

「常陽」保守技術資料

電 磁 流 量 計

—基礎理論と初期データ—



1979年1月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
T	N 952 79-03

この資料は 図書室保存資料です
閲覧には技術資料閲覧票が必要です

動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室

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。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technical
Evaluation and Patent Office, Power Reactor and Nuclear Fuel Development
Corporation 9-13, 1-chome, Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107, Japan

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

1 9 7 9 年 1 月

「常陽」保守技術資料

電 磁 流 量 計

— 基礎理論と初期データ —

遠藤 昭^{*} 小沢 健二^{*} 井戸 満喜男^{*}
小林 一^{**} 伊藤 忠弘^{*} 福田 達^{*}

要 旨

保守の便に供するため、高速実験炉「常陽」に使用されている電磁流量計の基礎理論と、工場試験、現地据付試験および総合機能試験時等に得られた各種データを統一的に一箇所にまとめて整理した。

* 高速実験炉部原子炉第2課

** 現東京電力株式会社

PNC TN952 79-03
January, 1979

Engineering Data of Electromagnetic-
Flowmeter for Maintenance

A. Endou*, K. Ozawa*,
M. Ido*, H. Kobayashi**,
T. Ito* and T. Fukuda*

Abstract

The principle of electromagnetic-flowmeters used in JOYO is described here. Also, the various data of the electromagnetic flowmeters obtained through several operation tests are rearranged for convenience of maintenance.

* Maintenance Section, Experimental Fast Reactor Division, O-arai Engineering Center, PNC.

** Tokyo Electric Power Co., Inc.

目 次

1.はじめに	1
2.測定原理	2
2.1 基礎方程式	2
2.2 基礎方程式の解法	4
2.3 基礎方程式の解に関する考察	7
2.4 基礎方程式の解の修正	8
2.5 流速が一般的な分布をもつ場合	8
2.6 主冷却系電磁流量計の数値計算例	10
3.データ	12
3.1 使用電磁流量計一覧	13
3.2 較正データ	14
(1) 1次主冷却系電磁流量計(FE3.1.1-3A)較正表(200°C)	14
(2) " (" ") " (300°C)	15
(3) " (" ") " (370°C)	16
(4) " (FE3.1.1-3B) " (200°C)	17
(5) " (" ") " (300°C)	18
(6) " (" ") " (370°C)	19
(7) 2次主冷却系電磁流量計(FE3.1.2-1A) " (200°C)	20
(8) " (" ") " (270°C)	21
(9) " (" ") " (340°C)	22
(10) " (FE3.1.2-1B) " (200°C)	23
(11) " (" ") " (270°C)	24
(12) " (" ") " (340°C)	25
(13) 1次主冷却系電磁流量計較正曲線(FE3.1.1-3A)	26
(14) 1次主冷却系電磁流量計較正曲線(FE3.1.1-3B)	27
(15) 1次補助冷却系電磁流量計較正曲線(FE3.2.1-1)	28
(16) オーバフロ系電磁流量計較正曲線(FE3.3-1)	29
(17) サイフォンブレーク電磁流量計較正曲線(FE3.1.1-5A, FE3.1.1-5B)	30
(18) 1次Na純化系電磁流量計較正曲線(FE3.4.1-1)	31
(19) 1次Na純化系プラギング計電磁流計較正曲線(FE3.4.1-2)	32
(20) 2次主冷却系電磁流量計較正曲線(FE3.1.2-1A)	33

②① 2 次主冷却系電磁流量計 (F E 3 1.2 - 1 B)	3 4
②② 2 次補助冷却系電磁流量計 (F E 3 2.2 - 1)	3 5
②③ 2 次 Na 純化系電磁流量計 A (F E 3 4.2 - 1 - (1))	3 6
②④ 2 次 Na 純化系電磁流量計 B (F E 3 4.2 - 1 - (2))	3 7
3. 3 磁束密度分布	3 8
(1) 1 次主冷却系電磁流量計 (F E 3 1.1 - 3 A)	3 8
(2) 1 次主冷却系電磁流量計 (F E 3 1.1 - 3 B)	3 9
(3) 2 次主冷却系電磁流量計 (F E 3 2.1 - 1 A)	4 0
(4) 2 次主冷却系電磁流量計 (F E 3 2.1 - 1 B)	4 1
(5) 2 次補助冷却系電磁流量計 (F E 3 2.2 - 1)	4 2
(6) 2 次 Na 純化系電磁流量計 A (F E 3 4.2 - 1 - (1))	4 3
(7) 2 次 Na 純化系電磁流量計 B (F E 3 4.2 - 1 - (2))	4 4
3. 4 データシート	4 5
(1) 1 次主冷却系電磁流量計 (F E 3 1.1 - 3 A)	4 5
(2) 1 次主冷却系電磁流量計 (F E 3 1.1 - 3 B)	4 6
(3) 1 次補助冷却系電磁流量計 (F E 3 2.1 - 1)	4 7
(4) オーバフロー系電磁流量計 (F E 3 3 - 1)	4 8
(5) サイフォンブレーク電磁流量計 (F E 3 1.1 - 5 A)	4 9
(6) サイフォンブレーク電磁流量計 (F E 3 1.1 - 5 B)	5 0
(7) 1 次 Na 純化系電磁流量計 (F E 3 4.1 - 1)	5 1
(8) 1 次 Na 純化系プラギング計電磁流量計 (F E 3 4.1 - 2)	5 2
(9) 2 次主冷却系電磁流量計 (F E 3 1.2 - 1 A)	5 3
(10) 2 次主冷却系電磁流量計 (F E 3 1.2 - 1 B)	5 4
(11) 2 次補助冷却系電磁流量計 (F E 3 2.2 - 1)	5 5
(12) 2 次 Na 純化系電磁流量計 (F E 3 4.2 - 1 - (1))	5 6
(13) 2 次 Na 純化系電磁流量計 (F E 3 4.2 - 1 - (2))	5 7
3. 5 試験方法	5 8
(1) 1 次, 2 次主冷却系電磁流量計の較正方法	5 8
(2) 1 次補助系, オーバフロー系電磁流量計の較正方法	6 4
(3) 2 次補助系, 2 次純化系電磁流量計の較正方法	6 7
(4) 現地据付後の磁束密度測定法	6 8
4. 謝辞	6 9
5. 参照文献	7 0

1. はじめに

設備保全を担当する者にとって、設備の根本原理を理解しておくことと設備の本来の特性を把握しておくことは必須である。前者に関してはこれを知らない場合は異常に遭遇したとき適切な対処は望めないであろうし、後者に関しては正常時の特性を知らないことには異常の判定ができない。

上述の理由に鑑み、保守上の便宜のために「常陽」で使用されている電磁流量計の基礎理論と各種データをここにまとめることにした。

ここで特に電磁流量計の基礎理論を掲げたのは、プラギング計用の小型のものまで含めると「常陽」には13台もの電磁流量計が設置され我々にとって身近なものであるにもかかわらず、その測定原理についてはあまり良く理解されていないように思われるからである。原理はFarady電磁誘導法則の応用であることは知られていても、流量測定部の流体内に誘導うず電流が生じていること、流量と出力電圧の比例関係を保証するためには円管内の流速分布が円管の中心軸に関して対称であることを仮定していることや、円管断面の各点における流速の出力電圧への寄与の仕方は一様でなく場所による重みつきであることなどは思いのほか知られていない。

これは、原理の詳細を知りたくとも適當な文献を見い出せないか又は見い出したとしても難解にすぎて理解できることなどにもよるものと考えられる。本資料では特にこのことを考慮し、電磁気学の初等的な知識をもちあわせている者には誰にもわかるように丁寧に、電磁流量計の基礎理論を解説したつもりである。ここに示したことの大部分は参考文献(1)の結果によるが、基礎方程式から電磁流量計出力電圧の表現式を導出する過程については、学習者の便宜を考え計算過程を補充しながら再構成した。

初期データは、保守の便宜を考慮し、工場試験、現地据付試験、総合機能試験、その他試験を通じて取得したデータを統一的に一箇所にまとめて整理したものである。これらは、電磁流量計の諸特性の経時変化等のチェックに便ならしめるであろう。

2. 測 定 原 理

高速増殖炉の冷却材であるナトリウムの流量計測には電磁流量計（以下EMFという。）が用いられている。周知のようにEMFの測定原理は一口でいうとFaraday電磁誘導法則の応用であるが、流量とEMF出力電圧の関係を求めるためには、流路を流れる流体が流速分布をもつことや、誘導起電力が流路の断面に分布することなどを考慮しなければならない。以下では流路の断面が円形であるようなEMFについて、流量測定部で起きている流体的、電磁的現象について考察し、これらの現象を記述するいくつかの方程式を導入する。次いで適当な仮定を設けてこの方程式を解き、流量と出力電圧の間の関係を求める。ここで求められた結果は、現実に即して、適当な修正が施される。

2.1 基礎方程式

Fig. 1(a)に示すようなEMFを考え、円管内の流速分布がFig. 1(b)に示すようであると、電極を含む断面における誘導起電力は、流速の大きな円管の中心付近で大きく、管壁付近では小さくなり、Fig. 1(c)に示すような分布をする。この誘導起電力の差により、Fig. 1(d)に示すような循環電流が流れることになり、EMF出力電圧は、電極間の誘導起電力の単純和ではなくなる。従って、流速と出力電圧の関係を求めるためには、EMFの流量測定部で起きている電磁現象を記述する微分方程式をたて、これを解かねばならない。

EMF測定部の電磁現象を記述する方程式を導入するにあたり、実際的であると考えられる次の仮定をおく。

- (1) 誘導うず電流が磁界に及ぼす効果は十分小さいと考え無視する。
- (2) 誘導電流と外部磁界の作用によって流速を減少させる効果はないとする。

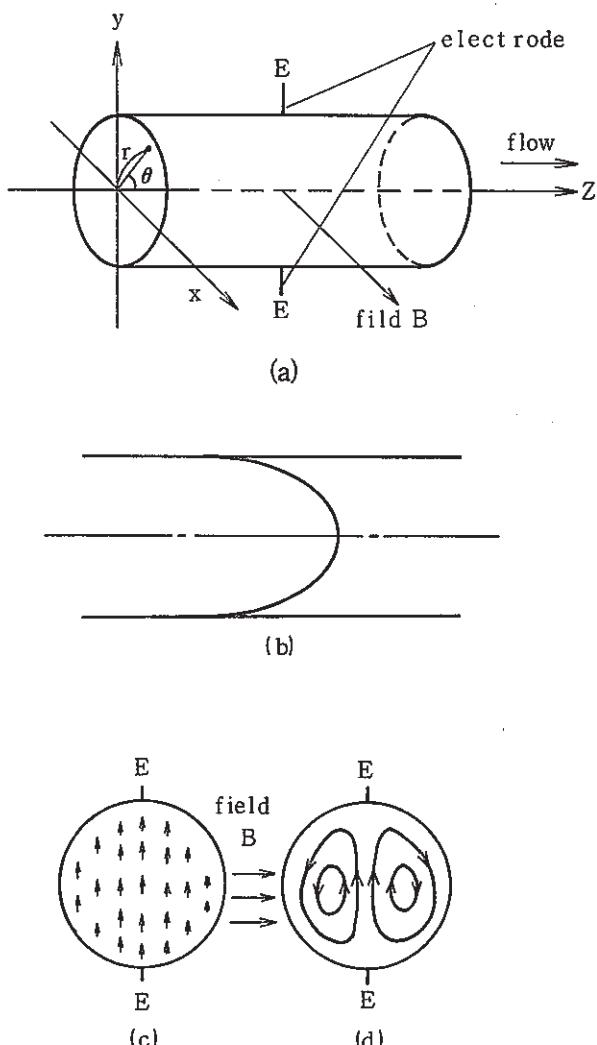


Fig. 1

- (3) 流体は非磁性体であると仮定する。(Naは磁石に引かれない。)
- (4) ホール効果は除外する。
- (5) 導電率の変化と熱電効果は無視する。
- (6) 流体、管壁を流れる電流はOhmの法則に従う。
- (7) 流体の導電率は等方的である。

これらの仮定のもとでは、EMF流量測定部の電磁現象はFig. 1(a)に示した座標系で次式を満す。

$$\text{rot } \mathbf{E} = 0 \quad (1)$$

$$\text{rot } \mathbf{B} = \mu \mathbf{j} \quad (2)$$

$$\text{div } \mathbf{B} = 0 \quad (3)$$

$$\mathbf{j} = \sigma (\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (4)$$

ここで、

\mathbf{E} : 電界

\mathbf{B} : 磁束密度

\mathbf{j} : 電流

\mathbf{v} : 流速

σ : 流体の導電率

(1)式より、電位 U が存在し

$$\mathbf{E} = -\text{grad } U \quad (5)$$

と表わされる。また、(2)式より

$$\text{div } \mathbf{j} = 0 \quad (6)$$

が得られ、さらに(4)式の両辺の div をとり(5), (6)を代入すると、

$$\begin{aligned} \nabla^2 U &= \text{div} (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \\ &= \mathbf{B} \cdot \text{rot } \mathbf{v} - \mathbf{v} \cdot \text{rot } \mathbf{B} \end{aligned} \quad (7)$$

となる。外部磁界が誘導電流による磁界の影響を受けないとき、流体の動きと誘導電流の方間は直角であるので(7)式の第2項は零となり、次式が得られる。

$$\nabla^2 U = \mathbf{B} \cdot \text{rot } \mathbf{v} \quad (8)$$

上式が磁場の強さおよび流体の速度と電位との関係を与える基礎方程式となる。

*基礎方程式を導入するに当り必要とされるベクトル解析や電磁気学の知識については、たとえば藤田広一著“電磁気学ノート”(コロナ社)に簡潔な説明がなされている。

2.2 基礎方程式の解法

v と B が与えられれば、適当な境界条件の元で(8)式を解くことにより、 U 分布が決まる。

Fig. 1(a)の直角座標系で B_i , v_i を各々 i 軸方向の磁束密度及び流速とするとき

$$B \equiv B_x \equiv |B|, \quad B_y \equiv B_z = 0 \quad (9)$$

$$v \equiv v_z \equiv |v|, \quad v_x \equiv v_y = 0 \quad (10)$$

であるので(8)式は

$$\nabla^2 U = B \frac{\partial v}{\partial y} \quad (11)$$

となる。この式を解くための現実的な仮定として、円管内の流速分布が、円管の中心軸に関して対称であるとし、Fig. 1(a)に示した円筒座標を採用すると(11)式の $\nabla^2 U$ は

$$\nabla^2 U = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\partial U}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial \theta^2} \quad (12)$$

となり、 $\partial v / \partial y$ は

$$\frac{\partial v}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial r} \cdot \frac{\partial r}{\partial y} \quad (13)$$

かつ $\partial r / \partial y$ は $x^2 + y^2 = r^2$, $y = r \sin \theta$ より

$$\frac{\partial r}{\partial y} = \sin \theta \quad (14)$$

となるので

$$B \cdot \frac{\partial v}{\partial y} = B \cdot \frac{\partial v}{\partial r} \cdot \sin \theta \quad (15)$$

となる。よって(11)式は

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\partial v}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial \theta^2} = B \cdot \frac{\partial v}{\partial r} \cdot \sin \theta \quad (16)$$

のように表わせる。

出力電圧に及ぼす管壁の効果を考慮すると、管壁中では流速は零であるので(16)式は管壁中の電位 U_w 、流体中の電位 U_f は各々次式を満す。

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\partial U_w}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 U_w}{\partial \theta^2} = 0 \quad (17)$$

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\partial U_f}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 U_f}{\partial \theta^2} = B \cdot \frac{\partial v}{\partial r} \cdot \sin \theta \quad (18)$$

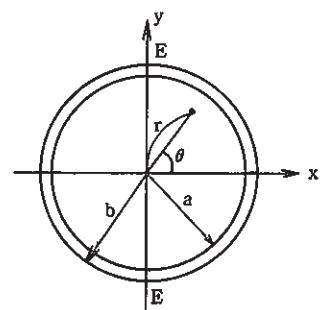


Fig. 2

管壁中の電位 U_w を

$$U_w = \left(C_1 r + \frac{C_2}{r} \right) \cdot \sin \theta \quad C_1, C_2 \text{ は定数} \quad (19)$$

とすると(19)式は、(17)式を満す。

(18)式より U_f は

$$U_f = Z(r) \cdot \sin \theta \quad (20)$$

となることが予想され、(20)式を(18)式に代入すると

$$r^2 Z'' + r Z' - Z = r^2 B v' \quad (21)$$

となり、この式を変形し次式を得る。

$$\frac{\partial}{\partial r} (r^2 Z' - r Z) = r^2 B v' \quad (22)$$

この式を $r = 0$ から $r = a$ まで積分すると

$$\left[r^2 Z'(r) - r Z(r) \right] = B \left[r^2 v(r) \right]_0^a - B \int_0^a 2 r v(r) dr \quad (23)$$

ここで $v(a) = 0$ より右辺第1項は零となり、平均流速を v_m とすると

$$\pi a^2 v_m = \int_0^a 2 \pi r \cdot v(r) \cdot dr \quad (24)$$

であるので(23)式から次式を得る。

$$a^2 Z'(a) - a \cdot Z(a) = -B a^2 v_m \quad (25)$$

一方、(19)、(20)式に対する境界条件

$$U_w \Big|_{r=a} = U_f \Big|_{r=a} = \tau \cdot \sigma \cdot \frac{\partial U_f}{\partial r} \Big|_{r=a} \quad (\text{流体と管壁の電位差の条件}) \quad (26)$$

$$\sigma \cdot \frac{\partial U_f}{\partial r} \Big|_{r=a} = \kappa \cdot \frac{\partial U_w}{\partial r} \Big|_{r=a} \quad (\text{定常電流連続の条件}) \quad (27)$$

$$\frac{\partial U_w}{\partial r} \Big|_{r=b} = 0 \quad (28)$$

但し τ : 管壁と流体の接触抵抗

κ : 管の導電率

より次式が得られる。

$$C_1 a + C_2/a = Z(a) + \sigma \tau Z'(a) \quad (29)$$

$$\pi (C_1 - C_2/a) = \sigma Z'(a) \quad (30)$$

$$C_2 = b^2 C_1 \quad (31)$$

EMFの出力電圧 V_{EE} は、

$$V_{EE} = U_W \left(r = b, \theta = \frac{\pi}{2} \right) - U_W \left(r = b, \theta = -\frac{\pi}{2} \right) = 2 \cdot U_W \left(r = b, \theta = \frac{\pi}{2} \right) \quad (32)$$

で与えられるので、(19), (25), (29), (30), (31)より $Z(a)$, $Z'(a)$, C_1 , C_2 , を消去して U_W を求めよう。

(30)式に(31)を代入すると

$$C_1 = \frac{\sigma}{\kappa} \cdot \frac{1}{a^2 - b^2} \cdot a^2 \cdot Z'(a) \quad (33)$$

上式を(31)式に代入すると

$$C_2 = b^2 C_1 = \frac{\sigma}{\kappa} \cdot \frac{a^2 b^2}{a^2 - b^2} \cdot Z'(a) \quad (34)$$

となり、(32)式より

$$\frac{V_{EE}}{2} = U_W \left(r = b, \theta = \frac{\pi}{2} \right) = 2 \cdot \frac{\sigma}{\kappa} \cdot \frac{b}{a^2 - b^2} \cdot a^2 \cdot Z'(a) \quad (35)$$

(30)式に(33), (34)式を代入して $Z(a)$ を求めると

$$Z(a) = \left[\frac{a^2 + b^2}{a^2 - b^2} \cdot a \cdot \frac{\sigma}{\kappa} - \sigma \tau \right] \cdot Z'(a) \quad (36)$$

となる。(36)式と(25)式から $Z(a)$ を消去し $Z'(a)$ を求めると

$$Z'(a) = \frac{-B v_m}{\left[1 - \frac{a^2 + b^2}{a^2 - b^2} \cdot \frac{\sigma}{\kappa} + \frac{\sigma \tau}{a} \right]} \quad (37)$$

(35)式に(37)式を代入して、 V_{EE} を求めると

$$V_{EE} = \frac{4 a^2 b \cdot B v_m}{(a^2 + b^2) + (\kappa/\sigma) \cdot (b^2 - a^2) (1 + \sigma \tau/a)} \quad (38)$$

が得られる。 $Q = \pi a^2 v_m$ の関係より、 V_{EE} と Q の関係が得られる。

2.3 基礎方程式の解に関する考察

流速分布が円管の中心軸に関して対称であるという仮定の元で得られたEMF出力電圧 V_{EE} は平均流速 v_m に比例することが(38)式によりわかる。 V_{EE} の絶対値はともかくとして、 V_{EE} が v_m に比例するということは、EMFを用いた流量計測の可能性を保証する重要な性質である。定常流において、流速分布が円筒の中心軸に関して対称的であるとするのが、十分現実的な仮定であることは繰り返すまでもないであろう。

次に(38)式において管壁が絶縁体($\kappa = 0$)すなわち $a = b$ のときの出力電圧 V'_{EE} は

$$V'_{EE} = 2aBv_m \quad (39)$$

となり、円管の直径 $2a$ に等しい電線が磁界 B 中を速度 v_m で運動するときに誘起する起電力に等しくなる。すなわち、流速分布が円管内で一様であるとするとき、誘導うず電流の効果を考えることなく、電極EE間を結ぶ直線上に誘起した起電力の単純和に偶然にも一致することは興味深い。ここで修正係数 K_1 を

$$K_1 = \frac{2ab}{(a^2 + b^2) + (\tau/\sigma)(1 + \sigma\tau/a)(b^2 - a^2)} \leq 1 \quad (40)$$

のように定義すると(38), (39)式より次式が得られる。

$$V_{EE} = K_1 \cdot 2aBv_m \quad (41)$$

κ , σ , τ を一定とすると円管の厚さが薄い程 K_1 は大きい。また a , b が一定のときは、 κ が小さい程、 τ の小さい程 K_1 は大きい。

2.4 基礎方程式の解の修正

基礎方程式を解く過程で $\partial U / \partial z = 0$ とした。しかしながら実際の EMFにおいては、Z 軸方向の磁場の広がりは有限であるので、磁場端部の短絡効果を考慮しなければならない。

今、軸方向の磁場の拡がりが Fig. 3 に示すようであるとすると、磁界が零となつたところでは、誘起電力が零となるので、図に示すような短絡電流が流れることになる。これは、EMF出力電圧を減少させる効果をもつ。端部短絡効果による出力電圧の減少を補正する修正係数を K_2 (≤ 1) としよう。このとき、 V_{EE} は改めて次のように表わされる。

$$V_{EE} = K_1 \cdot K_2 \cdot 2a B v_m \quad (42)$$

K_2 の値を大きくするためには、Z 軸方向の磁場の拡がりを大きくすればよい。(40)式中の τ の不確実性のために K_1 を正確に計算することは困難であるし、 K_2 も精度のよい計算を行うことは容易でないので、実流較正により EMF 出力電圧と平均流速すなわち流量との関係を求めるのが一般的である。

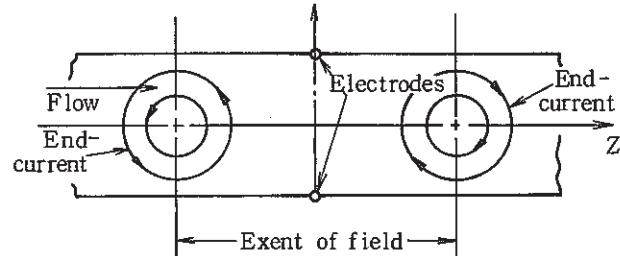


Fig. 3

2.5 流速が一般的な分布をもつ場合

前節までの議論では、円管を流れる流体の流速分布は軸対称であることを仮定していることは繰り返し述べてきた。それでは、流速分布が軸対称でない一般的の形をもつ場合はどうであろうか。今、円管壁が絶縁体であるとすると問題は境界条件

$$v(a) = 0 \quad (43)$$

$$\left. \frac{\partial U}{\partial r} \right|_{r=a} = 0 \quad (44)$$

のもとで(11)式を解くことである。文献(1)により、この解は円管の断面の各点における出力電圧への寄与を表わす重み関数 W と、対応する各点における速度 v との積の全断面にわたる積分として求められることが示される。すなわち

$$V_{EE} = \frac{2B}{\pi a} \cdot \iint_S v(x, y) \cdot W(x, y) dx dy \quad (45)$$

