

# 加速管

SuperKEKBレビュー

2017年9月8日

肥後寿泰

(入射器を代表して)

# 内容

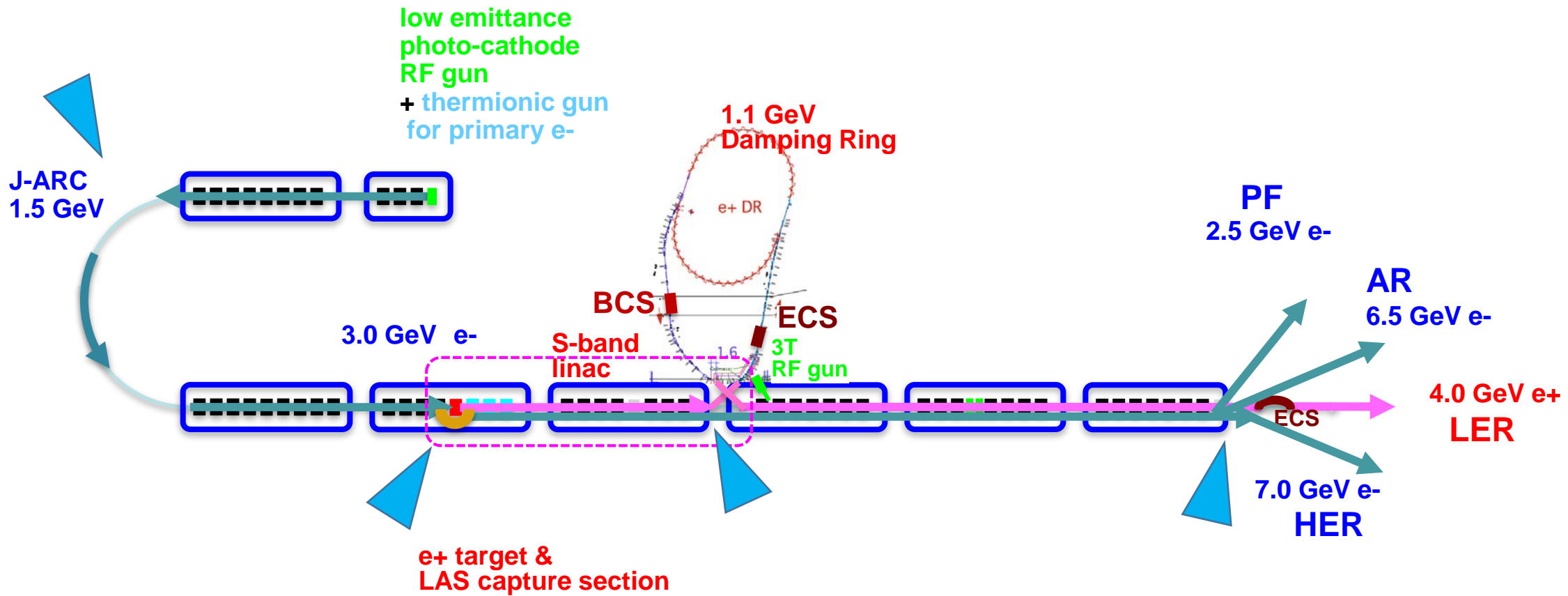
- 検討課題
- 必要とされる加速仕様
- 入射器加速管の現状
- 安定運転への具体化状況
- 今後の具体的入替と6S対応エネルギーマージン
- 結論

# 国内レビュー 「加速管」検討課題

1. 不良加速管の交換に用いる**加速管の確保戦略**は妥当か？
  - ラインオフ管の**再利用**をできるだけ進める
  - 並行して**新規製作**を立ちあげつつあり、開発速度を上げていく
2. 今時点で**製造開発を急ピッチ**で立ちあげるべきか？
  - **Emittance**保存に関連した加速管の**Alignment**等、別の未解決課題もあるが、**加速管製作には現時点から注力**していくべきと考える
  - **人員、予算、年度計画を立案**
3. **製造の実体**はどこに照準を合わせるのが妥当か？
  - プロジェクトの観点からは、**製造技術を確立したメーカー**と組むのがとるべき正道である
  - **自前 or 中メーカー**と組んで可能と考え進めつつあるが、大メーカー or 国外ラボも含めて現時点で候補を広げて検討進めるべきか？

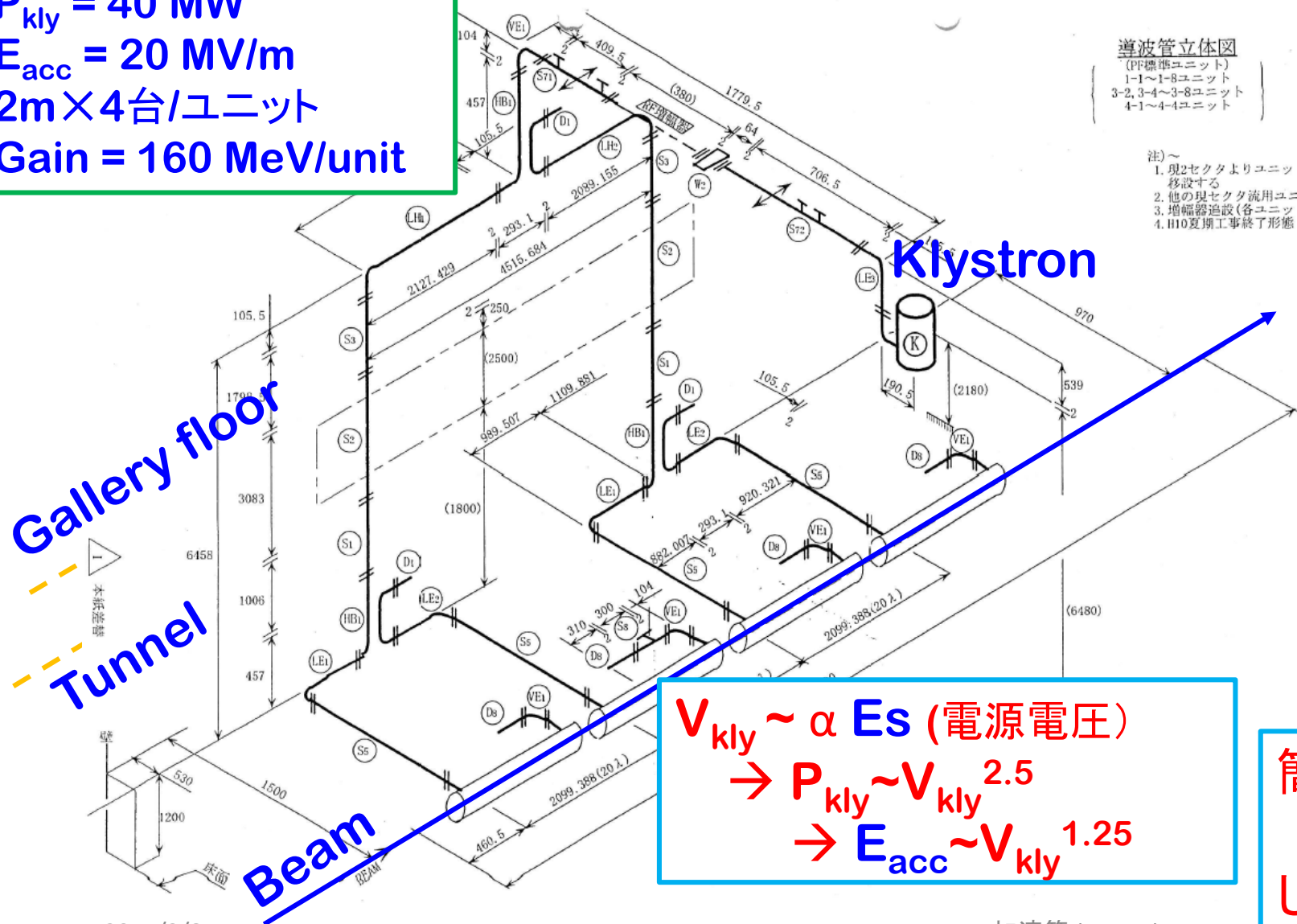
# 必要とされる加速仕様

# 構成



Nominal gain  
 $E_s = 42 \text{ kV}$   
 $P_{\text{kly}} = 40 \text{ MW}$   
 $E_{\text{acc}} = 20 \text{ MV/m}$   
 2m×4台/ユニット  
 Gain = 160 MeV/unit

# 標準ユニット構成



$$V_{\text{kly}} \sim \alpha E_s \text{ (電源電圧)}$$

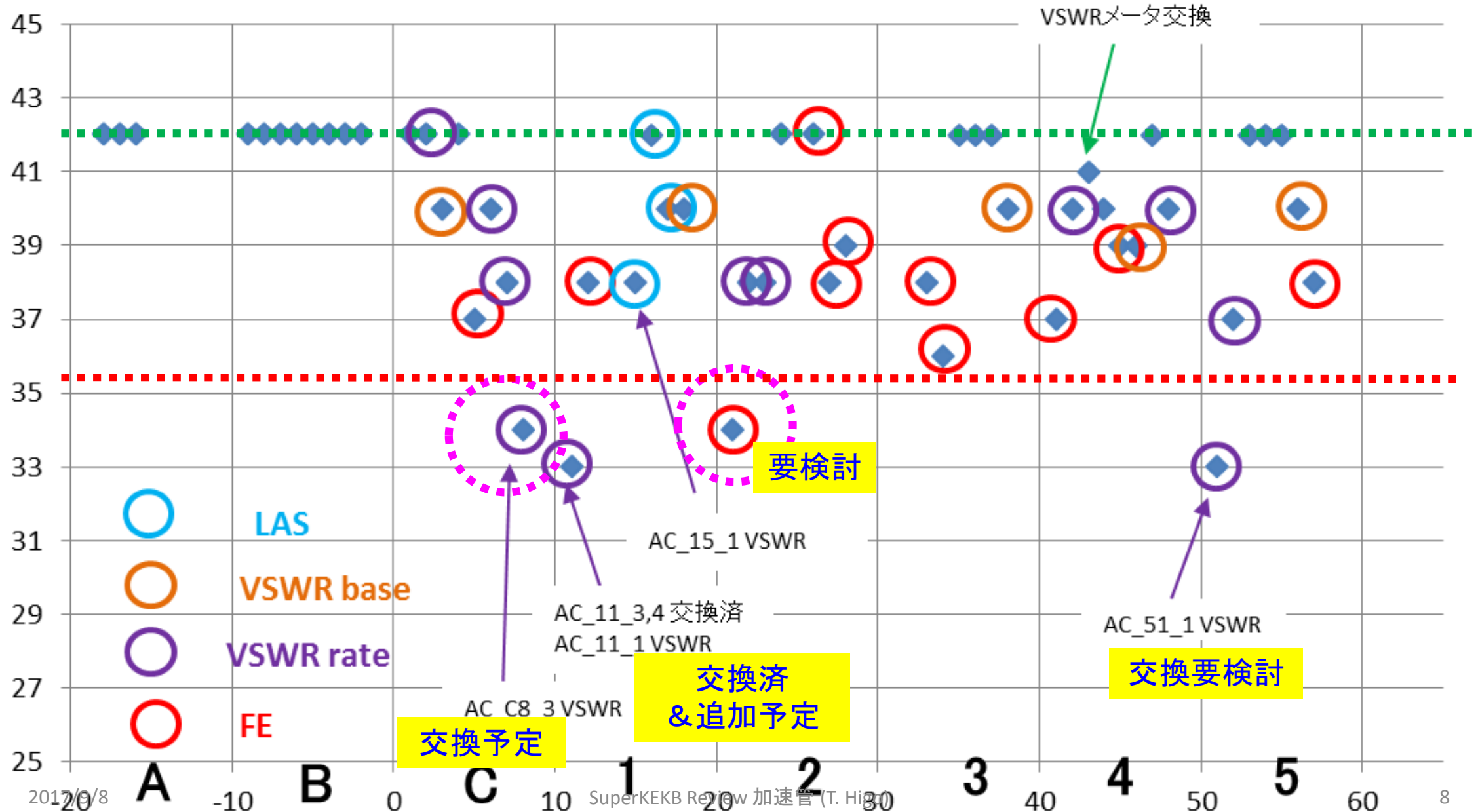
$$\rightarrow P_{\text{kly}} \sim V_{\text{kly}}^{2.5}$$

