

## はじめに

「高周波加速装置」というタイトルだが、内容は大きくふたつに分かれている。最初にローレベルコントロール系からみたトリスタン高周波加速装置を、運転する立場から広く浅く述べる。次に今注目されている新しいタイプの加速空洞であるダンプトキャビティーの基本原理解から、各研究所の開発状況までを説明する。

### 1. トリスタン高周波加速装置の全体像

図1に示すようにトリスタンは2.5 GeV 400 m 線形加速器(リニアック)から出た電子、陽電子を1周377 mの蓄積リング(AR)にて8 GeVまで前段加速し、1周3018 mのメインリング(MR)で30 GeVまで加速し衝突実験させる構造になっている。表1に示すようにARは508 MHz 1 MW クライストロンがAR西、AR東にそれぞれ1本装備され、クライストロン出力は11セルキャビティー8台に供給されている。最大加速電圧28 MVを発生できる。MRはD1ステーション、D2ステーション、D4ステーション、D5ステーションにそれぞれ5本、D7ステーション、D8ステーションにそれぞれ3本、D10ステーション、D11ステーションにそれぞれ4本のクライストロンが装備されている。D1ステーションからD8ステーションまでには9セル常伝導加速空洞(APS)が104台、D10ステーションとD11ステーションには5セル超伝導加速空洞が32台配置され、最大加速電圧500 MVを発生できる。

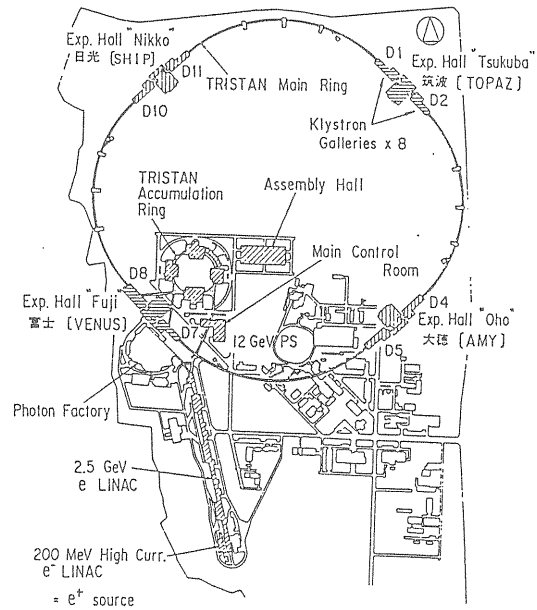


図1 TRISTANの概要配置図

表1 クライストロン、空洞の配置

Station	Klystron	空洞	タイプ
AR 西	1	4	11 cell APS
AR 東	1	4	11 cell APS
MR D 1	5	20	9 cell APS
MR D 2	5	20	9 cell APS
MR D 4	5	20	9 cell APS
MR D 5	5	20	9 cell APS
MR D 7	3	12	9 cell APS
MR D 8	3	12	9 cell APS
MR D 10	4	16	5 cell 超伝導
MR D 11	4	16	5 cell 超伝導

#### 1.1 クライストロンユニット

クライストロンユニットとは図2に示すように1台のクライストロン、その電源、サーキュレーター、導波管、4台の加速空洞およびローレベルコントロール系から構成され、加速電圧のコントロールはこのユニットごとになされている。以下に個々の機器について簡単に述べる。

508 MHz 1 MW クライストロンは Toshiba と Valvo の 2 種類のタイプがありどちらも 88 kV 18 A にて 高周波出力 1 MW を出せる。この値は CW (Continuous wave) の クライストロンとして、

これを超えるものはない。その時の 高周波入力 は Toshiba 3 W、Valvo 60 W 程度でその違いは キャビティが 6 連か 5 連かの違いである。その 特性を表 2 に示す。

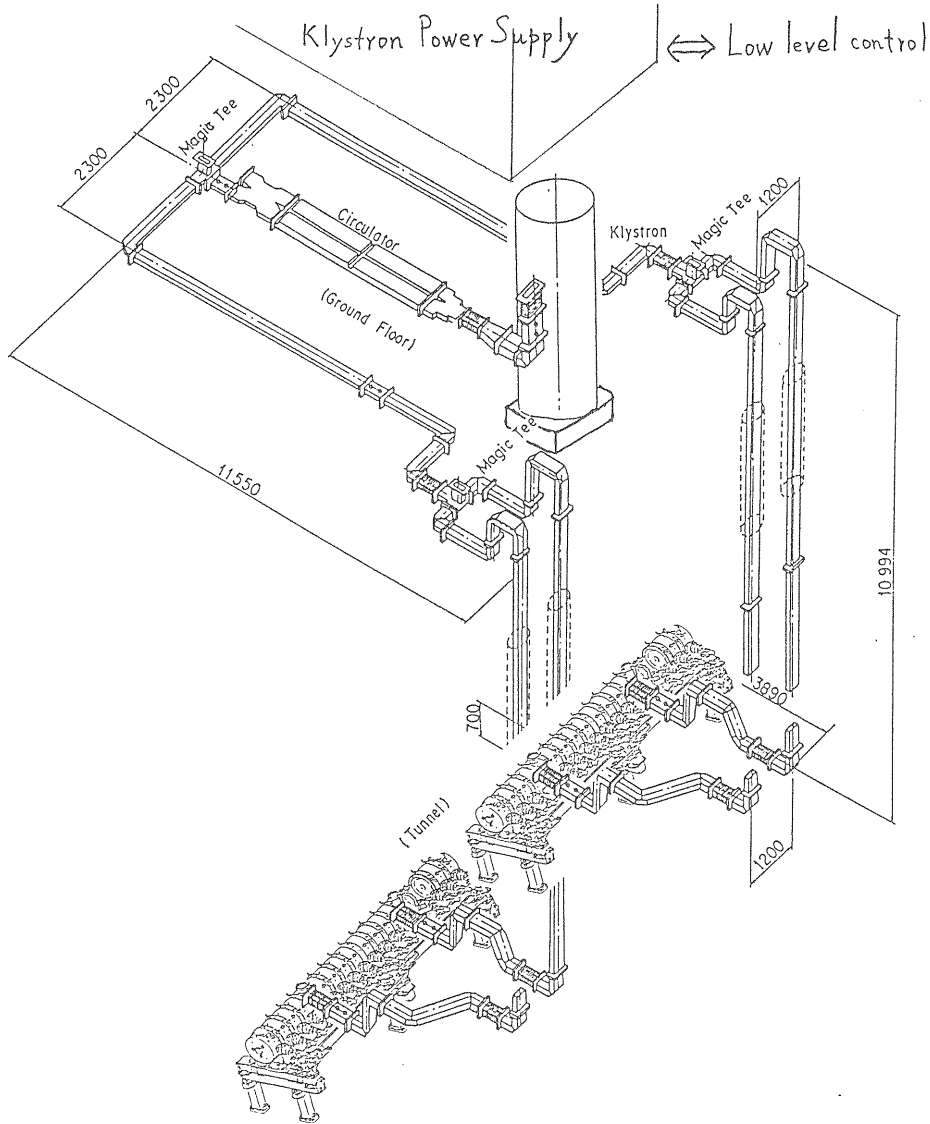


図 2 クライストロンユニットの鳥観図

表 2 クライストロン特性表

	Valvo	Toshiba
company	Valvo	Toshiba
type	YK1303	E3786
height	4250 mm	4700 mm
heater power	23 A 24 V	24 A 12 V
number of cavity	5	6
efficiency	61 %	64 %
driving power	60 W	3 W
number of 8 l ion-pump	1	2

