



Accelerator Laboratory, KEK

OHO06 レクチャー

高周波電力源の考え方とその設計

福田茂樹



目次

| | |
|---------------------|----|
| 1. 始めに | 1 |
| 2. ILCにおける高周波源の位置づけ | 1 |
| 3. ILC500におけるRF源の概略 | |
| • TESLA | 5 |
| • ILC500 | 6 |
| 4. 主ライナックのRF源 | |
| • クライストロン | 12 |
| • モジュレータ | 4 |
| • 電力分配系 | 13 |
| 5. 主ライナック以外のRF源 | 6 |
| 6. まとめ | 2 |



始めに

- T E S L AとI L C
 - TESLA DESYで進められたLC計画でその基礎はTTFに実現された。
現在、その基幹装置はTTF/FLUSHさらにEuro-XFEL装置につながる。
- I T R Pの技術選択で超電導技術が選ばれた。
(T E S L Aの設計が選ばれたわけではないがBCDとして
かなりの部分が採用されている)
BCD : 基本的概念設計
- 設計が固まっているわけではない。現在も変更を前提に検討が進んでいる。
ここでの講義の目的:考え方と設計法
- I L C - R F 源に対する講義
 - 本講義は全体と主ライナックのクライストロン、電力分配系
電源に関しては一こま別に講義を行う(明日:明本)。
LLRFに関しても一こま別に講義を行う(初日:松本)。

ILCにおける高周波源の位置づけ

- NC - ILCにおける高周波源

JLC,NLCといったXバンドを中心としたLC計画では大電力RF源が重要な位置づけをしてていた。大電力クライストロン、エネルギー・ダブラー(SLED-IIなど)。WGの放電限界に挑戦。**短パルス超高電力。**

- SC - ILCにおける高周波源

超電導LCにおいては、High-Qの超電導空洞で高電界を達成するためにRF源はchallengingではない。**長パルス高電力。**

- CLICなどによる高周波源

周波数がより高くなり、RF源は2ビーム加速器の一部になる。



ILC500におけるRF源の概略

- TESLAとILC500

TESLA計画は1990年代から、LCを超電導技術で行うことを中心とした開発が進められてきた。ここでTTF(Tesla Test Facility)が展開され、蓄積された技術が一番進んでいる。空洞、クライオモジュール等の原型、RFシステムの基本が出来上がっている。

ILCはITRPでLCの技術を超電導技術を用いて行うという決定以後の2004年から国際的に共同設計チームが立ち上がった。当面 $500\text{GeV} \times 500\text{GeV}$ マシーンを考えることからILC500と称される。TESLAの技術をBCDとして考え、それからコスト、より先端的な技術を勘案しACDとして検討する。それが実用可能と判断された時はBCDとして採用される。

- BCDとACD

Basic Configuration Design 基本的概念設計

Alternative Configuration Design 相補的概念設計

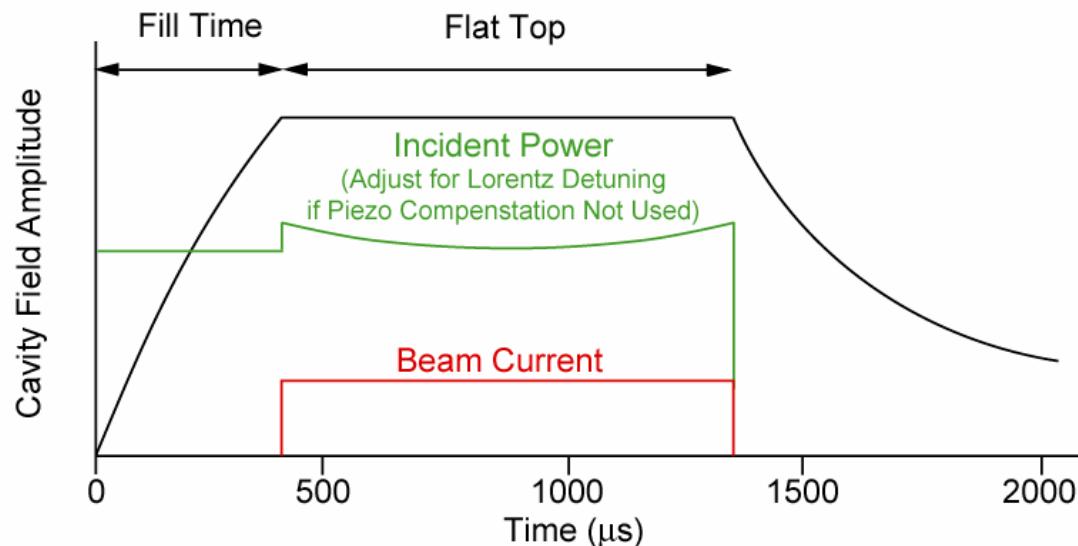


Accelerator Laboratory, KEK

TESLAの紹介

B C DとしてのTESLA

- 超電導技術採用から来るRF源への制約
 - 超伝導空洞はHigh Qである。
 - 空洞へのFilling Timeが長い。
 - 現実的なRF源の選択(CWかパルスか)
 - RFとビームの時間構造

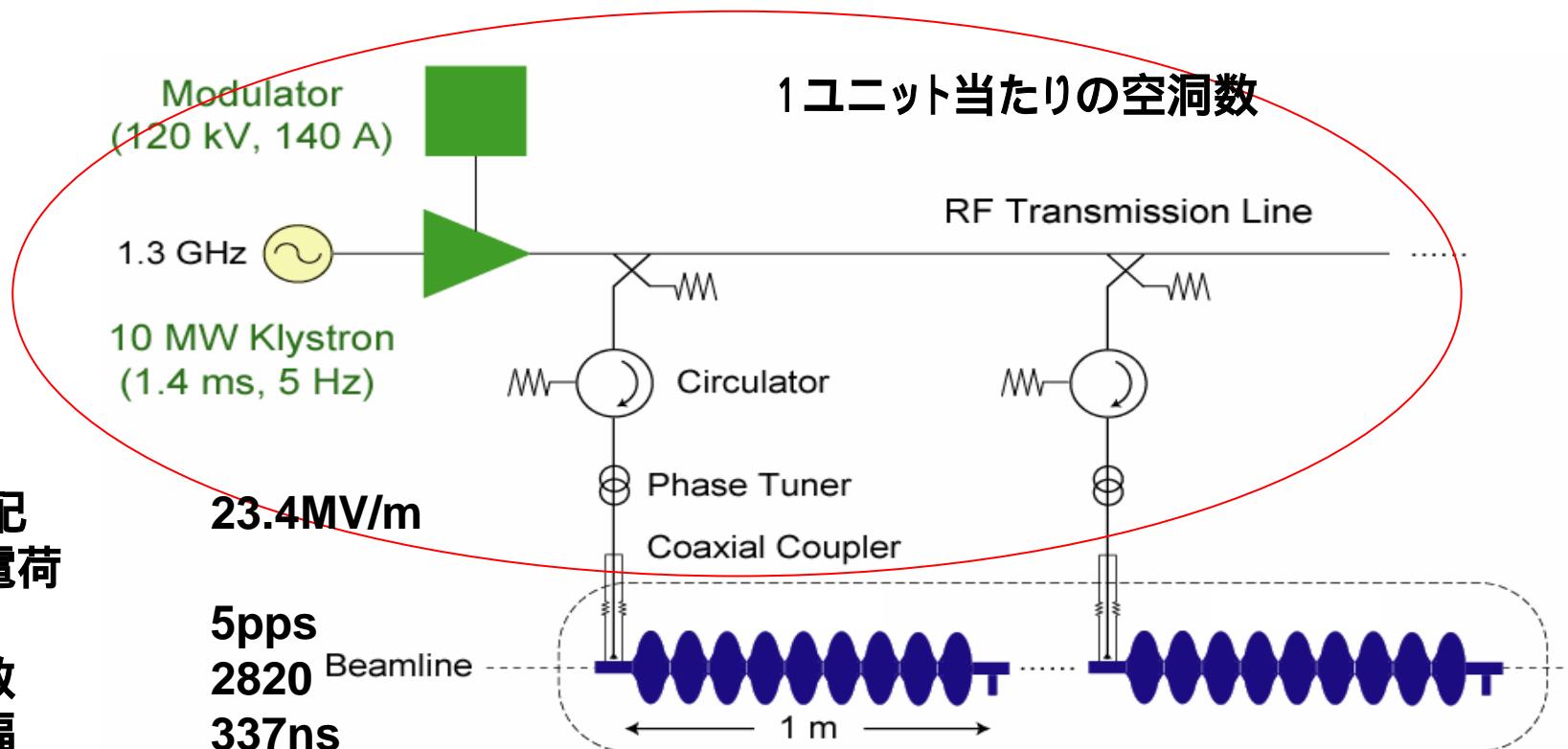




Accelerator Laboratory, KEK

Teslaの設計 (TDR 2001)

| | |
|--------------|----------|
| 加速勾配 | 23.4MV/m |
| バンチ電荷 | 5pps |
| 繰返し | 2820 |
| バンチ数 | 337ns |
| バンチ幅 | Beamline |
| ビーム電流 | 9.5mA |
| 入力電力 | 230kW |
| Filling Time | 0.420ms |
| バンチトレイン幅 | 0.950ms |



Cryomodule 1 of 3
(8 Cavities per Cryomodule)



必要な電力

- 1空洞当たり 23.8MV/m 、
ビーム 9.5mA とすると
 $23.8 \text{MV/m} \cdot 9.5 \text{mA} = 226 \text{kW}$
- 36空洞を励振する必要が
ある。 $0.226 \cdot 36 = 8.14 \text{MW}$
- サーキュレータ等WG系の
損失を6%、右図フィードバック
(FB)系のマージンを15%とする。
 $8.14 \text{MW} / (1 - 0.15) / (1 - 0.06) = 10.2 \text{MW}$

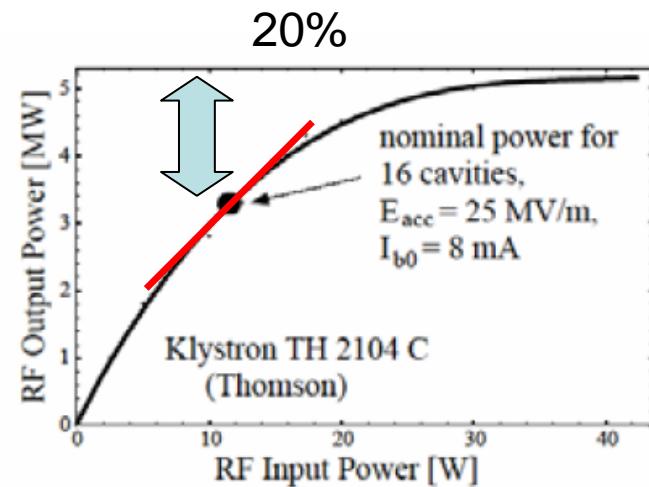


図 4.20 TH2104 の場合の動作点例。飽和点から外すことで、フィードバックをかけやすくする。



Accelerator Laboratory

TESLA パルス電源の仕様

パルス電源は地上部のサービスステーションにまとめて配置される。

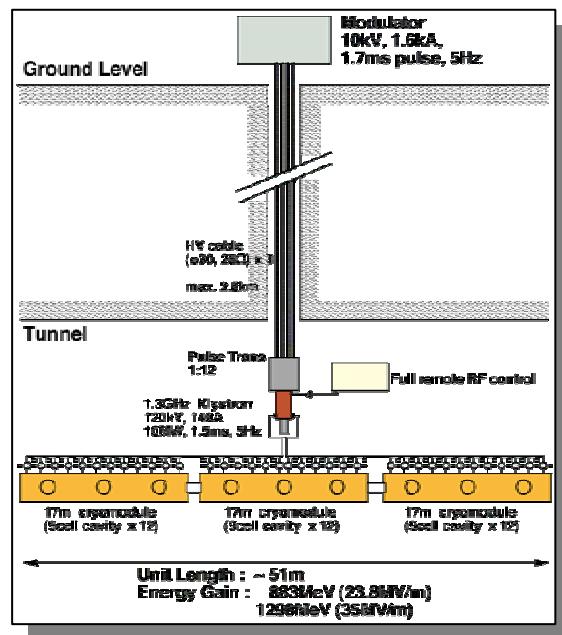
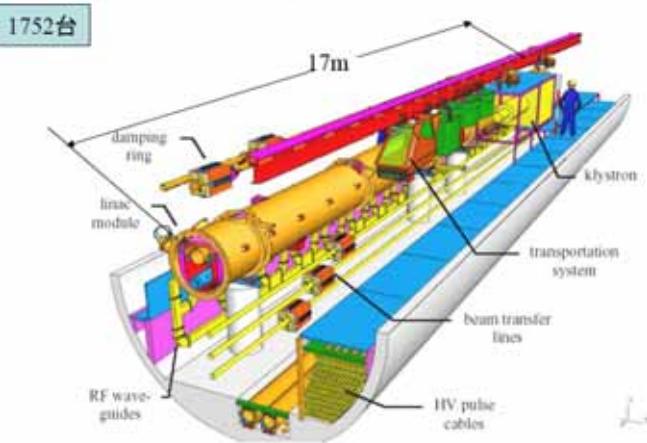
| | Typical | Maximum |
|---|---------|---------|
| Klystron Gun Voltage | 115kV | 120kV |
| Klystron Gun Current | 130A | 140A |
| High Voltage Pulse Duration (70% to 70%) | <1.7ms | 1.7ms |
| High Voltage Rise and Fall Time (0 to 99%) | <0.2ms | 0.2ms |
| High Voltage Flat Top (99% to 99%) | 1.37ms | 1.5ms |
| Pulse Flatness during Flat Top | < ±0.5% | ±0.5% |
| Pulse-to-Pulse Voltage fluctuation | < ±0.5% | ±0.5% |
| Energy Deposit in Klystron in Case of Gun Spark | <20J | 20J |
| Pulse Repetition Rate for 90% of the Modulators | 5Hz | 5Hz |
| Pulse Repetition Rate for 10% of the Modulators | 10Hz | 10Hz |
| Transformer Ratio | 1:12 | 1:12 |
| Filament Voltage | 9V | 11V |
| Filament Current | 50A | 60A |



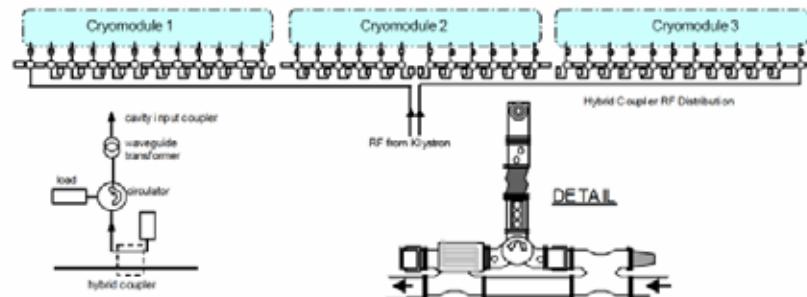
Accelerato.

