

量子工学試験施設 加速器設備 設計根拠書

(技術報告書)

1999年7月

核燃料サイクル開発機構
大洗工学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松4番地49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section ,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1194,

Japan.

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

1999

量子工学試験施設 加速器設備 設計根拠書 (技術報告書)

武井早憲¹⁾、江本隆²⁾、平野耕一郎¹⁾、檜山徹³⁾、石川雄大³⁾、加藤裕子⁴⁾、小又智輝³⁾、久保田昌宏⁵⁾、野村昌弘¹⁾、大村明子⁶⁾、田中拓¹⁾、谷賢⁷⁾、遠山伸一¹⁾、山崎良雄¹⁾、王元林⁸⁾、長谷川信¹⁾

要旨

量子工学試験施設に設置された電子線加速器では、核分裂生成物を γ 線により核変換させるのに必要な大電流電子ビームを効率良く安定に加速するための要素技術を開発している。

本加速器は、昭和 63 年の概念設計から始まり、数多くのR&Dを経て、平成 11 年 1 月より最大許可出力 2 kW で運転を開始した。今後は、定格出力 200 kW を目指して性能確認試験を行う予定であるが、試験を進めるに当たり、量子工学試験施設及び加速器を構成する、基本となる条件を整理し、理解することは重要となる。このため、本報告書はその設計根拠を示したものである。

本報告書は、以下の設備について、設計の前提条件及び設計で決められた事項を表形式でまとめた。

- ① 電子銃、加速系、ビームダンプ、クライストロン、クライストロン電源、計測・制御系
- ② 冷却設備、空気処理設備、放射線管理設備
- ③ 建家設備

なお、本報告書は設備が完成した平成 9 年 3 月における設計根拠を記載したものであるが、冷却設備など一部の設備については最新のものを記載した。

1) 大洗工学センター システム技術開発部 ビーム利用技術開発グループ
2) 敦賀本部 国際技術センター
3) 株式会社ベスコ
4) 原子力システム株式会社
5) 瑞豊産業株式会社
6) 大洗工学センター 安全管理部 安全対策課
7) 敦賀本部 業務統括部
8) 南京大学 (非常勤客員研究員)

Basic Design of Accelerator at Quantum Technology Development Facility (QTF)

H.Takei¹⁾, T.Emoto²⁾, K.Hirano¹⁾, T.Hiyama³⁾,
T.Ishikawa³⁾, Y.Kato⁴⁾, T.Komata³⁾, M.Kubota⁵⁾,
M.Nomura¹⁾, A.Omura⁶⁾, H.Tanaka¹⁾, S.Tani⁷⁾,
S.Toyama¹⁾, Y.Yamazaki¹⁾, Y.L.Wang⁸⁾,
and M.Hasegawa¹⁾

Abstract

High current electron beams are required for transforming fission products by gamma-rays. Element technology to efficiently and stably accelerate the high current beam is under development for the accelerator constructed at the quantum technology development facility (QTF).

The conceptual design of the accelerator was started in 1989. The test operation of the accelerator was started at a maximum permissible output of 2 kW in January 1999, after many research efforts. In the future, the performance of the accelerator is to be confirmed at a rated output of 200 kW. To provide the confirmation, it is important to review and understand basic design conditions of the facility and the accelerator. For this reason, this report shows basic design conditions of the accelerator.

In this report, the prerequisites and choices made in the design of the facilities are presented in a tabular form,

- (1) Electron gun, accelerator, beam dump, klystron, control and data acquisition system.
- (2) Cooling-water system, air control system and radiation control system.
- (3) Accelerator facility building.

The report contains basic design conditions as of March 1997, when the whole facility was completed. However, certain presented designs were subsequently further modified for a part of the facilities such as the cooling-water system.

1) Beam Technology Development Group, System Engineering Technology Division, O-arai Engineering Center

2) International Cooperation and Technology Development Center, Tsuruga Head Office

3) PESCO Inc.

4) Nuclear Energy System Inc. (NESI)

5) Zuihou Sangyo, Co. Ltd

6) Safety Administration Section, Health and Safety Division, O-arai Engineering Center

7) Administration Division, Tsuruga Head Office

8) Visiting Researcher

目 次

要旨	I
英文要旨	II
目次	III
図表リスト	V
第1章 加速器設備の全体計画	1
1.1 経緯および目的	1
1.2 設計条件	2
1.3 決定事項	6
1.4 適用法規および規定	8
第2章 電子銃	11
2.1 設計条件	11
2.2 決定事項	16
第3章 加速系	35
3.1 設計条件	35
3.2 検討結果	39
第4章 ビームダンプ	53
4.1 設計条件	53
4.2 決定事項	58
第5章 クライストロン	75
5.1 設計条件	75
5.2 決定事項	77
第6章 クライストロン制御系	91
6.1 設計条件	91
6.2 決定事項	93
第7章 計測・制御系	115
7.1 設計条件	115
7.2 決定事項	128
第8章 冷却設備	137
8.1 設計条件	137
8.2 決定事項	145
第9章 空気処理設備	161
9.1 設計条件	161
9.2 決定事項	165
第10章 放射線管理設備	169
10.1 設計条件	169
10.2 決定事項	172
第11章 建家設備	179

11.1 設計条件	179
11.2 決定事項	182

図表リスト

- 表1.1 加速器設備 設計条件
- 表1.2 加速器設備 決定事項
- 表2.1 電子銃 設計条件
- 表2.2 電子銃 決定事項
- 表3.1 加速系 設計条件
- 表3.2 加速系 決定事項
- 表4.1 ビームダンプ 設計条件
- 表4.2 ビームダンプ 決定事項
- 表4.3 ビームダンプの中心から 1 mの距離における線量当量
- 表5.1 クライストロン 設計条件
- 表5.2 クライストロン 決定事項
- 表6.1 クライストロン制御系 設計条件
- 表6.2 クライストロン制御系 決定事項
- 表7.1 計測・制御系 設計条件
- 表7.2 計測・制御系 決定事項
- 表8.1 冷却設備 設計条件
- 表8.2 冷却設備 決定事項
- 表8.3 定常運転時熱負荷表
- 表8.4 受入試験時熱負荷表
- 表8.5 圧力損失表
- 表9.1 空気処理設備 設計条件
- 表9.2 空気処理設備 決定事項
- 表10.1 放射線管理設備 設計条件
- 表10.2 放射線管理設備 決定事項
- 表11.1 建家設備 設計条件
- 表11.2 建家設備 決定事項
- 図2.1 電子銃構成
- 図2.2 付属機器
- 図2.3 電子銃完成図
- 図2.4 EGUNによる電子ビーム軌道の計算(電子銃部分)
- 図2.5 PARMELAによる電子ビーム軌道の計算(ビームライン部分)
- 図2.6 カソードヘッド(メッシュグリッド)
- 図2.7 カソードヘッド(アパーチャグリッド)
- 図2.8 回転機構
- 図2.9 高圧電源構成
- 図2.10 制御装置回路図(高圧電源・電圧プラットフォーム内)
- 図2.11 POISSONによる磁気レンズの計算
- 図3.1 加速系機器配置図

- 図3.2 レゾナントリング構成図
- 図4.1 ビーム輸送系、差動排気系
- 図4.2 ターゲットの構造
- 図4.3 金属円板の構造(断面図)
- 図4.4 ターゲット外観
- 図5.1 クライストロン外形図
- 図5.2 クライストロンの各部名称
- 図5.3 電子銃の概略構造図
- 図5.4 高周波相互作用部概略構造(高周波相互作用部横断面図)
- 図5.5 出力窓部概略構造図
- 図5.6 コレクタの構造
- 図5.7 反射体外形図
- 図5.8 ソケット
- 図6.1 クライストロン電源システム構成図
- 図6.2 クライストロン電源配置図
- 図6.3 システム全体の伝達関数モデル
- 図6.4 高電圧受電盤
- 図6.5 移相変圧器
- 図6.6 サイリスタスイッチ
- 図6.7 変圧整流器
- 図6.8 フィルターコンデンサ/クローバ回路
- 図6.9 シリーズスイッチ
- 図6.10 シリーズスイッチ回路図
- 図6.11 アノードモジュレータ
- 図6.12 クライストロンタンク
- 図7.1 基本的な試験におけるデータの流れ、操作
- 図7.2 OSの構成
- 図7.3 ハードウェアの概略構成
- 図7.4 並列構成の概略
- 図7.5 機器構成の概略(ハード・ソフト)
- 図7.6 機器配置とネットワーク(スクラムネットを除く)
- 図8.1 概略系統図

第1章 加速器設備の全体計画

1.1 経緯および目的

昭和62年に原子力委員会が策定した原子力開発利用長期計画には、「原子力の創造的・革新的領域における研究開発の推進」することが提唱された。その具体化の一つとして、科学技術庁は超長期的な基礎研究として昭和62年に「フェニックス計画」として位置付けられていた核種分離・消滅処理研究を発展的に解消し、原子力分野内外の技術交流を視野に入れた「オメガ計画」として、昭和63年に再スタートした。この計画の中で、陽子線加速器、電子線加速器等による消滅処理研究が具体化された。

このような状況のもと、動力炉・核燃料開発事業団(現、核燃料サイクル開発機構)では、新技術や新概念を創出するため、東海事業所にフロンティア研究グループ、また大洗工学センターにフロンティア技術開発室を各々昭和63年度に発足させた。東海事業所のフロンティア研究グループでは、高レベル廃棄物の処理・処分法の研究の一環として、核変換技術開発の理論研究及び γ 線を発生させる大電流電子線加速器の要素技術開発を進めてきた。このうち、平成2年度まで東海事業所で行われた電子線加速器の要素技術開発については、平成3年度以降大洗工学センターフロンティア技術開発室が引き継ぎ、開発を担当することになった。

加速器開発の目的は、中性子反応断面積が小さく、原子炉では消滅が困難である Sr-90, Cs-137 など、主に核分裂生成物を γ 線により核変換するために必要な大電流電子ビームを効率良く安定に加速することである。このため、本加速器ではビーム安定化や効率的な加速を研究することに限定した。このため、核変換技術の実証研究については、本加速器の成果を踏まえ、新たにエネルギーを増大させた加速器で実施することとした。このような観点に立ち、本加速器開発の研究目的は、最大エネルギー 10 MeV の大強度CW電子線形加速器を設計し、設計では評価できない問題点については実験的に解決することとした。ここで、設計では評価できない問題として、効率の良いRF源の開発、大電流電子ビームの効率的な輸送、ビーム出力に応じた機器の安定性や耐久性、及び機器の長寿命化などである。

ここで、マイナーアクチノイドの核変換を行う陽子線加速器の要素開発のうちRF源、高 β 結合空洞、及びターゲットにおける除熱などについては共通する課題が多いので、本加速器の成果を陽子線加速器にも反映することができる。

参考文献；「群分離(核種分離)・消滅処理研究」原子力工業、第35巻、第5号、p25、(1989)

1.2 設計条件

加速器設備の設計条件を表1.1に示す。

表1.1 加速器設備 設計条件(1)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
1	目的	① 核変換対象として、セシウム、ストロンチウムとする。	① セシウム・ストロンチウムは使用済み燃料中で発生量が多く、発生当初 100 年間の摂取毒性や発熱量の主因となる。 ② セシウム・ストロンチウムは中性子反応断面積が小さく、原子炉では消滅できない。	<ul style="list-style-type: none"> 社内資料【PNC TN 8410 91-048】 社内資料【PNC ZN 9430 93-002】
2	電流とエネルギー	① 最大ビーム電流を 100 mA とし、加速エネルギーを 10 MeV とする。	① 100 万kW級の軽水炉 1 基中で 1 年間に生成する ^{137}Cs を、電子加速器 1 基で 1 年間で消滅するのに必要な電流は、消滅効率を理論上 100 % と仮定しても 0.9 A となり、少なくともアンペア級の大電流加速器が必要になる。一方、 (γ, n) 反応のピークは γ 線のエネルギーが 15 MeV 近傍にあり、このエネルギーの γ 線を効率良く発生させるには、電子線のエネルギーとして 100 MeV 程度必要である。 必要なエネルギー及び電流を一挙に達成することは技術的にも予算的にも困難であるので、当面エネルギーを 10 MeV、最大ビーム電流を 100 mA に設定する。 最大ビーム電流を 100 mA と設定したのは、加速器要素及び付帯設備の技術レベルから達成する可能性が高く、アンペア級にスケールアップできるかどうか判断するのに適切な値である。また、エネルギーは、使用電力、付帯設備能力及び中性子が発生しないことを考慮して設定する。	<ul style="list-style-type: none"> 社内資料【PNC TN 9410 93-215】

表1.1 加速器設備 設計条件(2)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
3	加速形式	<p>① ビーム加速は進行波加速管を用いる。</p> <p>② 進行波加速管はRF還流型とする。</p>	<p>① 加速器の性能を表す加速管のシャントインピーダンスは、πモード定在波加速管の方が進行波加速管と比較して原理的に約2倍となる。しかし、形状が単純な進行波加速管は製造・メンテナンスの面で低コストであり、安定に稼働できる。さらに、RFのエネルギー変換効率は設計上自由度があり、シャントインピーダンスはRFを還流することで2倍向上させられるため、進行波加速管を選択する。</p> <p>なお、進行波加速管におけるRF給電において、クライストロン保護用の大電力サーキュレータを開発する必要がない。</p> <p>② 進行波加速管でRFのエネルギー変換効率を向上させるために、RFの全減衰量を小さくし、加速管を長くして、ダミーロードで失う電力を少なくする方法と、RFを還流させて共鳴させる方法がある。</p> <p>RFの変換効率を70%以上にするためには、進行波加速管の場合、長さ4mとなるがビーム不安定を生じる可能性がある。一方、還流型では1mの加速管で進行波加速管と同等な性能が得られるため、還流型を採用することとした。</p> <p>なお、設計当初、還流方式の加速器は高電界加速用として、高エネルギー加速器研究機構(以下、高エネ研と記す)による試作ユニットの実績があった。</p>	<p>② アメリカや中国などで試作空洞やマグネトロンと組み合わせた加速器の製作実績がある。</p>

表1.1 加速器設備 設計条件(3)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
4	RF	① 加速周波数は1.249135 GHzとする。	① 加速管のQ値を大きくし、蓄積エネルギーが高くなる必要から、真空での高周波波長を24 cmと決定した。この周波数帯では、加速管内のRFロスが少なくなり、クライストロンの効率も高くなる。なお、この周波数帯では、通信用としてRF部品が整備されている。	
5	加速器の長さ	① 加速管長を1.2 mとする。 ② ドリフト長を1 mとする。 ③ 電子銃室と加速器室の間にトンネルを設け、加速管と電子銃を隔離する。	① 加速エネルギーを10 MeVとすると、全加速管長は10 mあれば十分である。このため、加速管1本当たり $2\pi/3$ モードで管内波長5周期分の長さが必要になる。 ② 縮退型BBUや蓄積型BBUを観測するためのモニターや、ビーム軌道を補正のための電磁石を挿入する必要がある。 ③ 電子銃の調整が必要な場合、直ちに行う。また、加速器室の放射線やオゾン等から機器を保護する。	
6	電子銃電圧	① 最大印加電圧を200 kVとする。	① トンネル内のビームロスを小さくする。また、バンチャにおける位相振動を抑え、下流でのビーム漏れや劣化を防止する。	
7	ビーム性能	① エネルギー分解能を0.5% (目標値)とする。 ② ビームエミッタンスを 10π mm mrad (目標値)とする。	① 進行波還流型加速管のビームローディング、及び電子銃から第7加速管までのビーム輸送により得られる。 ② 電子銃における熱陰極の評価式と計算コードPARMELAによる入射部の評価による。	① 社内資料【PNC TN9410 92-039】 ② Proc. of the 1994 Int. Linac Conf. (1994) p199

表1.1 加速器設備 設計条件(4)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
8	RF給電	<p>① 2本のクライストロンでRFを供給する。</p> <p>② RFはCWモードとパルスモードで供給する。</p>	<p>① 大電流ビームを加速するため、大出力クライストロンを開発する必要がある。当初、クライストロンは50 dBの利得で65%程度の効率が見込まれ、1.2 MWのRFを4本の加速管に供給することが可能となる。</p> <p>② 将来的にエネルギー10 MeV以上の電子ビームを得るため、クライストロンのビーム電圧を変えて、さらにパルスモードで運転する必要がある。設計当初、このようなクライストロンはなかった。</p>	<p>① 平成元年度ショートパルスクライストロンを試作し、利得と効率を確認した。</p> <p>② フランス Thomson社で軍事用に非公開で開発されていた。現在は公開されている。</p>
9	供給電力	<p>① 1300 kVA (加速器)</p>	<p>① 完全なCW運転は大洗変電所の容量を超えるため、加速器のデューティを20%とする。クライストロン最大出力におけるクライストロンの効率を65%、電源効率(力率込み)を90%、クライストロン必要電力を1000 kVAとし、それに補機系容量として1/3を更に加えた。</p>	
10	配置	<p>① 実験コーナーの設置</p> <p>② コントロール室はビームダンプと反対側に設置する。</p>	<p>① 加速器を有効的に利用するため、加速器室内に実験コーナーを確保し、ビームラインから振り分ける。</p> <p>② 将来、ビーム下流方向にビームチャンネルを増設する。また、本加速器を次段階の加速器の前段部として使用できる構造とする。</p>	

1.3 決定事項

加速器設備の決定事項を表1.2に示す。

表1.2 加速器設備 決定事項(1)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
1	機器配置	① 施設内に空気処理設備及び排水設備を設置する。 ② 1階レベルを地上3mとする。 ③ 加速器本体は地下1階に設置する。 ④ 施設に設置するクレーンは3t以下とする。 ⑤ 加速器室にチェーンブロックを設ける。	① 将来、加速エネルギーが10 MeVを越えた場合に対応する。 ② 0mの場合、脆弱地層に当たり、杭打ちが必要になる。 ③ 他の加速器施設と同様に、土の遮蔽効果を利用する。 ④ 3t未満の場合、法令点検が免除される。 ⑤ 油の放射線劣化を考慮し、原動機を設けない。	② 計画当初、施設は東海事業所内に建築される予定であったが、大洗工学センターに変更になった。
2	遮蔽体構造	① シャへい厚は普通コンクリート2.3mを基準とする。 ② ビームダンプ上部の天井厚は、3.3mとする。	①② ビームダンプで定格の電子ビームが吸収され、加速管でビーム漏れを0.01%と仮定した場合、管理区域境界で法令値を下回る。なお、貫通孔における散乱は、2回散乱とする。	①② 普通コンクリートの比重を2.2とする。
3	機器温度	① 加速管の温度範囲は 30 ± 0.1 ℃とする。	① 冷却系は高温の方が小規模になるが、保守に問題があるので30℃とする。また、RFの共鳴や加速タイミングを保持するため、温度制御範囲を ± 0.1 ℃とする。	① 通常の加速器では40℃が多い。

表1.2 加速器設備 決定事項(2)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
4	機器温度 (続き)	<p>② 加速管、導波管、RF 空洞等以外の温度は20℃以上とする。</p> <p>③ クライストロン冷却は蒸気冷却とする。</p>	<p>② 精密な温度制御を必要としない。</p> <p>③ 水冷より安価で、高エネ研などで実績がある。</p>	
5	ビーム	① 電子銃を熱陰極構造からアパーチャグリッド構造に変更できるものとする。	① 大電流電子ビームの長寿命化と低エミッタンスビームを確保するため。	
6	電気・水 ・圧空	<p>① 変電所からの供給される電圧は6.0kVとする。</p> <p>② 純水は工業用水より精製する。</p> <p>③ 圧空は設備毎に供給する。</p> <p>④ ターボポンプはオイルフリーとする。</p>	<p>① 大洗工学センター配電図では6.3kVであるが、変動を考慮する。</p> <p>② 設計当初、施設外部(CTL)より純水を供給する予定であった。しかし、給水が中止されたため、工業用水から精製することとした。</p> <p>③④ 放射線対策のため。</p>	
7	保守・点 検	① 建家の周囲にタンクローリが通行できるような通路とする。	① 放射線管理課より、建家から出る廃液をタンクローリで回収する場合に備えられるように要望があった。	

1.4 適用法規および規定

- ① 放射線関連法規
 - ・放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律
 - ・放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行令
 - ・放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則

- ② 高圧ガス関連法規
 - ・高圧ガス保安法
 - ・高圧ガス保安法施行令
 - ・冷凍保安規則

- ③ 電気関連法規
 - ・電気事業法
 - ・電気事業法施行令

- ④ 労働関連法規
 - ・労働基準法
 - ・労働安全衛生法
 - ・労働安全衛生規則
 - ・電離放射線障害防止規則
 - ・ボイラー及び圧力容器安全規則
 - ・クレーン等安全規則
 - ・酸素欠乏症等防止規則

- ⑤ 危険物関連法規
 - ・消防法
 - ・危険物の規則に関する政令

- ・危険物の規則に関する規則

⑥ その他法規

- ・電波法
- ・建築基準法
- ・大気汚染防止法
- ・大気の汚染に係る環境基準について(環境庁告示)
- ・二酸化窒素に係る環境基準の改定について(環境庁局長通達)
- ・日本工業規格
- ・その他加速器の運転・保守に関し必要な法令

第2章 電子銃

2.1 設計条件

電子銃の設計条件を表2.1に示す。

表2.1 電子銃 設計条件(1)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
1	電子銃の構成	① 電子銃高真空チャンバー ② 高圧電源 ③ 制御装置 ④ 真空排気装置 ⑤ 付属機器	① 電子ビームを安定に引き出すために、 10^{-8} Torr 以下の真空度を達成させる必要がある。 ② 空間電荷効果によるビーム発散を低減させるためには、より高電圧が望まれる。DC電圧として現在の技術水準を考え、極力高い値である 200 kV に設定した。また、パルス幅をms オーダーとするパルス高圧電源は製作が困難であるため、DC電源とした。 ③ 電子ビームを必要なパルスで引き出すため、グリッド制御用のグリッドとパルス電源が必要である。 ④ 必要な真空度に到達させるため。 ⑤ その他、バイアス電源、ヒーター電源、遠隔制御系等。	図2.1参照
2	ビーム特性	① エネルギー : 0.2 MeV ② パルス幅 : $10\mu\text{s} \sim 4\text{ms}$	① 表2.1【電子銃の構成】②に示した定格電圧による。 ② 平均電流値をパルス幅で制御可能にするため。	

表2.1 電子銃 設計条件(2)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
2	ビーム特性(続き)	<p>③ 電流値: $100 \mu\text{A} \sim 400 \text{mA}$</p> <p>④ 最大繰り返し: 50 pps</p> <p>⑤ ビーム径 アノードより 50 cm の位置にて、$\phi 2 \text{mm}$</p> <p>⑥ 規格化エミッタンス $5 \pi \text{mm mrad}$ 以下(目標値)</p> <p>⑦ パービアンズ 最大ピーク電流を 500 mA に制限する。</p>	<p>③ 加速器の初期調整に $100 \mu\text{A}$ の電流が必要になる。 また、チョッパースリットで 1/4 に切り出した時の電流を最大 100 mA とする。</p> <p>④ 供給電力の周波数とする。</p> <p>⑤ 後段のビーム輸送を容易にするため。</p> <p>⑥ 極力小さい値が望まれるが、後段のビーム輸送での損失を低減させるためには、理想的に必要な値である。</p> <p>⑦ グリッドが破損して制御不能となった場合、パービアンズで電流値が制限されるようにする。なお、空間電荷制限電流以上には電流値は上がらない。</p>	
3	電子銃高真空チャンバー	<p>① メッシュグリッドとアパーチャグリッドによる電流制御とする。</p> <p>② 上記 2 種の制御方式を容易に変更できる構造とする。</p>	<p>①② デューティーが低い場合、ビームのパルス特性が良く、電流制御が容易であるため、メッシュグリッド型を選択する。また、デューティーが高い場合、メッシュが熱的に耐えられないので、アパーチャグリッド型を選択する。</p>	

表2.1 電子銃 設計条件(3)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
3	電子銃高真空チャンバー (続き)	<p>③ アパーチャグリッドは、ビーム電流値400 mAを想定する。</p> <p>④ メッシュグリッドのカソードは、EIMAC Y646Eを使用する。</p> <p>⑤ ビームの出射方向が変更可能な構造にする。</p> <p>⑥ ビーム出射方向を変更する際、真空を破らない構造にする。</p> <p>⑦ 複数のビームライン、ビューポートを設置することが可能な構造にする。</p>	<p>③ アパーチャグリッドは、ビーム品質が電流値に依存するため、400 mA時に最良のビームを得られるようにする。</p> <p>④ 信頼性が高い市販品である。</p> <p>⑤~⑦ テストベンチを設けて、真空を破ることなく、ビームの品質を測定する。</p>	
4	高圧電源	<p>① 出力電圧範囲: DC 180 kV ~ 220 kV</p> <p>② 出力電圧平坦度: $\pm 0.5\%$ 以下</p> <p>③ 出力電流 0 ~ 400 mA (出力電圧の平坦度を維持する)</p>	<p>① 電子ビームのエネルギー 0.2 MeVを得る。</p> <p>② 電子ビームのエネルギー分散を $\pm 0.5\%$ 以下にする。</p> <p>③ 調整の自由度を確保する。</p>	
5	制御装置	<p>① グリッドメッシュパルス電源</p> <ul style="list-style-type: none"> ・パルス電圧: 0.3 V ~ 100 V ・パルス幅: 10 μs ~ 4 ms (平坦部) 	<p>① ビーム電流値をグリッドメッシュのパルス電圧で制御する。</p>	

表2.1 電子銃 設計条件(4)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
5	制御装置 (続き)	<ul style="list-style-type: none"> ・立ち上がり時間: 100 ns 以下 (10~90%) ・繰り返し: 50 pps 以下 ② G1パルス電源 <ul style="list-style-type: none"> ・パルス電圧: 0.5 ~ 5 kV ・パルス幅: 10 μs ~ 4 ms (平坦部) ・立ち上がり時間: 10 μs 以下 (10~90%) ・繰り返し: 50 pps 以下 ③ G2パルス電源 <ul style="list-style-type: none"> ・パルス電圧: 0.5 ~ 20 kV ・パルス幅: 500 μs ~ 4 ms (平坦部) ・立ち上がり時間: 10 μs 以下 (10~90%) ・繰り返し: 50 pps 以下 ④ G1バイアス電源 <ul style="list-style-type: none"> ・直流電圧: -0.1 ~ -1 kV ・電圧リップル: \pm 0.5 % ・電圧安定度: \pm 0.5% (1hour) ・出力電流 400 mA 	<p>また、パルス幅、繰り返しをパラメーターとして試験する。さらに、立ち上がり時間は過渡時間を減らすように、出来る限り短くする。</p> <p>②③ 高デューティ運転を想定したアパーチャグリッドモードでは、G1、G2に印加するパルス電圧でビームを制御する。特に、電流値はG1により制御する。 各パラメーターは電子ビームに要求される事項(表2.1【ビーム特性】)により決定する。 印加当初における単位時間あたりの昇圧比 (dE/dt) はメッシュグリッドと同程度にする。</p> <p>④ パルス印加時以外に電子ビームの放出が生じないようにG1、G2電極に対してカソード・ウェネルト電極と逆バイアスを常時印加する。 また、安定度は表2.1【高圧電源】②の条件に合わせ、出力電流はビーム電流と同一とする。</p>	

表2.1 電子銃 設計条件(5)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
5	制御装置 (続き)	⑤ カソードヒーター電源 ・ 直流電圧 0~10 V ・ 直流電流 6 A (定電流制御)	⑤ EIMAC Y646 シリーズの仕様に合わせる。なお、カソードの電子放出は熱過程であるため、加熱電流を高精度に設定する必要はない。	
6	真空排気装置	① 到達真空度: 1.0×10^{-8} Torr 以下	① カソードの標準的な真空条件である。	
7	付属機器	① 磁場レンズ	① ビーム輸送を容易にするため(図 2.2 参照)。	

2.2 決定事項

電子銃の決定事項を表2.2に示す。

表2.2 電子銃 決定事項(1)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
1	電子銃の構成	<ul style="list-style-type: none"> ① 電子銃高真空チャンバー ② 高圧電源 ③ 制御装置 ④ 真空排気装置 ⑤ 付属機器 	①~⑤ 表2.1【電子銃の構成】に従って決定する。	図 2.3 参照
2	ビーム特性	<ul style="list-style-type: none"> ① エネルギー : 0.2 MeV ② パルス幅 : 10 μs ~ 4 ms ③ 電流値 : 100 μA ~ 400 mA ④ 最大繰り返しを50 ppsとする。なお、ビーム出射のタイミングは、外部からのトリガー信号に同期させる。 ⑤ ビーム径 アノード位置において ϕ 8 mm とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ① 表2.1【ビーム特性】①に従って決定する。 ② 表2.1【ビーム特性】②に従って決定する。 ③ 表2.1【ビーム特性】③に従って決定する。 ④ 表2.1【ビーム特性】④に従って決定する。また、クライストロンから供給される高周波のタイミングと同期させる必要がある。 ⑤ 表2.1【制御装置】に示した各電極の電位、電極形状、及び境界条件を解析コード EGUN の入力パラメーターとして、電子銃におけるビーム軌道を計算すると、最も良い値としてアノード位置におけるビーム径 8 mm、規格化エミッタンス 10 π mm mrad が得られる。 	⑤ 図 2.4 参照

表2.2 電子銃 決定事項(2)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
2	ビーム特性(続き)	⑥ 規格化エミッタンス: 10π mm mrad	⑥ 解析コード EGUN で計算されたビーム条件を解析コード PARMELA の入射条件として、電子銃出口からチョッパー前までのビーム軌道を計算すると、ソレノイドコイル出口での規格化エミッタンスが 17.6π mm mrad (x 方向)、 19.4π mm mrad (y 方向) が得られる。この値は十分良い値であるので、EGUN の入力条件は満たされる。	⑥ 図 2.5 参照
3	電子銃高真空チャンバー	<p>① メッシュグリッドとアパーチャグリッドによる電流制御とする。</p> <p>② 上記 2 種の制御方式を容易に変更できる構造とする。</p> <p>③ アパーチャグリッドは、ビーム電流値 400 mA を想定する。</p> <p>④ メッシュグリッドのカソードは、EIMAC Y646E を使用する。</p> <p>⑤ カソードが回転する構造とする。</p> <p>⑥ カソードを回転する際、真空を破らない構造にする。</p>	<p>① 表2.1【電子銃真空チェンバー】①に従って決定する。</p> <p>② 表2.1【電子銃真空チェンバー】②に従って決定する。</p> <p>③ 表2.1【電子銃真空チェンバー】③に従って決定する。</p> <p>④ 表2.1【電子銃真空チェンバー】④に従って決定する。</p> <p>⑤ 表2.1【電子銃真空チェンバー】⑤に基づき、カソードを回転される。</p> <p>⑥ 表2.1【電子銃真空チェンバー】⑥に従って決定する。</p>	<p>①② 図 2.6 及び 図 2.7 参照</p> <p>③ 図 2.4 参照</p> <p>④ 図 2.6 参照</p> <p>⑤~⑩ 図 2.8 参照</p>

表2.2 電子銃 決定事項(3)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
3	電子銃高真空チャンバー (続き)	⑦ 碍子をダイバクタ抵抗によって2分割する。 ⑧ ビームライン高さをFL 1200とする。 ⑨ ポートを8箇所設ける。 ⑩ 回転角度を90°又は180°とする。	⑦ 均等な電位分布にする。 ⑧ 表11.2【ビームライン】に基づく。 ⑨ 均等な電位分布を得るため、対称性の高い構造とする。 ⑩ カソードヘッドの位置決め精度を確保する。	
4	高圧電源	① 出力電圧範囲:DC 0V ~ 220 kV ② 出力電圧平坦度:± 0.5%以下 ③ 出力電流は、最大440 mA、平均88 mAとする。 ④ 出力電圧安定度:±0.5%以下/8h ⑤ 絶縁抵抗(DC1kV):1000 MΩ以上 ⑥ 耐電圧:240kV・10分間	① 表2.1【高圧電源】①に従って決定する。 ② 表2.1【高圧電源】②に従って決定する。 ③ 表2.1【高圧電源】③に従って決定する。このとき、余裕を10%とする。なお、平均化する際、デューティを20%とする。 ④ 表2.1【高圧電源】③に従って決定する。なお、1日8時間運転を想定した。 ⑤ リーク電流を250 μA以下にする。 ⑥ 余裕を10%とする。	

表2.2 電子銃 決定事項(4)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
4	高圧電源 (続き)	<p>⑦ 昇圧方式 高周波コック・クロフト・ウォルトン</p> <p>⑧ 商用電力: 3φc 210V 50kW</p> <p>⑨ 冷却方式: 水冷</p> <p>⑩ 電源を低圧ユニット、高圧発生部、高圧プラットフォームによる構成とする。</p>	<p>⑦ 長パルスに対する電圧安定度を確保するため、高圧部は高周波充電のDC動作とし、制御部にてパルス駆動とする。</p> <p>⑧⑨ 消費電力、発熱を計算したところ、空冷では除熱されないため。</p> <p>⑩ 床荷重 1 ton/m² 未満を配慮する。</p>	⑩ 図2.9 参照
5	制御装置	<p>① グリッドメッシュパルス電源</p> <ul style="list-style-type: none"> ・パルス電圧: 0 ~ 400 V (定電圧制御) ・パルス電流: 520 mA以下 ・スイッチング回路: FET1個 ・パルス幅: 10 μs ~ 4 ms (平坦部) ・出力パルス電圧平坦度: ± 0.5 % 以下 ・出力電圧安定度: ± 0.5% 以下 / 8h ・立ち上がり時間: 100 ns 以下 (10~90%) ・デイレイ時間: 0 ~ 30 μs (分解能100ns) ・負荷条件: 並列容量 200 pF 以下、 並列抵抗 769 Ω 以上 	<p>① グリッドメッシュが破損しても電源が壊れないように電流容量、耐電圧を決定する。なお、グリッドメッシュが破損された場合でも、パービアンスにより電流は 500 mAに制限される。</p> <p>また、安定度、立ち上がり等の条件が得られるように、解析コードマイクロキャップを用いて確認した。</p> <p>・ 立ち上がり時間を確立するために、必要な負荷条件である。</p>	① ~ ⑤ 図2.10 参照

表2.2 電子銃 決定事項(5)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
5	制御装置 (続き)	<p>② G1パルス電源</p> <ul style="list-style-type: none"> ・パルス電圧: 0 ~ 6 kV (定電圧制御) ・パルス電流: 40 mA 以下 ・スイッチング回路: FET 12 個直列 ・パルス幅: 10 μs ~ 4 ms (平坦部) ・出力パルス電圧平坦度: ± 0.5 % 以下 ・出力電圧安定度: ± 0.5 % 以下 / 8h ・立ち上がり時間: 1 μs 程度 (10 ~ 90 %) ・繰り返し: 1 ~ 50 pps または単発 ・ダイレイ時間: 0 ~ 30 μs (分解能 100 ns) ・負荷条件: 並列容量 200 pF 以下、 並列抵抗 150 kΩ 以上 <p>③ G2パルス電源</p> <ul style="list-style-type: none"> ・パルス電圧: 0 ~ 20 kV (定電圧制御) ・パルス電流: 40 mA 以下 ・スイッチング回路 FET 12 個、直列 4 回路並列 ・パルス幅: 10 μs ~ 4 ms (平坦部) ・出力パルス電圧平坦度: ± 1 % 以下 ・出力電圧安定度: ± 1 % 以下 / 8h ・立ち上がり時間: 10 μs 以下 (10 ~ 90 %) ・ダイレイ時間: 0 ~ 30 μs (分解能 100 ns) 	<p>② パルス電圧は、出力電圧にバイアス電圧分を加える。 また、電子ビームのうち、最大 10 % が G1 電極に当ることを想定して電源を設計する。その他の事項は、①と同様である。</p> <p>③ 電子ビームのうち、最大 10 % が G2 電極に当ることを想定して電源を設計する。その他の事項は①と同様である。</p>	

表2.2 電子銃 決定事項(6)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
5	制御装置 (続き)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 負荷条件：並列容量200 pF 以下、 並列抵抗 500 kΩ 以上 ④ バイアス電源 <ul style="list-style-type: none"> (a) アパーチャグリッド時 <ul style="list-style-type: none"> ・ 直流電圧：-0.1 ~ -1 kV ・ 電圧リップル：± 0.5 % ・ 電圧安定度：± 0.5 % (1 hour) ・ 出力電流：40 mA (b) メッシュグリッド時 <ul style="list-style-type: none"> ・ 出力電圧：0 ~ -200 V ・ 出力電流：520 mA 以下 ・ 制御：定電流制御 ・ 出力電流リップル率 ± 0.5 % 以下 / 1 h、± 0.5 % 以下 / 8 h ⑤ カソードヒーター電源 <ul style="list-style-type: none"> ・ 出力電圧：10V以下 ・ 出力電流：0.6 ~ 6 A (直流定電流制御) ・ 出力電流リップル率：± 1 % 以下 / 1 h ・ 出力電流安定度 ± 1 % 以下 / 1 h、± 2 % 以下 / 8 h 	<ul style="list-style-type: none"> ④ <ul style="list-style-type: none"> (a) 出力電流容量は、G1,G2 パルス電源と同様とする。 (b) メッシュグリッド使用時、バイアスを追加する。出力電流容量はメッシュグリッドパルス電源と同様とする。 ⑤ カソードの加熱電流に対する安定度は④を準拠する。 ・ 1日8時間の運転に対して、リップルを保障する。 	

表2.2 電子銃 決定事項(7)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
6	真空排気装置	① 電子銃真下に排気速度 300 ℓ/s のダイオードイオンポンプを設置する。 ② 電子銃回転機構室（高圧部）に排気速度 8 ℓ/s のダイオードイオンポンプを設置する。	① 真空排気のコンダクタンスを考慮する。 ② 回転機構による真空悪化を考慮する。 ①② 到達真空度が 1.3×10^{-8} Torr 以下となることを真空排気計算で確認した。	
7	付属機器	① 磁場レンズ 1: 600 Gauss ② 磁場レンズ 2: 500 Gauss	①② 解析コード POISSON に磁気回路の条件を入力し、表 2.2 【ビーム特性】 ⑥ に示す解析コード PARMELA のパラメータである磁場強度の値に設定する。	図 2.11 参照

