

J A E R I - M

88-214

J T - 60 ペレット入射装置

1988年10月

平塚 一・川崎 幸三・高津 英幸・三代 康彦
吉岡 祐二*・太田 和也・清水 正亜

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

JAERI-M 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。
入手の問合せは、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、お申しこしください。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。

JAERI-M reports are 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, 1988

編集兼発行　日本原子力研究所
印 刷　山田軽印刷所

J T - 60 ペレット入射装置

日本原子力研究所那珂研究所 J T - 60 試験部

平塚 一・川崎幸三・高津英幸・三代康彦

吉岡祐二*・太田和也・清水正亜

(1988年9月28日受理)

1988年5月に完成したペレット入射装置は、臨界プラズマ試験装置（J T - 60）のプラズマ中心にプラズマ粒子を供給することを目的とする。

本装置は、水素ガスを液体ヘリウムにより固体状のアイスペレットに変えて高圧水素ガスによってプラズマ中に射出するものである。本装置は、ペレット生成射出部、排気系、測定系、制御装置及び架台等から構成され、J T - 60 実験シーケンスに従って運転される。

本報告では、J T - 60 ペレット入射装置の概要及び特性試験（プラズマ入射を除く）等の結果について記述する。

Pellet Injector on JT-60

Hajime HIRATSUKA, Kozo KAWASAKI, Hideyuki TAKATSU, Yasuhiko MIYO
Yuji YOSHIOKA^{*}, Kazuya OHTA and Masatsugu SHIMIZU

Department of JT-60 Facility
Naka Fusion Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Naka-machi, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received September 28, 1988)

A pneumatic gun type 4 pellet injector of JT-60 (JT-60 pellet injector) has been constructed in May 1988. The objective of this system is to inject the hydrogen ice pellets into plasmas.

JT-60 pellet injector consists of a gun assembly, pumping units, a control system and stages. It is operated following JT-60 operation sequence.

In this paper, the system configuration and the performance test results of JT-60 pellet injector are described.

Keywords: JT-60 Tokamak, Fueling, Ice Pellet, Pellet Injection,
Pneumatic Gun Type

* On leave from Mitsubishi Heavy Industry Ltd.

目 次

| | |
|----------------------|----|
| 1.はじめに | 1 |
| 1.1 目的 | 1 |
| 1.2 構成 | 2 |
| 1.3 設計条件 | 2 |
| 2.設計 | 10 |
| 2.1 基本仕様 | 10 |
| 2.2 生成・射出部 | 10 |
| 2.3 圧力応答 | 11 |
| 3.各部仕様 | 18 |
| 3.1 ペレット入射装置本体 | 18 |
| 3.2 排気系 | 19 |
| 3.3 計測系 | 21 |
| 3.4 架台 | 21 |
| 4.制御と操作 | 25 |
| 4.1 システム構成及び機能 | 25 |
| 4.2 運転モード | 26 |
| 4.3 運転操作 | 27 |
| 5.特性試験 | 34 |
| 5.1 絶縁抵抗試験 | 34 |
| 5.2 ヘリウムリーク試験 | 34 |
| 5.3 耐圧気密試験 | 34 |
| 5.4 冷却試験 | 35 |
| 5.5 排気圧力応答試験 | 35 |
| 5.6 射出特性試験 | 35 |
| 6.おわりに | 43 |
| 謝辞 | 43 |
| 参考文献 | 44 |

Contents

| | | |
|-----|---------------------------------------|----|
| 1. | Introduction | 1 |
| 1.1 | Objectives | 1 |
| 1.2 | System configuration | 2 |
| 1.3 | Design conditions | 2 |
| 2. | Design | 10 |
| 2.1 | Major specifications | 10 |
| 2.2 | Gun assembly | 10 |
| 2.3 | Pressure responses | 11 |
| 3. | Specifications | 18 |
| 3.1 | Pellet injector | 18 |
| 3.2 | Pumping system | 19 |
| 3.3 | Diagnostic system | 21 |
| 3.4 | Stage | 21 |
| 4. | Control and operation | 25 |
| 4.1 | Configuration of control system | 25 |
| 4.2 | Operation mode | 26 |
| 4.3 | Operation | 27 |
| 5. | Performance tests | 34 |
| 5.1 | Insulation resistance test | 34 |
| 5.2 | He-leak test | 34 |
| 5.3 | Pressure and airtight tests | 34 |
| 5.4 | Cooling test | 35 |
| 5.5 | Pumping characteristics test | 35 |
| 5.6 | Injection performance test | 35 |
| 6. | Summary | 43 |
| | Acknowledgement | 43 |
| | References | 44 |

1. はじめに

1.1 目的

本装置は、JT-60 プラズマへの粒子注入を目的として固体状水素同位体をプラズマへ注入する装置である。

従来トカマク装置における粒子注入方式としては、ガスを直接プラズマに注入する方法と、ガスを冷却し固体状態の小片（ペレット）として入射する方法がある。前者の方法では、ガス注入を増加させても、プラズマ周辺部の密度は高くなるが、プラズマ中心部での密度を高めることはかなり困難であり、かつ周辺部の密度の増加によりプラズマが冷却され、不安定になる傾向がある。一方、後者の方法では、粒子の中心補給のみでなくプラズマ密度分布の制御手段としても有効である。特にプラズマ中心領域の高密度化が可能であり、最近の実験結果では、中心でのプラズマ密度と平均密度の比が約3倍の安定なプラズマが得られている。中心領域の高密度化は、閉じ込め特性の向上につながるだけでなくエネルギー利得の面からも核融合の高性能化につながり、TFTR、JETなどでもペレット入射によるプラズマ密度制御の研究を鋭意進めている。

JT-60 ペレット入射装置は、従来備えているガスパフ法に追加し、プラズマ密度分布制御を行いプラズマパラメータの向上を図るための装置である。また、トカマク運転定常化研究の長期計画の一環としてプラズマとペレットとの相互作用等に関するデータベースを得ることを目的としている。

1.2 構成

本装置は、ペレット入射装置本体（ペレット生成・射出系、排気系、測定系、架台）、制御設備及びガスボンベ保管設備から構成されている。本装置の構成を図1.1に示す。各系統の概要を以下に記す。

1.2.1 ペレット入射装置本体

(1) ペレット生成・射出系

ペレット生成・射出系は、ガス（水素、重水素）を液体ヘリウム（LHe）冷却することによって4個のペレットを生成し、加速ガスによって射出するための系で、ペレット生成・射出部、燃料ガス供給部、加速ガス供給部、液体ヘリウム供給部（デュワ内加圧のヘリウムガス供給部も含む）から構成されている。

(2) 排気系

排気系は、生成槽排気系、ヘリウム排ガス排気系、差圧排気系（第1測定槽排気系、第2測定槽排気系、第3測定槽排気系）、水素排ガス排気系、二重配管排気系、ガスボンベ排気系の8系統から構成され、各真空槽及びガス配管内を真空に排気する。

ペレット生成・射出時の不用ガスとヘリウム排ガスは、生成槽排気系と水素排ガス排気系及びヘリウム排ガス排気系を用いて排気する。差圧排気系は、ペレット射出後、各測定槽の加速ガスを排気する。二重配管排気系は、液体ガスの二重配管を断熱排気する。ガスボンベ排気系は、ポンベ交換時の配管部を排気する。

(3) 測定系

測定系は、射出されたペレットのスピード（レーザーを用いた飛行時間法）とペレット補給粒子数（ペレット質量）の測定（測定槽内の圧力上昇法及びマイクロ波共振法）、各真空槽とポンプ入口側配管部の真空度及びペレット生成状態（温度、ガス供給圧力、液体ヘリウム排ガス流量）を測定する系から構成される。

(4) 架台

架台は、支持架台及びステージングから構成され、ペレット入射装置本体及び制御設備の中で、JT-60本体上架台上に設置される機器を安定性よく組み込むためのものである。支持架台は、ペレット入射装置本体の内JT-60本体に接続される部分を支持するもので、JT-60本体上架台上に設置され、その他の機器は、ステージング上に設置される。ペレット入射装置設置図を図1.2に示す。

1.2.2 制御設備

制御設備は、ペレットの生成・射出を制御し、ペレット入射装置の各排気系の操作と運転を行うための設備である。JT-60制御棟中央制御室の指定された場所に設置された中央制御盤、JT-60実験棟計測調整室(I)に設置された現場制御盤及びステージング上の現場盤から構成される。現場制御盤は、簡易フリーアクセス床面に据え付けられている。図1.3に中央制御室配置図を、図1.4に計測調整室(I)配置図を示す。

1.2.3 ガスボンベ保管設備

ガスボンベ保管設備は、加速ガス供給系（高圧ガス系）、燃料ガス供給系（低圧ガス系）、冷媒加圧用ヘリウムガス供給系、排気系バージ用窒素ガス供給系の各ボンベ（ 7 m^3 , $150\text{ kgf/cm}^2\text{ G}$: 高純度ガス）を設置するための設備であり、JT-60実験棟北側の屋外に設置されている。ガスボンベ保管設備（ガスボンベ置場）配置図を図1.5に示す。

1.3 設計条件

本装置は、高圧のガス（加速ガス）を用いて固体水素同位体（アイスペレット）を加速し、JT-60真空容器内に入射させる。入射時の加速ガスが真空容器内に侵入しないよう真空槽を設けて、差動排気するなどのガス流入防止、プラズマ消滅による電磁力変位やベーリングによる熱変位等を考慮した設計及び据え付けが必要になる。設計条件の概要を述べる。

1.3.1 耐震条件

静的設計地震力として震度 1.25 C_0 から定まる水平地震力に耐えるものとする。ここに、 C_0 は

建築基準法に定める震度を表す。

1.3.2 上架台の振動

上架台は、プラズマ立上げ時及びディスラプション時にトロイダル方向に面内振動するので、機器設計に際して、以下に示す最大変位及び最大加速度値を用いる。

| モード | 最大変位(mm) | 最大加速度(G) |
|-------------------|----------|----------|
| プラズマ 立上げ時 | 3.0 | 0.3 |
| プラズマ ディスラプション時 | 6.0 | 0.6 |

1.3.3 真空容器の変位

真空容器は、ベーキング運転及びプラズマ放電時に変位するので機器設計に際しては、装置の据え付け位置 (P-10 セクション S L ポート部) での最大変位を用いる。その値を示す。

| 方 向 | ベーキング時 最大変位(mm) | プラズマ放電時 最大変位(mm) |
|---------|--------------------|---------------------|
| 主半径方向 | 9.4 | 11.8 |
| トロイダル方向 | 10.6 | 11.9 |
| 鉛直方向 | 5.5 | 4.3 |

1.3.4 真空に関する条件

J T - 60 真空容器の真空性能に直接係わる本装置の第3測定槽には、真空容器へ流入するガス量を低減するために真空排気系を設置し、本装置と真空容器とを真空隔離するためゲート弁（ポート取合い部に絶縁ベローズを介して設置する）を設け、さらに、放出ガス量を低減するよう R. T. ~130°C のベーキングができる機能を有する。第3測定槽の到達圧力は、 5×10^{-6} Pa, 許容ヘリウムリーク量 1.33×10^{-10} Pam³/s としている。

また、ペレット射出時の J T - 60 真空容器への加速ガス漏洩量は、0.63 Pam³ 以下としている。

1.3.5 磁場条件

ペレット速度、ペレット質量等の計測には、電磁誘導による磁場の影響を十分に考慮する必要がある。ポロイダル磁場コイルやプラズマ電流による変動磁場強度は 0.08 T, トロイダル磁場コイルによる静磁場強度は 2.1 T (B = 13.5 / R : ここで、B は磁場強度、R は主半径方向長さを示す) で、ディスラプション時のプラズマ消滅時定数は 7 ms とする。

1.3.6 電気絶縁に関する条件

本装置は、JT-60 本体及び周辺設備と絶縁を取るものとする。JT-60 本体との絶縁耐圧は、AC 1.1 kV rms (1 分間) とする。また、接地系を介してワン・ターンを形成しないものとする。

