

JAERI 1142

半導体指向性流速計の特性

1967 年 9 月

日本原子力研究所

Japan Atomic Energy Research Institute

JAERI 1142

日本原子力研究所は、研究成果、調査結果の報告のため、つぎの3種の研究報告書を、それぞれの通しナンバーを付して、不定期に公刊しております。

- | | | |
|---------|----------------------------------|-----------------|
| 1. 研究報告 | まとまった研究の成果あるいはその一部における重要な結果の報告 | JAERI 1001-3999 |
| 2. 調査報告 | 総説、展望、紹介などを含め、研究の成果 調査の結果をまとめたもの | JAERI 4001-5999 |
| 3. 資料 | 研究成果の普及、開発状況の紹介、施設共同利用の手引など | JAERI 6001-6999 |

このうち既刊分については「JAERI レポード一覧」にタイトル・要旨をまとめて掲載し、また新刊レポートは「原研びおりお」でその都度紹介しています。これらの研究報告書に関する頒布、版權、複写のお問合せは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あてお申し越しください。

Japan Atomic Energy Research Institute publishes the nonperiodical reports with the following classification numbers:

1. JAERI 1001-3999 Research reports,
2. JAERI 4001-5999 Survey reports and reviews,
3. JAERI 6001-6999 Information and Guiding Booklets.

Any inquiries concerning distribution copyright and reprint of the above reports should be directed to the Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan

半導体指向性流速計の特性

要 旨

半導体を使用した流速計に指向性を与える目的で考案された球頭付きサーミスター指向性流速計の、流速測定精度および指向性感度についての報告である。

まず、測定粒子の漏洩熱量評価のためにおこなわれた静止放熱試験および小孔基準流放熱試験の結果を示した。さらに、噴出し風洞を使用しておこなわれた自由流下の放熱特性および方向性試験の結果を報告し、流速と放熱量の関係を無次元関係式で示した。

その結果、半導体粒子に貫孔付き球体を取付けることにより十分な指向性をもたせること、低速まで高感度の流速測定をおこなうことなどが可能となった。

1967年5月

日本原子力研究所，東海研究所，動力炉開発部

岡本 芳三，花輪 寿一*

Annemometric Characteristics of Semi-conductor Flow-meter

Summary

The annemometric performance has been improved by use of a spherical head in the center of which a thermistor particle is inserted. Stagnation, standard flow and free flow tests were made, and the relation between the head release and flow velocity was obtained. The results of experiments were expressed by a simple correlation of Nusselt number and Reynolds number. The relation between an inclined angle and the Nu number was also obtained when the channel axis of the head was inclined to the flow direction.

May 1967

YOSHIZO OKAMOTO

JUICHI HANAWA*

Division of Power Reactor Development Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute

* 茨城大学工学部 * Ibaraki Univ.

目 次

1. 概 要	1	4. 実 験 結 果	7
2. 問題点と構成	2	5. 結 論	13
3. 実験装置および方法	3	文 献	13

Contents

1. Introduction	1	4. Results	7
2. Problems and elements	2	5. Conclusion	13
3. Experimental rigs and methods	3	Bibliography	13

1. 概 要

流体の流れの大きさと方向を測定するためには、円柱および球状ピトー管、および熱線風速計などがあり、流体機械などの複雑な3次元流れの流れの大きさと方向を求める目的でしばしば使用されている。しかしながら小形であり、低流速の範囲まで、流れの方向と大きさを高精度で測定することが可能な流速計はまだ開発されていない。本報告は、主として、原子炉炉心などの複雑な管路内の流れの方向と大きさを同時に求めることの可能な球頭付き半導体指向性流速計の特性について述べたものである。すなわち、本素子は、球状ベークライト頭に直径方向に貫通する小孔を設け、その中央に流速に対して、敏感に反応する半導体素子を取付けた構造になっている。まず、3次元の自由流空間に本試片をおいた場合、球のまわりを流れる流体の流れにより生ずる、流体の圧力分布により、小孔の中を通り抜ける流れが生ずる。また、さらに孔の方向と流れの方向が変化した場合に、小

孔内の流速が変化し、自己加熱状態にある、半導体粒子の放熱特性に敏感に反応するようにした。その結果、球頭により半導体素子に方向性をあたえ、指向性流速計として使用することを可能とした。

まず、本流速計に関する漏洩熱量を評価する目的でおこなわれた静止空間試験、基準流速の下での素子の放熱試験などがおこなわれ、引きつづき自由流の下での絶対流速試験および方向性試験などに関する結果が求められ、自由流の大きさと方向と半導体素子の放熱量との間の関係が無次元関係式で表わされた。また、半導体素子が小孔内に置かれた場合、壁面の干渉により粒子よりの熱伝達と、自由流下における粒子の熱伝達に関する坪内ら¹⁾の実験結果との間の比較検討がおこなわれた。その結果、本球頭付き半導体流速計は指向性流速計として方向性および方向性精度にかんする条件を十分に満足するものであることが明らかにされた。

2. 問題点と構成

一般に3孔円柱および5孔球状ピトー管は、円柱および球状物体のまわりの流れにより生ずる圧力分布を利用して、差圧の測定をおこない、流体の流速の大きさと方向を求めており、LEE²⁾などの研究がある。しかしながらピトー管は流速が低くなると差圧が著しく低くなり、その測定が不可能となる。たとえば常圧空気流の場合、5m/sの流速では差圧が1mmaq程度の値をとり、微差圧計を使用した場合でも、数m/s以下の流速では十分な精度をもって流速を測定することが不可能となる。その結果、数m/s以下の流速には、V形白金線風速計および半導体ゲイジによる測定法がしばしば使用され、KING³⁾および葛西⁴⁾などの研究がある。しかしながら熱線風速計の場合、2~3 μ 程度の直径の白金熱線を使用した場合でも、線の長さを少なくとも1cm以上にする必要があり、寸法上の制限のあること、および流速がひくくなると支持導線よりける熱量が大きくなり、加熱線に不均一の温度分布が生ずることなどの理由で、小形で高感度の流速計としては、今なおいくつかの問題点を残している。

一方、30cm/secまでの微流速の測定には、半導体微粒子を使用した流速計が使用されているが、指向性に対

する十分な感度が得られない欠点がある。

ここで述べる流速計は、熱線および半導体流速測定素子に方向性をもたせる目的で考案されたものである。すなわち、本流速計の構成は、球および円柱ピトー管におけるように、物体のまわりの流体の流れにより生ずる圧力分布を利用して、測定素子のまわりを流れる流速が流れの方向により敏感に変化するようにしたことを特色としている。

流速計の構成は、直径方向に微小貫通孔のあいた球状物体とこの貫通孔の中央、すなわち球の中心に取り付けられた流速に対して敏感に反応する検出用半導体粒子より成立っている。このような球状物体の取付は軸を3次元空間に対してすべての方向に回転することが出来るような微動送り機構付き回転軸に取付ける。本素子を3次元流れの空間中に設定し、貫通孔の方向を種々に変化せしめることにより、自由流の流れの方向と貫通孔との間のなす角度が変化すると、貫通孔の上下流の圧力差が変化し、貫通孔中を通過する流体の速さが、敏感に変化する。その結果、半導体素子の自己加熱による放熱現象から、貫通孔内の流速を求め、指向性流速計として、使用することが可能となる。