## 1.2 クライストロン電源

図 3 に示すように電源はカソードコレクター間に DC 90 kV 20 A を供給できるカソード電源部、80 kV 10 mA の変調アノード電源部、および 900 V 12 A の集束コイル電源部からなり、

それらはシーケンサーにより電源投入および遮断が制御されている。これらのうちカソード電源部以外は個々のクライストロンに合わせて現場で設定されており遠隔操作はできないようになっている。

カソード電源部は3相6.6kVの入力を遮断する真空遮断装置 (VCB)、電圧を連続可変するIVR (Induction Voltage regulator)、90kVに昇圧するトランスおよび異常放電によるクライストロンの損傷を防ぐクローバーからなっている。

カソード電圧は昇圧トランスのタップ切り換えにより、50、65、80、90kVと切り換えでき、さらに6.6kVラインのIVRにより±10%連続的に変えられる。通常の運転ではカソード電圧が一定となるようにIVRを駆動する自動モードを使用し、カソード電圧の制御はそのレファレンス電圧を設定することでおこなう。

アノード電圧は、クライストロンのコレクター部保護および電力節約のためクライストロン出力に応じて自動的に設定されている。

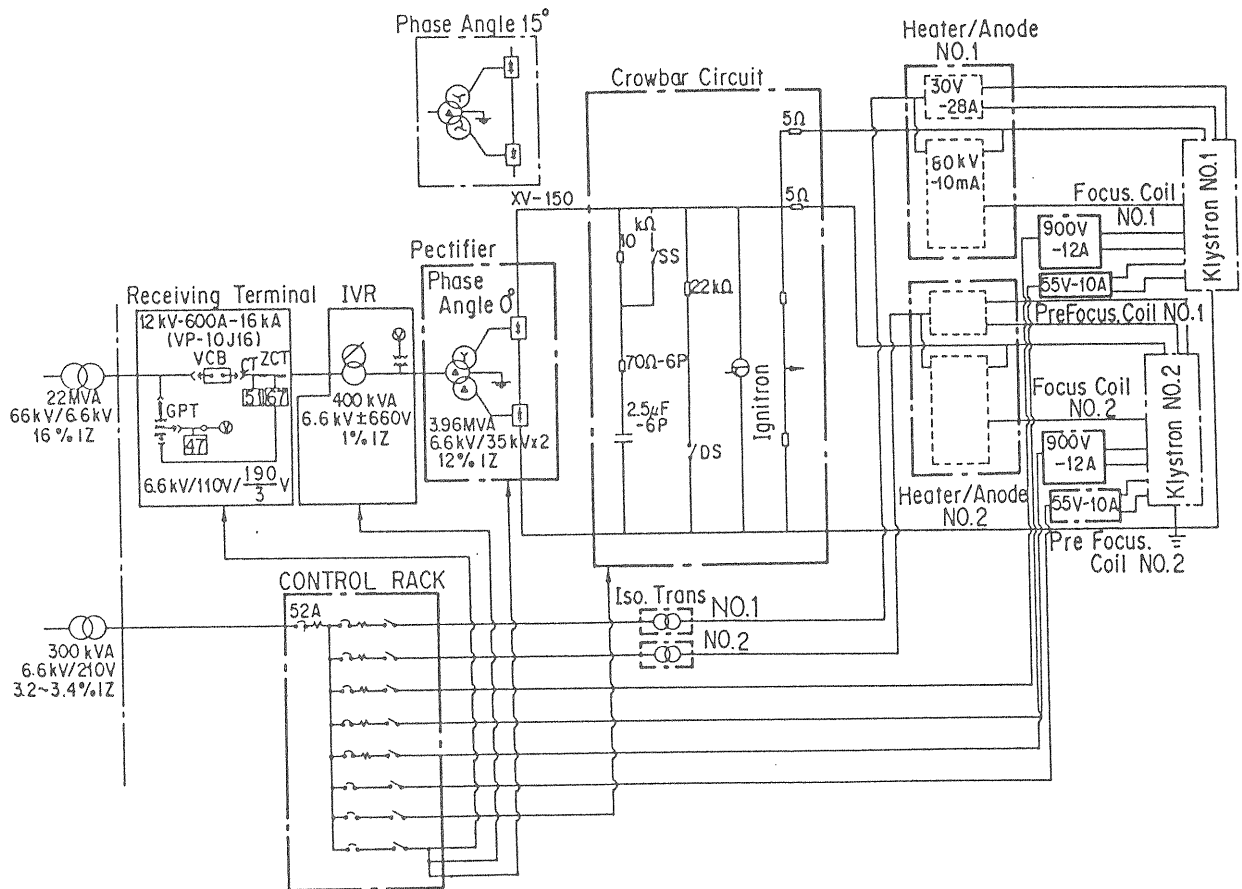


図3 クライストロン電源ブロック図

### 1.3 サーキュレーターおよび導波管

クライストロンの出力は、15インチ、7.5インチのアルミニウム製矩形導波管にて、4ポートサーキュレーターに導かれる。4ポートサーキュレーターはマジックティー、200kWダ

ミーロード、フェライト位相器、3dBカップラー及び40kWダミーロードからなっている。サーキュレーターでのパワーロスは約5%、分離度20dB以上、VSWR 1.05以下の性能を出している。サーキュレーターからはマジックティーにより4本の導波管に分かれてそれぞれ空洞に

結合されている。空洞まで 60 m にて約 2% の  
パワーロスがある。

#### 1.4 常伝導加速空洞 APS

図 4 に示すように APS は 9 セルキャビ  
ティが 2 台が高周波的には分離された状態で機械  
的に結合された構造になっている。シャントイ  
ンピーダンスは  $22.5 \text{ M}\Omega/\text{m}$ 、9 セルキャビ  
ティ 4 台つまりクライストロンユニットあたり 14  
MV の加速電圧を発生する。チューナーは 1 つ  
のセルに 1 つあり 1.6 MHz 空洞周波数を変えら  
れる。9 セルキャビティの 9 つのチューナーは  
一体のステージ上にて予め調整され 1 台のステ  
ッピングモーターにて駆動される。5.9 kHz/°C  
程度の温度変形がありクライストロンあたり  
800 kW から 1 kW まで出力を下げると、120 kHz  
相当のチューナー移動がある。ビームローディ  
ングはクライストロンあたり最大 160 kW にな  
っている。