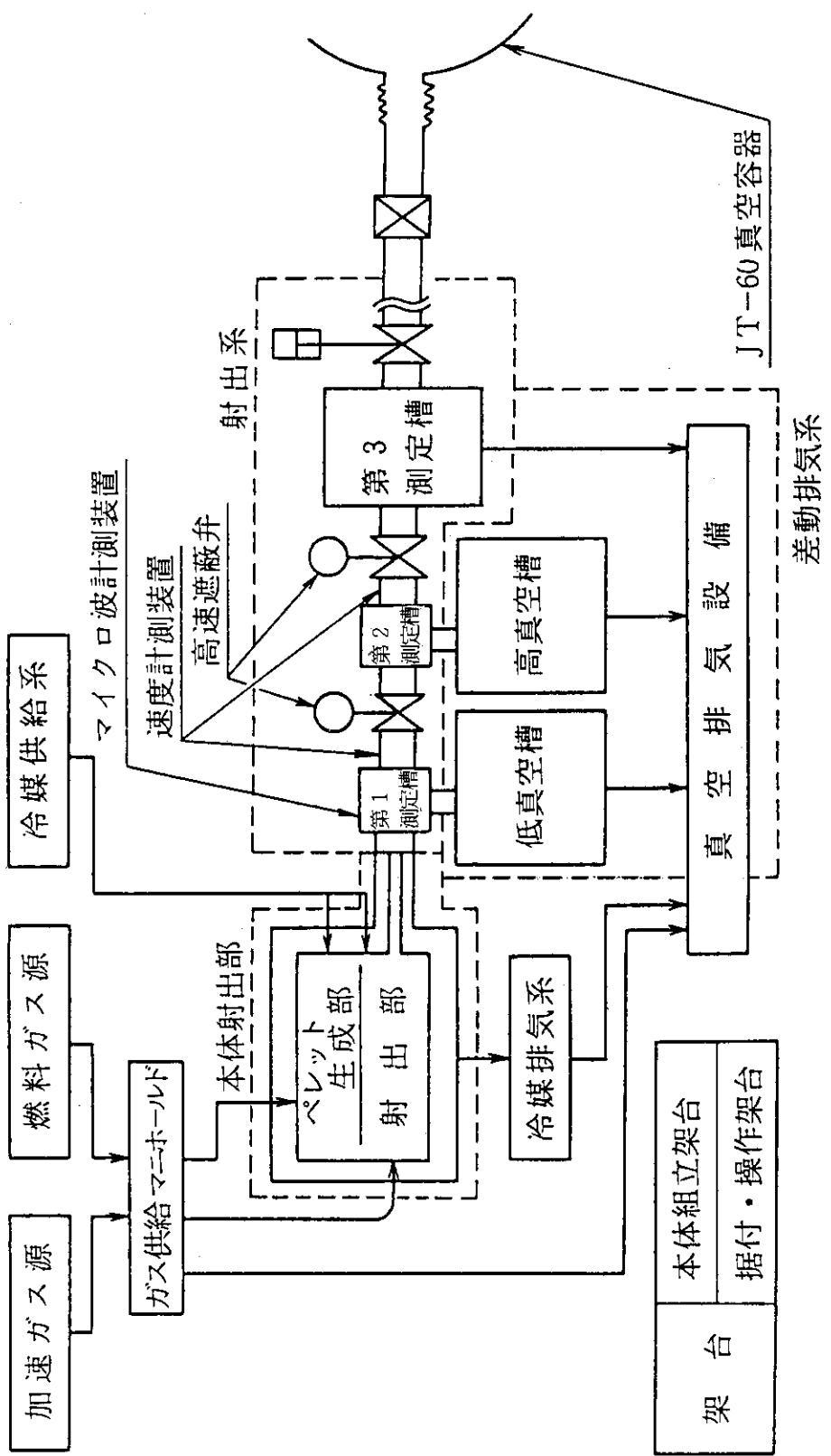


図 1.1 ペレット入射装置全体構成図

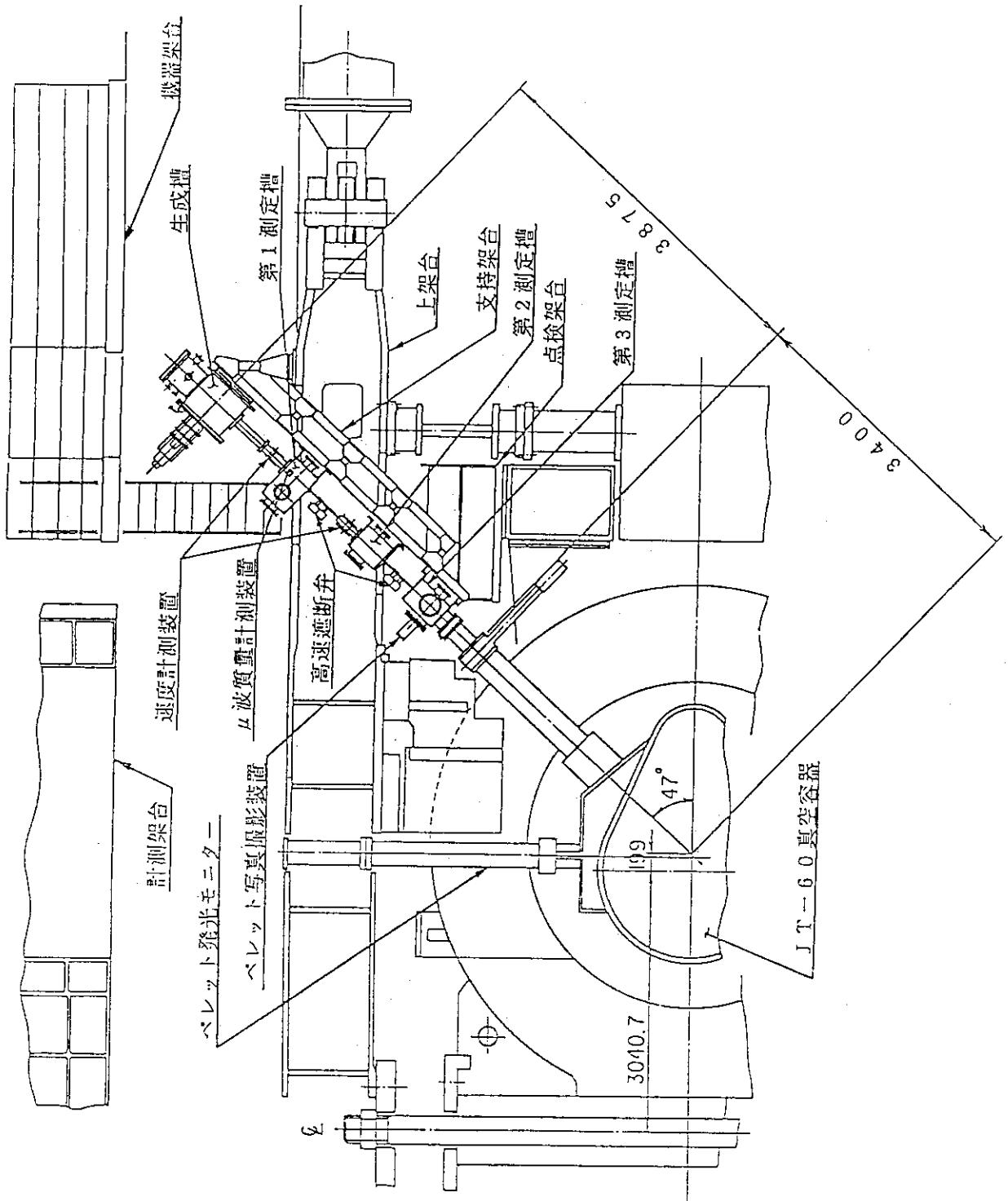


図 1.2 設置図

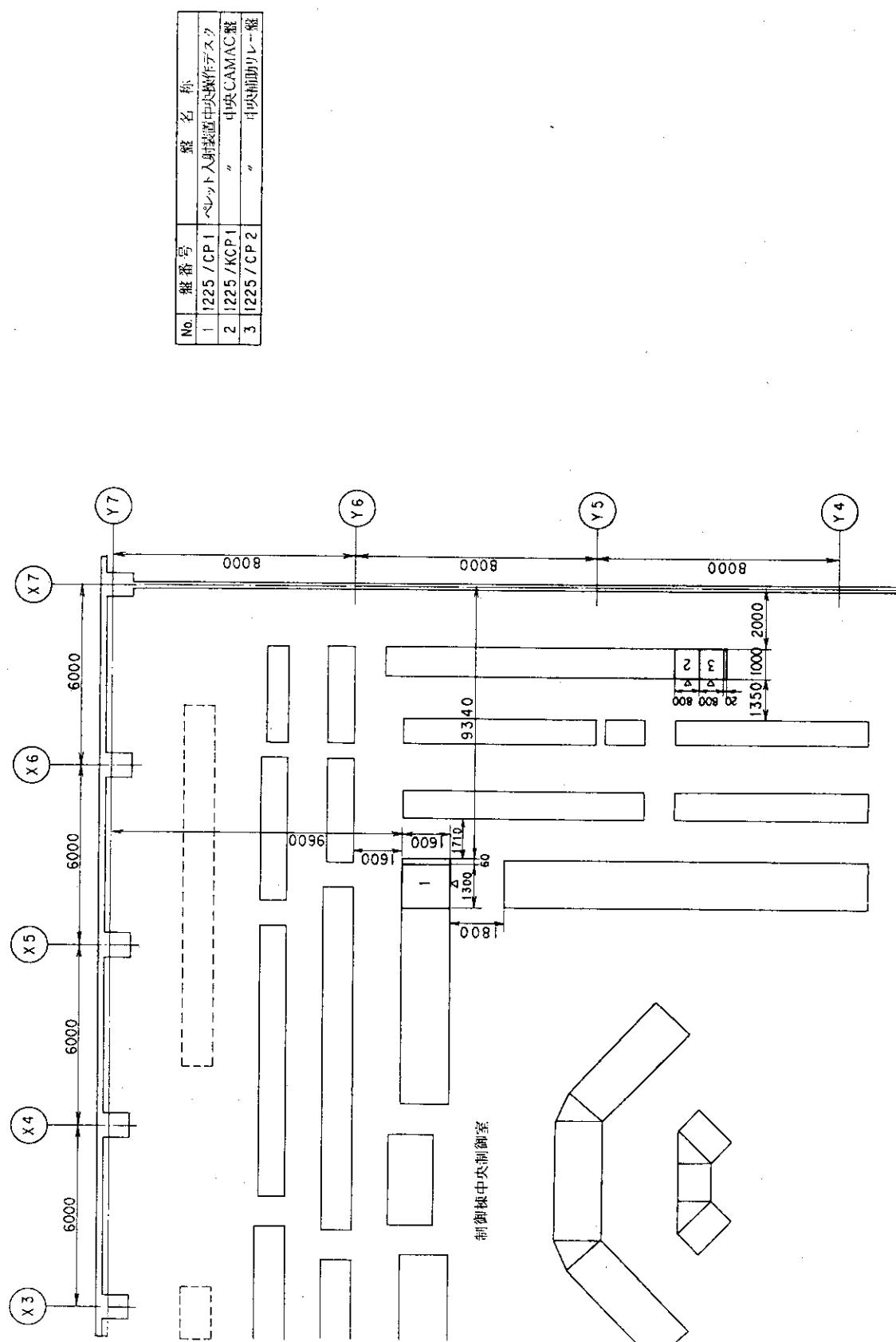


図1.3 中央制御室配置図

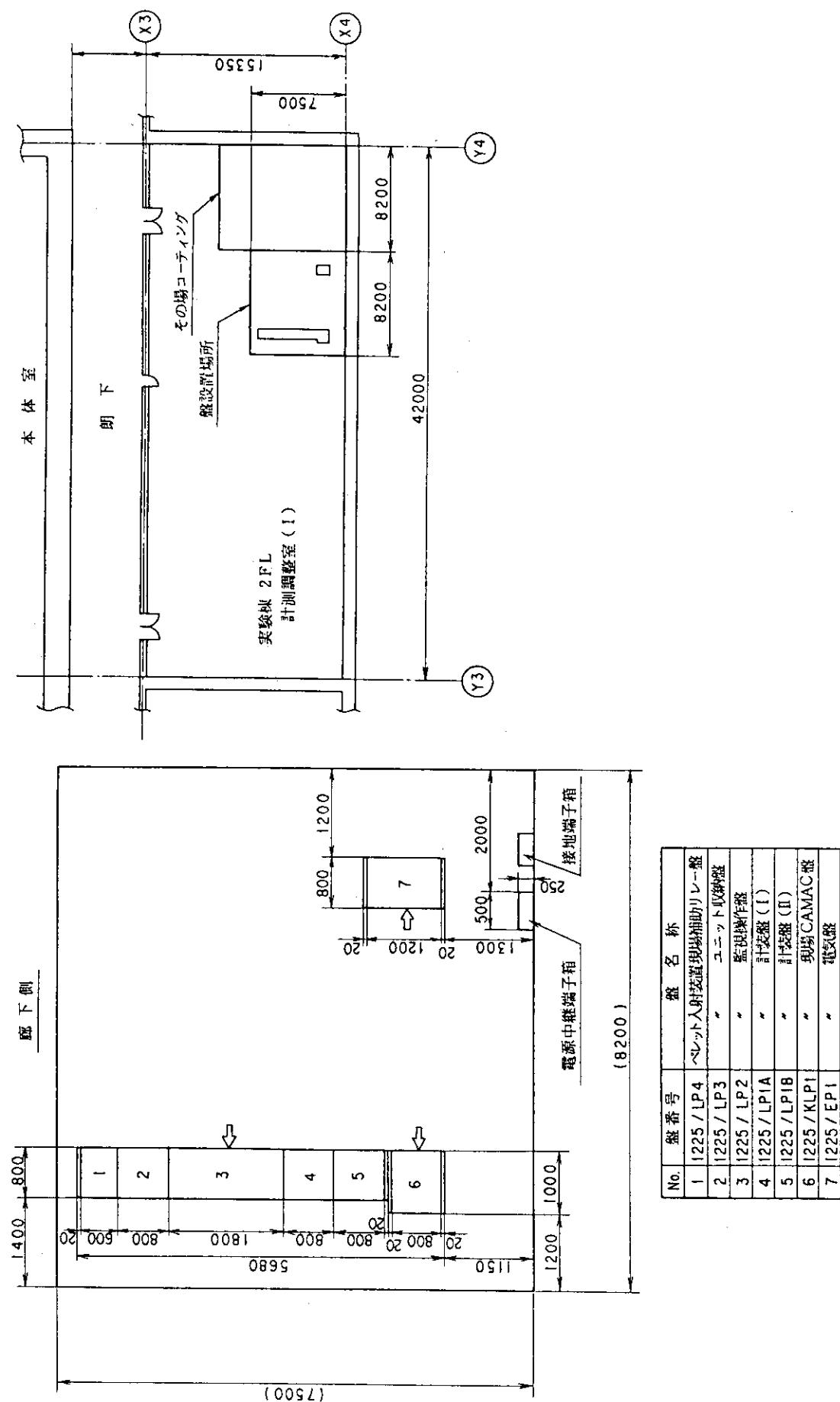
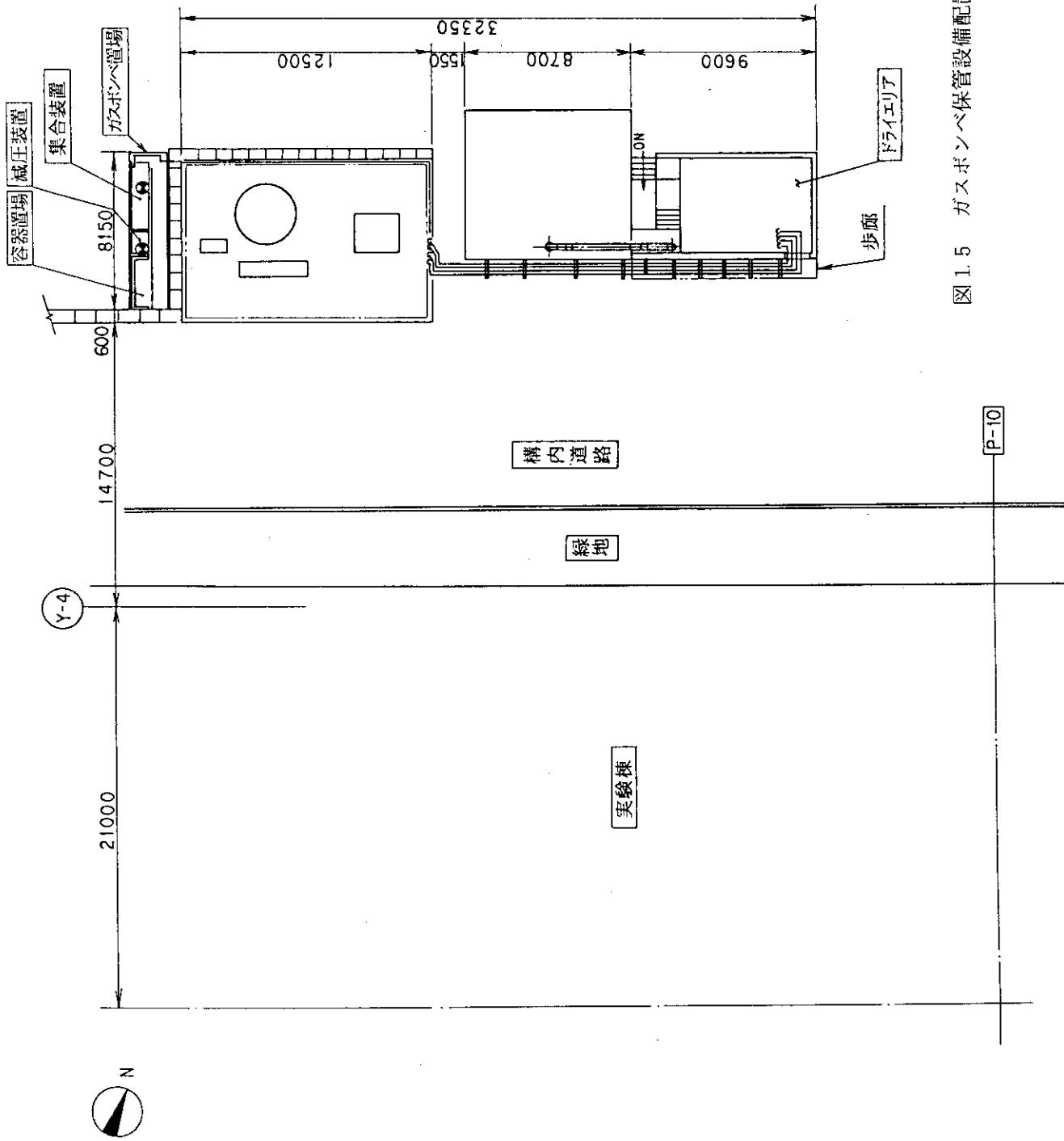


図 1.4 計測室(Ⅰ)配置



2. 設 計

2.1 基本仕様

J T - 60 ペレット入射装置は、これまで原研が開発してきたガス銃方式のペレット入射方式を基本にして、既に開発した4ペレット入射装置¹⁾のペレットサイズを大型にすると共にペレット高速化を図り、短期間に J T - 60 本体に組み込みプラズマ実験に供することを目的として仕様を定めた。

ペレット種類 ; 水素ガス (H_2) 及び重水素ガス (D_2)

ペレット個数 ; 3 個 (保証), 4 個 (目標)

ペレットキャリア寸法 ; 直径 2.7 mm × 長さ 2.7 mm 2 個

直径 3.8 mm × 長さ 3.8 mm 2 個

ペレット射出スピード ; 1.3 km/s 以上 (保証), 1.5 km/s 以上 (目標)

