力炉のように、再結合器を流れる気体の圧力が1気圧以上になる場合には、さらに触媒温度を高くする必要がある。水分は $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Pd}$ 触媒に対して毒として働くのではない。したがって、水分でぬれて活性のおちた触媒は加熱して水分を除くと再び活性をとりもどす。

V. ま と め

接触反応速度式(14)は重水素濃度0.3~3%、触媒温度60°~150°C、圧力1気圧の実験条件のもとに得られた実験式である。しかし、定数 K_0 , m は重水素濃度が0.3~3%の範囲では、Fig. 2に示すように重水素の初期濃度にはほとんど関係しない。したがって、この結果から(14)式の適用範囲を3%よりもより高濃度の範囲にまで拡張して用いることができると思われる。さらに、定数 m は温度に関係しない定数であり、 K_0 についても、Fig. 6および(15)式から150°C以上の温度にまで外挿できることが予想される。したがって、(14)式の適用可能な温度範囲は高温側へかなり拡張することができると思われる。またJRR-2では、再結合器に供給されるガス圧は1気圧であるが、動力炉では数気圧に及ぶこともありうる。実験装置の関係から、全圧が1気圧以上の場合の反応速度は測定しなかったが、全圧が1~数気圧の範囲の反応速度は、いままでに得られた結果から予想できる。共存するヘリウム等の不活性ガスは、圧力の増加とともに触媒への吸着量が増加することが予想される。しかし、Fig. 2に示すよ

うに、不活性気体の分圧と重水素ガスの分圧の比を大きくしても、ある範囲内では反応率はほとんど変化しない。このことは不活性ガスが反応速度に与える影響は小さく、反応速度は重水素の分圧に関係するものと予想される。したがって、全圧が1気圧以上の場合でも、重水素の分圧が(14)式の実験条件の範囲内にあるならば、(14)式は近似的に適用できる。つぎに、この実験では必要上、重水素-酸素系の接触反応速度式を求めたが、水素の同位元素効果が小さいので、(14)式は水素-酸素系にも適用できる。

最後に、再結合器の設計にあたっては、原子炉内の重水の分解量を知る必要がある。しかし、原子炉内では重水の放射線分解に関係する因子が非常に多く、分解量を正確に知ることは困難である。しかし、JRR-2での重水分解量から、ある程度分解量を予想することは可能である⁶⁾。

(1964年 5月29日 受理)

— 参 考 文 献 —

- (1) H.M.BUSEY, R.P.HAMMOND: *Chem. Engrs. Prog. Symposium Serie*, **50**, [13], 27 (1954).
- (2) L.D.P.KING, et al.: *Nucleonic*, **11**, 25 (1953).
- (3) O.A.HOUGEN: *Trans. Am. Inst. Chem. Engrs.*, **41**, 445 (1945).
- (4) K.H.YANG: *Chem. Eng. Progr.*, **46**, 146 (1950).
- (5) 戸根弘人: 原子力工業, **10**, [3], 65 (1964).

研究論文

389. 静電容量型ボイドメータ

桜井良文*, 五十住公宏*, 森 好市*, 柿沢憲一*

Capacitance Type Void Meter

By Yoshifumi SAKURAI, Kimihiro ISOZUMI,
Koichi MORI and Ken-ichi KAKIZAWA

For studies of two phase flow, it is very important to measure a void fraction; the fraction of air in water flow. Many methods for the void fraction measurement have been developed hitherto. They are, however, insufficient in respect of their

* 大阪大学工学部 原子核工学教室 (College Nucl. Eng., Osaka Univ.)

accuracy, response, handling and so forth. This paper reports a void detecting method which is based on a change of the equivalent dielectric constant. By this method, the instantaneous void and the local void can be measured with a fast response.

Preliminary experiments are carried out with both the simulated void in the form of glass tubes and the real void in air-water mixture. It is shown that the linearity of this device is good.

