

J-PARC実験施設の高度化による 物質の起源の解明

素粒子物理・原子核物理分野の
「大型施設計画・大規模研究計画マスタープラン」
に関するシンポジウム

実施機関(予定)

高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所

J-PARCセンター

連携機関(予定)

大阪大学 核物理研究センター

理化学研究所 仁科加速器センター

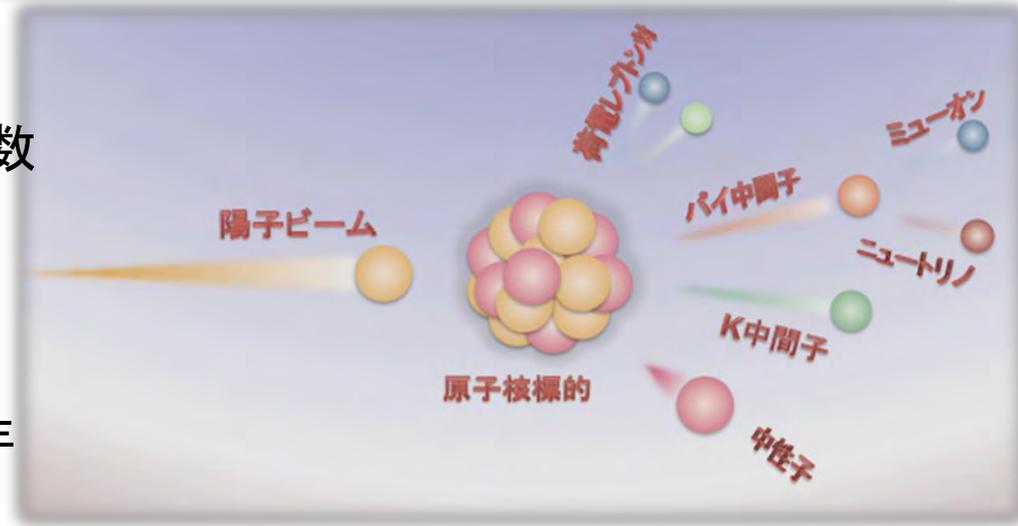
齊藤 直人

小松原 健 澤田 真也 三原 智 三部 勉

計画の概要

ハドロン実験施設の拡張

- スtrenジネスやチャーム量子数を持つ原子核・ハドロンの研究
 - 一般化核力
 - 極限核物質
- K中間子の稀崩壊におけるCP非保存過程の精査 (KOTO-II)



ミュオン電子転換実験

- COMET実験

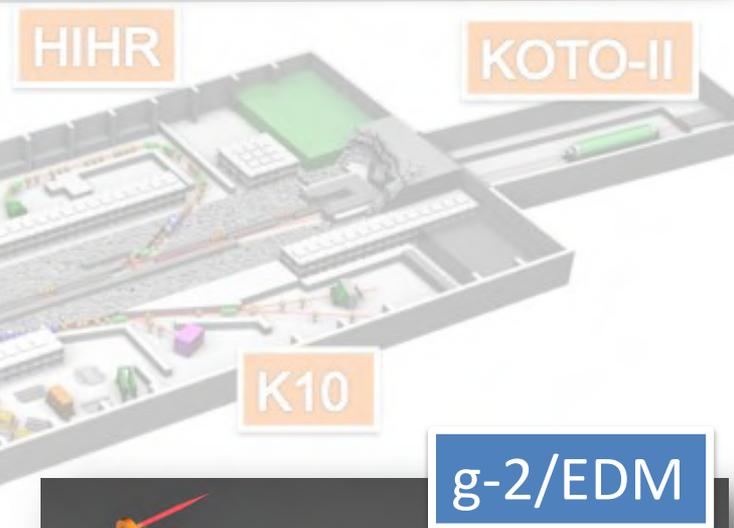
ミュオン磁気／電気双極子能率の超精密測定

- $g_\mu - 2/\mu$ EDM実験

KEK 素粒子原子核研究所を中心として、阪大RCNP、理研と協力。

COMET

学術会議 大型計画シンポジウム



J-PARC Facility
(KEK/JAEA)

LINAC
400 MeV

Rapid Cycle Synchrotron
エネルギー : 3 GeV
繰り返し : 25 Hz
設計出力 : 1 MW

物質・生命科学
実験施設

ミュオン異常磁気能率および
電気双極子能率の測定
($g_\mu - 2/\mu$ EDM)

ハドロン実験施設の拡張と
ミュオン電子転換実験 (COMET)

Main Ring

最高エネルギー (実績) : 30 GeV
遅い取り出し出力期待値 : > 0.1 MW

ハドロン実験施設

計画No.80 物理学分野

計画名

J-PARC実験施設の高度化による 物質の起源の解明

報告者

齊藤 直人 (高エネルギー加速器研究機構/J-PARCセンター)

随行者

鈴木 厚人 (高エネルギー加速器研究機構)

住吉 孝行 (高エネルギー加速器研究機構)

山内 正則 (高エネルギー加速器研究機構)

池田 裕二郎 (日本原子力研究開発機構/J-PARCセンター)

マスタープラン2014【27計画】

重点大型研究計画 27計画に選定

計画番号 80 学術領域番号 23-2

J-PARC 実験施設の高度化による物質の起源の解明

① 計画の概要

J-PARC 加速器は世界で有数の大強度陽子加速器である。この J-PARC の大強度陽子ビームを最大限に活用して研究成果を創出するために、J-PARC ハドロン実験施設の拡張とビームラインの整備・高度化を行うことを中心として、加えて物質生命科学実験施設(MLF)において新しい素粒子実験を展開する。これによって、K中間子、反陽子、ミュオンなどのビームを用いた素粒子原子核実験を世界最高水準で行うことを目指す。具体的テーマとしては、(1)ストレンジネス量子数を持った原子核(ハイパー核)の究極的分光とそれによる一般化された核力の研究、(2)複数のストレンジネス量子数やチャーム量子数を持った原子核の生成と極限状態核物質の研究、(3)K中間子の稀崩壊におけるCP対称性を破る過程の世界最高感度での測定(KOTO-II)、(4)荷電レプトンフレーバー非保存であるミュオンの電子転換過程の世界最高感度での探索(COMET)、(5)ミュオン異常磁気能率の世界最高感度での測定とミュオン電気双極子能率の測定($g-2/\mu$ EDM, MLF で実施)、の5つである。これらの研究テーマを組み合わせることにより、宇宙開闢初期に起こった物質の起源と階層構造を解明することが出来る。これらの研究テーマを推進するために、ハドロン実験施設を約3倍の面積に拡張し、二次粒子生成標的を一カ所から三カ所に増強して、世界的にユニークで特徴ある二次ビームラインを新設する。これにより、上記の重要な実験を時間的に並行して効率良く行う。必要となる冷却水、電力などの関連設備の増強等を併せて行い、研究用大型スペクトロメータなど、実験研究用装置・設備を大幅に増強する。また、MLFに $g-2/\mu$ EDM 実験設備を新たに建設する。

② 学術的な意義

物質の起源を求めて宇宙の歴史を遡行し現在の物質に満ちた宇宙を説明するには、LHC加速器のようなエネルギーフロンティアのみならず、大強度ビームを用いたインテンシティフロンティアでの研究が必要不可欠である。J-PARC では世界トップクラスの大強度の K 中間子、反陽子、ミュオンなどのビームが得られるが、本計画は、J-PARC ハドロン実験施設の高度化を軸に物質の起源に迫る研究を展開することを目的とする。(1)ハイパー核の究極的分光とそれによる一般化された核力の研究や(2)複数のストレンジネスやチャームを持つ原子核の生成と極限状態核物質の研究では、ストレンジ粒子と核子あるいは原子核の相互作用を明らかにすることにより、中性子星に存在していると考えられる極限状態の核物質と言えるストレンジ



提言

第22期学術の大型研究計画に関する
マスタープラン
(マスタープラン2014)



平成26年(2014年)2月28日
日本学術会議
科学者委員会
学術の大型研究計画検討分科会

文部科学省：大型プロジェクト

ロードマップ2014

改訂 2015年11月

| 分野 | 計画名称 | 計画概要 | 主な実施機関と実行組織 | 所要経費(億円) | 計画期間 | 評価 | 評価 | 主な優れている点等 | 主な課題・留意点等 |
|--------|---------------------------|--|--|--|---|----|----|---|--|
| | | | | | | ① | ② | | |
| 物理学・工学 | J-PARC実験施設の高度化による物質の起源の解明 | J-PARC大強度陽子ビームを最大限に活用し研究成果創出の為、ハドロン実験施設の拡張整備を行いミュオン電子転換実験やハドロン実験を行う。更に物質生命科学実験施設にミュオンg-2/EDM実験を実現する。 | <p>【中心機関】 高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所</p> <p>【連携機関】 高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所・加速器研究施設・共通基盤研究施設、理化学研究所仁科加速器センター、大阪大学核物理研究センター、東京大学、京都大学、東北大学、大阪大学</p> | ハドロン施設拡張137、測定器整備30、ミュオン電子転換過程探索実験40、ミュオン異常磁気能率/電気双極子能率測定実験31、運転経費15.2/年 | ミュオン実験(COMETとg μ -2/ μ EDM)H29-H38:建設と運転ハドロン施設拡張H30-H39:建設と運転 | a | b | <ul style="list-style-type: none"> ・日本独自のユニークな計画であり、原子核分野を代表する計画としてふさわしい。 ・本研究の推進により、Bファクトリーとの相補性が発揮され、更なる成果が期待できる。 ・高度化により、K中間子、反陽子、ミュオンなどのビームを用いた素粒子原子核実験を世界最高水準で行うことが可能となり、素粒子標準模型を超える事象を捉える可能性があるなど有力な計画である。 | <ul style="list-style-type: none"> ・実績、共同利用体制などの評価は高いものがあり、計画もそれ自体は妥当と思われる。一方で長期的な巨大計画の実現に向けた第2ステップであり、その緊急性などについて他分野などの理解を得るためには、現施設の成果をより明確にするなどの努力が必要である。 ・ハドロン実験施設を拡張し新たな研究テーマに取り組むことは計画の妥当性からも意義深い。国外の関連する研究動向を踏まえ、実施体制や研究内容など社会的な理解を得られるよう取り組んでもらいたい。 ・中心機関である高エネルギー加速器研究機構は、ハドロン実験施設における放射性物質の漏洩事故及び不適切な会計処理事業を踏まえ、計画の推進に当たっては、社会や国民の理解を得るため、再発防止策の徹底、安全配慮及び適切な執行管理についての一層の努力が求められる。 |

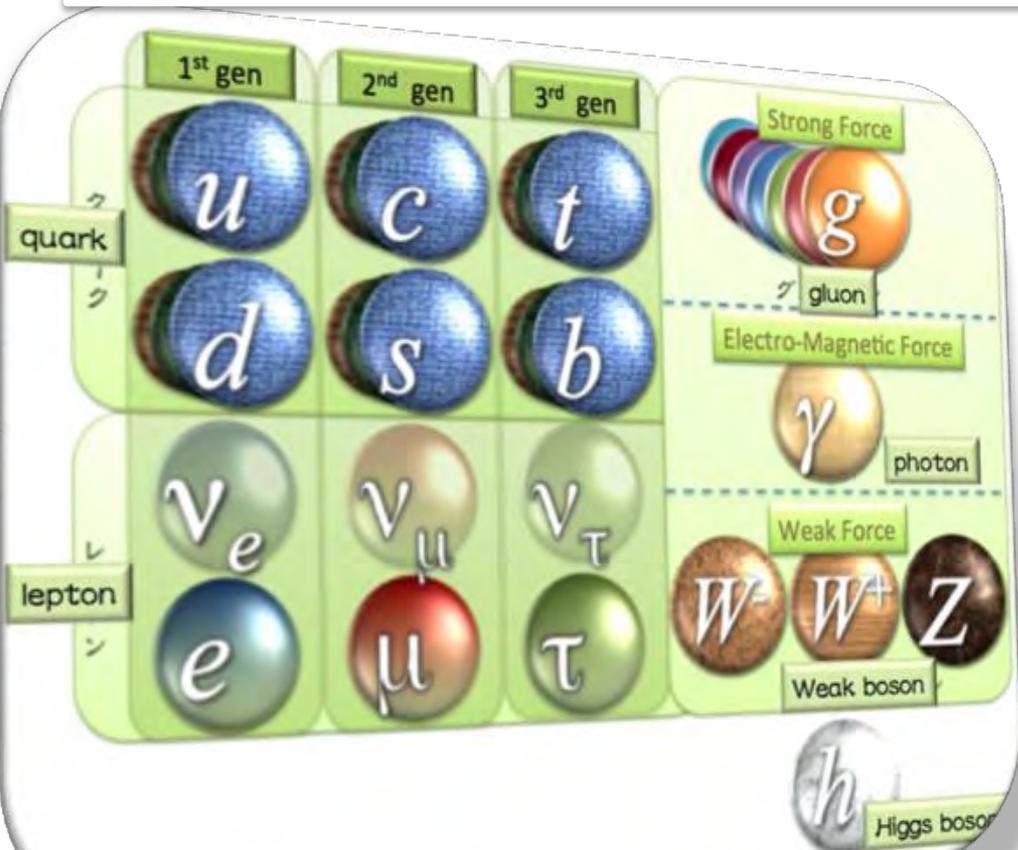
コミュニティの合意、実施主体の明確さ、共同利用体制、妥当性 = a
 緊急性、戦略性、社会の理解 = b 学術会議 大型計画シンポジウム

