

5 試験研究炉の建設開始に必要なとなる諸事項の整理

5.1 「もんじゅ」サイトの地理的状況調査

本委託調査においては、もんじゅサイトに試験研究炉を設置する場合の設置場所の地理的状況の調査として、サイトスペースの調査と活断層の概略調査等について調査することが求められている。5.1 項では、5.1.1～5.1.5 に設置場所の活断層等の地質学的観点の調査結果、5.1.6～5.1.9 にサイトスペースの観点から見た試験研究炉の設置可能性の検討結果について述べる。

5.1.1 もんじゅサイト周辺の地質構造と活断層の調査

試験研究用等原子炉施設を設置する場合、「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（第一条の三（試験研究用等原子炉の設置の許可の申請）の第2項第六号）」により、設置サイトの地理的状況に関して、試験研究用等の原子炉施設を設置しようとする場所に関する気象、地盤、水理、地震、社会環境等の状況を調査し、設置許可申請書の説明書として添付することが要求されている。

平成 29 年度の報告書では、もんじゅサイトのサイト立地条件として、もんじゅで実施された原子炉施設の頑強性評価における地震、津波及び外部からの衝撃防止の評価項目（自然現象：洪水、風・竜巻、降水、積雪、火山等）の地理的条件について調査した。本年度の調査では、もんじゅサイトの地理的状況の調査として、地盤と地震及び津波に関するより詳細な状況について、公開文献及び原子力機構から入手した情報を基に調査を行った。調査結果は、以下のとおりである。

(1) もんじゅサイト周辺の地質構造

高速増殖原型炉もんじゅのサイトは、図 5-1 に示すように、福井県敦賀市の敦賀半島北端西側斜面の扇状地に位置する。敦賀半島は、リアス海岸の若狭湾の東側に突き出た半島で、その地質は、産業技術総合研究所の地質図によると、図 5-2 に示すように、白亜紀後期～新生代古第三紀暁新世ダニアン期～始新世ヤプレシアン期（6,600 万年～4,780 万年前）の火成岩（江若花崗岩）の岩体で、一部に玄武岩が貫入した地盤になっている。

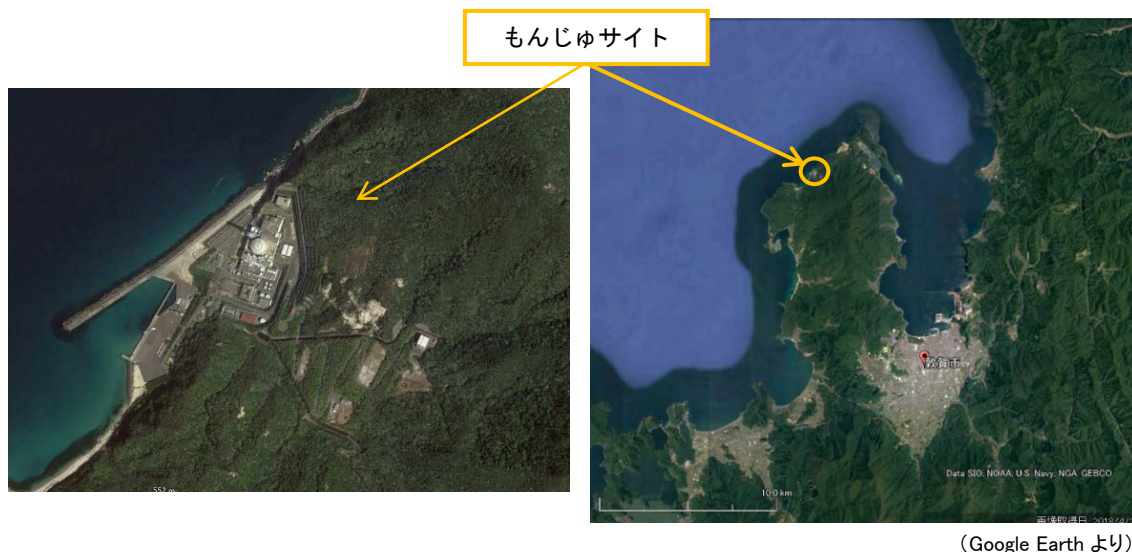


図 5-1 敦賀半島周辺の地形ともんじゅサイト

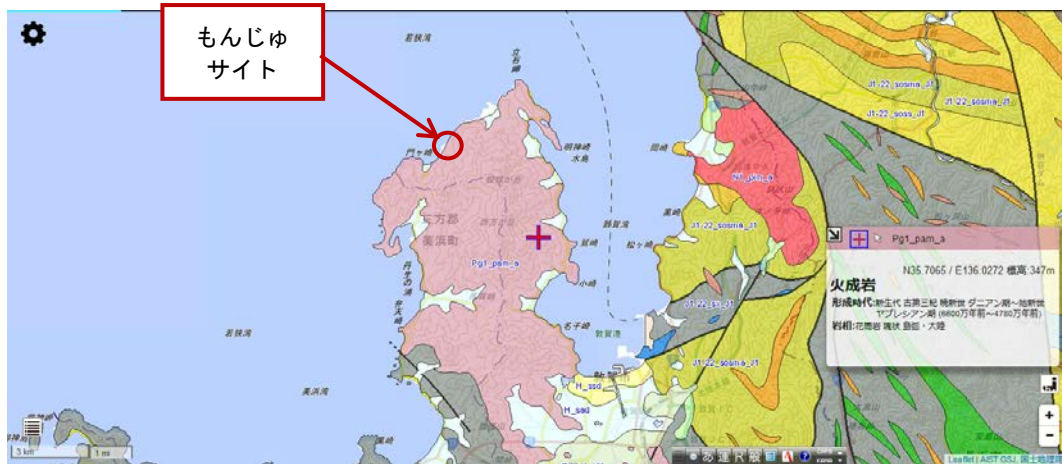


図 5-2 敦賀半島周辺の地質図（産総研の日本シームレス地質図より）

(2) もんじゅサイト周辺の活断層

1) 敦賀半島周辺の活断層

2006年9月に改訂された「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（以下「新耐震指針」という）に従い、敦賀半島を含む若狭湾地区の原子力発電所立地区域の地層について、新耐震指針による耐震安全性評価で考慮すべき活断層の位置、長さ、同時活動性、連続性等について、関係三者（関西電力、日本原電及び原子力機構）の共同作業で再確認・評価^{5.1-1~5.1-4}を行った。その結果、「もんじゅ」から半径30km以内にある活断層は、図5-3に示す13の断層である。

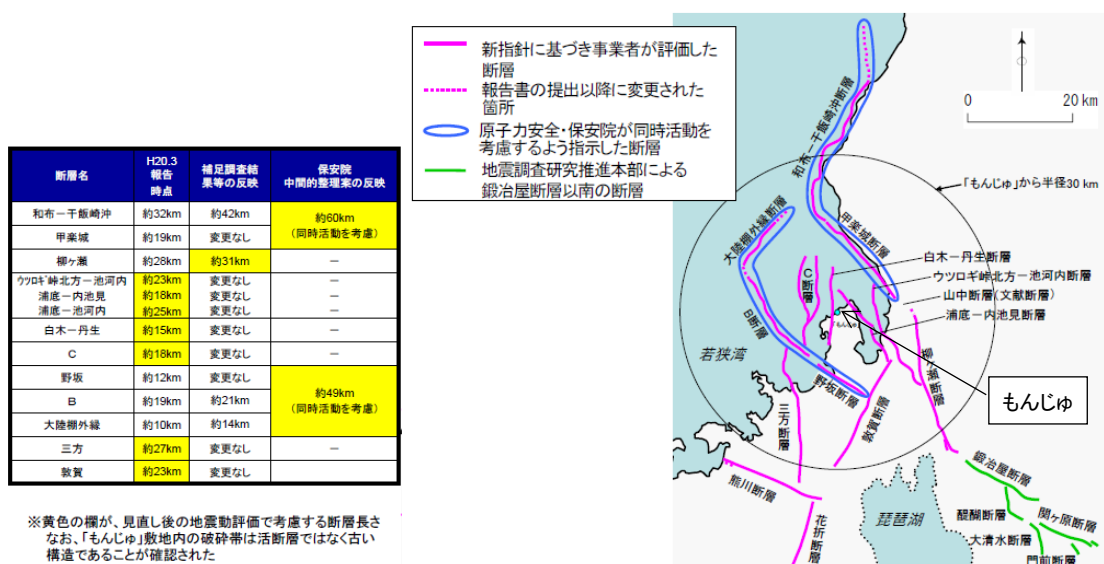


図 5-3 敦賀半島周辺の活断層^{5.1-3), 5.1-5)}

2) もんじゅサイトに影響を及ぼす主な活断層と基準地震動

もんじゅサイト周辺の13の活断層のうち、「もんじゅ」の敷地に大きな影響を及ぼすと考えられる地震（検討用地震）として、五つの断層（C断層、白木-丹生断層、浦底-内池見断層、同時活動性を考慮した和布-干飯崎沖～甲楽城断層、大陸棚外縁～B断層～野坂断層）を対象に、応答スペクトル手法及び断層モデル手法^[注1]によって地震動を評価し、基準地震動Ssを設定した。表5-1に示すこれらの活断層のうち、もんじゅサイトの地震動としては、図5-4に示すように、もんじゅサイト西側にある白木-丹生断層とC断層の地震の影響が大きい。もんじゅサイトに最も近い白木-丹生断層は、約9,000年前に活動したとされる活断層で、東側に約60°傾斜し、もんじゅサイトの地下を通っている断層である。

表 5-1 選定された耐震設計検討用地震^{5.1-5)}

断層名	断層長さ	マグニチュード M
C断層	18km	6.9
白木-丹生断層	15km	6.8(6.9) [※]
浦底-内池見断層	18km	6.9
和布-干飯崎沖～甲楽城断層	60km	7.8
大陸棚外縁～B～野坂断層	49km	7.7

※ 長さが断層幅を下回らないように設定した16.2km（17.3km）から地震規模Mを評価

- ・地質調査結果等を踏まえ、地震動評価での震源断層面の位置、傾斜（いずれも東側に60°）を設定。
- ・今般の検討用地震の見直しにおいて、「白木-丹生断層」も検討用地震として不確かさ（断層上端深さ、アスペリティ配置等）を考慮。

