

J-PRACに係る 規制と安全確保について

J-PRACセンター
安全ディビジョン 安全推進セクション

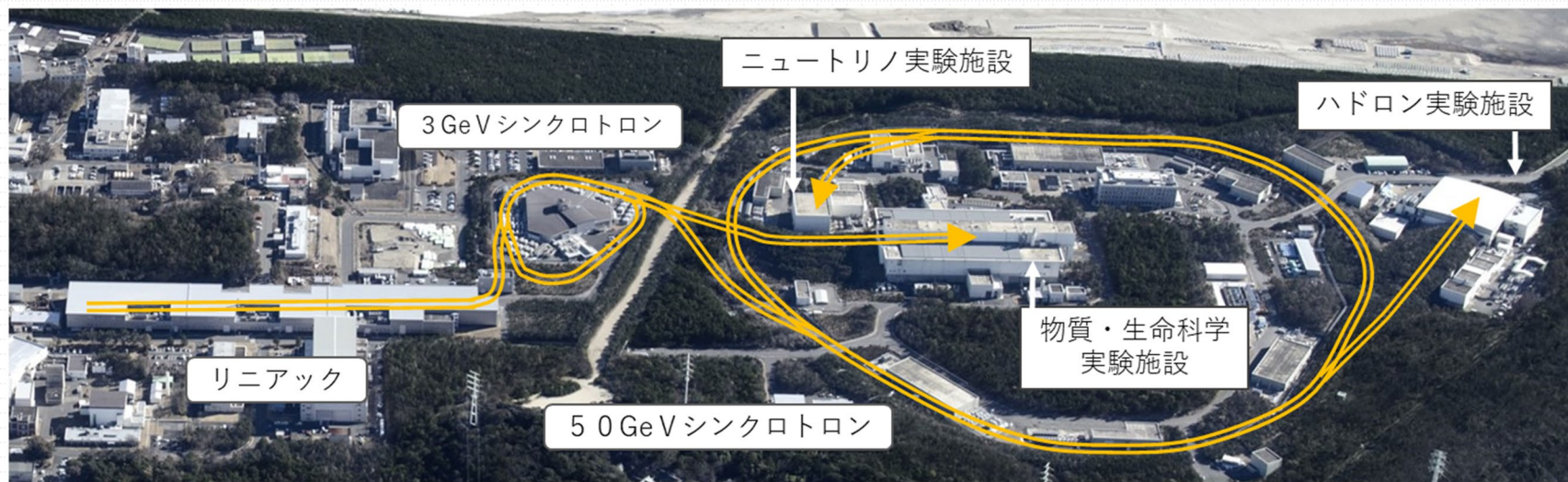
西藤 文博

- ① J-PARCの概要
- ② J-PARCに係る規制について
- ③ 安全確保について

1

J-PARCの概要





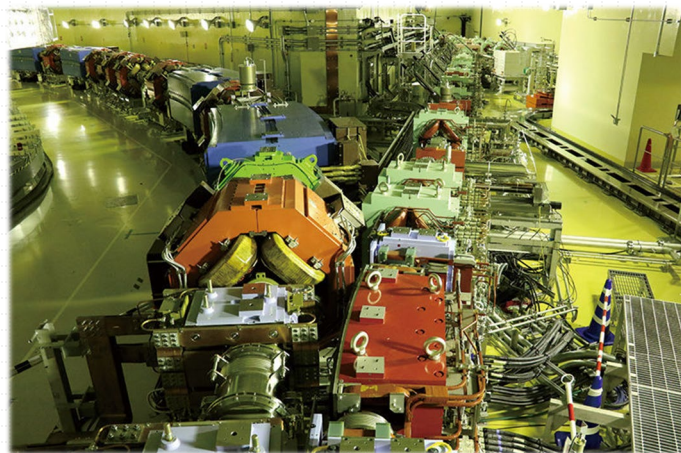
- 日本原子力研究開発機構（JAEA）と、高エネルギー加速器研究機構（KEK）との共同プロジェクト
- 3つの加速器施設と3つの実験施設を備えた、大型共同利用研究施設
- 所在地：茨城県那珂郡東海村
⇒ 日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所の敷地内

Japan Proton Accelerator Research Complex

大強度陽子加速器施設

ビームパワー (W:ワット)

