



J-PARCセンターの概況
～世界に開かれたJ-PARCの今～
第13回東海フォーラム
平成31年2月28日

国立研究開発法人
日本原子力研究開発機構
大学共同利用機関法人
高エネルギー加速器研究機構

J-PARCセンター

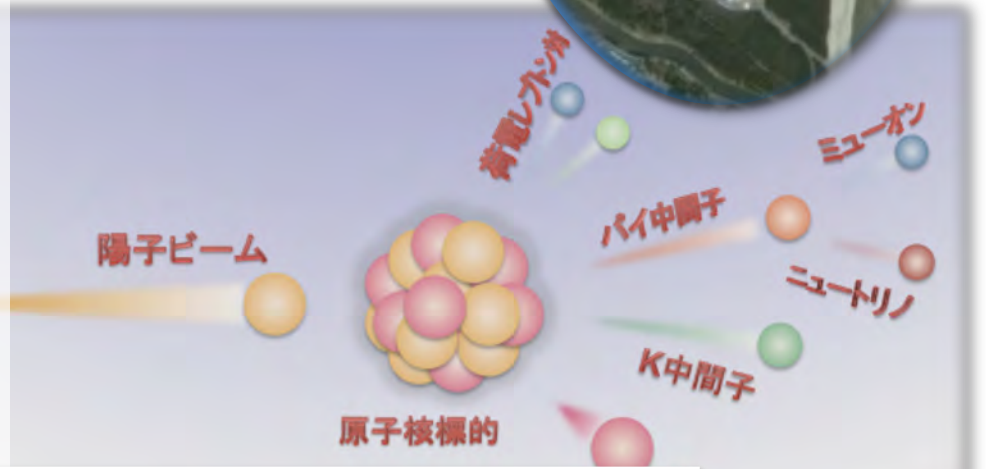
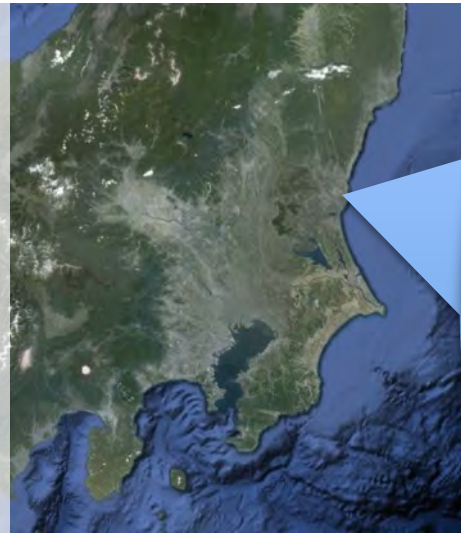
齊藤 直人

J-PARC Center

J-PARCの概要

• J-PARC:

- 日本原子力研究開発機構 (JAEA) と高エネルギー加速器研究機構 (KEK) が建設した、世界最高レベルの陽子加速器により様々な分野の最先端の研究を展開する施設。
- 物質科学、生命科学、原子力工学 (JAEA)、原子核・素粒子物理学 (KEK) など広範な研究分野を対象に、
- 中性子、ミュオン、ニュートリノなどの多彩な二次粒子を用いた新しい研究手段を提供し、
- 基礎科学から産業応用まで様々な研究開発を推進する



連携研究機関: 国内 東大・京大・名大・東北大・九大・阪大・茨大など21研究機関
国外 47研究機関

**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

神岡に向けてニュートリノビーム

現在 : 0.525 MW

物質・生命科学実験施設

現在 : 0.485 MW (FX)
: 0.051 MW (SX)

Main Ring

最高エネルギー : 30 GeV

速い取り出し設計出力 : 0.75 MW

遅い取り出し出力期待値 : > 0.1 MW

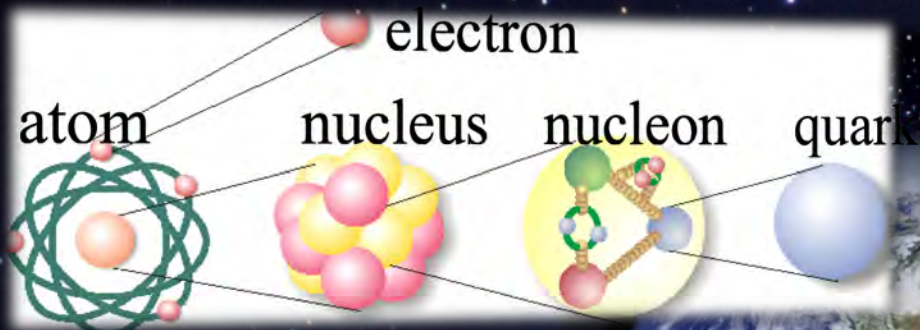
ハドロン実験施設

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



ポール・ゴーギャン 1897-1898年作 ボストン美術館所蔵

僕たちはどこから来たのか？



物質の起源は？



どこへ行くのか？





- 9/1 太陽系の形成
- 9/3 地球誕生
- 9/22 海洋形成・最初の生命？
- 12/16 全球凍結
- 12/17 カンブリア大爆発
- 12/30 恐竜絶滅
- 12/31
 - 19:33 サヘラントロプス
チャデンシスの出現
 - 21:27 アウストラロピテクス
の出現
 - 23:52 ホモサピエンスの出現