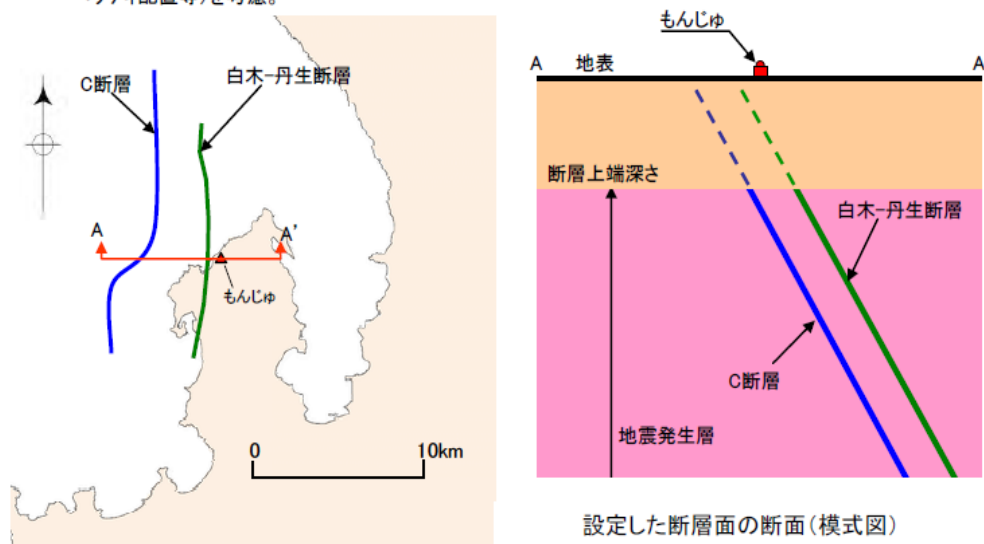


図 5-4 もんじゅサイト地下にある活断層^{5.1-4)}

[注1] 応答スペクトル手法は、過去の地震の規模と震源からの距離と地震による揺れの大きさから導かれる回帰式を用いる方法。断層モデル手法は、震源の断層を詳細にモデル化して地震動を求める方法。詳細は、原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-2015）を参照。

新耐震指針によるもんじゅの基準地震動 S_s は、図 5-5 に示すように、水平方向の周期 0.02 秒の最大加速度値は水平方向 760gal、垂直方向 504gal と評価され、原子炉施設の耐震安全性評価、原子炉建屋基礎地盤の安定性評価、周辺斜面の安定性評価、津波に対する安全性評価が行われた。

試験研究炉をもんじゅサイトに設置する場合の耐震性評価の基準地震動は、もんじゅの場合と同様な手法・モデルで策定することになるが、設置場所が異なることから、解放基盤から設置場所までの地質・地質構造を調査し、その地盤特性と距離を考慮して基準地震動及び建物・構築物設計入力地震動を策定する必要がある。

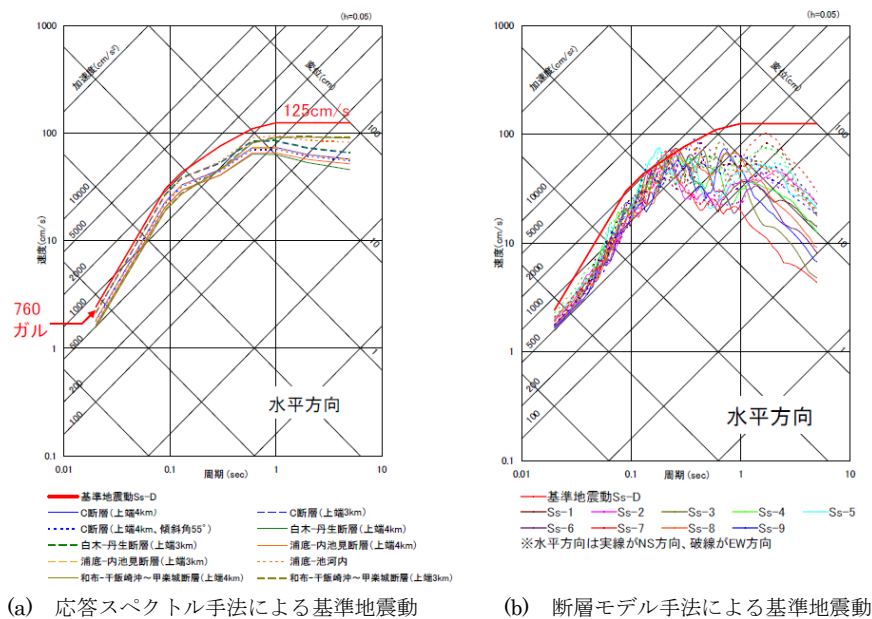


図 5-5 もんじゅサイトの基準地震動 5.1-5)

(3) 敦賀半島西方ヶ岳山地のリニアメント

「近畿の活断層（2000年）」（東京大学出版会）^{5.1-7)}によると、図 5-6 に示すように、敦賀半島西方ヶ岳の山中に南東から北西に向かう線状模様の L-1 リニアメント（活断層確実度Ⅱの断層）^{〔注 2〕}があり、その先にもんじゅサイトに向かう L-2 リニアメントがある。この L-2 リニアメントの北方延長にもんじゅサイトが位置することから、原子力規制委員会の「高速増殖原型炉もんじゅ敷地内破砕帯の調査に関する有識者会合」（平成 25 年 5 月～平成 29 年 3 月）により、もんじゅサイト内破砕帯との関連の調査の一環として、L-2 リニアメントが断層かどうかの調査が行われた。

その結果、「L-2 リニアメント北部及び北方延長には、活断層判断の目安となる後期更新世（約 12～13 万年前）以降に活動した断層の存在を示す確実な証拠は得られず、文献等で指摘される L-2 リニアメントは、差別侵食による侵食地形である可能性が高い」と評価された（詳細なもんじゅサイト内破砕帯の活動性等の評価結果は、5.1.3 と 5.1.4 を参照）。

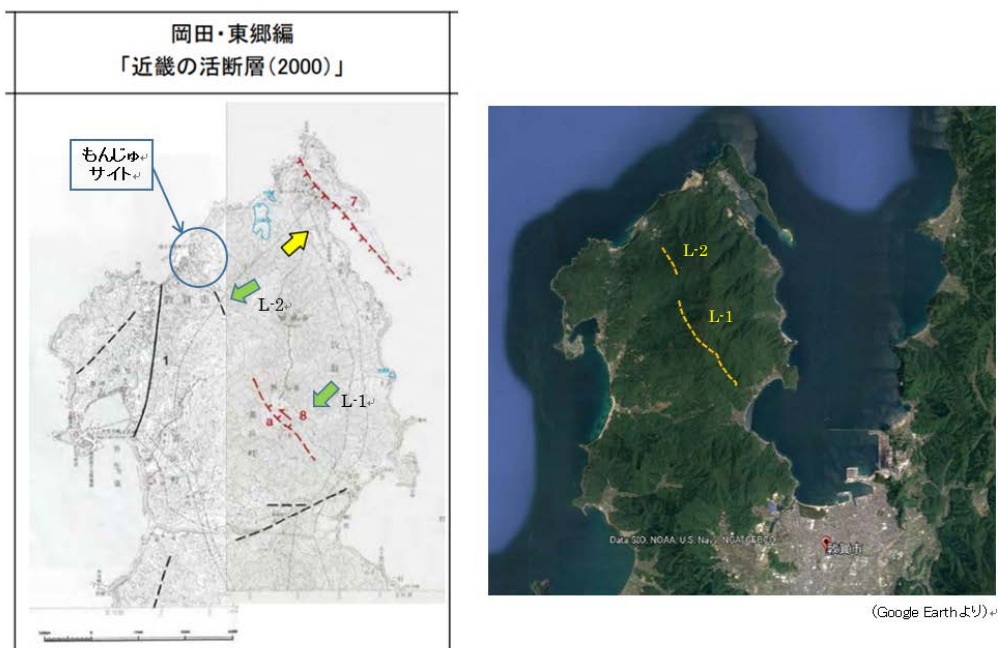


図 5-6 敦賀半島西方ヶ岳南西部の L-1、L-2 リニアメント^{5.1-7)}

[注2] L-1リニアメント (活断層確実度Ⅱの断層)

リニアメントとは、リモートセンシングによる空中写真で地表に認められる、直線的な地形の特長(線状模様)をいう。崖、尾根の傾斜急変部、谷や尾根の屈曲による直線的な地形、土壌や植物の境目などが直線的に現れる部分がこれに当たる。活断層確実度Ⅱの断層とは、断層のうち活動の証拠がやや間接的又は断片的で、活断層であることが推定されるものの、その信頼度がやや劣る断層をいう。

5.1.2 もんじゅサイト内の地質構造

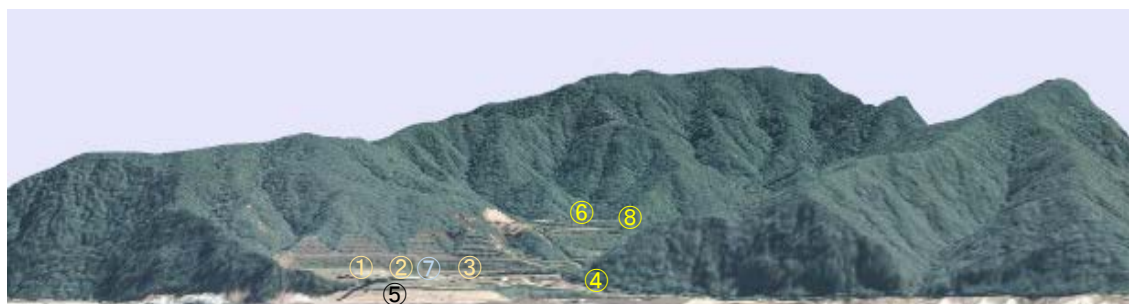
(1) もんじゅサイトの地質構造

高速増殖原型炉もんじゅのサイトは、敦賀半島の基盤を構成する花崗岩岩体の上に、花崗岩が風化し雨水・雪で浸食された土砂(真砂)、岩が割れた礫等が第四紀の後期更新世から完新世にかけて堆積した扇状地に形成された河成段丘上にあり、この段丘上で農耕(稲作等)が営まれていた場所である。

サイトの敷地面積は約 108 万 m^2 あり、もんじゅの原子炉建屋は扇状地の傾斜地を掘削した標高約 5m の花崗岩の岩盤上に設置され、その周りに原子炉補助建屋、タービン建屋等が配置されている。もんじゅ建設時に掘削した土石(約 230 万 m^3)により、海岸部を埋立てして④荷揚岸壁と⑤防波護岸部を造成し、また東側山斜面の河成段丘に盛土して⑥山側資材置場を造成した。図 5-7 にもんじゅサイトの外観、図 5-8 にもんじゅサイトの地質分布、図 5-9 に山側盛土斜面の下に埋もれている河成段丘の分布を示す。もんじゅサイトの⑥山側資材置場、⑦もんじゅ原子炉施設及び⑧焼却炉場所の地盤となっている低位河成段丘(fL1, fL2)の堆積層の層厚は約 10~20m で、この層に火山灰粒子(AT 起源粒子、K-Ah 起源粒子^[注3])が含まれていることから、堆積開始は約 3

