

v.1.0: 6/22/2004

To: Files  
From: 峠 暢一  
Subject: LC R&D Review メモ (6/11/2004)

日付: 6/11/2004 木曜日

時刻: 午後 1 時 - 3 時半ころ

場所: KEK 3 号館 7F 会議室

出席: 高崎(史)、横谷、峠、徳本、両角、東(や)、肥後、榎本、早野、松本(浩)、設楽、松本(修)、大森

## 論題

### X-バンド加速管 H16 年の開発計画

### 加速管 H16 年度開発計画について報告(肥後)

- 加速管開発の要点:
  - 開発項目: Wakefield 制御、高電界運転、量産
  - 開発活動: 電気・機械設計、製作・組み立て、Wakefield・高電界試験
  - 開発担当: KEK、SLAC、国内研究所・産業界
- 現在までの開発と今後の課題:
  - Wakefield 制御: RDDS1、H6-VG4SL17-A、B → interleaving、RTOP ディスク評価
  - 高電界: SLAC/KEK 加速管群、FNAL 加速管、KEK 自前シリーズ → 特性改善、自前 HDDS 加速管確立
  - 量産: 少々 → 周波数制御の具体、加工スピードアップ、組み立て・接合再検討
- 高電界特性:
  - NLCTA: デザインパルスならかろうじて OK、加速管ばらつき問題、余裕僅少
  - GLCTA: KX01 は NLCTA 加速管と同等レベル
- 加速管製法の現状と課題
  - SLAC/KEK 風と FNAL 風手法の並立状態
  - 加工工具、旋盤精度、Tuning 有無、接合・脱不純物熱処理において複数工法あり。要整理。
- 高電界今後の方針:
  - NLCTA/GLCTA のフル活用
  - 長期運転と特性変化
  - 製作工程と高電界特性との相関調査、工程改善
  - LC 最終パラメータへのフィードバック
  - とりあえず現状予算、人力にて加速管製作基礎固め。
  - (ア) RTOP 開発: ディスク製作試験(7-9月)、これで KX04 又は SLAC/KEK 共同加速管を作りたい(10-12月以降)
  - (イ) ディスク製作、接合、組立て技術: 各研究機関、企業。

- JFY H16 方針：
  - インターリーブ 60cm 加速管による wakefield 確認 (w. SLAC、10 月)
  - KX02-HDDS 加速管製作 (H60VG4S17-III 相当、純日本、夏)
  - KX03 - HOM 引き出しつき HDDS 加速管製作 (SL17-B 相当、純日本、夏 H17 年初頭)
  - RTOP 研究開発
  - 量産への基礎技術開発

## 議論

- Q : HDS、HDDS など諸々の用語の意味を請整理。
- A :
  - セル形式名称 (A)
    1. HDS = detuning のみ。HOM damping slot なし。KX01。
    2. HDDS = HOM damping slot あり。
      - (ア) HOM 引き出し + load なきもの : KX02。
      - (イ) HOM 引き出し + load ありのもの : H60...SL17-A, -B, KX03。
    3. RTOP = Pill box 空洞でなく、空洞内面に大幅に丸みをもたせ、Q、Rs 改善 (10%程度) を図ったもの。RF 電力効率だけでなく、高電界安定性上からも有利と考えられる (同一加速勾配をつくるのに必要な RF 電力が減少するから)。
  - セル形式名称 (B)
    1. ディスク型 = 各ディスク片面だけに空洞加工。現在大多数の加速管はこれで製造。Tuning hole 作りこみが容易。ディスク毎の RF 測定にやや難。
    2. 対称型 = 各ディスクの両面に空洞加工。RDDS1 で採用。Tuning hole 作りこみは困難。ディスク毎の RF 測定容易。
  - 工具名称
    1. SC diamond = 単結晶ダイヤモンドによる切削工具。工具表面粗度良好につき、超高精密旋盤での使用に適す。KEK で主に使用。
    2. PC diamond = 焼結多結晶ダイヤモンドによる切削工具。製法上、SC diamond にくらべ工具表面粗度が粗いため、超高精密旋盤には (多分) 適さない。
    3. 切削において SC も PC も、接合の観点からは問題なし。
  - セル Tuning vs Tuning-less
    1. Tuning 方式 = セルごとに Tuning hole 作りこむ必要あり。ディスク切削精度 ~ 10micron でよい。組み立て後の RF 測定と tuning 必須。
    2. Tuning-less 方式 = ディスク切削精度 ~ 1micron が必要。Tuning hole 不要。組み立て後 RF 測定はチェック目的のみ。
  - 接合炉
    1. 水素炉 = 脱酸素、脱酸化物処理が同時に可能。「水素抜き」処理がこのあと必要とされる。
    2. 真空炉 = 水素抜き処理は多分不要。脱酸素処理は必要か？
    3. 最近の NLCTA 結果だと、接合に水素炉、真空炉のどちらを使っても高電界特性上大きな差異が見られない傾向あり。
- Q : KEK は SC ダイヤモンド切削工具、超高精密旋盤、tuning hole 無し、できれば対称型ディスクによる加速管製作を目指す、ということか？