一年間に圧縮して例えると。。。

元旦の出来事

Time	10^{-43} sec.	10^{-32} sec.	10^{-6} sec.	3 min.		
Temperature		10^{27} °C	10^{13} °C	10^8 °C		

- 1 The cosmos goes through
- 2 Post-inflation, the universe
- 3 A rapidly cooling
- 4 Still too hot to form into
- 5 Electrons combine with
- 6 Gravity makes hydrogen and
- 7 As galaxies cluster

10⁻⁴³秒
インフレーション
原子1個がグレープフルーツの大きさに

10⁻³²秒
ポスト・インフレーション
クォークや電子など素粒子の熱いスープ状態。

10⁻⁶秒
閉じ込め
3つのクォークから陽子や中性子ができる。
10兆度

3分
He核の生成
陽子と中性子からヘリウムなどの軽い原子核が出来る。
1億度

38万年
原子の生成
＝「晴れ上がり」
電子が原子核に束縛され原子が出来る。これ以降、光が直進できるようになる。
1万度

10億年
天体の生成
重力により多くの原子が集まって星を形成し始める。その後、星が集まり銀河を形成する。アンドロメダ銀河は90億歳ぐらい。
-200度

138億年
現在
太陽系が46億年前、その後地球が出来た。数億年で海洋形成、生命の最初の痕跡があり、全球凍結、カンブリア大爆発を経て、人類の出現。

大強度ビームで拓く新しい世界

クォーク

第一世代	第二世代	第三世代	強い力 グルーオン
u	c	t	
d	s	b	

レプトン

ν_e	ν_μ	ν_τ	電磁力 光子
e	μ	τ	

弱い力
ウィークボゾン

W^-	W^+	Z
-------	-------	---

ヒッグスボゾン

h

Safety vent
PTC
S

Lower mantle
Outer core
Inner core

364 GPa	> 5000 °C
329 GPa	5000 °C
136 GPa	3,700 °C
24 GPa	1600 °C

J-PARC
Japan Proton Accelerator Research Complex

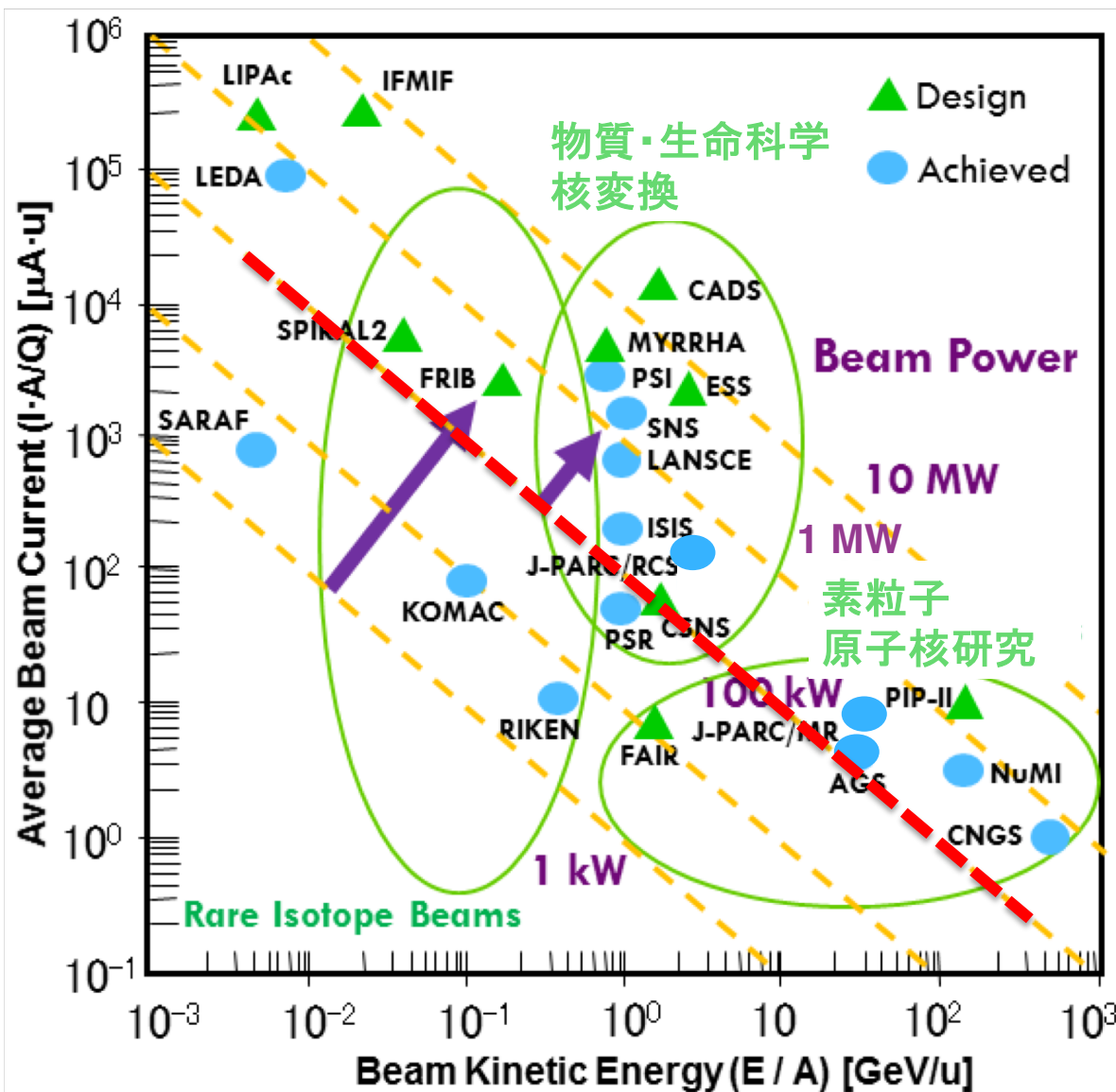
Beams...
for the next stage of our life

Neutrino beam... for investigation of mysterious characteristics of the neutrino.
Hadron and Muon beams... for exploration of the origin of matter.
Neutron and Muon beams... for investigation of structure and dynamics to elucidate origins of life and functional materials.
Proton beam... accelerated to produce the secondary and tertiary beams.
J-PARC is... a MW class facility where the highly-efficient accelerator complex supplies high-intensity beams to experimental facilities for cutting-edge science and technology.

なぜ、我々の宇宙には物質しかないのか？
（物質は「反物質」と双子）
どのように生命は生まれたのか？
（人間原理？）
如何に物質・生命の多様性は生まれたのか？
（素晴らしきこの世界）

我々
に制
より

世界は大強度を目指す



大強度



短時間で高統計



- より精密な測定
- より稀な現象の発見
- より多くの物質の研究



