

JAERI-Tech  
94-031



Ar 凝縮層を用いたクライオソークション  
ポンプによるHeガス排気

1994年11月

秋野 昇・朴木敏郎・國枝俊介  
栗山正明・大賀徳道・清水和彦

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課(〒319-11 茨城県那珂郡東海村)あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター(〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内)で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.  
Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1994

編集兼発行 日本原子力研究所  
印刷 (株)高野高速印刷

Ar 凝縮層を用いたクライオソープションポンプによるHeガス排気

日本原子力研究所那珂研究所核融合装置試験部  
秋野 昇・朴木 敏郎・國枝 俊介・栗山 正明  
大賀 徳道・清水 和彦

(1994年10月20日受理)

既設JT-60NB Iを使った大出力ヘリウムビーム入射のために、アルゴン凝縮層を利用した大容量ヘリウムガス排気のクライオソープションポンプの開発を行った。このクライオソープションポンプは、既設の水素排気用クライオポンプをほとんど改造せずに、単にアルゴンガス導入系だけを追加したものである。達成した排気速度は、1ビームラインあたり、3Heガスに対して $550\text{m}^3/\text{s}$ 、4Heガスに対して $480\text{m}^3/\text{s}$ であった。この結果、パルス幅4.0秒までの3He及び4Heビームを安定してJT-60に入射することができた。

Helium Gas Evacuation with a Cryo-sorption Pump Using an Argon  
Condensed Layer

Noboru AKINO, Toshirou HOONOKI, Toshisuke KUNIEDA  
Masaaki KURIYAMA, Tokumichi OHGA and Kazuhiko SIMIZU

Department of Fusion Facility  
Naka Fusion Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Naka-machi, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received October 20, 1994)

A cryo-sorption pump with argon condensed layer was developed for a large amount of helium gas pumping, which needs on a high power helium beam injection into the JT-60 plasmas using the present JT-60 NBI system. This cryo-sorption pump system hardly needs modification of the present cryopump system except an argon gas feeder system. The achieved pumping speed with the sorption pump was  $550\text{m}^3/\text{s}$  per beamline for  $3\text{He}$  gas, and  $480\text{m}^3/\text{s}$  for  $4\text{He}$  gas. The beams with  $3\text{He}$  and  $4\text{He}$  have been injected stably into the JT-60 with a beam pulse of up to 4.0sec.

Keywords : Helium Gas Pump, Helium Beam, NBI, Cryo-sorption Pump, JT-60

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. 小型クライオソーブションポンプでのHe排気実験 .....	2
2.1 実験装置 .....	2
2.2 実験方法 .....	2
2.3 実験結果 .....	4
3. JT-60NBIクライオポンプを用いてのHe排気実験 .....	5
3.1 JT-60NBIクライオポンプ .....	5
3.2 Arガス, Heガス導入系 .....	6
3.3 実験手順 .....	7
3.4 実験結果 .....	8
3.5 Heビーム入射実験 .....	10
3.6 クライオポンプの再生 .....	11
3.7 クライオポンプ再立上げ .....	12
4. まとめ .....	12
謝 辞 .....	13
参考文献 .....	14

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Helium Gas Evacuation with a Small Size Cryo-sorption Pump .....	2
2.1 Experimental Apparatus .....	2
2.2 Experimental Procedure .....	2
2.3 Experimental Results .....	4
3. Helium Gas Evacuation Experiment with JT-60 NBI Cryopump .....	5
3.1 JT-60 NBI Cryopump .....	5
3.2 Argon and Helium Gas Feeder Systems .....	6
3.3 Experimental Procedure .....	7
3.4 Experimental Results .....	8
3.5 Helium Beam Injection into JT-60 with NBI .....	10
3.6 Regeneration of Cryopump after Helium Gas Pumping .....	11
3.7 Reconstruction of Cryopump .....	12
4. Summary .....	12
Acknowledgements .....	13
References .....	14

## 1. はじめに

核融合実験炉でのHe 燃焼灰の輸送の問題、D-<sup>3</sup>He 反応の研究のため、JT-60では、中性粒子入射加熱装置（以後JT-60NBIという。）による<sup>3</sup>He及び<sup>4</sup>Heビームの入射実験を行った。Heビーム入射の際のビームライン内Heガスの排気を従来はSF<sub>6</sub>ガス凝縮層によるクライオソープションポンプ<sup>1)</sup>で行ってきた。今回、H<sub>2</sub>排気用クライオポンプを全く改造せず、ガス導入配管の一部改造によってHe排気ソープションポンプとして使用できる、Ar凝縮層を用いたクライオソープション法を採用することを計画した。Ar凝縮層を用いたクライオソープションポンプによるHeガスの排気は、JET、TEXTOR等のNBI装置でHeビーム入射実験を行なった際に採用された実績がある。また、Arガス、窒素ガス等の不活性ガスを用いたHeガスの排気は以前から行われており、そのほとんどが同伴凝縮によるHeガストラッピング法を採用していた。同伴凝縮法によるHeガス排気の場合、クライオパネル吸着面近傍に大量の不活性ガスを導入して、この不活性ガスがHeガスを捕獲し共にクライオパネル面に吸着する原理を利用したものである。しかし、この方法でHeガスを排気しようとしたときには、Heガスの50~100倍の不活性ガスを導入しないと安定な排気特性が得られないといわれており、そのために、真空容器内のベース圧力が高くなり、クライオパネルの熱負荷の増大及びプラズマへの不純ガスの混入等の欠点<sup>2)</sup>があった。

これに対し、今回計画したクライオソープションポンプの場合は、Heガス排気前に予めクライオパネル表面にArガスを凝縮させ、一定時間経過した後にガスの排気を行うものである。Arガスの飽和蒸気圧は20Kで0.1nPa以下<sup>3)</sup>となることから、Heガス導入の際のタンク内Arガス分子は全く問題とならない。また、Arトラッピングと違ってArガスとHeガスを各々分けて導入するため、クライオパネルへの熱負荷及びプラズマ等に与える影響は殆ど無視できる。原研ではこのようなことを踏まえて、Arガス凝縮層を用いたクライオソープションポンプによるHeガスの排気を、排気面積0.2m<sup>2</sup>を有する小型クライオソープションポンプを用いて予備実験を行った。その結果を基にJT-60NBIクライオポンプにて<sup>3</sup>He、<sup>4</sup>Heガスの排気及びビーム入射実験を行った。

本報告は、小型クライオソープションポンプ及び、JT-60NBIクライオポンプにて行った、Ar凝縮層を用いたクライオソープションポンプによるHeガス排気実験及び、ビーム入射実験の際のHeガス排気特性等について報告するものである。

## 2. 小型クライオソープションポンプでのHe排気実験

### 2. 1 実験装置

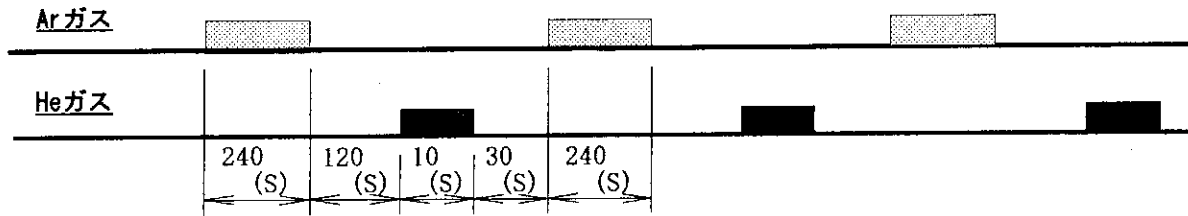
Ar凝縮層を用いたクライオソープションポンプによるHeガスの排気特性を調べるために、小型クライオポンプを用いてHeガスの排気実験を行った。装置の概略図をFig. 1に示す。本クライオポンプは、核融合実験炉の排気ポンプの検討を目的としてR&D用に設計されたもので、燃料である重水素ガスと核融合反応によって生じたヘリウム灰を同時に排気できるよう、クライオポンプの構造は、シェブロンバッフルが2重構造となっている。外側のシェブロンバッフルは一般のクライオポンプと同様に液体窒素温度に冷却して使用する。内側のシェブロンバッフルは、液体ヘリウム温度に冷却することで重水素ガス等の燃料となるガスを排気する。さらにその内側に液体ヘリウム温度に冷却されたクライオパネルがあり、クライオパネル表面にSF<sub>6</sub>ガス凝縮層を形成してヘリウム灰の排気を行うものである。これらクライオパネル及びシェブロンバッフルは、外径800mm、高さ2000mmの円筒形をした真空容器の中に納められている。このうちクライオパネルの有効排気面積は0.2m<sup>2</sup>で、JT-60NBIクライオポンプの約1/75である。真空容器内の圧力は、Heガスで校正されたB-A型の電離真空計を使用し、ガスの導入及び導入量の測定はサーマルマスフローコントローラにて行った。また、本装置は前述したように複合クライオポンプのためシェブロンバッフルが2重構造となっているが、今回の実験ではヘリウムガスだけを排気目的とするため内側のシェブロンバッフルは冷却せずに実験をおこなった。そのため、外部からHeガスを導入したとき、使用していないシェブロンバッフルのコンダクタンスを計算により求め、これを補正することでクライオポンプの排気速度を算出した。

### 2. 2 実験方法

Arガス凝縮層を用いたクライオソープションポンプでのHeガス排気実験を、Fig. 2に示す2通りのガス導入シーケンスに従って実施した。今回行ったHeガス排気実験の目的は、Ar凝縮層を用いたクライオソープションポンプで、はたしてHeガスが排気されるのかを見極める事と、さらに単位面積あたりの排気速度がどの程度得られるかを確認するために行った。また、Heガスの導入量及び導入速度は、JT-60NBIで行うビーム入射に合わせて決定し、常に一定として実験を行った。Arガス導入量及び導入速度は、初期段階でのArガス導入の有り、無し、及び有りの場合の導入量の違いによる排気速度の変化を確認した。Heガス排気実験の前後に導入するArガスの導入量及び導入速度は常に一定とした。



## ケース 1



## ケース 2

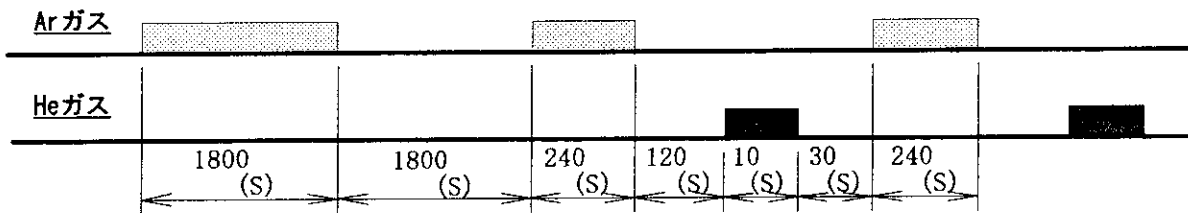


Fig. 2 ガス導入シーケンス

Heガスの導入量は、JT-60NBIクライオポンプと予備実験で使用する小型クライオポンプの排気速度の比から、次のようにして決定した。

JT-60NBIクライオポンプの有効排気面積と $H_2$ ガスに対する排気速度は、それぞれ約 $15m^2$ と $1370m^3/s$ である。また、小型クライオポンプの有効排気面積は $0.2m^2$ であることから、小型クライオポンプの予想排気速度を算出すると、面積比から $4.38m^3/s$ となる。

尚、今回の予備実験では使用しない外側シェブロンバッフルの通過確率を0.24として計算した。

ガス導入量は、求められた予想排気速度から以下のように決定した。

つまり、JT-60NBIクライオポンプを用いたビーム入射実験時のガス導入量は $1.5Pam^3/s$ である。これに対し小型クライオポンプ予備実験時に導入するガス量は、それぞれの排気速度の比から求め、 $4.8 \times 10^{-3}Pam^3/s$ とした。

実験は以下の2ケースについて行った。

- ・ケース1の時；実験初期でのArガス導入なし。
- ・ケース2の時；実験初期にArガスを導入した。（以後Pre-Arと言う）

さらに、ケース2の時はPre-Ar導入量を変化させて実験を行った。

### (1) 実験手順

シェブロンバッフル及びシールド板を液体窒素温度の77 Kまで冷却する。さらにクライオパネルを液体ヘリウム温度である4.2 Kまで冷却する。その後ケース1、2に示すガス導入シーケンスでHeガス及びArガスを導入する。本シーケンスは、JT-60NB Iクライオポンプを使用してHeビーム入射実験を行うときを模擬して決定した。つまり、JT-60NB Iでの1日当たりのビーム入射実験は実験内容によって多少変わるものの平均して20ショット前後であると想定した。入射実験時のビームパルス巾は最大10 secまで可能である。よって、He排気試験時のHeガス導入量としては、 $1.5 \text{ Pa m}^3/\text{s} \times 10 \text{ s}$ を20ショット行う事とし、さらに1.5倍の裕度をみて30ショットの排気実験を実施した。

#### ①ケース1の実験

ガス導入は、吸着媒であるArガス（以後FLA-Arという）を240秒間導入した。全導入量は $0.96 \text{ Pa m}^3$ 、（単位面積あたり $4.8 \text{ Pa m}^3/\text{m}^2$ ）である。その後真空容器内の圧力が安定（約2分）してから、Heガスを10秒間、 $0.048 \text{ Pa m}^3/\text{s}$ の速度で導入した。

さらに、その30秒後に再びFLA-Arガスを240秒間導入した。これら一連のガス導入を繰返し30ショット行い、各ショットに於けるHeガスの排気速度を測定した。

#### ②ケース2の実験

FLA-Arガス導入前に、ある一定量のArガス（以後Pre-Arと言う）を導入した試験を行った。Pre-Arガス導入量は、単位面積当たり、 $110 \text{ Pa m}^3/\text{m}^2$ 、 $55 \text{ Pa m}^3/\text{m}^2$ 、 $27.5 \text{ Pa m}^3/\text{m}^2$ 、 $14 \text{ Pa m}^3/\text{m}^2$ 、の4通りについて排気速度を測定した。①、②共にFLA-Arガス導入量は、Heガスに対して20倍とした。

## 2.3 実験結果

Fig. 3～7に上記①、②で行ったHeガス排気速度測定データを示す。横軸にHeガスの吸着量を取り、縦軸に排気速度の変化を示す。実線で各ショットに於ける排気速度の変化を示しており、ガス導入時間である10秒間の初期排気速度と10秒経過時点での排気速度を示したものである。①のケース（Fig. 3）では、He排気実験を開始して10ショット前後までは、Heガス導入直後と10秒経過時点での排気速度の変化が顕著に現れているが、10ショット以降では、クライオパネル単位面積あたりで $30 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ 前後の排気速度が得られ、その後20ショットまでほぼ様な排気特性を示している。これは、10ショット目位まではクライオパネル面のArガス凝縮量が少ないために排気速度が大幅に低下しているが、10ショット以降では、Arガス凝縮層がある程度の量となって排気速