但、射出スピードは H_2 に関する値とする。

2.2 生成・射出部

ペレット入射装置の生成・射出部の構造を図 2.1 に示す。生成・射出部は、加速ガスを封じ込めるリザーバタンク (高速射出弁の手前に設置), リザーバタンクとキャリア間に高速射出弁, ペレットを生成するペレットキャリア, ペレットを打出す射出管 (銃身) 等からなり, 生成槽内に設置される。リザーバタンク内に封じ込められた加速ガスは、高速射出弁の「開」動作によって圧縮波を形成し、伝播しながらペレットを加速するよう移動する。

理想ガスの場合、加速ガスの種類 (質量M, 比熱比 γ) 及び加速ガス圧力から求まるガスの伝播速度は、次式で表せる。

$$V = \frac{2 C_o}{\gamma - 1} \left\{ 1 - \left(1 + \frac{t}{\tau} \right)^{\frac{1-\gamma}{1+\gamma}} \right\} \quad (1)$$

$$\tau = \frac{2 M C_o}{(\gamma + 1) P_o A_p}$$

V ; 速度

P_o ; 加速ガス圧力

γ ; 加速ガスの比熱比

C_o ; 加速ガスの音速

M ; ペレット質量

A_p ; ペレットの断面積

t ; ペレット通過時間 τ ; 時定数

一方、ペレットの加速時間（加速管内のペレット通過時間 t ）と加速距離（銃身長 L ）との関係は、

$$L = \frac{2C_0\tau}{\gamma-1} \left[\left(\frac{t}{\tau} \right) - \frac{\gamma+1}{2} \left\{ \left(1 + \frac{t}{\tau} \right)^{\frac{2}{\gamma+1}} - 1 \right\} \right] \quad (2)$$

となる。(1)と(2)より、銃身長、ガス温度及びガス圧力を高めると伝播速度は大きくなることが分かる。S. K. Combs は、伝播速度と銃身長の関係を調べ、図 2.2 に示す結果を得ている²⁾。それによると銃身長約 80 - 90 cm で伝播速度は飽和し、これ以上に銃身を長くしても速度の増加を期待することができないとしている。このことから、JT-60 ペレット入射装置の銃身長 L を 80 cm に定めた。式(1)と(2)を用いた伝播速度特性を図 2.3 に示す。図に示すように加速ガス圧力 (H_2) 30 kgf/cm² G 以上で約 1.3 km/s の伝播速度が得られる。

これまで報告されているペレット速度は、理論速度の約 0.8 倍であること及びペレット速度 1.5 km/s を目標としたことから JT-60 ペレット入射装置の加速ガス圧力を 50 kgf/cm² G に定めた。

2.3 圧力応答

設計圧力 50 kgf/cm² G の加速ガスでペレットを射出するので、射出時に於ける各部の圧力応答について検討する。

JT-60 ペレット入射装置の排気系統図を図 2.4 に示す。排気系は、真空ポンプ類及び真空槽からなり、射出時の生成槽、及び各測定槽の圧力上昇を真空槽の容積で吸収し、JT-60 真空容器へのガス流入を防止している。各槽内は、細いガイド管で連絡しペレットを通過させている。各真空槽の圧力は、次式から求められる。

$$V_j \frac{\delta P_i}{\delta t} = Q_{in} - Q_{out}$$

$$Q_{in} = C_{ij} (P_j - P_i)$$

$$Q_{out} = C_{jk} (P_k - P_j)$$

 V ; 真空槽の容積 Q_{in} ; 流入ガス量 Q_{out} ; 流出ガス量 C ; 配管のコンダクタンス P ; 圧力 t ; 応答時間

i, j, k ; 第 1, 2, 3 真空槽

配管のコンダクタンス C は、各真空槽圧力を分子流領域として求めた。図 2.5 に計算結果を示す。この計算では、高速射出弁からのガス注入速度を約 $1333 \text{ Pam}^3/\text{s}$ 、動作時間を約 10ms とした。第 1 測定槽及び第 3 測定槽の最大圧力は、約 $6.38 \times 10^3 \text{ Pa}$ と $9.51 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ になる。第 3 測定槽から JT-60 真空容器に流入するガス量は、約 $1.0 \times 10^{-5} \text{ Pam}^3$ となり仕様値 (0.63 Pam^3) を満足する値が予想できる。