3. 実験装置および方法

実験に使用したサーミスタ粒子は、約 30 μ の 2 本の白金ロジウム線に凝着した、平均直径 1 μ の金属酸化物粒子より成立っており、Fig. 1 に 50 倍の直角方向よりうつした拡大写真を示す。写真より明らかなように、Pt-R 線の取出部を除いて、ほぼ球体に近く解析にあたっては球として取扱いをおこなった。その結果、球表面よりガスへ熱伝導で伝えられる場合のヌセルト数 Nu_0 は $1/3$ として取扱うことが可能となる。

一般にサーミスタ粒子は金属酸化物の粉末より作られており、空気中の湿分などで抵抗値が増大する傾向にある。したがって、高温で長時間、加熱乾燥、枯化せしめ、化学的に安定な状態にしておく必要があり、250 $^{\circ}$ 附近の温度で約 3~5 日間電気炉中に放置して、十分に枯化せしめた。

このような半導体粒子を流速検出素子に使用することにより、白金線による流速計に比して、小形になること、流速との温度差を数十度程度に押えても、素子の温度、加熱量などが正確に測定できることなどの長所をもった流速計の開発が可能となる。

このようなサーミスタの熱的物性値に関しては、現在までの所、明確な資料が得られないために、ビード粒子と同一組成の平板状サーミスタを作成し、定常熱流試験および非定常加熱試験をおこなった。その結果を TABLE 1 に示す。また比較のために白金製測温素子の値を示した。すなわち、サーミスタの電気抵抗に関する温度係数は白金の場合の約 50 倍であり、温度および熱量測定の特長をもっている。

Fig. 1 に示す粒子を流れに対して指向性をあたえる目的で、Fig. 2 に示すような直径 5 ϕ のステンレス管の先

端部に、管に対して粒子が一体になるように、高温接着剤で固定をおこない、流れに対して Pt-R 線が断線しないような構造にする。また Pt-R 導線は、電気絶縁用細管が被覆されており、支持管内部を通して、端部より引出され、ビニル銅線と接続して電気回路に連結される。実験にあたり、球の径と貫通孔の径との間には TABLE 2 に示すような種類の試作球を作成し、それぞれの場合についての特性を求めた。

測定素子は Fig. 3 に示すような 3 次元空間のあらゆる方向に向けることの可能な 3 次元微動送り機構①に取付ける。球頭素子⑧は、支持棒⑤⑥の端部に取付けられた円板③④を回転し、貫通孔の方向を目盛板で測定する。このような素子を Fig. 4 に示す電気回路に取付け、サーミスタに加わる電気入力および抵抗値を測定する。すなわち、3 ヶの摺動抵抗を調節して、サーミスタ導線に所定の直流電圧をかけ、自己加熱状態にある素子にかかる電圧 E と電流 I を直流電圧計および電子管式 mv 記録計のよみ (mv) により測定する。その結果、サーミスタの抵抗値 R および発熱量 Q_t は次の式で表わされる。

$$R = \frac{E \times R_0}{10^3 \cdot mv} - R_0 - R_1 \quad (\Omega) \dots\dots\dots (1)$$

$$Q_t = 0.86 \frac{E^2 R}{(R + R_0 + R_1)^2} \quad (\text{kcal/hr}) \dots\dots (2)$$

ここで R_0 ; 定抵抗の抵抗値 (Ω), R_1 ; 導線の抵抗値 (Ω) である。

本測定素子を使用して、流体の流れの方向と大きさを求めるためには、次に示すような順序にしたがって実験を進める必要がある。

- (a) 恒温槽中の電気抵抗の測定
- (b) 静止空間中の放熱実験
- (c) 基準流放熱実験
- (d) 自由気流実験
- (e) 方向性実験

以下、各々の実験方法について説明する。

- (a) 恒温槽中の電気抵抗の測定

すでに述べたように、サーミスタ素子は常温では約 40k Ω の抵抗値をもち温度 $t(^{\circ}\text{C})$ により急激に抵抗値が減少することを特色の一つとしている。まず、素子の温度と抵抗値との関係を求める目的で、恒温槽の中に、サーミスタビードと精密級温度計を取付け、0~80 $^{\circ}\text{C}$ の温度範囲で、定常状態における温度 $t(^{\circ}\text{C})$ と抵抗値 $R(\Omega)$ の値を求めた。

実験に際しては、導線の抵抗値 R_1 と定抵抗 R_0 の値が、サーミスタの抵抗値の 1000 分の 1 以下で無視でき

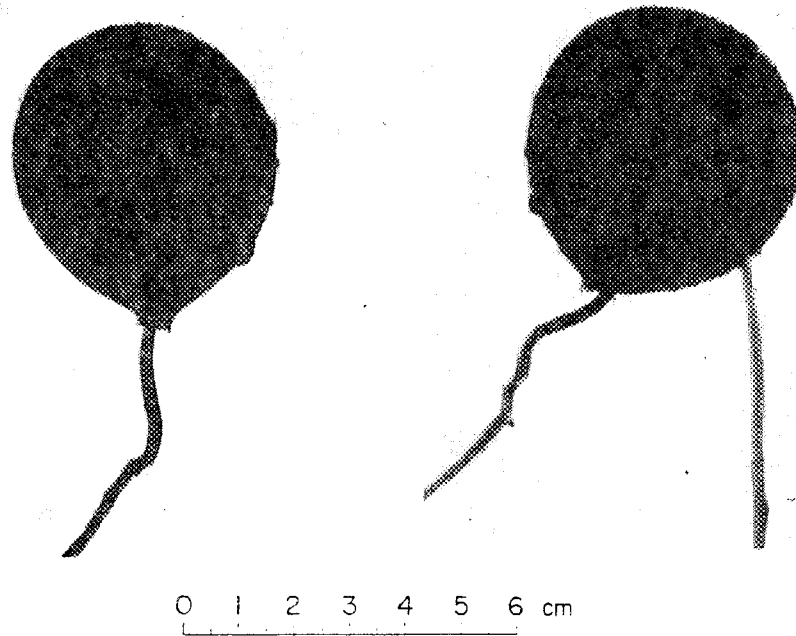
TABLE 1 熱的諸性値

物 質	サーミスタ	Pt
比重量	3,900	21,450
熱伝導率	7.5	60
比熱	0.23	0.032
温度伝導率	0.084	0.082
電気抵抗の温度係数	0.23	4×10^{-3}

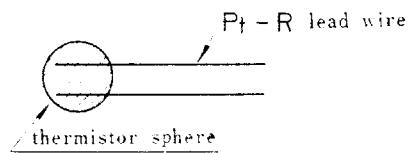
($0 < t < 70^{\circ}$ の平均値)

TABLE 2 球頭部主要寸法

No.	1	2	3
球頭外径 (mm)	10	15	20
貫通孔径 (mm)	3	2.51	2.55



Enlarged photograph X50



Dimension of sphere

$$X \times Y \times Z \text{ coordinate diameter} = \frac{47}{50} \times \frac{49}{50} \times \frac{51}{50} \text{ mm}$$

