

(公)高エネルギー加速器科学研究奨励会特別講演会
平成26年10月10日@アルカディア市ヶ谷(私学会館)

J-PARCの現状とMFL施設運用

池田裕二郎

J-PARCセンター

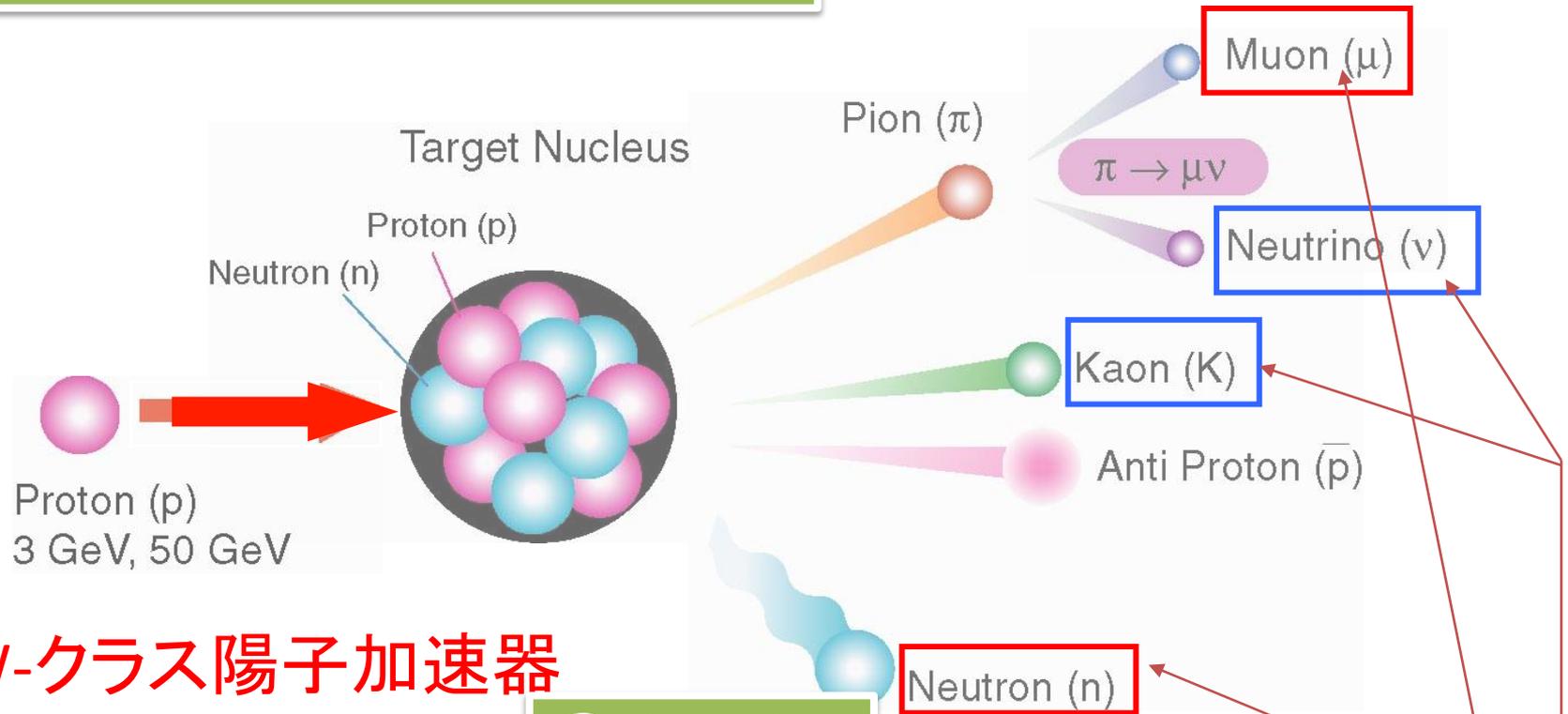
アウトライン

- J-PARC概要
- MLF概要
- 利用の仕組みと状況
- 中性子利用成果
- 今後の展望

J-PARC の特徴

Japan Proton Accelerator Research Complex

① 2次粒子による先端研究



→ MW-クラス陽子加速器

② Intensity Frontier

③ 多目的

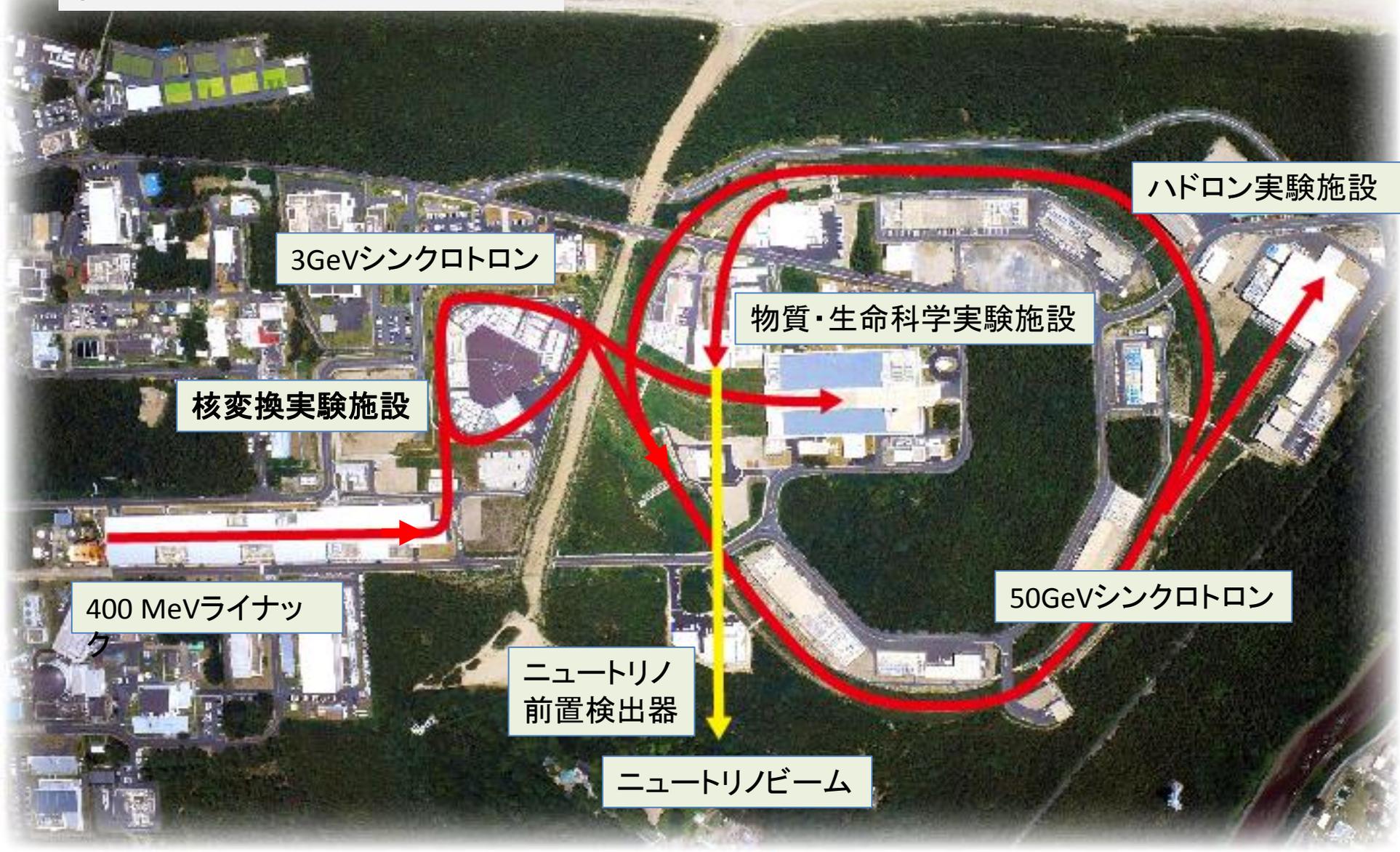
Materials & Life Science at 3 GeV
Nuclear & Particle Physics at 50 GeV
R&D toward Transmutation at 0.4 GeV

根源的物理解研究から産業界の利用と応用

J-PARCの施設配置とビームの流れ

J-PARC 東海村

太平洋



J-PARCの規模、サイズ

人員:	~450 (JAEA and KEK)
運転委託員:	~400
予算:	
建設	>1, 524億円 (Phase-I)
運転経費 (/年)	~150億円 in 2014 (180*)
利用時間:	178日 in 2014 (200*)
利用者:	2,200人 in 2013 (4,500*)
	Neutron 3,000*
	Muon 300*
	Hadron 600*
	Neutrino 500
	ADS 100*

* 3-5年で

J-PARC施設仕様 主要パラメーター

Accelerator

LINAC

Length	350 m
Accelerated. Particles	Negative hydrogen
Energy	400 MeV
Peak Current	50 mA
Pulse Width	0.5 ms
Repetition Rate	25 Hz
Freq. of RFX, DTL, and SDDL	324 MHz

RCS (Rapid Cycling Synchrotron) Phase-I goal 1.0 MW

Circumference	348.333 m
Injection Energy	400 MeV
Extraction Energy	3 GeV
Repetition Rate	25 Hz
RF Frequency	0.938 MHz → 1.67 MHz
Harmonic Number	2
Number of RF cavities	23
Number of Bending Magnet	24

MR (Main Ring) Phase-I Goal 0.75 MW

Circumference	1567.5 m
Injection Energy	3 GeV
Extraction Energy	30 GeV (50 GeV)
Repetition Rate	~0.4 Hz
RF Frequency	1.67 MHz → 1.72 MHz
Harmonic Number	9
Number of RF cavities	6
Number of Bending Magnet	96

Materials & Life Science Experimental Facility(MLF)

Injection Energy	3 GeV
Repetition Rate	25 Hz

Neutron Source

Target Material	Mercury
Number of Moderators	3
Life time	~1 year
Moderator Material	Supercritical H ₂
Moderator Temperature/Pressure	20 K / 1.5 MPa
Number of Neutron Beam Ports	23

Muon Source

Target Material	Graphite
Number of Muon Beam Extraction Ports	4
Neutron Instruments*	
Open for User Program (General Use)	18
Under Commissioning/Construction	1/2
Muon Instruments*	
Open for User Program (General Use)	2 (1)

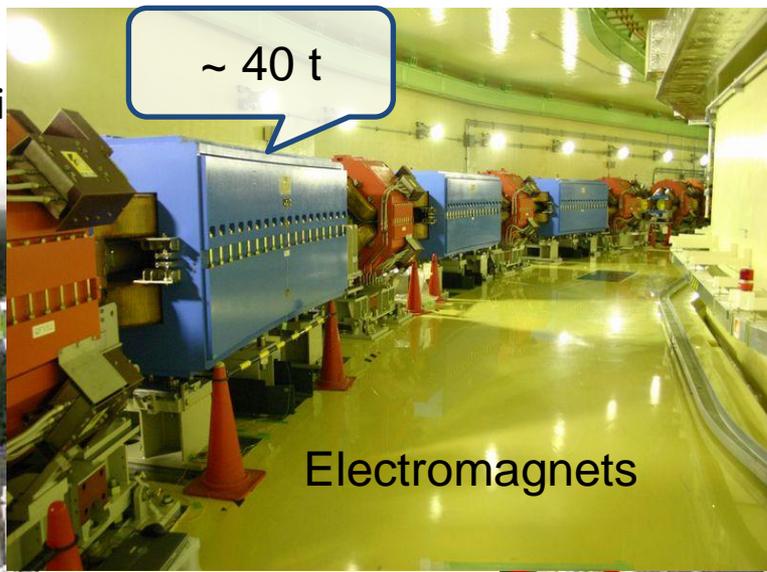
Hadron Experimental Facility

Injection Energy	3 GeV
Extraction	Slow
Repetition Rate	1/6 Hz
Target Material	Gold
Number of Neutron Beam channel	4 (2 under construction)

Neutrino experimental facility

Injection Energy	3GeV
Extraction	Fast
Target Material	Graphite
Repetition rate	1/2.4 Hz (1Hz)

3 Accelerators
3(+ 1) User facilities



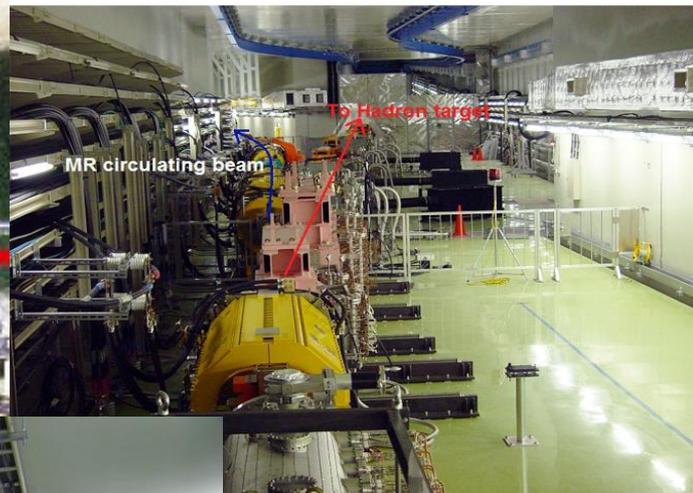
Thin septum magnet
wall thickness 1.5 mm & 3.5 mm



Medium septum magnet
8.5 mm



Thick septum magnet
35 mm & 64 mm



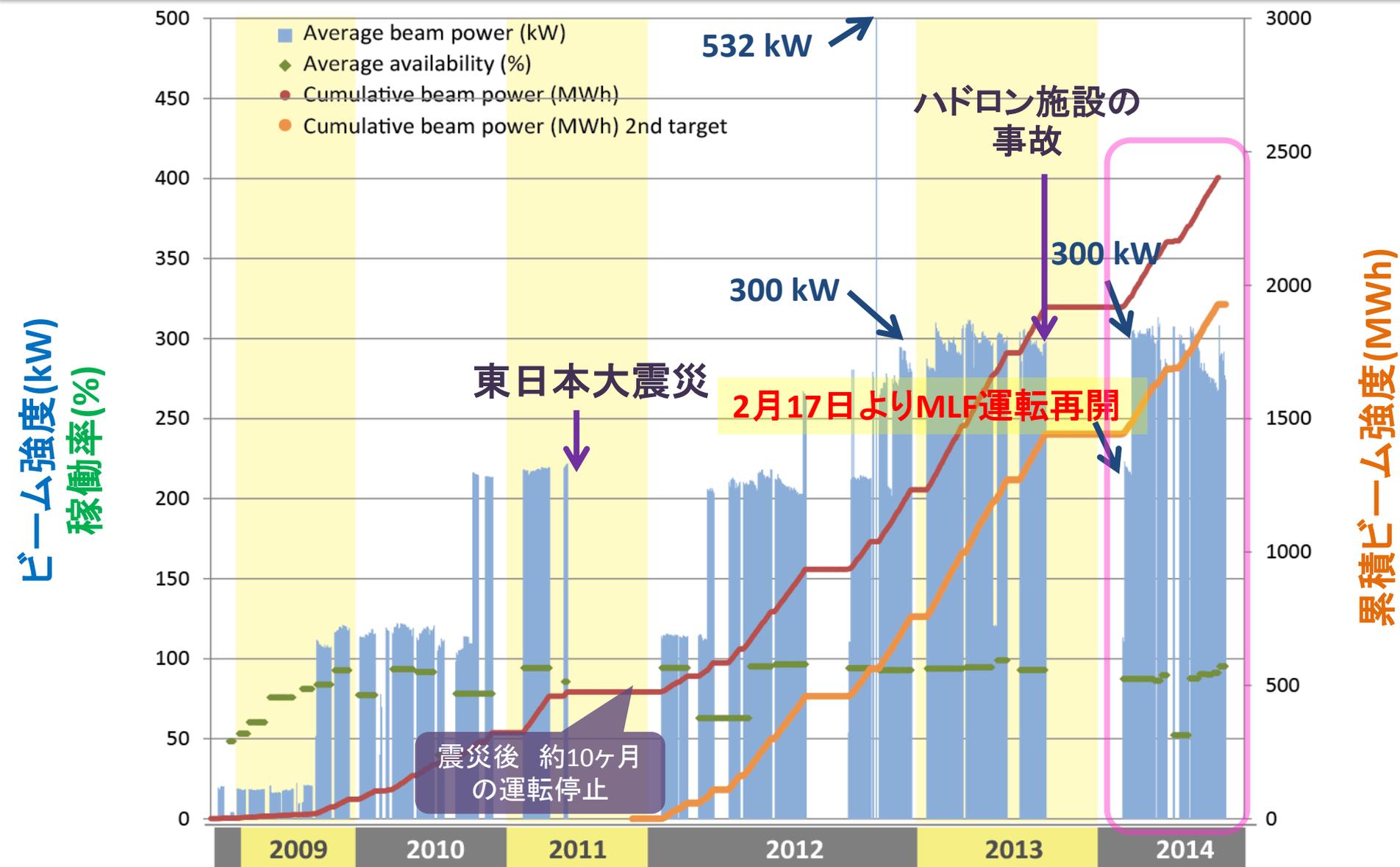
traction region
are installed in an upper stream (the left side of the photo), and then, a low, a medium, and a high
allowed, respectively,
side of the photo) a thickness of magnetic field gets thicker, and an extracted beam is bended