$$\rightarrow E_{\text{acc}} \sim V_{\text{kly}}^{1.25}$$

簡単にするため、  
 $E_{\text{acc}} \sim E_s$  比例として評価  
 している

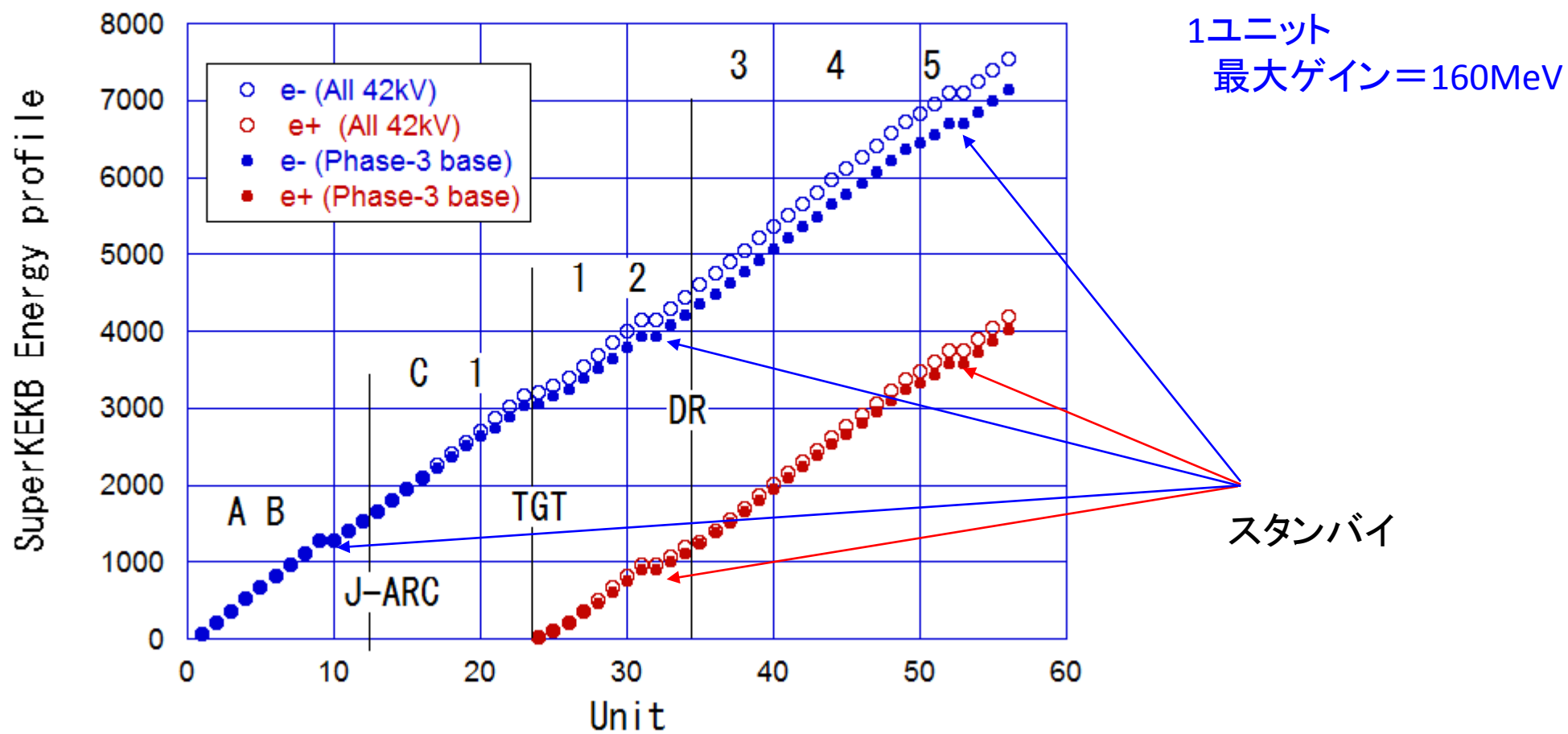
# 各基準ポイントでのエネルギー設定と運転要領

- 運転エネルギー
  - J-ARC 1.5GeV
  - ターゲット ……3GeV
  - DR 1.1GeV
  - 最終点 LER 4GeV、HER 7GeV、AR 6.5GeV、PF 2.5GeV
- 基本構成
  - 全てSバンドで構成する
- スタンバイ
  - 各基準点間に 1ユニット以上のスタンバイを設ける
- エネルギー調整
  - 各基準点間の終端近傍に2ユニット(±φ)で構成
- エネルギーマージン
  - 単純、現実的にはスタンバイを犠牲にして実現する





# SuperKEKB Energy Profile



# 必要な加速仕様概略

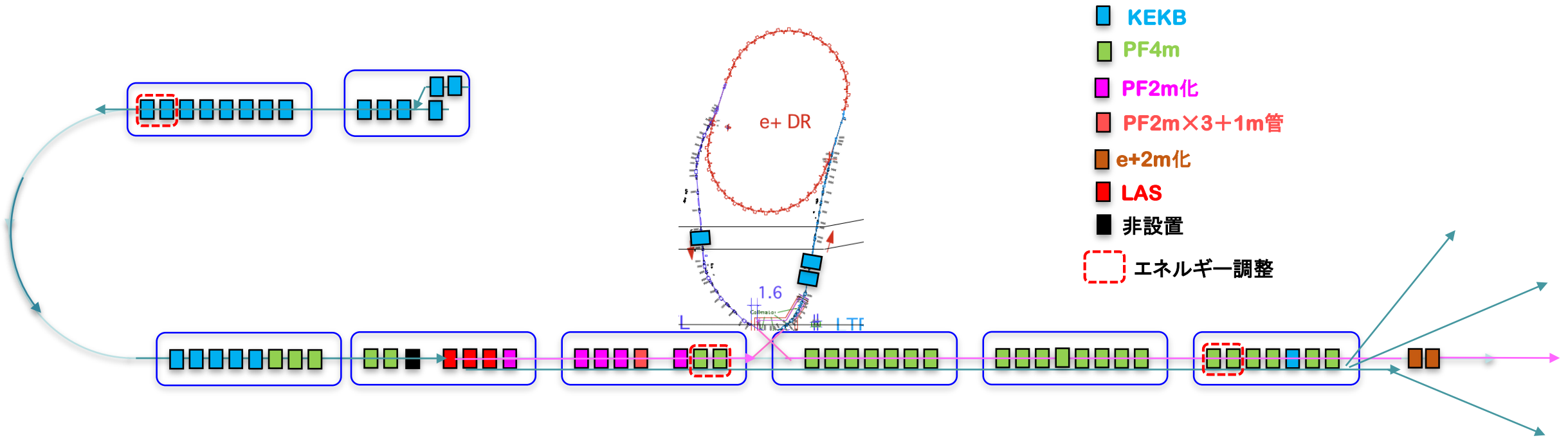
1. 特に陽電子 **4GeV** 確保が重要
2. **1.1GeV⇒4GeV** まで**22**ユニット
3. 1スタンバイユニット、エネルギー調整用**2**ユニットで**1**ユニット分加速を仮定
4. 必要なDR以降のゲイン=**145MeV/ユニット** 以上
5.  $42\text{kV} \times (145/160) = 38\text{kV}$
6. 3~5セクターのユニットゲインは**平均38kV以上** が必要

# 8GeV KEKB に対して7GeV SuperKEKB 7 GeV エネルギーを下げたのに何故厳しいか？

- J-ARCエネルギーを下げた**J-Arc上流にスタンバイ**を設けた
- DR 出入りBT スペース確保のため**1ユニットを抜いた**
- サテライトバンチを抑制するよう**減速位相**で陽電子キャプチャーする
- 陽電子収量確保のため**大口径Sバンド**加速管を使用しゲインが落ちた
- エミッタンス保存のため、**CバンドユニットをSバンドに戻した**
- バンチチャージが数倍になり、**ビームローディング補償**のためクレストから大きく位相ずらしている
- 35年にわたる運転と改造により**加速管の劣化**が顕在化したこと

# 入射器加速管の現状

# Phase-2 加速管配置



# SuperKEKB 入射器加速管 Phase-2配置

|         | 加速管型式    | Phase-2 | 状況            |
|---------|----------|---------|---------------|
| ■ KEKB  | KEKB 2m管 | 80本     | 性能はほぼ維持されている  |
| ■ PF4m  | PF 4m管   | 111本    | 劣化が顕著         |
| ■ PF2m化 | PF 2m管化  | 23本     | 劣化がある         |
| ■ e+2m化 | e+ 2m管化  | 0?      |               |
| ■ 1m管   | 1m管      | 1本      |               |
| ■ LAS   | LAS 2m管  | 10本     | TGT直下はSLED無運転 |

# 高電界特性の現状 Phase-1終了時

- 運転状況

- FE、VSWR頻発等でパワーを抑えている場所が多い

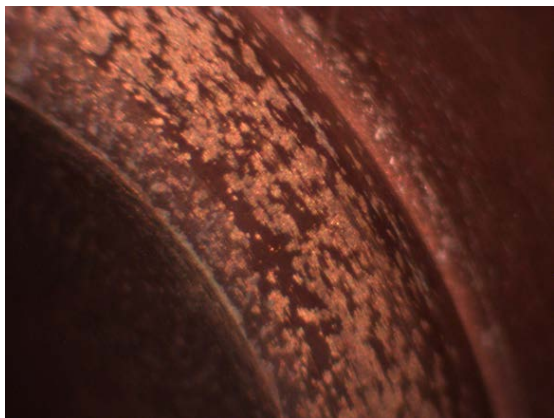
- 問題のあるユニット

- C-1 C8、11 重傷、他2～3ユニット 中傷
- 2 21 重傷、他2ユニット 中傷
- 3 33、34 中～重傷
- 4 41ユニット 重傷
- 5 51、52 2ユニット重傷

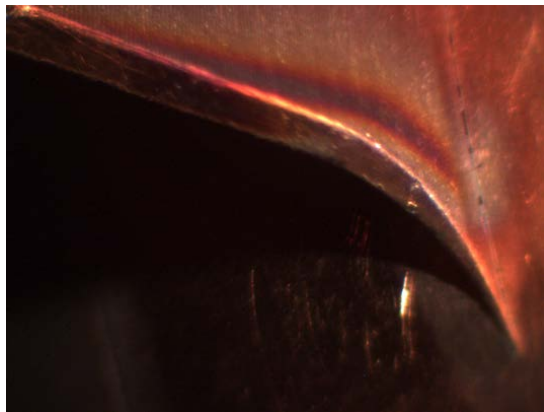
- 場所による違い

- ABは無傷で、J-ARC以降のみに劣化が見られる
- セクターの先頭が多い様にも見えるが、典型例と思った51、52での直前コリメータ試験では放電原因の理解進まず
- 最近の数年でも多少パワーを落としてきている場所がある

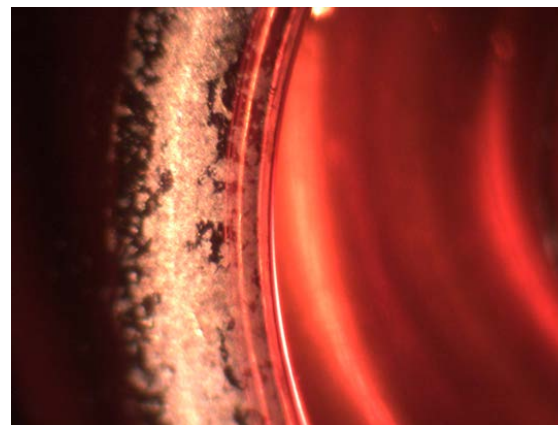
# PF加速管カプラーセル内部



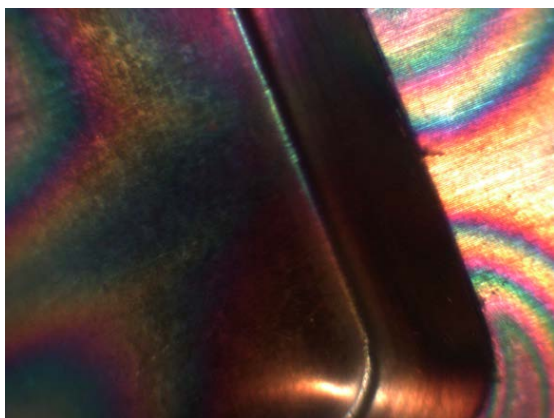
カプラーセル FE大管 アイリス



カプラー～導波管間アイリス：  
エッジではあるが、割に健全

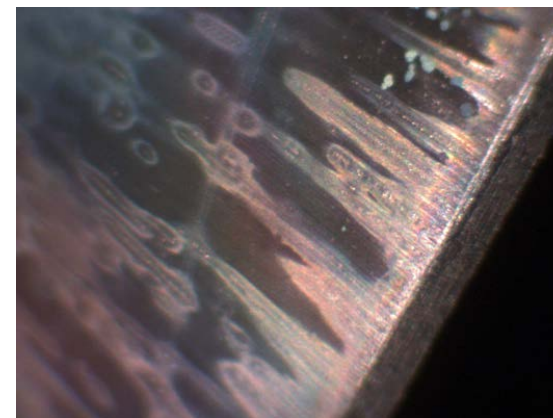


高電界問題視されていない加速  
管のカプラーセルにも放電痕



電界対称性回復用へこ  
み：カーボンの変色が  
薄く見える程度

放電頻度大  
(ここまでひどい  
のは初めて)



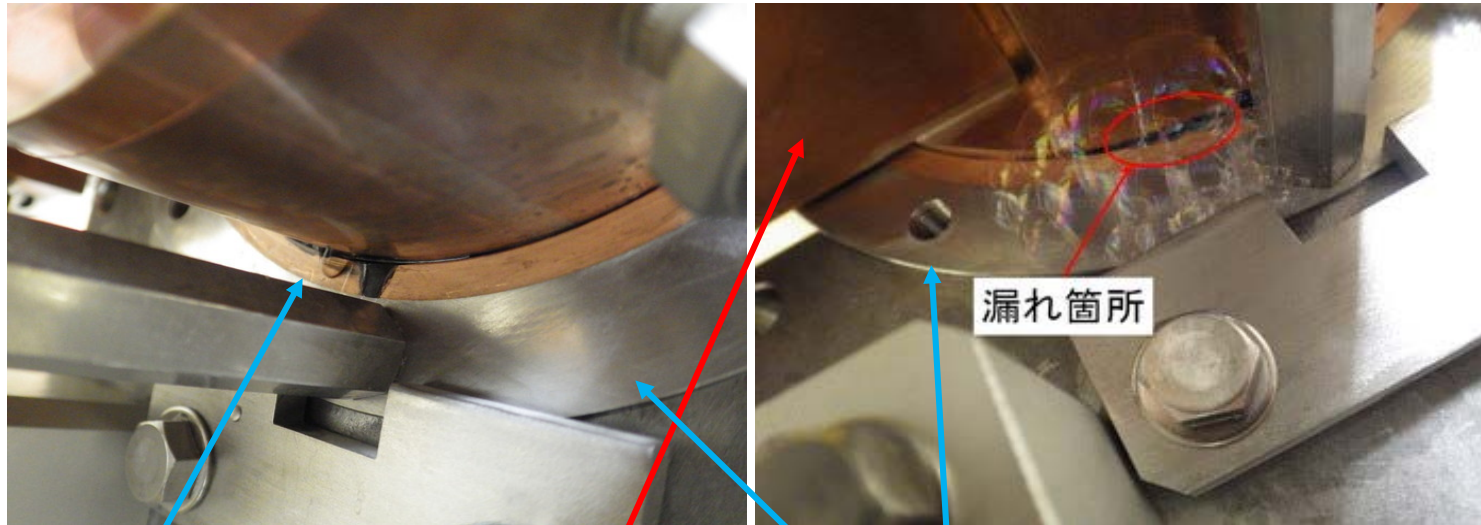
20MV/mの仕様に対して、  
セル、カプラーの設計、製造に  
本質的な問題はない