Pt-R lead diameter 50 μ

Fig.1 Cross section of test bead

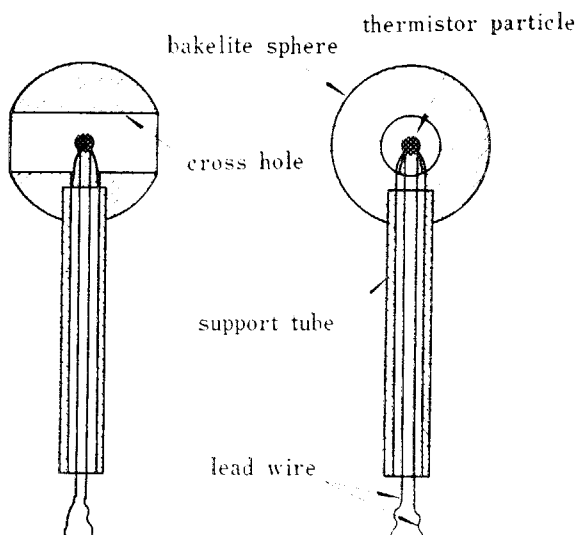
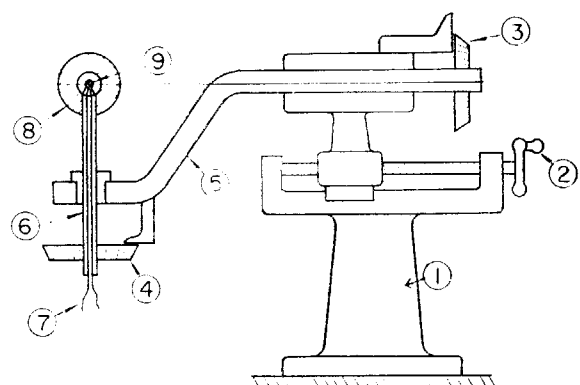


Fig.2 Thermistor element



- | | |
|-----------------|----------------|
| 1 support | 6 support tube |
| 2 traverse dial | 7 lead wire |
| 3 rotation dial | 8 support tube |
| 4 rotation dial | 9 bead |
| 5 arm | |

Fig.3

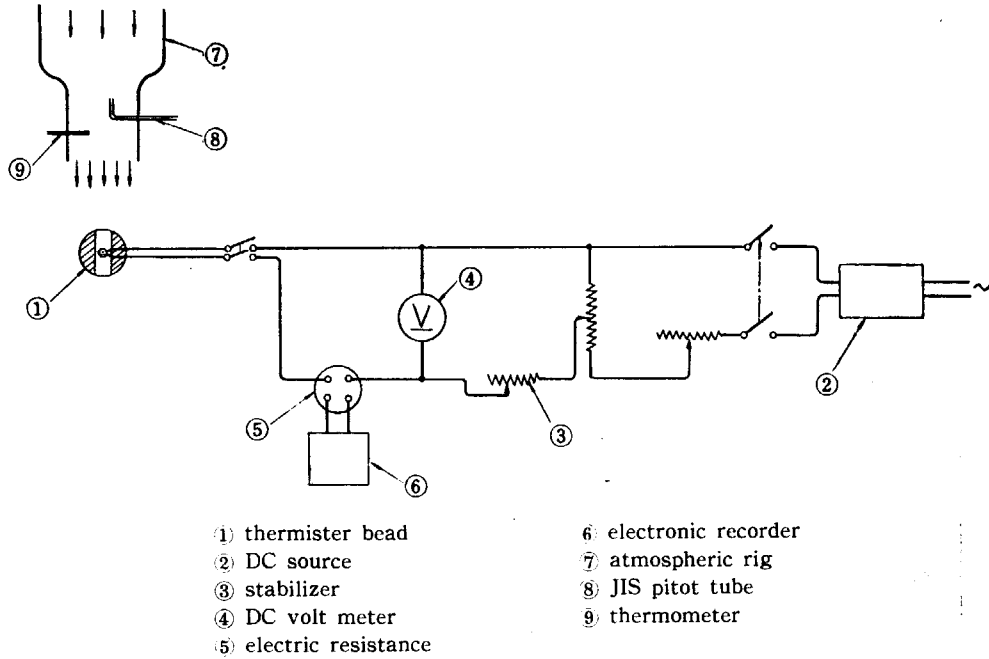


Fig. 4 Instrumentation circuit

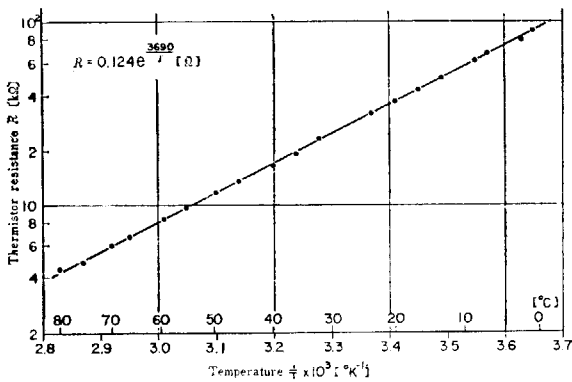


Fig. 5 Relation between R and $\frac{1}{T}$

るようにして測定をおこなった。測定結果を Fig. 5 に示す。絶対温度 T ($^{\circ}\text{K}$) の逆数と抵抗値 R (Ω) との間には直線関係が成立し、次の関係式が成立つことが明らかにされた。

$$R = R_{\infty} e^{B/T} = 0.124 e^{3690/T} (\Omega) \dots\dots (3)$$

ここで R_{∞} は温度が無限大の場合の抵抗値を示し、 B は温度係数である。

この結果、(3)式を使用して、抵抗値 R (Ω) を電気回路により測定し、素子の温度 t ($^{\circ}\text{C}$) を求めることが可能となる。なお、実験の経過と共に、空気中の湿分により、 R_{∞} の値は漸次増加することがあるが、 B の値は変化しないことも明らかにされた。

(b) 静止空間中の放熱実験

Fig. 3 に示した微動送り機構を、50cm×50cm×1m 角の箱の中央に設置し、静止空間中におけるサーミスター素子の放熱量と温度との関係を求めた。一般に、サーミ

スターに供給される全熱量 Q_t は次の諸熱量より成立っている。

$$Q_t = Q_c + Q_{\text{cond}} + Q_1 + Q_r (\text{kcal/hr}) \dots\dots (4)$$

ここで

Q_c ; 対流による流体への正味放熱量

Q_{cond} ; 熱伝導による流体へ失われる放熱量

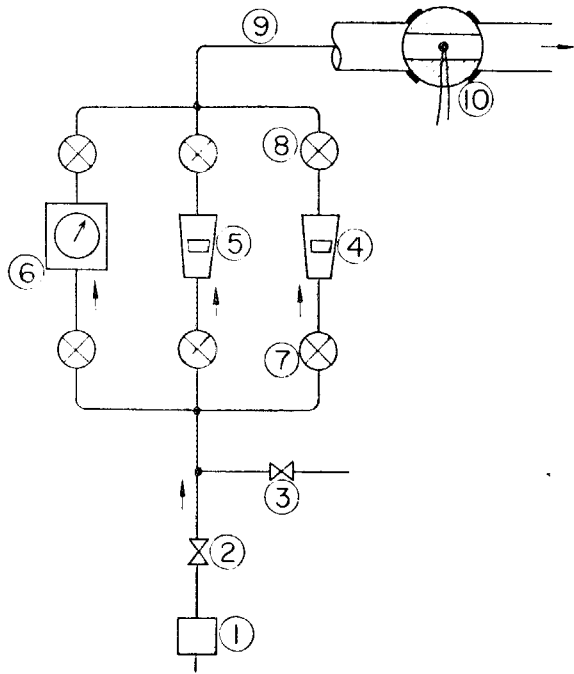
Q_1 ; 熱伝導により粒子接着部および導線より失われる熱量

Q_r ; 熱ふく射により失われる熱量

である。坪内らは、これらの諸量を正確に評価する目的で、 Q_{cond} 、 Q_1 、 Q_r などの値を、実験により求め計算により裏づけているが、本研究では、サーミスター粒子の一部の面に接着材により支持棒に固定されていること、導線がビニル被覆でかぶされているなど、その解析に可成りの複雑さともなうことなどの理由で、 Q_1 、 Q_r および Q_{cond} の値を実験により求めることにした。すなわち貫通孔の水平に対する傾きを種々変化して、温度と放熱量との関係を求め、放熱量に対する自然対流の効果が検討された。