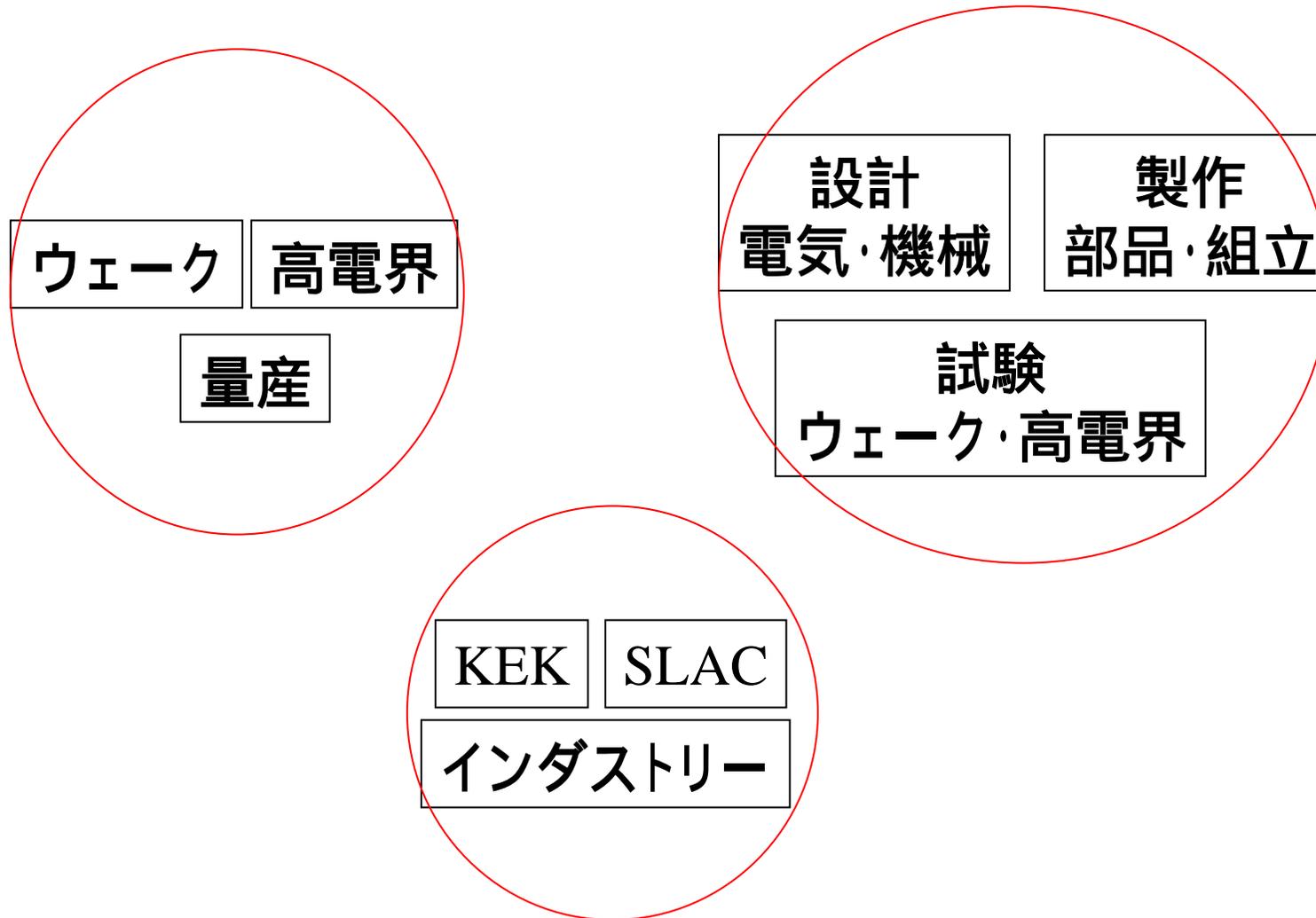
- A：是。
- Q：加速管開発の man power 現状は？
- A：加速器・機械工学センター併せて総勢 8 名ほど。
- Q：熱処理炉の選択についてはどうか？
- A：現状では水素炉のみ現実的に利用可（KEK 部内、T 社）。真空炉ではスケジュール機動性、清浄度などに難あるもの多い。
- Q：KEK 内の熱処理炉状況は？
- A：D5 設置の水素炉は稼動。カプラー sub assembly などに使用。大きさ制約のため、本体接合は無理。二重排気炉は、移設されたまま電源を引く予算措置なく現状は放置状態である。
- Q：KEK、日本研究所、企業併せて加速管製作能力は年あたり何本？これをどのように拡充するか？
- A：製作加速管のタイプにもよるが、現状年 3 本程度か。拡充方策について触手を広げつつあるが、本格的展開は今後の大きな課題。

