

平成 30 年度

京都大学総合技術部 第 18 回第 5 専門技術群（核・放射線系）専門研修会

京都大学複合原子力科学研究所 第 27 回原子炉・放射線技術研修会

日 時：2018 年 10 月 31 日（水）9:50～17:15

場 所：京都大学複合原子力科学研究所 事務棟会議室

プログラム

受付：9:30～9:50
開会挨拶：9:50～10:00 複合原子力科学研究所 所長 川端 祐司
特別講演(1)：10:00～11:00 司会：藤原 靖幸 原子炉施設の耐震安全性－地震の不確かさと規制要求－ 複合原子力科学研究所 安全管理副本部長 特任教授 釜江 克宏
特別講演(2)：11:00～12:00 司会：奥村 良 「量子ビーム実験と構造モデリングによる機能性非晶質材料の構造研究」 複合原子力科学研究所 粒子線 助教 小野寺 陽平
昼食：12:00～13:00
特別講演(3)：13:15～14:15 司会：吉野 泰史 「原子力施設等に係る検査制度の見直しへの対応状況について」 複合原子力科学研究所 研究炉部長 准教授 堀 順一
休憩：14:15～14:30
技術発表(1)：14:30～15:00 司会：栗原 孝太 「中央観測所ダストモニタの移設」 複合原子力科学研究所 技術室 藤原 慶子
技術発表(2)：15:00～15:30 司会：張 俊 「第二固形廃棄物倉庫新設工事」 複合原子力科学研究所 技術室 猪野 雄太
技術発表(3)：15:30～16:00 司会：吉永 尚生 「電子線型加速器施設の現状と老朽化トラブル」 複合原子力科学研究所 技術室 阿部 尚也
技術発表(4)：16:00～16:30 司会：長谷川 圭 「必要なのか？止水設備」 複合原子力科学研究所 技術室 大野 和臣
技術発表(5)：16:30～17:00 司会：竹下 智義 「KUCA 軽水減速架台の蛇腹配管更新の品質保証について」 複合原子力科学研究所 技術室 小林 徳香
閉会挨拶：17:00～17:15 複合原子力科学研究所 技術室長 南 馨
懇 親 会：17:30～

平成 30 年度 京都大学総合技術部 第 18 回第 5 専門技術群（核・放射線）専門研修会
京都大学複合原子力科学研究所 第 27 回原子炉・放射線技術研修会

巻頭言

福島第 1 原子力発電所事故後に見直された原子力安全にかかる「新規制」対応のため、長らく停止していた KUR と KUCA も再稼働を果たし、本年度は久しぶりに全ての共同利用が正常に運営されている。再稼働直後の昨年度にはいくつかのトラブルがあったものの、所員特に技術職員の適切な対応によって、共同利用を大きく阻害するような事態には至ることはなく、また本年度も順調に推移している。

本研究所は、2018 年 4 月に研究所名を「原子炉実験所」から「複合原子力科学研究所」に改名した。本年は、研究所として新たな一步を踏み出す記念すべき年である。また、本研究所は共同利用・共同研究拠点としての活動を行っているが、評価期間 2012 – 2017 年度の間評価及び期末評価では、連続して「B 評価（拠点としての活動は行われているものの拠点の規模等と比較して低調であり、今後、作業部会からの助言や関連コミュニティからの意見等を踏まえた適切な取組が必要と判断される。）」と、大変厳しい評価を受けていた。

これらの厳しい評価を受けた以降、全所員及び共同利用研究者が一丸となって研究所の活性化に取り組んで来た。その結果、2018 年度の新しい中間評価では「A 評価（拠点としての活動は概ね順調に行われており、今後、共同利用・共同研究を通じた成果や効果が期待され、関連コミュニティへ貢献していると判断される。）」と改善された結果となり、研究所あげての努力が実を結び始めたと言えるものとなった。その評価コメントを見ると、「研究用原子炉の再稼働を果たし、共同利用に供して研究成果を生み出しつつあること」が評価されており、技術職員による研究炉再稼働とすべての共同利用再開への貢献が光っていることがわかる。

共同利用・共同研究を基盤から支えるのが「安全管理」活動であり、その基盤を技術職員がしっかりと支えなければ、研究所としての存立はあり得ない。そして、その「安全管理」の高度化は、日々の研鑽のなかから生まれるものであろう。本報告書は、2018 年 10 月 31 日に開催された京都大学複合原子力科学研究所第 27 回原子炉・放射線技術研修会の内容をまとめたものである。この研究会は、同時に京都大学総合技術部の第 18 回第 5 専門技術群（核・放射線）専門研修会を兼ねており、京都大学における原子炉・放射線に携わる技術職員の技術研修の場として機能している。安全に対する基本的な考え方は普遍なものとしてしっかり守り、日常業務の内容改善は常時行うべきものである。これら双方をしっかりと視野に入れ、研鑽を積んで頂きたい。

2018 年 11 月 6 日

京都大学複合原子力科学研究所 所長

特別講演(1)

原子炉施設の耐震安全性－地震の不確かさと規制要求－

京都大学複合原子力科学研究所

特任教授 釜江克宏

1. はじめに

2011年3月11日、東北地方太平洋沖を震源とする超巨大地震(Mw9.0)が発生した。この地震では巨大津波によって東京電力福島第一原子力発電所において、外部電源、非常用電源などの喪失によって原子炉の冷却機能が失われ、最終的には炉心溶融、水素爆発を招き、放射性物質の漏洩・逸散によって甚大且つ最悪な原子力災害が引き起こされてしまった。

その後、原子力発電所をはじめとする原子力関連施設の安全規制の枠組みが大きく変化しました。平成24年9月19日に原子力規制委員会が発足し、その事務局を担う原子力規制庁ができた。また、今回の原発事故を反省し、世界で最も厳しいとされる新規制基準が策定され、平成25年7月18日に原子力発電所の基準が施行され、少し遅れた平成25年12月18日に核燃料施設等（試験研究炉もこの中に含まれる）の基準が施行された。当研究所でも研究用原子炉（KUR）や臨界実験装置（KUCA）に対して新規制基準に従った原子炉設置変更承認申請書を提出し、新規制基準への適合確認審査が行われた。約3年間の種々の審査や工事を経て、昨年の6月（KUCA）、8月（KUR）に両原子炉とも再稼働を果たした。

今回の新規制基準では福島事故を受け、外部事象（特に地震・津波）に対する規制要求が厳しく、特に出力がやや高く（出力5MW）、中出力炉のクラスに入るKURでは、地震に関しては原発とほぼ同様の性能が求められた。ここでは、KURの耐震性能に対する規制要求やその評価結果などを紹介する。地震も含めた自然現象には不確かさが多く含まれ、実務における予測問題への対応には苦慮した。

2. 耐震安全性評価のための基準地震動 S_s の要求

原子炉施設の耐震安全性は、その重要度による3段階（S、B、C）の要求性能に基づき確保される。最も重要度の高いSクラス（原発で言えば原子炉容器や格納容器など）に対しては、敷地ごとに決められる基準地震動 S_s に対して、その安全性評価や設計が行われる。KURについても事故時の影響評価に基づき、炉心冠水維持に必要な施設や設備がSクラスとなった。まず、この基準地震動 S_s の評価のためには検討用地震の抽出が必要である。研究所が立地する大阪平野では発生確率の高い南海トラフの巨大地震に加え、周辺や直下には地震発生源である活断層（中央構造線断層帯、生駒断層帯、六甲淡路断層帯、大阪湾断層帯、上町断層帯など）が存在するなど、日本の中でも地震危険度が非常に高い。そういった環境の中で、研究炉と言えど、その審査に合格することは高いハードルであった。

3. 地震及び地震動評価における不確かさと規制要求

2. に示したように、研究所における基準地震動 S_s の策定には多くの検討用地震が対象となり、まずその活断層等から発生する地震の規模評価が重要となる。事前に得られる情報は活断層長さや地下の地震発生層の厚さぐらいで、地震の規模を決めるための震源断層

面を評価する上では、震源断層の上端や下端の深さ、傾斜角、震源断層の微視的なパラメータに加え、複数の活断層の連動など、地質学的な過去の情報からしか得られない活断層情報に基づき将来の活動を予測することは不可能に近い。工学的判断としては対象施設の重要性（危険性）によって判断せざるを得ない。現状の審査では、より保守的な方向で判断されている。特に、活断層か否かについては、完全、完璧な証拠がない限り、黒（活断層）となる。原発敷地内に存在する断層が活断層か否かの論争に多くの時間を割いている現状からもよくわかる（活断層が重要構造物の直下であれば廃炉）。ただ、研究所が立地する大阪平野は大都市・大阪が存在することもあり、前述の活断層については、調査データが豊富にあり、議論の余地が少なかったことはただ1点有利なことであった。

地震の想定が終わると、次にその地震が発生した時に地震動を予測する必要がある。この結果から基準地震動が決まる。強震動（強い地震動を強震動と言う）の予測については阪神淡路大震災（1995年1月17日）以後、その方法論が精力的に研究され、ほぼ実用の域にある。地震本部（文科省の地震調査研究推進本部：地震に関する研究や観測を国として一元化するために設置された）によって、「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（レシピ）」として震源のモデル化から、強震動評価、最後にその検証といった一連の枠組みが提案されており、原則的にはその方法が使われることが多い。中でも震源のモデル化には多くの不確かさが存在する。その不確かさには偶然的不確実性や認識論不確実性があり、予測に必要なパラメータにはこれらの不確実性が存在する。これらの不確実性の取扱いも審査のポイントとなり、結果的には保守的に基準地震動を評価せざるを得ない。

こうした KUR の審査会合を研究炉の先陣をきって対応してきた結果、最近では原発とのリスクの違いに配慮するグレーデッドアプローチ（GA）と言う概念が適用されだした。残念ながらここで紹介した基準地震動に対する GA については手がつけられていないが、他の外部事象である竜巻、津波、火山、外部火災などでは原発用のガイドラインとは少し違ったアプローチが認められている。いくつかの GA の適用は残念ながら我々の審査が合格した後の出来事である。

4. おわりに

福島事故を受けてできた新規制基準、シビアアクシデント対応も含め原発の安全性向上のためにできたものであるが、研究炉に対しては規制要求のすべてが独自（研究炉固有）なものではなく、原子炉の安全性を確保すると言う観点からはややバランスに欠けると感じながらの審査対応だった。約3年間も停止し、利用者（研究者、学生さんに加え、BNCT（中性子を使った医療）の患者さん等）への思いもあって、再稼働を優先した結果である。

新規制基準の策定にも関わり、また地震動関係の研究を行ってきたものとして、今後の安全規制について、安心・安全を最優先にしながらも、科学的な根拠を背景とした透明性ある方向に進むことを祈念したいと思います。

第27回原子炉・放射線技術研修会

平成30年10月31日

原子炉施設の耐震安全性

—地震の不確かさと規制要求—

京都大学複合原子力科学研究所

釜江 克宏

地震の被害



1995年阪神淡路大震災(阪神高速の倒壊)



2011年東日本大震災(巨大津波)

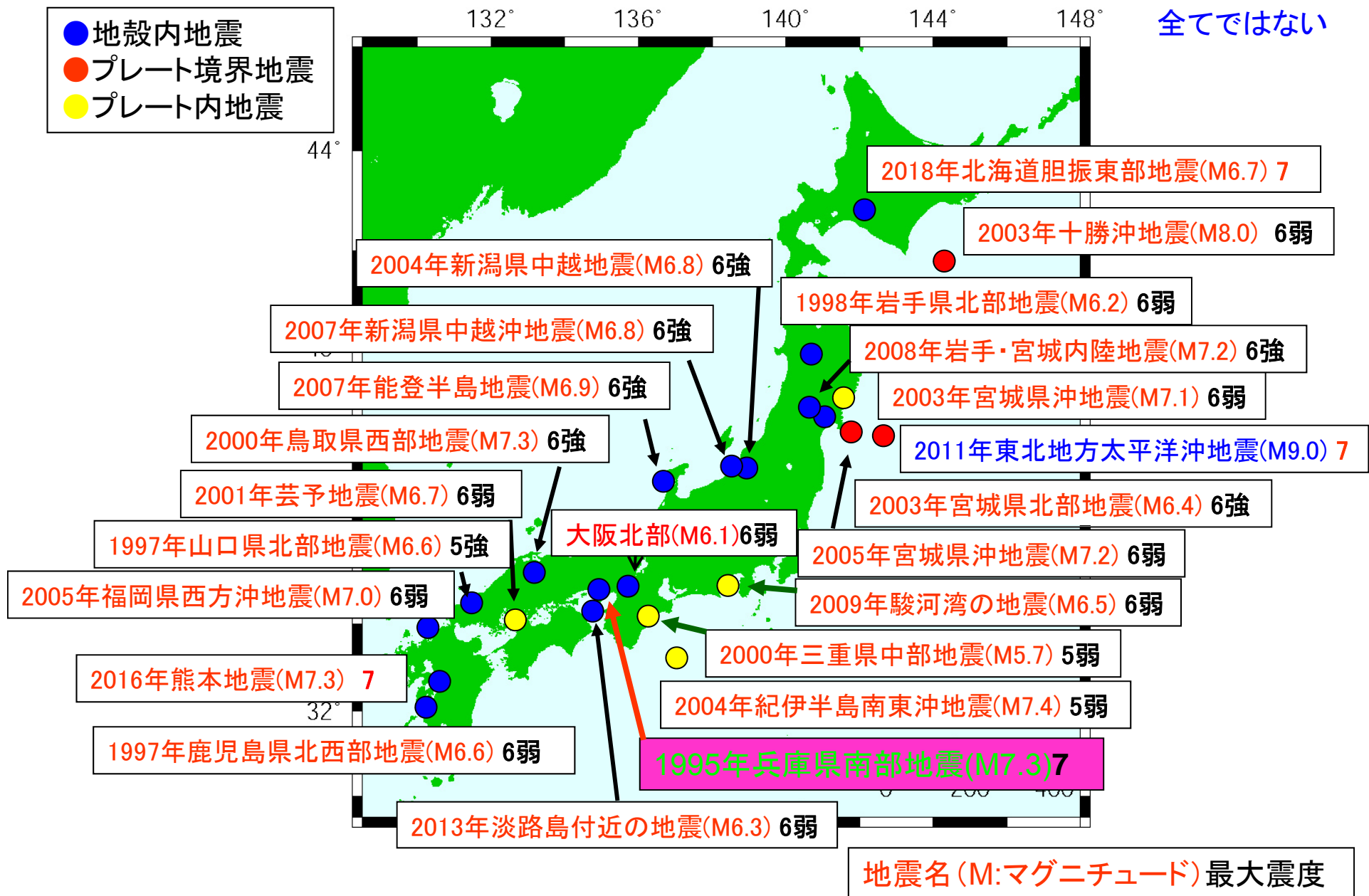


2016年熊本地震(熊本城の被害)



2003十勝沖地震(スロッシングによる火災)

兵庫県南部地震とそれ以後の被害地震



本日のお話

地震や地震動、新規制基準を知って、原子炉施設の耐震安全性を考える！

1. 地震と地震動(揺れ)の基礎知識

- ・ 地震はなぜ起こる？ など
- ・ 頻発する被害地震から得た知識

阪神淡路大震災、東日本大震災

- ・ 将来の地震時の揺れの予測 (私の主たる研究テーマ)

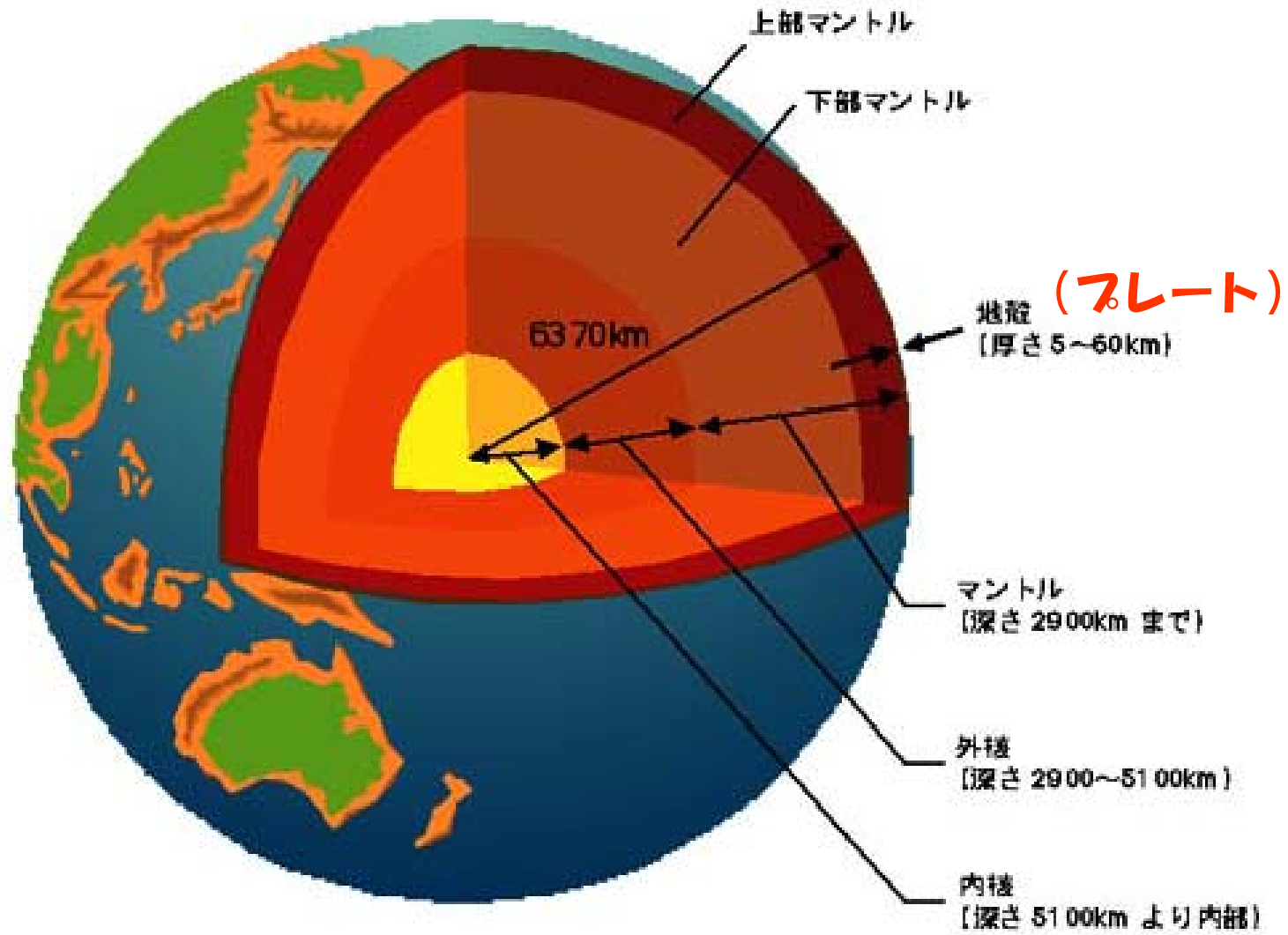
2. 原発(研究炉もほぼ同じ)の耐震設計方法

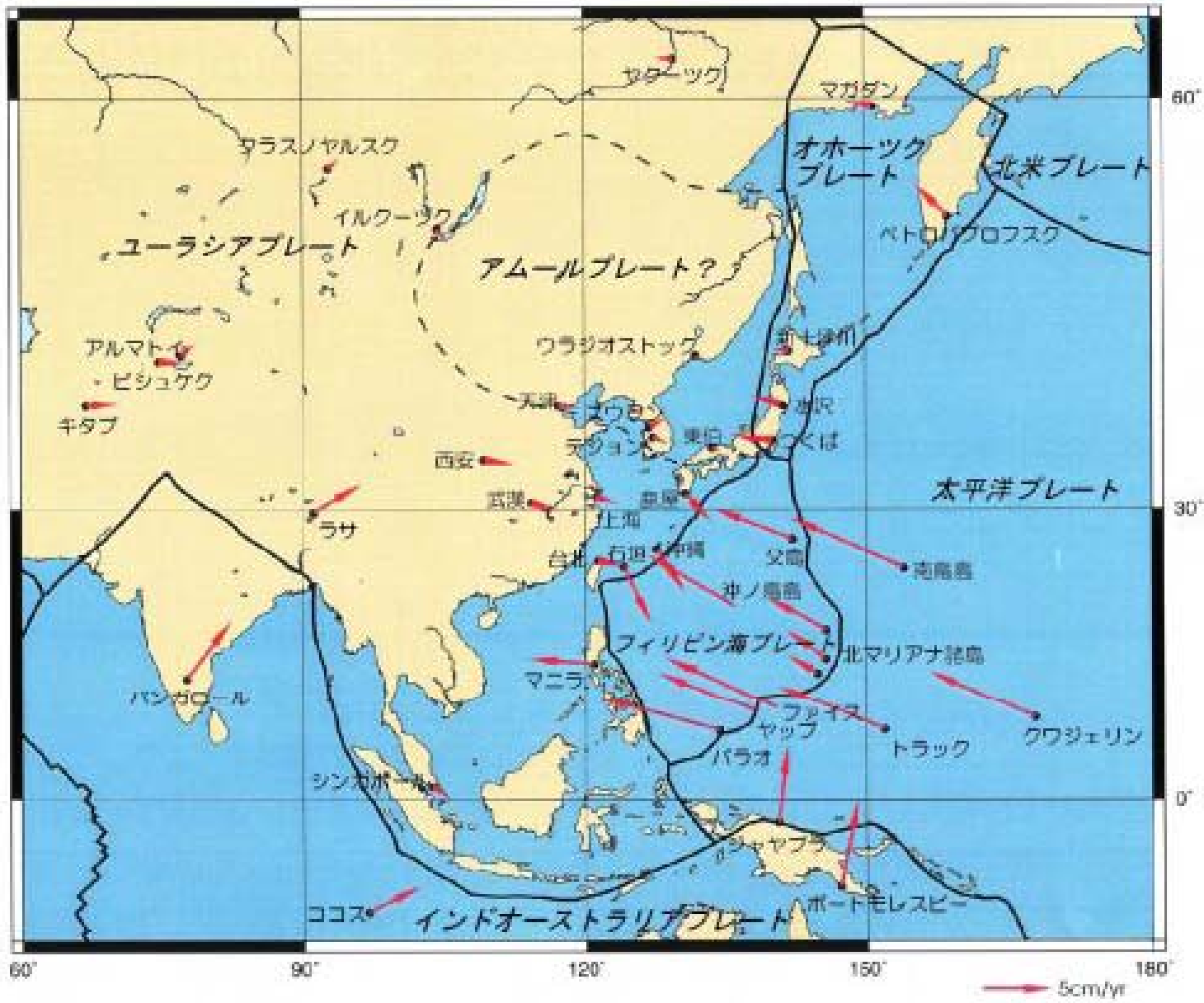
3. 研究用原子炉の外部事象(地震)への対応

(他に竜巻、火山などもあり)

- ・ 不確かさを考慮した基準地震動の策定

地球の内部

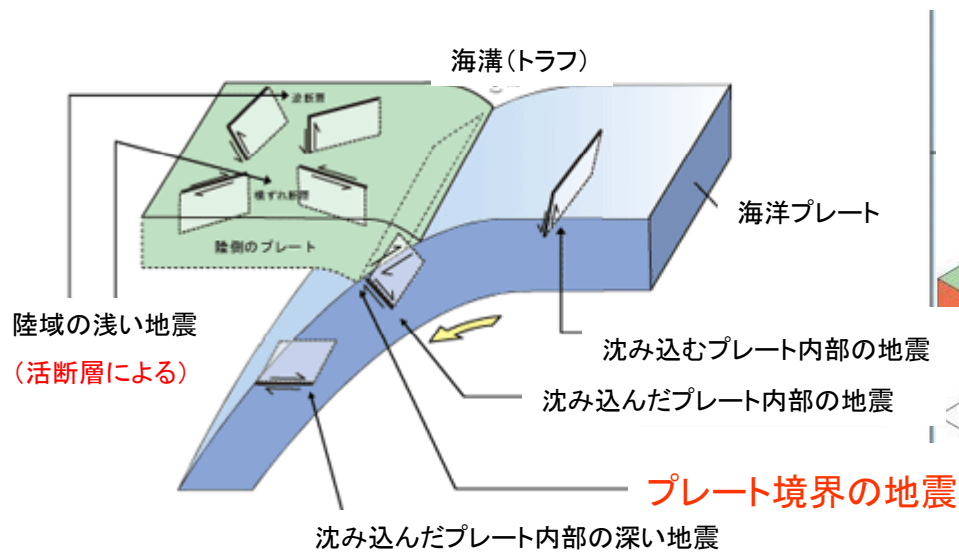




日本周辺のプレート境界

日本列島において発生する地震

日本列島の周辺には4つのプレートが存在しており、そのプレートが長い年月をかけて少しずつ移動し、その際に、プレート境界部やプレートの内部に大きな力が加わり、そこがずれる時に地震が発生すると言われている。

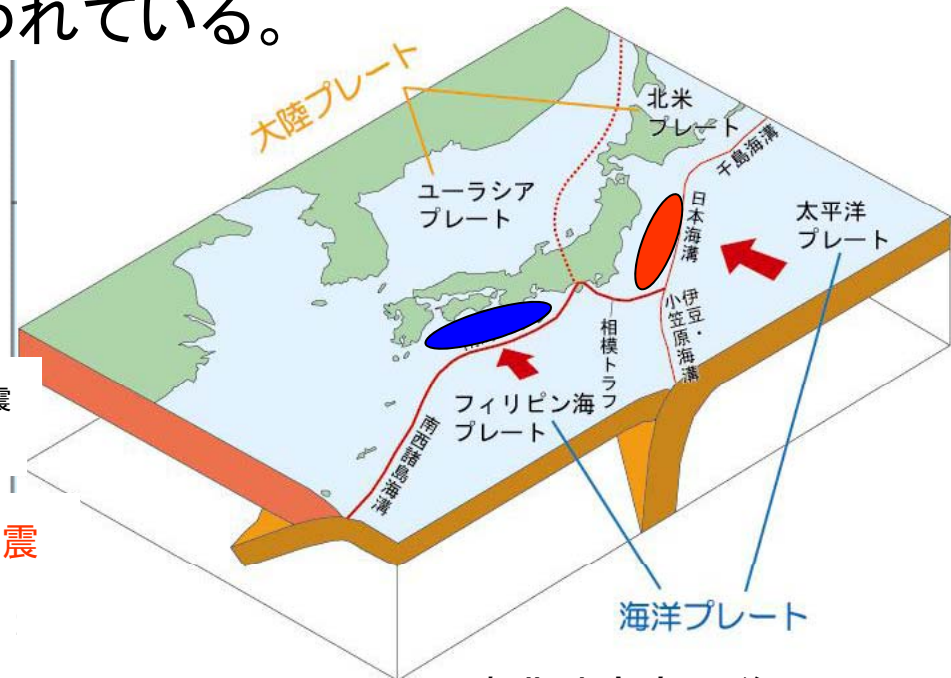


活断層とは・・・

最近の地質時代に繰り返し活動し、将来も活動する可能性のある断層のこと。

地震とは？

断層(岩盤の傷)が突発的に高速滑りをはじめ、滑り面が秒速数kmの高速で拡大しながら地震波を放出する現象。



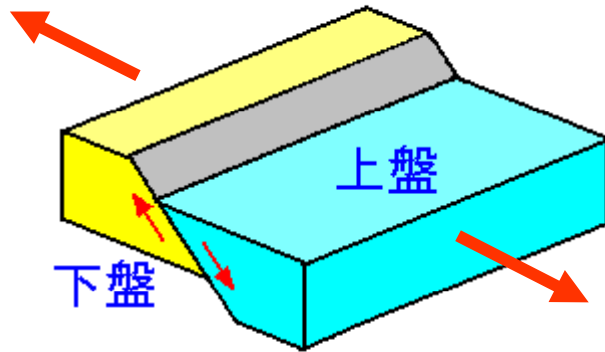
東北地方太平洋沖地震の震源域

東海・東南海・南海地震の震源域

地震を起こすいろいろな断層運動

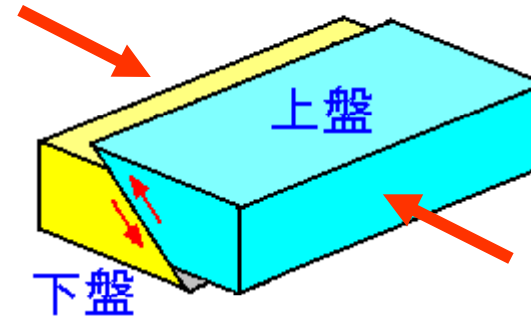
プレート内地震にはこのタイプの地震がよく起こる

正断層



プレート境界地震はこのタイプ

逆断層

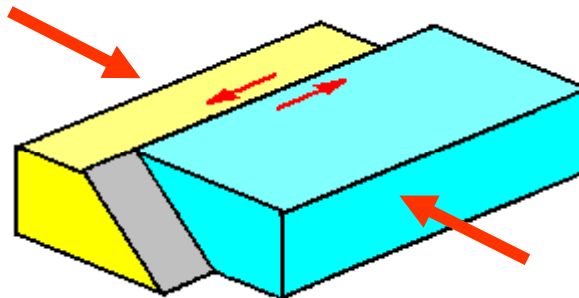


1999年台湾
集集地震

2007年新潟県
中越沖地震

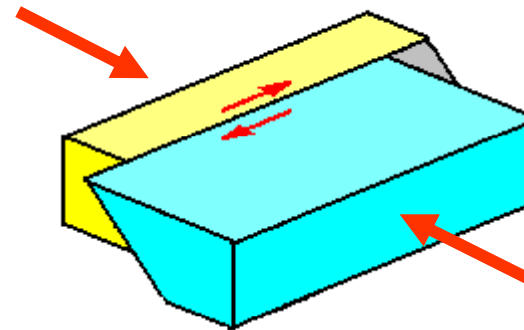
2018年北海道
胆振東部地震

左横ずれ断層



2000年鳥取
県西部地震

右横ずれ断層



1995年兵庫
県南部地震

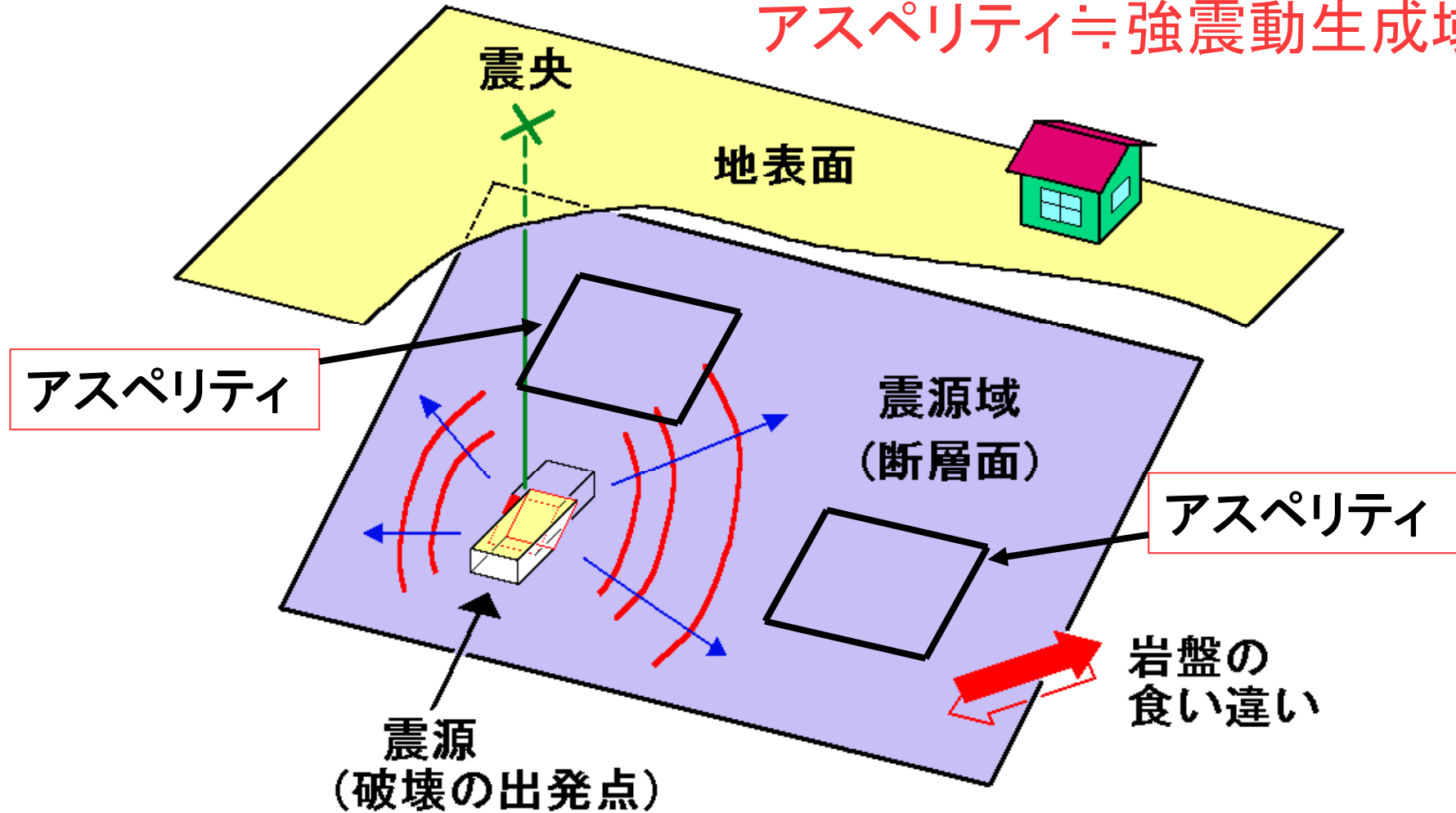
2016年
熊本地震

実地震の例はすべて活断層による地震

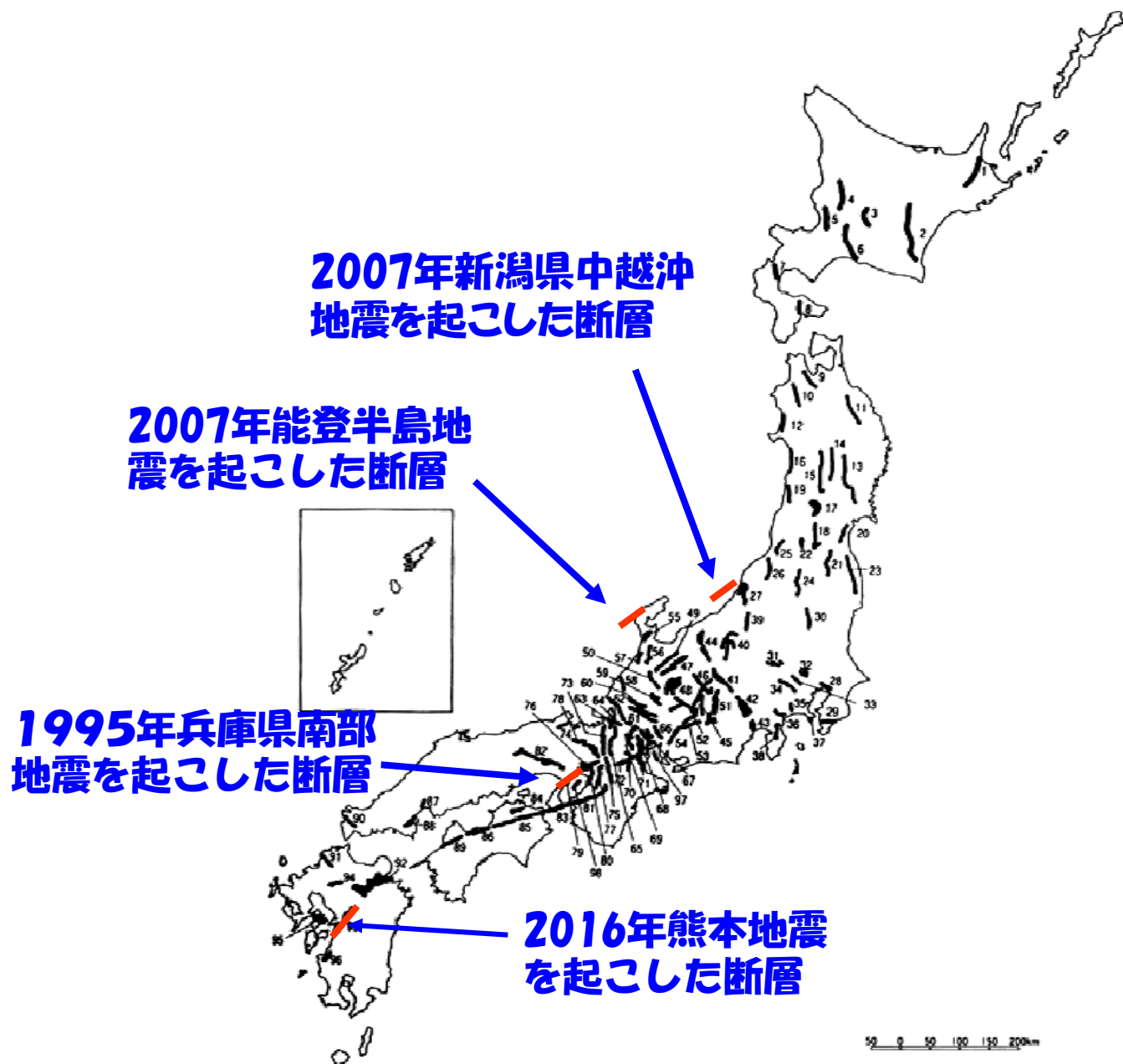
地震に関する知識

断層(岩盤の傷)が突発的に高速滑りをはじめ、滑り面が秒速数kmの高速で拡大しながら地震波を放出する現象

アスペリティ≡強震動生成域



日本中にある活断層



シナリオ地震の設定：内陸地殻内地震

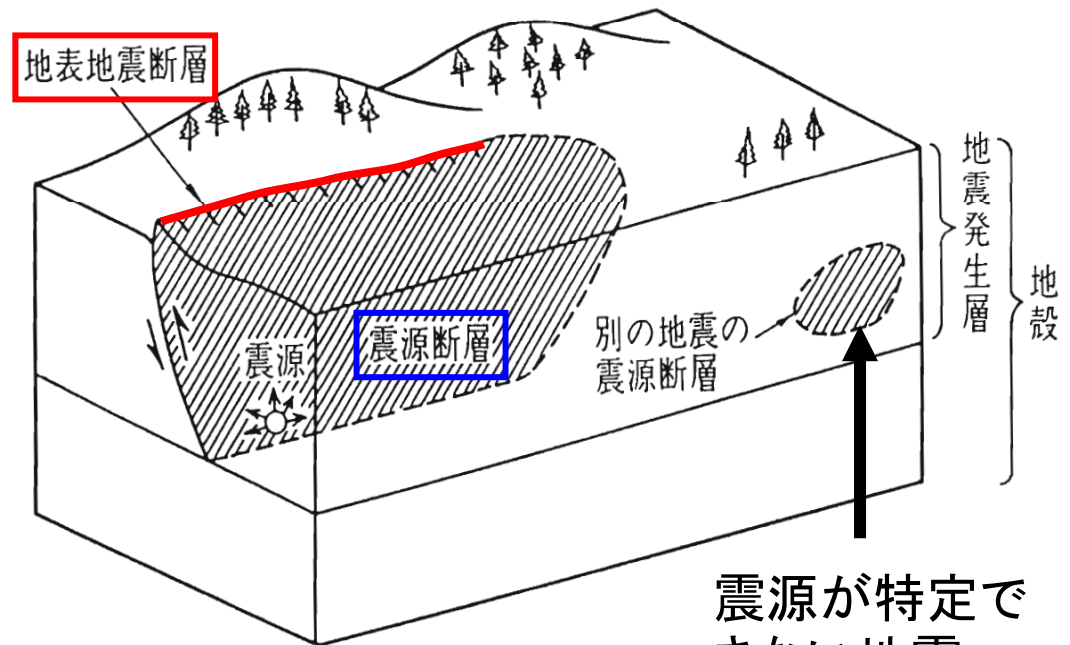
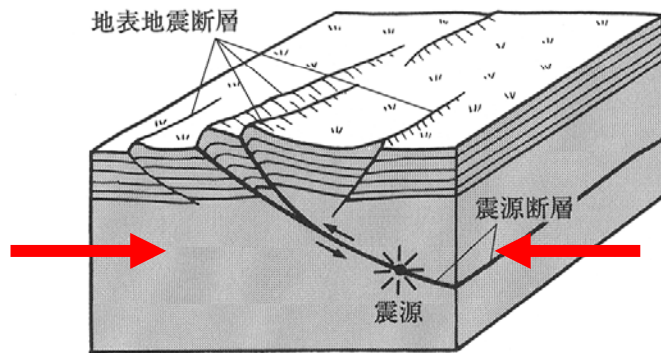
- 活断層とは・・・

- － 震源断層が地表まで到達
- － 地表地震断層の発生
- － 地震の繰り返しにより変形が累積
- － 地表の痕跡として地形に残されたもの

原子力発電所の耐震設計では
後期更新世(最終間氷期)以降の活動
が否定できないもの
(最終活動期が8万年～13万年前以降)

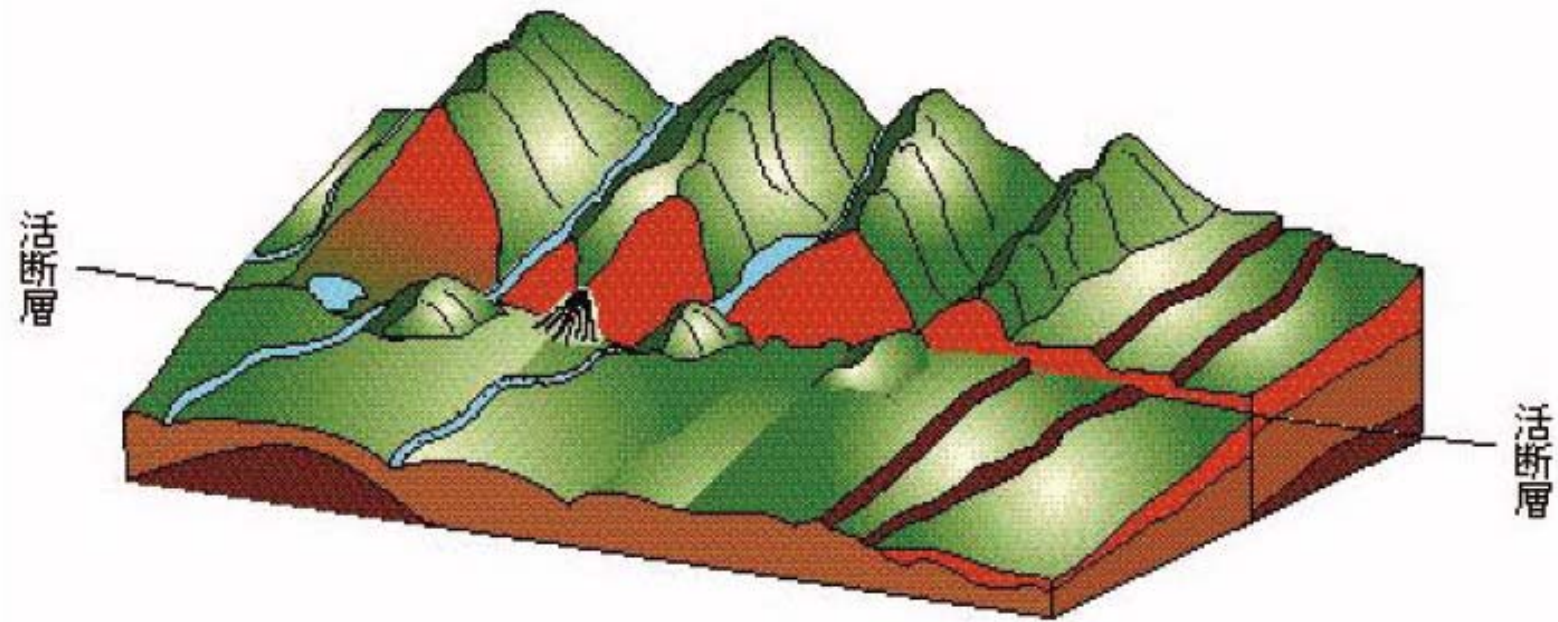


調査結果によっては中期更新世
(40万年前)まで遡る

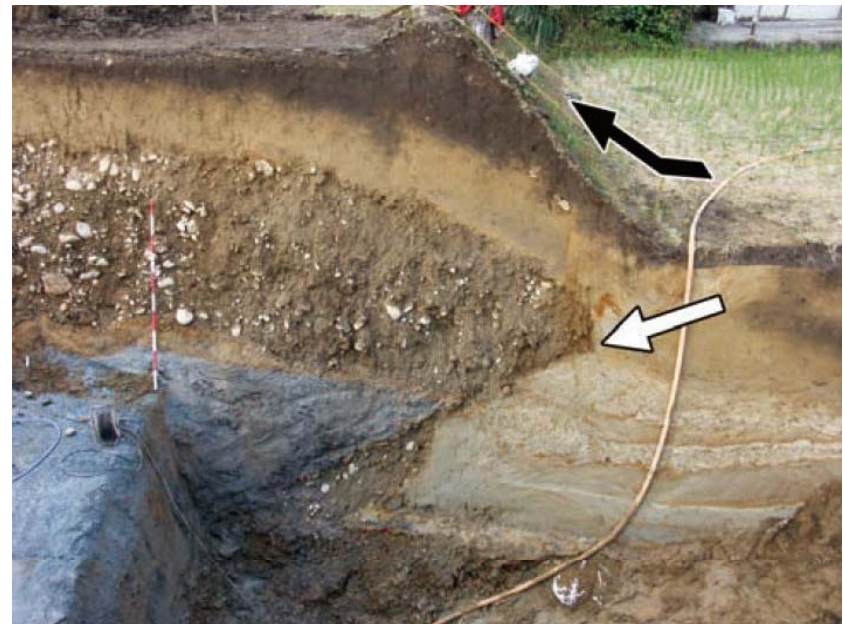


震源が特定で
きない地震

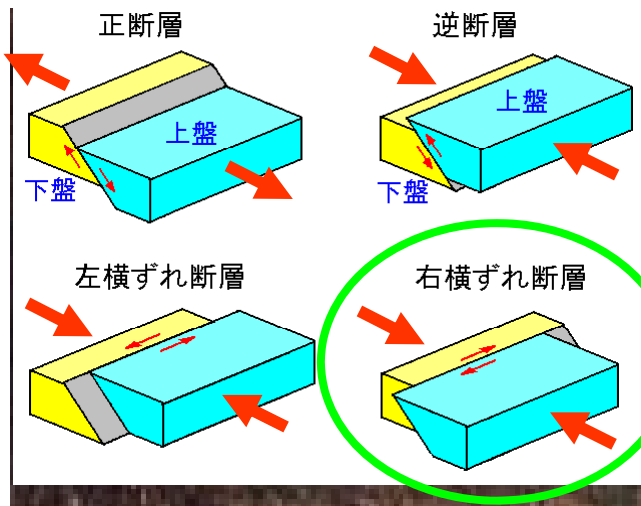
地表地震断層と震源断層の関係 (島崎,1997)



トレンチ掘削



地層、地質(年代)の確認



地表地震断層

地震の規模が大きくなると地表に出現する: 何度も地震が繰り返されると、変動地形となって残る。→ 活断層

野島断層(淡路) 1995年兵庫県南部地震で出現

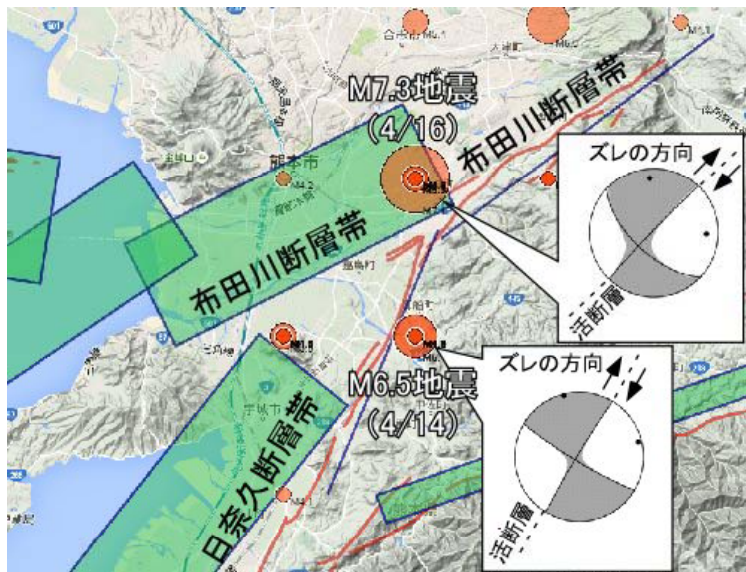
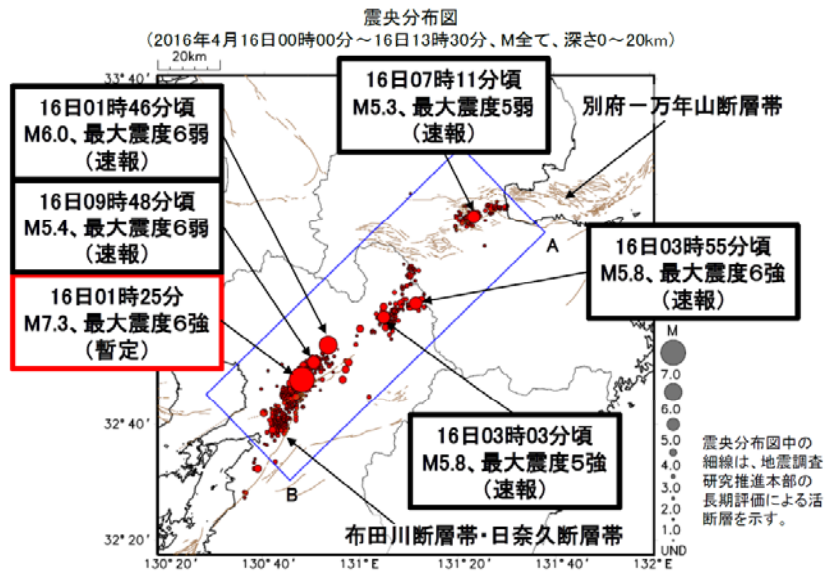
1995年兵庫県南部地震時における野島断層(淡路島)に出現した地表地震断層と建造物の被害



この写真を見て何を感じるか？

- ・地表断層が建物の直下を通らなかったから建物の被害が無かった。
- ・この程度の地表断層変位だとブロック塀も倒壊しない(引きちぎられてはいるが)。
変位する速度が速くないので、建造物に慣性力が作用しない。

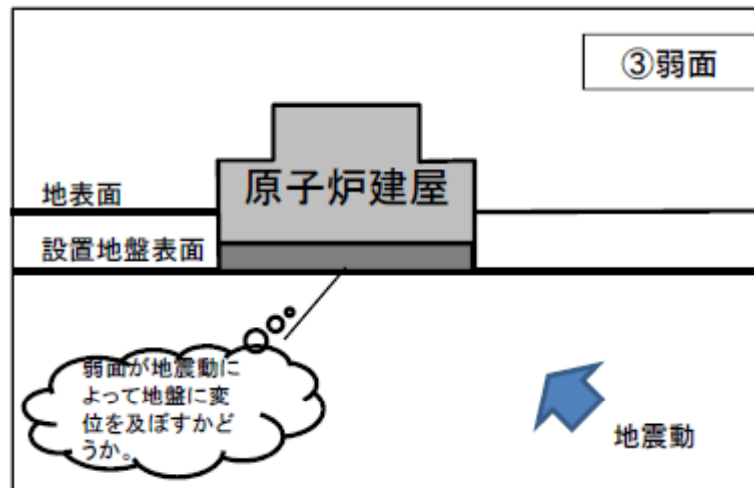
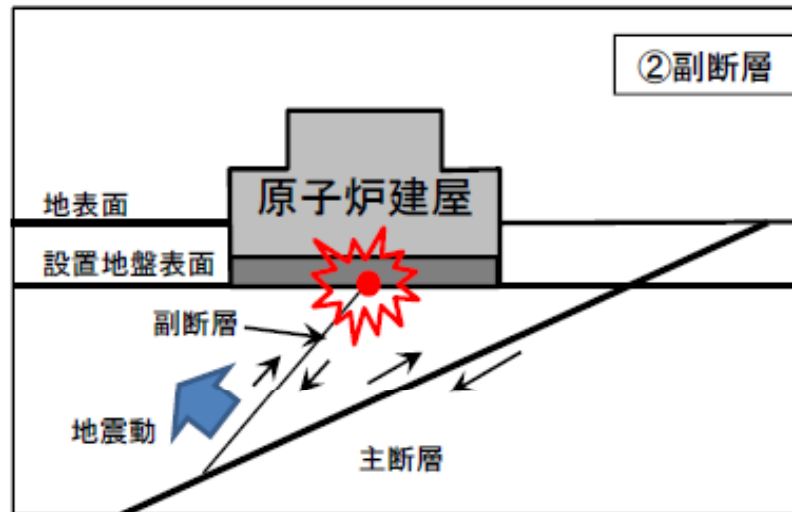
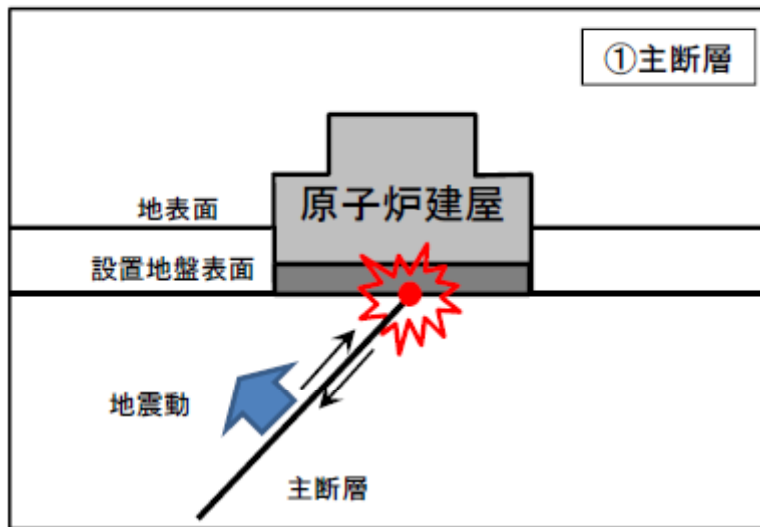
「平成28年（2016年）熊本地震」
 熊本県から大分県にかけての地震活動の状況（4月16日13時30分現在）



2016年熊本地震を引き起こした活断層

地表地震断層の出現

原子力発電所と活断層（新規規制基準の要求）



地震による揺れに加え
「ずれや変形」に対する
基準を明確化



Sクラスの建物・構築物等は、活動性のある断層等の露頭が無い地盤に設置

震源として考慮する活断層のほか、地震活動に伴って永久変位が生じる断層に加え、支持地盤まで変位及び変形が及ぶ地すべり面を含む。

揺れ(地震動)の強さ、
揺れ方や継続時間は何で決まるか？

地震動の中でも特に強い地震動
(被害を起こす)を**強震動**と言う。

地震動(揺れ)を構成する要因 強震動予測の3要素

震源特性：

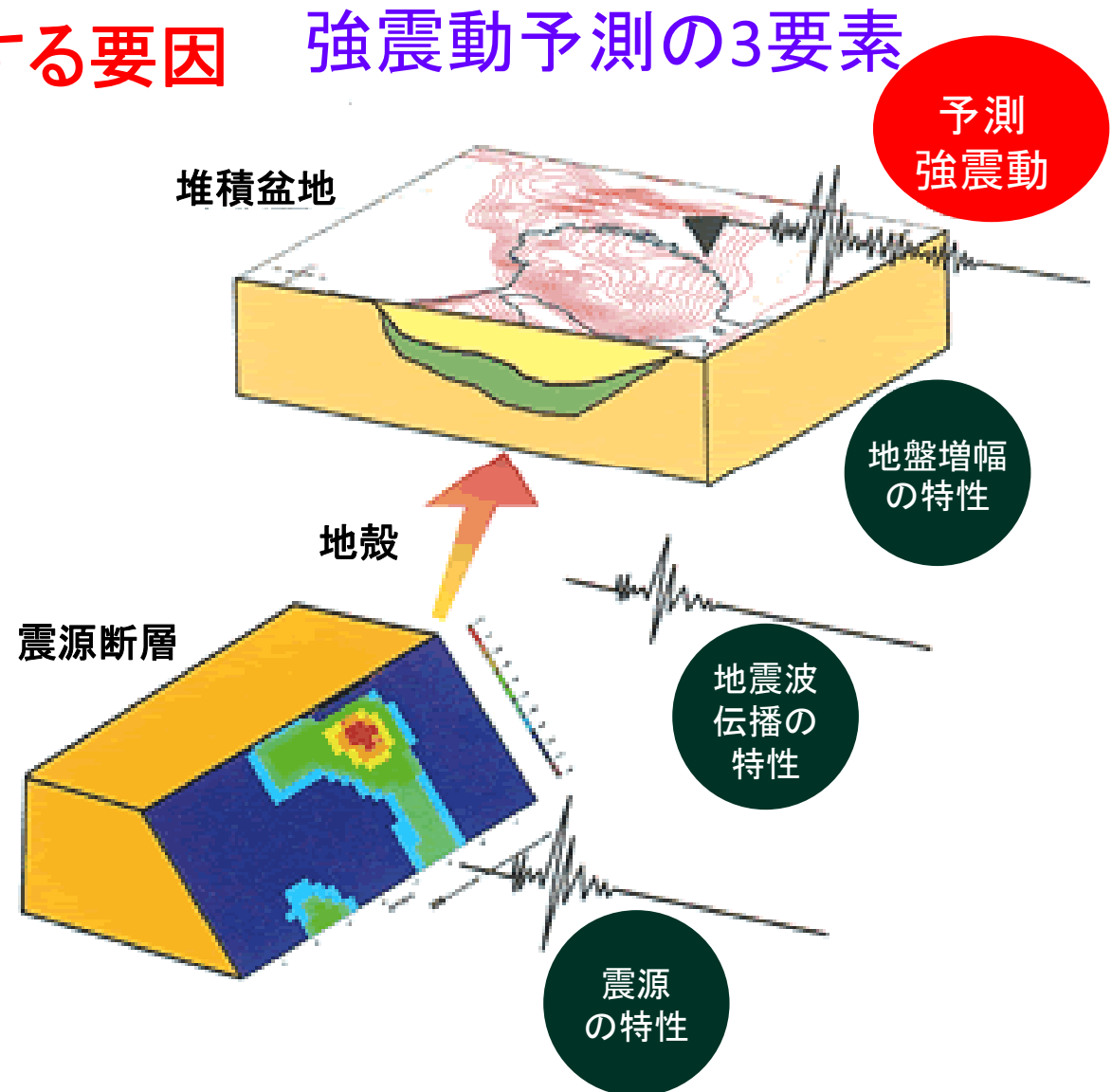
断層がどのように破壊するかによって、地震波放射の空間分布、波形が変わる。

伝播経路特性：

地震波がどのような経路を辿るかによって、振幅、継続時間、波形の特徴が変化する。

サイト増幅特性：

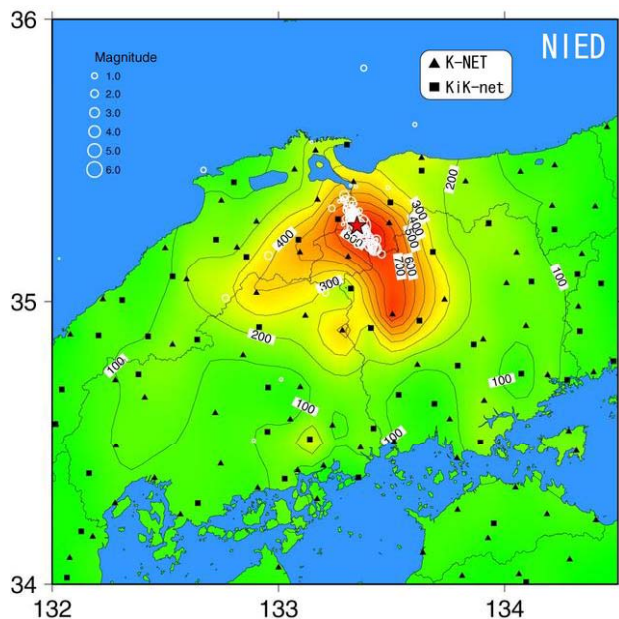
立地する地盤と入射する地震波によって、揺れの振幅、周期特性、波形の特徴が変化する。



$$\text{予測強震動} = \text{震源の特性} \times \text{地震波伝播の特性} \times \text{地盤増幅の特性}$$

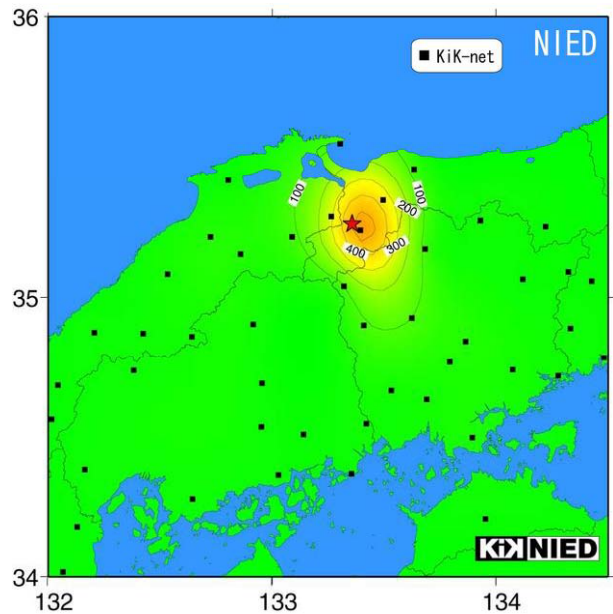
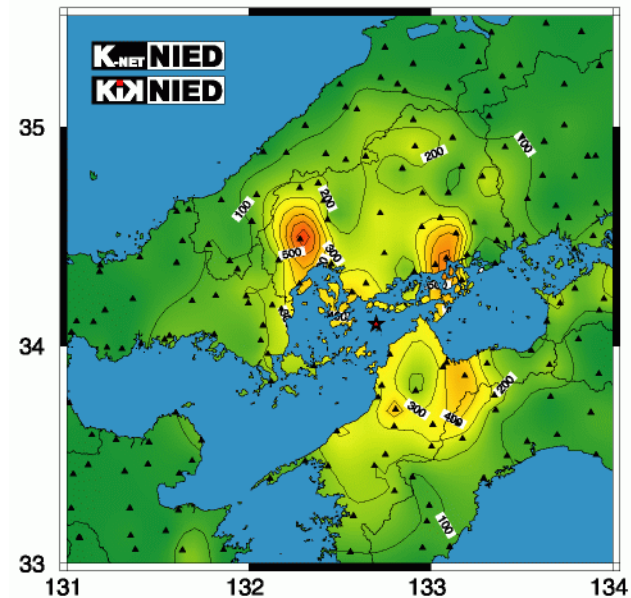
これら諸特性のモデル化と評価手法が強震動評価のほぼ全て

柔らかい浅部地盤が地震動の強さに与える影響



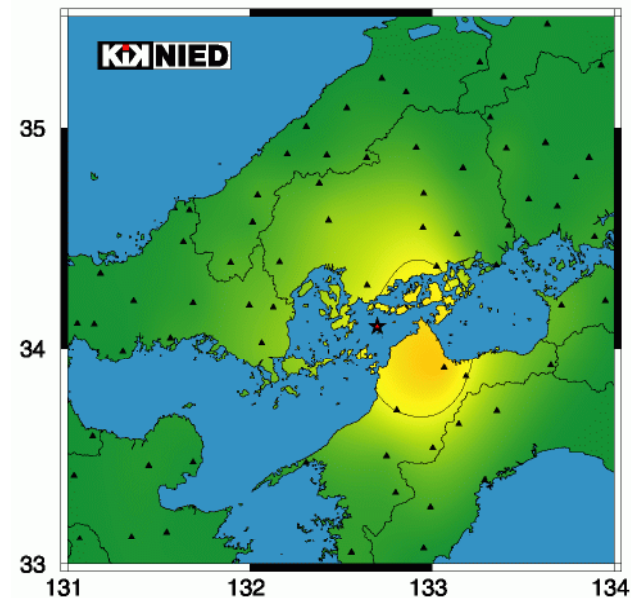
最大加速度分布

地表面上



最大加速度分布

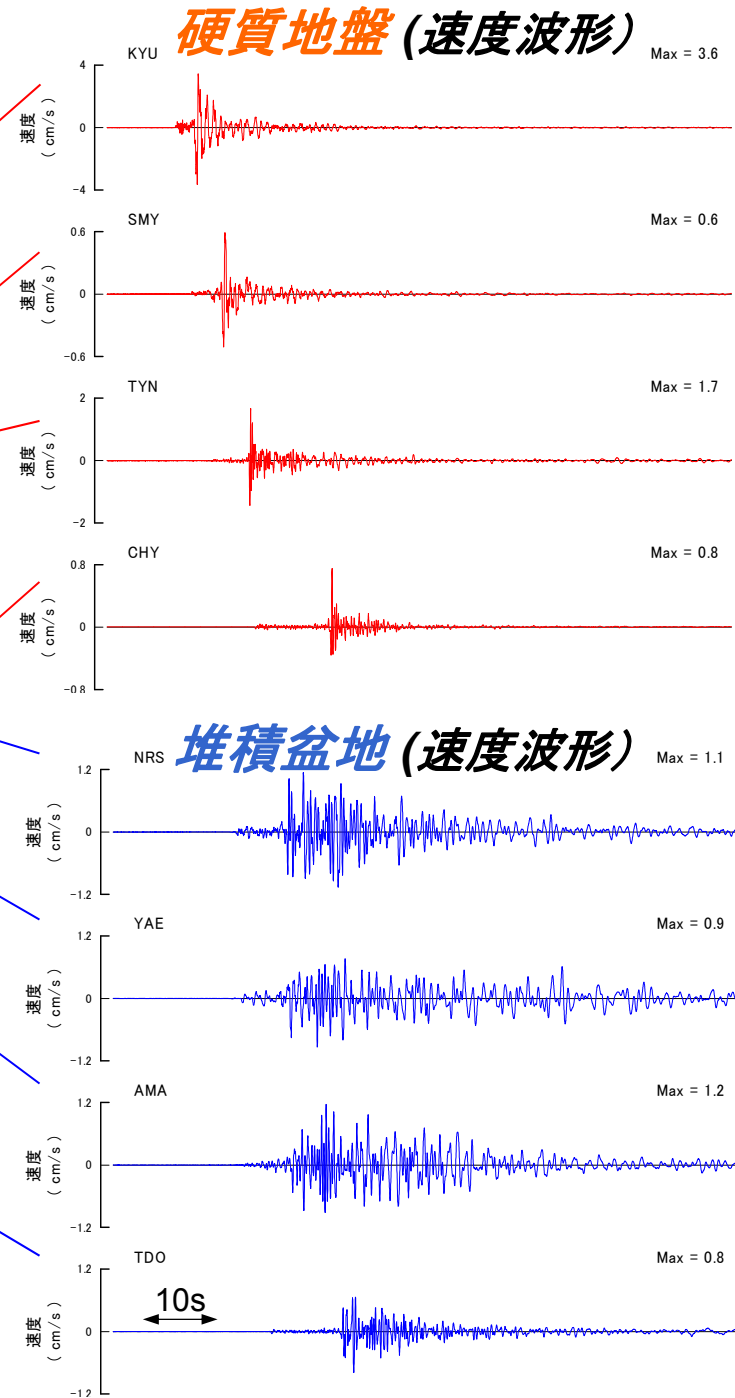
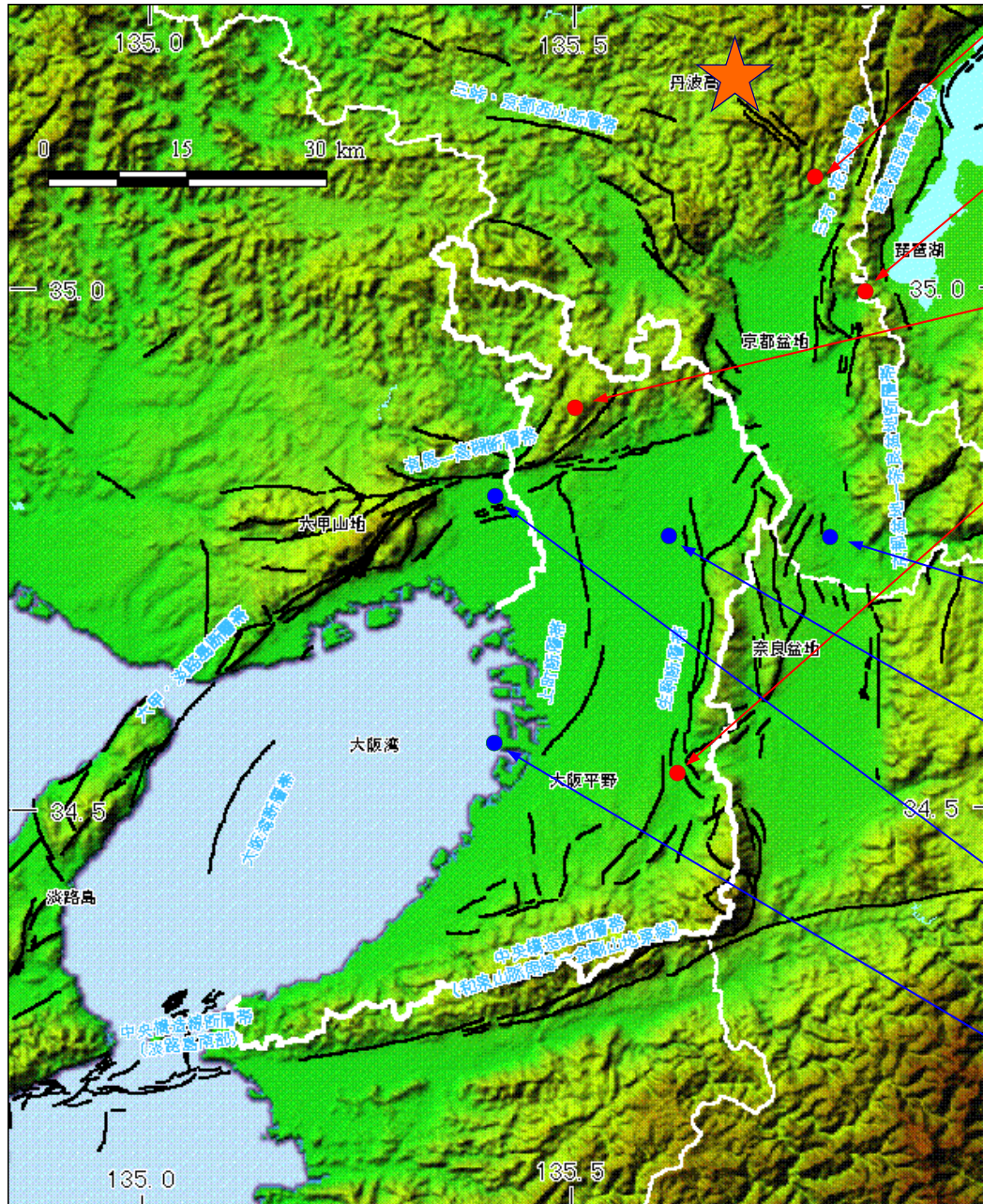
地中(-100m程度)



2000年鳥取県西部地震(M7.3)

2001年芸与地震(M6.7)