# PF管水漏れ状態 カップラーを下から覗く

止まらなければ  
致命傷

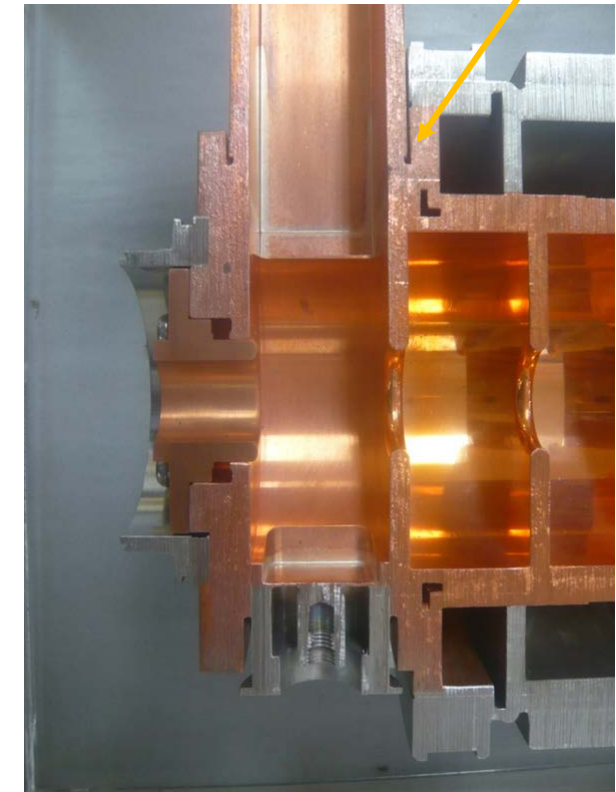
漏れ口



すき間を  
通って漏れが外に達した

導波管

リング(支持架台にのせる部分)



# 今後10年の致命傷の故障発現を推定

## 1. 水漏れ

- カプラー部から水漏れ 年間2本程度
- その中で真空中への水漏れは3割以下
- ロウ付け部に水が接して生じる問題は今後加速していく

## 2. 放電

- C~5セクター(主にPF管)に、年間2本程度の悪化発現を仮定

## 3. FE

- 現在の運転パワー維持なら現状維持
- 問題加速管入替に伴いパワーアップ運転で年間2本程度の悪化発現を仮定

要するに、

RF特性は急遽多数が顕著な劣化には至らない

水漏れは最近の発現統計の延長線上+老朽化で多少加速

これらから、年間最大6本程度の問題発現を覚悟する

そのうち、最低限年間2本程度の交換は余儀なくされると見積るべき

# 安定運転への具体化状況

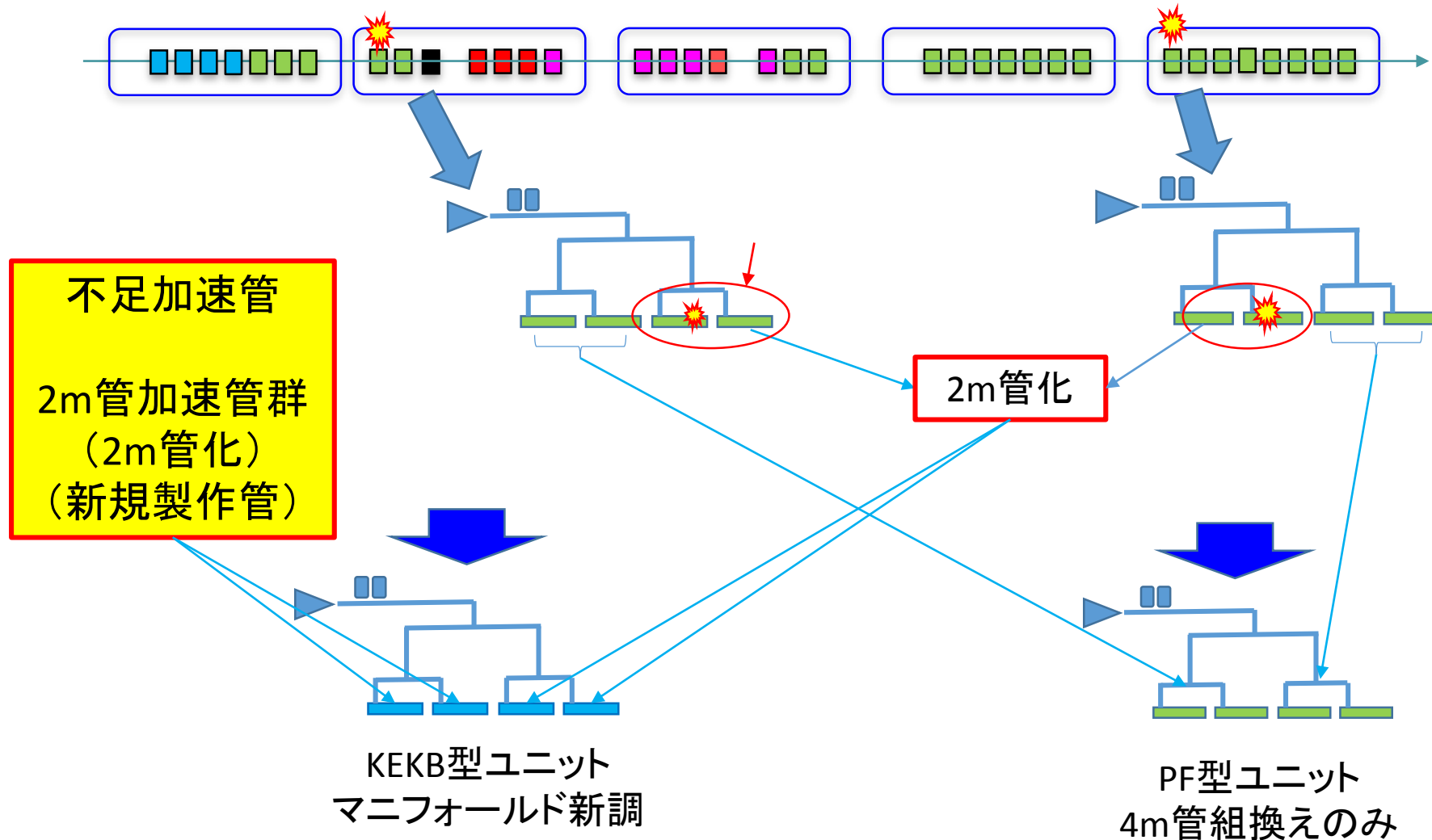
# 基本方針

1. 時々生ずる高電界特性の劣化の頻度をさげる  
– スタンバイユニットを使いきる時間を減らす
2. 良好部ゲインをあげて、劣化部ユニットのゲインを下げる
3. 総ゲインが上げてエネルギーマージンを生みだす
4. 入替により、「低いゲインのユニットのゲインを回復させる」

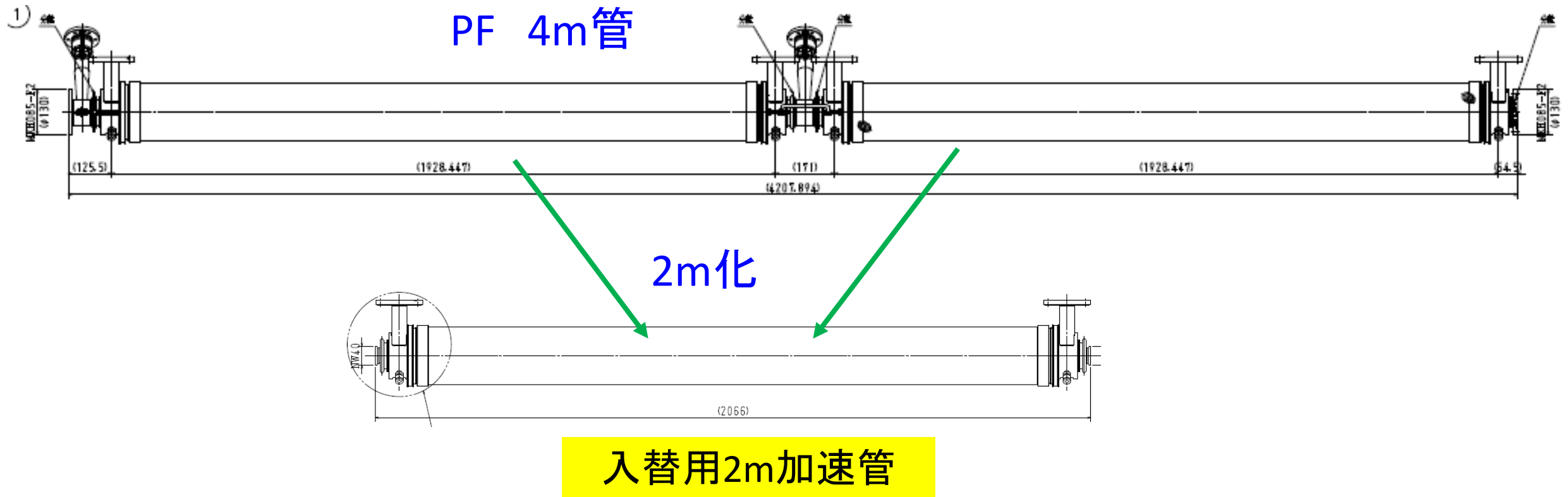
# 安定化戦略

1. 現実的には劣化加速管を**良好な加速管と交換**して、ユニットの駆動電圧( $E_s$ )を上昇させるしかない
2. 交換候補になる**加速管の確保**はこれまで**事実上進められていなかった**
3. 最近になって、ラインオフされている加速管群の調査が進んで、保管状態の**良好な加速管は非常に少ない**ことを再認識した
4. 手持ち群の**高電界特性の評価**をすすめる
5. 今後**ラインオフされる加速ユニット**から良好な加速管を手持ちとする
6. 足りない分を**新規加速管製作**で対応できるよう、製造見通しをつける
7. 現実的な余裕をもった交換群を確保できるよう**量産のためのリソース(予算と人員)確保**の方針を立てる

# 今後のラインオフと加速管交換イメージ

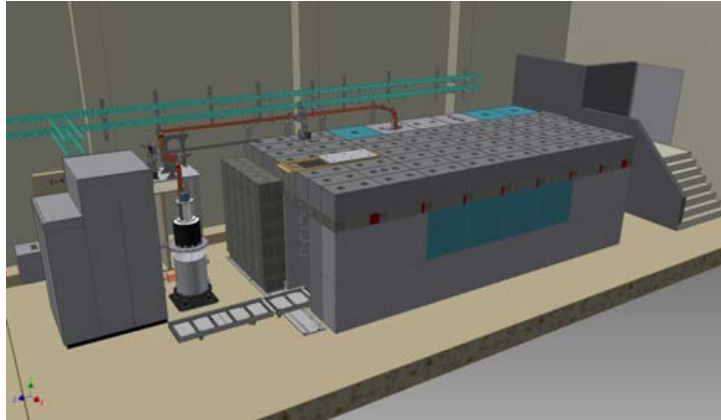


# ラインオフ加速管の復活



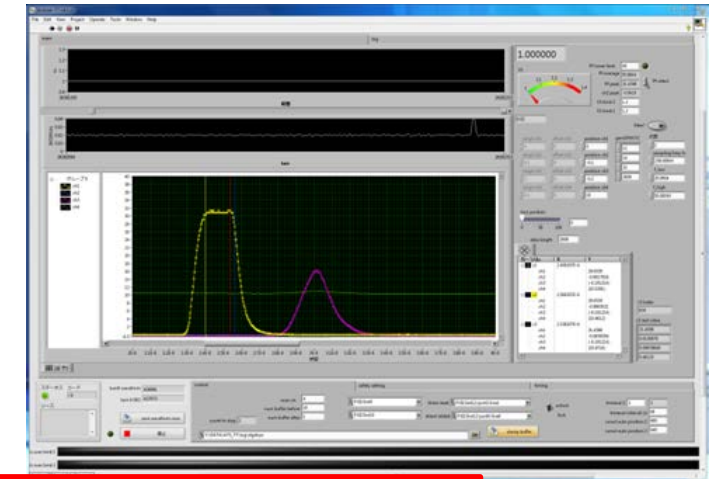


# 加速管の高電界評価試験スタンド 稼働した



2016年、旧クライストロン準備室内に  
試験設備を稼働させた  
今後SLED導入すれば完璧

制御システム  
LabVIEW/PXI ベース  
自動運転  
各種波形記録



高電界評価確認した加速管を  
真空保持で手持ちとできる



# 新規加速管製造

## ● 組立方式

- 開発は**ロウ付け管**とする……(現有は**LAS**以外全て、名航・電鑄管)
  - 電鑄管技術の継承がなされていない
  - スタッフ、メーカーには、ロウ付け管の方が経験豊富

