

ILCの安全管理



CERN（セルン、欧州合同原子核研究機構）中央コントロールセンター

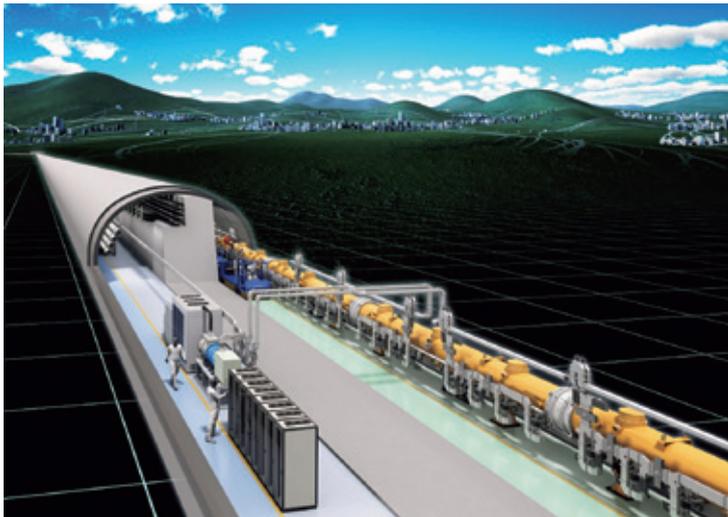
| | |
|------------------------------|----|
| はじめに | 1 |
| I -1 ILC施設の概要 | 2 |
| I -2 Q&A：安全管理 | 4 |
| I -3 Q&A：環境への配慮 | 7 |
| II 加速器による物質の放射化 | 8 |
| III -1 ILCにおける放射線安全管理 | 9 |
| コラム1 世界の主な素粒子加速器研究所 | 13 |
| III -2 Q&A：放射線関連 | 14 |
| コラム2 放射線に関する知識 | 16 |
| IV ILCが高レベル放射性廃棄物の処分場に不適格な理由 | 18 |

はじめに

ILCは、International Linear Collider（国際リニアコライダー）の略で、全長20～50kmの地下トンネル内に建設され、両端から電子と陽電子を光速近くにまで加速して衝突させます。そして、物質の起源や時間・空間の起源、宇宙誕生の謎の解明を目指します。

世界中の研究者はILCの建設候補地として、岩手県と宮城県に跨る北上山地の北上サイトを選定し、現在、北上サイトに特化したILC施設や設備の設計・検討を行っています。また、ILC施設は、最新の知見とともに世界で稼働している大型加速器研究施設の技術と経験を活用して、厳格な安全管理のもとで建設・運用されます。

本ガイドラインは、このILC計画のうち安全管理について、地域の住民・関係者の皆さんに理解を深めてもらうために研究者の検討状況などをまとめたものです。また、様々な方の疑問にわかりやすく答えるため、「よくある質問と回答（Q&A）」の形式で説明しています。



©Rey. Hori/KEK

地下トンネル内に建設されるILCのイメージ図

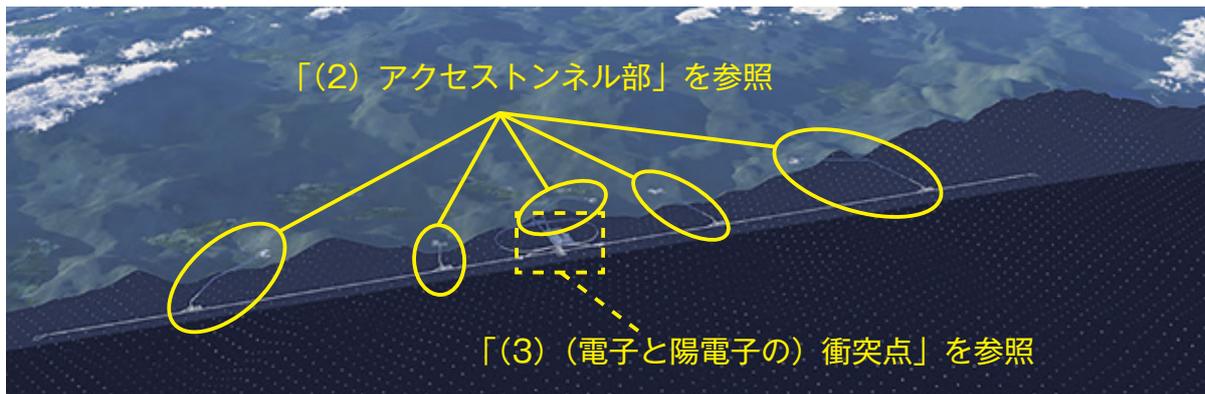


北上サイト（ILC建設候補地）の位置

I-1 ILC施設の概要

(1) ILCの地下トンネル施設と地上施設との関係

- ILCの建設場所は、北上山地（総延長が50kmの場合、岩手県奥州市～一関市～宮城県気仙沼市の区間）の標高約110mの水平地下トンネル内を想定しています。
- 山の起伏により土被り（地表からトンネルまでの深さ）が変わります。
- ILCの地下トンネルは、地表からのアクセストンネルや立坑と接続します。

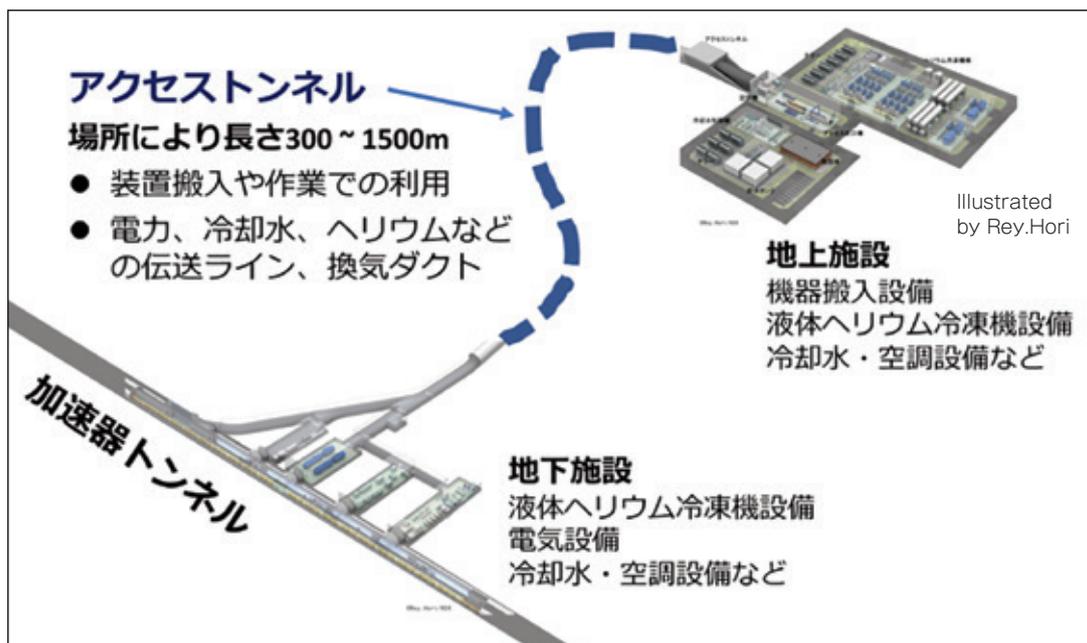


©Rey. Hori/KEK

ILCの地下トンネルの断面図（イメージ）

(2) アクセストンネル部

- アクセストンネルは、地上から地下への装置搬入や作業に使用するトンネルです。
- 全長約20kmのILCトンネルでは、計5か所のアクセストンネルの設置を想定しています。
- アクセストンネルの長さは場所により300～1,500m程度を想定しています。