地盤による地震動特性の違い



頻発する地震から得た知識

①1995年兵庫県南部地震

1995兵庫県南部地震の被害例



兵庫県南部地震の教訓

震災の帯：震源断層直上ではなく、震源断層から1~2km離れたところに被害が集中した。

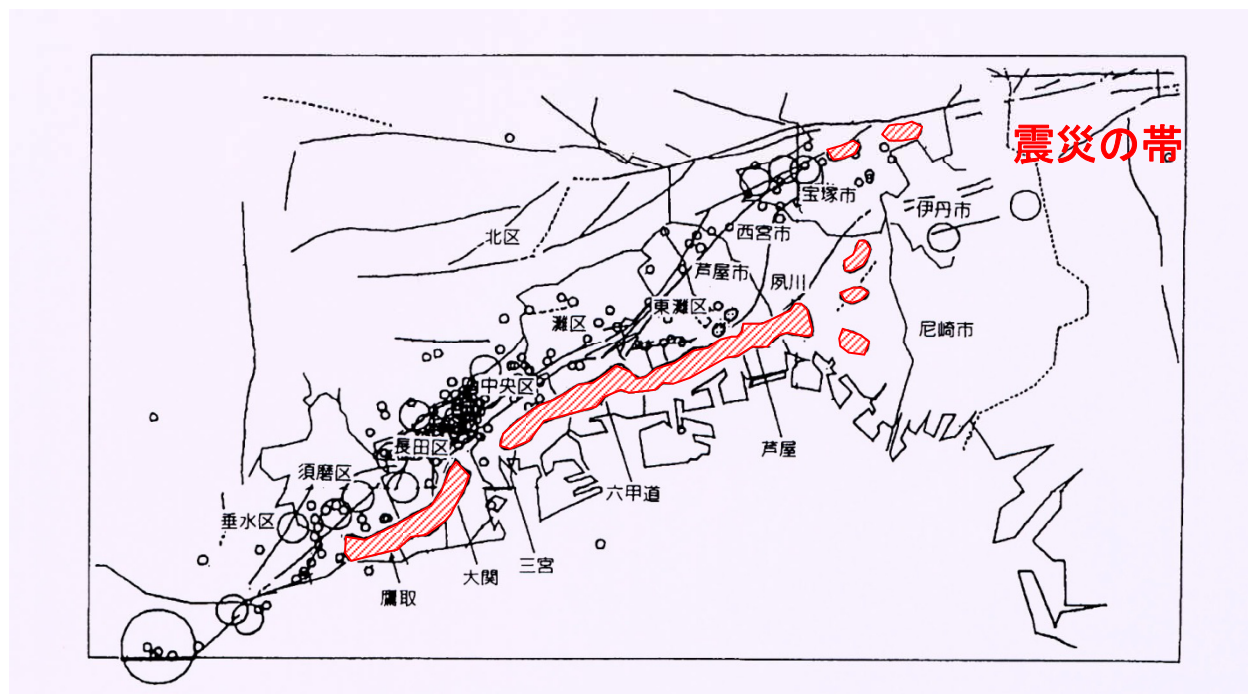

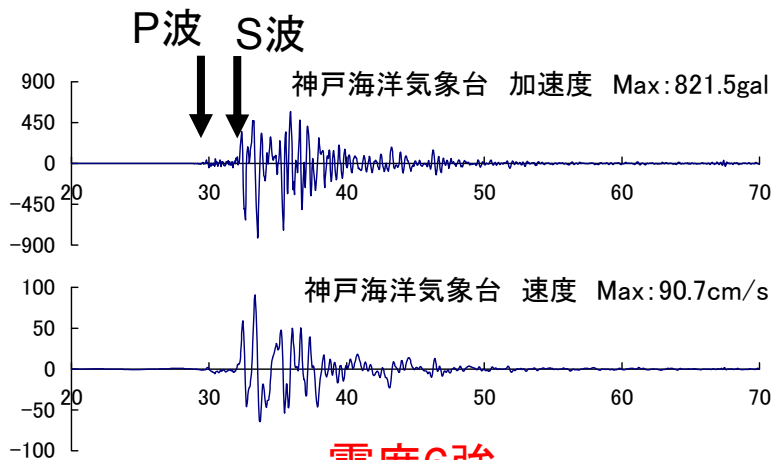
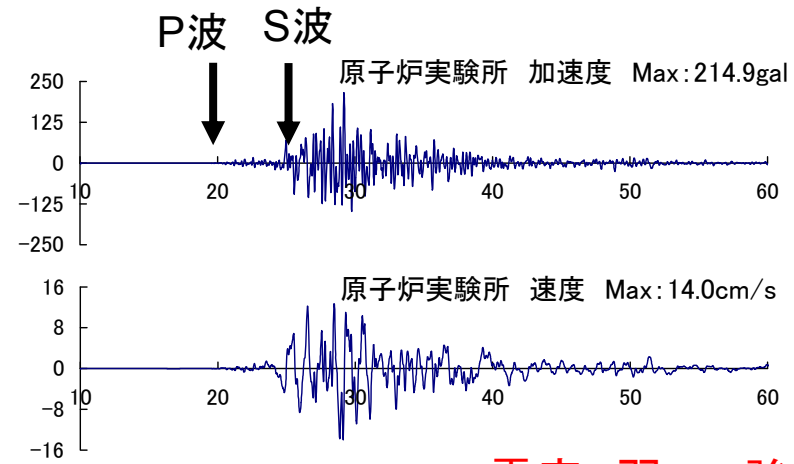


Fig.1 兵庫県南部地震に対する余震分布と深度7の領域。

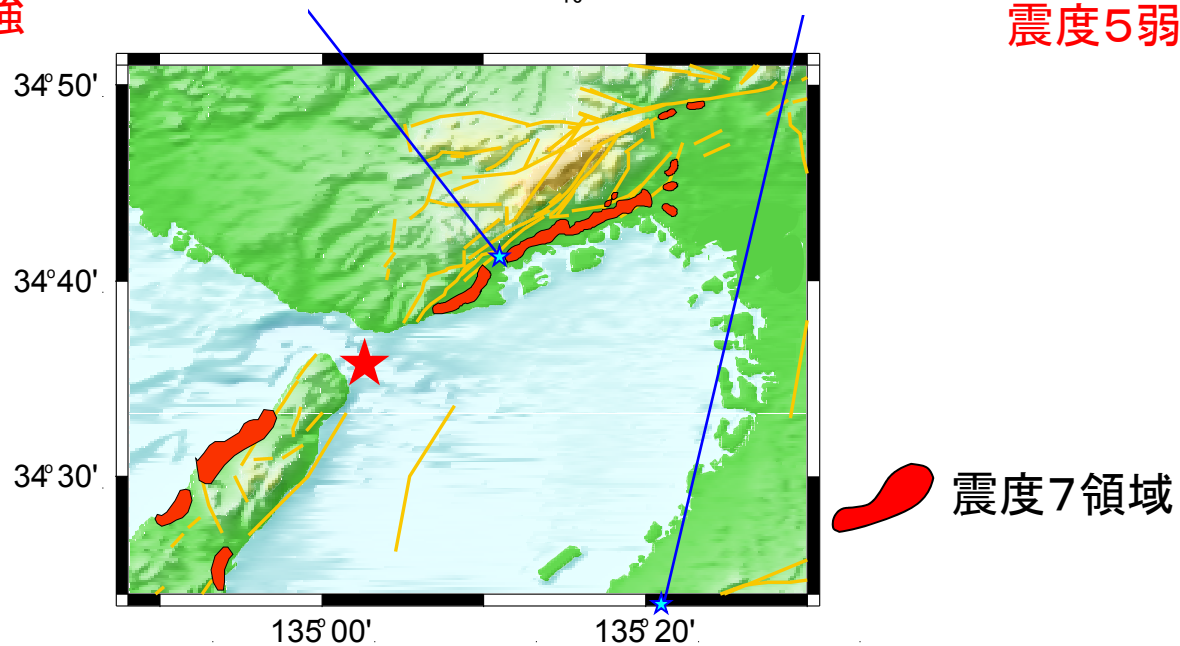
図中の○印は、余震分布。余震は、一般に本震の震源域およびその延長域に沿って発生する。この地震の余震はほぼ北東-南西方向に直線上に分布し、その方向は既にこれまで知られていた六甲断層系にそっています。しかしながら、被害の集中した深度7の領域()は、断層系から1~2km離れて、带状に神戸、芦屋、西宮市にいたる範囲に広がっている。(入倉、1995に加筆)



震度6強

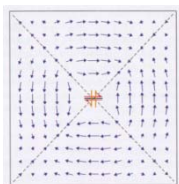


震度5弱～5強

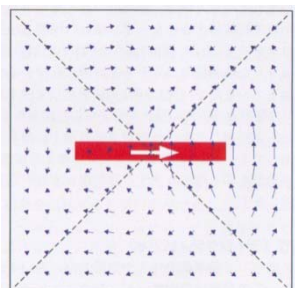


1995年兵庫県南部地震時の観測地震動

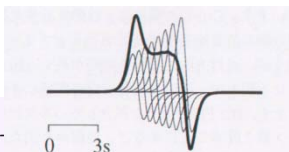
1995年兵庫県南部地震(M7.3)から学んだこと



点震源(小地震)の場合

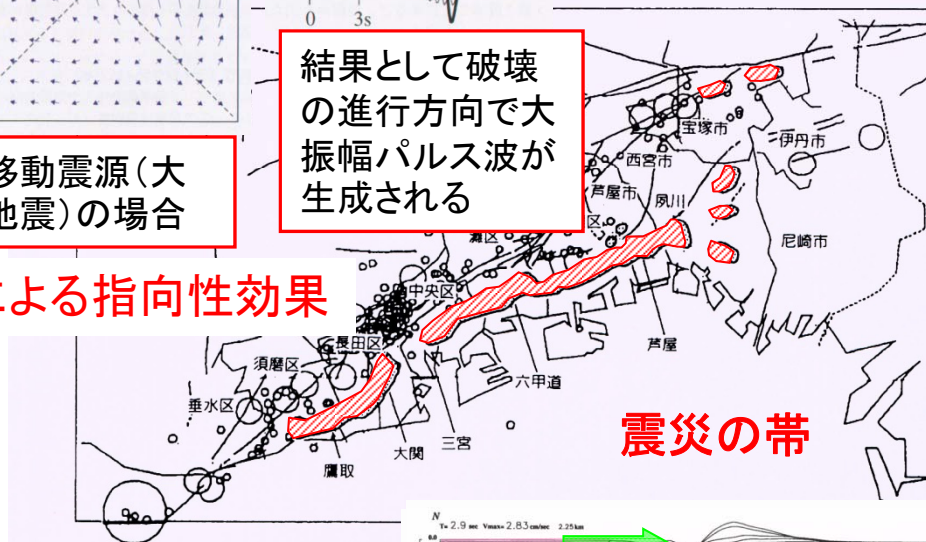


移動震源(大地震)の場合



結果として破壊の進行方向で大振幅パルス波が生成される

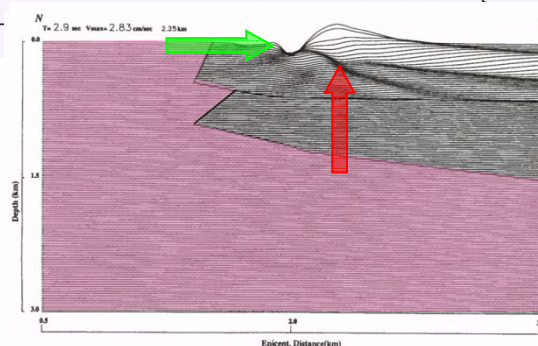
破壊伝播による指向性効果



震災の帯

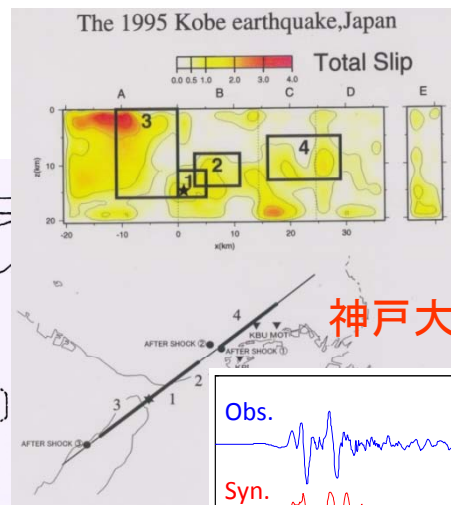


淡路側(野島断層)



堆積層

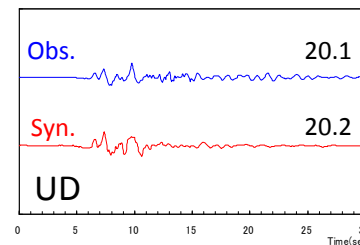
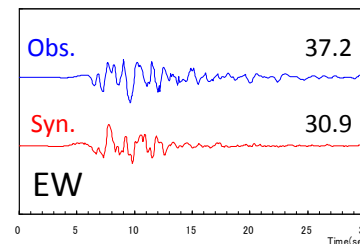
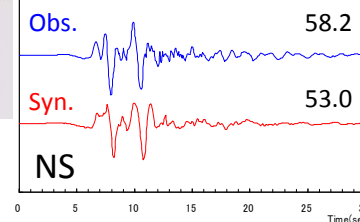
震災の帯: 震源断層直上ではなく、震源断層から1~2km離れたところに被害が集中した。



The 1995 Kobe earthquake, Japan

Total Slip

神戸大学(KBU)

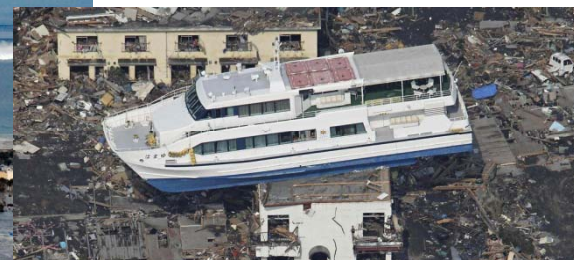
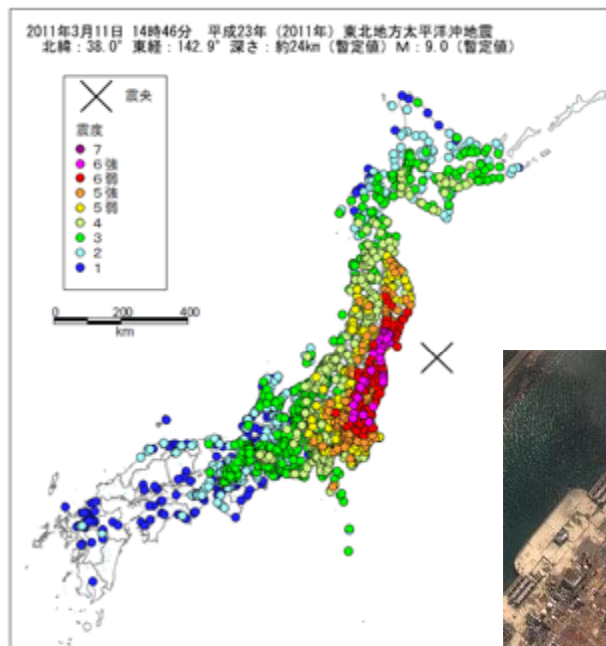


強震動生成域と大振幅パルス波

頻発する地震から得た知識

②2011年東北地方太平洋沖地震

海溝型巨大地震の広域・多種多様な被害の脅威



津波被害(岩手～茨城)



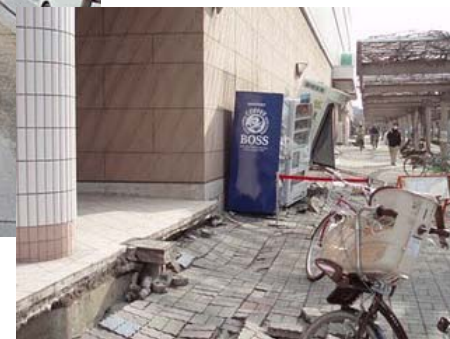
LPGタンク火災(千葉)



原発事故
(福島)

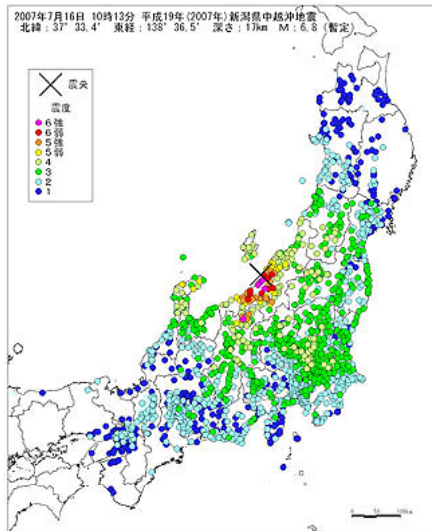


液状化被害(茨城)

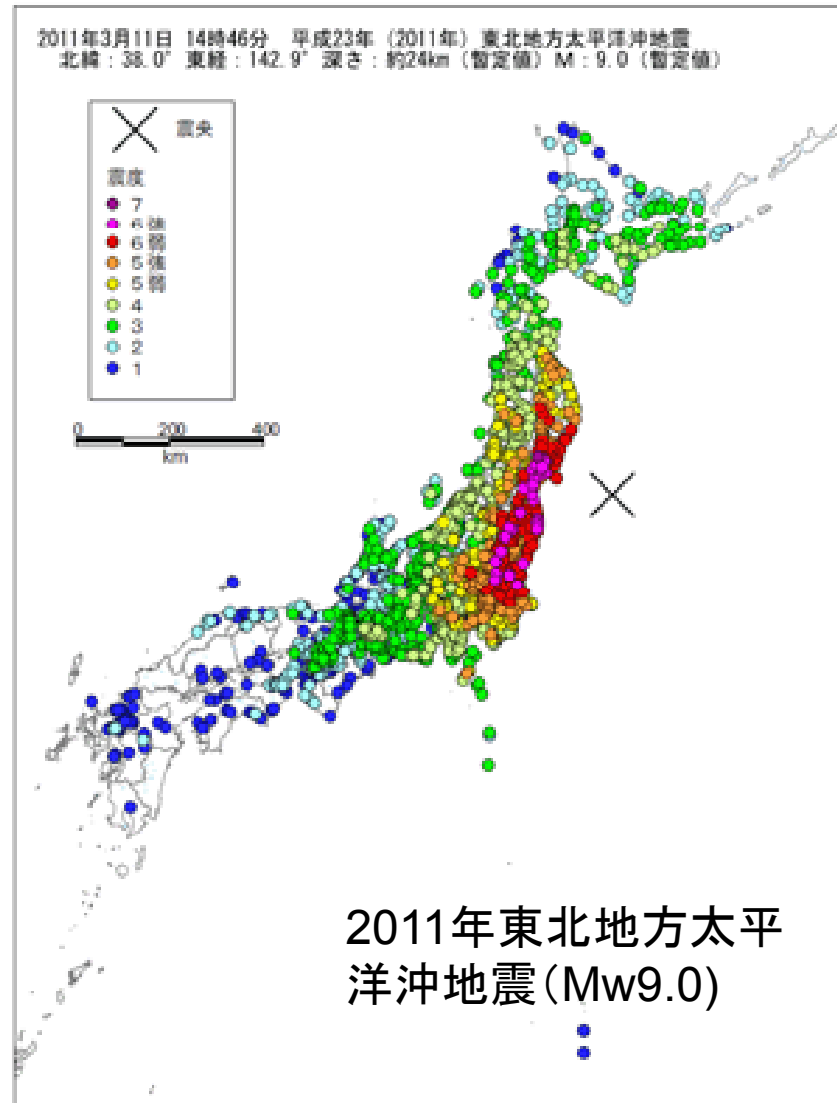


地震の規模による震度分布の違い (最近の被害地震による比較)

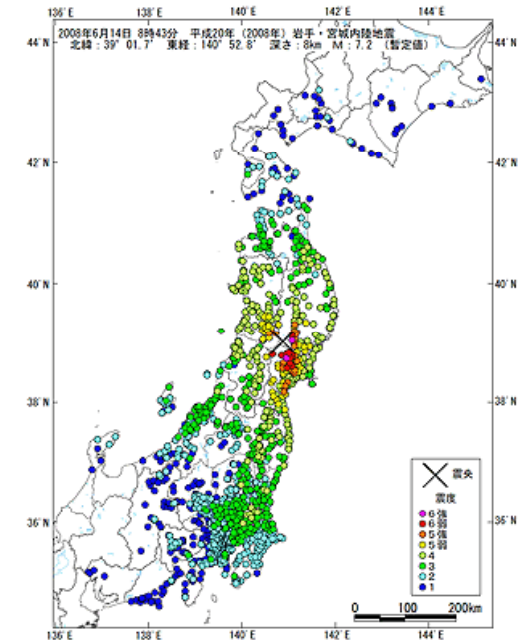
地震の規模とともに、高震度領域が広がる



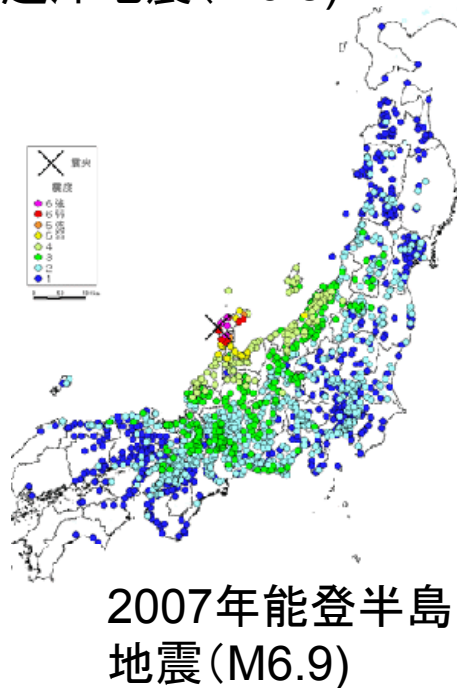
2007年新潟県中
越沖地震(M6.8)



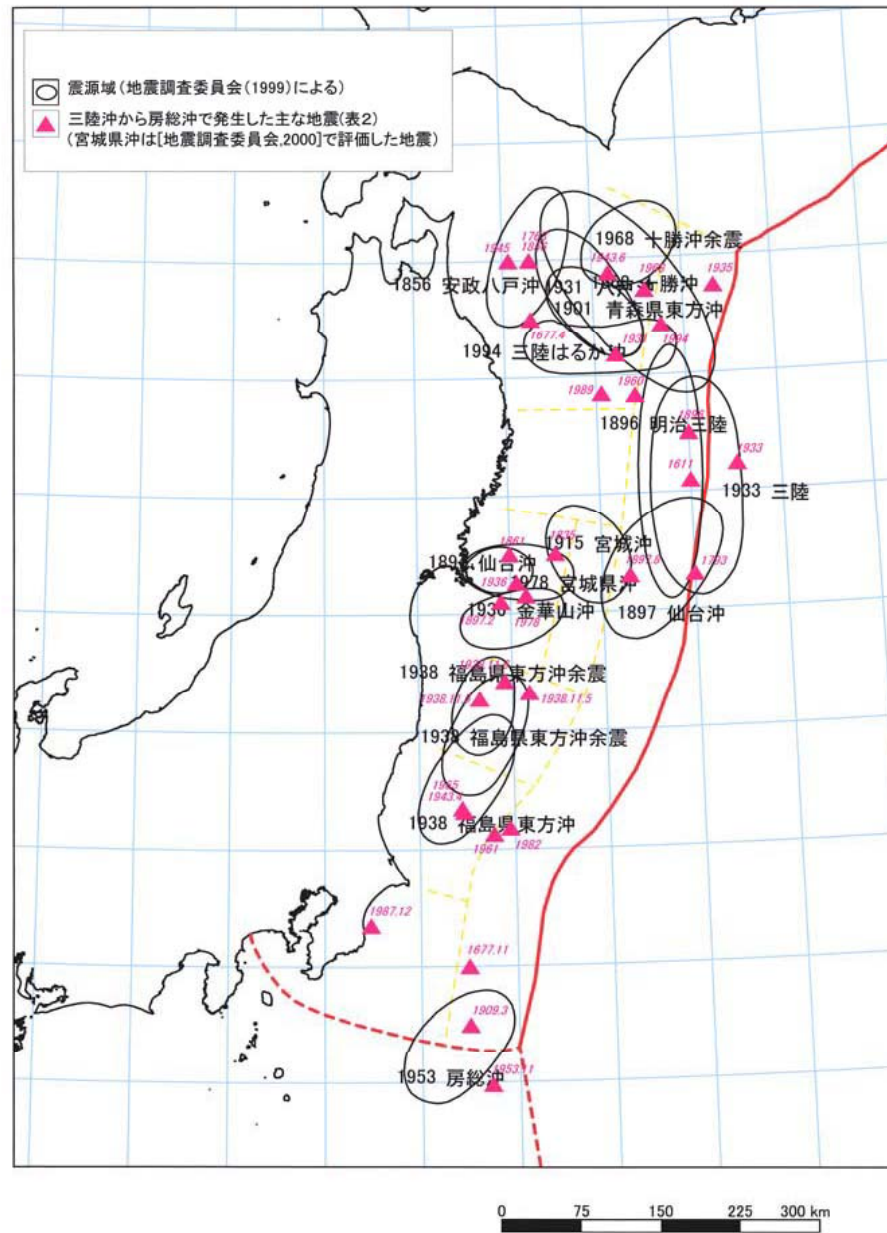
2011年東北地方太平
洋沖地震(Mw9.0)



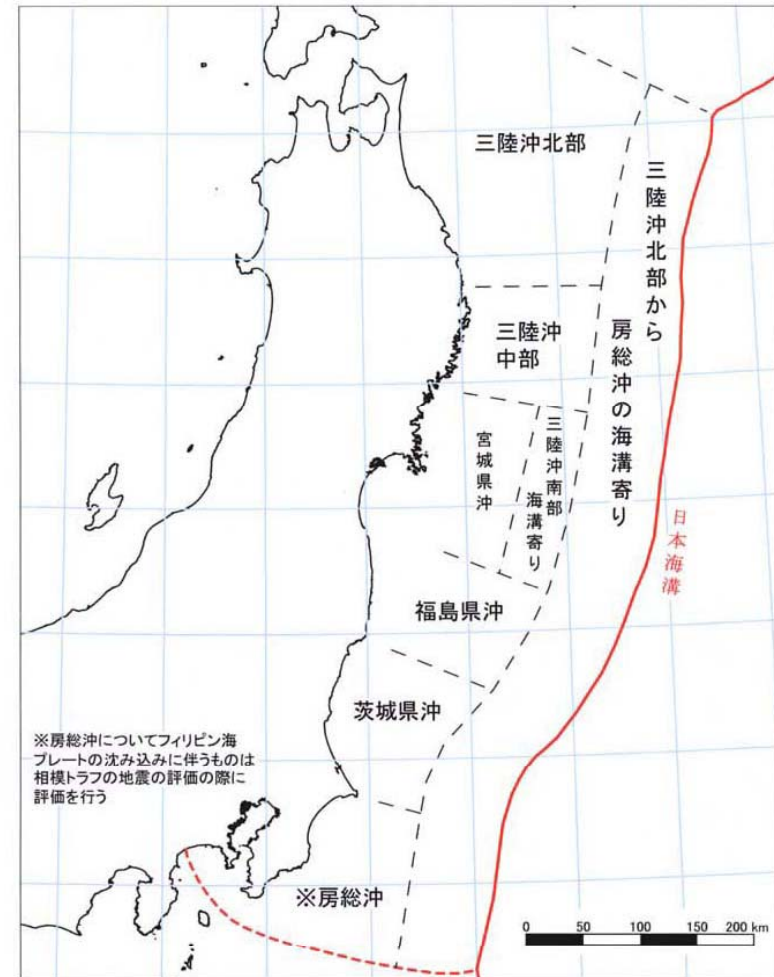
2008年岩手宮城
内陸地震(M7.2)



2007年能登半島
地震(M6.9)

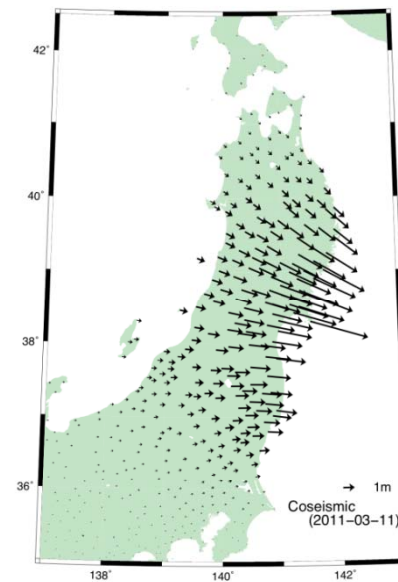
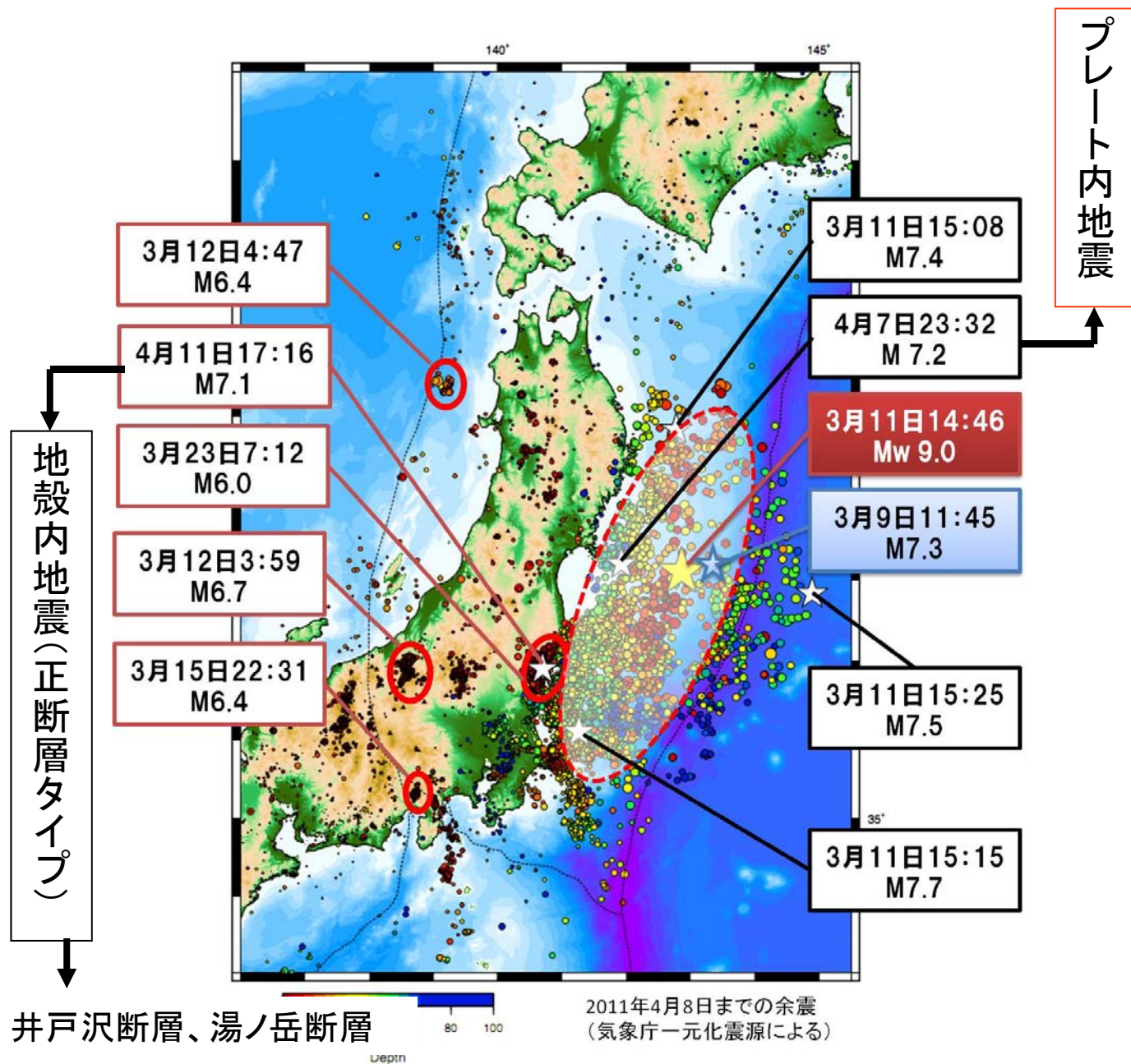


太平洋プレート境界における過去の地震

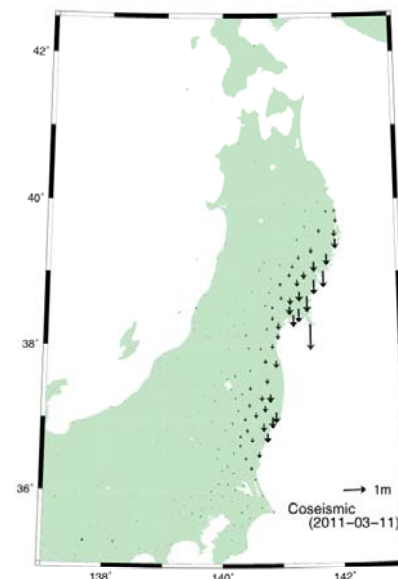


地震本部による予測震源域

本震の震源領域と余震や誘発地震の分布

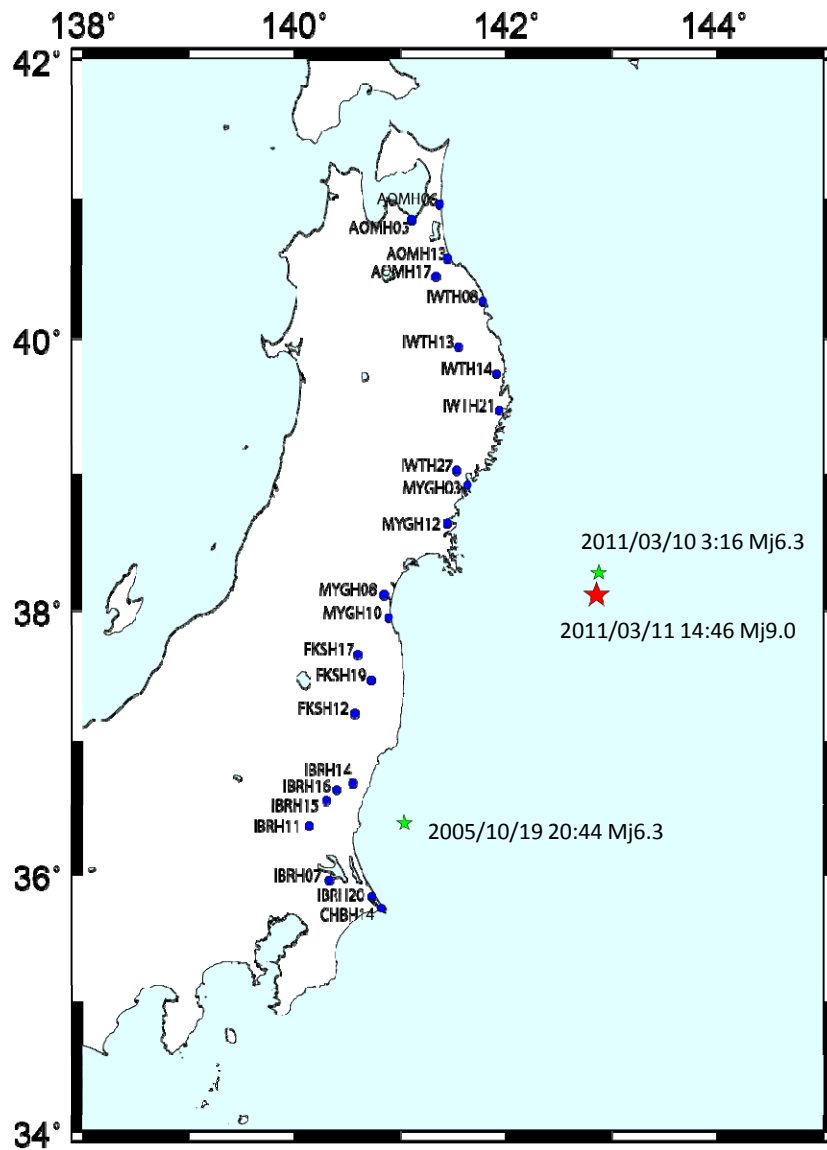


水平

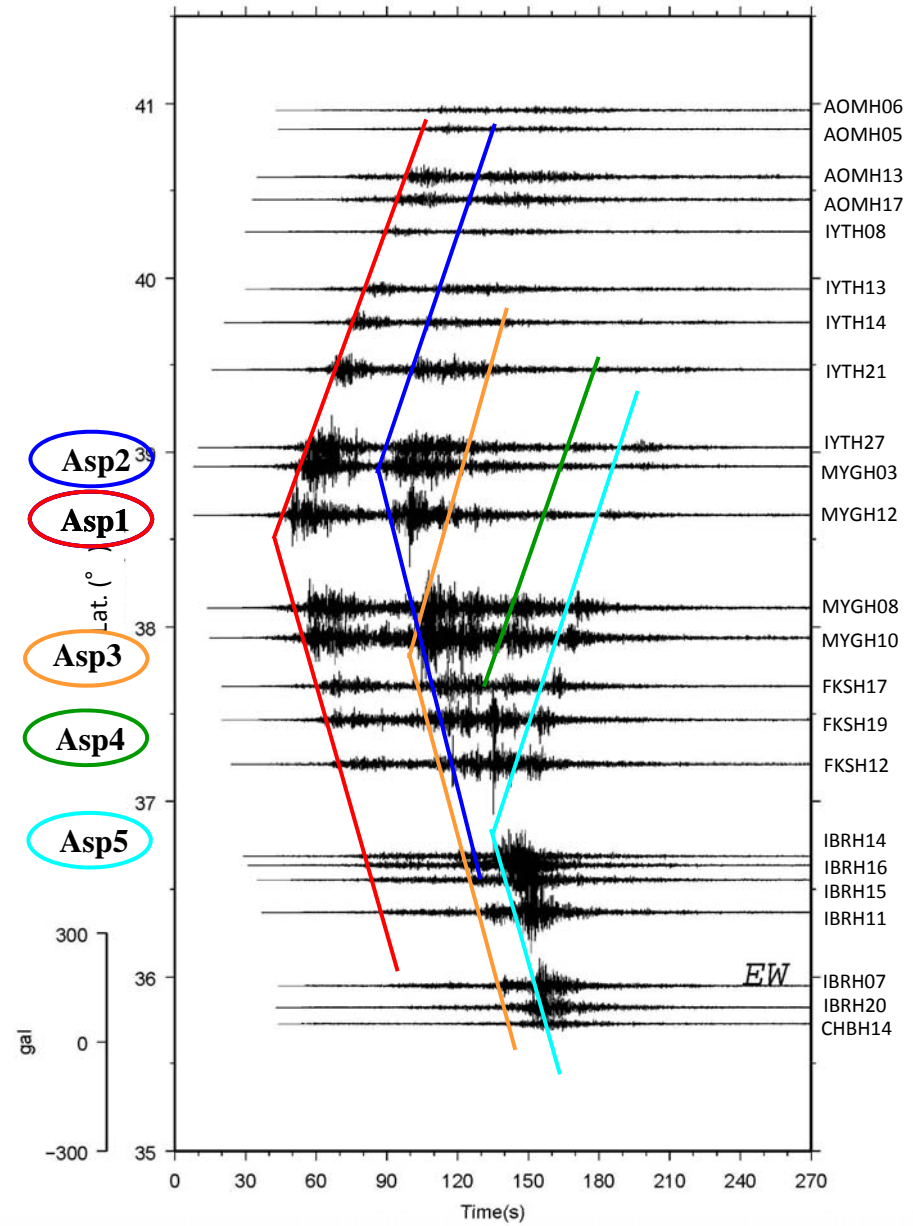


上下

本震時の地殻変動



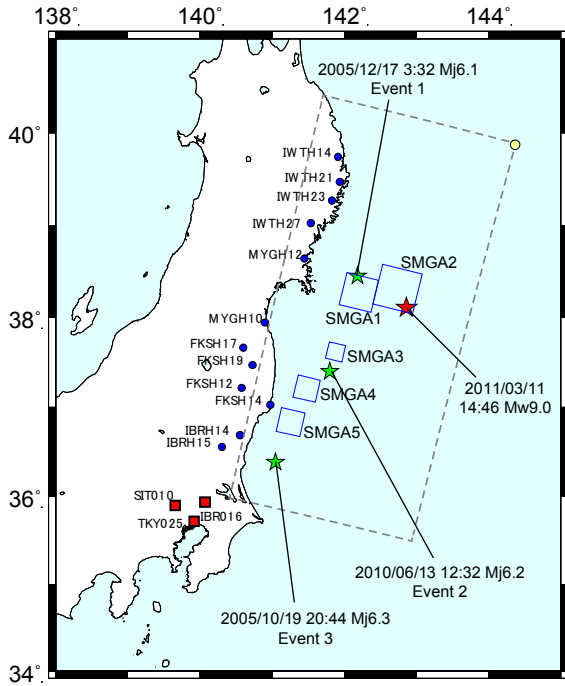
観測点位置



加速度波形

本震の防災科学技術研究所・KiK-net強震計の観測記録(地中、フィルター:0.1-10Hz)

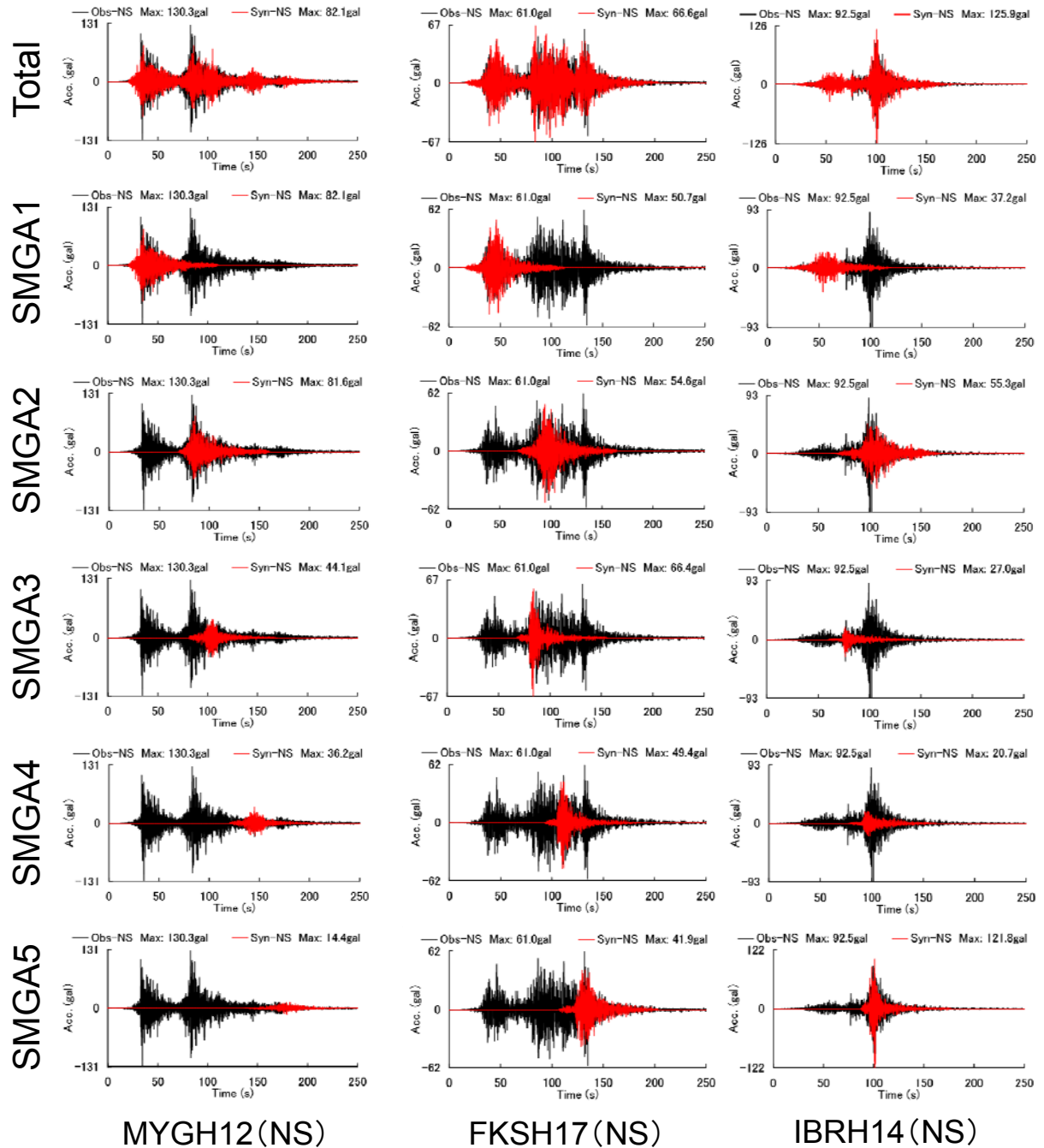
2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)



5カ所のSMGAからなる震源モデル

黒: 観測波形 赤: 合成波形

川辺・釜江(2013)



東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)と南海トラフ沿いの超巨大地震の震源域の比較



南海トラフで同じ規模の地震が起こった場合、被害が同じなのか？
異なる可能性があるのか？ 重要な課題である。

将来の大・巨大地震時の強震動予測 (断層モデルによる強震動予測)

原子力発電所の耐震設計(基準地震動 S_s の評価)にも適用

基本的には地震本部(文科省)による「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(レシピ)」に基づく手法が採用されている。

地震動(揺れ)を構成する要因 強震動予測の3要素

震源特性：

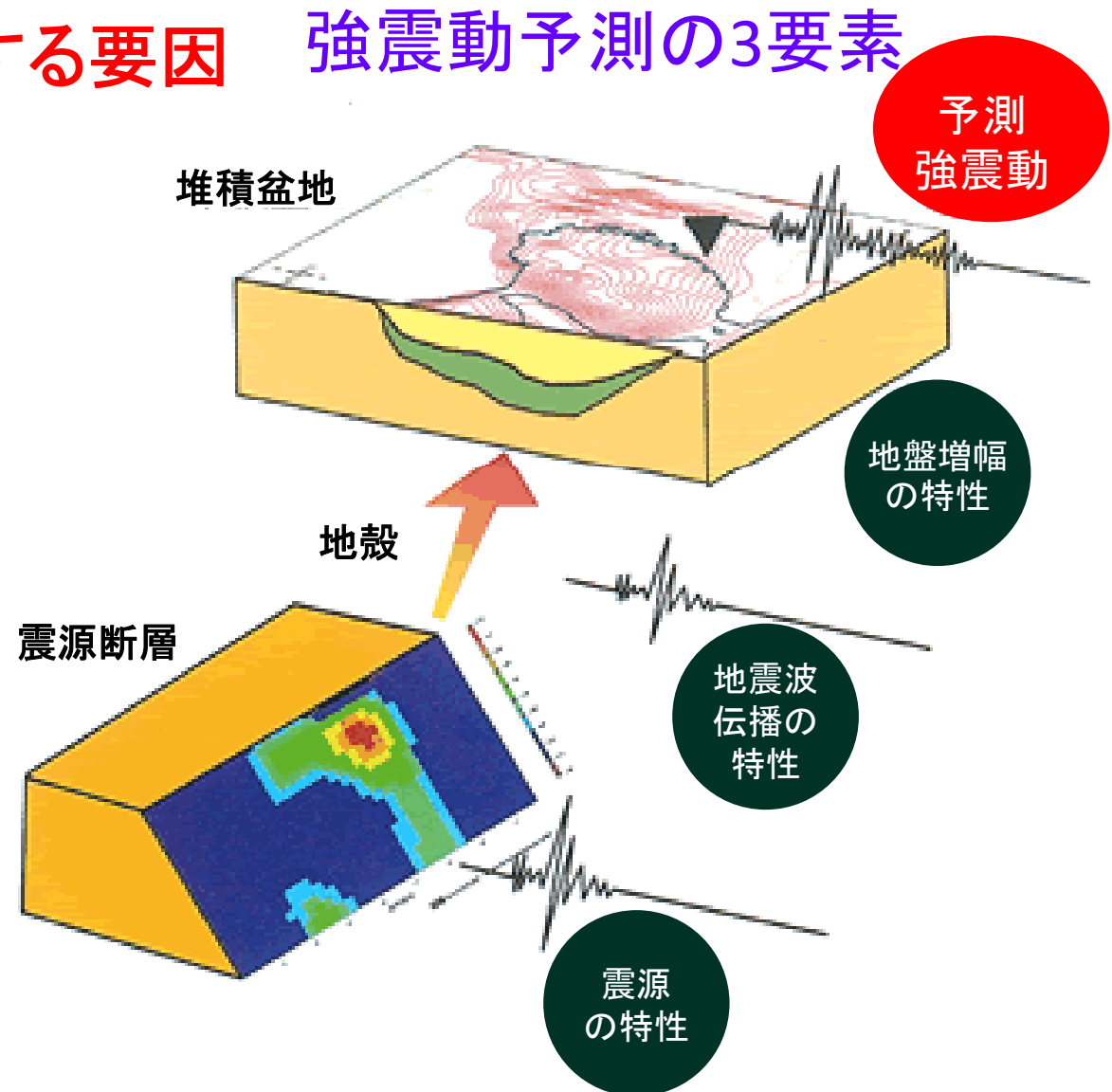
断層がどのように破壊するかによって、地震波放射の空間分布、波形が変わる。

伝播経路特性：

地震波がどのような経路を辿るかによって、振幅、継続時間、波形の特徴が変化する。

サイト増幅特性：

立地する地盤と入射する地震波によって、揺れの振幅、周期特性、波形の特徴が変化する。



$$\text{予測強震動} = \text{震源の特性} \times \text{地震波伝播の特性} \times \text{地盤増幅の特性}$$

これら諸特性のモデル化と評価手法が強震動評価のほぼ全て

地震動予測のためのレシピ

- シナリオ地震の強震動予測のための震源像の策定(重要)
- 震源域と対象地域を含む地域の地下構造のモデル化及び
表層地盤の揺れ安さの評価(予算があれば技術的には可能)

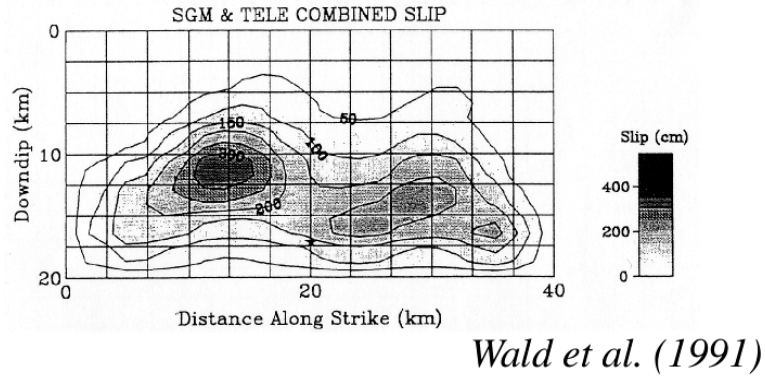
ターゲットは？

- 長周期側から短周期側に至る広い周波数帯域の地震動シミュレーションを行い、3成分時刻歴波形を提供すること
- 都市防災や構造物耐震評価など地震災害の軽減のため要請の高い、速度・加速度レベル、震度などに対する適切な解答をあたえること

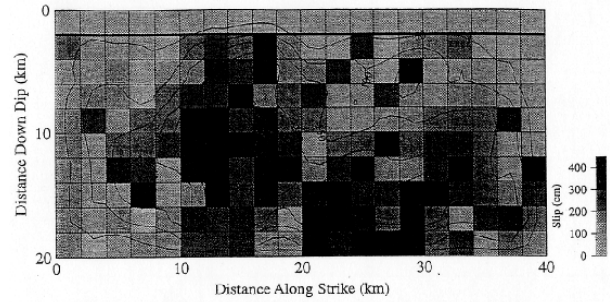
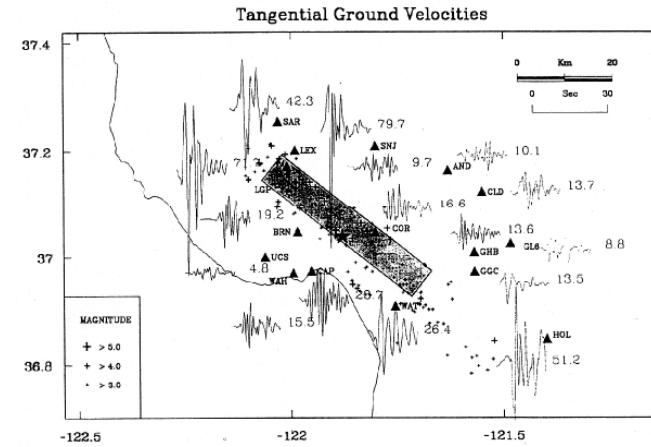
レシピとは？

同じシナリオ地震を想定したら、誰でも同じ答えを出すことができる強震動予測の手続きをまとめたもの

すべりの不均質と特性化震源モデル

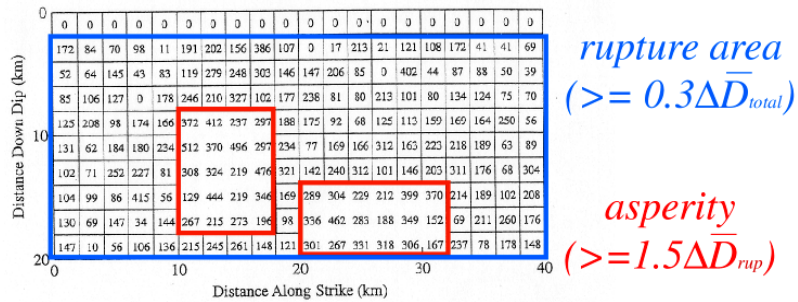


1989 Loma Prieta earthquake ($M_w 6.9$)



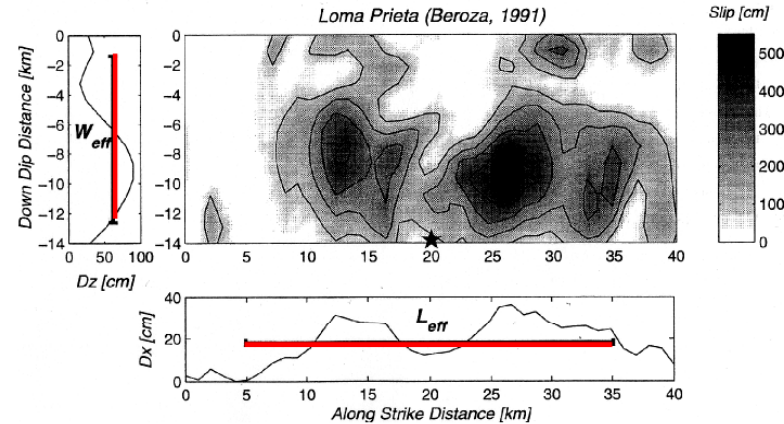
effective source dimension

(L_{eff} , W_{eff} are derived by auto-correlation of slip distribution)



Trim Line
Asperity
148 Slip in cm

Somerville et al. (1999)



Mai and Beroza (2000)

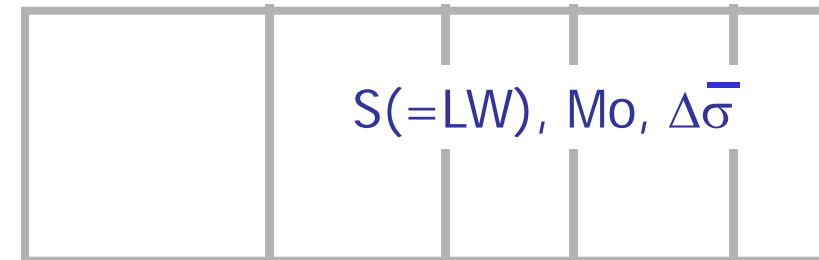
特性化震源モデル

“震源インバージョン結果”
に基づいた不均質すべり
分布



巨視的パラメータ:

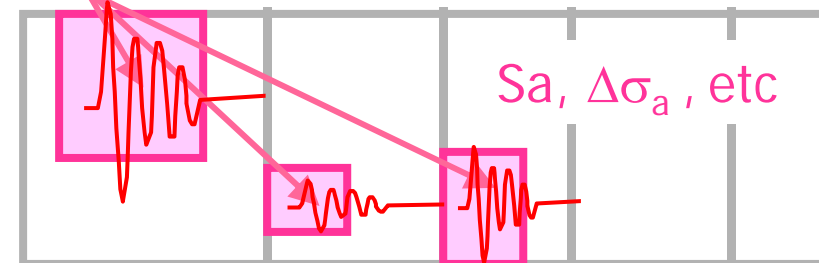
断層の大きさ、地震モーメント、
平均すべり量、平均応力降下量

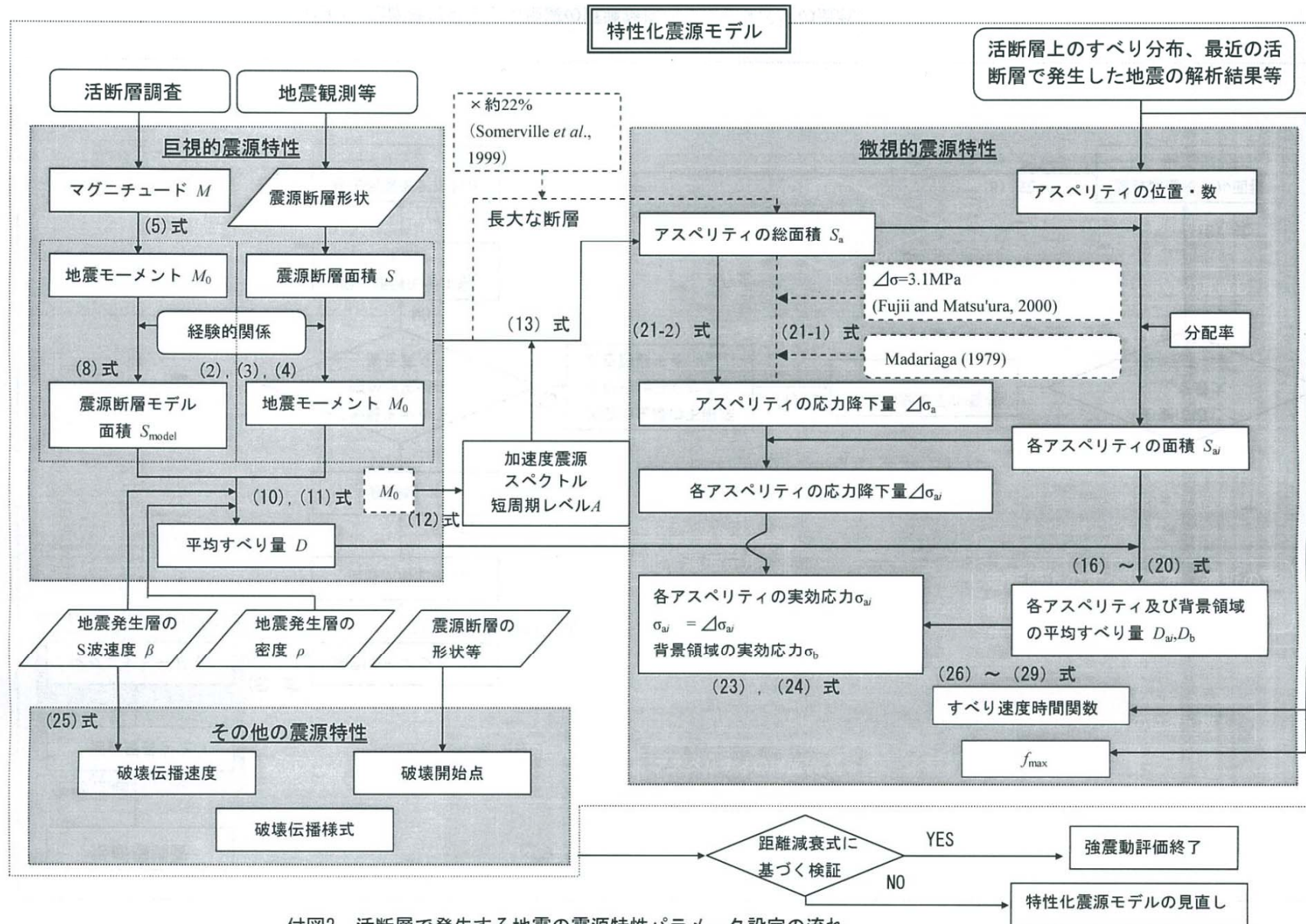


微視的震源パラメータ

SMGAの場所、大きさ、応力降下量

SMGA(主に強震動を生成する)

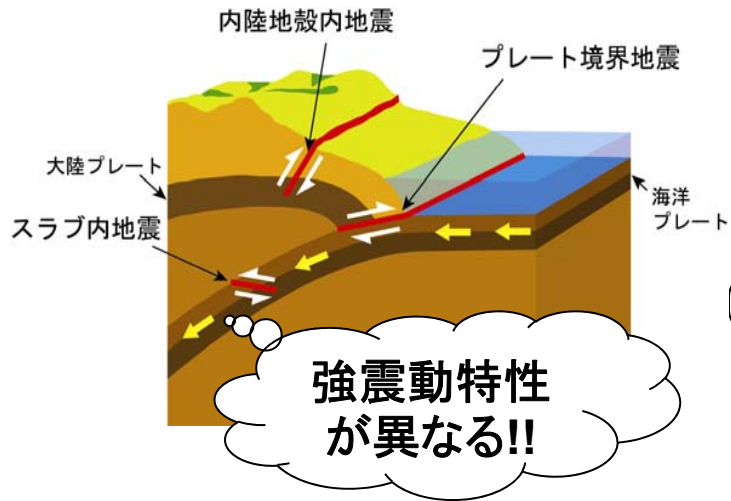




付図2 活断層で発生する地震の震源特性パラメータ設定の流れ
(過去の地震記録や詳細な調査結果に基づき震源断層を推定する場合)

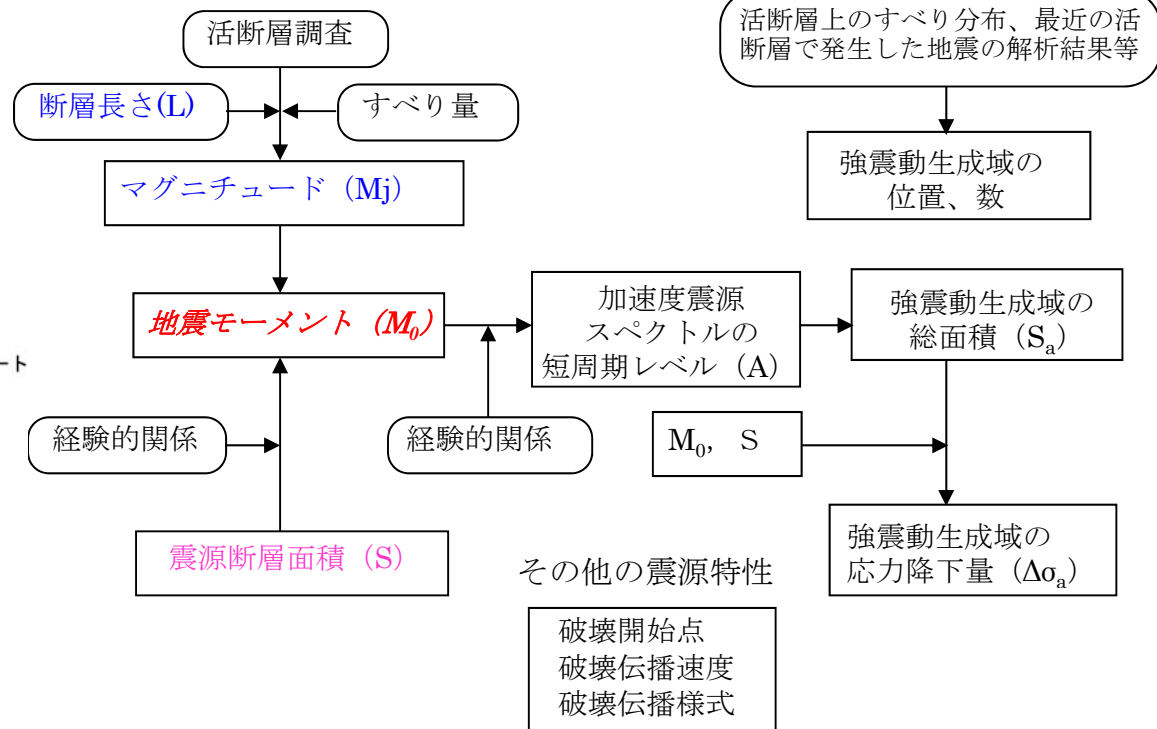
地震本部: 強震動予測のレシピ

対象地震



巨視的震源特性

微視的震源特性



レシピにおける震源のモデル化 (内陸地殻内地震)

★プレート境界地震(海溝型地震)

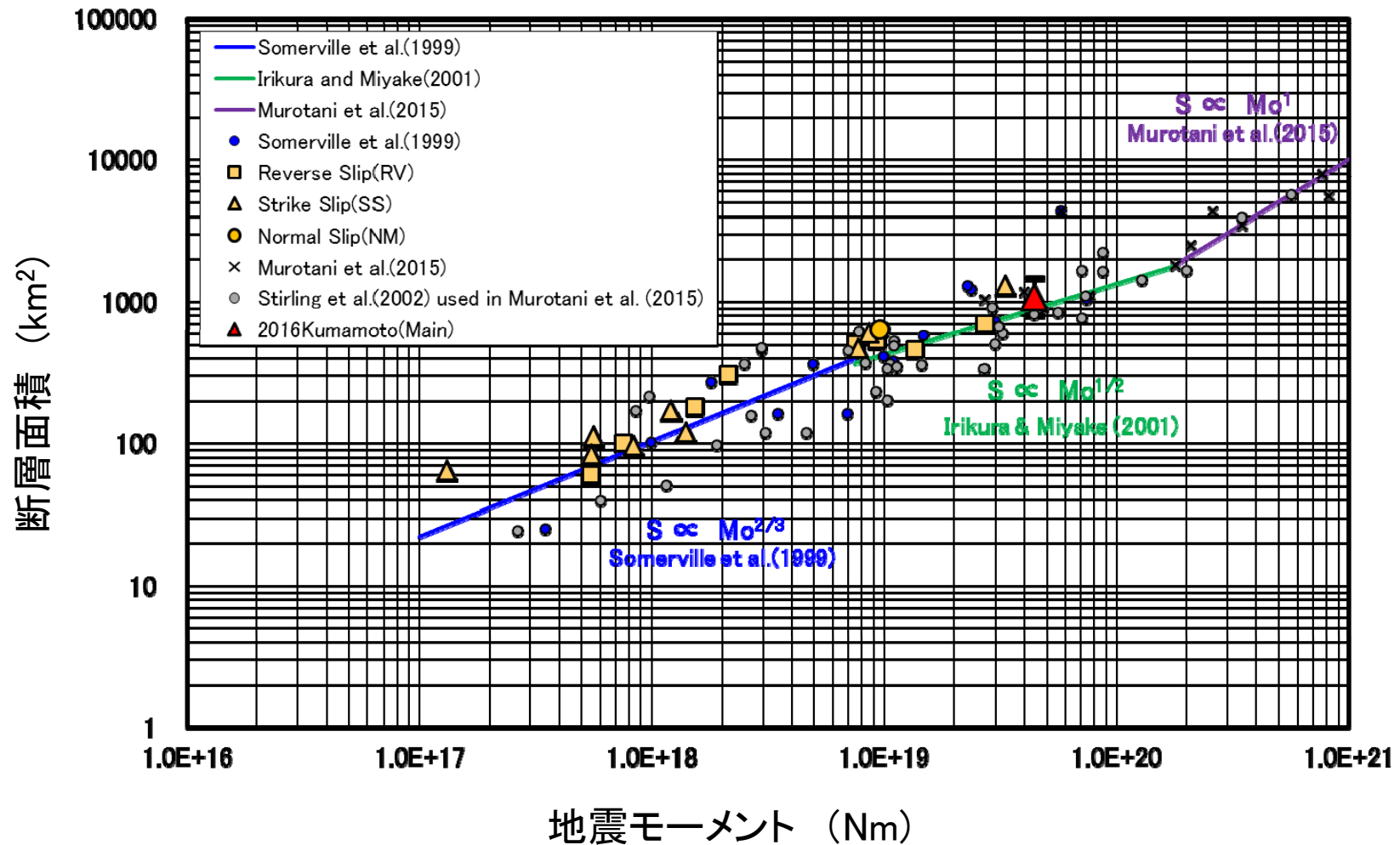
★スラブ内地震

(地震本部でレシピが提案済み)

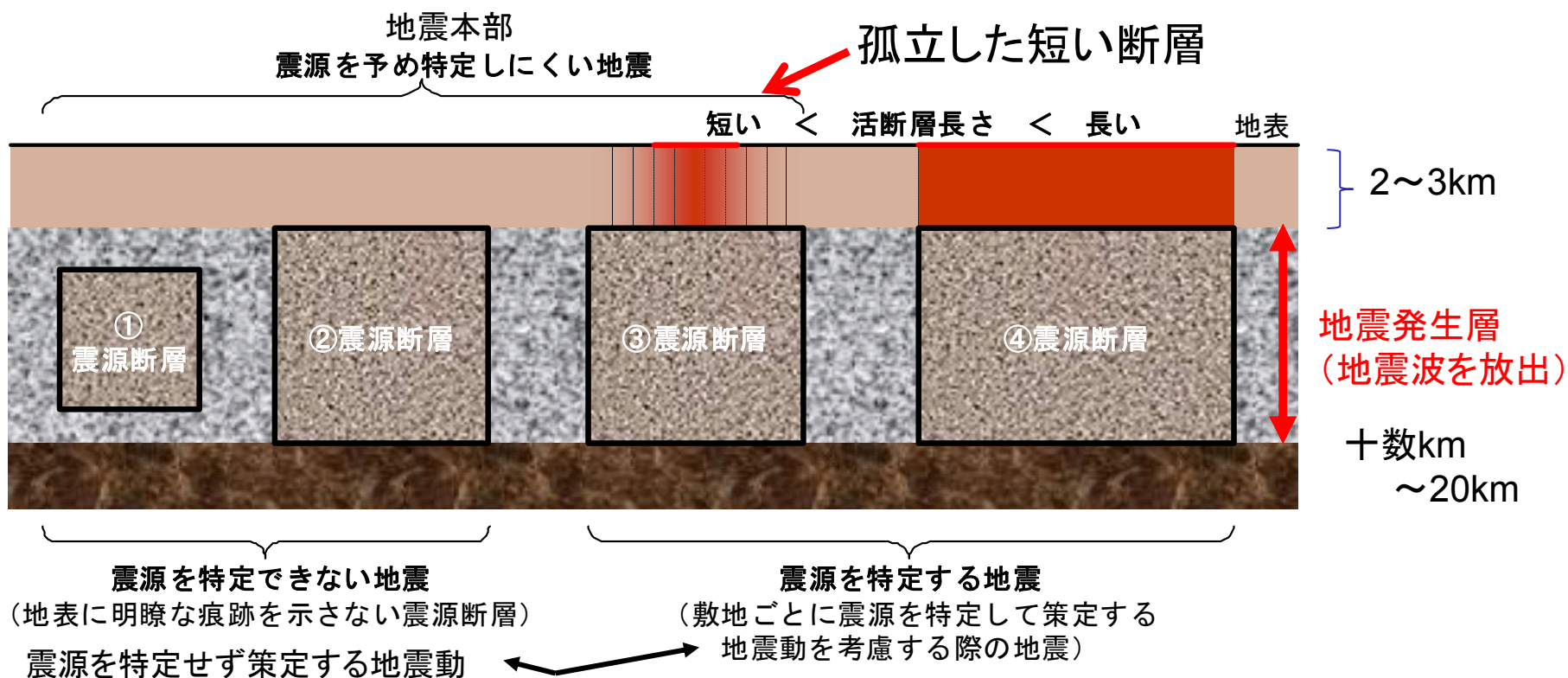
用いられるスケーリング則

- ・L-Mj 関係 A-M₀ 関係
- ・Mj-M₀ 関係 L-M₀ 関係
- ・S-M₀ 関係

地震の規模(地震モーメント: M_0)と断層面積(S)の関係 (3ステージのスケージングモデル)



