

ナトリウム微量漏洩検出器耐久試験

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
	N 941 82-178
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8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)

ナトリウム微量漏洩検出器耐久試験

島 孝充* 荒木 等* 宇野 修**
青木 忠雄*** 津沢 泰行**** 山本 研*

要 旨

高速増殖原型炉「もんじゅ」において要求されているナトリウム微量漏洩検出のために開発されたナトリウムイオン化式(SID), 差圧式(DPD)漏洩検出器は検出感度に関しては十分な性能を有することが確認されているが, 耐久性に関しては実用化までには実証試験の必要があった。

特にSIDに関してはイオン化のためのフィラメントがあるためその寿命を調べる必要がある。そこで, 原型炉「もんじゅ」一次系の窒素雰囲気, およびサンプリング管形状を模擬した試験装置により約1年間にわたりSIDおよびDPDの耐久試験を行なった。また, 検出感度を調べるために, 数回にわたりナトリウム検出感度試験を行なった。

本試験で得られた結果は次の通りである。

- (1) SIDは約1年間の使用において, フィラメントの断線や検出感度の低下もみられず, 十分な耐久性を有することが確認された。
- (2) DPDも性能の劣化や測定回路のトラブルもなく, 十分にその耐久性が確認された。

* 大洗工学センター機器開発室

** FBR開発本部

*** 大洗工学センター構造物強度試験室

**** " " 高速炉機器開発部

Endurance Test of Sodium Leak Detectors

Takamitsu SHIMA*, Hitoshi ARAKI*,
Osamu UNO**, Tadao AOKI***,
Yasuyuki TSUZAWA**** and Ken YAMAMOTO*

Abstract

It was already confirmed that SID (Sodium Ionization Detector) and DPD (Differential Pressure Detector) type sodium leak detectors for LMFBR "MONJU" had enough detection sensitivity. But an endurance test was required for putting them to practical use.

Especially, life time of filament for the sodium aerosol ionization in the SID had to be examined.

So, endurance performance of SID and DPD were investigated during about one year using an experimental equipment which simulates nitrogen atmosphere of reactor primary loop and sodium aerosol sampling tube.

Results obtained in this test are as follows ;

- (1) SID filament did not break during one year operation, and little change of detection sensitivity was observed.
- (2) Neither performance deterioration nor measurement circuit trouble was experienced on the DPD.

* Components Development Section, Oarai Engineering Center, PNC.

** FBR Development Project.

*** Structural Engineering Section, Oarai Engineering Center, PNC.

**** FBR Systems and Components Division, Oarai Engineering Center, PNC.

List of Figures and Tables

Fig. 1	Fundamental construction of SID & DPD	16
Fig. 2	Schematic diagram of the experimental equipment	17
Fig. 3	Block diagram of the signal processing unit	18
Fig. 4	Signal processing unit	19
Fig. 5	Sodium test sample	20
Fig. 6	Time dependence of SID & DPD detection signal (Sodium temp. 500°C)	21
Fig. 7	Time dependence of SID ion current (Sodium temp. 300°C).....	22
Fig. 8	Time dependence of SID ion current (Sodium temp. 400°C).....	23
Fig. 9	Time dependence of SID ion current (Sodium temp. 500°C).....	24
Fig.10	Time dependence of DPD differential pressure (Sodium temp. 300°C).....	25
Fig.11	Time dependence of DPD differential pressure (Sodium temp. 400°C).....	26
Fig.12	Time dependence of DPD differential pressure (Sodium temp. 500°C).....	27
Fig.13	Sodium mist dependence of SID detection sensitivity	28
Fig.14	Mean Value of SID ion current.....	29
Fig.15(a)(b)	SID & DPD evdurance test results	30
Table 1	Specification of sodium ionization detector.....	32
Table 2	Specification of differential pressure detector.....	33
Table 3	Investigation of cause on SID dark current drift	33

ナトリウム微量漏洩検出器耐久試験

目 次

1. 緒 言	1
2. 検出器の原理	2
2.1 ナトリウムイオン化検出器 (SID) の原理	2
2.2 差圧式検出器 (DPD) の原理	2
3. 試験装置	3
3.1 ナトリウム微量漏洩検出器	3
(1) 本体ユニット	3
(2) 信号処理ユニット	3
3.2 ナトリウムエアロゾル発生装置	3
3.3 配 管	3
4. 試験方法	5
4.1 ナトリウム検出感度試験	5
4.2 長期耐久性試験	5
4.3 ナトリウム検出感度試験における試験条件および測定点	6
4.4 長期耐久性試験における試験条件および測定点	6
5. 試験結果	7
5.1 ナトリウム検出感度試験	7
5.2 長期耐久性試験	8
6. 評価検討	9
6.1 ナトリウム検出感度試験	9
6.2 長期耐久性試験	9
7. 結 言	11
8. 謝 辞	12
9. 参考文献	12
10. SID 検出器原理詳細説明資料	31

1. 緒 言

液体ナトリウム冷却型高速増殖炉において、ナトリウム漏洩検出器はプラントの構造機器からのナトリウム漏洩を早期に検出して事故を未然に防ぐための非常に重要な監視装置の1つである。

このためこれまで種々の方式のナトリウム漏洩検出器が開発され実用化されてきている。^{1~3)}

たとえばケーブルタイプやプラグタイプの電気接触式や光学式などはすでに高速実験炉「常陽」でも実用化されている。

しかし、高速増殖炉「もんじゅ」において要求されている微少漏洩検出のために開発されたナトリウムイオン化式(SID)、差圧式(DPD)漏洩検出器^{4~6)}は検出感度に関しては十分な性能を有することが確認されているが、耐久性に関しては実用化までに実証試験の必要があった。

特にSIDに関してはイオン化のためのフィラメントがあるためその寿命を調べる必要があった。

そこで、本試験において原子炉一次系の窒素雰囲気およびサンプリング管を模擬した試験装置により、約1年間にわたってSIDおよびDPDの耐久性試験をおこなった。また耐久試験途中においてナトリウムに対する検出感度の変化を調べるために、数回にわたってナトリウム検出感度試験を行なった。

次章以下でこれらの試験方法、結果について報告する。

2. 検出器の原理

2.1 ナトリウムイオン化検出器 (SID) の原理

この方法は、サンプリングガス中のナトリウム粒子をフィラメントによりイオン化し、その Na^+ イオンをコレクタで捕集するものである。フィラメントにはコレクタに対してプラスのバイアス電圧が印加されているので、 Na^+ はコレクタにトラップされイオン電流が流れる。その電流変化からナトリウム漏洩を検知するものである (Fig.1)。参考のために検出原理の詳細説明を末尾に添付した。

2.2 差圧式検出器 (DPD) の原理

この方法は、サンプリングガス中のナトリウム粒子をフィルター表面に捕集し、捕集時のフィルター上流・下流間の差圧変化からナトリウム漏洩を検知するものである (Fig.1)。また、フィルターに捕集したナトリウム量を定量分析することにより、ナトリウムそのものの存在の確認とサンプリングガス中のナトリウム濃度を知ることができる。

3. 試 験 装 置

本試験装置は被試験体である、ナトリウム微量漏洩検出器と、ナトリウム・エアロゾル発生源であるSID点検系およびそれらの間を継なく配管系から構成されている。

3.1 ナトリウム微量漏洩検出器

(1) 本体ユニット

本装置はFig.2に示す様にSID検出部(仕様をTable-1に示す)、DPD用差圧伝送器(横河電機社製-E13DM-6361-211-E29型、Table-2に仕様を示す)、フィルタ、流量計、ブロワ、バルブおよび配管より構成されている。なお、配管類は洗浄可能なようにすべて取外し出来る構造になっている。サンプリングガスは、DPD系およびSID系に分かれてはいる、それぞれフィルタ、流量計を通った後、ブロワを通して本体ユニットから出ていく。DPD系にナトリウムが混入したサンプリングガスが来るとナトリウムはほとんどDPD系のフィルタにトラップされ、フィルタの両側の差圧が増加する。SID系にナトリウムが混入したサンプリングガスが来るとナトリウムはSID検出部のフィラメントでイオン化され Na^+ になる。フィラメントにはコレクタに対して+100Vのバイアス電圧が印加されているので Na^+ はコレクタにトラップされイオン電流が流れる。なお、1個のSID検出部には予備のための独立した4本のフィラメントが取付けられ切替え可能になっている。

(2) 信号処理ユニット

本装置はFig.3に示す様にSIDフィラメント電源、SIDバイアス電源、SIDイオン電流アンプ回路、DPD用差圧伝送器のディストリビュータおよびインタロック回路を内蔵している。SIDイオン電流、SIDフィラメント電流およびDPD差圧をメーターで表示する。(Fig.4)。

3.2 ナトリウム・エアロゾル発生装置

ナトリウム・エアロゾル発生装置は、Fig.2の点線部で示すようにナトリウムタンク加熱装置、バイパス配管およびスライダックより構成されている。ナトリウムタンク加熱装置には、シースヒータが取付られており、スライダック2次側の電圧が90Vの時50分で550℃の昇温能力がある。また、ナトリウムタンク加熱装置はフランジ構造になっており試験用ナトリウム(Fig.5)を出し入れ出来る様になっている。

3.3 配管系

本体ユニットとナトリウム・エアロゾル発生装置との間の配管は、Fig.2に示す様にSUS304、 $\frac{1}{4}$ B、sch 5Sのダクトをジョイントで接続した構造になっており、配管はすべて容易に取外す事が出来る。ナトリウム・エアロゾル発生装置から本体ユニットへの配管は、長さ2mのダクト13本

と、ナトリウム・エアロゾル発生装置への接続部の約1 mのダクトの計14本(全長約27 m)、本体ユニットからナトリウム・エアロゾル発生装置への配管は、長さ4 mのダクト6本と、ナトリウム・エアロゾル発生装置への接続部の約3.5 mのダクトの計7本(全長、約27.5 m)から構成されている。なお今回、試験に用いた以上の試験装置は三菱電機(株)製のものである。

4. 試験方法

本試験は SID (ナトリウムイオン検出器) および DPD (差圧検出器) の感度変化を評価するために定期的に点検系を使用するナトリウム検出感度試験および長時間運転による SID フィラメントの寿命を試験する長期耐久性試験より成る。

4.1 ナトリウム検出感度試験

試験は、Fig.1の試験装置系統図において、次の順序で行なった。

(1) ナトリウムサンプル挿入操作

まず、Fig.5に示すナトリウムサンプルのガラス管を破壊し、Fig.1に示す容器に入れる。

(2) 試験装置ラインの真空引き

Fig.2に示す真空ポンプよりラインの真空引きを行なう。時間は約10分～20分程度である。

(3) 窒素ガス封入操作

Fig.2に示す窒素ガスボンベ ($N_2 + 2\%O_2$) より V-10 を「開」にして、ガスをラインに封入する。ガス圧力は約 0.2 kg/cm^2 である。

(4) 循環運転

Fig.2に示すバルブにおいて、V-6「開」、V-7「閉」、V-8「閉」、V-9「開」、V-10「閉」、V-11「閉」、V-1「開」、V-3「開」、V-5「閉」、のバルブ構成で循環運転を行なう。この時、V-2、V-4でガス流量をそれぞれ調整し、SID流量は 2 l/min 、DPD流量は 15 l/min に設定する。

(5) 昇温操作

スライダックにより、ナトリウム・エアロゾル発生装置を所定の温度まで昇温する。

(6) ナトリウム・エアロゾル注入操作およびデータ採取

ナトリウム・エアロゾル発生装置の温度が所定の温度になったら、① V-9「閉」、V-8、V-7「開」にして、ナトリウム・エアロゾルを SID、DPD 部に注入する。②、①の操作の数十秒前にシステム 45、YODAC 8 を起動しデータ採取を行なう。データは 2 [sec] 間隔で 30 [min] 採取する。測定点は SID ガス流量、DPD ガス流量、SID フィラメント電流、SID イオン電流、DPD 差圧、ナトリウム・エアロゾル発生装置の温度である。