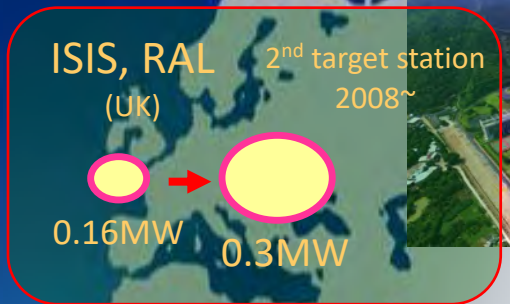
新発見

世界の大強度陽子施設



ESS
(Sweden)
2019~
5MW

A diagram of the ESS facility in Sweden, showing a central point with several lines radiating outwards, representing the particle accelerator structure. The text indicates it is a 5MW facility starting in 2019.



ISIS, RAL (UK)
2nd target station
2008~
0.16MW → 0.3MW

A diagram showing the transition of the ISIS and RAL facilities in the UK. It features two yellow circles of increasing size, with an arrow pointing from the smaller one (0.16MW) to the larger one (0.3MW). The text indicates the second target station was established in 2008.



CSNS
(China), 500kW
2019~

An aerial photograph of the CSNS facility in China, showing a large complex of buildings and infrastructure. The text indicates it is a 500kW facility starting in 2019.



MLF, J-PARC
(Japan)
2008~
1MW

A diagram of the MLF and J-PARC facilities in Japan, featuring a large yellow circle. The text indicates it is a 1MW facility starting in 2008.

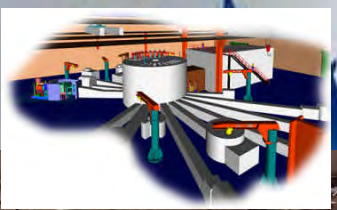
IPNS, ANL
@Illinois, USA
0.01MW



SNS, ORNL
(USA)
2006~
1.4MW

A diagram of the SNS facility at ORNL in the USA, featuring a large yellow circle. The text indicates it is a 1.4MW facility starting in 2006.

LANSCÉ, LANL
@Los Alamos, USA
0.06MW



大強度ビームで未来を加速する

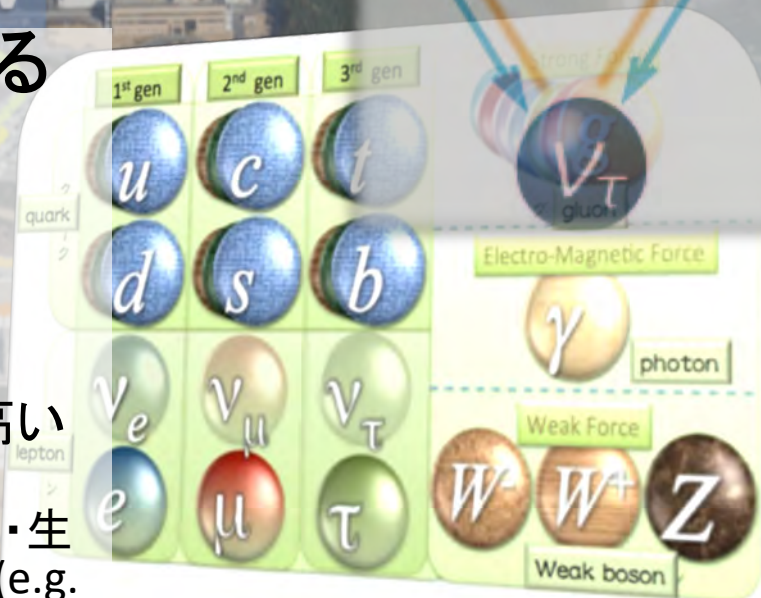


宇宙の始まりと物質の起源にせまる

- ニュートリノ振動とCPの破れの探索
- クォークやミュー粒子の精密測定実験
- 核力・強い相互作用の理解を深める

多様な物質と生命の起源にせまる

- 水素やリチウムなど軽い原子核に感度の高い中性子散乱実験
 - エネルギー材料 (e.g. 電池など), ソフトマター・生命 (e.g. タンパク質・ポリマー), ハードマター (e.g. 超伝導・磁性など)
- マイクロ磁性プローブとしてのミュオン
 - μ SR, ミュオン原子からのX線、ミュオン顕微鏡
 - 基礎物理への応用
- 多角的プローブでイノベーションのコアを形成
- 産業利用
 - オープンイノベーション環境を構築
 - SPring-8/PF、J-PARC、スーパーコンピュータ“京”の協奏的利用など



核変換技術のR&D

ニュートリノで

宇宙と物質の起源に迫る！

Super-Kamiokande

ニュートリノ

295km

V_e V_μ

同じ?

