ミューオンg-2/EDM実験と陽電子飛跡検出器の構造検討

櫻井 幹生

(The University of Edinburgh 新B4 / サマースチューデント@KEK)

ILC夏の合宿2015 @ 伊香保

21st July 2015

ミューオン異常磁気能率 g-2

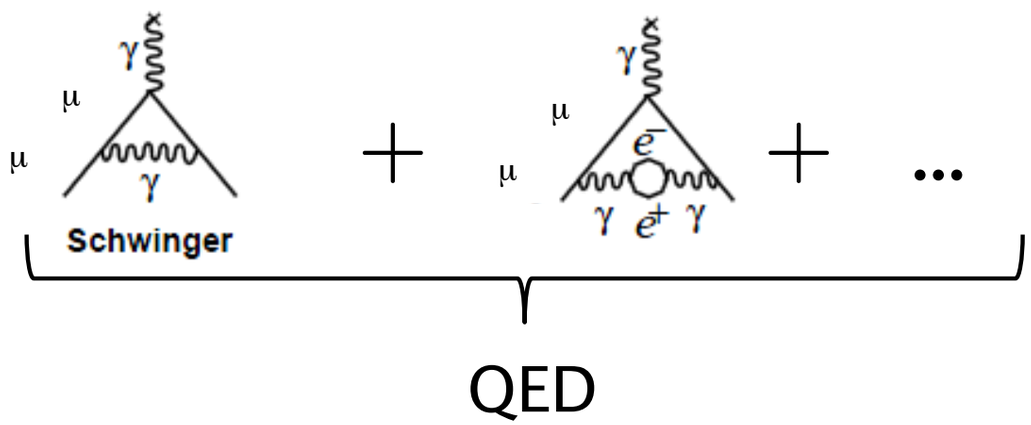
- 磁気能率: スピンが磁場によって受ける影響の受けやすさ

$$\mathcal{H} = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} \qquad\qquad \vec{\mu} = g\left(\frac{e}{2m_\mu}\right)\vec{s}$$

- ミューオンのg因子はDirac方程式の最低次では2であるが,

量子補正を受け2からずれる.

$$a_\mu = \frac{(g-2)}{2} =$$



+Hadronic
+EW
+BSM ?

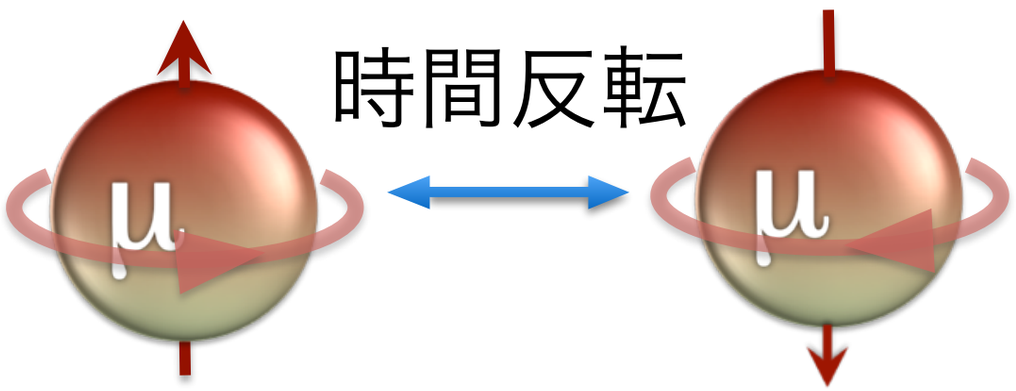
標準理論のa_μと実験値の比較

QED contribution	11 658 471.808 (0.015)	Kinoshita & Nio, Aoyama et al
EW contribution	15.4 (0.2)	Czarnecki et al
Hadronic contributions		
LO hadronic	**694.9 (4.3)**	HLMNT11
NLO hadronic	−9.8 (0.1)	HLMNT11
light-by-light	10.5 (2.6)	Prades, de Rafael & Vainshtein
Theory TOTAL	**11 659 182.8 (4.9)**	
Experiment	**11 659 208.9 (6.3)**	world avg ~BNL E821 (0.54ppm)
Exp − Theory	**26.1 (8.0)**	**3.3 σ discrepancy**

(in units of 10^{-10}. Numbers taken from HLMNT11, J.Phys.G38:085003,2011)
Table by D. Nomura (YITP, Kyoto U.)

3σ以上のズレ ⇒ 新物理探求の糸口に！

ミューオン電気双極子モーメント EDM



$$\mathcal{H} = -\vec{d} \cdot \vec{E}$$

$$\vec{d} = \eta \left(\frac{e}{m_\mu c} \right) \vec{s}$$

- 有限のEDMは測定されていない
- レプトンにおいてCP対称性の破れは見つかっていない
- 時間反転対称性を破る

⇒ CPT定理よりCP対称性を破る

物質優勢宇宙の謎を解く鍵として発見が期待!

BNL E821 と FNAL E989

- BNL E821
  - g-2を0.54ppmの精度で測定(統計誤差がdominant)
  - 標準理論から3σ以上のズレ

- FNAL E989
  - 同一の実験手法，ストレージリングで0.14ppmの精度を目指す
  - 不定性を減らすことが主な目的

a_μの値はBNLの実験でのみ決まっており，独立な方法での検証が重要！

J-PARC E34実験の重要性

- 全く新しい独立した実験手法
  - BNL E821 (& FNAL E989)の実験結果は独立な測定でのみ検証できる.
- 独立した実験グループ

g-2:

$0.54\ \mathrm{ppm} \rightarrow 0.1\ \mathrm{ppm}$

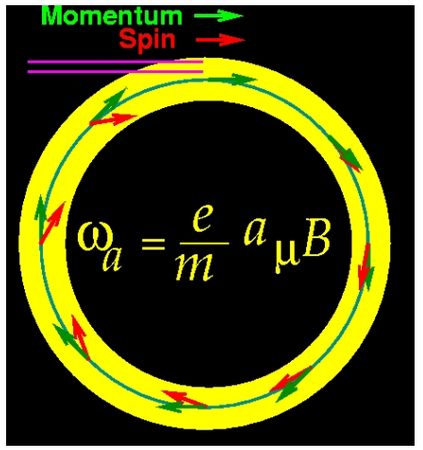
EDM:

$1.8 \times 10^{-19} e\cdot\mathrm{cm}\ (95\%\mathrm{C.L.}) \rightarrow 10^{-21} e\cdot\mathrm{cm}$

ミューオンg-2/EDMの測定

一様磁場中でミューオンが円運動する場合,

スピンはg-2だけミューオンより早く回転する.