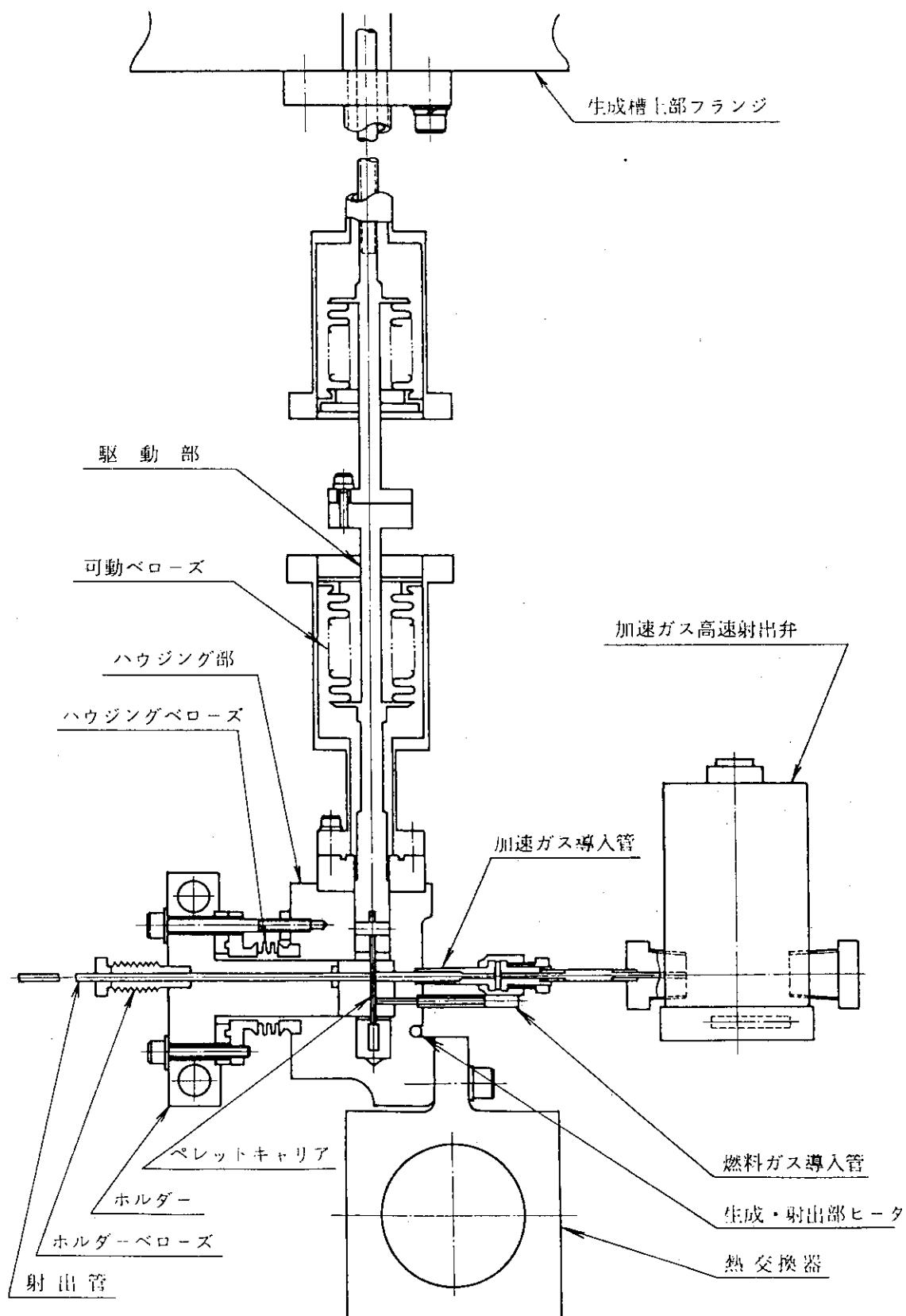


図 2.1 ペレット生成・射出部の構造

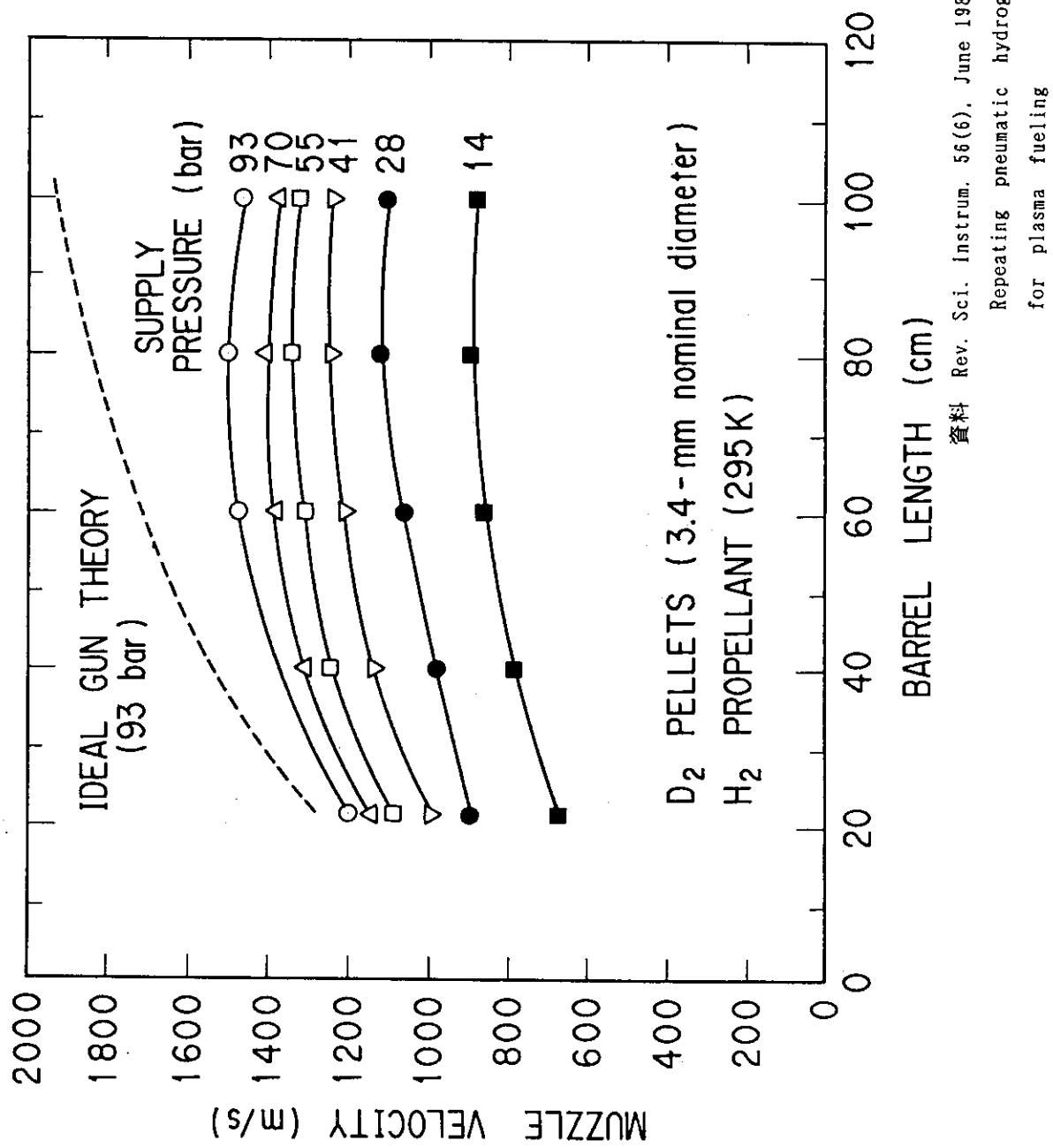


図 2.2 伝播速度と銃身長

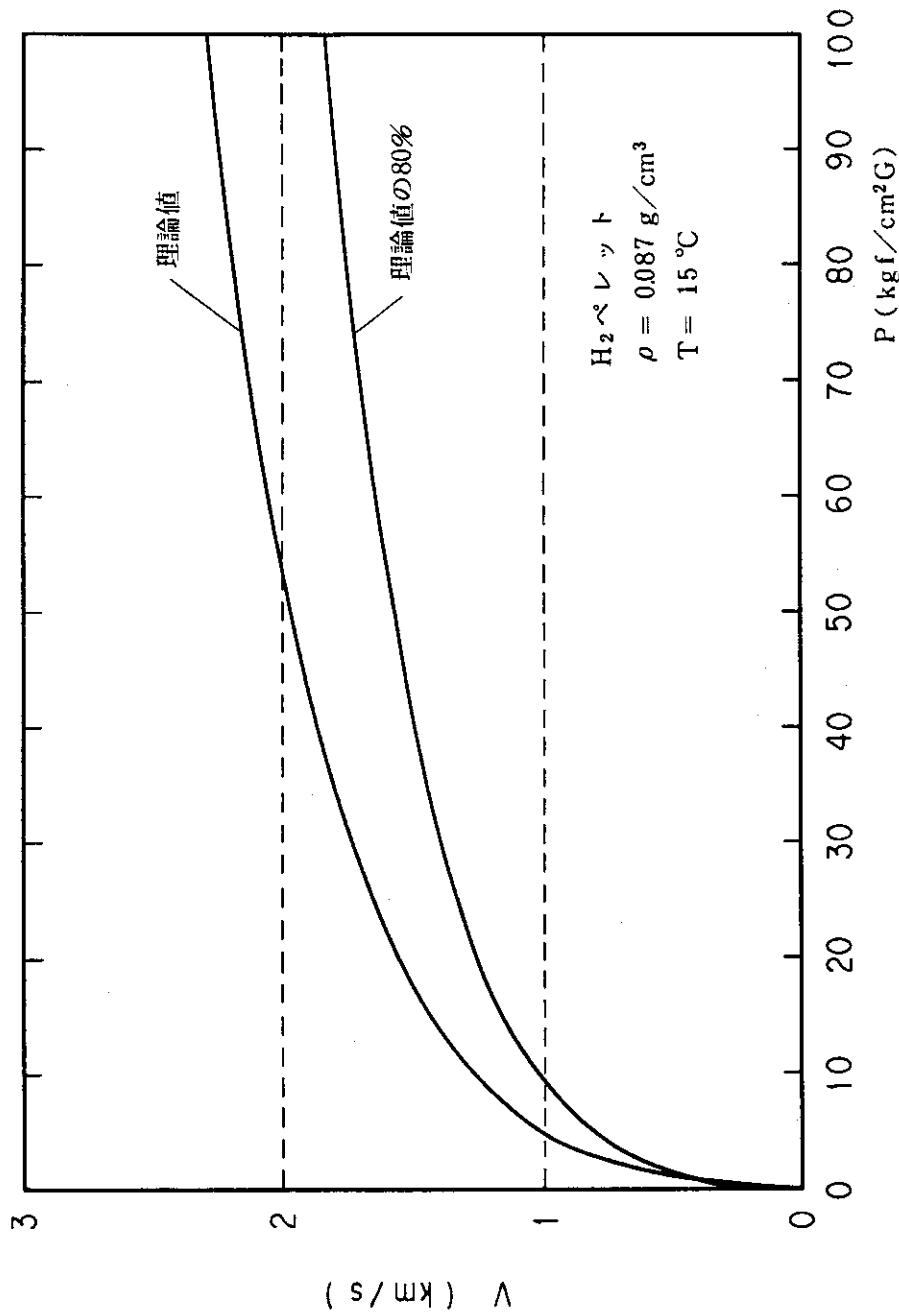


図 2.3 加速ガス圧力-伝播速度特性

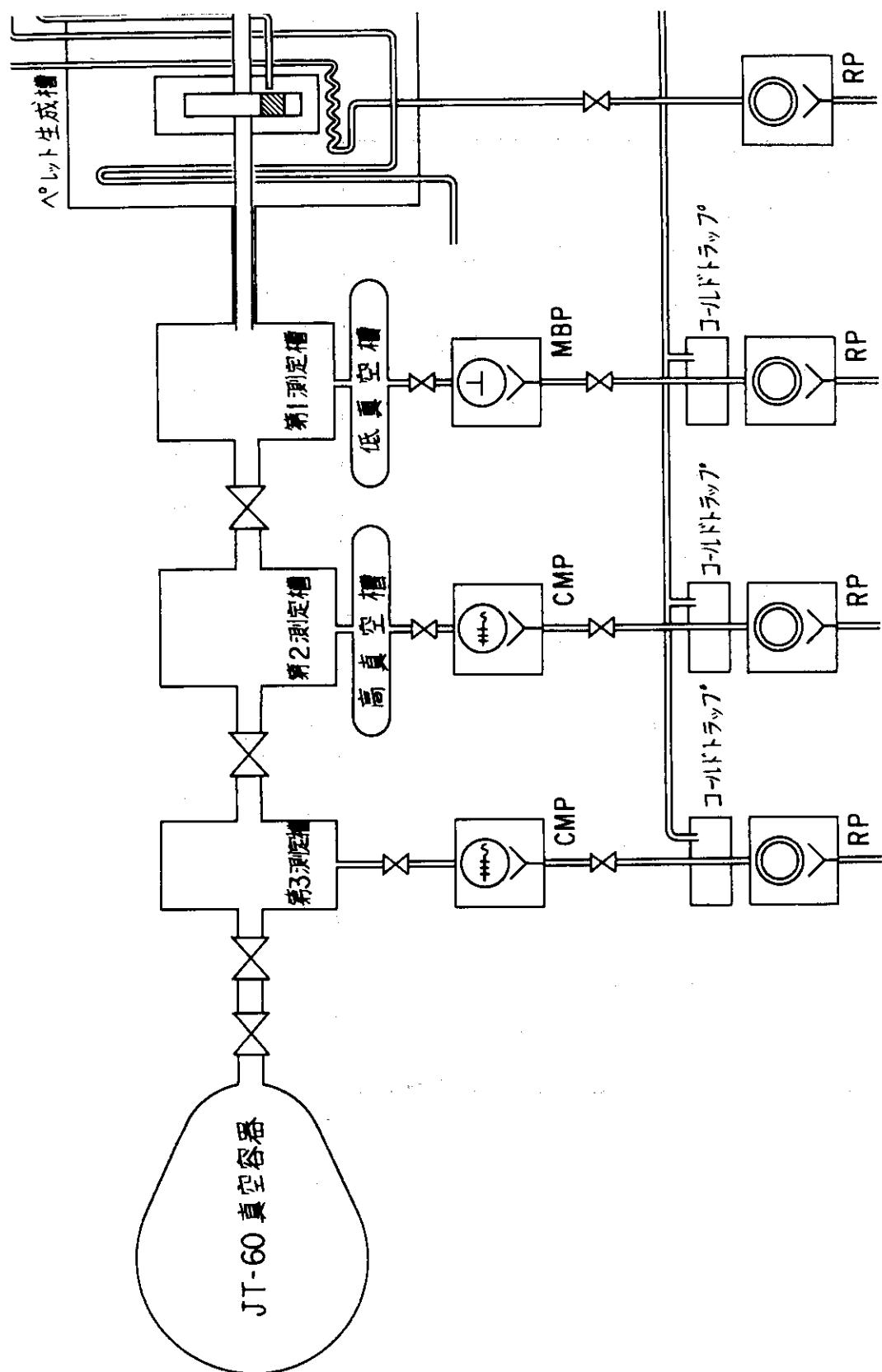


図 2.4 各槽排気系統略図

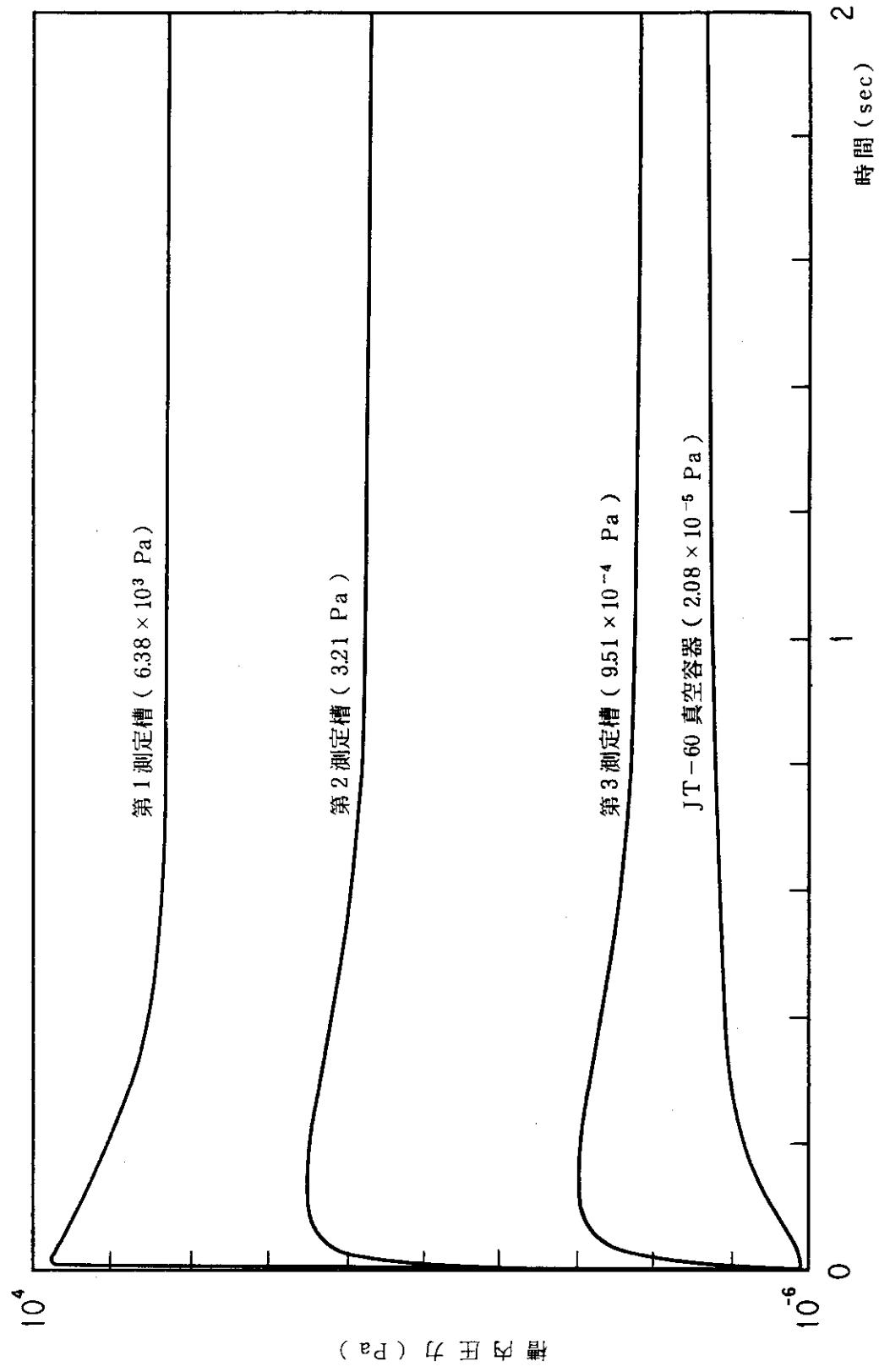


図 2.5 4 系統ペレット入射時の解析結果
(ペレット入射による圧力解析)

3. 各 部 仕 様

設計値に基づき、水素ガス（温度 80°C, 粘性率 $1.002 \times 10^{-4} \text{ dyn s/cm}^2$ ） $50 \text{ kgf/cm}^2 \text{ G}$ でペレットを射出した場合のペレット入射装置の各槽容積及び真空ポンプの排気速度等を真空系の圧力応答解析コード「P R A C」³⁾ を用いて決定した。設計諸量を表 3.1 に示す。

3.1 ペレット入射装置本体

ペレット入射装置本体の系統略図を図 3.1 に示す。ペレット入射装置本体は、JT-60 真空容器とは、絶縁ベローズを介して接続され、生成・射出部、燃料ガス供給部、加速ガス供給部及び液体ヘリウム供給部等からなる。

3.1.1 生成・射出部

ペレットは、液体ヘリウム（LHe）により極低温（～7K）に冷却された 4 個の独立したペレット・キャリアの小孔内で同時に生成される。射出方式は、加速ガス（高圧ガス）を利用するガス銃方式である。銃身及び加速ガスの仕切弁である高速射出弁は、各射出系毎に設置されている。銃身長は、設計検討より 80 cm とした。

冷却方式は、液体ヘリウム供給部から送られる液体ヘリウムの蒸発潜熱とガス・エンタルピーを使って熱伝導性の良い熱交換器を介してペレット・キャリアの小孔近傍を主に冷却する構造としている。その結果、4 個の独立したペレット・キャリアがほぼ同一温度に冷却できる。また、主バレル・ハウジング近傍に取り付けたカートリッジヒータを用いて温度制御ができる構造になっている。

ペレット・キャリア駆動方式は、生成槽外からモーター駆動により行っており、4 個独立して駆動できる。キャリアの位置検出は、接続されたエンコーダにより行い、指定した位置において停止できる。

外部からの伝導、対流、輻射による熱侵入を防ぐとともに、ペレット生成及び射出に必要な機器を安定性良く納めるための容器である生成槽は、熱絶縁のためにその内部を常時真空排気をしている。また、液体ヘリウム排ガスと液体窒素（Liq-N₂）を用いたシールド板により熱侵入を極力小さくする構造になっている。

3.1.2 燃料ガス供給部

プラズマ燃料ガスには、水素（H₂）または、重水素（D₂）を用いられる。燃料ガス供給部は、各生成系毎に独立してガス供給ができる。また、供給ガス圧力は、各供給系毎に圧力調整器により 4 系統独立して調整できる。

燃料ガスは、プラズマへの影響を考慮して水素の場合 7 - 9 (99.9999%) 以上のガスを用いている。また、ガスピンベから供給するガスに含まれる水蒸気、微少な塵等の不純物は、供給配

管途中に設けた Liq-N₂ ト ラップ及びフィルターにより除去される。

3.1.3 加速ガス供給部

加速ガス供給部は、各射出系毎に安定した加速ガス供給ができるようにリザーバタンクを備え、圧力調整器を介して独立した加速ガス圧力設定ができる。また、リザーバタンクの外壁に取り付けられたヒーターにより、加速ガス温度を上げられる構造になっている。ガス圧の設定は、各系毎の圧力調整器により独立してでき、加速ガスも燃料ガス同様、プラズマへの影響を考慮して水素の場合 7 - 9 (99.99999 %) 以上のガスを用いている。また、ガスボンベから供給するガスに含まれる水蒸気、微少な塵等の不純物は、供給配管途中に設けた Liq-N₂ ト ラップ及びフィルターにより除去される。

3.1.4 液体ヘリウム供給部

液体ヘリウム供給部は、液体ヘリウムデュワタンクから二重シールド式トランスマスファチューブを介してペレット生成・射出部に液体ヘリウムを供給している。液体ヘリウムデュワタンクには、定期的に液体ヘリウムを供給する方式を採用している。

トランスマスファチューブは、フレキシブル型とし、チューブのシールド管内は、バルブを介して真空排気ができる構造になっている。デュワタンク内は、ヘリウムガスにより加圧、供給される。また、加圧用ヘリウムガス供給配管の一部にガス中の不純物を除去するためのフィルターが設けられている。

ペレット生成・射出部を冷却した液体ヘリウムは、気化され、ヘリウムガスとして排気される構造になっている。

3.1.5 窒素ガス供給部

窒素ガス供給部は、不用になった燃料ガス、加速ガス等の水素ガスを希釈するための窒素ガスを供給する。また、各真空ポンプのバージガスにも用いられる。

窒素ガス供給配管の一部にガス中の不純物を除去するためのフィルターが設けられている。

3.2 排気系

排気系は、その排気対象に従って生成槽排気系、ヘリウム排ガス排気系、差圧排気系（第 1、第 2、第 3 測定槽排気系）水素ガス排ガス排気系、二重配管排気系及びガスボンベ排気系の 8 系統から構成される。排気系の略図を図 3.2 に示す。ポンプは、ターボ分子ポンプ、複合分子ポンプ、メカニカルブースタポンプ及び油回転ポンプ等で構成され、各ポンプの上流側にはピラニや電離真空計の測定子が取り付けられており、圧力測定ができる。また、油回転ポンプの下流側の排気ガスは、希釈してプロワを介して安全に屋外に排出する。

3.2.1 生成槽排気系

生成槽排気系は、ターボ分子ポンプ、油回転ポンプ等から構成され、生成槽内を排気する。

3.2.2 ヘリウム排ガス排気系

ヘリウム排ガス排気系は、油回転ポンプ等で構成され、ペレット生成・射出部冷却後の液体ヘリウム（気化ガス）、ヘリウムガスを排気する。

3.2.3 差圧排気系

差圧排気系は、ペレットの加速に使用したガスを排気する系統で、加速ガスがプラズマへ流入しないようにしている。また、第1測定槽と第2測定槽、第2測定槽と第3測定槽の間には、加速ラインの高速遮断弁を設けてペレット通過前に「開」とし、ペレット通過直後に高速で「閉」をしている。

(1) 第1測定槽排気系

第1測定槽排気系は、生成槽に最も近い位置に設置されており、ペレット射出時には加速ガスの影響を受けて高い圧力になる。そのため低真空槽により圧力を緩和して排気する。

排気系統は、メカニカルブースタポンプ及び油回転ポンプ等により構成されて第1測定槽内を排気する。

(2) 第2測定槽排気系

第2測定槽排気系は、第1測定槽から漏れ出る加速ガスを高真空槽により緩和して排気する。

排気系統は、複合分子ポンプ、油回転ポンプ等により構成されて第2測定槽内を排気する。

(3) 第3測定槽排気系

第3測定槽排気系は、第2測定槽より流入する加速ガスを排気する。また、JT-60真空容器ゲート弁間を排気する。

排気系統は、複合分子ポンプ、油回転ポンプ等により構成されて第3測定槽内等を排気する。

3.2.4 水素排ガス排気系

水素排ガス排気系は、ターボ分子ポンプ、油回転ポンプ等で構成され、燃料ガスと加速ガスの不用になったガスを排気する。また、不用になった加圧用ヘリウムガスを排気する。

燃料ガスの流量調整時等の高い圧力は、油回転ポンプ単体で排気する。

3.2.5 二重配管排気系

二重配管排気系は、ターボ分子ポンプ及び油回転ポンプ等で構成され、液体窒素、液体ヘリウム供給配管の二重配管を真空断熱のために排気する。

3.2.6 ガスポンベ排気系

ガスポンベ排気系は、油回転ポンプ等で構成され、各供給ガスポンベ（燃料ガス、加速ガス、ヘリウムガス及び窒素ガスポンベ）の交換時に大気に接した配管内を排気する。

3.3 計測系

計測系は、射出されたペレットの情報（ペレットの速度、ペレットの大きさ）及びペレットを生成するため情報（射出部の温度、燃料ガス流量、加速ガス圧力）を計測する。

3.3.1 射出されたペレットの情報に関する計測

(1) 飛行時間測定法を用いた速度測定

速度は、4個のペレットについて独立に計測できる。速度測定センサは、第1測定槽と第2測定槽に取り付けられ、検出時間差により計測される。

(2) 圧力測定法を用いたペレット大きさ測定（ペレット大きさ測定計）

J T - 60 真空容器間のゲート弁を閉じ、第3測定槽排気系の仕切弁を閉じた状態で第3測定槽に取り付けられたダイアフラム真空計を用いて、ペレット1個毎又は、同時に射出した時の圧力上昇を測定する。