The basic principle of this void measuring method is discussed, comparing the real void with equivalent circuits which consist of capacitances and resistances.

Experimental results of this device applied to a thermodynamic-hydrodynamic loop which simulates the nuclear reactor are shown.

I. 緒 言

気水混合流は工業上の種々の方面、たとえば蒸気ボイラの蒸発管、化学工業における反応装置などにおいて見られる現象で、とくに蒸気ボイラの水循環の問題と関連して重要視されているが、最近では沸騰水型原子炉における冷却水の熱的特性および原子炉動特性などに関係して問題となってきた。気水混合流に関する問題としては、つぎに挙げるようなものがある。

- (1) 気水混合流の流動様式
- (2) 圧力損失
- (3) 気体体積率と相対速度との関係
- (4) 気水混合流の熱伝達に関する問題
- (5) ノズルおよびオリフィスを通る流水に関する問題

圧力損失についてはすでかなりの成果が得られているが、その他に関してはこれまでの実験結果がまちまちであるため、その特性がまだ明確にされていない。これらの実験では、いずれも気体体積率すなわちボイド比が重要であり、これを基礎にしていろいろな実験を進めるが、ボイド比の測定法としては従来種々の方法が報告されており、

- (1) 測定管上下の圧力差から求める方法
- (2) γ 線の透過減衰を用いる方法
- (3) 測定管上下に設けたストップコックを用いる方法

などが使われている。しかし、これらの方法は後述するように、それぞれ精度、測定対象、設備費などに難点がある。

著者らは、これらの方法より簡単で、かつ瞬時値をも測定できる測定法として、水と空気の誘電率の差によって生ずる静電容量変化を利用したボイド比測定法を提唱し、これについて実験を行なってきた^{(1)~(4)}。この方法は、小さい検出部を持ちボイド分布の測定も可能

なので、その後各方面で応用されるようになり⁽⁵⁾、その詳細の発表が要望されるようになったので、ここに報告するものである。

II. 従来のボイド比測定法とその検討

従来用いられているボイド比測定法の原理とその性能について検討する。

1. 圧力差によるボイド比測定法

この方法は簡単でかつ費用もかからないので、現在でも広く用いられている方法である。この方法によれば、気水混合流の測定孔間における摩擦圧力損失が無視できる範囲では、その間の平均ボイド比 f_0 は次式で与えられる⁽²⁾。

$$f_0 = \frac{h}{L} \left(\frac{\gamma_{Hg}}{\gamma_w} - 1 \right) \quad (1)$$

ただし h : 測定孔間の圧力差 (mmHg)

L : 測定孔間の垂直距離 (mm)

γ_{Hg} : 測定時の温度における水銀の比重

γ_w : 測定時の温度における水の比重

温度が決まれば γ_w , γ_{Hg} が決まるので、あらかじめ L を測定しておけば h を測定することによりボイド比 f_0 が求まる。

しかしこの方法での相対誤差は、管内摩擦圧力損失 ΔP mmHg, γ_w および L の誤差 $\Delta \gamma_w$, ΔL mm を考慮に入れると次式で表わされる⁽²⁾。

$$\frac{\Delta f_0}{f_0} \leq \frac{1-f_0}{f_0} \left[\frac{\Delta P}{L(1-f_0)} + \frac{\Delta \gamma_w}{\gamma_w} + \frac{\Delta L}{L} \right] \quad (2)$$

これを実際の場合について検討すると、ボイド比の小なるとき相対誤差が非常に大となる欠点がある。

2. γ 線の透過減衰を用いるボイド比測定法

この方法の原理は γ 線のエネルギーが単色であると仮定すると、透過物質中でその強度が指数関数的に減衰すること、すなわち

$$I = I_0 \exp[-\mu x] \quad (3)$$

なる関係を利用することである。ただし、 I_0 , I はそれぞれ透過物質に入る前および x cm だけ透過した後の γ 線の強さ、 $\mu \text{ cm}^{-1}$ は物質の吸収係数である。