TESLAシステム

Cryomodule in the TESLA Tunnel



- 5kmごとに地上に power plant (modulator等) があり、最長2.8kmの高圧ケーブルで地下にパルスを運ぶ (10kV, 1.6kA, 1.57ms, 5Hz)
- 施設全長33km。第1期 (500GeV) は23.8MV/mの加速勾配、第2期 (800GeV) は電力・冷凍システムを増強して35MV/mとする。
- 加速空洞 ≈ 21000、Klystron+Modulator 572 (36空洞/klystron)



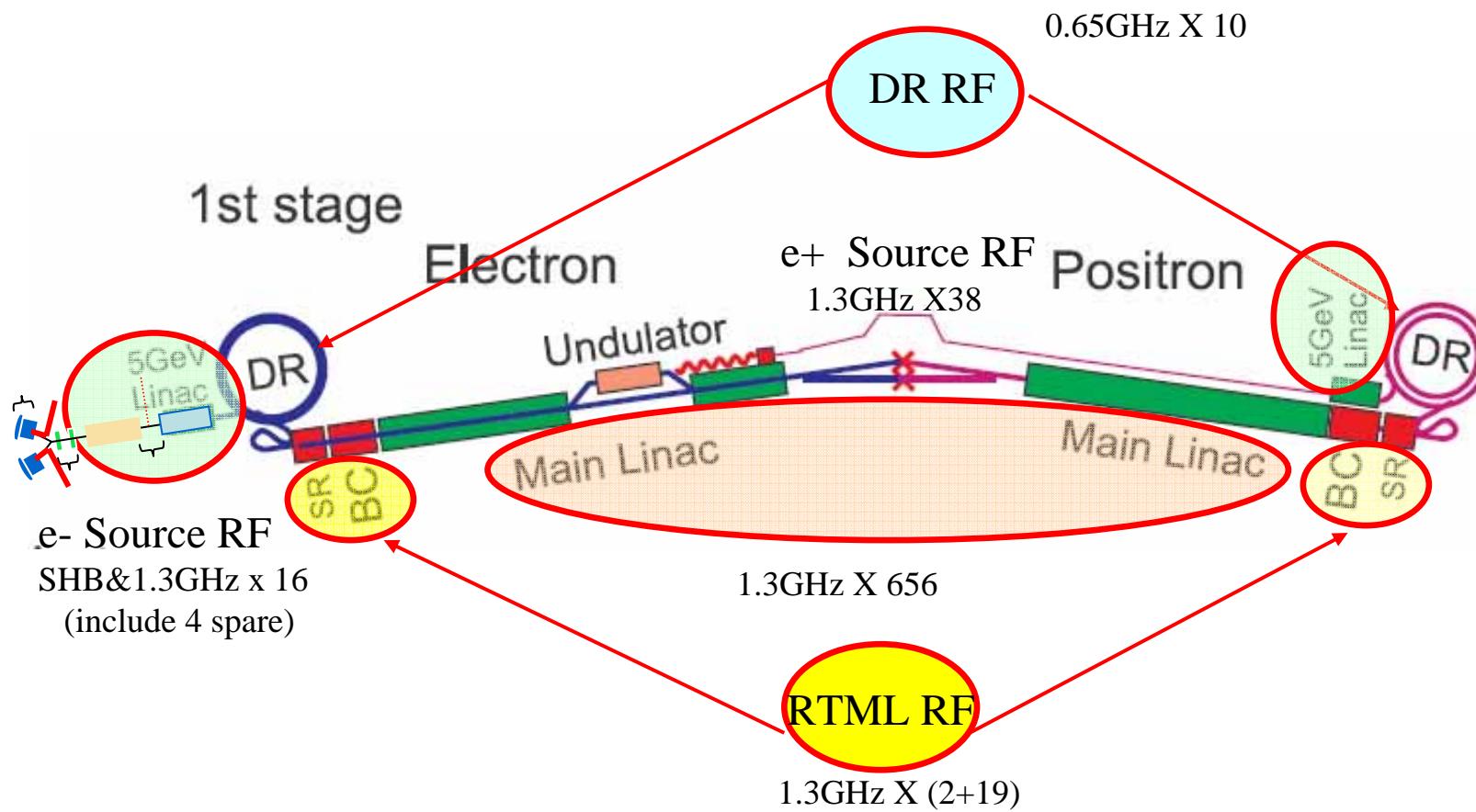
TESLA500
572 RF Unit
(1 Modulator,
1 Klystron,
3 Cryomodules)

TESLA800
606 RF Unit
(2 Modulator,
2 Klystron,
3 Cryomodules)



Accelerator Laboratory, KEK

ILC-500の全体系とRFシステム





ILC-500におけるRF源の総数

表 3.1 HLR 源一覧表

| RF 源 | 1.3GHz 10MW RF 源 | S band RF 源 | 650MHz CW RF 源 | 10-40 kW RF 源 |
|----------|------------------------|----------------|----------------------|---------------------|
| ML/e- | 315 | | | |
| ML/e+ | 315 | | | |
| 電子源 | 6 | | | |
| 同 backup | 8 | | | |
| 陽電子源 | 7 | | | |
| 同 backup | 31 | | | |
| RTML/e- | 21 | 3 | | |
| RTML/e+ | 21 | 3 | | |
| BDS/e- | | | | TBA |
| BDS/e+ | | | | TBA |
| DR/e- | | | 8 | |
| DR/e+ | | | 16 | |
| 合計 | 724 | 6 | 24 | TBA |



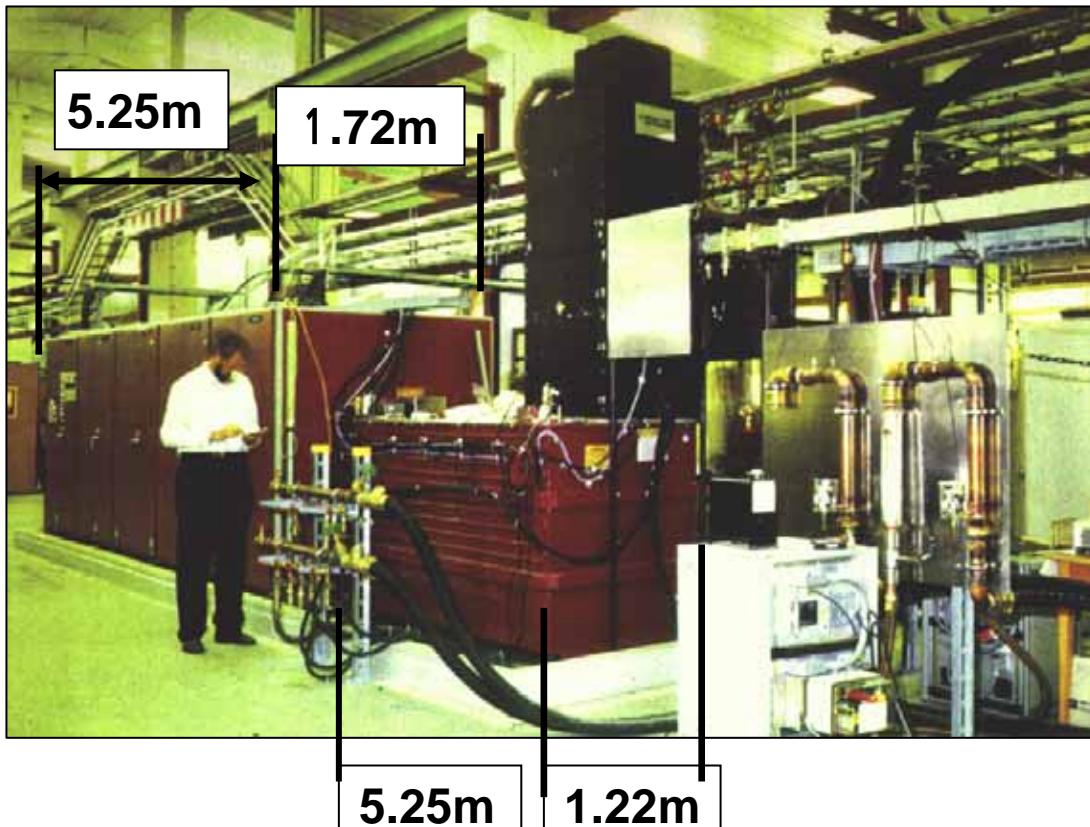
ILC-500における主ライナック のBCDに基づくRF源

| | |
|---------|---|
| クライストロン | 10MW・2出力導波管、周波数1.3 GHz, 117kV, 1.5ms(RF), 5 Hz 繰返し |
| | 横置きクライストロン |
| モジュレータ | 半導体 SW, 1.7ms(voltage) 1:12 パルストラنس、バウンサー回路付き |
| 電力分配系 | 各々 8 空洞を持つ3台のクライオモジュールに 10MWを供給する |
| 全数 | 315 x 2=630 (5% overhead) |
| トンネル | 2トンネルを仮定 |



Accelerator Laboratory, KEK

BCD クライストロン & モジュレータ



Photos courtesy S. Choraba, DESY

福田 OH0-06 高周波源-1

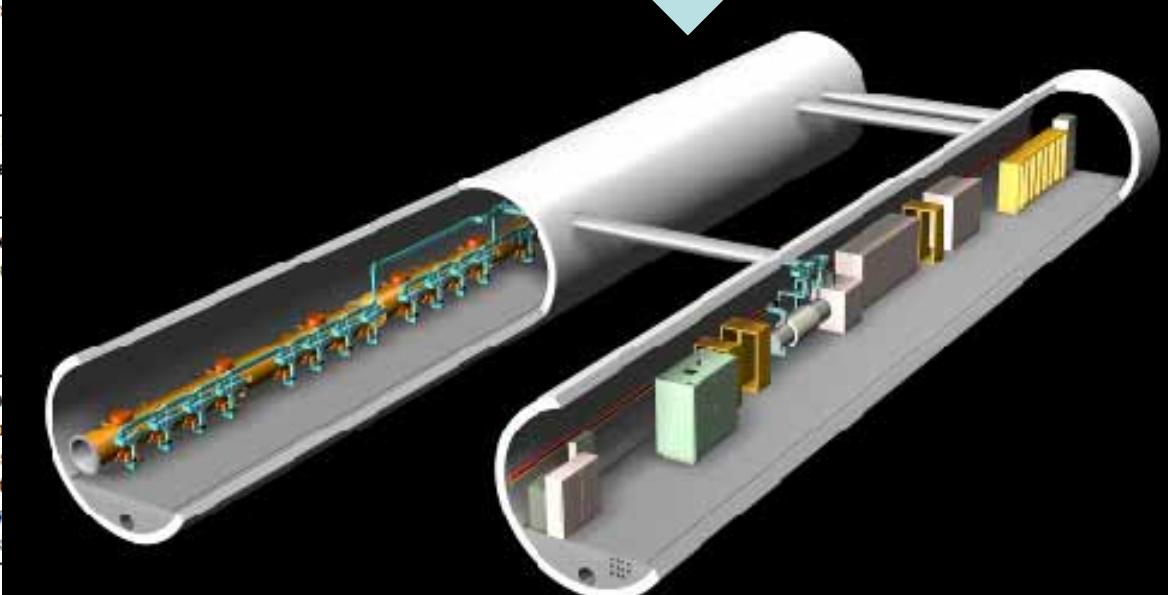
1.2m 1.04m 1.55¹⁴m



Accelerator Laboratory, KEK

トンネルに関する案件 2 トンネル案

| TOPOLOGY MODULATOR | I. LINAC | II. | III. | IV. (A) (B) |
|-------------------------------|--|--|---|--|
| 1. TESLA Model | SLAC topology. MXK coupled in Gallery . Short WG to Beamline. Cables short. All components accessible. Highest Avail. | TESLA design. M in Huts, long LV cables to T.K. MTTR, Availability of transformer, cables, | Radiation protection needed! All components in 1 st tunnel. Short WG to beamline. MTTR all compromised | A ~ TESLA w/short cables B ~ SLAC w/ short WG. All components in 2 nd tunnel accessible. Availability same as (2) in |
| 2. SNS Model | Modulator comparable | | | |
| 3. Direct Switch | Transformer smaller footprint | | | |
| 4. Marx Stack | Smaller footprint, other design, redundant, highest unit availability. Oil-less design | | | |
| Topology Availability Ranking | | | | |



The diagram illustrates a longitudinal section of a particle accelerator tunnel. It shows a central beamline with various components such as dipole and quadrupole magnets, a central klystron (CK), and a modulator. The tunnel walls are lined with insulation and equipment. A blue arrow points from the 'Radiation protection needed!' text in the IV(A) row towards the tunnel diagram, highlighting the location of the beamline components.

August 15, 2005

Modulator Overview R.S. Larsen

14

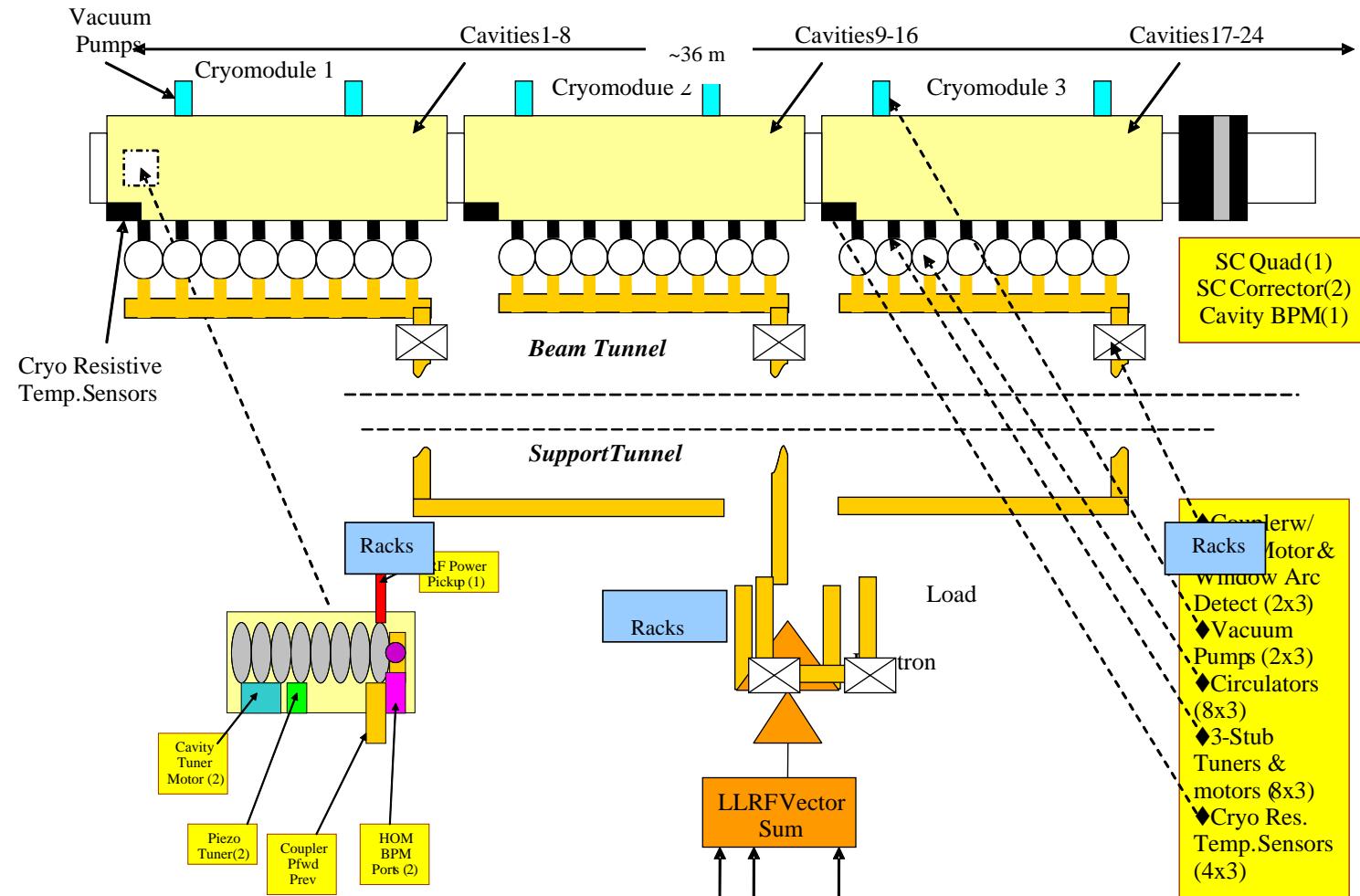
福田 OH-06 高周波源－1

15



Accelerator Laboratory, KEK

ILC-500における1ユニットの構造



ILC - 500 RF 源

- 主ライナックに関して
クライストロン：MBK, KEK案
モジュレータ 明本の講義
RF 電力分配系
LLRF 松本の講義
- その他の RF 源
- 現在の状況 設計上の変更の可能性