$e i \delta$?

Neutrino Facility at JPARC

反ニュートリノ

なぜ反物質は消えたのか？

2015 NOBEL PRIZE IN PHYSICS
Takaaki Kajita
Arthur B. McDonald

Congratulations!
Prof. Takaaki KAJITA
Prof. Arthur B. McDonald
For Discovery of Neutrino Oscillation

中性子・ミュオンで

物質や生命の多様性を追求し、その起源を探る

中中性子で「見る」

中中性子イメージングの新しい未来

4D NANO DESIGN

Lithium-ion Battery

Cathode lead
Safety vent
PTC
Separator

Insulator
Center Pin
Anode container
Anode lead
Anode

Outer core
Inner core
Lower mantle

364 GPa
329 GPa
136 GPa
24 GPa

川島知事 ご視

ハドロンで

物質の形成過程における謎を探る！

高エネルギーの光

中中性子 n

陽子 p

クォーク

グルオン

光子

W/Z

ヒッグス粒子

ストレンジクォークを含む物質

u, c, t
 d, s, b
 V_e, V_μ, V_τ
 e, μ, τ

gluon
photon
Weak boson
Higgs boson

核変換技術の開発研究

核変換とは？

加速器駆動核変換システム

核変換技術

加速器

核変換炉

核変換技術

加速器駆動核変換システム

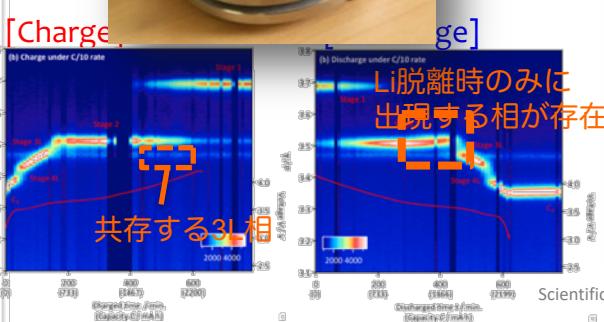
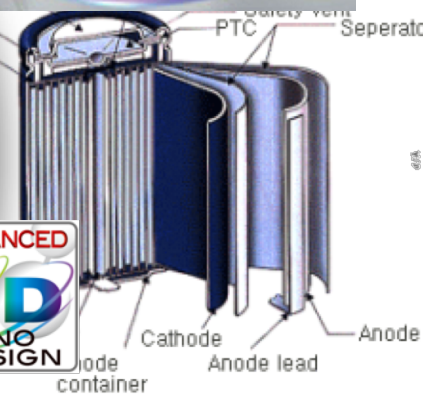
加速器

核変換炉

核変換技術

産業利用で

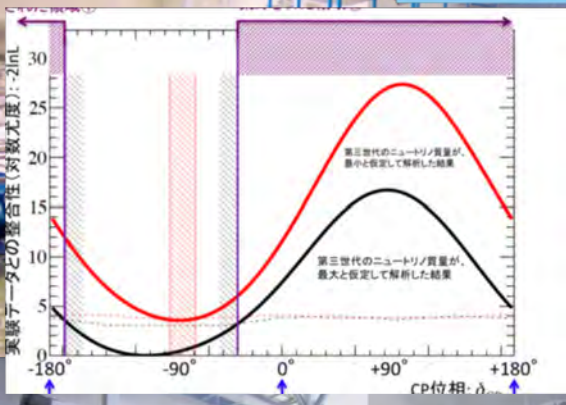
社会を未来に加速する



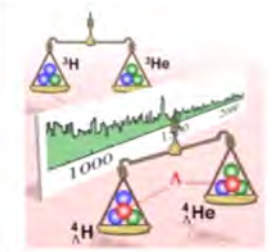
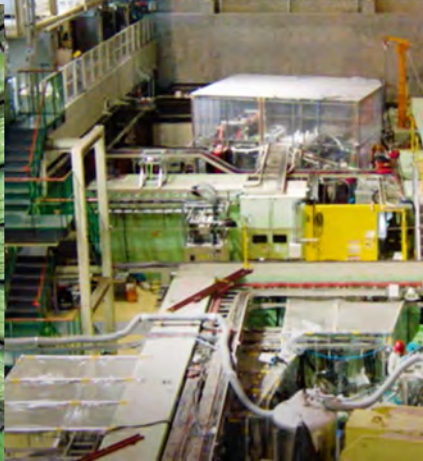
Scientific Reports (2016)



前置検出器



素粒子原子核物理実験



EDITORS' SUGGESTION

Observation of Spin-Dependent Charge Symmetry Breaking in ΛN Interaction: Gamma-Ray Spectroscopy of ${}^4_\Lambda\text{He}$