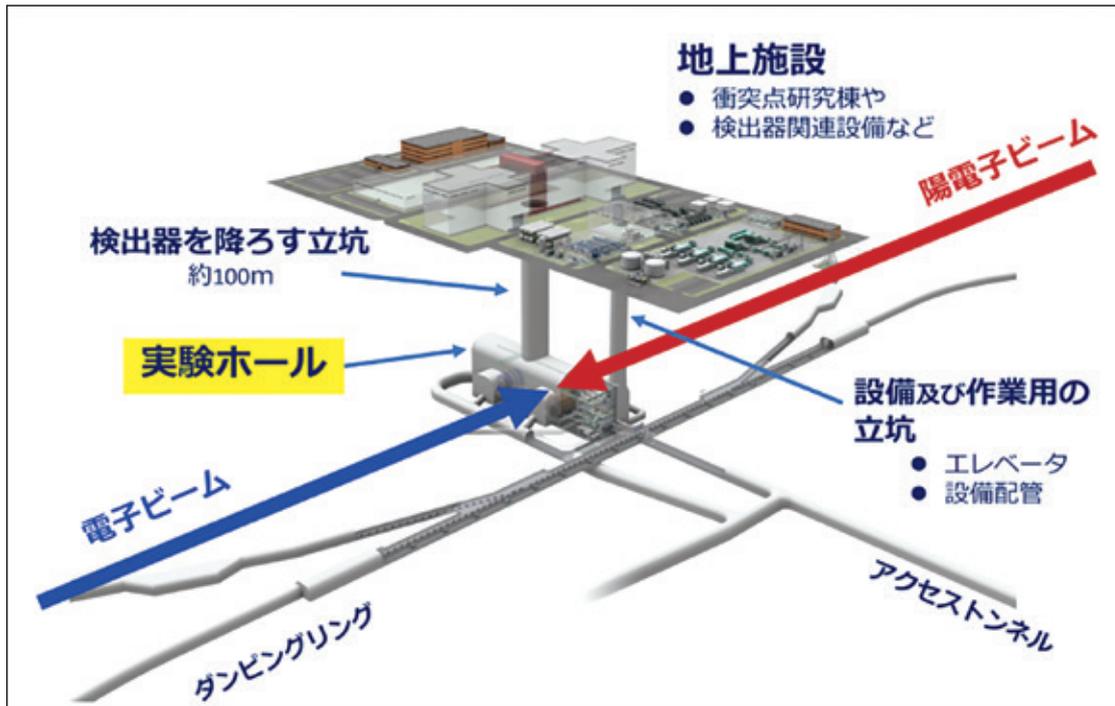


©Rey. Hori/KEK

アクセストンネルの概要（イメージ）

(3) (電子と陽電子の) 衝突点

- ILCの主加速器で加速された電子ビームと陽電子ビーム（それぞれ数百億個の電子と陽電子の塊）は、トンネルの中央部で衝突します。
- この衝突点に大型の素粒子検出器2台を設置し、電子・陽電子の反応を詳細に観測します。
- 地上施設は数ヘクタールの規模で、衝突点研究棟や検出器関連設備などが設置されます。
- 地上施設から実験ホールへは、大型検出器を降ろすための立坑と設備及び作業用の立坑が設置されます。



©Rey. Hori/KEK

衝突点付近の概要（イメージ）

(4) 加速器の安全装置

- ILCでは、主に次のような監視・点検により、装置の稼働状況を常に把握し、異常時には自動でビーム運転停止になるなど、安全装置が組み込まれます。
 - ◆ 加速器装置の健全性の監視（電磁石や高周波装置、ビームダンプなど）
 - ・ 状態監視（温度、電流、電圧、真空度、冷却水流量など）
 - ・ 操作設定値の確認（誤操作対策：組込み回路、計算機など）
 - ◆ ビームの監視
 - ・ ビーム強度、ビーム軌道、エネルギーなど
 - ◆ 放射線量の監視
 - ・ 様々な場所に放射線モニターを設置
 - ◆ 立入の管理
 - ・ 入退域の管理、非常停止スイッチ、ドアセンサーなど

I-2 Q&A：安全管理

Q1 巨大地震が来ても大丈夫ですか？

A1 地震の強さを示す指標の一つである最大加速度は、地上に比べ地下では1/2～1/4に減衰することがわかっており、地下に設置された機器への影響は小さいと考えられています。

ILC施設は、震度7相当の地震があっても安全（機能に重大な支障が生じない）であるように設計されます。

地震発生時には、揺れを感知して直ちにビームを停止します。

- 地表及び地下約100mに設置された地震計の観測結果によると、東日本大震災における地表に対する地下の最大加速度は、震度6弱の藤沢（岩手県）で0.242倍、震度5強の東和（岩手県）で0.225倍でした。
- 国立天文台江刺地球潮汐観測施設（阿原山中腹の延長250m、深さ（土被り）40～60mのトンネルに設置）の石英ガラス製の石英管ひずみ計は、東日本大震災でも全く損傷を受けませんでした。
- つくば市にあるKEK（高エネルギー加速器研究機構）では、東日本大震災時に震度6弱の揺れでしたが、地下10mに設置されていた円形の電子・陽電子衝突加速器装置は、安全停止し、各機器は横ずれがあったものの軽度で、10か月後には復旧して運転を再開しました。

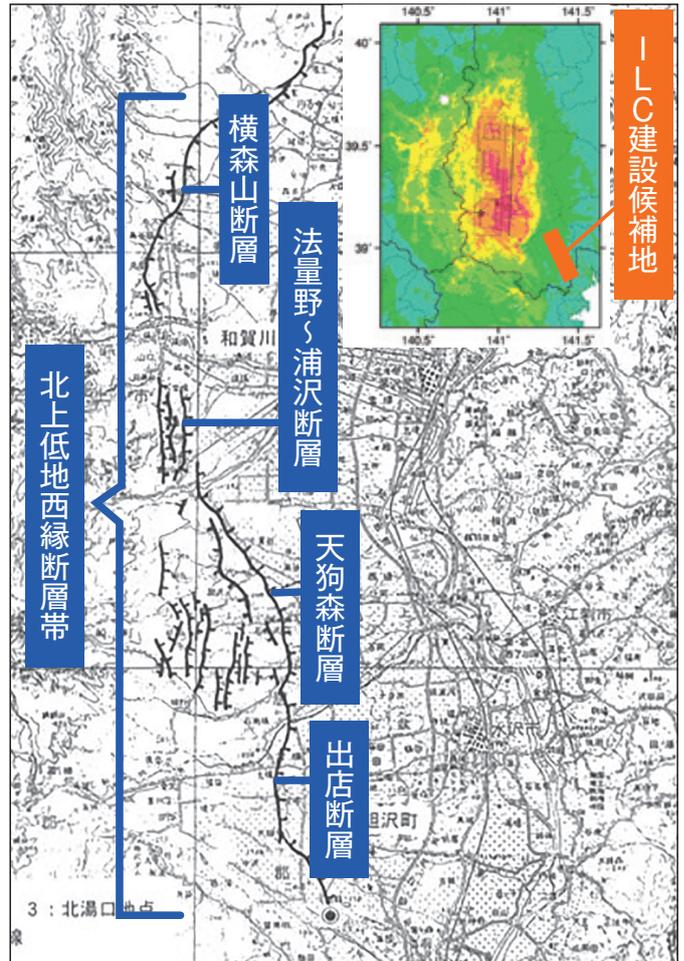


江刺地球潮汐観測施設
（提供 国立天文台）

Q2 ILCは北上低地西縁断層帯の影響を受けないのですか？

A2 北上低地西縁断層帯はILC候補地から20km以上離れていますので、影響はないものとされています。

- 北上低地西縁断層帯：奥羽山脈とその東側の北上低地帯との境界付近に位置する断層帯（長さ約62km）
- 同断層帯が活動した場合の震度は、**ILC候補地付近の地表で、震度4～5弱程度と予測されている**（地震調査研究推進本部）



北上低地西縁断層帯とILC建設候補地の位置
（出典等：地震調査研究推進本部資料を加工）

Q3 停電になっても大丈夫ですか？

A3 加速器は、電気で稼働するため、停電になると運転が停止します。原子炉事故のように制御不能となることはありません。
一定時間以上の停電時には、**自家発電装置が起動し、地上装置によって冷却用ヘリウムの回収等の安全措置が施されます。**

Q4 電気の使用量は周囲に影響しませんか？

A4 ILCに必要な電力は、当初計画（全長約20km）で12万キロワットと見込まれています。これは、東北電力の発電設備容量の約0.5%程度（発電電力量の約1%）（※）であり、周囲の電力需給に影響を与えることはありません。
なお、電力需給の高い夏季・冬季は、ILC運転停止期間を設定して機器・設備の保守・点検を実施し、電力使用を抑制します。