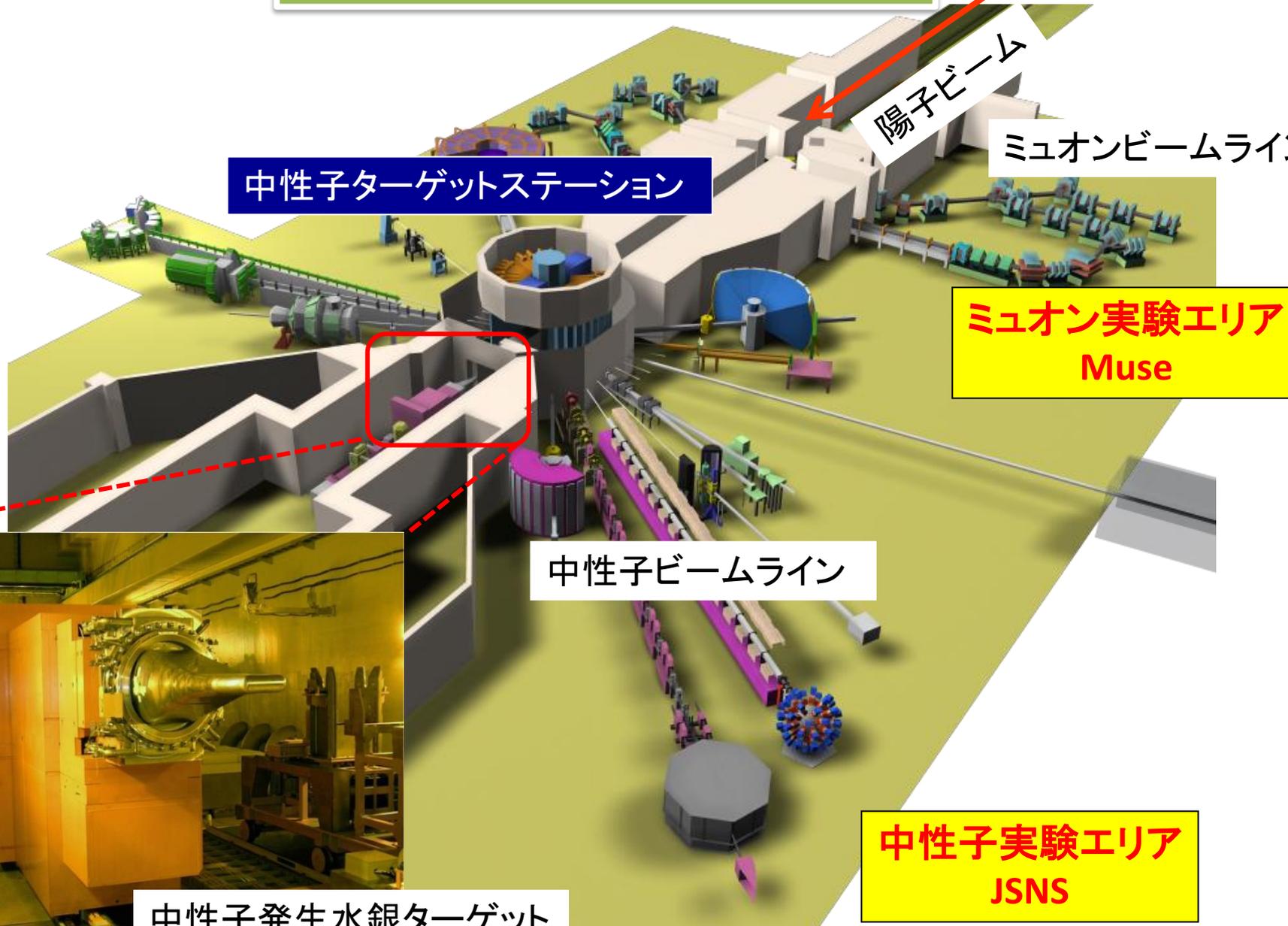
The high energy protons are directed
to the Neutrino Target

MR(0.75 MW)

物質・生命科学実験施設(MLF)の進捗: 利用運転再開



物質・生命科学実験施設(MLF) with 中性子 and ミュオン



世界のパルス中性子源

ISIS / RAL

ISIS UK

+ TS2
2008~

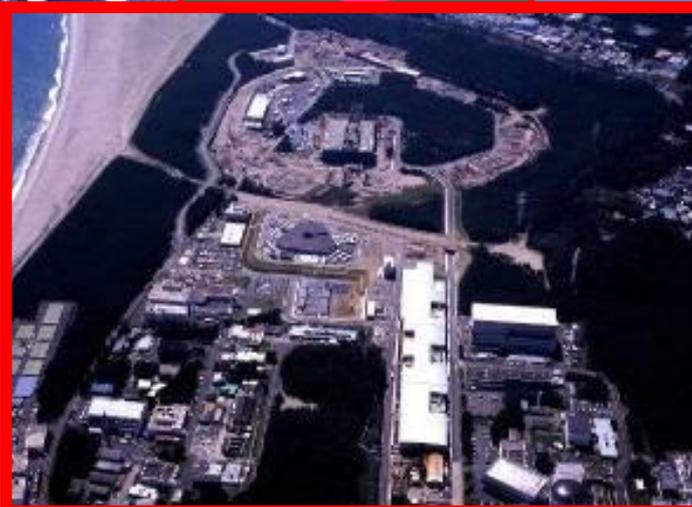
0.16MW → 0.05MW
50Hz → 10 Hz



MLF / J-PARC

MLF Japan
2008~

1MW
25 Hz



SNS / ORNL

SNS USA
2006~

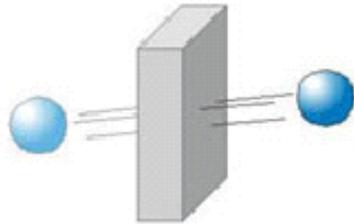
1.4MW
60 Hz



中性子の特徴

1.物質透過性

No charge

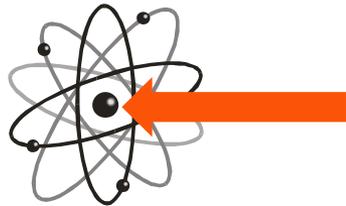


2.原子配列に敏感



Crystal structure analysis

3.軽い原子に敏感



Interaction with an atomic nucleus

Sensitive to light atoms

4.原子の動きを捉える

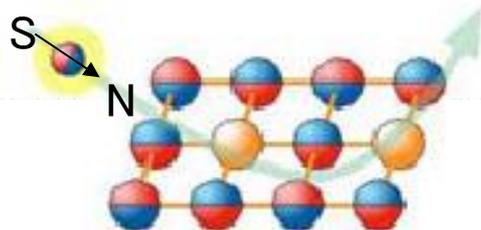


slow

Too fast

Inelastic scattering

5.スピンによる小さな磁石で磁性に敏感



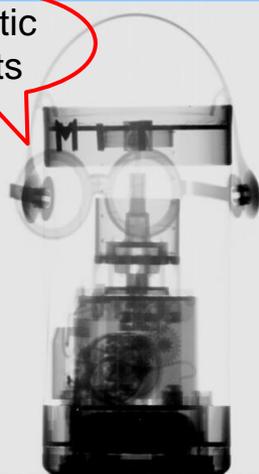
Effective magnetic material

中性子の威力の例

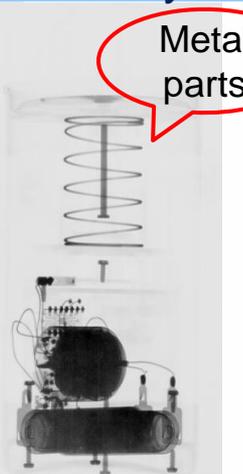


ラジオグラフィー

Plastic parts

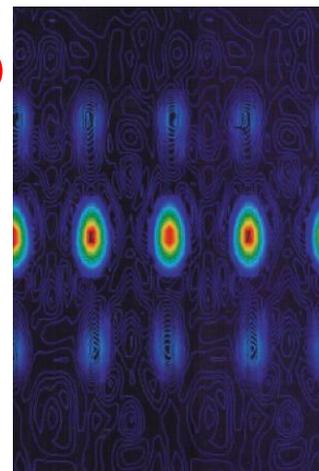


Metal parts



Neutron

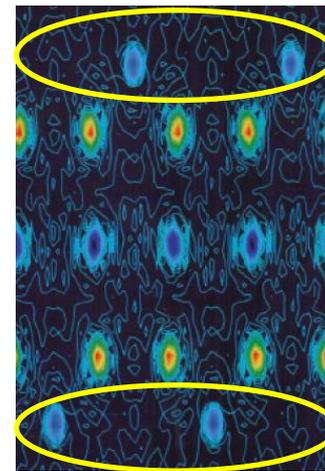
X-Ray



X-Ray measurement

Li-ion battery

— Li
— O
— Mn
— O
— Li



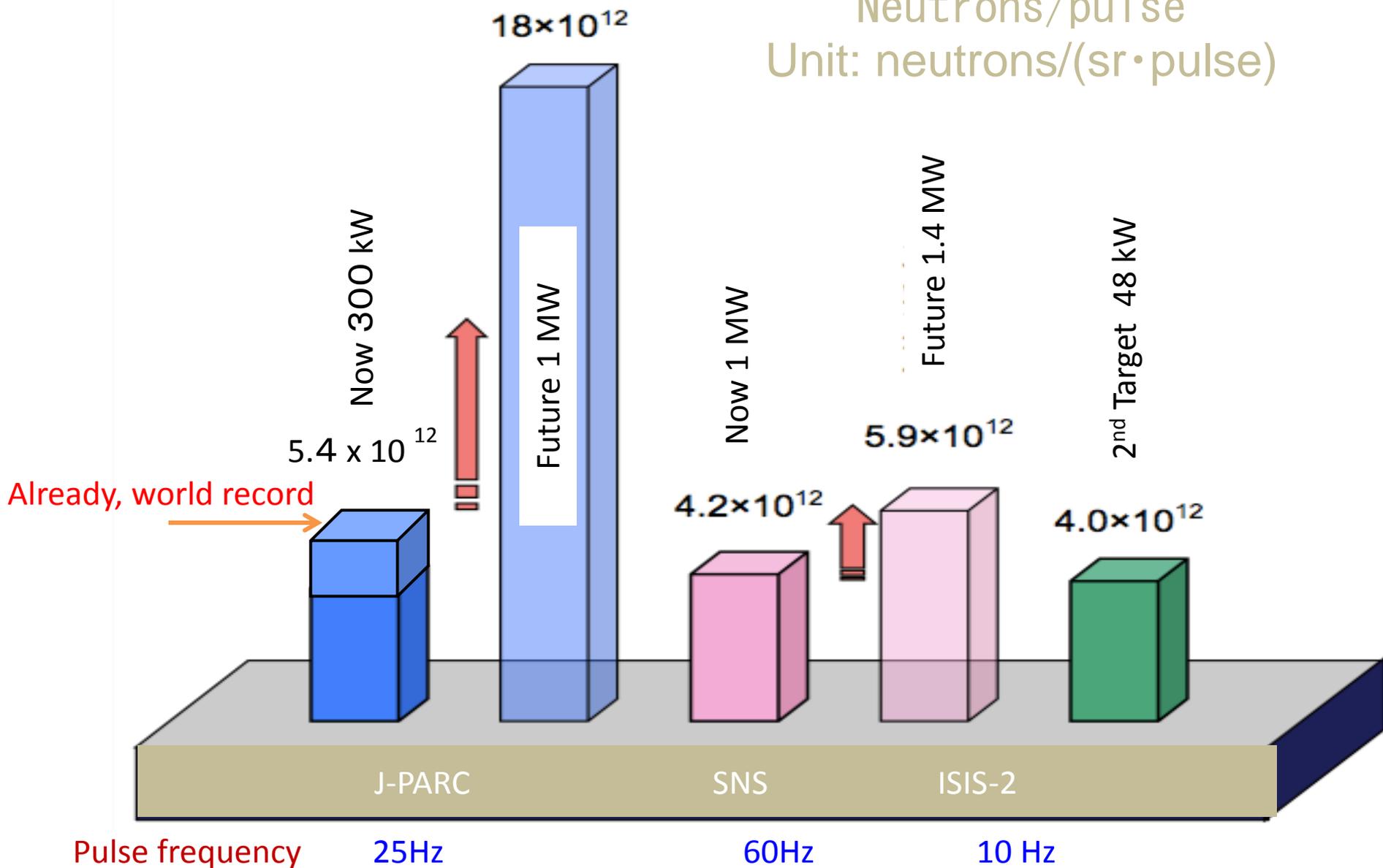
Neutron measurement

Periodic Table of the Elements

1 1IA 11A	2 IIA 2A											13 IIIA 3A	14 IVA 4A	15 VA 5A	16 VIA 6A	17 VIIA 7A	18 VIIIA 8A
1 H Hydrogen 1.0079	2 He Helium 4.00260	3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.01218	5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.00674	8 O Oxygen 15.9994	9 F Fluorine 18.998403	10 Ne Neon 20.1797	11 Na Sodium 22.989768	12 Mg Magnesium 24.305	13 Al Aluminum 26.981539	14 Si Silicon 28.0855	15 P Phosphorus 30.973762	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.4527	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.95591	22 Ti Titanium 47.88	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.847	27 Co Cobalt 58.9332	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.64	33 As Arsenic 74.92159	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.80
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90585	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90638	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium 98.9072	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.9055	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.71	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.90447	54 Xe Xenon 131.29
55 Cs Cesium 132.90545	56 Ba Barium 137.327	57-71 Lanthanide Series	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.9479	74 W Tungsten 183.85	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platinum 195.08	79 Au Gold 196.9665	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.3833	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98037	84 Po Polonium (209, 8524)	85 At Astatine 209, 9871	86 Rn Radon 222, 0176
87 Fr Francium 223, 0197	88 Ra Radium 226, 0254	89-103 Actinide Series	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (266)	107 Bh Bohrium (264)	108 Hs Hassium (269)	109 Mt Meitnerium (268)	110 Ds Darmstadtium (269)	111 Rg Roentgenium (272)	112 Cn Copernicium (277)	113 Uut Ununtrium unknown	114 Uuq Ununquadium (289)	115 Uup Ununpentium unknown	116 Uuh Ununhexium (288)	117 Uus Ununseptium unknown	118 Uuo Ununoctium unknown
		57 La Lanthanum 138.9055	58 Ce Cerium 140.115	59 Pr Praseodymium 140.90765	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium 144.9127	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.9654	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92534	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.93421	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967	
		89 Ac Actinium 227.0278	90 Th Thorium 232.0381	91 Pa Protactinium 231.03688	92 U Uranium 238.0289	93 Np Neptunium 237.0482	94 Pu Plutonium 244.0642	95 Am Americium 243.0614	96 Cm Curium 247.0703	97 Bk Berkelium 247.0703	98 Cf Californium 251.0798	99 Es Einsteinium (254)	100 Fm Fermium 257.0951	101 Md Mendelevium 258.1	102 No Nobelium 259.1009	103 Lr Lawrencium (262)	
		Alkali Metal	Alkaline Earth	Transition Metal	Basic Metal	Semimetals	Nonmetals	Halogens	Noble Gas	Lanthanides	Actinides						