4.2 長期耐久性試験

本試験は、Fig.2の試験装置系統図において、次の順序で行なった。

(1) ブロワーにより、V-6→V-7→フランジ容器→V-8→V-1及びV-3→流量計→ブロワーの経路でガスを循環する。

(2) 信号処理ユニットにて、任意の時間の各数値 (SID ダークカレント、フィラメント電流、DPD

差圧)を測定する。

4.3 ナトリウム検出感度試験における試験条件および測定点

試験条件としては、ナトリウム・エアロゾル発生装置の温度を300℃、400℃、500℃、SIDガス流量を2ℓ/min、DPDガス流量を15ℓ/min、SIDフィラメント電流を3.4Aに設定し、サンプリングガスはN₂+2%O₂ガスを使用した。また、試験ナトリウム量は約1gである。

測定点は、ナトリウム・エアロゾル発生装置温度(ヒータ電圧、温度)、SIDガス流量、DPDガス流量、SIDフィラメント電流、SIDイオン電流、DPD差圧である。

4.4 長期耐久性試験における試験条件および測定点

試験条件としては、ナトリウム・エアロゾル発生装置温度を常温、SIDガス流量を2ℓ/min、DPDガス流量を15ℓ/min、SIDフィラメント電流を3.4Aに設定し、サンプリングガスはN₂+2%O₂ガスを使用した。

測定点は、SIDガス流量、DPDガス流量、SIDフィラメント電流、SIDイオン電流、DPD差圧、室温である。

なお、測定系内には検出感度試験において使用したナトリウムが残っているため実機よりも厳しい条件で耐久性試験を行なったことになる。

5. 試験結果

5.1 ナトリウム検出感度試験

(1) 試験経歴

昭和55年11月10日	400℃	(ナトリウム加熱温度)
" 56 " 1 " 27 "	400℃	
" 56 " 1 " 29 "	400℃	
" 56 " 1 " 30 "	500℃	
" 56 " 2 " 2 "	500℃	
" 56 " 2 " 4 "	300℃	
" 56 " 2 " 5 "	300℃	
" 56 " 7 " 10 "	400℃	
" 56 " 10 " 8 "	500℃	
" 56 " 12 " 25 "	400℃	
" 57 " 3 " 3 "	400℃	

(2) 試験結果

Fig.6はナトリウムを500℃に加熱した場合のSIDおよびDPDの出力信号の時間変化の1例を示したものである。縦軸にSIDイオン電流値〔nA〕, DPD差圧〔mH₂O〕, ナトリウム・エアロゾル発生装置温度〔℃〕, 横軸に時間(0~1800〔sec〕)をとっている。信号処理系をスタート後, 約30秒でバルブを開き, その後約60〔sec〕でSIDイオン電流が増加し始め, 120〔sec〕で最大となり, その後減少傾向にあり, 1000〔sec〕以上続いている。60〔sec〕というのは, ナトリウム・エアロゾル発生装置からSIDに到達するまでの時間と一致しており, ナトリウムが来ればすぐ反応して検出出来ることがわかる。

一方, DPDの方は徐々に増加し始め, 500〔sec〕以後で急に立上がり780〔sec〕で零になっているが, これはDPD信号の過電流をさけるために電源を切ったためである。従ってDPDでナトリウム検出を行なうには時間遅れが生ずることがわかる。

次に, Fig.7はNaを300℃, Fig.8は400℃, Fig.9は500℃に加熱した場合のSID出力信号の時間変化を示したものである。測定毎に大きな差があり定量的にはいえないが, ナトリウム加熱温度が低い300℃では出力信号が小さく400℃, 500℃と高温になると大きな出力信号が得られる傾向があることがわかる。また, 各温度によって, SIDイオン電流のピーク値になる時間がずれているのは, 信号処理装置をスタートしバルブ「V-7」, 「V-8」を「開」にする時間が各試験によって統一されていないためである。

一方, DPD出力信号のナトリウム温度の差によるちがいをFig.10~Fig.12に示す。この場合同じ温度でも測定による大きな差があり, 短時間で差圧信号がスケールアウトしてしまう場合

もあり、ナトリウム加熱の微少な差の影響を大きく受けることがわかる。温度による差は明確ではないが、高温の場合スケールアウトする傾向があるように考えられる。

また、Fig.7～Fig.12において、まずSIDについては一部のものはイオン電流の変化が小さく、ナトリウムリークの検知が難しいものがあるがいずれも0～30秒の間でバックグラウンドレベルより増加する傾向があり、比較的短時間のうちにナトリウムリークを検知しうるということがわかる。次に、DPDの方は一部を除いて比較的变化が小さくナトリウムリーク検知もSIDより時間がかかりそうである。

5.2 長期耐久性試験

Fig.15(a), (b)は約1年間にわたるSIDダーク電流、フィラメント電流、DPD差圧及び実験室温度をプロットしたものである。DPD差圧信号はほとんど変化がみられないがSIDダーク電流に関しては、約0.1[mA]～0.6[mA]にわたって変化しており、特に室温変化と同じ傾向で変化している。原因及び詳細については次章の評価検討において述べることにするが積算運転時間として、昭和55年11月から、昭和56年12月までの約1年間で約9020(h)運転を行なったがフィラメント断線は認められず、SIDフィラメントの耐久性が確認された。

6. 評価検討

6.1 ナトリウム検出感度試験

Fig.6の試験において、フィルターに付着したナトリウム総量は中和滴定の結果、SIDフィルターでは 2.7×10^{-4} [g]、DPDフィルターでは 4.2×10^{-3} [g]であった。これを用いて、ナトリウム濃度とSIDの検出感度との関係を次の様に求めてメーカ提出値と比較した。

① 測定値は	SIDフィルターに付着したナトリウム量	2.7×10^{-4} [g]
	SIDガス流量	2.0 [ℓ/min]
	試験時間	17 [min]

② 試験時間全体に流れたガス量は

$$2 \text{ ℓ/min} \times 17 \text{ min} = 34.0 \text{ [ℓ]} = 34 \times 10^3 \text{ [cc]}$$

③ ナトリウム濃度 [g/cc] は

$$\frac{2.7 \times 10^{-4}}{34.0 \times 10^3} = 0.08 \times 10^{-7} = 8.0 \times 10^{-9} \text{ [g/cc]}$$

④ SIDイオン電流の平均値は 9.4 [mA]

⑤ ③, ④の数値を初期メーカ提出感度図 (Fig.13) にプロットした結果、やや低めではあるがメーカ提出感度値と大きく変わるものではないことがわかった。他の測定値に対しても同様な方法で検出感度を求め、同図 (Fig.13) にプロットしている。測定値のちがいによって変化はあるが低下の傾向ではないため検出感度の低下は少ないものと考えられる。

次に、SID検出感度の経時変化を (Fig.14) に示す。これはFig.7～Fig.9の測定結果からSIDイオン電流の平均値を求めたものであり、縦軸はSIDのイオン電流 [mA]、横軸は試験実施年月日である。イオン電流の値は、測定時間200 [sec]間の平均値を表わしたもので、3.3 [mA]～19.7 [mA]の範囲でばらついている。これは測定誤差、ナトリウム・エアロゾル発生装置の昇温のちがいによるナトリウム・エアロゾルの発生状態の差などの原因で、幅が生じたと考えられる。フィルターに付着したナトリウム量をすべての試験においては測定していないので、定量的にはいえないが、1年間後の検出感度の低下はあまりないものと考えられる。

6.2 長期耐久性試験

長期耐久性試験において、Fig.15(a)(b)にプロットした様にSIDダーク電流の変化が室温変化と同じ傾向にある現象について下記の要領で原因の調査を行なった。①試験装置を容器自体、SID本体、SID電極、配管、測定回路の5箇所に分けて各部をドライヤの熱で加熱を行なった。その結果をTable-3(1)に示す。②容器のヒータをスライダックにより除々に昇温し、各々の温度でのSIDダーク電流の測定を行なった。その結果をTable-3(2)に示す。Table-3(1)(2)から判る様に、SIDダーク電流の増減の原因としては、①容器のヒータによる加熱温度、②SID電極

の温度が影響している事がわかった。しかし、室温の変化によるSIDダーク電流の増減の影響は非常に小さくほとんど実用上問題ないと考えられる。

7. 結 言

高速増殖炉のナトリウム微量漏洩検出のために開発された、ナトリウムイオン化式（SID）、差圧式（DPD）漏洩検出器の耐久性に関して、実機の雰囲気に近い窒素ガス条件下で試験を行なった。本試験で得られた結果を要約すると次の様になる。

- (1) SIDは約1年間の使用において、フィラメントの断線も生ずることなく、十分な耐久性を有することが確認され、ダーク電流の経時変化も0.1～0.6〔mA〕以下であった。
- (2) DPDも性能の劣化や測定回路のトラブルもなく十分にその耐久性が確認された。
- (3) SIDの検出感度も、多少の幅はあるが初期メーカー提出感度と大きく変わるものではなく、実用上問題はないことが確認された。

8. 謝 辞

本研究の遂行にあたり、終始御指導御協力いただいた旧FBR開発本部計測制御Grの亀井満（現在大洗工学センター）、浅川直記（現在横河電機）の両氏及び大洗旧Na技術部三本保秀部長（現在高速炉安全工学部長）に深く謝意を表します。

9. 参 考 文 献

- (1) 長沼辰二郎他：ナトリウム煙検出器の試作試験 SJ206 71-02, 1971
- (2) 桜間 直樹他：ナトリウム漏洩検出器の性能確性試験 J202 72-02, 1972
- (3) 菅原 宏他：二次冷却系用通電式ナトリウム漏洩検出器の試作試験 SJ223 73-01, 1973
- (4) 伊部 英史他：ナトリウム微量漏洩検出器の開発(1) SJ202 78-16, 1978
- (5) 伊部 英史他：ナトリウム微量漏洩検出器の開発(2) SJ202 79-22, 1979
- (6) 八木 隆他：微量ナトリウムリーク計予備試験 SJ222 79-17, 1979

