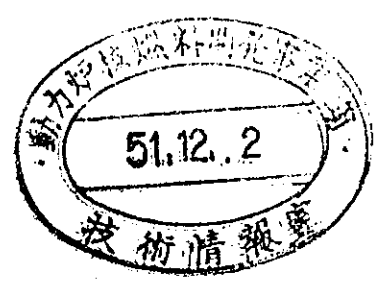


本資料は1973年7月31日付けで登録区分
変更する。
[技術情報グループ]



渦電流式速応性温度流速計の特性試験

— 高温ナトリウム中特性試験 —



1973年12月

動力炉・核燃料開発事業団



配布限定

SN 241 73-58

1973年12月22日

渦電流式速応性温度流速計の特性試験 — 高温ナトリウム中特性試験 —

三本保秀[※] 松宮正幸[※]
厚田栄夫^{※※} 中本香一郎^{※※} 大山信美^{※※}

要 旨

高温液体ナトリウム中で、試作した渦電式速応性温度流速計の流速検出特性および温度検出特性を試験した。ナトリウム温度(800, 400, 500℃), ナトリウム流速(0~2 m/s) および検出器一次コイル励磁周波数(100 Hz~4 KHz)をパラメータとして特性を測定した。

試験の結果、(1)ナトリウム温度に対して不平衡残留電圧(零流速信号)を最小とする励磁周波数で使用すれば、低流速領域(0.5 m/s以下)を除いて流速出力の直線性は良く、その流速検出感度は、1.5 KHz励磁、ナトリウム温度500℃において71~78 $\mu\text{v}/\text{m/s}$ 程度である。(2)温度信号に対する流速の影響は極めて少く測定の誤差範囲である。検出器感度は、増幅器なしで、400~500℃の範囲で約8 $\mu\text{v}/\text{C}$ 程度である。(3)流速検出特性はナトリウム温度変化の影響を受けるが本検出器の温度信号で補正するとナトリウム温度変化幅100℃, 流速変化幅1 m/s程度の変動に対しては十分実用できる精度を有する。

今後の改良点として、不平衡残留電圧の減少, 温度検出特性の感度向上, 耐熱性の改善があり改良を進めている。

※ 高速増殖炉開発本部

※※ 大洗工学センタ ナトリウム技術開発室



The Performance Characteristic Tests
on a Eddy-current Probe-type Quick-response
Temperature & Flow Sensor

-High Temperature In-sodium Performance Tests-

Yasuhide MIMOTO*, Masayuki MATSUMIYA*,
Hideo ATSUMO**, Koichiro NAKAMOTO** and
Nobuyoshi Oyama**

Abstract

The performance characteristic tests in high-temperature sodium were carried out on trial-manufactured eddy-current probe-type temperature & flow sensors. The tests were performed under the following conditions: sodium temperature (800, 400, 500°C), sodium flow velocity (0 to 2 m/s) and the excitation frequency (100 Hz to 4 KHz) to the primary coil of the sensor. The test results were

- (1) On condition that the sensor is excited at the frequency that it gives the minimum unbalance voltage output (i.e. output voltage in the case of zero sodium flow velocity), the linearity of the flow signal output is fairly good except the low velocity region. And its sensitivity to the sodium velocity is about 71 to 78 $\mu\text{v}/\text{m}/\text{s}$ in the 500°C sodium.
- (2) The effects of the change of sodium flow velocity on the sensitivity of temperature output signal are negligible small. And the sensitivity to the sodium temperature is about 8 $\mu\text{v}/\text{C}$ in the sodium temperature from 400 °C to 500 °C.

(3) Though the flow output signal undergoes the effects of the sodium temperature change, compensating it by the temperature signal out of the sensor, the deviation can be limited within the accuracy sufficient to the practical application.

* FAST BREEDER REACTOR DEVELOPMENT PROJCT
** OARAI ENGINEERING CENTRE

目 次

1. まえがき	6
2. 検出器	7
2.1 検出コイル部	7
2.2 検出回路部	7
3. ナトリウム中試験装置および試験条件	10
4. 試験方法	11
5. 試験結果	12
5.1 周波数特性	12
5.2 流速検出特性	12
5.3 温度検出特性	13
5.4 温度補償特性	13
5.5 温度即応性	14
6. 考 察	15
7. 謝 辞	17
8. 参考文献	17

図 表 目 次

Fig. 2-1	Sensor
Fig. 2-2	Sectional view of sensor
Fig. 2-3	Circuit unit
Fig. 2-4	Block diagram of temperature & flow sensor
Fig. 2-5	Circuit diagram
Fig. 3-1	General purpose test loop
Fig. 3-2	General purpose test loop
Fig. 3-3	Sectional view of guide tube
Fig. 4-1	Measuring block diagram
Fig. 4-2	Sensitivity of standard electro-magnetic flowmeter
Fig. 5-1	Frequency characteristic of sensor(no.1) at 300°C
Fig. 5-2	Frequency characteristic of sensor(no.1) at 400°C
Fig. 5-3	Frequency characteristic of sensor(no.1) at 500°C
Fig. 5-4	Frequency characteristic of sensor(no.2) at 300°C
Fig. 5-5	Frequency characteristic of sensor(no.2) at 400°C
Fig. 5-6	Frequency characteristic of sensor(no.2) at 500°C
Fig. 5-7	Flow signal linearity of sensor(no.1)
Fig. 5-8	Flow signal linearity of sensor(no.2)
Fig. 5-9	Temp signal linearity of sensor(no.1)
Fig. 5-10	Temp signal linearity of sensor(no.2)
Fig. 5-11	Temp signal linearity of sensor(no.2)
Fig. 5-12	Flow signal linearity of sensor(no.2) without temp compensation
Fig. 5-13	Flow signal linearity of sensor(no.2) with temp compensation
Table. 1	Target specification of temperature & flow sensor
Table. 2	Parts list of circuit unit

渦電流式速応性温度流速計の特性試験

—高温ナトリウム中特性試験—

1. まえがき

全炉心流量喪失、局所チャンネル閉塞による流量喪失、反応度事故等の高速炉、炉心の異常を早期に検出し、炉の安全を計るためには、燃料集合体毎に、燃料チャンネル流量計、燃料出口温度計を設置し、冷却材流量および冷却材温度を計測監視する方法が有効である。

この目的に使用する検出器として、従来の渦電流式流速計を改良し、冷却材温度変化をも計測できる。渦電流式速応性温度流速計を試作し、冷却材をアルミニウム円筒で模擬した原理確認試験を実施して、動作原理の確認を行った。これらの結果については、委託研究報告書⁽¹⁾「渦電流型即応性温度流速計の試作研究」に報告されている。

この報告書は、上記の渦電流式速応性温度流速計を、大洗工学センターの技術開発ループを使用して試験した結果について報告する。

試験は、本検出器を高温液体ナトリウム中で使用した場合について
(イ)周波数特性、(ロ)流速検出特性、(ハ)温度検出特性、(ニ)温度即応性、(ホ)温度補償特性、の項目にわたって実施した。

2. 検出器

渦電流式速応性温度流速計は、検出コイル部および検出回路部によって構成されている。

2.1 検出コイル部

検出コイル部の外形および構造を、Fig. 2-1, Fig. 2-2 にその主要仕様をTable 1 に示す。

高速炉の炉内計装用検出器の炉内への装荷法としては、検出部を直接冷却材中に設置する方法と、炉の遮蔽プラグ上面から炉内に達する先端の閉じた案内管の中を通して炉内に設置する方法とが考えられる。前者の方法は、一般的に、感度、応答速度の点で、検出器の特性を犠牲にするということが少く優れているが、反面、検出器故障時の交換等保守の面で劣っている。後者の方法は、一般的に、感度、応答速度の点で劣るが、炉内雰囲気と完全に確実に隔離するバリアを形成できる点および、検出器の交換等の保守の点で優れている。

渦電流式速応性温度流速計は、温度検出および流速検出共いずれも冷却材中に生ずる渦電流による磁束変化を2次コイルで検出するため、炉内に装荷する方法として、案内管を使用する後者の方法を採用しても、検出する応答速度に対する影響は無く、検出感度が減少するのみである。

したがって我々は、本検出器を案内管中に設置する方法を採用することとした。

この案内管の構造および材質は、直接、検出器の特性に影響を与えるが一方炉容器バリアを構成する部分であるため、この方面からの制約条件も多い。(Fig. 3-3参照)

この渦電流式速応性温度流速計の検出器には、渦電流による温度検出の他に、従来の熱起電力によるクロメル-アルメル熱電対(CA熱電対)2本を備えている。

冷却材の急激な温度変化量(ΔT)を検出するには渦電流方式を用い、燃料出口の冷却材平均温度のように応答速度よりもその測定精度(絶対値)に重点を置く温度測定には熱電対を使用する。また渦電流式温度検出器(1点)およびCA熱電対(2点)を組合せて2 out of 3等の安全保護回路を構成することにより、検出器の故障によるミストリップの減少および検出器のプラント運転中検査を実施できる。

本検出器に備えている熱電対は、検出器に内蔵するための寸法的制約、応答時間、信頼性等を考慮してソース外径1mm ϕ の熱電対を使用している。

2.2 検出回路部

検出回路部の外形をFig. 2-3、回路構成ブロック図をFig. 2-4に、詳細回路

図を Fig. 2-5 に示す。励磁条件が一定である検出器の一次コイルによって生じる交流磁界が電気の導体である冷却材（液体金属ナトリウム）中に存在するとき、導体中に誘起される渦電流の大きさは、ほぼ導体の比抵抗によって決まる。一方、導体の比抵抗は、導体の温度に対し一義的に決定できるため、導体流体中に生じる渦電流の影響による磁界の変化を二次コイルで検出し導体流体の温度を測定するのが速応性温度検出器の原理である。

渦電流流速計の動作原理は、良く知られているように導体流体の流れ方向と直交する磁界成分と、導体流体の流れの大きさによって生ずる渦電流が磁界に及ぼす影響を、一次励磁コイルに対して対称な位置に設置した2個の2次コイルで検出する。2個の二次コイルの信号の差は、励磁条件が一定で、かつ、導体流体の比抵抗が一定、さらにコイルの誘磁率が一定等の条件においては、導電流体の流速にほぼ比例する。

上記のように即応性温度検出器は、原理的には、1個の一次励磁コイルと1個の二次コイルで構成しても、導体流体の温度変化を検出できるが、渦電流式速応性温度流速計検出器としては流速を検出するため2個の2次コイルを備えていて、二次コイルの一方の信号は、流速の増加と共に増加し、他方の二次コイルは流速の増加と共に減少する。これら2個の二次コイルの信号の和は、流速の影響をほとんど打消した。導体流体の温度信号を与える。

渦電流式速応性温度流速計検出部では、二つの二次コイルは、それぞれ中点に関して逆方向に巻線されており、その両端と中性点を含む3点を検出回路に接続し、中性点に対する両端信号の和、および差電圧を演算増巾器で1000倍増巾し整流ろ波して温度信号 E_T および流速信号 E_F を得ている。

渦電流式速応性温度流速計では、前述の動作原理から分るように、温度および流速検出に要する時間は、原理的には励磁周波数の半サイクル程度であるが、現実には信号を直流信号として得るための上記整流ろ波器の整流時定数によって検出の応答速度が決まる。

検出器を励磁する周波数は、4章、試験方法で述べるとく、流速検出信号の直線性および導電流体が静止しているときでも生ずる電圧（以後不平衡電圧と呼ぶ）の周波数依存特性を調べた上決定される。

したがって、整流ろ波器の整流時定数は、励磁周波数に対する整流特性と検出器に要求される検出応答速度の兼ね合いによって、最終的に決定されるべきものである。

温度信号 E_T は2個の二次コイルの和信号を用いることにより、測定誤差の程度にまで、導電流体の流速による影響を少なくできるため、流速に対する補償回路を設けていな

い。温度検出回路は、温度信号 E_T に零調整電圧を加算または減算し、動作基準温度の設定を変える零調回路と、指示信号の電圧スパンを調整するスパン調整回路を備えている。

流速信号 F_T は、導電流体の温度が変化すると導電流体の比抵抗が変化すること。またコイル材の温度が変化することによりコイルの透磁率が変化すること等により、温度により影響を受けるので上記の温度信号を利用して補正を行うため温度信号に比例した温度補償電圧を加減算する温度補償回路を設けている。

3. ナトリウム中試験装置および試験条件

渦電流式速応性、温度流速計のナトリウム中特性試験は、動燃事業団大洗工学センターのナトリウム技術開発ループを使用して行った。(Fig. 3-1)

ナトリウム技術開発ループには、超小型流量計を試験するテスト部が設けられており、試験する検出器の大きさに応じてA型案内管(内径5.6mmφ)B型案内管(内径7.5mmφ)が各々2本ずつ設けられている。(Fig. 3-2 Fig. 3-3参照)。今回実施した渦電流式速応性、温度流速計の試験は、B型案内管を使用して実施した。

ナトリウム技術開発ループの主要仕様は下記の通りである。

主配管	2B
流量計試験部配管	1B
最大ナトリウム流量	65 l/min
最高ナトリウム温度	550℃

試験条件は、これら装置の限界と、特性把握の必要性、先に実施したアルミニウム円筒をナトリウム流動と見做した模擬特性試験のデータとの対比を勘案し、原則として下記の通りとした。

温度(℃) : 約300, 400, 500

流量(l/min): 0, 7, 13, 20, 30, 40, 50, 60

周波数(Hz) : 100, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1K, 1.2K, 1.5K, 2K, 3K, 4K

4. 試験方法

信号補償をして、検出器の周波数特性、流速検出特性および温度検出特性を知るため、各温度において、ナトリウム流速零の場合および一定流速で流した場合について、2次和電圧(温度信号)および2次差電圧(流速信号)を各励磁周波数に対して測定した。この場合測定条件の設定および測定方法は下記の通りである。(Fig. 4-1)

(1) 温度の測定および設定

ナトリウム流体の温度は、渦電流式速応性温度流速計検出部の先端に組込まれている2本のCA熱電対の1本および、本検出器を設置している配管に取付けられたウエル内挿型、CA熱電対により検出した。

渦電流式速応性温度流速計の温度検出信号と検出部先端のCA熱電対の温度信号は、2ペン記録計で同時に記録した。またCA熱電対による温度をデジタル温度計で表示した。

試験中、ナトリウムの設定温度は、ほぼ±10℃以内に維持した。

(2) 流速の測定および設定

検出部の流速は、予め各温度において容積法により校正された永久磁石型流量計(Fig. 3-1のFM-3)により流量を求め、検出部の流路断面積で除して流速を求めた。基準電磁流量計の出力感度の温度依存特性をFig. 4-2に示す。

