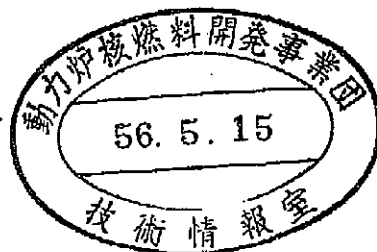


本資料は2001年7月31日付で
登録区分変更する。 [技術展開部技術協力課]

配管内付着ナトリウム量調査報告書



1981年2月

動力炉・核燃料開発事業団

本資料は、核燃料サイクル開発機構の開発業務を進めるために作成されたものです。したがって、その利用は限られた範囲としており、その取扱には十分な注意を払ってください。この資料の全部または一部を複写・複製・転載あるいは引用する場合、特別の許可を必要としますので、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)



配布限定

PNC T₈N 242 81-01

1981年2月

配管内付着ナトリウム量調査報告書

高橋 敏夫¹⁾, 山本 研⁷⁾, 深田 富啓¹⁾,
丸山 昭⁴⁾, 佐々木修一³⁾, 金田 誠⁷⁾,
花田 達道⁷⁾, 水谷 友律⁸⁾, 佐藤 聡⁹⁾,
中筋 孝⁵⁾, 井口 達郎⁶⁾, 石井 陽一郎²⁾,
高荷 智⁴⁾, 遠藤 順一⁹⁾

要 旨

「もんじゅ」一次冷却系メンテナンス時の被曝評価をより正確に行なうためには、ナトリウムドレン後の配管内付着ナトリウム量を把握しておく必要がある。その手段の一つとして大洗工学センターで稼動中のナトリウム装置の解体、改造の機会を利用して配管内に付着するナトリウム量を実測し、以下の結果を得た。

- (1) 付着ナトリウムの平均膜厚は、「常陽」「もんじゅ」の設計値(100 μ m)の $\frac{1}{4}$ ~ $\frac{1}{2}$ 程度である。
- (2) 付着ナトリウムの平均膜厚は、配管勾配、配管口径によらず、ほぼ一定である。

-
- 1) 高速増殖炉開発本部 ナトリウム技術グループ
 - 2) " 原型炉準備室
 - 3) 高速増殖炉開発本部
 - 4) 大洗工学センター ナトリウム技術部 ナトリウム技術開発室
 - 5) " " " (現在 三菱重工業㈱)
 - 6) " " ナトリウム流動伝熱試験室

- 7) 大洗工学センター ナトリウム技術部 ナトリウム機器構造試験室
- 8) " " ナトリウム分析室
- 9) " 蒸気発生器開発部 50 MW 蒸気発生器試験室

1. はじめに

高速増殖炉一次冷却系に存在する放射性物質としては、放射性ナトリウム (^{22}Na , ^{24}Na)、および放射性腐食生成物 (CP) がある。燃料破損が生じた場合には核分裂生成物 (FP) もこれに加わることになる。

運転初期においては、放射性ナトリウムが主要放射性物質となるが、運転期間と共に CP の割合が増加してくる。

一次冷却系メンテナンス時の被曝評価を行なうためには、ナトリウムドレン後に、系内に残留するこれらの放射性物質の量を把握しておく必要があるが、このために必要なデータは必ずしも充分ではない。

そこで上記放射性物質のうちで特に、ナトリウムドレン後の放射性ナトリウム量を定量的に把握するため、大洗工学センターのナトリウム装置解体時および改造時に配管内に付着するナトリウム量を調査する一方、これらのデータを補足するため55年度からナトリウム機器構造試験室において配管内付着ナトリウム量測定試験を開始した。

本報告書は、このうち前者すなわち配管内付着ナトリウム量調査結果に関するものである。

なお、本調査は、原型炉準備室からの依頼(業務連絡 MM-78-007, MR-78-012)に基づき昭和53年末から昭和55年末にわたって実施した。

2. 調査の目的

「もんじゅ」一次冷却系メンテナンス時の被曝評価を行なうためには、ナトリウムドレン後の系内放射性物質の分布を把握しておく必要がある。すなわち、配管および機器(炉容器、ポンプ、IHX、逆止弁等)に対し、下記のデータを求めておかなければならない。

- (1) 系内壁面に沈着した放射性物質の量
- (2) 構造材内面に拡散浸透した放射性物質の量
- (3) 運転時にはナトリウム中に溶解あるいは混在してドレン後系内壁面に付着する放射性物質の量
- (4) 構造上あるいは配置上ドレンできない放射性物質の量

これらのうち本調査では、配管特に直管に対して上記(3)の概略値を得ることを目的としている。なお、ナトリウム装置解体時および改造時のサンプリングだけではデータが限定されるため、本調査では付着ナトリウム量の概略値を得るにとどめ、種々のパラメーターを考慮した付着量の定量化は別途実施の「配管内付着ナトリウム量測定試験」にて行なう。

3. 調査方法

大洗工学センターのナトリウム技術部全室および蒸気発生器開発部 50 MW 蒸気発生器試験室に対し、本調査の主旨説明を行なうとともに、これら全室（ナトリウム分析室を除く）における今後 1, 2 年間のナトリウム装置改造・解体計画について調べた。その結果、以下の 4 つの装置が調査対象としてあがった。

- (1) ナトリウム流動伝熱試験装置の「もんじゅ」燃料集合体流動試験部（ナトリウム流動伝熱試験室）
- (2) 材料試験ループ I の M-1 ドーターループ（ナトリウム技術開発室）
- (3) 「常陽」ナトリウム冷却系機器耐久試験装置（ナトリウム機器構造試験室）
- (4) 1 MW 不安定現象試験装置（50 MW 蒸気発生器試験室）

調査要領書（添付資料-1）に基づき上記装置の配管内付着ナトリウム量を調査した。

配管のサンプリング、ナトリウム洗浄は各室で行ない、分析はナトリウム分析室で行なった。（(3)についてはナトリウム処理室で分析した。）

4. 調査項目

付着ナトリウム量に影響を与えるパラメーターとしては種々考えられるが、本調査では以下のパラメーターについて調べた。

- (1) 配管口径
- (2) 配管勾配
- (3) 配管材質
- (4) ナトリウムドレン温度
- (5) ナトリウムドレン後予熱温度
- (6) ナトリウムドレン後予熱時間
- (7) 運転時間（配管ぬれ時間）
- (8) ナトリウム純度

上記以外に、配管の周方向および長さ方向の付着量分布を目視観察するとともに写真撮影を行なった。

5. 調査した装置の概要および配管サンプリング位置

- (1) ナトリウム流動伝熱試験装置の「もんじゅ」燃料集合体流動試験部（図-1 参照）

昭和 48 年 5 月にナトリウム流動伝熱試験装置の主循環系の一部として増設されて以来、昭和 53 年 12 月に試験部の交換工事を行なうまで「もんじゅ」1 次試作模擬炉心

燃料集合体をはじめとして、「もんじゅ」5次試作体まで合計14体の流動耐久試験を実施してきた。

積算使用時間は、主循環ポンプ運転時間で約23,300時間、試験部ナトリウム温度は600℃、配管材質はSUS304である。

配管サンプリング位置を図-2～4に示す。サンプルは8^B水平配管から5本、8^B垂直配管から2本、4^B水平および垂直配管から各1本、1^B水平配管から2本の計11本採取した。

(2) 材料試験ループIのM-1ドーターループ(図-5参照)

高温、高流速のナトリウム環境下におけるFBR用構造材料の腐食、質量移行現象を研究する目的で昭和45年3月に建設された。以後、マザーループからナトリウムの供給を受けて流動ナトリウム中でSUS304、SUS316およびSUS321のオーステナイト系ステンレス鋼の試験を実施してきた。装置の積算運転時間が32,000時間以上に達したところで長時間使用されたナトリウム配管の材料試験を行なう目的で昭和54年1月に装置を解体した。

装置内の最高試験部温度、最低試験部温度はそれぞれ600℃、390℃、配管材質はSUS304である。

配管サンプリング位置を図-6、7に示す。サンプルは電磁流量計の入口側から2本(直径19.0mm)採取した。

(3) 「常陽」ナトリウム冷却系機器耐久試験装置(図-8参照)

高速実験炉「常陽」二次冷却系の機器(主循環ポンプ、主中間熱交換器、空気式ナトリウム冷却器等)の性能・耐久性および配管材(2¼Cr-1Mo鋼)の健全性を確認するため昭和48年2月に建設された。装置完成後、実機と同等の条件で運転が行なわれてきたが、昭和55年3月に積算運転時間が32,000時間に達したところで、構成機器および配管材の検査、材料試験のために解体された。

定格運転時における中間熱交換器の一次側ナトリウム入口、出口温度、二次側ナトリウム入口、出口温度はそれぞれ500℃、370℃、340℃、470℃である。また、配管材質は一次側はSUS304、二次側はSTPA24(2¼Cr-1Mo鋼)である。

配管サンプリング位置を図-9～14に示す。サンプルは一次側から2^B水平配管2本、2^B垂直配管1本、二次側から2^B水平配管8本、12^B水平配管3本、3^B垂直配管1本、12^B垂直配管1本の計16本採取した。

(4) 1 MW 不安定現象試験装置 (図-15 参照)

昭和51年10月に、蒸気発生器を改造、設置し、昭和51年11月から昭和52年3月まで流動不安定現象試験を行なった。その後、昭和53年10月に装置の一部改造を行ない昭和53年11月から昭和54年3月までDNB (Departure from Nucleate Boiling) 試験が実施された。

積算運転時間は約4,600時間、試験ナトリウム温度は475℃、配管材質はSTPA 24 (2 1/4 Cr-1 Mo 鋼) およびSUS 304 である。

配管サンプリング位置を図-16~18に示す。サンプルは2^B水平配管13本、3^B水平配管2本および3^B垂直配管1本の計16本採取した。

6. 調査結果

全収集データを表-1に示す。これらのデータを配管勾配、配管内径をパラメーターとして整理したのが図-19、図-20である。

これらの図から以下の事がわかる。

- (1) M-1 ドーターループのデータ (■印) は、小口径かつ機器の影響を受けやすい部分 (電磁流量計の入口部) のデータであるという理由で削除するとすれば、配管勾配、配管内径が大きくなるにつれて付着ナトリウム膜厚は薄くなるという傾向が多少あるが、全体的に見た場合これら両者に対する依存性は顕著ではない。
- (2) 付着ナトリウム平均膜厚は、大体50 μm 以下である。

7. 検 討

添付資料-1のb) 対象配管から判断するとナトリウム付着量の少ない配管のみ採取したような印象を与えるが、添付資料-1に示したような残留ナトリウムの多い個所というのは試験装置固有のものであり、実機一次主冷却系においては存在しない (例えば、バルブについては逆止弁1個しかなく、これにはドレンラインがついている) と考えられるので、本調査のサンプリング位置およびデータは妥当なものであると考えられる。

本調査では直管についてのみデータを示したが、「常陽」ナトリウム冷却系機器耐久試験装置の解体では曲り管のデータもとった。このデータによると、曲り管についてもほぼ同じオーダーのデータが得られており、本調査で得られたデータは配管全体に対して適用できるものと思われる。

7. おわりに

原型炉準備室からの依頼に基づきナトリウムドレン後の配管内ナトリウム付着量の調査を行なった。調査期間が約2年と短かかったため、データ不足であることは否めない。しかしながら、種々のパラメーター効果はあるにしろ、オーダー的にナトリウム付着量を把握できたことは大いに意義があると思われる。(パラメーター効果については、現在ナトリウム機器構造試験室で試験を実施しているので、後程その報告書を参照されたい。)

本調査は「もんじゅ」一次冷却系を対象として行なったが、このデータは今後大洗工学センターにおいて試験装置を建設する際の資料としても有用であろうと思われる。

本調査を遂行するにあたり協力していただいた、高速増殖炉開発本部、大洗工学センターのナトリウム技術部、蒸気発生器開発部の関係者各位に対し、感謝の意を表します。

参考文献

1. 藤尾, 吉利, 畠山他, “材料試験ループ I, M-1 ドーターループ解体後の材料検査”
動燃委託研究報告書 SJ 213 80-02 (1980)。
2. 岩本, 岸本, 中島他, “不安定現象試験体の検査 — 運転後の材料試験 —”
動燃委託研究報告書 SJ 299 79-16 (1980)。
3. 大和田, 磯崎, 片倉他, “高速実験炉一次冷却系配管表面の線量率分布”
動燃報告書 SN941 78-158 (1978)。

