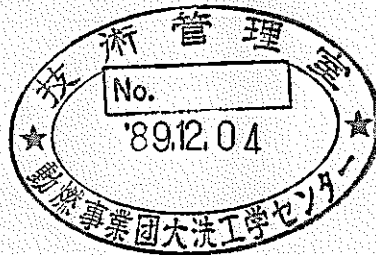


# 高速実験炉「常陽」運転経験報告書

カバーガス純度連続監視装置の運転経験



1989年8月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
T	N 9410 89-138
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  
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)

# 高速実験炉「常陽」運転経験報告書

## カバーガス純度連続監視装置の運転経験

飯島 稔*	鈴木伸也*	畠中孝司*
村上隆典*	原和之*	岩井 広*
寺門嗣夫*	堀米利元*	小沢健二*
照沼誠一*		

## 要 旨

「常陽」1次、2次系カバーガス中の不純物濃度を常時監視するため、カバーガス純度連続監視装置が設置され、今日まで運転されてきた。

これまでの運転経験をまとめると以下のとおりである。

- (1) 本装置により、カバーガス系内の異常濃度上昇を早期に察知できた。
- (2) 常時濃度監視ができるため、異常時の原因調査及び系内置換効果を観察する上で非常に役立った。
- (3) 装置の各種改造を行い、測定性能等が向上し、データの信頼性が更に高くなった。

---

\* 大洗工学センター実験炉部原子炉第1課

Operation Experience on Experimental Fast Reactor "JOYO"

Operation Experience of Cover Gas Monitoring System

M.IIJIMA\* ,S.SUZUKI\* ,T.HATAKENAKA\* ,  
T.MURAKAMI\* ,K.HARA\* ,H.IWAI\* ,  
T.TERAKADO\* ,T.HORIGOME\* ,K.OZAWA\* ,  
and S.TERUNUMA\*

Abstract

Cover gas monitoring system was installed for obtaining the information of impurities concentration in the primary and secondary cover gas on JOYO, and it has been operated to these days.

The experience results are as follows;

- (1) Increasing of impurities concentration in the cover gas were detected quickly by this system.
- (2) This system was able to detected the impurities concentration continuously, so it is very useful for investigation the cause of abnormal condition and observation the effect of cover gas purge.
- (3) This system was modified some points, consequently the measurement performance and reliability of data were advanced more than old one.

---

\* Operation Section, Experimental Reactor Division, OEC

## 目 次

1. 諸 言 .....	1
2. 装置の概要 .....	2
3. 装置の構成及び機能 .....	3
4. 装置の仕様 .....	8
5. 運転経験 .....	12
6. ま と め .....	20
7. 今後の検討及び反映事項 .....	21
8. 謝 辞 .....	22
図、表 .....	23

## 1. 諸 言

液体金属ナトリウムを冷却材とする原子炉では、ナトリウム中に溶存する不純物及びナトリウムの自由液面を覆うカバーガスアルゴン中に含有する不純物の管理が原子炉運転上重要な課題である。

ナトリウムを冷却材として使用する場合、これと接触するあらゆる容器、配管、燃料被覆管材等の腐食現象がまず問題になる。材料腐食に大きな影響を及ぼす因子は、ナトリウムの非金属不純物（酸素、水素、炭素、窒素等）の溶解度、温度勾配、質量移行等である。材料腐食を極力抑制し、原子炉を安全に運転するためには、ナトリウムを常に精製し高純度に維持すること、いわゆる純度管理が必要とされる。また、カバーガスアルゴンについても、ナトリウムの酸化、窒化等を防ぐために、含有する不純物（酸素、窒素等）の管理基準値を定め、その純度を管理することが必要である。

「常陽」における純度管理としては、コールドトラップによるナトリウムの精製、プラグング計によるナトリウム中不純物濃度（酸素等）を監視する方法、カバーガス純度連続監視装置によるカバーガスアルゴン中不純物濃度を監視する方法及び系統からナトリウム、カバーガスアルゴンをサンプリングし、分析して不純物濃度を確認する方法が行われている。

本報告書は、これら純度管理方法のうち、カバーガスアルゴン中の不純物濃度を常時監視しているカバーガス純度連続監視装置の概要及び改造経緯・測定実績等、これまでの運転経験（昭和48年から平成元年4月）についてまとめたものである。

カバーガスアルゴンのオンライン連続計測は、系統からカバーガスアルゴンをサンプリングし、分析する方法に比べ、繁雑なサンプリング操作を必要とせず、サンプリング時における試料ガス中への外部からの不純物混入（空気等）がないこと、連続計測により不純物成分及びその濃度挙動を常時監視できるので異常発生 of 早期検出、並びにその対策への速応性があるなど多くの利点を有している。

このことから「常陽」においても、1次系で昭和48年に、2次系で昭和56年にカバーガス純度連続監視装置が設置され、以来それら系統の不純物濃度監視が行われている。

## 2. 装置の概要

### 2.1 1次系カバーガス純度連続監視装置

本装置は、カバーガスアルゴン中の不純物を分離・検出するガスクロアナライザ及び検出信号の演算、サンプル採取等各種バルブの動作指令信号を出すプロセッサから構成され、前者は、格納容器内のFFD前室（R-409）に、後者は中央制御室に設置されている。したがって分析の開始、停止及びガスクロアナライザの起動、停止まですべて中央制御室にて操作できるようになっている。

炉内カバーガスアルゴンは、FFD-CG法ラインの一段オイルレス式コンプレッサの吐出配管から分岐されサンプルガス入口弁（V36.1-80）を介してガスクロアナライザへ導入される。また、キャリアガスとして使用しているアルゴンガスは、格納容器内オペレーティングフロア（R-501）に設置されている清浄アルゴンガスタンク（TK73-3）から供給されている。分析後のサンプルガスは、キャリアガスと共にFFD-CG法戻りラインを通して炉内へ戻される。カバーガスサンプリングのためのサンプルバルブ及びカラム切換バルブ等は圧縮空気駆動弁を用いており、その圧縮空気は圧縮空気供給系（TK84-2）から供給される。

高速実験炉「常陽」の純度管理関連設備概略フローシート及び1次系カバーガスアルゴンの系統図を図2.1、図2.2に示す。

### 2.2 2次系カバーガス純度連続監視装置

本装置は、カバーガスアルゴン中の不純物を分離・検出する検出測定部及び検出信号の演算、濃度表示、各種バルブ等の動作指令信号を出す計測制御表示部から構成され、主冷却機建家内2次系メンテナンス室（B）（S-414）に設置されている。

本装置で測定しているガスは、オーバフロータンク及びダンプタンク内のカバーガスアルゴンであり、それらのサンプルガスは、2次アルゴンガスサンプリング装置から分岐され導入されている。すなわち本装置の自動サンプリング部には、2系統のサンプルラインがあり、どちらを分析するかは、計測制御表示部にある切替スイッチにて任意に選択できる。分析後のガスはキャリアガスとともに建家排気ダクトへ放出されている。

キャリアガスとして用いているアルゴンガスは、高純度アルゴンガスボンベから供給され、またサンプルバルブ（6方コック）駆動用の圧縮空気は、2次アルゴンガス操作盤へ配管されている圧縮空気供給系から供給される。

2次系カバーガスアルゴンの系統図を図2.3に示す。

### 3. 装置の構成及び機能

#### 3.1 1次系カバールガス純度連続監視装置

##### (1) ガスクロアナライザ

ガスクロアナライザは、恒温槽、カラム、検出器、サンプルバルブ、カラム切替バルブ等で構成されている。

サンプルバルブにより一定間隔で自動採取されるサンプルガスは、キャリアガスによってカラムに導入され各不純物成分に分離される。その後、検出器によって各成分濃度に比例した電気信号として検出され、プロセッサにそのデータが送られる。

1次系カバールガス純度連続監視装置の概略図を図3.1に、ガスクロアナライザの外観を図3.2に示す。

##### ① 検出器

検出器は、熱伝導度検出器を採用しており、比較側流路と測定側流路をもつアルミニウム合金製で、それらの流路にフィラメントを2本ずつ挿入した構造を有している。各フィラメントには、一定の電流を流し電氣的に4本のフィラメントがブリッジを構成している。フィラメントからアルミニウム合金製ブロックへはこれらの間にある気体の熱伝導度によって決まる一定の熱量が放散され、フィラメントは一定温度を保っている。気体の種類が変わると放散される熱量が異なるためフィラメントの温度が変化する。このことからキャリアガス中の測定成分（不純物）濃度は、フィラメントの温度変化、すなわちその抵抗値変化の大きさとして測定される。

##### ② サンプルバルブ

サンプルバルブは、サンプルガスを一定の周期でカラムへ導入する圧空駆動型6方弁である。本バルブは、本体及びベロフラム部で構成され、本体はバルブシート、バルブグランド、ピニオンスリーブ等から成り、ベロフラム部はベロフラム、復帰バネ等から成っている。本バルブの構造及び配管接続図を図3.3に示す。

配管接続図において各ガスの流れは、サンプリングをしない時は円周内側の可動部が実線に示す位置にあり、キャリアガスが①→②を経てカラムに、サンプルガスが⑤→⑥→サンプル計量管→③→④の経路を流れサンプル計量管内をフラッシングする状態となっている。サンプリング時は可動部が点線のように切り換り、計量管内のガスが①→⑥→計量管→③→②の経路でキャリアガスによってカラムへ圧送される。一方、サンプルガスは、⑤→④を経てサンプルガス出口へ向うので流れは阻止されないようになっている。

##### ③ カラム

カラムは、サンプルガス中の各不純物成分を分離させるためのもので、ステンレス製のパイプにモレキュラシーブ等の充填剤を詰めたものである。各不純物成分は、充填剤との吸着



能力に差があるため、カラムへ同時に注入されても、充填剤と吸着、脱着を繰返しながら流れ、カラム出口では異った時間に流出する。

成分の分離を精度良く行うためには、対象となる成分に見合った充填剤を選定する、複数の充填剤を使用する、カラムの長さや径を変える等種々の工夫が必要となる。本装置で使用しているカラムの種類及び接続ラインに対応した各不純物成分の分離をそれぞれ表 3.1、図 3.4 に示す。

## (2) プロセッサ

プロセッサは、ガスクロアナライザから伝送された各不純物成分信号のピーク処理やデータ演算等を行い、その結果をプリントアウトするとともに記録計に送るものである。また、ガスクロアナライザにおけるコントロールセンタの役割を持っており、サンプルバルブやバックフラッシュバルブ等の駆動指令、流路切換指令といった分析シーケンスの制御及び各種情報の表示、印字、シーケンスの設定・変更操作等を行うものである。

本プロセッサは、POWER、DIO、CPU、AIO、PANEL及びPRTモジュール等で構成されている。プロセッサの外観、構成及び機能図をそれぞれ図 3.5、図 3.6、図 3.7 に示す。

以下に各モジュールの役割を記す。

### ① POWERモジュール

ロジック用の5VDC電源をマザーボードを介し各モジュールに供給するほか、プリンタへの24VDC電源及び検出器のブリッジ回路へ定電流を供給する。

### ② DIOモジュール

定められたシーケンスに基づいてアナライザ内の各電磁弁を作動させるための信号やバーグラフ記録の際は記録計に対してチャート送り用の起動及び停止信号を出力する。またアラーム接点信号を出力するほか、キャリアガス圧力低下の信号を受けて、POWERモジュールにTCDブリッジへの定電流供給を停止させるための信号を出力する。

DIOモジュールへの入力信号には、キャリアガス圧力低下等のアナライザ異常検出信号や恒温槽ヒータのON-OFF信号がある。

### ③ CPUモジュール

ROM、RAM、タイマ、マイクロプロセッサ、アドレスデコーダ、停電検出回路、ウォッチドッグタイマを持っており、各モジュール等から割込み要求を受けてその要求に対応した処理を行う。パラメータやリスト類はRAMに読込まれるが、停電に対してはバッテリーがバックアップして、このメモリの消失を防ぐ。長期の運転停止や保守等に際しては、RAMの内容をカセットテープに保存しておくことができる。

### ④ AIOモジュール

検出器からの成分濃度信号を受け、この入力信号を可変ゲイン増幅器で適当な信号レベル

に増幅した後、A/D変換を行う。そして記録計にペン用1点、打点用6点のアナログ信号を出力する。

⑤ PANELモジュール

シーケンスのステータスやプロセスの運転モード等が表示される。また、キー操作により、各種情報の表示やエントリを行うことができる。

⑥ PRTモジュール

パラメータやリスト類をプリントアウトする。

⑦ ADOモジュール

演算データを入出力の絶縁されたアナログ信号として外部に伝送する。

(3) 記録計

記録計は、プロセッサからの各測定成分濃度信号を受け、チャートに記録するものであり、打点、クロマトグラム及びバーグラフの3通りの記録方式が可能である。

標準ガスを用いてのキャリブレーション時には、各成分ピークの分離状態や繰返し測定時の再現性を見るためクロマトグラム又はバーグラフ記録方式を用いる。また、サンプルガスの連続測定時には、打点記録方式とし各成分ごとの配色を変え、濃度変化を見易くしている。なお、クロマトグラムとバーグラフの切替えはプロセッサ側のスイッチで、クロマトグラムと打点方式の切替えは記録計内にあるレバーによって行われる。

それぞれの記録例を図3.8に示す。

### 3.2 2次系カバースガス純度連続監視装置

#### (1) 検出測定部

検出測定部は、ガスクロマトグラフ（カラム、検出器、恒温槽等）、サンプリングコック及びプリアンプ等から構成されている。

サンプリングコックにより一定間隔で自動採取されるサンプルガスは、キャリアガスによってカラムへ導入され各不純物成分に分離される。その後、検出器により各成分濃度に比例した電気信号として検出され、プリアンプにて増幅されて計測制御表示部へ送られる。

2次系カバースガス純度連続監視装置のブロックダイアグラム及び検出測定部フローシートを図3.9、図3.10に示す。

##### ① 検出器

検出器は、熱伝導度検出器であり、タングステンレニウムフィラメント4素子構成の半拡散形を採用している。成分検出機能については、1次系の検出器と同様である。

本検出器には、フィラメントに電流を供給するための直流定電圧部と検出器恒温槽ヒータ制御部が設けられている。

##### ② サンプリングコック

サンプリングコックは、サンプルガスを一定の周期でカラムへ導入する圧空駆動型6方弁である。弁の構造及びサンプリング動作等は、1次系装置のサンプルバルブとはほぼ同様である。

##### ③ カラム

カラムの概要、機能については、1次系装置で述べたとおりである。2次系では、モレキュラシーブ（MS-5A）を充填した2mのものと活性炭を充填した1mのものを装備している。前者では、サンプルガス中の $H_2$ 、 $O_2$ 、 $N_2$ 、 $CH_4$ 、 $CO$ を、後者では $CO_2$ を分離している。

##### ④ プリアンプ

プリアンプは、検出器からの電圧信号を増幅しSN比を増大させるために用いられている。プリアンプで信号を増幅することによって、検出器のフィラメント電流を低下させることが可能となり、その結果、フィラメントの寿命を延ばすことができる。

#### (2) 計測制御表示部

計測制御表示部は、データ処理装置、CPU、CRT、記録計等から構成されている。

検出測定部から伝送された検出信号は、データ処理装置にて面積計算及び濃度計算（ppm）される。この計算データは、デジタル通信回路でCPUに伝送され、CRT上に表示されるとともに記録計に打点記録される。なお、分析値が警報濃度設定値よりも高い場合には、CRT上に異常表示し警報音を発するようになっている。

① データ処理装置

データ処理装置は、検出器からの信号を受け、各成分ピークの検知及び面積計算、濃度計算を行う。また、連続測定やキャリブレーション等の各種プログラムを実行し、サンプリングコックや各種バルブ切替等の測定シーケンスのコントロールを行っている。

本装置には、クロマトグラム及びピーク面積値、リテンションタイム、濃度等を印字するプリンタが装備されており、これらのデータを任意に出力することができる。プリンタの出力例を図 3.1 1 に示す。