## ● 製造開発体制

### - ① **ベスト**

- **製造を確立したメーカー**に製造体制を構築し、それを基礎に製造する
- **KEK**: 電気設計と機械仕様
- **予算確保重要**

### - ② **次善策**

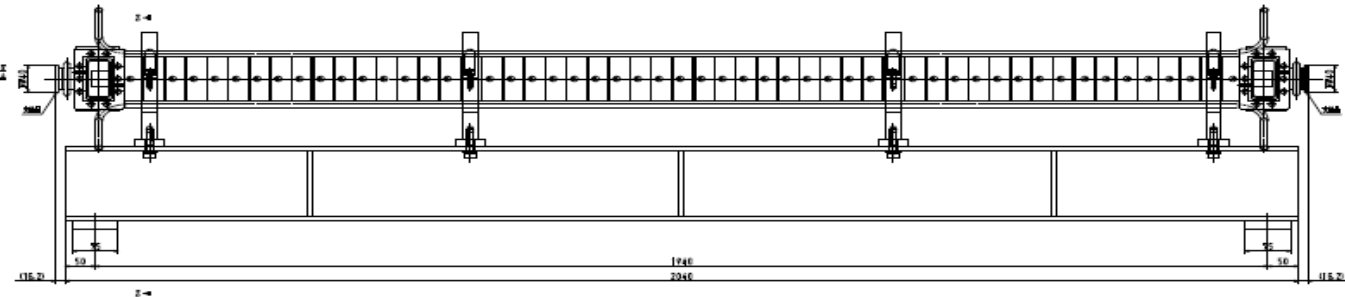
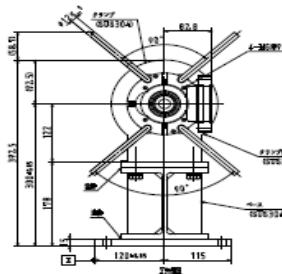
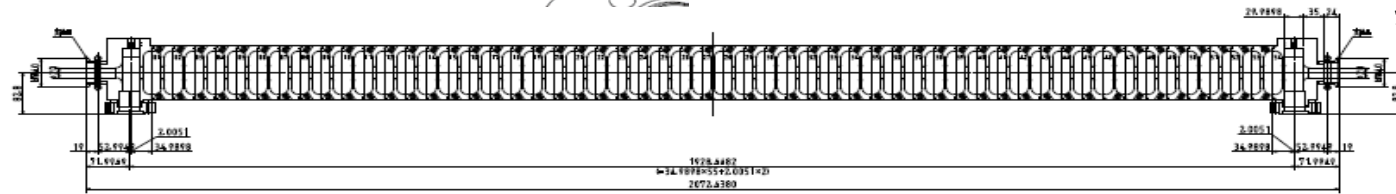
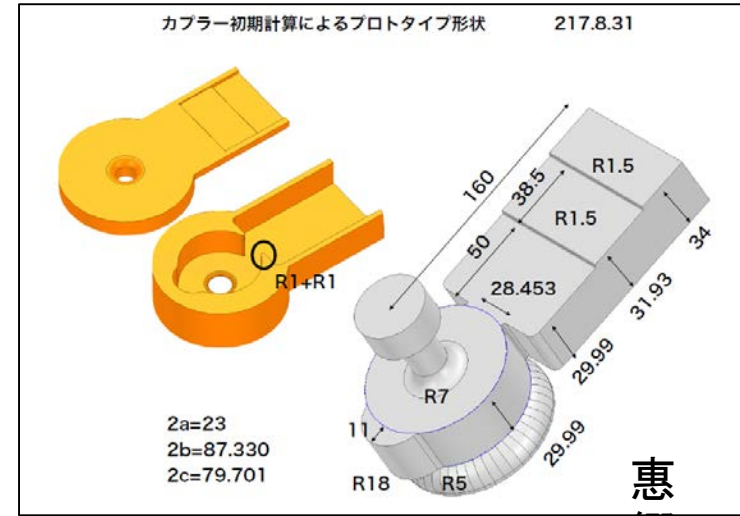
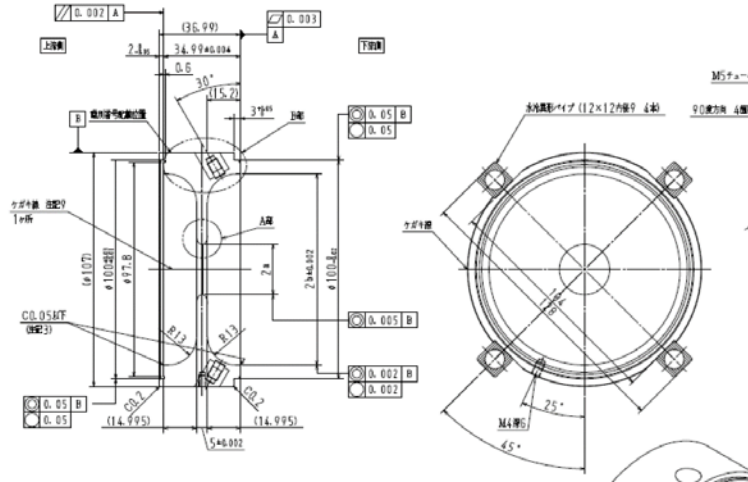
- **加速器+機械工学センター** + 加工メーカー + ロウ付けメーカー
- **KEK**: 現場対応仕様、電気設計 + 製造リード(チューニング等) + 試験
- **KEK**の施設も利用して製造する
- メーカーは、現在のレベル+最低限の開発で対応する
- 但し、**KEKマンパワー充実が必須**

# 次善策②に添った加速管開発始めた

## ①加速管あたりの エネルギーゲインの向上

セルを丸型にしてQ値 向上  
↓  
シャントインピーダンス向上  
~12%

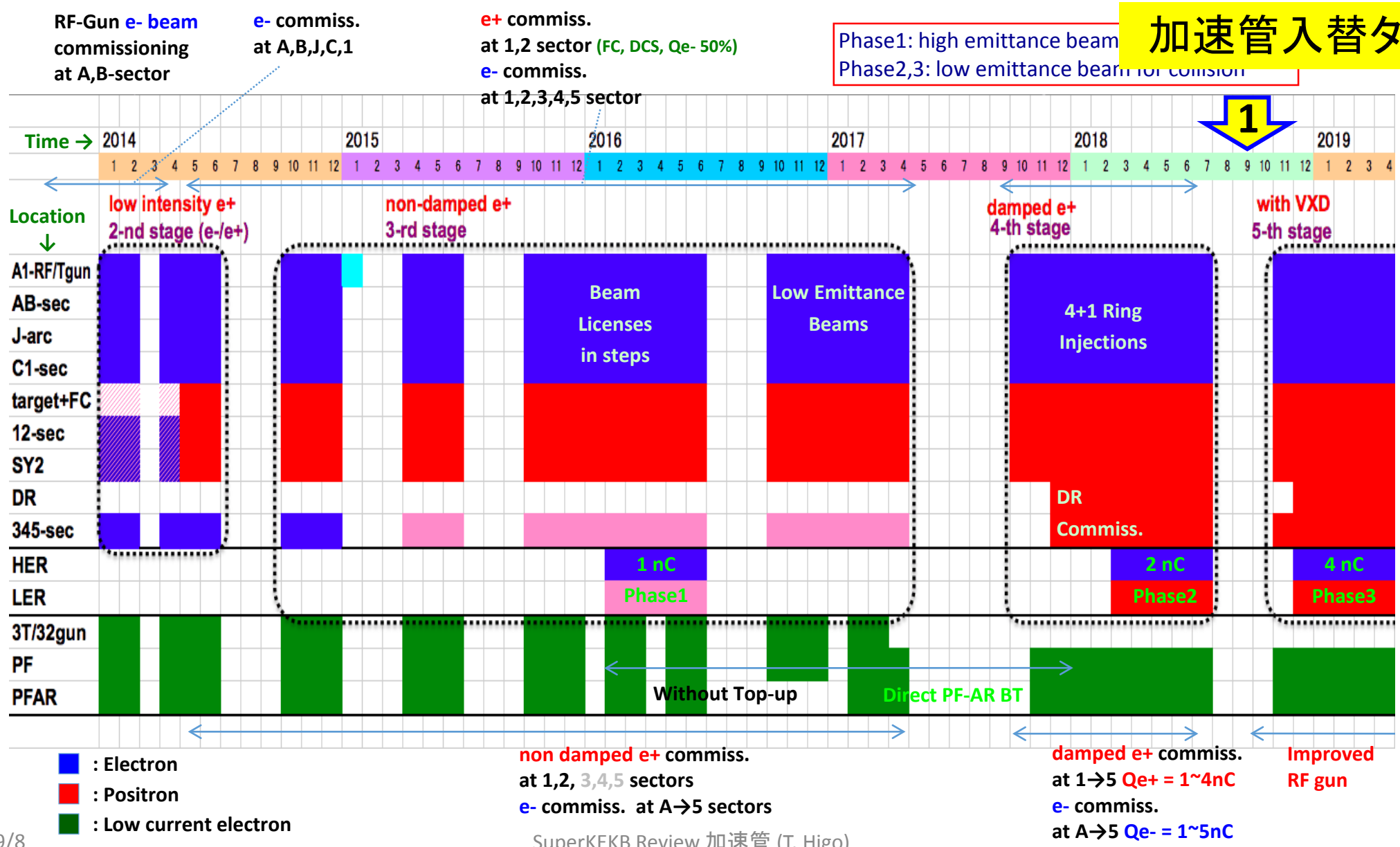
現在 → 開発管  
40MV/管 → 44.8MV/管



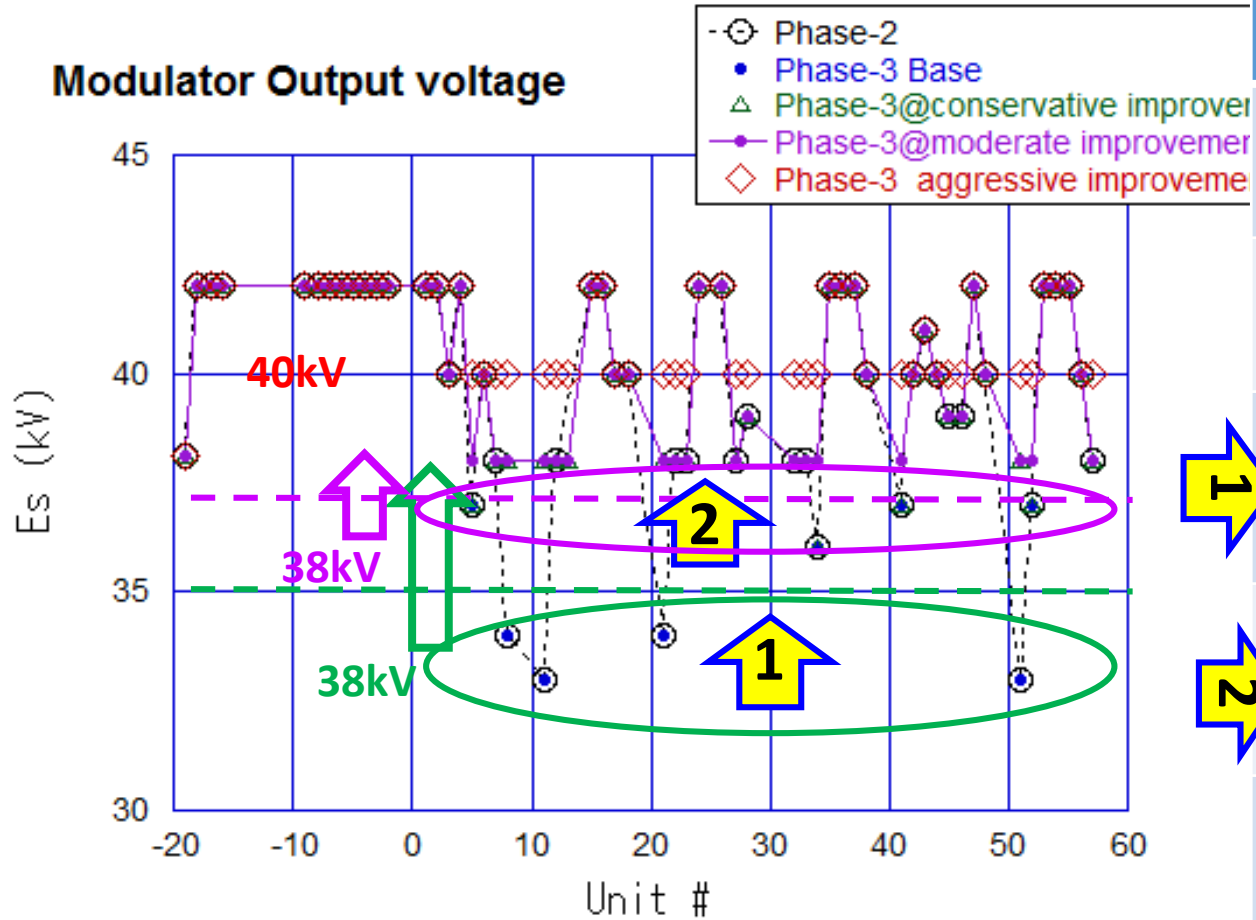
# 今後の具体的入替 & 6S対応エネルギーマージン

- LER injection energy (4.000 → 4.166 GeV @6S)
- HER injection energy (7.000 → 7.291 GeV @6S)

# Linac Schedule Overview as of Jun.2017



# Es の改善



| Available energy                 | J-ARC | TGT  | DR   | BT e- | BT e+ |
|----------------------------------|-------|------|------|-------|-------|
| Phase-2                          | 1.52  | 3.03 | 1.10 | 7.0   | 4.02  |
| Phase-3 Base                     | 1.52  | 3.03 | 1.10 | 7.14  | 4.02  |
| Phase-3 conservative improvement | 1.52  | 3.06 | 1.12 | 7.20  | 4.03  |
| Phase-3 moderate improvement     | 1.52  | 3.06 | 1.12 | 7.21  | 4.04  |
| Phase-3 aggressive improvement   | 1.52  | 3.17 | 1.15 | 7.34  | 4.10  |

# 最終エネルギー向上

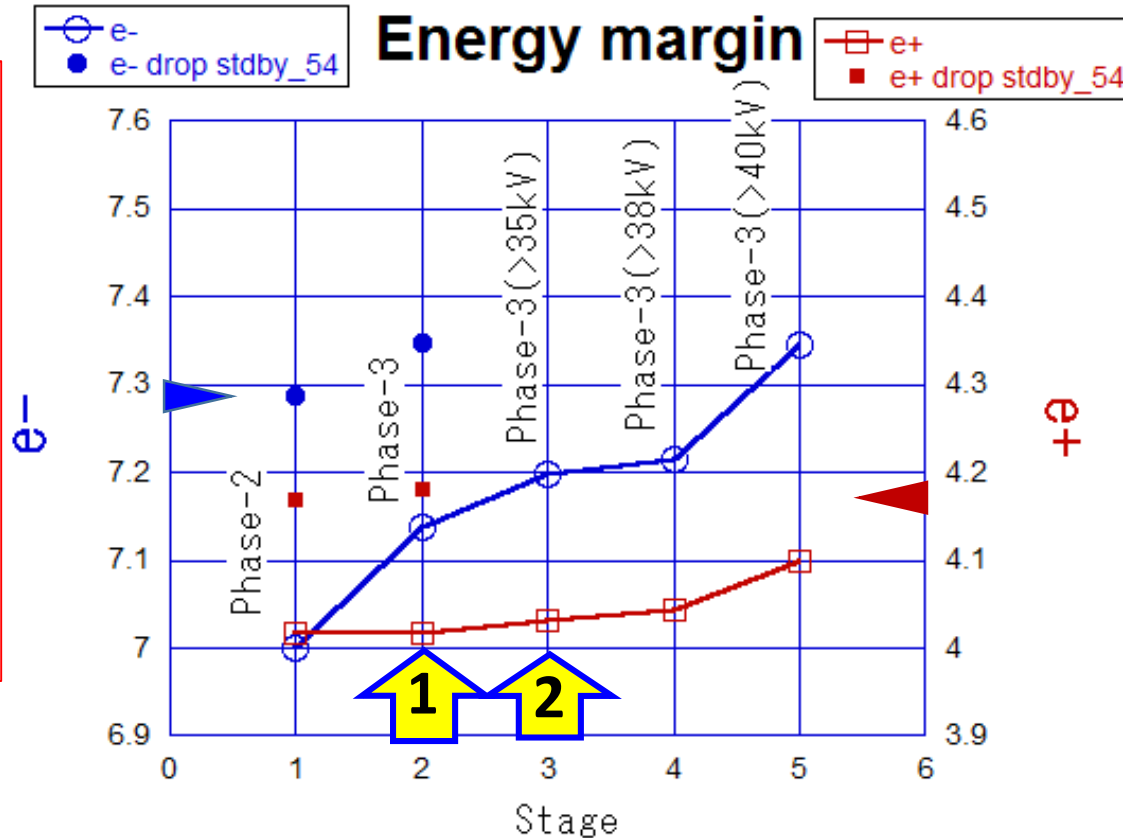
仮定

①エネルギー調整  
ペアユニット加速

×0.7

②スタンバイ 1 unit  
セクター

A-B & 2 & 3~5



0=Es 基礎 Phase-1相当

drop 13 unit, add 32 unit

1=Phase-2

スタンバイ 54 無で  
エネルギーアップ

2=Phase-3

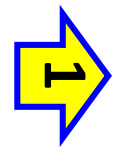
13ユニット復帰  
スタンバイ 54 無で  
エネルギーアップ

2→3 all Es > 35kV

3→4 all Es ≥ 38kV





4→5 all Es ≥ 40kV

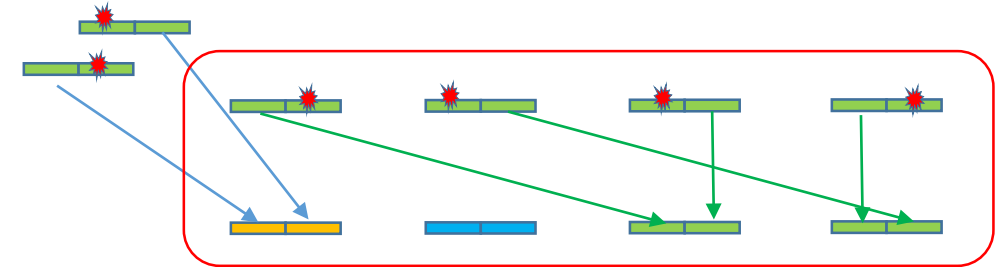
**6s: マージンを犠牲にして、スタンバイユニットを加速に用いれば対応可能**