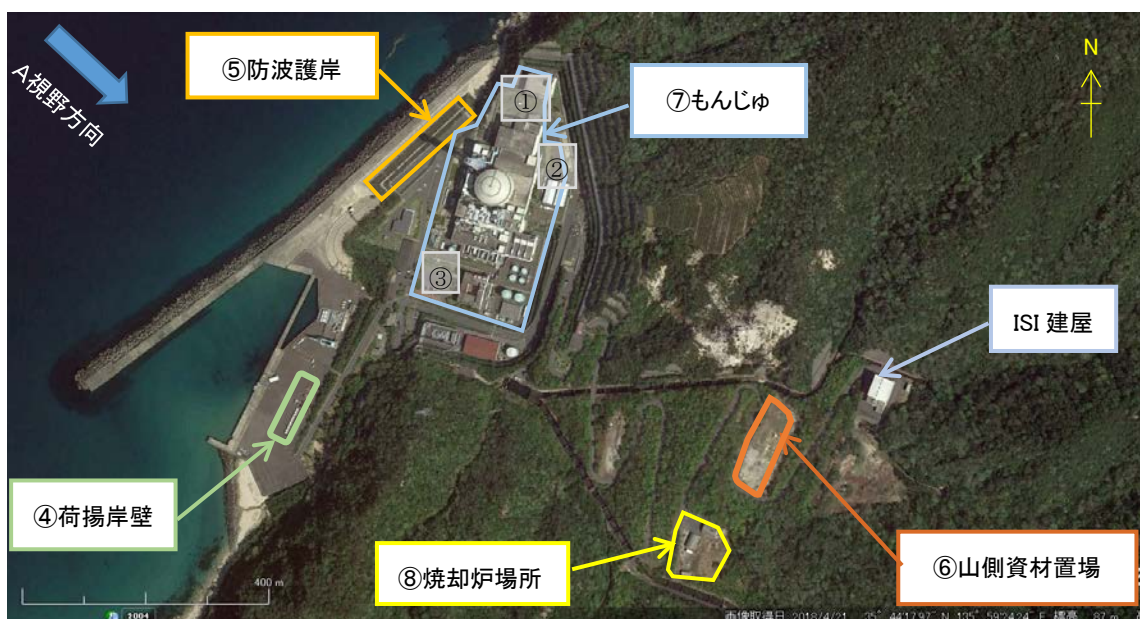
万年より前と考えられる。

もんじゅサイトに試験研究炉を設置する場合の設置場所としては、図 5-7 に示す①～⑧の箇所が考えられる。⑧焼却炉場所は、もんじゅ建設時の掘削土石が盛土されていない場所で、現在、一般焼却炉と資料庫が設置され使用されている。この場所は、平成 29 年度報告書では設置候補場所に入れていなかったが、これらの施設を他の場所に移設可能な場合は、⑧焼却炉場所も試験研究炉の設置場所として候補になり得るとして追加した。



海水面レベルでA視野方向から見たもんじゅサイト

(建物は入っていない図。国土地理院より)



試験研究炉の設置検討場所

(Google Earth より)

図 5-7 もんじゅサイトと試験研究炉の設置検討場所

[注 3] AT 火山灰は、約 2.6～2.9 万年前の始良-丹沢噴火降灰物。K-Ah 火山灰は、約 7,300 年前の鬼界-アカホヤ噴火降灰物。

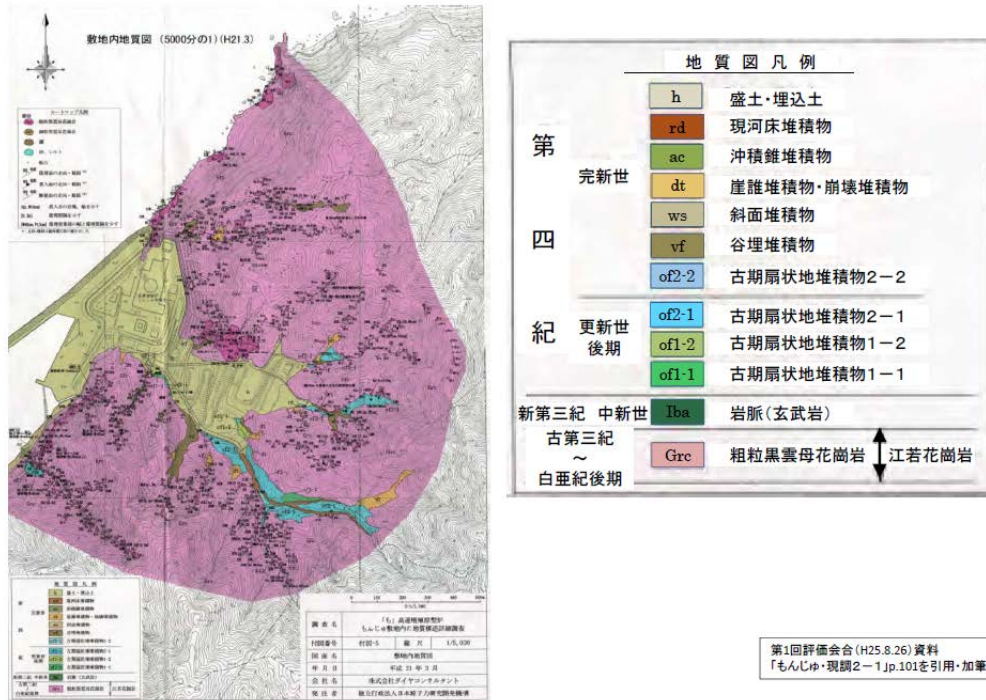


図 5-8 もんじゅサイトの地質 5.1-9)



図 5-9 もんじゅサイトの山側斜面の河成段丘 (盛土前) 5.1-9)

(2) 試験研究炉設置場所の周辺斜面の形状と地質断面

もんじゅサイトの試験研究炉の設置場所として検討した④、⑥、⑦及び⑧の場所の周辺には、図 5-10 のもんじゅサイト起伏図に示すように幾筋もの山の尾根斜面がある。試験研究炉を設置する場合、周辺斜面がすべり崩壊のおそれがない斜面であることが求められている。図 5-11 に各設置場所の尾根斜面の勾配形状を示す。また、図 5-12 に⑦もんじゅ原子炉建屋背後斜面の地質断面、図 5-13 にもんじゅ山側盛土斜面の地質断面を示す。

これらの斜面のすべり安定性評価のためには、斜面の形状、地質、地下水位等を調査し、すべり安全率（動的すべり安全率は 1.2 以上、静的すべり安全率は 1.5 以上）を評価する必要がある。

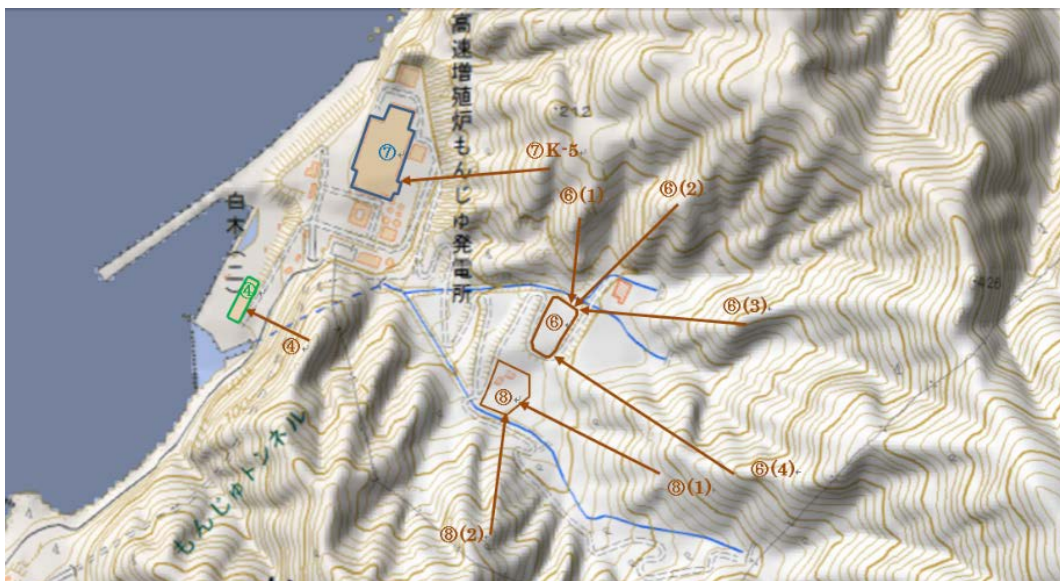


図 5-10 もんじゅサイトの起伏図と試験研究炉設置検討場所の周辺斜面

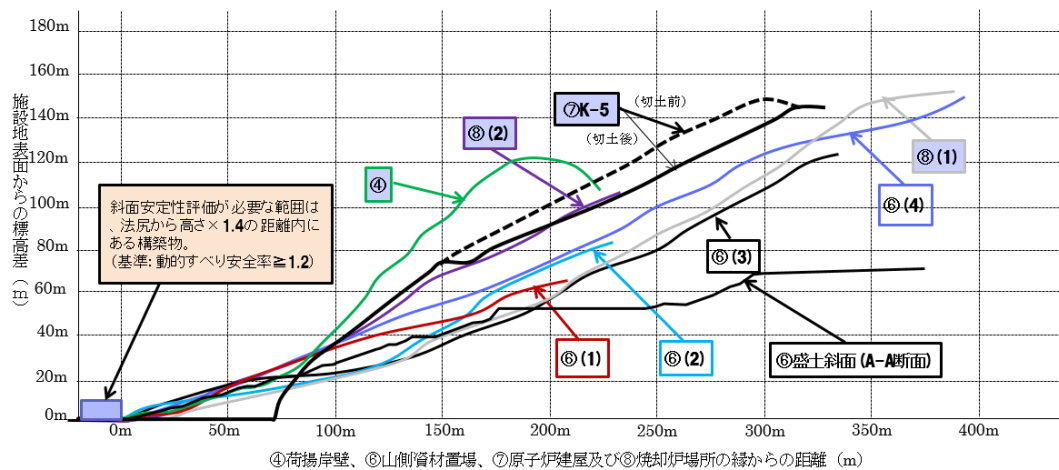


図 5-11 ④荷揚岸壁、⑥山側資材置場と⑧焼却炉場所、及び⑦原子炉建屋背後斜面の斜面形状（施設境界と斜面法尻の距離を合わせて一つの図にしたもの）

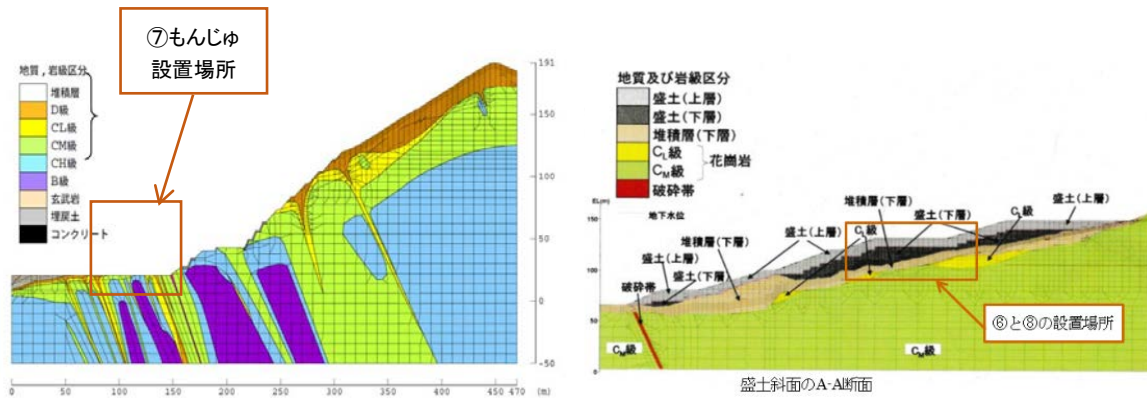


図 5-12 もんじゅ原子炉建屋背後斜面の地質断面 5.1-6) (左図)

図 5-13 もんじゅ山側盛土斜面の地質断面 5.1-5) (右図)