度の低下が少なくなっていると思われる。次に、FLA-Arガス導入量および導入速度は一定とし、ケース2のシーケンスに従いPre-Arガスを導入した時の排気速度の違いをFig. 4~7に示す。Fig. 4はPre-Arガスを単位面積あたり $110 \text{ Pa m}^3/\text{m}^2$ 導入したときのグラフである。1ショットから目標である20ショットまでほぼ安定した排気速度が得られており、He導入直後に $32 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ で10秒経過時点でも僅かな排気速度の低下はあるものの $29 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ の排気速度が得られた。しかし、Fig. 5~7に示すようにPre-Arガス導入量を $55 \text{ Pa m}^3/\text{m}^2$ 、 $27.5 \text{ Pa m}^3/\text{m}^2$ 、 $14 \text{ Pa m}^3/\text{m}^2$ と減らすと、1ショット目の初期排気速度は高まる傾向にあるが、10秒間のHeガス導入中に排気速度の低下が顕著に現れている。さらに、20ショット経過時点では初期の排気速度も低下している。

今回行った5ケースについて排気速度の性能面からまとめると、ケース1の場合は、十分な排気速度が確保出来ないため問題となる。ケース2のうち、Pre-Arガス導入量が $55 \text{ Pa m}^3/\text{m}^2$ 、 $27.5 \text{ Pa m}^3/\text{m}^2$ 、 $14 \text{ Pa m}^3/\text{m}^2$ の3ケースについては、1ショット目から徐々に排気速度の低下が認められ、20ショット目以降の排気性能が問題となる恐れがある。そこで、1ショット目から20ショットまで排気速度が安定して得られ、しかもHeガス導入中の10秒間においても排気速度の低下が最も少なかったケース2のPre-Arガス導入量 $110 \text{ Pa m}^3/\text{m}^2$ を採用することとした。

以上の結果をもとに、JT-60NB Iクライオポンプを用いて $^3\text{He}$ ガス及び $^4\text{He}$ ガスの排気実験及びビーム入射実験を実施した。

尚、小型クライオポンプ排気実験では $^4\text{He}$ ガスを使用した。

### 3. JT-60NB Iクライオポンプを用いてのHe排気実験

#### 3.1 JT-60NB Iクライオポンプ

JT-60NB Iクライオポンプの鳥瞰図をFig. 8に示す。JT-60NB Iは14ユニットのビームラインから構成され<sup>4)</sup>、NB I主排気タンク内には水素ガスに対して約 $1370 \text{ m}^3/\text{s}$ <sup>5)</sup>の排気速度を有する液体ヘリウム冷却の凝縮型クライオポンプが設置されている。クライオポンプは主排気タンク内壁に沿って設置され、4枚の主クライオポンプモジュール（縦 $3900 \text{ mm}$ 、横 $900 \text{ mm}$ ）と2枚のドリフト部クライオポンプモジュール（縦 $890 \text{ mm}$ 、横 $900 \text{ mm}$ ）、気液分離器及び、これらを連結する配管で構成されている。NB Iタンク内は、イオン源側から $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 室の3つの部屋に仕切られ、それぞれに2個のクライオポンプモジュールが設置され、中性化セルより流れ出る室温ガスを効率よく排気し

度の低下が少なくなっていると思われる。次に、FLA-Arガス導入量および導入速度は一定とし、ケース2のシーケンスに従いPre-Arガスを導入した時の排気速度の違いをFig. 4~7に示す。Fig. 4はPre-Arガスを単位面積あたり $110 \text{ Pa m}^3/\text{m}^2$ を導入したときのグラフである。1ショットから目標である20ショットまでほぼ安定した排気速度が得られており、He導入直後に $32 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ で10秒経過時点でも僅かな排気速度の低下はあるものの $29 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ の排気速度が得られた。しかし、Fig. 5~7に示すようにPre-Arガス導入量を $55 \text{ Pa m}^3/\text{m}^2$ 、 $27.5 \text{ Pa m}^3/\text{m}^2$ 、 $14 \text{ Pa m}^3/\text{m}^2$ と減らすと、1ショット目の初期排気速度は高まる傾向にあるが、10秒間のHeガス導入中に排気速度の低下が顕著に現れている。さらに、20ショット経過時点では初期の排気速度も低下している。

今回行った5ケースについて排気速度の性能面からまとめると、ケース1の場合は、十分な排気速度が確保出来ないため問題となる。ケース2のうち、Pre-Arガス導入量が $55 \text{ Pa m}^3/\text{m}^2$ 、 $27.5 \text{ Pa m}^3/\text{m}^2$ 、 $14 \text{ Pa m}^3/\text{m}^2$ の3ケースについては、1ショット目から徐々に排気速度の低下が認められ、20ショット目以降の排気性能が問題となる恐れがある。そこで、1ショット目から20ショットまで排気速度が安定して得られ、しかもHeガス導入中の10秒間においても排気速度の低下が最も少なかったケース2のPre-Arガス導入量 $110 \text{ Pa m}^3/\text{m}^2$ を採用することとした。

以上の結果をもとに、JT-60NBIクライオポンプを用いて $^3\text{He}$ ガス及び $^4\text{He}$ ガスの排気実験及びビーム入射実験を実施した。

尚、小型クライオポンプ排気実験では $^4\text{He}$ ガスを使用した。

### 3. JT-60NBIクライオポンプを用いてのHe排気実験

#### 3.1 JT-60NBIクライオポンプ

JT-60NBIクライオポンプの鳥瞰図をFig. 8に示す。JT-60NBIは14ユニットのビームラインから構成され<sup>4)</sup>、NBI主排気タンク内には水素ガスに対して約 $1370 \text{ m}^3/\text{s}$ <sup>5)</sup>の排気速度を有する液体ヘリウム冷却の凝縮型クライオポンプが設置されている。クライオポンプは主排気タンク内壁に沿って設置され、4枚の主クライオポンプモジュール（縦 $3900 \text{ mm}$ 、横 $900 \text{ mm}$ ）と2枚のドリフト部クライオポンプモジュール（縦 $890 \text{ mm}$ 、横 $900 \text{ mm}$ ）、気液分離器及び、これらを連結する配管で構成されている。NBIタンク内は、イオン源側から $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 室の3つの部屋に仕切られ、それぞれに2個のクライオポンプモジュールが設置され、中性化セルより流れ出る室温ガスを効率よく排気し

て、ドリフト部へのガス流入を少なくするために差動排気方式をとっている。各クライオポンプモジュールの構造は、ステンレス鋼をキルティング構造にしたクライオパネル、アルミニウム製のシェブロンバッフル、アルミニウム製の熱シールド板で構成されており、主クライオポンプの有効排気面積は $P_1$ 、 $P_2$ 室ともに約 $7\text{ m}^2$ 、ドリフト部である $P_3$ 室は約 $1\text{ m}^2$ で、1ユニットあたりのクライオポンプ有効排気総面積は約 $15\text{ m}^2$ である。ここで、クライオパネルを冷却するための液体Heは、その圧力を大気圧から $-45\text{ cmHg}$ に減圧することにより、クライオパネル温度を $3.7\text{ K}$ 以下に保つことができる。

また、タンク内の各部圧力測定のための真空計は、B-A型の電離真空計を用いた。本実験時のタンク内ガスは、Heガスが支配的であるため、絶対真空計（バラトロン真空計）を用いてHeガスにより感度校正を行った真空計を用いた。感度校正值をTable 3.1に示す。排気実験として用いたNB Iユニットは、 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 室それぞれに電離真空計が設置されていることから#1と#2ユニットについて実施した。

Table 3.1

	P E - 1 I		P E - 2 I		P E - 3 I	
	$^3\text{He}$	$^4\text{He}$	$^3\text{He}$	$^4\text{He}$	$^3\text{He}$	$^4\text{He}$
# 1	7.2	—	9.8	—	7.4	—
# 2	5.3	5.8	6.6	7.6	6.0	6.6

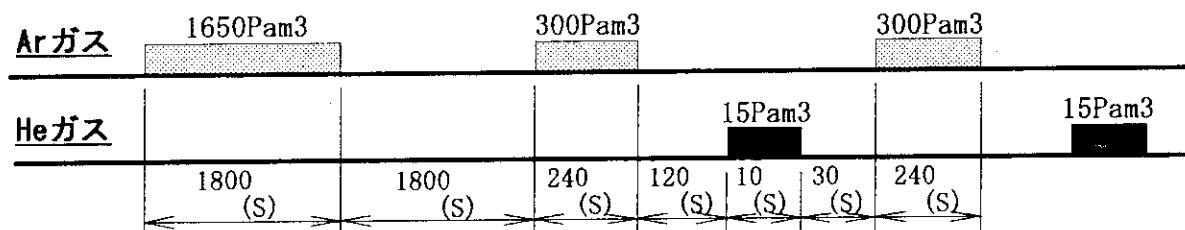
### 3. 2 Arガス、Heガス導入系

Arガス及びHeガスの導入系統図をFig. 9に示す。Arガス、Heガス共に既設の $\text{H}_2$ ガス導入系を一部改造することで対応した。Heガス導入部は、イオン源ガス導入系の第1高電位テーブル(HVT-1)の立上がり配管を切断し、そこにガス種切換用手動弁及びHeガス供給用の電磁弁を取付けた。 $\text{H}_2$ 又は $\text{D}_2$ ビーム引き出し運転時は電磁弁を閉、手動弁を開とすることで、He液化機室(I)に設置されている集中ガス供給系から $\text{H}_2$ 、 $\text{D}_2$ ガスが導入されることとなる。Heビーム入射実験時は、手動弁を閉、電磁弁を開としHeポンベの元圧を $0.5\text{ kg/cm}^2$ に設定して使用する。また、Arガスは中性化セルガス導入系より導入することとした。既設中性化セルガス導入用の、圧電素子弁(PV-10)の真空側配管よりArガス連結配管を分岐し、そこに電磁弁、マスフローコントローラ、Arガスポンベ等を取付けた構造である。Arガス導入方法は、本体室に設置されているArガスポンベの元圧を $1.0\text{ kg/cm}^2\sim 2.0\text{ kg/cm}^2$ の範囲に予め調整しておき、中央制御室から遠隔でガス導入することとした。ここでHeガス導入

はNBIビーム入射シーケンスに沿ってガス導入が行われるが、Arガスの場合は、シーケンス停止中にガス導入を行うため、ショット毎にガス導入SWの「ON」と、カロリメータ引き抜き（ $P_2 \sim P_3$ 室間のコンダクタンスを大とすることで、 $P_3$ 室クライオパネルへArガス付着確率を高めるため）操作を行う必要がある。これについてはタイマユニットを設置することで、自動でArガスを導入できるようにした。Arガス導入量は積算流量計（サーマルマスフロー）にて確認した。

### 3.3 実験手順

Arガス及びHeガスの導入方法を以下に示す。



クライオパネルの表面にArガスを予め $1650 \text{ Pam}^3$ （単位面積： $110 \text{ Pam}^3$ \*導入速度： $0.92 \text{ Pam}^3/\text{s}$ ）導入し、クライオパネル表面にArガス凝縮層を形成させ、一定時間（本実験では30分間）放置する。その後のタイムシーケンスは、JT-60NBIがビーム入射実験を行うときの標準的なタイムシーケンス<sup>6)</sup>に則って決定した。つまり、シーケンススタートからJT-60へ中性ビームが入射されるまでに必要な最低時間は約6分間であり、この間にHeビームを10秒間入射する事を想定してArガスとHeガスの導入時間及び導入量を決定した。Heビームを入射するときのガス導入速度及び導入時間は、それぞれ $1.5 \text{ Pam}^3/\text{s} * 10$ 秒間（Maxビームパルス巾）とし、1ショットあたりのHeガス導入量は $15 \text{ Pam}^3$ となる。このHeガスを安定に排気するためには、小型クライオポンプを用いた実験結果からHeガスに対して20倍のArガスを導入すれば良好な排気速度が得られることが判明しているため、Heガス導入前に再度Arガスを $300 \text{ Pam}^3$ （単位面積： $20 \text{ Pam}^3$ \*導入速度： $1.0 \text{ Pam}^3/\text{s}$ ）導入し、クライオポンプシステムが安定するまでの時間及び、タンク内圧力が平衡状態になるまでの時間を考慮して約2分間放置した。これら一連のシーケンスを連続して20ショット行った。

また、上記の排気実験に使用したHeガスは、 $^4\text{He}$ ガス及び、 $^3\text{He}$ ガスの両方について実施した。さらに $^3\text{He}$ ガスを用いた排気実験時に、NBI1ユニットのクライオポンプが再生せずに排気できるHeガスの吸着量（飽和吸着量）を測定するために、クライオポンプが自然再生するまでガス導入をくり返し行った。この時のガス導入シーケンスは排気実験時と

同様のシーケンスで行った。ガス導入速度及び導入量はショット毎に多少変化しているが、概ねガス導入速度は $1.8 \text{ Pa m}^3/\text{s}$ で、1ショットあたりの導入量は $20 \sim 30 \text{ Pa m}^3$ であった。

### 3. 4 実験結果

#### 3. 4. 1 Heガス排気特性

$^3\text{He}$ ガス及び $^4\text{He}$ ガス導入量に対する、NBI主排気タンク内各部 ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ 室)の圧力変化をFig. 10に示す。Heガス導入量が $1.0 \text{ Pa m}^3/\text{s}$ 以下の時は、測定誤差が大きいためバラツキが見受けられるが、 $1.0 \sim 2.5 \text{ Pa m}^3/\text{s}$ のガス導入範囲では各室共に、ほぼ均一な圧力勾配を示しており安定に排気していることが確認された。 $^3\text{He}$ ガスと $^4\text{He}$ ガスのガス種の違いによる排気速度の差違は、約 $1:1.25$ の割合で $^3\text{He}$ ガスに対する排気速度が大となっており、ほぼ $\sqrt{M}$ と考えられる。また、主排気タンク内部の圧力変化は、 $P_1$ 室及び $P_3$ 室については、 $^4\text{He}$ ガスに対して $^3\text{He}$ ガスの圧力上昇が $70 \sim 80\%$ 程度となっているが、 $P_2$ 室に限ってはほぼ同じ様な圧力勾配を示している。これは、試験ユニットの違い ( $^3\text{He}$ ガスは#1;下ユニット,  $^4\text{He}$ ガスは#2;上ユニット)により、主排気タンク内部のコンダクタンスが変わっているためと思われる。本排気実験に於ける1ショットあたりのガス導入時間は全て $10 \text{ sec}$ 以上行っており、Fig. 10に示す値はガス導入を開始してから $10 \text{ sec}$ 経過時点での値である。このことからNBIビーム入射 ( $\text{max } 10 \text{ sec}$ ) に対して充分満足する排気性能を有していることが確認された。

