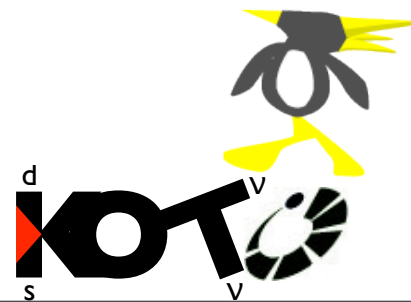


# K中間子グループの研究紹介

京都高エネ研 D1 河崎、増田



# 京都Kグループのmember構成

- スタッフ
  - 笹尾、南條、(野村)
- 学生
  - E787 : 研究生 藤原
  - E391a : 森井(D3)
  - K<sup>o</sup>TO : 塩見(D2)、増田(D1)、河崎(D1)、前田(M2)、内藤(M2)

なぜKなのか？

- 標準理論とCPの破れ

# 小林益川行列とCP対称性の破れ

小林・益川行列 (CKM行列)

$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}$$

弱い相互作用の固有状態

質量固有状態

CKM行列は3×3のユニタリ行列

⇒自由度3+1

↯  
複素位相

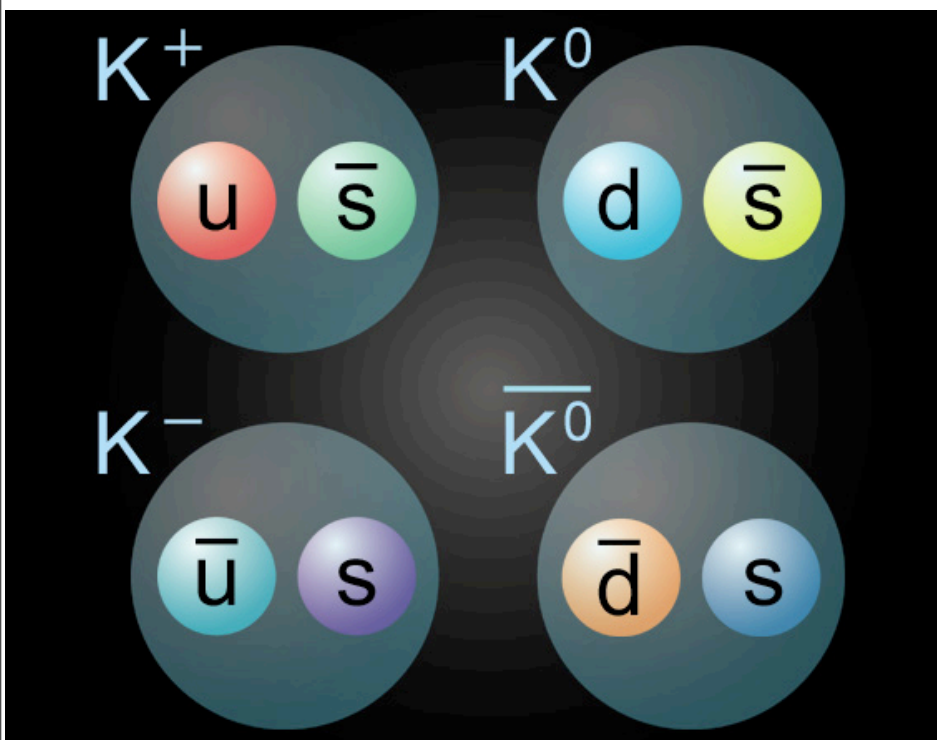
## Wolfenstein表示

$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} 1 - \lambda^2/2 & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda & 1 - \lambda^2/2 & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix} \quad \lambda = \sin \theta_C \simeq 0.22$$

$\eta$  : 標準理論でCPの破れの大きさを表す



# K中間子とは



K中間子：s-quarkを含む擬スカラー粒子

$$J^P = 0^-$$

質量は~500MeV(陽子の半分)

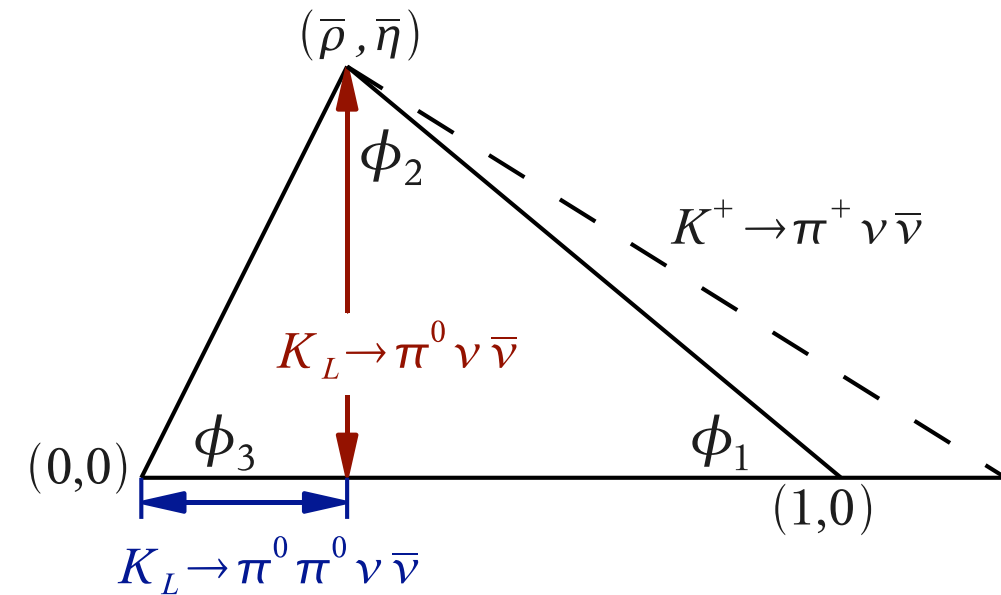
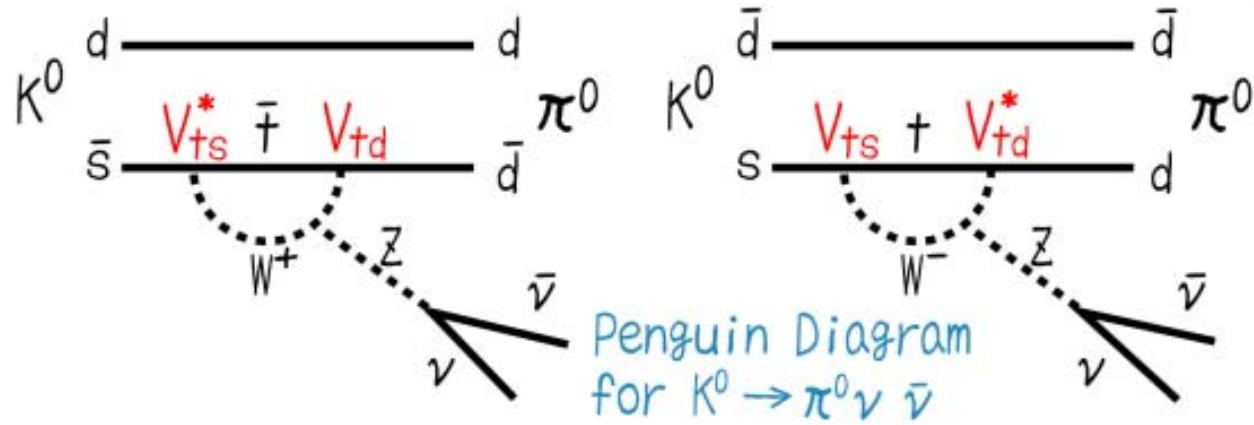
## $K_L$ と $K_S$

$$|K_L^0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2(1+\varepsilon^2)}} \left\{ (1+\varepsilon)|K^0\rangle - (1-\varepsilon)|\bar{K}^0\rangle \right\} \quad (\tau = 5.2 \times 10^{-8}\text{s})$$

$$|K_S^0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2(1+\varepsilon^2)}} \left\{ (1+\varepsilon)|K^0\rangle + (1-\varepsilon)|\bar{K}^0\rangle \right\} \quad (\tau = 8.9 \times 10^{-11}\text{s})$$

# $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ の物理

## $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ の崩壊diagram



$$\begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - \lambda^2/2 & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda & 1 - \lambda^2/2 & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix}$$

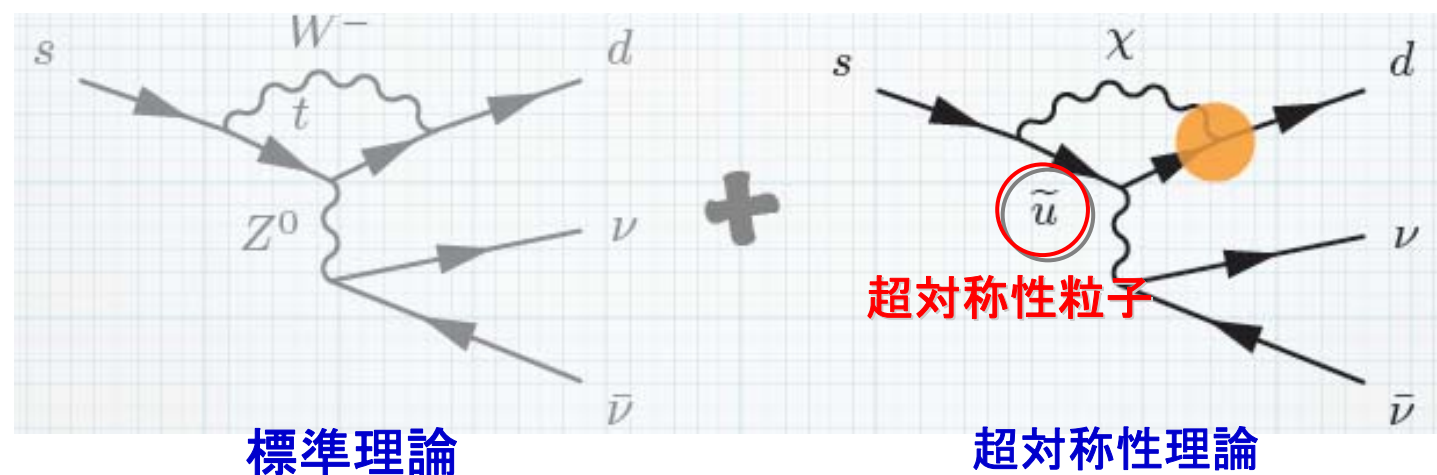
$$A(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}) = \frac{1}{\sqrt{2}} [A(K^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}) - A(\bar{K}^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu})]$$

$$\propto V_{ts} V_{td}^* - V_{ts}^* V_{td} \propto \eta$$

$$Br(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}) \propto |Im(V_{ts}^* V_{td})|^2 \propto \eta^2$$

# $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ の特徴

- 理論的不定性が小さい(1~2%) : Golden mode
- CKM行列の複素パラメータ  $\eta$  の直接測定
  - B中間子での結果との比較 → 標準理論の精密検証
  - New Physicsへの感度

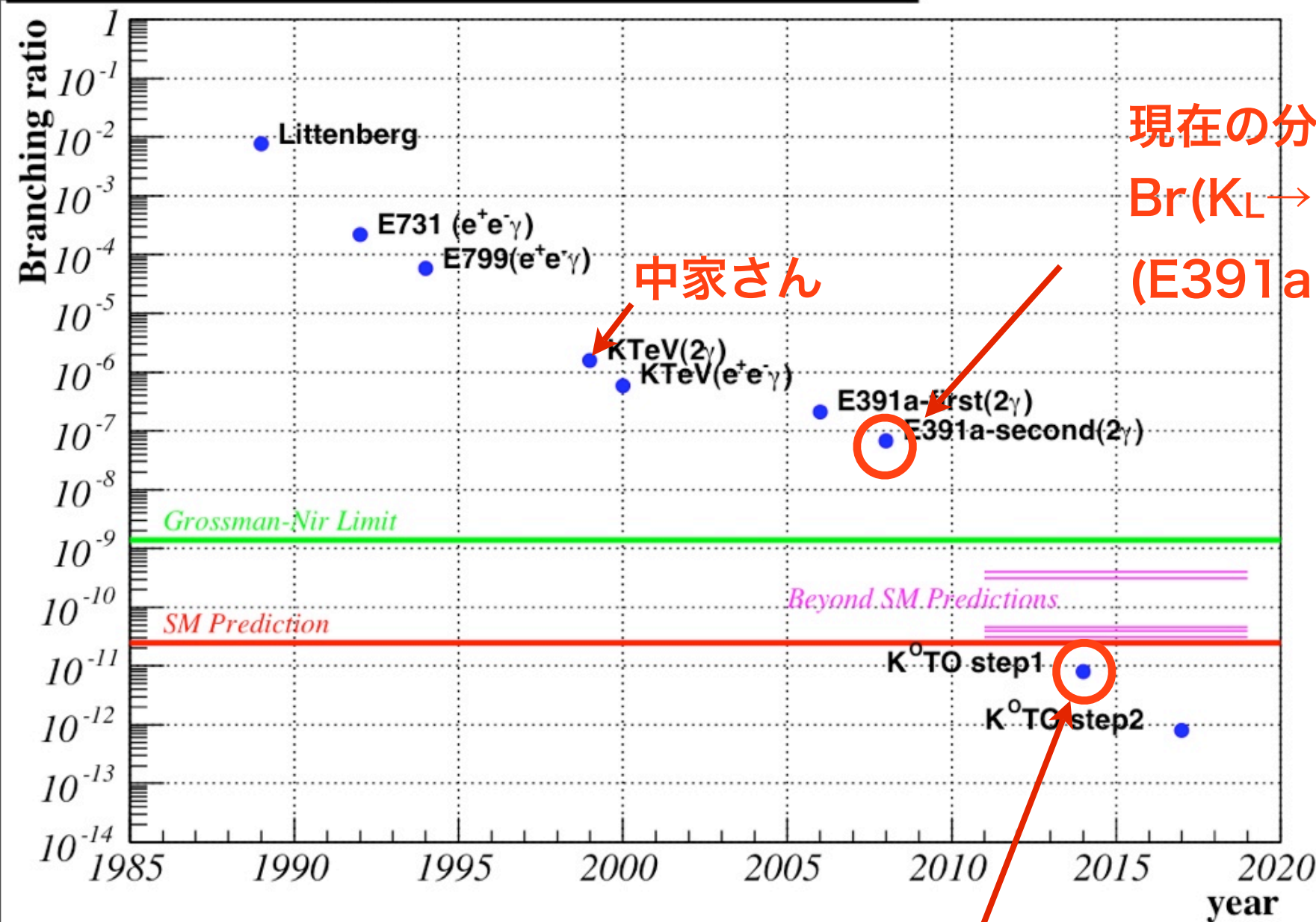


- 分岐比が小さい
  - 標準理論の予言する分岐比( $2.5 \times 10^{-11}$ )
  - 介在する粒子が中性粒子のみ

➡ 実験的に検出が困難

# $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 探索の歴史

The history of  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  Branching ratio

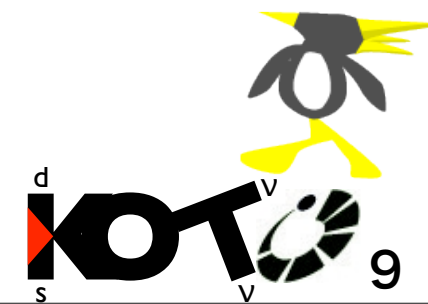


現在の分岐比の世界記録：  
 $Br(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}) < 6.7 \times 10^{-8}$  (90% C.L.)  
 (E391a run2の解析結果)