※発電設備容量は、設備が全て稼働した際に供給可能な電力。

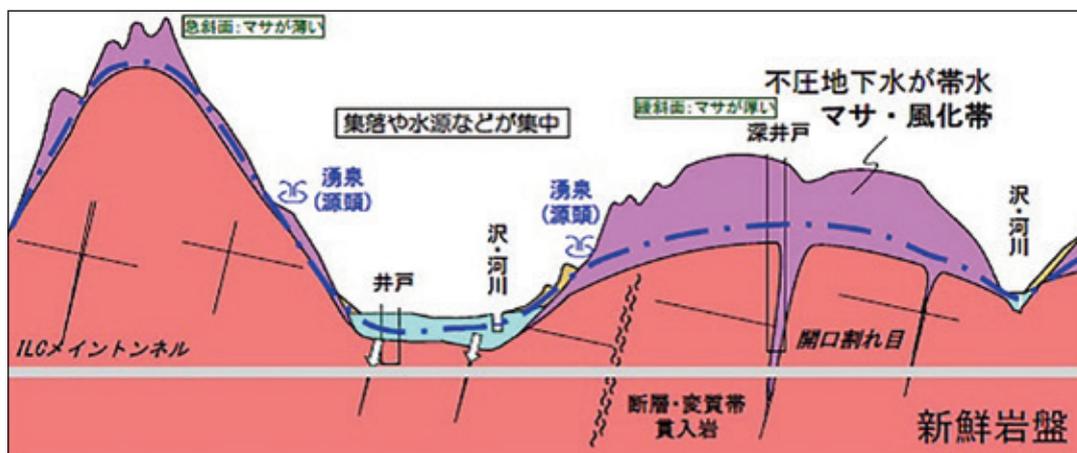
発電電力量は、自ら発電した電力量と他者から受電した電力量の合計。年間の供給電力の実績に相当する。なお、現在、東北電力の自社発電は、水力発電・火力発電・新エネルギー発電（風力・太陽光・地熱）で賄われており、原子力発電（稼働停止中）は含まれていない。

Q5 地下水への影響は大丈夫ですか？

A5 ILC建設候補地において、水文調査などを実施し、建設候補地周辺の水系の把握や地下水の分布予測を行っています。今後、詳細な調査を行い、十分な対策を取ることとしています。

- 実施済の水文調査の概要：ILC建設候補地における水系の状況、ILCトンネル建設に伴う地表部及び地下部への影響を把握することを目的に実施（実施内容：河川流量・地形解析による地下水面推定、地下水観測坑設置（坑内水位・水温観測）による湧出量推定）
- 実施済の水文調査の結果：高土被り区間では、水利用への影響は小さい。低土被り区間では、水利用への影響が生じる可能性有。

⇒ 事前調査による影響予測・評価、対策を検討



花崗岩地域に想定される水文地質構造

I-3 Q&A：環境への配慮

Q1 掘削で出る土砂はどう処理するのですか？

A1 掘削ズリは、仮置き場に一時保管の上、コンクリート骨材や盛土材として、ILC施設内や公共事業などへの再利用を図り、それ以外のはズリ処理場に埋め立てます。これらの場所については、防災面、輸送コスト、搬入出に伴う地域住民への影響、景観等の観点から、検討を進めていきます。

- 全長約20kmのILCトンネルと5か所のアクセストンネル工事に伴い発生するズリの掘削総量は、約350万m³（搬出時の取扱量 約560万m³）と想定しています。
- 土砂・ズリの中に自然由来の重金属が多く含まれていることが確認された場合には、関係法令に則り、環境への影響を防止する必要な対策を実施します。

Q2 動植物には影響はないのですか？

A2 建設準備段階において、環境アセスメント調査を十分に行い、影響を最小限に抑えるとともに、重大な影響があると認められた場合には、十分な対策を行います。なお、これまでにILCトンネル計画ルート周辺の自然環境調査を実施し、環境影響評価方法書検討案を策定しています。

Q3 景観への影響はないのですか？

A3 ILCは、里山と共存するキャンパス・施設づくりを目指し、地域の声を反映させながら、デザインを進めます。

- ILCの主要施設は地下にありますが、地上には、研究所施設、アクセストンネル坑口地上施設、周辺の実験準備施設があります。
- 地上施設の景観に配慮するほか、工事により災害を誘発しないよう、坑口の設計や安全対策、避難誘導設備、防災システムの整備等を検討していきます。
- CERN（セルン、欧州合同原子核研究機構）の取組の例
 - ・ 騒音を減らし、実験関連施設の構造物を隠すため、木を植え、建物や冷却塔をできるだけ低く設計
 - ・ 5年間育てた苗木をアクセスエリアに移植し、周辺の景観と調和



【CERN（セルン）の状況】

II 加速器による物質の放射化

放射化はビームがぶつかる限られた場所でおこります。

装置の放射化では、放射化した物質（放射性物質）は素材内部に留まります。

(1) 加速器での放射化

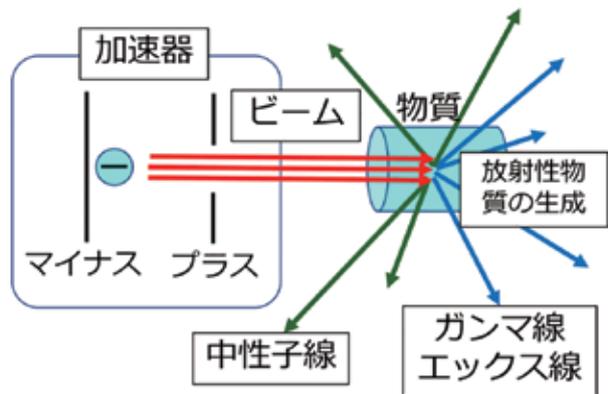
ビームが物質に当たる → **放射線（※）** と **放射性物質** が生成

放射化：放射能を持っていなかった物質が、放射能を持つようになること

放射化の程度：

- ビームの量
- ビーム粒子の種類
- ビームのエネルギー
- **物質の種類**

・放射化した物質（放射性物質）からは放射線が放出されます

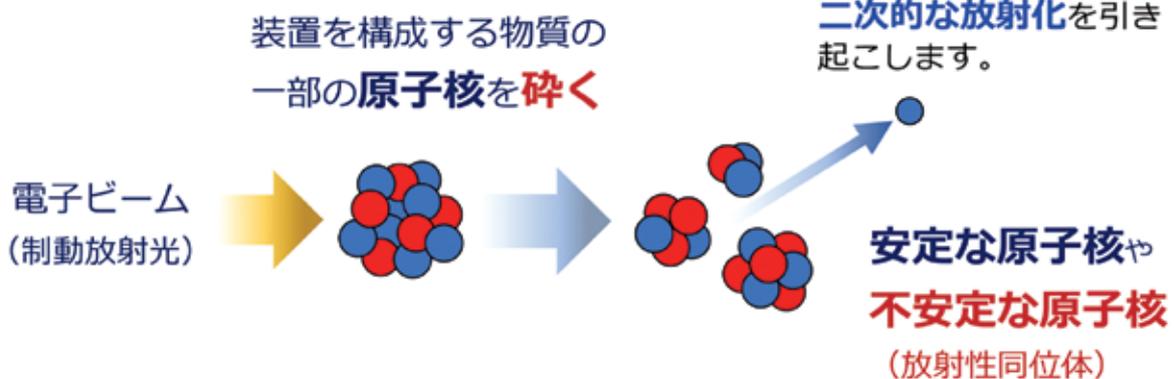


(加速したビームが物質に当たった場合の例)

※放射線：高い運動エネルギーを持って流れる物質粒子：アルファ線（ヘリウム原子核）、ベータ線（電子）、中性子線、陽子線、重粒子線と高エネルギーの電磁波（光）のガンマ線、X線の総称