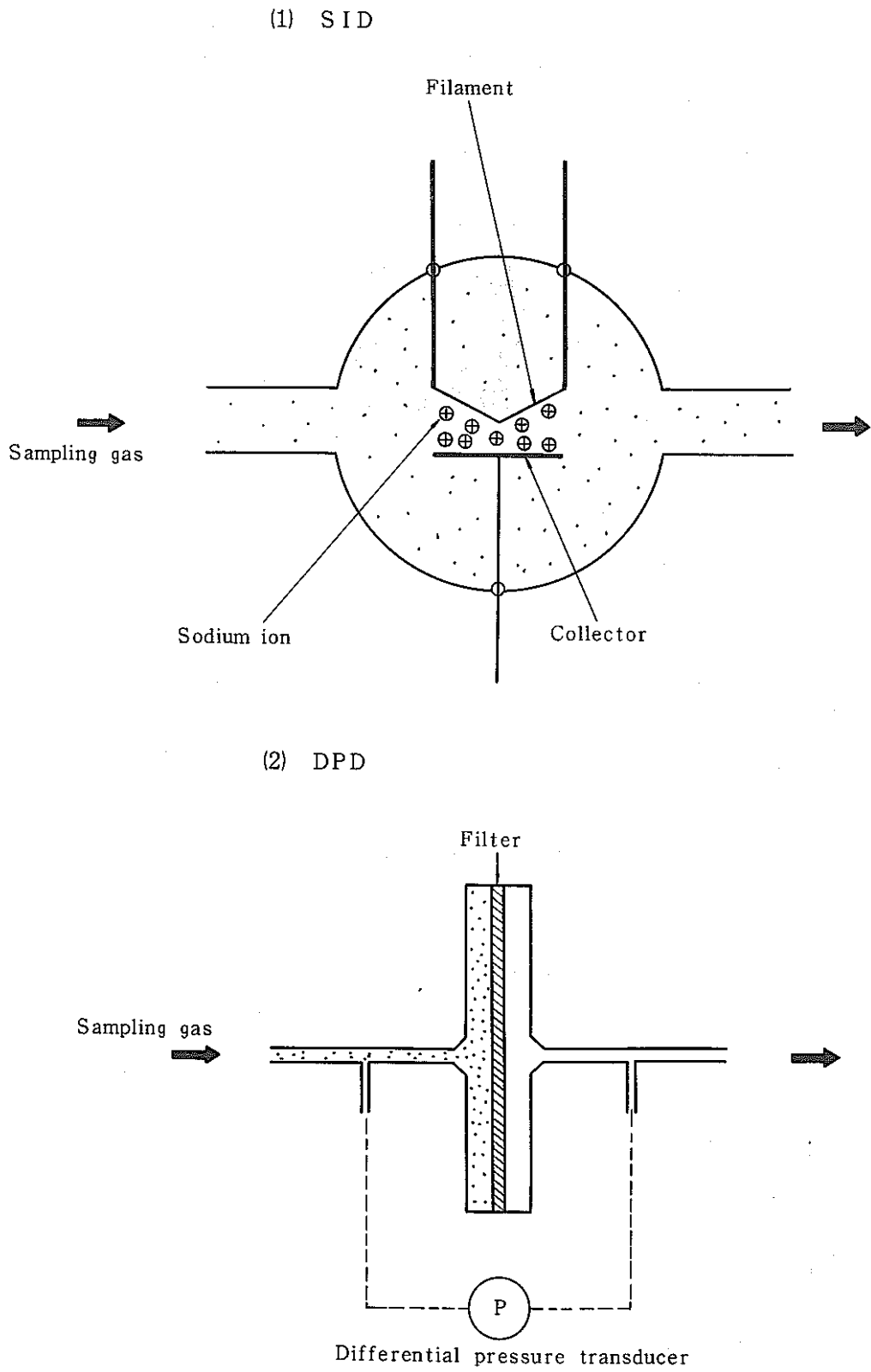


Fig. 1 Fundamental construction of SID & DPD

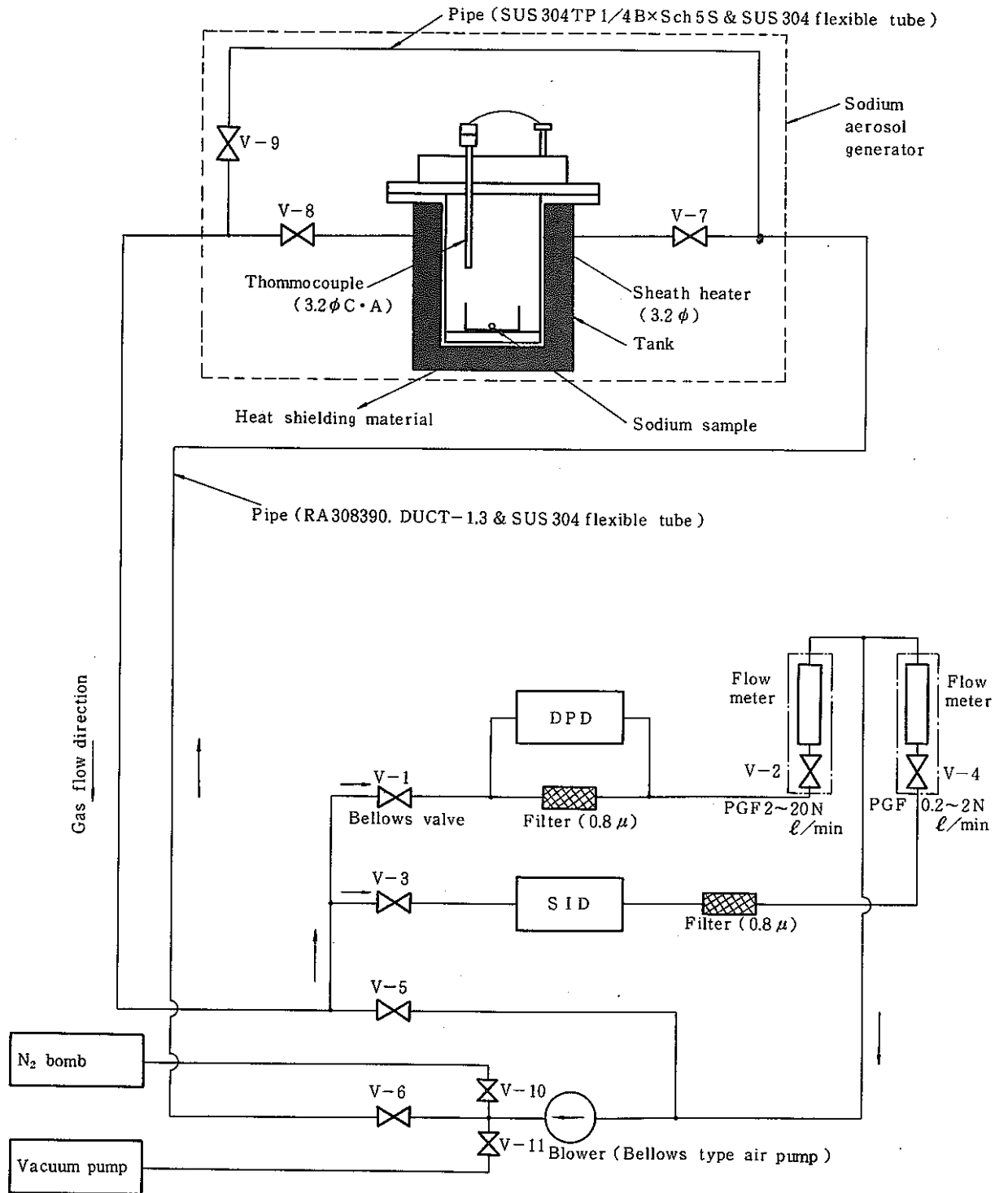


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental equipment

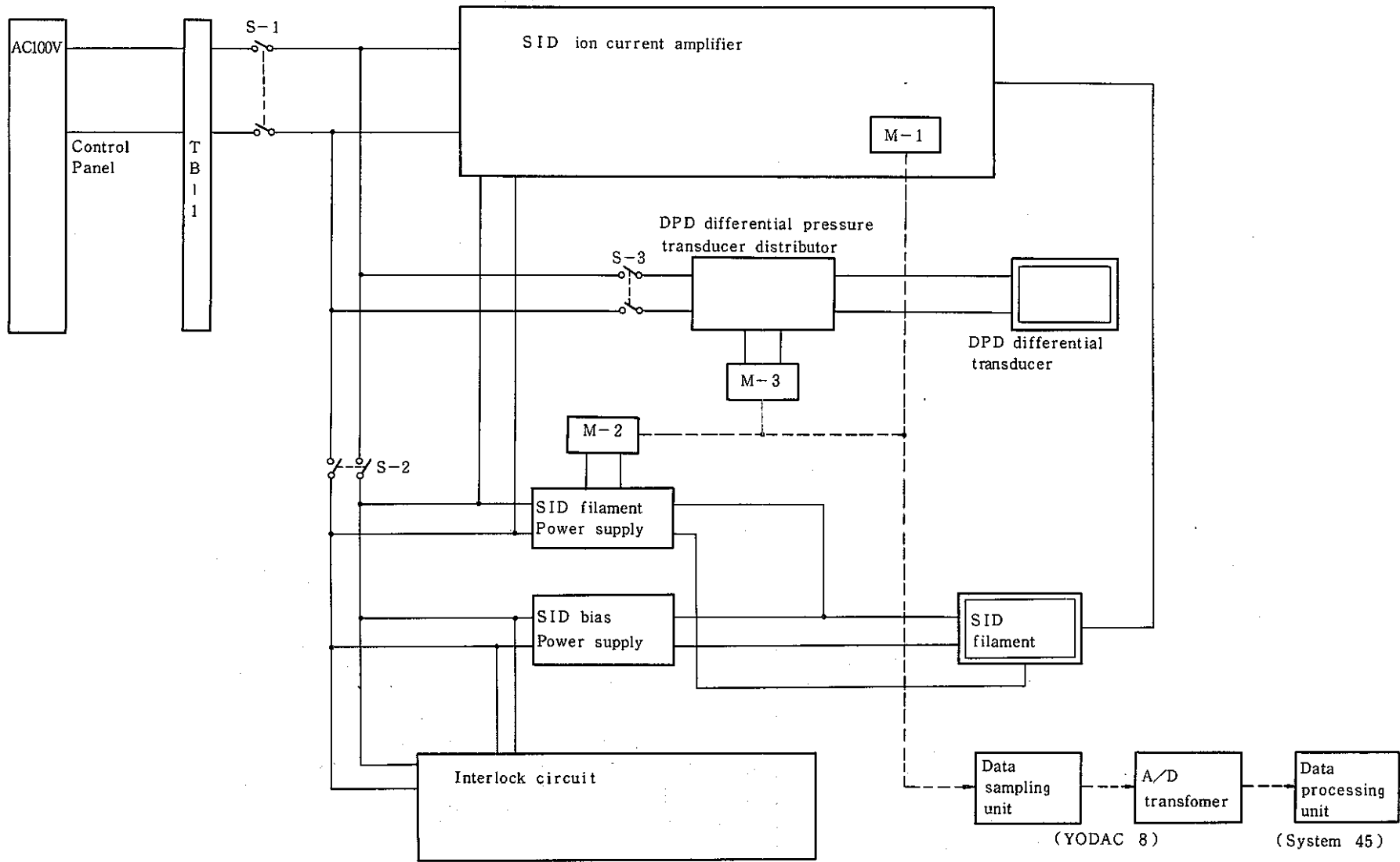
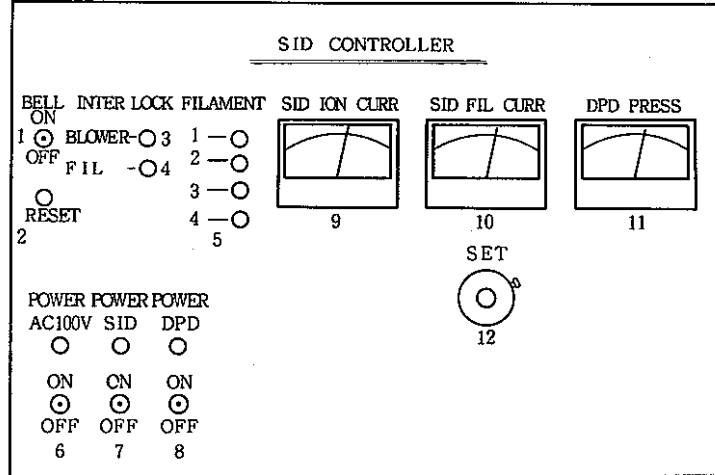