# 入替1 2018年夏(Phase-3 直前) 最低限の入替・最初の4ユニット対処

## • 4ユニット対処

- ラインオフ作業 4ユニット 2日
- **KEKB型** 1ユニット 
  - 現有加速管、高電界要確認 3w×4~3ヶ月
  - 導波管、マニフォールド等
  - 復帰 1ユニット 2日
- **PF2m管化** 1ユニット 
  - 現有加速管、高電界要確認 3w×4~3ヶ月
  - 導波管、排気対応等
  - 復帰 1ユニット 2日
- **PF4m型 組換え・継続** 2ユニット  
  - 組換え 2ユニット復帰 4日
- **RFコンディショニング**
  - 現場 初期 2w+運転とともに進める



- 注:現有の**KEKB型**ストック加速管の性能に**問題が無いことを仮定する**
- **ライン組換え作業……2w+コンディショニング**



# 入替2 2019年夏(Phase-3 開始 1年後) できるだけ進めるべき・次の4ユニット対処

- 次の4ユニット対処
  - ラインオフ作業 4ユニット 2日
  - **2m管製造?** 1ユニット
    - 加速管製造
    - 導波管等
    - 復帰 1ユニット 2日
  - **PF2m管化** 1ユニット
    - 2m管化 、 高電界要確認 3w×4~3ヶ月
    - 導波管等 、 復帰 1ユニット 2日
  - **組換え PF4m型**継続 2ユニット
    - 組換え 2ユニット復帰 4日
  - **RFコンディショニング**
    - 現場 初期 2w+運転とともに進める
- **注意: 良好な加速管が準備できることを前提とする**
- **ライン組換え作業……2w+コンディショニング**



# 結論

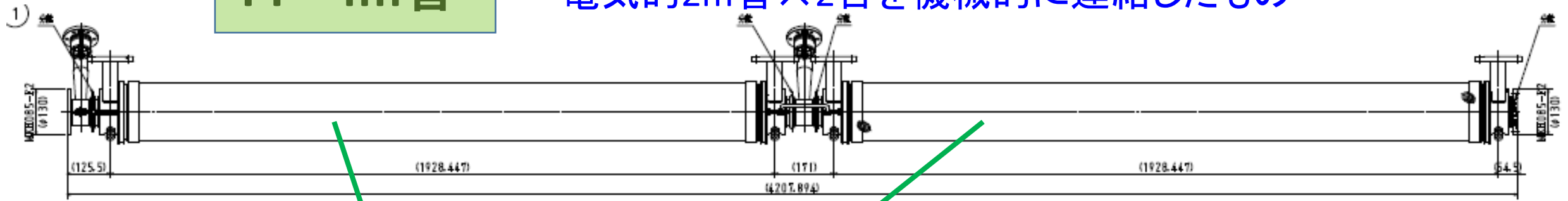
1. 夏シャットダウンに**加速管の入替をすすめ、ゲインアップ**する
2. **加速管を最速で準備**する
  - **2m加速管の開発**(新規製作+ラインオフ管の再利用)
3. **製造に対するリソースの確保に努める**
  - **予算**
  - **人材(KEK内:加速器&機械工学センター)**
  - **メーカー**
4. **Phase-3 の早い時点で量産による入替加速管を確保**する
  - **2018~2020年度期間に、20本程度を量産**する
  - 加速管の**高電力試験評価**し、入替用加速管とする