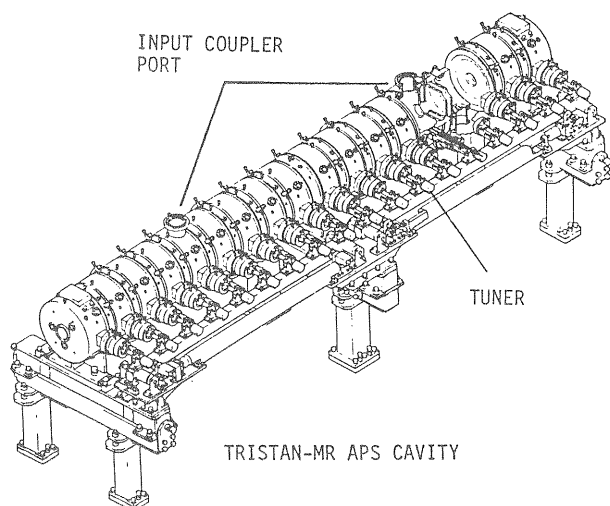


図 4 常伝導加速空洞 APS

#### 1.5 超伝導加速空洞

図 5 に示すように超伝導加速空洞は純ニ  
オブ製 5 セルキャビティ 2 台がヘリウム冷凍

機のタンク内に設置されている。加速電場勾配  
は通常約 4.5 MV/m、クライストロンユニ  
ットあたり 27 MV の加速電圧を発生する。タンク  
の内側よりアンテナタイプのカプラーにて入力し、  
外側から圧力を加え弾性変形させることにより  
チューニングをとっている。チューナーは粗調  
整としてステッピングモーターを使用し微調整  
にはピエゾ圧電素子を用いている。1 mm の変形  
に対し 80 kHz 周波数がかえられる。

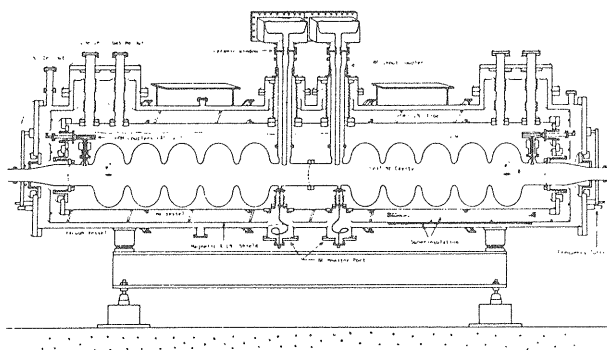


図 5 超伝導加速空洞

#### 1.6 基準信号

各クライストロンユニットには、図 6 に  
示すようにセンターコントロールルーム内にあ  
るマスターオシレーターから 508.58 MHz の  
基準加速信号が各ステーション単位に配られて  
おり、各ステーション間でその信号の位相が温  
度変化によるケーブル電気長の変化によってか  
わらないようにフィードバックがかけられ安定  
化されている。信号は D7 ステーションにて右  
まわりと左まわりに分かれ最後に D1 ステー  
ションにて位相差をモニターしている。

図 7 に示すようにトランスミッターから  
でた信号は最大 760 m のケーブルにてレーザ  
ーに入り、ここで信号は分配され片方は各ク  
ライストロンユニットへ、他方は 1/2 の周波数  
に変換され同じケーブルを使ってトランスミッ

ーに帰される。帰ってきた信号は元の周波数に戻されたのち、トランズミッターの入力との位相差を検出される。その時 508 MHz 信号は、1 MHz 信号に変換されたのち位相検出される。検出された位相差をフェーズシフターにて補償することにより、 $25 \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$  にて  $\pm 0.4$  度に位相を保持している。

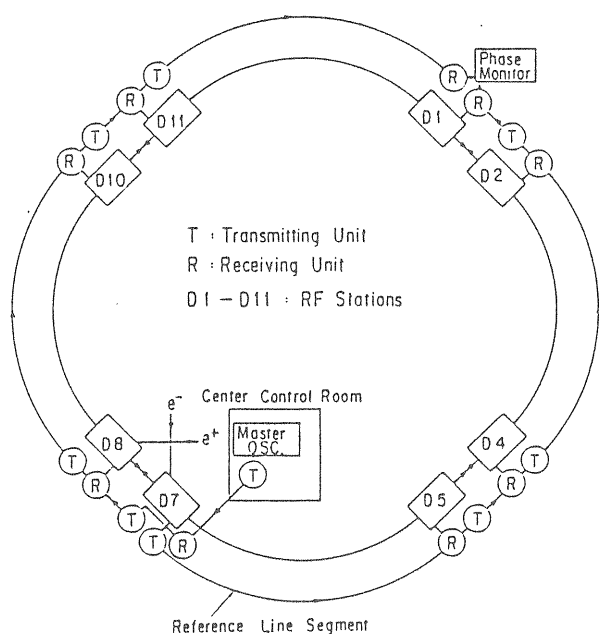


図6 トリスタン MR 基準信号線

## 2 ローレベル系

ローレベル系は図8に示すように空胴電圧を一定に保つ ALC 回路、空胴電圧位相を一定に保つ PLL 回路、空胴同調をとるフィードバックループ回路、クライストロンビーム電流コントロールループ回路 およびインタロックシステムに分けられる。コントロール系のハードウェアは、故障時の取り替えやすさと回路変更のしやすさのため単機能の NIM モジュールで組み上げられている。508 MHz の RF 信号は、SMA コネクター付ケーブルにて前面配線され、 $\pm 10 \text{ V}$  の制御信号は QLA コネクター付ケーブルにて

前面配線されている。CAMAC モジュールとの配線は NIM モジュール裏面にて Dsub コネクターにより行っている。

### 2.1 ALC 回路

図9に示すように4つの空胴のピックアップから得られる RF 信号をベクトル的に足し合わせ検波し、その振幅が一定となるように、クライストロン入力段の RF レベルを PIN ダイオードモジュレーターにより制御するループである。運転時にはこのループに対してレファレンス電圧を与えることにより空胴電圧すなわち加速電圧のコントロールを行う。RF スイッチが ON された時この回路はまずクライストロン出力が一定となるように働き、4 台の空胴の同調が全てとれた時このループは空胴加速電圧が一定となるように働く。これは RF スイッチ ON の時設定加速電圧が低くかつビームローディングが大きいときに、PLL 回路が正しく働かないときがあったのでこういう過程になっている。ループゲインは約 40 dB、周波数特性は 3 dB 落ちのところにて 50 Hz。加速電圧は空胴冷却水によって校正され、トリスタンリングのシンクロトロン周波数によって確かめられている。

### 2.2 PLL 回路

4つの空胴のピックアップから得られる RF 信号をベクトル的に足し合わせその信号と基準信号との位相を検出し、それが一定となるように、クライストロン入力段のフェーズシフターを制御するループである。RF スイッチが ON と同時このループは働き、RF スイッチ OFF と同時に切れる。508 MHz 信号は、1 MHz 信号に変換され位相検出されている。ループゲイン

は約 40 dB、周波数特性は 3 dB 落ちのところで  
 て 500 Hz となっている。4 つの空胴間の位相調  
 整は導波管の長さによって微調され、クライス

