar{\sigma}_{11})_P - \nu(\bar{\sigma}_{22})_P] + \alpha_P \bar{T}_P \\ &= (u_x)_P + \frac{1}{2}(w_x^2)_P, \\ (\bar{\epsilon}_{22})_P &= \frac{1}{E_P} [(\bar{\sigma}_{22})_P - \nu(\bar{\sigma}_{11})_P] + \alpha_P \bar{T}_P \\ &= (v_y)_P + \frac{1}{2}(w_y^2)_P, \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

$$\left. \begin{aligned} (\bar{\epsilon}_{11})_F &= \frac{(\bar{\sigma}_{11})_F}{E_F} + \alpha_F \bar{T}_F = (u_x)_F, \\ (\bar{\epsilon}_{22})_F &= \frac{(\bar{\sigma}_{22})_F}{E_F} + \alpha_F \bar{T}_F = (v_y)_F, \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

$$\left. \begin{aligned} (u_x)_{P; y=0, 2b} &= (u_x)_F, \\ (v_y)_{P; x=0, 2a} &= (v_y)_F. \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

ここで, $(\bar{\sigma}_{11})_P$ および $(\bar{\sigma}_{22})_P$ は平板の適合条件式から求めた次式¹⁾の χ により与えられる.

$$(\bar{\sigma}_{11})_P = \chi_{yy}, \quad (\bar{\sigma}_{22})_P = \chi_{xx}, \quad (3.8)$$

$$\begin{aligned} \chi = & \frac{C_1}{2} x^2 + \frac{C_2}{2} y^2 + \frac{E\delta^2}{2} \left\{ \left(\frac{a}{b} \right)^2 \cos \frac{\pi x}{a} + \left(\frac{b}{a} \right)^2 \cos \frac{\pi y}{b} \right. \\ & - \frac{1}{16} \left[\left(\frac{a}{b} \right)^2 \cos \frac{2\pi x}{a} + \left(\frac{b}{a} \right)^2 \cos \frac{2\pi y}{b} \right] \\ & - \frac{2 \left(\frac{a}{b} \right)^2}{\left[1 + \left(\frac{a}{b} \right)^2 \right]^2} \cos \frac{\pi x}{a} \cos \frac{\pi y}{b} \\ & + \frac{\left(\frac{a}{b} \right)^2}{\left[1 + 4 \left(\frac{a}{b} \right)^2 \right]^2} \cos \frac{\pi x}{a} \cos \frac{2\pi y}{b} \\ & \left. + \frac{\left(\frac{a}{b} \right)^2}{\left[4 + \left(\frac{a}{b} \right)^2 \right]^2} \cos \frac{2\pi x}{a} \cos \frac{\pi y}{b} \right\} \\ & + E\alpha \left\{ \sum_{i=2}^{\infty} \frac{\bar{T}_{4i}}{\left(\frac{i\pi}{2a} \right)^2} \cos \frac{i\pi x}{2a} + \sum_{j=2}^{\infty} \frac{\bar{T}_{0j}}{\left(\frac{j\pi}{2b} \right)^2} \cos \frac{j\pi y}{2b} \right. \\ & \left. + \sum_{i=2}^{\infty} \sum_{j=2}^{\infty} \frac{\bar{T}_{ij}}{\left[\left(\frac{i\pi}{2a} \right)^2 + \left(\frac{j\pi}{2b} \right)^2 \right]} \cos \frac{i\pi x}{2a} \cos \frac{j\pi y}{2b} \right\}, \end{aligned} \quad (3.9)$$

$$\text{ここに} \quad \delta' = \frac{\delta}{4} \quad (3.10)$$

(3.4)~(3.9) の諸式から, C_1 および C_2 は, $A_{1F} = A_{2F} \equiv A_F$, $a=b$ として次式で与えられる.

$$C_1 = C_2 = - \frac{E_P}{\left(1 - \nu + \frac{bd}{A_F} \frac{E_P}{E_F} \right)} \left[-(\alpha_P \bar{T}_{00} - \alpha_F \bar{T}_F) + \frac{3\pi^2 \delta'^2}{8b^2} \right] \quad (3.11)$$

縁材の伸びを考慮した場合, 温度上昇と四辺固定正方形平板中央の撓みとの関係は, (3.11) 式を用いて, (3.12) 式の積分を行なって, (3.14) 式で与えられる.

$$\int_0^{2b} \int_0^{2a} \left[D \nabla^4 w - d(\chi_{yy} w_{xx} - 2\chi_{xy} w_{xy} + \chi_{xx} w_{yy}) + \frac{Ed^2 \alpha}{(1-\nu)} \nabla^2 \bar{T} \right] \{w\} dx dy = 0, \quad (3.12)$$

ここに

$$w = \delta' \left(1 - \cos \frac{\pi x}{a} \right) \left(1 - \cos \frac{\pi y}{b} \right) \quad (3.13)$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{6(1-\nu)^2} \left(\frac{d}{b} \right)^2 \left(\frac{\delta}{d} \right) \\ & + \frac{1}{256} \left[\frac{9}{\left(1 - \nu + \frac{bd}{A_F} \frac{E_P}{E_F} \right)} + \frac{533}{50} \right] \left(\frac{d}{b} \right)^2 \left(\frac{\delta}{d} \right)^3 \\ & = \frac{64\alpha_P}{(1-\nu)\pi^4} \sum_{p,q} \sum_{\substack{\text{odd} \\ p,q}} \frac{(p^2 + q^2) \bar{T}_{pq}}{pq(p^2 - 4)(q^2 - 4)} \\ & + \frac{\alpha_P}{\pi^2} \left\{ \frac{3}{2 \left(1 - \nu + \frac{bd}{A_F} \frac{E_P}{E_F} \right)} (\bar{T}_{00} - \alpha_F \bar{T}_F) \right. \\ & \left. - \frac{1}{8} [4(\bar{T}_{02} + \bar{T}_{20}) - (\bar{T}_{04} + \bar{T}_{40})] \right. \\ & \left. + \frac{\bar{T}_{22}}{4} - \frac{1}{20} (\bar{T}_{24} + \bar{T}_{42}) \right\} \left(\frac{\delta}{d} \right) \end{aligned} \quad (3.14)$$