表 1. 収集データ一覧表

記号	サンプル名	サンプル寸法 (D×t×L)	管種	勾配(°)	ドレン 温度 (°C)	ドレン後 予熱温度 (°C)	ドレン後 予熱時間 (hr)	ループ 運転時間 (hr)	コールド トラップ 温度(°C)	付着ナト リウム量 (g)	配管内 表面積 (cm ²)	付着ナリウム 平均膜厚 (μm) ^{**}	ループ名
□	H-8-MI-1	216.3×6.5×1005	SUS304	0.7	280	200	8.5	23300	140	3.49	6416	5.6	ナトリウム流動伝熱試験装置
	H-8-MI-2	216.3×6.5×985		0.7						3.97	6288	6.5	
	V-8-MI-1	216.3×6.5×980		90						2.57	6256	4.2	
	H-8-MO-1	216.3×6.5×800		1.4						2.52	5107	5.1	
	H-8-MO-2	216.3×6.5×810		1.0						6.51	5171	13.0	
	H-8-MO-3	216.3×6.5×800		0.4						3.84	5107	7.8	
	V-8-MO-1	216.3×6.5×810		90						1.65	5171	3.3	
	H-4-MI-2	114.3×4.0×665		0.8						8.82	2220	41.0	
	H-1-MO-1	34.0×3.0×845		1.8						1.00	742.9	13.9	
	H-1-MO-2	34.0×3.0×580		2.4						0.56	509.9	11.3	
	H-8-HO-1	216.3×6.5×655		0.6*						2.86	4181	7.1	
■	FM-11	19.0×2.0×140	SUS304	2.3*	380	200 350	10~12	31800	190	1.07	65.9	167.7	材料試験ループ I
	FM-12	19.0×2.0×275		2.3*						0.54	129.5	43.1	M-1ドーターループ
■	H-1	60.5×3.9×553	SUS304	1.1*	250	250	13	32000	150	1.65	915.1	18.6	「常陽」ナトリウム冷却系機器耐久試験装置
	H-2	60.5×3.9×550		"*						1.61	910.1	18.3	
	H-3	60.5×3.9×525		90*						1.03	868.8	12.2	
☒	H2-B-01	60.5×3.5×574	SUS304	2.3	200	200	18.5	4600	120	0.37	964.3	4.0	1 MW不安定現象試験装置
	H2-C-01	60.5×3.5×600		1.5						0.75	1008	7.7	
	V3-I-01	89.1×4.0×720		90						0.48	1834	2.7	
●	ISES-Q	60.5×3.9×393	STPA24	1.1*	250	250	13	32000	150	0.53	650.3	8.4	「常陽」ナトリウム冷却系機器耐久試験装置
	"-S	60.5×3.9×505		"*						0.77	835.7	9.5	
	"-T	60.5×3.9×302		"*						1.17	499.7	24.2	
	"-U	60.5×3.9×502		"*						0.54	830.7	6.7	
	"-X	60.5×3.9×504		"*						1.68	834.0	20.8	
	"-Y	318.5×10.3×310		90*						5.92	2900	21.1	
	"-Z	318.5×10.3×445		1.1*						1.93	4163	4.8	
	K-3	60.5×3.9×170		"*						0.42	281.3	15.4	
	K-5	60.5×3.9×493		"*						0.98	815.8	12.4	
	K-6	60.5×3.9×490		"*						1.63	810.8	20.8	
	K-7-1	318.5×10.3×542		"*						4.42	5070	9.0	
K-7-2	318.5×10.3×500	"*	4.15	4677	9.2								
K-9	89.1×5.5×360	90*	0.66	882.8	7.7								
○	H2-A-01	60.5×3.9×595	STPA24	2.0	200	200	18.5	4600	120	1.24	984.6	13.0	1 MW不安定現象試験装置
	H2-A-02	60.5×3.9×582		1.2						1.88	963.1	20.2	
	H2-A-03	60.5×3.9×615		1.7						2.27	1018	23.0	
	H2-B-02	60.5×3.9×522		0.3						4.23	863.8	50.6	
	H2-B-03	60.5×3.9×605		1.7						1.50	1001	15.5	
	H2-B-04	60.5×3.9×640		1.8						1.25	1059	12.2	
	H2-B-05	60.5×3.9×577		1.3						1.25	954.8	13.5	
	H2-B-06	60.5×3.9×566		1.0						1.20	936.6	13.2	
	H2-C-02	60.5×3.9×615		0.8						0.64	1018	6.5	
	H2-C-03	60.5×3.9×639		2.5						1.39	1057	13.6	
	H2-C-04	60.5×3.9×680		1.3						1.57	1125	14.4	
	H3-O-01	89.1×5.5×755		0						4.88	1852	27.2	
	H3-O-02	89.1×5.5×743		0.2						3.05	1822	17.3	

(注)* : 設計値(実測していない)

** : ナトリウム密度 $\rho = 0.9689 \text{ g/cm}^3$ ($t = 20^\circ\text{C}$) として計算

□ ナトリウム流動伝熱試験装置

■ 材料試験ループ I M-1ドーターループ

■ 「常陽」ナトリウム冷却系機器耐久試験装置 (SUS304)

● " (STPA24)

☒ 1 MW 不安定現象試験装置 (SUS304)

○ (STPA24)

配管内付着ナトリウム量の調査

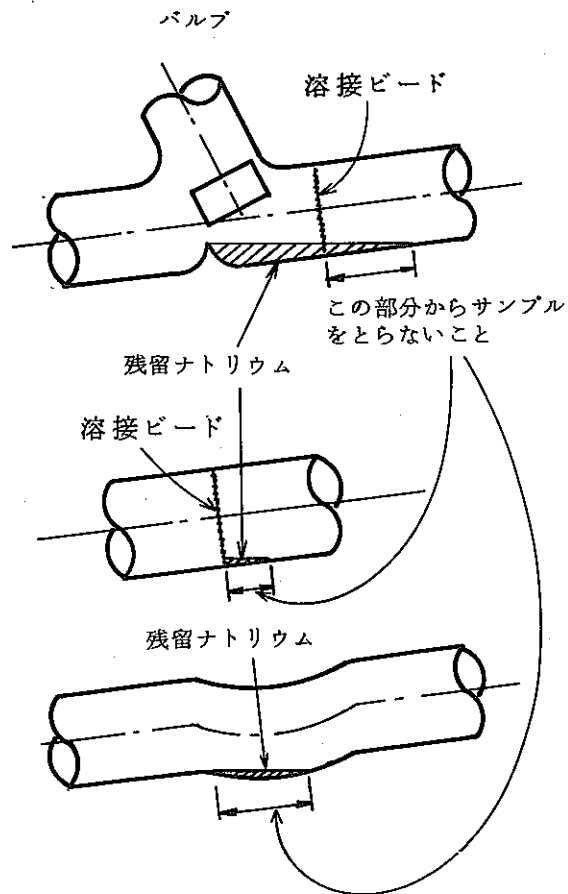
記

a) 対象配管

主循環系，精製系，チャージ・ドレン系の配管

なお，サンプル採取に当っては，下記に注意すること。

構造および配置上，ナトリウムが比較的多量に残留するような場所（バルブのすぐ上流，配管にたるみができている個所，溶接ビードのある個所）は，極力避けること。



b) 実施手順

- ① ループ配管取替および解体前のドレン温度、予熱時間およびナトリウム純度（コールドトラップ温度）をデータシートに記入しておく。
- ② ループ配管取替および解体時にサンプルに番号をつけ勾配を測定する。
- ③ サンプルを切り出す。（一応の目安として $l \approx 500 \text{ mm}$ とする）
- ④ サンプルの寸法を測定する。
- ⑤ サンプルのナトリウム付着状況を目視にて観察し、データシートに記入する。
また、できれば写真を撮っておく。
- ⑥ （アルコール洗浄の場合）
 - ④ サンプルをアルコール（変性アルコールでよい）で洗浄する。（使用アルコール量は配管寸法、付着ナトリウム量に応じて決め、溶液の濃度が極端に薄くならないようにすること。）
 - ⑤ この溶液にアルコラートを溶かすために使用アルコール量の約20%容量の水を加えよくかきまぜた後、液量を測定する。
（スチーム洗浄の場合）
 - ④ サンプルにスチームを当て液を容器に回収し、液量を測定する。この際スチームによりナトリウムが容器から飛び出さないように注意。また、比較的サンプルの出入口のナトリウムが残りやすいので注意して洗浄のこと。
 - ⑤ この液からサンプルとして500～1,000 cc採取し密栓する。
 - ⑥ このサンプル液に室名、配管サンプル番号を記入の上、分析室に提出する。
 - ⑦ 分析室から分析結果入手後、付着ナトリウム量を計算し、データシートに記入する。
 - ⑧ データシートをコピー後、原紙を本社Na Grに送付する。（コピーは各室で保管する。）

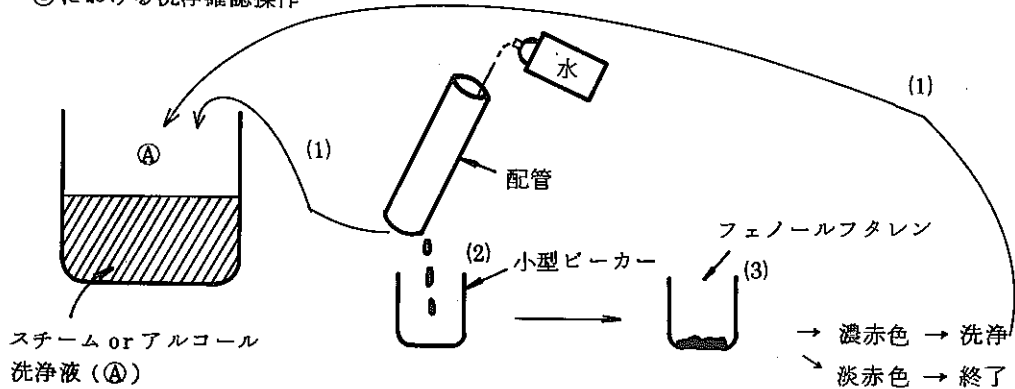
c) 洗浄における注意

- ① 洗浄液量はなるべく少なくすること。
- ② 液量は最低有効桁3桁程度の精度で測定すること。（例 415 ml, 1,255 ml）
- ③ 洗浄液はナトリウム含有量の少ないものを使用すること。（イオン交換水、または蒸留水同等）。蒸留水は10 l程度なら分析室から、それ以上なら50 MW 蒸気発生器試験室から入手すること。洗浄液はポリエチレン容器に密栓して保管すること。
- ④ 洗浄後ナトリウムが完全にとられたかどうかチェックするためフェノールフタレイン液（分析室にあり）を使用する。赤色が薄くなるまで水で洗浄する。
判断の基準がわからない場合には、前もって（最低前日）分析室に応援を求め指示を

うける。

- ⑤ メスシリンダー等の液測定容器については、各室になればナトリウム処理室の備品を使用すること。(近日中に購入予定)
- ⑥ 洗浄に際してはガーゼ等を使用しないこと。
- ⑦ 洗浄方法は各室で決定のこと。(配管径が大きい場合にはスチーム洗浄が有利)
- ⑧ その他洗浄方法について不明な点があれば分析室と相談すること。

