

# コンポーネント・テストループの中性処理適要試験

## 第一分冊 本文

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
T	N 941 82-246 vol.1
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	

1982年11月



動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター

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ください。

〒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

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

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

## コンポーネント・テストループの中性処理適要試験

### Feasibility Study of Neutral Water Treatment in Component Test Loop

河野隆之\* 杉野伸\*  
溝口利幸\* 北原種道\*

#### 要 旨

「ふげん」の運転条件を模擬（温度、圧力、および流動条件）した試験を実施して来たコンポーネント・テストループは、炭素鋼配管で作られているため、配管材の防食を考慮して、循環水の水処理はオールボラタイル処理が適用されている。

今後、部品機器試験室では「ふげん」および実証炉のための腐食耐久試験を実施して行くことからコンポーネント・テストループの水処理を「ふげん」および実証炉の一次冷却水と同じ中性処理にする必要がある。

しかしながら、炭素鋼配管プラントへの中性処理の適用経験が日本には全くないため、我々は、独自に若干の改造を加えながら、コンポーネント・テストループへの中性処理適用試験を実施し、次のような結果を得ると同時に、今後の中性処理運転のために種々の検討を行なった。

1. 定常運転時におけるテストチャンネル入口の水質として、電導度  $0.3 \mu\text{s}/\text{cm}$ 、溶存酸素濃度  $150 \text{ ppb}$ 、 $\text{pH} 6.25$ 、全鉄  $2.5 \text{ ppb}$ 、全銅  $15 \sim 20 \text{ ppb}$ 、UV値  $0.005$  を得た。

この値は「ふげん」一次冷却水の水質にきわめて近いものであり、コンポーネント・テストループを用いて、「ふげん」水質の模擬運転が可能であることが明らかとなった。

2. 中性処理による炭素鋼配管の腐食は全鉄  $2.5 \text{ ppb}$  から判断すると非常に少ないことが明らかとなった。

この値は、オールボラタイル処理の時の値に比べ  $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{2}$  に減少しており、中性処理が炭素鋼配管の防食処理として、きわめてすぐれていることを示している。

3. コンポーネント・テストループ内に銅、 $\text{SiO}_2$  および有機物の蓄積が確認された。これら蓄積物の除去方法を検討すると同時に有機物については有機物名の確認分析および混入ルートについて調査した。

4. 鉄、銅および銅合金の腐食試験を行なった結果、中性処理水中では鉄に比べ、銅および銅合金の腐食量は、非常に大きいことが明らかとなった。

またコンポーネント・テストループ配管表面の面分析を行なった結果、オールボラタイル処理

---

\* 大洗工学センター、部品機器試験室

配管と中性処理配管では、表面状態に大きな差はなかった。

5. 今回の試験で得られたコンポーネント・テストループの中性処理特性を詳細に検討し中性処理で今後運転して行く場合の純水製造装置，脱気器などループ機器について改造・改良箇所および運転方法を示した。

Nov. 1982

Feasibility Study of Neutral Water  
Treatment in Component Test Loop

Takayuki Kawano\*  
Noboru Sugino\*  
Toshiyuki Mizoguchi\*  
Tanemichi Kitahara\*

Abstract

The Component Test Loop (CTL) has been operated for several kinds of tests under mechanical and thermal conditions similar to reactor 'Fugen'. Its water chemistry has been controlled by all-volatile-treatment (AVT) for inhibiting corrosion of the loop components and piping which is composed of carbon steel.

The CTL has a schedule of performing corrosion tests of main components and materials used in 'Fugen'. For these tests, the CTL is required to simulate water chemistry of the real reactors and to operate under neutral water condition. However, there is no experience of operating carbon steel boilers with neutral water treatment (NWT) in Japan. Therefore, preliminary tests were done to examine the possibility of NWT operation of the CTL and to make clear what kinds of apparatus to be added to the loop. Test results are as follows.

1. Throughout a period of steady state operation of the CTL with neutral water treatment, the following water chemistry was obtained at the inlet of a test section; electrical conductivity: 0.3 $\mu$ S/cm, dissolved oxygen: 150ppb, PH: 6.25, total iron: 2.5ppb, total copper: 15-20ppb, SiO<sub>2</sub>: 25ppb, organic impurity (UV value): 0.005. These values are totally close to those of the primary coolant of reactor 'Fugen', and indicates that the CTL can be operated under a water condition simulating 'Fugen'.

2. The total iron content of 2.5 ppb under neutral water conditions is 1/4 to 1/2 times as low as that under AVT water conditions, and

---

\* Components Testing Section, O-arai Engineering Center, PNC.

indicates neutral water treatment is excellent anti-corrosive treatment for carbon steel pipings.

3. It was found that copper,  $\text{SiO}_2$  and organic impurities had been accumulated in the CTL through the past 10 years. Where these impurities come from and how to remove them from the loop are discussed.
4. Corrosion tests of iron, copper and its alloy specimens showed copper and its alloy are much corrosive than iron under the neutral water condition. Observation and analysis of inner surfaces of the CTL piping before and after a series of operation with neutral water treatment did not show big difference between them.
5. Operation behavior of the CTL under neutral water condition are discussed in detail and improvement of the loop for the operation with neutral water treatment and the operation method are also discussed.

## 目 次

第一分冊 本文	
1	はじめに..... 1
2	目 的..... 3
3	試験方法..... 4
3.1	概 要..... 4
3.2	試験方法と実施手順..... 4
1)	テストⅠ 純水タンクコントロールテスト..... 4
2)	テストⅡ CTLループ熱平衡テスト..... 6
3)	中性処理運転テストの準備..... 8
(1)	給水系の改造..... 8
(2)	酸素ガス注入装置..... 9
(3)	サンプリング点とサンプリング装置..... 9
(4)	水質測定器機と水質測定法..... 9
(5)	CTLループ配管の切断と復旧..... 10
(6)	浄化系冷却器の交換..... 10
(7)	CTLループ立上げ総合検査..... 10
(8)	その他..... 10
4)	テストⅢ 低温中性処理運転テスト..... 11
5)	テストⅣ 高温中性処理運転テスト..... 12
(1)	水分析の依頼..... 12
(2)	第1回高温中性処理運転テスト..... 12
(3)	第2回高温中性処理運転テスト..... 14
(4)	第3回高温中性処理運転テスト..... 15
(5)	第4回高温中性処理運転テスト（本試験）..... 18
4	中性処理試験結果および考察..... 21
4.1	水質測定結果..... 21
1)	電 導 度..... 21
2)	溶存酸素濃度..... 22
3)	pH..... 23
4.2	水分析結果..... 23
1)	全 鉄..... 23

2) 有機物	25
3) SiO <sub>2</sub>	26
4) 銅	27
4.3 腐食試験結果	28
4.4 配管表面分析	29
5 中性処理運転におけるCTLループ水の水質特性	31
5.1 脱気	31
5.2 CTLループ水質とSC運転	33
5.3 CTLループ水とボイラ水	33
5.4 CTLループ蒸気とボイラ蒸気	34
5.5 有機物	35
5.6 鉄と銅およびSiO <sub>2</sub>	36
5.7 「ふげん」水質模擬について	37
6 中性処理運転のためのCTLループの改造	39
6.1 純水製造装置容量と純水タンク	39
6.2 有機物除去装置	40
6.3 脱気装置	41
6.4 給水加熱器	41
6.5 酸素注入装置	42
7 結論	43
謝辞	46
参考文献	47

第二分冊 付録

付録1 高温中性処理運転テストの水質データ	
1.1 高温中性処理運転テストのサンプリング場所 とサンプリング物理量	
1.2 第1回高温中性処理運転テストの水質データ集	
1.3 第2回高温中性処理運転テストの水質データ集	
1.4 第3回高温中性処理運転テストの水質データ集	
1.5 第4回高温中性処理運転テストの水質データ集	
付録2 CTLループにおける水質分析結果について	
付録3 オキシノンM分光分析結果	



## 図 表 目 次

### 表 リ ス ト

Table 1	CTLループの保有水量	48
Table 2	CTLループ配管の接液面積	48
Table 3	腐食試験片重量変化	49

## 図 リ ス ト

### 図 リ ス ト

Fig.1	AVT運転中の給水系フローチャート	50
Fig.2	純水タンク水質コントロールテストのフローチャート (AVT運転中)	51
Fig.3	中性処理運転時の給水系フローチャート	52
Fig.4	AVT運転中のCTLループ配管の流量および温度	53
Fig.5	中性処理運転のためのCTLループ改造箇所	54
Fig.6	酸素注入装置フローチャート	55
Fig.7	酸素注入装置	57
Fig.8	CTLループ水のサンプリング装置	57
Fig.9	低温中性処理運転テストのCTLループ主要配管流量	59
Fig.10	低温中性処理運転における電導度および溶存酸素濃度変化	61
Fig.11	第1回および第2回高温中性処理運転テストのCTLループ主要配管流量	63
Fig.12	第3回高温中性処理運転テストのCTLループ主要配管流量	64
Fig.13	第4回高温中性処理運転テストのCTLループ主要配管流量	65
Fig.14	第1回高温中性処理運転テストのDC水水質変化	66
Fig.15	第2回高温中性処理運転テストのDC水水質変化	67
Fig.16	第3回高温中性処理運転テストのDC水水質変化	68
Fig.17	第4回高温中性処理運転テストのDC水水質変化	69
Fig.18	腐食試験片形状	71
Fig.19	腐食試験片 (試験前)	73
Fig.20	腐食試験片固定治具	75
Fig.21	腐食試験片固定状況	73

Fig.22	DC内の腐食試験片用架台	77
Fig.23	腐食試験片の架台取り付け状況	77
Fig.24	腐食試験後の試験片の状況	79
Fig.25	腐食試験片（試験後）	81
Fig.26	腐食試験後の絶縁管	81
Fig.27	CTLループ（中性処理）改造案	83

## 1. はじめに

部品機器試験室では、これまで約10年にわたってコンポーネント・テストループ（以下CTLループとする）を運転し、新型転換炉特有の部品機器について各種の耐久試験、流動試験を実施して来た。

一方、最近になって、原子力機器の耐久性を評価する一方法として、大型試験装置による実証試験が行なわれるようになった。この試験は、実際に使われる原子力機器を用いて、実際の使用環境を模擬した条件で耐久性能を調べるものである。

CTLループにおける耐久試験は早くからこの実証試験の考え方を採用したものであるが、腐食環境の模擬という点で不十分であった。これは、「ふげん」の一次冷却水が中性水であるにもかかわらずCTLループが炭素鋼配管で作られているため、これらの配管機器の腐食を防止するためにアルカリ水質によるボラタイル処理（以下AVTとする）運転が行なわれている理由による。原子力機器の耐久性は、その機器の耐食性能によるところが非常に大きいことを考えれば、CTLループの運転水質を早急に「ふげん」と同じ中性水質に変更する必要があると考えられる。

ところで、日本では炭素鋼配管の大型高温高圧ループ（各種ボイラおよびテストループ）の水処理はすべてAVTを行なっており、中性処理運転の経験は全くない。<sup>(1)</sup> 比較的低温（20～180℃）ではあるが、近年沸とう水型原子炉（以後BWRとする）の給水系配管（炭素鋼）の防食方法として酸素添加中性処理法が確立し、その方法が定着して来た。<sup>(2～6)</sup>

「ふげん」においても水処理はBWRと全く同じ方法を採用しており、動燃も給水系の防食法としての中性処理の経験を持っている<sup>(7)</sup>と考えて良い。

一方、西独およびソ連では約10年前から火力発電プラントに中性処理を適用し、すでに20プラント以上の運転経験を持つ。これらの経験ではAVTよりもむしろ中性処理の方が防食効果が大きいとのデータも得られている。<sup>(1,8,9)</sup> これを受けて日本のJISにおいてもボイラ水処理の例として中性処理における水質条件をあげている。その条件を次に示す。

解説表 7.1 中性処理の給水水質管理基準 (例)  
(VGB及びHEWの資料による)

項 目	基 準 値	「ふげん」1次冷却水
一般条件	無色透明	無色透明
電気伝導率 (25℃) ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	<0.15	0.1~0.2
電気伝導率 (H形強酸性陽イオン交換樹脂通過後)	<0.15	0.1以下
pH (25℃)	6.5~7.5	6.5~7
溶存酸素 O ( $\text{mg}/\text{kg}$ ) (温度<200℃)	0.02~0.20	0.15
全 鉄 Fe ( $\text{mg}/\text{kg}$ )	<0.020	0.005~0.010
全 銅 Cu ( $\text{mg}/\text{kg}$ )	<0.003	<0.002
酸化還元電位 (V)	+0.400~+0.430	-

\* 「ふげん」運転データによる。

この条件は「ふげん」の一次冷却水の水質条件をほぼ完全に満たしており、「ふげん」の条件を模擬するCTLループ試験にはうってつけの水処理であると言える。

以上の知見から、CTLループの中性処理運転は、現在のAVTに変わり得る運転方法であると考えられるが、日本国内に200℃以上での中性処理運転経験が全くないため、我々独自でCTLループの中性処理運転条件を捜し出す必要がある。本試験はこのために行なった予備試験であり、本試験結果を参考としてCTLループを中性処理する場合の改造箇所およびCTLループに合った中性処理運転方法等を決定するために行なったものである。

## 2. 目 的

CTLループはすでに約10年間AVTで運転されており、ループを構成する炭素鋼管内表面は還元雰囲気で安定なマグネタイトを主成分とした酸化被膜でおおわれていると考えられる。今回中性処理運転を実施するとこの被膜は酸化雰囲気で安定なヘマタイトを主成分とした酸化被膜に変化していくものと予想される。この過渡期には酸化被膜は不安定で、そのため配管表面からの鉄の溶出が増加し、したがって、循環水中に含まれる水中鉄濃度も増加すると考えられる。CTLループを100 kg/cm<sup>2</sup>級ボイラと考えれば、ボイラ給水の水質を規定したJISB8223に従って水中鉄濃度は30 ppb以下におさえなければならない。水中鉄濃度が30 ppbを越える場合には炭素鋼配管の防食効果が不十分であるのと同時に多量の鉄がボイラの伝熱管内表面に付着する。したがって中性処理運転時の運転および監視方法また停止時の保缶方法等については、電導度および溶存酸素濃度の制御を主眼に水中鉄濃度変化についてもデータを取り、30 ppb以下におさえることを目標にした。

以上のことから本試験の目的（すなわちCTLループに合った中性処理運転条件、運転方法の選定）を具体的に示すと次のようになる。

1. 電導度を「ふげん」の値（0.1～0.2 μS/cm）にするための適正な浄化系容量の決定
2. 溶存酸素濃度（DO）を「ふげん」の値150 ppbに調節する方法の確立
3. CTLループ配管の腐食量を推定するための水中鉄濃度変化の観察

### 3. 試験方法

#### 3.1 概要

中性処理運転の基本条件は、循環水の電導度を  $0.1 \sim 0.2 \mu\text{S}/\text{cm}$  程度に下げ、防錆材として酸素ガスを循環水中に  $50 \sim 200 \text{ ppb}$  程度溶存させることである。CTL ループの水質は「ふげん」の一次循環水を模擬する必要から、目標水質として電導度を  $0.1 \sim 0.2 \mu\text{S}/\text{cm}$ 、溶存酸素濃度を  $150 \text{ ppb}$  に設定した。

今回の試験は全く初めての経験であるため、いきなり中性処理運転に入るのは避け、十分な試行錯誤の段階を経て、CTL ループ中性処理運転方法が明らかになってから本試験に入ることにした。

そのためテストは次の4つの段階に分けて行なった。

テストⅠ 純水タンク ( $30 \text{ m}^3$ ) 水質コントロールテスト

テストⅡ CTL ループ熱平衡テスト

テストⅢ 低温中性処理運転テスト

テストⅣ 高温中性処理運転テスト

テストⅡとテストⅢの間で、中性処理運転のためにCTL ループを若干改造した。

すべての試行錯誤を終了した後本試験はテストⅣの中で約2週間にわたって行った。

試験中の電導度および溶存酸素濃度については計器による連続測定を行った。

水中鉄濃度の分析は業者に委託した。

#### 3.2

##### 1) テストⅠ 純水タンク ( $30 \text{ m}^3$ ) 水質コントロールテスト

CTL ループを中性処理で運転するためには、循環水の電導度を  $0.1 \sim 0.2 \mu\text{S}/\text{cm}$  に、溶存酸素濃度を  $150 \text{ ppb}$  に調整する必要がある。これまで我々は、保有水量  $10 \sim 20 \text{ L}$  程度の小型ステンレスループでは、電導度と溶存酸素濃度を自由に調整することは十分な経験を積んでいるが、保有水量約  $10 \text{ m}^3$ 、大型炭素鋼ループで、しかも気液二相循環ループには全く経験がない。そこで、まず  $30 \text{ m}^3$  の純水タンクの水質を調整し、その水をCTL ループに給水すればCTL ループ水は目的水質になるのではないかと考え、かつ、当時、AVT 運転を実施していたため、CTL ループには全く影響を与えないこと等を考慮して、純水タンク ( $30 \text{ m}^3$ ) の水質コントロールテストを実施した。

Fig. 1 にAVT 運転中の給水系を示す。原水（工業用水）は二つのイオン交換樹脂塔を通り  $0.1 \mu\text{S}/\text{cm}$  程度の純水になって  $30 \text{ m}^3$  の純水タンクに貯わえられる。このタンクは大気開放型であるため純水タンク内の水は空気中の  $\text{O}_2$ 、 $\text{CO}_2$  等を吸収しその結果電導度は  $0.4 \sim 0.6$

$\mu\text{S}/\text{cm}$  にまで上昇する。CTL ループへは、一旦、純水タンクの水を給水タンクに供給し、給水タンク内の純水を充填ポンプで給水する。AVT の薬注は給水タンクと充填ポンプの間で行なっている。

Fig. 2 は、AVT 運転中に行なった純水タンク水質コントロールテストを示す。Fig. 1 に示したように純水タンク内水質が  $0.4 \sim 0.6 \mu\text{S}/\text{cm}$  であるのでこの水を中性処理運転に使うわけにはいかない。そこで CTL ループに備え付けてあり、現在使用していない CTL 水浄化系の脱塩塔を使用し、純水タンクの水質調整を行なうことにした。脱塩塔は、イオン交換樹脂  $50 \ell$  入りで直径  $235 \text{ mm}$ 、高さ  $2 \text{ m}$  のもの 2 塔を使用した。

イオン交換樹脂は「ふげん」の炉浄化系に使用しているダイヤイオン SKN-1 とダイヤイオン SAN-1 を  $50 \ell$  ずつ混合し  $100 \ell$  にしたものを 2 つの脱塩塔内に充填した。これら 2 つの脱塩塔と純水タンクの間で閉ループを作り、最大流量  $5 \text{ t/hr}$  のポンプを用いて循環させた。結果的にはイオン交換樹脂の抵抗により、約  $3 \text{ t/hr}$  の循環量しか得られなかった。

この時の、 $SV^*$  値および  $LV^{**}$  値は次のようになる。

$$SV \text{ 値} = \frac{1.5 \text{ m}^3/\text{hr}}{50 \ell} = \frac{1.5}{0.05} = 30 \text{ h}^{-1}$$

$$LV \text{ 値} = \frac{1.5 \text{ m}^3/\text{hr}}{\frac{\pi}{4} (0.235)^2} = 34.6 \text{ m/h}$$

溶存酸素濃度の調整は Fig. 2 に示すように  $\text{N}_2$  ガス又は  $\text{N}_2 + \text{O}_2$  混合ガスを純水タンク内でバブリングさせることで行なった。 $\text{N}_2 + \text{O}_2$  混合ガスの割合は、目的とする水中溶存酸素濃度に対し、気液二相間の  $\text{O}_2$  分配率に照し合わせて決定した。

以上の準備のもとに AVT 運転中に純水タンク ( $30 \text{ m}^3$ ) 水質コントロールテストを実施した。

その結果次のことが明らかとなった。

- ①  $30 \text{ m}^3$  の純水タンクの水は、CTL ループだけに供給されているのではなく、流動伝熱試験室および ATR 安全性試験室にも供給されており、したがって純水タンク内の水位の変動が著しい。
- ② このため、純水タンク内には常に新しい水が供給され、かつエア抜きパイプからの空気の

---

\*  $SV$  : Space velocity, 空間速度といい、液層又は気層反応において、原量供給容積速度下の反応充填物体積  $V$  に対する割合  $F/V$  をいう。空間速度は実際の反応装置内の速度とは一致しないが、物質収支に基づいている。例えばイオン交換樹脂  $1 \ell$  に対して、水  $10 \ell$  を 1 時間の割合で流したとすれば、この時の空間速度 ( $SV$ ) は  $10$  である。一般に  $SV : 10$  と表示する。

単位は  $\text{h}^{-1}$  又は  $\ell/\ell \text{ 樹脂} \cdot \text{h}$  を用いる。

\*\*  $LV$  : Linear velocity, イオン交換塔内を流れる水の線流速単位は  $\text{m/h}$  を用いる。

流入を防ぐことが不可能となった。

- ③ その結果、純水タンク内の電導度は  $0.28 \mu\text{S}/\text{cm}$  以下には下らず、また溶存酸素濃度の調整は不可能であることが明らかとなった。

以上の結果をふまえ、中性処理運転時の給水系を Fig. 3 に示すように変更した。すなわち

- ① 純水タンクおよび給水タンク内の水質コントロールは行なわない。
- ② 給水タンクと二つの脱塩塔とで閉ループを作り、流量  $3 \text{ t/hr}$  で循環させる。
- ③ CTLループへは、脱塩塔出口の水を  $1.0 \sim 1.5 \text{ t/hr}$  程度充填ポンプで給水する。
- ④ CTLループからの水および純水タンクからの水は一旦給水タンクに供給する。

このようにすれば、給水タンク内の水の電導度が変動しても、CTLループに供給される水は電導度が  $0.066 \mu\text{S}/\text{cm}$  と常に一定になる。また脱塩塔の使用条件 (SV 値, LV 値) も常に一定であるためイオン交換樹脂の劣化もおさえられる。

一方、溶存酸素濃度については、CTLループ運転中には給水タンク水位の変動が大きいこと、かつ給水はCTLループの直接コンデンサー (以後DCとする。) にもうけられている脱気器で水中に溶解しているガスを除かれるため給水中の溶存酸素濃度調整は意味がないとして、中止した。ただ脱気器の効果が明らかでないため、給水中の酸素濃度をできるだけ少なくするために  $\text{N}_2$  ガスバブリング装置はそのままにしておいた。

したがって、中性処理運転中の溶存酸素濃度コントロールは、高温・高圧のCTLループに直接  $\text{O}_2$  ガスを注入する方法を採用することとし、高温中性処理運転テストで試行錯誤することにした。

## 2) テストⅡ CTLループ熱平衡テスト

CTLループはこれまで約10年間AVTで運転して来た。Fig. 4にAVT運転中の主要配管を流れる水の流量、温度、圧力を示す。この図から明らかなように、給水タンクと充填ポンプの間で薬注 (ヒドラジンと pH調整剤-中性性アミン) を行なってCTLループ循環水の水質を pH 9.5, 電導度  $15 \sim 20 \mu\text{S}/\text{cm}$ , 溶存酸素濃度 2 ppb 以下に保っている。給水量は、DC脱気器からのブロー、ボイラ水の間欠ブローおよび水質測定用サンプリング配管からの採水等に見合う量でその値は約  $0.25 \text{ t/hr}$  程度である。給水法は、充填ポンプ (吐出量  $0.45 \sim 2.0 \text{ t/hr}$  可変) を使って  $0.45 \text{ t/hr}$  の間欠給水である。給水サイクルは約 1.75 時間給水し、約 1.2 時間停止するというもので、この間に DC 水位は、適正下限値から適正上限値まで変動する。CTLループの熱平衡状態は、この給水中と、停止中で異なる。すなわち、給水中は、DCが冷されるため圧力調整弁 816 は約 10% 開き、停止中には弁 816 が 20% 程度開く。このようにAVT運転の場合、ボイラ燃料の節約およびCTLループの安定、安全運転の要求により給水中の弁 816 の開度を 10% 程度に設定し、給水量  $0.45 \text{ t/hr}$  において DC 圧力が低下しないボイラ蒸気流量として  $1.0 \text{ t/hr}$  を選定している。

中性処理運転の場合、CTLループの水の一部を浄化装置に通し、その水を給水と共に再び



CTLループにもどしてやる必要がある。その量は、CTLループの電導度を $0.1 \sim 0.2 \mu\text{S}/\text{cm}$ に保つためには多い方が望ましいが、多ければ当然ボイラ蒸気流量は増加する。そこでCTLループの全保有水量約 $15 \text{ m}^3$ の $\frac{1}{10}$ を目安に給水量を $1.5 \text{ t/hr}$ と決めその時の適正ボイラ蒸気流量を決めることとした。

以上のことから、給水流量を連続 $1.5 \text{ t/hr}$ とした時の適正ボイラ蒸気流量を決定するために、AVT運転中にCTLループ熱平衡テストを実施した。

テストⅡの実施当時、蒸気圧縮機（以後SCとする。）が約2000時間の連続運転中でありSCへの影響がなるべく小さくなるように注意してテストを行なった。

大ざっぱな計算で、給水量連続 $1.5 \text{ t/hr}$ の場合、ボイラ蒸気流量は約 $1.4 \text{ t/hr}$ が適当であるという目安のもとに次の手順で3回でテストを終了した。

(1) 第1回目（ボイラ蒸気流量 $1.2 \text{ t/hr}$ ）

ボイラ蒸気流量を $1.0 \text{ t/hr}$ から $1.2 \text{ t/hr}$ に上昇させ2時間以上放置し、DC水位が適正下限に達するのを待つ。この間、ボイラの燃焼状況、燃料供給状況および火炎の状態変化による送風空気状況を観察する。DC水位が適正下限に達した後、約5分かけて給水量を $1.0 \text{ t/hr}$ まで上昇させた。この時、SCの差圧<sup>\*</sup>変動を観察し、 $0.45 \text{ t/hr}$ の給水開始時の差圧変動より大きくならないように注意した。そして給水量を順次増加させ、弁816の開度が10%を割る値を求めた。

(2) 第2回目（ボイラ蒸気流量 $1.3 \text{ t/hr}$ ）

ボイラ蒸気流量を $1.0 \text{ t/hr}$ から $1.3 \text{ t/hr}$ に上昇させる。以下は第1回目と同様である。

(3) 第3回目（ボイラ蒸気流量を $1.5 \text{ t/hr}$ ）

ボイラ蒸気流量を $1.0 \text{ t/hr}$ から $1.5 \text{ t/hr}$ に上昇させる。以下は第1回目、第2回目と同様である。

以上3回のテストから次のことがわかった。

- ① 給水量 $1.5 \text{ t/hr}$ の連続給水で、かつ弁816が10%程度開くのに必要なボイラ蒸気流量は $1.5 \text{ t/hr}$ である。
- ② ボイラ蒸気流量が $1.5 \text{ t/hr}$ の時の火炎の状態は良く、送風量を調節すれば $1.7 \sim 1.8 \text{ t/hr}$ の蒸発量まで燃焼させることが可能である。
- ③ SC差圧は給水開始時および給水停止時に若干変動するが、 $1.5 \text{ t/hr}$ の連続給水状態になるとほとんど変動しない。

これらのことから、中性処理運転の場合、給水量は $1.5 \text{ t/hr}$ に決め、DC水位の変動により $1.0 \sim 1.5 \text{ t/hr}$ の間で変化させることとし、ボイラ蒸気流量は $1.5 \text{ t/hr}$ に設定すること