渦電流式速応性温度流速計の流速信号および基準電磁流量計出力信号は、2ペン記録計で同時に記録した。

流量は電磁ポンプ(EMP-1)の電源電圧を変えることにより設定した。

(3) 渦電流式速応性温度流速計の1次コイル励磁信号の測定および設定

正弦波発振器出力を5V rmsに設定することにより、検出部1次コイルに50mA rmsの定電流を流す。周波数はHP社製50MHzユニバーサルカウンタにより読取り、周波数の設定は±2Hz以下の設定精度で試験を行なった。

(4) 渦電流式速応性温度流速計の出力信号の測定

検出部の2次コイルの出力信号を2.2節の検出回路で増幅し、整流した和信号(温度信号)E_Tと差信号(流速信号)E_Fは、各々別個の2ペン記録計で、記録し読取った。

5. 試験結果

5.1 周波数特性

4章で述べた試験方法により、ナトリウム中で行った渦電流式速応性温度流速計の周波数特性試験の結果をFig. 5-1 ~ Fig. 5-6に示す。

これらは、それぞれ各温度において、二次側、2コイルの和信号(温度信号)および零を含む各流速における差信号(流速信号)を、各励磁周波数に対して、実測した結果であるから、周波数特性は勿論、各周波数における温度、流速の検出特性、流速検出における不平衡残留電圧(零流速信号)の温度特性をはじめ両信号の相互干渉等、即応性を除くすべての必要なデータを含んでいる。

この結果から、試作した検出部をFig. 3-3に示すB型案内管中に挿入しナトリウム流体の温度、流速を測定する場合には、次のような事が言える。

- (1) 流速信号は、励磁周波数1 KHz ~ 1.5 KHz附近で最大感度を持つ。
 - (2) 零流速信号即ち不平衡残留電圧は、ほぼ感度最大の周波数で、最小となる。
 - (3) 温度信号は、励磁周波数250 ~ 300 Hz附近で最大となる。
 - (4) 200°C附近における和信号(温度信号)のレベルに対し、500°C附近の和信号は充分大きい。
 - (5) 流速信号、温度信号の極値を与える周波数は、いずれも温度上昇に伴ってやや高くなる傾向があるが、不平衡電圧最小となる周波数は特にこの傾向が大きい。200°Cで1 KHz, 300°Cで1.2 KHz, 500°Cで1.5 KHz附近の周波数で、不平衡電圧が最小となる。
 - (6) 高温において不平衡電圧(零流速信号)が周波数によって大きく変動し、上記(5)で述べた周波数で、それが極めて小さくなるが、周波数が少しずれると急増する。
- 以上のことから、本検出器を励磁する周波数は、原子炉の定格運転時の冷却材温度で不平衡電圧が最小となる周波数に選ぶと良い。

5.2 流速検出特性

励磁周波数を1.5 KHzとしたときの流速検出特性をナトリウム温度300°C, 500°Cの場合について、Fig. 5-7, Fig. 5-8に示す。

1.5 KHzという周波数は、ナトリウム流体温度500°Cで不平衡電圧(零流速信号電圧)が最小になる周波数である。

またFig. 5-7, Fig. 5-8に励磁周波数を1 KHz, ナトリウム温度300°Cの場合の流速検出特性を示す。1 KHzという周波数は、ナトリウム流体の温度が300°C

のとき不平衡電圧(零流速信号電圧)が最小となる周波数である。これから以下のことが言える。

- (1) ナトリウム流体の温度に対して、不平衡電圧を最小とするような、励磁周波数で使用するれば、低流速領域(0.5 m/sec以下)を別にすれば、直線性は良い。
- (2) 流速検出感度は、1.5 KHz励磁、ナトリウム温度500°Cにおいて71 ~ 73 $\mu\text{v}/\text{m}/\text{s}$ 程度である。

5.3 温度検出特性

励磁周波数1 KHz, 1.5 KHzにおける温度検出特性をFig. 5-9, Fig. 5-10に示す。また励磁周波数1.5 KHzで温度変化が400°C ~ 500°Cの場合における温度検出の直線性をFig. 5-11に示す。

- (1) 温度信号に対する流速の影響は極めて少く測定誤差範囲内である。
- (2) 検出感度は増巾器なしで、400°C ~ 500°Cの範囲で約3 $\mu\text{v}/\text{C}$ 程度である。直線性は380 ~ 390°C附近で変曲点があるが、その上下100°C程度の範囲では直線性は良い。

5.4 温度補償特性

今回試作した渦電流式速応性温度流速計は、2章で述べたように、二次側2コイルに生じた信号電圧の和および差を1000倍増幅して整流した温度信号 E_T 、流速信号 E_F に対して

- (A) 直流電圧を加減できる零調整回路
- (B) 信号増幅率を調整できる感度調整回路
- (C) 流速信号の温度による影響を補償する温度補償回路

が附加されている。この内(A)(B)項に関しては各々単に直流電圧の加減算、および増幅器のゲインの調整を行っているのみであるため今回のナトリウム中試験においては、(C)の流速信号の温度補償が、どの程度可能であるかを調べることを主目的とした。

Fig. 5-7およびFig. 5-8を比較して、No.2検出器の方が、温度変化に対して大きな影響を受けることが分っているので、温度依存性の大きいNo.2検出器について、(C)項の温度補償回路の効果調べた。Fig. 5-12にNo.2検出部の流速検出特性(温度補償なし)を示す。Fig. 5-13にNo.2検出部の流速検出特性(温度補償有り)を示す。

但し、(C)項による補償のみを行い、(A)項の零調は行なっていない。このことより、大略温度変化幅100°C, 流速変化幅1 m/sec程度の変動に対しては、(C)項の補償回路は

十分実用に耐える。

5.5 温度速応性

本検出器でナトリウム流体の急激な温度変化を検出できること、およびその応答速度を調べるため下記のような種々の方法で試験した。

- (1) 検出部を流れているナトリウム流中に、温度の低いナトリウムをバルブ操作によって、流入させ温度信号の応答性を調べる。
- (2) 検出部および検出回路部からの熱雑音信号および、ナトリウム流中の温度ゆらぎ信号による出力信号の周波数分析を行い、その周波数特性より応答性を調べる。
- (3) ナトリウム流体を、貯蔵タンクにダンプし、検出部のナトリウムを無くすことによって検出部まわりの比抵抗を急変させ(温度変化に相当)、応答性を調べる。

(1)の方法では、ナトリウムの温度変化に対し、本検出器の温度信号は変化したが、その応答性はナトリウム温度の時間変化が遅いため、検出器そのものの応答速度は求められなかった。

(2)の方法では、検出器の応答性は、整流回路フィルタ時定数でほぼ決まることが分かった。しかし温度ゆらぎ信号を取出すことはできなかった。

(3)の方法では、ナトリウムのダンプにより温度出力信号が激変することは確認されたが、その変化の速さは、ダンプする時の液面の変化速度で決まり、やはり検出器自体の応答性を確認することは出来なかった。

6. 考 察

(1) 渦電流式速応性温度流速計の原理確認は、前回実施したアルミ円筒をナトリウム流体と見做した模擬試験によってすでに確認済みであるが、今回のナトリウムループの試験によって、炉内に装着するとき使用する案内管と同等の案内管中に挿入して、ほぼ実装と同じ状態で試験し、温度および流速の測定が可能であることが確認できた。

(2) 温度測定の速応性については、5章に述べた種々の方法で試験したが本検出器の応答速度試験に使用できるほど急激なナトリウム温度の変化を起こすことができなかったので直接的な方法で確認できなかったが、雑音の周波数分析により応答性は当然のことながら整流回路の時定数で決定されていることが確認できた。従って応答性を良くするためには出来るかぎり短い時定数のフィルタとすべきであるが、一方、整流特性が悪くなるので、その妥協点を見出す必要がある。

励磁周波数 1.5 KHz、整流フィルタ時定数約 10 m sec の場合、温度信号のゆらぎは $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 程度であり、この程度であれば、十分実用に耐える性能であると考えられる。

(3) 本検出器は、ナトリウム中に磁界が浸透する範囲のナトリウム流体の温度変化を平均的にとらえるものであるため、燃料集合体出口附近の冷却材温度の平均的变化の検出には有効な検出器であるが、所謂「温度ゆらぎ検出」等の冷却材中の渦流の温度検出などの局所的な温度検出には使用できない。

(4) 温度検出の速応性を調べるため実施した熱いナトリウム流中に、冷いナトリウムを急激に流入させる試験以外は、温度検出は、ナトリウム流体の温度 T_{Na} と本検出部の温度 T_D がほぼ一致している状態での温度検出感度を調べたことになる。

本検出器の使用目的は、ナトリウム温度 T_{Na} と検出部温度 T_D がほぼ一致している状態 ($T_{Na,1} = T_{D,1} = T_1$) からナトリウム温度が急激に変化し ($T_{Na,2}$) た場合に、その温度変化 $\Delta T = T_{Na,1} - T_{Na,2}$ を検出することである。このナトリウム変化が生じたとき、検出部温度 T_D は、案内管の形状、案内管と検出部の空隙の大きさ、検出部の形状材質等によって決まる等価的な温度伝達率によって変化し、コイル磁性材の温度特性によって、温度検出感度が変わる。このため温度的に平衡している場合の温度検出感度の他に、急激な温度変化に対する温度検出感度を調べる必要がある。

しかし、渦電流式速応性温度流速計を鉄等の磁性材を使用せずに空芯コイルで製作した場合には、温度的に平衡している場合と、急激な温度変化に対する温度検出感度には、大きな相違は認められないであろう。これは前回の模擬試験から予想されることである。

(5) 本検出器は試験中案内管の中で、300~500℃の空気雰囲気中に約20日間置かれその間検出部の交換のため150~250℃/min 程度の熱衝撃を10回程度受けてい

るが特に異常は認められていない。しかし試作した2個の検出器について、コイル間の絶縁抵抗を調べたところ、相異が大きいので、巻線間の絶縁確保については、製造技術の検討が必要である。

(6) 本検出器の検出器回路部については今後下記の事項の検討が必要である。

(イ) 正弦波発振器および励磁周波数

今回試作した検出器2個についての特性は、すでに述べたとおりほぼ一致しているが厳密には、不平衡電圧が最小となる励磁周波数に200Hz程度の差異があり、周波数のわずかな変動で不平衡電圧は増大する。このため、個々の検出器を、それぞれの最良の特性で使用するためには、検出器毎に発振器を内蔵する必要があり、しかも発振が安定であることを要する。

(ロ) 前置増幅器

本検出器の検出部からの信号レベルは、0~1mVの程度であるため、原子炉から、制御室まで、そのまま信号を伝送することは困難である。

このため原子炉に出来るだけ近い所に前置増幅器を設置する必要があり、制御室に設置する検出回路部と総合的に検討しなければならない。

(7) 本検出部回路部については、長期の耐久試験、熱サイクル試験、中性子照射試験を実施する必要があり、計画中である。

(8) 本検出器を原子炉の各燃料集合体に設置する場合には、数百本の検出部の特性試験を実施する必要があり、これをナトリウムループを使用して実施することは、時間的、労力的に無駄が多い。前回実施したアルミスリーブをナトリウム流体と見做した模擬試験と今回のナトリウムループによる試験を比較すると、データに本質的な相異は認められない。従って今後、両者を比較検討することにより、最終的には、ナトリウムループを使用しない模擬試験で十分な特性試験を行うことができよう。

7. 謝 辞

本研究の実施に関しては、大洗工学センターの技術開発ループを使用した。ナトリウム技術開発室の関口信忠副主任研究員、武田邦雄研究員、和田寿一氏、伊藤和元研究員の方々に試験準備の段階から終始援助いただき、運転直員の方々には、長期に亘るループの連続運転をして頂きました。ここに厚く謝意を表します。

8. 参考文献

- (1) 徳永, 太田, 山田 「即応性温度流速計の試作研究」
報告書 SJ 248 73-01

Table 1 Target specification of temperature & flow sensor

1. Sensor

temp : max 700 °C
 pressure : -1~+2Kg/cm² G
 cover gas : argone gas
 radiation : gamma 10⁹ R/h
 neutron 10¹⁵ n/cm²s
 2×10²² n/cm²
 dimension : 65mm φ X 67mm L

2. Circuit unit

temp : 0~40 °C
 pressure : 1 Kg/cm² G
 cover gas : air or nitrogen gas

Table 2 Parts List of circuit unit

R 1	500KΩ	+0.1%, +25ppm	R83	200KΩ		C 1	3PF	
2	"	"	34	200 Ω		2	"	
3	"	"	35	10KΩ		3	1μF	100WV
4	160KΩ		36	"		4	"	"
5	500KΩ	+0.1%, +25ppm	37	200 Ω		5	5.6PF	
6	"	"	38	"		6	"	
7	"		39	200KΩ		7	33PF	
8	"		40	"		8	"	
9	10KΩ		41	100KΩ		9	0.22μF	50WV
10	10 Ω		42	2KΩ		10	"	"
11	10KΩ		43	"		11	33PF	
12	10 Ω		44	10 Ω		12	"	
13	20KΩ		45	10KΩ		13	3PF	
14	"		46	90KΩ		14	1μF	100WV
15	"							
16	"							
17	10KΩ		RV1 ~10	20KΩ	B 形			
18	"							
19	20KΩ		U ~9	μPC157A				
20	"							
21	"		Q 1	2SC512				
22	"		2	2SA510				
23	470KΩ							
24	"		D 1	1S953				
25	"		2	"				
26	"		3	"				
27	"		4	"				
28	"		5	RD5AM				
29	"		6	"				
30	"							
31	200KΩ		M ~2	FS1mADC 2.5 級				
32	200 Ω							