(3) もんじゅサイト内の土砂災害危険箇所

国土数値情報土砂災害危険箇所（平成 22 年度）の地図情報によると、図 5-14 に示すように、もんじゅサイトの⑦もんじゅ設置場所の背後斜面は、急傾斜地崩壊危険箇所と急傾斜地崩壊危険区域となっている。この背後斜面は、平成 24 年度～26 年度に実施した原子炉建屋背後斜面耐震裕度向上工事（後述、図 5-40）により背後山斜面の表土を削り取り、すべり安定性を向上させている。④荷揚岸壁は急傾斜地崩壊危険区域に近接した場所である。

⑥山側資材置場と⑧焼却炉場所は、急傾斜地崩壊危険区域の指定区域外となっている。また、もんじゅサイトには土砂災害警戒区域はなく、土石流危険渓流と土石流危険区域及び地滑り危険箇所と地滑り危険区域になっている場所はない。

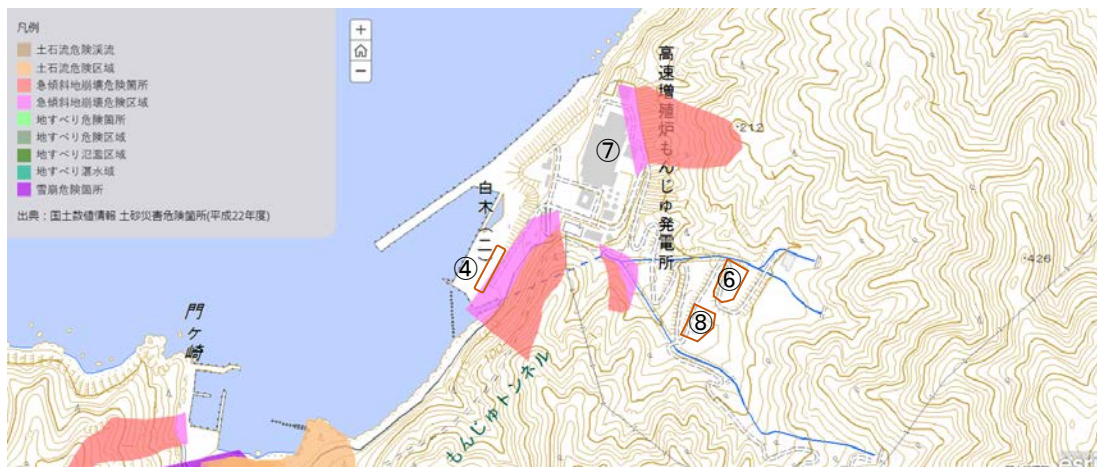


図 5-14 もんじゅサイトの土砂災害危険区域

(「土砂災害危険箇所、警戒区域・地質図-ArcGIS」より)

5.1.3 ⑦もんじゅ原子炉施設場所の地理的状況の調査

試験研究炉の将来的な設置場所として、もんじゅの廃止措置後（約30年後）の跡地に高出力試験研究炉を設置するケースも想定し、現在、もんじゅ原子炉建屋、原子炉補助建屋等が設置されている⑦もんじゅ原子炉施設場所の地理的状況について調査した。もんじゅ原子炉施設が設置されている基礎地盤は堅牢な花崗岩の岩盤であるが、図5-15に示すように、基礎岩盤に幾つかの破砕帯（a～e 破砕帯）がある。この破砕帯が、もんじゅサイトの西側にある活断層の白木一丹生断層の影響を受けて活動する破砕帯かどうかの調査が、原子力規制委員会の「もんじゅ敷地内破砕帯に関する有識者会合」^{5.1-9)}の下に、平成25年5月から29年3月にかけて行われた。

有識者会合の結論としては、「基礎岩盤にある最も大きなa破砕帯を含めて、少なくとも後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動はないと判断する」との評価であるが、今後の課題として「a破砕帯の延長部の表土剥ぎ取り調査等のデータで活動性はないと判断されるが、a破砕帯以外の破砕帯については、形成時期や活動性に関して詳細な剥ぎ取り調査・検討が行われていない。そのため、その他の破砕帯についても活動性を検討すること、原子炉建屋付近の破砕帯の活動性評価のために広域応力場や力学的モデルによる破砕帯形成過程の検討をすること、白木一丹生断層と敷地内破砕帯との地質構造上の関連について力学的解析を行い敷地内破砕帯の活動性を検討すること、もんじゅ敷地内破砕帯の更なる評価を進める上でデータを追加、拡充すること等」の課題が課せられている。

このため、耐震重要施設を含む高出力試験研究炉を⑦もんじゅ原子炉施設場所の跡地に設置する場合は、これらの課題をクリアする調査、解析等を行う必要がある。

以下に、もんじゅ原子炉施設の地盤について、原子力機構が行った調査と原子力規制委員会有識者会合で取りまとめた調査報告書の概要を示す。

- 原子炉建物基礎岩盤には複数の破碎帯が分布する。
- これらの破碎帯のうち、主な破碎帯(粘土脈の幅3cm以上のもの)の長さは、概して20~30mであり、不連続な分布を示す。
- 最長のa破碎帯は長さ約70mで、北端が確認されていない。
- 走向は北北東-南南西系と南北系があり、多くは東へ高角度傾斜する。



事前会合(H25.6.13)資料
「もんじゅ・現調1-3」p.16を引用

原子炉建物基礎岩盤
における破碎帯分布図

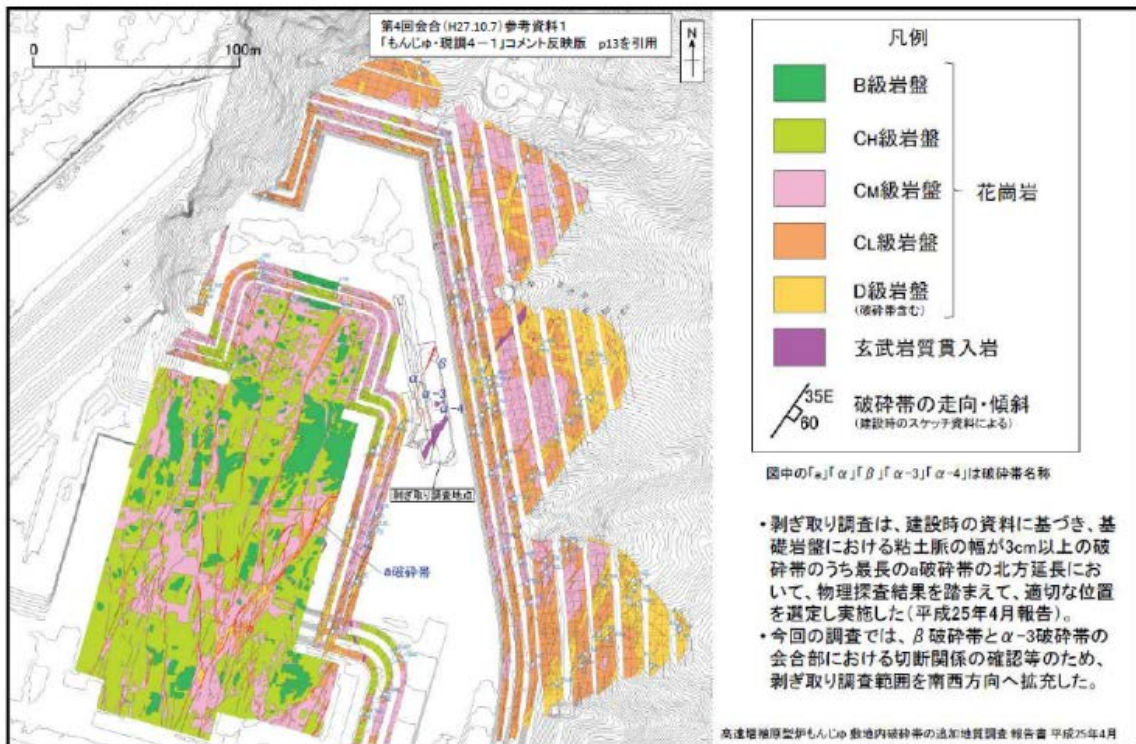


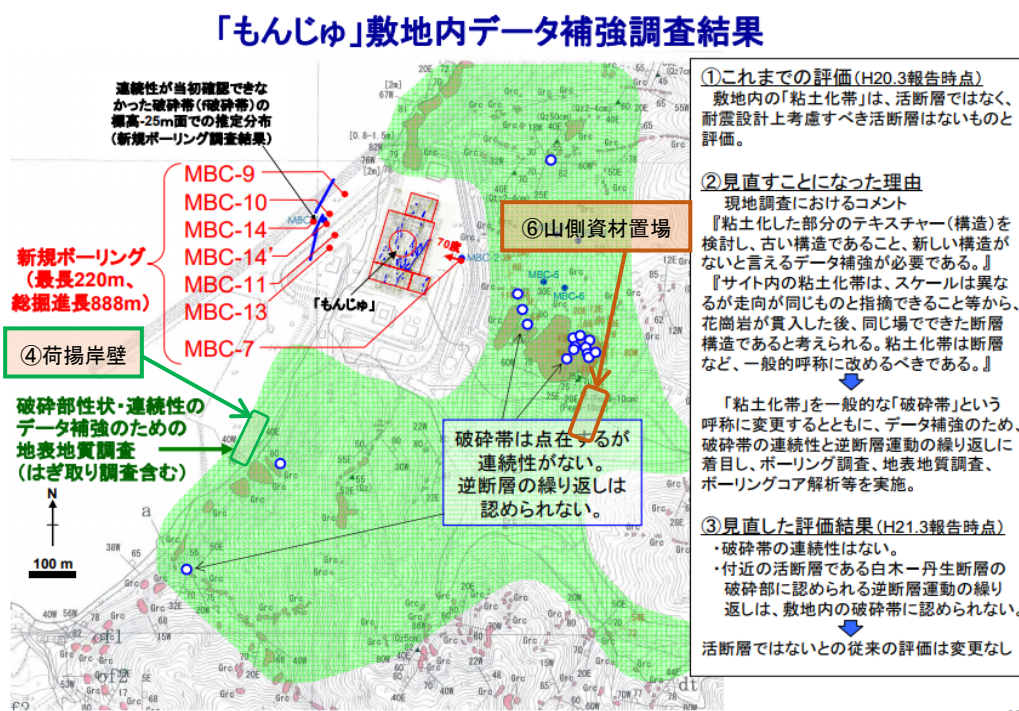
図 5-15 もんじゅ原子炉施設基礎岩盤の破碎帯の位置 (5.1-9)

(1) もんじゅ原子炉施設の基礎地盤の地理的状況

もんじゅ原子炉施設の地盤については建設時に詳細な地盤調査が行われ、原子炉施設の基礎岩盤（花崗岩岩盤）にa～eの破碎帯があり、防波護岸部にf 破碎帯があることが確認されている。原子力機構は、2006年に改訂された新耐震指針の対応として、もんじゅ敷地内破碎帯について図5-16に示すように補強地質調査を行なった。その結果、原子力機構は、もんじゅサイト内にはa～eの破碎帯の他、周辺露頭部にも破碎帯が点在するが、これらの破碎帯は連続性がないこと、付近の活断層である白木-丹生断層の破碎部に認められる逆断層運動の繰り返しは敷地内の破碎帯に認められないことから、もんじゅサイト内の破碎帯は活断層ではないと評価した。