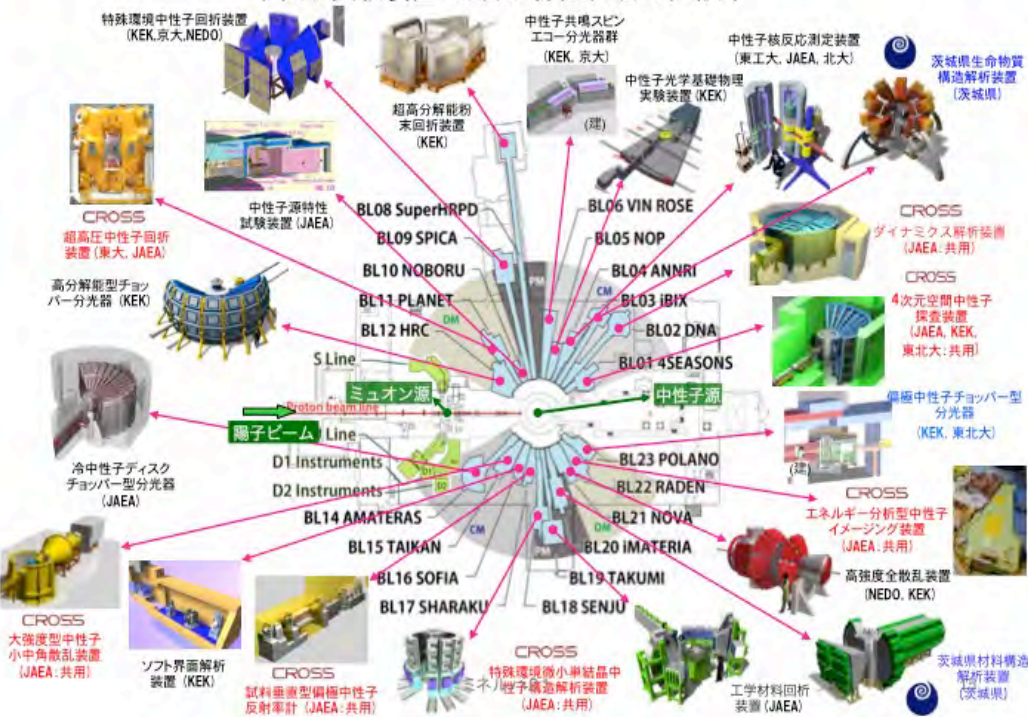
The energy spacing of the spin-doublet states in the ${}^4_\Lambda\text{He}$ hypernucleus indicate a large spin dependent charge symmetry breaking in the ΛN interaction.

T. O. Yamamoto *et al.* (J-PARC E13 Collaboration)
 Phys. Rev. Lett. 115, 222501 (2015)

Press-released from Tohoku U., KEK, JAEA, J-PARC

MLF 中性子実験施設

中性子実験装置: 19台が稼働、2台が建設中



中性子の性質

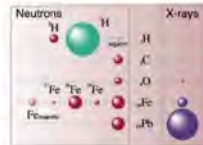
1. 物を通り抜ける能力

電化を持たない中性粒子なので、物質を通り抜けやすく簡単に物質の中の様子を見ることができます



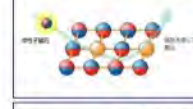
2. 同位体も見分ける能力

原子核と相互作用するので、軽元素の検出や同位体の区別ができます



3. 中性子はミクロな磁石

中性子はミクロな磁石なので、物質内部の磁場で散乱され、原子のみならず、原子磁石(スピンの)を作る構造や運動も判ります



4. 原子の並び方を見る

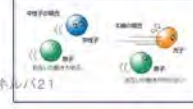
中性子は波の性質も持つので、入射波が原子により散乱されて波紋を作ります。この波紋を観察することで波長の大きさ程度の原子の配列がわかります



ブラッグ散乱
 $2d\sin\theta = n\lambda$

5. 原子の動きを見る

原子間距離程度の波長の中性子は、ちょうど原子やスピンの動きと同程度のエネルギーを持ちます。だから、原子、スピンの構造と同時に、それらの運動もわかります



$300\text{ K} = 25.8\text{ meV} = 1.8\text{ \AA}$

正ミュオン(μ^+)の μ SR(ミュオンスピン回転)

物質の中に注入された
ミュオンは
原子サイズの方位磁石!

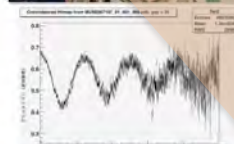
ミュオンの崩壊
 $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$
 $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$
($2.2\ \mu\text{s}$)

③ミュオンは崩壊する瞬間に向いていたスピンの方向に陽電子を放出する。



ミュオンビーム

- ① 加速器によってほぼ100%スピンのそろったミュオンビームが作られる。
- ② 試料に射したミュオンは原子と原子の間に止まり、そこでの磁場を感じて歳差運動する。