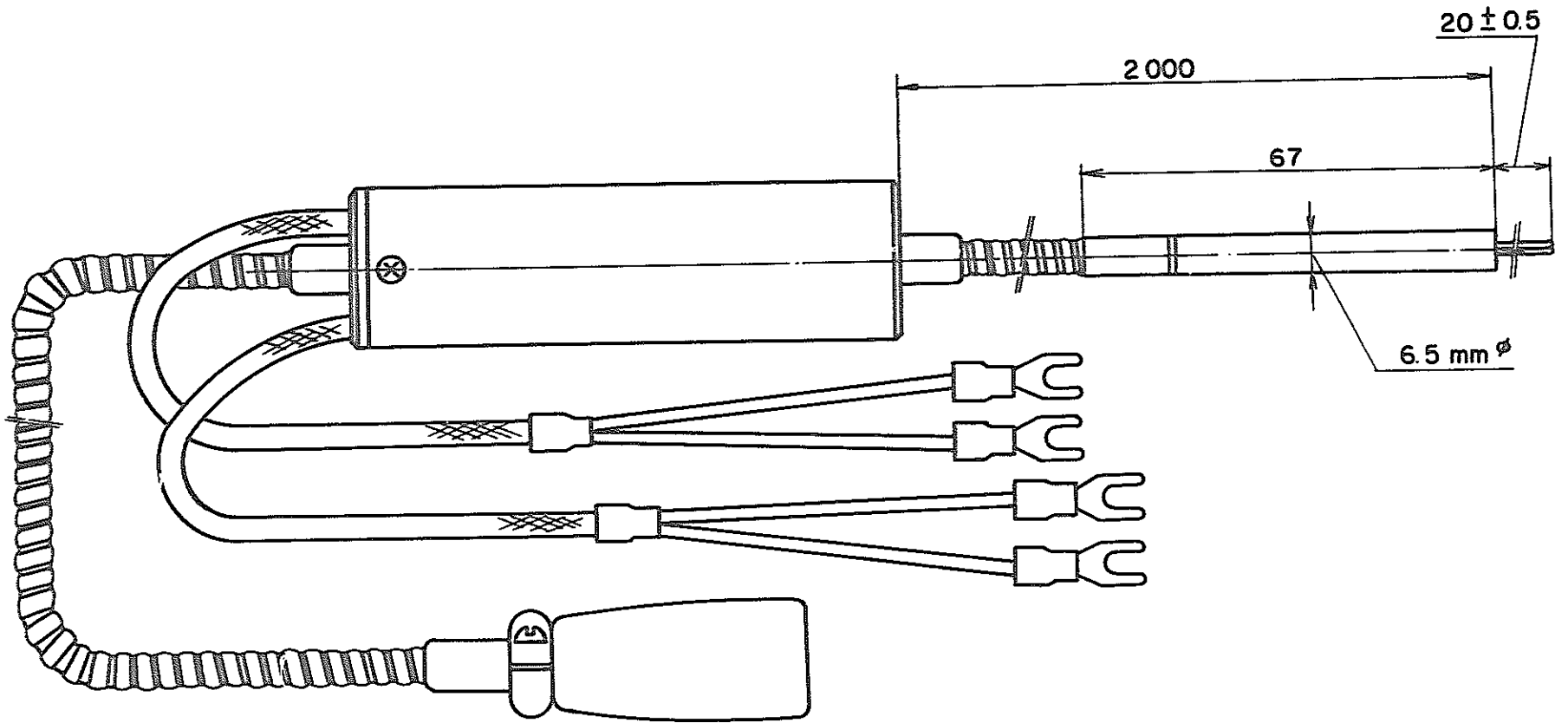


Fig. 2-1 Sensor

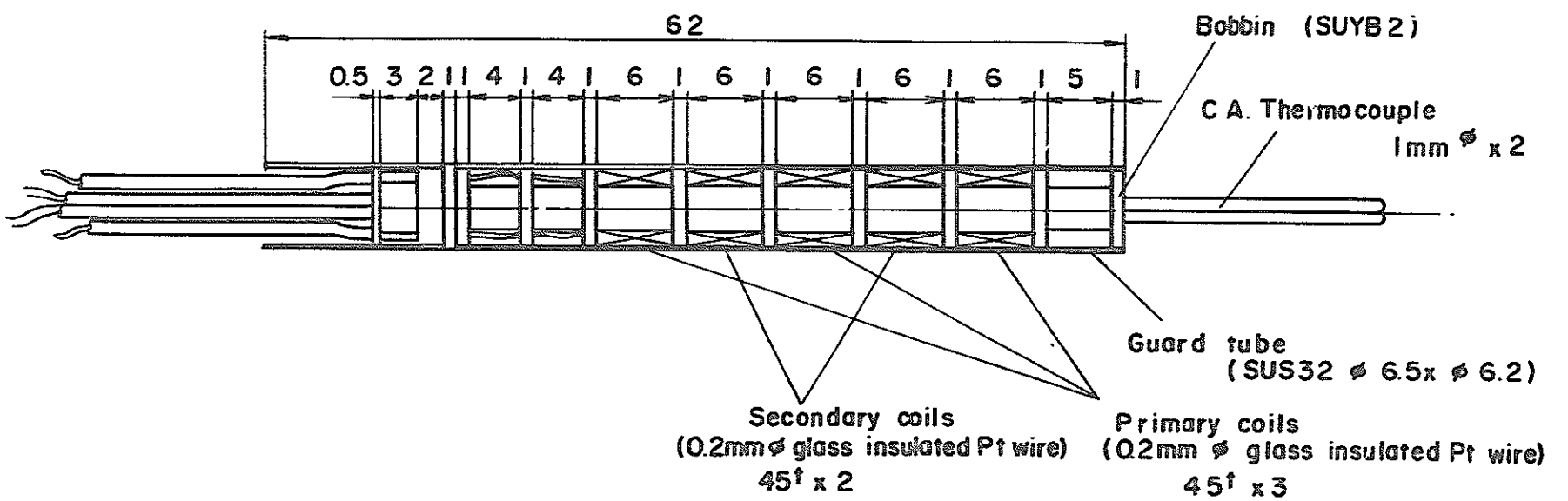


Fig. 2-2 Sectional view of sensor

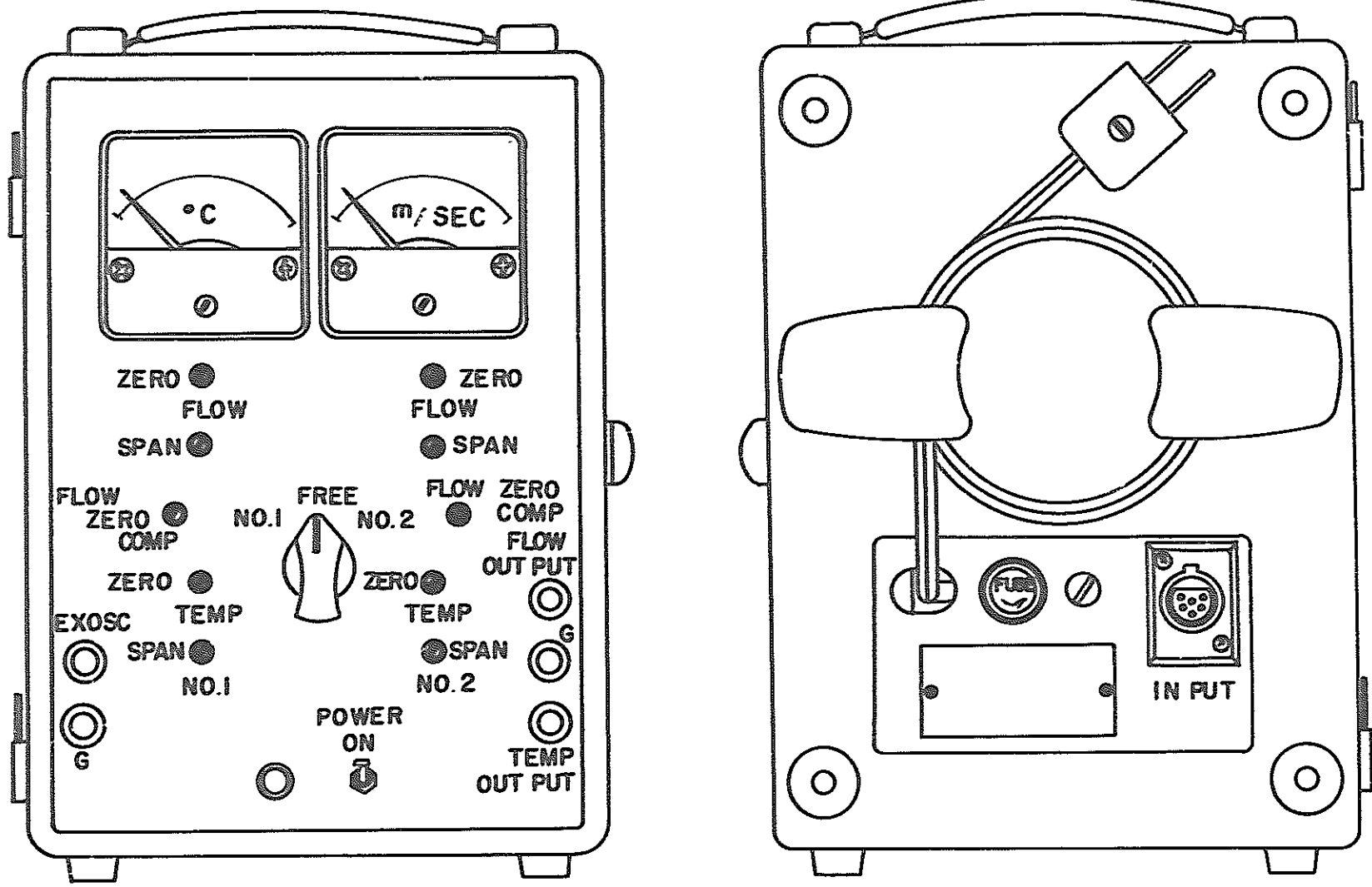


Fig. 2-3 Circuit unit

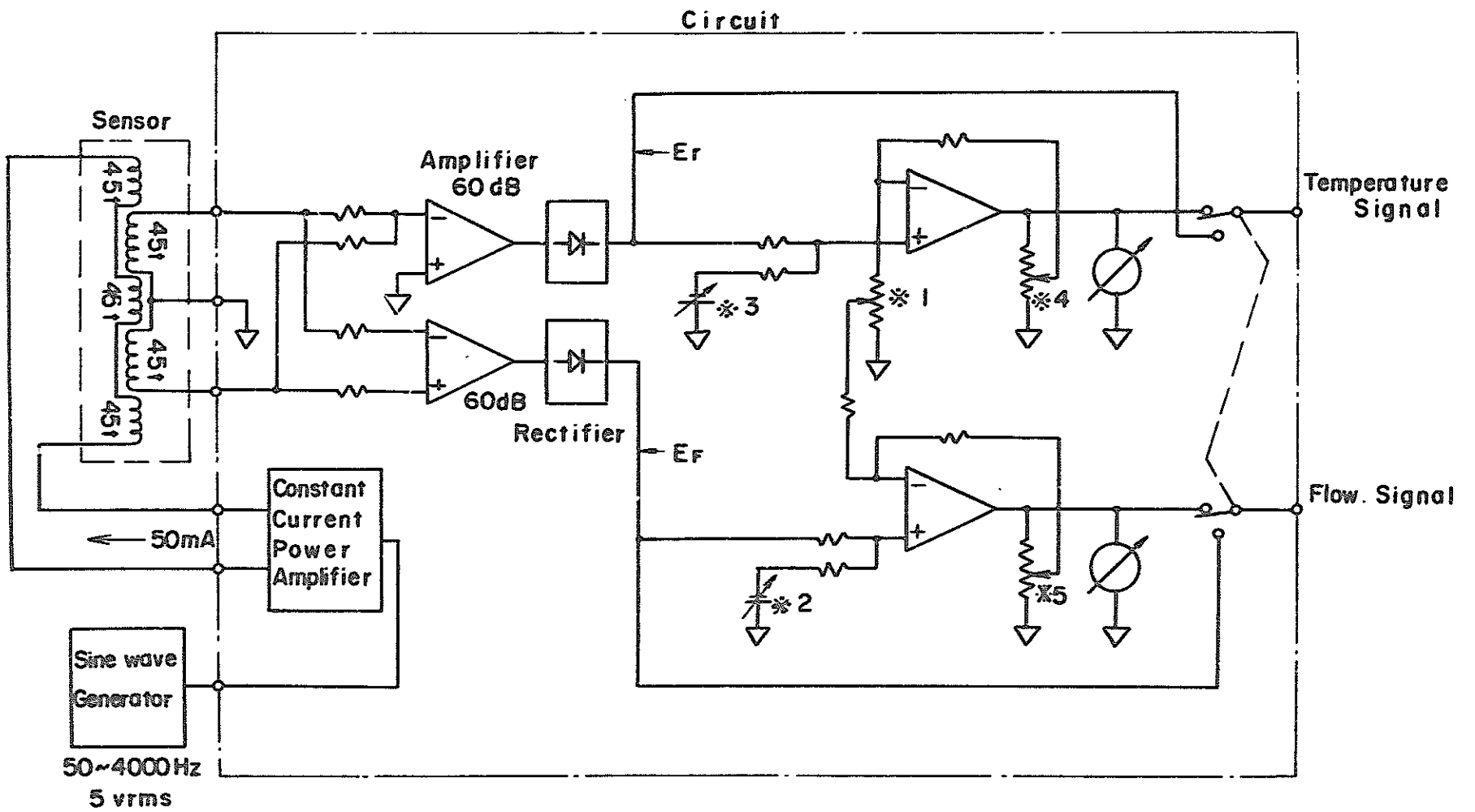


Fig. 2-4 Block diagram of temperature & flow sensor

- *1 Temp. Compensation Adj.
- *2 Flow Zero Adj.
- *3 Temp Zero Adj.
- *4 Temp Span Adj.
- *5 Flow Span Adj.