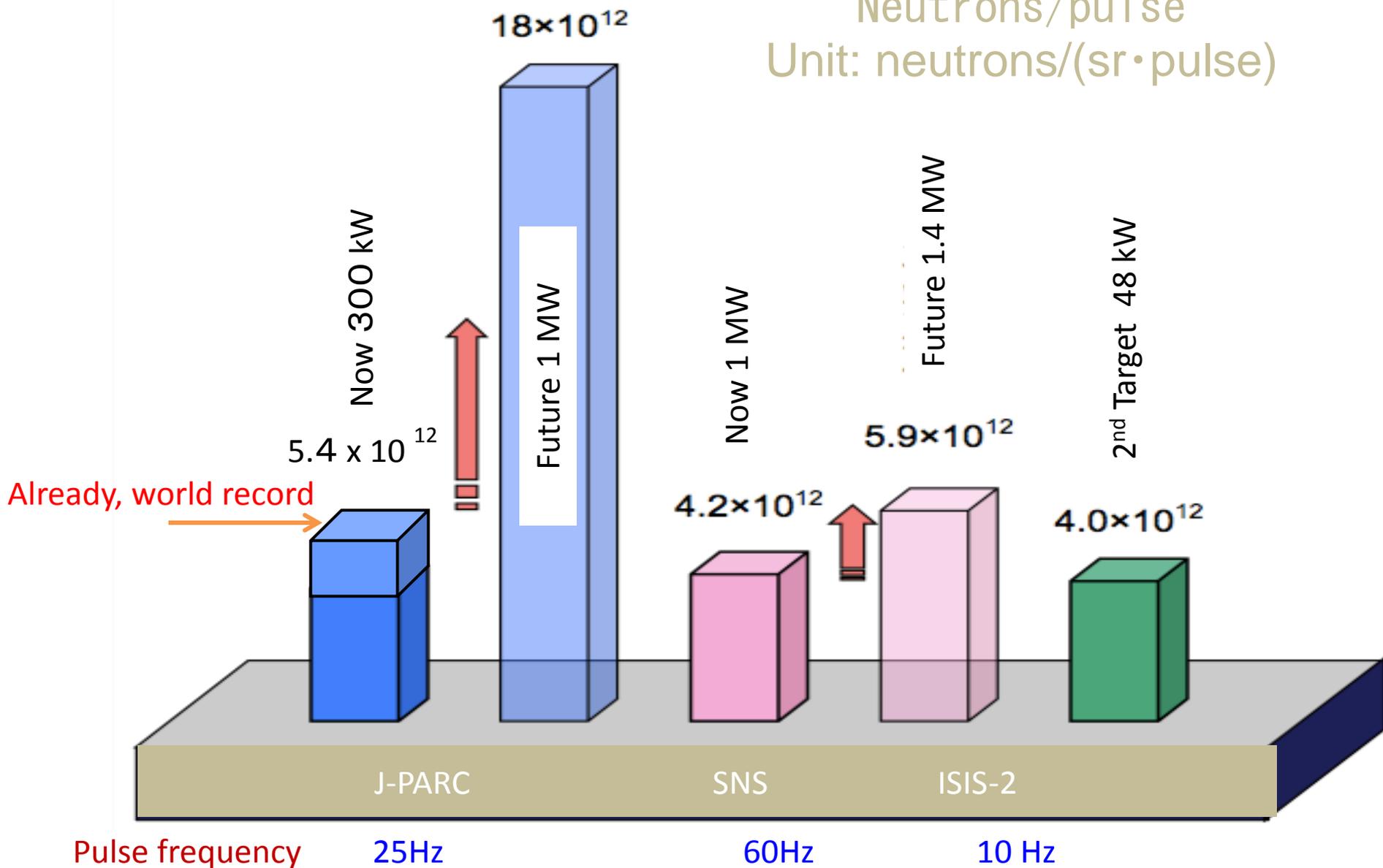
J-PARC のパルス中性子の高い性能

Neutrons/pulse
Unit: neutrons/(sr·pulse)



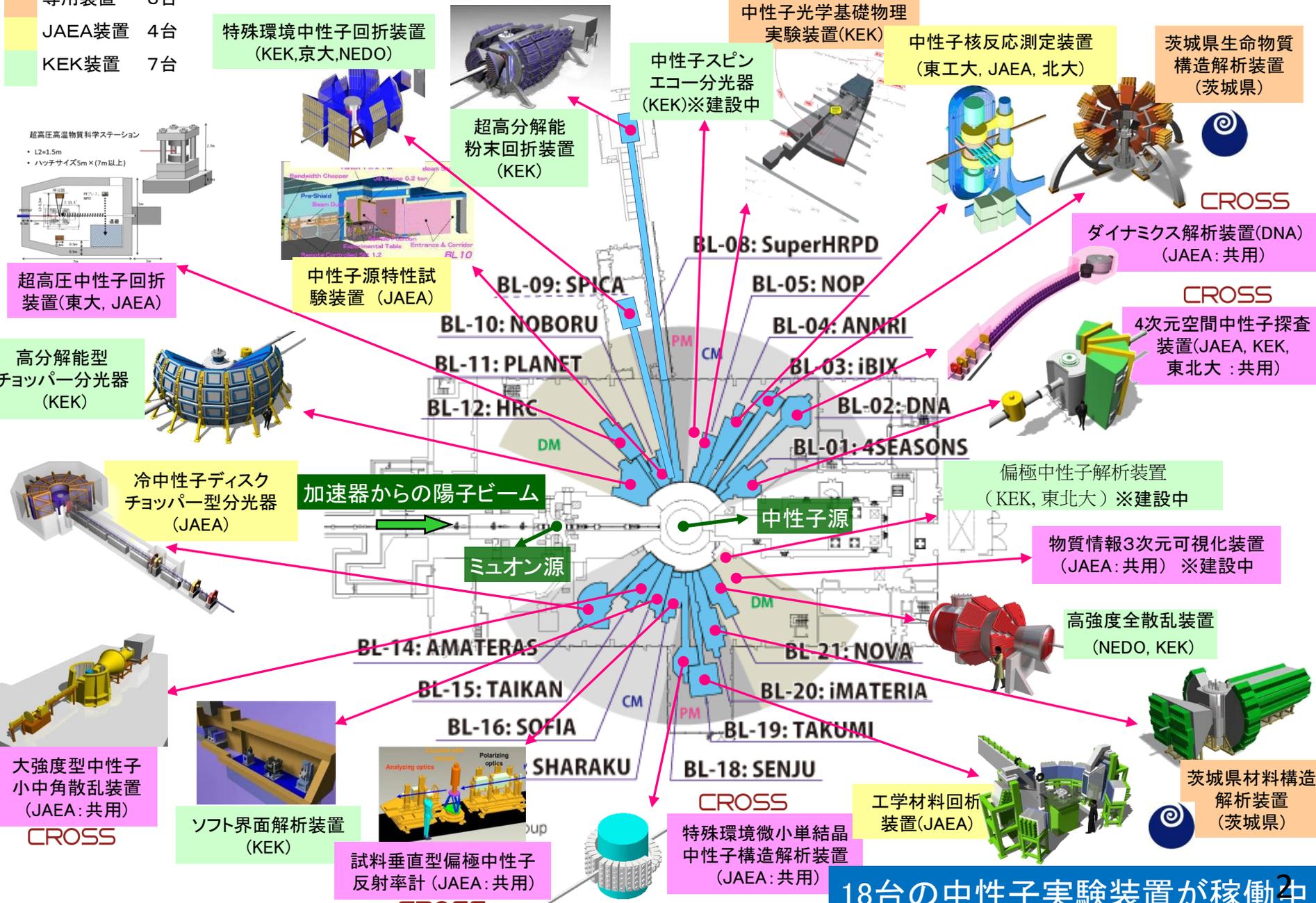
J-PARC のパルス中性子の高い性能

Neutrons/pulse
Unit: neutrons/(sr·pulse)



物質・生命科学実験施設の状況(2/5): 中性子実験装置整備状況

- 共用装置 7台
- 専用装置 3台
- JAEA装置 4台
- KEK装置 7台



特殊環境中性子回折装置
(KEK,京大,NEDO)

超高分解能
粉末回折装置
(KEK)

中性子光学基礎物理
実験装置(KEK)

中性子核反応測定装置
(東工大, JAEA, 北大)

茨城県生命物質
構造解析装置
(茨城県)

超高压高温物質科学ステーション
・ L2=1.5m
・ ハッチサイズ5m×(7m以上)

Bandwidth Chopper
Pre-Shield Beam D.
Environmental Chamber
Entrance & Corridor
Remote-Component 1,2
FL 10

中性子スピ
ンエコー分光器
(KEK)※建設中

CROSS

ダイナミクス解析装置(DNA)
(JAEA: 共用)

超高压中性子回折
装置(東大, JAEA)

中性子源特性試
験装置 (JAEA)

BL-08: SuperHRPD

BL-05: NOP

CROSS

4次元空間中性子探査
装置(JAEA, KEK,
東北大: 共用)

高分解能型
チョッパー分光器
(KEK)

BL-10: NOBORU

BL-04: ANNRI

BL-11: PLANET

BL-03: iBIX

BL-12: HRC

BL-02: DNA

BL-01: 4SEASONS

冷中性子ディスク
チョッパー型分光器
(JAEA)

加速器からの陽子ビーム

ミュオン源

中性子源

偏極中性子解析装置
(KEK, 東北大) ※建設中

物質情報3次元可視化装置
(JAEA: 共用) ※建設中

BL-14: AMATERAS

BL-21: NOVA

BL-15: TAIKAN

BL-20: iMATERIA

BL-16: SOFIA

BL-19: TAKUMI

大強度型中性子
小中角散乱装置
(JAEA: 共用)

ソフト界面解析装置
(KEK)

試料垂直型偏極中性子
反射率計 (JAEA: 共用)

BL-18: SENJU

CROSS
特殊環境微小単結晶
中性子構造解析装置
(JAEA: 共用)

工学材料回折
装置(JAEA)

高強度全散乱装置
(NEDO, KEK)

茨城県材料構造
解析装置
(茨城県)

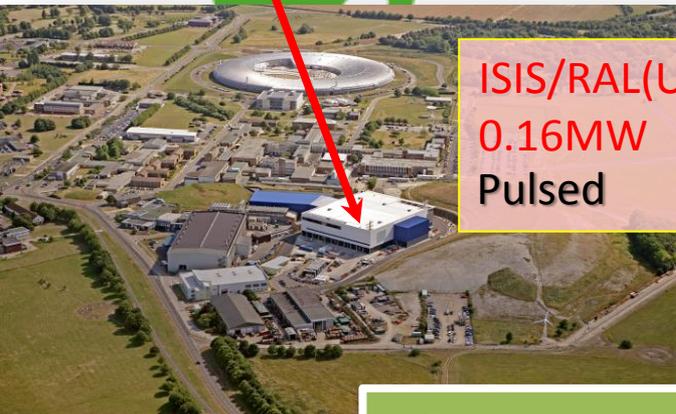
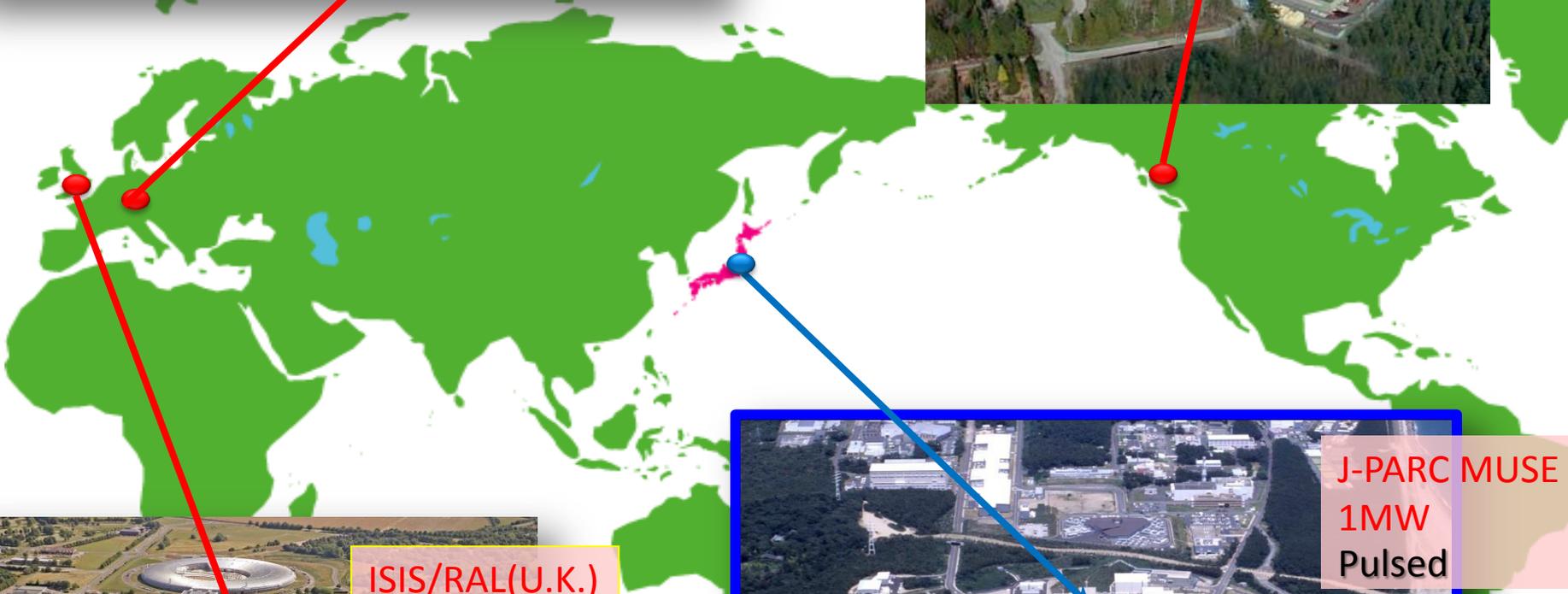
18台の中性子実験装置が稼働中



PSI(Swiss)
1.1MW
Continuous



TRIUMF(Canada)
0.1MW
Continuous



ISIS/RAL(U.K.)
0.16MW
Pulsed



J-PARC MUSE
1MW
Pulsed

世界のミュオン実験施設

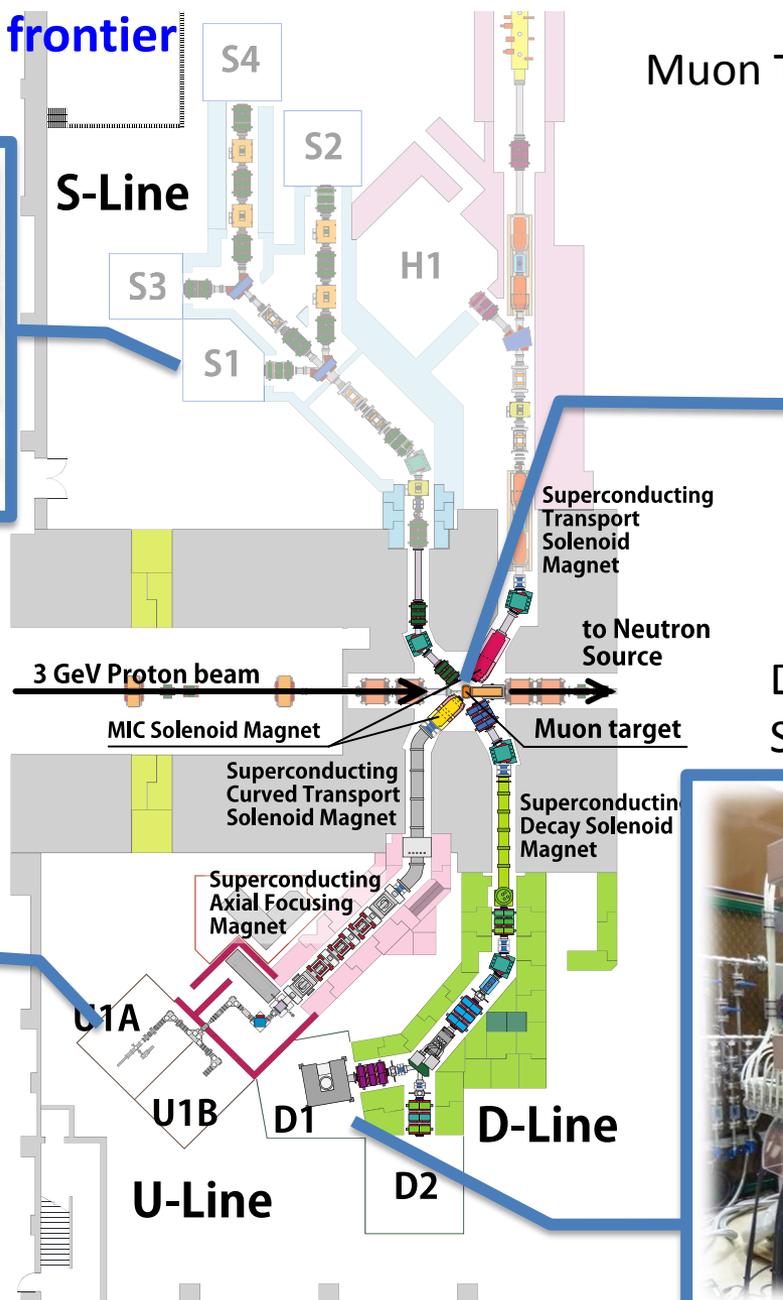
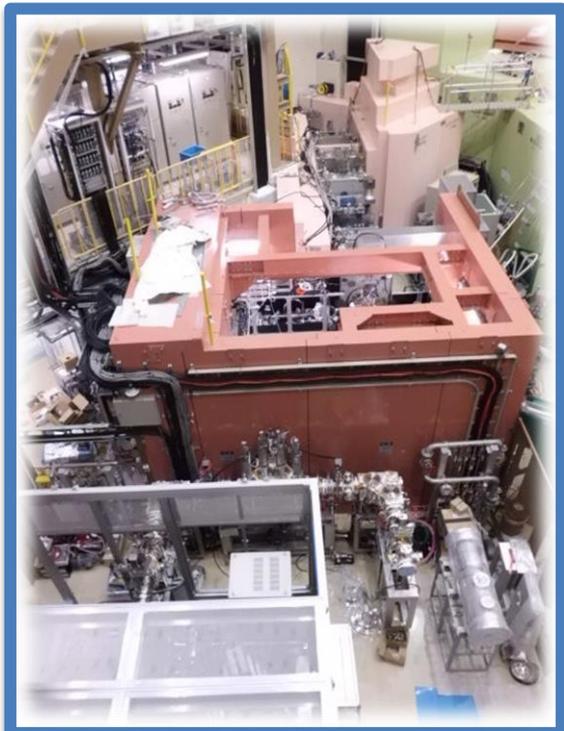
MLFのミュオン実験施設/ビームラインの現状

...towards muon intensity frontier

S-line: S1 branch



U-line: U1A



Muon Target: Rotating Tgt.