但し、Sは円管の全断面にわたる積分であることを示す。

もし、磁束密度Bが配管断面の点(x, y)に依存する分布B(x, y)をもつときは

$$V_{EE} = \frac{2}{\pi a} \iint_S B(x, y) \cdot v(x, y) \cdot W(x, y) dx dy \quad (46)$$

となる。ここで、W(x, y)は

$$W(x, y) = \frac{a^4 + a^2(x^2 - y^2)}{a^4 + 2a^2(x^2 - y^2) + (x^2 + y^2)^2} \leq \frac{1}{2} \quad (47)$$

であり、この関数のグラフを

Fig. 4に示す。Fig. 4から明らかなように、電極付近で流れのゆらぎ等に起因する逆方向の流れが存在したとすれば、W(x, y)が大きいため、EMF出力電圧の落ち込みや、最悪の場合には負の出力電圧となることも考えられる。しかしながらこれはきわめて悲観的な見方であり、もし円管が導電性であれば電極付近の流れが出力に及ぼす効果は減少するし、管の曲り等の流れの乱れを発生する点から十分に長い距離があれば通常流速分布は十分に軸対称であると考えられる。

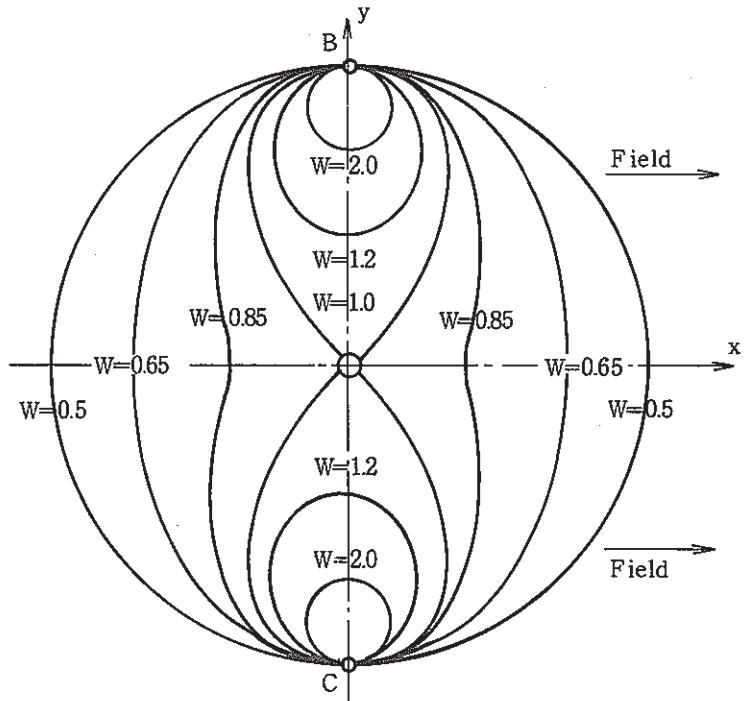


Fig. 4

2.6 主冷却系電磁流量計の数値計算例

「常陽」の1次、2次主冷却系の電磁流量計を例にとり、出力電圧を求めてみる。前述したように端部短絡効果による係数 K_2 を正確に求めることは容易でないので、ここは K_2 を1として(41)式により V_{EE} を算出する。

最初に1次主冷却系電磁流量計の出力電圧を求めてみよう。この電磁流量計においては

$$a = 15.275 \text{ [cm]}$$

$$b = 15.925 \text{ [cm]}$$

$$B = 6.21 \text{ [Gauss]} = 6.21 \times 10^{-4} \text{ [Vs/m}^2\text{]}$$

$$U_w = 5.305 \text{ [m/s]} \quad \text{at } 1400 \text{ [m}^3/\text{h}]$$

であるので $2abv_m$ は次のようになる。

$$2abv_m = 0.3055 \text{ [m]} \times 5.305 \text{ [m/s]} \times 6.21 \times 10^{-4} \text{ [Vs/m}^2\text{]} = 10.06 \times 10^{-3} \text{ [V]}$$

(41)式の K_1 を求めるためには温度依存性をもつパラメータ σ , κ , τ を知る必要がある。文献(2)によると σ は

$$\begin{aligned} 1/\sigma &= 6.144 + 3.504 \times 10^{-2}t + 5.695 \times 10^{-6}t^2 \\ &\quad + 1.667 \times 10^{-8}t^3 \quad [\mu\Omega\text{-cm}] \quad (47) \end{aligned}$$

但し、 $130 \text{ [}^\circ\text{C}] \leq t \leq 1090 \text{ [}^\circ\text{C}]$ に対して精度は $\pm 0.08 \text{ [\mu\Omega\text{-cm}]}$

同様に、 τ は管内壁のぬれ具合によりその値が異なるが、ステンレス管に対して管壁が完全にぬれている場合には $130 \text{ [}^\circ\text{C}] \leq t \leq 460 \text{ [}^\circ\text{C}]$ の範囲で約 $0.24 \text{ [\mu\Omega\text{-cm}]}$ である。一方 κ の値はInconel社の規格によるとTable 1の如くである。今1次主冷却系電磁流量計の付近のナトリウム温度は通常運転時 $370 \text{ [}^\circ\text{C}]$ である。この条件で $1/\sigma$, τ , $1/\kappa$ を求める

$$1/\sigma = 20.80 \text{ [\mu\Omega\text{-cm}]},$$

$$\tau = 0.24 \text{ [\mu\Omega\text{-cm}]},$$

$$1/\kappa = 98.5 \text{ [\mu\Omega\text{-cm}]}$$

であり、(40)式より K_1 は

$$K_1 = 0.9904 \quad \text{at } 370 \text{ [}^\circ\text{C}]$$

となる。よって V_{EE} は

Table 1 SUS 304 の電気抵抗率

温 度	抵 抗 率 [$\mu\Omega\text{-cm}$]
68°F (20°C)	72
200°F (93°C)	78
400°F (204°C)	86
600°F (316°C)	95
800°F (427°C)	102

$$V_{EE} = K_1 \cdot 2 a B v_m = 9.97 \times 10^{-3} [V]$$

となり、これは1次主冷却系電磁流計の設計値 $10\text{mV}/1400\text{m}^3/\text{hr}$ と当然のことながら一致している。

次に2次主冷却系電磁流量計について考えよう。この電磁流量計の円管の寸法、材質は1次主冷却系と同一であり、

$$B = 32.87 [\text{Gauss}] = 32.87 \left[\frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \right]$$

$$v_m = 6.063 [\text{m/s}] \text{ at } 1600 \text{ m}^3/\text{hr}$$

であるので

$$2 a B v_m = 6.088 \times 10^{-3} [V]$$

となる。2次主冷却系電磁流量計を流れるナトリウムの温度は通常状態で $50\text{MW時 } 355^\circ\text{C}$ $100\text{MW時 } 340^\circ\text{C}$ であり、これらに対応する K_1 の値はそれぞれ 0.9906 , 0.9908 である。対応する出力電圧はそれぞれ

$$V_{EE} = 6.031 [V] \quad \text{at } 355^\circ\text{C} (50\text{MW時})$$

$$V_{EE} = 6.032 [V] \quad \text{at } 340^\circ\text{C} (100\text{MW時})$$

である。2次主冷却系電磁流量計の実流較正值は $6.00\text{mV}/1600\text{m}^3/\text{hr}$ である。

出力電圧の温度依存性の実測値は、3.2節に示す較正曲線より明らかなように、上の計算結果と異なる。すなわち、上の計算によると温度の低い方が出力電圧が高いという結果が得られるが、実測値は温度の高い方の出力電圧が高くなっている。しかもこの傾向は流量にも依存し、流量の大きい方で著しい。この原因については未だはつきりしたことはわかっていないが、上の計算では配管と流体の接触抵抗は静止した状態の値を $130^\circ\text{C} \sim 460^\circ\text{C}$ の間で一定としている。しかしながら、実際には流动状態の接触抵抗は静止状態のそれと異なることが考えられ、これが理論値と実測値のくい違いの一因とも考えられる。詳細検討は今後の課題である。

3. データ

3.1 使用電磁流量計一覧

表 3.1 に「常陽」で使用されている電磁流量計の一覧表を示す。

3.2 較正データ

表 3.2-1～表 3.2-12 に 1 次、2 次主冷却系電磁流量計の較正表および図 3.2-1～図 3.2-12 に 1 次冷却系および 2 次冷却系電磁流量計較正曲線を示す。これらの較正データはメーカー工場試験成績書による。

3.3 磁束密度分布

図 3.3-1～図 3.3-7 に電磁流量計の磁束密度分布を示す。この分布曲線はメーカー工場試験成績書による。

3.4 データシート

表 3.4-1～表 3.4-13 に設計仕様、工場試験、現地据付試験および総合機能試験時に得られたデータを示す。このデータシートは、工場試験成績表、現地据付試験成績書からの抜粋および総合機能試験その他による。

3.5 試験方法

- (1) 1 次、2 次主冷却系電磁流量計の較正方法
- (2) 1 次補助系、オーバフロー系電磁流量計の較正方法
- (3) 2 次補助系、2 次純化系電磁流量計の較正方法
- (4) 現地据付後の磁束密度測定方法

使用電磁流量計一覧

表 3.1 使用電磁流量計一覧

Tag. No	メータ力 製作工場	型式	測定範囲	出力電圧	使用温度(計算値)		内直径	外直徑	較正場所	据付時期	Na充填時期
					50 MW	100MW					
FE 31.1 - 3 A	日立製作所 日立工場	他励止型 コイル式	0 ~ 1400m ³ /h	908mv — 1400m ³ /h	370 °C	370 °C	30.55m	31.85m	大洗工学センター Na機器構造試験室	48.11	51.2
FE 31.1 - 3 B	"	"	"	"	370 °C	370 °C	"	"	"	"	"
FE 32.1 - 1	"	永久磁石式	-30 ~ +80m ³ /h	46.9mv — 80m ³ /h	424 °C	430 °C	7.62	8.42	日立製作所 日立研究所	49.1	"
FE 33 - 1	"	"	0 ~ 15m ³ /h	5.3mv — 15m ³ /h	380 °C	435 °C	5.08	5.78	"	48.11	"
FE 31.1 - 5 A	"	"	0 ~ 250ℓ/m	1.9mv — 250ℓ/m	370 °C	370 °C	2.72	3.30	(メーク自主検査)	"	"
FE 31.1 - 5 B	"	"	"	"	370 °C	370 °C	"	"	(")	"	"
FE 34.1 - 1	"	"	0 ~ 15m ³ /h	52mv — 15m ³ /h	427 °C	491 °C	5.08	5.78	(")	49.3	50.7
FE 34.1 - 2	"	"	0 ~ 60ℓ/m 0 ~ 10ℓ/m	1.0mv — 60ℓ/m					(")	"	"
FE 31.2 - 1 A	島津製作所	他励止型 コイル式	0 ~ 1600m ³ /h	6mv — 1600m ³ /h	355 °C	340 °C	30.55	31.85	大洗工学センター Na機器構造試験室	48.9	50.12
FE 31.2 - 1 B	"	"	"	"	355 °C	340 °C	"	"	"	"	"
FE 32.2 - 1	三菱原子力 大宮工場	永久磁石式	0 ~ 80m ³ /h	1.4mv — 80m ³ /h	398 °C	398 °C	7.81	8.91	三菱原子力工業 大宮研究所	48.11	"
FE 34.2 - 1-(1)	"	"	0 ~ 10m ³ /h	1.858mv — 10m ³ /h	335 °C	328 °C	2.72	3.40	"	"	50.7
FE 34.2 - 1-(2)	"	"	0 ~ 3m ³ /h	946mv — 5m ³ /h	303 °C	296 °C	"	"	"	48.12	50.12

較正データ

表 3.2-1 1次冷却系電磁流量計(FE 31.1-3A)較正表(200°C)

調節弁開度	ナトリウム温度(°C)	励磁電流(mV)	励磁電流(A)	時間(sec)	積算出力(mV·sec)	平均信号出力(mV)	平均流量(m³/h)
2	195	34.0	22.67	207.67	91.9341	0.443	69.9
2	192	34.0	22.67	196.87	92.5599	0.470	73.7
2	192	34.0	22.67	200.42	92.4729	0.461	72.4
3½	193	34.0	22.67	25.22	95.6984	3.795	575.5
3½	193	34.0	22.67	24.67	95.4898	3.871	588.4
3½	195	34.0	22.67	24.24	95.5647	3.942	598.8
4	195	34.0	22.67	18.58	94.4690	5.084	781.1
4	195	34.0	22.67	18.44	94.6692	5.134	787.2
4	197	34.0	22.67	18.65	94.7864	5.082	778.3
4	198	34.0	22.67	18.78	94.7745	5.047	772.9
5	200	34.0	22.67	13.12	92.2208	7.029	1106.4
5	198	34.0	22.67	13.06	92.1004	7.052	1111.4
5	198	34.0	22.67	12.83	91.9804	7.169	1131.3
5	200	34.0	22.67	12.71	91.9597	7.235	1142.0
8	200	34.0	22.67	10.22	89.2781	8.736	1420.3
8	200	34.0	22.67	10.18	89.2982	8.772	1425.8
8	200	34.0	22.67	10.18	89.2864	8.771	1425.8
8	200	34.0	22.67	10.18	89.3440	8.776	1425.8
2½	202	34.0	22.67	71.03	96.1089	1.353	204.3
3	202	34.0	22.67	38.41	96.5772	2.514	377.9
3	202	34.0	22.67	37.50	96.6062	2.576	387.1
2	202	34.0	22.67	180.01	93.4963	0.519	80.6
2¾	202	34.0	22.67	31.63	95.6961	3.025	458.9
2¾	203	34.0	22.67	50.62	96.3843	1.904	286.7
2¼	205	34.0	22.67	101.65	95.3546	0.938	142.8

注 1. 記録は測定順に書いてある。以下同じ。

2. 励磁電流(mV)は、励磁電源取付シャント出力を±0.2 級の直流電圧計で測定した値で、シャントは40A/60mVである。励磁電流(A)はシャントに直列に接続した電流計の指示値である。以下も同じ。

表 3.2-2 1 次主冷却電磁流量計 (F E 3 1.1 - 3 A) 較正表 (300 °C)

調節弁開度	ナトリウム温度 (°C)	励磁電流 (mV)	励磁電流 (A)	時 間 (sec)	積 算 出 力 (mV.sec)	平均信号出力 (mV)	平均 流量 (m³/h)
2 $\frac{1}{4}$	305	34.0	22.68	98.95	95.2371	0.962	147.4
3	305	34.0	22.68	39.48	96.1377	2.435	369.4
4	307	34.0	22.68	17.29	95.4633	5.521	843.5
8	303	34.0	22.68	9.31	91.7144	9.851	1566.4
6	302	34.0	22.68	10.31	92.6638	8.988	1414.5
6	302	34.0	22.68	10.24	92.5054	9.034	1424.2
6	302	34.0	22.68	10.16	92.3184	9.086	1435.4
6	295	34.0	22.68	10.21	92.4816	9.058	1428.4
5	300	34.0	22.68	11.73	93.6898	7.987	1243.3
4	300	34.0	22.68	17.53	95.5623	5.451	831.9
3	300	34.0	22.68	38.40	96.1682	2.504	379.8
2 $\frac{1}{4}$	302	34.0	22.68	90.17	95.1491	1.055	161.7
2 $\frac{1}{4}$	303	34.0	22.68	90.84	95.1008	1.047	160.5
3	303	34.0	22.68	38.22	95.8815	2.509	381.6
4	305	34.0	22.68	17.37	95.2928	5.486	839.6
5	305	34.0	22.68	12.01	93.8733	7.816	1214.3
4 $\frac{3}{4}$	305	34.0	22.68	13.00	94.3980	7.261	1121.8
4 $\frac{3}{8}$	307	34.0	22.68	14.18	94.7514	6.682	1028.5
3 $\frac{3}{4}$	307	34.0	22.68	19.93	95.5350	4.794	731.7
3 $\frac{1}{4}$	308	34.0	22.68	26.62	96.3309	3.619	547.8
2 $\frac{5}{8}$	308	34.0	22.68	56.76	95.5315	1.683	256.9
2	308	34.0	22.68	199.15	91.3673	0.459	73.2

表 3.2-3 1次主冷却系電磁流量計(FE31.1-3A)較正表(370℃)

調節弁開度	ナトリウム温度 (℃)	励磁電流 (mV)	励磁電流 (A)	時 間 (sec)	積 算 出 力 (mV.sec)	平均信号出力 (mV)	平均 流量 (m³/h)
3	367	34.0	22.67	35.39	95.1762	2.689	413.5
4	367	34.0	22.67	15.71	95.3841	6.072	931.5
5	367	34.0	22.67	11.34	94.4795	8.332	1290.5
6	367	34.0	22.67	10.10	93.7965	9.287	1448.9
6	367	34.0	22.67	10.07	93.7726	9.312	1453.2
6	367	34.0	22.67	9.99	93.5198	9.361	1464.9
5	367	34.0	22.67	11.34	94.6344	8.345	1290.5
4	367	34.0	22.67	15.94	95.7310	6.006	918.1
3	367	34.0	22.67	33.18	95.2663	2.871	441.1
2 1/4	367	34.0	22.67	71.24	94.0801	1.321	205.4
2 1/4	367	34.0	22.67	71.73	94.2381	1.314	204.0
2	376	34.0	22.67	186.98	88.4377	0.473	78.3
2 1/2	374	34.0	22.67	71.60	94.0826	1.314	204.4
3 1/4	374	34.0	22.67	27.99	96.2799	3.440	522.8
3 1/2	373	34.0	22.67	22.88	96.4975	4.218	639.6
3 3/4	373	34.0	22.67	19.42	96.2821	4.958	753.6
4 1/4	373	34.0	22.67	15.33	95.9589	6.260	954.6
4 3/4	373	34.0	22.67	13.23	95.8259	7.243	1106.1
2 3/4	373	34.0	22.67	54.32	96.0393	1.768	269.4
全 開	367	34.0	22.67	8.49	92.3827	10.88	1723.7

表 3.2-4 1次主冷却系電磁流量計 (FE 3.1.1 - 3B) 較正表 (200°C)

調節弁開度	ナトリウム温度 (°C)	励磁電流 (A)	時間 (sec)	積算出力 (mV・sec)	平均信号出力 (mV)	平均流量 (m³/hr)	誤差率 (%)
2 $\frac{1}{4}$	197	34.0	22.68	95.76	93.4685	0.976	151.6
2 $\frac{1}{4}$	203	34.0	22.67	94.95	93.5223	0.985	152.9
2 $\frac{1}{4}$	207	34.0	22.67	92.70	93.5083	1.009	156.6
3	203	34.0	22.67	38.10	95.8201	2.515	381.0
3	203	34.0	22.67	37.87	95.9025	2.532	383.3
3	203	34.0	22.67	38.11	96.0216	2.520	380.9
4	203	34.0	22.67	18.83	94.6298	5.025	770.9
4	203	34.0	22.67	18.88	94.4905	5.005	768.8
4	202	34.0	22.67	18.72	94.6403	5.056	775.4
5	202	34.0	22.67	13.11	92.4350	7.051	1107.2
5	203	34.0	22.67	12.99	92.1170	7.091	1117.4
5	202	34.0	22.67	12.88	92.2679	7.164	1126.9
8	202	34.0	22.67	10.14	89.4213	8.819	1431.5
8	202	34.0	22.67	10.13	89.5263	8.838	1432.9
8	202	34.0	22.67	10.15	89.5886	8.826	1430.1
全開	202	34.0	22.67	9.50	88.392	9.304	1527.9
6 $\frac{1}{2}$	202	34.0	22.67	10.71	90.1345	8.416	1355.3
6	202	34.0	22.67	11.23	90.86	8.091	1292.5
4 $\frac{1}{4}$	202	34.0	22.67	14.98	93.4466	6.238	969.0
3 $\frac{1}{4}$	200	34.0	22.67	25.65	95.9590	3.741	565.9
2 $\frac{5}{8}$	200	34.0	22.67	89.69	95.0766	1.060	161.8
2 $\frac{1}{2}$	200	34.0	22.67	64.62	95.7011	1.481	224.6
2	200	34.0	22.67	183.91	91.9820	0.500	78.9
2 $\frac{3}{4}$	200	34.0	22.67	51.18	96.3004	1.882	283.6
2	200	34.0	22.67	183.43	91.999	0.502	79.1
2 $\frac{1}{8}$	200	34.0	22.67	134.61	93.4386	0.694	107.8

表 3.2-5 1 次主冷却系電磁流量計(F E 3 1.1 - 3 B)較正表(3 0 0 °C)

調節弁開度	ナトリウム温度 (°C)	励磁電流 (mV)	励磁電流 (A)	時 間 (sec)	積 算 出 力 (mV · sec)	平均信号出力 (mV)	平均 流 量 (m³/h)
2 $\frac{1}{4}$	297	34.0	22.68	102.39	92.7835	0.906	142.4
3	297	34.0	22.68	38.07	95.8855	2.519	383.1
4	297	34.0	22.68	17.31	95.6233	5.524	842.5
5	298	34.0	22.68	12.25	94.1668	7.687	1190.5
8	298	34.0	22.68	9.44	92.0238	9.748	1544.9
7	299	34.0	22.68	9.66	92.3603	9.561	1509.7
6	299	34.0	22.68	10.43	92.9276	8.910	1398.2
6	300	34.0	22.68	10.28	92.7460	9.022	1418.6
6	300	34.0	22.68	10.26	92.8491	9.050	1421.4
6	302	34.0	22.67	10.37	92.9223	8.961	1406.3
5	303	34.0	22.68	12.08	94.0743	7.787	1207.3
4	303	34.0	22.68	17.27	95.5892	5.535	844.4
3	303	34.0	22.68	38.61	95.7061	2.479	377.7
2 $\frac{1}{4}$	305	34.0	22.68	119.66	92.8017	0.776	121.9
2 $\frac{1}{4}$	303	34.0	22.68	97.72	94.1845	0.964	149.2
2 $\frac{1}{2}$	303	34.0	22.68	75.86	94.8441	1.250	192.2
3 $\frac{2}{5}$	303	34.0	22.68	25.39	96.0189	3.782	574.4
4 $\frac{1}{2}$	305	34.0	22.67	14.16	95.0698	6.714	1030.0
4 $\frac{3}{4}$	305	34.0	22.67	13.06	94.7303	7.253	1116.7
4 $\frac{1}{4}$	305	34.0	22.68	15.26	95.2565	6.242	955.7
3 $\frac{3}{4}$	305	34.0	22.68	20.03	95.8352	4.785	728.1
3 $\frac{1}{5}$	305	34.0	22.68	30.39	95.9395	3.157	479.9
2 $\frac{3}{4}$	305	34.0	22.68	50.86	95.6817	1.881	286.7
5 $\frac{1}{2}$	307	34.0	22.68	11.13	93.6268	8.412	1310.3
3 $\frac{3}{5}$	307	34.0	22.68	21.78	96.0283	4.409	669.6

表 3.2 - 6 1次主冷却系電磁流量計(FE 3.1.1 - 3B)較正表(370 ℃)