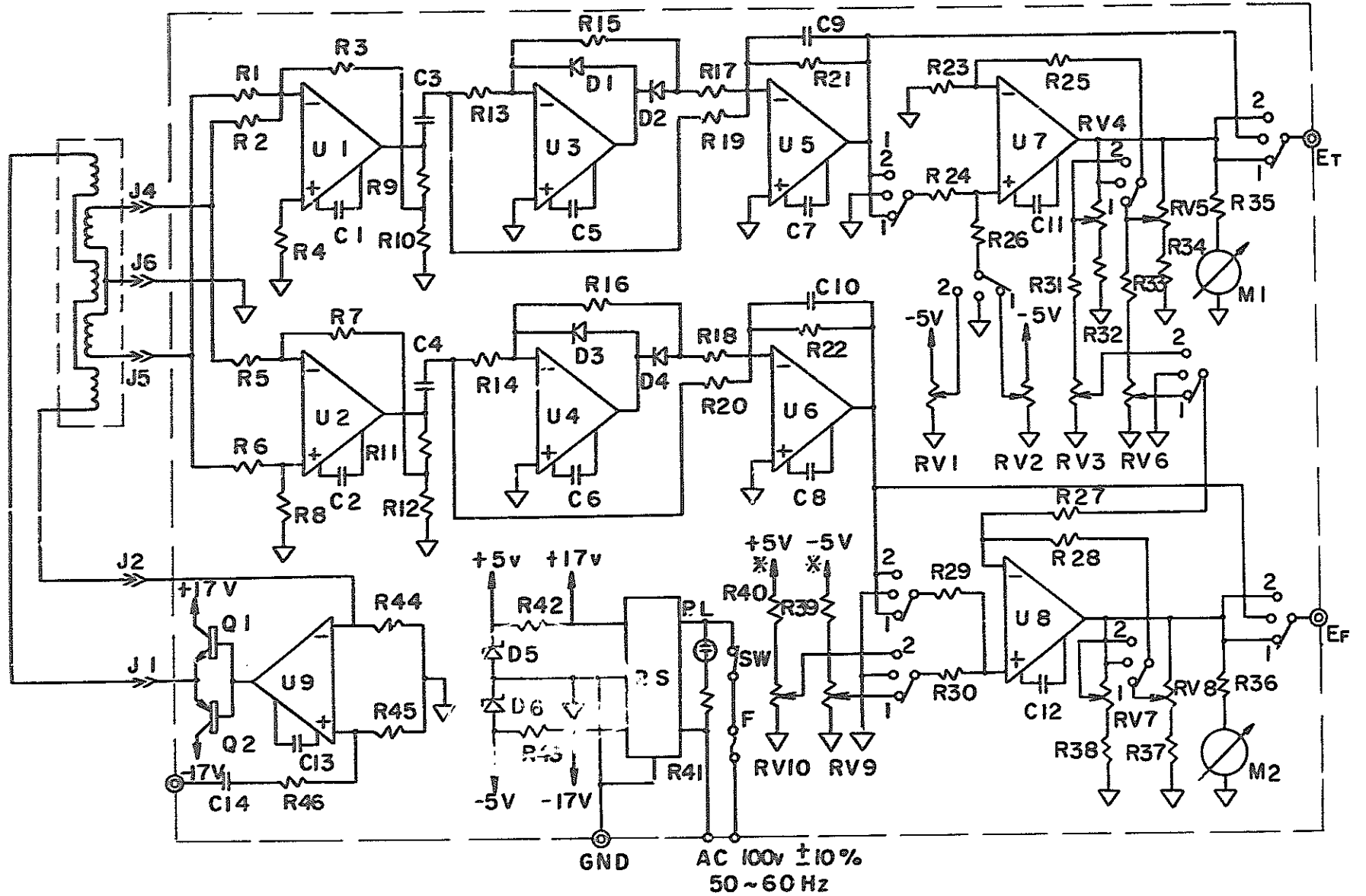


Fig. 2-5 Circuit diagram

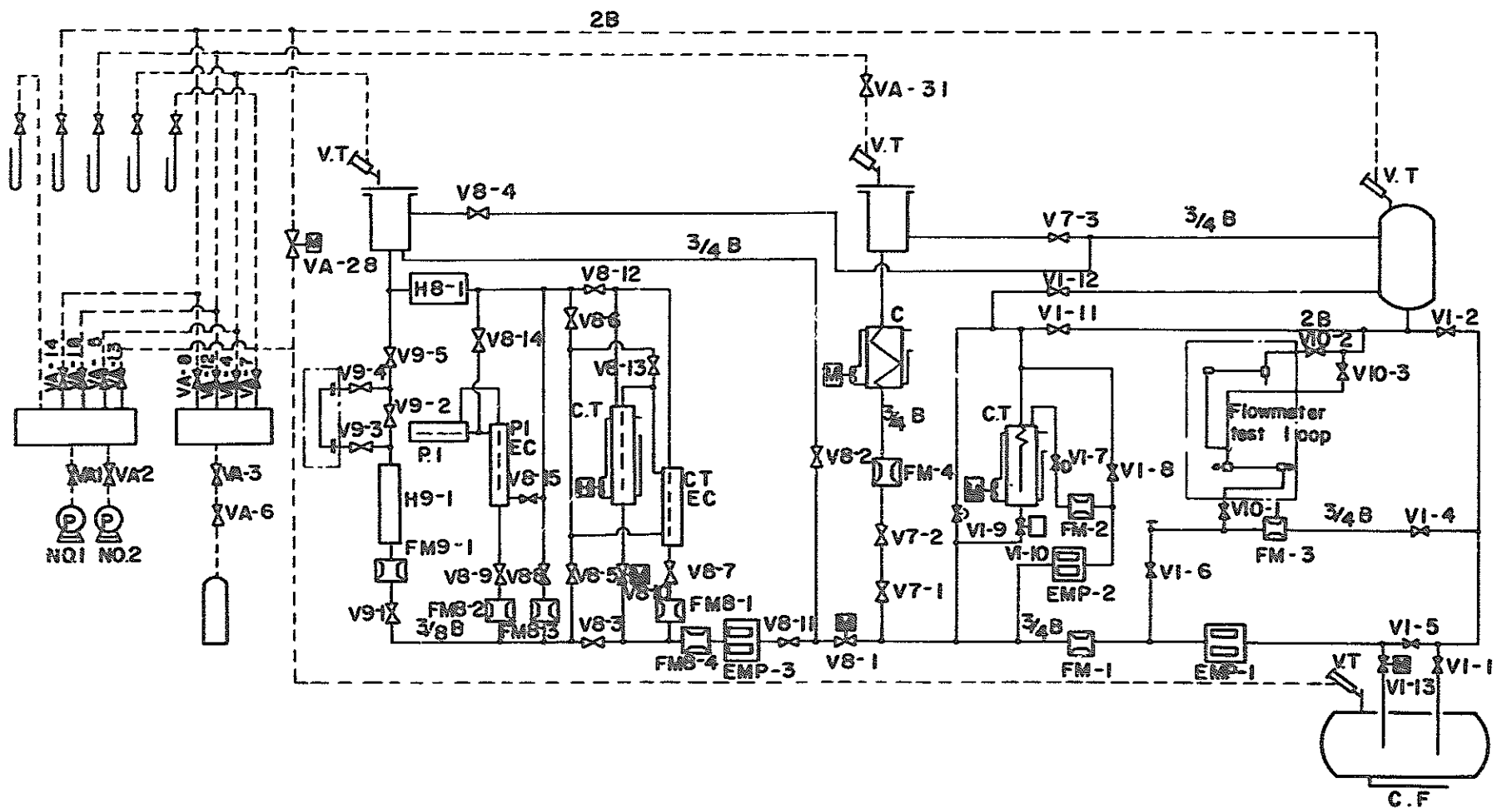


Fig. 3-1 General purpose test loop

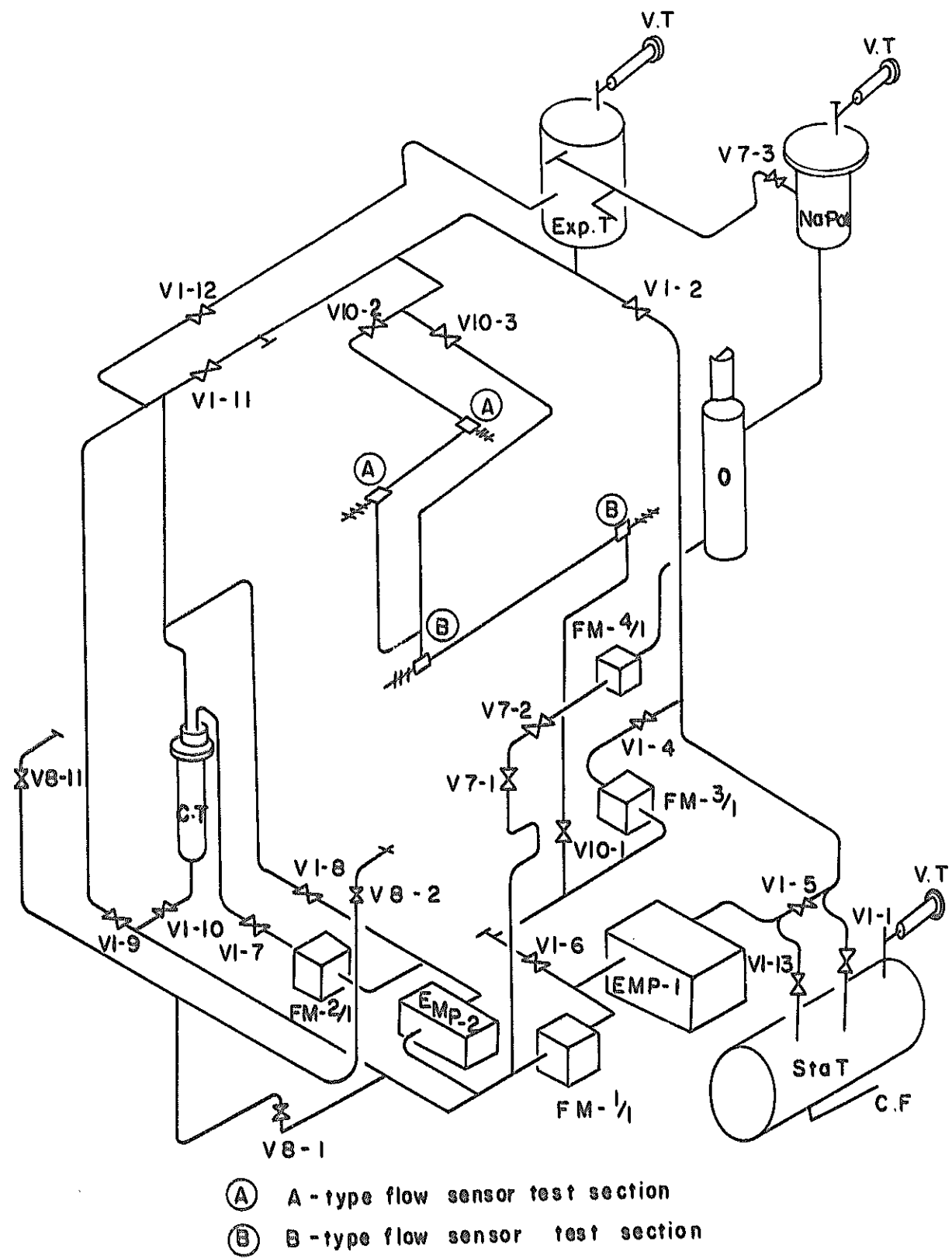


Fig.3-2 General purpose test loop

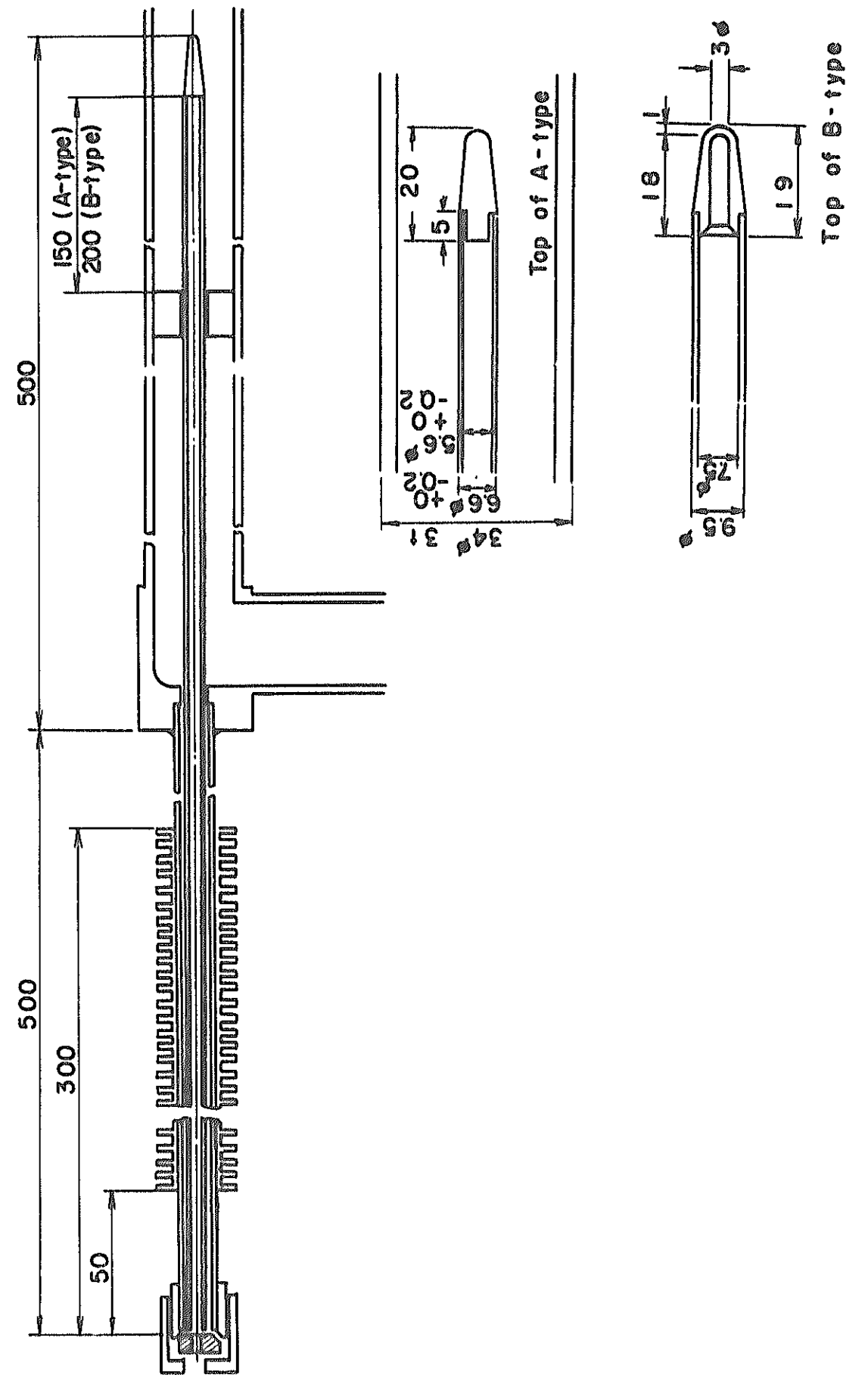


Fig.3-3 Sectional view of guide tube

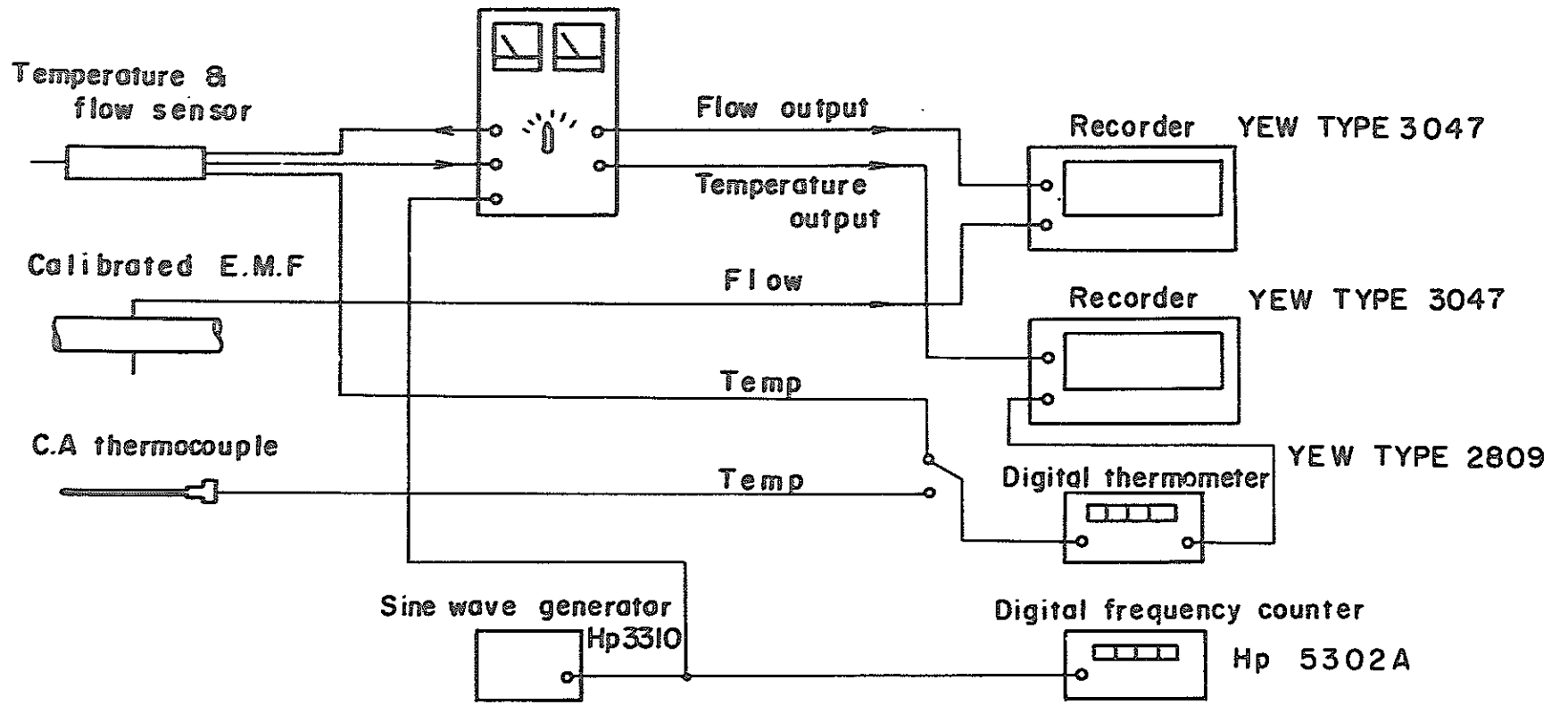