④における洗浄確認操作



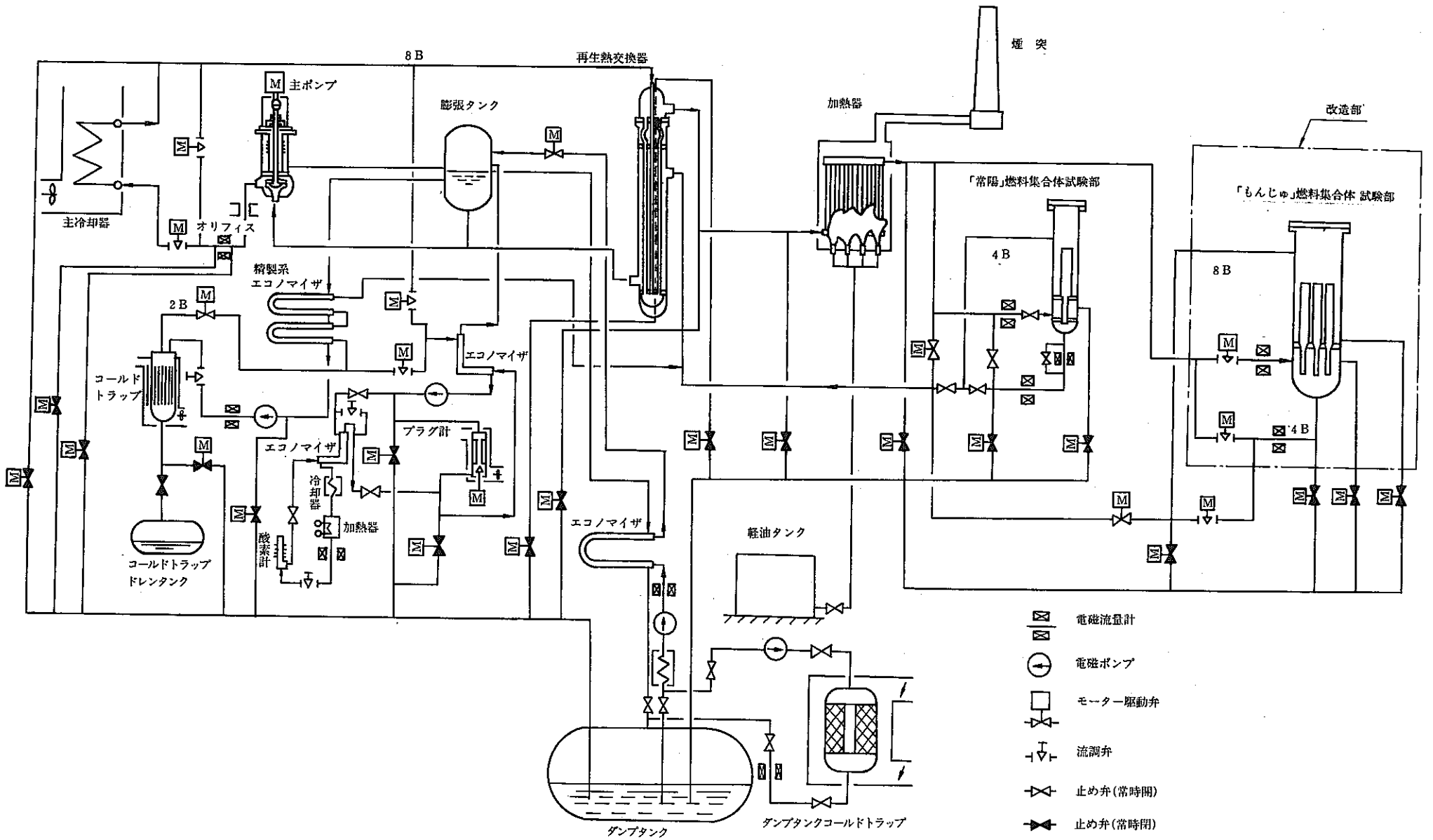
- (1) 純水で配管内壁を洗う。洗液は④に入れる。
- (2) (1)の操作の最後の数滴を別の小型ビーカーにとる。
- (3) 小型ビーカーにフェノールフタレン溶液1～2滴を加え濃赤色の有無を見る。
濃赤色を呈さなければ、洗浄終了とする。
- (4) 濃赤色を呈する場合には、(1)～(3)の操作を行ない、その都度フェノールフタレンでチェックし、濃赤色を呈さなくなるまでこの操作を繰り返す。

配管内付着ナトリウム量調査データシート

16

調査日	S. 年 月 日	担当者	
所属	ナトリウム流動伝熱 試験室	ナトリウム機器 構造試験室	ナトリウム技術 開発室 50MW 蒸気発生器 試験室 (どれかに○をつける)
装置名			
サンプル番号	サンプル寸法	ϕ_x t_x	サンプル 材質
配管勾配	(正接)	ナトリウム純度	コールドトラップ温度 °C
ドレン温度*	*ドレン温度はできるだけ 200°C とする。		
ドレン後 予熱温度	全液量		ℓ
ドレン後 予熱時間	サンプル液量		ℓ
配管ぬれ時間 (装置運転時間)	付着ナトリウム量		g
ナトリウム付着状況 (目視)		サンプル前後 (上下) の配置図 (ポンチ絵)	
(円周方向の分布)			
(長さ方向の分布)			

写真	
----	--



図—1 ナトリウム流動伝熱試験装置フローシート

もんじゅテストセクション

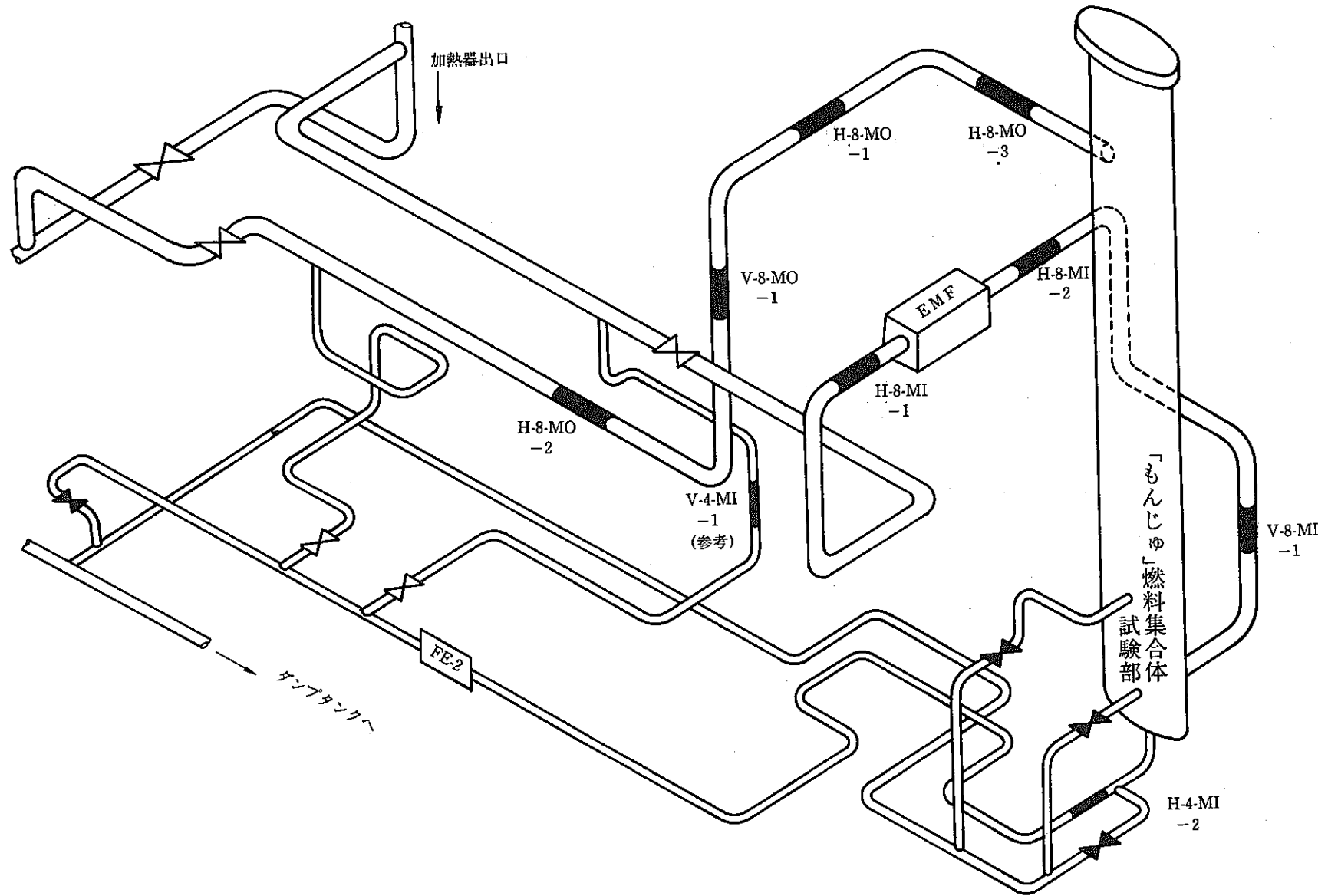


図-2 配管サンプリング位置 (1) (ナトリウム流動伝熱試験装置)

オーバーフロー配管

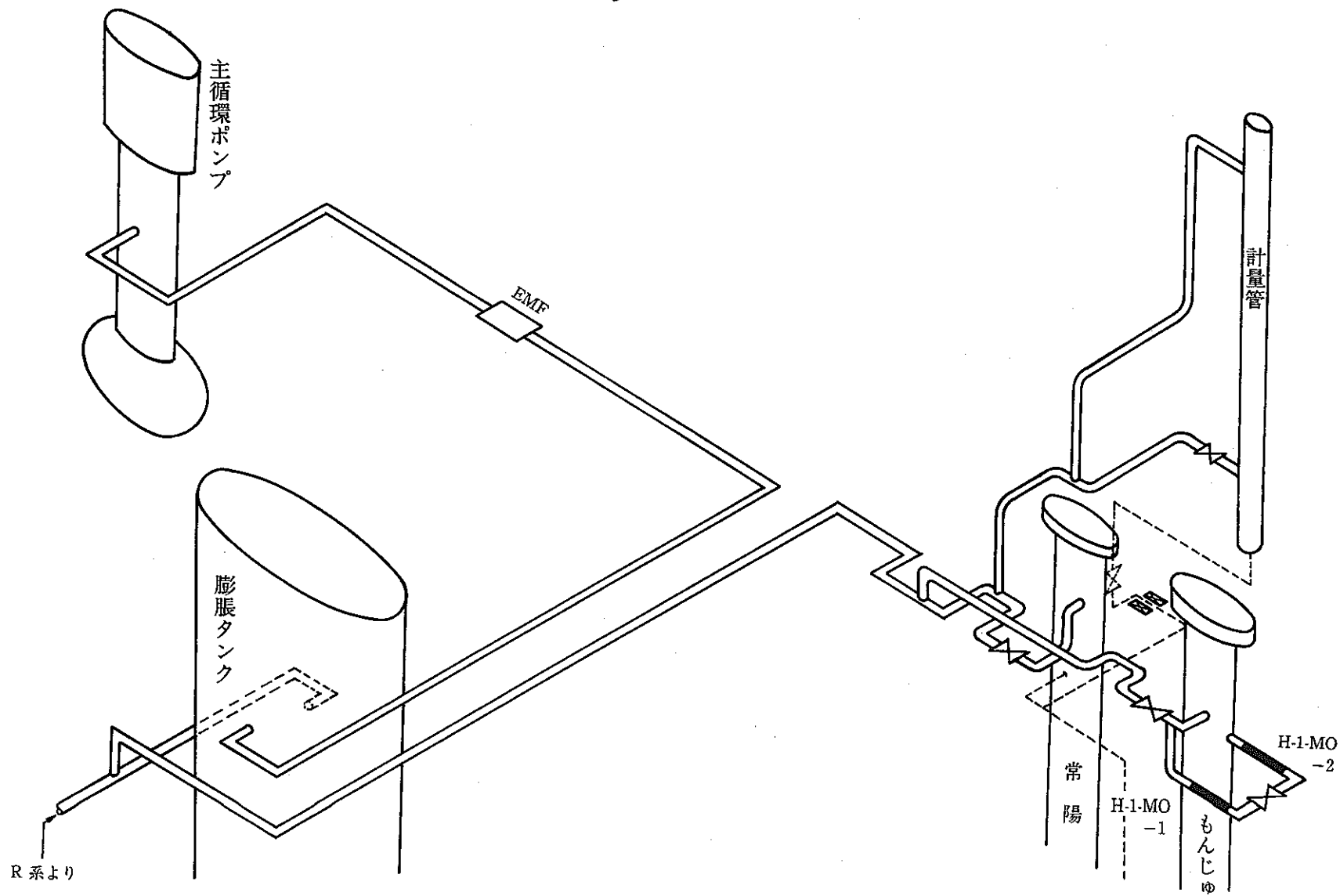


図-3 配管サンプリング (2) (ナトリウム流動伝熱試験装置)

主循環系配管(その2)