クライストロン

- ILC-500においては、長パルス(1.5ms)、大電力(10MW)，**高効率**が要求される。
- 高効率を達成するために大電力で初めて**MBK**(マルチビームクライストロン)の導入を図った。
- 現在のところ完全に動いているものは無い。
- KEKではMBKで動作電圧の低いものを考えている。(印加電圧50kVで10MW)
36ビームクライストロン



何故MBKか？ パービアンスと効率の関係

パービアンスの定義

$$K(\mu\text{perv}) = I/V^{3/2} \times 10^6$$



図 A1.1 パービアンスとマイクロ波管の関係

Symonの式

$$\eta(\%) = 90 - 20 \times K(\mu\text{perv})$$

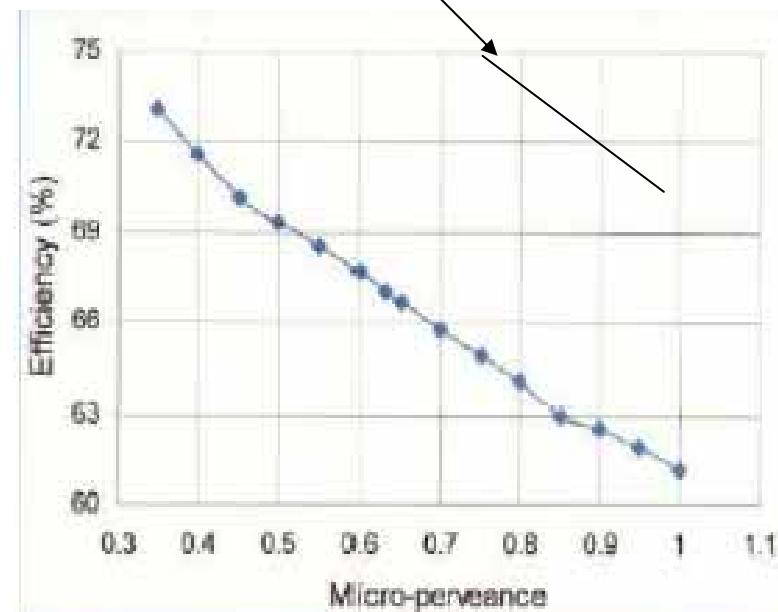


図 A1.2 実験的なクライストロンの効率と
パービアンスの関係

低パービアンスビームクライストロンほど高効率が期待できる。



Accelerator Laboratory, KEK

MBK

- 効率を上げるためにパービアンスを低くする
電流が減るが電圧は高くなる(放電の可能性)
- 放電しない程度の電圧に抑え、
その代わりビーム数を増やす。
電子銃の複雑化。
電子銃に起因する発振の誘起。
3次元的設計、
軸対称から外れた部分の寄与
(特に熱膨張に起因した部分)
- 空洞の設計が複雑になる。
モードの安定化。発振の防止。



Thales



CPI



Toshiba

現在各社で開発されているMBK



クライストロンの比較

表 4.2 Thales 社製・長パルス単ビーム
クライストロンの仕様

| 仕様項目 | 単位 | TH2104C | TH2115 |
|------------|------------------------------|---------|---------|
| 運転周波数 | MHz | 1300 | 1300 |
| 最大 RF 先頭出力 | MW | 5 | 2.5 |
| RF パルス幅 | Ms | 2 | 1.1 |
| パルス繰返し | Hz | 5 | 50 |
| カソード電圧 | kV | 128 | 97 |
| パービアンス | $\mu\text{A}/\text{V}^{3/2}$ | 1.9-2.2 | 1.8-2.2 |
| 効率 | % | 46 | 47 |
| 利得 | dB | 50 | 43 |
| 形式 | | Diode | MA* |

*MA=Modulating Anode

表 4.3 各社のマルチビームクライストロンの仕様の比較表

| 仕様項目 | 単位 | TH1801 Thales | E3736 Toshiba | VKL-8301 CPI |
|------------|------------------------------|------------------|------------------|-----------------|
| 運転周波数 | MHz | 1300 | 1300 | 1300 |
| 最大 RF 先頭出力 | MW | 10 | 10 | 10 |
| 平均出力電力 | kW | 150 | 150 | 150 |
| ビーム電圧 | kV | 110 | 115 | 114 |
| ビーム電流 | A | 130 | 132 | 131 |
| 効率 | % | 65 | >65 | 65-67 |
| RF パルス幅 | ms | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| 飽和利得 | dB | 48 | 47 | 47 |
| 電子ビーム数 | | 7 | 6 | 6 |
| ビームパービアンス | $\mu\text{A}/\text{V}^{3/2}$ | 3.5 | 3.38 | 3.4 |
| 空洞数 | | 6 | 6 | 6 |
| カソードローディング | A/cm^2 | | <2.1 | <2.0 |

M B K の空洞とビームの相互作用

TH2108(Thales) 円筒空洞ですべてのビームと共に通。7ビームがFM-TM010と結合。

VKL8301(CPI) 入出力空洞は環状空洞で6ビームがTM010と結合。中間空洞は各ビーム独立に円筒空洞のTM010と結合する。

E3736(東芝) すべて環状空洞で6ビームがTM010と結合。第3空洞は高調波空洞。

その他提案されている A C D 案

10 MW シートビーム
クライストロン (SBK)

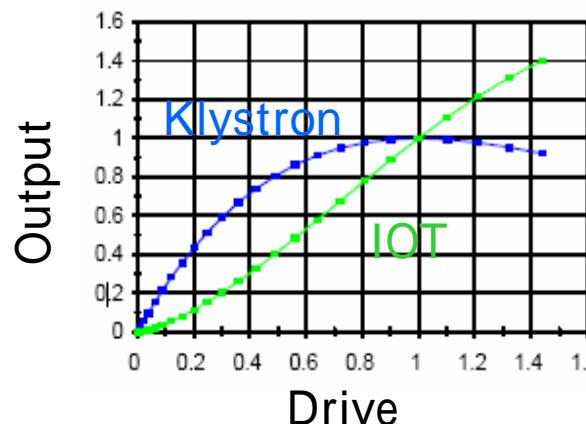
Parameters similar to
10 MW MBK



SLAC

5 MW Inductive Output Tube (IOT)

| | | |
|----------------------|------|-----------|
| Peak Output Power | 5 | MW (min) |
| Average Output Power | 75 | kW (min) |
| Beam Voltage | 115 | kV (nom) |
| Beam Current | 62 | A (nom) |
| Current per Beam | 5.17 | A (nom) |
| Number of Beams | 12 | --- |
| Frequency | 1300 | MHz |
| 1dB Bandwidth | 4 | MHz (min) |
| Gain | 22 | dB (min) |
| Efficiency | 70 | % (nom) |



福田 OH0-06 高周波源-1

低電圧
10 MW MBK

電圧 65 kV
電流 238A
より他ビーム

直接モジュレータと
接続。パルストランス
は不要。

CPI

KEK

ACDとしてのL-帯 36 ビーム クライストロン設計

表 4.4 ビームの本数・パービアンスと印加電圧の関係

| ビームの数 | 1 | 7 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 | 48 |
|------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1本あたりの電流 (A) | 106.75 | 17.09 | 11.80 | 10.59 | 11.08 | 8.60 | 7.07 | 6.02 |
| 1本あたりのビーム電力 (MW) | 19.215 | 1.999 | 0.826 | 0.635 | 0.554 | 0.430 | 0.354 | 0.301 |
| 1本あたりのパービアンス | 1.398 | 0.427 | 0.637 | 0.720 | 0.991 | 0.769 | 0.632 | 0.538 |
| 効率 (%) | 52.0% | 71.5% | 67.3% | 65.6% | 60.2% | 64.6% | 67.4% | 69.2% |
| カソード電圧 (kV) | 180 | 117 | 70 | 60 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| パービアンス | 1.40 | 2.99 | 11.47 | 17.29 | 29.72 | 27.68 | 26.56 | 25.84 |

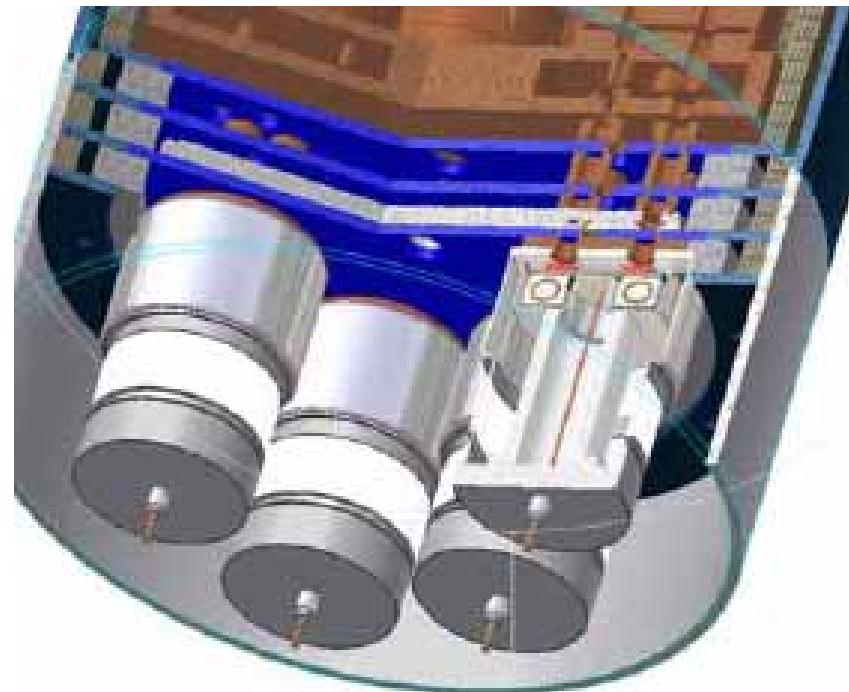
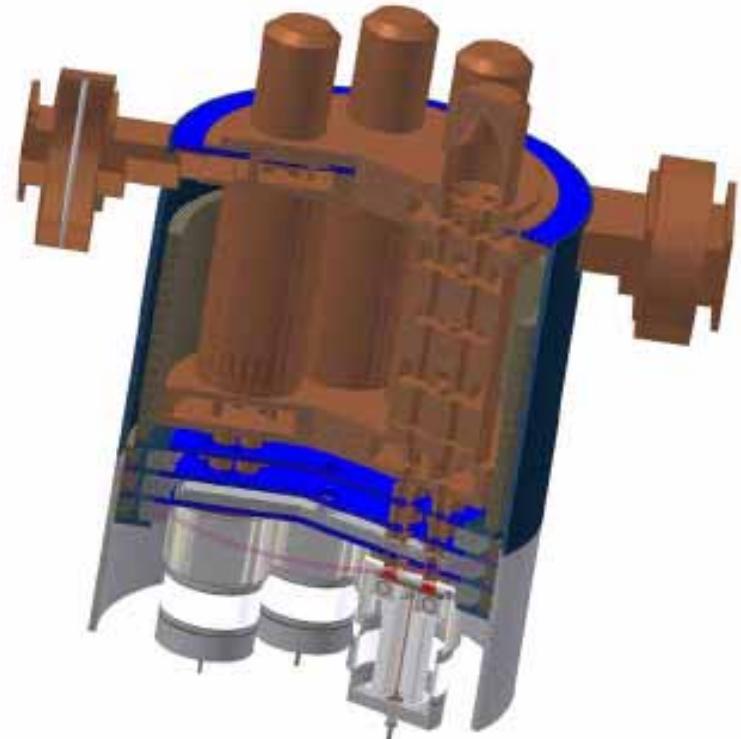
KEKでは印加電圧50 kVを目安に10MW出力を目指す。
(パルスrans[2000万円相当]が省略できる)

いくつかの設計上のVersionがある。 ビームが環状に配列 6ビームを持つ電子銃が6台環状に配置。



Accelerator Laboratory, KEK

設計例-36-ビームクライストロン全体 と電子銃



入力空洞と出力空洞はすべてのビームで共通。中間空洞は6ビームごとにそれぞれの空洞を持つ。高調波空洞を持つ(高効率化および小型化)。6ビームごとに共通のフィラメントを有する。電子銃への高圧は気中で印加する。