---

\* SCの差圧：SC入口蒸気圧力とSC回転軸から蒸気の漏洩を防ぐためのシール水の圧力との圧力差で、DC圧力が変動するとこの差圧は大きくなり、ひいてはこれが原因でSC停止に至ることがある。

にした。

### 3) 中性処理運転テストの準備

CTLループの中性処理運転は、今回が初めてであるため、多くの不具合箇所が指摘され、それらをAVT運転終了後に改造することにした。またAVT運転と中性処理運転とで配管内面の腐食状況が異なることが予想されそれらを比較分析するために適当な配管を切断するとともに新配管を溶接し復旧した。

以下に中性処理運転テストのために行なった準備作業を述べる。

#### (1) 給水系の改造

純水タンク (30 m<sup>3</sup>) 水質コントロールテストの結果、給水ラインをFig. 3およびFig. 5に示すように改造した。このようにすれば、給水ポンプでCTLループ内に供給される水の電導度は常に0.066 μS/cmと一定になる。

また純水製造装置のMB塔およびMB-P塔に入っているイオン交換樹脂は約3年間使用しているので、今回新しい樹脂と交換した。樹脂の種類はこれまでと同じで、MB塔がアンバーライトIR-120BとアンバーライトIRA-410、MB-P塔がアンバーライトIR-120BとアンバーライトIRA-402である。

給水系に使ったイオン交換樹脂ダイヤイオンSKN-1とダイヤイオンSAN-1は、原子力用に精製・再生されており、使いすて型（製造メーカーに送れば再生してくれる。）でありその寿命は約65日と報告を受けたので、最終の高温中性処理運転テストの時には全量交換することにした。

#### (2) 酸素ガス注入装置

酸素ガスは原子力発電所では給復水系の低圧部に注入している。この場合注入量は給・復水量から決められており注入前の給・復水の溶存酸素濃度はほとんどゼロと考えて良い。

CTLループの場合、一度酸素ガスを注入すると、酸素は循環水および循環蒸気に伴ってループ内を循環し、その量は、CTLループからのブロー水と共に系外に持ち去られるのと、配管表面で腐食により消費されるのとの二つの効果により次第に減少していく。CTLループ内の溶存酸素濃度を一定に保つためには、これらの値を正確に見積って減少分に当る量だけ注入してやれば良いのだが、減少分を見積るのは現段階では不可能であった。したがって純酸素ガスとして100～500 cc/min<sup>\*</sup>の流量が自由にコントロールできる注入装置を作り、高温中性処理運転テストで試行錯誤することにした。酸素ガス注入位置は、循環ポンプ

---

\* 100～500 cc/minとした理由

CTLループの水保有量を10 m<sup>3</sup>とし、その水が150 ppbの溶存酸素濃度の時の酸素量を、約10分で注入することを考えた。

$$32 \text{ g} : 22.4 \ell = 150 \text{ mg} \times 10 \text{ m}^3 : 10 \text{ x}$$

$$\text{x} = 105 \text{ cc}$$

出口配管とした。この理由は、給水系に酸素ガスを注入しても、給水がDCの脱気器に入る時に注入ガスが脱気されるため、調節がむずかしいと考えたこと、さらに脱気の影響のない单相流域なら調節が容易と考えたことによる。DC  $66 \text{ kg/cm}^2$  の定常運転時には、循環ポンプ出口の圧力は  $83 \text{ kg/cm}^2$  になるので酸素ガス注入圧力は  $90 \text{ kg/cm}^2$  とした。

Fig. 6 に酸素ガス注入装置のフローチャートをFig. 7 にその写真を示す。

Fig. 6 で電磁弁とストップバルブを並列に入れたのは溶存酸素濃度の調節法が、完全流量コントロールまたは、注入時間コントロールのどちらが良いか明らかでなかった理由による。

溶存酸素濃度のモニターは、テストチャンネル入口单相流 (Fig. 5 サンプルングナンバー6) の溶存酸素濃度計の値を用いることにした。

### (3) サンプルング点とサンプルング装置

CTL ループ水のサンプルング点はこれまでDC水、ボイラ水、テストチャンネルD (以後T/S・Dとする。) 出口および給水の4ヶ所だけであった。今回中性処理運転を行なうに当たってなるべく多くの場所の水質を知る必要からサンプルング点を9ヶ所に増加した。Fig. 5 にサンプルング点を示す。

サンプルング点は次の通りである。

- |          |               |
|----------|---------------|
| ① ループ出口  | ⑥ T/S D入口单相流  |
| ② 脱塩塔入口  | ⑦ T/S D入口二相流  |
| ③ 脱塩塔出口  | ⑧ ボイラ水        |
| ④ DC     | ⑨ スーパーヒータ出口蒸気 |
| ⑤ DC飽和蒸気 |               |

これらの場所から、サンプルング水として  $250 \sim 500 \text{ cc/min}$  程度連続して採水できる装置を製作した。サンプルング水の温度・圧力は、 $20 \sim 35^\circ\text{C}$  および  $3 \text{ kg/cm}^2$  以下である。

サンプルング装置の外観をFig. 8 に示す。

### (4) 水質測定器機と水質測定方法

サンプルング装置で採水した水の水質測定には、次の測定器を使用した。

- |         |    |                         |
|---------|----|-------------------------|
| ① 溶存酸素計 | 4台 | (プロセス計4台)               |
| ② 電導度計  | 5台 | { (プロセス計4台)<br>(机上計 1台) |
| ③ pH計   | 1台 |                         |

Fig. 8 にプロセス計を示す。

これらの計器を用いて、サンプルング箇所②を除いた8点について常時測定ができるようにした。プロセス計4組に対し常時測定点が8点あるため、小型ヘッドを作り、バルブ切換

えにより測定ができるようにした。プロセス計による測定値は記録計に記録した。また各点の水質は1時間おきに人が測定し記録用紙に記入した。

#### (5) CTL ループ配管の切断と復旧

中性処理運転に入ると、CTL ループ配管内表面の腐食被膜はAVT 運転のものとは異なったものになることが予想される。そこでAVT 運転、AVT 運転+中性処理運転および中性処理運転の各処理を受けた配管内表面の腐食被膜状況を比較するためにFig. 5 に示す6ヶ所を約500 mm切断しAVT 運転での配管サンプルとして保管することにした。

切断箇所およびその使用条件は次の通りである。

Ⓐ 主冷却器出口	単相流	温度 40～80℃	圧力 72 kg/cm <sup>2</sup>
Ⓑ ボイラ給水ライン	単相流	温度 285℃	圧力 72 kg/cm <sup>2</sup>
Ⓒ 飽和蒸気ライン	飽和蒸気流	温度 285℃	圧力 66 kg/cm <sup>2</sup>
Ⓓ T/S D出口	二相流	温度 285℃	圧力 70 kg/cm <sup>2</sup>
Ⓔ T/S D入口	単相流	温度 285℃	圧力 72 kg/cm <sup>2</sup>
Ⓕ ボイラ出口	過熱蒸気流	温度 340℃	圧力 81 kg/cm <sup>2</sup>

これら配管材料はすべてSTPT38である。

切断箇所は新材料を溶接し、もとのように復旧した。溶接部については、カラーチェックおよびX線検査（JIS 2級）を実施し、その後CTLループ全体に圧力83 kg/cm<sup>2</sup>をかけて耐圧検査を行なった。

#### (6) 浄化系冷却器の交換

AVT 運転終了後浄化系冷却器に圧力をかけた所、一次側配管に穴があいていることがわかった。そこで浄化系冷却器と能力がほとんど同じシールプラグ冷却器の予備品と交換した。

#### (7) CTL ループ立上げ総合検査

上記(1)～(6)までの各項目を総合的に検査するために、本格的な中性処理運転テストに入る前にCTLループを3日間運転した。この時SCの運転は行なわなかったが、圧力、温度ともに定常運転条件に設定した。

酸素ガス注入装置がまだ納入されておらず、したがってその性能をチェックすることはできなかったが、他のものはすべて順調に作動した。

この時の水処理は中性処理を適用した。したがって運転前にCTLループの洗浄を行なった。洗浄は、CTLループ内を満水にして約20分循環ポンプを運転し、その後水を捨てるという方法で、これを2回くり返した。洗浄時ループ水の電導度を測定し洗浄終了の目安とした。3回目の水はり各場所のサンプリング水電導度が0.4～0.6 μS/cmになったので洗浄終了とした。これは、洗浄用に用いた純水が30 m<sup>3</sup>の純水タンクのもので、その電導度が0.4～0.6 μS/cmである理由による。

#### (8) その他

浄化系容量および配管内腐食量を見積るために、CTLループの保有水量と配管接液面積を測定した。その結果をTable 1およびTable 2に示す。

#### 4) テストⅢ 低温中性処理運転テスト

以上の準備を行なってから、まず低温中性処理運転テストを実施した。

CTLループにはこれまでAVT運転で長時間の耐久試験を行なって来ており現在もまだ試験中のテスト部がある。これらのテスト部に中性処理水を流すと腐食現象に影響する試験条件が一定しないことになるので、現在耐久試験を実施している燃料集合体試験部(T/S D)およびシールプラグ試験部は入口、出口の弁をしめ切り中性処理水が流れないようにした。特に燃料集合体試験部の場合、燃料集合体を引き抜き、中性処理の影響を避け、バイパスには水を流すことにした。

Fig. 9に低温中性処理運転時の主要配管流量を示す。図から、明らかなようにCTLループは完全満水の状態にして水を循環させた。この理由は、CTLループからAVT運転時の薬品を取り除くことと、サンプリング配管からの採水およびボイラドレン水を確保するためにCTLループ全体を加圧する必要があったためである。

SCは循環流体が水であるため停止し、SC前後の弁をしめ切り、水が流れこまないようにした。

停滞水の発生を可能なかぎりなくするためにバイパス弁はすべて微開の状態にし、行き止まり部にはエア抜弁、あるいはドレン弁を微開にして水の流れを作るようにした。しかし、それでも若干停滞水ができるのは避けられなかった。

低温中性処理運転テスト中には、循環ポンプの運転によりループ水温度は、60～80℃まで上昇し、DC圧力は10～20 kg/cm<sup>2</sup>に保った。

Fig. 10に低温中性処理運転テスト中のDC水およびボイラ水の電導度変化を示す。水はり直後の電導度は0.4～0.6 μS/cmで、DC水とボイラ水とで0.15程度の差があったものが循環ポンプを運転すると、CTLループ内の電導度が0.6 μS/cm一様になった。また、給水ポンプの運転できれいな水が供給されはじめると電導度は順次下がりはじめ、24時間後に0.2 μS/cm以下に低下した。このテストⅢでは最終的に電導度は0.09 μS/cmまで低下しており、低温の場合ではあるが、十分満足のいく結果が得られた。Fig. 10から、CTLループ水の電導度が0.6 μS/cm程度の状態で、1.5 t/hrの脱塩塔出口水の給水で約2日浄化してやれば、CTLループ水の電導度は0.1 μS/cmになることが明らかとなった。したがって、高温中性処理運転テストを行なう時には約2日の低温中性処理運転を行なった後に昇圧・昇温を行なうことにした。

満水保缶の場合、2～3日間程度であれば電導度の著しい上昇は見られない。また、長時間の満水保缶の場合でも、毎日6時間程度低温中性処理運転をしてやれば電導度は次第に低下して行き0.1 μS/cmあたりで一定になるようである。

溶存酸素濃度は6月22日から測定した。濃度変化を見るとはじめの3日間は増加傾向にあり、後半の4日間は減少傾向を示す。この理由は明らかでない。6月26日運転を止めてDチャンネルから燃料引き抜きを行なった所、溶存酸素濃度は急に増加した。これはこの作業によってCTLループ内に空気が混入したかあるいはCTLループ水が空気にふれ酸素ガスが急激に溶解したかのいずれかであろう。しかし、いずれも溶存酸素濃度は4～8 ppmの値である。

低温中性処理運転テストの最後のところに2回ほど鉄を分析した。その値はそれぞれ7.7 ppbおよび3.7 ppbで非常に低い値であった。この値はJISの規準値よりも大幅に少なく、このままでボイラ起動ができる値である。

以上低温中性処理運転テストの結果をまとめると次のようになる。

- ① CTLループを満水にして低温中性処理運転をすると電導度 $0.6 \mu\text{S}/\text{cm}$ 程度の水は約2日で $0.1 \mu\text{S}/\text{cm}$ となる。この時の給水量は $1.5 \text{ t/hr}$ で、その電導度は $0.066 \mu\text{S}/\text{cm}$ である。
- ② 2～3日間の満水保缶では、著しい電導度の上昇は見られない。
- ③ 低温中性処理運転では溶存酸素濃度は4～8 ppmであった。
- ④ 水中鉄濃度は、 $10 \text{ ppb}$ 以下が得られた。この時の水質は電導度 $0.9 \sim 0.1 \mu\text{S}/\text{cm}$  溶存酸素濃度は4～6 ppmであった。

#### 5) テストⅣ 高温中性処理運転テスト

低温中性処理運転テストにより、CTLループ水の電導度を $0.1 \mu\text{S}/\text{cm}$ に保てることが明らかとなった。そこでいよいよ温度を上げて高温中性処理運転テストに入ることにした。

高温中性処理運転では、CTLループ水の化学分析を行なうこととし、水分析専門の業者にそれを依頼した。

高温中性処理運転テストは合計4回行なった。第1回目は、3)章で述べたCTLループ立上げ総合検査に当る。水の化学分析は第3回目と第4回目に実施した。第4回目のテストが本試験に当る。

##### (1) 水分析の依頼

今回中性処理運転テストを実施するに当たり、中性処理水の防食効果を評価する必要から、水中鉄濃度を分析することにした。部品機器試験室では独自に鉄を分析する能力を持っていないので、これまでCTLループのAVT運転中の水分析を行なっている栗田工業に分析を依頼した。

鉄の分析は、AVT運転時のものと比較するために、昭和56年2月23日起動5月23日停止のAVT運転時のDC水、およびボイラ水を3回分析し、その値と中性処理運転中のものと比較することにした。

分析方法はJISで決められているTPTZ法(分析精度は $\pm 1 \text{ ppb}$ で、 $5 \text{ ppb}$ 以上の値に適用され、それ以下の値は参考値となる。)を採用した。通常、原子力発電所では一定量の

サンプリング水をイオン交換膜と0.45  $\mu\text{m}$ のフィルターに通し、それぞれの膜に付着した鉄分を王水または塩酸で溶解したその溶液にTPTZ法を適用して、イオン鉄とクラッド鉄を分離している。今回我々も同様な方法で分析するつもりで、AVT運転時および第1回、第2回目の高温中性処理運転時に分析を行なった所、CTLループ内にリグニンスルホン酸らしき有機物が多量に検出（付録参照）され、それがフィルターの目をふさぎ分析不可能となった。このため今回のテストではサンプリング水200 ccの全量濃縮によるTPTZ法を採用することにし、鉄は全鉄すなわちイオンとクラッドを含めたものとして分析することにした。

試験計画立案当初、水の分析は鉄だけを予定していたが、リグニンスルホン酸らしき有機物が検出されたため、有機物濃度および $\text{SiO}_2$ 濃度も分析することにした。またリグニンスルホン酸らしきものについては、混入経路についても調査することにした。（付録参照）

分析は、高温中性処理運転テスト中、分析依頼業者から分析員を派遣してもらい、部品機器試験室の腐食検査室で現地分析することにした。分析回数は1日当たり2～3回程度行うことにした。

## (2) 第1回高温中性処理運転テスト

中性処理運転テストのための諸準備がすべて終了した時点で、各改良、改造および新設装置がうまく働くかどうかを総合的に判断するために、このテストを行なった。CTLループの起動および運転方法はAVT運転の時と全く同じに行ない、このテスト中に中性処理運転に適した方法を捜し出すことにした。したがって、このテストは低温中性処理運転の前に行なったことになる。

Fig. 11に第1回高温中性処理運転テスト時の主要配管流量を示す。しめ切り配管は、Dチャンネルテスト部、シールプラグ部、SC、およびCチャンネルテスト部の一部である。Cチャンネルは、以前流動試験に使われ、行き止まり配管が多いうえ、新たにエロージョンテスト部を増設しているため水の停滞部が非常に多いチャンネルである。これらしめ切り配管の上流および下流には必ず水の停滞部が生じるので、エア抜弁、ドレン弁等を使って停滞部をなるべく少なくした。

ループ水のサンプリング箇所は、DC水、DC飽和蒸気、T/S D入口单相流、T/S D出口およびボイラ水の5点とした。

水質測定項目は、電導度および溶存酸素濃度の2項目である。

このテストの目的は、諸設備、改良、改造箇所の検査が主目的であり、水質変動についてはただ傾向を見るだけにとどめ、後の高温中性処理運転の参考にした。

Fig. 14にこのテスト中のDC水の水質変化を示す。（他の水質は、データ集を参照のこと）

電導度は、低温循環で0.3  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 程度に下がったものがループ温度の上昇とともに上昇し、圧力設定（DC圧66  $\text{kg}/\text{cm}^2$ 、285  $^{\circ}\text{C}$ ）前に最高値に達しその後低下に向い0.36  $\mu\text{S}$

／cmまで低下し一定となった。また降圧を開始すると電導度は上昇をはじめ $0.6 \mu\text{S}/\text{cm}$ をピークに再び低下した。

溶存酸素濃度は $4 \text{ ppm}$ あったものが温度の上昇とともに、急激に低下し、 $80 \sim 100 \text{ ppb}$ で一定になった。この運転ではSCを運転していないため、蒸気ラインが停滞状態になりこのためDC水の水質に悪影響を及ぼすことが考えられたので、SC停止により使わない蒸気配管はすべてエア抜弁、ドレン弁を開いて蒸気を放出することにした。また、ボイラの運転は、AVT運転の時と同じに2～3時間に一度ボイラ水をブローする間欠ブロー運転を行っていたが、ボイラ水が黄色に濁って来たため、 $0.2 \text{ t/hr}$ の連続運転に切り換えた。この濁りの正体はリグニンスルホン酸らしき有機物と推察された。DC飽和蒸気を冷却して得られたサンプリング水は何か異様な臭いがついていた。これも有機物が原因であろうと推察された。

第1回の高温中性処理運転テストで得られたことをまとめると次のようになる。

- ① 中性処理運転のために準備した諸設備、改良改造箇所はすべて順調に作動した。
  - ② 電導度は温度上昇に伴って上昇するが、CTLループの設定圧力（DC圧力 $66 \text{ kg}/\text{cm}^2$   $285^\circ\text{C}$ ）になる前にピークに達し、その後低下し $0.36 \mu\text{S}/\text{cm}$ で一定になった。  
また降圧開始と共に上昇する。
  - ③ 溶存酸素はCTLループの温度上昇に伴って急激に低下し $80 \sim 100 \text{ ppb}$ で一定となった。
  - ④ 停滞配管の影響（特に蒸気系）をなくすためには、エア抜弁、ドレン弁を微開にすることが手取り早い方法である。
  - ⑤ CTLループ、特にボイラ内に有機物の蓄積があり、温度の上昇によって溶出が生じているようである。ボイラ水の濁り、DC飽和蒸気においてはこれに起因するようである。
  - ⑥ ボイラ水の濁りをなくすために $0.2 \text{ t/hr}$ の連続ブローを行なうことにした。
- (3) 第2回高温中性処理運転テスト

第1回の高温中性処理運転テストおよび低温中性処理運転テストを受けて第2回目の高温中性処理運転テストを実施した。

このテストの目的は、前2つのテストによって得られた知見のもとに、高温条件下で電導度を $0.2 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下に下げ、溶存酸素濃度を $100 \sim 200 \text{ ppb}$ の間で自由にコントロールする方法を見付け出すことである。

Fig. 11に第2回高温中性処理運転テスト中の主要配管流量を示す。今回は第1回目と全く同じ運転条件とした。

Fig. 15にこの時のDC水水質変化を示す。今回は起動時から第1回目のテストで得られた知識を応用したので、電導度の上昇は少なく、溶存酸素は $10 \text{ ppb}$ 以下にまで低下している。しかし、一旦上昇した電導度は波をうちながら低下する傾向にある。この傾向はDC飽



和蒸気にも認められ、この場合、DC水の60～70倍に増幅されていた。この原因は明らかでないがSCの停止に伴う蒸気系の停滞部から凝結した水が時々流れ込んでいるためではないかと予想される。このループはやはりSCを運転してみないことには水質を完全につかむことはできないという感じを得た。

溶存酸素濃度は、蒸気系からのブローが良くきいてDC水で10 ppb以下と一定値に保つことができたので7月2日、酸素ガス注入テストを実施した。純酸素ガスポンペを用い、圧力調整弁で90 kg/cm<sup>2</sup>に圧力を落した酸素ガス（以後O<sub>2</sub>ガスとする。）を循環ポンプ出口に注入した。この時100 cc/min程度の流量を目標にしたが、流量コントロールに時間がかかり、CTLループ内の溶存酸素濃度は短時間（約20分か？）ではあるが15 ppmを越えた。同時に電導度も2.3 μS/cmまで上昇し、水質調整は完全に失敗した。ブロー弁814の開度を大きくし、短時間の内に溶存酸素濃度を低下させることはできたが、電導度は0.4 μS/cmにまで約9時間かかってしまった。この間DC飽和蒸気サンプリング水においては強くなり、pHは4.8と大幅に酸性側に移動した。O<sub>2</sub>ガス注入の失敗は流量調節にありと考えて（N<sub>2</sub>+5%O<sub>2</sub>）ガスを使って流量調節テストを約30分間行なった。この間T/S D出口の溶存酸素濃度は70 ppbになった。このことは、溶存酸素濃度の調節は混合ガスで行なう方が容易であることを示している。7月2日でO<sub>2</sub>ガス注入テストを終え、7月3日は電導度を下げることにした。その結果、電導度は0.16 μS/cm程度まで低下した。

以上、第2回目の高温中性処理運転テストをまとめると次のようになる。

- ① 純酸素ガスによる溶存酸素濃度調節は失敗した。しかし、混合ガス注入法という新しい方式の可能性を得た。
  - ② 酸素ガスの注入により電導度が変動する。
  - ③ この時、飽和蒸気は酸性になり、においが強くなる。
  - ④ これはCTLループ内に蓄積している有機物の分解が酸素によって促進されるためと思われる。
  - ⑤ 溶存酸素が低下すると電導度も低下し、0.16 μS/cm程度で一定になった。
  - ⑥ CTLループ内の有機物除去方法を検討する必要がある。
- (4) 第3回高温中性処理運転テスト

第2回目の高温中性処理運転テストの結果をふまえて、有機物除去方法について検討した。その結果次の2つの案が提案され、第2案を採用することにした。

- ① アルカリ除染法<sup>\*</sup>；NaOH水溶液でCTLループおよびボイラをアルカリ除染する方法

条件；水質 NaOH 1～2%  
 温度 80～100℃  
 時間 24時間程度

特徴；○有機物除去にはアルカリ除染が一般的である。

○停滞部にたまったNaOHの除去に時間がかかる。

○有機物の完全除去はむずかしい。

② 中性処理法<sup>\*\*</sup>；現在実験中の中性処理を長時間続ける方法

条件；水質 中性，酸素ガス注入

温度 285℃（CTLの運転条件とした）

時間 長時間

特徴；○第2回目の高温中性処理で明らかになったことで前例がない。

○有機物は酸素ガスにより湿式酸化を受け分解除去できそうであるが、完全除去までの時間が見積れない。

○中性処理運転を続けるうちに有機物は減少し、ついにはなくなるであろうことが予想される。したがってこのまま実験を続けることができる。

\* 栗田工業からの提案

\*\* 電力中研，四国電力，栗田工業，動燃四者で検討

第3回目の高温中性処理運転テストは，CTLループ内の有機物は中性処理運転を続けることで自然に減少していくものとし，その間の水分析を十分に行ない配管内表面の腐食を水中鉄濃度で監視しながら行なうことにした。その期間を1週間とした。

サンプリング点は，9点とし，常時測定点はその内の8点とした（前述3）-（3）および（4）項参照）。

水質測定用に準備した機器すべてを使用し，電導度，溶存酸素濃度，およびpHを測定した（前述3）-（4）項参照）。

水の化学分析は業者の分析専門員により現地分析を実施した（前述5）-（1）項参照）。分析項目を再び次に示す。

① 全鉄 ② 有機物（UV値）<sup>\*</sup> ③ SiO<sub>2</sub>

このテストではSCを運転することとし，CTLループ運転条件をDC圧力40 kg/cm<sup>2</sup>温度250℃とした。これは，このテストが最終テストではないためSC負荷を軽減し，寿命延命をはかり，最終テストにSCが健全に運転できるように配慮した理由による。

このテストの目的は次の通りである。

① 溶存酸素濃度調節法の確立

② 酸素ガス注入による有機物除去状況および水中鉄濃度変化の観察

Fig. 12に第3回高温中性処理運転時の主要配管流量を示す。今回はSCを運転したためテストチャンネルは二相流となるがDC圧力40 kg/cm<sup>2</sup>のためSCから多くの蒸気流量が取

\* 紫外線吸光度：今回のテストでは260nmの波長のものを測定した。

れず、そのためDチャンネルにだけ蒸気を流すことにし、その二相流条件は、熱水15 t/hr、蒸気2 t/hrとした。

Fig. 16 に第3回高温中性処理運転時のDC水の水質変化を示す。今回の起動時には、送気後の脱気の効果が高く、溶存酸素濃度の下がり方が早いため電導度の上昇が小さくピーク値で $0.3 \mu\text{S}/\text{cm}$ であった。DC圧力が $40 \text{ kg}/\text{cm}^2$ になってその翌日SCを起動した。SCの起動により蒸気系に停滞していた気体が動きだしそのため電導度および溶存酸素濃度が一時上昇した。しばらくして水質が落ちついて来たので $\text{O}_2$ ガス注入テストを実施した。今回は $\text{O}_2$ ガス流量の流れすぎを防止するために $100 \sim 200 \text{ cc}/\text{min}$ 程度の流量をパルス状に注入することとし、まず微量調節弁で $\text{N}_2$ ガスを使って流量を調節し、弁開度を固定し、電磁弁を使って濃度コントロールできるようにした。その結果Dチャンネル入口で1.5 ppm程度なら調節可能であった。溶存酸素濃度が高いため電導度も上昇して来たのでその日の実験は中止し、注入装置の圧力を $90 \text{ kg}/\text{cm}^2$ に設定したままで、ストップバルブを閉め、流量計をゼロにして翌日の実験にそなえた。翌日になっても溶存酸素濃度は下がっておらず、その原因を検討した所、注入装置の圧力を $90 \text{ kg}/\text{cm}^2$ に設定したままであったので、バリブから微量 $\text{O}_2$ ガスが漏れたためとわかった。(  $90 \text{ kg}/\text{cm}^2$  の圧力を開放したら溶存酸素濃度が低下しはじめた。)そこで純 $\text{O}_2$ ガスの注入は断念し、混合ガス注入法を適用することとした。まず、( $\text{N}_2 + 2.5\% \text{O}_2$ )ガスを注入した所、ループ出口水が80 ppbとなり、( $\text{Ar} + 5\% \text{O}_2$ )ガスを注入するとループ出口水が130~150 ppbになった。この時のガス流量は $2 \text{ l}/\text{min}$ \*程度であろうと予想された。「ふげん」の値(150 ppb強)にしようとしたが、( $\text{Ar} + 5\% \text{O}_2$ )ガスでは無理で、もっと酸素濃度の高い混合ガスが必要であることが明らかになり、次のテストで確認することにした。