中家さん

$K^0$ TO実験(step1)で初めて標準理論の予言  
 する感度に到達！！

# 実験紹介

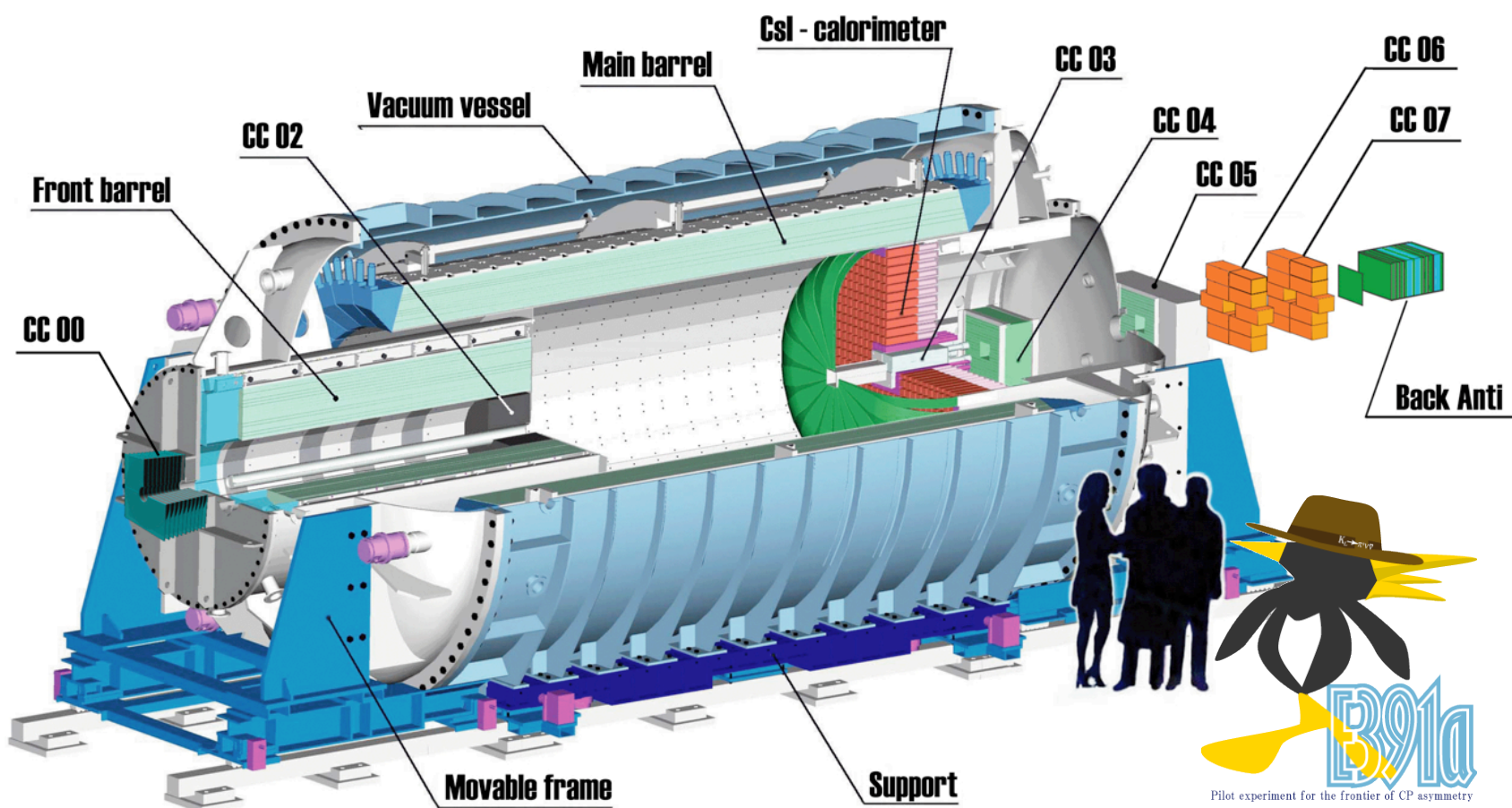




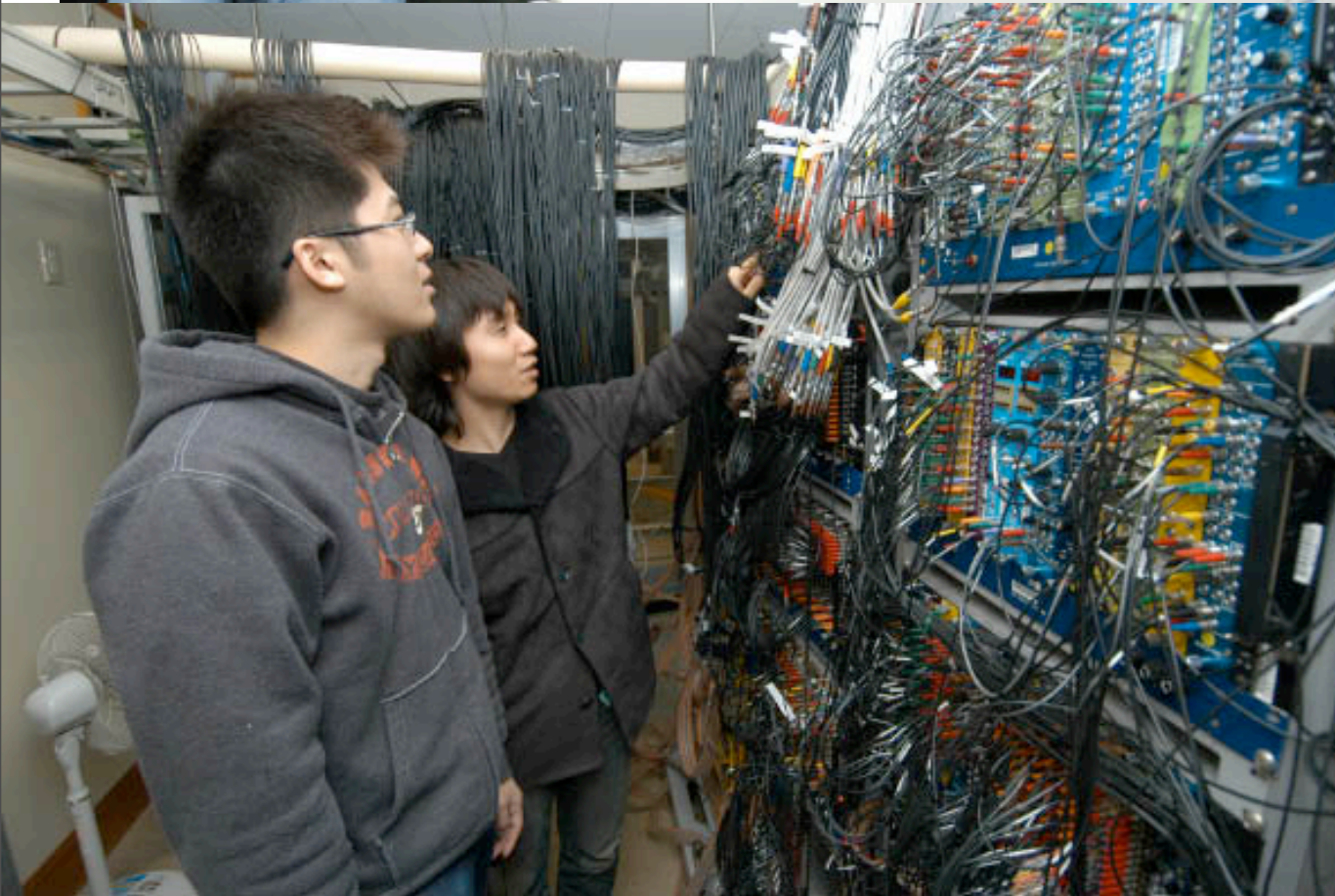
# E391a実験

- KL →  $\pi^0 \nu \nu$  測定実験 @ KEK 12GeV 陽子シンクロトロン
  - 世界で初めてこのモードに特化
  - E14 ( $K^0 \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ ) 実験の”パイロット”実験
    - 測定原理、解析手法の検証

- 3回の物理ラン
- Run1 (2004 Feb-Jul)
- Run2 (2005 Feb-Apr)
- Run3 (2005 Nov-Dec)









# E391a実験の解析

## ● Run2の解析 (隅田さん)

- “ブラインド”手法

- シグナル領域を隠して解析

- シグナル領域にイベント無し

- 分岐比の上限値  $6.7 \times 10^{-8}$

→ 世界記録を更新!

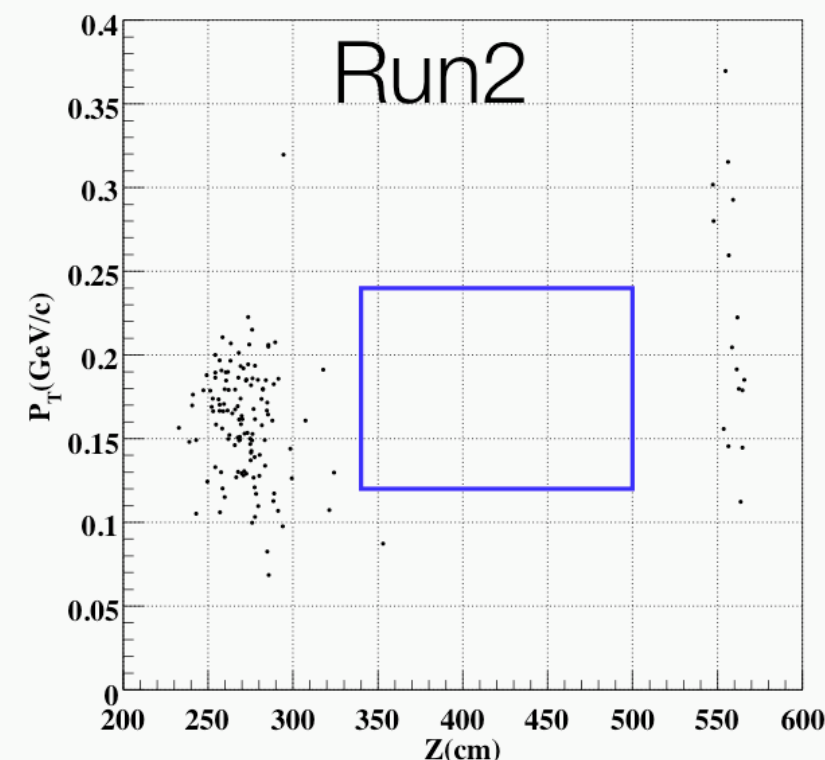
## ● Run3の解析 (森井)

- よりよいバックグラウンドの理解

- 現在アクセプタンス向上

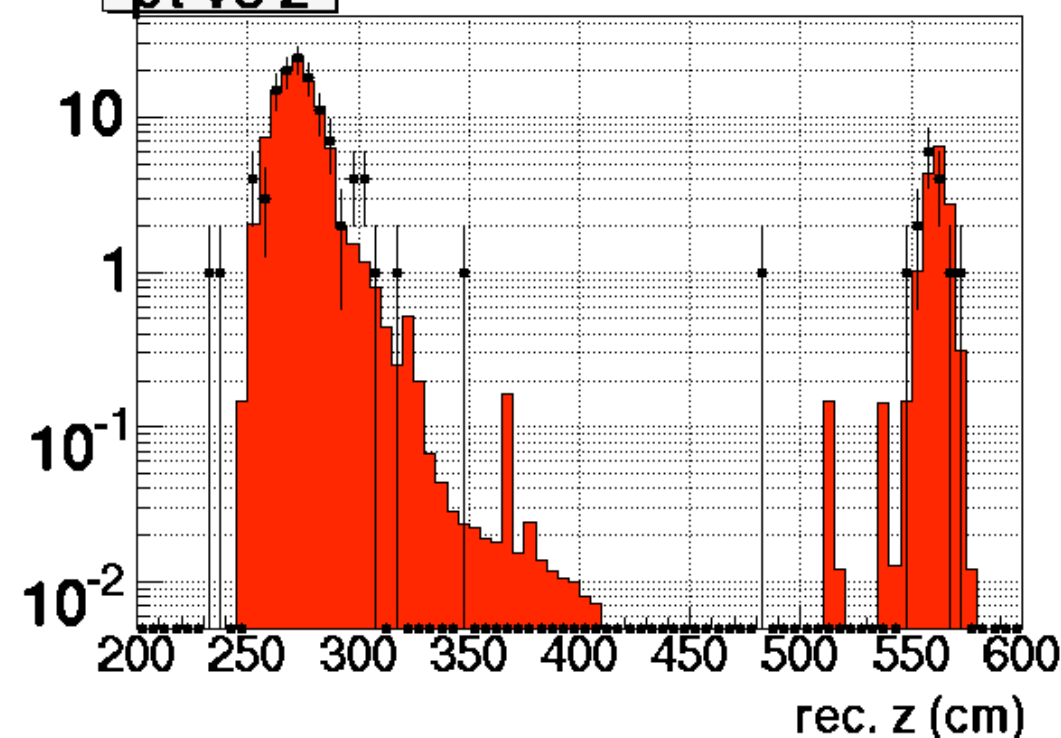
のための研究中

再構成された縦運動量



再構成された崩壊位置

pt vs z





# K<sup>OTO</sup>実験

## ● K<sup>OTO</sup>実験とは

- 世界最大強度のJ-PARC 50 GeV陽子シンクロトロンを使用
- E391aの検出器をアップグレード



## ● 目標

- Step1: 世界初の崩壊事象の観測
- Step2: ~100event観測し、標準理論の精密検証

# K<sup>o</sup>TO Collaboration

## ● K<sup>o</sup>TO実験のCollaboration

- 日本：京大、阪大、佐賀大、山形大、防衛大、KEK
- 海外
  - アメリカ：アリゾナ大、シカゴ大等
  - 韓国：ソウル大、チェジュ大、プサン大等
  - その他：台湾、ロシア等からも参加