この余剰な回転周期を測定して $a_\mu = \frac{(g-2)}{2}$ を求める.

一般には電場が磁場に見える項やEDMによってもスピンは回転する.

$$\vec{\omega} = -\frac{e}{m}\left[a_\mu \vec{B} - \left(a_\mu - \frac{1}{\gamma^2 - 1}\right)\frac{\vec{\beta}\times\vec{E}}{c} + \frac{\eta}{2}\left(\vec{\beta}\times\vec{B} + \frac{\vec{E}}{c}\right)\right]$$

BNL E821 approach
γ=29.3, (p=3.094 GeV/c)

J-PARC new approach
E = 0

FNAL E989

$$\vec{\omega} = -\frac{e}{m}\left[a_\mu \vec{B} + \frac{\eta}{2}\left(\vec{\beta}\times\vec{B} + \frac{\vec{E}}{c}\right)\right]$$

J-PARC E34

$$\vec{\omega} = -\frac{e}{m}\left[a_\mu \vec{B} + \frac{\eta}{2}\left(\vec{\beta}\times\vec{B}\right)\right]$$

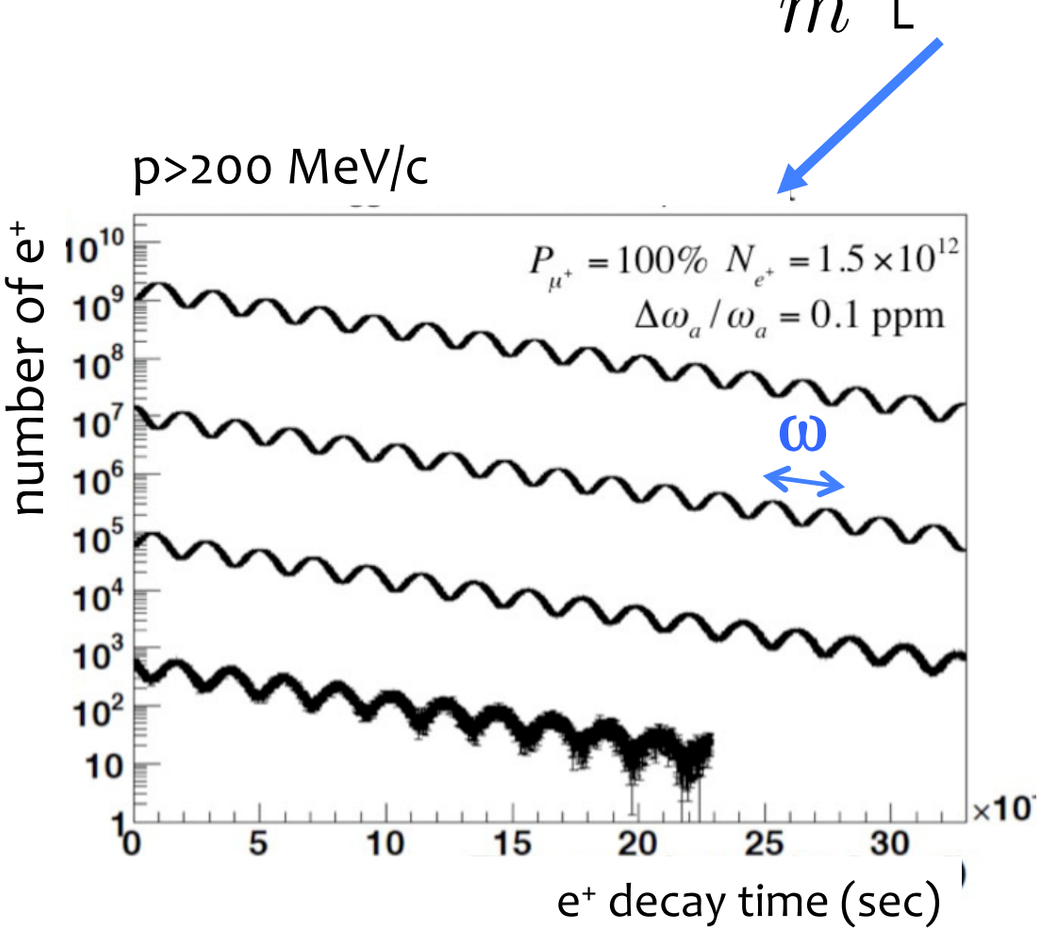
電場=0の環境で運動量に依らず,
g-2/EDMの測定が可能に!