Fig. 4-1 Measuring block diagram

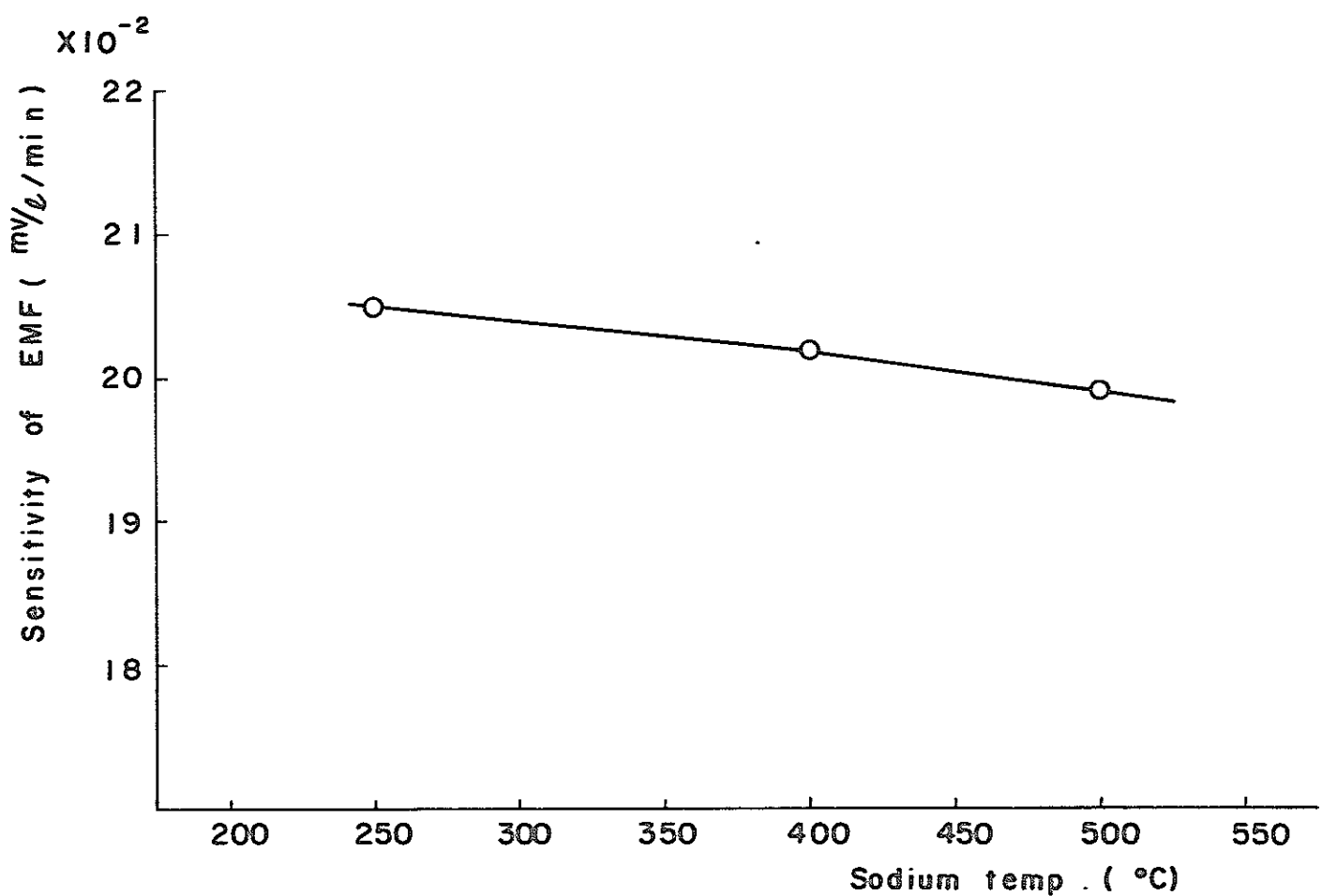


Fig.4-2 Sensitivity of calibrated electro-magnetic flowmeter

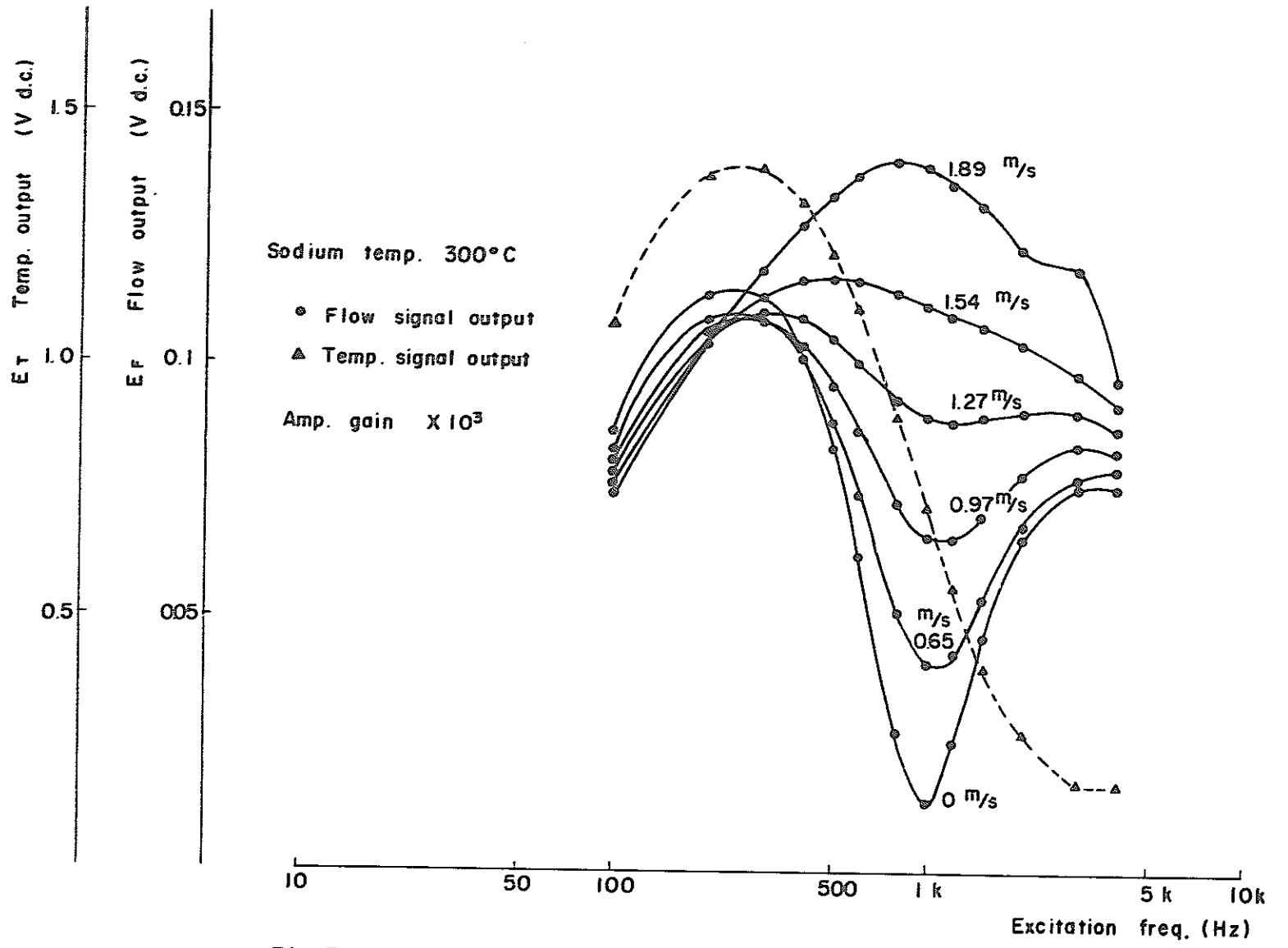


Fig.5-1 Frequency characteristic of sensor (no.1) at 300°C

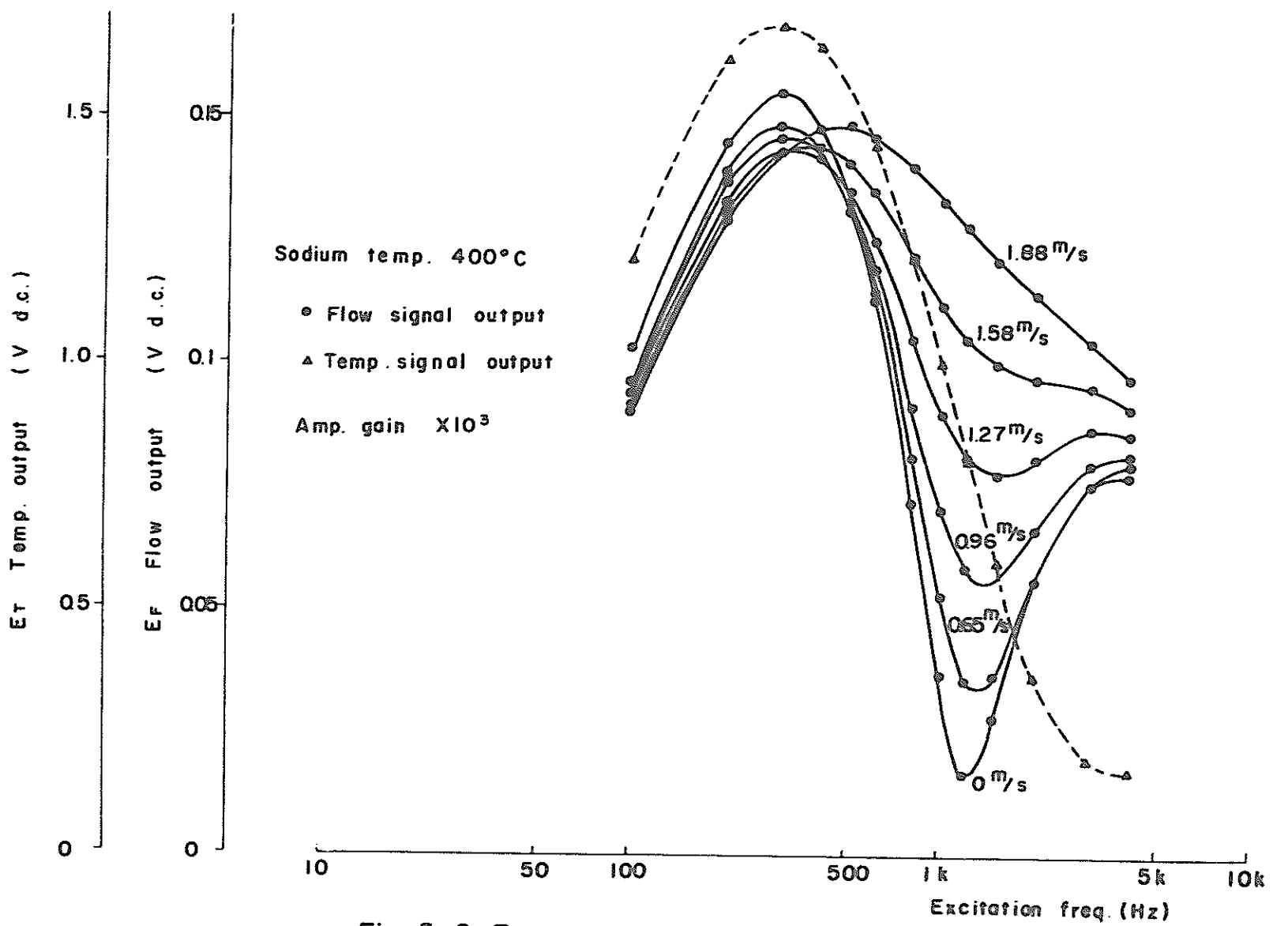


Fig.5-2 Frequency characteristic of sensor (no.1) at 400°C