とりあえず、ここまで。

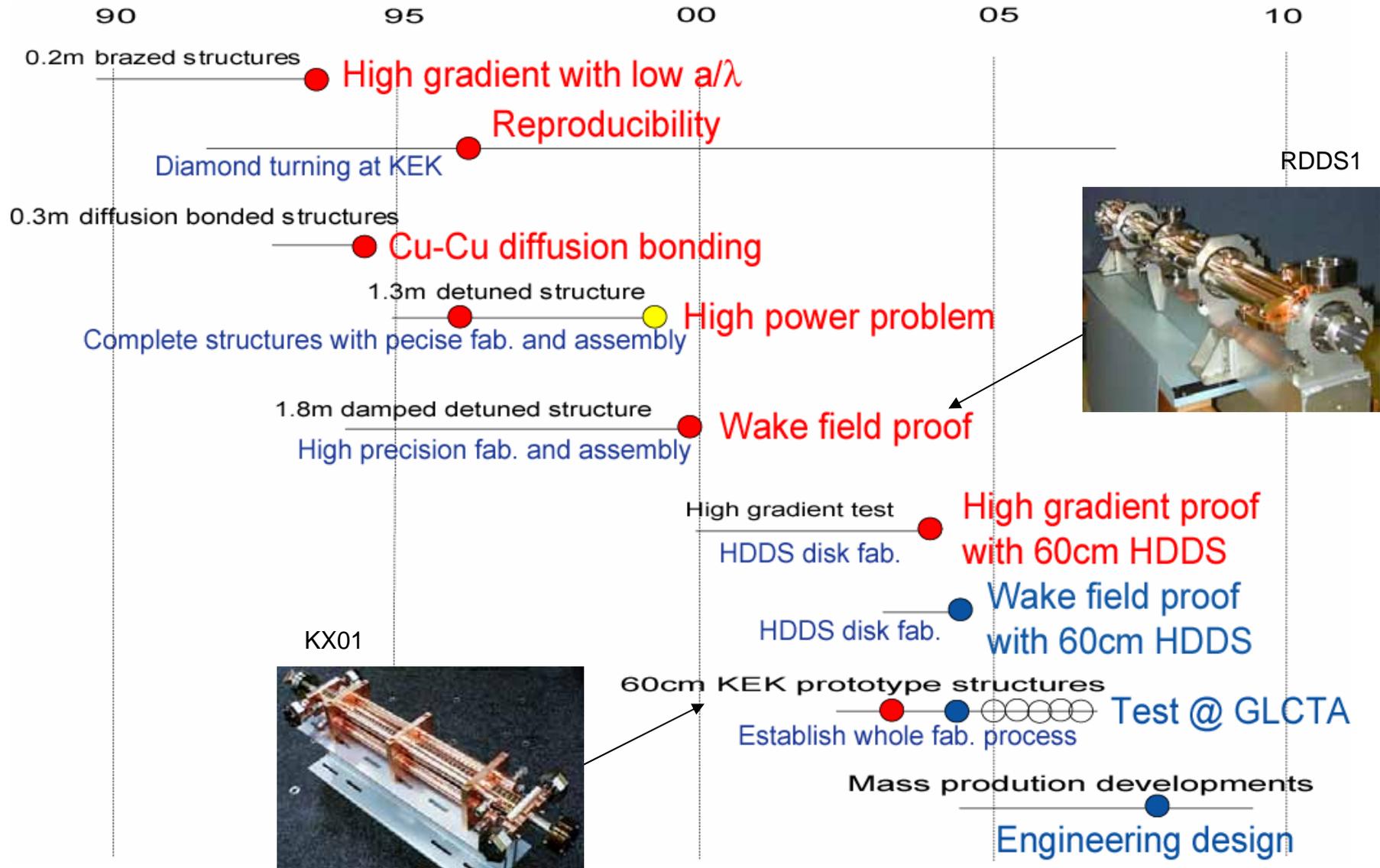
# LC加速管H16年度計画

平成16年6月11日  
肥後寿泰

# 要求項目・開発項目・実践部隊



# Key technologies are in hand *for ITRP*



# 現在までの開発と今後の課題

- **ウェーク場**

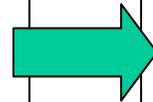
- RDDS1 確立
- H60VG4SL17 - A, B
  - 今年10月テスト

- **高電界**

- SLAC / KEK加速管群
- FNAL加速管群
- KEK自前シリーズ

- **量産**

- 少々



- **重要課題**

- インターリーブ加速管ウェーク確認
- 自前のHDDS加速管確立
  - 高電界・HOM引出付
- RTOP型ディスク加速管評価
- 高電界特性の改善

- **量産**

- 周波数制御方式具体的検討
- 加工スピードアップ
- 組立・接合の再検討
- 等々

# 高電界特性 現状 今後の研究開発

- NLCTA—最近(ITRP前後)
  - プロセッシング < 2日で65MV/m、400ns立ち上がる
  - 放電頻度 0.1BD/hr かるうじてデザインパルスならOK
  - 放電頻度 加速管間のばらつきが問題、余裕がない
  - 放電による加速位相シフト 初期の位相シフト×放電頻度上限 OK
    - 多分OK 但し、オーバースペックの高電界運転で実証すべき
- GLCTA—KX01
  - 放電頻度 NLCTAでの試験加速管と同等レベルであろう
  - 放電のメカニズムと抑制の研究が必要である
    - LCへの適用
    - 一般的な高電界運転への知見

# 加速管製法 現状

	KEK/SLAC	FNAL FXB-005,006	FNAL FXC	KEK
Disk fab.	KEK			IHI
Milling	Morikawa			
Turning	SC Diamond	PC diamond	PC diamond	SC Diamond
Rinse	SLAC chem. Shop	FNAL	<-	KEK
Chem. etching	Origin	follow SLAC	<-	follow SLAC
High temp. treatment		1000C in VAC 1hour with Ar	<- <-	
Stacking	Self fitting	Self fitting	<-	Self fitting
Main body bonding	DB @ 1020C H2 furnace	VAC braze VAC (Ar Torr) CuSil (780C)	<- <- <-	DB @ 1020C H2 furnace
Coupler				
body/plate		1030C (35-65)	<-	
WG flange		990C (50-50)	<-	
Periphery bonding	H2 Cu-Au braze	VAC braze	<-	H2 Cu-Au braze
coupler		CuSil (780C)	<-	950-1020C
Tuning			Bead Pull	
Final braze		VAC braze InCuSil (725C)	<- CuSilTin (735C)	
Tuning	Bead pull	Bead Pull		Bead pull
Hydrogen treatment	Wet H2 950C ?hr Dry H2 950C ?hr			
VAC baking	650C 2 weeks	500C 3 days	<- ?	500C 1 week
Beam port flange	TiG	TiG	TiG	TiG

# SLAC/KEK

## 要完成品製作



ミリング(外注)  
ダイヤモンド加工(KEK)