γ 線が測定管壁→気水混合流→測定管壁を順に透過してきたとき、これを放射線検出器で受けて電流などに交換して増幅する。増幅器の出力電圧を V とすれば、管内が空気のみときの出力電圧 V_a 、水のみときの出力電圧 V_f を前もって測定しておけば、ボイド比 f_g は次式で与えられる。

$$f_g = \frac{\ln V - \ln V_f}{\ln V_a - \ln V_f} \quad (4)$$

この方法は従来用いられた方法のうち最も精度がよいものと思われるが、費用がかかるほかに放射線の取扱いが面倒であるので、あまり広くは用いられていない。

3. 測定管上下に設けたストップコックを用いるボイド比測定法

これは測定管上下にストップコックを設けて、気水混合流の流量を一定にして定常状態にした後、同時に上下のコックを閉じて測定管内に残存する水量の割合 f_w を測定することにより、ボイド比

$$f_g = 1 - f_w \quad (5)$$

を求めるものである。

Fig. 1 Construction of the Void Detecting Device and Equivalent Circuits of Void Detecting Electrode

ここで C_g は絶縁層による静電容量、 C_w は水による静電容量で、それぞれ次式で与えられる。

$$C_g = \frac{\epsilon_0 \epsilon_g S}{d_g} \quad (F) \quad (7)$$

$$C_w = \frac{\epsilon_0 \epsilon_w S}{d} \quad (F) \quad (8)$$

水路内に空気を満たしたとき空気による静電容量 C_a は

$$C_a = \frac{\epsilon_0 \epsilon_a S}{d} \quad (F) \quad (9)$$

となる。ただし $\epsilon_g, \epsilon_w, \epsilon_a$ はそれぞれ絶縁層、水、空気の比誘電率で、 d_g, d はそれぞれ絶縁層の厚さおよび

この方法で得られたボイド比は正確であり充分信頼するに値するが、定常状態の実現が必要であり、連続測定ができないこと、および上下両コック間の平均ボイド比しか求まらず、特定地点のボイド比を求め難い欠点がある。

II. 測定原理および装置

1. 測定原理

一般に平行板電極間の静電容量は

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} \quad (F) \quad (6)$$

ただし、 d : 電極間距離(m), S : 電極板面積(m^2)

ϵ_0, ϵ_r : 真空の誘導率および媒質の比誘電率で表わされ、媒質により ϵ_r が変わると C が変化する。したがって、一定温度の気水混合流中に電氣的に絶縁された1対の電極を置くと、この電極間に存在するボイド量の変化に伴い等価的に電極間静電容量が変化する。この変化を静電容量変化検出装置で検出すれば、ボイド比を測定することができる。

Fig. 1 (a)はこの測定器の構成を示すもので、温度補正に関しては後述する。ボイド量変化から静電容量変化への変換部分は、ボイド検出電極と流体の状態が Fig. 1 (b)に示すようになっており、一般的に考えれば同図(c)に示す等価回路で表わすことができる。

水路の幅である。したがって、電極間静電容量は水路内に水を満たしたとき

$$C_0 = \frac{C_g C_w}{C_g + 2C_w} \quad (10)$$

であり、空気を満たしたときは

$$C_1 = \frac{C_g C_a}{C_g + 2C_a} \quad (11)$$

である。すなわち、 C_0, C_1 はそれぞれボイド比0%および100%のときの電極間静電容量に対応し、ボイド比がこの中間の値を持つと、電極間静電容量もそれに対応した値となる。 R_w は水による電気抵抗であるが、

ここでは水の純度が高いとして無視しており、これについては後に検討する。

静電容量変化の検出方法としては、原理的にブリッジ法、発振周波数法、共振法、位相変化法などが考えられる。ここではインダクタンスとキャパシタンスの共振電圧が共振点付近で、絶対値と位相を同時に急変することを利用して、微小な静電容量変化に対して鋭敏な出力変化を得る井上の回路⁶⁾を応用した。