② CPU

CPUは、データ処理装置から送られてくる濃度計算結果を表示プログラムに基づきCRT及び打点記録計に出力する。

表示プログラムは対話形式で分析元素ごとに警報濃度設定及び記録計スパン（濃度表示範囲）をキー入力で任意に設定できる。分析値が警報設定を超えた場合の検知もCPUが行っており、その場合CRT上に表示すると同時に警報ブザーによって異常を知らせる。

CRT表示の例を図 3.1 2 に示す。また、検出部、計測制御表示部の装置全体図を図 3.1 3 に示す。

## 4. 装置の仕様

本仕様は、1次系、2次系ともに平成元年4月現在、使用している装置のものである。

### 4.1 1次系カバーガス純度連続監視装置

#### (1) 総合仕様

- ① 測定対象 : ガス
- ② 測定原理 : 吸着剤による成分分離方式
- ③ 検出器 : 熱伝導度検出器
- ④ 測定成分数 : 5成分 (He, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>)
- ⑤ 測定流路 : サンプル …… 1流路  
標準ガス …… 1流路
- ⑥ サンプル圧力: 0.5～0.6 kg/cm<sup>2</sup> (FFD-CG法コンプレッサ吐出圧)
- ⑦ サンプル容量: 5 cc (サンプルバルブ内計量管容量)
- ⑧ キャリアガス: アルゴンガス (アルゴンガス供給系より)
- ⑨ 測定周期 : 15分
- ⑩ データ出力 : 記録計, プリンタ

#### (2) ガスクロアナライザ …… 横河電機製作所製

- ① 型式 : 8111
- ② 恒温槽温度 : 66℃
- ③ 温度制御精度: ±0.05℃
- ④ ヒータ容量 : 250W
- ⑤ 試料導入方法: 遠隔自動導入
- ⑥ 周囲温度 : -25～45℃
- ⑦ 検出器  
 フィラメント抵抗: 約18Ω (常温)  
 フィラメント電流: 140mA  
 ノイズ : 30μV以下  
 温度の影響 : 30μV/℃  
 ドリフト : ±20μV/day  
 応答性 : 1.1 sec

#### (2) プロセッサ …… 横河電機製作所製

- ① 型式 : GC6P
- ② ピーク処理 : 面積積分方式

- ③ ピーク検知 : スローブ検知方式
- ④ 波形処理 : 不完全分離 ..... 垂直分割法  
テーリング上ピーク ..... タンジェントスキム法
- ⑤ 測定シーケンス : 種類 ..... 2種類設定可能  
時間 ..... 0～3600秒(0.1秒刻みで設定可能)  
項目 ..... サンプルバルブ等の各種バルブ切換, ゲートON-OFF, オートゼロ, 流路切換
- ⑥ キャリブレーション: 半自動方式 ..... キー操作により随時実施  
自動方式 ..... 指定回数測定後, 自動的に実施
- ⑦ メモリの保存 : 短期停電 ..... 内蔵バッテリーにて3ヶ月間保存  
長期停電 ..... カセットテープに保存(セーブ/ロード機構有り)
- ⑧ 異常検出 : アナライザ異常 ..... リテンションタイム, キャリブレーション繰返し性, 校正係数, ベースライン, キャリアガス圧力低等。  
成分濃度異常 ..... 上下限モニタリング(ランプ及びプリントアウト)
- ⑨ 記録計用出力 : クロマトグラム, バーグラフ, 打点トレンド
- (4) 記録計 ..... 横河電機製作所製
- ① 測定範囲: 3mV-25Vスパン
- ② 精度: スパンの±0.5%
- ③ 不感帯: スパンの0.1%
- ④ 記録速度: 12.5, 25, 50mm/min及びmm/hr
- ⑤ 打点間隔: 5秒
- ⑥ 記録紙: 带状折りたたみ, 全幅200mm

#### 4.2 2次系カバースト純度連続監視装置

##### (1) 総合仕様

- ① 測定対象 : ガス
- ② 測定原理 : 吸着剤による成分分離方式
- ③ 検出器 : 熱伝導度検出器
- ④ 測定成分数 : 6成分(H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>)
- ⑤ 測定流路 : サンプル ..... 2流路(D/T, OF/T)  
標準ガス ..... 1流路
- ⑥ サンプル圧力: 0.2～0.3kg/cm<sup>2</sup>

- ⑦ サンプル容量：3 cc (サンプリングコック内計量管容量)
  - ⑧ キャリアガス：アルゴンガス (純度99.999%以上のボンベ使用)
  - ⑨ 測定周期：10分 (10～60分, 任意設定可能)
  - ⑩ データ出力：プリンタ, CRTでのデジタル表示, 記録計でのアナログ表示
- (2) ガスクロマトグラフ (カラム, 恒温槽等含む) …………… 島津製作所製
- ① 型式：GC-14A
  - ② 恒温槽制御方式：強制熱風循環方式
  - ③ 制御温度範囲：室温～400℃
  - ④ 測定時温度：80℃
  - ⑤ 温調精度：±0.1℃
  - ⑥ カラム：ステンレススティール製コイル状カラム (2本)
  - ⑦ 試料導入方式：遠隔自動導入
- (3) 検出器 …………… 島津製作所製
- ① 型式：TCD-4C
  - ② 恒温槽温度：80℃
  - ③ 温調精度：±0.1℃以下
  - ④ セルブロック：ステンレススティール製
  - ⑤ フィラメント：タングステンレニウム製, 100Ω×4本
  - ⑥ フィラメント電流：80mA (0～200mA可変)
- (4) プリアンプ …………… 島津製作所製
- ① 型式：AMP-7B
  - ② 増幅度：10倍
  - ③ 方式：チョッピング方式
  - ④ ドリフト：1μV/hr以下 (室温一定)
  - ⑤ ノイズ：1μV (入力短絡)
- (5) データ処理装置 …………… 島津製作所製
- ① 型式：C-R5A
  - ② 処理ピーク数：最大4000ピーク
  - ③ 処理ピーク幅：最小0.04 sec
  - ④ ピーク面積：9ケタ (～999,999.99μV・sec)
  - ⑤ 積分感度：0.1μV・sec
  - ⑥ 記録方式：感熱式プリンタプロッタ (クロマトグラム, 面積値等)
  - ⑦ ペンスピード：クロマトグラムに追従, 42文字/sec

(6) 表示装置

- ① CPU : PC9801UV11 (NEC)
- ② CRT : PC-KD854 (NEC)
- ③ インターフェース : RS232C(PC-15) (NEC)
- ④ D/Aボード : DA12-4 (コンテック)  
DA12-2
- ⑤ 記録計 :  $\mu$ R180 (YEW)
- ⑥ 記録計スパン : 0～最大6ケタppm (任意設定可能)
- ⑦ 警報設定 : 0～最大6ケタppm (任意設定可能)
- ⑧ 濃度表示 : H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub> の6成分をCRTにデジタル表示  
記録計 $\mu$ R180にアナログ表示



## 5. 運 転 経 験

「常陽」1次、2次系カバーガス純度連続監視装置の運転経験として、それぞれの装置の設置、各種改造経緯及びこれまでの測定実績について述べる。図5.1に改造経過を示す。

### 5.1 1次系カバーガス純度連続監視装置

#### (1) 設 置

本装置は、昭和48年にカバーガス中の $H_2$ 、 $N_2$ 成分濃度の連続監視用としてFFD-CG法ラインに設置された。

装置の測定性能(検出下限)は、 $H_2$ で3~4 ppm、 $N_2$ で100 ppm程度であり、特に $N_2$ についての感度が鈍いものであった。これは、装置自体の性能の問題ではなく、測定後のサンプルガスを含むキャリアガス排気ラインが燃取廃ガス系に接続されていたため、圧力変動を直接受け、ベースラインが変動していたことが原因と考えられる。(通常、ガスクロ装置の排ガスは、大気へ放出されるが、放射性ガスを含む1次系ガスであるため、本装置では、廃ガス系に排気していた)なお、 $H_2$ については、 $N_2$ に比べ数10倍測定感度が高いため、ベースライン変動に影響されず、現在と同様の検出下限が得られたものとする。

測定データの出力は、濃度変化を観るための打点記録計のみであり、デジタル値(ppm)を表示するプリンタは、装着されていなかった。

#### (2) 改造経緯

##### ① 装置更新・測定成分の増加(昭和57年12月)

###### ② 問 題 点:(イ) 装置の旧式化。

(ロ) 測定成分数が少ない。

(ハ) 廃ガス系の圧力変動を受けベースラインが不安定である。

(ニ) データ出力が記録計のみであり濃度値が読めない。

- ③ 対策及び結果:(イ) 既設のアナライザ及びプロセッサを撤去し、新規の機器をそれぞれ設置した。なお、中央制御室から現場(R-409)までの配線やサンプルガス出入口配管等は、既設をそのまま使用した。
- (ロ) 成分分離用カラムの変更及び追加により $H_2$ 、 $N_2$ の2成分測定から、 $H_2$ 、 $N_2$ 、 $O_2$ 、 $CH_4$ 、 $CO$ 、 $CO_2$ の6成分測定とした。なお、この6成分はカバーガス中不純物の純度管理成分(サンプリング—分析法)に指定されているものである。
- (ハ) 装置からの排出ガス(測定後のサンプルガス、キャリアガス等)ラインを燃取廃ガス系から、常時ほぼ大気圧に近いFFD-CG法の炉容器への戻りラインへ接続した。これにより、 $N_2$ の検出下限は100

ppmから60 ppmとなり、装置の仕様（測定レンジ0～3000 ppmフルスケールの2%）通りとなった。

(二) 打点記録計の他に、プロセッサで演算された濃度値(ppm)をデジタル表示できるようプリンタを装備した。これにより、濃度変化を数字で読み取ることができ、また、仮に測定レンジを超え、記録計上でスケールオーバーするような濃度が検出されてもその値を確認することができるようになった。

上記改良点の他に、装置更新に伴い、成分濃度異常(上限)警報や機器異常表示等のアラーム機能を設け、異常を早期発見できるようにした。また、ガスクロアナライザの較正方法に、標準ガスを用いた自動校正方式を採用したことにより省力化も計れた。

② H<sub>2</sub>とHeの分離(昭和62年2月)

① 問題点：MK-II炉心移行により制御棒が密閉型からベント型に変更された。これに伴い、制御棒内の封入ヘリウムの放出及び中性子吸収材のボロンと中性子との反応から生成されるヘリウムによりカバーガス中に多量のヘリウムが存在するようになった(昭和57年以降、濃度……数100 ppm)。ところがこれまでのカラムではH<sub>2</sub>とHeの分離ができず同一ピークとして検出されてしまうため、H<sub>2</sub>の濃度監視に悪影響を及ぼしていた。

② 対策及び結果：カラム本数の増加及びカラム長さの変更(H<sub>2</sub>, He分離用カラムで5倍以上長くした)により、H<sub>2</sub>とHeを精度良く分離・定量できるようになった。

ただし、カラム長さの延長に伴い、各成分の検出時間が長くなったため、測定周期がこれまでの7.5分から15分と長くなった。なお、改造前の測定成分は、H<sub>2</sub>(+He), O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>の6成分であったが、本改造後は、H<sub>2</sub>, He, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>の5成分となり、CO, CO<sub>2</sub>が削除された。これは、CO, CO<sub>2</sub>を検出するために、更に数倍の時間が必要となり異常の早期検出に支障を来たすこと及びこれまで1度も検出された実績がないこと等によるものである。

③ サンプリングガス量の一定化(昭和63年12月)

① 問題点：本装置のサンプリングシステムでは、FFD-CG法ラインのガスを分岐して導入していることからCG法コンプレッサのガス圧変動の影響を受ける上に、サンプルガスが放射化しているためサンプリング後のガス量一定化のための大気圧バランス操作が行えない。このため、一定量のガスサンプリングができず測定データのバラツキが大きいものであった。

また、サンプリング出口ラインがCG法コンプレッサの吸込側に接続されていることから負圧の影響を受け、規定量のサンプリングができず測定感度が鈍くなっていた。

- ⑥ 対策及び結果：サンプリング出入口ラインへの電磁弁の追加及びバッファタンク、ポリウムコイルを新たに取り付けた。なお、出口側電磁弁には3方弁を用い、サンプリング終了時に、通常のコンプレッサ吸込側ラインから本装置排出ガス（キャリアガス、検出器出口ガス等）ラインに切換え、負圧の影響を受けないようにした。

その結果、測定データのバラツキは改造前の約1/4に減少し、また、測定感度は、約1.8倍向上した。

改造前後のデータ比較表を表5.1に示す。

## 5.2 2次系カバーガス純度連続監視装置

### (1) 設 置

本装置は、昭和55年2月に当時のナトリウム技術部ナトリウム分析室（現実験炉部技術課Na分析グループ）にて設計・製作されたものである。その後、約1年間Na分析グループにて装置動作性能、各種測定パラメータ、耐久性等の試験が行われ、昭和56年2月に「常陽」2次カバーガス系へ移設された。この装置は昭和63年12月まで稼動したが、旧式化と故障が多くなってきたことから、新装置に更新された。

### (2) 改造経緯

#### ① 電源の無停電化（昭和60年6月）

- ㉑ 問題点：本装置の電源は、一般系電源（3A P/C動力盤）から供給されていた。このため、停電時はもちろんのこと、瞬停が発生しても装置が一旦停止し、復電と共にハード機器類は起動するが測定プログラムが自動起動しないので連続測定が再開されない状態となってしまう。また、測定の開始操作がやや複雑であるため、担当者がいない場合には測定開始できない等、連続監視に支障をきたしていた。

- ㉒ 対策及び結果：装置の電源を一般系電源から無停電系電源（補助電源インバータ盤）供給に変更した。

その結果、停電、瞬停が発生しても装置は止らず常時連続測定、監視できるようになった。なお、本装置を設置している専用室（ガスクロ室）の電灯及びエアコンについては、これまでどおり一般系より供給している。

#### ② ディスク装置の交換（昭和62年3月）

- ㉑ 問題点：本装置のプログラム、データ記憶用ディスクには、カートリッジ型（非密閉型）の磁気ディスク装置を使用していた。このため、室内雰囲気ほこり等による影響から昭和58年と昭和59年にヘッドクラッシュを生じ磁気ディスクが破損するという現象が発生した。したがって、ヘッド部修復までの間（2回とも約数ヶ月間）は、カバーガスの測定、純度連続監視ができない状態となった。

- ㉒ 対策及び結果：ディスク装置をカートリッジ型磁気ディスクから密閉型固定ディスク（ディスクサブシステム）に交換した。

その結果、ほこり等による影響がなくなり、磁気ディスク破損現象が発生しなくなった。

#### ③ サンプリングコックの交換（昭和63年8月）

- ㉑ 問題点：サンプルガスの自動サンプリングを行っているサンプリングコック（計量管付6方バルブ）は、モータ駆動方式であり、コック軸とモータ軸を専用の治具で接続し、モータの回転力によってコックを回転させるものである。

ところが、この軸接続部の耐久性が乏しく、長期間連続使用していると接続部がずれ、流路閉塞等を引き起こし、ガスサンプリングできないという現象がたびたび発生した。

- ⑤ 対策及び効果：サンプリングコックをモータ駆動方式から圧縮空気駆動方式のものに交換した。圧縮空気駆動用コックは、圧縮空気の給排気によりコック軸を上下させ流路切換えを行うものであり、1次系装置でも使用しており耐久性に優れているという実績がある。

サンプリングコック交換後は、流路閉塞等の不具合が発生しなくなった。

#### ④ 計測装置の更新

- ② 問題点：昭和55年2月に製作されて以来ほぼ連続的に使用され、昭和63年8月のサンプリングコックの不良発生後、引き続いて表示装置に故障が発生した。すでに装置が旧式化し、経年劣化による性能低下及び故障が多くなり連続監視に支障をきたすようになった。また本装置は、サンプルガスをカバーガスと大気の圧力差によって導入することから、カバーガス圧力をメンテナンスのため極低圧(数10mmH<sub>2</sub>O)に維持する状況では、サンプルガスが流れず測定が困難であった。このため、系内への不純物混入の発生確率が高く、監視機能が最も要求される時に、その機能を十分に発揮できなかった。

- ⑥ 対策及び効果：平成元年3月に新しいガスクロマトグラフ、パソコン、記録計からなる計測制御表示装置に交換した。

新装置はICカードによるプログラム方式のデータ処理装置が用いられ、表示装置にはパソコンが使用されている。データ処理装置とパソコン間はデジタル回線で結ばれ、測定結果をCRT及び記録計に出力する。