その後、2011年3月の東京電力福島第一原子力発電所事故を受けて「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（設置許可基準規則）及び同規則の解釈等が策定され、原子力規制委員会から、2012年8月にもんじゅ敷地内にある破碎帯が設置許可基準規則に規定する「将来活動する可能性のある断層等」であるかどうか調査するよう指示があった。

これを受けて、原子力機構は、もんじゅサイト内にある破碎帯について、図5-17に示す②～⑦の場所で破碎帯剥ぎ取り調査、ボーリング調査、地表踏査、物理探査等を行い、破碎帯の活動性、周辺の活断層との関連性を調査し、原子力規制委員会もんじゅ敷地内破碎帯の調査に関する有識者会合に報告した。



23

図 5-16 もんじゅサイト内破碎帯の調査結果 5.1-3)

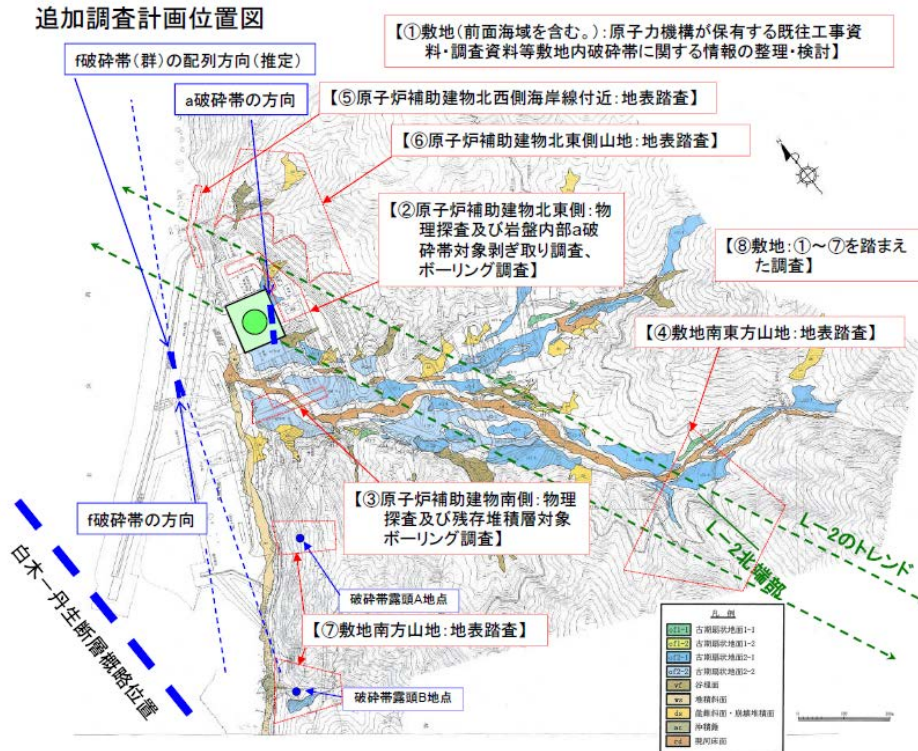


図 5-17 もんじゅサイト内破砕帯の追加調査位置 5.1-8)

(2) もんじゅ原子炉施設基礎地盤の破砕帯に関する有識者会合の評価

上記の原子力機構の調査結果に対する有識者会合の評価は、「活断層である白木-丹生断層と敷地内破砕帯 (a 破砕帯の延長上の α 破砕帯及び β 破砕帯) とを比較すると、破砕部の特徴は大きく異なる。このことから、敷地内破砕帯の断層岩の形成は、後期更新世の活動を示す白木-丹生断層の破砕帯の形成より古い時代であると考えられる。a 破砕帯の南方延長では、AT降灰以降 (約2.6~2.9万年前) に形成されたと考えられる低位段丘面に変位地形が認められない。また、建設前にa 破砕帯の南方延長付近で行われたトレンチ調査においても、基盤に認められる破砕帯の上位に分布する低位段丘堆積物 (AT降灰以降の堆積物) に、顕著なずれや変形構造は認められない。したがって、a 破砕帯の南方延長においては、少なくともAT降灰以降に活動した破砕帯は存在しないと判断する。この判断は、a 破砕帯北方延長部での剥ぎ取り調査箇所における評価と整合性がある。以上のことから、原子炉建屋付近のa 破砕帯は、少なくとも後期更新世以降の活動はないと判断される。」との評価である。その他のb~e 破砕帯についても活動性はないと判断されるとの評価であるが、今後の課題として、これらの破砕帯の活動性を評価するためデータの追加・拡充等が求められている^{5.1-9)}。

5.1.4 ④荷揚岸壁と⑥山側資材置場及び⑧焼却炉場所の地理的状況の調査

試験研究炉の設置場所として、⑦もんじゅ原子炉施設跡地の他に、④荷揚岸壁と⑥山側資材置場及び⑧焼却炉場所が考えられる。図 5-18 と図 5-19 に示すように、④荷揚岸壁は、もんじゅサイトの西側を通る白木-丹生断層から約 500m の位置にある。また、⑥と⑧は、L-2 リニアメントの北方延長上にある。これらの場所の地盤状況について、もんじゅ敷地内にある破碎帯と白木-丹生断層及び L-2 リニアメントとの関連性に関する原子力規制委員会の有識者会合による調査の評価結果^{5.1-9)}は、次のとおりである。

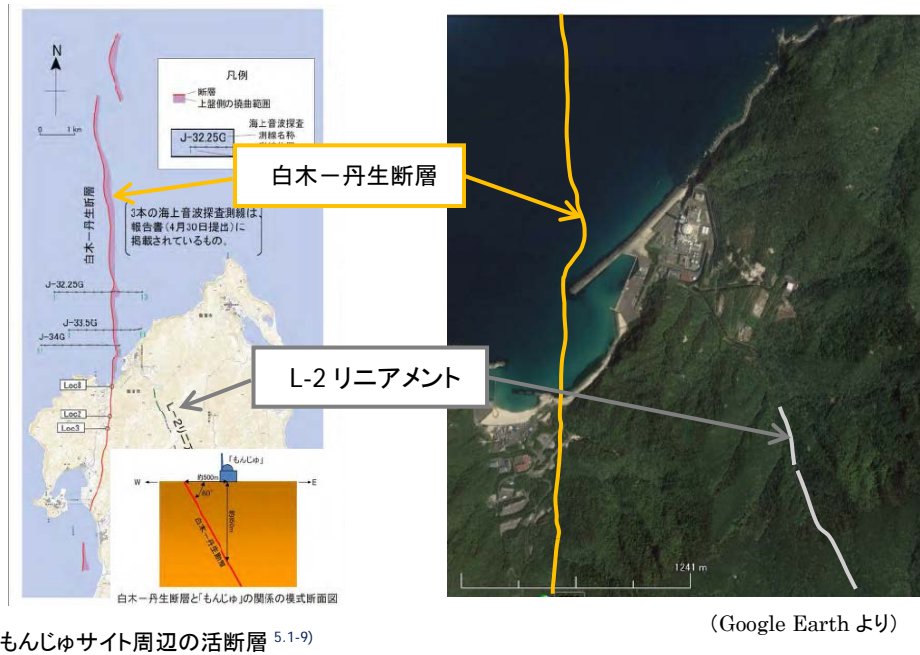


図 5-18 もんじゅサイト西側を通る白木-丹生断層（活断層）

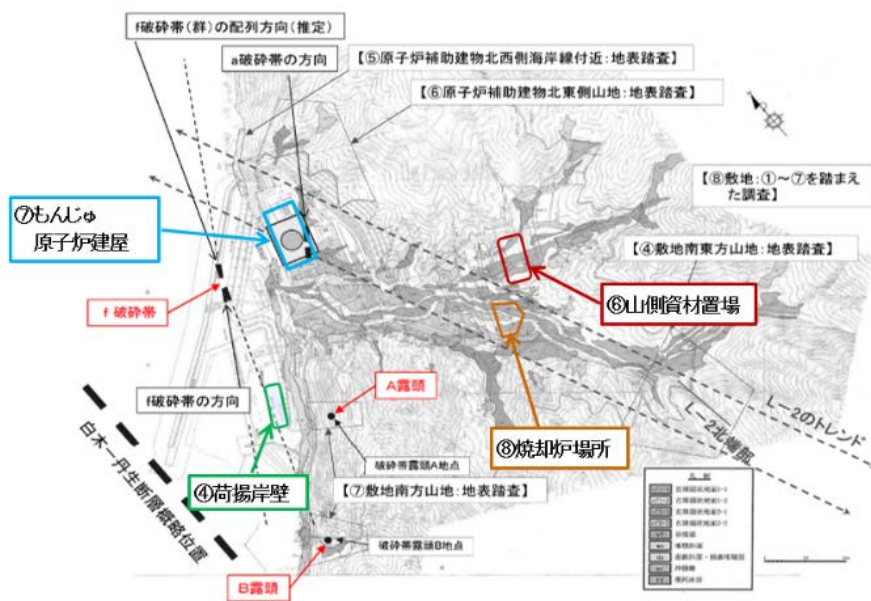


図 5-19 もんじゅサイトの破碎帯と白木-丹生断層及び L-2 リニアメント北端部 5.1-9)

(1) ④荷揚岸壁付近

有識者会合の調査結果では、「白木一丹生断層の活動の影響が、同断層の東側（断層上盤側）に、一定の範囲（0.2～0.3km）まで及んでいることは確かと判断する。白木一丹生断層の活動による変形の影響範囲は、もんじゅ敷地内には及んでおらず、現時点では、白木一丹生断層の活動の影響が、もんじゅ敷地内に及んで敷地内破碎帯が後期更新世以降に活動したと考える証拠は認められないと判断する。」となっている。

しかしながら、④荷揚岸壁の北側延長にf 破碎帯があり、南側延長の露頭（B）に破碎帯がある。有識者会合からの今後の課題として、「白木一丹生断層は海域で屈曲していて、L-2リニアメント北方の山地／段丘境界の延長は、屈曲部の端につながる可能性がある。また、その近傍のf 破碎帯とB露頭の破碎帯の連続性や沿岸部における地下地質構造の詳細が不明のままである。L-2リニアメントの北方延長の存在の可能性を検討するためにも、白木一丹生断層の屈曲部周辺の詳細な三次元的形状やL-2リニアメントとの関係、f 破碎帯の連続性等を検討すること。」が要求されている。

したがって、試験研究炉を④荷揚岸壁に設置する場合の検討課題として、荷揚岸壁の地盤に白木一丹生断層と連動する破碎帯がないかの調査が必要である。合わせて5.1.5に示す津波対策も必要である。

(2) ⑥山側資材置場と⑧焼却炉場所付近

⑥山側資材置場と⑧焼却炉場所は、図5-19に示すように、L-2リニアメントの北方延長上（L-2のトレンド）にある。この場所の地盤調査として、図5-20に示す箇所のボーリング調査が行われている。その幾つかのボーリングコア、柱状図に破碎帯模様の割れが見られる。また、図5-21に示すように、⑧焼却炉場所の南側沿いの付替え水路に沿った山地／段丘境界にある露頭に破碎帯が見られる（図5-21の下半球等積投影図中の赤印箇所）。これらのことから⑥山側資材置場と⑧焼却炉場所の地盤には、破碎帯がある可能性がある。