(SLAC)化学研磨  
水素炉拡散接合  
水素炉ロウ付け  
水素炉での処理  
真空炉での処理



要クリーンネス

# FNAL assembly and tuning



クリーンルームに  
隣接する真空炉

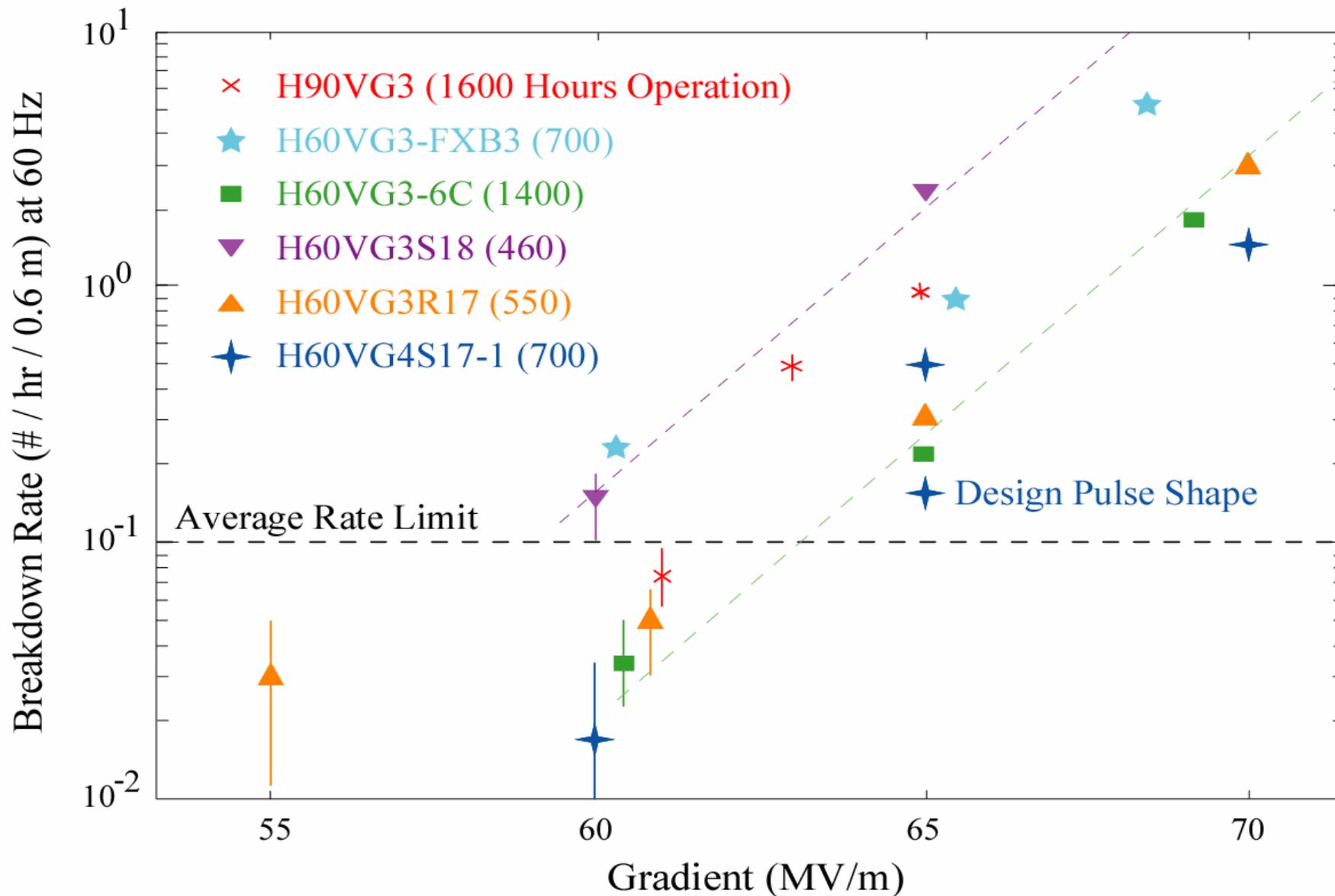


クラス1000のクリーンルーム  
でのRFチューニング

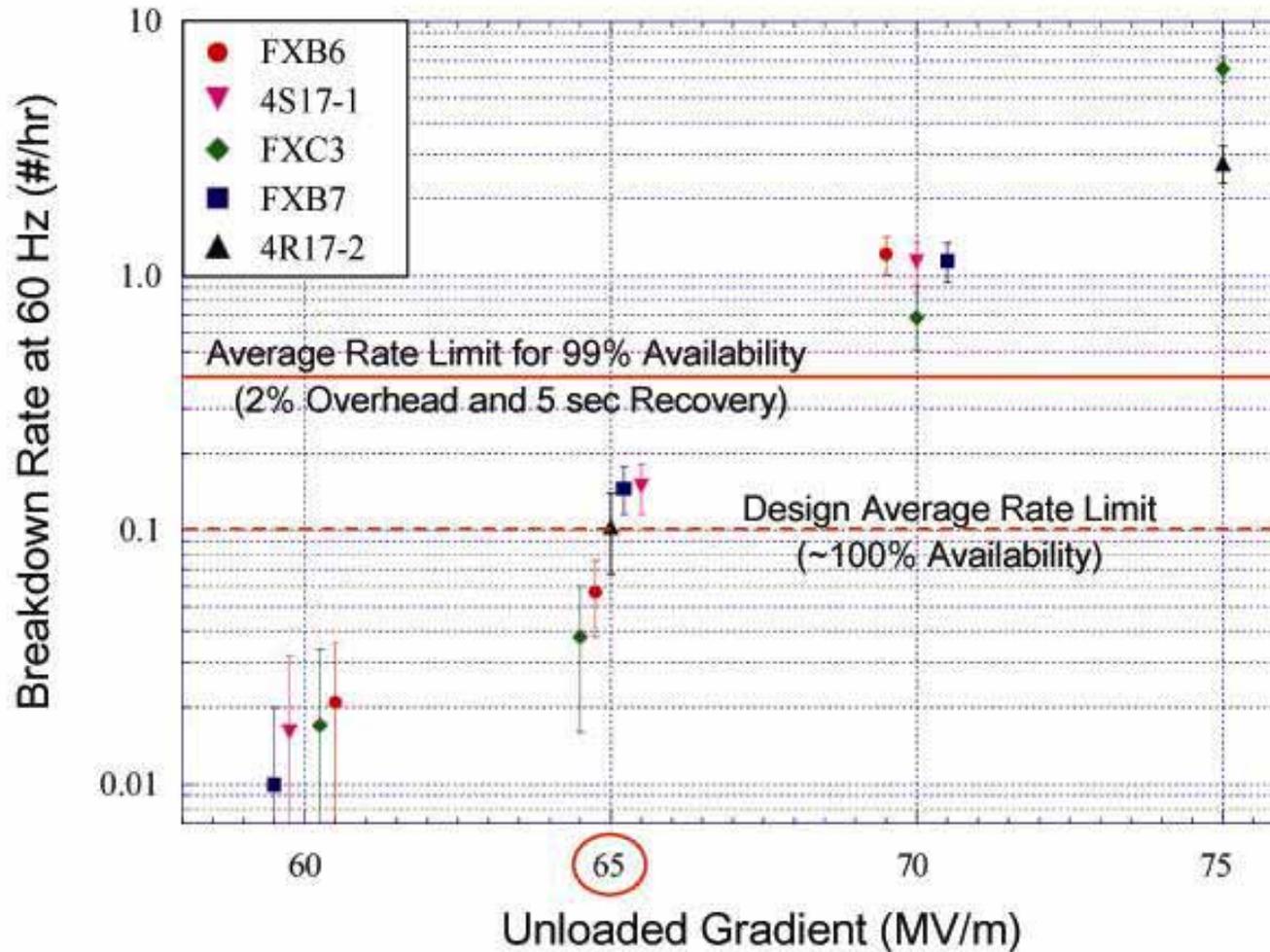
From Tug Arkan as of ISG-XI

## Structure High Gradient Performance

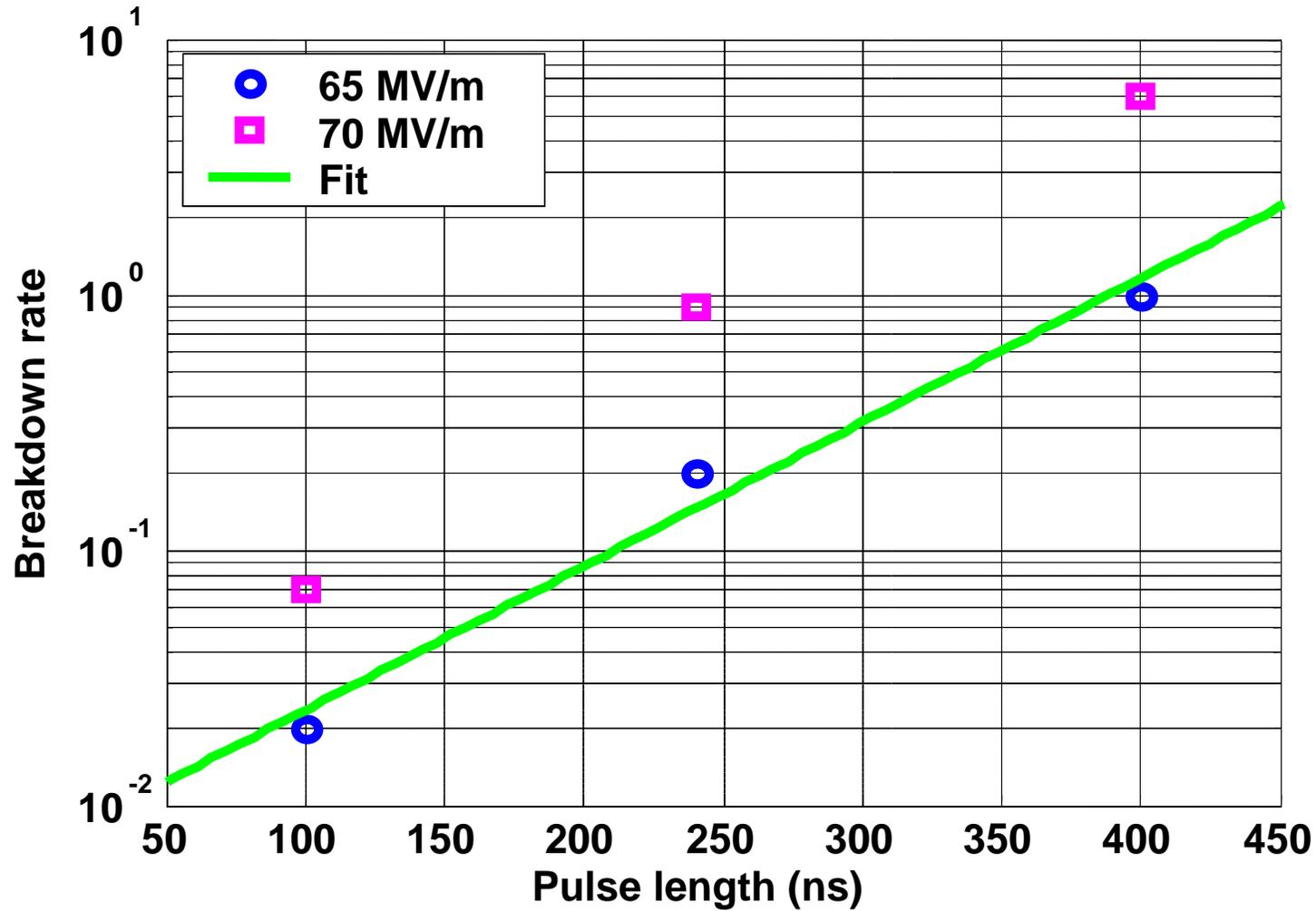