また、ICカードによるプログラム方式によって分析頻度の変更や校正をカードの交換と簡単なキー操作で行えるほか、パソコンの導入によって記録計のスパン及び警報濃度設定を任意に変更できるようになった。これらによって、操作性の向上と不純物濃度変化に応じたきめ細かな純度監視が可能になった。さらに、サンプルガスの導入部にポンプを追加し、カバーガス系低圧運転中でもポンプによる吸引でサンプルガスを正常に流せ、監視機能を確保できるようにした。

### 5.3 測定実績

1次、2次系カバーガス純度連続監視装置をそれぞれの系に設置してからの主な不純物濃度変動時の測定実績を以下に示す。

## (1) 原子炉運転サイクル時の不純物成分濃度推移

## ① 1次系

1次系カバーガス中で常時検出されている成分は $N_2$ 、 $He$ である。 $N_2$ は通常100 ppm程度であるが、燃料交換作業時に若干の空気が混入するためか300~400 ppmに上昇し、その後減少傾向となり、原子炉運転開始後40~50日で通常値の100 ppm程度となる。

また、 $He$ は、制御棒中性子吸収材のボロンと中性子との反応により生成されるため、原子炉起動後上昇し約300 ppmをピークにして減少傾向となり、次の原子炉起動前までには数10 ppmに低下する。

他の成分としては、 $H_2$ 、 $CH_4$ が燃料交換から原子炉起動後20日間程度検出されている。これは燃料交換作業におけるグリッパ洗浄後の残留アルコール分が炉内に持ち込まれ、高温 $Na$ と反応し生成するものと考えられる。

なお、本現象は、原子炉運転サイクルごとに発生しており、その濃度変化もほぼ同様である。

代表的な濃度推移を図5.2に示す。

## ② 2次系

2次系カバーガス中で常時検出されている成分は、 $H_2$ 、 $N_2$ であり、その濃度は $H_2$ で1~2 ppm、 $N_2$ で10~20 ppmと非常に低く、よく純度管理されている。

(2) 1次系での $H_2$ 、 $N_2$ の増加(昭和56年3月)

㉑ 現象：昭和56年3月9日、本装置の点検、調整を終了(「常陽」第2回定検時)し、カバーガスの連続測定を開始したところ、 $N_2$ 濃度指示が25,000~30,000 ppmであった。また、定検後の原子炉出力上昇に伴い $H_2$ 濃度が増加し、最大313 ppmを指示した。

㉒ 原因： $N_2$ ガスが単体で炉内に混入することは考えられないため、おそらく定検中の何らかの作業で空気が混入したものと推定された。 $O_2$ が検出されないのは、炉内 $Na$ と反応してしまい、ガス層には存在しないためと考えられる。

また、 $H_2$ は通常の出力上昇時にも燃交の際の残留アルコール分の影響で約100 ppm程度までは上昇することがわかっている。しかし、その3倍もの値が検出されたのは、 $N_2$ 濃度から推察し、大量の空気が炉内に混入したものと思われ、その空気中の水分による影響と考えられた。

㉓ 対策：炉容器内カバーガスを清浄 $Ar$ ガスにて2回置換した。またダンプタンク及びオーバフロータンク内カバーガスをそれぞれ1回置換した。その結果、 $N_2$ 濃度は、約700~1,000 ppm程度に低下した。

また、 $H_2$ についても、原子炉出力上昇時の313 ppmをピークにし、その後はカバーガス呼吸効果によって約4日後に10 ppm以下となった。

本事象時の $N_2$ 、 $H_2$ 濃度推移を図5.3に示す。

(3) 1次、2次系での $N_2$ の増加(昭和57年9月)

- ㉑ 現象：昭和57年9月9日、Arガス系点検終了直後から2次系の $N_2$ 濃度が急上昇し最大850ppmを指示した。また、1次系でも装置の点検・調整を終え、起動したところ900~1,000ppmと高い値を示した。
- ㉒ 原因：本事象は1、2次系とも同時期に同様な $N_2$ 濃度上昇がみられたこと、また、2次系にて清浄Arガス置換を行っても殆ど濃度低下がみられなかったこと等から、9月7日から9日にかけて行われたArガス供給系点検時にArタンク内へ空気が混入したためと推定された。
- ㉓ 対策：2次カバーガス系内の清浄Arガス置換を行ったが効果なく、また、上記の様に $N_2$ 濃度上昇の原因が供給Arタンク側と推定されたため、1、2次系とも供給タンク内の純度回復を待つこととした。

1次系では、測定開始時に最大濃度を示し、その後、徐々に減少してゆき10月6日には約100~200ppmと正常値に回復した。また、2次系でも9月22日まで800ppmを指示していたが、その後徐々に減少し3週間後には約20ppmとなった。

本事象時の $N_2$ 濃度推移を図5.4に示す。

(4) 1次系での $N_2$ の増加(昭和59年11月)

- ㉑ 現象：昭和59年11月3日、 $N_2$ 濃度が急上昇し11月6日に最高値6,100ppmを指示した。その後、増減を繰り返し11月21日から23日には4,500~5,000ppmでほぼ安定した。
- ㉒ 原因： $N_2$ 濃度上昇直前から炉内での燃料交換作業が開始されていることから、本作業によるものと推定された。
- ㉓ 対策：炉容器カバーガスの清浄Arガス置換を2回実施し、約1,500ppmに低下した。その後、カバーガス呼吸効果により減少傾向となり、2週間後には約200ppmとなった。

本事象時の $N_2$ 濃度推移を図5.5に示す。

(5) 2次系での $H_2$ 、 $N_2$ の増加(昭和62年6月)

- ㉑ 現象：第6回定検中の昭和62年6月14日、2次カバーガス系通常運転復帰に伴い、装置を起動し連続測定を開始したところ、 $H_2$ で325ppm、 $N_2$ で490ppmと高値を示した。
- ㉒ 原因：定検作業中であったことから、定検時の何らかの作業で系内に空気が混入したものと推定された。
- ㉓ 対策：ダンプタンクを隔離状態とし、タンク内カバーガスの真空・清浄Arガス置換を2

回実施した。その結果、 $N_2$ は5～10 ppmに低下し、その後も安定した。しかし、 $H_2$ については一旦20 ppmまで低下したが、その後2日間再上昇し80 ppmとなった。これは、Na中に溶け込んだ $H_2$ がカバーガス中へ移行したためと考えられた。その後は、カバーガス呼吸効果により減少傾向を示した。本事象時の $H_2$ 、 $N_2$ 濃度推移を図5.6に示す。



## 6. ま と め

「常陽」1次、2次カバーガス中の不純物濃度を常時監視するため、それぞれの系にカバーガス純度連続監視装置が設置され、今日まで運転されてきた。

これまでの運転経験をまとめると以下のとおりである。

- (1) 本装置により、カバーガス系内の異常濃度上昇を早期に察知できた。
- (2) 異常発生後の系内Ar置換対策時においても、常時濃度変化が監視でき、置換の効果を定量的に確認できた。
- (3) 濃度変化した不純物成分名とその濃度推移を常時監視でき、系内への混入物質調査に役立った。
- (4) 本装置の各種改造を行い、測定性能及び耐久性等が向上しデータの信頼性が高くなった。
- (5) 不純物の混入は、燃料交換作業によるものを除くとナトリウム配管、カバーガス配管のバウンダリ開放や真空引きを伴う作業時に発生しており、それらのほとんどは定検期間に集中している。特に、液体Arタンク開放点検後は十分にパージを行う必要がある。
- (6) カバーガス中への不純物(空気)混入は、 $N_2$ 濃度の上昇として顕著に検出される。 $O_2$ 濃度は、酸素がNaとすみやかに反応してしまうためか、有為な変化を示さないことが多い。

## 7. 今後の検討及び反映事項

装置設置以来、各種の改造を行い測定性能、耐久性等の向上に努めてきたが、今後更に信頼性の高いデータが得られるよう検討していかなければならない。また、後続炉等において同装置を採用する機会には、より高性能な装置となるよう運転経験から得られたノウハウを反映することが大切であるとする。

以下にこれまでの運転実績から得られた検討、反映事項を列記する。

- (1) カバーガスに放射能を含む1次系では、サンプル量を一定にするための大気平衡が行えない。従って大気に代わりに圧力が低く(数10mmH<sub>2</sub>O)且つ安定しているカバーガス系の一部と均圧平衡させ、サンプル量の均一化を図ることが必要となる。「常陽」では炉容器カバーガスベーパートラップ近傍のFFD・CG法配管に均圧させる改造を行った。この改造で測定値のバラツキ改善に効果が上がったが解消するまでには至っていない。今後、より圧力の安定している部分と平衡させるよう検討する必要がある。また、後続炉の1次系において同装置を導入する際には、あらかじめサンプル量の均一化の方法を十分に検討する必要がある。
- (2) 1次系では、サンプルガスをFFD-CG法コンプレッサの吐出圧力によって導入している。このためFFD-CG系のメンテナンスによってコンプレッサが停止されると測定ができなくなる。でき得れば他系統の影響を受けぬ独自のサンプル導入手段を設けることが望ましい。
- (3) 2次系では、カバーガスと大気との圧力差(0.2～0.3 kg/cm<sup>2</sup>)によってサンプルガスを導入していることから、メンテナンス時においてカバーガスを極低圧(数10mmH<sub>2</sub>O)に保持されるとガスが流れず測定が困難となる。これまでの経験からも不純物(空気)の混入は、メンテナンス時に起こる可能性が高く、監視機能を最も要求される状況にその機能を十分に発揮できなかった。このため、極低圧時でもサンプルガスを導入できるように吸引ポンプを設置した経緯がある。装置の設置に際しては、カバーガスの運転状態(圧力、温度)の変更に応じてサンプルガスの導入が可能となるよう検討しておく必要がある。