調節弁開度	ナトリウム温度 (℃)	励磁電流 (mV)	励磁電流 (A)	時 間 (sec)	積算出力 (mV · sec)	平均信号出力 (mV)	平均流量 (m³/h)
2 $\frac{1}{4}$	365	34.0	22.68	114.54	93.4084	0.816	127.8
3	363	34.0	22.68	36.64	95.9165	2.618	399.4
4	363	34.0	22.68	16.88	95.8847	5.680	866.9
5	362	34.0	22.68	11.71	94.6887	8.086	1249.7
6	362	34.0	22.68	10.07	93.6577	9.301	1453.2
6	360	34.0	22.68	10.02	93.5026	9.332	1460.5
6	360	34.0	22.68	9.95	93.6277	9.410	1470.8
5	362	34.0	22.68	11.82	94.5479	7.999	1238.1
4	363	34.0	22.68	17.21	96.0407	5.581	850.3
3	363	34.0	22.68	34.96	96.4185	2.758	418.6
2 $\frac{1}{4}$	363	34.0	22.68	104.93	94.7708	0.903	139.5
2 $\frac{1}{2}$	364	34.0	22.68	69.38	95.6772	1.379	210.9
3 $\frac{1}{4}$	365	34.0	22.68	29.95	96.4814	3.221	488.6
3 $\frac{3}{4}$	365	34.0	22.68	19.81	96.2094	4.857	738.7
4 $\frac{1}{4}$	365	34.0	22.68	14.89	95.6926	6.427	982.8
4 $\frac{3}{4}$	365	34.0	22.68	12.48	95.0672	7.618	1172.6
5 $\frac{1}{2}$	365	34.0	22.68	10.43	93.8941	9.002	1403.1
4 $\frac{1}{2}$	365	34.0	22.68	13.19	95.3371	7.228	1109.5
3 $\frac{1}{2}$	370	34.0	22.68	23.06	96.6806	4.193	634.6
2 $\frac{3}{4}$	366	34.0	22.68	48.18	96.3967	2.001	303.7
6	366	34.0	22.68	9.86	93.6879	9.502	1484.2
全 開	367	34.0	22.68	8.45	92.4690	10.943	1731.7
一※	367	34.0	22.68	57.37	96.7309	1.686	255.1

※ V5122全開, V5361全閉

表 3.2-7 2次主冷却系電磁流量計(FE 31.2-1A)較正表(200℃)

調節弁開度	ナトリウム温度 (°C)	励磁電流 (A)	時 間 (sec)	積算出力 (mV・sec)	平均信号出力 (mV)	平均 流量 (m³/hr)	誤 差 率 (%)
3	207	6.6.5	39.13	56.9556	1.4555	371.07	1.07
3	208	6.6.5	36.76	56.7350	1.5421	394.692	1.03
3 $\frac{3}{4}$	208	6.6.5	21.03	55.8926	2.6598	690.474	1.14
3 $\frac{3}{4}$	208	6.6.5	20.94	55.8237	2.6659	693.444	1.09
4 $\frac{1}{4}$	208	6.6.5	15.38	55.0516	3.5794	944.124	0.65
4 $\frac{1}{4}$	208	6.6.5	15.23	55.0277	3.6131	953.424	0.63
5	208	6.6.5	12.97	54.6093	4.2104	1119.558	0.20
5	207	6.6.5	12.67	54.1965	4.2775	1146.012	-0.33
6 $\frac{1}{4}$	207	6.6.5	11.12	53.9410	4.8508	1305.756	-0.76
6 $\frac{1}{4}$	207	6.6.5	10.48	53.3521	5.0908	1385.496	-1.75
2	205	6.6.5	191.30	61.9003	0.3236	75.894	0.65
3 $\frac{3}{8}$	205	6.6.5	29.20	56.3879	1.9311	497.214	1.11
4	204	6.6.5	19.29	55.7728	2.8913	752.616	1.15
4 $\frac{1}{2}$	204	6.6.5	15.14	54.9745	3.6311	958.914	0.59
5 $\frac{1}{2}$	201	6.6.5	11.66	53.8186	4.6157	1244.928	-0.89
7	200	6.6.5	10.16	53.0926	5.2256	1428.66	-2.2
全 開	200	6.6.5	9.04	52.1358	5.7672	1605.66	-4.23

注 記録は測定順に書いてある。

表 3.2-8 2次主冷却系電磁流量計(FE312-1A)較正表(270°C)

調節弁開度	ナトリウム温度 (°C)	励磁電流 (A)	時間 (sec)	積算出力 (mV.sec)	平均信号出力 (mV)	平均流量 (m³/hr)	誤差率 (%)
2	285	66.5	195.46	60.4043	0.3090	74.556	0.49
3	284	66.5	39.70	56.3671	1.4198	367.068	0.72
3	283	66.5	34.57	56.1899	1.6254	421.518	0.74
3 $\frac{3}{8}$	283	66.5	26.40	55.8058	2.1138	551.97	0.73
3 $\frac{3}{4}$	283	66.5	19.76	55.4649	2.8069	737.448	0.69
3 $\frac{3}{4}$	282	66.5	19.62	55.5775	2.8327	742.674	0.79
4	281	66.5	18.26	55.4416	3.0362	797.952	0.73
4 $\frac{1}{4}$	281	66.5	16.22	55.1265	3.3987	898.308	0.50
4 $\frac{1}{4}$	280	66.5	15.34	55.0108	3.5861	949.800	0.41
4 $\frac{1}{2}$	279	66.5	14.59	54.8769	3.7613	998.574	0.28
5	279	66.5	12.42	54.4987	4.3880	1173.048	-0.18
5	278	66.5	12.09	54.4956	4.5075	1205.01	-0.19
5 $\frac{1}{2}$	277	66.5	11.32	54.1926	4.7873	1286.916	-0.56
6 $\frac{1}{4}$	277	66.5	10.23	53.7390	5.2531	1424.034	-1.45
6 $\frac{1}{4}$	276	66.5	10.19	53.7043	5.2703	1429.554	-1.51
7	275	66.5	9.80	53.6669	5.4762	1486.38	-1.63
全開	275	66.5	8.72	53.0115	6.0793	1670.508	-3.08

注 記録は測定順に書いてある。

表 3.2-9 2 次主冷却系電磁流量計(F E 3 1.2 - 1 A) 較正表(340 °C)

調節弁開度	ナトリウム温度 (°C)	励磁電流 (A)	時 間 (sec)	積算出力 (mV·sec)	平均信号出力 (mV)	平均流量 (m³/hr)	誤 差 率 (%)
2	330	66.5	218.05	61.8478	0.2836	669.84	0.54
3	343	66.5	37.73	56.4814	1.4970	387.348	0.74
3	343	66.5	44.13	56.7005	1.2849	331.17	0.72
3 $\frac{3}{8}$	343	66.5	29.53	56.1704	1.9021	494.904	0.77
3 $\frac{3}{4}$	342	66.5	19.01	55.7135	2.9307	768.744	0.80
3 $\frac{3}{4}$	342	66.5	20.80	55.8069	2.6830	702.588	0.81
4	342	66.5	18.64	55.6972	2.9880	784.002	0.80
4 $\frac{1}{4}$	342	66.5	15.46	55.4800	3.5886	945.264	0.73
4 $\frac{1}{4}$	342	66.5	16.29	55.4842	3.4060	897.102	0.70
4 $\frac{1}{2}$	341	66.5	14.56	55.2622	3.8112	1007.802	0.53
5	337	66.5	12.70	55.0379	4.3337	1150.41	0.33
5	340	66.5	12.13	54.9612	4.5310	1207.62	0.47
5 $\frac{1}{2}$	343	66.5	11.15	54.6471	4.9011	1310.724	-0.24
6 $\frac{1}{4}$	343	66.5	10.53	54.5471	5.1802	1387.896	-0.41
6 $\frac{1}{4}$	346	66.5	10.06	54.3809	5.4057	1452.954	-0.72
7	346	66.5	9.59	54.2725	5.6593	1524.162	-0.93
全 開	348	66.5	8.61	53.9324	6.2639	1697.814	-1.71

注 記録は測定順に書いてある。

表 3.2-10 2次主冷却系電磁流量計(FE312-1B)較正表(200°C)

調節弁開度	ナトリウム温度 (°C)	励磁電流 (A)	時 間 (sec)	積算出力 (mV・sec)	平均信号出力 (mV)	平均流量 (m³/hr)	誤 差 率 (%)
3	206	66.0	43.35	57.2298	1.3202	334.932	1.07
3	205	66.0	38.03	57.0442	1.4999	381.768	1.14
3 $\frac{3}{4}$	204	66.0	20.33	55.7249	2.7410	714.114	1.05
3 $\frac{3}{4}$	204	66.0	20.22	55.7576	2.7575	717.996	1.08
4 $\frac{1}{4}$	203	66.0	15.72	54.9584	3.4960	923.484	0.55
4 $\frac{1}{4}$	203	66.0	15.59	54.8603	3.5189	931.186	0.45
5	203	66.0	12.96	54.1803	4.1806	1120.158	-0.33
5	203	66.0	12.85	54.2840	4.2244	1129.74	-0.21
6 $\frac{1}{4}$	202	66.0	10.53	53.1874	5.0510	1378.59	-1.98
6 $\frac{1}{4}$	202	66.0	10.64	53.1899	4.9990	1364.34	-1.95
2	202	66.0	180.57	62.8673	0.3481	80.394	0.78
3 $\frac{3}{8}$	201	66.0	26.75	56.1873	2.1004	542.652	1.09
4	201	66.0	20.37	55.6134	2.7301	712.608	0.96
4 $\frac{1}{2}$	200	66.0	15.03	54.7526	3.6429	965.748	0.35
5 $\frac{1}{2}$	200	66.0	11.55	53.7255	4.6516	1256.724	-1.02
7	201	66.0	10.25	52.8975	5.1607	1416.18	-2.50
全 開	202	66.0	9.27	52.2473	5.6362	1565.97	-3.94

記 記録は測定順に書いてある。

表 3.2 - 11 2次主冷却系電磁流量計(FE 3.1.2 - 1B)較正表(270°C)

調節弁開度	ナトリウム温度 (°C)	励磁電流 (A)	時間 (sec)	積算出力 (mV・sec)	平均信号出力 (mV)	平均流量 (m³/hr)	誤差率 (%)
2	271	66.0	175.85	70.6273	0.4016	82.818	1.52
3	272	66.0	41.23	59.0148	1.4314	353.25	1.79
3 3/8	272	66.0	24.36	57.1912	2.3478	597.882	1.76
3 3/4	272	66.0	19.22	56.6592	2.9479	757.776	1.77
4	272	66.0	18.77	56.5253	3.0115	775.944	1.69
4 1/4	272	66.0	16.82	56.2733	3.3456	865.902	1.64
4 1/2	271	66.0	14.36	55.7229	3.8804	1014.192	1.29
5	271	66.0	12.40	55.1030	4.4438	1174.494	0.66
5 1/2	271	66.0	11.39	54.6920	4.8018	1278.642	0.11
6 1/4	271	66.0	10.24	54.3465	5.3073	1422.24	-0.44
7	271	66.0	9.75	54.0031	5.5388	1493.718	-1.04
全開	272	66.0	8.72	53.3187	6.1145	1670.232	-2.48

注 記録は測定順に書いてある。

表 3.2 - 12 2次主冷却系電磁流量計 (F E 3 1.2 - 1 B) 較正表 (340°C)

調節弁開度	ナトリウム温度 (°C)	励磁電流 (A)	時間 (sec)	積算出力 (mV·sec)	平均信号出力 (mV)	平均流量 (m³/hr)	誤差率 (%)
全開	347	66.0	8.61	54.6593	6.3483	1697.73	-0.30
7	348	66.0	9.72	55.3349	5.6929	1503.924	0.89
6 $\frac{1}{4}$	348	66.0	10.10	55.4806	5.4931	1447.344	1.09
5 $\frac{1}{2}$	347	66.0	11.23	55.9507	4.9823	1301.64	1.68
5	347	66.0	12.62	56.3876	4.4681	1158.276	2.08
4 $\frac{1}{2}$	345	66.0	15.18	56.9984	3.7548	962.844	2.40
4 $\frac{1}{4}$	342	66.0	17.27	57.3749	3.3223	846.198	2.48
4	340	66.0	17.26	57.2767	3.3185	846.606	2.39
3 $\frac{3}{4}$	340	66.0	22.20	58.1533	2.6195	658.218	2.52
3 $\frac{3}{8}$	339	66.0	26.64	58.6914	2.2031	548.484	2.44
3	338	66.0	41.87	60.7394	1.4507	348.96	2.37
2	338	66.0	218.28	82.8602	0.3796	66.936	2.14
3	338	66.0	45.26	56.8770	1.2567	322.824	0.77
3 $\frac{3}{4}$	338	66.0	22.18	56.0331	2.5263	658.746	0.93
4 $\frac{1}{4}$	337	66.0	17.27	55.8436	3.2336	845.988	1.02
5	337	66.0	12.49	55.3311	4.4300	1169.754	0.72
6 $\frac{1}{4}$	337	66.0	10.88	55.1437	5.0684	1342.854	0.54
全開	336	66.0	9.26	54.6384	5.9005	1577.7	-0.27