(2) 放射化の仕組み

放射化を原子核のレベルでみると、

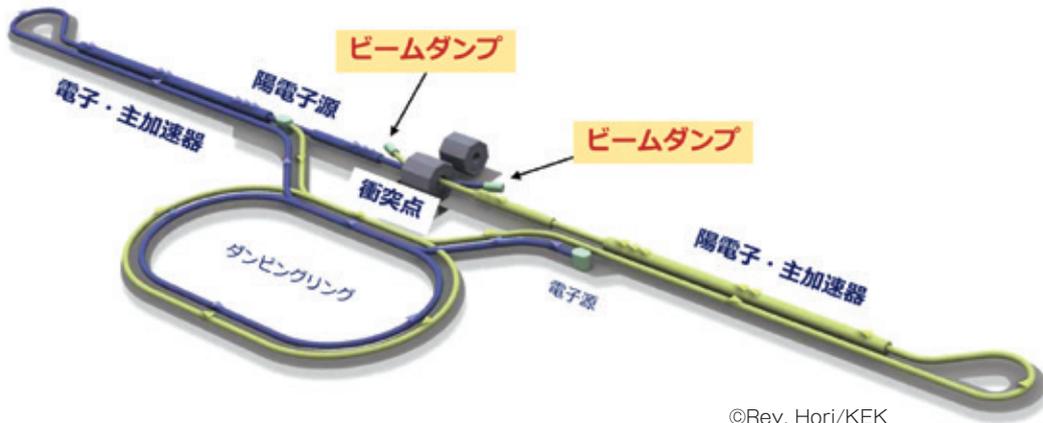


- 碎かれる原子核より軽い原子核になります。
- 中性子を取り込んで放射化することもあります。
- 加速器装置（鉄、銅、コンクリートなど）の放射化では、より重い原子核であるセシウムやヨウ素はできません。

Ⅲ-1 ILCにおける放射線安全管理

(1) ILCを構成する機器と生成される放射線・放射能

- | | |
|------------------------------|------------------------------|
| ① ビームダンプ ：ビーム吸収による放射化 | ビーム損失パワー (2600kW × 2) |
| ② 陽電子源：ターゲットの放射化 | (12kW) |
| ③ 主加速器：ビームを加速する際の放射線 | (1kW × 2) |
| ④ 衝突点：衝突散乱により散らばる粒子 | (0.1kW以下) |



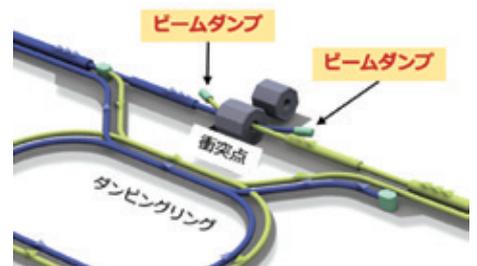
ILCの主要設備

©Rey. Hori/KEK

(2) ビームダンプ

ビームダンプの水にトリチウムが蓄積します。

- **ビームを安全に止める**装置です。
放射性物質が最も多くできる場所です。
- **水でビームを吸収**します。
20年間休み無くビームを入射し続けた場合、**ビームダンプ2ヶ所の合計で、**
 - ① およそ**100トン**の水に、
 - ② **最大100兆ベクレル**の**トリチウム**が蓄積すると評価しています。
- この水は**管理された装置室**の中で、密閉された**循環水**として運用します。
- 保守作業などでも**排水しません**。