## 8. 謝 辞

本報告書をまとめるにあたり，本装置の運転等に携わった多数の歴代原子炉第1課の諸氏に感謝致します。

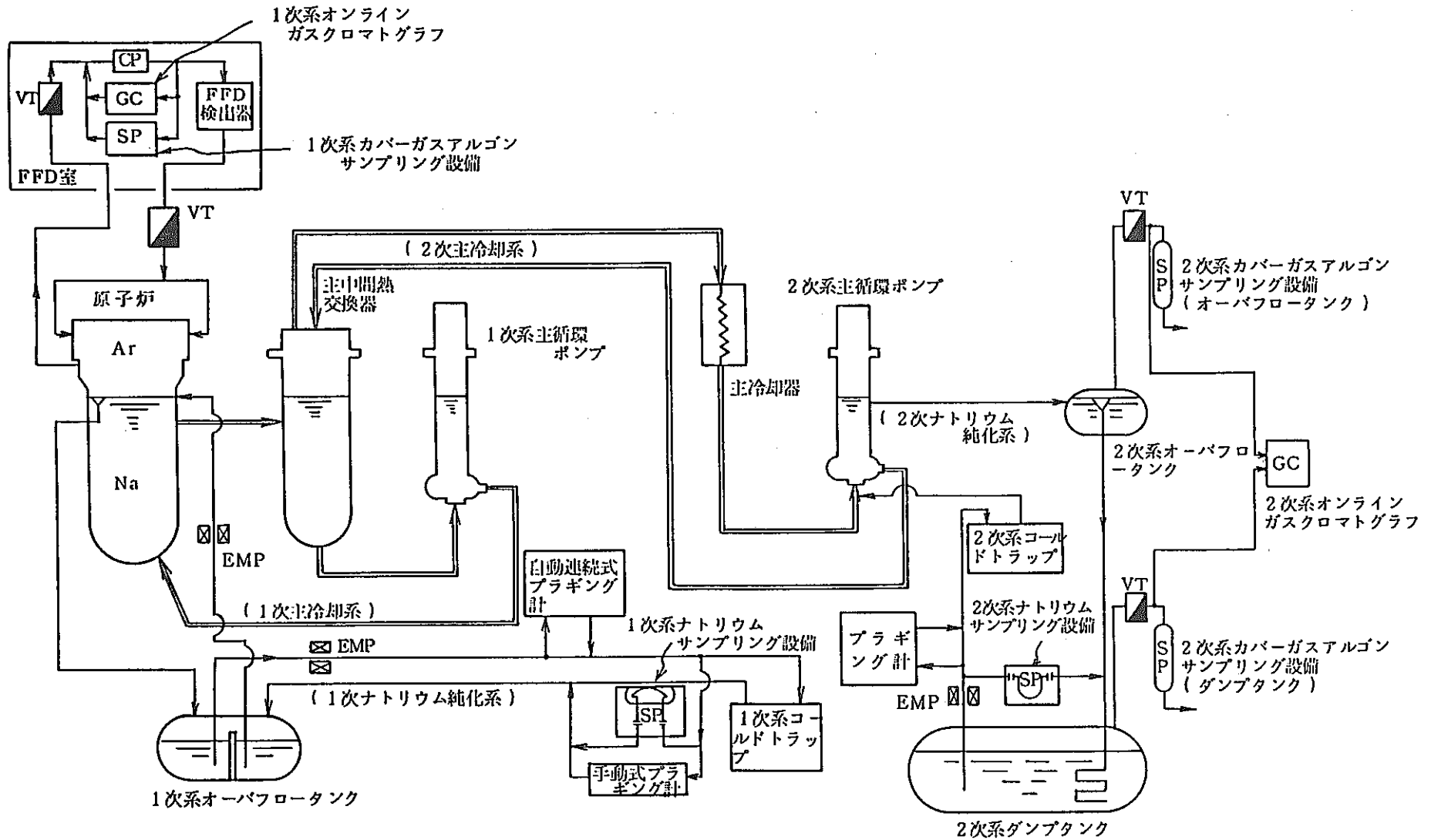


図 2.1 「常陽」純度管理関連設備概略フローシート

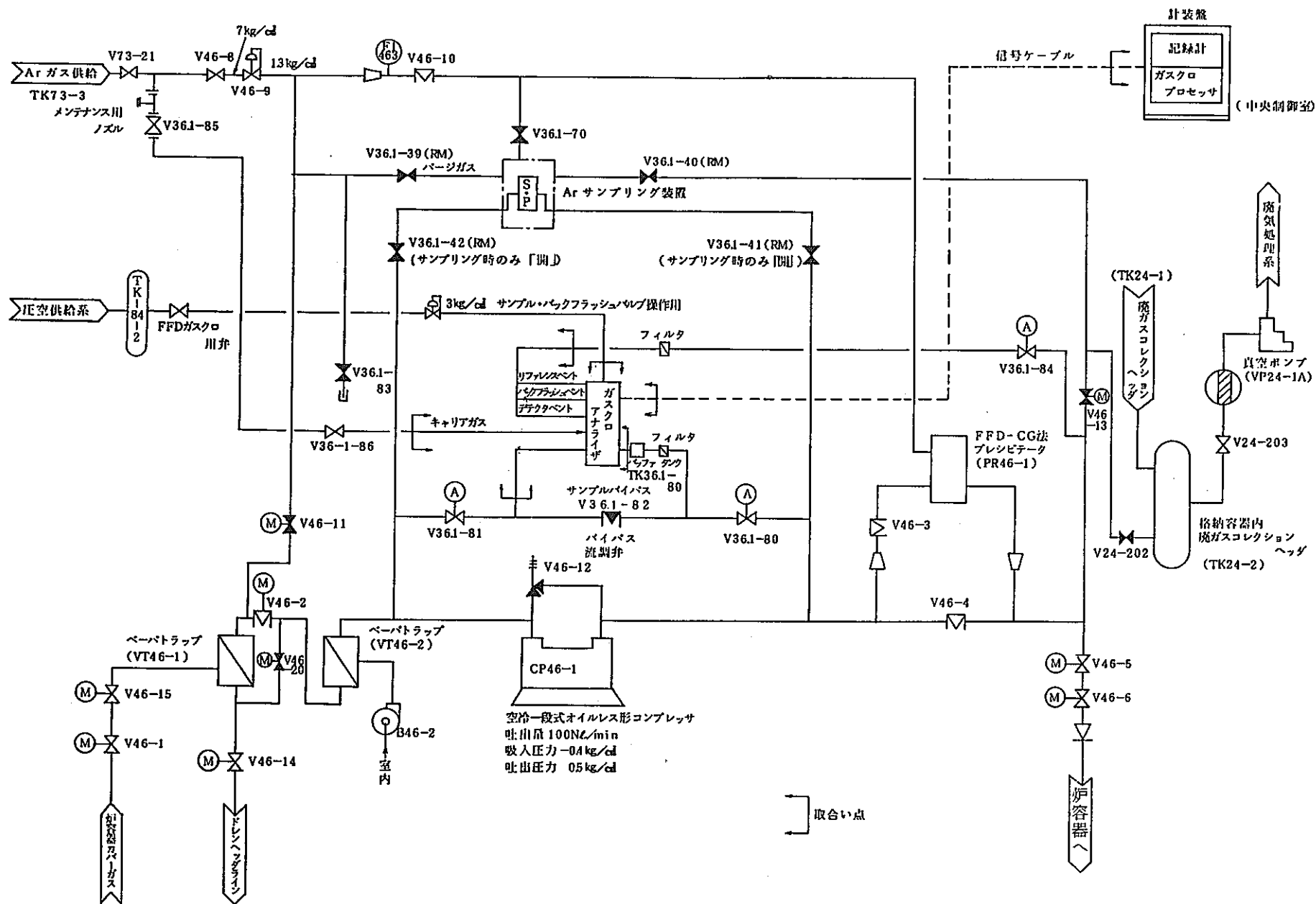


図 2.2 1次系カバーガスアルゴン系統図

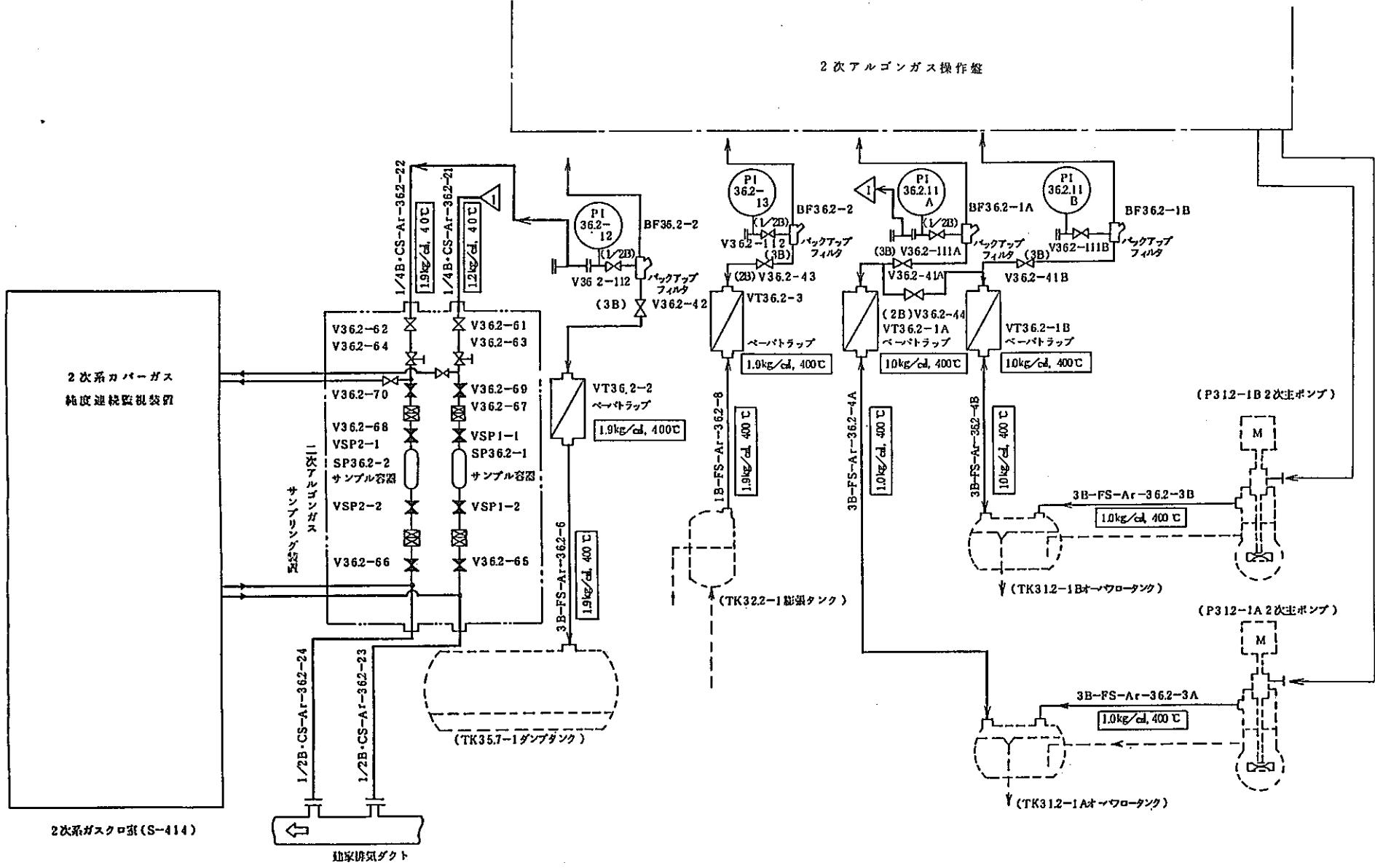


図 2.3 2次系カバーガスアルゴン系統図

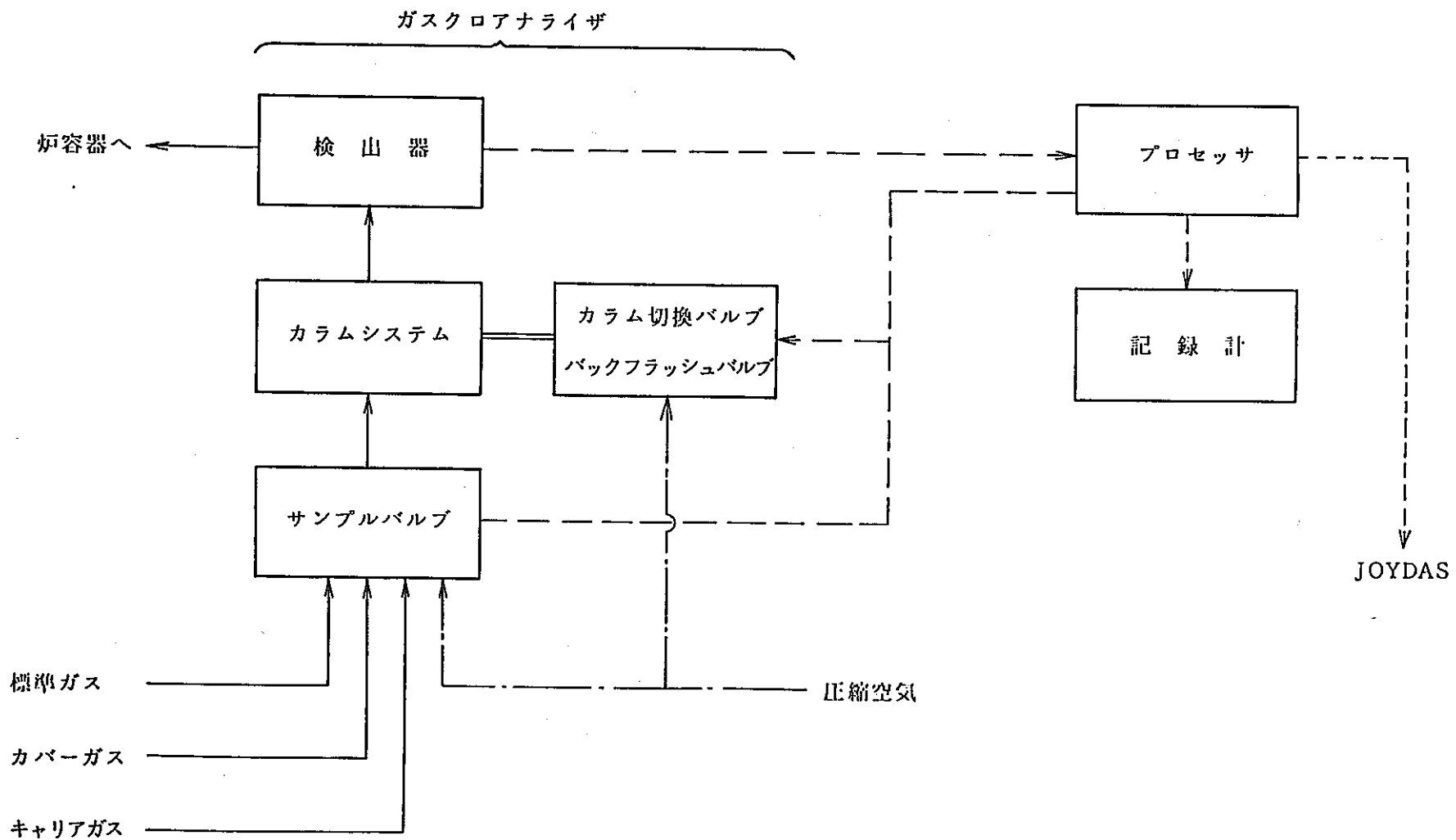


図 3.1 1次系カバーガス純度連続監視装置の概略図

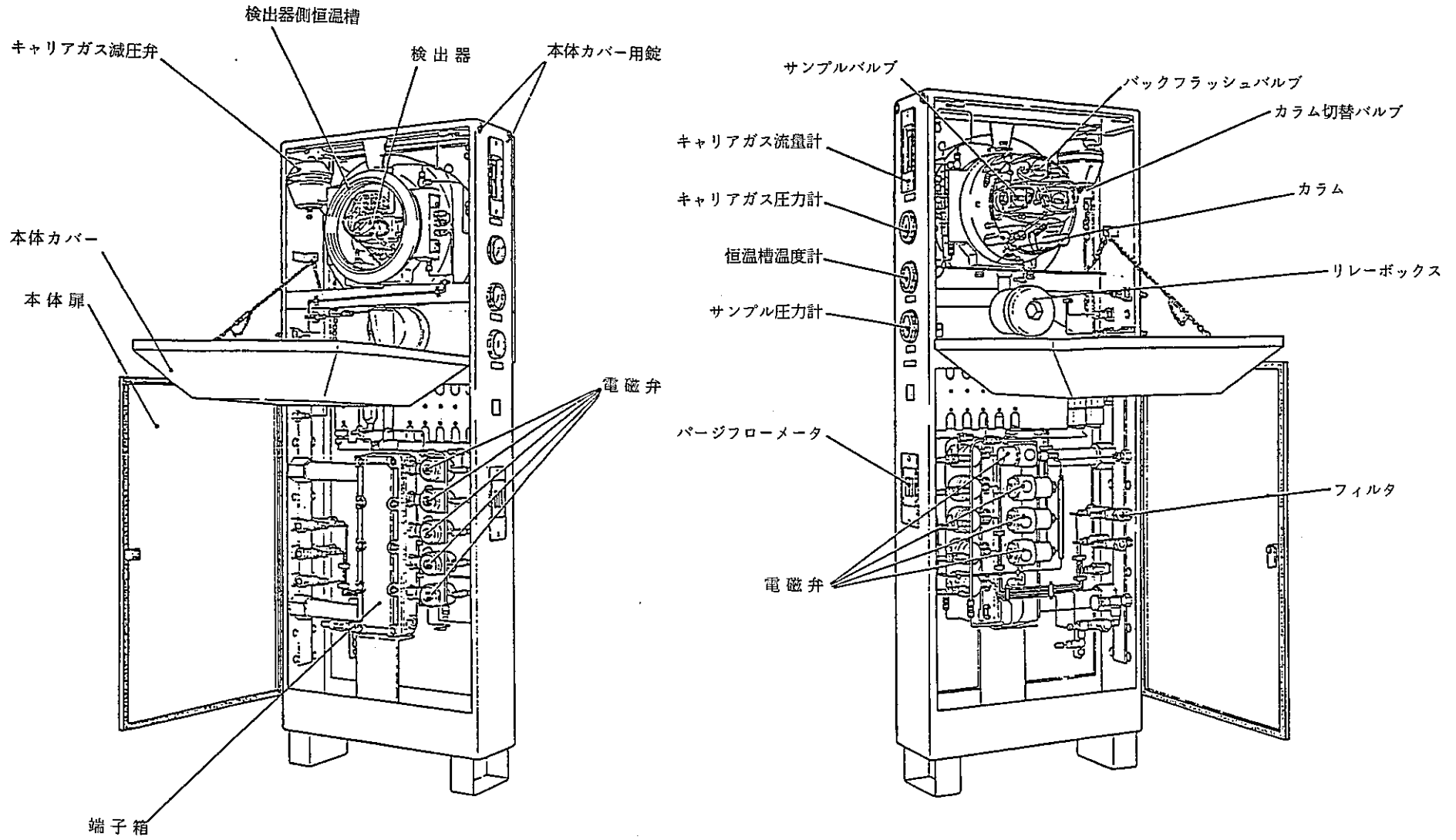