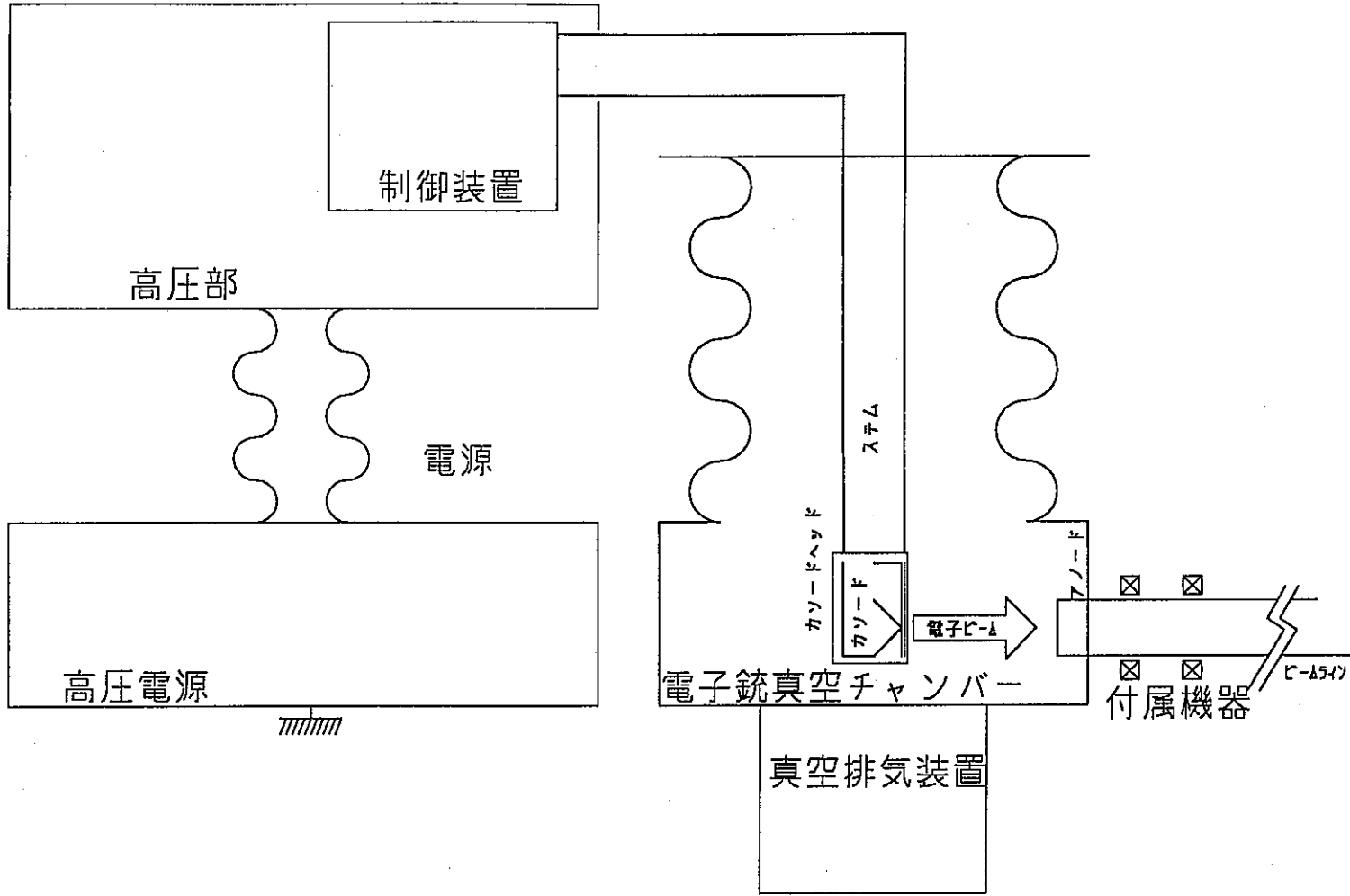


図2.1 電子銃構成

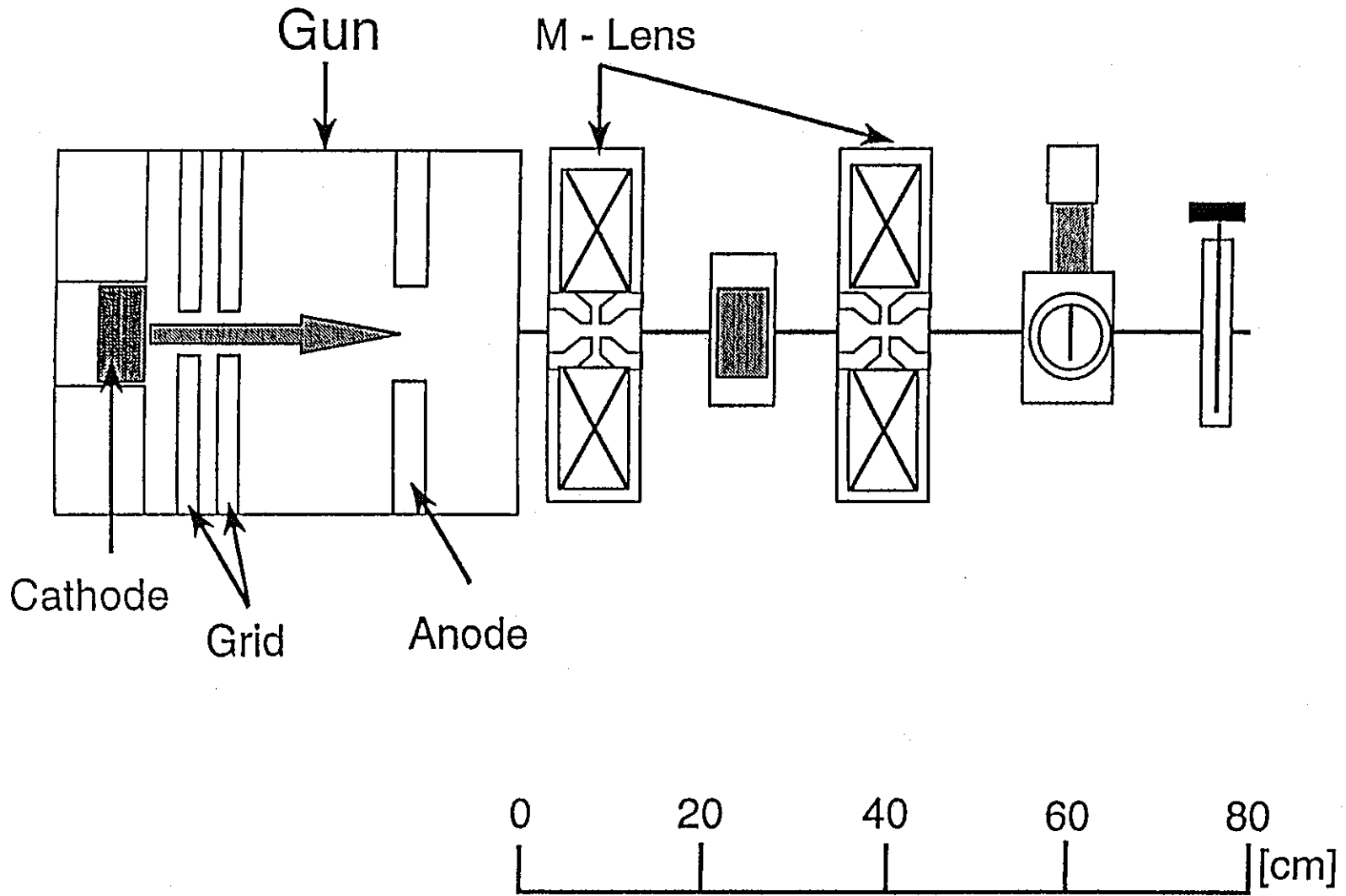


図2.2 付属機器

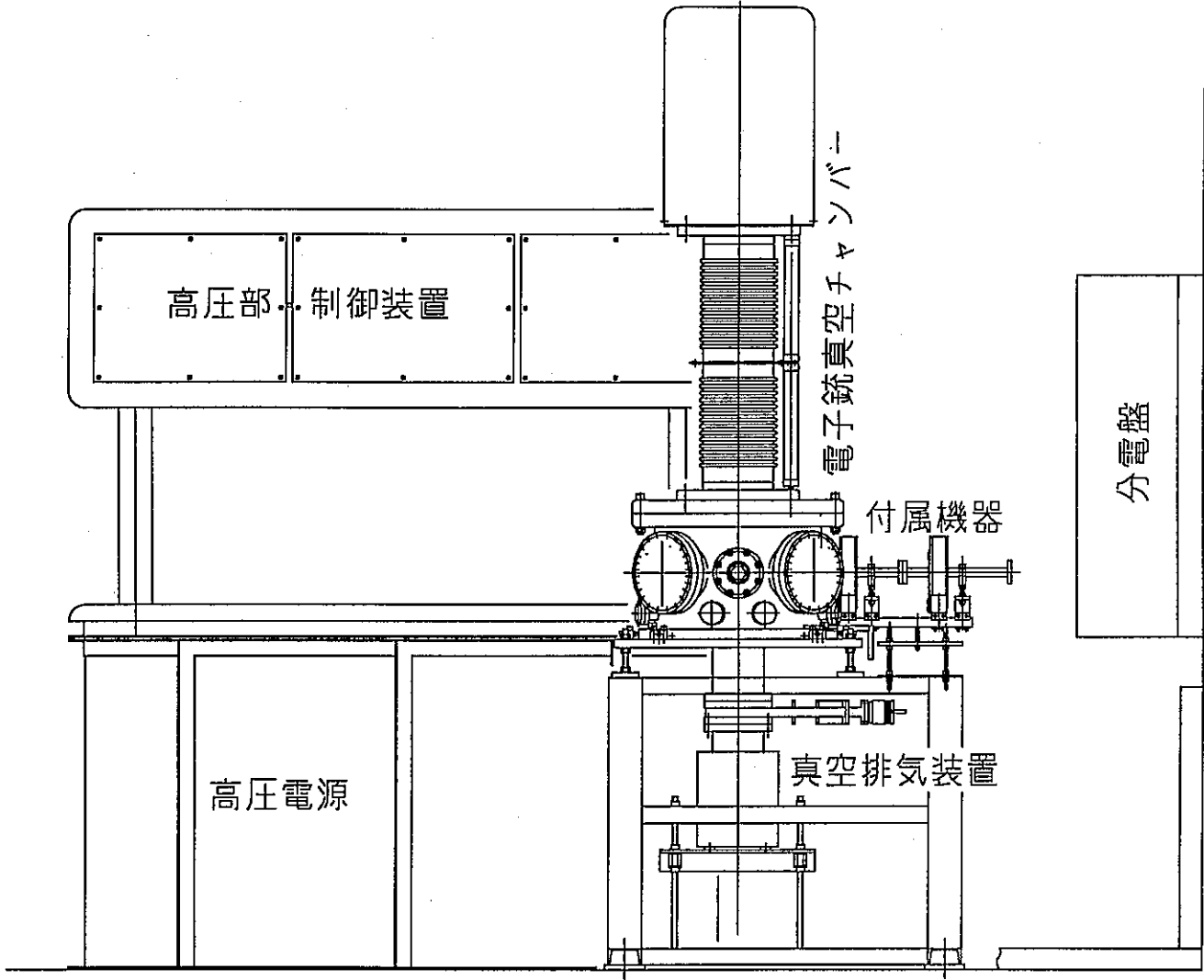


図2.3 電子銃完成図

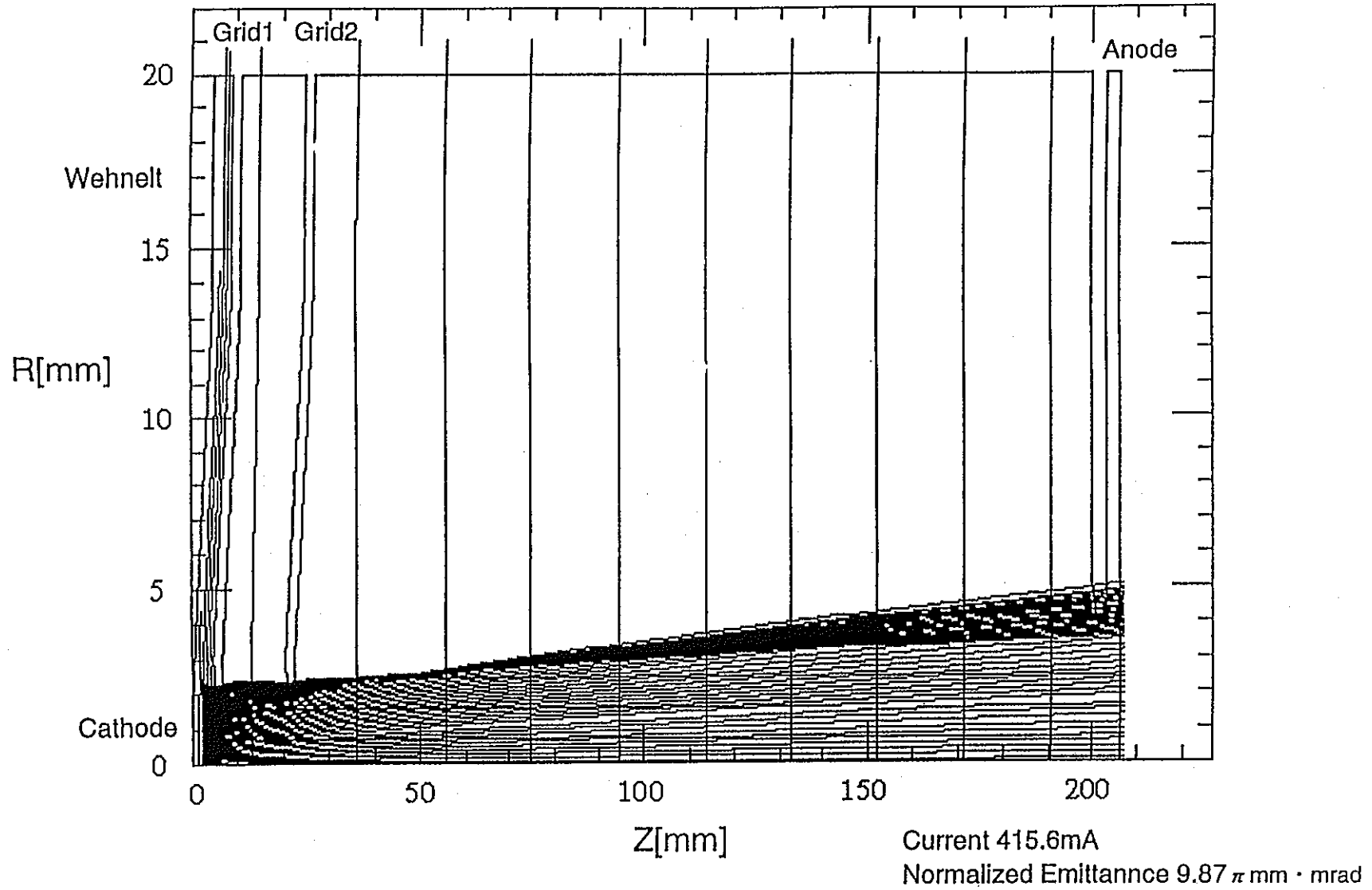


図2.4 EGUNによる電子ビーム軌道の計算(電子銃部分)

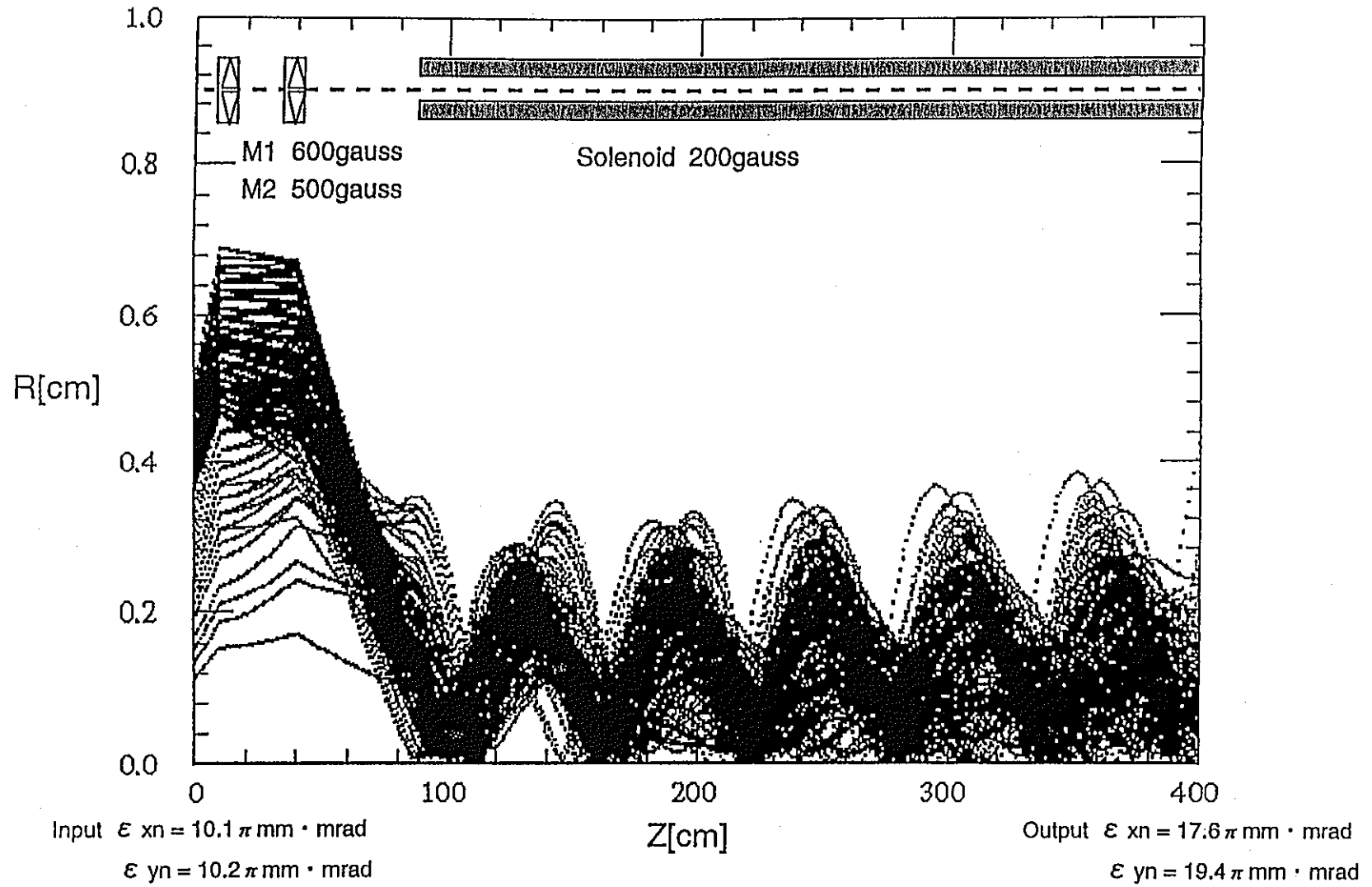


図2.5 PARMELAによる電子ビーム軌道の計算(ビームライン部分)

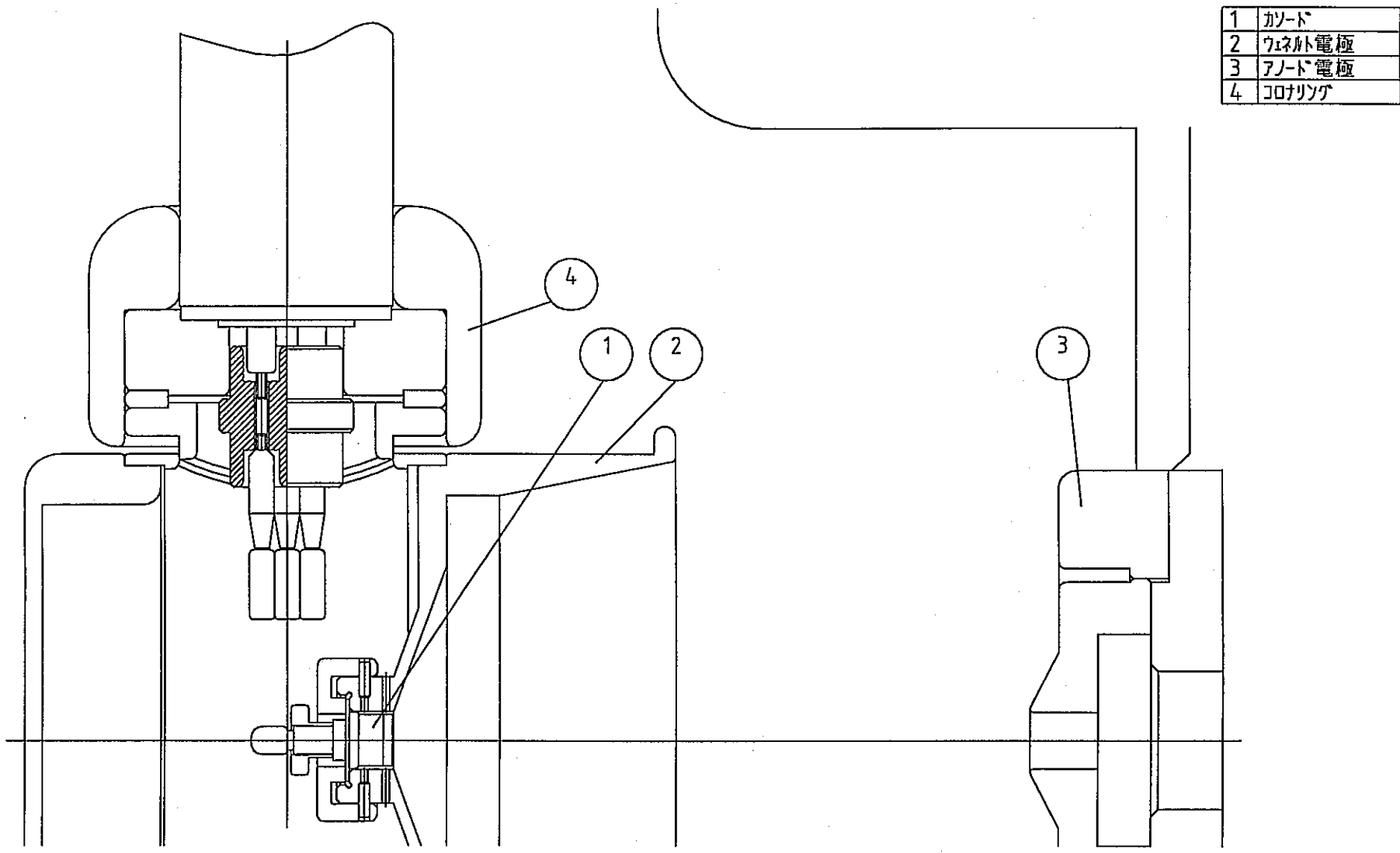


図2.6 カソードヘッド(メッシュグリッド)

1	カソード
2	ウェネル電極
3	絶縁板
4	G1電極
5	絶縁板
6	G2電極
7	アノード
8	コイルソケット

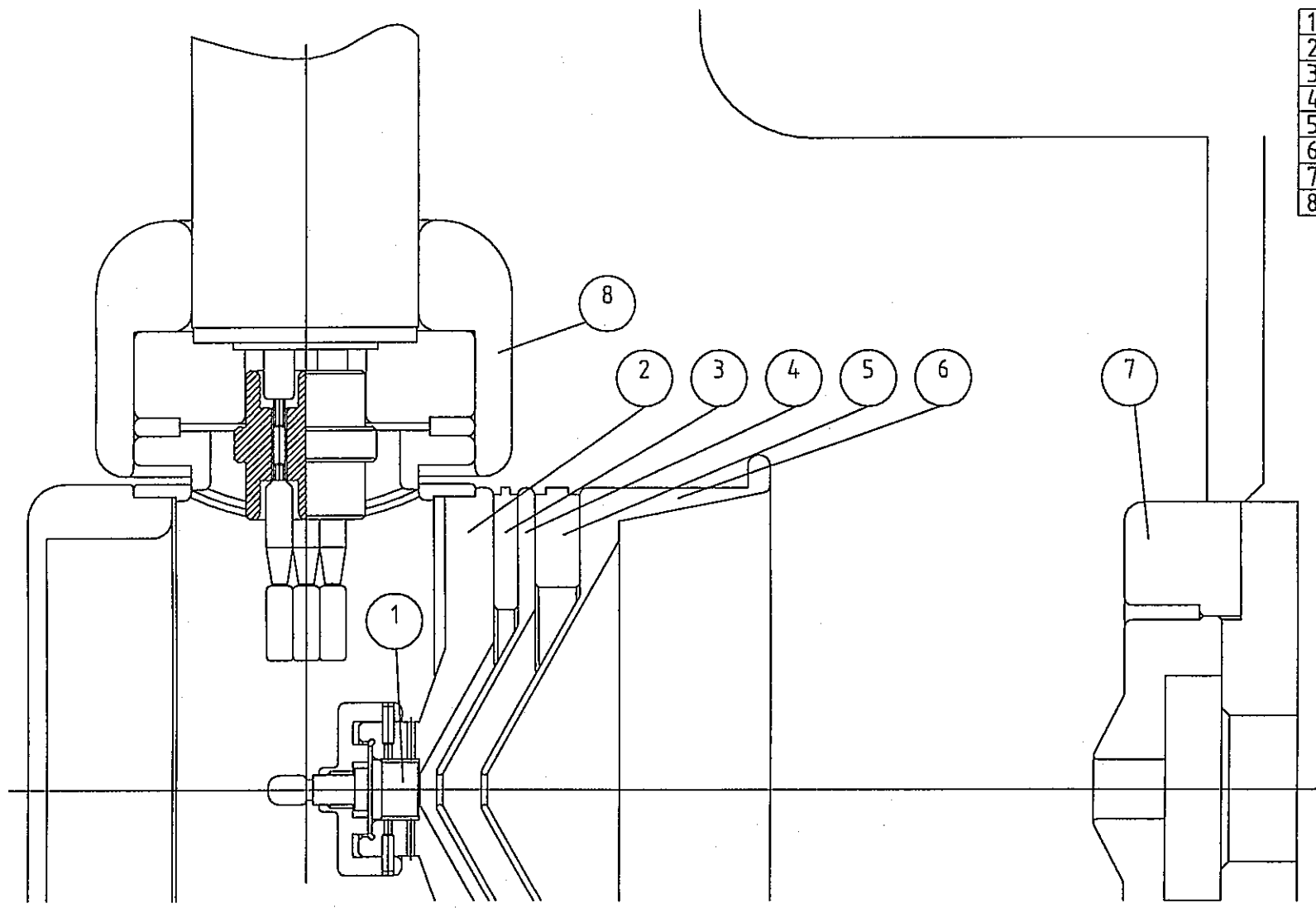


図2.7 カソードヘッド(アパーチャグリッド)

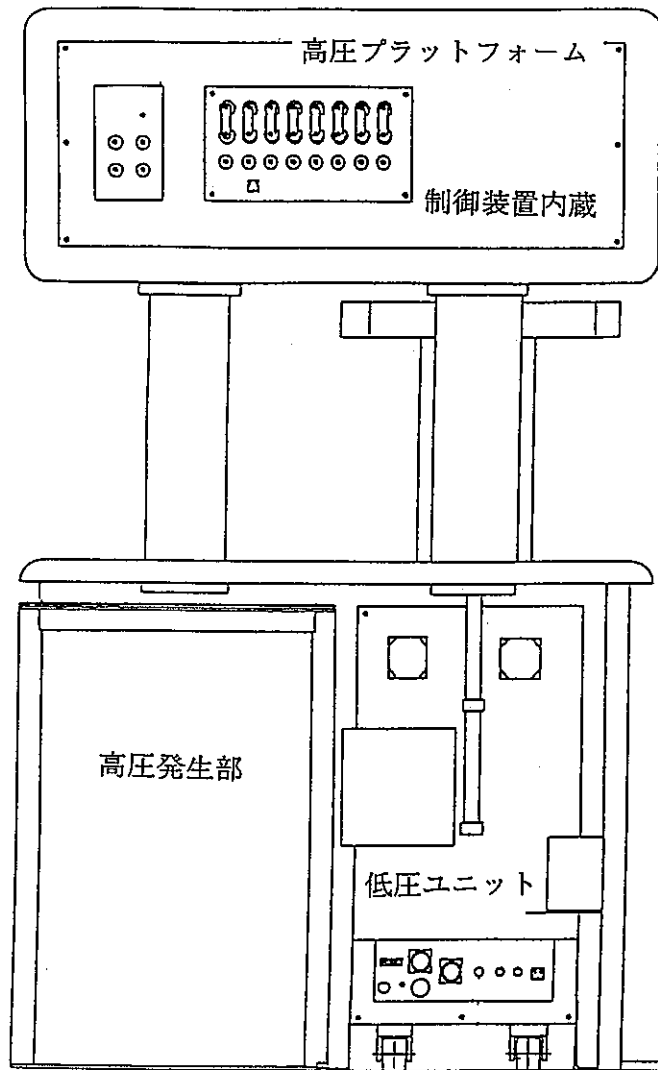


図2.9 高圧電源構成

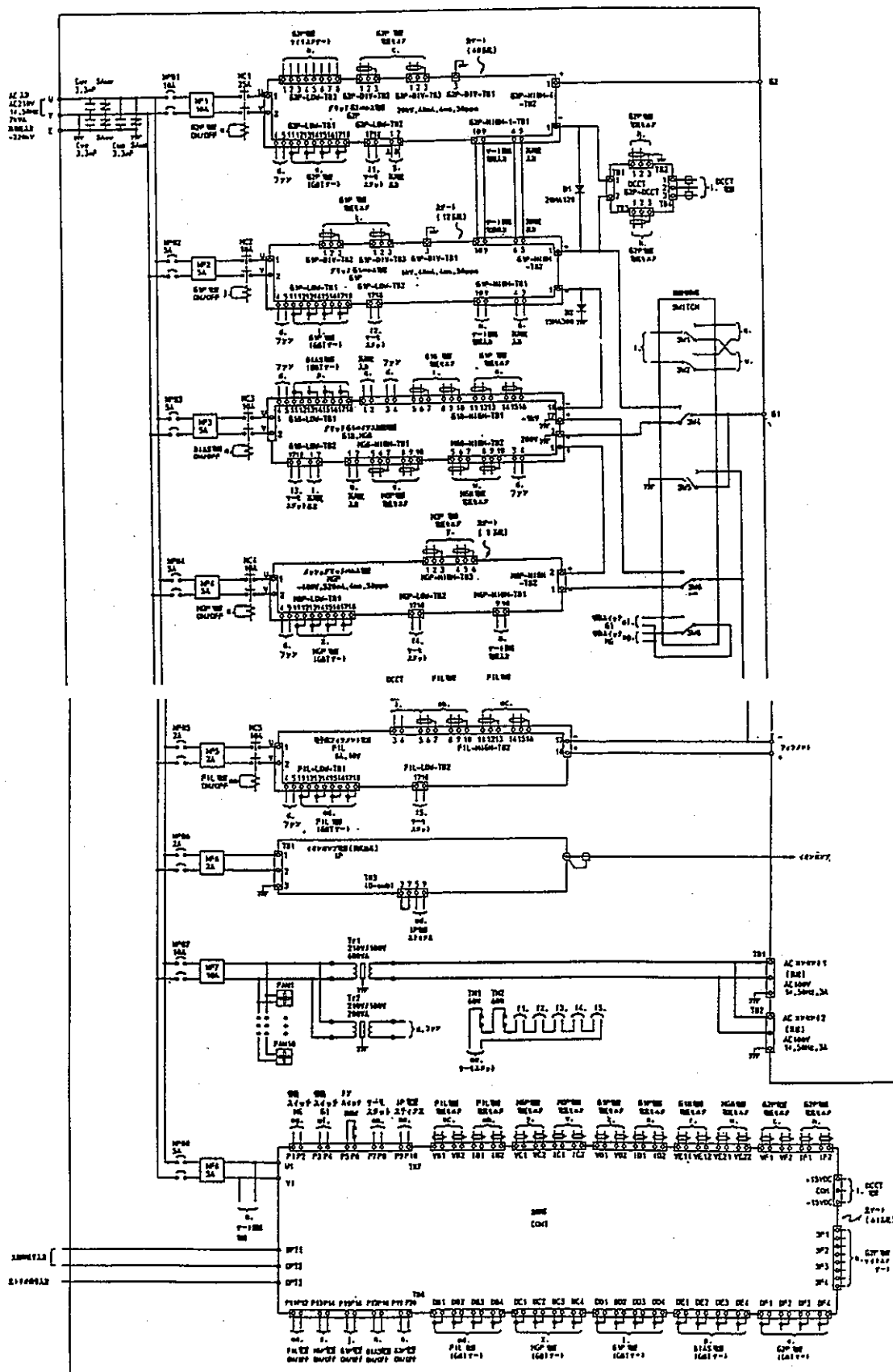


図2.10 制御装置回路図(高压電源・高压プラットフォーム内)

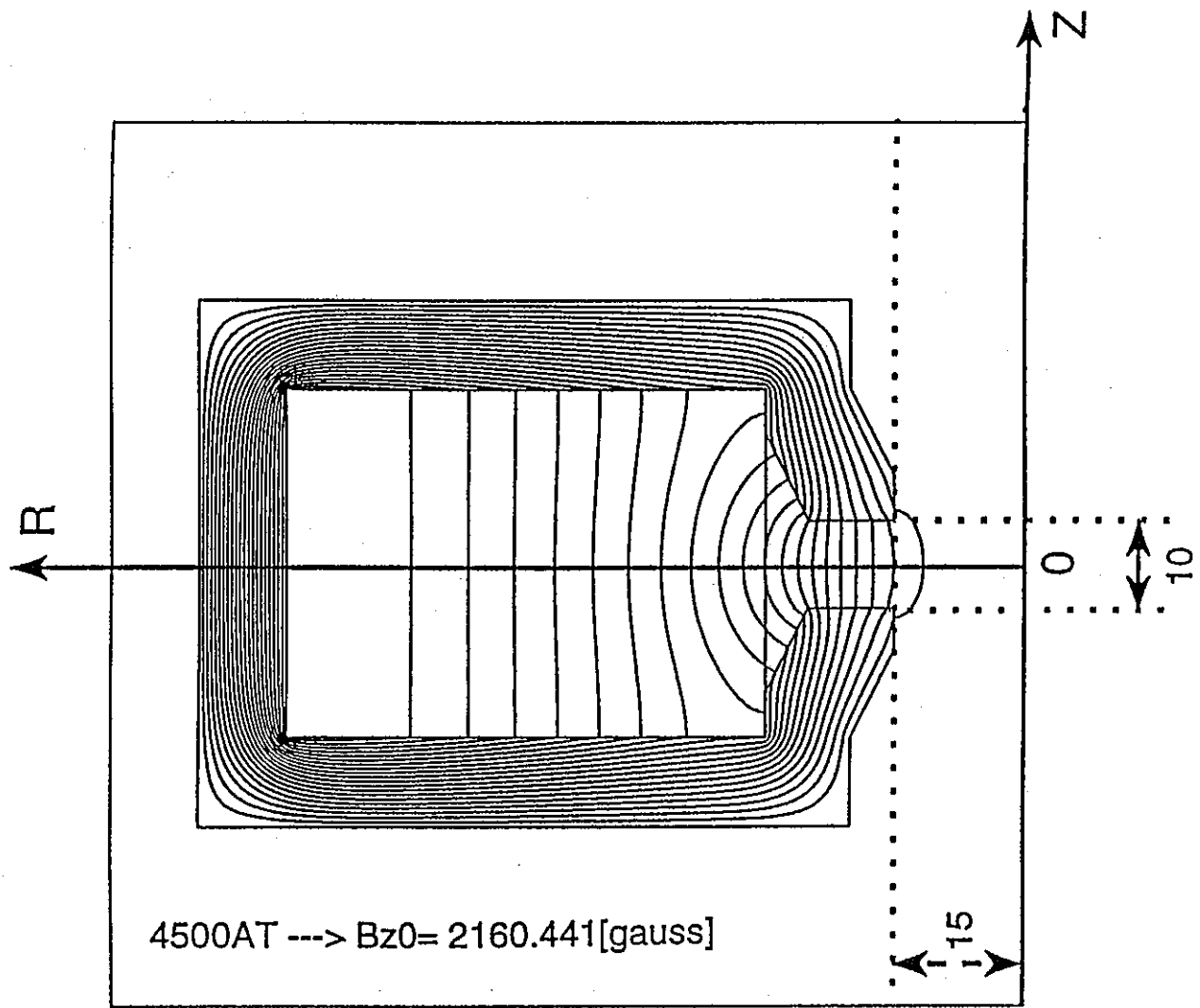


図2.11 POISSONによる磁気レンズの計算

第3章 加速系

3.1 設計条件

加速系の設計条件を表3.1に示す。

表3.1 加速系 設計条件(1)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
1	配置	<p>① チョップを電子銃とプリバンチャ間に挿入する。</p> <p>② ビームラインは電子銃からビームダンプまで直線とする。</p>	<p>① チョップしたビームをプリバンチャに輸送し、プリバンチャしたビームの位相発散を小さくする。この影響により、漏れビームを減少させ、エネルギー分解能を向上させる。</p> <p>② 大電流ビームを容易に輸送し、偏向によるビームロスをさける。</p>	<p>加速系の配置を図3.1に示す。</p> <p>② 電子銃室に補助遮蔽体を設置する。</p>
2	加速管	<p>① 進行波 $2\pi/3$モードを採用する。</p> <p>② Lバンドマイクロ波によるCW加速を常伝導加速管で行う。</p>	<p>① 利得の高い定在波πモードよりモードスペーシングの広い進行波 $2\pi/3$モードを採用する。SLAC 等多くの施設で実績がある。</p> <p>② 設計時点でCW運転が技術的に可能であるマイクロ波加速とする。大電流加速では大きな空洞の方が加速効率が良い。空洞の大きさからSバンドより低周波になる。 RFパーツの完備したLバンド (1.3 GHz帯) を選定する。 超伝導の技術および運転コストは向上しているが、試作運転するにはユーティリティの保安的課題が多いので、常伝導加速管とする。</p>	

表3.1 加速系 設計条件(2)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
2	加速管 (続き)	<p>③ RF給電方式として、CWとパルスのモードとする。</p> <p>④ 2本のクライストロンで給電</p>	<p>③ クライストロンのビーム電圧により、CWとパルスの2種類のモードとする。将来的により高エネルギーに電子を加速できるようにする。</p> <p>④ クライストロンは現状技術で50dB利得が可能であり、1MWのRFを供給するため、2本必要である。</p>	
3	プリバン チャ	<p>① 定在波リエントラント型単空洞プリバンチャを採用する。</p> <p>② ディチューニングスタブは対向型とする。</p> <p>③ RF供給は導波管とする。</p>	<p>① バンチャーのアクセプタンスに合わせるため、定在波単空洞型とする。より位相角挙動の良い進行波型や2空洞型を用いる必要はない。</p> <p>② 空洞内の電界対称性を保持するため。</p> <p>③ ギャップ電圧が20 kV 程度にするためには、100 kW 程度のRFを供給する必要がある。</p>	
4	ビーム チョッパ	<p>① ビームチョッパ空洞で2倍波を採用する。</p> <p>② RF供給として、基本波は導波管、2倍波は同軸管を用いる。</p>	<p>① 基本波空洞と基本波+倍調波空洞を比較したところ、ビーム透過率やエミッタンスの点で後者が優れている。サブハーモニックバンチャは全体が大きいこと、RFの供給が複雑になるので採用しない。</p> <p>② 2倍波の電力は20 W程度であるので、同軸管が安価である。基本波は100 Wを超えるので導波管とする。</p>	<p>① 単空洞のビームチョッパとして簡単な構造を目指す。</p>

表3.1 加速系 設計条件(3)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
5	空洞製作	① 工作精度は空洞基本寸法で $1\mu\text{m}$ 以内とする。 ② 面仕上げ度は 0.1S とする。 ③ 加速管及び大電力高真空導波管の材料を無酸素鋼とする。 ④ 組み立てはろう付けとする。	① 位相速度、共鳴周波数を各加速管で誤差 1% 以内に抑えるため。 ② 加速管の Q 値をアンロードで 20000 とし、加速管の減衰量を設計通りにする。 ③ 電気伝導度が高く、大電力での放電が少なく、高真空中で利用できる実績がある。 ④ 加速管の試作により、ろう付けによる拡散接合の健全性を確認した。なお、ろう付けに伴う製作誤差は各セルのデンプリングで補正する。	平成元年度三菱重工報告書「加速管および高周波導波管系の設計及び試作」参照。
6	加速管冷却方式	① 通常のジャケット方式に代えて、外周を貫通する流路とV字管によるディスク流路を持つ冷却構造とする。	① 有限要素法による熱計算により、加速空洞における温度差が 0.1℃ 以内となり、過度な応力がかからないことを確認した。また、ディスク冷却管に過度の乱流やキャビテーションが発生しないことも確認した。	① 平成元年度三菱重工報告書「加速管および高周波導波管系の設計及び試作」参照。
7	冷却水管理	① 加速管を冷却する恒温度冷却系は、管理区域内で閉ループとする。	① 本加速器でエネルギー 10MeV 以上の運転ができるようにする。表8.1【冷却水】参照。	① 恒温度冷却水系は熱交換器で閉ループとする。
8	導波管	① WR650 規格 ($82.55\text{mm} \times 165.1\text{mm}$) とする。 ② クライストロンとレゾナントリング間はアルミ製を使用する。	① 1.25GHz ではTE01が最低次伝播モードである。 ② 大気圧で使用でき、重量軽減及び低コスト化を計る。	② 高エネ研で実績あり。

表3.1 加速系 設計条件(4)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
9	耐放射線性	① ケーブル類は耐放射線仕様を用いる。 ② ターボポンプは磁気浮上型とする。 ③ 配管には原則としてテフロンテープなどを用いない。	①② 放射線による劣化を防ぐ。 ③ 塩素系の樹脂は塩素が遊離し、近くの材質とハロゲン反応を起す。	

3.2 検討結果

加速系の決定事項を表3.2に示す。

表3.2 加速系 決定事項(1)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
1	プリバン チャ	<p>① 空洞本体は両端板としてステンレス、電極部として無酸素銅のハイブリッド構造とする。</p> <p>② チューナを設ける。 ・左右に2本設置する。 ・チューナはチョーク構造とする。 ・チューナによる空洞共振周波数の調整域は±1 MHz以上とする。</p> <p>③ 導波管とプリバンチャとの結合度は1とする。</p> <p>④ カブラーアイリス対向部に三日月切削を施す。</p>	<p>① 空洞のQを低下させ、ビーム励起電界を抑えるため。また、電極部は適正な冷却能力をもたせるため、無酸素銅を使用する。</p> <p>② ビーム励起電界をキャンセルし、バンチングに必要なRF電力と位相を補償する。チューナ部は可動部のコンタクト不十分をカバーするためチョーク構造を採用。また、空洞内の電場対称性確保のため、左右の対称を確保する。</p> <p>③ マクロ的に、ビームに加減速がないため。</p> <p>④ アイリス部の電場歪曲を補償するため。加工寸法についてはMAFIAで概略計算し、実機で段階をおって切削実施する。(判定はビーズ法による測定とする。)</p>	
2	チョッ パー空洞	<p>① 可動チューナとして2種×2本の計4本を設置する。</p> <p>② 可動チューナはチョーク構造を有す。</p>	<p>① 基本波と2倍波の共鳴を取るため、2波への効き方の異なる2種類のチューナを用意する。</p> <p>② チューナ可動部のコンタクト不十分をカバーする。</p>	

表3.2 加速系 決定事項(2)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
2	チョツパー空洞 (続き)	③ カプラは基本波はアンテナ型、2倍波はループ型を採用する。	③ フィードする場所での電磁特性のため。	
3	チョツパー スリット	① 最大熱負荷：12 kW ② スリット形状：斜入射受光(6度程度)+下部照射体。 ③ スリットは交換可能とする。 ④スリットは電氣的に絶縁し、また各部に熱電対を取りつける	① 200 keV × 300 mA × 20 % デューティ ② 熱除去を容易にするために、ビームラインとスリットとのなす角を小さくして照射面積を広げる。また、電子ビームがスリットに照射された後の散乱を考慮し、スリット下部にも冷却構造を有する照射体を設ける。 ③ 電子線照射によるダメージ、寿命を考慮する。 ④ ビームの照射量を電流及び温度として観測し、過大照射、偏った照射に対してインタロックを与える。	
4	コリメータ	① アパーチャ径：φ30。 ② コリメータ電子照射部は4径方向に4分割し、電氣的に絶縁する。また、各分割部に熱電対を取りつける。	① 加速管ディスク最小径がφ50であり、ディスクに直接ビームが照射なきよう設定する。 ② ビームの照射量を電流または温度として観測し、過大照射、偏った照射に対してインターロックを与える。	

表3.2 加速系 決定事項(3)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
5	還流部	<p>① レゾナントリングの構成要素は以下のとおりとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・加速管またはバンチャ ・方向性結合器 ・真空引口付きフェーズシフタ ・ベータホールカプラ付きスタブチューナ ・スパーサ ・RF窓 <p>② 加速管またはバンチャ</p> <p>(a) カプラーアイリス対向部に三日月切削を施す。</p> <p>③ 方向性結合器</p> <p>(a) RF結合部構造はマルチスロットタイプ結合を採用する。</p> <p>④ 真空引口付きフェーズシフタ</p> <p>(a) フェーズシフタの移相量は15度以上とする。</p> <p>(b) フェーズシフタはH面へのスタブつき出しタイプとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・スタブ本数は3本 ・スタブ間隔は$1/3\lambda$ (80mm) 	<p>① 体系を簡略化するため、ベータホールカプラとスタブチューナを一体化した構成とした。レゾナントリングの構成を図3.2に示す。</p> <p>②</p> <p>(a) カプラー部の電場対称性を補償する。切削量はビーズ法により電場プロファイルを測定して決定する。</p> <p>③</p> <p>(a) 穴寸法については、MAFIAで計算した上、数種類のスロットタイプを実測し、決定する。</p> <p>④</p> <p>(a) リング温度の上昇による位相長のずれを補償する。</p> <p>(b) スタブ間隔を、各スタブからの反射がキャンセルするように設定する。</p>	

表3.2 加速系 決定事項(4)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
5	還流部 (続き)	<ul style="list-style-type: none"> ・スタブ径は $\phi 65\text{mm}$ ・スタブには1チョーク構造をもたせる。 (c) 本フェーズシフタには真空引口を設ける。 <p>⑤ ベーテホールカプラ付きスタブチューナ</p> <ul style="list-style-type: none"> (a) スタブチューナでのVSWR補正域は1.2以下とする。 (b) スタブチューナはE面へのスタブつき出しタイプとし、 <ul style="list-style-type: none"> ・スタブ本数は3本 ・スタブ間隔は $1/3\lambda$ (80mm) ・スタブ径は $\phi 40\text{mm}$ ・スタブにはチョーク構造をもたせる。 (c) 本スタブチューナにはベーテホールカプラももたせ <ul style="list-style-type: none"> ・リング内還流方向: 60dB ・リング内逆還流方向: 50dB の結合度とする ・カプラの方向性は30dB以上とする。 <p>⑥ スペーサ</p> <ul style="list-style-type: none"> (a) 製作組み立て時の電気長誤差をチューナで補償可能な範囲にする。 	<ul style="list-style-type: none"> (c) 一体化してコスト低下を計る。 <p>⑤</p> <ul style="list-style-type: none"> (a) リング温度の上昇に伴うVSWRの悪化等をキャンセルする。 (b) 各スタブからの反射をキャンセルする。 <p>(c) リング内の還流電力等をモニタするため必要である。 還流電力は 1 MW (90dB) 程度になるため、後段の検出系のレベルに合致させた結合度に設定する。</p> <p>⑥ テスト用スペーサを数種類作成し、リング内に組み込み、リング特性測定後、補間の上、寸法決定を実施する。</p>	

表3.2 加速系 決定事項(5)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
5	還流部 (続き)	⑦ RF窓 (a) ビルボックス型とする。	⑦ レゾナントリング内が真空で、立体回路が大気のため、仕切りが必要である。	
6	ビーム輸 送系	① 電子ビームの輸送のために以下のマグネット要素を配置している。 (a) ビームを絞るためには入射部ではDCソレノイドコイルを用いる。 (b) 加速部ではQマグネットを用いる。 (c) ビーム軌道の補正のために、ステアリングコイルも各要素ごとに設置する。 ② DCソレノイド群 (a) トンネル部では、内径φ200タイプのソレノイドを使用する。 ・合成磁場: 250 Gauss 以上 ・コイルピッチ: 180 mm ・コイル数: 15 個 ・コイル7~8個を直列に接続する。 (これを1台の電源で駆動する。) (b) 上記以外では内径φ380タイプのソレノイドを使用する。 ・合成磁場: 520 Gauss 以上 ・コイルピッチ: 230 mm	① (a) 低エネルギー領域 (~3MeV以下) ではビーム発散防止のためDCソレノイドコイルによりビームを押え込む。 (b) 高エネルギー領域 (~3MeV以上) では、Qマグネットを用い、ビームを整形する。個数は各加速管に1セットを基本とする。 (c) ビーム位置調整のためにステアリングコイルを用いる。個数は各加速管に1セットを基本とする。 ② (a) トンネル内はビーム輸送のみであるので、コイルは必要最小限のサイズの内径φ200を採用する。また電流値も全コイル一定とするため、コイルはシリーズに接続する。コイル数は計算コードPARMELA(電流値100 mA、エネルギー200 keV)等のシミュレーション結果及び磁場の平坦度が約10%以下になるよう決定する。 (b) 加速管を内側に通すため、内径をφ380とする。また、チョップパからプリバンチャにかけて、段階的に磁場を上げ、ビームの質を維持する等の微調を行うため、コイルと電源を1:1対応とする。	

表3.2 加速系 決定事項(6)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
6	ビーム輸送系 (続き)	<ul style="list-style-type: none"> ・コイル数:26個 ・コイル1個に1台の電源で磁場を調整する。 <p>③ ステアリング</p> <ul style="list-style-type: none"> (a) 偏向磁場:100 Gauss・cm以上とする。 (b) 入射部は空芯コイル、加速部は有芯コイルを採用する。 <p>④ Qマグネット</p> <ul style="list-style-type: none"> (a) 通常部はQダブレットを採用し、磁場勾配を0.27 kGauss/cm以上(磁極長60mm)とする。 (b) 第7加速管後はQトリプレットを採用し、磁場勾配を0.33 kGauss/cm以上(磁極長40mm)とする。 	<p>コイル数は計算コードPARMELA(電流値100 mA、エネルギー200 keV)等のシミュレーション結果及び磁場の平坦度が約10%以下になるよう決定する。</p> <p>③</p> <ul style="list-style-type: none"> (a) 加速管の入口から次の加速管の入口までの有効ドリフト間でのビーム偏向量を5 mm以上とする。 (b) 加速部は省スペースのため有芯コイルタイプを用いる。 <p>④</p> <ul style="list-style-type: none"> (a) BBU対策のため、ベータatronフェーズシフトがπまで可能な磁場勾配で設定する。 (b) 最終段はビームを丸く整形するため、色収差の少ないトリプレットを採用する。 	
7	真空系	<p>① ビームライン上の真空度は10^{-7} Torr以下とする。</p> <p>② 通常はイオンポンプのみの運転とする。</p>	<p>① 電子線形加速器の通常値である。管路網による真空計算により、イオンポンプの配置を決定する。</p> <p>② 安定運転のため。</p>	

表3.2 加速系 決定事項(7)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
7	真空系 (続き)	<p>③ 加速系のビームラインはゲートバルブを用いて、以下の4区間に分割する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・電子銃~バンチャ前 ・バンチャ~第4加速管前 ・第4加速管~第7加速管後 ・第7加速管後~ビームダンプ <p>④ 立ち上げ時は各区間に粗排気ユニット(可搬式)を接続し、使用する。</p> <p>⑤ 粗排気系のターボ分子ポンプの排気量を345 ℓ/secとする。</p>	<p>③ ガス放出量に基づき、分割する。</p> <p>④ 大気圧から運転可能な真空度までに到達する時間が数日であるように設定する。</p> <p>⑤ レゾナントリングの排気量から決定する。</p>	
8	ビームモニタ系	<p>① ビームモニタは以下のものを使用し、基本的に各加速管毎にそれぞれのモニタを1個ずつ配置する。ただし、DCCTについては校正の観点から、全体で2個とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 帰還型CTモニタ：パルス電流モニタ(ショートパルス用) ・ DCCTモニタ：ビーム電流モニタ(ロングパルス用) ・ ビーム位置モニタ：非破壊型ボタンモニタ ・ プロファイルモニタ：スクリーンモニタ 	<p>① 本加速器の目的は大電流ビームを加速する技術開発であるから、ビームモニタは可能な限り設置し、ビームの挙動を観測する。</p>	