日本を始め、世界各国から多数のInstituteが参加している国際的な実験



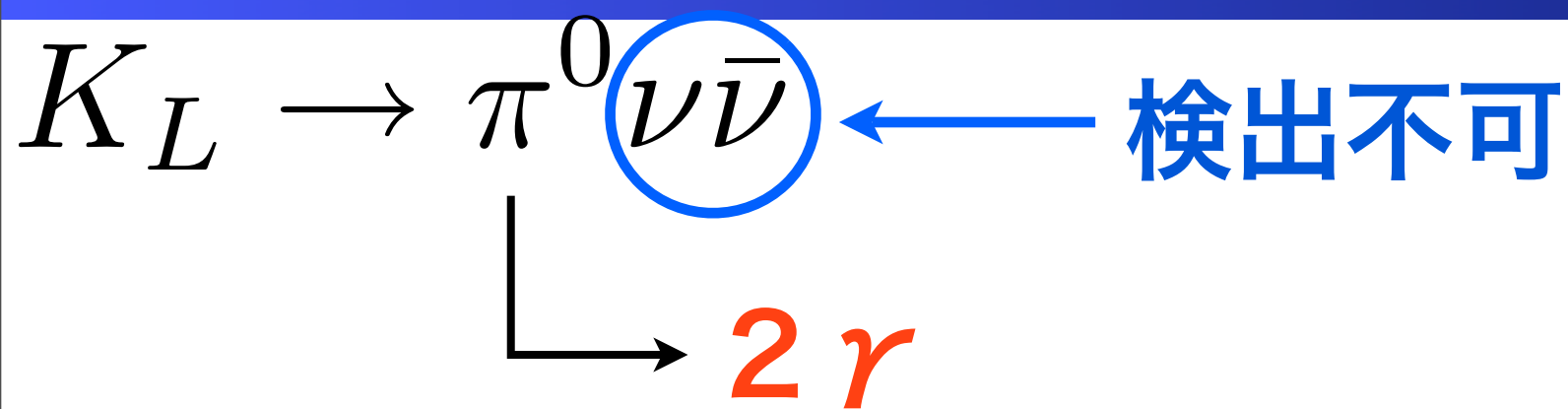








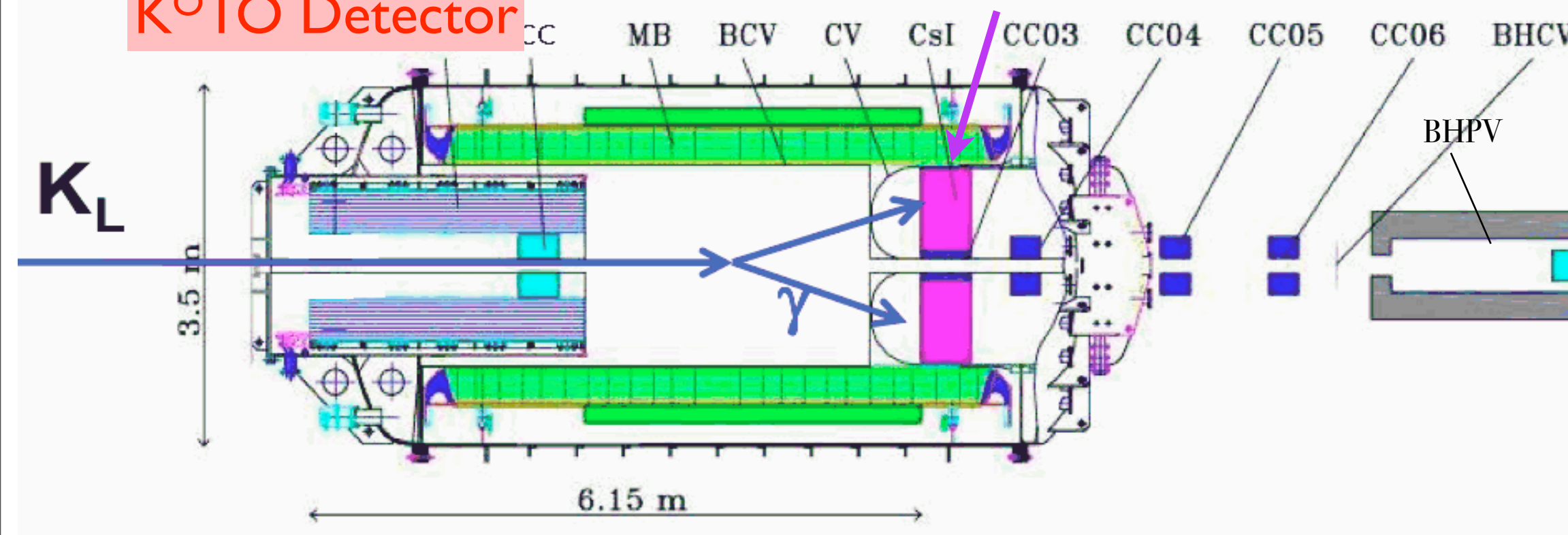
# 検出原理



”2 $\gamma$ 以外何もない” eventをsignalと同定

CsIカロリメータで2 $\gamma$ 検出

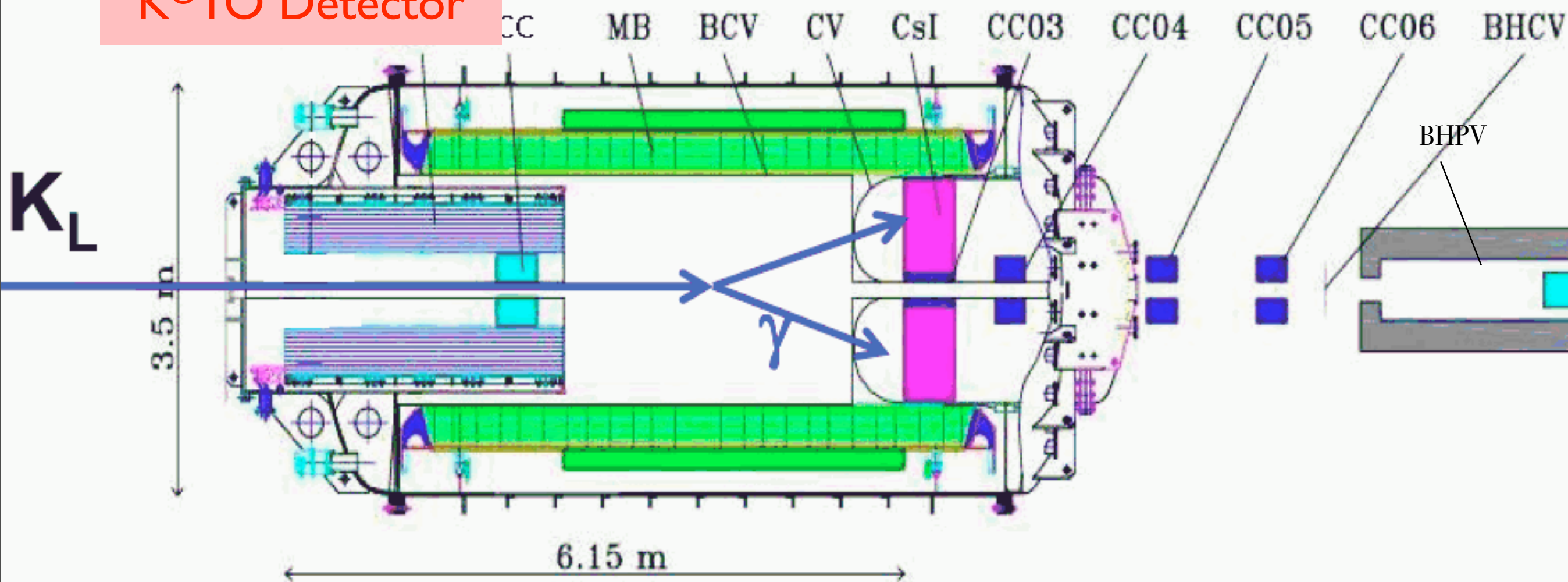
K<sup>0</sup>TO Detector



崩壊領域全体をveto検出器で覆い、他に粒子が無いことを保証

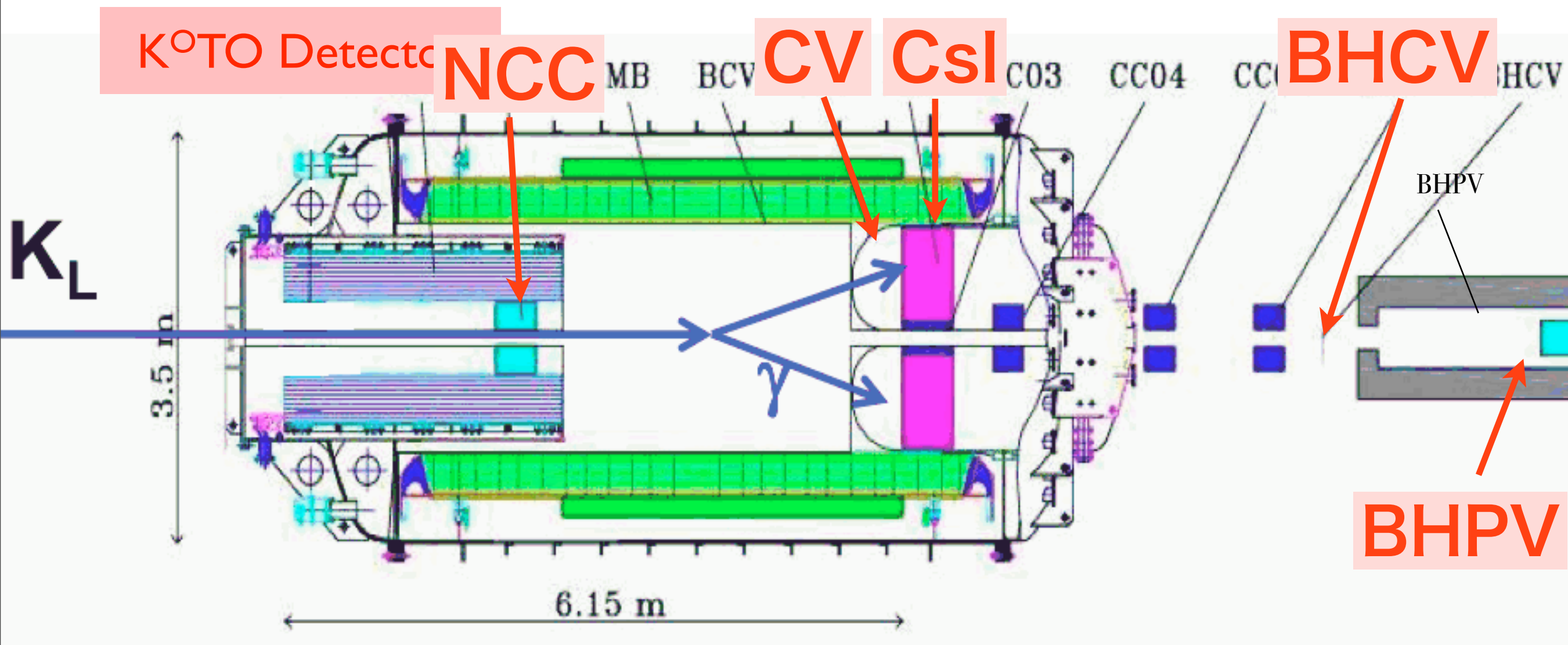
# K<sup>0</sup>TO Detector と京都グループの主な担当箇所

K<sup>0</sup>TO Detector



E391aからアップグレードする検出器の大半に寄与

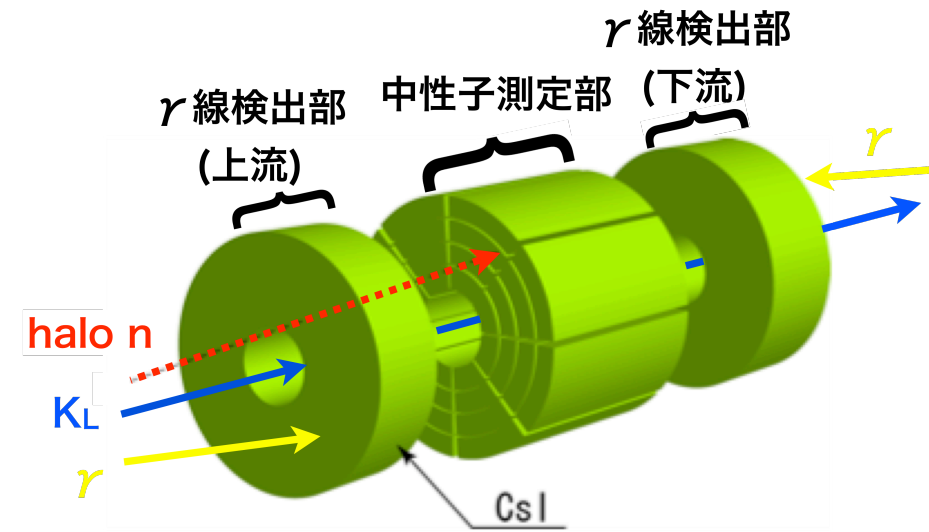
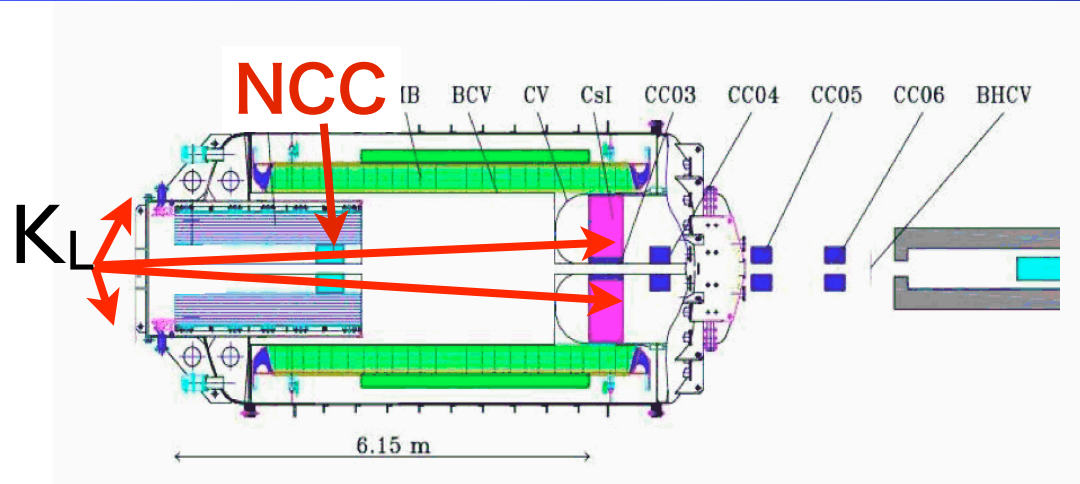
# K<sup>0</sup>TO Detector と京都グループの主な担当箇所



E391aからアップグレードする検出器の大半に寄与



# Neutron Collar Counter (NCC)

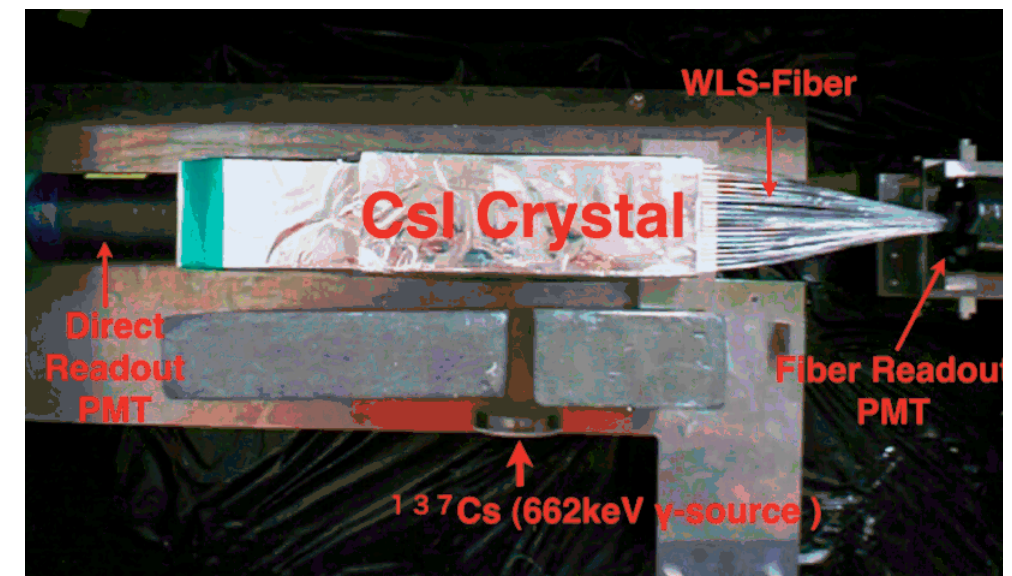


## ● NCCの役割

- 上流部で崩壊した $K_L$ から生成される $\gamma$ によるバックグラウンドを排除
- NCC自身がハロー中性子と反応して生じるバックグラウンドの抑制
- ハロー中性子のfluxとenergyの測定

## ● NCCの特徴

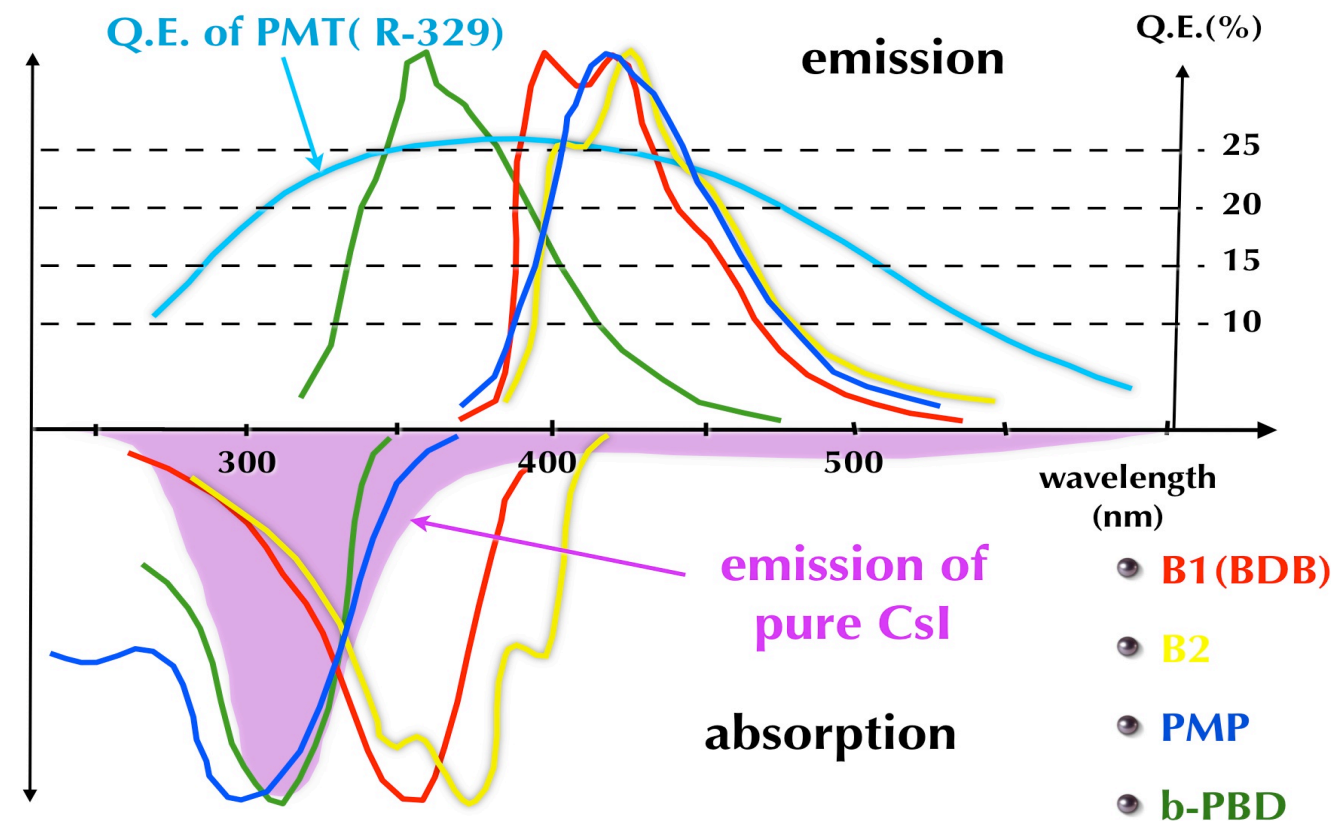
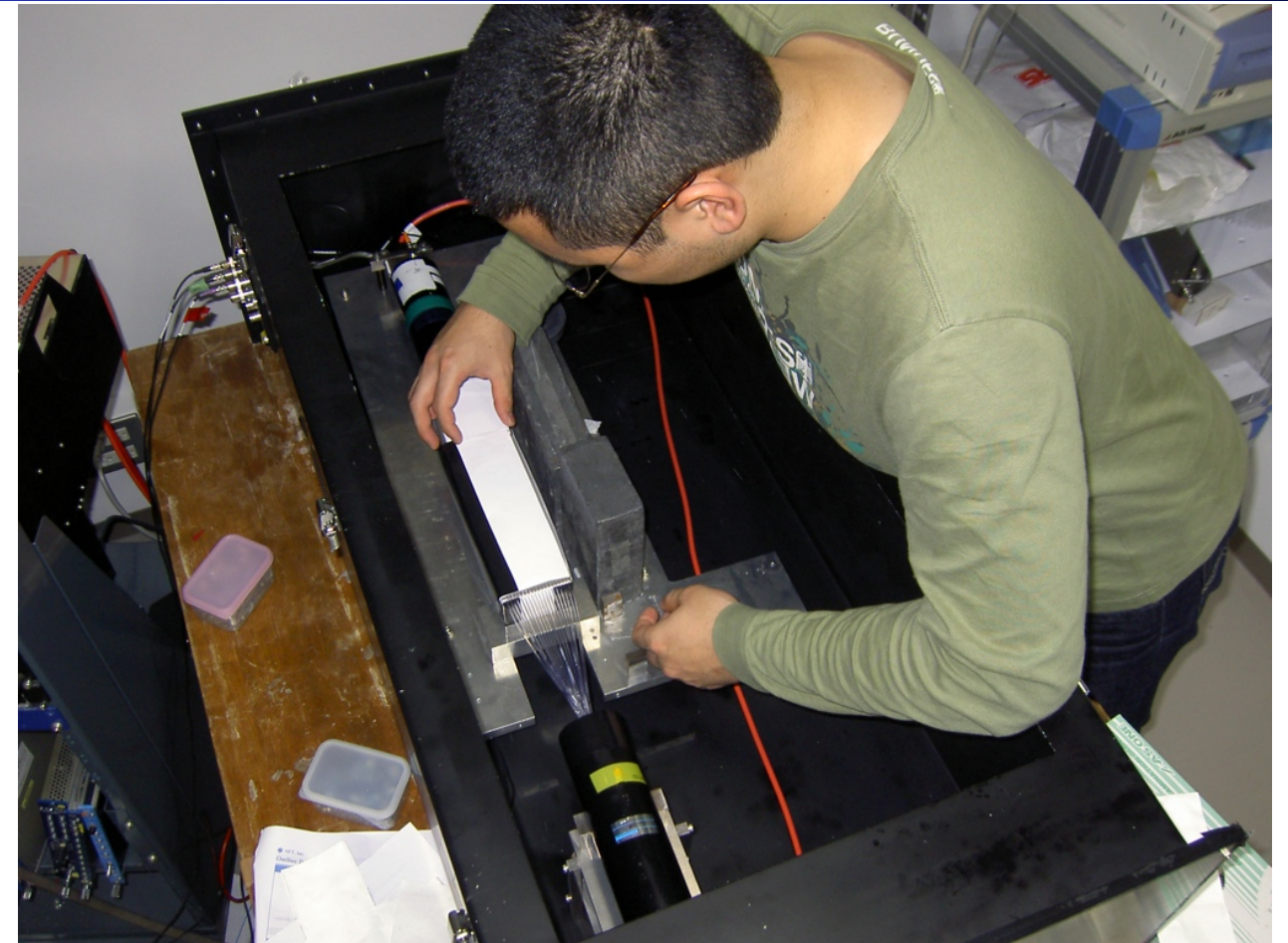
- $CsI$ からなるfull active counter
- 波長変換ファイバーによる読み出し