#### 3. 4. 2 排気速度の概算

NBI主排気タンクは、内部構造が極めて複雑な構造をしているため、正確な内部コンダクタンスを算出することは容易ではない。そこで、Fig. 11 (タンク断面図) に示すように、NBIタンク内部を3分割してそれぞれの部屋間のコンダクタンスを簡略化することにより排気速度を算出した。

具体的な計算方法としては、Fig. 12に示す等価回路を用いて、ガス流量を $Q$ 、タンク内圧力を $P$ 、コンダクタンスを $C$ 、排気速度を $S$ として、下記の式により排気速度を算出した。<sup>7)</sup>

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (1)$$

$$P_{1c} = Q_1 / C_1 + P_1 \quad (2)$$

$$P_{1c} = (Q_2 + Q_3) / C_{12} + Q_2 / C_2 + P_2 \quad (3)$$

$$P_{1c} = (Q_2 + Q_3) / C_{12} + Q_3 / C_3 + P_3 \quad (4)$$

$$S_1 = Q_1 / P_1 \quad (5)$$

$$S_2 = Q_2 / P_2 \quad (6)$$

$$S_3 = Q_3 / P_3 \quad (7)$$

測定値であるガス導入量、 $P_1 \sim P_3$ の各室圧力及び、計算式から求めたコンダクタンスを上記(1)～(7)式に代入し、その結果得られた排気速度は、NB1クライオポンプ1ユニットあたり、概算ではあるが ${}^3\text{He}$ ガスに対して $550 \text{ Pa m}^3/\text{s}$  ( $37 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ )、 ${}^4\text{He}$ ガスに対して $480 \text{ Pa m}^3/\text{s}$  ( $32 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ )の排気速度が得られた。

### 3. 4. 3 Heガス導入速度と排気速度の関係

Fig. 13にHeガス導入速度と排気速度の相互関係グラフを示す。このグラフからAr凝縮層を用いたクライオソープションポンプでのHeガス排気は、Heガス導入速度に関係なくほぼ一定の排気速度である。また、クライオソープションポンプを用いてHeビーム入射実験を行うときに問題となってくるのは、クライオポンプのHeガスに対する飽和吸着量がどの程度であるか?である。そのために、NB1クライオポンプ1ユニット(#1)を使用して ${}^3\text{He}$ ガスに対する飽和吸着量を測定した。その結果をFig. 14に示す。Heガス導入開始からクライオポンプの吸着量が飽和して自然再生するまでの間、ほぼ一定の排気速度が得られている。また、クライオポンプが自然再生するまでに導入したHeガス量は、グラフからも分かるように約 $775 \text{ Pa m}^3$ であり、この間の排気速度は、He排気実験を開始してから ${}^3\text{He}$ ガスの吸着量が $200 \text{ Pa m}^3$ あたりまでは、ややバラツキはあるものの、吸着量が $200 \text{ Pa m}^3 \sim$ クライオが自然再生した $775 \text{ Pa m}^3$ までは非常に安定した排気速度が得られている。ただし、 ${}^3\text{He}$ ガス吸着量が $400 \text{ Pa m}^3$ 付近と $690 \text{ Pa m}^3$ 付近の2回について、Arガス導入終了後にガスが脱離した現象が起こった。ガスが脱離した原因として、①クライオポンプ不安定、②Arガス凝縮層表面温度の上昇、③Arガス導入量不足等が考えられる。このうち①のクライオポンプ不安定は、ガス脱離前では液体He液面変動が殆どなかったことから問題とならない。②のArガス凝縮層表面温度上昇については、ガス脱離後もHe排気実験が継続できたことから、表面温度が原因とは考えづらい。③のArガス導入量不足は、Arガス導入後のタンク内ベース圧力がP1室で $2.0 \text{ E} - 5 \text{ Pa}$ に対して、ガス脱離後に再度Arガスを導入した後のベース圧力が $1.2 \text{ E} - 5 \text{ Pa}$ まで低下し圧力安定となったことから、ガス脱離の原因はArガス導入量不足によるものと思われる。また、脱離したガス種はガス脱離後にクライオポンプの液面が一時的に不安定となったことから推定するとHeガスであったと思われる。



### 3. 4. 4 ガス導入量の低減化

Heガスの飽和吸着量がNBIクライオポンプ1ユニットあたり約 $775 \text{ Pa m}^3$ であることから、Arガス凝縮層を用いたクライオソーブションポンプの場合、クライオパネル表面に吸着されるHeガス量を最小限にすることが、運転上たいへん重要となってくる。そのため通常のNBIビーム入射シーケンスでは、イオン源のフィラメント立上げ、及びイオン源のエージングを12ショット行った後に、JT-60プラズマヘビームを入射するシーケンスが標準となっているが、Heガスの吸着量を抑える目的から、Heガスを導入するのはJT-60プラズマヘビームを入射するときだけとし、フィラメントの立上げ、イオン源エージング時はHeガスを導入しないこととした。このことにより、約10倍のビーム入射を可能とした。

## 3. 5 Heビーム入射実験

### 3. 5. 1 運転条件

#### ①ビームエネルギー

偏向磁石のコイル電源容量及び、磁石本体の飽和の問題があるので、無負荷シーケンスにて磁石電源の動作チェックを行い、その結果、JT-60NBIの偏向磁石で運転可能な範囲は、 $^3\text{He}$ ビームで $E_b = 78.5 \text{ keV}$ 、 $^4\text{He}$ ビームで $58 \text{ keV}$ であった。

#### ②イオン源加速方式

$E_b = 78 \text{ keV}$ 又は $56 \text{ keV}$ となるので2段加速方式とした。

#### ③加速電流

$120 \text{ keV}$ イオン源の特性から電圧/連流比( $\Gamma$ )は $0.75$ で一定とした。この時の最適加速電流値は $78 \text{ keV}$ の時に約 $33 \text{ A}$ 、 $56 \text{ keV}$ の時は約 $20 \text{ A}$ を標準値としてビーム入射実験を行った。

### 3. 5. 2 Heビーム入射時の再電離損失

Fig. 15に $^3\text{He}$ ビームを最初にJT-60へ入射したときの、NBIタンク各室の圧力波形を示す。高速シャッター開後はプラズマに排気されるので $P_3$ 室の圧力が下がる。ビーム入射時は、ビームポンピングの効果によりイオン源から流れてくるガスが減るので、 $P_1$ 室の圧力が下がるが、再電離イオンのガス化により $P_3$ 室の圧力は上昇する。また、 $P_2$ 室の圧力は双方の影響を受けるが、 $P_1$ 室の変化の寄与が多少大きく僅かに圧力は低下する。Fig. 16はHeビーム入射終了時点(24ショット目)の圧力波形を示す。 $P_3$ 室の圧力変化は1

ショット目と殆ど変わらない。Fig. 16のビーム入射中の $P_3$ 室圧力を評価すると $2.37 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ となり $D_2$ ビームでポートエージングが進んだときの値とほぼ等しくなる。

$75 \text{ keV}$ の $^3\text{He}$ ビーム相当の電離断面積は $80 \text{ keV}$ の $D_2$ ビーム相当の電離断面積に対して約 $3/5$ である。 $D_2$ ビームでポートエージングが進んだときの再電離損失は約 $5\%$ であるので、これから換算すると $^3\text{He}$ ビーム入射時の再電離損失は $3\%$ 前後と推定される。また、 $^4\text{He}$ ビーム入射時の再電離損失も $^3\text{He}$ ビーム同様 $3\%$ 前後であった。

### 3. 5. 3 入射パワー

$^3\text{He}$ ビームを用いた時の入射パワーは、 $E_b = 78 \text{ keV}$ 、 $Q_{is}$  ( $\text{He}$ ガス導入量) =  $2.0 \text{ Pa m}^3/\text{s}$ 、 $I_{acc}$  (加速電流) =  $30 \text{ A}$ の条件で約 $1.0 \text{ MW}$ /ユニットであった。

$^4\text{He}$ ビームの入射パワーは、 $E_b = 58 \text{ keV}$ 、 $Q_{is} = 2.0 \text{ Pa m}^3/\text{s}$ 、 $I_{acc} \cdot s = 25 \text{ A}$ の条件で約 $0.7 \text{ MW}$ /ユニットであった。

## 3. 6 クライオポンプの再生

クライオポンプの再生は、クライオポンプへの冷媒 ( $\text{LHe}$ 、 $\text{LN}_2$ ) の供給を停止することで、クライオポンプ内の $\text{LHe}$ が自然蒸発し、自動的に再生が行われる。しかし、ガス種の違いによりその再生形態が異なる。Fig. 17に $D_2$ ガス再生時の主排気タンク内圧力変化を示す。 $\text{H}_2$ ガス又は $D_2$ ガスを吸着したクライオポンプの再生の場合、クライオポンプ内 $\text{LHe}$ 量の低下によりパネル上層部の表面温度が上昇し、クライオパネルに吸着していた $\text{H}_2$ 又は $D_2$ ガスが放出される。一旦放出されたガスはクライオパネル下部の低温面に再度吸着される。この様にガス放出及び再生を何度か繰り返した後に、クライオパネル再生となるためクライオポンプ内の圧力上昇は僅かなものであり、他のユニットへ及ぼす熱負荷は極めて少ない。これに対して $\text{He}$ ガスを吸着したクライオパネルの再生形態は、Fig. 18に示すようにクライオパネル温度の上昇により吸着されていた $\text{He}$ ガスが放出されるが、 $\text{H}_2$ ガス又は $D_2$ ガスのように放出されたガスが再吸着されることなく短時間で再生終了となる。そのため、クライオポンプ内の液体ヘリウムが瞬時に蒸発し、液体ヘリウム循環系ループに悪影響を及ぼすことが懸念される。このことから、 $\text{He}$ ガスを吸着したクライオパネルを同時に複数ユニット再生するような時には、再生のピークが重ならないようにクライオポンプのユニット選択を行った。また、 $\text{He}$ ガスの再生終了後に、吸着媒である $\text{Ar}$ ガスの再生を実施した。 $\text{Ar}$ ガスの再生は、 $\text{Ar}$ ガスの凝固点が $72 \text{ K}$ であることから、クライオパネル温度が少なくとも $100 \text{ K}$ 以上になれば再生完了となる。

### 3. 7 クライオポンプ再立上げ

通常のビーム入射は、火曜日の朝から金曜日の夜まで4日間実施する。Heビームについても同様のスケジュールとなるが、3. 4. 4項のHeガス吸着量の低減対策にも示したとおり、クライオポンプ1ユニットのHeガス飽和吸着量が $775 \text{ Pa m}^3$ であることから週の途中にクライオポンプの再生及び再立上げ操作を実施する必要がある。クライオポンプ途中再生時のHeガス吸着量の目安は、クライオポンプの自然再生による他のユニットへの悪影響(3. 6クライオポンプ再生の項参照)を避けるため、飽和吸着量の60%(約 $500 \text{ Pa m}^3$ )を越えた時点でビーム入射を終了し再生に移行した。クライオポンプの通常立上げ操作はGHe予冷~LHe予冷~クライオポンプ定常まで全て計算機システムによる自動シーケンスで行われる<sup>8)</sup>が、週の途中に行うクライオポンプ再立上げ操作は、既に定常運転中のクライオポンプが存在することから、手動操作でのLHe予冷によるクライオポンプ立上げとなる。手動でのクライオポンプ立上げ操作は、クライオパネルの熱疲労を極力抑えるため、急激な温度勾配とならるように、クライオポンプ入口弁(CV11)を微開(1~2%)しながら操作をした。このことによりFig. 19に示すようにクライオパネル温度も急激に冷却されることなく、さらにクライオポンプ再生開始から再立上げ終了(ビーム入射可能)まで約11時間程度で終了することが出来た。

## 4. まとめ

JT-60NBI装置を用いてHeビーム入射実験を行うために必要とされる大容量He排気ポンプとして、Ar凝縮層を用いたクライオソープションポンプを採用した。本ポンプを採用するための予備試験を行い、また、JT-60NBIを用いてのビーム入射実験により以下のことを明らかにした。

1. クライオパネル表面にArガス凝縮層を形成させる際、Pre-Ar導入量の有無による排気速度の差は顕著に現れる。Pre-Ar導入量が $0 \text{ Pa m}^3$ の時は、Heガス導入初期の排気速度は充分であるが、時間と共に急速に排気速度は低下し、10秒間導入終了後では大きく排気速度が低下する。Pre-Arを導入したときでも、導入量の違いによって排気特性は異なる。今回行った試験結果からPre-Arガスを僅かでも導入すれば、初期の排気速度は高まるが、ショットを重ねていくと排気速度は低下する。Pre-Arガスを単位面積当たり $110 \text{ Pa m}^3/\text{m}^2$ 導入すれば、排気速度の低下は認められない。

### 3. 7 クライオポンプ再立上げ

通常のビーム入射は、火曜日の朝から金曜日の夜まで4日間実施する。Heビームについても同様のスケジュールとなるが、3. 4. 4項のHeガス吸着量の低減対策にも示したとおり、クライオポンプ1ユニットのHeガス飽和吸着量が $775 \text{ Pa m}^3$ であることから週の途中にクライオポンプの再生及び再立上げ操作を実施する必要がある。クライオポンプ途中再生時のHeガス吸着量の目安は、クライオポンプの自然再生による他のユニットへの悪影響(3. 6クライオポンプ再生の項参照)を避けるため、飽和吸着量の60%(約 $500 \text{ Pa m}^3$ )を越えた時点でビーム入射を終了し再生に移行した。クライオポンプの通常立上げ操作はGHe予冷~LHe予冷~クライオポンプ定常まで全て計算機システムによる自動シーケンスで行われる<sup>8)</sup>が、週の途中に行うクライオポンプ再立上げ操作は、既に定常運転中のクライオポンプが存在することから、手動操作でのLHe予冷によるクライオポンプ立上げとなる。手動でのクライオポンプ立上げ操作は、クライオパネルの熱疲労を極力抑えるため、急激な温度勾配とならるように、クライオポンプ入口弁(CV11)を微開(1~2%)しながら操作をした。このことによりFig. 19に示すようにクライオパネル温度も急激に冷却されることなく、さらにクライオポンプ再生開始から再立上げ終了(ビーム入射可能)まで約11時間程度で終了することが出来た。

