

永久磁石式小型ナトリウム電磁 流量計の出力特性

1976年6月

動力炉・核燃料開発事業団

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター

システム開発推進部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor
and Nuclear Fuel Development Corporation 4002, Narita O-arai-machi Higashi-
Ibaraki-gun, Ibaraki, 311-14, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development
Corporation)

1976年6月

永久磁石式小型ナトリウム電磁流量計の出力特性

報告者 伊藤和元 和田寿一
武田邦雄 高荷智
厚田栄夫

期間 1971年6月4日 ~ 1974年8月26日

目的 永久磁石式小型ナトリウム電磁流量計の出力特性を測定し設定値との比較および出力の経時変化を調べる。

要旨

ナトリウム技術開発ループに設置されている永久磁石式小型電磁流量計3式は、既にナトリウム接液時間10,000時間経過している。この期間中に得られたデータを整理し、流量計出力に対するナトリウム温度の影響、熱起電力による影響および出力の経時変化等を調べ下記結果がえられた。

- (1) 流量と出力電圧は直線関係にある。
- (2) 3式の流量計の単位流量当たりの出力電圧は設計値の77~92%であった。
- (3) 単位流量当たりの出力電圧はナトリウム温度上昇とともに小さくなる傾向があり、その変化は計算値($-0.009\%/\text{°C}$)と同程度であった。
- (4) 使用期間中で出力の有意的な経時変化は最大8,200時間では認められなかった。

June, 1976

Characteristics of Permanent Magnet Type

Small-Size Sodium Flow Meters

Kazumoto Ito*, Juichi Wada*,
Kunio Takeda*, Satoru Takani* and
Hideo Atsumo*

Abstract

Three permanent magnet type small-size sodium flow meters which were installed in General Purpose Sodium Test Loop have been used in sodium for about ten thousand hours. Based on the data obtained in this periods, the characteristics of these flow meters were checked about the effect of sodium temperature and elapsed time.

Flowing results were obtained.

- (1) Good linearity was observed between output voltage and flow rate.
- (2) The output voltage of these flow meters were from 77% to 92% of the designed value.
- (3) The output voltage decreased as sodium temperature increased and the rate was nearly equal to the calculated value (-0.009 %/°C).
- (4) Output voltage decrease with elapsed time was not observed.

* Sodium Technology Development Section, Sodium Technology Division,
Oarai Engineering Center, PNC.

目 次

1	まえがき	1
2	装 置	2
2 - 1	永久磁石式小型電磁流量計	2
2 - 2	ナトリウム技術開発ループ	2
3	流量計の理論出力	3
4	手 順	5
4 - 1	容積法による絶対較正の手順	5
4 - 2	相対較正の手順	5
5	結 果	6
5 - 1	流量と出力電圧の直線性	6
5 - 2	温度による影響	6
5 - 3	出力の経時変化	6
5 - 4	熱起電力による影響	8
6	考 察	10
6 - 1	設計出力と測定出力	10
6 - 2	出力の温度依存性	11
6 - 3	出力の経時変化	11
7	ま と め	12
8	謝 辞	12
9	参考文献	13

表

表 - 1 永久磁石式小型電磁流量計の仕様	2
表 - 2 ナトリウム技術開発ループの仕様	2
表 - 3 各温度での補正係数	4
表 - 4 流量計出力の変化	7

図

図 - 1 流量計の外観図	14
図 - 2 ナトリウム技術開発ループフローシート	15
図 - 3 ナトリウム技術開発ループの運転経過	16
図 - 4 流量計動作原理	3
図 - 5 磁場の端部効果補正係数	3
図 - 6 磁石の温度効果補正係数	4
図 - 7 流量計FM-1の流量と出力 (250°C)	17
図 - 8 流量計FM-1の流量と出力 (400°C)	18
図 - 9 流量計FM-1の流量と出力 (250~600°C)	19
図 - 10 流量計FM-3の流量と出力 (250°C)	20
図 - 11 流量計FM-3の流量と出力 (250~500°C)	21
図 - 12 流量計FM-2の流量と出力 (250°C)	22
図 - 13 ナトリウム温度による影響	23
図 - 14 熱電力による影響	24

1. まえがき

小型ナトリウムループでのナトリウム流量の測定は、通常は永久磁石の電磁流量計が用いられている。これらの流量計については従来から次のような特徴があげられている；
長所

- ① 流量に直線的な充分大きな電気信号が得られる。
- ② 圧力損失がほとんどない。
- ③ ナトリウムに接液する部分は配管のみで磁石、電極は配管外部に取付けるのでナトリウムに対して安全性が高く、取付けが容易である。
- ④ 可動部分がなく信頼性が高い。
- ⑤ 直接電気信号が得られるので応答時間が早い。
- ⑥ 普通に要求される精度（数%の精度）では較正しなくても計算値でよい。
- ⑦ 測定範囲が広い。
- ⑧ 保守、点検がほとんど不要である。

短所

- ① ナトリウムの温度の影響をうける。
- ② 磁束密度の測定・点検が管に取付けた後は困難である。
- ③ 出力はナトリウムと管壁とのウェッティングの状態に影響される。
- ④ ナトリウムや管壁の電気抵抗に影響される。
- ⑤ 出力の計算には、管の正確な寸法が必要で、熱膨張も検討する必要がある。
- ⑥ 管の電気抵抗はナトリウムに対して充分高いものにする必要がある。

本報告書はナトリウム技術開発室ナトリウム技術開発ループに取付けられた3式の永久磁石式小型電磁流量計（FM-1, FM-2 および FM-3）について、約3年間の使用中に得られたデータを整理し次の項目についての知見をまとめたものである。

- ① 流量と出力との直線性
- ② ナトリウム温度の影響
- ③ 熱起電力の影響
- ④ 長時間使用後の出力経時変化

なほここで得られた流量計の特性は、ナトリウム技術開発ループでの種々の試験の中からデータを集めたものであり、本報告書の為に特に試験したものではない。このため流量計の使用前の測定（磁束密度、磁石分布、正確な寸法などの測定）また使用中の条件（温度、流量範囲など）などが必ずしも充分でないことをあらかじめ付記しておく。

2. 装置

2-1 永久磁石式電磁流量計

ここに取り上げる永久磁石式小型電磁流量計は3式(FM-1, FM-2およびFM-3)でこれらの型式、仕様は全く同一で、表-1に示すとおりである。これらの外観図を図-1に示す。ナトリウム配管(SUS304)に対して直角方向に永久磁石が横から取付けられ、出力信号は配管中心部で磁石と直角方向の管外壁に溶接した電極から取り出される。電極材料は溶接部において熱起動力が生じないように配管材と同一のSUS304棒が使用されている。ナトリウム配管には電極および永久磁石に触れないように予熱ヒータが巻付けてあり、その上に保温材(ファインレックス)が巻いてある。流量計の上流、下流は各々内径の約20倍の長さ(約60cm)の直管部がとっている。

2-2 ナトリウム技術開発ループ

3式の永久磁石式電磁流量計はナトリウム技術開発ループに設置されたFM-1, FM-2およびFM-3である。ループの仕様を表-2、フローシートを図-2に示す。ループは膨張タンク、電磁ポンプ、コールドトラップの主要機器からなり、試験部(T/S-1およびT/S-2)が付設されている。FM-1はループの主循環ライン2B配管($60.5 \times 3t$)眷に、FM-2およびFM-3は $\frac{3}{4}B$ 配管($27.2 \times 2.5t$)に取付けられている。ループの構成材は全てSUS304である。

ループは昭和45年5月の試運転後、昭和49年10月までに積算約10,700時間運転してきた。この間小型コンポーネントのナトリウム中試験が数回にわたり行なわれてきたが、その都度試験部のループへの取付け撤去工事が繰り返されている(図-3)。このためループ内に不純物(酸素、水分、配管切り粉など)が入る可能性は比較的多かったものと考えられる。

表-1 流量計の仕様

型式	永久磁石
磁石材質	アルニコ 5
配管材質	SUS-304
配管寸法	$27.2^{OD} \times 2.5^{t}$
電極材質	SUS-304
寸法	2.0ϕ
中心磁束密度	3.000 Gauss
磁極間距離	4.0 mm
磁極寸法	$4.0\text{ mm } \phi$
出力電圧	$0.25\text{ mV} / (\ell/\text{min})$
最高ナトリウム温度	600 °C

表-2 ループ仕様

構成材料	SUS 304
配管径	$60.5^{OD} \times 3.5^{t}$
	$34.0^{OD} \times 3.0^{t}$
	$27.2^{OD} \times 2.5^{t}$
ナトリウム総量	1.8 m^3
膨張タンク容量	1.485 m^3
貯蔵タンク容量	2.540 m^3
電磁ポンプ	EMP-1 EMP-2
	$200\ell/\text{min}$ $40\ell/\text{min}$
ナトリウム温度	最高 600 °C
カバーガス	アルゴンガス

3. 流量計の理論出力

電磁誘導により、導体の流れと直交する均一な直流磁界を与えると、それらと直角方向に起電力が生じる(図-4)。このときの起電力圧は次式で与えられる。

$$E = KE_0 = KBVd \times 10^{-5} \text{ (mV)}$$

$$K = K_1 K_2 K_3 / K_4$$

ここで

B : 磁束密度 (Gauss)

V : 流体の平均速度 (cm/sec)

d : 管の内径 (cm)