3ステージのスケーリングモデルの概念図



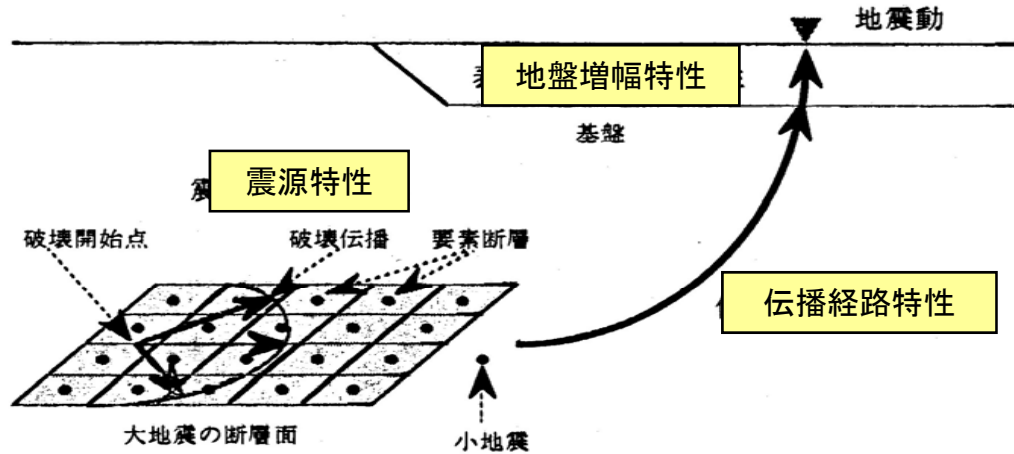
新耐震指針(原安委2006)

この考え方は新規制基準でも踏襲

原子力安全委員会(2009)に加筆

断層モデルを用いた地震動予測

断層モデルによる地震動策定の概要



EGFM: 先駆的なHartzell(1979)
Irikura(1986), 壇・他(), 池浦・武村()

震源域の広がりや破壊の
伝播方向を考慮



震源近傍で重要

小地震記録

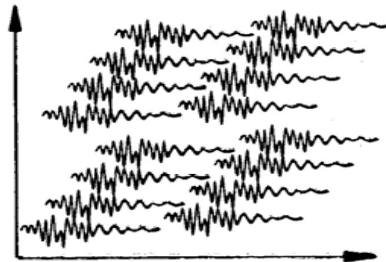


小地震の震源特性と大地震の要素断層の震源特性との相違の補正

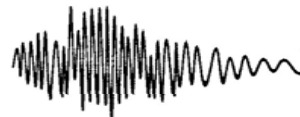
大地震の要素断層からの地震波



各要素断層からの地震波



大地震の断層の破壊過程を
考慮して重ね合わせる



大地震動

経験的グリーン関数法 (EGFM)
統計的グリーン関数法 (SGFM)
理論的手法



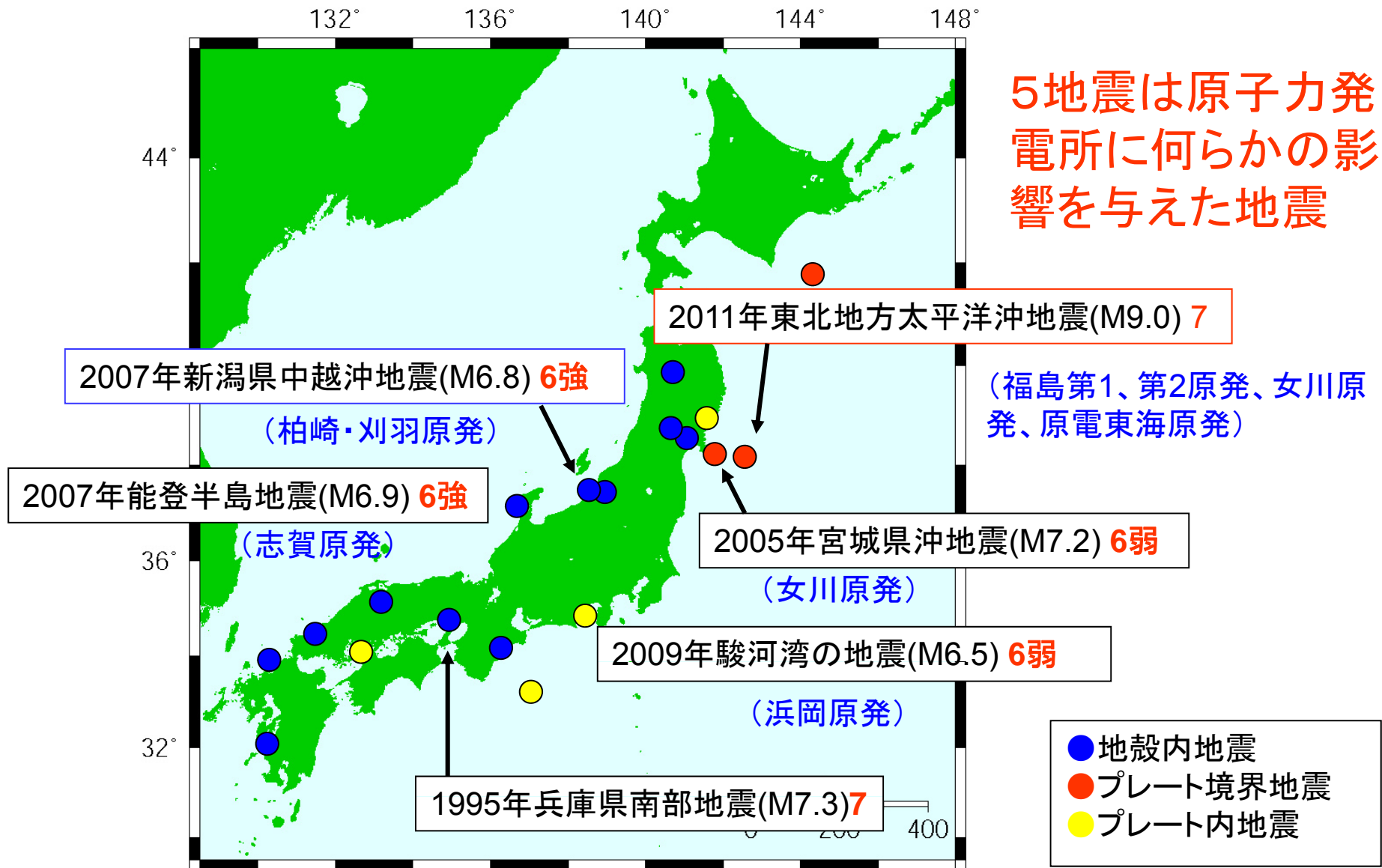
ハイブリッドグリーン関数法
ハイブリッド法

小地震記録を重ね合わせ
て大地震動を計算する

原子力発電所の耐震設計

研究用原子炉もほぼ同じ

原子力発電所に影響を与えた被害地震



発電用原子炉施設の耐震設計の流れ

新規制基準として施行

耐震設計の目的

耐震重要度分類

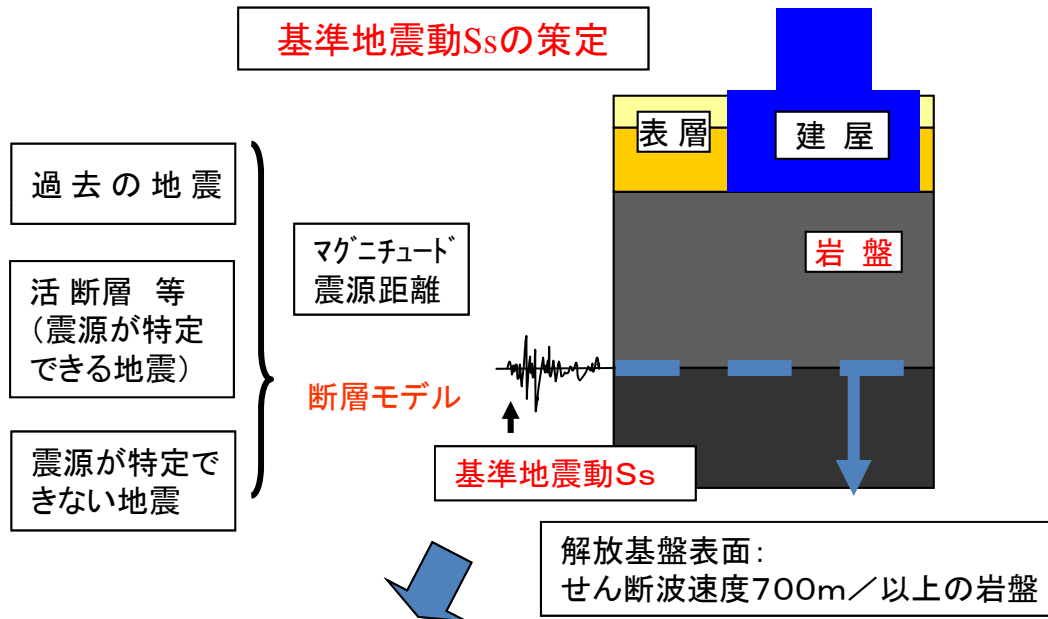
大地震に遭遇した場合にも、一般の人々および従事者に過度の放射線被ばくを与えないようにする。

耐震設計の目的を合理的に達成させるために、各施設を安全上の観点から重要度分類し、各々に応じた設計を行う。

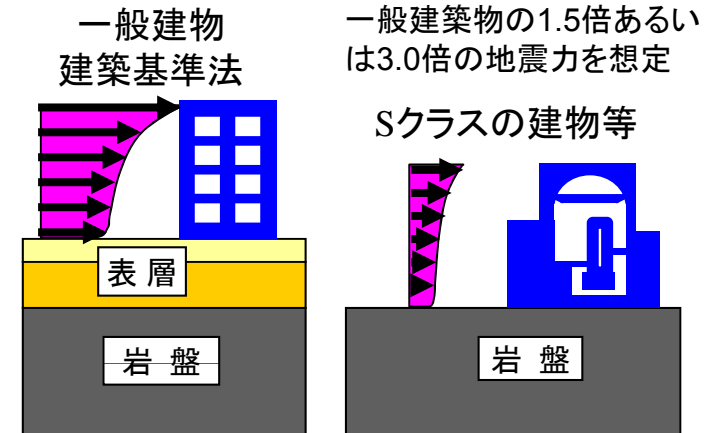
重要度ごとの設計用地震力

重要度	静的地震力	動的地震力	
		弾性設計用地震動Sd Ssの0.5倍を下回らないように設定	基準地震動Ss 極めてまれであるが発生する可能性のある地震
S	建築基準法の3倍		
B	建築基準法の1.5倍		
C	建築基準法による		

基準地震動Ssの策定



機器・配管類は2割り増し



地震応答解析

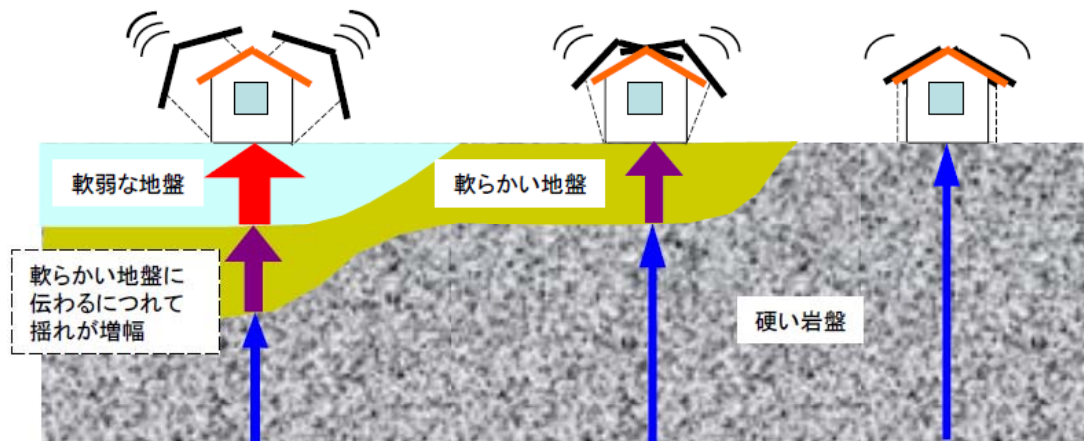
動的地震力

静的地震力

揺れの強さ
大きい ← → 小さい

地盤の揺れの大きさも同じこと

・軟弱な地盤は、大きく揺れが増幅し、硬い岩盤では揺れは相対的に小さい。



地震動から建造物の耐震設計のための地震力(地震荷重)評価

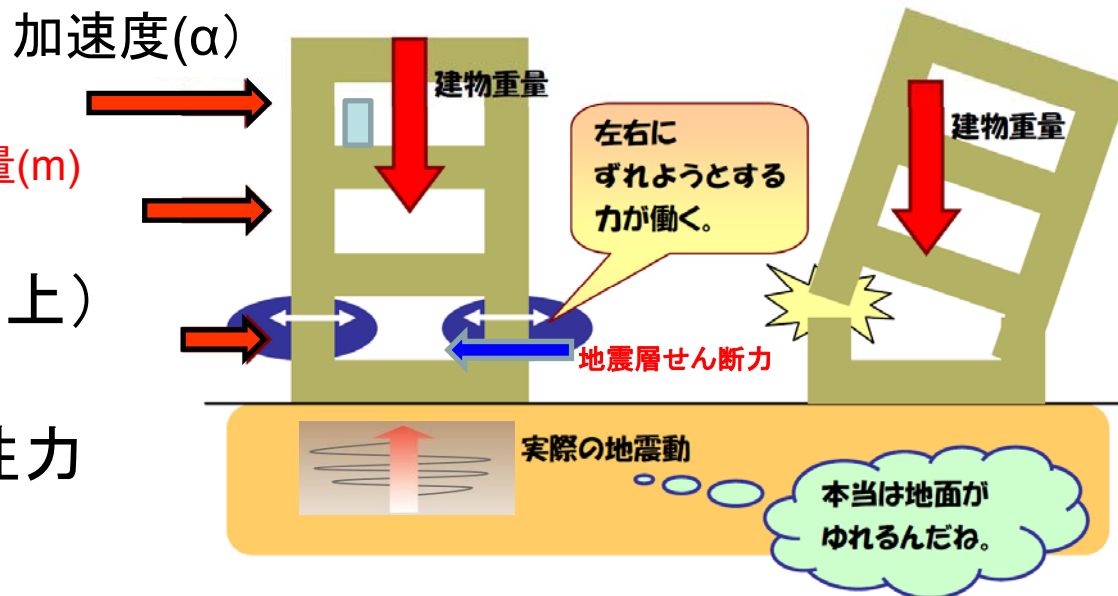
■ : 設備

設備に作用する地震荷重 =
建物の当該階の地震層せん断力係数(c_i)
から求めた震度 × 質量(重量)

地震層せん断力 = $C_i \times$ その階以上の重量

慣性力(地震力) = 加速度(α) × 質量(m)

地震時の地面の揺れ(上)
と
建造物に作用する慣性力
(地震力)(右)



研究用原子炉(KUR)の設置変更承認申請書から抜粋(添8)

1) 静的地震力

耐震重要度分類のそれぞれのクラスに応じて以下の地震層せん断力係数及び震度に基づき算定する。

① 建物・構築物

水平地震力は、耐震重要度分類に応じて以下の地震層せん断力係数に当該層以上の重量を乗じて算定するものとする。

- ・S クラス地震層せん断力係数 $3.0C_i$
- ・B クラス地震層せん断力係数 $1.5C_i$
- ・C クラス地震層せん断力係数 $1.0C_i$

ここに、地震層せん断力係数を算定する際の C_i は、標準せん断力係数を0.2以上とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して求められる値とする。Sクラスの施設については、鉛直地震力をも考慮することとし、水平地震力と鉛直地震力は、同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。鉛直地震力は、震度0.3以上を基本とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して求めた鉛直震度より算定する。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。

② 機器・配管系

耐震重要度分類に基づく各機器・配管の地震力は、上記①の地震層せん断力係数の値から求める水平震度及び上記①の鉛直震度をそれぞれ20%増しとした震度より求めるものとする。水平地震力と鉛直地震力とは同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。

2) 動的地震力

動的地震力は、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d から算定することとし、Sクラスの施設に適用する。弾性設計用地震動 S_d は、基準地震動 S_s との応答スペクトルの比率の値が、目安として0.5を下回らないような値で設定する。また、Bクラスの施設のうち、共振のおそれのあるものについては、弾性設計用地震動に1/2を乗じたものに対して影響を検討する。

基準地震動Ssの策定フロー

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

①過去及び現在の地震の発生状況等

②地震発生様式等による地震の分類

- ・内陸地殻内地震
- ・プレート境界地震
- ・海洋プレート内地震

③活断層調査

- ・文献調査
- ・変動地形学調査
- ・地表地質調査
- ・地球物理学的調査

④検討用地震の選定

敷地に大きな影響を与える恐れがある地震を検討用地震として選定

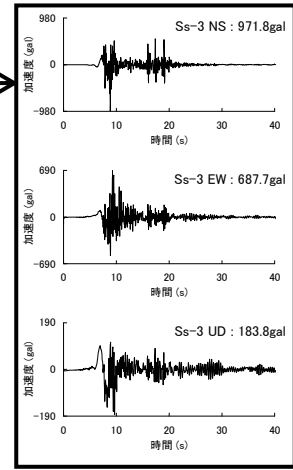
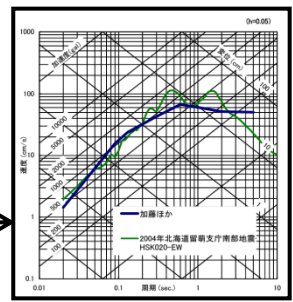
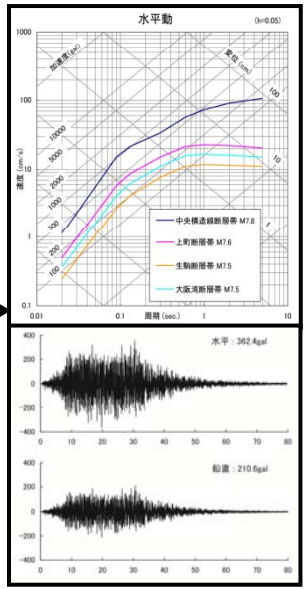
⑥応答スペクトルに基づく地震動評価

⑦断層モデルを用いた手法による地震動評価

⑤震源を特定せず策定する地震動

- ・観測記録を収集して評価
- ・伝播特性や地盤特性の補正

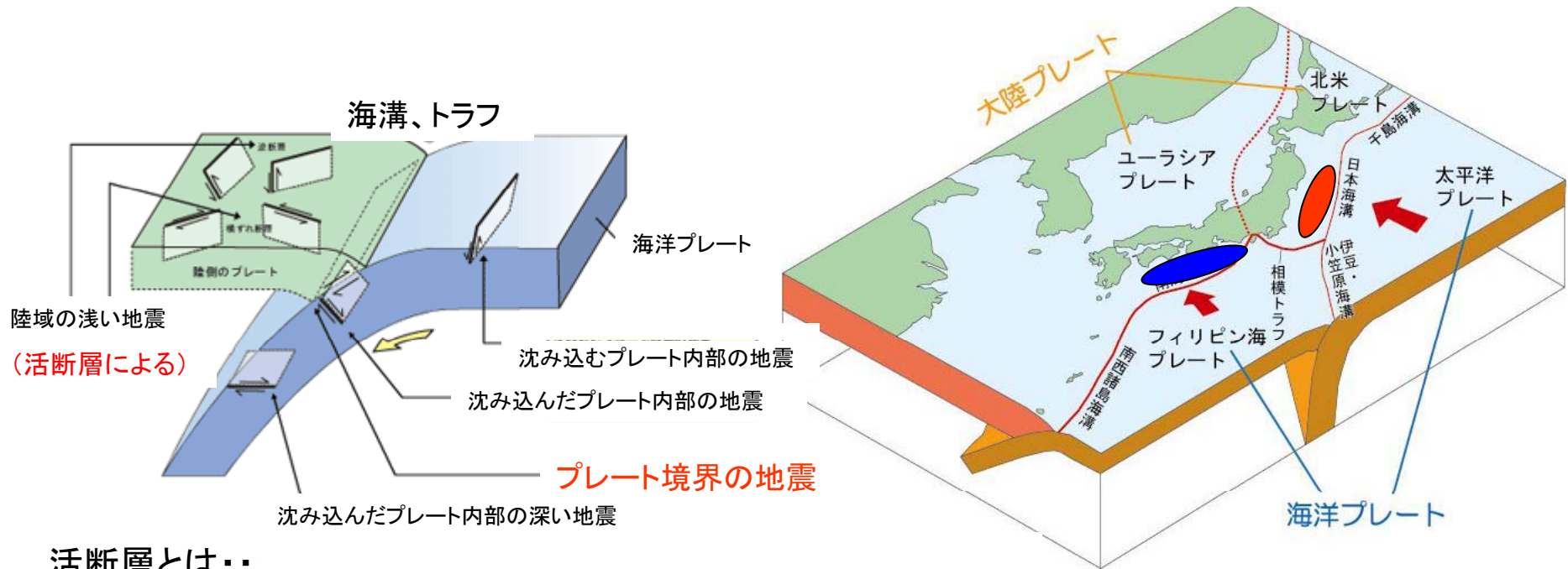
震源を特定せず策定する地震動



加藤スペクトルや最近の地震記録

検討用地震の選択

日本列島の周辺には4つのプレートが存在しており、そのプレートが長い年月をかけて少しずつ移動し、その際に、プレート境界部やプレートの内部に大きな力が加わり、そこがずれる時に地震が発生すると言われている。



陸域の浅い地震
(活断層による)

沈み込むプレート内部の地震

沈み込んだプレート内部の地震

プレート境界の地震

沈み込んだプレート内部の深い地震

活断層とは・・・

一般には最近の地質時代に繰り返し活動し、将来も活動する可能性のある断層のこと。原子力発電所の耐震設計では後期更新世(最終間氷期)以降の活動が否定できないもの(最終活動期が8万年～13万年前以降)

東北地方太平洋沖地震の震源域

東海・東南海・南海地震の震源域

2011年東北地方太平洋沖地震による福島第一原発の事故を受けて、原子力規制委員会において指針が見直され、新たな基準(規則)が作成された。特に津波に対する厳しい安全基準ができた。その基準はどう変わったか？

地震・津波に関する新規規制基準の主なポイント

津波に対する
基準を厳格化



既往最大を上回るレベルの津波を「**基準津波**」として策定し、基準津波への対応として防潮堤等の津波防護施設等の設置を要求(**ドライサイト**)

高い耐震性を要求
する対象を拡大



津波防護施設等は、原子炉圧力容器等と同じ耐震設計上最も高い「Sクラス」に

活断層の認定
基準を厳格化



後期更新世以降(約12~13万年前以降)の活動が否定できないもの。必要な場合は、中期更新世以降(約40万年前以降)まで遡って活動性を評価

より精度の高い
基準地震動の策定



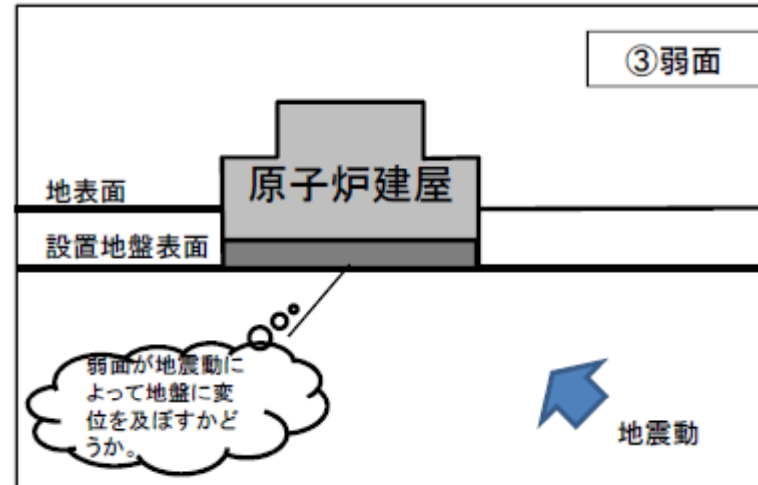
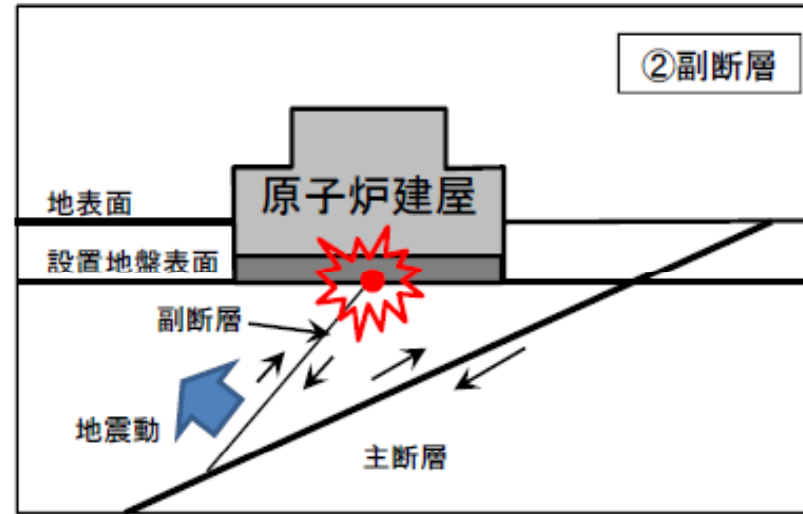
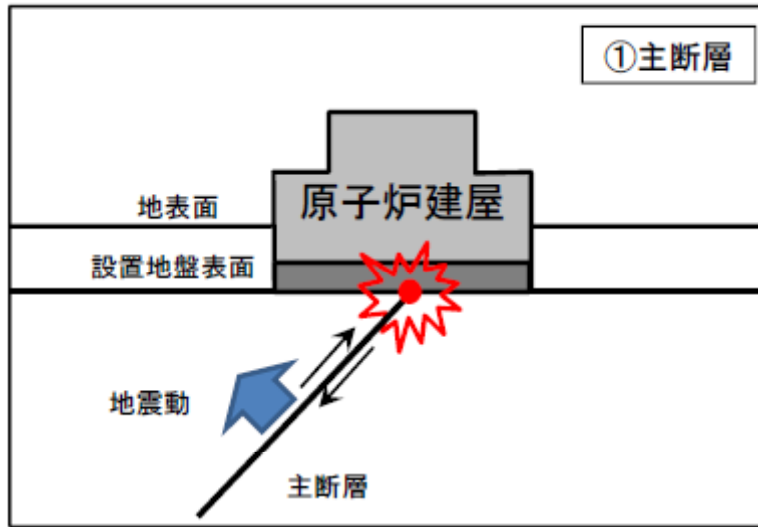
サイト敷地の地下構造を三次元的に把握
震源が敷地に極めて近い場合の**裕度の向上**

不確かさの重畳が要求

地震による揺れに加え「**ずれや変形**」に対する基準を明確化



Sクラスの建物・構築物等は、活動性のある断層等の露頭が無い地盤に設置



地震による揺れに加え
「ずれや変形」に対する
基準を明確化



Sクラスの建物・構築物等
は、活動性のある断層等
の露頭が無い地盤に設置

震源として考慮する活断層のほか、地震活動に伴って永久変位が生じる断層に加え、支持地盤まで変位及び変形が及ぶ地すべり面を含む。

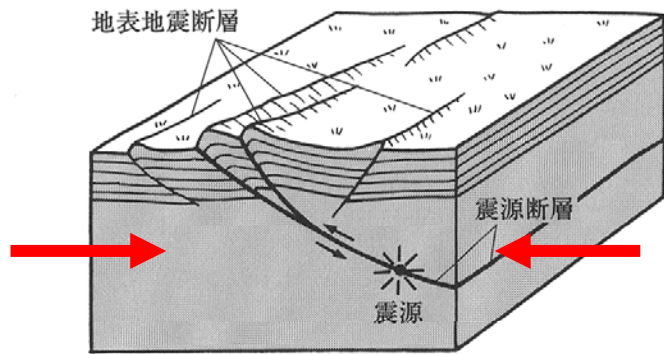
震源が特定できる場合、できない場合 — 内陸地殻内地震を例に —

- 活断層とは・・・

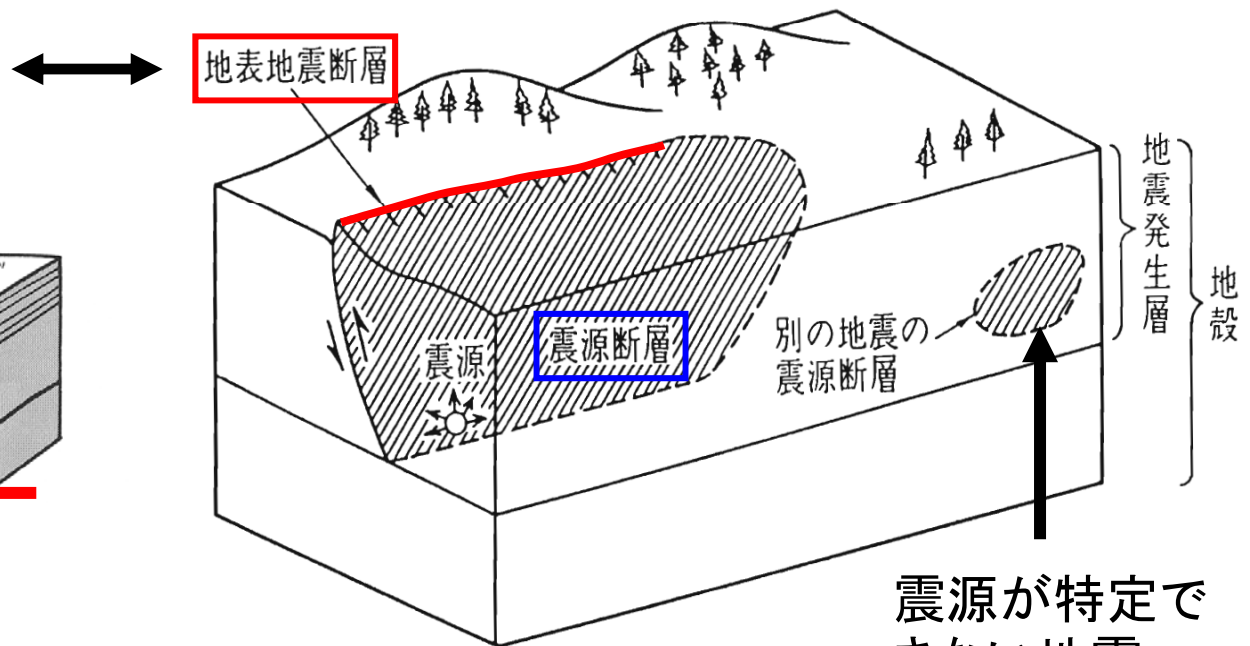
- 震源断層が地表まで到達
- 地表地震断層の発生
- 地震の繰り返しにより変形が累積
- 地表の痕跡として地形に残されたもの

旧指針や新規基準では
後期更新世(最終間氷期)以降の活動
が否定できないもの
(最終活動期が8万年～13万年前以降)
↓
調査結果によっては中期更新世
(40万年前)まで遡る

変動地形学的調査
地表地質調査
地球物理学的調査



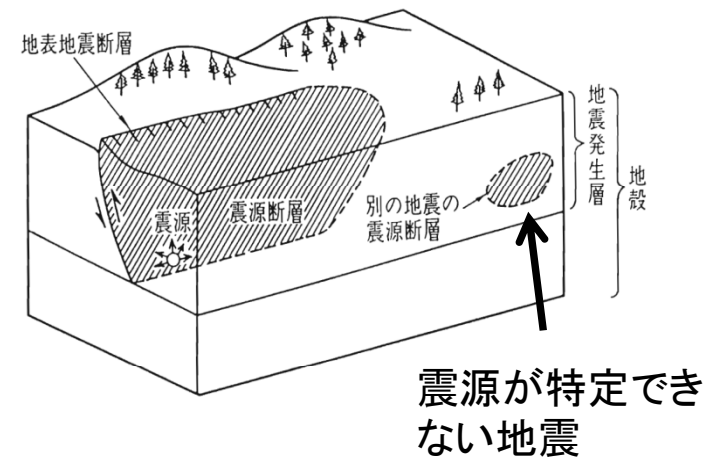
地表地震断層と震源断層の関係 (島崎, 1997)



震源が特定できない地震

川内原子力発電所の基準地震動として、「震源を特定せず策定する地震動」も含まれている。➡ 必要に応じ安全性の見直しが必要となる。

「震源を特定せず策定する地震動」は、震源と活断層を関連づけることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に各種の不確かさを考慮して敷地の地盤物性に応じた応答スペクトルを設定して策定されている必要がある。

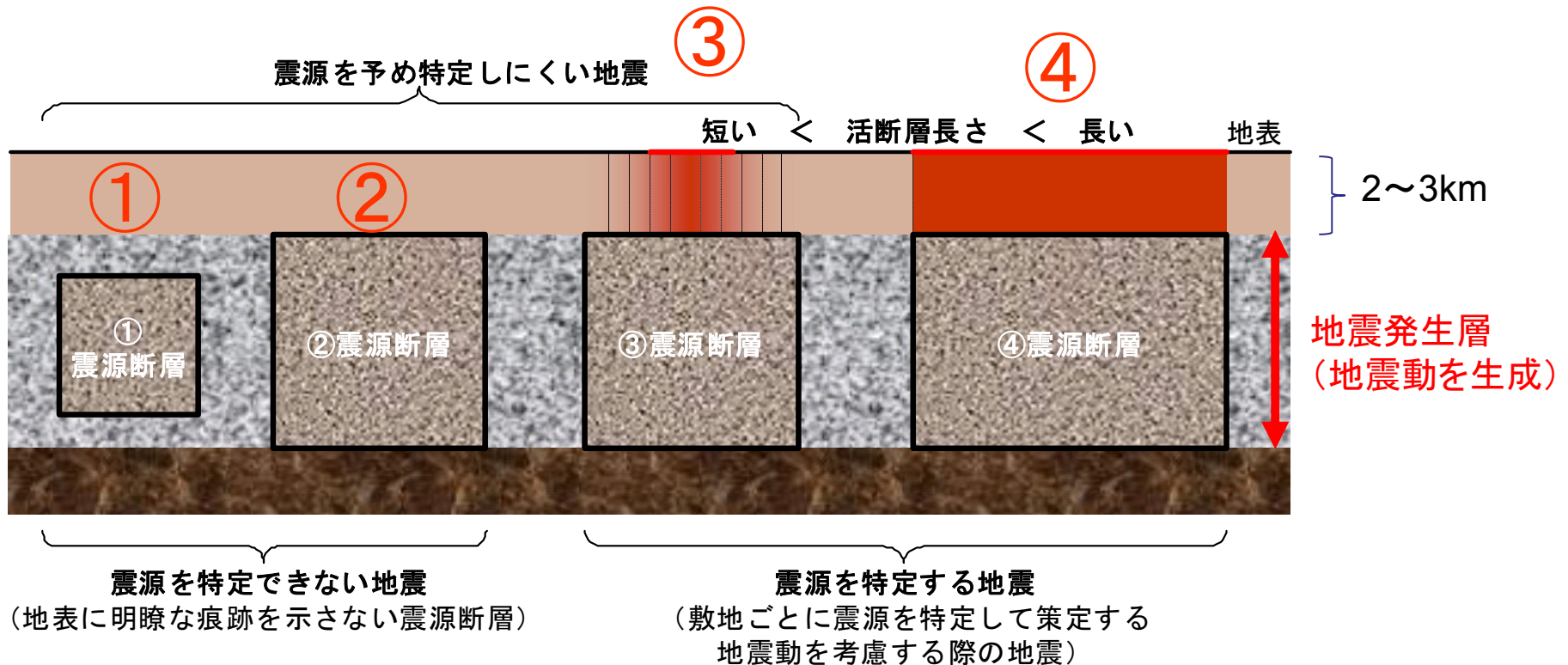


当該地震動評価の変遷

1978年耐震指針	2006年改訂耐震指針	新規制基準やガイド	ガイドの見直し
M6.5の直下地震を想定	地震の規模ではなく、観測地震動(震源近傍)から評価	地震の規模ではなく、観測地震動(震源近傍)から評価、 新たな記録の蓄積、地震規模も選択肢	現在、規制委員会における特別チームによって検討中

活断層情報から得られる震源像(地震動評価のための)

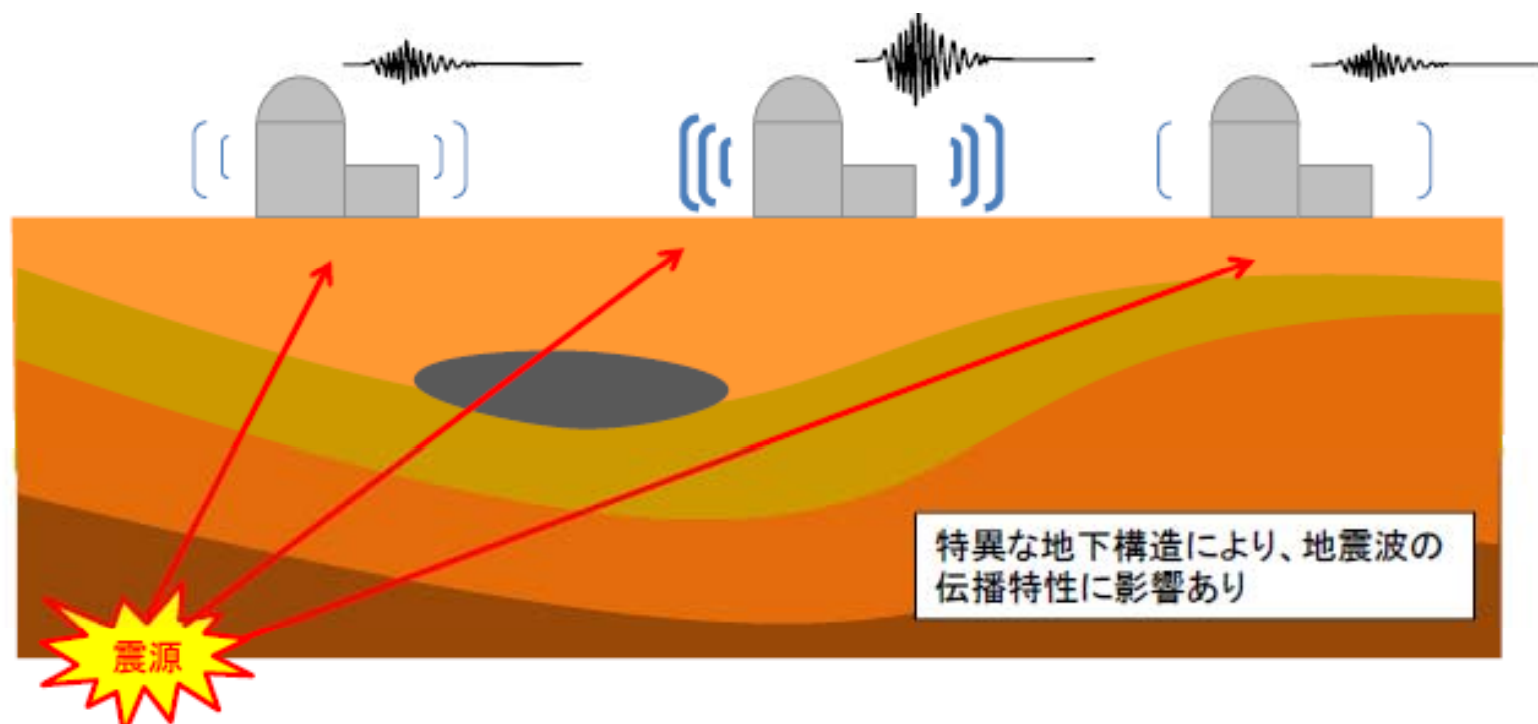
- ・③、④は地震動評価のための震源像は理解(短い孤立した断層、成長した断層)
- ・①も規模の小さな地震として理解
- ・②や②と③の間の地震の地震動評価のための震源像は？
特に活断層調査からの震源像は？



より高精度な基準
地震動Ssの策定



敷地の地下構造を三次元的に把握



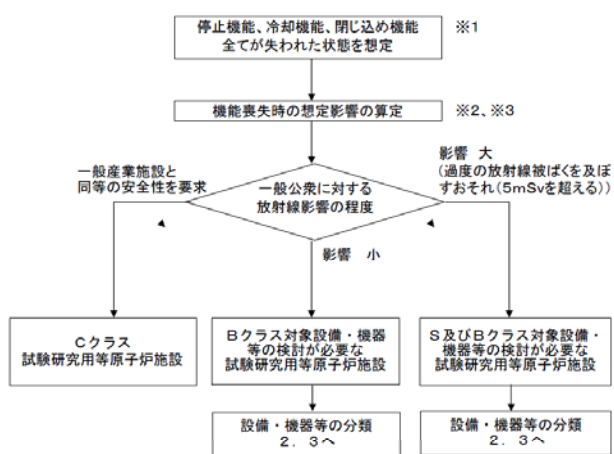
敷地及び敷地周辺の地下構造(深部・浅部地盤構造)が地震波の伝播特性に与える影響評価は重要

- ・敷地及び敷地周辺における地層の傾斜、断層、褶曲構造等の地質構造を評価
- ・地震基盤の位置・形状、岩相の不均一性、地震波速度構造等の地下構造及び地盤の減衰特性を評価

研究用原子炉(KUR)の 基準地震動とは？

KUR(地震・津波)の新規制基準への対応

基準地震動Ssの策定

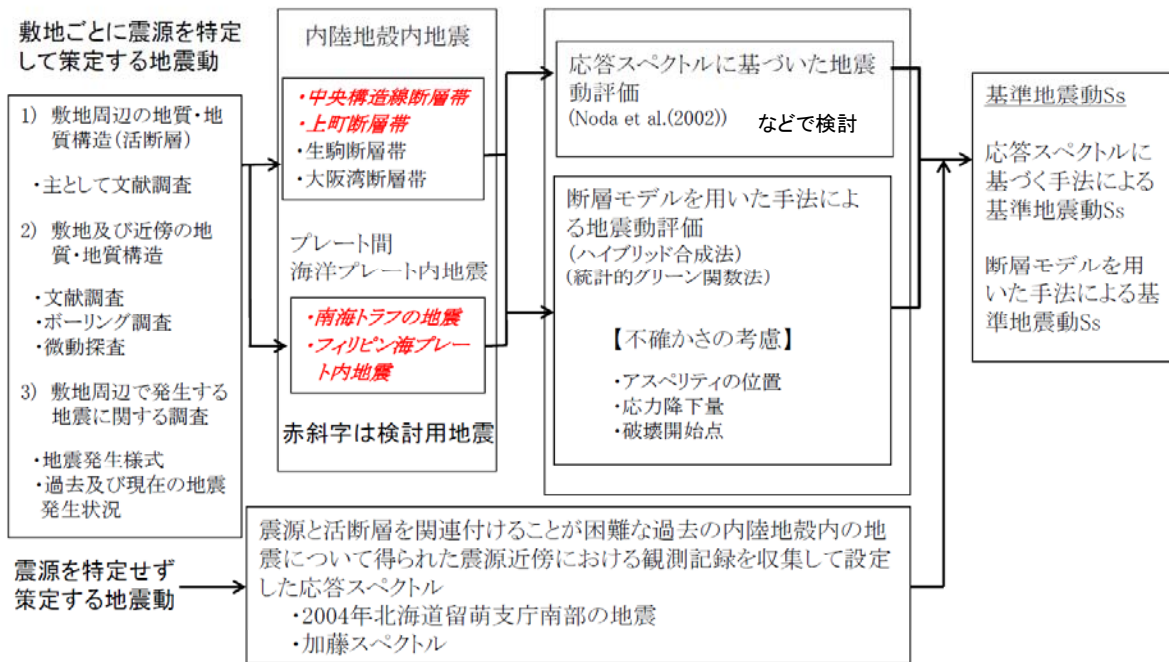


耐震重要度分類の考え方
規則の解釈から抜粋

研究用原子炉(KUR)はSクラスの施設・設備が存在

基準地震動の策定とそれによる耐震安全性の確認が必要

基準地震動Ssの策定フロー



研究用原子炉(KUR) 新規制基準適合性に係る審査を踏まえた検討・反映事項について

- これまでの審査会合での検討・議論を踏まえた研究用原子炉(KUR)の地震・津波等の評価について、資料1-2～1-8のとおり取りまとめた。
- 平成26年9月の設置変更承認申請時点から、審査会合での検討・議論を踏まえて反映した事項は下表のとおり。
- 今後、下表の反映事項を踏まえ、設置変更承認申請書の一部補正を実施する予定。

項目		平成26年9月申請後の検討・反映事項 (審査会合での主な議論内容)	資料名
地盤及び地震	敷地の地質・地質構造	<ul style="list-style-type: none"> ・速度構造断面の追加検討 ・単点微動による基盤岩深度の追加検討 	資料1-2
	敷地地盤の震動特性	<ul style="list-style-type: none"> ・地震観測記録を用いた1次元速度構造モデルの追加検討 	資料1-2
	敷地周辺及び近傍の地質・地質構造	<ul style="list-style-type: none"> ・敷地近傍断層の活動性の追加検討 ・上町断層帯の活動区間の追加検討 	資料1-3
	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	<ul style="list-style-type: none"> ・基本モデルとしての中央構造線断層帯の活動区間の見直し ・断層モデルとして中央構造線断層帯と別府一万年山断層帯の連動を考慮した断層長さ約480kmケースの検討 ・上町断層帯の活動区間の見直し ・震源モデルの見直しと不確かさの考慮(アスペリティの配置や破壊開始点) ・応答スペクトル法による地震動評価の見直し 	資料1-4
	プレート間地震	断層モデルによる地震動評価における不確かさの設定(アスペリティの位置)	
	海洋プレート内地震	断層モデルによる地震動評価の追加検討(アスペリティの位置や数の不確かさを考慮)	
	震源を特定せず策定する地震動	<ul style="list-style-type: none"> ・ガイドに示された16地震の整理 ・北海道留萌支庁南部の地震の解放基盤波の見直し 	
基準地震動	<ul style="list-style-type: none"> ・断層モデルや応答スペクトル法による基準地震動の見直しと追加 		
津波	津波に対する影響評価	<ul style="list-style-type: none"> ・津波による影響のないことを公的機関の評価結果などから再確認 	資料1-5
基礎地盤及び周辺斜面の安定性	基礎地盤の安定性	<ul style="list-style-type: none"> ・基準地震動を用いた追加検討 ・すべり安全率、基礎の支持力、基礎底面の傾斜について評価基準値を満足することを確認 ・液状化や地震による地殻変動による影響のないことを確認 	資料1-6
火山	立地評価 影響評価	<ul style="list-style-type: none"> ・立地評価及び影響評価について追加検討 ・降下火砕物の厚さに係る追加検討 	資料1-7

研究用原子炉(KUR)の基準地震動

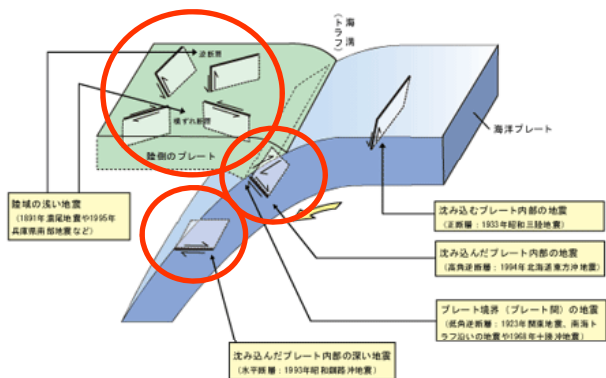
・検討用地震の想定と策定された基準地震動

検討用地震の候補



◎地震のメカニズム

日本列島の周辺には4つのプレートが存在しており、そのプレートは長い年月をかけて少しずつ移動し、その際に、プレート境界部やプレートの内部に大きな力が加わり、そこがずれる時に地震が発生するといわれている。



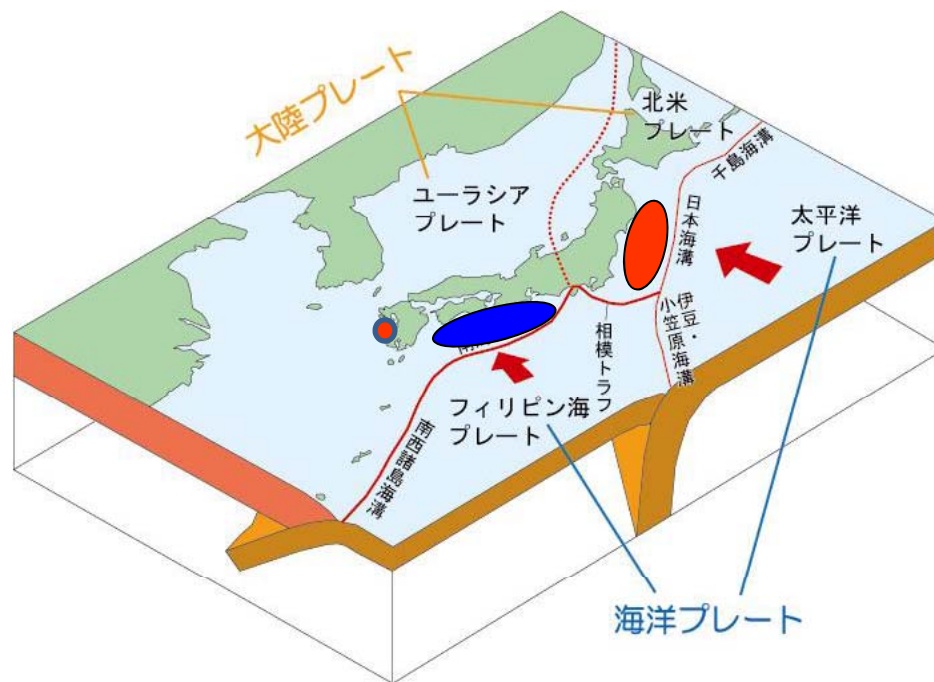
◎活断層とは…



最近の地質時代に繰り返し活動し、将来も活動する可能性のある断層のこと。

◎地震の大きさ

マグニチュード	マグニチュード（地震規模）とは、地震が放出したエネルギーの大きさを示す尺度。
ガル	ガルとは、加速度の単位（ cm/sec^2 ）で地震の揺れの強さを数値として表現したもの。一般にはガル数が大きいほど震度も大きくなる。
震度	震度とは、観測点における地震の揺れの強さを示す尺度で、0～7までの10階級に分かれている。気象庁等は全国の約4,200地点で観測している。

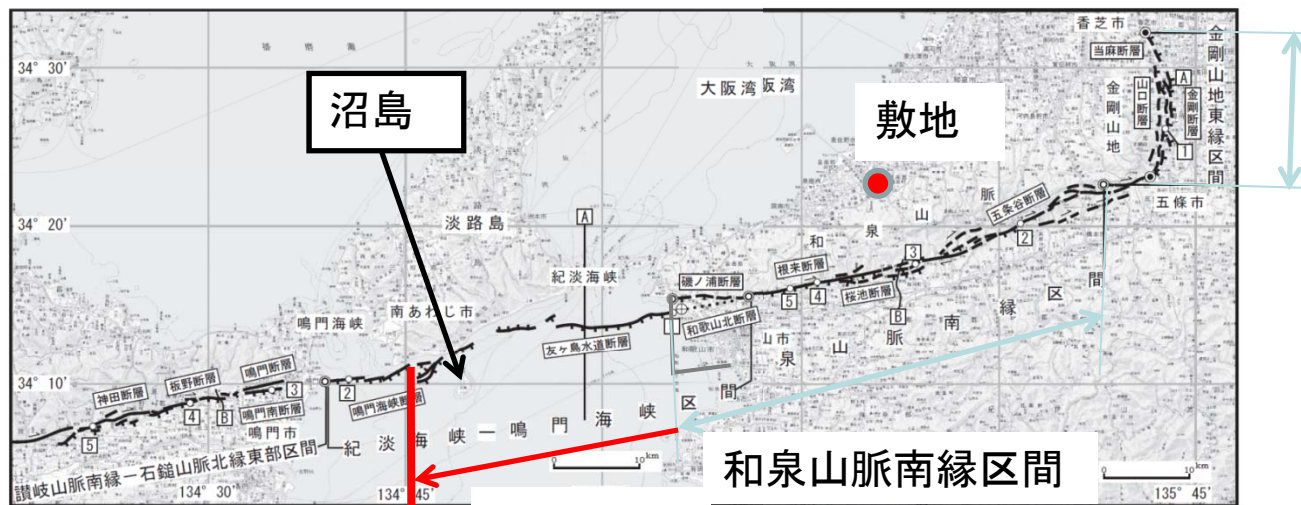
（1995年兵庫県南部地震は、神戸海洋気象台発表でマグニチュード7.3、最大水平加速度818ガル、震度7でした。）



-  東北地方太平洋沖地震の震源域
-  東海・東南海・南海地震の震源域

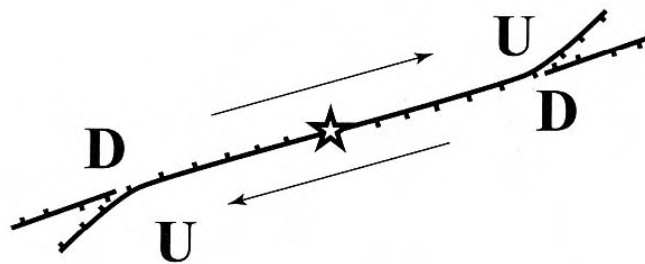
中央構造線断層帯(金剛山地東縁及び和泉山脈南縁区間)として 新たに考慮する活動区間

平成27年4月24日
審査会合資料再掲



金剛山地東縁区間

延長区間



第1図 「形態単位モデル」の模式図 (中田ほか, 1998)
右横ずれ断層の例. U: 隆起側, D: 沈降側

中田・他(2004)

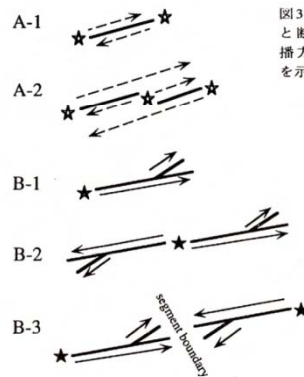


図3 断層分岐と断層破壊伝播方向の関係を示すモデル。

Epicenter	Directivity	Predictability
★		Unpredictable
★		Predictable

中田・後藤(1998)

これまで活動区間を和泉山脈南縁断層の西端(陸の境界)としていたものを、より保守的に紀淡海峡-鳴門海峡区間の沼島の西方(赤線)まで西に延長した。沼島近傍での活断層の分布が中田・他(2004)による形態単位モデルと類似する。

以上から、新たに考慮する活動区間として、金剛山地東縁区間の北端から紀淡海峡-鳴門海峡区間の沼島西部までの断層長86km、規模M8.1を検討用地震として選定した。

最新の知見を考慮した上町断層帯の活動区間の再評価

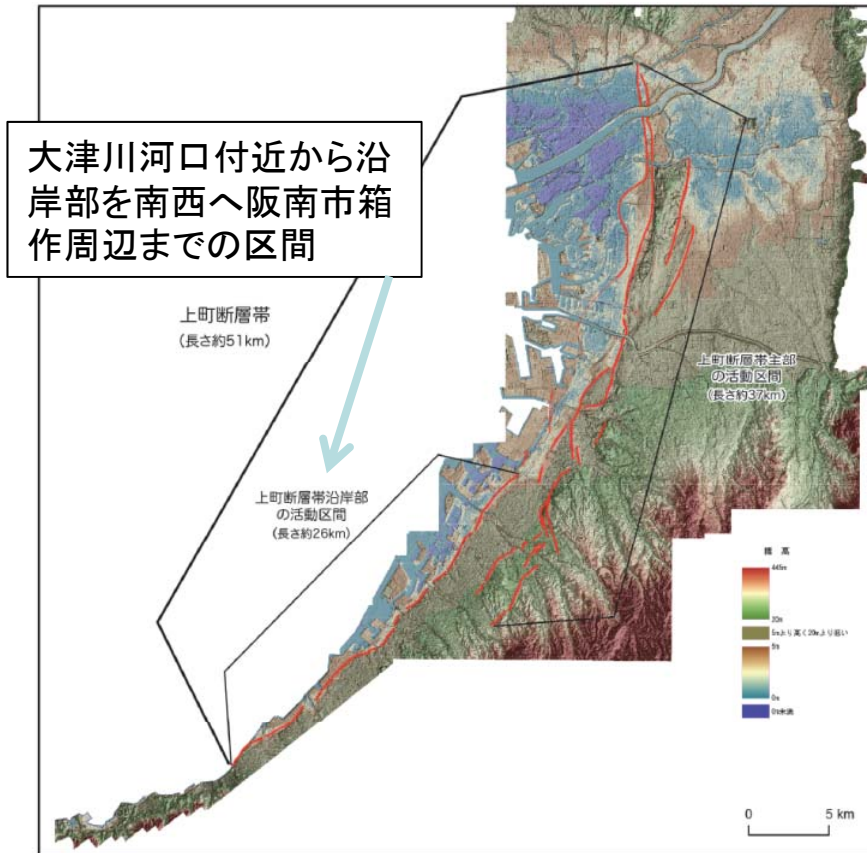
平成27年4月24日
 審査会合資料に加筆修正



上町断層帯主部(佛念寺山断層—久米田池断層区間)

地震本部(2004)

上町断層帯の最新の知見を反映した活動区間として、ここでは地震本部(2004)による佛念寺山断層から久米田池断層までの全長約46kmの区間(左図)に加え、新たに大津川河口付近から沿岸部を南西へ阪南市箱作周辺までの約26km(右図)を考慮した。以上から、両区間を併せた断層長さ72kmに、2つの撓曲を加えた84km(規模M8.0)を検討用地震として選定する。



重点調査による上町断層帯湾岸部の活動区間

文部科学省・京都大学防災研究所、(2013):
 上町断層帯における重点的な調査観測(平成22年～平成24年度)に加筆

地震動評価における基本震源断層モデルと不確かさの考慮

中央構造線断層帯の震源断層モデル(モデル1、モデル2とも共通)				
ケース番号	傾斜角	アスペリティ	破壊開始点	応力降下量
ケース1 (基本モデル1)	43°	各セグメント(五条谷、根来、友ヶ島水道断層)に1つ	根来断層セグメントのアスペリティの西側下端	レシピア※1
ケース2 (基本モデル2)	43°	各セグメント(五条谷、根来、友ヶ島水道断層)に1つ	五条谷断層セグメントのアスペリティの東側下端	レシピア※1
ケース3 (基本モデル3)	43°	各セグメント(五条谷、根来、友ヶ島水道断層)に1つ	友ヶ島水道断層セグメントのアスペリティの西側下端	レシピア※1
ケース4 (応力降下量1.5倍モデル)	43°	基本モデルと同じ	ケース1～3の結果を踏まえ設定	レシピア※1 × 1.5倍
ケース5 (アスペリティ位置の不確かさを考慮したモデル)	43°	敷地直下に根来断層セグメントのアスペリティを配置	根来断層セグメントのアスペリティの中央下端	レシピア※1
ケース6 (アスペリティ位置の不確かさを考慮したモデル)	43°	敷地直下に根来断層セグメントのアスペリティを配置	根来断層セグメントのアスペリティの西側下端	レシピア※1
ケース7 (アスペリティ位置の不確かさを考慮したモデル)	43°	敷地直下に根来断層セグメントのアスペリティを配置	根来断層セグメントのアスペリティの東側下端	レシピア※1

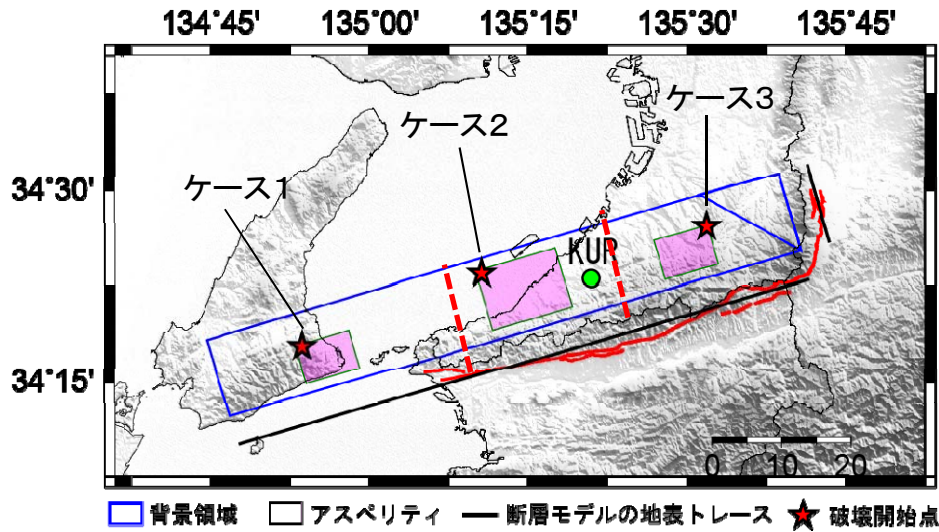
■ 不確かさを考慮したパラメータ

※1 強震動予測レシピアのより計算

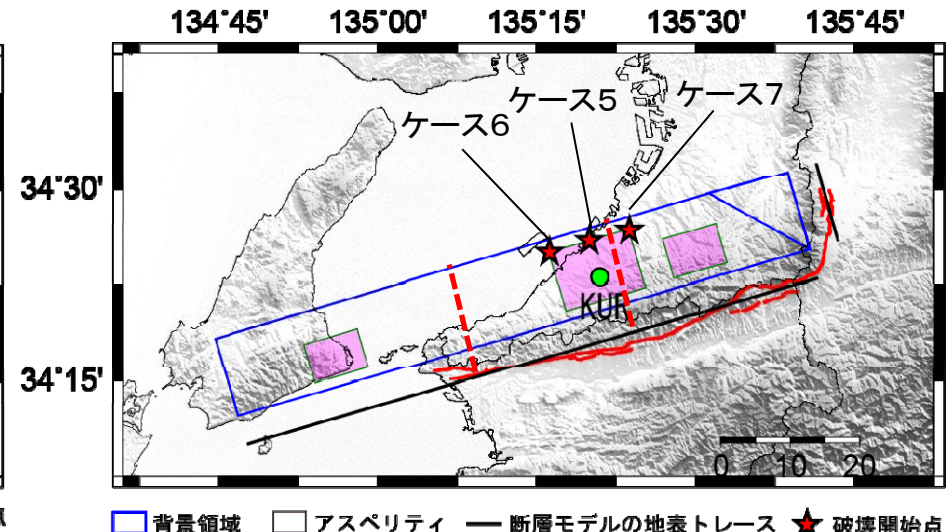
ケース4についてはケース1～3の中から、水平動の最大加速度が最も大きくなったケースを採用した。

中央構造線断層帯の震源断層モデル

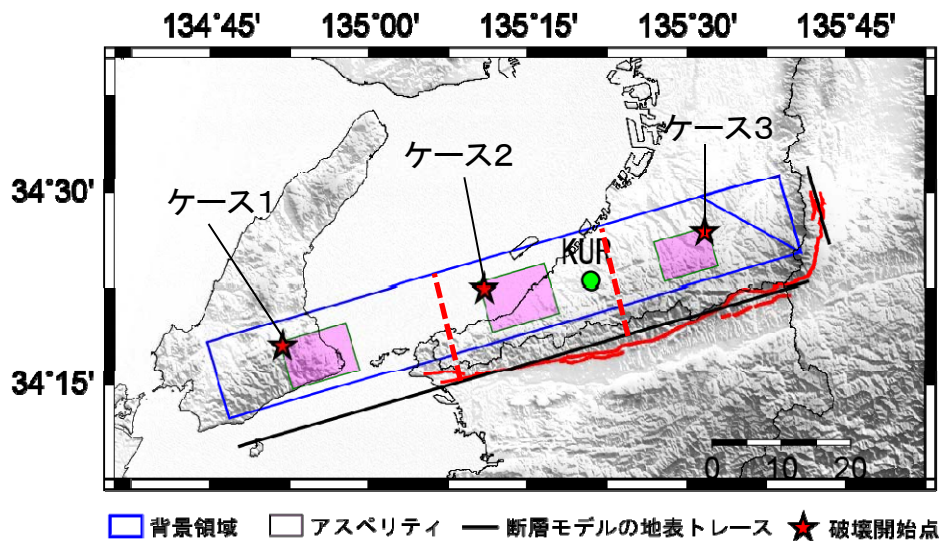
平成27年4月24日
審査会合資料再掲



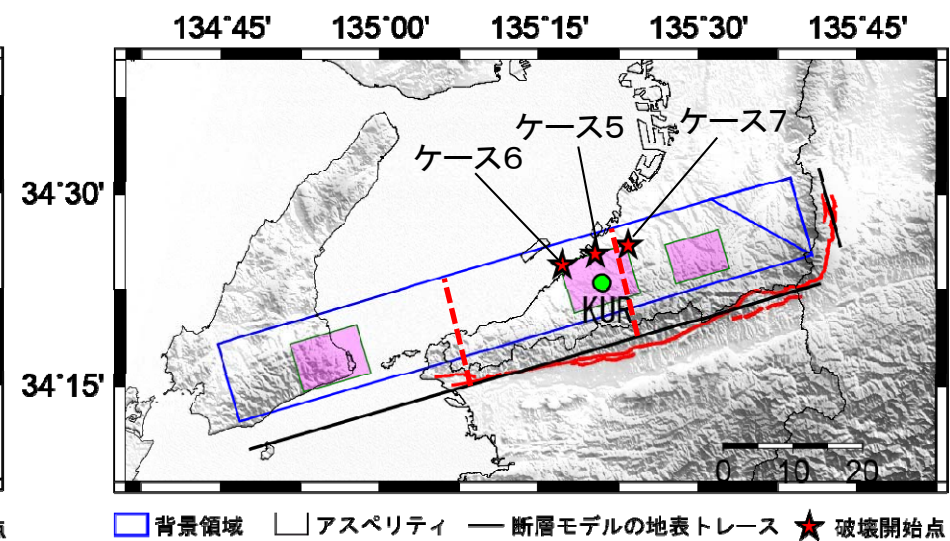
モデル1(ケース1~3)



モデル1(ケース5~7)



モデル2(ケース1~3)



モデル2(ケース5~7)

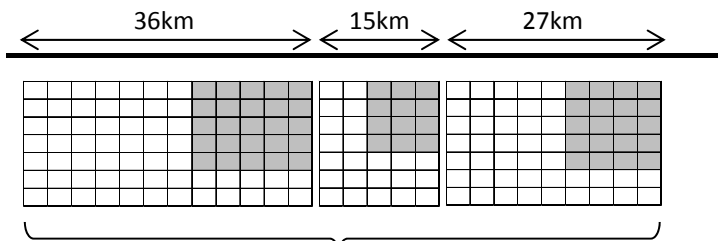
ケース4はケース1~3の結果から設定

中央構造線断層帯(広域が連動するケース)の地震動評価(3)

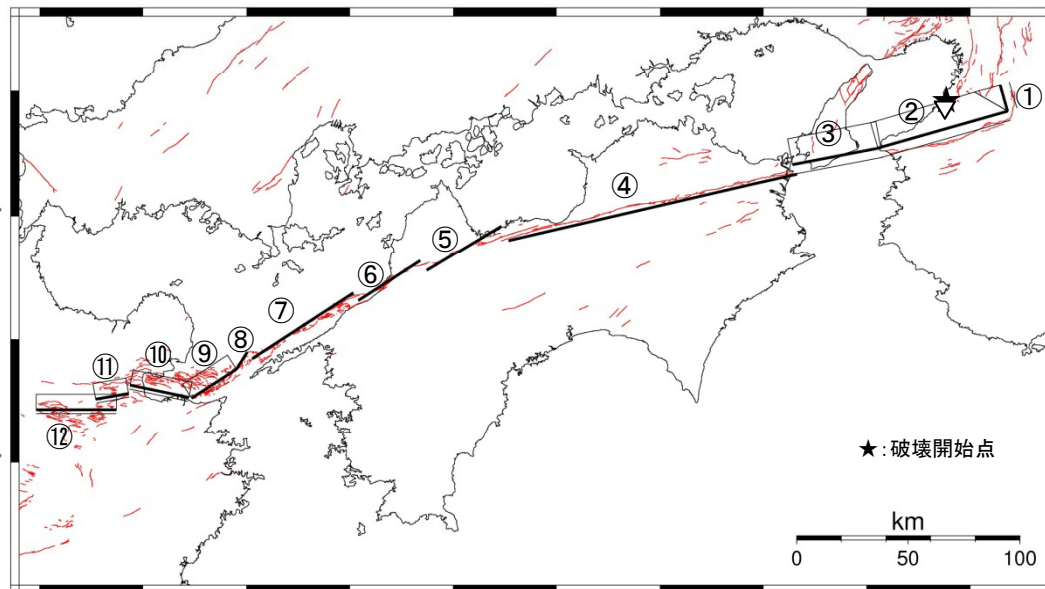
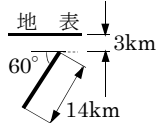
平成27年9月4日
審査会合資料再掲

震源断層モデル

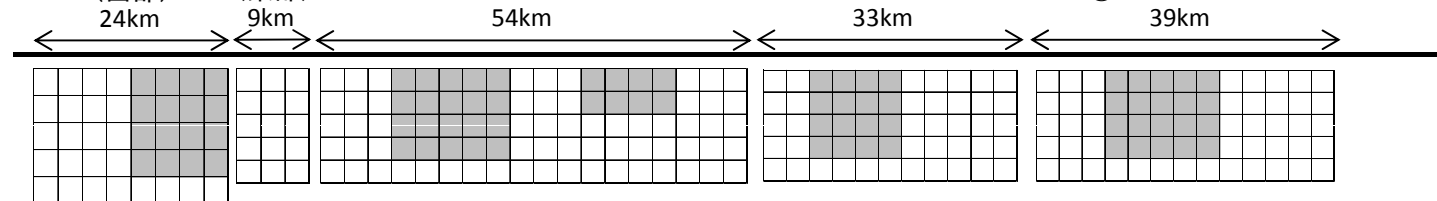
⑫崩平山-亀石山 ⑪大分-由布院 ⑩大分-由布院
(西部) (東部)



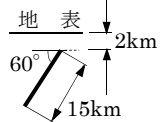
⑩~⑫断面図



⑨豊予海峡 ⑧豊予海峡 (西部) (東部) ⑦敷地前面海域の断層群(伊方)