D-line: New μ SR Spectrometer

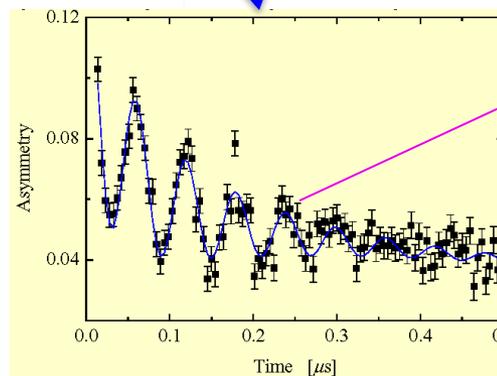
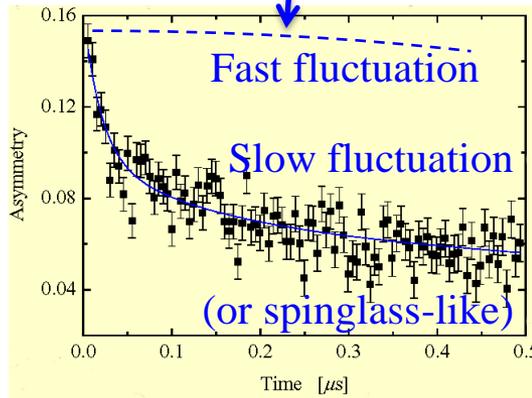
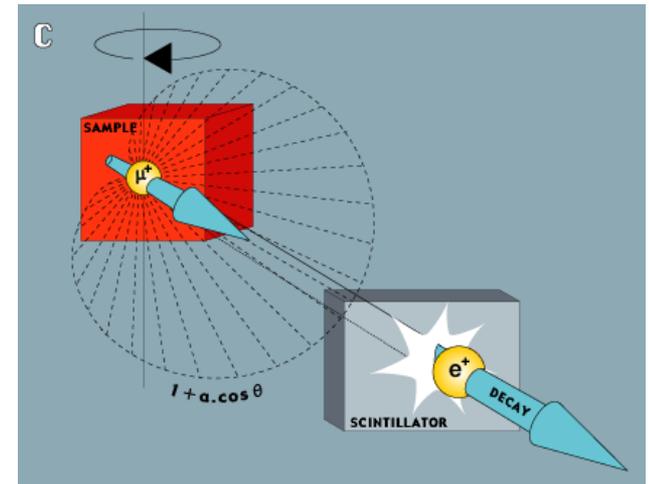
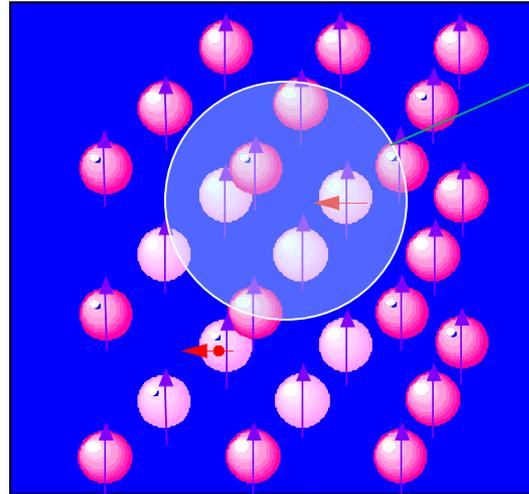
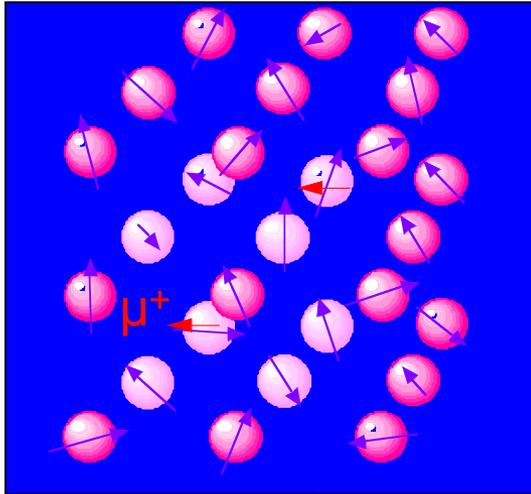


Muon Spin Rotation (μ SR)

...sensitive spin probe for local electronic state

Paramagnetic

Ordered (ferromagnetic)



Oscillating signal

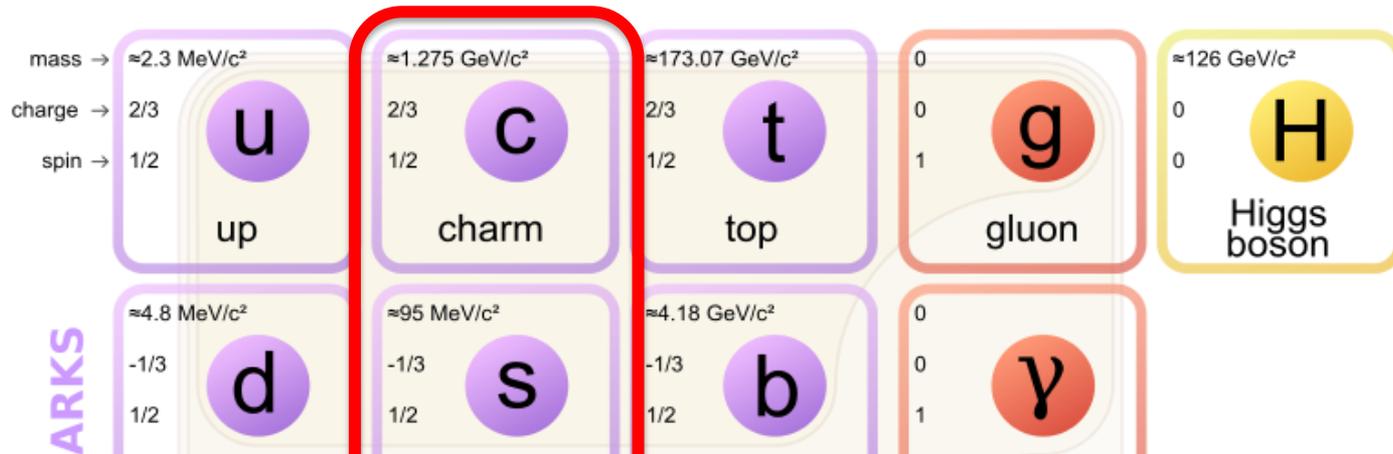
- frequency
- relaxation rate
- amplitude

However, it is not sensitive to the long-range structure.

素粒子・原子核物理

標準モデルの先に

標準モデルにおける素粒子の構成

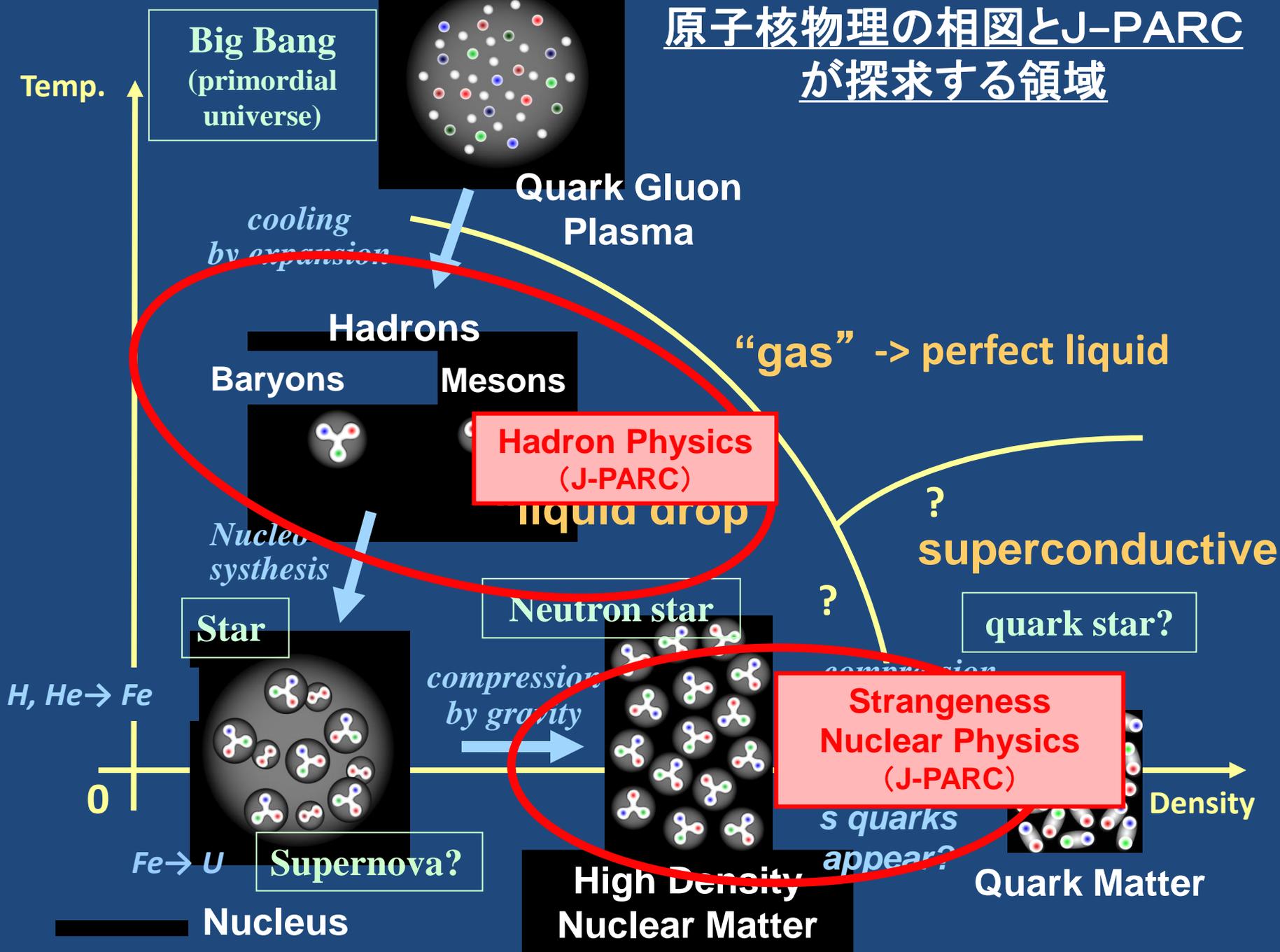


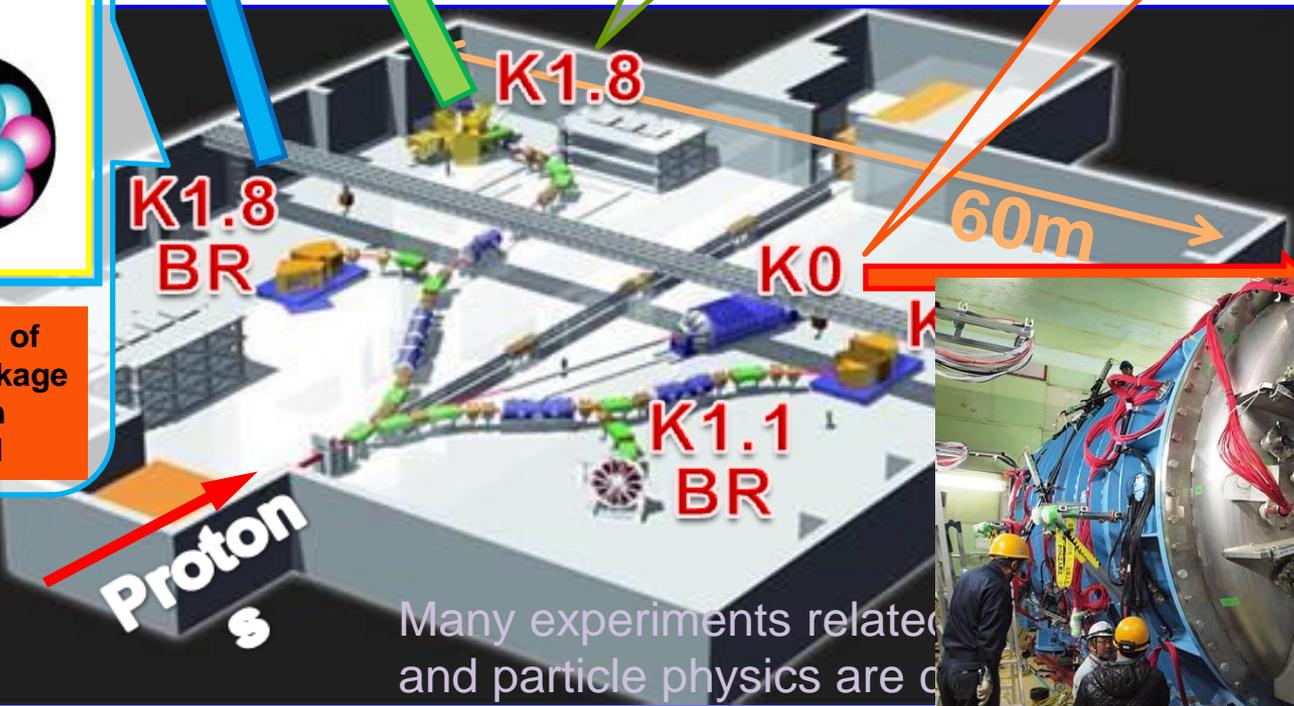
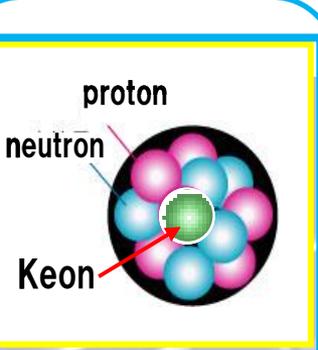
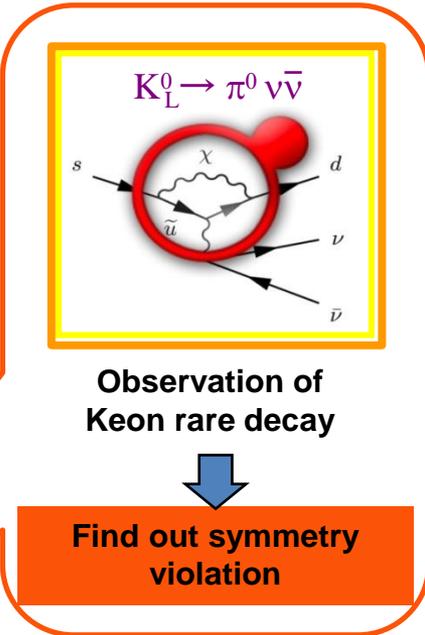
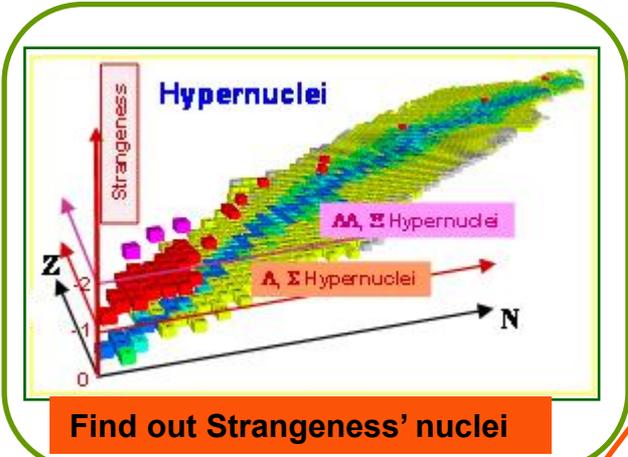
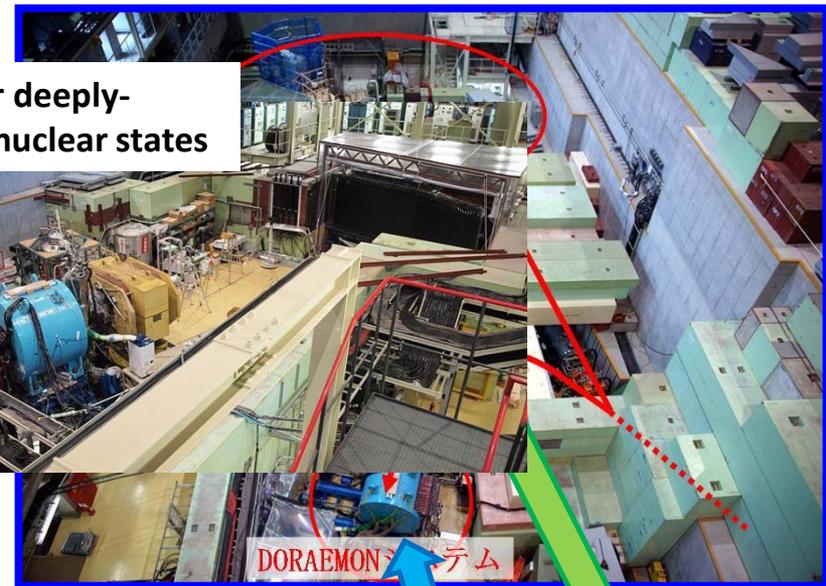
J-PARC は第二世代素粒子の性質に迫ろうとしている