## 4. まとめ

JT-60NBI装置を用いてHeビーム入射実験を行うために必要とされる大容量He排気ポンプとして、Ar凝縮層を用いたクライオソープションポンプを採用した。本ポンプを採用するための予備試験を行い、また、JT-60NBIを用いてのビーム入射実験により以下のことを明らかにした。

1. クライオパネル表面にArガス凝縮層を形成させる際、Pre-Ar導入量の有無による排気速度の差は顕著に現れる。Pre-Ar導入量が $0 \text{ Pa m}^3$ の時は、Heガス導入初期の排気速度は充分であるが、時間と共に急速に排気速度は低下し、10秒間導入終了後では大きく排気速度が低下する。Pre-Arを導入したときでも、導入量の違いによって排気特性は異なる。今回行った試験結果からPre-Arガスを僅かでも導入すれば、初期の排気速度は高まるが、ショットを重ねていくと排気速度は低下する。Pre-Arガスを単位面積当たり $110 \text{ Pa m}^3/\text{m}^2$ 導入すれば、排気速度の低下は認められない。

2. Arガス凝縮層を用いたクライオソーブションポンプでのJT-60NB11ユニットあたりのクライオポンプ排気速度は、 $^3\text{He}$ ガスに対して $550\text{Pa m}^3/\text{s}$  ( $37\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ )、 $^4\text{He}$ ガスに対して $480\text{Pa m}^3/\text{s}$  ( $32\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ )の排気速度が得られた。
3. クライオポンプを用いてHeガスを排気する際、Arガスを用いた同伴凝縮法によるHeガス排気が一般的であった。この方法では、真空容器内のベース圧力が高くなり、クライオパネルの熱負荷の増大及びプラズマへの不純ガスの混入等の欠点があった。今回、 $\text{H}_2$ ガス排気用に設計されたクライオポンプを全く改造することなく、Arガス凝縮層によるクライオソーブションポンプを用いたことにより、これらの問題が解決されると共に $^3\text{He}$ ガス及び $^4\text{He}$ ガスを用いた長パルスHeビーム入射時についても十分な排気能力を有することが確認できた。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、終始激励をいただいた田中裕二那珂研究所所長、船橋昭昌核融合装置試験部次長に感謝致します。また、終始有益な議論をしていただいた柴沼清ITER開発室副主任研究員、NB1装置試験室の関係諸氏及び、小原祥裕NB1加熱研究室室長をはじめとするNB1加熱研究室の関係諸氏に感謝致します。また、菊池勝美氏他原子力エンジニアリング運転委託関係諸氏に深く感謝致します。

2. Arガス凝縮層を用いたクライオソーブションポンプでのJT-60NBI1ユニットあたりのクライオポンプ排気速度は、 $^3\text{He}$ ガスに対して $550\text{Pa m}^3/\text{s}$  ( $37\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ )、 $^4\text{He}$ ガスに対して $480\text{Pa m}^3/\text{s}$  ( $32\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ )の排気速度が得られた。
3. クライオポンプを用いてHeガスを排気する際、Arガスを用いた同伴凝縮法によるHeガス排気が一般的であった。この方法では、真空容器内のベース圧力が高くなり、クライオパネルの熱負荷の増大及びプラズマへの不純ガスの混入等の欠点があった。今回、 $\text{H}_2$ ガス排気用に設計されたクライオポンプを全く改造することなく、Arガス凝縮層によるクライオソーブションポンプを用いたことにより、これらの問題が解決されると共に $^3\text{He}$ ガス及び $^4\text{He}$ ガスを用いた長パルスHeビーム入射時についても十分な排気能力を有することが確認できた。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、終始激励をいただいた田中裕二那珂研究所所長、船橋昭昌核融合装置試験部次長に感謝致します。また、終始有益な議論をしていただいた柴沼清ITER開発室副主任研究員、NBI装置試験室の関係諸氏及び、小原祥裕NBI加熱研究室室長をはじめとするNBI加熱研究室の関係諸氏に感謝致します。また、菊池勝美氏他原子力エンジニアリング運転委託関係諸氏に深く感謝致します。

## 参 考 文 献

- 1) 菊地勝美他：「SF<sub>6</sub>凝縮層を用いたJT-60NBIクライオポンプでのヘリウム排気試験」，  
日本原子力研究所レポート JAERI-M 90-056 (1990)
- 2) S. Kuribayashi et al. : 11th symp. Fusion Engineering (1985) 856
- 3) 日本真空技術 K.K. : 真空ハンドブック 非売品 (1985) 第2改訂版
- 4) 栗山正明他：「JT-60粒子入射加熱装置の設計及び技術開発」，日本原子力研究所レポート  
JAERI-M 87-169 (1987)
- 5) 柴田猛順，柴沼清：低温. 21 (2) 1986
- 6) 河合視己人，小又将夫：「JT-60NBI中央制御盤運転マニュアル (臨界プラズマ試験装置  
設計報告・184)」
- 7) 松岡守他：「JT-60NBIにおけるドリフト管内の再電離損失の概算法」日本原子力研究所  
レポート JAERI-M 89-075 (1989)
- 8) 柴沼清他：「JT-60粒子入射加熱装置(NBI)用クライオポンプシステムの自動制御法の開  
発」日本原子力研究所レポート JAERI-M 91-180 (1991)