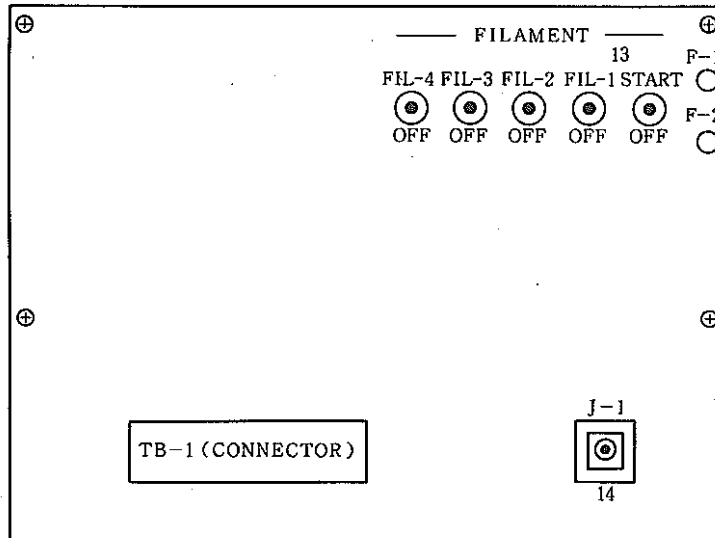
Fig. 3 Block diagram of the Signal processing unit

Front Panel



- 1..... SID FILAMENT BREAKING ALARM BELL
- 2..... ALARM RESET SWITCH
- 3..... BLOWER OPERATIONAL LAMP
- 4..... FILAMENT OPERATIONAL LAMP
- 5..... FILAMENT SELECT LAMP
- 6..... MAIN POWER SWITCH (S-1)
- 7..... SID POWER SWITCH (S-2)
- 8..... DPD POWER SWITCH (S-3)
- 9..... SID ION CURRENT METER
- 10..... SID FILAMENT CURRENT METER
- 11..... DPD DIFFERENTIAL PRESSURE METER
- 12..... SID FILAMENT CURRENT

Rear Panel



- 13..... FILAMENT SELECT SWITCH
- 14..... SID ION CURRENT CONNECTOR

Fig. 4 Signal processing unit

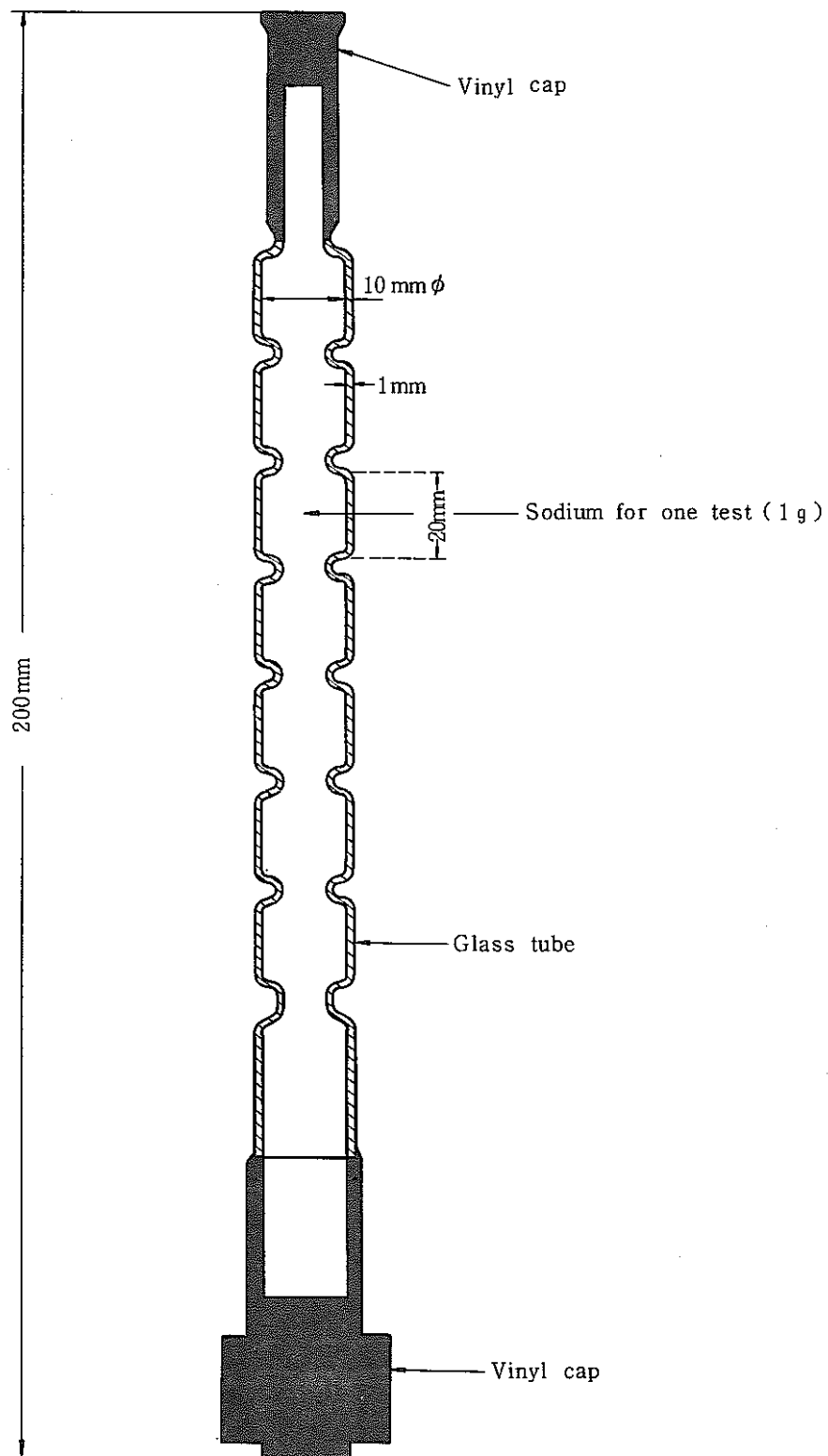


Fig. 5 Sodium test sample

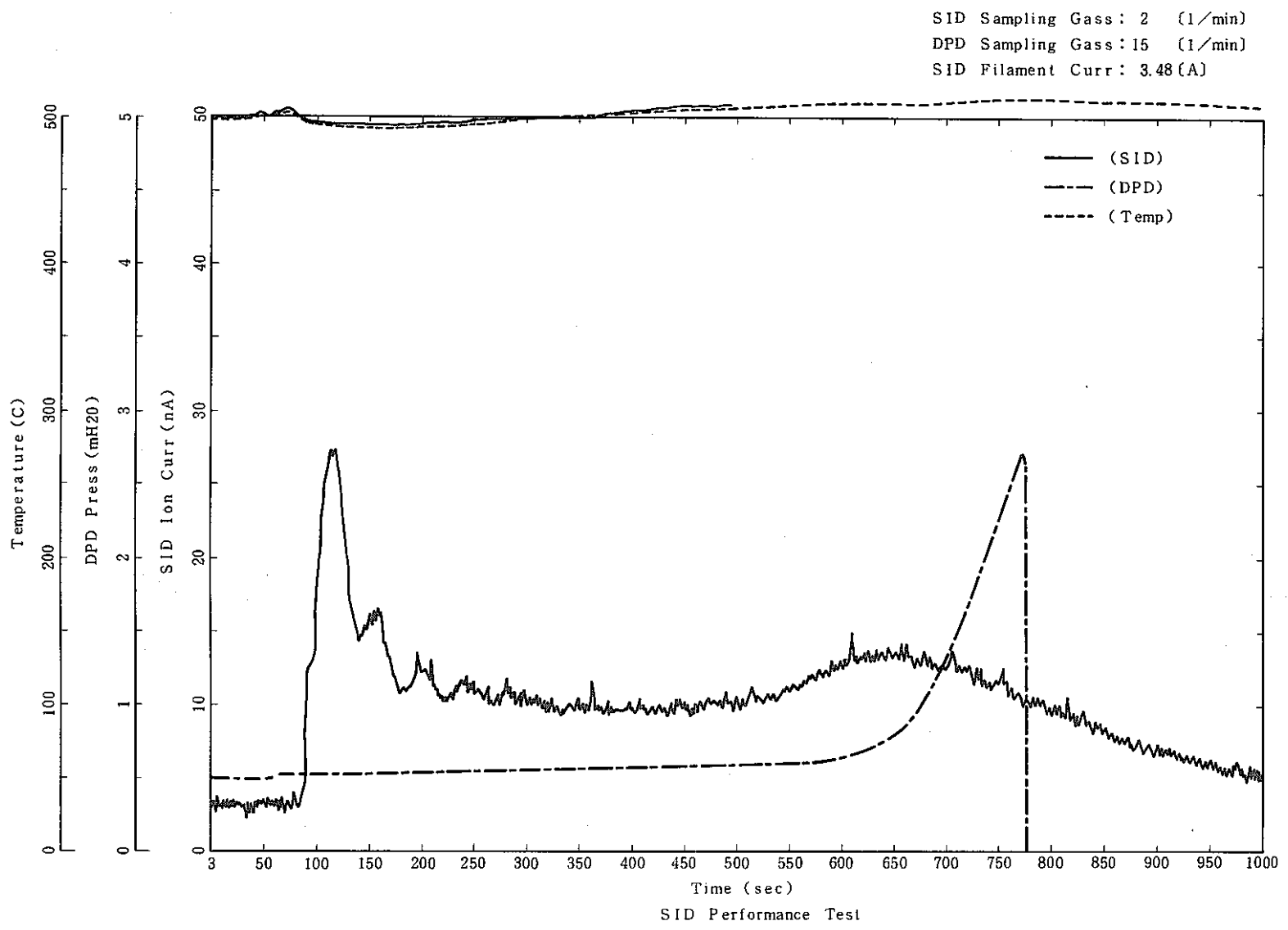


Fig. 6 Time dependence of SID & DPD detection signal (Sodium temp. 500°C)

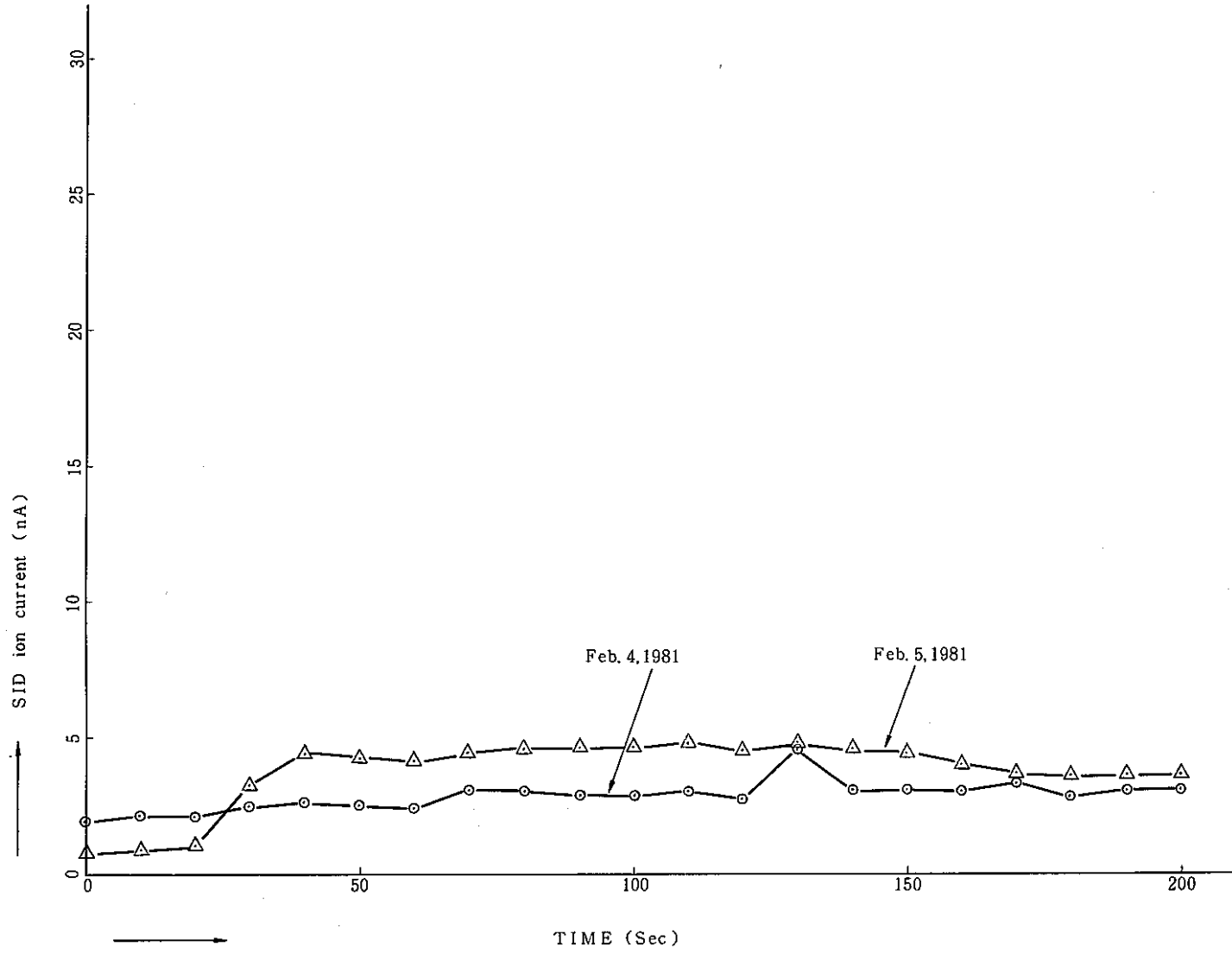


Fig. 7 Time dependence of SID ion current (Sodium temp. 300°C)