= 加速粒子数 × 粒子エネルギー



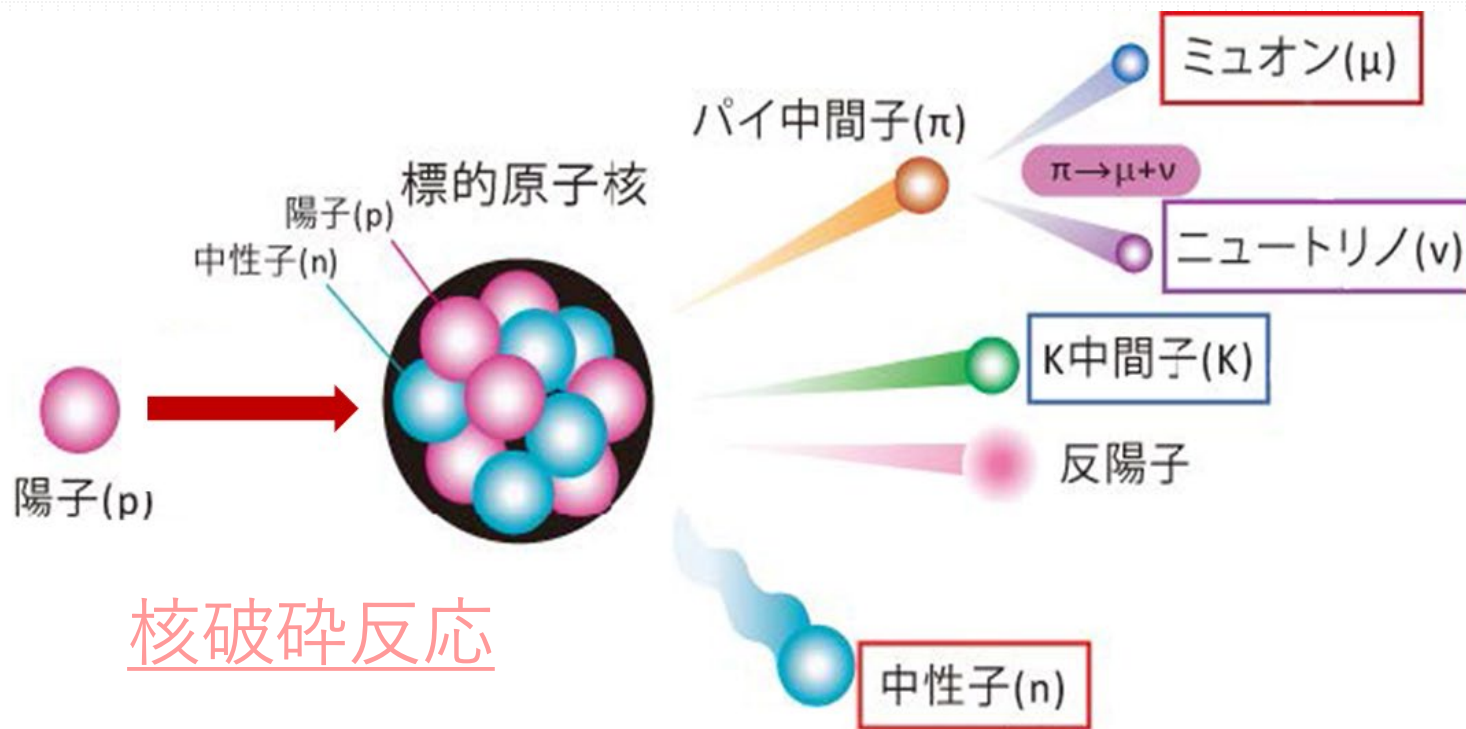
大強度の陽子ビームパワー

➔ 短時間で多くの実験データ

More

- ・ 精密な測定
- ・ 稀な現象の発見
- ・ 多くの物質研究

多彩な2次粒子ビームを利用した
幅広い分野の最先端研究を実施



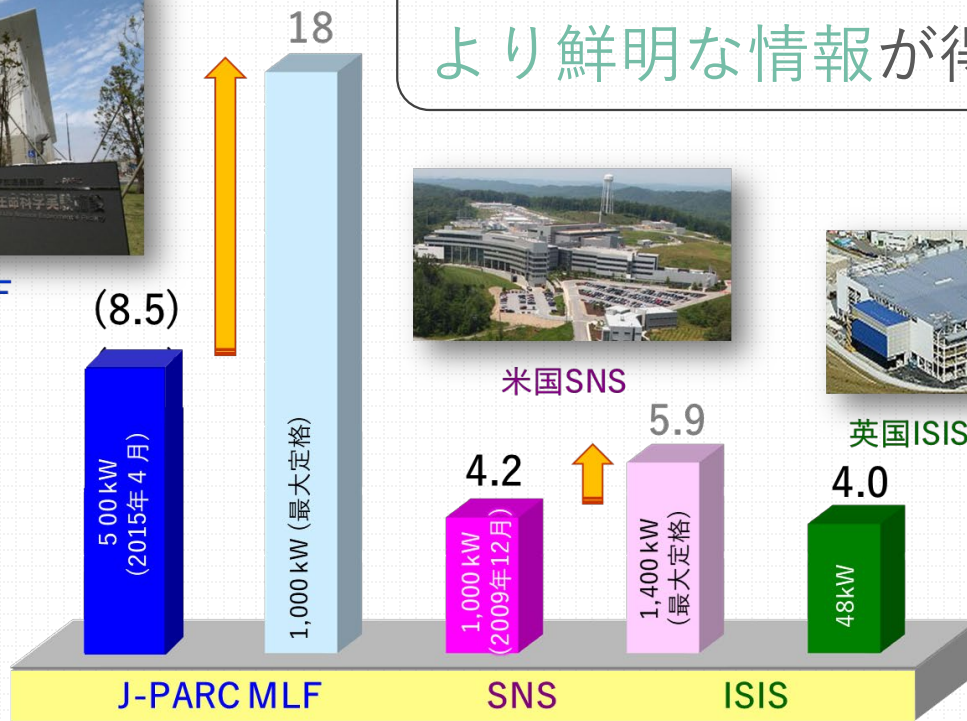
世界最大のパルス中性子ビーム強度を達成

(2012年11月22日~)

物質の構造や相互作用に関して
より鮮明な情報が得ることが可能



J-PARC MLF



単位： 10^{12} n/(sr · pulse)