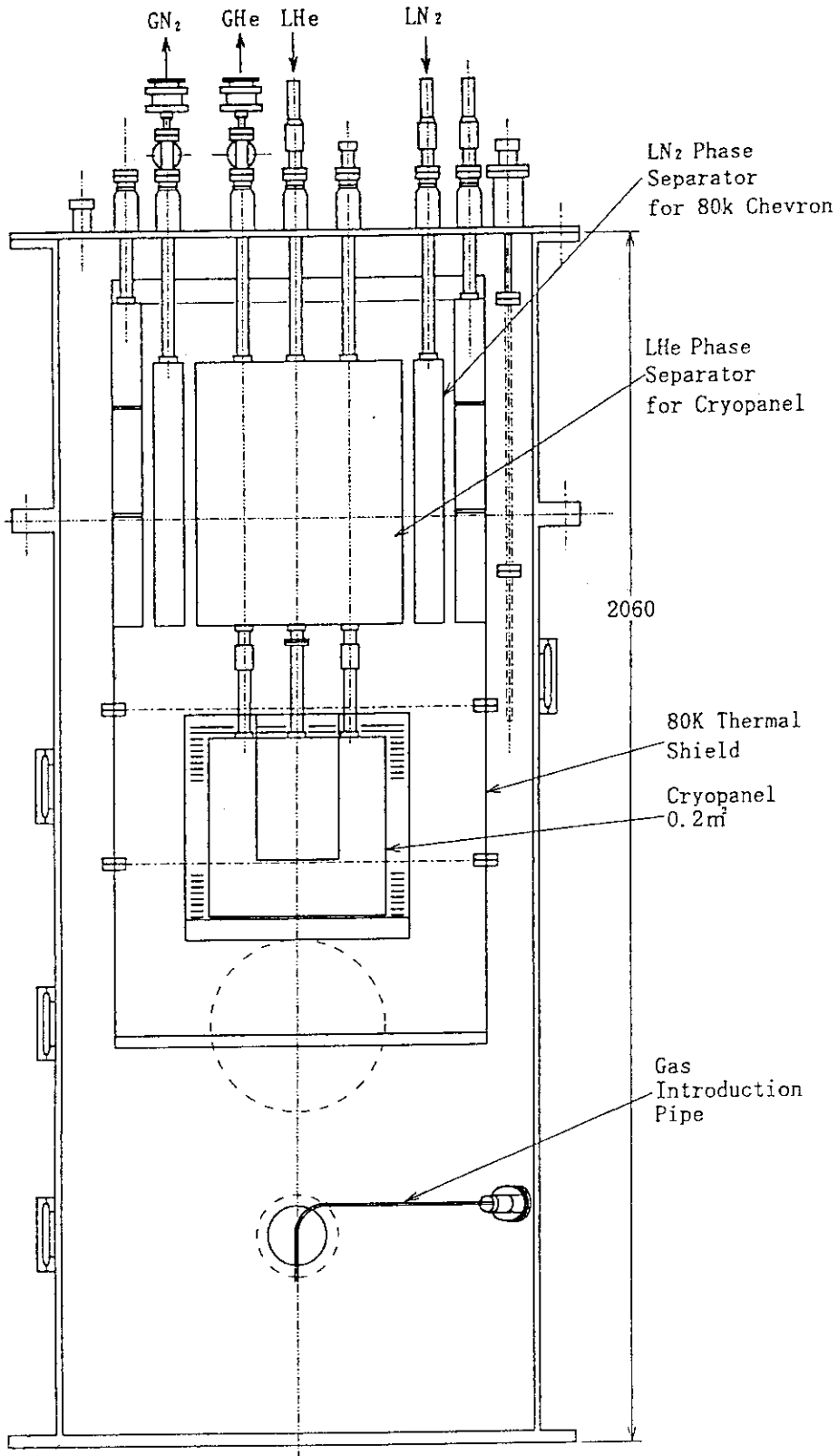


Fig. 1 小型クライオポンプ構造図



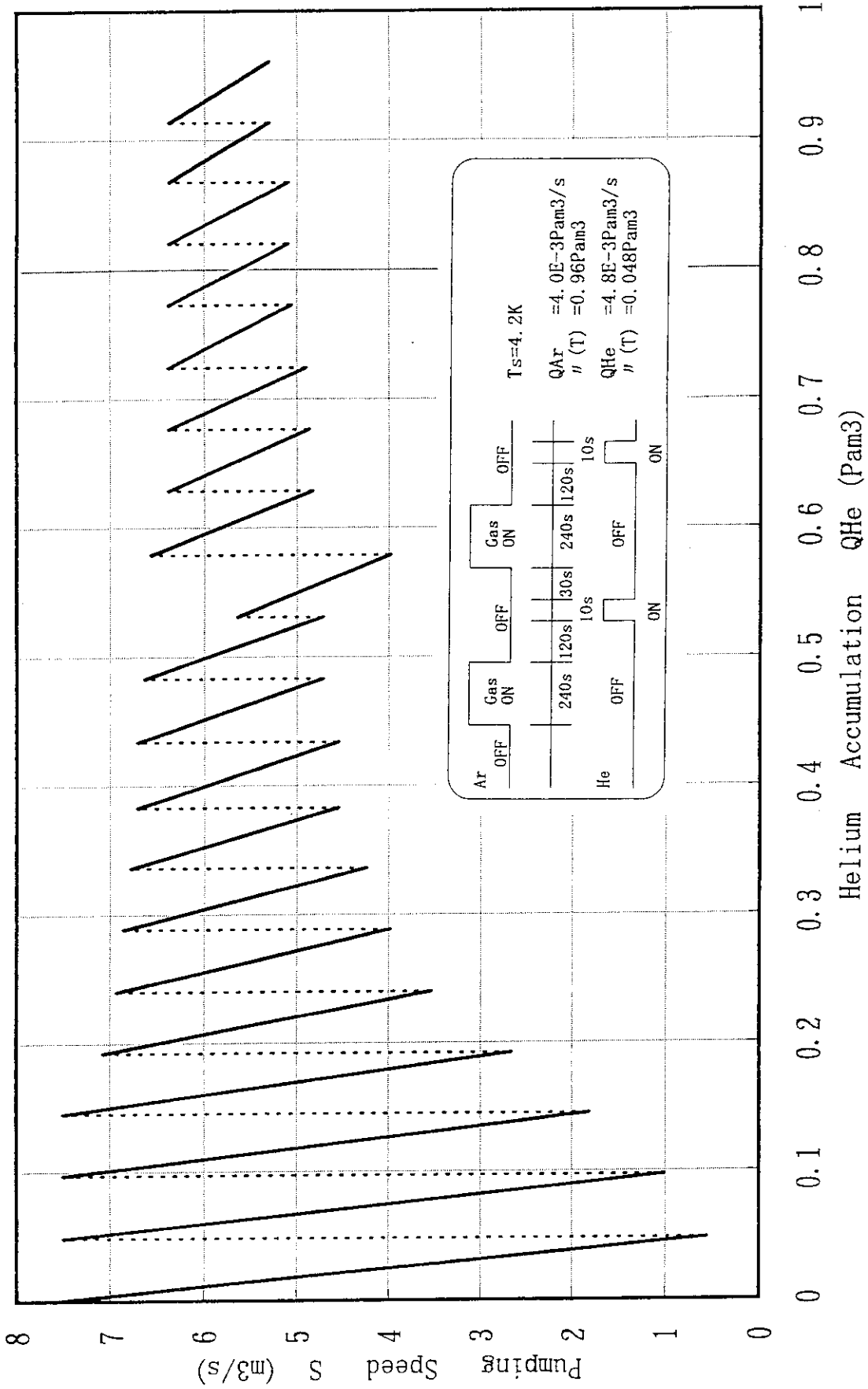


Fig. 3 PreArを導入しないときの排気速度曲線

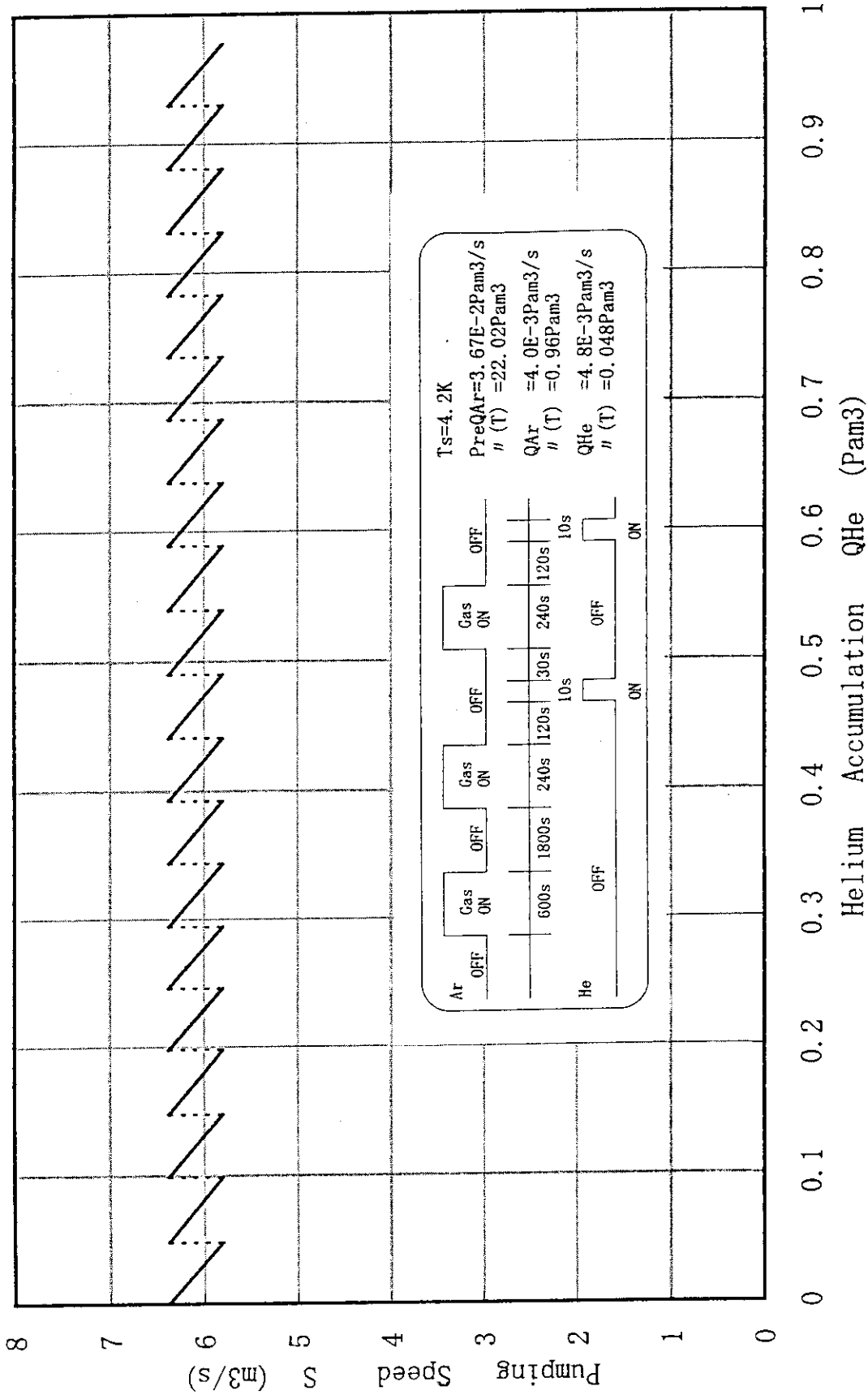


Fig. 4 PreArを単位面積当たり110Pam<sup>3</sup>導入した時の排気速度曲線

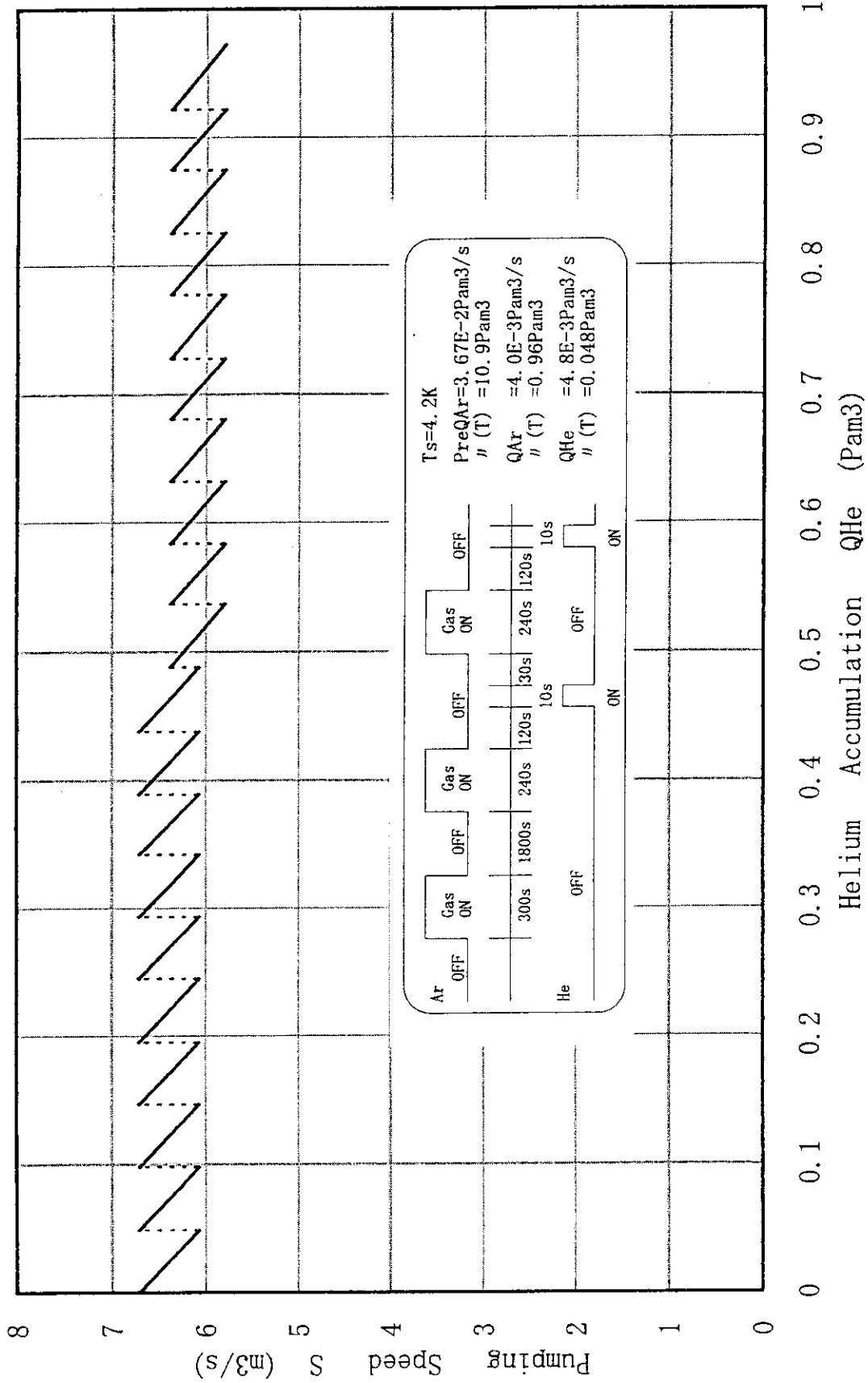


Fig. 5 PreArを単位面積当たり55Pam<sup>3</sup>導入した時の排気速度曲線

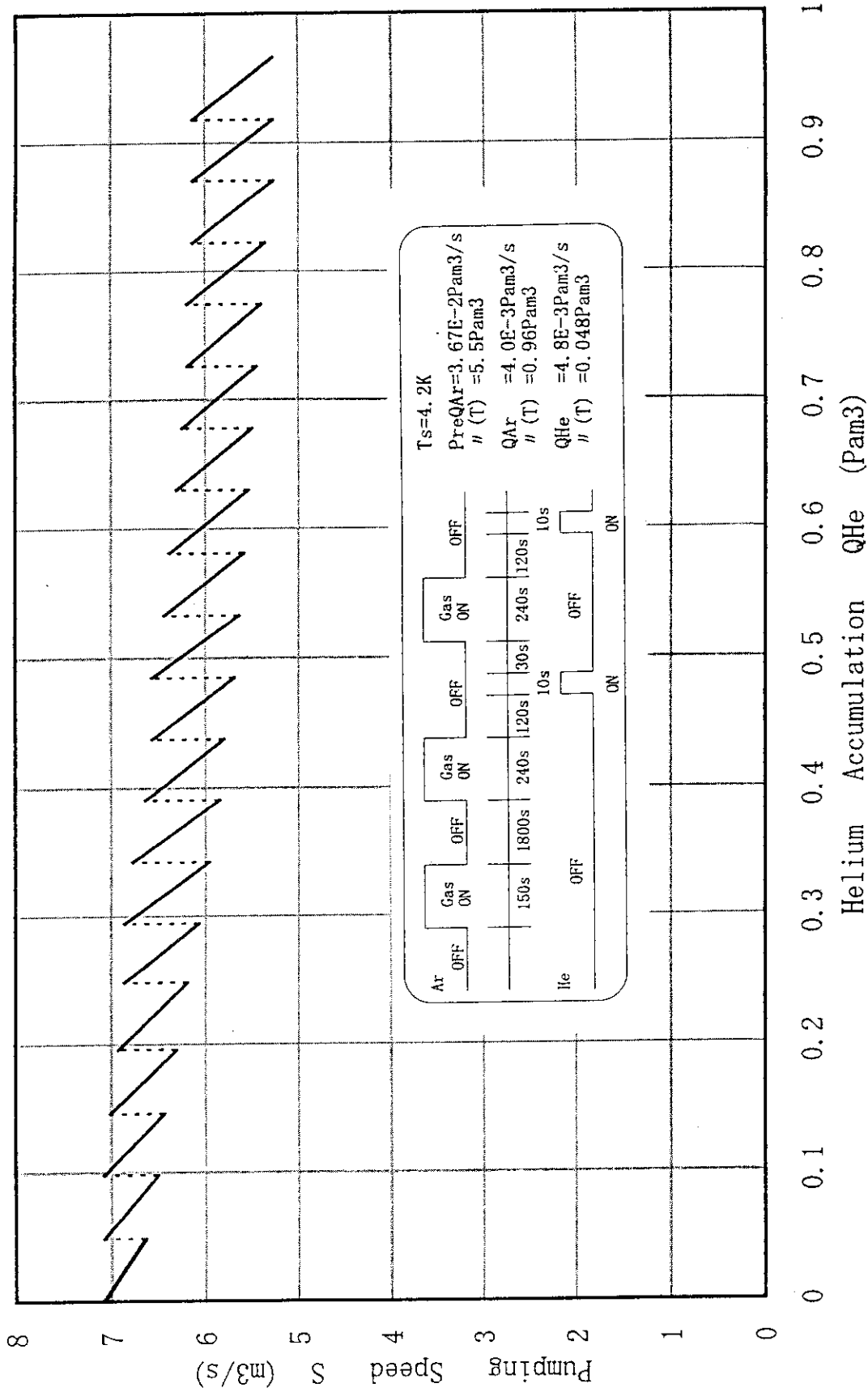