The 12 fundamental fermions and 4 fundamental bosons.

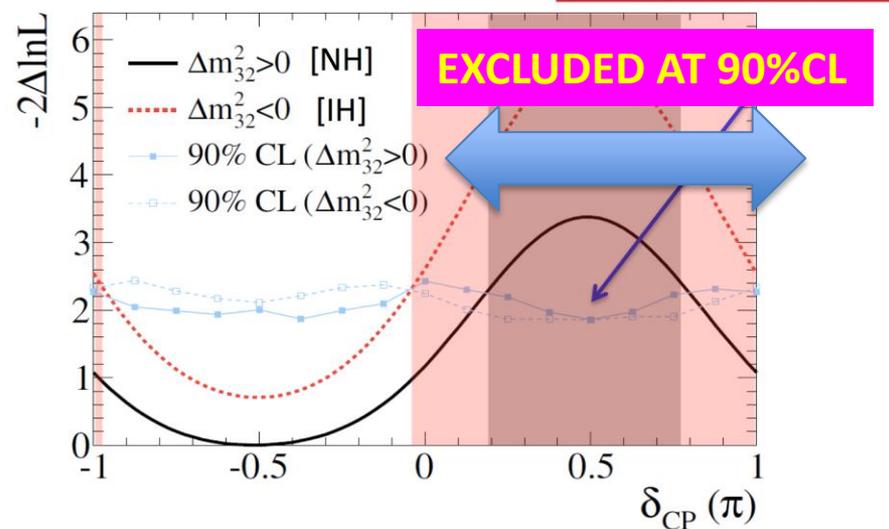
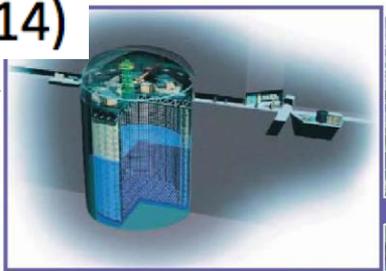
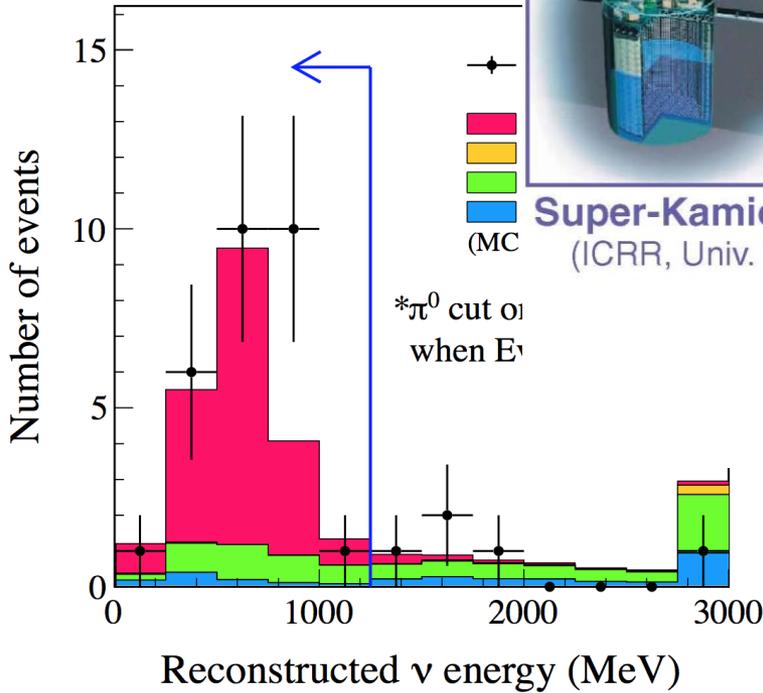
原子核物理の相図とJ-PARC が探求する領域





電子ニュートリノ出現現象の確立

PRL 112, 061802 (2014)



STARTED TO MEASURE CPV phase δ !!

7.3 σ excess over BG
DEFINITE CONCLUSION
➔ OPENED WINDOW TO CPV DISCOVERY

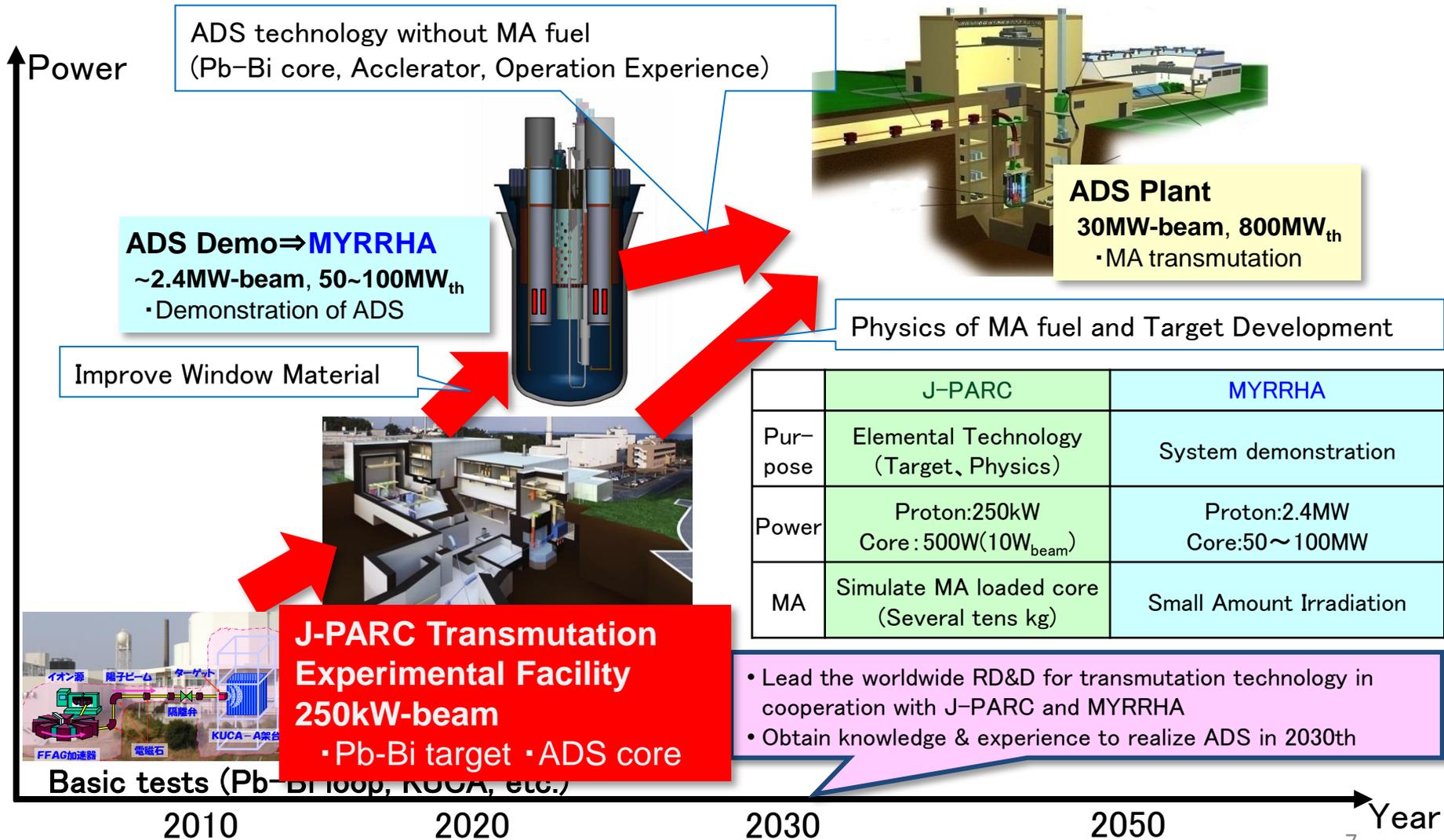
ニュートリノ実験施設での利用運転再開 宇宙の物質起源の謎解明へ向けた第一歩



CP対称性の測定

→ 宇宙の物質起源
解明の糸口を探る

加速器駆動核変換システム実現に向けたロードマップ



核変換実験施設建設着手に向けた準備

核変換物理実験施設:TEF-P

目的：低出力で未臨界炉心の物理的特性の探索とADSの運転制御経験を蓄積
施設区分：原子炉（臨界実験施設）
陽子ビーム：400MeV-10W
熱出力：500W以下

ADSターゲット試験施設:TEF-T

目的：大強度陽子ビームでの核破砕ターゲットの技術開発及び材料の研究開発
施設区分：放射線発生装置
陽子ビーム：400MeV-250kW
ターゲット：鉛・ビスマス合金



2013. 5. 23 ハドロン施設における事故の対応

ハドロン事故後の対応履歴

対外的主要事項

- 5.23 **ハドロン実験施設事故発生**
- 5.28 文部科学大臣よりKEK及びJAEAに
安全体制緊急総点検を要請
- 5.30 **東海村長から要請**
- 6.3 **茨城県知事から要請**
- 8.12 **原子力規制委員会へ法令報告第三報を提出**
茨城県、東海村へも提出
- 9.26 **文科大臣へ措置報告書提出**
- 11.7 **原子力規制庁による立入調査**
- 12.5 **地元自治体による立入調査**
- 12.6 原子力規制庁よりリニアックの高
出力化変更申請了解。
- 12.13 茨城県原子力安全対策委員会で
安全管理体制強化を報告。
- 12.20 茨城県知事への措置報告書提出
- 12.24 **東海村長がハドロン施設以外の施設の**
利用再開了承を表明。
- 12.25 **茨城県よりハドロン施設以外の施設の利用再**
開了承。
- 1.21 那珂市議会原子力安全対策特別委員会に現状
報告
- 3.7 JAEA東海研究開発センターによる住民懇談会
にて現状報告

再発防止策の提出

安全性の調査

ハドロン以外の施設の安全性を確認

J-PARCセンターの対応等

- 5.24 J-PARC事故対策本部立ち上げ
再生タスクフォース(TF)を編成
- 二つの作業チーム：ハード系、ソフト系
 - 事故原因追及、再発防止検討を開始。
- 6.中旬 住民説明会(3回)を実施。
- 6.18 **有識者会議の立ち上げ。**
- 6.21～8.22まで、6回開催。
- 8.27 有識者会議答申書を受け取る。
- 再生TFの作業、有識者会議の答申を反映して、法令報告及び大臣報告を作成。
- 10.1 安全管理組織改正を実施。
- 10.末 住民説明会(3回)を実施。
- 11.1 安全関係規程、規則改正を実施。
- 11.～ 安全教育を実施。
- 11.月上旬 電源誤動作原因確定。
安全教育後、物質・生命科学実験施設及び
ニュートリノ実験施設の準備作業に着手。
- 12.11 加速器施設安全シンポジウム
- 12.12-13 金標的目視確認。
標的観測後、ハドロン改修作業に本格的に着手。
- 1.17 リニアック性能試験にて400MeV確認
- 2.17 **物質・生命科学実験施設利用運転再開**
- 5.26 **ニュートリノ実験施設運転再開(予定)**

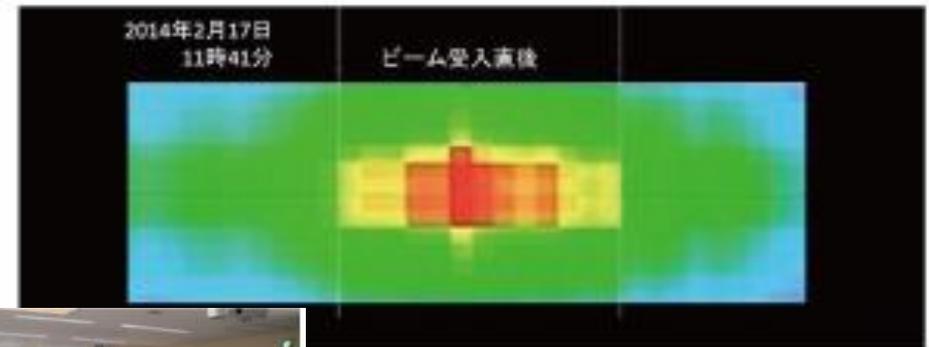
センター構成員が
一丸となったチーム

安全に関する組織
及び意識改革

物質・生命科学実験施設の利用再開

- ✓ 2月17日11時41分よりビーム出力110kWで利用運転を再開。
- ✓ 2月27日以後は出力300kWの運転を実施。
- ✓ 2月17日から4月6日まで、2013B期の利用運転では、43.5日の期間中、18台の中性子ビームラインにてのべ139件の課題を実施。
- ✓ 2013B期の来訪者は、のべ372名。

運転再開時の入射ビームプロファイル



報道関係者へ施設内部を公開



JAEA、KEK両理事からの訓示
(MLF 制御室)