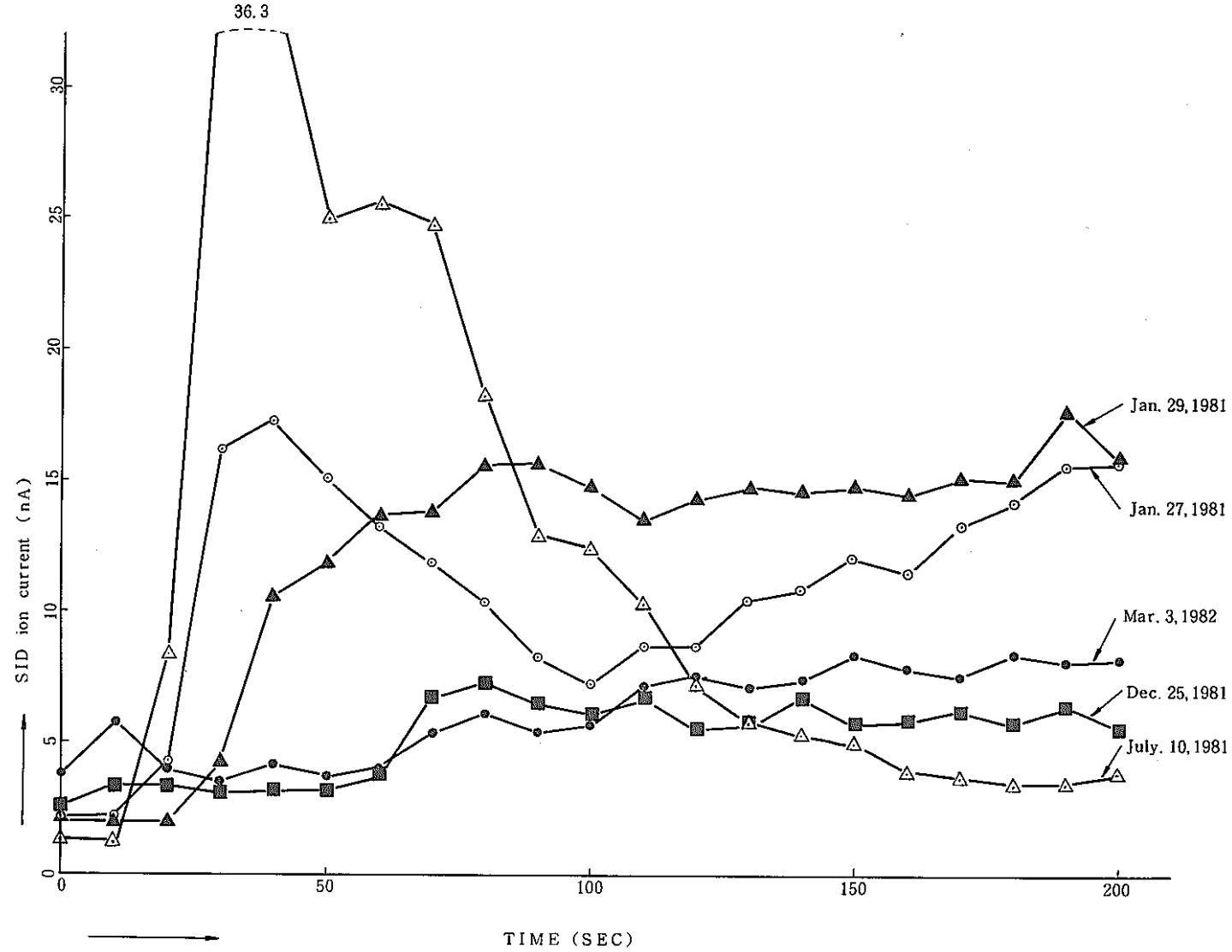


Fig. 8 Time dependence of SID ion current (Sodium temp. 400°C)

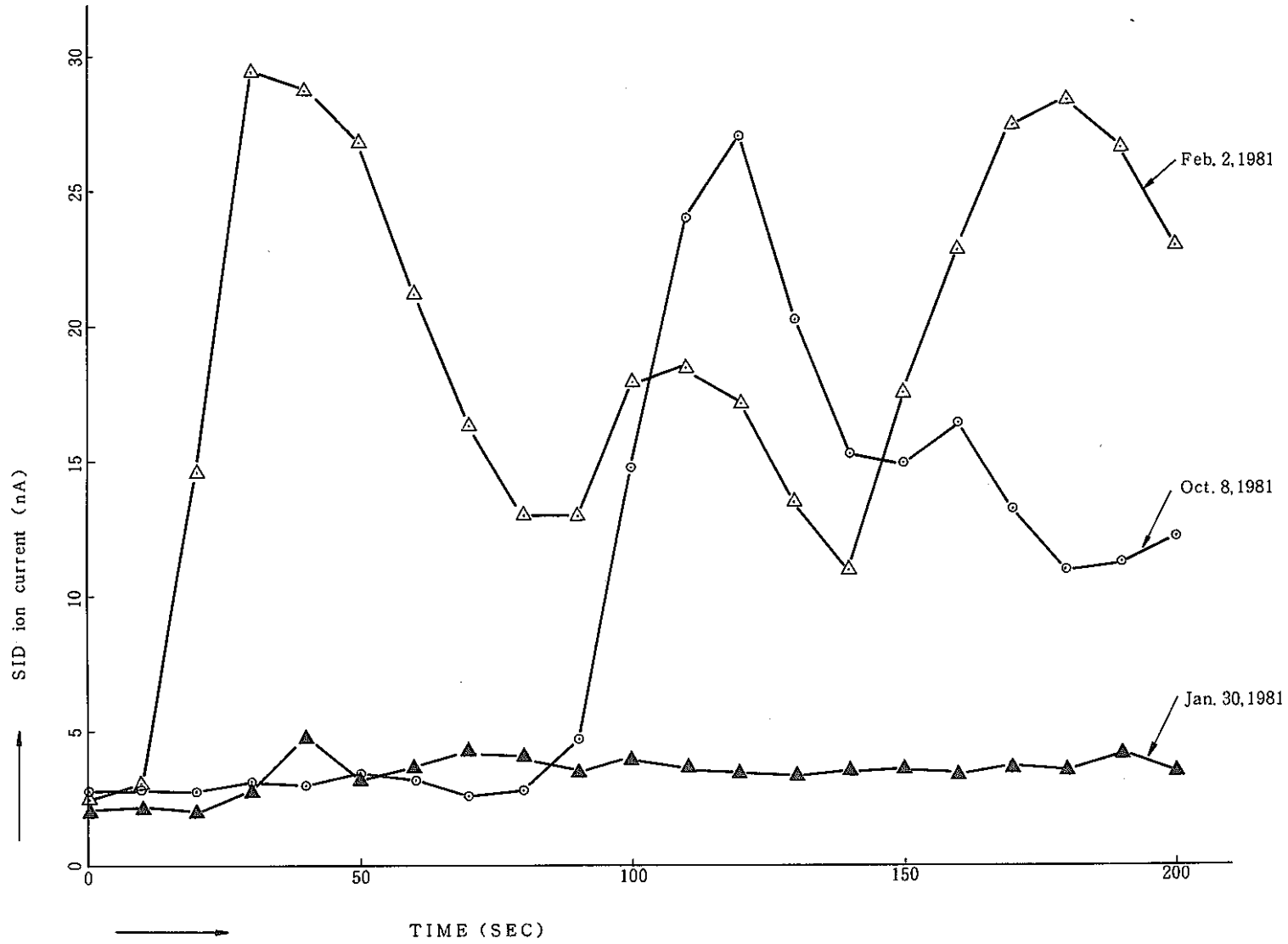


Fig. 9 Time dependence of SID ion current (Sodium temp. 500°C)

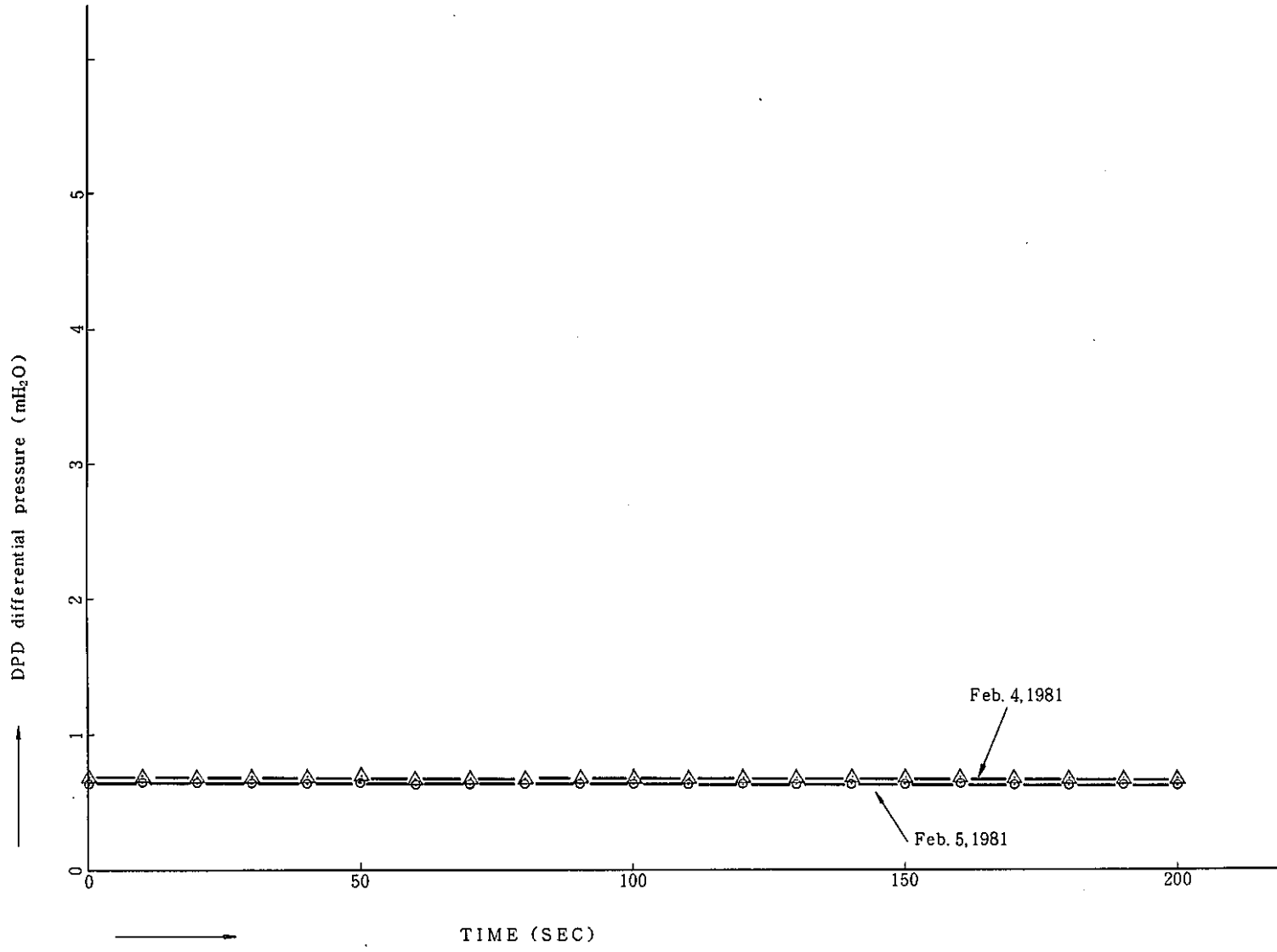


Fig.10 Time dependence of DPD differential pressure (Sodium temp. 300°C)