1



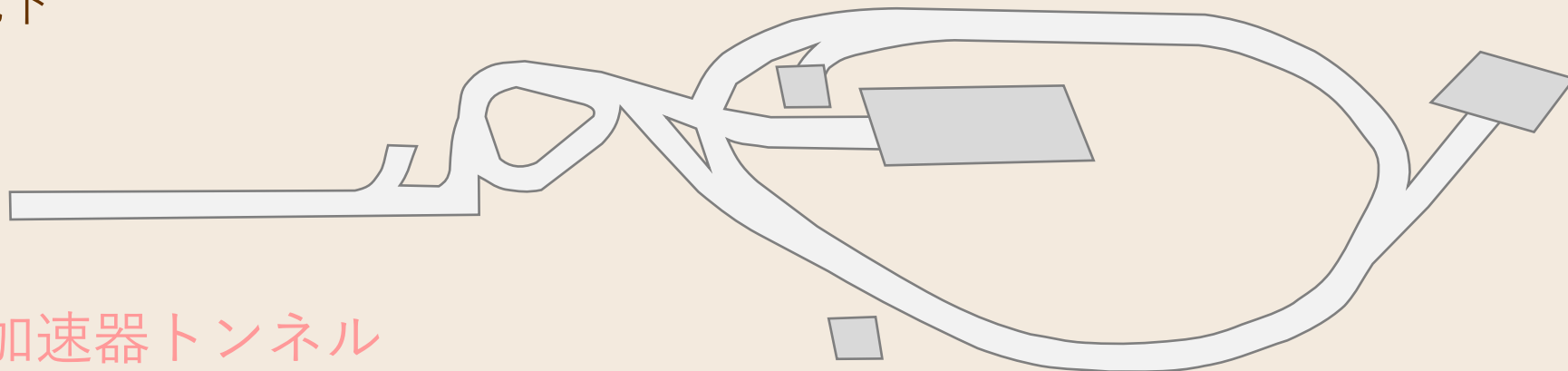
1 km

3つの加速器施設 と 3つの実験施設

J-PARCの各施設



地下



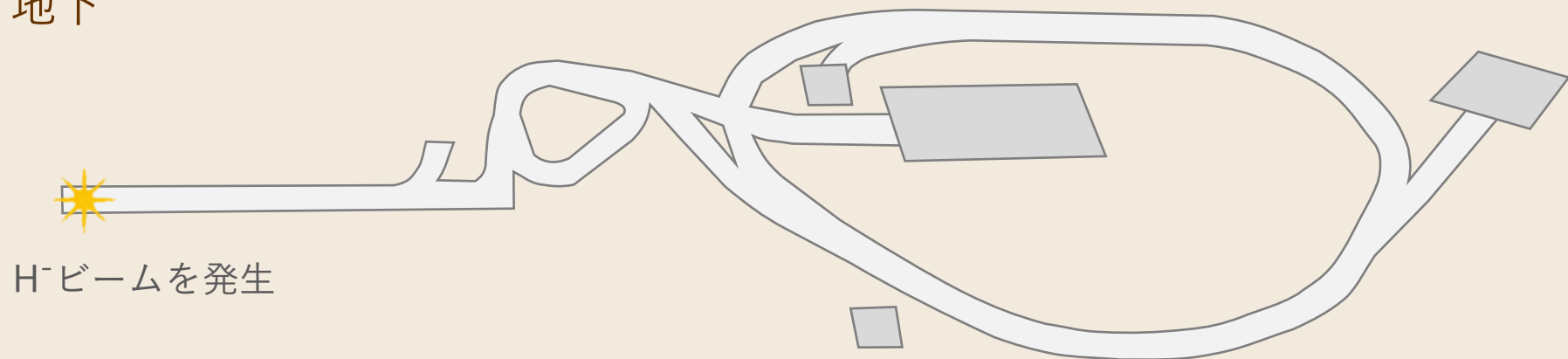
J-PARCの各施設



地下



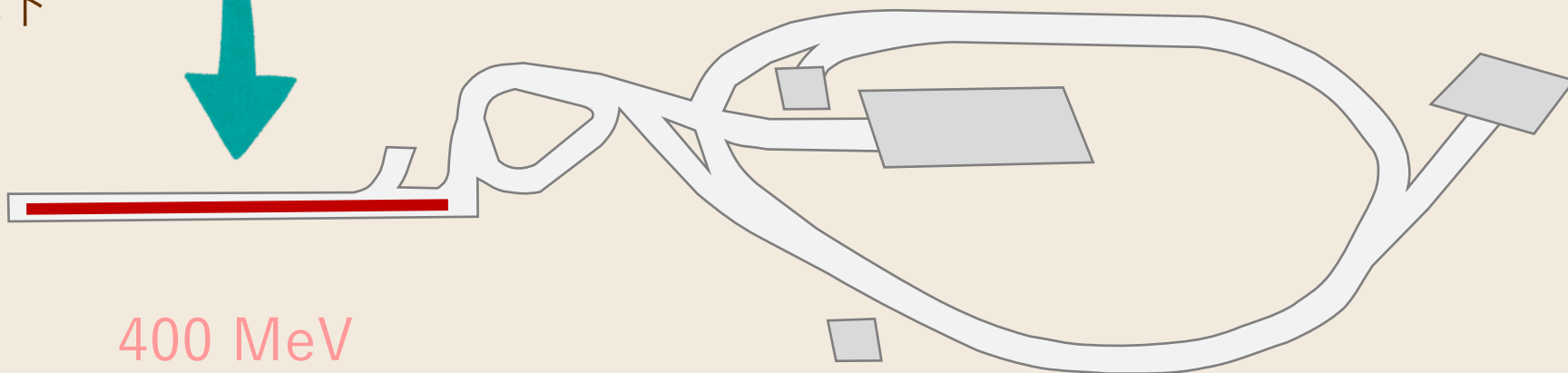
H⁻ビームを発生



J-PARCの各施設



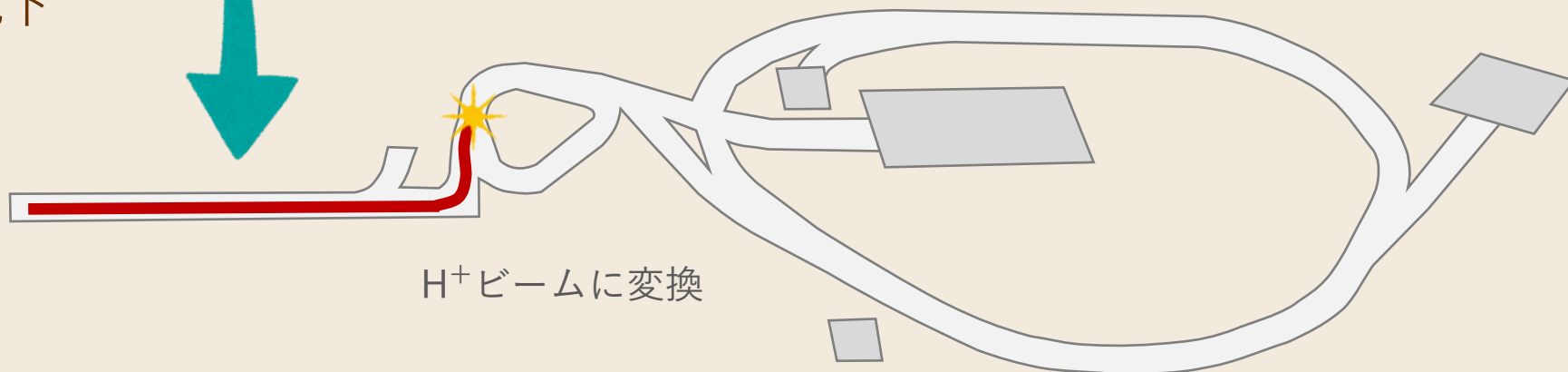
地下



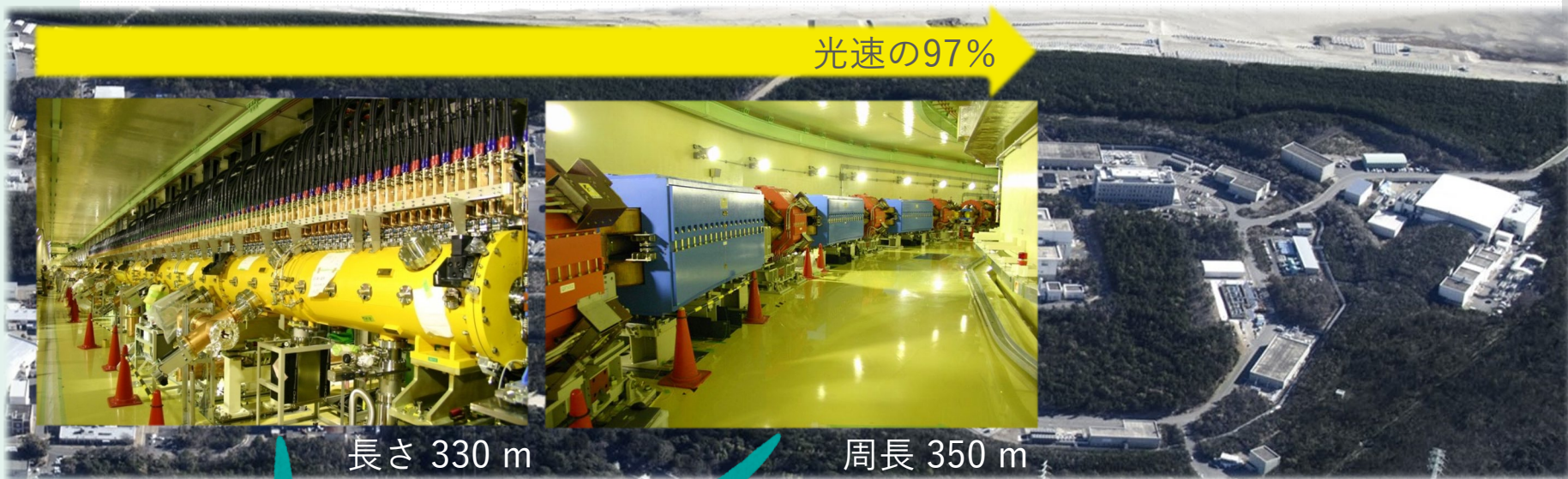
J-PARCの各施設



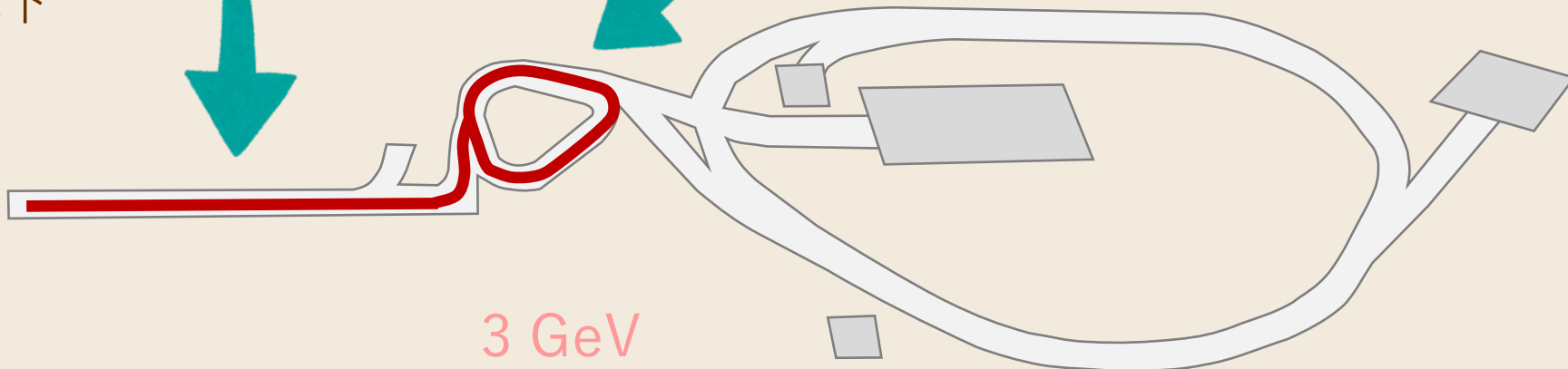
地下



J-PARCの各施設

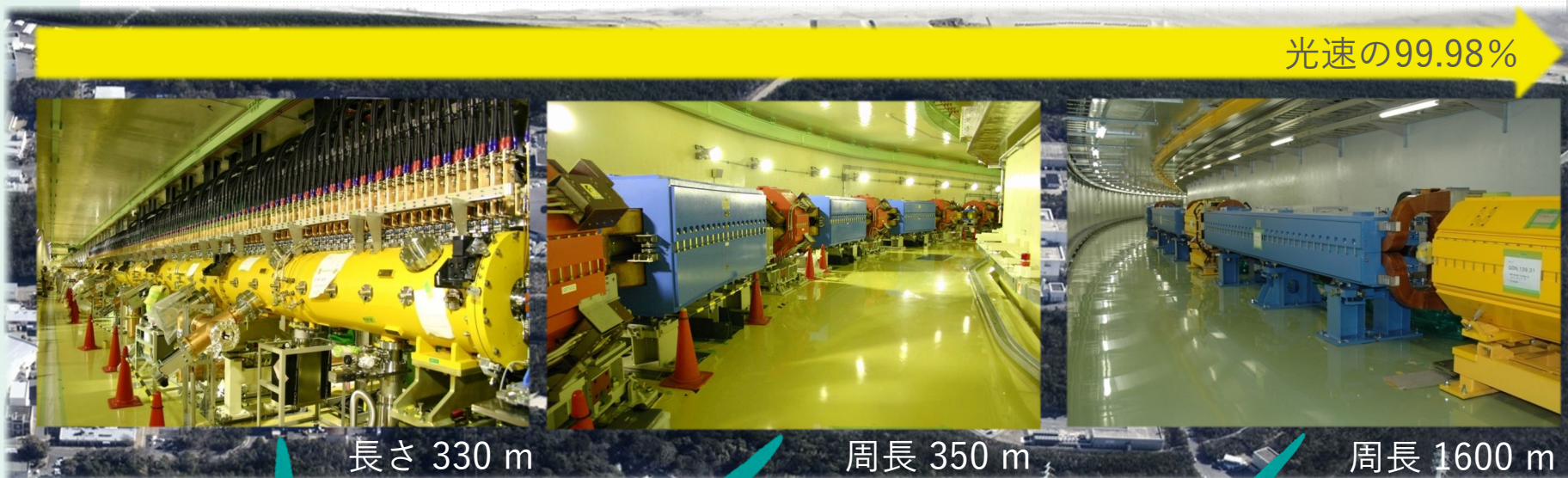


地下



3 GeV

J-PARCの各施設



長さ 330 m

周長 350 m

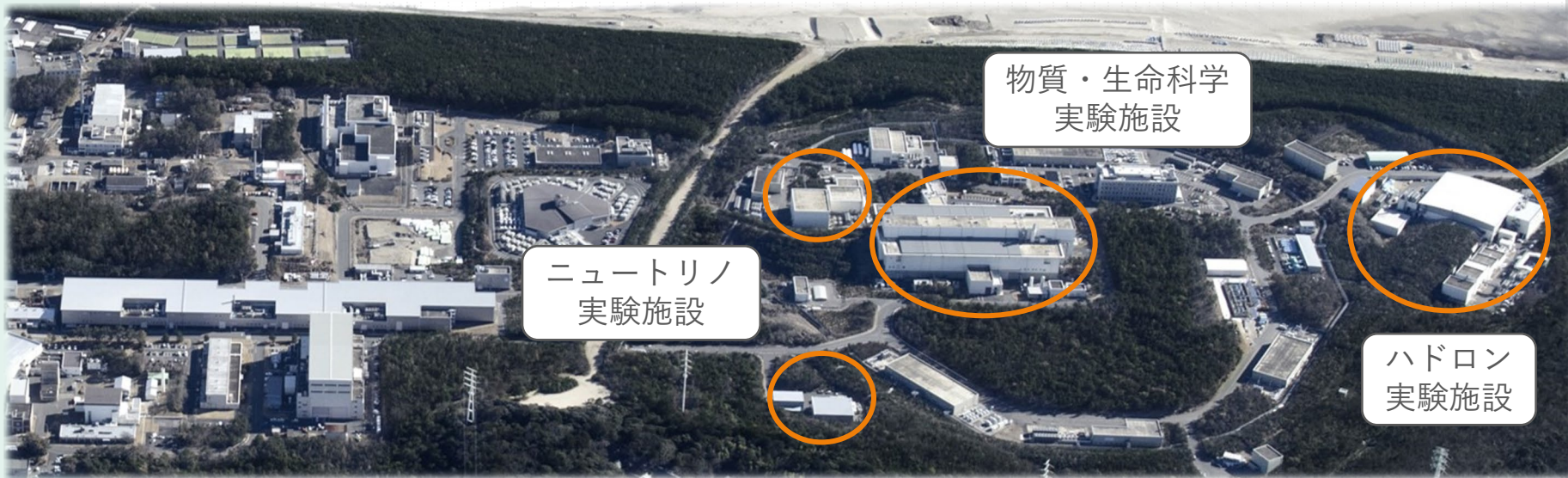
周長 1600 m

地下

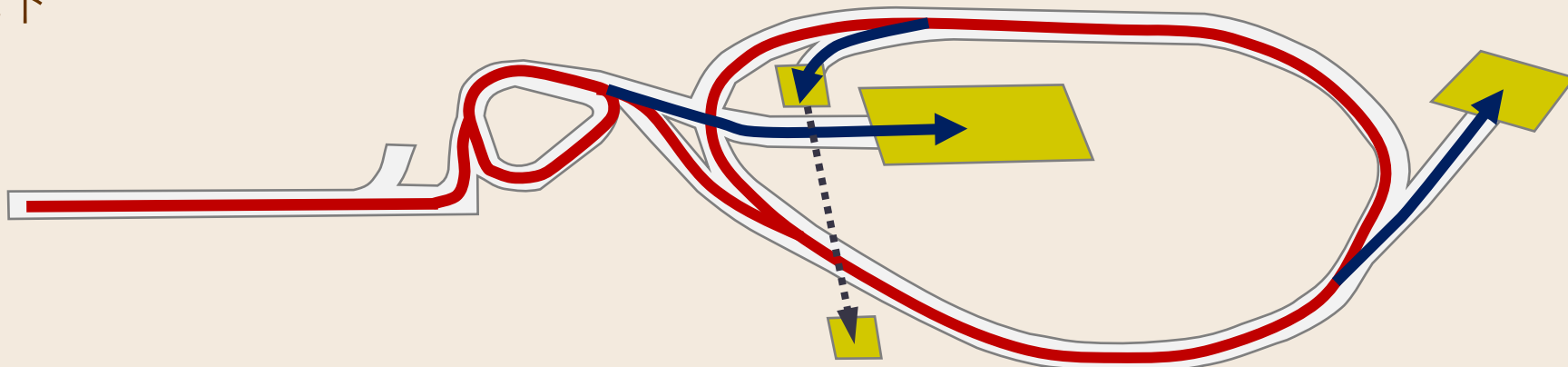


30 GeV

J-PARCの各施設



地下



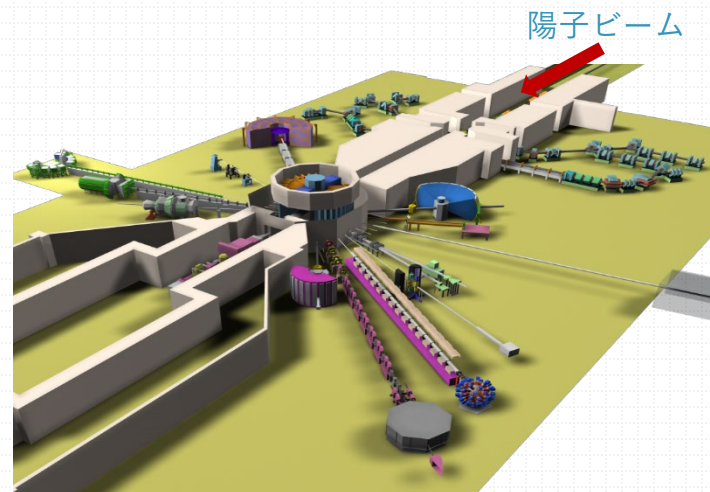


中性子・ミュオンを利用

物質の構造や性質の研究

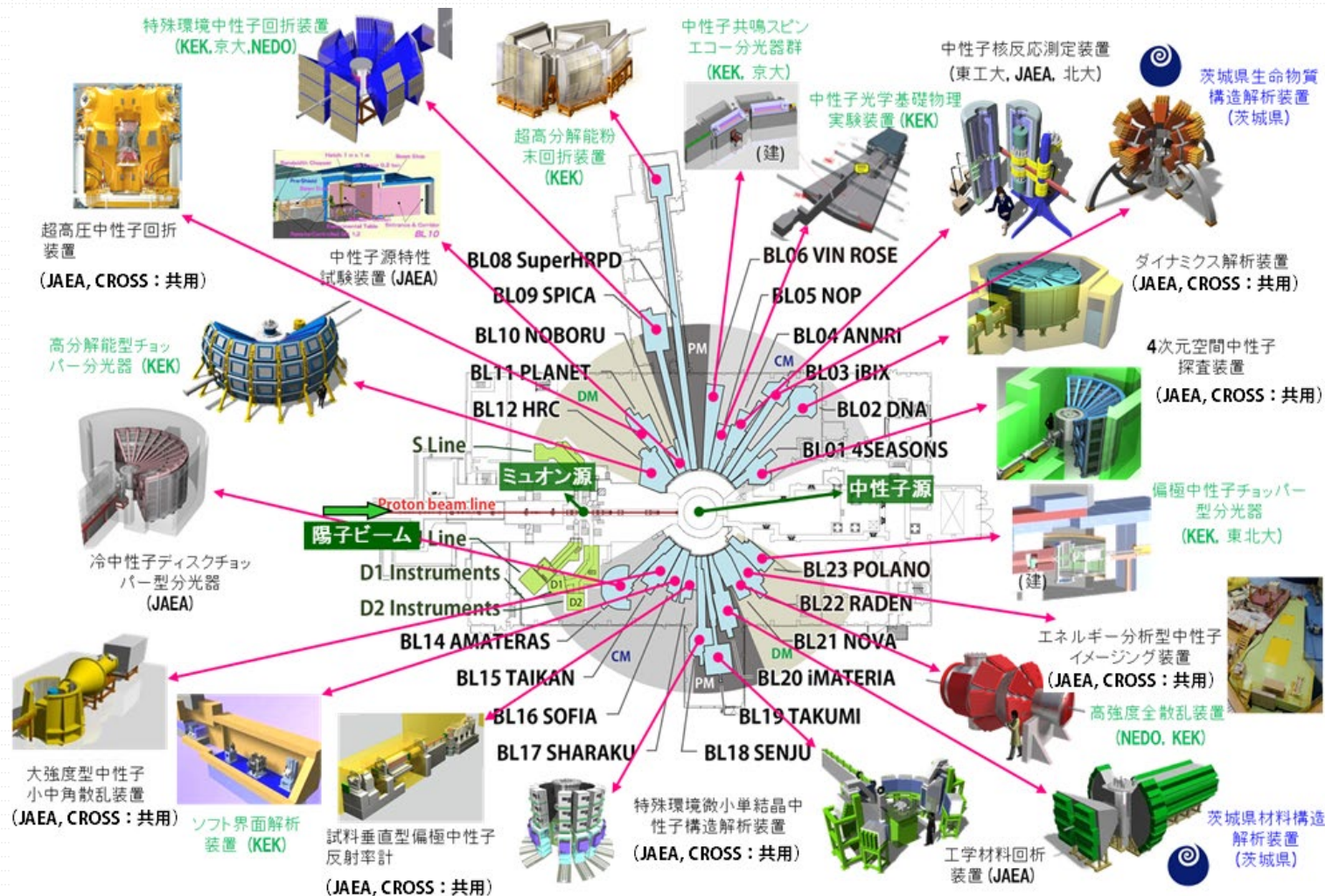
生命物質の機能の研究

産業への応用



物質・生命科学実験施設の中性子実験装置