L-2リニアメントに関する有識者会合の調査結果では、「山地／段丘境界（L-2リニアメント北西延長）の付近で行われた露頭の剥ぎ取り調査では、基盤を覆う堆積物に変位・変形を及ぼす断層は存在していない。ただし、断層が山地／段丘境界よりも東側に分布する低位段丘堆積物下を伏在している可能性も否定できない。また一般に、当該地点のような巨礫を含む土石流堆積物からなる低位段丘面では、初生的に起伏が大きいため、地形に基づいて断層の有無を把握することは難しい。」としている。全体評価として「L-2リニアメント北部及びその延長部には、後期更新世以降に活動した断層は存在せず、文献等で指摘されるL-2リニアメントは、差別侵食による侵食地形である可能性が高いと判断する。」とし、今後の課題として「白木一丹生断層とL-2リニアメントの関係に関する詳細な解析、もんじゅ敷地内破碎帯の更なる評価を進める上でデータを追加・拡充すること。」としている。

試験研究炉を⑥山側資材置場又は⑧焼却炉場所に設置する場合は、原子力規制委員会の「敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド」に従い、その設置位置の地盤に原子炉施設の設置に影響する活動性の破碎帯がないか、⑧焼却炉場所南側の山地／段丘境界東側の低位段丘下に断層がないか等を調べる地質調査が必要である。

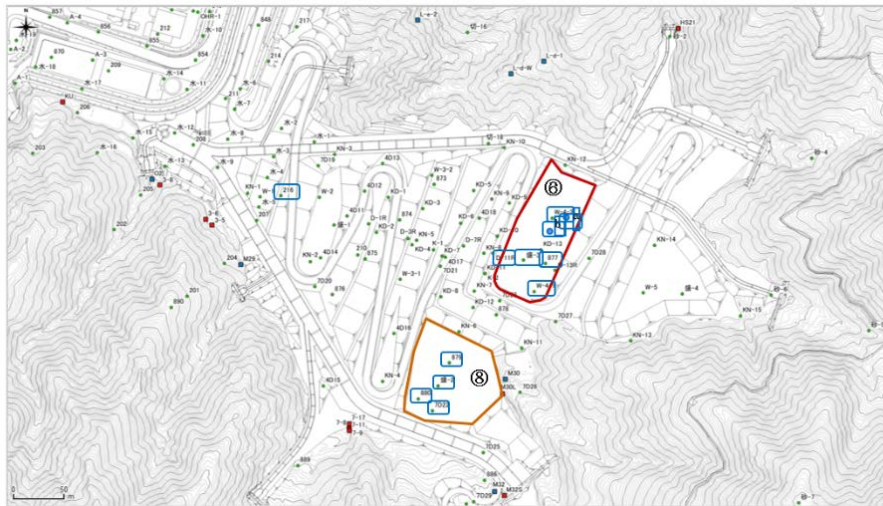


図 5-20 ⑥山側資材置場と⑧焼却炉場所のボーリング位置（青枠の位置）

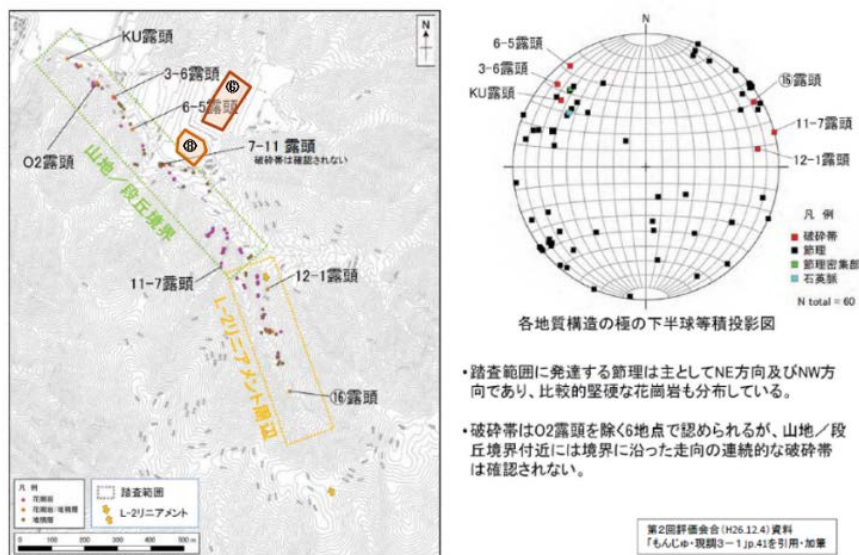


図 5-21 ⑧焼却炉場所南側の山地／段丘境界の破碎帯の分布^{5.1-9)}

5.1.5 もんじゅサイトの津波の評価

原子力機構が実施したもんじゅの④荷揚岸壁付近の津波高さの評価^{5.1-10)}によると、新規規制基準への適合性が確認された近隣の軽水炉の基準津波の波源を適用し、もんじゅ敷地の港湾形状（港湾奥の取水口に向かって狭まるV字型の形状）及び標高を考慮した津波評価を実施した。この結果、満潮位も考慮した津波高さは、敷地前面で最大で8.8mの水位と評価された。図5-22に最高水位分布図を示す。

現在の④荷揚岸壁は海水面からの高さが約 5m であることから、試験研究炉を④荷揚岸壁に設置する場合は、津波が試験研究炉の敷地高さに到達しないように、EL+約 10m まで盛土して嵩上げした敷地とし、敷地回りに防潮堤、浸水防止設備、津波警報装置を設置する必要がある。

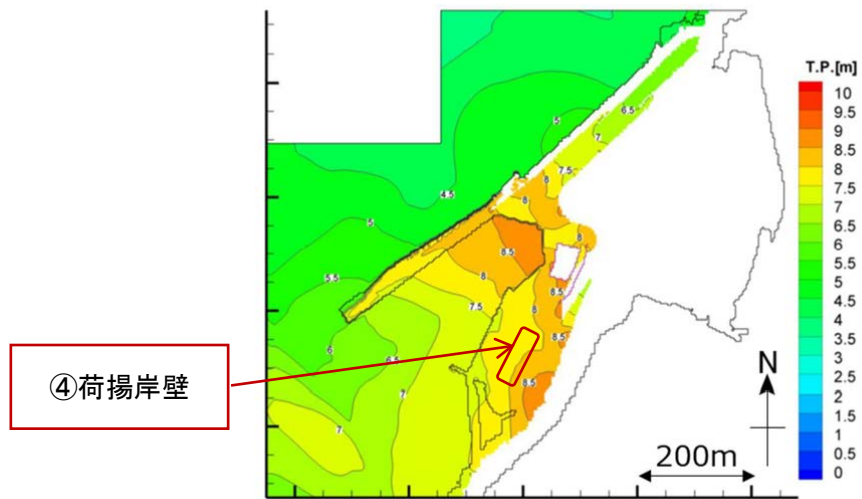


図 5-22 もんじゅサイトの津波評価 5.1-10)

5.1.6 サイトスペースから見た試験研究炉の設置可能性の検討

(1) 設置可能性の検討方法

もんじゅサイトに試験研究炉を設置する場所としては、先述図 5-7 に示したある程度の広さの平坦な場所がある①～⑧の場所のうち、④荷揚岸壁、⑥山側資材置場、⑦もんじゅ原子炉施設跡地及び⑧焼却炉場所が考えられる。これらの場所に試験研究炉を設置可能かどうかの判断には、試験研究炉施設が必要とする敷地面積（スペース）が取れること、原子炉施設を設置可能な安定した支持力のある地盤であること、設置場所確保のための土木工事費等が重要な要件である。

現在、もんじゅサイトに設置すべき試験研究炉に対する利用者側のニーズ調査、国内外の研究炉の動向等の調査を行っているところであり、設置する試験研究炉の機能・スペック（原子炉出力、主要施設の配置・寸法等）及びその設置に必要な敷地スペースについては、現時点では未定である。

この状況下において、平成 30 年度の調査においてサイトスペースから見た試験研究炉の設置可能性の検討を行う方法として、以下のとおり、もんじゅサイトに設置する試験研究炉の主要施設及び付属施設の配置と寸法及び設置場所について、既設の試験研究炉施設を参考に想定（暫定設定）をして設置可能性に関する調査・検討を行うこととした。今後、設置する試験研究炉が選定され、施設の具体的なスペック、必要な設置スペース等が見えた段階で、設置場所の検討・見直しをする必要がある。

(2) 想定する試験研究炉の設置スペースと設置可能性の検討概要

もんじゅサイトに設置する試験研究炉については、後述の試験研究炉のケーススタディに示されている臨界実験装置、低出力炉（2MW 未満*）、中出力炉（2MW 以上～20MW*）、スペクトルシフト炉、及び高出力炉（20MW 以上*）の 5 ケースが検討されている。これらの具体的な原子炉施設と必要敷地スペースは未定であるため、本検討では、既設の臨界実験装置、低出力炉、中出力炉及び高出力炉の試験研究炉施設の施設の大きさ・設置スペースを参考とし、もんじゅサイトの①～⑧の設置場所のスペースとの比較を行った。参考とした各ケースの既設研究炉は、次のとおりである。

* 原子炉等規制法での水冷却型研究炉の低出力炉の出力は 500kW 未満、中出力炉は 500kW 以上～10MW 未満、高出力炉は 10MW 以上～50MW 以下の区分であるが、ここでの低出力炉は 2MW 未満、中出力炉は 2MW 以上～20MW 未満と区分した。

1) 臨界実験装置

既設の臨界実験装置の例として、KUCA（3 種類の臨界炉心を有する原子炉と加速器を備えた大型臨界集合体実験装置：100W）、FCA（高速炉臨界実験装置：2kW）、STACY（定常臨界実験装置：200W）、NCA（軽水炉燃料炉心の臨界実験装置：200W）等がある。本設置スペースの検討では、NCA を参考とした。図 5-23(a)に NCA の施設（敷地面積：約 1,200m²）を示す。図 5-23 に示す④荷揚岸壁のスペース（EL+10m の盛土上面積：約 3,000m²）に同図(a)の NCA 相当の臨界実験装置はスペース的に設置可能であるが、5.1.4(1)と 5.1.5 に述べたように津波対策等が必要である。

2) 低出力炉

既設の低出力研究炉の例として、UTR-KINKI（近畿大学原子炉：1W）⁵⁻¹⁻¹¹、TTR-1（東芝教育用原子炉：100kW）等がある。ここでは、UTR-KINKI（敷地面積：約 2,600m²）と TTR-1（敷地面積：約 3,500m³）を参考とした。これらの原子炉施設を図 5-23(b), (c)に示す。図 5-23 に示すように、④荷揚岸壁に UTR-KINKI 相当及び TTR-1 相当の研究炉の設置は配置上の合理化等が可能であればスペース的に可能性がある。