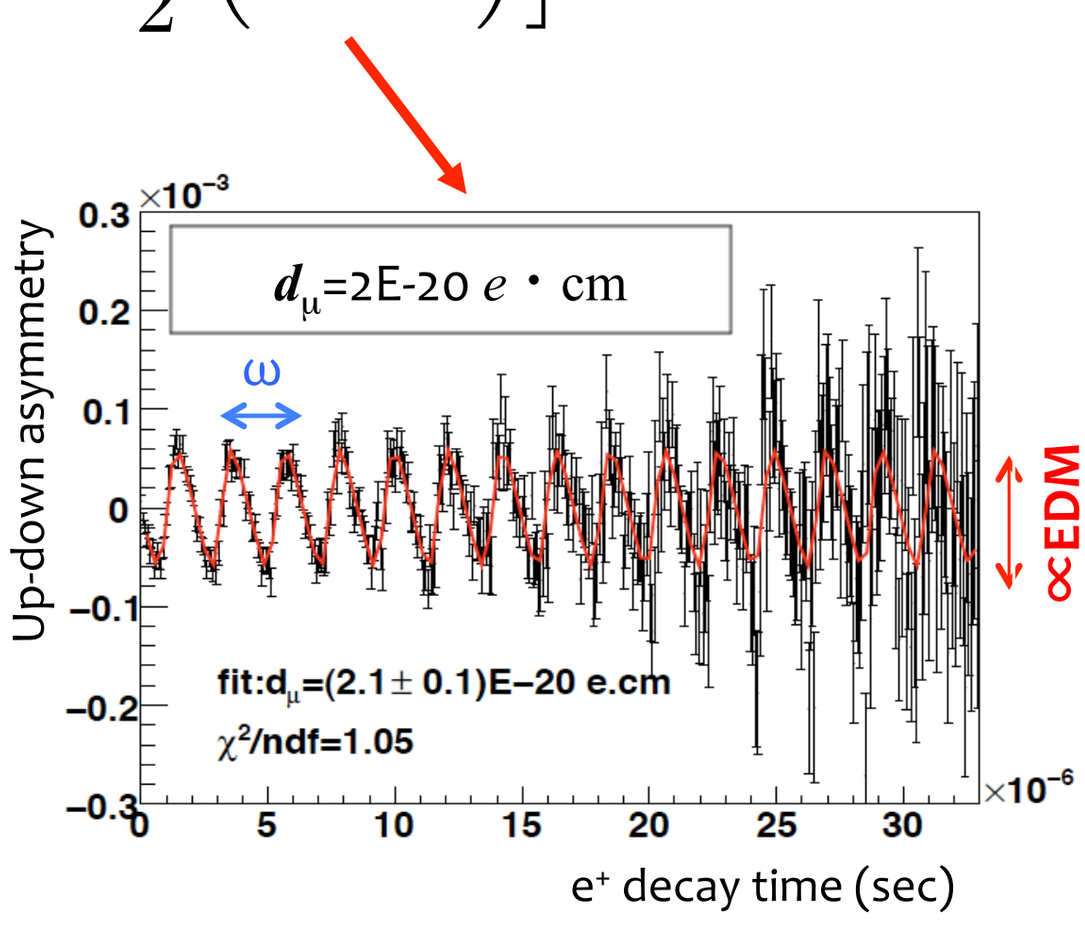
予想される陽電子の時間分布

磁場中でミューオンのスピンは時間と共に歳差運動

⇒高エネルギーの陽電子数も同じ周波数で変化

$$\vec{\omega} = -\frac{e}{m}\left[a_\mu \vec{B} + \frac{\eta}{2}\left(\vec{\beta}\times\vec{B}\right)\right]$$





J-PARC E34 実験

物質生命科学実験施設 (MLF)

ミューオン基礎物理ビームライン (H-Line)

極冷μ^+ビーム: 強度 10^6 /sec

運動量 300 MeV/c (γ=3)