Accelerator Laboratory, KEK

Ansoft Control Panel User: rf 04/19/2006

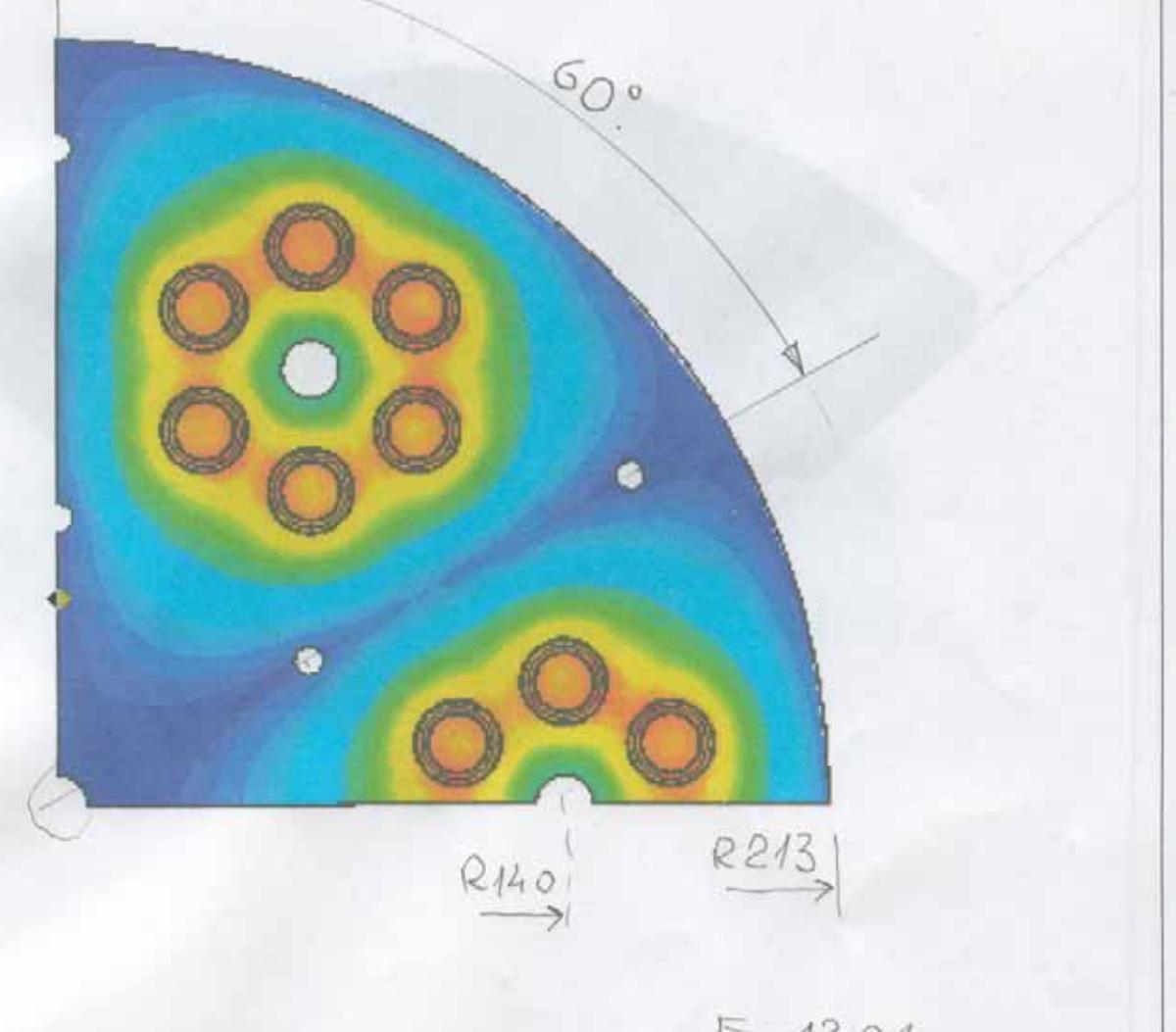
36ビームクライストロンの空洞設計

ビームと空洞の相互作用

入力空洞と出力空洞は環状空洞であり、その形状における TM310 モードと結合する。モード安定化ポストを立てる。

中間空洞は各ビーム群ごとに独立の円筒空洞を持ち TM010 モードと結合する。

高調波空洞を一つ持つ。

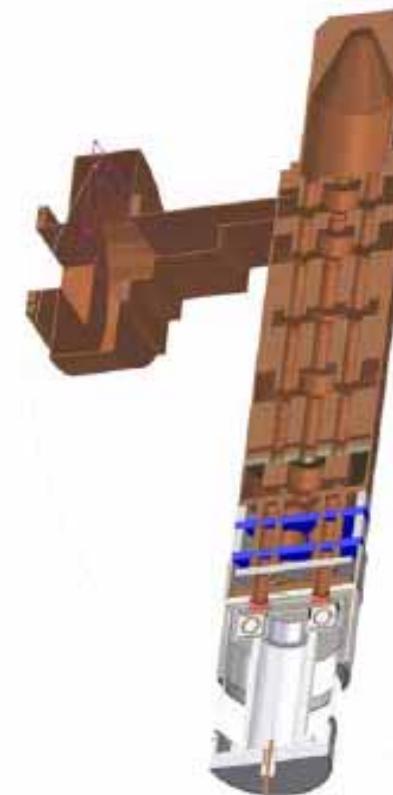




Accelerator Laboratory, KEK

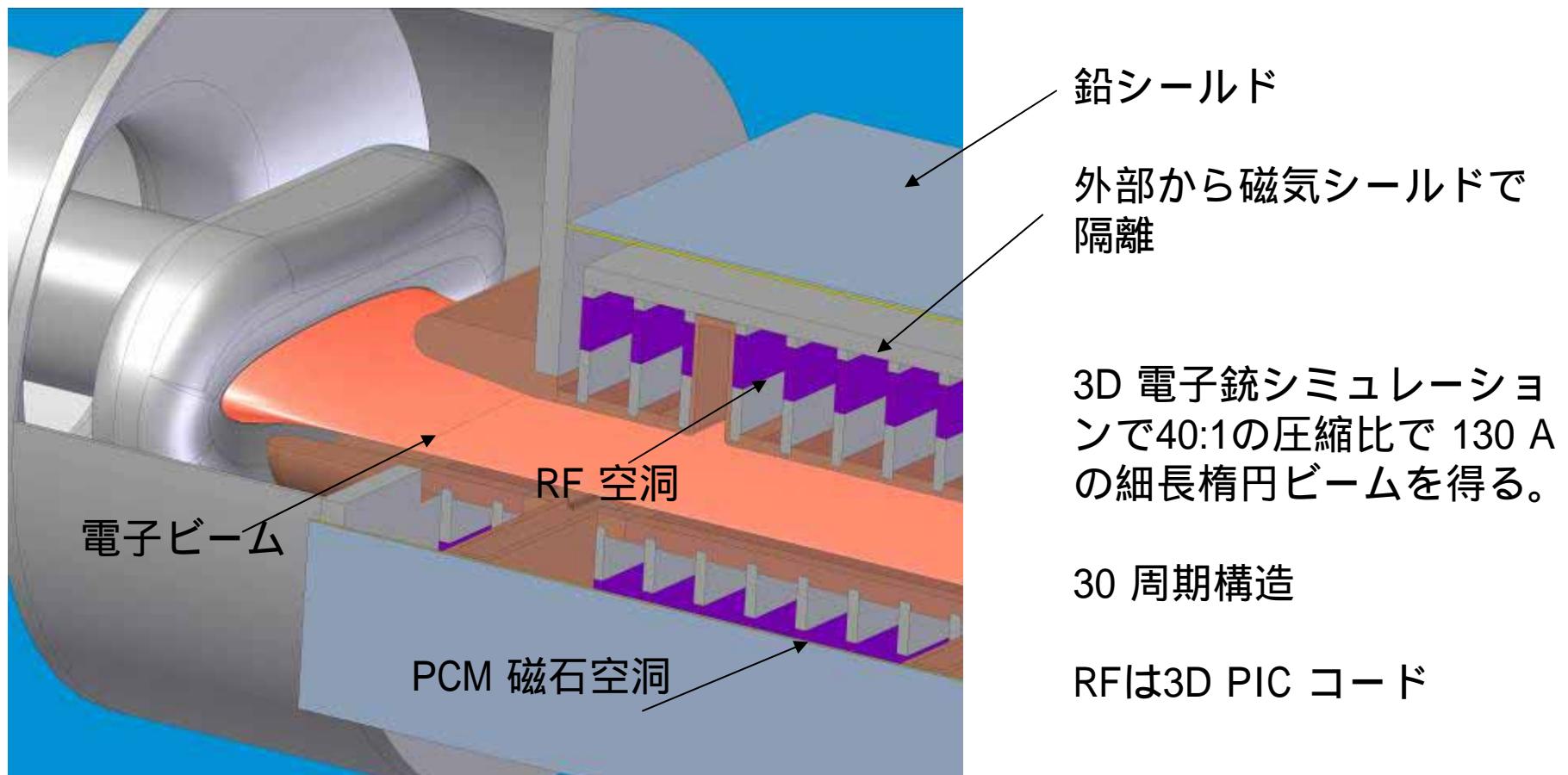
KEKの戦略：1/6クライストロンを 今年度内に製作する

- 1/6部分を製作することにより
このアイデアの妥当性が確認できる
50kV印加して2MW、効率60%以
が達成できるか？
- ACDへ正規に認知され、更に
BCDへ昇格するためには急ぐ
必要がある。



アメリカが狙うSBK シートビームクライストロン

130 A 細長楕円形ビームが PCM 集束系に入射



モジュレータ

- 本講義では詳しくは述べず、別講義に譲る。
- モジュレータのB C D

半導体SW(IGBT)等によるパルス切り出し
電源。パルス内サグはバウンサー回路で補正。更にR Fの振幅位相
を揃えるのはL L R Fのフィードバックによる。

パルストランスが必須である。パルス長が長いために3-4トンの
重量を持つ巨大なパルストランスが必要である。コストも高い。

- モジュレータのA C D

アメリカを中心にしてマルクスジェネレータをA C Dとして精力
的に進めている。これは直接負荷へ接続可能である。



Accelerator Laboratory, KEK

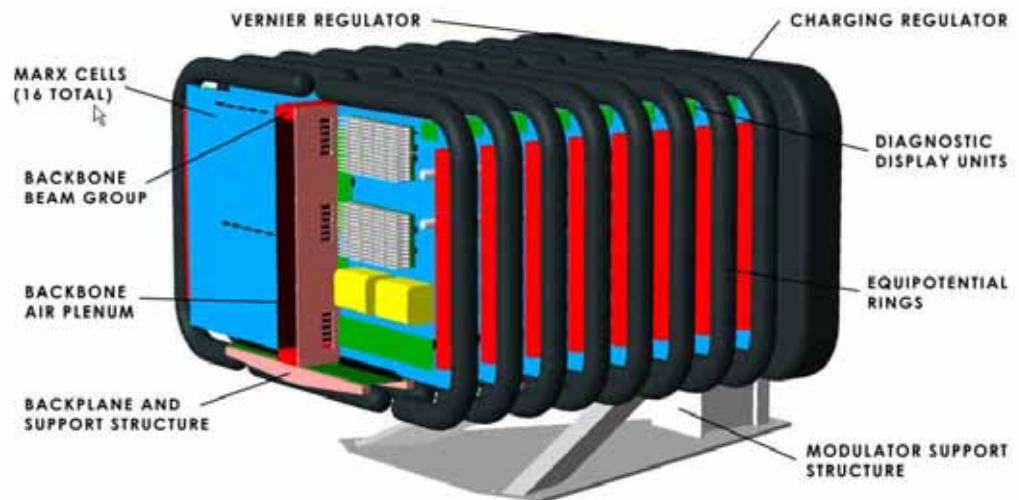
BCD 及び ACD モジュレータ

(120 kV, 130 A, 1.6 ms, 5 Hz)

ベースライン: パルストランス型
モジュレータ(バウンサー付き)



代替型: Marx Generator Modulator



(~ 2 m Long)

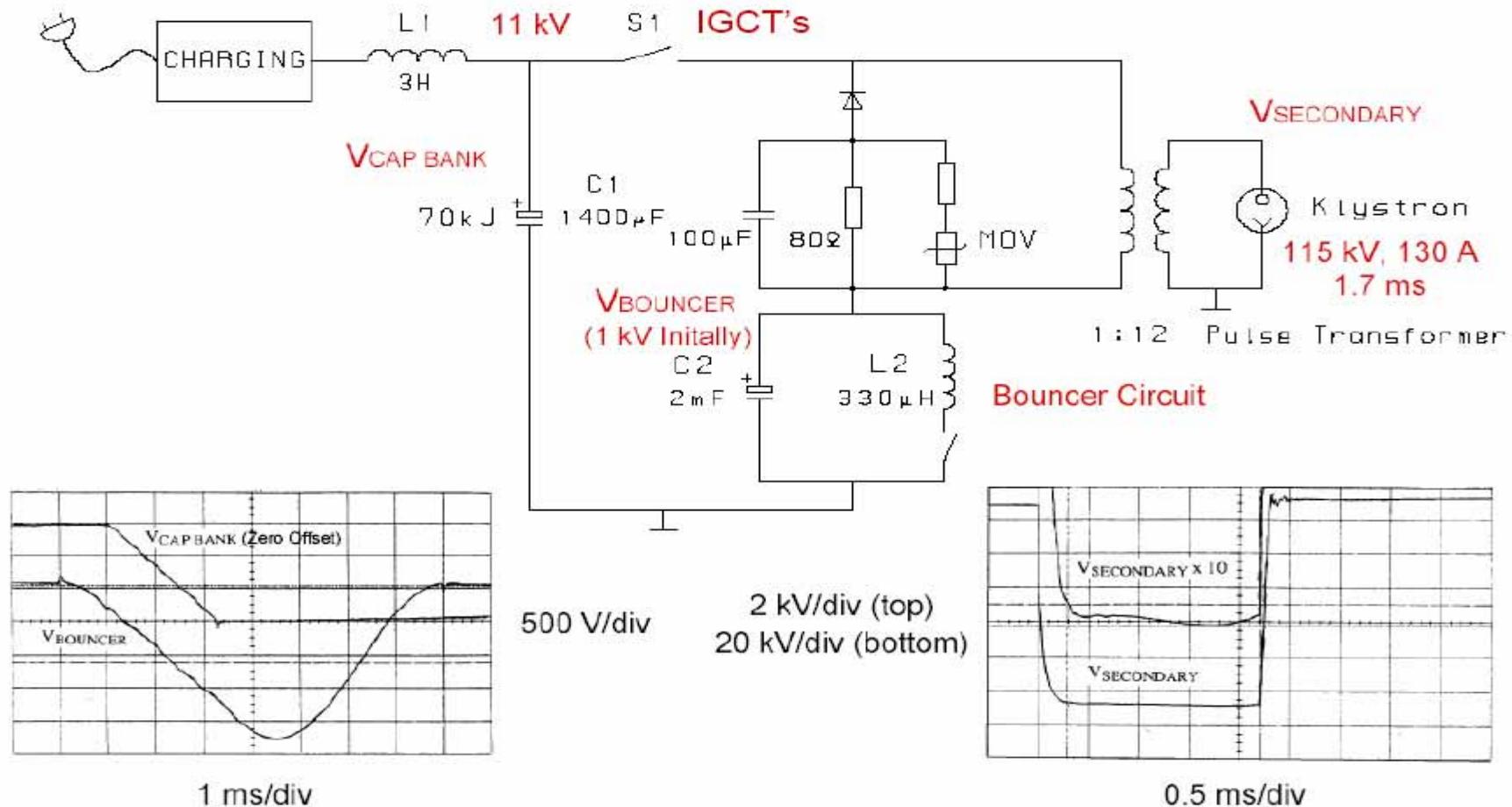
動機: 大きさ重量とコストを下げる、
効率上昇、大きい絶縁油入りパルス
トランスを無くする。 2006年までに
プロトタイプを試験する。



IIC Baseline Modulator

Accelerator Laboratory, KEK

FNAL Design in Which a Bouncer Circuit
Offsets the Voltage Droop (19%) During Discharge of
a Capacitor Bank

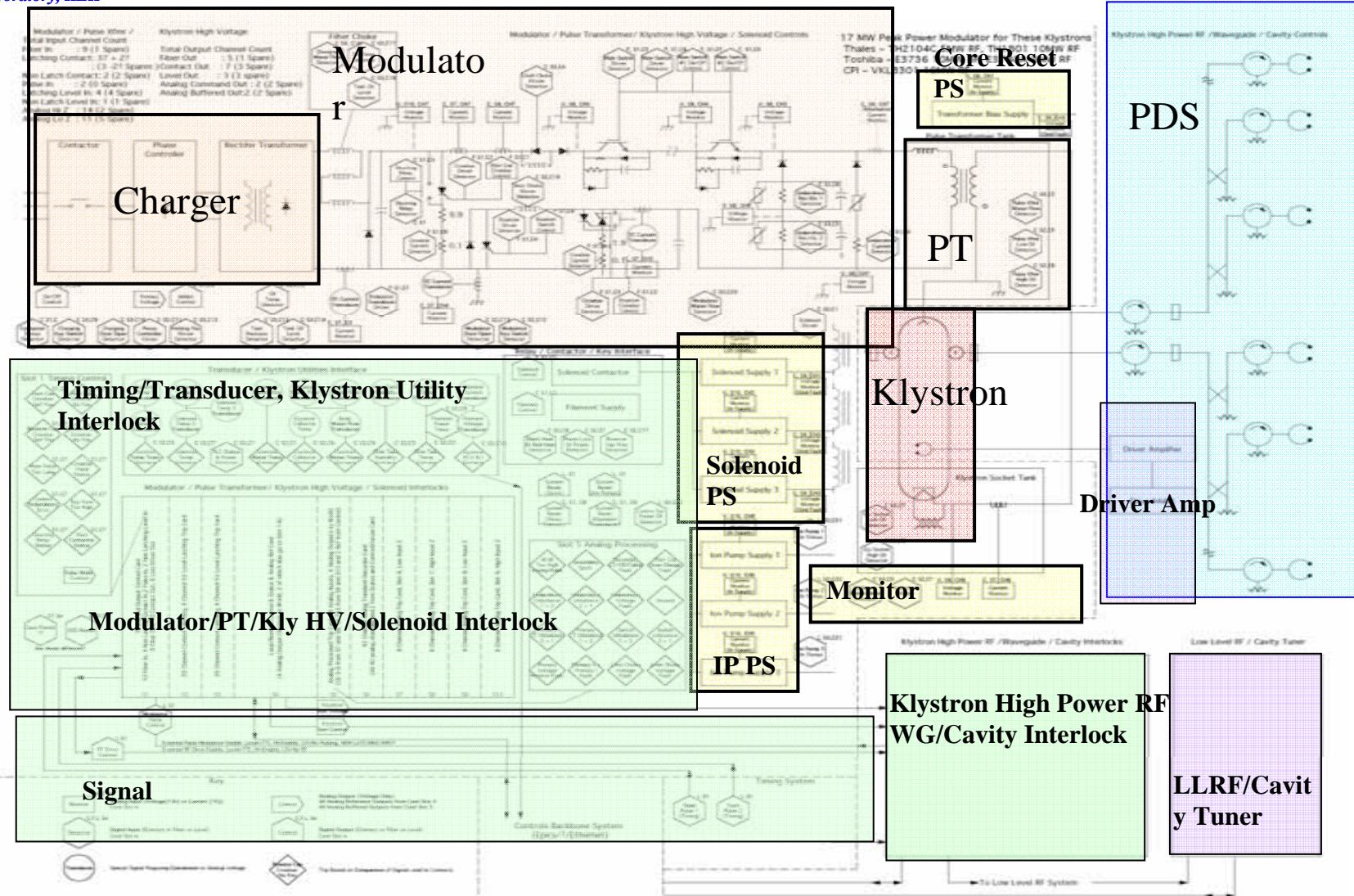




Accelerator Laboratory, KEK

モジュレータ制御系

by C. Jensen





電力分配系

- 1本のクライストロンから3台のクライオモジュールに設置される8台ずつの超電導空洞に要求される性能に合わせて電力を供給する。
- 要求されるもの機能：

各空洞に**最適な電力**を供給する。場合によっては空洞の Q_{ext} がばらつく場合もあるが、出来るだけ**最適な電力**を与えたいたい。
各空洞に必要な**位相関係**を合わせたい。
パルスの立ち上がり、立下りで生ずる**反射波に対する影響**を最小にしたい。
導波管の途中での放電に対して**クライストロンの保護**が十分である。
価格的に安価である。
- 必要と思われる導波管コンポーネント：