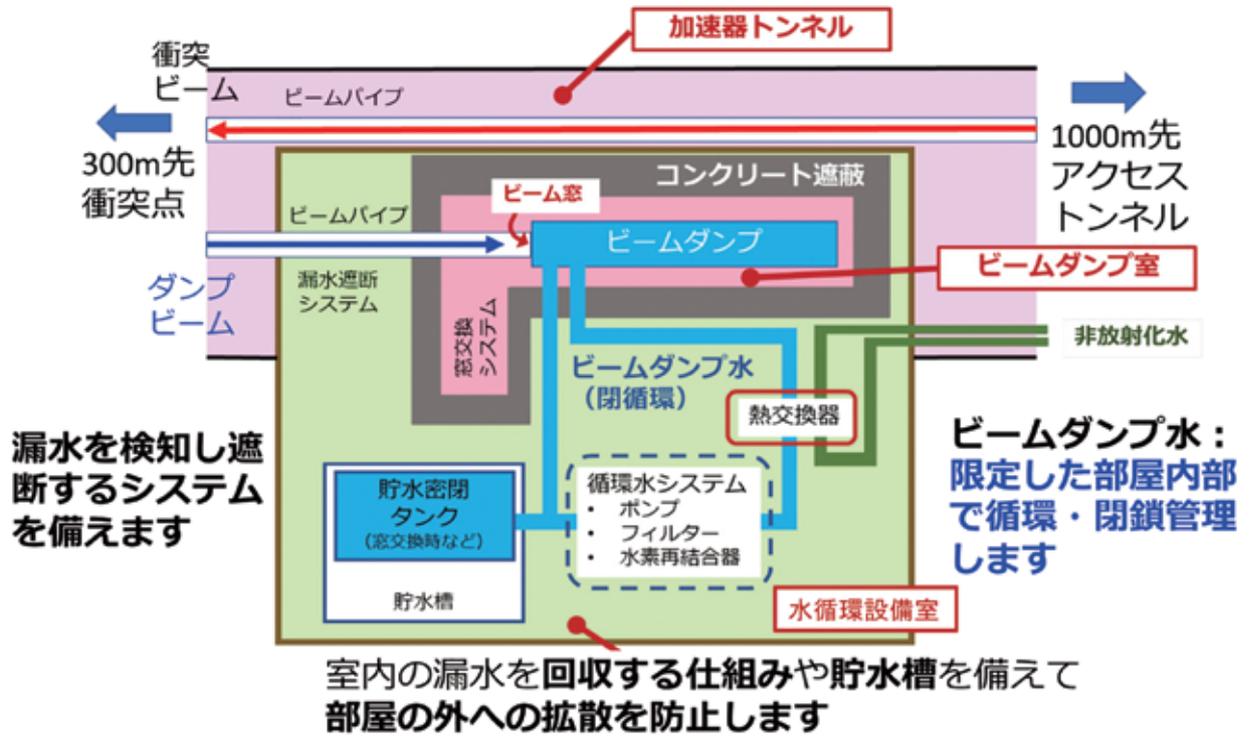
©Rey. Hori/KEK



©Rey. Hori/KEK

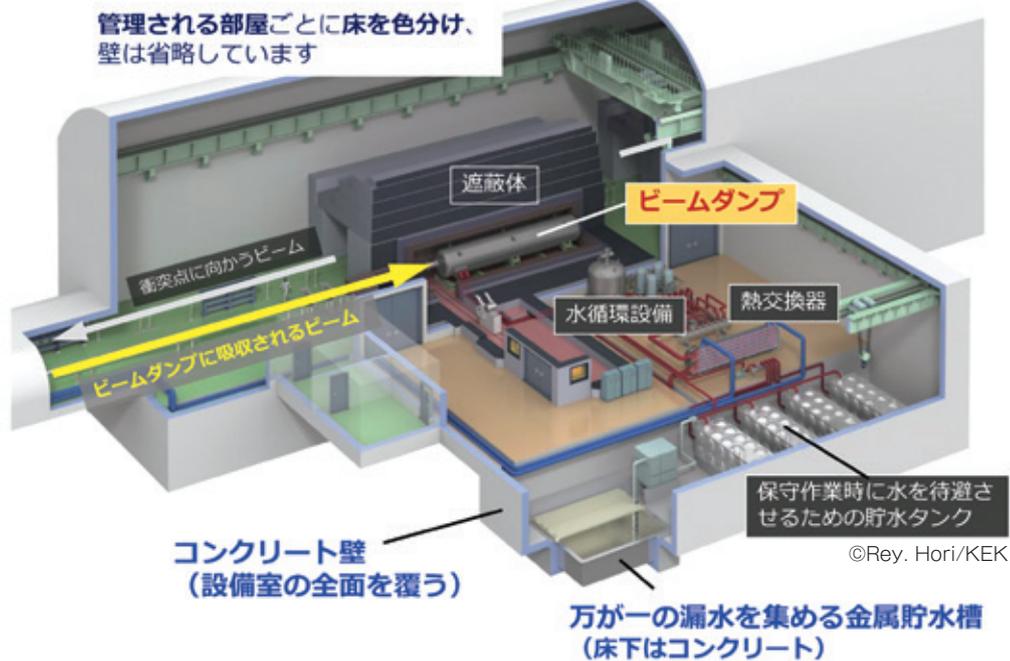
(3) ビームダンプの水の管理と拡散防止対策

ビームダンプ水は排水しません（循環させて使用します）。



ビームダンプ水の循環フロー図

ビームダンプ部イメージ

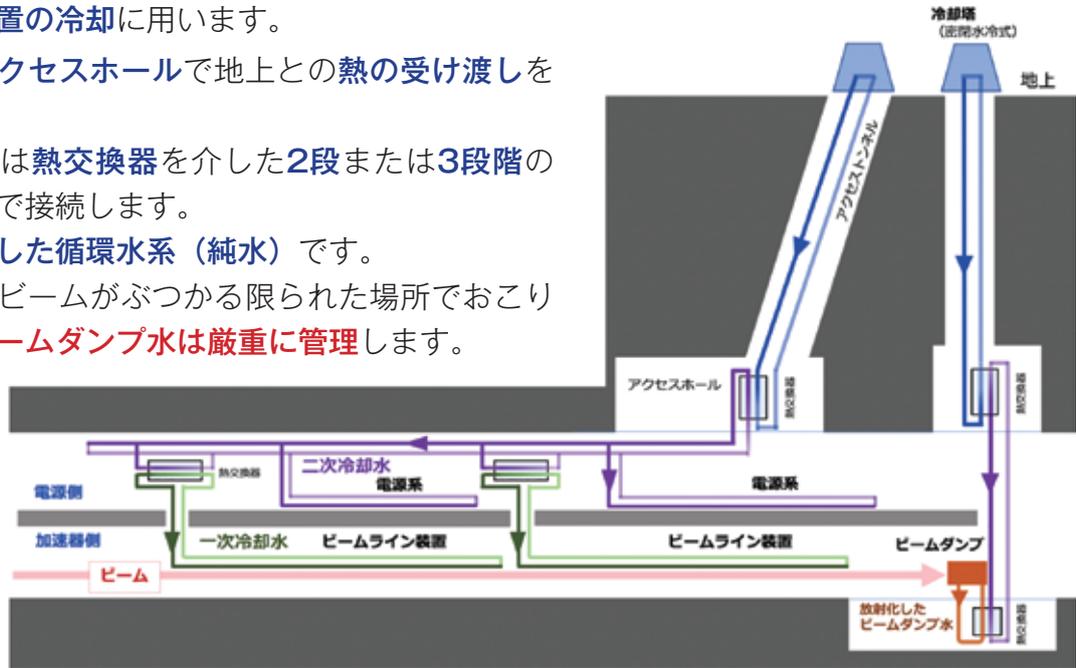


ビームダンプ部のイメージ図

(4) 冷却水システムの概要

多段式の循環水による熱伝送システム

- 加速器装置の冷却に用います。
- 地下のアクセスホールで地上との熱の受け渡しをします。
- 装置までは熱交換器を介した2段または3段階の冷却水系で接続します。
- 全て密閉した循環水系（純水）です。
- 放射化はビームがぶつかる限られた場所でおこります。ビームダンプ水は厳重に管理します。

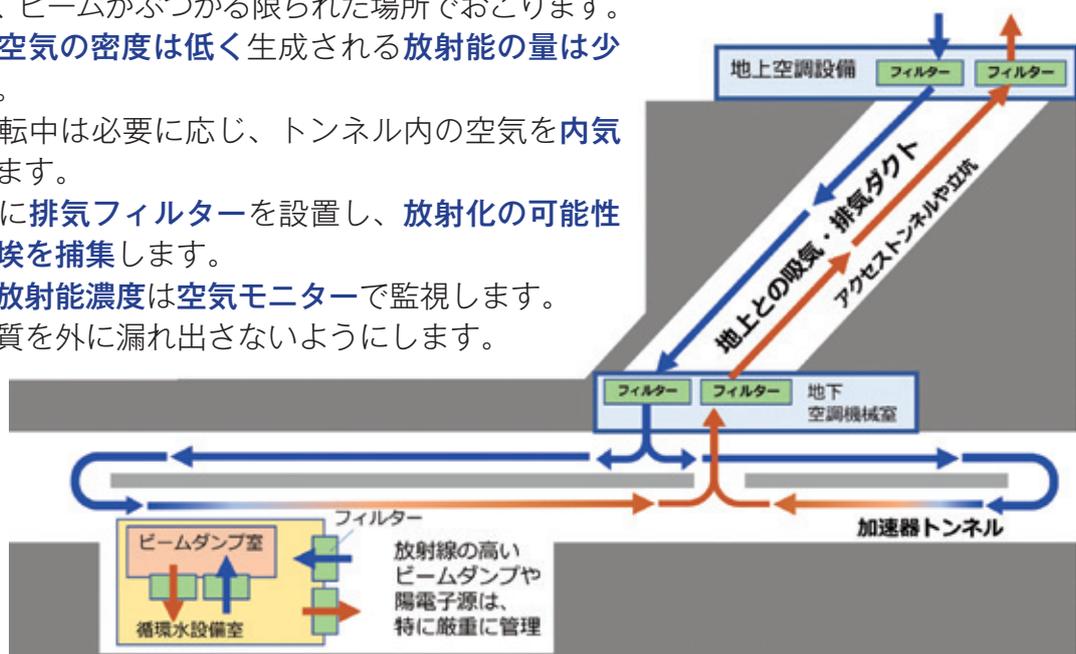


冷却水の循環フロー図

(5) 換気システムの概要

空気の管理：多重化した区域分け

- 放射化は、ビームがぶつかる限られた場所でおこります。
- さらに、**空気の密度は低く**生成される**放射能の量は少ない**です。
- 加速器運転中は必要に応じ、トンネル内の空気を**内気循環**させます。
- 区域境界に**排気フィルター**を設置し、**放射化の可能性のある塵埃を捕集**します。
- **排気中の放射能濃度**は**空気モニター**で監視します。
- 放射性物質を外に漏れ出さないようにします。



トンネル内空気の循環フロー図

(6) 地震・停電時の対応

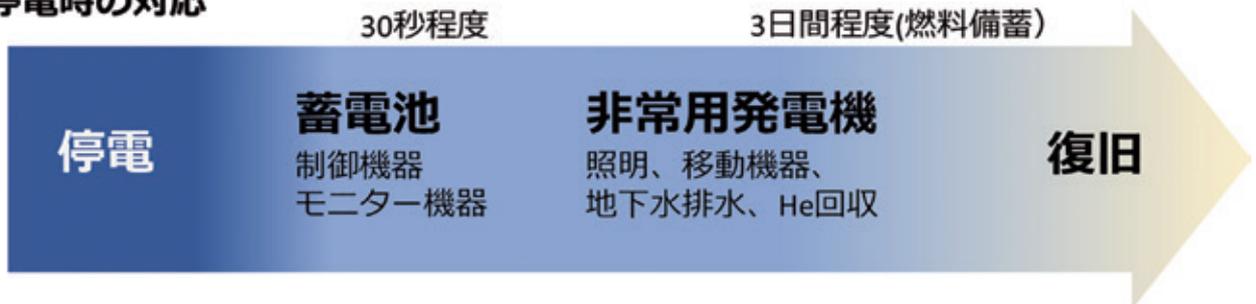
- 安全システムによりビームが停止します

新たな放射化は起こりません。また、継続的な冷却を必要とするような放射性物質もありません。電源喪失による放射能事故になる心配はありません。

- 機器の耐震設計を追求します

地下100mの揺れは地表の1/2～1/4程度となり、より安全性が高まります。

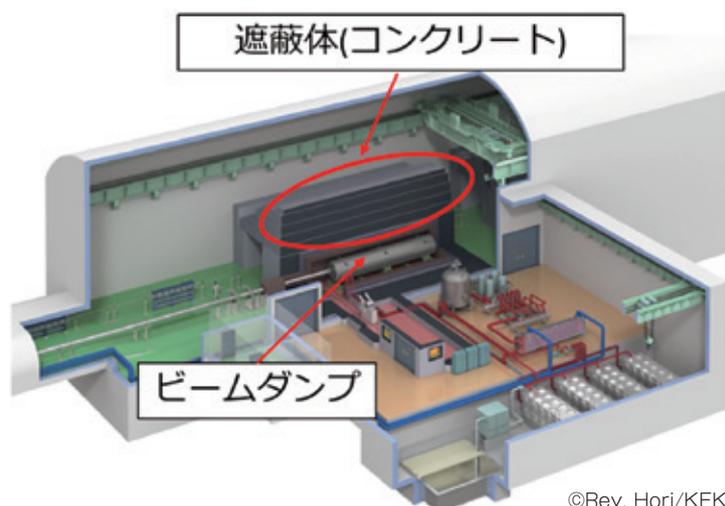
停電時の対応



停電時の対応フローイメージ

(7) 実験終了後の放射化物の取扱い

- トンネルの床や壁の放射化を避けるため、あらかじめ遮蔽体を追加しておきます。
- 他施設で使用する装置は一時保管し、その他の放射化物（ビームダンプ水を含む）は引き取りを依頼します。
国が計画している「研究施設等廃棄物の埋設事業」への引き渡しなどが考えられます。
- その他の加速器構造体はほとんどが非放射化物であり、他の実験での再利用を行います。