また

K_1 : 管壁の短絡効果補正係数

K_2 : 磁場の端部効果補正係数

K_3 : 磁石の温度効果補正係数

K_4 : 管の熱膨張補正係数

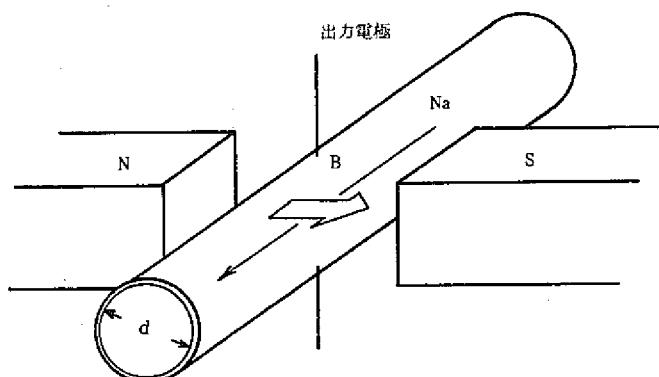


図-4 電磁流量計原理図

これら $K_1 \sim K_4$ の値は次の式または図から求められる。

$$K_1 = \frac{\frac{2d}{D}}{1 + \left(\frac{d}{D}\right)^2 + \frac{\sigma_w}{\sigma_f} \left\{ 1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2 \right\}}$$

σ_w : 管の電気伝導度 (mho/m)

σ_f : 流体の電気伝導度 (mho/m)

D : 管外径 (cm)

K_2 : (図-5) より

K_3 : (図-6) より

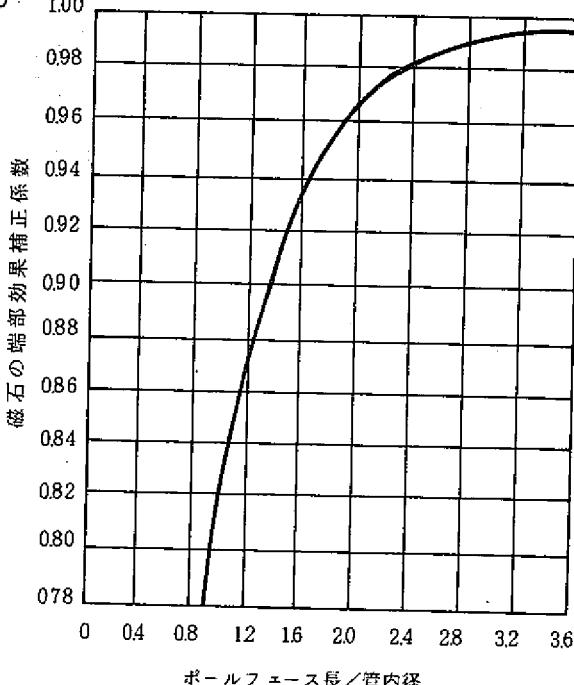
$$K_4 = 1 + r (T - T_0)$$

r : 管の熱膨張係数 ($/^{\circ}\text{C}$)

T : 管の温度 ($^{\circ}\text{C}$)

T_0 : d が測定されたときの管の
温度 ($^{\circ}\text{C}$)

C : 磁極間距離 (ポールフェイス長)
(cm)



以上の式に表-1の仕様を代入する。

図-5 磁石の端部効果補正係数

$$B = 3000 \text{ Gauss}$$

$$d = 22.2 \text{ cm}$$

$$D = 2.72 \text{ cm}$$

$$C = 4.0 \text{ cm}$$

K_1 および K_4 はナトリウムおよび管(SUS 304)の物性値に依存し、物性値が温度とともに変化する。

K_2 については図-3より

$$C/d = 4.0 / 2.22 = 1.80$$

$$K_2 = 0.953$$

K_3 については磁石温度を 60°C (後述の5-4節による)として

図-6より

$$K_3 = 0.996$$

各温度での補正係数をまとめて表-3に示した。この結果単位流量

当りの起電力Mは温度上昇とともに減少する。

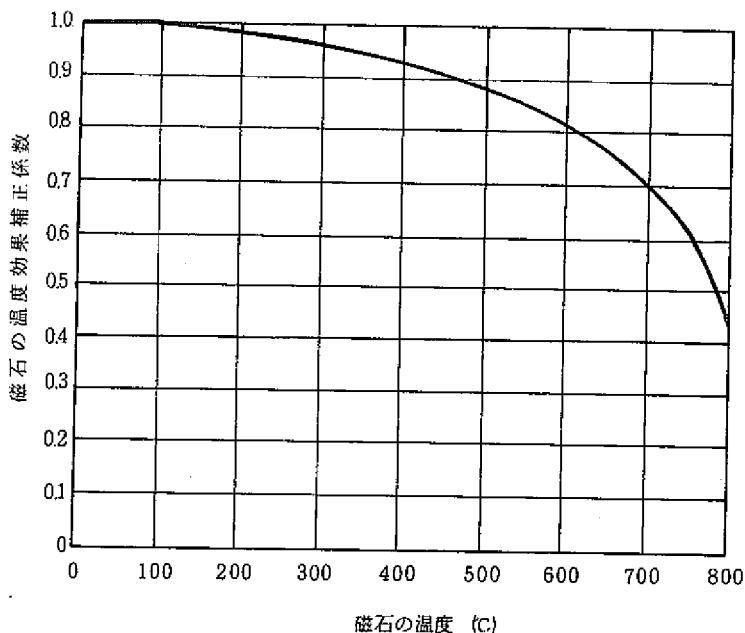


図-6 磁石の温度効果補正係数

表-3 各温度での補正係数

	ナトリウム 温 度			
	250 °C	400 °C	500 °C	600 °C
Naの比電気抵抗 ($\mu\Omega\text{-cm}$) ⁽¹⁾	1.5	2.2	2.7	3.2
SUS-304の比電気抵抗($\mu\Omega\text{-cm}$) ⁽⁵⁾	8.9	9.8	10.2	10.7
σ_w / σ_f	0.168	0.224	0.265	0.299
SUS-304の熱膨張係数($10^{-6}/^\circ\text{C}$) ⁽⁵⁾	17.8	18.4	18.4	18.9
K_1	0.948	0.939	0.931	0.925
K_2	0.953	0.953	0.953	0.953
K_3	0.996	0.996	0.996	0.996
K_4	1.004	1.007	1.009	1.011
$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 / K_4$	0.896	0.885	0.876	0.868
M (mV / ℓ/min)	0.2570	0.2538	0.2512	0.2490

4. 手 順

4-1 容積法による絶対較正の手順

ナトリウムを膨張タンクから貯蔵タンクに自然落下させる。このとき流量計（FM-1 または FM-3）の流路以外はすべて弁で閉じておく。また逆に貯蔵タンクを Ar ガスで加圧し、膨張タンクへナトリウムをチャージする方法も採用した。流量の調節は貯蔵タンク上部の弁（V1-1）により行なった（図-2 参照）。

計測は流量計の起電力、膨張タンクに固定されている液面計（抵抗式 5 式）の信号および流量計の温度（管に溶接した熱電対起電力）である。

液面計の検出端の位置より、検出端間の膨張タンクの容積を算出し、これを実際のナトリウム液面が通過した時間で除算したものを実流量とした。もちろん膨張タンクの容積計算の際には温度による体積膨張は補正した。

4-2 相対較正の手順

ループフローシート図-2 で、電磁ポンプ EMP-1 を使用して、EMP-1 → FM-1 → FM-2 → FM-3 → EMP-1 の流路をつくり、ナトリウムを循環させた。流量調節は電磁ポンプ EMP-1 の電圧を変化させて行なった。

5. 結 果

FM-1 および FM-3 は容積法による絶対較正を、 FM-2 については FM-1 を基準とした相対較正を行なった。流量計のナトリウム温度は約 250, 400, 500 および 600°C のうちいずれかの温度を選択した。結果を図-7～12 に示す。

図-7, 8, 10 および 12 は各温度における理論出力と実出力との比較を示す。また試験年月日による違いについても比較している（試験年月日の欄の時間数はその測定間の流量計のナトリウム接液時間を示す）。

図-9 は FM-1 について、温度 約 250, 400, 500 および 600°C での出力が比較され、図-11 は FM-3 について温度 約 250, 400 および 500°C での出力が比較されている。

FM-1 および FM-3 のデータを各温度、試験日ごとに統計処理して算出した出力と流量の関係式を表-4 に示す。

5-1 流量と出力との直線性

流量 出力との関係は理論式(1)により温度が定まれば原点を通る直線となる。実験値について各温度、測定日ごとの流量と出力との関係については図-7, 8, 10 および 12 より FM-1 で 0～80 ℥/min, FM-3 で 0～80 ℥/min, FM-2 で 0～40 ℥/min で数パーセントのバラツキが見られるものの直線関係がある。

5-2 溫度による影響

各温度、測定日ごとの、単位流量当りの出力(mV/ℓ/min, 表-4 の $y = (a + a')x + b + b'$ の $(a + a')$)を横軸を温度にしてプロットしたものが図-13 である。設計出力値 0.25 mV/(ℓ/min) に対して、FM-1, FM-3 で各々 92%, 77% と大きくずれていることが明らかである。又 FM-2 については 250°C の値では 89% になる。温度による影響は測定値のバラツキがあるものの、計算値 $-2.2 \times 10^{-5} \text{ mV}/(\ell/\text{min})/\text{°C}$ (設計出力に対して $-0.009\%/\text{°C}$) と同程度であると判断できる。