注 記録は測定順に書いてある。

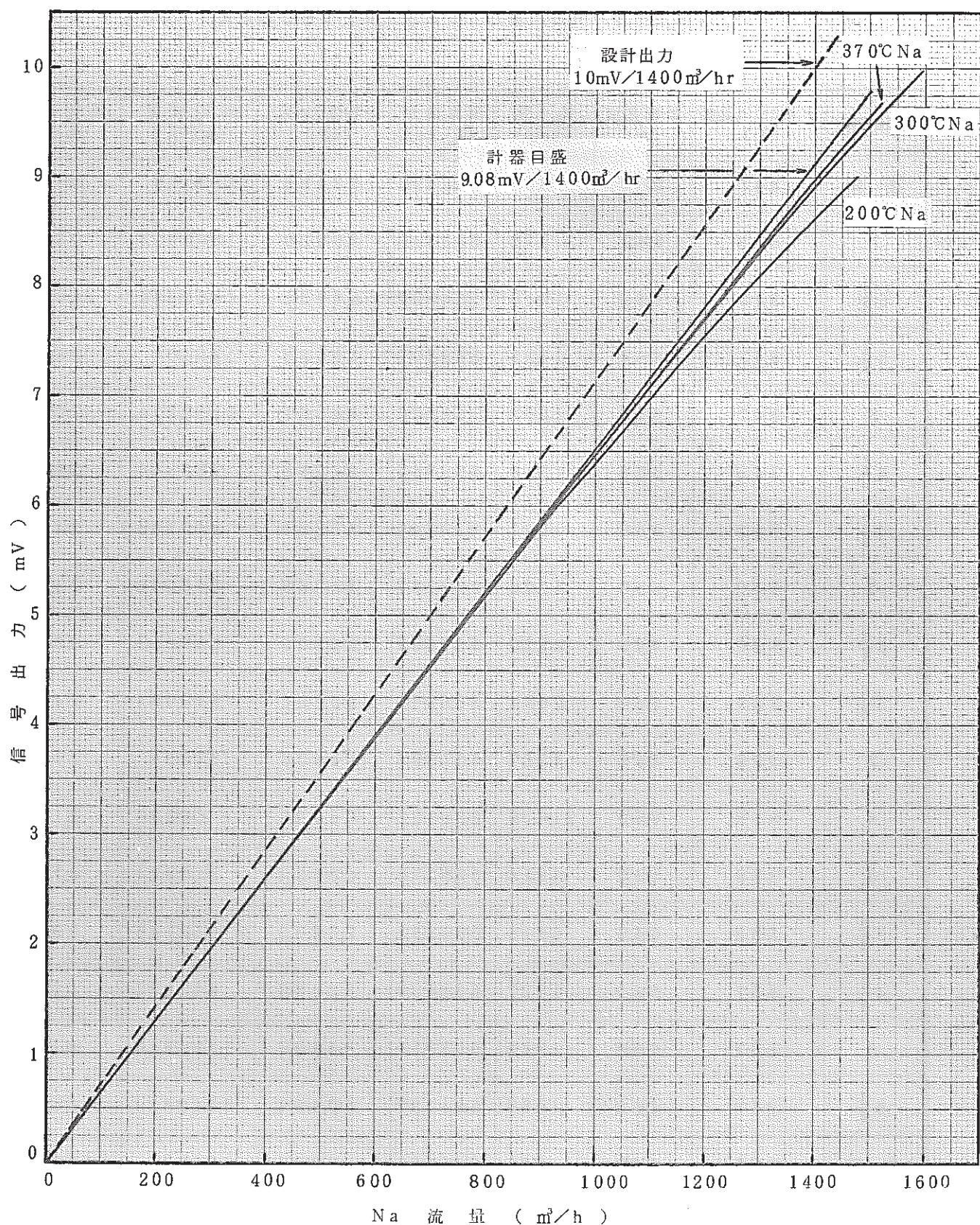


図 3.2-1 1次主冷却系電磁流量計(FE 3.1.1-3A)較正曲線

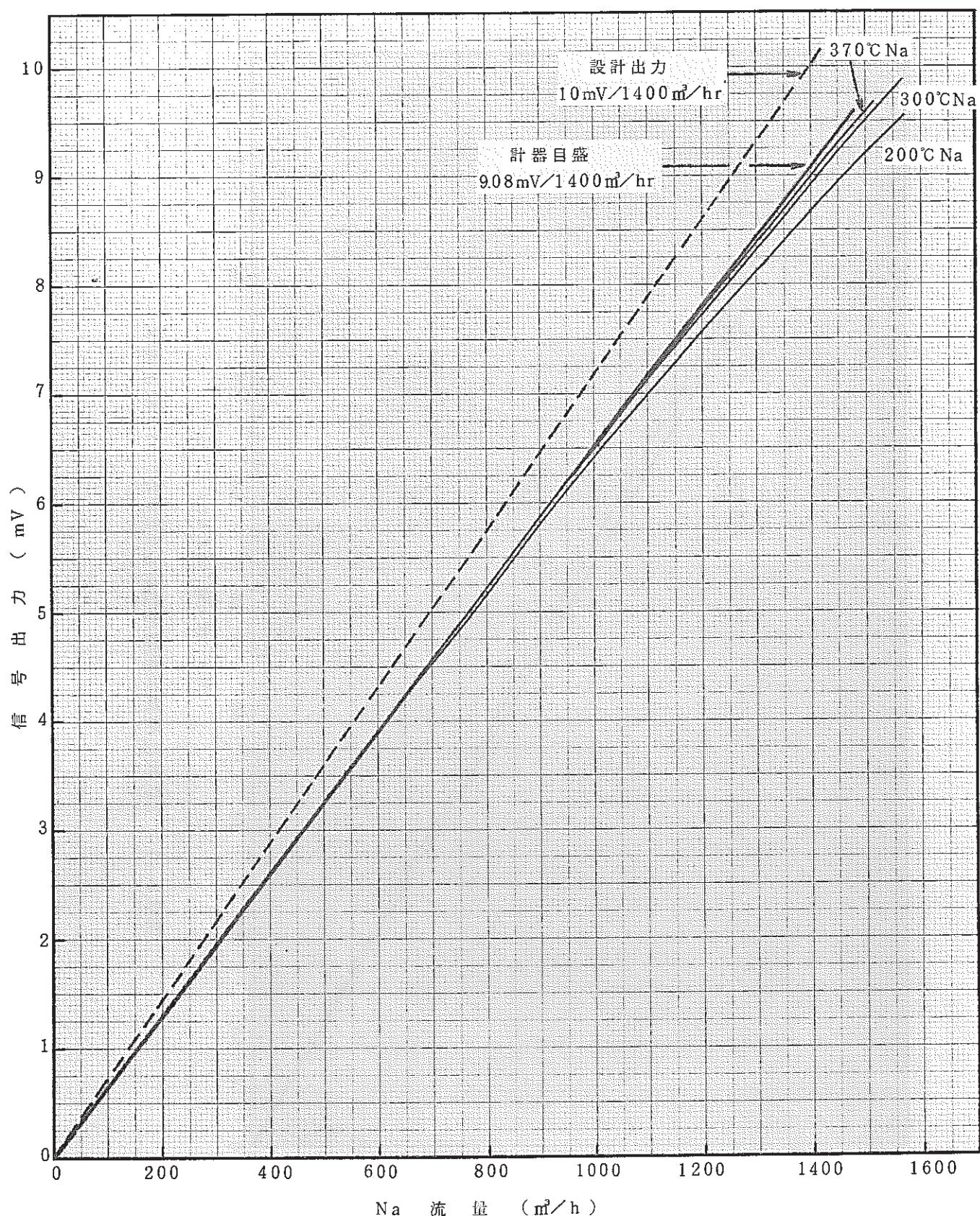


図 3.2-2 1次主冷却系電磁流量計 (FE 3 1.1 - 3 B) 較正曲線

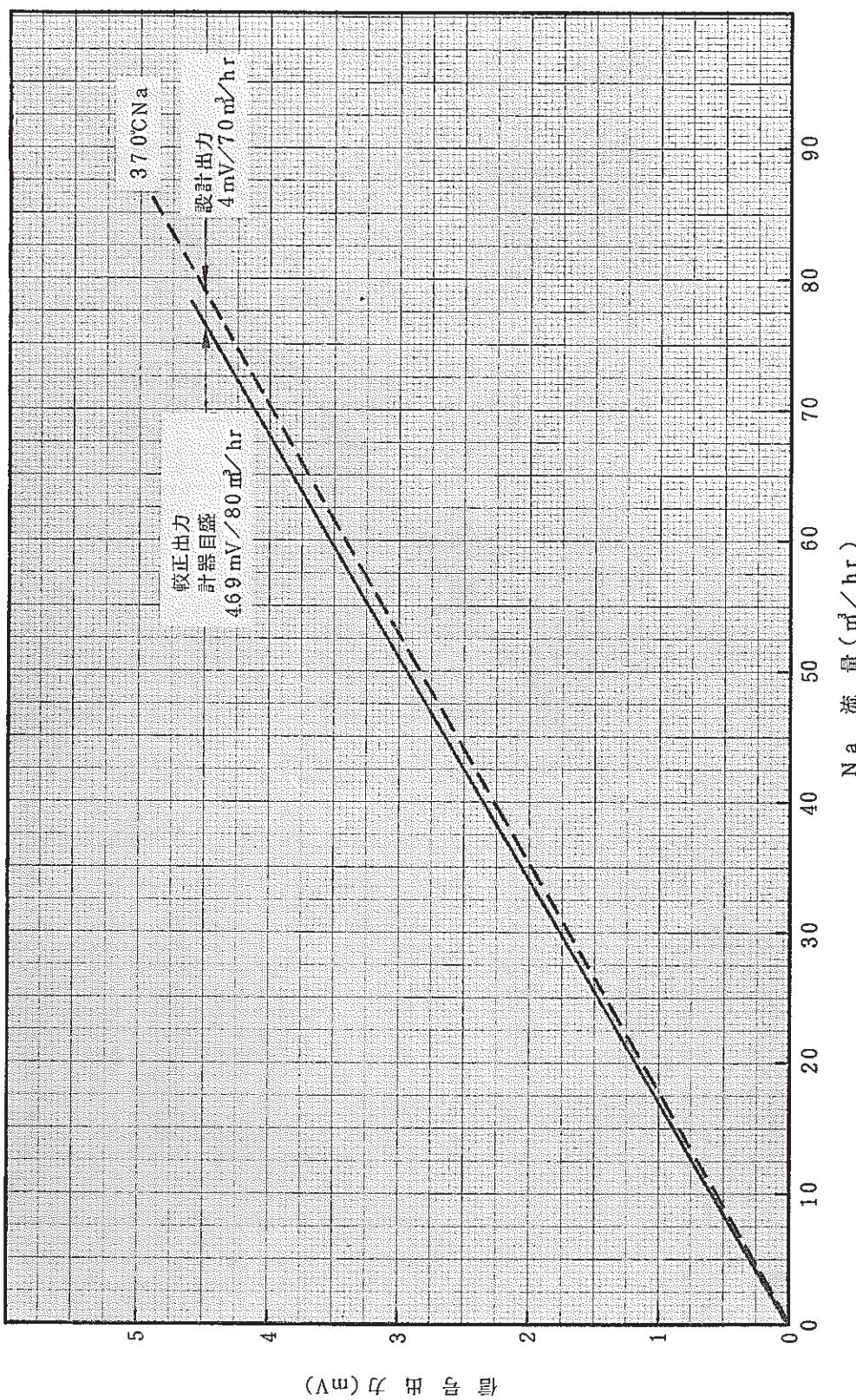


図 3.2-3 1次補助冷却系電磁流量計(FE 3.2.1-1)較正曲線

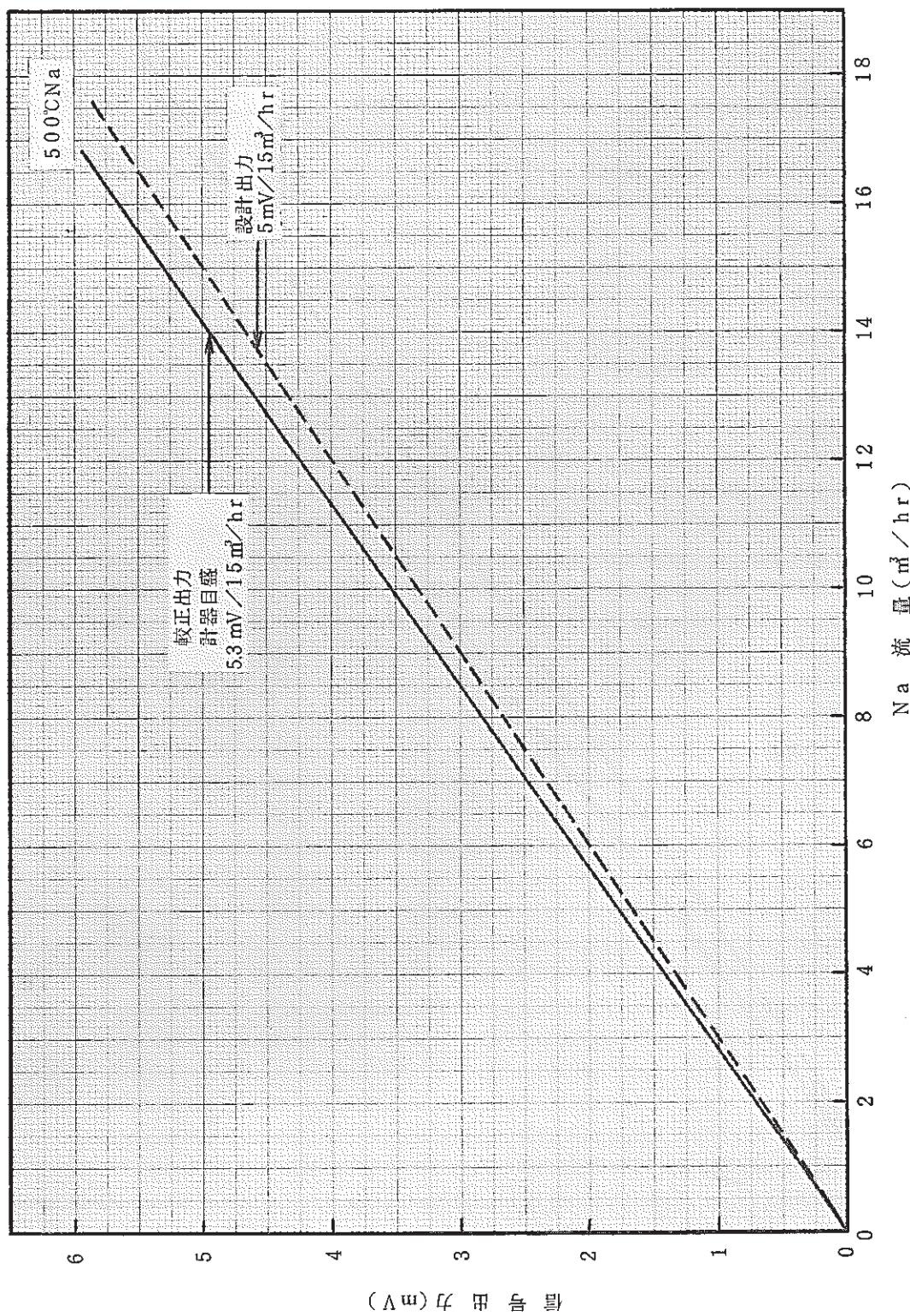


図 3.2-4 オーバーフロー系電磁流量計(FE33-1)較正曲線

本図はナトリウム温度370℃に
おける計算値である。

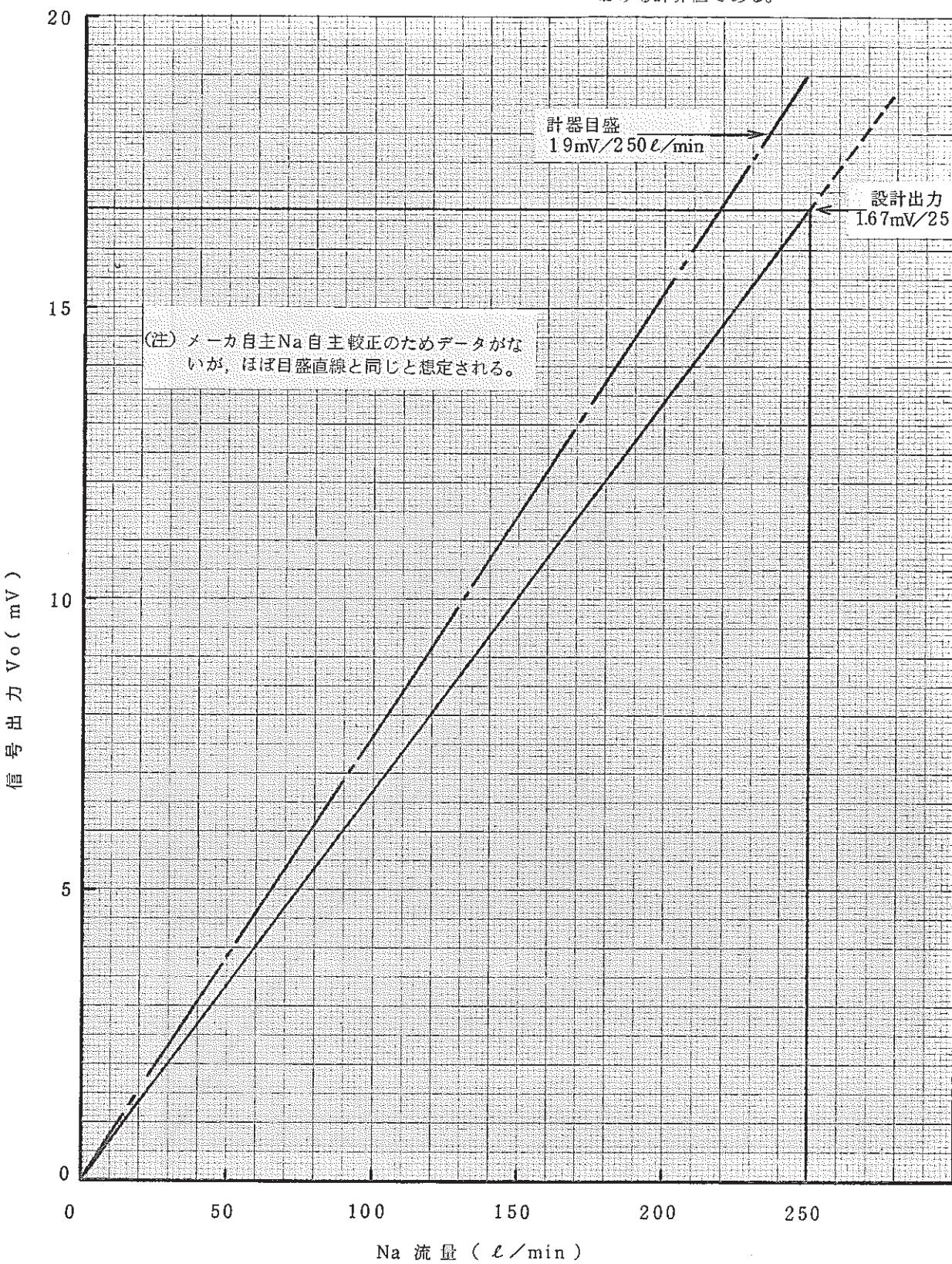


図 3.2-5 サイフォンブレーク電磁流量計(FE 31.1-5A, 5B)較正曲線

本図はナトリウム温度500℃に
おける計算値である。

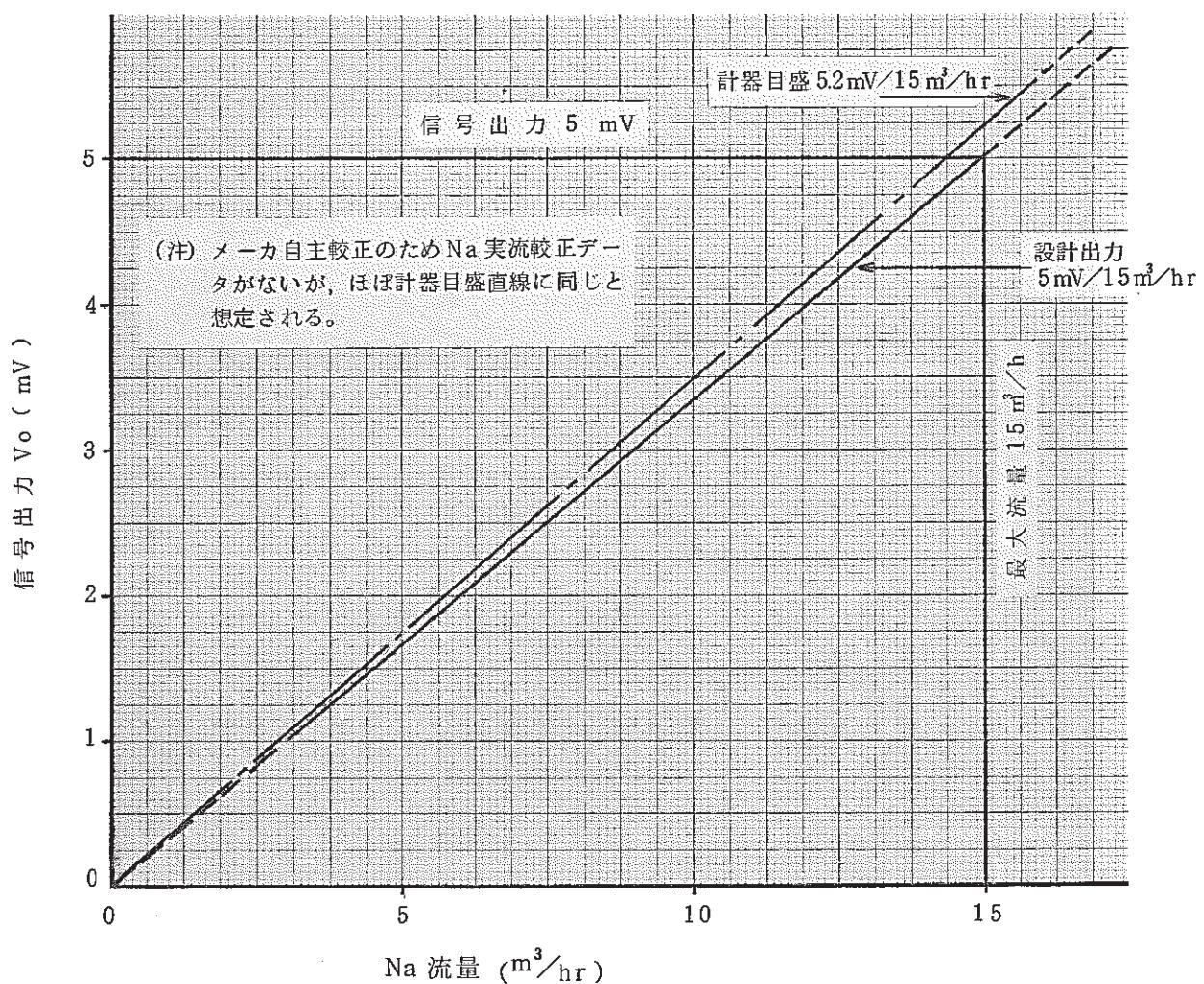


図 3.2-6 1次Na 純化系電磁流量計(FE 34.1-1)較正曲線

本図はナトリウム温度415°Cにおける計算値である。

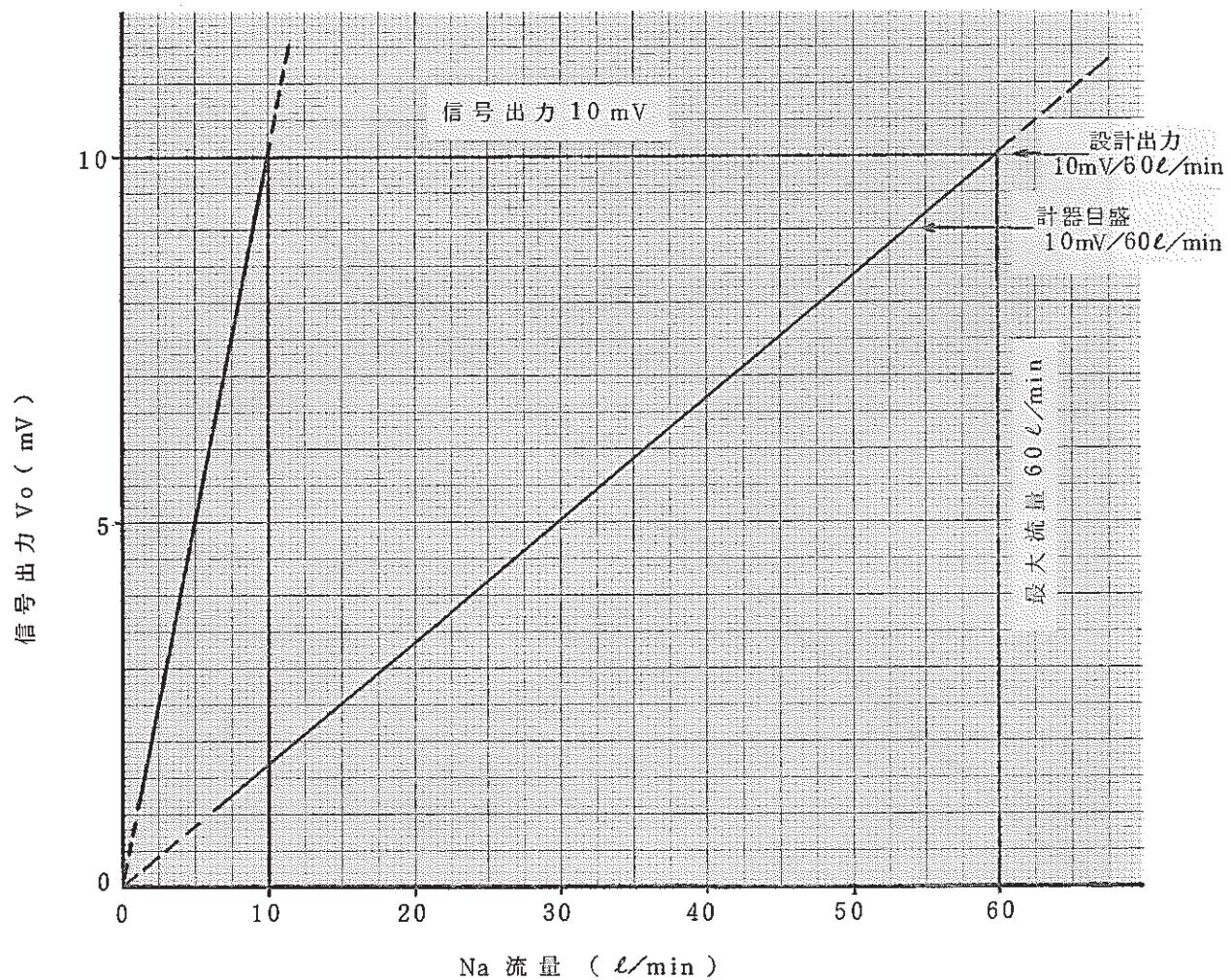


図 3.2-7 1次Na純化系プラギング計電磁流量計 (FE 3 4.1 - 2) 較正曲線

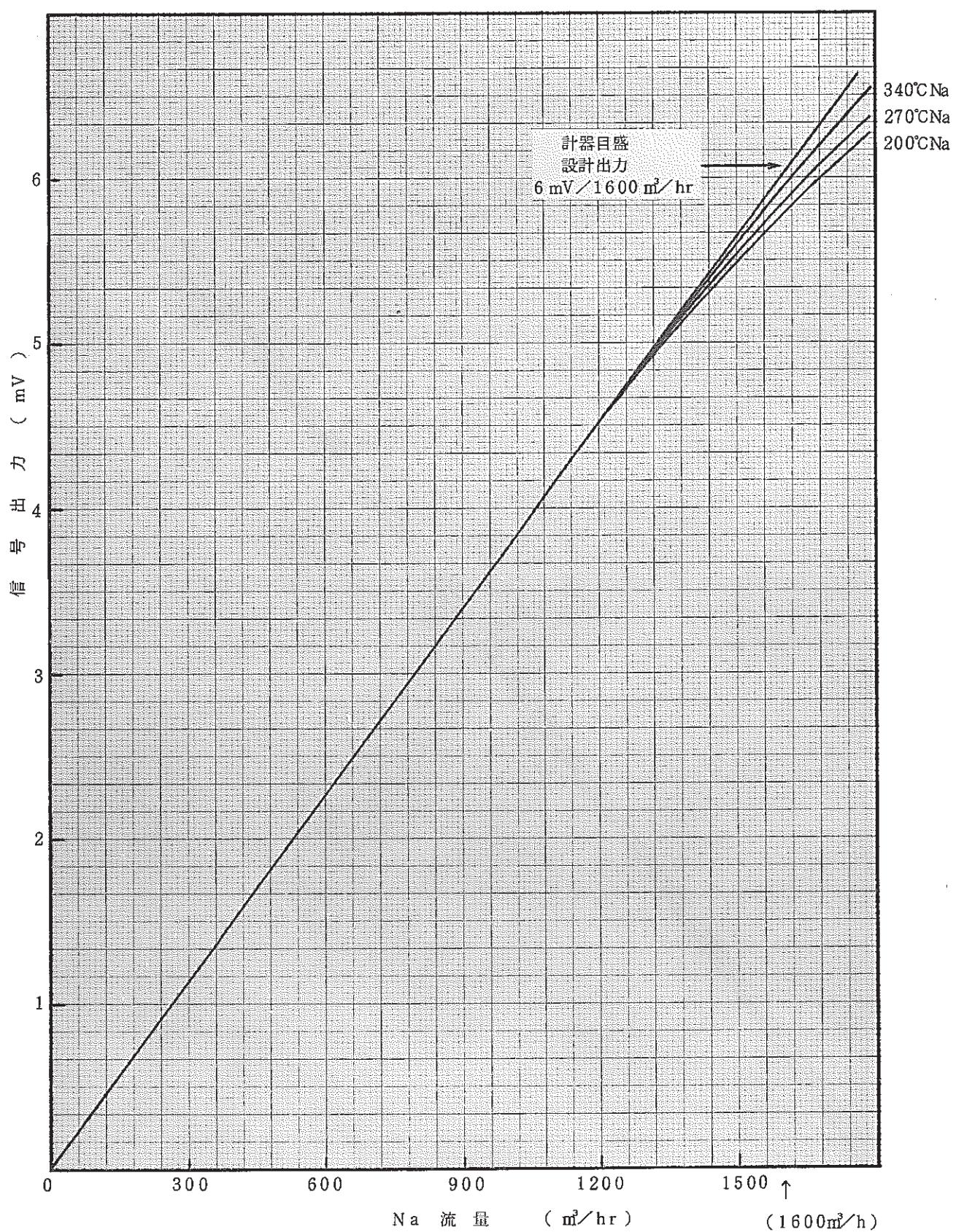