図3.2 ガスクロアナライザ



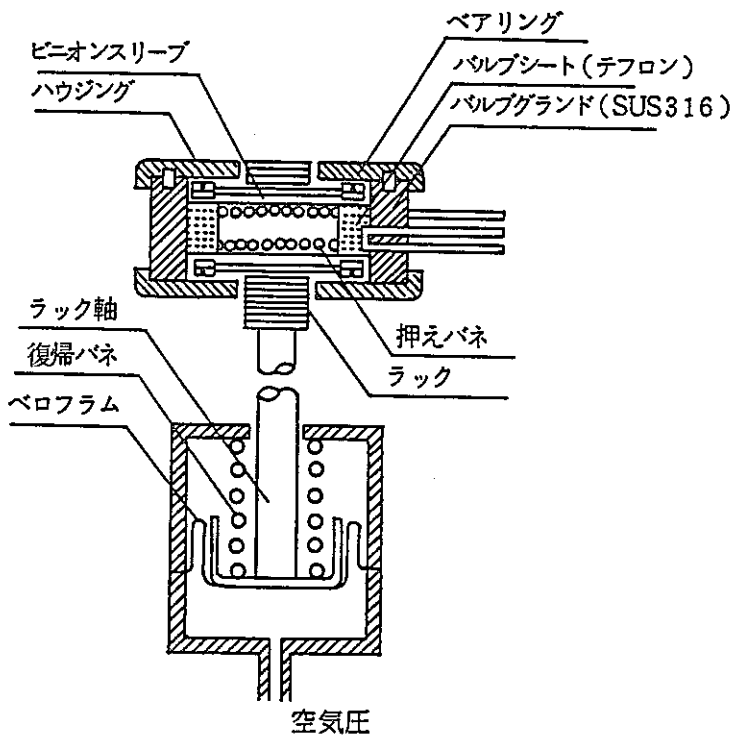
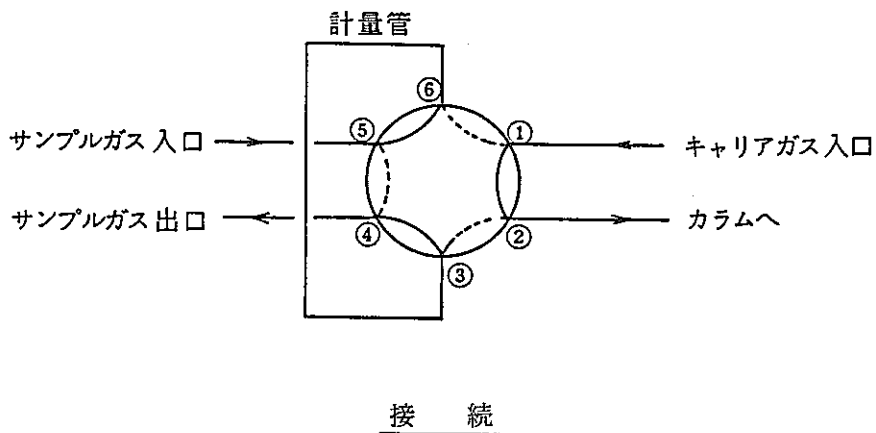
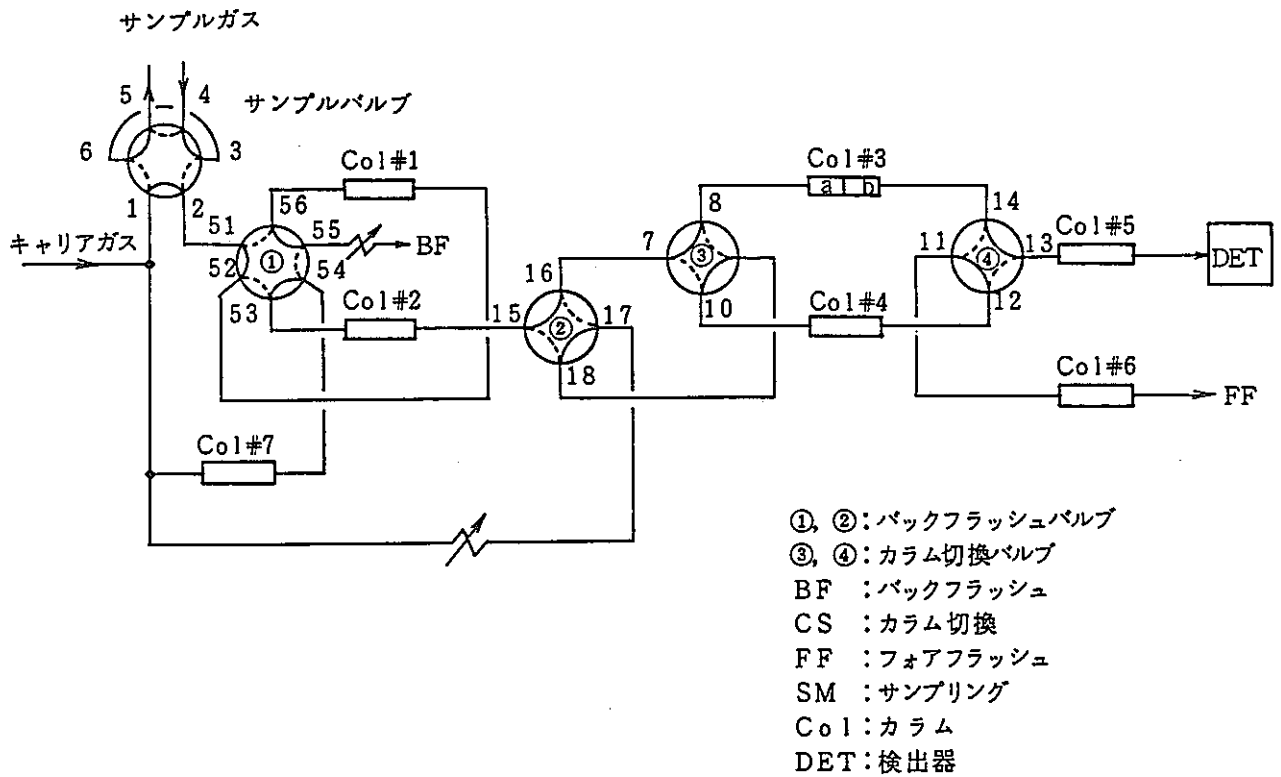


図 3.3 サンプルバルブの構造及び配管接続図

〔接続〕



〔分離〕

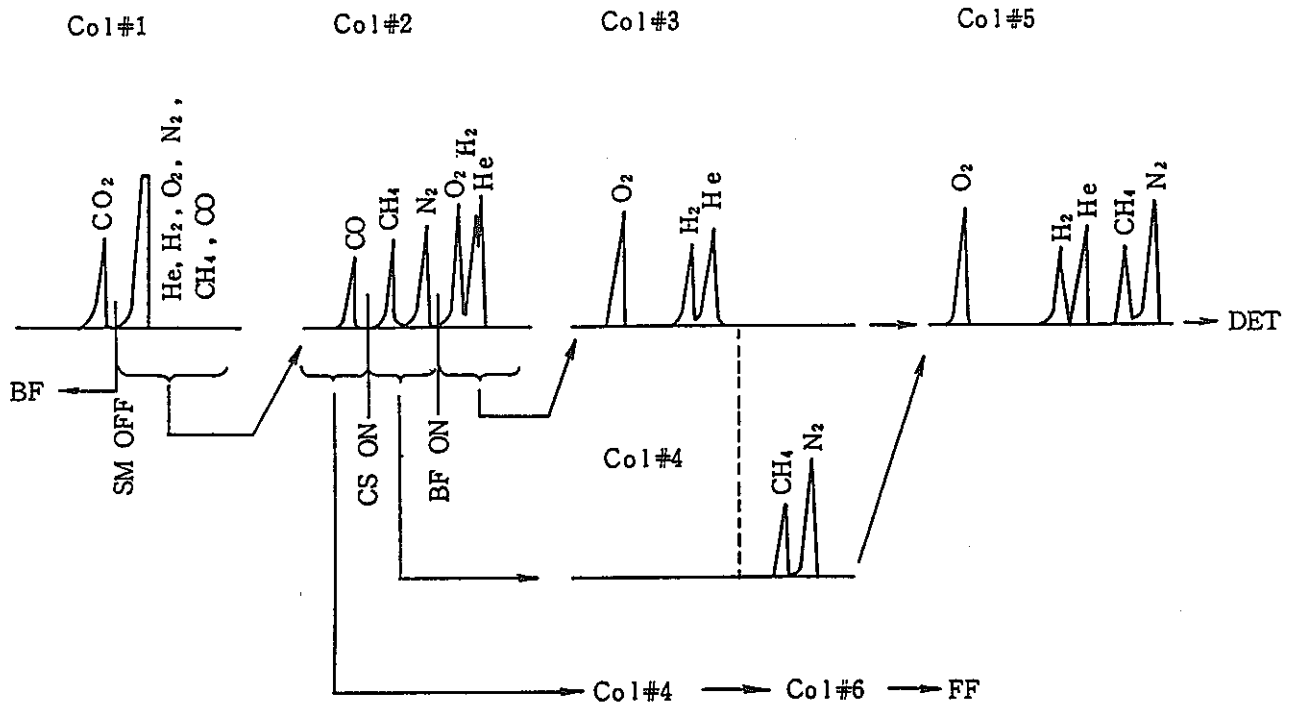


図 3.4 カラム接続及びピーク分離

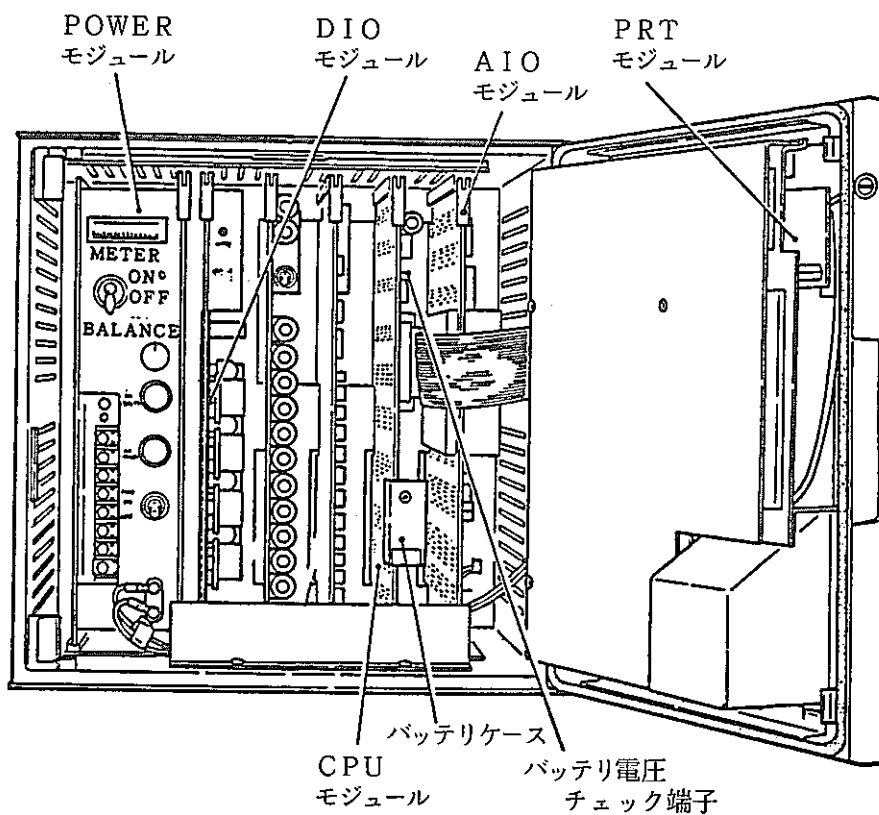
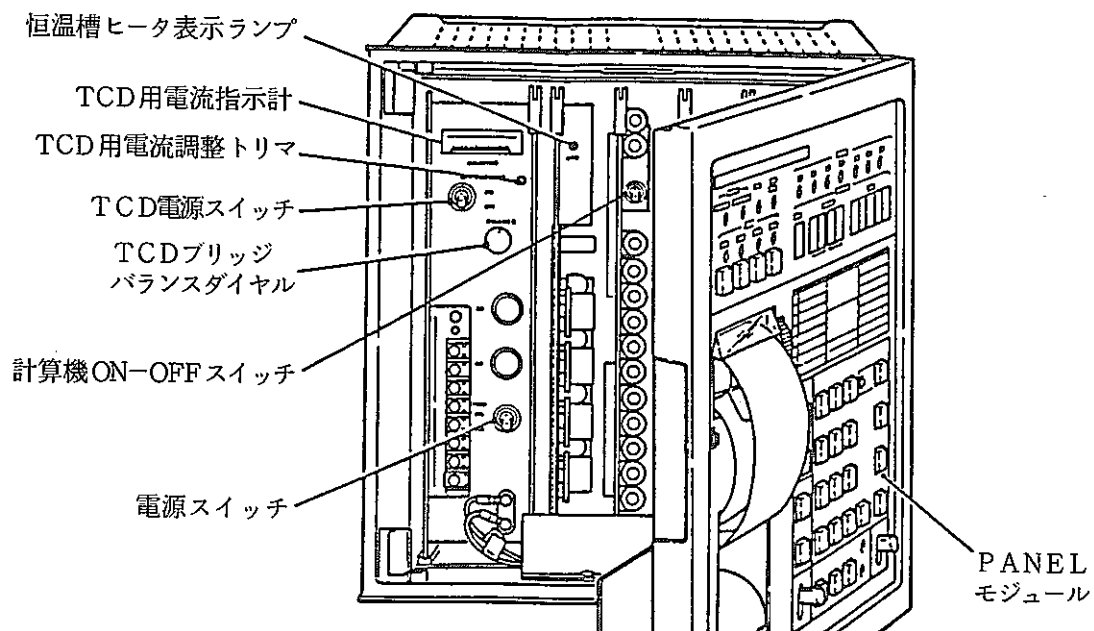


図 3.5 プロセッサの外観(各部の名称)