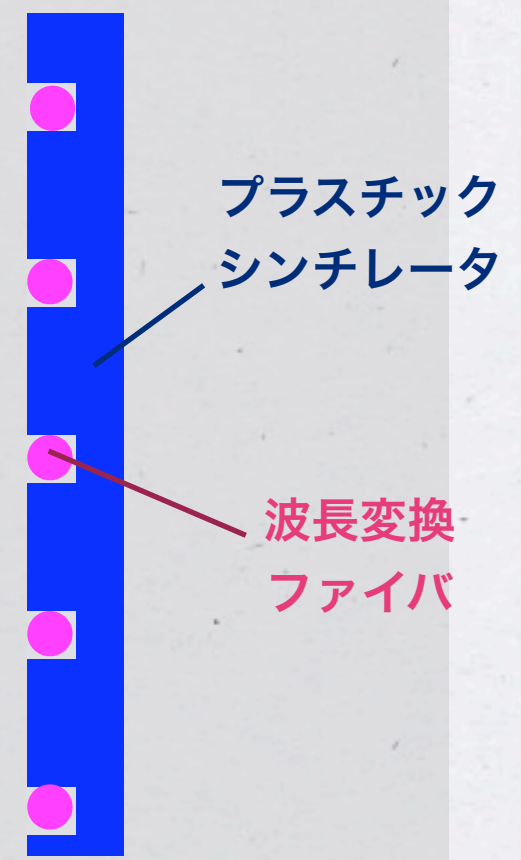
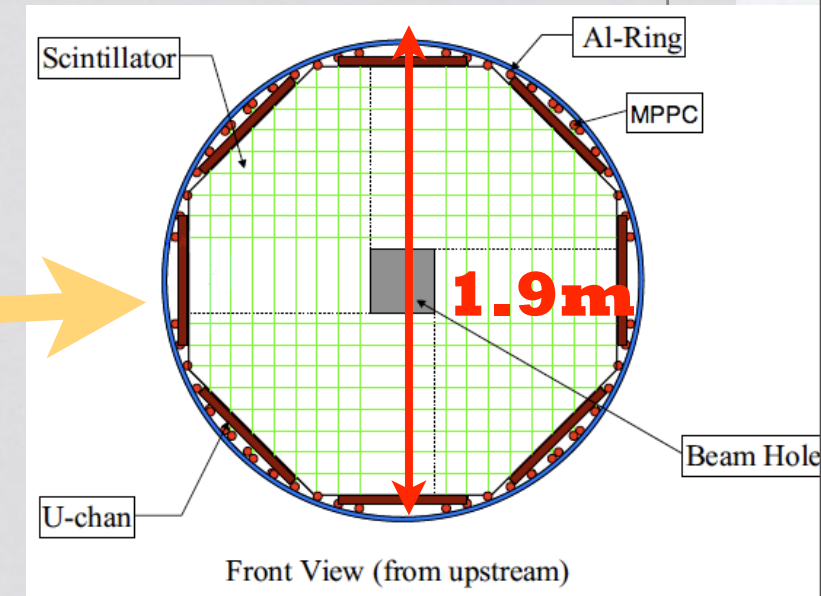
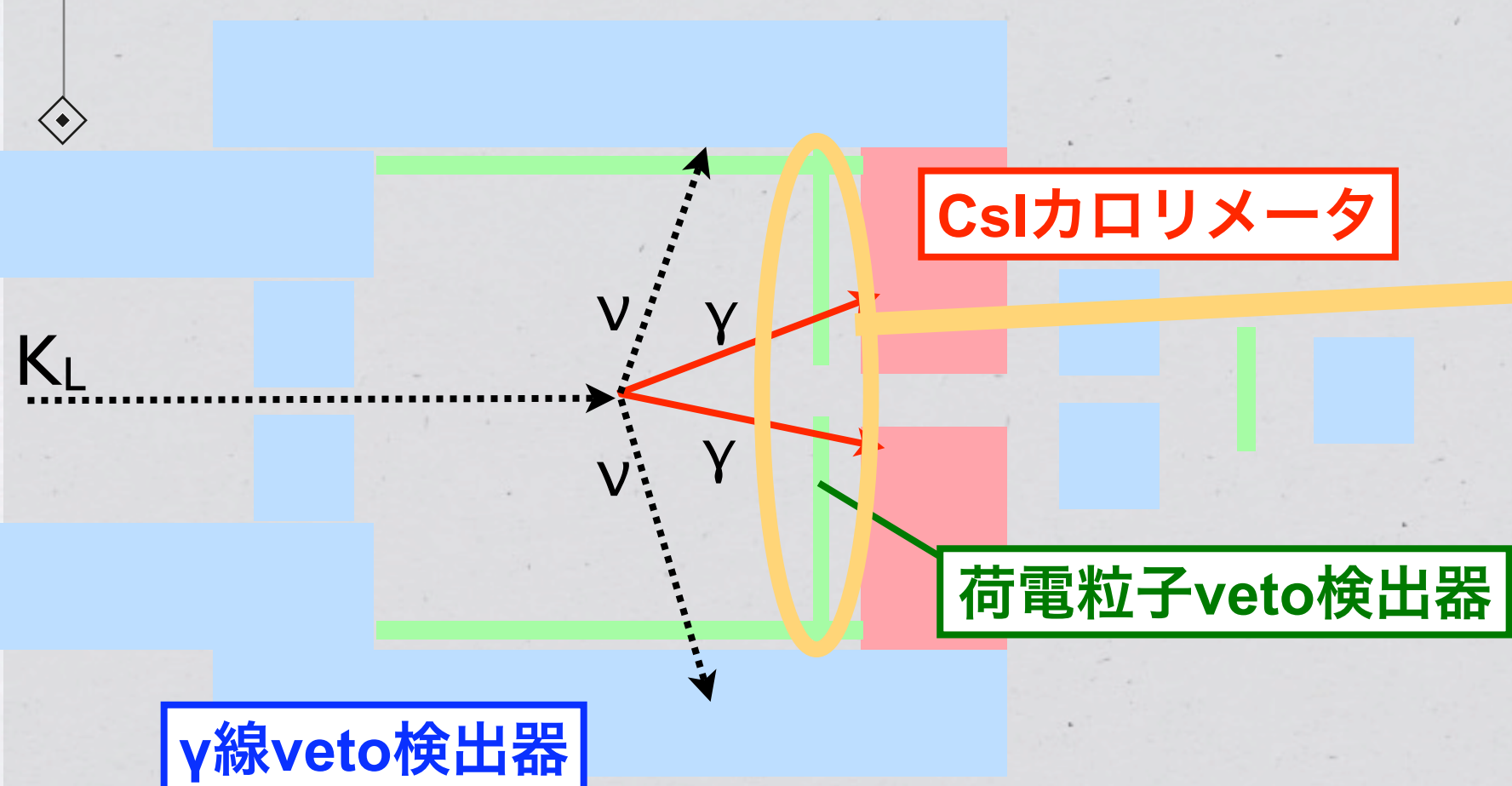


# NCC開発の現状

- これまでの研究成果
  - NCC基本designの決定
  - simulationによるバックグラウンド数の評価
  - CsIの波長変換ファイバー読み出しの最適化の研究による、光量増加(4.5p.e./MeV)



# CV (内藤)



## ✓ 役割

- $K_L \rightarrow \pi^+ \pi \pi^0, e^+ \pi \nu, e^- \pi^+ \nu$  で生じる荷電粒子のVeto

## ✓ デザイン

- 1m<sup>2</sup>, 3mm<sup>t</sup>のプラスチックシンチレータ8枚で構成
- 波長変換ファイバ10mmピッチ



# CV 内藤君の活動記録

- 読み出しにはMPPCを使用
  - ▶ スペースがあまりない、安価
  - ▶ 信号を大きくするためのアンプ作り
- CVはできるだけ薄くしないとダメ
  - ▶ B.G.を増やしてしまう
- でも薄くすると光量(信号の大きさ)が減ってしまう
  - ▶ ノイズが気になる.....

**MPPC**



- ♪ 小型軽量
- ♪ 比較的安価
- ⊖ 温度依存性が大きい
- ⊖ ノイズが多い
- ⊖ ゲインが少ない

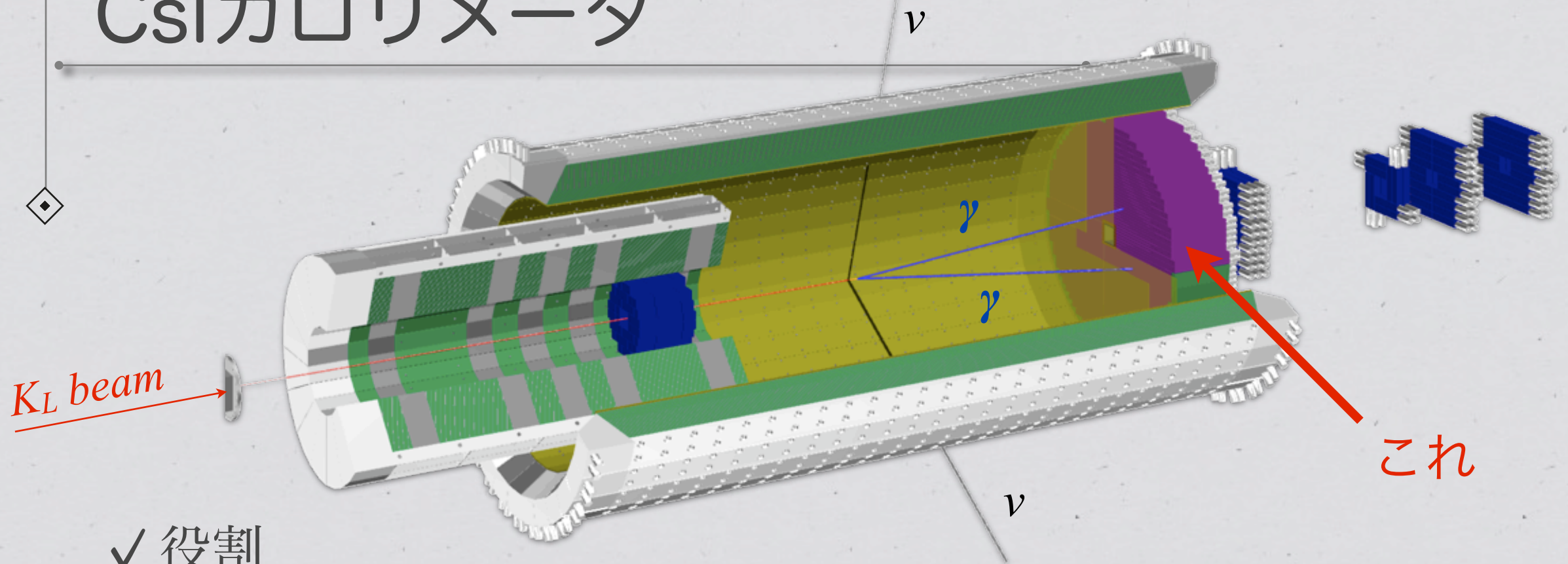


去年1年は[CVのデザイン]を決めて、ローコストで読み出すための[MPPC用アンプ]を開発していました。(継続中)  
それとCVに使う[プラシンとファイバ]の性能を測定し最適な組合せを探しました。  
今年度は[プロトタイプ]を作って実際にビームに当てて性能評価を行います。

はんだづけに勤しむ内藤君



# CsIカロリメータ

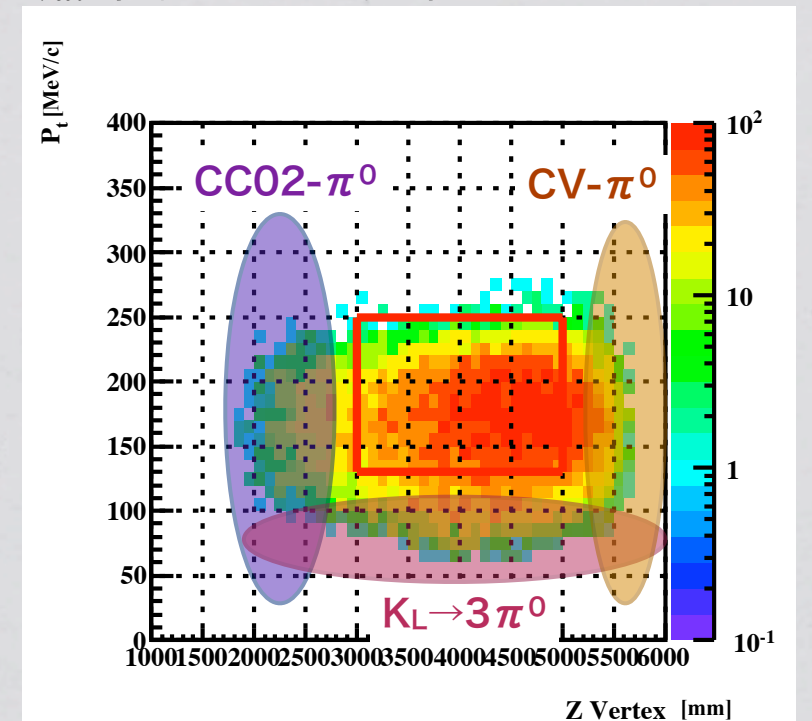


## ✓ 役割

- $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$  の位置とエネルギーを詳細測定 →  $P_t - Z_{vtx}$  平面上の位置決め
  - ▶  $\pi^0\nu\nu$  とそのほかのB.G.の分離

## ✓ 特徴

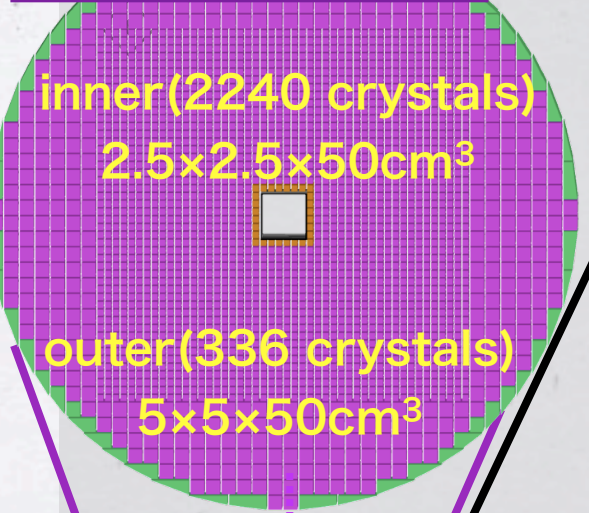
- 2800本程度のCsI結晶を使用
  - ▶ KTeV(@FNAL 1996-2000)の物を再利用
  - ▶  $5 \times 5 \times 50\text{cm}$ :350本、 $2.5 \times 2.5 \times 50\text{cm}$ :2240本
- 1MeV~1GeVの3桁にわたるエネルギーレンジ
- PMTの低消費電力化



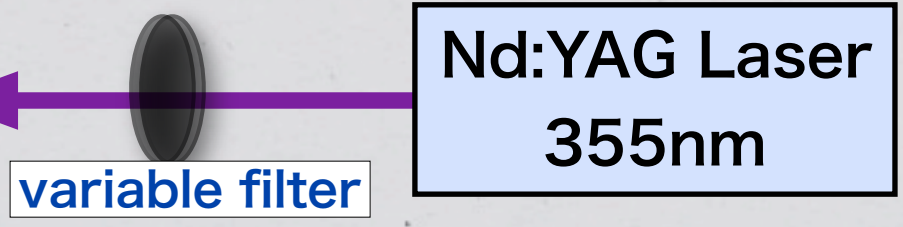
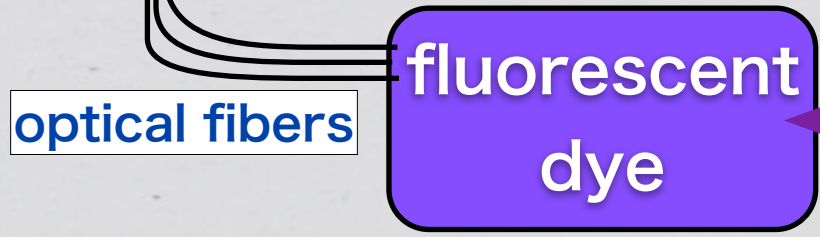
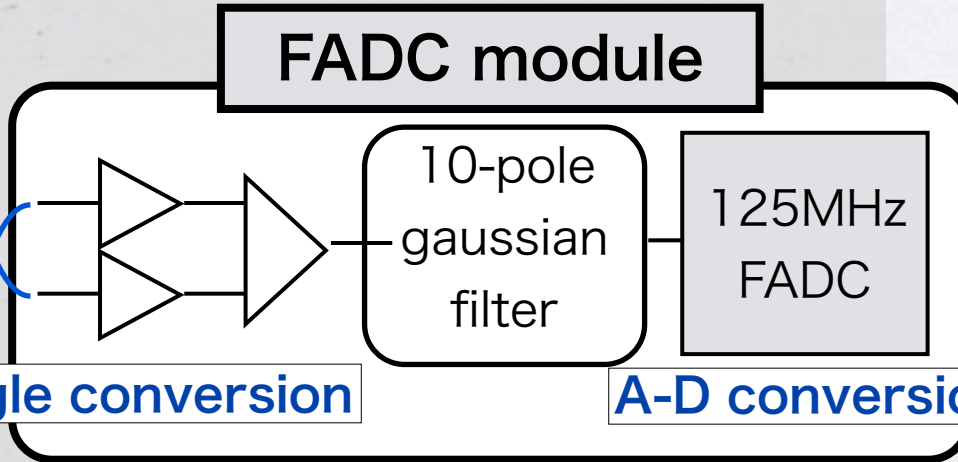
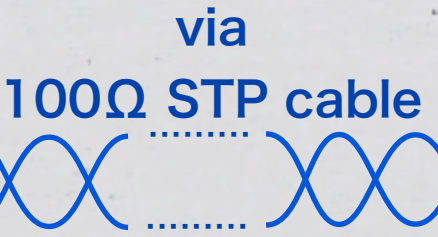
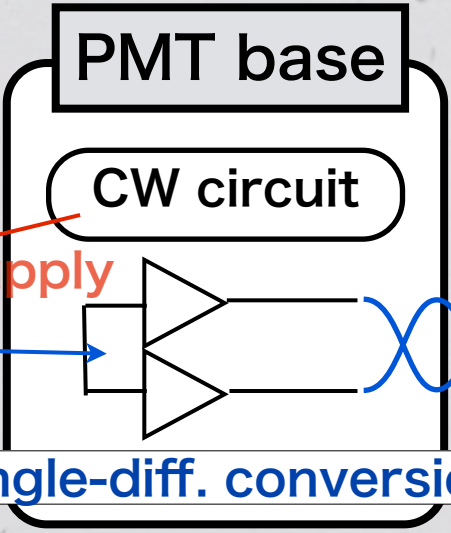
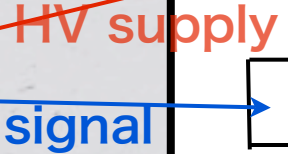
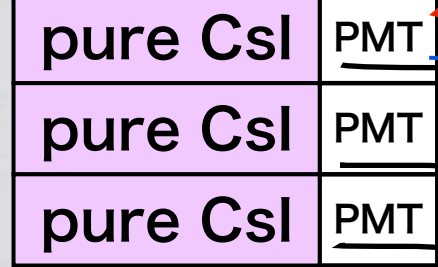