(Breakdown Rate -vs- Unloaded Gradient with 400 ns Square Pulses)



## High Gradient Performance of Five Recent NLC/GLC Structures



## Pulse length dependence II



# GLCTA with KX01

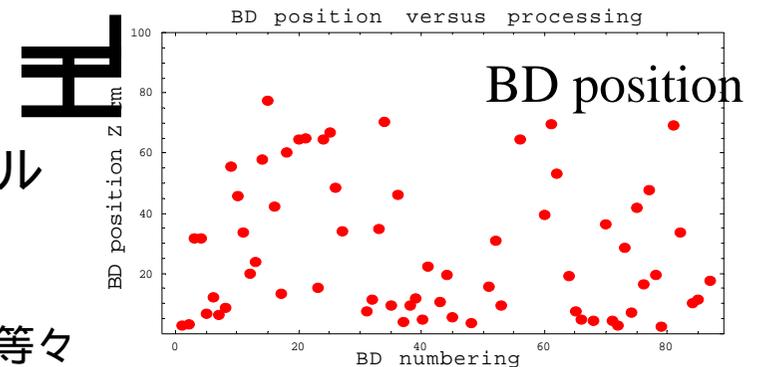
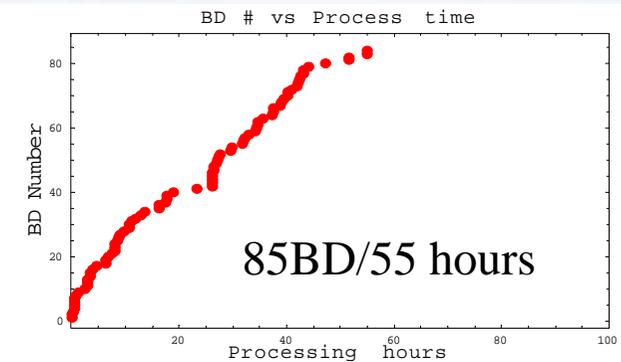
Processing June 7-10 at 600ns, 50Hs, ~58MW