コラム1 世界の主な素粒子加速器研究所

- 国内ではつくば市にあるKEK（高エネルギー加速器研究機構）において周長3kmの円形加速器が稼働しています。また、国外では、スイスとフランスの国境付近にあるCERN（セルン、欧州合同原子核研究機構）で、世界最大の周長27kmの円形加速器が稼働しています。
- ドイツのDESY（デージー、電子シンクロトロン研究所）では、加速器は市街地の地下を通過しています。また、米国のフェルミ国立加速器研究所は、敷地内に農地や親水区域が設けられるなど、自然環境との調和が図られた研究所となっています。



欧州合同原子核研究機構（スイス・フランス国境付近）
（円形（周長27km）、地下約100m）



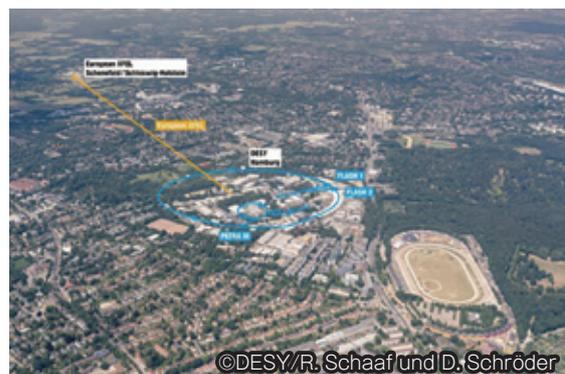
高エネルギー加速器研究機構（つくば市）
（円形（周長3km）、地下約10m）



フェルミ国立加速器研究所（米国）
（円形（周長6km）、地下約8m）



SLAC 国立加速器研究所（米国）
（直線（延長3km）、地下約9m）



ドイツ電子シンクロトロン研究所（ドイツ）
（円形（周長6km）、地下約25m）

Ⅲ-2 Q&A：放射線関連

Q1 放射能が拡散する危険はないのですか？

A1 装置（固体）は、拡散のおそれはありません。
冷却水や空気は、多重の対策により、放射能の拡散を防止します。

加速器による放射化

- 物質の一部の原子が放射性になっても、ほとんどの原子はそのままです。つまり、物質の形状は変わりません。
- 拡散の可能性は、**放射化される物質の形態（固体、液体、気体）によります。**

加速器を構成する装置（固体）

- **放射能は物質内部にあり、拡散の恐れはありません。**

冷却水や加速器室の空気（液体、気体）

- ILCのほとんどの場所では放射化の可能性は低いですが、
 - **冷却水は多段化した循環系とし、**
 - **空気は多重化した区域分けと排気フィルターにより、**
万が一の放射能の拡散を防止する構造とします。

Q2 トリチウムを含むビームダンプ水を河川に放流するのではないですか？

A2 ビームダンプ水は排水しません。

- 20年間休み無く ILC を運転した場合、**約100トン**のビームダンプ水に**最大で100兆ベクレル (0.3g)**のトリチウムが蓄積すると見積もっています。
- **管理された装置室の中で循環して運用**するため、**水が増え続けるようなことはありません。**
- 実験終了後でも**十分管理できる量**であり、トリチウムが低減するまで、保管容器で保持します。
- また、国が計画している「研究施設等廃棄物の埋設事業」への引き渡しによる処理などが考えられます。

Q3 100トンのビームダンプ水とはどれくらいの量ですか？

A3 石油貨物タンク車2台分程度の水の量です。

- ビームダンプ1箇所あたりの水は、約50トンです。
- 電子用、陽電子用、2箇所の合計で約100トンになります。
- 実験終了後も維持管理が可能な規模の水量です。