表3.2 加速系 決定事項(8)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
8	ビームモニタ系 (続き)	<ul style="list-style-type: none"> ・ ビームロスモニタ:エアイオンチャンバ内の電荷測定 ② 帰還型 CT モニタ <ul style="list-style-type: none"> (a) 電流帰還型電流トランス方式を採用する。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 測定レンジ:0.2~100 mA、1~500 mA ・ 測定パルス幅:10 μ sec ~ 4 msec ・ パルス応答:1 μ sec 以下 (10-90%立ち上がり) ・ 台数:10台(うち1台は予備品) ・ 電子銃及びチョッパの後に設置するCTは500 mA仕様とする。その他は100 mA仕様とする。 ③ DCCT モニタ <ul style="list-style-type: none"> (a) 磁気変調型電流トランス方式を採用。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 測定レンジ:~10 mA、~500 mA ・ 周波数特性:DC~10 KHz (100mA測定時、-3dB帯域) ・ パルス応答:100 μ sec 以下 (10-90%立ち上がり) ・ 台数:2台(うち1台は撤去→未使用) 	<ul style="list-style-type: none"> ② パルス高~500 mA、パルス幅~4 msec、繰り返し~50 ppsの電流パルスの電流値、波形を観測するが、特に次の項目に重点を置く。 <ul style="list-style-type: none"> ・ レスポンスが速いこと ・ パルスの全体波形が観測できること ・ コンパクトかつ利便性が高いこと ③ パルス高~500 mA、パルス幅~4 msec、繰り返し~50 ppsの電流パルスの全体波形を観測することが第一目標である。また、他のタイプの電流モニタの校正にも利用できる。 当初、ソレノイドコイル内に設置する予定であったが、ソレノイド磁場をシールドするため撤去する。 	

表3.2 加速系 決定事項(9)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
8	ビームモニタ系 (続き)	<p>④ ビーム位置モニタ</p> <p>(a) ボタン型ビーム位置モニタ (非破壊タイプ) を採用する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 径方向の鉛直、水平方向に計4個のボタン電極を設置し、各ボタンからの信号を演算処理して位置を求める。 ・ 検出方法はスーパーヘテロダイン方式による同期検波とする。 ・ 台数:10台 <p>⑤ プロファイルモニタ</p> <p>(a) 2段式スクリーンモニタとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ デマルケストとアルミ板を同時装着可能とする。 ・ 台数:2段式11台、1段式2台 <p>⑥ ビームロスモニタ</p> <p>(a) エアイオンチャンパー内の電離電流を測定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 長さ:1.2m ・ 台数:8台 (各加速管毎に設置する) 	<p>④ 省スペースで一般的に用いられている方式である。</p> <p>⑤ 一般的に用いられている。デマルケストでは可視光でビーム形状を観測する。アルミ板ではバンチ形状をストリークカメラで観測する。</p> <p>⑥ 加速管毎に設置し、どの加速管でビームロスが生じているか定性的に判断する。帰還型CTモニタと相補的に使用する。</p>	

表3.2 加速系 決定事項(10)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
9	立体回路	① 大気系導波管の材質をアルミとする。 ② 導波管内は大気とする。 ③ 各ラインにフェーズシフタを設置する。但し、第4加速管ラインは除く。	① コスト及び重量の両面から考えて採用する。 ② 電界強度が低いため、大気でも放電がない。 ③ 各RF機器の位相を調整する。但し、第4加速管への位相は、No.2クライストロン本体で調整するので不要とする。	
10	入射部貫通穴鉛遮蔽体	① 入射部貫通孔には、 γ 線を遮蔽する為に鉛を設置する。 ② 鉛の厚さは、散乱線まで考慮し、最低40 cmとする。	① 電子銃室のフェンス外には、加速器運転中でも常時人が立ち入る。 ② 厚さ40 cmについては、放射線遮蔽の計算による。	
11	チョッパ空胴とチョッパスリットとの距離	① チョッパ空胴とチョッパスリットとの距離を500 mmに設定する。	① チョッパ空胴とチョッパスリットの距離に関しては以下のことを考慮する。 <ul style="list-style-type: none"> ・ チョッパ空胴とチョッパスリットとの距離を長くすると、空間電荷効果によりビームが広がる。 ・ また、この距離を短くするとビームを大きく振らなければならないので、チョッパ空胴へ供給するRFを大きくしなければならず、RF源に負担がかかる。 	

表3.2 加速系 決定事項(11)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
11	チョッパ 空洞と チョッパ スリット との距離 (続き)	② ビームの振り幅を、空洞通過後 500 mm のドリフトで、40 mm とする。	② 現実的な2倍波のアンプの出力からビームの振り幅を計算した。この結果とスリットが熱的に耐えられる許容値から最小のチョッパ空洞とチョッパスリットの距離を算出した。 算出にあたっては、スリットの熱計算、エネルギー 200 keV、及び、ビーム径 2 mm のビームが約 4 mm まで広がるという計算コード PARMELA の結果を使用する。	
12	プリバン チャとバ ンチャと の距離	① プリバンチャとバンチャとの距離を 1000 mm に設定する。	① チョッパで切り出された 100 mA、120 度のビームがプリバンチャで速度変調され、バンチャ手前で約 60 度になるように設定する。計算には計算コード PARMELA を使用する。	
13	入射部架 台	① ビームラインを FL+1200 mm に設定する。 ② トンネル貫通部に設置予定の機器はできるだけ両サイド(電子銃室側と加速器室側)とに分散させる。 ③ トンネル貫通部の架台は、引き出し構造を採用する。	① 作業性のため。 ② トンネル内のメンテナンスを考慮する。ただし、ソレノイドコイル等やむを得ない要素についてはトンネル内に設置する。 ③ トンネル貫通部には、ソレノイドコイルやそれに付随した冷却系があり、メンテナンス容易性を確保する。	

表3.2 加速系 決定事項(12)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
14	RF窓冷却水圧力	① 設計圧力(7kg/cm ²)より1kg/cm ² 以上超過しないようにリリーフ弁を設置する。	① 9kg/cm ² まで加圧する試験を行ったが、変形量の進行はほとんどない。	
15	ビームライン架台の据付精度	① アンカーボルトを埋め込み、取り付けナットにて高さを調整し、その後無収縮モルタルを充填する。 ② 各架台で、鉛直・水平方向で各々±0.2mm、ビーム軸方向で5mmとする。	① 実績がある。高さ調整が容易であり、工期が短い等の理由による。 ② 実績による。	

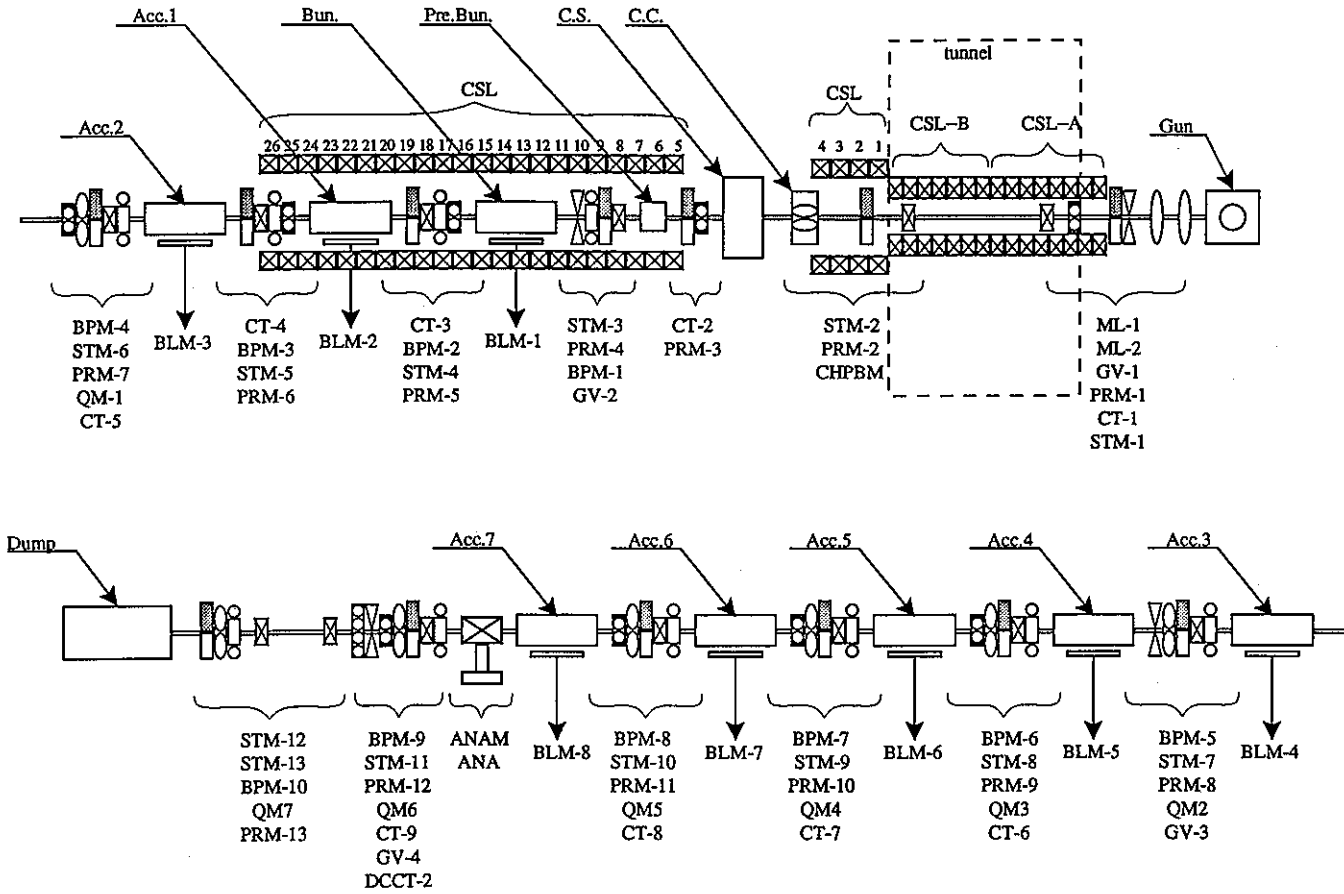


図3.1 加速系機器配置図

記号	略号	名称
	GV (-1-4)	ゲートバルブ
	ML (-1-2)	マグネチック・レンズ
	STM (-1-13)	ステアリング・マグネット
	QM (-1-7)	Q マグネット
	CHPBM	チョップ・バイアス・マグネット
	CT (-1-9)	パルスビームモニタ
	DCCT-2	電流モニタ
	BPM (-1-10)	ビーム位置モニタ
	BLM (-1-8)	ビームロスモニタ
	PRM (-1-13)	プロフィール・モニタ
	CSL (-1-26)	DCソレノイドコイル(φ380)
	CSL (-A,-B)	DCソレノイドコイル(φ200)
	ANAM	エネルギー分析・マグネット
	ANA	エネルギー分析装置

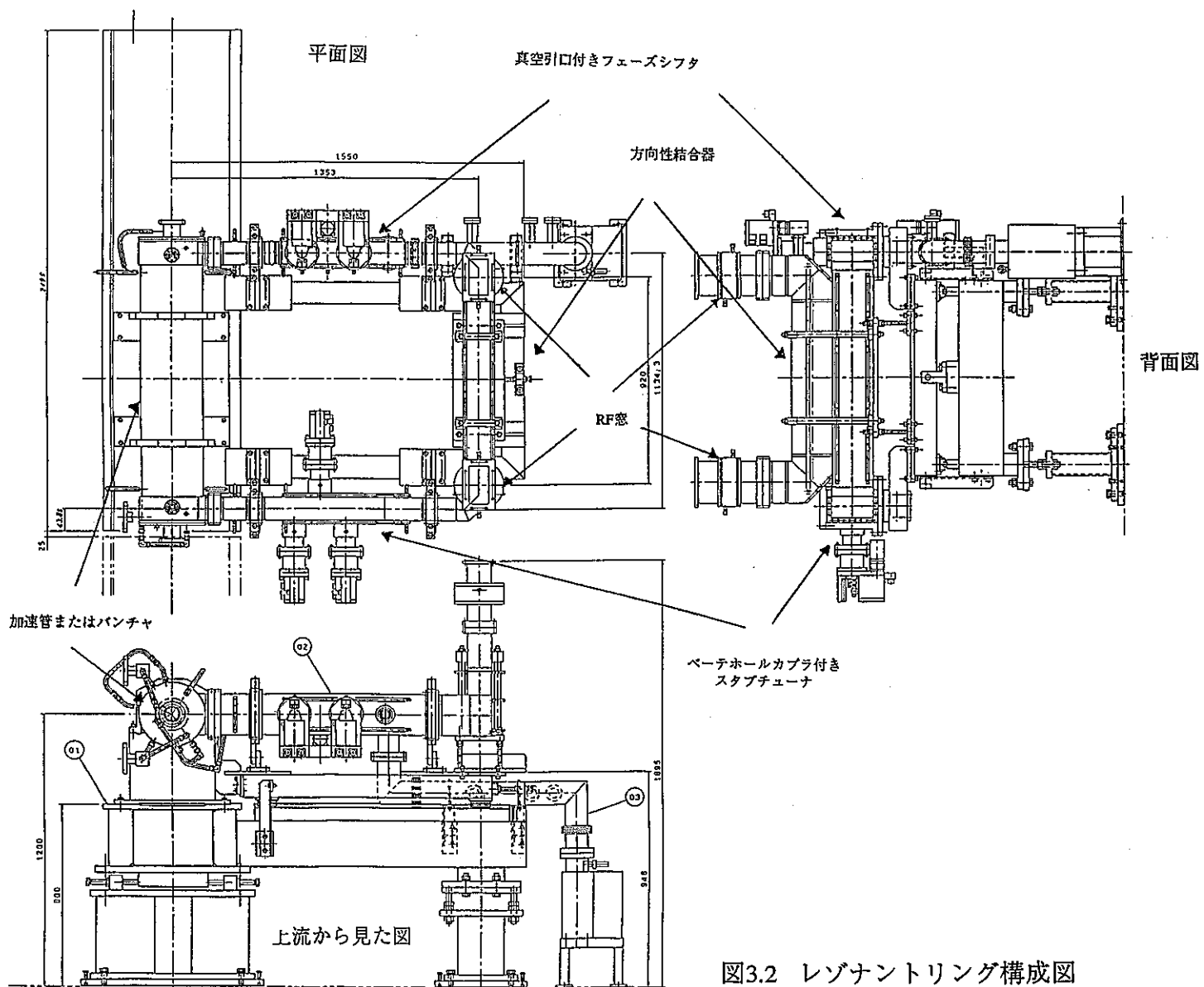


図3.2 レゾナントリング構成図

第4章 ビームダンプ

4.1 設計条件

ビームダンプの設計条件を表4.1に示す。

表4.1 ビームダンプ 設計条件(1)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
1	入射ビーム形状	① ビームエミッタンス ・ X, Y方向とも $50 \pi \text{ mm mrad}$ ② エネルギー分解能 ・ 0.4~5% ③ ビーム径 ・ $\phi 10$ ④ ビーム形状 ・ ビーム半径を 3σ とする正規分布とする。	① 目標値として設定する。加速系で実施したビーム輸送コード PARMERA による計算結果である。 ②~④ ①と同様の計算結果に基づく。	表1.1【ビーム性能】参照
2	構造物	① 耐震構造：Cクラス ② 床耐荷重 ・ 1平方メートル当たり 500 kg 以下とする。但し、地中梁上の床耐荷重は、1平方メートル当たり 100 ton 以下とする	① 鉛遮蔽体など重量物を取り扱うため、耐震クラスを設定する。耐震クラスは建家と同クラスとする。 ② 建家床面の強度を実測から求める。地中梁上はコンクリート自身の強度である。地中梁以外はコンクリートプレートを用いているため、地中梁より強度は落ちる。	

表4.1 ビームダンプ 設計条件(2)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
2	構造物	<p>③ 加速器室内搬入物品の最大形状</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 寸法 3 m (D)×2.3 m (W)×2.3 m (H) ・ 重量 3000 kg <p>④ 加速器室内の機器設置スペース</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 7 m (W)×6 m (D)×4.7 m (H) 	<p>③ 寸法は遮蔽扉の大きさ、荷物の回転半径などを考慮する。また、重量はチェーンブロックの荷重とする。</p> <p>④ 加速系との取り合い場所からのスペースを考慮する。</p>	
3	熱交換器	<p>① 設置場所：熱交換器室内</p> <p>② 冷却設備との取り合い点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 熱交換器二次側フランジ <p>③ 熱交換量：250 kW</p> <p>④ バッファータンク カバーガス</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 窒素ガス <p>⑤ カバーガスの供給源</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 機械室内冷却設備用窒素ポンベとする。 	<p>① 熱交換器室は冷却設備の熱交換器が設置されているため、取り合い条件が容易になる。</p> <p>② 発注時、ビームダンプの冷却構造を決定できなかったため、ビームダンプ内での圧力損失を予想出来なかった。このため、熱交換器二次側を取り合い点とする。</p> <p>③ 電子ビームによる発熱は200 kW (=10 MeV×20 mA)であるが、ポンプの発熱、ビーム電流の増加に対応するため、熱交換量を25%増加させる。尚、熱交換量の上限を熱交換器の大きさから25%とする。</p> <p>④ 冷却水の電気伝導度を一定に保つため、溶解度の小さいガスを選定する。</p> <p>⑤ 供給源の統一を図る。</p>	<p>③ SLACでは100%の余裕を持つ施設もある。</p>

表4.1 ビームダンプ 設計条件(3)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
4	廃棄物の処理	<p>① 気体</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 加速器室内に放出する。対象物は、真空ポンプ排気ガス、熱交換器内バッファータンクカバーガスである。 <p>② 液体</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 建家廃液設備 地下ピット内廃液タンク(T-2)に排水する。対象物は冷却水ドレン (加速器室内配管ドレン、熱交換器内配管ドレン)である。 	<p>①② 電子ビームが直接ターゲットに照射するビームダンプでは、放射化の可能性のある気体および液体は一時貯留し、自主的にサンプリングしてから放出する。</p> <p>このため、気体(ガス)は空気処理設備 タンク、液体(冷却水)は廃液タンク(T-2)に貯留する。</p>	
5	基本構造	<p>ターゲットの基本構造は、以下の3点の考え方で決定する。</p> <p>① ターゲットに入射する前に入射電流密度を下げる。</p> <p>② 空間的に分割して電子ビームを吸収する。</p> <p>③ 放射化の可能性のあるものの量を極力減らす。</p>	<p>①② ビーム径$\phi 10$の大電流電子ビームを吸収するためには、空間的な発熱量を抑えなければならない。このため、電子ビームのビーム径を電磁石により広げ、入射電流密度を下げる。また、吸収するターゲットでの発熱密度を抑えるため、ビーム照射領域を狭く空間的に分割するような構造とする。</p> <p>③ 万一放射化した場合、処理量を減らすことを考え、電子ビームに直接照射される部分の体積を減らす。</p>	

表4.1 ビームダンプ 設計条件(4)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
6	安全対策	<p>ビームダンプの安全対策として以下の6点を考慮する。</p> <p>① 冷却水が循環していない時、または冷却水の水量がある基準以下の場合、加速器の運転を不可とする。</p> <p>② ビーム照射異常により加速器の運転を停止する。</p> <p>③ 緊急遮断シャッターを設ける。</p> <p>④ 加速器運転中に商用電源が停電した場合でも冷却水の循環を保つ。</p> <p>⑤ 放射線に強い材質を用いる。</p> <p>⑥ 放射線遮蔽能力を有する。</p>	<p>① 冷却水による除熱を確保する。</p> <p>② 電子ビームが拡大できず、局所発熱による機器破損をさける。</p> <p>③ ビームダンプ内で起こった真空度悪化を加速系に拡大しない。尚、真空度悪化の原因として局所発熱による溶解、照射異常によるビームダクトの破損、冷却水の漏洩を考える。</p> <p>④ ターゲットに蓄積した熱により、冷却水の局所沸騰を避ける。</p> <p>⑤ ビームダンプは放射線発生源であり、使用する材質は半導体機器の耐放射線レベル 10^6 Gyを満足するように選定する。</p> <p>⑥ 加速器室の貫通口から漏れる放射線の線量当量を抑える。</p>	

表4.1 ビームダンプ 設計条件(5)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
7	データ収集	① ビームダンプ内の情報(ビーム状態、真空度、温度、流量、水圧、インターロック情報)は一ヶ所で管理する。	① ビームダンプは多様な機器の集まりであるため、収集したデータを一カ所で管理し、設備としての健全性を確保する。また、データ解析を行う上でも有効である。	
8	将来性	① 単にビーム吸収体としてのビームダンプではなく、大電流加速器用ターゲットとしてのデータを収集できる構造とする。 ② 収集するデータは、表4.1【データ収集】に記載した事項であるが、さらに熱応力による歪みも収集できる構造とする。	① 現在加速器は大電流(大電力)化が進んでおり、大電流加速器用ターゲットを設計するためのデータを収集する。 ② 有限要素法などの解析で得られる結果と実測値を比較し、評価する。(今までターゲットとして評価した例がない。)	② 測定方法を検討したが良い案が無く、長期的な検討事項とする。
9	保守・点検	① 量子工学試験施設内でターゲットを点検・保守できるような構造とする。	① ビーム照射による荷重繰り返しに応じて、ターゲットの健全性を確認する。	

4.2 決定事項

ビームダンプの決定事項を表4.2に示す。

表4.2 ビームダンプ 決定事項(1)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
1	配置	<p>① 上流より緊急遮断シャッター、ステアリングコイル、ポジションモニター、発散用電磁石、プロファイルモニター、ターゲットの順に配置する。(図4.1参照)</p> <p>② 緊急遮断シャッターとターゲット入口までの距離を4mとする。</p> <p>③ ターゲットの大きさ(長さ)を2mとする。</p>	<p>① 電子ビームを拡大する発散用電磁石に正しくビームが入射するように、ステアリングコイル、ポジションモニター、発散用電磁石、プロファイルモニターの順に配置する。また、緊急遮断シャッターの開閉時間を考慮し、ターゲットより一番遠方に緊急遮断シャッターを配置する。</p> <p>② 緊急遮断シャッターの遮断時間は13 msecである。ターゲットで真空悪化が起こったとき、加速系に影響が及ぶ前にシャッターを閉じるには、約4mの距離が必要である。尚、真空度の悪化は、空気中での音速で伝わるとする。</p> <p>③ 表4.1【構造物④】の条件を満たすため。すなわち、全長7mに対して、②から4m、メンテナンス用スペースに1mを考慮する。</p>	<p>② 真空度の悪化時間を測定したところ、約50 msecであった。</p>

表4.2 ビームダンプ 決定事項(2)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
2	金属円板の構造	<p>① 中空状金属円板を複数枚用いて電子ビームを吸収する構造とする。(図4.2参照)</p> <p>② 中空状金属円板に入射する電子ビームの直径を20 cmとする。</p> <p>③ 中空状金属円板の材質 ・無酸素銅</p> <p>④ 中空状金属円板の概略形状 ・直径40 cm 厚さ5 cmを基準とし、図4.3のように22枚の円板で構成する。</p> <p>⑤ 中空状金属円板をモジュール単位に分割する。</p>	<p>① 表4.1【基本構造②】を満たすため。</p> <p>② 入射電流密度を2~3 kW/cm²とするため。尚、この値は金属に電子ビームが入射したとき、除熱できる値である。</p> <p>③ 熱伝導度が良いこと、加工しやすい。</p> <p>④ ビームラインの高さ1.2 m、及び円板の取り扱い易さから最大直径を40 cmとする。また、円板に冷却水配管及び冷却溝を取り付ける関係から厚さを5 cmとする。さらに、設置スペースが1 mであるから、枚数を22枚とする。</p> <p>⑤ 表4.1【将来性】に記載した通り、設計データを入手するためには、ターゲット内での熱の移動を把握する必要がある。このため、金属円板1枚ごとに入射電流、金属円板の温度分布、冷却水の温度上昇を求めなければならない。しかし、円板1枚ごとに入射電流、冷却水の温度上昇を求めるのは製作的に困難であるから、モジュール単位で上記の情報を求めることとする。</p>	<p>① スイス、ボウル・シェラー研究所で陽子線用ビームダンプとして実績がある。(ビーム電力750 kW)</p> <p>② 社内資料【PNC TN 9410 96-072】 p26 参照</p> <p>④ 社内資料【PNC TN 9410 96-072】 4.2 章参照</p>

表4.2 ビームダンプ 決定事項(3)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
2	金属円板の構造 (続き)	<p>⑥ モジュール単位で金属円板の交換ができるように、配線、配管を行う。</p> <p>⑦ 各モジュールの役割(上流側から)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ No.1モジュール:異常照射に対応する。 ・ No.2モジュール:ビーム吸収用 ・ No.3モジュール:ビーム吸収用 ・ No.4モジュール:放射線吸収及び異常照射に対応する。 <p>⑧ 各モジュールにおける金属円板の枚数</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ No.1, 2, 4モジュール 各5枚 ・ No.3モジュール 7枚 <p>⑨ 各モジュールの入射電流比</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 2:9:9 (No.1:No.2:No.3) <p>⑩ 金属円板1枚当たりの最大発熱密度、最高温度上昇、最大入射電力</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 2.2 kW/cm²、350℃、18 kW 	<p>⑥ 冷却水の漏洩などの故障に備え、交換できるような構造とする。また、いろいろな形状の円板を照射し、種々のデータを入手するためにも交換できるようにする。</p> <p>⑦ No.1及びNo.4モジュールは、局所加熱による機器破損に備える。</p> <p>⑧ 各5枚を基準にするが、No.3モジュールはビーム形状から、発熱密度が高くなることが予想される。このため、枚数を多くし、1枚当たりの入射電流を減らす。</p> <p>⑨ ⑦に記載した通り、No.1モジュールに余裕を持たせ、入射電流を2mA(10%)とし、残りをNo.2,3モジュールで均等に入射させる。No.4モジュールは異常照射に対応するため、設計では1%程度とする。この比から金属円板の内径が決定される。</p> <p>⑩ ②⑧⑨で得られた形状において電子・光子輸送コードEGS4及び熱解析コードANSYSによる計算結果である。</p>	<p>⑧ 社内資料【PNC TN 9410 96-072】4.2章参照</p> <p>⑨ 社内資料【PNC TN 9410 96-072】4.2章参照</p> <p>⑩ 社内資料【PNC TN 9410 96-072】4.2章参照</p>

表4.2 ビームダンプ 決定事項(4)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
2	金属円板の構造 (続き)	⑪ 金属円板に対する加熱・除熱サイクルの許容繰り返し数 ・ 1.1×10^4 回	⑪ 22枚の金属円板のうち熱歪みの一番大きいNo.14円板(上流から数える)での弾塑性変形を熱解析コードANSYSで計算した結果である。計算条件は最大負荷運転を仮定する。この結果、1日2回最大負荷の電子ビームを照射した場合、15年で破断に至る。	⑪ スイス、ポウル・シェラー研究所陽子線用ビームダンプでは 1.0×10^4 回と評価している。
3	ターゲットの構造	① 電子ビームを遮るビーム窓を設けず、差動排気系により加速系と接続する。 ② ターゲットの構造として、ビーム軸側から外側に向かって、中空状金属円板、真空容器、遮蔽体とする。 ③ 真空容器内で冷却水配管、熱電対配線を設置する。 ④ モジュール化した金属円板を架台に設置し、架台とともに真空容器から取り出せるようにレールを用いる。	① 電子・光子輸送コードEGS4による計算では、エネルギー10 MeVの電子は、厚さ0.5 mmの銅で約80%エネルギーを失う。このため、ビーム窓を設けると金属の中でエネルギーを失い、局所発熱を引き起こす可能性がある。 このため、ビーム窓を設けず、中空状金属円板で発生したガスを外部に排気する差動排気系を用いる。 ② 金属円板を分割化したモジュールに構成したため、円板内部を真空に保つことが困難である。 ③ ②と同様である。 ④ 重量約1 tonの金属円板を真空容器フランジに片持ちで固定するのは振動面で危険である。また、メンテナンスの際、取り出し易いようにレールで移動できるようにする。この構造により、金属円板の据付精度が向上する。	④ 表4.1【保守・点検】参照

表4.2 ビームダンプ 決定事項(5)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
4	差動排気系	<p>① 加速系との取り合い条件 ・10^{-7} Torr 程度</p> <p>② ターゲット ガス放出量 ・2.4×10^{-4} Torr ℓ / sec 程度</p> <p>③ ターゲットに近い下流側にターボ分子ポンプ、上流側にイオンポンプを設置する。(図4.1 参照)</p> <p>④ ターボ分子ポンプは磁気浮上タイプとする。</p> <p>⑤ ターボ分子ポンプに接続する粗排気系真空ポンプで使用する潤滑油・ゴム等は消耗品とする。</p> <p>⑥ ターボ分子ポンプ用コントロールユニットを加速器室内に置く。</p> <p>⑦ 上流側に可搬式のターボ分子ポンプを設置できるようにポートを設ける。</p>	<p>① 電子ビームの輸送に支障のない範囲 (10^{-7} Torr 程度以下) とし、加速系と同程度とする。</p> <p>② 金属円板、真空容器、熱電対配線、冷却水配管から発生するガス量を、計算した結果である。尚、金属円板の温度は 600°C と仮定する。</p> <p>③ 電子ビーム照射中はターゲットから常時ガスが放出されるため、真空度が低い領域でも動作可能なターボ分子ポンプを下流に設置する。</p> <p>④ 潤滑油が放射線により劣化するため、禁油タイプである磁気浮上タイプとする。</p> <p>⑤ 放射線による劣化が考えられ、適宜交換する。</p> <p>⑥ 放射線による劣化を抑えるため、加速器室内には極力電子機器を置かない。しかし、ユニットのケーブル長に制限があるため、ユニットを加速器室内に置くこととする。</p> <p>⑦ 加速系を出た電子ビームが輸送中に広がり、ビームダクトに衝突し、予想外のガスが発生した場合に対応する。</p>	<p>① 表3.2 【真空系】 ① 参照</p>

表4.2 ビームダンプ 決定事項(6)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
4	差動排気系 (続き)	<p>⑧ 真空度測定場所はビームダクトのみとする。</p> <p>⑨ 真空ポンプの排気量は①②を満たすように設定する。</p>	<p>⑧ 真空容器内は電子ビーム輸送に無関係であるため。</p> <p>⑨ 条件①②、及び配管のコンダクタンスより必要な排気量を解析的に求める。</p>	
5	熱電対系	<p>① 熱電対の種類を以下の通りとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ Kタイプ(クロメル・アルメル) ・ 非接触型 ・ 0.75 級 (±2.5 °C または測定温度の±0.75%) ・ シース径: φ1.0 <p>・ 測定温度: 650 °C</p> <p>② 熱電対は恒久的なものではなく、交換できるようにする。</p> <p>③ 真空容器内の熱電対の本数は 94 本とする。</p>	<p>① 下記の理由で選定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 高温領域が測定できること。 ・ 電気ノイズを拾わないこと。 ・ 入手可能な熱電対で精度の良いもの。 ・ 表4.1【将来性】より、時間特性の良い、径が細いものを考えたが、製作時の取り扱いを重視する。 ・ 設計上、最高温度上昇は 350 °C であるが、ビーム照射異常を検出するため、2 倍程度の余裕を設定した。 <p>② シースからケーブルへの変換部にエポキシ樹脂を使っているため、放射線による劣化が考えられる。</p> <p>③ 真空容器のケーブル取り合い点にクロメル・アルメルのピンで構成されたハーメチックコネクタ(24点)が使われている。このコネクタの設置スペースから熱電対の本数を決定する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 63.2% 立ち上がり時間は 76 msec である。 ・ 測定温度は、熱電対のタイプ、シース径で一意的に決まる。

表4.2 ビームダンプ 決定事項(7)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
5	熱電対系 (続き)	<p>④ 熱電対を金属円板に接触する方法として、直径1.2 mm 深さ5 mmの穴を開け、シースを挿入し、ビスで固定する。</p> <p>⑤ 熱電対測定系の精度を0.75%以下に設定する。</p>	<p>④ ろう付けが考えられたが、銀などエネルギー閾値の低い材料を使っているため、放射化ため不可とする。また、ペーストの使用も考えられるが、経年変化など不明であるため不可とする。</p> <p>⑤ 熱電対測定系まで約60 mの補償導線を使用しており、さらに端子台で異種金属に接しているため、ビームダンプから模擬電圧を印加させて測定系を校正する。このため、精度を熱電対と同程度とする。</p>	
6	冷却系	<p>① 金属円板の配管出入口は図4.4に示すように円周方向に交互にずらす。</p> <p>② セラミック配管を真空容器の外に設置し、電氣的に絶縁する。また、真空容器と配管の絶縁にもセラミックを用いる。</p> <p>③ SUS配管の途中に異種金属を用いない。</p> <p>④ 面シール継手の取り扱いに注意する。</p>	<p>① 同一方向に出入口を設定すると、その部分が除熱されず、円周方向に温度差が生じる可能性がある。</p> <p>② セラミック配管を真空容器内で使用した実績がないため、左記のように決定する。</p> <p>③ 電食が起きる可能性があるため。特にアルミニウムなどを使うガスケットに注意する。</p> <p>④ 継手を真空容器内で使用するため、微細な傷があると漏れの原因となり、真空度が悪化する。</p>	<p>② 入射部試験では真空中で使用していたが、配管のろう付け部分が剥離した。</p>

表4.2 ビームダンプ 決定事項(8)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
6	冷却系 (続き)	<p>⑤ 熱交換器内のバッファータンクの容量を少なくする。</p> <p>⑥ バッファータンク内を0.02 MPa程度に加圧する。</p> <p>⑦ 停電時、熱交換器の電源を非常用発電機から供給する。</p>	<p>⑤ 表4.1【基本構造③】を満たすため。</p> <p>⑥ バッファータンクより2m程高い配管があるため。</p> <p>⑦ 表4.1【安全対策④】を満たすため。</p>	
7	遮蔽体	<p>① ビームダンプから発生する放射線量は表4.3の通りである。</p> <p>② 図4.2に示した厚さとする。</p> <p>③ 冷却水配管、熱電対配線、架台など遮蔽体貫通部に補助遮蔽体を設置する。</p> <p>④ 遮蔽体の温度を測定する。</p>	<p>① 電子・光子輸送コードEGS4による計算結果である。尚、計算条件は、ビームエネルギーを3.5 MeV(入射部)及び10 MeV(加速部)とし、平均ビーム電流を20 mA、ターゲット入射時のビーム径を20 cmとする。</p> <p>② 表4.1【安全対策⑥】、電子・光子輸送コードEGS4による発生量の計算、及び遮蔽計算により構造を決定する。特に後方散乱が大きいため、上流側遮蔽体の厚さを厚くする。</p> <p>③ ビームダンプ中心から見て、②の遮蔽厚を担保するため。</p> <p>④ 万一、γ線により遮蔽体の温度が上昇した場合、温度を測定する。</p>	

表4.3 ビームダンプの中心から1mの距離における線量当量

(a) 入射電子エネルギー 3.5 MeV の場合

角度 (deg.)	エネルギー (MeV)	線量当量			
		強度 (Gy/h) d_i	誤差 (%) σ_i	小計 (Gy/h) $d_i + 3\sigma_i$	合計 (Gy/h) $\sum(d_i + 3\sigma_i)$
0 ~ 120	0.0 ~ 0.4	7.9×10^{-3}	8.3	9.8×10^{-3}	1.4
	0.4 ~ 0.6	3.8×10^{-2}	4.6	4.3×10^{-2}	
	0.6 ~ 1.0	0.19	2.6	0.21	
	1.0 ~ 3.5	1.1	1.8	1.2	
120 ~ 150	0.0 ~ 0.4	5.5×10^{-2}	6.3	6.5×10^{-2}	1.3
	0.4 ~ 0.6	9.7×10^{-2}	5.8	0.11	
	0.6 ~ 1.0	0.33	4.0	0.37	
	1.0 ~ 3.5	0.67	4.6	0.76	
150 ~ 170	0.0 ~ 0.4	1.1	2.5	1.2	3.2
	0.4 ~ 0.6	0.20	7.2	0.24	
	0.6 ~ 1.0	0.47	5.9	0.55	
	1.0 ~ 3.5	1.1	6.3	1.3	
170 ~ 175	0.0 ~ 0.4	9.1	2.8	9.9	19.
	0.4 ~ 0.6	1.7	7.9	2.1	
	0.6 ~ 1.0	2.7	7.9	3.3	
	1.0 ~ 3.5	3.1	12.	4.2	
175 ~ 179.1	0.0 ~ 0.4	6.9×10^2	0.56	7.0×10^2	1.0×10^3
	0.4 ~ 0.6	80.	2.0	85.	
	0.6 ~ 1.0	93.	2.4	99.	
	1.0 ~ 3.5	1.1×10^2	3.6	1.2×10^2	
179.1 ~ 180	0.0 ~ 0.4	2.0×10^3	1.8	2.1×10^3	3.1×10^3
	0.4 ~ 0.6	2.2×10^2	6.7	2.6×10^2	
	0.6 ~ 1.0	2.5×10^2	7.9	3.1×10^2	
	1.0 ~ 3.5	3.1×10^2	12.	4.2×10^2	

注1) ビーム進行方向を0度とする。

注2) 強度は、各群における最大エネルギーで評価する。

(b) 入射電子エネルギー 10 MeV の場合

角度 (deg.)	エネルギー (MeV)	線量当量			
		強度 (Gy/h) d_i	誤差 (%) σ_i	小計 (Gy/h) $d_i + 3\sigma_i$	合計 (Gy/h) $\Sigma(d_i + 3\sigma_i)$
0 ~ 120	0.0 ~ 0.4	0.12	4.1	0.13	30.
	0.4 ~ 1.5	8.4	0.86	8.6	
	1.5 ~ 4.0	16.	0.86	17.	
	4.0 ~ 10.	3.9	2.5	4.2	
120 ~ 150	0.0 ~ 0.4	0.14	7.6	0.17	7.0
	0.4 ~ 1.5	3.5	2.7	3.8	
	1.5 ~ 4.0	2.3	4.6	2.7	
	4.0 ~ 10	0.20	22.	0.34	
150 ~ 170	0.0 ~ 0.4	1.1	4.6	1.3	10.
	0.4 ~ 1.5	3.6	4.7	4.1	
	1.5 ~ 4.0	3.2	7.0	3.8	
	4.0 ~ 10	0.48	25.	0.83	
170 ~ 175	0.0 ~ 0.4	8.7	5.4	10.	34.
	0.4 ~ 1.5	13.	7.8	17.	
	1.5 ~ 4.0	5.1	18.	7.8	
	4.0 ~ 10	0.0	0.0	0.0	
175 ~ 179.1	0.0 ~ 0.4	1.5×10^3	0.73	1.5×10^3	2.9×10^3
	0.4 ~ 1.5	1.0×10^3	1.6	1.1×10^3	
	1.5 ~ 4.0	2.8×10^2	4.2	3.2×10^2	
	4.0 ~ 10	23.	20.	37.	
179.1 ~ 180	0.0 ~ 0.4	3.9×10^3	2.5	4.2×10^3	8.9×10^3
	0.4 ~ 1.5	3.1×10^3	5.0	3.6×10^3	
	1.5 ~ 4.0	6.6×10^2	15.	9.6×10^2	
	4.0 ~ 10	57.	71.	1.8×10^2	