2. 測定装置

以下の実験においては気水混合流の水路にガラス管を用い、管壁に1対の電極を取り付けて電極間の静電容量変化を検出した。

測定装置はボイド検出電極からの信号を微小静電容量検出回路で検出し、これを直流差動増幅器に接続してボイド変化を電流変化として読みとるものである。

実験に用いた水路は内径41 mm, 肉厚2 mmの硬質

ガラス管で、外壁に薄いアルミ板を2枚対向して取り付け電極とし、ガラス管底部から上向きに水を循環させると同時にエアコンプレッサで空気を吹き込んだ。空気の吹込量をバルブで加減することにより、任意の量のボイドを発生させることができるが、均質なボイドを得るためカーボランダムを球状にした多孔質のボール2個からボイドを発生させた。なお、この方法でもボイド比40～50%以上では脈動が激しく、均質なボイドが得られない。ガラス管上下には圧力差からボイド比を求められるように圧力測定孔を設けてある。使用した電極は(a) 2.5×0.5 cm, (b) 3.5×3.6 cm, (c) 7.0×3.6 cmの3種類である。

Fig. 2 は静電容量変化検出装置の回路図で、前述の井上の回路を応用し、これを差動増幅器と結合して測定を行なった。なお、この回路図の下部は温度補正用の回路であるが、常温での実験では用いていない。

Fig. 2 Circuit of Capacitance Detecting Device

Fig. 3 Characteristic Curve of Capacitance Detecting Device

この装置の特性、すなわち静電容量変化と出力電流との関係をFig. 3に示す。

本装置の使用に当り、はじめ測定管を空にしてFig. 2の C_1 を変えて、 C_r と C_1 の合成静電容量をFig. 3のA点、すなわち出力電流計が振れ始める点にもってくる。この状態で測定管に水を満たしたときの電流値が適当な大きさになるように可変抵抗 VR_1 を調節する。Photo. 1に測定管と測定装置を示す。

IV. 常温におけるボイド比の測定

気水混合流に関する研究では、常温においてエアコンプレッサなどでボイドを発生させて沸騰水を模擬した実験が行なわれているが、ここでもそのような場合

のボイド比の測定を行なった。

Photo. 1 Experimental Device

1. 予備実験Ⅰおよびその考察

エアコンプレッサを用いて測定管中に均質なボイドを発生させ、気水混合流を流動させた状態での実験を行なう前に、静的な方法で実験を行なった。

この方法は測定管内に細いガラス管を挿入し、その細管に空気を満たすことにより等価的にボイドを生ぜしめるものである。すなわち、水を満たした測定管内の同一円周上に薄肉のガラス細管を8本垂直に立て、この細管全部に水を注入した場合をボイド比0%、水

Fig. 4 Result of Preliminary Experiment I

を抜いた場合を等価的にボイドが存在する状態と考える。細管の直径は4.4 mmで、これは1本当たり約1.2%のボイド比に相当する。

以上の方法での測定結果を、ガラス管の位置と対応してFig. 4に示す。この図からボイド比0~10%付近までは電流とボイド比との間に直線的関係があることが認められた。

2. ボイドの位置の影響

本ボイド測定法では、ボイド検出電極板の間の電気力線の分布が問題となり、ボイドの位置によりその測定値が異なると思われる。Fig. 5はⅣ-1と同じ装置を用いて、電流計の読みがガラス管の位置によりどれだけ変化するかを調べたものである。図によると、位置の影響がボイド比にして1%以下であることがわかる。

Fig. 5 The Effect of Void Location

ボイドの位置の影響は、使用した装置が円筒状であり、したがって極板間の電気力線の分布が均一でないことに起因する。後述するように、理想的な平行板電極間に均一に分布するボイドに対しては、位置の影響は現われない。