J-PARC ニュートリノ実験施設の利用再開

- 5/26に利用運転再開



実験再開事前説明会会場の様子



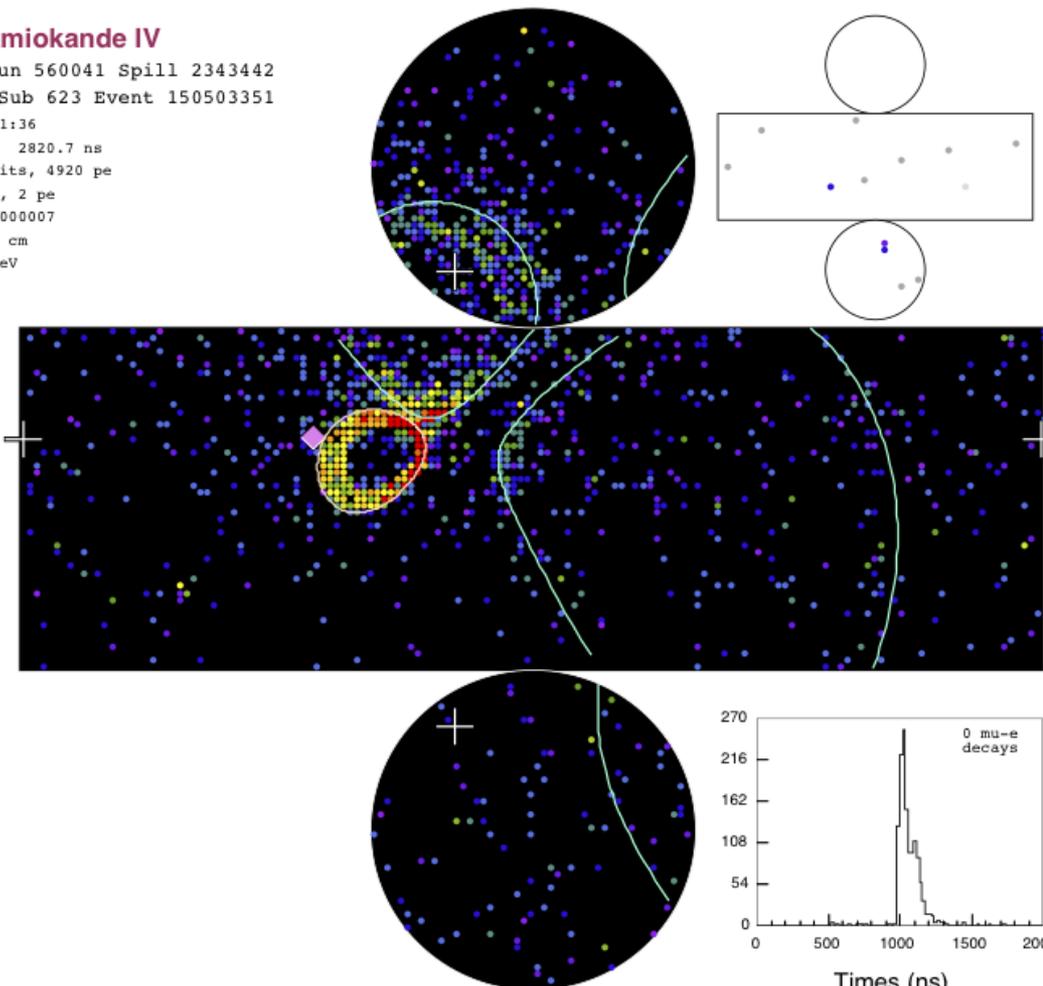
ニュートリノ実験施設の運転監視
(中央制御棟加速器制御室)

Super-Kamiokande IV

T2K Beam Run 560041 Spill 2343442
 Run 72739 Sub 623 Event 150503351
 14-06-08:12:21:36
 T2K beam dt = 2820.7 ns
 Inner: 1355 hits, 4920 pe
 Outer: 3 hits, 2 pe
 Trigger: 0x80000007
 D_wall: 312.3 cm
 Evis: 445.6 MeV

Charge (pe)

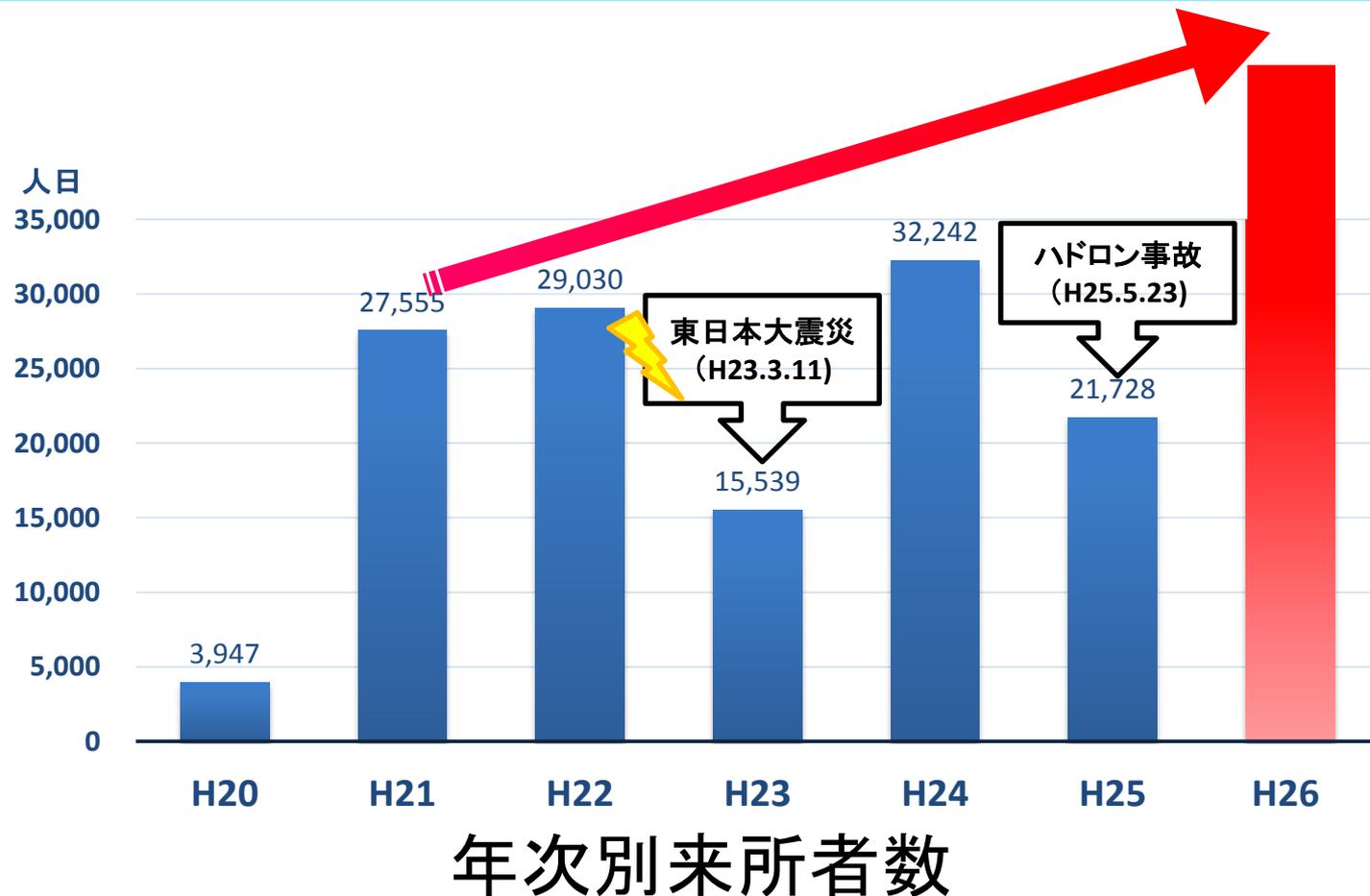
- >26.7
- 23.3-26.7
- 20.2-23.3
- 17.3-20.2
- 14.7-17.3
- 12.2-14.7
- 10.0-12.2
- 8.0-10.0
- 6.2- 8.0
- 4.7- 6.2
- 3.3- 4.7
- 2.2- 3.3
- 1.3- 2.2
- 0.7- 1.3
- 0.2- 0.7
- < 0.2



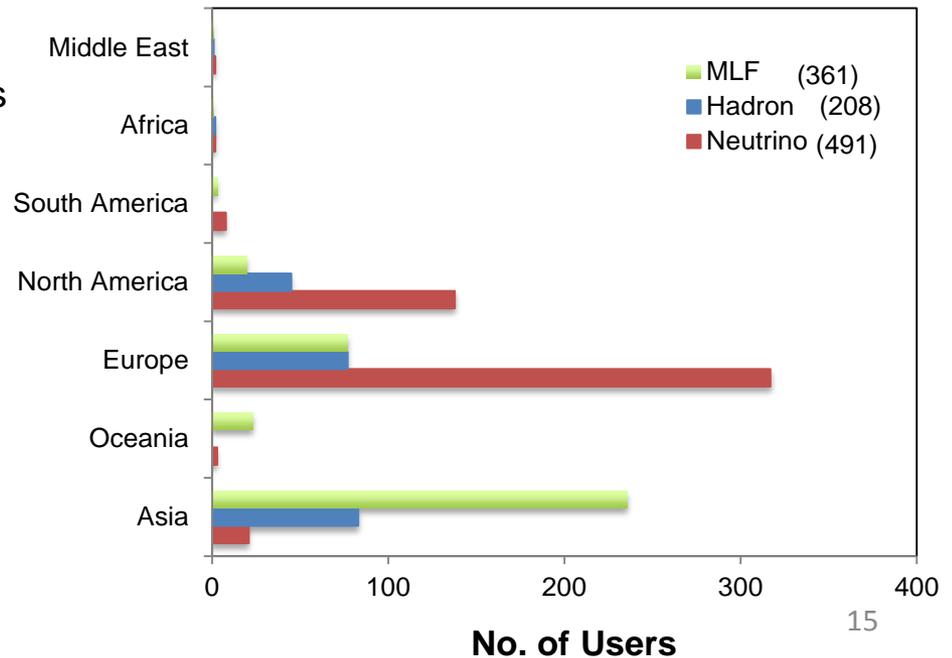
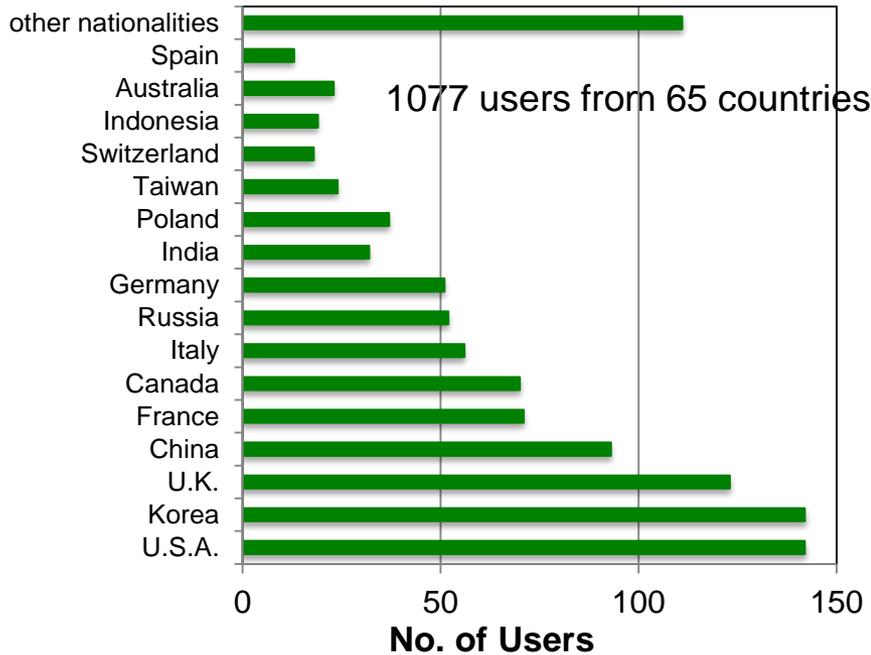
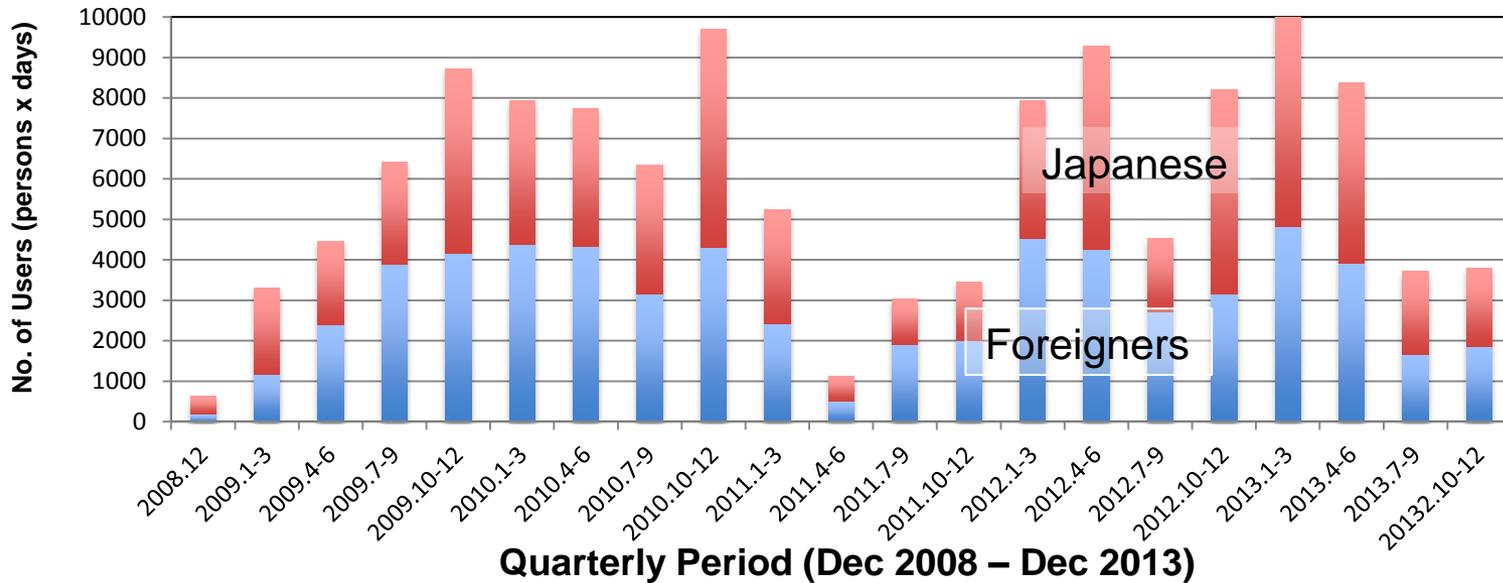
利用の状況

J-PARCユーザー来所者統計:実績(1/3)

平成20年12月の稼働開始以来、
多くのユーザーがJ-PARCへ訪問している
総数: 延べ**130,041人日** (H26.3末日現在)



J-PARC Users Statistics



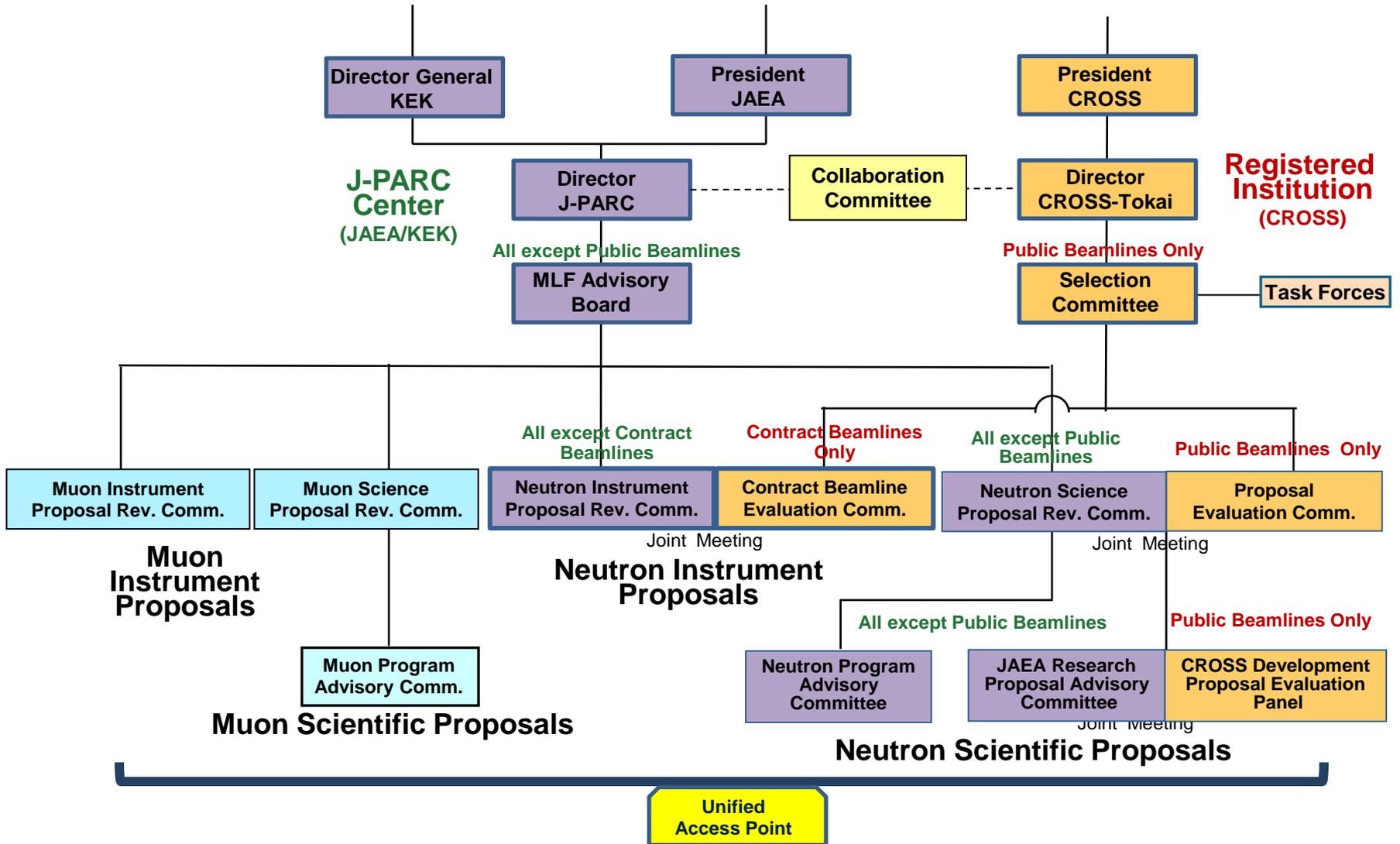
利用の仕組み

Access Modes, Types, & Categories to Use MLF Beamlines

Access mode	Type	Category
一般利用 (中性子)	定期課題募集(年2回)	成果公開 成果非公開
	緊急課題	成果公開 成果非公開
一般利用 (ミュオン)	定期課題募集(年2回)	成果公開
プロジェクト利用	定期課題募集(年1回)	成果公開
装置グループ枠	定期課題募集(年1回)	成果公開
茨城県BL産業利用	定期課題募集(年1回)	成果公開 成果非公開
	緊急課題(随時)	成果公開 成果非公開