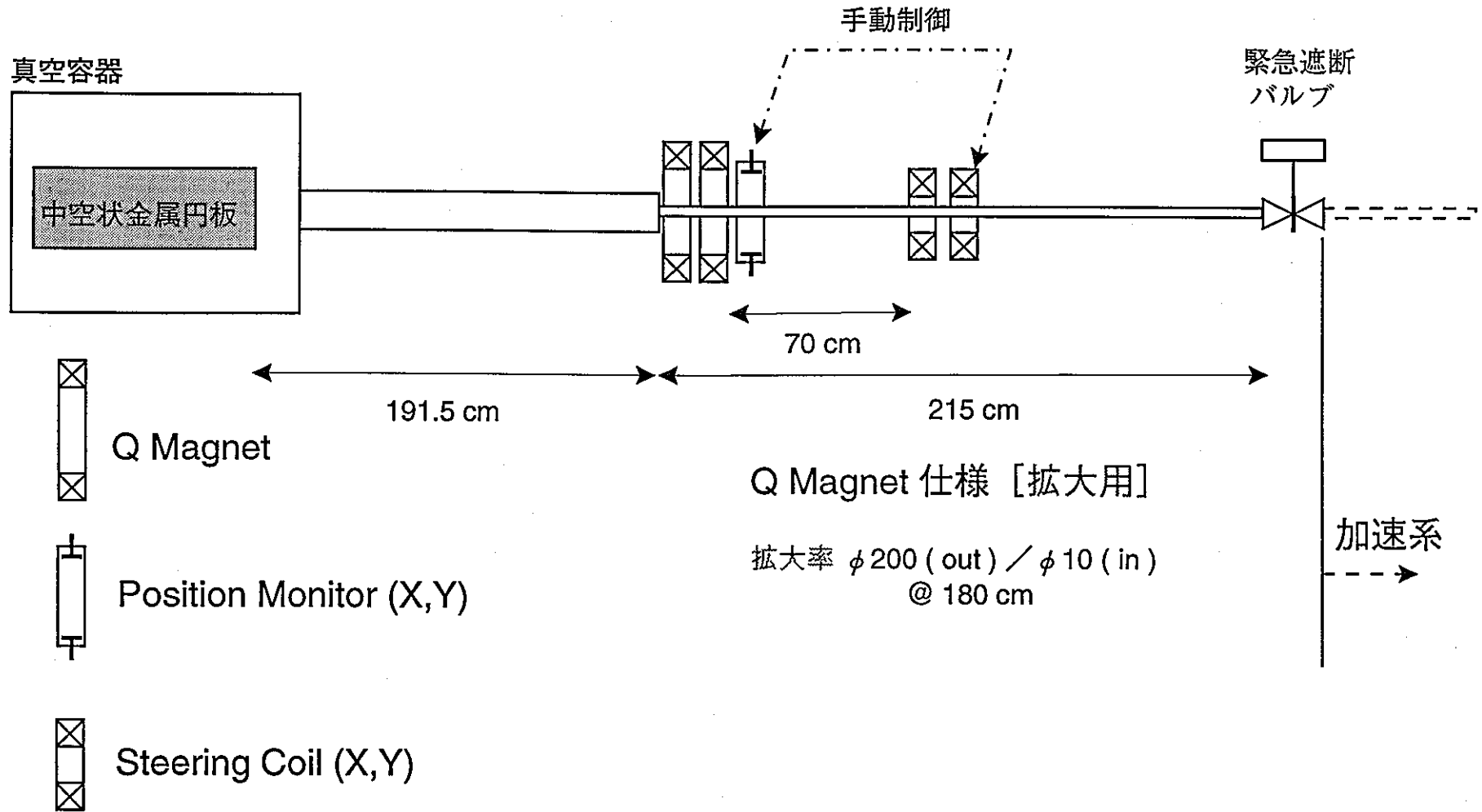


図4.1(a)ビーム輸送系

衝撃波到達時間 (音速を仮定) \Rightarrow 遅延時間 約 12 msec

-69-

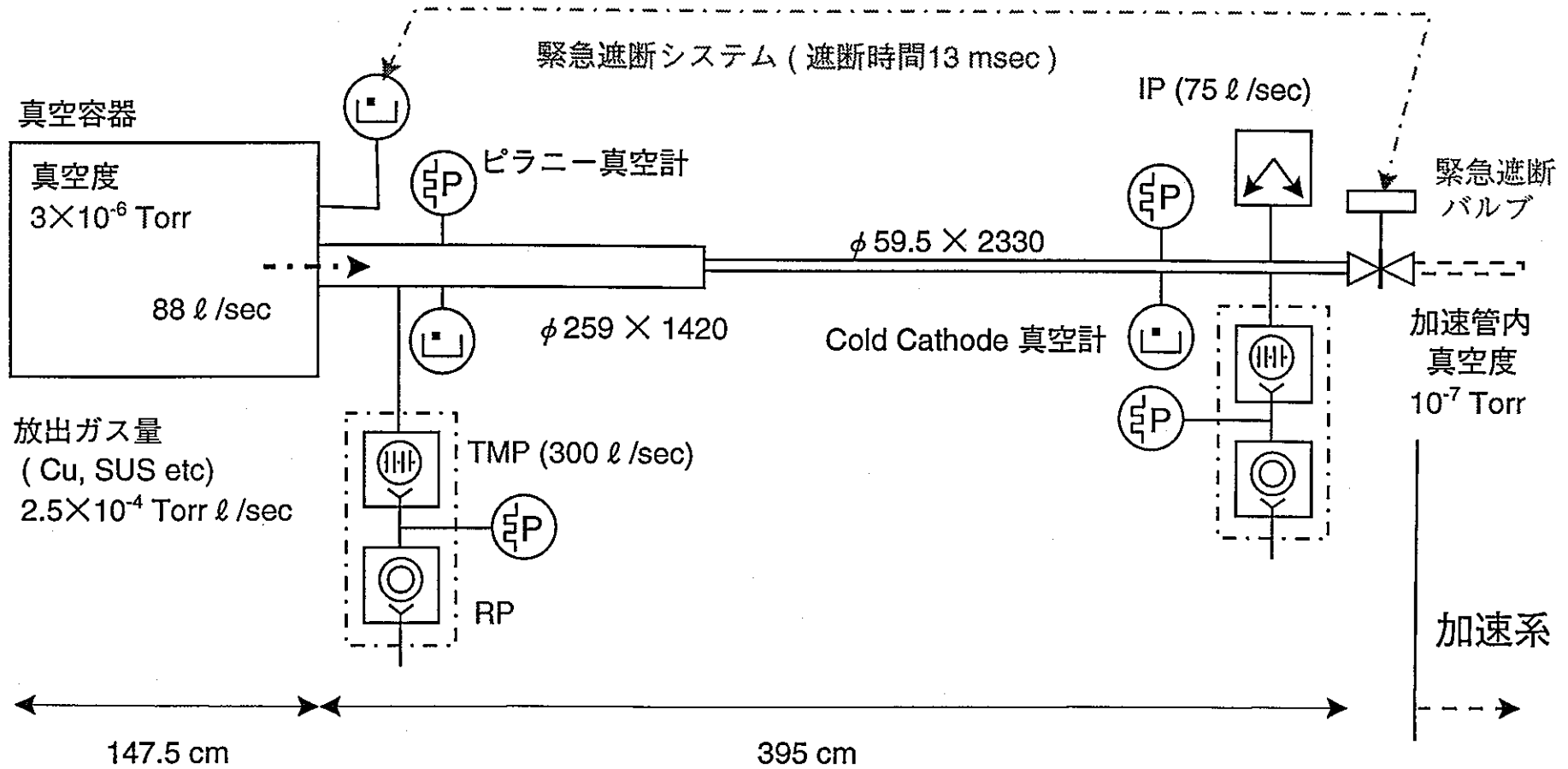


図4.1(b) 差動排気系

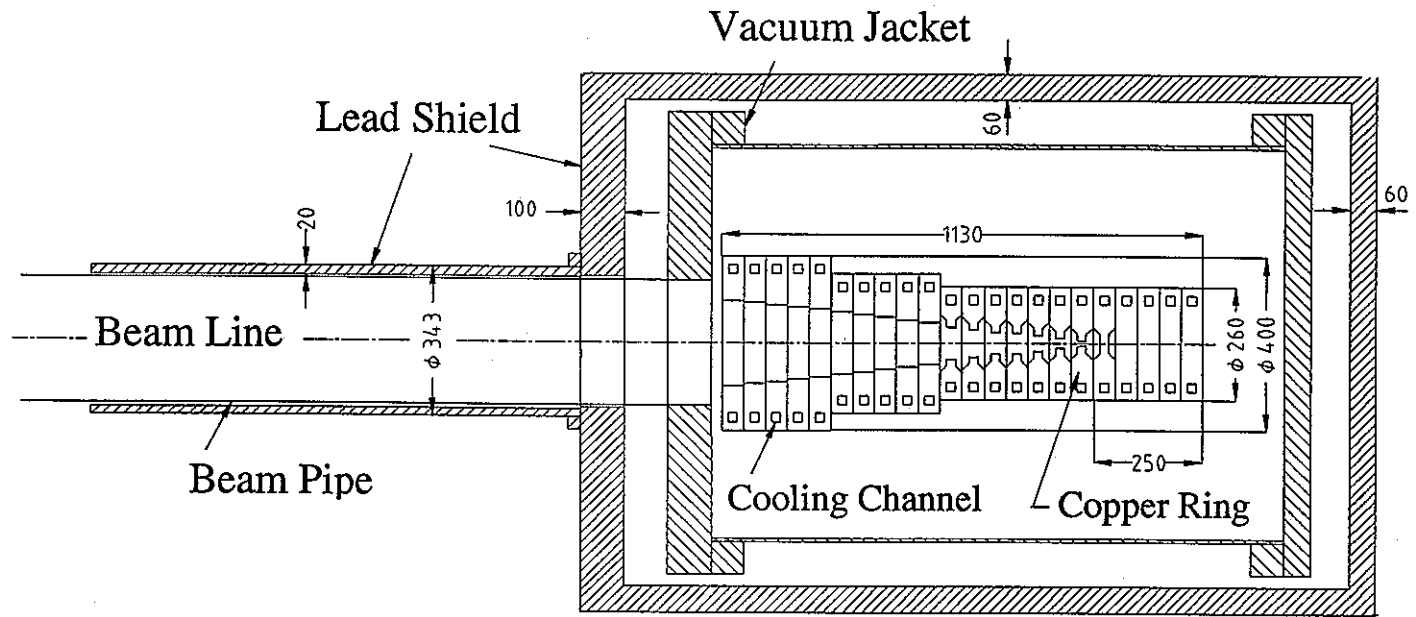


図4.2 ターゲットの構造

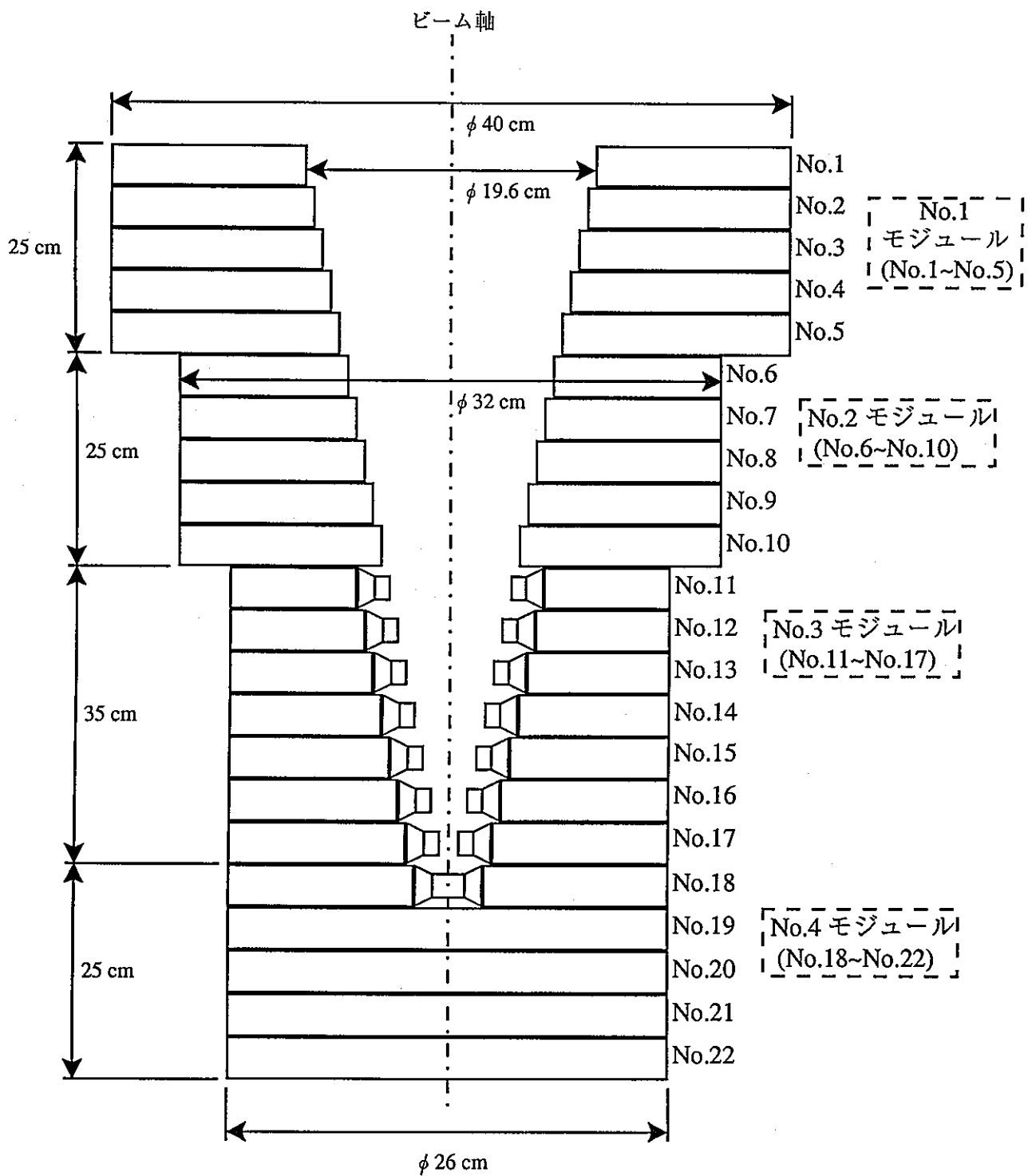
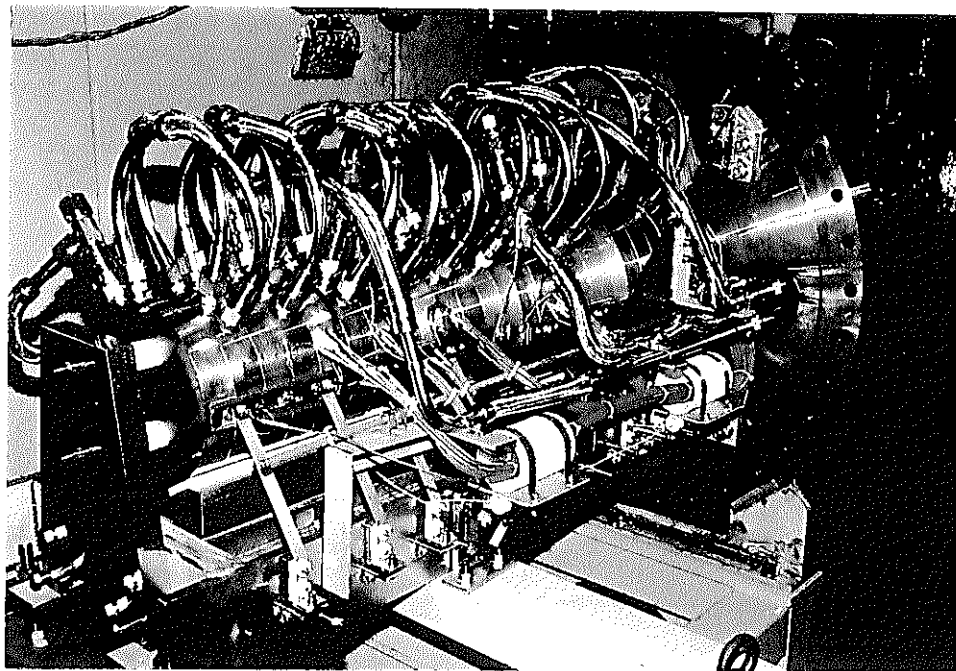


図4.3 金属円板の構成(断面図)

下流側から



上流側から

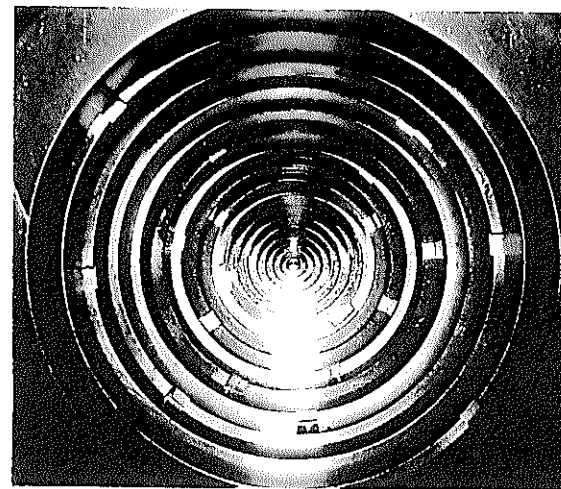


図4.4 ターゲット外観

第5章 クライストロン

5.1 設計条件

クライストロンの設計条件を表5.1に示す。

表5.1 クライストロン 設計条件(1)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
1	クライストロン	<p>① CWモード</p> <p>(a) 動作周波数: 1249.135 MHz</p> <p>(b) 出力電力: 1.2 MW</p> <p>(c) 出力効率: 65 %</p> <p>(d) ビーム電圧: 85 kV</p> <p>(e) カソード電流: 22.3 A</p> <p>(f) コレクタ最大負荷電力: 1300 kW</p> <p>② パルスモード</p> <p>(a) 動作周波数: 1249.135MHz</p> <p>(b) 出力電力: 4.2 MW</p> <p>(c) 出力効率: 50 %</p> <p>(d) ビーム電圧: 147 kV</p>	<p>① CW直線加速器の高周波源として使用する。</p> <p>(a) 表 1.2 【RF】 参照</p> <p>(b) 加速管 4 本に供給されるクライストロンからの出力電力は 1 MW 程度である (表3.1 【加速管】 ④参照)。出力電力の設計値を高めを設定し、出力窓の耐電力に余裕を持たせている。</p> <p>(c) 現存するCW多空洞クライストロンの最大出力効率は 65 % である。</p> <p>(d)(e) 設計時のビームパービアンスを $0.9 \mu\text{P}$ とする。</p> <p>(f) 銅の熱伝導率とコレクタの肉厚から最大電力損失密度を 500 W/cm^2 と計算した。この時のコレクタに負荷される電力は最大となる。出力電力を調整することによって、最大値を超えないようにしてコレクタの小型化を図った。</p> <p>② 将来的にビームエネルギーを 30 MeV に増強すれば、加速器を利用した試験研究の適用範囲を広げることができる。そのための高周波源として、ビーム電圧を高め、現状のクライストロンの出力電力を 4.2 MW 以上に増加させる必要がある。</p>	<p>図 5.1 及び 5.2 参照</p> <p>(c) KEK で使用されている 500 MHz、CW クライストロン (E3718) は出力電力 1.2 MW、出力効率 65 % である。</p>

表5.1 クライストロン 設計条件(2)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
1	クライストロン (続き)	(e) カソード電流: 56.5 A (f) パルス幅: 最長 800 μ sec (g) 最大繰返: 最大 250 pps (h) デューティ: 最大 20 %	(f)(g)(h) コレクタ保護のためにパルス幅に上限値を設定する必要がある。平均コレクタ損失の最大定格は、出力電力効率 30 %とした場合、コレクタ最大負荷電力に安全係数をみて 1.2 MW とした。	

5.2 決定事項

クライストロンの決定事項を表 5.2 に示す。

表5.2 クライストロン 決定事項(1)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
1	電子銃	<p>① アノードモジュレーション型</p> <p>② パラメータ</p> <p>(a) ビームパービアンス: $0.9 \mu P$</p> <p>(b) GUNパービアンス: $1.2 \mu P$</p> <p>(c) ビーム半径: 10.5 mm</p> <p>(d) ガンポールピース: 202 mm</p> <p>(e) 最大電界強度: 83.5 kV/cm</p> <p>(f) プリリュアン磁場: 217 Gauss</p> <p>(g) カソード半径: 70 mm</p> <p>(h) カソード面電流密度</p> <ul style="list-style-type: none"> ・CW: $0.6 A/cm^2$ ・パルス: $1.5 A/cm^2$ 	<p>① ボディーアノード間に印加されるアノード電圧を可変できるようにした。アノード電圧を可変することによって、カソードから引き出される電流を調整することができ、ビームのパルス化を行わせることができる。ビームはボディーカソード間に印加される電圧によってビーム電圧が与えられる。これにより、ビームパービアンスを可変することができる。</p> <p>② カソード、ウェーネルト電極、アノード電極、及びガンポールピースの配置は、電子ビーム軌道計算及び電界強度計算により求めた。また、電子銃のビーム軌道計算に計算コード EGUN を使用した。</p> <p>(e) 電子銃の電界強度分布を計算した結果、電極の曲率半径を大きくし、電界集中を避けた。ビーム電圧及びアノード電圧が 147 kV のとき、ウェーネルト電極上端部の電界強度が最大となる。</p> <p>(d) ガンポールピースの直径を大きくすると、ビームのリプルが少なくなることを計算コード FCI で求めた。</p> <p>(h) Mタイプディスベンサーカソードを採用した。最大電流密度 $2.5 A/cm^2$、BaO 蒸発量が少ない。</p>	<p>① 図 5.3 及び平成 2 年度「大電力クライストロンの試作・試験」設計計算書参照</p> <p>(e) 2 GHz、1.1 MW Long Pulse Klystron (E3778) のアノード-カソード間の最大電界強度は 83 kV/cm である。</p>

表5.2 クライストロン 決定事項(2)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
2	高周波相 相互作用部	<p>① 設計パラメータを以下に示す。</p> <p>(a) 周波数: 1249.1 MHz、目標出力効率: 65 %</p> <p>(b) ドリフト半径 入力 ~ 第3空洞: 15 mm、 第4 ~ 5空洞: 16.5 mm、出力空洞: 18 mm</p> <p>(c) 空洞数: 6 空洞</p> <p>(d) 離調周波数 入力空洞: -1.0 MHz、第2空洞: 3.5 MHz 第3空洞: 69 MHz、第4空洞: 30.9 MHz 第5空洞: 30.9 MHz、出力空洞: 0 MHz</p> <p>(e) Q値 入力空洞: 550、第2空洞: 3000 第3空洞: 3000、第4空洞: 3000 第5空洞: 3000、出力空洞: 57</p> <p>(f) R/Q 入力空洞: 101、第2空洞: 101 第3空洞: 109、第4空洞: 99 第5空洞: 99、出力空洞: 77</p> <p>(g) 空洞間隔 入力空洞 ~ 第2空洞: 120 mm 第2空洞 ~ 第3空洞: 120 mm 第3空洞 ~ 第4空洞: 380 mm 第4空洞 ~ 第5空洞: 260 mm 第5空洞 ~ 出力空洞: 120 mm</p>	<p>① (b)-(g)をパラメータに取り、最高出力効率が得られるような条件を1次元の電子軌道計算コード(DMSコード)で概略計算を行い、その後2次元 FCI コードで詳細計算を行った。高周波空洞形状はスーパーフィッシュコードにより求めた。空洞のギャップ先端形状や冷却構造はE3718の実績をもとに決定した。開口部がある出力空洞はコールドモデルを製作して形状を求めた。</p> <p>(c) 飽和電力利得 50 dB を得るため。</p>	<p>① 図5.4 及び設計計算書 KLY-KLY-014、KLY-KLY-006 参照。</p>

表5.2 クライストロン 決定事項(3)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
3	出力窓	<p>① 設計パラメータを以下に示す。</p> <p>(a) ビルボックス型</p> <p>(b) 窓材：ベリリア</p> <p>(c) 直径：190.5 mm</p> <p>(d) 窓材厚さ：6.6 mm</p> <p>(e) VSWR：1.03</p> <p>(f) 円筒部の長さ：402 mm (ロング窓)</p> <p>(g) 最大透過電力：1.7 MW (CW)</p> <p>(h) 最大ピーク電力：4.25 MW (パルス幅4 msec, 繰り返し 50 pps)</p> <p>(i) 60 オングストロームの TiN 薄膜を真空側のセラミックス表面にコーティングする。</p> <p>(j) S ベンド導波管及び E コーナ管で構成された出力導波管部にロング窓が接続されている。</p>	<p>①</p> <p>(a)~(e) 3次元の電磁界計算により、動作周波数で反射波や透過損失が最小になるような窓の形状を決定した。この計算からセラミックス部の誘電損失による発熱量を求め、この結果をもとにMisesの相当応力が降伏応力に等しくなった時を降伏条件として熱応力計算を行った。</p> <p>(f) 円筒部の長さ106mmの従来の窓(スタンダード窓)よりセラミックス部の電界が低い。ロング窓のパワロスはスタンダード窓の1/2である。</p> <p>(g)(h) KEKにおいてレゾナントリングを用いた窓耐電力試験実施した。</p> <p>(i) マルチバクタリングの発生を抑える工夫としてセラミックス表面からの2次電子放出割合を低くする</p> <p>(j) 出力導波管部は、3次元電磁界解析コードMAFIAを用いて形状を最適化した。</p>	<p>① 図5.5 及び設計計算書KLY-KLY-001参照</p>

表5.2 クライストロン 決定事項(4)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
4	集束コイル	<p>No.3クライストロン集束コイル条件</p> <p>① CWモード</p> <p>(a) バックリングコイル: $I_{buck} = 1.4 \text{ A}$</p> <p>(b) No.1 ~ No.4 集束コイル: $I_{mag1-4} = 12.8 \text{ A}$</p> <p>(c) No.5 集束コイル: $I_{mag5} = 10.0 \text{ A}$</p> <p>(d) ビーム電圧: 83 kV</p> <p>(e) カソード電流: 21.5 A</p> <p>(f) アノード電流: 69.2 kV</p> <p>(g) 出力電力: 1038 kW</p> <p>(h) 出力効率: 58.2 %</p> <p>② パルスモード</p> <p>(a) バックリングコイル: $I_{buck} = 3.4 \text{ A}$</p> <p>(b) No.1 ~ No.4 集束コイル: $I_{mag1-4} = 17.5 \text{ A}$</p> <p>(c) No.5 集束コイル: $I_{mag5} = 10.0 \text{ A}$</p> <p>(d) ビーム電圧: 147 kV</p> <p>(e) カソード電流: 5.5 A</p> <p>(f) アノード電流: 133.7 kV</p> <p>(g) 出力電力: 3.55 MW</p> <p>(h) 出力効率: 42.7 %</p>	<p>CWモードの集束磁界強度の設計値はブリリュアン磁界 220 Gauss の約 2 倍の 460 Gauss である。パルスモードは CWモードの 1.4 倍に設定した。</p> <p>(a) 集束磁界調整用のコイル(以下、「バックリングコイル」と言う)は集束コイルから電子銃付近へ浸入してくる磁界分布を調整するために、ソケット天盤部に設けられている。バックリングコイルは集束コイルの軸方向の磁界と極性を反対にして集束コイルの磁界を弱める方向に取り付けられている。この磁界を調節することによって、電子銃から高周波相互作用部に入射する電子ビーム形状を容易に変化させることができる。</p> <p>(b)(c) 集束コイルは、No.1 から No.5 まで 5 分割している。そのうち、No.5 コイルは出力空洞付近に設置している。出力空洞付近のビーム径が大きいほど出力電力効率が高くなるので、No.5 コイルだけ電流を少なくし、出力空洞付近の磁場を弱め、真空度が悪化しない程度にビーム径を広げた。</p>	<p>設計計算書 KLY-CFOT-001、取扱説明書 KLY-CFOT-006 参照</p>

表5.2 クライストロン 決定事項(5)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
7	コレクタ	① 最大電力損失密度、500 W/cm ² ② 蒸気冷却 ③ 冷却フィン、スーパーバボトロン方式 ④ 鉛遮蔽 ・ボラージャケット：10 mm ・コレクタポールピース上部：10 mm ・出力導波管：1 mm ・出力空洞部：3 mm	①②③ コレクタ内部における電子ビームの軌道を計算し、コレクタ内壁における最大電力損失密度が 500 W/cm ² 以下になるようコレクタ形状を決定した。このときのコレクタ最大負荷電力は 1300 kW (CW) であるため、高周波出力を調整し、これ以上の負荷がコレクタに入力しないようにする。 ④ パルスモードの場合、147 kV、56.5 A では、厚さ 5 mm の銅を透過して、コレクタから X 線が発生する。その強度が 2250 Sv/min であるため、遮蔽を施す。	図5.6 参照
8	ショートパルスモード	① 反射体：VSWR=3 ② パルスモードでの出力空洞の Q 値：19	計算コード MAFIA を用いて、出力空洞の QL 値を低減できる反射体の位置を計算した。 パルスモードでの出力空洞 Q 値 = CW モードでの出力空洞 Q 値 57 / VSWR	図5.7 参照
9	ソケット	① クライストロン電源に接続 ② バッキングコイル：5 A、2.5 Ω	ショートパルスモードにおいて、147 kV の電圧をケーブルでクライストロンに供給した場合、ケーブルのキャパシタの影響でアノード電圧のパルスの立ち下がりが電源の仕様範囲外となる。そこで、147 kV のトランスとソケット部を近づけるために、クライストロンのソケット部をクライストロン電源と一体型にした。	図5.8 及び設計計算書 KLY-SOKT-001, 取扱説明書 KLY-SOKT-006 参照

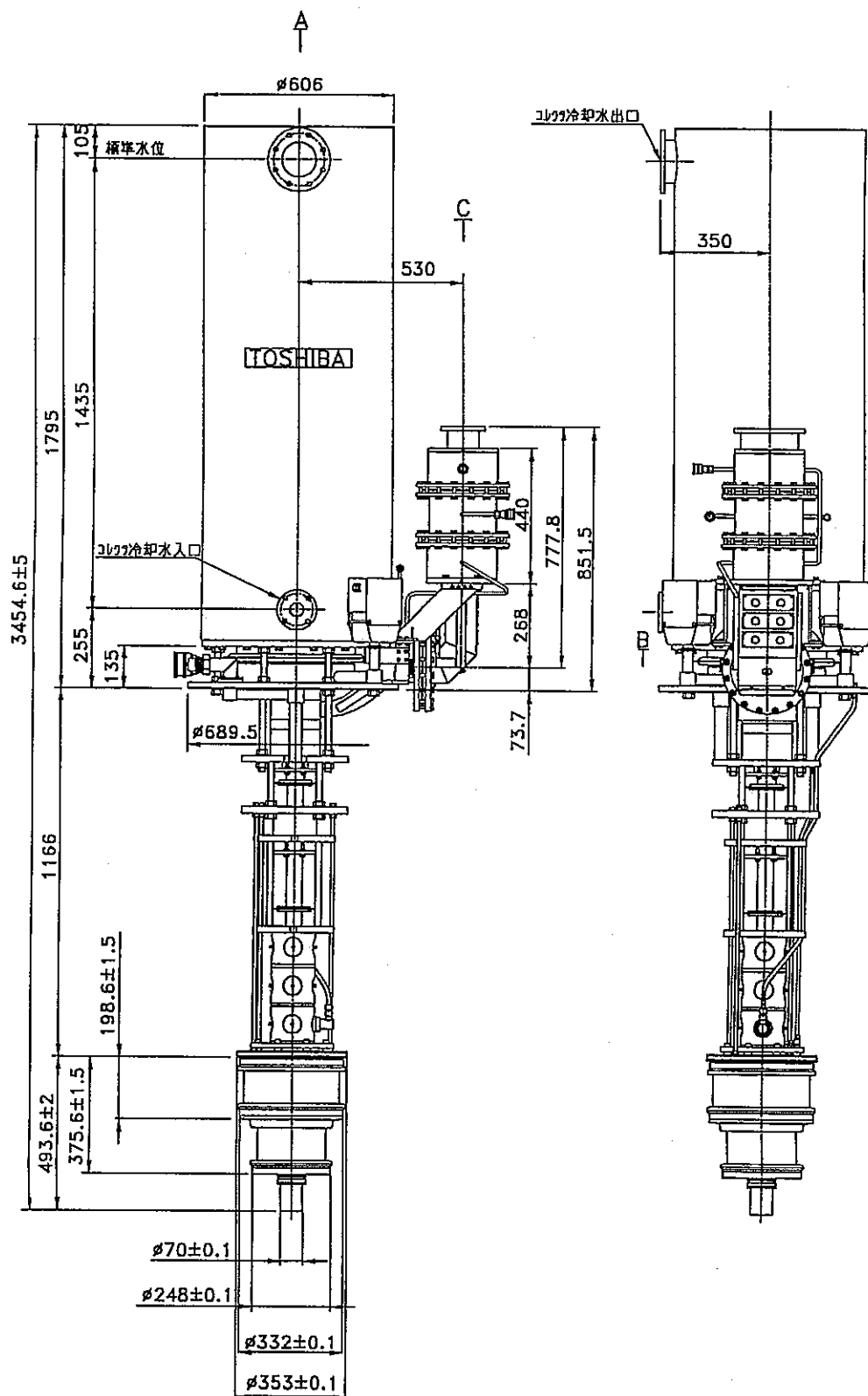


図5.1 クライストロン外形図

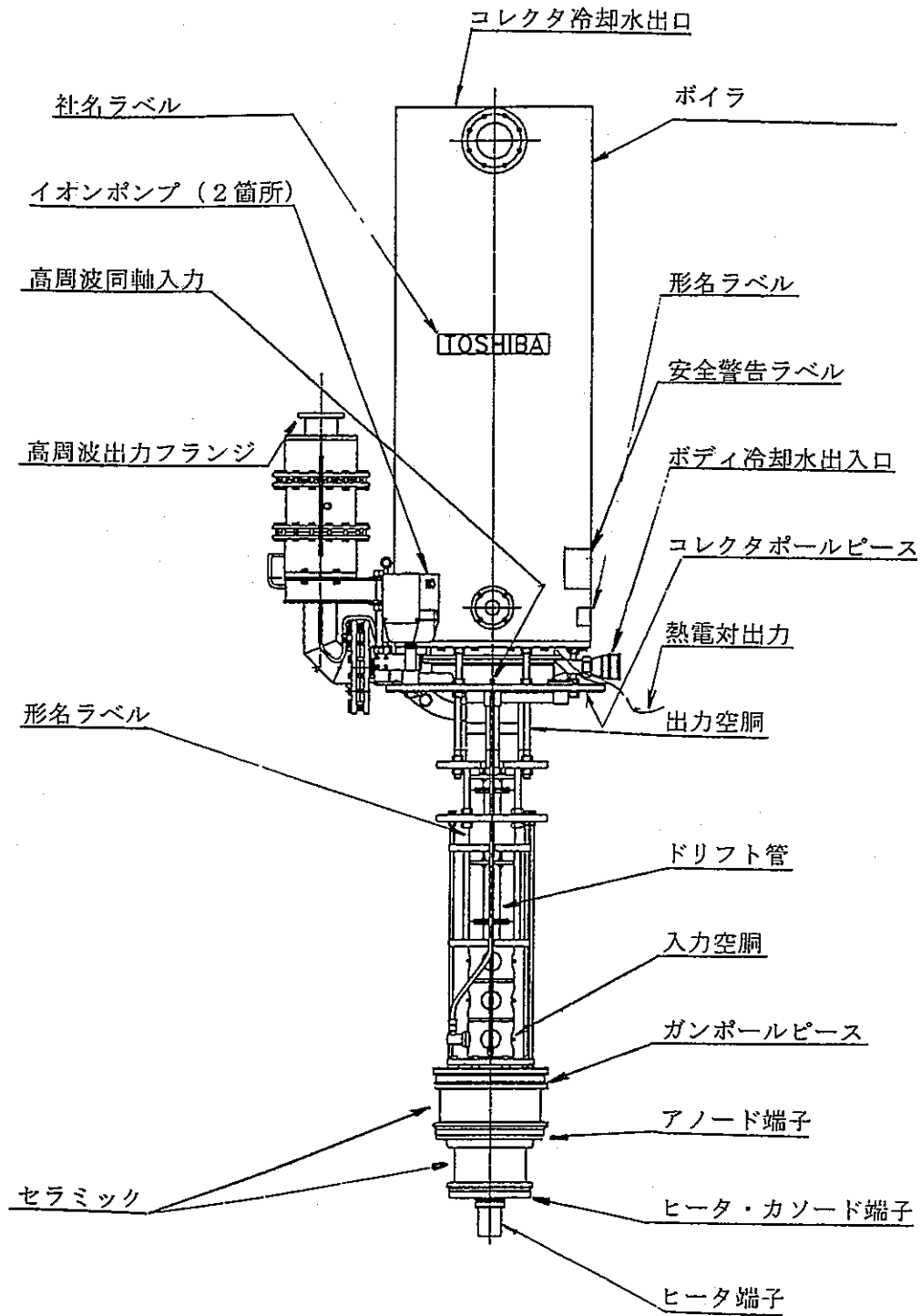


図5.2 クライストロンの各部名称

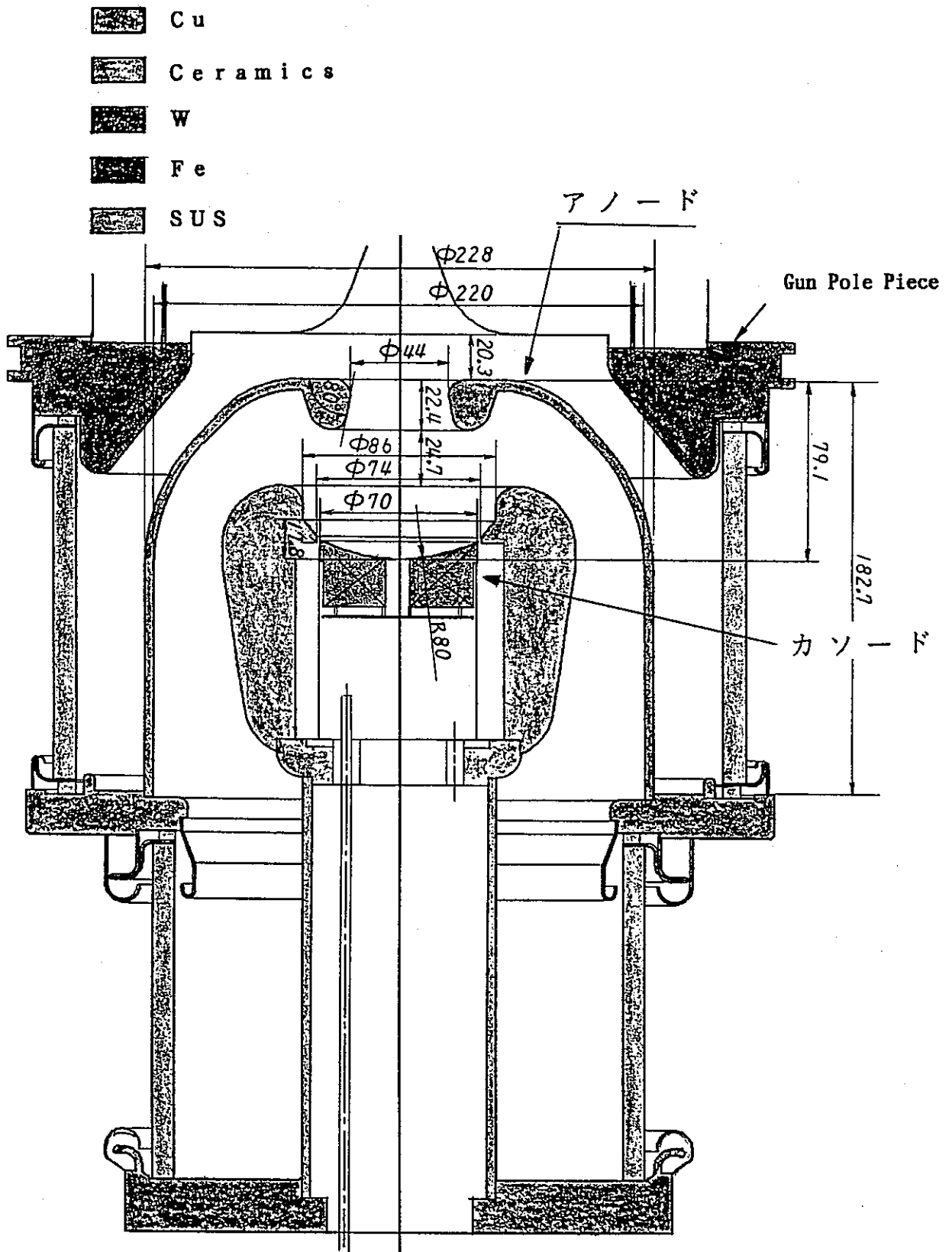


図5.3 電子銃の概略構造図

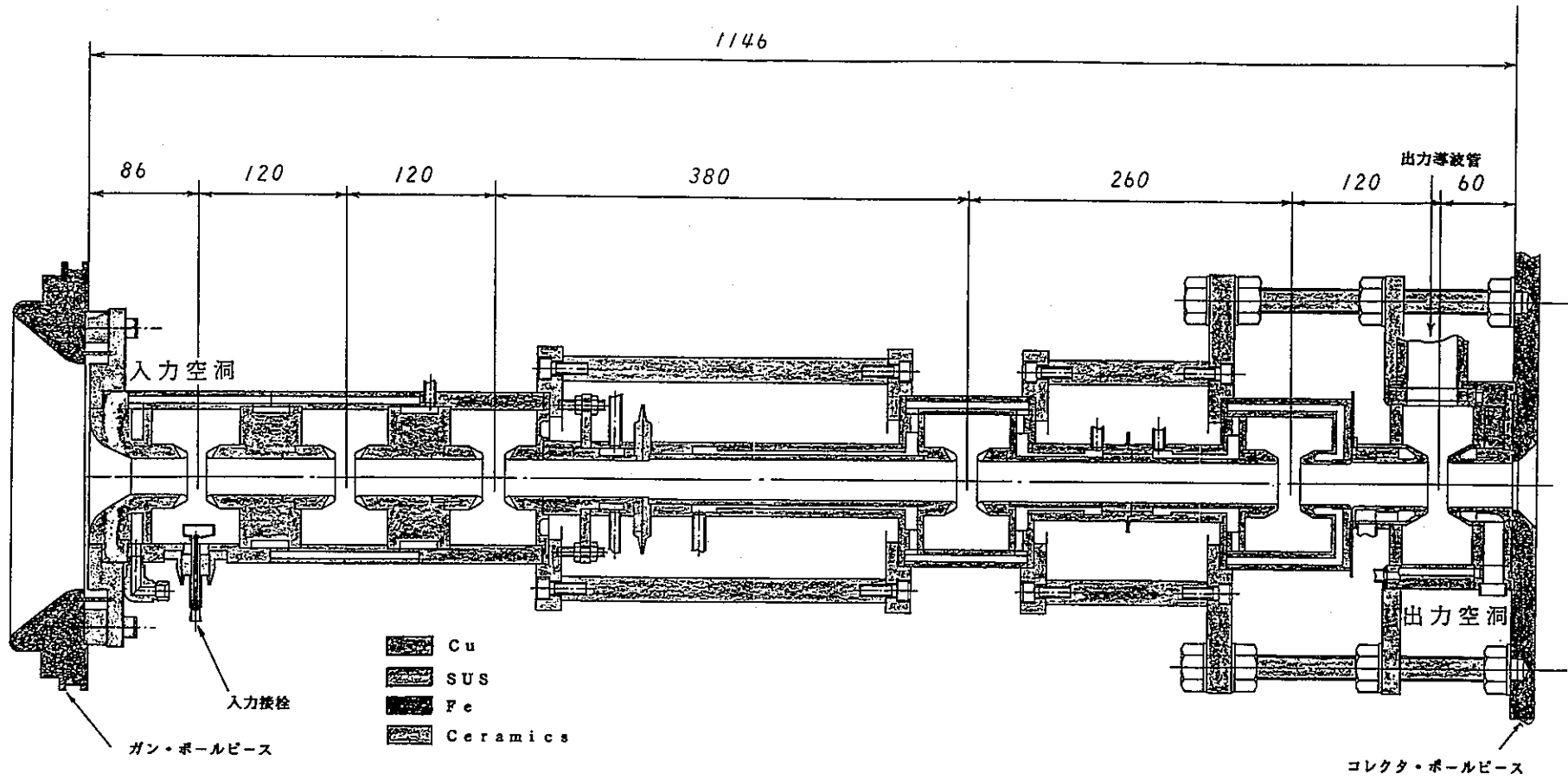


図5.4 高周波相互作用部概略構造 (高周波相互作用部横断面図)