Fig. 6 PreArを単位面積当たり27.5Pam<sup>3</sup>導入した時の排気速度曲線

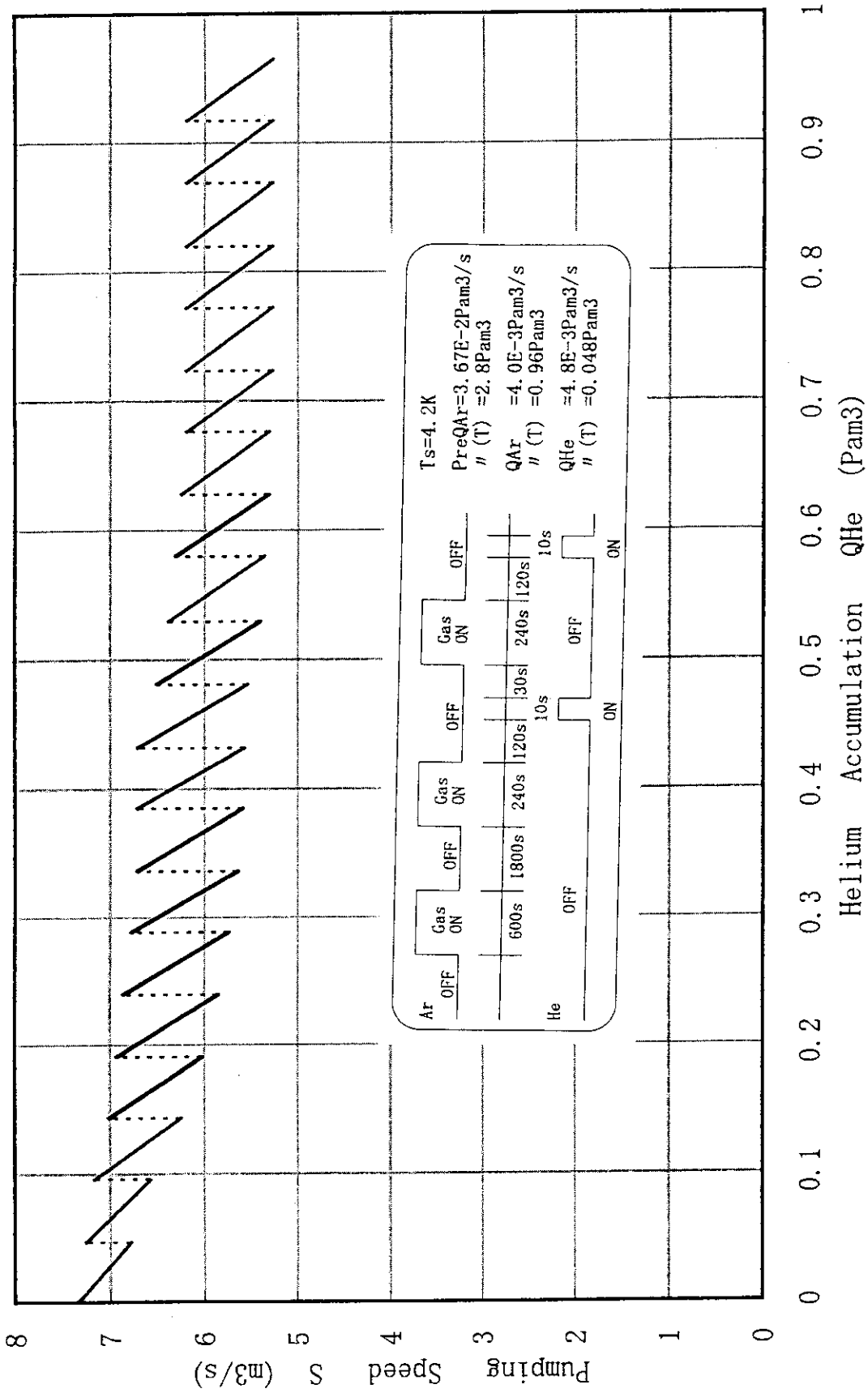


Fig. 7 PreArを単位面積当たり14Pam<sup>3</sup>導入した時の排気速度曲線

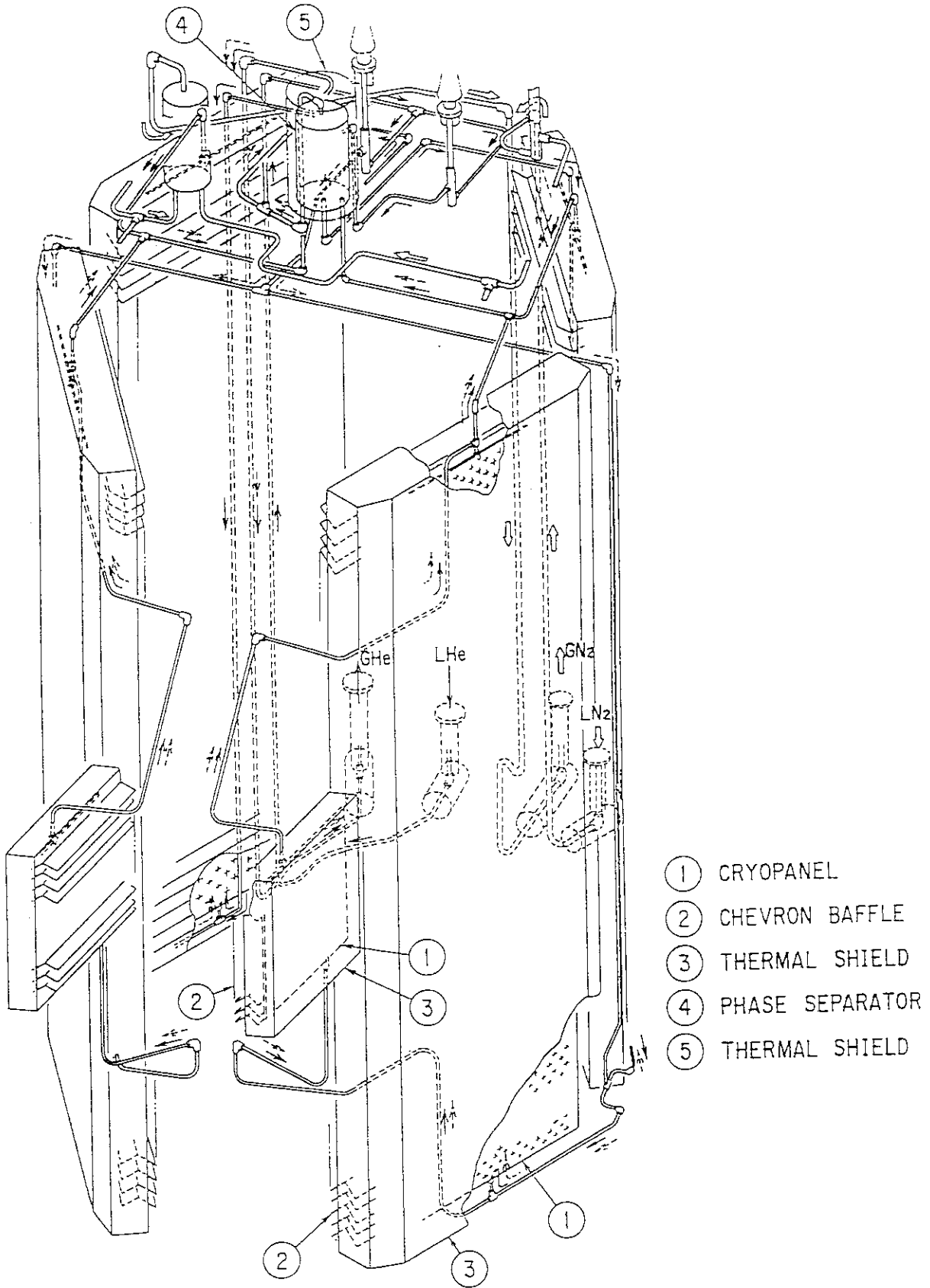


Fig. 8 JT-60NBIクライオポンプ鳥瞰図

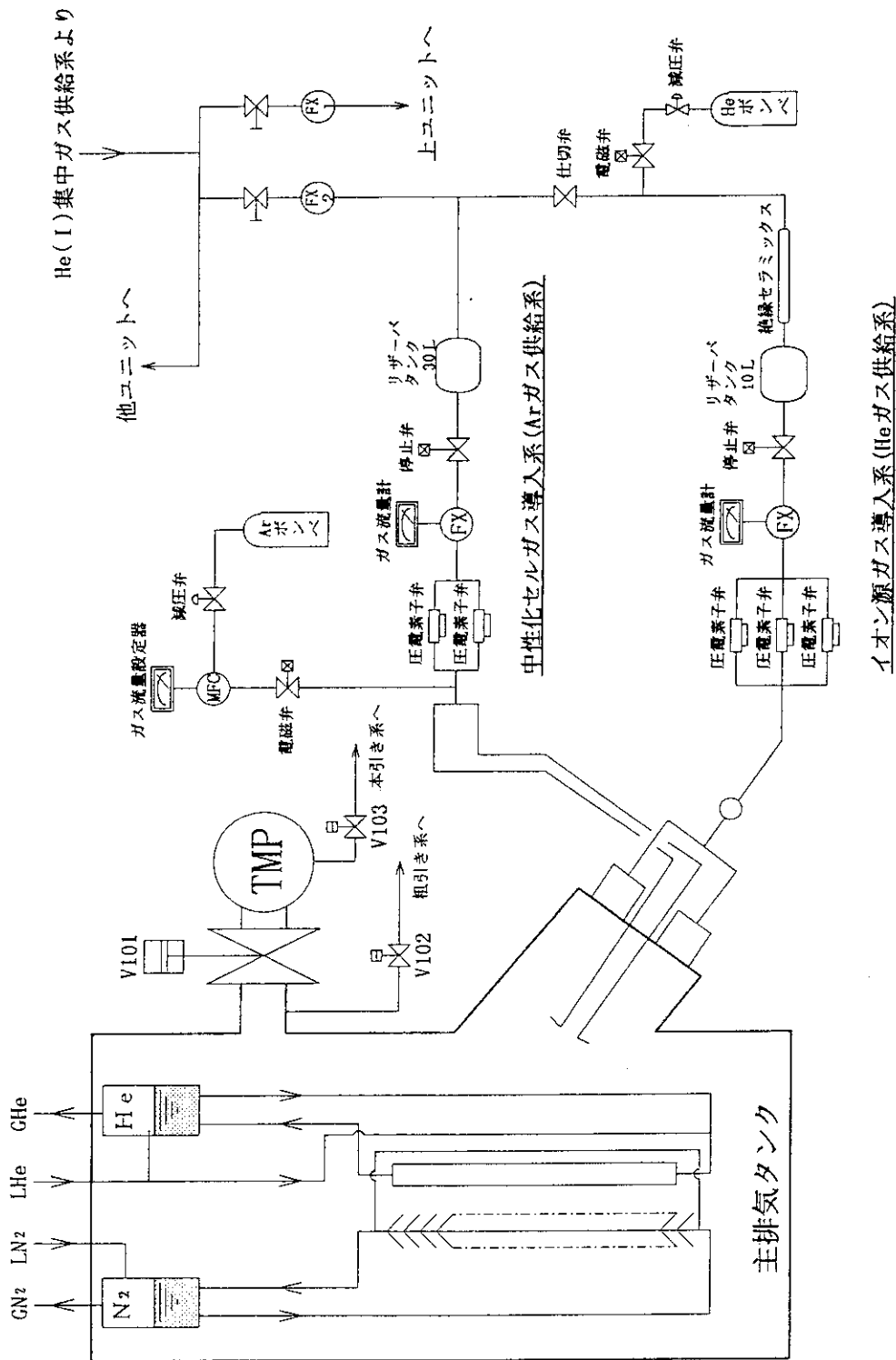


Fig. 9 Arガス, Heガス導入系統図

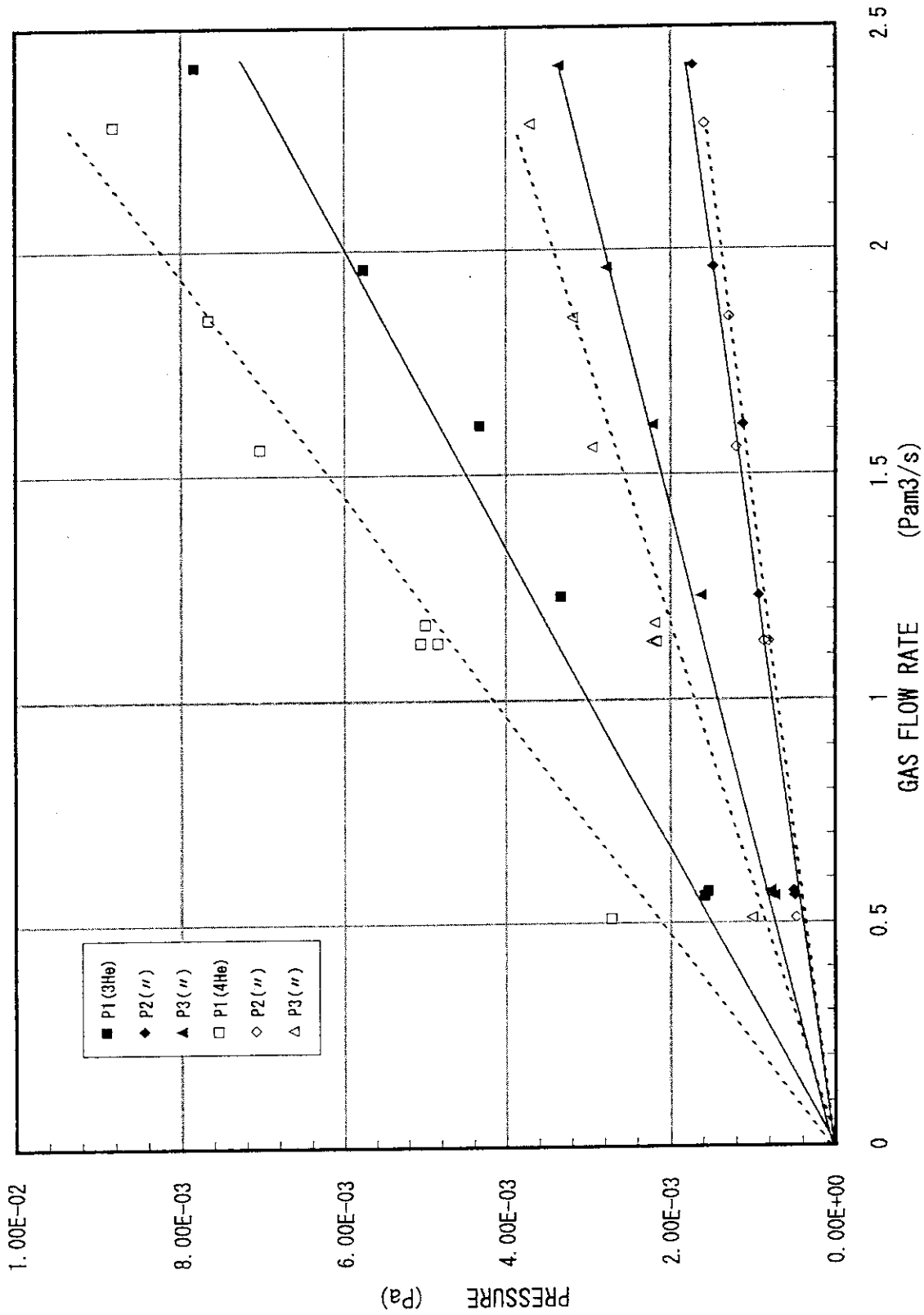


Fig.10 Ar凝縮層を用いたクライオソーブションポンプによる3He, 4Heガス排気特性