(c) 基準流放熱実験

貫通孔の中におかれた、微小サーミスター球の熱伝達は球状加熱体と円柱通路の間の流体の流れにもとづく、自然対流および強制対流の熱伝達と考えることができるから、坪内ら¹⁾がおこなった自由気流中の微粒子の熱伝達とは異なり、円柱壁内に抱束された円柱壁面の干涉効果を考えに入れた球のまわりの熱伝達の問題になる。すなわち、本実験に先立って、サーミスター素子のおかれた小孔内に、規定の流量の流体を流し、サーミスターの放熱特性を求めた。Fig. 6 には基準流実験装置のフロー



- ① compressor
- ② stop valve
- ③ by-path valve
- ④ rotameter
- ⑤ rotameter
- ⑥ gas meter
- ⑦ stop valve
- ⑧ stop valve
- ⑨ piping
- ⑩ thermistor head

Fig. 6

シートを示す。往復形コンプレッサー (1) で加圧された空気流は、線出弁 (2) および吐出口にある弁 (3) により流量調節をおこなったのち、並列に並べられた3箇の流量計 (4), (5), (6) により流量 $Q \text{ m}^3/\text{s}$ を測定し、球頭貫通孔の中へ送られる。直径 10ϕ のビニル配管 (9) は、ペークライト球 (10) に密着し、管内の空気はすべて貫通

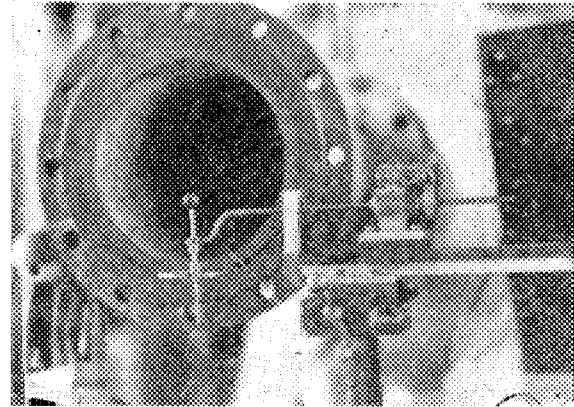


Fig. 7

孔を通過するようにする。実験は切換えコック (7, 8) を調整して、貫通孔内の流速が $0.1 \sim 60 \text{ m/s}$ まで変化するようにし、サーミスターの放熱特性をもとめた。ここで貫通孔内の平均流速 v は

$$v = \frac{Q}{A_c} = \frac{4Q}{\pi d_c^2} \text{ (m/s)} \dots \dots \dots (5)$$

で表わされる。ここで A_c ; 貫通孔断面積 (m^2)、 d_c ; 貫通孔直径 (m) である。

(d) 自由気流実験

以上の実験結果を基として、自由気流中の流速とサーミスター素子の流体へ正味対流で失われる放熱量の関係を求める目的で、Fig. 7 に示すように、常圧噴出し形風洞の噴出し口に本測定素子を取付け、流れの方向が一致した場合の特性が $2 \sim 60 \text{ m/s}$ の流速範囲で求められた。その結果、任意の自由流中における流速とサーミスター球の間の熱伝達の関係が求められた。

(e) 方向性実験

流体の自由流の流れの方向と本流速計の貫通孔の方向との間のなす角度を変化せしめて、サーミスター素子の放熱量と角度との間の関係を求め、方向性にかんする検討をおこなった。

4. 実験結果

3で述べたような実験順序に従って、球頭付きサーミスター流速計の特性が求められた。

4.1 静止空間放熱試験

すでに述べたように、球頭付きサーミスター素子の静止空間における自己加熱をおこない放熱特性を求め、放熱量と温度の関係が求められた。Fig. 8には、流体の温度とサーミスターの温度との差 $t_s - t_g$ と、無次元ヌッセルト数 Nu_0 との関係を示す。図より明らかなように、貫通孔の水平に対する角度を種々変化せしめ、貫通孔の傾きによる放熱量を測定し、孔の傾斜による自然対流の効果が検討された。また孔の端部を熱絶縁材で密閉した場合の自然対流による吹抜け効果を阻止した状態での関係を求めた。本実験に示した放熱量は、(4)式の中で Q_{cond} , Q_l , Q_r と自然対流による放熱量 Q_{nc} の熱量に相当する値を測定することになり、貫通孔の傾斜による自然対流の影響が、上記の4種類の試験により検討された。ここで Nu_0 は次のように表わされる。

$$Nu_0 = \frac{\alpha_0 \cdot d_e}{\lambda_g} \dots\dots\dots (6)$$

ここで

$$\alpha_0 = \frac{Q_{nc} + Q_l + Q_r + Q_{cond}}{A_H (t_s - t_g)}$$

静止空間における漏洩熱量を加味した熱伝達率
(kcal/hr m² °C)

$A_H = \pi d^2$; サーミスター球体の表面積 (m²)

d ; サーミスター平均直径 (m)

t_s ; サーミスターの指示温度 (°C)

t_g ; 流体の温度 (°C)

$d_e = \frac{2}{3} d$; 代表長さ (m)

λ_g ; 流体の熱伝達率 (kcal/hr m °C)

である。ここで Fig. 1 より明らかなようにサーミスターは球体として取扱い、代表長さには $\frac{2}{3} d$ の値を使用した。また、サーミスター内部の熱伝導による温度降下は、計算上、温度差の0.1%以下に止まるために、サーミスター指示温度をもって表面温度とみなして計算をおこなった。またサーミスターの最高温度は支持棒を接着する高温樹脂の温度として80°C以上にならないように保たれた。つぎに Nu_0 と0~50°Cの範囲における温度差 Δt との関係をも求めた結果、温度差が30°C以上では、貫通孔の方向の如何によらず、また、孔端部が密閉の場合でも、温度差が30°C以上では、ほぼ一定の値をとることが明らかにされた。この結果、 Nu_0 の値が貫通孔の傾斜により影響されず、また温度差に対してほぼ一定であることから、2.47の値をもって漏洩および熱伝達で失われる熱量の和に対する、ヌッセルト数の値として使用された。なお、これ以外に使用したサーミスター素子について求めたヌッセルト数 Nu_0 の値は2.5~2.9の値をとり、使用する試験片について、そのつど、 Nu_0 の値を使用する必要がある。