(3.14) 式において, 板材は 18/8 耐熱鋼, 縁材は砲金であるから, $E_P = 20,400 \text{ kg/mm}^2$, $E_F = 9,500 \text{ kg/mm}^2$; $\alpha_P = 17.1 \times 10^{-6}$, $\alpha_F = 18.3 \times 10^{-6}$ とし, 第7図の諸元を用いると, 第10図の破線で示した補正曲線が得られる. この近似的補正值と実験結果との一致はきわめて良好と考えられる. また, 縁材の面内方向の変位は, (3.4)~(3.11) の諸式から次式のようになる.

$$u_F = v_F = \left(\alpha_F \bar{T}_F - \frac{bd}{A_F} \frac{C_1}{E_F} \right) \times 2b \quad (3.15)$$

(3.15) 式を第12図に実線で示すが, 測定値と良好に一致している.

なお, 縁材の温度上昇を無視した場合の計算結果を第10図に参考のため示しておく (③).

4. あとがき

本報告においては, 小型の輻射加熱装置およびそれを用いての一実験について述べた. まず, 急速輻射加熱装置の概要を記しその作動原理を説明した. イグナイトロン制御方式による本装置はきわめて良好に作動し, 本方式は, その後整備された容量 200KW の大型加熱装置にも採用された. つぎに, この装置を用いて

行なった四辺固定の正方形平板の熱変形実験について述べた。実験により求めた温度上昇と撓みとの関係は、理論解析結果¹⁾に縁材の伸びを近似的に補正した結果と良好に一致することが示された。

最後に、本輻射加熱装置の製作における松下通信工業株式会社研究部各位の御尽力に対し厚く謝意を表する。

文 献

- 1) 砂川 恵: 空力加熱による矩形平板の熱変形, 日本航空学会誌, 9 (1961), 37.
- 2) 林 毅: 水圧と板内内力をうける 補油外板の強度, 造船協会会報, 81 (1949), 99.

書

Introduction to Hypersonic Flow (極超音速流入門) G. G. Chernyi (R. F. Probstein 訳ならびに編集), Academic Press (New York and London 1961), X+262 頁.

極超音速流を取り扱う空気力学はロケット, 人工衛星などの超高速飛行体の進歩とともに近年急速に開拓発展した分野で, 現在までこれに関するまとまった著書は数が少ない上にいずれも専門的すぎて入門書とはいえない。しかしながら極超音速空気力学も一応体系づけられた今日, 必ずしもこの分野の専門家でない人でも容易に理解できさらに進んで詳細にまで入り得るような適当な入門書ができることが期待されたが, この本はまさにそのような趣旨に沿って書かれているといえる。原著はロシア語で 1959 年 Moscow で出版された。Chernyi は Sedov 門下の専門家であるから内容は特に非粘性理想気体の極超音速流のうち物体まわりの流れの解析に重点がおかれソヴエトにおけるユニークな研究結果も主題の一部になっている。この本は Hypersonic Flow (Academic Press) を Hayes とともに書いた Probstein が原著者と密接な交渉をもって, 原著の多くの疑わしい点不明な点を明確にして訳と編

評

集をした上で出版された。序では極超音速空気力学が有用になる超高速飛行体の速度範囲, 形式などにふれ, 実際の空気が遭う高温における種々の現象を取り上げその効果についてごく概論を述べて, 第 1 章では極超音速流の特徴と相似則, 第 2 章で先のとがった物体まわりの流れを中心に非定常流との equivalence principle をかなり多くの図, 表を用いて説明している。第 3 章ではニュートン則, 接線円錐法 (tangent-cone method), プーゼマン則などの簡略公式を実験との比較を多く用いて物理的な理解を助けるように紹介して, 最後に “boundary-layer method” を衝撃層 (shock layer) と境界層との類似を基に楔, 円錐のまわりの流れに応用した例をあげている。第 4 章はいわゆる shock-expansion 法について, 第 5 章は先のにおい物体について特に先端のまわりの流れ方の影響を述べている。以上の他各章ごとの文献が巻末にのせられている。全体を通じて特に第 2 章の equivalence principle, 第 3 章の boundary-layer method, 第 5 章はこの本を入門書としてばかりでなく専門書としても十分な好著としているように評者には思われる。

(小口伯郎)

抄 録 (続 き)

(104 頁より続く)

能の単段圧縮機についてその形状を任意に変化させたとき速度や流れの状態が設計点から広く離れた範囲にわたっての性能を計算機で簡単に求める方法が確立されていればそれを重ね合わせて多段特性が得られることになる。ここではまず equivalent diffusion parameter と momentum thickness との関係やこれにおい

て除かれる shock loss の扱い方等を述べ, 半径方向の運動量平衡式を連続, エネルギー, 状態, 断熱等の方程式と結合させて digital computer で解くべき方程式を導く手順や計算順序が示されている。最後に実際の遷音速単段による実験値と計算値との比較データが掲げられている。

(花村 庸治)