図 3.2-8 2次主冷却系電磁流量計 (FE 3 1.2 - 1 A) 較正曲線

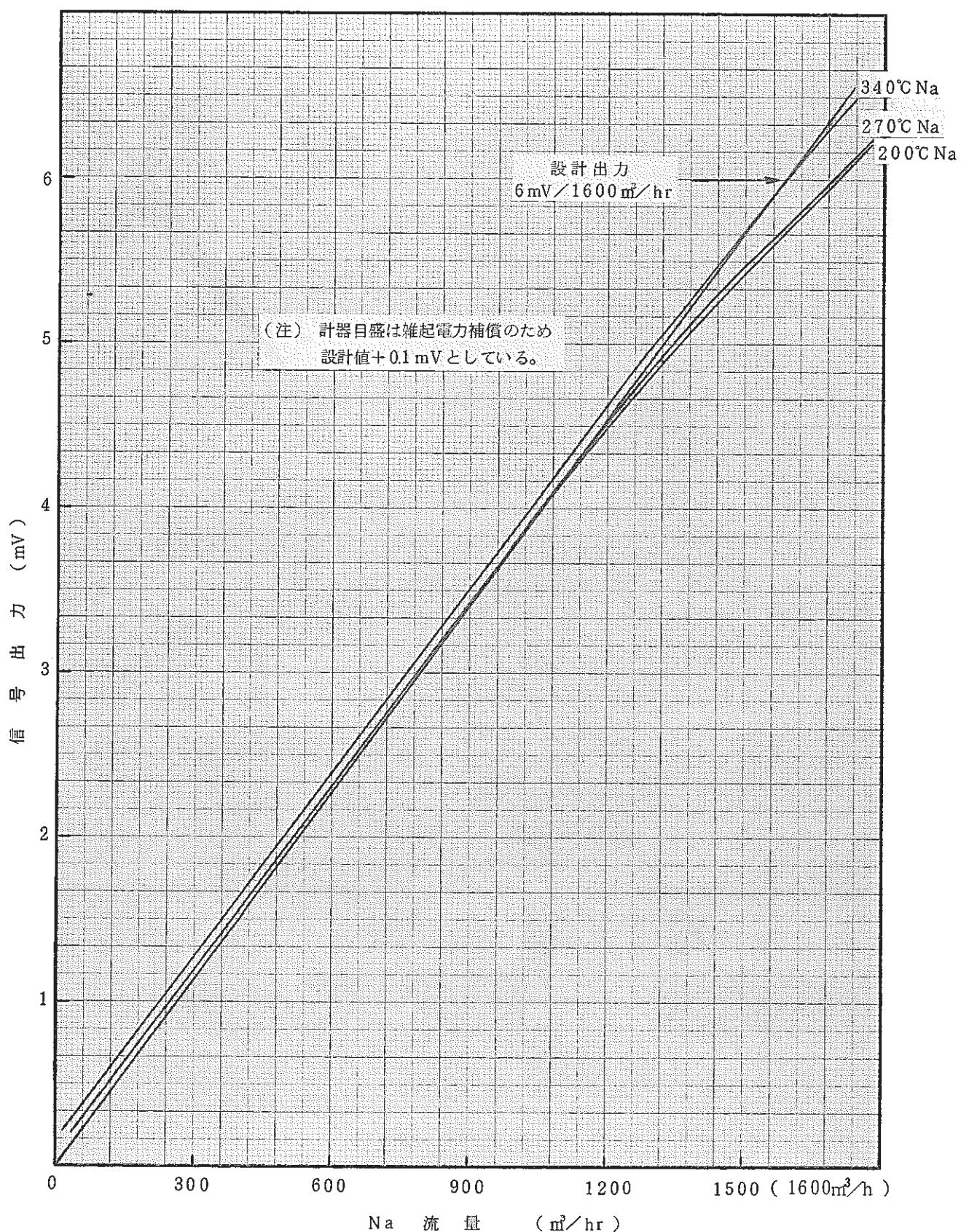


図 3.2-9 2次主冷却系電磁流量計(FE 3.1.2-1B)較正曲線

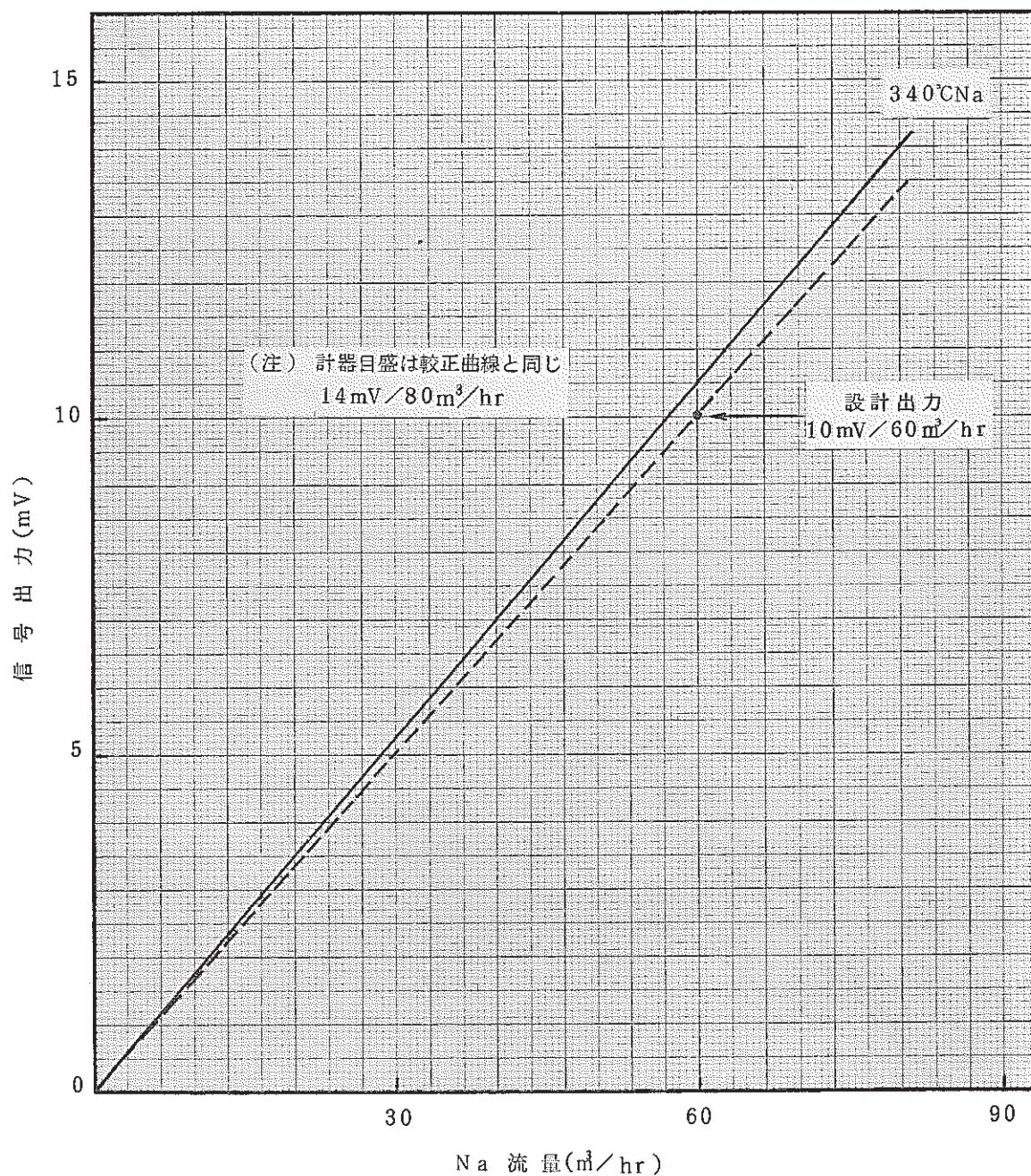


図 3.2-10 2 次補助冷却系電磁流量計 (FE 3.2.2-1) 較正曲線

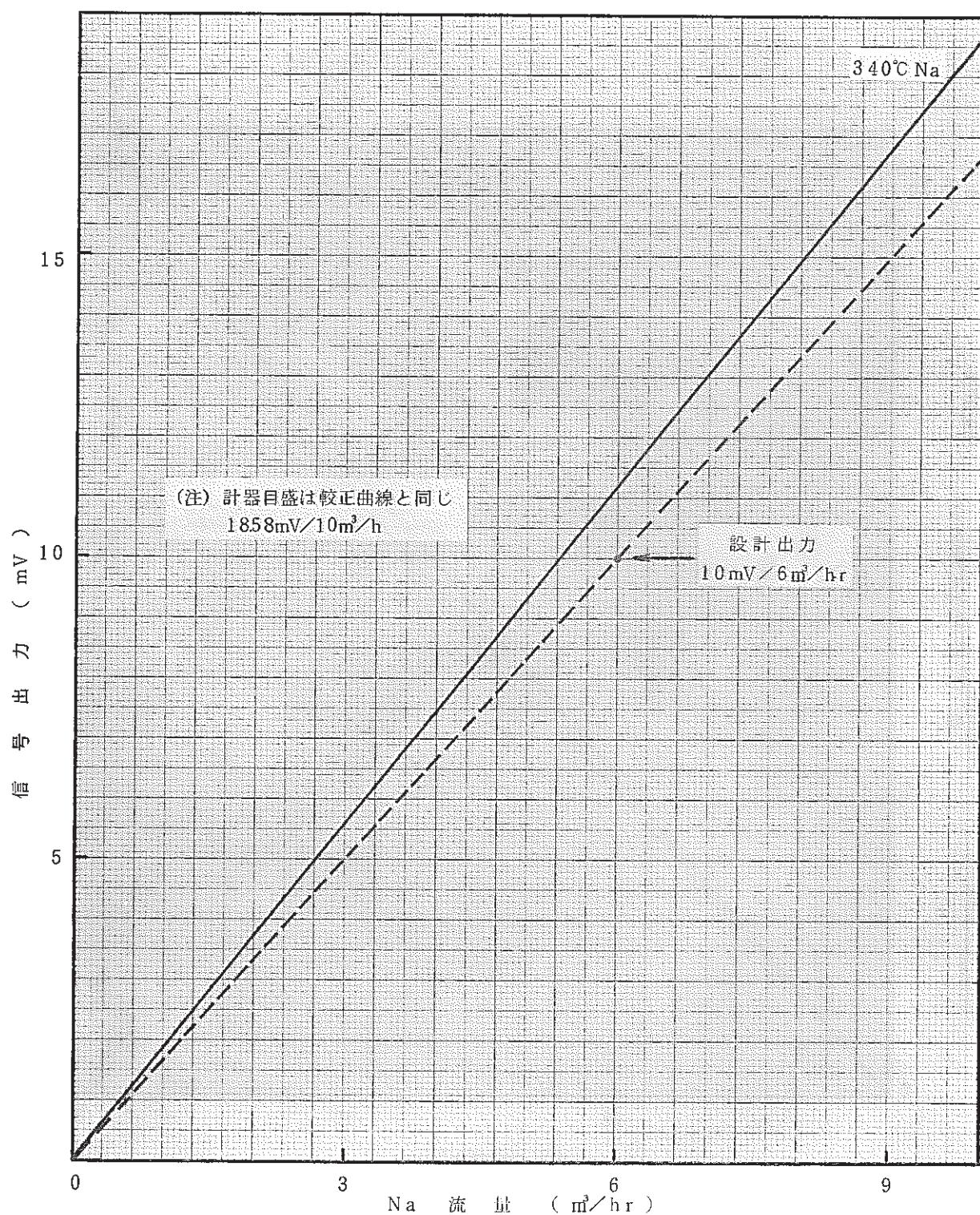


図 3.2-11 2 次 Na 純化系電磁流量計 (FE 34.2-1-(1)) 較正曲線

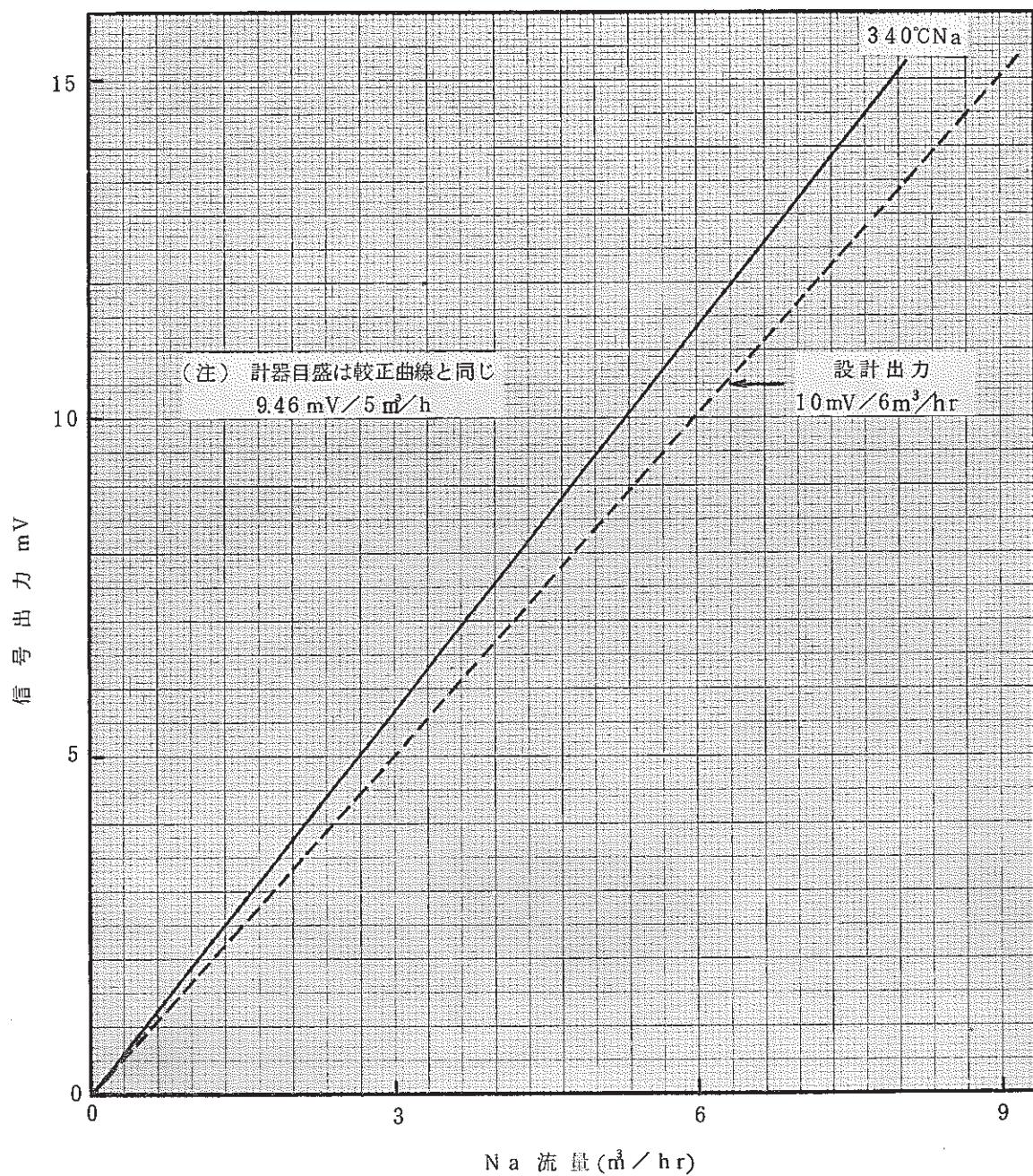


図 3.2-12 2次 Na 純化系電磁流量計 (FE 34.2-1-(1)) 較正曲線

磁束密度分布

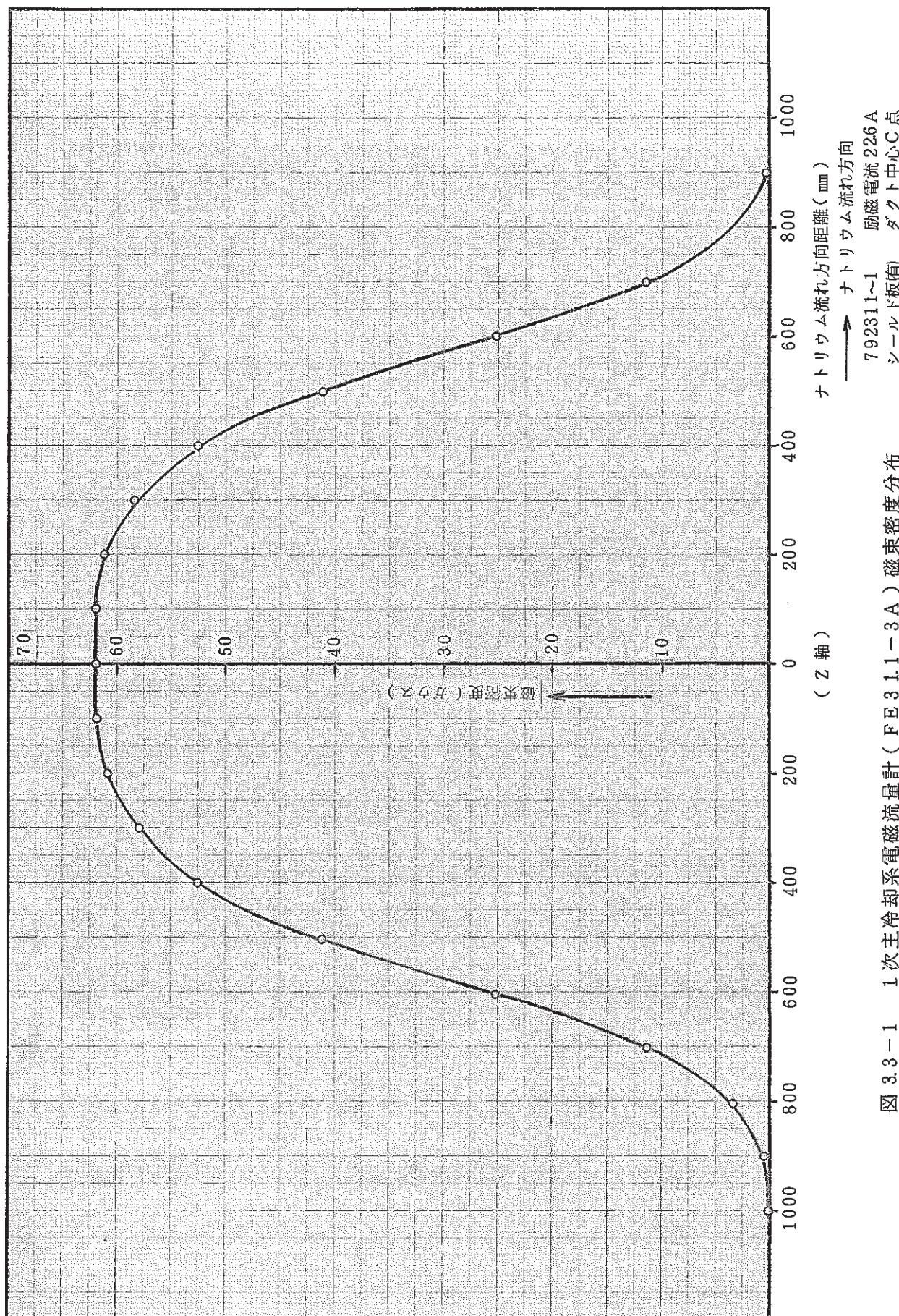
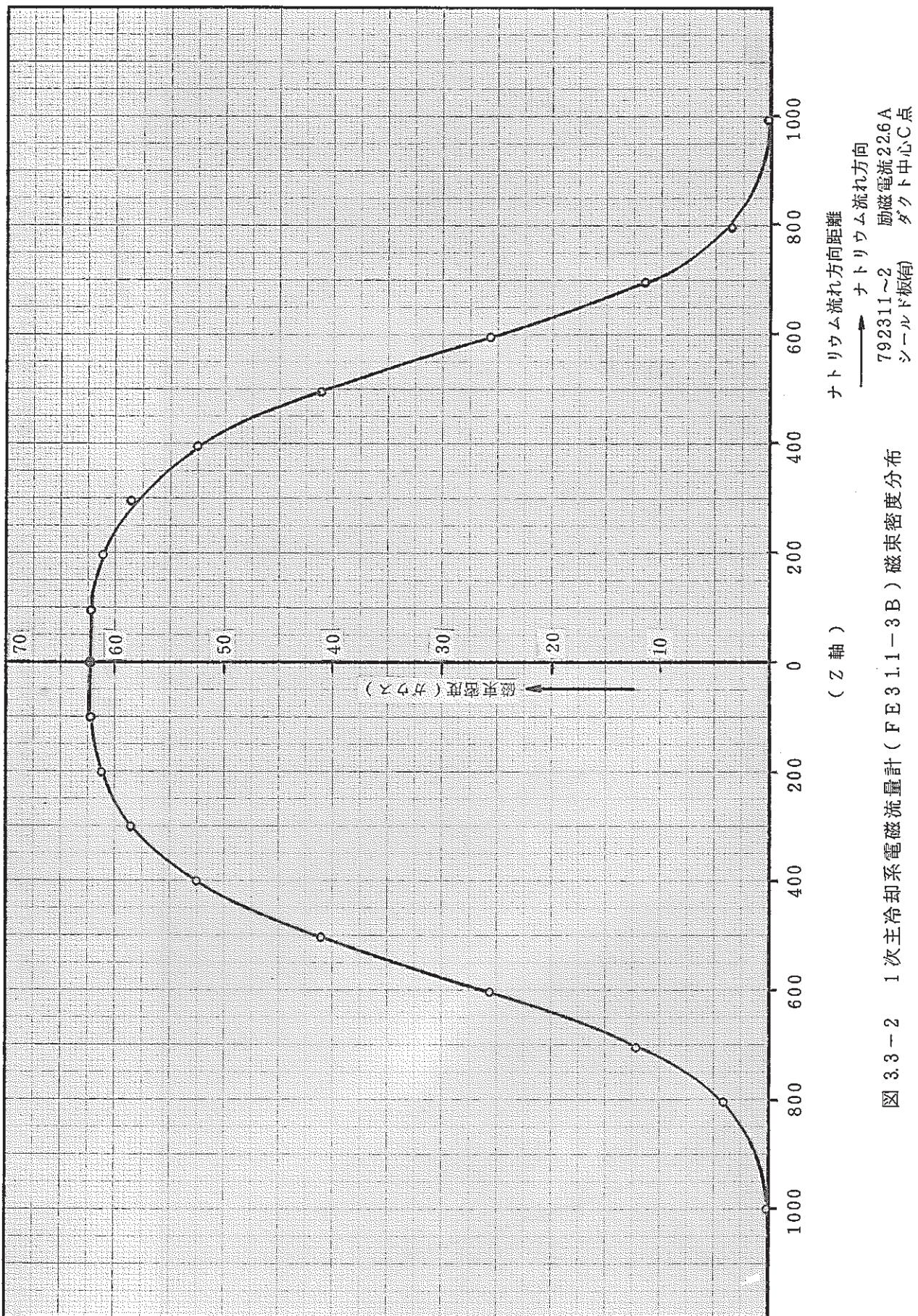


図 3.3-1 1 次主冷却系電磁流量計 (FE 3.1.1-3A) 磁束密度分布



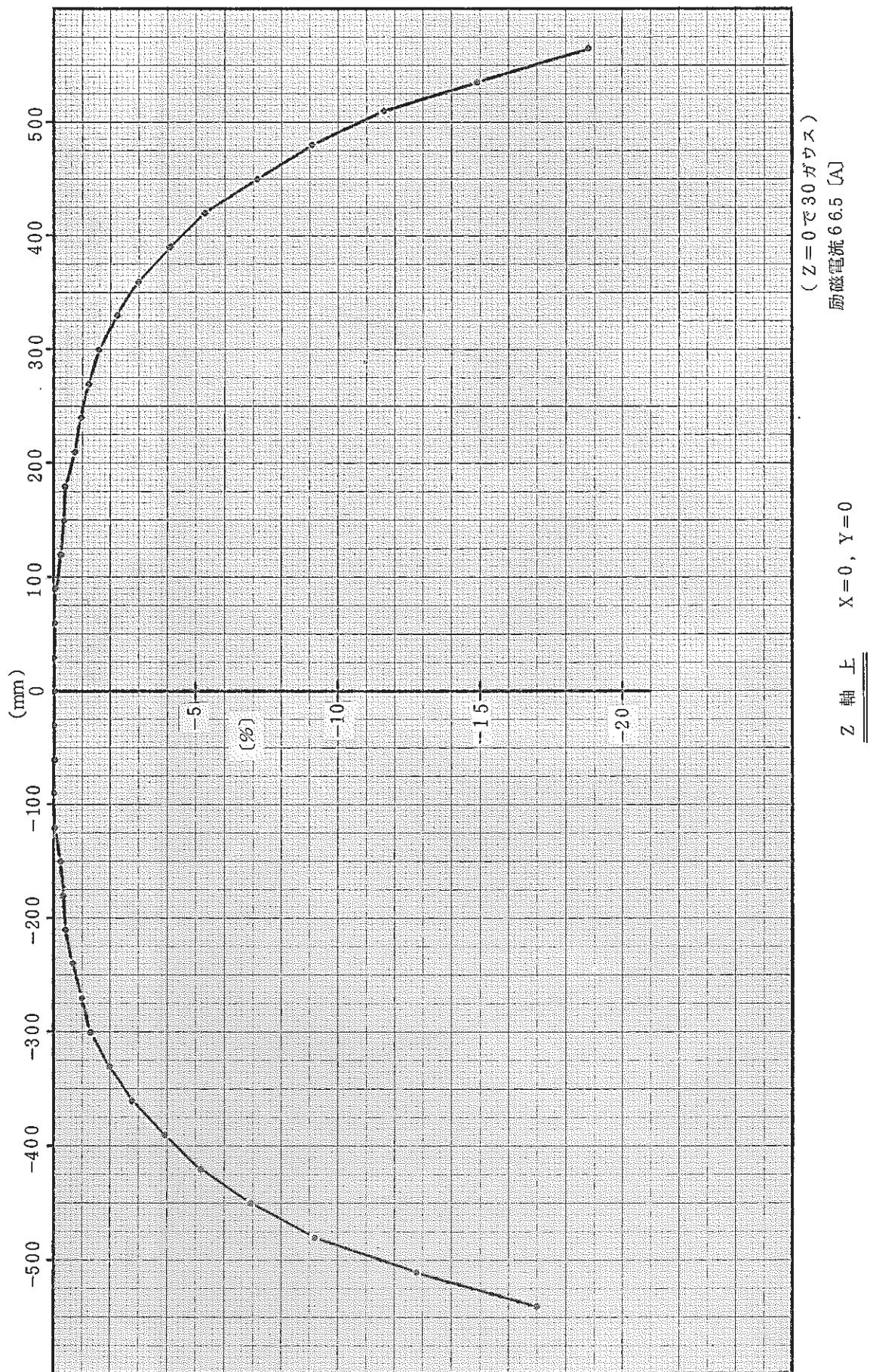


図 3.3-3 2 次主冷却系電磁流量計 (FE 32.1-1A) 磁束分布 (Z 軸)

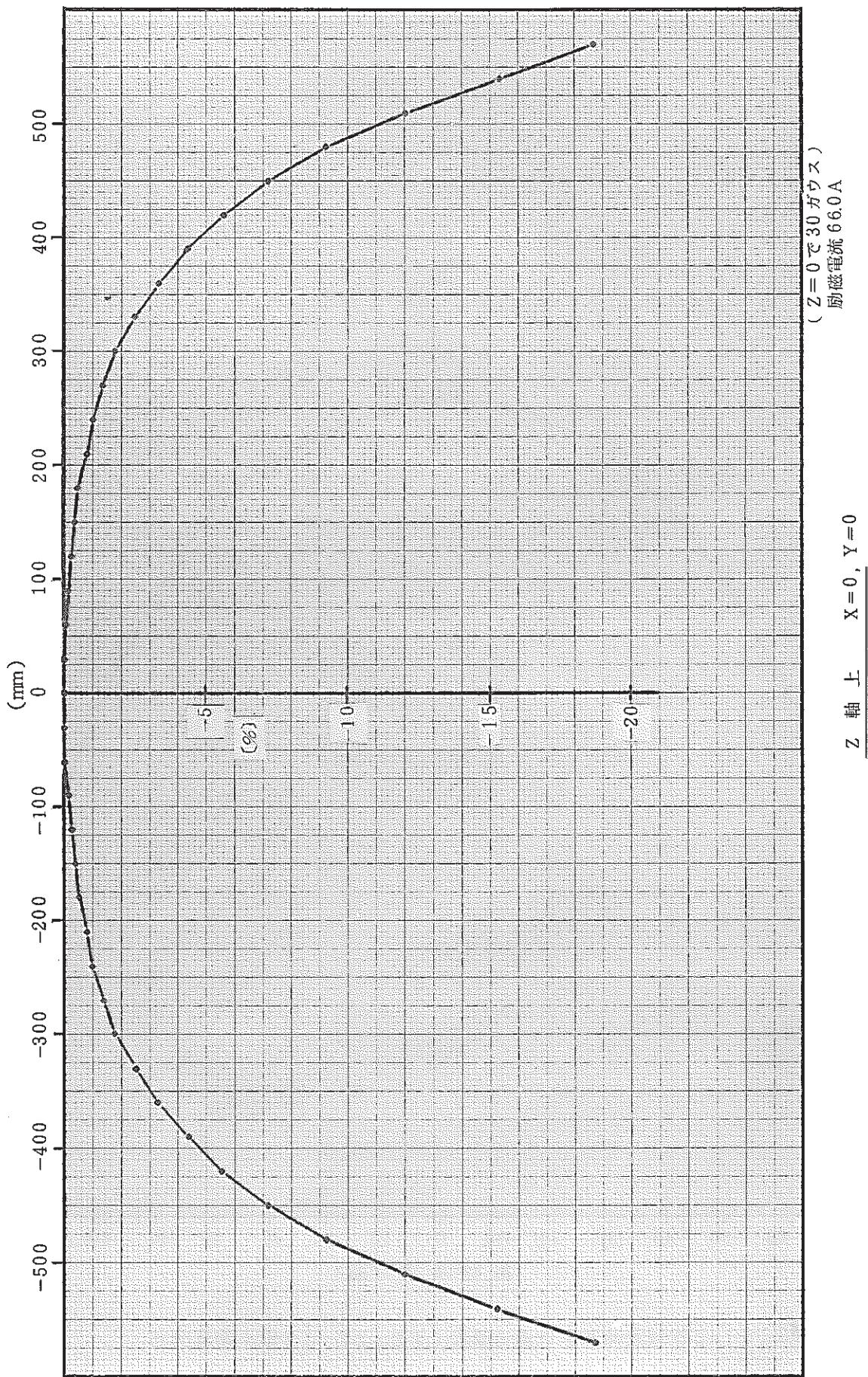


図 3.3-4 2 次主冷却系電磁流量計 (FE 32.1-1B) 磁束分布 (Z 軸)