$p_T/p_L \sim 10^{-5}$
偏極度 > 50%

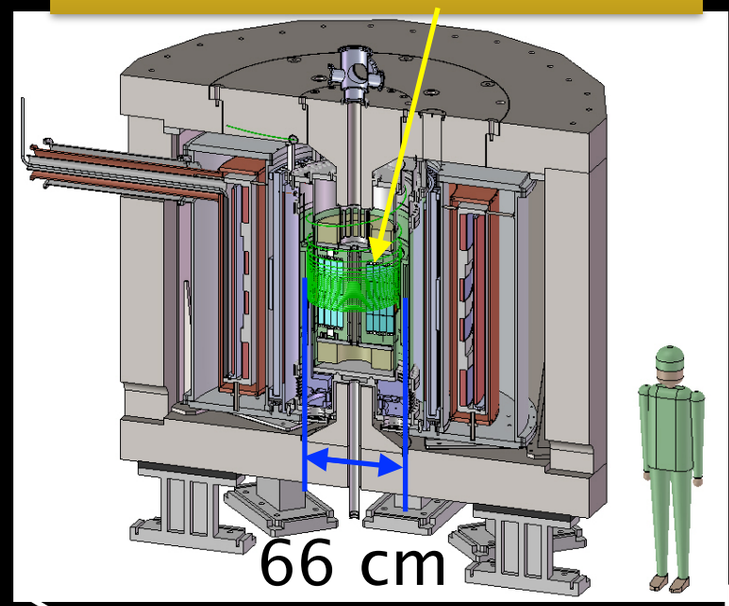
3 GeV陽子ビーム
333μA

表面ミューオンビーム
28 MeV

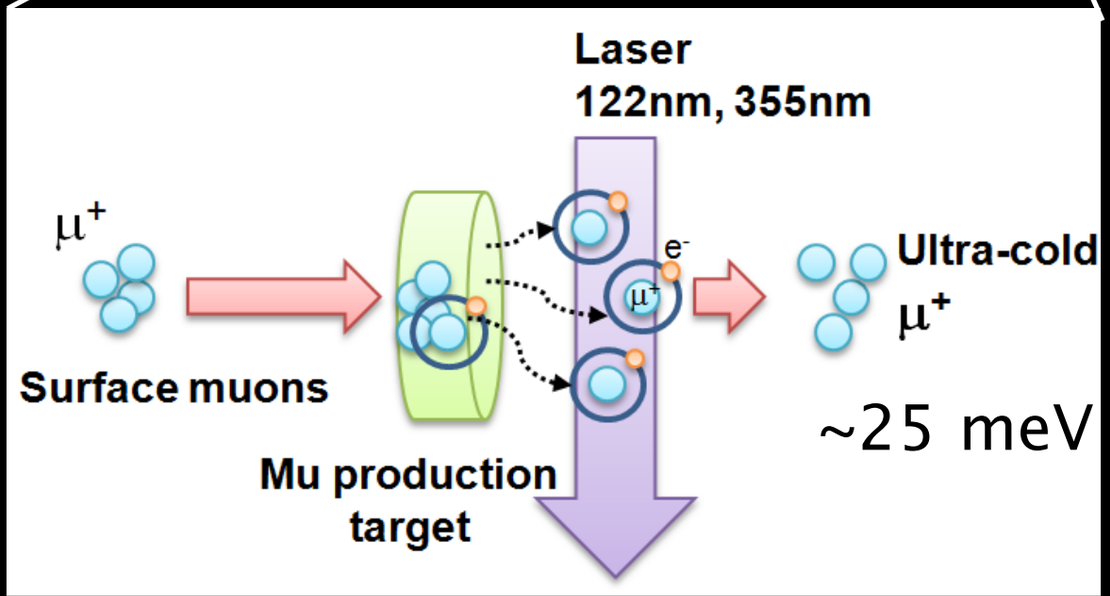
ミューオニウム生成

極冷ミューオンビーム
300 MeV/c

陽電子飛跡検出器



ミューオン蓄積リング
3 T一様磁場(~1ppm)

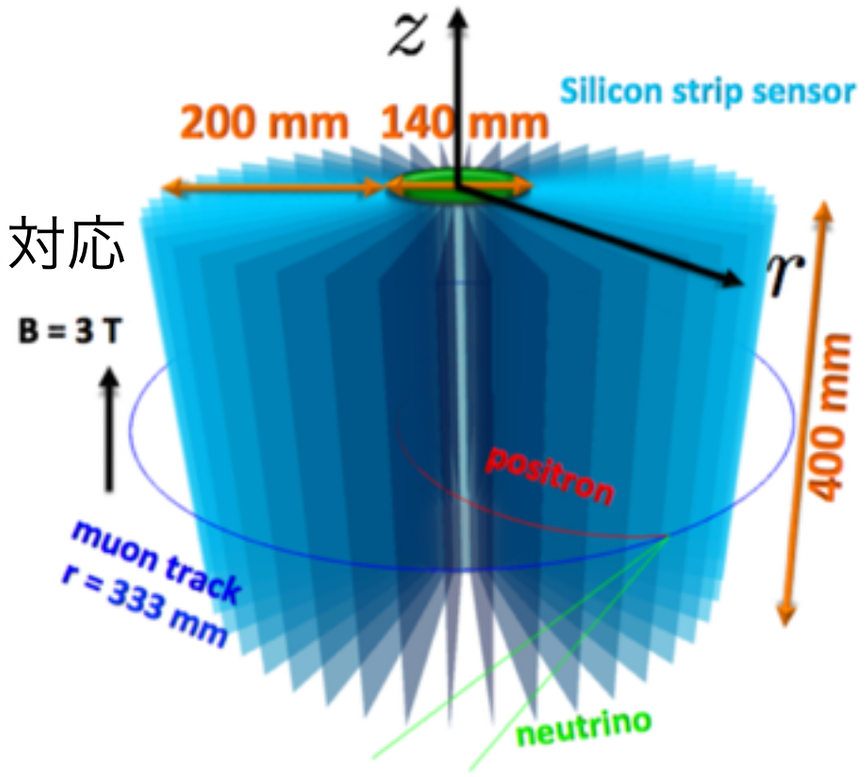


収束電場E=0でミューオンの蓄積を実現

陽電子飛跡検出器

- 崩壊陽電子数と時間を正確に測定
- 同時に運動量と角度も測定

  ⇒ 陽電子の飛跡を再構成することでミューオンスピンの歳差運動を調べる.