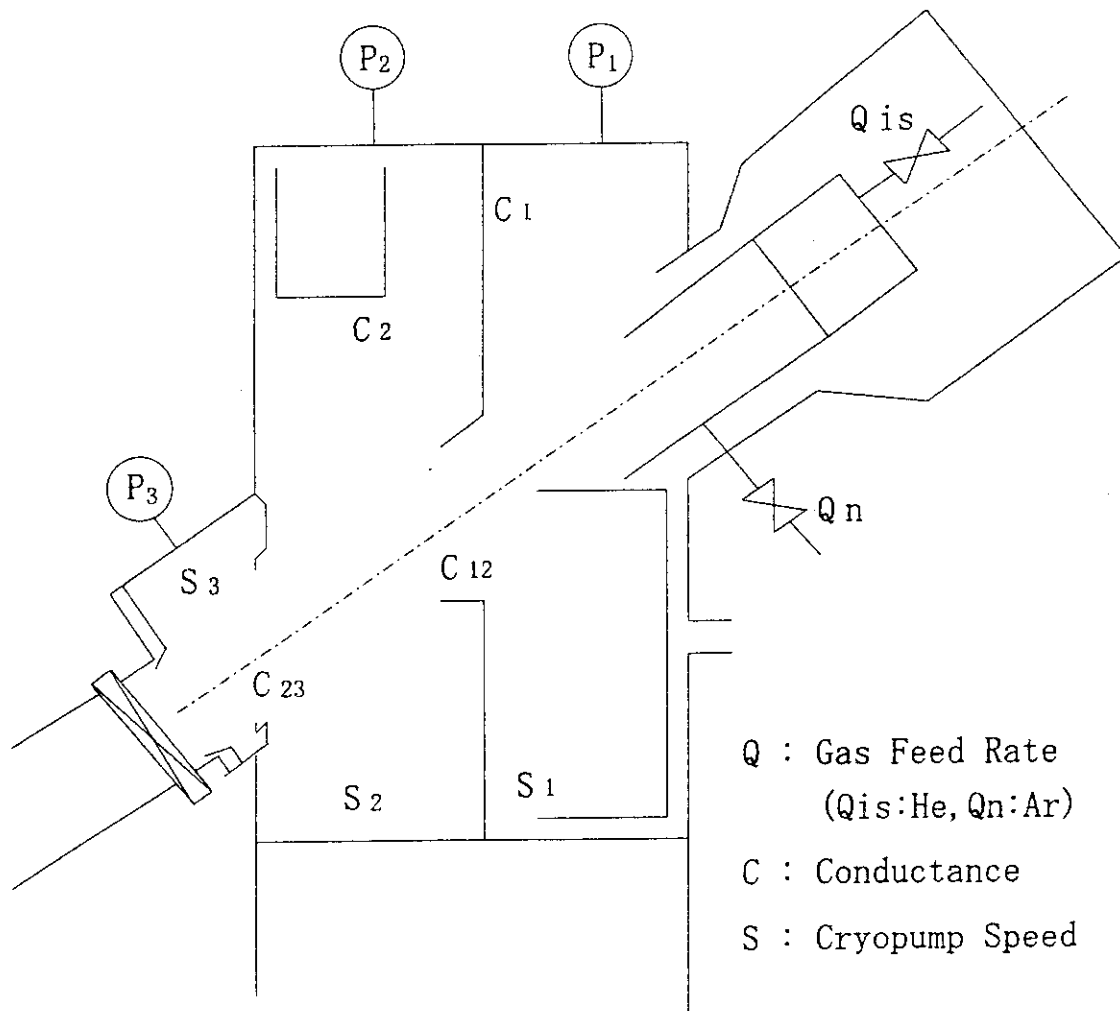


Fig. 11 NBI主排気タンク断面

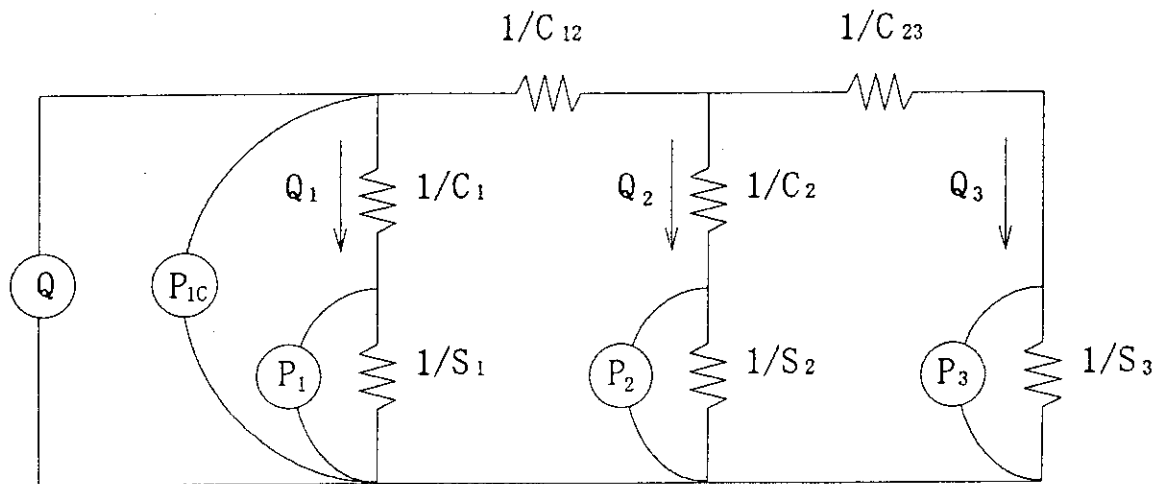


Fig. 12 NBI排気系の概略等価回路図

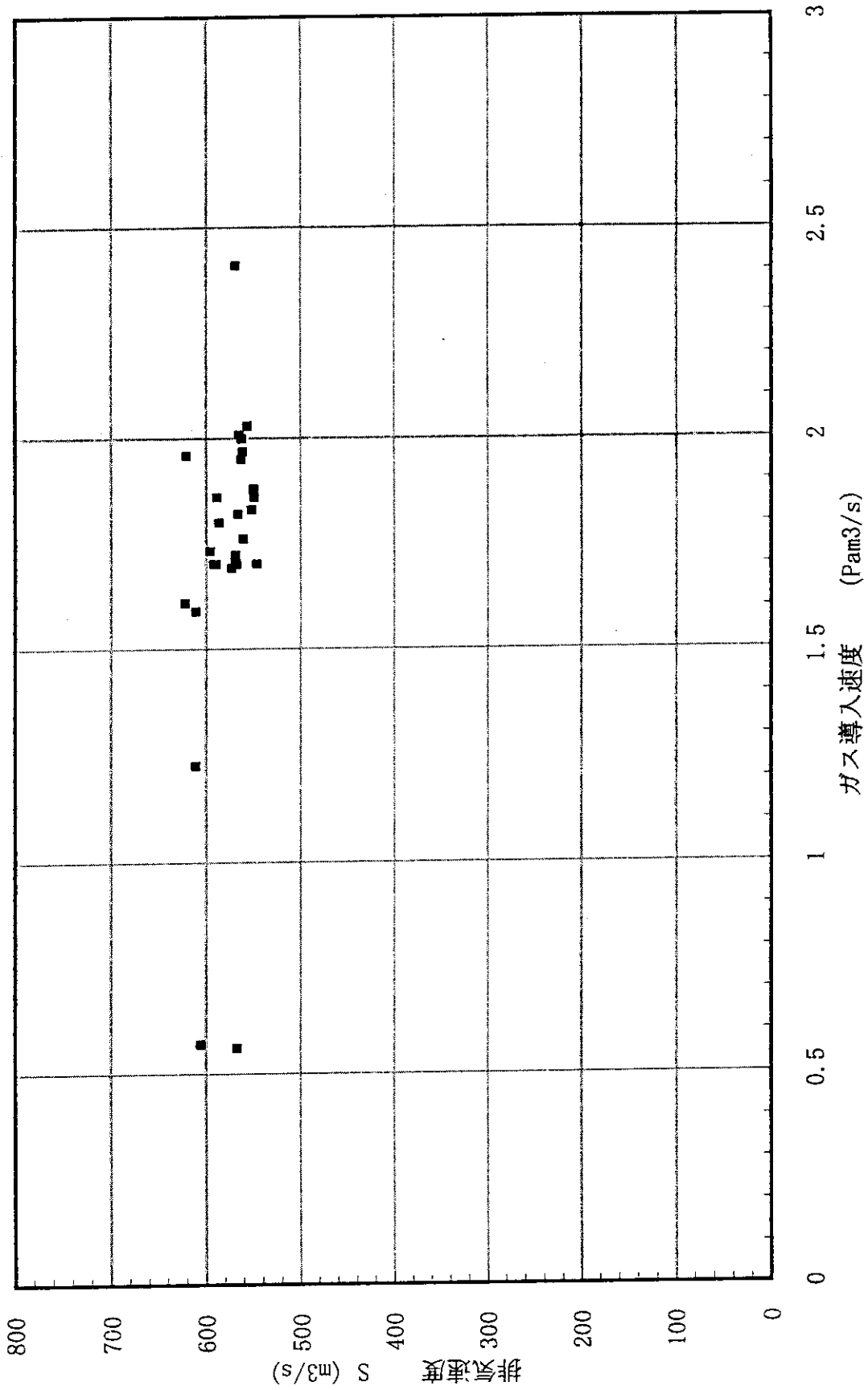


Fig. 13 ガス導入速度と排気速度の相互関係グラフ

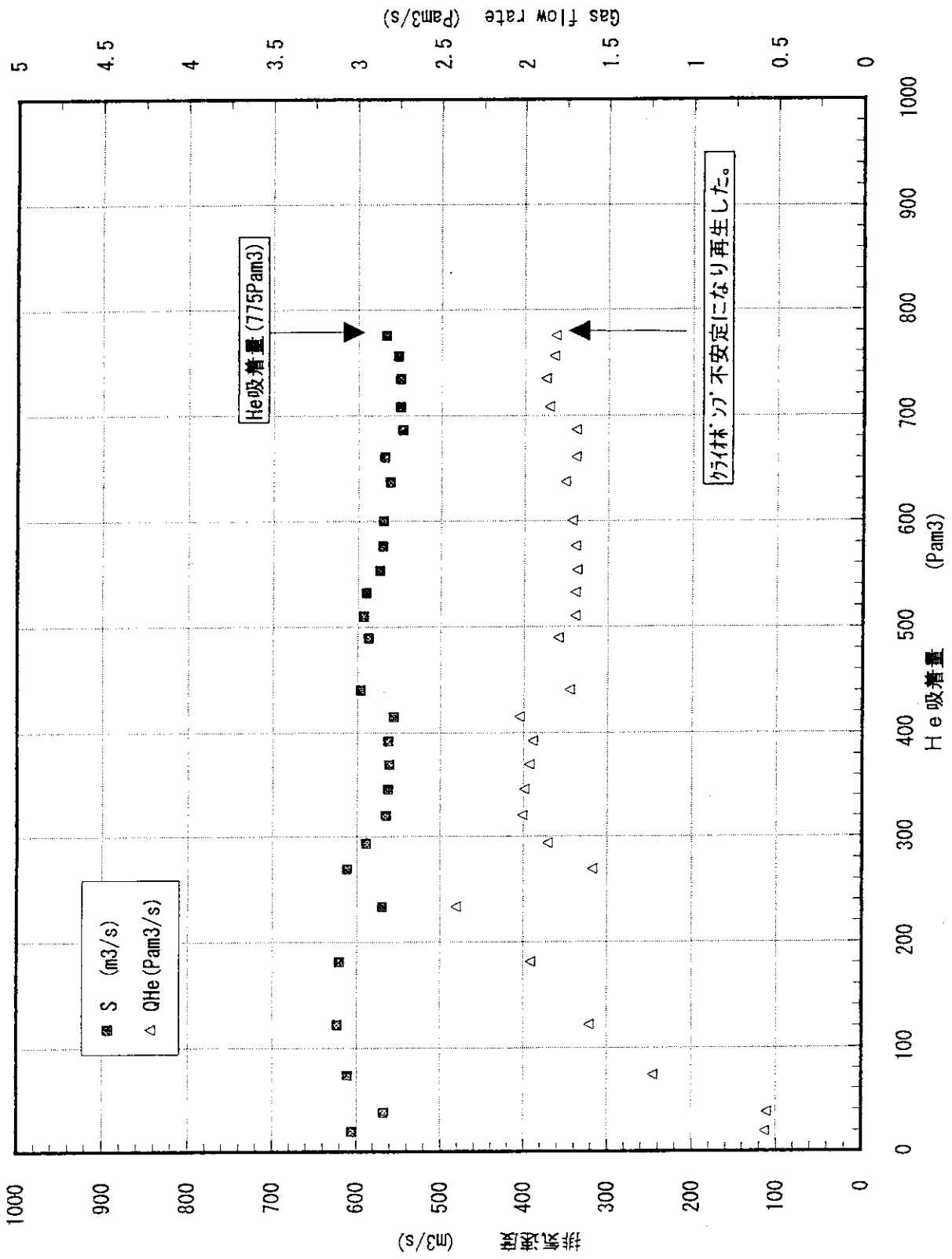


Fig. 14 3 Heガス導人速度の違いによる排気速度の比較とHeガス飽和吸着量

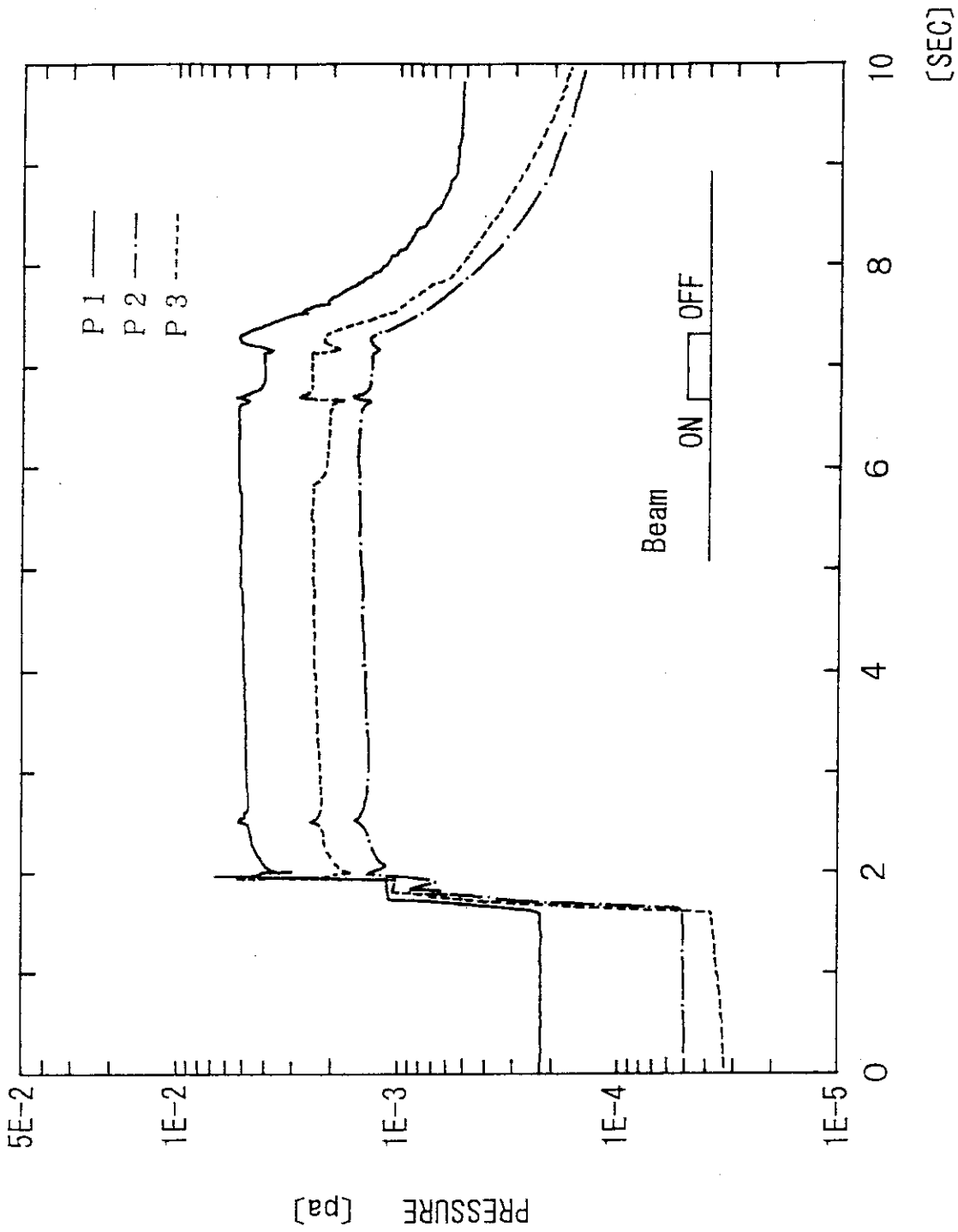


Fig. 15 3Heビームを最初にJT-60へ入射した時のNBIタンク各室の圧力波形