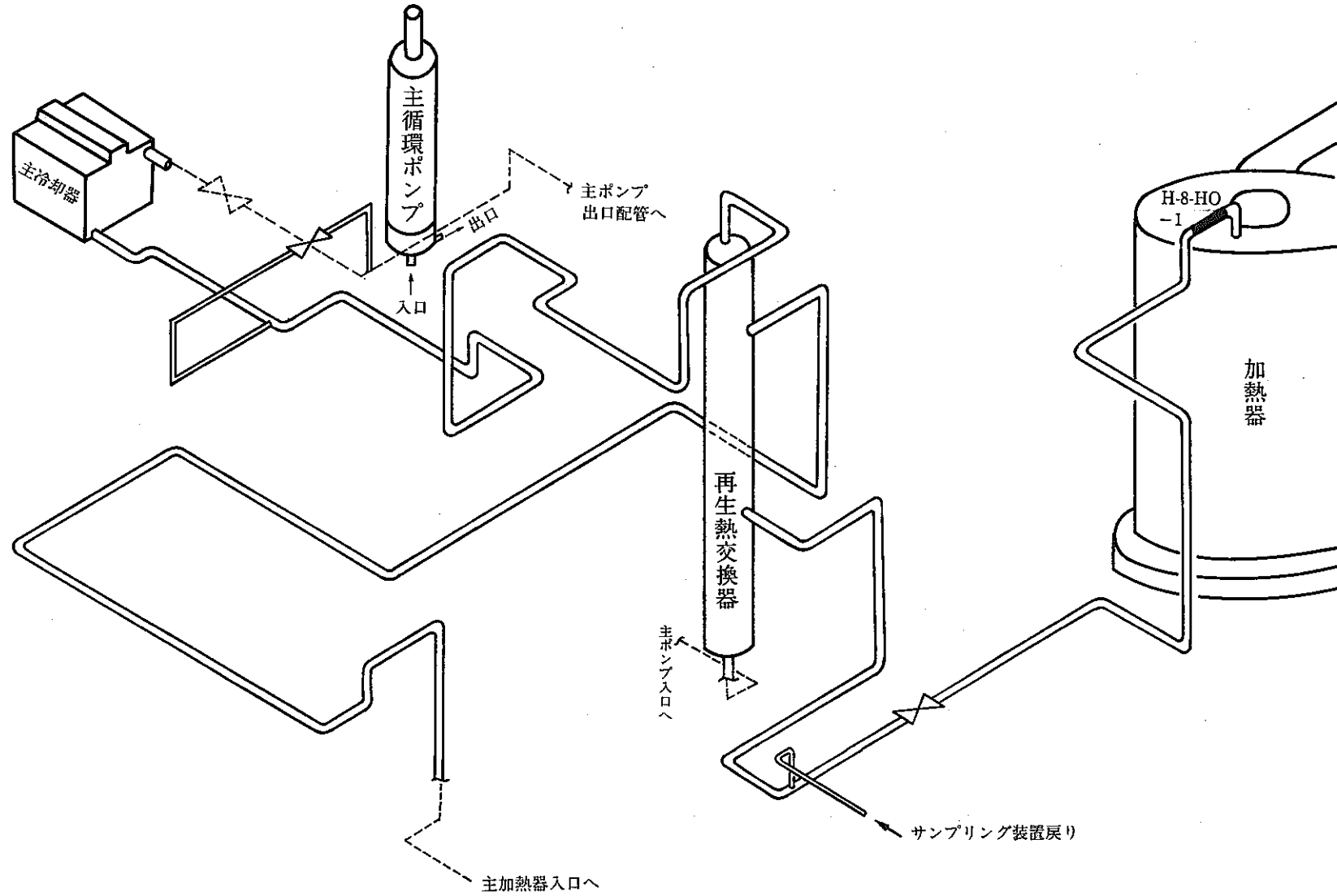


図-4 配管サンプリング位置 (3) (ナトリウム流動伝熱試験装置)

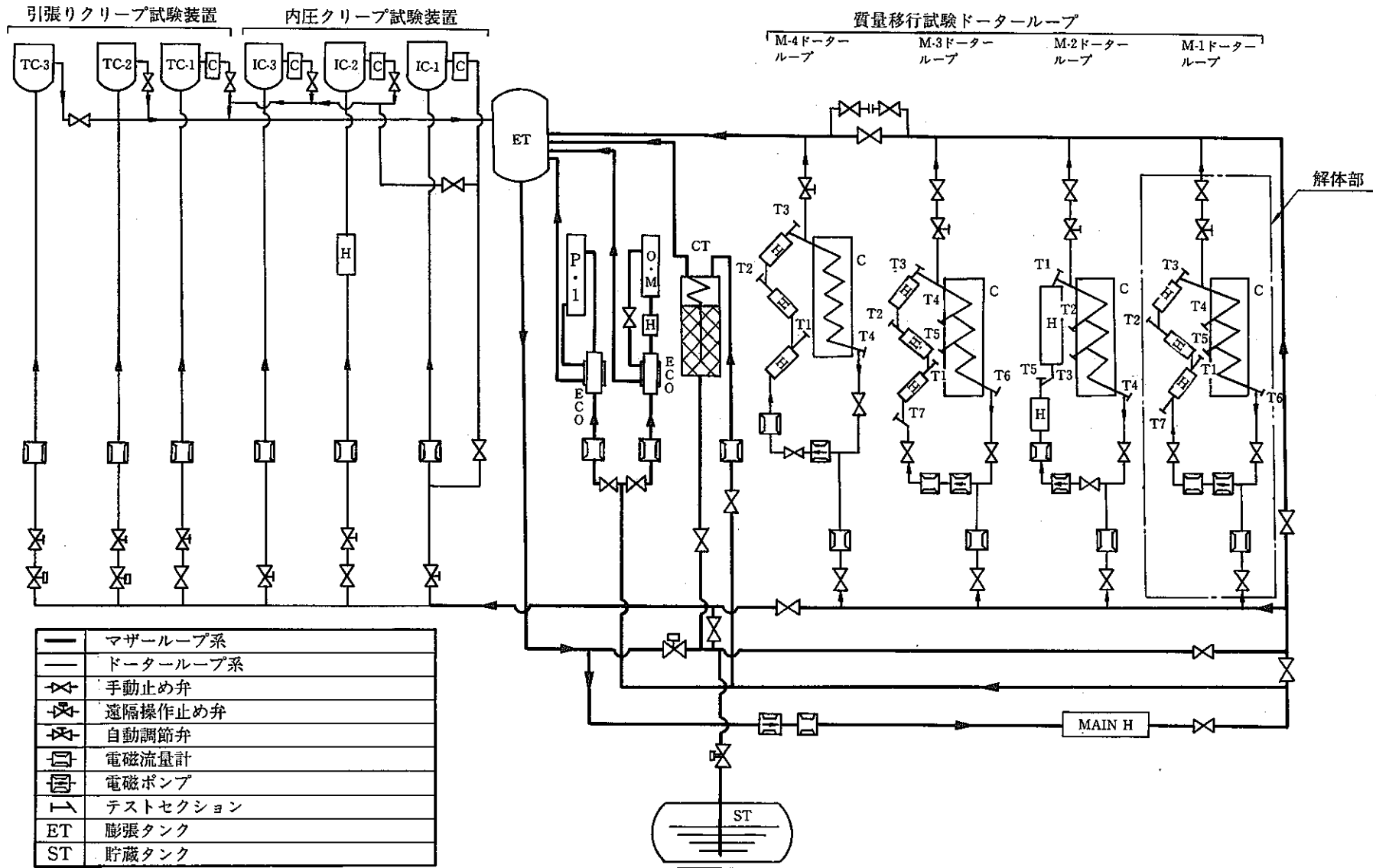


図-5 材料試験ループIフローシート

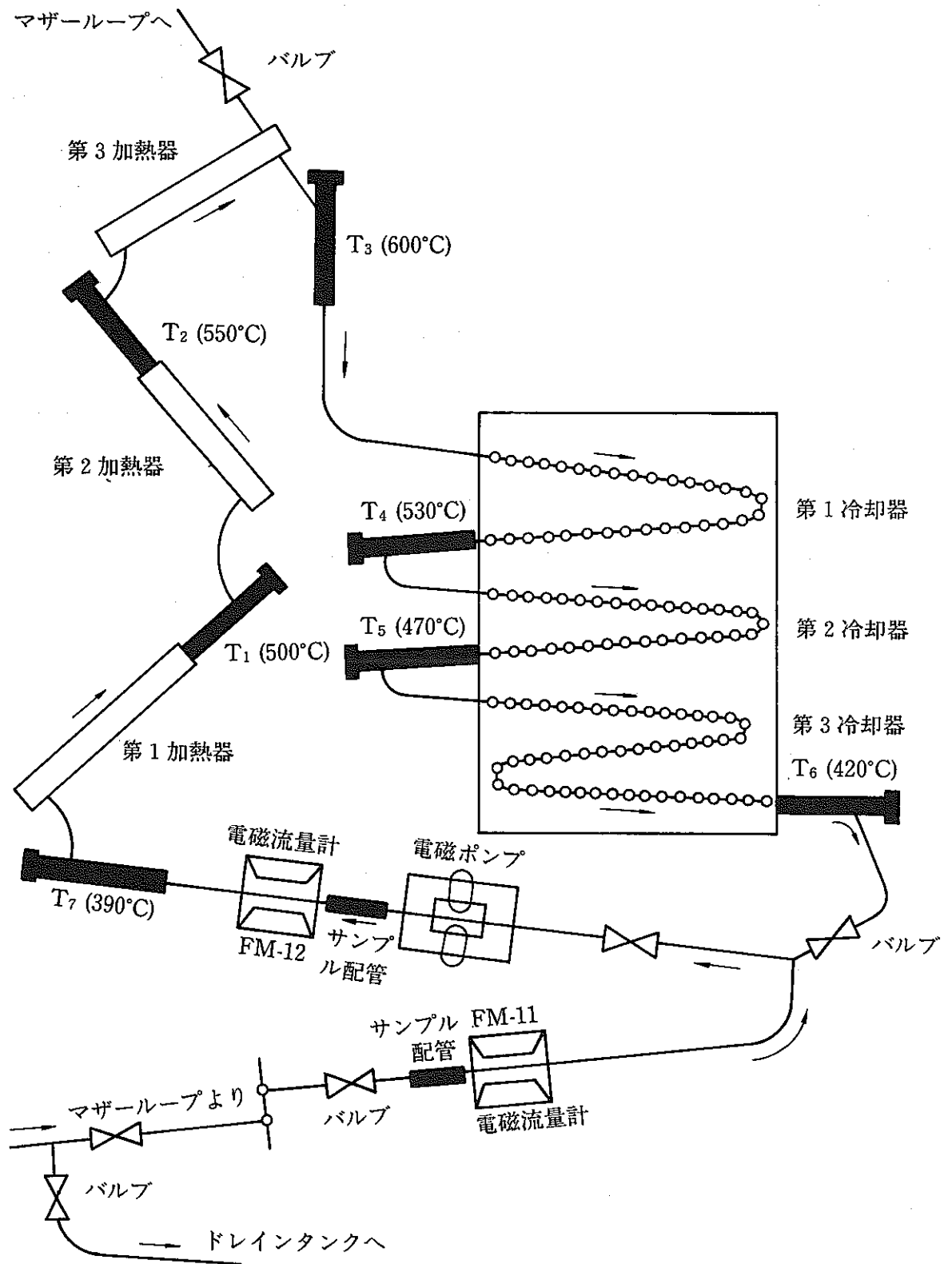


図-6 配管サンプリング位置 (M-1 ドータループ)