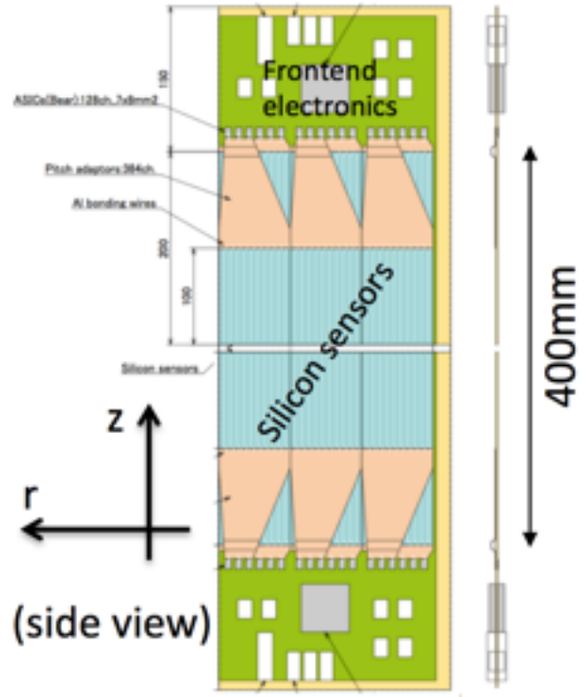


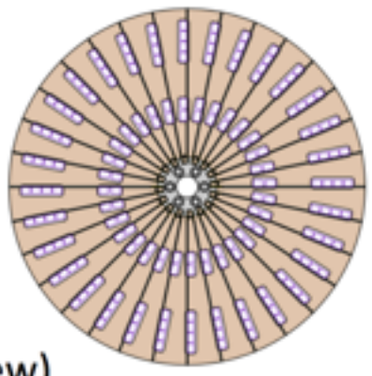
- 大強度パルスビームに対応
  - 高速応答
  - 高安定性

- EDMを高感度で測定
  - 高設置精度

検出器モジュール

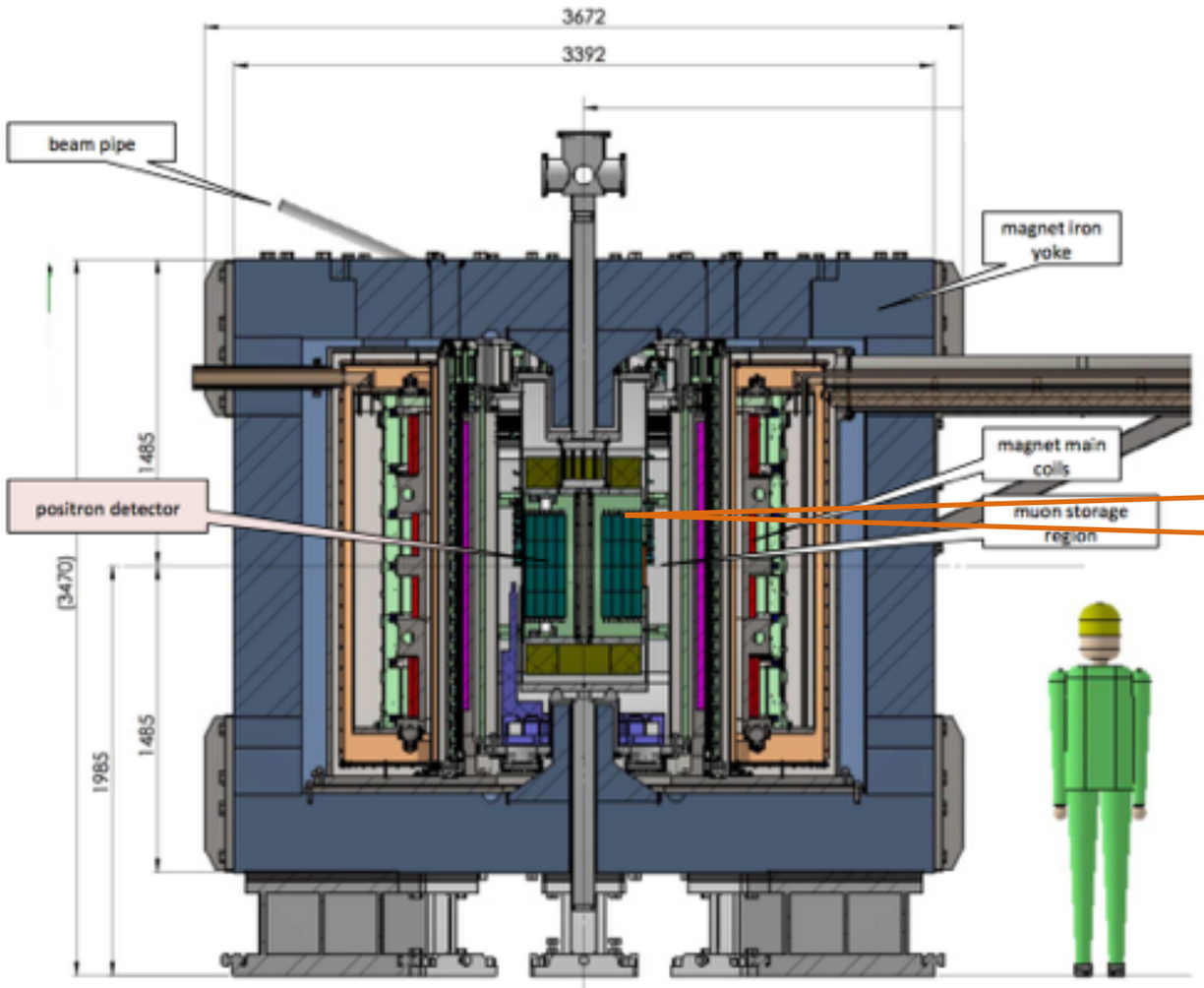
(1vane × 48枚)