我々の物質観は完成したのか？

• ヒッグス粒子の発見

素粒子標準模型の完成

新物理の発見で未解決問題に立ち向かう時代へ！



- 宇宙開闢時に粒子と同数あったはずの反粒子はどこに？

CPの破れ

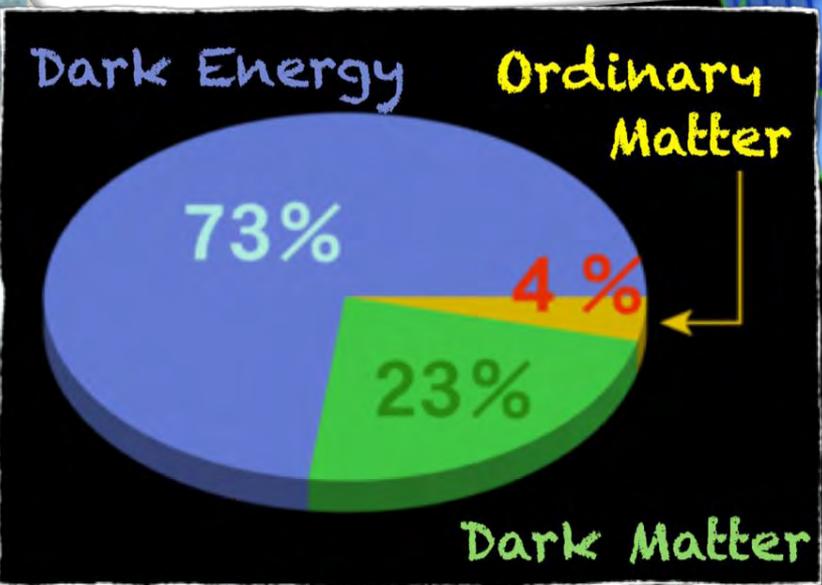
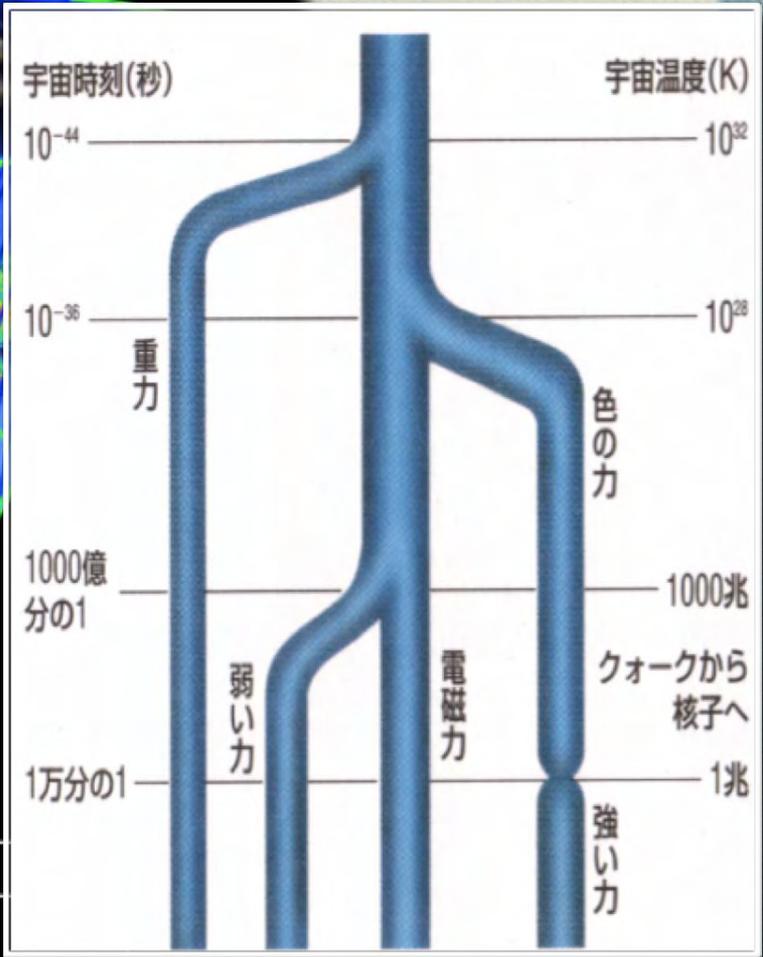
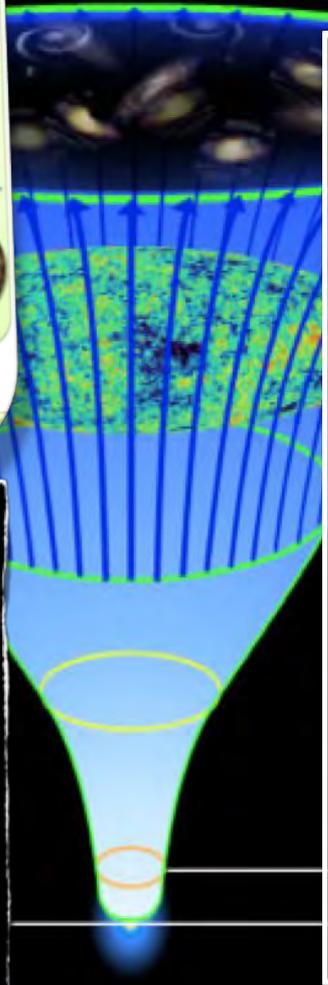
- 我々の世界はほぼ第一世代だけで出来ているのに、何故3世代存在するのか？

宇宙の歴史と素粒子標準模型



結果、現在のような星や銀河などが生まれてきた。

現在137億年



FROM

"nothin"

物質優勢宇宙の起源

- Big Bang 直後は粒子と反粒子が同数
- 観測値：粒子は反粒子より10億分の1程度多い。
 - 宇宙背景放射 $\eta_B = (6.1_{-0.2}^{+0.3}) \times 10^{-10}$
 - 宇宙初期核合成 $\eta_B = (2.6 - 6.2) \times 10^{-10}$
- 小林益川理論では 10^{-19} 程度しか説明しない → もっと非対称を！
- 消えた反物質の謎

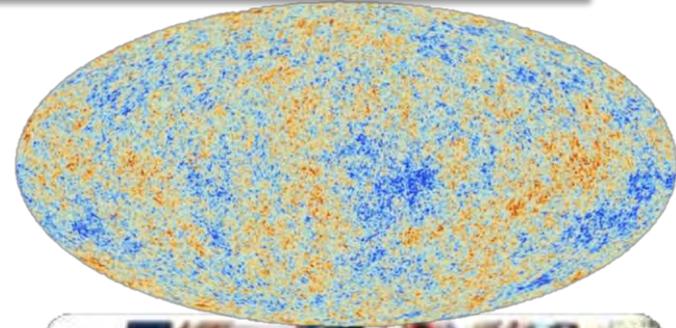
⇒物質優勢宇宙発現の3条件 (1967 サハロフ)

- バリオン数が破れる反応 (例：陽子崩壊)

–CPの破れ

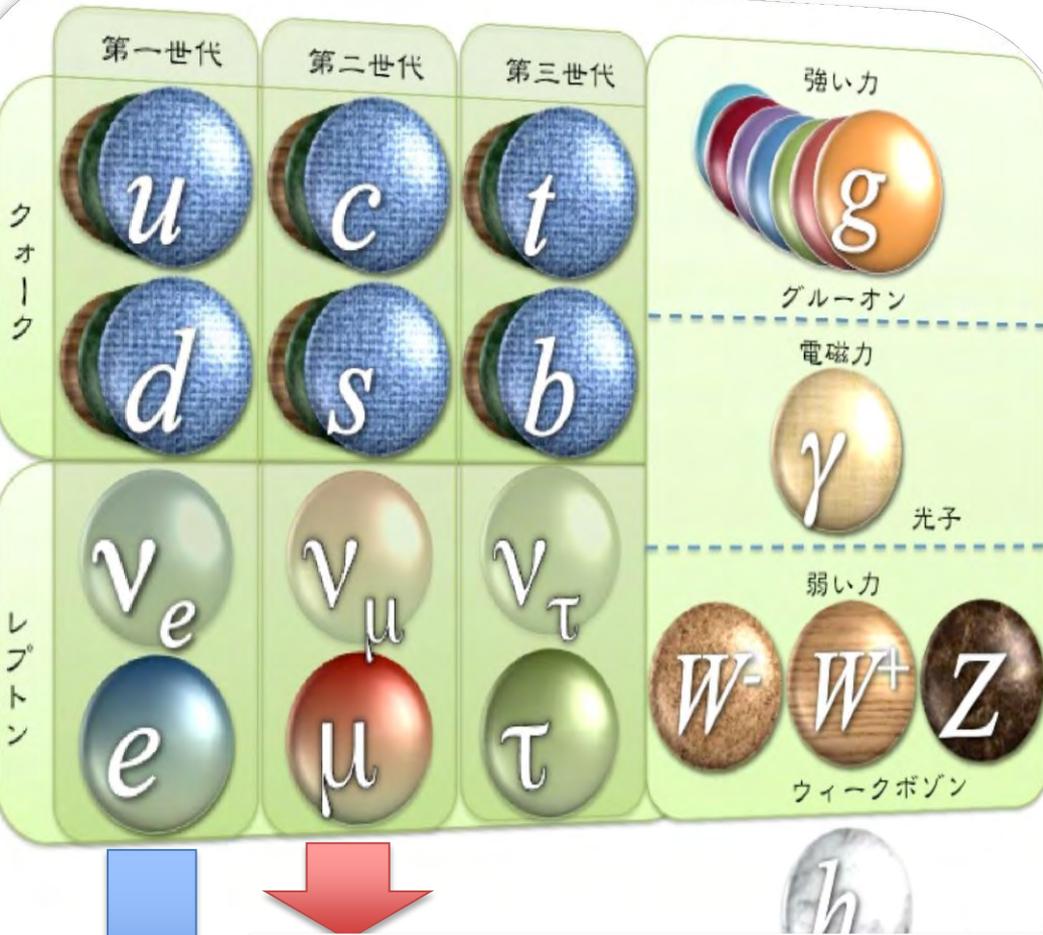
- 熱的非平衡状態の存在

学術会議 大型計画シンポジウム



人間 “反人間”

物質 = 1,000,000,000分の1の生き残り



物質の起源 =

物質と反物質の非称性
CP非保存とフレーバーの混合
小林益川を超えるCP非保存
荷電レプトンであるミュオンの役割

+

強い力による物質の形成
ストレンジネス、チャームの役割

J-PARCの大強度を生かした超精密測定

現在の安定な世界

J-PARCでの標準模型を超える物理の探索

| | AC | RVV2 | AKM | δ LL | FBMSSM | LHT | RS |
|--|-----|------|-----|-------------|--------|-----|-----|
| $D^0 - \bar{D}^0$ | ★★★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★★★ | ? |
| ϵ_K | ★ | ★★★ | ★★★ | ★ | ★ | ★★ | ★★★ |
| $S_{\psi\phi}$ | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★ | ★ | ★★★ | ★★★ |
| $S_{\phi K_S}$ | ★★★ | ★★ | ★ | ★★★ | ★★★ | ★ | ? |
| $A_{CP}(B \rightarrow X_s \gamma)$ | ★ | ★ | ★ | ★★★ | ★★★ | ★ | ? |
| $A_{7,8}(B \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-)$ | ★ | ★ | ★ | ★★★ | ★★★ | ★★ | ? |
| $A_9(B \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-)$ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ? |
| $B \rightarrow K^{(*)} \nu \bar{\nu}$ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ |
| $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$ | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★ | ★ |
| $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★★★ | ★★★ |
| $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★★★ | ★★★ |
| $\mu \rightarrow e \gamma$ | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ |
| $\tau \rightarrow \mu \gamma$ | ★★★ | ★★★ | ★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ |
| $\mu + N \rightarrow e + N$ | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ |
| d_n | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★ | ★★★ | ★ | ★★★ |
| d_e | ★★★ | ★★★ | ★★ | ★ | ★★★ | ★ | ★★★ |
| $(g-2)_\mu$ | ★★★ | ★★★ | ★★ | ★★★ | ★★★ | ★ | ? |

モデル依存性の少ない実験

→モデル選択制の高い実験

海外での先行実験 (CERN NA62)

拡張で精度が上がる実験 (KOTO→KOTO2)

ハドロンホールでの先行実験 (COMET)

MLFで準備中の実験 (Muon g-2/EDM)

標準模型のほころびの発見 → 標準模型を超える物理モデルの選択

強い相互作用の相図

温度

ビッグバン
(初期宇宙)

T_c
~170 MeV

膨張による冷却

クォーク・グルーオン・
プラズマ (QGP)

相転移

ハドロン

ハドロン形成
(クォーク閉込め)

バリオン

メソン

元素合成

恒星

中性子星

高密度クォーク・ハドロン
物質の謎

相転移

クォーク星?