Processed to 60MW  
typically within a day  
at each pulse width  
Up to 600nsec  
(100→200→400→600)

Processing as of ITRP  
at 400ns, 50Hs, ~55MW  
~60MV/m  
7 BD / 80 hours

結論:

KX01はNLCTA試験での加速管放電頻度と同等レベル  
加速管内全般で割に均一に放電あり  
高電力・長パルス・長期試験・詳細解析へ発展させる  
PFN整備、低損失導波管、PPMクライストロン、位相測定、等々



# 高電界 今後の方針

1. NLCTA・GLCTAをフルに活用して高電界試験を遂行する。できるだけ全体で、加速管の高電界特性の評価として系統的なスタディとなるように調整すべきである
2. 高電界特性の長期的変化を調べる
3. 加速管製作技術 (SLAC/KEK + FNAL + KEK) の各々の特徴を見極める試験となるよう進める
4. 工程を改良、スキップ等してその効果を定量する
5. 工程改善した加速管の試験
6. これらから、6.5 MV/m付近の余裕、安定性を見極めてLCの最終パラメータを考える
7. H16年度は、現状予算、マンパワーで、そのための加速管製作の基礎を固める (実機相当高電界加速管を完成する + RTP ディスクの基礎製作試験)

# 高電界対応検討項目

H16年以降のステップとして今から調査検討しておく

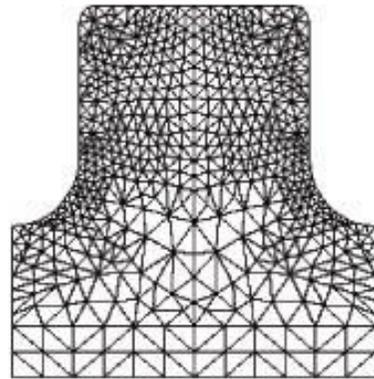
1. **材料**
  - ディスク高温処理 結晶成長促進
  - 材料強度 電鍍加速管、CuZr、等
2. **パーツ バリ、継ぎ目稜線角度(許容量の同定)**
3. **ディスク洗浄(CP、EP、、、)**
4. **水素処理(ロウ付け、高温処理)**
  - ウェット、ドライ水素処理
5. **真空炉のみでの組立工程**
  - 量産工程簡素化、水素抜き不要
6. **全工程のクリーン化**

# ディスク形状最適化

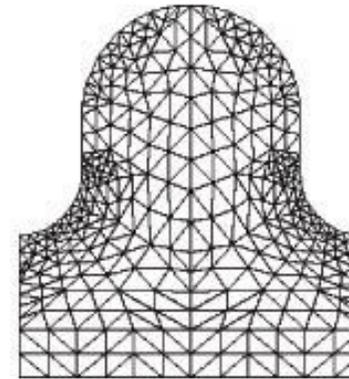


NLC - The Next Linear Collider Project

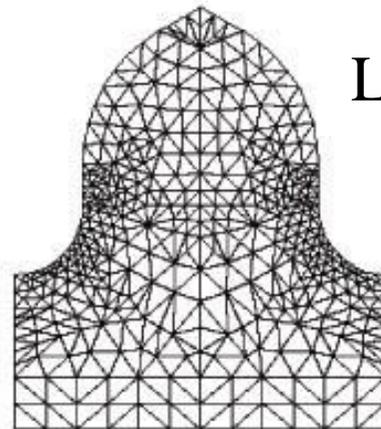
## R & Q Comparison



DLWG  
(HDDS)



RTOP  
(RDDS1)