トロンユニット間の位相調整は PLL 回路の上流  
 にあるフェーズシフターを調整することにより  
 空胴の位相は ±2 度程度に補償されている。

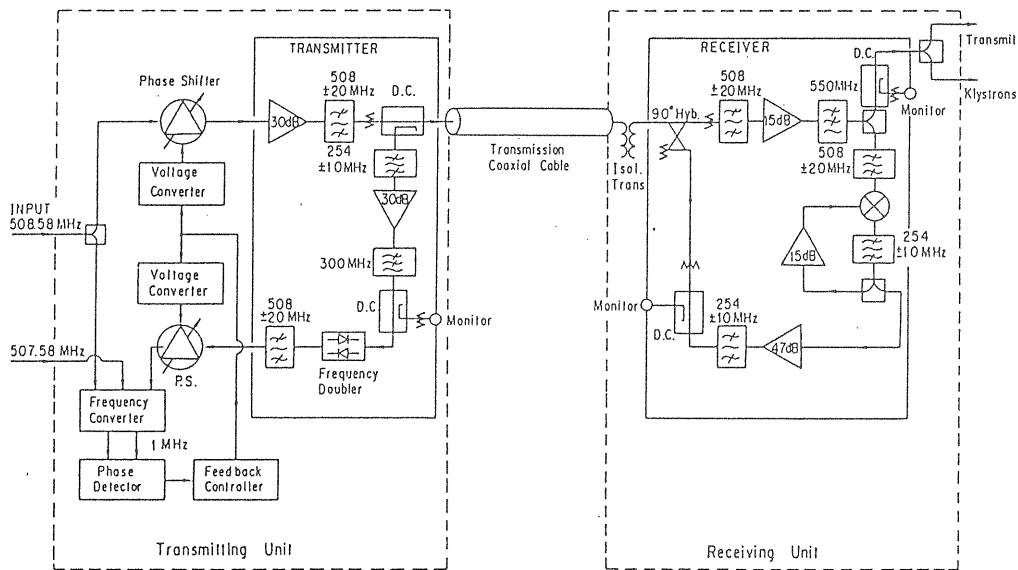


図 7 基準信号位相同期回路図

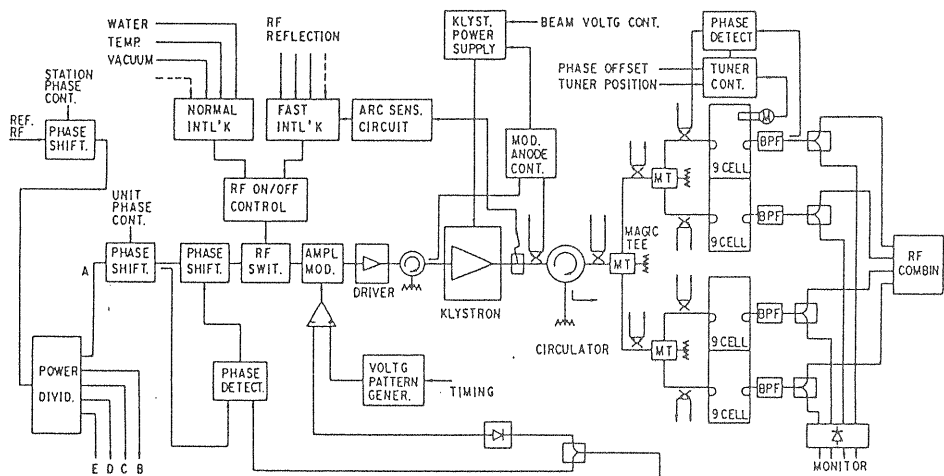


図 8 クライストロンユニット内の RF コントロールシステム

### 2.3 空胴同調ループ回路

空胴同調は 図 10 に示すように空胴のピ  
 ックアップと RF 信号の位相差を検出しそれが  
 一定となるように空胴のチューナーを駆動する

ループである。RFスイッチ ON と同時にこのループが働き、クライストロンユニット内の4台の空胴が全て同調がとれたのち目的の加速電圧に設定される。RFスイッチをOFFするとこのループは切れる。チューナーは40 mm 移動させると1.6 MHz 周波数を変えられ、最大16 kHz/sec にて駆動できる。

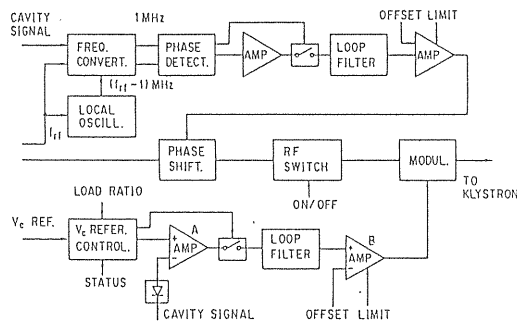


図 9 ALC、PLL 回路

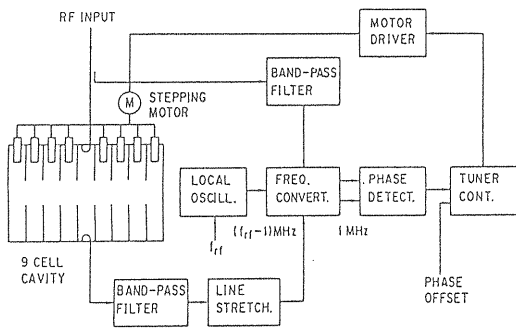


図 10 空胴同調ループ回路

## 2.4 クライストロンビーム電流コントロール回路

ALC 回路のところでも述べたように加速電圧はクライストロン入力段の RF レベルによって制御されているが、クライストロンのコレクター保護およびエネルギーセーブのために図 11 に示すようにクライストロン入力に応じてアノード電圧を変えることによってクライストロン

ビーム電流を制御している。通常クライストロン出力が数 kW のとき約 5 A、1 MW の時 18 A 程度に設定されている。

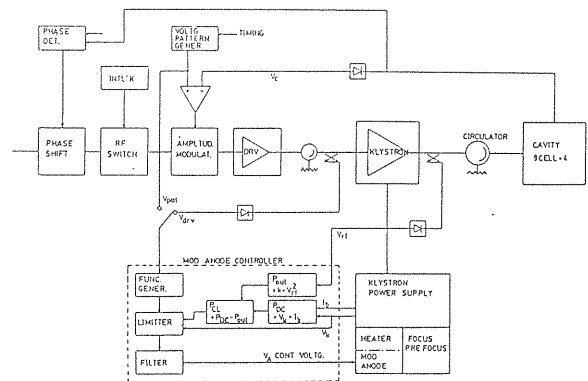


図 11 クライストロンビーム電流コントロール回路

## 2.5 インタロックシステム

ハードウェアに何等かの異常が起った場合、RF スイッチ等を切り RF の供給を断つシステムである。インタロック信号には水温異常、温度異常、キャビティ真空異常などのリレー接点信号と、導波管内での異常反射や放電光が発生したとき作動するアナログレベル信号がある。リレー接点信号およびアナログレベル信号合わせて、約 150 のインタロック信号がある。

## 3 クライストロン電源の制御方法

メンテナンスの時以外つまり立ち上げの時および通常の運転時に、現場であるいは計算機からクライストロン電源を制御するものを上げる。

### 3.1 制御電源 ON / OFF

これを入れると電源内の3相200Vが立ち上がり電源がスタンバイ状態になる。逆にこれを切ることで全てのタイマー、ステータスをリセットすることができる。

### 3.2 LV ON / OFF

これを入れるとヒーター、アノード電源、ヒータータイマー、フォーカスコイル電源、クライストロンコレクター冷却系ポンプ、空胴カブラブローワーポンプ等 高圧以外の全ての電源が立ち上がる。加速器が火事の場合などのために、マグネットおよび高周波装置の全てを落とすエマージェンシーロジックが働くとこれを落とすことになる。