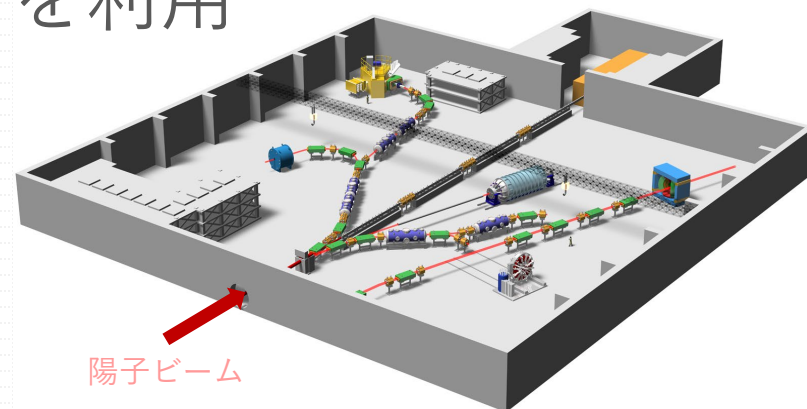
中性子BL：21本
ミュオンBL：4本





K中間子・パイ中間子などを利用

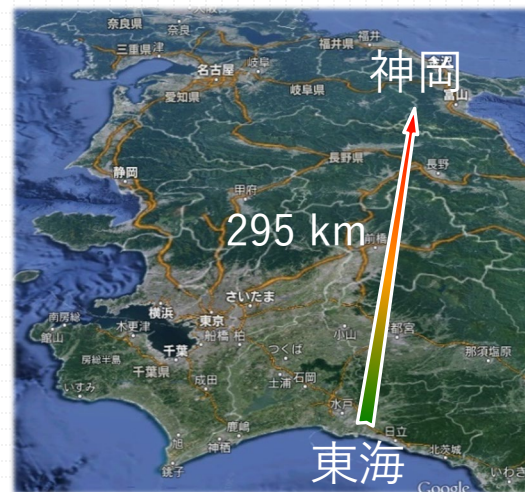
原子核の構造の研究
素粒子の性質の研究





ニュートリノを利用

スーパーカミオカンデとの
共同研究 (T2K実験)



2

J-PARCに係る規制について



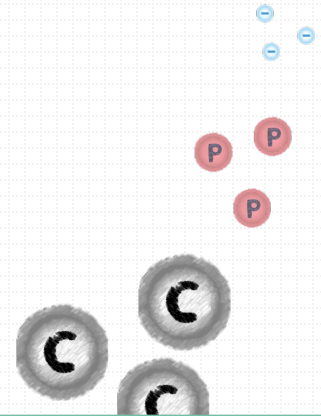
J-PARCは放射線発生装置を使用する事業者として
「**放射性同位元素等規制法**」の規制を受ける

荷電粒子

電子、陽子、重粒子など、電荷を帯びた粒子

放射線発生装置

荷電粒子を加速することにより、
放射線を発生させる装置（=加速器）



■ 規制の対象となる放射線発生装置



10種類の装置が法令・告示によって指定

サイクロトロン

シンクロトロン

シンクロサイクロトロン

直線加速装置

ベータトロン

ファン・デ・グラーフ型加速装置

コッククロフト・ワルトン型加速装置

変圧器型加速装置

マイクロトロン

プラズマ発生装置

最大線量当量率が600nSv/h以下のものは規制の対象外
(装置表面から10cm離れた位置において)

■ 規制の対象となる放射線発生装置



	<u>総数</u>	<u>構成比</u>
サイクロトロン	246	14.1 %
シンクロトロン	49	2.8 %
シンクロサイクロトロン	2	0.1 %
直線加速装置	1309	74.9 %
ベータトロン	2	0.1 %
ファン・デ・グラーフ型加速装置	31	1.8 %