Leak Head

	R (MΩ/m)	Q
DLWG	65.94	7109
Leek	68.64	7537
RTOP	70.69	7696

ZL 2/5/2004

# HDDS RTOP

- 必要性・メリット

- 加速効率アップ  $Q$ 、 $R_s$  高電界特性向上、LC高効率化
- 周波数測定単純化 対称形ディスク
  - ウェーク対策周波数制御容易

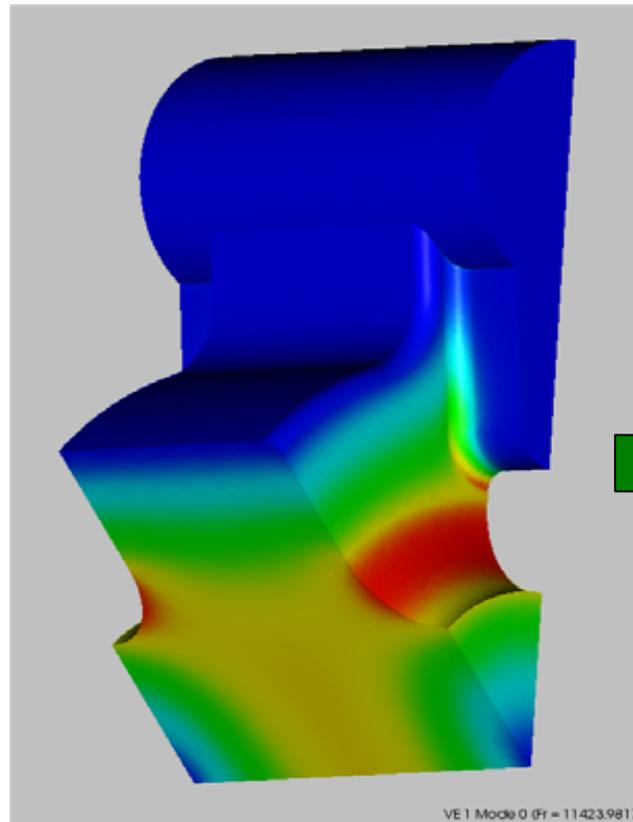
- 問題点

- エッジ丸み付け 量産加工可能か？
- チューニング難 加工段階でのフィードフォワード等
- セル中央部の不連続部 マルチパクター？

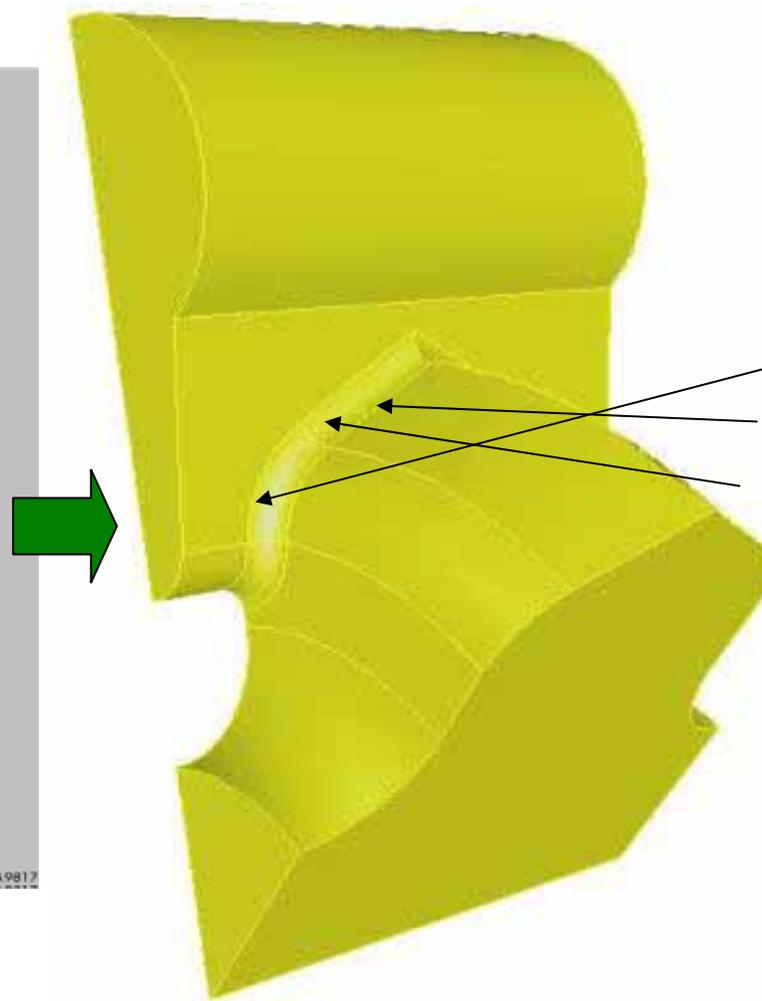
- 開発

- H16年度 ディスク製作試験 + 高電界加速管製作 & 試験
- H17年度以降
  - OK LC型加速管への発展 & 量産化
  - NoGood 現加速管ベースでのLC設計固める

# Leak Head HDDS セル例



現在HDDS型



## RTOP

- 円形断面(基本)
- + スロープ代用(可)
- + リッジ丸める(要)

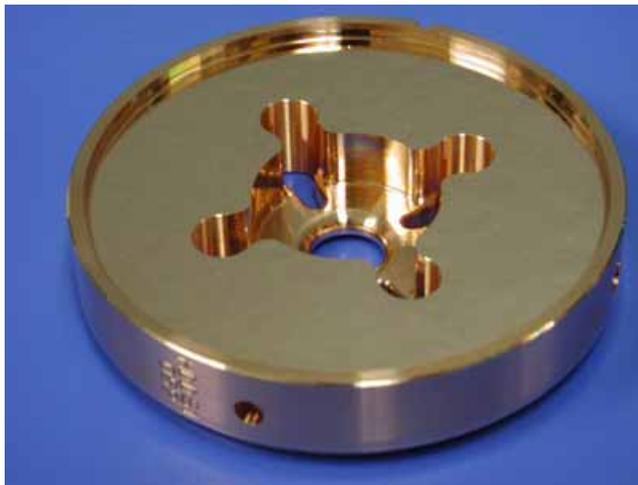


インピーダンスアップ  
→ 入力電力減少  
→ 表面発熱抑制

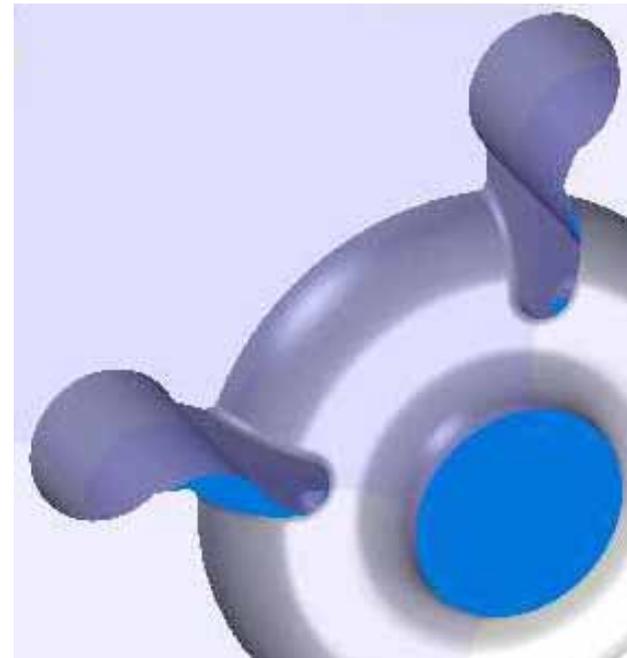
# From RDDS1 and HDDS to RTOP



R D D S 1  
Symmetric disk  
Sharp edge



現H D D S  
Cup shape  
Rounded slits



R T O P  
Symmetric disk  
Slit edge rounded

# RTOP開発

早急に可能性を調べることが重要

- **ディスクの製作試験 7～9月**
  - おそらくKEKの関与のもとでメーカーで試作
    - ボールエンドミル
    - 5軸制御ミリング
- **加速管製作 10～12月～**
  - SLAC/KEK ・ KX04
  - ディスク 外部メーカー + KEK最終加工？