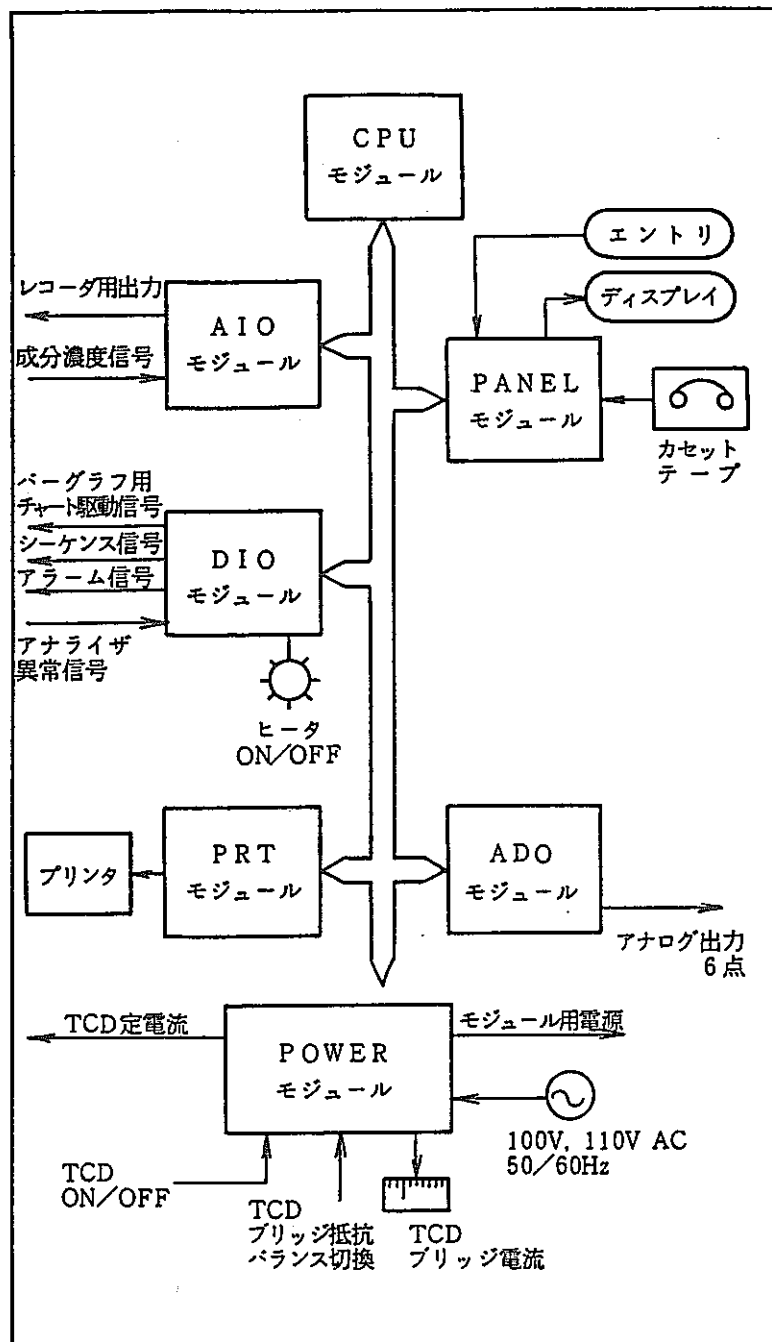


図 3.6 プロセッサの構成

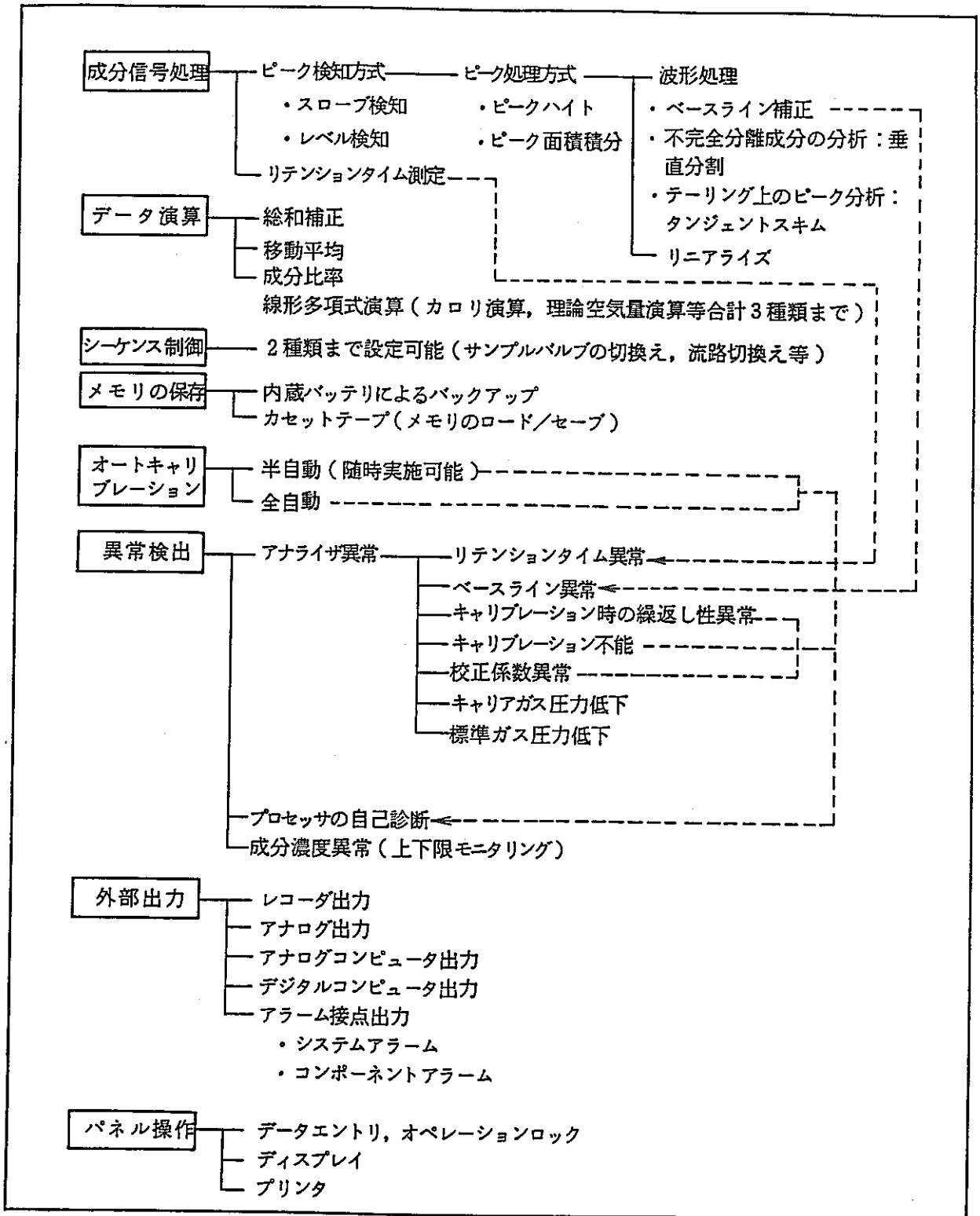
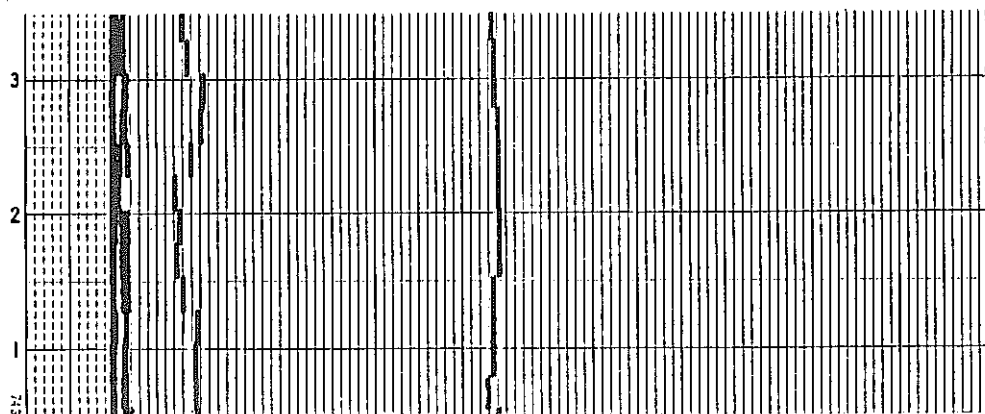
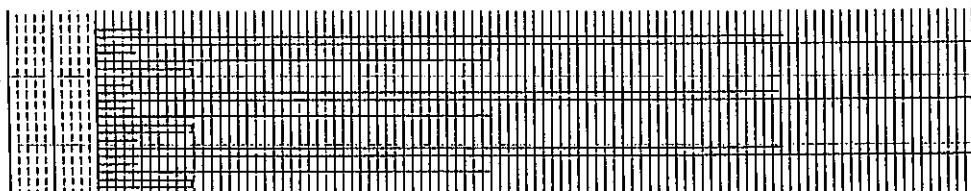


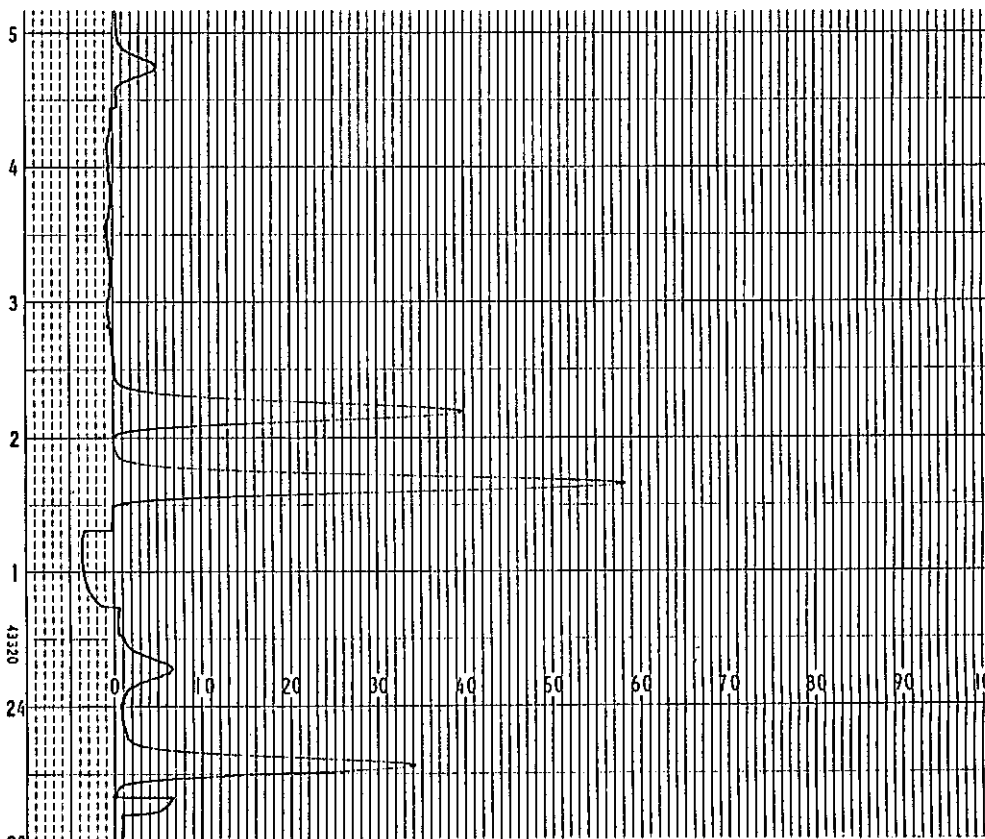
図 3.7 プロセッサ機能図



打点記録



バーグラフ記録



クロマトグラム記録

図 3.8 1次系カバースガス純度連続監視装置の記録計の出力例

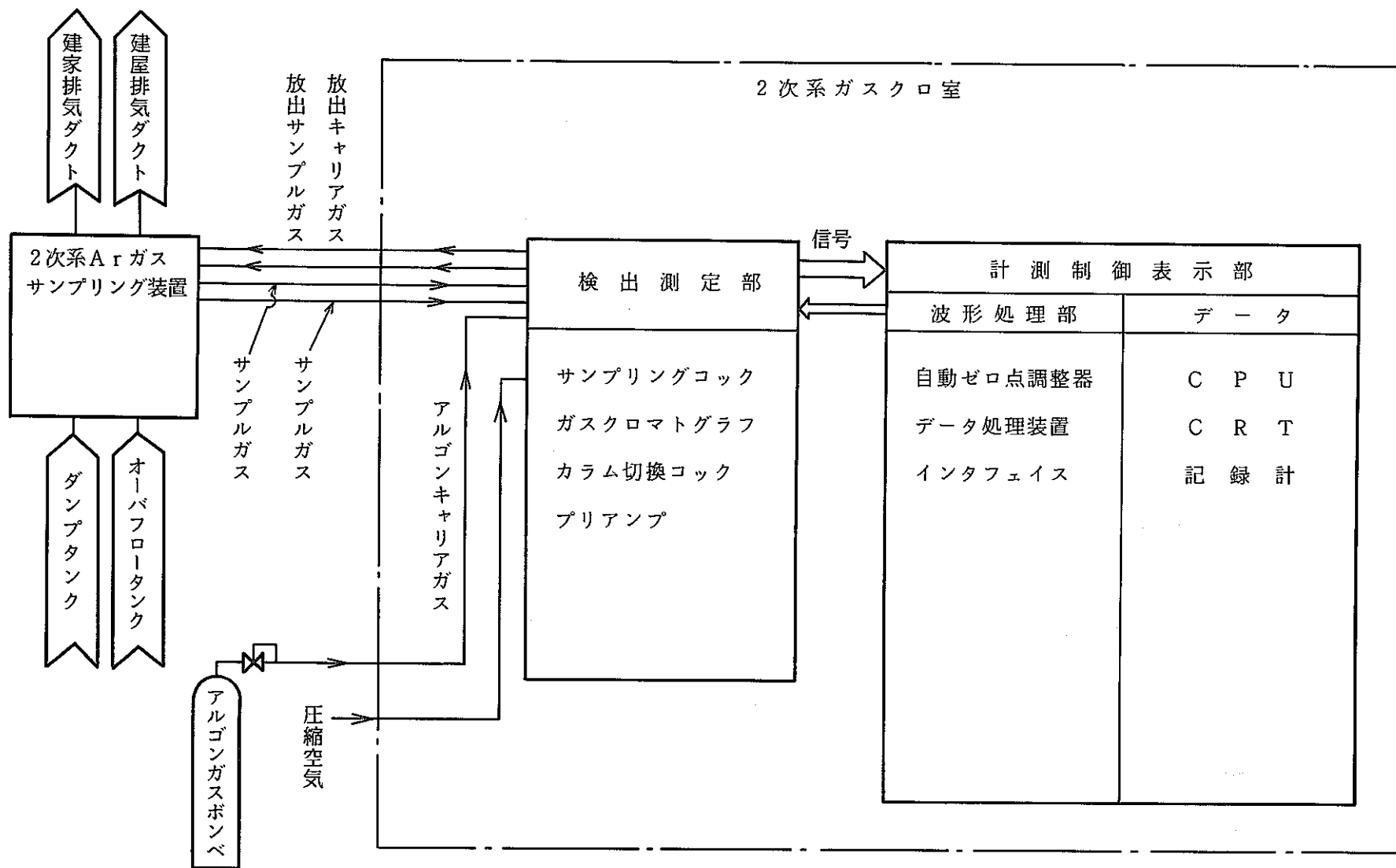
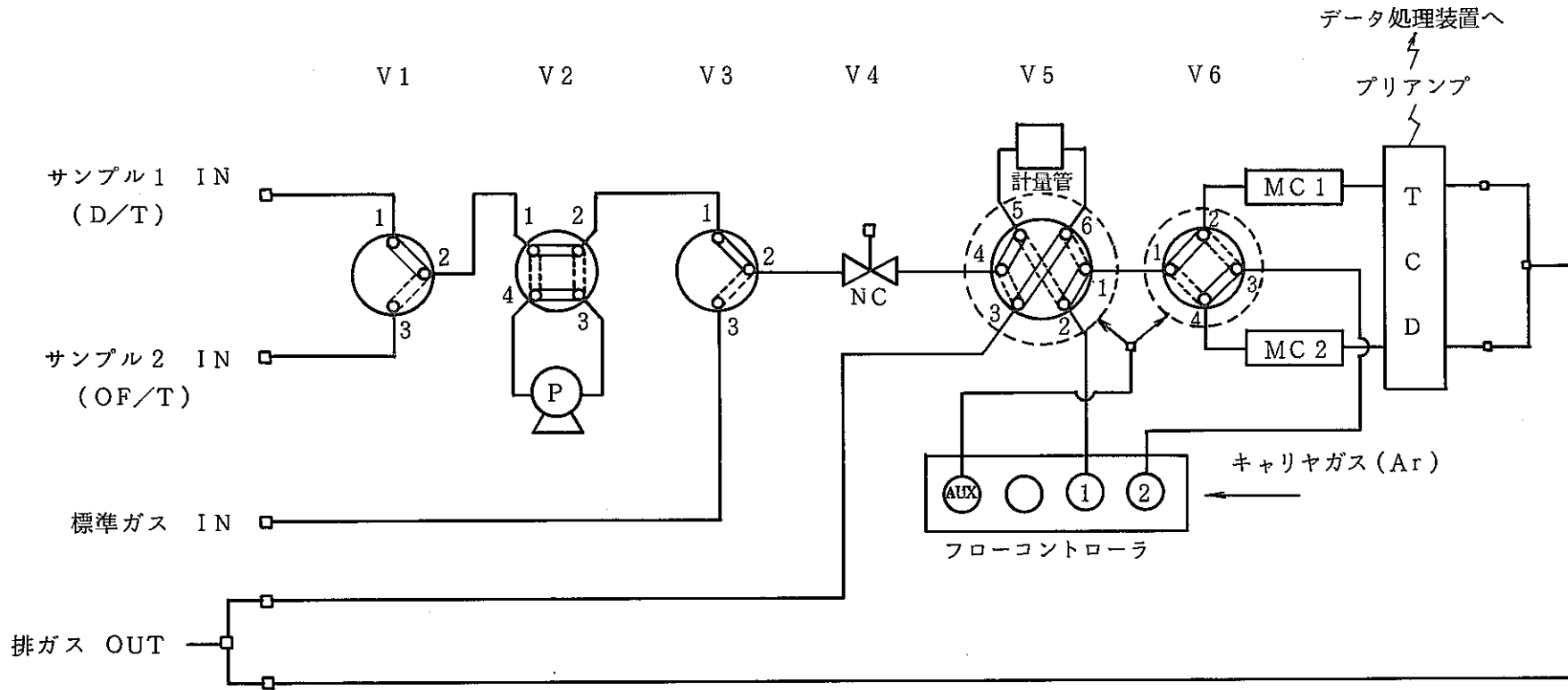


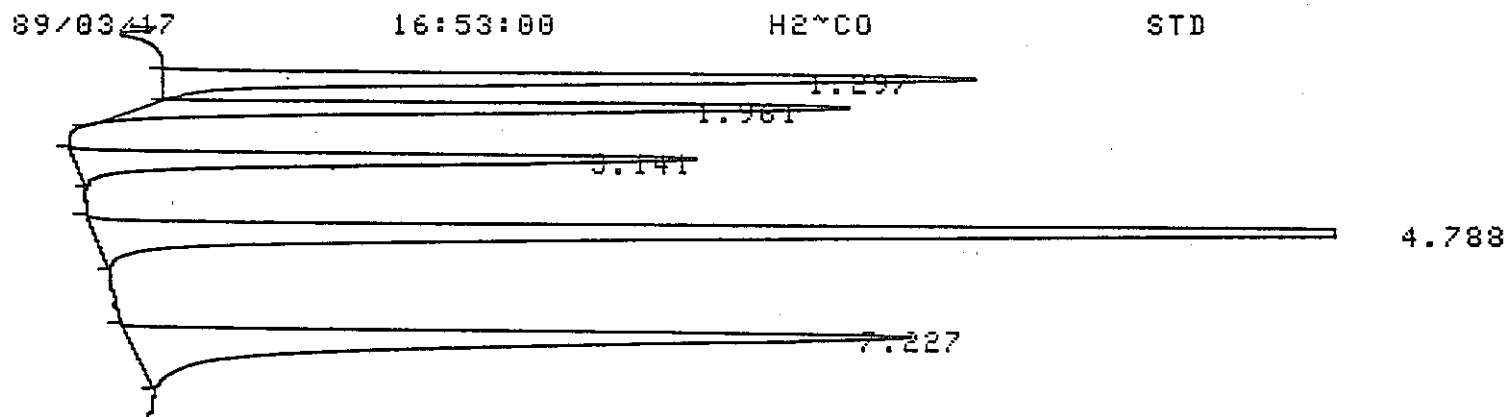
図 3.9 2次系カーボンガス純度連続監視装置のブロックダイヤグラム



- |               |              |               |
|---------------|--------------|---------------|
| V1: サンプル切替コック | V4: 電磁弁      | P : 循環ポンプ     |
| V2: 4方バルブ(手動) | V5: サンプルコック  | MC1: メインカラム 1 |
| V3: 標準ガス切替コック | V6: カラム切替コック | MC2: メインカラム 2 |