# 付録

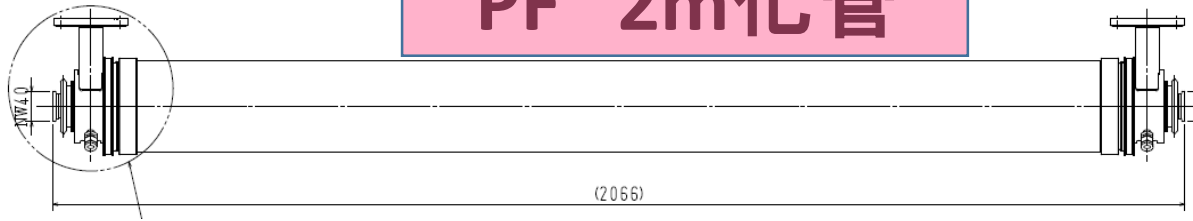
# 加速管種類

## PF4m管、PF2m化管、KEKB2m管化

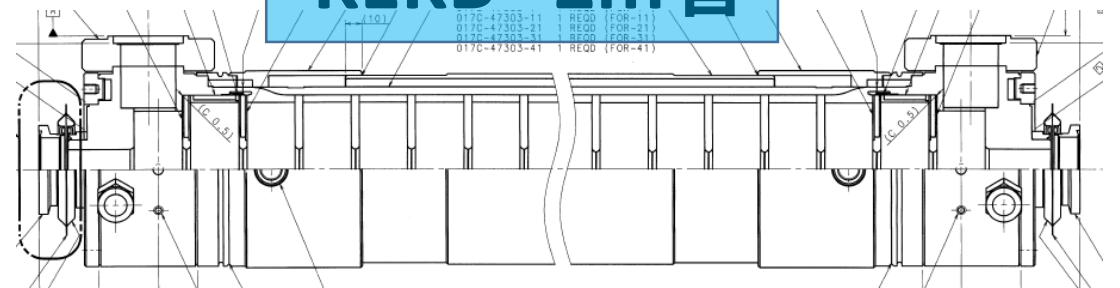
**PF 4m管** = 電氣的2m管×2台を機械的に連結したもの



**PF 2m化管**

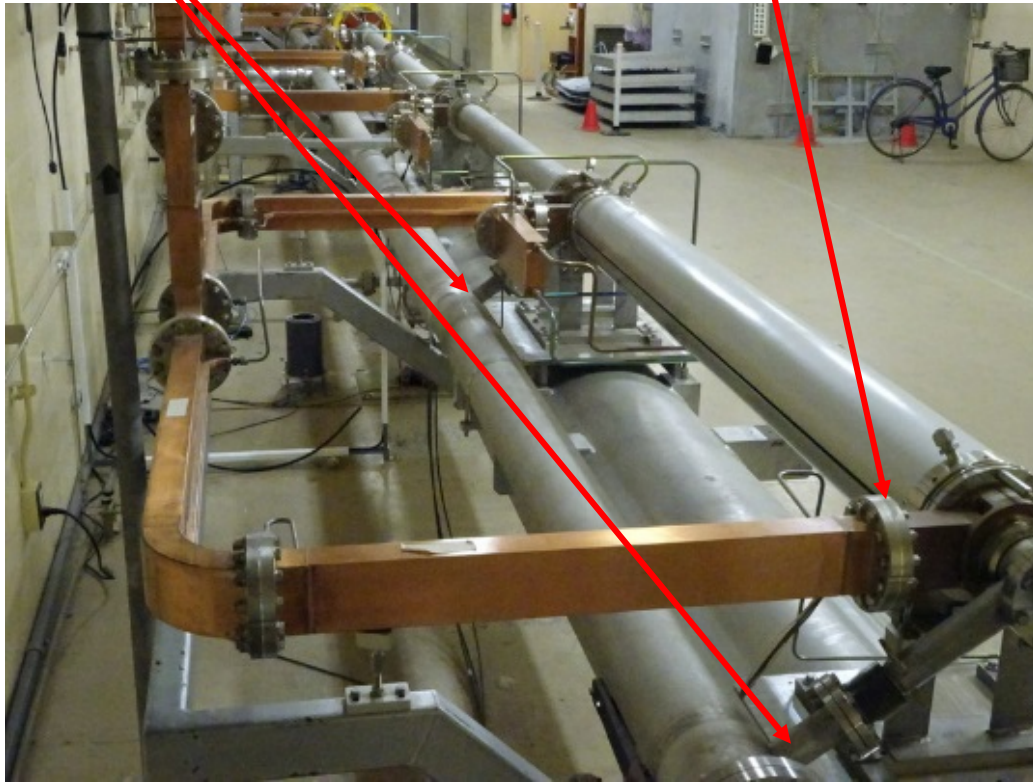


**KEKB 2m管**



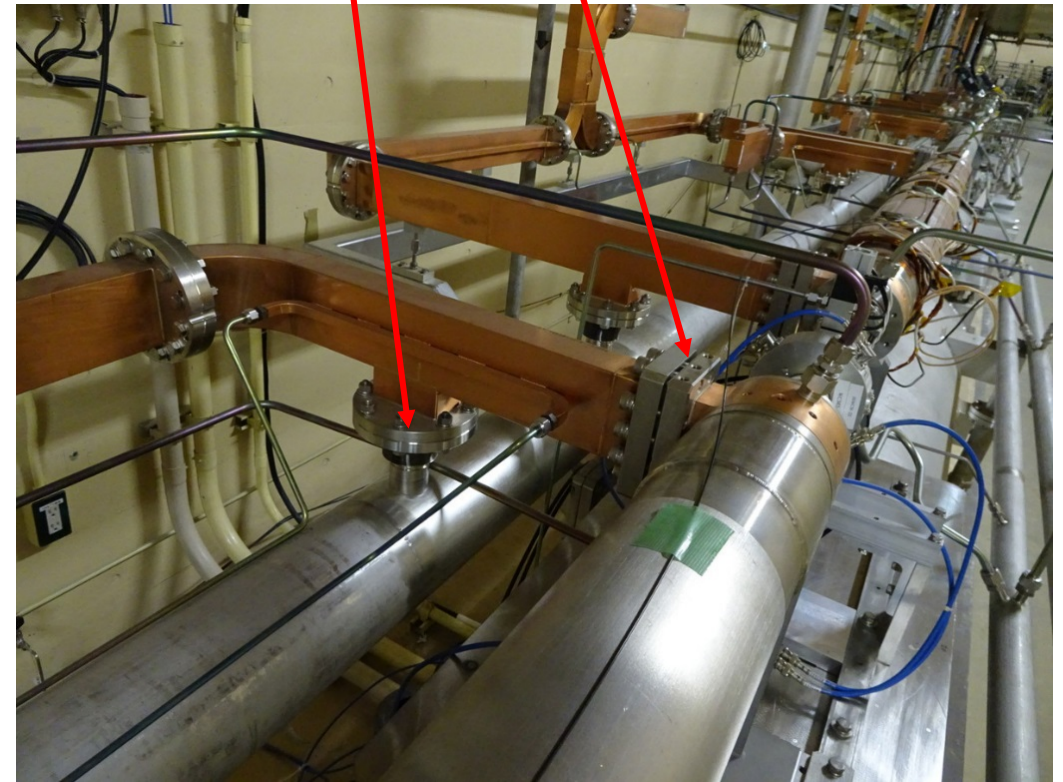
# PF型

排気は**ビームダクト**  
導波管フランジは**MKH丸型**



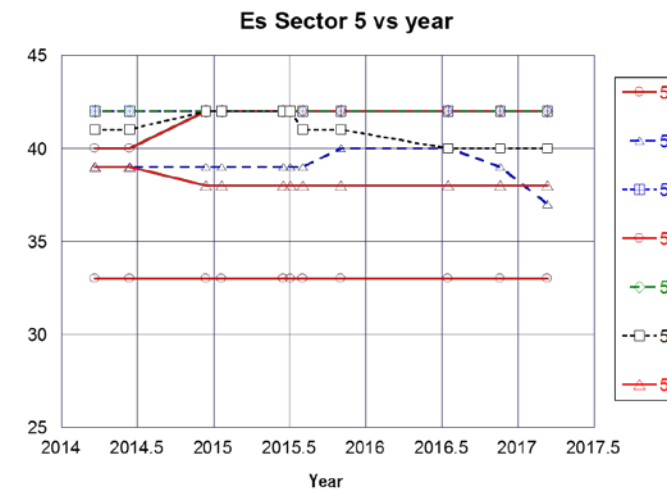
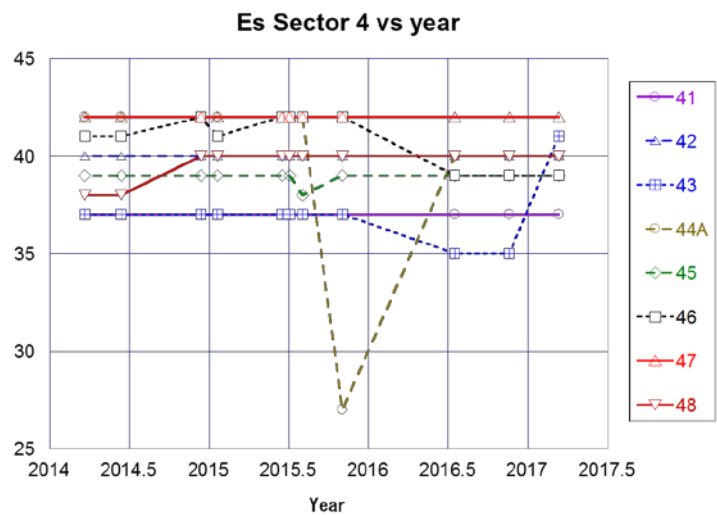
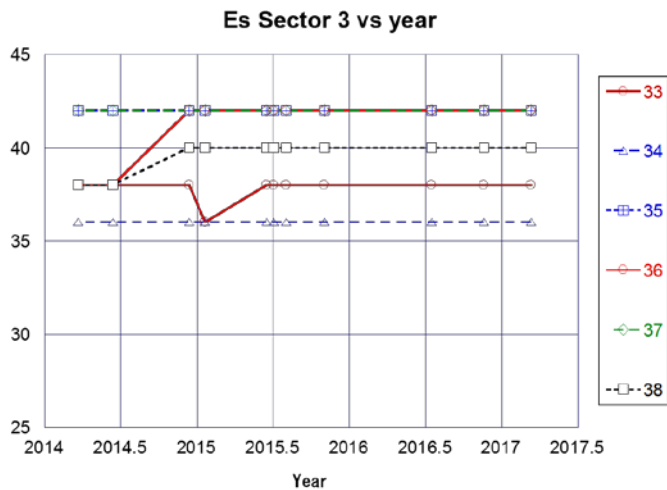
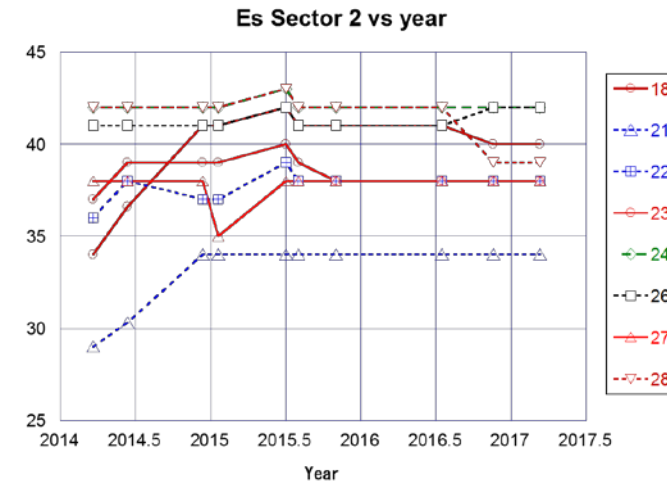
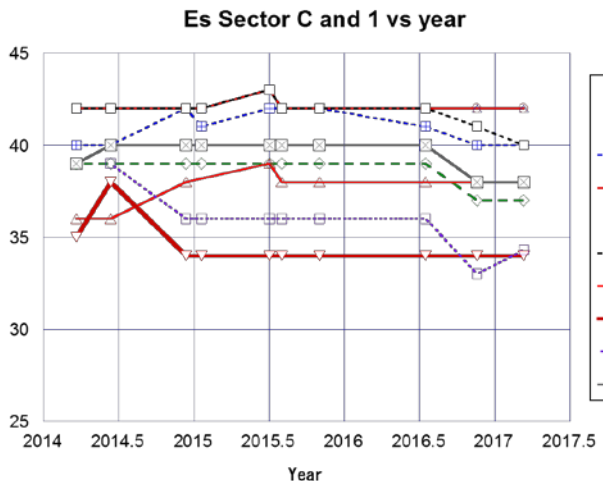
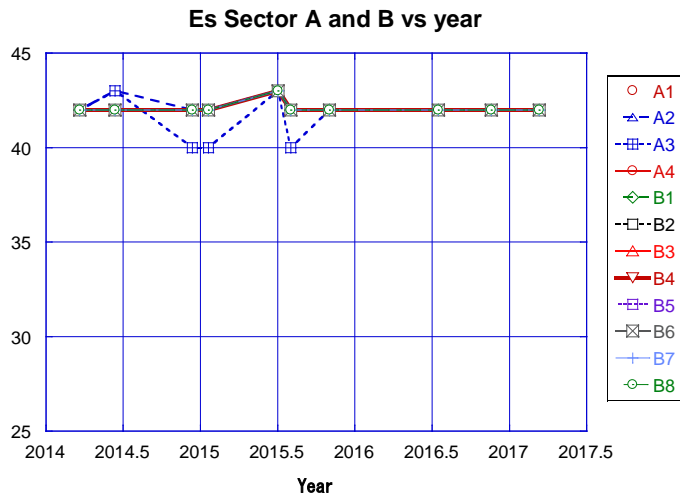
# KEKB型

排気は**導波管から**  
フランジは**SLAC角型**



# Es 最近の3年間の状況 (正規=42kV)

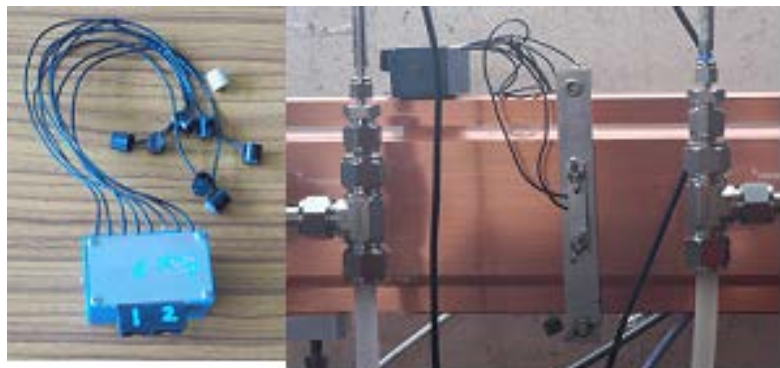
~10% ゲインロス



# ラインオフさせる加速管の同定(1)

## 音響センサーによる放電加速管の調査

AC\_51\_1,2,3,4    ロード熱衝撃波形

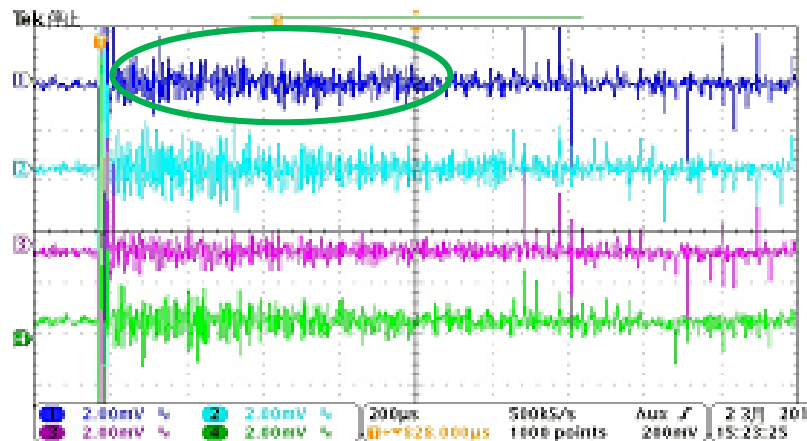


**圧電素子**  
RFロード表面に固定  
熱衝撃による音波を圧電で計測

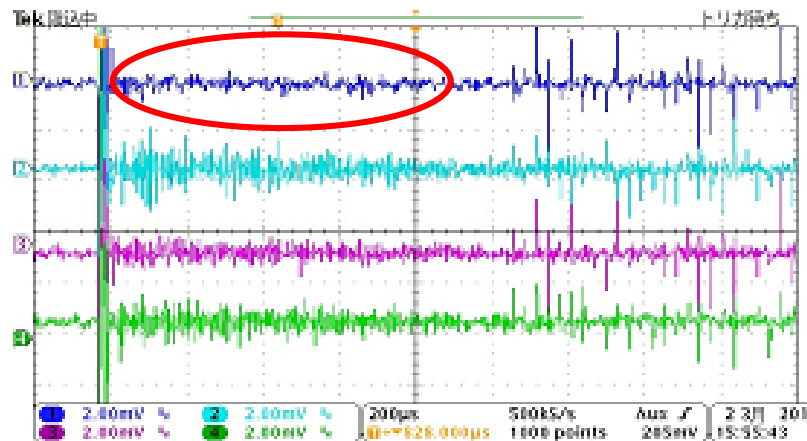
加速管内の放電でRFが遮断  
→ロードの熱衝撃消失

適宜 Esアップ運転を行い、  
音響シグナルの変化や  
透過波形の観察から同定する

正常運転時



↓  
放電時



音響センサーで難しい場合

加速管内の放電でRFが遮断  
→ロードへのRF透過波消失

↓

透過波(RF)計測  
真空作業を伴う



# ラインオフさせる加速管の同定(2)

## FE(暗電流)の多い加速管の調査

### • 問題の所在

#### – 現状対処

➤ SC、ロスモニター等で大きなFEを検知した場合に関連するユニットのパワーを下げる

#### – リングへの入射は少ない ∵ 直後のQマグネットで拡散される

#### – 近傍の機器に悪影響

➤ 以前はビューポートリークしたが、チャージアップ防止コーティングで現在は問題無し

➤ 各種治具、機器の放射化が問題視されたこともある

#### – 加速管自身の劣化

➤ 現状より高電界運転をしたら、劣化拡大、放電誘発等の可能性が懸念される

### 方針

– FEの多い加速管を同定、定量し、できれば入替検討する

– 但し、無理にパワーを上げた運転は継続しないよう心掛ける

# 致命傷である水漏れの発現

## 発生頻度

- 多少増えてきているか？
- PF管のみに発現

## 構造(次ページ)

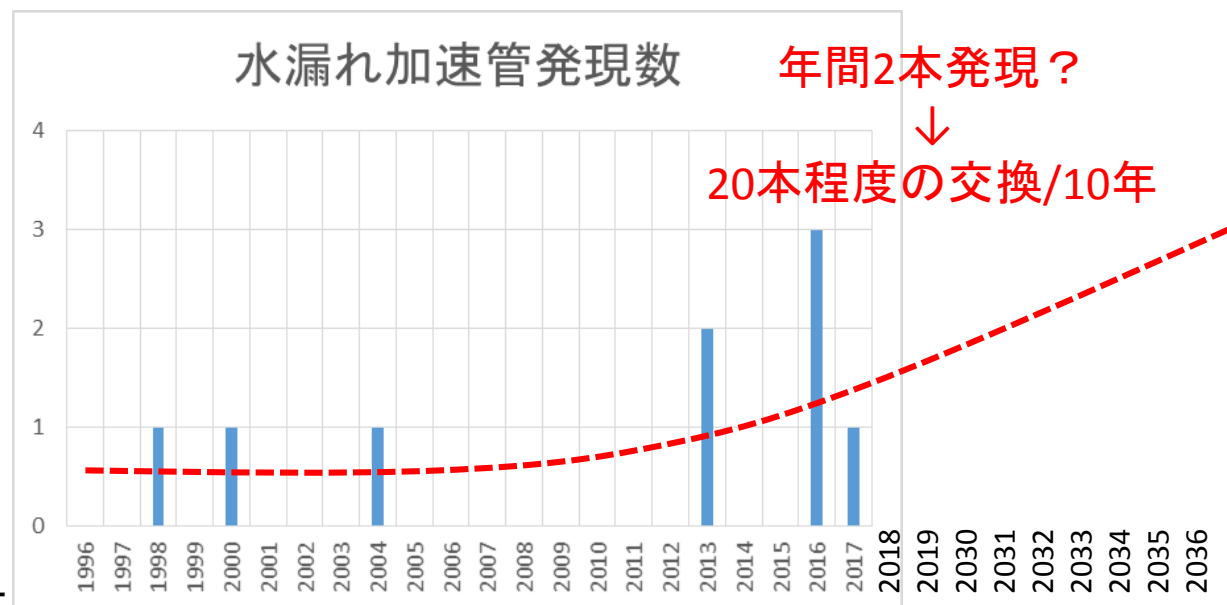
- 殆どは外部への水漏れ
- 真空中へのリークは1~2例

## 問題ヶ所

- ロウ付け部に水接触、腐食によりリークが発生

## 今後の処置

- TiGを外して内部見ること、又は内部からのシールの余地はあるが、カップラ近傍で電氣的に戻せるかが不明、また相当な作業量であり、今まで実施したことはない。∴**修理は現実的ではない**
- 発現しても外への漏れなら、**現状同様の処置を施し**、再リークの可能性を念頭に置きながら運転に復帰させる。
- **時期を見て交換する。**
  - 問題2m加速管を、or 2m+2mの4mセットとして、必要なら4mセット×2=ユニットごと、
- 漏れた加速管は極力排除すべきであり、そのための**交換用加速管を準備する必要**がある。