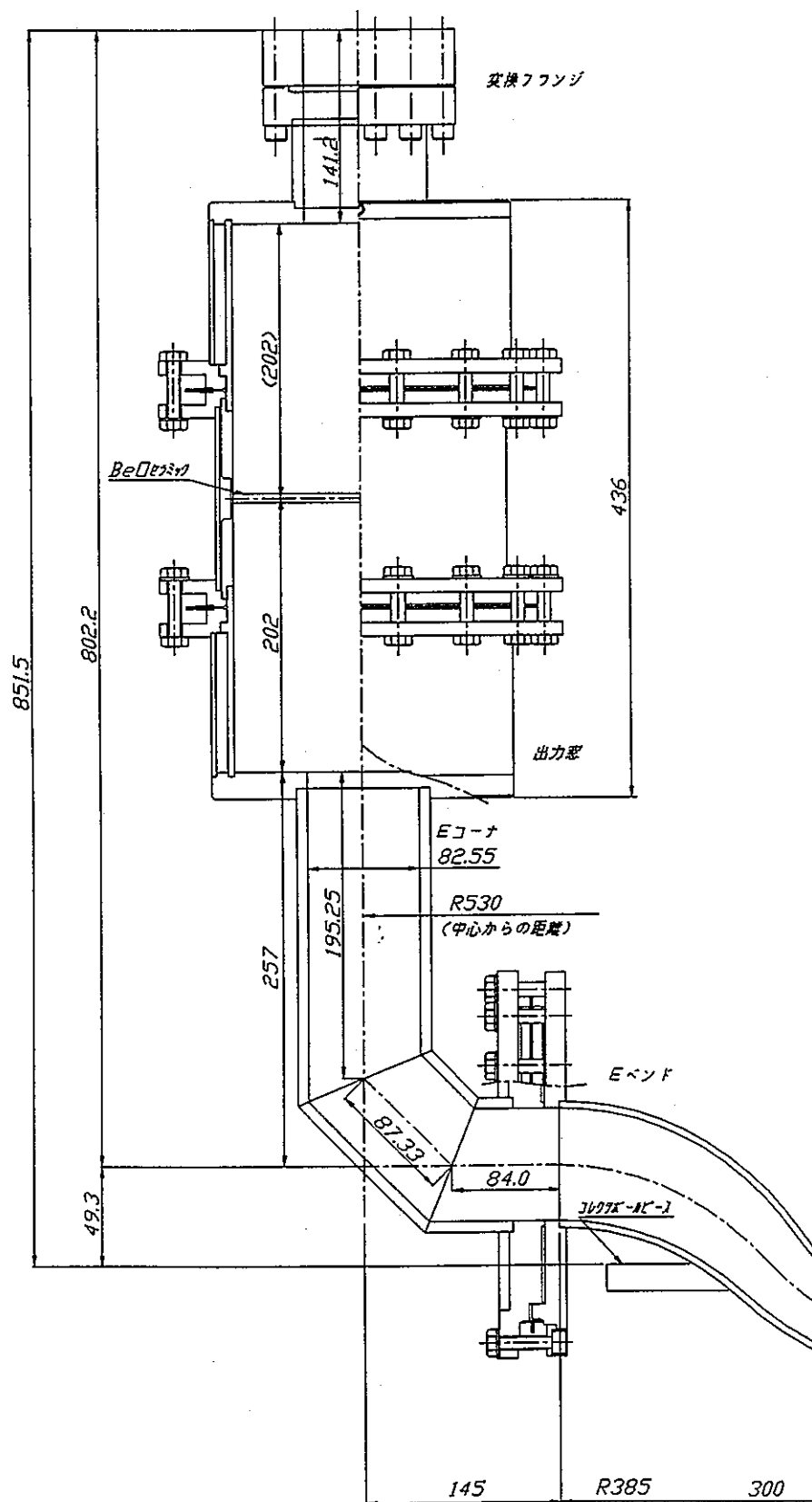


図5.5 出力窓部概略構造図

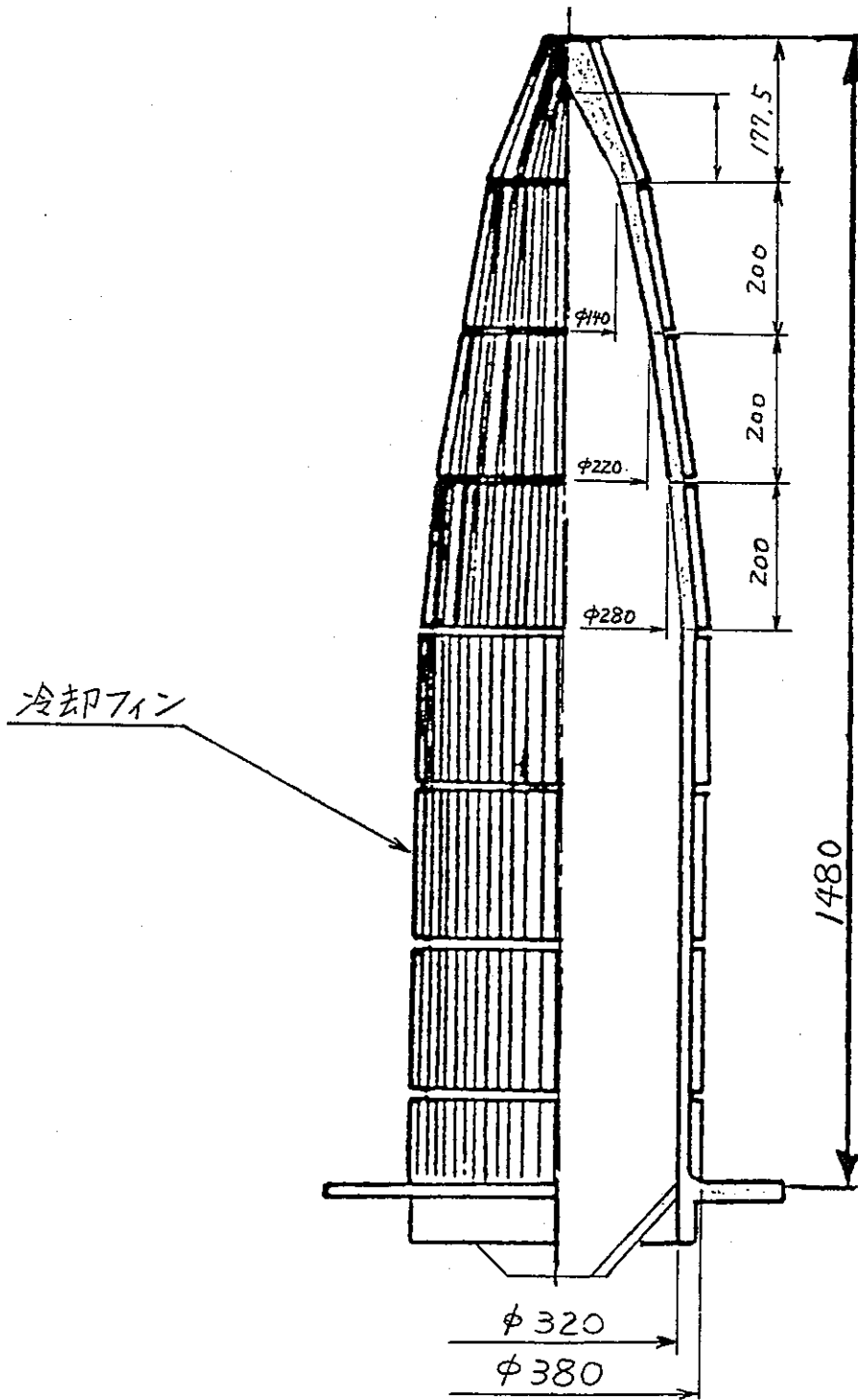


図5.6 コレクタの構造

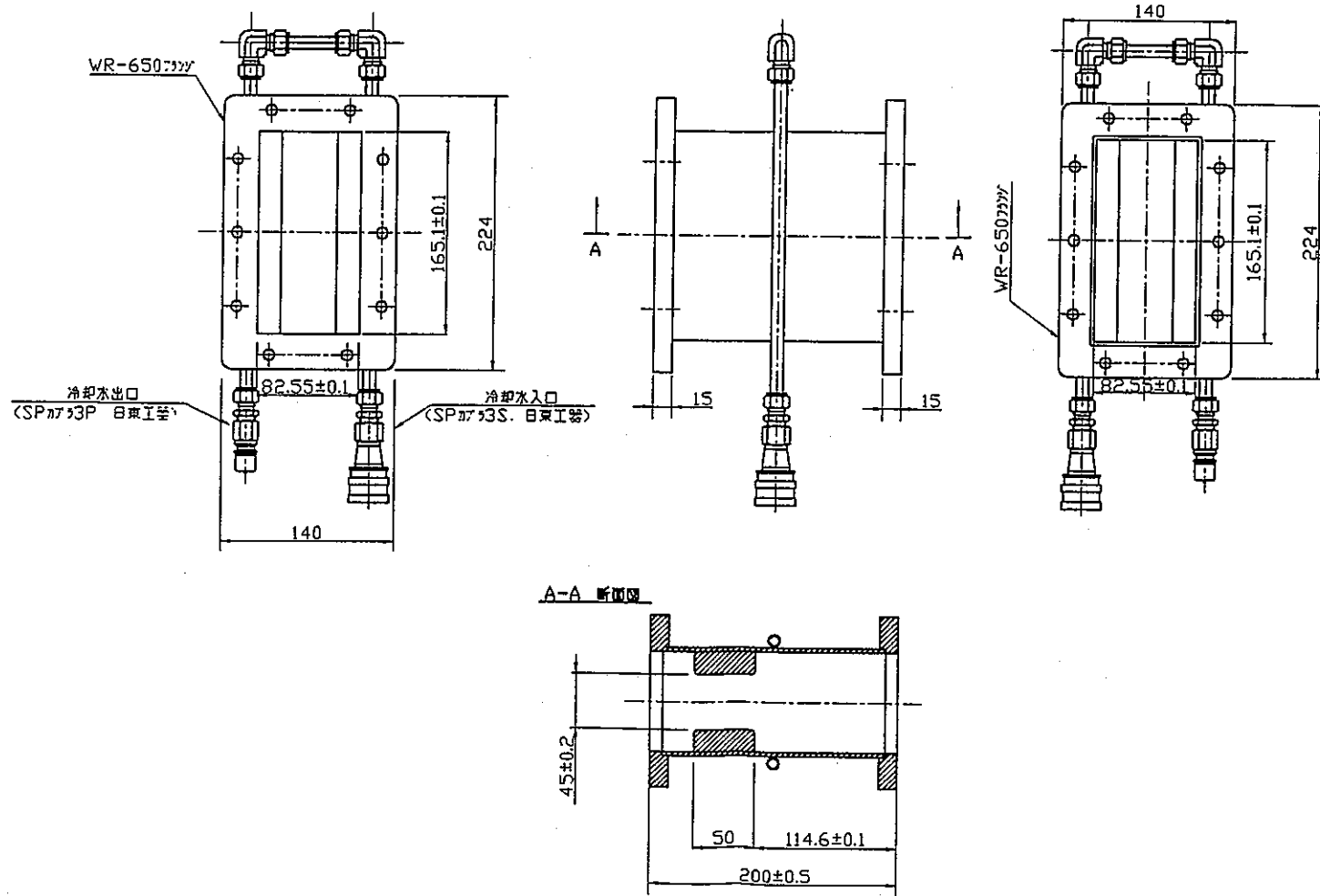


图5.7 反射体外形图

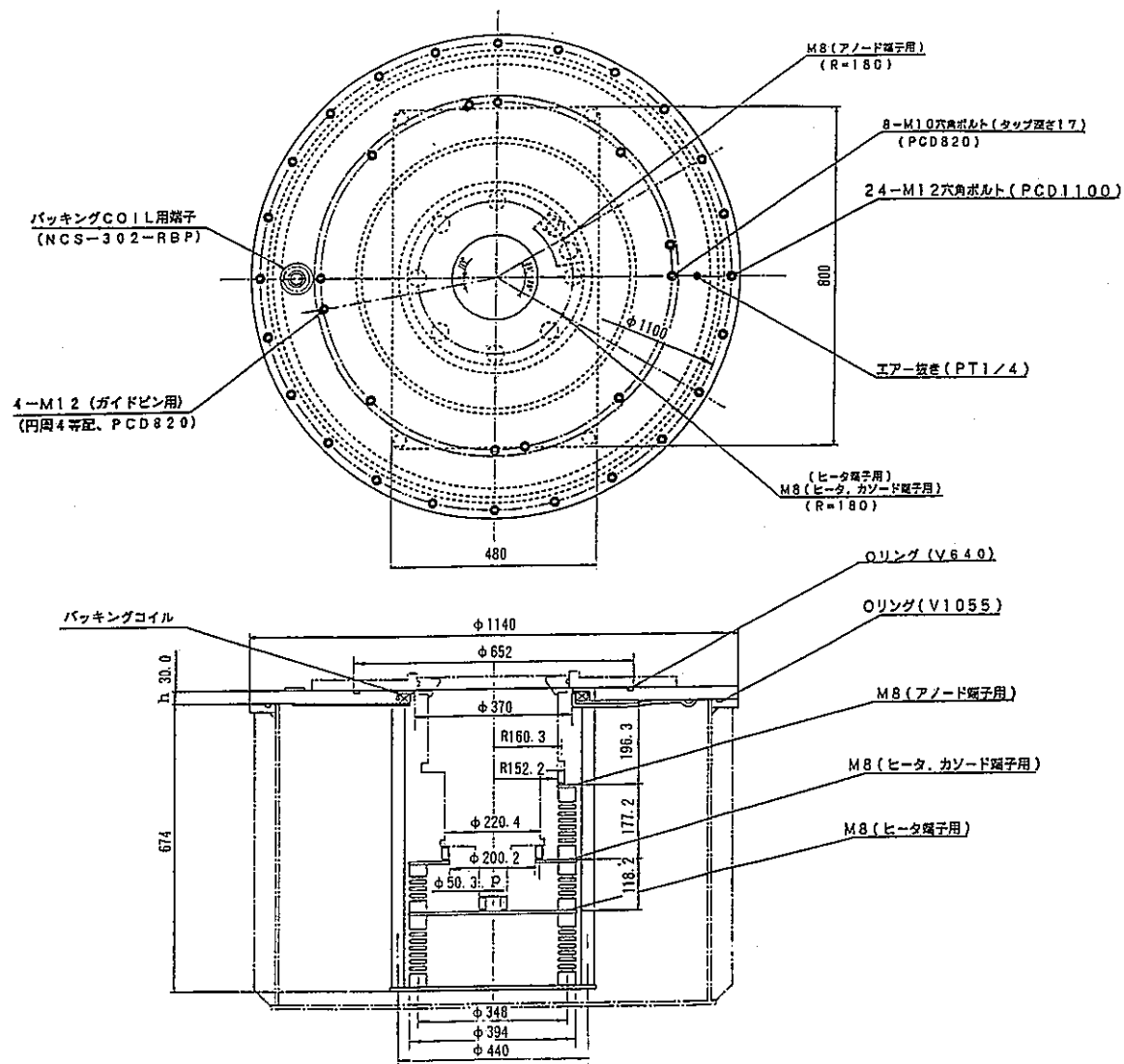


図5.8 ソケット

第6章 クライストロン制御系

6.1 設計条件

クライストロン制御系の設計条件を表6.1に示す。

表6.1 クライストロン制御系 設計条件(I)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
1	クライストロン電源	<p>① 90 kV モード (モード I)</p> <p>(a) クライストロン動作台数: 2 台</p> <p>(b) 出力電圧: 90 kV</p> <p>(c) ピーク出力電流: 50 A</p> <p>(d) パルス出力電力: 4.5 MW</p> <p>(e) パルス幅: 1~4 ms</p> <p>(f) パルス繰り返し: 50 pps</p> <p>(g) デューティ: 20 %</p> <p>(h) パルス立ち上がり・立ち下がり 400 μs 以下</p> <p>(i) 電圧サグ: 5 % 以下</p> <p>(j) パルス安定度: ± 1 % 以下</p> <p>② CW モード (モード II)</p> <p>(a) クライストロン動作台数: 1 台</p> <p>(b) 出力電圧: 65 kV</p> <p>(c) 出力電流: 13.8 A</p> <p>(d) 出力電力: 0.9 MW</p> <p>(e) パルス幅: CW</p> <p>(g) デューティ: CW</p>	<p>クライストロンの運転モードとして、モード I、モード II、モード III がある。モード I は、10 MeV の加速器運転に使用する。モード II は、クライストロン出力窓やその他高周波機器の CW 試験に使用する。このとき、RF 電力は 300 kW (CW) 程度である。モード III は、30 MeV の加速器運転に使用する。</p> <p>(g) デューティ 大洗工学センターの受電設備容量の制限により、モード I のデューティが 20 % となる。モード II、III の条件はモード I の平均電力の範囲内である。モード III に対する電力に余裕があるが、コンデンサを増設するスペースがないため、パルス幅が 100 μ sec に制限されている。</p> <p>(j) 電源安定度 電源電圧変動に伴ってクライストロンの出力電力及び位相の変動が発生する。これらの変動をローレベルコントロールシステムによって制御し、加速器運転に必要な高周波安定度 (電力変動 ± 0.6 % 以下、位相変動 $\pm 1^\circ$ 以下) を得る。</p>	<p>(j) クライストロン制御系の製作・据付 完成図書 ローレベル励振系編参照</p>

表6.1 クライストロン制御系 設計条件(2)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
1	クライストロン電源(続き)	(i) 安定度: $\pm 1\%$ 以下 ③ 147 kV モード(モードⅢ) (a) クライストロン動作台数: 2 台 (b) 出力電圧: 147 kV (c) ピーク出力電流: 113 A (d) パルス出力電力: 16.6 MW (e) パルス幅: 100 μ s (f) パルス繰り返し: 50 pps (g) デューティ: 0.5 % (h) パルス立ち上がり・立ち下がり 100 μ s 以下 (i) 電圧サグ: $\pm 1\%$ 以下 (j) パルス安定度: $\pm 1\%$ 以下		

6.2 決定事項

クライストロン制御系の決定事項を表6.2に示す。

表6.2 クライストロン制御系 決定事項(1)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
1	全体設計	<p>① システム構成を図 6.1 に示す。</p> <p>② 配置図を図 6.2 に示す。</p>	<p>① モード切り換え モードに合わせて2台の移相変圧器に付いているハンドルを回し、フィルターコンデンサ内の3箇所のパースイッチを切り換え、クライストロンタンクのスイッチを切り換える。また、LV MAIN RACK2内シーケンサに接続された現場操作計算機でモードの設定を行う。</p> <p>② 配置 30m×10mのクライストロンギャラリー内に設置する。機器の小型化設計を行い、立体回路及び冷却設備との干渉を避けて設置する。 コンデンサからクライストロンタンクまで高圧ケーブルを極力短く配線する。 クライストロン搬入及びクライストロンタンクのメンテナンスのため、搬入扉から2m幅の領域を確保する。 機器のケーブル保護及び保守点検のため、ケーブルトレイに点検歩廊を設置する。</p>	<p>① 完成図書 運転操作編 取扱説明書、設計計算書編 KDS-PSKD-104AZ08658-00 6、及び別冊 その1 RA320609 参照</p> <p>② 完成図書 別冊その1、KWE124619 KWE124617 参照</p>

表6.2 クライストロン制御系 決定事項(2)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
2	直流電源	<p>① 構成 直流電源は高圧受電盤、移相変圧器、サイリスタスイッチ、変圧整流器、フィルタコンデンサ、クローバ回路で構成されている。</p> <p>② 制御方式 直流電流一定制御方式</p> <p>③ 高圧受電盤 (a) 定格電圧：3相 6.3 kV (b) 定格電流：125 A (c) 遮断器定格：7.2 kV、600 A (d) 遮断容量：12.5 kA</p> <p>④ 移相変圧器 (a) 1次電圧：6.3 kV</p>	<p>① 3相サイリスタスイッチ逆並列接続の2重構造とする。相互に30度の位相差をもつ3相回路を2組設け、その各々に3相サイリスタ逆並列接続のサイリスタスイッチを設け、サイリスタで制御された電圧を変圧整流器の昇圧トランス1次側に印加する。直流電源の出力制御はサイリスタの点弧位相角を制御することによって行う。電源に異常が発生した場合、高速遮断するためにクローバ回路を設ける。</p> <p>② 負荷側で消費されるパルス状の電力はフィルターコンデンサによって完全に平滑する。商用系統からの受電に不平衡を生じない。 なお、制御システム全体の伝達関数モデルを構成し、根軌跡及びボード線図を解析し、さらに、汎用解析コードEMTPを用いて電源の過渡応答性及び制御特性を評価する。</p> <p>③ 真空遮断器(GCB)を採用し、内装機電盤1の過電流継電器との保護協調をとる。 (a) 系統インピーダンス：0.832+j10.932 (b) 3相短絡時の電流：8.4 A (c) 入力容量1.3MVA時の通電電流：119 A</p> <p>④</p>	<p>① 平成3年度クライストロン電源の設計Ⅱ参照</p> <p>② 図6.3 参照</p> <p>③ 図6.4, 及び設計計算書編 KDS-PSKD-101 参照</p> <p>④ 図6.5, 及び設計計算書編 KDS-PSKD-101 参照</p>

表6.2 クライストロン制御系 決定事項(3)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
2	直流電源 (続き)	<p>(b) 2次電圧</p> <ul style="list-style-type: none"> ・モードⅠ：1100 V ・モードⅡ：800 V ・モードⅢ：250 V <p>(c) 容量：1000 kVA</p> <p>(d) △-Y結線：1台 △-△結線：1台</p> <p>(e) 油絶縁及び油冷却</p> <p>⑤ サイリスタスイッチ</p> <ul style="list-style-type: none"> (a) 入力電圧：3相, 1.1 kV, 50 Hz (b) 出力電圧：3相, 約0~1.1 kV, 50 Hz (c) 出力電流：3相, 446 A, 50 Hz (d) 接続：3相, 逆並列接続 (e) 電流遮断：クローバ動作後 15 msec (f) 回路構成：12相制御 (g) 空冷 <p>⑥ 変圧整流器</p> <ul style="list-style-type: none"> (a) 入力定格 3相, 1.1 kV, 50 Hz, AC 446 A × 2セット 	<p>(b) 各モードに対応してタップを切り換えることによつて、サイリスタスイッチにおける出力電圧の最適制御を行う。</p> <p>(d) 2次電圧位相を相互に30° 移相させる。</p> <p>⑤ サイリスタの点弧角制御で出力電圧を可変にする。サイリスタ点弧角可変範囲は10~150°である。 負荷電圧を与えられた指令値に精度良く制御する必要があるため、電圧制御系には比例・積分制御を用いて定常偏差をなくす。電圧を制御するメジャーループの中に、電流制御用マイナーループが組み込まれている。</p> <p>(g) 方形波120°における通電時のロスは375 Wである。</p> <p>⑥ トランスの容量は、1000kVA×2とする。また、トランスの構造は、1次コイル、2次コイル同心円状構造とし、負荷短絡時の電磁力が小さくなるようにする。</p>	<p>⑤ 図6.6, 設計計算書編KDS-PSKD-101, 及び平成3年度クライストロン電源の設計Ⅱ参照</p> <p>⑥ 図6.7, 及び設計計算書編 KDS-PSKD-101参照</p>

表6.2 クライストロン制御系 決定事項(4)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
2	直流電源 (続き)	<p>(b) 出力定格、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・モードⅠ : DC 90 kV, 10 A, 4 msec, 50 Hz ・モードⅡ : DC 65 kV, 13.8 A ・モードⅢ : DC 24.5 kV, 3.4 A, 100 μ sec, 50 Hz <p>(c) ダイオードブリッジ定格</p> <ul style="list-style-type: none"> ・定格電流 : 13.8 A ・定格電圧 : 61.5kV ・負荷短絡電流 : 223 Apeak <p>(d) 油絶縁及び水冷</p> <p>⑦ フィルターコンデンサ 1</p> <p>(a) 静電容量C1 : 50 μF (2.5 μF×20台)</p> <p>(b) 直列抵抗 : 9 Ω</p> <p>(c) 出力定格(モードⅠ)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・定格電圧 : DC 90 kV ・定格電流 : 25 A×2 ・パルス幅 : 4 msec ・繰り返し : 50 pps 	<p>(c) ダイオード素子</p> <ul style="list-style-type: none"> ・定格電流 : 25 A ・定格電圧 : 3 kV ・ピーク1サイクル電流 : 450 A ・ダイオード素子1アーム 52 直列接続の裕度 電流裕度 $25A \times 3 / 13.8 = 5.4$倍 電圧裕度 $3kV \times 52 / 61.5 = 2.5$倍 短絡電流裕度 $450A / 223 = 2$倍 <p>⑦ 90 kV, 50 A, 4 msecで電圧サグを5%に保つには、フィルターコンデンサ1の静電容量は44.4 μFとなる。抵抗はコンデンサバンク時に他のコンデンサからのエネルギー注入を抑制するため、各コンデンサ1台に1個の抵抗ユニットとし、20 並列とする。</p>	<p>⑦⑧ 図6.8, 運転操作 編取扱説明書、及び設計計算書 KDS - PSKD- 005 参照</p>

表6.2 クライストロン制御系 決定事項(5)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
2	直流電源 (続き)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2 系統出力 (d) 油絶縁 ⑧ フィルターコンデンサ 2 <ul style="list-style-type: none"> (a) 静電容量 C2: 132 μF (22 μF \times 6台) (b) 直列抵抗: 3.4 Ω (c) 出力定格 (モード III) <ul style="list-style-type: none"> ・ 定格電圧: DC 24.5 kV ・ 定格電流: 678 A ・ パルス幅: 100 μ sec ・ 繰り返し: 50 pps ・ 1 系統出力 (d) 油絶縁 ⑨ クローバ回路 <ul style="list-style-type: none"> (a) 定格電圧: DC 90 kV (b) 短絡後 5 μ sec でクローバが動作する。 (c) イグナイトロン (BK508): 最大使用電圧 25 kV, 6 台直列接続 (d) 負荷注入エネルギー: 24 J 以下 	<ul style="list-style-type: none"> ⑧ 24.5 kV, 678 A, 100 μ sec で電圧サグを $\pm 1\%$ に保つには、152.2 μF のコンデンサが必要である。モード III のコンデンサの静電容量は C1+C2 で 177 μF となる。 各コンデンサ 1 台に 1 個の抵抗ユニットとし、6 並列とする。 ⑨ CT により 1200A を超えるとコンバータが働き、クローバスイッチのトリガパルスが発生し、クローバを動作させる。等価回路によるシミュレーションを実施し、銅線に注入されるエネルギーを計算すると 7.7 J となる。 クライストロンタンク 2 に 90 kV を充電し、0.35 ϕ mm \times 200 mm の銅細線を接続して短絡しても銅細線は溶断しない。このときの銅線への注入エネルギーは 13 J である。 	<ul style="list-style-type: none"> ⑨ 設計計算書編 KDS-PSKD-002, 及び試験検査要領書編 KDS-PSKD-004Z4007285 参照

表6.2 クライストロン制御系 決定事項(6)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
3	シリーズ スイッチ	<p>① 員数:1台</p> <p>② 出力定格(モードⅢ)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 定格電圧:DC 24.5 kV ・ 定格電流:339 A×2 ・ パルス幅:100 μ sec ・ 繰り返し:50 pps ・ 2系統出力 <p>③ 大電力スイッチ素子IGBT</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 36段直列接続 ・ 絶対最大電圧、31.0kV ・ 最大電流、1200A(パルス) ・ シャント回路 L:135 mH, R:50 Ω ・ スナバ回路 C:0.1 μF, R:30 Ω 	<p>① シリーズスイッチ1台で2台のパルスクライストロンを駆動する。解析コード SPICE を用いて、クライストロンを2台運転する場合、1台のクライストロンの変動が他方へ及ぼす影響を調べた。その結果、他方の負荷変動の影響はパルストランスの出力電流及び電圧波形に見られなかった。</p> <p>クライストロンを2台並列接続で運転し、フィルターコンデンサ2のC2に蓄えられた電荷を39.5Ωをダンピングする放電現象とすると、0.1%となる。</p> <p>③ 大電力半導体(IGBT)を使用して平坦度の良いパルス波形を作る。IGBTの耐電流が高いため直列接続ができる。</p> <p>フィルターコンデンサ2のC2への充電電圧がIGBT回路の順方向開放電圧となる。順方向開放電圧が1段あたり0.86 kVのIGBTを36段直列に接続しているため、最大充電電圧が311kVとなる。</p> <p>スイッチングの際の立ち下がり波形と逆の極性の波形として現れる反射電流が発生する。この反射電流からIGBTを守るため、スナバ回路とシャント回路が組み込まれている。シャント回路は反射電流をパルストランスの持つLとR成分で決まる時定数により数μ secオーダーで減衰させる。また、スナバ回路はCとRの直列接続で構成され、早い速度の高周波成分をnsecオーダーで減衰させる。</p>	<p>① 図6.9,及び設計計算書編 KDS-PSKD-005 参照</p> <p>③ 図6.10参照</p>

表6.2 クライストロン制御系 決定事項(7)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
6	シリーズ スイッチ (続き)	④ 空気冷却	④ 5 kW 発熱	
7	アノード モジュ レータ	<p>① 員数: 2 台</p> <p>② モード I</p> <ul style="list-style-type: none"> ・アノード電圧: 0, DC 30 ~ 80 kV ・パルス幅: 1 ~ 4 msec ・パルス繰返: 50 pps ・パルス立ち上がり: 400 μ sec ・パルス立ち下がり: 240 μ sec ・アノード電圧安定度: 0.0 % ・カソード電圧 85 kV リップル量: ± 0.39 % ・カソード電圧サグ: 4.4 % (4 msec, 2 台) ・パルス安定度: ± 0.09 % <p>③ モード II</p> <ul style="list-style-type: none"> ・アノード電圧: 0, DC 30 ~ 60 kV ・カソード電圧 65 kV リップル量: ± 0.38 % ・カソード電圧 65 kV 安定度(40min): ± 0.45 % ・アノード電圧 50 kV 安定度(40min): 0.0 % 	<p>パルス変調を行うため、制御管として、4 極管 TH 5188 (耐電圧 120 kV) を使用する。</p> <p>検出したアノード-カソード間電圧と設定された電圧とを比較し、その信号をアノード-カソード間電圧を制御する制御管に負帰還をかけてアノード-カソード間電圧をある一定値に保つように制御する。</p> <p>分圧抵抗とその浮遊容量、ケーブルの浮遊容量、4 極管の抵抗及び浮遊容量等を設定し、汎用解析コード EMTP を用いてパルスの立ち上がり立ち下がり特性をシミュレーションする。</p> <p>ビーム OFF 時、ビームが引き出されないようアノード-カソード間に 1.1 kV の逆バイアスをかける。</p> <p>モード I のサグはフィルターコンデンサ 1 に蓄えられた電荷をインピーダンス (1822 Ω) をダンピングする放電現象とすると、4.3%となる。</p>	<p>図 6.11, 平成 2 年度 クライストロン電源 の設計 2, 及び設計計 算書編 KDS-PSKD-005 参照</p>

表6.2 クライストロン制御系 決定事項(8)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
7	アノードモジュレータ (続き)	④ 油絶縁、及び水冷却	④ 室温 35℃ 以下、冷却水温 30℃ 以下、発熱量 6kW(モードⅡ時)、絶縁油温度 60℃ 以下、冷却水量 20 (ℓ/min) として熱計算を実施し、タンクの形状を決定する。	
8	クライストロンタンク	<p>① 員数: 2 台</p> <p>② モードⅢ用パルストランス</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 1 次定格電圧: 24.5 kV ・ 2 次定格電圧: 147 kV ・ 2 次定格電流: 56.5 A ・ パルス幅: 100 μ sec ・ 繰り返し: 50 pps ・ パルス立ち上がり: 8 μ sec ・ パルス立ち下がり: 18 μ sec ・ パルス電圧サグ: 1.2 % (KLY1), 1.6 % (KLY2) ・ カソード安定度: ± 0.5 % (KLY1、KLY2) ・ アノード安定度 ± 0.3 % (KLY1), ± 0.35 % (KLY2) ・ アノード電圧 パルストランス出力電圧を分圧する。 クライストロンタンク内部の分圧抵抗を切り換え接続し、120 ~ 135 kV を 1 kV 間隔で変化させる。 	<p>② パルストランスをクライストロンタンク中に組み込み、ケーブルを介することなく、モードⅢの 2 次側高電圧をクライストロンへ印加する。これにより、ケーブルの浮遊容量がなくなるため、モードⅢで発生するパルスのオーバーシュートを大幅に低減できる。</p> <p>クライストロンタンク中のパルストランスで、シリーズスイッチ回路出力電圧を 6 倍に昇圧し、クライストロンへ入力する。</p> <p>アノード-コレクタ間の静電容量に電荷が充電されるとパルスの立ち下がりが長くなるので、4 極管 E3113 (耐電圧 125 kV) のスイッチングで充電時間を短くし、パルスの立ち下がり短くする。立ち上がり立ち下がり時間が長くなると加速エネルギーの低い電子がクライストロンのボディ部に衝突し、放射線の発生や局所発熱の原因となる。</p> <p>クライストロンタンク上部のガイシ上部にアノード電圧及びカソード電圧モニタ回路、ヒータ電源、4 極管電源を設置する。高圧印加時に放電が発生しないように電界を計算し、それらの配置および外形を決定する。</p>	図6.12、及び設計計算書編 KDS-PSKD-005 参照

表6.2 クライストロン制御系 決定事項(9)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
8	クライストロンタンク (続き)	③ クライストロンヒータ電源 ・出力電圧: 30 V ・出力電流: 28 A ・安定度: ± 0.4 % 以下 ④ 油絶縁、及び水冷却	ノイズ対策として、電圧及び電流のアナログ信号はデジタル信号に変換し、光ケーブルで低圧制御盤に送る。 ④ 室温 35℃ 以下、発熱量 2.1 kW (モードⅢ時)、絶縁油温度 60℃ 以下、クライストロン重量合計 2.29 t、絶縁油重量 4.9 t として、熱及び強度を計算し、タンクの形状を決定する。	
9	制御盤	① 現場制御盤 ・ 高圧受電盤、移相変圧器、サイリスタスイッチ、変圧整流器、及びフィルターコンデンサ/クローバ回路を制御する。	① 商用高圧を変圧整流し、DC 電圧を作り、制御する。 主な表示は以下の通りである。 ・ 出力電圧の設定値及びモニタ表示 ・ 警報表示 ・ 設定モード表示	完成図書、運転操作編、取扱説明書参照

表6.2 クライストロン制御系 決定事項(10)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
9	制御盤 (続き)	<p>② 低圧制御盤</p> <p>シリーズスイッチ、アノードモジュレータ、クライストロンタンクを制御する。 配置するラックは以下の通りとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ MOD INTERLOCK LV RACK1、2 ・ TETRODE LV RACK1、2 ・ LV MAIN RACK1、2 ・ KLY FCPS RACK1、2 ・ 集束コイル電源1、2 ・ バッキングコイル電源1、2 <p>③ 主制御盤</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ MAIN CONTROL RACK 	<p>②</p> <p>モードⅠではアノードモジュレータを使用してアノード電圧のパルス化及び安定制御を行う。 アノード電圧は現場操作計算機から DC 30 ~ 80 kV の範囲で設定できる。 モードⅢではシリーズスイッチを使用して、カソード電圧及びアノード電圧のパルス化及び安定制御を行う。 AJ71E71イーサネットインターフェースを使用し現場操作計算機と通信を行う。 他の制御機器とプログラマブルコントローラ MELSEC の光リンク (MELSECNET) で接続し、ノイズの影響を避ける。</p> <p>③ 集中操作盤として、コントロール室に設置する。</p>	

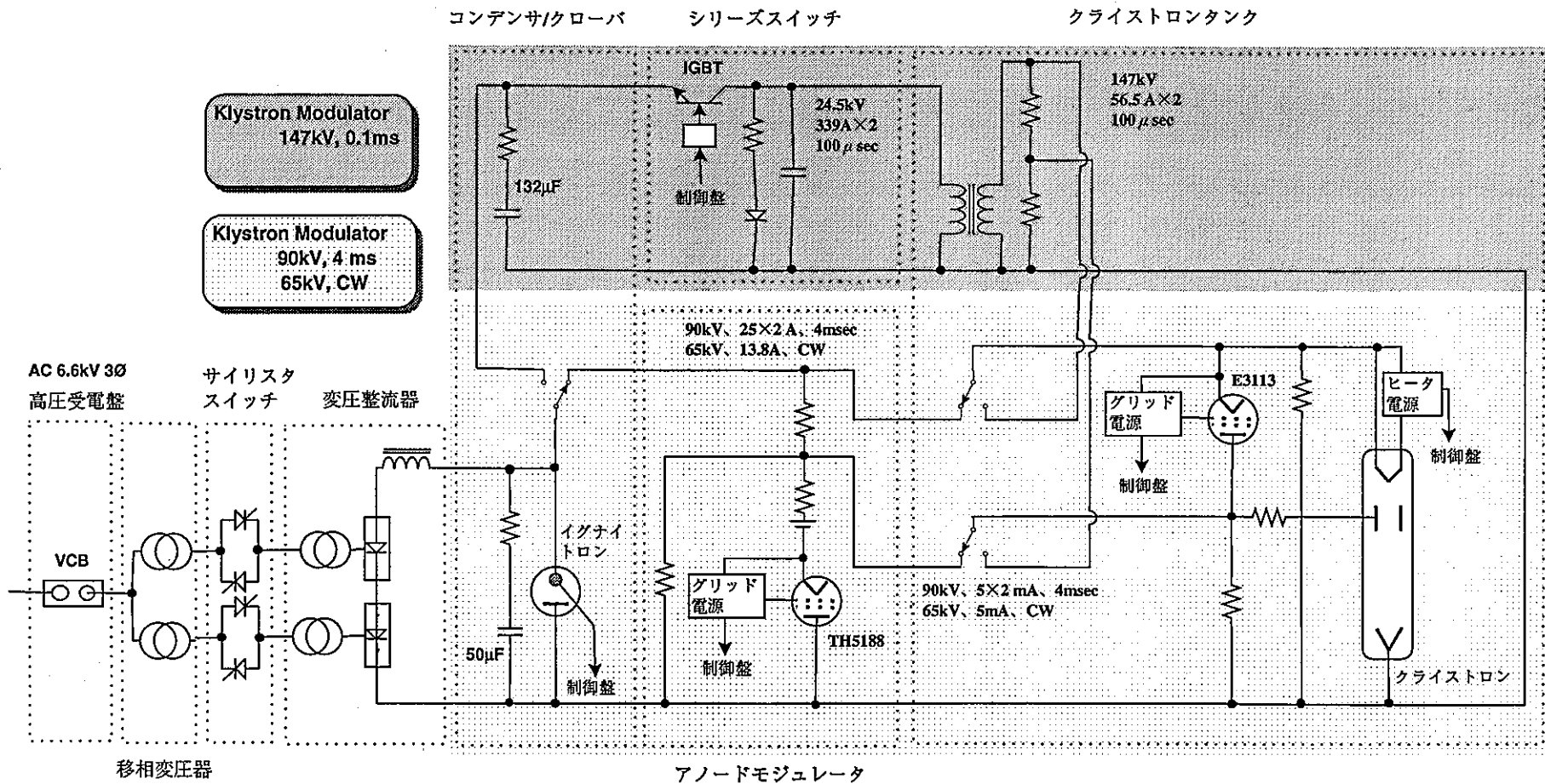
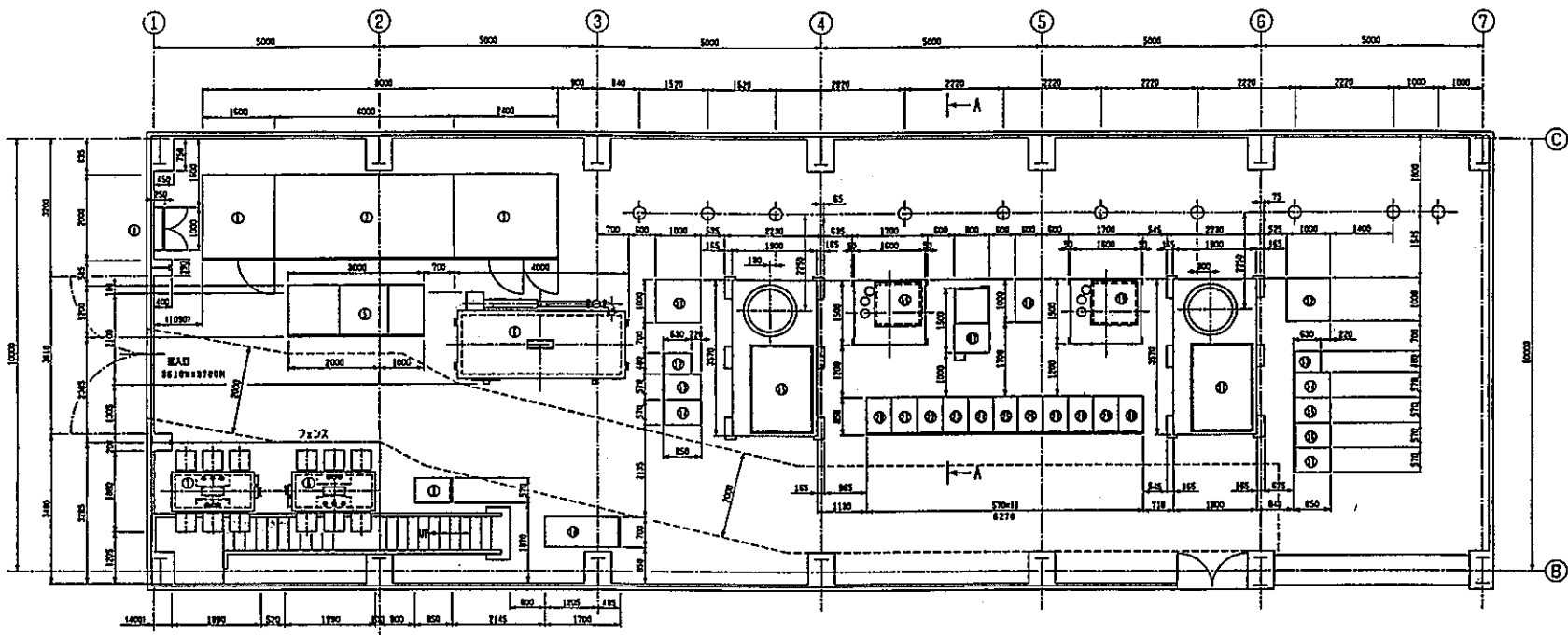


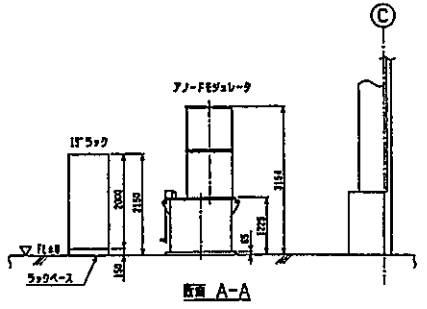
図6.1 クライストロン電源システム構成図



機器リスト

No.	品名	寸法 (mm)	重量 (kg)	設置場所	備考
①	フィルターコンデンサ	1000 x 1000 x 2100			
①	フィルターコンデンサ	1000 x 1000 x 2100	12000	RA201110	
①	クロ-リレー	700 x 1000 x 2100			
①	クラスドコンデンサ-6.6kV電圧	1000 x 1000 x 2100	200	2YK211155	
①	シリコンスタック	1000 x 1000 x 2100	1000	2C30111	
①	整流器	1000 x 1000 x 2100	1000	2YK211155	
①	制御器	1000 x 1000 x 2100	1000	2YK211155	
①	電源装置	1000 x 1000 x 2100	1000	2YK211155	
①	高圧電圧	1000 x 1000 x 2100	1000	2YK211155	
①	リレーコンタクト	1000 x 1000 x 2100	1000	2YK211155	
①	KLY FCPS2 (350V 20A 電圧電流)	400 x 500 x 300	200	2YK211155	
①	KLY FCPS Rack2	500 x 650 x 2000	150	2YK211155	
①	高圧電圧制御ラック	1000 x 1000 x 2100	1000	2YK211155	
①	クラスドコンデンサ	1000 x 1000 x 2100	1000	2YK211155	
①	アノ-フェイラ	1000 x 1000 x 2100	1000	2YK211155	
①	シリコンスタック	1000 x 1000 x 2100	1000	2YK211155	
①	整流器	1000 x 1000 x 2100	1000	2YK211155	
①	アノ-フェイラ	1000 x 1000 x 2100	1000	2YK211155	
①	MODULATION INTERLOCK LV RACK1	500 x 650 x 2000	150	2YK211155	
①	TEYRQUE LV RACK2	500 x 650 x 2000	150	2YK211155	
①	クラスドコンデンサ	1000 x 1000 x 2100	1000	2YK211155	
①	リレーコンタクト	1000 x 1000 x 2100	1000	2YK211155	
①	KLY FCPS1 (350V 20A 電圧電流)	400 x 500 x 300	200	2YK211155	
①	KLY FCPS Rack1	500 x 650 x 2000	150	2YK211155	
①	ファン-電源装置	1000 x 1000 x 2100	1000	2YK211155	
①	ステップダウンコンバータ	500 x 650 x 2000	150	2YK211155	
①	ステップアップコンバータ	500 x 650 x 2000	150	2YK211155	

No.	品名	寸法 (mm)	重量 (kg)	設置場所	備考
①	LOW LEVEL CONTROL No. 1	500 x 650 x 2000	150	2YK211155	制御・電源系
①	LOW LEVEL CONTROL No. 1	500 x 650 x 2000	150	2YK211155	制御・電源系
①	MODULATION INTERLOCK LV RACK1	500 x 650 x 2000	150	2YK211155	
①	TEYRQUE LV RACK2	500 x 650 x 2000	150	2YK211155	
①	クラスドコンデンサ	1000 x 1000 x 2100	1000	2YK211155	
①	リレーコンタクト	1000 x 1000 x 2100	1000	2YK211155	
①	KLY FCPS1 (350V 20A 電圧電流)	400 x 500 x 300	200	2YK211155	
①	KLY FCPS Rack1	500 x 650 x 2000	150	2YK211155	
①	ファン-電源装置	1000 x 1000 x 2100	1000	2YK211155	
①	ステップダウンコンバータ	500 x 650 x 2000	150	2YK211155	
①	ステップアップコンバータ	500 x 650 x 2000	150	2YK211155	