サーキュレータ(反射からの保護)、
移相器又は3スタブチューナ(位相の調整)、
方向性結合器(モニター)、
電力分割器(必要な電力の供給)、
フレキシブル導波管(膨張その他のストレスに対応)、
アークセンサー(放電の検出)、
電力可変器又は可変機構(空洞等のばらつきの吸収)。

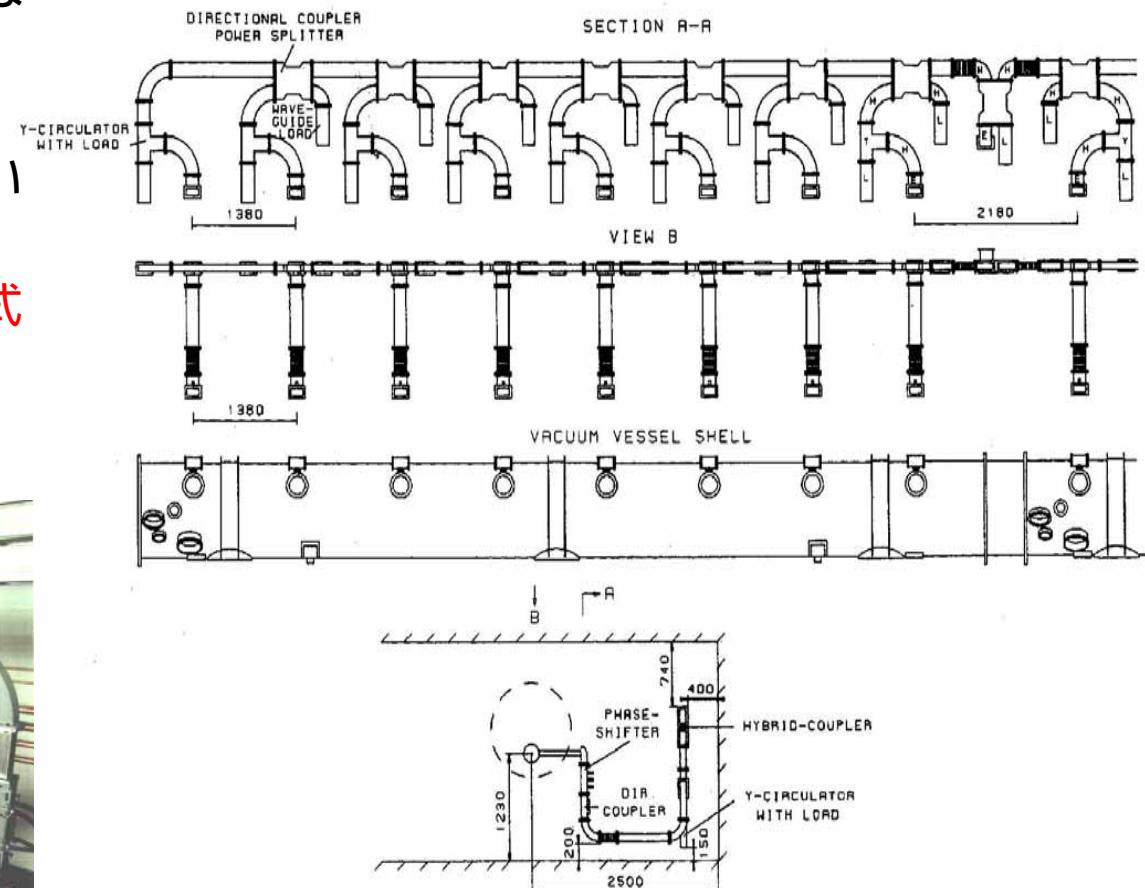
TTFにおける電力分配系

TTFベースラインの導波管系は汎用のハイブリッド、サーキュレータと3スタブチューナ(移相器として)から主に成り立っている。

ハイブリッドは**線形電力分配方式(LPD=Linear Power Distribution)**である。



福田 OHO-06 高周波源－1

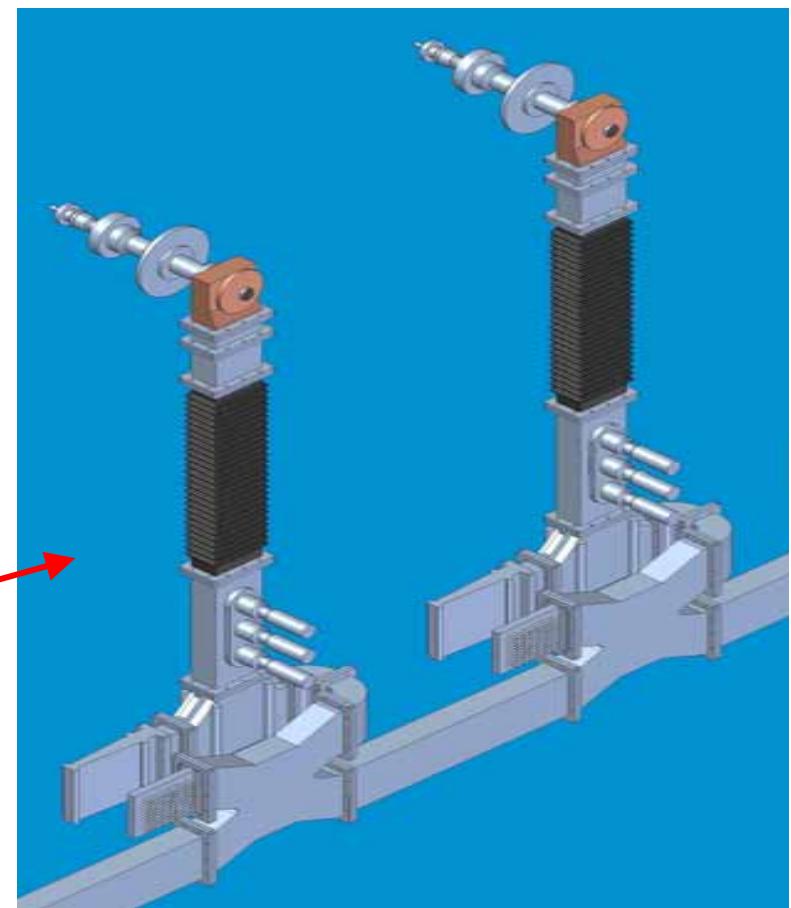
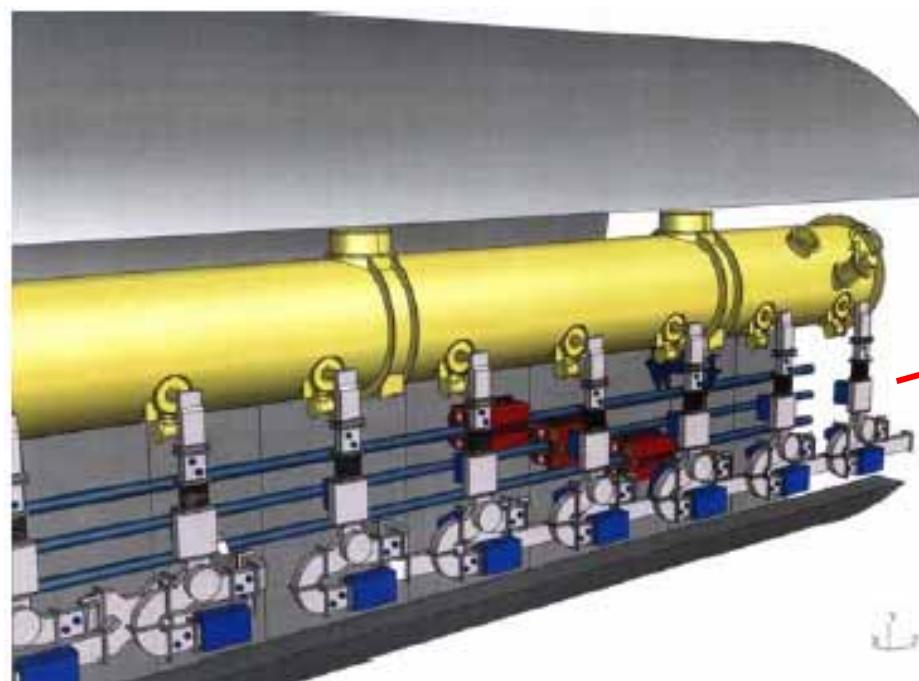




Accelerator Laboratory, KEK

よりコンパクトな設計が求められる
(各空洞は 350 kW, 1.5 msec パルス、繰返し5 Hz)

Two of ~ 16,000 Feeds

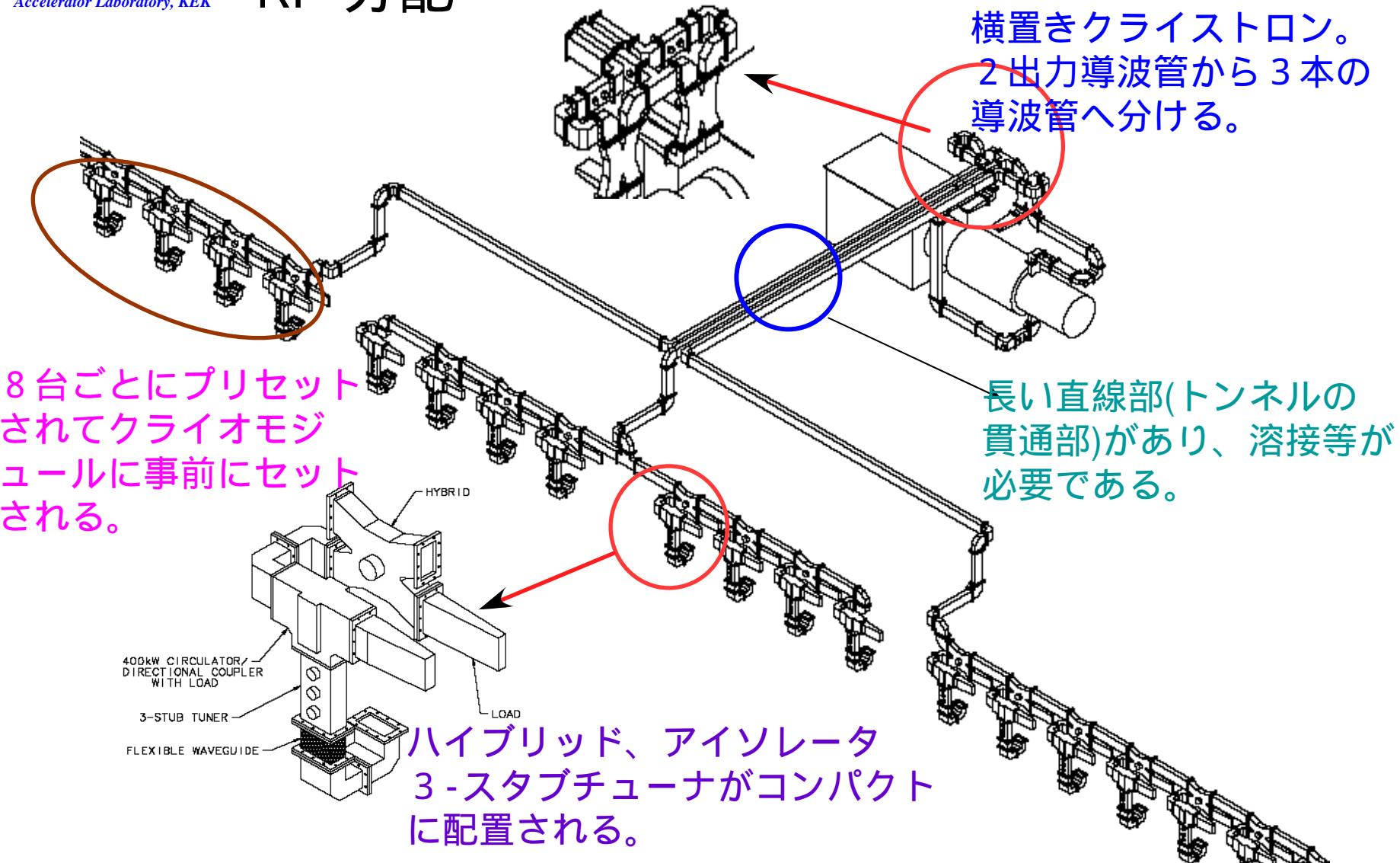


福田 OH-06 高周波源-1



Accelerator Laboratory, KEK

ILC-500で現在 B C D となっている RF 分配





1ユニット当たりの導波管コンポーネントの数

| コンポーネント | 数/ユニット | 導波管サイズ | 参考ソース |
|--------------------|--------|-----------|-----------------|
| Hベンド | 27 | WR650 | MEGA |
| 方向性結合器 | 5 | WR650 | MEGA |
| Eベンド | 15 | WR650 | MEGA |
| Eベンド(アークセンサー付き) | 2 | WR650 | MEGA |
| フレキシブル導波管(長) | 2 | WR650X18" | ETC |
| フレキシブル導波管(短) | 24 | WR650X6" | ETC |
| 直管 | 1 | WR650X66m | ETC |
| ハイブリッドロード | 22 | WR650 | AFT(Germany) |
| ハイブリッド調整ノブ付き | 22 | WR650 | KEK - RFT |
| Uリンク | 50 | WR650 | IBFM(Germany) |
| シャントT(E-Plane) | 1 | WR650 | MEGA |
| シリーズT(H-Plane) | 1 | WR650 | MEGA |
| 400KWサーキュレータ(DC付き) | 24 | WR650 | Ferrite(Russia) |
| サーキュレータロード | 24 | WR650 | Ferrite(Russia) |
| 3-スタブ チューナ | 24 | WR650 | MEGA |