コッククロフト・ワルトン型加速装置	89	5.1 %
変圧器型加速装置	12	0.7 %
マイクロトロン	5	0.3 %
プラズマ発生装置	2	0.1 %

※ 放射線利用統計2019年：日本アイソトープ協会

➔ 合計1747台（医療機関75%、研究機関10% …）

サイクロトロン

シンクロトロン (2台)

シンクロサイクロトロン

直線加速装置 (1台)

ベータトロン

ファン・デ・グラーフ型加速装置

コッククロフト・ワルトン型加速装置

変圧器型加速装置

マイクロトロン

プラズマ発生装置

J-PARCを構成する
放射線発生装置

■ 規制の対象となる放射線発生装置



サイクロトロン

シンクロトロン (2台)

シンクロサイクロトロン

直線加速装置 (1台)

ベータトロン

ファン・デ・グラーフ型加速装置

J-PARCを構成する
放射線発生装置

他の加速器との違い

大規模の研究用加速器
桁違いのビームパワー



大きな放射線リスク

年	施設の沿革
2001	施設の建設開始
2002	茨城県原子力安全対策委員会および原子力審議会において審議
2005	リニアック施設において、 放射線障害防止法に係る使用の許可 を取得
2008	物質・生命科学実験施設の利用開始（中性子BL：7本, ミュオンBL：1本）
2009	ハドロン実験施設、ニュートリノ実験施設の利用開始
2011	<u>東日本大震災により停止</u>
2012	→J-PARC各施設の運転再開
2013	<u>ハドロン実験施設における放射性物質漏えい事故</u>
2014	→J-PARC各施設（ハドロン実験施設以外）の運転再開
2015	→ハドロン実験施設の運転再開