5-3 出力の経時変化

図-13において出力の経時変化を調べることのできるのは FM-1 についてはナトリウム温度約 250°C での測定間隔およびナトリウム接液時間 670 時間の比較 (図-7 参照), ナトリウム温度約 400°C での測定間隔 28200 時間, ナトリウム接液時間 8200 時間の比較 (図-8 参照) である。また FM-3 についてはナトリウム温度約 250°C での測定間隔 14800 時間, ナトリウム接液時間 2800 時間の比較 (図-10 参照) である。これらの

表-4 各温度、測定日ごとの電磁流量計の出力と流量の関係

流 量 計	測 定 年 月 日	$y = (a \pm a')x + b \pm b'$				6 0 0 °C
		2 5 0 °C	4 0 0 °C	5 0 0 °C	6 0 0 °C	
計 算 値	= 0.257 x	= 0.254 x	= 0.251 x	= 0.249 x		
1971. 6. 4	= (0.237 ± 0.003) x + 0.14 ± 0.12 [n = 19] [250 ~ 290 °C]	= (0.236 ± 0.003) x - 0.07 ± 0.17 [n = 10] [324 ~ 400 °C]				
1971. 7. 2	= (0.239 ± 0.003) x + 0.07 ± 0.19 [n = 8] [260 ~ 275 °C]					
FM-1	1974. 8. 23 8. 26		= (0.224 ± 0.006) x + 0.21 ± 0.14 [n = 6] [390 ~ 415 °C]	= (0.230 ± 0.004) x + 0.02 ± 0.13 [n = 6] [465 ~ 530 °C]	= (0.231 ± 0.006) x - 0.04 ± 0.14 [n = 6] [565 ~ 612 °C]	
	平 均	= (0.238 ± 0.001) x + 0.12 ± 0.06 [n = 27] [250 ~ 290 °C]	= (0.240 ± 0.001) x - 0.12 ± 0.06 [n = 16]			
	1971. 7. 2	= (0.197 ± 0.008) x + 0.14 ± 0.10 [n = 27] [255 ~ 265 °C]				
FM-3	1973. 3. 16 3. 20	= 0.200 x + 0.48 [n = 2] [243 ~ 265 °C]	= 0.191 x + 1.22 [n = 2] [390 ~ 405 °C]	= 0.193 x + 0.62 ± 0.47 [n = 2] [505 ~ 520 °C]		
	平 均	= (0.206 ± 0.007) x - 0.16 ± 0.38 [n = 10] [243 ~ 265 °C]				

y : 出力 (mV)
 (n) : 測定点数
 [温度範囲]

うちナトリウム温度約250°CでのFM-1, FM-3については比較後の方の出力がむしろ大きく、比較前後での出力の差は測定値のバラツキによるものと考えられる。

FM-1に関してナトリウム温度約400°Cでは約5%の差がみられる(図-8参照)。この原因は出力の経時変化よりもむしろ;(i)測定値のバラツキ;(ii)比較前後での測定流量範囲の違い(比較前40~60ℓ/min, 比較後20~30ℓ/min)に原因があると考えられる。(i)については、400°Cでの測定結果がほぼ同時期に測定した500°C, 600°Cとの測定結果に比較して小さくなっている(温度の影響を考えるとむしろ400°Cの測定結果が大きくならなくてはならないはずである)。これらは測定値のバラツキによるものと判断される。また(ii)については、測定点にバラツキがある場合、40~60ℓ/minの範囲で最小2乗法で得た直線の傾きと、20~30ℓ/minの範囲での同様の直線の傾きは、範囲が全く異なるため、特に比較後の20~30ℓ/minの範囲は狭く、流量の低い範囲であるので誤差が大きくなり、差違が生じたものと考えられる。250°Cでの経時変化がみられないこととあわせて、FM-1の有意的な経時変化はない判断するのが妥当である。

以上よりFM-1およびFM-3について有意的な経時変化はないものと判断される。

5-4 热起電力による影響

電磁流量計の出力電極は、熱起電力が生じないように配管と同じ材質で製作される。ここで流量計3式とも直径2.0φのSUS304棒が電極として溶接付けされている。このため本来なら熱起電力は生じないはずであるがこれを確かめるため、FM-1の流量計についてナトリウムがない状態で流量計配管を予熱し、昇温途中での配管温度、磁石表面温度および起電力(予熱ヒーターが「ON」の状態と「OFF」の状態)を測定した。その結果を図-14に示す。また図には配管温度を一定に保った状態(配管温度80°Cで約6時間、380°Cで約7時間保持)での磁石表面温度もプロットしてある。その結果を図-14に示す。出力は予熱ヒーターが「ON」と「OFF」の状態で明らかに差があり、予熱ヒーターが「ON」の状態の方が大きく出る。いずれの場合も温度上昇とともに出力端起電力は上昇してゆき、配管温度450°Cで予熱ヒーター「ON」の状態では0.07mV、「OFF」の状態では0.04mVになる。

予熱ヒーターの「ON」「OFF」の状態で出力が変化する原因、また出力が450°Cで0.04 0.07mVとなる原因是明らかではない。

これらの流量計は通常のループ運転では400°C以上で予熱ヒーター「OFF」、400°C以下で予熱ヒーター「ON」で使用される。よって熱起電力は400°Cで予熱ヒーター「ON」の状態のときの約0.05mV、600°Cで予熱ヒーター「OFF」の状態のときの約0.06mV(外挿)が使用条件での最大値となる。これらの値は、低流量範囲では問題となるが、10ℓ/min以上の流量では2.5%以下であり、FM-1, FM-2およびFM-3の流量計の通常の流量測定では特に

補正する必要はないものと判断できる。

図-14 中での流量計を予熱したときの磁石表面温度は昇温途中では配管 450 °C で
55 °C、また配管温度を 380 °C に保った場合（約 7 時間保持）では 55 °C となっている。
これより、配管温度を 400 °C の一定温度に保持した場合にも磁石表面温度は約 60 °C 程度
であると見積ることができる。

6. 考察

6-1 設計出力と実際の出力

ここで測定した流量計3式の設計出力は600°Cで0.25mV/(ℓ/min)であるのに対して実際の出力はこの設計出力に対して

F M - 1	92%
F M - 2	89%
F M - 3	77%

であった。このように設計出力に対して実際の出力が著しく小さい原因について検討する。

磁束密度が低下する可能性について考えてみると、まず磁束の温度による低下については、寸法比にもよるがアルニコー5の場合 $-0.01\sim-0.02\%/\text{°C}$ といわれ⁽⁷⁾、ここで取上げた流量計は配管温度450°Cで磁石表面温度が60°C程度であり、この場合室温を20°Cとすると製作時の状態とループ使用状態との温度差は約40°Cとなり、 $-0.4\sim-0.8\%$ で(表-3での $K_3 = 0.996$ とほぼ一致する)小さい。磁束の経時変化については磁束密度は時間の対数に比例して低下し、アルニコー5の場合、寸法比にもよるが10⁴時間で1~2%の低下になる⁽⁷⁾。3式の流量計の磁石は製作時から最大に見積っても10⁵時間であり、その間の磁束密度の低下は~3%以内になる。磁石に熱サイクルがかかり非可逆的に磁束が低下する可能性については、磁石に“熱枯し”の処理が行なわれている場合、“熱枯し”温度(600°Cまたはそれ以上)よりも低い温度での熱サイクルに対しては、磁束は低下しない⁽⁷⁾。また“熱枯し”処理温度以上に磁石温度が上昇する可能性がないことは、図-14より明らかである。

これらよりループでの使用状態での磁束密度が、製作時に比較して低下しているとしてもそれは数パーセント以内になると考えられ、この値では設計値と実測値との差は説明できない。

磁束分布の変化については、流量計は固定されているので、分布が経時的に変化することは考えられない。

他の原因として“ぬれ”の問題、出力電極での電圧降下、熱起電力の影響などが考えられるが、ここに取り上げた流量計では、これらの原因による影響は無視できる(“ぬれ”については、これらの流量計は既にナトリウム接液後1万時間を越えており、“ぬれ”が問題となる時期ではない。出力電極は2.0φSUS304棒であり、この電気抵抗は指示計の入力抵抗に対して完全に無視できる。熱起電力については5-4で示した通りその影響は無視できる)。

以上の検討より磁束密度、分布を測定していないので断定はできないが、実測出力が設計出力に対して小さいのはむしろ製作時の磁石の磁束密度、分布に原因があるのではないか

と推論される。

6-2 出力の温度依存性

流量出力がナトリウム温度上昇により減少する傾向があることは、図-13より明らかである。図-13の結果では測定値がバラツイではいるが、ナトリウム温度依存性は計算値と同じく、ナトリウム温度250~600°Cの範囲で約-0.009%/°C程度であると判断される。

一方大型(12B用)の永久磁石式電磁流量計では、温度依存性が正になることが報告されている⁽⁸⁾。

理論式(1)で温度に直接影響されるのは、 K_1 (管壁の短絡効果補正係数)、 K_3 (磁石の温度効果補正係数) および K_4 (管の熱膨張補正係数) である。これらは表-3に示したとおり K_1 、 K_3 (表-3では温度によらず一定値を採用したが、図-14で明らかになるように、ナトリウム温度とともに磁石の温度は僅かに上昇する。よって図-4より僅かではあるが K_3 はナトリウム温度とともに減少する) はナトリウム温度上昇とともに減少し、 K_4 は逆に大きくなるので、 $K_1 K_3 / K_4$ は温度とともに小さくなる方向にある。よってもし温度上昇とともに流量計出力が上昇する場合、その原因は $K_1 K_3$ および K_4 以外となる。