一方、SCを運転し二相流にしたため新たな現象が生じた。それはDチャンネル出口水の溶存酸素濃度が入口水のそれに比べ異状に高く、そのため電導度も高くなったことである(データ集参照)。それにDC飽和水と同じにおいがはじめたことである。この原因を検討した結果次のような状況が予想された。すなわちDチャンネル出口の配管はCTLループで最も高い位置にあり、その位置から約10 m下のDCに二相流は流れ下ることになるのだが、この時、管内平均流速が $0.7 \text{ m}/\text{s}$ 程度と遅いため、管内で気液分離が生じ、この内の気相側からのみサンプルしているということである。そこでDチャンネル入口のミキサー出口からサンプルすることにし、その水質を測定した所、単相流とほとんど同じ値が得られた(データ集参照)。したがって今後二相流水質を測定するには、ミキサー出口水を測定することにした。

\* 流量計が純酸素ガスで較正されているため、混合ガスの場合正確な流量はわからない。今回のテストでは、DO計の値を一定にする、注入ガス流量計の目盛を決めた。例えば130~150 ppbの時( $\text{Ar} + 5\% \text{O}_2$ )ガス流量は、流量計の目盛で「14」であった。目盛は最大15までである。したがって、正確な流量を知るには、再度較正しなければならない。

今回初めて行なった水分析によると、水中鉄濃度はループ出口水を除いて非常に低く、水質安定時には5 ppb以下となった。ループ出口水は、採水されるまでに多くの停滞部を通過するためその影響が表われたものと思われる（データ集参照）。

有機物は予想通り時間とともに減少しており、テスト前に検討したことが証明された（データ集参照）。

SiO<sub>2</sub>も同様に時間とともに減少した（データ集参照）。

なお、水質測定結果および水分析結果はあらためて試験結果と考察の項でくわしく述べる。

以上第3回高温中性処理運転テストの結果、次のことが明らかとなった。

- ① CTLループの場合、溶存酸素濃度のコントロールは混合ガス注入法が適しており、酸素ガス濃度としては10%前後が適当であろう。
  - ② 二相流の場合、DCより高い位置にある配管では、管内部で気液分離が生じ、このためテストチャンネル出口水質を測定するのは不適当である。テストチャンネル水質を測定するには、入口単相流と、入口ミキサ出口の二相流を測定するのが良い。
  - ③ 中性処理で水中鉄濃度は5 ppb以下ときわめて低い値となった。配管内面の防食効果は十分満足のいくものである。
  - ④ CTLループ内の蓄積有機物は中性処理運転で減少する。
  - ⑤ SiO<sub>2</sub>も有機物と同様に減少する。
- (5) 第4回高温中性処理運転テスト（本試験）

第3回高温中性処理運転テストの結果をふまえ、今回のテストの目的および運転方法、水質測定および水質分析方法を次のように決めた。テスト期間は2週間とした。

① 目 的

第4回高温中性処理運転テストを本試験とし、その目的を「ふげん一次冷却水水質を模擬すること」とする。すなわち電導度0.1 μS/cm、溶存酸素濃度150 ppbである。

② 運 転 方 法

CTLループはDC圧力66 kg/cm、温度285℃でSCを運転する。SC蒸気流量は約8 t/hrとする。

今回は、Cチャンネルのエロージョンテスト部の流動条件を一定にする。すなわち熱水流量24 t/hr、蒸気流量4.85 t/hrとする。

酸素ガス注入方法は前回の結果をふまえ（Ar + 7.5% O<sub>2</sub>）混合ガスの流量調節法を採用した。

③ 水質測定および水質分析方法

これらは前回のテストの通りとした。

④ そ の 他

今回のテストでは鉄、銅およびアルミ黄銅の純水中の腐食量を測定するためにDC内に

腐食試験片を入れた。詳細は試験結果で述べる。

Fig. 13 に第 4 回高温中性処理運転時の主要配管流量を示す。

Fig. 17 に第 4 回高温中性処理運転時の DC 水水質変化を示す。

今回の起動時における電導度の上昇は前回に比べて非常に大きく、溶存酸素濃度の低下速度が遅い。これは起動時に DC ブロー弁を十分な時間開いて脱気を完全に行なわなかったためである。

SC は、 $40 \text{ kg/cm}^2$  で起動を 2 回試みたが、いずれも失敗した。直ちに圧力を  $20 \text{ kg/cm}^2$  まで下げ、SC 負荷を軽くして起動を試みたが、再度失敗した。この時 5～10 分程度 SC は回転しているため、蒸気ラインが動き、電導度および溶存酸素濃度が増加した。再び圧力を  $40 \text{ kg/cm}^2$  に上昇させ、水質を整え、2 日後に SC を起動させた。この時は、圧力を一旦  $40 \text{ kg/cm}^2$  から  $20 \text{ kg/cm}^2$  まで落し SC の起動を試みたがやはり失敗した。そこで再度、 $40 \text{ kg/cm}^2$  で試みた所、今度はうまく成功した。SC の調子があまり良くないので、一晩  $40 \text{ kg/cm}^2$  のまま運転し翌日  $66 \text{ kg/cm}^2$  に圧力上昇した。その後各テストチャンネルの流量を設定し、水質の調整を行なった。

まず、CTL ループから酸素を除き  $10 \text{ ppb}$  以下になってから ( $\text{Ar} + 7.5\% \text{O}_2$ ) ガスを注入する予定で酸素の低下するのを待ったが、前回のように簡単に低下しなかった。このため原因として考えられる項目を検討し実施してみた所次のことが明らかとなった。それは、SC 出口の蒸気流量が前回に比べ多くなったため Fig. 13 の弁 811 のある管内流量が増加し、DC 脱気器内への蒸気の流入が多くなり、その結果脱気器内の脱気ガスが DC 内へ流れ込む現象が生じているということである。そこで弁 811 を閉じ、そのラインのエア抜弁を開き蒸気をブローさせるとともに、弁 814 の開度を 3% から 5% に増加し脱気効果を上げた。その結果、溶存酸素濃度は  $20 \text{ ppb}$  まで下がって一定になった。一定になったことを確かめて ( $\text{Ar} + 7.5\% \text{O}_2$ ) ガスを注入し D チャンネル入口单相流の溶存酸素濃度が  $150 \text{ ppb}$  になるように調節し、約 4 日間この状態を保った。この間電導度は  $0.3 \mu\text{S/cm}$  で一定になり「ふげん」の値にすることはできなかった。

しかしながら、この値は「ふげん」とほぼ同じ値と見なすことができ、満足すべき値である。

水の現地分析は 8 月 9 日の午前中で中止し、その後の分は、サンプリング水を  $1 \text{ l}$  のポリ容器に保存し業者の分析室に送り分析した。この時銅も分析することにした。

「ふげん」水質の模擬テストは、8 月 11 日で終了し、その後 SC 負荷テストを実施して今回のテストを終了した。

水中の、鉄、有機物、および  $\text{SiO}_2$  の濃度変化は第 3 回高温中性処理運転テストの時と同じ傾向であり、特に鉄については  $5 \text{ ppb}$  以下と低い値になることが確認され、CTL ループ配管内面の防食効果は十分にあることが明らかとなった (データ集参照)。

銅を分析した所、DC水で15～20 ppb、ボイラ水で50 ppb前後と高い値が測定された。これらの値は、DC内に入れた腐食試験片（銅および黄銅）の重量減から算定される値に比べ多く、またCTLループ内には腐食試験片以外には銅材料を使用していないことから銅もまたAUT運転中にCTLループ内に蓄積したものが再溶出したものと考えられる（4-3節の注およびデータ集参照）。

以上、第4回高温中性処理運転テストの結果次のことが明らかとなった。

- ① 「ふげん」一次冷却水水質の模擬はほぼ達成された。この時のCTLループ水質は次の通りである。

		「ふげん」一次冷却水 <sup>*</sup>
電 導 度	0.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0.1～0.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$
溶存酸素濃度	150 ppb	≈ 150 ppb
pH	6.25	6.5～7
全 鉄	2.5 ppb	5～10 ppb
全 銅	15～20 ppb	< 2 ppb
SiO <sub>2</sub>	25 ppb	≈ 130 ppb
有機物(UV値)	0.005	-

\* 「ふげん」の値は昭和54年度のものを使用

- ② 溶存酸素濃度調節法が確立された。その方法は、混合ガス直接注入方式による注入ガス流量コントロール法である。

今回の注入条件	混合ガス	Ar + 7.5% O <sub>2</sub>
	流 量	約 2 $\ell/\text{min}$ (流量計目盛12)
	注 入 位 置	循環ポンプ出口
	注 入 圧 力	90 $\text{kg}/\text{cm}^2$

- ③ SC出口蒸気流量が増加（8 t/hr以上）すると、DC脱気器の性能が低下する。この場合、弁811を閉じて、弁814の開度を5%程度に大きくすると良くなる。しかし、本格的な中性処理運転をする場合、DC脱気器の性能を考慮して、給水は、脱気した水を用いるのが望ましい。
- ④ 鉄、SiO<sub>2</sub>、有機物については前回の試験結果と同じ傾向であった。
- ⑤ DC水で約15 ppb、ボイラ水で約50 ppbの銅が検出された。銅の溶出原因を検討したところ、AVT運転中にCTLループ内に蓄積したものが再溶出したものと考えられた。

## 4. 中性処理試験結果および考察

ここでは、これまでに行なった高温中性処理運転テストの水質測定結果と水分析結果および腐食試験結果を検討し、CTLループを中性処理運転した時の特徴および問題点を考察する。

なお、これらの結果はすべてデータ集としてまとめた。

### 4.1 水質測定結果

#### 1) 電 導 度

4回の高温中性処理運転の起動時には電導度が必ず上昇した。DC水を例にとれば、第1回目低温時に $0.3 \mu\text{S}/\text{cm}$ であったものが、 $1.6 \mu\text{S}/\text{cm}$ に、第2回目同じく $0.1 \mu\text{S}/\text{cm}$ が $0.64 \mu\text{S}/\text{cm}$ に、第3回目同じく $0.12 \mu\text{S}/\text{cm}$ が $0.32 \mu\text{S}/\text{cm}$ に、第4回目同じく $0.16 \mu\text{S}/\text{cm}$ が $1.4 \mu\text{S}/\text{cm}$ に上昇した。上昇した値は毎回異なっているが、これは起動時の脱気状態に依存している。

例えば、送気開始から溶存酸素濃度が40 ppb以下になる時間は第3回目が約3時間であり、第4回目が7時間である。したがって起動時の脱気は完全に行なった方が良いことがわかる。

また、この起動時の電導度は、熱水温度が $200^\circ\text{C}$ から $250^\circ\text{C}$ の間で最大値に達し、その後低下して来る。この温度範囲で、水の解離度が最大になり、また低温腐食から高温腐食へと腐食現象が変化すると言われており、そのことと関係があるものと考えられる。

一方、高温運転時のCTLループ水の電導度は、溶存酸素濃度に影響される。すなわち、酸素ガスの注入により、溶存酸素濃度が上昇すると電導度も上昇する。例えば、DC水を例にとると、Fig.16およびデータ集No.3から、溶存酸素濃度約10 ppbの時 $0.2 \mu\text{S}/\text{cm}$ 、700～1000 ppbの時（この時T/S D入口单相流は1.4 ppm） $0.8 \mu\text{S}/\text{cm}$ であった。さらにFig.17およびデータ集No.4から20 ppbの時 $0.27 \mu\text{S}/\text{cm}$ 、70 ppbの時（この時T/S D入口单相流は150 ppb） $0.3 \mu\text{S}/\text{cm}$ であった。これは、酸素によりCTLループ内に蓄積していた有機物が分解するためであろうと予想される。したがって、この有機物が除去されない限り「ふげん」の条件（溶存酸素濃度150 ppbで $0.1 \sim 0.2 \mu\text{S}/\text{cm}$ ）を完全に模擬することはできない。

DC飽和蒸気とボイラの電導度が高く、いずれも $1 \mu\text{S}/\text{cm}$ を越える時がある。

DC飽和蒸気の場合、SCの運転および酸素ガスの注入により上昇する。第4回目の高温運転でT/S D入口单相流の溶存酸素濃度を150 ppbにした時DC飽和蒸気の電導度は $1.1 \mu\text{S}/\text{cm}$ であった。DCでは、蒸気の凝結現象が生じているが、この時、温度および酸素によって分解した有機物ガスの濃縮が生じ電導度の上昇が起こるであろう。

ボイラ水の場合には、時間とともに電導度が下がる傾向がある。第4回目の高温運転を例に

取るとボイラ点火直後約  $2.0 \mu\text{S}/\text{cm}$  まで上昇しその後次第に低下し12日後には  $0.7 \mu\text{S}/\text{cm}$  まで下った。また、 $0.2 \text{ t}/\text{hr}$  のボイラ水ドレンをやめると約1日で  $0.7 \mu\text{S}/\text{cm}$  であったものが  $2.0 \mu\text{S}/\text{cm}$  まで上昇した。ボイラでは不揮発性不純物の濃縮が生じるが、有機物を蓄積していれば、その分解も生じる。CTLループのボイラの場合、後者の現象が電導度変化に大きな影響をおよぼしているのではないかと思われる。この点については今後さらに調査し、かつCTLループに蓄積している有機物を除去する等のことを行なって後に判断を下した方がよいと思われる。

スーパーヒータ出口蒸気の電導度はDC水のそれとほとんど同じであった。

給水に用いたイオン交換塔出口の水は、 $0.066 \mu\text{S}/\text{cm}$  で一定であった。

## 2) 溶存酸素濃度

起動時の脱気作用によりCTLループ水の溶存酸素濃度は一気に  $20 \text{ ppb}$  以下にまで低下する。そしてSC起動すると蒸気系内に残っていた空気が蒸気とともに動きはじめるため、一度上昇するが再び低下する。SCの出口蒸気流量が多くなると脱気器の性能が低下し、溶存酸素濃度が上昇するのはすでに述べた。

また、 $20 \text{ ppb}$  以下になると、DC水の場合、 $10 \sim 20 \text{ ppb}$  の間を約4時間のサイクルで変動した。この周期は給水タンク水位の変動周期と同じであることがわかり、その水位を一定に保つように給水タンクに供給する水量を調節し連続供給に変えたらDC水の溶存酸素濃度の変動はなくなり  $20 \text{ ppb}$  と一定になった。このことは給水中の溶存酸素濃度変化がDC内に表われたことを示しており、DCに設え付けてある脱気器では、溶存酸素濃度を  $20 \text{ ppb}$  以下にすることはむつかしいことがわかる。弁814の開度を大きくすれば脱気能力は上昇するが、この場合、熱損失が大きくなり不経済となる。ちなみに溶存酸素濃度  $20 \text{ ppb}$  一定の条件の時、弁814の開度は約5%であり蒸気流量は、DCの水位変動からおおよその目安を付けると約  $1 \text{ t}/\text{hr}$  程度と思われる。

溶存酸素濃度コントロールは、 $\text{Ar} + 7.5\% \text{O}_2$  混合ガスの流量コントロール法が簡単であった。この場合、正確な流量はつかんでいないが、T/S D入口单相流を  $150 \text{ ppb}$  にするには、流量計の目盛で12前後、約  $2 \text{ l}/\text{min}$  程度流れたであろうと推定された。注入位置は循環ポンプ出口で、 $90 \text{ kg}/\text{cm}^2$  の圧力で注入した。

T/S D入口单相流を  $150 \text{ ppb}$  にした場合、DC水では  $70 \text{ ppb}$  となる。これはDC内は気液二相の条件であるため、圧力  $66 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 、温度  $285^\circ\text{C}$  条件での気液二相間の酸素ガスの分配率に従って熱水中の酸素が飽和蒸気の中に飛んだものである。この時の飽和蒸気中の酸素濃度は  $4 \text{ ppm}$  であり、気相には液相の約57倍の酸素が存在することになる。

ボイラ水の中の溶存酸素濃度はボイラ運転中ほとんど変化せず  $20 \text{ ppb}$  前後で一定であった。

スーパーヒータ蒸気はT/S D入口单相流と全く同じ傾向を示し、その値もほとんど同じであった。



## 3) pH

第3回目の高温運転の場合（DC圧力40 kg/cm，温度250℃）についてみると酸素ガスを注入するとpHが低下する傾向にある。例えば，DC飽和蒸気の場合pH 6.5であったものが5.5へ，DC水，T/S D入口单相流，T/S D入口二相流，およびループ出口水はpH 6.5～7であったものが6～6.5へと低下している。ボイラ水およびスーパーヒータ出口蒸気には著しい変化はみられなかった。

DC水，T/S D入口单相流，T/S D入口二相流，ループ出口水およびスーパーヒータ出口蒸気はpH=6.5前後であり，飽和蒸気はpH=5.5，ボイラ水はpH=7前後である。これらのことから，CTLループ内に蓄積している有機物は，酸素によって分解（湿式酸化）し，分解生成物は有機酸の形で飽和蒸気側に濃縮していることがわかる。

第4回高温運転の場合（前4日間はDC圧力40 kg/cm，温度250℃，その後の9日間はDC圧力66 kg/cm<sup>2</sup>，温度285℃）運転温度が250℃から285℃へ上昇するとpHのふるまいが変化した。すなわちボイラ水はpH=8.0であったものがpH=7.0に低下し，DC水，T/S D入口单相流，T/S D入口二相流，およびループ出口水は起動直後pH=8.0であったものが250℃運転の間徐々に低下して行き285℃運転になってpH=6.25で一定となった。飽和蒸気およびスーパーヒータ出口蒸気も同じ傾向にあった。前者の場合pH=6.5から徐々に低下しpH=5.5前後で一定となり，後者の場合，pH=7.5から徐々に低下しpH=6.5で一定となった。

CTLループのpH特性は，DC水，T/S D入口单相流，T/S D入口二相流，ループ出口水およびスーパーヒータ出口蒸気は中性であり，飽和蒸気は酸性，ボイラ水は中性より若干アルカリ側にあるということである。

## 4.2 水分析結果

水分析は第3回および第4回高温運転の時のCTLループ水の分析と，AVT運転の時の分析および工業用水，夏海湖の水の分析とがある。

分析はすべて栗田工業が実施した。その報告書を付録として添付する。

## 1) 全鉄

データ集No.4の鉄濃度変化をみると，4つの特徴があることがわかる。その第1は，起動前の低温運転において，初め60 ppbあった鉄が約24時間後には5～10 ppbまで低下している。この時，溶存酸素濃度は8 ppmで変わらず電導度は0.38 μS/cmから0.2 μS/cmに低下している。温度は60℃である。第2は，起動時の温度上昇に伴って急激に鉄濃度が上昇し，また急激に低下することである。第3回目の高温運転時にも同じ現象が見られ，最高値は40～70 ppbであったが第4回目の高温運転の時には最高値が600～1000 ppbと非常に高かった。この理由は，起動時の脱気が充分でなかったために溶存酸素濃度および電導度のいずれも高く

なったため、配管内面の腐食が促進したことによる。したがって中性処理運転起動時の脱気は早く確実にすることが大切である。第3はSCの起動時に鉄濃度が上昇しすぐに低下することである。この理由は、SCの起動により蒸気系内に残っていた空気が蒸気とともに動きはじめ、その結果水質が悪くなるためと考えられる。しかし、すぐに鉄濃度は低下するのであまり心配する必要はない。

第4は全体を通じて、鉄濃度は2.5 ppbと非常に低いことである。しかも、電導度および溶存酸素濃度の変化にはあまり影響されない。西独の中性処理規格では、電導度0.15  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下と定められているが、このデータを見ると0.4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ でも鉄濃度は2.5 ppbと変らなかった。JISではAVT運転の100  $\text{kg}/\text{cm}^2$ 級のボイラの場合、鉄濃度は30 ppb以下となるように水処理条件が決められているが、今回の実験で中性処理運転でもJISの規格を十分満足することがわかった。

第3回目の高温中性処理運転の時、酸素ガス注入の失敗によりT/S D入口单相流で1.4 ppmもの溶存酸素濃度を記録したが、その時にも、鉄が多量に出て来たのは注入直後だけでその値も30～100 ppb程度であり、10時間後には、電導度0.8  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、溶存酸素濃度1.4 ppmであるにもかかわらず鉄濃度は5 ppb前後と非常に少ない。このことは中性処理運転の適正水質条件は、割と広い範囲におよぶことを示しており注目に値する。

給水であるイオン交換塔出口水の鉄濃度が第3回目の高温中性処理運転の時には5 ppb前後、第4回目の高温中性処理運転の時にはテスト開始から8日目当りから2.5 ppb前後検出された。これは、イオン交換樹脂内を鉄がリークすることを示しており、また、2.5～5 ppbはCTLループ内に供給されていることを示している。CTLループ内の鉄濃度は2.5 ppb程度であり、したがって、配管内表面の腐食はほとんど起っていないようにも考えられるが、この点は今後十分調査し、明らかにする必要がある。

ボイラ水の鉄濃度も定常運転時にはDC水、T/S D入口单相流等と全く同じ値であった。また起動時に500～1000 ppbもの鉄がボイラに持ち込まれたことになるがその時のボイラ水鉄濃度は70 ppbと非常に少なかった。これらのことは、鉄はボイラ内のどこかに付着推積していることが考えられる。その場所は水の沸とうの起っている伝熱管の内表面であろう。ボイラ水の場合、水質測定で述べたが溶存酸素濃度は10 ppb程度であり、また電導度は0.7から2.0  $\mu\text{S}/\text{cm}$ の範囲にあり、中性処理条件とは大きく水質は異なっている。それにもかかわらず鉄濃度は2.5 ppb程度と非常に少ない。また、付録に述べているようにボイラ水にはイオン鉄がほとんどなく、すべてクラッド成分であることが明らかとなった。これらの事がらすべて矛盾なく説明できるものを今は持ち合わせていない。今後の研究に待つほかはないが、いずれにしてもボイラ内部の腐食現象は非加熱部のそれと大きく異なっていることは予想できる。

次にAVT運転との比較を行なう。AVT運転の場合、中性処理運転時に行なったような詳細な分析は行なっていない。56年5月13日と5月20日の二回、DC水とT/S D出口水に

ついて分析を行なった。その結果は付録に示す。それによると、DC水は2.5～5 ppb程度、T/S D出口水は12～14 ppb程度であった。分析回数が少ないのではっきりしたことは言えないが、DC水についてはAVTと中性処理であまり大きな差はないようである。AVT運転の場合のT/S D出口水と中性処理の場合のT/S D入口单相流およびT/S D入口二相流の鉄濃度を比べると中性処理はAVTの約1/5になっている。

## 2) 有機物

AVT運転および第1回高温中性処理運転時の水分析の結果、CTLループ内にリグニンスルホン酸らしき有機物が認められたので、中性処理運転中の有機物量の相対変化量を測定することにした。測定方法は紫外線（波長260 nm）の吸光度を測定する比色分析法を用いた。値はUV値として測定し、その値の変化を観察した。

データ集No.3およびNo.4のUV値変化を見ると、UV値はCTLループ起動時に多く、時間とともに減少して行く傾向がある。また、ボイラ水のUV値がテスト期間中最も高い。データ集No.4を見ると低温中性処理運転時には、循環開始直後UV値が0.020であったものが、約25時間ではほとんどゼロになっており、温度の上昇に伴ってDC水の場合約0.200まで増加している。すなわち温度の上昇により、CTLループ内の有機物は溶融あるいは溶解して熱水中に出て来たものと思われる。

第3回高温中性処理運転の場合、スーパーヒータ出口蒸気のUV値は、起動直後きわめて高く特に送気直後のサンプリング水は茶色に濁っていた（データ集No.3参照）。第3回ほど著しくはないが、第4回高温中性処理運転でも同じ傾向にあった。これは、ボイラ内に蓄積していた有機物が温度上昇により分解気化しそれがボイラ蒸気の中に多量混入したためと思われる。ボイラ蒸気中にガスとして混入した有機ガスはDC内で蒸気の凝縮の結果濃縮される。その結果、DC飽和蒸気のpHが酸性側に下がり、電導度が上昇し、かつ臭いが発生する。この有機ガスの発生は酸素注入およびSCの起動により増加する。後者の場合、SC起動により蒸気系配管内にたまっていた空気（酸素）が動き始め酸素が供給されることを考えると、その原因もやはり酸素であると考えて良い。データ集No.3とデータ集No.4を見ると、DC水中のUV値に比べDC飽和蒸気サンプリング水のUV値は酸素注入中には2～4倍の高い値になっている。

データ集No.4の現地分析と持ち帰り分析を比べると、DC水、T/S D入口单相水およびボイラ水のいわゆる熱水中のUV値は両者の間に著しい差はないが、DC飽和蒸気およびスーパーヒータ出口蒸気中のUV値は、現分析から持ち帰り分析に移ると急に低くなっている。この原因は蒸気側の有機物はガス成分が多く、そのため、サンプリング水を分析するまでの時間の長い持ち帰り分析の分は、ガス成分が飛んでしまいUV値が低くなったものと思われる。

データ集No.4においてボイラドレンを停止すると、ボイラ水のUV値が急激に上昇した。同時に電導度も上昇しpHはアルカリ側へ上昇した。この原因はボイラ内でボイラ給水（DC水と同じ）中の有機物が濃縮したためと思われる。この時、スーパーヒータ出口蒸気およびDC

飽和蒸気中のUV値も上昇すると思われるが、持ち帰り分析であるため、上昇傾向はつかめなかった。

以上のことから、CTLループ内（特にボイラ内）に蓄積された有機物は温度の上昇と酸素注入により、溶出、溶解および有機ガスへの分解が起こり、これらは、ボイラドレン水、サンプリング水、浄化系への給水およびDC飽和蒸気のブローにより、CTLループの系外へ持ち去られ、しだいに少なくなっていく。

T/S D入口单相流の溶存酸素濃度を150 ppbに保つように酸素を注入すると現段階では電導度は0.3  $\mu\text{S}/\text{cm}$  以下に下がらないが、有機物は確実に減少しているため、このまま酸素注入中性処理運転を続けると電導度は0.3  $\mu\text{S}/\text{cm}$  から次第に低下してくるものと予想される。

### 3) $\text{SiO}_2$

データ集No.3およびNo.4から $\text{SiO}_2$ 濃度は起動時の温度上昇に伴って増加し、その後時間の経過に従って減少していくことがわかる。また給水中の $\text{SiO}_2$ 濃度はほとんどゼロであることから、 $\text{SiO}_2$ もCTLループ内に蓄積していたものが温度の上昇により、溶解度が増し、熱水中に溶け出したものと思われる。

データ集No.3に示した $\text{SiO}_2$ 濃度とデータ集No.4に示した $\text{SiO}_2$ 濃度は後の方が著しく多い。これは第4回高温中性処理運転の時にDC内に入れた腐食試験治具に、絶縁管を使用したため、この絶縁管に含まれている $\text{SiO}_2$ が溶け出したためと思われる。

第3回高温中性処理運転の7月12日、13日の場合DC水中の $\text{SiO}_2$ 濃度は5～10 ppbであるのに対し、ボイラ水中のそれは160 ppbから130 ppbへと減少している。この場合、ボイラ水中の $\text{SiO}_2$ 濃度は、DC水中のそれに対し15倍から20倍の高濃度である。一方、第4回高温中性処理運転の8月8日、9日、10日、11日の場合、DC水中の $\text{SiO}_2$ 濃度は約20 ppbでボイラ水中のそれは150 ppbから200 ppbとDC水中のそれに対し8倍から10倍の高濃度である。ボイラ給水量および連続ドレン量は1.7 t/hrおよび約0.2 t/hrで、第3回、第4回高温中性処理運転時で変わらず、ボイラ濃縮率は約8倍である。すなわち、第4回高温中性処理運転時には、DC水およびボイラ水中の $\text{SiO}_2$ 濃度比は、その時の濃縮率に見合った値であるが、第3回高温中性処理運転時には濃縮率の約2倍の高濃度 $\text{SiO}_2$ がボイラ水中より検出されている。これは明らかにボイラ内部に $\text{SiO}_2$ の蓄積があることを示しており、しかも、グラフに示した濃度変化から、ボイラドレンにより確実に減少していると言える。一方、第4回高温中性処理運転の8月11日20:30にボイラドレンを停止し、ボイラ内への $\text{SiO}_2$ 濃縮状況を見た。これによると、ボイラドレン停止前はボイラ水中 $\text{SiO}_2$ 濃度は150 ppbから200 ppbの間であったものが約20時間後には約530 ppbに増加している。この間、DC水中の $\text{SiO}_2$ 濃度は20 ppbから30 ppbと変化はなく、すなわち、この20 ppbから30 ppbの $\text{SiO}_2$ がボイラに供給されたと考えてよい。