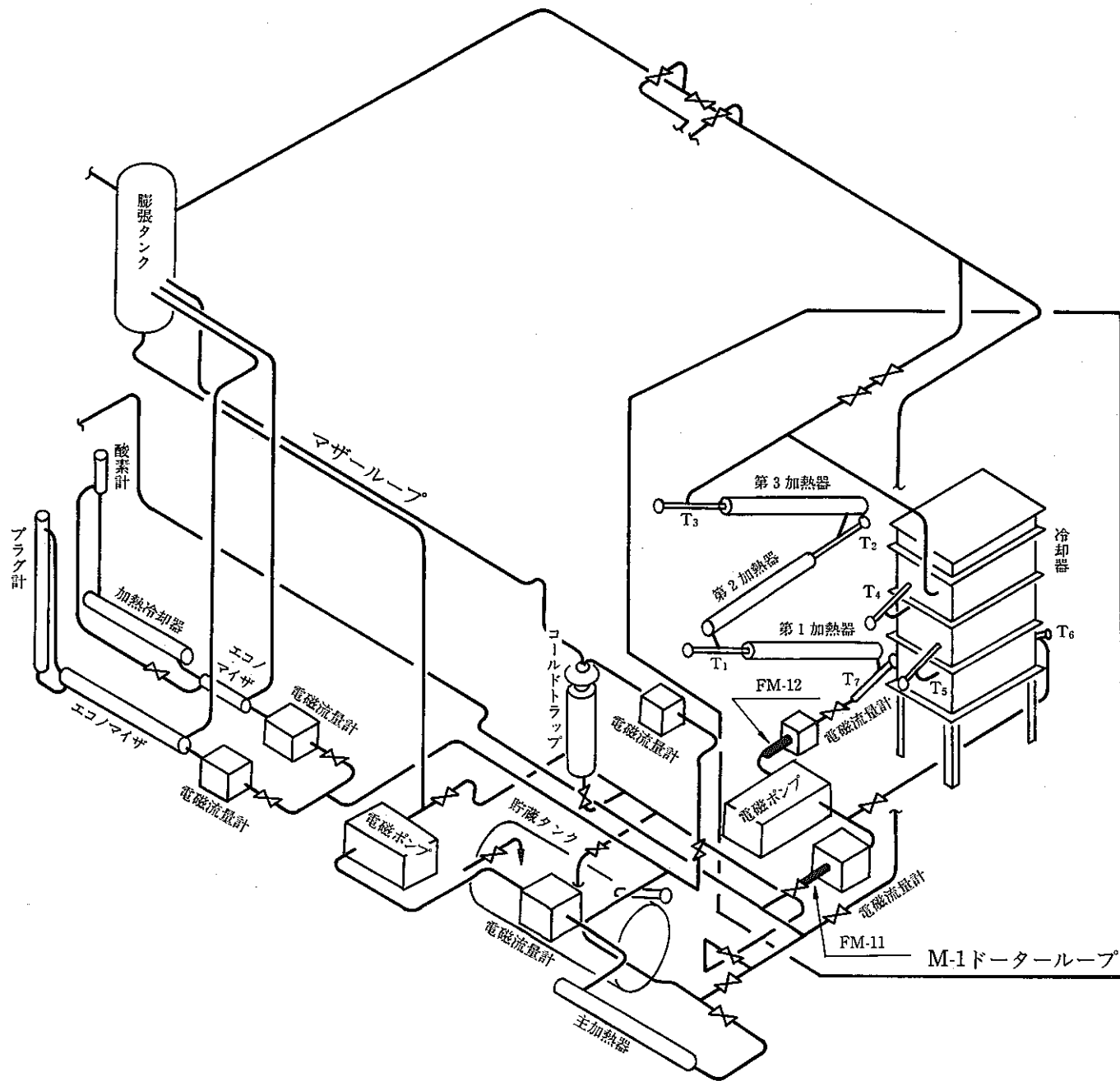
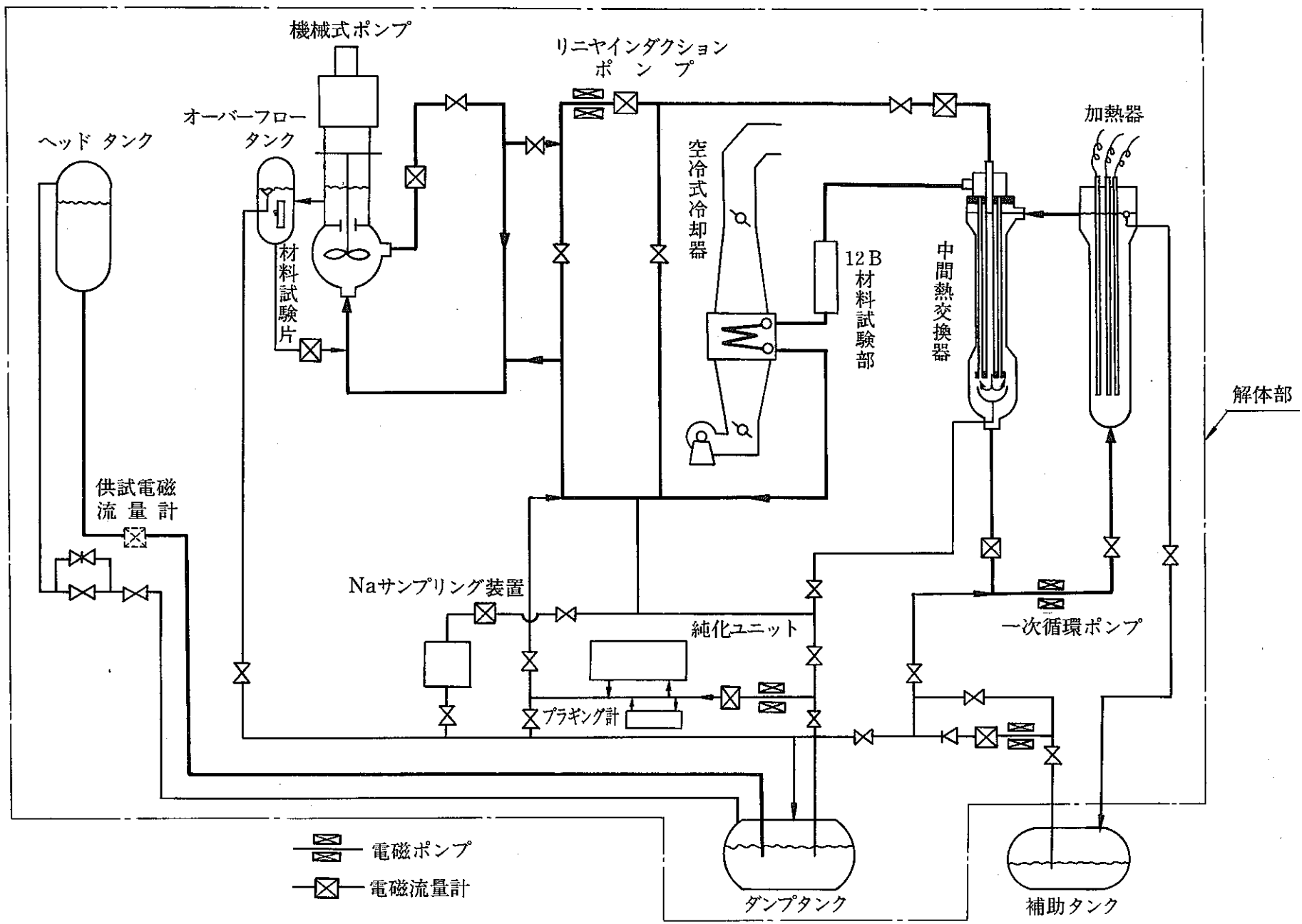


図-7 配管サンプリング位置 (M-1 ドクターリング)



図— 8 「常陽」Na冷却系機器耐久試験装置フローシート

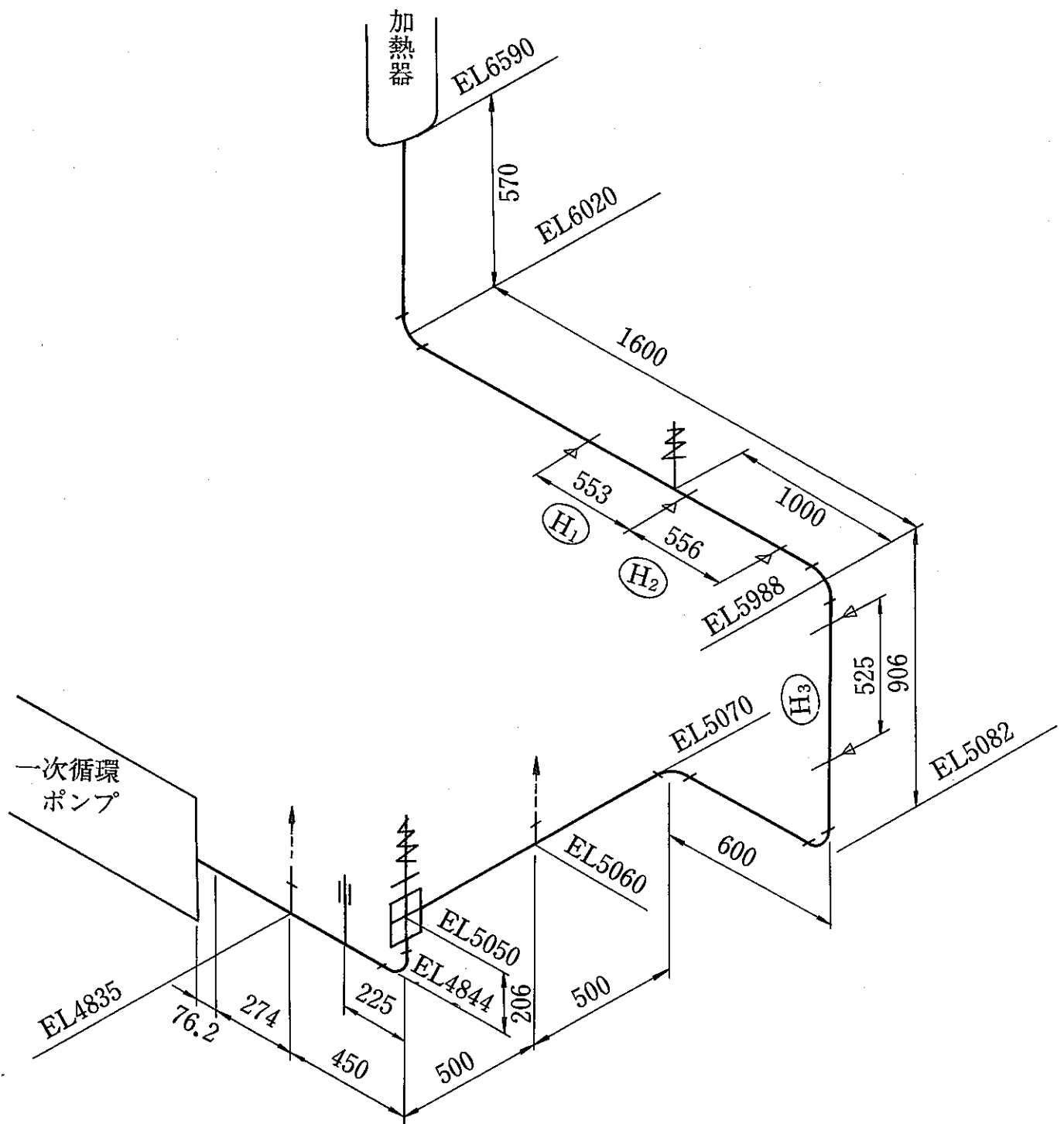


図-9 配管サンプリング位置 (1) (「常陽」Na冷却系機器耐久試験装置)