6-3 出力の経時変化

バイメタリックループでは永久磁石式流量計の出力経時変化が報告され、その原因としては、流量計配管内壁の汚れによるナトリウムと壁間の電気抵抗の増加が主であると考えられている⁽⁸⁾。ここで測定された流量計は、構成材料がすべてSUS304のモノメタリックループに取付られたものではあるが、2-1で説明したように、ループ内に不純物が入る可能性も大きかったため、これらの流量計出力に経時変化があるか否かを確かめることは意味があることだと考えられる。

今回の報告では最大ナトリウム接液時間8,200時間で、出力の有意的な経時変化は認められないことより、(8)で報告された現象は生じていないと考えられる。勿論この現象は、ループの履歴、ループの構成材料に関係し、今回の結果が他のループの流量計に適用できるとはかぎらないが、本ループの運転条件またはループ履歴から考えて、SUSのモノメタリックループではこの現象は生じ難いと推論される。今後はさらにデータの蓄積をはかり検討を続けてゆくべきであろう。

7. ま　と　め

(1) 永久磁石式小型電磁流量計について、流量と出力電圧とは直線関係がある。

(2) 単位流量当りの出力電圧は、設計値に対して次のように小さかった

FM-1 92%

FM-2 89%

FM-3 77%

(3) 出力電圧はナトリウム温度の上昇とともに小さくなる傾向がある。その変化は計算値
($-0.009\%/\text{°C}$)と同程度である。

(4) 今回の測定では有意的な出力の経時変化は認められなかった(最大ナトリウム接液時間
8,200時間)。

(5) 出力電極には熱起電力が生じるが0.1mV以下であり、 $10\ell/\text{min}$ 以上 の流量測定では出
力の2.5%以下となる。

8. 謝　　辞

本試験を検討するに当って終止適切な助言をいただいたナトリウム技術開発室員の中本香一
郎、大山信美両氏に又ループ運転に御協力いただいた当室員に感謝の意を表す。

9. 参 考 文 献

- (1) 古川和男 “高速炉用液体Na工学の現況と問題点（三訂版）”, JAERI-memo
第2719号 1967. 6. 6
- (2) 林敏和 “電磁気的液体流量測定の理論と応用”, JAERI-memo,
3536, 1969. 5.
- (3) 小林清志他 “液体ナトリウム用永久磁石型電磁流量計の研究（Ⅱ）”, V01. 17,
NO. 11, (1969) 1969. 5. 26
- (4) 松野清他 “サドル型電磁流量計特性試験報告”, N241 71-08
昭和46年1月
- (5) ステンレス協会 “ステンレス鋼各国規格便覧”, 昭和39年6月
- (6) 長谷川正義 “ステンレス便覧”,
昭和48年8月30日
- (7) 牧野昇 “永久磁石, その設計と応用”, 株式会社アグネ, 1972年3月
- (8) 土屋ら “1MW蒸気発生器試験施設電磁流量計の流量異常指示について”,
SN941. 74-27 1974年4月
- (9) 宇野ら “ナトリウム流量較正試験（その2）50MW水蒸気発生器試験装置用12B
永久磁石型電磁流量計較正試験”, N941 74-78 1974年10月

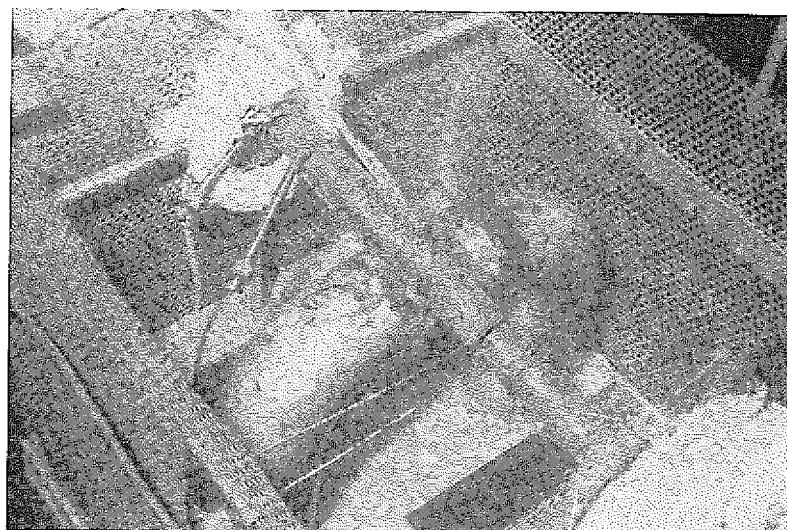
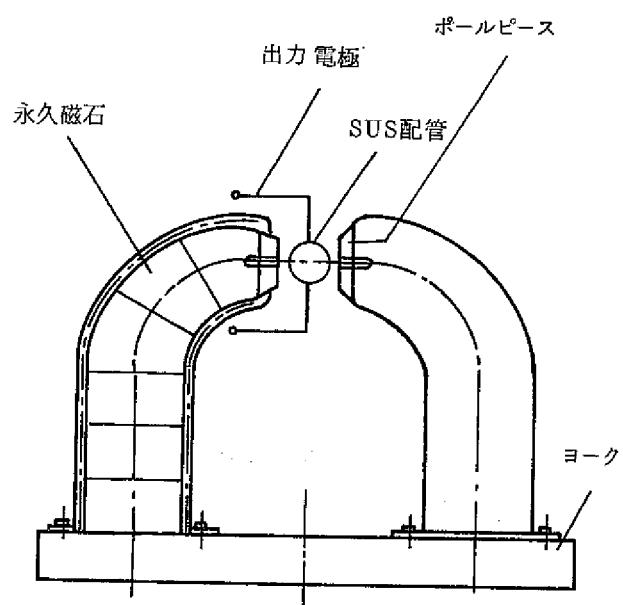