### 3.3 HV ON / OFF / RESET

3相6.6kV入力のVCBを切ることでより高圧を落とすもので、50Hzの一周期つまり20msecで切れる。クライストロン保護のためのクローバー回路は、6 $\mu$ secにて立ち上がるがそれから20msecの間は高圧は切れない。高圧が落ちた後30分以上高圧をONしない場合は、クライストロン内壁のバリウム付着を防ぐために、内部シーケンサーがLV OFFにする。またインタロックが働いて高圧が落ちたときステータスの保持状態を解除するためにRESET回路がある。

### 3.4 トランスタップ切り換え

トランスタップは、50、65、80及び90kVの4段階になっていて、高圧を切らないと切り換えできなくなっている。通常常伝導空胴APSのクライストロンユニットは80kVタップ、

超伝導空胴のクライストロンユニットは65kVタップにて運転されている。

## 3.5 IVR コントロール

6.6kVラインを $\pm 10\%$ 変えることにより、カソード高圧を連続的に $\pm 10\%$ 上げ下げできる。動作モードとして、自動モードと手動モードのどちらかに設定でき、自動モード時はカソード電圧のレファレンス電圧を与えることでIVRによりそのカソード電圧に自動的に追従させることができる。手動モード時は、UP, DOWN, STOPの指令によりIVRを制御し、カソード電圧を調整する。通常高圧をON/OFFする時はIVRは最低電圧値にしている。

## 4 RF 制御方法

RF制御関係では、アナログ値を制御するレファレンス電圧の設定は、クロックによって電圧を上下させる電圧発生モジュールにより行われ、その出力設定値は電源を落としても保持されている。以下RF制御関係のものを上げる。

### 4.1 RF スイッチ ON / OFF / RESET

クライストロン入力段のPINダイオードスイッチによりRFをON/OFFすることにより空胴の高周波を制御する。インタロックが働いた場合このスイッチが落ちるとともにステータスが保持され、リセットにより解除される。トリスタンリングのビームストッパー等が働かないときなどに働くセイフティインタロックロジックはこのスイッチを落とす。

### 4.2 ALC ループ制御



ALC 回路は空胴の同調がとれるまでクライストロン出力一定のためのレファレンス電圧および空胴電圧のレファレンス電圧によって制御される。前者の値は通常、出力 25 kW に設定されている。空胴電圧のレファレンス電圧は以下の様に与えられる。

$$(\text{レファレンス電圧}) = (\text{バイアス}) + (\text{プログラムスイッチ}) \times (\text{プログラム}) \times (\text{ゲイン})$$

バイアスは入射エネルギーの加速電圧、バイアスとゲインの和がフラットトップエネルギーの加速電圧、プログラムは加速時の電圧パターンを決定する 0 から 1 までの値である。プログラムは予めメモリーに書かれた電圧パターンを磁場の運転に同期して読みだし、D/A コンバータにてアナログ電圧に変換して出力される。プログラムスイッチはプログラムをレファレンス電圧に組み込むかどうかのスイッチである。レファレンス電圧 1 V を加速電圧 2 MV に対応させている。

### 4.3 PLL ループ制御

PLL 回路のレファレンス電圧は 1 V を 20 度に対応させている。通常このレファレンス電圧は 0 V である。ステーション間の高周波位相、ユニット間の位相を決定するフェーズシフターはこの回路の上流にあり、通常計算機によりリモートコントロールされている。

### 4.4 空胴同調ループ制御

通常このループは自動モードにしてあり、RF スイッチ ON にて動作する。チューナーの位

置を任意に動かすときのみ手動モードにする。空胴同調 OFFSET は、レファレンス電圧 1 V を 20 度に対応させており、通常 -5 度を設定している。

## 4.5 各部のモニター

パーツの数が多 RF システムを運転および故障時の診断するために、できるだけ多くの情報を計算機から読めるようにしてある。その情報は接点情報とアナログ値情報に分けられる。接点情報はリレー接点の ON/OFF を読むもので、LV、HV、RF などの各種スイッチの状態や、トランスタップの位置、IVR の動作状態等が、クライストロンユニットあたり約 80 点あり、また動作インタロックの接点情報はユニットあたり約 150 点ある。アナログ値情報はクライストロン電源内の各種の電圧、電流、クライストロン各部の温度、ユニット各部の RF パワー、空胴の加速電圧、真空度等ユニットあたり約 130 点ある。

これらの情報は、CATV 用に 10 台の TV 表示や、計算機の端末にて常時モニターされている。また計算機によりデータロギングされて過去の状態も見られるようになっている。

## 5 CAMAC インタフェース

計算機とハードウェアとのインターフェースには CAMAC を使用している。CAMAC クレートは 1 ステーションに、電源制御に 1 台、各クライストロンユニットのローレベル系の制御に 1 台およびステーション全体用に 1 台装備されている。高周波加速装置に使用している CAMAC モジュールを以下に述べる。

## 5.1 SOR ( Status Output Register )

+12 V 0.3 秒のパルスを出すもので、各種スイッチの ON/OFF、RESET や制御モードの切り換えに使用する。CAMAC ダウン時でも運転に支障をきたさないように、パルス信号を出し装置側に保持機能を持たせている。1 モジュールあたり 16 チャンネルのパルス信号を出す。クライストロンユニットあたり 3 台使用されている。

## 5.2 PTG ( Pulse Train Generator )

10 V 10  $\mu$  sec 512 pps にてアップパルス、ダウンパルスの 2 系統のパルス列を出力するモジュールで、電圧発生モジュールの電圧の上下や、空洞チューナーを駆動するパルスモーターの制御に使用される。1 モジュールあたり 4 チャンネルのパルス信号を出せる。クライストロンユニットあたり 3 台使用している。

## 5.3 SIG ( Status Input Gate )

リレー接点の ON/OFF を読みだすモジュールで、各種のスイッチの状態や、制御モード状態、インタフェース等の接点情報を読みだす。1 モジュールあたり 32 チャンネルの入力がある。クライストロンユニットあたり 9 台使用している。

## 5.4 SAD ( Sample / hold scanning A / D converter )

DAD ( Dual slope integration  
scanning A / D converter )

-10 V ~ +10 V のアナログ電圧を読みだすもので、1 モジュール 32 チャンネルある。

DAD は 50 Hz の電源同期のノイズを落とすもので、クライストロン電源のモニターに使用し、その他のモニターには SAD が使用されている。クライストロンユニットあたり SAD は 5 台、DAD は 1 台使用している。

## 5.5 その他のモジュール

各ユニット共通のモジュールとして、シンセサイザーおよび 30 打点式温度レコーダーのデータの読みだしおよび各種設定を行う GPIB モジュール、加速電圧パターンを書き込んでおくメモリーモジュール、そのパターンの読みだしを制御するタイミングモジュール、および加速装置の状態を TV 表示するためのキャラクタービデオ RAM モジュールなどがある。