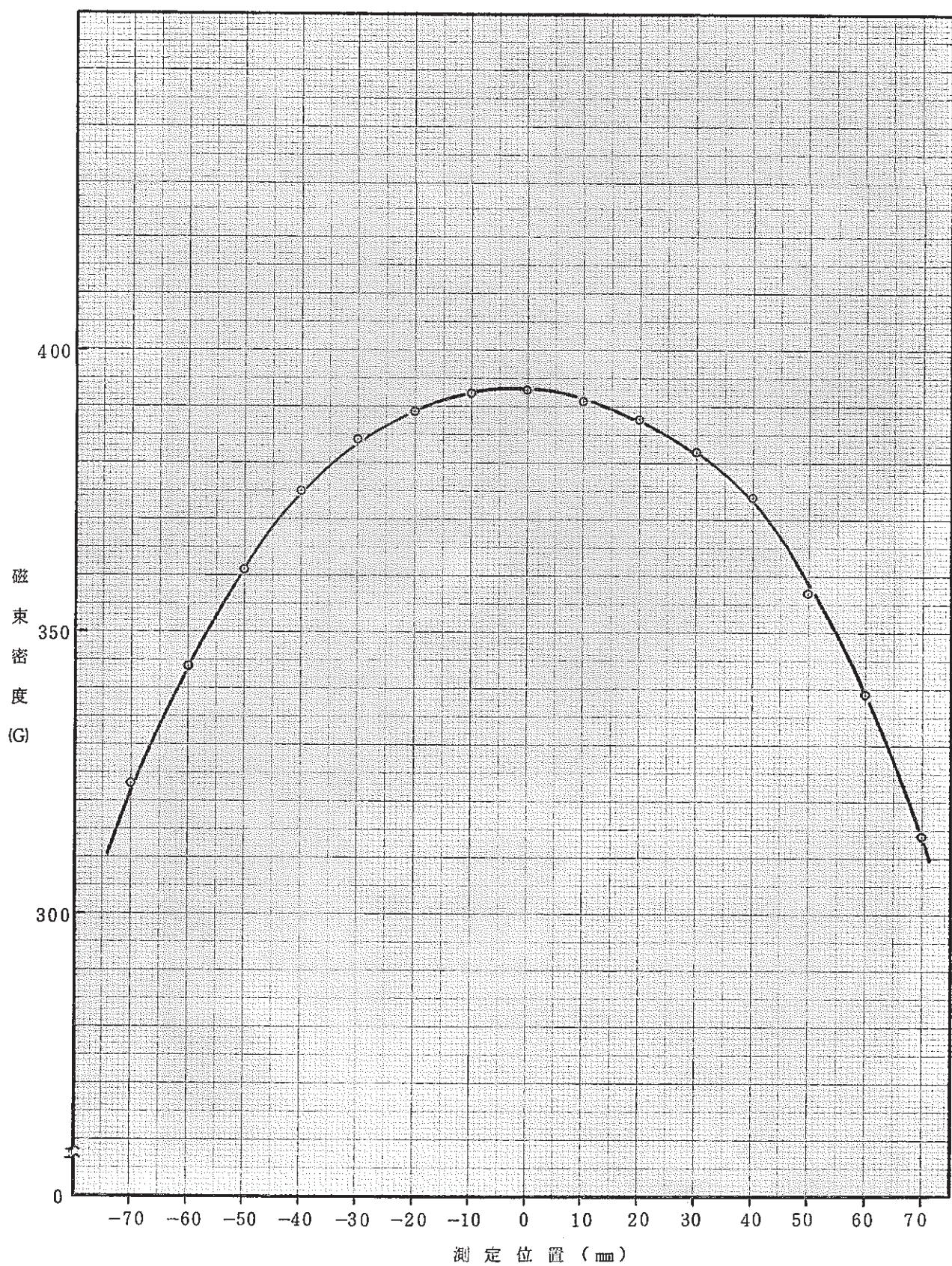


図 3.3-5 2 次補助冷却系電磁流量計 (FE 3.2.2-1) 磁束密度分布

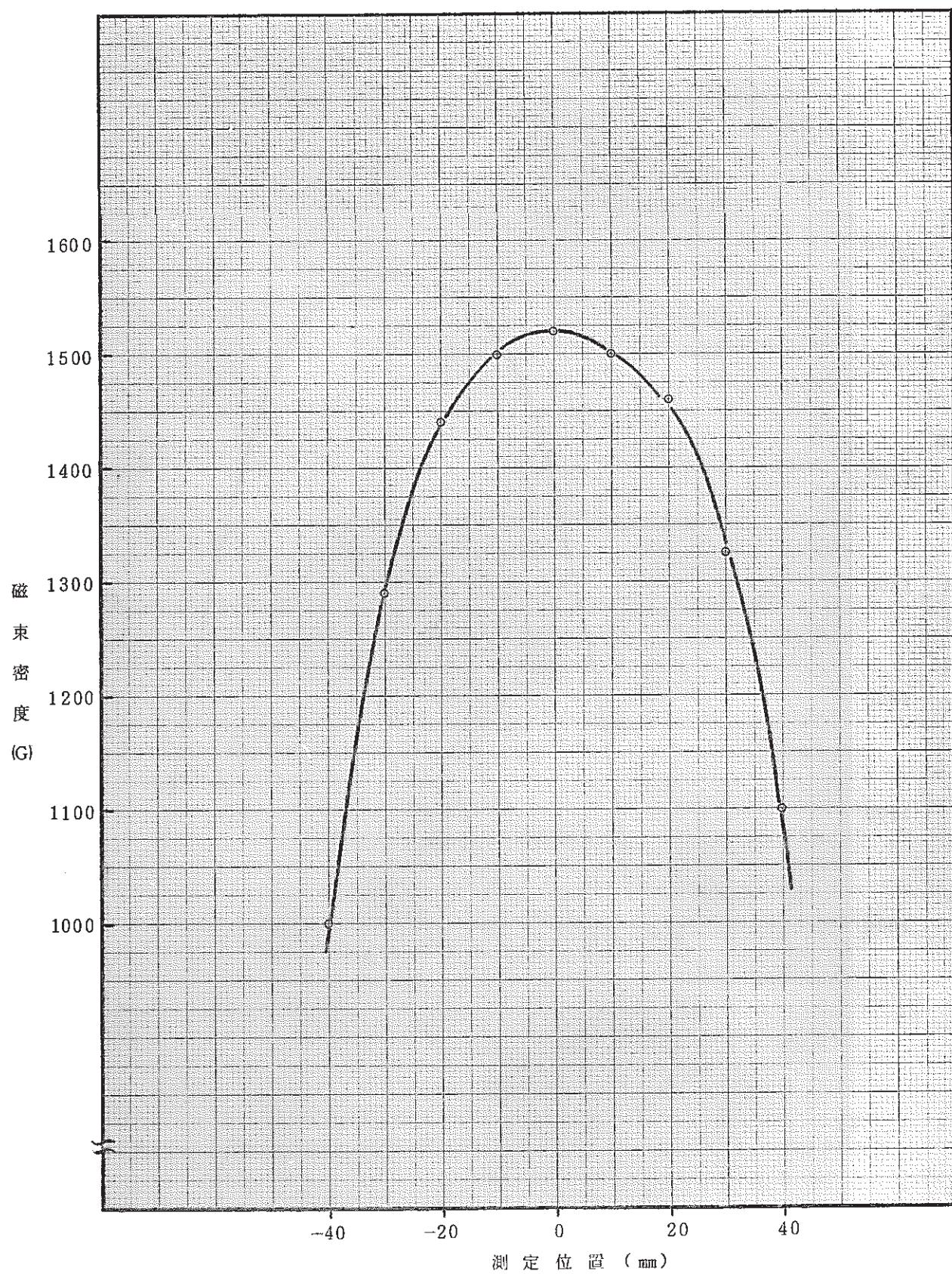


図 3.3-6 2 次 Na 純化系電磁流量計 (FE 3.4.2-1-(1)) 磁束密度分布

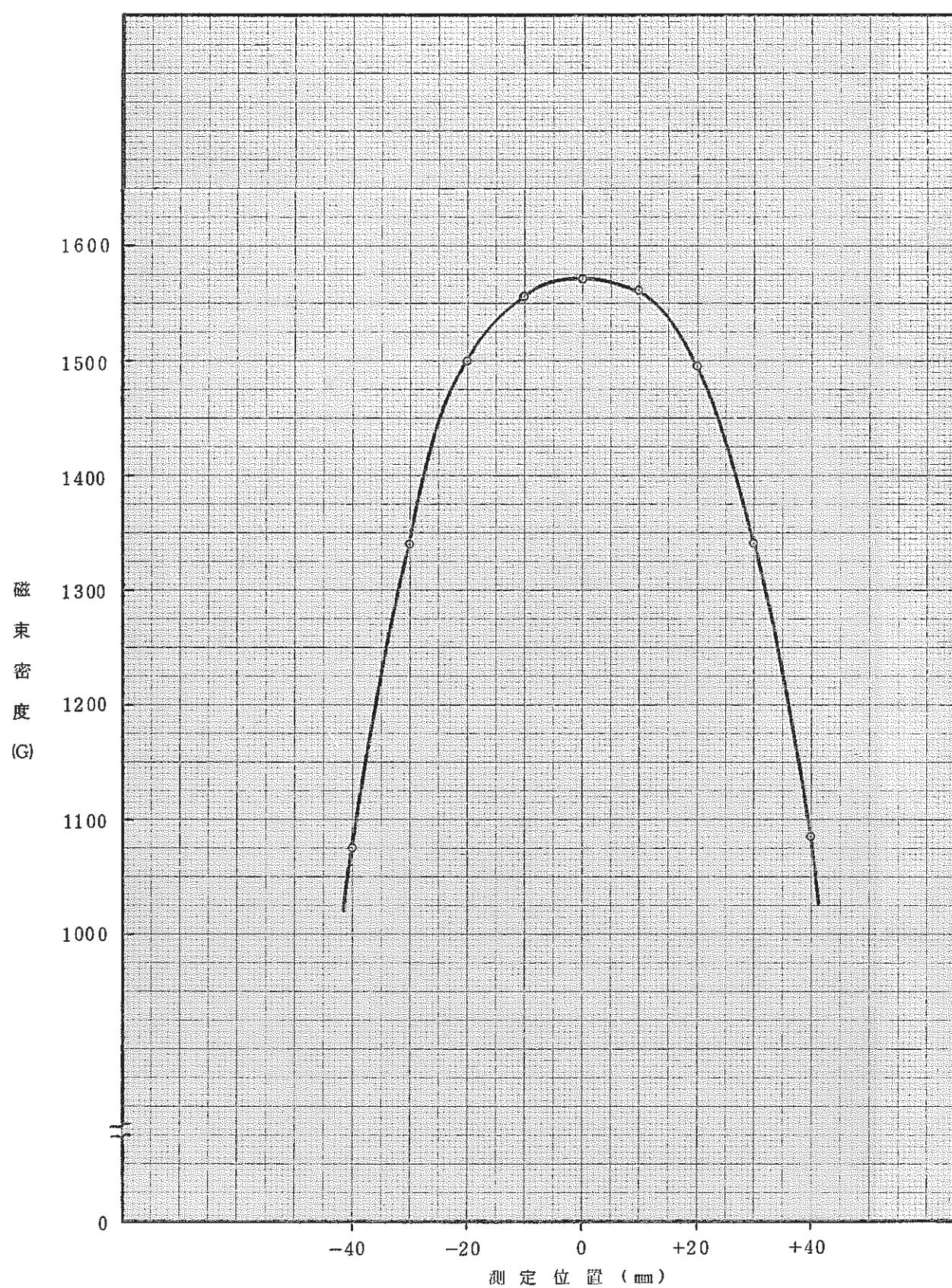


図 3.3-7 2 次 Na 純化系電磁流量計 (FE 34.2-1-(2)) 磁束密度分布

データシート

表 3.4-1 1 次主冷却系電磁流量計 (A)

仕様		製作・工場検査		据付・現地検査		試運転・総合機能試験		問題点・評価	
		1. 電気試験(48/4/10)		1. 電気試験(49/5/14)		1. 総合機能試験(I) (51/3/29)		1. 総合機能試験(I) (51/4/8)	
機器番号	FE 31.1-3A	(1) 絶縁抵抗	100 MΩ : 500Vメガ-	(1) 絶縁抵抗測定	400 MΩ (500Vメガ-)	試験番号	試験小項目	試験番号	試験小項目
測定点	原子炉容器入口配管(二重管)	(2) 絶縁耐力	AC 50Hz	(49/7/22)	14-Na-1	主モータ速度制御試験	14-Na-31	主ポンプ特性試験	(主モータによる特性)
型式(励磁方式)	サドル型空心コイル式	1500 V : 1 分間	2. ループ試験(49/8/6)	14-Na-12	プロセス計装校正				
目盛範囲	0 ~ 1400 m³/h	(3) 抵抗測定	0.323 Ω : 於 20°C	流量計	出口圧力回転数 指標値 校正用 (kg/cm²p) (rpm)	流量計*	1 出口圧力回転数 (m³/hr) (kg/cm²p)	Head	
精度	0.393 Ω : 75°C換算	0.0	0.40	0	0.25	0	0	374	0.55 2.24 3.5
給土4%									
コイル材質	二重ガラス巻平角線(日鉄絶縁)	(4) 温度上昇 deg : 温度計法	1400 9.08 200	1000 64.85 15.428 1000 0	160 0.35 94 94	95	632 1.0 380 10.3		
永久磁石材質		14 deg : コイル抵抗法		1400 9.08 200 1400 0	520 0.85 301 301	300	885 2.0 527 20.2		
7	2. 磁束密度測定(48/4/3)				800 1.6 464 464	460	1170 33 708 353		
電極材質	62.1 ガウス				1160 33 700 700	700	1300 415 789 436		
8 オーステナイト系ステンレス鋼(4対)	リード線材質	(1) 磁極中心	0 0	0 0	1260 4.1 784 790	790	790		
	9 オーステナイト系ステンレス鋼	設計値	1000 64.8 15.42 1000 0	2. 総合機能試験(II)				4. 総合機能試験(II)	
	10 端子台材質	(2) 厄磁電流	1400 9.08 200 0	(52/1/17)					
寸法	1.2B(16B)2重管	22.65 A	P1S31.1-3A						
11	3. 流量校正(48/5/25)	No 温度 20 °C 370 °C	P1S31.1-4A						
12	1.2 792311-1	流量 出力信号 (m³/h) (mV/mV)	0 0	0 0					
13	設計出力	1.000 980 6.42 -1.0 988 6.48 -0.1	1000 64.8 15.42 1000 0						
14	耐震クラス	1.100 1080 7.0 -1.8 1094 7.1 -0.5	1400 9.08 200 1400 0						
	A クラス	1.200 1180 7.57 -2.7 1195 7.75 -0.4							
		1.300 1248 8.09 -4.0 1289 8.35 -0.9							
		1.400 1380 8.61 -5.1 1380 8.95 -1.4							
									* 1 デジタル換算流量
									* 2 各流量に対するものである。

表 3.4-2 1 次主冷却電磁流量計 (B)

仕 紙		製作・工場検査		掲付・現地検査		試運転・総合機能試験		問題点・評価	
1 機器番号	FE311-3B	1. 電気試験 (48/4/10)		1. 電気試験 (49/5/14)		1. 総合機能試験 (I) (51/3/29)		3. 総合機能試験 (I) (51/4/8)	
2 制定点	100 MΩ : 500Vメガ-	(1) 絶縁抵抗測定		800 MΩ (500V・メガ-)					
3 型式(励磁方式)	AC 50HZ	2. ループ試験 (49/8/6)		(49/7/22)		14-Na-1 主モータ速度制御試験		14-Na-3(1) 主ポンプ特性試験 (主モータによる特性)	
4 目盛範囲	1 分間	機器目盛 (mA)		指示値 (mA)		流量計 (kg/cm²)		流量計*1 (m³/hr) (rpm) (mNa)	
5 精度	± 1.5%	0 ~ 1400 m³/h		0.3225 Ω : 於 20 °C		(kg/cm²)		14-Na-12 プロセス計校正用回転数 (rpm)	
6 コイル材質	約 ± 4%	0.392 Ω : 75 °C換算		(4) 温度上昇		14-Na-12 プロセス計校正用回転数 (rpm)		14-Na-3(1) 出口圧力回転数 Head (kg/cm²) (rpm) (mNa)	
7 永久磁石材質	二重ガラス巻平角線 (田舎地線)	deg : 温度計法		143 deg : コイル抵抗法		1400 908 200		14-Na-12 プロセス計校正用回転数 (rpm)	
8 電極材質	2. 磁束密度測定 (48/4/3)	PI-S31.1-2B		PI-S31.1-2B		1400 908 200		14-Na-12 プロセス計校正用回転数 (rpm)	
9 オーステナイト系ステンレス鋼(4村)	(1) 磁通中心	1000 648 1542 1000 0		2. 総合機能試験 (II)		14-Na-12 プロセス計校正用回転数 (rpm)		14-Na-3(1) 出口圧力回転数 Head (kg/cm²) (rpm) (mNa)	
10 リード線材質	621 ガウス	PI-S31.1-3B		1400 908 200 1400 0		14-Na-12 プロセス計校正用回転数 (rpm)		14-Na-3(1) 出口圧力回転数 Head (kg/cm²) (rpm) (mNa)	
11 フランジ材質	オーステナイト系ステンレス鋼	(2) 励磁電流		PI-S31.1-3B		1400 908 200 1400 0		14-Na-3(1) 出口圧力回転数 Head (kg/cm²) (rpm) (mNa)	
12 制作番号	12B (16B) 2重管	No. 温度		3 70 °C		PI-S31.1-4B		PI-S31.1-4B	
13 計出力	1.2 792311-2	流量 (m³/h)		出力信号 (mV)		1400 908 200 1400 0		1400 908 200 1400 0	
14 開露クラス	1.3 1.0 mV / 1400 m²/h	1.3 1.0 A クラス		1.4 A クラス		1400 908 200 1400 0		1400 908 200 1400 0	
* 2 各流量に対するものである。									

* 1 デジタル流量換算	
--------------	--

表 3.4-3 1 次補助冷却系電磁流量計

仕 様	製作・工場検査	据付・現地検査			試運転・総合機能試験	問題点・評価
		(1) 電気試験(/ /)	(1) 電気試験(/ /)	(1) 総合機能試験(I)		
1 機器番号 FE321-1	(1) 耐候抵抗 MΩ : Vメガ-	(1) 絶縁抵抗測定 MΩ (V・メガ-)				
2 測定点 補助隔壁ポンプ出口配管	(2) 耐候耐力 V : 分間					
3 型式(励磁方式) 永久磁石式						
4 目盛範囲 -30~80 m³/h	(3) 抵抗測定 Ω : ℃ Ω : 75℃換算	機器番号 目盛 (m³/h)	標準値 (mA)	指示値 (mA/h)	誤差 (%)	出口正圧回転数 (kg/cm²)(rpm)
5 精度 約±5%	(4) 溫度上昇 deg : 溫度計法 deg : 低坑法	-30	-1.76	-30	0	
6 コイル材質		-1	0	-0.001	0	
7 永久磁石材質 アルミニウムマグネット		0	40	40	0	
8 電極材質 オーステナイト系ステンレス鋼(1対)		80	4.69	80	0	
9 リード線材質 オーステナイト系ステンレス鋼	(1) 磁極中心(磁極間中央) 142ガウス	設計値				2. 総合機能試験(II)
10 端子台材質 ガラス樹脂板	(2) 励磁電流 A	1.45ガウス +10%				
11 尺寸 3B(6B) 2重管	(3) 流量校正(48/8/24)	1.45ガウス -30%				
12 番号 792314-1	M温度 370 ℃	流速 (m³/h)	電圧 (mV)	温度 (℃)	出力信号 (%)	
13 発熱出力 4mv/70m³/h	1.5641 0.9 34.758 205	373 377				
14 耐震クラス Aクラス	4.9304 290 7.9231 465	372 367				
	6.9251 405	372				3. 磁束密度測定(49/4/3) 磁極中心磁束(磁極に接触させて測定) N極 157ガウス S極 155ガウス
						3. 磁束密度測定(51/12/22) 磁極中心磁束(磁極に接觸させて測定) N極 148ガウス S極 154ガウス
						舌

表 3.4-4 オーバーフロー系電磁流量計

仕 様		製 作・工 場 檢 查		握 付・現 地 檢 査		試 運 试験・総 合 機能 试 験		問 題 点・評 価		
						1. 総合機能試験(I)				
						(1) 絶縁抵抗測定 MΩ(V*メガー)				
1	機 器番 号 FE33-1	1. 電気試験(/ /)		1. 電気試験(/ /)		1. 総合機能試験(I)				
2	測 定 点 オーバーフロー液上ポンプ出口配管	(1) 絶縁抵抗 MΩ : V×メガ-	(2) 絶縁耐力 V : 分間間	(3) 抵抗測定 Ω : ℃	(4) 温度上昇 Ω : 75℃換算	(5) 目盛 m³/h	(6) 指示値 mA	(7) 流量計 m³/h	(8) 出口圧力 kg/cm² (rpm)	
3	型 式(励磁方式) 永久磁石式	2. ループ試験(49/7/23)								
4	目盛範 囲 0 ~ 1.5 m³/h	(1) 精 度 約 ± 5 %	(2) 絶縁耐力 deg : 溫度計法	(3) 目盛 m³/h	(4) 温度上昇 deg : 抵抗法	(5) 目盛 m³/h	(6) 指示値 mA	(7) 流量計 m³/h	(8) 出口圧力 kg/cm² (rpm)	
5	コイル材質									
6	永久磁石材質									
7	アルミニコ鉄造マグネット	2. 磁束密度測定(48/5/28)								
8	電 材 質 オーステナイト系ステンレス鋼(1丸)	(1) 磁極中心 5.62 ガウス	(2) 励磁電流 5.80 ガウス +10 %	(3) 流量校正(48/6/21)	(4) 磁束密度 5.80 ガウス -30 %	(5) 目盛 m³/h	(6) 指示値 mA	(7) 流量計 m³/h	(8) 出口圧力 kg/cm² (rpm)	
9	リード線材質 オーステナイト系ステンレス鋼	3. 磁束密度測定(49/4/3)				2. 総合機能試験(II)				
10	電子合材質 ガラス基板									
11	寸 法 1 2 B	(1) 温度 50.0 ℃	(2) 温度 ℃	(3) 温度 ℃	(4) 温度 ℃	(5) 温度 ℃	(6) 温度 ℃	(7) 温度 ℃	(8) 温度 ℃	
12	製番 792312-1	流 量 (m³/h)	出力信号 (mV)	出力信号 ()						
13	設計出力 5 mV/1.5 m³/h	451	16							
14	耐震クラス A クラス	908	315							
		1305	466							
		137	483							
		174	606							
					3. 磁束密度測定(51/12/22)		3. 磁束密度測定(51/12/22)			
					磁極中心磁場(磁極に接触させて測定)		磁極中心磁場(磁極に接触させて測定)			
					N極 600 ガウス		N極 560 ガウス			
					S極 600 ガウス		S極 570 ガウス			