50トンの水は、

- 幅10m × 横5m × 深さ1mの容積
- 例えば、石油貨物タンク車1台程度

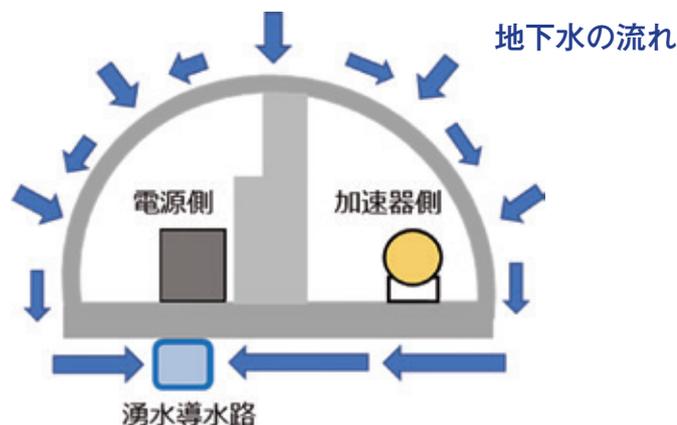


JR貨物タキ1000形貨車 1台あたり実容量61.6m³

Q4 地下水がトンネル内で放射化されることはないのですか？

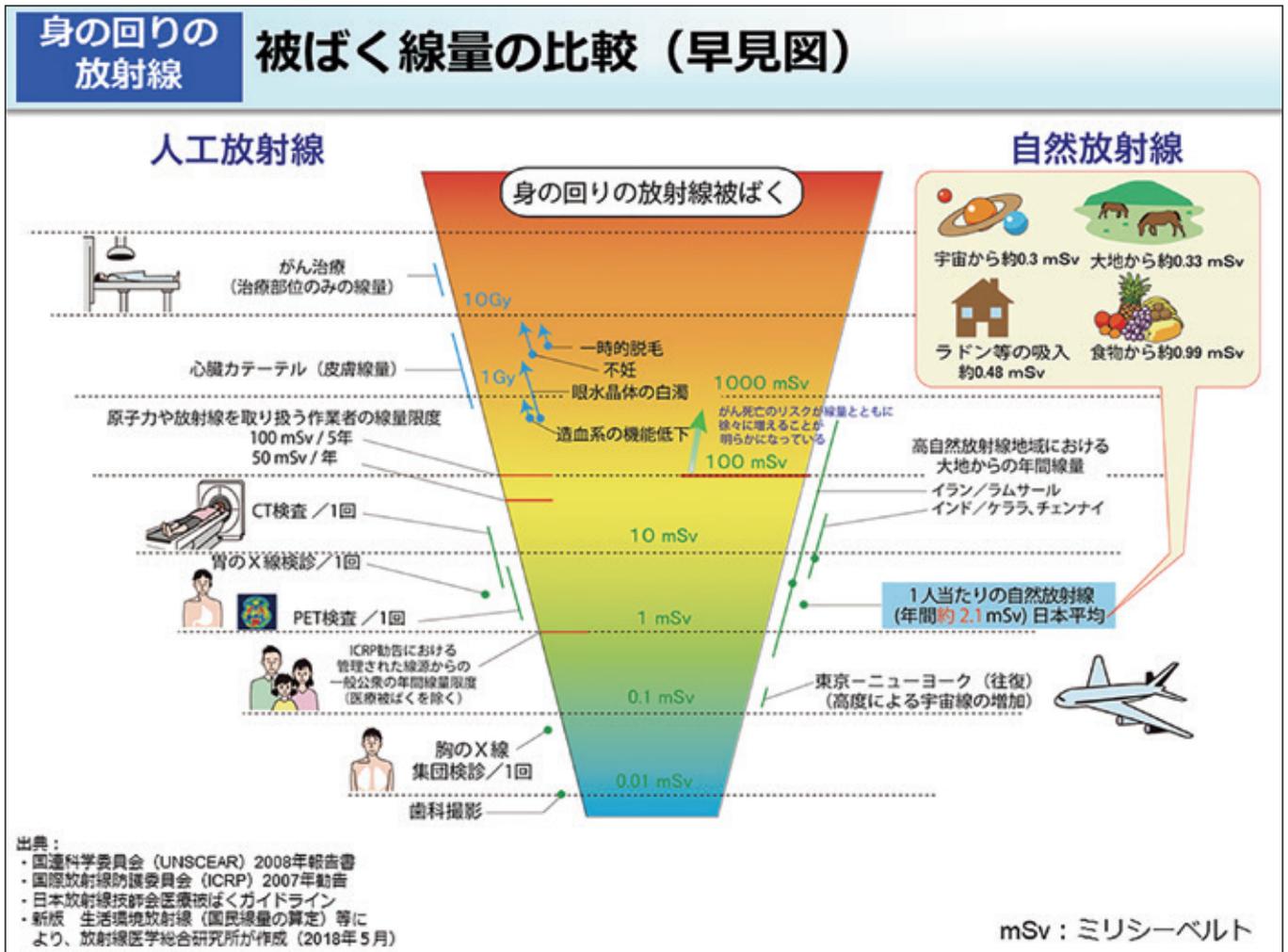
A4 トンネル周囲の地下水は、加速器トンネル内に入ってこない構造とします。

- ビームが物質にぶつくと放射線が発生し、周辺の放射化がおこります。ILCのほとんどの場所では、ビームがぶつからず、放射化のおそれはありません。
- ビームがぶつかる場所は、局所的に遮蔽体で覆い、周辺の放射化を防ぎます。
- 地下水はトンネルの外側にあるので放射化しない設計となります。



ILCトンネルのメインリニアック標準断面（イメージ）

コラム2 放射線に関する知識



出典：「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料 令和元年度版」

- 日常生活で受ける放射線の量を比較すると、放射線治療のような特殊なケースを除き、CT検査など1回当たりの被ばく線量や年間当たりの被ばく線量は、ミリシーベルト単位のものがほとんどです。
- なお、人への健康影響が確認されている被ばく線量は、100ミリシーベルト以上であると考えられています。

身の回りの放射線

体内、食品中の自然放射性物質

体内の放射性物質



体重60kgの場合

| | | |
|---------|-----|---------|
| カリウム40 | ※ 1 | 4,000Bq |
| 炭素14 | ※ 2 | 2,500Bq |
| ルビジウム87 | ※ 1 | 500Bq |
| トリチウム | ※ 2 | 100Bq |
| 鉛・ポロニウム | ※ 3 | 20Bq |

- ※ 1 地球起源の核種
- ※ 2 宇宙線起源のN-14等由来の核種
- ※ 3 地球起源ウラン系列の核種

食品中の放射性物質（カリウム40）の濃度



| | | | | | | | |
|---------|-----|-------|-------|----|-----|---|---------|
| 米 | 30 | 牛乳 | 50 | 牛肉 | 100 | 魚 | 100 |
| ドライミルク | 200 | ほうれん草 | 200 | | | | |
| ポテトチップス | 400 | お茶 | 600 | | | | |
| 干しいたけ | 700 | 干し昆布 | 2,000 | | | | |
| | | | | | | | (Bq/kg) |

Bq：ベクレル Bq/kg：ベクレル/キログラム

出典：（公財）原子力安全研究協会「生活環境放射線データに関する研究」（1983年）より作成

出典：「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料 令和元年度版」

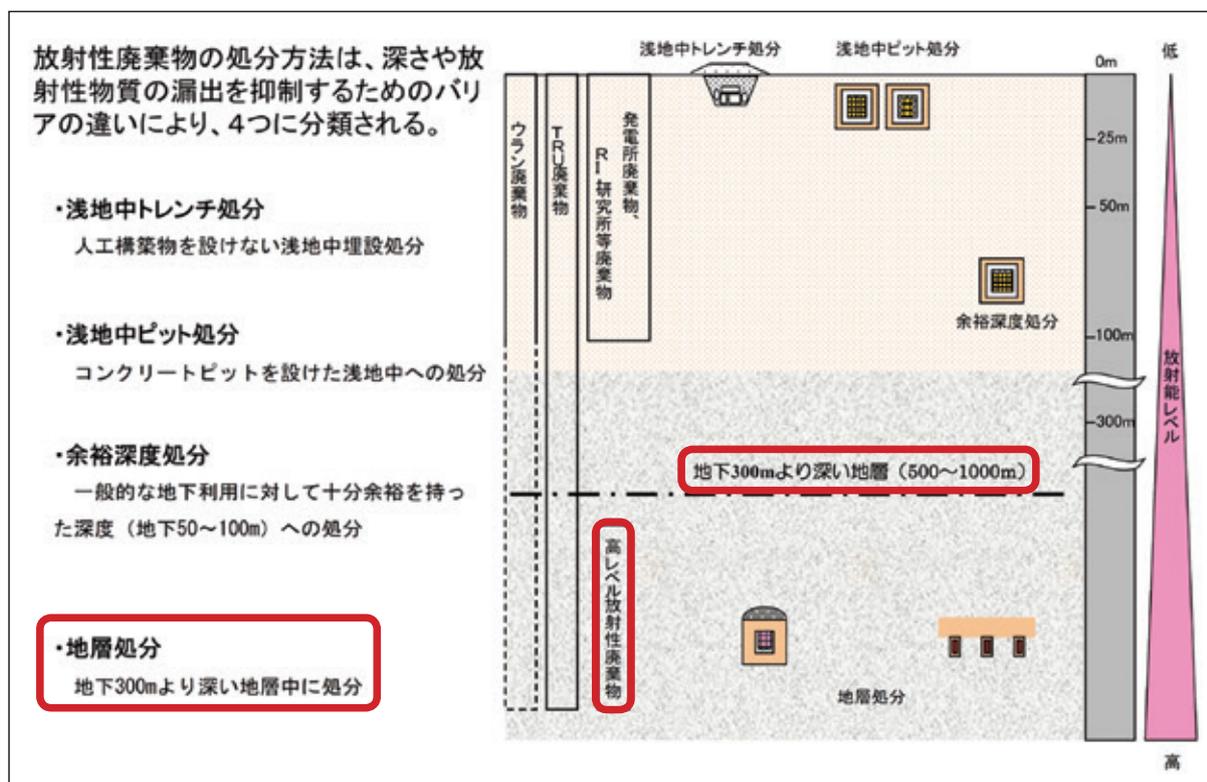
- カリウムはほとんどの食品に含まれており、カリウムの0.01%は放射性カリウムであるため、ほとんどの食品には放射性カリウムが含まれています。
- 放射性カリウムはβ線とγ線を放出するため、食品を摂取することで内部被ばくをすることになります。
- 体内のカリウム濃度は一定になるように保たれているため、食品のカリウムからの被ばく量は体格によって決まります。