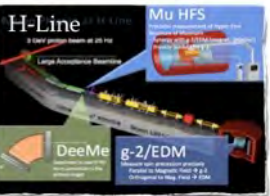


J-PARCに設置された μ SR実験装置と得られた時間スペクトル

ミュオン実験施設 MUSE @ MLF



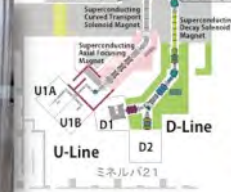
μ SR実験を多数展開出来る



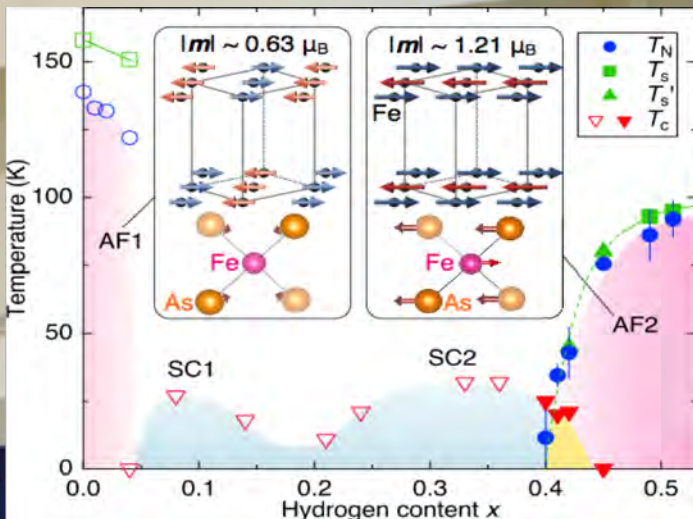
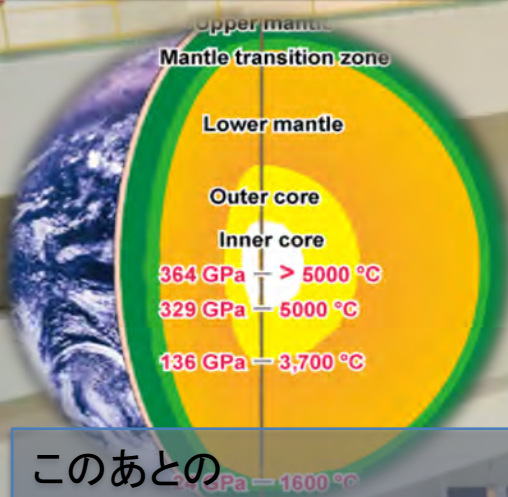
国際的基礎物理研究、学際研究を展開



ユニークな超低速ミュオンビーム

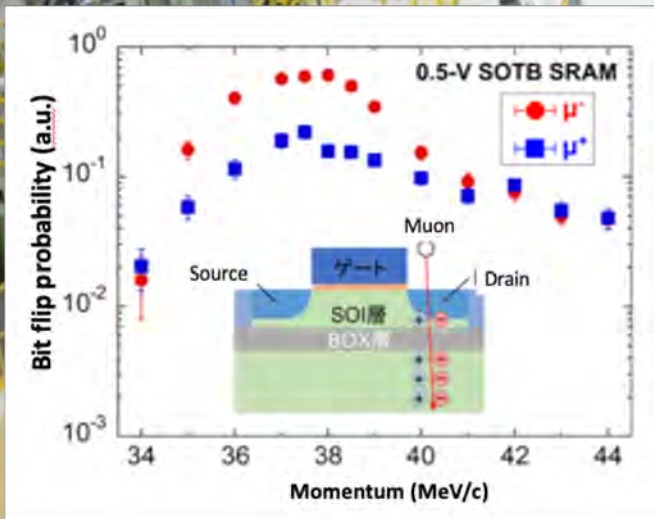


汎用性の高い中強度ミュオン



このあとの
佐野亜沙美 研究副主幹
の講演で詳しく！

物質生命科学実験



隕石の中の生命の痕跡を調べる@はやぶさ2
負ミュオンを使った非破壊軽元素分析

【概要】物構研ミュオン科学研究グループは、大阪大学理学研究科寺田健太郎教授らと共に、数mm厚の隕石模擬物質から軽元素(C, B, N, O)の非破壊深度分析、有機物を含む炭素質コンドライト隕石の深度70 μm 、および深度1mmにおける非破壊元素分析という新しい非破壊元素分析に成功した。はやぶさ2の持ち帰る隕石を非破壊で調べる予定。

ガラスチューブ越しの隕石のX線スペクトル (赤)

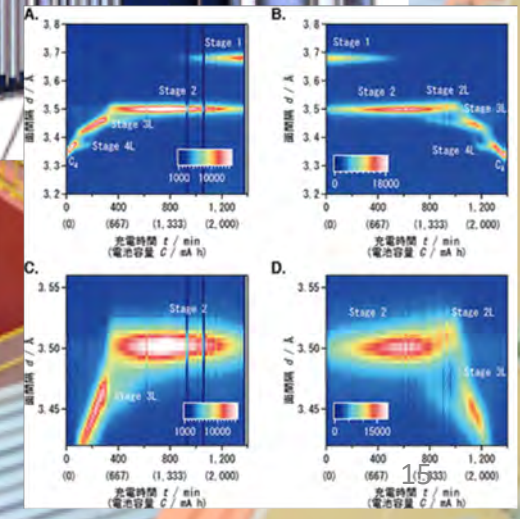
Count (0.25 keV)
Energy (keV)

ガラスチューブ越しの隕石のX線スペクトル (赤)
 $\mu\text{Mn-L}$, 59 keV
 $\mu\text{Ca-K}$, 77 keV
 $\mu\text{Al-L}$, 79 keV
 $\mu\text{Si-L}$, 99 keV
 $\mu\text{S-L}$, 99 keV
 $\mu\text{N-K}$, 102 keV
 $\mu\text{O-K}$, 133 keV

ミュオン特性X線は、電子ビーム分析で発生する通常の特性X線に比べ、約200倍のエネルギーをもつ(例えば、 $\mu\text{C-K}$ 線=75 keV、 $\mu\text{N-K}$ 線=102 keV、 $\mu\text{O-K}$ 線=133 keV)。物質の透過能力が高いことから、cmサイズの物質内部の化学組成の情報を非破壊で得ることが可能になる。

K.Terada, et al., Sci. Rep. 4, 5072 (2014).