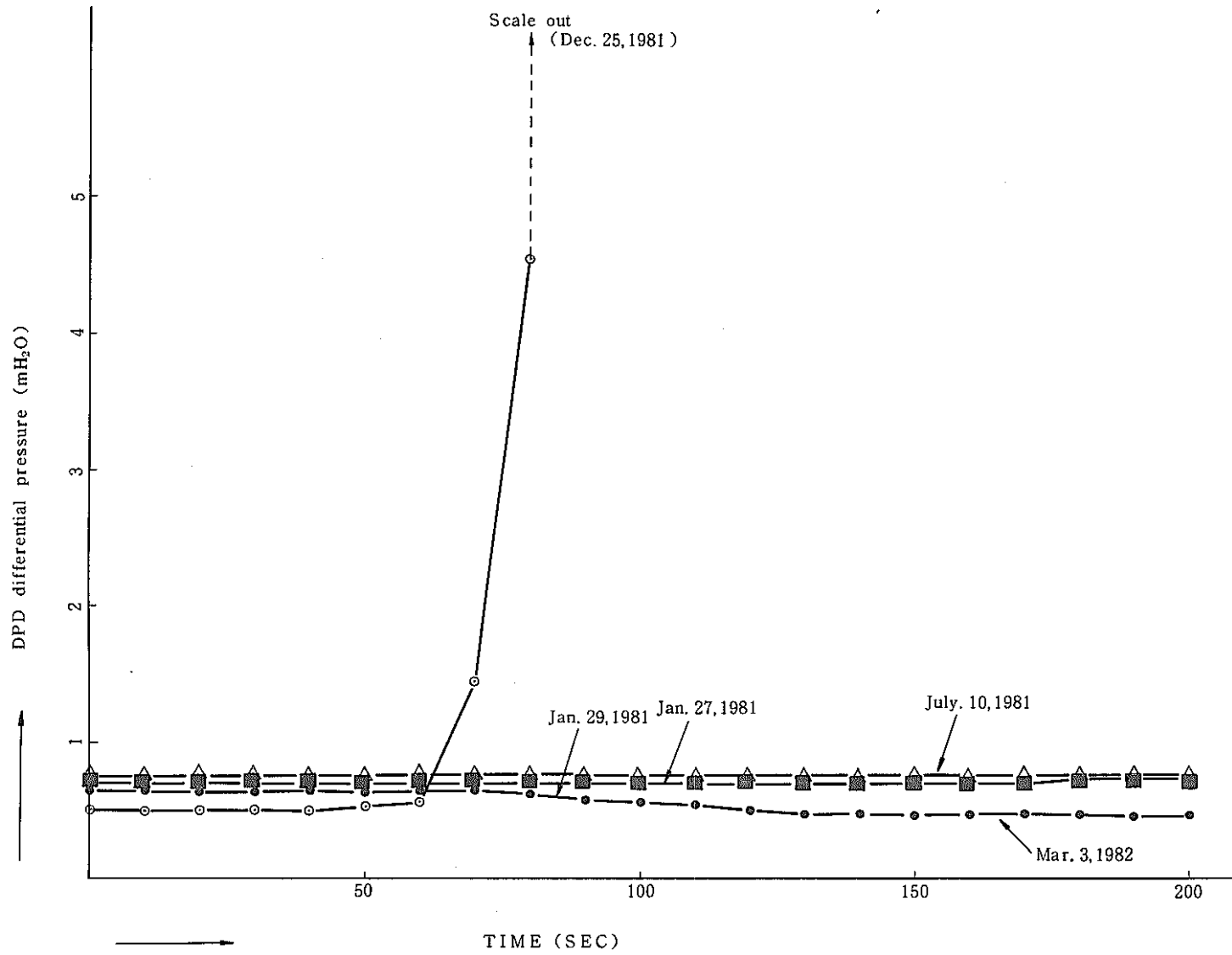


Fig.11 Time dependence of DPD differential pressure (Sodium temp. 400°C)

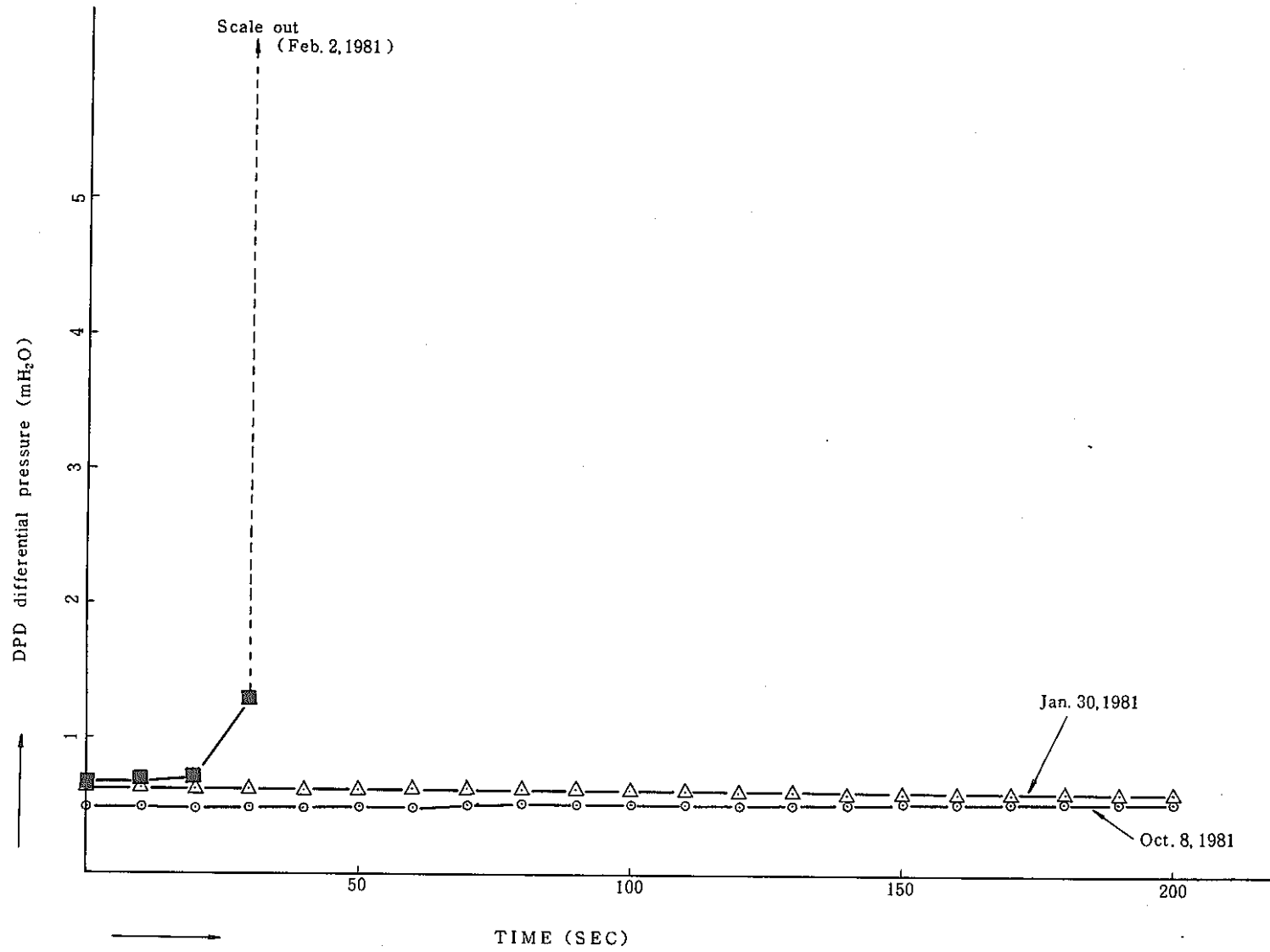


Fig.12 Time dependence of DPD differential pressure (Sodium temp. 500°C)