3. 予備実験Ⅱおよびその考察

この方法も薄肉の中空ガラス管を等価的なボイドと考える静的な実験である。直径が10, 15, 20, 24, 30.5, 33.5 mmの6本のガラス管を用い、これらを順次1本ずつ水を満たした測定管内に挿入したときの出力電流の変化を測定した。これらのガラス管が測定管に対するボイド比はそれぞれ6.1, 13.6, 24.2, 35.2, 56.4, 68.0%である。

Fig. 6はこの測定結果で、A, B曲線はそれぞれ前記

電極板(a), (b)を用いたものである。図から(a)極板を用いた場合はボイド比0～70%付近は直線的に変化するが、(b)極板を用いた場合は直線域が30%までで、それ以上は飽和の傾向を示すことがわかる。これはFig. 3に示すように本装置が微小な静電容量変化に対して極めて鋭敏で、約2 pFを越える変化では飽和領域に入ることに起因する。

Fig. 6 Results of Preliminary Experiment II

4. 動的ボイドによる実験

上記の静的な実験で、ボイド比とボイド計出力が直線関係にあることがわかったので、つぎに測定管の底部から上向きに水を循環させると同時にエアコンプレッサによりボイドを発生させ、気水混合流の各種実験と同じ条件の下で静電容量検出法によりボイド比を求め、これを圧力差による方法およびストップコックによる方法から求めたボイド比と比較した。

この実際に際しては、圧力差からボイド比を求める方法の誤差、すなわち摩擦損失の項を小とするため循環水の流速を小さくしたので、圧力差による方法とストップコックによる方法との間にはほとんど測定値の差が認められなかった。したがってこの実験では、圧力差から求めたボイド比を標準としてこれと比較を行った。なお、エアコンプレッサでボイドを発生させると、ボイド比30%近傍までは均質なボイドを発生さ

せることができるが、40%以上では脈動が激しく正確な測定ができないのでボイド比40%までで測定した。

Fig. 7に測定結果を示す。図中A, B, C曲線はそれぞれ(a), (b), (c)極板を用いたときの結果である。これらは予備実験で得た結果と同様の傾向を示す。(a)極板を用いた場合はボイド比0から35%までボイド計出力とボイド比とは比例関係を示す。(b), (c)極板を用いた場合は、それぞれボイド比0～20%, 0～15%の範囲が直線領域で、それ以上は飽和する。しかし、あらかじめボイド計出力とボイド比とが直線的な関係にある範囲を求めておくと、微小なボイド比を高感度でかつ高い精度で測定することができる。

Fig. 7 Experimental Results for Real Void

V. 考 察

このボイド比測定法の原理は前述のように、電極間に存在する媒質の見かけの誘電率がボイド率によって変化することを用いるものである、として“静電容量変化法”と呼び慣わしてきた。しかしその後、この方法は静電容量の変化のみを用いるのか、 $\tan \delta$ の変化も用いているのかという疑問が寄せられ、この方法の原理を再検討する必要が生じたので、以下のような検討、実験を試みた。

電極間に水とボイドが存在するときの状態とその等価回路を Fig. 8 (a), (b) に示す。ただし、水とボイドは

Fig. 8 Series Equivalent Circuit

同図(c)のように理想的な状態にあるとして各素子の値を求める。このとき水の部分のインピーダンス Z_w を計算するとつぎの(12)式ようになる。

$$Z_w = \frac{R_{w1}}{1 + j\omega C_{w1} R_{w1}} + \frac{R_{w2}}{1 + j\omega C_{w2} R_{w2}} \\ = \frac{R_w}{1 + j\omega C_w R_w} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \text{ただし, } C_{w1} &= (\epsilon_0 \epsilon_w S) / d_{w1}, R_{w1} = (\rho_w d_{w1}) / S \\ C_{w2} &= (\epsilon_0 \epsilon_w S) / d_{w2}, R_{w2} = (\rho_w d_{w2}) / S \\ C_w &= (\epsilon_0 \epsilon_w S) / d_w, R_w = (\rho_w d_w) / S \\ d_w &= d_{w1} + d_{w2} \end{aligned}$$