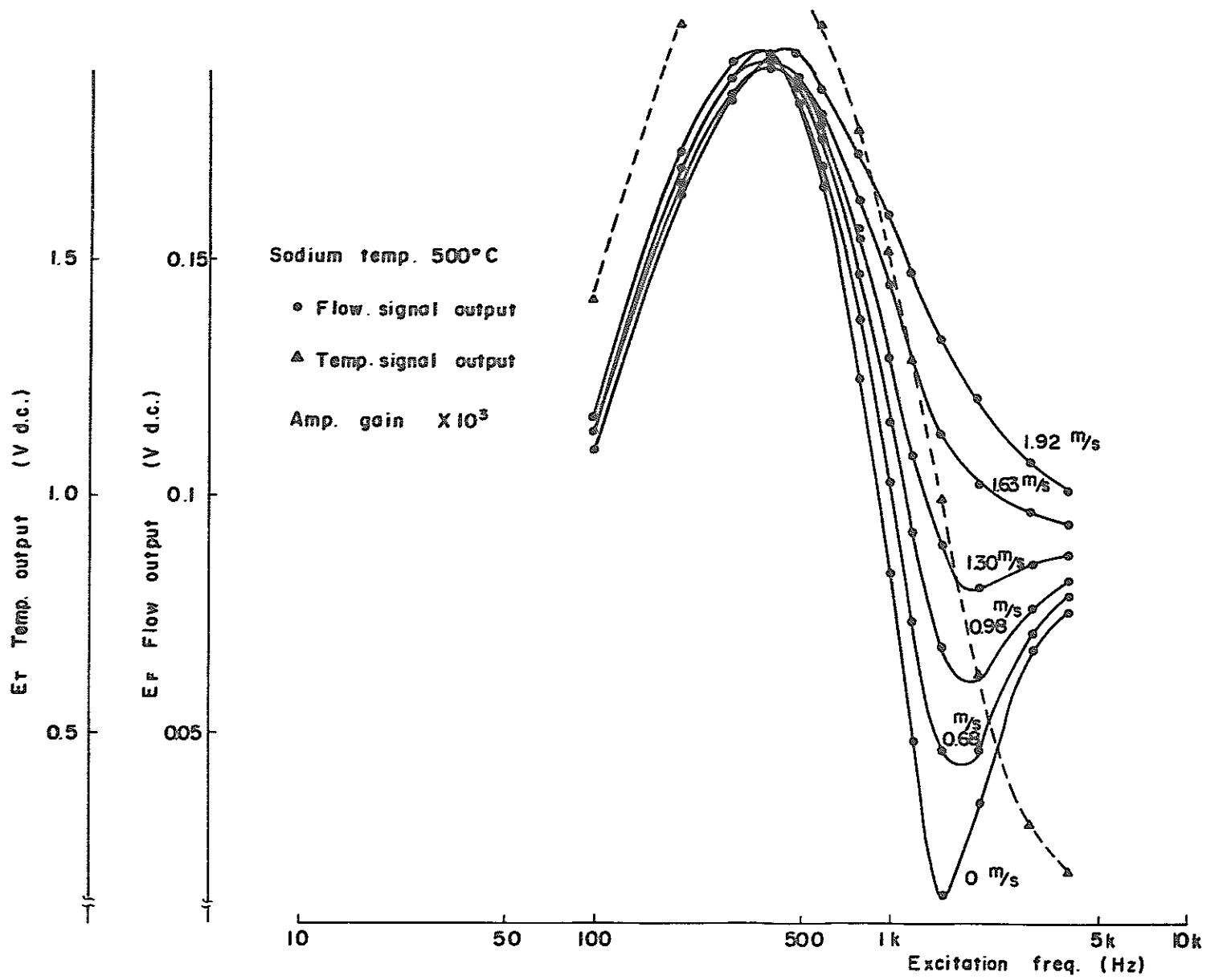


Fig.5-3 Frequency characteristic of sensor (no.1) at 500°C

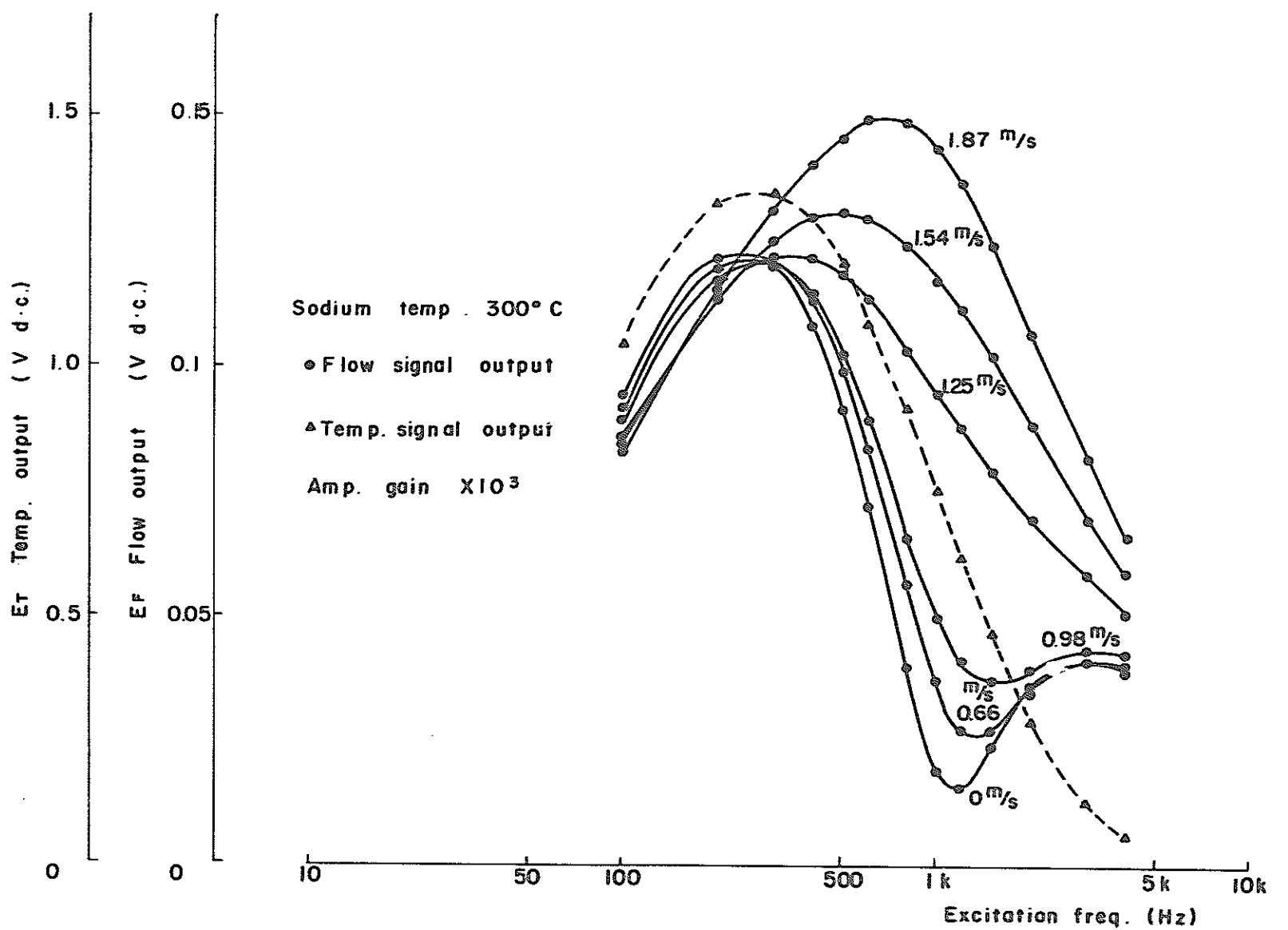


Fig.5-4 Frequency characteristic of sensor (no.2) at 300°C

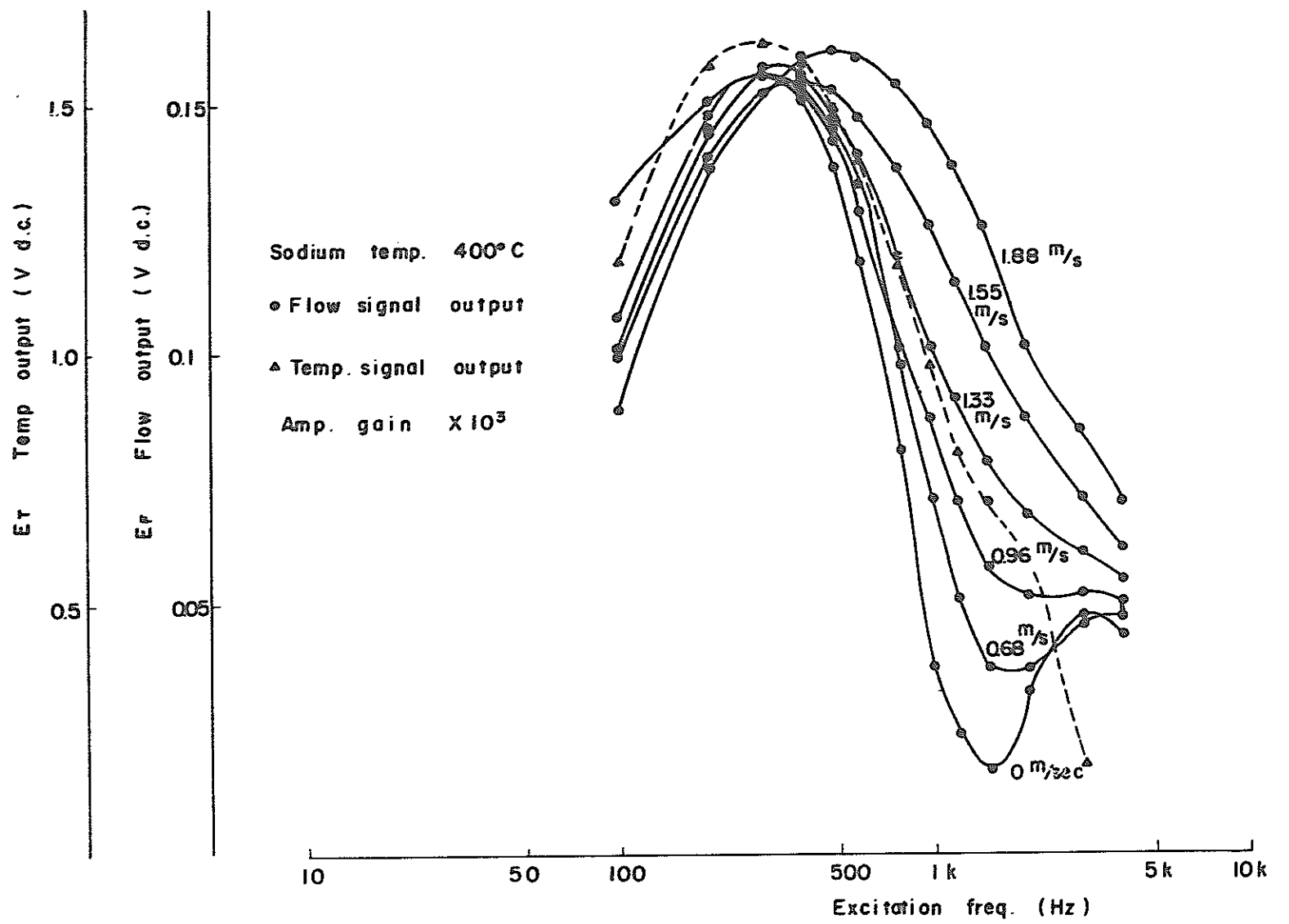


Fig.5-5 Frequency characteristic of sensor (no.2) at 400°C

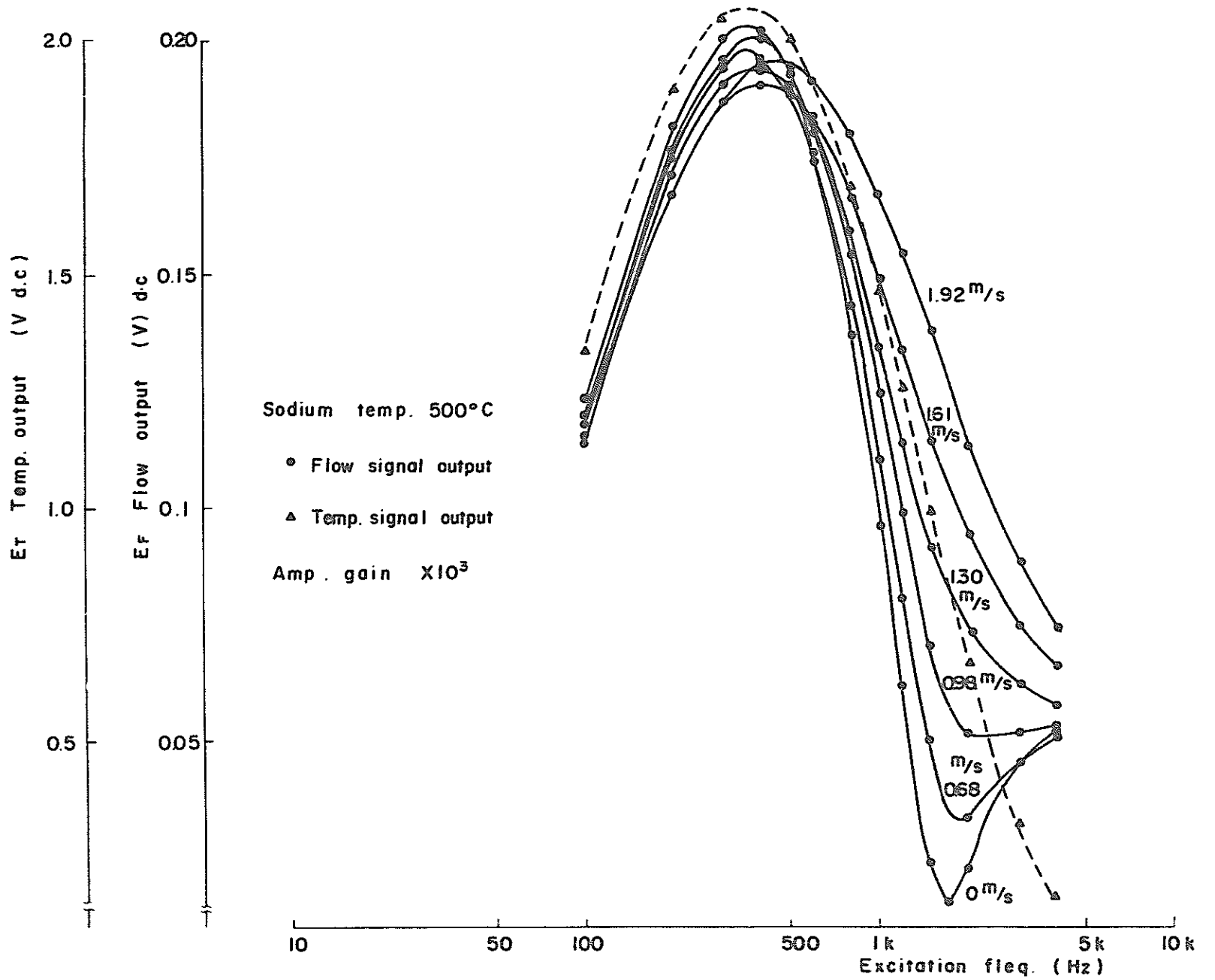