## 6 計算機とネットワーク

コントロールに用いている計算機は、HIDIC 80M 系と、Micro VAX 系の 2 系統に分かれている。HIDIC 80M 系はインタープリター言語 (NODAL) でプログラミングされており、リング全体の加速電圧、加速パターンの設定、加速周波数の変更、および RF スイッチ、HV スイッチの ON/OFF/RESET 等の操作を行っている。センターコントロールルーム からタッチパネルにより出された指令は 図 12 に示すように、リングネットワークを通じてリモート計算機に受けつがれる。HIDIC 80M 系のリモート計算機はシリアルハイウェイを通じて CAMAC モジュールと交信しており、表 3 に示すように、AR ステーションを制御する RF0、D1 ステーションから D5 ステーションまでを制御する RF1、

D7ステーションからD11ステーションまで

を制御するRF2の3台で構成されている。

表3 HIDIC 計算機配置

計算機名	対象ステーション	クライストロン	CAMAC クレート
OP0~OP4	タッチパネルによるオペレーション		
RF0	AR-西、AR-東	2本	7台
RF1	D1、D2、D4、D5	20本	28台
RF2	D7、D8、D10、D11	14本	22台

表4 Micro VAX 計算機配置

計算機名	対象ステーション	クライストロン	CAMAC クレート
CCR	LAVAC サーバー		
AR	AR-西、AR-東	2本	7台
TUKUBA	D1、D2	10本	14台
OHO	D4、D5	10本	14台
FUJI	D7、D8	6本	10台
NIKKO	D10、D11	8本	12台

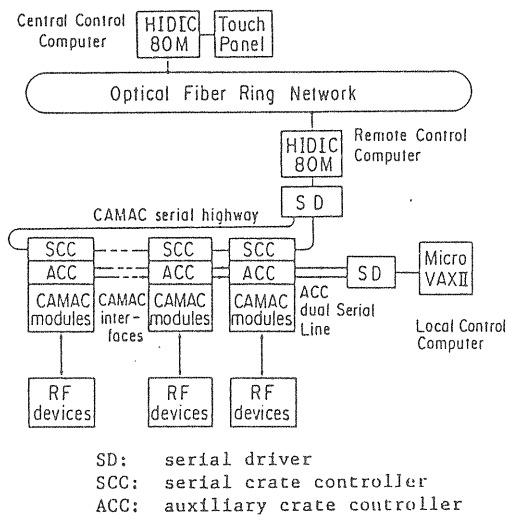


図12 HIDIC 計算機ネットワーク

Micro VAX系はフォートラン言語でプログラミングされており、電源の立ち上げ、加速空洞のコンディショニング、TV表示等のモニター、メンテナンス時のコントロール、およびデータロギング等の操作を行っている。Micro VAXの構成は図13に示すように、LAVAC (Local Area VAX Cluster) のサーバーであるCCR計算機とリモート計算機はEthernetにて、ネットワークが組まれている。リモート計算機はACC (Auxiliary Crate Controller) シリアルラインにて、CAMACモジュールと交信しており、表4に示すように、ARステーションを制御する

AR、D1、D2ステーションを制御する

TUKUBA、D4、D5ステーションを制御する

OHO、およびD7、D8ステーションを制御する

FUJI、D10、D11ステーションを制御する

NIKKOから構成されている。Micro VAXの専用端末として、NEC PC 98を通常用いグラフィックス、マウスにも対応している。またRFネットワークは、所内ネットワークとも接続されており、VT端末としては、所内のどこからでも、あるいは所外からでもRF装置を制御することができる。

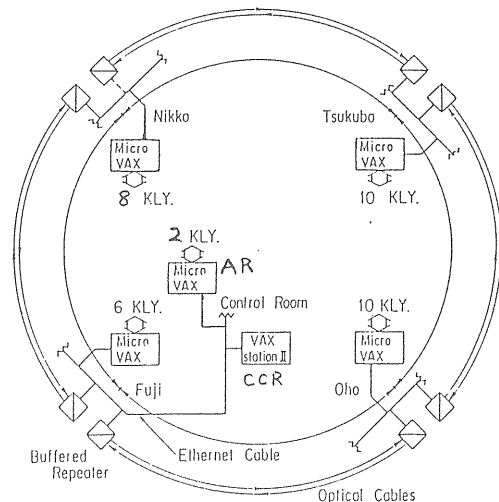


図13 Micro VAX ネットワーク



スターオシレーターに対し周波数の設定を行う。

## 7.6 ステーション間の RF 位相の設定

ステーション内のクライストロンユニット間の位相は直接空胴の位相を測定して調整されるが、ステーション間の位相はリングのシンクロトロン振動数を測定することにより調整される。

## 7.7 空胴同調位相の設定

ロビンソندانピングを与えるために、空胴同調バイアスを5度程度かけている。入射時に大きな値を設定した時には、加速時において磁場パターンに同期させて空胴同調バイアスを5度まで戻している。これはバイアス値が高い状態にて大きなパワーを入れると、反射が増えたとともに空胴入力カプラー部に高い電圧がかかり危険なためである。

# 8 Micro VAX からの オペレーション

Micro VAX の役割分担は、クライストロン電源の立ち上げ、加速空胴のコンディショニング、モニター、およびデータロギング等である。衝突実験以外の時、つまりメンテナンスの時および立ち上げ調整の時に威力を発揮する。

## 8.1 立ち上げ調整および空胴コンディショニング

モニター TV を見ながら、全てのクライストロンユニットのクライストロン電源の LV

ON、タップ切り換え、HV ON、カソード電圧調整を行う。空胴コンディショニングタスクは、加速空胴の真空度をモニターしながら空胴入力パワーを徐々に上げていくプログラムで、クライストロンユニットごとに独立タスクになっている。操作する人は目標パワーを設定した後はモニター TV を見ていて、異常があれば対処する。

## 8.2 RF ステータスモニター

TV 表示モニターとして全てのクライストロンユニットの出力値、カソード電圧、空胴真空度等の値をグラフ表示にて1画面に出してあり、この表示で全体の様子がほぼ把握できる。さらに詳しい表示はステーションごとの表示にて、RF スイッチの状態、ドライバーアンプの出力値、ALC、PLL の状態等が表示されていて、衝突実験中のみならず空胴コンディショニング時にも役立つ。

装置の調整の時には更に詳しいモニターとして、VAX のターミナルに計算機が取り込める全ての情報を出すことができる。ターミナル上にリアルタイムで各種のデータをグラフ表示することもできる。

## 8.3 データロギング

突然の故障が発生した時、それ以前の情報を見てどういう状況が起ったのか調べる場合に、データロギングは威力を発揮する。ロギングとして現在、インターロックロギング、ファーストロギング、フルロギングの3種類が動いている。

インターロックロギングは RF スイッチが落ちたときのインタロック情報を時刻とともに

にディスクに書きこまれ、別のタスクにて時間プロットを表示したり、あるいはユニットごとにヒストグラム表示する。

ファーストロギングはユニットごとに重要な30点のデータを、25秒間隔にて過去4時間のエンドレスデータバッファを持っていて、オペレーターの指令によりディスクに書き込まれる。書き込まれたデータは別のタスクにより表示される。これは飛行機のフライトレコーダーにあたるものである。通常25秒間隔にしてあるがこの間隔は自由に変えられる。しかしながらデータバッファは固定しているためサンプリング間隔を短くすると、当然見られる時間も短くなる。