重力圧縮

$H, He \rightarrow Fe$

重力圧縮
元素合成
の謎

$Fe \rightarrow U$

sクォーク出現

密度

0

超新星爆発?

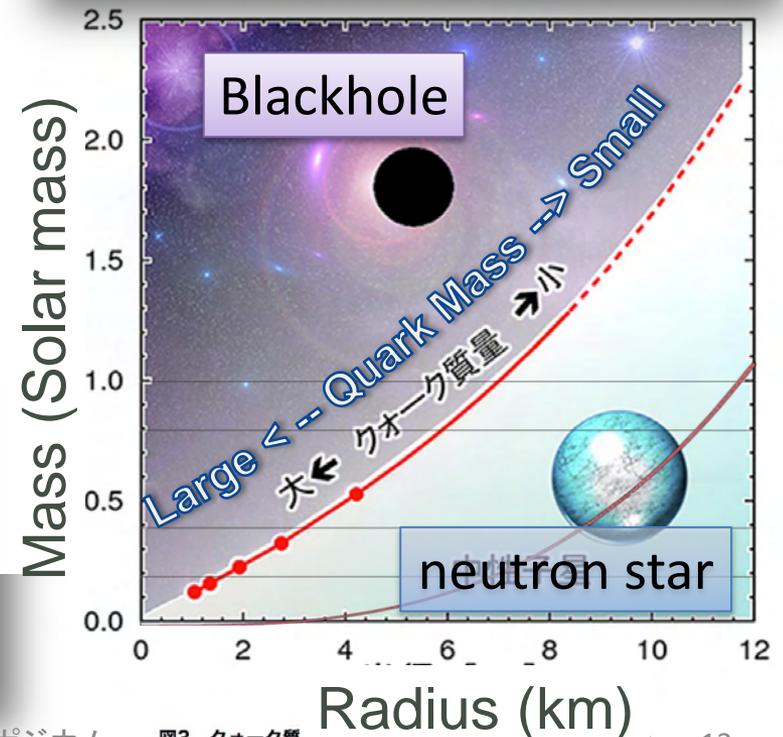
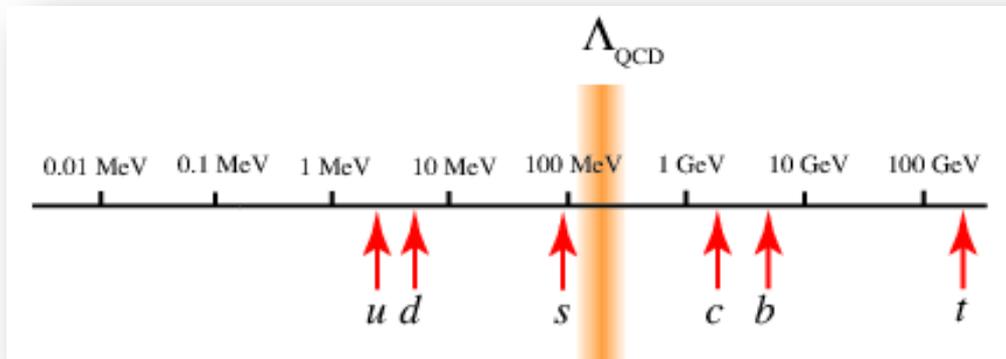
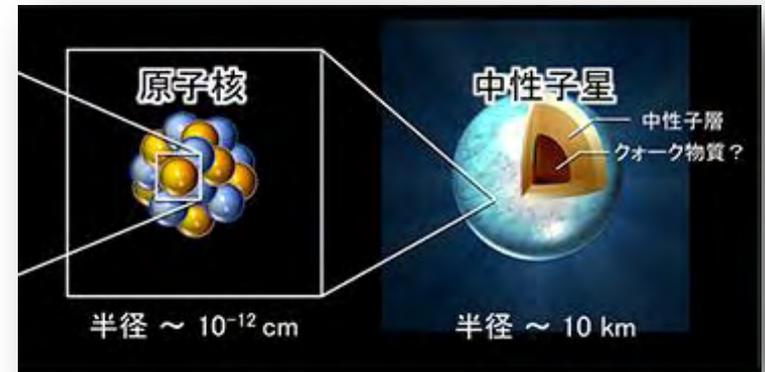
原子核

高密度核物質

クォーク物質
(カラー超伝導)

Fate of Stars and Strangeness

- Neutron Star is extremely dense!
- Threshold of Gravitational Decay depends on Baryon Interaction in the star
- Quark mass plays important role!



CPV, Quark Mass, and Neutron Star

- CPV is related to quark mass thru Jarlskog

Invariant

$$J = \frac{-\text{Det. } C}{2F(m_{t,c,u})F(m_{b,s,d})}$$

C. Jarlskog, PRL 55 (1985) 1039

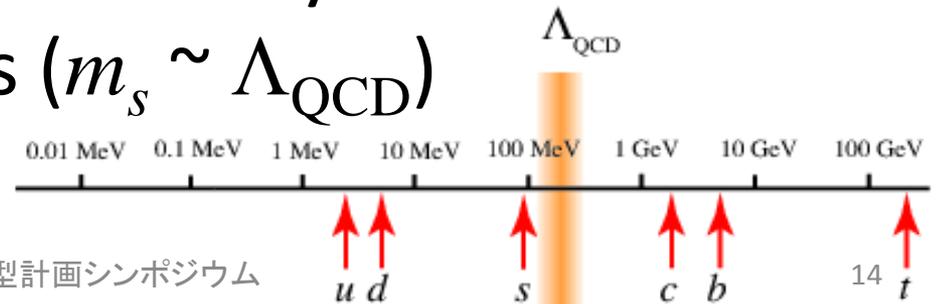
$$F(m_{t,c,u}) = (m_t - m_c)(m_t - m_u)(m_c - m_u)$$

$$F(m_{b,s,d}) = (m_b - m_s)(m_b - m_d)(m_s - m_d)$$

$$iC = [M_u, M_d],$$

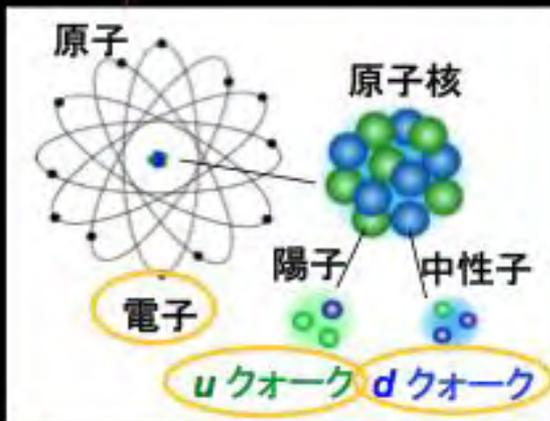
– CPV requires non-degeneracy of quark mass

- Threshold for gravitational decay of neutron star depends on quark mass ($m_s \sim \Lambda_{\text{QCD}}$)



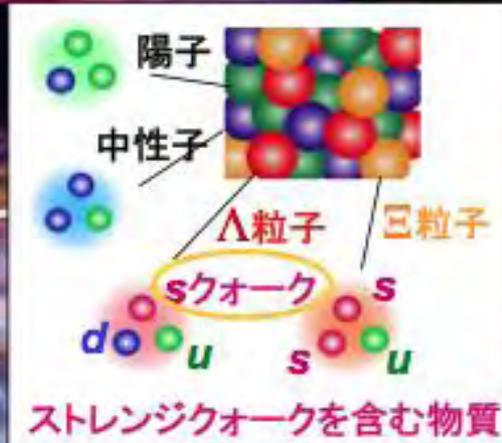
J-PARCでの「ストレンジネス核物理」

中性子星内部の解明 → 新たな物質観の構築



中性子星
 “宇宙に浮かぶ巨大原子核”
 超新星爆発で残る天体
 質量: 太陽の1~2倍、半径: 約10km
 → 宇宙で最高密度の物質
 内部は謎に包まれている

ストレンジ核物質?



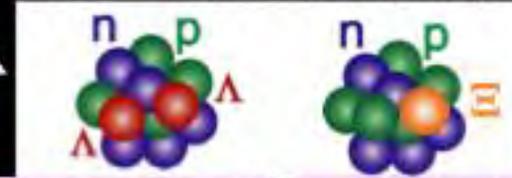
これまでの宇宙物質観
 u,dクォークと電子
 からなる物質



安定なストレンジ核物質の存在証明 ←

“マイクロ中性子星”
 を人工的に作る

sクォークを2個含む原子核



新たな宇宙物質観
 u,d,sクォークと電子
 からなる物質

Λハイパー核 (sクォーク1個) を
 KEK-PS, J-PARCが世界を主導して研究
 → ストレンジ核物質の存在が提唱される
 存在証明には2個埋め込むことが不可欠
 それには1個の時の100倍のビーム量が必要
 世界最高強度のJ-PARCでのみ可能

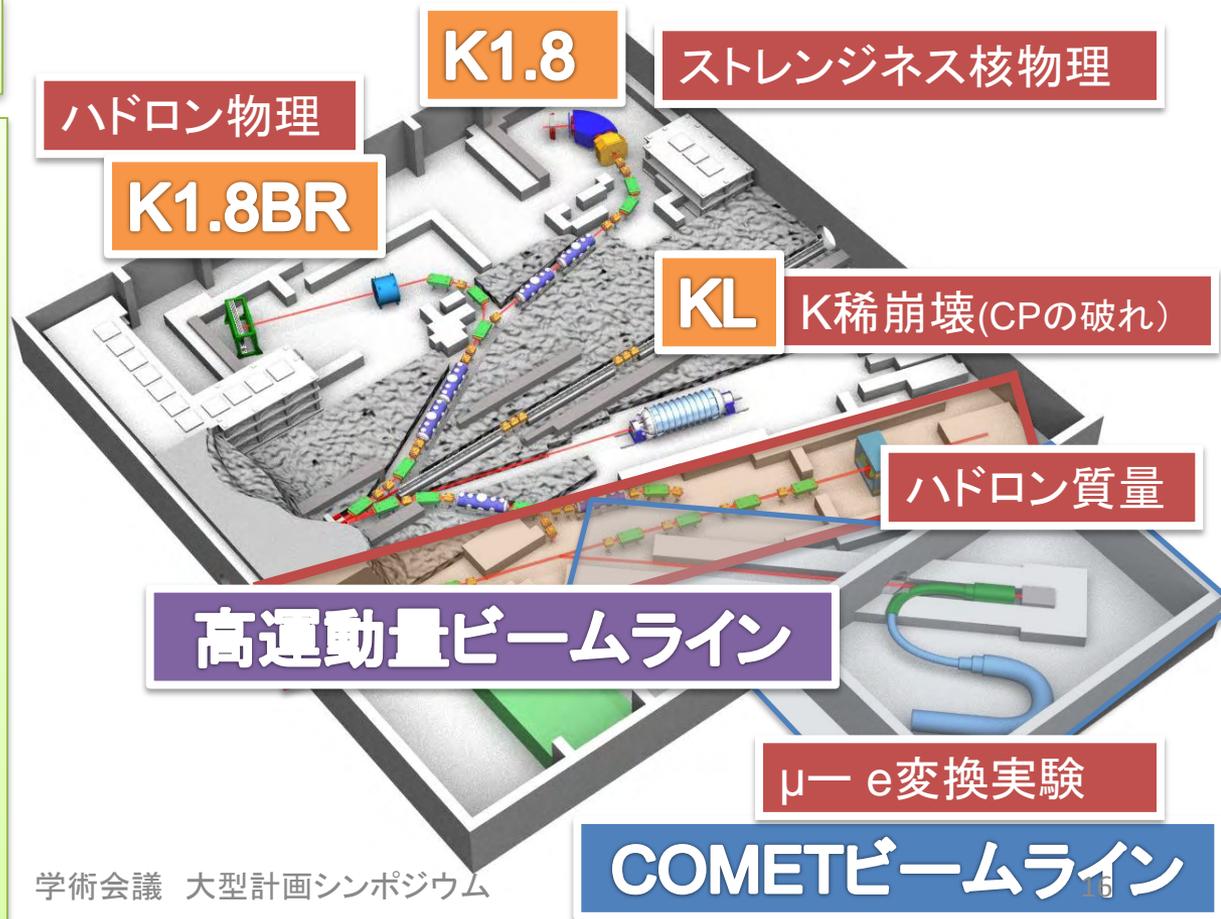
核内にある複数のsクォークの
 関与する粒子間の力を測定
 → 中性子星内部の物質を解明

ハドロン実験施設における実験計画

ハドロン実験とは、MRからの取り出しビームで生成した二次ビーム(π 中間子、 K 中間子)を用いて行う素粒子・原子核実験群の略称で、ミューオンを用いた実験も広い意味で含む。

今後研究で目指す成果

- K 中間子でストレンジ核物理の新しい局面を開く(高密度核物質、一般化された核力の理解の推進)
- K 中間子の稀崩壊を通じ、小林益川理論を超えるCP非保存現象を探索する
- 高運動量ビームラインを整備し、ハドロンの質量獲得機構の解明を目指す
- μ - e 変換実験(COMET)ビームラインを整備することにより、標準模型を超える物理法則の発見を目指す