また、炉物理実験と教育訓練を兼ねた臨界実験装置（NCA 相当）と原子炉での実体験を含めた教育訓練と中性子利用実験を行う低出力炉（TTR-1 相当）及びその附属設備を組み合わせた試験研究炉施設の配置と敷地スペース（約 12,000m²）を想定し、この試験研究炉施設を⑥山側資材置場～⑧焼却炉場所に設置する場合の設置可能性について検討した。この 2 施設の併設設置を想定した場合、現状の⑧焼却炉場所（約 85m×70m=6,000m²）ではスペースが不足するが、図 5-25 に示すように、⑥山側資材置場側の斜面を一部削って敷地スペースを約 150m×80m に拡張することにより設置できる可能性がある。また、この試験研究炉（低出力研究炉＋臨界実験装置）を⑥山側資材置場に設置する場合も検討した。この場合は、現状スペース（約 130m×54m=7,000m²）を約 150m×98m に拡張することにより設置できる可能性があるが、盛土を取り除くための土木工事が大きくなる（詳細は、5.1.7 を参照）。

3) 中出力炉

既設の中出力研究炉としては、KUR（京都大学原子炉：5MW）⁵⁻¹⁻¹²がある。この研究炉施設は、原子炉室（原子炉建屋）と原子炉棟は隣接して設置されているが、研究棟、廃棄物処理棟、廃棄物倉庫、使用済燃料長期貯蔵建屋、工作棟等の研究炉施設の運転・施設維持、研究活動に必要な附属施設は敷地内に離れて設置されているので、研究炉施設（原子炉建屋と附属施設）としての KUR 相当の必要最小スペースは個々のデータを積み重ねて評価する必要がある。また、海外の中出力研究炉として、HOR（デルフト工科大学炉：2MW）、MITR（マサチューセッツ工科大学炉：6MW）等があるが、原子炉建屋と附属施設を含めた研究炉施設の設置スペースは不明である。

このため、もんじゅサイトにおける設置スペースから見た中出力研究炉の設置可能性の検討では、KUR の原子炉建屋及び附属施設の大きさを Google Earth の定規ツールを使用して読み取り、原子炉建屋を中心に他の附属施設をコンパクトに配置することを想定した。中出力試験研究炉の原子炉建屋外径は KUR（28m^φ）と JRR-3（約 33m^φ）の中間的な大きさの 30m^φと設定し、附属設備は KUR の附属施設と同等の大きさを想定（詳細は表 5-4 を参照）すると、必要な敷地面積は約 21,000m²となる。

この中出力試験研究炉施設を⑥山側資材置場に設置する場合の設置可能性を検討した結果、図 5-26 に示すように、想定した中出力試験研究炉を⑥山側資材置場に設置する場合は、現状の⑥山側資材置場の面積（約 130m×54m=7,000m²）では不足する。このため、⑥山側資材置場の周囲盛土を削って長さ（南北方向）を約 130m→150m、幅（東西方向）を約 54m→115m まで拡張し、かつ使用済燃料長期貯蔵施設と第 2 固体廃棄物倉庫を⑧焼却炉場所の空スペース（既設焼却炉と資料庫の設置場所以外のスペース）に設置することができれば、想定した中出力試験研究炉が設置できる可能性があるが、⑥山側資材置場を拡張するために大きな土木工事が必要となる（詳細は 5.1.8 及び 5.1.9 を参照）。

4) 高出力炉

既設の高出力研究炉としては、JRR-3 (20MW)⁵⁻¹⁻¹³⁾と JMTR (50MW) がある。JRR-3 の場合、図 5-24 に示すように原子炉建屋、実験利用棟、燃料管理建屋、制御棟等は、原子炉建屋の周辺に配置され、これに必要な敷地面積は約 32,000m²である。JRR-3 の放射性固体・液体廃棄物の処理施設と保管廃棄施設及び使用済燃料長期貯蔵施設は、研究所内で一括処理・保管しているので、JRR-3 単独で放射性廃棄物の処理・保管と使用済燃料貯蔵する場合の施設の大きさは不明である。図 5-27 に示すように廃棄物処理・保管施設等を含めた JRR-3 施設を⑥山側資材置場(約 7,000m²+α (⑧焼却炉場所側に拡張))に設置することはスペース的に難しいが、図 5-24 に示すように、⑦もんじゅ原子炉施設跡地(約 51,000m²)及び周囲の廃棄物貯蔵建屋等のスペースも使えれば設置できる可能性はある。

JMTR の場合、図 5-28 に示すように原子炉建屋と照射実験棟等は隣接して一つの敷地に配置(約 43,000m²)されているが、固体・液体廃棄物処理施設(約 45,000x0.8=36,000m²)と固体廃棄物保管施設(約 24,000x0.5=12,000m²)は、離れた場所に設置している。これらの合計敷地面積は、約 91,000m²になる。この広さの敷地が必要な場合は、⑥山側資材置場(約 7,000m²+α:⑧焼却炉場所側に拡張)及び⑦もんじゅ原子炉施設跡地(約 51,000m²)に比べて相当大きくなるので、⑥山側資材置場又は⑦もんじゅ原子炉施設跡地の場所への設置はスペース的に難しい。

(3) まとめ

以上の既設試験研究炉を参考にした 5 ケースの試験研究炉の必要設置スペースともんじゅサイトの①～⑧の場所のスペースとの比較及び使用条件から、試験研究炉施設の設置可能性を評価した結果(スペースから見た設置可能性:○有り、△配置上の工夫、スペースの拡張等が必要、×設置は困難)を表 5-2 に示す。早期に試験研究炉(中出力炉以下)の設置可能性がある場所は、⑥山側資材置場又は⑧焼却炉場所である。

実際に設置できるかどうかを判断するには、今後、試験研究炉施設の概念検討・設計を行い、設置する試験研究炉施設のスペックと必要な施設・設置スペースを決めた上で、その設置場所を検討する必要がある。

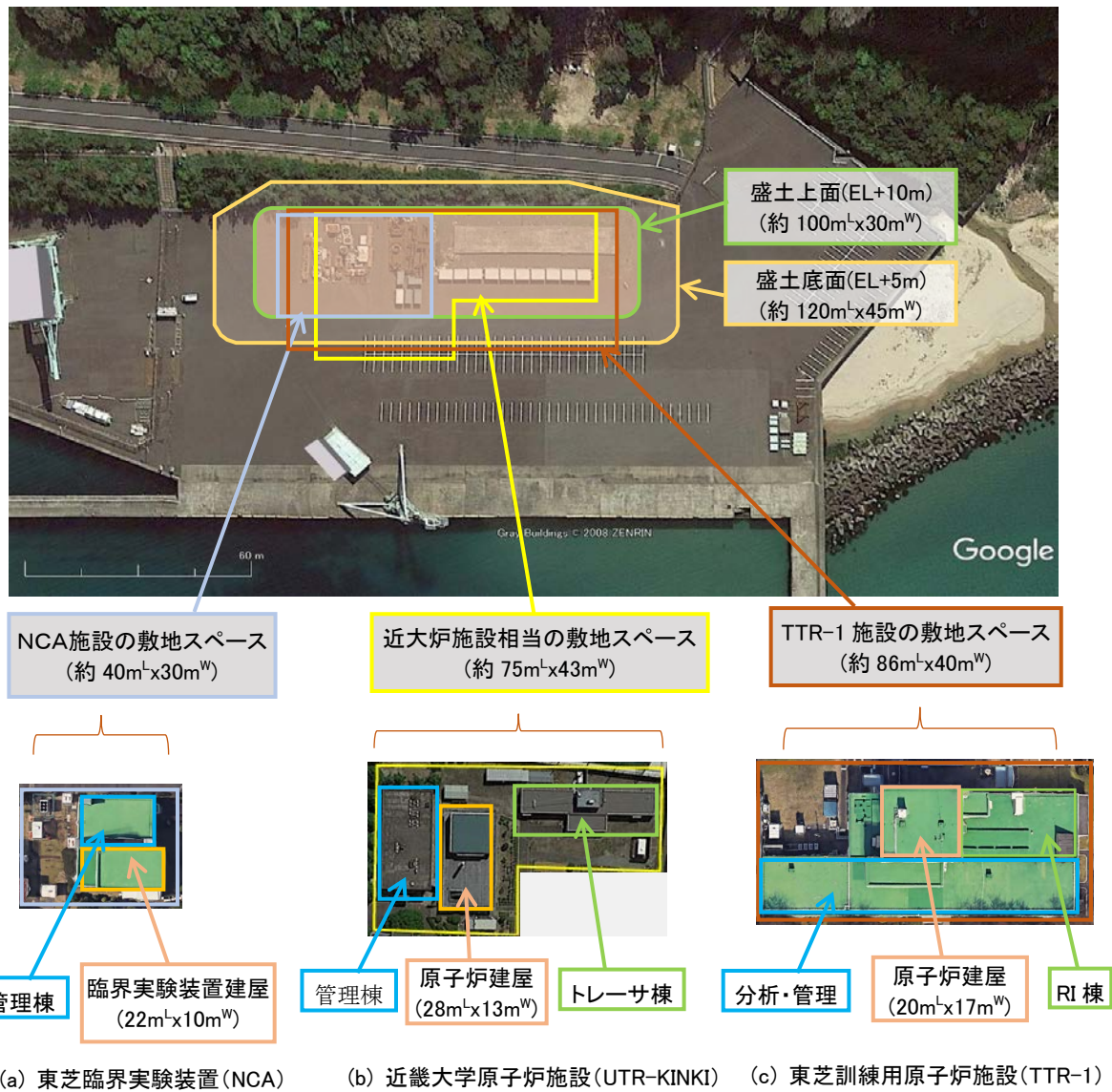
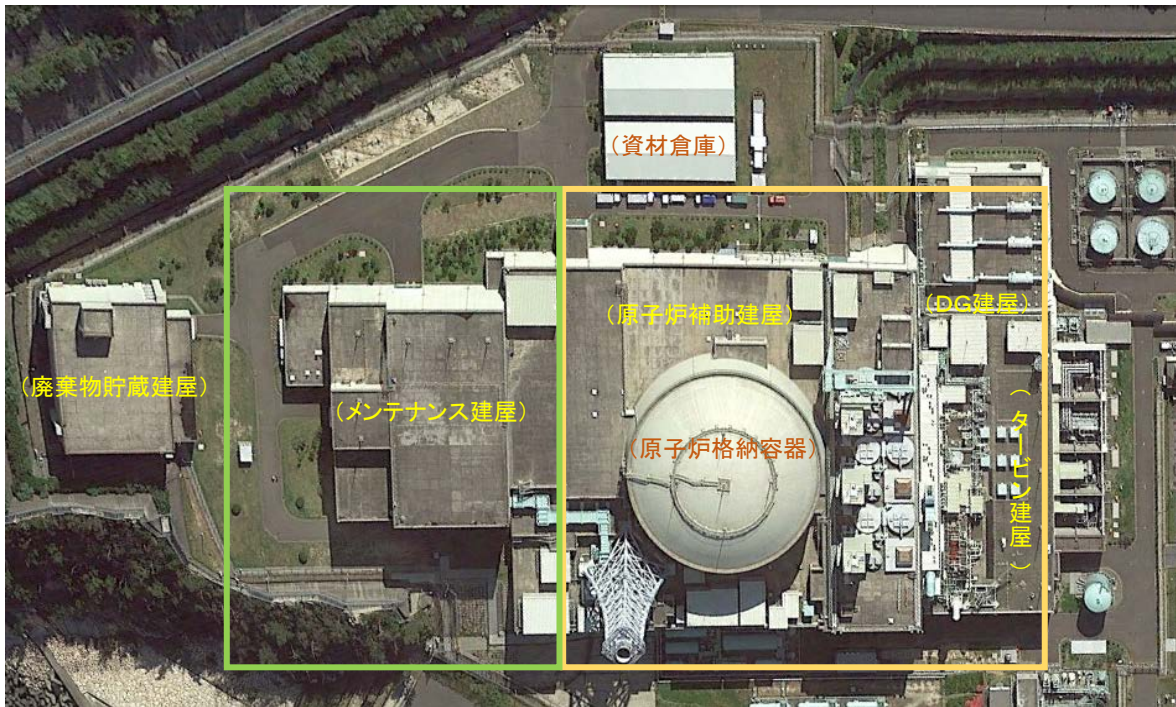
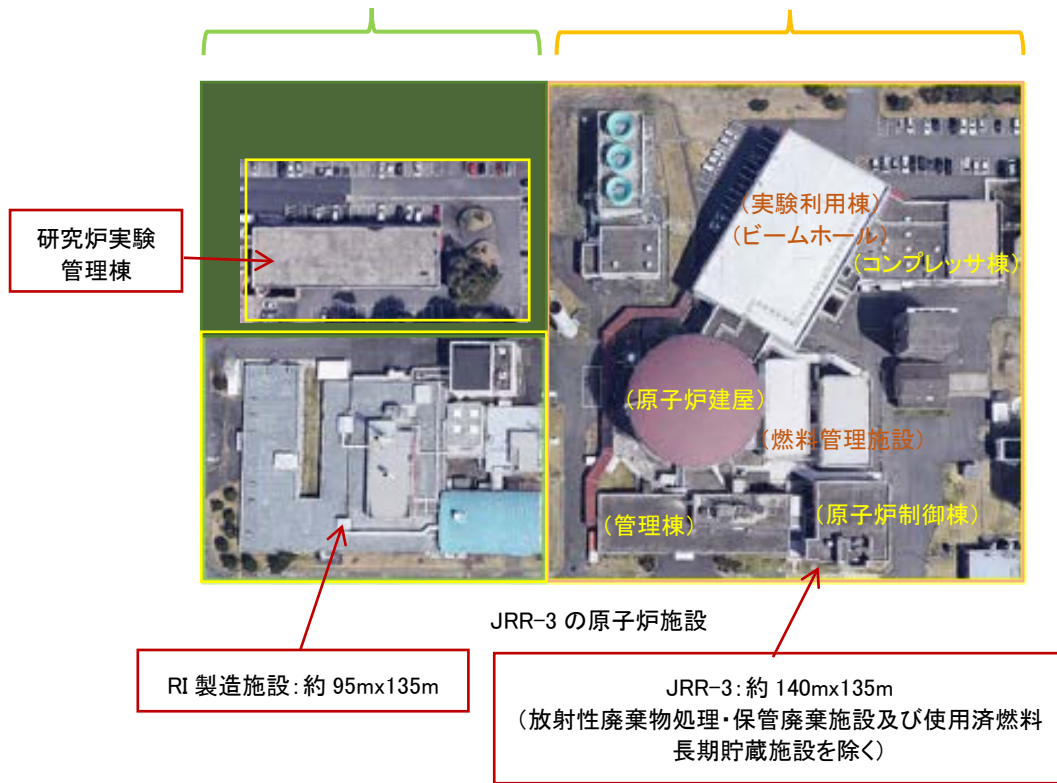