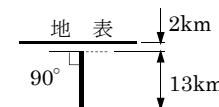


⑨断面図

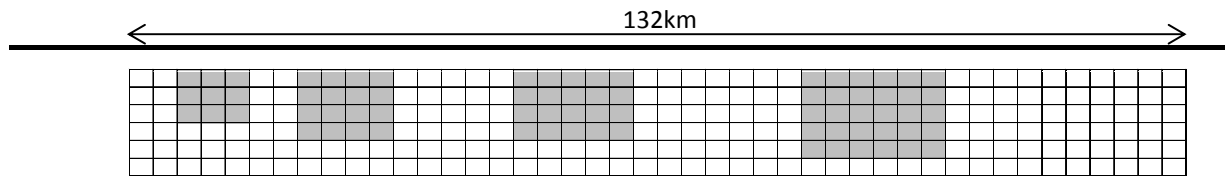


⑥伊予セグメント ⑤川上セグメント

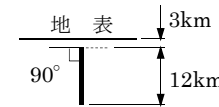
⑧~⑤断面図



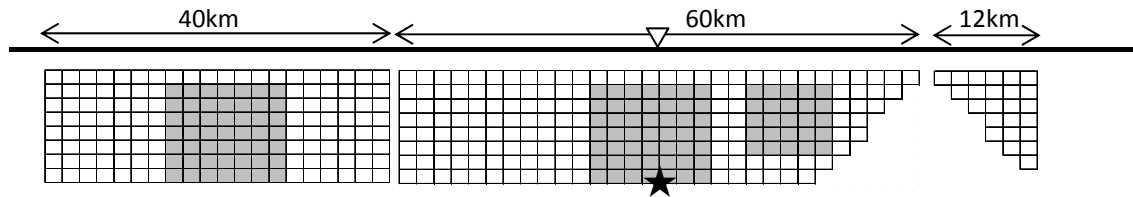
④讃岐山脈南縁-石鎚山脈北縁東部



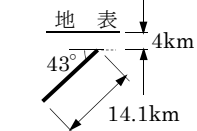
④断面図



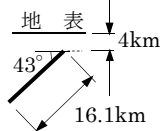
③紀淡海峡-鳴門海峡 ②和泉山脈南縁 ①金剛山地東縁



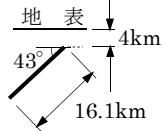
①断面図



③断面図

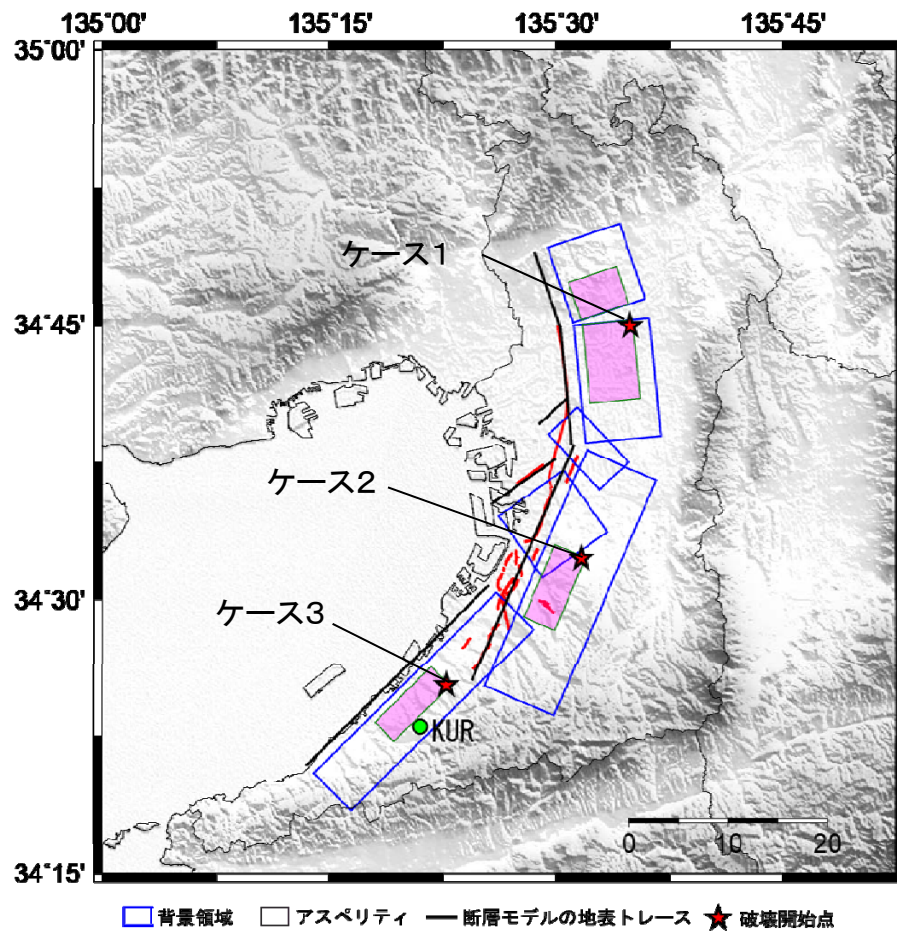


②断面図

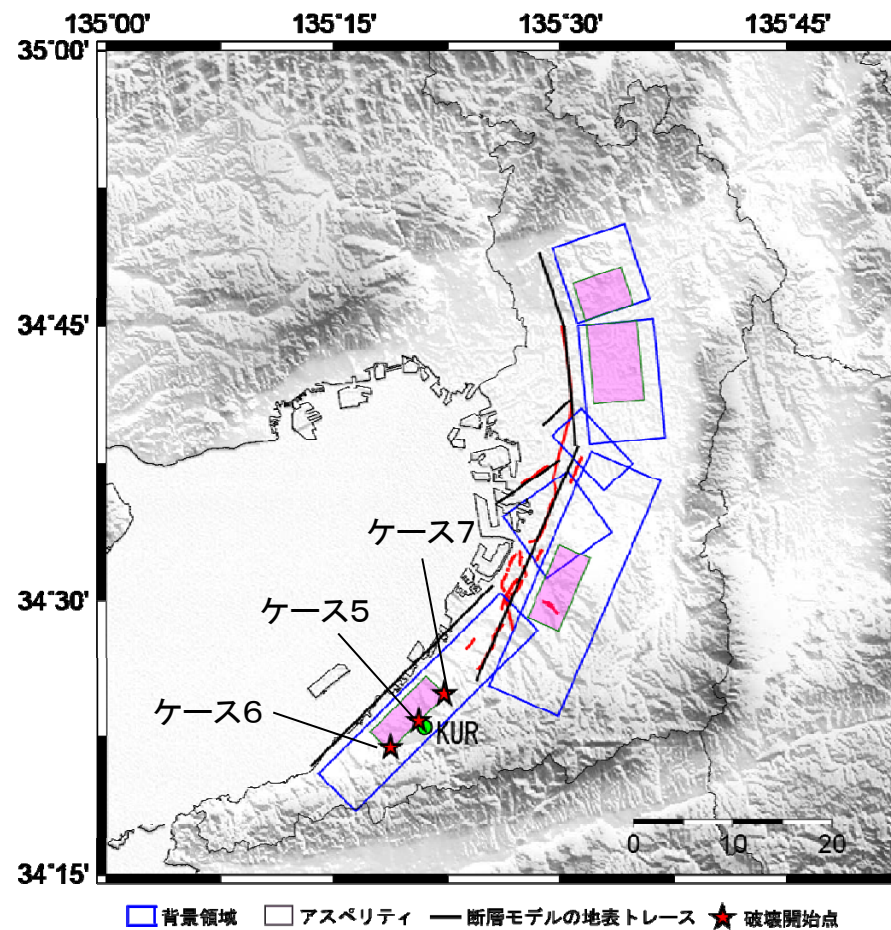


上町断層帯の震源断層モデル(モデル1)

平成27年4月24日
審査会合資料再掲

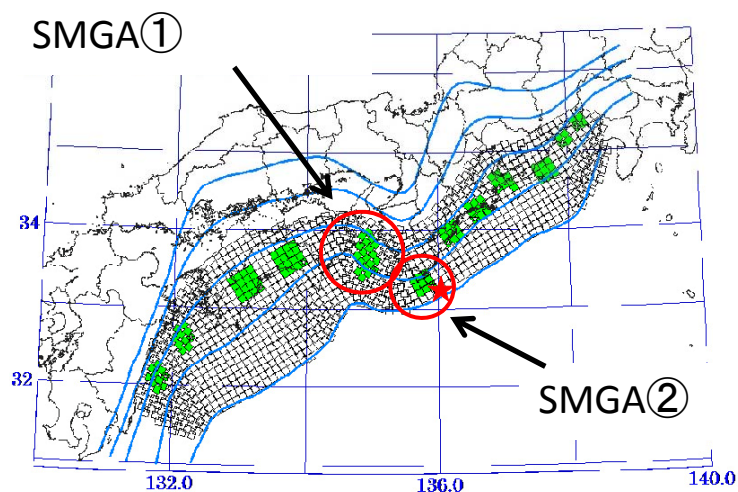


モデル1(ケース1~3)



モデル1(ケース5~7)

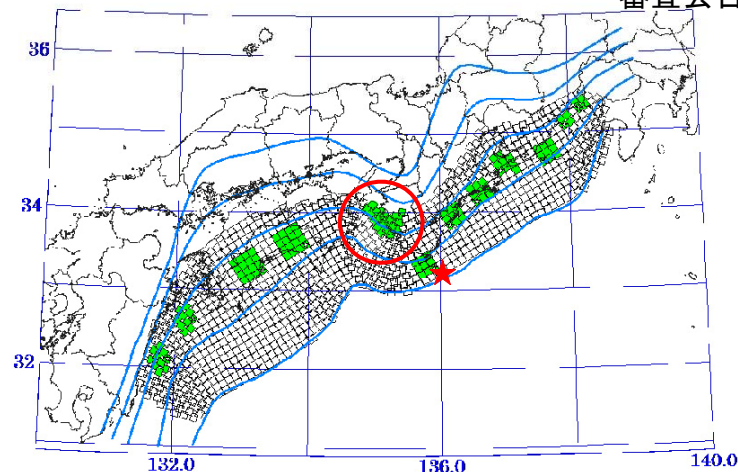
ケース4はケース1~3の結果から設定



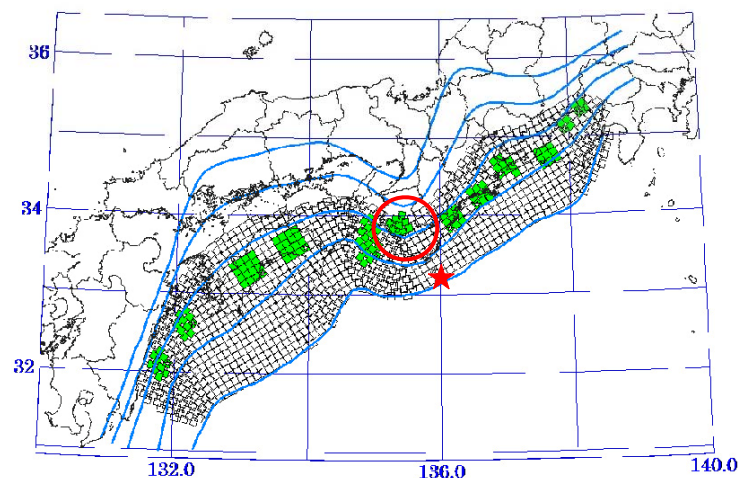
(1) 中央防災会議(2012)の震源モデル(陸側ケース)
基本モデルとして採用(ケース1)

★:破壊開始点

基本震源モデルと敷地への影響を考慮し、SMGAの位置や形状を変更した場合(2ケース)の震源モデル



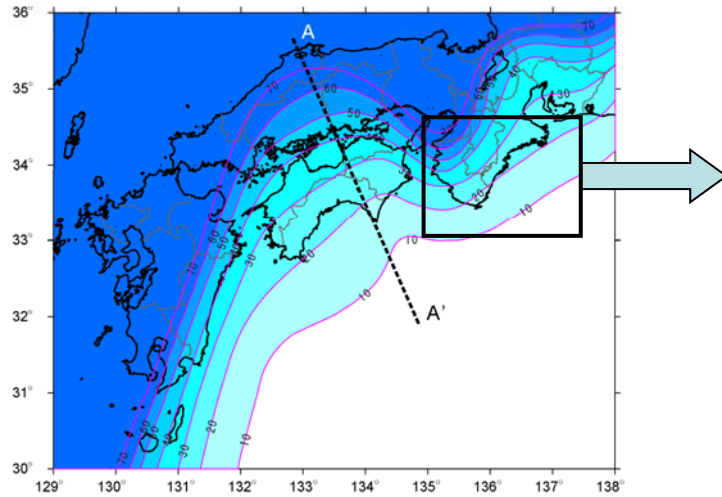
(2) 不確かさを考慮したケース
敷地に最も近いSMGA①の位置や形状を変更したケース(ケース2)



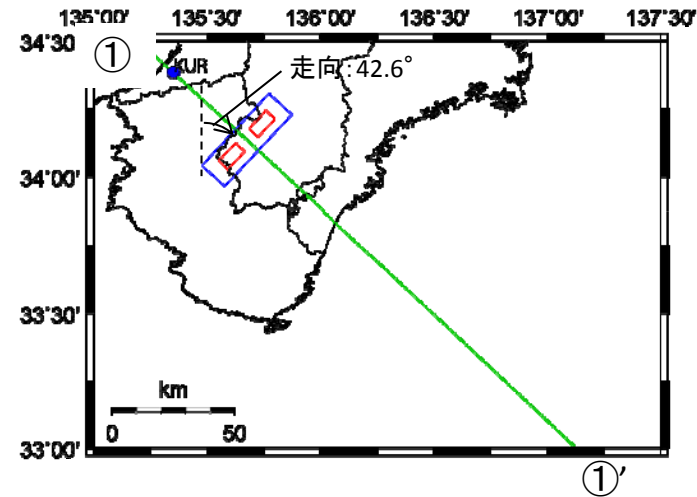
(3) 不確かさを考慮したケース
敷地への影響の観点から紀伊半島沖のSMGA②を敷地に近づけたケース(ケース3)

断層モデルを用いた海洋プレート内地震の地震動評価のための震源モデル

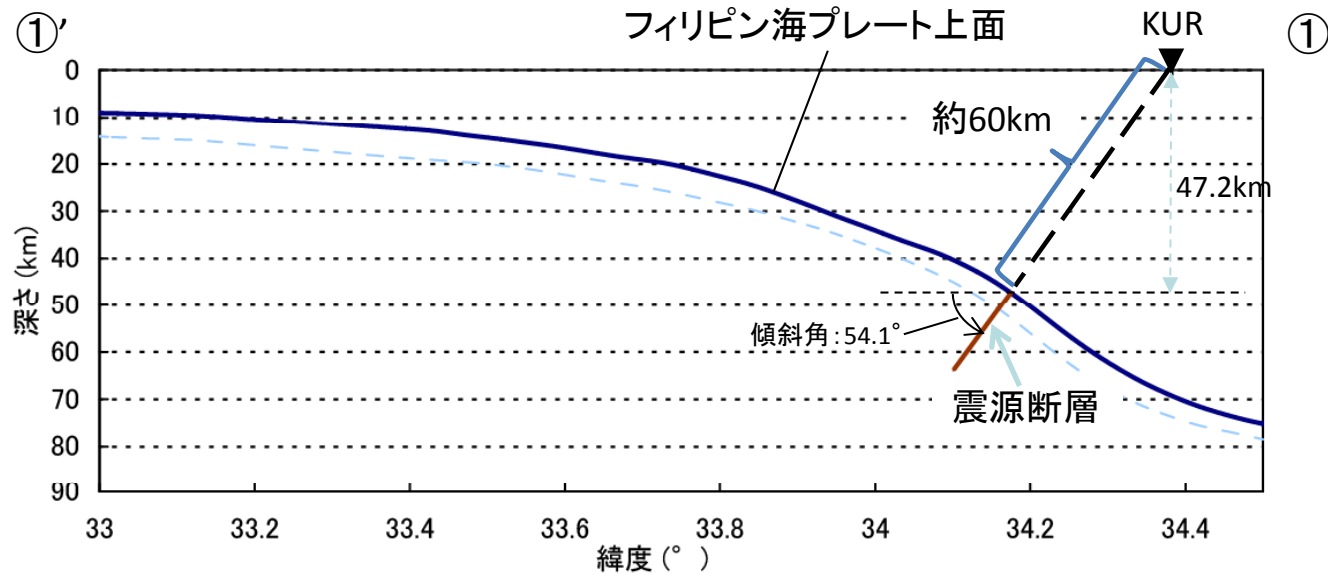
平成27年6月5日
 審査会合資料再掲



フィリピン海プレート上面深度
 地震本部(2012)に加筆



プレート内地震の断層面とCase1のアスペリティ配置



プレート上面深さとプレート内地震の断層位置

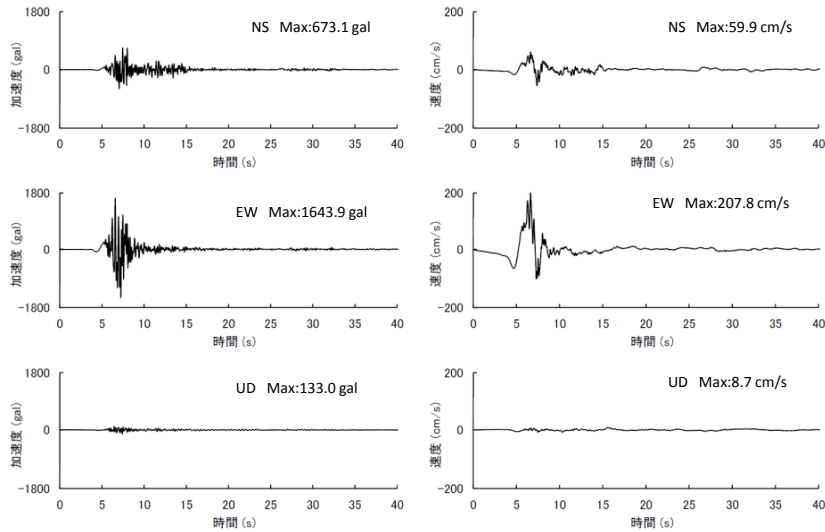
6.4 基準地震動Ssのまとめ(3) 最大加速度

基準地震動				NS方向	EW方向	UD方向
震源を特定して策定する地震動	応答スペクトル法	Ss-1	模擬地震波	944		358
	断層モデルを用いた手法	Ss-2	中央構造線断層帯 (モデル1、ケース1)	729	520	215
		Ss-3	中央構造線断層帯 (モデル1、ケース4)	1053	672	252
		Ss-4	中央構造線断層帯 (モデル1、ケース5)	673	1644	133
		Ss-5	上町断層帯 (モデル1、ケース1)	767	756	194
		Ss-6	上町断層帯 (モデル1、ケース4)	709	1184	213
		Ss-7	上町断層帯 (モデル1、ケース5)	649	674	170
		Ss-8	上町断層帯 (モデル1、ケース6)	566	683	196
		Ss-9	上町断層帯 (モデル2、ケース4)	699	1260	293

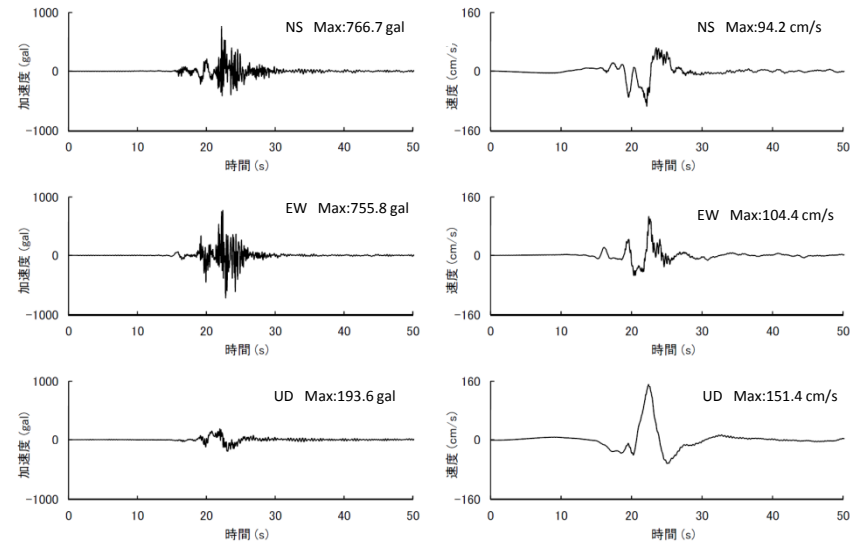
震源を特定せず策定する地震動は、Ss-1によって全周期帯で包絡されるため、基準地震動としては設定しない。

6.3 ハイブリッド法による基準地震動Ssの評価(2)

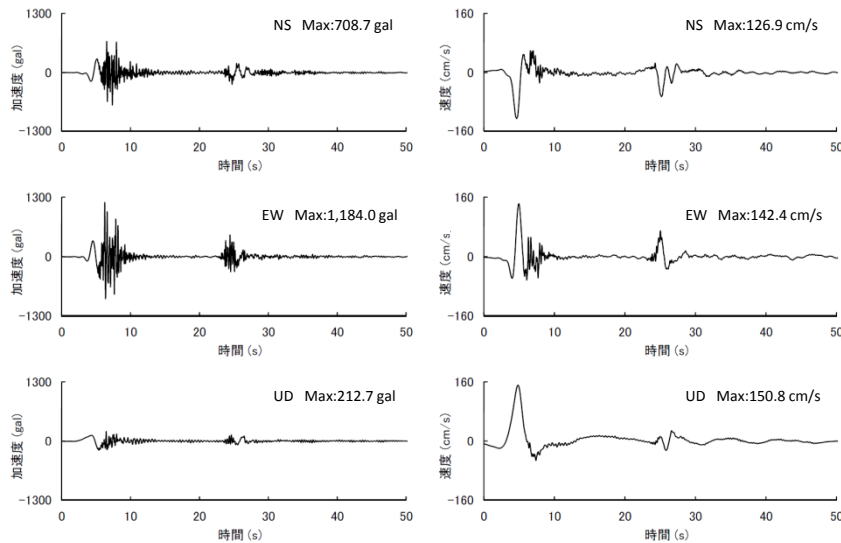
平成27年10月9日
審査会合資料再掲



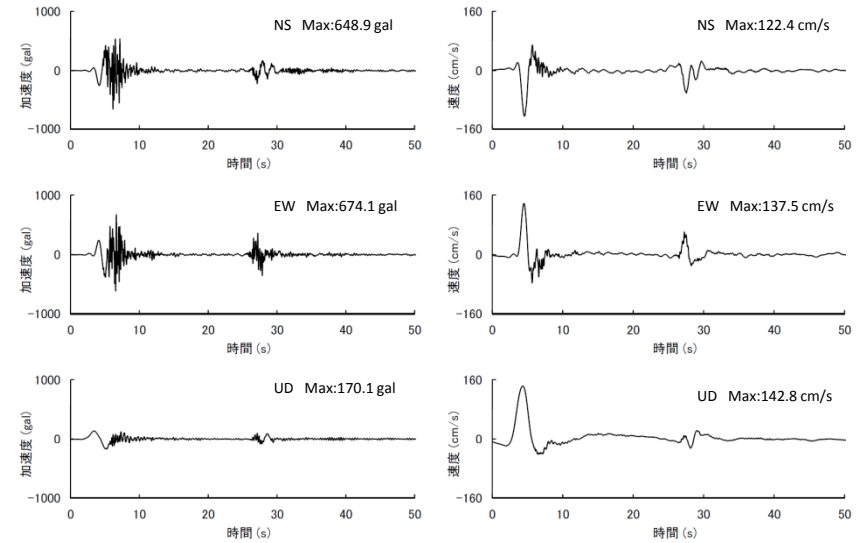
Ss-4 中央構造線断層帯 モデル1 ケース4



Ss-5 上町断層帯 モデル1 ケース1



Ss-6 上町断層帯 モデル1 ケース4



Ss-7 上町断層帯 モデル1 ケース5

震源のモデル化における不確かさ(どう取り扱うか?)

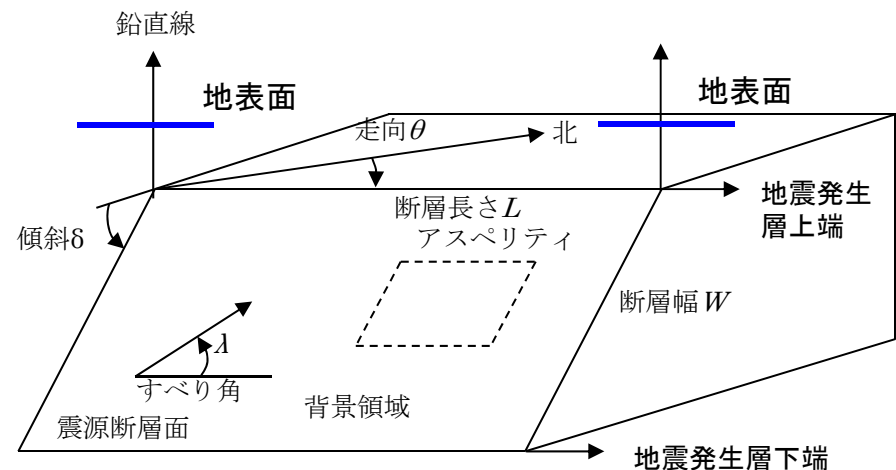
- ・認識論的不確か性
- ・偶然的不確か性

確定論的評価から確率論的評価へ

- ①断層長さ(断層の連動も含む。) 地震規模評価に影響
- ②アスペリティ(強震動生成域)の位置 地震動に直接影響
- ③断層上端・下端(地震発生層上端・下端)深さ 地震規模に影響(面積) 地震動に直接影響
- ④断層傾斜角 地震規模に影響(面積) 地震動に直接影響
- ⑤応力降下量(原子力では平均値の1.5倍を考慮) 地震動に直接影響
- ⑥破壊開始点の位置(複数設定) 地震動に直接影響(指向性効果)
- ⑦特性化震源モデルのような単純なモデル化に伴う不確かさ
不均質性を単純化することの影響(特に極近傍断層の場合)

各種スケール則の精度向上とバラツキの考慮

- ①L-M₀ 関係
- ②S-M₀ 関係
- ③A-M₀ 関係 など



原子炉施設の安全と安心を担うために

安全・安心

安心・安全

個人の技術力・対応力向上を目指して。

- 1)自分がなぜこの研究所にいるのかを考える。
- 2)自ずと自分の役割がわかる。
- 3)そうすると自分が何をすべきかがわかる。
- 4)また自分に何が不足しているかもわかる。

それを補うことによって技術力・対応力は自ずと向上する。(だろう)

日常の管理業務だけでなく、**迅速な**トラブル対応、**的確な**規制対応にも繋がる。

組織力の向上を目指して。

お互いを理解し、助け合い、補い合うことが重要**(否定の前に肯定を)**

そのためには、まず健全な職場が第一

ありがとう

すみません

ご苦労さん(お疲れさん)

その気持ちを忘れず、**相手に伝える**

ご静聴ありがとうございました。

量子ビーム実験と構造モデリングによる 機能性非晶質材料の構造研究

京都大学複合原子力科学研究所 粒子線基礎物性研究部門

小野寺 陽平

E-mail: y-onodera@rri.kyoto-u.ac.jp

ガラス、液体、アモルファスといった非晶質材料は我々の身のまわりに数多く存在し、とくにガラス材料は窓ガラス、ガラス瓶、光学ガラス、スマートフォンのカバーガラスと多岐の用途に渡って使用されている。代表的なガラス材料である酸化物ガラスは、一般的に単独でガラスを形成するネットワーク形成物質 (SiO_2 , B_2O_3 , P_2O_5 など) と単独でガラスを形成しないネットワーク修飾物質 (Li_2O , Na_2O , MgO , ZnO など) を原料とし、それらの混合物を高温で熔融し急冷することで得られ、構成元素によって様々な機能を発現する。ゆえに、ガラス構造を構成する各元素の機能発現に資する役割を明らかにすることで新規材料のより効率的な設計・開発が可能になると考えられるが、ガラスをはじめとした非晶質材料の原子配列には結晶材料のような長周期的な構造秩序が存在せず、また実験から得られる構造情報が少ないことから、非晶質材料の構造と物性の相関を明らかにすることはこれまで極めて困難であった。しかし、近年、J-PARC や SPring-8 といった大型量子ビーム実験施設の建設によって高強度・高エネルギーの中性子や放射光 X 線を利用した実験および解析技術が飛躍的に発展し、さらに、計算機性能の著しい向上に伴い多くの実験データを同時に再現する構造モデリングが可能となったことから、非晶質材料の構造と機能の相関を解明するための環境は着々と整ってきている。

リン酸塩ガラスは生体関連材料や光学材料としての用途があり、最近ではエン트로ピー弾性を示すガラスが作製される^[1]など様々な方面に応用が期待されている。リン酸塩ガラスの特徴的な材料特性はネットワーク形成物質である P_2O_5 に対して様々なネットワーク修飾物質を適切に添加することによって得られるが、その機能発現メカニズムとガラス構造との関係はいまだに解明されておらず、リン酸塩ガラスのネットワーク構造の理解はガラス科学における重要な研究テーマの一つであった。本講演では、低融点の光学ガラス材料として有望視されている 2 元系の亜鉛リン酸塩ガラス ($\text{ZnO-P}_2\text{O}_5$ ガラス) に注目し、その熱膨張係数の組成変化に現れる異常なふるまいの起源を明らかにするために、放射光 X 線および中性子回折、広域 X 線吸収微細構造 (Extended X-ray Absorption Fine Structure, EXAFS) といった量子ビーム実験と逆モンテカルロ (reverse Monte Carlo, RMC) 法による構造モデリング、そして固体 NMR を駆使して行った研究の成果^[2]について報告する。さらに、講演者が近年国内および海外の研究者と協力して推進している最先端の非晶質材料研究についても紹介する。

参考文献

[1] S. Inaba *et al.*, *Nat. Mater.*, **14**, 312 (2015).

[2] Y. Onodera *et al.*, *Nat. Commun.*, **8**, 15449 (2017).



量子ビーム実験と構造モデリングによる 機能性非晶質材料の構造研究

京都大学複合原子力科学研究所
粒子線基礎物性研究部門
小野寺 陽平

本日の講演内容

1. 非晶質（ガラス）の構造解析

2. 量子ビーム実験と構造モデリングによる
リン酸塩ガラスのネットワーク構造解析

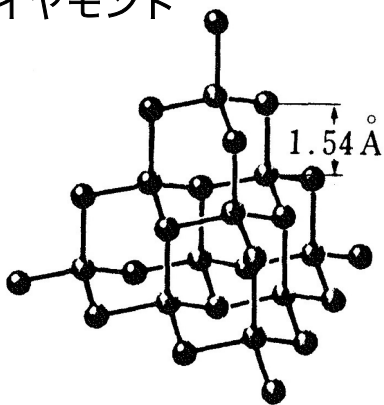
3. 機能性非晶質材料の最先端の構造研究
（現在進行中）

4. 全体のまとめ

1. 非晶質（ガラス）の構造解析

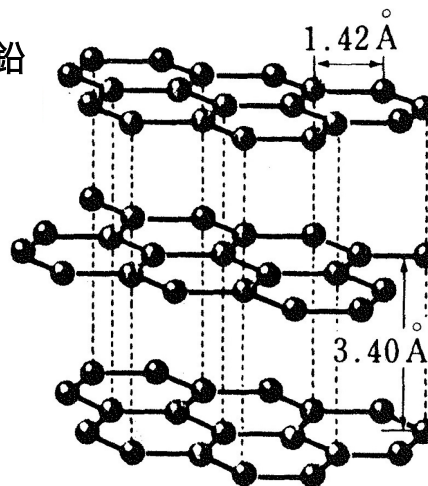
材料の機能と構造

ダイヤモンド



- ✓炭素は四面体配置
- ✓非常に硬い
- ✓電気を通さない

黒鉛



- ✓炭素は平面的に三配位
- ✓柔らかい
- ✓電気を通す

材料の機能の発現機構は構造と密接に関係している。

色々な非晶質（ガラス・アモルファス）材料

窓ガラス



ガラス容器



非晶質材料の機能発現も構造と相関がある??

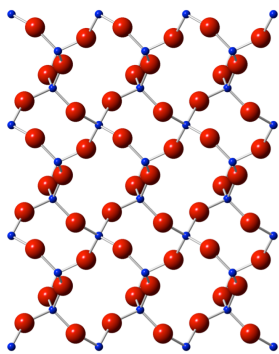


スマートフォンの
カバーガラス



液晶ディスプレイの
アモルファス薄膜トランジスタ (TFT)

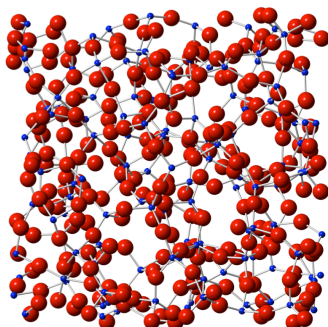
結晶と非晶質（ガラス）の構造



α 石英(SiO_2 結晶)

結晶:
原子が規則正しく
整列した構造を
持った固体

例)
ダイヤモンド
水晶

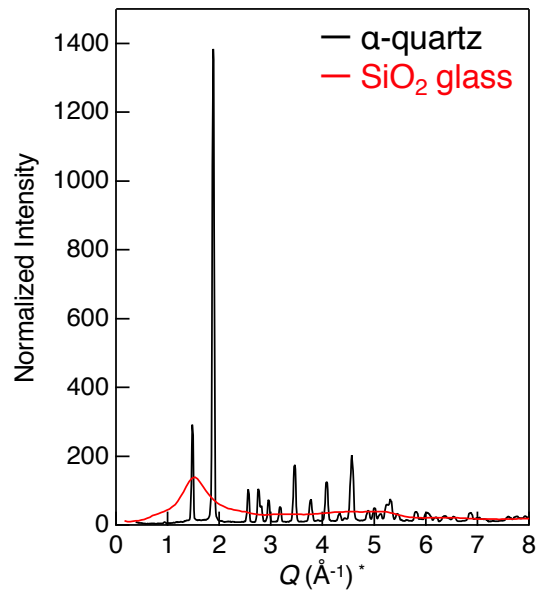


SiO_2 ガラス

非晶質:
原子配列が乱れた
構造を持った固体

例)
ガラス

X線回折パターン



- ✓ 結晶の場合, 規則的な原子配列に由来する回折ピークが観測される.
- ✓ 非晶質の場合, 回折ピークの存在しないぼんやりとしたパターンが観測される.

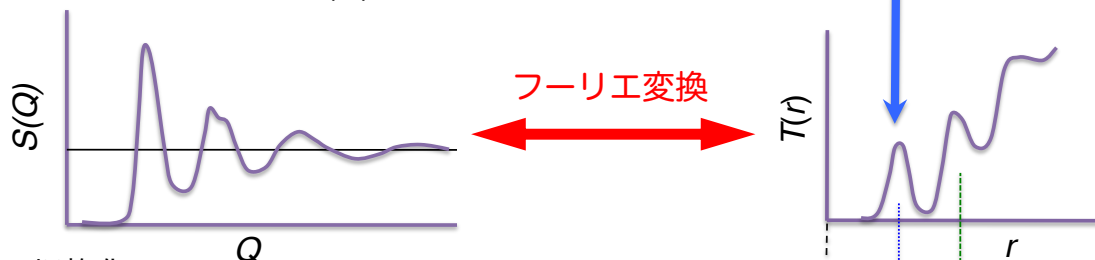
青: Si, 赤: O

$$*Q = \frac{4\pi \sin \theta}{\lambda}$$

非晶質の構造解析- PDF (Pair Distribution Function) 法

PDF法では実験で得られた試料の散乱強度を原子1個あたりの絶対強度へ規格化し、構造因子 $S(Q)$ を得る。

1. 原子間距離
2. 配位数



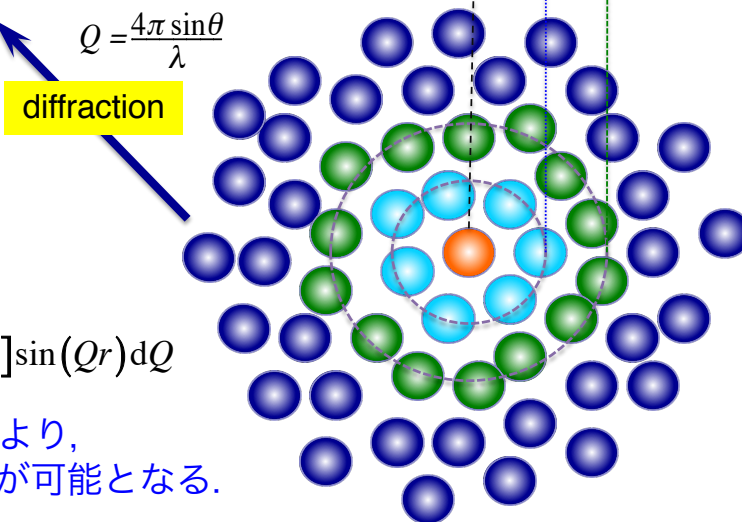
絶対強度への規格化

$$S(Q) = \frac{I(Q) - (\langle b^2 \rangle - \langle b \rangle^2)}{N \langle b \rangle^2}$$

実空間へのフーリエ変換

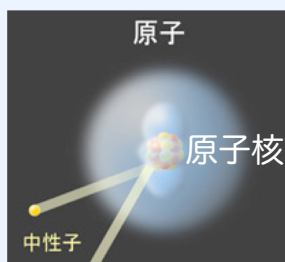
$$T(r) = 4\pi r \rho_0 g(r) = 4\pi r \rho_0 + \frac{2}{\pi} \int_{Q_{\min}}^{Q_{\max}} Q [S(Q) - 1] \sin(Qr) dQ$$

構造因子 $S(Q)$ のフーリエ変換により、非晶質の実空間上での構造解析が可能となる。



原子による中性子/X線の散乱

中性子は原子核によって散乱される



中性子が原子核から受ける核力
…原子核の構造によって変化

各原子の中性子散乱能
(中性子干渉性散乱長, b)
は原子番号に依存しない
※同位体同士でも異なる

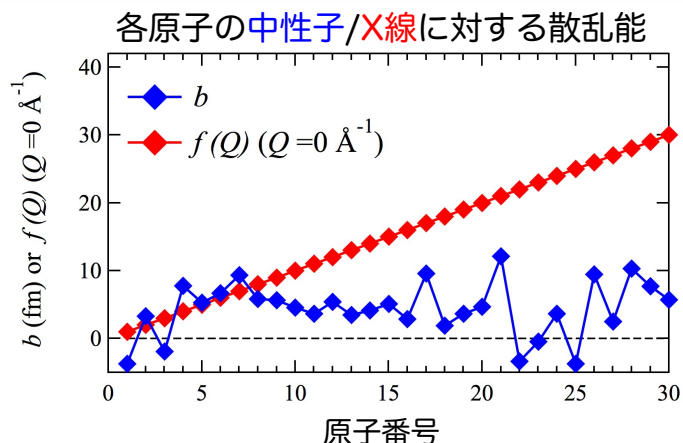
中性子は軽元素を含む系の解析に適したプローブ

c.f. X線は電子によって散乱



原子散乱因子 $f(Q)$ は
原子番号が大きい原子ほど大きい

* <http://legacy.kek.jp/ja/activity/imss/>



Li原子の各同位体の中性子散乱長

	b (10^{-14}m)
natLi	-0.190
${}^6\text{Li}$	0.20
${}^7\text{Li}$	-0.222

負の散乱長を持つ原子(同位体)も存在

非晶質の構造解析- 中性子とX線の相補利用

2種類以上の原子を含む系の構造因子 $S(Q)$ はFaber-Zimanの定義¹⁾が用いられ、同種または異種原子間の相関の重み付の和となる。

$$S(Q) = \sum_i^n \sum_j^n \frac{c_i c_j b_i b_j}{\langle b \rangle^2} S_{ij}(Q) = \sum_i^n \sum_j^n W_{ij} S_{ij}(Q)$$

例えば SiO_2 ガラスの場合、 $S(Q)$ は3種類の相関の重み付の和として表される。

$$S(Q)_{\text{SiO}_2} = W_{\text{Si-Si}} S_{\text{Si-Si}}(Q) + W_{\text{Si-O}} S_{\text{Si-O}}(Q) + W_{\text{O-O}} S_{\text{O-O}}(Q)$$

ここで原子相関 $i-j$ の重み因子 W_{ij} は各原子の存在比率 c_i, c_j と、測定した量子ビームの原子散乱能（X線： $f_i(Q)$ ，中性子： b_i ）に依存する。

中性子，X線回折によって得られた $S(Q)$ における重み因子をそれぞれ計算すると、

$$\text{中性子： } S^N(Q)_{\text{SiO}_2} = 0.069 S_{\text{Si-Si}}(Q) + 0.388 S_{\text{Si-O}}(Q) + 0.543 S_{\text{O-O}}(Q)$$

$$\text{X線*： } S^X(Q)_{\text{SiO}_2} = 0.218 S_{\text{Si-Si}}(Q) + 0.498 S_{\text{Si-O}}(Q) + 0.284 S_{\text{O-O}}(Q)$$

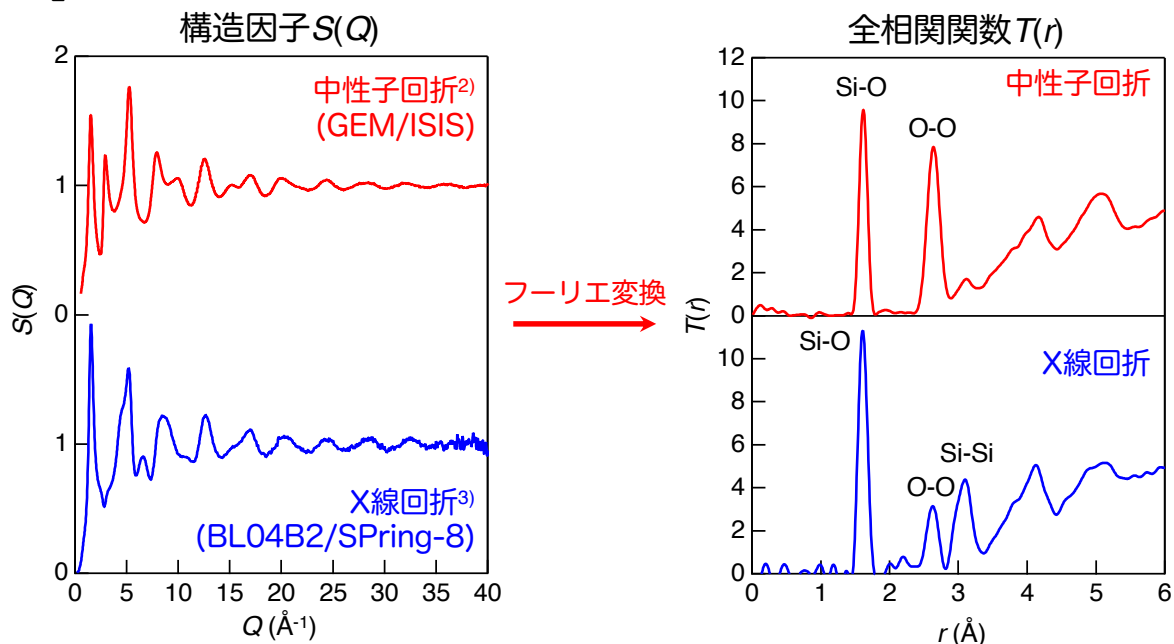
X線が原子番号の大きいSiに敏感であるのに対し、中性子は軽元素のOに敏感である。

*X線の重み因子は $f_i(Q)$ の代わりに原子番号を用いて計算した。

1) T. E. Faber and J. M. Ziman, *Philos. Mag.* **11**, (1965) 153 .

非晶質の構造解析- 中性子とX線の相補利用

SiO_2 ガラスの中性子/X線データ



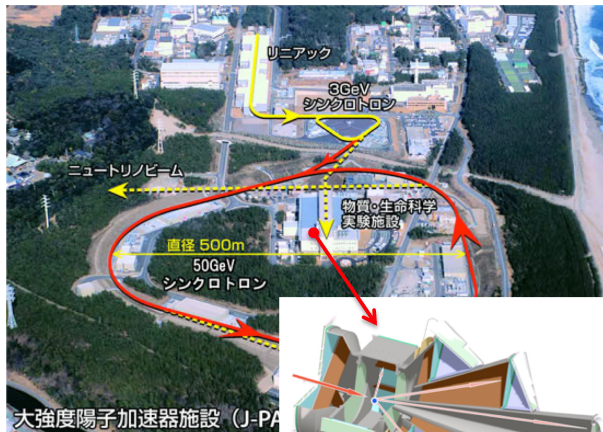
中性子とX線のデータを相補利用することによって、原子散乱能のコントラストを活かした構造解析が可能となる。

2) <http://www.wisis2.isis.rl.ac.uk/disordered/database/DBMain.htm>

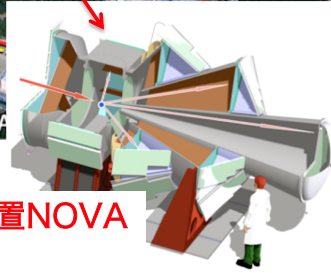
3) S. Kohara et al., *Nucl. Instrum. and Meth. in Phys. Res. B*, **199** (2003) 23.

非晶質の構造解析- 世界最高性能の非晶質用中性子/X線装置

大強度陽子加速器施設 J-PARC
Japan Proton Accelerator Research Complex



高強度全散乱装置NOVA
BL21@MLF



大型放射光施設 SPring-8
Super Photon ring-8GeV



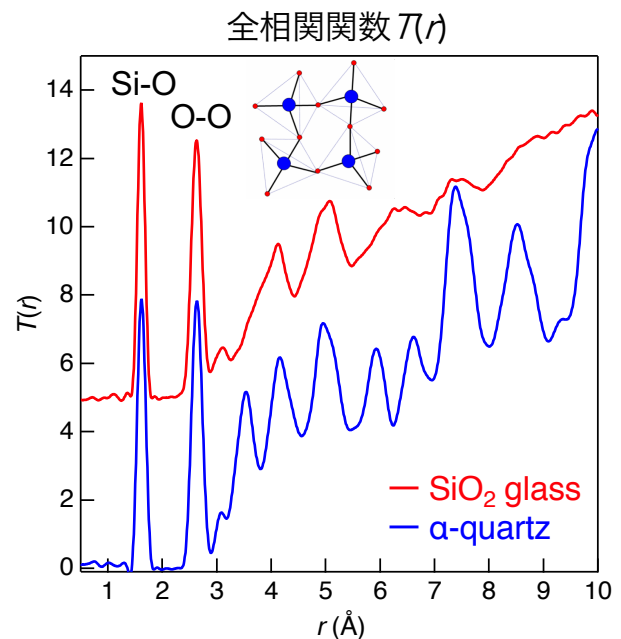
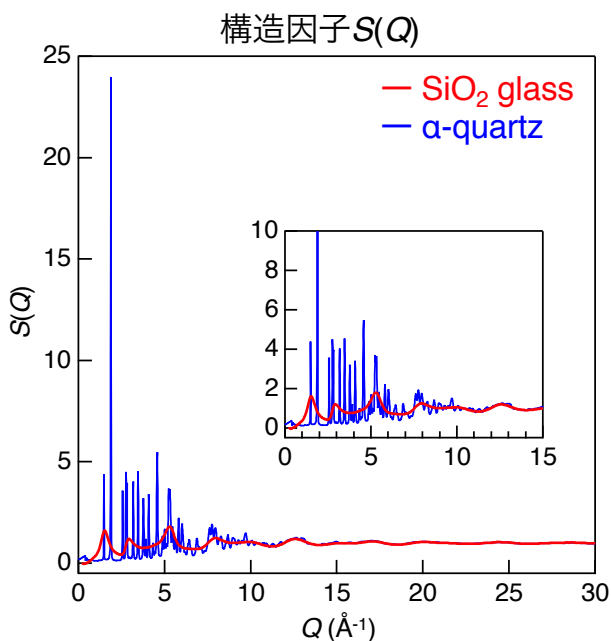
高エネルギーX線回折ビームライン
BL04B2@SPring-8

いずれも高強度かつ高エネルギー(短い波長)の中性子・X線が利用可能で、
低い装置バックグラウンドで実験ができる。

大型量子ビーム施設における実験装置・技術の著しい発展により、
非晶質の質の高い実験データが得られるようになってきている。

非晶質の構造解析 – 1次元の回折データを解析することの限界

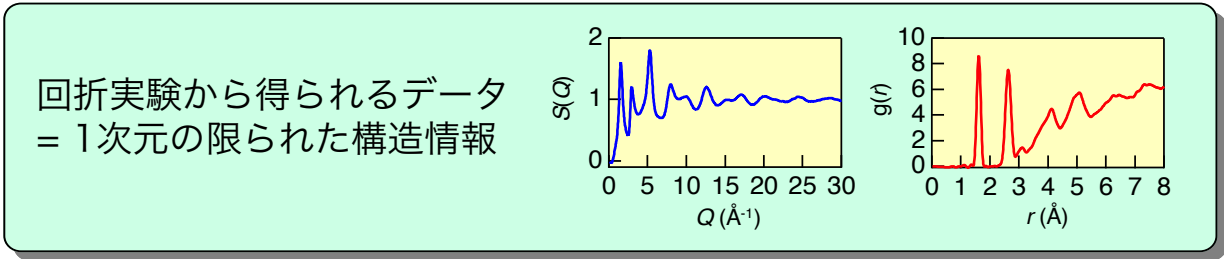
SiO₂結晶およびガラスの中性子データ



非晶質には、

- (1) 長周期的な秩序が存在しない (空間群のような構造記述子がない)
- (2) 二体相関で相対的にしか構造を記述できない

非晶質の構造解析 – 3次元構造モデル構築の必要性



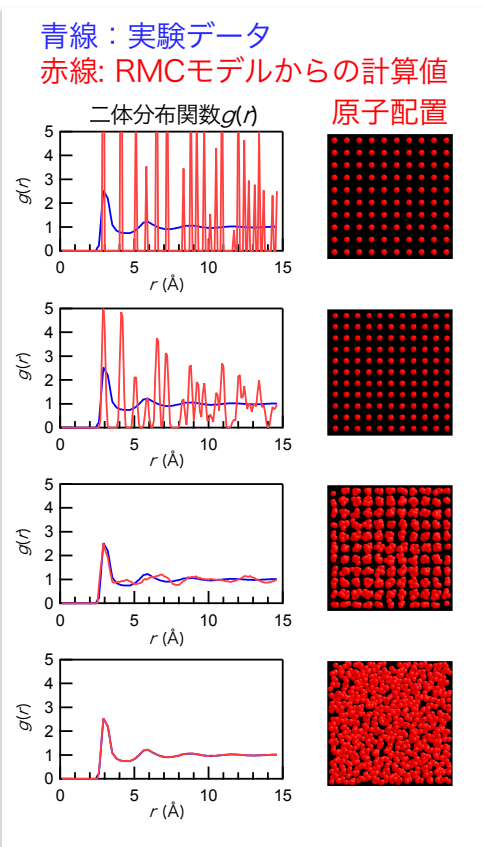
逆モンテカルロ法(Reverse Monte Carlo, RMC)⁴⁾

非晶質物質の中距離構造、機能発現機構の解明

・・・ 1次元の実験データに基づいて
3次元構造をシミュレートする必要有

4) R.L. McGreevy and L. Pusztai, *Mol. Simul.*, 1, 359 (1988).

逆モンテカルロ(Reverse Monte Carlo; RMC)モデリング⁴⁾



回折データを再現するようにシミュレーションボックス内の粒子を乱数で動かし乱れた構造を構築する方法

- (1) シミュレーションボックス内の粒子を乱数でランダムに選び、ランダムに動かす
- (2) 実験データとの一致が
 向上した動き → アクセプト
 向上しない動き → リジェクト
- (3) (1), (2)のプロセスを計算値が実験値に一致するまで繰り返す

※RMCモデリングは実験データを再現する中でも最も無秩序な構造を作る傾向がある。

適切な構造制約条件を与えることが重要!
(例: SiO₂ガラス…SiO₄四面体構造)

4) R.L. McGreevy and L. Pusztai, *Mol. Simul.*, 1, 359 (1988).

RMCと分子動力学(MD)シミュレーションの違い

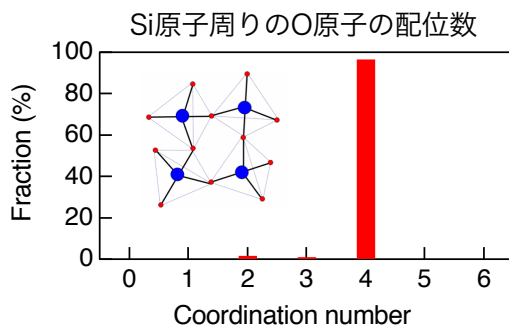
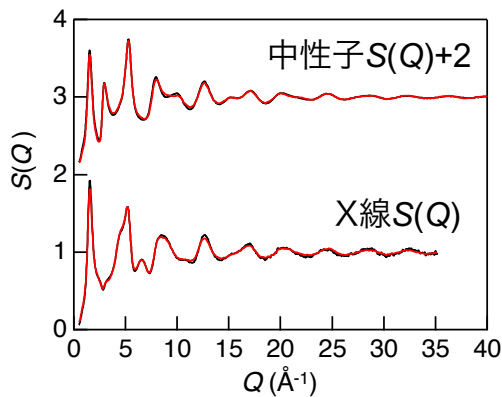
	RMC	MD
入力データ	系の初期配置 回折系実験(XRD, EXAFS, ND) から得られたデータ($S(Q)$, $g(r)$, $k^3\chi(k)$)	系の初期配置 力場(粒子間の相互作用を表す式) 温度、圧力
粒子の動き	モンテカルロにより、実験値に一致するように粒子を動かす	力場により、系が安定化するように粒子を動かす
計算速度	モンテカルロであるため高速	力場を用いるため一般的に計算には時間を要する
出力データ	系の3次元構造(動径分布関数、二体相関関数、配位数、角度分布関数)	系の3次元構造、熱力学量、動的性質
備考	計算の精度は実験値の精度に依存 系が複雑になるとモデルを一意的に決めるのは困難	計算の精度は力場に依存 高温、高圧下など様々な条件下で計算が可能

RMCモデリングにおける構造制約の重要性

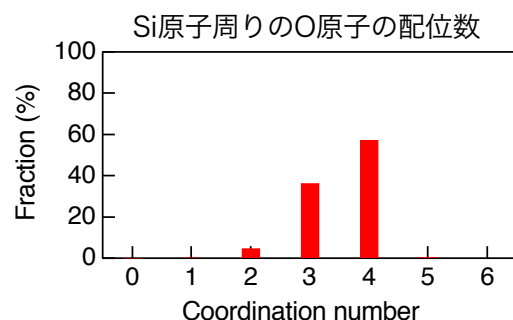
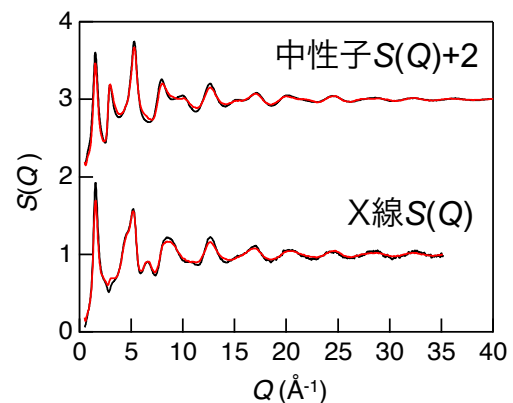
赤線：RMC
黒線：実験データ

例) SiO₂ガラスのRMCモデリング

(a) 配位数の束縛を行なった場合

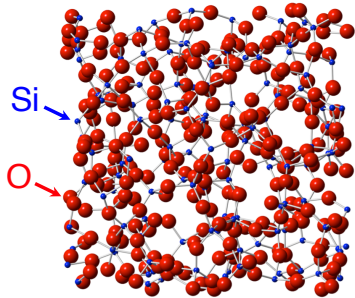
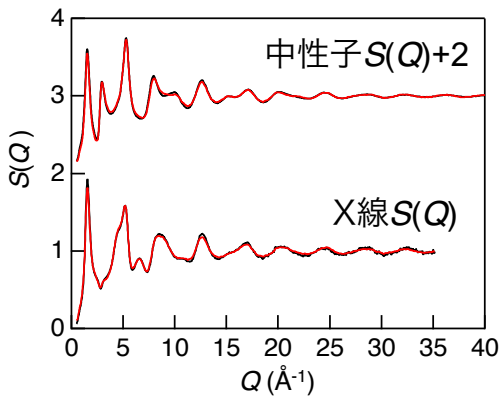


(b) 配位数の束縛を行わない場合

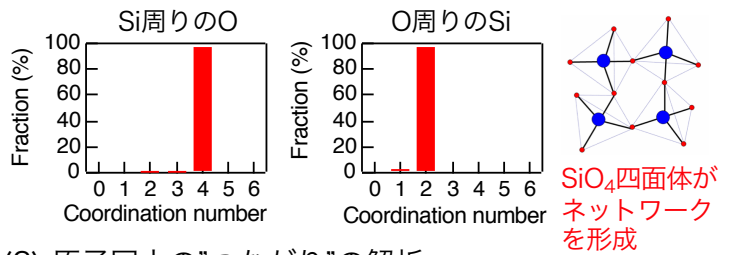


RMCモデリングでわかること

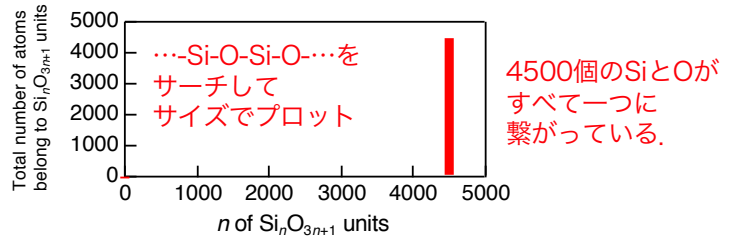
例) SiO₂ガラスのRMCモデリング結果 (1) 配位数の分布
 (赤線: RMC, 黒線: 実験データ)



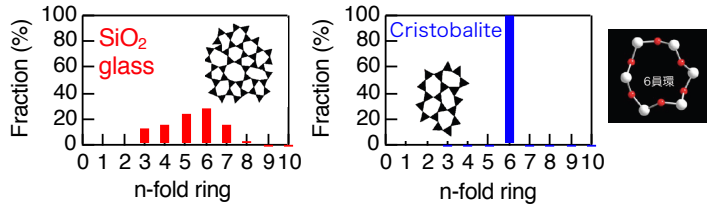
RMCモデリングによって得られた SiO₂ガラスの3次元構造モデル(4500原子)



(2) 原子同士の”つながり”の解析



(3) リング構造の解析: (Si-O)_n リングの計算



ガラスはトポロジカルに無秩序な構造をとっている。

2. 量子ビーム実験と構造モデリングによるリン酸塩ガラスのネットワーク構造解析

リン酸塩ガラスの用途

(1) 生体関連材料⁵⁾

$\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{P}_2\text{O}_5$: 人工骨としての利用

(2) 光学材料^{6, 7)}

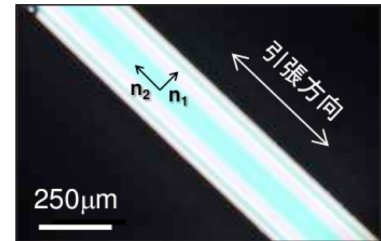
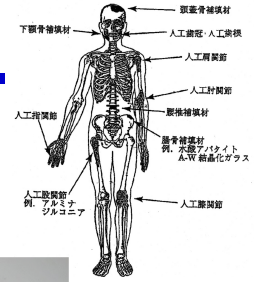
低屈折・低分散光学ガラス, 光学フィルター

(3) 封止用材料

鉛フリーの封止用ガラスとしての利用

(4) エントロピー弾性を示すガラス⁸⁾

高温でゴムのように伸び縮みするガラスの開発



今後、さらに優れた特性を示すガラスを効率良く開発していくためには、**ガラス構造と機能発現機構の関係を明らかにすることが重要!**

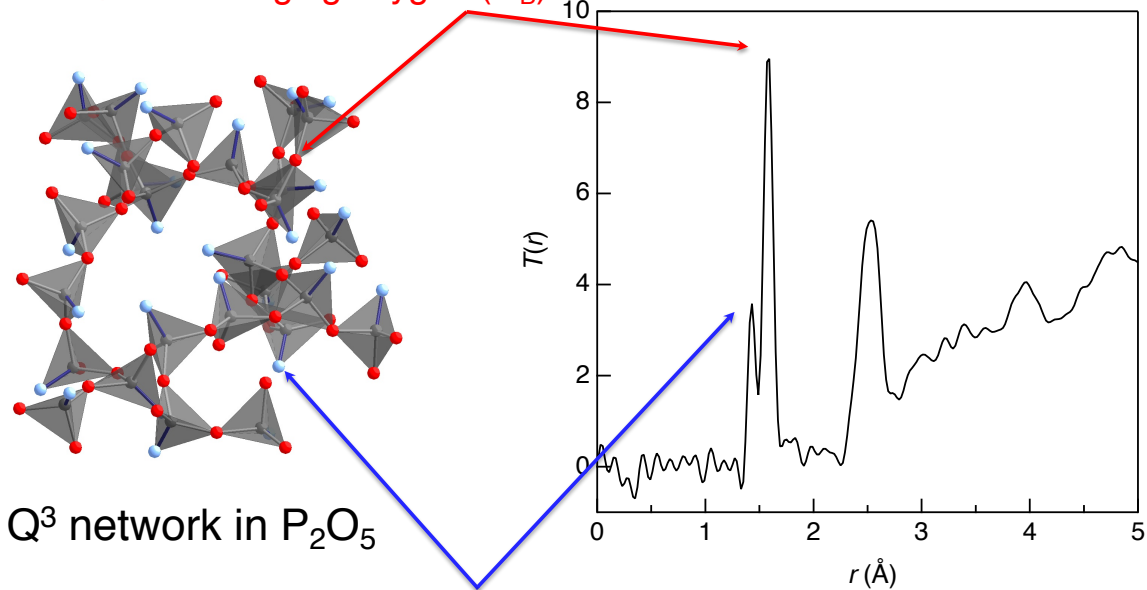
- 5) T. Kokubo and H. Takadama, *Biomaterials*, 27, 2907 (2006).
- 6) P. Paulose *et al.*, *J. Phys. Chem. Solids*, 64, 841 (2003).
- 7) J. Campbell and T. I. Suratwala, *J. Non-Cryst. Solids*, 263, 318 (2000).
- 8) S. Inaba *et al.*, *Nat. Mater.*, 14, 312 (2015).

P_2O_5 ガラスの構造

リン酸塩ガラスのネットワーク形成物質: P_2O_5

架橋酸素: Bridging oxygen (O_B)

P_2O_5 ガラスの中性子 $T(r)$ ⁹⁾



非架橋酸素: Terminal oxygen (O_T)

Q^3 : 3つの O_B を有する PO_4 ユニット

9) U. Hoppe, *J. Phys.: Condens. Matter* 12, 8809 (2000).

$x\text{ZnO}-(100-x)\text{P}_2\text{O}_5$ ガラス ($x\text{ZP}$ ガラス)の熱膨張係数

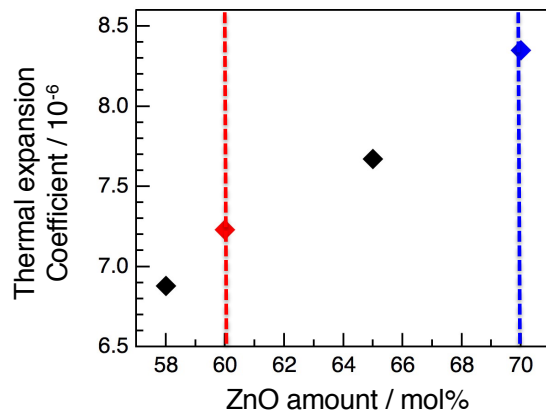
ZPガラス: 低融点の光学材料として応用が期待される材料

ZnO添加に伴い、本来減少するはず^{10,11)}の熱膨張係数が増加

熱膨張係数のZnO添加に対する異常なふるまい

ガラスネットワークの変化

$x\text{ZP}$ ガラスの熱膨張係数の組成変化

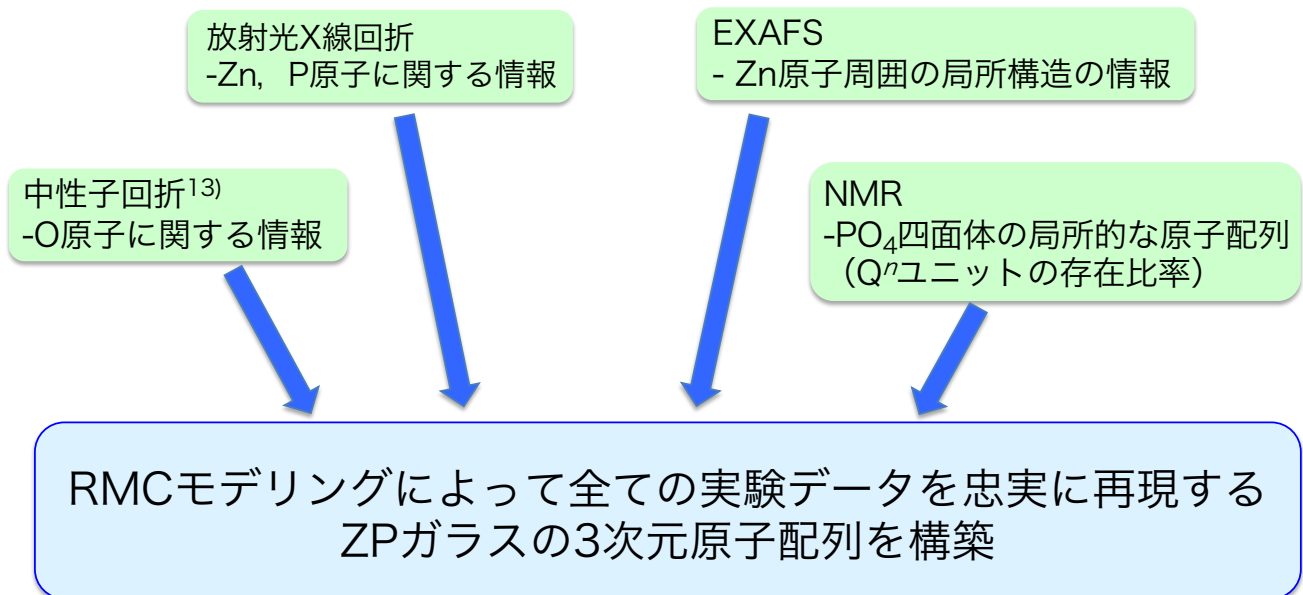


ZnO添加量に伴うZPガラスの構造の変化を明らかにすることが重要

本研究では、**60ZPガラス**と**70ZPガラス**の構造解析を行った。

- 10) M. Tomozawa *et al.*, *J. Non-Cryst. Solids*, **56**, 343 (1983).
- 11) J. E. Shelby, *J. Am. Ceram. Soc.*, **66**, 225 (1983).

逆モンテカルロ (RMC) 法によるZPガラスの3次元原子配列の構築

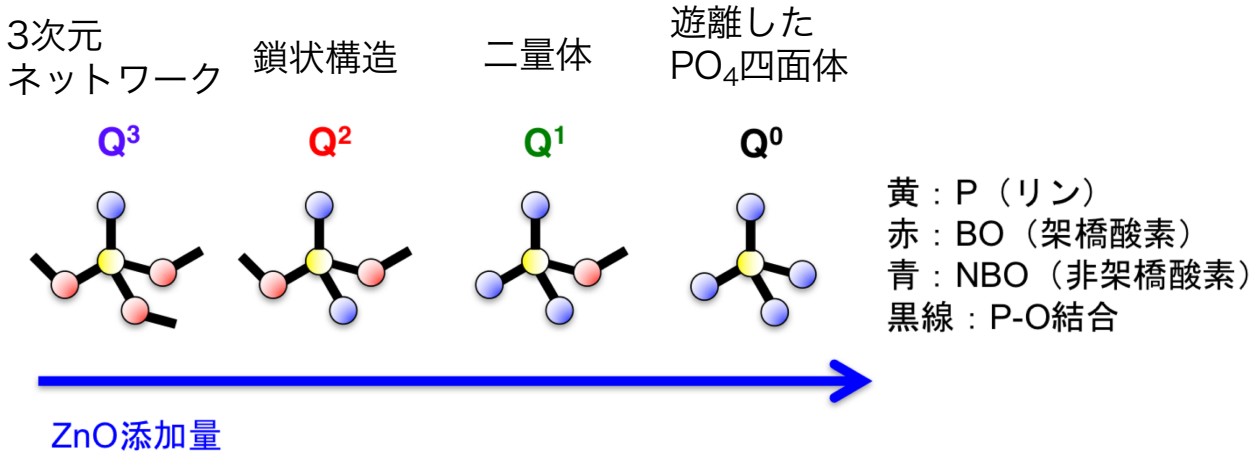


✓ RMCモデリングに用いた粒子数: **5000個 (60ZP)**, **5250個 (70ZP)**

✓ RMC++ code¹²⁾を使用

- 12) O. Gereben *et al.*, *J. Optoelectron. Adv. Mater.* **9**, 3021 (2007).
- 13) K. Suzuya *et al.*, *J. Non-Cryst. Solids* **345**, 80 (2004).

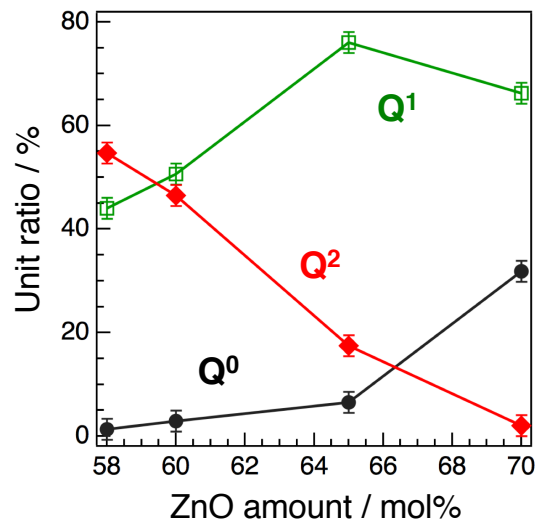
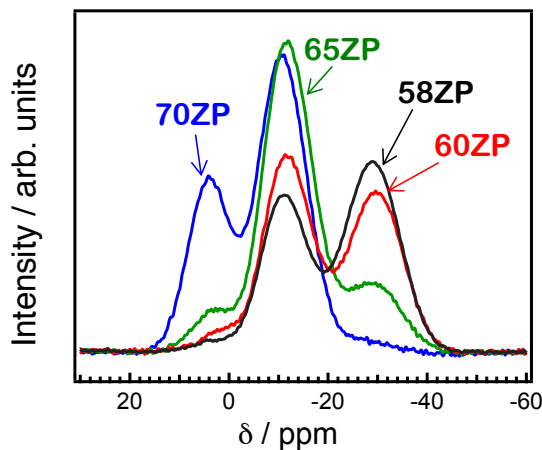
ZPガラスにおけるPO₄四面体の繋がり方の変化



ZPガラスのRMCモデリングにおいて、ZnOの添加に伴うPO₄四面体の繋がり方の変化を考慮することが重要

ZPガラスの³¹P MAS NMR測定結果

ZPガラスの³¹P MAS NMRスペクトル



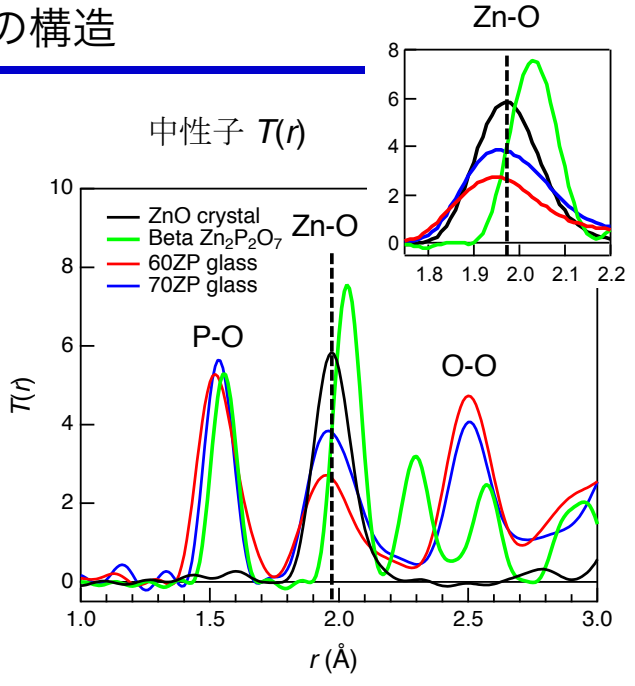
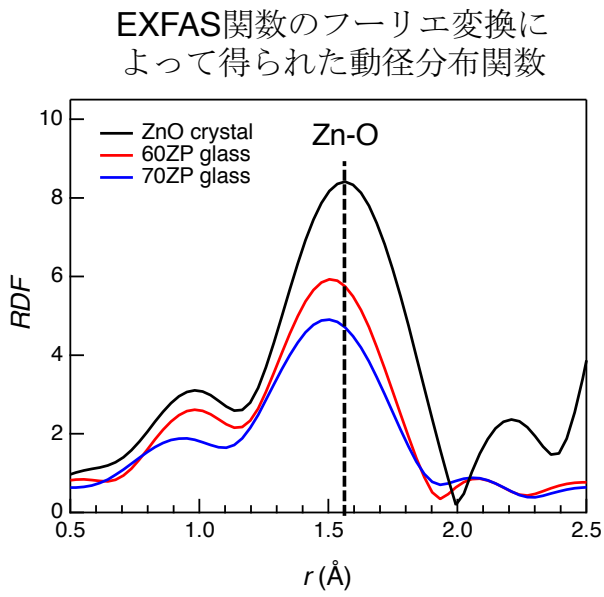
NMRスペクトルの解析から得られた各ガラスにおけるQⁿユニットの存在比

60ZP Q⁰:Q¹:Q²:Q³ = 0.8:49.8:49.0:0.4 (Q¹:Q² ~ 1:1)

70ZP Q⁰:Q¹:Q²:Q³ = 33.8:65.8:0.4:0 (Q⁰:Q¹ ~ 1:2)

Qⁿユニットの存在比をRMCの構造束縛条件として設定!