MLF課題審査システム

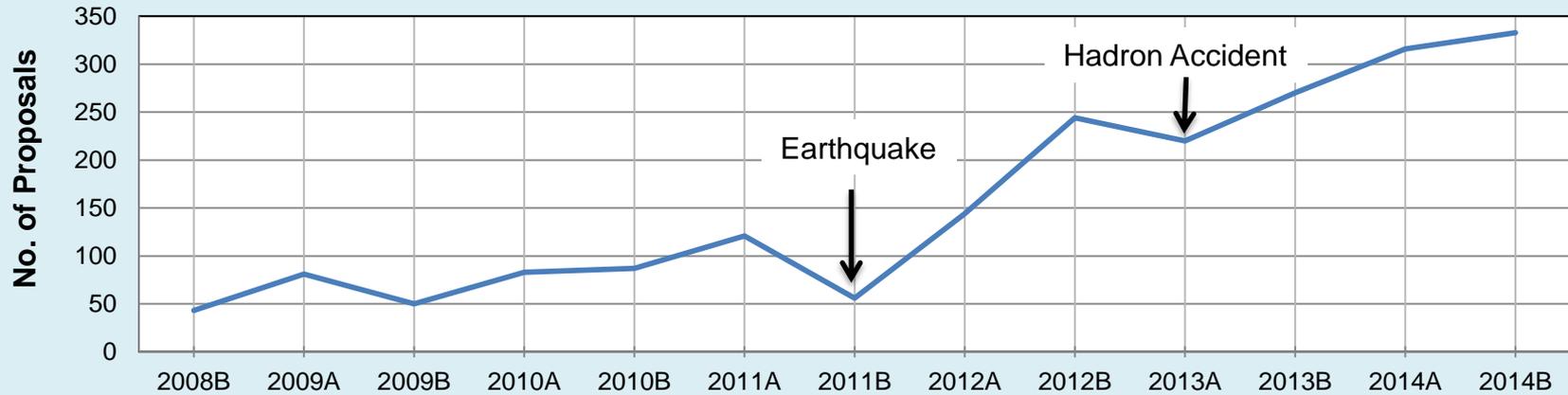
JAEA-KEK-CROSSと茨城県BL



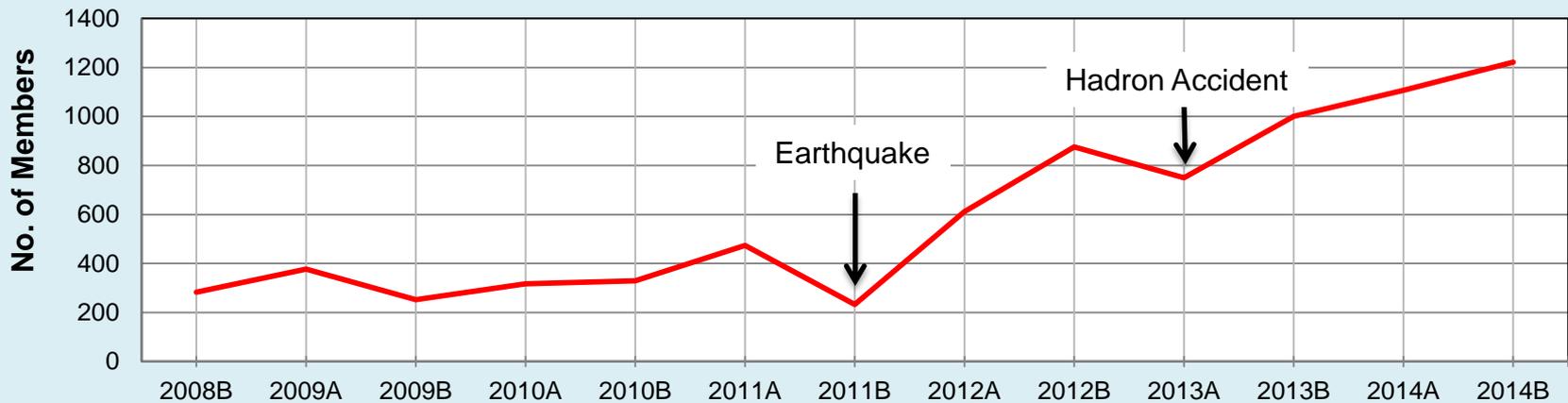
ALL Proposals submitted via the J-PARC Users Office

MLF ユーザー数の推移

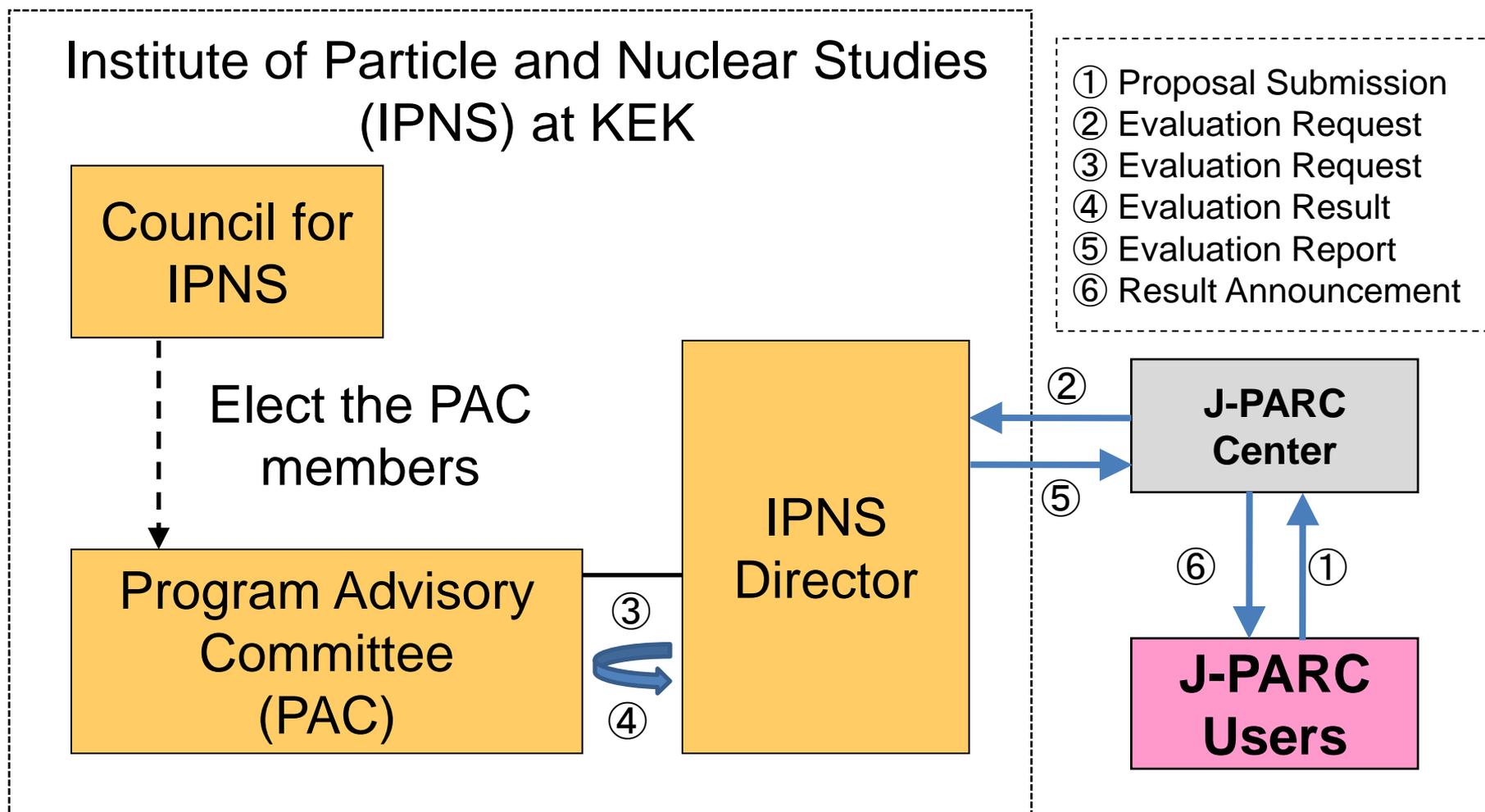
Total Number of Submitted Proposals for General Use (Non-proprietary)



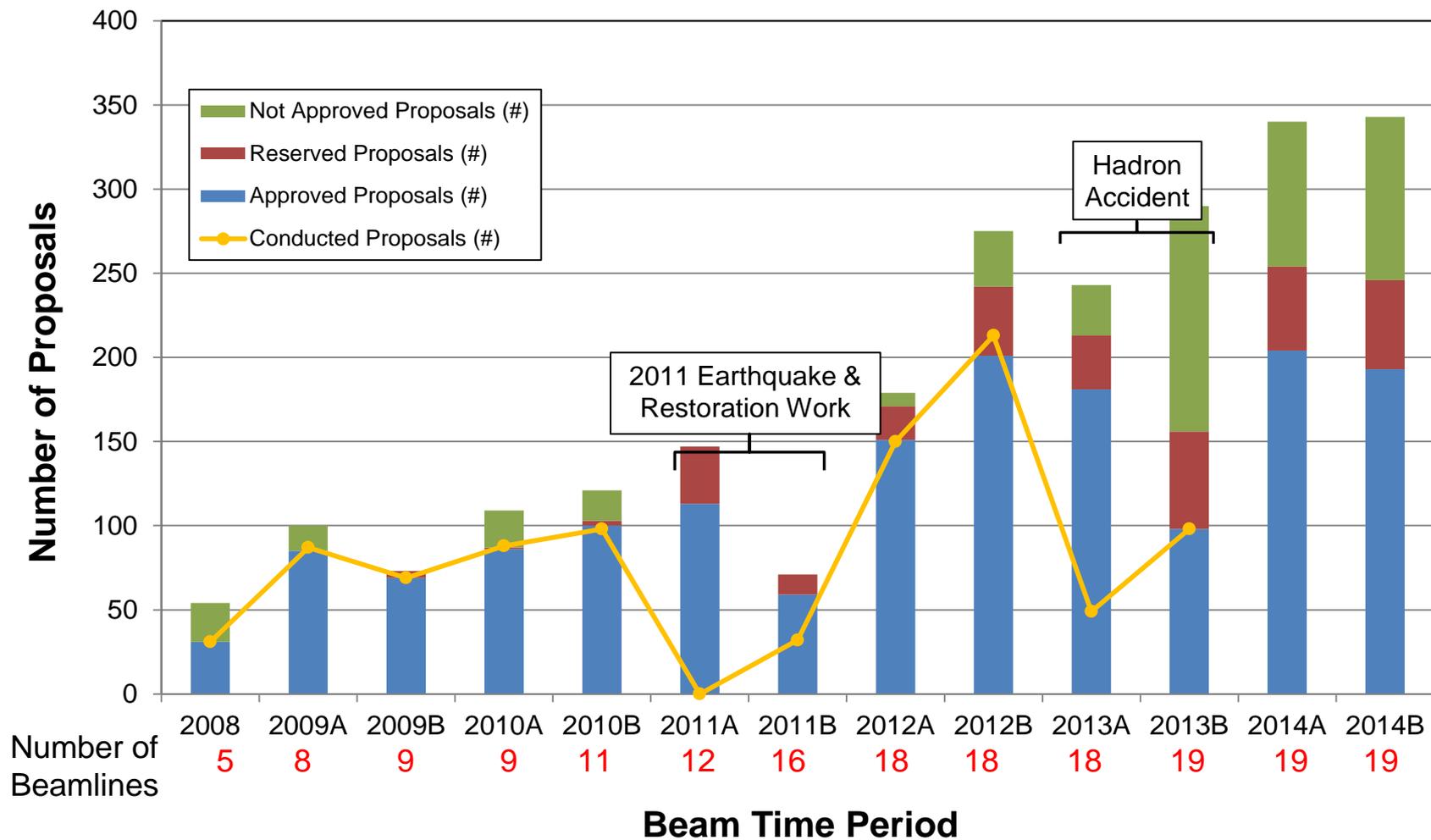
Total Number of Experiment Members in the Proposals



素粒子・原子核の課題審査システム



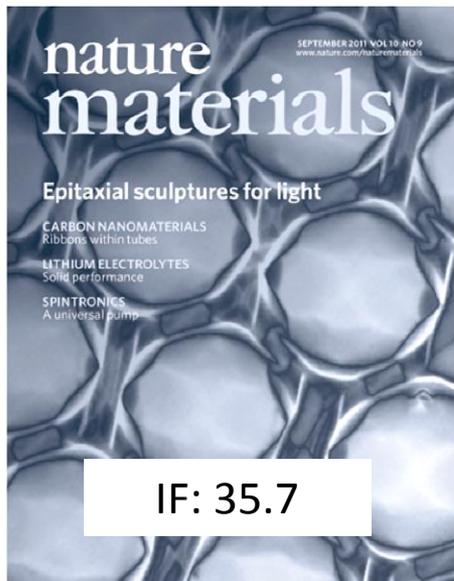
MLFにおける利用課題の実施状況



中性子利用成果

最近の成果は非常に高いIFの専門誌に掲載

BL08 (2011)



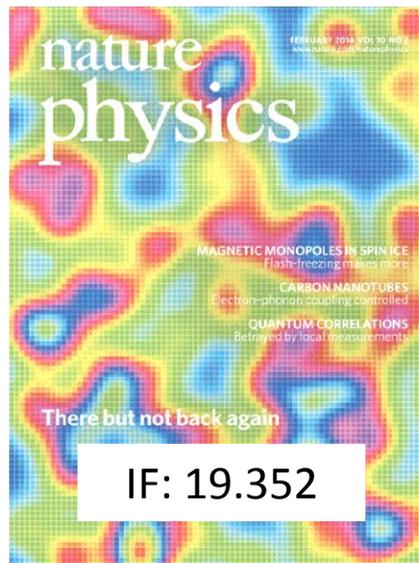
IF: 35.7

BL03 (2013)
茨城県BL



IF: 31.03

ミュオンBL、BL21, BL08 (2014)



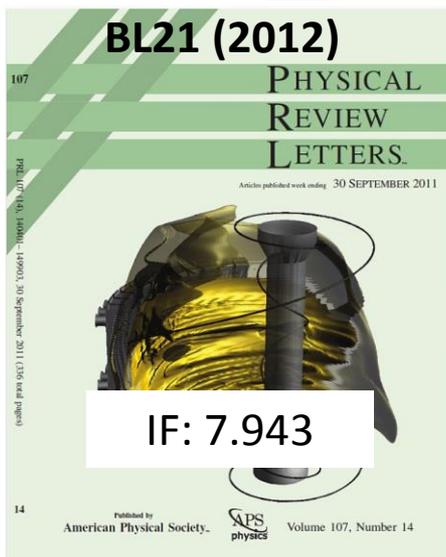
IF: 19.352

BL01 (2014)