# CsIカロリメータ全貌

**CsI calorimeter front view**



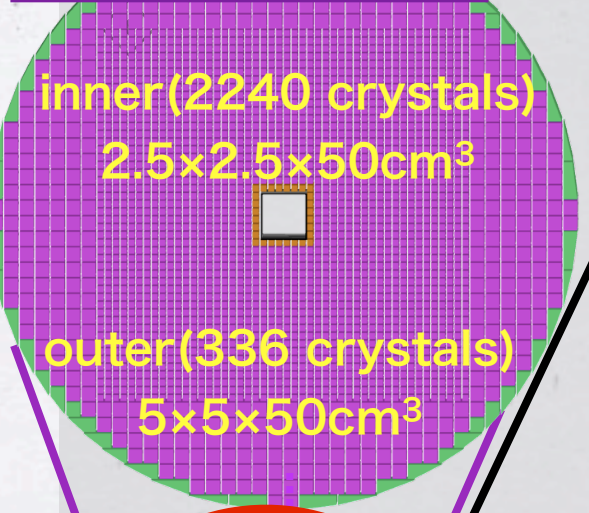
**2 types PMT  
φ34mm, φ15mm**



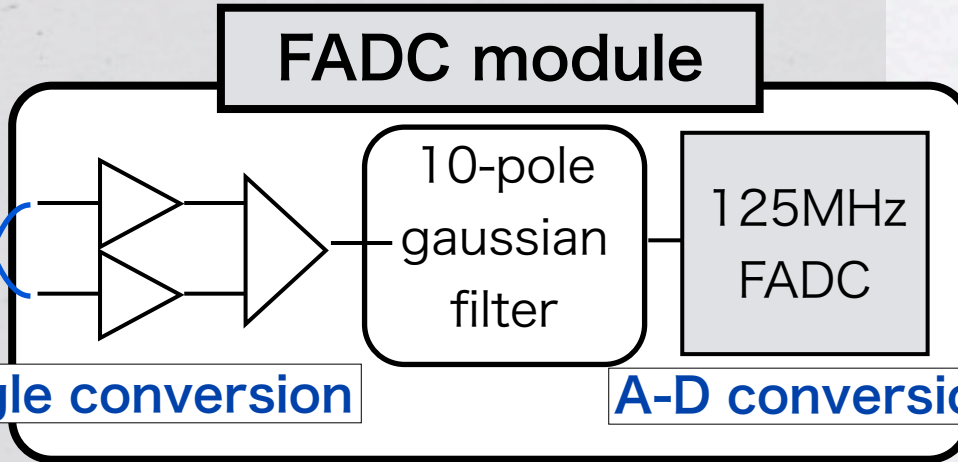
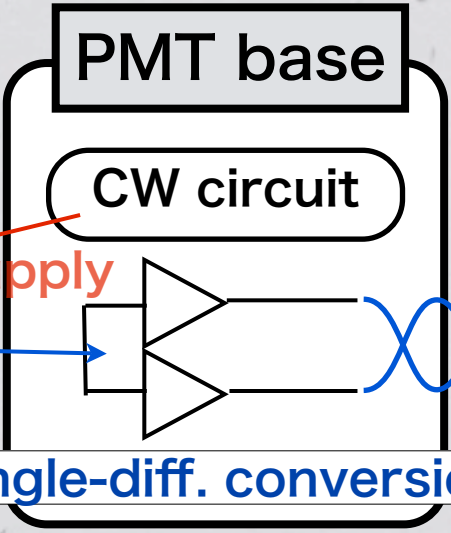
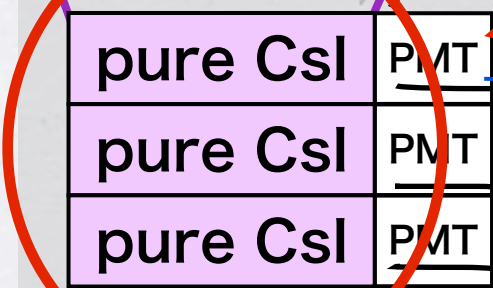


# CsIカロリメータ全貌

**CsI calorimeter front view**



**2 types PMT**  
φ34mm, φ15mm



HV supply

signal

via 100Ω STP cable

diff.-single conversion

大阪  
光量の一様性の確認

optical fibers



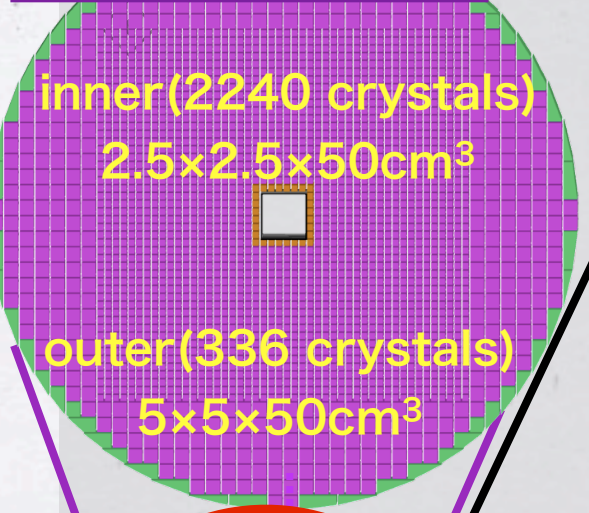
variable filter



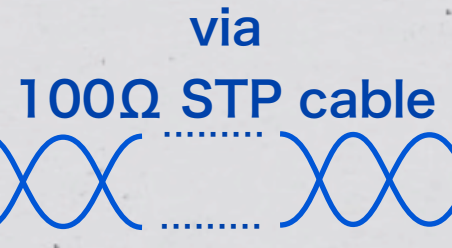
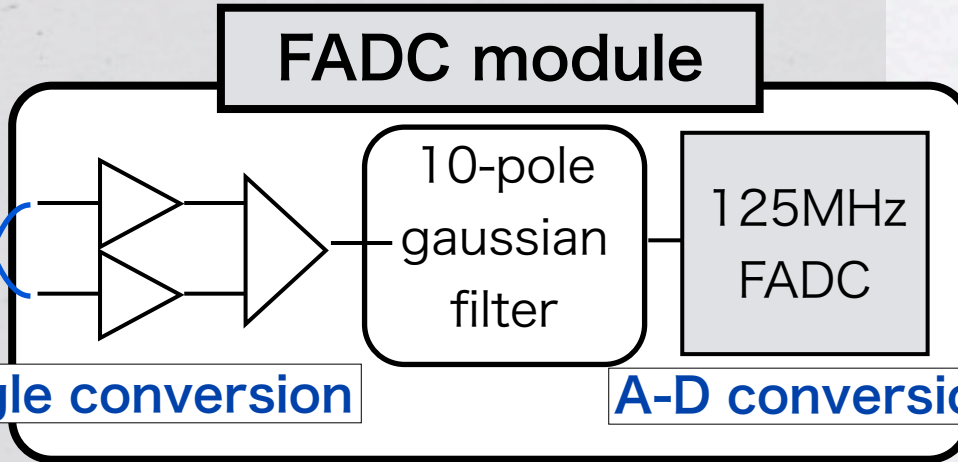
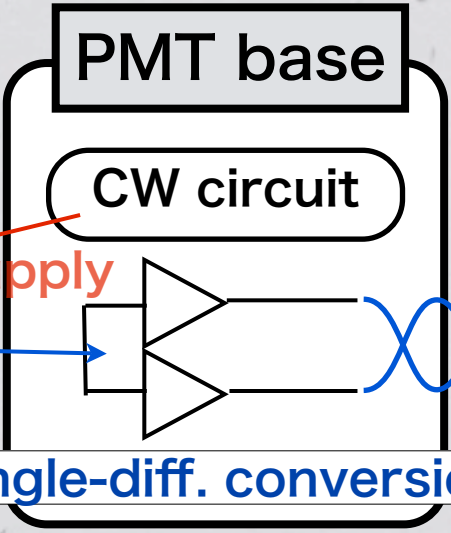
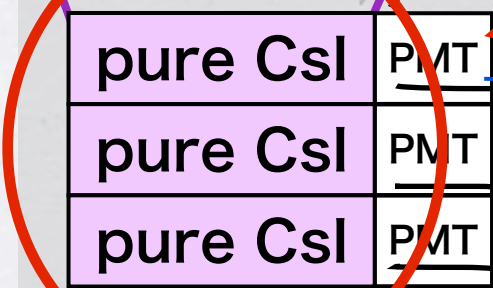


# CsIカロリメータ全貌

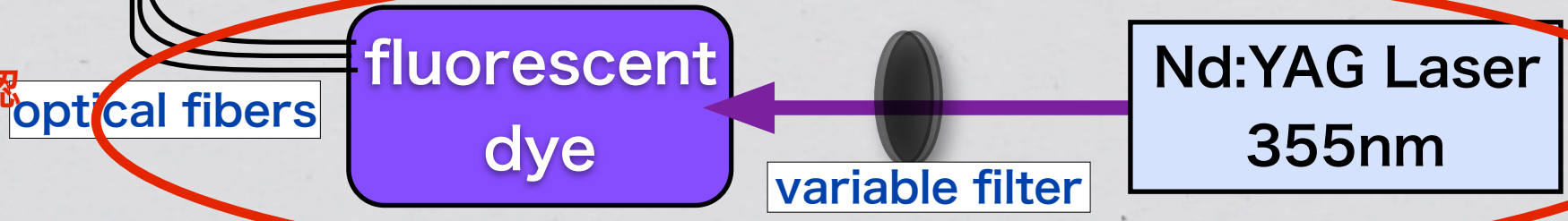
**CsI calorimeter front view**



**2 types PMT**  
φ34mm, φ15mm



大阪  
光量の一様性の確認

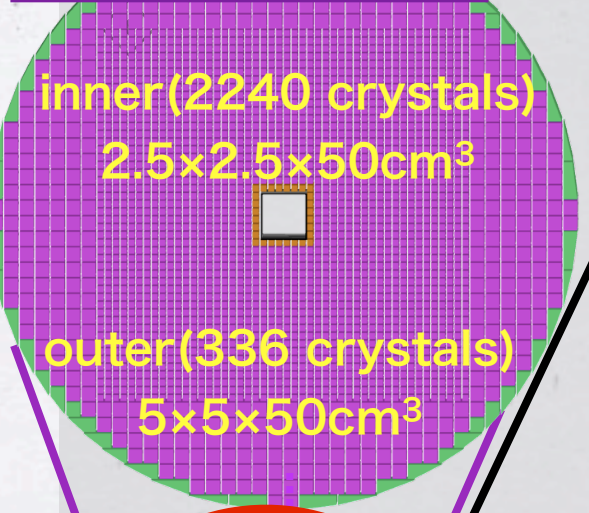


大阪  
実験中のPMTゲインモニタ



# CsIカロリメータ全貌

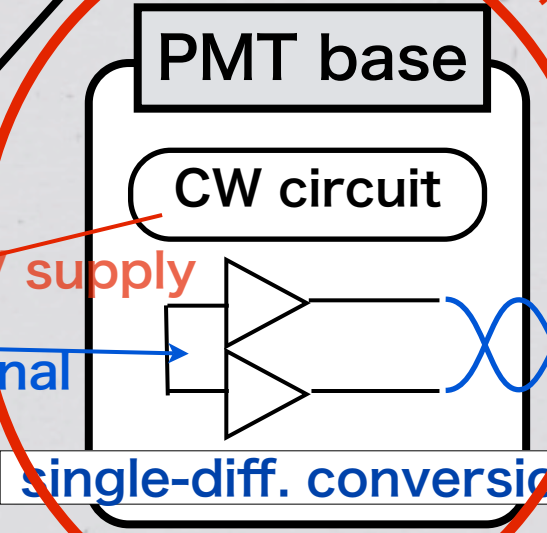
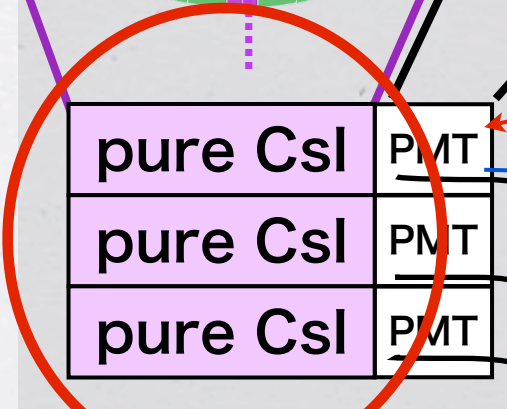
CsI calorimeter front view