これで電力分配系は仕事が終わりか？

- 問題点(1) 空洞のばらつき等による電力分配の可変機構をハイブリッドのノブでやっているが、位相の変化、アイソレーションなどの変化が出てしまう。
SLACのNantistaによる円偏波を利用したAdjustable Tap-off
- 問題点(2) サーキュレータの値段が高いので出来れば省略したい。このときに空洞で反射されたマイクロ波がハイブリッドを通してとなりの空洞に変化を与える可能性がある。
TTF型LDPでは無くTREE型PDSとハイブリッドのIsolationの組合
- 問題点(3) 3-スタブチューナは移相器として使用できるが、同時にQ_{ext}も変化させてしまうので、位相とQのチューンの機能が混同してしまう。
WGのa寸法を変える新しい移相器、(別のQチューナの導入：E-Hチューナなど)
- 問題点(4) 現在はWR650導波管にガス加圧をして使用することを考えているが、導波管内での放電を考慮するとWR770を併用するという案もある。
N₂ガスか乾燥窒素を使用したい。WR650では5MWが放電限界に近い。クライストロン出力をWR770にするか？KEK型MBK等で3出力導波管ポート(WR650)のするか？



Accelerator Laboratory, KEK

問題 1

モード回転を利用した可変なTap-Offs

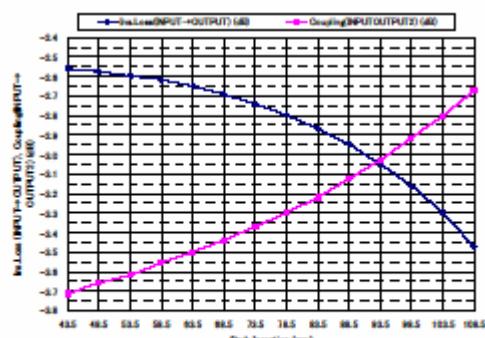
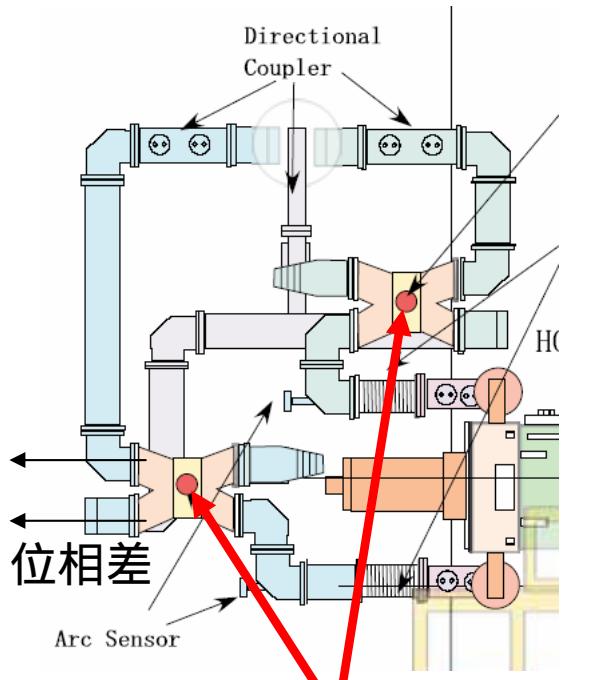
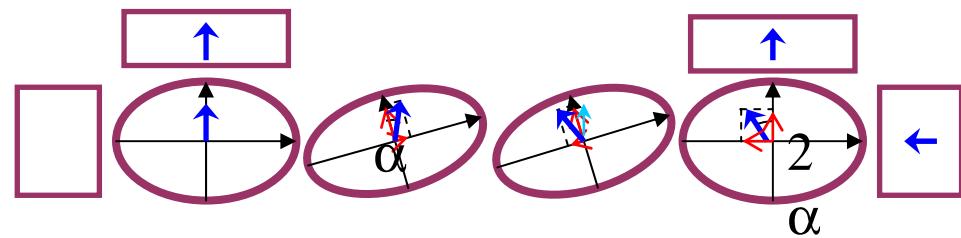
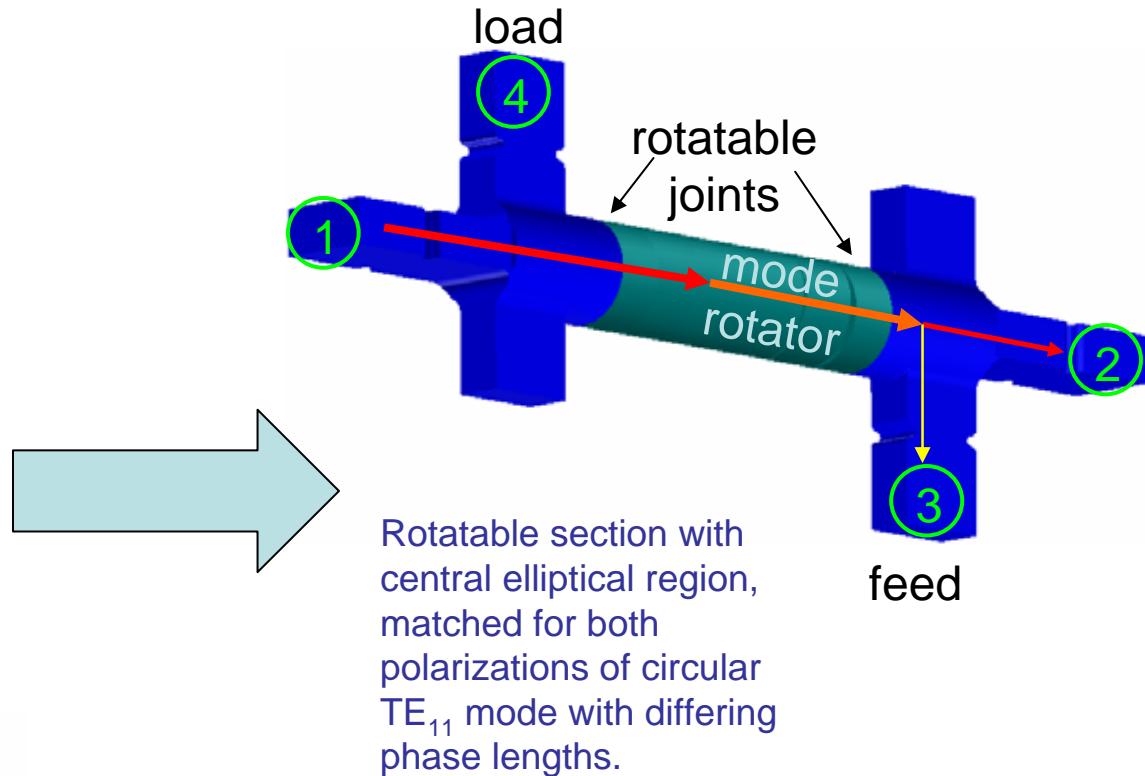


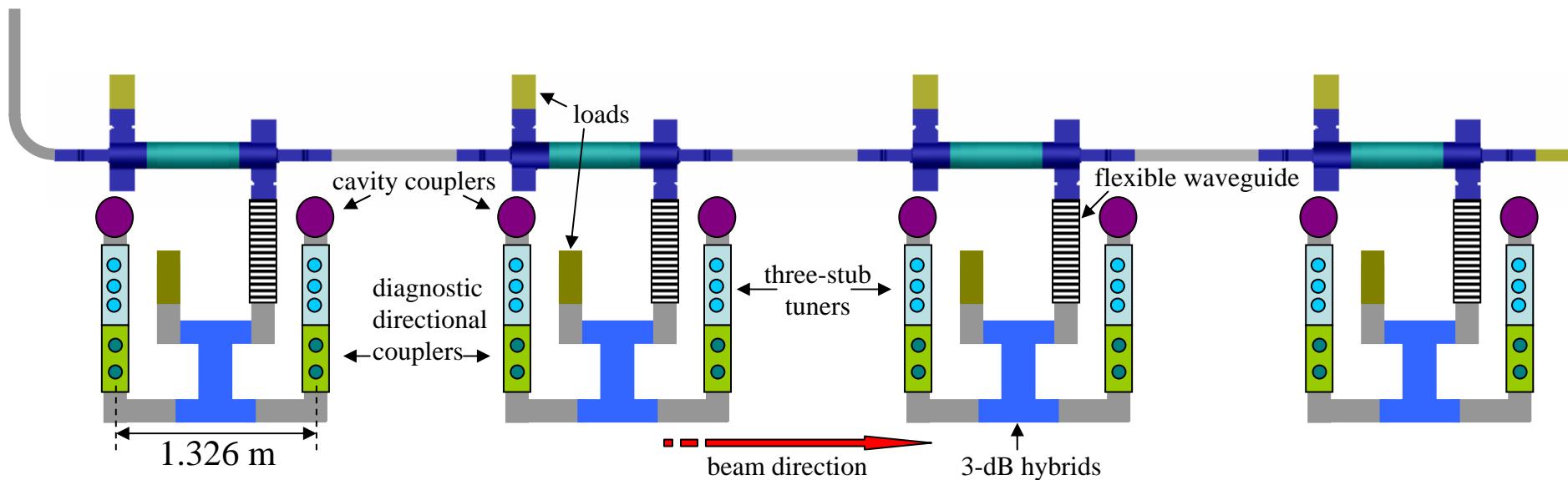
図 A2.8 ハイブリッドのボタンの挿入長を変化させることで電力の分轄比が変わる例。



福田 OH-06 高周波源－1

可変なTap - offを用いたPDS

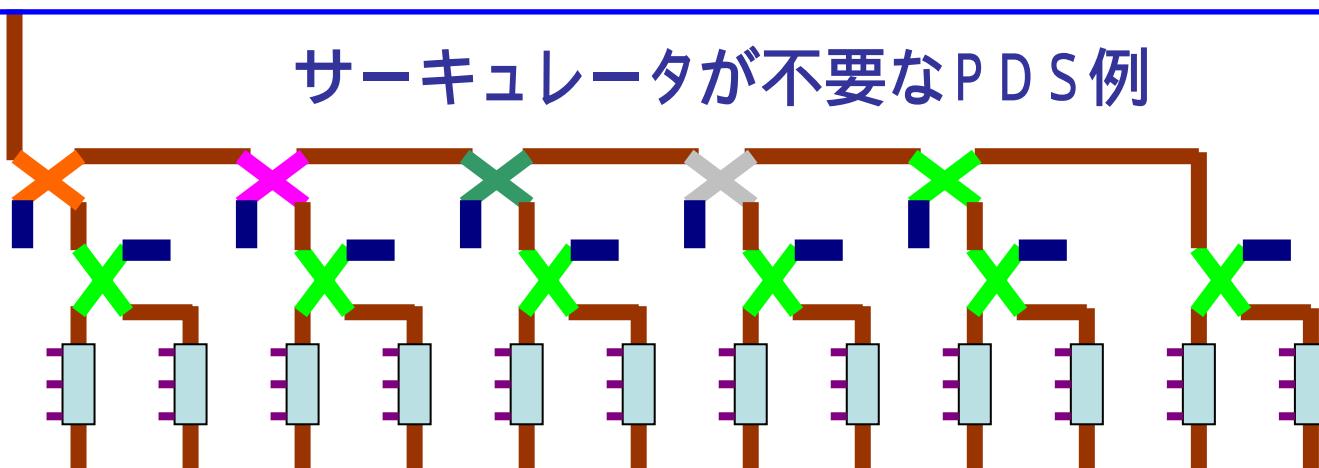
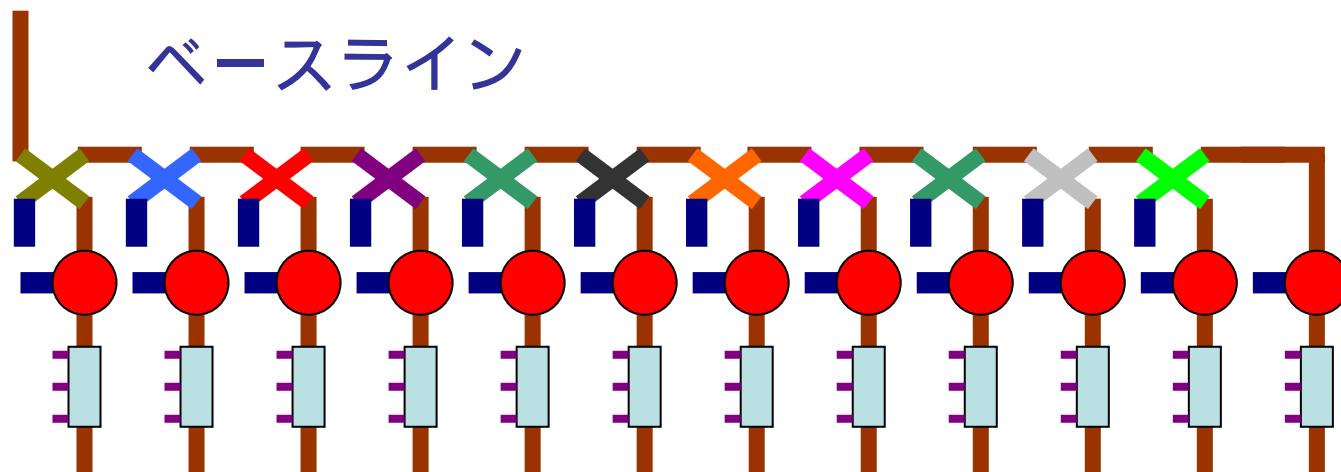
- 空洞のペアごとに電力可変なシステム
- サーチュレータが不要
- 3 dB ハイブリッドにより両者が駆動 (空洞間が $n\lambda +/- 90$ 度間隔が必要 – TDR/BCDよりも 7 mm だけ長い)





Accelerator Laboratory, KEK

問題 2 に対して-----より単純なシステム
(サーキュレータは P D S 全体の 1 / 4 のコストを占める)



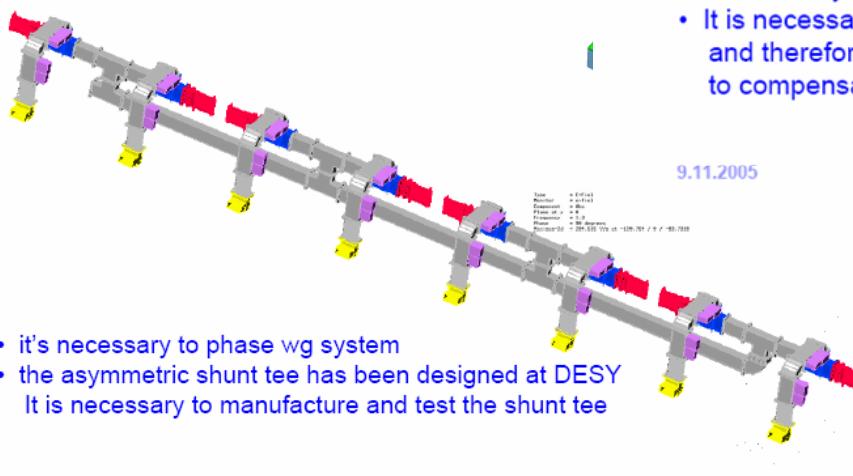
福田 OH-06 高周波源-1



Accelerator Laboratory, KEK

XFEL Prototype Distribution Systems

Tree-Like



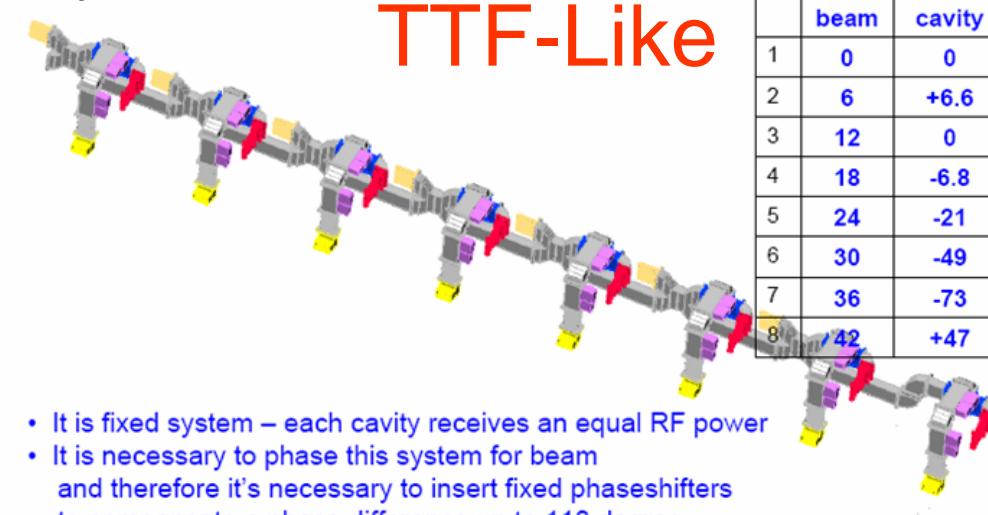
- it's necessary to phase wg system
- the asymmetric shunt tee has been designed at DESY
- It is necessary to manufacture and test the shunt tee