図-1 電磁流量計外観

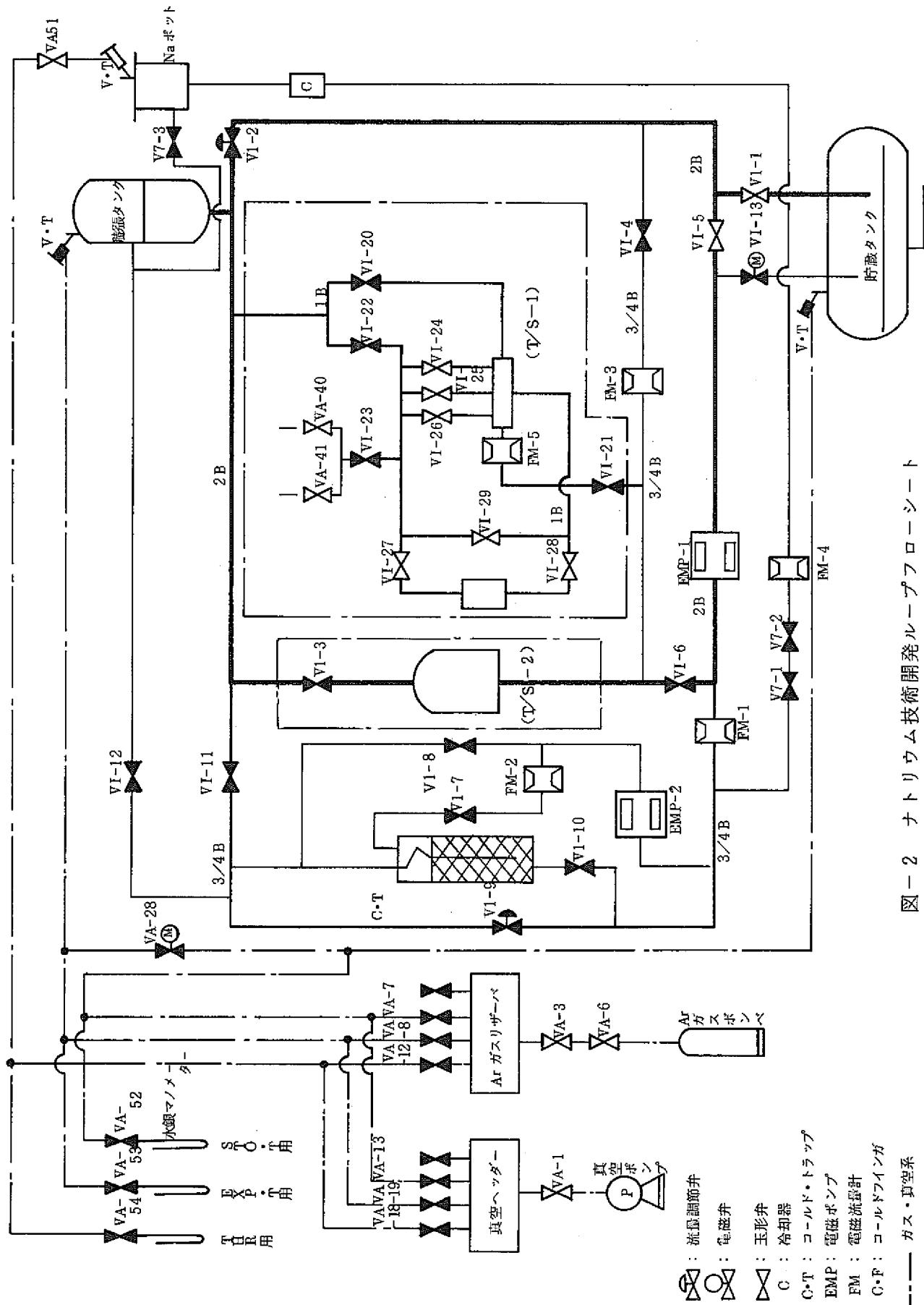


図-2 ナトリウム技術開発ループフローシート

ガス・真空系
ナトリウム系

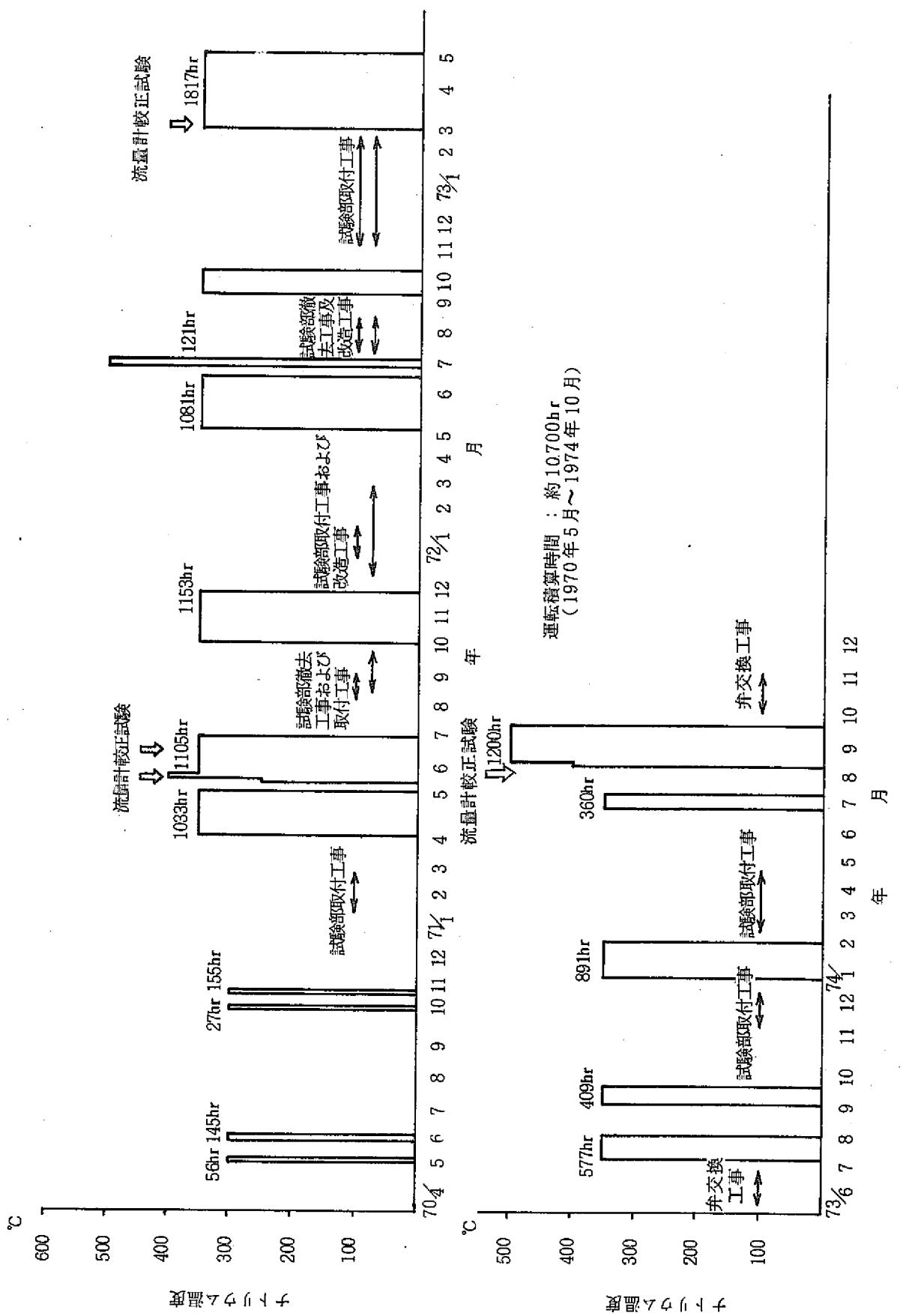


図-3 ループの運動経過

記号	温 度	測 定 法	測定年月日	測定間隔	ナトリウム接液時間
—x—	250 ~ 290 °C	容積法による 絶対較正	1971・6・4		
--●--	260 ~ 275 °C		1971・7・2	670 時間	670 時間

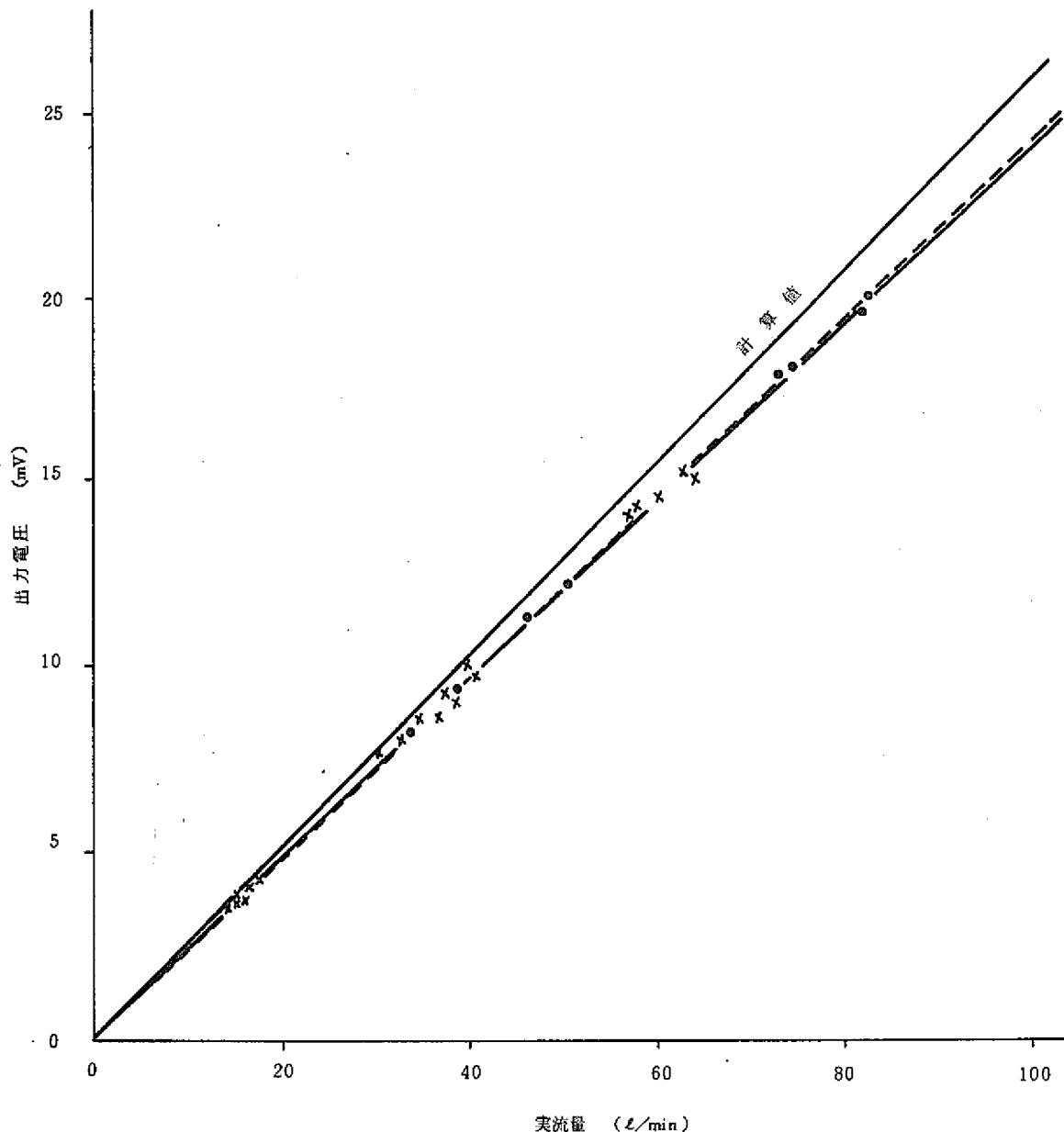


図-7 電磁流量計 FM-1 の出力と流量 (250 °C)

記号	温 度	測 定 法	測定年月日	測定間隔	ナトリウム接液時間
★	324 ~ 400 °C	容積法による絶対校正	1971・6・4	28,200 時間	8,200 時間
-●-	390 ~ 415 °C		1974・8・26		