図 3.1 0 検出測定部フローシート





CHROMATOGRAM 1 MEMORIZED

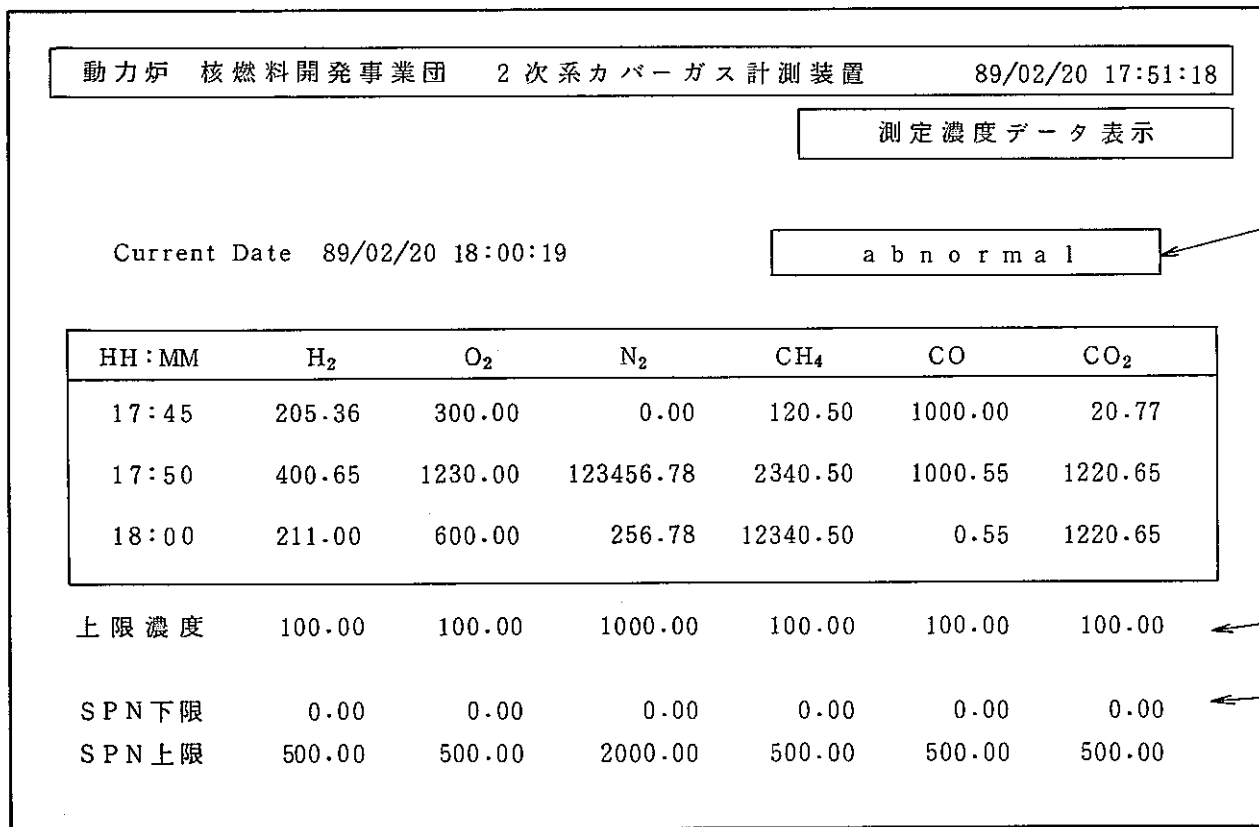
PKNO	TIME	AREA	MK	IDNO	CONC	NAME
1	1.297	11069		1	4.5986	H2
2	1.961	9252		2	44.6678	O2
3	3.141	8867		3	45.1707	N2
4	4.788	26647		4	46.1197	CH4
5	7.227	16067		5	103.0032	CO
TOTAL		71903			243.5599	

ピーク保持時間

ピーク面積積分値

濃度 (ppm)

図3.11 データ処理装置でのデータ出力例 (標準ガス)



警報表示  
(上限濃度を越えた場合に点灯)

警報設定値

記録計のスパン

図3.12 CRT表示画面

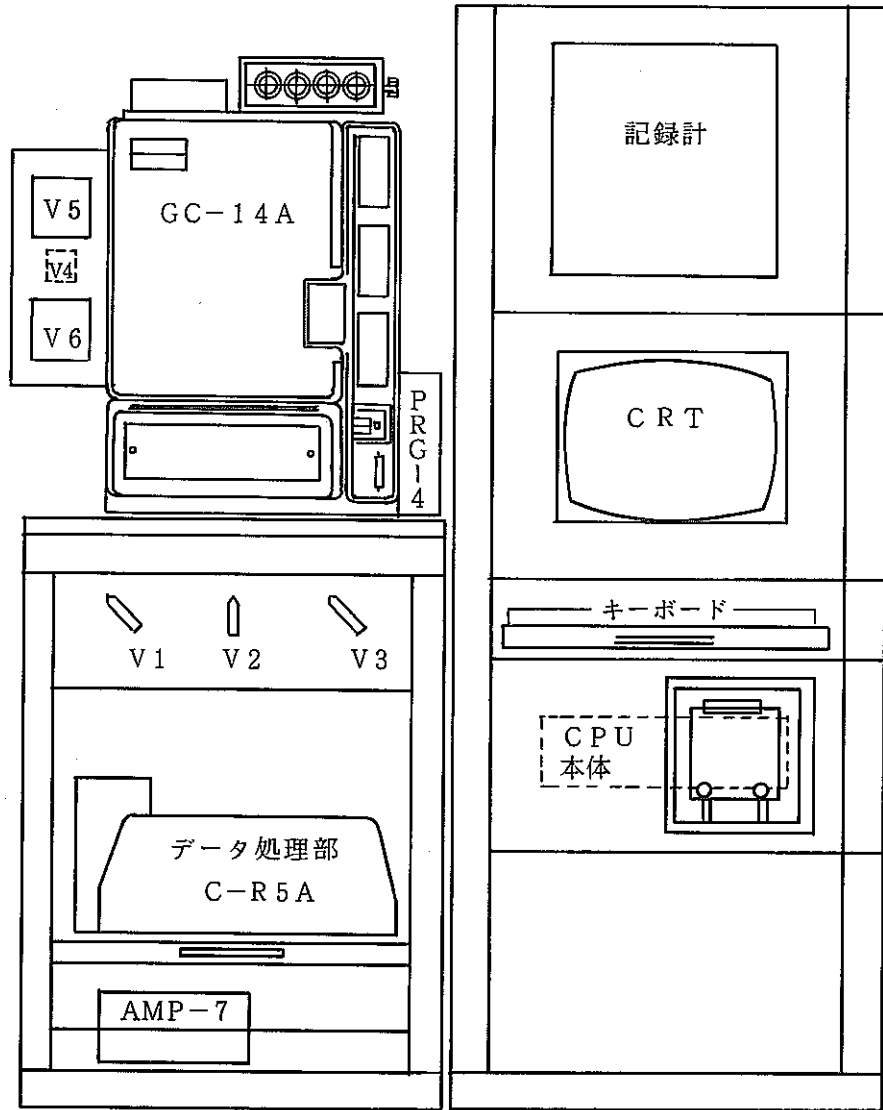


図 3.13 装置全体図

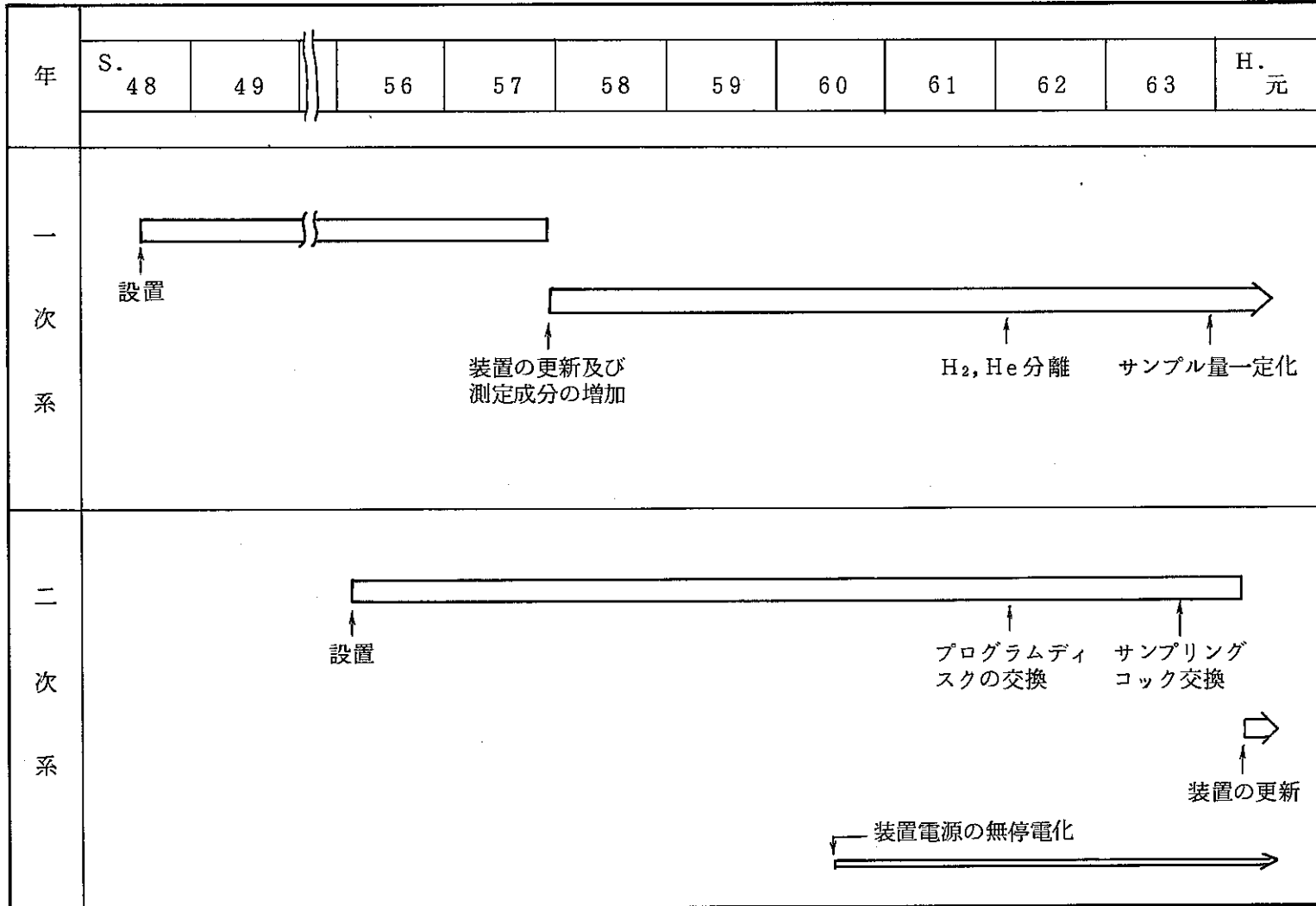


図 5.1 カバーガス純度連続監視装置の改造経過

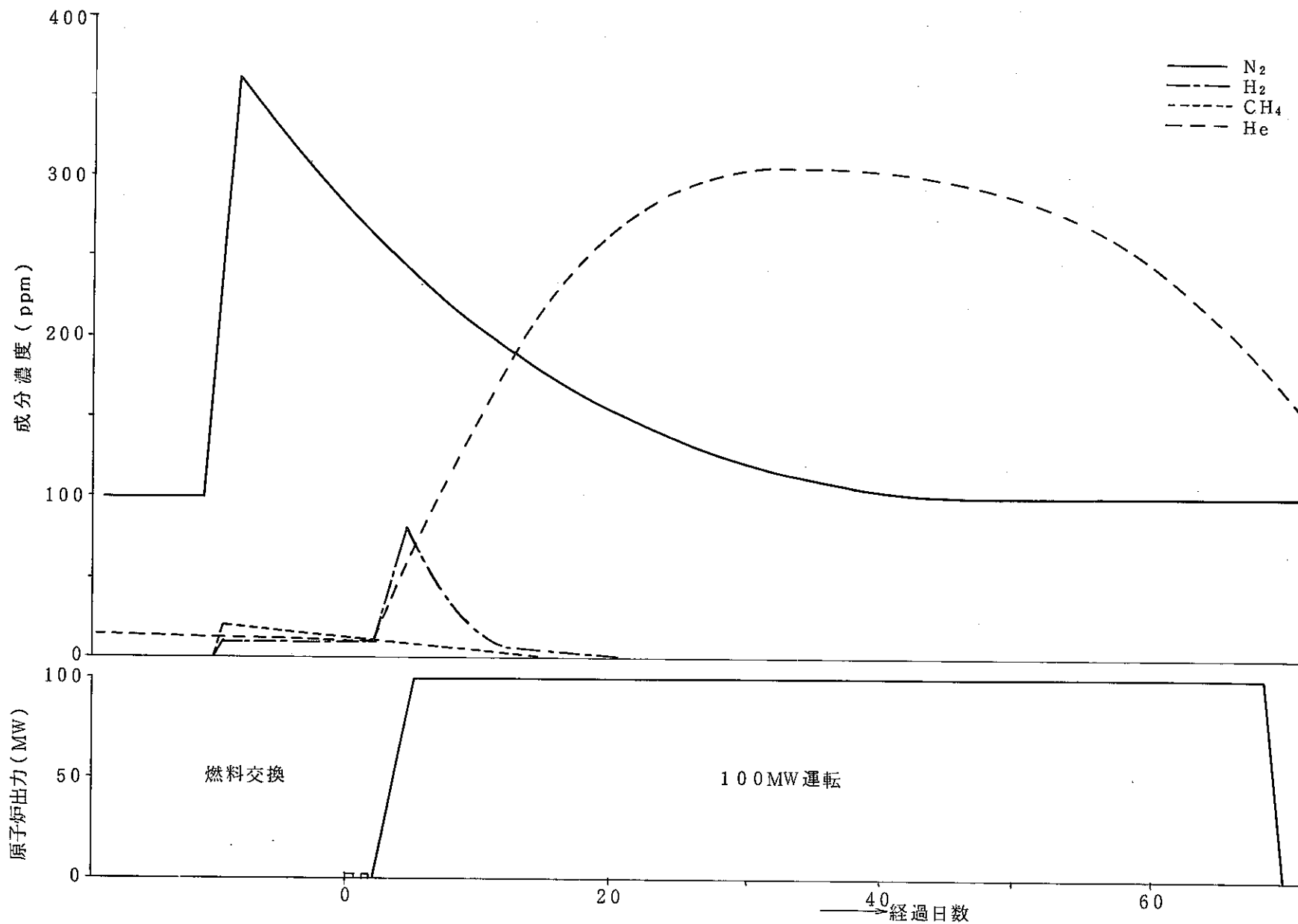


図 5.2 原子炉運転サイクル時の1次系カバーガス中の成分濃度推移(通常時)