4.2 基準流試験

Fig. 6 に示すように、既知の平均流速 v を種々の値に変化し、サーミスター素子の放熱量と温度の関係を

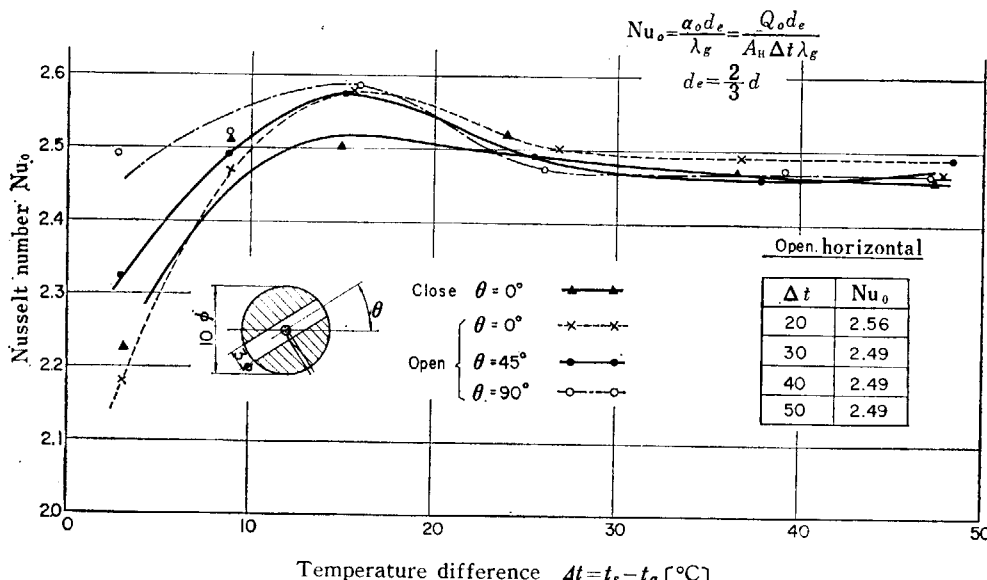


Fig. 8 The relation between Nu_0 and Δt

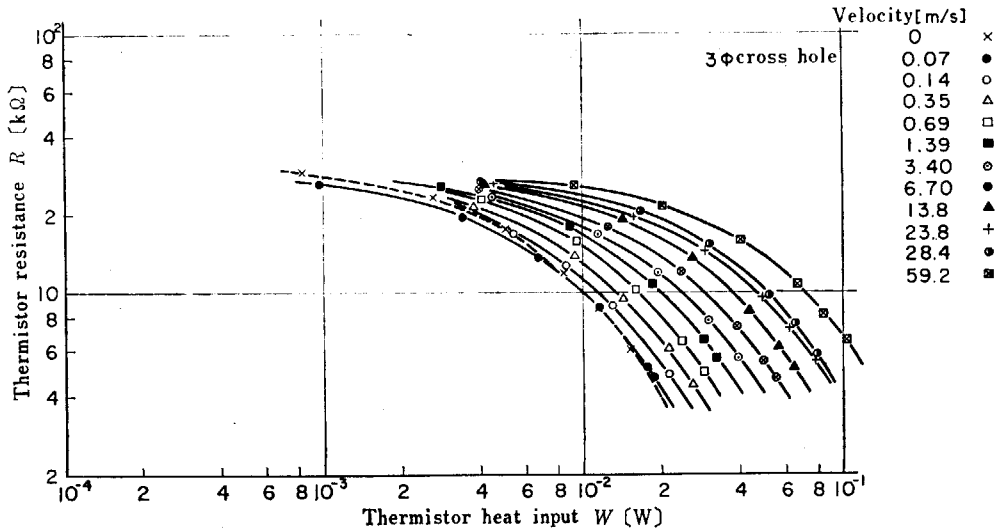


Fig. 9 The relation between W and R

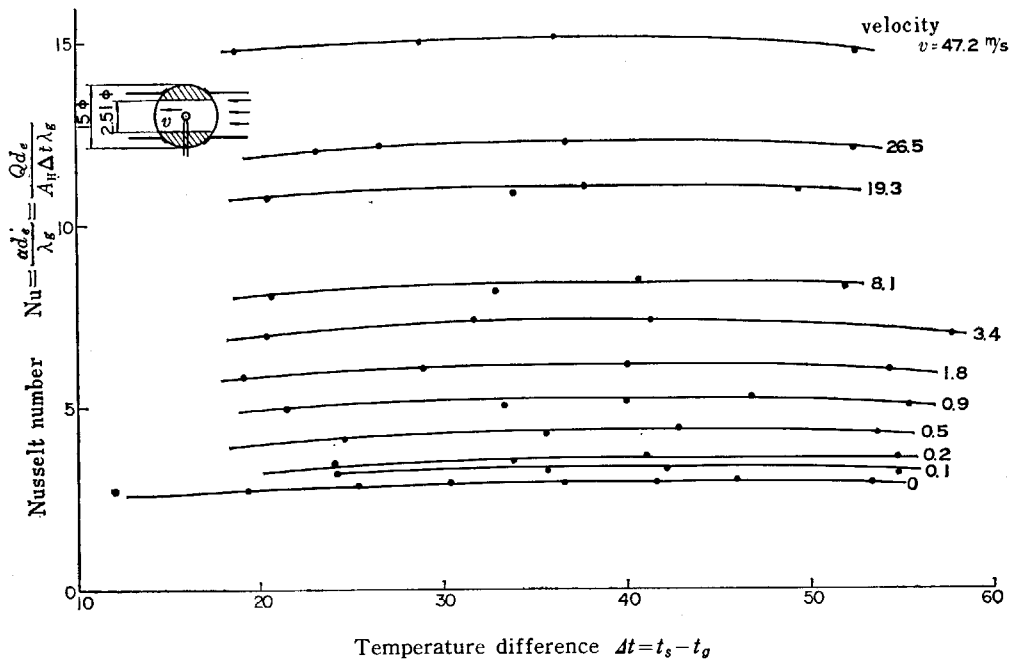


Fig. 10 The relation between Nu and ΔT

求めた。Fig.9 には、貫通孔の径が 3.0ϕ でガス温度が 25°C の場合、流速をパラメーターとして、サーミスター入力 W (watt) と抵抗値 R ($\text{k}\Omega$) の関係を求めたものである。図より明らかなように、一定流速の下で入力 W を大きくしていくと、ある入力以上で、自己加熱の効果が表われ、抵抗値 R の値は減少し、入力の値の大なるほど、冷却効果が大きくなり、右側に曲線がずれる。

Fig. 10 は、貫通孔内の平均流速パラメーターとして、サーミスターより対流で失われる熱量より計算したヌッセルト数 Nu の値と温度差 $t_s - t_g$ との関係性を求めたものである。温度差 30°C では Nu の値はほぼ一定している。

Fig. 11 は、内径 d_e の貫通孔を流れる流速 v より計算

した、レイノルズ数 Re と、全放熱量より計算したヌッセルト数 Nu 、および正味対流熱量を示す $Nu - Nu_0$ の値との間の関係を温度差をパラメーターとして示したものである。ここで

$$\left. \begin{aligned} Nu &= \frac{2d_e}{\lambda_g} = \frac{Q_i \cdot d_e}{A_H \cdot \Delta T \cdot \lambda_g} \\ Nu - Nu_0 &= \frac{Q_c \cdot d_e}{A_H \cdot \Delta T \cdot \lambda_g} \\ Re &= \frac{v \cdot d_e}{\nu} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(7)$$