ボイラドレンを停止した後のボイラ水中の $\text{SiO}_2$ 濃度変化を考えて見る。

$$dc = \frac{-CU_0 + C_1 U_1}{W} dt \dots\dots(1)$$

ただし

今,  $U_0 = 0$  であるから

$C$  ; ボイラ水中  $SiO_2$  濃度

$U_0$  ; ボイラドレン水量

$$dc = \frac{C_1 U_1}{W} dt \dots\dots\dots(2)$$

$C_1$  ; ボイラ給水中  $SiO_2$  濃度

$U_1$  ; ボイラ給水量

これを解いて

$W$  ; ボイラ保有水量

$$C = \frac{C_1 U_1}{W} t + C_0 \dots\dots\dots(3)$$

$C_1 = 25$  ppb,  $U_1 = 1.7$  t/hr,  $W = 2.0$  t,  $C_0 = 175$  ppb (初期濃度),  $t = 20$  hr  
 を(3)式に代入すると  $C = 600$  ppb となり, 計算値と測定値は良い一致を見ると言うて良い。  
 これは, 高温条件のボイラ内で  $SiO_2$  はほぼ完全に熱水中に溶解しており, ボイラ管壁にほとんど付着・堆積しないことを示している。

この現象は, 前述した鉄および後述する銅とは異なっており興味ある所である。

#### 4) 銅

今回の中性処理運転テストでは, CTLループ内に銅合金を使用した配管が全くないことから銅の分析は計画していなかった。しかし, 付録表3に示すようにAVT運転時に銅が検出されており, 第4回高温中性処理運転の時に試みに分析した結果, データ集No.4および付録表11に示すように銅が検出された。この時の分析は, 持ち帰り分析についてのみ行っており, 起動時からの銅濃度変化をつかまえることはできないが, それでもDC水中に約15 ppb, ボイラ水中に40 ppbから60 ppb程度の銅が検出されている。銅の場合, DC水に対するボイラ水の濃度比は3倍から4倍で, ボイラ濃縮率約8倍に比べ半分である。このことはボイラ給水によって持ち込まれた銅のうち約1/2がボイラ管壁に付着あるいはドラム底に沈殿したかのいずれかであろう。またこの銅はボイラ消火により急激に低くなっており, 温度による溶解度変化が大きいと思われる。

CTLループの構成材料の中に銅および銅合金が見当たらないことから, この検出された銅は, 以前のAVT運転中に系外から持ち込まれ蓄積していたものが再び溶出して来たものと思われる。以前低圧系の弁箱に銅合金を使用した経験があり, それが腐食により穴があいた事があり, あるいはそれが原因かも知れない。

CTLループの銅濃度は, 約15 ppbであり, 「ふげん」一次冷却水中の濃度2 ppb以下に比べ高いので, 前述の有機物と合わせ, 除去方法について検討する必要がある。

### 4.3 腐食試験結果

CTLループのDCを使用して、鉄（STPT42）、銅（純銅）および黄銅の腐食試験を実施した。試験片の形状をFig. 18およびFig. 19に示す。鉄および純銅は表面をエメリー紙で400番まで研磨した。これらの試験片は研磨後重量を1/100mgまで測定しFig. 20に示す試験片固定治具に固定した。試験片固定治具は、ステンレス製の針金をナットに溶接し、その針金にテフロン製のチューブをかぶせ、その上にバネ、おさえ（銅）、絶縁管スペーサー、テフロン製ワッシャーおよび試験片をFig. 20に示すように配置した。鉄、純銅、およびブラス各試験片の固定状況をFig. 21に示す。これらの治具をDC内で組立てた腐食試験片固定やぐらの蒸気側と水側にそれぞれ固定した。DC内での固定状況をFig. 22およびFig. 23に示す。これらの腐食試験片を第4回高温中性処理運転テスト時にDC内に設置し、Fig. 24およびFig. 25に第4回高温中性処理運転テスト後の腐食試験片の状況を示す。鉄は蒸気側に比べて水側の試験片の方が赤茶色の腐食生成物が多い。ブラスは蒸気側は黒く変色しているが水側は、試験前の黄銅色がそのまま残っており、若干表面に白っぽい粉が付着していた。純銅は蒸気側は灰色に、水側は黒色に変化しており、テフロン製スペーサーの当り面だけが銅の赤茶色を残していた。これらの試験片を四国電力総合研究所に送り、試験片表面の腐食生成物を分析した。その結果によると、鉄は蒸気側および水側ともにマグネタイトとヘマタイトの混合物であり、純銅は蒸気側および水側ともに $\text{Cu}_2\text{O}$ と $\text{CuO}$ の混合物であった。ブラスの場合、その腐食生成物は蒸気側では $\text{Cu}_2\text{O}$ 、 $\text{CuO}$ および $\text{ZnO}$ であり、水側では $\text{CuO}$ および $\text{ZnAl}_2\text{O}_4$ が観察された。

腐食試験前後の試験片および絶縁管スペーサーの重量変化をTable 3に示す。鉄は蒸気側および水側で大きな変化はなく、それぞれ約3.75mgおよび約3.19mgの増加であった。これを腐食量で表わすと蒸気側2.30mddおよび水側1.97mddとなる。ブラスおよび純銅の場合、蒸気側は試験後重量が増加したが、水側では大きく減少した。すなわち、ブラスの場合、蒸気側平均8.42mgの増加、腐食量3.72mdd<sup>\*</sup>であり、水側平均157.29mgの減少、腐食量-69.2mddであった。また純銅の場合、蒸気側平均8.00mgの増加、腐食量2.88mddであり水側平均268.61mgの減少、腐食量-95.3mddであった。これらのことから中性処理水では、鉄に比べ銅および銅合金の腐食量がきわめて大きいことがわかる。なお、CTLループ水中に検出された銅は、これら腐食試験片から溶出したものもあるが大部分はCTLループ内に蓄積されたものが溶出して来たものと考えられる<sup>\*\*</sup>。

一方、絶縁管スペーサーがFig. 24およびFig. 26に示すように変色していた。そこで重量を測定したところ、Table 3に示すように蒸気側で合計6.9mg、水側で合計5333.9mg減少していた。第3回高温中性処理運転に比べ第4回高温中性処理運転時の水中 $\text{SiO}_2$ 濃度が大きいことから絶縁管の成分である $\text{SiO}_2$ が温度の上昇に従って溶出して来たものと思われる。

#### 4.4 配管表面分析

第4回高温中性処理運転テストの終了後、ボイラ給水管（Fig. 5のBの部分）を切断し管内面の分析を行なった。切断した配管は、中性処理運転テストに入る前に一度AVT運転終了後切断し、新しい管を溶接復旧しておいた所である。したがって試料は、①AVT運転だけ、②AVT運転+中性処理運転、③中性処理運転だけ、の三つの履歴を持つ部分からそれぞれ切り出した。

付録に示した配管外観写真から、中性処理運転だけの履歴を持つものは、他の二つに比べ赤味がかった色をしているのがわかる。

これらの配管表面の腐食生成物の元素分布をX線マイクロアナライザーで分析した。その結果を付録2でXMA面分析結果(1), (2), (3)に示す。元素分布を見ると、①AVT運転だけ、および②AVT運転+中性処理運転の二つに比べ、③中性処理運転だけのものは酸素、鉄以外の元素濃度が低いようである。前二者の炭素が有機物の堆積を表わしていると考えれば、中性処理運転中にCTLループ水中より検出されたリグニンスルホン酸らしき有機物は配管表面に付着していたものが、熱と酸素により溶出・分解して出て来たものと考えられる。また、①AVT運転だけのものと、②AVT運転+中性処理運転のものとの間の元素濃度分布に著しい差は認められなかった。約1か月程度の中性処理運転では有機物の完全除去は不可能なのであろう。また管表面の酸化物の中に存在する各元素濃度が、③中性処理運転だけのものに比べ前二者の場合高いことから、管表面に付着堆積している有機物は、種々の元素を取り込んだ混合物として存在していることが予想される。

表面分析に続いて、管断面をX線マイクロアナライザーで分析した。その結果をXMA面分析結果(4), (5), (6)に示す。AVT運転時の防食効果が十分であったので管表面の腐食生成物厚さが薄いため腐食生成物中の炭素（有機物）およびSi（シリカ）の断面方向の濃度分布について十分満足のいく観察をすることができなかった。

次に配管表面を走査型電子顕微鏡で観察した。その結果を付録SEM観察結果に示す。このうち、試料No.1は、①AVT運転だけのもの、試料No.2は、②AVT運転+中性処理運転のもの、試料No.3は、③中性処理運転だけのものである。いずれも酸化物表面は均一な酸化物が粒子状に存在している。このうち、③中性処理運転だけのものは、運転期間が短かいためであろうか、管の

---

\* mdd ; 腐食量の単位で、1 dm<sup>2</sup> の面積から、腐食時間1日当りに腐食した量をmgで表わした値  
(mg/dm<sup>2</sup>・day)

\*\* 1) CTLループから水といっしょに系外に持ち出された銅

CTLループ水中の銅濃度 15 ppb, CTLループから系外に出て行く水の量 1.3 t/hr  
ボイラ水中の銅濃度 50 ppb, ボイラ水のドレン量 0.2 t/hr とする。

系外に持ち出された銅 = 15 ppb × 1.3 t/hr × 323 hr + 50 ppb × 0.2 t/hr × 323 hr ≒ 9.53 g

2) 腐食試験片によりCTLループに供給された銅

黄銅の減少量はすべて銅と仮定する。銅平均 268.6 mg, 黄銅平均 157.3 mgの減少

CTLループに供給された銅 = 268.6 × 9ヶ + 157.3 × 3ヶ ≒ 2.89 g

製作時に生じたとみられる表面疵が観察される。ところで、②AVT運転+中性処理運転のものと、③中性処理運転だけのものの二者に丸い玉が無数に分布しているのが認められる。これは、酵母菌であることが確認された。すなわち、今回の中性処理運転実験の低温中性処理運転の時に多量に繁殖したものであろう。ちなみにこの時の水温は60℃前後であった。このことはCTLに設置されている純水製造装置は、酵母菌およびその栄養分となる有機物等を完全に取り切ることができず、一部リークしていることを示していると考えられる。



## 5. 中性処理運転における CTL ループ水の水質特性

CTL ループの中性処理運転で得られた現象および試験結果から中性処理運転を行なった時の CTL ループ水の水質特性について以下に述べる。

### 5.1 脱 気

CTL ループに給水される水は、給水タンクから充填ポンプにより DC の脱気室に送られ、ここで脱気され DC 内に給水される。すなわち DC 脱気室には、ボイラと SC から加熱蒸気が送られており、この中で充填ポンプより送られた水はスプレー状に給水され、加熱蒸気と混合し、水の温度が上昇すると同時に水中のガス成分は水から分離して、弁 814 から一部の蒸気とともに CTL ループ外へ放出される。このようにして脱気された水は、脱気室からパイプにより DC 内底部に送られ、循環水と混合する。したがって、CTL ループへ給水される水の脱気をより完全に行なうためには弁 814 の開度を大きくし、分離ガスを完全に放出して脱気室から DC 内へガスが流入しないようにすることが望ましい。しかしながら、弁 814 の開度を大きくすることは放出蒸気量の増大をもたらし、その結果、熱量の損失、圧力の低下、DC 水位の低下等の原因となる。そこで実際には、CTL ループの安全、安定運転の上からその開度は 3% 程度に保っているのが現状である。

弁 814 の開度が 3% で、SC が停止している時の脱気状況は、溶存酸素濃度で表わすと、DC 水で 5~10 ppb 程度 (Fig. 15, 16 および 17 参照) であり、これ以下に溶存酸素濃度を低下させることは CTL ループの場合不可能である。また弁 814 の開度が 3% で SC が  $70 \text{ kg/cm}^2$  運転をした場合、DC 水溶存酸素濃度は 100 ppb を越え、脱気状態は悪くなる (Fig. 17, 8 月 4 日~5 日を参照)。これは、 $70 \text{ kg/cm}^2$  の SC 運転により循環蒸気量がふえたためである。すなわち、SC から直接 DC 脱気室へ流れ込む蒸気量が増加し、脱気室内の蒸気とガスは弁 814 から放出されると同時に、増加分が DC 内に流入したためであると考えられる。そこで、弁 811 を閉じ SC から DC 脱気室への蒸気の流れを閉じ弁 814 の開度を 3% から 5% へ増加させた所 DC 水の溶存酸素濃度は 20 ppb に低下した (Fig. 17 8 月 6 日~7 日参照)。弁 814 の開度 5% は DC 圧力が低下しないぎりぎりの値で、したがって CTL ループを安定に運転するためには SC  $70 \text{ kg/cm}^2$  運転の時の脱気能力は DC 水溶存酸素濃度で 20 ppb が限界となる。

次に脱気状態と水質の関係について見てみる。

Fig. 16 および Fig. 17 に示した送気開始から数時間間の電導度および溶存酸素濃度変化を参照されたい。第 3 回高温中性処理運転の場合、溶存酸素濃度は約 3 時間で 40 ppb 以下に低下しているのに比べ、第 4 回高温中性処理運転の場合には溶存酸素濃度が 40 ppb 以下に低下するのに約 6.5 時間もかかっている。このため前者では起動時の電導度の上昇が  $0.1 \mu\text{S/cm}$  から

0.3  $\mu\text{S}/\text{cm}$  であるのに対し、後者では0.16  $\mu\text{S}/\text{cm}$  から1.4  $\mu\text{S}/\text{cm}$  と著しく大きくなっている。また水中鉄濃度も前者は最上昇値が80 ppb弱であるのに対し後者の場合1000 ppb程度まで上昇している（付録参照）。これは明らかに起動時の脱気操作の良否が原因である。

起動時の脱気操作は通常次のように行なっている。

- ① ボイラ点火
- ② 送気開始（ボイラ圧力10～15  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ）脱気開始
  - イ）弁814，エア抜弁，蒸気系ドレン弁，開
  - ロ）エア抜弁は蒸気が出るのを確認した後，閉
  - ハ）蒸気系ドレン弁は水が出なくなったのを確認した後，閉
  - ニ）DC温度が150℃になるまで弁814は開
  - ホ）DC温度が150℃に達すると弁814の開度を3%に設定
- ③ ホ）の状態脱気終了

脱気運転の間，CTLループ圧力の上昇は弁814を開にしている関係で非常に遅い。したがって早くDC圧力を定常圧力にしようとするあまり弁814を早い時点で開度3%にする場合がままある。第4回高温中性処理運転の時にも早い時点で弁814を設定開度にしたものであろう。今後中性処理運転する場合には溶存酸素計を見ながら，脱気を完全に行なった後弁814の開度を設定する必要がある。

このように脱気が不十分なために水質が悪化する現象は起動時だけではなく，定常運転時にも認められる。Fig. 17に示すように脱気状態が溶存酸素濃度で20 ppb以下の時電導度は0.2  $\mu\text{S}/\text{cm}$  以下にまで低下するが，SCを運転し脱気状態が悪くなると（溶存酸素濃度で100 ppb程度），電導度0.45  $\mu\text{S}/\text{cm}$  と上昇し，その値でほぼ一定となる。さらに脱気状態を良く（溶存酸素濃度で20 ppb，SC 70  $\text{kg}/\text{cm}^2$  運転での最高脱気条件）すると電導度は0.26  $\mu\text{S}/\text{cm}$  程度で一定になる。またFig. 17の8月5日から8月6日の水質と8月7日以降の水質を比較してみる。前者は不完全脱気で溶存酸素濃度が60 ppb前後で，電導度は0.35  $\mu\text{S}/\text{cm}$  前後であるのに対し，後者はより脱気を完全にして（溶存酸素濃度で20 ppb，酸素を循環ポンプ出口に注入し，T/D入口で150 ppbに調整）酸素を注入し，DC水の溶存酸素濃度が70 ppb程度であるにもかかわらず電導度は0.32  $\mu\text{S}/\text{cm}$  と前者より低い値となっている。これは同じ溶存酸素濃度でも脱気がより完全で，酸素を注入した場合の方が電導度が低くなることを示しており，ガス成分で電導度を上昇させるものが酸素以外にも存在していることを示していると考えられる。このガス成分は，たぶん $\text{CO}_2$ あるいは有機ガスであろうと考えられる。

CTLループを使用して今後各種の腐食試験を実施して行く場合，腐食環境はなるべく一定条件にする必要から脱気は可能なかぎり完全に行ない，SC運転によって脱気状態が変ることのないようにする必要がある。このためには給水ラインに何らかの脱気装置を取り付ける必要がある。

## 5.2 CTL ループ水質とSC 運転

CTLループを起動する場合、DC圧力が $40 \text{ kg/cm}^2$ になるまでSCは停止させておき、その後SC暖気からSC起動に起動作業は移っていく。SC起動後一晩DC圧力 $40 \text{ kg/cm}^2$ で運転し、翌日圧力上昇を行ないDC圧力 $66 \text{ kg/cm}^2$ でSC定常運転( $70 \text{ kg/cm}^2$ 運転という)に入る。したがって起動時よりDC圧力が $40 \text{ kg/cm}^2$ になるまで蒸気系は完全に停滞しており、かつ水系との境界では蒸気が凝結し、水となって水系に流れ込むことになる。この凝結水は非常に水質が悪く水系を汚すことになる。そこで、SC運転までの間、蒸気系のエア抜弁、ドレン弁を微開にし、少量の蒸気を系外に放出することにより水系との境界部の蒸気の停滞をなくすことにした。

SCが起動すると蒸気系配管内の気体(大部分は蒸気)がいっせいに動き出す。このため蒸気系配管内に停滞していた汚れた蒸気および空気がミキサーに運ばれ、水と混合し二相流となってDCに流れ込む。この時CTLループ水の水質は短時間であるが溶存酸素濃度および電導度は上昇する。(Fig. 16およびFig. 17参照)またSCの運転によりDC脱気室に流れ込む蒸気量が増加するため脱気能力が低下することはすでにのべた通りである。脱気能力の低下の度合はDC圧力 $40 \text{ kg/cm}^2$ の場合よりDC圧力 $66 \text{ kg/cm}^2$ の時の方が大きい。これは前者の場合SC出口流量が $5 \sim 6 \text{ t/hr}$ であるのに対し、後者の場合 $12 \sim 13 \text{ t/hr}$ と多いため、DC脱気室に流れ込む蒸気流量も増加するからと考えられる。

## 5.3 CTL ループ水とボイラ水

CTLループ水の水質(電導度、pH、溶存酸素濃度、鉄濃度等を含んだもの)は、単相流域では、どこもほぼ同じで従ってDC水水質で代表させることができる。二相流域では、テストチャンネル出口の位置がDCより高位置にあるというCTLループの特殊事情により、テストチャンネル出口管の中で気液分離現象が生じているため、そこからのサンプリング水は、気相あるいは液相単独のサンプリングにならざるを得ず二相流全体を平均化した水質を測定することができない。従って、ミキサー出口のテストチャンネル入口からのサンプリング水の水質を二相流水質とした。ミキサー出口の水質はDC水とほとんど同じであった。

今回の実験では電導度として最低 $0.15 \mu\text{S/cm}$ (高温中性処理運転で)を達成した。この値以下に下らなかったのはCTLループおよびボイラ内に蓄積していた有機物が、高温と酸素ガスの作用で溶出、分解して水を汚ごしたためであろう。

溶存酸素濃度は酸素注入を行なわない時にはCTLループの各場所で等しくDC水の値を代表として用いることができる。酸素注入を行なうと、注入位置が循環ポンプ出口である関係から循環ポンプの下流で高く、ミキサー出口(二相流域)で少し低下し、DCでは大幅に低下する。テストチャンネルの水質を「ふげん」水質にする必要から注入量はDチャンネル入口単相流の溶存酸素濃度が $150 \text{ ppb}$ になるように調整した。この時、Dチャンネル入口ミキサー出口の二相流の溶存酸素濃度は $110 \sim 120 \text{ ppb}$ 、DC水のそれは $70 \text{ ppb}$ であった。

ボイラは、1.7 t/hr の熱水が給水され、1.5 t/hr の蒸気を発生させ、約 0.2 t/hr の熱水を連続的に系外に放出している。したがって水中の不揮発性の不純物（例えば Fe, Cu, SiO<sub>2</sub> 等）はこの中で 8～9 倍に濃縮されるが揮発性の不純物およびガスは蒸気と共に CTL ループへ戻って行く。ボイラ水の水質を見ると、電導度、有機物、SiO<sub>2</sub>、Cu 等が CTL ループ水に比べて高い値を示しているのはこのためである。ボイラ水の pH が CTL ループ水に比べてアルカリ側にかたよっているのは、アルカリ性を示す物質の濃縮量が多いことを示していると言える。ここで興味あることは、ボイラ水中の鉄濃度である。CTL ループ水中の鉄濃度は 2～3 ppb であるのにボイラ水中でのそれは濃縮されてもやはり同じ程度の値 2～3 ppb であった。この場合単純に濃縮されると考えれば 20 ppb 程度にはなるはずである。ボイラの伝熱管は火炎により熱せられ、その内表面で蒸気が発生し同時に不純物もそこにスケールとして堆積するという現象が知られているが、鉄の場合、腐食、堆積および濃縮の状況が他の物質と異なったふるまいを示しており興味あるところである。

ボイラ水の溶存酸素濃度は CTL ループ水に比べて極めて低く、かつ CTL ループ水中の溶存酸素濃度にかかわらずほぼ一定である。この現象は、ボイラ内で蒸気が発生し、気液二相となるために、酸素ガスがその時の温度、圧力状態における分配率に従って熱水側から蒸気側に移ってしまうことによる。すなわち、ボイラ水が脱気されたのである。

このようにボイラ水は、濃縮と気化という現象により、電導度、SiO<sub>2</sub> 銅等は高く、pH はアルカリ側に傾き、酸素ガス等のガス成分は少ない。このような水質において水中鉄濃度が 2～3 ppb と低いからと言って、鉄の防食が十分であるとは考えにくい。この場合、水中鉄濃度は全面腐食の程度を表わす情報として考え、局部腐食については十分注意して、ボイラの運転や点検をする必要があろう。

#### 5.4 CTLループ蒸気とボイラ蒸気

CTLループの蒸気系には常にボイラから 1.5 t/hr の蒸気が供給されている。したがって蒸気系（特に DC 内）では 1.5 t/hr の蒸気が凝結し、その時の潜熱で CTLループの熱バランスが成り立っていると見ることもできる。すなわち、DC 内では常に蒸気が水に凝結しているが、蒸気内のガス成分はそのまま蒸気中に残り、不純物ガスの濃縮が起こることになる。DC 飽和蒸気のサンプリング水の水質は pH が酸性側にあり、電導度は DC 水が 0.3 μS/cm（酸素注入時）の時 1.2 μS/cm と約 4 倍も高く、かつ異臭を発生し、小さな気泡が無数に発生する状況は、このことを良く示していると言える。小さな気泡は大部分アルゴンガス（Ar + 7.5 % O<sub>2</sub> ガスを注入したため）であると予想されるが、酸素ガスと有機物の分解ガスも含まれていると思われる。特に酸素注入を行なうと異臭が強くなる傾向にあることから、CTLループおよびボイラ内に蓄積された有機物は酸素により分解が促進され、有機ガスになるものと考えられる。この異臭をはなつ有機ガスの成分を分析しようと試みたが、ガス分析装置およびガス採取器具が近くになかったことか

ら今回の実験では分析を行なわなかった。

ボイラ蒸気は直接ボイラから採取しないでスーパーヒーター出口からサンプリングすることにした。このボイラ蒸気サンプリング水の水質はCTLループ水（DC水）の水質と非常によく似ている。すなわち、pH、溶存酸素濃度、UV値および電導度（安定運転時には $0.1 \mu\text{S}/\text{cm}$ まで低下した。）の値がほぼDC水と同じであった。ただ鉄、銅、 $\text{SiO}_2$ 等の不揮発性不純物は非常に少ない。このことはボイラ内での水の濃縮状況、すなわち不揮発性不純物の濃縮と、揮発性不純物の放出という過程を良く表わしている。

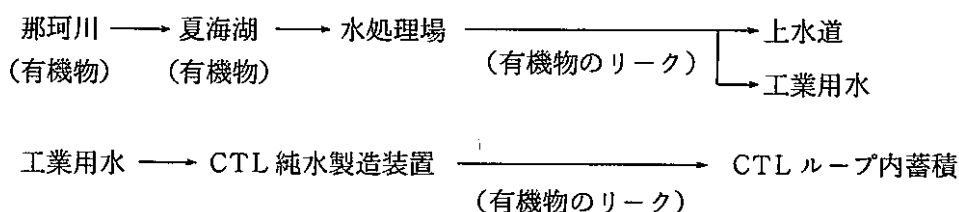
CTLループ起動直後、すなわち送気開始から3～5時間の間は、電導度、UV値が非常に高い。これは、送気開始までの間、ボイラ内に蒸気は留まっており、この間に分解有機ガスの濃度が高くなり、送気と共に、CTLループの方へ流れて来るためである。

## 5.5 有機物

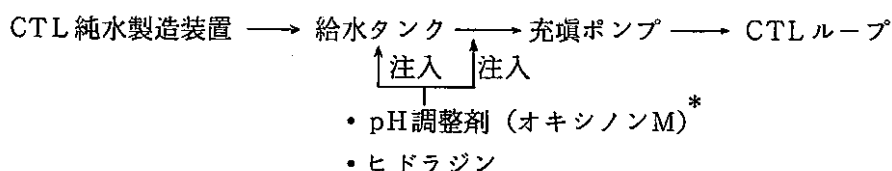
今回の実験で、CTLループおよびボイラ内に有機物が蓄積していることが明らかとなった。この有機物は、ボイラ水中に特に多く、次に飽和蒸気中であった。またこの有機物は、温度が高くなると溶出、分解し、かつ酸素を注入すると分解が促進されることも明らかとなった。さらにこの有機物および分解した有機物ガスが電導度を上昇させ、したがって今回の高温中性処理運転時の電導度はDC水で、最高脱気状態、酸素注入なし（溶存酸素濃度 $10 \sim 20 \text{ ppb}$ ）の条件で、 $0.15 \mu\text{S}/\text{cm}$ 程度しか低下しなかった。また酸素を注入してDチャンネル入口单相流の溶存酸素濃度を $150 \text{ ppb}$ に設定すると電導度は $0.3 \mu\text{S}/\text{cm}$ に上昇した。「ふげん」の一次循環水が溶存酸素濃度 $150 \text{ ppb}$ で電導度 $0.1 \mu\text{S}/\text{cm}$ 程度であることを考えると明らかに何かが電導度を上昇させており、酸素の注入で電導度は上昇し、飽和蒸気の異臭が強くなることを考え合わせれば、その何かは蓄積有機物と考えざるを得ない。