Fig.5-6 Frequency characteristic of sensor (no.2) at 500°C

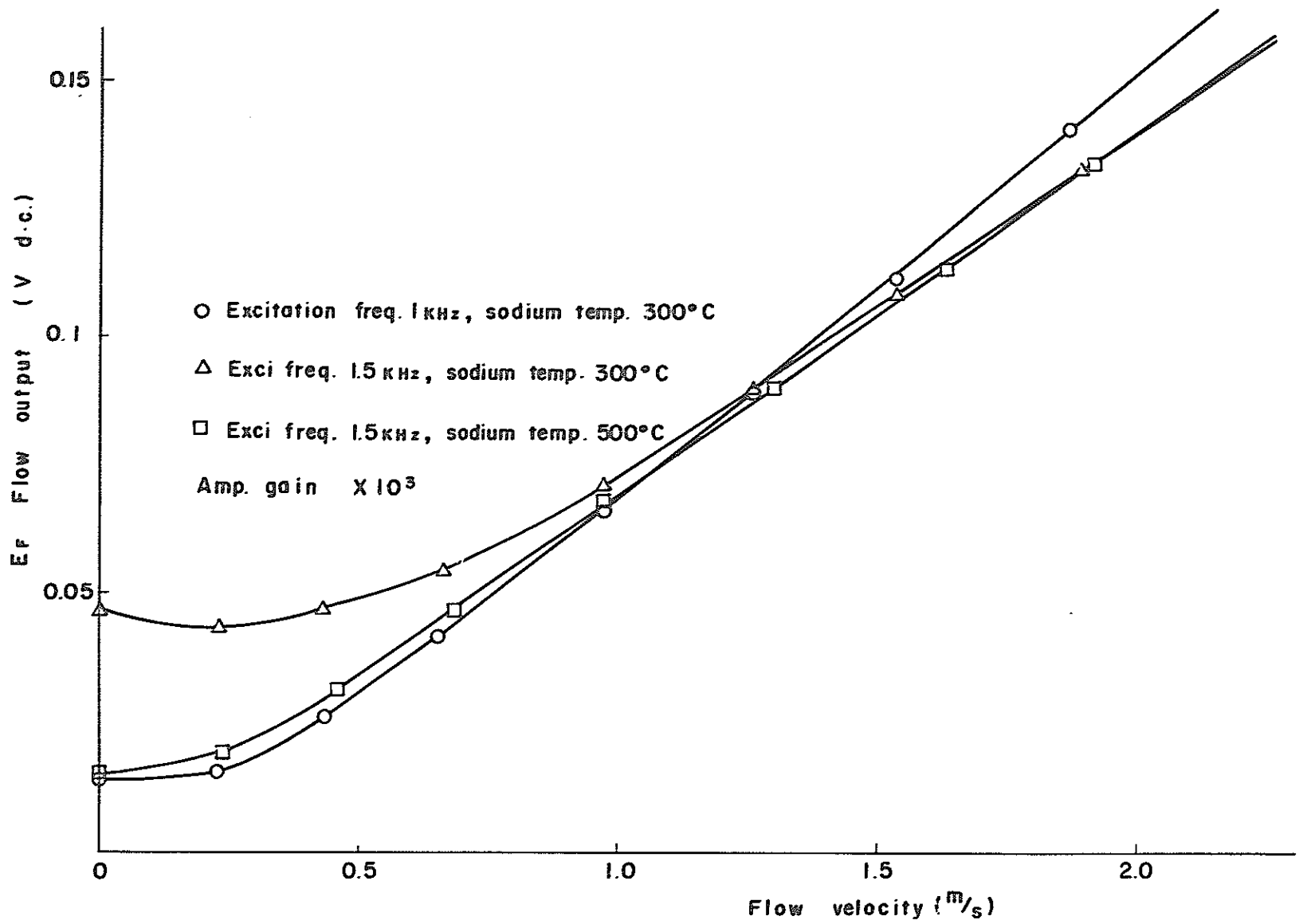


Fig. 5-7 Flow signal linearity of sensor (no.1)

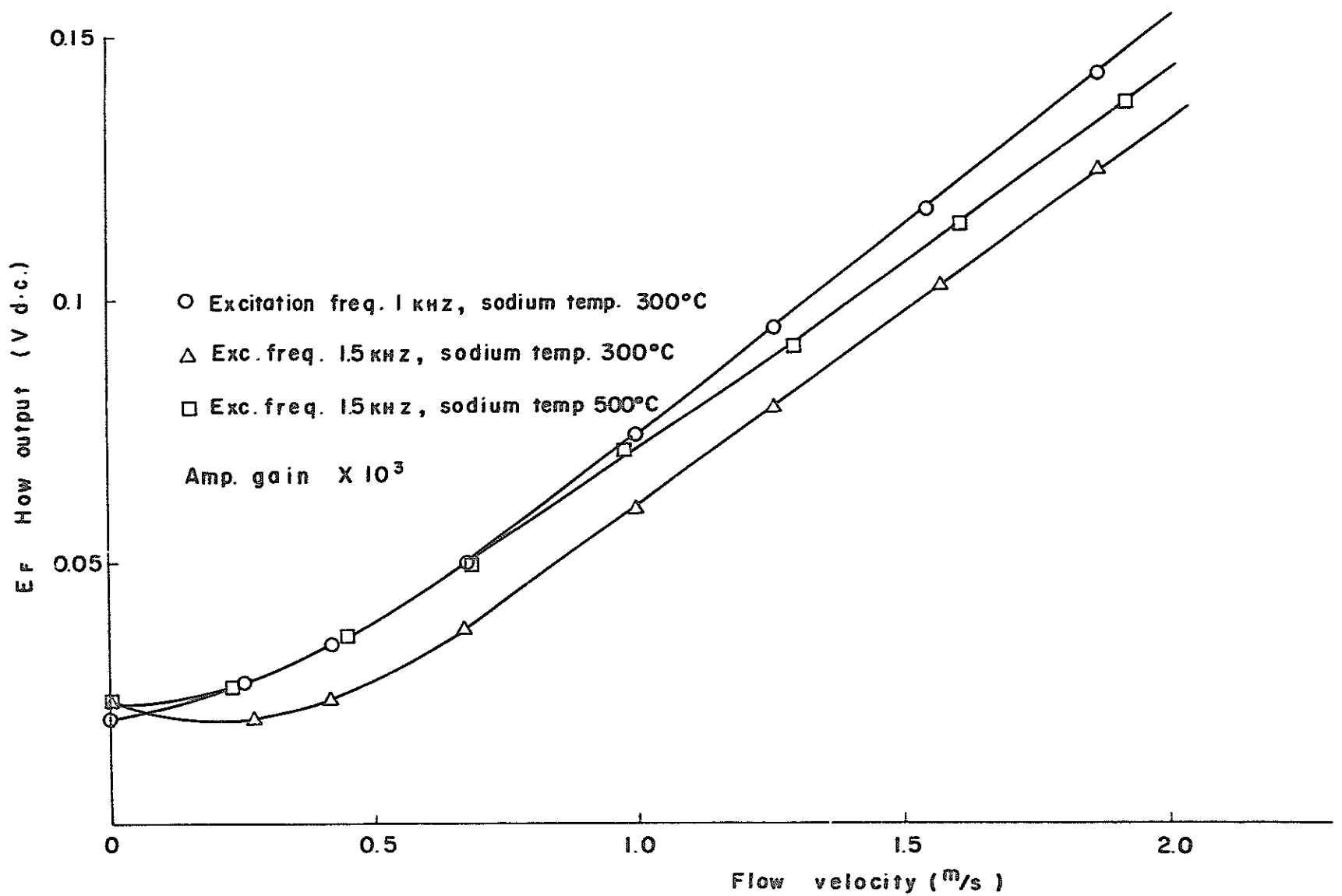


Fig. 5-8 Flow signal linearity of sensor (no.2)

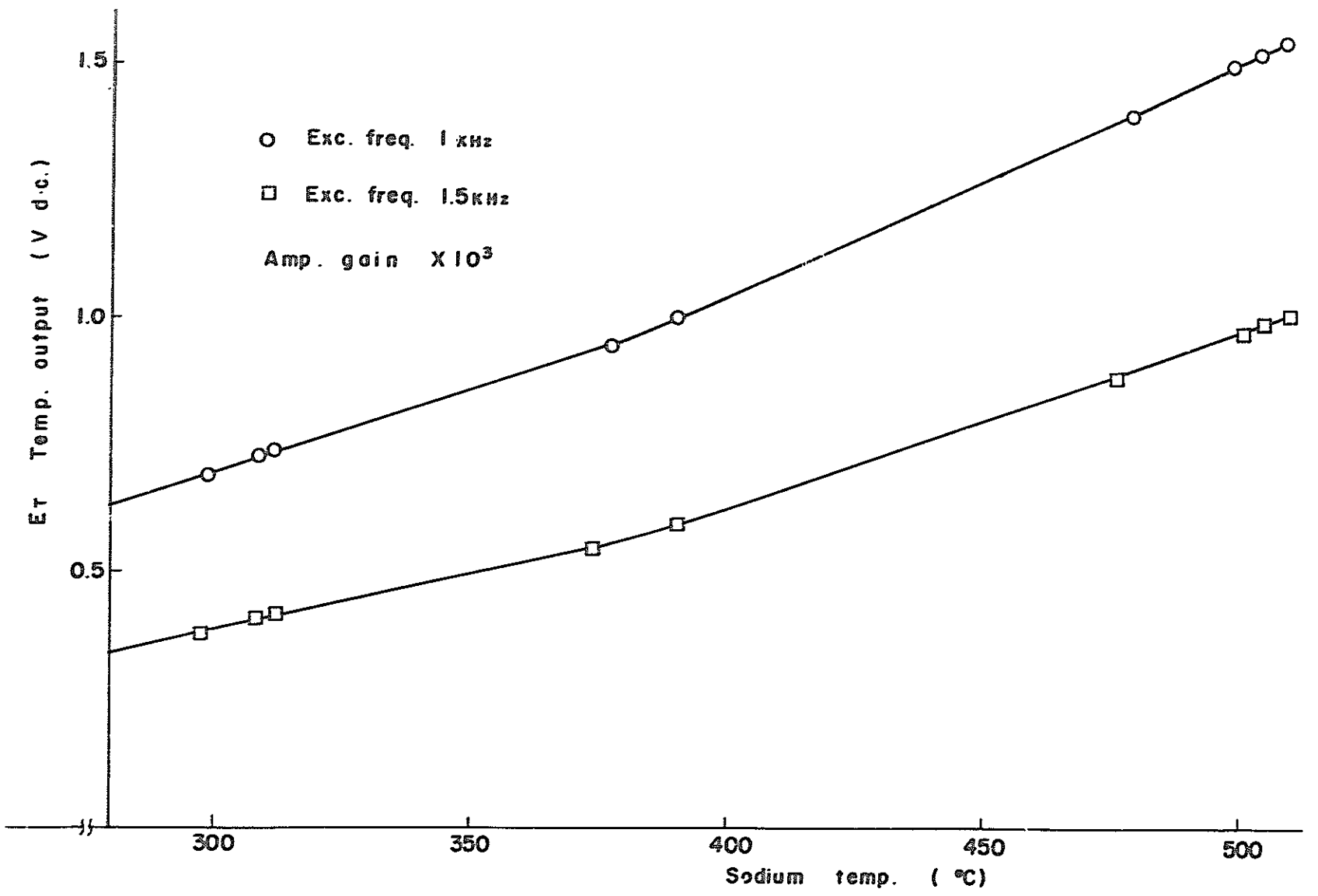


Fig.5-9 Temp. signal linearity of sensor (no.1)