(3) マイクロ波を用いたペレット大きさの測定

大きさは、4個のペレットについて独立に測定できる。マイクロ波のキャビティは、第1測定槽内に設けられており、静電容量の変化を検出して計測する。

3.3.2 ペレット生成条件に関する測定

(1) ペレット生成・射出部の温度測定

ペレットを生成している各主バ렐・ハウジング部の温度を金鉄クロメル熱電対で測定する。

(2) ガス供給及び液体ヘリウム供給に関する流量及び圧力測定

燃料ガス供給部の元圧及び各生成系毎の圧力を圧力調整器により設定し、圧力計にてモニタできる。また、燃料ガス流量は、流量設定器により調節し流量計にてモニタできる。

加速ガス供給部の元圧及び各射出毎の圧力を圧力調整器により設定し、圧力計にてモニタできる。

液体ヘリウムデュワタンク加圧用ヘリウムガス供給部の元圧及び加圧圧力を調整器により設定し、圧力計にてモニタできる。また、液体ヘリウム流量を流量計にてモニタできる。

液体ヘリウム排ガスの流量を流量計にてモニタできる。

3.4 架台

架台は、ペレット入射装置本体を支持する支持架台とペレット生成・射出系、排気系（ガスピンベ排気系を除く）、計測系及び制御系の一部をステージングから構成される。

支持架台は、J T - 60 本体の連結アーム（P 10 セクション）より絶縁を介して支持されている。

ステージングは、J T - 60 本体の上架台上に絶縁を介して設置される。

表 3.1 設計諸量

| | |
|-------------|----------------------|
| 第1測定槽容積 | 43 l |
| 第2測定槽容積 | 37 l |
| 第3測定槽容積 | 35 l |
| ポート+第3測定槽容積 | 49 l |
| 加速ガスボンベ量 | 7 m ³ ×4本 |
| 第1測定槽排気速度 | |
| メカニカルポンプ | 138 l/s |
| 油回転ポンプ | 22.3 l/s |
| 第2測定槽排気速度 | |
| ターボ分子ポンプ | 550 l/s |
| 油回転ポンプ | 22.3 l/s |
| 第3測定槽排気速度 | |
| ターボ分子ポンプ | 550 l/s |
| 油回転ポンプ | 11.0 l/s |

排気速度は、窒素ガスによる。

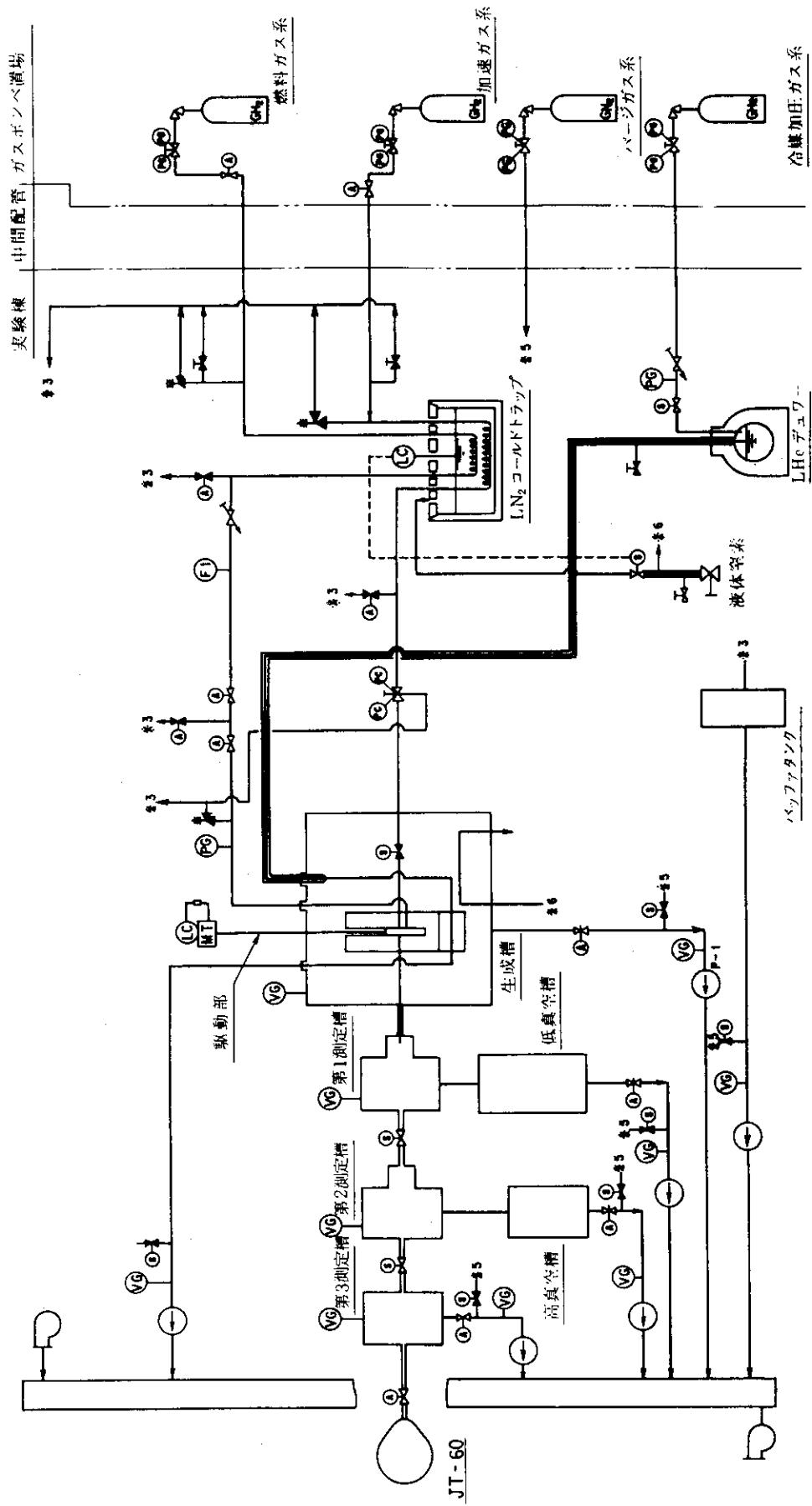


図 3.1 ベレット注入装置系統略図

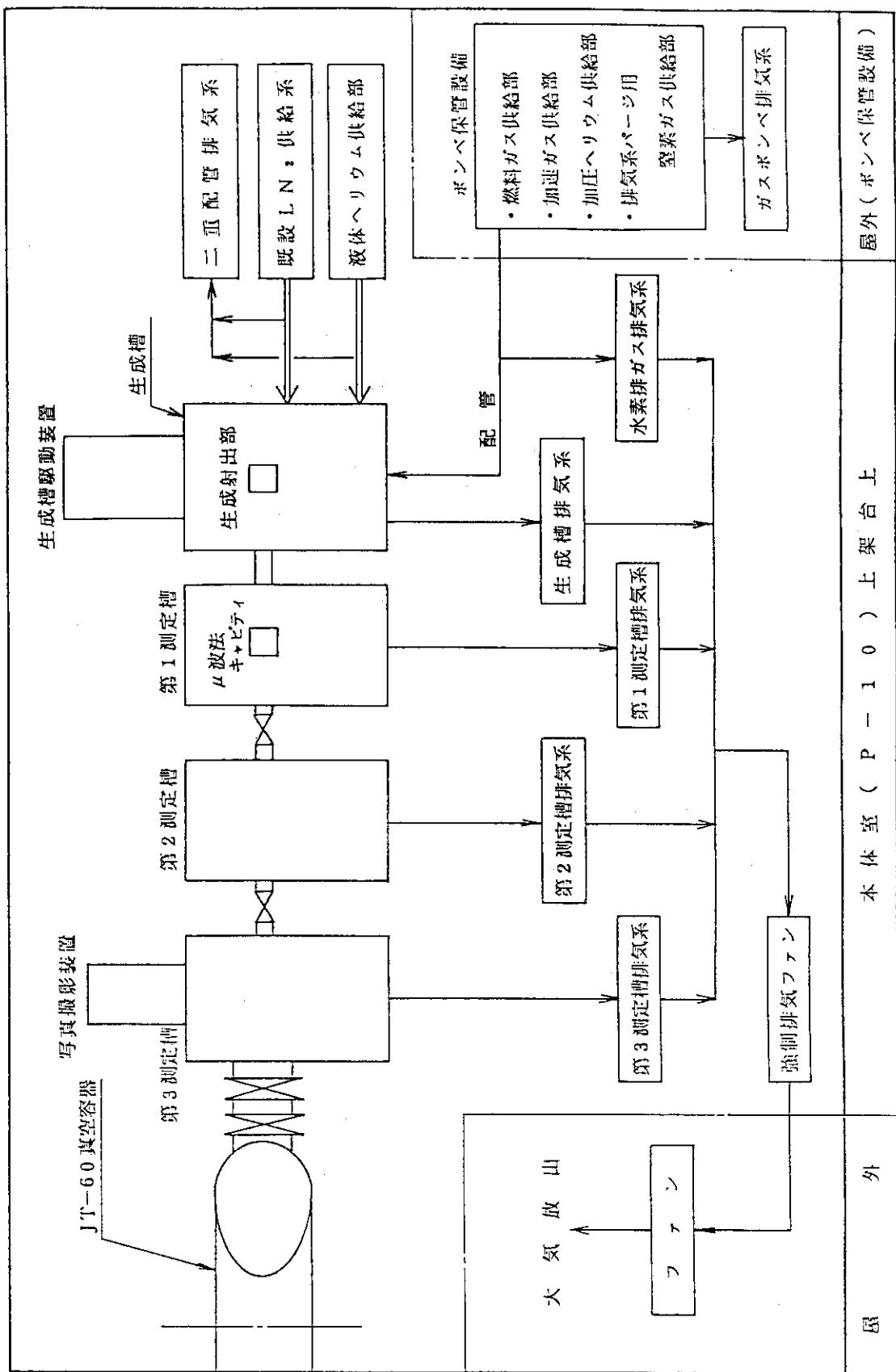


図3.2 排気系の略図

4. 制御と操作

4.1 システム構成及び機能

4.1.1 システム構成

ペレットの生成から射出までの運転を自動あるいは、手動で行う制御設備及び排気系の運転を行う制御設備は、中央制御盤、現場制御盤及び計算機システム（C A M A Cを含む）から構成される。図4.1にペレット入射装置の制御システム概念図を示す。C A M A Cシステムの略図を図4.2に示す。

4.1.2 機能

(1) 制御盤

中央制御盤では、ペレット入射装置本体との情報交換を計算機システムを介して行う。現場制御盤では、ペレット入射装置本体との情報交換をハードワイヤード（シーケンサを含む）を介して行える機能を有している。

(2) 計算機システム

計算機システムは、以下の機能を有している。

① マンマシンインターフェース

C R T、表示器、キー入力装置により、ペレット入射装置の各種データを表示する。また、制御に必要な各種条件設定ができる。

- ペレット入射時のデータ収集及び条件設定機能
- ペレット入射時の入射タイミング等の設定機能
- ペレット生成条件等の設定機能

② ペレット入射シーケンサの管理

- 放電条件等のトレース機能
- C A M A Cの制御状態遷移の管理機能
- C A M A Cとのデータ送受信機能

③ データの収集及び保管

C A M A Cシステム及びシーケンスからのデータを収集し、そのデータを保存する。

- 保管データの再生機能
- 収集データの表示加工機能

④ システムのメンテナンス

- プログラムのローディング機能
- メモリダンプ機能

(3) C A M A Cシステム

C A M A Cシステムは、以下の機能を有している。

- ① データ送受信
 - ・全系制御設備とのデータ送受信機能
- ② データ収集
 - ・C A M A C モジュールを用いてのデータ収集機能
(収集データ毎のC A M A C モジュールの収集速度が可変可能)
 - 〔収集データ〕 : ペレット速度計測信号
 - : ペレット射出時刻
 - : マイクロ波データ
 - : 真空槽圧力
- ③ 計算機とのインターフェース
 - ・シリアルドライバーとC A M A C クレートコントローラのインターフェース機能
- ④ C A M A C 回線管理
 - ・全系制御計算機システムとのC A M A C 回線管理機能
- ⑤ C A M A C メンテナンス
 - ・メモリダンプ機能
 - ・C A M A C ファンクション発行機能
 - ・C A M A C モジュール診断機能

4.2 運転モード

ペレット入射装置の運転は、「自動」及び「手動」の運転モードがある。自動運転モードには、中央からJ T - 60 の実験運転(放電)周期と同期してペレットの生成射出を行う全系同期モード(自動運転Ⅰ)とペレット入射装置単位で生成射出を周期的に行う内部同期モード(自動運転Ⅱ)及び現場からペレット入射装置単体で生成射出を行えるモード(自動運転Ⅲ)がある。手動運転モードには、各機器のユニット単位に起動、停止するモード運転、ユニット運転、さらに、機器単位に起動、停止する手動運転がある。

4.2.1 自動運転(I)

中央制御盤において運転開始後のペレット生成射出に関する運転が、J T - 60 の放電に同期して行う運転モードである。ただし、ペレットの生成が完了し、射出準備完了の場合のみJ T - 60 と同期してペレットが射出できるインターロック機構を設けている。

図4.3に実験運転シーケンスの概念を示す。ペレットのプラズマへの入射時刻の設定は、全系制御設備から与えられる放電条件に従って、ペレット入射装置側の遅延パルサ発生器により行う。このパルス発生器の動作に必要な基準パルス(J T - 60 の放電に同期したパルス)は、全系制御設備からのタイミング信号(空心変流器コイルの遮断指令と同じt = 0)としている。また、ペレットキャリア射出位置への駆動開始は、全系制御設備からのペレット入射準備指令信号により行う。

ペレット開始信号受信後、0 ~ 10秒の任意の設定時刻に加速ライン高速遮断弁の「開」に次

いで高速射出弁を「開閉」した後、加速ライン高速遮断弁を「閉」する（プラズマへの加速ガスの流出防止）。

4.2.2 自動運転（Ⅱ）

中央制御盤においてペレット入射装置に内蔵したタイマーに設定した周期に従ってペレット入射装置単体で連続的な運転ができる。タイマーの設定は、計算機システム及び制御盤（シーケンサ）においてできる。他は、自動運転（Ⅰ）と同様である。

4.2.3 自動運転（Ⅲ）

現場制御盤においてペレット入射装置に内蔵したタイマーに設定した周期に従ってペレット入射装置単体で連続的な運転が行える。タイマーの設定は、現場制御盤（シーケンサ）においてできる。

4.2.4 手動運転

ペレットの生成射出に関する大部分の操作を手動で行うモードである。手動モードによる操作は、中央制御盤と現場制御盤より行える。手動モードには、各機器のユニット単位に操作できる「モード」と各系統単位に操作できる「ユニット」及び各機器単位に操作する「手動」がある。

4.3 運転操作

ペレット入射装置の運転は、中央制御盤及び現場制御盤から操作できる。中央制御盤からの操作は、ファンクションキー（F / K）に対応して自動、個別の操作ができる。盤内の2台のCRT（CRT1, CRT2）では、その状態が監視できる。現場制御盤からは、操作スイッチにより操作が行え、グラフィックパネル等によって状態監視ができる。

4.3.1 中央制御盤

CRT1のF / K割付一覧を表4.1に、CRT2のF / K割付一覧を表4.2に示す。

(1) CRT1の機能

① システム運転操作機能

- 機器運転操作

モード / ユニット / 手動による各系統の排気、供給、停止ができる。

- ペレット射出機能

自動 / 手動 / テストによるペレットの生成、射出ができる。

② システム監視機能

- 排気、供給、生成、射出の状態監視ができる。

- プロセスデータの監視ができる。

- イベントデータ（警報データ、不良入力点、システムメッセージ）の監視ができる。

(3) 運転条件設定機能

- ・放電条件の表示設定ができる。
- ・設備プロセットデータ（ペレット生成関係）の表示設定ができる。
- ・データロガの設定ができる。
- ・個別シーケンスタイマの設定ができる。

(2) CRT 2 の機能

① データ監視機能

- ・排気、供給、生成、射出の運転監視ができる。
- ・放電結果データの管理（結果データの保存、削除、FDセーブ等）ができる。
- ・放電結果データの表示（速度波形 / μ 波形 / 圧力波形の時刻列表示、速度及びペレットサイズの2次データ表示）ができる。