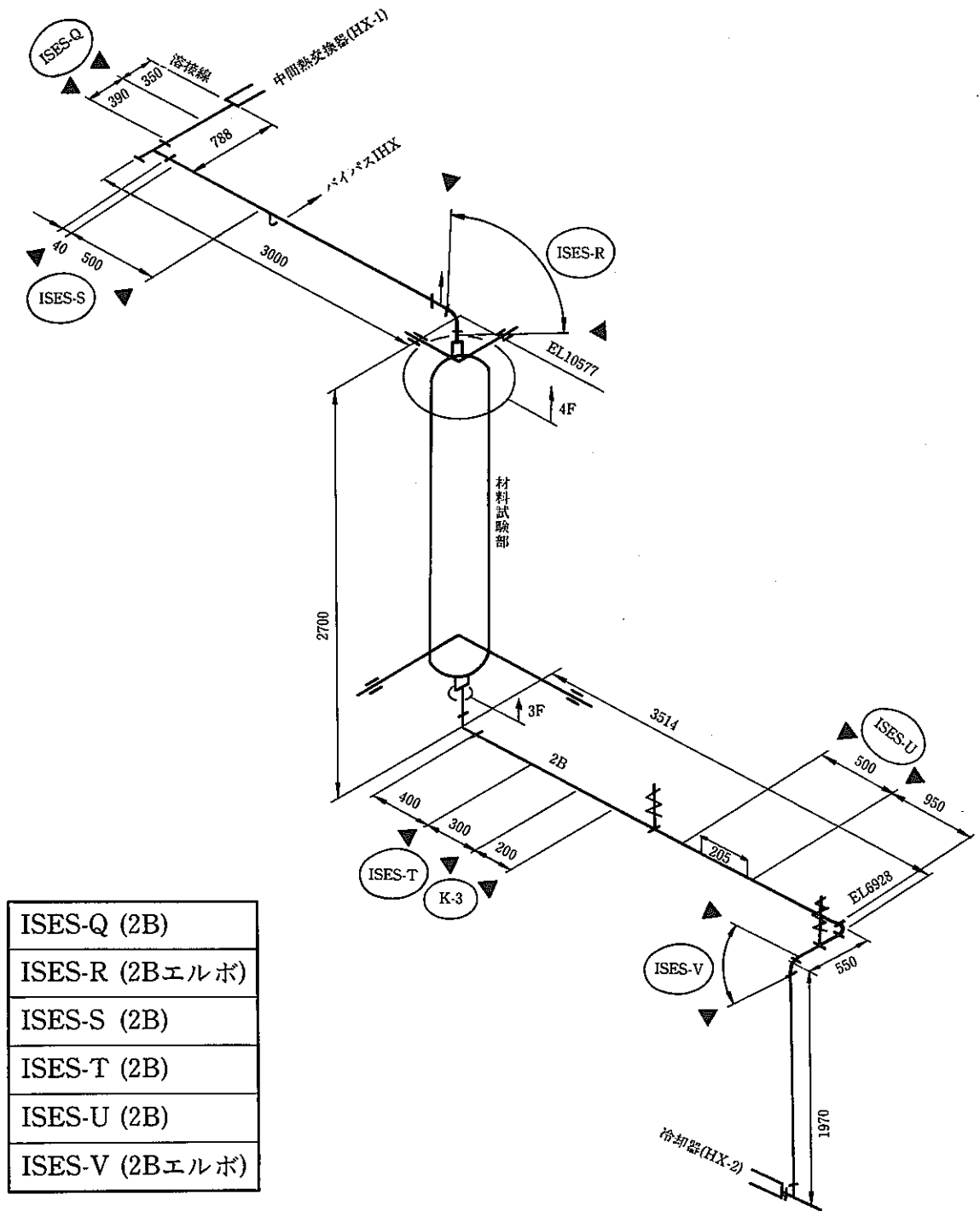
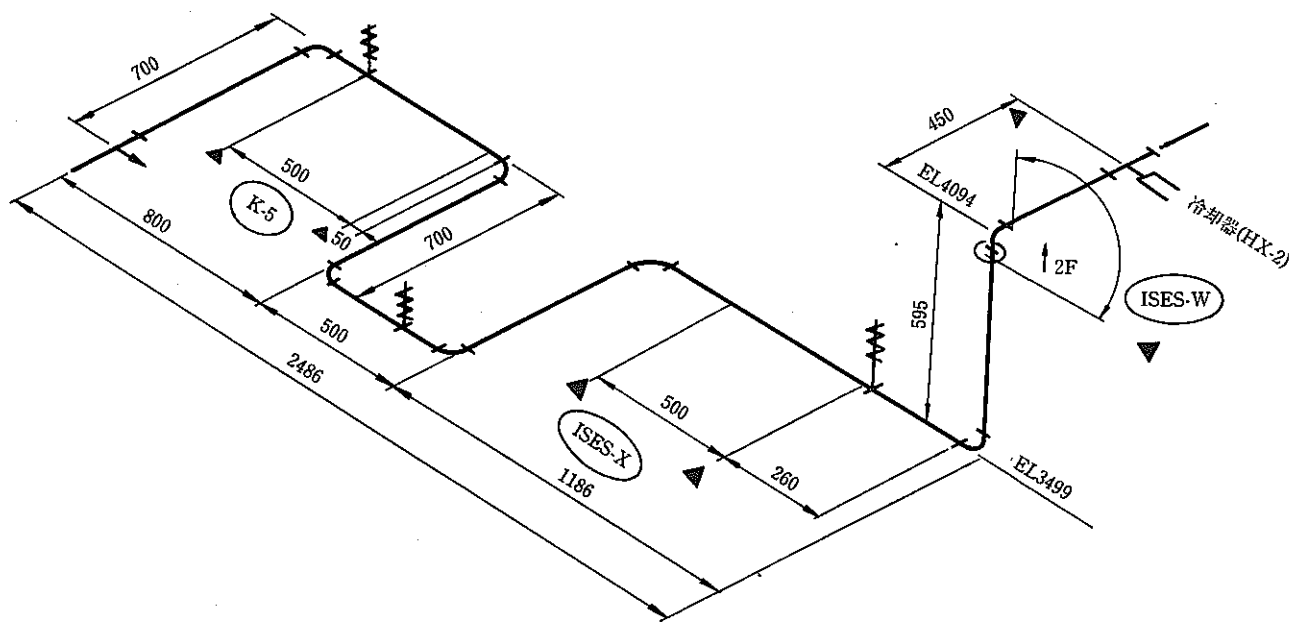
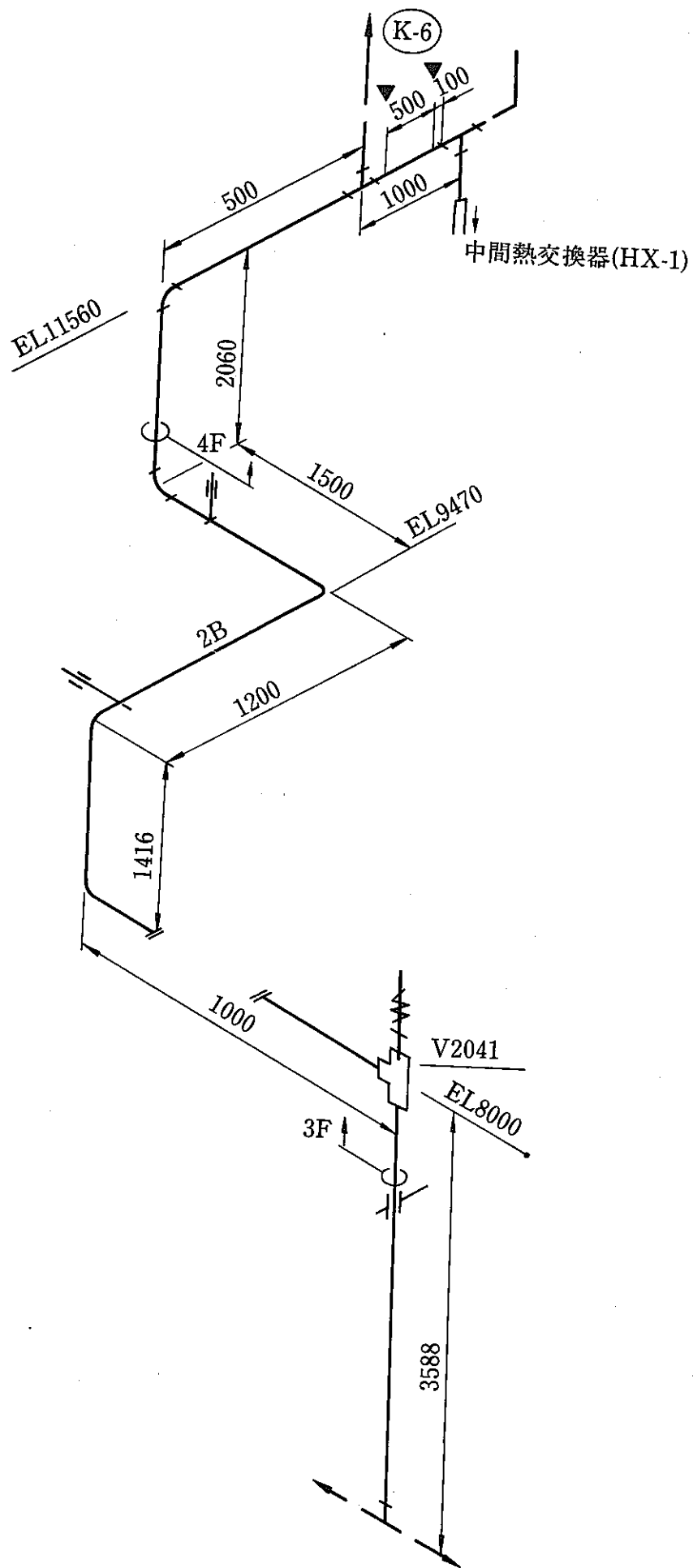


図-10 配管サンプリング位置 (2) (「常陽」Na冷却系機器耐久試験装置)



ISES-W (2Bエルボ)
ISES-X (2B)

図-11 配管サンプリング位置 (3) (「常陽」Na冷却系機器耐久試験装置)



図一12 配管サンプリング位置 (4) (「常陽」Na冷却系機器耐久試験装置)

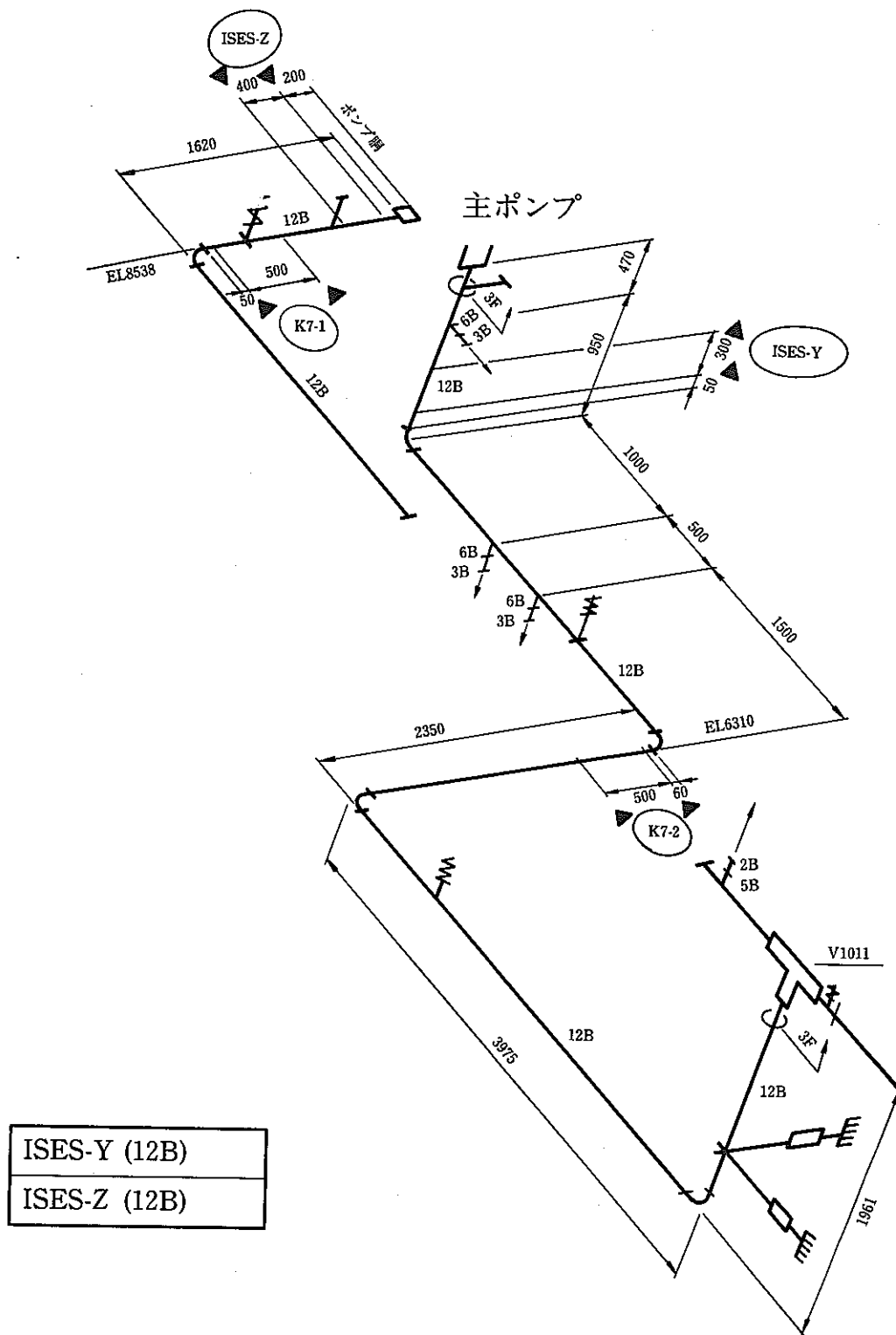


図-13 配管サンプリング位置 (5) (「常陽」Na冷却系機器耐久試験装置)