なぜホール拡張をするのか？

1. 物理に最適化した新たなビームライン

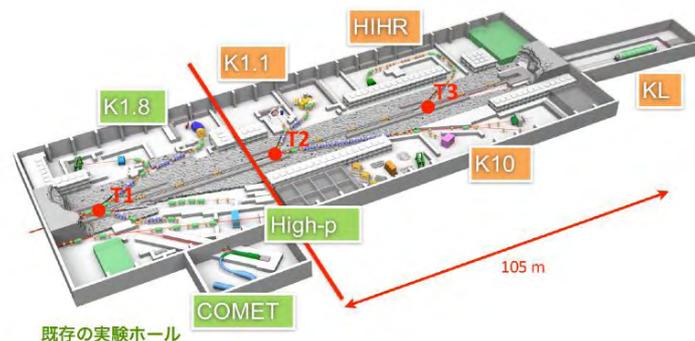
- 新 **KL** ビームライン: 中性K
- 大強度高分解能(**HIHR**)ビームライン: π

2. 新たな種類のビームの提供

- **K10** ビームライン: 2 – 10 GeV/c の K、 π 、反陽子

3. S=-1のストレンジネス核物理を更に展開できるビームライン

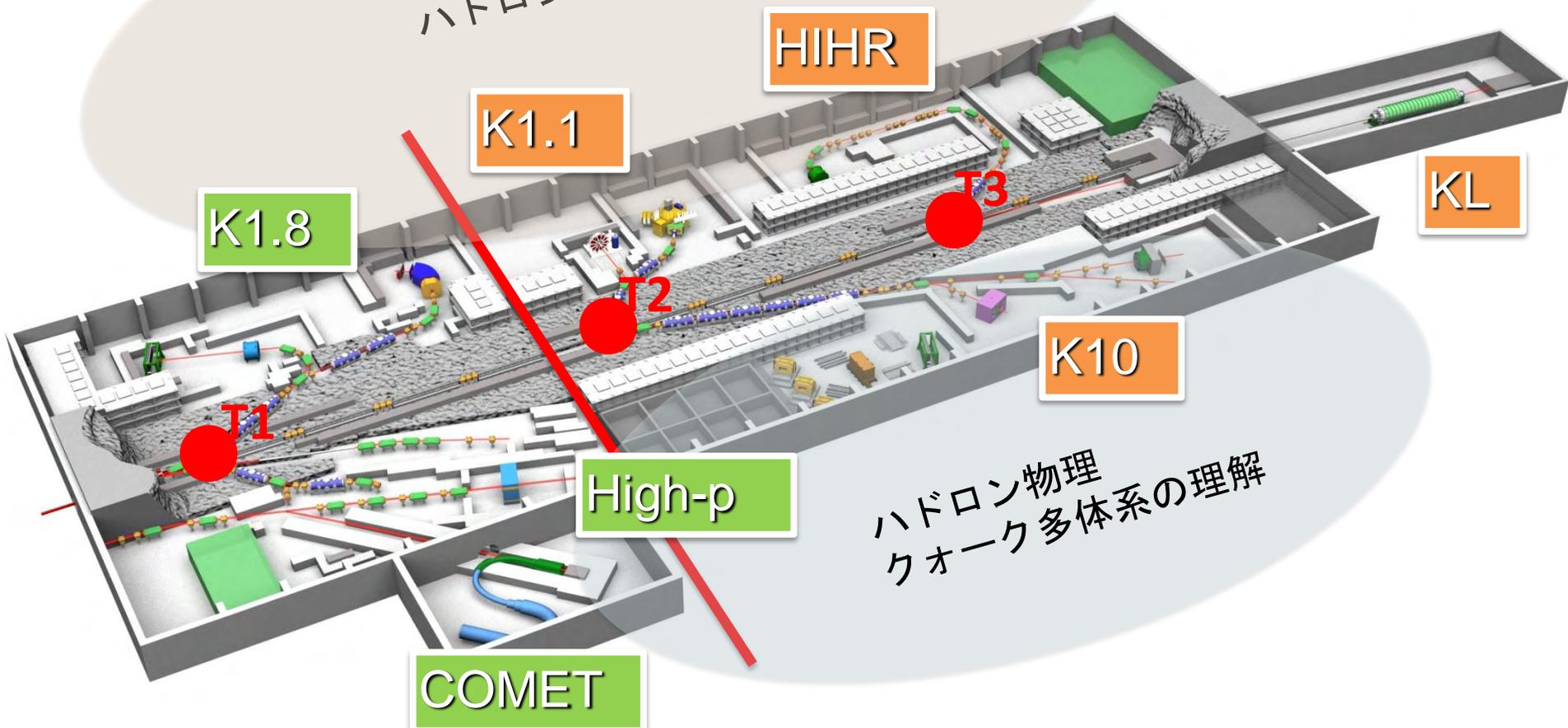
- **K1.1** ビームライン: K



ハドロン実験ホール拡張

ストレンジネス核物理
ハドロン多体系の理解

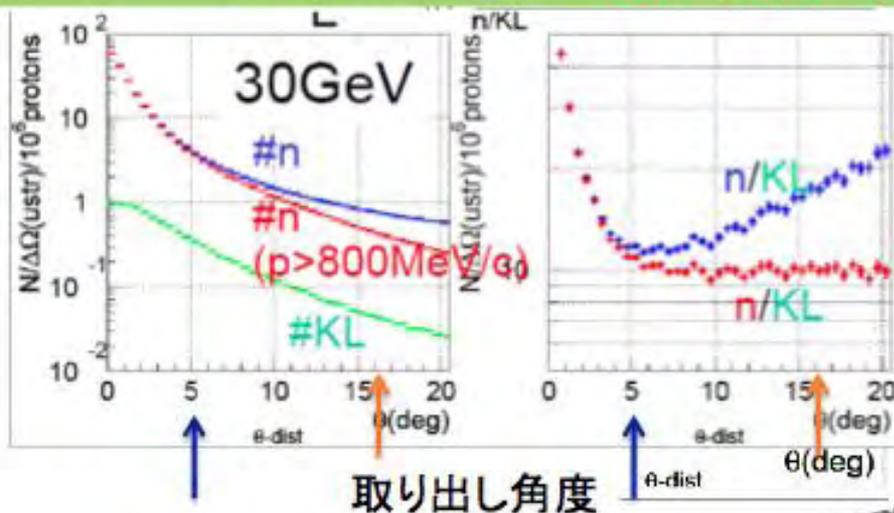
素粒子物理 (K)



素粒子物理 (μ)

ハドロン物理
クォーク多体系の理解

J-PARCでのK中間子稀崩壊実験の展開



- 5度の取り出し角度
- Just behind dump
 - ~50m from target
- Long decay volume and large calorimeter



現在のKOTO実験:
陽子ビームに対して
16度方向に取り出す
- K中間子運動量 $2.1 \text{ GeV}/c$

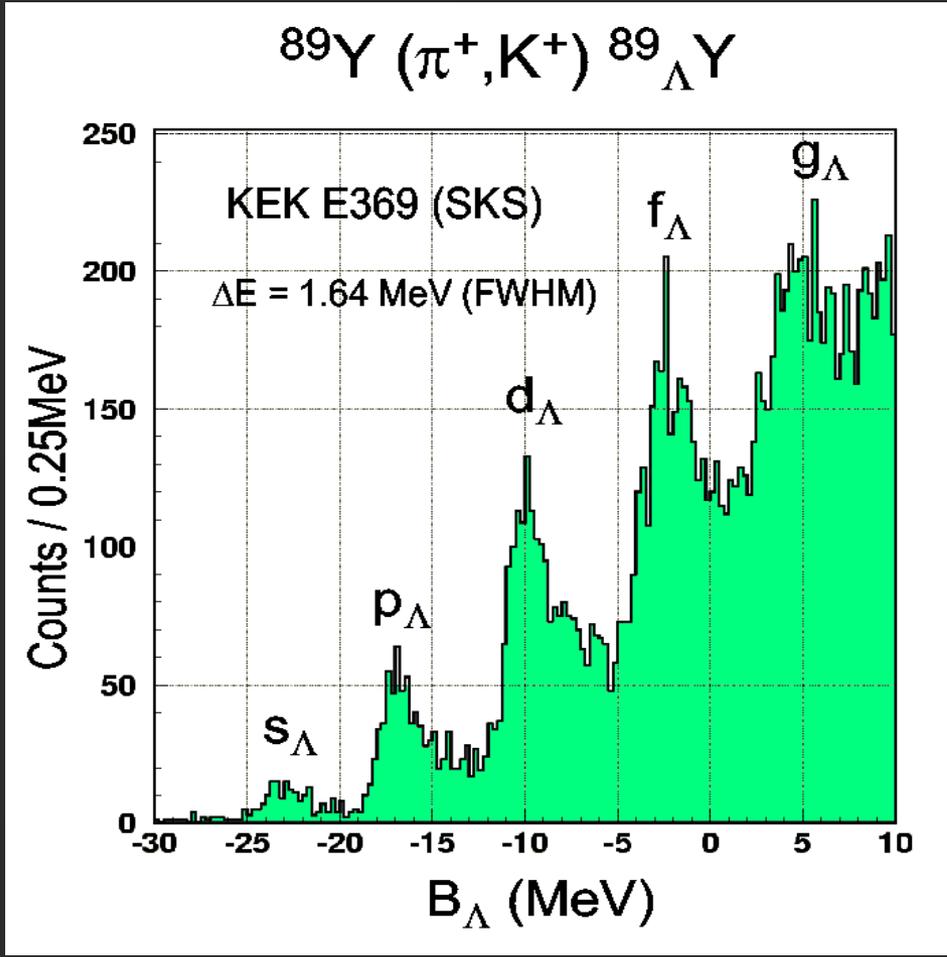


拡張ホールでのKOTO2実験:

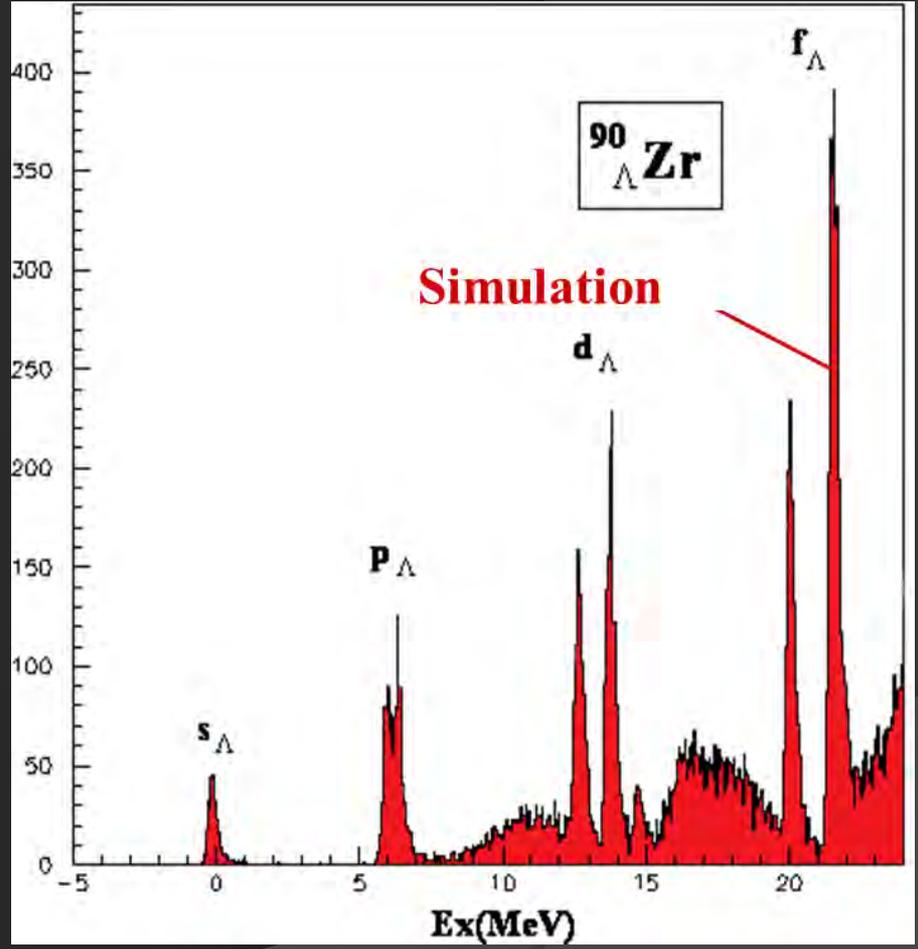
- 5度方向に取り出すことで
- K中間子運動量 大 ($5.2 \text{ GeV}/c$)
 - 中性K中間子強度 増 (x6)
 - 中性子の割合が最小 ($n/\text{KL}=30$)