フルロギングはユニットあたり130点全てのデータを1時間毎にディスクに書きこんでいる。これは経年変化を調べるのに適している。

## 9 新しいタイプの加速空洞 (ダンプトキャビティ)

円形加速器、線形加速器にかかわらず、ルミノシティーを上げるためには、衝突するときのビームサイズを小さく絞りこみ、かつ衝突粒子数を多くするしかない。粒子数を増やすときに単バンチのビーム電流は、シングルバンチ instability、ビーム、ビーム効果等により、ある値以上には上げられない。そのためバンチ数を増やして粒子数を上げることになる。ところがマルチバンチにすると、前のバンチが空洞内に励起する高次モードによって、ビームブローアップが起り得るというやっかいな問題がある。そこで高次モードを減衰させるダンプトキャビティが最近注目され研究されている。

### 9.1 ダンプトキャビティとは

一般に基本周波数モードのR/Qを変化させずに、高次モードのR/Qを下げることは難しいが、基本周波数モードは空洞内に閉じ込めて、高次モードのみ空洞外へ直接取り出すことはできる。つまりQextを下げることによりインピーダンスを下げられる。この考えのもとに作られたのがダンプトキャビティであるが、現在ワイランドタイプとパーマータイプの2種のタイプに分けられる。

### 9.2 ワイランドタイプ ダンプトキャビティ

1983年にT. Weilandによって提案されたもので図15に示すように高次モードをビーム軸方向に取り出し減衰させる構造で、大きなビームパイプを備えている。ビームパイプの終端部に高次モードの減衰装置がある。当然ビームパイプのカットオフ周波数は空洞の基本モード周波数以上に設定されていて、基本モードの染みだしは十分に小さくなるようになっている。

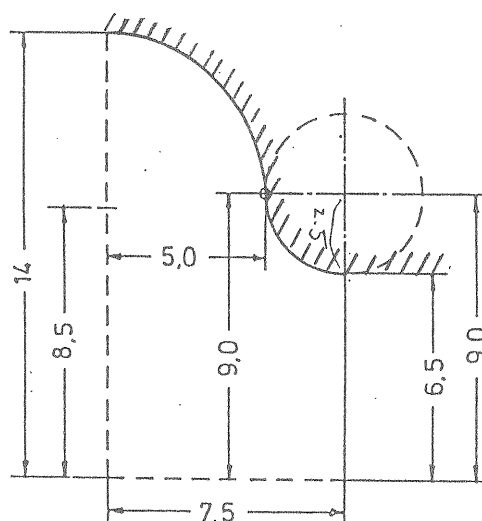


図15 ワイランドタイプダンプトキャビティ

このタイプの特徴として、空洞の腹の部分に障害物がない、ビーム軸方向に高次モード

を取り出す構造のため基本モードのインピーダンスが上がらない、ビームパイプを長くとるためにビーム軸方向の空洞のパッキングファクターが悪い等がある。このためこのタイプの空洞は超伝導空洞に適した構造と言える。

### 9.3 パーマータイプダンプトキャビティ

1988年にKEKにて開かれたリニアコライダークワークショップにてR. B. Palmerによって提案されたもので図16に示すように高次モードを横方向に取り出し減衰させる構造で、横方向には高次モード減衰装置付の導波管が接続されている。導波管のカットオフ周波数は空洞の基本モード周波数以上に設定されていて、基本モードの染みだしは十分に小さくなるようになっている。

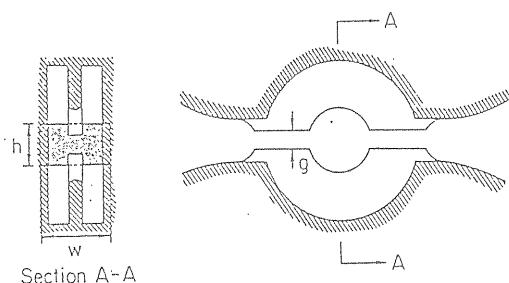


図16 パーマータイプダンプトキャビティ

このタイプの特徴として、空洞の横方向に導波管等の附属物がある、ビーム軸方向には制約がないためビームホールを小さくできかつノーズコーン等もつけることも可能なため基本モードのインピーダンスが高い、ビームパイプを長くとる必要がないためにビーム軸方向の空洞のパッキングファクターが良い等がある。こ

のためこのタイプの空洞は常伝導空洞に適した構造と言える。

### 9.4 ダンプトキャビティの最適化

ダンプトキャビティの研究が進んでいる理由の1つに、MAFIA等の3次元電磁場計算コードの出現が上げられる。3次元電磁場計算なしにはダンプトキャビティの最適化は不可能だからである。ダンプトキャビティの $Q_{ext}$ の最適化するためには、同調カーブ法が用いられている。端が短絡されている長さLの導波管が空洞に開けられた窓を通して結合されている場合を考える。空洞の同調周波数はMAFIAによって計算される。この時 $Q_{ext}$ は次式によって与えられる。

$$\frac{dL}{d\lambda_g} = \frac{2n+1}{4} + \frac{Q_{ext} v_g}{\pi v_p}$$

ここで $\lambda_g$ 、 $v_g$ 、 $v_p$ はそれぞれ管内波長、群速度、位相速度であり、nは整数である。最適化は窓の大きさ、導波管サイズ、空洞内壁の形状、ノーズコーンの形状等がなされる。

### 9.5 各研究所の開発状況

ワイラントタイプのダンプトキャビティは現在コーネル大学において最も進んだ研究がなされている。図17に示す超伝導空洞が現在作られつつあり、KEKとの共同研究としてこの年末にはKEKの施設を使って試験される予定になっている。この空洞の開発項目として入力カップラーと減衰装置があげられる。入力カップラーは500kW通過できる導波管結合器が開発されようとしている。減衰装置はフェライトを使

用し 5 kW 程度が減衰可能なものを開発しよう  
 としている。この他にも KEK、イタリアの  
 Pavia 大学にても研究が始められている。

パーマタイプのカビティは  
 スタンフォード大学(図 18)、Pavia 大学(図

19)、および KEK (図 20) にて研究が進んで  
 いる。KEK の場合、現在空胴を製作中で、この秋  
 には試験する予定になっている。入力カプラー、  
 チューナーは APS 空胴にて開発したものを  
 用い 開発項目は SiC を使った導波管減衰装置がある。