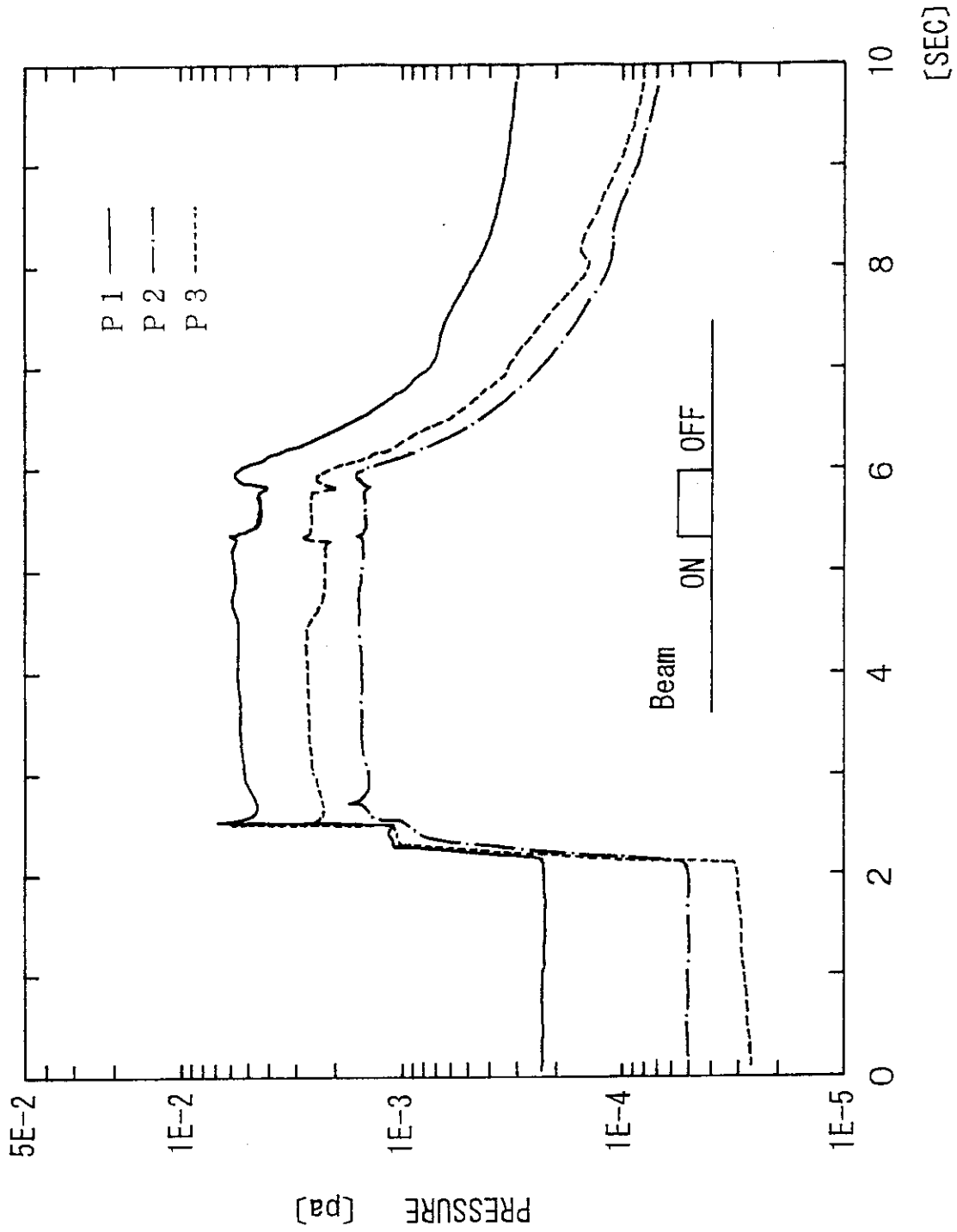


Fig. 16 3Heビームを最初にJT-60へ入射した時のNBIタンク各室の圧力波形

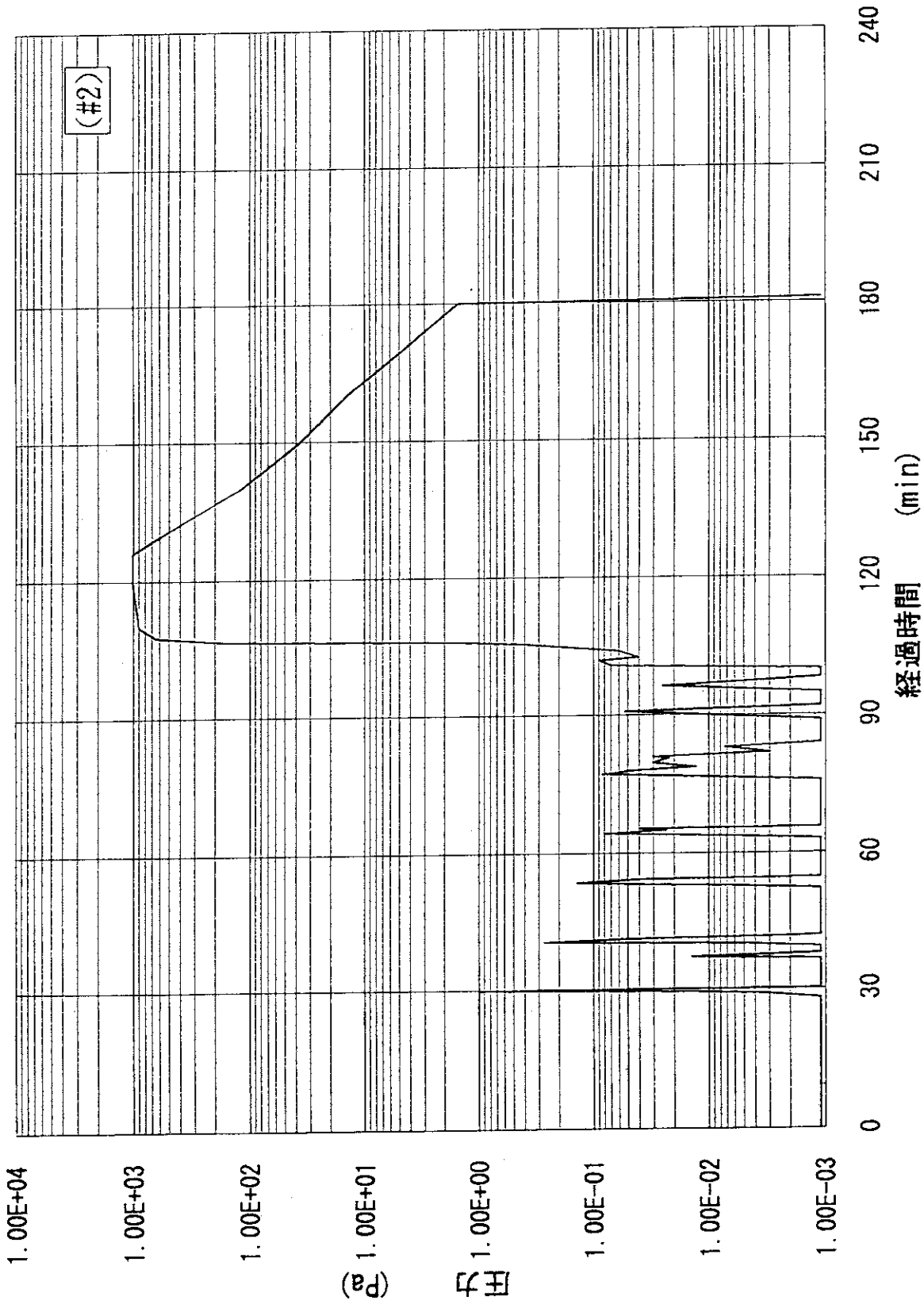


Fig. 17 重水素ビーム引き出し運転の際のクライオポンプ再生時の主排気タンク内圧力変化

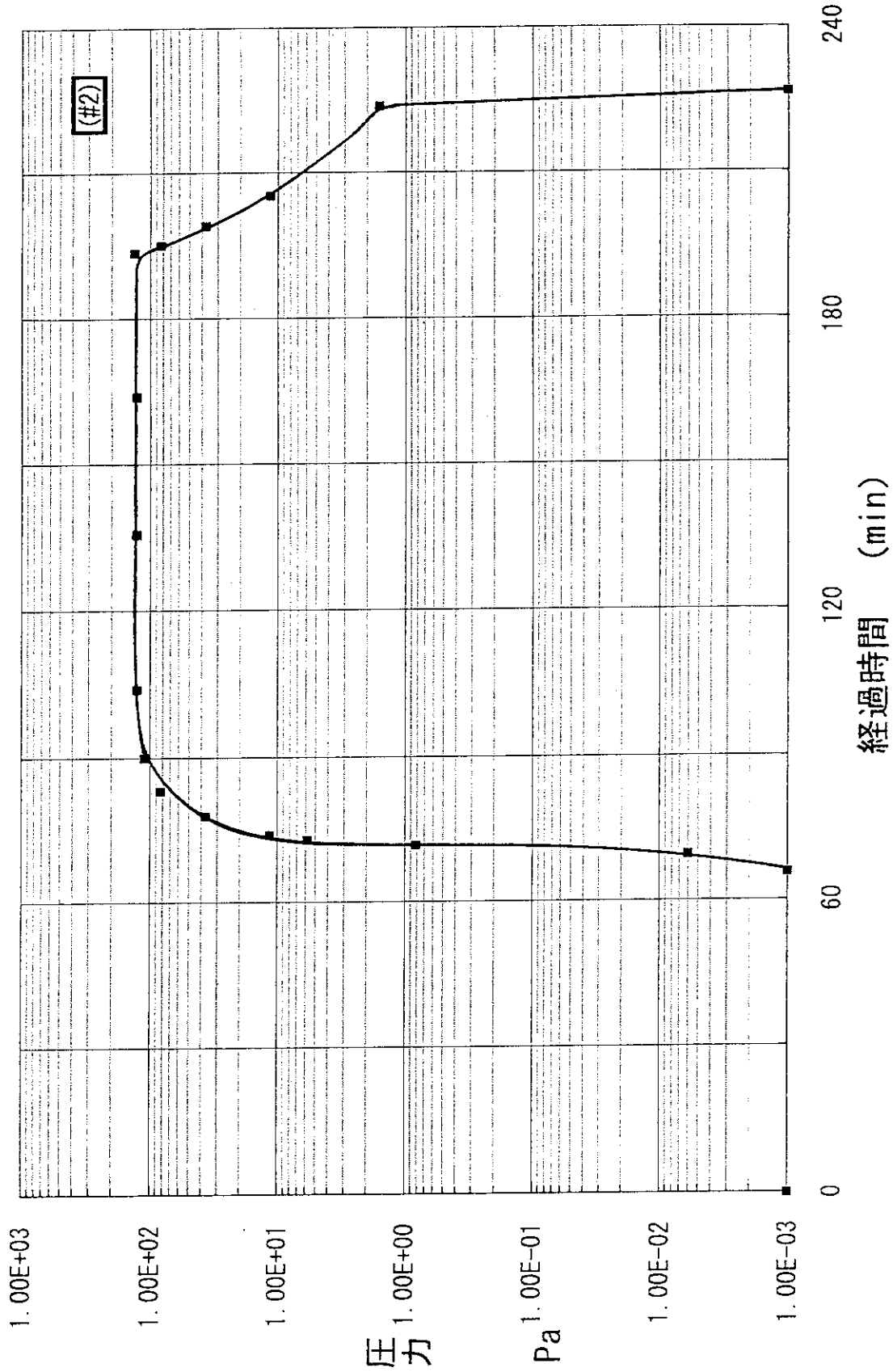


Fig. 18 3Heピーム引き出し運転の際のクライオポンプ再生時の主排気タンク内圧力変化

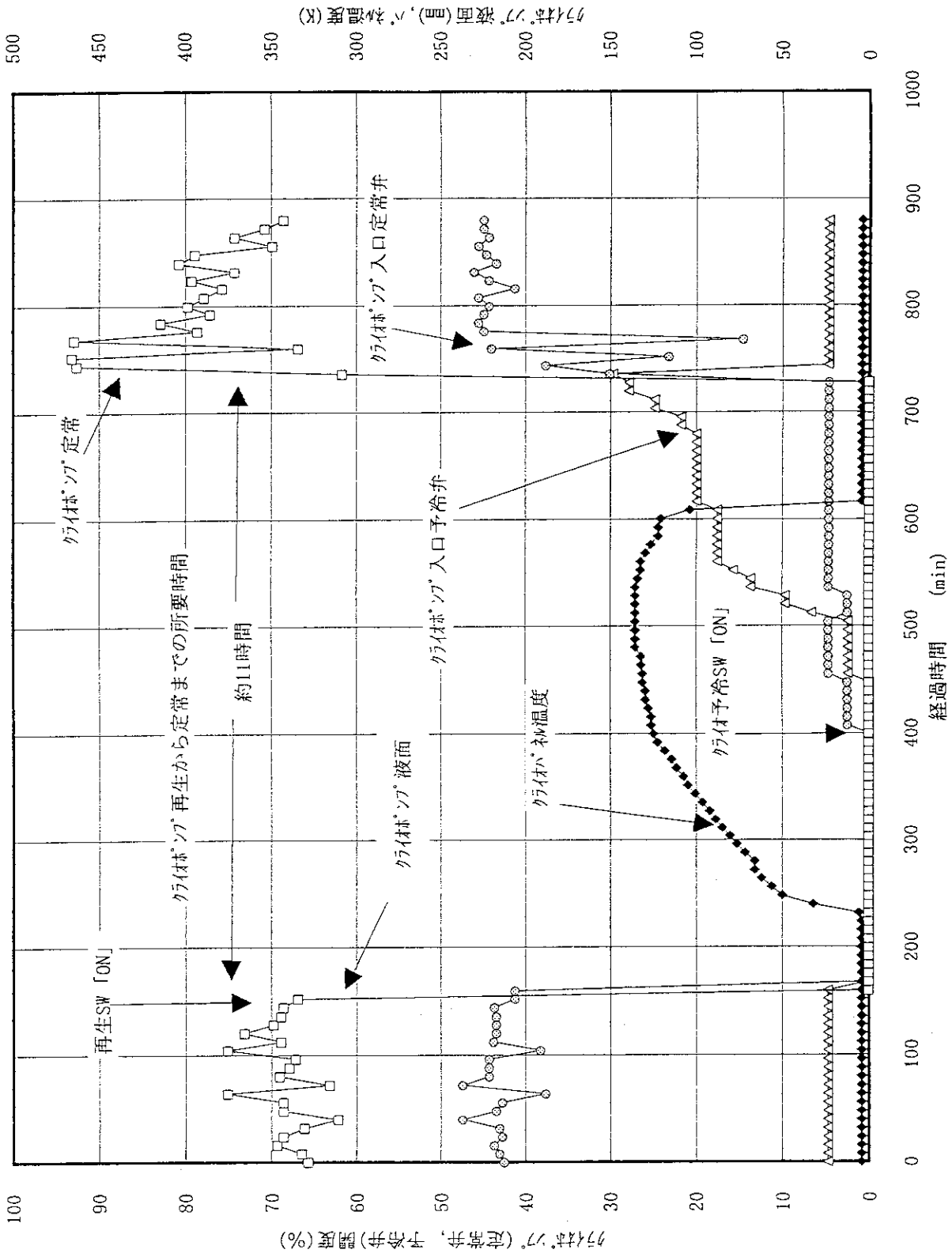


Fig. 19 クライボンプ再生/再立上げ操作時のクライオ関係データ