表 3.4-5 サイフォンブレーク電磁流量計 (A)

仕 様		製作・工場検査			据付・現地検査			試運転・総合機能試験			問題点・評価	
1	機器番号 FE31.1-5A	1. 電気試験(/ /)			1. 電気試験(/ /)			1. 総合機能試験(I) (51/3/29)			■	
測定点		(1) 絶縁抵抗 MΩ : Vメガ			(1) 絶縁抵抗測定 MΩ (V・メガ)			14-Na-1			■	
2	サイフォンブレーク配管(二重管)	(2) 絶縁耐力 V : 分間			2. ループ試験(49/7/22)			14-Na-14			■	
3	型式(扇磁方式)	(3) 抵抗測定 Ω : ℃			機種 目盛 標準 値			14-Na-14 主モータ速度制御試験 プロセス計量校正			■	
4	自盛範囲 0 ~ 250 L/min	(4) 温度上昇 Ω : 75℃換算			機種 目盛 標準 値			14-Na-14 出口圧力(マッピング 游離量計) (kg/cm²) (mV)			■	
精度	約 ± 10 %	(4) 温度上昇 deg : 温度計法			14-Na-14 14-Na-14 14-Na-14 14-Na-14			14-Na-14 14-Na-14 14-Na-14 14-Na-14			■	
5	コイル材質	deg : 抵抗法			0 0 0 0			0 0 0 0			■	
6	永久磁石材質	2. 磁束密度測定(48/5/10)			指示値 (mA)			0.25			■	
7	アルミニコ樹脂マグネット	(1) 磁極中心 861 ガウス			誤差 (% / %)			1.60 5.20 8.00 11.60			■	
8	電極材質 ナーステナイト系ステンレス鋼(18Cr)	8. ナーステナイト系ステンレス鋼 リード線材質 オーステナイト系ステンレス鋼			2. 総合機能試験(II)			1260 4.1			■	
9	端子台材質	9. オーステナイト系ステンレス鋼 ガラス積層板			試験番号			1.60 5.20 8.00 11.60			■	
10	寸法	10. A 3/4 B (2B) 2重管			3. 游離量校正(/ /)			3. 磁束密度測定(49/1/22)			■	
11	製番	11. 792374-1			No 游離量 (m³/h)			3. 磁束密度測定(51/12/22)			■	
12	設計出力	12. 1 mV/1.5 L/min			出力信号 ()			磁極中心(磁極に接触させて測定) N極 1000 ガウス S極 1000 ガウス			■	
13	耐震クラス	13. A クラス			出力信号 ()			N極 955 ガウス S極 950 ガウス			■	

表 3.4-6 サイファンブレーク電磁流量計(B)

仕 素		製 作・工 場 檢 查		据 付・現 地 檢 查		試 運 試・総 合 機 能 試 験	
1	機 器番 号 FE311-5B	1. 電 気 試 験 (/ /)		1. 電 気 試 験 (/ /)		1. 総 合 機 能 試 験 (I)	
2	測 定 点 サイファンブレーク配管(二重管)	(1) 绝縁抵抗 MΩ : Vメガ-		(1) 绝縁抵抗測定 -MΩ (V・メガ-)		(51/3/29)	
3	型 式(励磁方式) 永久磁石式	(2) 绝縁耐力 V : 分 個		2. ループ試験(49/7/22)			
4	目 盛 射 管 0 ~ 250 L/min	(3) 低抗測定 Ω : ℃		機器番号 目盛 管	標準 値 (L/mm)	指示値 (mV)	誤差 (%)(指標値)(L/mm)
5	精 度 約土10%	(4) 温度上昇 Ω : 75℃換算		Ω	0	0	0
6	コイル材質	deg : 温度計法 deg : 低抗法		Ω	150	114	0
7	永 久 磁 石 材 質 アルミニコ鈎鉄マグネット	2. 磁束密度測定(48/5/10)		Ω	250	190	0.15
8	電 毬 材 質 オーステナイト系ステンレス鋼(1丸)	(1) 磁極中心 862 ガウス		Ω	250	0	0
9	リード線材質 オーステナイト系ステンレス鋼	設 計 値 862 ガウス +10%		Ω	250	0	0.15
10	端子台材質 ガラス被覆板	(2) 截面電流 A		Ω	250	0	0.15
11	寸 法 3/4 B(2B) 2重管	3. 流量校正(/ /)		Ω	250	0	0.15
12	要 番 792374-1	流 温 度 ℃		Ω	250	0	0.15
13	設計出 力 1 mV/15 L/min	流 量 (m³/h)		Ω	250	0	0.15
14	耐 硬 ク ラ ス A クラス	出力信号 (V)		Ω	250	0	0.15
3. 磁束密度測定(49/1/22)		3. 磁束密度測定(51/1/22)		3. 磁束密度測定(51/1/22)		3. 磁束密度測定(51/1/22)	
磁極中心(磁極に接触させて測定)		磁極中心(磁極に接触させて測定)		磁極中心(磁極に接触させて測定)		磁極中心(磁極に接触させて測定)	
N極 980 ガウス		N極 950 ガウス		N極 980 ガウス		S極 940 ガウス	

表 3.4-7 1 次 Na 純化系電磁流量計

仕 繼		製 作・工 場 檢 查			漏 付・異 地 檢 査			試 運 転・総 合 機 能 試 験			問 題 点・評 価	
機 器番 号	測 定 点	1. 電 気 試 験 (/ /)			1. 電 気 試 験 (/ /)			1. 総 合 機 能 試 験 (I)			試 験 番 号	試 験 小 項 目
		(1) 绝縁抵抗 MΩ	(2) 绝縁耐力 V	(3) 分 佈	MΩ (V・メガ)							
1 FE341-1	純化系ポンプ出口配管											
2	型 式(励磁方式)											
3 永久磁石式												
4 目 盛 第 四 0 ~ 15 m³/h	精 度	(3) 抵抗測定 Ω	(4) 温度上昇 deg	(5) 標準換算 ℃	(6) 温度計法 deg	(7) 抵抗法 deg	(8) 標準値 mA	(9) 指示値 mA	(10) 漏 量 m³/h	(11) 漏 量 m³/h	(12) 漏 量 m³/h	1. 総合機能試験 (I)
5 約 ± 10 %	コイル材質											
6 永久磁石材質	7 アルニコ鋳造マグネット											
8 電 極 材 質	8 オーステナイト系ステンレス鋼(1対)											
リード線材質	9 オーステナイト系ステンレス鋼											
10 燐子合材質	10 ガラス鏡 屑板											
寸 法	11 2 B											
製 番	12 792315-1	Na 温 度	流 量	℃	(m³/h)	(m³/h)	(m³/h)	(m³/h)	流 量 計	流 量 計	流 量 計	2. 総合機能試験 (II)
設計出 力	13 5 mV / 15 m³/h											
耐 環 ラス	14 B クラス											
												3. 磁束密度測定 (49 / 4 / 3)
												磁束中心(磁極に接して測定) N極 590 ガウス S極 590 ガウス
												否

表 3.4-8 1 次 Na 純化系プラギング計電磁流量計

仕 様	機器番号	製作・工場検査	据付・現地検査	試運転・総合機能試験				問題点・評価
				1. 総合機能試験(1)				
1	FE34.1-2	1. 電気試験(48/8/31) (1) 絶縁抵抗 1500MΩ : 1000Vメガ-	1. 電気試験(/ /) (1) 絶縁抵抗測定 Ω(V・メガ-)	1. 総合機能試験(1)				
2	測定点 ブライング計エコノマイザ出入口配管	(2) 絶縁耐力 AC1500V : 1分間						
3	型式(動磁方式) 鉄心コイル動磁式		2. ループ試験(48/8/6)					
4	目盛範囲 0~10 Z/min	(3) 抵抗測定 Ω : ℃ 3.61 Ω : 75℃換算	機器番号 目盛 (mA/h) (mV) (mA)	指示値 0(0) 0	誤差 0 0	流量計 (m³/h) (kg/cm²)(rpm)	出口圧力回復率 (kg/cm²)(rpm)	
5	精度 約±10%	(4) 温度上昇	2(10)	1.6667	1.98 0.13			
6	コイル材質 二重ガラス巻平角銀(H型鉄線)	41.5 deg : コイル温度計法 52.5 deg : コイル抵抗法	~ 4(20) 33333	4.0 0				
7	永久磁石材質 -	2. 磁束密度測定(48/8/31)	~ 6(30) 50	6.0 0				
8	電極材質 オーステナイト系ステンレス鋼(1対)	(1) 磁極中心 II) 5050 ガウス III) 850 ガウス 総計値	~ 8(40) 66667	8.0 0				
9	リード線材質 オーステナイト系ステンレス鋼		~ 10(50) 83333	10.0 0				
10	端子台材質 ガラス接着板		12(60) 100	12.0 0	2. 総合機能試験(II)			
11	寸法 1 B					試験番号	試験小項目	
12	製番 792316-1	No 温度 流量 (mA/h) ()	出力信号 ()	出力信号 ()				
13	収計出力 10 mV/60 Z/min							
14	耐絶缘性 B クラス							

否

表 34-9 2次主冷却系電磁流量計(A)

仕 素 條		製 作・工 場 檢 查		据 付・現 地 檢 查		試 運 試・総 合 機 能 試 験		問 題 点・評 価	
機 器 番 号		1. 電 気 試 験 (48/6/7)		1. 電 気 試 験 (/ /)		1. 総 合 機 能 試 験 (1)			
測 定 点		(1) 绝縁抵抗 600 MΩ : 500 Vメガ-		(1) 绝縁抵抗測定 MΩ(V・メガ-)					
型 式(励磁方式)		(2) 绝縁耐力 AC1000V : 1 分 間							
サ ド ル 型 心コイル式									
4	自 盛 蝶 開	(3) 抵抗測定 0.885 Ω : ℃		機 要 目 準 値		指 示 値		流 量 計	
5	精 度	(4) 温度上昇 Ω : 75℃換算		(mV/h) (mA)		(mV/h) (kg/cm²)		出 口 压 力 回 轉 數 (kg/cm²)(rpm)	
6	コイル材質 アルミニウム	(4) 温度計法 deg : 温度計法		0		0		指 示 値	
7	永 久 磁 石 材 質	(4) 抵抗法 deg : 抵抗法		-400 1.5		400 0		(rpm)	
8	電 阻 材 質 SUS 27	2. ループ試験 (49/4/13)		800 3.0		800 0			
9	リード線材質	2. 磁束密度測定 (48/6/7)		1200 4.5		1200 0			
10	端子台材質	(1) 磁極中心 ガウス		1600 6.0		1600 0			
11	寸 法 12B(SUS-27TP)	3. 流量校正 (48/6/23)							
12	製 番 159173-01	4. 測定 温 度 K		340 ℃		流 量 計			
13	設 計 出 力 6 mV/1600 m²/h	5. 油 量 (m³/h)		(mV)		試 験 号			
14	耐 霧 ク ラ ス A ク ラ ス	(6)		()		試 験 小 項 目			
	制御用電極(E)	6. 制御用電極(E)		1524 5.66		否			

表 3.4-10 2 次主冷却系電磁流量計 (B)

仕 様 機器番号	製作・工場検査	据付・現地検査			試運転・総合機能試験			問題点・評価
		1. 電気試験(48/6/7)	1. 電気試験(/ /)	1. 総合機能試験(I)	試験番号	試験小項目		
1 FE31.2-1B	(1) 绝縁抵抗 400 MΩ : 500 Vメガ一 (2) 绝縁耐力 AC1000V : 1分間	MΩ(V・メガ一)						
2 潤滑点 2次主冷却コールドフレイプ配管								
3 型式(励磁方式) サドル型空心コイル式								
4 目盛範囲 0 ~ 1600 m³/h	(3) 抵抗測定 0.87 Ω : ℃ Ω : 75°C換算	機器番号 目盛 (m³/h)	標準 値 (mV)	指示値 (mA)	誤差 (%)	流量計 (m³/h)	出口圧力回転数 (kg/cm²)(rpm)	回転数 校正用 (rpm)
5 精度 約±5%	(4) 温度上昇 deg : 湿度計法 deg : 抵抗法	0 -400 -800 -1200 -1600	0.1 1.6 31 46 61	4 0 12 16 20	0 0 800 400 1600	0 0 800 0 0		
6 コイル材質 アルミニウム ビニールシールド								
7 永久磁石材質 —								
8 電極材質 SUS 27	2. 磁束密度測定(48/6/7) (1) 磁極中心 ガウス	設計値						
9 リード線材質	3.287 ガウス at 340°C (2) 励磁電流 6600A チェック電圧33mV							
10 端子台材質								
寸法	3. 流量校正(48/6/23)							
11 12B(SUS-27TP)	No 温度 340°C 流量 (m³/h)	流量 (mV)	出力信号 ()	出力信号 ()	流量計			
12 製番 159173-02	設計出力 6 mV/1600m³/h	847 963	332 375					
13 耐震クラス	耐震クラス Aクラス	1158 1302	447 498					
14 制御用電極(E)		1504	569					

答

表 3.4-11 2 次補助冷却系電磁流量計

仕 様	機器番号	製作・工場検査			据付・現地検査			試運転・総合機能試験			問題点・評価	
		1. 電気試験(/ /)			1. 電気試験(/ /)			1. 総合機能試験(I)				
測定点		MΩ	V×万	(1) 絶縁抵抗測定 MΩ (V・メガ -)			(1) 絶縁抵抗測定 MΩ (V・メガ -)			試験番号	試験小項目	
2. 補助電磁ポンプ出口配管												
型式(動磁方式)	永久磁石式	V	分間	2. ループ試験(49/4/14)								
目盛電圧	4.0 ~ 8.0 mV/h	(3) 抵抗測定	Ω : ℃	Ω : 75℃換算	鏡面管	鏡面管	指示値	誤差	流量計	出口圧力	吸込數	回転数
精度	約±3%	(4) 溫度上昇	deg	deg : 溫度計法	管	(mV)	(mA)	(%)	(m³/h)	(kg/cm²)	(rpm)	(rpm)
コイル材質	-		deg	deg : 抵抗法	管	20	3.325	8	20	0		
永久磁石材質	MCB450相当 (JIS-C-2502に相当)	2. 磁束密度測定(48/8/15)	管	管	管	40	6.65	12	40	0		
電極材質	SUS 27	(1) 鏡面間中心, 磁気検査孔	管	管	管	60	9.975	16	60	0		
リード線材質	SUS-27TP	393 ガラス 515 ガラス	管	管	管	80	13.3	20	80	0		
端子台材質	-	端子値	管	管	管	10.5	1.6	6.00	0	0		
寸法	3B(SUS-27TP)流動管	(2) 回路電流	管	管	管	80	14.0	20	795	0.7	試験番号	試験小項目
製番	MEF-3B-135	3. 測量校正(49/7/31)	管	管	管							
設計出力	約0.01mV/(L/min)	MEF-3B-135	管	管	管							
耐震クラス	Aクラス	約0.01mV/(L/min)	管	管	管							
		(1) 10.5mV/1000L/min]	管	管	管							
		550 ガラス	管	管	管							
		3. 磁束密度測定(52.8.27)	管	管	管							
		磁気検査孔	管	管	管							
		550 ガラス	管	管	管							

表 3.4-12 2 次 Na 純化系電磁流量計

仕 庫 号		製 作・工 場 檢 查			握 付・現 地 檢 查			試 運 試・総 合 機 能 試 験			問 題 点・評 価	
機 器番号		1. 電 気 試 験 (/ /)	(1) 絶縁抵抗測定 MΩ : V×ガード	1. 電 気 試 験 (/ /)	(1) 絶縁抵抗測定 MΩ (V×メガード)	1. 総合機能試験 (I)	試験番号	試 験 小 項 目	試 験番号	試 験 小 項 目	試 験番号	
1	FE 34.2-1-1	1. 電 气 試 験 (/ /)	(1) 絶縁抵抗測定 MΩ : V×ガード	1. 電 气 試 験 (/ /)	(1) 絶縁抵抗測定 MΩ (V×メガード)	1. 総合機能試験 (I)						
2	純化系吸上ポンプ出口配管	(2) 絶縁耐力	V : 分 閑	2. ループ試験 (49/4/24)		2. 総合機能試験 (II)						
3	永久磁石式											
4	目盛範囲 0~10m³/h	(3) 抵抗測定 Ω : ℃	Ω : 75℃換算	機器番号	目盛 値 (m³/h)	標準 値 (m³/h)	指示値 (m³/h)	誤差 (%)	流量計 (m³/h)	出入口正圧 (kg/cm²)	回転数 (rpm)	
5	精度 約±3%	(4) 温度上昇	deg : 温度計法 deg : 抗 法	0	0	4	0	0				
6	コイル材質 -	deg : 温度計法 deg : 抗 法		2.5	4.65	8	2.5	0				
7	永久磁石材質 (JIS-C-2502に相当)	2. 磁束密度測定 (48/8/14)		5.0	9.29	12	5.0	0				
8	電極材質 SUS 27	(1) 磁極間中心, 磁気検査孔 1520 ガウス 1670 ガウス		7.5	13.94	16	7.5	0				
9	リード線材質 SUS 27 TP	設計値		10	18.58	20	10.0	0				
10	端子台材質	(2) 励磁電流 A										
11	寸 法 1 B (SUS 27 TP)	3. 流量校正 (48/7/31)										
12	製 番 MEF-1B-133	No 温 度 3 4 0 ℃	℃									
13	激 叶 出 力 約 0.1 mV/(L/min)	流 量 (m³/h)	出力信号 (mV)	出力信号 ()								
14	耐 霧 ク ラ ス B ク ラ ス	164	3.12									
		2.68	4.95									
		4.05	7.53									
		6.32	11.76									
		7.49	13.93									
		〔 11115 mV/100 L/min 〕										

表 3.4-13 2 次 Na 純化系電磁流量計 (B)

仕 様		製 作・工 場 檢 查		掘 付・現 地 檢 查		試 運 試 験・総 合 機能 試 験		開 通 点・評 価	
1	機 器番 号 FE 34.2-1-2	1. 電 気 試 験 (/ /)		1. 電 気 試 験 (/ /)		1. 総 合 機能 試 験 (I)			
2	測 定 点 汲上げ分歧配管	(1) 绝縁抵抗 MΩ : V×ガード		(1) 绝縁抵抗測定 MΩ (V×ガード)		試 験番 号		試 験 小 項 目	
3	型 式(励磁方式) 永久磁石式	(2) 绝縁耐力 V : 分 间		2. ループ試験 (49/4/24)					
4	目 盛 署 囲 0 ~ 10 m³/h	(3) 抵抗測定 Ω : ℃		機 器番 号		指 示 値		出 口 壓 力	
5	特 性 約 土 3 分	Ω : 75℃換算		目盛 (m³/h)		誤 差 (%)		回 転 數 (kg/cm²)(rpm)	
6	コ イ ル 材 質 -	(4) 溫 度 上昇 deg : 温度計法		0		0		(m³/h)	
7	永 久 磁 石 材 質 (JIS-C-2502に相当)	deg : 抵抗法		1.25		4		2.5	
8	電 鋼 材 質 SUS27	2. 磁束密度測定 (/ /)		2.365		8		1.25	
9	リ ー ド 線 材 質 SUS27TP	(1) 磁極間中心、磁気検査孔 1570ガウス		2.5		1.2		0	
10	端子合材質 寸 法	(2) 厄磁電流 -A		3.75		1.6		3.75	
11	1 B (SUS27TP) 流動管	3. 流量校正 (48/7/31)		5.0		0		0	
12	電 計 番 MEF-1 B-134	Na溫 度		3 4 0 ℃		流 量		流 量	
13	電 計 出 力 約 0.1 mV/L/min	出 力 倍 号 (m³/h) (mV)		出 力 倍 号 ()		試 験番 号		試 験 小 項 目	
14	耐 電 ラ ス B クラス	1.64 3.12		1.64 3.12		1.64 3.12			
		2.68 5.06		2.68 5.06		2.68 5.06			
		4.05 7.72		4.05 7.72		4.05 7.72			
		6.32 1.203		6.32 1.203		6.32 1.203			
		7.49 14.11		7.49 14.11		7.49 14.11			
		〔 11.35 mV/100 L/min 〕							

試験方法

(1) 1次、2次主冷却系電磁流量計の較正方法

高速実験炉「常陽」の1次、2次主冷却系電磁流量計の較正は、大洗工学センターナトリウム機器構造試験室の耐久試験ループを利用して、落下法により実流較正試験を実施した。試験装置および計測系の概念図を図3.5-1に示す。

較正手順は、まず較正すべき流量計を12B配管に据付けた後、ナトリウムをダンプタンクで所定の温度まで加熱する。次にアルゴンガス連通管の調節弁を閉じてダンプタンクを加圧し、ナトリウムをヘッドタンクの高レベルまで上げる。次いで、12B配管内のナトリウムおよびヘッドタンク内のナトリウムが所定の温度に均一に加熱されていることを確認した後、アルゴンガス連通管の調節弁を開き、ナトリウムをヘッドタンクからダンプタンクへ重力落下させる。

このときのナトリウム流量は調節弁の開度により調節する。

電磁流量計の較正は、出力電圧を積分することにより、次のように行う。すなわち、流量計の出力計の出力電圧 $E(t)$ はナトリウム流量 $Q(t)$ に比例することから

$$E(t) = A \cdot Q(t) \quad A \text{は較正定数} \quad (1)$$

が成り立ち、上式の両辺を時間 t で積分することにより

$$\int_{t_1}^{t_2} E(t) dt = A \cdot \int_{t_1}^{t_2} Q(t) dt \quad (2)$$

となる。ここで上式の右辺の $Q(t)$ の積分は時刻 t_1 から t_2 の間に落下するナトリウム量に相当する。それ故、落下するナトリウム量と流量計の出力電圧の積分値がわかれば較正定数 A が求まる。図3.5-2にデータの概念図を示す。今、時刻 t_1 でヘッドタンクの高位レベル計が作動し、 t_2 で低位レベル計が動作したとすると、この間の $Q(t)$ の積分値はヘッドタンクのレベル差より求まり、出力電圧の積分値は図3.5-2より求めることができる。よって A の算出が可能となる。

次に本法による較正精度の検討をしてみよう。

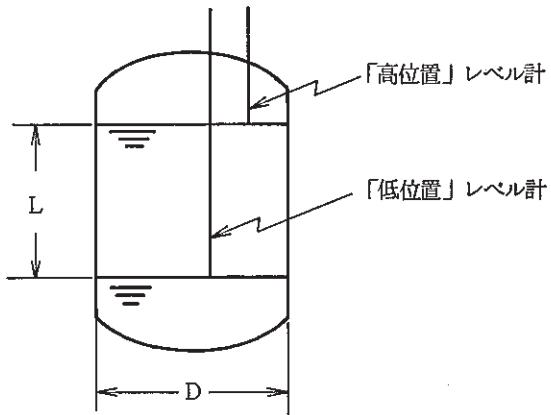
流量 Q と流量計のmV出力 E との間に、 $E = A Q$ が成り立つと仮定すれば、較正係数 A は(2)式より

$$A = \int_{t_1}^{t_2} E dt / \int_{t_1}^{t_2} Q dt \quad (3)$$

流量計の mV 出力の積分値を S ($mV \cdot sec$) とし、落下する Na 量を V (m^3) とすれば(3)式は

$$A = S / A \quad (4)$$

$$= S / \frac{\pi}{4} D^2 L \quad (5)$$



較正係数 A の相対誤差の最大値は(5)式より

$$\left| \frac{dA}{A} \right|_{max} \leq 2 \left| \frac{dD}{D} \right|_{max} + \left| \frac{dL}{L} \right|_{max} + \left| \frac{dS}{S} \right|_{max} \quad (6)$$