(注) 1) 100kg以上、2) 100kg未満

図6.2 クライストロン電源配置図

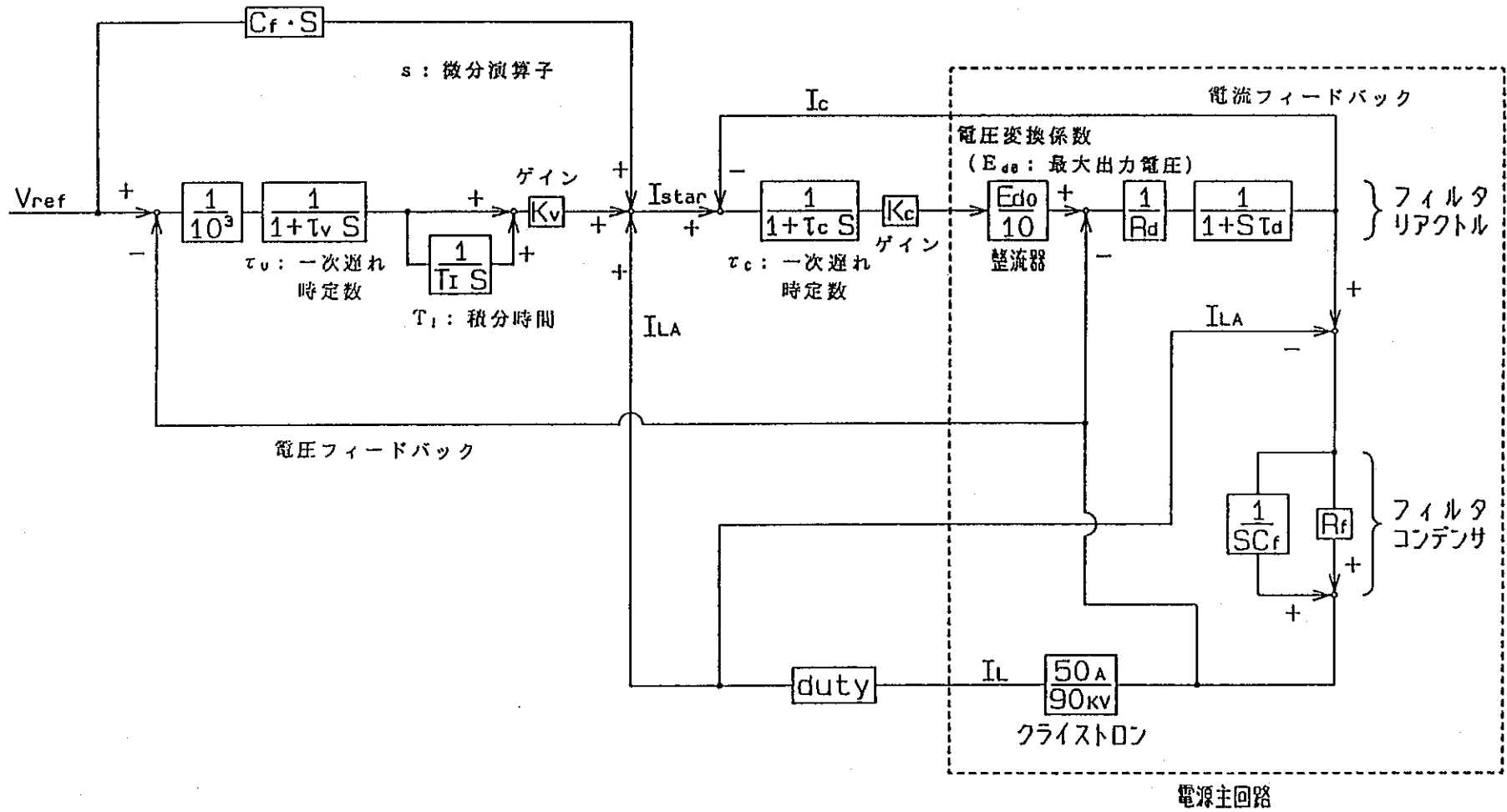


図6.3 システム全体の伝達関数モデル

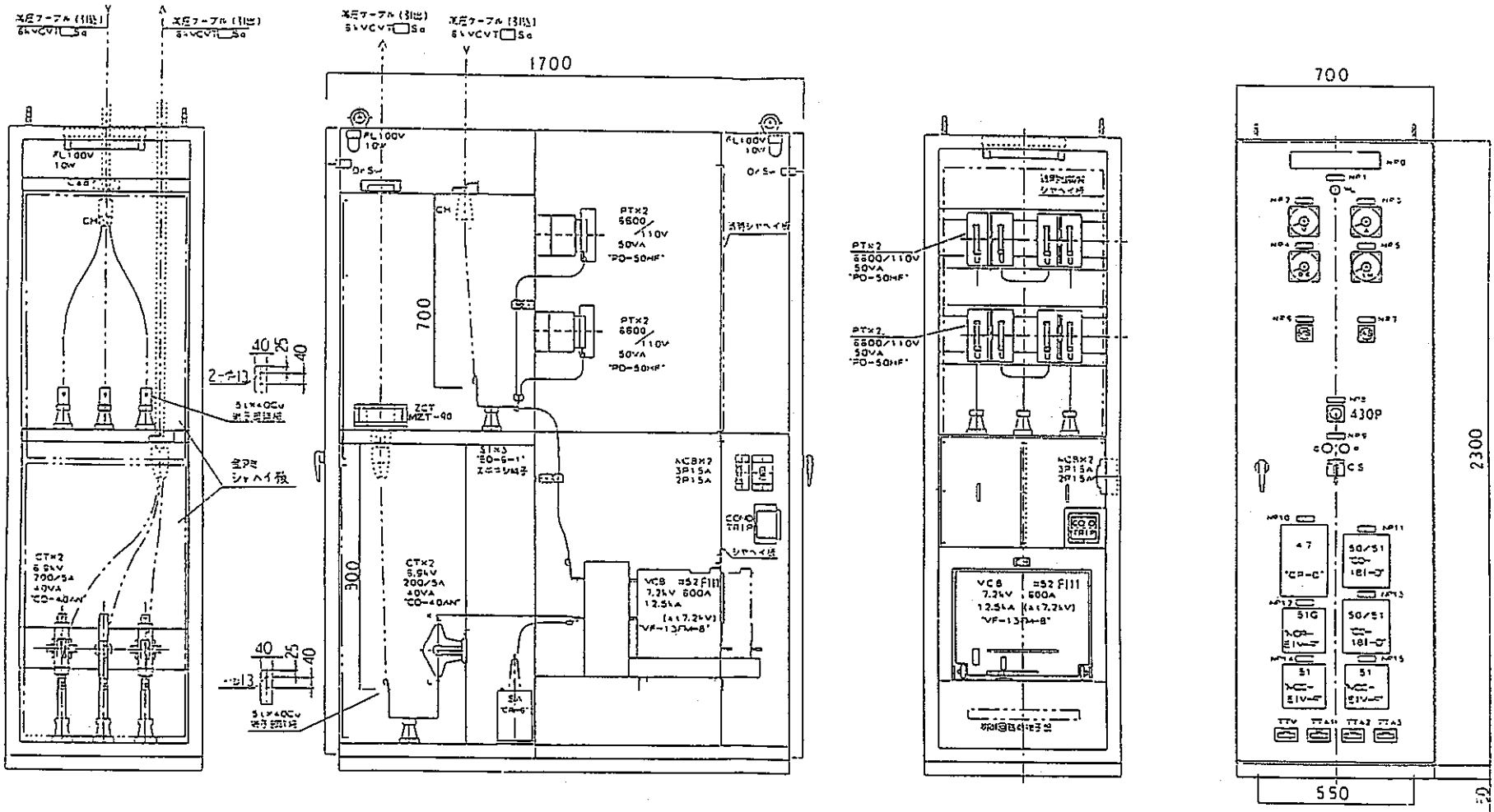
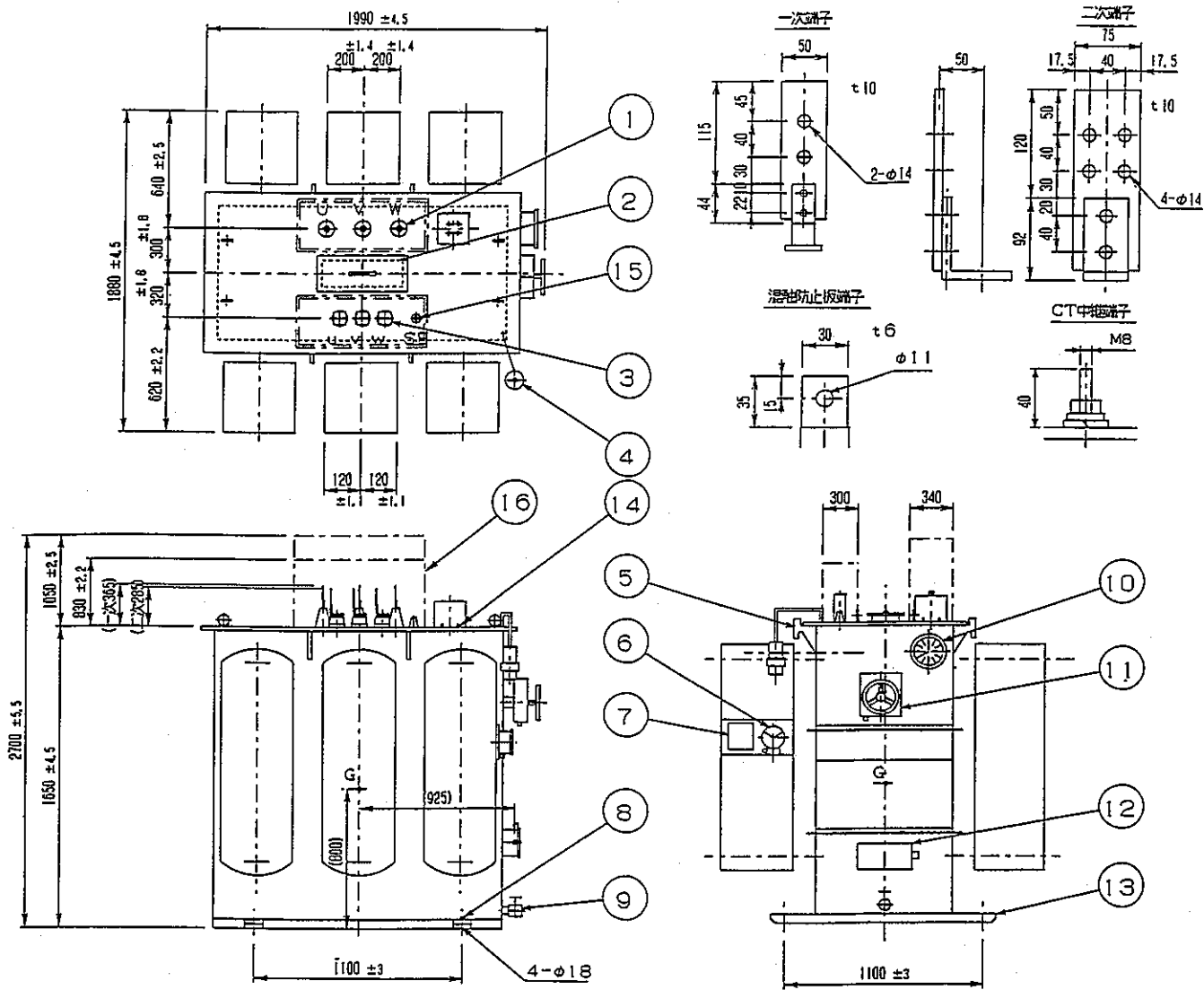


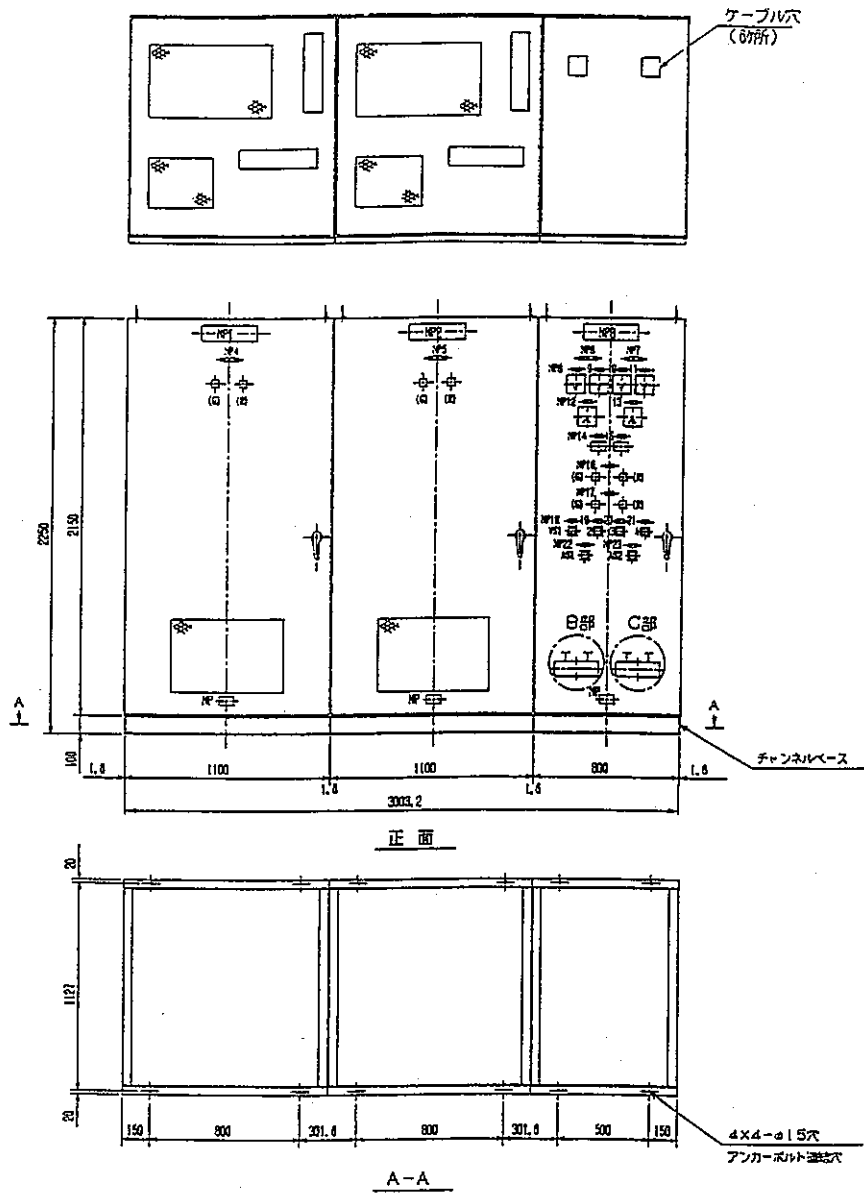
図6.4 高電圧受電盤



品番	品名
1	一次ブッシング
2	ハンドホール
3	二次ブッシング
4	吸油吸器
5	絶縁吊耳
6	ダイヤル油温度計
7	鋸板
8	接合端子
9	排油弁
10	ダイヤル油面計
11	無電圧タップ切換器
12	端子箱 (呼び28カップリング)
13	ベース
14	CT中継端子箱
15	湿部止板端子
16	ブッシング保護カバー

屋内用 油入自冷式		
規格	JEG-204(1978)	
産 地	国 産	
相 数	3	
周 波 数	50	Hz
容 量	1000	KVA
一次電圧	6300	V
二次電圧	R1100-600-250	V
二次電流	525	A
結 線	△-△ (1台)	△-△ (1台)
油 量	1850	l
中身吊上質量	2500	kg
総質量	5400	kg
塗 装 色	マンセル	5Y8/1

図6.5 移相変圧器



注

1. 名板記入文字

NP1	THYRISTOR SWITCH 1
NP2	THYRISTOR SWITCH 2
NP3	THYRISTOR SW CONTROL
NP4	FEEDER
NP5	FEEDER
NP6	THYRISTOR SW1
NP7	THYRISTOR SW2
NP8	AC INPUT (V11)
NP9	AC OUTPUT (V01)
NP10	AC INPUT (V12)
NP11	AC OUTPUT (V02)
NP12	AC CURRENT (A1)
NP13	AC CURRENT (A2)
NP14	SET VALUE (KV)
NP15	OUTPUT (KV)
NP16	FEEDER
NP17	BY DC
NP18	AC INPUT SW
NP19	AC OUTPUT SW
NP20	AC INPUT SW
NP21	AC OUTPUT SW
NP22	AC CURRENT SW
NP23	AC CURRENT SW

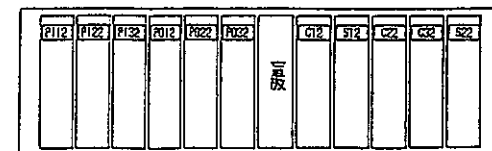
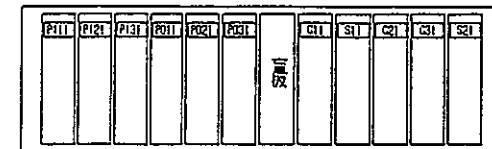
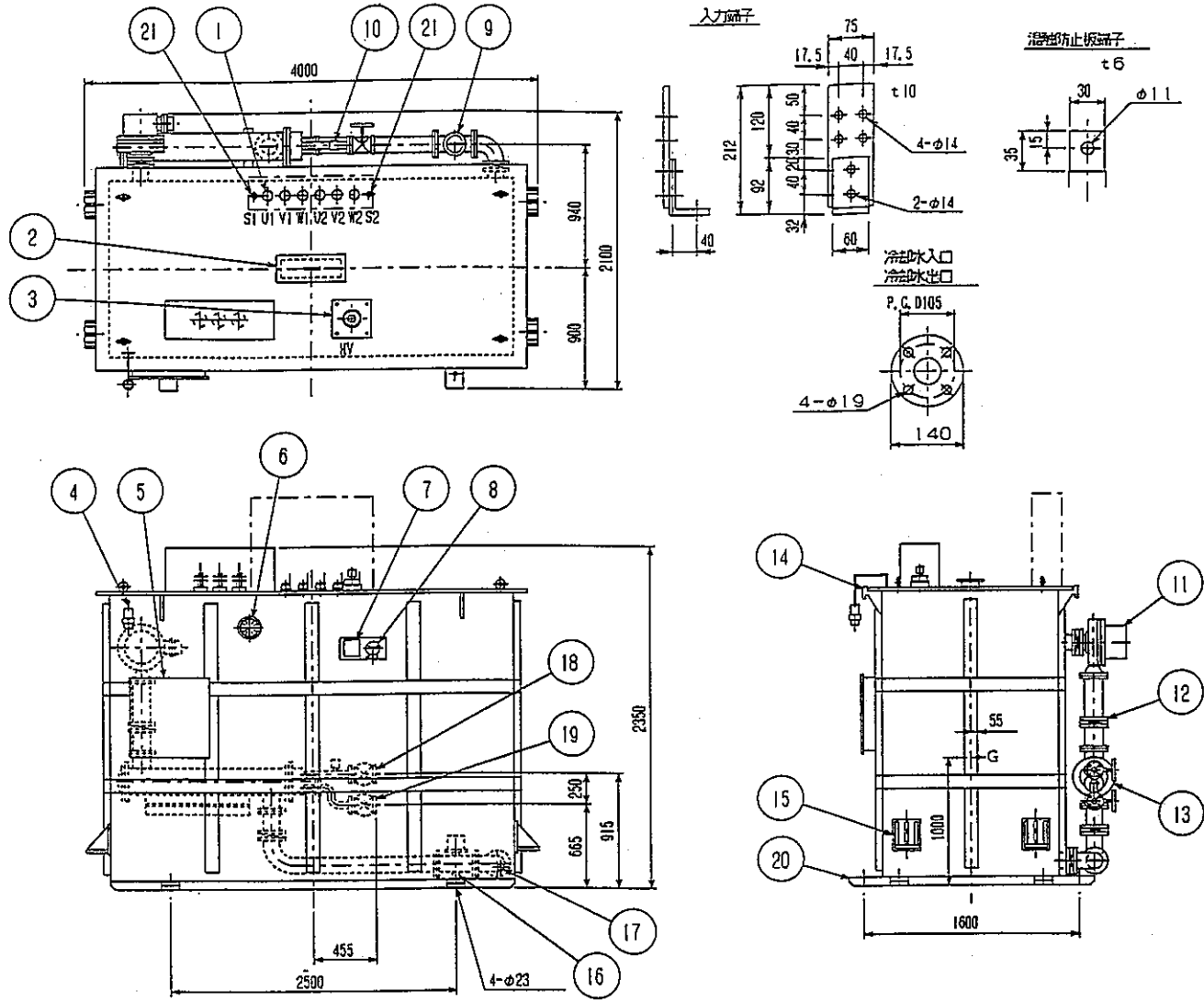


図6.6 サイリスタスイッチ



品番	品名
1	入力ブッシング
2	ハンドホール
3	直流防逆流端子
4	吸油呼吸器
5	端子箱
6	ダイヤル油温計
7	銘板
8	ダイヤル油温度計
9	断水警報器
10	断水警報器
11	送油ポンプ3φ50Hz200V1.5kW(送油量700l/min)
12	仕切弁
13	油冷器(C冷却水量100l/min)
14	検重受吊耳
15	ジャッキ台
16	揚油端子
17	排油弁
18	冷却水出口(JIS 10kg/cm ² 40Aバルブ)
19	冷却水入口(JIS 10kg/cm ² 40Aバルブ)
20	ベース
21	油防止板端子

屋内用 送油水冷式	
規格	JEC-204(1978)
定格	直 流
相数	3
周波数	50 Hz
容量	1000×2 kVA
入力電圧	AC1100 V
出力電圧	DC 43.5 kV
出力電流	13.8 A
箱 種	△→(2台)
油 量	7400 l
中身吊上質量	6500 kg
総質量	15000 kg
塗装色	マンセル 5Y8/1

図6.7 変圧整流器

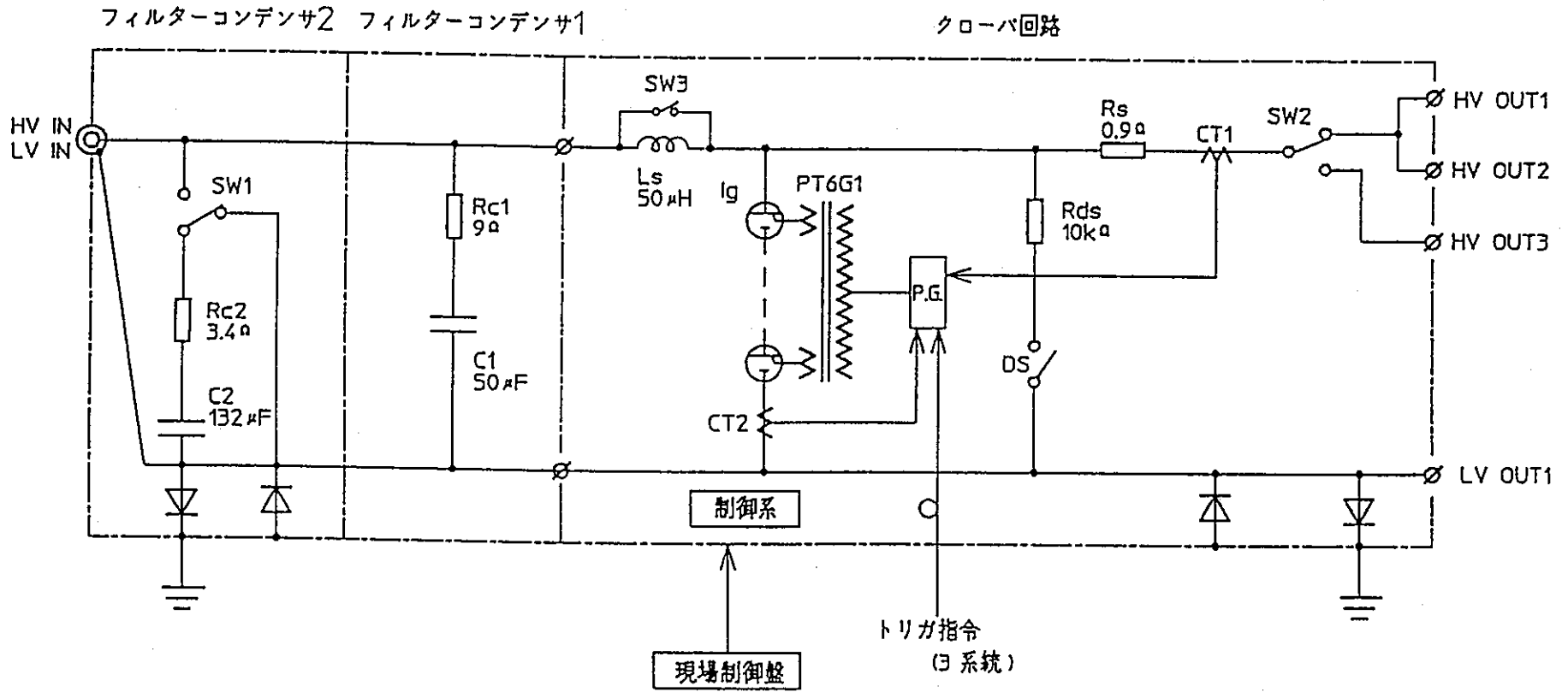


図6.8 フィルターコンデンサ/クローバ回路

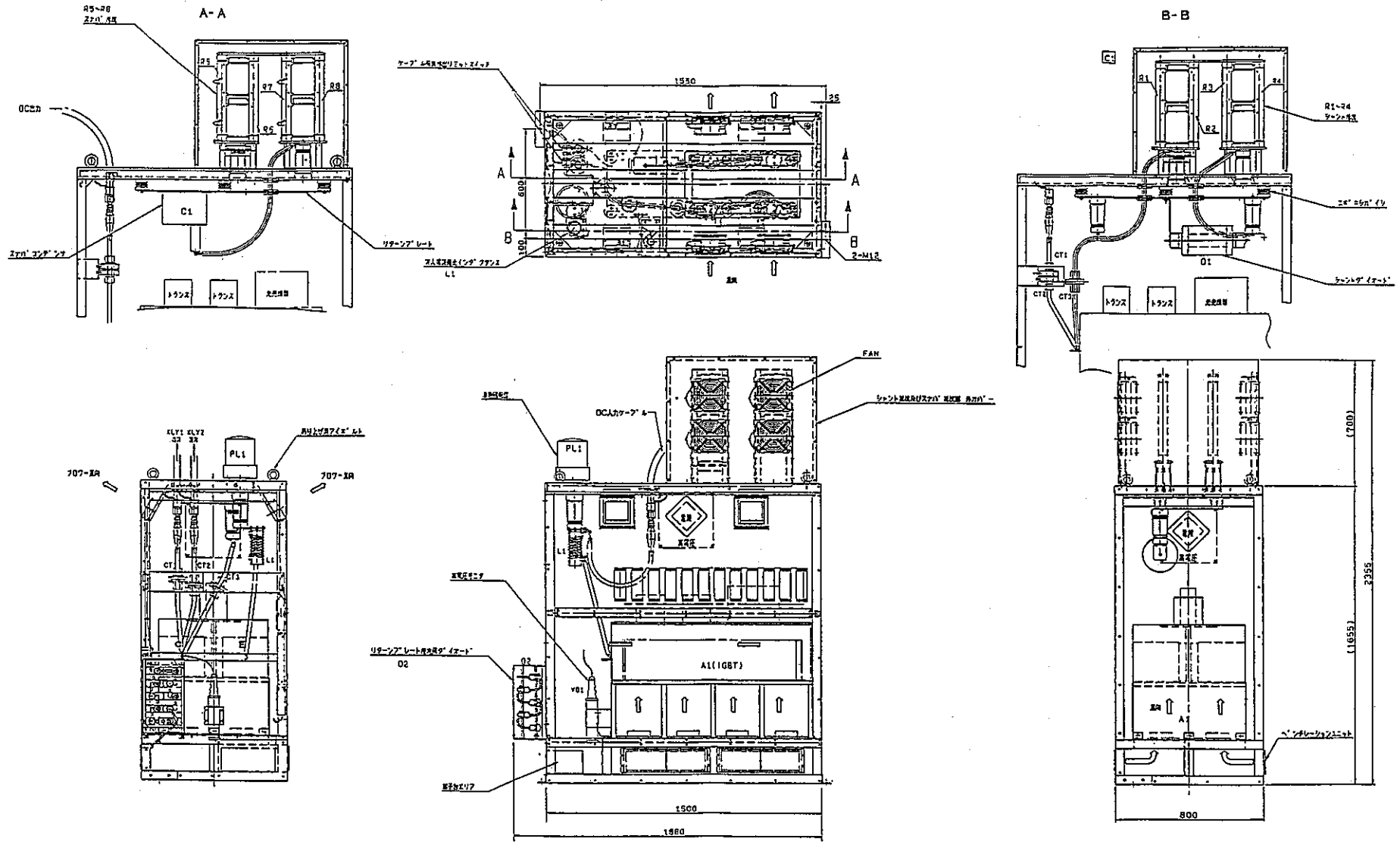


図6.9 シリーズスイッチ

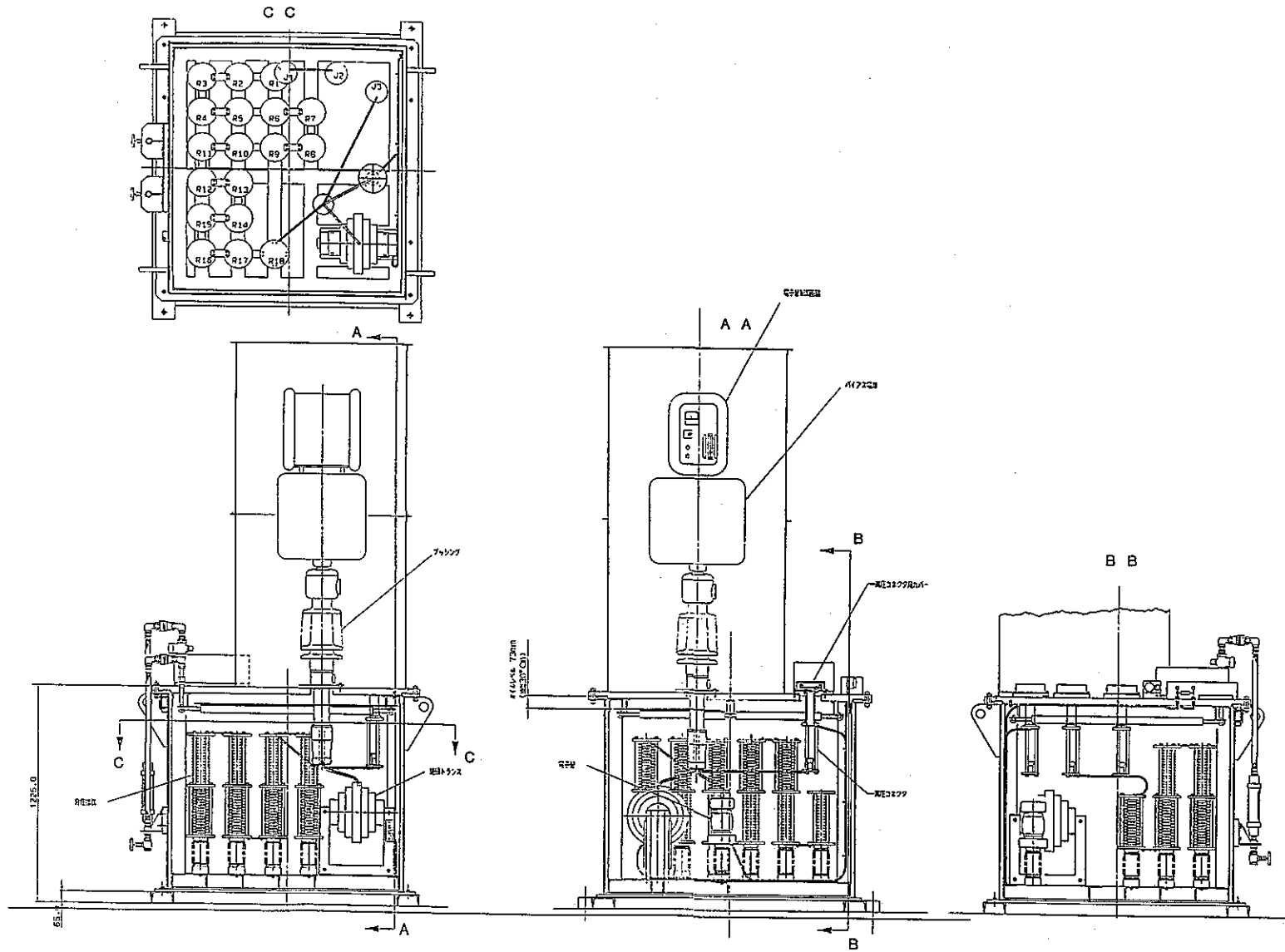


図6.11 アノードモジュレータ

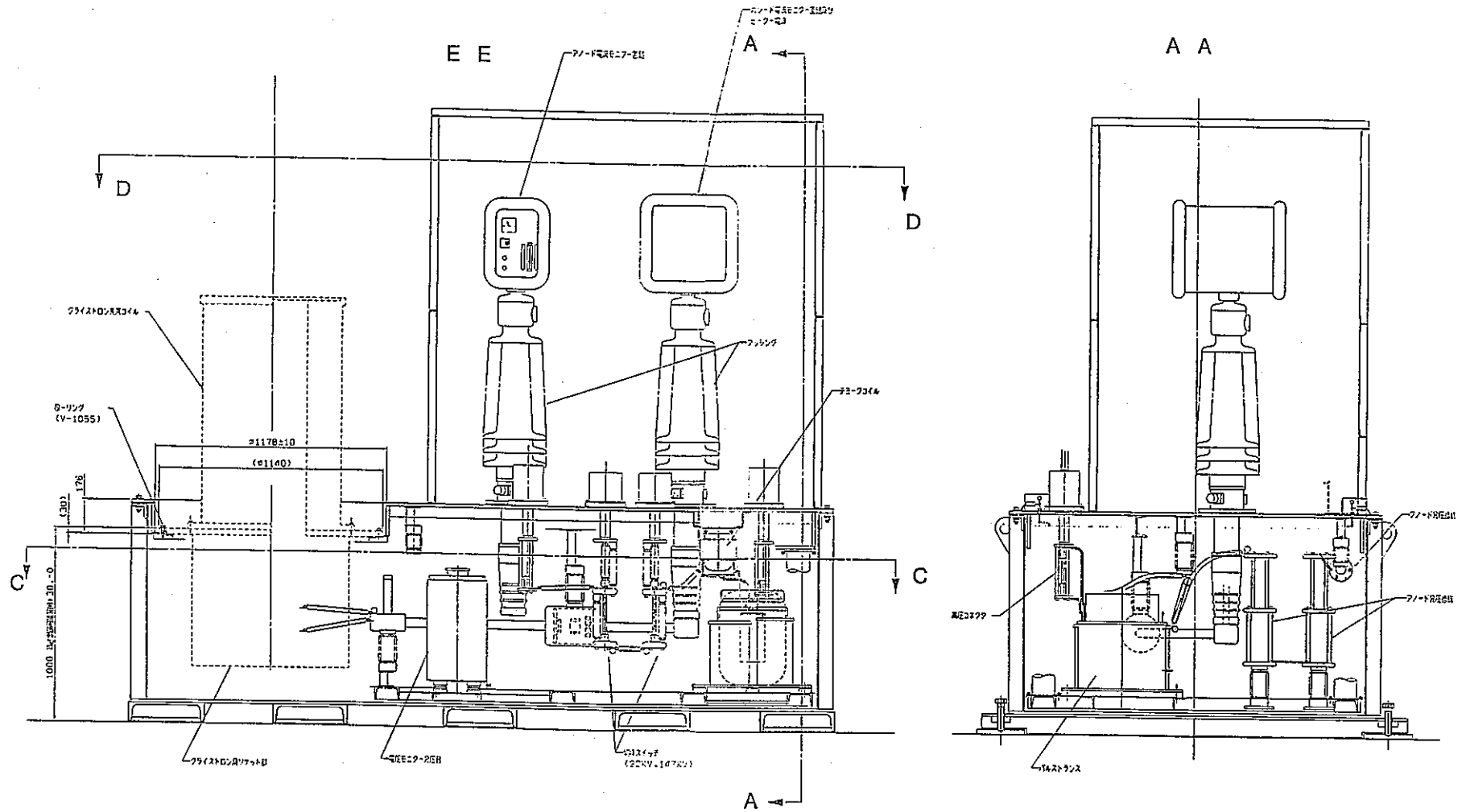


図6.12 クライストロンタンク

第7章 計測・制御系

7.1 設計条件

計測・制御系の設計条件を表7.1に示す。

表7.1 計測・制御系 設計条件(1)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
1	目的	<p>① 計測・制御系要素は大電流CW電子線形加速器の10 MeV, 200 kW 電子ビーム加速実現のために、加速器の基礎データ、運転データを集録し、そのデータおよび解析結果に基づき、加速器要素を制御するものである。</p> <p>本要素は実時間(マクロパルスの繰り返し内、すなわち20 ms)で加速器全体の状態(status)を集録し、そのデータにより加速器の制御を行い、将来自動運転ができることを念頭に置く。</p>	<p>① 多くの加速器が加速器開発のためでなく、それぞれの実験・利用のために建設されており、加速器本体の計測装置に重きを置いて設計されたものは少ない。本加速器は工業的スケールの消滅処理プラント用加速器の開発用として、特に大電流CWビーム加速と言う、既存の加速器にはない開発要素を持っている。</p>	
2	柔軟性	<p>① 加速器の状態把握する計測器・方法および加速器の運転制御の手法等は運転・試験を実施しながら考案・改良を続けて、ビーム加速を目指すため、変更の際に極力ハードウェアの変更を減らすために、ソフトウェアに重きをおいて設計する。特に、ソフトウェア資産はこのような装置においては、特注になりがちであるが、標準 OS、オブジェクト指向 OS を採用し、初期のソフトウェア資産を有効に利用できるように考慮する。</p>		

表7.1 計測・制御系 設計条件(2)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
2	柔軟性 (続き)	<p>また、ハードウェアに置いても、特注機器を減らし、標準規格の採用により、拡張性をを持たせる。</p> <p>さらに、アプリケーションソフトにおいては、ソフト製作メーカーに依頼しなくても、インハウスで変更、改造、作成ができるようにする。</p>		
3	拡張性	<p>① ハードウェアレベルの拡張性は個々の計算機あるいはシーケンサ間を接続するネットワーク、個々の計算機に接続される機器のインターフェイスに対して共通した規格で設計する。ソフトウェアレベルでは、OSの統一化、アプリケーションソフト開発環境統一化、開発資産の共通化、データベースの共通化等を考慮して設計する。</p>		
4	データ集録の考え方	<p>① 基本的な試験手順におけるデータの流れ、操作を図7.1に示す。</p> <p>データの集録を5段階にわけて示す。</p> <p>(a) step1: データを集録するソフトウェア、ハードウェアを設定する(必要に応じてデータベースにも)。</p> <p>(b) step2: 計測機器からの集録信号等の選択、条件設定。</p>		

表7.1 計測・制御系 設計条件(3)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
4	データ集録の考え方 (続き)	<p>(c) step3:集録データのフォーマット化。 (d) step4:データファイルの整理。 (e) step5:データのセーブ(必要に応じてデータベースにも)。 この一連のステップは一般的なデータ集録を示し、実際にはステップの一部が自動化されたり、省略されたりする。</p> <p>② データベースについて 加速器全体の状態を把握するデータを集録したり、また波形データなどのように容量の多いデータを扱うことになる。本計測・制御装置では、データベースを積極的に利用することを前提として、計算機のハードウェア、ソフトウェアを整備する。</p>	<p>② 近年大型の加速器施設においては、加速器運転の履歴、実験データの整理等にデータベースが利用されつつある。これらの施設では、個々の施設の歴史的背景や、使用実績の事情により、一度導入したものを全面的に変更することは、難しい事情にある。また、ネットワークの整備に伴い、データベースを統一する傾向にあるが、それでも、リレーショナルデータベースである ORACLE、Sybase などが多い。大きな施設において、検索速度が早く、画像等のデータを扱えるオブジェクト指向のデータベースは、過去の資産との互換性の問題で、まだ普及していない。 本加速器施設においては、新たな施設であること、より多くの種類のデータをあつかうことを考え、計算機のソフト・ハードともにデータベースとの整合性を考慮した。</p>	

表7.1 計測・制御系 設計条件(4)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
5	システム 開発 フェーズ	<p>① 本装置は試験の進展に伴い、その機器構成、計測方法の変更、運転方式の変更を前提としている。従って、装置納入時の状態は、現在設置されている機器に対する計測・制御部分と今後試験の進展に伴って開発していくツール部分に分かれる。</p> <p>開発のフェーズを以下に示す。</p> <p>(a) データ集録フェーズ 納入装置により、低ビーム試験を実施し、基礎データの収集を行う。</p> <p>(b) 制御フェーズ フルビーム (200kW) 加速に向けて、マニュアルでは制御できない部分を基礎データの解析に基づき、自動化する。(例えば、加速管全数の自動チューニング等)</p> <p>(c) 自動化フェーズ マニュアル加速器運転のデータ解析や、ビームダイナミックス等から大電流加速器の自動運転の可能性を探る。</p> <p>ツール部分の開発環境機器はデータ集録フェーズの改造に用いるだけでなく、制御・自動化フェーズの重要な役割を担う。</p>	<p>① 左記に示した条件に対して、特注の完成品では直ちに限界が現れる。特に計算機は進歩が速く、寿命が短い機器であるため、その選択は難しいものとなる。</p>	

表7.1 計測・制御系 設計条件(5)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
6	ソフトウェアの構成	<p>ソフトウェアの構成についてOS (基本ソフト)、アプリケーション、開発環境、GUI(グラフィカル・ユーザ・インターフェイス)等について示す。</p> <p>① OS 分散型ネットワークを統括するOSとしてはUNIXを基本とし、その上に必要とされるフロントエンド(またはウインドウ)を選択する。 OSの構成を図7.2に示す。この図に示したように、OSを表示・操作・管理する部分、及び計測・制御する部分に階層分けし、各々に適したUNIXを選択する。</p> <p>② OSの条件 (a) 表示・操作・管理部分 マルチタスク、マルチジョブ、ファイル管理(特に共通したシステムを持つこと例えばNFS等)、ネットワーク管理等の機能を持つこと。 また、優れたGUIの機能を持ち、その開発が容易に行えること。</p>	<p>① UNIX選択の理由は、他にマルチタスク、マルチジョブ、ファイル管理、ネットワーク管理等を汎用的に行えるOSがほとんどない状況がある。DOS, Macintosh OS等は複数の計算機でこれらの動作・管理を行うには信頼性、使い易さは低いものである。</p>	

表7.1 計測・制御系 設計条件(6)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
6	ソフト ウェアの 構成 (続き)	<p>(b) 計測・制御部分</p> <p>マルチタスク、マルチジョブ、ファイル管理 (特に共通したシステムを持つこと例えば NFS 等)、ネットワーク管理等の機能を持つこと。さらにリアルタイム機能を持つこと。リアルタイムの応答速度 (インターフェイスにフラグが立ってから OS が認識し、アプリケーションソフトが起動するまで) は ms 以下が望ましい。</p> <p>計測・制御機器を接続するインターフェイスボードに対して共用できるドライバが利用できることが望ましい。</p> <p>高速・制御・計測部分は現在、汎用 OS は無い。しかしリアルタイム UNIX の管理下に置き、周辺機器のように扱う。高速の制御に対しては、アプリケーションソフトの中で管理する。</p>	<p>(b) より多くのユーザがあるものほど、ソフトのバグが出ている。</p>	

表7.1 計測・制御系 設計条件(7)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
6	ソフトウェアの構成 (続き)	<p>③ アプリケーション</p> <p>加速器の運転、計測(監視を含む)、制御のすべての部分がここで記述される。プログラムは各機能ごとに、複数で構成され、動作時には複数の計算機に常駐し、並行して動作する。それぞれが独立に動作するもの、相互に関連するものとあり、これらはOSによって管理される。</p> <p>開発言語としては、積極的にオブジェクト指向の言語で記述し、開発した資源を有効に利用し、かつ開発したアプリケーションの保守を容易に行えるようにする。とくに複雑な操作を行う GUI の部分はオブジェクト指向とする。</p> <p>リアルタイム UNIX の部分は機器制御、計測からの入出力、ドライバー等が主であることから、現段階では、すでに開発された形態を用い、オブジェクト指向が可能なら採用する。</p>		

表7.1 計測・制御系 設計条件(8)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
6	ソフトウェアの構成 (続き)	<p>高速・制御・処理の部分はハードウェアに付属して用意されるライブラリーを利用して将来並列動作の処理プログラムが開発できる環境とする。初期段階としては、前処理をする専用アプリケーションとして動作し、リアルタイム UNIXから他の入出力と同様にアクセスできるようにする。</p> <p>付帯設備等に使用されているシーケンサに関しては、シーケンサは全て同機種を用いて、UNIXとの交信をネットワークを介して行う。インターフェイスはシーケンサ内に設けられたbufferを介して行う。</p> <p>④ 開発環境 アプリケーションの開発・変更がインハウスで容易に行えること。表7.1【柔軟性】の項目で述べたように、試験の進展にあわせて計測・制御系の柔軟性が必須である。 開発期間が短いこと(容易に作成できること)。GUI等手間の掛る部分に対して、視覚プログラミング等コーディングしなくても作成できる環境が望ましい。</p>	<p>④ 通常UNIXで用いられる X-window ではインハウスの開発は一般的には難しい。 また、これらの中で動作する開発用パッケージ等では、使用できる範囲が限定されてしまう(OS全体には適用できない)。</p>	

表7.1 計測・制御系 設計条件(9)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
6	ソフトウェアの構成 (続き)	<p>⑤ GUI</p> <p>人から計算機への入力、計算機から人への出力(表示)は、自由度を上げ、通常使用している機器に近い表示とする。また計算機の特徴を生かせる部分は積極的にそれを用いる(例えば、表示または状態データの一斉記録等)。</p>		
7	ハードウェアの構成	<p>ハードウェアの構成についてバス規格、ネットワーク規格、計算機等について示す。これらの規格は表7.1【ソフトウェアの構成】で示したOS、通信ソフト等は動作することを条件とする。</p> <p>加速器の status を一度に集録したり、高速の制御をかける機能を持たせるために、分散型に配置した計算機を高速のネットワークまたはバスで接続した構成とする。ハードウェアの概略構成を図7.3に示す。</p> <p>① バス規格</p> <p>計算機群の層によって使い分ける。利用できる(接続できる)モジュールが本加速器の計測・制御系を構成するのに便利なものを選ぶ。他施設(グローバル的に)での使用実績を考慮し、共通化を進める。</p>	<p>① バスとネットワークとの違いを明確に定義するのが、難しくなっている。ここでは、次のように決める。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・バス: 計算機周辺機器の入出力バス、またはGPIBのような計測バス。 ・ネットワーク: 計算機間を結ぶ通信プロトコルを持ったライン。 	

表7.1 計測・制御系 設計条件(10)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
7	ハードウェアの構成 (続き)	<p>② ネットワーク規格 計算機群の層によって使い分ける。</p> <p>(a) EWSと周辺機器、シーケンサ間</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 汎用性を考慮すると Ethernet のハードウェアしかない。通信プロトコルは IP プロトコルによる。それより高度なレベルは各機器により使い分ける。 <p>(b) リアルタイム UNIX 計算機間</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ EWSとの接続、汎用資源(リソース)との接続、開発環境からの条件から、Ethernetは必須である。計算機群を結合する高速ネットワークとしては、ソフトウェアを介せず読み書きの制御ができる、メモリマップ型(または、レフレクティブメモリ型)のインターフェイスを持つものが、高速化を容易に実現する条件となる。実用的技術水準から Ethernetより15~20倍速い通信速度を条件とする。(Ethernet ~1MB/s) 		

表7.1 計測・制御系 設計条件(11)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
7	ハードウェアの構成 (続き)	<p>(c) 高速計算機間</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 現状では使用する計算機によるので、とくに規定しない(③参照)。 <p>③ 計算機</p> <p>計算機群の層によって使い分ける。</p> <p>(a) EWSレベル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 必要とされる UNIX、GUI に対して、容易に導入できるもの。このうち1台はサーバの機能を持つこと。 <p>(b) リアルタイム UNIX レベル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ボード計算機として分散配置が可能であること。バス規格(①)で示した条件を満たすこと。 <p>(c) 高速計算機レベル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 高速計算機を並列に接続して、高速の処理・制御を行う。transputerとして一群で動作させたり、個々の計算機に入出力を行い、信号を処理させる。 		<p>(c)</p> <p>・ 社内資料【PNC TN 9410 93-148】</p>

表7.1 計測・制御系 設計条件(12)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
7	ハードウェアの構成 (続き)	<p>例としては、クライストロン安定化回路のフィードバック回路をアナログ回路から高速計算機を用いたデジタル処理で行う。</p> <p>並列化の概念については報告書参照のこと。</p> <p>ハードウェアの構成としてはリアルタイム UNIX のバスに乗せることは、速度の点から不利であるので、専用のバスを設ける。並列バスは計算機の専用規格とする。並列構成の概略を図7.4に示す。</p> <p>④ その他</p> <p>(a) 計算機の配置および計算機間の接続について</p> <ul style="list-style-type: none"> 計算機間は物理的に離れる場合に電源、信号等の接地、他機器からのノイズ等によりノイズを低減するために、電気的に絶縁する。具体的には、計算機が納められるラック間は光ケーブル等を用いて信号の受け渡しを行う。 		<ul style="list-style-type: none"> Frank Rinaldo, Stephn Wolbers, "Loosely coupled parallel processing at fermilab, " Computers in Physics, vol.7 No.2, 184 (1993) Dennis W. Duke, "Cluster computing exploits performance ans cost advantages," Computers inPhysics, vol.7 No.2, 176 (1993)