4.3.2 現場制御盤

中央制御盤で「現場」選択された場合、現場制御においてモード / ユニット / 手動による各系統の排気、供給、停止、及びペレットの生成、射出ができる。

表 4.1 F / K 割付 (CRT1)

| No. | 系統図表示 | プロセスデータ | イベントデータ | 運転条件 | システム運転操作 | グループ登録 | アラーム確認 | ページ後退 | ページ前進 |
|-----|----------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|--------|-------|-------|
| | | | | | | | | | |
| 1 | 全休系図 (ex - 01) | グルーブ表示 (ex - 05) | 警報データー録 (ex - 08) | 放電条件 (ex - 11) | 機器運転操作 (ex - 15) | グループ登録 (ex - 17) | — | — | — |
| 2 | 排気系図 (ex - 02) | サマリ表示 (ex - 06) | 不良入力点一覧 (ex - 09) | 設備ブリセット (ex - 12) | ベレット射出操作 (ex - 16) | — | — | — | — |
| 3 | 供給系図 (ex - 03) | デマンド表示 (ex - 07) | システムメッセージ (ex - 10) | データロガ設定 (ex - 13) | — | — | — | — | — |
| 4 | 生成・削除系図 (ex - 04) | — | — | 個別シケンスター (ex - 14) | — | — | — | — | — |
| 5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 6 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

表4.2 F/K割付(CRT2)

| NO. | 系 統 図 表 示 | 結果データ管理 | 結果データ表示 | 日付・時刻 | システムナンバ | ページ前進 | | | | | | | | | |
|-----|-----------------------|------------------------|-----------------------|-------|------------------------|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | | | | | F10 | F9 | F8 | F7 | F6 | F5 | F4 | F3 | F2 | F1 |
| 1 | 全体系統図 (ex-100) | ショット番号設定 | 速度波形表示 (ex-105) | — | CAMAC診断 (ex-109) | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2 | 排氣系統図 (ex-101) | 表示データ選択 (ex-104) | μ波形表示 (ex-106) | — | CAMACコマンド (ex-109) | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 3 | 供給系統図 (ex-102) | 結果データ保存 (ex-104) | 圧力波形表示 (ex-107) | — | CAMACイニシャル (ex-109) | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 4 | 生成・射出系統図 (ex-103) | 保存データ削除 (ex-104) | プロセスデータ表示 (ex-108) | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 5 | — | 保存データFDセーブ (ex-104) | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 6 | — | FDイニシャル (ex-104) | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

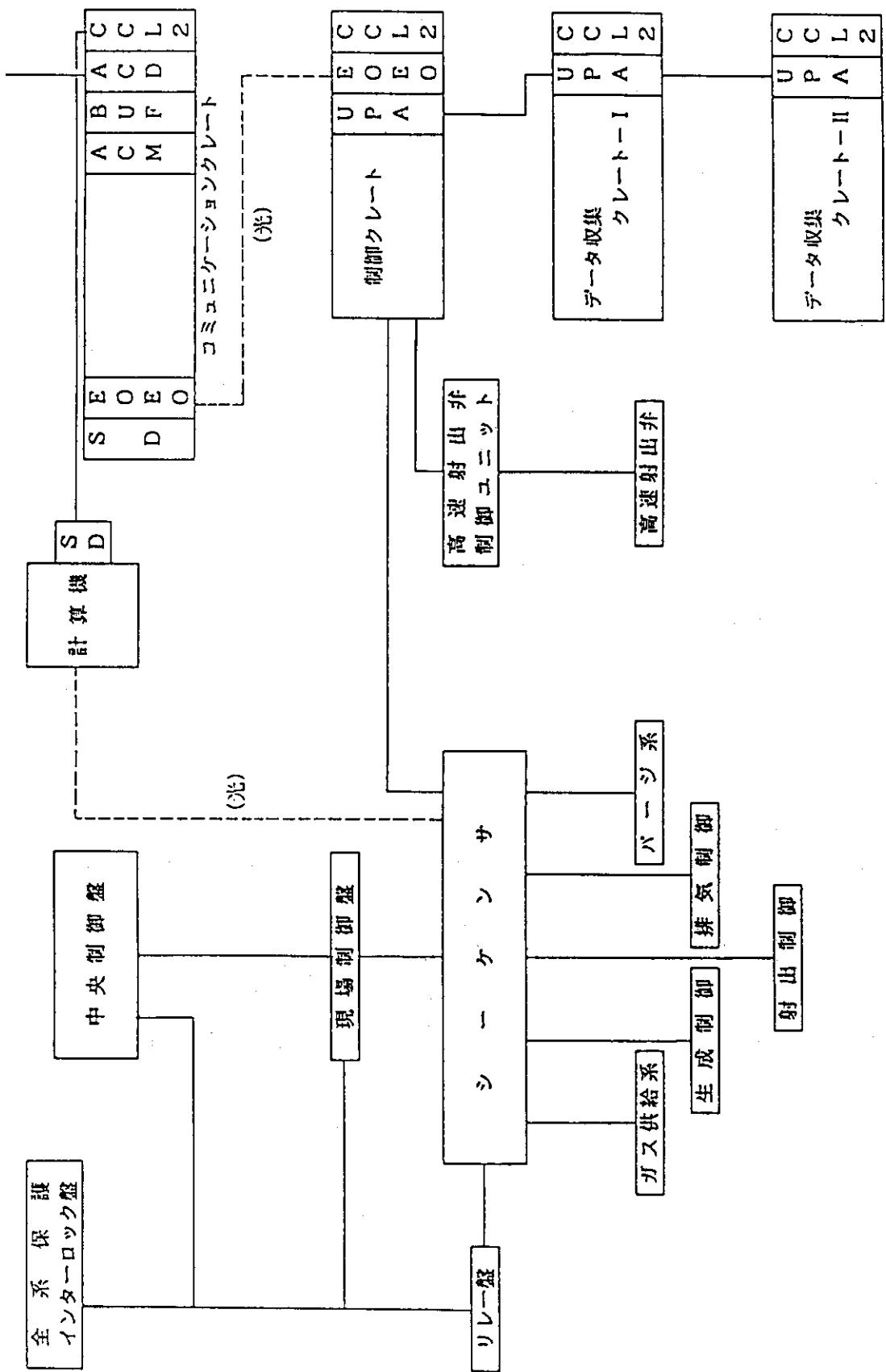


図 4.1 制御システム概念図

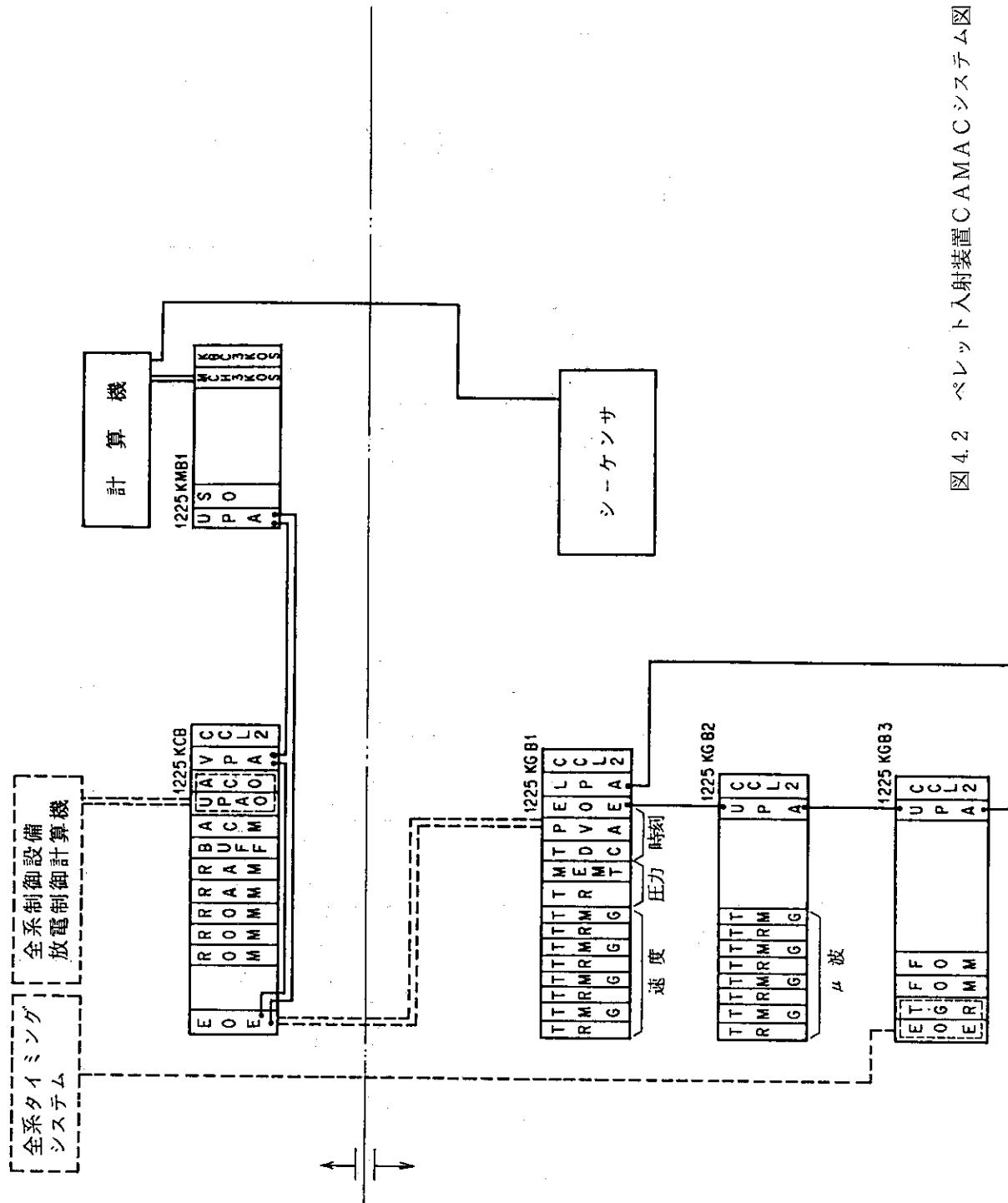
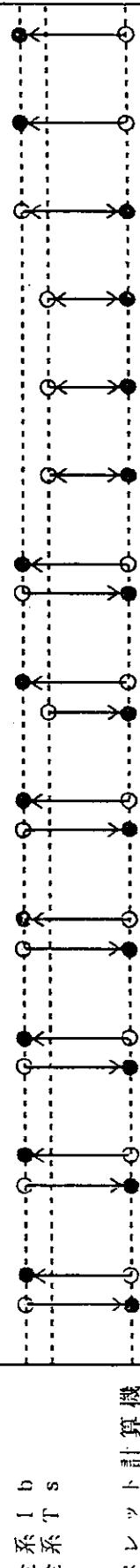


図 4.2 ベレット入射装置 CAMAC システム図

| 制御指令応答 | | |
|--------|-----------------|-----------------|
| ① | ペレット生成開始指令 | ペレット生成開始 可／不可 |
| ② | ペレット生成中止指令 | ペレット生成中止受付 可／不可 |
| ③ | 放電要請指令 | 放電要請 可／不可 |
| ④ | 放電要請解除指令 | 放電要請解除 可／不可 |
| ⑤ | 放電条件設定指令 | 放電条件プリセット完了／不可 |
| ⑥ | ペレット入射装置準備指令 | 設備準備完了／不可 |
| ⑦ | 放電中止指令 | 放電中止受付 可／不可 |
| ⑧ | ペレット入射開始指令 | |
| ⑨ | プラズマ不着火信号 | |
| ⑩ | ペレット入射装置制御停止指令 | |
| ⑪ | 放電完了信号 | |
| ⑫ | ペレット入射装置停止完了／不可 | |
| ⑬ | 結果データ転送 | |

図 4.3 メッセージ指令シーケンス



5. 特 性 試 験

J T - 60 真空容器に据え付けられたペレット入射装置の試験結果について述べる。ペレット入射装置の現地試験は、絶縁抵抗試験、ヘリウムリーク試験、耐圧気密試験、冷却試験、排気圧力応答試験及び射出特性試験等を行った。

5.1 絶縁抵抗試験

J T - 60 は、それ自体が大型の電気機械であるため、これと接続する機器については、互いに装置の性能及び保守の面から電気的に絶縁しなければならない。ペレット入射装置は、J T - 60 真空容器及び架台とは電気的に切り離されている。さらに、ペレット入射装置自身においても絶縁管理の面から数分割に絶縁している。絶縁抵抗は、絶縁抵抗計（メガ）により測定した。抵抗値は、全箇所とも約 45 ~ 2000 MΩ 以上であり、十分な絶縁抵抗を有している。抵抗値の低い箇所は、液体窒素の凍結等によるものと考えられる。

5.2 ヘリウムリーク試験

ペレット入射装置本体には真空槽が設けられ、加速ガスの J T - 60 真空容器への流入を防止するよう作動排気されている。試験系統は、各作動排気系の油回転ポンプの上流側を分岐してマニホールドを介してヘリウムリークディテクタと接続した系統で行った。試験は、本体、各排気系の配管等にヘリウムを吹き付けるプローブ法とフランジ等をボリエチレンシート等でフードしてフード内にヘリウムガスを充填するフード法で行った。一箇所当たりの許容ヘリウムリーク量は、 $3.2 \times 10^{-10} \text{ Pam}^3 / \text{s}$ である。試験の結果、すべて許容値以下であった。

5.3 耐圧気密試験

ペレット入射装置のガス供給系には、燃料ガス、加速ガス、液体ヘリウム加圧ガス及びバージガスと圧空弁操作用窒素ガス系がある。燃料ガス系は、元圧 $150 \text{ kgf/cm}^2 \text{ G}$ を $9 \text{ kgf/cm}^2 \text{ G}$ に減圧する。加速ガス系は、元圧 $150 \text{ kgf/cm}^2 \text{ G}$ を $110 \text{ kgf/cm}^2 \text{ G}$ 、さらに、 $50 \text{ kgf/cm}^2 \text{ G}$ に減圧する。液体ヘリウム加圧ガス及びバージガスと圧空弁操作用窒素ガス系は、元圧 $150 \text{ kgf/cm}^2 \text{ G}$ を $9 \text{ kgf/cm}^2 \text{ G}$ に減圧する。試験は、各供給系毎及び圧力区分毎に対応した設計圧力の 1.5 倍の圧力で耐圧試験を、最大常用圧力で気密試験を行った。試験には、窒素ガスを用いた。試験の結果、配管、フランジ及び計測機器の接続部からのリークや変形の無いことが確認できた。

5.4 冷却試験

ペレット入射装置は、主バレルハウジング部を液体ヘリウムにより冷却して燃料ガスを固体水素同位体（ペレット）にするため、液体ヘリウムの流量を 9.0 l/min で生成槽内を冷却したときの冷却特性を確認した。冷却した時の各部の温度と時間変化を図 5.1 に示す。燃料ガスを固体水素同位体に変える主バレルハウジングは、熱伝導の良い銅ブロックで熱交換器に接続されている。また、熱交換器内には液体ヘリウムが流れている。液体ヘリウム温度（4.2 K）に対して主バレルハウジング温度は、約 2.5 時間後に 6.5 K に達する。この値は、解析値（7.0 K）に合致する。主バレルハウジング部の断面温度分布を図 5.2 に示す。試験の結果、燃料ガスを固体に変える主バレルハウジングは約 6.5 K、キャリア駆動部は 35 K となり解析値とほぼ一致する。