IV ILCが高レベル放射性廃棄物の処分場に不適格な理由

Q1 ILCが高レベル放射性廃棄物の処分場にならないのですか？

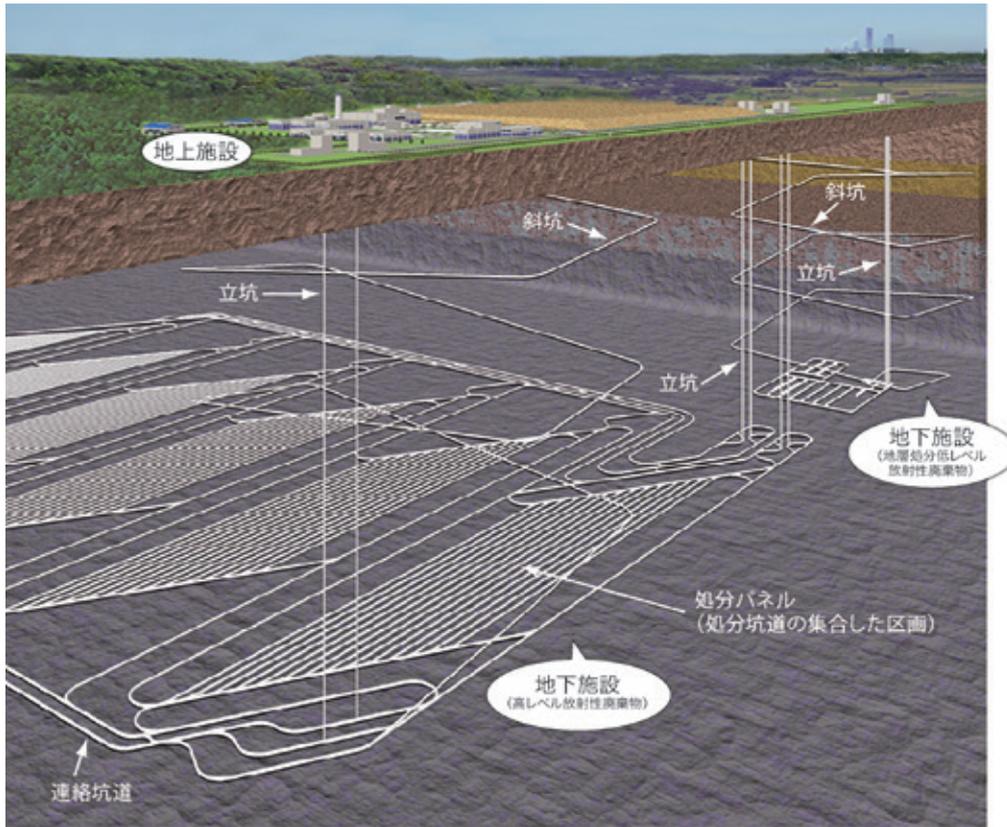
A1 次の理由により高レベル放射性廃棄物の最終処分場になりません。

- ・ ILCの構造は、高レベル放射性廃棄物の最終処分場の構造の要件に合致しません。
 - ・ また、放射性廃棄物の処分場については、法律により、地元自治体の意見を聞き、十分に尊重しなければならないと明記されていますが、岩手県では、放射性廃棄物の最終処分場を受け入れる意思がないことを繰り返し明確に表明しています。
- 第一種廃棄物埋設物に相当する高レベル放射性廃棄物の最終処分場の要件は、安定した地下深部に埋設し人間の生活環境から隔離して閉じ込めるとし、地下深度300m以上の場所にガラス固化体等の人工構造物を設けるとされています。
 - ILCは、標高約110mに建設されることから、深度50～100mが多いなど地表に近いこと、施設の形状も埋設に適したものでないことなどから、構造上の要件に合致していません。



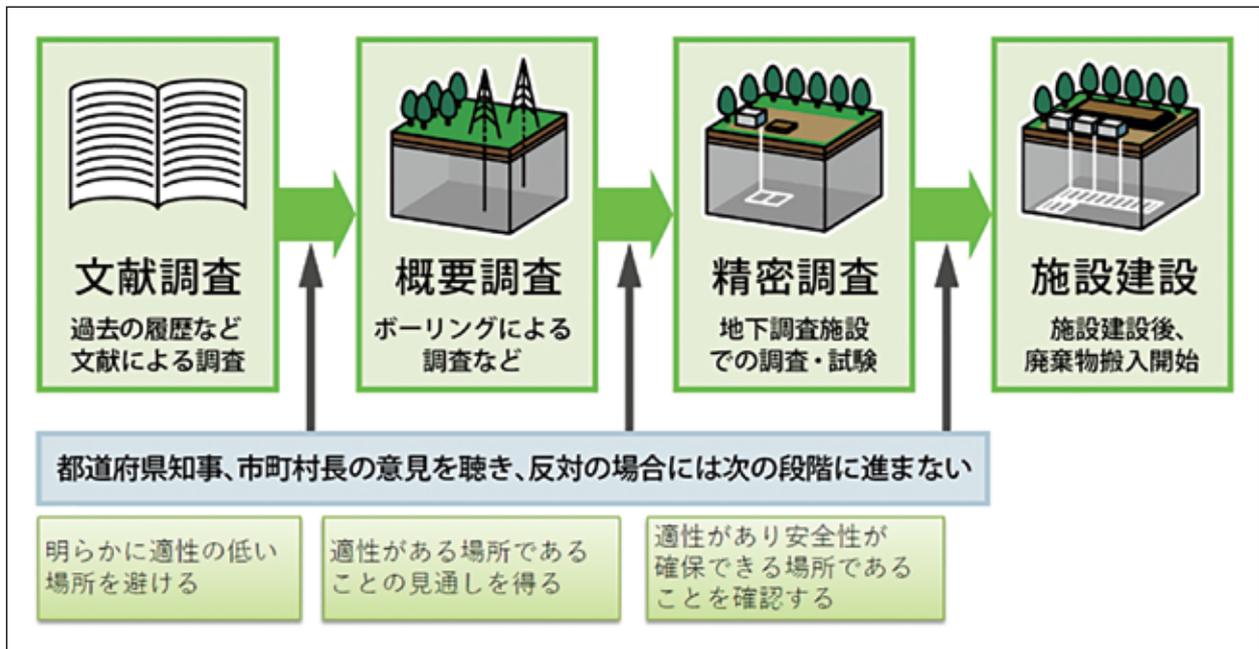
放射性廃棄物処分方法

（出典等：原子力委員会 新計画策定会議（第18回）資料を説明用に一部加工しています。）



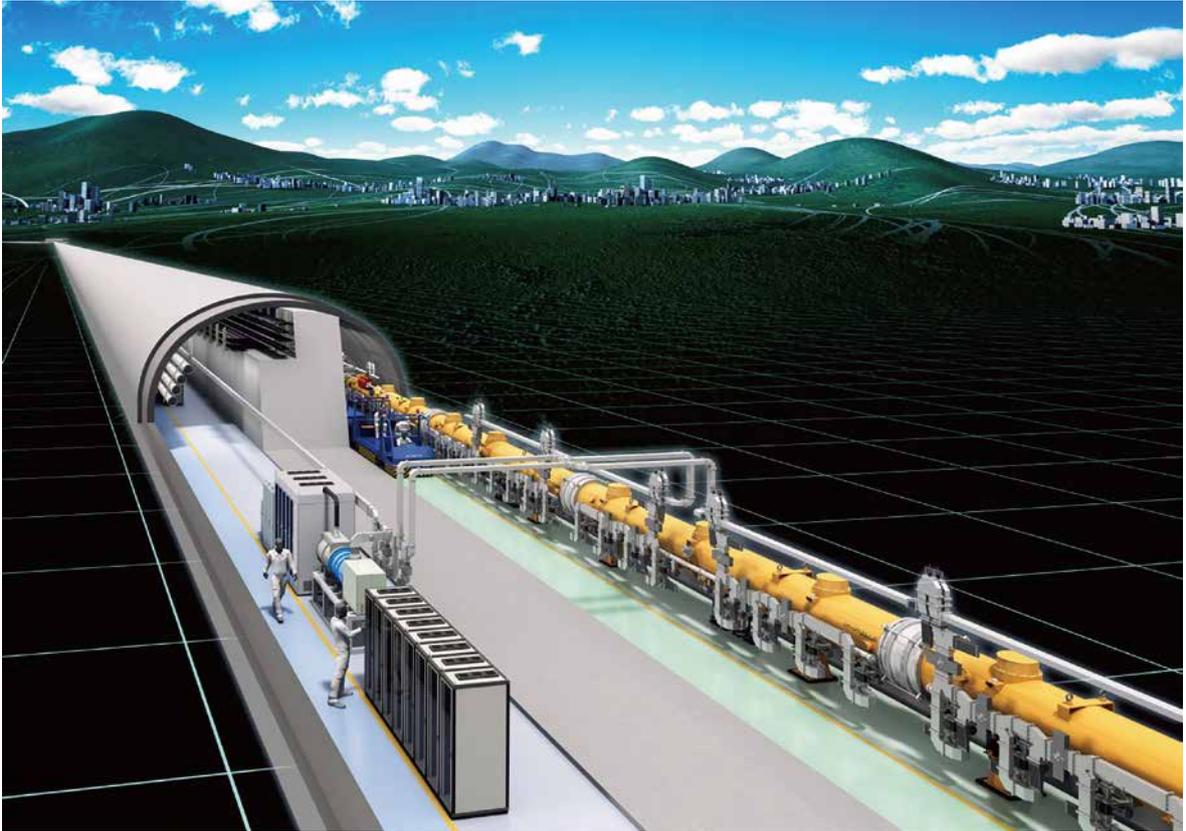
地層処分施設のイメージ

(出典：原子力発電環境整備機構 (NUMO) ホームページ)



処分地選定調査

(出典：原子力発電環境整備機構 (NUMO) 「対話型全国説明会説明参考資料」)



©Rey. Hori/KEK