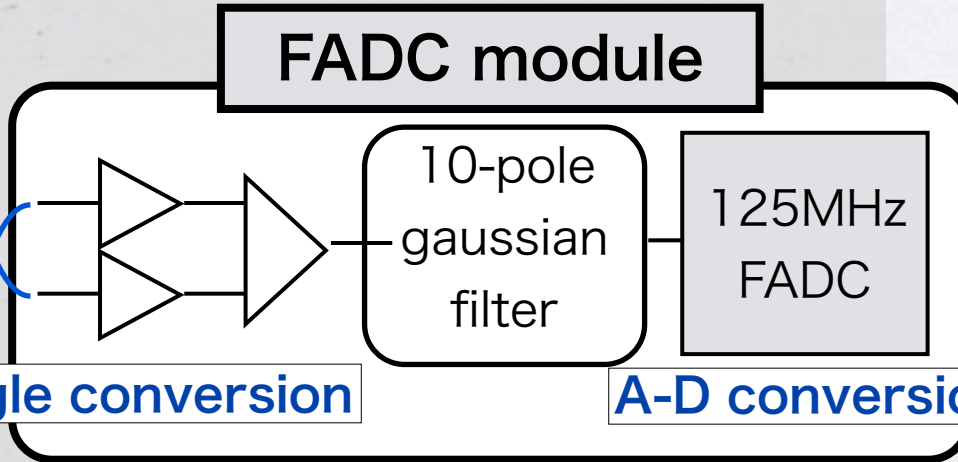
2 types PMT  
φ34mm, φ15mm



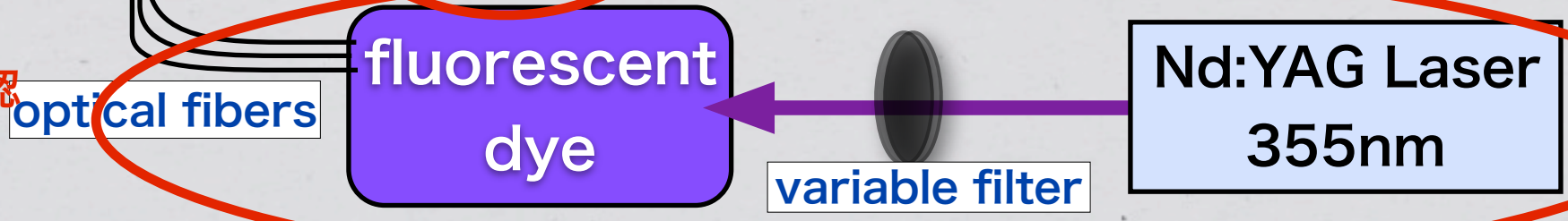
京都(増田)  
低消費電力型PMTベース



via  
100Ω STP cable



大阪  
光量の一様性の確認

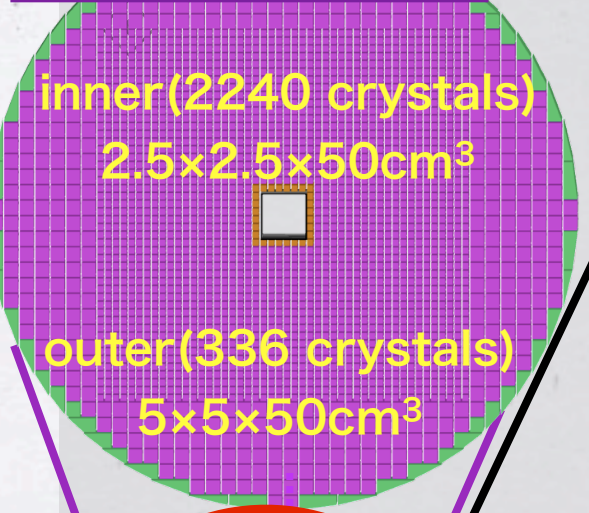


大阪  
実験中のPMTゲインモニタ



# CsIカロリメータ全貌

CsI calorimeter front view

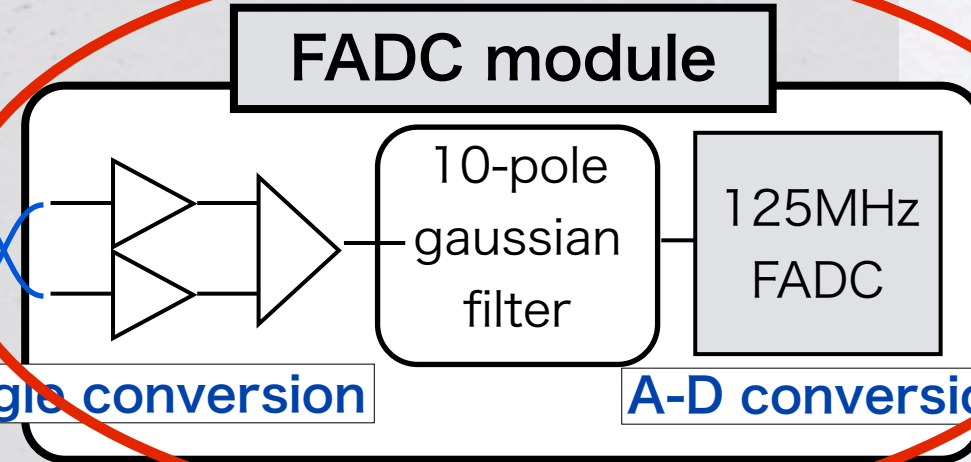
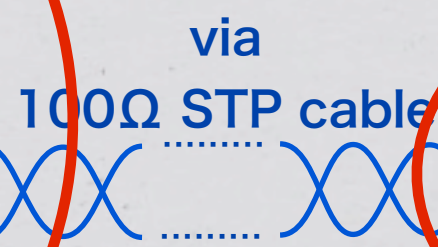
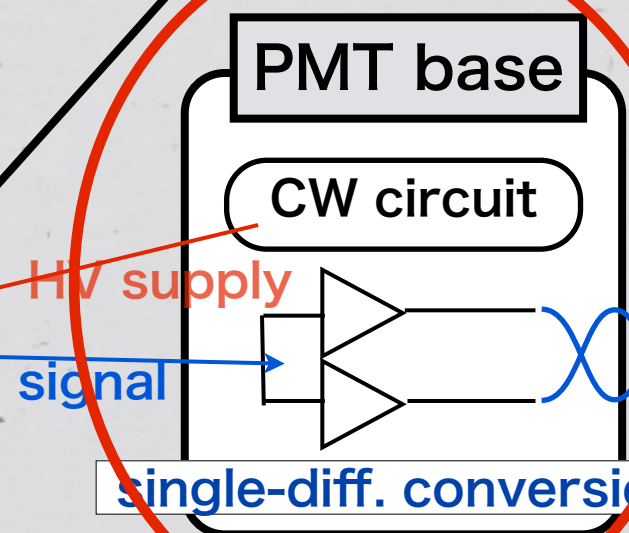
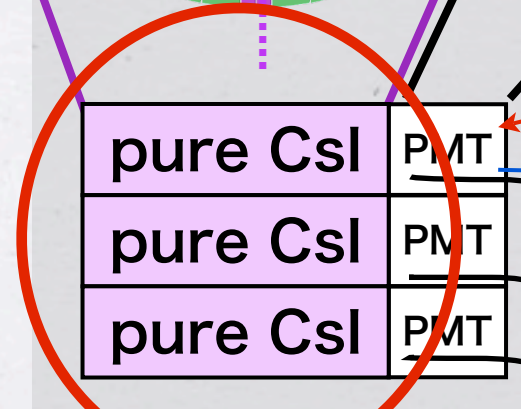


2 types PMT  
φ34mm, φ15mm

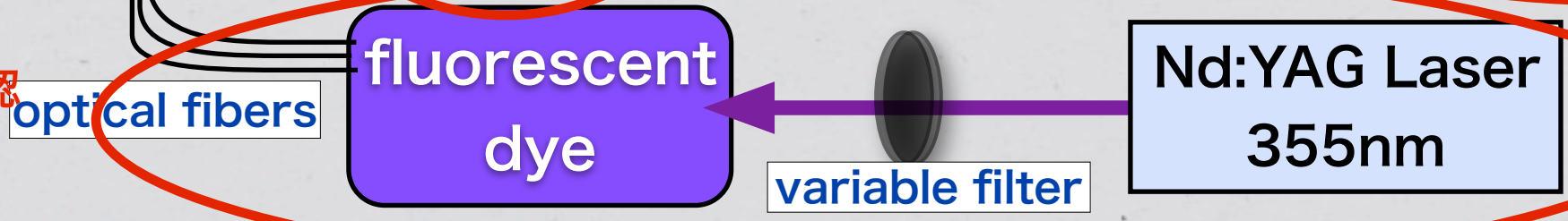


京都(増田)  
低消費電力型PMTベース

シカゴ・大阪  
読出エレクトロニクス



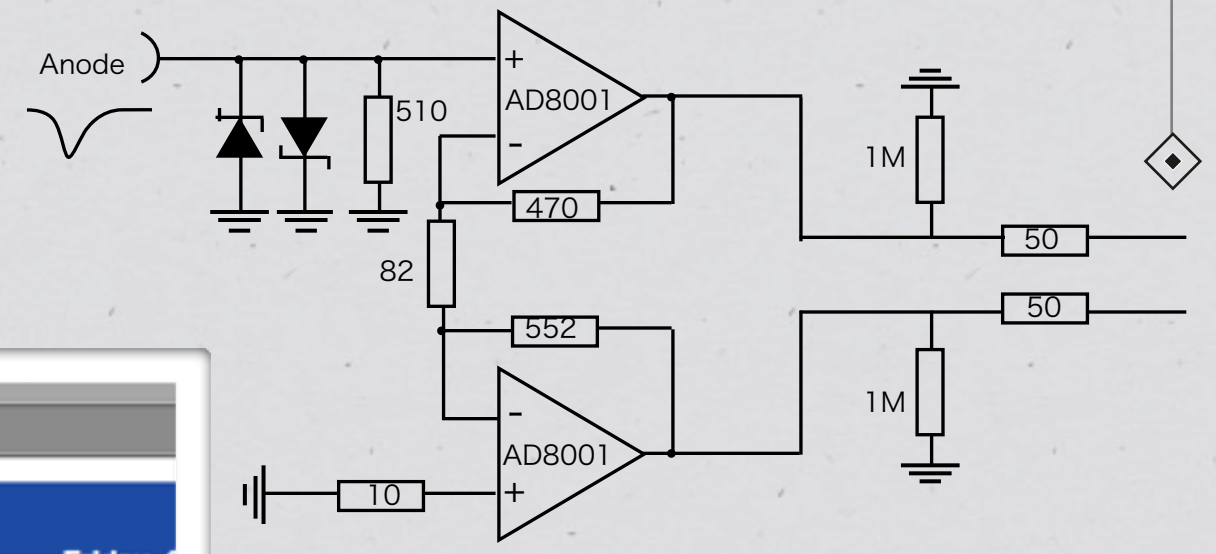
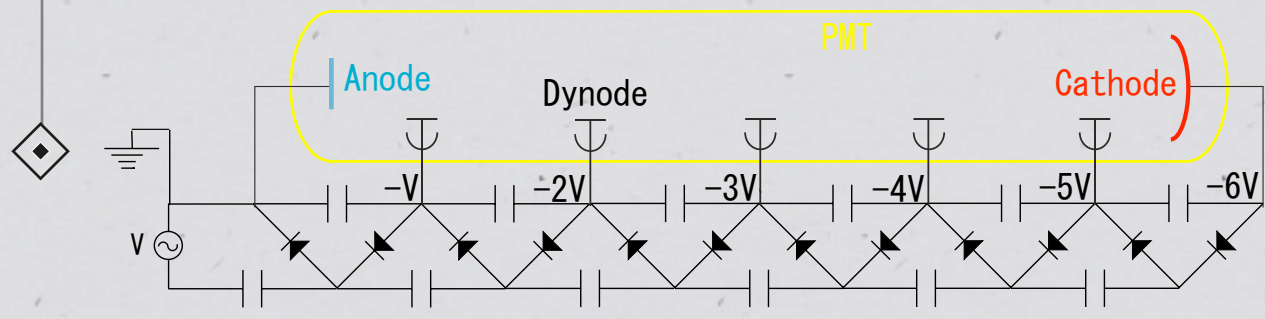
大阪  
光量の一様性の確認



大阪  
実験中のPMTゲインモニタ



# 私の活動記録



Fermilab Today

**Fermilab Today** Friday, Oct. 24

Subscribe | Contact Fermilab Today | Archive | Classifieds Search

| Calendar  | Feature  | From ISGTW   |
|---|--|--|
| <p>Friday, Oct. 24<br/>11:50 a.m. - 12:20 p.m.<br/><a href="#">LHC Users meeting lecture</a><br/>- One West<br/>Title: Perspectives from OSTP<br/>Speaker: Jean Cottam, OSTP<br/>3:30 p.m.<br/>DIRECTOR'S COFFEE<br/>BREAK - 2nd Flr X-Over<br/>4 p.m.</p> <p>Speaker: Alan Boyle, MSNBC<br/>Title: Magnetic Attraction: A Journalist's View of the LHC's Status in Popular Culture<br/>8 p.m.<br/><a href="#">Fermilab International Film Society</a> - Auditorium</p> | <p><b>KTeV crystals to shine again</b></p>  <p>Experiment for shipment. ST-ARC will use the crystals in an experiment that will look for rare kaon decays.</p> <p>From 1997 to 1999, scientists at Fermilab conducted an experiment using the most accurate energy-measuring device ever built for high-energy physics.</p> <p>Then researchers carefully stored the</p> | <p><b>Catching quakes with</b></p> <p>Inside your laptop is a small chip, there to protect the delicate parts of your hard disk from shocks. It turns out that the same chip</p> |

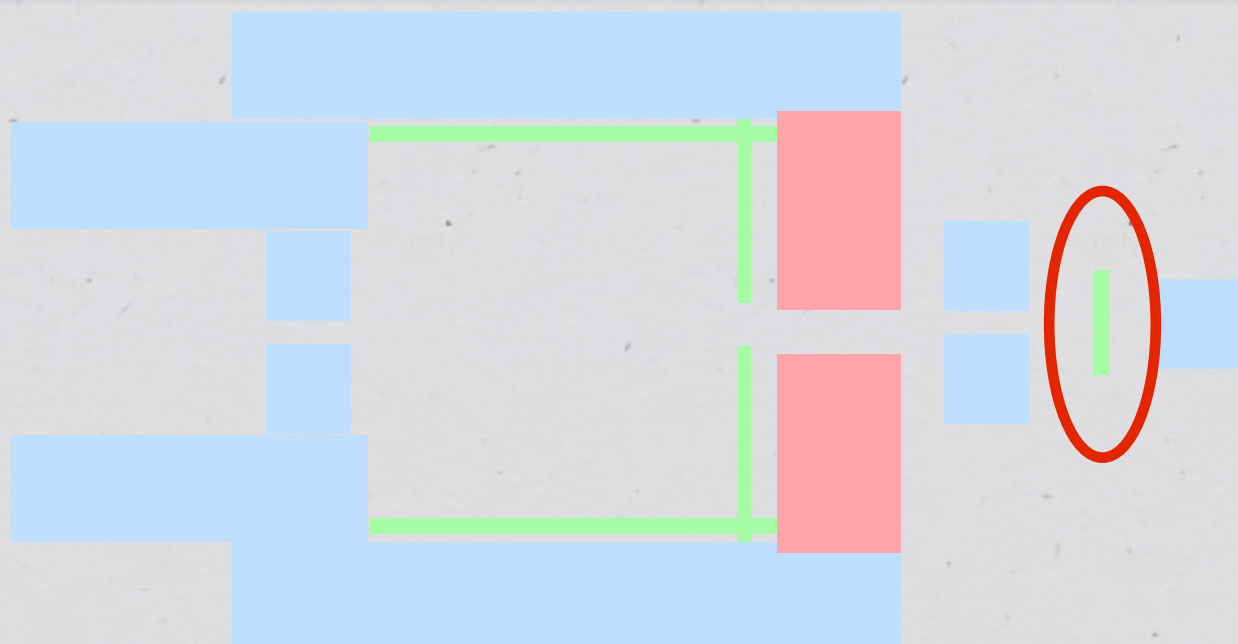
**せっせとCsIを梱包する私**

去年は、アメリカ(シカゴ)から日本(大阪)への【CsI移送作業】に従事していました。

そのほかに、PMT信号を増幅する【アンプのデザイン】や低消費電力型PMT【ベースの性能評価】をなどを行いました。

今年はPMTベースを完成させて、大阪やシカゴと一緒にテストをしたいなあと思っています。

# BHCV (白杵)



## ✓ 役割

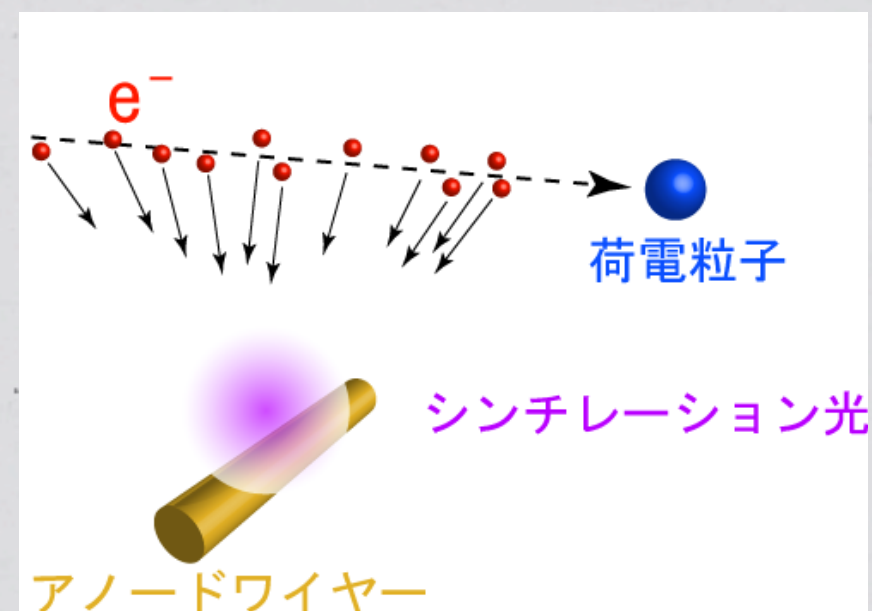
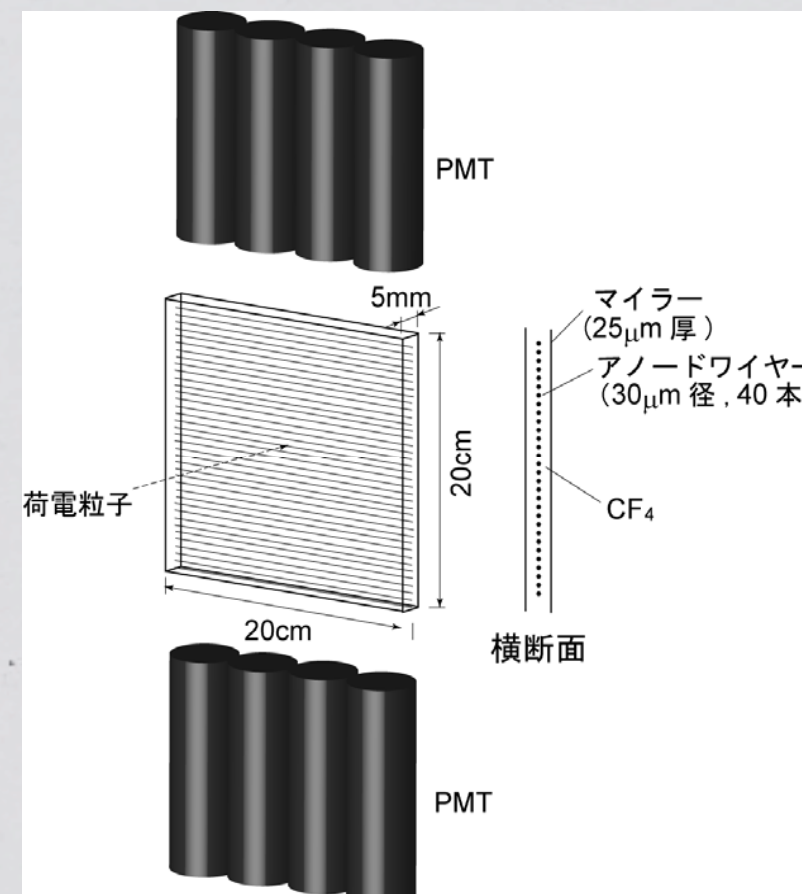
- $K_L$ 崩壊による荷電粒子( $\pi^\pm, \mu^\pm, e^\pm$ )をveto