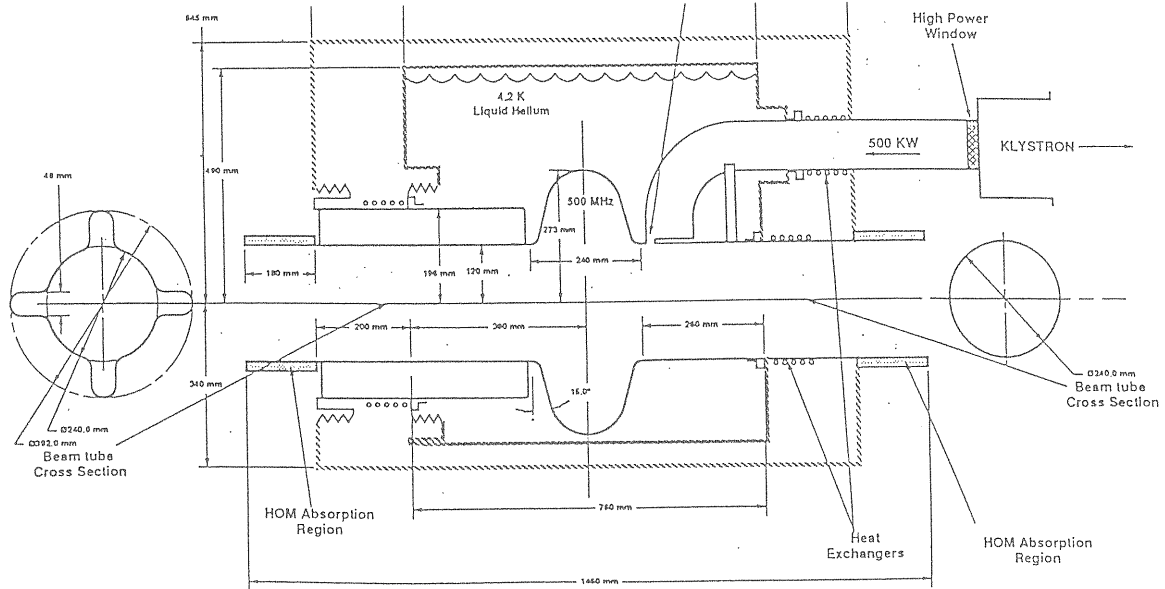


図 17 コーネル大学ダンプトキャビティ

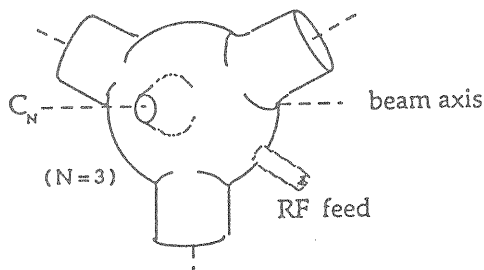


図 19 Pavia 大学ダンプトキャビティ

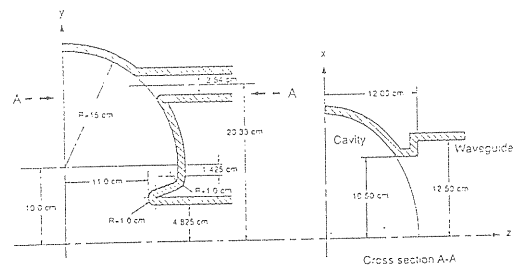


図 18 スタンフォード大学ダンプトキャビティ

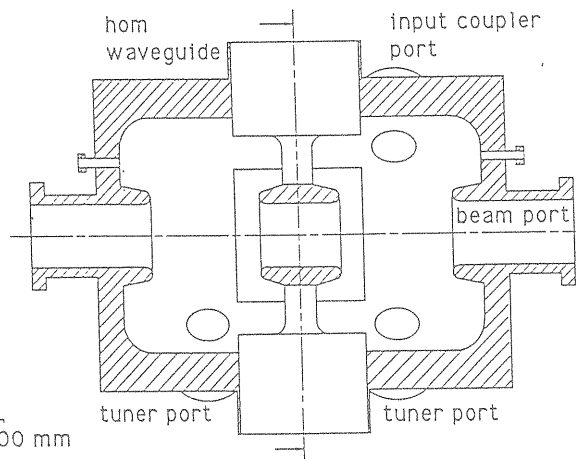
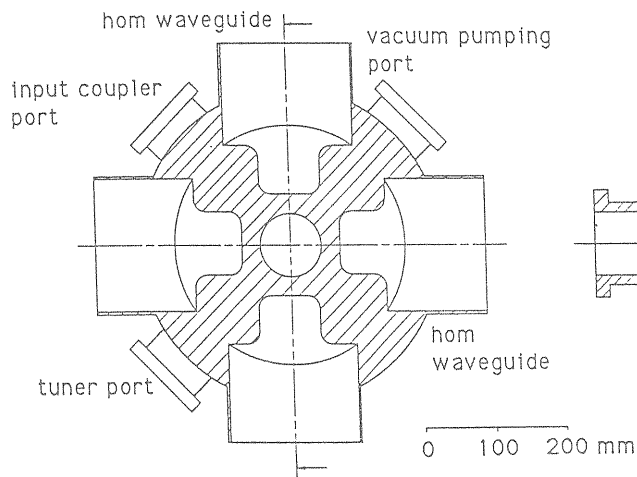


図 20 KEK ダンプトキャビティ



## 参考文献

## ダンプトキャピティの文献として

この小論を書くにあたり以下の文献を参考にした。ローレベルコントロールの文献として

- (1) 早野仁司、TRISTAN RFシステムの制御、コントロールシステム検討会
- (2) K. Akai et al, 13th International Conference on High Energy Accelerators (1986)
- (3) E. Ezura et al, 1987 Particle Accelerator Conference, Washington (1987)
- (4) H. Hayano et al, 1987 Particle Accelerator Conference, Washington (1987)
- (5) H. Hayano et al, Proceedings of the 6th Symposium on Accelerator Science and Technology, Tokyo (1987)
- (6) K. Akai et al, Proceedings of the 6th Symposium on Accelerator Science and Technology, Tokyo (1987)

クライストロン、クライストロン電源、クライストロン、クライストロン電源、APS 空洞の文献として

- (7) H. Baba et al, 1987 Particle Accelerator Conference, Washington (1987)
- (8) S. Isagawa et al, 1987 Particle Accelerator Conference, Washington (1987)
- (9) T. Higo et al, 1987 Particle Accelerator Conference, Washington (1987)
- (10) M. Ono et al, Proceedings of the 6th Symposium on Accelerator Science and Technology, Tokyo (1987)
- (11) M. Ono, KEK report 87-6 (1987)

- (12) T. Weiland, Desy report 83-073 (1983)
- (13) R. B. Palmer, SLAC-PUB-4542 (1989)
- (14) J. C. Slater, Microwave Electronics, Van Nostrand, 1950, Chap.5.
- (15) T. Kageyama, KEK-report 89-4 (1989)
- (16) M. Suetake et al, Conceptual Design Report for the KEK B-factory (1991)
- (17) M. Suetake et al. , Proc. of the 7th Symposium. on Accelerator Science and Technology, December 12-14, 1989, Osaka, Japan.
- (18) K. Klatt et al., Proc. of the 1986 Linear Accelerator Conf., SLAC, 1986, SLAC report-303.
- (19) 2nd Internal Workshop Next-Generation Linear Collider, KEK-report 90-22 (1990)
- (20) P. Arcioni, SLAC report-5444 (1991)
- (21) H. Padamsee et al, CLNS reprot 91/1076, 1076 (1991)
- (22) An Asymmetric B Factory Based on PEP, LBL PUB-5303 (1991)