新しい実験エリアに
大型の測定器の設置が可能に

ハイパー核 B_{Λ} の予想スペクトラム



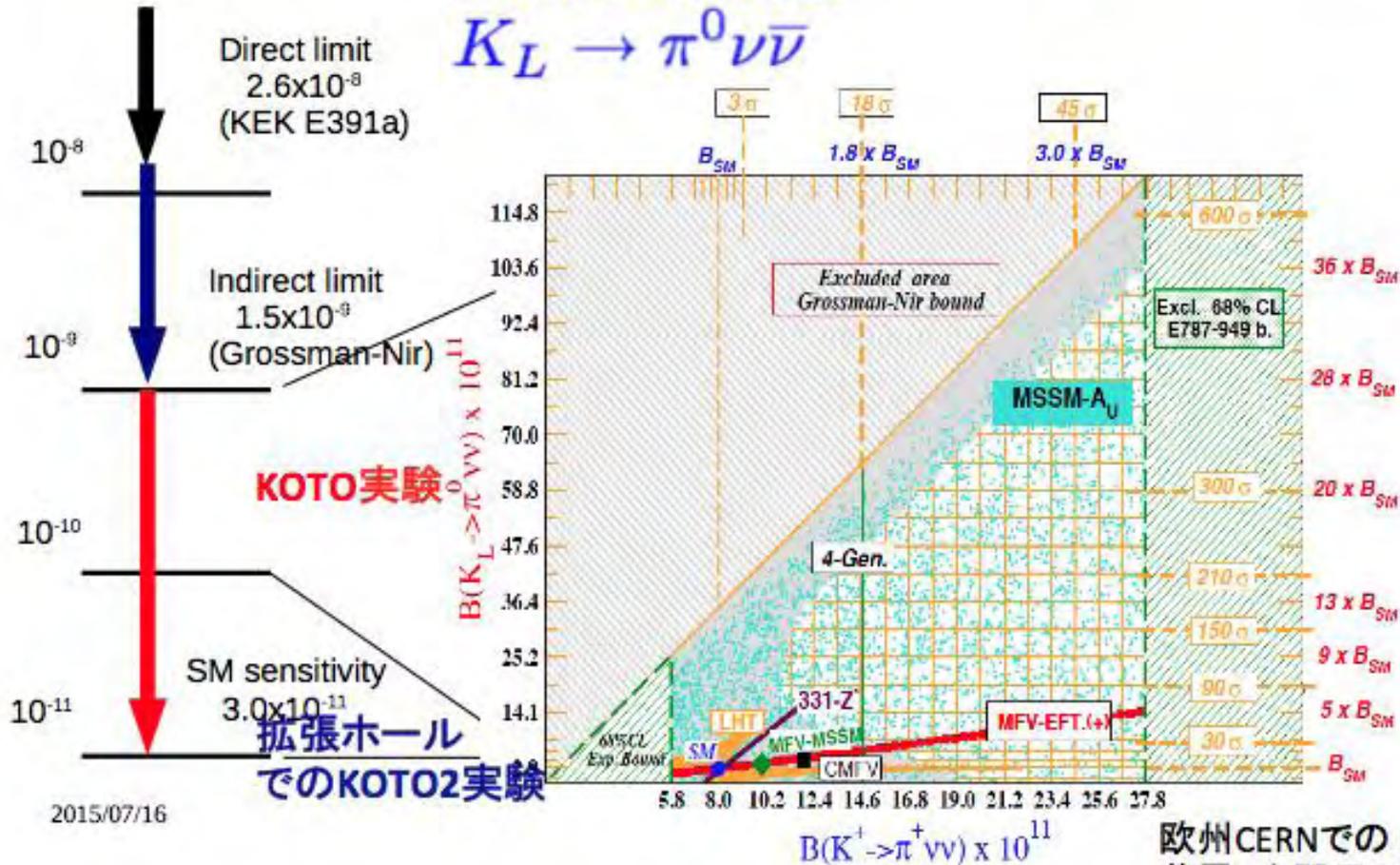
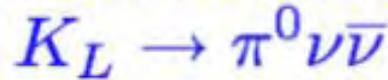
KEK-PS E369 (SKS)



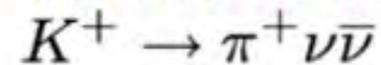
J-PARC 拡張ホールでの予想図

J-PARCでの標準模型を超える物理の探索

J-PARCでの KOTO実験
中性K中間子の稀な崩壊



欧州CERNでの NA62実験
荷電K中間子の稀な崩壊



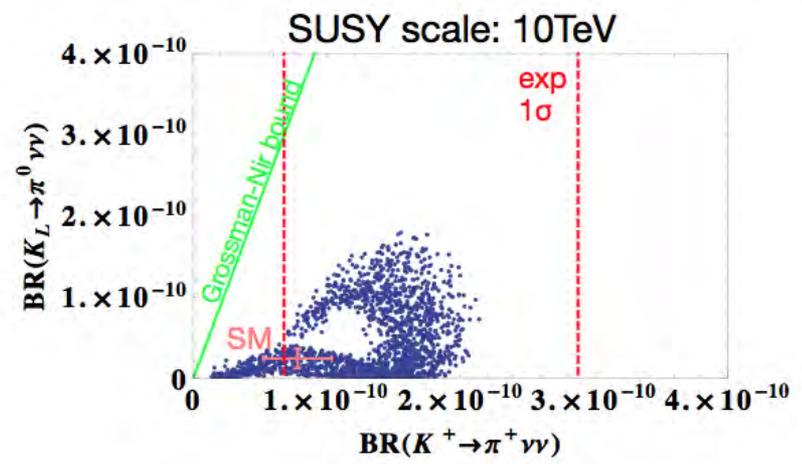
標準模型のほころびの発見 → 標準模型を超える物理モデルの選択

Summary

- 精密測定は10TeVまでの物理をすべてカバー
- LFVはO(10-100)TeVに感度がある
- $K \rightarrow \pi \nu \bar{\nu}$ はO(10-100)TeVに感度がある (ϵ'/ϵ との相関)
- $B_{d,s} \rightarrow \mu\mu$ や $B \rightarrow K^{(*)} \nu\bar{\nu}$ が面白いモード
 - モードの相関をみることで新物理の識別
- CKMパラメータの高精度の決定が10TeV探索に必須
- * EDMやヒッグスの精密測定も10TeV探索に重要

これからフレーバーがますます面白い！

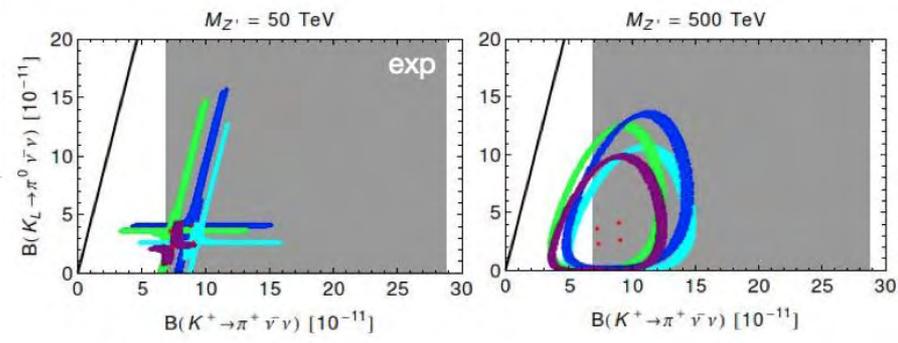
>10TeV に感度がある



[Tanimoto, Yamamoto'15]

$K \rightarrow \pi \nu \bar{\nu}$

Z' (Z bosonのKK mode): >10-100TeVに感度



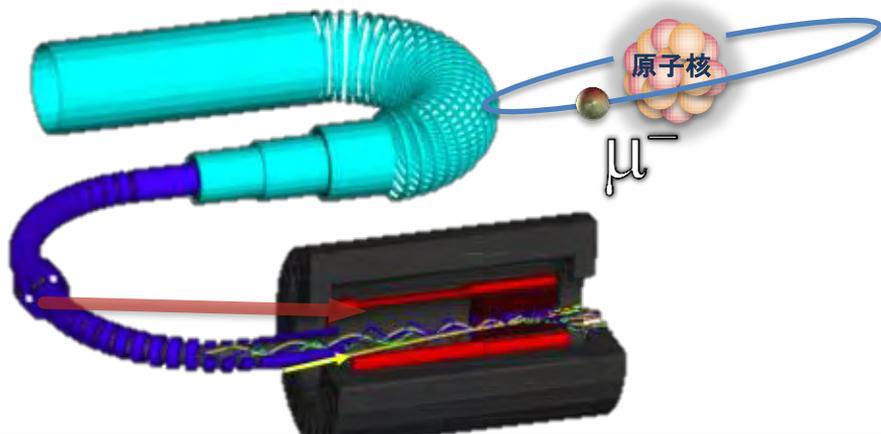
Flavor violation: LH (RH)

LH+RH

[Buras, Buttazzo, Girschbach-Noe, Kneijens'14]

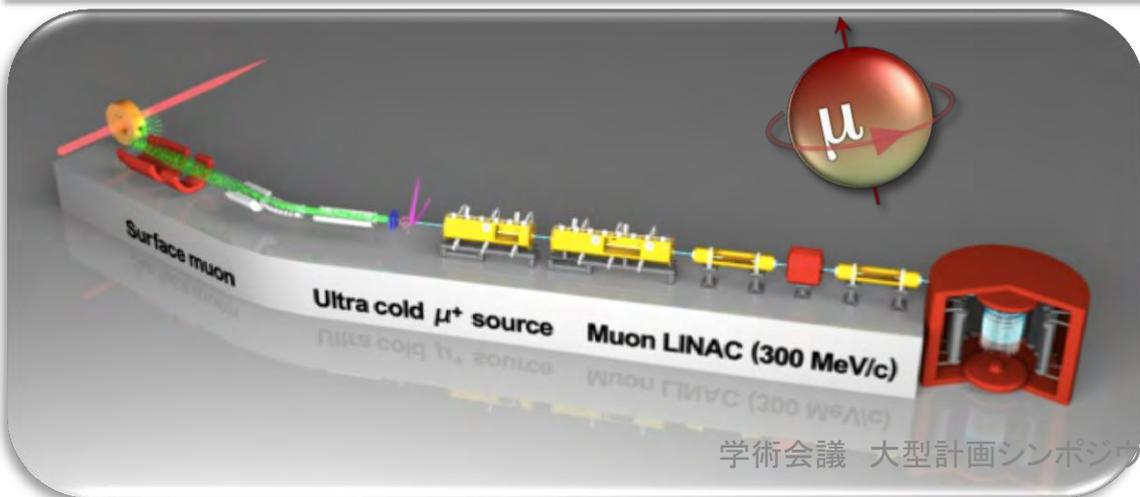
ミューオン素粒子実験

COMET (ハドロン実験施設)



ニュートリノは振動する。
荷電レプトンは？

g-2/μEDM (物質生命科学実験施設)