# 量産技術開発関連

## • ディスク製作

- 岡山県工業技術センター + 安田工業 + 大学 都市エリア事業 On-going
- 東北大学 + 科学技術振興機構 + 各社 共同開発研究 On-going
- 石播・KEK 共同開発 自動芯出 Done
- KEKでの加工試験 Near future
  - 窒素雰囲気、高速ミリング
- RF計測自動化へ Near future

## • 接合

- KEKでの拡散接合試験 Near future
- 諏訪熱工業 パルス通電接合技術 科学振興事業申請 Near future

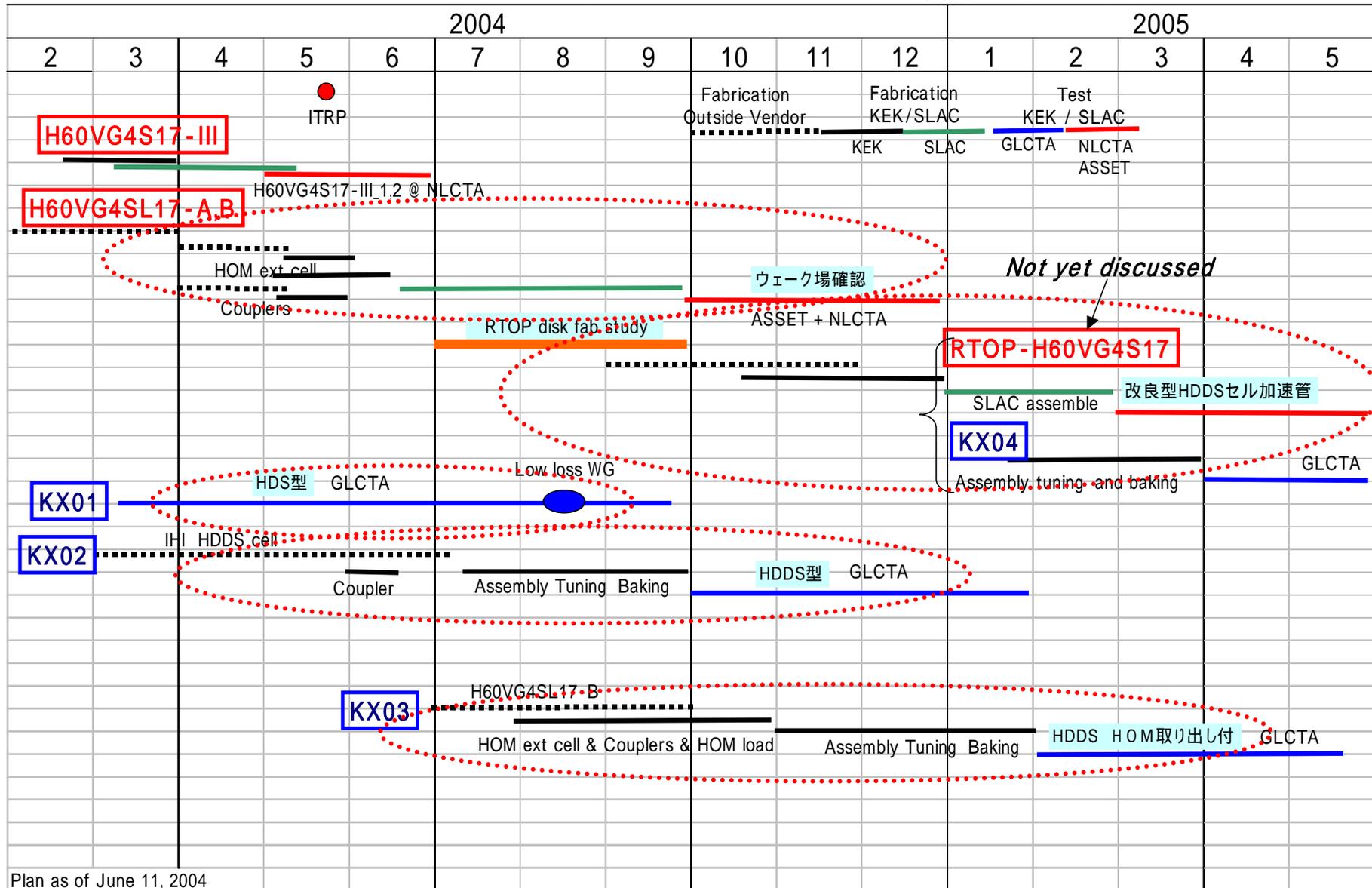
## • 組立 *今後下記の可能性を念頭に試験を進める必要有り*

- 石播 精密スタッキング Done
- 東芝那須電子管、SLAC 水素炉(SLAC流) 現在
- 三菱重工、石播、FNAL等 真空炉接合 FNAL流 Near future trial
- 工程の簡素化、クリーン化、パラメータ、等の再検討

# H16年度方針

- **インターリーブ60cm管ウェーク場確認**
  - SL17 - A, B (10月)
- **HOM引き出し付HDDS型加速管製作**
  - KX03 (SL17-B相当)
- **RTOP**
  - ディスク製作技術開発
  - RTOP型加速管製作へ
    - SLAC/KEK & KX04
- **量産に向けた基礎技術開発**
  - ディスク加工、拡散接合、接合工程、その他

# 040611版 H16年度方針



Plan as of June 11, 2004