5.5 排気圧力応答試験

5.5.1 排気特性試験

ペレット入射装置の各測定槽を大気圧から真空中に排気した時の排気特性を確認した。図 5.3 に大気圧から測定槽を排気した場合の測定槽圧力と時間変化を示す。真空ゲージは、ピラニ真空計で真空中ポンプの上流側に取り付けられている。本体真空容器に近い第 3 測定槽は、到達圧力 1×10^{-6} Pa 以下であった。第 1 測定槽と第 2 測定槽にはペレット射出時の加速ガス流入による圧力上昇を吸収するために各々低真空槽（1200 l）と高真空槽（1000 l）を介して排気される。第 1 測定槽は、排気対象の容積が大きいことと低真空領域の排気のためメカニカルブースタポンプを用いているため到達圧力までの時間が他の排気系より長い約 60 分を要した。

5.5.2 圧力応答試験

高速射出弁を動作させた場合の各槽の圧力を確認した。高速射出弁を作動させた場合の圧力応答特性を図 5.4 に示す。高速射出弁は、背圧 $50 \text{ kgf/cm}^2 \text{ G}$ で動作させた。第 1 測定槽の圧力は、約 4.1×10^3 Pa に達した。第 3 測定槽の圧力上昇は、最大 4.16×10^{-4} Pa で、積算ガス量は、 $6.08 \times 10^{-5} \text{ Pam}^3$ である。この圧力上昇及び第 3 測定槽からの本体真空容器へのガス流入量は、計算値と一致している。特に真空容器へのガス流入量は、仕様値（ 0.67 Pam^3 ）の約 $1/9.07 \times 10^5$ と小さく十分仕様を満足した。

5.6 射出特性試験

ペレットを生成、射出した場合のペレット速度、ペレット補給率及び射出直線性について確認した。試験結果は、装置完成時のデータを示す。

5.6.1 速度特性試験

速度は、加速ガス圧力を変化させて試験した。速度の測定は、第 1 測定槽と第 2 測定槽間に設置されているレーザー式速度測定装置を用いた。速度特性試験の結果を表 5.1 に示す。ペレット

速度は、ペレットサイズの小さいほど、また、加速圧力の高いほど速い結果が得られた。どちらのサイズも加速ガス圧力 50 kgf/cm²Gにおいて仕様値を満足した。

5.6.2 ペレット粒子補給率試験

ペレットの粒子補給率は、第3測定槽の圧力上昇から求めた。ペレット粒子補給率試験結果を図5.5に示す。理論的には、サイズ 3.8mm × 3.8mm のペレットで 93.3 Pa、サイズ 2.7mm × 2.7mm のペレットで 33.3 Pa に相当する圧力上昇が得られる。圧力上昇から判断するとサイズ 3.8mm × 3.8mm のペレットで粒子補給率約 67 %、サイズ 2.7mm × 2.7mm のペレットで粒子補給率約 70 % を生成している。

5.6.3 射出直線性試験

ペレットの射出直線性は、第3測定槽内に設置されている軌道測定装置（アルミフォイルにペレットを衝突させて直線性を調べる装置）により調べた。写真5.1にペレット射出後のアルミフォイル痕跡を示す。ペレットは、各々約Φ 20 mmの中に入射されている。

この結果から、プラズマ中にペレットを入射した場合の軌道を考えると、プラズマ中心約 100 mm の位置で約Φ 60 mm の範囲内に入射されることになる。仕様値は、プラズマ中心から 400 mm の範囲であることから十分満足できる結果である。

表 5.1 速度特性試験結果

| 加速ガス圧力 | 10 kgf/cm ² G | 30 kgf/cm ² G | 50 kgf/cm ² G |
|--------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ペレット A | 1001.43 | 1336.32 | 1553.01 |
| ペレット B | 1066.31 | 1386.33 | 1494.94 |
| ペレット C | 926.59 | 1141.30 | 1405.11 |
| ペレット D | 857.58 | 1169.00 | 1305.64 |

サイズ A, B : Φ 2.7 mm × L 2.7 mm
C, D : Φ 3.8 mm × L 3.8 mm

単位 m/sec

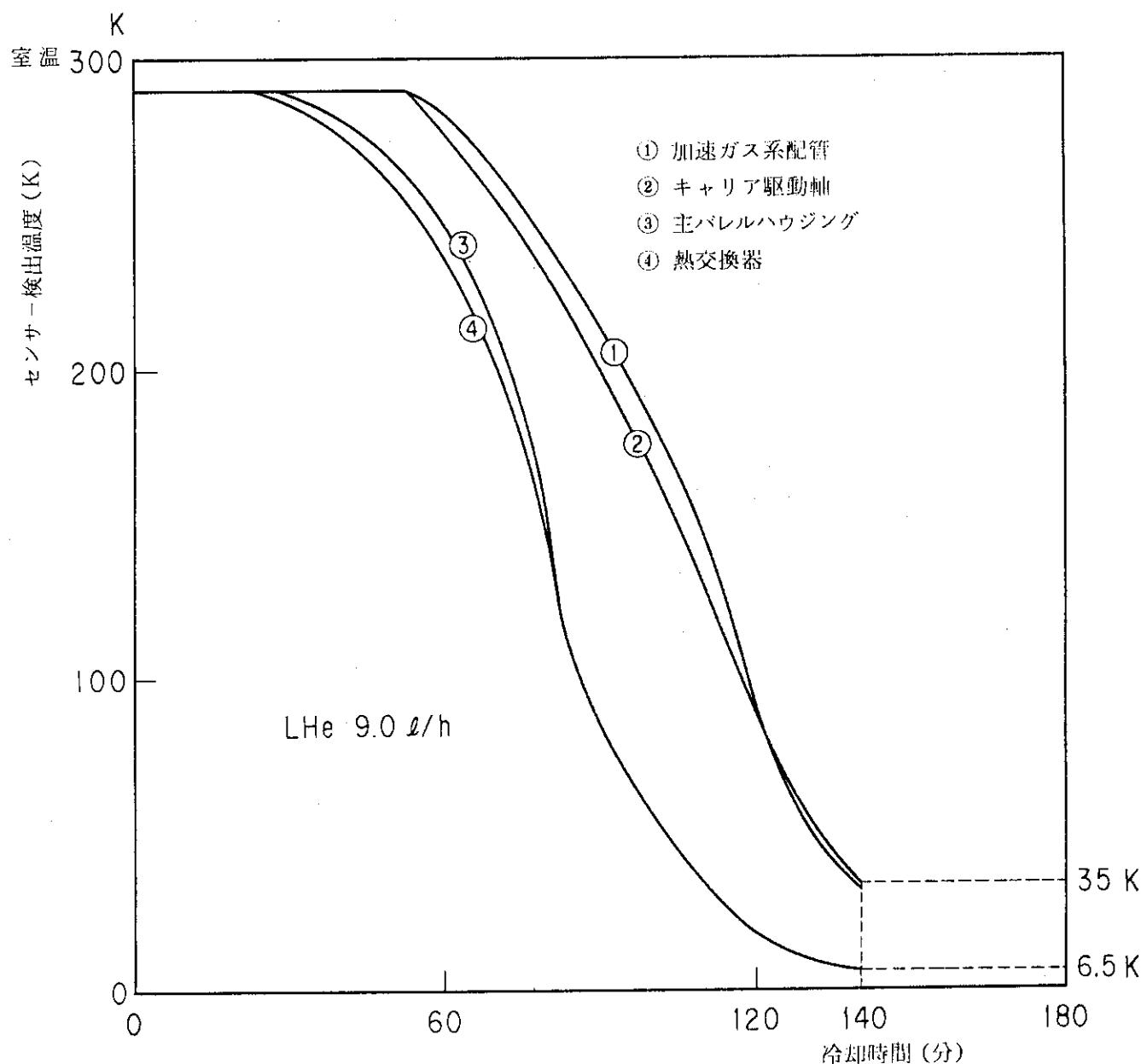


図 5.1 生成槽冷却特性

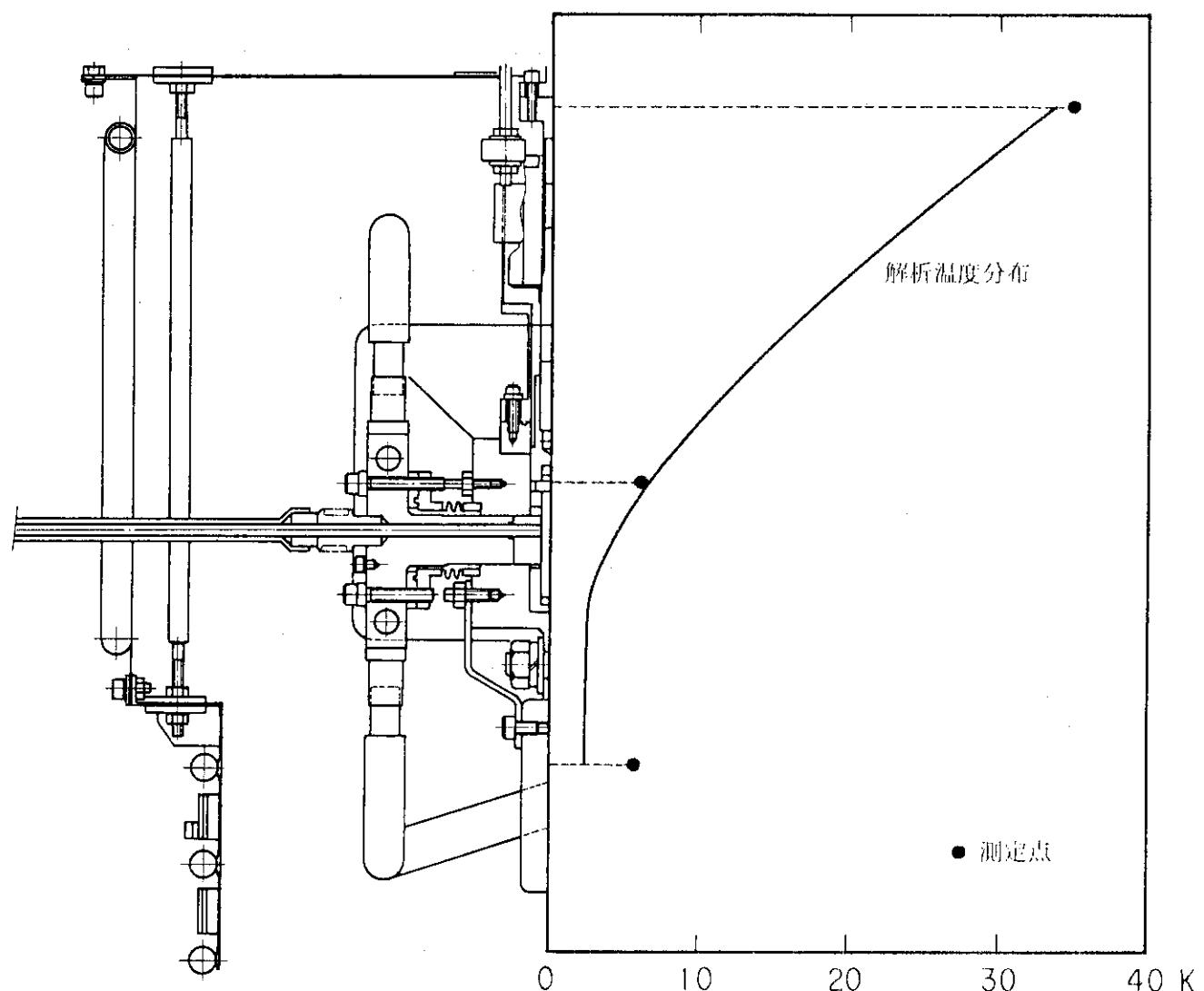


図 5.2 冷却時の生成槽温度分布

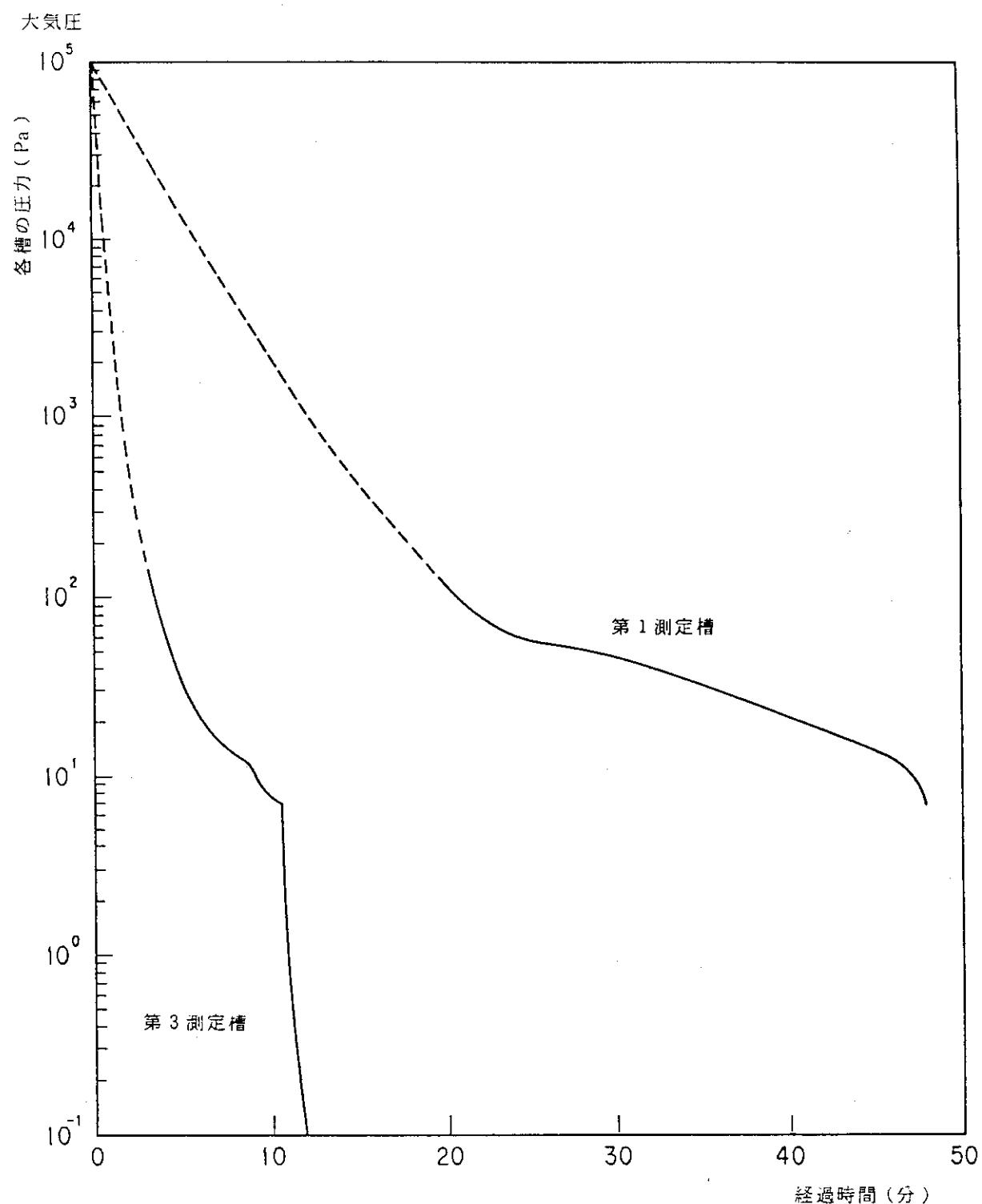


図 5.3 真空引きによる排気性能
(ピラニ真空計による)