【関連研究分野へのインパクト】物質透過能力の高いミュオンを用いた分析は、非破壊でcmサイズの物質内部の元素の濃度と分布を知ることができる。位置検出型検出器の開発が進めば、人類はX線ラジオグラフィーに次ぐ物を透視する新しい「眼」を持つことになる。



学術・産業における連携関係

国内大学との連携

2016
茨城大学大学院・理工学研究科
博士前期(修士)課程

Graduate School of Science and Engineering

2016年4月量子線科学専攻を新設します



茨城大学・新専攻設置

J-PARCの講義と演習で、先端科学とその施設運営にダイレクトに触れる機会を次世代を担う若者に。クロスアポイントメントによる連携研究室の運営で人材交流を促進。

大阪大学

京都大学

大学のJ-PARC分室設置

先端施設を用いた大学院教育、将来の施設創りができる人材育成に大きく貢献。阪大・京大(設置済)を皮切りに、多くの大学が検討中

海外研究機関との連携



豪州ANSTOとの協力

中性子利用環境に定評のあるANSTOとの協力で、利用者とともに成果を最大化する環境の整備。人材交流の促進。

九州大学

名古屋大学

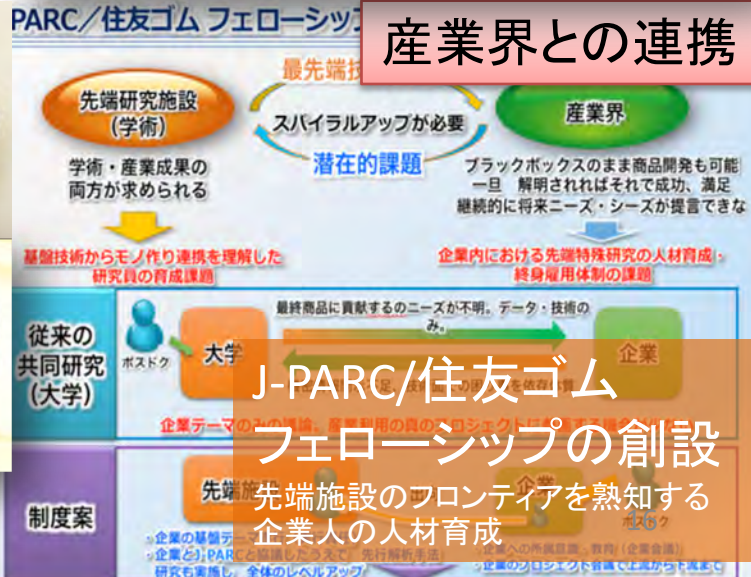
カナダTRIUMFとの協力

実験における研究協力だけでなく、人材交流、施設整備や保守管理におけるノウハウの交換など

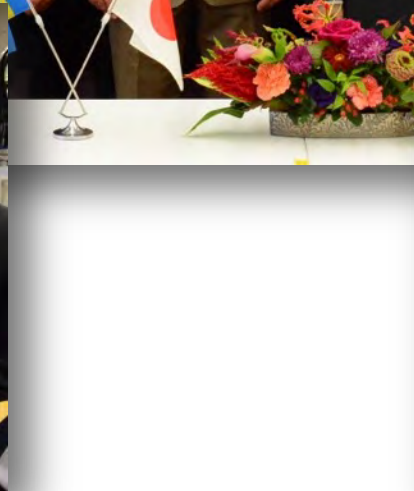