表7.1 計測・制御系 設計条件(13)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
7	ハードウェアの構成 (続き)	(b) 計算機の立ち上げについて <ul style="list-style-type: none"> ・ EWSレベルはサーバにマウントする点を除けば、独立に立ち上がる。リアルタイム UNIX レベルは各計算機にブート用の ROM を持たせる。これによりネットワークから立ち上げることによる不便さ(全部立ち上げるのに非常に時間がかかる)を解消する。 		
8	保守	① 構成機器 ハードウェアにおいても、できるだけ標準品、市販品を採用し、特注品を減らす。使用するモジュール類はできるだけ、共有化する。 ② 非常用電源 計測・制御系の計算機では、インターロック等加速器運転に重大な影響を与える制御は行わない。また、各要素の機器では異常時に各機器でフェイルセーフとする。本加速器は外部と関連がないため、異常時、加速器を停止する。従って、計測制御系の電源バックアップは統括制御を行っているEWSレベルのみとする。		

7.2 決定事項

計測・制御系の決定事項を表7.2に示す。

表7.2 計測・制御系 決定事項(1)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
1	ソフトウェアの構成	<p>① OS</p> <p>(a) 表示・操作・管理部分</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ NEXTSTEP(NEXT社) ・ バークレー大版UNIX とソースコンパチブルのカネゲーメロン大版 mach <p>(b) 計測・制御部分</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ HP-RT (ヒューレット・パッカード社) 	<p>①</p> <p>(a) UNIXの選択理由は表7.1【ソフトウェアの構成】に示したが、どのUNIXを選択するかは、その上にかぶされているウィンドウシステムがGUIとなって実際の画面構成、使い勝手を決定する。多くのUNIXシステムではMIT大のX-windowをベースに開発されている。NEXTSTEPはそのOSの部分から完全にオブジェクト指向言語 (Objective-C) で書かれている唯一のOSである。従って、GUIの開発環境は他のOSに比べて非常にエレガントであり、整っている。</p> <p>(b) UNIX は本来リアルタイム用に設計されていないが、UNIXの普及と共にリアルタイム版が使用できるようになった。HP-RT は、REAL-TIME SYSTEMS, INC.社のLynxOS をヒューレット・パッカード社が自社の計算機用に改良したもので、その使用実績、信頼性は高い。</p> <p>UNIXでない real time OS、GUI 環境の OS は p-DOS, Vsystem, VXworks, Lab-view 等あるが、UNIX との整合性、システムの拡張性、柔軟性等の点から、小規模なシステム (計算機1台で閉じている)、事象が少ないシステムが向いていると判断した。</p>	<p>(a) NEXTSTEPでのプログラミングの時間はX-window に比べて1/10 以下と言われている。</p>

表7.2 計測・制御系 決定事項(2)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
1	ソフトウェアの構成 (続き)	<p>(c) 高速・制御・計測部分 ハードウェアの項目で述べる。</p> <p>② アプリケーション</p> <p>(a) 表示・操作・管理部分</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ NEXTSTEP開発環境による GUI により、オブジェクト指向言語 (Objective-C) で製作する。 <p>(b) 計測・制御部分</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ HP-RT 開発環境により C 言語で製作する。 <p>③ ネットワーク</p> <p>各OSのUNIX対応のネットワークソフトを使用する。</p>	<p>②</p> <p>(a) 通常、GUIの開発環境はOSに対応しているため、OSを選択した時点で決定する。NEXTSTEPのOSにおいては、GUIの部分およびアプリケーションの部分に対してオブジェクトモジュール(クラス・ライブラリ)が用意されており、これらを使用してプログラミングを行う。またGUIの部分はinterface builderを用いて視覚的に行える。</p> <p>(b) 制御・計測部分はHP-RTの開発環境で行い、それ故ドライバは既存のものをできるだけ利用する。</p> <p>③ ネットワークに関するUNIXでのソフトは、OSの一部となっているため、各OSのソフトをそのまま利用している。TCP/IP 又は UDP/IP プロトコルを用い、さらに上位のプロトコルFTP等を用いている。ファイルに関しては NFS ファイル管理下にある。以上は UNIX の一部である。</p>	

表7.2 計測・制御系 決定事項(3)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
2	ハードウェアの構成	<p>① バス規格(図7.5参照)</p> <p>(a) 計測・制御部分</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ VME規格: 計測器部分 ・ GPIB規格: 計測器部分 <p>(b) 高速・計測・制御部分</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ VME規格および専用バス <p>② 計算機(図7.5, 7.6参照)</p> <p>(a) EWSレベル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ SPARC(SUNマイクロシステム社) <p>(b) リアルタイム UNIX レベル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ HP-743RT(ヒューレット・パカード社) <p>(c) 高速計算機レベル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ TMS320C40 (テキサス・インスツルメント社) 	<p>① VMEバス規格は、設計当初から工業用利用を考慮した規格であり、唯一の汎用バスと思われる。パーソナル計算機から始まったバス S-100、ISA、microchannel、EISA 等は衰退が激しく、また計測に使用できるモジュールが限られている。加速器実験等の分野では、VME規格よりCAMAC規格が適しているが、保守が難しいため、VME規格を採用した。</p> <p>②</p> <p>(a) NEXTSTEPが動作できるハードはhp(ヒューレット・パカード社)、sun(SUNマイクロシステム社)、intel(DOS/V系)がある。当初、ハードの信頼性、一意性を試験機で確認できたhpを採用する方向であった。しかし、NEXTSTEPのバージョンアップがhpに対して行われなため、同等品であるsunを選択した。sunの信頼性、一意性はメーカーで確認された。</p> <p>(b) HP-RT OS、及びVMEバスを選択したことから、一意的に決まる。</p> <p>(c) 計測処理用の高速計算機 DSP (Digital Signal Processor) はテキサス・インスツルメント社、モトローラ社等がある。並列構成ができ、チップ単体で計算機を構成しているテキサス・インスツルメント社を採用した。</p>	<p>②</p> <p>(a) 一意性: ここではハードのオプションに依らずOSが動作することを表す。</p>

表7.2 計測・制御系 決定事項(4)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
2	ハードウェアの構成 (続き)	<p>③ ネットワーク (図7.5, 7.6参照)</p> <p>(a) EWSレベルおよび外部</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ Ethernet、外部との接続にはアクセスを制限するルータおよびブリッジを入れる。 <p>(b) リアルタイムUNIXレベル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 汎用にはEthernet、高速通信用にはスクラムネット (SCRAMNet, Systran社) を用いる。 <p>(c) 高速計算機レベル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 汎用には専用バスを通してVMEバス、並列バスには専用シリアルバスを用いる。 	<p>また、信号処理のライブラリのみならず、並列構成のライブラリも用意されている。</p> <p>③</p> <p>(a) 機器標準であるため。</p> <p>(b) 汎用 Ethernet は、計算機の動作上必須である。また、高速通信用にスクラムネット、リフレティブメモリがある。両者ともVMEバスのメモリマップ上にデータを書き込み、ソフト上でのオーバーヘッドは無い。スクラムネットは、使わない(又は故障した)ノードをバイパスできる機能を持っており、スター接続が可能であるから採用した。</p> <p>(c) DSPはVMEボードに装着されており、専用のクレート (VMEクレート)と同じであるが、DSP用の専用バスが配線されている。</p>	

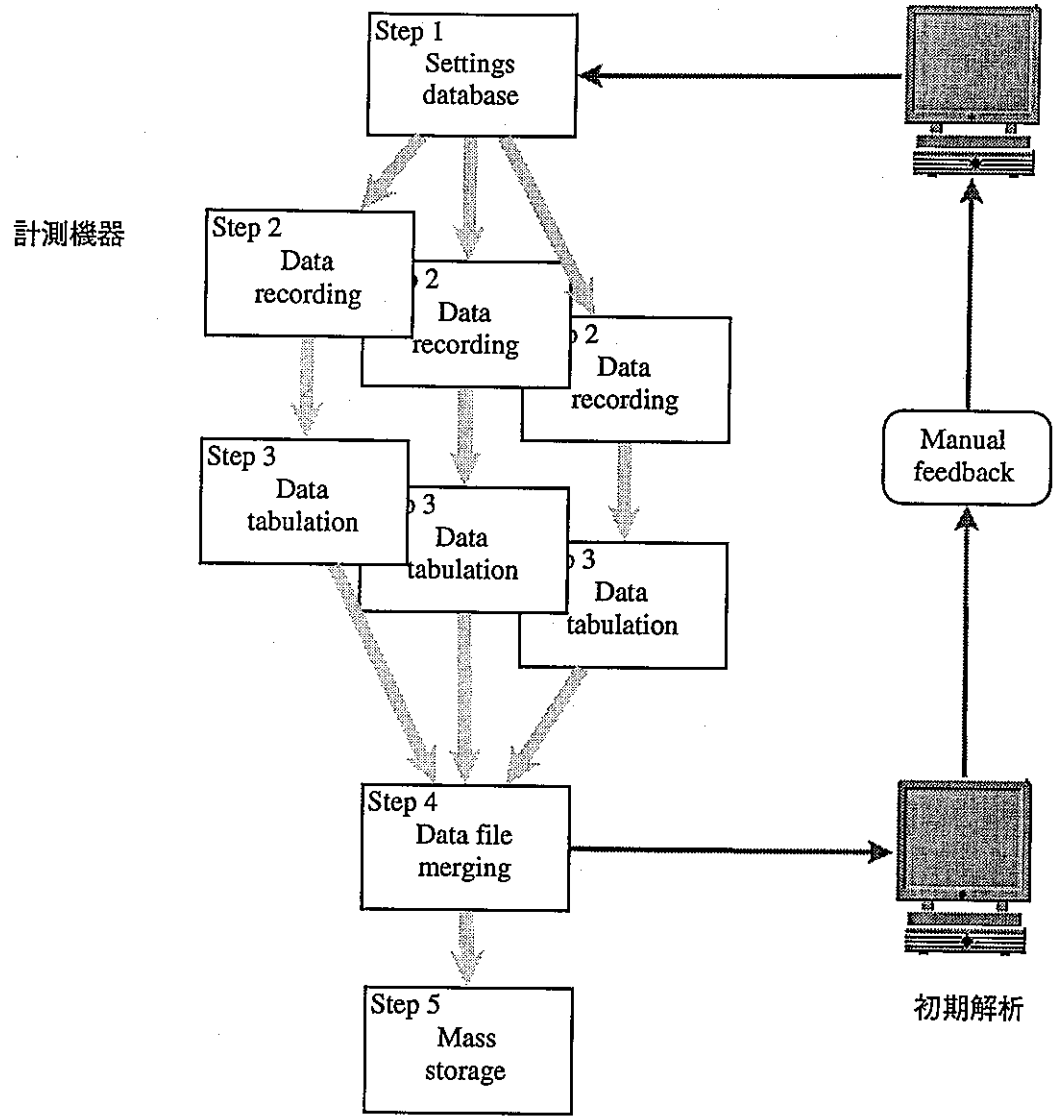


図7.1 基本的な試験におけるデータの流れ、操作

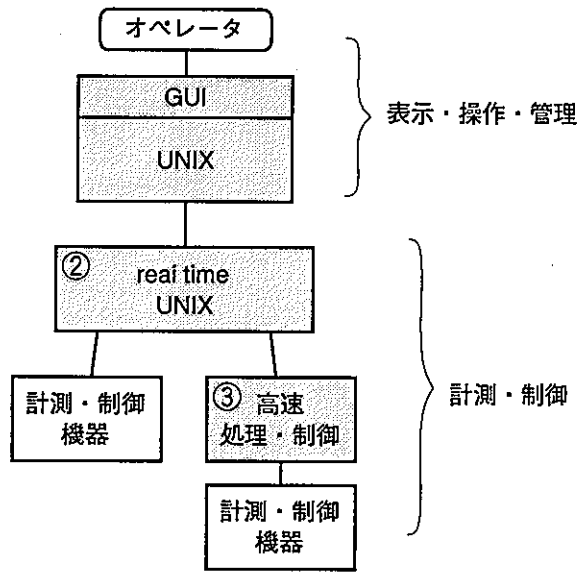


図7.2 OSの構成

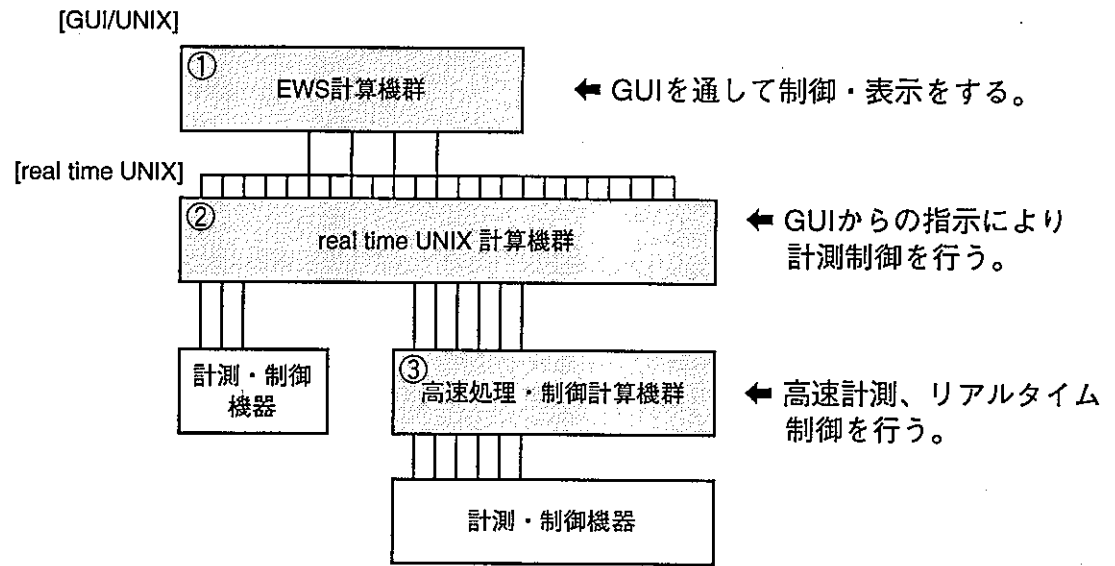


図7.3 ハードウェアの概略構成

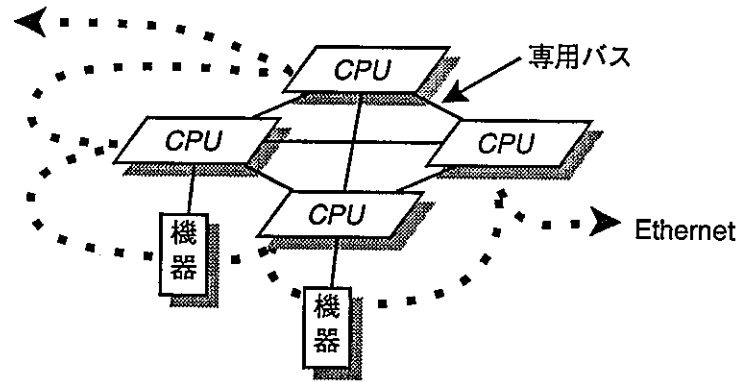


図7.4 並列構成の概略

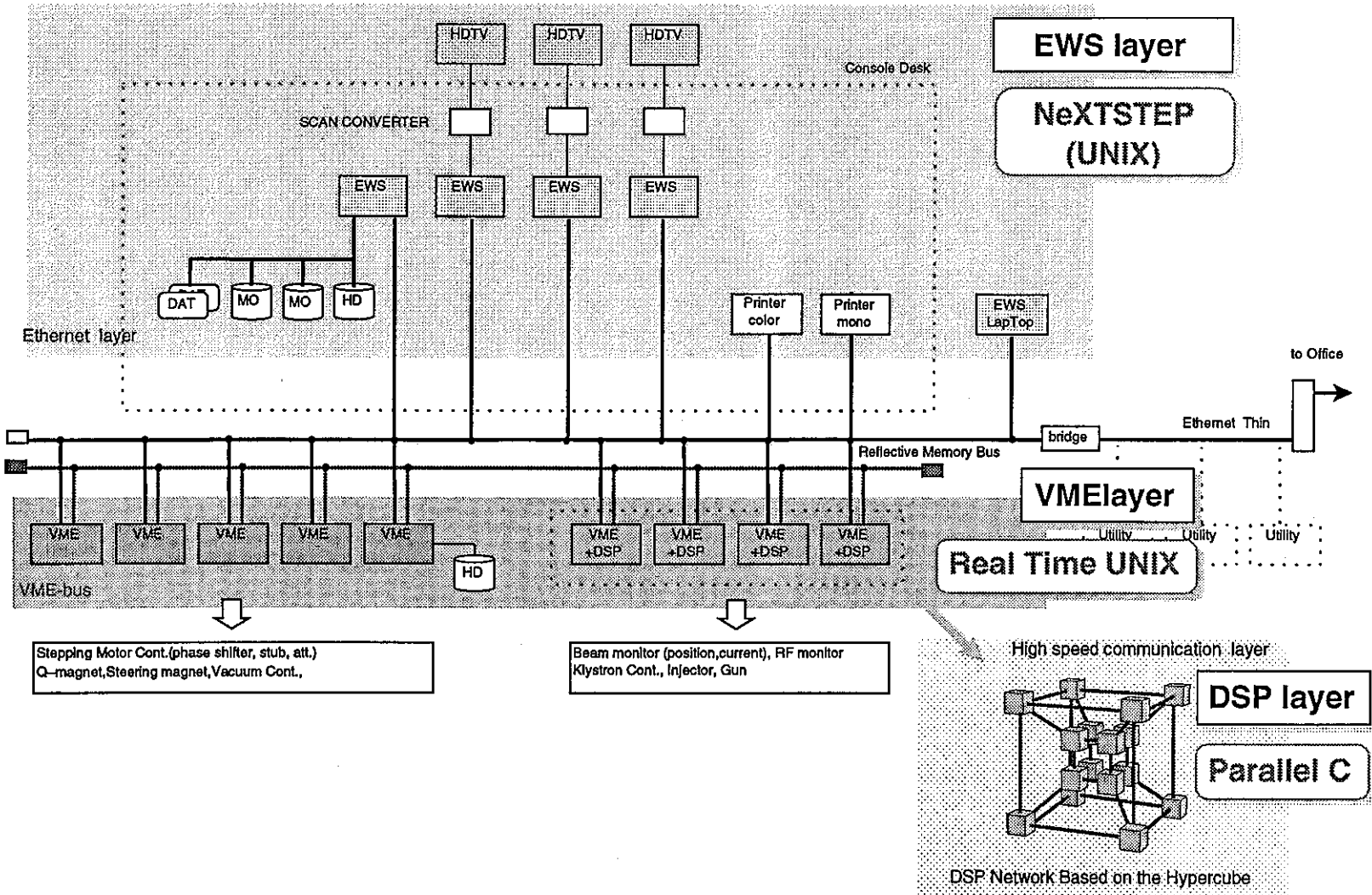


図7.5 機器構成の概略 (ハード・ソフト)

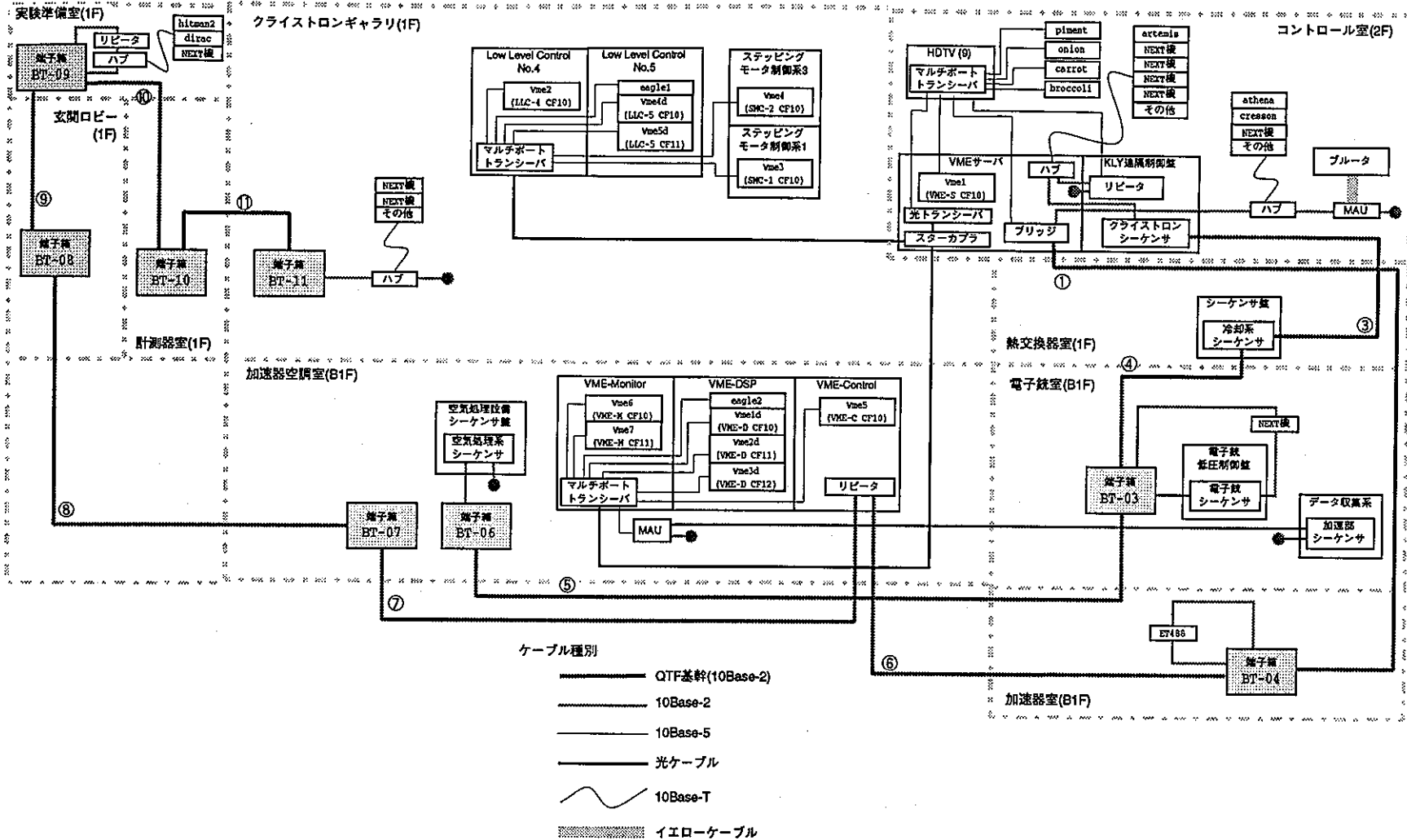


図7.6 機器配置とネットワーク(スクラムネットを除く)

第8章 冷却設備

8.1 設計条件

冷却設備の設計条件を表8.1に示す。

表8.1 冷却設備 設計条件(1)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
1	外気温・湿度条件	<ul style="list-style-type: none"> ・夏期 温度 31.0℃、湿度 68% ・冬期 温度 -5.0℃、湿度 53% 	建築設備設計基準(建設省発行)における水戸地方の屋外設計条件の外気温を使用する。	
2	加速器運転条件	<ul style="list-style-type: none"> ① 定常運転はエネルギー10MeV、平均電流20mAであるが、平均電流に関しては$1\mu\text{A} \sim 20\text{mA}$までの範囲で変化する。 ② クライストロン受入試験は、加速器の定常運転と同時に行わない。 ③ 冷却設備の運転開始後、最大4時間で水温が安定すること。 ④ 昼夜連続運転が行えるようにする。 	<ul style="list-style-type: none"> ① 定常運転の条件は表1.1より引用する。また、定常運転に至るまで低出力で運転する可能性があるため、運転出力に応じた温度制御が必要になる。 ② クライストロン受入試験時、建家の最大供給電力1MWに近い電力を消費するため、加速器定常運転と平行して実施できない。 ③ 冬期保温材を施した配管内の温度は10℃前後と予想され、ヒータによる加熱で毎時5℃の温度上昇により30℃となる。なお、毎時5℃の加熱はヒータの電力消費量を15kW程度と仮定して算出した。 ④ 昼夜連続してエージングなどの加速器運転に対応する。なお、通常の加速器運転は昼間のみとし、夜間冷却設備は運転しない。 	

表8.1 冷却設備 設計条件(2)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
3	冷却系統	<p>① 3種類の温度制御系統を有する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・粗温度系 (20 ~ 33 ℃) ・恒温度系 (30 ± 0.1 ℃) ・蒸気冷却水系統 <p>② 恒温度系は以下の機器に通水する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・チョッパーキャビティ ・プリバンチャー ・RF窓 ・バンチャー ・加速管 ・レゾナントリング ・大気系導波管 ・移相器 ・アッテネータ ・電力分割器 ・RF電子銃(テストベンチも含む) <p>③ 恒温度系機器のうち、大気系導波管、移相器、アッテネータ、電力分割器は他の恒温度系機器と別流路とする。</p>	<p>① 表1.2に基づき、精密な温度制御が必要となる系統(恒温度系)と精密な温度制御が必要ない系統(粗温度系)に分ける。クライストロンコレクターの冷却は蒸気冷却であるため、他の系統から分離する。粗温度系の上限温度は当初40℃であったが、ヒータ容量、冷却塔の容量を考慮し、33℃とする。</p> <p>② 温度変化により高周波の共鳴周波数が変わることを防ぐため、主に高周波関係の機器を恒温度系とした。</p> <p>③ これらの機器はアルミニウム A6061-T6 系合金が使用されており、他の機器は銅製である。このため、冷却水を経由して異種金属が混合する可能性がある。</p>	

表8.1 冷却設備 設計条件(3)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
3	冷却系統 (続き)	<p>④ 粗温度系は以下の機器に通水する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ビームダンプ ・クライストロン電源 ・クライストロン本体(ボディ、集束コイル) ・クライストロン窓 ・大気系ダミーロード ・電磁石 ・テョッパースリット ・コリメータ <p>⑤ 粗温度系機器のうち、クライストロン窓は他の粗温度系機器と別流路とする。</p> <p>⑥ 粗温度系及び恒温度系で使用する冷却水は、電導率$1 \mu S/cm$程度の純水とする。</p> <p>⑦ 工業用水を以下の系統に供給する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・密閉型冷却塔(粗温度系) ・チルドタワー(恒温度系) ・純水補給系 	<p>④ 恒温度系に比べて温度制御が必要のない機器を粗温度系とした。</p> <p>⑤ 窓の構造により、許容圧力が他の機器より低い。通常の許容圧力は$7 kg/cm^2$であるが、窓の場合は$4 kg/cm^2$である。</p> <p>⑥ 冷却水に不純物が含まれている場合、配管内に蓄積し、熱伝達率を低下させたり、腐食の原因となる。また、不純物が放射化する可能性がある。電導率を一定に保つため、標準仕様のイオン交換樹脂を用い、精製する。</p> <p>⑦ 密閉式冷却塔及びチルドタワーで散水用に工業用水を使用する。また、冷却設備で使用する純水を精製する純水補給系で工業用水を使用する。</p>	

表8.1 冷却設備 設計条件(4)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
4	機器側 負荷条件	<p>① 定常運転時、各系統で発生する熱量は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・粗温度系：661 kW ・恒温度系：256 kW ・クライストロン冷却系(窓)：2 kW ・蒸気冷却系：900 kW <p>表8.3に詳しい負荷容量、流量、機器圧損及び許容圧力を記載する。</p> <p>② クライストロン受入試験時、各系統で発生する熱量は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・粗温度系：465 kW ・クライストロン冷却系(窓)：2 kW ・蒸気冷却系：878 kW <p>表8.4に詳しい負荷容量、流量、機器圧損及び許容圧力を記載する。</p>	<p>① 定常運転時、各機器で発生する最大の熱負荷を求めた。</p> <p>② クライストロン受入試験時、各機器で発生する最大の熱負荷を求めた。</p>	
5	冷却水	<p>① 管理区域内の冷却水は、放射線安全取扱要領(センター)に基づく管理廃水として扱わない。</p> <p>② 管理区域内で使用した冷却水を排水する際の区分は一般廃液とする。しかし、自主管理として放射性物質の濃度を測定する。</p>	<p>① 施設で扱う最大ビームエネルギーは 10 MeV であるため、空気及び表面汚染が無い。このため、放射化は無く、第2種管理区域に指定されている。</p> <p>② ①及び放射性廃棄物管理要領(センター)に基づき、排水は一般廃液とする。しかし、放射性物質の濃度を確認するため、自主的に測定を行う。</p>	

表8.1 冷却設備 設計条件(5)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
5	冷却水	<p>③ 管理区域内で発生する排水は、極力少なくするよう対策を施す。</p> <p>④ 管理区域内のタンク、ポンプなどのドレン水は、廃液タンクに流入させる。</p> <p>⑤ 粗温度系については、特に細かい温度制御が必要ないため、管理区域外に設置された密閉式冷却塔に加速器等の機器より冷却水を直接流入させても構わない。</p> <p>⑥ 恒温度系については、管理区域内に熱交換器を設置し、冷却水を管理区域内外に分離しても構わない。</p>	<p>③ 排水は一般廃液であるが、管理区域から発生する量を極力少なくするように努める対策を施す。</p> <p>④ 管理区域で発生することを考慮して、自主的に廃液タンクに流入させ、管理する。</p> <p>⑤ 管理区域外で万一漏水があった場合でも、漏水は一般廃液として対応できるため、密閉式冷却塔に直接流入させることができる。</p> <p>⑥ 恒温度系については、細かく温度を制御する必要があるため、熱交換器を設置し、分離する。</p>	<p>⑤⑥ 高エネルギー加速器研究機構では、放射線低レベル区域を流れた冷却水は管理区域外に直接流入している。</p> <p>しかし、放射線高レベル区域を流れた冷却水は、管理区域内で循環している。</p>
6	電源	<p>① 冷却設備で使用する電力は、電源室にある変圧器盤(三相, 6300 V, 20 A)より供給する。</p>	<p>① 冷却設備に単独で給電するため。</p>	
7	機器配置	<p>① チルドタワー、密閉式冷却塔、蒸気復水器は屋外機械室エリアとする。これらの機器は風雨・防水対策を施すとともに、塩害仕様とする。</p>	<p>① 外気に熱を放出するため。尚、海が近いので、塩害を考慮する。</p>	

表8.1 冷却設備 設計条件(6)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
7	機器配置 (続き)	<p>② ①以外のタンク、ポンプなどの機器は熱交換器室に設置する。尚、スペースなどの理由から熱交換器室に設置できない場合は、屋外機械室内に設置する。</p> <p>③ 屋外機械室には屋根を設ける。</p> <p>④ 施設建築時に、以下の埋設管を設ける。 1) 熱交換器室～電子銃室 100A×6, 50A×4, (SUS304sch20s JIS10KF) 2) 電子銃室～加速器室 100A×6, 50A×2, (SUS304sch20s JIS10KF)</p>	<p>② 熱交換器、タンク、ポンプを集中的に配置することにより、運転・保守の効率を向上させる。</p> <p>③ 当初屋根は不要と考え、囲いだけの建物とした。しかし、配管内の凍結を防止するため、屋根を設けることにした。</p> <p>④ 施設地下階は、放射線遮蔽のためコンクリート厚が厚く、竣工後貫通口を設けることは困難である。埋込管を使用する系統は以下の通りである。 ・電子銃 50A×2 ・加速器 100A×6 (予備2本含む) ・ビームダンプ 50A×2</p>	
8	取合点	<p>機器の取合点は以下の通りとする。</p> <p>① 電子銃：ヘッダー ② 加速器(加速器室関係)：電子銃室～加速器室間の埋込管 ③ 加速器(大気系導波管関係)：フランジ ④ ビームダンプ：熱交換器二次側フランジ ⑤ クライストロン：クイックカプラー、フランジ</p>	<p>①③ 供給元を一カ所で管理するため。</p> <p>② 機器配置が複雑になるため、コストを考慮して埋込管入口とした。</p> <p>④ 表4.1【熱交換器②】を参照のこと。</p> <p>⑤ クライストロンはタンクから取り出すため、配管の接続は脱着可能なクイックカプラーとする。蒸気冷却系は配管口径が大きいいため、フランジ取合とする。</p>	

表8.1 冷却設備 設計条件(7)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
8	取合点 (続き)	⑥ 工業用水:屋外機械室 地中埋設配管	⑥ 建家建設時、冷却設備の機器配置が決定されていなかったため、地中に埋設させたことによる。	
9	運転・監視	<p>① 各系統は、熱交換器室から運転する。</p> <p>② 各系統の運転状態は、コントロール室、クライストロンギャラリー、熱交換器室から監視できるようにする。</p> <p>③ 加速器運転用計算機に運転状態を記録できるようにする。</p>	<p>① 一つの系統毎に個々の部屋で操作することは非効率的である。このため、ポンプ、タンクが多くある熱交換器室から集中して運転・操作する。</p> <p>② 各系統毎の調整があることを考慮し、クライストロンギャラリー、熱交換器室で監視できるようにした。また、加速器を運転するコントロール室でも保安上監視する必要がある。</p> <p>③ 運転状態を記録することにより、点検・保守を効率よく行える。また、トラブル発生時、原因究明に役立つため。</p>	① 集中的に管理することで、起動初期における異常にも対応できる。
10	安全対策	<p>① 各系統の母管には圧力計、流量計、温度計を設け、運転状態を監視する。</p> <p>② 加速器運転の際、冷却設備として準備が完了していない場合、インターロック系に信号を出力し、加速器の運転を阻止する。</p> <p>③ 電子銃室に送水する配管には、緊急遮断弁を設ける。</p>	<p>① 母管が破断した場合、大量の漏水が予想されるため、常に流量などの情報を収集する必要がある。また、負荷に一定温度の冷却水を供給する観点からも必要である。</p> <p>② 高周波を共鳴させるなど、加速器の運転条件を一定に保つ必要がある。これにより安全を担保する。</p> <p>③ 電子銃室では高電圧が印加されており、配管からの漏水により感電などの事故を未然に防ぐ。</p>	

表8.1 冷却設備 設計条件(8)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
10	安全対策 (続き)	<p>④ ブレードホースで機器を接続した箇所に漏水検知器を設ける。また、漏水を受けるパンも設ける。</p> <p>⑤ 蒸気冷却系、恒温度系の配管及びタンクには保温材を巻く。</p> <p>⑥ 冷却設備を構築する際、耐震クラスはCとする。</p> <p>⑦ 配管・電気配線のサポートを建家の梁より取る場合、梁の強度を計算し、問題の無いことを確認する。</p> <p>⑧ 恒温度系で使用するチルドタワーは、高圧ガス保安法に基づき、設計・製作する。</p>	<p>④ ポリッシャーなどで使用するブレードホースが、コネクターから外れる可能性があるため。また、漏水した場合、拡大を防止するため、パンを設ける。</p> <p>⑤ 蒸気冷却系は100℃近くの水及び蒸気を扱うため、配管及びタンクに誤って触れると火傷することが考えられる。また、恒温度系は、特に細かい温度制御が必要であり、外部への熱伝達を極力抑えなければならない。このため、配管及びタンクに保温材を巻く。</p> <p>⑥ 表11.1【耐震】による。</p> <p>⑦ 基本的に配管・電気配線のサポートは床に取り付ける。しかし、設置場所の制限から梁からサポートを取る場合、建築基準法に基づき、梁の強度を確認する必要がある。このため、梁に加わる荷重を改めて計算し、梁の健全性を確認する。</p> <p>⑧ チルドタワーの冷凍能力が高圧ガス保安法で定める値(フロンガスでの冷凍能力20トン)を越えるため。</p>	

8.2 決定事項

冷却設備の決定事項を表8.2に示す。

表8.2 冷却設備 決定事項(1)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
1	冷却系統	<p>冷却設備の冷却系統は、以下の通りとする。</p> <p>① 粗温度系：屋外機械室に密閉式冷却塔を設置し、冷却した純水を4系統(加速器系、ビームダンプ系、クライストロン、電子銃)に供給する。供給後、タンクに入れ、密閉式冷却塔に戻す。</p> <p>② 恒温度系：屋外機械室にチルドタワーを設置し、冷却した純水を熱交換器室内にある熱交換器2台に供給する。この熱交換器2台で、各々加速器室及びクライストロンギャラリーへ冷却水を供給する。</p> <p>③ 蒸気冷却系：屋外機械室に蒸気復水器を設置し、クライストロンから発生した蒸気を復水する。復水された冷却水はタンクに蓄えられ、クライストロンに供給される。</p> <p>④ クライストロン冷却系：クライストロンギャラリーにパッケージ型冷凍機を設置し、クライストロン窓へ供給する。</p>	<p>① 表8.1【冷却系統④】及び表8.1【冷却水⑤】に基づき、決定する。</p> <p>② 表8.1【冷却系統②③】及び表8.1【冷却水⑥】に基づき、決定する。</p> <p>③ 高エネルギー加速器研究機構での実績と表8.1【冷却水①】に基づき、決定する。</p> <p>④ 表8.1【冷却系統⑤】に基づき、決定する。</p>	

表8.2 冷却設備 決定事項(2)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
1	冷却系統 (続き)	<p>⑤ 純水補給系：屋外機械室にフィルター及びイオン交換樹脂を設置し、工業用水から純水を精製する。精製された純水は、冷却設備の各系統及びビームダンプ系へ供給する。</p> <p>⑥ 圧縮空気系：圧縮空気を製造し、各系統に供給する。 尚、図 8.1 に概略系統図を示す。</p>	<p>⑤ 表8.1【冷却系統⑦】に基づき、決定する。</p> <p>⑥ バタ弁の開閉に圧縮空気を使用する。</p>	
2	冷却能力	<p>① 冷却設備の冷却能力を以下の通りとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・密閉式冷却塔 (粗温度系) 水量：1,777 ℓ/min 入口水温：39.8℃、出口水温：31.0℃ 湿球温度：27.0℃ 設計負荷：1091 kW ・チルドタワー (恒温度系) 水量：565 ℓ/min 入口水温：31.5℃、出口水温：25℃ 湿球温度：27.0℃ 設計負荷：256 kW 法定冷凍能力：30.17 トン 	<p>① 各系統で発生する熱量以上を冷却できるよう、機器を選定する。</p>	<p>① 「冷却設備の製作・据付」完成図書 設計計算書編 その1 参照</p>

表8.2 冷却設備 決定事項(3)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
3	冷却能力 (続き)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 蒸気復水器 (蒸気冷却系) 水蒸気量 : 3,000 kg/h 入口気温 : 32.0 °C、出口気温 : 65.4 °C 交換熱量 : 2,081 kW ・ パッケージ型冷凍機 (クライストロン冷却系) 冷凍能力 : 2 kW @ 30 °C 温度制御範囲 : 20 ~ 30 °C ±0.1 °C <p>② 各冷却機器は、熱量に応じて段階的に冷却能力を切り替える。</p>	<p>② 表8.1【加速器運転条件①】に示した通り、加速器の出力が広範囲で変化するため。特に低出力時にも温度制御できるようにする。</p>	
4	機器仕様	<p>① 締切圧を 9.8 kg/cm² G 以下とする。</p> <p>② 各系統の流量及び熱負荷は、最大流量及び最大熱負荷を想定した系統とする。</p> <p>③ 各タンクの容量は、各系統内の負荷で必要とする流量を 3 分間供給できるものを選定する。但し、クライストロン脇のリザーブタンクの容量は 0.7 m³ とする。</p>	<p>① ボイラー及び圧力容器安全規則に定める第一種圧力容器に適用されないため。</p> <p>② 流量・熱負荷は加速器の運転状態によって変化するため。なお、負荷に変動が生じた場合、バイパス経路へ流れる流量を調整する。</p> <p>③ 機器へ接続された母管が破断した場合を想定し、機器が停止する 3 分間だけ冷却水を流せるようにする。尚、クライストロンの場合、コレクターが常に冷却水で満たされる必要があるため、コレクター部と同じ容積とする。</p>	

表8.2 冷却設備 決定事項(4)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
4	機器仕様 (続き)	<p>④ 配管及び機器(ストレーナ含む)の材質は、SUS304 系統とする。但し、蒸気冷却系の材質は、SUS316 系統とする。</p> <p>⑤ 配管の肉厚は Sch 20 S 以上とする。</p> <p>⑥ 母管の内径を、流速が 2 m/s となり、ポンプ吐出圧力の 50 % において定格流量となるように選定する。</p> <p>⑦ 各系統の配管圧力損失を表 8.5 に示す。</p> <p>⑧ 配管は 1 ~ 6 m 以内に一カ所以上のクランプで固定する。</p> <p>⑨ 蒸気冷却系を除く各系統に、タンクより負荷側と別ラインで簡易純水精製装置(ポリッシャー)に冷却水を供給し、精製後タンクに流入させる。 尚、ポリッシャーにはバイパスラインを設ける。</p>	<p>④ 腐食などの 2 次汚染を防止するため。尚、蒸気冷却系は 100 °C 前後の蒸気及び冷却水が流れるため、SUS304 系統よりさらに耐食性のある SUS316 系統とする。</p> <p>⑤ 肉厚はポンプ締切圧の 2 倍に耐えられる厚さとする。</p> <p>⑥ 運転時の騒音を抑えるように流速を選定する。さらに、低圧損ラインのため、ポンプ吐出圧力の 50 % で定格流量が得られるようにする。</p> <p>⑦ 送水ポンプの容量を決めるため、配管内を流れる流体の圧力損失を求めるヘーゼンウィリアムの公式を用いて、配管圧力損失を計算する。</p> <p>⑧ JIS 及び日立製作所 原子力機器設備基準 [大強度 CW 電子線形加速器用加速部の設計 参考資料 3.1.5-1] に準拠するため。</p> <p>⑨ 冷却水の電導率を劣化させないため。また、運転中、ポリッシャーのイオン交換樹脂が劣化し、交換することを考慮し、バイパスラインを設ける。尚、蒸気冷却系では、ポリッシャーの耐熱温度以上の冷却水が流れるので、使用しない。</p>	<p>⑦ 「冷却設備の製作・据付」完成図書 設計計算書編 その 1 参照</p>

表8.2 冷却設備 決定事項(5)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
4	機器仕様 (続き)	<p>⑩ ポリッシャーの前後にフィルターを入れる。</p> <p>⑪ 冷却水の電導率が低下した場合、電導率が改善するまでポリッシャーへ冷却水を流す。万一、改善されない場合、タンク内の冷却水を一部純水に交換する。</p> <p>⑫ 蒸気冷却系を除く各系統のタンク上部は、空気から窒素ガスに置換できるようにする。</p> <p>⑬ 送水ポンプは各系統2台設置する。</p> <p>⑭ タンクに接続された配管出口位置は、液面下になるようにする。</p> <p>⑮ 配管はフランジ又は突き合わせ溶接で接続する。尚、フランジを用いる場合、原則としてNBR系のOリングとする。</p>	<p>⑩ ポリッシャーの前には系統内で発生したゴミを除去するため、0.4 μm程度の中空糸フィルターを設ける。また、ポリッシャーの後にはイオン交換樹脂で発生するゴミを除去するため、0.8 μm程度の中空糸フィルターを設ける。</p> <p>⑪ ポリッシャーは冷却水の電導率を劣化させないために用いるが、ポリッシャーの精製能力を越えそうな場合、タンク内の冷却水を純水に交換した方が安価で効率的である。</p> <p>⑫ 空気中の酸素が冷却水に溶け込み、電導度を劣化させる可能性がある。</p> <p>⑬ 2台のうち、1台は予備とする。</p> <p>⑭ 冷却水の攪拌、ヒーターの熱伝達を効率的にするため。</p> <p>⑮ 配管を取り外すことを考慮する。また、今回製作する箇所は放射線による劣化が考えにくいいため、NBR系のOリングを採用する。</p>	

表8.2 冷却設備 決定事項(6)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
4	機器仕様 (続き)	<p>⑯ クライストロン蒸気配管内部にバッフル板を設ける。</p> <p>⑰ クライストロン蒸気配管内の圧力を大気圧に等しくなるように開放する。また、配管内の圧力が負圧になった場合、建家内の空気をブリーザー弁で吸い込むようにする。</p>	<p>⑯ クライストロンから蒸発した蒸気に温水が混じっており、温水が落下した場合コレクターを損傷させる可能性がある。なお、バッフル板に当たった温水はリザーブタンクに自然落下するようにする。</p> <p>⑰ 密閉系の場合、加圧状態となり、液面から蒸気が発生しなくなる。このような状態が続くと、リザーブタンクの振動が起こり、運転に支障がある。</p> <p>また、クライストロンの運転状態により、配管内が負圧になった場合、塩害を防止する観点から、建家内の空気を吸い込むようにする。空気中の塩分をフィルターで除去することも考えられるが、フィルター交換時期が不明のため、ブリーザー弁を選定する。</p>	
5	運転方案	<p>① 粗温度系は、屋外タンク (WTA-2) の水位が一定になるように、送水ポンプ (WPU-5) の送水量を三方弁で調整する。</p>	<p>① 粗温度系は、一つの閉ループ内に送水ポンプ2台 (WPU-2, WPU-5) とタンク2台 (WTA-2, WTA-5) がある。もし、2台のポンプから送水される水量が同じ場合、タンクの水位は一定となる。しかし、起動時の僅かな流量差によりタンク水位が安定しないことが度々発生した。</p> <p>このため、WTA-2の水位が一定になるようにWPU-5からの送水の一部をWTA-5に戻すように三方弁を設置する。</p>	