また $C_a = (\epsilon_0 \epsilon_a S) / d_a$, $C_g = (\epsilon_0 \epsilon_g S) / d_g$ であり、ボイド比 $f_g = d_a / d$ を用いると、つぎようになる。

$$\left. \begin{aligned} R_w &= \frac{\rho_w d}{S} \cdot (1 - f_g) \\ C_w &= \frac{\epsilon_0 \epsilon_w S}{d} \cdot \frac{1}{1 - f_g} \\ C_a &= \frac{\epsilon_0 \epsilon_a S}{d} \cdot \frac{1}{f_g} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

もし、ボイドの形状が Fig. 9 (a) のようになれば、その等価回路および理想化した状態は同図(b), (c)である。水の部分のアドミタンス Y_w はつぎようになる。

$$Y_w = \frac{1 + j\omega C'_{w1} R'_{w1}}{R'_{w1}} + \frac{1 + j\omega C'_{w2} R'_{w2}}{R'_{w2}} \\ = \frac{1 + j\omega C'_w R'_w}{R'_w} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \text{ただし, } C'_{w1} &= (\epsilon_0 \epsilon_w S_{w1}) / d, R'_{w1} = (\rho_w d) / S_{w1} \\ C'_{w2} &= (\epsilon_0 \epsilon_w S_{w2}) / d, R'_{w2} = (\rho_w d) / S_{w2} \\ C'_w &= (\epsilon_0 \epsilon_w S_w) / d, R'_w = (\rho_w d) / S_w \\ S_w &= S_{w1} + S_{w2} \end{aligned}$$

Fig. 9 Parallel Equivalent Circuit

(13)式と同様に、 $C'_a = (\epsilon_0 \epsilon_a S_a) / d$, $f_g = S_a / S$ を用いるとつぎようになる。

$$\left. \begin{aligned} R'_w &= \frac{\rho_w d}{S} \cdot \frac{1}{1 - f_g} \\ C'_w &= \frac{\epsilon_0 \epsilon_w S}{d} \cdot (1 - f_g) \\ C'_a &= \frac{\epsilon_0 \epsilon_a S}{d} \cdot f_g \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

以上のことから Fig. 8 (a), Fig. 9 (a) のような平行板電極間のボイドの状態はそれぞれ直列形等価回路 (Fig. 8 (d)), 並列形等価回路 (Fig. 9 (d)) で表わすことが可能である。そのとき等価回路の各素子の値はそれぞれ(13), (15)式で決まり、ボイドの位置に関係なくボイド比 f_g のみの関数である。したがって f_g を指定すれば、等価回路により気体混合流の状態を模擬することができる。

Fig.10はこのボイド計を実際の気水混合流に用いたときの特性と、等価回路による模擬ボイドに用いたときの特性との比較を示す。Table 1は各 f_g に対する等価回路の素子の値および各種定数値を示す。Fig.10のA曲線はストップコック法により求めたボイド比とボイド計出力との関係で、B, C曲線はそれぞれボイド比 f_g に対して直列形等価回路および並列形等価回路を構成してボイド計入力端子に接続したときの出力である。

この図から直列形等価回路の方が実際の場合により近いことがわかる。

Fig. 10 Comparison between Real Void and Equivalent Circuits

Table 1 Calculated Values of Equivalent Circuit Elements

$f_v(\%)$	0	10	20	30	40	50
$R_w(k\Omega)$	330	300	270	230	200	100
$C_w(pF)$	10.6	11.7	13.3	15.2	17.7	21.2
$C_a(pF)$	—	1.33	0.66	0.44	0.33	0.27
$R'_w(k\Omega)$	330	370	420	480	550	670
$C'_w(pF)$	10.6	9.6	8.5	7.4	6.4	5.3
$C'_a(pF)$	—	0.01	0.02	0.04	0.05	0.06

$$\begin{aligned} \epsilon_w &= 80 & \rho_w &= 5 \times 10^3 (\Omega \cdot m) & \omega &= 10^6 \pi (\text{radian/sec}) \\ \epsilon_a &= 1 & d &= 8 \times 10^{-2} (m) & C_0 &= 5 (pF) \\ \epsilon_0 &= 5 & S &= 3 \times 10^{-4} (m^2) \end{aligned}$$