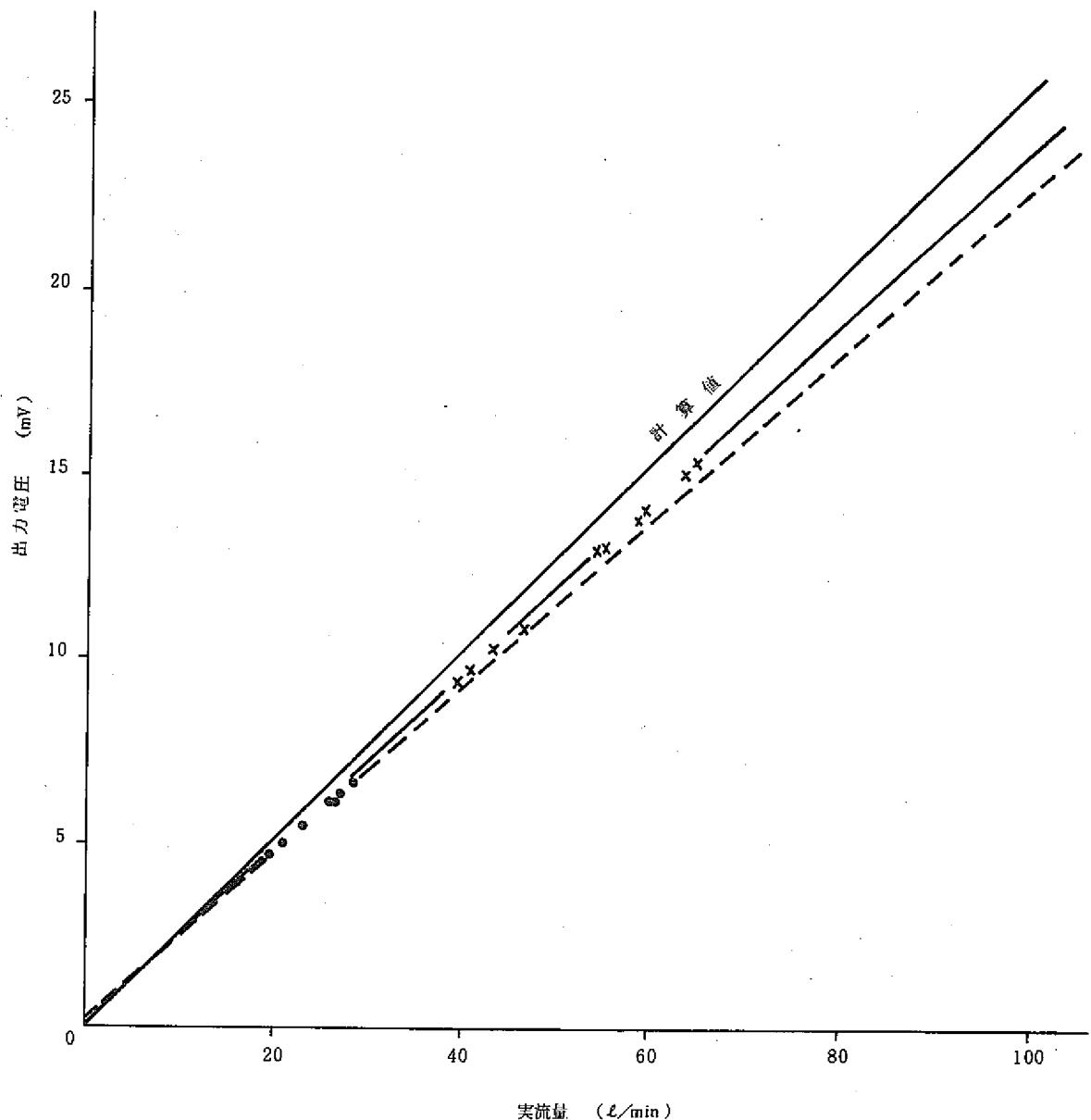


図-8 電磁流量計 FM-1 の出力と流量 (400 °C)

記号	温 度	測 定 法	測定年月日	参 照
●	250 ~ 290 °C	容積法による 絶対較正	1971・6・4 1971・7・2	図 - 7
×	324 ~ 415 °C		1971・6・4 1974・8・26	図 - 8
○	465 ~ 530 °C		1974・8・23	
△	565 ~ 612 °C		1974・8・24	

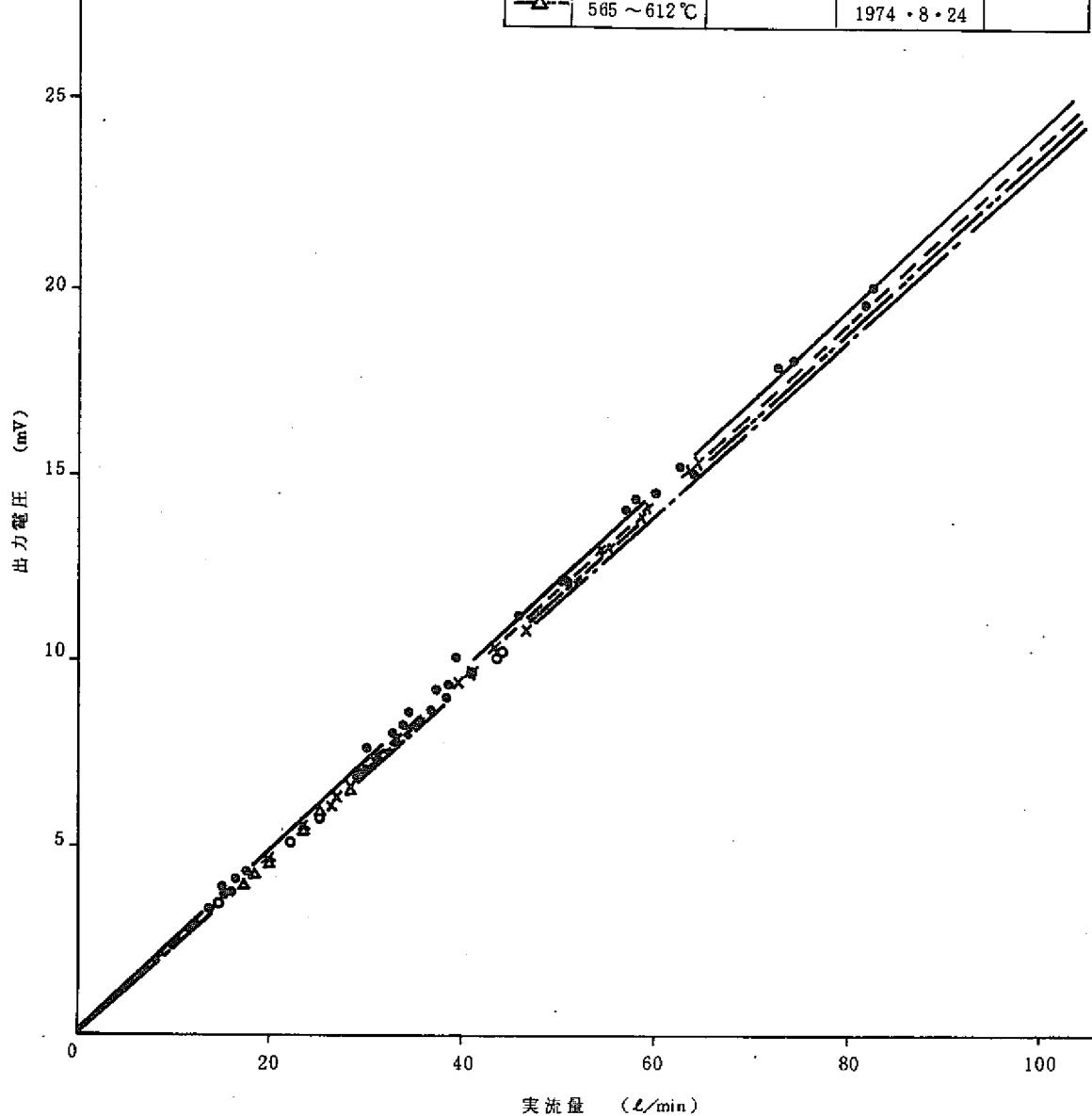


図 - 9 電磁流量計 FM-1 の出力と流量 (250 ~ 500 °C)

記号	温 度	測 定 法	測定年月日	測定間隔	ナトリウム 接液時間
—x—	255 ~ 265 °C	容積法による 絶対較正	1971・7・2	14,800 時間	2,800 時間
--●--	243 ~ 265 °C		1973・3・16		