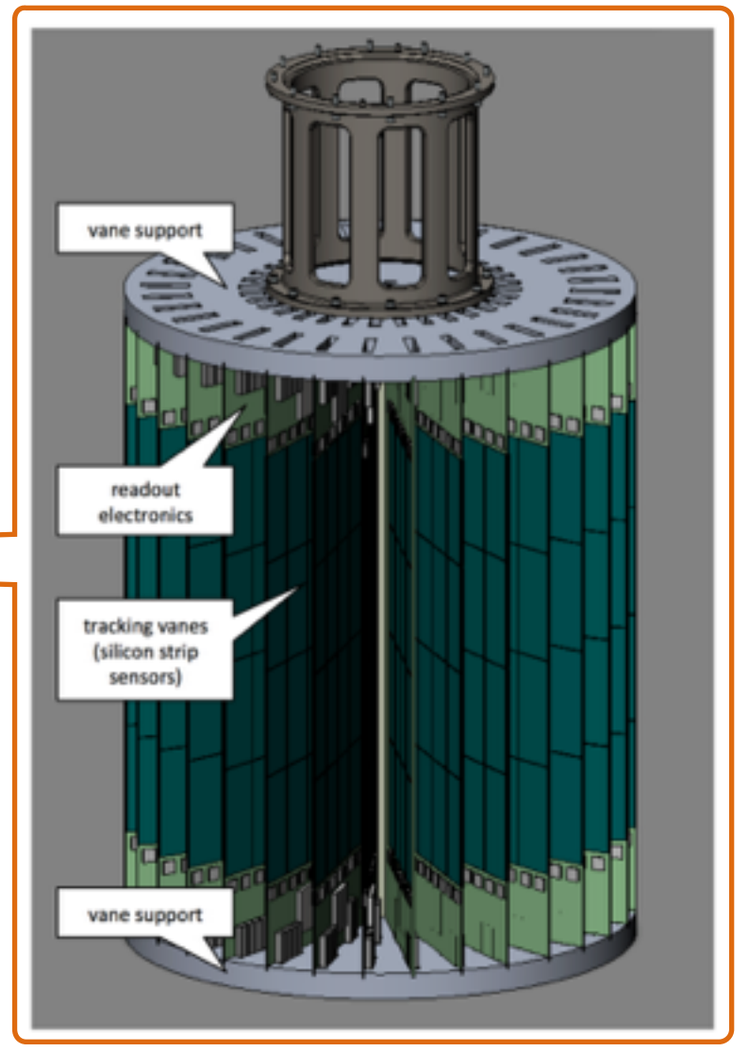




シリコンストリップセンサーで実現

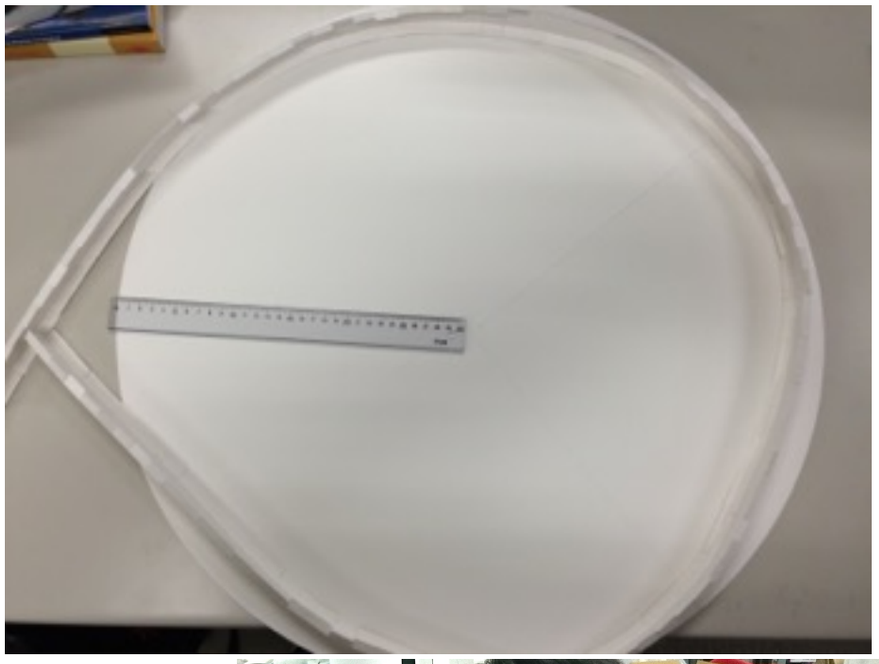
陽電子飛跡検出器の構造検討

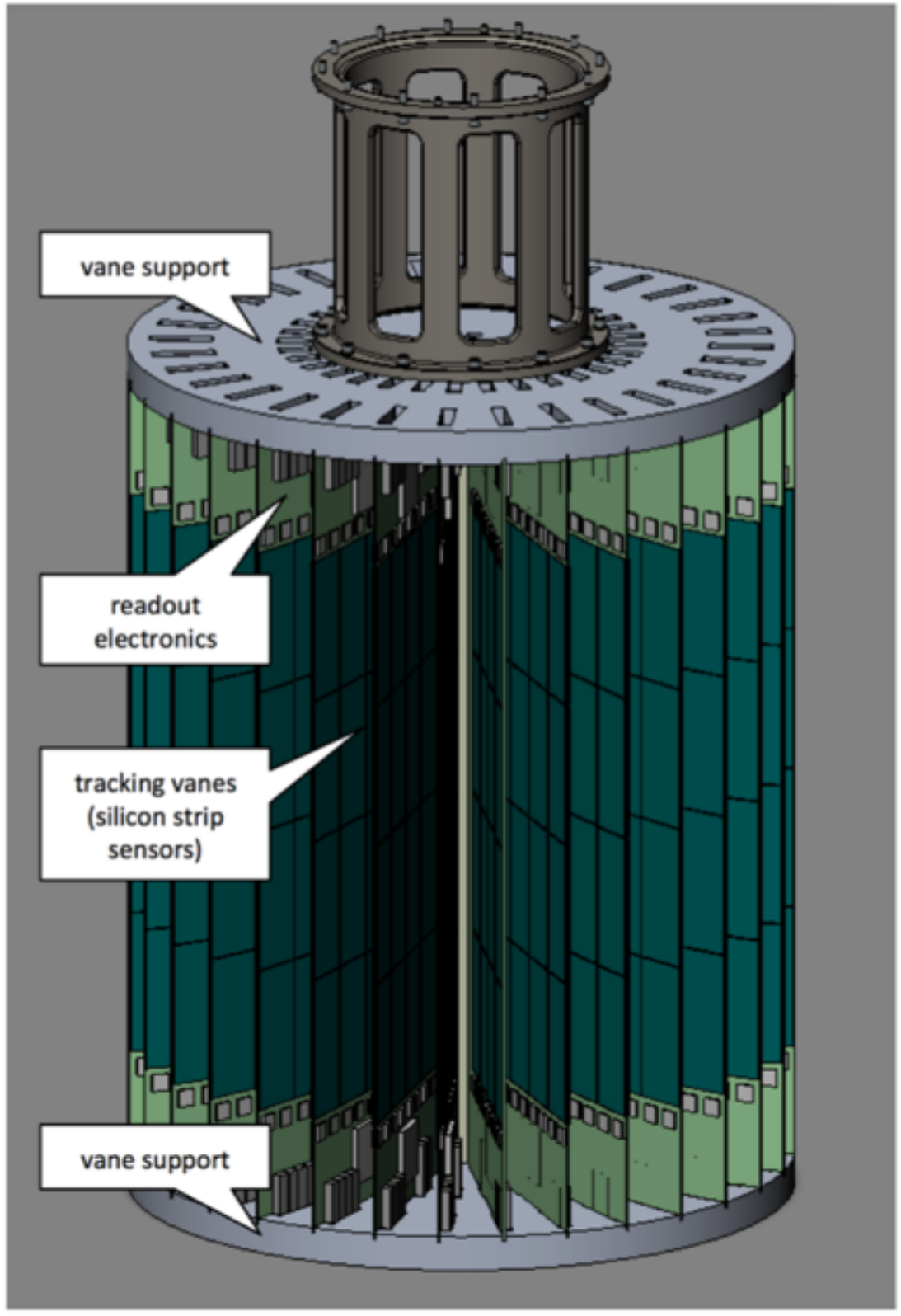




“密”な設計 ⇒ 実寸大模型による構造検討

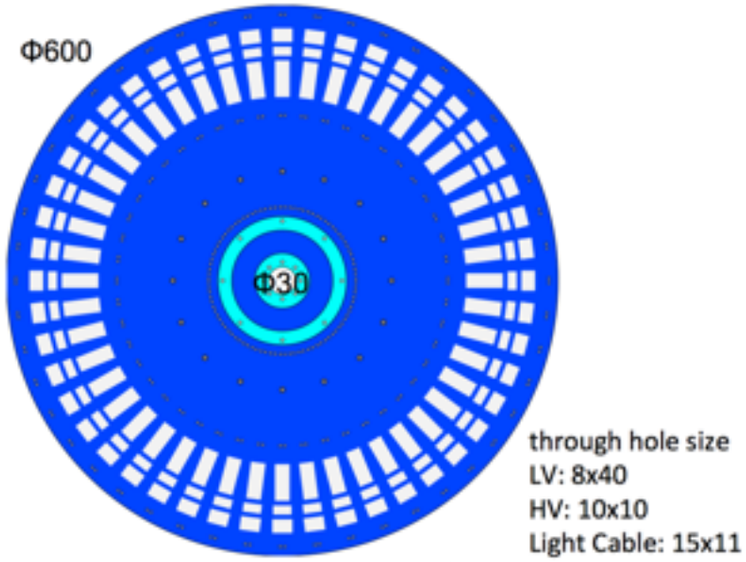