➡ これまでに25回の変更許可を申請・取得して、出力増強やBL追加、施設の拡大などを繰り返してきた

■ 放射性同位元素等規制法の規制区分



J-PARCは特定許可使用者に該当

➔ 他の放射線発生装置と規制基準は同じ

事業者区分		事業内容
許可届出使用者	特定許可使用者	<ul style="list-style-type: none"> 非密封RIの使用 (貯蔵施設の貯蔵能力が下限数量の10万倍以上) 密封RIの使用 (貯蔵施設の貯蔵能力が10 TBq以上) 放射線発生装置の使用
	許 可 使 用 者	<ul style="list-style-type: none"> 非密封RIの使用 下限数量の1,000倍を超える密封RIの使用
	届 出 使 用 者	<ul style="list-style-type: none"> 1つあたりの数量が下限数量を超え、かつ下限数量の1,000倍以下の密封RIの使用
表示付認証機器届出使用者		<ul style="list-style-type: none"> 表示付認証機器の使用
届出販売／届出貨貸業者		<ul style="list-style-type: none"> 業としてRIの販売、賃貸
許 可 廃 棄 業 者		<ul style="list-style-type: none"> 放射性同位元素等の業としての廃棄
他に、表示付特定認証機器の使用、運搬を委託された者		

“大規模加速器”に係る規制要求

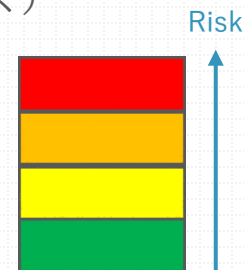
加えて、危険時の措置の事前対策が要求



- ・ 想定されるリスクの大きさから、対象となる事業者を限定

(IAEAのGraded Approachの考え方に基づく)