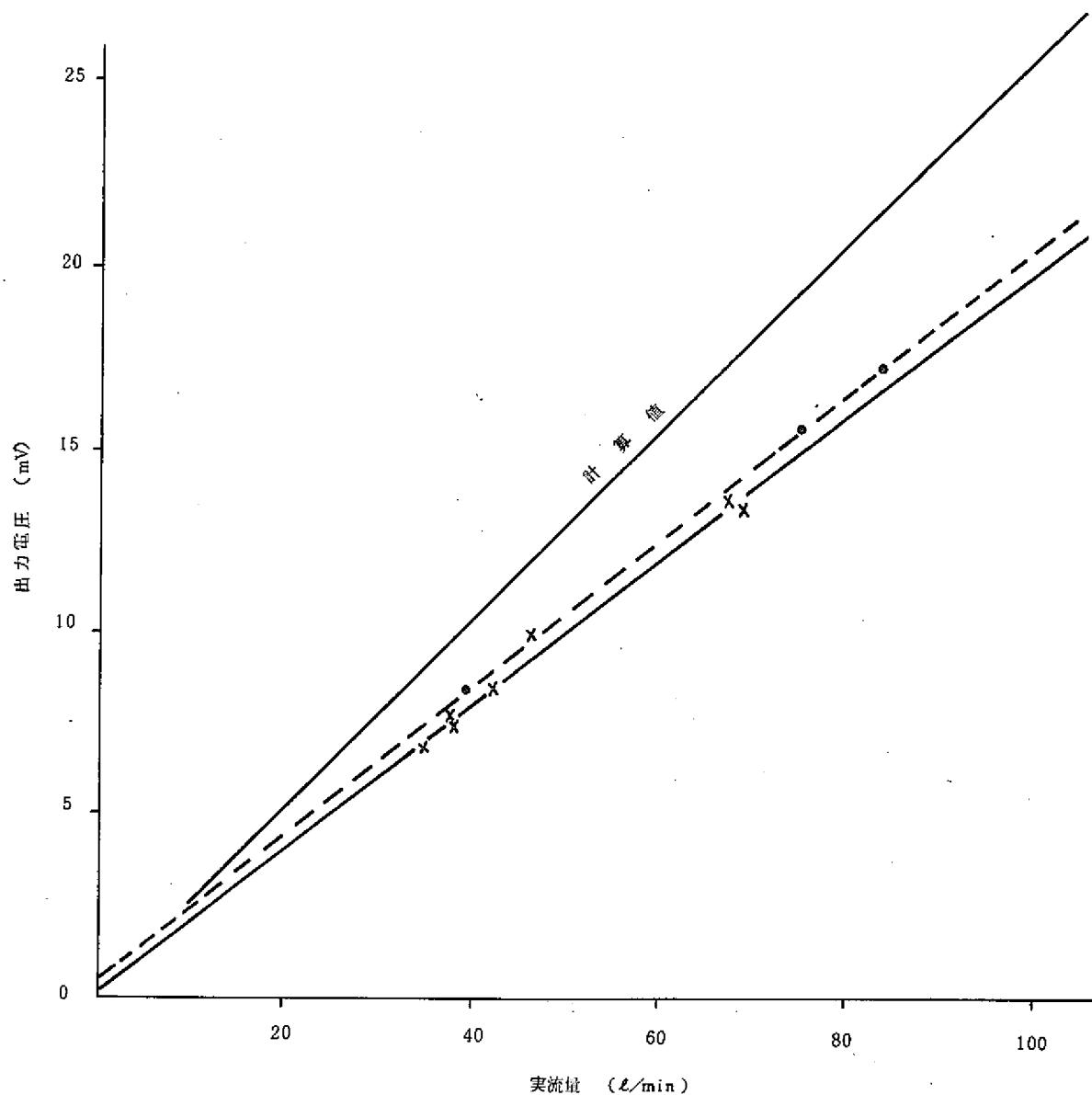


図-10 電磁流量計 FM-3 の出力と流量 (250 °C)

記号	温 度	測 定 法	測 定 年 月 日	参 照
●	243 ~ 265 °C	容積法による 絶対校正	1971・7・2 1973・3・16	図-10
＊	390 ~ 405 °C		1973・3・16	
○	505 ~ 520 °C		1973・3・19 20	

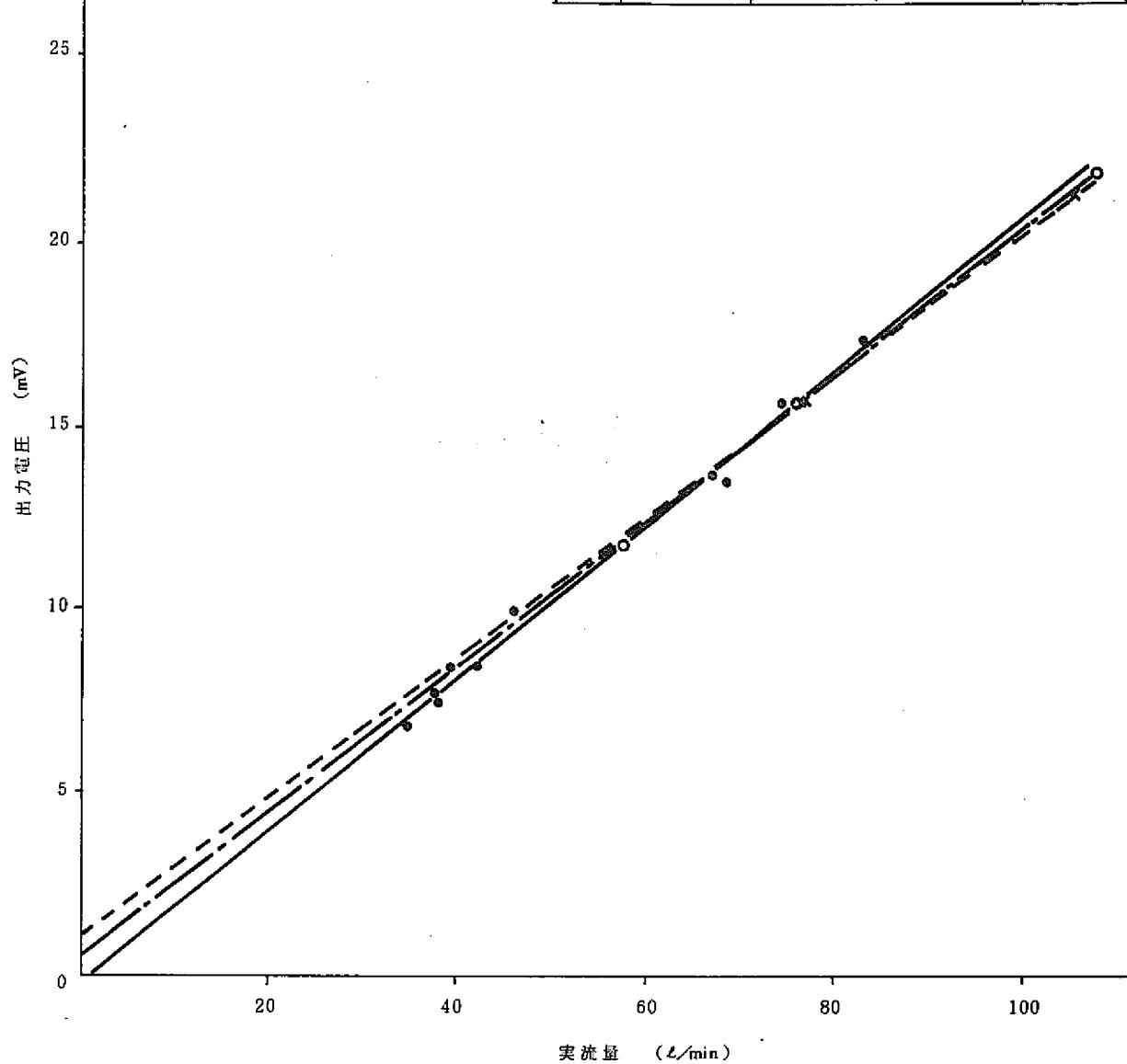


図-11 電磁流量計 FM-3 の出力と流量 (250 ~ 500°C)