この有機物の混入ルートは次の二つが考えられる。

### 1) 水源地説



### 2) 薬品説（アルカリ処理の時）



## オキシノンMの熱による変質により、CTLループ、ボイラ内に蓄積

これら二つの混入ルートの内いずれであるかをつき止めるため、ボイラ水、夏海湖の水、CTL純水製造装置のイオン交換樹脂およびオキシノンMを赤外線分光器にかけ赤外線の吸収スペクトルを測定した。その結果の詳細は付録に述べるが、蓄積有機物はリグニンスルホン酸らしく、水源地からの混入であることが明らかとなった。このリグニンスルホン酸は、パルプ工場の排液として捨てられるもので那珂川から夏海湖に入って来たものと思われる。この物質は高分子でかつイオン状にならずイオン交換樹脂では帯電分子だけが除かれるのみでCTLの純水製造装置では完全除去はむずかしい。これを完全に除くには逆浸透膜および活性炭があるが、あつかいやすさから言えば逆浸透膜が適当であろう。純水製造装置をリークしてCTLループ内に入って来る有機物の量はきわめて少なく、かつ、UV値で見ると低温中性処理運転の時ほとんどなかったものが温度の上昇に従って急激にUV値が上昇して来るのから見てCTLループおよびボイラ内において管内表面に酸化鉄、銅、 $\text{SiO}_2$ 等と共に多量に付着しているものと思われる。これは4-4節のボイラ給水管内表面のX線マイクロアナライザー面分析において旧配管（アルカリ処理およびアルカリ処理+中性処理と示したもの）の方が、新配管（中性処理と示したもの）よりも炭素原子分布濃度が高かったことからもうかがえる。腐食試験および耐久試験をこれから中性処理で実施するためには「ふげん」水質の模擬ということから、この有機物を除去しなければならない。これには、蓄積有機物の除去と混入ルートを断つ方法との二つを行なわなければならない。前者の場合、アルカリ洗浄法もあるが、酸素注入による高温中性処理運転により、少しずつ分解除去した方が良いであろう。後者の場合、逆浸透法が適当と考えるが、純水製造装置からのリークは非常に小さいことから、急いで装置を製作する必要はないものと思われる。新装置の完成までの間は、現純水製造装置の取りあつかいをきびしく（例えば樹脂の再生頻度を多くする等）することによって対処すれば有機物のリークは極力押えられるものと予想される。

5.6 鉄と銅および $\text{SiO}_2$ 

水中鉄濃度は、中性処理運転により定常運転時には2.5 ppb程度の低い値となった。このことは防食処理としての中性処理が非常に効果の有る方法であることを示している。CTLループの水中鉄濃度で興味があることは、定常運転時にはどこのサンプリング水もほとんど2~3 ppb程度であるということである。特に、イオン交換塔出口水とDC水およびボイラ水の関係が興味ある所である。イオン交換塔出口水はDC内に入り、かつ、DC水はボイラに行く。これらの水の鉄濃度がいずれも2~3 ppbと低くかつ同じと言うことは何を意味しているのだろうか。単純に考えればCTLループ内では鉄の腐食は起っておらず、ボイラ内では鉄の濃縮は生じてい

\* オキシノンM；商品名で一般に中和性アミンと呼ばれている pH調整剤である。

ないことになる。このようなことはあり得ないため、何か別の反応が起っているのであろう。イオン交換塔出口水の温度は30℃程度、DC内は285℃、ボイラ内は74 kg/cm<sup>2</sup>の飽和温度でかつ伝熱管により加熱されていること等を考え合わせると、これら3つの場所ではそれぞれ熱的条件が大きく異なっているのに気付く。現状で考えられることは、この熱的条件の違いにより水中の鉄の存在形態が変る（一部クラッドとして沈殿する等）のではないかと言うことである。この点については、各場所のサンプリング水中の鉄の存在形態（イオン or クラッド）を分析し検討して見る必要がある。

銅は、CTLループに全く銅および銅合金を使用していないにもかかわらず、DC水で15～20 ppbもの高い濃度で検出された。これは明らかにAVT運転時に蓄積したものが出来たものと思われる。この値は、水管ボイラの水質規準（最高使用圧力100 kg/cm<sup>2</sup> < X ≤ 125 kg/cm<sup>2</sup>の場合10 ppb以下）を1.5～2倍上回るが、供給源がないので、このまま運転を続ければサンプリング水、ドレン水、および浄化系によって系外へ持ち去られ、いずれは規準値以下に低下して来るであろう。

SiO<sub>2</sub>の場合、第4回高温中性処理運転の時は腐食試験用の絶縁管が溶解し、高濃度のSiO<sub>2</sub>が検出されたが、第3回高温中性処理運転の時にもDC水で10 ppb前後、ボイラ水で100～240 ppbのSiO<sub>2</sub>が検出されている。給水（イオン交換塔出口水）にSiO<sub>2</sub>がほとんど検出されず、かつSiO<sub>2</sub>の混入した材料をCTLループ内では使用していないことから、SiO<sub>2</sub>の場合もCTLループおよびボイラ内に蓄積されたものが温度の上昇により溶出して来たもので、サンプリング水、ドレン水、および浄化系によって系外に持ち去られ、いずれは給水程度の値に低下して来るものと予想される。ちなみに、ボイラ水のSiO<sub>2</sub>規準は500 ppb以下（最高使用圧力100 kg/cm<sup>2</sup>のボイラの場合）であるので、この程度のSiO<sub>2</sub>はほとんど問題とならない。

## 5.7 「ふげん」炉水模擬について

中性処理運転の目的は「ふげん」の一次冷却水の水質を模擬することが目的である。そこで、今回得られたCTLループの水質と「ふげん」の一次冷却水の水質を比較する。

今回得られたCTLループの水質と「ふげん」一次冷却水の水質は次の通りである。

	CTLループ*	「ふげん」**
電 導 度	0.3 μS/cm	0.1～0.2 μS/cm
溶存酸素濃度	150 ppb	150 ppb
pH	6.25	6.5～7
全 鉄	2.5 ppb	5～10 ppb
全 銅	15～20 ppb	< 2 ppb
SiO <sub>2</sub>	25 ppb***	130 ppb
UV 値	0.005	—

これを見ると、CTLループの水質は「ふげん」のそれに近く、かつ、鉄濃度も低いことから炭素鋼配管の防食も十分うまくいっていると言える。このことは現有のCTLループを用いて「ふげん」の一次冷却水を模擬した腐食耐久試験を行なうことが可能であることを示しているばかりでなく、「ふげん」および実証炉の一次冷却水の水質に係わる多くの試験を計画し実行して行くことも可能であることを示している。

ところで、両者の水質を比較して明らかな様に両者はよく似ていると同時にそれぞれ、そのプラント独特な特色を示しているとも言える。すなわち、有機物、電導度等にそれを見ることができ。したがって、今後「ふげん」および実証炉の一次冷却水を模擬する場合、水源まで含めてプラントの特色をよく調査し、模擬する側とされる側の特色の違いを明確にした上で、試験を計画し、結果を考察することが必要であると思われる。

---

\* Dチャンネル入口单相流の酸素注入時のもの。

\*\* 昭和54年度のものを使用

\*\*\* 第4回高温中性処理運転のもので、絶縁管の溶解の影響が顕著である。

実際にはもっと少ないものと考えられる。



## 6. 中性処理運転のための CTL ループの改造

これまでに述べたようにCTLループを中性処理で運転することは可能であるということが明らかとなった。しかしながら、試験のために用いた装置はすべて本格的なものではなく、また今回の試験中に改良、改造を加える必要のある部分が新たに見つかったので、これら、CTLループを中性処理で連続運転する場合に必要な改良、改造箇所を以下に述べる。

まず、その前にCTLループの浄化系容量を決めておくことにする。今回の試験では約3 t/hrの量を浄化し、その内1.0～1.5 t/hrをCTLループに給水し、その結果CTLループ水の電導度は低温運転で0.09  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、高温運転で0.15  $\mu\text{S}/\text{cm}$ まで低下した。高温運転の場合、酸素を注入すると0.3  $\mu\text{S}/\text{cm}$ まで電導度は上昇するが、これはループ内に堆積している有機物の影響と考えられ有機物を除去してやれば、この浄化系容量でも0.1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 程度の満足のいく電導度を得ることができると考えられる。このことからCTLループの浄化系容量を現状のままの3.0 t/hr<sup>\*</sup>とし、給水量を1.0～1.5 t/hr<sup>\*\*</sup>とする。

### 6.1 純水製造装置容量と純水タンク容量

今回の試験で明らかになったことの一つに、純水製造装置の能力および純水タンクの容量が小さいことが上げられる。中性処理運転の場合、水の電導度をできるだけ下げることが必要であることから、ボイラドレンおよびDC蒸気の連続ブローを行ない、かつ、各所の水質を連続的にモニターする必要から連続サンプリングを行っている。このためCTLループから系外に放出される水の量が合計で約1.0 t/hr弱にも達する。この上SC運転を行なうと、純水使用量は1日に40 tを越える量になる。現有の純水製造装置の能力は3 t/hrで60 t製造毎に約6時間の樹脂再生を行なっている。毎日樹脂の再生を行なうとすれば、1日の純水製造能力は約54 tとなる。一方CTLの純水はATR安全性試験室、流動伝熱試験室にも供給されており、3つの試験室で同時に純水を使用すれば、合計使用量は1日に60 t以上になり、純水製造能力を越えることになる。したがって現状では、3試験室の実験が同じ日に重ならないようにかつ、純水タンクは常に満水であるように注意しながら純水製造装置を運転している。しかしながらCTLで1日に40 tを越える純水を連続して使用し始めると、このような対処のし方では乗り切れず、純水製

---

\* 今回の浄化系は、CTLに備え付けの交換塔2塔に樹脂だけを原子力用に交換したもので脱塩能力は1塔（イオン交換樹脂50ℓ）で2 t/hrの水を処理する場合、0.5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ の水を0.1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ にするとして、約66日の連続運転ができるものである。3 t/hrとしたのは、2塔平行運転で5 t/hrのポンプを使用した場合、樹脂内の流動抵抗により3 t/hrしか流れなかったことによる。

\*\* 現在の給水ポンプ（充填ポンプ）の吐出量は0.45 t/hrから2 t/hr可変であり、連続給水する場合、DC水位変動への対処能力を考慮すると、1.5 t/hrの連続運転が安全側からの限度であろう。

造装置の能力を向上させる以外に対処方法はないと思われる。この場合の純水製造能力は5t/hr<sup>\*</sup>程度が適当であろう。また現在純水タンク容量は30tであるが、これも1.5倍から2倍程度に容量を増す必要がある。

## 6.2 有機物除去装置

今回の試験で、CTLループ内に有機物の蓄積が明らかとなり、この有機物は源水である工業用水に含まれており、純水製造装置をリークしてCTLループ内に持ち込まれたことが明らかとなった。この有機物はリグニンスルホン酸らしきもので、イオン交換樹脂だけでは完全除去は不可能である。これをほぼ完全に除去するには逆浸透膜を用いた有機物除去装置が必要となる。ところでこの装置はCTLループに入って来る有機物を除去する装置であり、CTLループ内に蓄積している有機物を除去することはできない。これを除去するには高温酸素注入運転により有機物を溶解あるいは分解し、ブロー弁およびドレン弁で系外に放出して除去する方法が最も良い。

この有機物除去装置は、Fig. 27に示すように設置位置が2つ考えられる。

第一はMB塔前で次のような特徴を持つ。

- ① 容量は5 t/hr のものが必要。この位置にあれば逆浸透膜でイオンも除去されるのでMB塔、MB-P塔は、現状の3 t/hr のもので十分対処できる。
- ② 純水タンク内の水は、ほぼ完全に有機物およびイオンを除かれた超純水となる。ATR安全性試験室および流動伝熱試験室へもこの水が供給される。
- ③ CTLループから浄化系冷却器を通して給水タンクに入った有機物は除去できない。
- ④ 純水タンク内の水は、ガス成分を除いてはほとんど何も不純物を含まず、オートクレーブ腐食試験等に供給する水としては好条件のものである。

第二はCTLループ水の浄化系内に設置するもので次のような特徴を持つ。

- ① 容量は3 t/hr 程度のもので良い。
- ② CTLループへ給水される水はほぼ完全に有機物およびイオンを除かれた超純水となる。
- ③ MB塔およびMB-P塔の処理能力を現行の3 t/hr から5 t/hr に上げる必要がある。
- ④ 腐食試験用の超純水は浄化系イオン交換塔出口から直接取水することが望ましい。

以上述べたように、それぞれ一長一短があるが、CTLループへの給水中に有機物が混入しな

---

### \* i 使用量

CTL 使用量 45 t/day (max)

A 安 " 20 t/day (max)

HTL " 15 t/day (max)

計 80 t/day (3試験室の実験が重なった時)

### ii 製造量

(24-6) × 5 t/day (毎日1回樹脂再生, 再生時間6時間)

いこと、有機物除却装置が小さくて良いこと、等を考慮して第二のCTLループ浄化系内に有機物除却装置を設置する方がより適切であろうと思われる。

今後さらに仕様をつめ、かつ有機物除却装置が本当に必要かどうかという原点にまでさか登って検討し、むだ、むりのない設計を行なうことが必要である。

### 6.3 脱気装置

今回の試験で給水の脱気状態は、CTLループ水の水質に大きな影響を与えることが明らかとなったが、SC 70 kg/cm<sup>2</sup> 運転の場合、脱気条件を可能なかぎり上げる努力をしても、CTLループ水の脱気の程度は、溶存酸素濃度で20 ppb以下には下らなかった。CTLループの場合、腐食耐久試験を実施しているのであるから腐食条件は可能な限り明確にしておくことが大切で、この場合について言えば、脱気を完全に行ない、不純物ガス成分を完全になくし、その上で純酸素を適量注入するのが最適である。この考えに立てば、給水される水はほぼ完全に脱気されていることが望ましく、CTLループのDCの脱気装置が不完全であれば浄化系内で脱気する方法を考えておく必要がある。給水が脱気されておれば弁814の開度は小さくて良く、したがって、捨てられる熱量も少なくすむ。

脱気装置の位置はFig. 27に示すように浄化系内の浄化系ポンプ直後で、イオン交換塔および有機物除去装置の前とした。この位置についても今後十分検討する必要がある。

なお、脱気装置は、現在流動伝熱試験室の所有で、使用していないものがある。当面はこの装置の使用条件、能力、いたみ具合等を調査し、使用できるのであれば使って見て本格的脱気装置を設置するためのデータを取ってみるのも一つの方法であろう。

### 6.4 給水加熱器

CTLループを中性処理で運転する場合、前にも示したように1.0～1.5 t/hrの給水を連続的にDCに給水してやる必要がある。この水の温度は30℃前後であるので、CTLループには、相当大きな熱負荷がかかることになる。今回の試験ではこの熱負荷をおぎなうためにボイラ蒸気流量を1.5 t/hrにして熱バランスを保った。しかしながら、蒸気流量を増加させることはボイラ燃料の使用量を増加させることになり、燃料費の増大をまねくことになる。そこで、燃料費の増加をなるべく少なくする目的でCTLループから捨てられる熱を給水加熱器として再利用する方法を検討した。

現在、CTLループの排熱で再利用可能と考えられるものは次に示す通りである。

	熱媒体	流量 (t/hr)	温度 (°C)	排熱形態	再利用可能熱量 Kcal/hr
①主冷却器	熱水	≈ 3.0	285→70	冷却水に伝達	5.55×10 <sup>5</sup>
②DC	蒸気	≈ 1.0	285	弁814より 大気放出	6.05×10 <sup>5</sup>
③ボイラ水	熱水	≈ 0.2	≈ 300	ドレン弁より 大気放出	4×10 <sup>5</sup>

④ボイラ排ガス 排ガス  $\approx 2000\text{m}^3/\text{hr}$  350 大気放出  $9.8 \times 10^{**}$

この内①の冷却器および②のDCからの排熱が多い。したがってこの2つを使って給水加熱器を作り、給水温度を現在の約30℃から200℃程度に上昇させる方法が考えられる。Fig. 27には主冷却器による給水加熱器をA、DC蒸気による給水加熱器をBとして示してある。Aの場合、一般の再生熱交換器が、Bの場合、蒸気凝縮型の再生熱交換器が必要となる。なお、Fig. 27では給水加熱器の順序を一応A、Bの順とした。

## 6.5 酸素注入装置

今回の試験で注入ガスが純酸素では、溶存酸素濃度の調整が不可能であり、Ar + 7.5%O<sub>2</sub>混合ガスが適当であることが明らかとなった。しかしながら今後、完全脱気状態の純水が給水されるようになればもう少し多めの酸素濃度の混合ガスが必要となろう。この意味を加味してFig. 27にはAr + 10%O<sub>2</sub>混合ガスを採用している。

さて今回の試験では、とりあえず二つの循環ポンプのうち一方の出口側に90 kg/cm<sup>2</sup>の圧力でAr + 7.5%O<sub>2</sub>混合ガスを注入した。この結果、溶存酸素濃度の調整はきわめてスムーズに行われたが、他方の循環ポンプ一台での運転ができず、また、ガスボンベ150 kg/cm<sup>2</sup>が90 kg/cm<sup>2</sup>になると使用できないといった不便さが生じた。したがって、本格的な中性運転の場合、ガス注入位置は、2台の循環ポンプ共通の出口にもうけ、またガス注入装置に小型のコンプレッサーとガスチャンバーをもうけ、ボンベ圧力が低下してもガスの注入が行なえるようにすることが望ましい。

## 6.6 その他

CTLループには、各種実験用配管が多数存在し、そのそれぞれにバイパスが設けてある。このバイパスには1個のストップバルブが取り付けられている。これらバイパスを使用しない時にはストップバルブを閉にするが、この時、バルブ前後が停滞水となり、この水質がきわめて悪いものになる。内外の多くのプラントにおける腐食問題はこのような停滞水となる所で生じており、また中性処理運転の場合、超純水に近い水を使っているため停滞水の悪い影響が現われやすいという特徴がある。これらの点を改善するには、バイパスの入口、出口にそれぞれストップバルブを取り付け、停滞水の量を少なくするのが良い。

\* 熱交換器による再利用であり、熱交換器出口温度として熱水の場合100℃、排ガスの場合150℃を採用した。

\*\* 排ガスはすべてCOとし、比熱0.246 kcal/℃kg、比重量0.996 kg/m<sup>3</sup>とした。

## 7. 結 論

炭素鋼配管で製作されているCTLループを用いて「ふげん」一次冷却水水質模擬の可能性を検討するために中性処理運転試験を実施した。

得られた結果は次に示す通りである。

- 1) CTLループ定常運転時 (DC圧力66 kg/cm<sup>2</sup>, テストチャンネル入口圧力72 kg/cm<sup>2</sup>, 温度285°C) テストチャンネル入口水質として次の値を得た。

	CTLループ	「ふげん」(昭和54年度の値)
電 導 度	0.3 μS/cm	0.1 ~ 0.2 μS/cm
溶存酸素濃度	150 ppb	150 ppb
pH	6.25	6.5 ~ 7
全 鉄	2.5 ppb	5 ~ 10 ppb
全 銅	15 ~ 20 ppb	< 2 ppb
SiO <sub>2</sub>	25 ppb	130 ppb
UV 値	0.005	-

この値は「ふげん」一次冷却水の水質にきわめて近いものであり、CTLループを使って「ふげん」一次冷却水の水質模擬運転が可能であることが明らかとなった。

- 2) 上記運転中のCTLループ水の水中铁濃度は2.5 ppbときわめて低く、この値はこれまでのAVT運転での $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{2}$ 程度であり、高温中性処理の炭素鋼防食効果はAVTよりも大きいという結果を得た。このことは、CTLループを中性処理運転しても配管の防食は、今まで以上に行なわれることを示していると同時に、他の炭素鋼配管プラントにも中性処理の適用が可能であり、その場合、水中鉄濃度は、AVTよりも低下することが予想される。
- 3) ボイラ水は、CTLループ水に比べ、溶存酸素および全鉄を除いた他の成分の値がいずれも高い値を示した。これは、ボイラで不揮発性不純物が濃縮される結果起こる現象であるが、全鉄の値はCTLループ水とほぼ同じであった。ボイラ水中の鉄濃度が低いことは、ボイラの防食も十分行なわれていると考えることができるが、電導度等の値が高いので、極部腐食の可能性が予想され、今後中性処理運転を行なう場合、ボイラの点検を十分行なっていく必要がある。
- 4) CTLループの蒸気系には揮発性不純物、およびガスの濃縮が観察された。特にDC飽和蒸気のサンプリング水は異臭があり、酸素の注入により臭いは強くなり、電導度は上昇した。この原因は、有機物の分解によるものであろうと予想される。
- 5) CTLループ内には、銅、SiO<sub>2</sub>、有機物等の蓄積が観察された。有機物については種々の調査を行なった結果次のことが明らかとなった。

有機物は、リグニンスルホン酸らしきもので、大洗工学センターの工業用水、上水道水、および夏海湖からも検出された。この有機物は、CTLの純水製造装置で大部分は除去されるが、一部リークしてCTLループに入り込んだものである。この持ち込みをなくすためには、純水製造装置に逆浸透膜装置を組み込めば良い。

- 6) 蓄積不純物を除去する方法を検討した結果、最も良い方法は、高温中性処理運転を行ないながら時間をかけてゆっくりと除去する方法であろうという結論に達した。すなわち、高温運転により銅、 $\text{SiO}_2$ および有機物を水に溶解させ、かつ酸素を注入し有機物の分解を促進させ、それらをドレン弁、ブロー弁より系外に放出させる方法である。
- 7) 酸素注入法は、循環ポンプ出口に直接酸素ガスを注入する方法を採用した。この方法は、テストチャンネル入口の溶存酸素濃度コントロールが非常に容易であった。この場合、CTLループの保有水量が小さいので、純酸素ガスの注入では溶存酸素濃度コントロールは不可能で、 $\text{Ar}+7.5\% \text{O}_2$ 混合ガスを用いて150 ppbに調整した。
- 8) DC脱気器の性能は、SCが定常運転に入ると著しく低下することが明らかとなった。これはSCの運転により循環する蒸気量が増加してDC脱気器内のガスをDC内に送り込む結果である。この現象を極力小さくする努力を行なったが、CTLループ水の脱気状態は、溶存酸素濃度で20 ppb以下には下らなかった。今後腐食耐久試験を実施して行くには、腐食環境を明確にする必要があることから、脱気状態はより完全である方が望ましい。このことから、脱気器の改良あるいは脱気装置の設置が必要となる。
- 9) 今回の試験では合計4回のCTLループの起動を行なった。起動時の電導度変化を観察すると温度の上昇にしたがって電導度は上昇し、200℃前後で最大値を示しその後低下する。この最大値は起動時の脱気操作により著しく影響を受け脱気状態が悪いと電導度が高くなるばかりでなく、水中鉄濃度も著しく増加する。したがって、起動時の脱気操作には十分注意して運転することが望ましく、そのためには、運転マニュアル通りに操作すれば良い。
- 10) DC内を使って、鉄、銅および銅合金の腐食試験を実施した。その結果、蒸気部では三者の腐食量はほぼ同じ（鉄+2.30 mdd、銅+2.88 mdd、プラス+3.72 mdd）であったが水中では鉄に比べ銅および銅合金が著しく腐食した。（鉄+1.97 mdd、銅-95.3 mdd、プラス-69.4 mdd）このことは、中性処理水は、鉄に比べ銅の防食効果が著しく低いことを示しており、銅合金を使用しているプラントへの中性処理の適用は十分な注意が必要であろう。ちなみに、CTLループには現在のところ銅および銅合金の使用はない。
- 11) CTLループのボイラ給水配管を切り取って管内表面分析を行なった。その結果管内表面にC、Cu、Si等の元素の蓄積が観察された。また中性処理水が流れた管表面には酵母菌が観察された。
- 12) CTLの純水製造装置で作られた純水は、ATR安全性試験室および流動伝熱試験室の実験に供されるが、CTLループを中性処理で運転する場合、この純水製造装置および純水タンクの能

力では小さいことが明らかになった。

- 13) その他, CTLループを中性処理で運転する場合の純水製造装置, 脱気器などループ機器の改造, 改良について検討した。

—— 以 上 ——

謝

辞

本試験を実施するに当り、試験の初期から結果の検討までの全般にわたって我々の討論に加わり、有益な助言を与えて下さった電力中央研究所、黒沢辰雄部長、水野孝之室長および四国電力株式会社、大岩健男、小松精二の各氏に、また部品機器試験室の腐食関連の試験に終始適切な助言と激励をいただいた金属材料技術研究所の清水義彦室長に謝意を表わす。



## 参 考 文 献

- (1) 水野, 黒沢, 岩堀; 「貫流ボイラの給水処理法としての純水酸素注入法について」  
電力中央研究所報告, 調査報告279011 (1979)
- (2) 水野, 岩堀; 「BWRの給水系におけるクラッド生成抑制対策としての溶存酸素注入の効果について」 電力中央研究所報告, 調査報告74011 (1974)
- (3) 泉谷他; 「BWRプラント給水系への酸素注入による腐食抑制」  
火力原子力発電 vol.27, No.2 (1976)
- (4) 杉光, 土井; 「燃料の使用経験—水質の影響—」  
火力原子力発電 vol.29, No.2 (1978)
- (5) 永山, 栗原, 目黒; 「敦賀発電所におけるクラッド低減対策」  
火力原子力発電 vol.30, No.2 (1979)
- (6) 貝川; 「線量率低減に及ぼす水質の影響」  
火力原子力発電 vol.31, No.4 (1980)
- (7) 森田, 加藤, 桜井; 「「ふげん」の給水系酸素注入による鉄溶出抑制」  
動力炉技術 No.33.3 (1980)
- (8) 石川; 「原子力発電所の復, 給水系腐食防止技術」  
原子力工業 第22巻, 第3号
- (9) 石川; 「中性処理によるボイラの腐食防止」  
火力原子力発電 vol.29, No.5 (1978)

Table 1 CTLループの保有水量

CTLループ全容積	約 14 m <sup>3</sup>
〃 水系容積	約 8 m <sup>3</sup>
ボイラ全容積 (スーパーヒータ含)	約 2.5 m <sup>3</sup>
〃 水系容積	約 2 m <sup>3</sup>

Table 2 CTLループ配管の接液面積

CTLループ熱水ライン	約 68.0 m <sup>2</sup>
〃 蒸気ライン	約 38.6 m <sup>2</sup>
〃 二相流ライン	約 42.6 m <sup>2</sup>
〃 ボイラライン	約 3.0 m <sup>2</sup>
ボイラ上下ドラム	約 15.0 m <sup>2</sup>
〃 伝熱面積	72.5 m <sup>2</sup>
スーパーヒータ伝熱面積	22.0 m <sup>2</sup>

Table 3 腐食試験片重量変化 (試験時間 323 時間)

## 1) プラス

項目 No	実験前 $W_0$ (g)	実験後 $W_1$ (g)	$W_1 - W_0$ (mg)	表面積
1	7.56460	7.57269	8.09	16.82 cm <sup>2</sup>
2	8.03568	8.04451	8.83	
3	7.72709	7.73542	8.33	
4	7.62324	7.45870	-164.54	
5	7.43626	7.28382	-152.44	
6	7.90472	7.74982	-154.90	

平均腐食量：蒸気部 3.72mdd, 水部-69.4 mdd

## 2) 鉄

項目 No	実験前 $W_0$ (g)	実験後 $W_1$ (g)	$W_1 - W_0$ (mg)	表面積
1	17.01024	17.01430	4.06	12.12 cm <sup>2</sup>
2	16.21736	16.22096	3.60	
3	15.58446	15.58805	3.59	
4	15.58090	15.58411	3.21	
5	16.13984	16.14200	2.16	
6	16.40952	16.41373	4.21	