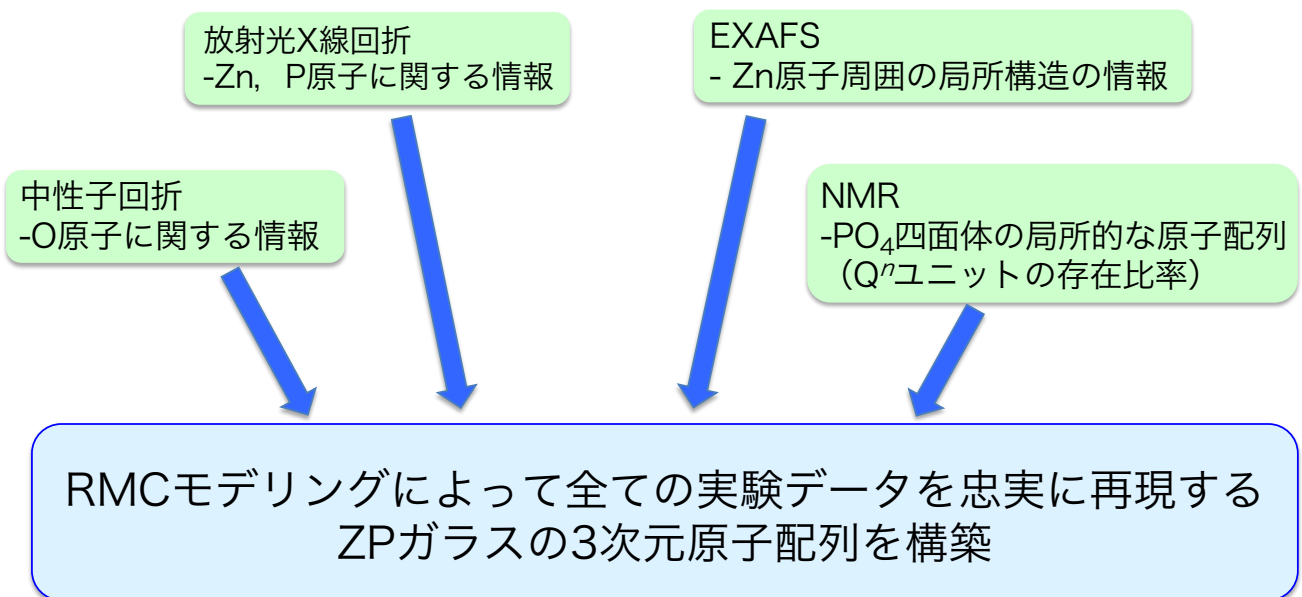
ZPガラスにおけるZn原子周囲の構造



ガラスのZn-O相関長は結晶よりも短く、
ガラスのZn-O相関ピークの形状が結晶と比べて異なる

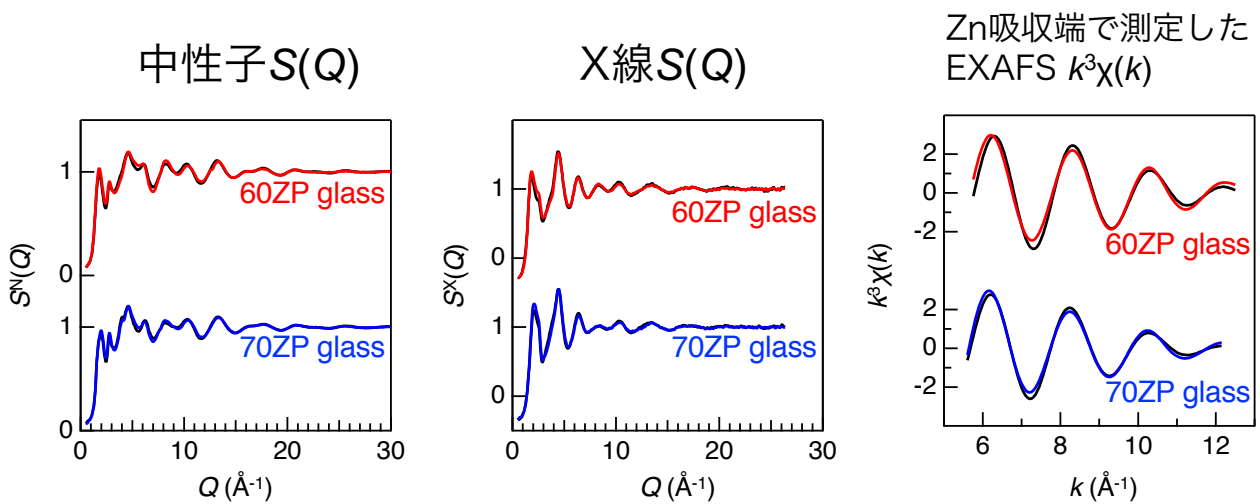
歪んだ ZnO_4 四面体の存在を示唆

逆モンテカルロ (RMC) 法によるZPガラスの3次元原子配列の構築



得られたZPガラスの3次元原子配列に形成された
ネットワーク構造を解析・議論

実験データとRMCモデルから計算されたデータの比較



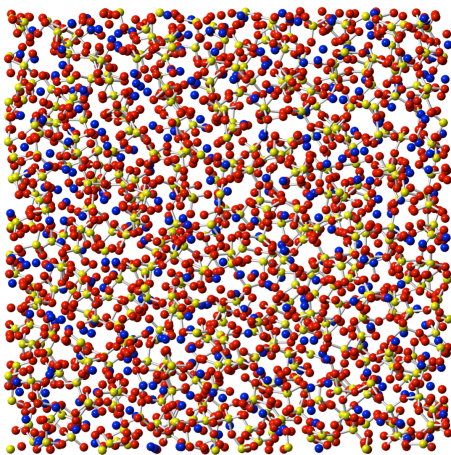
中性子、放射光X線、NMRの全ての実験データを再現する
ガラスの3次元原子配列の構築に成功

赤線、青線：RMCモデルからの計算値
黒線：実験データ

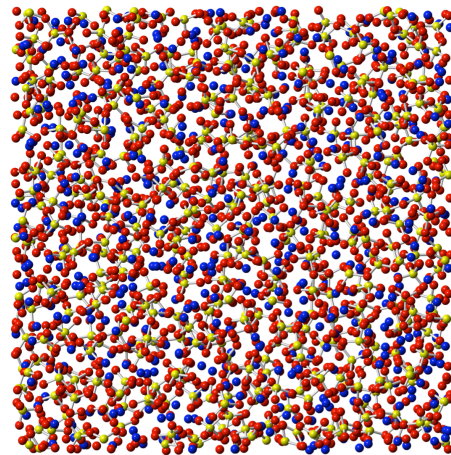
60ZPおよび70ZPガラスのRMCモデル

中性子、放射光X線、NMRの全ての実験データを再現する
RMCモデリングによって得られたZPガラスの3次元構造モデル

60ZPガラス



70ZPガラス



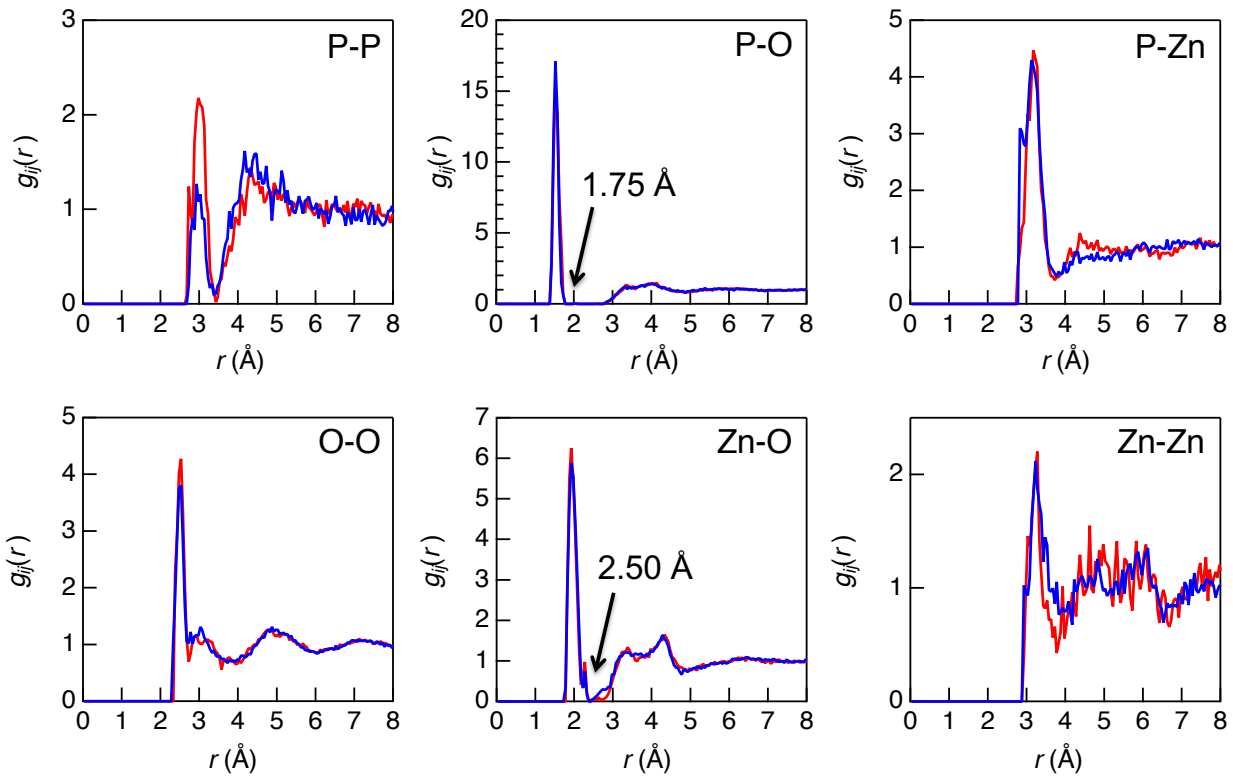
2つのZPガラスにおける
ガラスのネットワーク構造はどうなっているのか？

黄：P
赤：O
青：Zn

RMCモデルから計算された部分二体分布関数 $g_{ij}(r)$

赤: 60ZP

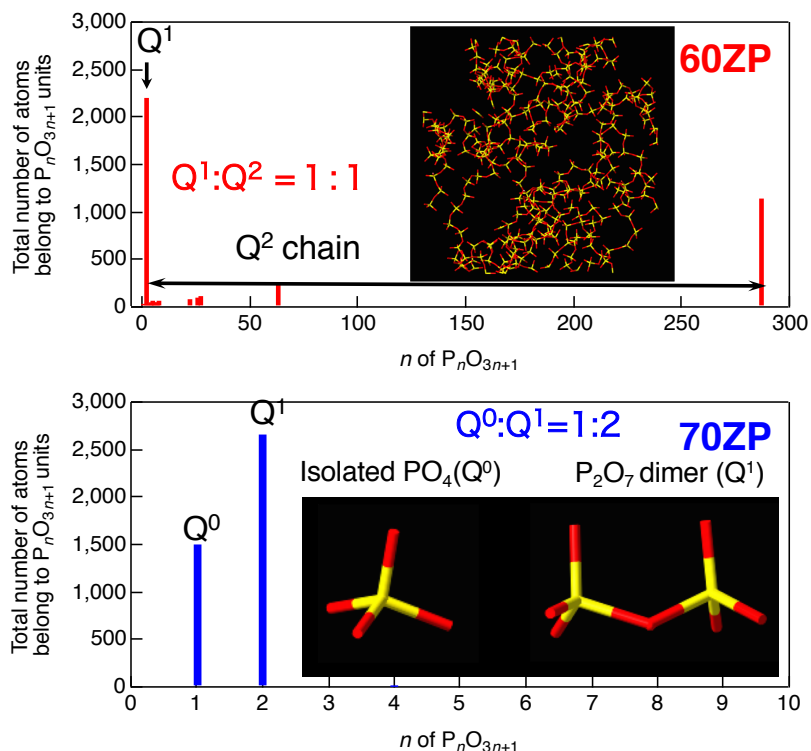
青: 70ZP



$g_{ij}(r)$ からP-OとZn-Oの第一配位圏を決定し、3次元構造中の”つながり”を計算

ZPガラスにおける PO_4 四面体ネットワーク構造の変化

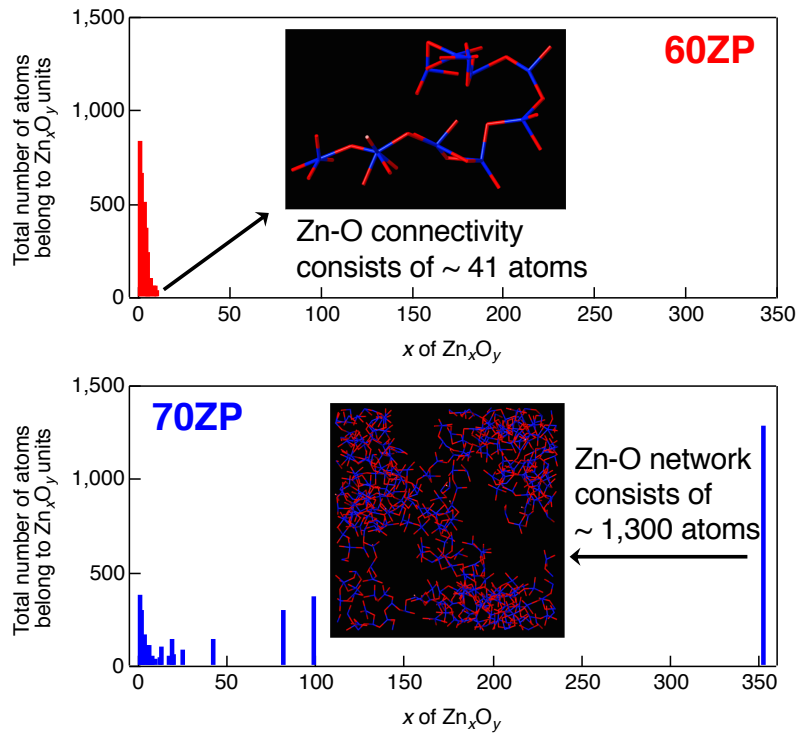
黄: P
赤: O



60ZPガラスでは Q^2 による鎖状ネットワークが形成されているが、70ZPガラスでは PO_4 四面体によるネットワークは存在しない。

ZPガラスにおける Zn_xO_y 多面体ネットワーク構造の変化

赤 : O
青 : Zn

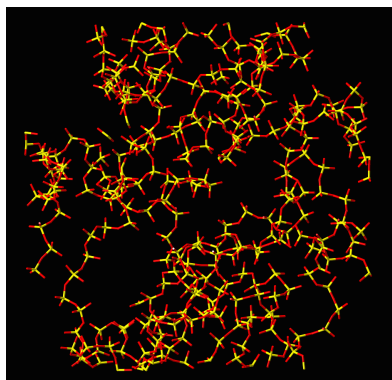


70ZPガラスでは Zn_xO_y 多面体によるネットワークが成長

ZPガラスのネットワーク構造の変化

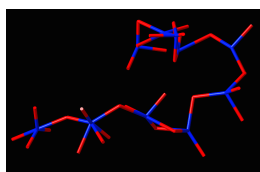
可視化した60ZPガラスの3次元構造

可視化した70ZPガラスの3次元構造



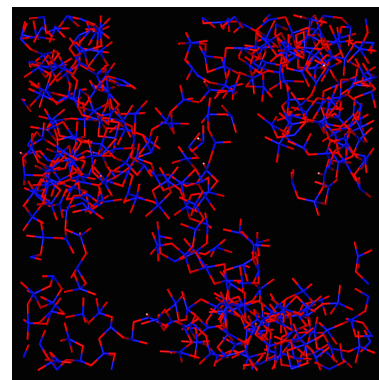
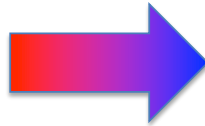
PO_4 四面体ネットワーク

+



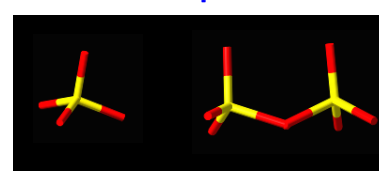
短い Zn_xO_y 多面体ネットワーク

10 mol%の
ZnO添加



Zn_xO_y 多面体ネットワーク

+



遊離した $PO_4(Q^0)$ P_2O_7 二量体 (Q^1)

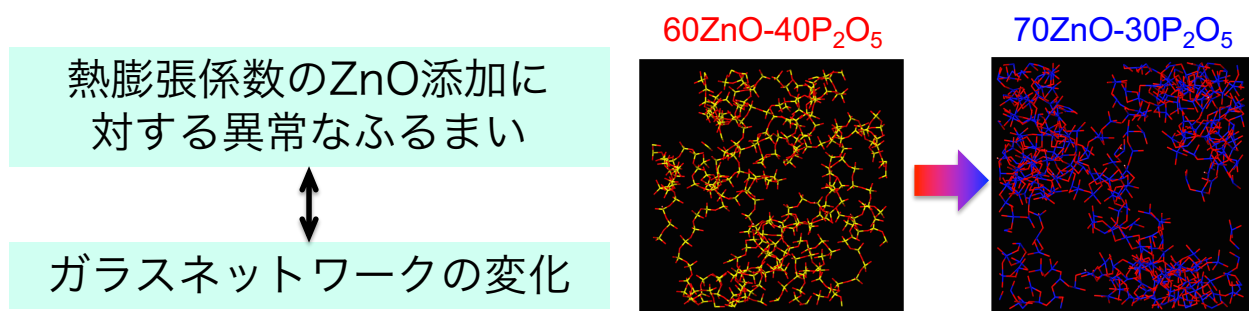
10mol%のZnO添加でネットワーク構造の担い手が
 PO_4 四面体から Zn_xO_y 多面体に変化

黄 : P
赤 : O
青 : Zn

ここまでのまとめ

$x\text{ZnO}-(100-x)\text{P}_2\text{O}_5$ ガラスにおいて、ZnO添加量の増加に伴い、減少するはずの熱膨張係数が増加した（熱膨張係数異常）。逆モンテカルロモデリングにより、放射光・中性子・NMRによる実験データを忠実に再現する60ZnO-40P₂O₅ガラスと70ZnO-30P₂O₅ガラスの3次元原子配列を構築した。

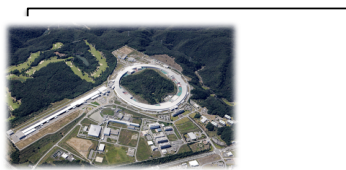
60ZnO-40P₂O₅ガラスはPO₄四面体が、70ZnO-30P₂O₅ガラスはZn_xO_y多面体がネットワーク構造を形成し、10%のZnOの添加でガラスのネットワーク構造の担い手が変化した。



3. 現在進行中の機能性非晶質材料の構造研究

機能性非晶質材料の構造研究の最先端

量子ビーム実験



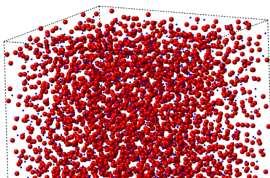
X線回折
EXAFS
中性子回折

計算機実験/構造モデリング



第一原理(DFT)計算
分子動力学(MD)計算
DF-MD計算
逆モンテカルロ(RMC)モデリング

実験データを忠実に再現する3次元原子配列



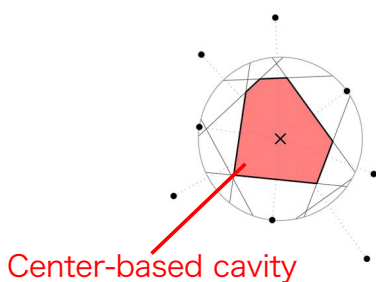
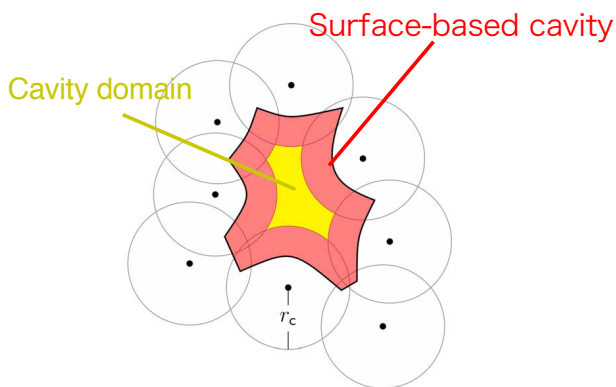
★空隙の解析
★リング解析
★パーシステントホモロジー解析

非晶質材料（ガラス・液体・アモルファス）の機能発現に資する構造（トポロジー）の明確化

構造学的知見に基づいた”構造の制御”による新奇材料設計

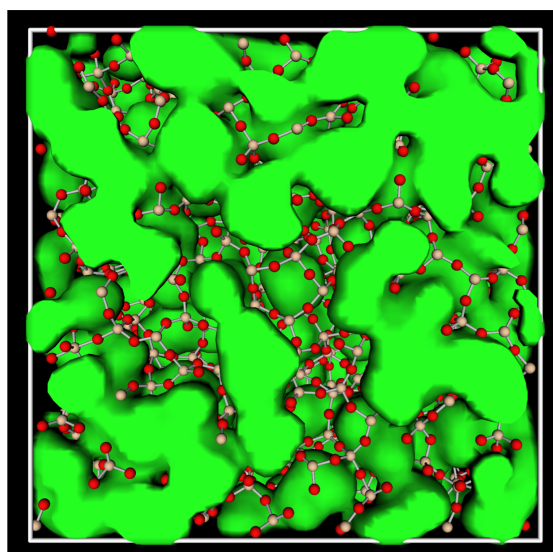
空隙の解析*

空隙の計算法

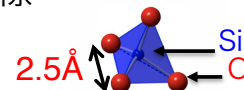


r_c : cutoff radius

シリカガラスの空隙の可視化 (surface-based cavity)

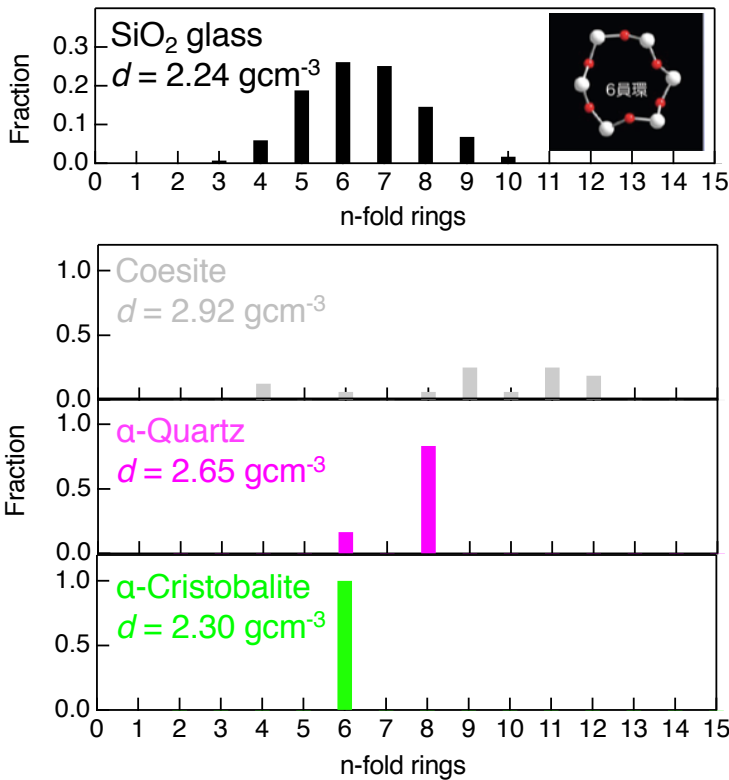
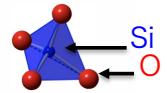


全体積の32%が空隙

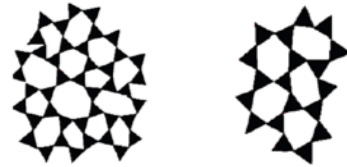


* I. Heimbach, F. Rhiem, F. Beule, D. Knodt, J. Heinen, R. O. Jones, *J. Comput. Chem.*, **38**, 389 (2017).

リング構造解析 – シリカガラスと結晶のリング分布



SiO₂ガラス
 : 多様なリング分布を持つ
 =トポロジカルに無秩序な構造*, **)



α -Cristobalite,
 : 6員環構造のみを持つ

α -Quartz
 : 6員環, 8員環構造を持つ
 =トポロジカルな秩序が存在

Coesite
 : 様々なリング構造が存在
 =トポロジカルに乱れた結晶

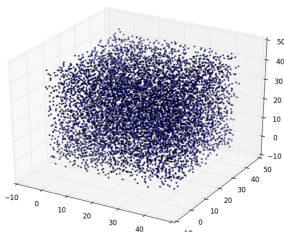
それぞれの結晶相に存在している
 6員環は同じ形をしているのか?

* A. R. Cooper, *Phys. Chem. Glasses*, **19**, 60 (1978).
 ** P. K. Gupta and A. R. Cooper, *J. Non-Cryst. Solids*, **123**, 14 (1990).

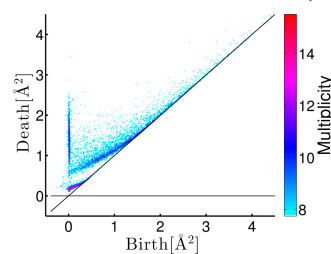
パーシステントホモロジー解析



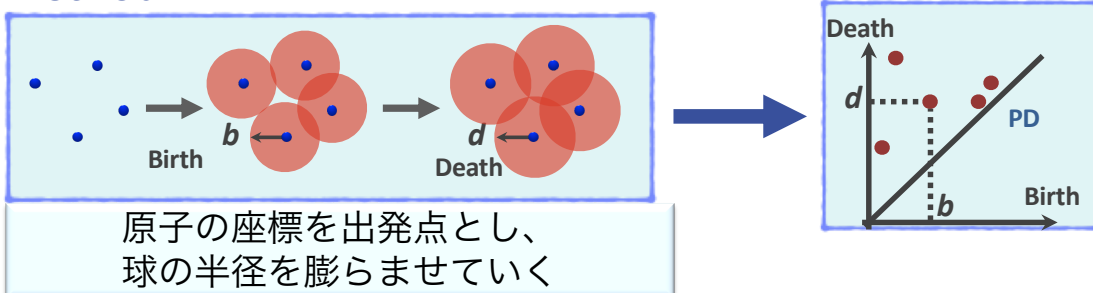
3次元原子配列



パーシステント図(PD)

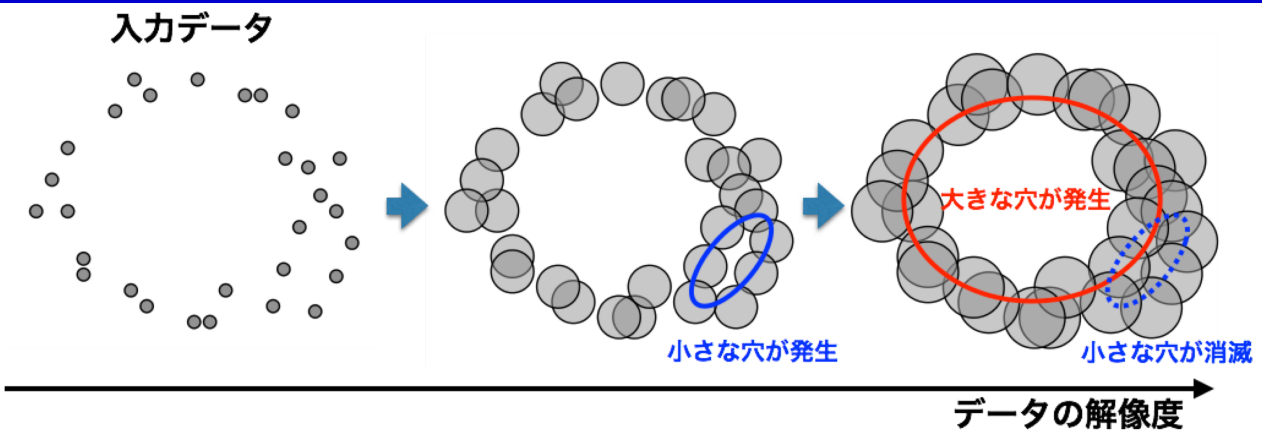


Method

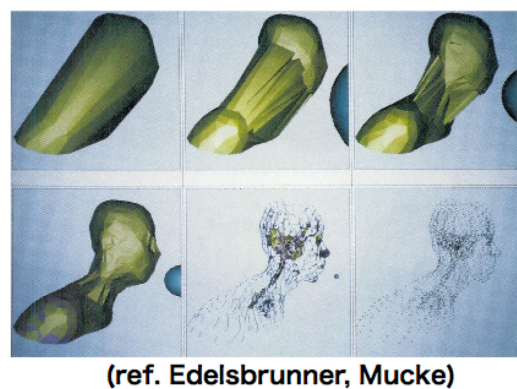


* Y. Hiraoka *et al.*, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, **113**, 7035 (2016).

パーシステントホモロジー解析



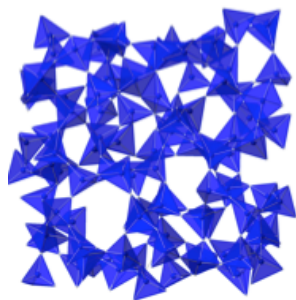
- 入力データを太らせる
(解像度を変える)
- データの解像度を変えて
マルチスケールで形をとらえる
- 穴の発生と消滅による形の特徴づけ



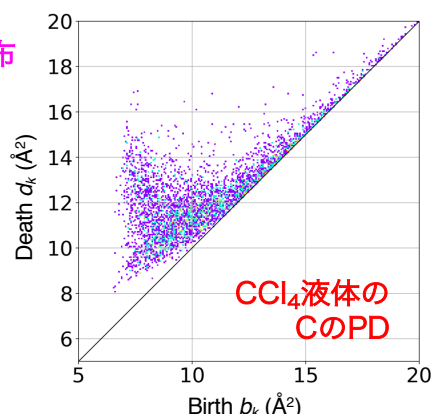
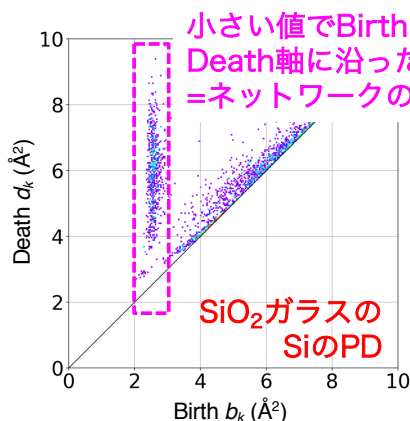
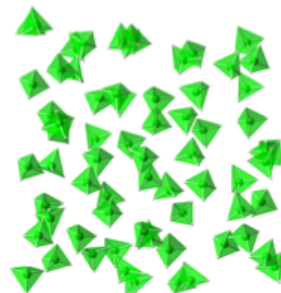
SiO₂ガラス、CCl₄液体のパーシステント図 (PD)

RMCで構築した3次元構造モデルについて、四面体中心原子のPDを導出

SiO₂ガラス
= SiO₄四面体ネットワーク



CCl₄液体
= 遊離したCCl₄四面体分子



4.全体のまとめ

1. 非晶質（ガラス）の構造解析

- ✓ 非晶質材料の研究には二体分布関数法が利用され、大型量子ビーム施設の建設と中性子・X線を利用した実験装置・技術の発展により、質の高い実験データが得られるようになってきている。
- ✓ 適切な構造制約条件の元での逆モンテカルロ法により実験データを再現する信頼性の高い非晶質の3次元構造モデルが得られ、非晶質材料の構造と機能の相関を明らかにするための有効なツールとなっている。

2. 量子ビーム実験と構造モデリングによる リン酸塩ガラスのネットワーク構造解析

- ✓ NMR測定によって得られた Q^n ユニットの存在比を再現する構造制約の元、中性子と放射光データを忠実に再現する逆モンテカルロモデリング（データ駆動型構造モデリング）に世界で初めて成功した。
- ✓ 得られた $ZnO-P_2O_5$ ガラスの構造モデルにおけるネットワーク構造を解析した結果、熱膨張係数の異常なふるまいの構造学的起源が PO_4 四面体から Zn_xO_y 多面体へのネットワーク構造の担い手の交代にあることを示した。

4.全体のまとめ

3. トポロジカル解析を利用した非晶質材料の構造解析

- ✓ 3次元原子配列に対して空隙、リング構造、パーシステントホモロジーを解析するためのツールが利用可能となり、これまで明らかにできなかった二体相関に潜んだ秩序を解析できるようになった。
- ✓ 高密度化シリカガラスについて、パーシステントホモロジー解析を適用することで高密度化に伴うFirst Sharp Diffraction Peak (FSDP)の奇妙な挙動、高密度化のメカニズムが明らかになった。
- ✓ アルカリシリケートガラスの混合アルカリ効果について、実験データを忠実に再現する構造モデルの3次元構造解析によって、その構造学的な起源が明らかになりつつある。

実験・計算・解析それぞれの技術の進歩により、
構造解析を基にした材料設計を始めていく基盤は整ったといえる。

今後も非晶質材料の先駆的な構造研究を推進していきたい！

原子力施設等に係る検査制度見直しへの対応状況について

京都大学複合原子力科学研究所 研究炉部長 堀 順一

1. 検査制度見直しの経緯

福島第一原子力発電所の教訓を踏まえて、平成 25 年に核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律が改正され、新規規制基準の策定による安全確保の水準を高める対応がなされたが、検査制度について抜本的な見直しが図られていないことについて、原子力規制委員会に対して IAEA の総合規制評価サービス (IRRS) からの指摘があった。IRRS ミッション報告書の指摘を受けて、平成 28 年から検査制度見直しに関して原子力規制委員会の検討チームによる議論が始まり、平成 29 年 4 月 7 日に「原子力利用における安全対策の強化のための核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律等の一部を改正する法律」が可決され、4 月 14 日に公布された。

法改正の主な内容は、原子炉等に係る規制関係と放射性同位元素等に係る規制関係に大別される。原子炉等に係る規制関係については、廃炉に対応する規制整備を公布日から 1 年 6 か月以内、原子力事業者等に対する検査制度の見直し、原子力施設の設計及び工事から使用までの一貫した品質管理の要求等については公布日から 3 年以内に施行することを定めており、新検査制度は 2020 年 4 月 1 日から施行される。施行に向けて、原子力規制委員会と事業者の間では検討チーム、WG を通じて公開の場で検討が進められており、2018 年 10 月からは試運用が開始した。試運用は 3 段階のフェーズで実施することになっており、フェーズ 1 は 2018 年度内に終了する。

本講演では検査制度見直しに向けた原子力規制委員会での検討の経緯について概要を説明する。

2. 法改正に伴う検査制度の変更点

現行の原子力施設の検査では、様々な対象毎に細切れで実施し、その結果の適否を指摘するに留まっていた。今回の検査制度の見直しでは、事業者の安全確保に関する活動すべてに検査の網をかけ、懸念事項を重点的に確認する等、メリハリのある検査とし、一層の安全性向上を目指すものである。具体的には、事業者が原子力施設の基準適合性を維持し、その状況を自ら検査する義務を課した上で、原子力規制委員会が事業者の保安活動全般を常時チェックできる仕組みにするとのことである。大きな変更点としては、現行の原子力規制委員会による検査（原子炉施設定期検査、使用前検査）がなくなり、定期事業者検査、使用前事業者検査を事業者が主体的に行うことになる。一方、年に 4 回の頻度で行っていた保安検査はなくなり、保安規定の遵守状況の監視を含めて、保安活動全体に対して原子力規制委員会による検査（原子力規制検査）が実施され、事業者はフリーアクセスを基本として原子力規制委員会の監視・評価を受けることになる。

3. 検査制度見直しへの事業者の対応状況

検査制度見直しに対応するために、研究所内では「検査制度改正対応 WG」を立ち上げて継続的な検討を行ってきた。主に CAP 活動の在り方、検査制度の独立性確保のための体制、フリーアクセスのための課題抽出、保全計画策定に向けての準備等について検討してきたので、進捗状況について報告する。また、事業者の対応に関して、他事業者（JAEA、近畿大学）との情報交換も定期的に行っている。他事業者の検査制度見直しへの対応状況についても紹介する。

4. 今後の課題

試運用期間においては、原子力規制委員会が策定した検査ガイドに基づき、事業者毎に定められた検査ガイドについて試運用検査を受けることになるので、事業者としては検査ガイドを熟読し、運用上の問題点があれば試運用期間内に原子力規制委員会と議論し改善に努める必要がある。さらに、事業者が一義的な責任をもって原子力施設の基準適合性を維持していくための保全計画の策定等についても準備しなければならない。規制側にお墨付きをもらおうという受動的な考えから脱却し、事業者自らが国民への説明責任を果たすという能動的な姿勢が求められている。

平成30年度第5専門技術群専門研修会

2018年10月31日(水)

京都大学複合原子力科学研究所

事務棟大会議室

原子力施設等に係る検査制度の見直し への対応状況について

京都大学複合原子力科学研究所

研究炉部長 堀 順一

講演の内容

1. 検査制度見直しの経緯
2. 法改正に伴う検査制度の主な変更点
3. 検査制度見直しへの事業者の対応状況
 - 他事業者の場合
 - 京都大学の場合
4. 今後の課題

1. 検査制度見直しの経緯

- 平成19年6月に行われたIAEAによる総合規制評価サービス (IRRS) において見直すべき課題が指摘された。
- 福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえた平成25年施行の法律改正においては、新規制基準の策定による安全確保の水準を高める早急な対応が必要であったことから、検査制度については抜本的な見直しが図られておらず、平成28年1月に行われたIRRSにおいても課題が指摘された。

IRRS: Integrated Regulatory Review Service (総合規制評価サービス)

各国の原子力規制機関等の専門家によって構成されるミッションが、IAEA加盟国の原子力安全や放射線防護に関する各種の規制や取組についてIAEA安全基準との整合性をレビューするもの。

IAEA安全基準の分類

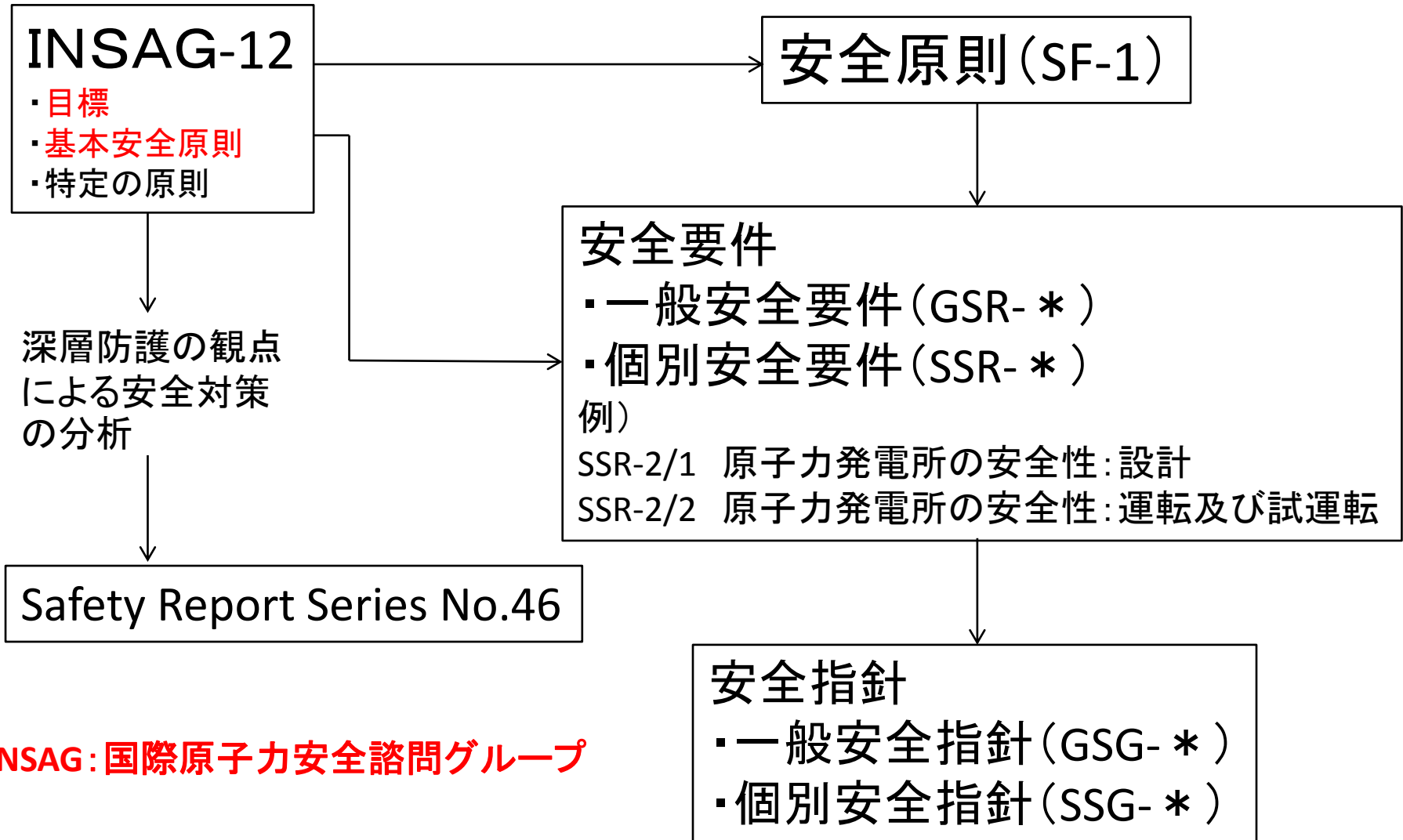


(出典) JNES「平成 21 年度原子力施設の国際安全基準に係る調査に関する報告書」 (平成 23 年 8 月)

IAEAの安全基準は、「安全原則(SF)」、「安全要件(SR)」及び「安全指針(SG)」の3段階の階層構造で体系的に整理される。

安全原則及び安全要件は義務として記載され、安全指針は勧告として記載されている。安全原則及び安全要件は理事会が承認、安全指針は事務局長が承認する。

IAEA安全基準シリーズ図書の整理



INSAG: 国際原子力安全諮問グループ

IRRS報告書

平成28年4月



IAEA-NS-IRRS-2016

原本：英文

(仮訳)

日本への総合規制 評価サービス (IRRS) ミッション

日本、東京
2016年1月10日～22日

原子力安全・セキュリティ局



Integrated
Regulatory
Review Service
IRRS

勧告、提言、良好事例

所見：IRRSチームは、法改正とその迅速な施行を、原子力安全を支え促進する前向きな一歩として認め、称賛する。

(1)	根拠：GSRのパート1、要件2には「政府は、責任を明確に割り当て、政府、法律及び規制の安全に対する適切な枠組みを維持しなければならない。」と定められている。
(2)	根拠：GSRのパート3、要件2には「政府は、防護及び安全のための法的及び規制上の枠組みを設け維持し、また、具体的な責任及び職務をもった実効的に独立した規制機関を設立する。」と定められている。
GP1	良好事例：強化された権限を有する独立した透明性のある新しい規制機関を支える、法律と行政の枠組みの速やかな構築
GP2	良好事例：原子力規制委員会による、自然災害、シビアアクシデントマネジメント、緊急事態に対する準備、既存施設へのバックフィットといった分野における東京電力福島第一原子力発電所事故での教訓の、新しい規制の枠組みへの速やかで効果的な取り入れ

勧告、提言、良好事例

所見：日本の原子力施設及び活動には、複数のタイプの検査が行われている。多くは、頻度、内容が法律若しくはその下位の法的拘束力のある規則において詳細に規定されている。原子力規制委員会の検査官が、計画されていない若しくは事前通告なしで検査を開始することは限定されている。また、対象を特定した対応型検査を実施し、それにより新たに発生し進展する事態に迅速に対応することも限定されている。

原子力規制委員会と許認可取得者の検査への取組は重複している。例えば、核燃料サイクル施設に関して原子力規制委員会は、現在、原子力施設のすべての主要な溶接の検査を行っており、一方で、その溶接を実施する溶接工の能力も確認している。この状況は、許認可取得者の一義的な安全に対する責任をあやふやなものにするかもしれない。

検査官は、法律に規定された特定の期間には、施設にいつでも自由に立ち入ることができる。これ以外の期間については、許認可取得者との合意に基づいて施設にフリーアクセスすることができる。この立入りを保証する法令の規定はない。原子力規制委員会は計画されていない、そして、事前通告なしの検査を実施していない。

原子力規制委員会は、指名された要員の能力、訓練及び再訓練を検証するための検査を実施しているが、職務への適合性のような、要員が安全に関連する機能を果たすことを確実にするために許認可取得者により行われるプロセスを検査の対象にしていない。

2つの良好事例とともに13の勧告と提言がなされた。

IRRS(2007年、2016年)からの課題

1. 検査官のフリーアクセス権限の確保
2. 柔軟性をもった規制検査プロセスの構築
3. 運転経験を反映したプロアクティブな検査プログラムの修正
4. 法令改正による検査制度の改善及び簡素化
5. リスク情報と保安活動の実績の活用
6. 対応型検査の実施を現場に近いレベルで決定できること
7. 検査に関する関連規制機関との連携
8. 不適合に対する罰則等の程度を決めるための執行の方針、安全上重大な事象が差し迫っている際には是正措置が迅速に決定できる手続きの策定
9. 検査官に対する研修及び再研修の改善

法改正に至るまでの時系列

平成25年12月 IAEAによる総合規制評価サービス(IRRS)ミッションの受け入れ表明

平成27年10月 自己評価書とりまとめ

平成28年

- 1月:IRRSミッション受入れ
- 4/25:IRRSミッション報告書を受けて、課題への対応について規制委員会にて審議
- 5/11:検査制度の見直しに関する検討の進め方について規制委員会にて決定
- 5/30:検討チームにて検討開始(原子炉安全専門審査会・核燃料安全専門審査会に状況報告のうえ助言聴取)
- 9/7:検討チーム中間取りまとめ(案)について規制委員会に報告
(10/7まで意見募集)
- 11/2:意見募集の結果を踏まえて、検討チーム中間取りまとめを規制委員会了承
- 12/28:核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律等の一部を改正する法律案の骨子について規制委員会にて審議

平成29年

- 2/1:「**原子力利用における安全対策の強化のための核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律等の一部を改正する法律案**」について規制委員会にて決定
- 2/7の閣議決定、3/24の衆議院本会議可決、4/7参議院本会議可決等の状況を規制委員会に報告
H29.4.7に可決され、**H29.4.14**に公布

法律改正の主要事項

1. 原子炉等に係る規制関係

① 検査制度の見直し

- 原子力施設の検査は、現在、様々な対象毎に細切れで実施し、その結果の適否を指摘するにとどまっている。これを、事業者の安全確保に関する活動すべてに検査の網をかけ、**懸念事項を重点的に確認する等、メリハリのある検査とし、一層の安全性向上につなげる。**
- 具体的には、事業者が原子力施設の基準適合性を維持し、その状況を**自ら検査する義務**を課した上で、**原子力規制委員会が事業者の保安活動全般を常時チェックできる仕組み**(「いつでも」「何にでも」とする。

② 廃炉に対応する規制整備

- 事業者に、事業開始段階から施設の解体廃材の発生見込み量等の**施設の廃止措置についての方針**を作成・公表させる。
- 炉内等廃棄物の埋設地について・・・(略)

2. 放射性同位元素等に係る規制関係

3. 放射線審議会関係

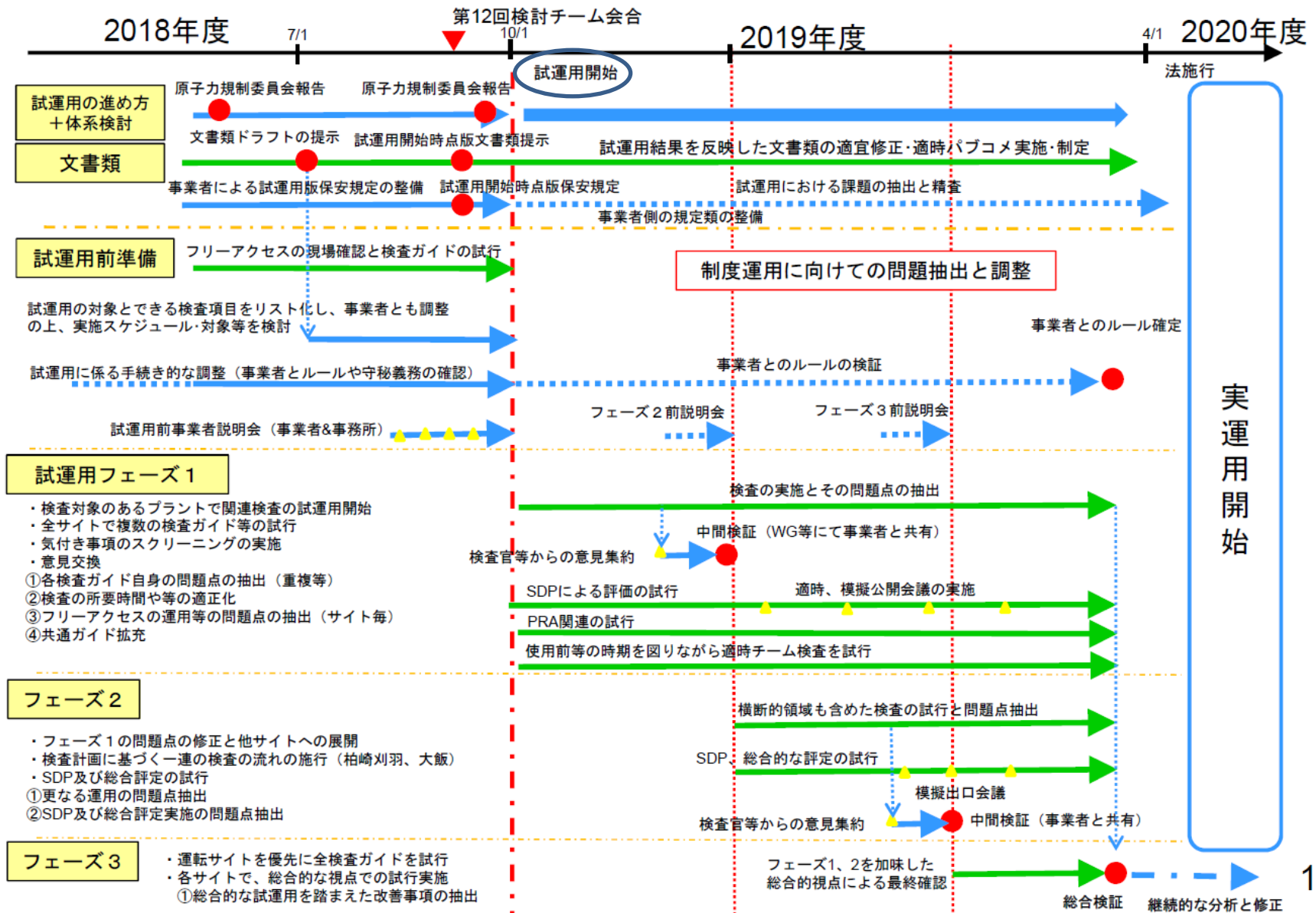
成立後の対応について

- (1) 第一段階施行: 公布の日
 - 放射線障害防止の技術的基準に関する法律関係
- (2) 第二段階施行: 公布の日から3カ月以内
 - 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律関係
核燃料物質の使用者及び国際規制物資使用者に係る規制の適正化
- (3) 第三段階施行: 公布の日から1年以内
 - 放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律関係
- (4) 第四段階施行: 公布の日から1年6カ月以内
 - 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律関係
廃止措置実施方針の作成・公表、炉内等廃棄物の埋設等に関する規制制度の見直し
- (5) **全面施行: 公布の日から3年以内**
 - 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律関係
原子力事業者等に対する検査制度の見直し、原子力施設の設計及び工事から使用までの一貫した品質管理の要求等
 - 放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律関係

検査制度の見直しに関する 原子力規制委員会による検討の経緯

開催日	会合名	主な議題	開催日	会合名	主な議題
H28.5.30	第1回会合	検討の進め方、海外の検査制度 他	H29.8.2	第10回WG	保安規定の記載要求事項、原子力規制検査におけるIPの整理 他
H28.6.20	第2回会合	事業者意見	H29.9.13	第11回WG	事業者意見(設工認、使用前事業者検査等に対して)
H28.7.5	第3回会合	海外の情報、制度見直しの方向性	H29.10.2	第9回会合	新たな検査制度の運用に向けた検討事項と論点整理 他
H28.8.4	第4回会合	中間取りまとめ、事業者意見	H29.11.13	第12回WG	原子力規制検査における個別事項の重要度評価の考え方 他
H28.8.25	第5回会合	中間取りまとめ、事業者意見	H29.12.4	第13回WG	核燃料施設等に対する新検査制度の導入に係る検討、事業者の検討状況
H28.10.21	第6回会合	中間取りまとめ、検討すべき課題の検討方針、WGによる詳細検討スケジュール	H29.12.20	第14回WG	品質管理に必要な体制整備に関する許可・指定基準への追加事項 他
H28.11.4	第1回WG	WGの進め方、検討すべき課題 他	H30.1.29	第10回会合	論点整理、規則等の文章体系 他
H28.11.10	第2回WG	監視・評価プロセス 他	H30.2.26	第15回WG	原子力規制検査における放射線安全に係る重要度評価の考え方 他
H28.11.15	第3回WG	監視の視点及び対象範囲 他	H30.3.19	第16回WG	追加・特別検査の考え方 他
H28.11.18	第7回会合	中間取りまとめ	H30.4.2	第17回WG	重要度評価結果と追加検査の考え方 他
H28.11.24	第4回WG	監視・評価の指標、重要度評価 他	H30.4.16	第18回WG	原子力規制検査における文章体系 他
H28.12.2	第5回WG	具体的な監視方法、フリーアクセス 他	H30.5.21	第11回会合	論点整理
H28.12.8	第6回WG	監視・評価における重要度の評価 他	H30.7.2	第19回WG	原子力規制検査に係る文章類、検査ガイドの準備状況 他
H28.12.15	第7回WG	核燃料施設等における事業者検査の体系等の整理	H30.8.20	第20回WG	核燃料施設等に対する新検査制度の導入に係る検討 他
H28.12.27	第8回会合	WGで抽出された課題と今後の対応 他	H30.9.3	第21回WG	検査ガイド試運用版 他
H29.4.27	第8回WG	法改正	H30.9.11	第12回会合	原子力規制検査の試運用
H29.6.26	第9回WG	許可・指定基準への品質管理に必要な体制の整備に関する事項の追加 他			

1-1. 法律施行に向けたスケジュール



試運用フェーズ

- 3段階のフェーズに分けて試運用が実施される。
- フェーズ1 (2018/10/1～2019/3/31)
 - 事業者の各プラントに割り当てた検査ガイド試運用版を用いて検査を実施
 - 規制事務所検査官が行う指摘事項の安全重要度評価は、緑を超える可能性のある事象の判断までを実施。(指摘事項の収集)
 - 核燃料等施設は、リスク情報活用に代えて、検査対象施設に対する検査ガイドの適用の程度(グレーデッドアプローチ)を確認する。
- フェーズ2 (2019/4/1～2019/9/30)
 - フェーズ1の活動を継続しつつ、代表プラントでは蓄積された検査の指摘事項に対する安全重要度評価まで実施。手法の習熟と規制側及び被規制側の評価判定の基準に対する認識を共有する。
 - アクションマトリックスを用いた追加検査の有無の判断と追加検査及び総合的な評定までを実施し、結果を規制側及び被規制側で認識共有する。
 - 制度全体の問題点等の抽出。
- フェーズ3 (2019/10/1～2020/3/31)
 - フェーズ1及び2における問題点を解消し、本格運用を模して総合的に検査制度を運用し、本格運用までに制度全体の微調整をしていく。
 - 制度の継続的な改善手法についてもフィードバックさせる。

2. 法改正に伴う検査制度の変更点

出典：第8回WG 資料1

資料1参考1

○核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律

(昭和三十二年法律第百六十六号)

赤字：第1条改正（公布の日から3月以内施行）

青字：第2条改正（公布の日から1年6月以内施行）

緑字：第3条改正（公布の日から3年以内施行）

目次

第一章 総則（第一条・第二条）

第二章 製錬の事業に関する規制（第三条—第十二条の七）

第三章 加工の事業に関する規制（第十三条—第二十二條の九）

第四章 原子炉の設置、運転等に関する規制

第一節 試験研究用等原子炉の設置、運転等に関する規制（第二十三条—第四十三条の三の四）

第二節 発電用原子炉の設置、運転等に関する規制（第四十三条の三の五—第四十三条の三の三十五）

第五章 貯蔵の事業に関する規制（第四十三条の四—第四十三条の二十八）

第六章 再処理の事業に関する規制（第四十四条—第五十一条）

第七章 廃棄の事業に関する規制等

第一節 廃棄の事業に関する規制（第五十一条の二—第五十一条の二十六）

第二節 指定廃棄物埋設区域に関する規制（第五十一条の二十七—第五十一条の三十四）

第八章 核燃料物質等の使用等に関する規制

第一節 核燃料物質の使用等に関する規制（第五十二条—第五十七条の六）

第二節 核原料物質の使用に関する規制（第五十七条の七）

第九章 原子力事業者等の責務（第五十七条の八）

第十章 原子力事業者等に関する規制等（第五十八条—第六十一条の二）

第十一章 原子力規制検査に基づく監督（第六十一条の二の二）

第十二章 国際規制物資の使用等に関する規制等

第一節 国際規制物資の使用等に関する規制（第六十一条の三—第六十一条の九の四）

第二節 指定情報処理機関（第六十一条の十一—第六十一条の二十三）

第三節 指定保障措置検査等実施機関（第六十一条の二十三の二—第六十一条の二十三の二十一）

第十三章 雑則（第六十二条—第七十六条）

第十四章 罰則（第七十七条—第八十四条）

第十五章 外国船舶に係る担保金等の提供による釈放等（第八十五条—第八十九条）

附則

(定義)

第二条 この法律において「原子力」とは、原子力基本法第三条第一号に規定する原子力をいう。

⋮

7 この法律において「原子力施設」とは、次条第二項第二号に規定する製錬施設、第十三条第二項第二号に規定する加工施設、第二十三条第二項第五号に規定する試験研究用等原子炉施設、第四十三条の三の五第二項第五号に規定する発電用原子炉施設、第四十三条の四第二項第二号に規定する使用済燃料貯蔵施設、第四十四条第二項第二号に規定する再処理施設、**第五十一条の二第二項**に規定する廃棄物埋設施設及び**同条第三項第二号**に規定する廃棄物管理施設並びに**第五十二条第二項第十号**に規定する使用施設等をいう。

⋮

11 この法律において「原子力規制検査」とは、第六十一条の二の二第一項の規定により、原子力規制委員会が行う検査をいう。

第四章 原子炉の設置、運転等に関する規制

第一節 試験研究用等原子炉の設置、運転等に関する規制

(設置の許可)

第二十三条 発電用原子炉以外の原子炉（以下「試験研究用等原子炉」という。）を設置しようとする者は、政令で定めるところにより、原子力規制委員会の許可を受けなければならない。

2 前項の許可を受けようとする者は、次の事項を記載した申請書を原子力規制委員会に提出しなければならない。

一 氏名又は名称及び住所並びに法人にあつては、その代表者の氏名

二 使用の目的

三 試験研究用等原子炉の型式、熱出力及び基数

四 試験研究用等原子炉を設置する工場又は事業所の名称及び所在地（試験研究用等原子炉を船舶に設置する場合にあつては、その船舶を建造する造船事業者の工場又は事業所の名称及び所在地並びに試験研究用等原子炉の設置の工事を行う際の船舶の所在地）

五 試験研究用等原子炉及びその附属施設（以下「試験研究用等原子炉施設」という。）の位置、構造及び設備

六 試験研究用等原子炉施設の工事計画

七 試験研究用等原子炉に燃料として使用する核燃料物質の種類及びその年間予定使用量

八 使用済燃料の処分方法

九 試験研究用等原子炉施設の保安のための業務に係る品質管理に必要な体制の整備に関する事項

設置変更申請書に原子炉施設の保安のための業務に係る品質管理に必要な体制の整備に関する事項を追記。

(設計及び工事の計画の認可)

第二十七条 試験研究用等原子炉施設の設置又は変更の工事(核燃料物質若しくは核燃料物質によつて汚染された物又は試験研究用等原子炉による災害の防止上支障がないものとして原子力規制委員会規則で定めるものを除く。)をしようとする試験研究用等原子炉設置者は、原子力規制委員会規則で定めるところにより、当該工事に着手する前に、その設計及び工事の方法その他の工事の計画(以下この条及び次条第二項第一号において「設計及び工事の計画」という。)について原子力規制委員会の認可を受けなければならない。ただし、試験研究用等原子炉施設の一部が滅失し、若しくは損壊した場合又は災害その他非常の場合において、やむを得ない一時的な工事とするときは、この限りでない。

2 前項の認可を受けた者は、当該認可を受けた設計及び工事の計画を変更しようとするときは、原子力規制委員会規則で定めるところにより、原子力規制委員会の認可を受けなければならない。ただし、その変更が原子力規制委員会規則で定める軽微なものであるときは、この限りでない。

3 原子力規制委員会は、前二項の認可の申請が次の各号のいずれにも適合していると認めるときは、前二項の認可をしなければならない。

一 その設計及び工事の計画が第二十三条第一項若しくは第二十六条第一項の許可を受けたところ又は同条第二項の規定により届け出たところによるものであること。

二 試験研究用等原子炉施設が第二十八条の二の技術上の基準に適合するものであること。

4 試験研究用等原子炉設置者は、第一項ただし書の規定によりやむを得ない一時的な工事をする場合は、工事の開始の後、遅滞なく、その旨を原子力規制委員会に届け出なければならない。

5 第一項の認可を受けた者は、第二項ただし書の規定により設計及び工事の計画について原子力規制委員会規則で定める軽微な変更をする場合は、その設計及び工事の計画を変更した後、遅滞なく、その変更した設計及び工事の計画を原子力規制委員会に届け出なければならない。ただし、原子力規制委員会規則で定める場合は、この限りでない。

設計及び工事の**方法**の認可から
設計及び工事の**計画**の認可になる。

(使用前事業者検査等)

第二十八条 試験研究用等原子炉設置者は、原子力規制委員会規則で定めるところにより、設置又は変更の工事をする試験研究用等原子炉施設について検査を行い、その結果を記録し、これを保存しなければならない。

2 前項の検査(次項及び第三十七条第一項において「使用前事業者検査」という。)においては、その試験研究用等原子炉施設が次の各号のいずれにも適合していることを確認しなければならない。

一 その工事が前条第一項又は第二項の認可を受けた設計及び工事の計画(同項ただし書の原子力規制委員会規則で定める軽微な変更をしたものを含む。)に従つて行われたものであること

二 次条の技術上の基準に適合するものであること。

3 試験研究用等原子炉設置者は、原子力規制委員会規則で定めるところにより、使用前事業者検査についての原子力規制検査により試験研究用等原子炉施設が前項各号のいずれにも適合していることについて原子力規制委員会の確認を受けた後でなければ、その試験研究用等原子炉施設を使用してはならない。ただし、前条第一項ただし書の工事を行った場合その他原子力規制委員会規則で定める場合は、この限りでない。

(試験研究用等原子炉施設の維持)

第二十八条の二 試験研究用等原子炉設置者は、試験研究用等原子炉施設を原子力規制委員会規則で定める技術上の基準に適合するように維持しなければならない。ただし、第四十三条の三の二第二項の認可を受けた試験研究用等原子炉については、原子力規制委員会規則で定める場合を除き、この限りでない。

(定期事業者検査)

第二十九条 試験研究用等原子炉設置者は、原子力規制委員会規則で定めるところにより、定期に、試験研究用等原子炉施設について検査を行い、その結果を記録し、これを保存しなければならない。ただし、第四十三条の三の二第二項の認可を受けた試験研究用等原子炉については、原子力規制委員会規則で定める場合を除き、この限りでない。

2 前項の検査(次項及び第三十七条第一項において「定期事業者検査」という。)においては、その試験研究用等原子炉施設が前条の技術上の基準に適合していることを確認しなければならない。

3 試験研究用等原子炉設置者は、定期事業者検査が終了したときその他原子力規制委員会規則で定めるときは、遅滞なく、その旨を原子力規制委員会に報告しなければならない。

使用前検査⇒使用前事業者検査
定期検査⇒定期事業者検査

(保安規定)

- 第三十七条 試験研究用等原子炉設置者は、原子力規制委員会規則で定めるところにより、保安規定（試験研究用等原子炉の運転に関する保安教育、使用前事業者検査及び定期事業者検査についての規定を含む。以下この条において同じ。）を定め、試験研究用等原子炉施設の設置の工事に着手する前に、原子力規制委員会の認可を受けなければならない。これを変更しようとするときも、同様とする。
- 2 原子力規制委員会は、保安規定が次の各号のいずれかに該当すると認めるときは、前項の認可をしてはならない。
- 一 第二十三条第一項若しくは第二十六条第一項の許可を受けたところ又は同条第二項の規定により届け出たところによるものでないこと。
 - 二 核燃料物質若しくは核燃料物質によって汚染された物又は試験研究用等原子炉による災害の防止上十分でないものであること。
- 3 原子力規制委員会は、核燃料物質若しくは核燃料物質によって汚染された物又は試験研究用等原子炉による災害の防止のため必要があると認めるときは、試験研究用等原子炉設置者に対し、保安規定の変更を命ずることができる。
- 4 試験研究用等原子炉設置者及びその従業者は、保安規定を守らなければならない。

保安規定の改定が必要

(廃止措置実施方針)

- 第四十三条の三 試験研究用等原子炉設置者は、試験研究用等原子炉の運転を開始しようとするときは、当該試験研究用等原子炉の解体、核燃料物質の譲渡し、核燃料物質による汚染の除去、核燃料物質によって汚染された物の廃棄その他の原子力規制委員会規則で定める試験研究用等原子炉の廃止に伴う措置（以下この節において「廃止措置」という。）を実施するための方針（以下この条において「廃止措置実施方針」という。）を作成し、これを公表しなければならない。
- 2 廃止措置実施方針には、廃棄する核燃料物質によって汚染された物の発生量の見込み、廃止措置に要する費用の見積り及びその資金の調達の方法その他の廃止措置の実施に関し必要な事項を定めなければならない。
- 3 試験研究用等原子炉設置者は、廃止措置実施方針の変更をしたときは、遅滞なく、変更後の廃止措置実施方針を公表しなければならない。
- 4 前三項に定めるもののほか、廃止措置実施方針に関し必要な事項は、原子力規制委員会規則で定める。

廃止措置実施方針の公表が義務付けられる。
(猶予期間を含めて今年中)

第十一章 原子力規制検査に基づく監督

第六十一条の二の二 原子力事業者等及び核原料物質を使用する者は、次に掲げる事項について、原子力規制委員会が行う検査を受けなければならない。

■
■
■

- 2 原子力規制検査は、原子力規制委員会規則で定めるところにより過去の第七項の評定の結果その他の事情を勘案して、原子力規制委員会規則で定めるところにより行うものとする。
- 3 原子力規制検査に当たっては、原子力規制委員会の指定する当該職員は、次に掲げる事項であつて原子力規制委員会規則で定めるものを行うことができる。
- 一 事務所又は工場若しくは事業所への立入り
 - 二 帳簿、書類その他必要な物件の検査
 - 三 関係者に対する質問
 - 四 核原料物質、核燃料物質その他の必要な試料の提出（試験のため必要な最小限度の量に限る。）をさせること。
- 4 前項第一号の規定により当該職員が立ち入るときは、その身分を示す証明書を携帯し、かつ、関係者の請求があるときは、これを提示しなければならない。
- 5 第三項の規定による権限は、犯罪捜査のために認められたものと解してはならない。
- 6 原子力規制委員会は、原子力規制検査に当たっては、当該職員が原子力事業者等が行う検査に立ち会うこと、当該職員が自ら原子力施設に立ち入つて検査を行うことその他の方法により、効果的かつ効率的な実施に努めるものとする。
- 7 原子力規制委員会は、原子力規制検査の結果に基づき、第一項各号に掲げる事項について、総合的な評定をするものとする。
- 8 原子力規制委員会は、前項の評定に当たっては、原子力利用における安全に関する最新の知見を踏まえ、原子力規制検査を受けた者が講じた第一項各号に掲げる事項を検証し、当該事項について改善が図られているかどうかについても勘案するものとする。
- 9 原子力規制委員会は、原子力規制検査及び第七項の評定の結果を、当該原子力規制検査を受けた者に通知するとともに、公表するものとする。
- 10 原子力規制委員会は、原子力規制検査の結果に基づき必要があると認めるときは、当該原子力規制検査を受けた者に対し、第十一条の二第二項、第二十一条の三、第三十六条、第四十三条の三の二十三、第四十三条の十九、第四十九条、第五十一条の十七、第五十六条の四及び第五十七条の七第五項の規定による命令その他必要な措置を講ずるものとする。

原子力規制検査に基づく
監督が追記

①使用前事業者検査（試験使用承認等）

試験使用承認等の運用

実用発電用原子炉においては、従来より、工事をする施設について使用前検査を受けずに使用することができる場合が法律で規定されており、法改正後は、原子力規制委員会の確認において核燃料施設等を含めて同様に規定されている。

実用炉規則イメージ（第19条の使用前確認を要しない場合）では、試験使用承認、試験使用、一部使用承認、検査省略指示、設工認を要しない工事等を示しているところ。

【試験使用承認・試験使用】

（実用炉）燃料装荷、臨界反応操作などの次工程への移行に規制確認が必要な節目の運用のため、原子炉本体の試験使用において、承認が必要な体系とし、それ以外は承認が不要と整理している。

→第9回WGで核燃料施設等においては「核燃料物質等の搬入開始」等を節目としており、設置の工事において核燃料物質等を用いた試験のための使用について承認を要する規定とする方向で検討。

【一部使用承認】

（実用炉）工事対象設備のうち一部の設備を先行して（試験用途とは別に）使用する必要がある場合（共用設備で隣接号機の運転に利用等）に、当該設備についての適合性判断を先行的に行うため、承認が必要な体系としている。

→核燃料施設等においても同様の場合が想定されることから、実用炉と同様の規定とする方向で検討。

【検査省略指示】

（実用炉）実際の設備等に変更はないものの、設工認の手続きのみ必要となる場合などで、認可と合わせて指示を出す体系としている。

→核燃料施設等においても同様の場合が想定されることから、実用炉と同様の規定とする方向で検討。

【設工認を要しない工事】

（実用炉）現行の制度において工事計画認可・届出の対象になっていない工事のため、使用前検査対象となっていないものは、引き続き規制関与不要なものとする体系としている。

→核燃料施設等においては、設工認不要範囲を規則で定めることとなっており、実用炉規則イメージ（第8条設工認を要しない工事等）で核燃料施設等では申請書本文記載事項に変更のない工事としていることから、当該規定と同様の範囲を規定する方向で検討（取替工事で確認すべき工事（例：実用炉で届出対象としているもの）の有無、取扱いも検討。）。

② 定期事業者検査（検査実施時期等）

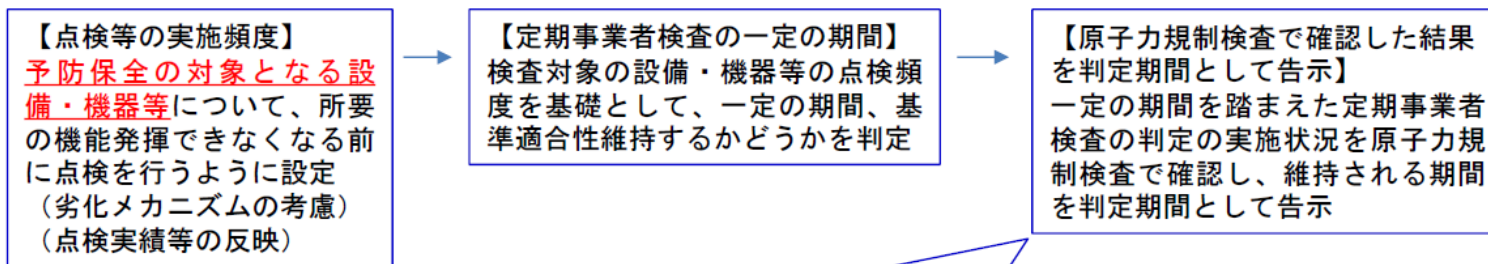
検査実施時期、一定の期間の設定

実用発電用原子炉においては、従来より、維持義務を果たすための活動として、定期事業者検査において適合性を維持する期間（一定の期間）について検査判定で考慮（実用炉規則イメージ第56条第2項及び第3項関係）。具体的には、点検計画において劣化メカニズムを踏まえて設定（保全の有効性評価で改善）した点検頻度を基礎としている。