で表わされる。ここで ν は動粘性係数を示す。また、 Re 数の中の代表長さ d_e の値は球状発熱体が円形通路中におかれた場合の熱伝達を解析することを目的とし

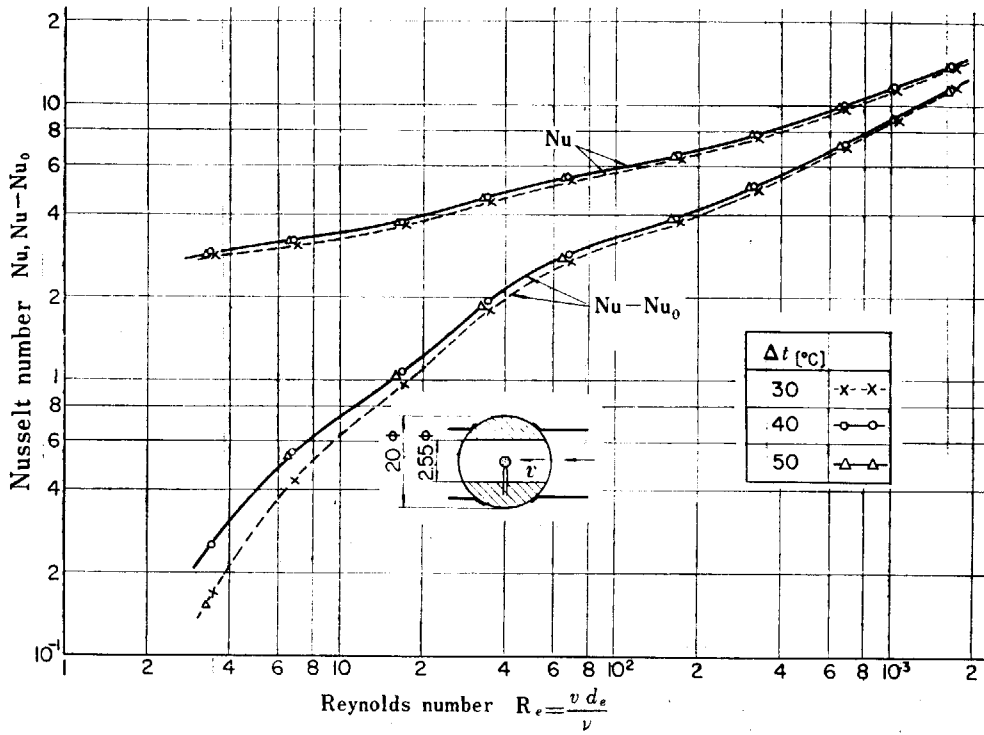


Fig. 11 The relation between Re and Nu, Nu - Nu₀

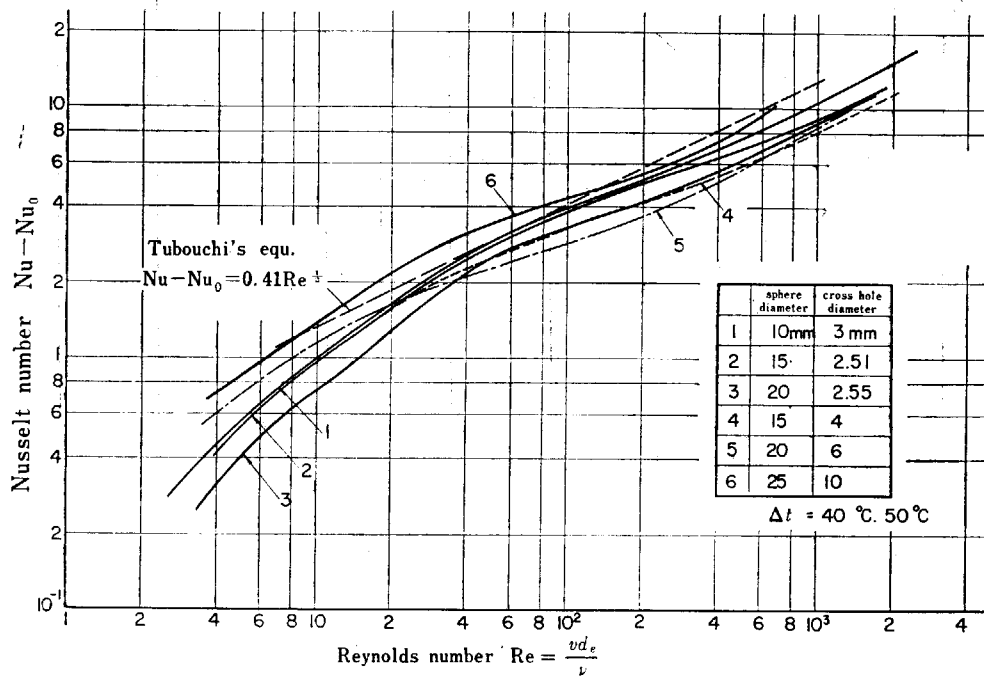


Fig. 12 The relation between Re and Nu - Nu₀

て、球自体の d_e を使用することにした。図より明らかのように、 Nu の値は Re に対して指数関数で表わされるが、 $Nu - Nu_0$ の値は Re に対して両対数座標が山形の分布をもつ曲線になる。

Fig. 12 は、貫通孔の径を6通り変化した場合の $Nu - Nu_0 \sim Re$ の間の関係を求めたものである。いずれも、

Re 数に対して山形の分布をもつが、円形通路内の流れの複雑さに起因して、統計的傾向はみとめられなかった。またこの図は、サーミスター素子に関する各種の流れの条件の下で放熱量と速度の間の関係を求める目的で使用される。