実寸大模型製作過程



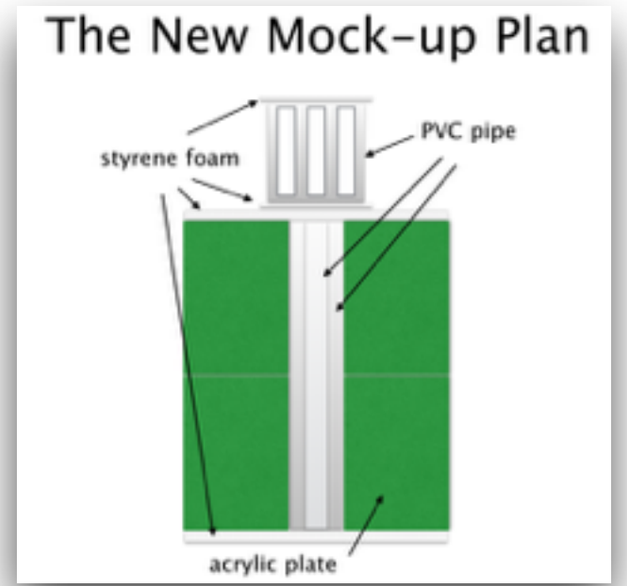

vane support
readout electronics
tracking vanes (silicon strip sensors)
vane support

構造検討 成果

Top view

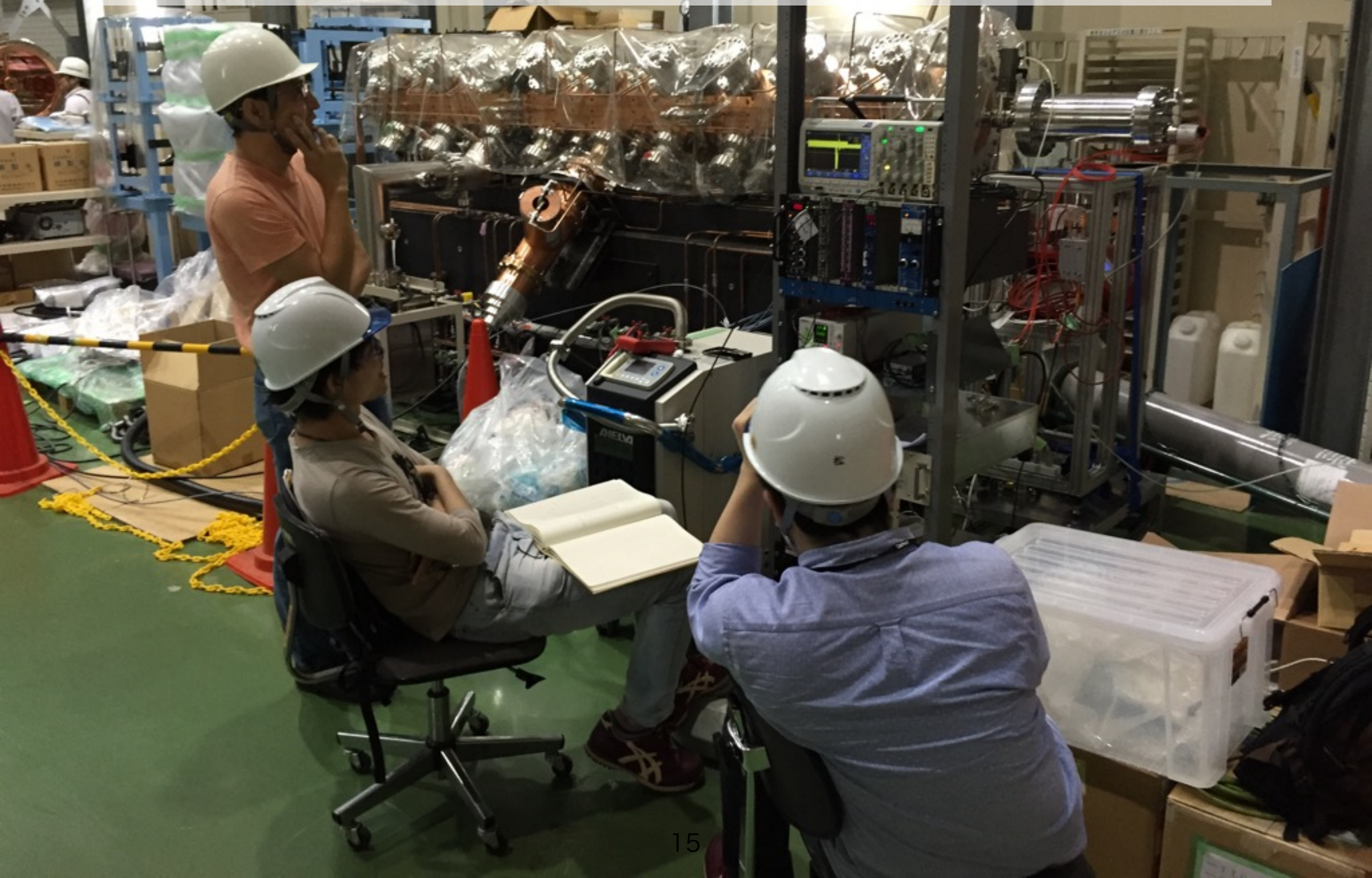


Centre pole接続のためのネジの干渉を防ぐことに成功!