検査実施時期は施設定期検査で定期事業者検査の一定の期間を基礎に確認し、告示で期間（13, 18, 24月）を設定。法改正後は、原子力規制検査で同様に確認し告示（実用炉規則イメージ第54条関係）するものとしている。

核燃料施設等についても、法体系は実用炉と同様に規定されており、施行規則にて体系を整備する。

【検査実施時期の設定に係る各種活動の流れ】



○今後は、**保全の有効性評価を実施**した上で、点検頻度を基礎として検査実施時期を設定（原子力規制検査で確認のうえ告示）。予防保全対象として**保全方式の設定等の具体化**も今後検討が必要。
○定期事業者検査の判定に係る**一定の期間**までの間、当該検査対象機器の**基準適合維持**が求められる。

判定期間は

- ・定期事業者検査対象設備を構成する機械・器具で、**検査毎に取替えなどの機能回復しているもの**のうち、
- ・機能要求に対して冗長性のあるもの、予備品交換等で適宜保全することとしているもの、**翌検査時期まで使用しないもの**を除いたものを**対象に設定**

現行の検査実施時期の規定・運用は施設毎に異なる（次頁参照）ため、**判定期間に関する対象物等及びその点検頻度の確認が必要**

核燃料施設等で**該当する設備があるか確認が必要**

② 定期事業者検査（報告時期）

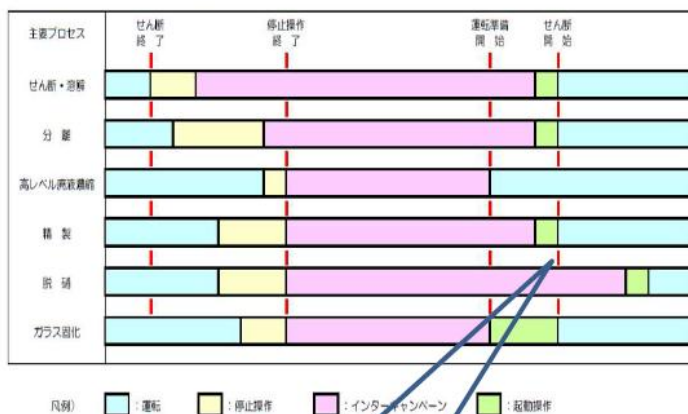
検査の報告時期の設定

実用発電用原子炉においては、先行検査（実用炉規則イメージ第54条第3項関係）を除く定期事業者検査全体（実用炉規則イメージ第54条第1項に基づき実施する検査）に対して、定期事業者検査開始時、原子炉起動に必要な検査終了時及び定期事業者検査終了時に報告を求めることとしている（実用炉規則イメージ第58条関係）。

核燃料施設については、保安措置運用ガイドイメージの定期事業者検査の実施時期の記載（Ⅲ. 1.（1））において、工程ごとに運転状態が異なる原子力施設について、工程ごとに定期事業者検査の範囲を区切り、それぞれで時期を設定することができることとしており、**報告についてもそれぞれの開始、終了の時期を想定している。**

再処理施設の操業パターン（事業者との面談資料より）

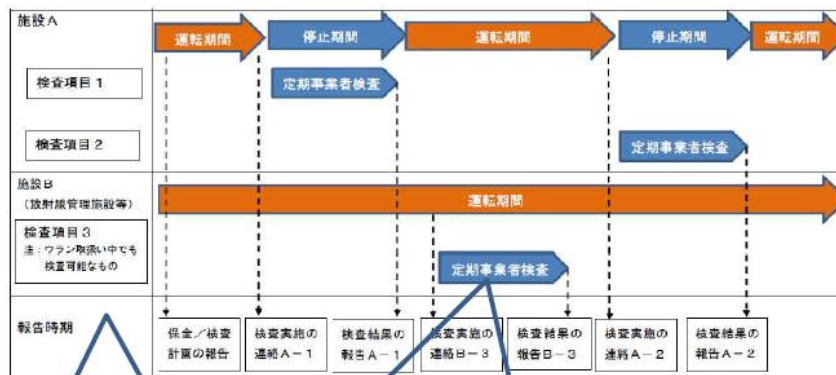
標準的な停止・インターキャンペーン・起動のパターン



停止操作～運転準備開始までは共通であるが、起動操作開始時期が施設によって異なる。

加工施設の操業パターン（事業者との面談資料より）

定期事業者検査（計画と結果）の報告時期 運用イメージ



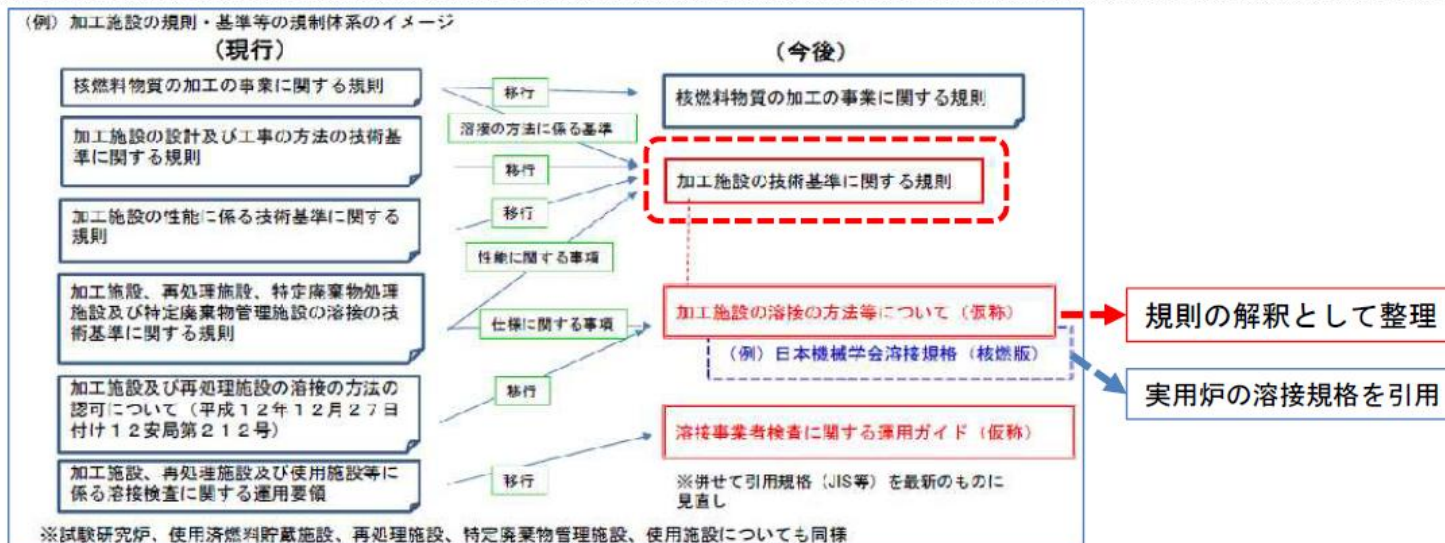
工程ごとに運転状態が異なる施設があるか確認が必要

保安措置ガイドイメージの記載では先行検査の扱いとなり、その後の報告時期に実績を記載することになるが、検査時期の整理も含めて検討が必要

③技術基準規則

今回の法改正に伴い、核燃料施設全般の規制体系が発電用原子炉と同様の仕組みとなることから、現行の溶接方法の認可に係る基準として整備されている体系を、施設の技術基準を一本化することで検討中。

平成29年
12月4日
第13回
WG資料



(1) 機器分類について

- 実用炉の技術基準規則は、定義（第2条）に機器分類を規定し、材料及び構造（第17条）の解釈等に「主要な耐圧部の溶接部」の範囲を規定している。
- 再処理は、溶接の技術基準規則において、機器分類を定義している。
- 再処理の技術基準規則は、実用炉の技術基準に合わせた整理とするか検討が必要。

(2) 使用施設の技術上の基準について

- 「核燃料物質の使用等に関する規則」第二条の五（工事の技術上の基準）として規定されていることから、これを抜き出し、「使用施設等の溶接の技術基準に関する規則」と合わせて、新たに技術基準規則及び同解釈として制定することを検討。

1. 原子力規制検査の政策方針(ポリシー)



規制機関と被規制者の双方が安全を追求する姿勢を共有しつつ、
新たな検査制度(原子力規制検査)では、

- ①検査官自ら歩いて、見聞きし、
納得するまで問いかける。
- ②安全上の重要性から、
検査や対応にメリハリを付ける。
- ③常に検査の視点を持って施設の状況・
被規制者の活動を監視する。



ことを心がけます。

1. 検査制度の改正前後の違い



【ポイント】

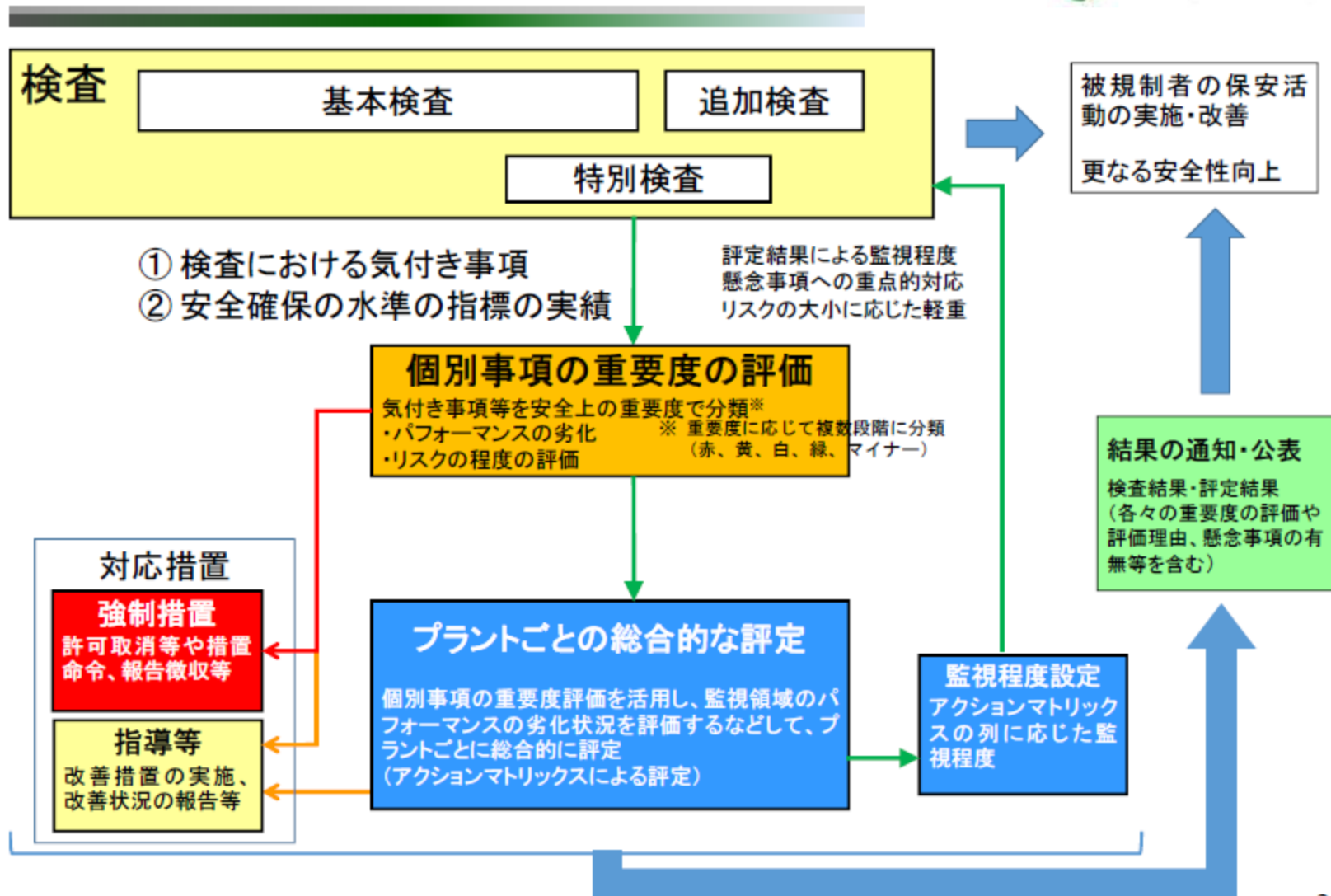
- ・「いつでも」「どこでも」「何にでも」、規制委員会のチェックが行き届く検査
- ・安全確保の観点から事業者の取り組み状況を評定
- ・これを通じて、事業者が自ら安全確保の水準を向上する取り組みを促進

	制度改正前	制度改正後
1	<ul style="list-style-type: none"> ・事業者が安全を確保するという一義的責任を負っていることが不明確。 ・規制機関のお墨付き主義に陥る懸念。 ⇒ 改善を促進しない体系。	<ul style="list-style-type: none"> ・まずは事業者自らに検査義務等を課し、規制機関の役割は事業者の取り組みを確認するものへ。 ⇒ 事業者の責任の明確化と改善の促進。
2	<ul style="list-style-type: none"> ・重複のある複数かつ混み入った形態の検査。 ・法令において、検査対象や検査時期が細かく決められている。 ⇒ 事業者の全ての保安活動に目が行き届かない。	<ul style="list-style-type: none"> ・規制機関の全ての検査を一つの仕組みに一本化。 ・検査の対象は、事業者の全ての保安活動。 ⇒ 規制機関のチェックの目が行き届く仕組み。
3	<ul style="list-style-type: none"> ・あらかじめ決められた項目の適否をチェックする、いわゆるチェックリスト方式。 ⇒ 安全上重要なものに焦点を当てにくい体系。	<ul style="list-style-type: none"> ・安全上の重要度から検査の重点を設定。 ・リスク情報の活用や安全実績指標(PI)の反映などを取り入れた体系。 ・安全確保の視点から評価を行い、次の検査などにフィードバック。 ⇒ 安全上重要なものに注力できる体系。
4	<ul style="list-style-type: none"> ・被規制者の検査対応部門を通じた図面、記録の確認、現場巡視が中心。 ⇒ 被規制者の視点に影響される可能性。	<ul style="list-style-type: none"> ・検査官が必要と考える際に、現場の実態を直接に確認する運用。 ・規制機関が必要とする情報等に自由にアクセスできる仕組み(いわゆるフリーアクセス)を効果的に運用。

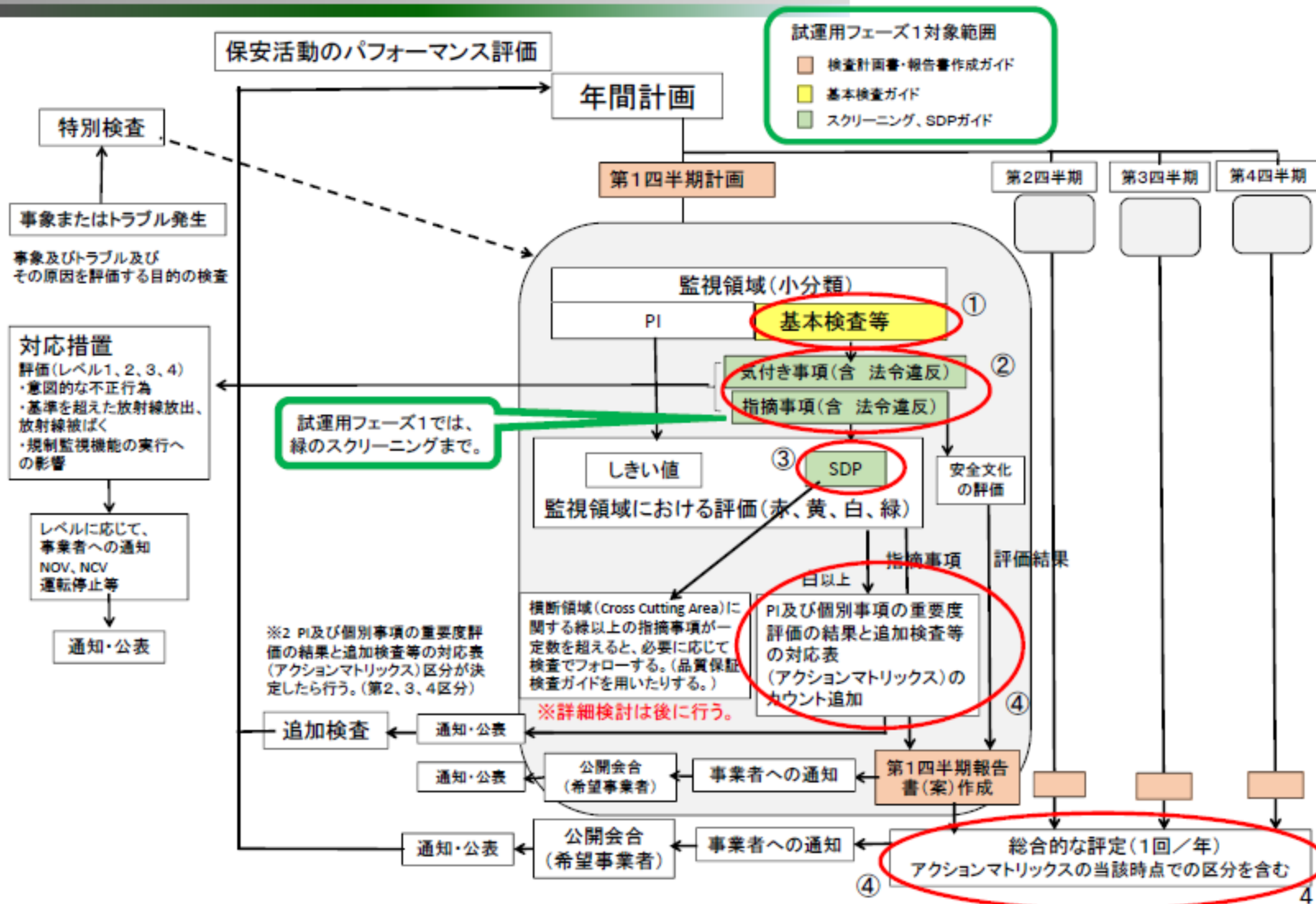
【新たな検査制度は、トラブル発生防止に効果があるのか？】

規制機関の検査の際には、事業者の弱点や懸念点などに注視して監督を行い、結果としてトラブルに至るような芽を摘んでいく。その前提として、事業者は自ら改善活動を積極的かつ的確に運用することが必要。自らの気付きと規制機関の気付きの双方が、改善活動の契機となり、安全上の影響が大きい事象に至る前に、気付きが改善に結びつくことが期待される。

2. 新たな検査制度の枠組み



3. 原子力規制検査の全体の流れ

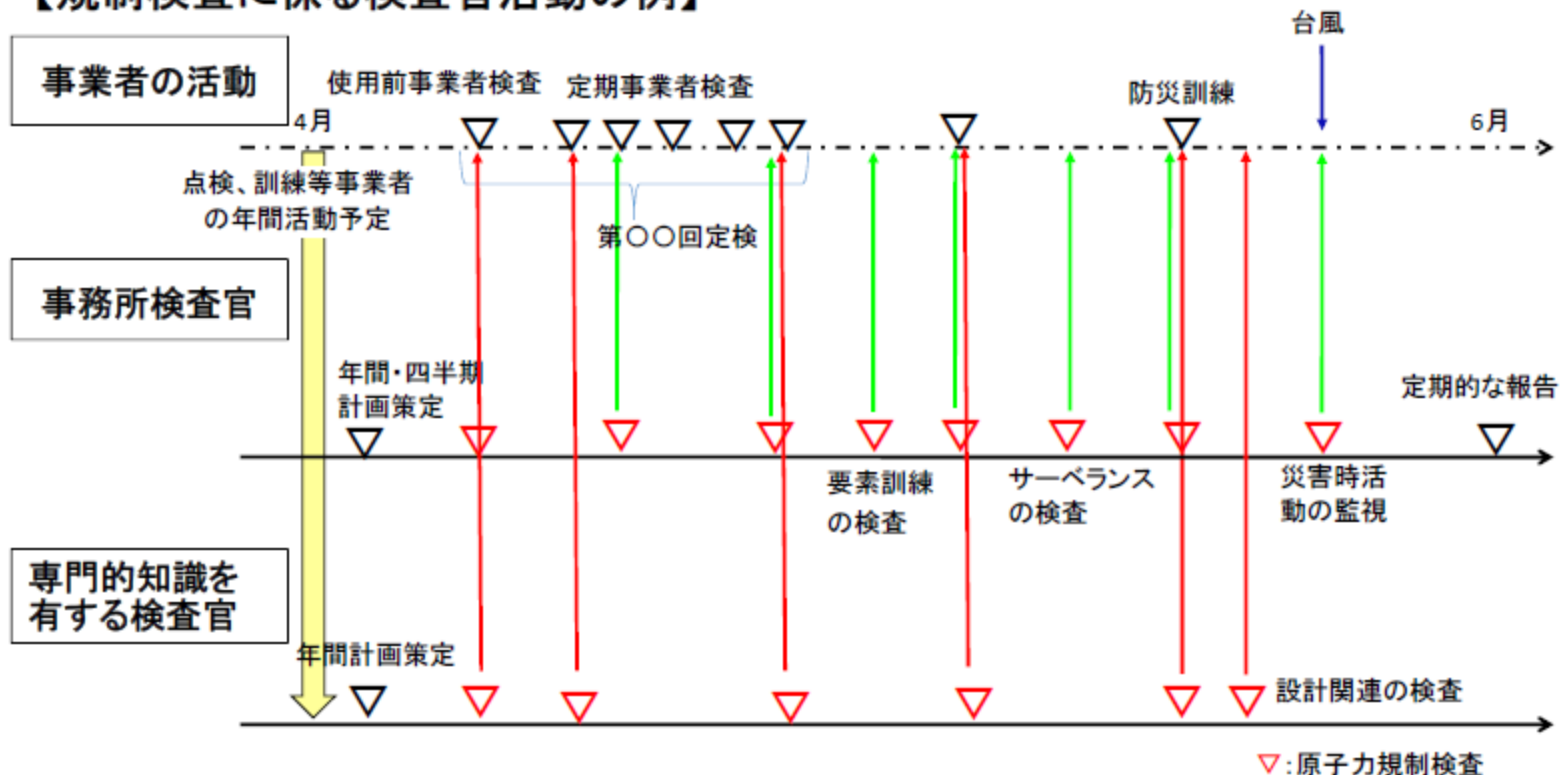


3-1. 検査スケジュール例(①)

○ 基本検査は、主体が本庁か規制事務所かで大別すると以下の2つとなる。

- ・ 主に規制事務所の検査官が実施する検査(日常的に行う検査)
- ・ 専門的知識を有する検査官が実施する検査(本庁の専門検査部門と規制事務所が、チームを編成して計画的に行う検査。)

【規制検査に係る検査官活動の例】



3-6. アクションマトリックス(④)

		事業者による対応 (第1区分)	規制機関による対応 (第2区分)	監視領域の劣化 (第3区分)	複数／繰り返しの監視領域の劣化(第4区分)	許容できないパフォーマンス(第5区分)
評価結果		すべてのPI及び検査指摘事項の評価が緑	監視領域(大分類)において白が1又は2	<ul style="list-style-type: none"> 一つの監視領域(小分類)において白が3以上又は黄が1又は 監視領域(大分類)において白が3 	<ul style="list-style-type: none"> 監視領域(小分類)の劣化が繰り返し又は、 監視領域(小分類)の劣化が複数又は、 黄が複数又は、 赤が一つ 	全体的に許容できないパフォーマンス
		各監視領域に必要な機能・性能は十分に満足している	各監視領域に必要な機能・性能は満足しているが、小程度の安全上の劣化がある	各監視領域に必要な機能・性能は満足しているが、中程度の安全上の劣化がある	各監視領域に必要な機能・性能は満足しているが、長期間の問題又は重大な安全上の劣化がある	<ul style="list-style-type: none"> プラントの運転は認められない 安全に対する余裕が許容できない
規制検査	項目	基本検査のみ (事業者の是正処置)	<ul style="list-style-type: none"> 基本検査 追加検査1(※) 	<ul style="list-style-type: none"> 基本検査 追加検査2(※) 	<ul style="list-style-type: none"> 基本検査 追加検査3(※) 	
	視点等	事業者の是正処置の状況を確認する	<ul style="list-style-type: none"> パフォーマンスの劣化が認められた事業者の活動の中から追加検査項目を選定 根本原因分析の結果の評価、及び、安全文化要素の劣化兆候の特定 	<ul style="list-style-type: none"> パフォーマンスの劣化が認められた事業者の活動と、関連するQMS要素の中から追加検査項目を選定 根本原因分析の結果の評価、及び、安全文化要素の劣化兆候の特定 	<ul style="list-style-type: none"> 全体的な事業者の活動と、QMS要素の中から追加検査項目を選定 根本原因分析の結果の評価、及び、安全文化要素の劣化兆候(第三者により実施された安全文化の評価を含む)の特定 	
規制措置	なし		追加検査のみ	追加検査のみ	報告徴収、など	許可取消し又は運転の停止命令、保安措置命令、保安規定の変更命令、など

◎ 本アクションマトリックスは、原子力規制検査等実施要領に記載。

※ 追加検査(チーム検査)とは

指摘事項の重要度評価の結果(白、黄、赤)の数により、軽重のある3つの追加検査から選択され、専門的知識を有する検査官を中心にチーム検査にて事業者の取組・評価について検査するもの。重い追加検査では、被規制者の安全文化に対する取組等に関しても検査する。

6. 原子力規制検査と事業者の重点項目

- 規制機関と事業者がともに、安全上の重要性を認識し、実施状況を国民・住民に見える形で実施していく。
- リスク情報の活用、保安活動の実績の反映を基礎とする。

事業者の安全確保に関する一義的責任が果たされ、自らの主体性により継続的に安全性の向上が図られる。

- フリーアクセスへの対応
(文書、現場、人への国の検査官のフリーアクセスに対応する環境作り)
- CAPシステムの構築と活用
(改善が必要な事象への対応を体系的に実施し、重要な事象の再発、未然防止を目的とする。)
- 事業者検査
(使用前事業者検査、定期事業者検査、検査の独立性の確保、 国の検査官は、プロセスを監視する。)
- リスク情報の活用
- 安全実績指標(PI)を利用した安全の監視
- 原子力規制検査に向けた保安規定の変更

※試運用の検査開始前の打合せにて、双方の準備状況を共有する。

3. 検査制度見直しへの事業者の対応状況

- 核燃料使用施設等に対する新検査制度の導入に係る検討状況については、原子力規制委員会主催の第20回WG(H30.8.20)において紹介されたので、ここでは抜粋を紹介する。
- 他事業者の検討状況
 - ① 日本原燃株式会社
 - CAPシステムの検討状況について
 - ② JAEA
 - 保全計画の策定方針について(検査の独立性導入含む)
 - 是正措置プログラム(CAP)等の取組みについて
 - ③ 加工3社
(グローバル・ニュークリア・フェイル・ジャパン(株)、三菱原子燃料(株)、原子燃料(株))
 - 検査の独立性確保について
 - 不適合管理/改善プロセスの見直し検討について

以下、出典：第20回WG 資料2-1, 2-2, 2-3

①日本原燃株式会社

- 電気事業連合会、日本電気協会及びJANSIと調整を取りつつ準備を進めているとのこと。
- CAPシステムの構築にあたっては、品証技術基準案及び関係組織における検討状況を踏まえ、検討を進めている。
- 本年度下半期以降の段階的な試運用開始を目指している。

(1) コンディションレポート(CR)

各要員が気付いた事項を報告する運用を実施。報告の更なる促進を目的とし、報告の奨励と報告者の保護について社規定に規定。

(2) スクリーニング

スクリーニングの対応として、専門家を含むスクリーニングチームの設置を基本に、これまでの不適合管理のためのCAP会合から新たに整備するスクリーニング体制へ切り換える。CAQ(品質に影響を及ぼす状態)の特定も開始予定とのこと。

(3) 処置の実施

CAQに対する処置については、当面はJEAC411に基づき各組織で定めた不適合管理(是正処置を含む)または予防処置の手順を活用して実施し、記録を作成する。

(4) パフォーマンス評価、監視および測定(モニタリング)

現在は対処状況のフォローアップのみ実施しており、CRを利用したデータ分析による傾向分析や評価については、関係組織における検討状況も踏まえ、対応していく。

②JAEA

● 保全計画策定方針

(1) 保守対象設備の選定

保守区分	機能別区分	基本的考え方
検査	主たる安全機能 (止める・冷やす・ 閉じ込める)	<ul style="list-style-type: none"> 立会確認又は抜取確認（現行検査要領書の方法）を基本とする。 ただし、閉じ込め機能に関し、事故時放射線影響の小さいもの又は検査時間が長いものは記録確認も可とする。
	その他の安全機能*1 (監視・警報、取扱 制限、火災防止、 漏えい防止等)	<ul style="list-style-type: none"> 記録確認（現行検査要領書の方法のほか、日常的に点検・使用しているものについてはそのプロセス確認も可）を基本とする。 消防設備点検など法定点検を行っているものについてはそのプロセス確認に代える。
点検	主たる安全機能 及び その他の安全機能 並びに それらを支援する 機能*2	<ul style="list-style-type: none"> 機能・性能に係る点検 →作業前又は使用に備えた機能・性能確認として実施する。 →年1回以上（又は定期事業者検査のつど）の点検を基本とし、設備機器の状況に応じて設定する。 構造・強度に係る点検 →経年劣化の兆候確認として実施する。 →少なくとも10年に1回（施設定期評価の頻度）を基本とし、状況に応じて設定する。

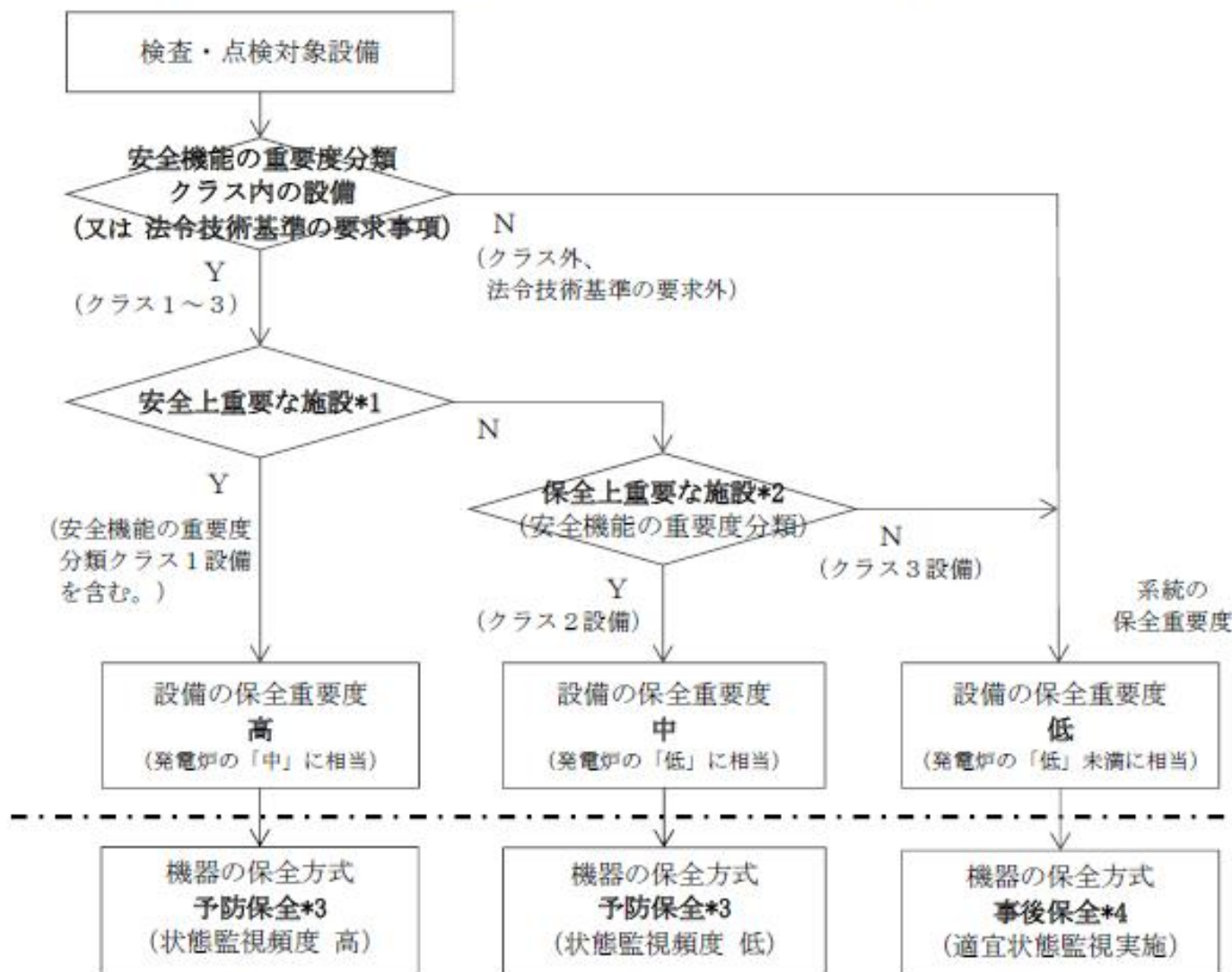
*1 法令技術基準の要求対象となる機能（参考2参照）

*2 設備本来の安全機能を発揮させるために付加された設備機器が有する機能

- これまで点検の中で実施していた、機器の作動状態確認や室内・系統の漏えい確認等の状況監視は「巡視」に位置付け、設備機器の保安（機能及び性能の維持）に係る「保全計画」には含めない。また、施設の保安に関係しない実験設備機器等の点検も「保全計画」には含めない。

(2) 保全重要度及び保全方式の分類

下記フローによる分類を基本とするが、施設全体の事故時放射線影響の程度、設備機器の故障時における施設全体の安全性への影響、設備機器ごとの特殊性（取扱物の危険性等）及び保守性（運転保守経験、施設操作性、部品供給性等）等を勘案して保全重要度や保全方式を変更する。



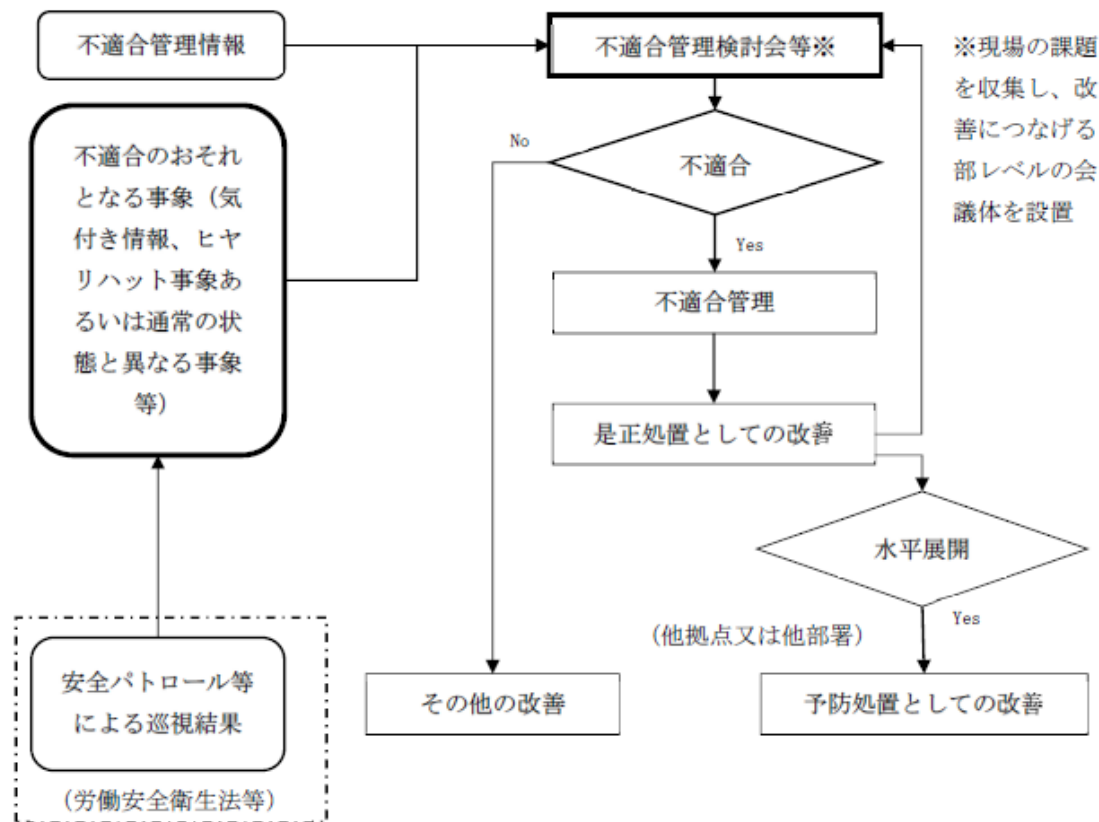
• 検査の独立性の導入についての検討

使用前事業者検査及び定期事業者検査等の独立性の導入について（案）

（注：本資料には検討中の事項も含まれるため、今後変更する場合がある。）

検査体制	○特徴、×課題
<p>①独立部署制 拠点又は部内に、保守担当課から独立した検査担当課を置く。</p>	<p>○職制上、検査体制の独立性が確保しやすい。 ×小さい組織では独立した検査担当課を置く余裕がない。 ×多種多様・唯一特殊な施設に対し技術力が分散し、却って不安全となるおそれがある。</p>
<p>②相互検査制 拠点又は部内で異なる保守担当課を相互に検査担当課とする。</p>	<p>○施設保安に関する自施設の知識及び経験を活かしやすい。 ×小さい組織（単一施設組織）では相互検査が行えない。 ×自施設の保安管理と他施設の検査業務の両立が困難。 ×専任でない課長が合否判定の重責を負うのは職責上厳しい。</p>
<p>③検査委員会制 拠点又は部内に、検査を担う委員会を組織する。</p>	<p>○検査者の任命及び変更が、課単位に比べ柔軟に行える。 ×検査者の身分及び権限の独立性の確保や専任化が重要。 ×検査者が施設保安活動を兼務する場合、業務調整が必要。</p>

• CAP等の取組について

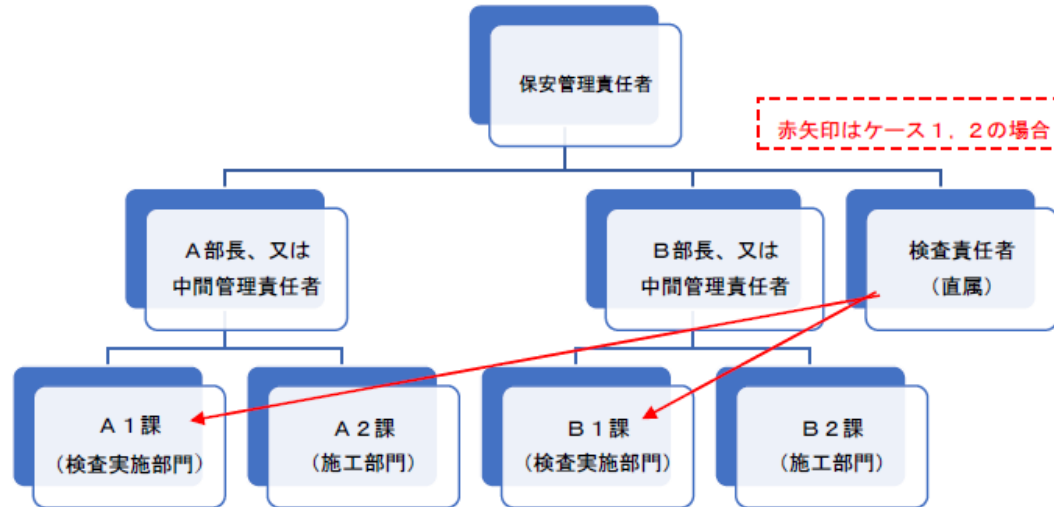


部レベルの是正措置プログラム（CAP）の概要図

- (1) 各拠点では、従前より不適合事象に対する管理区分と是正処置等を確認する会議体（品質保証推進委員会や不適合管理検討会等）を運営し、継続的な改善に取り組んでいる。
- (2) 平成 30 年度からは、既存の部レベルの会議体（不適合管理検討会等）を活用し、不適合のおそれとなる事象（プロセスの監視及び測定から得られた気付き情報、ヒヤリハット事象あるいは通常の状態と異なる事象等）を収集し、不適合の管理、是正処置及び予防処置並びにその他の改善（以下「是正処置等の改善」という。）に取り組んでいる。
- (3) 今後は、プロセスの監視及び測定と同様に、労働安全衛生法等の安全パトロール結果での気付き事項を、不適合のおそれとなる事象に加えて展開していく予定である。

③加工3社

検査の独立性確保について



	施工部門	検査実施部門	独立した責任者
役割	<ul style="list-style-type: none"> 検査手順書に必要な情報の提供、又は手順書の作成 検査の実施に必要な操作の補助 	<ul style="list-style-type: none"> 検査手順書の作成 検査の実施 (操作/調達記録による) (ケース3) 検査手順書の承認 検査結果の承認 合否の判断 	(ケース1、2) <ul style="list-style-type: none"> 検査手順書の承認 任意の抜取りによる検査の立会 検査結果の承認 合否の判断
ケース1	A2課 B2課	A1課長 B1課長	検査責任者
ケース2	A2課及びB2課	A1課長又はB1課長	同上
ケース3	A2課 B2課	B1課長 A1課長	— (検査実施部門が独立)

不適合管理/改善プロセスの見直し検討について

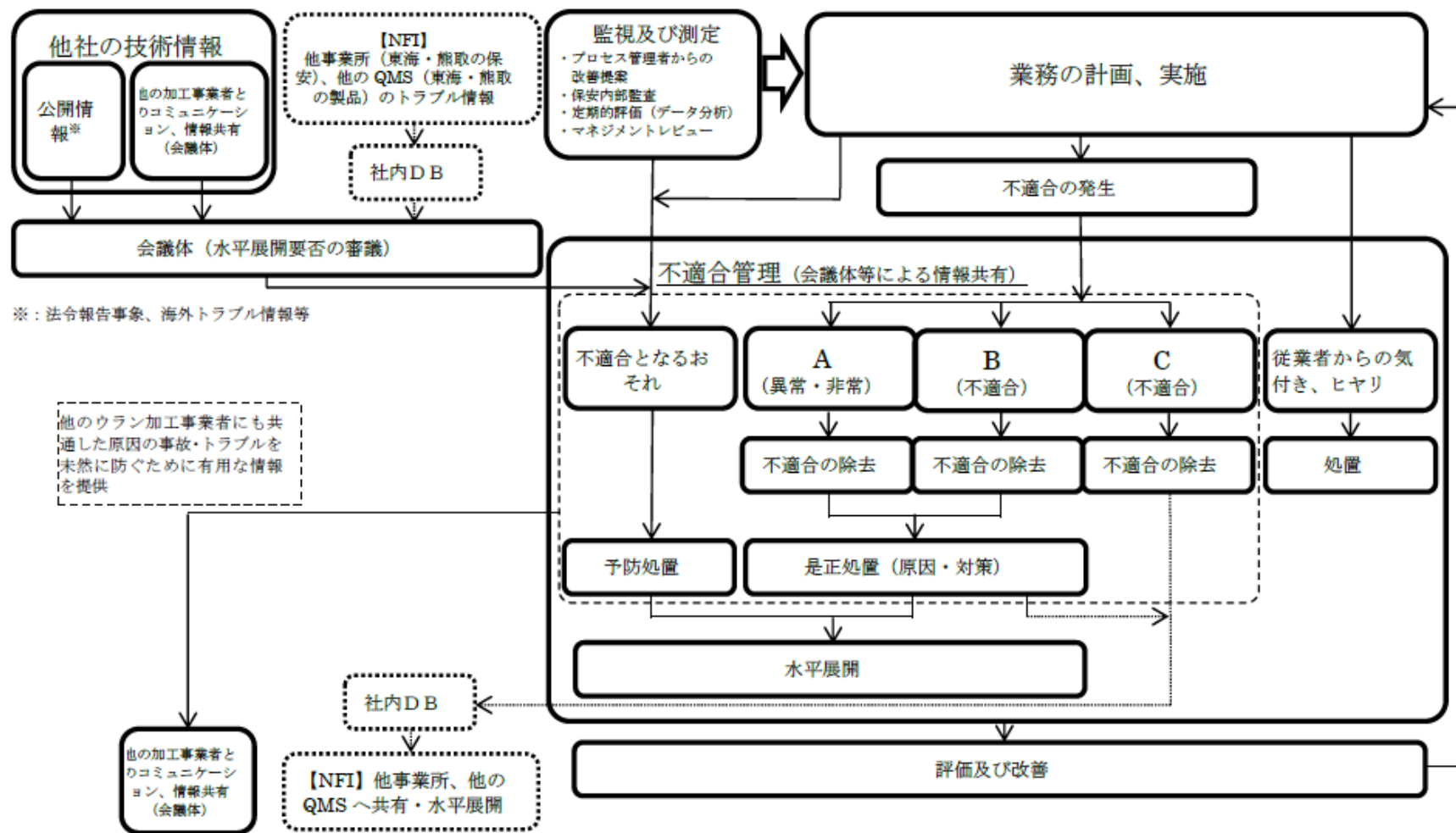


図 1 現状の不適合管理/改善プロセスの概要

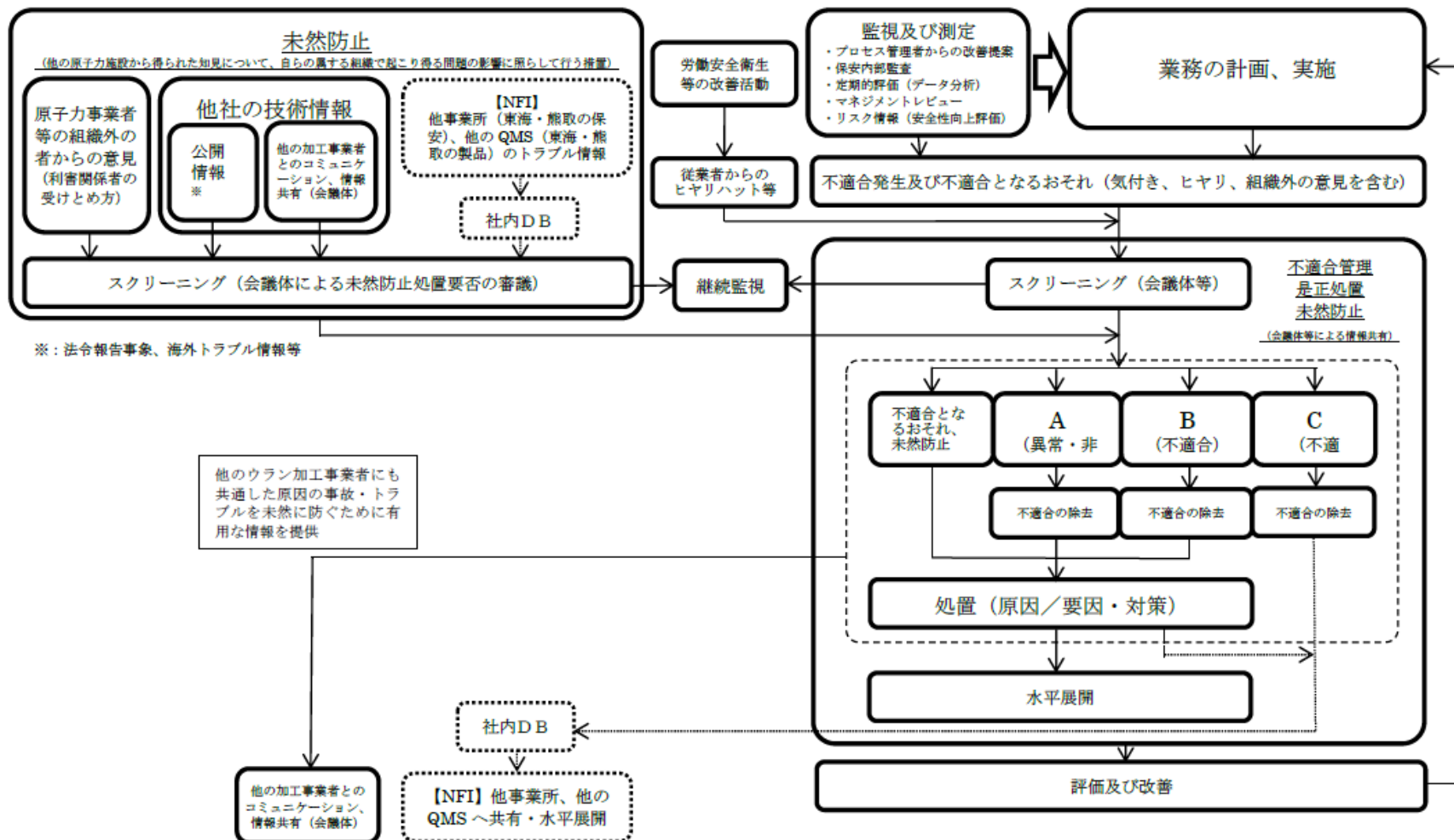


図 2 不適合管理/改善プロセスの概要の変更案

京都大学複合原子力科学研究所の対応状況

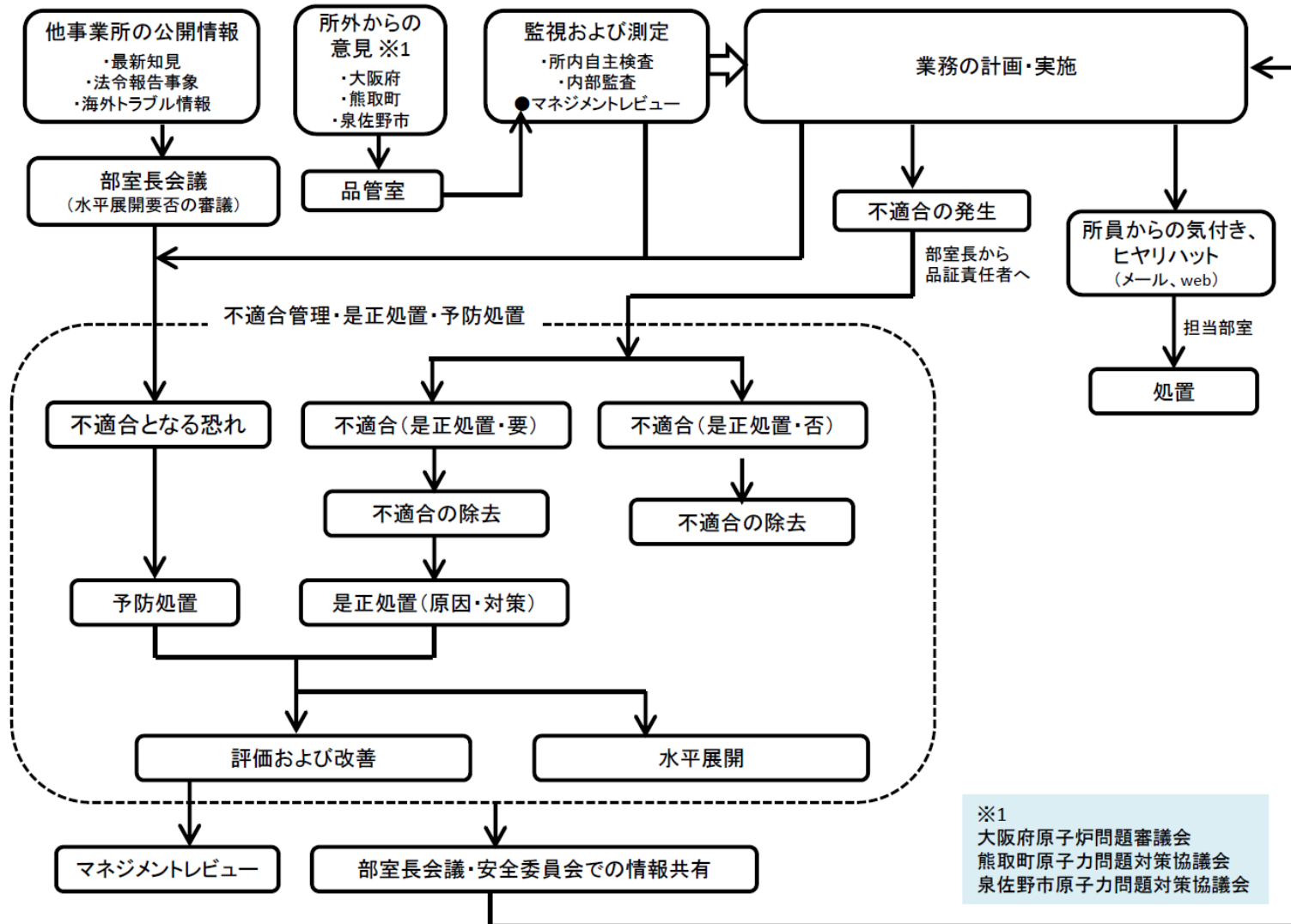
- 所内WGの立ち上げ(2017年6月～)
 1. 防災業務計画改定WG(主査:高宮先生)
 2. 廃止措置対応WG(主査:福谷先生)
 3. 検査制度改正対応WG(主査:堀)
 - 原子力規制委員会主催の事業者面談、WGへの出席
 - 他事業者との情報交換(JAEA, 近大と定期的に会合)
 - 具体的な対応について検討

新検査制度導入に向けた検討状況

• CAP活動について

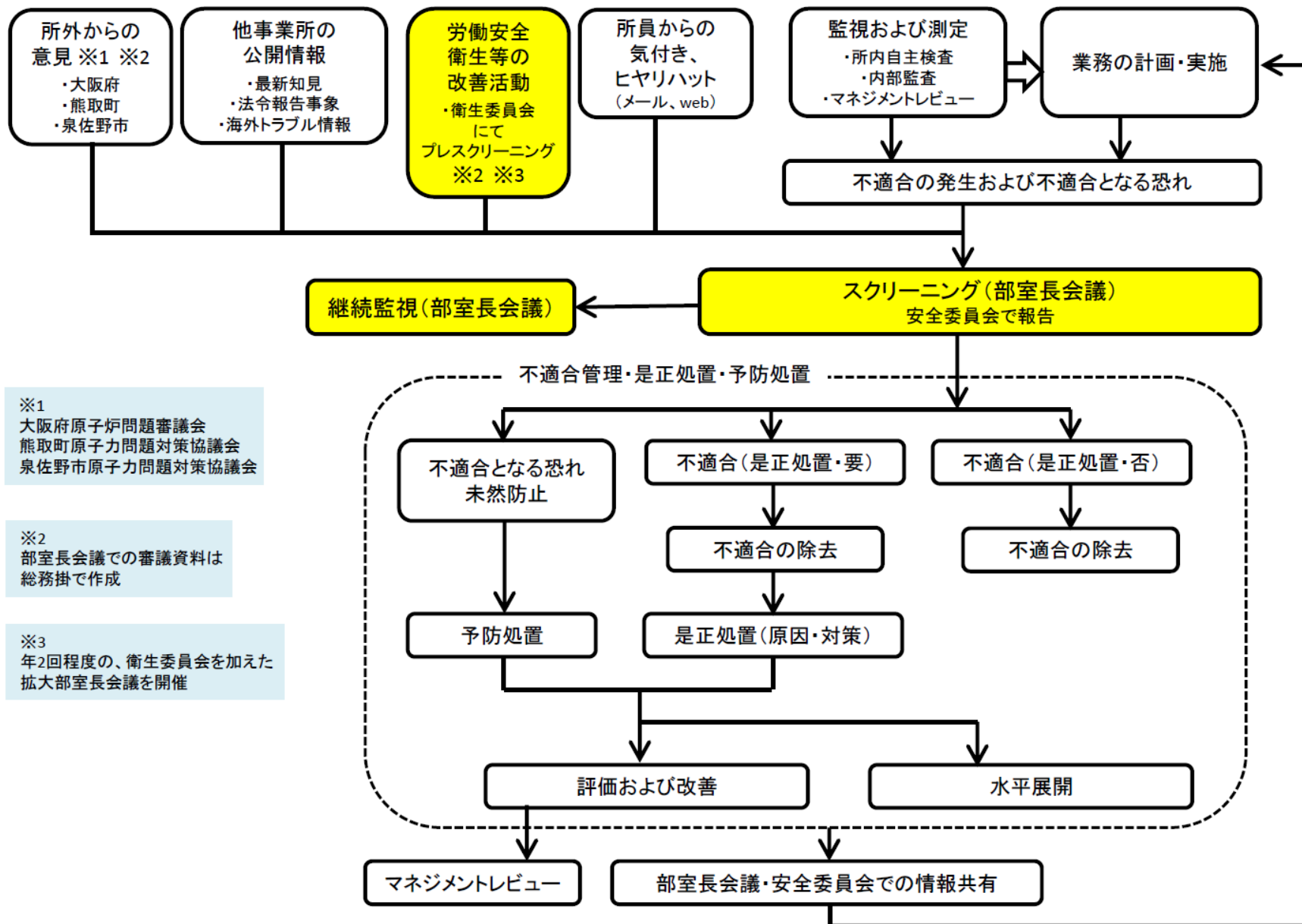
出典: 所内WG(10/15) 資料

現状の不適合管理・改善プロセスの概要



不適合管理・改善プロセスの概要の変更案

出典：所内WG(10/15) 資料



※1
大阪府原子炉問題審議会
熊取町原子力問題対策協議会
泉佐野市原子力問題対策協議会

※2
部室長会議での審議資料は
総務掛で作成

※3
年2回程度の、衛生委員会を加えた
拡大部室長会議を開催

● 検査の独立性確保について

- ① 安全管理本部に検査室を設置
検査室員は安全管理部室から独立
つまり、研究メインの研究者による検査室の設置となる

独立部署制

- ② 各部が検査チームを設置
例えば KUR ⇄ KUCA、放管部 ⇄ 処理部
のように検査チームが相互に検査を実施

相互検査制

- ③ 安全管理本部に各部から検査員を派遣して検査委員会を組織
KURの検査にはKUCA,放管部,処理部,実験設備の検査員から成る検査チームを組織

検査委員会制

第4の提案

特徴：検査における専門性と独立性を別の検査官で担保する

検査官の構成を、

1. 専門性の高い検査官
検査対象の施設・設備について、それなりの知識や経験を有する職員。
対象施設の部員であっても直接担当していない設備であれば可とする。
2. 独立性を担保する検査官
検査対象の施設・設備に関する専門的知識は有しないが、一般的な科学（工学）的知識を有する職員。
対象施設とは兼務もていない職員が担当。（所内自主検査員）
3. 検査全般に関わる検査官（検査委員会委員）
検査の品質が最低限のレベルを担保していることを保証するための職員。
安全管理本部内に各部室からの派遣者による数名で構成。
検査委員会の長が、検査全体の責任者となる。

所内自主検査を廃止し、その代わり管理を主たる業務としない職員に独立性を担保する検査官の役割を担ってもらおう。ただし、本案を進めるに当たっては所内のコンセンサスを得る必要があるため、現時点では立案の段階。

• フリーアクセスについて

- 文書記録管理台帳に載っている文書の保管場所を整理 済
- 試行(9/20)にて原子力規制庁(本庁、オフサイトセンター)立会のもの現場確認 済
- フリーアクセス実現に向けてのオフサイトセンターとの協議(8/21) 済
- フリーアクセスに必要な手続きについて検討
 - 常時立入者とする。
 - 管理区域立入については、区分2の特例として検査官がエスコートフリーに立ち入れるように、保安規定とRI法の予防規定を改定することで対応することを検討中。放射線業務従事者にはしない方針。

- 保全計画策定方針について
 - 巡視、点検、試験、検査、補修の用語の認識を共有する。
 - 保全方式の検討
 - 予防保全
 - ✓ 時間基準保全：時間を基準に点検等の時期を定める方式
 - ✓ 状態基準保全：機器等の状態を監視し、その状態を基準に点検等の時期を定める方式（状態監視データの採取方法も明確にする必要がある）
 - 事後保全
 - ✓ 機器等の機能喪失発見後に修復を行う方式
 - 検査方法
 - 立会確認、抜き取り確認、記録確認、プロセス確認
 - 保全重要度に応じて検討する。
 - これまでに行っていた保全活動を整理し、性能の技術基準を維持するための保全計画（施設管理方針）を策定しなければならない。

(参考)用語の定義

- 原子力施設の施設管理【実用炉則第81条】の記載内容に基づき整理。
 - 巡視:施設の状況を日常的に確認する。
 - 点検:設備等の劣化進展等の状態を把握するとともに正常な状態に保つための計画的な手入れ、潤滑油取替、部品交換等を含める。
 - 試験:設備等が所定の機能を有しているかを確認する。
 - 検査:要求事項に適合しているかどうかを、点検、補修等を実施した者とは独立した者が判定する。
 - 補修:これらの結果を踏まえて必要に応じて機能の回復(予防的なものを含む。)を図る。なお、補修については、設計情報の変更を伴わない範囲のもので、設備等を構成する主要な部位を新たなものにする「取替工事」には該当しない軽微な作業をいうものとする。

4. 今後の課題

- 試運用検査への対応
 - 検査ガイドの精査
- 体制の整備
 - 検査体制
 - CAP活動のスクリーニング組織
- 文書の整備
 - CAP活動の手順書の改定
 - 設置変更申請書、保安規定の改定に向けた準備
- 保全計画の策定

	ガイド名
試験 研究 炉	①保安活動（2MW 未満）
	②試験研究炉の停止中
	③運転員の認可、資格更新、健康診断
	④放射線廃棄物及び環境モニタリング
	⑤実験
	⑥組織、運転及び保守活動
	⑦レビュー、審査機能及び設計変更プロセス
	⑧手順書
	⑨燃料移動
	⑩定例試験
	⑪非常時等の措置
	⑫放射線防護
	⑬廃止措置
横 断	①品質マネジメントシステムの運用
	②業務遂行能力
	③安全文化
共 通	①パフォーマンス指標の検証
	②事象発生時の初動対応

⑧、⑩、⑪：12/10-11試運用
 ⑦、⑨：2～3月試運用
 対象：KUR

それ以外の検査ガイドについては、他事業者で実施。

試運用対象の検査ガイドについては、オフサイトセンターと勉強会を事前開催して、認識を共有する必要がある。

最後に

- 規制側にお墨付きをもらうという受動的な考え方から脱却し、事業者自ら国民への説明責任を果たすという能動的な姿勢が求められています。
- 自分がしている管理の仕事は、何のためにどういう根拠で行っているのか説明できるように主体的に取り組んでいくことこそ、安全文化の醸成につながると 생각합니다。軌道に乗るまで大変だと思いましたが、ご協力宜しくお願い致します。

ご静聴ありがとうございました。

技術発表(1)

中央観測所ダストモニタの移設

放射線管理部

藤原 慶子

1. はじめに

放射線管理部・野外班で管理している中央観測所ダストモニタ設置物置が雨漏りしているのを確認したため、ダストモニタに故障等起こらないように移設作業を部に提案した。部の予算としては毎年減少傾向であるため捻出するのは難しく、所長裁量経費の予算を獲得していた分（記録計更新費用）から捻出し、実施することになった。

2. 中央観測所ダストモニタ

中央観測所ダストモニタは、野外の空気をサンプリングし、ろ紙に吹き付け、そのろ紙を ZnS(Ag)とプラスチックシンチレーション検出器により測定し α 線及び β 線を計測するモニタであり、「京都大学原子炉実験所原子炉設置変更承認申請書」の添 8-106、屋外管理用の主要な設備の種類に記載されているダストモニタである。

3. 作業

移設場所には、中央観測所の建屋内を選定した。モニタ本体の移設と配線、電

気工事、建屋及び物置撤去工事の3つの作業があるため、関与する業者は3社となった。また、モニタを設置していた物置の撤去を行うに当たり、隣接する農具小屋についても不要になっていたため同時に撤去を行った。

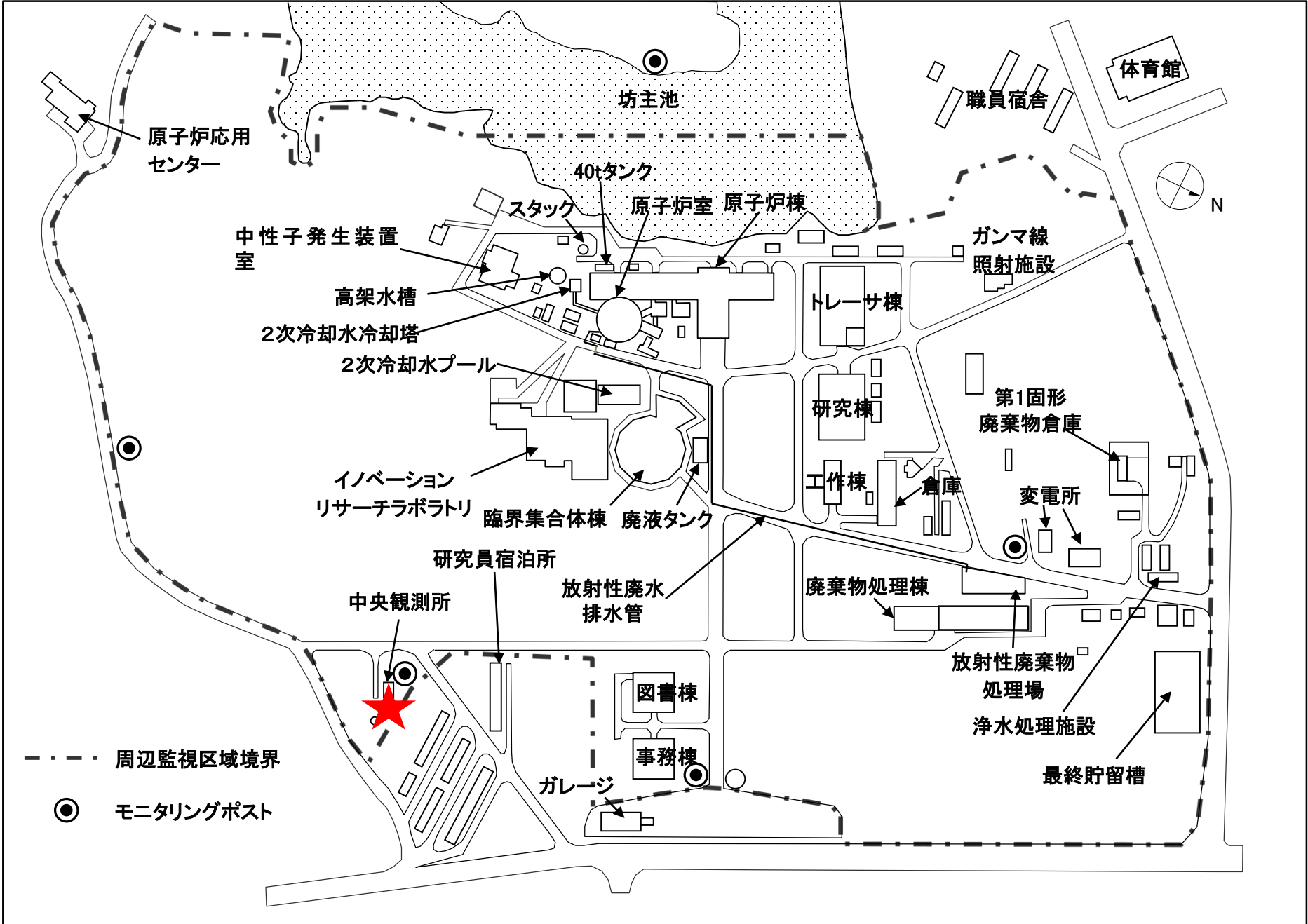
4. 感想

この作業は今年の5月に行った。この後、今年の9月に最大瞬間風速 51.2m/s という大きな台風が関西を直撃し、この泉州地域でも多大な被害を及ぼした。KUR や KUCA の運転スケジュールや天気の影響を考え、物置の高経年化に気づいた際に部で相談し、即実行したのが功を奏し、ダストモニタはこの台風の被害を受けず、また、物置・農具小屋の撤去も同時に行っていたことから他の施設や機器へ被害を及ぼすこともなく台風をやり過ごせた。必要と感じた作業は後に延ばさず、出来る限り早急にやるべきだと切に感じた。



中央観測所ダストモニタの移設

放射線管理部
藤原 慶子



1. 中央観測所ダストモニタ設置物置の高経年化



中央観測所

ダストモニタ設置物置

農具小屋

ダストモニタを設置していた物置に雨漏りが確認されたため移設を実施

2. 中央観測所ダストモニタとは・・・



原子炉設置変更承認申請書・添8-106屋外管理用の主要な設備の種類に記載のモニタ

中央観測所に空間線量率計およびダストモニタを設けて連続測定し、指示、記録する。

野外の空気をサンプリングし、ろ紙に吹き付け、ZnS(Ag)とプラスチックシンチレーション検出器により α 線及び β 線を測定するモニタ



← 空気のサンプリング口

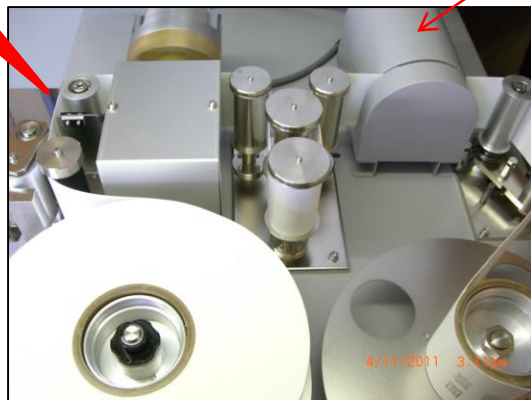
空気吹付

検出器

点検時の日付をこの辺りに
マーキングしてください。

マーキング
位置

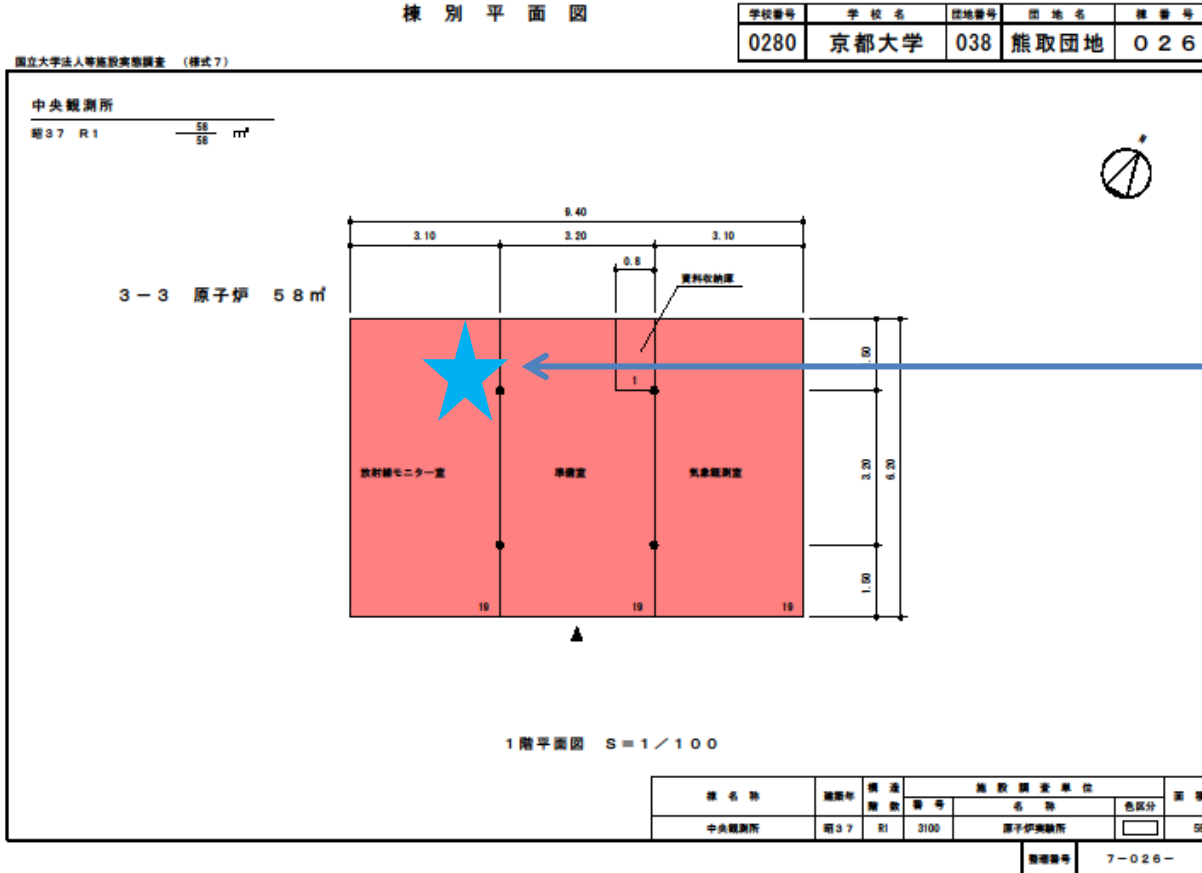
実際の写真



サブ当番の日常点検のマニュアルより

3. 移設作業(2018/5)