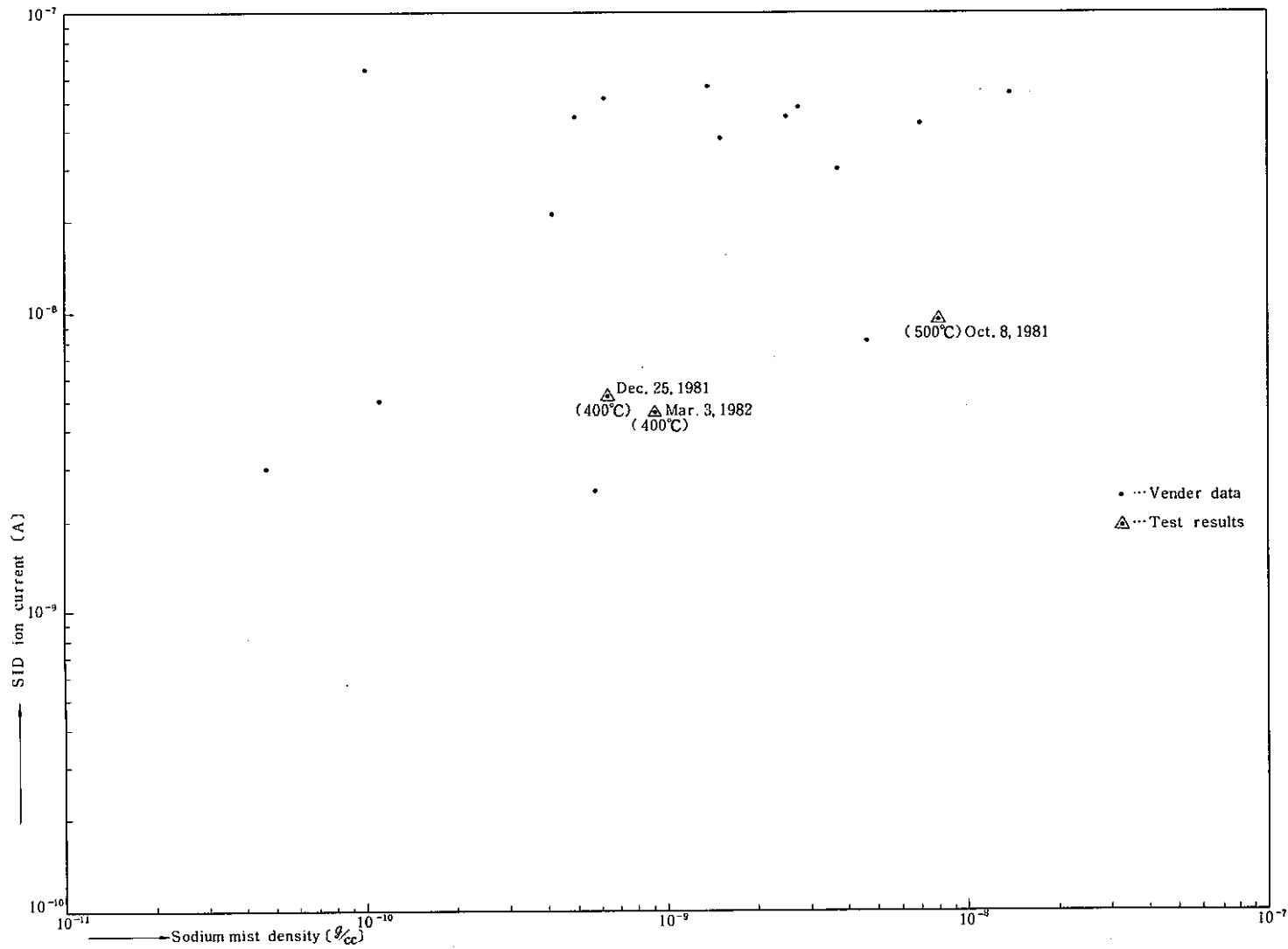


Fig.13 Sodium mist dependence of SID detection sensitivity

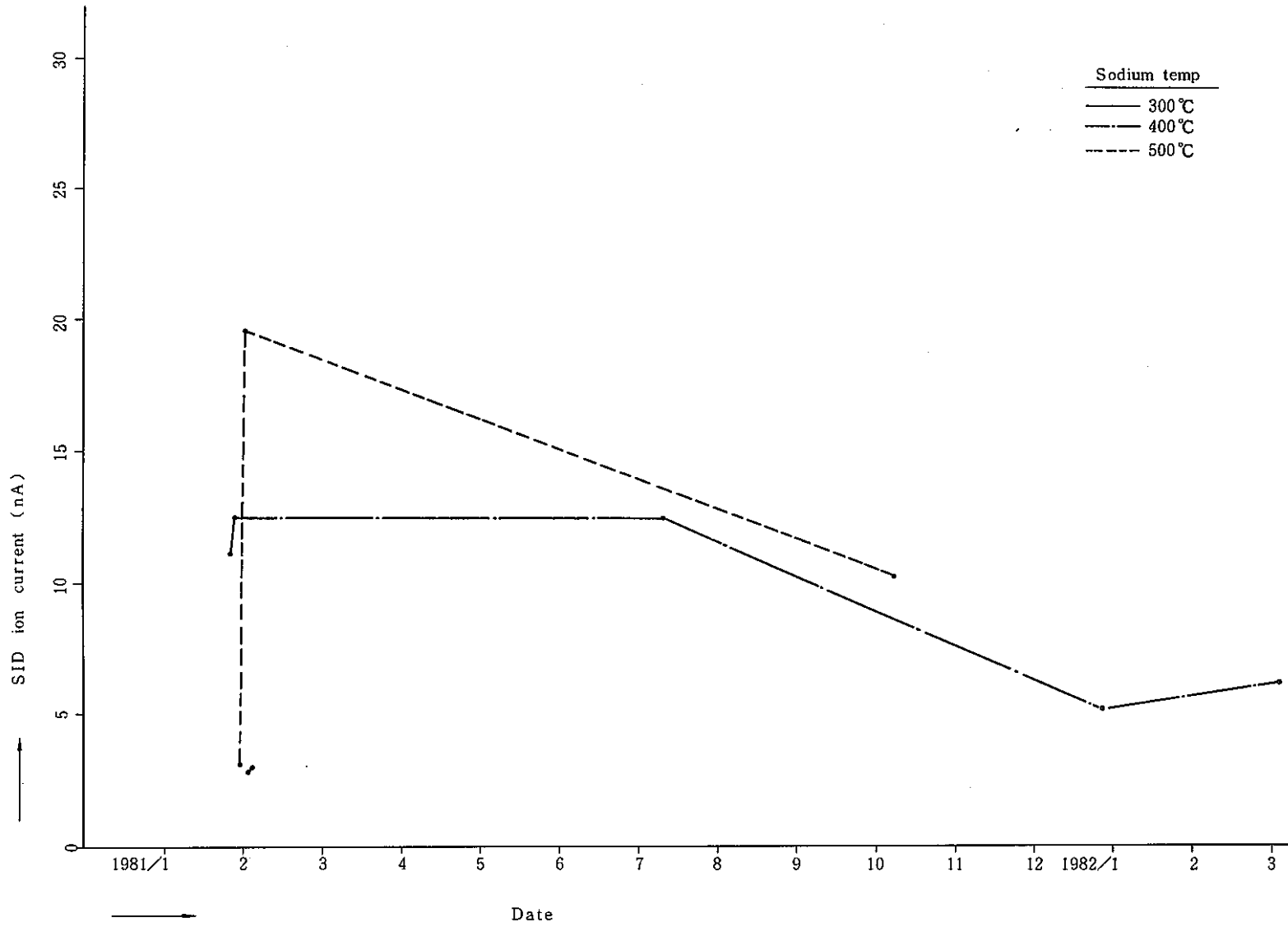


Fig. 14 Mean Value of SID ion current

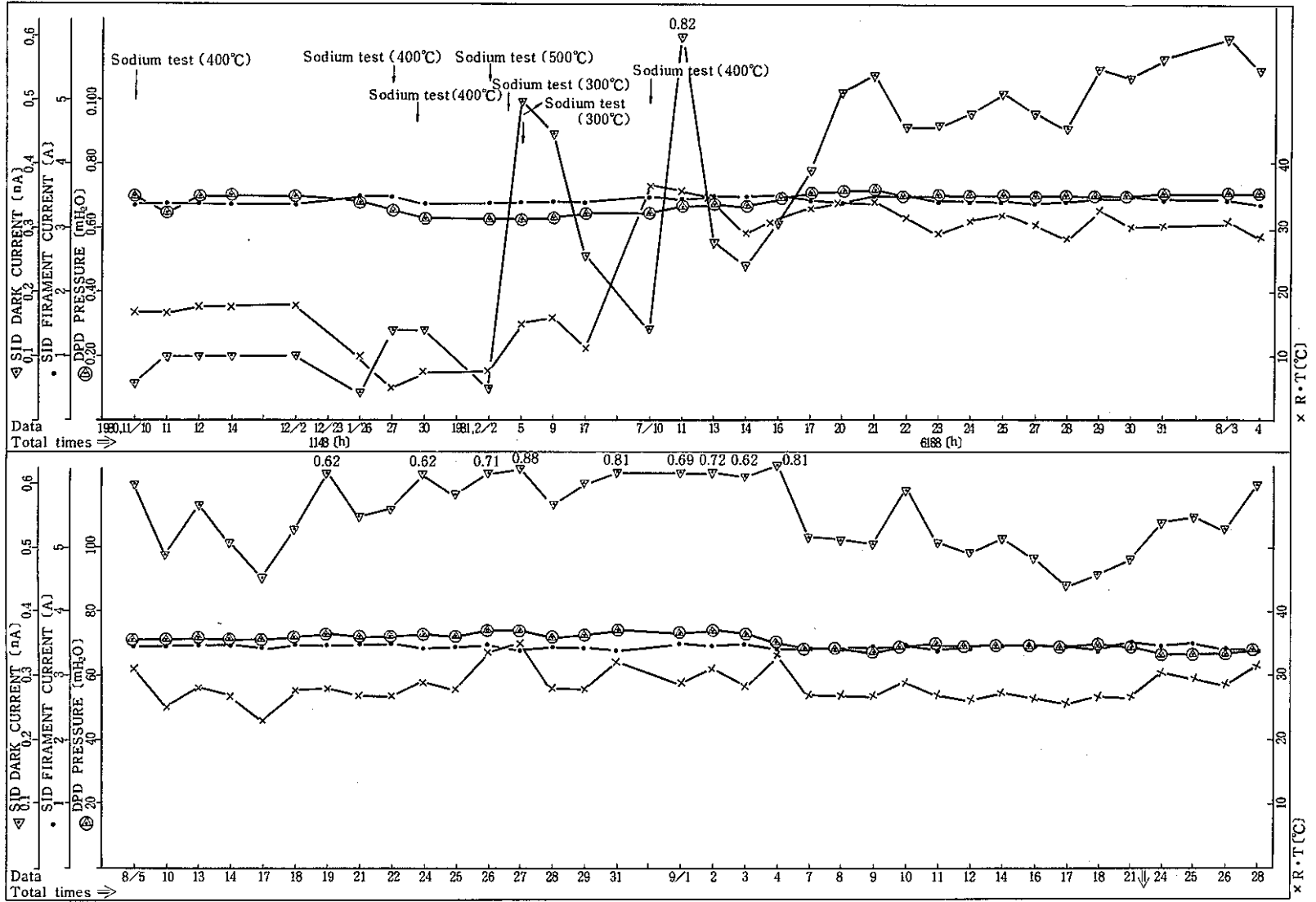


Fig.15(a) SID & DPD evdurance test results

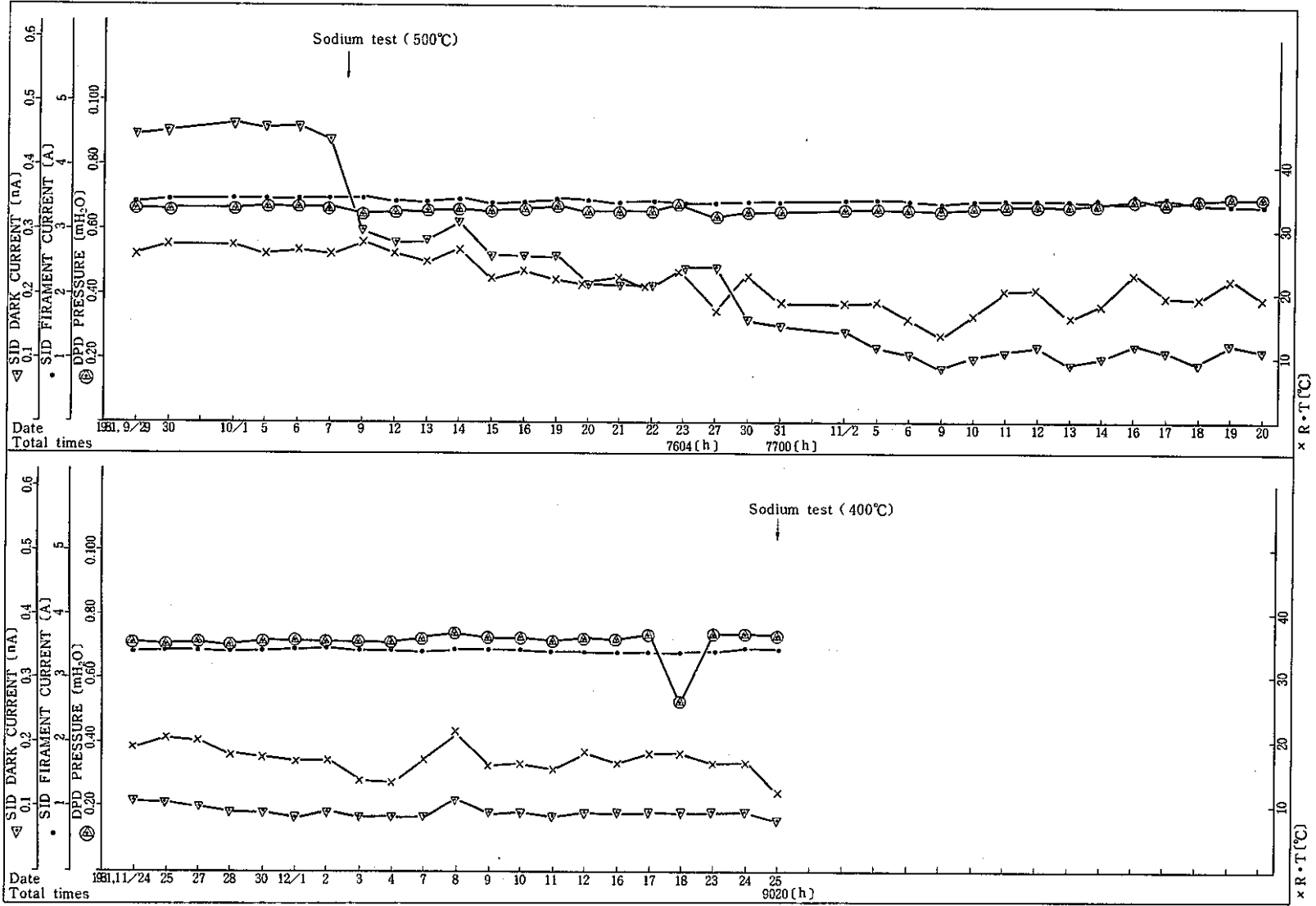


Fig.15(b)