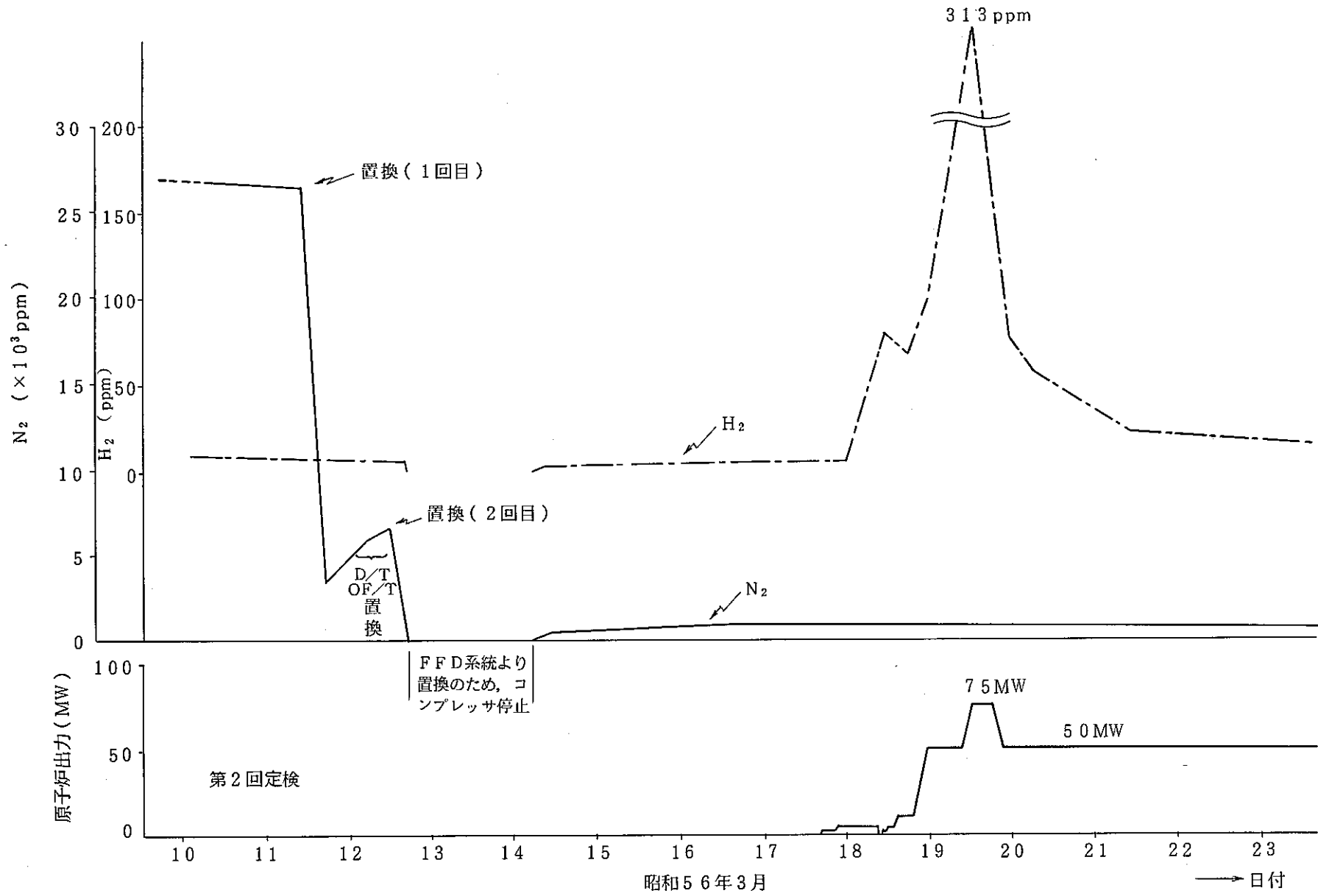


図5.3 1次系カバーガス中の $N_2$ ,  $H_2$ 濃度推移(昭和56年3月10日~3月23日)

—42—

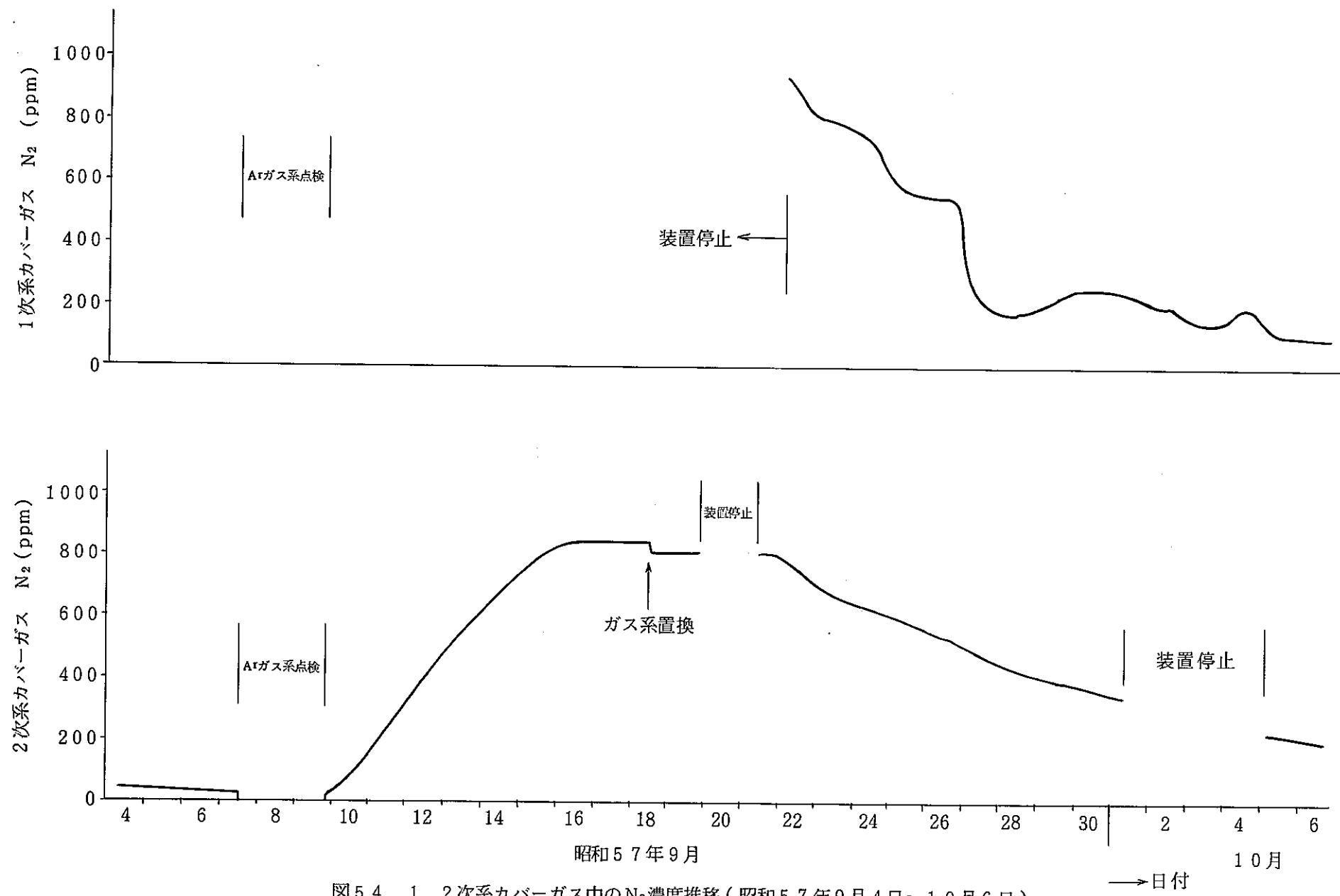


図5.4 1, 2次系カバーガス中のN<sub>2</sub>濃度推移(昭和57年9月4日~10月6日)

→日付

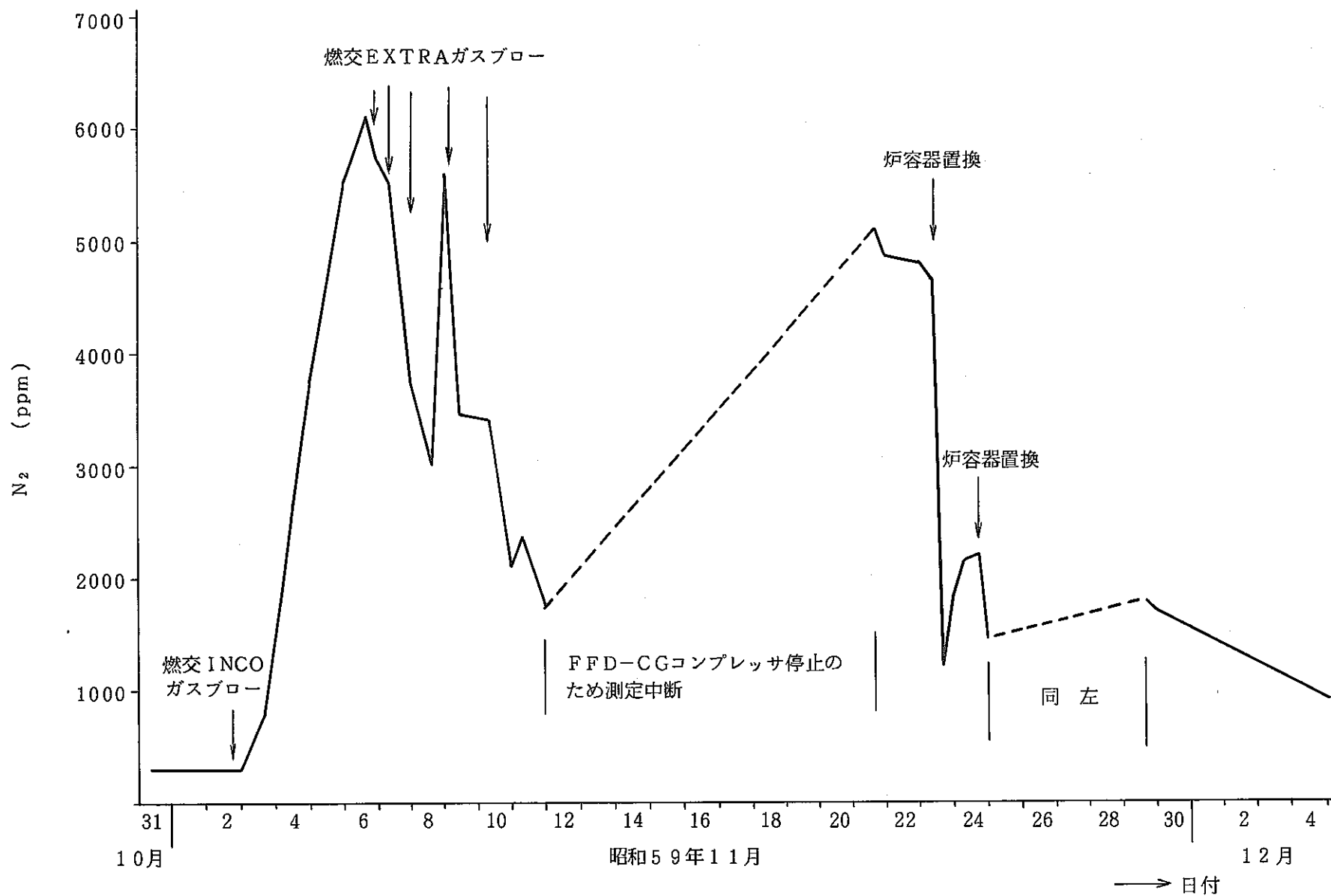


図5.5 一次系カバーガス中のN<sub>2</sub>濃度推移(昭和59年10月31~12月4日)



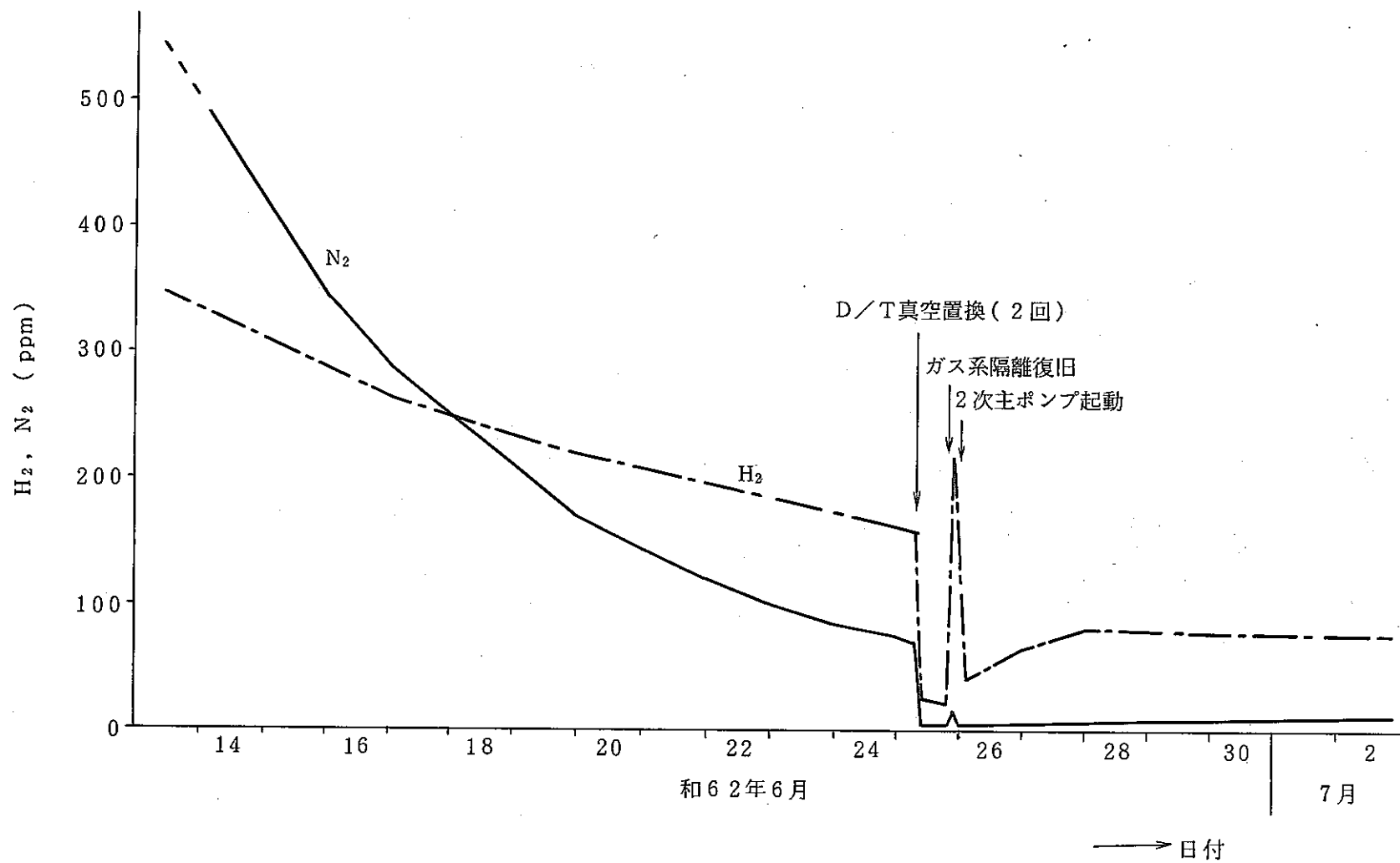


図5.6 2次系カバーガス中の $H_2$ ,  $N_2$ 濃度推移(昭62年6月14日~7月2日)

表 3.1 カラムの種類 (1次系)

Col. #	形 名	長 さ ( m )	外 径 ( mm )	充 填 剤	抵 抗 (sec/10mℓ N <sub>2</sub> ・1kg/cm <sup>2</sup> )
1	YGC-0114K	1.0	3.0	ポーラスポリマ	8.3
2	YGC-0103G	1.0	3.0	モレキュラシーブ	9.6
3 a	Timing Colum	4.0	3.0	—	—
3 b	YGC-0103G	8.0	3.0	モレキュラシーブ	79.1
4	Capillary	4.0	1.6	—	79.2
5	Capillary	1.3	1.6	—	25.1
6	Capillary	1.3	1.6	—	25.0
7	Capillary	0.4	1.6	—	8.3

表 5.1 改造前後のデータ比較(1次系)

## ＜バラツキ度合＞

データ数	N <sub>2</sub> 濃 度 (ppm)													標準偏差
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	$\sigma_{n-1}$
改造前	257	259	181	170	232	297	317	261	228	290	239	203	303	46.3
改造後	292	325	311	314	313	334	313	307	317	303	305	318	317	10.4

本データは、改造前が100MW第16サイクル起動時(1988.8.2~8.3)で、改造後が第17サイクル起動時(1989.1.18~1.19)の1次系カバーガス中N<sub>2</sub>の測定値である。

## ＜検出性能：ピーク高さ比較＞

	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	He	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
改造前	30.0	3.0	39.5	26.0	4.3
改造後	39.5	7.0	73.0	50.5	5.5
改善率(後/前)	1.3	2.3	1.85	1.9	1.3

単位：mm

-----&gt; 平均1.8倍の向上

本データは、同一標準ガスを測定し、各成分のピーク高さを求めたものである。なお、成分によって改善率が異なるのは、装置に対する検出感度が違うためと考えられる。