記号	温 度	測 定 法	測定年月日
●	230 ~ 255 °C	相対較正 (FM-1基準)	1971・6・8

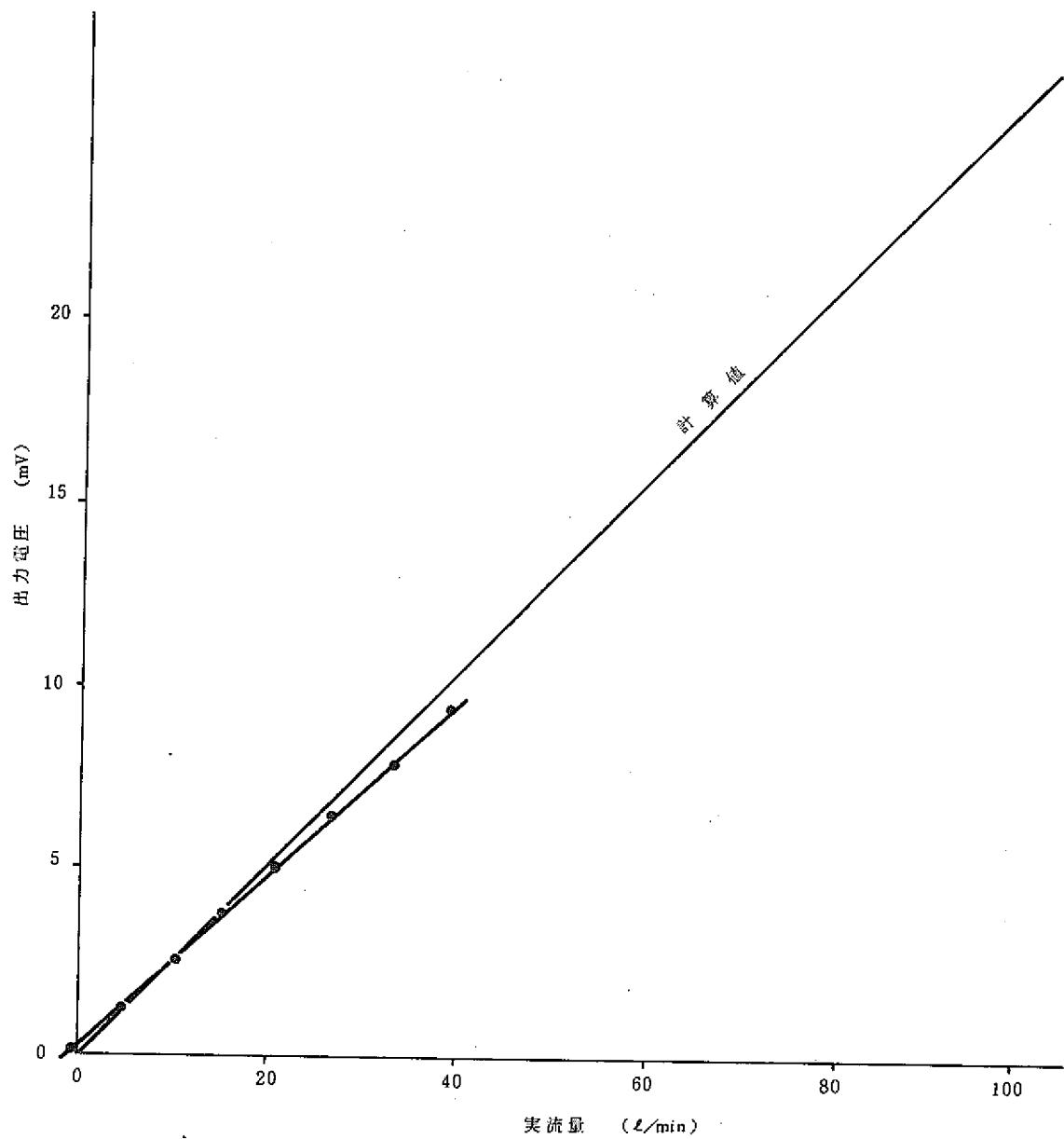


図-12 電磁流量計 FM-2 の出力と流量 (250°C)

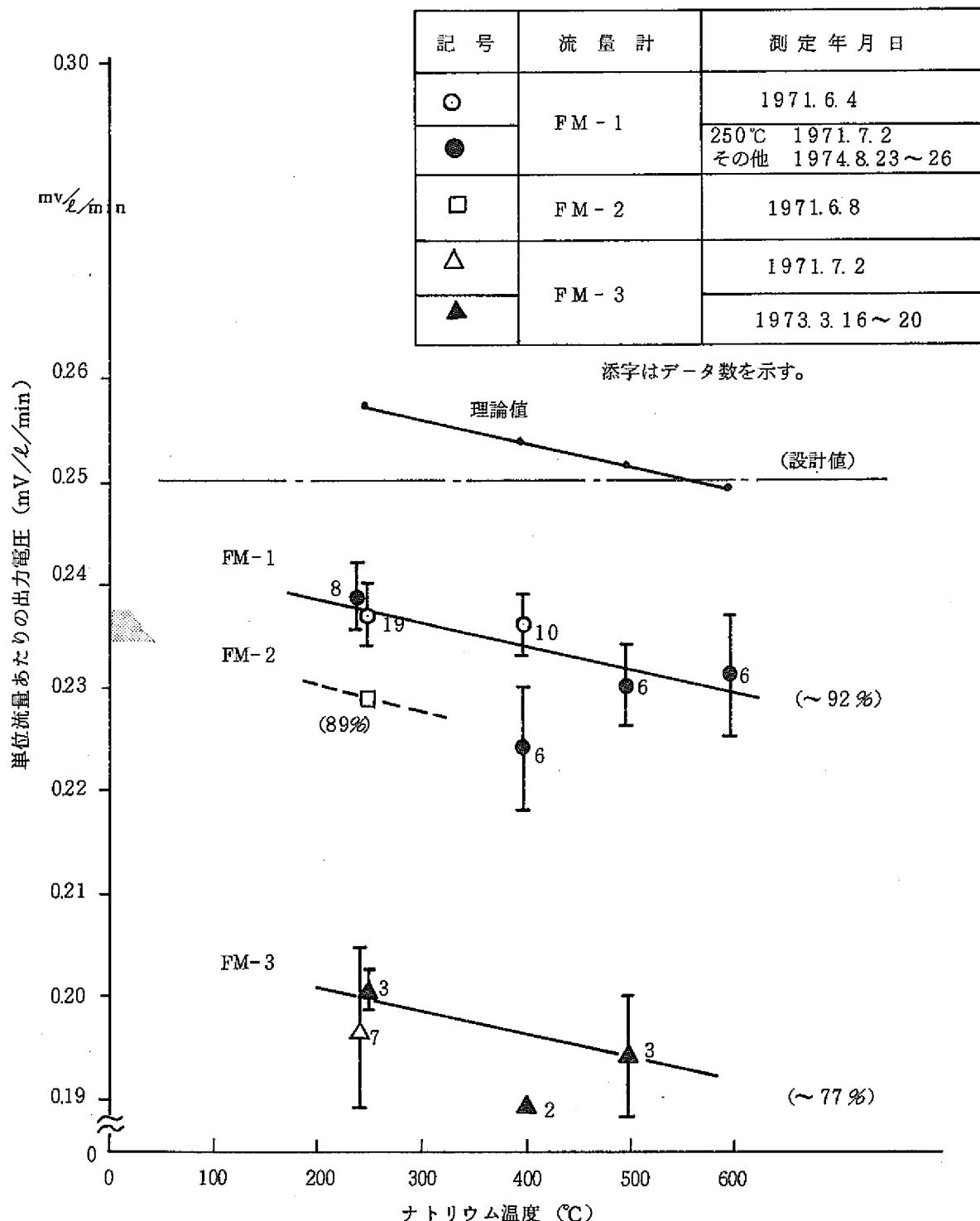


図-13 ナトリウム温度による影響

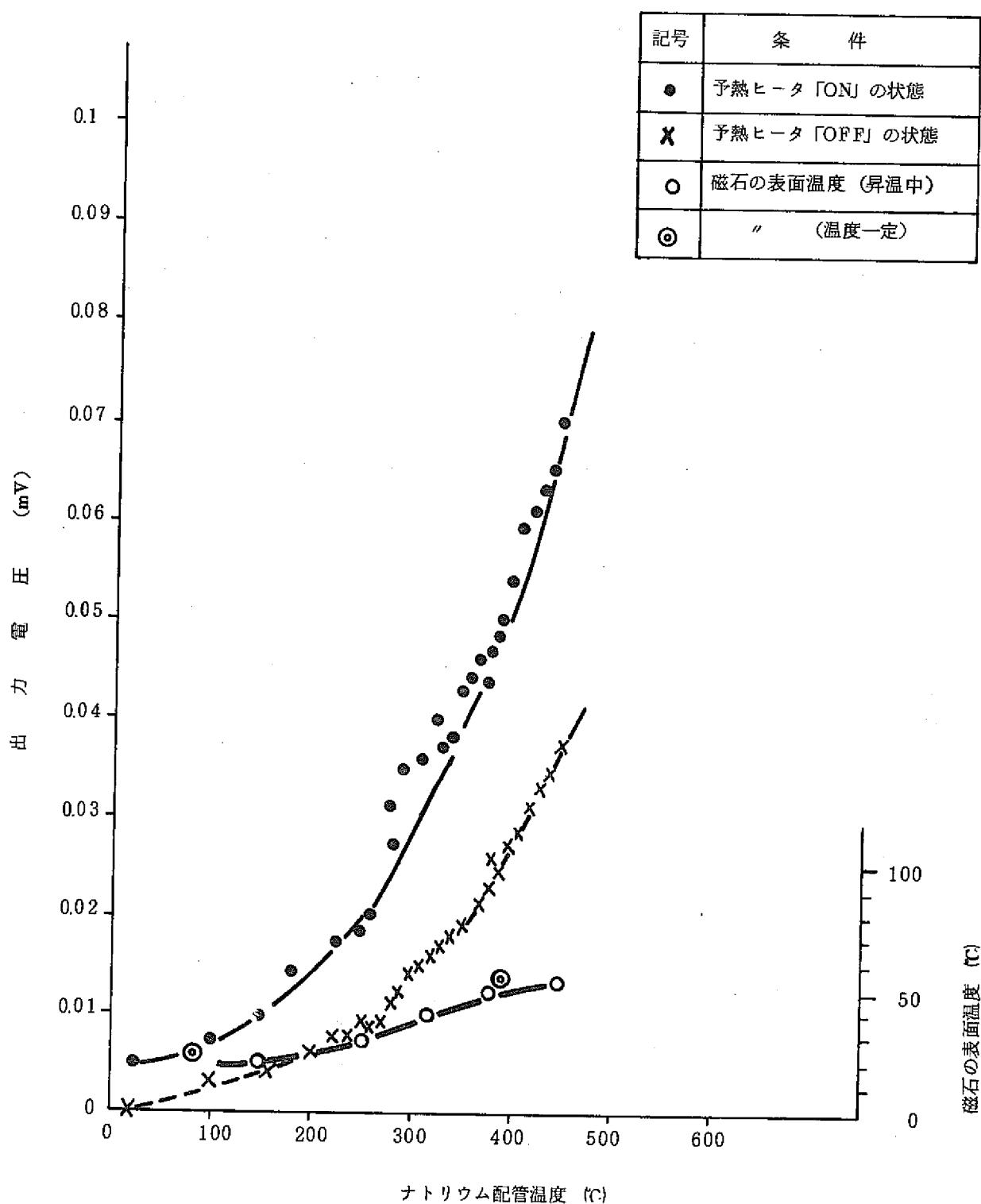


図-14 配管温度と熱起電力の関係