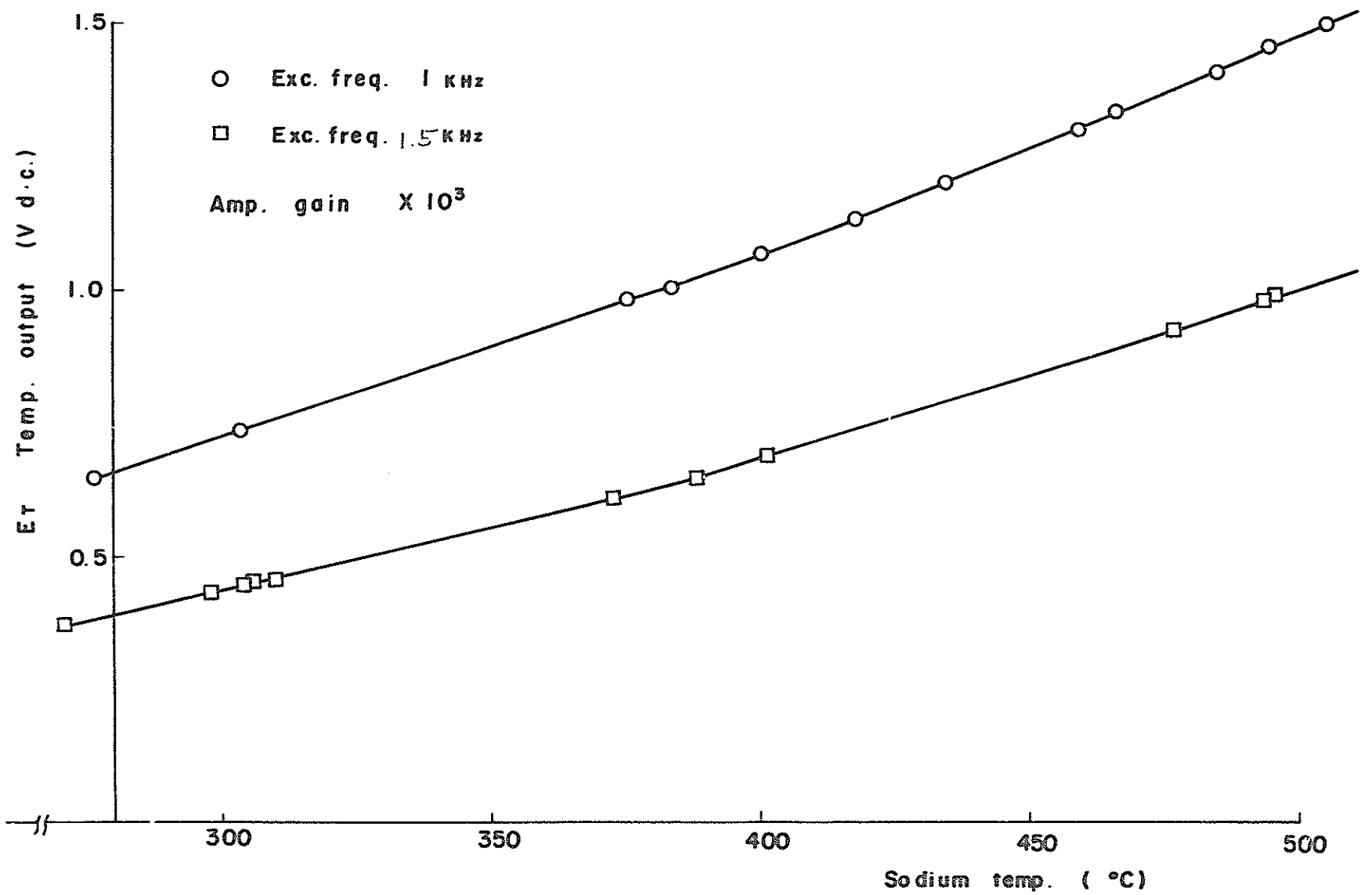


Fig.5-10 Temp. signal linearity of sensor (no.2)

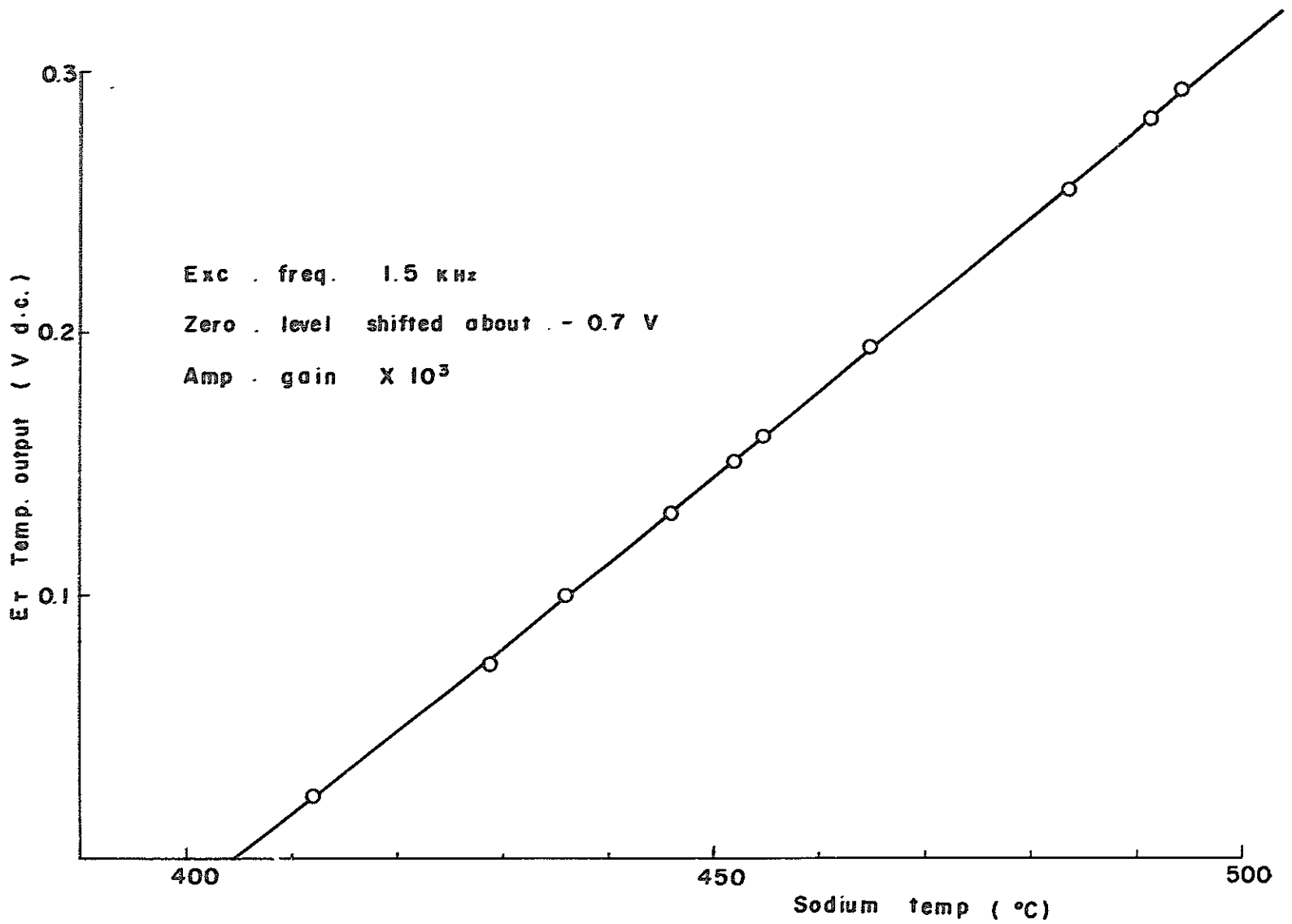


Fig. 5-11 Temp. signal linearity of sensor (no.2)

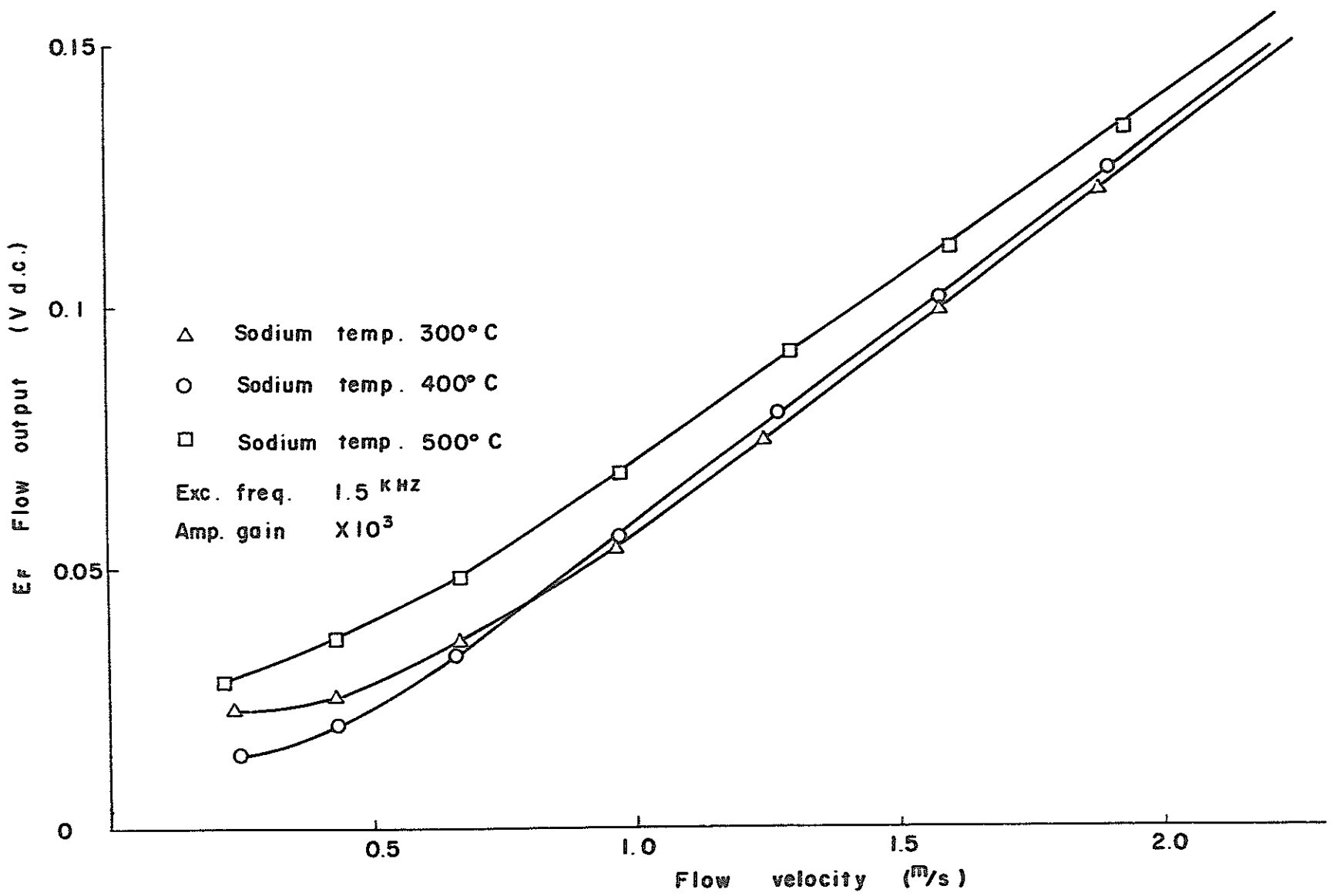


Fig. 5-12 Flow signal linearity of sensor (no.2) without temp. compensation

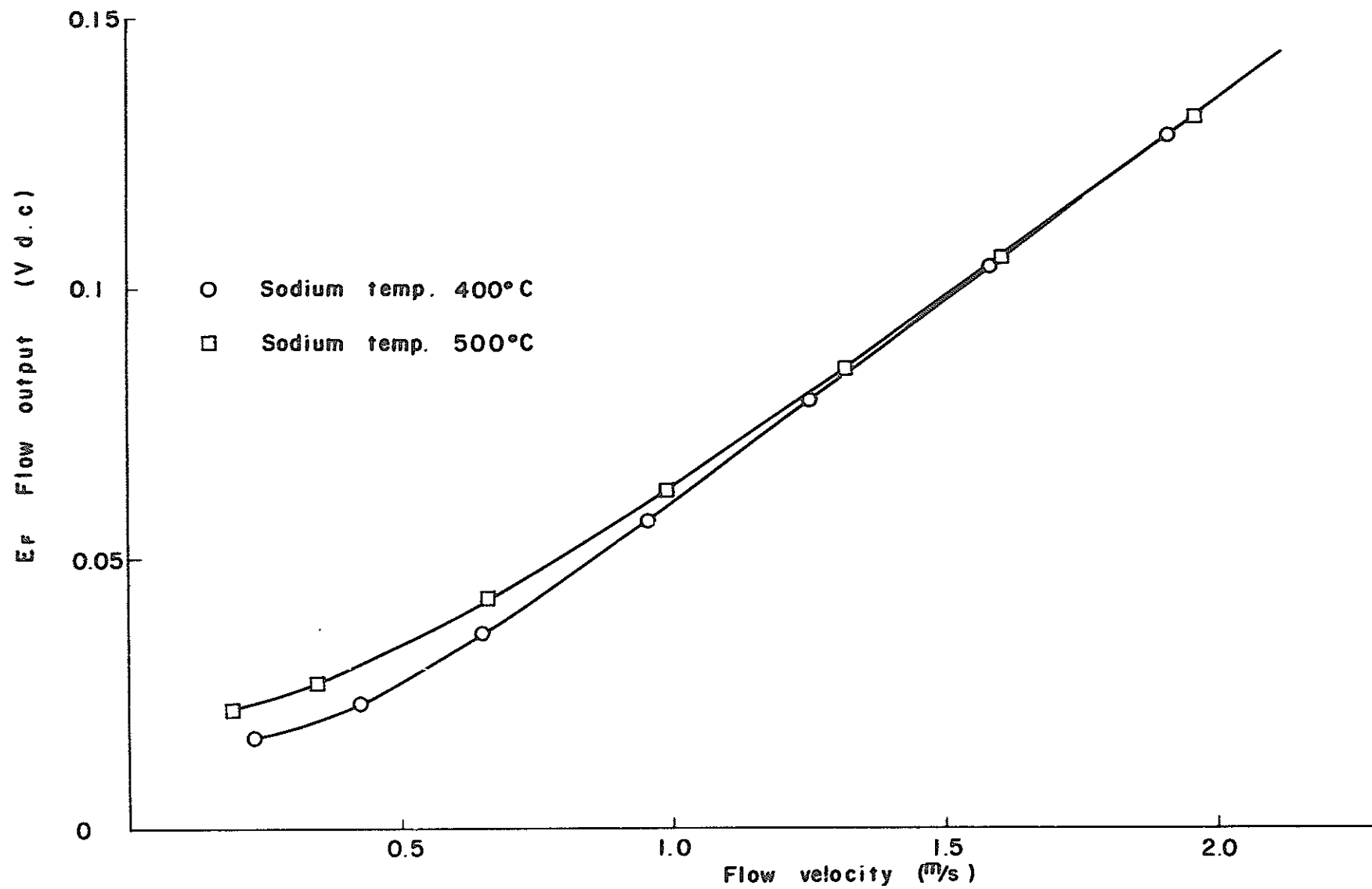


Fig. 5 - 13 Flow signal linearity of sensor (no.2) with temp. compensation