9.11.2005

V.Katalev, S.Choroba

14

福田 OH0-06 高周波源－1



- It is fixed system – each cavity receives an equal RF power
- It is necessary to phase this system for beam and therefore it's necessary to insert fixed phaseshifters to compensate a phase difference up to 110 degree

V.Katalev, S.Choroba

12

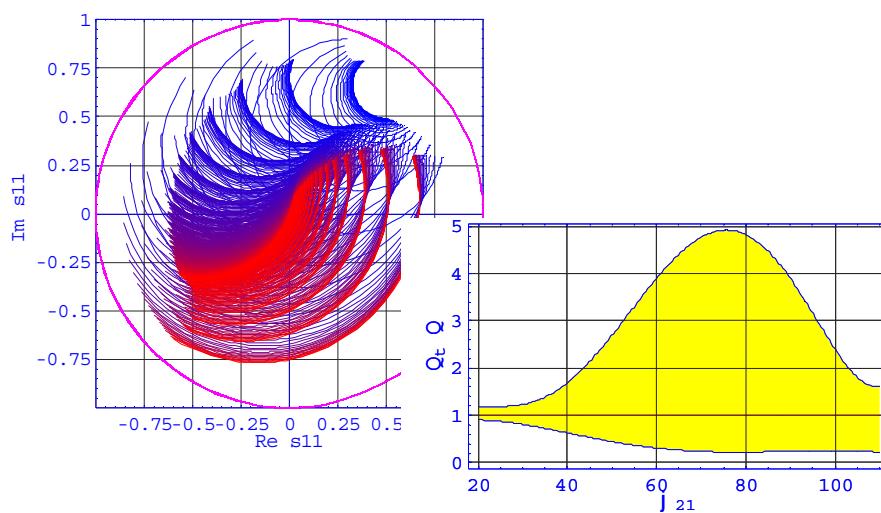
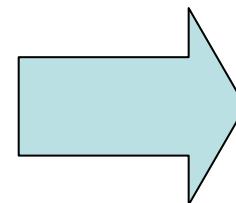
41



Accelerator Laboratory, KEK

問題 3

3スタブチューナを移相器に変更



福田 OH0-06 高周波源 - I

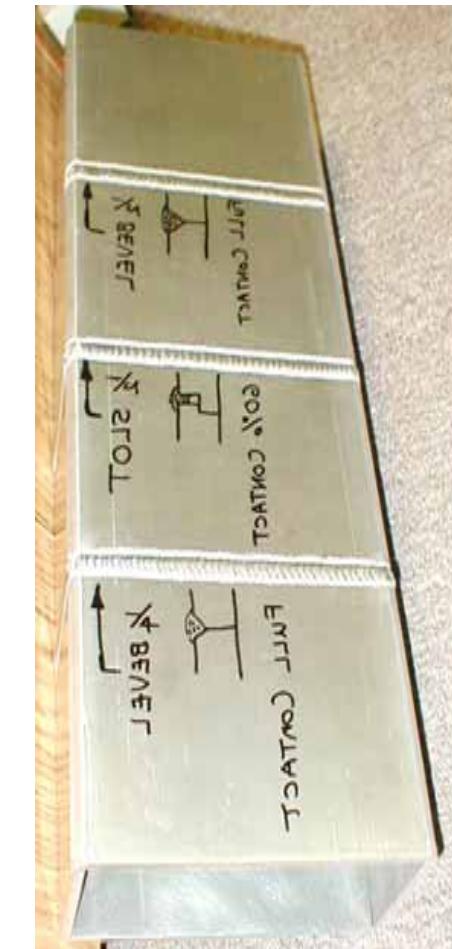
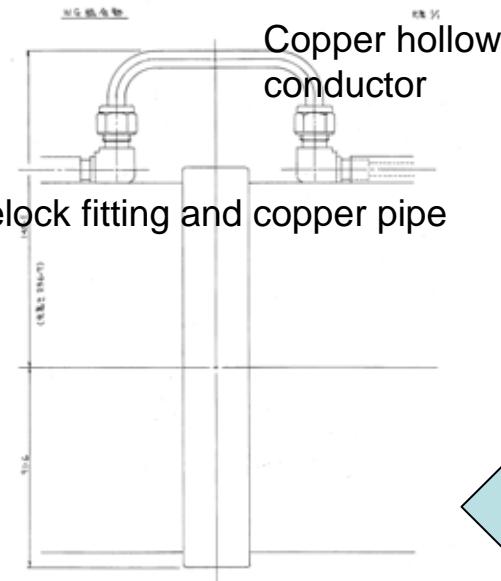
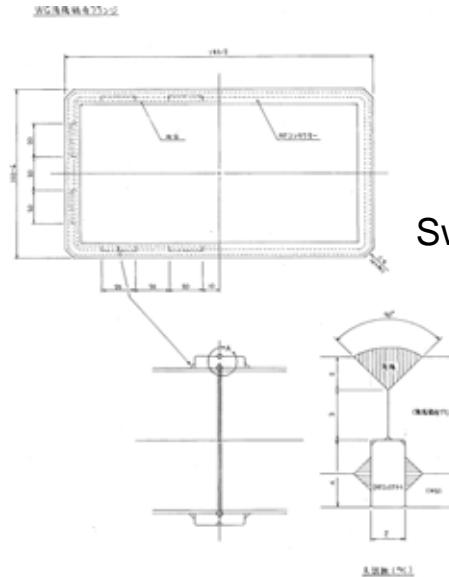
42

V. Katalev, S Choroba



Accelerator Laboratory, KEK

アルミ導波管の溶接つなぎの試験

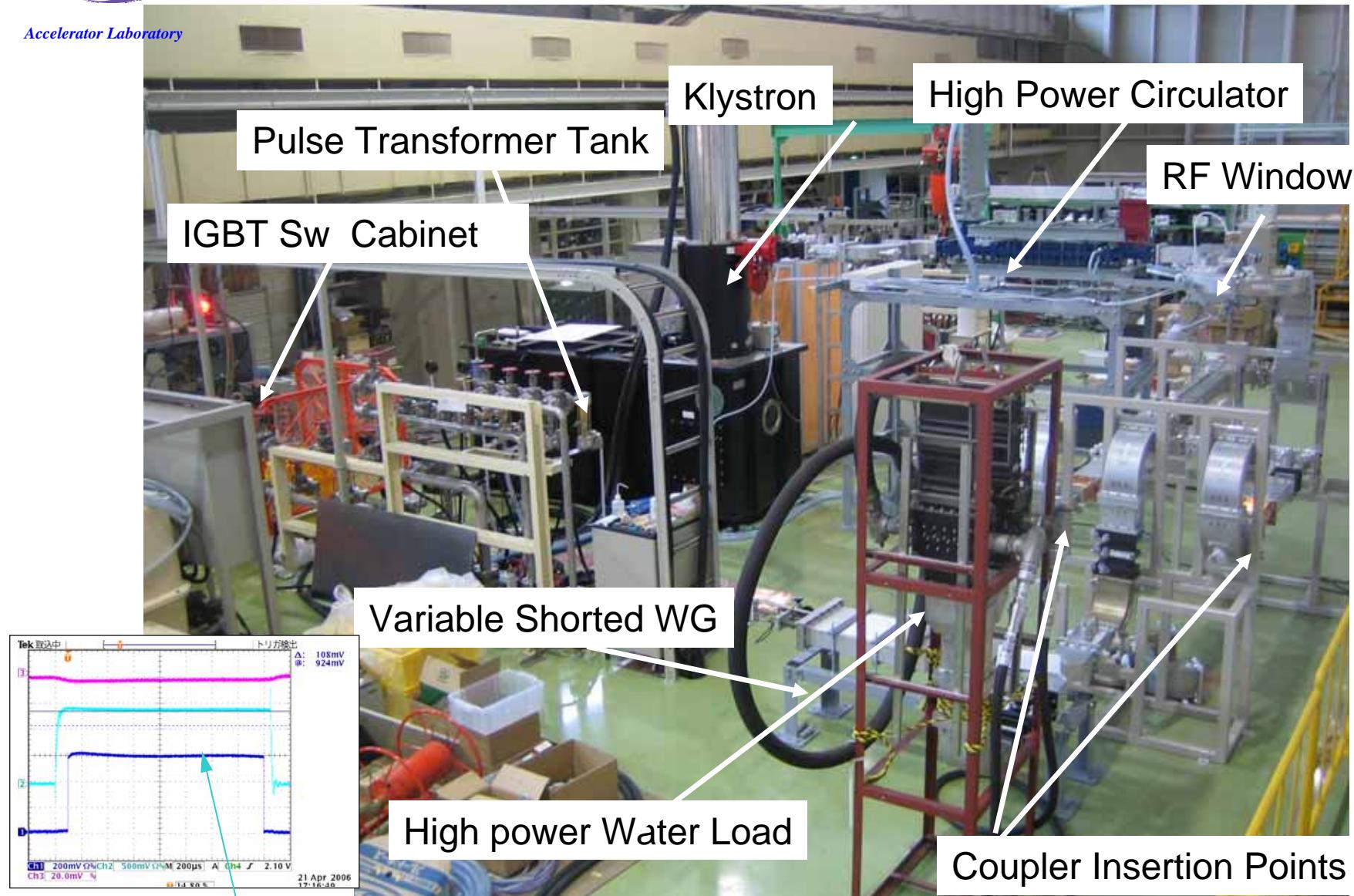


福田 OH-06 高周波源-1



Accelerator Laboratory

テストスタンドの様子



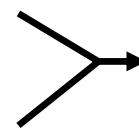
福田 OHO-06 高周波源－1



その他の 1.3GHz RF 源

電子源 RF: 1.3GHz 10MW システム

陽電子源 RF: 1.3GHz 10MW システム



常電導部分はRF系は
同じではない。RF源の
集積度がたかい。
超電導 RF は MLと同じ。

RTML RF: 2 + 19 1.3GHz 10MW システム
(リング M L)

→ バンチ圧縮等に使用される。移送と振幅の安定度の要求が
非常に厳しい。

ビームローディングをビームトレイン間で保障するために
クライストロンの位相と振幅を替える必要がある。（速
い）

主ライナックにおけるより、より大きい平均電力がRF負荷
に
行く。

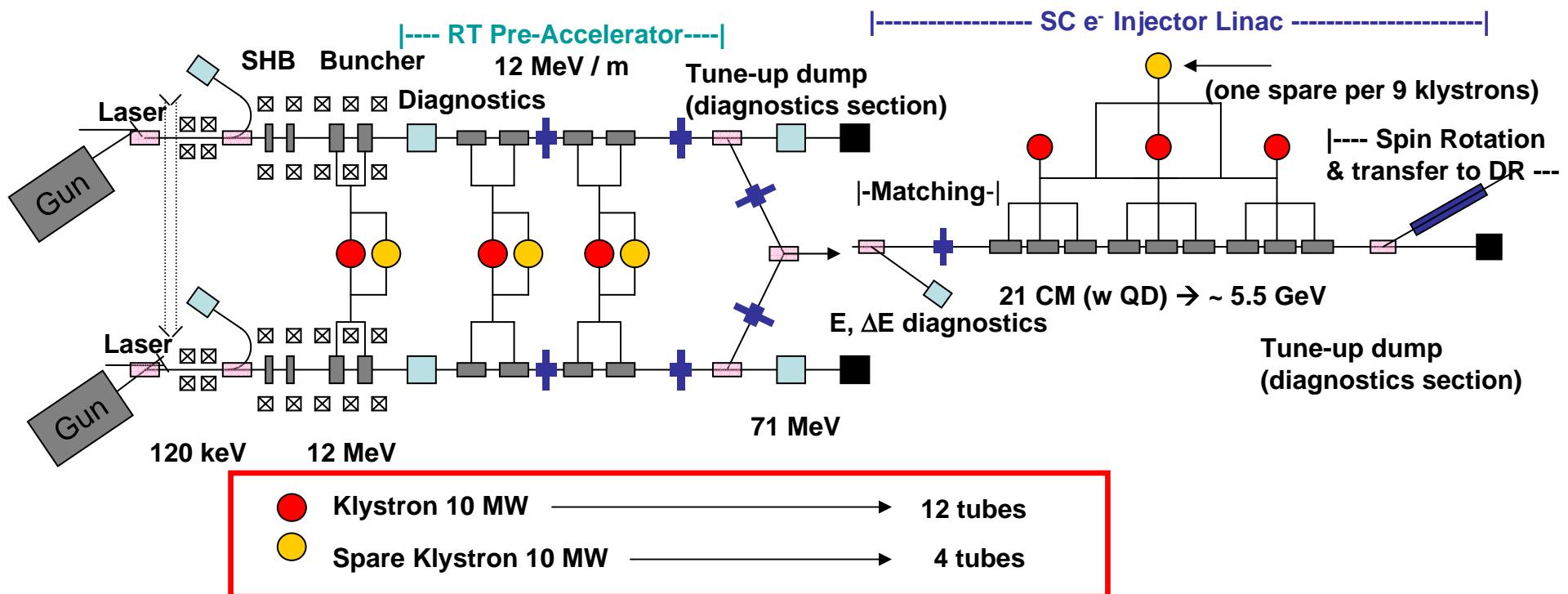
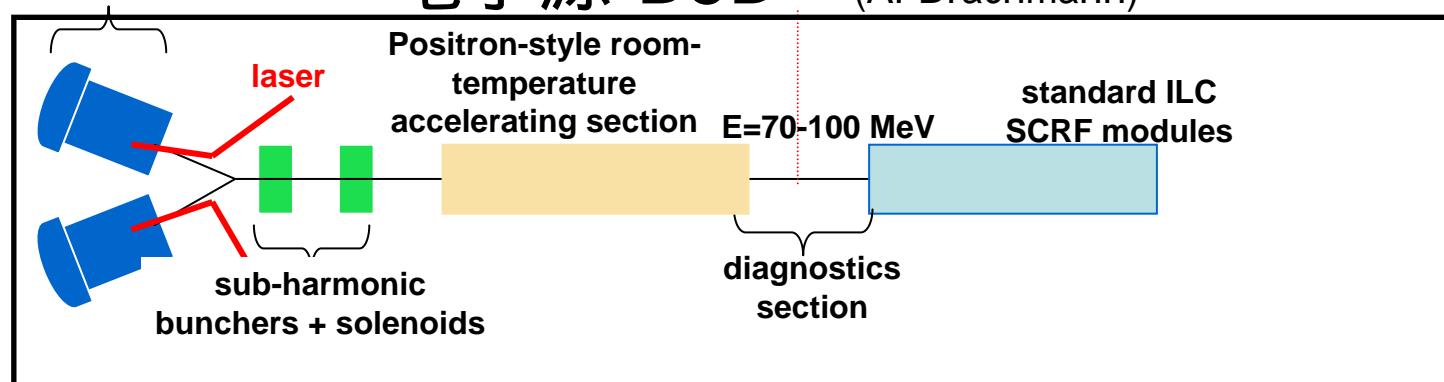
福田 OHQ-06 高周波源-1
位相と振幅のトランクスは厳しい
位相ジッター < 0.1 °