Anomalous Magnetic Moment



素粒子標準模型
の綻び？



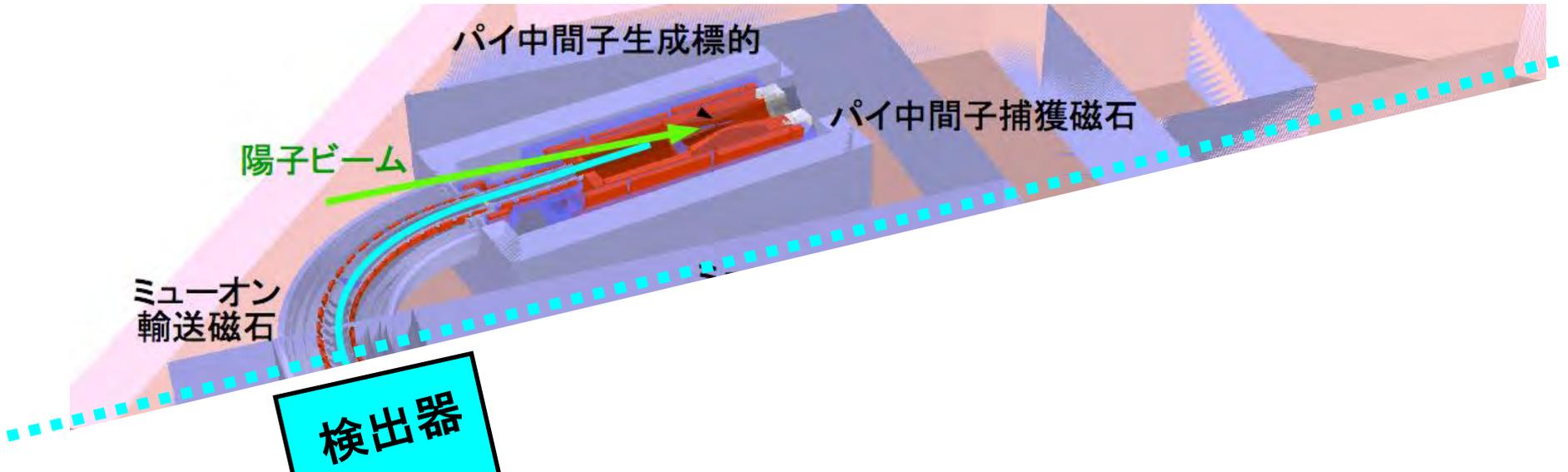
Electric Dipole Moment

レプトンのCP非保存？



上流部で
実験を開始

既存の実験ホール

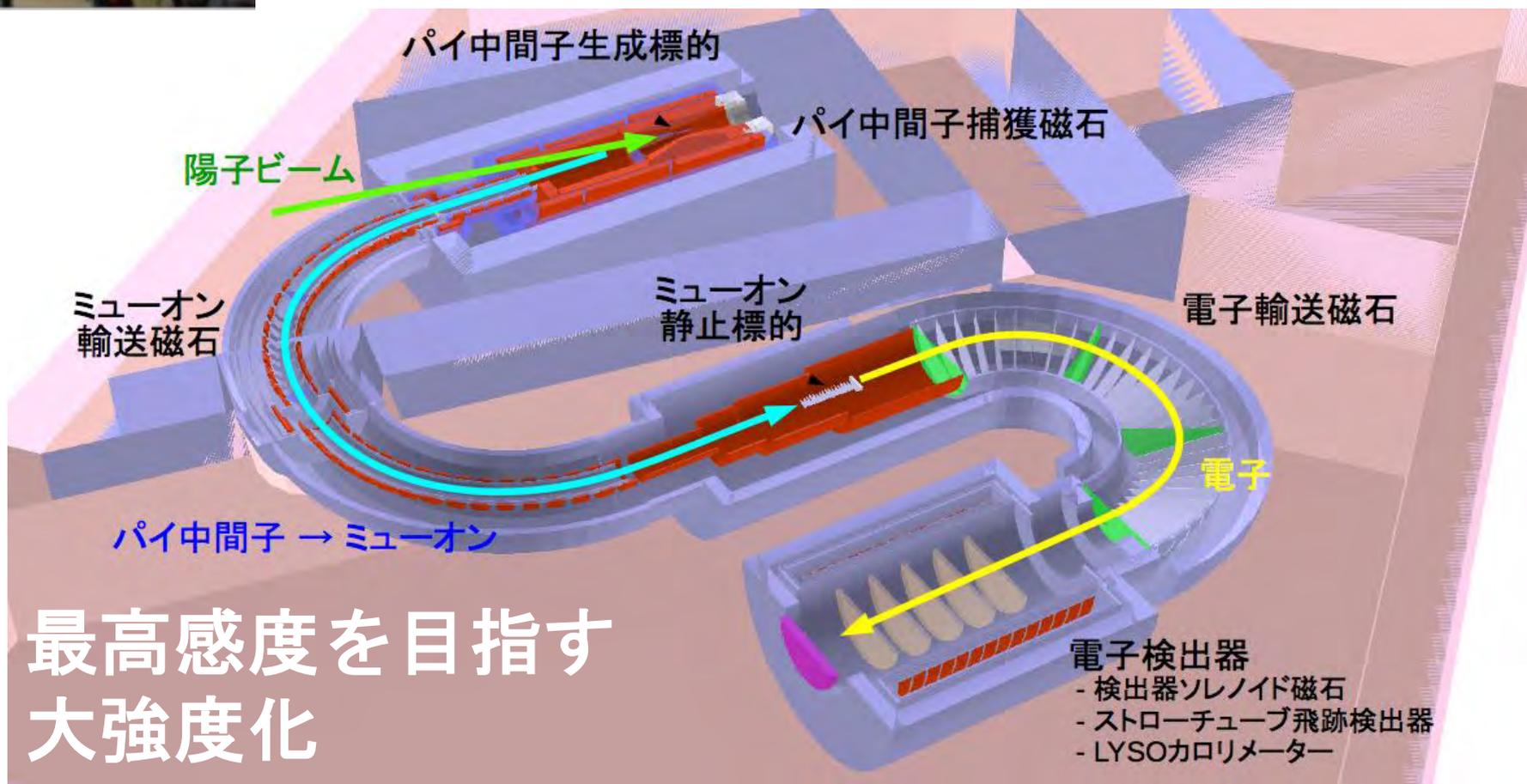
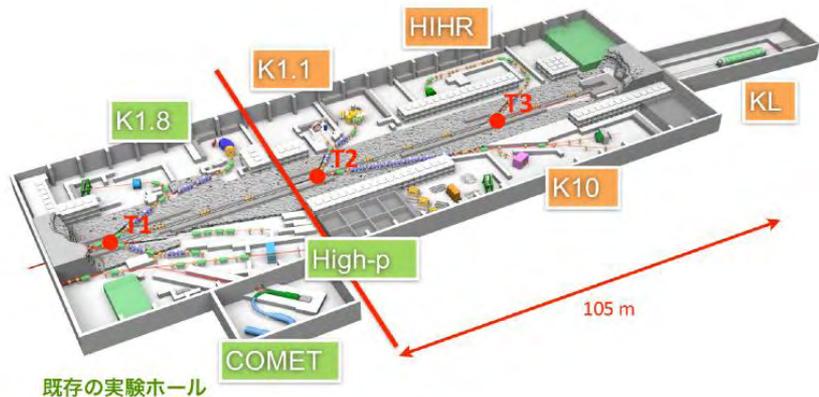


陽子輸送磁石

パイ中間子生成標的

パイ中間子捕獲磁石

検出器



COMET実験の大強度化による世界最高感度での荷電レプトンフレーバー数非保存事象の探索

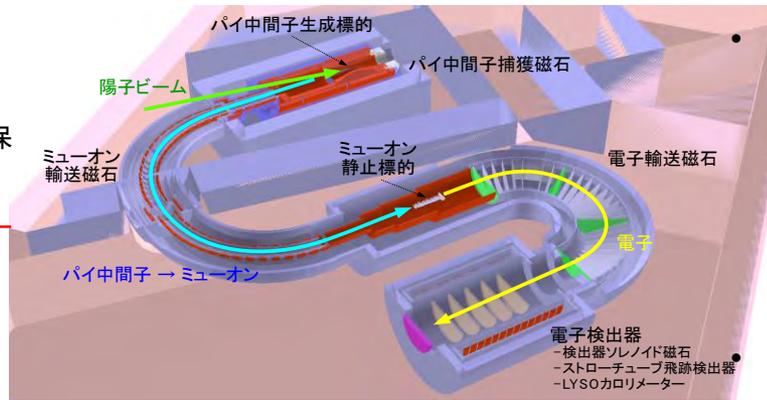
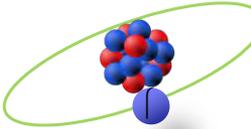
【概要】ハドロン南実験棟にて大強度パルスミュオンビームを生成し実験室内でミュオン原子を生成する。その後ミュオンが原子核中のクォークとコヒーレントに相互作用しニュートリノを伴わずに電子に転換する現象 (μ -e転換) を 10^{-16} 以下の分岐比まで探索する。

レプトンフレーバー数の保存

- 標準模型では厳密
- ニュートリノ振動では非保存
- 荷電レプトン(ミュオン、電子)でも非保存の可能性
- **新物理の確固たる証拠**
- **超高エネルギーでの素粒子現象・ニュートリノ振動の起源に迫る有力な手段**

ミュオン-電子 (μ -e) 転換事象

原子核1s軌道に捉えられたミュオンが原子核との相互作用で ν を放出せずに電子に転換する事象
 上限値 7×10^{-13} (90%CL)



国際コラボレーションによる実験遂行



15カ国、33研究機関、175名の研究者が参加

- 日本: KEK、大阪大、九州大、京都大 ((理論)埼玉大、宇都宮大、名古屋大)
- アジア: 中国、韓国、インド、ベトナム、シンガポール
- 欧米: ロシア、仏、英、独、ジョージア、ベラルーシ、チェコ、カナダ、JINR (国際機関)

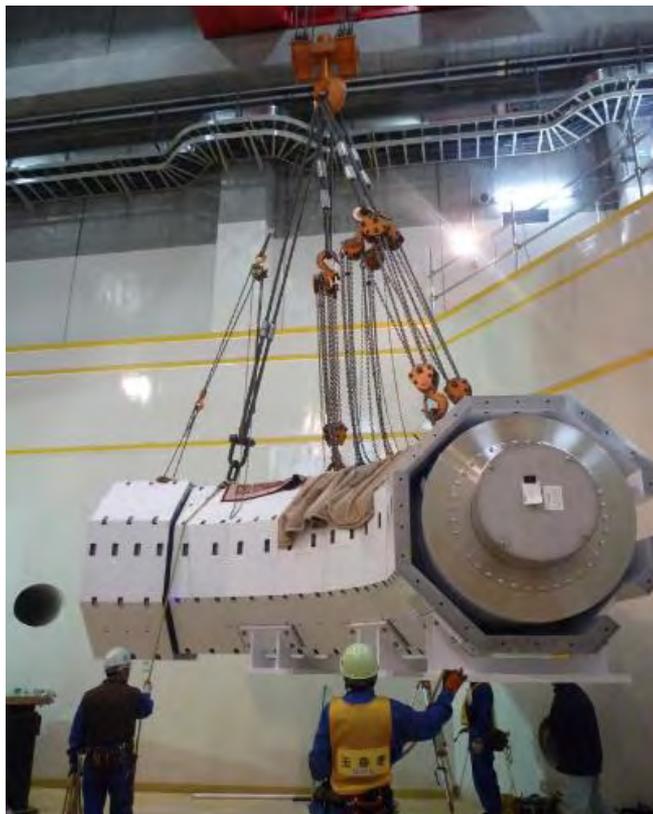
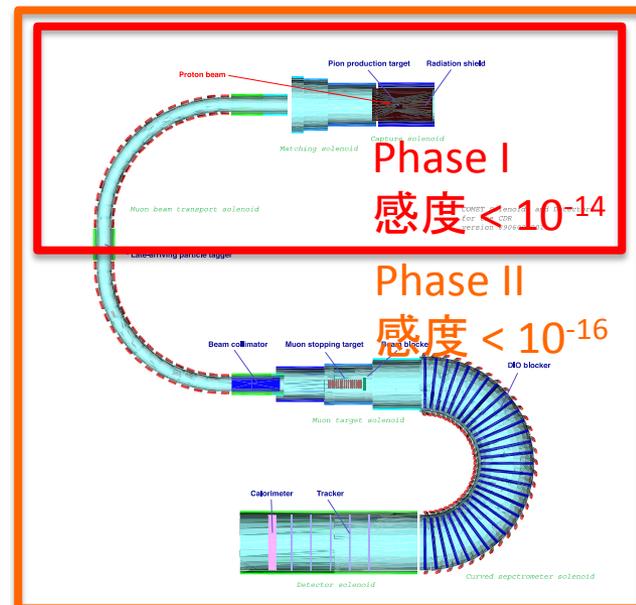


- **大強度陽子ビーム (56kW)**によるミュオン生成
- **超電導電磁石技術**を駆使した**大強度パルスミュオンビーム**
- 大強度ビーム用の**先進的な検出器技術**
- スイスPSI研究所のMEG I&II実験と相補的な新物理探索
- 米国FNALでのmu2eと競合関係

【学術的インパクト】標準模型では荷電レプトンフレーバー数非保存事象が起こる頻度はニュートリノ振動を考慮しても極微なため、その事象の発見は、直ちに新物理の証拠となり、物質生成の起源となった自然法則の深い理解に繋がる。また事象の頻度が判明すれば宇宙初期の超高エネルギー環境下での素粒子の振舞いについての重要な知見も得られる。

COMET実験施設建設状況

- ビームライン・実験室
(Phase-I、Phase-II)