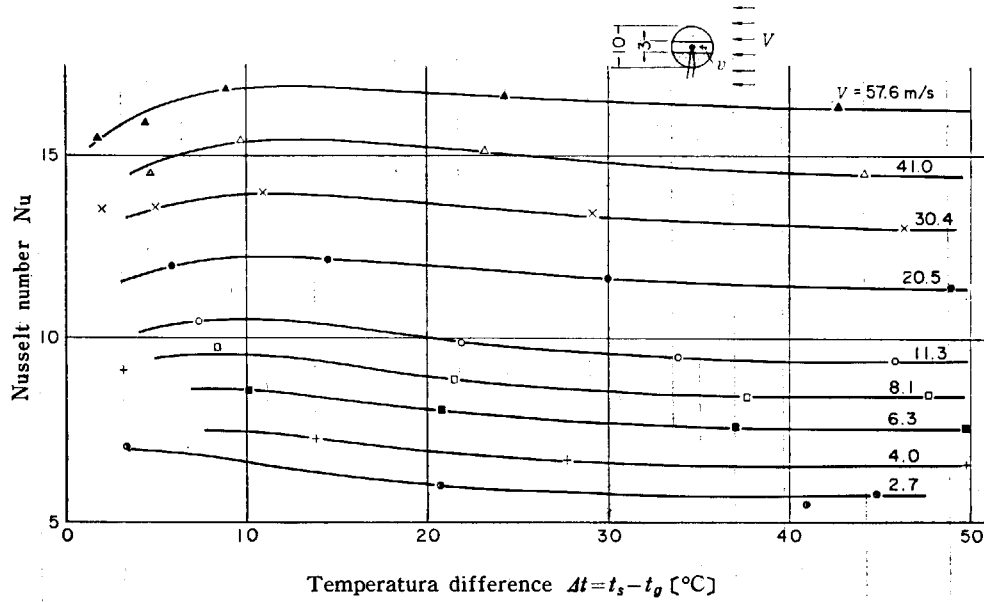


Fig. 13. The relation between Δt and Nu at natural convection

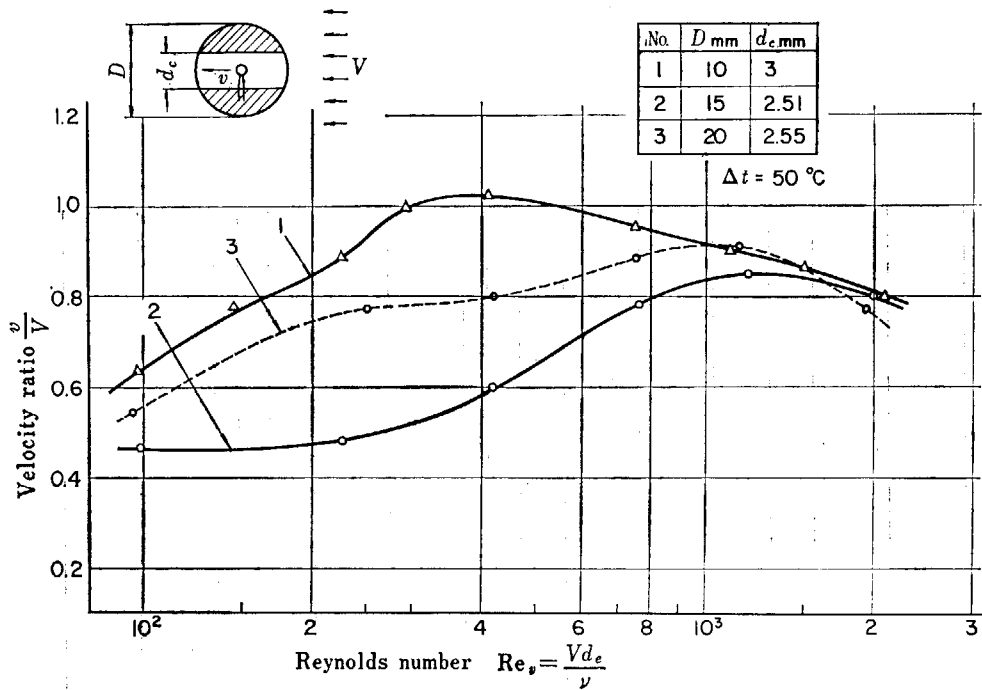


Fig. 14 The relation between Re and $\frac{v}{V}$

4.3 自由流放熱実験

基準流試験による結果を基として、Fig.7 に示すような風洞噴出口に、球頭素子を取付け貫通孔の方向と自由流の流れの方向が一致した場合の放熱実験をおこなった。まず、Fig.13 には、自由流の流速 V をパラメータとしヌセルト数 Nu と温度差との間の関係をも求めたものである。 Nu の値は $\Delta t=7^\circ C$ 附近で最大値があり、 $40^\circ C$ 附近でほぼ一定の値をとる。 Fig.14 に示すよ

うに、球頭径と貫通孔の径を3通り変化させた場合の、試片について、自由流の流速 V と貫通孔の流速の比 v/V と自由流に関するレイノルズ数 $Re_v = V \cdot d_c / \nu$ との関係が求められた。 一般に自由流の流速 V に対して貫通孔内の流速はひくい値をとり、温度により若干変化するが、球径 15ϕ の場合 v/V の最大値は $Re_v=1.3 \times 10^3$ で 0.85 の値をとり、 $Re_v=2 \times 10^2$ で 0.5 の最小値をとる。 また Re_v 数により v/V の値が複雑な変化をとる点に注目がなされる。 このような、 v/V の分布を

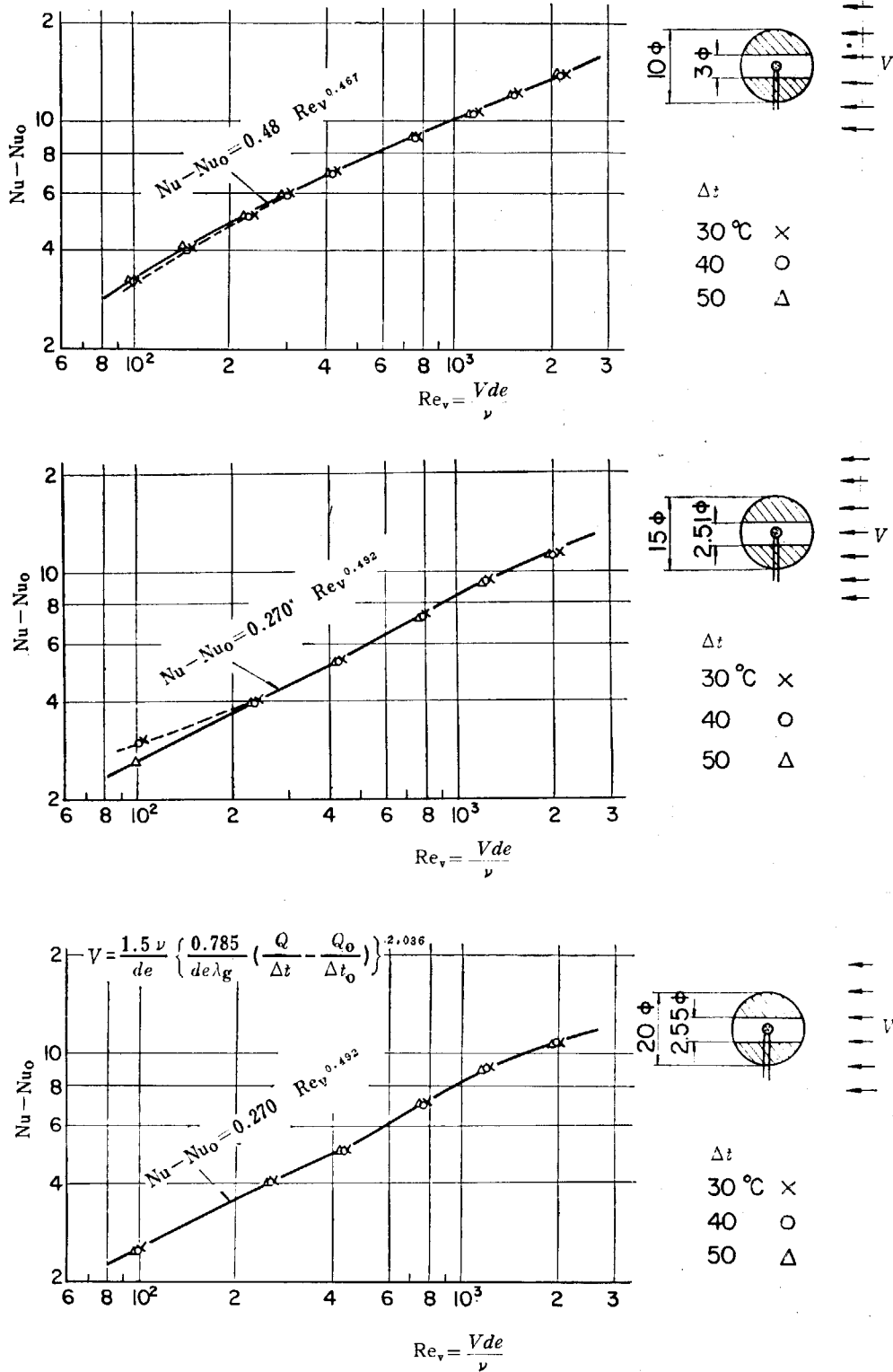


Fig. 15 The relation between Re_v and $Nu - Nu_0$

解析するには、さらに一層の定量的解析を必要とし、貫通孔をふき抜ける流体により、球のうら側に生ずる渦域 (wake area) がどのような影響をうけるかを明らかにする必要がある。