## ✓ 特徴

- ビーム中の中性子や $\gamma$ に反応しない

### ➡ ガスシンチレーション比例計数管

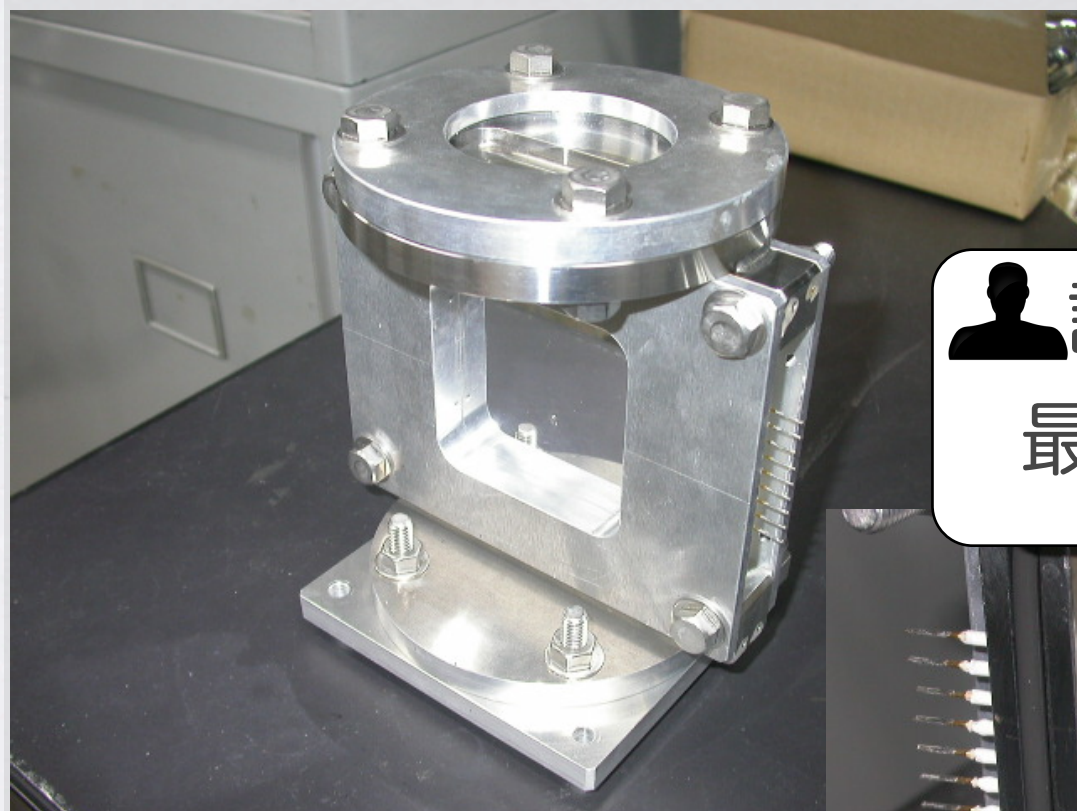
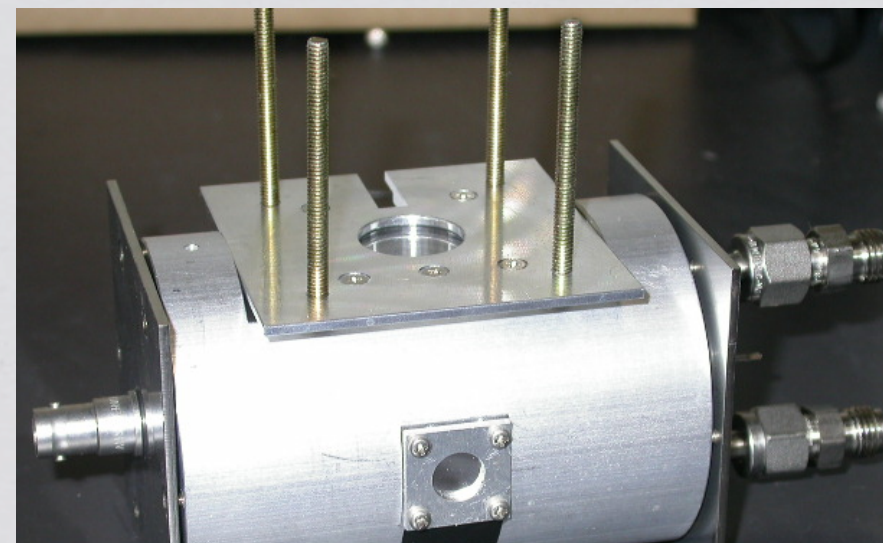
- ▶ ガスだから薄くて軽い
- ▶ 比例計数管とPMTの2段増幅で荷電粒子は残さずキャッチ






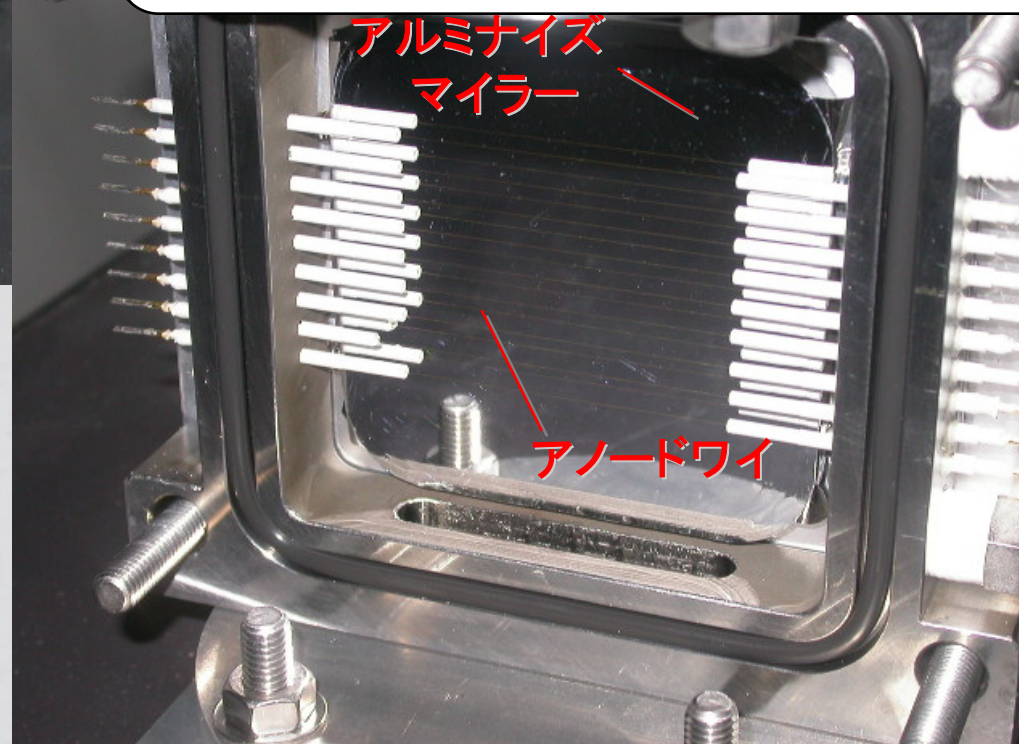
# BHCV 臼杵さんの活動記録

初代 BHCV



BHCV試作機の全体


 試作機を製作して、  
 最適な形状やガスの選定などを行いました



アルミナイズ  
マイラー

アノードワイ

BHCV試作機の内部



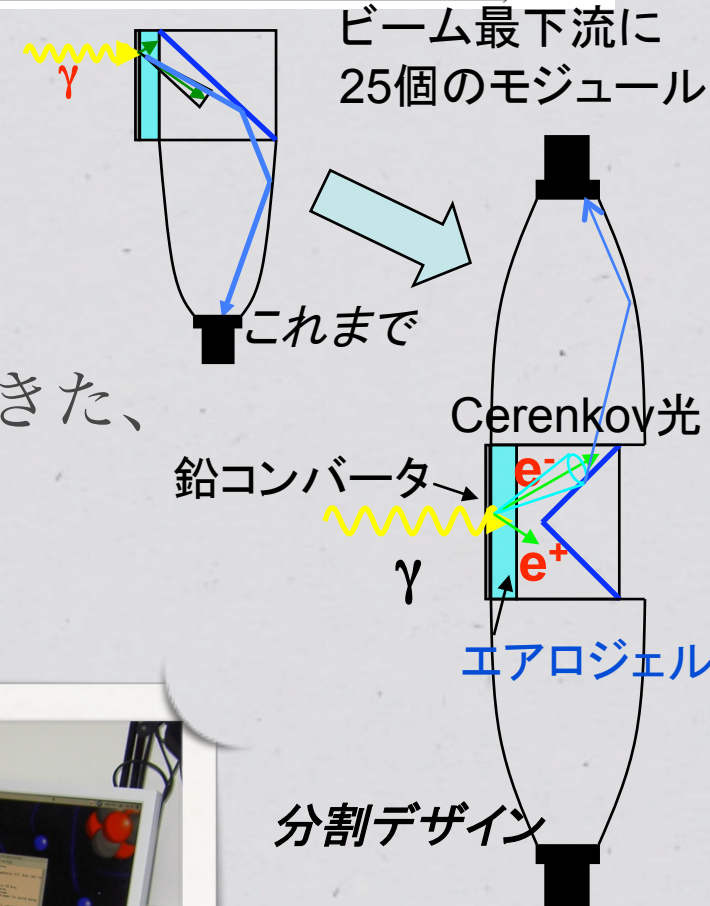
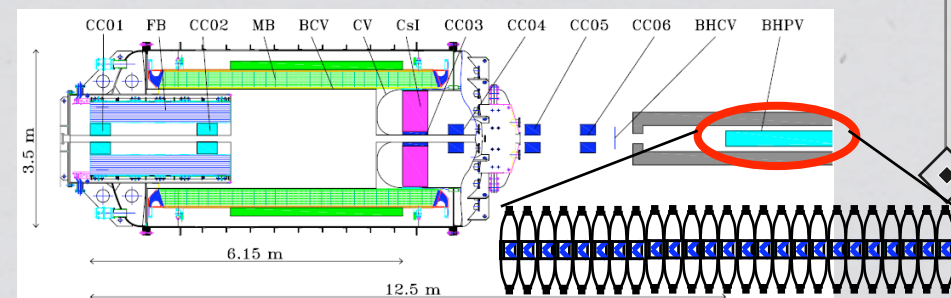
# BHPV (前田)

## ✓ 役割

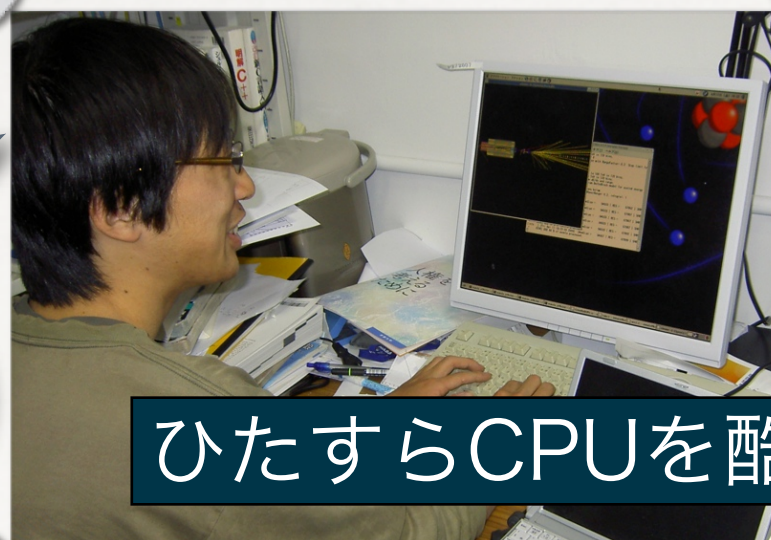
- ビームホールに逃げた $\gamma$ をveto

## ✓ 特徴

- 中性子に対して不感
  - ▶ エアロジェルを使ったCherenkov検出器
- レートがとても高い(>MHz)
- 京都Kグループで長年にわたりR&Dが重ねられてきた、  
伝統ある検出器
  - ▶ K<sup>0</sup>TO実験でようやく実用化！！



シミュレーションを使って、  
実用に耐えるBHPVデザインを決めました。  
これから実際にプロトタイプを作って、  
期待通りの性能が出ているかを  
確かめます。



ひたすらCPUを酷使う前田君



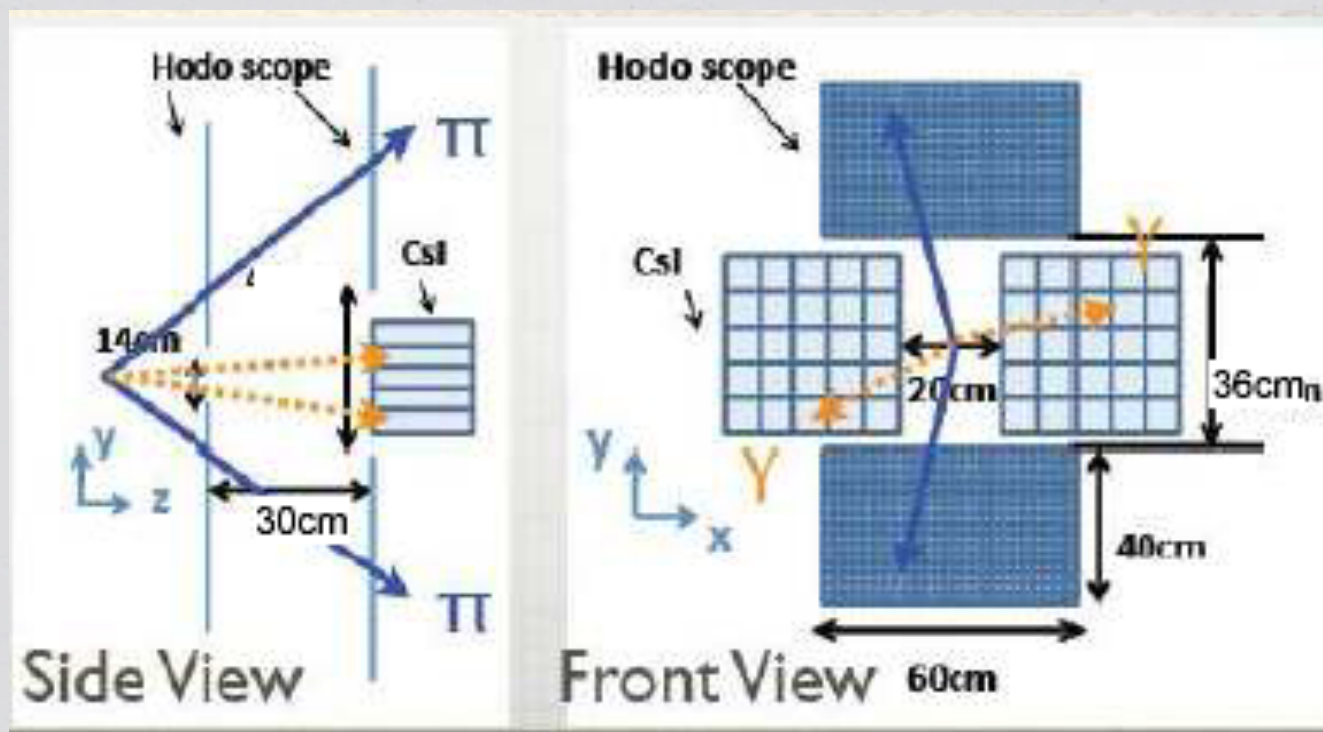
# K<sub>L</sub>生成数測定実験 (塩見)

## ✓ K<sub>L</sub>の数も実験の最重要事項

- K<sub>L</sub>数がそのまま分岐比感度になる!!
- 実験を始める前に、K<sub>L</sub>の数を知っておきたい

## ✓ 測定原理

- K<sub>L</sub> → π<sup>+</sup> π<sup>-</sup> π<sup>0</sup> (π<sup>0</sup> → 2γ) 崩壊の数を測定し、K<sub>L</sub>数に焼き直す
  - ▶ π<sup>±</sup>はHodo scope(細いプラシンとファイバ)でトラッキング
  - ▶ π<sup>0</sup>はMini calorimeter(CsIブロック)で2γを検出



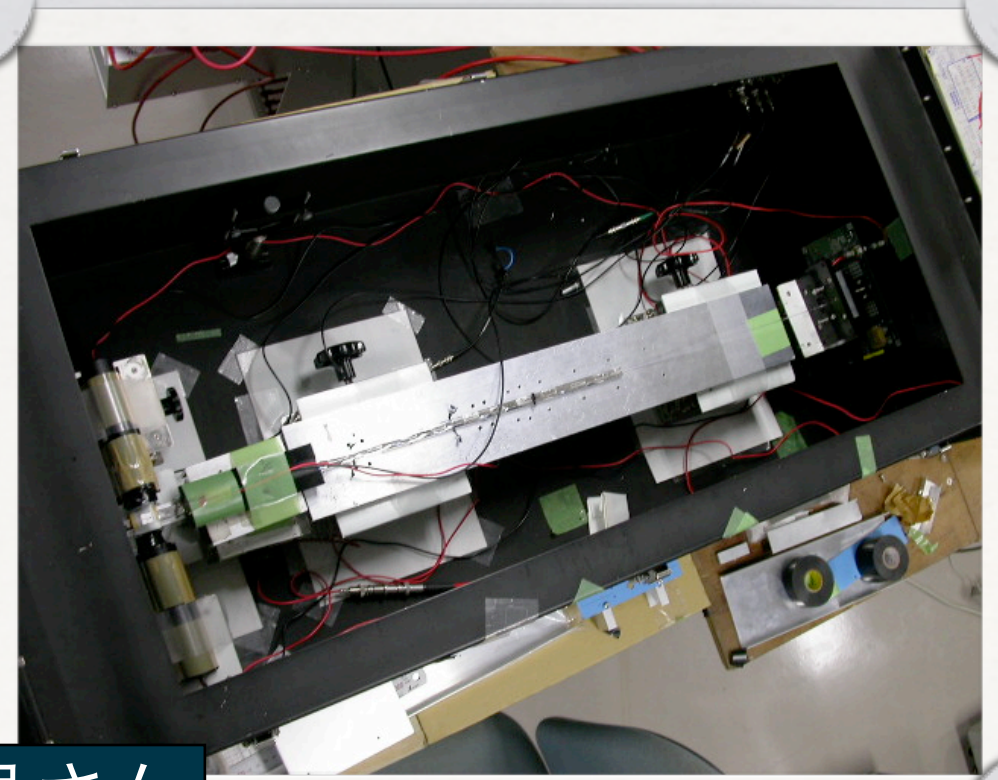
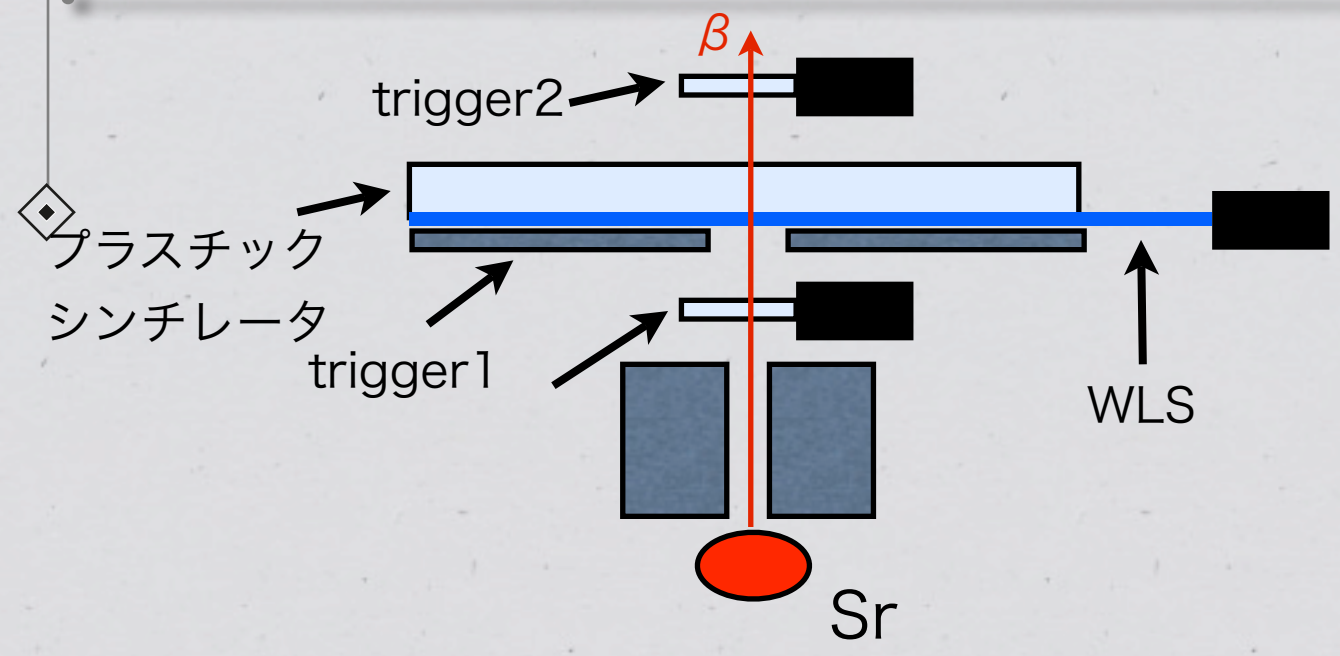
$$p_x^+ + p_x^- + k_{1x} + k_{2x} = 0$$