- ・場所の選定 → 中央観測所 建屋内
- ・作業内容 → モニタ本体の移設・配線
電気工事
建屋工事、設置していた物置・農具小屋撤去



移設場所はここ！

業者1:電気工事①

業者2:サンプリング口関係の工事②

物置・農具小屋撤去作業③

業者3:モニタ移設、配線、機器の調整④

作業順序

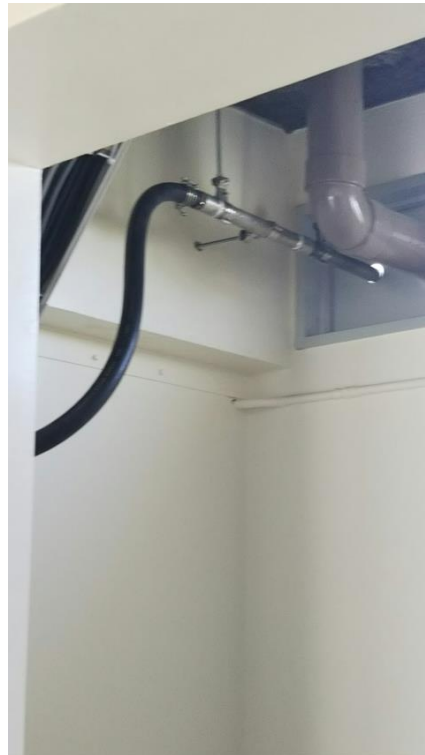
①、② → ④ → ③

作業②



移設前

移設後



作業④



UPSも設置

作業③



4. 台風の爪痕(9/4:最大瞬間風速51.2m/sの台風21号)



所内の倒木



倉庫破損



泉佐野第三中学校モニタリングポスト



TLD設置フェンス

・MSの被害状況

- ①和田(和田観測所) ②日根野(日根野中学校)
③下瓦屋(泉佐野第三中学校) ④市場(泉佐野市役所)

①、④は特に被害なし

②モニタは停電の為確認できず →

復電し、モニタリングできていることを確認済み

キュービクルの扉の1枚に歪み →

- ・モニタ監視装置及びテレメータをブルーシート等で養生
- ・トラロープでキュービクル全体を固縛(キュービクルに一部隙間有り)

③モニタは作動中

キュービクルのガラス破損、
扉1枚閉じられず →

- ・破損したガラス窓部をテープにて補修
- ・扉ノブ破損のため番線でキュービクル全体を固縛

- ・FMの被害状況

FM1～5 特に被害なし

- ・TLDの被害状況

TLD設置BOXに破損無

ただし、泉佐野第三中学校のTLDBOX設置フェンスに歪み有
(後日、中学校と設置場所を要相談)

- ・東和苑モニタの被害状況

復電後に復旧し異常なし

5. 感想

ダストモニタを移設せずにそのままにしていたら
どうなっていたのだろうか・・・

農具小屋を放置していたら
どうなっていたのか・・・



費用や期間で難しいことも
あるけれど

気づいたことは可能な限り実行すべき！

先延ばしにせず

5. その他の機器(野外)

温湿度計を(ボロボロの)百葉箱から自立式の物へ変更(2016)



技術発表(2)

第2 固形廃棄物倉庫新設工事

放射性廃棄物処理部 猪野 雄太

(新設理由)

京都大学複合原子力科学研究所において炉規法に基づく放射性廃棄物の収容先として第1 固形廃棄物倉庫という施設がある。将来的に発生が予想される放射性廃棄物の数量を考えると研究所が存続しているうちに同倉庫への収納が限界に達することが予測される。そこで2017年3月より新たな収納先として第2 固形廃棄物倉庫の建設に着手した。

(同倉庫の収容能力、その他要求事項)

第2 固形廃棄物倉庫は2000ドラム缶換算で約750本の収容能力がある。これは既設の第1 固形廃棄物倉庫の250本を大きく上回るものである。また、第1 固形廃棄物倉庫は竜巻対策の観点から風速92m/sの竜巻に建屋が耐え得れないことが予測されているので、収納した放射性廃棄物はパレットに2000ドラム缶4本を載せたものを2段積みにして固縛装置で床に固定しなければならない。しかし、第2 固形廃棄物倉庫は当初から風速92m/sの竜巻に建屋が耐え得ることを要求事項に盛り込んでいるので床に固定する必要はない。

また、竜巻対策の他に以下の要求事項に対応する性能を有している。

- ①想定する火山活動により降下火砕物の荷重に対し、施設の安全機能が損なわれないこと。
- ②耐震Bクラスを満足すること。
- ③研究所周辺監視区域境界での空気カーマが全施設で年間50 μGy 以下、当該施設で15.6 μGy 以下となるような構造であること。

(倉庫建設着手から完成までの工程)

おおまかな倉庫建設の流れを以下に示す。

2017年

- 3月 研究所内にて業務担当グループを発足
- 6月 規制庁に設計及び工事の方法の承認申請書を提出
- 8月 規制庁より設計及び工事の方法の承認申請書の承認を受諾
- 9月 施工業者入札開始
- 10月 施工業者決定
- 12月 倉庫建設の基礎となる杭基礎の打設

2018年

- 1月 表層地盤の地盤改良、基礎、基礎梁、床面の型枠、配筋施工
基礎、基礎梁、床面へのコンクリート打設
- 2月 柱、壁の型枠、配筋施工

(倉庫建設着手から完成までの工程 続き)

- 3月 天井梁、屋根スラブの配筋、型枠施工
柱、壁、天井梁、屋根スラブへのコンクリート打設
- 4月 外構(柵、排水溝、アスファルト舗装等)工事
電気(配線、シャッター、電灯、火災感知器等)工事
床面、外壁塗装工事→倉庫完成
- 7月 規制庁による使用前検査を受検→合格

(所内自主検査)

第2固形廃棄物倉庫が、研究所が要求する性能を満たしているかを確認するために、研究所内の業務担当グループにより検査要領書が作成された。同要領書の完成は2017年10月18日であるが工事業者との打ち合わせ毎に内容の変更が加えられ2018年4月25日の第6改訂版で最終的に内容が確定された。検査項目を以下に示す。

- 杭材料検査(材料証明書により寸法、材質を確認)
- 杭試験及び本杭による杭の検査(施工報告書等により支持層への杭の到達を確認)
- 鉄筋材料検査(材料証明書により寸法、材質を確認)
- 表層地盤検査(一軸圧縮試験報告書により強度を確認)
- 杭頭補強筋員数検査(目視により本数を確認)
- 杭頭補強筋材料検査(材料証明書により寸法、材質を確認)
- 基礎、基礎梁、柱、壁、屋根スラブ型枠検査(実測して寸法が図面通りかを確認)
- 基礎、基礎梁、柱、壁、屋根スラブ配筋検査(目視、実測して配筋が図面通りかを確認)
- エポキシ塗装材料検査(材料証明書により材質を確認)
- コンクリート材料検査(材料証明書により4週強度を確認)
- 倉庫内部寸法検査(実測して寸法が図面通りかを確認)
- 倉庫外観検査(目視により倉庫外観に異常が無いかを確認)
- エポキシ塗装外観検査(目視により床面に異常、塗り残しが無いかを確認)
- 火災感知器員数検査(目視により個数を確認)
- 火災感知器作動検査(煙源を用意して作動を確認)
- 消火器員数検査(目視により本数を確認)

同要領書をもとに検査を実施して以上の検査全てに合格することを確認した。最終的には実測値、担当者のチェック、署名を書き込み材料証明書等の添付資料を加えた144ページの検査記録が完成した。

(使用前検査)

2018年7月10、11日の2日間にかけて原子力規制庁による使用前検査を受けた。1日目は主に書類検査であり所内自主検査の検査記録を元に規制庁の検査官に説明を行った。2日目は現場に向かい倉庫内部の寸法検査、火災感知器の作動検査を実施した。最終的に全ての検査項目に対して合格を受けることが出来た。

第2固形廃棄物倉庫新設工事

放射性廃棄物処理部

猪野 雄太

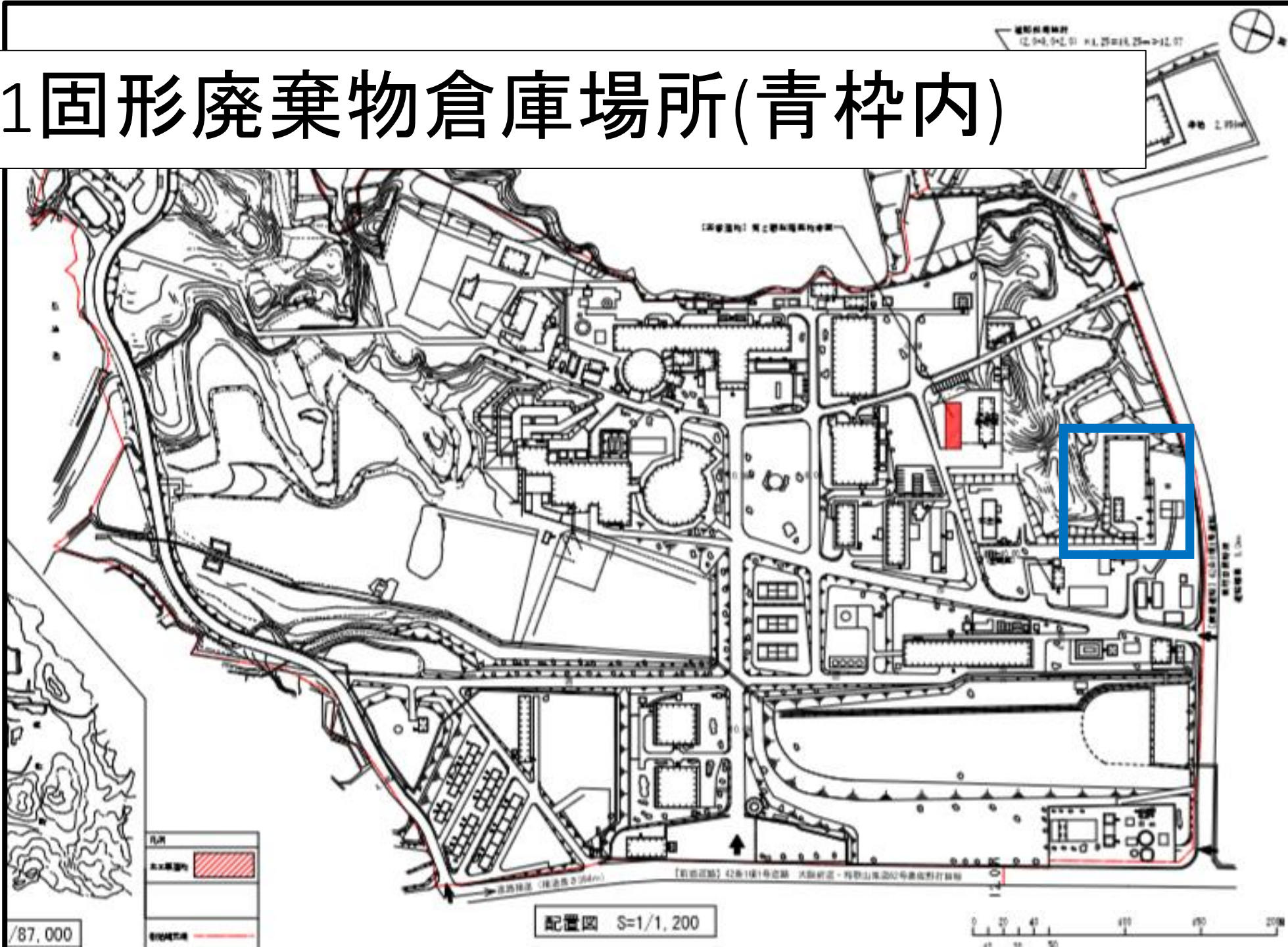
新設理由

- 研究所では炉規法に関する放射性廃棄物の収納先として第1固形廃棄物倉庫を有している。
- 現在、第1固形廃棄物倉庫には128本（空容器含む）の放射性廃棄物が収納されている。
- 放射性廃棄物が発生するペースで予測すると研究所が存続している間に第1固形廃棄物倉庫の収容能力を満たす可能性が高い。
→新たな収容先として第2固形廃棄物倉庫を新設する。

第1固形廃棄物倉庫概要

- 収容能力：200ℓドラム缶で250本（現在は128本）。
- 収容方法：200ℓドラム缶4本を載せたパレットを2段積みにして固縛装置で固定する。

第1固形廃棄物倉庫場所(青枠内)



第1固形廃棄物倉庫外觀写真



第1固形廢棄物倉庫固縛裝置



第2固形廃棄物倉庫建設地(赤柾内)



○汚染物貯蔵庫横



着工前（仮設事務所、仮囲い）



杭施工（杭打機搬入）



○出勤する所員を考慮して早朝に搬入。

杭施工（杭搬入）



○クレーンでトラックから直径400mm、全長8mの杭を下ろしている様子。

○トラックとクレーンの間にある鉄板は杭打機の移動のために敷いてある。

杭施工（杭寸法検査）



杭施工（杭材料検査）

○上杭（SC杭）



○下杭（CPRC杭）



杭施工（上杭、下杭の接続）

○下杭を打ち込み後、クレーンで上杭を持ち上げた後ボルト、バンドで止める。



杭施工（上杭、下杭の接続）

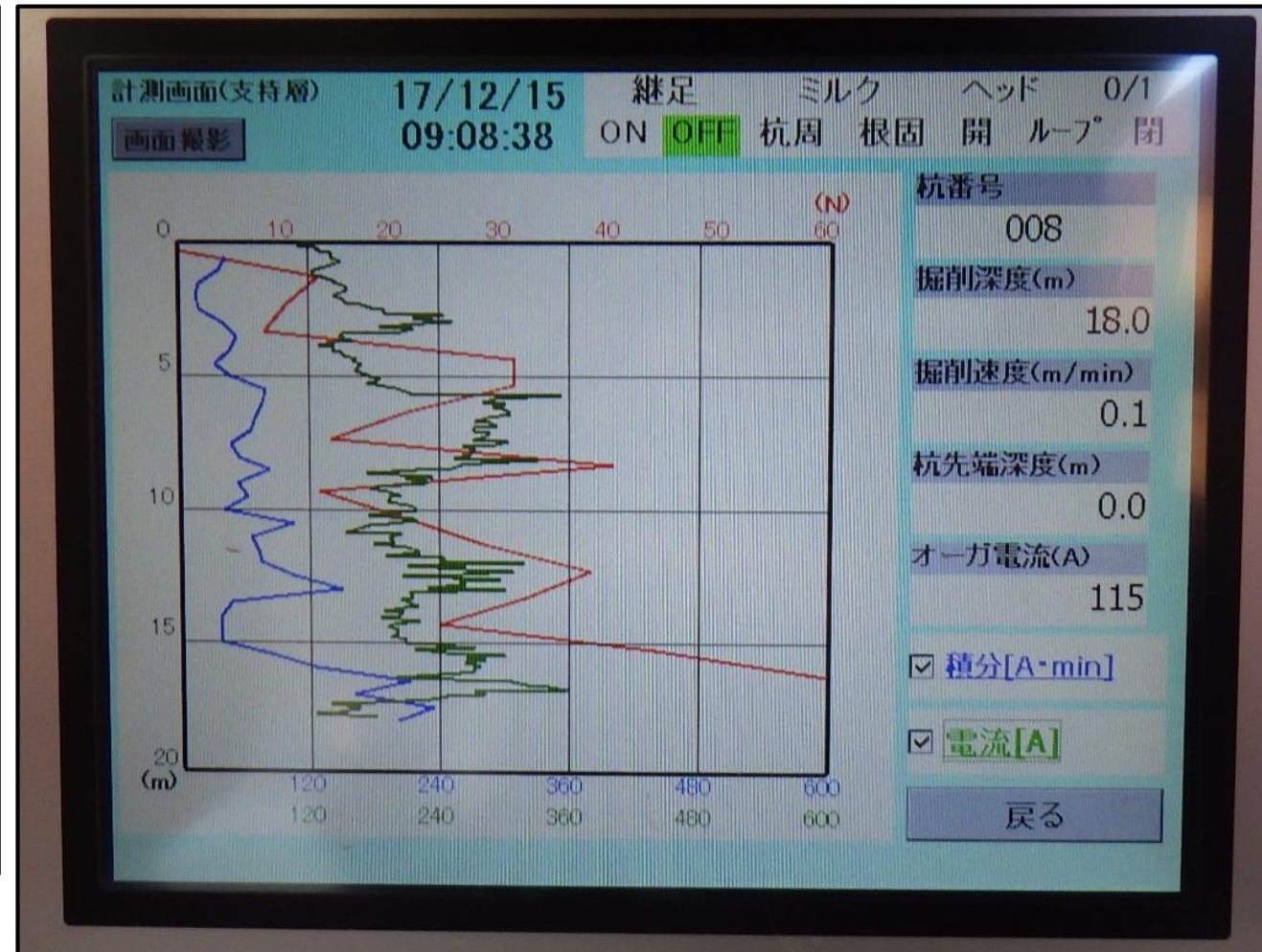
○下杭を打ち込み後、クレーンで上杭を持ち上げた後ボルト、バンドで止める。



杭施工（試験杭による検査）

○杭打機により杭を打ち込む様子

○積分電流値を確認して杭の支持層への到達を判断する。



杭施工（杭の掘り出し）

○杭頭



○基礎、基礎梁部分の掘削



杭頭補強筋溶接

○溶接中



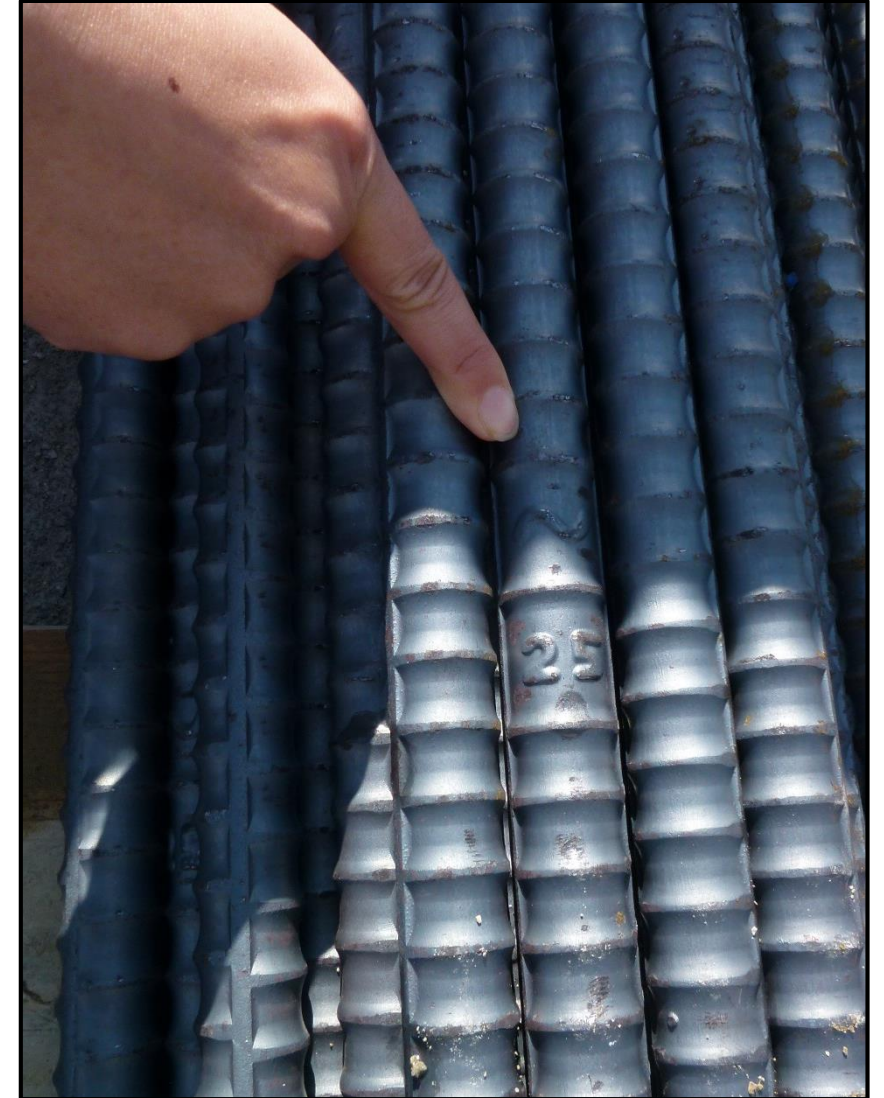
○溶接完了



鉄筋搬入



○刻印で材質、寸法を確認



基礎、基礎梁施工（鉄筋）



基礎、基礎梁施工（鉄筋）

○杭頭補強筋



○杭頭

基礎、基礎梁施工（型枠）



基礎、基礎梁施工（コンクリート）

○コンクリート流し込み



○脱型枠



整地

○整地する重機



整地前

地盤改良

○試薬による検査

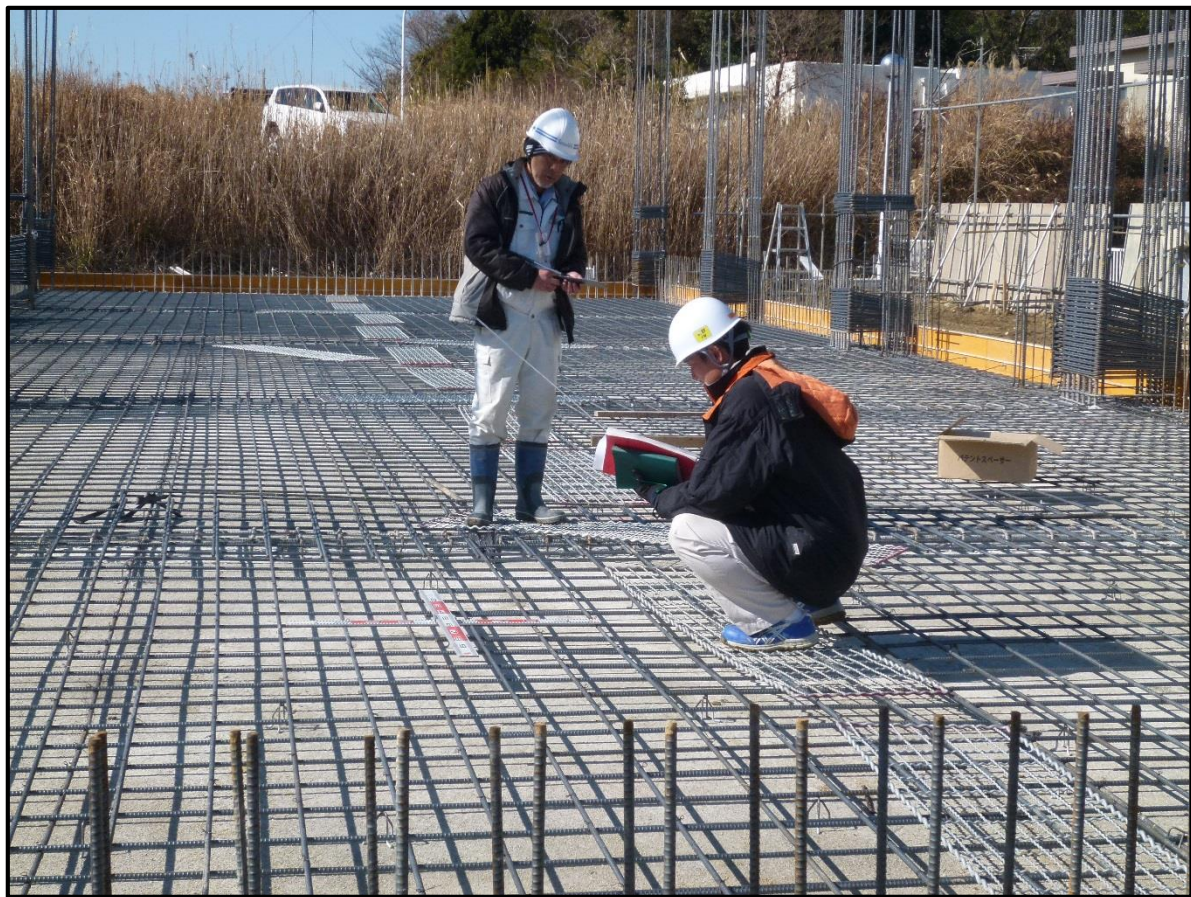


○サンプル採取



土間施工

○土間配筋



○コンクリート打設



上部構造物（壁、柱、梁、天井）施工



○作業のために足場を組み立てる様子。

○自主検査のために職員も活用した。

上部構造物（壁、柱、梁、天井）施工

○内部用の足場



壁型枠一部施工

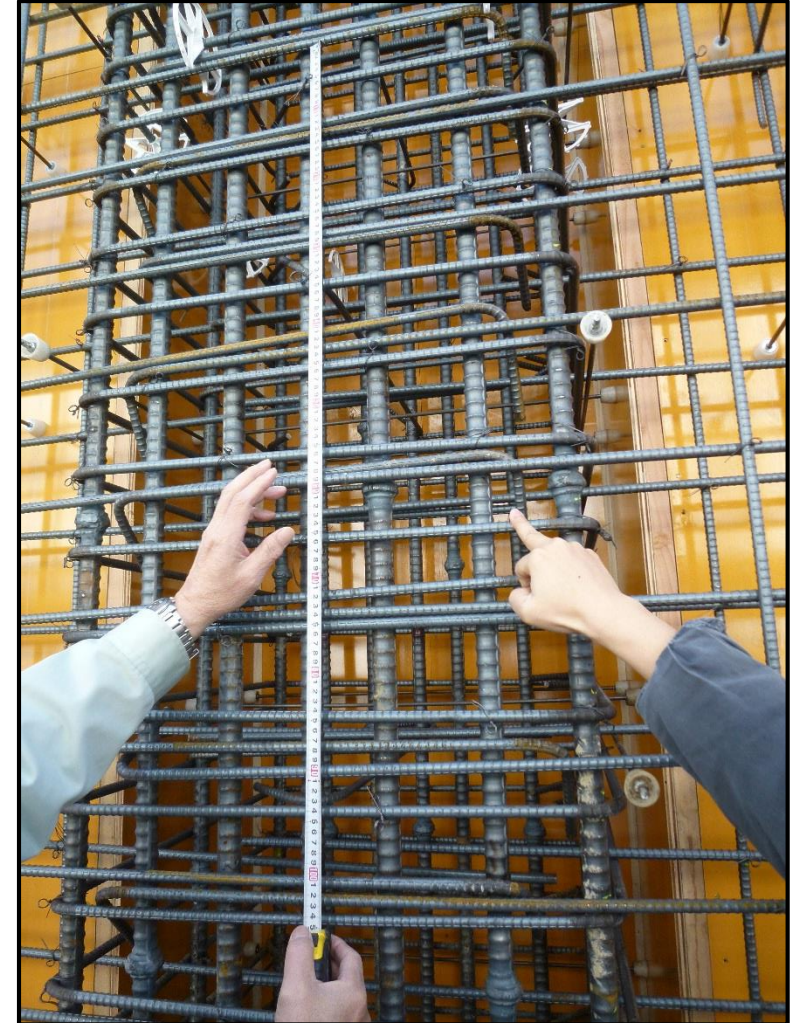


壁、柱配筋施工

○柱、壁配筋



○柱配筋

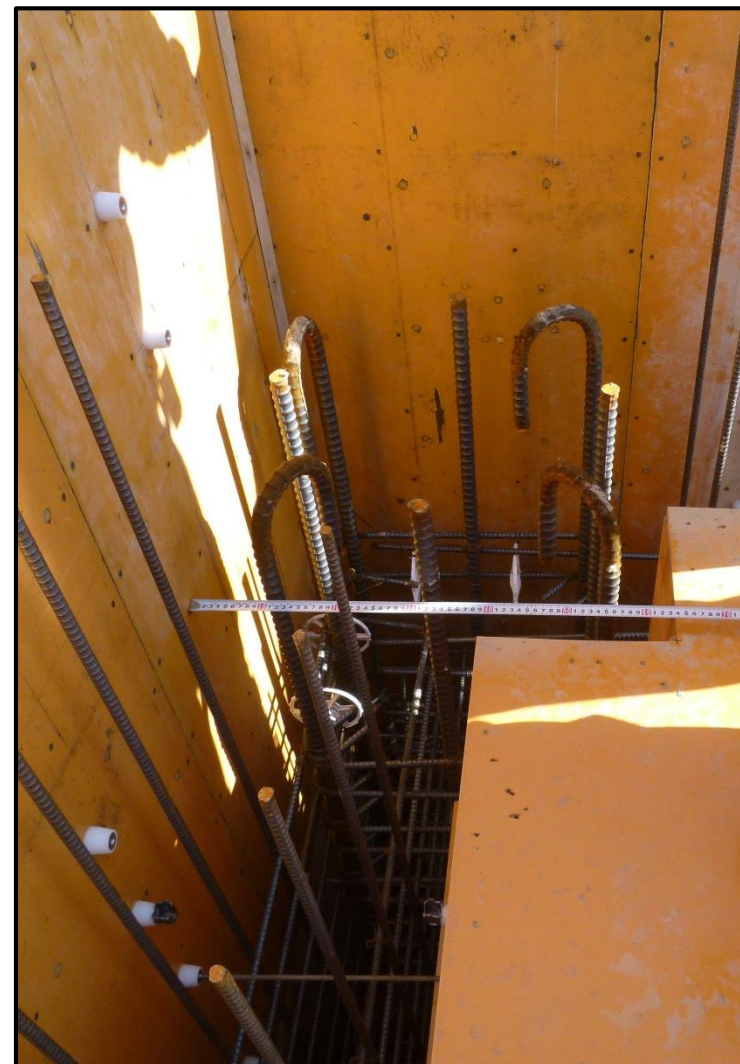


梁、屋根スラブ型枠施工

○梁型枠



○壁型枠



梁、屋根スラブ配筋



梁、屋根スラブ上部型枠施工

○モデルポイントクギトレ



梁、屋根スラブ上部型枠施工

○モデルポイントクギトレ



○埋設確認



コンクリート流し込み



型枠外し後（屋上）



型枠外し後（内部）



外構工事

○排水溝



○アスファルト



外構工事

○フェンス



○完成



塗装工事



防水工事



シャッター取り付け

○シャッターボックス



○レール



完成

○煙源を用意して火災感知器の作動検査



完成

○処理部員による外観検査



自主検査

別紙16

型枠検査記録 2-3-5

検査実施日: 2018.2.27, 2018.3.6

検査担当者: 井本明花

1.検査前条件の確認

検査前条件	確認
校正された測定機器が準備されていること。	2/27✓, 3/6✓
設工認申請書 図-9 部材リストが用意されていること。	2/27✓, 3/6✓
梁の型枠が適切に組まれており、寸法が測定出来る状態であること。	2/27✓, 3/6✓

2.検査手順の実施

検査手順	実施確認
型枠の寸法を校正された測定機器により測定する。	2/27✓, 3/6✓ 106

3.判定結果 (※1 増し打ち+135 mmを含む) (※2 増し打ち、天井スラブ型枠+235 mmを含む)
 (※3 増し打ち+30 mmを含む) (※4 増し打ち、天井スラブ型枠+35 mmを含む)
 (※5 増し打ち、天井スラブ型枠+235 mmを含む) (※6 増し打ち、天井スラブ型枠+135 mmを含む)

判定基準		判定結果	
G1	型枠の幅寸法が 385 mm×1 (許容差 0~+20 mm) であること。	良・否	
	A-1-2 A-2-3 A-3-4 A-4-5 A-5-6	型枠の高さ寸法が 635 mm×4 (許容差 0~+20 mm) であること。	良・否
	B-1-2 B-2-3 B-3-4 B-4-5 B-5-6	型枠の高さ寸法が 835 mm×5 (許容差 0~+20 mm) であること。	良・否
	1-A-B 6-A-B	型枠の高さ寸法が 735 mm×6 (許容差 0~+20 mm) であること。	良・否
G1A	型枠の幅寸法が 485 mm×1 (許容差 0~+20 mm) であること。	良・否	
	型枠の高さ寸法が 935 mm×2 (許容差 0~+20 mm) であること。	良・否	

別紙16

型枠検査記録 2-3-5

検査実施日: 2018.2.27, 2018.3.6

検査担当者: 井本明花

1.検査前条件の確認

検査前条件	確認
校正された測定機器が準備されていること。	2/27✓, 3/6✓
設工認申請書 図-9 部材リストが用意されていること。	2/27✓, 3/6✓
梁の型枠が適切に組まれており、寸法が測定出来る状態であること。	2/27✓, 3/6✓

自主検査

別紙16

型枠検査記録 2-3-5

検査実施日: 2018.2.27, 2018.3.6

検査担当者: 井本明花

1. 検査前条件の確認

検査前条件	確認
校正された測定機器が準備されていること。	2/27✓, 3/6✓
設工認申請書 図-9 部材リストが用意されていること。	2/27✓, 3/6✓
梁の型枠が適切に組まれており、寸法が測定出来る状態であること。	2/27✓, 3/6✓

2. 検査手順の実施

検査手順	実施確認
型枠の寸法を校正された測定機器により測定する。	2/27✓, 3/6✓ 106

3. 判定結果 (※1 増し打ち+135 mmを含む) (※2 増し打ち、天井スラブ型枠+235 mmを含む)
 (※3 増し打ち+30 mmを含む) (※4 増し打ち、天井スラブ型枠+35 mm含む)
 (※5 増し打ち、天井スラブ型枠+235 mm含む) (※6 増し打ち、天井スラブ型枠+135 mm含む)

判定基準		判定結果
G1	型枠の幅寸法が 385 mm※1 (許容差 0~+20 mm) であること。	良・否
	A-1-2 A-2-3 A-3-4 A-4-5 A-5-6 型枠の高さ寸法が 635 mm※4 (許容差 0~+20 mm) であること。	良・否
	B-1-2 B-2-3 B-3-4 B-4-5 B-5-6 型枠の高さ寸法が 835 mm※5 (許容差 0~+20 mm) であること。	良・否
	1-A-B 6-A-B 型枠の高さ寸法が 735 mm※6 (許容差 0~+20 mm) であること。	良・否
	型枠の幅寸法が 485 mm※1 (許容差 0~+20 mm) であること。	良・否
G1A	型枠の高さ寸法が 935 mm※2 (許容差 0~+20 mm) であること。	良・否

2. 検査手順の実施

検査手順	実施確認
型枠の寸法を校正された測定機器により測定する。	2/27✓, 3/6✓ 106

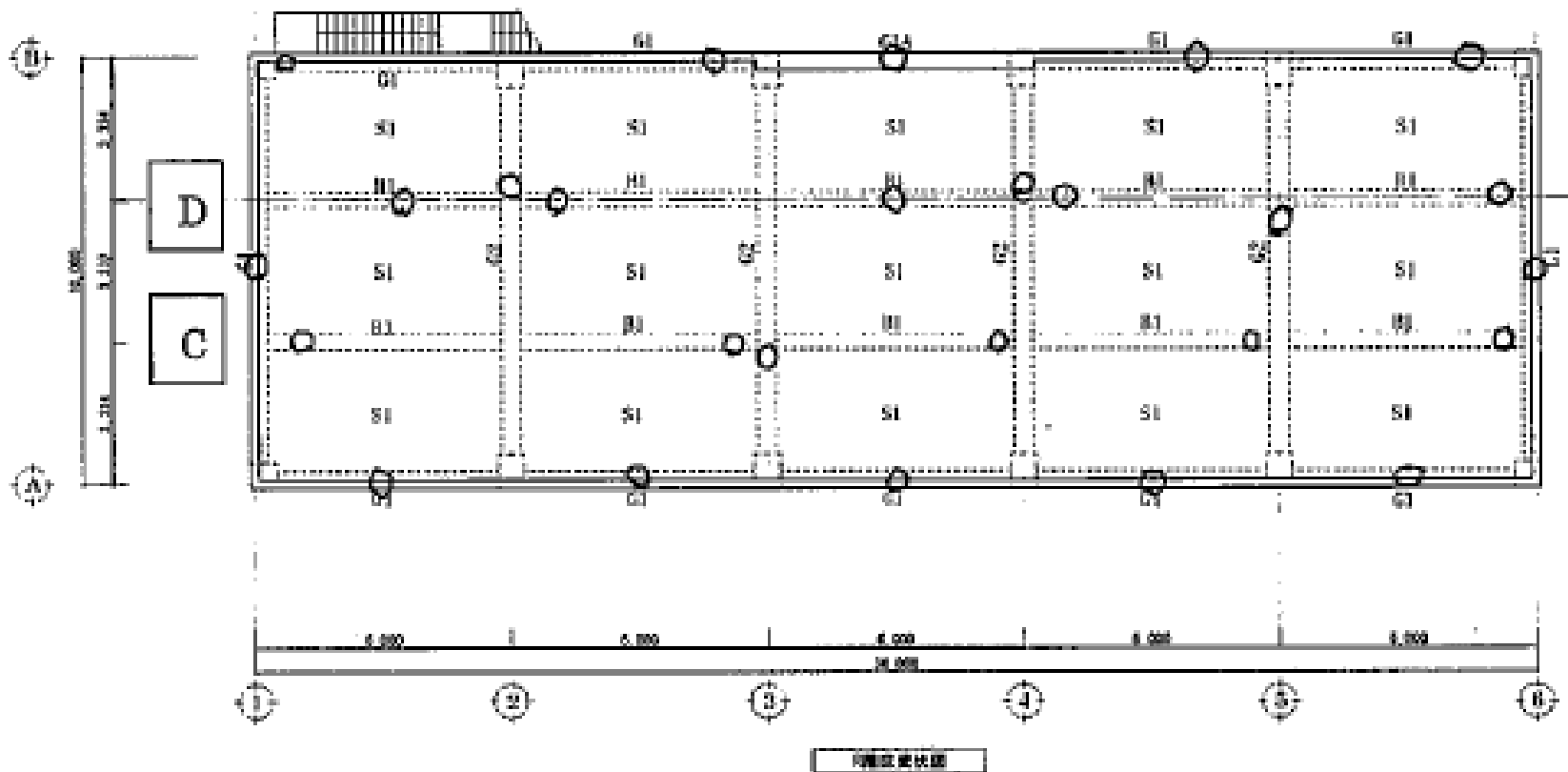
3. 判定結果 (※1 増し打ち+135 mmを含む) (※2 増し打ち、天井スラブ型枠+235 mmを含む)
 (※3 増し打ち+30 mmを含む) (※4 増し打ち、天井スラブ型枠+35 mm含む)
 (※5 増し打ち、天井スラブ型枠+235 mm含む) (※6 増し打ち、天井スラブ型枠+135 mm含む)

判定基準		判定結果
G1	型枠の幅寸法が 385 mm※1 (許容差 0~+20 mm) であること。	良・否
	A-1-2 A-2-3 A-3-4 A-4-5 A-5-6 型枠の高さ寸法が 635 mm※4 (許容差 0~+20 mm) であること。	良・否
	B-1-2 B-2-3 B-3-4 B-4-5 B-5-6 型枠の高さ寸法が 835 mm※5 (許容差 0~+20 mm) であること。	良・否
	1-A-B 6-A-B 型枠の高さ寸法が 735 mm※6 (許容差 0~+20 mm) であること。	良・否
	型枠の幅寸法が 485 mm※1 (許容差 0~+20 mm) であること。	良・否
G1A	型枠の高さ寸法が 935 mm※2 (許容差 0~+20 mm) であること。	良・否

自主検査

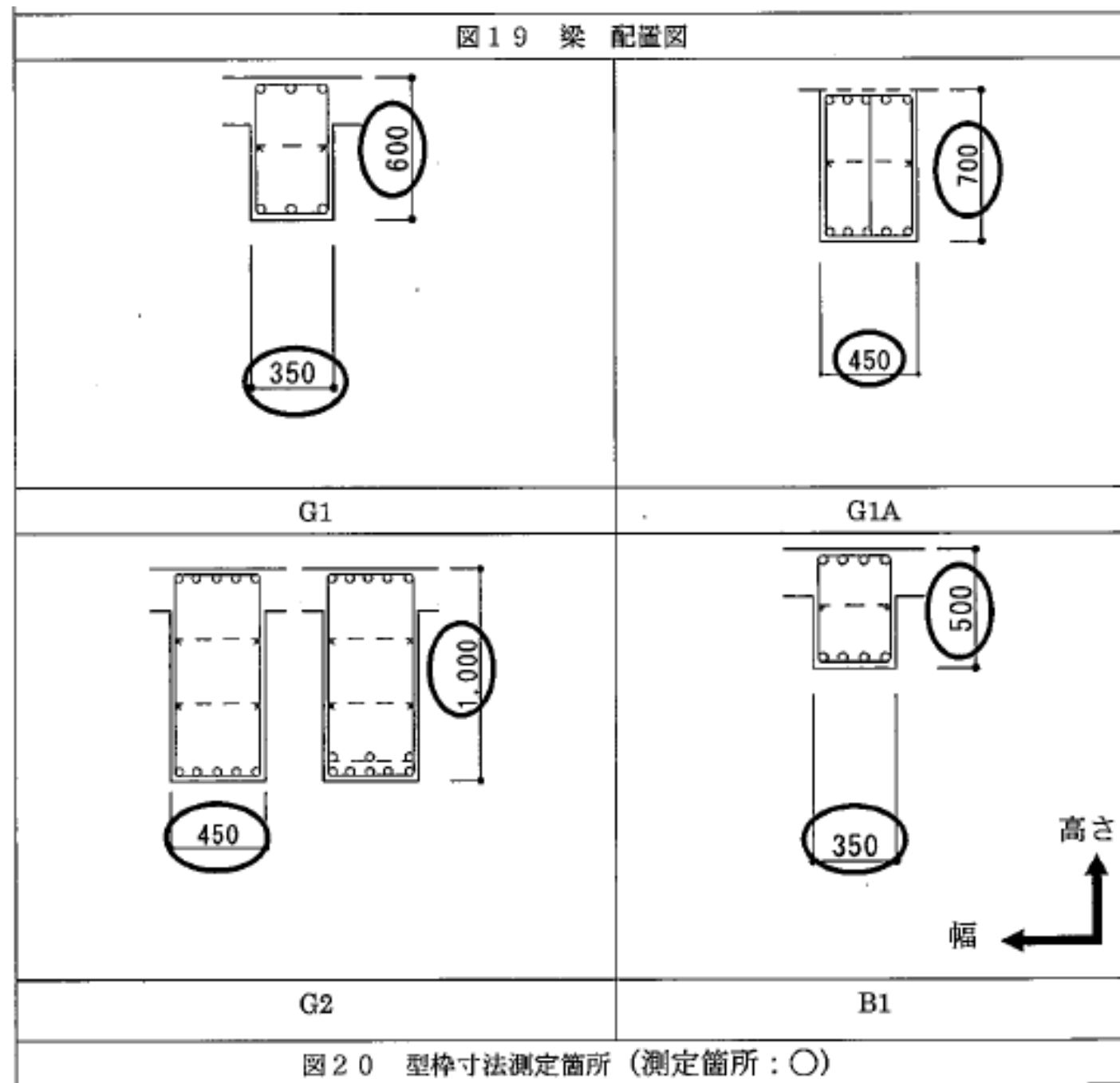
別紙16 寸法測定記録欄 (別紙16 参考図参照)

G1 <small>A: 631+20mm B: 631+20mm C: 1-6 975+20mm</small>			
位置	幅寸法(mm) ^{387+20mm}	高さ寸法(mm)	判定結果
A-1-2	389	645	良・否
A-2-3	388	648	良・否
A-3-4	390	645	良・否
A-4-5	389	638	良・否
A-5-6	388	637	良・否
B-1-2	389	835	良・否
B-2-3	392	835	良・否
B-4-5	394	835	良・否
B-5-6	395	835	良・否
1-A-B	391	740	良・否
6-A-B	388	735	良・否
G1A			
位置	幅寸法(mm) ^{185+20mm}	高さ寸法(mm) ^{935+20mm}	判定結果
B-3-4	492	935	良・否
G2			
位置	幅寸法(mm) ^{487+20mm}	高さ寸法(mm) ^{1135+20mm}	判定結果
2-A-B	480	1135	良・否
3-A-B	480	1137	良・否
4-A-B	480	1138	良・否
5-A-B	480	1136	良・否
B1 <small>C: 602+20mm D: 668+20mm</small>			
位置	幅寸法(mm) ^{387+20mm}	高さ寸法(mm)	判定結果
C-1-2	380	612	良・否
C-2-3	382	614	良・否
C-3-4	380	610	良・否
C-4-5	384	614	良・否
C-5-6	381	612	良・否
D-1-2	380	624	良・否
D-2-3	380	620	良・否
D-3-4	380	620	良・否
D-4-5	380	620	良・否
D-5-6	383	620	良・否



同層平面図

自主検査



電子線型加速器施設の現状と老朽化トラブル

複合原子力科学研究所 技術室 阿部尚也

京都大学複合原子力科学研究所電子線型加速器施設 (KURNS-LINAC:以下ライナック) は 1965 年に設置された全国共同利用施設である。当初は重金属ターゲット(ライナックではタンタル)に高エネルギーの電子線を当てることで発生する中性子による原子炉と相補的なパルス中性子源として設置され、他にも電子線を直接利用する電子線源、金属ターゲットに電子線を当てることで発生する制動 X 線を利用する X 線源などに長年利用されてきた。近年ではテラヘルツ領域の放射光を利用した放射光源を皮切りに、放射化が起こりにくい 10MeV 未満の低エネルギー電子線源・X 線源や、電子数を調整した微弱ビーム電子線源としても利用されるなど、汎用量子ビーム線源として多様化が進んだ上、従来の中性子源、X 線源では実験の多様化が進み、活発な利用が行われている。2017 年度の量子ビーム線源別では中性子線>電子線>X 線>放射光である (図 1)。図 2 は設置当初からの年間運転時間を記録したグラフである。1990 年の放射光源の利用開始より運転時間が増え始め、実験の多様化も進んだ結果、2006 年頃より 2,000 時間を上回るようになり、2017 年は 2,780.5 時間と過去最高の運転時間を記録した。このように運転時間は増加しているが、加速器は設置から 50 年以上を経過しており様々なトラブルも発生している。

ビームON時間の量子ビーム線源別の割合

2017年度合計2,784.1時間

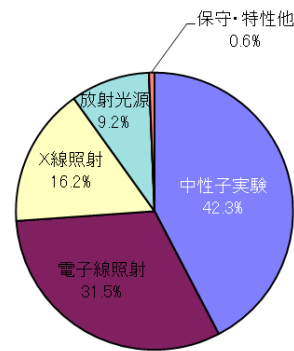


図 1 量子ビーム線源別の割合

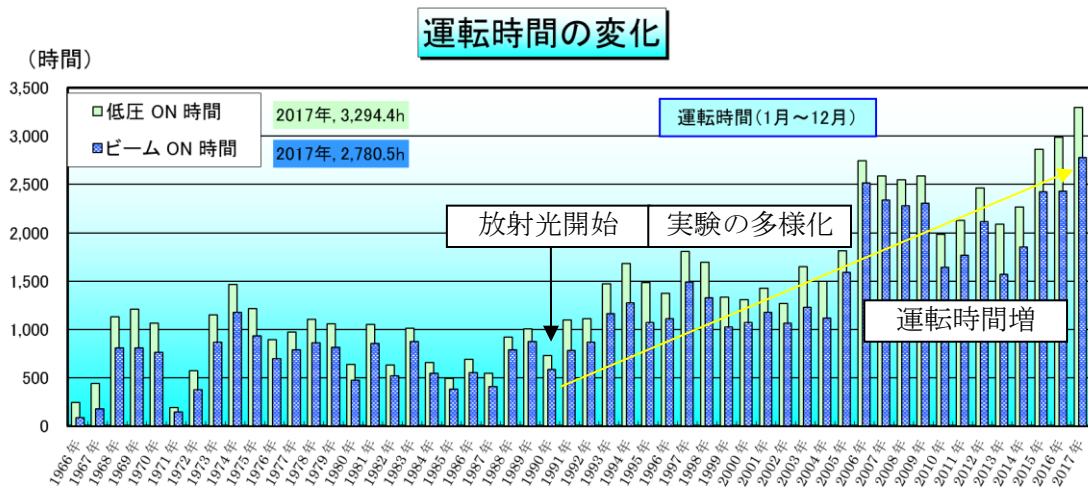


図 2 : 年間運転時間の変化

2016年には冷却水配管からの大規模な漏水が発生した。この冷却水配管は40年以上使用し続けているものである。大規模漏水発生の経緯は以下の通りである。冷却水配管のつなぎ目から若干の漏水が複数箇所を確認されたのが初めであった。その漏水対策として作業時間の短さも考慮して、圧着ソケットによる方式を採用した結果、ほとんどの箇所では漏水は止まったが、一箇所のみ漏水が止まらず、増し締め対策をした。しかし効果はなく最終的には水圧によって配管が抜けてしまい（図3）、大規模漏水となった。この圧着ソケットの使用に関して、ピンホールなどの小さな漏れには対応できるが、配管が外れた部分の漏水のように配管全周による漏水には適応外であった。器具選定の際の確認不足が大規模漏水の原因であり、今後の反省点である。また、初めに漏水が発生した原因としては、配管接続時のハンダ溶接が完全ではなかったことが挙げられる（図4）。その対策としては外れた配管の補修時にはガストーチの温度が高いものを使用してハンダが完全に全周になじむことを確認した。根本的な対策としてステンレス配管への更新を考えており、近い将来に実施できることを期待する。

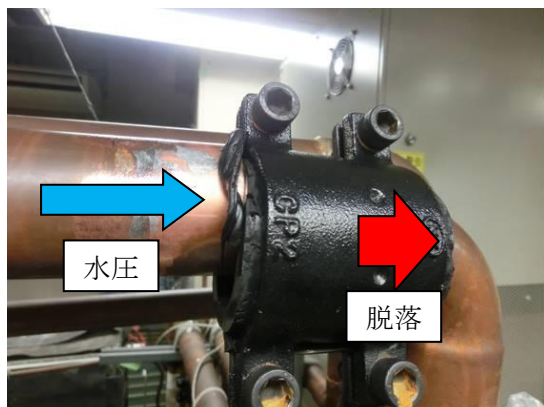


図3 配管外れ



図4 ハンダ溶接の不備

2018年には、放電用真空スイッチの故障が発生した。1971年製のものであり、ソレノイドに通電することで金属棒が数cm離れる形式である（図5左）。動作確認するとソレノイドの動作は正常であったが、真空管の金属蒸着の箇所が金属光沢から白色に変化しており（図5中央）、真空管の真空が保たれていないことが判明した。

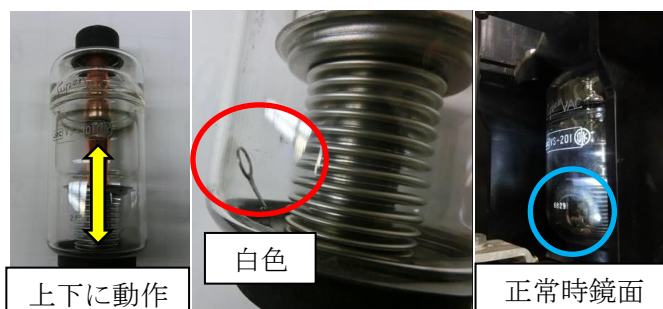


図5 真空スイッチ

真空状態でないと高電圧を遮断することができずに通電してしまうので、予備の真空管と交換した（図5右）。交換後、しばらくするとソレノイドの動作が不安定になる現象が発生した。ソレノイドの動作部分を掃除し、潤滑剤を吹き付けることで正常動作するようになった。ソレノイドの予備は無く、真空管の予備も無くなったため、代替品の高電圧スイッチを購入し交換する予定である。現在は数十kVの高電圧でも真空にする必要はなく、大気中で動作するものを検討している。

ここ数年、建屋の漏水（雨漏り）も相次いでいる。漏水の都度、天井のひび割れ部分から薬剤を注入し（図 6）、屋上の防水シートの破損部分の補修を行って対応している（図 7）が、（記録的な大雨が相次いだこともあり）1 年ほどで補修箇所から別の場所で漏水が発生する状況となっている。防水シートの全面補修が望ましいが、モルタルの下や土盛りの下にも防水シートがあるため、作業が困難であることから、建屋全面を覆う屋根やシートの増設も検討しているが、まだ結論に至っていないため、漏水の都度対応せざるを得ない状況が続く。



図 6 天井薬剤注入



図 7 屋上防水シート補修

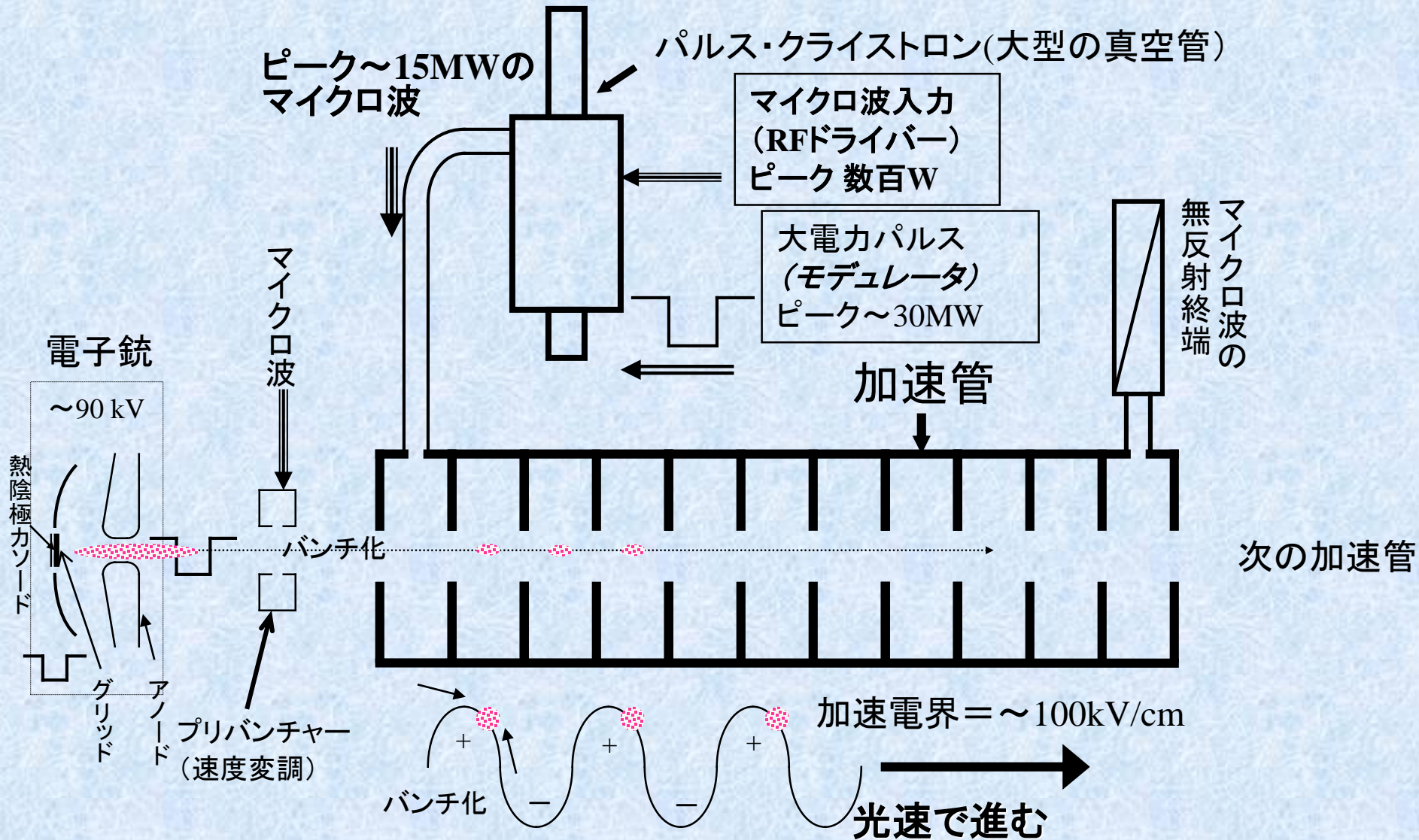
このように様々なトラブルが発生するが、共同利用運転の中止はできるだけ避けなければならない。しかし、利用運転の増加でメンテナンスの時間はほとんどとれず、トラブル発生時の代替も厳しいため、トラブルが起きるたびに即時の対応が求められる。そのためには、原因究明を素早く行い、交換や補修で対応できるものは予備品や補修品を充実することで、利用再開までの期間を短くできると考えている。今後も極力利用時間に影響を与えず、運転時間を維持していくことができるよう努めていく。

電子線型加速器施設の現状と 老朽化トラブル

複合原子力科学研究所 技術室

阿部 尚也

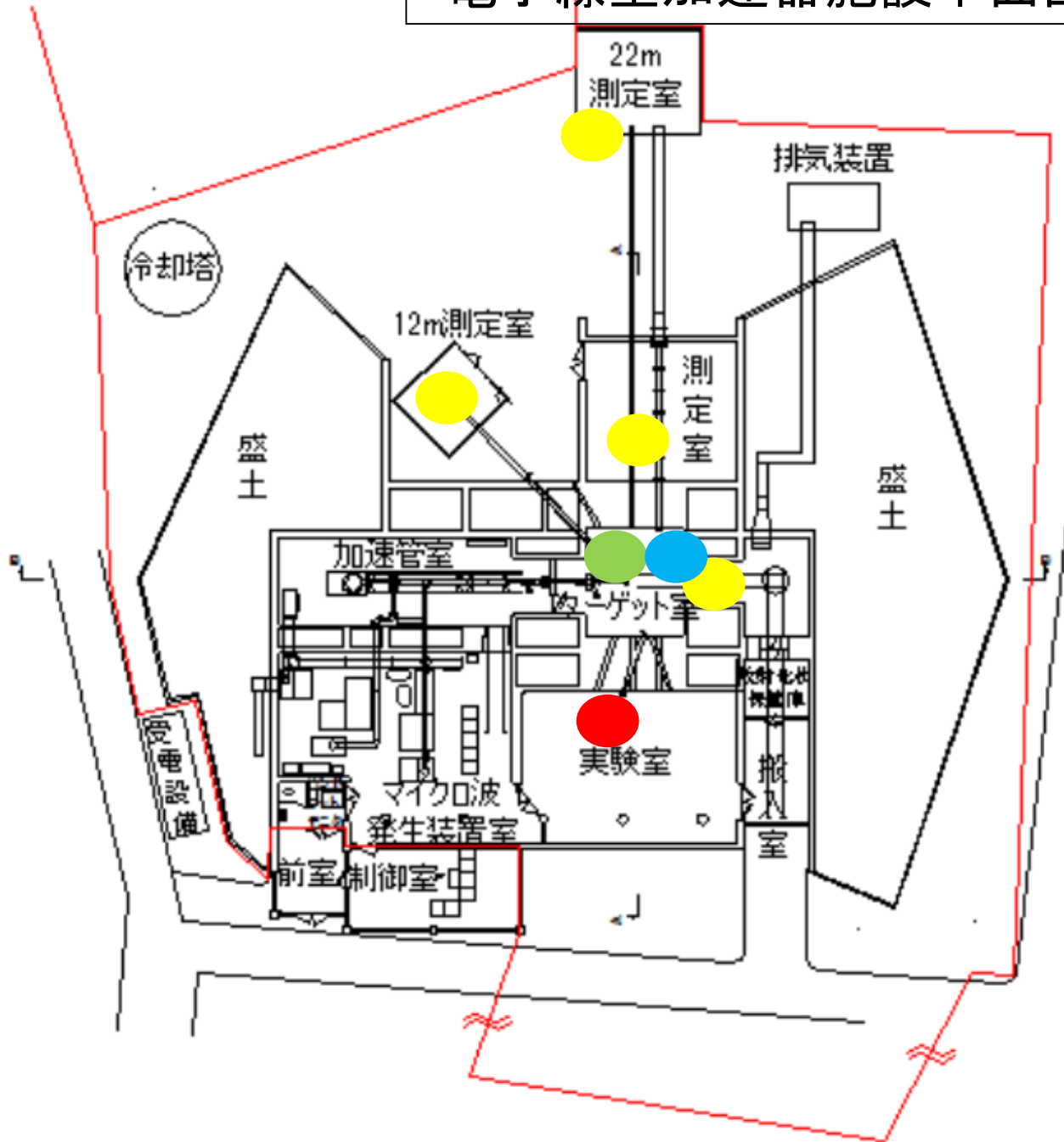
電子線型(線形)加速器の説明



電子線型加速器施設(ライナック)の沿革

- 1965年 米国ARCO社製L-1512G型電子線型加速器を導入
原子炉と相補的な**中性子源**が目的。**電子線、X線**の利用も。
- 1971～72年 エネルギー増強(加速管、マイクロ波発生装置の増設で最大エネルギー23MeV→46MeV)
- 1990年～ **放射光実験**、鉛スペクトロメータ実験開始。パラメトリックX線、陽電子実験なども実施される。
(実験の多様化の始まり)
- 2001年 サイラトロン冷却方式の変更
(マシン安定化に大きく寄与:一日数回の停止→一週間に数回)
- 2008年 **低エネルギー(<10MeV)ビーム**の取り出しに成功
- 2010年 補正予算によりクライストロン・サイラトロン・RFドライバーなどが更新され、極めて安定になる。
(マシン停止が全くない週も珍しくなくなる)
- 2012年 **微弱ビーム**の取り出しに成功
- 2017年 **過去最高の運転時間を記録**

電子線型加速器施設平面図



赤枠内: 管理区域

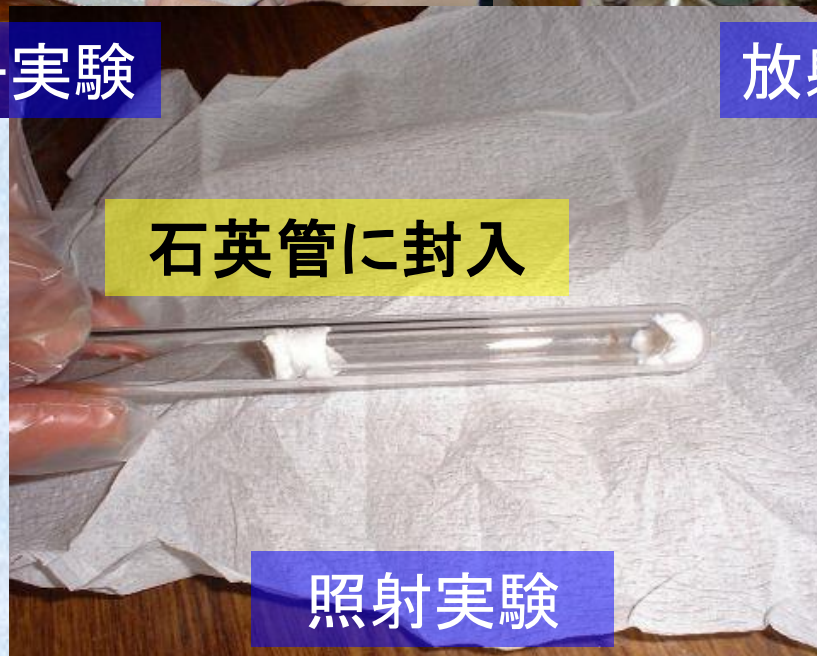
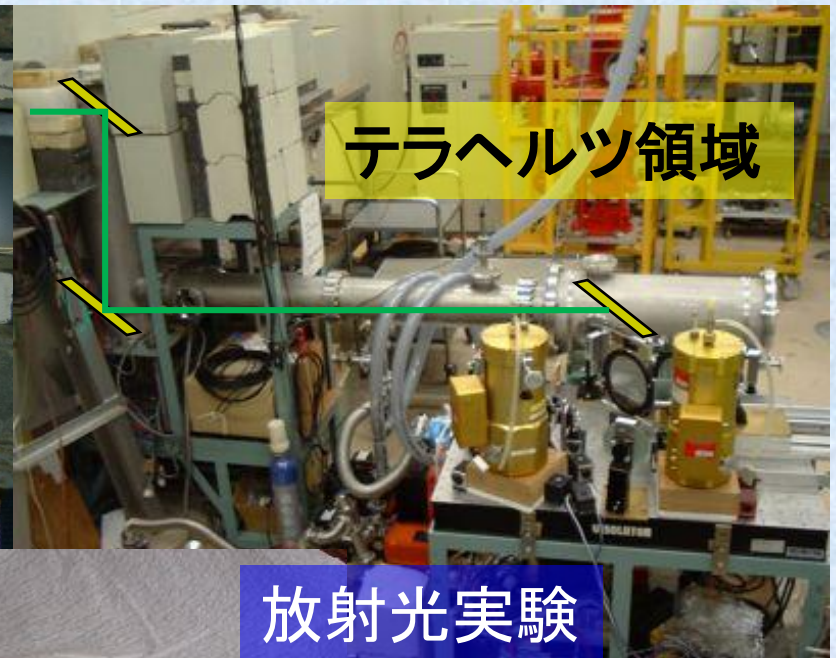
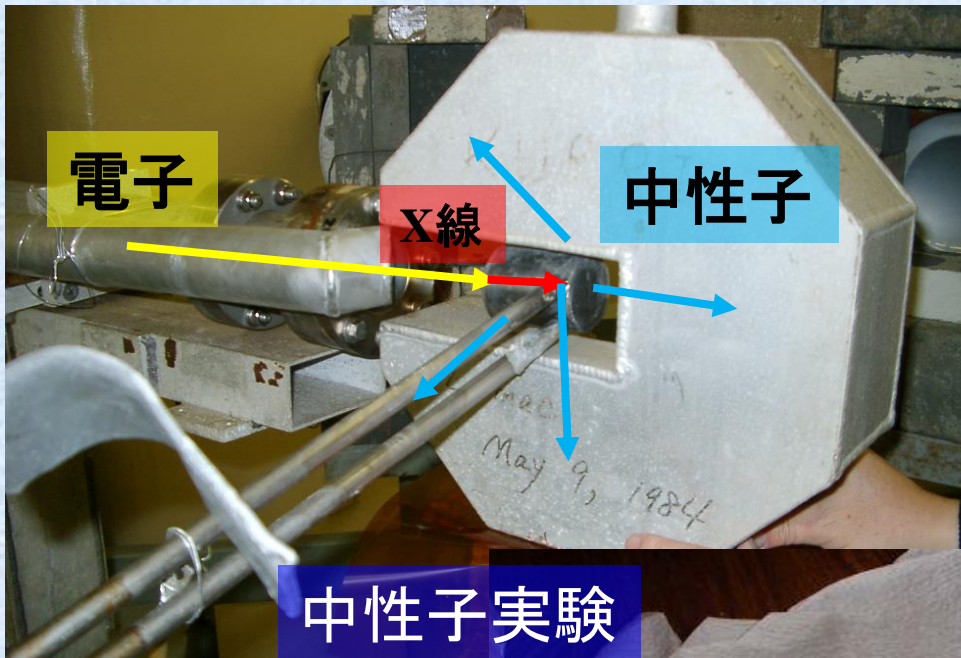
● : 中性子

● : 電子線

● : 制動X線

● : 放射光

ライナックで行われる主な実験



平成30年度採択実験

- 中性子実験 7件

⇒核データの他に**イメージング**の実験も可能に。

- 放射光実験 4件

⇒物性確認のほかに**照射**も実施。

- 電子線照射 8件

⇒格子欠陥作成の実験が多い。

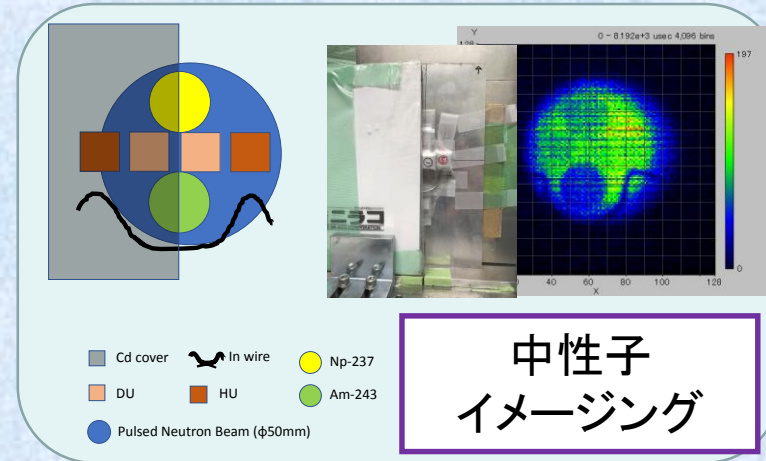
10MeV以下の**低エネルギー実験**を多用している。

- X線照射 5件

⇒**RI製造**が主。**99Mo**など製造可能なRIが増えている。

- 微弱ビーム 2件

⇒測定器の実証など



T.SANO, D.Ito, J.HORI, Y.TAKAHASHI, J.Lee, N.Abe, K.Nakajima,
"Imaging of Actinide Nuclides using Neutron Resonance Absorption,"
Proc. of IEEE-NSS/MIC, N-07-255, ICC in Sydney, Australia, 10-17 Nov., 2018より引用

計26件

平成30年度(2018年度) 京大炉ライナック 利用スケジュール

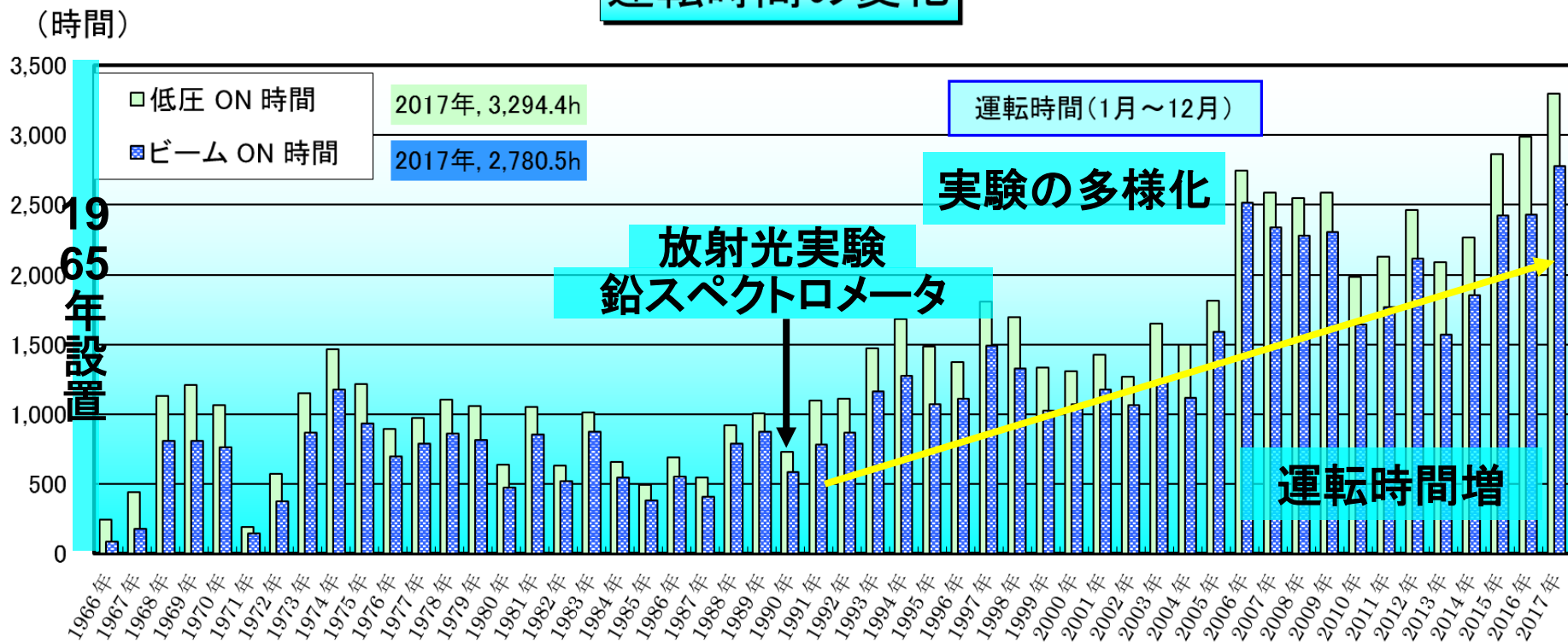
2018年9月18日修正

4月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	
	保守						保守						沖 P9-2						窪田 72												
5月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木
	窪田 72						北尾 P11-8						木野村			高橋(成) 19			荒木 76・藪内 77						井上 P1-2 鬼塚 P1-6		堀(史) 92				
6月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	
	堀(史) 92	関本 48						秋吉 P1-5						木野村						佐藤 P1-3											
7月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火
	堀(史) 93	小林				高田 39・松本 82						西山 83						堀 118						佐野 67							
8月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金
	佐野 67				田中(浩) P7-12			高橋(成) 19			ダクト交換 真空排気						放射光準備			高橋(俊) 80			三好 79								
9月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	
	清 25						田中(良)						高橋(俊) 80						放射光撤去 ダクト交換・真空排気												
10月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水
	北尾 P11-8						沖 P9-2						小林						院生実験						堀(史) 92						
11月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	
	高橋(成) 19	北條		白井 63						関本 48			堀(史) 93			徳永 85			荒木 76・藪内 77						井上 P1-2 鬼塚 P1-6		鬼塚 P1-6				
12月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月
	佐藤 P1-3						高橋(成) 19						堀(史) 92						青木						窪田 72						
1月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木
	西山 83						堀 118						高田 39・松本 82						佐野 67												
2月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28			
	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木			
	佐野 67				田中(浩) P7-12			高橋(成) 19			青木						ダクト交換・真空排気 放射光準備						高橋(俊) 80								
3月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日
	三好 79						田中(良)						清 25						放射光撤去 ダクト交換・真空排気						保守						