VI. 高温におけるボイド比の測定

一般に誘電体の誘電率および誘電体損失は誘電体の温度とともに変化する。したがって、ボイド比が一定でも水温が変化すると等価静電容量が変化する。

温度補正の方法として考えられるものは、

- (1) 各極板について水温の変化と出力変化との関係を求め、ノモグラフを作って利用する。
- (2) 温度信号により増幅器の入力電圧を制御するよ

うな自動制御機構を用いる。

- (3) このボイド計と同じものをもう1台ボイドの発生していない個所に用いて温度変化を相殺する。

(4) 温度信号により増幅器の増幅度を変化させる。などである。このうち(1)は自動化に適さず、(2)、(3)は装置として種々欠点があり、回路構成が複雑になる。したがって、(4)の方法を用いて、増幅度が温度により直線的に変化する増幅器を試作した。装置全体の回路図は前掲の Fig. 2 である。この回路は2つの部分に分けられ、1つはⅡ-2で説明したボイド信号検出部で、他の1つは温度補償部である。

温度補償部の動作原理はつぎのようになる。水温の変化はサーミスタにより電圧変化として検出される。この信号は適当な大きさに昇圧されて3極管 V_5 , V_6 のグリッドに供給される。 V_5 , V_6 はともに陽極接地されており、 V_3 , V_4 がカスコードに接続されている。ここで V_3 は、ボイド信号検出部からの出力電圧をグリッドに受けて増幅したボイド信号電圧を電圧標準管 V_4 のプレート電圧と比較する。回路図に示すように温度補償部の電源 $\pm B_2$ はボイド信号検出部の電源 B_1 とは独立になっている。したがって、温度信号は V_5 , V_6 の内部抵抗を変化させることにより、等価的に V_3 , V_4 のプレート電圧を変化させる。このため3極管の特性に基づき相互コンダクタンスが変化し、増幅度がほぼ直線的に変化する。すなわち、温度補償の目的が達せられる。

Ⅶ. 実 例

これまで述べたように、この装置は従来の装置に比べてボイド測定にすぐれた性能を示す。そこでこれを Fig. 11 (a) に示す原子炉熱シミュレータの加熱部に適用した。加熱部は同図(b)に示すようにガラス管内にステンレス鋼の発熱体があり、電氣的に加熱する。ボイド検出電極の一方はガラス管の外側に1 mm φ のホルマール銅線を1回巻きつけたもので、他方はステンレス鋼の発熱体である。このときのボイド計出力を Photo. 2 に示す。横軸は1目盛0.1 sec で、応答速度のすぐれていることがわかる。

また、局所的なボイドを外から電極を挿入することにより測定することがしばしば要求される。Photo. 3 (a) はこのような要求に対して試作したボイド検出電極で、図の上部に見える2本の線状電極でボイドを検出し、その信号を同軸ケーブルで容量変化検出装置へ導く。Photo. 3 (b), (c) はこの場合の実験装置およびボイド計出力である。

Fig. 11 Flow Diagram of Thermodynamic-hydrodynamic Loops (nuclear reactor simulator) and its Heating Section