平均腐食量：蒸気部 2.30 mdd, 水部-1.97 mdd

## 3) 銅

項目 No	実験前 $W_0$ (g)	実験後 $W_1$ (g)	$W_1 - W_0$ (mg)	表面積
1	14.89876	14.90806	9.3	20.94 cm <sup>2</sup>
2	15.06807	15.07506	6.99	
3	15.02522	15.03293	7.71	
4	15.13125	14.86108	-270.17	
5	14.98251	14.71696	-265.55	
6	15.24086	14.97074	-270.12	

平均腐食量：蒸気部 2.88 mdd, 水部-95.3 mdd

尚, 上記試験片No中1~3はDC内蒸気部 } に設置した。  
 " 4~6はDC内水部 }

## 4) 絶縁管スペーサー\*

項目	実験前 $W_0$ (g)	実験後 $W_1$ (g)	$W_1 - W_0$ (mg)
蒸気部	18.1546	18.1477	-6.9
水部	18.5398	13.2059	-5333.9

\*化学成分

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO
49.31	46.40	0.37	0.73	0.45	2.19 (%)

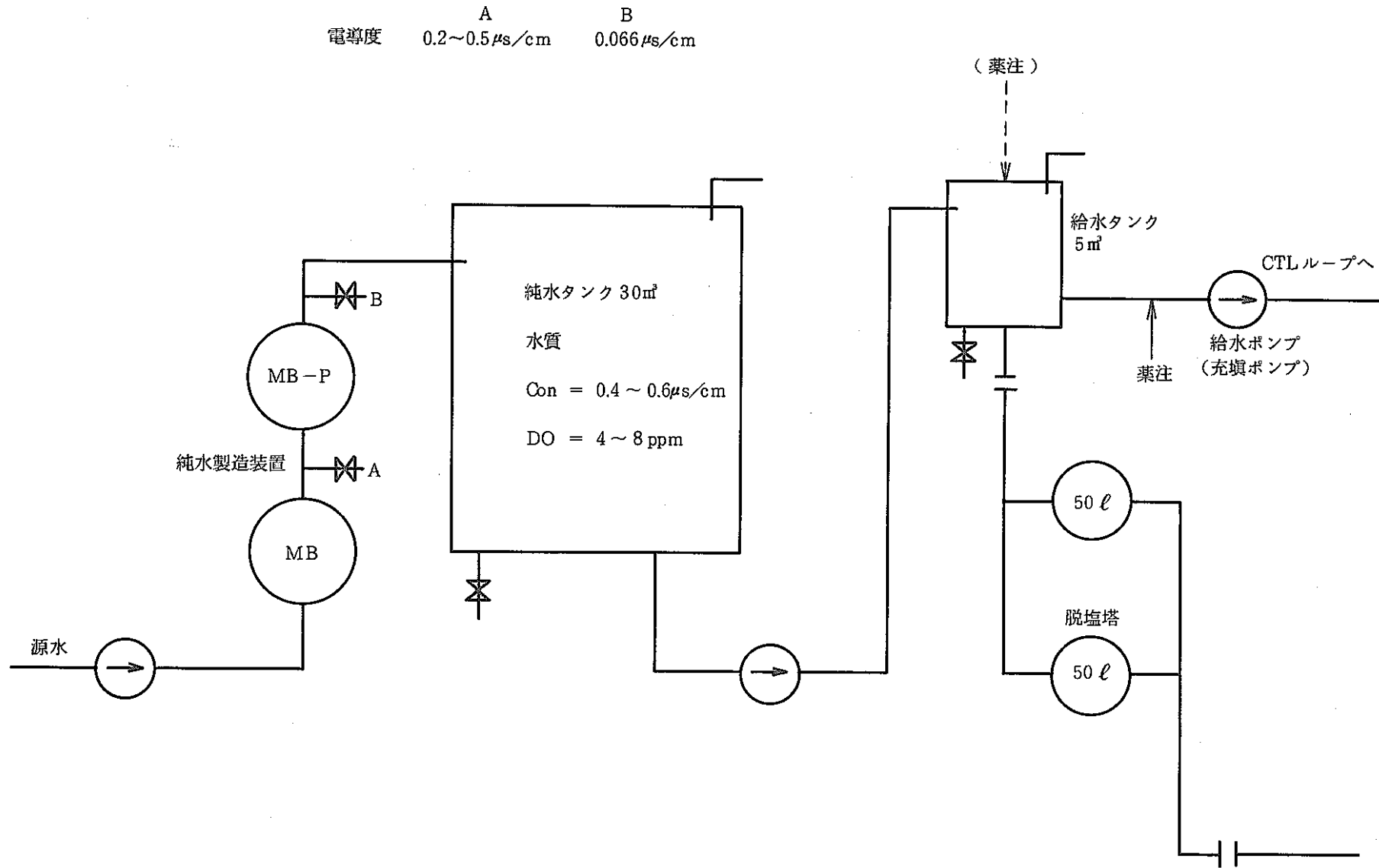


Fig.1 AVT運転中の給水系フローチャート

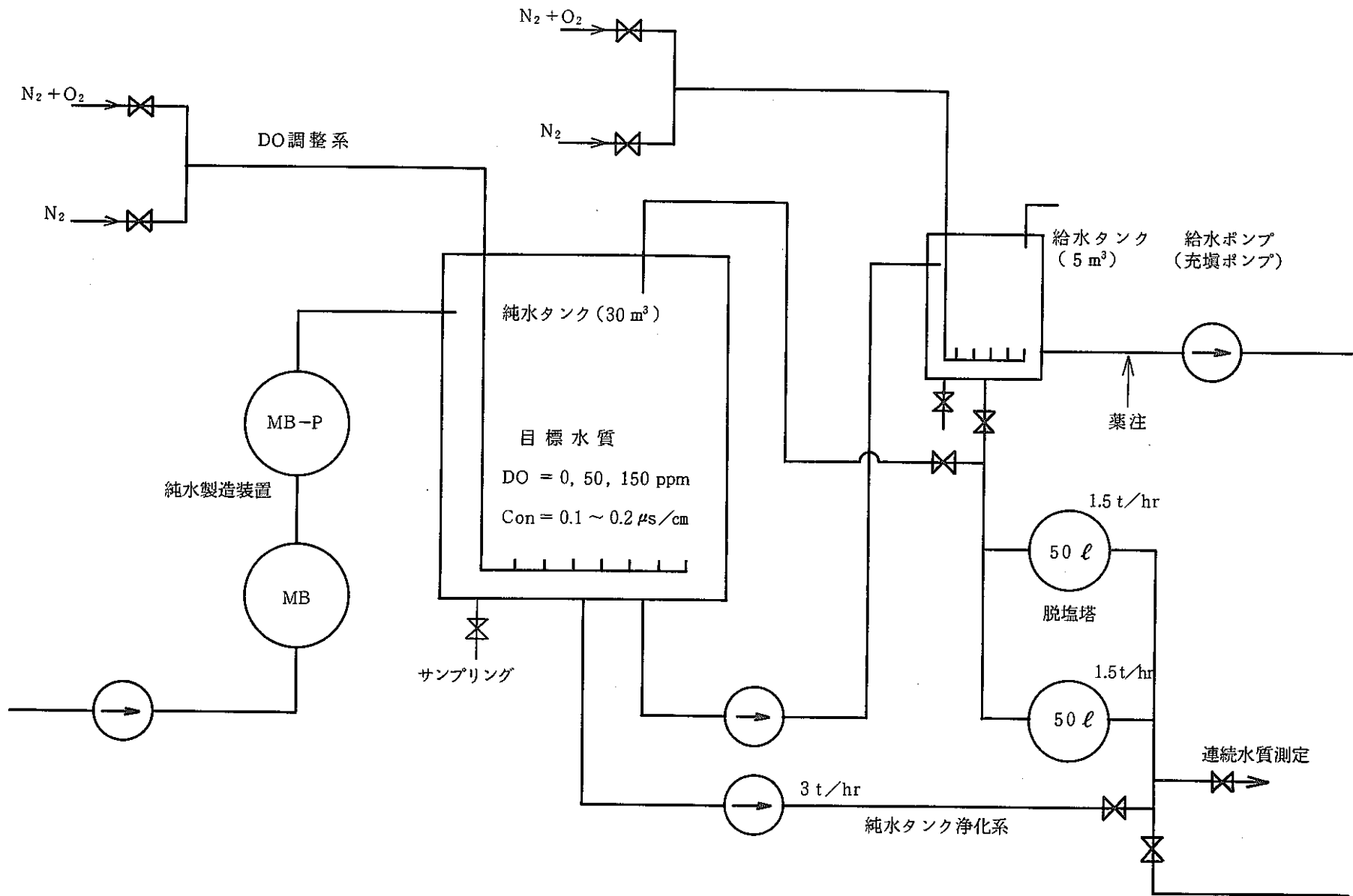


Fig. 2 純水タンク水質コントロールテストのフローチャート (AVT運転中)

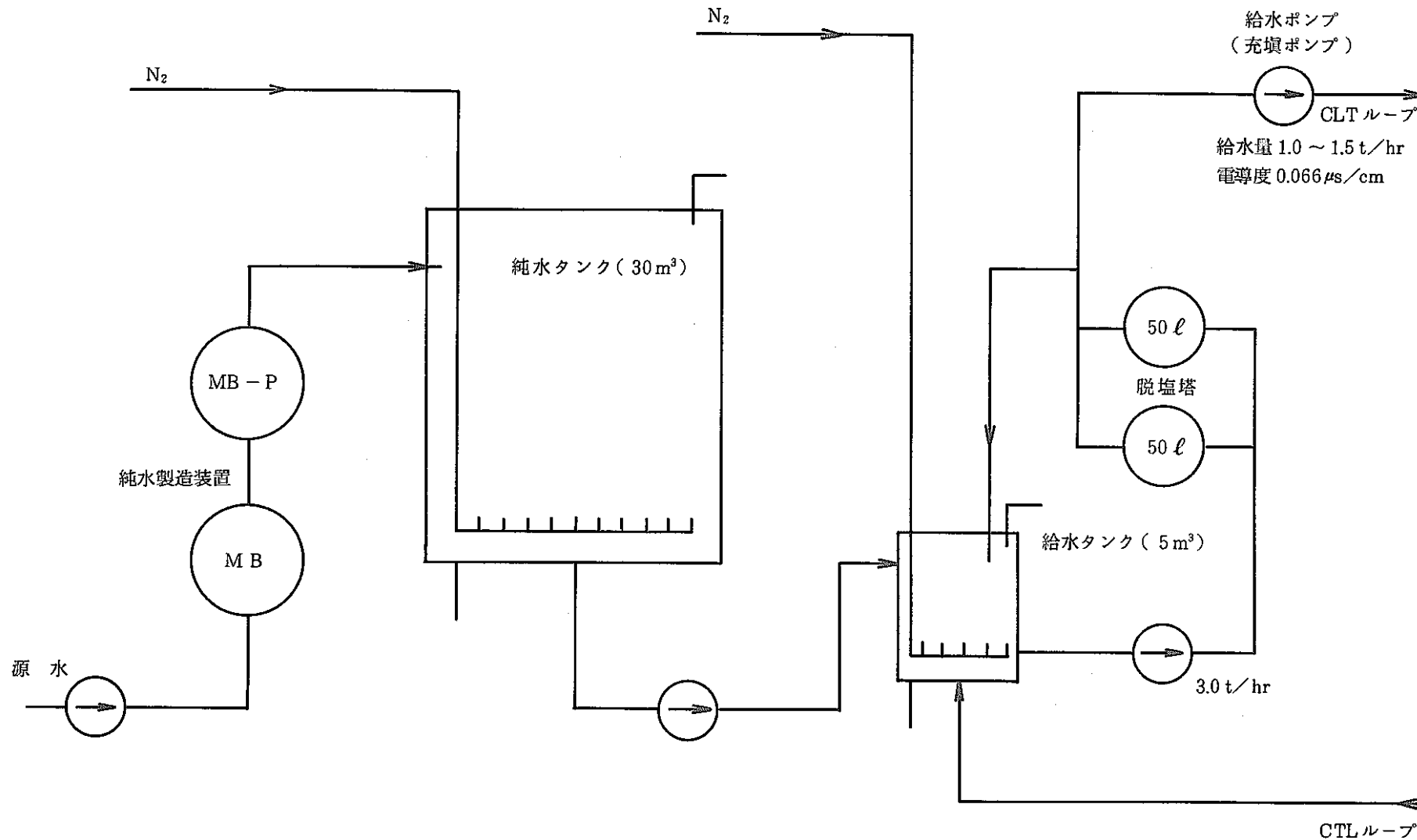


Fig. 3 中性処理運転時の給水系フローチャート

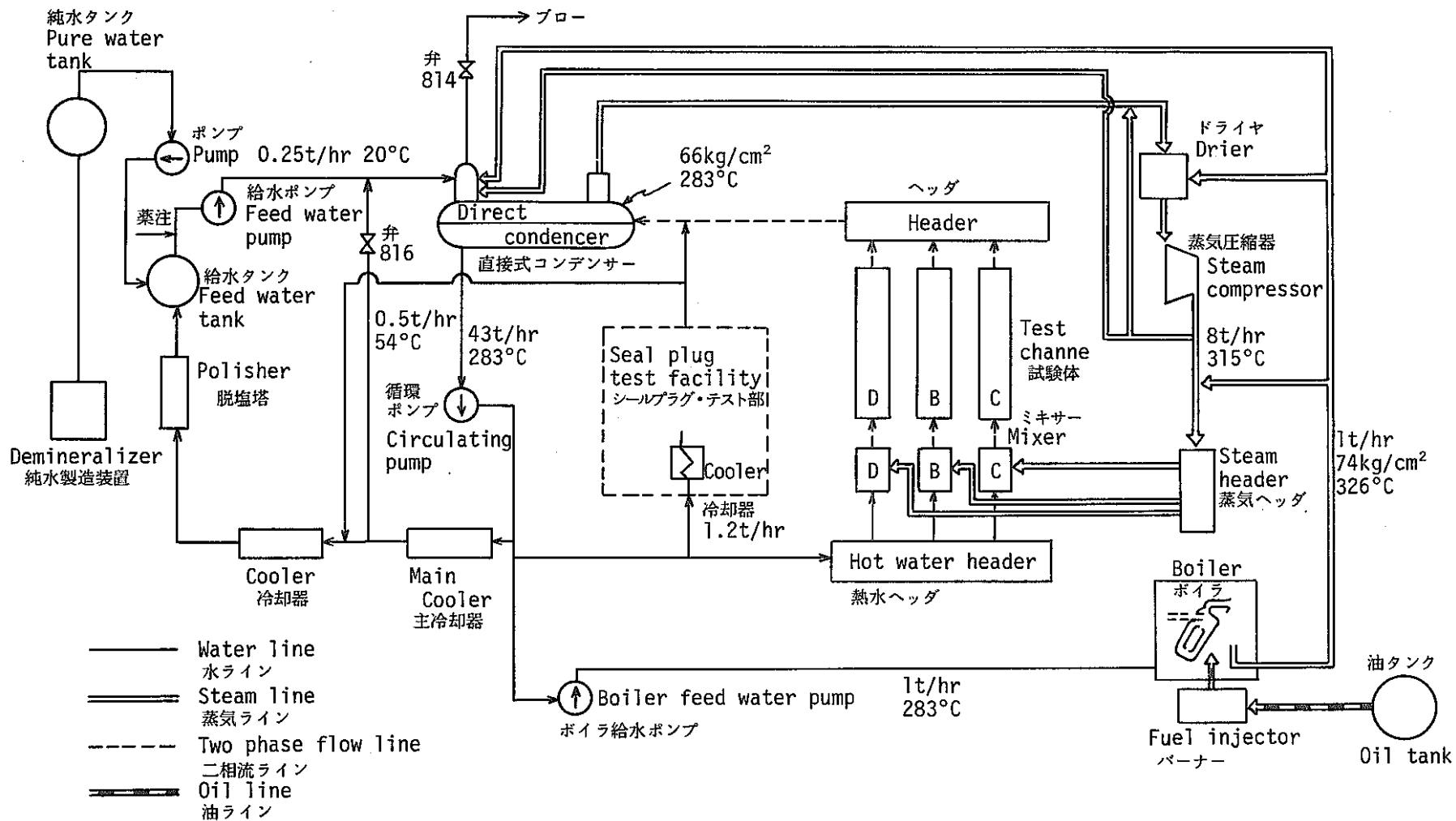


Fig. 4 AVT運転中のCTLループ配管の流量および温度

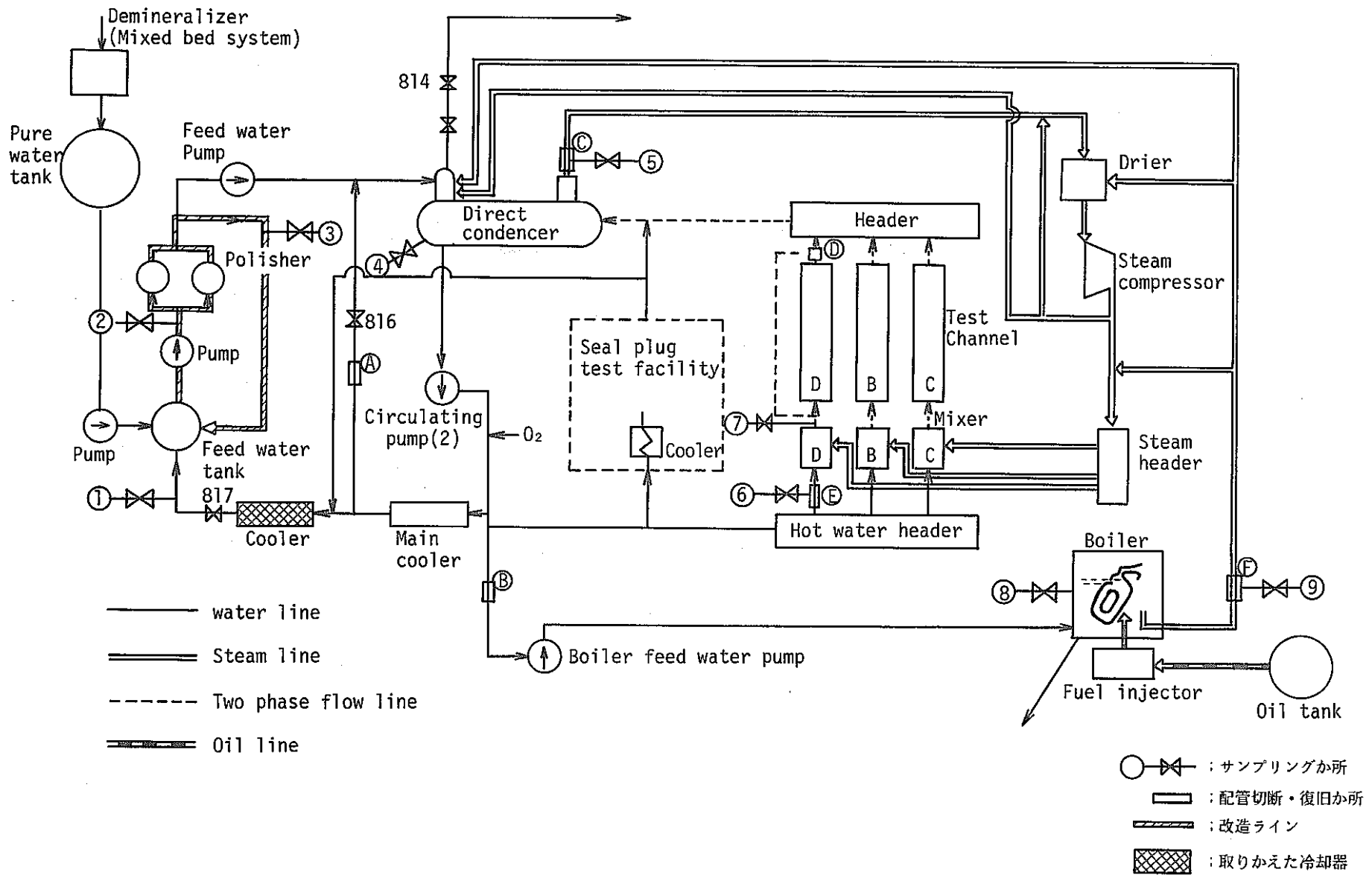


Fig. 5 中性処理運転のためのCTL ループ改造か所



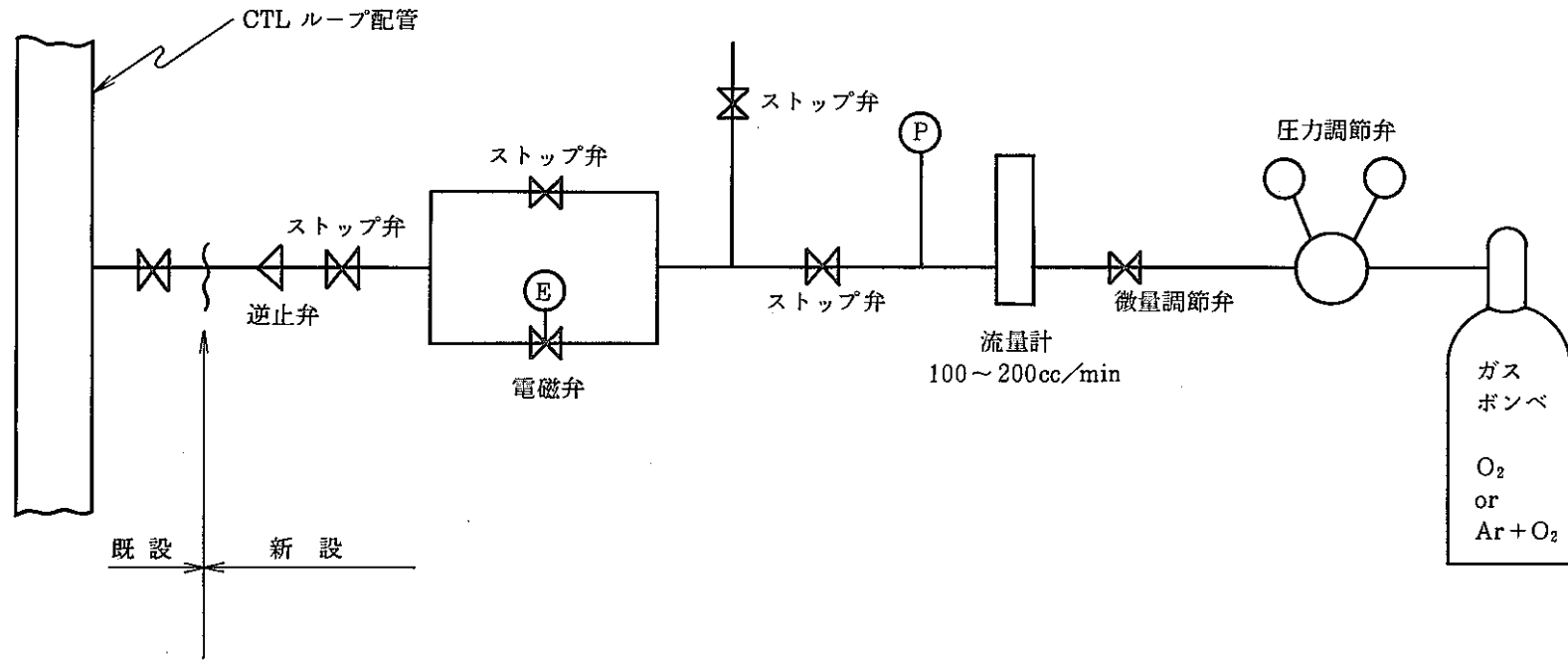


Fig.6 酸素注入装置フローチャート

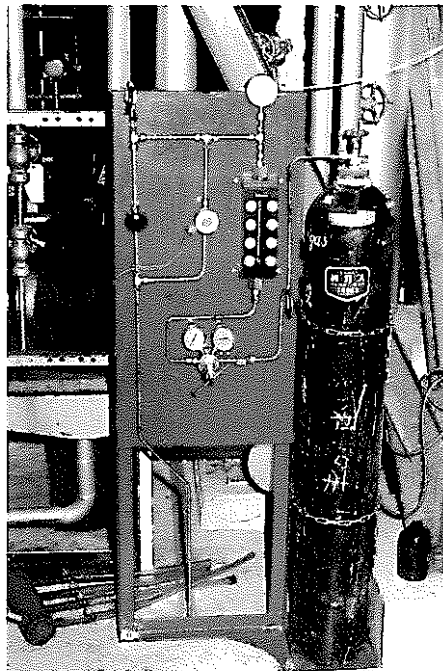
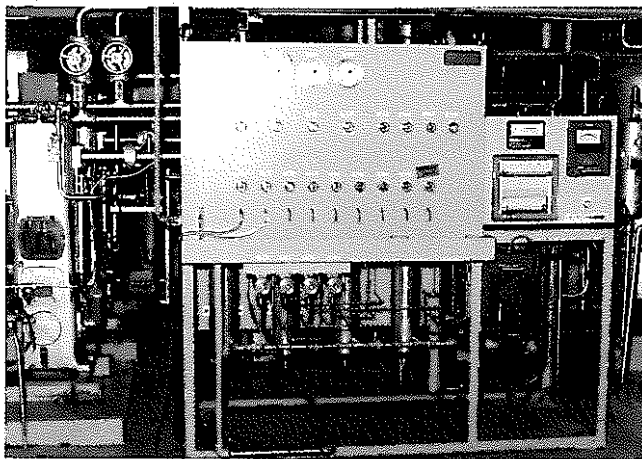
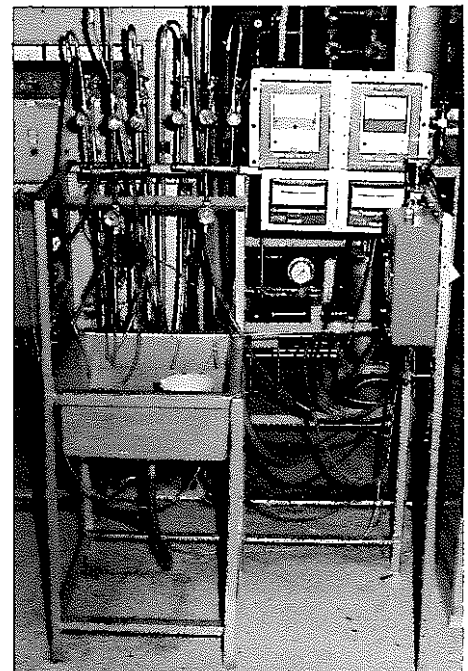