表8.2 冷却設備 決定事項(7)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
5	運転方案 (続き)	<p>② 粗温度系の運転を停止する際、三方弁を屋内タンク (WTA-5) 側に全開する。</p> <p>③ 恒温度系の温度制御は、負荷側の温度により熱交換器入口側の三方弁開度を調整するPID制御とする。尚、温度測定点は負荷側入口とする。</p> <p>④ 恒温度系を運転開始した時、系内にあるヒーターで水温を31℃前後まで上げた後、チルドタワーで冷却させ、30℃に設定する。</p> <p>⑤ クライストロンを1台で運転する場合、停止しているクライストロンの蒸気配管を閉止する。</p> <p>⑥ 送水ポンプは、原則として月に一度予備ポンプに切り替え、交互運転とする。</p>	<p>② タンク2台に約3mの落差があるため、粗温度系を停止した後、冷却水がWTA-5(熱交換室)からWTA-2(屋外機械室)へ二つの経路で落水する。このうち、密閉式冷却塔を経る経路からの落水を防止するため、停止時に三方弁をWTA-5側に全開する。</p> <p>③ 機器の負荷に応じて温度を制御するため、熱交換器入口側(チルドタワー側)の三方弁を調整する。負荷での温度を一定に保つため出口温度が一定になる必要があるが、当面負荷が低いため、入口温度で制御する。</p> <p>④ 当初30℃まで上げた後、チルドタワーで冷却させたが、温度のばらつきが大きくなった。このため、上昇させる温度をパラメータとして安定度を調査した結果、31℃が最適と判断した。</p> <p>⑤ 停止しているクライストロン蒸気配管内の圧力を一定に保つため。万一閉止していない場合、蒸気によりコレクターが損傷させる可能性がある。</p> <p>⑥ 送水ポンプで使用しているメカニカルシールを健全に保つため。</p>	<p>② 加速器要素機器を経て落水する経路については、対策を講じていない。</p> <p>③ 負荷が定格出力に近くなる場合、PID制御方法を検討する必要がある。</p>

表8.2 冷却設備 決定事項(8)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
6	安全対策	① 配管に挿入する測温抵抗体に、保護管を用いる。	① 流力振動により測温抵抗体が破損しないように保護する。	

表8.3 定常運転時熱負荷表 (1/3)

冷 却 系 統		機 器 仕 様				温度	機器	許容		
		機 器 名 称	負荷 /台 kW	台数	負荷容量 kW	流量 ℓ/min	上昇 °C	圧損 kg/cm ²	圧力 kg/cm ²	
粗温度冷却系 負荷入口30°C+ 3°C -10°C 1,369 ℓ/min以上 661 kW 以上	粗温度系統 1,369 ℓ/min 661 kW	ビーム管 360 ℓ/min, 250 kW	・熱交換器	200	1台	250	360	10.0	3	7
		クライストン電源 230 ℓ/min, 102 kW	・変圧整流器	80	1台	80	150	7.6	1	7
			・フィードモジュラータ	11	2台	22	80	4.0	1	7
			クライストン本体 220 ℓ/min, 12 kW	・籽イ	5	2系	10	200	0.7	4
		・集束コイル		1	2系	2	20	1.4	2	10
		大気系フィード 250 ℓ/min, 124 kW		12.4	10系	124	250	7.1	2	7
		電子銃電源関係 80 ℓ/min, 40 kW	・電子銃電源	5	1台	5	10	7.2	2	7
・電子銃磁石	5		1台	5	10	7.2	2	7		
・テストベンチ	10		3系	30	60	7.2	2	7		
電磁石関係 (電子銃室) 32 ℓ/min, 14 kW	・マグネット 電源A	0.4	25台	10	25	6.3	3	7		
	・マグネット 電源B	1	1台	1		7	4.5	4	7	
	・ソレノイドコイルB	2.2	1式	2.2						
加速器関係 197 ℓ/min, 119 kW	・チョップスリット	12	1台	12	35	4.9	2	7		
	・コレクタ A	5	1台	5	14	5.1	2	7		
	・コレクタ B	2	1台	2	4	7.2	2	7		
	・大気系フィードB	12.5	8系	100	144	10.0	2	7		

表8.3 定常運転時熱負荷表 (2/3)

冷 却 系 統			機 器 仕 様				温度 上昇 °C	機器 圧損 kg/cm ²	許容 圧力 kg/cm ²				
			機 器 名 称	負荷 /台 (kW)	台数	負荷 容量 (kW)				流量 ℓ/min			
恒温度冷却系 負荷入口30°C±0.1 °C 1,148 ℓ/min以上 256 kW 以上	加速器系統 997 ℓ/min 224 kW	RF電子銃 60 ℓ/min, 20 kW	・RF電子銃#ビイ1	5	1台	5	15	4.8	2	7			
			・RF電子銃#ビイ2	5	1台	5	15	4.8	2	7			
			・テストベンチ	3	3系	10	30	4.8	2	7			
			加速器関係			・チョップ#ビイ	2	1台	2	10	2.9	2	7
				・リバチ	2	1台	2	10	2.9	2	7		
				・RF窓	0.2	10系	2	60	0.5	2	7		
			・バンチ(BUN)	17.2	1台	17.2	70	3.5	2	7			
			・加速管(ACC1-3)	17.1	3台	51.3	210	3.5	2	7			
			・加速管(ACC4-7)	17.1	4台	68.3	280	3.5	2	7			
			・リフントリング(BUN)	9.1	1台	9.1	45	2.9	3	7			
			・リフントリング(ACC1-3)	8.1	3台	24.3	120	2.9	3	7			
			・リフントリング(ACC4-7)	6.8	4台	27.2	132	3.0	3	7			
		導波管系統 151 ℓ/min 32 kW	大気系導波管関係		・大気系導波管								
				〔入射部	1.5	1式	1.5	8	2.7	2	7		
				〔加速部	5.0	1式	5.0	24	3.0	2	7		
				・移相器	2.3	1式	2.3	11	3.0	2	7		
				・アッテネータ	1.2	1式	1.2	6	2.9	2	7		
				・電力分割器									
		〔入射部	11.3	1式	11.3	54	3.0	2	7				
		〔加速部	10.0	1式	10.0	48	3.0	2	7				

表8.3 定常運転時熱負荷表 (3 / 3)

冷 却 系 統			機 器 仕 様				温度 上昇 °C	機器 圧損 kg/cm ²	許容 圧力 kg/cm ²	
			機 器 名 称	負荷 /台 (kW)	台数	負荷 容量 (kW)				流量 ℓ/min
クライストン 冷却系 負荷入口30°C + 3°C -10°C 30 ℓ/min以上 2 kW 以上	クライストン 冷却系統 30 ℓ/min 2 kW	クライストン 出力窓 30 ℓ/min, 2 kW	・出力窓	0.5	2系	1	20	0.7	2	4
			・出力導波管	0.3	2系	0.6	10	0.9	1	10
蒸気冷却系 蒸気温度 100 °C 1,500*kg/h以上 900 kW以上	蒸気冷却系統 1,500*kg/h 900 kW	クライストンコレクタ 1,500*kg/h, 900 kW	・クライストンコレクタ	450	2系	900	1,500* (kg/h)	—	—	—

(*) 蒸気量として換算。

表8.4 受入試験時熱負荷表

冷 却 系 統			機 器 仕 様				温度 上昇 ℃	機器 圧損 kg/cm ²	許容 圧力 kg/cm ²	
			機 器 名 称	負荷 /台 kW	台数	負荷 容量 kW				流量 ℓ/min
粗温度冷却系 負荷入口30℃+ 3℃ -10℃ 950 ℓ/min以上 465 kW 以上	粗温度系統 950 ℓ/min 465 kW	クriston電源 230 ℓ/min, 102 kW	・変圧整流器 ・アノードモジュール	80 11	1台 2台	80 22	150 80	7.6 4.0	1 1	7 7
		クriston本体 220 ℓ/min, 12 kW	・籽イ ・集束コイル	5 1	2系 2系	10 2	200 20	0.7 1.4	4 2	10 10
		クriston関係 500 ℓ/min, 351 kW	・クristonダミーロード ・クriston導波管	350 1	1系 1系	350 1	490 10	10.2 1.4	— —	— —
クriston 冷却系 負荷入口30℃+ 3℃ -10℃ 30 ℓ/min以上 2 kW 以上	クriston 冷却系統 30 ℓ/min 2 kW	クriston 出力窓 30 ℓ/min, 2 kW	・出力窓 ・出力導波管	0.5 0.3	2系 2系	1 0.6	20 10	0.7 0.9	2 1	4 10
蒸気冷却系 蒸気温度 100 ℃ 1,500*kg/h以上 878 kW以上	蒸気冷却系統 1,500*kg/h 878 kW	クristonコック 1,500*kg/h, 878 kW	・クristonコック	878	1系	878	1,500* (kg/h)	—	—	—

(*) 蒸気量として換算。

表8.5 圧力損失表 (1/2)

項 目	④ 恒温度熱交1次側 (屋外-熱交室)	⑤-1 粗温度系(戻) (熱交室-屋外)	⑥ 蒸気系(供給) (屋外-KLY室)	⑦ 蒸気系(KLY循環) (クライストロンキャリアー)	⑧ 純水供給 (熱交室-屋外)	⑤-2 粗温度系(戻) (熱交室バイパスライン)
タンク内圧	0.08 k ↓ 0.42 k	0.08 k ↓ 0.82 k	0.08 k ↓ 0.22 k	- ↓ 0.2 k	- ↓ 0.72 k 0.08 k	0.08 k ↓ 1.84 k
ポンプ吐出圧	3.5 k	2.5 k	2.0 k	3.0 k	1.8 k	2.5 k
納入機器圧損	1.6 k	0.7 k				0.3 k
配管圧損	0.8 k	0.3 k	0.9 k	0.1 k	0.4 k	0.08 k
負荷圧損				2.2 k		
ポテンシャル	0.6 k	0.6 k	0.8 k	0.5 k	0.6 k	0.2 k

表8.5 圧力損失表 (2/2)

項目	①-1 粗温度系 (屋外熱交室-加速管室)	①-2 粗温度系 (屋外熱交室-電子銃室)	①-3 粗温度系 (屋外熱交室-KLY室)	② 恒温度系 (熱交室-加速管室)	③ 恒温度系 (熱交室-KLY室)
タンク内圧	—	0.08 k	0.08 k	0.08 k	0.08 k
ポンプ吐出圧	6.5 k	6.5 k	6.5 k	7.0 k	5.5 k
納入機器圧損	0.6 k	0.6 k	0.40 k	1.6 k	1.6 k
配管圧損 (行)	0.6 k	0.6 k	0.40 k	0.3 k	0.73 k
負荷圧損	Max (機器) 2.0 k (配管) 1.1 k	Max 4.0 k	Max 4.0 k	Max (機器) 3.0 k (配管) 0.4 k	Max (機器) 2.0 k (配管) 0.3 k
配管圧損 (戻)	0.03 k	0.12 k	0.05 k	0.06 k	0.08 k
ポテンシャル	1.1 k	1.1 k	0.6 k	1.1 k	0.4 k

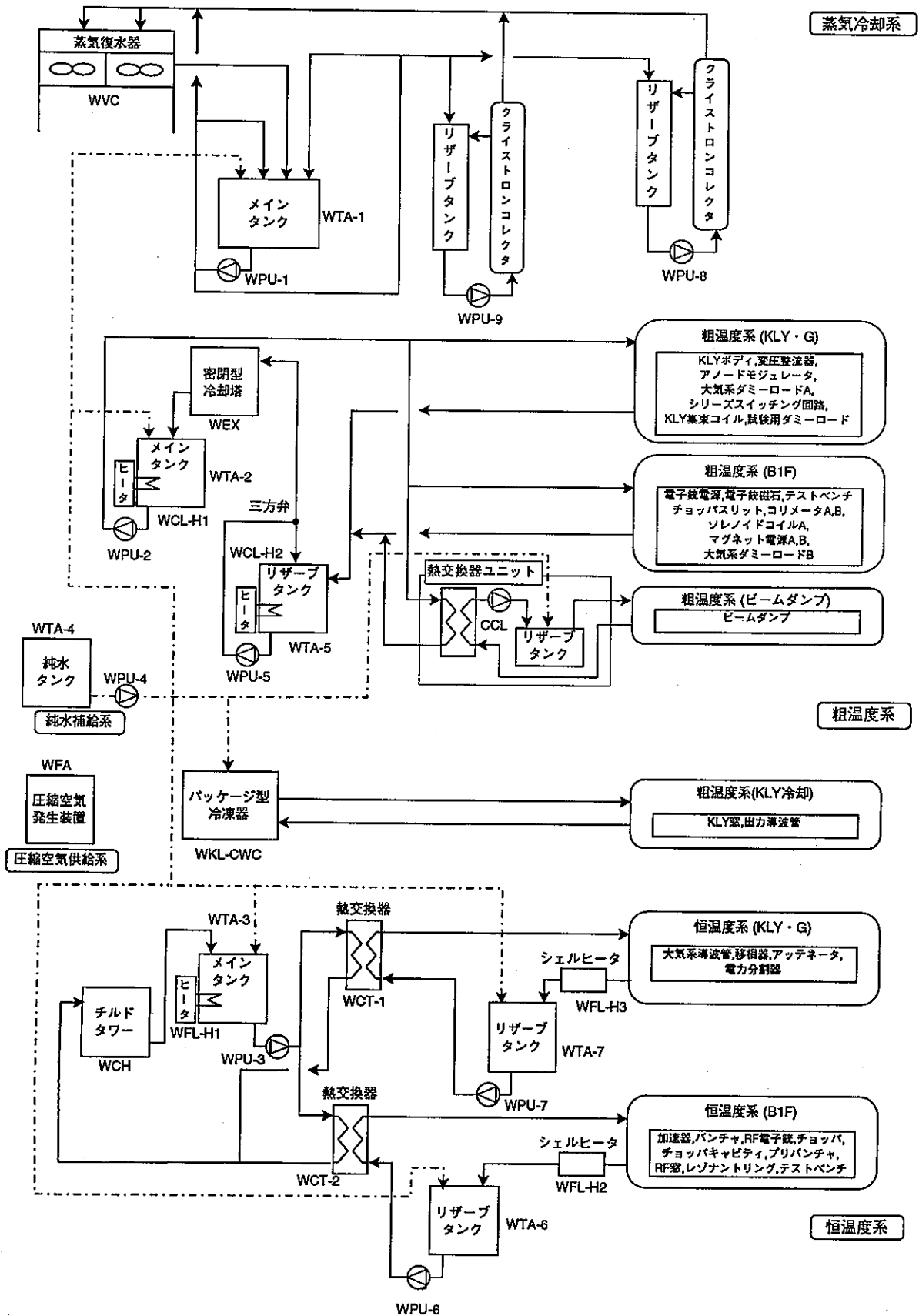


図8.1 概略系統図

第9章 空気処理設備

9.1 設計条件

空気処理設備の設計条件を表9.1に示す。

表9.1 空気処理設備 設計条件(1)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
1	外気温・湿度条件	① 夏期 温度 31.0℃、湿度68% ② 冬期 温度 -5.0℃、湿度53%	空調機の能力を決定するため、建築設備設計基準(建設省発行)の水戸地方の屋外設計条件の外気温を参考とする。	
2	室内温湿度条件	① 加速器室 温度25±2℃、湿度30% ② 電子銃室 温度25±2℃、湿度30% ③ 加速器空調室 温度40℃以下、湿度成行	① 加速器室の温湿度条件は、加速管の変形あるいは電気的な絶縁に影響のない条件として設定する。 ② 電子銃室も①と同様とする。	
3	負圧条件	① 加速器室<加速器空調室≤電子銃室	① 加速器室から地下階の他の室へNO _x , O ₃ もしくは放射化された空気が漏洩しないように考慮する。	
4	加速器室風速条件	① 加速管付近で 0.5 m/sec 以下とする。	① 加速管の表面温度分布が偏らない風速とする。	
5	装置側発熱条件	① 加速器室内装置で 50 kW とする。 ② 電子銃室内装置で 20 kW とする。	加速器室内装置は電磁石、計測器、ポンプ類等の消費電力とし、電子銃室内装置は電源、ポンプ類、計測器等の消費電力とする。	
6	空気貯留能力	① 加速器室内を負圧に保ち、漏洩分の排気をエアータンク内に閉じ込め、180分貯留する。	エアータンク内に180分排気を貯留すれば、10 MeVのエネルギーで放射化する可能性がある窒素などの核種は減衰する。	

表9.1 空気処理設備 設計条件(2)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
7	NOx,O3除去効果	① 加速器室内に発生するNOx,O3をNOxは0.01 ppm、O3は0.05 ppmにまで除去する。	加速器室内で加速器を運転する際、発生するNOxが ^s 3 ppm/h、O3が ^s 24 ppm/hと予想する。 放出基準値は、NOxが ^s 0.06 ppm以下、O3が ^s 0.06 ppm以下であるが、将来を考慮し、安全側に設定する。	
8	空調系	① 加速器室空調機：加速器空調室内に空調機を設置し、加速器室内を空調する。 ② 電子銃室空調機：加速器空調室内に空調機を設置し、ダクトを電子銃室内に引き回し電子銃室内を空調する。 ③ 加速器空調室空調機：加速器空調室内に空調機を設置し、加速器空調室内を空調する。	① 加速器運転中、加速器室は閉回路にて循環空調を行い、加速器休止中(立入時)は外気を導入して空調を行う。 加速器室の壁面内に空調用の貫通ダクトを設置し、加速器空調室内にある空調機と接続する。 ② 電子銃室は空調機を設置するスペースがないため、空調機を加速器空調室に設置し、ダクトを電子銃室に引くこととする。	
9	換気系	① 各室給排気系 各空調機に外気取入ダクトおよび排気ダクトを接続して換気する。 ② NOx,O3処理系 加速器室循環空調系から一部の空気をバイパスさせ、NOx,O3処理装置を介してNOx,O3をろ過する。	① 建家建設時に施工した外気取入ダクトおよび排気ダクトに各々の外気取入ダクト、排気ダクトを接続して換気する。 ② 加速器室からの空気を全てNOx,O3処理装置にろ過させると処理装置が大型になる。このため、装置の設置場所である加速器空調室のスペースを考慮し、循環系の一部の空気を処理することとする。	

表9.1 空気処理設備 設計条件(3)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
9	換気系 (続き)	<p>③ NOx,O3 排気処理系 加速器室を負圧に保つため NOx,O3 処理装置 出口ラインから漏洩量相当分を吸引し、減衰後 に排気する。</p> <p>④ エアータンク系 吸引した空気を1基のエアータンクに規定圧 力まで蓄圧する。その後180分間貯留した後、 測定・放出する。 このサイクルを4基のエアータンクで順次切 り替える。</p>	<p>③ 加速器室漏洩量の実測試験を実施し、漏洩量に見合った 圧縮機で NOx,O3 処理装置から吸引し、エアータンクに貯 留する。</p> <p>④ 窒素などの核種の半減期が60分程度と考えられるから、 貯留時間を180分とする。また、連続運転を可能にするた め、順次切替える。</p>	
10	配管系	<p>① 冷水配管系：既設の冷水配管より各空調機に 配管で接続する。</p> <p>② 給水配管系：既設の上水配管に配管で接続す る。</p> <p>③ 廃液配管系：各空調機および圧縮機等のドレ ン水を既設の廃液配管に接続する。</p>	<p>① 空調機に使用する冷水は、屋上に設置した冷凍機の冷水 を流用する。なお、屋上の冷凍機能力は、建家一般空調分 以外に、地下階の熱量を概算で加えている。</p> <p>② 建家建設時、加湿器に給水する上水配管を地下階に設置 した。</p> <p>③ 空調機等のドレン水を排水するため、建家建設時に設置 した廃液設備の配管系に接続する。</p>	

表9.1 空気処理設備 設計条件(4)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
11	制御系	<p>① 各設備機器制御：各設備機器はコントロール室から制御する。</p> <p>② インターロック：加速器を運転出来ない条件の場合、インターロック系に信号を出力する。</p>	<p>① 各設備機器を個々に運転操作することは非効率であり、省力化のためコントロール室から設備の運転が制御出来るようにする。</p> <p>② 加速器運転時に作業員の安全を確保する目的で、運転条件確立の一部として空気処理設備の運転状況をインターロックに出力する。</p>	
12	NOx,O3 警報設備	<p>① NOx,O3警報：加速器室、電子銃室および加速器空調室にNOx,O3検出器を設置し、警報を現場警報盤およびコントロール室に出力する。</p>	<p>① 地下階にNOx,O3が漏洩した場合、作業員の安全を確保ため、漏洩監視用に設置した検出器から現場警報盤およびコントロール室の制御盤に警報を吹鳴させる。</p>	
13	排気 フィルタ	<p>① 管理区域用として排気室に排気フィルタを設置する。</p> <p>② 加速器室排気系に排気フィルタを設置する。</p>	<p>① 建家の排気系統には排気フィルタが設置されておらず、管理区域の排気がそのまま屋外へ放出されるため、安全上から排気フィルタを設置する。</p> <p>② 加速器室排気系はエアータンクの汚染の防止を考慮し、排気フィルタを設置する。</p>	
14	サンプリング口	<p>① 加速器室循環系、エアータンク放出系に空気をサンプリングするための取り出し口を設置する。</p>	<p>① 加速器室循環系から配管を引き、放管設備にて空気をサンプリングし、運転時の加速器室内の雰囲気計測する。 エアータンク系は貯留後の空気をサンプリングして、安全に系外に放出するため、放管設備にて計測する。</p>	

9.2決定事項

空気処理設備の決定事項を表9.2に示す。

表9.2 空気処理設備 決定事項(1)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
1	空調機	<p>① 加速器室系空調機</p> <p>(a) 加速器室系系統空調機(CU-1)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・風量 20000 m³/h ・形式 横形コイルユニット ・内装品 プレフィルタ、冷却コイル、電気ヒータ、加湿器 ・冷却能力 81000 kcal/h ・加熱能力 12900 kcal/h <p>(b) 加速器室循環系統送風機(FS-3)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・風量 20000 m³/h ・形式 片吸込ターボファン ・静圧 150 mmAq ・電動機 3φ×200V 15kW <p>② 電子銃室空調系</p> <p>(a) 電子銃室系系統空調機(AC-5)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・風量 8300 m³/h ・内装品 ファン、冷却コイル、電気ヒータ、加湿器 ・冷却能力 24900 kcal/h ・加熱能力 5160 kcal/h ・電動機 3φ×200V 3.7kW 	<p>① 加速器室の容量は約 2840 m³である。</p> <p>加速器室の必要風量は、空調機の入口温度と出口温度の差分に 0.29 を掛け、加速器室の熱負荷から算出すると約 20000 m³/hとなる。この風量と加速器室の容量から、換気回数は7回/hとなる。</p> <p>冷房能力は構造体負荷、照明負荷、及び機器発熱の合計を顕熱とし、補正係数を掛けた後、送風機からの軸動力分を加えた熱負荷により決定する。</p> <p>なお、機器の発熱量は、表9.1【装置側発熱条件】とする。</p> <p>②③ 電子銃室および加速器空調室の各空調系統の冷却能力の決定も同様に顕熱から算出する。</p> <p>電子銃室系空調機および加速器空調室系空調機は風量からユニット形を選定し、加速器室系空調機は風量から送風機を別設置とする。</p>	

表9.2 空気処理設備 決定事項(2)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
1	空調機	③ 加速器空調室系 (a) 加速器空調室系統空調機(AC-6) ・風量 2600 m ³ /h ・内装品 ファン、冷却コイル ・冷却能力 12300 kcal/h ・電動機 3φ×200V 0.75kW		
2	ダクト配管	① 亜鉛めっき鋼板製ダクトを加速器空調室系統および電子銃室系統のダクトに使用する。 ② 塩化ビニル被覆鋼板製ダクトを加速器室系統のうち加速器室内のダクトに使用する。 ③ 炭素鋼管製ダクトを加速器室系統のうち加速器空調室および加速器室内のダクトに使用する。	① 加速器空調室系統および電子銃室系統のダクトは、「機械設備工事共通仕様書」により亜鉛めっき鋼板製ダクトとし、ダクトのはぜ折部およびフランジ継手部にはダクトシーラを塗布する。 ② 加速器室内のダクトはNO _x ,O ₃ による劣化を懸念し、塩化ビニル樹脂被覆金属積層板とする。 ③ 加速器室壁面から角ダクトまでは、壁面の埋設ダクトが配管のため炭素鋼管製の配管で接続した。また加速器空調室の加速器室系統のダクトは、振動対策として炭素鋼管とする。	
3	架台	① 加速器空調室に架台を設置し、加速器空調室系統および電子銃室系統の空調機を上部空間上に設置する。	① 設備の設置場所に多数の制御盤を設置しなければならないこと、NO _x ,O ₃ 処理装置を設置する場所がないこと、及び加速器空調室の天井が高いことなどから、架台を設置し、その上部に空調機を置く。	

表9.2 空気処理設備 決定事項(3)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
4	NO _x ,O ₃ 処理設備	<p>① NO_x,O₃を処理して、エアータンクに貯留する際に、大気放出基準値以下までNO_x,O₃を低減させる。</p> <p>② NO_x吸着塔 加速器室から供給される循環空気をNO_x吸着塔で吸着除去する。吸着材は高シリカゼオライトとする。</p> <p>③ O₃分解触媒塔 NO_x吸着後O₃分解触媒塔で接触分解する。分解触媒は貴金属系分解触媒とする。</p>	<p>① 加速器室で発生するNO_x, O₃は各々 3 ppm/h, 24 ppm/hと算出していた。しかし、再度シミュレーションした結果、10 MeVでは0.04 ppm/h、0.8 ppm/hとなったが、処理装置は当初の予想通り3 ppm/h、24 ppm/hとする。大気放出濃度は表9.1【NO_x,O₃除去効果】に示す。</p> <p>NO_x,O₃処理設備は、ベンチスケール試験を行い、有効性を確認した。この際、吸着材形状をハニカム構造とすることで内部圧損が軽減されることが判明したので、実機にもカートリッジ式吸着材を採用した。</p> <p>② NO_x吸着材については比較試験を実施し高シリカゼオライトを選定した。</p>	
5	空気貯留設備	<p>① エアータンク(AST-1a,b,c,d) 第二種圧力容器 最高使用圧力 9.9 kg/cm² 外径900φ高さ3400mm</p> <p>② 圧縮機(C-1a,b) 最高圧力 14.3 kgf/cm²</p> <p>③ エアーヘッド(H-5、H-6) 最高使用圧力 9.9 kg/cm²</p>	<p>加速器室の負圧を確保するため、NO_x,O₃処理後の空気を圧縮機で圧力を高めた後、エアータンク内に貯留する。その後、核種の減衰を行ってから系外に放出する。</p> <p>エアータンクは天井の高さから規定されているので、圧力を高めることにより貯留空気量を増加させる。</p> <p>圧縮機はタンクの圧力上限に近付くと圧力上昇に時間を要することから、上限値よりも余裕のある圧縮機を選定した。</p>	

表9.2 空気処理設備 決定事項(4)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
6	補助 遮蔽体	① 加速器空調室の空調機の後面に、鉛板の補助遮蔽体を設置する。大きさは幅 2400 mm, 高さ 2000 mm, 厚さ 15 mm とする。	① 加速器室に埋設されている空調用ダクトを通過して、加速器空調室に散乱される放射線から作業員を防護する。大きさは、表11.2 【補助しゃへい体】の計算に基づき、決定する。	

第10章 放射線管理設備

10.1 設計条件

放射線管理設備の設計条件を表10.1に示す。

表10.1 放射線管理設備 設計条件(1)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
1	加速器室 γ 線エリ アモニタ	① 加速器室内の γ 線の線量当量率を室外にて確認する。	① 加速器停止後でも、加速器室内の機器及び空気の放射化により、室内の線量当量率が高い場合が考えられるため。	
2	エリアモ ニタ	① 電子銃室、クライストロンギャラリー、及び加速器空調室に γ 線、中性子線用エリアモニタを設置する。	① 加速器運転中、運転員が入室する可能性のある室内でも、加速器室からの漏洩線や電子銃、クライストロンからの直接線による線量当量率の上昇が予想されるため。	
3	室内ガス モニタ	① 加速器空調系、NOxO3 処理系、及び室内ローカル系にガスモニタ、サンプリング設備を設置する。	① 加速器運転に伴い、空気（特に酸素及び窒素）の放射化が予想されるため。	
4	タンクモ ニタ	① 加速器空調系のうち、タンク貯留系を測定するガスモニタを設置する。	① タンク貯留系は、加速器室内で放射化した空気を減衰させる系統であるため、環境への放出可否を確認するため。	
5	排気モニ タ	① 施設から環境へ放出される気体廃棄物中の放射性物質濃度を連続測定する。 ② ガスモニタ及び β (γ) ダストモニタを設置する。	①② 施設から放出する放射性物質濃度を、最終出口において確認するため。	

表10.1 放射線管理設備 設計条件(2)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
6	放射線管理データ処理装置	データ処理装置として、以下の機器を設置する。 ① サーバ計算機 ② クライアント計算機 ③ データ表示用計算機	放射線のモニタ情報を確実に処理、保存、記録するため。 ① データの収集、処理を行い、結果を保存する。 ② データを表示する。 ③ 運転員に放射線の発生状況を周知する。	
7	放出監視用計測盤	① 排気モニタの測定結果を連続記録する。	① 排気モニタは、放射線管理上重要であるため。特に、データ処理装置用計算機が停止した場合でも欠測（無記録）無く連続記録するため。	
8	放射線中央監視システム	① 各モニタや吸引装置を制御し、警報を処理するシステムを、データ処理装置用計算機と別に設ける。	① モニタや吸引装置の警報や動作状況は、運転管理上、非常に重要な情報であるので、データ処理装置用計算機とは別に処理する。	
9	半身モニタ	① 管理区域から退出する運転員の身体表面の汚染の有無を監視する。 ② 汚染発見時には、作業者が管理区域から退出できないように半身モニタの扉を施錠する。	①② 加速器の運転に伴い、構成機器等が放射化した場合、作業員身体への汚染の恐れがあるため。	
10	入退域管理装置	① 管理区域及び加速器室の入口でIDカードにより入域者を確認する。 ② 加速器室入室者は、各自パーソナルキーを持参する。	① 入域許可がない者の立ち入りを制限するため。 ② 加速器運転中の入室を禁止するため、入口を施錠する。入室の際には、パーソナルキーにより入口を解錠する。尚、入室中は加速器の運転は禁止される。	

表10.1 放射線管理設備 設計条件(3)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
11	放射能測定装置	① $\beta\gamma$ 自動試料測定装置、 γ 線核種分析装置、及び液体シンチレーションカウンタを設置する。	① 加速器運転に伴う、機器、空気及び冷却水等の放射化の状況を確認するため。	

10.2 決定事項

放射線管理設備の決定事項を表10.2に示す。

表10.2 放射線管理設備 決定事項(1)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
1	加速器室 γ線エリ アモニタ	<p>① 検出部：SSD半導体検出器</p> <p>② 自走機能 トロリ方式による給電とし、加速器室内をカバーする</p> <p>③ 現場制御盤を加速器室入口付近に設置する。 また、コントロール室から遠隔で操作する。</p> <p>④ エリアモニタ用の遮蔽体を入口付近に設置する。 遮蔽厚は、線源方向に対して30cm以上とする。</p>	<p>① 自走機能(②)、遮蔽条件(④)から、小型であることが望ましい。また、コスト・メンテナンス性を考慮した。</p> <p>② 加速器室内の残線量の有無の確認には、少なくとも入口、ビームダンプ近傍、加速管周辺数か所での測定が必要であるが、設置スペースの問題から、1台のモニタで自走しながら測定する方式とする。</p> <p>③ 室内の残線量については、コントロール室の運転員やその他の管理区域入域者も確認する必要がある。</p> <p>④ 加速器運転中のSSD検出器を保護するため、10年間の使用に耐えられるう、以下の条件で遮蔽計算を行った。 ・SSD検出器の耐放射線寿命：100 Gy ・年間運転時間：1000 時間</p>	
2	エリアモニタ	<p>① γ線用エリアモニタ</p> <p>(a) 検出部：SSD半導体検出器</p> <p>(b) エリアモニタを次の6か所に設置する。 加速器空調室、電子銃室、クライストロンギャラリー（操作盤及び導通管付近）、熱交換器室、コントロール室</p>	<p>①</p> <p>(a) コスト及びメンテナンス性より採用</p> <p>(b) 以下の理由による。 ・ 加速器運転に伴う加速器室からの漏洩線量、クライストロン、電子銃等の機器からの線量を監視する。 ・ 作業者の被ばく低減に資する。</p>	

表10.2 放射線管理設備 決定事項(2)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
2	エリアモニタ (続き)	<p>(c) 検出端警報器 コントロール室を除き、全てのモニタ設置場所に設ける。</p> <p>② 中性子線用エリアモニタ</p> <p>(a) 検出部：^3He比例計数管検出器3台</p> <p>(b) 配置 ①(b)と同じ場所(6か所)に中継ボックスを設置する。</p> <p>(c) 検出端警報器：γ線用と兼ねる。</p> <p>(d) 必要に応じて測定場所を選定し、台車・壁掛け架台に設置し測定する。</p>	<p>(c) 線量当量率の異常を検知した場合、周辺の作業者に即座に周知させる必要がある。ただし、コントロール室は、中央監視システムが近傍にあるため、設置しない。</p> <p>② 加速器運転に伴う中性子線の発生量は、X線より少ないことが予想される。よって、コスト削減のため、高価な検出器は3台のみとし、必要に応じ場所を変えて測定できるよう、中継ボックス(6か所)及び台車・壁掛け架台を準備する。</p>	
3	室内ガスモニタ	<p>① 検出器 プラスチックシンチレーション型検出器</p> <p>② サンプルング方法</p> <p>(a) 加速器空調系・NO_x、O_3処理系用バルブを切り替え、どちらか一方の系統をサンプルングする。</p>	<p>① ^{13}N、^{15}Oに対する検出限界と法令値を比較し、コスト・メンテナンス性を考慮する。</p> <p>②</p> <p>(a) 加速器運転後の加速器室内の空気中放射性物質濃度を確認するため、加速器室の空気処理系統(加速器空調系及びNO_x、O_3処理系)中の空気をサンプルングし、測定する。</p>	

表10.2 放射線管理設備 決定事項(3)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
3	室内ガス モニタ (続き)	<p>(b) 室内ローカル系 7カ所（電子銃室、熱交換器室、排気室、試料計測室、クライストロンギャラリー、放射線管理室、加速器空調室）に吸引端を設置し、バルブ開閉によりサンプリング場所を選択する。</p> <p>③ 吸引装置 各系統用に2台設置する。運転操作は、現地及び遠隔（中央監視システム）で行う。</p>	<p>(b) 加速器運転中も加速器室以外の各室には入室可能なため、加速器室及び空気処理系統等から空気が漏洩した場合、空気の汚染の有無を確認する必要がある。</p>	
4	タンクモニタ	<p>① 検出器 プラスチックシンチレーションファイバー型検出器</p> <p>② サンプリング方法 タンク貯留系からの信号により、自動的にサンプリングする。</p>	<p>① 放射化した空気を空気貯留タンクにて減衰させた後、施設外へ放出させる際、本モニタによって排気中濃度を測定する。よって、モニタの検出感度は法令値の濃度限度以下とならなければならない。¹³N、¹⁵Oの排気中濃度限度は、空気中濃度限度より低い値であるため、室内ガスモニタに比べ、より感度の高いモニタを設置する。</p> <p>② 貯留タンク内の空気は加圧されているため、減圧装置により大気圧まで減圧し、サンプリングする。</p>	

表10.2 放射線管理設備 決定事項(4)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
5	排気モニタ	① 検出器 (a) ガス用：プラスチックシンチレーションファイバー型検出器 (b) β (γ) 用：GM計数管型検出器 ② サンプリング方法 常時サンプリングとする。 ③ 吸引装置 ガス・ β (γ) 用共通で1台設置する。運転操作は、現地及び遠隔（中央監視システム）で行う。	① 本モニタは、本施設から放出される気体廃棄物の放射性物質濃度を測定するものである。よって、ガス用については、タンクモニタと同様の理由により、ファイバー式を採用する。	
6	放射線管理データ処理装置	① サーバ計算機 (1台) ・主記憶96MB ・モノクロ14インチディスプレイ ・MO及びMTによるデータ及びシステム保存 ・ページプリンタによる帳票出力 ② クライアント計算機 (2台) ・主記憶96MB程度 ・カラー21インチディスプレイ ・ハードコピー装置によるトレンドグラフ等の出力 (1台のみ)		

表10.2 放射線管理設備 決定事項(5)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
6	放射線管理データ処理装置(続き)	③ データ表示用計算機 (3台) ・主記憶32MB程度 ・カラー17インチディスプレイ		
7	放出監視用計測盤	① 2ペン式記録計及び排気モニタ(ガス・ β ・ γ 用)の計測機器を収納する。 ② 排気モニタのデータは、本計測盤を経由して計算機に入力する。	①② 表10.1【放出監視用計測盤】①より、計算機システムが停止した場合でも、計測・記録ができることが必須となる。	
8	放射線中央監視システム	① 電源供給 分電盤より受電、放出監視用計測盤、加速器室エリアモニタ制御盤及び入退域管理装置等に電源を供給する。 ② 警報表示 各モニタの警報、異常信号を受け、表示灯、ブザーにより警報動作を行う。 ③ 操作パネル ガス、ダストモニタの吸引装置の運転状態表示及び遠隔操作を行う。		

表10.2 放射線管理設備 決定事項(6)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
9	半身モニタ	① 検出器 プラスティックシンチレーション検出器 ② 検出感度： 4×10^{-1} Bq/cm ² 以上 (U308) ③ 測定範囲：手、足、体表面の前後 ④ モニタ出口扉施錠機能	大洗工学センター内の他施設に設置されているゲートモニタと同様の機能とする。	
10	入退域管理装置	① 管理区域入口 ・IDカード読取装置 ・入口扉電子錠と連動 ② 加速器室入口 ・IDカード読取装置 ・入口扉用パーソナルキーボックスと連動		
11	放射能測定装置	① $\beta\gamma$ 自動試料測定装置 ・GM計数管 ・検出効率25%以上		

表10.2 放射線管理設備 決定事項(7)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
11	放射能測定装置	② γ 線核種分析装置 (a) MCA部 ・PHA、MCS機能付き ・Ge用リニアアンプ機能付き ・プリアンプ用電源、検出器用高圧電源内蔵 (b) 遮へい体 外側：鉛 80 mm、鉄 12 mm 内側：低BG材 50 mm、鉛 5 mm、鉄 5 mm ③ 液体シンチレーションカウンタ ・計数効率 ^{13}H に対して 60 % 以上 ^{14}C に対して 90 % 以上 ・20 ccバイアル試料対応 ・4096 ch MCAによる分析 ・クエンチング補正	他施設に設置されている装置と同等の仕様とする。	

第11章 建家設備

11.1 設計条件

建家設備の設計条件を表11.1に示す。

表11.1 建家設備 設計条件(1)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
1	設置場所	① 建家の設置場所を DCA 東側の元資材置き場とする。	① 当初、本施設は東海事業所の既設建家の改造として昭和63年度に設計された。東海事業所サイト委員会で審議中、本施設は大洗工学センターに設置すると決定された。その後、数か所の候補地を選定し、他施設との関係、地質資料(工務課保管)、地盤振動などを勘案して場所を決定した。	
2	種類	① 原子力研究施設	① 施設の窓配置、出入口の数、及び配置に自由度を持たせる。	① 核取施設では核物質防護などのため仕様が異なる。
3	耐震	① Cクラス	① 地震により機器の損傷があっても、機器の停止により加速器が停止する。このため、被害の拡大の恐れが無いので、他の加速器施設の基準に準拠する。	
4	材質	① 地下階は、普通コンクリート(鉄筋コンクリート)とする。 ② ①以外の主要構造物は、鉄骨造とする。 ③ 給排気設備や一般塗装は塩害仕様とする。	① 加速器室に柱を設置せず、天井をクライストロンギャラリーの床として利用するため、耐荷重が必要になる。 ② RI法の基準による。 ③ 表8.1【機器配置】①と同様である。	① 他の加速器施設に準拠する。

表11.1 建家設備 設計条件(2)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
5	負圧管理	① 負圧管理をしない。	① 表8.1【冷却水】①と同様である。なお、本施設では非密封線源を使用せず、また、エアロゾルなどの放射化生成物は発生しないので、空気汚染が無い。	① 表9.1【負圧条件】参照
6	排気スタック	① スタックは設けない。	① 空気汚染が無い。	① センターとして、スタックを増設する場合、総排気量を合算し、許可申請する。
7	加速器設置方向	① 電子ビームを南北方向に輸送する。	① 地磁気の影響を出来るだけ避け、ビーム輸送を容易にする。	
8	天井フック	① 加速管室と電子銃室に天井フックを設ける。	① チェーンブロック、吊り上げ治具、及び仮設クレーンを設置する。	
9	部屋割り	① 加速器を地下階に設置する。 ② クライストンギャラリは吹き抜け構造とする。 ③ コントロール室はビームダンプと反対側に設置する。 ④ 加速器室の出入口は、迷路構造でなく、引き戸式鉄製の遮蔽扉とする。	① 土を遮蔽体として利用し、経費を節減する。 ② 専用治具を用いてクライストロンを引き抜けるだけのスペースを確保する。 ③ ビームラインを容易に延長する。 ④ 地下階に空気処理設備を設置する。	

表11.1 建家設備 設計条件(3)

No	項目	設計条件	設計の背景	備考
9	部屋割り (続き)	<p>⑤ 加速器室をL字形とし、ケーブル貫通孔を2系統設ける。</p> <p>⑥ 地下階の梁は、ビームラインと平行に設置する。</p>	<p>⑤ 将来、加速器を利用した実験が行えるように、仕切られた場所が設定できるようにする。また、ケーブル貫通孔として、加速器用と実験用を区別する。</p> <p>⑥ 将来実験する際、加速器からの放射線を抑える遮蔽体を設置する。</p>	
10	避雷針	① 避雷針は不要とする。	① 工務課の判断による。	① 法的に問題無いことを確認した。
11	高圧電源	① 受電電圧を6.0kVとする。	① クライストロンなど高電圧を使用する機器は、6.0kVをそのまま引き込む方が、コスト的に安くなる。	
12	排水設備	① ドライエリア底面にピット、排水ポンプを設ける。	① ドライエリアを有効に活用する。	
13	火災報知機	<p>① スポット式、赤外線式の火災探知機を使用する。</p> <p>② 非常発電機建家に火災報知器を設けない。</p>	<p>① 放射線による誤動作を防止する。</p> <p>② 床面積 100 m² 以下の場合、設置義務がない。</p>	

11.2 決定事項

建家設備の決定事項を表11.2に示す。

表11.2 建家設備 決定事項(1)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
1	配置	<p>① 建家の寸法は40 m×20 mとする。</p> <p>② 加速器室の天井厚を2.3 mとし、ビームダンプ付近で3.3 m、加速器室入口付近で2.7 mとする。</p>	<p>① 加速器の長さ、電源の配置、クライストロン搬入スペースを考慮する。</p> <p>② 放射線発生場所をビームダンプ付近とし、ビーム漏れ率、クレーンなどの作業性、機材の大きさを考慮する。</p>	
2	配置	<p>① 地下に加速器空調室を設け、空気処理設備、廃液設備を設ける。</p> <p>② 管理区域出入口に更衣室を設ける。</p>	<p>① 将来10 MeVを越えた運転を可能にするため、空気処理および排水設備が必要になる。</p> <p>② 管理区域内を清浄に保つため、靴を履き変える。また、線量計を脱着する場所が必要である。</p>	
3	ビームライン	<p>① ビームラインの高さを1200 mmとする。</p>	<p>① 作業性による。</p>	
4	補助しゃへい体	<p>① 電子銃後方 鉛 450 mm×1個</p> <p>② マイクロ波貫通孔 鉛 30 mm×10個</p> <p>③ 加速器空調ダクト 鉛 15 mm×1個</p>	<p>RI法に基づき、加速器運転中に管理区域内に立ち入りができるように設置する。遮蔽体の大きさはアルベド法の散乱線の評価結果に基づき決定する。</p>	<p>補助遮蔽体は変更許可申請対象物である。</p>
5	アクセスフロア	<p>① コントロール室は、高さ10 cmの全面アクセスフロアとする。</p>	<p>① 計算機などのケーブル処理のため。なお、タイル1枚当たりの最大積載量は2.4トンである。</p>	

表11.2 建家設備 決定事項(2)

No	項目	設計内容	決定の背景	備考
6	機器温度調節	<p>① 一般空調の外気環境は、最高31℃(湿度68%)、最低-5.0℃(湿度53%)とする。</p> <p>② 室内温度は、クライストロンギャラリーで最高40℃、最低10℃とし、その他の部屋で最高26℃、最低20℃とする。</p>	<p>① 表8.1及び表9.1の【外気温・湿度条件】と同様である。</p> <p>② 各部屋における機器からの放熱も考慮する。</p>	
7	給気設備	<p>① 給気設備にプレフィルター、塩害フィルタを設ける。</p>	<p>① 通常の給気設備に塩害対策を施す。</p>	