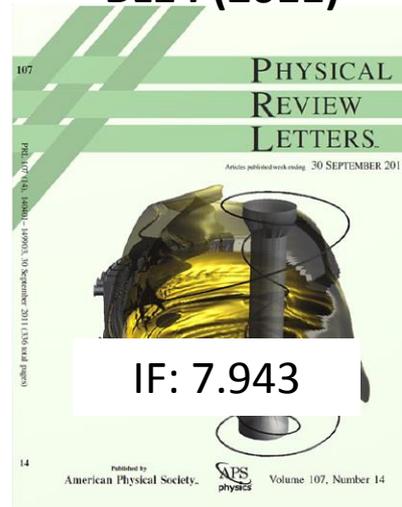
IF: 10.015

BL20 (2012)
茨城県BL

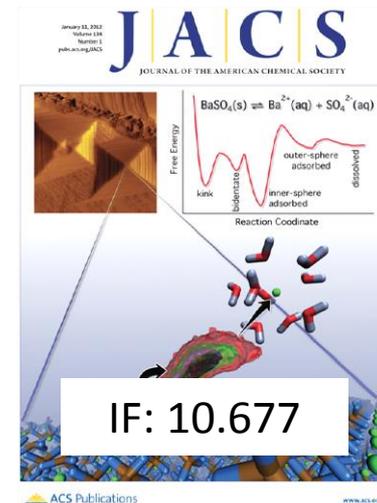


IF: 7.943

BL14 (2011)

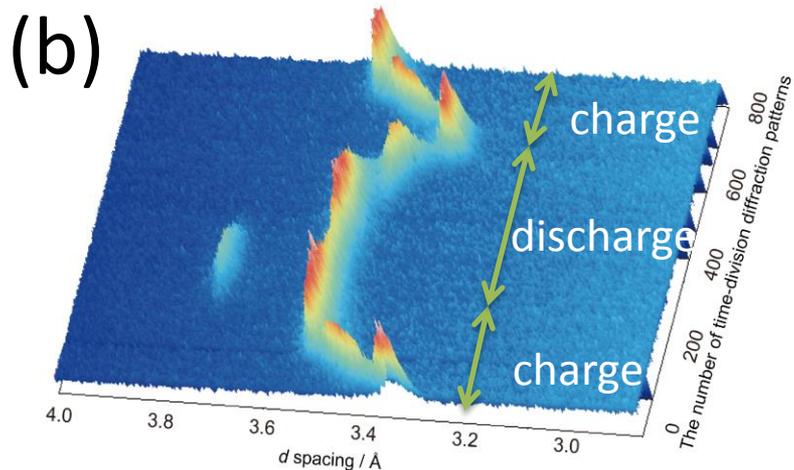
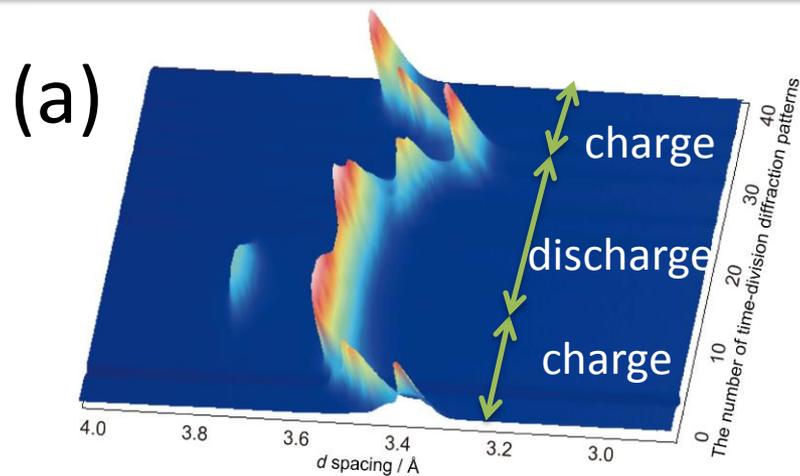


IF: 7.943



IF: 10.677

LIB *in situ* measurement: changes in anode (a) every 600 second, (b) every 30 second



BL19 SPICA

回折パターンの変化

強度が高くなったので30秒間隔の測定が可能となり、現象解析精度が向上した。

M. Yonemura et al., Battery symposium in Japan (2013)

H. Arai et al., ECS (2013)

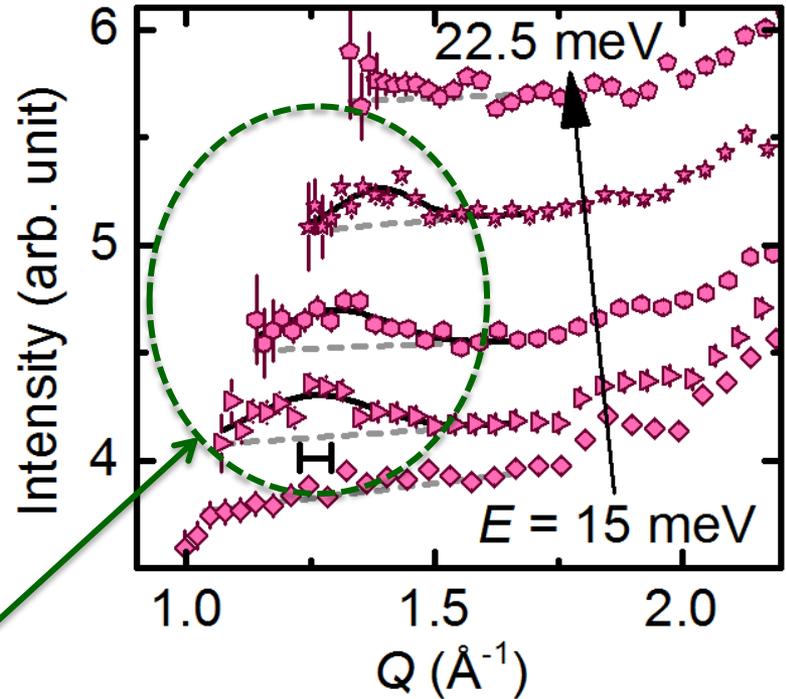
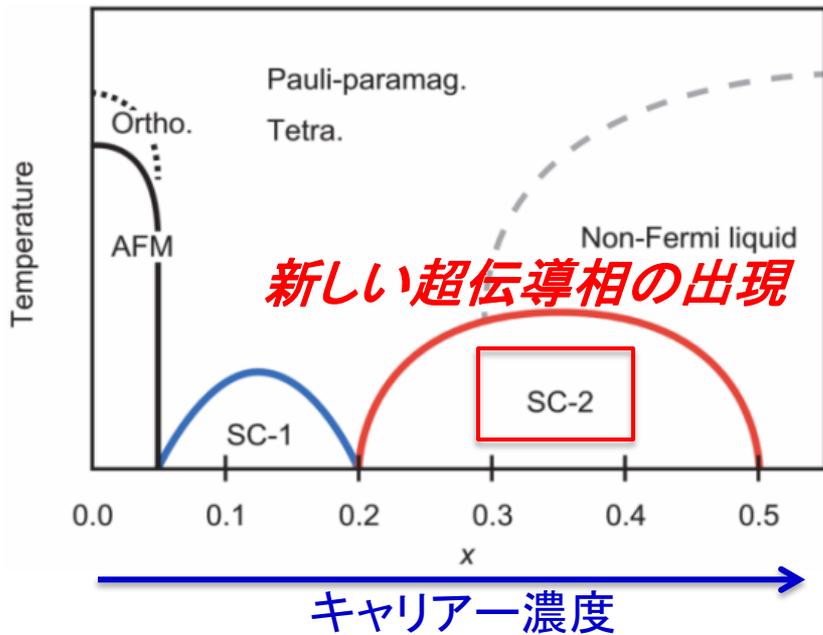
RISING Newsletter

<http://www.rising.saci.kyoto-u.ac.jp/pdf/newsletter/no12.pdf>

新たな超伝導相のspin変動

～イオンによる超伝導体の発現に向かって～

■ $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{H}_x$ 鉄系超伝導物質



スピン変動が現れる
Inelastic neutron scattering of the SC-2 phase by 4SEASONS (BL01).

□ Theoretical calculations indicated that the spin fluctuation is explained as a consequence of the switching of the two intra-orbital nesting.

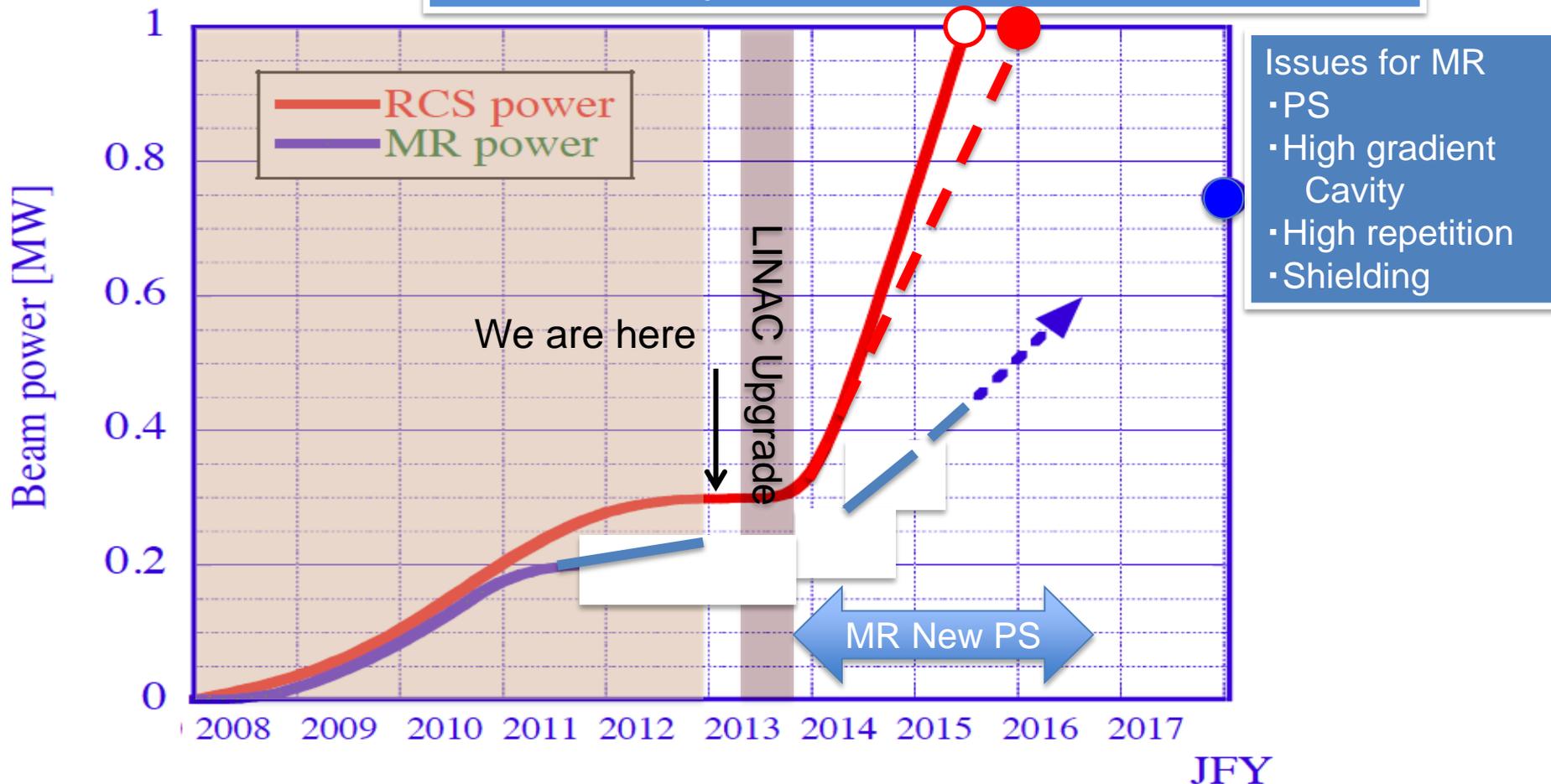
➡ 複数の軌道が相関し合うことが鍵となるイオンによる超伝導体

Accelerator power increase schedule in 5 years

No major change in the power up schedule

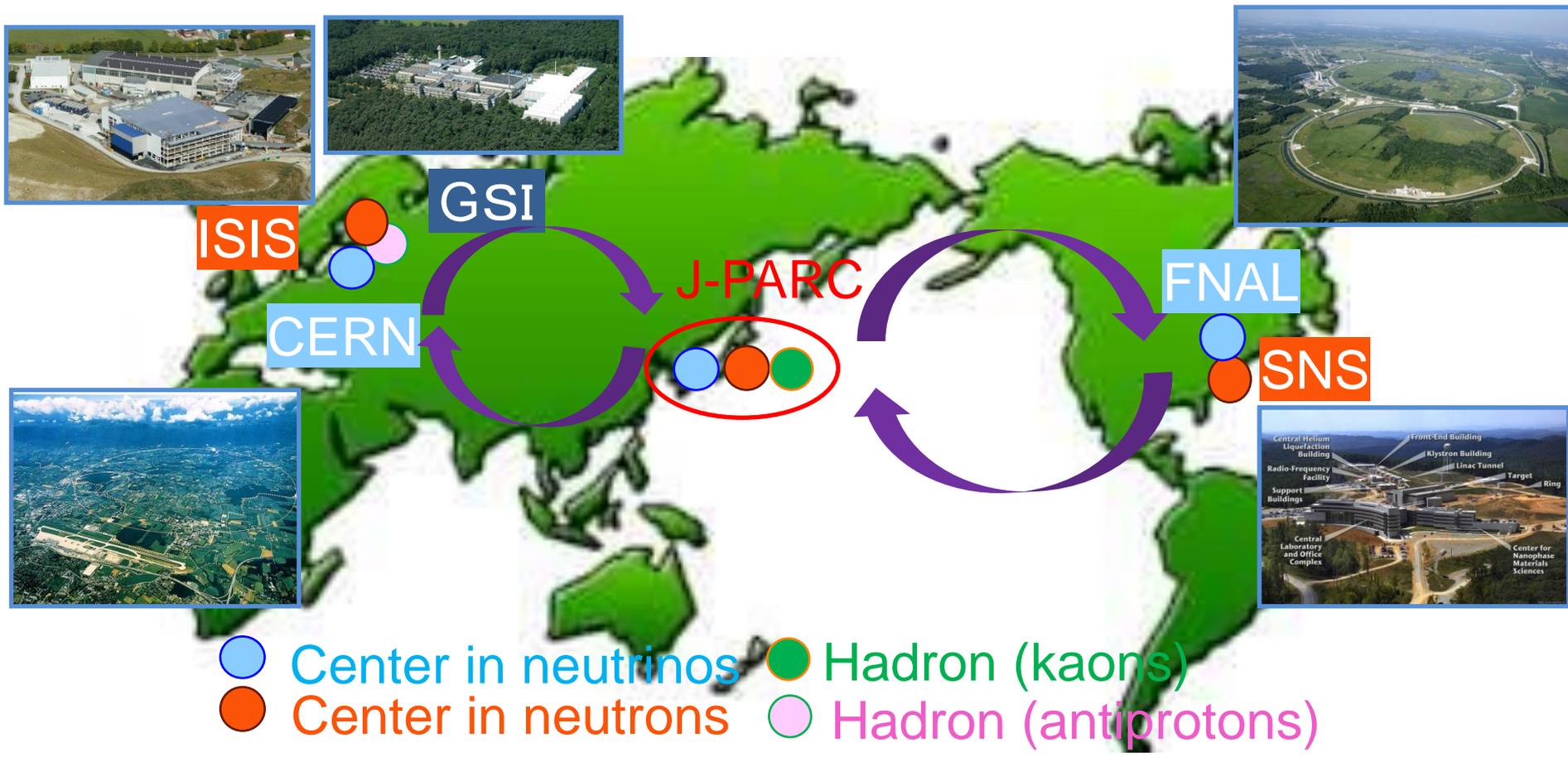
RCS :: 1 MW by the end of FY2015

MR :: Development of PS, 0.75 MW in FY2018:



J-PARC: 世界の研究センター

- Materials and life: One of three world centers, in particular, in Asia
- Hadron physics: A unique kaon factory in the world
- Neutrino physics: As a world leader among the three world centers



一度J-PARCへお越してください。
そして、最高のビームを試してください。

ご静聴ありがとうございました。