- ・ 放射線発生装置では、大規模の研究用加速器施設が対象



対象となる施設の基準

〔 複数の部屋 or 複数の出入口 〕 により区分
〔 ビーム出力、ビームエネルギーの大きさ 〕

➔ J-PARCは規制対象に該当

他に、KEKつくば、理研、放医研など

“大規模加速器”に係る規制要求

加えて、危険時の措置の事前対策が要求



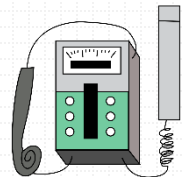
☑ 判断基準と対応

- ・危険時（放射線障害の発生など）を具体的に判断するための基準
- ・応急措置や通報連絡などの対応の手順

☑ 組織・資機材の整備、訓練

退避・救出、汚染拡大防止や除染、通報連絡などについて

- ・必要な組織体制の構築
- ・資機材（サーベイメータなど）の整備と維持管理
- ・訓練の実施（各年度に1回）



☑ 対応機関との連携

- ・消防、病院、警察との連携について、認識や手順を事前に共有

その他に、茨城県原子力安全協定に基づき、施設の新設・増設・変更等の際には、その都度茨城県に新增設等計画書を提出し、了解を得る必要がある。

茨城県原子力安全協定

原子力施設周辺の安全を確保し、もって住民の健康を保護するとともに、地域の生活環境を保全することを目的とした協定

[原子力事業所 (17)]

原電、JAEA原科研、JAEA核サ研、JAEA大洗、QST那珂、JCO、三菱原燃、東京大学、日本核燃、核管センター、原燃工、NDC、積水メディカル、東北大学、日揮、三菱マテリアル、日本照射

※ J-PARCはJAEA原科研に含まれる

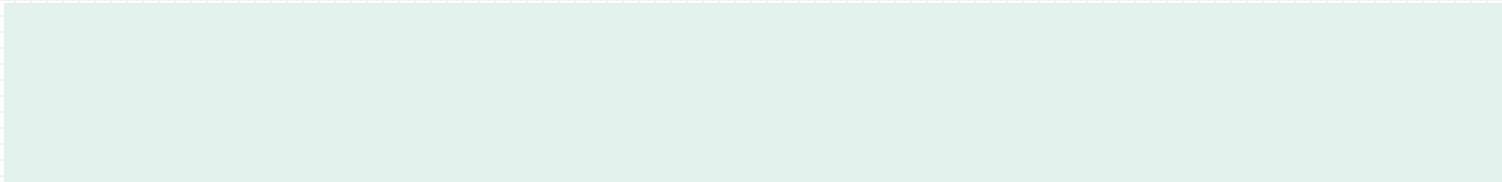
その他に、茨城県原子力安全協定に基づき、施設の新設・増設・変更等の際には、その都度茨城県に新增設等計画書を提出し、了解を得る必要がある。

● 新增設等計画書に記載されている安全対策

- ・ 放射線管理
- ・ 被ばく管理
- ・ 地震対策
- ・ 火災対策
- ・ 爆発対策
- ・ 臨界防止対策
- ・ 停電対策
- ・ 誤操作防止対策
- ・ 漏水防止対策
- ・ 自然現象対策
- ・ その他

3

安全確保について



世界最高クラスの大強度陽子ビーム

運転中に強い放射線が発生する

機器が放射化する

空気・水が放射化する

➔ 規制要求の基準に拘らず、J-PARCの放射線リスクを考慮した安全確保を実施

■ 運転中の入域を防止するインターロック

- 加速器トンネル（放射線発生装置使用室）に人が立ち入っているときに、加速器を運転させない
- 運転中に、加速器トンネルに人を立ち入らせない



インターロックエリアの出入口

使用室出入口の数：

14箇所（人が通常出入りするもの）



表示灯

- 加速器トンネル内の非常停止スイッチが押されると、運転は緊急停止

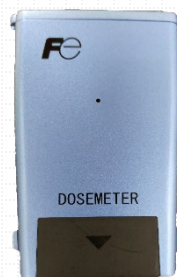
人が取り残されることの防止

被ばく管理の強化

- ・ 入域の際には、パーソナルキーとAPD（アラーム付ポケット線量計）の携帯が必要
- ・ パーソナルキーは全て返却されないと運転できない



パーソナルキー



APD

☑ 不要な入域の防止

- ・ 加速器トンネルへの入域を3つのモードで管理



パーソナルキー盤

☑ 不要な入域の防止

- ・ 加速器トンネルへの入域を3つのモードで管理
- ・ 運転停止（インターロック解除）後も自動的に入域可能状態（NA ⇒ AA）にならない



AA : Authorized access

通常の手順で入域可能



CA : Controlled access

通常の手順

+ 中央制御室の許可が必要



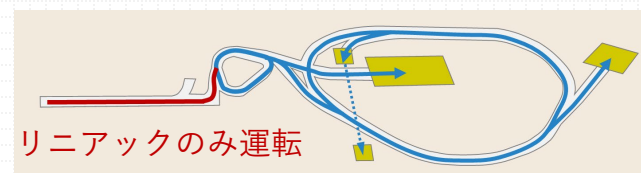
NA : No access

入域不可

人の安全を確保するシステム；PPS

(Personnel Protection System)

- 加速器運転中の使用室への人の入域防止
- 非常停止スイッチによるビーム緊急停止
- 使用室への入域管理
- 偏向電磁石、ビームプラグによるビーム誤出射防止
 - ➔ 各施設の使用状態（運転中・停止中など）は、独立して制御されている
 - ➔ 例えばリニアックのみが「運転中」のとき、他の5施設の使用室には入域可能



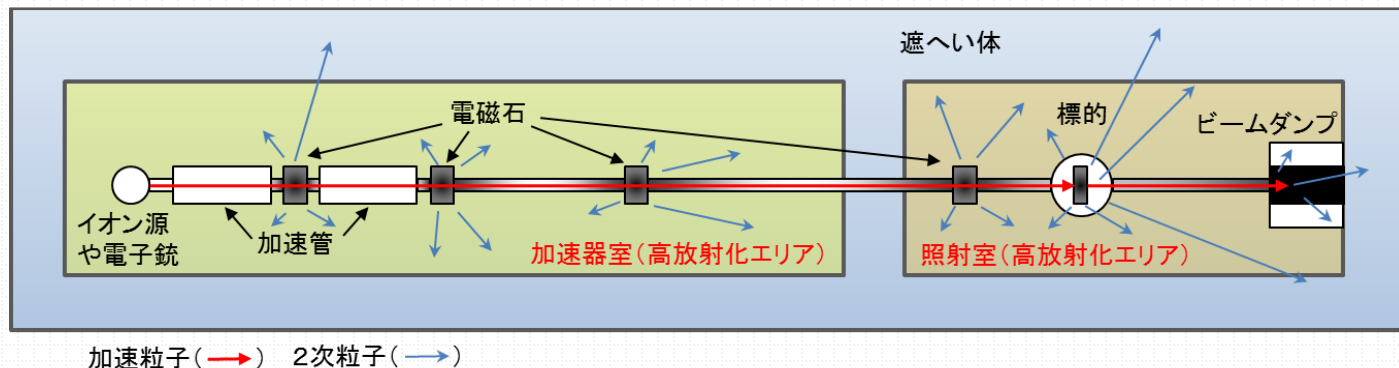
人の安全を確保するシステム；PPS

(Personnel Protection System)