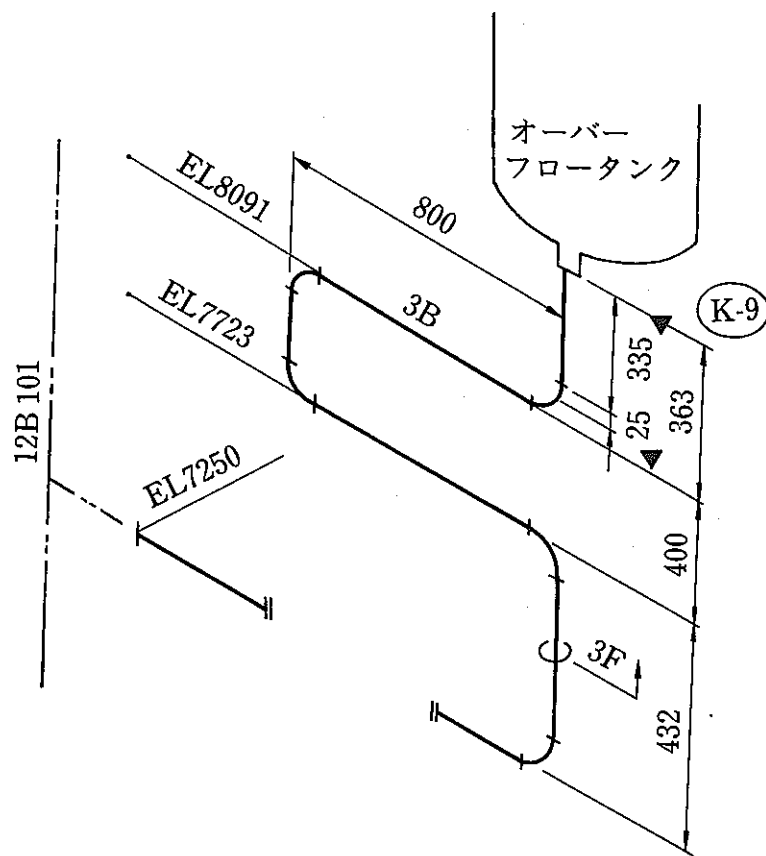
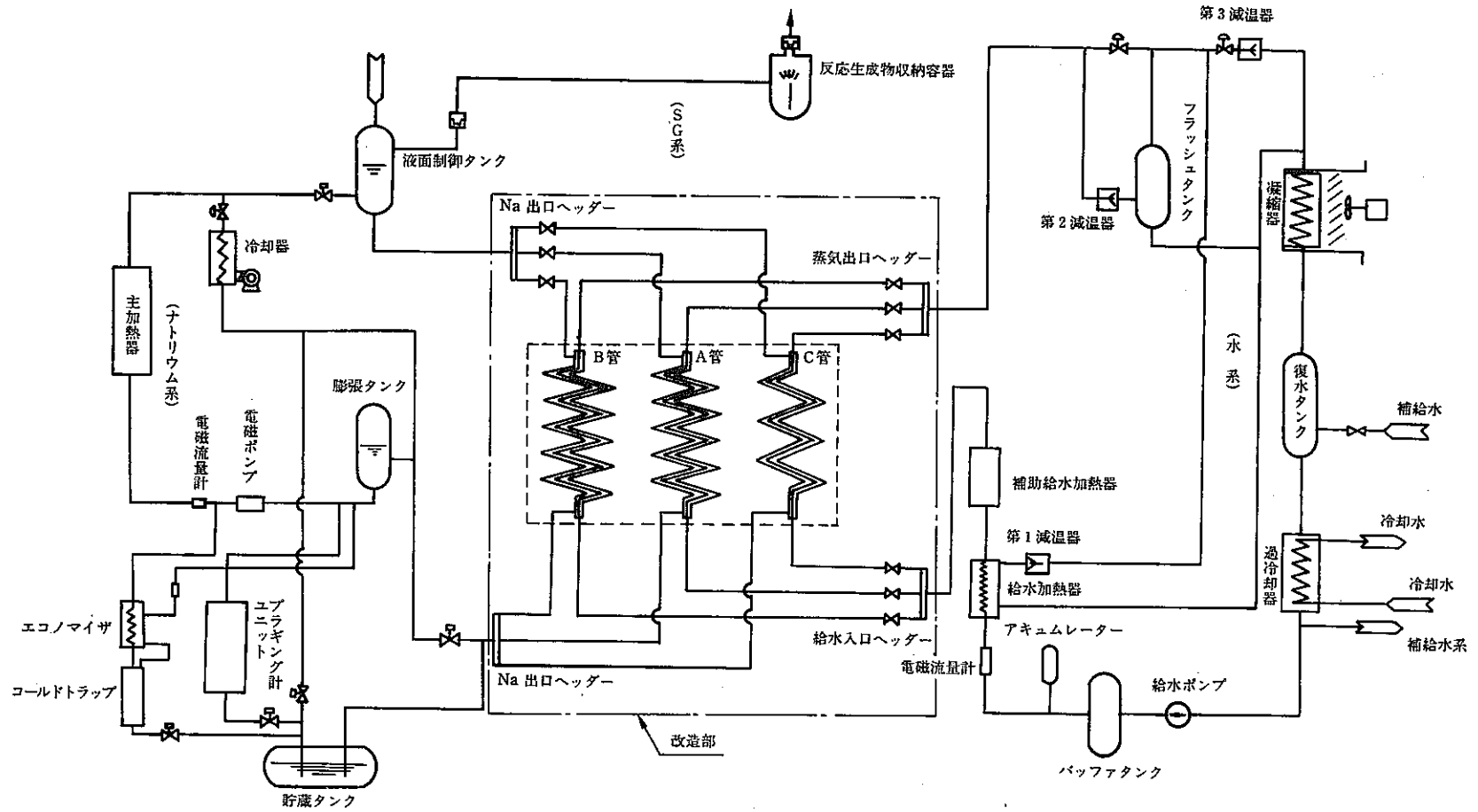


図-14 配管サンプリング位置 (6) (「常陽」Na冷却系機器耐久試験装置)



図—15 IMW不安定現象試験装置フローシート

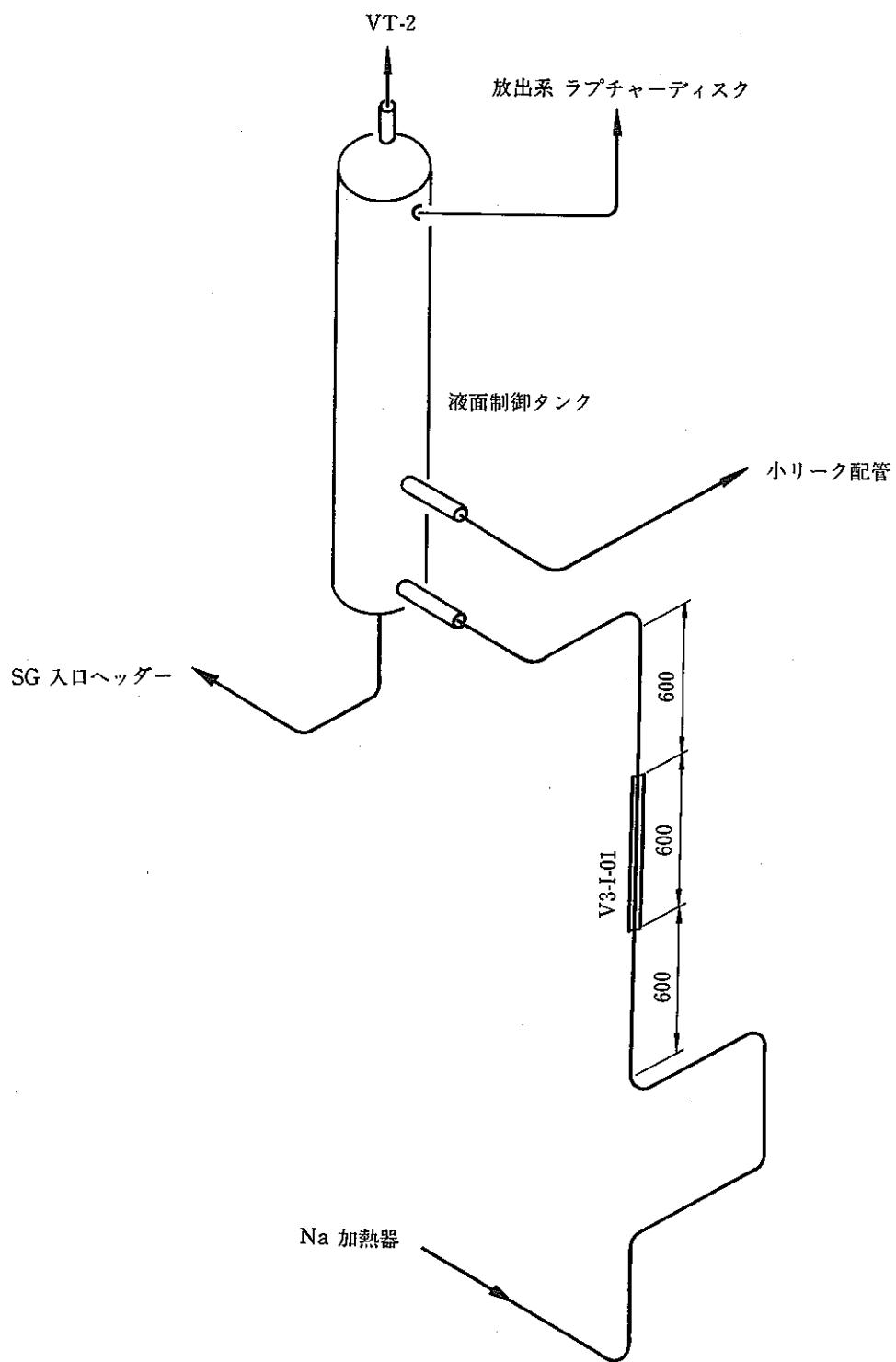


図-16 配管サンプリング位置 (1) (IMW不安定現象試験装置)

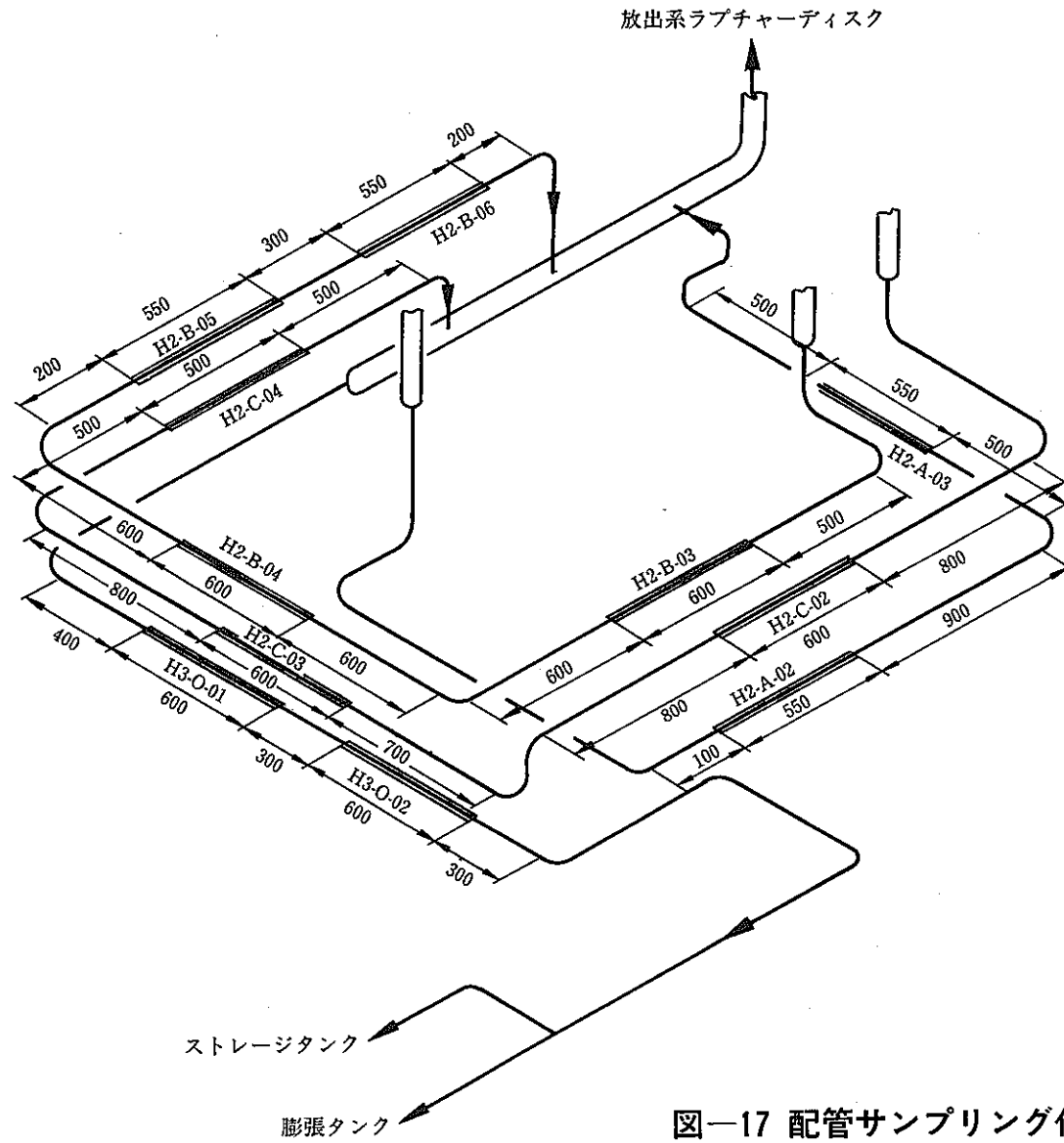


図-17 配管サンプリング位置 (2) (IMW不安定現象試験装置)