細部の構造検討のため,
よりrigidな素材を用いた
模型製作を検討中

RFQ offline試験 @J-PARC



まとめ

- ミューオンg-2/EDMは新物理探求への糸口である.

- J-PARC E34実験では
  - g-2を0.1ppmの精度で測定することを目指す.
  - ミューオンEDMの高精度$10^{-21} e \cdot \mathrm{cm}$での測定を目指す.

- R&Dが順調に進行中
  - 陽電子飛跡検出器
  - ミューオン加速のためのRFQ

  etc...

Thank you for listening!

Back up

E34実験 collaborators

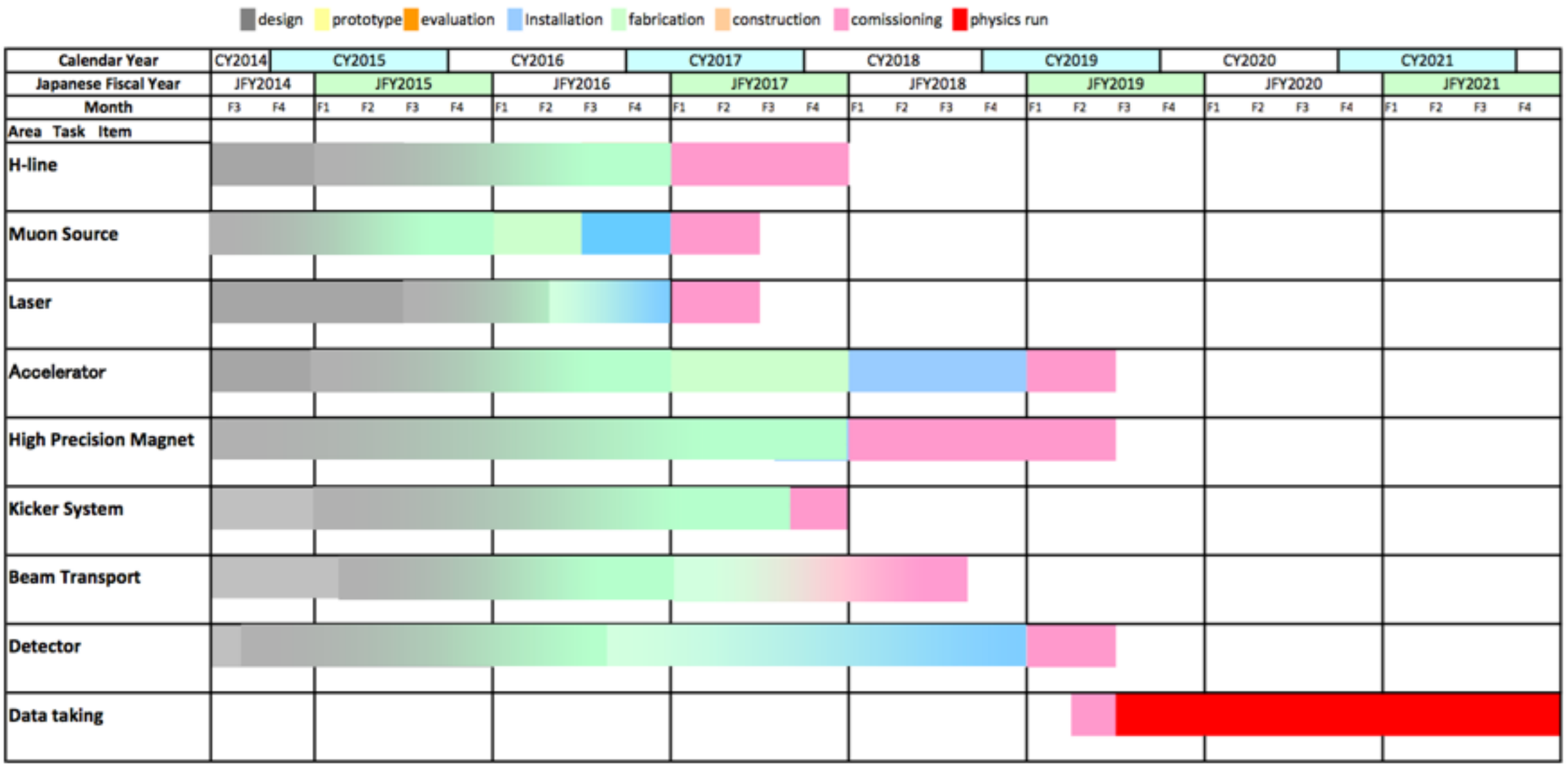
- Collaborators
  - Proposal (2009) 7 2
  - Conceptual Design Report (2011) 9 2
  - Technical Design Report (2015) 1 3 6 (16 graduate students)
    (27 also in COMET)
  -
- 9 countries, 49 institutions
  - Canada, China, Czech, France, Japan, Korea, Russia, UK, USA (in alphabetical order)

J-PARC 2014.9

KAIST (Korea) 2014.11

J-PARC 2015.6

Schedule



Assumption : Major construction fund become available in JFY2016

Note : Detector construction fund (Kakenhi-S) is available.