■ 中性子実験
■ 電子線照射
■ X線照射
■ 放射光
■ 微弱ビーム

ライナック運転時間の推移

運転時間の変化



主な実験

- ・中性子実験
- ・放射光実験

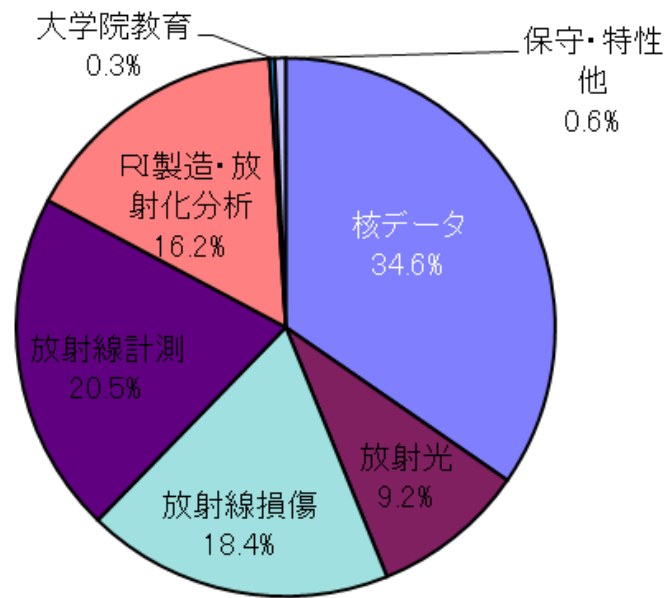
・照射実験(電子線(微弱ビーム含む)・X線・LN2温度下)

10年近く1500時間以上の運転を継続している。

ライナック運転関係グラフ

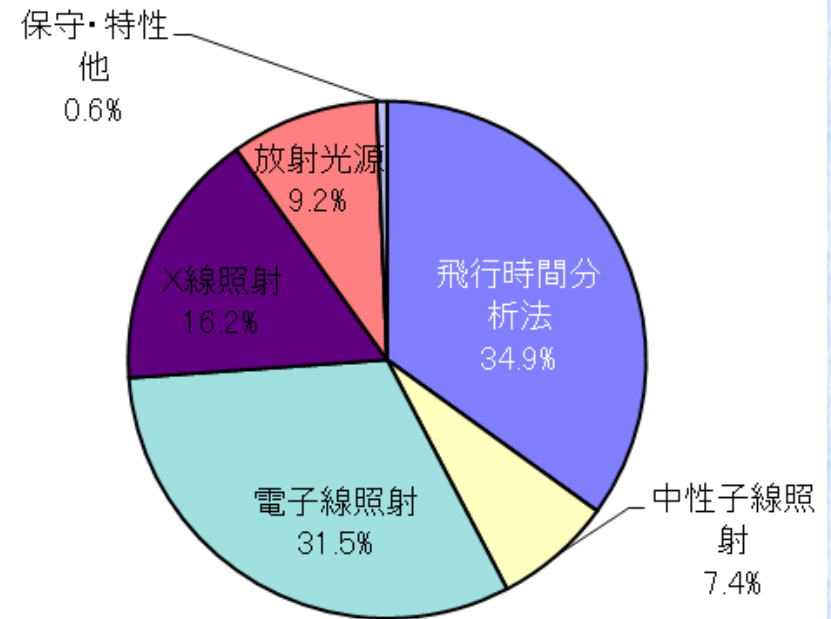
ビームON時間の実験内容別の割合

2017年度合計2,784.1時間



ビームON時間の研究分野別の割合

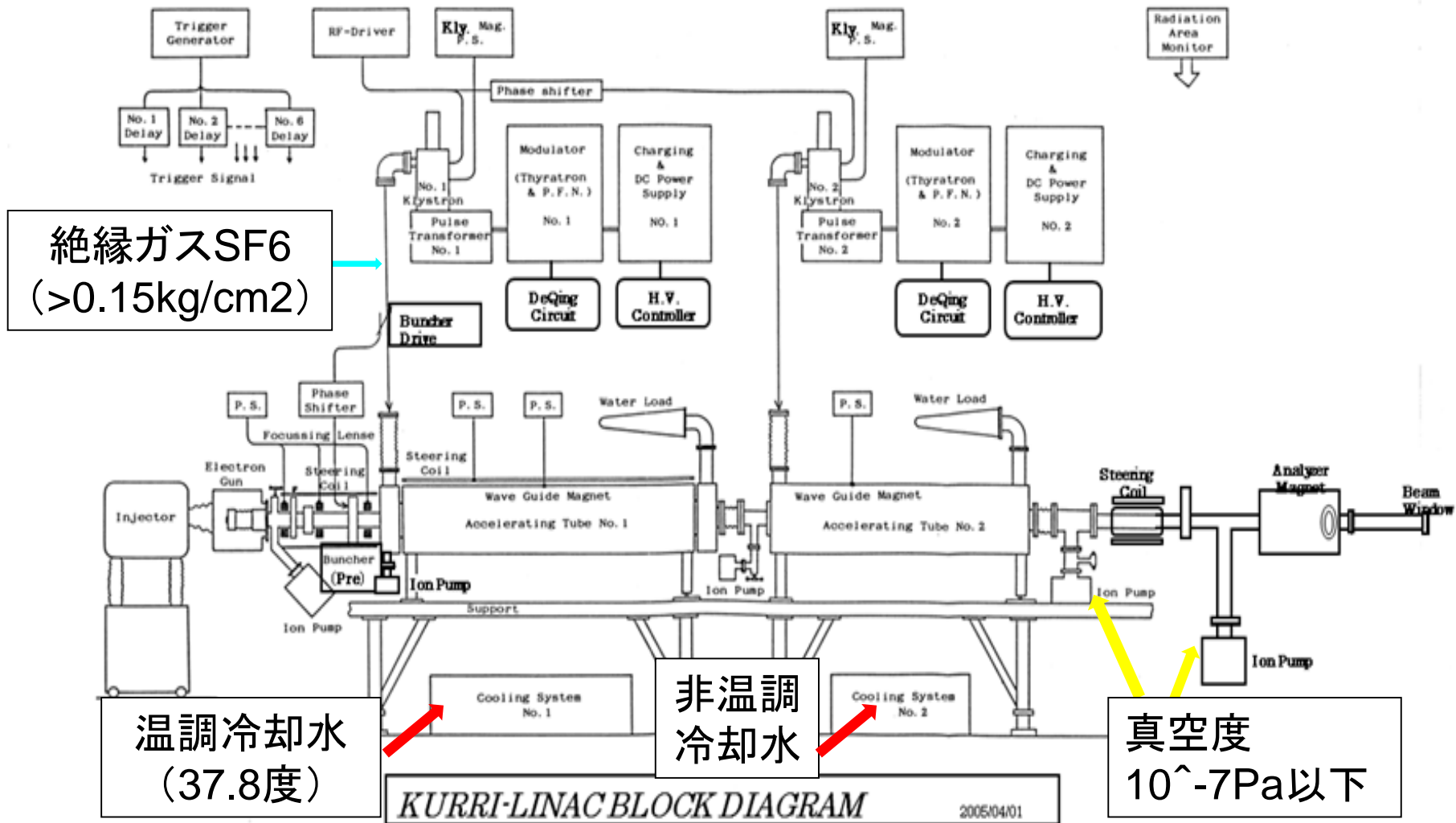
2017年度合計2,784.1時間



老朽化トラブル

- マイクロ波室内冷却水配管漏水
- 放電用真空スイッチ故障
- 建屋からの漏水

ライナック概略図



マイクロ波室内冷却水配管漏水

- マイクロ波室の冷却水配管接続部から漏水(数箇所)
- パテなどで応急対応→長期間の使用に不安
- 修繕作業実施:
 - 口径の小さい配管: 圧着接続配管の取り付け
 - 口径の大きい配管: 圧着ソケットの取り付け

パテで処置



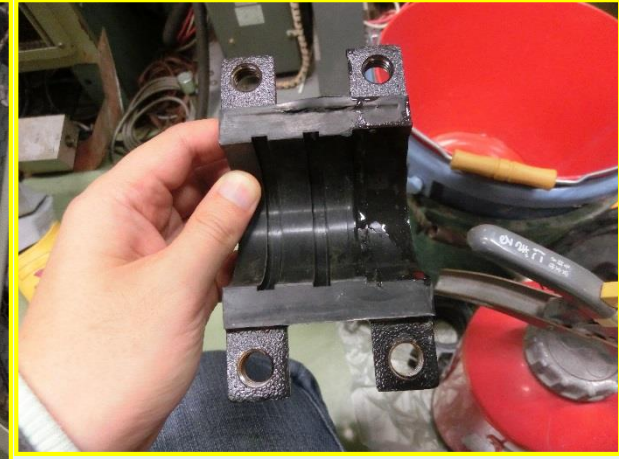
応急対応

口径の小さい配管



圧着接続配管

口径の大きい配管



圧着ソケット

マイクロ波室内冷却水配管漏水

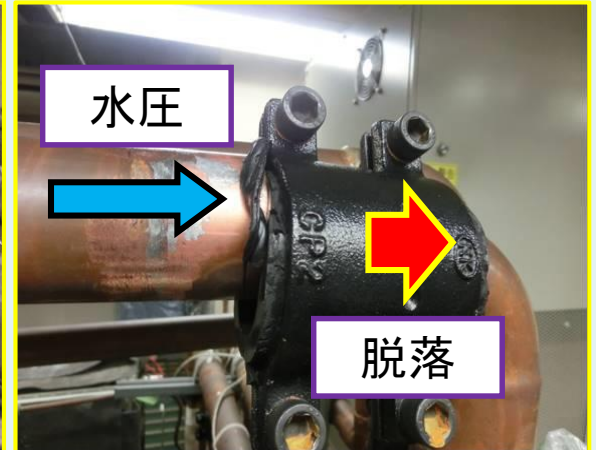
- ポンプ動作でのテスト運転
 - 圧着ソケットからの漏水→増し締め
 - 一箇所を除き漏水は停止。最後の一箇所は再増し締め。
 - 効果なし。最終的には配管がソケットごと外れ、大量の漏水が発生した。



増し締め作業



大量の漏水



外れた配管と圧着ソケット

マイクロ波室内冷却水配管漏水

- ソケットが外れた原因:ソケットを適用外の配管全周の剥離による漏水に使用したこと。
 - 使用不可であることはソケットの仕様に明記されていたが、関係者のいずれも気付かなかった(大きな反省点)。

安全にご使用いただくために



ご注意

児玉工業圧着ソケットカタログより

- ① 圧着ソケットを誤って足の上に落としますと、けがをすることがありますから、絶対に落とさないようにご注意ください。また、安全のために、作業中は安全靴を着用してください。
- ② 特に高所で取り付け作業の際は、下に人がいないことを確認した上で、作業を行ってください。また落下防止の対策を行ってから作業をしてください。
- ③ 作業をする時は必ず軍手等の保護具を着用し、けがを防止してください。
- ④ 温度の高いパイプを補修する時には、やけどをしないように運転を止めてパイプ温度を下げた後から行ってください。
- ⑤ 圧着ソケットの能力以上の圧力のあるパイプ補修は行わないでください。
- ⑥ 規定仕様以外のみだりな改造や、製品の独自変更はおやめください。
- ⑦ どのようなタイプの圧着ソケットでも、パイプどうしやパイプと継手を接続する事はできません。よって接続部の劣化等により、圧着ソケットを取り付けた箇所の接続が外れてしまう恐れがある場合は、ご使用にならない様お願い致します。

見落とし

マイクロ波室内冷却水配管漏水

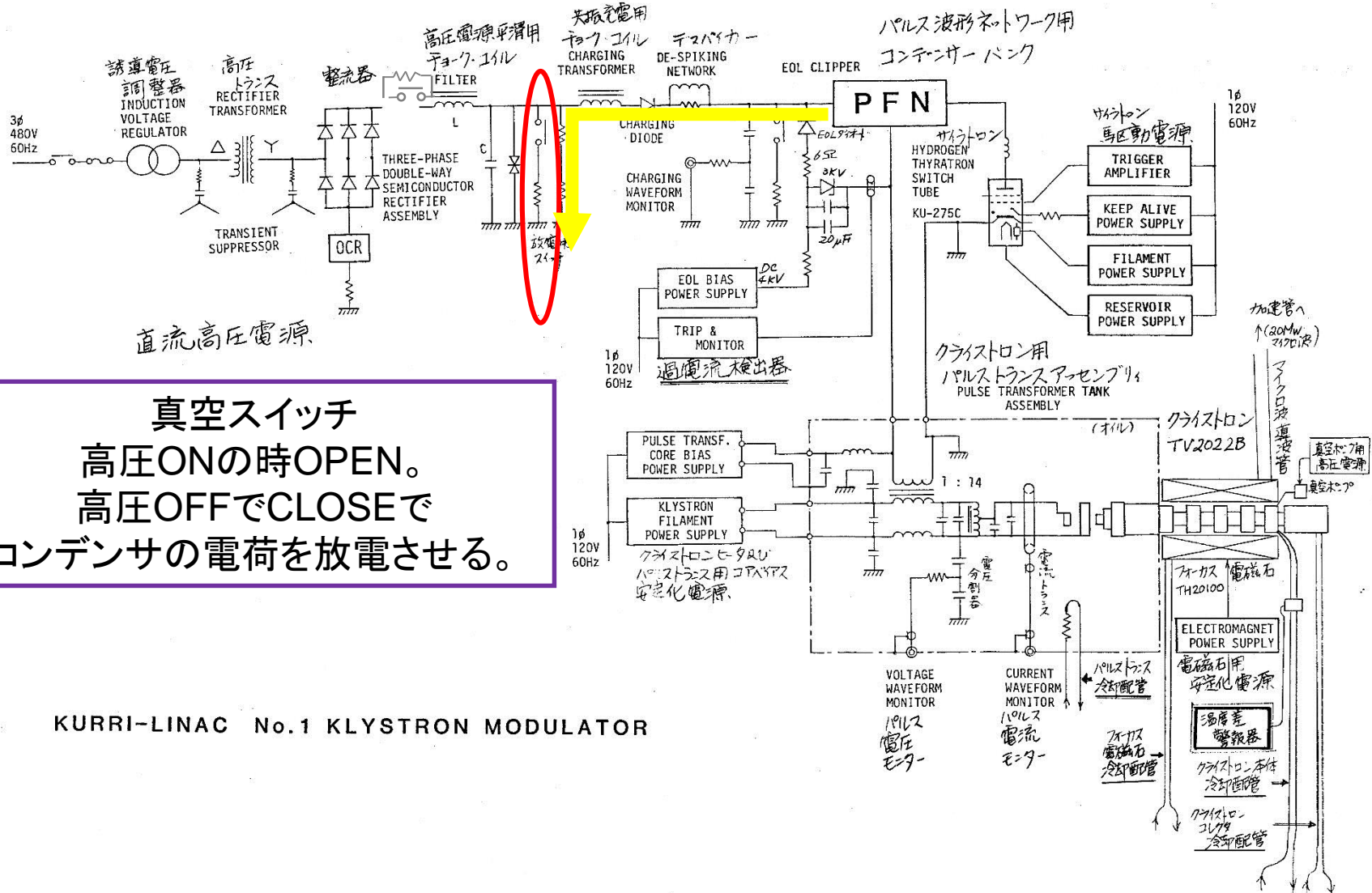
- 漏水が発生した原因:ハンダ溶接が不十分
 - 配管全周にハンダが浸入していないことから判定。
- 補修時に十分にハンダが浸入するように、高温が維持できるバーナーを使用した。
- 現在までに新たな漏れはないが、全面更新が望ましく、ステンレス配管への更新を検討している。



老朽化トラブル

- マイクロ波室内冷却水配管漏水
- 放電用真空スイッチ故障
- 建屋からの漏水

モジュラー回路図

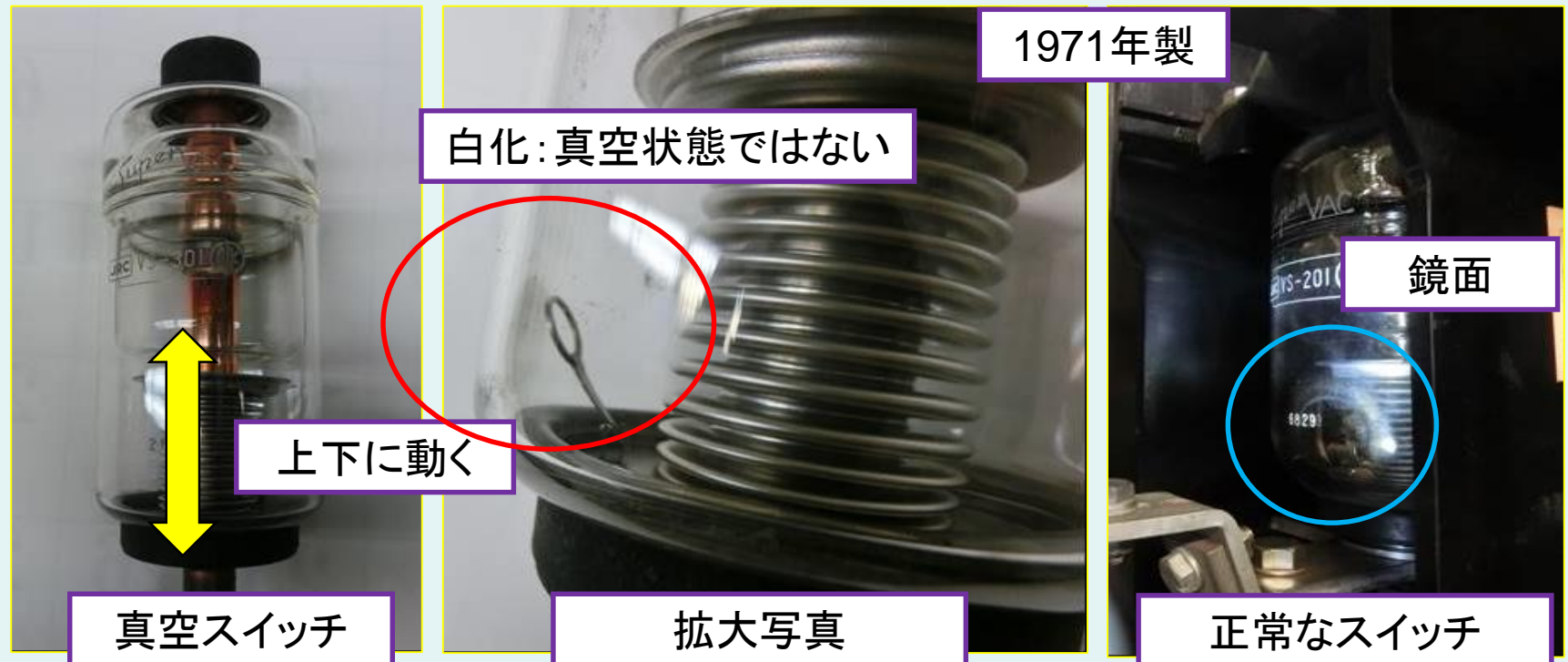


真空スイッチ
高圧ONの時OPEN。
高圧OFFでCLOSEで
コンデンサの電荷を放電させる。

KURRI-LINAC No.1 KLYSTRON MODULATOR

放電用真空スイッチ故障

- 加速器起動時に過電流で連続して2回停止
- 放電用真空スイッチに並列の抵抗の損傷を現場で確認
- 真空スイッチの真空管の蒸着部分の光沢がなく白化
→真空状態ではないことを示唆：**真空スイッチの故障**



放電用真空スイッチ故障

- 絶縁破壊電圧は大気では、真空中の10分の1前後に低下
- 文献などでは大気中の絶縁破壊電圧は30 kV/cmであり、2cm前後動く当該スイッチではモジュレータの電圧～30 kVに耐えられそうであるが、昇圧速度や電極の形状で絶縁破壊電圧が低下し、絶縁破壊したと推定している。

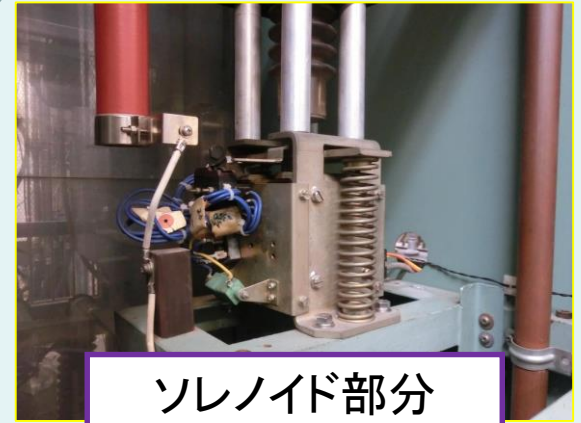
物質	絶縁破壊電圧(kV/cm)
大気	30
SF6(1 atm)	80
真空(真空度により変化)	200～400
絶縁油(新品)	280

ライナックで使用される絶縁物の絶縁破壊電圧

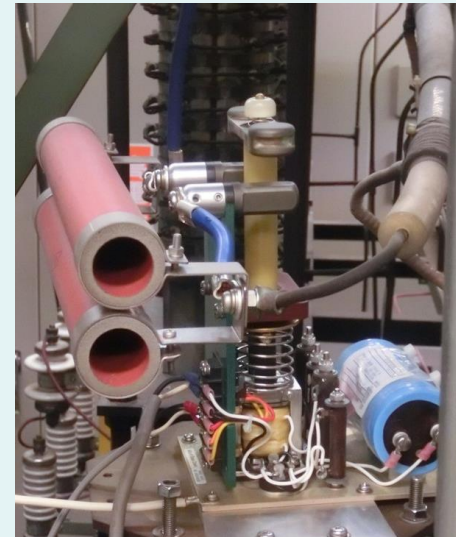
放電用真空スイッチ故障

- 予備のスイッチと交換→OKのはずが...
 - ソレノイドによる動作が不安定になる。
 - 動作部分に潤滑剤で動作がやや改善。
 - 動作部分を分解し研磨してより改善した。
 - しかし、クリアランスを考えると動作部分の汚れが原因とは考えづらい。
- 追加調査を検討

- 大気中で使用可能な放電スイッチを予備品として検討→ソフトスタートスイッチで実証済みのもの



ソレノイド部分



大気仕様の放電スイッチ

老朽化トラブル

- マイクロ波室内冷却水配管漏水
- 放電用真空スイッチ故障
- 建屋からの漏水

建屋からの漏水

- 加速器だけではなく、建屋も老朽化
- 2012年頃からほぼ毎年降雨による漏水が発生。
 - 異常気象や台風など記録的な降雨によるもの。
- 事象が発生する都度、応急処置。
 - 天井からは薬剤注入、屋根は防水シートの補修
- 防水シートの全面更新は困難だが、代替案を検討中。
 - 盛土の上に屋根や防水シートを設置



天井補修



屋根補修

老朽化トラブルのまとめ

- **マイクロ波室内冷却水配管漏水**
 - 圧着器具やハンダ溶接で対応
 - ステンレス配管への更新を検討
- **放電用真空スイッチ故障**
 - 予備品と交換
 - ソレノイドの動作不良は再調査
 - 大気仕様の放電スイッチを用意
- **建屋からの漏水**
 - 発生之都度、応急措置
 - 防水シートの全面更新や代替案を検討

まとめ

- 電子線型加速器施設は特に近年活発に利用されており、過去最高の運転時間を記録している。
- 老朽化トラブルがところどころ発生しているが、何とか対応できている。
- 対応できているのは、予備品・補修品が充実していたり、応急措置や代替策が可能であるためである。
- 今後とも運転の継続のために、予防保全を含めた上記の対応を続けていく所存である。

必要なのか？止水設備

2018年10月31日
複合原子力科学研究所
技術室 大野 和臣

1. はじめに

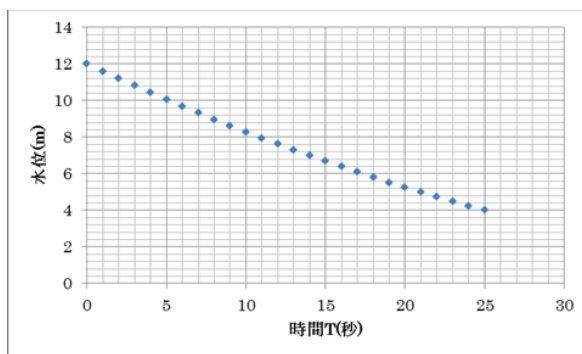
KURは2014年から新規制基準対応で設置変更申請書や保安規定の変更申請、ヒアリングや審査会合でのそれらの審査、既設設備も含めて設工認申請、工事、使用前検査、そして、施設定期検査を終了し、2017年8月に無事運転を再開しました。

この新規制基準対応の中で取り付けることとなった1次冷却系配管の止水設備について、取り付けるに至った経緯と意味について考える。

2. 止水設備について

止水設備はKURの炉心タンク水の急激な漏水を防ぐために取り付けられました。1次冷却設備全体は、異常の発生防止機能を有するものとしてPS-3、異常の影響緩和の機能を有するものとして水圧駆動弁、逆止弁がMS-2、主閉鎖弁がMS-3、炉心直下1次冷却系配管が耐震クラスSとされ、サブパイルルームにある1次冷却設備はKURの安全上重要視されています。

3. 配管破断時の炉心タンクの水位変化



1次冷却設備の配管が瞬時に配管の内径面積がむき出しになるギロチン破断が起これば、場合によっては左図のように30秒もたたない内に炉心タンク内の水が無くなる恐れがあります。これを防ぐことはできるのか。

注：炉心直下を0mとしているので炉心の正常水位は12mとなる。

4. おわりに

このように新規制基準に沿って見直されていたところ、配管の大規模破断時の安全性を考え、止水設備が取り付けられました。この止水設備について、どのように望まれどのように役立つのかお話しします。

注：諸事情により一部省略しています

京都大学総合技術部 第18回第5専門技術群技術群研修会
京都大学複合原子力科学研究所 第27回原子炉・放射線技術研修会

必要なのか？ 止水設備

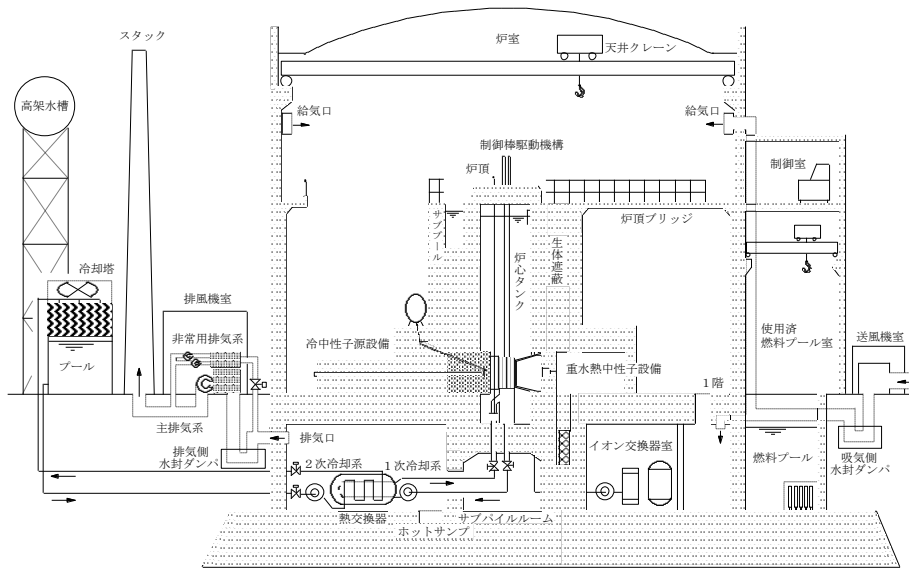
2018年10月31日

大野 和臣

注：諸事情により一部の資料を省略しています

止水設備とは

- 原子炉設置変更承認申請書の本文（抜粋）
 5. 試験研究用等原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備
又、その他原子炉の附属設備の構造及び設備
 - (3) 多量の放射性物質等を
放出する事故の拡大防止のための設備
 - (i) 止水設備
全周破断が起きた場合でも、急激な水位の低下を防止できる止水設備を設ける。



研究用原子炉 (KUR) 建屋全体図

取り付けの経緯

• 2015年3月18日のヒアリング

「多量の放射性物質等を放出する事故の評価について」について

LOCA (冷却材喪失事故) の時にDBA (設計基準事故) だと1/4dtだが、**BDBA (設計基準を超える事故) の場合に、それと同じでいいのか?** 使用済燃料プールの190m³の内150 m³を使って、残りの40 m³で使用済燃料の冷却に十分なのか?

すごく限られた範囲での検討に留まっているように思える。先ほどギロチン破断の話もあったが、ATWS (Anticipated Transient Without Scramスクラム失敗事象) や航空機テロは考えなくていいのか?

一番のポイントは線量評価で終わるやつは終わっていいが、もっと超えたものに対して対策は何も取らないというのが・・・。**何にも対策はなく指をくわえて見ている状態にはして欲しくない。**

取り付けの経緯_{2015年3月18日のヒアリング}

あと気になるのはギロチン破断。

そこが何とかならないか？

By 規制庁

取り付けの経緯_{2015年3月18日のヒアリング}

• 配管の中に何か設置して止められないか？

→タンクの底などに仕切り板みたいなもの・・・難しい・・・

→サブパイルルームをふさぐ、水密にする

・・・配管がいっぱいでは密閉できない

取り付けの経緯_{2015年3月18日のヒアリング}

その配管だけ2重配管に
するとかはできない？

By 規制庁

取り付けの経緯

2015年10月30日ヒアリング

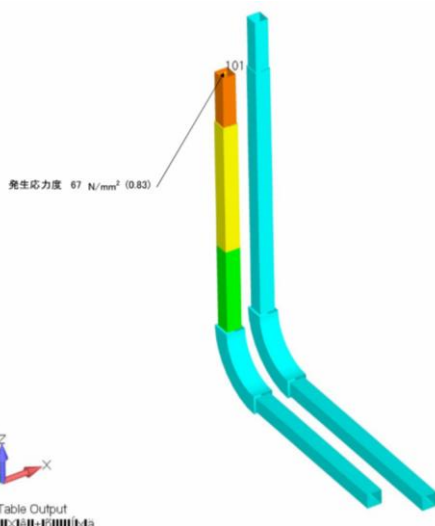
内部火災の可燃物がサブパイルルームにあるか？

との質問に、**止水設備をつける予定の話が出た。**

この日に論点管理表No50の回答で

ギロチン破断すると逆止弁、水圧駆動弁が何秒後に閉まるかの説明がなされている。

1次系配管の破断はどのくらいで起こる？



- 炉心直下1次冷却系配管は耐震Sクラス
耐震重要度分類では、炉心直下の手動弁までを対象としているが、耐震安全評価業務では左図が対象配管。直下弁等も対象で配管は第1初のサポート辺りまで対象
- それ以外の1次冷却系配管は耐震Bクラス
前述の通り、ギロチン破断で逆止弁、水圧駆動弁が自動的に閉まる。

地震の機器への影響評価

どこかで地震が発生し、地震波が生成される



地震波が地盤を伝わる

KUR建屋が揺れる



炉心直下配管等が揺れる



この時の評価をしている

耐震 S クラスの地震動

クラス方向	基準地震動Ss	Sd地震動	静的地震力
S	水平 【設置床の水平加速度応答値（系の固有周期）】／980gal (必要に応じて高次モードを考慮した応答解析を実施) →安全機能維持（通常短期許容応力度）	【0.5×Ss（水平）】／980gal	3.6Ci (C _g =0.2) = 0.72 (BF, 1F設置) (上層階はA _i 係数考慮)
	鉛直 【設置床鉛直加速度応答値（系の固有周期）】／980gal (必要に応じて高次モードを考慮した応答解析を実施) →安全機能維持（通常短期許容応力度）	【0.5×Ss（鉛直）】／980gal	1.2Cv (C _v =0.3) = 0.36 (高さ方向に一定)

平成28年10月27日行政相談資料2-2で説明

第8-1-3表 耐震重要度分類

耐震クラス	クラス別施設	施設名	当該構造物等	支持機能を確保する地震動
S	炉心及び冠水維持設備を構成する機器・配管系	<ul style="list-style-type: none"> 生体遮蔽(炉心タンクと一体) 燃料要素 炉心支持構造物 炉心直下1次冷却系配管 放射孔、照射孔、計測孔(冠水維持に係る部分) 	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 当該施設の支持構造物 生体遮蔽 	Ss
	炉心から取り出した直後の使用済燃料を貯蔵するための施設	<ul style="list-style-type: none"> 使用済燃料プール室プール 	<ul style="list-style-type: none"> 当該施設の基礎 	Ss
	原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を添加するための施設及び原子炉の停止状態を維持するための施設	<ul style="list-style-type: none"> 粗調整用制御棒吸収体 粗調整用制御棒案内管 粗調整用制御棒取付金物 	<ul style="list-style-type: none"> 当該施設の支持構造物 生体遮蔽 	Ss
B	原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設	<ul style="list-style-type: none"> 1次循環ポンプ(無停電駆動電源含む) サブバイルルーム灌えい水汲み上げ設備 	<ul style="list-style-type: none"> 当該施設の支持構造物 	注1
	1次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設	<ul style="list-style-type: none"> 1次冷却系配管(炉心直下部以外) 1次浄化設備(イオン交換塔) 	<ul style="list-style-type: none"> 当該施設の支持構造物 	注1
	重水を内蔵しているか又は内蔵し得る施設	<ul style="list-style-type: none"> 重水タンク 	<ul style="list-style-type: none"> 当該施設の支持構造物 	注1
	1次冷却水に接している施設	<ul style="list-style-type: none"> 熱交換器 	<ul style="list-style-type: none"> 当該施設の支持構造物 	注1

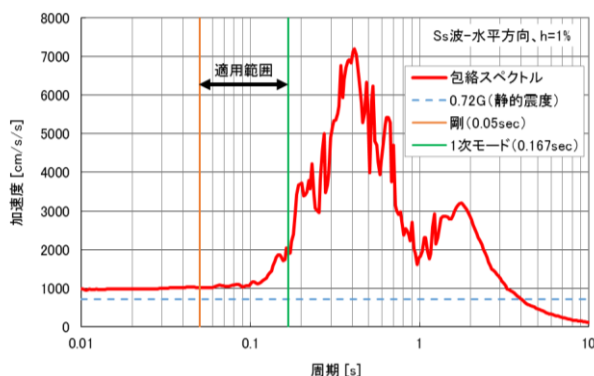
設置申請書
添8-59

基準地震動 S_s

(設工認申請 28京大施環化第402号 H29.3.31)

- 基準地震動S_sに基づく建屋床応答加速度波形から動的地震力を評価する。
- 加速度波形は、S_s-1～S_s-9まで9種類の基準地震動それぞれに対し求められている。
- この9種類の基準地震動の最大値より包絡スペクトルを作成

基準地震動S_s (包絡スペクトル) による建屋入力地震動 (水平方向)

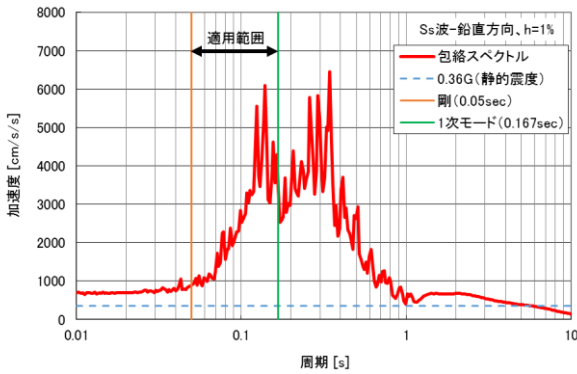


左図適用範囲の最大値

約2000gal

第23図 基準地震動S_s (水平方向、1.0%減衰)

基準地震動Ss（包絡スペクトル）による建屋入力地震動（鉛直方向）



第24図 基準地震動Ss（鉛直方向、1.0%減衰）

左図適用範囲の最大値

約6000gal

耐震Sクラスの安全評価

- 基準地震動を与えたときに、応力度比が1.0以下であること。

第7表 Sクラスの応力評価結果

最大応力評価節点	一次 応力評価			最大応力度比 発生位置図
	発生応力度	許容応力度	応力度比	
101	32	70.5	0.46	第27図
最大応力評価節点	一次+二次 応力評価			最大応力度比 発生位置図
	発生応力度	許容応力度	応力度比	
101	67	81.6	0.83	第28図

※応力度はN/mm²、応力度比は発生応力と許容値の割合を示す。

ちなみに

最大応力評価節点101は
止水設備がついている辺り

最大応力評価節点101で
最大応力度比0.83

それで1次冷却系配管はどうなるか？

2000galの時の最大応力度比が0.28

※3成分合成ではなく、参考値として水平・鉛直のうち加速度の小さいほうを引用



耐えられなくなる限界点は
 $2000 \div 0.83 = 2410 \text{ gal}$

~~ギロチン破断が起こる！~~
わけではない

前述の2410galで許容値を超えるだけ



何galの地震でどのくらい壊れるのか？

1505 gal (安平) 防災科学技術研究所	地方中東部 北海道胆振東部地震	6.7	7	死 41 負 689	住家全壊 156棟 住家半壊 434棟 住家一部破損 4,068棟など 【平成30年9月25日現在】
806 gal (高槻市) 防災科学技術研究所	七部	6.1	6弱	死 5 負 454	住家全壊 16棟 住家半壊 472棟 住家一部破損 53,751棟など 【平成30年9月18日現在】
1580 gal (益城町) 防災科学技術研究所	熊本県熊本地方など (2016年) 熊本地震	7.3	7	死 271 負 2,808 ※3	住家全壊 8,668棟 住家半壊 34,718棟 住家一部破損162,557棟など 【平成30年9月14日現在】
1250.9 gal (栄村北信) 気象庁	北部	6.7	6弱	負 46	住家全壊 77棟 住家半壊 137棟 住家一部破損 1,626棟など 【平成27年1月5日現在】
2933 gal (栗原市) 防災科学技術研究所 1076.4 gal (大船渡市) 気象庁	三陸沖 (11年) 洋沖地震 (災)	9	7	死 19,667 不明 2,566 負 6,231	住家全壊 121,783棟 住家半壊 280,965棟 住家一部破損745,162棟など 【平成30年9月7日現在】
4022 gal (関西観測点) 防災科学技術研究所	(年) 地震	7.2	6強	死 17 不明 6 負 426	住家全壊 30棟 住家半壊 146棟など
1722.0 gal (川口町) 気象庁 2058 gal (柏崎刈羽原発) 朝日新聞より 2516 gal (川口町) 余震 気象庁	新潟県中越地方 (04年) 地震	6.8	7	死 68 負 4,805	住家全壊 3,175棟 住家半壊 13,810棟など
891.0 gal (神戸市中央区) 震度6 気象庁	兵庫県南部地震 ()	7.3	7	死6,434 負43,792 不明 3	全壊104,906 半壊144,274 全半壊7,132

地震による加速度(gal)の 大きさによる被害状況

- 地震の場合、ガルが大きいほど揺れが激しいことを示すが、建物などの被害は地震の周期や継続時間に影響を受けるため、必ずしも震度や被害とは直接結びつかない。
- 一般的に地震の大きさは表わす指標としてマグニチュード (M) と震度があるが、マグニチュードは地震そのものの規模を示すもので、1地震について1つの値で表わされる。
震度は、ガルと同じく観測地点での揺れの大きさを示すもので、観測地点ごとに数値は得られる。

なぜ止水設備を取り付けたのか？

- 炉心直下配管がこれから起こるどんな地震でも絶対壊れないとは言い難いから
- 炉心直下配管を守れば冠水維持ができるから
- 壊れるかもしれないところで、漏水を止める術がないのにそのままにしておくわけにいかないから

今後

- 3年程度で新しいものと交換
- 劣化具合の検証
- 交換用予備品は準備しておく

(検討中)

- 次の定検期間中に交換し、現在の劣化具合を確認。
- 試験片等を内側に入れ、短期から長期の劣化具合を検証

KUCA 軽水減速架台の蛇腹配管更新の品質保証について

複合原子力科学研究所 技術室
小林徳香

1. はじめに

KUCA の軽水減速架台(図 1)の溢流器は炉心タンク水位の異常上昇を機械的に防止するものである。溢流器の蛇腹(以下、蛇腹配管)は 1974 年の建設当初より更新が行われていなかったため、予防保全の観点により同等規格品と交換することとなった。

この業務は「試験研究の用に供する原子炉等の設置、運転等に関する規則」の第三条第一項第三号の「二 計測制御系統施設」に該当するため、「原子炉等の設計及び工事の計画の実施に関する手順書」(品-要領-003)に従って実施した。

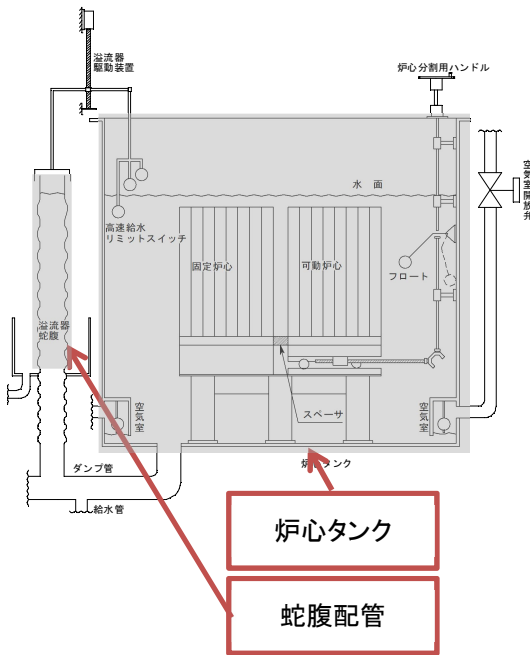


図 1 軽水減速架台(C 架台) 断面概念図

2. 設計開発と検査対象

蛇腹配管は、ゴム板、配管リング 2 種、既設設備への取付バンド、ガイドリングで構成される。

当初、使用前検査の材料検査ではゴム板の強度のみ要求し JIS K 6404 に則った試験報告書にて確認予定であったが、原子力規制庁におけるヒアリングの結果、他の構成要素についてもミルシートを以て強度を

確認することになった。また、原子力規制庁からはデータ改ざんに関する不祥事への対応として該当企業の製品の使用の有無を確認するよう指示を受けており、当該業務においてもその旨を念頭においていた。

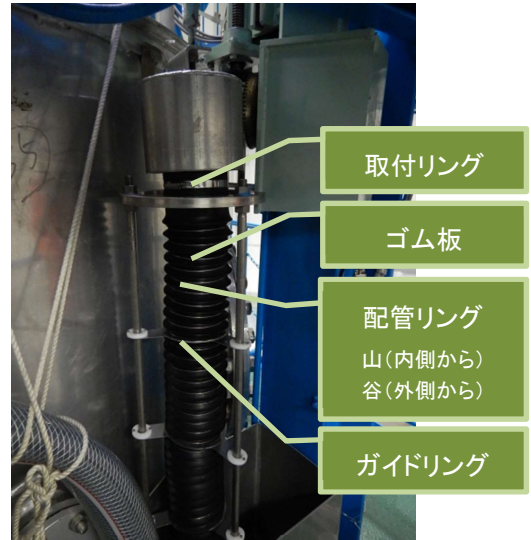


図 2 蛇腹配管

3. 使用前検査における不適合事象と対応

各プロセスを終了し、使用前検査に臨んだところ不適合事象が生じ、再検査を受けることになった。事象と対応概要は下記のとおりである。

1) 品質管理が懸念されている会社の関連会社製品の使用

事象

配管リングのミルシートを発行した会社がデータ改ざんに関与した企業の関連会社であることから信頼性が低いこと、また、その企業が JIS 認定取消処分を受けておりその期間内の日付でミルシートが発行されていたことから、材料とミルシートの信頼性について再確認するようことの検査官からの指摘があった。

対応

再調査が困難であったため、蛇腹配管からリングを取り外し、他社製品の鋼材を使用したリングに交換した。

2) 配管リング交換による配管損傷

事象

1) の不適合を受けて実施した配管リングの交換後、自主検査は問題なく終了していたが、後日の使用前検査(再検査)において漏えい検査を実施したところ漏水が確認された。配管の製作者に返送して調査したところ、リング交換でついたと思われる微小な傷が配管リングに隠れた箇所で見つかった。

対応

蛇腹配管を新規作成し、出荷前検査を実施した。

3) 原材料の製造会社の確認不足

事象

取付リング及びガイドリングのミルシートについて、発行者は不祥事に関わった会社でないが、原材料の製造会社についても確認する必要があるとの指摘を受けた。

対応

各発行者に問い合わせて原材料の製造者に問題ないことを確認した。

4) 材料の妥当性確認不足

事象

蛇腹配管のゴム板には主材クロロプレンゴムの他に基布素材として品質管理体制に問題があるとされていた企業のナイロン原糸を使用していることがわかったが、ゴム材の性能検査で要求を満たしていることが確認できていたため、その製品を使用していることについての妥当性確認を実施していなかった。

対応

試験業者に追加試験を依頼し性能が要求を満た

していることを確認した。

以上 4 件の不適合事象の除去の後に実施した使用前検査(再々検査)にて合格した。

4. 最後に

今回の業務での不適合の共通点は品質保証の考え方について規制庁との間に認識のズレがあったこと。この経験を今後の設工認の業務プロセス実施に活かしていきたい。

自主検査(主に材料検査)についての覚書

- 材料証明書発行者の信頼性確認
 - ・JIS 認定、ISO9001 認証等の確認
(JIS 認定取消は経済産業省 HP で確認)
 - ・不祥事に関わった会社でなくともグループ会社は極力回避するまたは信頼性の高い試験業者に別途試験を依頼する。
- 原材料の製造会社の確認
- 材料の入念な確認、妥当性確認の実施
- 材質やその強度が調達物品に必要な要求事項かどうか？

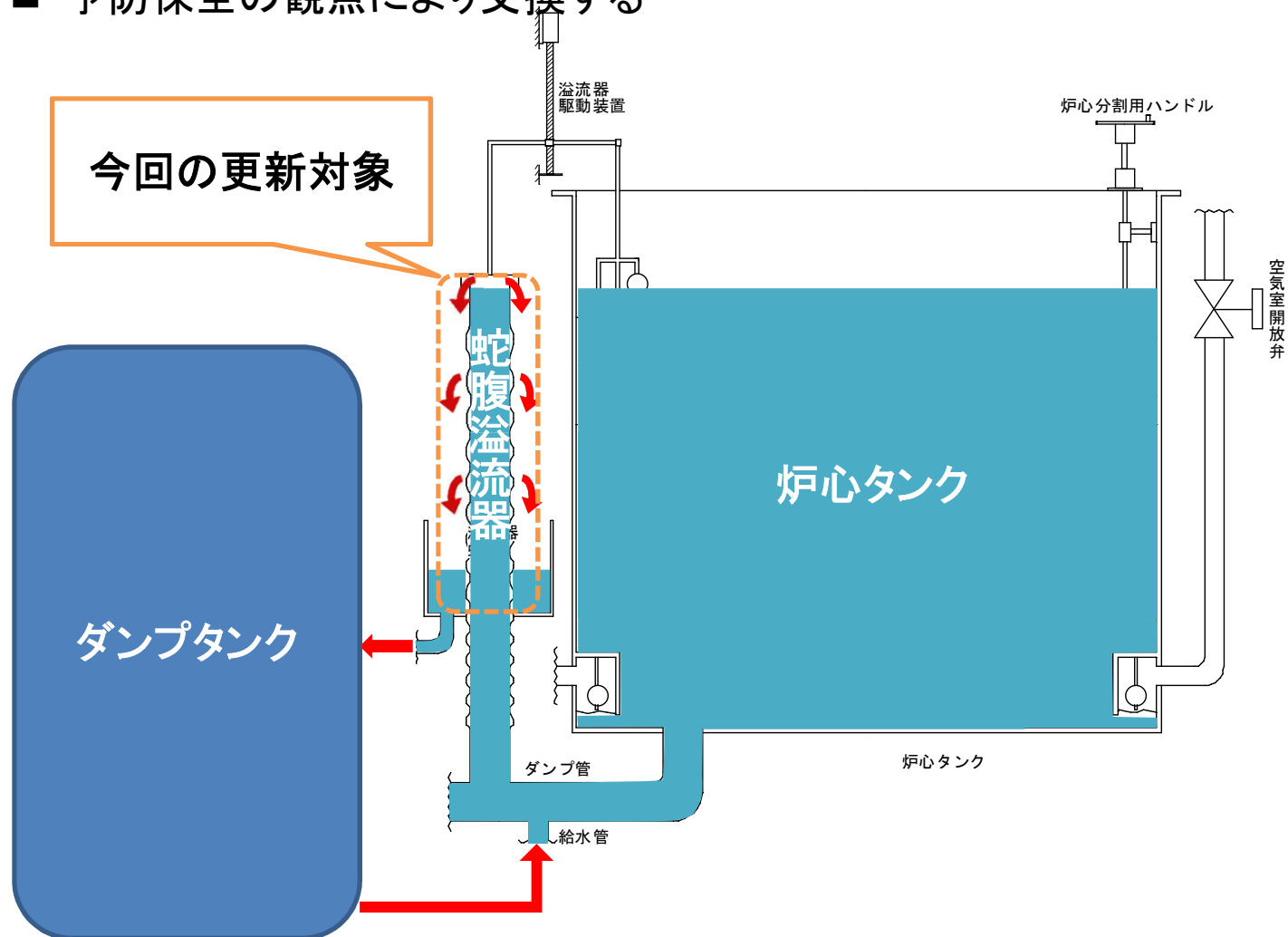
KUCA軽水減速架台 蛇腹配管の 更新における品証活動

複合原子力科学研究所 技術室

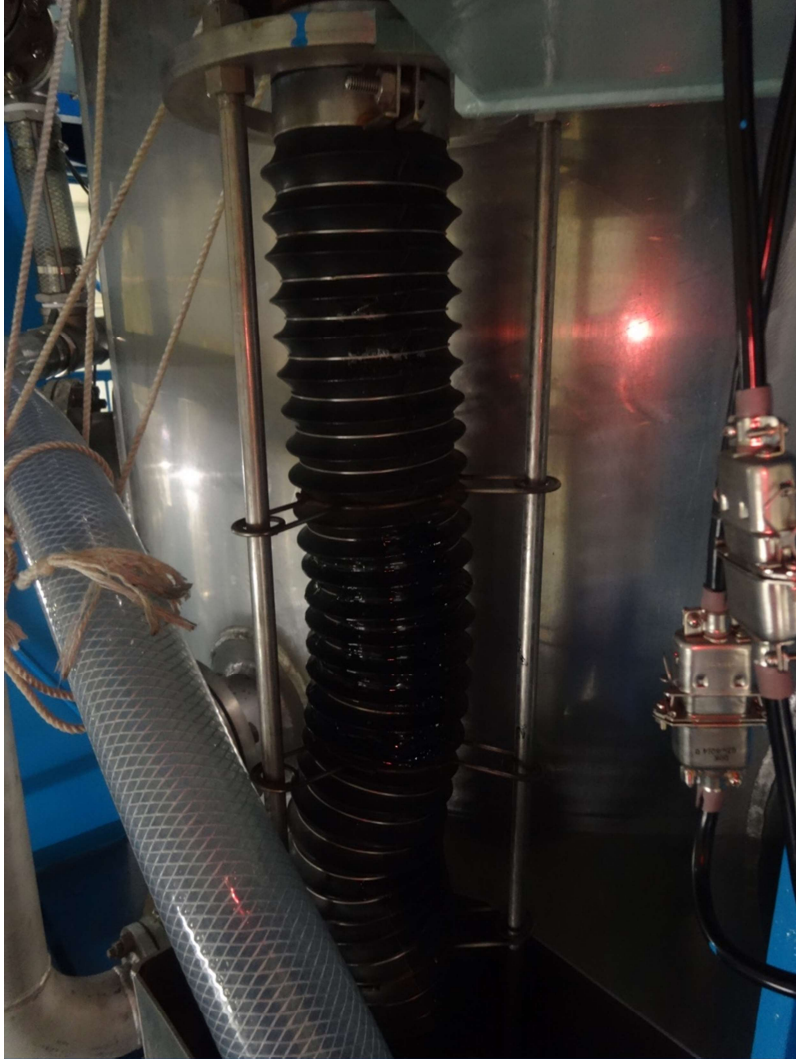
小林徳香

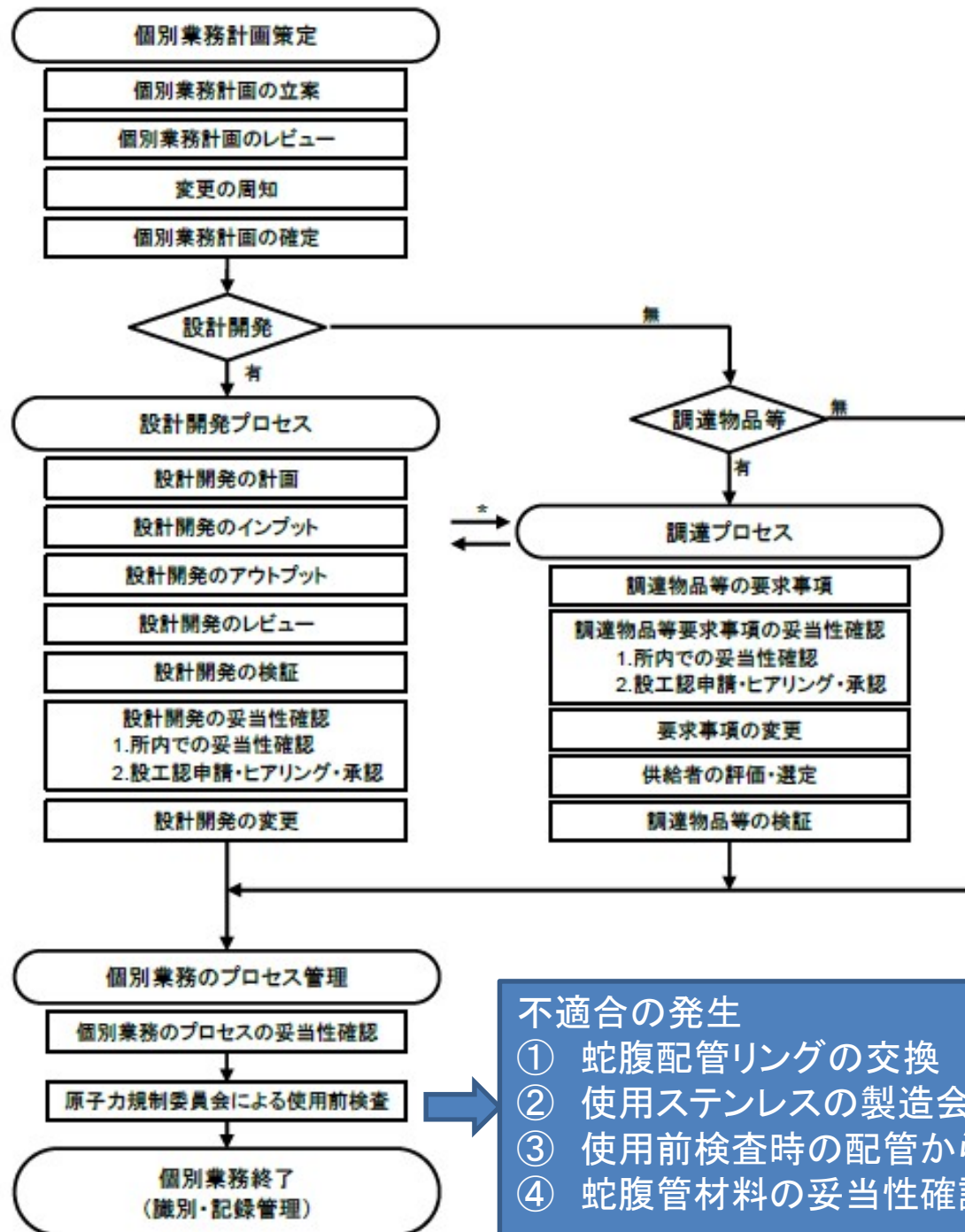
蛇腹配管

- 炉心タンク水位の異常上昇を機械的に防止する
- 予防保全の観点により交換する



更新前 ⇒ 更新後





不適合の発生

- ① 蛇腹配管リングの交換
- ② 使用ステンレスの製造会社の確認不足
- ③ 使用前検査時の配管からの漏水
- ④ 蛇腹管材料の妥当性確認不足

蛇腹配管

ゴム板

- クロロプレンゴムを主材とするゴム加工板
- 引張強さ1000N／3cm
- 伸び40%以内
- 耐熱性試験に合格していること

⇒NE-403を選定

配管リング

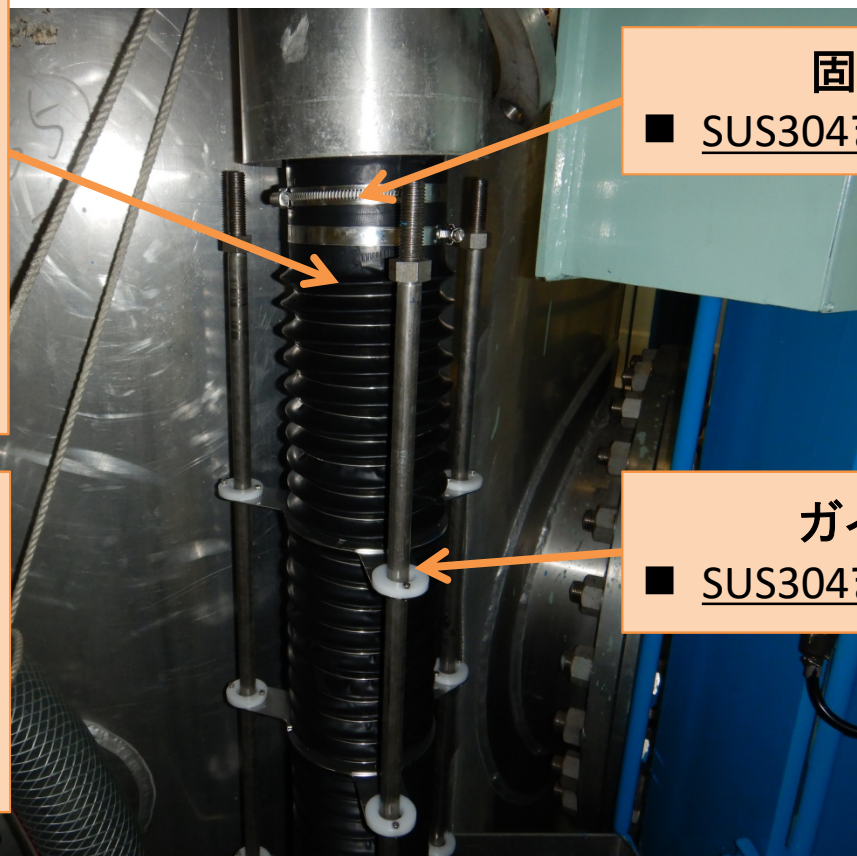
- 内側：山径を成形する
- 外側：内圧上昇による谷径の膨れを抑える
- SUS304または相当品

固定バンド

- SUS304または相当品

ガイドリング

- SUS304または相当品



下線部は設工認申請に記載の要求事項
規制庁ヒアリングを経てゴム板以外の材質指定も追加

材料検査

品質管理の問題が取り沙汰されていた企業

企業A

企業B

企業C

→原子力規制庁よりこれらの業者の製品使用の有無を調査するよう指示

不適合①
蛇腹配管リングの交換

使用前検査(2月5日) 材料証明に関する書類

部位		書類名称・発行者	確認事項
ゴム板		出荷証明書 企業D	材料がNE-403であること
		試験成績書 企業E	JIS K 6404に基づく試験結果が引っ張り強さ1000N/3cm以上、伸びが40%以上であること JIS K 6404に定める耐熱性の試験に合格していること
配管リング(外・内)		検査証明書 企業F	SUS304または相当品であること
固定バンド	フープ	検査証明書 企業G	SUS304または相当品であること
	スクリュー	検査証明書 企業H	SUS304または相当品であること
	ハウジング	鋼材検査証明書 企業I	SUS304または相当品であること
ガイドリング		鋼材検査証明書 企業I	SUS304または相当品であること

ワング (外) 2019.11

SEI5124

検査証明書

平成 29 年 9 月 6 日

設工認申請書の記載「SUS304または相当品」を
満足しており、自主検査では可と判断した

証明書番号 2A7906003301
S070901501

本製品はご指定の規格または仕様書に従って製造され、
その要求事項を満足していることを証明します。

販売者:

企業J

品名 ばね用ステンレス鋼線 JIS G 4314 同等品 (JISマーク表示なし)

製造者:

企業F

寸法 1.200 mm 質量 233.100 kg

処理記号 WPB (NC-S) 数量 4

<化学成分 wt%>

鋼種	SUS304	C	SI	NI	P	S	NI	CR		
		X100	X100	X100	X1000	X1000	X100	X100		
MAX	8	MAX	100	MAX	200	MAX	45	MAX	30	800 - 1000
鋼番	D484D-6	7	36	122	27	2	854			

<試験結果>

番号	試験項目	線径 mm		引張強さ N/mm ²										
		規格	-0.010	+0.000	1750	2000								
HR047048	-0005	1.196			1825									
HR047048	-0006	1.196			1823									
HR047048	-0007	1.196			1844									
HR047048	-0008	1.196			1842									

JIS法違反による取り消し処分中の発行
⇒規制庁「再確認を」

P.001 # 1 / 1
FAX番号: 06-6336-5775 7-枚綴り
2017/10/25/水 14:32 7-枚綴り 17-10-25:14:08

リング 1.4 mm

ページ 01/01

株式会社東洋鋼業製作所

0335224489

2017/10/04 10:10

試験成績表
Inspection Certificate

宛先 Address
〒100-0001 東京都千代田区千代田 1-1-1
東洋鋼業株式会社

品名 Commodity
ステンレス鋼線

規格 Specification
JIS G 4314 SUS304-304

製造番号 Charge No.
E37670

検査番号 Inspection No.
2074803

検査項目 Test Items
重量 Weight, 直径 Diameter, 偏り Ovality, 引張強さ Tensile S, 表面 Surface

化学成分 Chemical composition	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
SUS304	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030
規格	MAX.	MAX.	MAX.	MAX.	MAX.
製造番号	0.07	0.40	1.18	0.030	0.006

規格 Specification	重量 Weight	直径 Diameter	偏り Ovality	引張強さ Tensile S	表面 Surface
検査番号 Inspection No.	KG	MM	MM	N/MM2	
2074803	40.5	+0 -0.015	1.394	0.007 0.000	1750- 2000
2074808	84.0	1.394	0.004	1755	60
2074809	76.3	1.394	0.000	1775	
2074810	86.8	1.394	0.000	1775	
2074811	86.8	1.394	0.000	1788	
2074812	86.6	1.394	0.000	1755	
2074813	86.8	1.394	0.000	1755	
2074814	86.7	1.394	0.000	1755	

701 25000 1.40 240803

Classification of Charge No.

企業K

再調査が困難だったため、配管リングを他社の製品に取替え

- ばね用ステンレス鋼線(JIS G 4314)の製造または加工についてのJISマーク認証を受けている
- ステンレス鋼線の製造に関してISO9001:2015を取得している(有効期限2019年12月19日)
- 鋼線の材料の供給元は企業L

不適合②

使用ステンレスの製造会社の確認不足

使用前検査(3月30日) 材料証明に関する書類

部位		書類名称・発行者	確認事項
ゴム板		出荷証明書 企業D	✓ 材料がNE-403であること
		試験成績書 企業E	✓ JIS K 6404に基づく試験結果が引っ張り強さ1000N/3cm以上、伸びが40%以上であること ✓ JIS K 6404に定める耐熱性の試験に合格していること
配管リング(外・内)		試験成績表 企業K	✓ SUS304または相当品であること
固定バンド	フープ	検査証明書 企業G	✓ SUS304または相当品であること
	スクリュー	検査証明書 企業H	✓ SUS304または相当品であること
	ハウジング	鋼材検査証明書 企業I	✓ SUS304または相当品であること
ガイドリング		鋼材検査証明書 企業I	✓ SUS304または相当品であること

規制庁
「原材料の供給元は？」

原材料の供給元の確認

ミルシート発行者に問い合わせて原材料の供給元を確認した。
他社から調達しているものについてはミルシートに記載された番号からトレーサブル。

発行者	原材料供給元	化学成分値の測定	機械的性質の検査
企業G	企業M ロット番号	企業M	企業G
企業H	企業L HEAT No.	企業L	企業H
企業I	企業I	企業I	企業I

不適合③

使用前検査時の配管からの漏水

自主検査(3/20)

オーバーフロー設定1600mm



満水状態にする



約30分経過後に状態確認

漏えいなし

使用前検査(3/30)

オーバーフロー設定1650mm



設定変更の経緯は後述

満水状態にする



約60分経過後に状態確認

検査要領の記載は「30分以上」

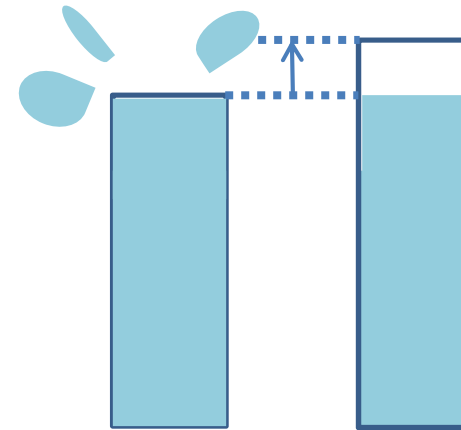
漏えいあり

漏えい



漏えいの原因は？

- ① 設計値を上回るオーバーフロー設定値の変更
厳密に1600mmの水位で検査を実施するために
ポンプを繰り返し操作すると水面が波うち、飛沫が
配管上部から飛び出し、漏えいの判定に支障
→オーバーフロー設定(蛇腹の高さ)を1650mmに
変更し、注水完了後に設定を1600mmに



- ② 配管リングの交換によるゴム板への負荷
1件目の不適合を受けて配管リングを交換する際の負荷は想定
→慎重な取り外し作業・外観検査の上出荷し、
納品後の自主検査では問題なかった

②の傷が①で
悪化？

- ③ ゴム板の断面からのしみ込み
- ④ 蛇腹配管のひだ部分への負荷

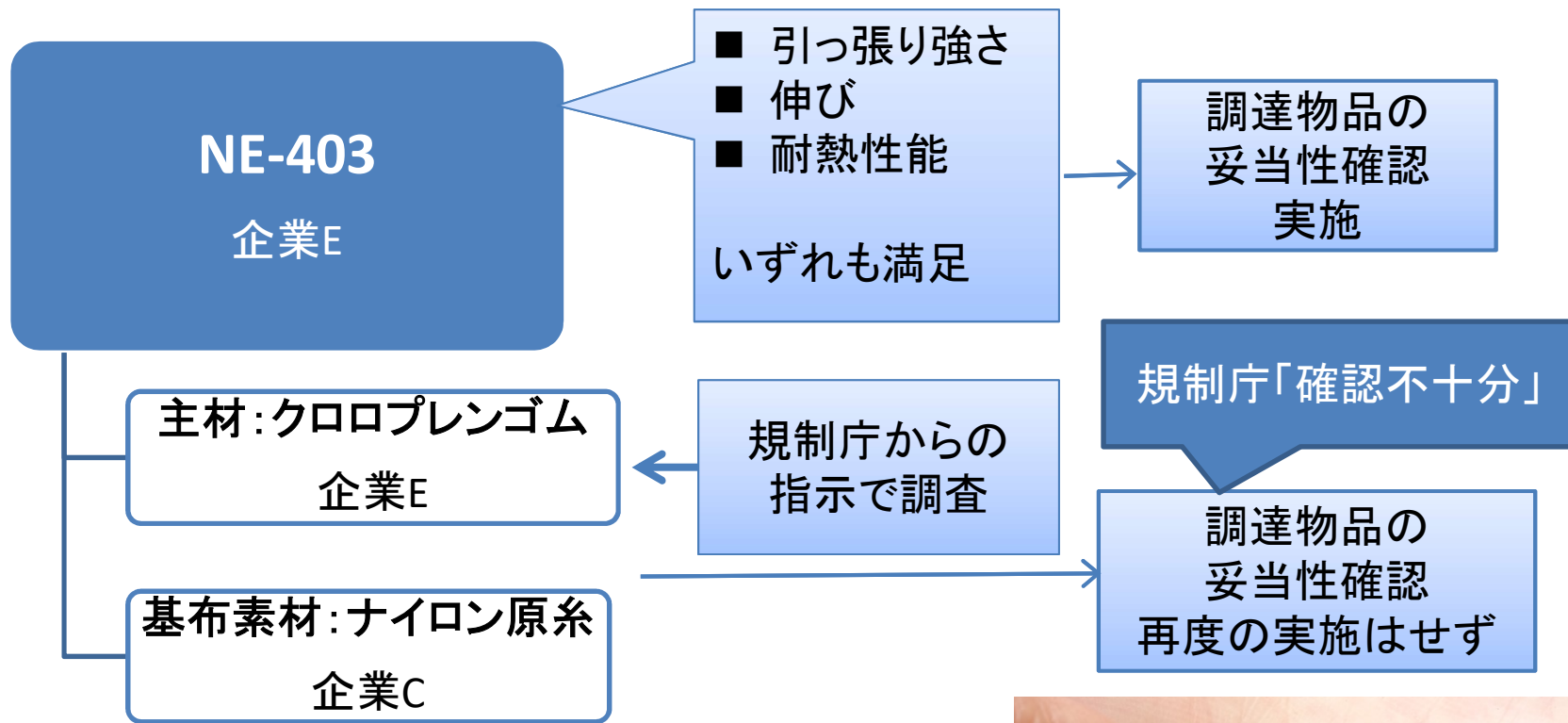
新規製作+しみ込み防止

出荷前検査



- 企業Dの工場にて出荷前検査を実施
- 漏えい検査も実際の使用状況に近い状態で注水し1時間後に状態確認

不適合④
蛇腹管材料の妥当性確認不足



+

追加試験で確認して妥当性を確認

- 引っ張り強さ・伸び → 企業N
- 耐熱性能 → 企業O



まとめ

前述の不適合除去を経て、3度目の使用前検査(5月16日)にて合格した。

- 品質管理に対する規制庁の見解の確認が重要
 - 材料証明に関する書類の発行者の信頼性確認
 - JIS認定取り消し記事: 経済産業省HPのニュースリリース
 - ISO認証有効期限: 企業HPの記載または登録証の写し
 - 原材料の供給元の調査と妥当性確認
 - 材質やその強度が調達物品に必要な要求事項かどうか?

- 出荷前検査
 - 供給者に対し厳密な判定基準での検査を要求する場合、出荷前の工場検査への立会は有効