$$p_y^+ + p_y^- + k_{1y} + k_{2y} = 0$$

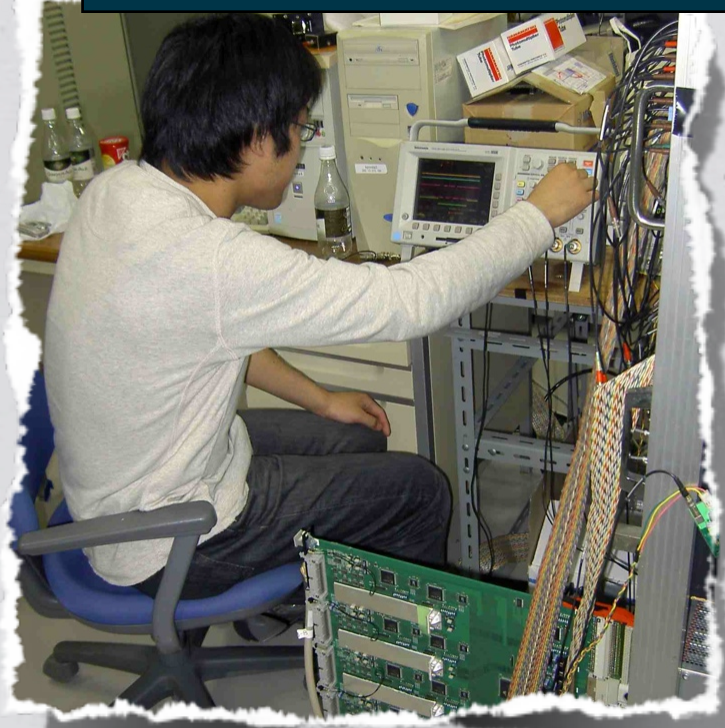
(k<sub>1</sub>, k<sub>2</sub> γ 線の運動量, p<sup>+</sup>, p<sup>-</sup> π<sup>±</sup>の運動量)



# 塩見さんの活動記録



久しぶりにハードがさわられて喜ぶ塩見さん



修士の間は、  
**[K<sup>0</sup>TO実験全体のバックグラウンド]**を見積もりました。  
 去年は**[KL数測定実験の考案]**、シミュレーションによる  
 実験の**[パフォーマンスの評価]**を行いました。  
 今年は実験に使うプラシンとファイバの選定や  
 カロリメータの性能評価を行い、  
 下旬には**[J-PARCで測定実験]**を行います。



# regular schedule

## 毎週火曜 17:00

京都グループミーティング  
京都、台湾、KEK(野村さん)

毎週の進捗状況を皆に伝えて、  
あーだこーだと議論します。  
細かいところまで考えるので  
長時間になることもしばしば・・・  
これが無いとお話になりません。

## 隔週金曜 9:00

ビデオミーティング  
コラボレーション全員

コラボレーション全員に知ってほしい事、  
まとまった進展があったことを報告します。

## 毎月1回

JUM  
日本のコラボレーション

Japanese University Meeting(?)です。  
みんなの進捗状況をinformalに報告しあいます。  
KOTOのミーティングの中で一番重要かも。  
各大学同士の交流の場です。

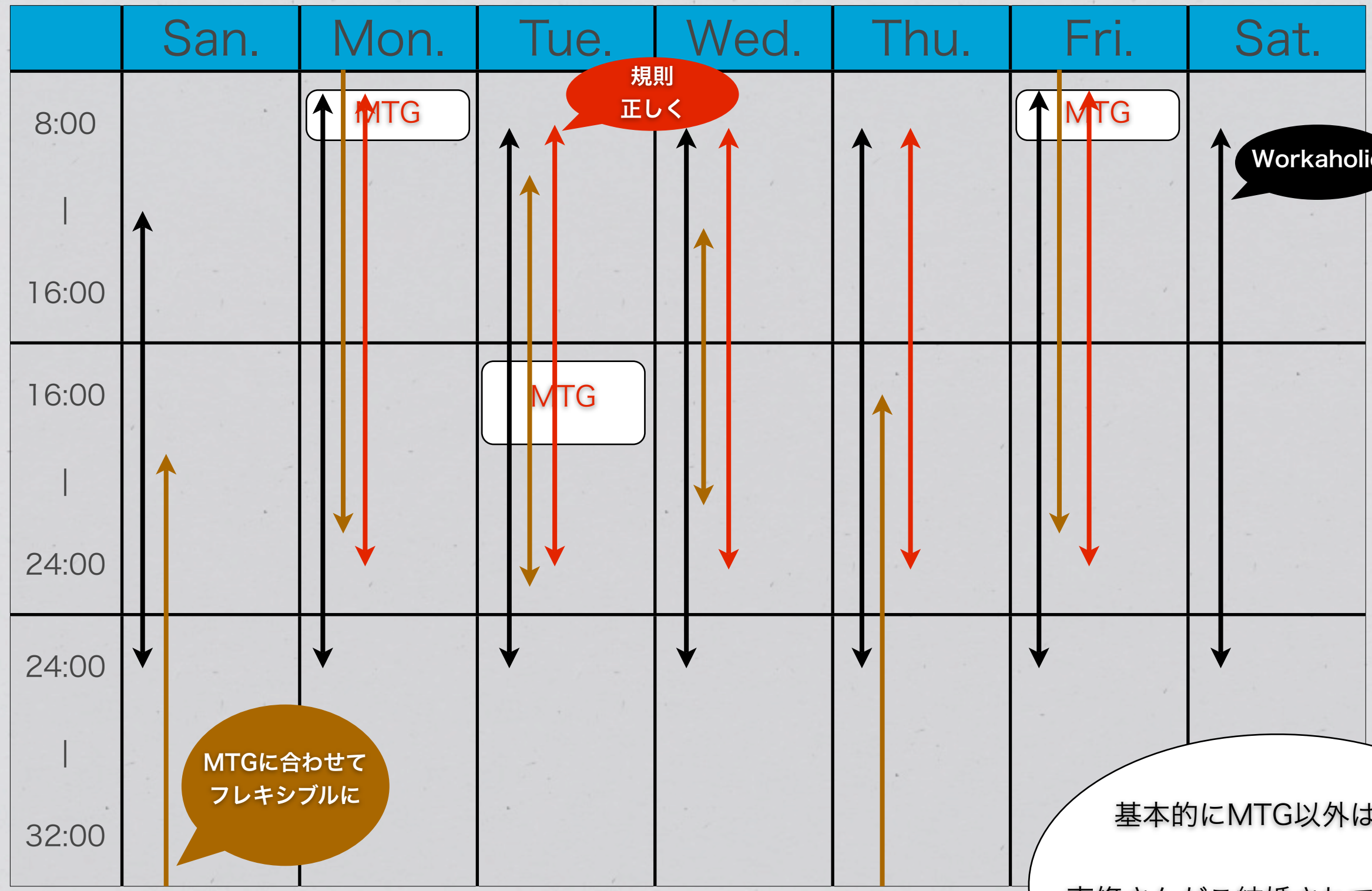
## 年2回

コラボレーションミーティング  
コラボレーション全員

日本以外のコラボレーション全員が  
一堂に会する数少ない機会です。



# 日常生活



MTGに合わせて  
フレキシブルに

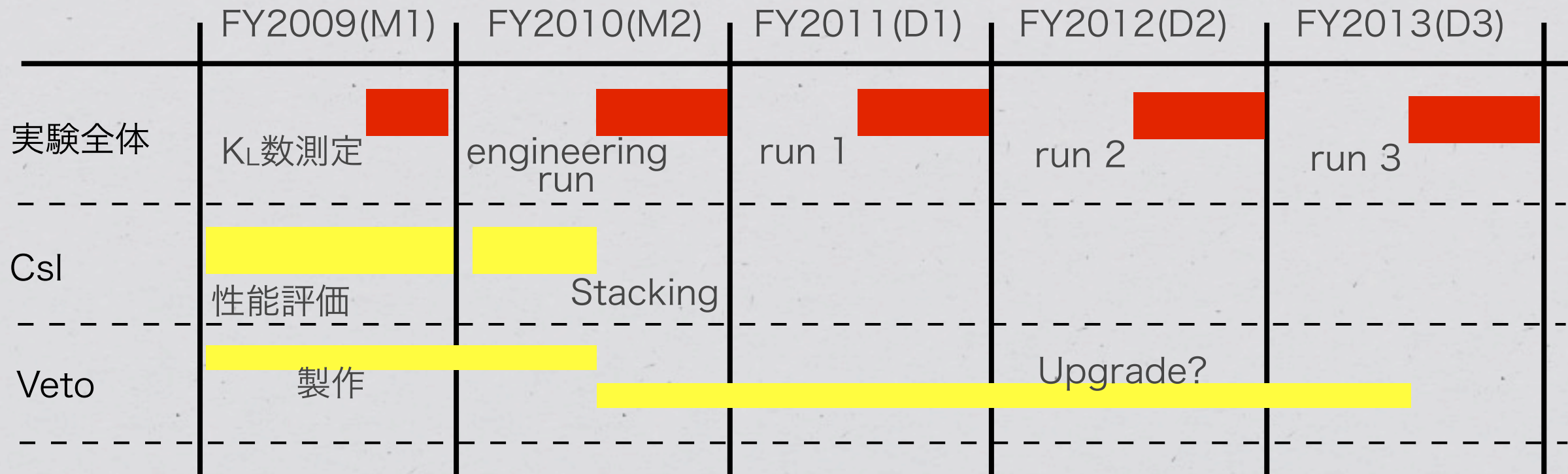
規則  
正しく

Workaholic

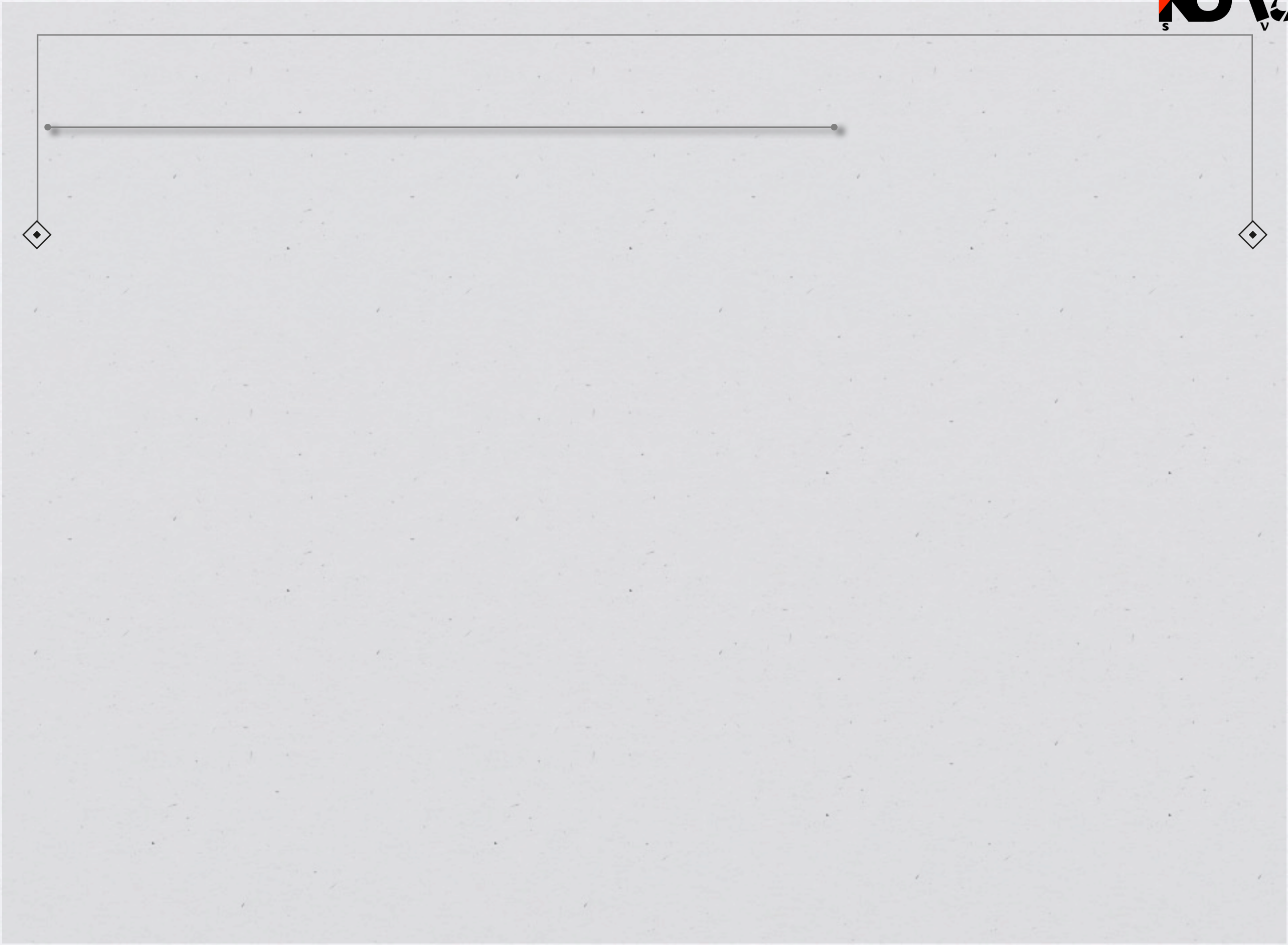
基本的にMTG以外はFlex.  
南條さんをご結婚されて以降は、  
朝型推進志向がある？

# 今後の予定

|        |                           |
|--------|---------------------------|
| 09/4   | 25: JUM                   |
| 5      | 22-24: コラボレーションミーティング     |
| 6      | 1-3: 東北大核理研ビームテスト Phase1  |
| 7      | 6-10: 東北大核理研ビームテスト Phase2 |
| 9      | 10-13: 学会@甲南大学            |
| 10 ~ ? | KL生成数測定実験                 |









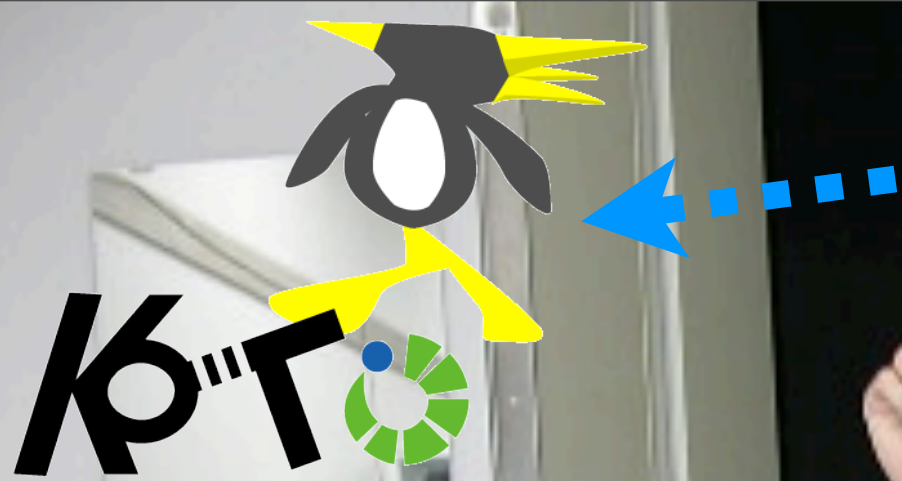


# M1さんにやってもらいたいこと

- 塩見さんと共に **$K_L$  Measurement**の準備を進める
- **Beam Survey**用にプラシンを用いて**BHCV**を開発する
  - プラスチックシンチレーターを用いた場合の性能評価(ガスクェンバーとの比較)
  - 読み出し**system**の**study**(**Flash ADC**等)







夢が心から  
出る

いっしょにゆめ  
みようぜ!