Fig. 7 酸素注入装置



a 新 設



b 既設の改造

Fig. 8 CTL ループ水のサンプリング装置

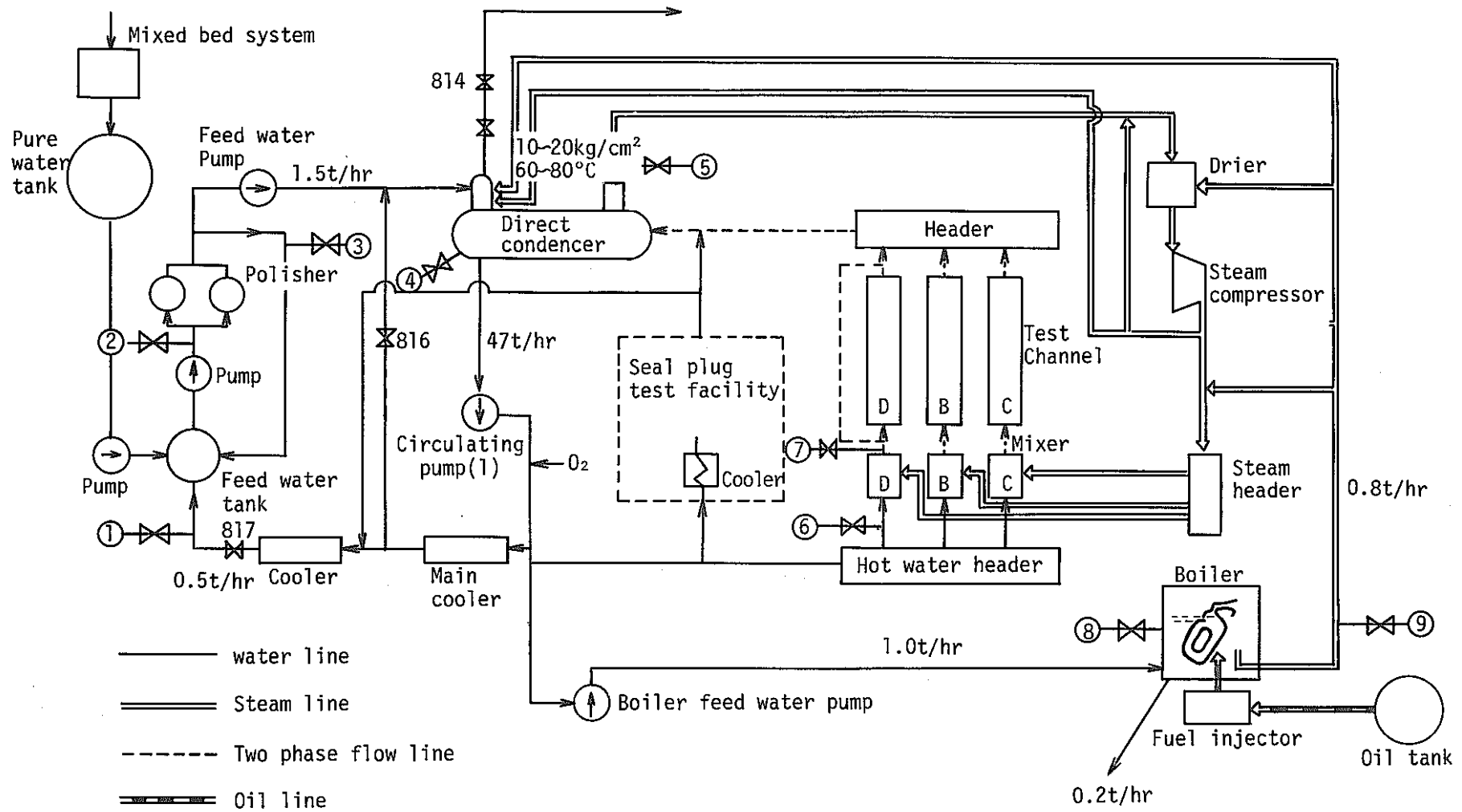


Fig.9 低温中性処理運転テストのCTLループ主要配管流量

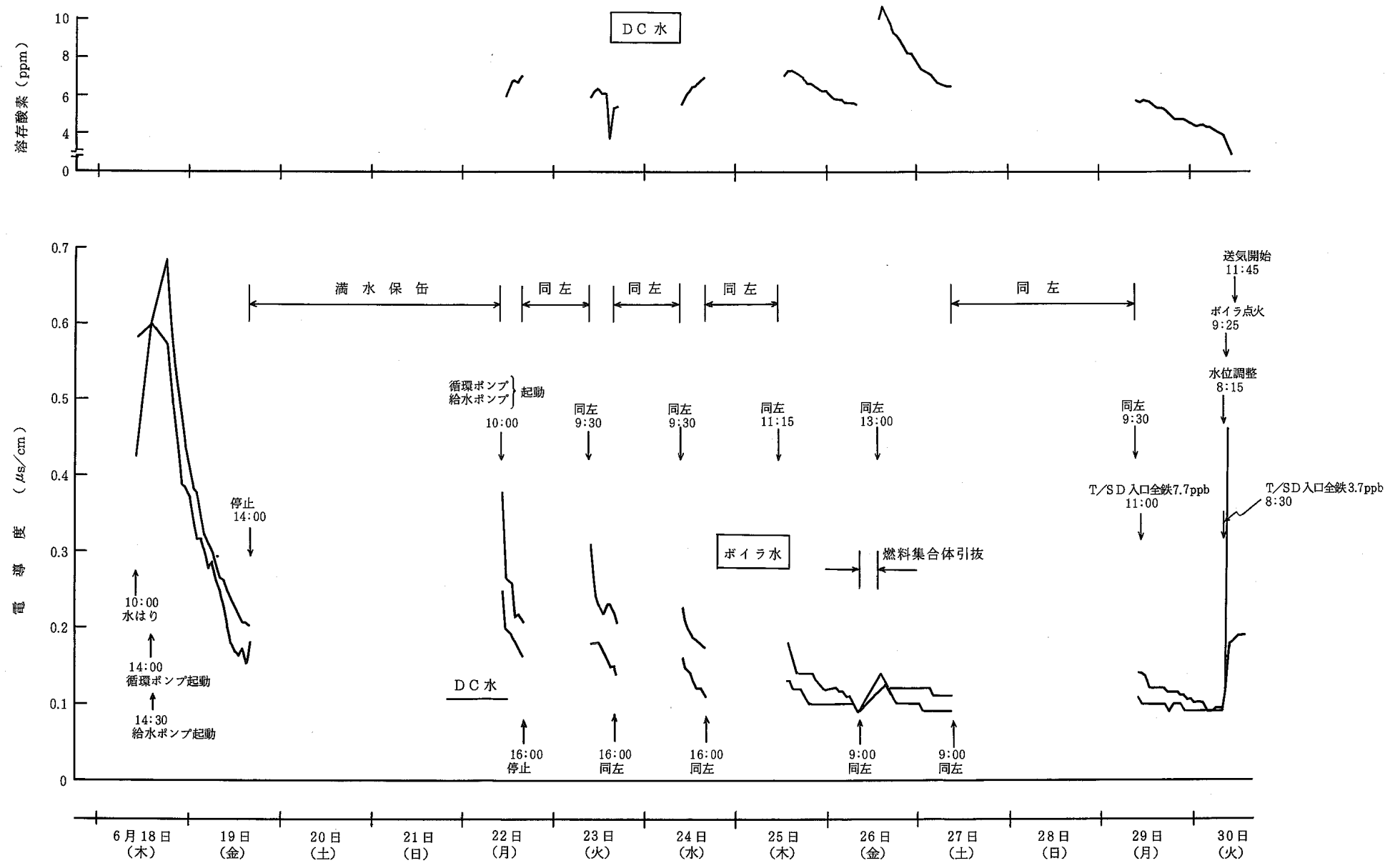


Fig. 10 低温中性処理運における電導度および溶存酸素濃度変化

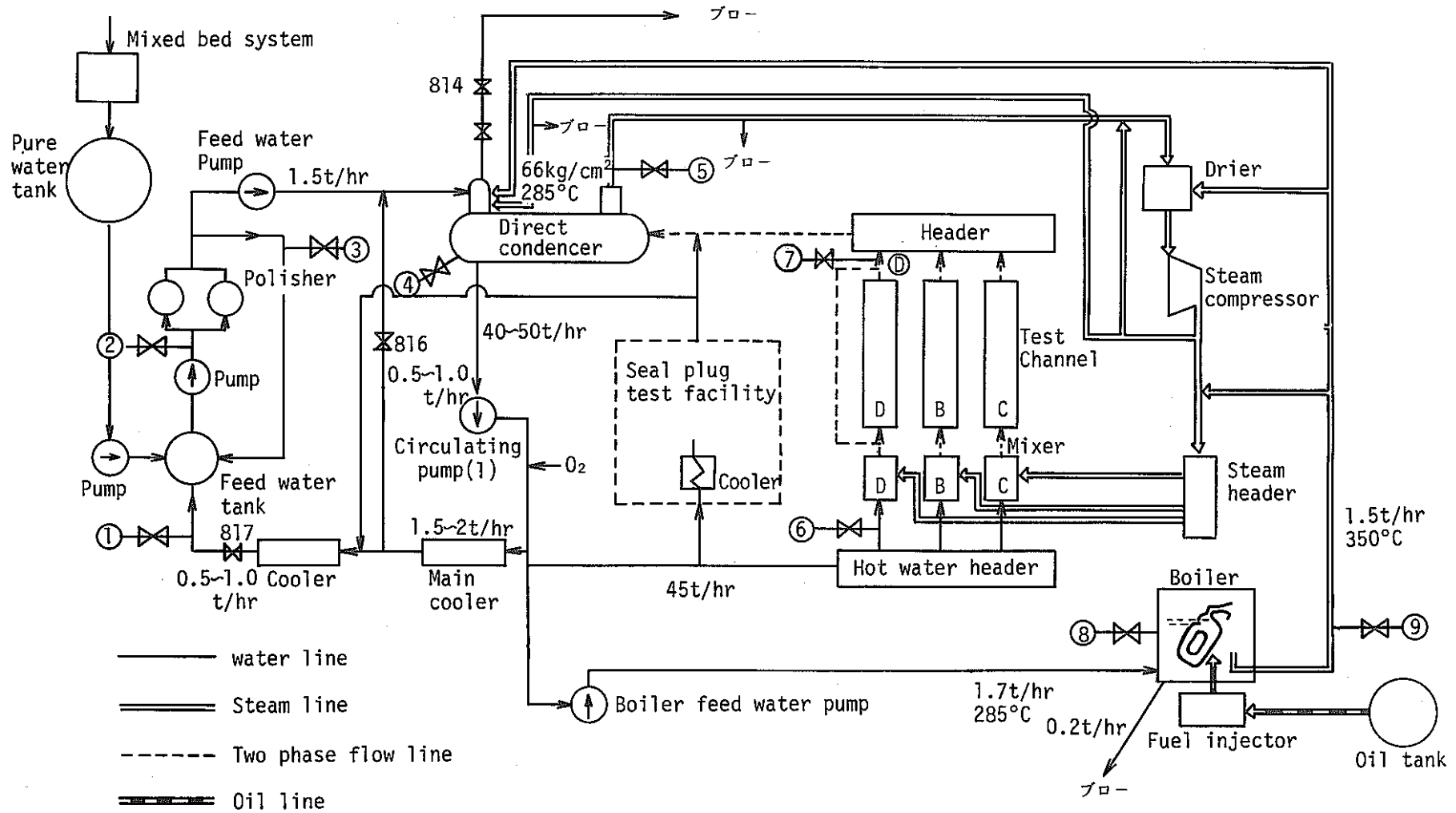


Fig.11 第1回および第2回高温中性処理運転テストのCTLループ主要配管流量

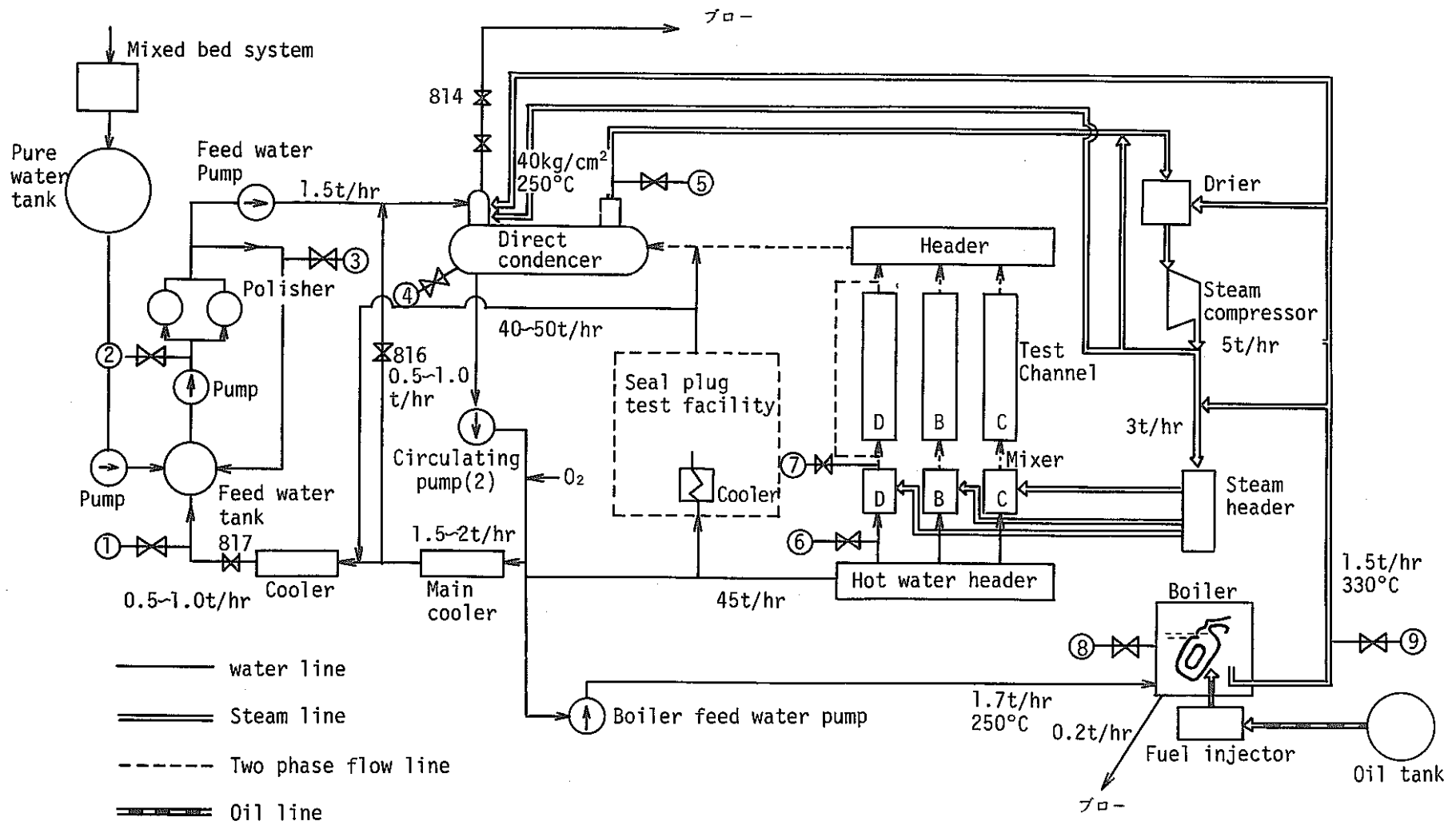


Fig.12 第3回高温中性処理運転テストのCTLループ主要配管流量

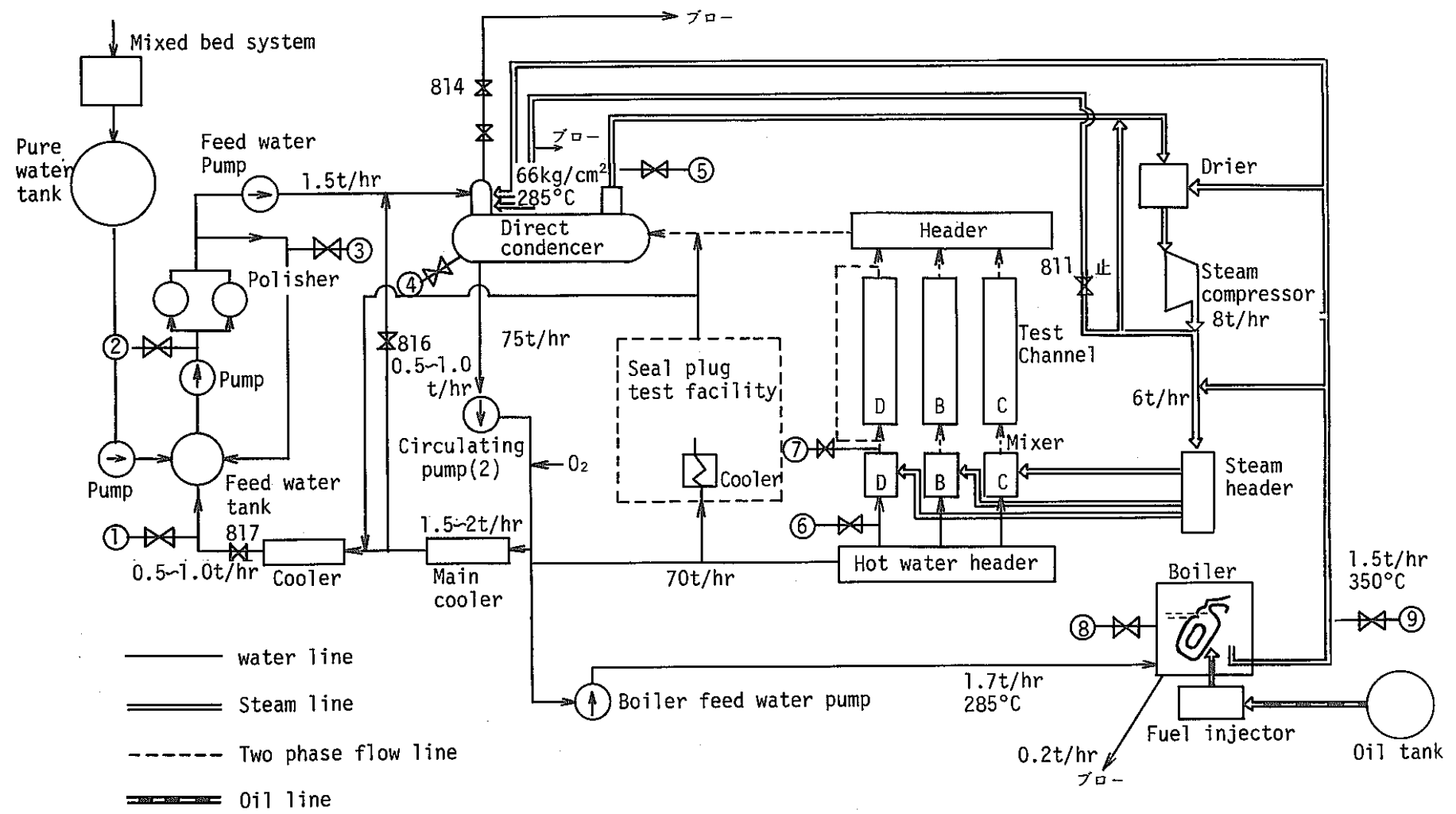


Fig.13 第4回高温中性処理運転テストのCTLループ主要配管流量

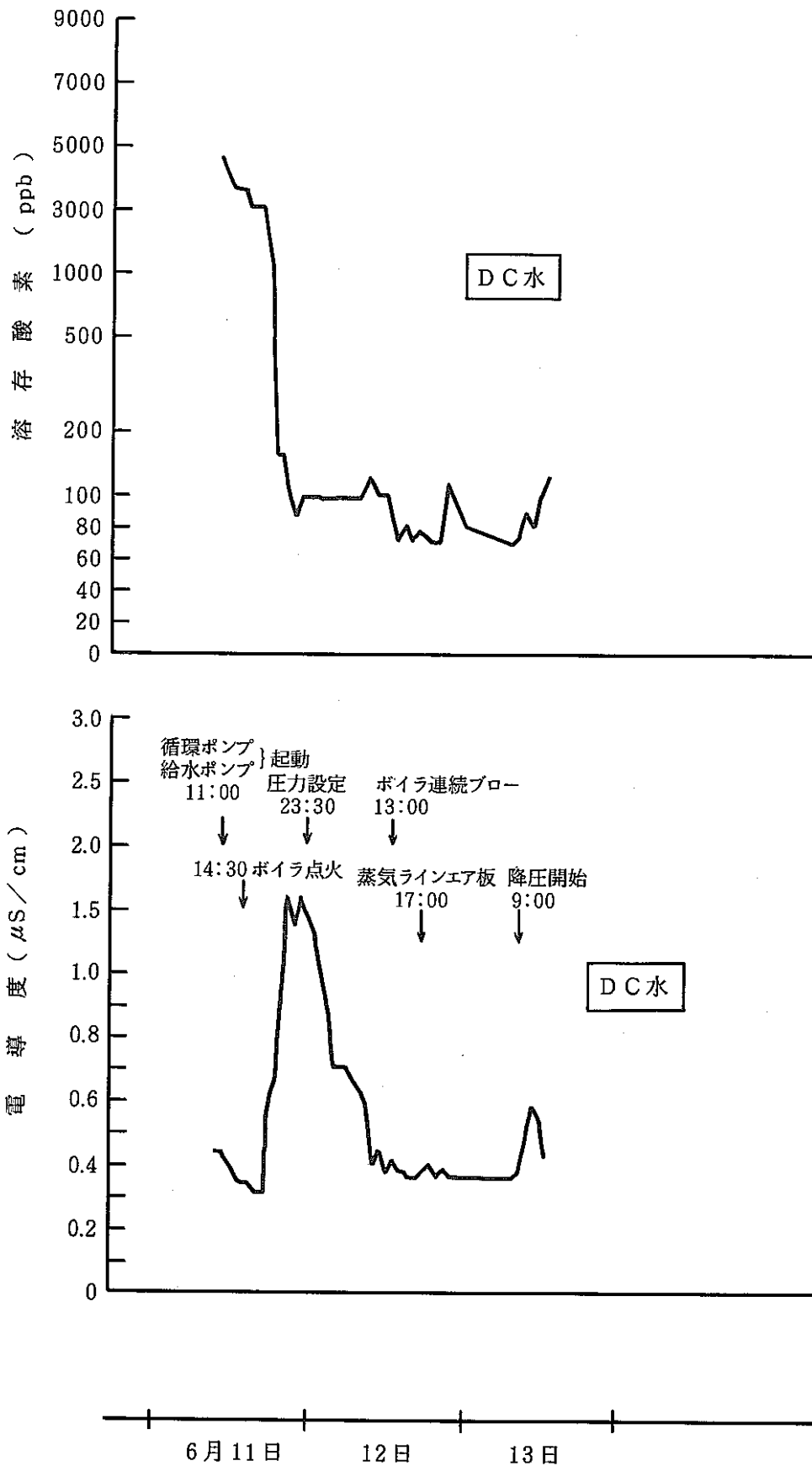


Fig. 14 第1回高温中性処理運転テストのDC水水質変化



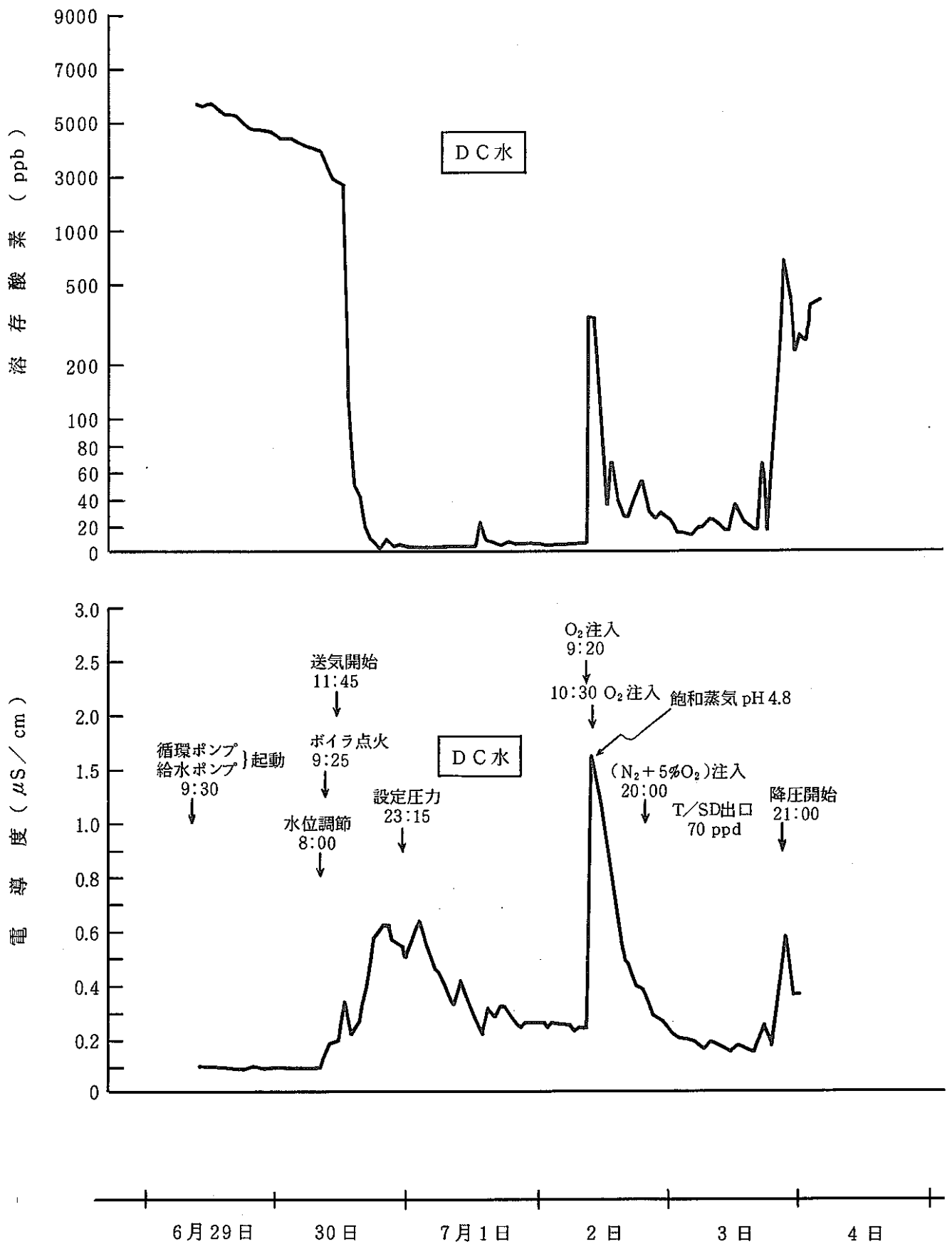


Fig. 15 第2回高温中性処理運転テストのDC水水質変化

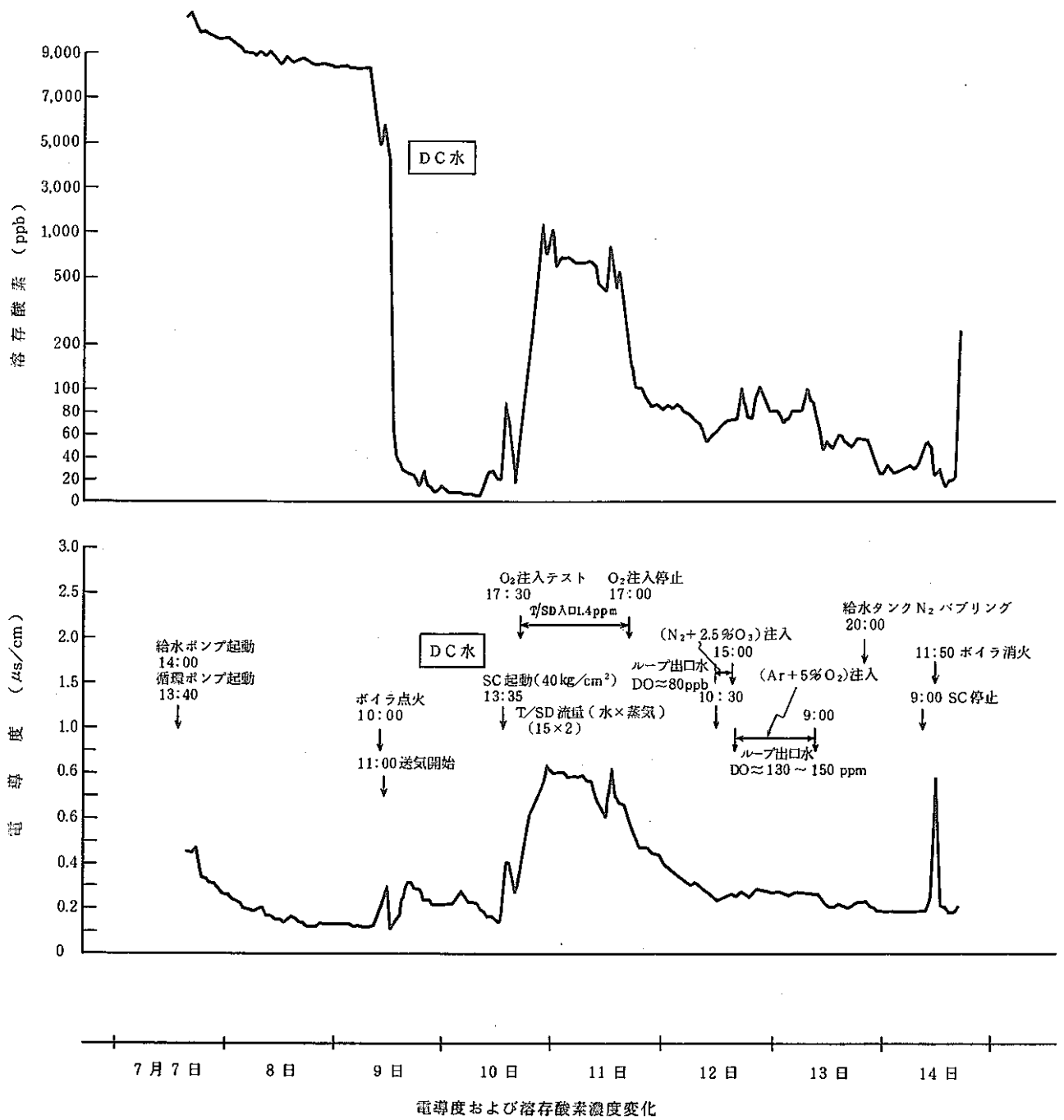


Fig 16 第3回高温中性処理運転テストのDC水水質変化

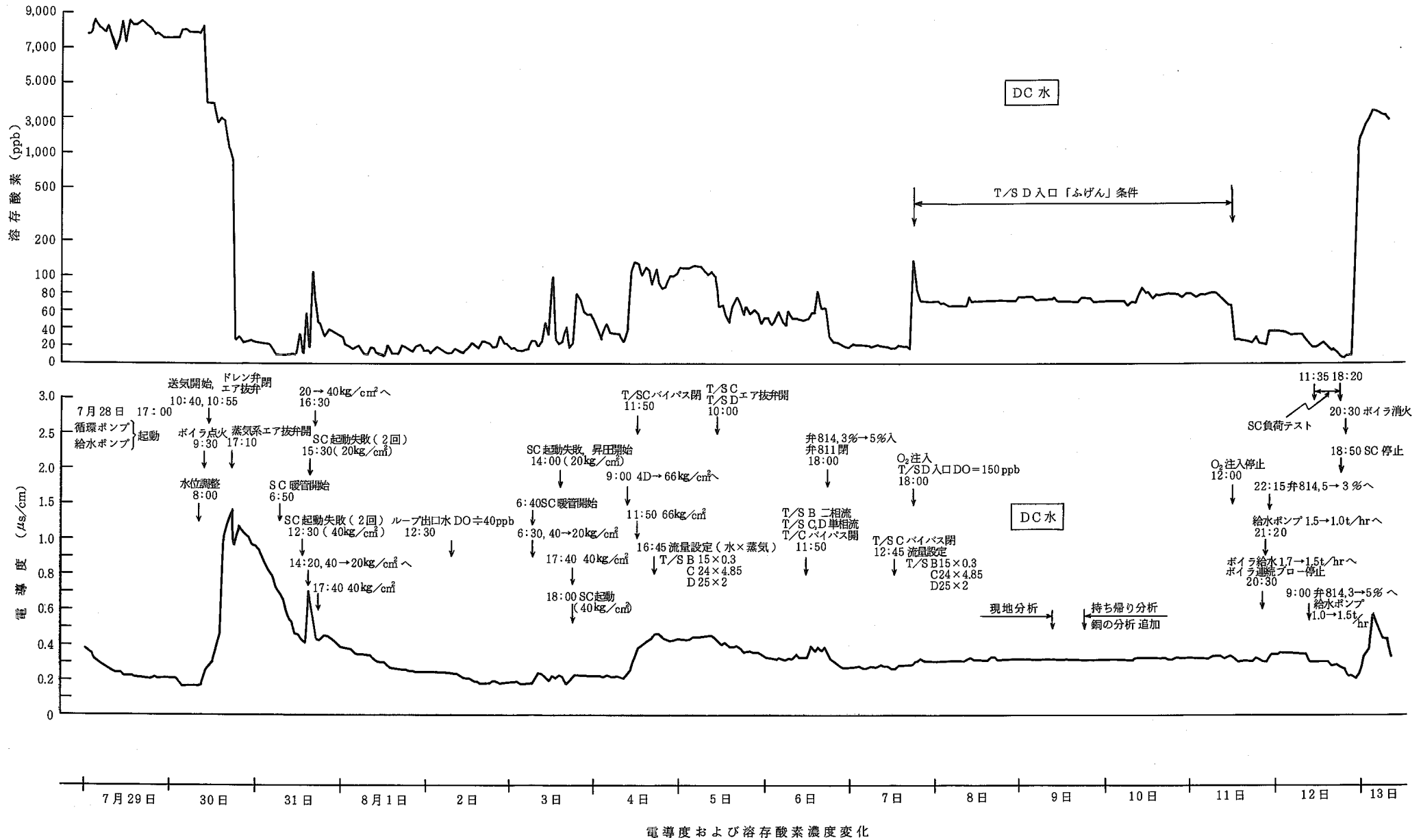
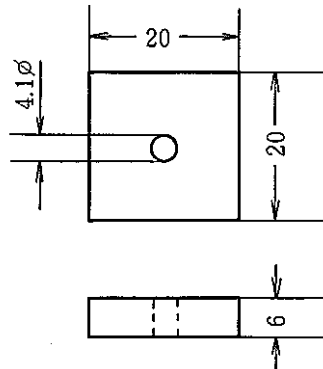
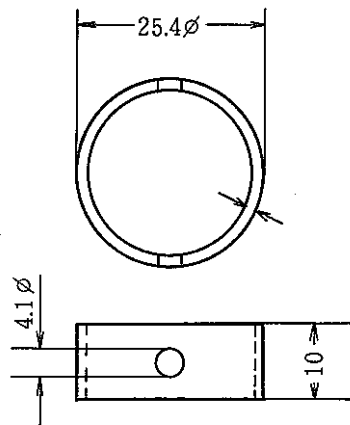


Fig 17 第4回高温中性処理運転テストのDC水水質変化

a) 鉄 (STPT 42)



b) プラス



c) 純銅

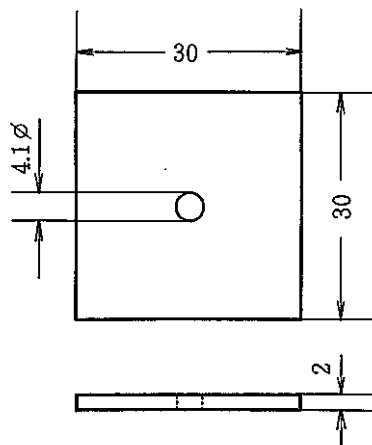
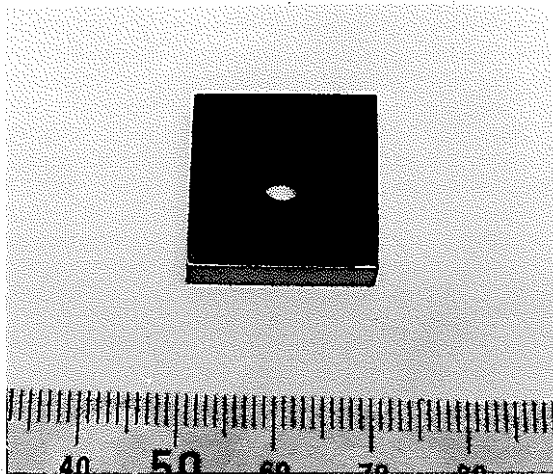