Accelerator Laboratory, KEK

電子源 BCD

(A. Brachmann)





ILC Positron System Beamlines

Accelerator Laboratory, KEK

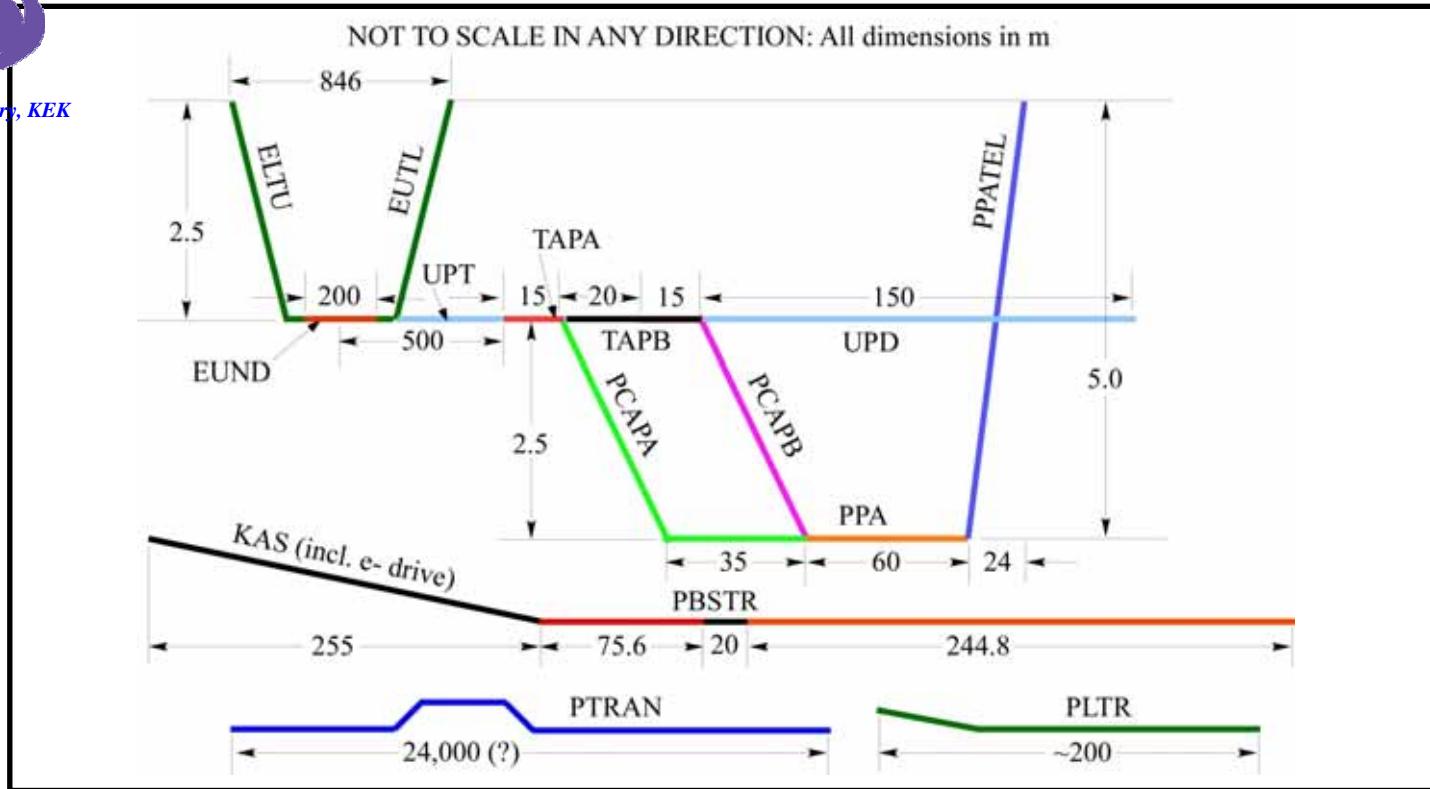


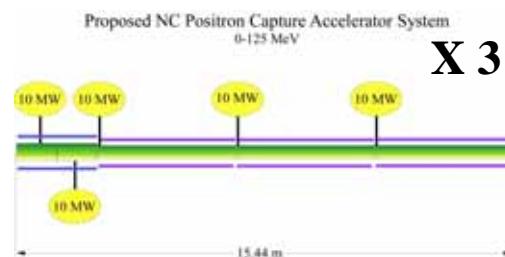
Table 1: ILC Positron Linac Systems, layout

| Location | Energy Range MeV | Structure | Klystrons |
|----------|---------------------|--------------------------------|-----------|
| TAPA | 1-125 | 2x1.27 m SW, RT+3x4.3 m TW, RT | 5x10 MW |
| TAPB | 1-125 | 2x1.27 m SW, RT+3x4.3 m TW, RT | 5x10 MW |
| KAS TAP | 1-125 | 2x1.27 m SW, RT+3x4.3 m TW, RT | 5x10 MW |
| PPA | 125-400 | 8x4.3 m TW, RT | 8x10 MW |
| KAS PPA | 125-400 | 8x4.3 m TW, RT | 8x10 MW |
| PBSTR | 400-1135 | 4xCM1, SC | 1x10MW |
| PBSTR | 1135-2605 | 6xCM2, SC | 2x10 MW |
| PBSTR | 2605-5000 | 12xCM3, SC | 4x10 MW |

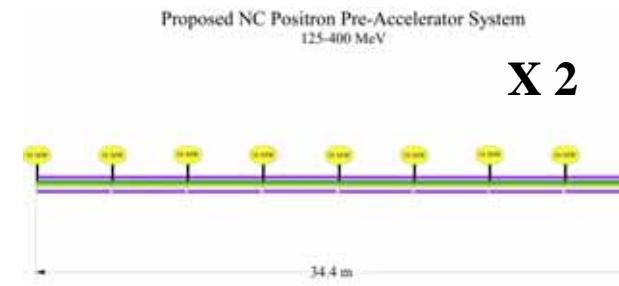


Accelerator Laboratory, KEK

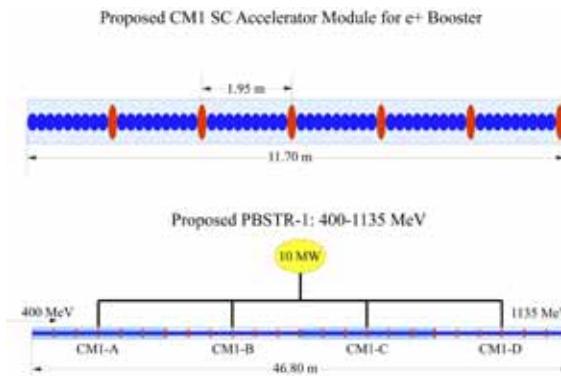
陽電子入射器 RF システム



2 x 1.27 m SW Section
3 x 4.3 m TW Section
5 x 10 MW Klystron
2 x 1.27 m 0.5 T Solenoid
3 x 4.3 m 0.5 T Solenoid
(from J. Wang)

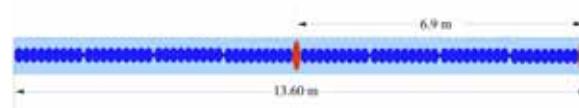


8 x 4.3 m TW Section
8 x 10 MW Klystron
8 x 4.3 m 0.5 T Solenoid
(from J. Wang)



モジュレータとクライストロンの集積度は高い
→Layout Study and WG Configuration

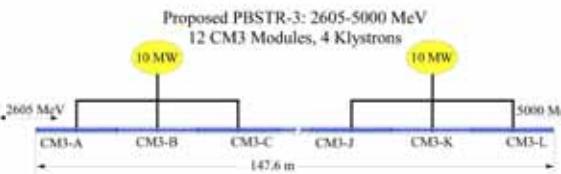
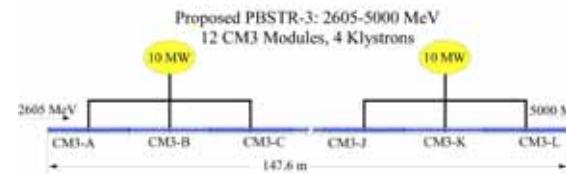
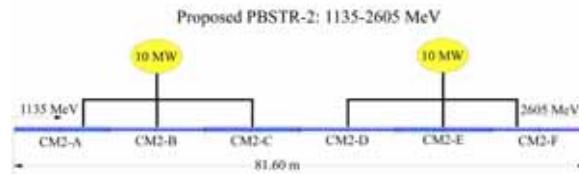
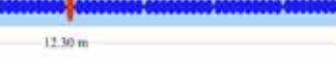
Proposed CM2 SC Accelerator Module for e+ Booster



Proposed CM3 SC Accelerator Module for e+ Booster



Proposed CM3 SC Accelerator Module for e+ Booster





ダンピングリングのRF源

周波数が主ライナックの1.3GHzの半分の650MHzになった。

実際のRF源はまだ存在しないが KEKBの500MHzと同様なので問題が無いと思われる。

DRではRF源が1台故障しても運転が止まらないように、RF源を大きめに設定する。少なくとも1台故障しても電力増強で補えるようにする。

RF源に必要な電力：フィードバックマージン = 10-20%
サーチュレータ等WG系の損失 = 6 %

$$(109\text{ kW} \times 4) / (1 - 0.2) / (1 - 0.6) = 580\text{ kW}$$

$$(109\text{ kW} \times 4 \times 8) / 7 / (1 - 0.2) / (1 - 0.6) = 662\text{ kW} \text{ (1台故障)}$$

800 kWあれば十分

表 5.1 ダンピングリングの空洞関係パラメータ。

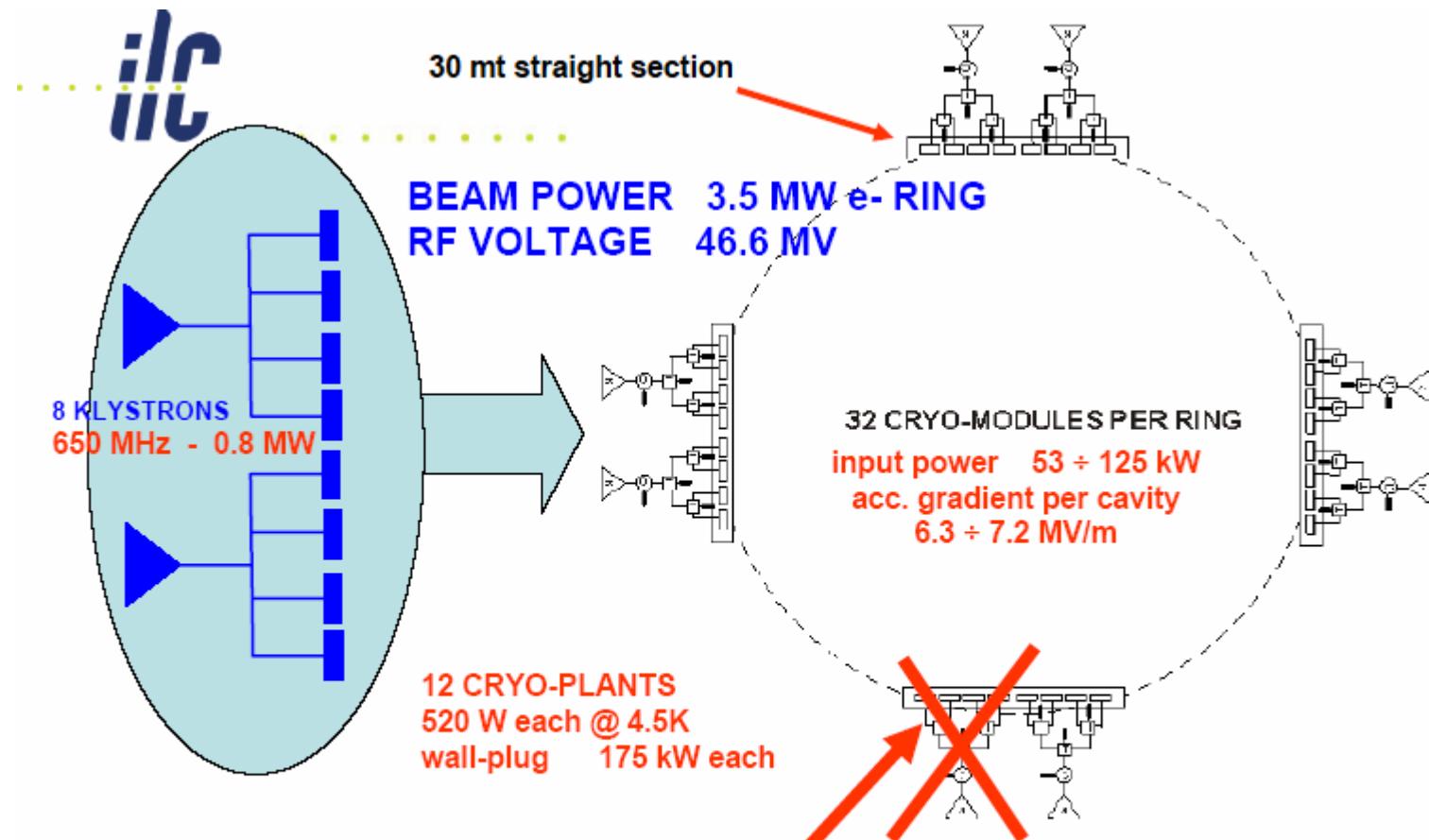
| | | 電子リング | 陽電子リング × 2 |
|--------------|------|---------|------------|
| 周波数 | MHz | 650 | 650 |
| 実効空洞長 | m | 0.23 | 0.23 |
| R/Q | Ω | 89 | 89 |
| リング当たりの空洞数 | | 32 28 | 32 28 |
| 加速勾配 | MV/m | 6.3 | 7.2 |
| 加速電圧 | MV/m | 1.45 | 1.66 |
| Q0(*10***9) | | 1 0.9 | 1 0.9 |
| ビーム電力 | kW | 109 125 | 53 61 |
| Qext(10***3) | | 215 248 | 445 507 |
| RF源数 | | 8 7 | 8 7 |
| 必要電力 | kW | 436 500 | 212 243 |

注) 空洞が 28 個の時は 1ステーションが故障で動かない場合。



Accelerator Laboratory, KEK

DRのRF源の現在案



The system is powerful enough to meet the specifications
in case of one RF station fault

設計は固まったか？

- 2006年VancouverでのGDEミーティングで
第一次コスト算出の結果、設計の見直しが必
須であることが分かった。
- どうすればコストが下がるか？
トンネルの数、DRの数の場所、RF源の
当初の数の見直し、設計自身の見直し。
- 将来に向けてADCの真剣な対応が必要とな
る。

まだまだ設計は固まらない

- 本講義を参考に是非若い方の参加を希望します。
- 一緒にILC-500 のRF源の設計に携わりましょう。

ご清聴感謝します。