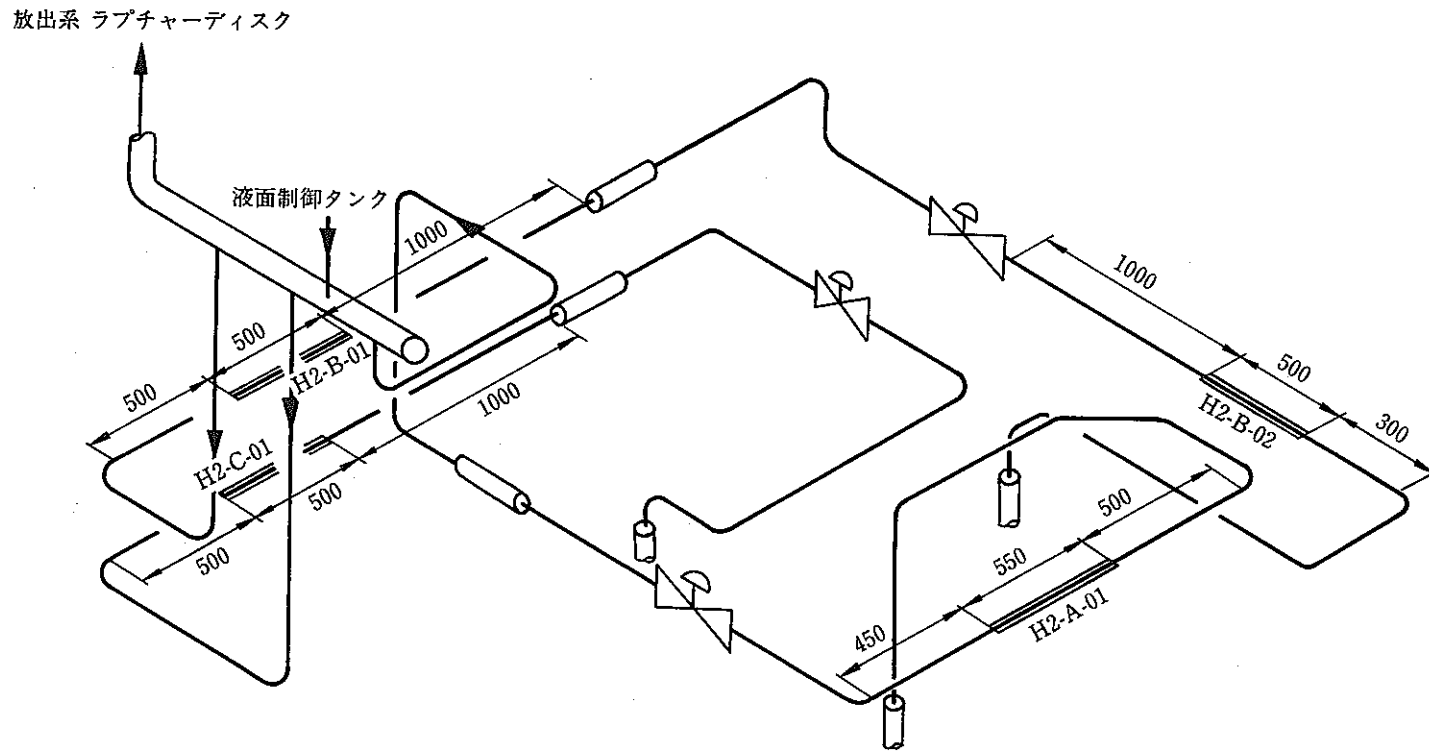


図-18 配管サンプリング位置 (3) (IMW不安定現象試験装置)

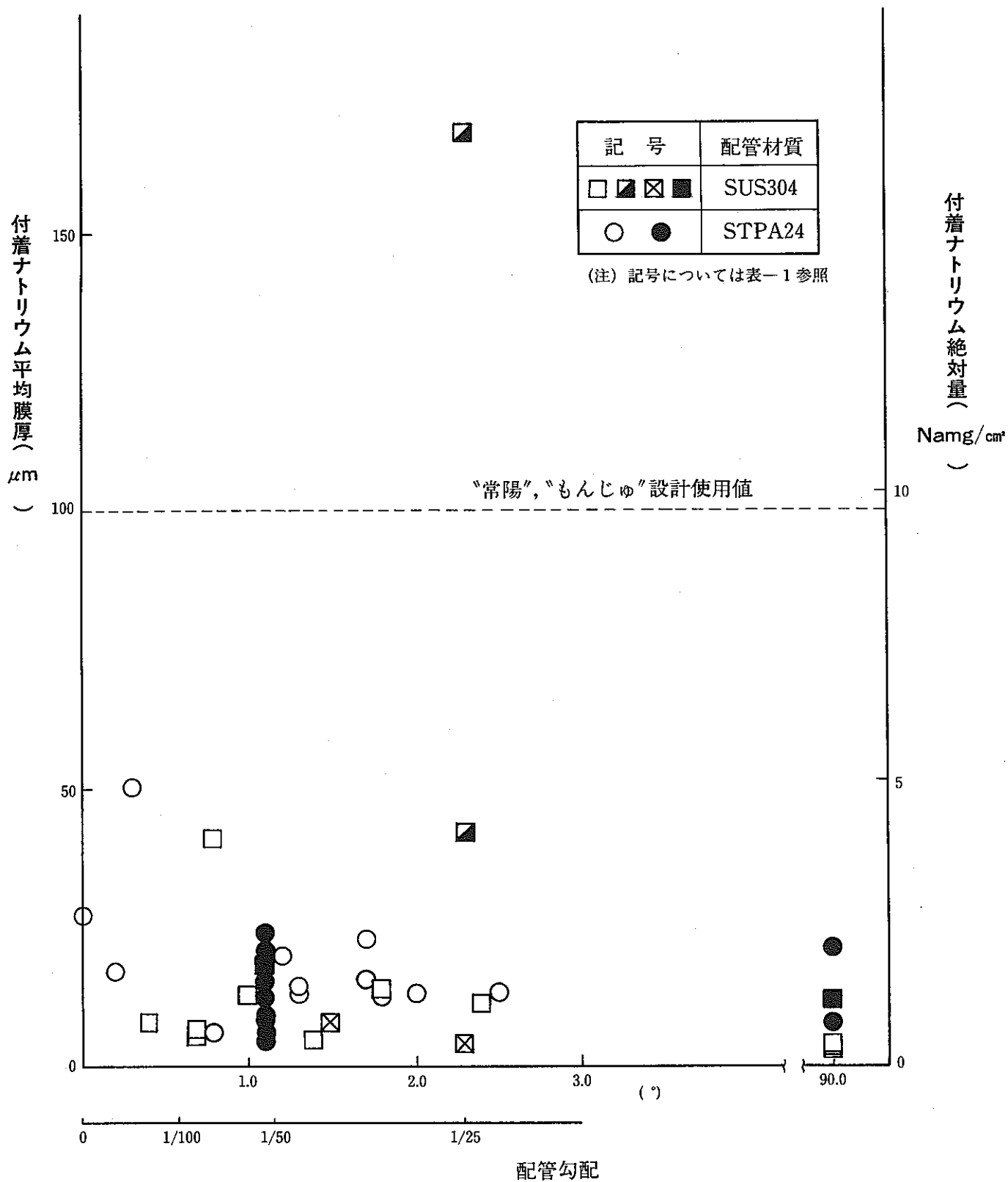


図-19 配管勾配と附着ナトリウム平均膜厚の関係

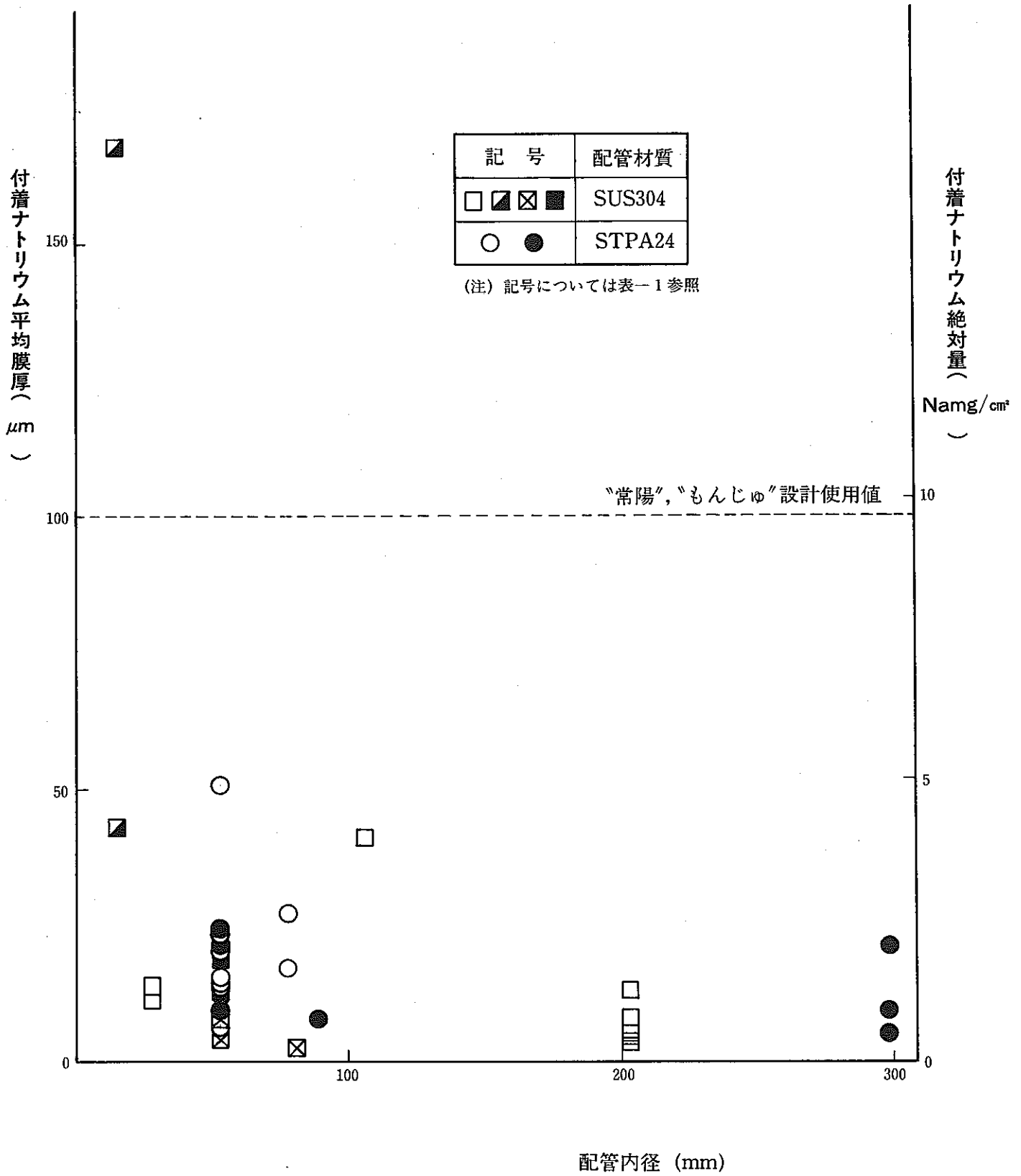


図-20 配管内径と付着ナトリウム平均膜厚の関係