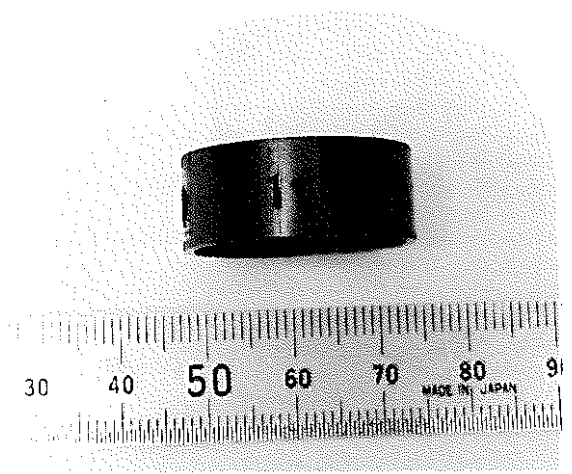


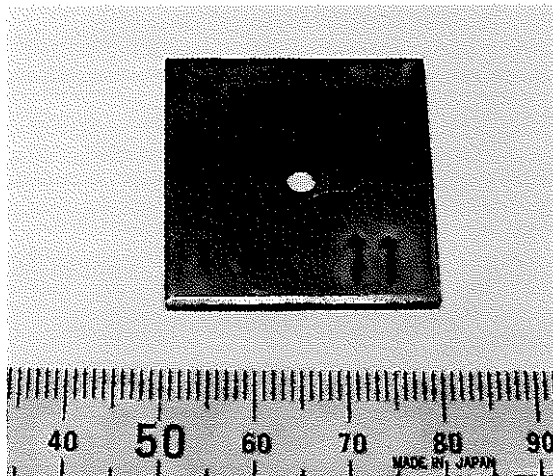
Fig.18 腐食試験片形状



a) 鉄

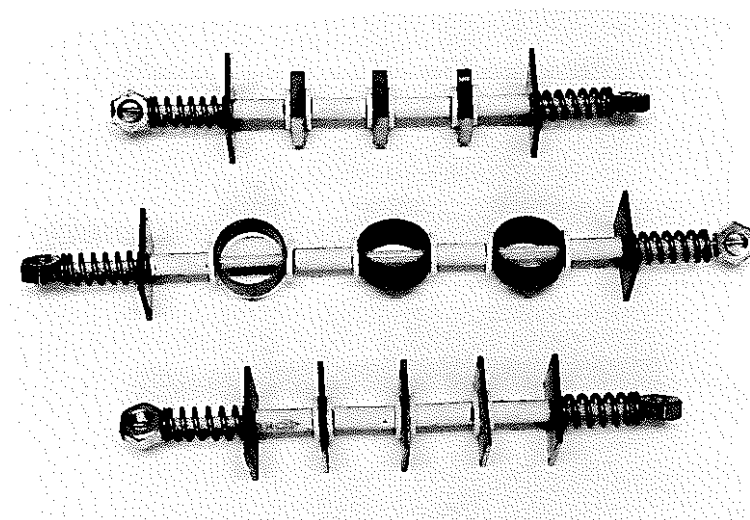


b) ブラス



c) 銅

Fig. 19 腐食試験片（試験前）



a) 鉄

b) ブラス

c) 純銅

Fig. 21 腐食試験片固定状況

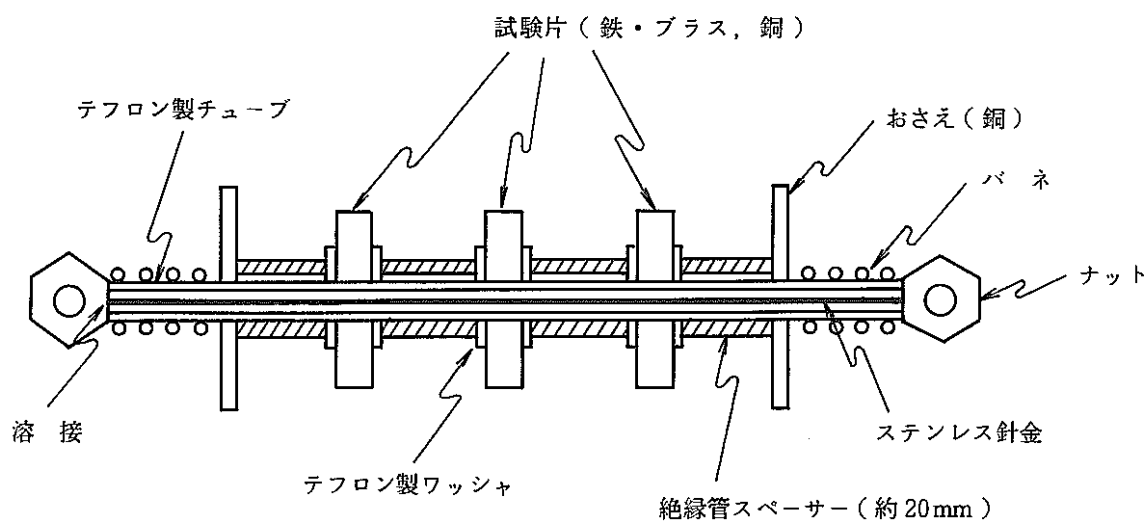
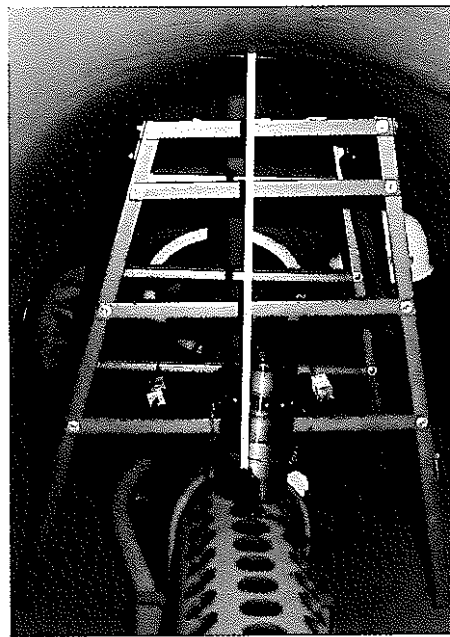


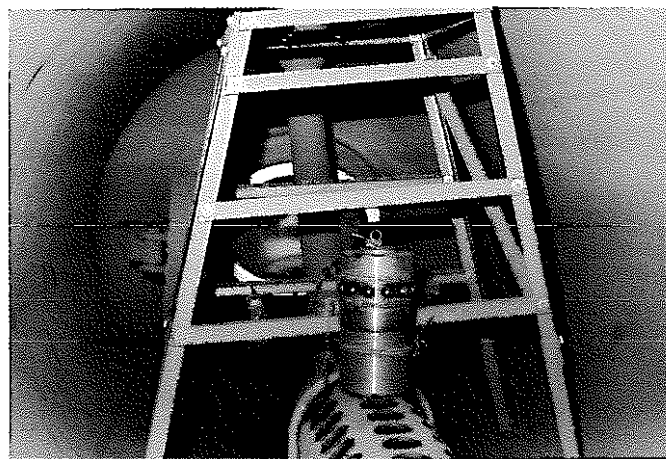
Fig.20 腐食試験片固定治具



← 蒸気側

← 水側

a) 試験前



← 蒸気側

← 水側

b) 試験後

Fig. 22 DC内の腐食試験片用架台

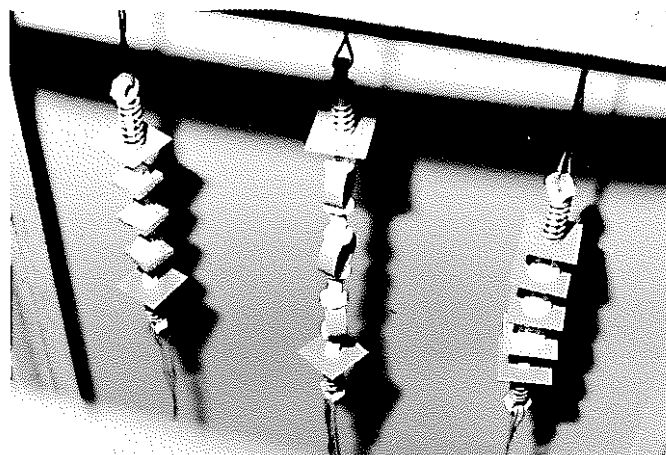
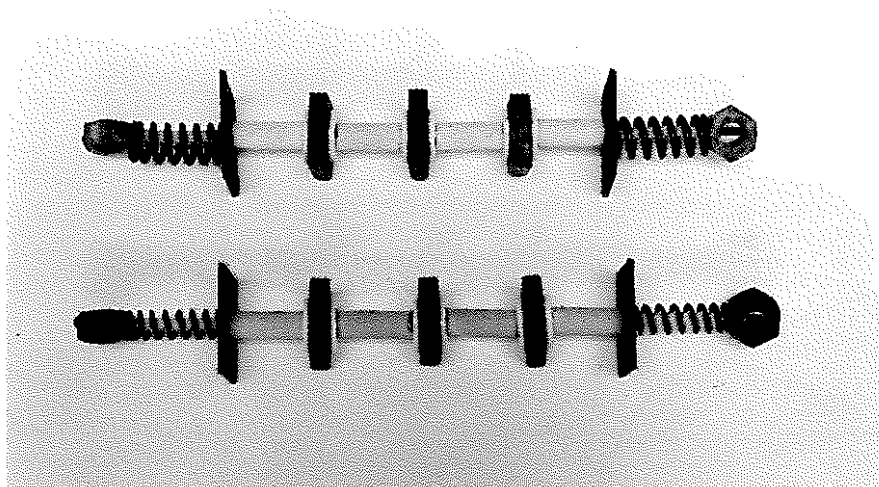
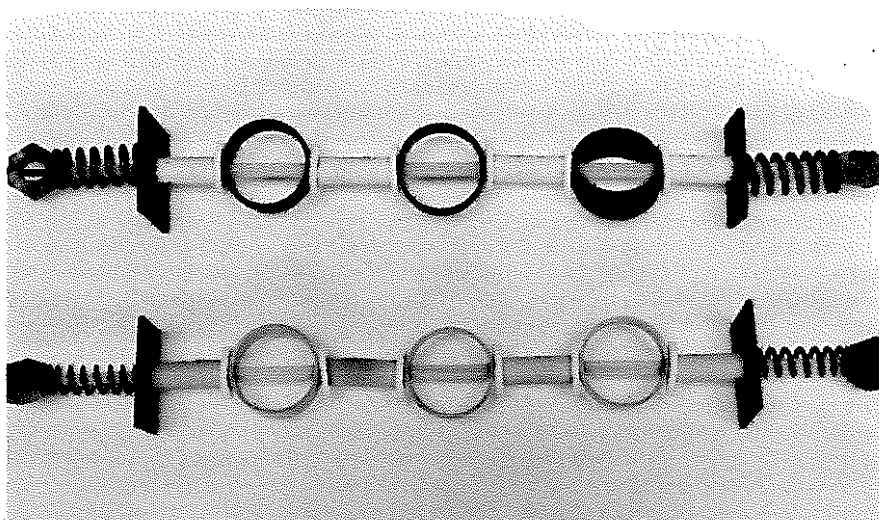


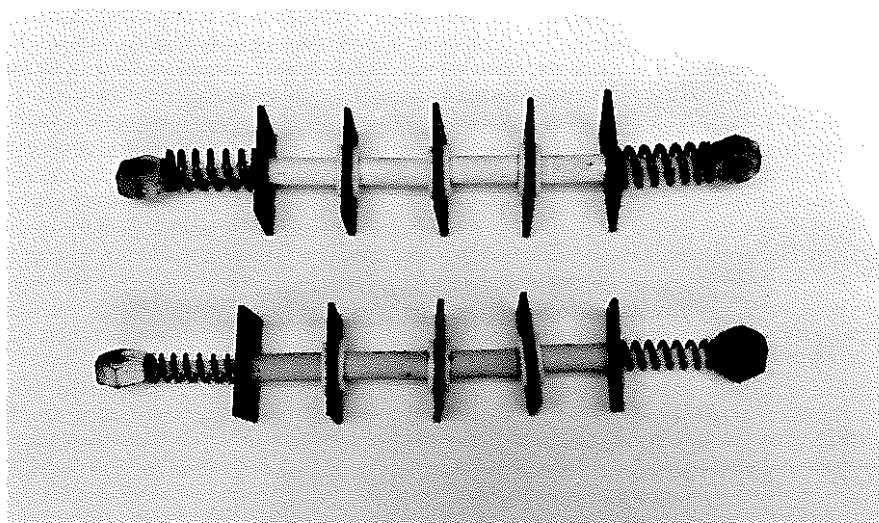
Fig. 23 腐食試験片の架台取り付け状況



a) 鉄



b) ブラス

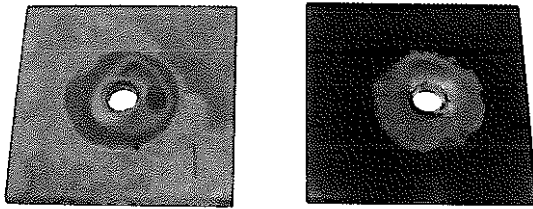
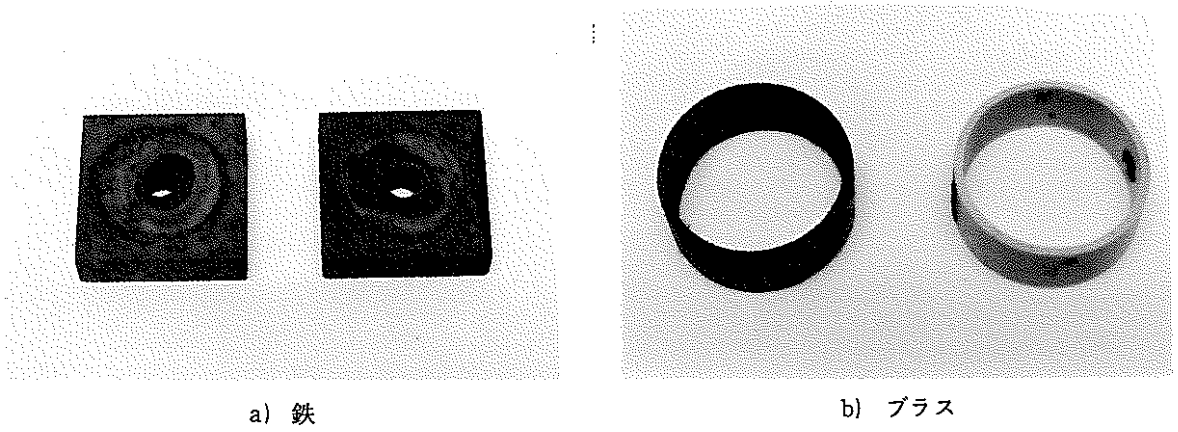


c) 銅

注) 各写真について  
上側；蒸気側  
下側；水側

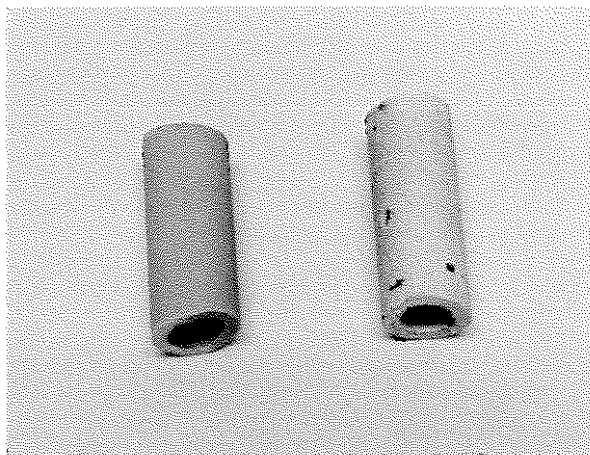
Fig. 24 腐食試験後の試験片の状況





注) 写真の左は蒸気側  
右は水側である。

Fig. 25 腐食試験片 (試験後)



写真の左側は水側  
右側は蒸気側である。

Fig. 26 腐食試験後の絶縁管

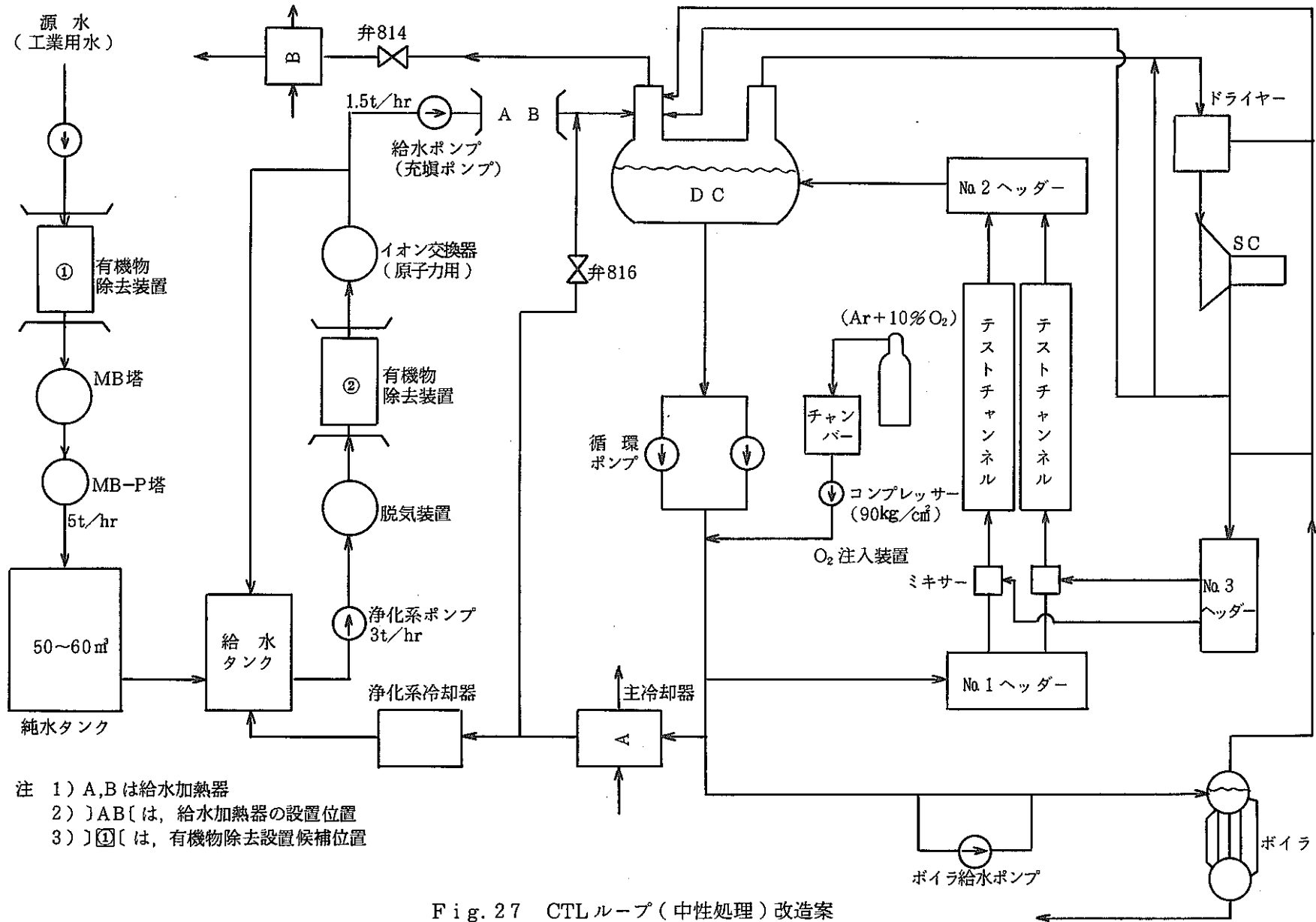


Fig. 27 CTL ループ (中性処理) 改造案