- 加速器運転中の使用室への人の入域防止
- 非常停止スイッチによるビーム緊急停止
- 使用室への入域管理
- 偏向電磁石、ビームプラグによるビーム誤出射防止
- 管理区域境界付近に放射線エリアモニタを設置
 - ➔ 異常値検知でビーム加速を停止
- 運転中の給気・排気ダンパを制御
 - ➔ 使用室内の空気（→放射化する）の排気を禁止
- 電流モニタを設置 ➔ 使用粒子数（個/h）の担保

■ 放射化のメカニズム

- ☑ 加速器は、粒子を加速し、電磁石でビームのサイズを絞ったり、ビームを曲げたりした後、標的に照射する。残りのビームはビームダンプで止める。
- ☑ 放射化は、加速粒子がビームラインや標的などに衝突（ビームロス）することで発生する。
- ☑ その際に、中性子などの2次粒子が周辺に放出され、周辺の機器、壁や床、空気、冷却水が放射化される。



■ 放射化を低減させる技術の一例

☑ 低放射化のコンクリート

^{24}Na の生成を抑制

→ ^{23}Na の含有量が非常に少ない原料を使用



- ^{23}Na (n, γ) ^{24}Na 反応で放射化
- ・ 半減期：15時間
 - ・ 1.4MeVと2.7MeVの γ 線を放出



3 GeVシンクロトロンへの打設例 (厚み2~2.4m)

☑ 低放射化材料 (チタン合金など) の機器

機器を保護するシステム；MPS

(Machine Protection System)

- 異常の兆候や異常につながる可能性が高い事象が検知された場合に、ビームを直ちに停止させる。

→ ビームによる機器の損傷を最小限に抑える

→ 機器の放射化を可能な限り低減化させる

加速器トンネル内の空間線量を抑制

- ・ J-PARCにおける被ばくの大部分は、加速器トンネル内での保守作業による
- ・ 2023年度の最大被ばく線量は0.5 (mSv/年)



- ☑ “集中監視システム”にて一元的に管理
 - ➔ 施設全体で効率的な放射線管理を実施

- ・ 排気筒からの放出を監視

排気モニタ（ガス・ダスト）、 ^3H 捕集装置

- ・ 管理区域内の作業エリアを監視

エリアモニタ（ γ 線・中性子線）、室内ガスモニタ



集中監視システム



放射線モニタ

■ 汚染・内部被ばくの対策

ビームライン開放作業などでは、汚染や内部被ばくのおそれがある

- ☑ 適切な防護衣、呼吸保護具の着用
- ☑ 汚染検査機器の整備



体表面モニタ



ハンドフットモニタ



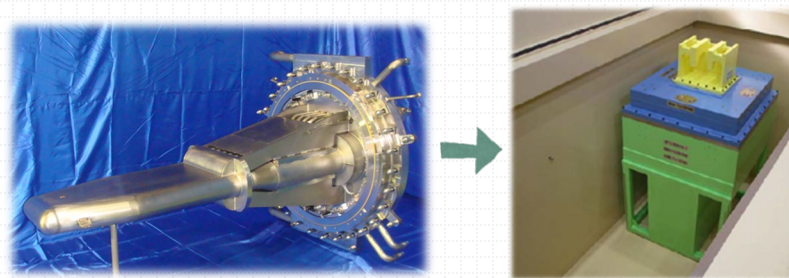
サーベイメータ



物品モニタ

使用した標的（ターゲット）などは、極めて高線量

- ☑ 交換作業は遠隔操作で実施
- ☑ 保管専用の建屋などで十分に遮蔽した状態で管理

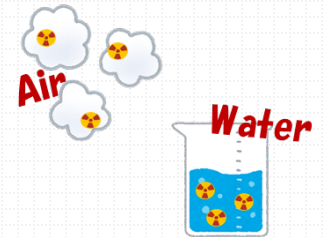


物質・生命科学実験施設の水銀ターゲット

➔ 最終的な廃棄までの工程は、中長期的な課題の一つ

☑ 排気・排水設備を設置し、環境への負荷を低減して放出する

➔ 運転中は、排気せずに循環空調
(インターロックが作動して排気不可)



☑ 放出にあたっては、

- ・ 短半減期核種の放射能が減衰するのを待つ
- ・ 排気・排水設備にて放射性物質を浄化や希釈
⇒プレフィルタ、HEPAフィルタ、チャコールフィルタ、イオン交換樹脂などで吸着除去
- ・ 放射性物質の濃度を測定・確認

空気中に生成する主な放射性核種



短半減期核種

核種	半減期
^{11}C	20.4 分
^{13}N	9.97 分
^{15}O	2.04 分

減衰を待つ

長半減期核種

核種	半減期
^{37}Ar	35.0 日
^{41}Ar	1.83 時間
^7Be	53.3 日
^3H	12.3 年
^{14}C	5730 年

フィルタで
吸着除去

- 加速器トンネル内には、換気（排気）を十分にを行った後に入域する

冷却水中に生成する主な放射性核種

短半減期核種

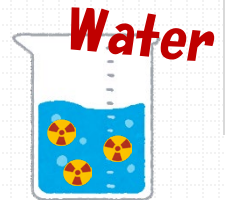
核種	半減期
^{11}C	20.4 分
^{13}N	9.97 分
^{15}O	2.04 分
^{24}Na	15.0 時間
^{52}Mn	5.59 日

減衰を待つ

長半減期核種

核種	半減期	核種	半減期
^3H	12.3 年	^{59}Fe	44.6 日
^7Be	53.3 日	^{56}Co	77.1 日
^{14}C	5730 年	^{57}Co	271 日
^{22}Na	2.60 年	^{58}Co	70.8 日
^{46}Sc	83.8 日	^{60}Co	5.27 年
^{54}Mn	312 日	^{65}Zn	244 日

フィルタで吸着除去



- ☑ J-PARCは3つの加速器施設と3つの実験施設を備え、大強度の陽子ビームから作り出される多彩な2次粒子ビームを利用して、幅広い分野の最先端研究を実施する大型共同利用研究施設。
- ☑ 放射性同位元素等規制法の規制を受け、規制要求の基準は他の加速器と同じ。加えて、大規模加速器として危険時の措置の事前対策が必要。その他、地元自治体との協定に基づく対応あり。
- ☑ 安全確保にあたっては、規制要求の基準に拘らず、J-PARCの放射線リスクを考慮して実施。
 - ・ PPSにて人の安全を確保：入域の管理やビーム誤出射を防止
 - ・ MPSにて機器を保護：放射化を低減し、空間線量を抑制
 - ・ 放射線監視設備の集中監視：効率的な放射線管理
 - ・ 汚染検査機器の整備
 - ・ 高放射化機器の長期管理
 - ・ 排気・排水設備にて環境への負荷を低減