となる。

(i) $\left| \frac{dD}{D} \right|_{max}$ の評価

常温における測定誤差は「鋼製巻尺」を使用した場合 J I S 規格によると

検査寸法	検査台上での許容誤差	
	1 級	2 級
1 m 以下	± 0.3 mm	± 0.6 mm
1 m ~ 2 m	± 0.4	± 0.8
2 m ~ 3 m	± 0.5	± 1.0

J I S B 7512 (1966)

測定誤差は計器自身の誤差と測定のしにくさから生じる姿勢誤差を考えるべきである。

D の寸法	巻尺の許容誤差（1級）	姿勢誤差	計	$ ΔD/D _1$
1800 mm	± 0.4 mm	± 2 mm	± 2.4 mm	0.14 %

又、熱膨張により、常温から370℃になった場合の伸びは

$$\begin{aligned}\alpha(T - T_0) &= 16.7 \times 10^{-6} \times (370 - 20) \times 100 \\ &= 0.58\%\end{aligned}$$

線膨張係数の不確定さやNa温度の不均一などによる温度補正の誤差を±20%とすると

$$\left| \frac{\Delta D}{D} \right|_2 = 0.58 \times \frac{20}{100} = 0.12\%$$

従って

$$\left| \frac{\Delta D}{D} \right|_{max} \leq 0.14 + 0.12 = 0.26\% \quad (7)$$

(ii) $\left| \frac{\Delta L}{L} \right|_{max}$ の評価

(i)の場合と同様の検討を行なって

L の寸法	巻尺の許容誤差（1級）	姿勢誤差	計	$ ΔL/L _1$
1500 mm	± 0.4 mm	± 5 mm	± 5.4 mm	0.36 %

一方、Na落下時の自由液面の“ゆらぎ”を10mmと仮定すると

$$\left| \frac{\Delta L}{L} \right|_2 = \frac{10}{1500} \times 100 = 0.67\%$$

温度補正の誤差は(i)と同様に

$$\left| \frac{\Delta L}{L} \right|_3 = 0.12\%$$

従つて

$$\left| \frac{\Delta L}{L} \right|_{\max} \leq 0.36 + 0.67 + 0.12 = 1.15\% \quad (8)$$

(iii) $\left| \frac{\Delta S}{S} \right|_{\max}$ の評価

mV 積算計の仕様は現在のところ未定であるが、その精度は 0.2 %程度を期待できるであろう。

$$\left| \frac{\Delta S}{S} \right|_{\max} \leq 0.2\% \quad (9)$$

(i)(ii)(iii)の結果を(6)式に代入すると

$$\left| \frac{\Delta A}{A} \right|_{\max} \leq 2 \times 0.26 + 1.15 + 0.2 = 1.9\%$$

となる。

よって較正係数 A は 1.9 %の精度で測定し得る見込みである。一方「常陽」実機の流量は、流量計からの mV 出力を記録計から読み取り、その値に較正係数 A を掛けて得られるので、記録計の誤差もさらに考慮する必要がある。その誤差を ± 0.5 %とすれば、「常陽」実機の流量は 2.4 %の精度で測定することが可能である。

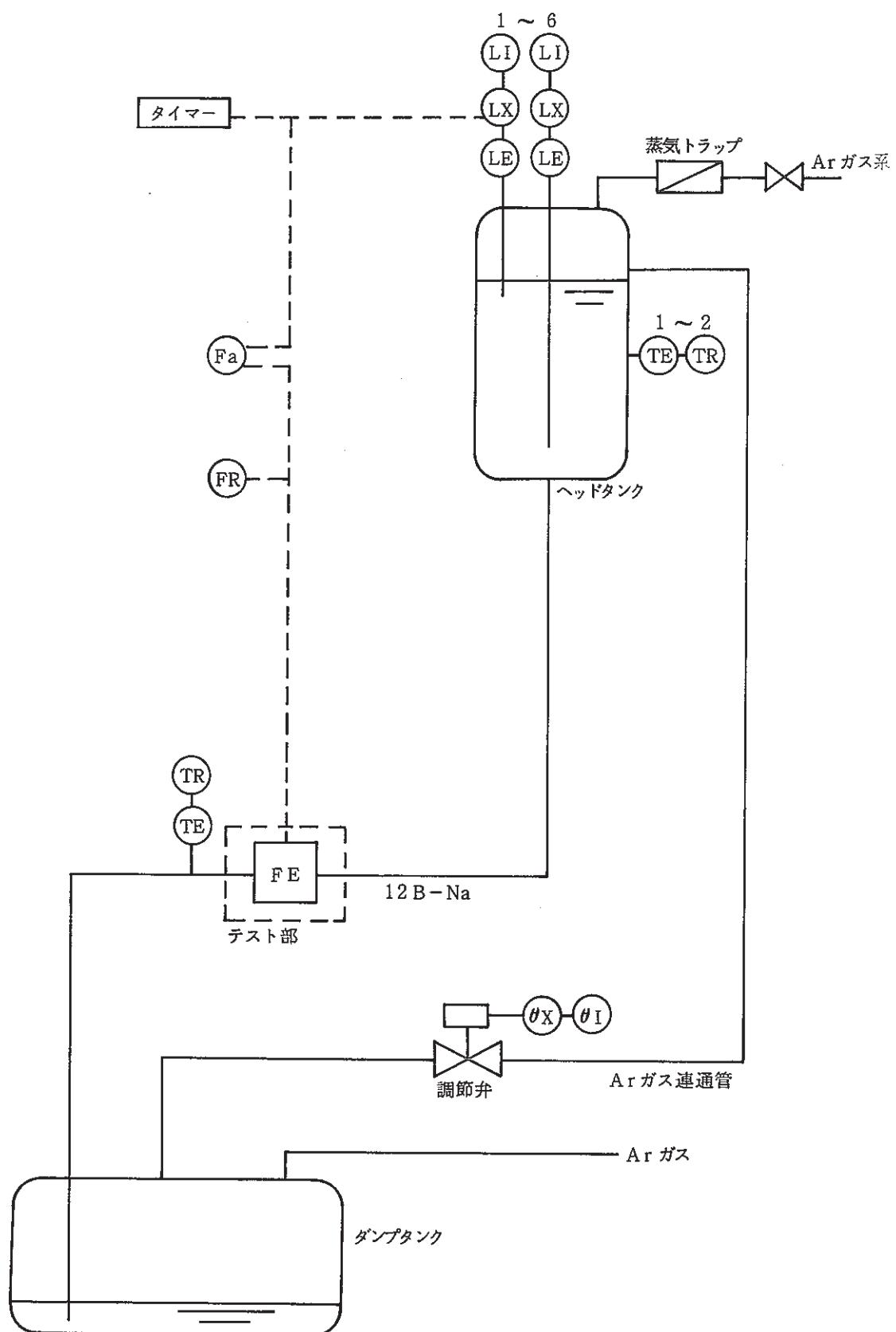


図 3.5 - 1 流量計較正試験装置概念図

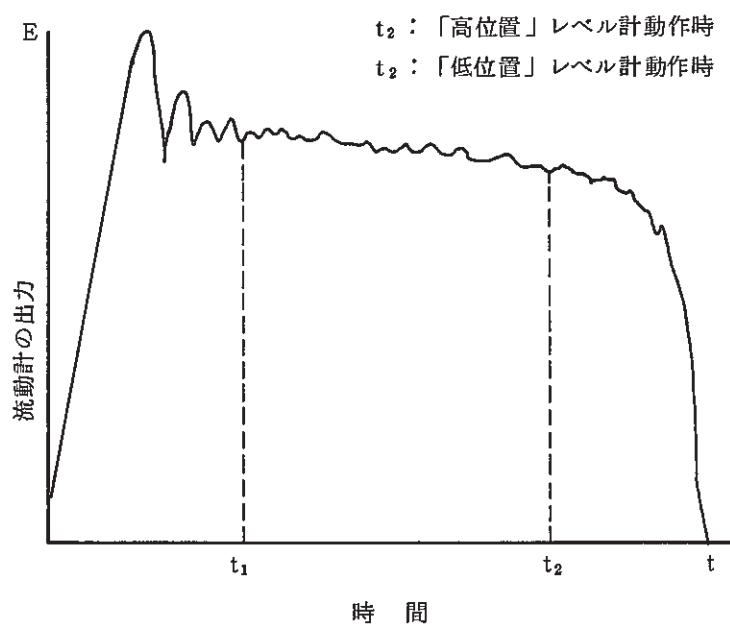


図 3.5-2 較正データ概念図

(2) 1次補助系，オーバフロ系電磁流量計の較正方法

高速実験炉「常陽」の1次補助冷却系およびオーバフロ系電磁流量計は、日立製作所日立研究所のナトリウム試験ループにおいて、容積法により較正試験を実施した。試験装置及び計測系の概念図を図3.5-3, 図3.5-4に示す。

較正手順は、まずバルブA, Bを開、C, Dを閉とし、電磁ポンプ(EMP)により、較正用流量計(EMF)を通してナトリウムをダンプタンクから計量タンクへ移送して計量する(図3.5-3中に示した⇒印がナトリウムの流れを示す。)ナトリウム移送量の計測は図3.5-4に示した計量タンクを用いて行なう。計量タンクが一杯になったら、EMPの流れ方向を変更し、計量タンクよりダンプタンクへナトリウムを戻す。(→印の方向)較正試験中のナトリウム温度は、 T_1 , T_2 、および計量タンクに設置された熱電対 T_1 により監視され、一定に保たれる。

電磁流量計出力電圧に対する積分操作等は、主冷却系用電磁流量計の場合と同様である。

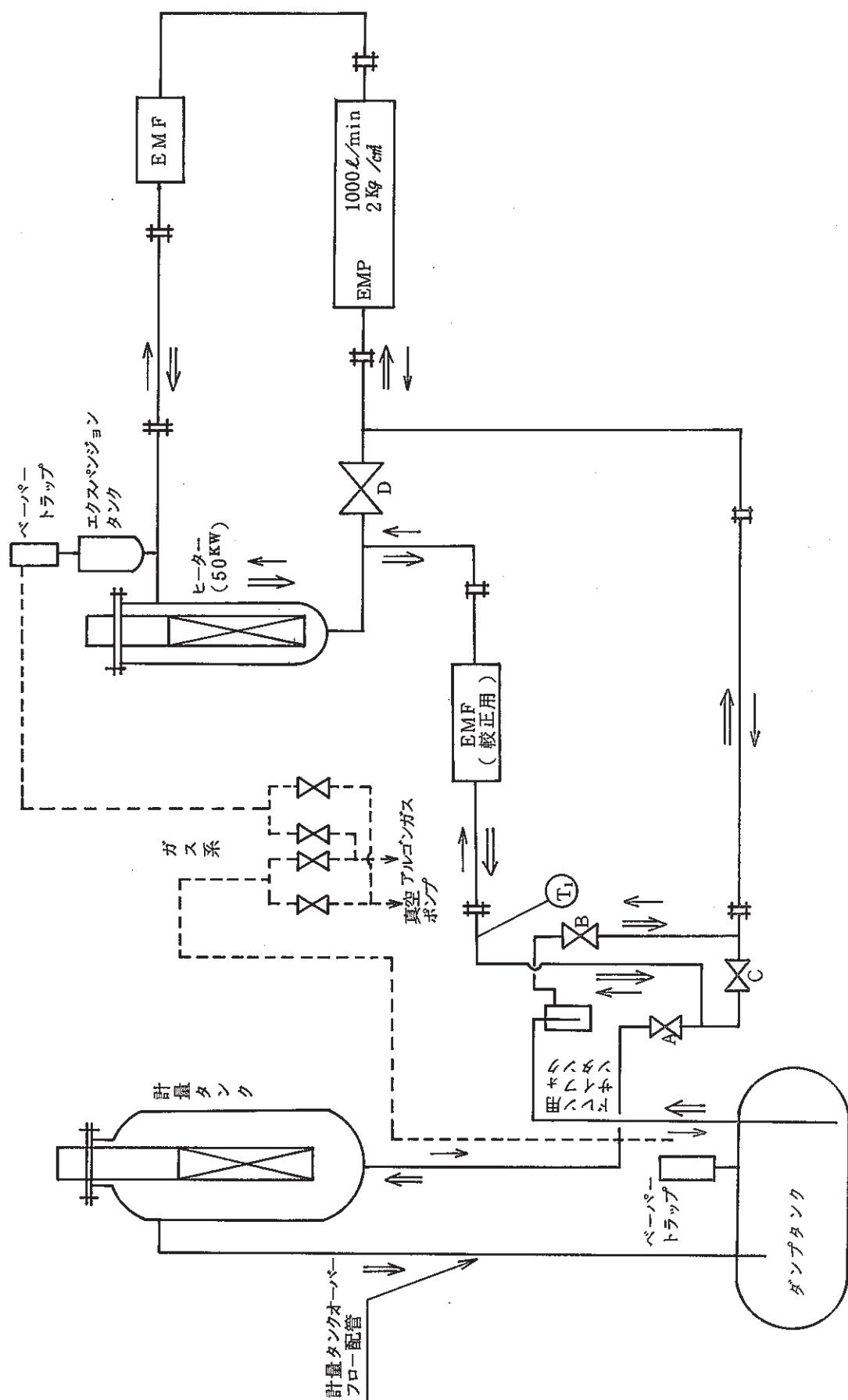
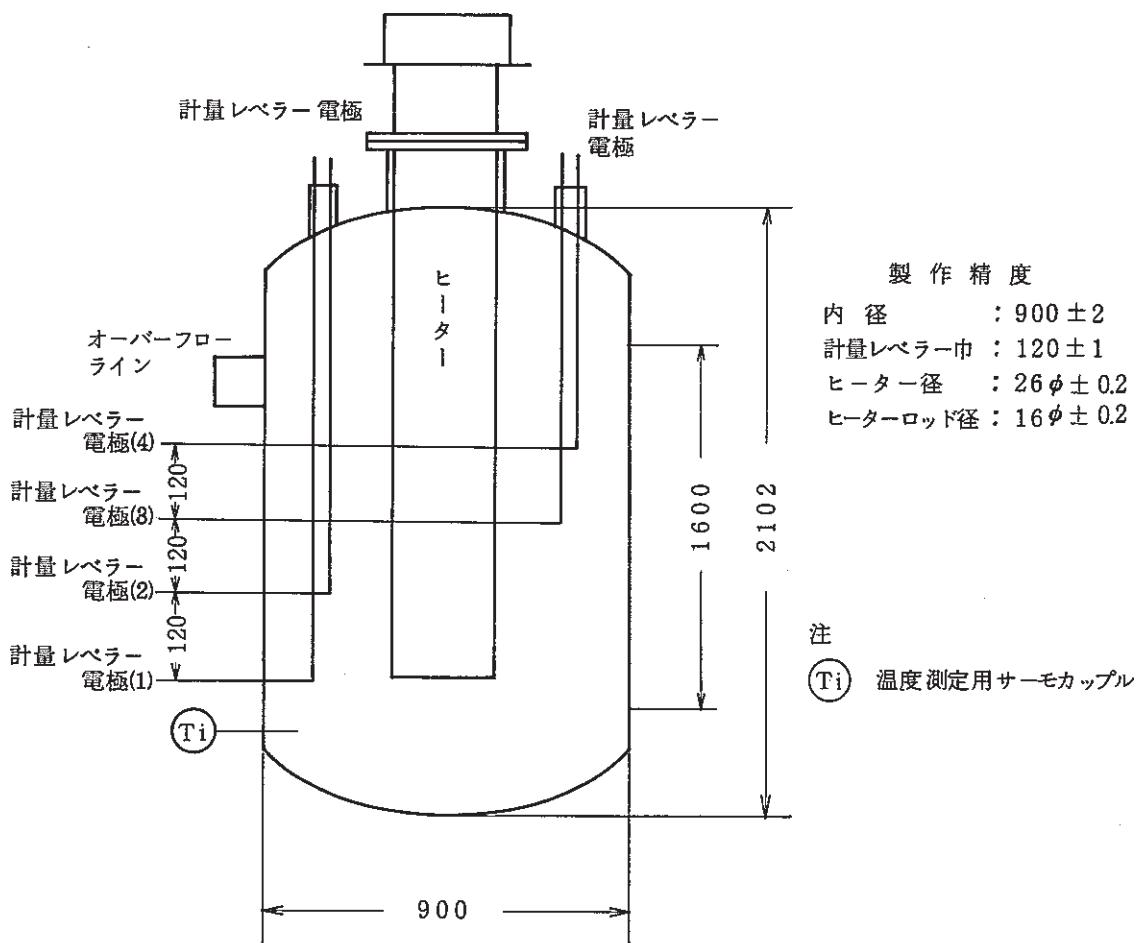


図 3.5-3 ナトリウム試験回路



電極(1)～(4)間のナトリウム容量 2268 ℥ at 500°C
各電極間のナトリウム容量 75.6 ℥ [0.0756 m³] at 500°C

なお上記製作精度範囲内での容量誤差は±0.6%の範囲内である。

図 3.5-4 計量タンク詳細

(3) 2次補助系, 2次純化系電磁流量計の較正方法

高速実験炉「常陽」の2次補助系, 2次純化系電磁流量計の較正試験は, 三菱原子力工業(株)大宮研究所のナトリウム機器試験ループにおいて, 落下法により実施された。試験ループと較正系の概要を図3.5-5に示す。

試験手順はまず, 試験すべき電磁流量計計3台を試験ループに据付け, 系統にナトリウムをチャージした後, V_1 , V_2 を閉にして系統内の温度を所定の温度にする。次に, オーバーフロータンク内チャージ液位を確認する。試験流量はオーバーフロータンク及びダンプタンク内カバーガス圧力設定及びドレン弁(V_1 又は V_2)の開度調節により調整するものとする。次いで, 電磁流量計の出力電圧を記録すべき記録計をスタートさせ, FM3B-1000(補助系用)試験時は V_1 をFM1B-100(純化系用)試験時は V_2 を開きナトリウムを流す。落下中, オーバーフロータンクに設けた液位計により積算流量を求め, これと出力電圧の積分値から較正定数を求める。

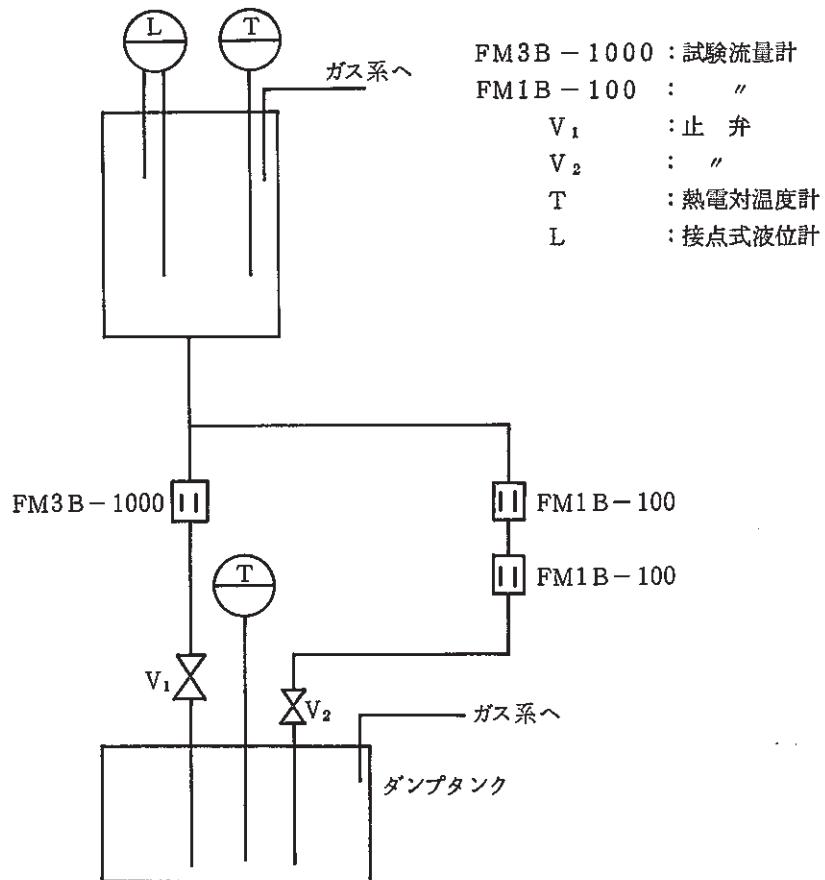


図3.5-5 電磁流量計較正系

(4) 現地据付後の磁束密度測定方法

1次冷却系の永久磁石式電磁流量計に関して、現地据付後の磁束密度を測定するため、図3.5-6のようなジグを作り、これを用いて同図に示したような要領で測定を実施したが、測定データがバラツイでうまくいかなかつた。

このため以後は永久磁石の磁極面中心（けがき線にてマーキングがしてある）にホール素子を密着させて、磁束密度を測定する方法を採用している。この測定法の場合、磁極の温度がかなり高温になるため、測定を迅速に行なわないとホール素子が損傷したり、正しい測定が行えなくなることがあるので注意を要する。

2次系冷却系の永久磁石式電磁流量計に関しては、磁気検査孔があり、この検査孔にホール素子を挿入して磁束密度の測定を行なう。

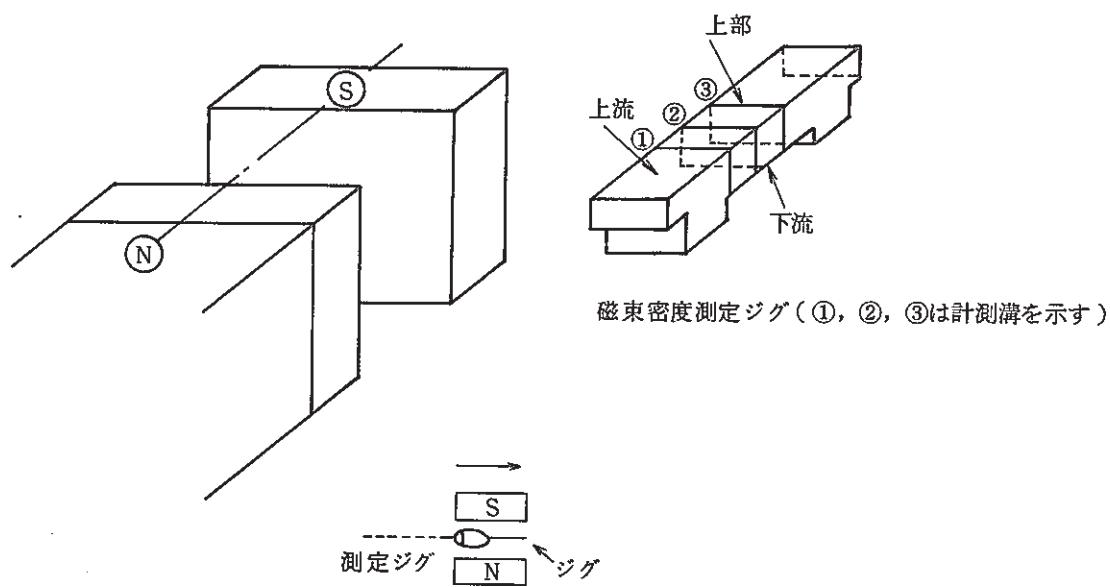


図3.5-6 磁束度測定用ジグとその使用法

4. 謝 辞

本資料にまとめた各種データは、工場試験、現地据付試験、総合機能試験を通じて得られたものであり、担当メーカーをはじめとする試験担当者の努力に負うところが大である。「常陽」電磁流量計の設計、製作、検査に携さわった多くの方々に対して謝意を表する。

5. 参 照 文 献

- (1) J. A. SHERCLIFF: Electromagnetic Flow-Measurement, University Press Cambridge, pp23-31, 1962.
- (2) FOUST: Sodium-NaK Engineering Handbook Vol. 1.