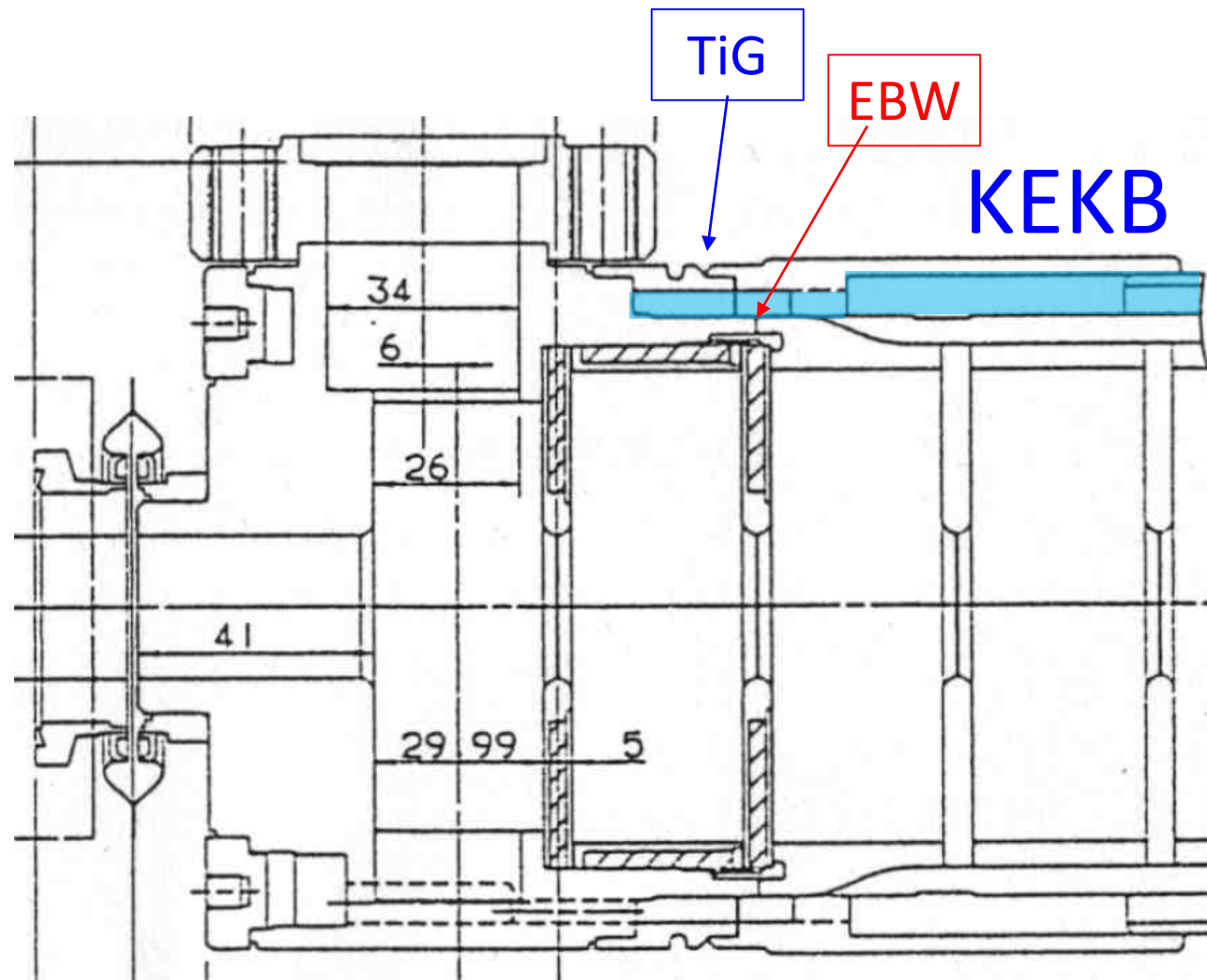
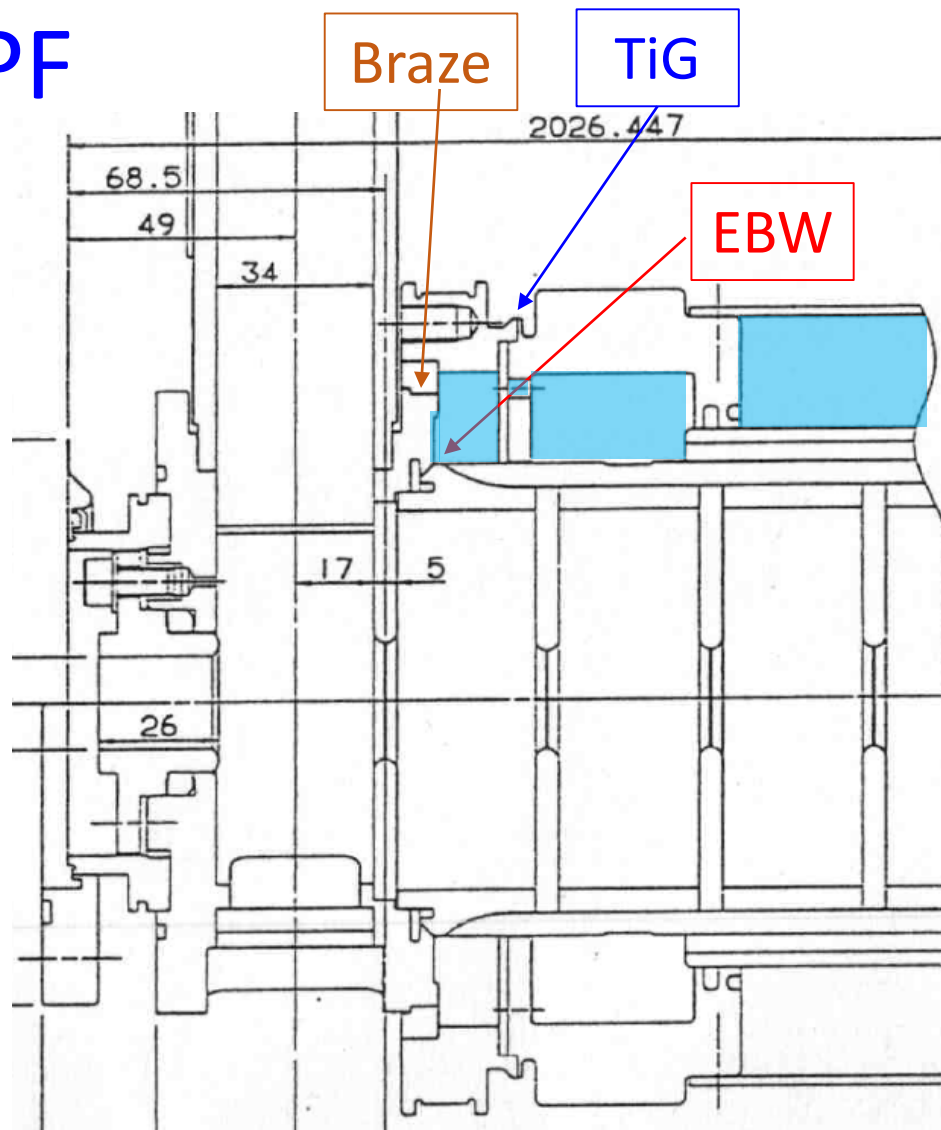




# PF型 カプラー水冷構造

# KEKB型

PF



# 最近数年の経験から今後10年の発現を予想

## 1. 水漏れ

- カプラー部から水漏れ 年間2本程度
- その中で真空中への水漏れは3割以下
- ロウ付け部に水が接して生じる問題は今後加速していく

## 2. 放電

- C~5セクター(主にPF管)に、年間2本程度の悪化発現を仮定

## 3. FE

- 現在の運転パワー維持なら現状維持
- 問題加速管入替に伴いパワーアップ運転で年間2本程度の悪化発現を仮定

詰まり、

RF特性は急遽多数が顕著な劣化には至らない

水漏れは最近の発現統計の延長線上+老朽化で多少加速

これらから、年間最大6本程度の問題発現を覚悟する

そのうち、年間2本程度の交換を余儀なくされると見積もることが必要だろう

# 現実的前提条件

- KLY Es は、Phase-1末期(2016年6月末)の運転値を仮定する
- off-crest (longitudinal wake対応) energy gain 3.0%減 (0.970)
- 2-bunch equalization energy gain 2.5%減 (0.975)
- 1-3 unit は復帰を仮定
- 1-4 unit は存在しない
- 1-5, 1-6, 1-7 units はLAS加速管
- 3-2 unit は復帰させる、Es=38kV (Moderate)を想定
- 4-4A はS-band unit、4-4B は無し
- 位相が早く変えられる units: B5, B6, 15, 16, 27, 28, 32, 33, 51, 52
  - エネルギー調整、e-e+ 切替
- 確保したい stand-by units : B-8 (J-arc), 2-6 (DR), 5-4 (HER, LER, PF, AR)
- PF, AR 含めて全て AT/A1 から出射する

# エネルギーとスタンバイユニット数

Energy [GeV]

|         |           | STB | J-ARC | STB | Target | STB | DR  | STB | BT |
|---------|-----------|-----|-------|-----|--------|-----|-----|-----|----|
| Phase-2 | e-        | 1   | 1.5   | -   | -      | -   | -   | 2   | 7  |
|         | e- for e+ | 1   | 1.5   | 0   | 3      |     |     |     |    |
|         | e+        |     |       |     | 0      | 1   | 1.1 | 1   | 4  |
| Phase-3 | e-        | 1   | 1.5   | -   | -      | -   | -   | 2   | 7  |
|         | e- for e+ | 1   | 1.5   | 1*  | 3      |     |     |     |    |
|         | e+        |     |       |     | 0      | 1   | 1.1 | 1   | 4  |