つぎに、前に述べた3種の球頭付きサーミスターに関して、 $Nu - Nu_0$ と Re_v との関係が求められた。そ

の結果を Fig. 15 に示す、その結果、 $Nu - Nu_0$ 数は Re_v 数との間に指数関係が成立し、球と孔の径の比が6の値以上になると2本の曲線は大体一致している。その結果、球の廻りの複雑な流れの如何によらず、球頭の直径と貫通孔の径の比が6の値以上であれば、 $Nu - Nu_0$ 数と Re_v の間には次の関係が成立することが明らかにさ

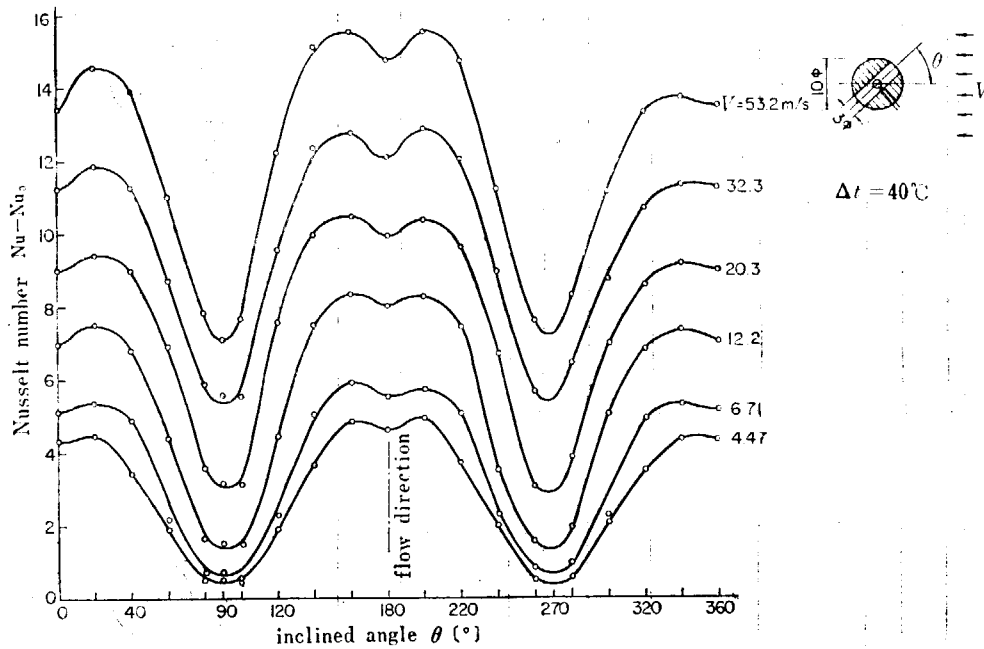


Fig. 16 The relation between inclined angle θ and $Nu - Nu_0$

れた。

$$Nu - Nu_0 = 0.270 Re_v^{0.492} \dots \dots \dots (8)$$

また、上記の結果にもとづき求めた総放熱量 Q と温度差 ΔT から自由流の流速 V は次のように表わすことができる。

$$V = \frac{1.5\nu}{d_e} \left\{ \frac{0.785}{d_e \cdot \lambda_g} \left(\frac{Q}{\Delta t} - \frac{Q_0}{\Delta t_0} \right) \right\}^{2.036} \dots \dots \dots (9)$$

4. 4 方向性放熱試験

Fig. 7 で示したように、一様流速分布 V を持つ風洞噴出し口で、貫通孔の方向と流れの方向との間のなす角度 θ を変化せしめ、放熱量 Q_i を求めた。Fig. 16 には、貫通孔の径 d_e が 3 の場合、 $Nu - Nu_0$ と角度 θ との関係性を流速パラメーターとして示したものである。

角度 θ に対して $Nu - Nu_0$ の分布は、裸サーミスターより指向性は改善されているが、Cosine 分布におけるような単調な形状をもたず、山部でくぼみをもった曲線をもつ。これは貫通孔をながれる流体の流れが自由流れに対して複雑な干渉作用をもたらすことによることが考

えられる。まず、 $Nu - Nu_0$ の値は 0° および 180° に対して等しい値をとらない。これは球および孔の加工上の工作精度にもとづくものと推定される。つぎに $Nu - Nu_0$ の分布が流れの方向と一致した場合、特に $\theta = 0$ で最大でなく、最大値が $\pm 20^\circ$ 付近で生ずること、また Re_v 数により v/V が山形の形をとることは球の廻りの流れとして、興味あるいくつかの研究課題を提供している。すなわち、球のまわりの流れと貫通孔を流れる流れとの相対的關係により決定される。球の後の渦流については、これまで実験的にも明らかでない点が多いが、一応環状あるいは螺旋形渦が生ずると考えられる。このような場合、貫通孔裏側の流れの噴出し部の流速と、うずの方向との関係により、貫通孔中の流速が最大値をとると考えられるが、定量的解析については今後課題が残される。

また、図より明らかなように、実際の測定にあたっては、 $Nu - Nu_0$ の分布より方向をもとめるには、自由流れに向った方向よりは、自由流れに対して直角に傾いた方向の $Nu - Nu_0$ の値を定める方が正確であるといえる。

5. 結 論

半導体微粒子を使用した，球頭指向性流速計に関して，主として，指向性精度に関する実験を行なった．この結果，次のような点が明らかにされた．

(1) 静止空間における自然対流放熱試験の結果，静止気流時における Nu_0 数の値は，温度差 30°C 以上で 2.47 の値をとる．

(2) 基準流の試験結果から，円形通路内におかれた，半導体球のまわりの流れにおける，ヌッセルト数 Nu と流速との間の関係が実験により求められた．

(3) 自由流における試験結果によれば，自由流の Re_v と $Nu - Nu_0$ との間には，

$$Nu - Nu_0 = 0.270 Re_v^{0.492}$$

の関係式が成立する．また小孔の流速 v と自由流の

流速 V の比 v/V は Re_v 数により一定でなく，山形の分布をなす曲線となる．

一樣流れ中におかれた本素子の方向性に関する検討がなされ， $Nu - Nu_0$ の値は流れに対して主流の方向が 20° 傾いた位置で最大値をとること $\theta = 0^\circ$ および 180° で同一の値をとらないことが明らかにされた．この原因は，球および貫通孔形状の工作上的誤差および球のまわりの流れと，小孔内を通る流体流れとの間の相互的關係によるものと考えられる．最後に寸法効果および物性値による影響などとともに，なお一層の検討を必要とする．

最後に本研究にあたり御協力をお願いした所内の各位に感謝いたします．

文 献

- 1) 坪内為雄：機論 125, 156 (1959), 810.
- 2) J.C. LEE: *Tr. ASME* (1956), 603.

- 3) KING, L.V.: *Trans. Roy. Soc.*, **A 214** (1949), 179.
- 4) 葛西泰二郎：日本機械学会，昭和40年総会前刷．