Photo. 2 Void Fraction Change of Nuclear Reactor Simulator

(b) Boiling device and void meter

- A: Void detecting electrode
B: Coaxial cable
C: G.T. valve

(a) Electrode compared with G.T. valve

(c) Void fraction change

Photo. 3 Electrode, Boiling Device and its Void Fraction Change

VIII. 結 言

以上微小静電容量検出回路を用い、空気と水の等価的な誘電率の差を利用してボイド量変化を静電容量変化として検出する装置について述べた。この実験は均

質なボイドの状態では測定したので、非常に不均質なボイド等については電極形状の問題などについて考慮を要する。

この装置の特徴としては

- (1) 気体体積率(ボイド比)を純電氣的な方法で測

定できる。

- (2) 循環水の圧力, 流速などの影響がなく, 温度変化も補償できる。
 - (3) とくに微小ボイド比に対し感度がよい。
 - (4) 装置の小型化が可能で価格が安く, 取扱いも簡単である。
 - (5) 応答速度が速く記録も容易である。
 - (6) 局所的なボイド比が測定できる。
- などが挙げられる。

最後に本実験に種々ご援助下さった当原子核工学教室 楠田哲三博士, 菅谷俊介氏および卒業学生 坂内 誠, 北川昌之, 里 稔の各氏に厚く謝意を表する。

(1964年 5月29日 受理)

— 参 考 文 献 —

- (1) 桜井良文, 森 好市, 五十住公宏, 宇津呂雄彦: 第2回原子力研究総合発表会, C 32, (1961).
- (2) 五十住公宏: 修士論文(大阪大学工学研究科), (1962).
- (3) 桜井良文, 宇津呂雄彦, 坂内 誠, 北川昌之: 計測自動制御学会, 322, (1962).
- (4) 宇津呂雄彦, 桜井良文: 本誌, 5, [11], 908(1963).
- (5) 寺野寿郎, 黒須顕二, 村山雄二郎: 第3回原子力研究総合発表会, D74, (1962).
- (6) 電気工学ハンドブック, p. 231, p. 333 (1956), 電気学会.

☆ 本 誌 投 稿 の 手 引 ☆

- 一般投稿は研究論文・技術報告・資料を原則として, 会員の資格を要する。
- 内容はオリジナルものに限り, 暫く刷上り8頁以内(超過の場合, 超過分1頁当り実費約4,000円は著者負担)とする。和文は「会誌」に, 欧文は Journal に掲載される。欧文の場合は修文添削にとくに充分な考慮を要する。
- 掲載範囲は, 原子力研究に関連する凡ゆる部門を含め, とくに限定しない。
- 執筆にあたっては投稿規程に従い, 所定の原稿用紙を使用する(欧文は適宜に厚手のタイプ用紙に2段送り, 1枚約25行にタイプする)。和・欧文とも所定の原稿表紙を添付する。図面の線図はそのまま製版できるよう必ず墨入れトレースする。
- 投稿希望者は事務局へ連絡すれば, 原稿用紙(30枚綴1部100円下共)と投稿規程が送付される。
- 和・欧文を問わず表題・抄録・所属機関名などを和・英両文で適確に書いて添付する。
- 別に締切り日は設けない。原稿受理次第「受

理通知」を本人に送る。原稿は当該分野担当の査読委員の査読に回わり, 次回以後の編集委員会において採否を審議する。査読通過および掲載巻号は決定次第通知される。

- 査読通過した論文は受理順に掲載される。(掲載まで約3~4ヵ月)
- 掲載論文1篇につき30部まで無料で別刷が贈られる(30部以上希望の時は, 1部につき, 100部まで4頁以内50円, 5~8頁60円程度著者負担)。
- 査読・審議の結果, 内容・文章の短縮・修正または図面トレースの書直しを要求されたり, 時には掲載を遠慮いただく場合があるので, 予めご了承ください。

特に欧文の修文・添削については著者の負担とする(和訳を要求される場合もある)。

- 返却原稿は6ヵ月以内に再提出なき場合は撤回とみなされる。
- 討論・寄書・談話室の各欄は, 随時, 随意に気軽なご寄稿を歓迎する。
- その他詳細は事務局へお問い合わせ下さい。