\* 13ユニット復帰

# 加速管の交換方法

- 加速管の交換

- ユニットごとの交換

- 2m加速管群、又は組換えにより構成したPF4m管ユニット、に置き換える

- 4m管単位での交換

- 問題管は撤去し、健全な方を2m管化して再利用に向ける
    - 他の場所にある健全な4mを持ち込む

- 2m加速管ごとに交換

- 2m管単独の場所は2m管で置き換える

- 交換には加速管の準備が大前提になる

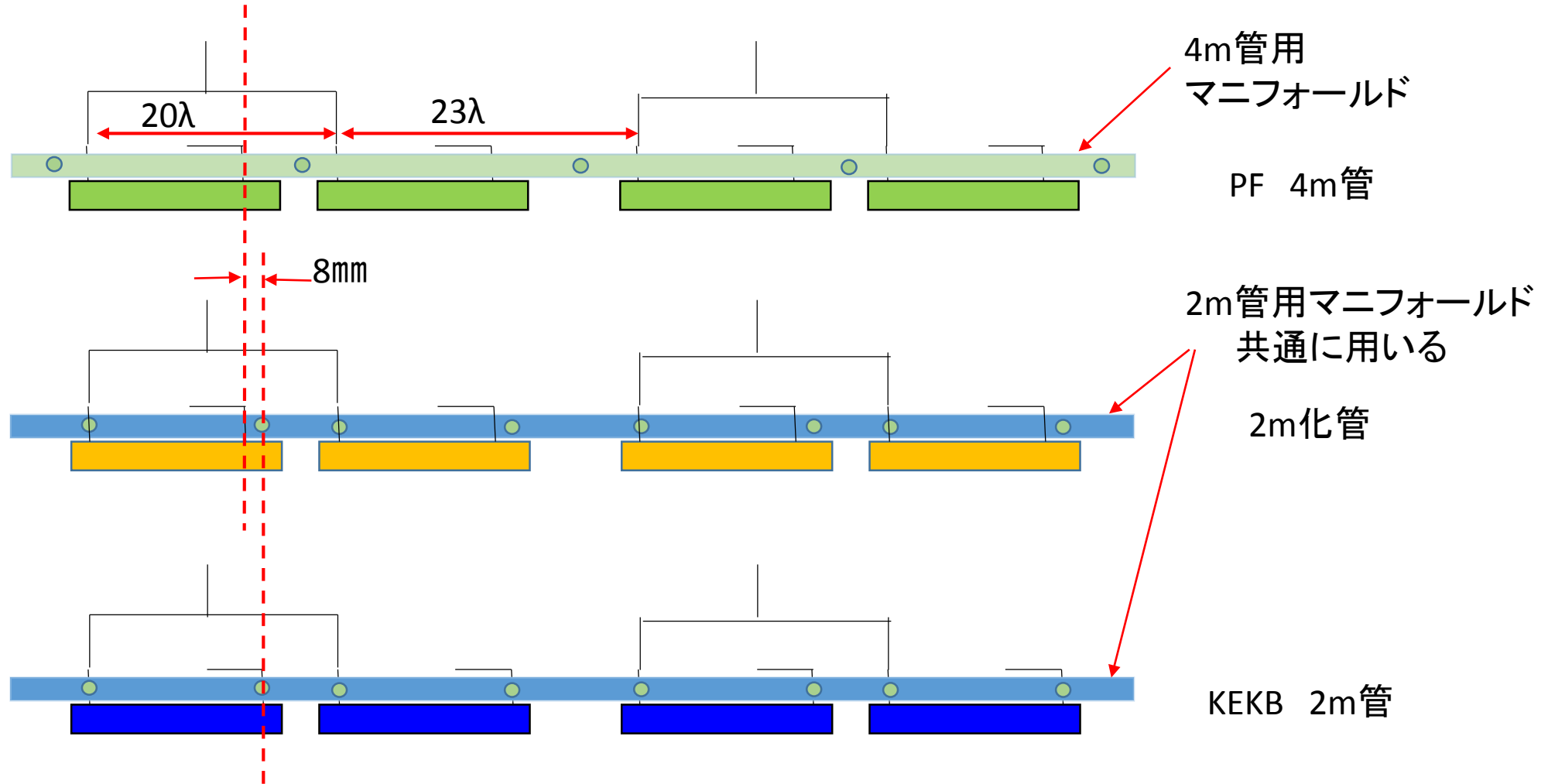
- 現有資産の最大有効化

- 2m管化して交換用の加速管を確保する

- 開発・製造

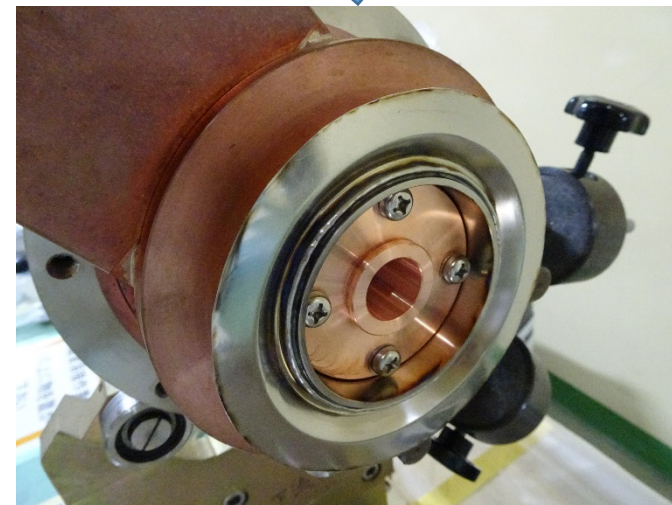
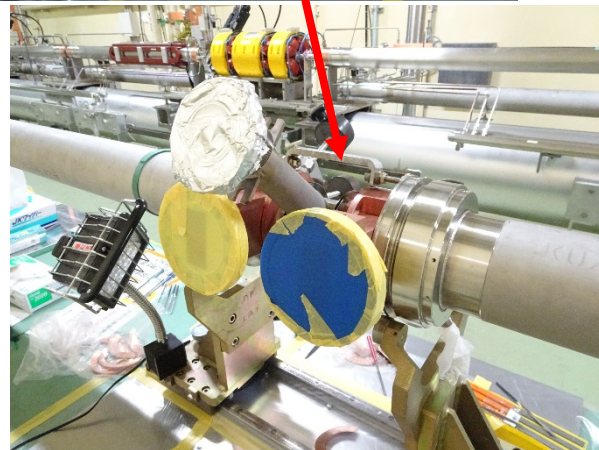
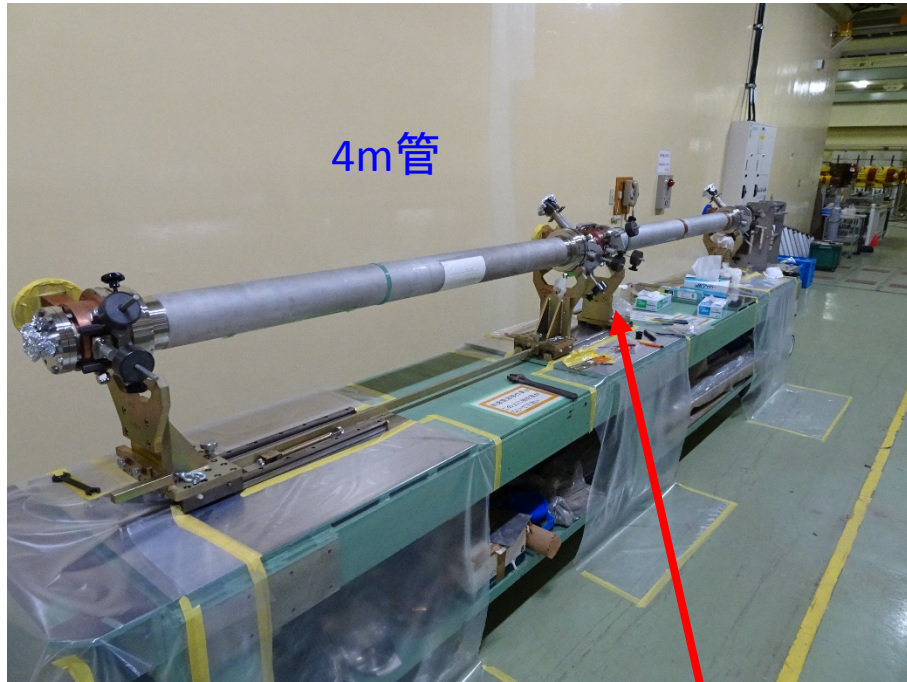
- 2m管を早急に開発し、必要に応じた量産をする

# PF4m管→KEKB管、2m化管での置換えは可能

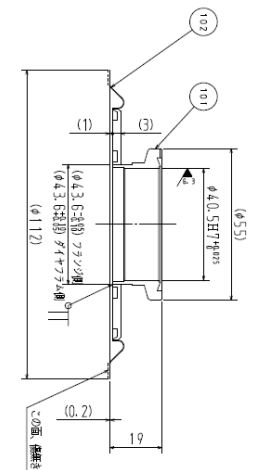




# 2m管化の作業

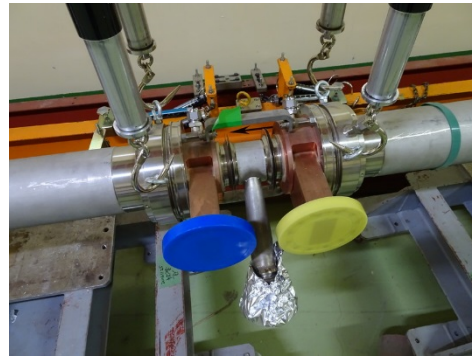


溶接



# 2m管化加速管の候補 十数年来の保管状況

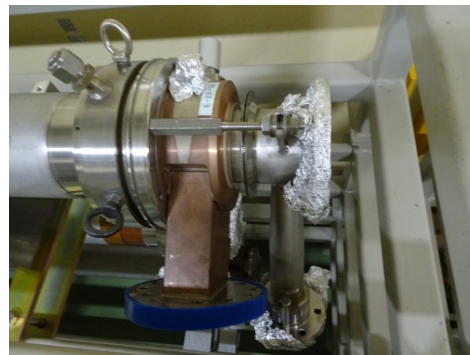
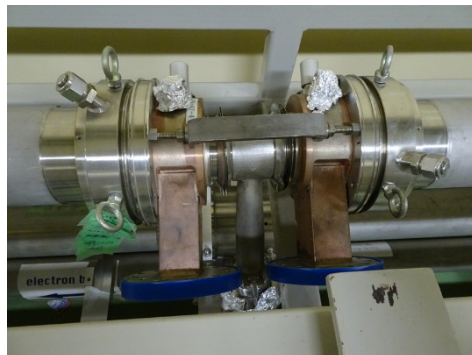
## 今後ラインオフする加速管



これまでの取り扱い(左写真相当)  
窒素パージ後に  
キャップ、又はアルミ фоль

今後は  
フランジ封止保管、真空 or 窒素パージ

## すでにラインオフされていた加速管例



これまでの取り扱い  
アルミ фоль 保管が多く、  
大気や埃の流入が問題あり

2m管化して、テストスタンドで  
35・38・40・42kVの運転可能性を確認  
使用できるものをフランジシールで保管



# 劣化加速管の回復可能性

- 放電、FE対応

- 加速管内水洗

- 多くの長期保管加速管はゴミの流入が疑われるので、その場合は有効だと考える
    - 中程度の圧力のシャワーリンスと真空乾燥
      - ✓ 放射化物の処理であり、KEK内のしかるべき場所で進める必要がある
      - ✓ 製造時のリンスの効果は実績がいくつかある(五十嵐・山口)
    - 検討価値は大きいと思うが、多少の時間と人員の確保、実施場所の確保を要する

- カプラー部分のみ、新規製作品を付け替える

- 問題がカプラーだけにおさまっているかは不明
    - 多大な作業で高価であり、得策ではない、新規製作の方が良い

- 水漏れ対策

- TiG切り離して内部漏れ位置を探し、補修する

- KEKで実施する必要がある、作業量も多く、作業試験、治具も準備必要

- 得策ではない

- 結論:

- 新規加速管開発が最優先

- 人員が充分手当できれば、水洗開発等回復の研究開発をやる(現実的ではない)

# SuperKEKB 入射器加速管 Phase-2配置 & 予備の可能性がある群

|         | 加速管型式    | Phase-2 | 予備群          | 予備群の状態   |
|---------|----------|---------|--------------|--|
| ■ KEKB  | KEKB 2m管 | 80本     | 6本           | 半数のみ、10年程度前に高電界試験経験有   |
| ■ PF4m  | PF 4m管   | 111本    | 2セット<br>(4本) | 内1台は13に仮設置、一方はダイヤフラム、引き口に大きな変形が見える                             |
| ■ PF2m化 | PF 2m管化  | 23本     | 12本          | 2m管化済みは4台、他の8台中には水漏れ管4本含み、それが対処可能の場合の数、但し、これらラインオフされた後、高電界は未評価 |
| ■ e+2m化 | e+ 2m管化  | 0?      | 3本           | 2m管化未実施、この他に数本程度可能かもしれない(ギャラリー一木箱内保管のもの)                       |
| ■ 1m管   | 1m管      | 1本      | 5本           | 4台は入力Double Feed、1台は入出力ともSingle Feed                           |
| ■ LAS   | LAS 2m管  | 10本     | 2本           | ラインに設置された群と同一ロットで製作したが、高電力未評価                                  |

## ②案に添った加速管製造開発状況 基本パラメーター

| 加速管                                | KEKB        | 開発管       | 備考           |
|------------------------------------|-------------|-----------|--------------|
| セル数 レギュラー+カプラー                     | 54 + 2      | ←         |              |
| 有効長 [mm]                           | 1959.43     | ←         |              |
| 2a [mm]                            | 19.7~24.9   | 19.7~23.0 |              |
| $\tau$                             | 0.302~0.368 | 0.33      |              |
| 群速度 $v_g/c$ [%]                    | 1.13~1.37   | 1.17      |              |
| 充填時間 [nsec]                        | 462~558     | 563       |              |
| 平均 Q                               | 13700       | 15236     |              |
| 平均シャントインピーダンス $R_s$ [ $\Omega/m$ ] | 57.3~58.3   | 64.7      | ほぼQ値の増加による上昇 |
| ユニット当たりのゲイン MeV/unit               | 160         | 169.3     | 6% up        |

# 新規製作 メーカー考

- **T1社** 現在開発中・・・確実なメーカーに成長するかは不明
  - 現状は**ここと組んでまず技術確立**するのが良いと考える
- **M1社**・・・現在、技術、人員の低下が激しいと思われる
  - 但し、**予算が充分あってKEK主導で今すぐ発進**できれば、
  - **確実な製造ラインを復活**して使うことは可能であろう
- **T2社、H社、M2社**・・・経験はあるが、1年程度での立上げには難あり
- **A社**・・・製作経験有、2~3台の製造は可、量産には難ある(?)
- **IHEP(中国)**・・・上記が不可の場合、検討余地があるかもしれない
  - 3m管製造実績豊富、高電界には難有り?、実現には**KEK人員の確保必要**
- **PSI、海外メーカー**・・・あり得るが高価、立上難、・・・

# 2m管ベースの加速管で構成するユニットに 交換するために必要な費用の概算

- 加速管

- 2m管化 100万円/管 → 400万円/ユニット

- 製造 1500万円/管 (\*量産努力目標 1000万円→4000万円/ユニット)

- 導波管

- 排気ポート付製作 70万円×8～600万円/ユニット

- マニフォールド

- 新規配置製作 ～100万円

- ビームライン

- ダクト等変更 ～20万円

- 組換え作業

- 4人×3日 ～100万円

\* 4年前の重工見積: 3000万円/加速管2台  
次頁以降のコストはこれを仮定するが、  
これが現在保証されているわけではない

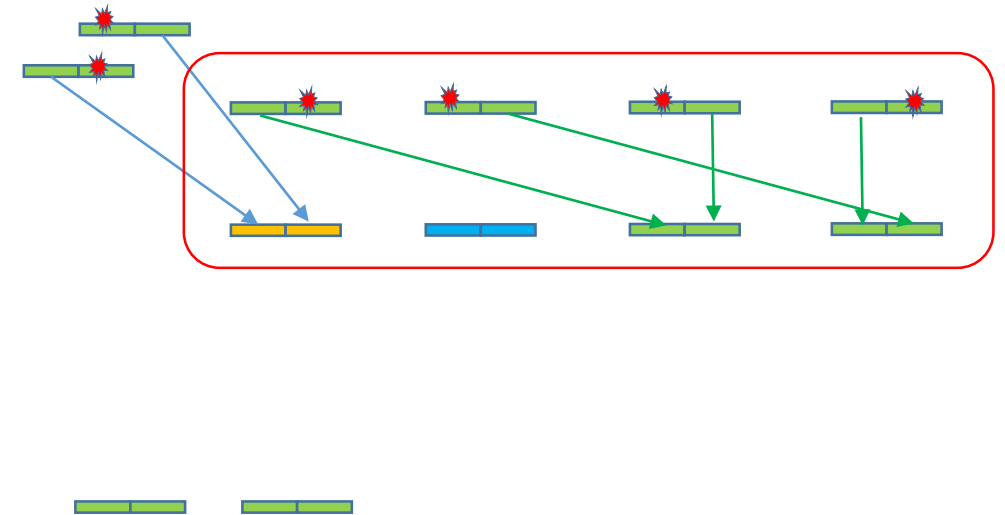


# 概算見積1 2018年夏(Phase-3 直前)

## Conservative improvement 最初の4ユニット対処

### • 4ユニット対処

- ラインオフ作業 4ユニット 2日
- **KEKB型** 1ユニット
  - 現有加速管、高電界要確認 3w×4~3ヶ月
  - 導波管、マニフォールド等 ~600万円
  - 復帰 1ユニット 2日
- **PF2m管化** 1ユニット
  - 現有加速管、高電界要確認 3w×4~3ヶ月
  - 導波管、排気対応等 ~600万円
  - 復帰 1ユニット 2日
- **PF4m型 組換え・継続** 2ユニット ~100万円
  - 組換え 2ユニット復帰 4日
- **RFコンディショニング**
  - 現場 初期 2w+運転とともに進める



• 概算……1300万円程度

• 現有のKEKB型ストック加速管の性能に問題が無いことが必要

• ライン組換え作業……2w+コンディショニング

# 2 概算見積2 2019年夏(Phase-3 開始 1年後) Moderate improvement 次の4ユニット対処

## • 次の4ユニット対処

- ラインオフ作業 4ユニット 2日
- **2m管製造** 1ユニット
  - 加速管製造 1500万円\*×4
  - 導波管等 ~600万円
  - 復帰 1ユニット 2日
- **PF2m管化** 1ユニット
  - 2m管化 ~400万円、高電界要確認 3w×4~3ヶ月
  - 導波管等 ~600万円、復帰 1ユニット 2日
- **組換え PF4m型**継続 2ユニット ~100万円
  - 組換え 2ユニット復帰 4日
- **RFコンディショニング**
  - 現場 初期 2w+運転とともに進める

- 概算.....**1500×4+1700万円=~8000万円**
- **良好な加速管が準備できることが必要**
- **ライン組換え作業.....2w+コンディショニング**

# 概算見積3 長期的対応 1ユニット新規構成

- 1ユニット構成

- 準備 長期工程必要

- 2m管製造 4本 加速管製造～1500万円\*×4
    - 導波管等 ～600万円
    - 高電界要確認 3w×4～3ヶ月

- 作業 1週間以内

- ラインオフ 1ユニット 0.5日
    - 復帰 1ユニット 2日
    - 真空排気 数日

- RFコンディショニング

- 時々 現場アクセス 初期 1w
    - 運転とともにフル稼働まで進めていく 1ヶ月級

- 概算見積

- 1500×4+1000万円 ～7000万円



# 年度概算提案

- **2017年度**
  - 開発 1本 1000万円 進行中
- **2018年度**
  - 夏 最初の4ユニット 1300万円
  - 量産立上 8000万円級(~5本)
- **2019年度**
  - 夏 4ユニット交換 2000万円#
  - 量産 10本 1500万円×10本
- **2020年度**
  - 量産 5本 1500万円×5本
  - 入替 1ユニット分 1000万円
- **2021以降**
  - 必要に応じた本数 1500万円×?本

加速管製造コスト:  
1500万円(仮定)  
~1000万円(目標)

# ラインオフしてある加速管で対応でき、  
製造しなくて準備できた場合