ESSとの協力

建設中の欧州中性子施設ESSにJ-PARCで培われた技術を活かし、研究交流を促進

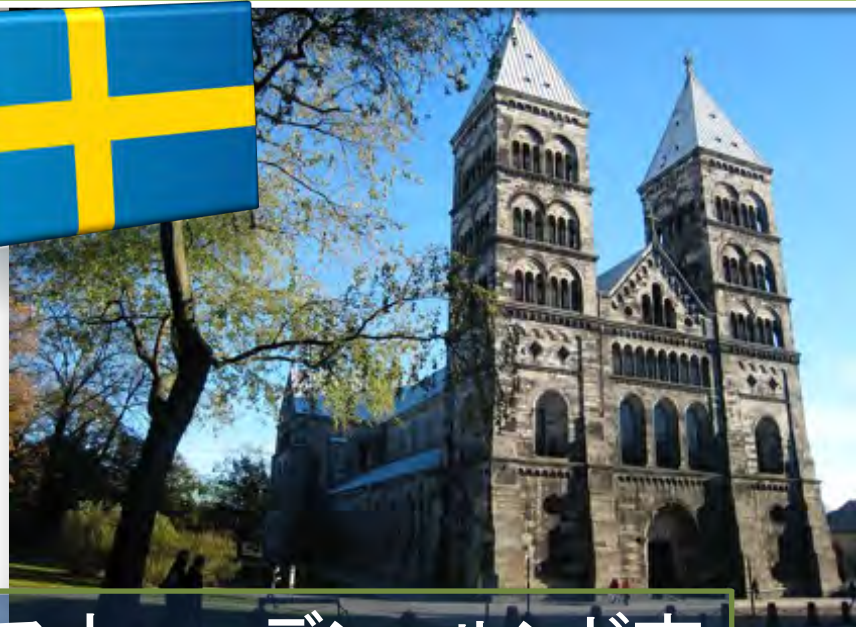
産業界との連携



スウェーデン大使 来訪 2018/11/13



科学と歴史のサイエスタウンへ



スウェーデン、ルンド市



日本、東海村

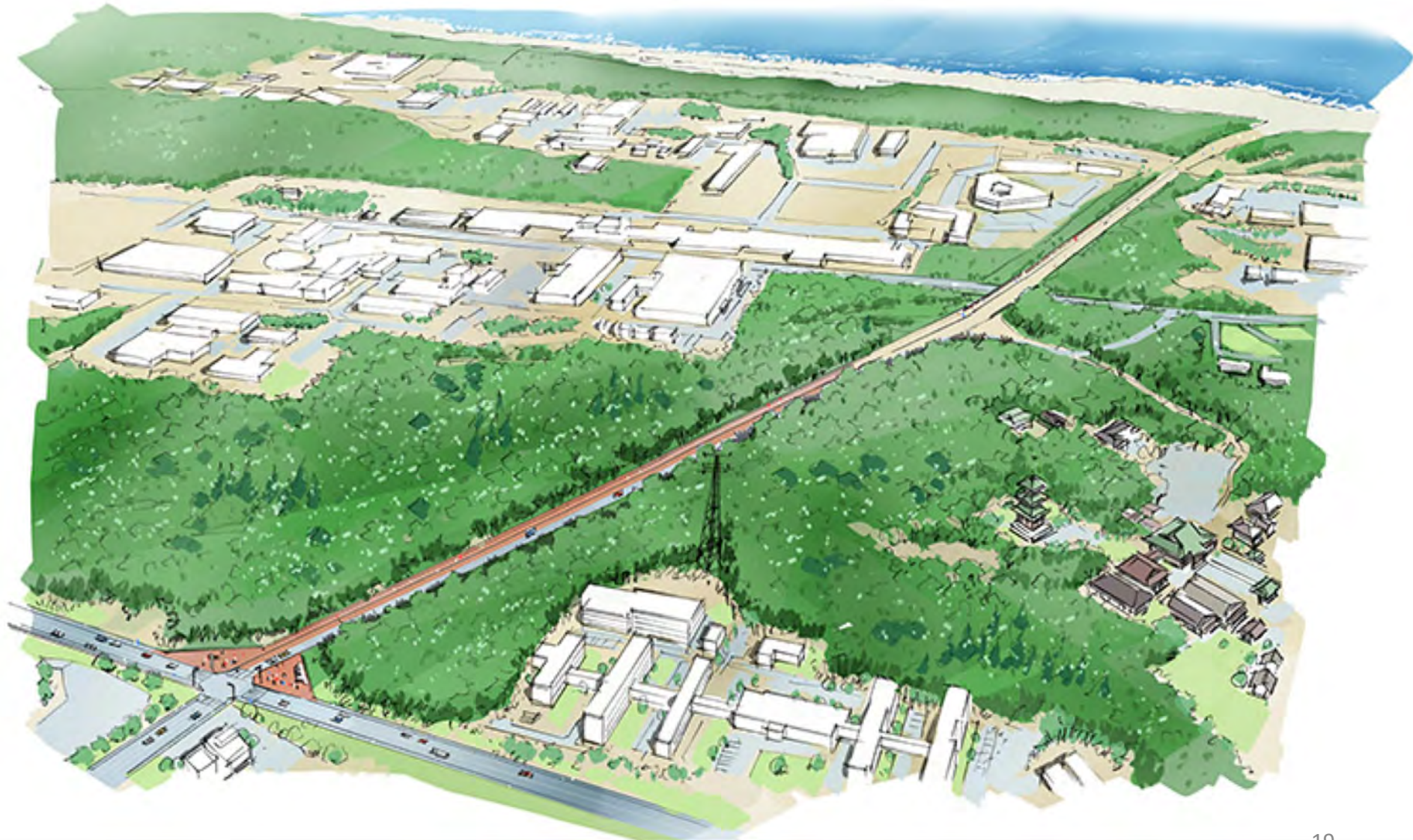


欧州中性子源施設(建設中)



J-PARC(成果創出中)

サイエスタウンの中核として



永岡桂子文部科学副大臣ご視察 2019/1/24



広く理解してもらうために



まとめ

- J-PARCは、世界でもユニークな2つの1MW級大強度陽子加速器を擁する多目的研究施設。
 - ◆ ニュートリノ実験施設:480 kW (設計値の63%)
 - ◆ 物質・生命科学実験施設:525 kW (設計値の53%)
 - ◆ ハドロン実験施設:51kW (目標値の51%)
- 大強度の二次粒子を用いて、素粒子・原子核科学、物質・生命科学、原子力工学のフロンティアを牽引。
 - ◆ 顕著な研究成果が得られ、
 - ◆ 社会への発信も進みつつある
- さらに安定に稼働する施設を目指して成熟度を高めている。
 - ◆ 将来計画の策定も進んでいる。
- 施設運営の改善を通して、成果創出を加速し、人類への貢献をさらに深めることを目指す。