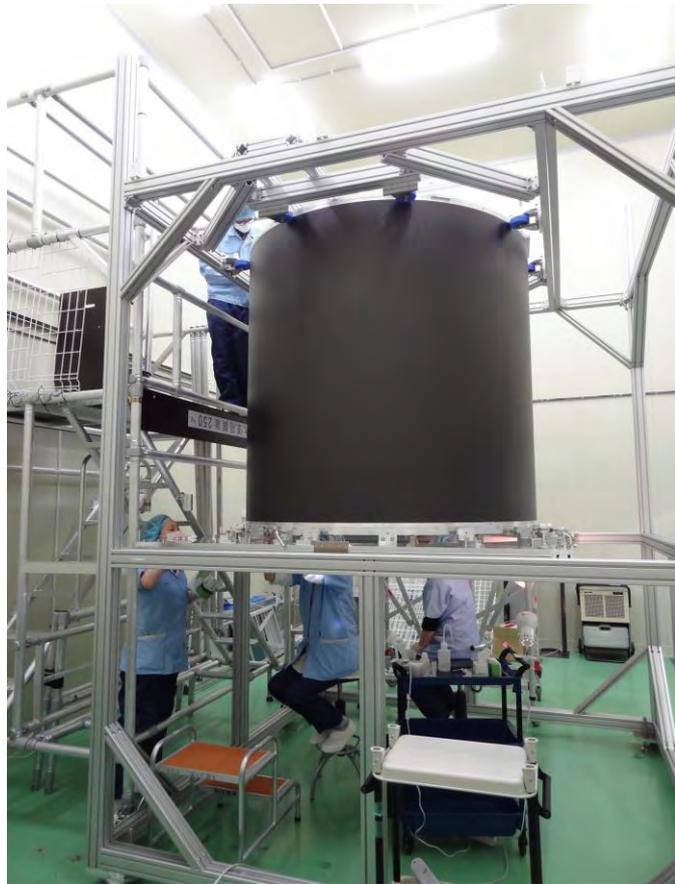


- 実験室建屋完成
- ミューオン輸送ソレノイド設置
- スイッチヤード内陽子ビーム輸送用電磁石設置

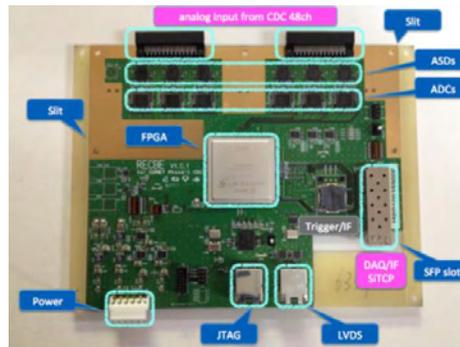
COMET実験

検出器準備状況

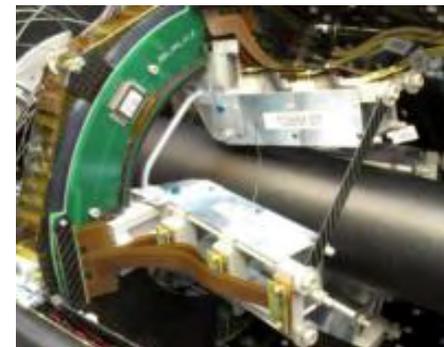
- Phase-I検出器製作



中央飛跡検出器製作
大阪大学、九州大学、中国IHEP



検出器信号読出しエレクトロニクス: 大阪大、IHEP



ATLAS Diamond Beam Monitor Groupとの協力による耐高放射線ビームモニターの開発: KEK、IIT-Bombay

- Phase-II検出器開発



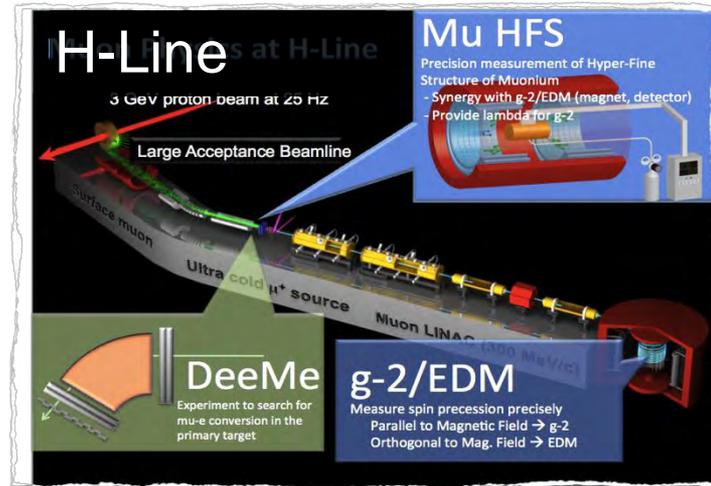
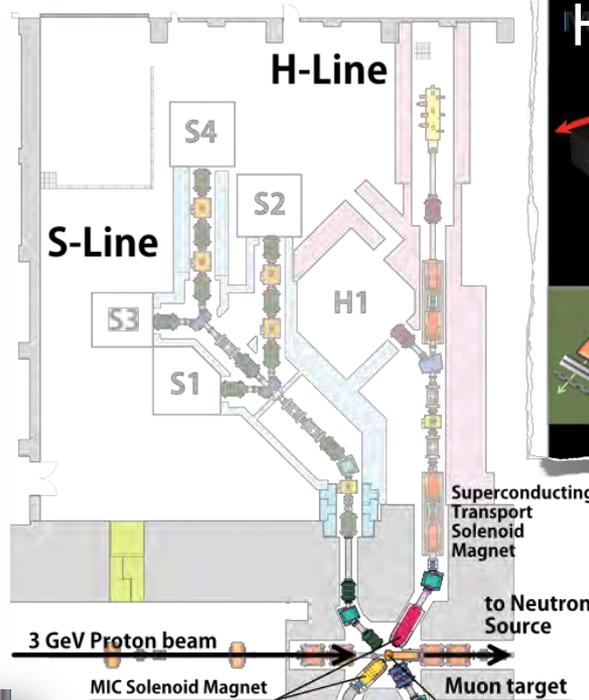
ストロー飛跡検出器・LYSOカロリメータ: KEK、九州大学、ロシアJINR、BINP他



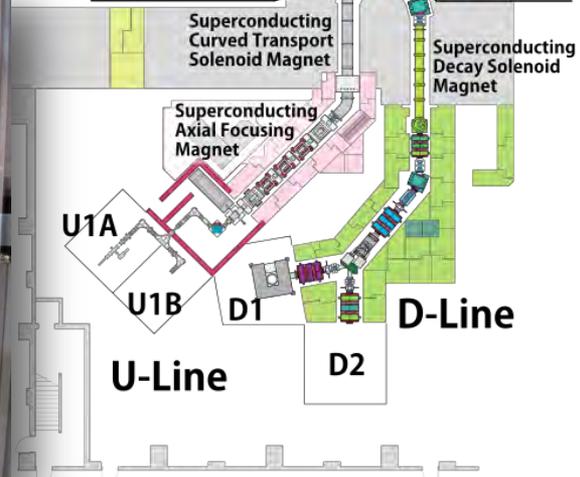
COMET実験スケジュール

| | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | |
|------------|--------------------|------|--------------|-------------|------------|------|-------|------|---------------------------|------|-------------------------|
| Phase-I | | | | | | | | | | | |
| ビームライン整備 | High-p/COMETビームライン | | | | | | | | | | |
| 超電導電磁石 | 捕獲・輸送ソレノイド・冷凍機 | | | | | | | | | | |
| 検出器 | 物理計測検出器 | | | | | | | | | | 世界最高感度 $<10^{-13}$ での測定 |
| | ビーム計測検出器 | | | | | | | | | | |
| データ収集 | | | | | ビーム調整 | | 物理ラン★ | | | | |
| Phase-II | | | | | | | | | | | |
| 実験室大強度化 | | | 遮蔽体・ビームダンプ増強 | | | | | | | | |
| 超電導電磁石拡張 | | | | | 超電導ソレノイド拡張 | | | ★ | 大強度化施設完成 | | |
| 検出器アップグレード | | | | Phase-II検出器 | | | | 設置 | | | |
| データ収集 | | | | | | | ビーム調整 | ★ | 物理ラン | | |
| | | | | | | | | | 世界究極感度 $<10^{-16}$ での測定開始 | | |
| 米国mu2e実験 | 施設建設 | | | | 物理ラン | | | | | | |

Muon Facility MUSE @ MLF



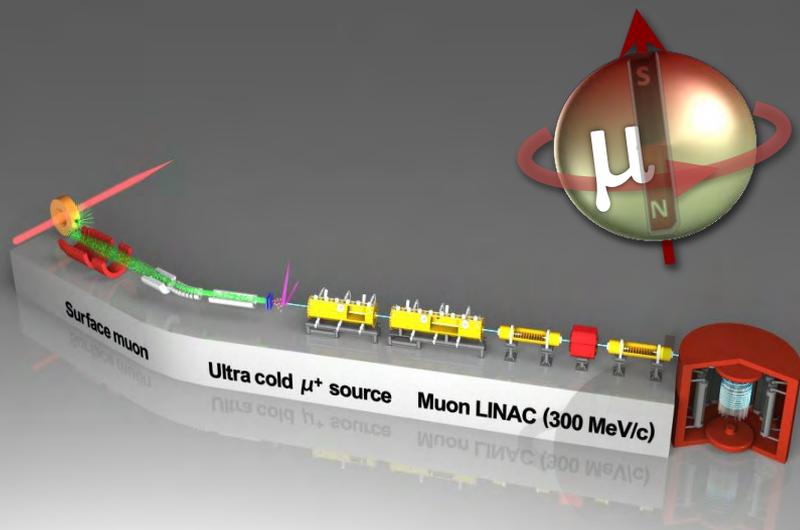
Fundamental Science with a large scale international coll.



Muon g-2/EDM Exp

@J-PARC MLF H-line

- ✓ 超低温ミュオンビームと超精密磁場
- ✓ 収束電場無しで蓄積可能
- ✓ g-2 とEDM を同時測定
 - g-2 : 0.1 ppm (x 5 improvement)
 - EDM: 1e-21 e cm (x 100 improve)

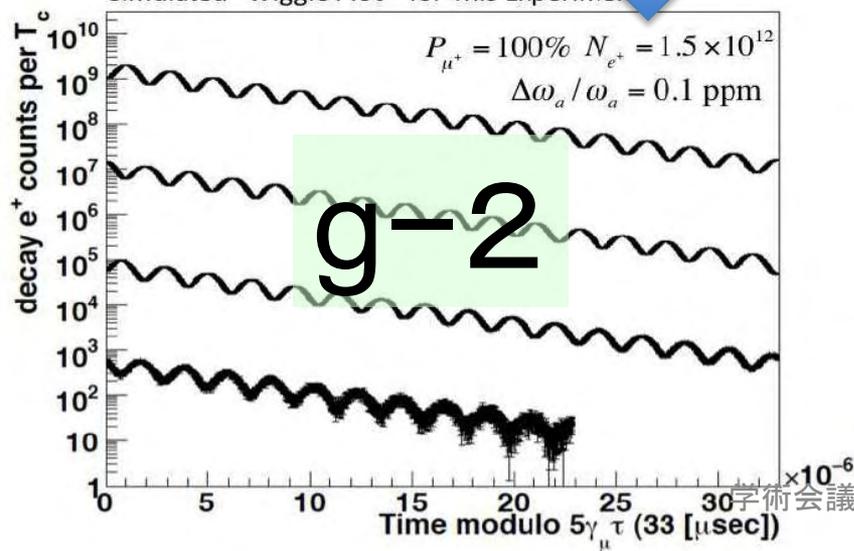


スピン歳差運動:

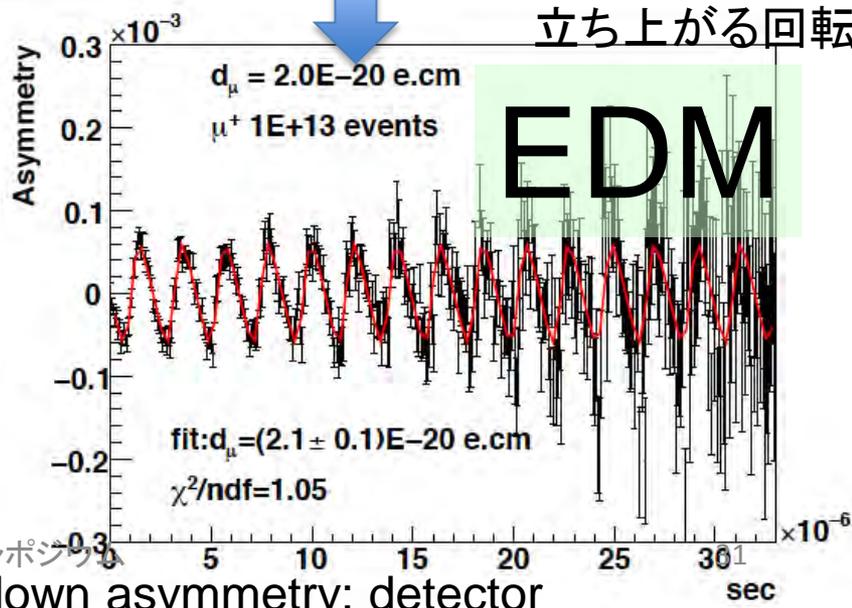
$$\vec{\omega} = -\frac{e}{m} \left[a_\mu \vec{B} - \left(a_\mu - \frac{1}{\gamma^2 - 1} \right) \frac{\vec{\beta} \times \vec{E}}{c} + \frac{\eta}{2} \left(\vec{\beta} \times \vec{B} + \frac{\vec{E}}{c} \right) \right]$$

“蓄積軌道平面内の回転”

Simulated “Wiggle Plot” for This Experiment



“軌道平面から立ち上がる回転”

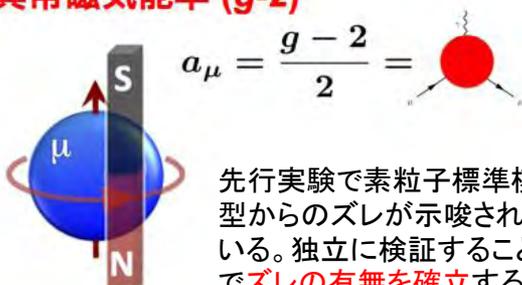


Up-down asymmetry: detector

ミュオン異常磁気能率・電気双極子能率の精密測定

【概要】J-PARCミュオン実験施設Hラインにおいて、極めてエミッタンスが小さいミュオンビームと超精密ミュオン蓄積電磁石を用いて、ミュオン異常磁気能率・電気双極子能率の精密測定を行い、素粒子標準模型を超える物理現象を検証・解明する。

異常磁気能率 ($g-2$)