Table 1 Specification of sodium ionization detector (SID)

Item	Specification
SID dark current	$< 10^{-9}$ (A)
SID detection sensitivity	< 10 (mg/m ³)
SID response	< 10 (sec)
Pressure range	0 ~ 2.4 (kg/cm ² G)
Flow rate	0.2 ~ 2 Nℓ/min

Table 2 Specification of differential pressure detector (DPD)

Item	Specification
Pressure range	0 ~ 0.5 kg/cm ²
Filter	0.8 μ × 47 mm φ
Flowrate	2 ~ 20 Nℓ/min

Table 3 Investigation of cause on SID dark current drift

(1) Heating by electric drier

Position	Temp (°C)	SID dark current (mA)
① Sodium tank	R.T	0.05
	60	0.05
② SID detecton housing	R.T	0.04
	36	0.04
	47	0.04
	62	0.05
	77	0.06
③ SID electrode	48	0.20
④ Gas loop	R.T	0.04
	60	0.04
⑤ Electric circuit	26	0.04
	36	0.04
	42	0.04
	50	0.04
	57	0.04

(2) Heating of sodium tank by electric heater

Temp (°C)	SID (αA) dark current	Temp (°C)	SID (αA) dark current
14	0.06	31	0.09
15	0.07	32	0.09
16	0.07	33	0.09
17	0.07	34	0.09
18	0.07	35	0.09
19	0.07	36	0.09
20	0.07	37	0.10
21	0.08	38	0.10
22	0.08	39	0.10
23	0.08	40	0.10
24	0.08	41	0.11
25	0.08	42	0.11
26	0.08	43	0.12
27	0.08	44	0.11
28	0.09	45	0.11
29	0.08	46	0.12
30	0.08	47	0.12

1.0. SID 検出器原理詳細説明資料

ナトリウム微量漏洩検出器の開発 - 検出器 (SID)
 感度評価試験 - SJ 202 79-29 より抜粋

- ナトリウムイオン化検出器 (SID) の原理 -

検出器は基本的にはナトリウムをイオン化するフィラメントと Na⁺ イオンを捕集するコレクターとから成る。(Fig.2(1)) サンプリングガス中のナトリウム粒子は、フィラメントを高温に保てば、フィラメント周辺で多くのものが、原子状に解離していると考えられ、この時、フィラメントの単位表面積、単位時間に衝突してくるナトリウム原子数 n (個 $\text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1}$) は、気体分子運動論により、次式で表わされる。

$$n = n_0 \frac{k T^*}{2 \pi m} \quad \text{..... (1)}$$

ここで、

m : ナトリウム原子の質量 (g)

n_0 : ガス中のナトリウム原子個数密度 (個 cm^{-3})

T^* : フィラメント近傍の温度 (°K)

k : ボルツマン定数

フィラメントに衝突したナトリウム原子の大部分は、そのまま弾性衝突してフィラメントから脱離するが、一部は Fig. A2 で示した Vander Waals のポテンシャル (物理吸着ポテンシャル, 曲線 a) に従い、谷の部分で振動しながらフィラメント表面上に拡散する。

ナトリウムのイオン化は、ナトリウム原子がフィラメント表面に化学吸着 (後述) することによって生じるが、この場合フィラメント表面には有限の吸着点があり、この吸着点の数 ($10^{15} \sim 10^{16}$ 個 cm^{-2}) を超えて化学吸着することはできない。

物理吸着したナトリウム原子のうち、裸のナトリウム原子で占有されていない吸着点に衝突したものは、次の様な機構によってフィラメントに化学吸着する (ポテンシャルを Fig. A2) の曲線 b に示す)。

ナトリウム原子のイオン化エネルギーを I とした時、(Fig. A3(a)) 軌道電子に対するポテンシャルは曲線 c の様になり、電子はポテンシャルの谷の部分で固有のエネルギーを持って運動している。この時ナトリウム原子をイオン化するためには、 I に相当するエネルギー (温度にして $\sim 10^4 \sim 10^5 \text{K}$) が必要であるが、ナトリウム原子がフィラメントの近傍にある場合 (Fig. A3(b)) には、ナトリウムの価電子に対するポテンシャルは、曲線 d の様になり、図でエネルギー q だけ価電子が励起されれば、電子は容易にフィラメント中に移動し、ナトリウム原子はフィラメント表面でイオン化する。この時、フィラメント内部には鏡像力として負の電荷が現われ、クーロン力によってナトリウム原子は表面に吸着する。

上述したことから、フィラメントの仕事関数 ϕ は、 I より大きいか、 I より小さくても ϕ との差が小さければ、表面でのイオン化が起こりやすいことがわかる。

表面でイオンとなったナトリウムを表面から脱離させ、これを外電場に依ってコレクターに捕集すれば、ナトリウムをイオン電流として検出することができる。イオンの脱離量は、フィラメントの温度によって支配され、平衡（衝突原子個数と脱離原子個数が等しい）に於いては、次式が成り立つ

$$n^+ = \frac{n}{1 + \exp \{ e(I - \phi) / kT \}} \quad (2)$$

ここで、

n^+ : 脱離イオン速度 (個 cm^{-2} , sec^{-1})

e : 電子電荷 (C)

T : フィラメント温度 ($^{\circ}\text{K}$)

(2)式の分母は、脱離原子数に対するイオンの放出割合を決定する項であるが、厳密にはこの項は正しくない。

というのは、第一にはフィラメントの仕事関数は、表面にナトリウムイオンが吸着するに従い電気二重層を形成するために減ることと、第二には、フィラメントの表面に於ける格子面のばらつきによっても仕事関数が異なるため、実際Langmuirはフィラメントの表面状態及び被覆度 θ （吸着原子数/吸着点数）によってイオンの放出割合が大きく変わることを報告している。

以 のことから、コレクターに発生したイオンが全て集められるとした場合の電流 I_p は次式の様になる。

$$I_p = \frac{en^+S}{1 + \exp \{ W(\theta) / T \}} \quad (3)$$

ここで、

S フィラメント表面積 (cm^2)

$W(\theta)$ は、上述の不確定性を考慮して(2)式の $(I - \phi) / k$ を置き変えたものである。

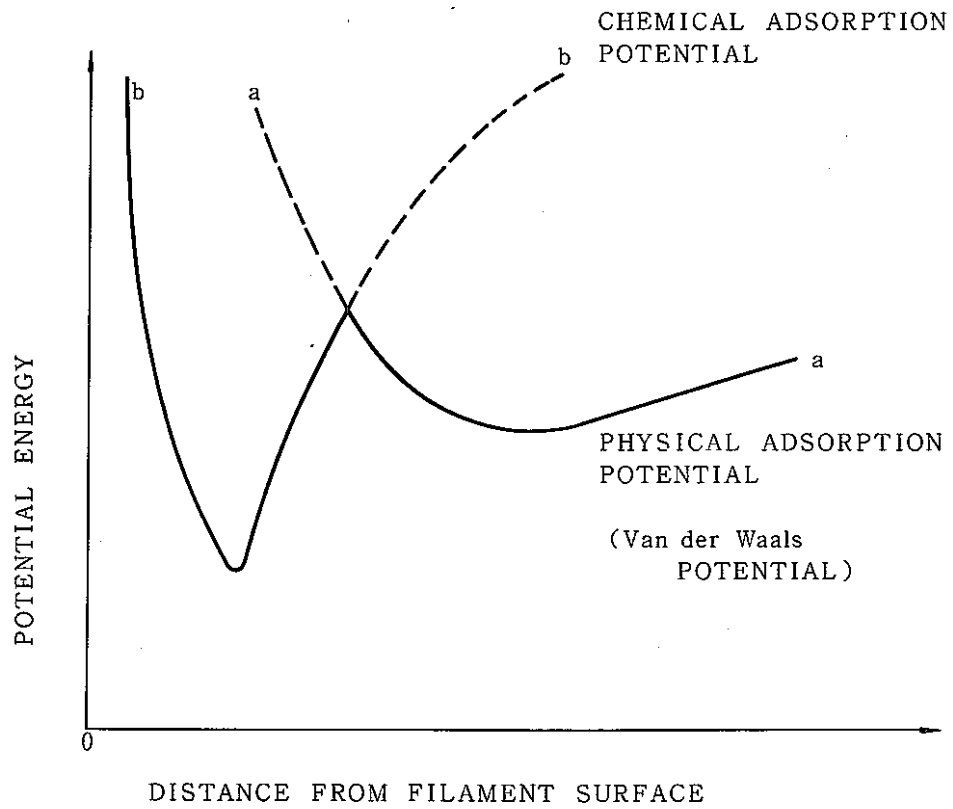
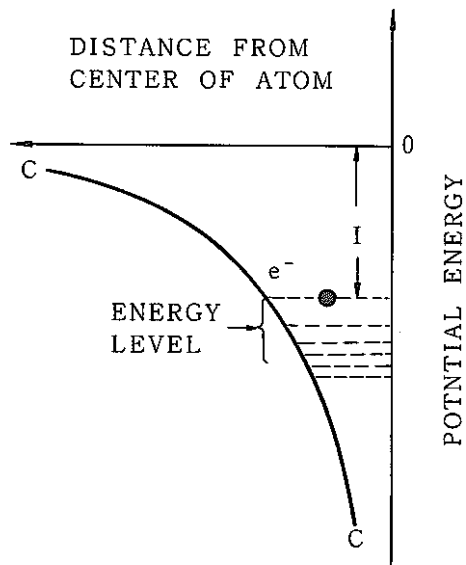
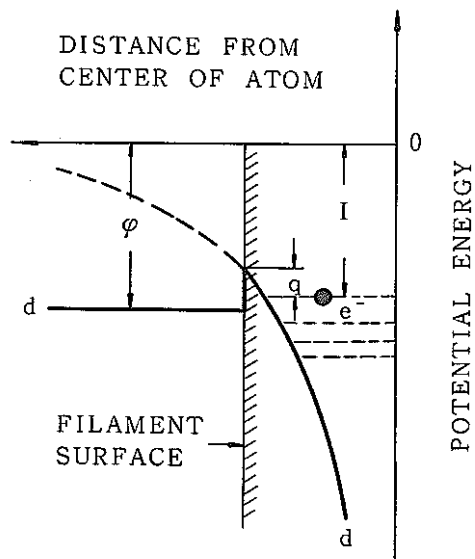


Fig.A2 Adsorption potential near the surface of filament



(a) Energy levels of orbital electrons and ionization energy for sodium atom



(b) Change in potential energy near the filament surface

Fig.A3 Ionization mechanism of sodium particle on the surface of filament