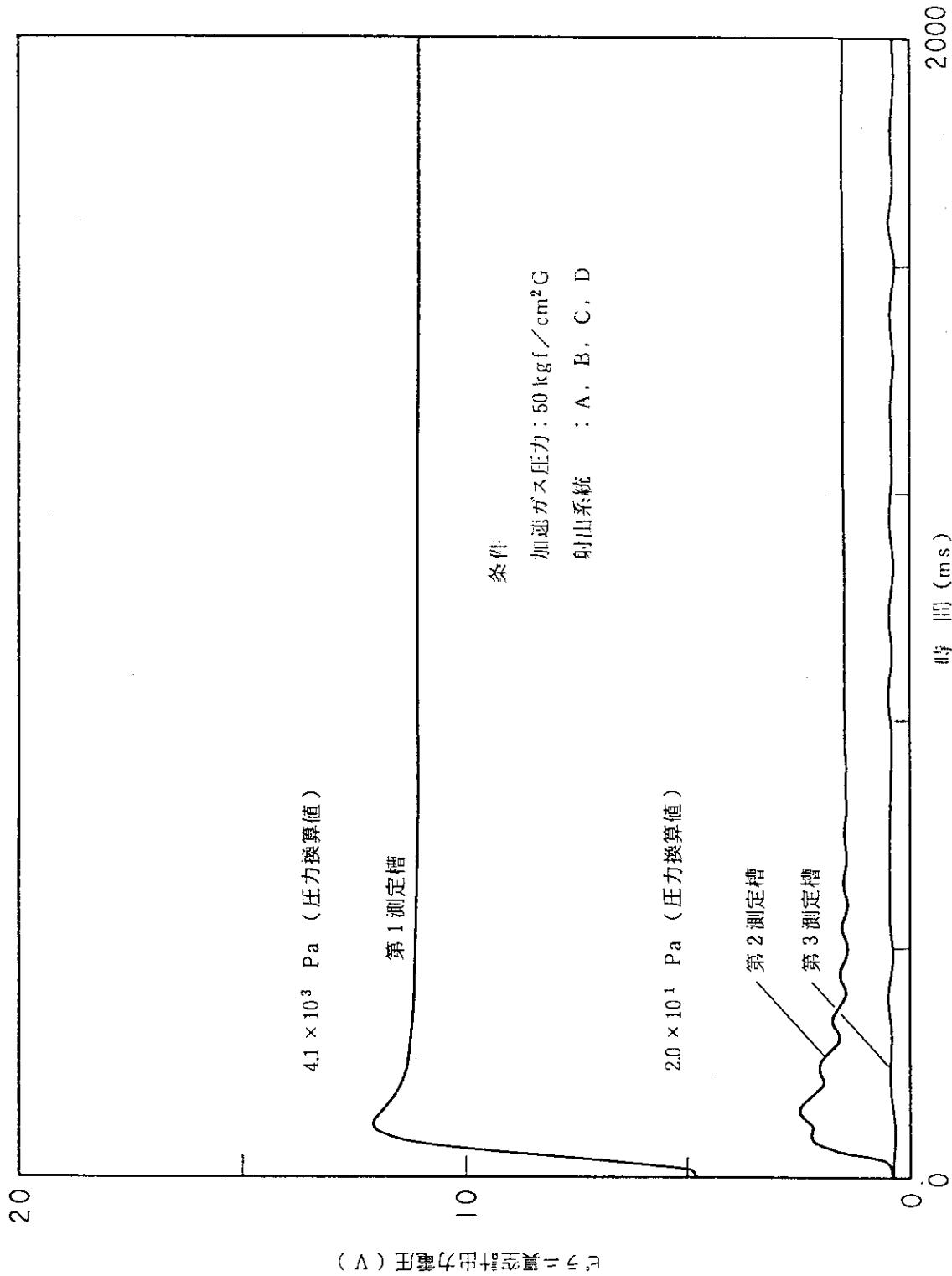


図 5.4 ペレット入射試験による圧力測定

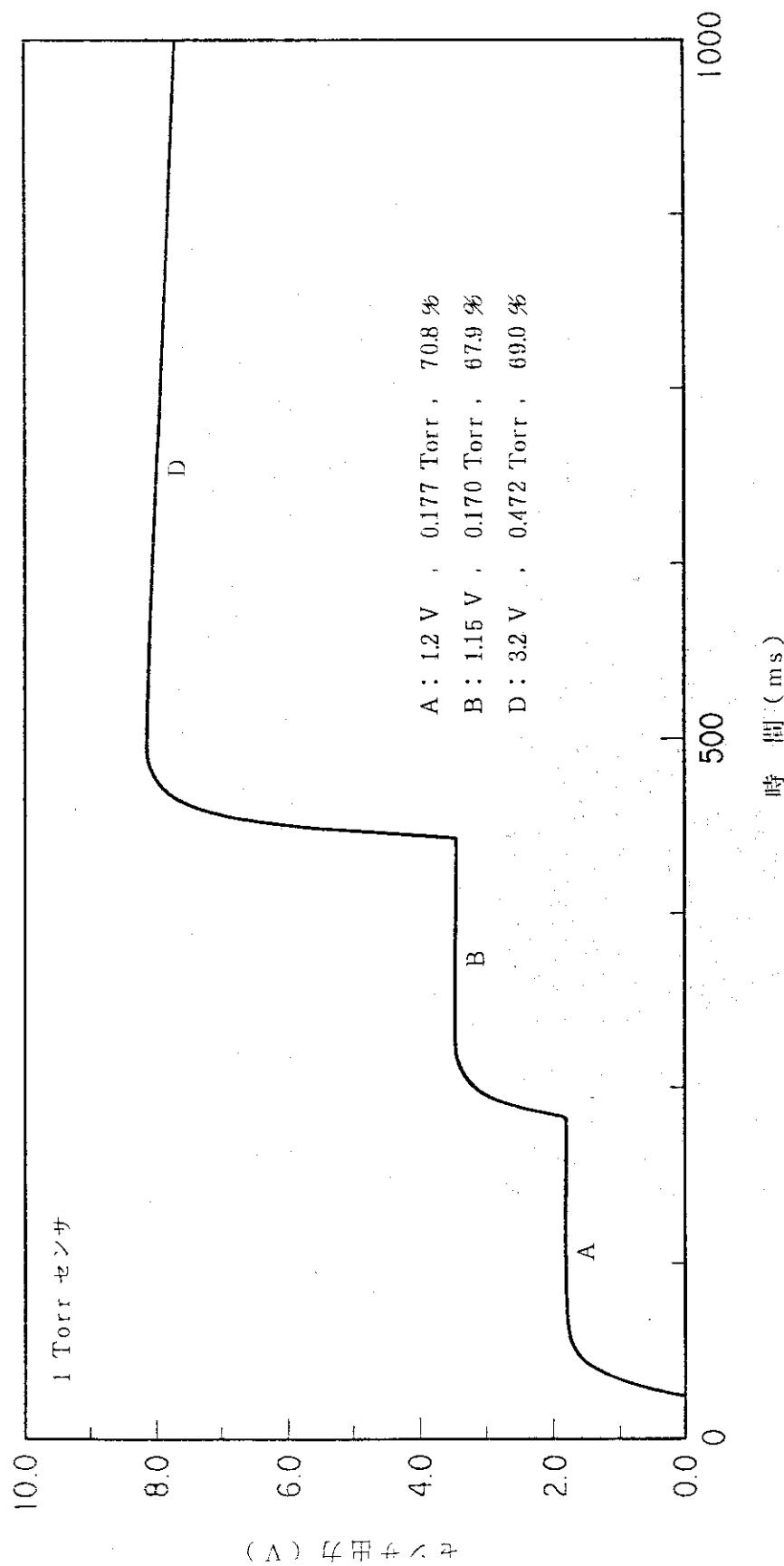


図 5.5 第 3 測定槽の圧力上昇

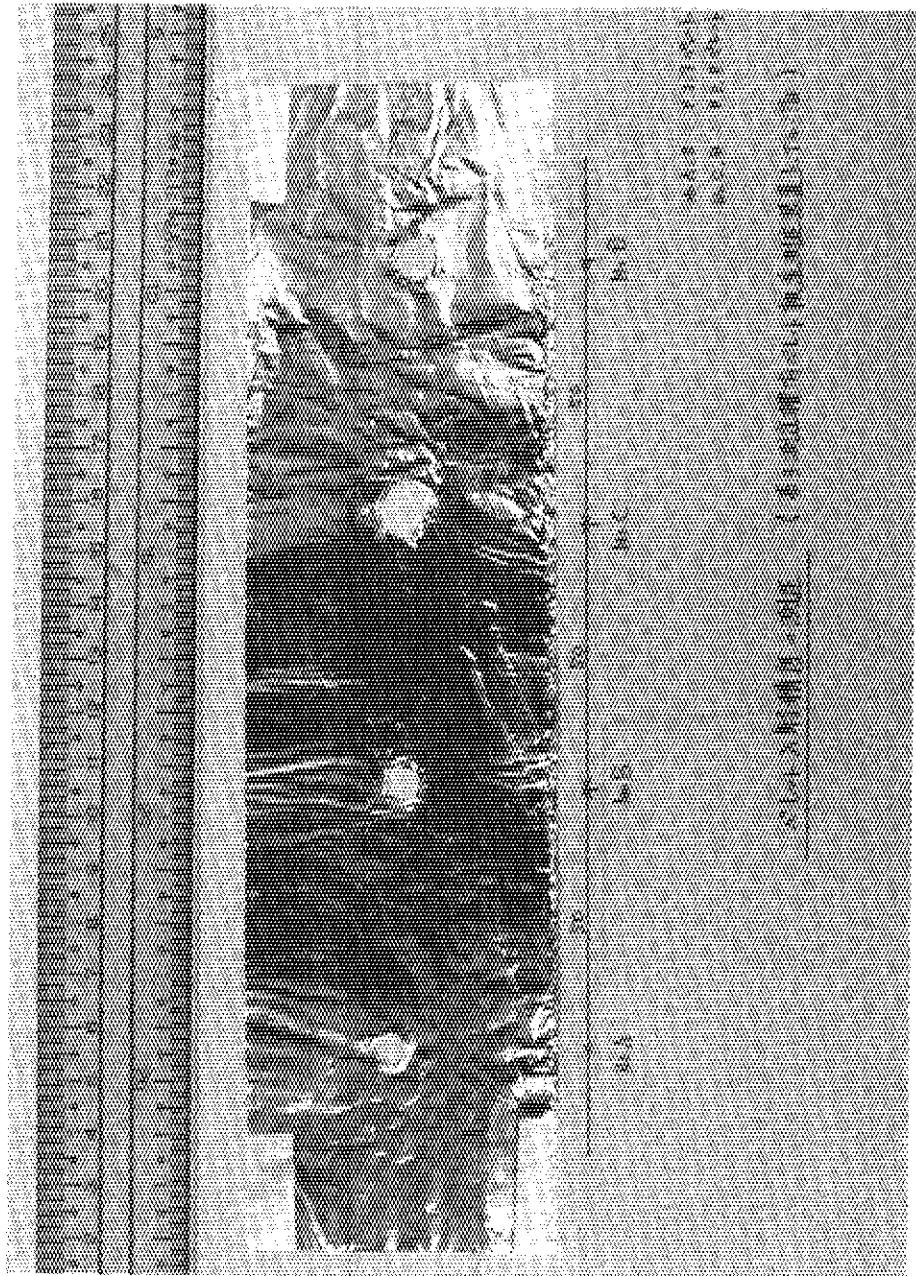


写真5.1 アルミニウムオイル痕跡

6. おわりに

JT-60 ペレット入射装置は、既に原研で運転されている JFT-2M 用ペレット入射装置の設計及び製作経験に基づいて装置の改善、改良及び性能向上を行い、設計、製作を行ったが、試験段階において新しい問題点も生じた。一例としては、高速射出弁の動作不良である。高速射出弁は、加速ガス圧力 50 kgf/cm^2 G で動作するように新規開発を行い、繰り返し動作試験

(10,000 回) においても正常に動作することを確認した後、実機に組み込んだが、4 台中 2 台に異常動作不良が発見された。動作不良の原因是、加速ガスのシートリークを防止するために設けているシール材が可動部分（コイル励起時にプランジャーと呼ばれる鉄片が駆動する）から外れガスの流入を妨げたことである。解決法としては、真空シール材の固定幅を拡げて、シール材が可動部分から飛出ないようにした。また、その他の問題として主バレルハウジング部の昇温等に用いるカートリッジヒータ（新規開発品、国産）の断線がある。これらの問題を解決した後に本装置を JT-60 本体に約 1 カ月で据え付け、高圧ガス取締法に基づく高圧ガス製造施設として完成検査、真空リーク試験及び調整試験を行い所定の性能を有することを確認できた。

ペレット入射装置は、昭和 63 年 6 月からプラズマ実験に用いてプラズマ性能向上に役立てられている。本装置は、今後、同様な機器の設計、製作の参考になるものと思われる。

謝辞

JT-60 ペレット入射装置は、短期間に設計、製作および据え付けを行うことを念頭に計画された。計画立案及び仕様決定にあたっては、臨界プラズマ試験部 吉川允二部長（現那珂研究所所長）、JT-60 試験部 飯島 勉部長、臨界プラズマ試験部計画室 岸本 浩室長並びに JT-60 試験部 JT-60 第 2 試験室 太田 允室長（現 JT-60 第 3 試験室室長）より終始ご激励を頂いたことに感謝します。本装置の設計、にあたって、終始有益なコメントを頂いた核融合研究部 河西 敏主任研究員、仙石 盛夫副主任研究員をはじめ、製作、据付調整にご支援を頂いた JT-60 試験部 JT-60 第 2 試験室 近藤 育朗室長に感謝します。また、据え付け調整時に多大なご協力を頂いた JT-60 試験部 JT-60 第 2 試験室並びに JT-60 第 1 試験室の関係各位、さらに本装置の製作にあたった三菱重工業㈱神戸造船所、三菱電機機制御製作所の各位に感謝致します。

6. おわりに

JT-60 ペレット入射装置は、既に原研で運転されている JFT-2M 用ペレット入射装置の設計及び製作経験に基づいて装置の改善、改良及び性能向上を行い、設計、製作を行ったが、試験段階において新しい問題点も生じた。一例としては、高速射出弁の動作不良である。高速射出弁は、加速ガス圧力 50 kgf/cm^2 G で動作するように新規開発を行い、繰り返し動作試験

(10,000 回) においても正常に動作することを確認した後、実機に組み込んだが、4 台中 2 台に異常動作不良が発見された。動作不良の原因是、加速ガスのシートリークを防止するために設けているシール材が可動部分（コイル励起時にプランジャーと呼ばれる鉄片が駆動する）から外れガスの流入を妨げたことである。解決法としては、真空シール材の固定幅を拡げて、シール材が可動部分から飛出ないようにした。また、その他の問題として主バレルハウジング部の昇温等に用いるカートリッジヒータ（新規開発品、国産）の断線がある。これらの問題を解決した後に本装置を JT-60 本体に約 1 カ月で据え付け、高圧ガス取締法に基づく高圧ガス製造施設として完成検査、真空リーク試験及び調整試験を行い所定の性能を有することを確認できた。

ペレット入射装置は、昭和 63 年 6 月からプラズマ実験に用いてプラズマ性能向上に役立てられている。本装置は、今後、同様な機器の設計、製作の参考になるものと思われる。

謝辞

JT-60 ペレット入射装置は、短期間に設計、製作および据え付けを行うことを念頭に計画された。計画立案及び仕様決定にあたっては、臨界プラズマ試験部 吉川允二部長（現那珂研究所所長）、JT-60 試験部 飯島 勉部長、臨界プラズマ試験部計画室 岸本 浩室長並びに JT-60 試験部 JT-60 第 2 試験室 太田 允室長（現 JT-60 第 3 試験室室長）より終始ご激励を頂いたことに感謝します。本装置の設計、にあたって、終始有益なコメントを頂いた核融合研究部 河西 敏主任研究員、仙石 盛夫副主任研究員をはじめ、製作、据付調整にご支援を頂いた JT-60 試験部 JT-60 第 2 試験室 近藤 育朗室長に感謝します。また、据え付け調整時に多大なご協力を頂いた JT-60 試験部 JT-60 第 2 試験室並びに JT-60 第 1 試験室の関係各位、さらに本装置の製作にあたった三菱重工業㈱神戸造船所、三菱電機機制御製作所の各位に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) JAERI-M 86 - 035 河西他
固体水素同位体ペレット (Single Pellet) の生成・射出試験
- 2) Rev. Sci. Instrum. 56 (6), June 1985 S. K. Combs
Repeating pneumatic hydrogen pellet injector for plasma fueling
- 3) JAERI-M 85 - 033 堀江他
真空系の圧力応答解析コード P R A C の開発