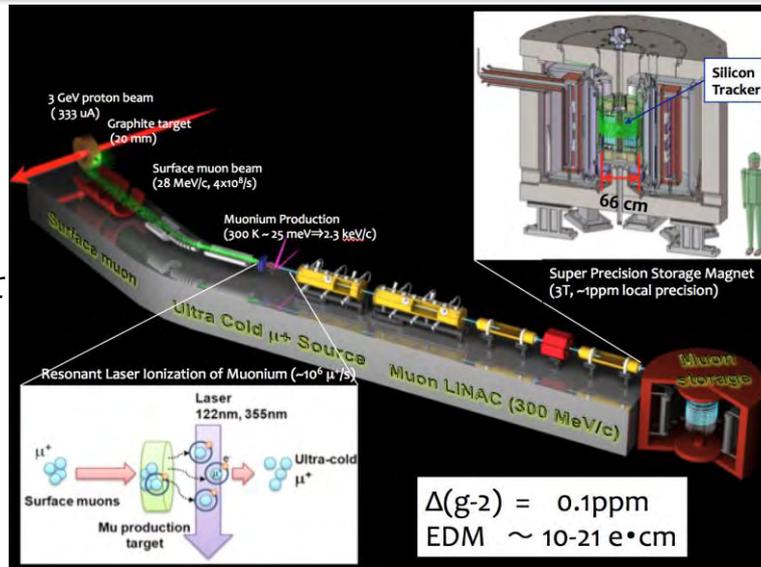
$$a_\mu = \frac{g-2}{2} =$$


先行実験で素粒子標準模型からのズレが示唆されている。独立に検証することでズレの有無を確立する。

電気双極子能率 (EDM, η)



時間反転対称性を破る物理量である。CP対称性の破れは物質優勢宇宙の成り立ちに不可欠とされるが、素粒子では未だ未発見である。見つければノーベル賞級のインパクト。



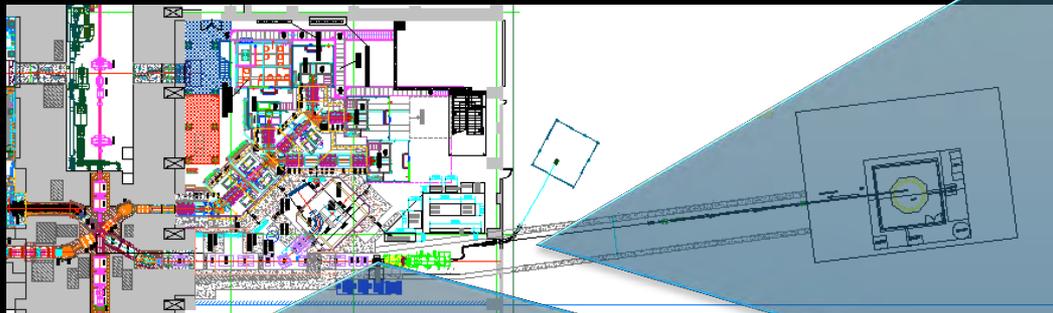
- ・ Hラインで超低速ミュオンを加速し、コンパクトな蓄積磁石に蓄積して測定する。先行実験および米国FNALで準備中の計画とは全く異なる手法であり、系統誤差が本質的に改善される。世界最高強度ミュオンビームと革新的な新規技術を組み合わせることで実現。
- ・ Dライン等で準備研究を実施中。



- ・ 9カ国(カナダ・中国・チェコ・フランス・日本・韓国・ロシア・英国・米国)・136名の国際共同研究。
- ・ 国内では、J-PARC・JAEA・KEK・理化学研究所・九州大学・立教大学・大阪大学が参画。
- ・ KEK内では素核研・物構研・加速器施設・低温センター・機械工学センターが参画する、機構横断的研究である。
- ・ 科研費新学術(1件)、基盤S(1件)、基盤B(3件)

【学術的インパクト】素粒子標準模型を超える物理現象を解明することにより、物質の起源に関する自然法則の深い理解をもたらす。新しく開発する超低速ミュオン源・ミュオン加速・超精密磁場制御・高レート粒子飛跡検出器は、他分野への応用が期待されている。

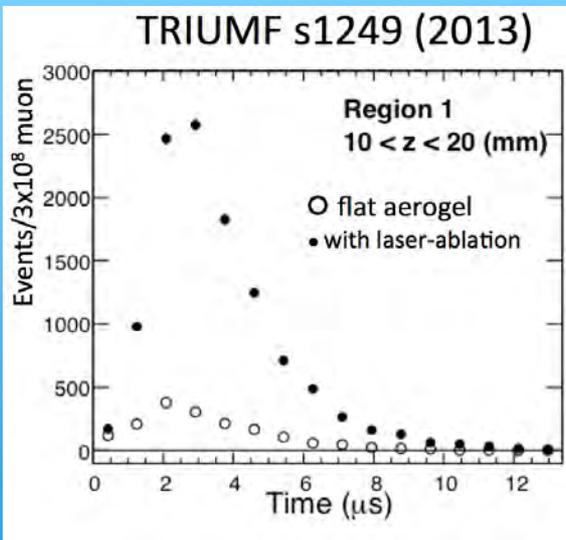
準備状況



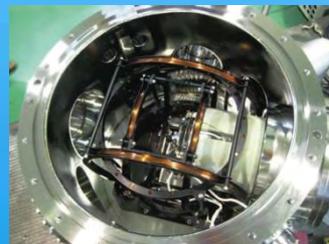
ミュオン加速



超低速ミュオン源



レーザー加工シリカエアロゲルにより
従来より10倍以上高い効率を達成

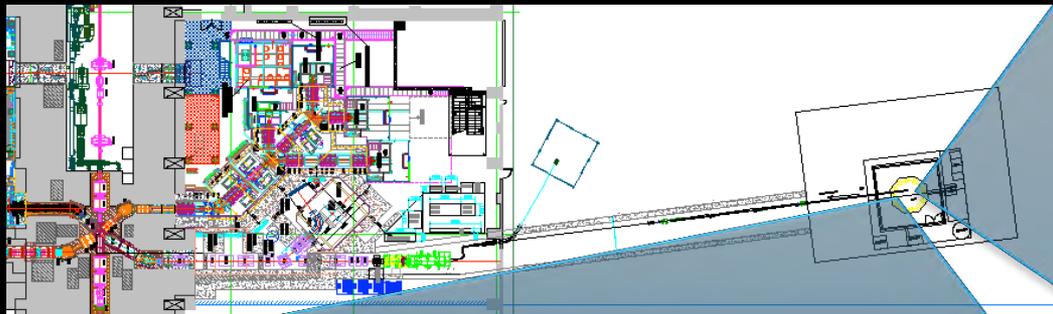


Laser-ionization chamber (RIKEN-RAL)

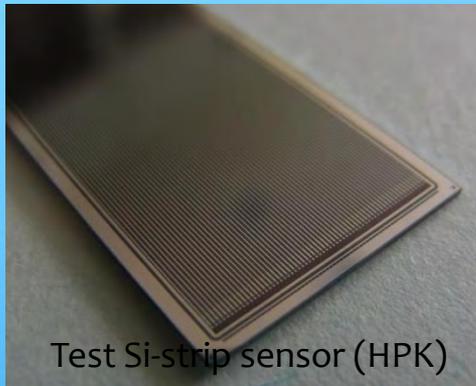


既存の初期加速装置とRFQを使用。ビームラインができればすぐに加速試験が可能
世界初のミュオン加速を段階的に実現

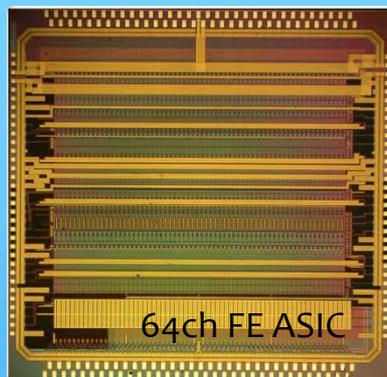
準備状況



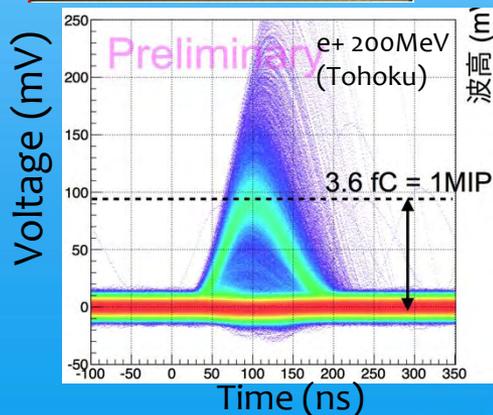
高計数率陽電子飛跡検出器



Test Si-strip sensor (HPK)

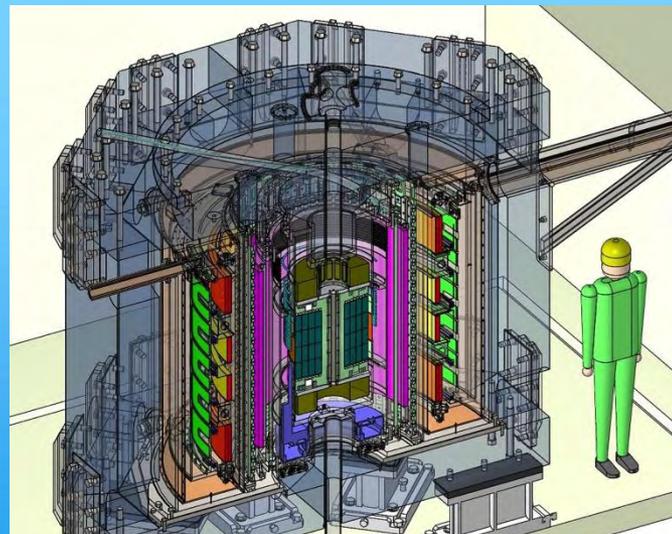


64ch FE ASIC



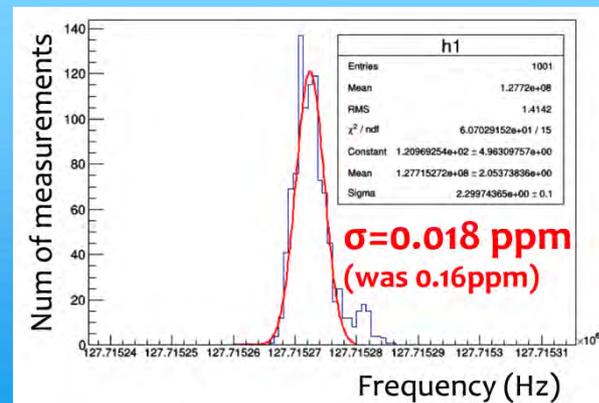
試験センサーと読み出し集積回路の試作機を用いて、高いS/Nで陽電子信号が得られることを確認。今年度より科研費基盤S(H27-H31)にて実機建設に着手

超精密蓄積電磁石



基礎開発・基本機械設計完了
予算がつけばすぐに製作着手可能

磁場測定装置



Signal spectrum under 3T MRI

2015年 技術設計報告書(TDR)提出

Intended schedule

design
 prototype
 evaluation
 Installation
 fabrication
 construction
 comissioning
 physics run

| Calendar Year | CY2014 | | | | CY2015 | | | | CY2016 | | | | CY2017 | | | | CY2018 | | | | CY2019 | | | | CY2020 | | | | CY2021 | | | | | | | |
|-----------------------|---------|----|----|----|---------|----|----|----|---------|----|----|----|---------|----|----|----|---------|----|----|----|---------|----|----|----|---------|----|----|----|---------|----|----|----|--|--|--|--|
| Japanese Fiscal Year | JFY2014 | | | | JFY2015 | | | | JFY2016 | | | | JFY2017 | | | | JFY2018 | | | | JFY2019 | | | | JFY2020 | | | | JFY2021 | | | | | | | |
| Month | F3 | F4 | F1 | F2 | | | | |
| Area Task Item | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H-line | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Muon Source | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Laser | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Accelerator | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| High Precision Magnet | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kicker System | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Beam Transport | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Detector | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Data Taking | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Assumption : Major construction fund become available in JFY2016

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

J-PARC実験施設の高度化による物質の起源の解明

年次計画(平成29-38年度) 改訂中

| 年次計画 | H24 (2012) | H25 (2013) | H26 (2014) | H27 (2015) | H28 (2016) | H29 (2017) | H30 (2018) | H31 (2019) | H32 (2020) | H33 (2021) | H34 (2022) |
|----------------------|---------------|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|---|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 加速器の高度化 (MRの増強) | | ビーム強度の増強 | | | | | ビーム強度のさらなる増強(RM) | | | | |
| ニュートリノ振動実験 | | ニュートリノ振動の測定 | | | | | 次世代ニュートリノ実験へ(RM) | | | | |
| ハドロン実験 | | 高運動量ビームライン | | | | ハドロンホール拡張(RM) | | | | | |
| 本計画 ミューオン素粒子実験 | | μ 電子転換実験 - I | | | | μ 電子転換実験-II $g_{\mu-2}/\mu$ EDM実験 (RM) (※) | | | | | |
| | | (※)米国との競争関係から 平成29年度から開始予定 | | | | | | | | | |
| 中性子・ミュオン 物質生命科学実験 | | 偏極中性子/ミュオンS-Hライン | | | | | 高度化 | | | | |

熾烈な国際競争に勝ち抜く為には、
早期実現が必要。

米国 g-2
(~2016)

GSI-FAIR (ハドロン実験施設)
(~2018)

Mu2e実験
(2021)

我々はどこから来たのか 我々は何者か
我々はどこへ行くのか