図 5-23 ④荷揚岸壁に NCA、UTR-KINKI 及び TTR-1 の施設を重ねた場合



もんじゅ原子炉施設

(Google Earth より)



JRR-3 の原子炉施設

RI 製造施設: 約 95mx135m

JRR-3: 約 140mx135m
(放射性廃棄物処理・保管廃棄施設及び使用済燃料
長期貯蔵施設を除く)

図 5-24 ⑦もんじゅ原子炉施設に JRR-3 施設を重ねた場合



図 5-25 ⑧焼却炉場所に試験研究炉（臨界実験装置と低出力研究炉）を設置する場合の必要な敷地広さ



図 5-26 ⑥山側資材置場と⑧焼却炉場所に試験研究炉（中出力研究炉）を設置する場合の必要な敷地広さ



図 5-27 ⑥山側資材置場と⑧焼却炉場所に試験研究炉（JRR-3 相当）を設置する場合の必要な敷地広さ



図 5-28 ⑥山側資材置場と⑧焼却炉場所に試験研究炉（JMTR 相当）を設置する場合の必要な敷地広さ

表 5-2 サイトスペースから見た試験研究炉の設置可能性

設置場所 (スペース)	臨界実験 装置 (NCA 相当) (約 1,200m ²)	極低出力炉 (UTR-KINKI 相当) (約 2,600m ²)	低出力炉 (NCA+TTR-1 相当) (約 12,000m ²)	中出力炉 (KUR 相当) (約 21,000m ²)	高出力炉 (JRR-3 相当) (約 32,000+ α m ²)	高出力炉 (JMTR 相当) (約 91,000m ²)	課題等
①～③及び⑤ (もんじゅ建屋周囲)	×	×	×	×	×	×	もんじゅ廃止措置作業と干渉。 必要な設置スペースが不足。
④荷揚岸壁 (EL+5m, 約 100m ² ×30m ²) (約 3,000m ²)	○ (図 5-23)	△ (図 5-23)	×	×	×	×	津波対策(約 5m の嵩上げ)が必要。 埋立て地盤の流動化対策が必要。
⑥山側資材置(+⑧) (EL+132m, 約 130m×54m) (約 7,000m ² +⑧)	○	○	△ (図 5-34)	△ (図 5-26) (図 5-40)	×	×	基礎地盤、斜面の調査要。 中出力炉の場合、大規模な 土木工事となり、工事期間 の短縮化、大量の残土処 分地の確保等が必要。
⑦もんじゅ施設跡地 (EL+21m, 約 300m×170m) (約 51,000m ²)	○	○	○	○	○ (図 5-24)	×	もんじゅ廃止措置後まで設 置不可。 基礎地盤にある破碎帯の 調査要。
⑧焼却炉場所(+⑥) (EL+115m, 約 85m×70m) (約 6,000m ² +⑥)	○	○	△ (図 5-25) (図 5-32)	×	×	×	既設の焼却炉と資料庫の 移設が必要。 基礎地盤、斜面の調査要。

(スペースから見た設置可能性の記号: ○(有り)、△(配置上の工夫、スペースの拡張等が必要)、×(設置は困難))

5.1.7 もんじゅサイトに試験研究炉（低出力炉＋臨界実験装置）を設置する場合の検討

低出力（2MW 以下）の試験研究炉又は臨界実験装置のいずれかの施設をもんじゅサイトの⑥山側資材置場～⑧焼却炉場所に設置する場合の他に、低出力試験研究炉（中性子を利用した基礎的実験・研究及び人材育成）と臨界実験装置（次世代炉の炉物理実験、人材育成）の二つを併設することも考えられる。ここでは、この併設する試験研究炉について、⑧焼却炉場所に設置する場合と⑥山側資材置場に設置する場合の2 ケースを検討した。試験研究炉施設の建屋寸法等は、図 5-29 に示す既設原子炉施設（TTR-1 と NCA）の大きさを参考に施設配置を想定した。検討結果を以下に示す。

(1) 試験研究炉（低出力炉＋臨界実験装置）を⑧焼却炉場所に設置するケース

1) 低出力試験研究炉

人材育成・教育訓練を主目的とした低出力試験研究炉として、立教大学と武蔵工業大学が TRIGA-Mark2 型（100kW）を、(株) 東芝は自社で設計した教育訓練用研究炉（TTR-1：100kW）を所有していたが、現在、廃止措置になっている。また、高速中性子源炉として東京大学弥生（2kW）があったが、これも廃止措置中である。現在運転されている低出力試験研究炉としては、新規規制基準対応をした近畿大学の UTR-KINKI 炉（1W）がある。

本検討では、⑧焼却炉場所に設置可能な低出力の試験研究炉として、参考図-1 に示す TTR-1 の原子炉施設の大きさ（約 67m^L×35m^W）・配置を参考にして検討した。なお、TTR-1 は炉出力が 100kW で新規規制基準前の研究炉であるので、具体的な検討では新規規制基準に適合する炉出力（規制法上の低出力炉は 500kW 未満）に応じた施設設計を行い、配置検討を行う必要がある。

2) 臨界実験装置

臨界実験装置としては、原子力機構では、TCA（軽水臨界実験装置）、FCA（高速炉臨界実験装置）、TRACY（過渡臨界実験装置）等が運転され、また東芝に NCA（軽水炉体系の臨界実験装置）があったが、これらは廃止措置になっている。新規規制基準に適合した既設の臨界実験装置は、京都大学の KUCA があり、原子力機構の STACY も燃料デブリ臨界実験装置として運転再開を目指している。

本検討では、⑧焼却炉場所に設置可能な臨界実験装置として、参考図-2 に示す NCA（200W）の施設の大きさ（約 26m^L×35m^W）と配置を参考にして検討した。NCA は新規規制基準前に設置された装置であるので、新基準に適合する施設設計を行い、建屋寸法・配置等を見直す必要がある。

3) 低出力試験研究炉と臨界実験装置の設置場所と配置

人材育成・教育訓練を主目的とした低出力試験研究炉と臨界実験装置を併設（組み合わせ）して設置する場合、全体の施設の大きさとしては、放射線管理区域の入出力管理建屋と研究・分析棟、資材庫、管理棟及び電源等のユーティリティ設備等を共用にすることで設置面積を合理化することができる。

この施設の大きさは、図 5-29 に示すように約 93m^L×35m^Wになる。図 5-30(a)、(b)に原子炉建屋、ホットセル建屋及び管理棟等の付属施設を含めた全体の施設配置イメージを示す。施設の大きさは、Google Earth 上で読み取った既設の TTR-1 及び NCA の大きさを参考に設定した。表 5-3 に想

定した各施設の寸法を示す。

この大きさの試験研究炉施設を⑧焼却炉場所（約 85m^L×70m^W）に設置する場合は、⑧焼却炉場所の長さ方向のスペースが不足する。このため、図 5-31、図 5-32 に示すように既設の一般焼却炉と資料庫を⑥山側資材置場に移した後、⑥山側資材置場の盛土を一部除去して⑧焼却炉場所と合わせて長さ約 150m×幅約 80m の平坦地（EL+115m）（緑線の枠内）を造成する必要がある。この敷地を確保する場合、周囲の EL+115m～150m の盛土斜面が崩壊しないように斜面の勾配を約 1:2 に掘削・切土し、斜面を整形・擁壁・植栽する必要がある。図 5-33 の断面図は、原子力機構から入手した盛土斜面の地盤断面図を基に施設を設置する場合の設置断面を作成した図である。

低出力試験研究炉の原子炉建屋が耐震重要施設（S クラス）になる場合は、この建屋 1 階の地表面レベル（GL=EL+115m）から EL+約 95m 付近の岩盤まで掘り込み、その上に人工基盤を造り原子炉建屋を設置する。他の施設（耐震 B クラス、C クラス）の建屋は、岩盤まで届く杭基礎を打ち込み支持する構造（KUCA、UTR-KINKI 炉と同様）とする。図 5-31～図 5-33 に⑧焼却炉場所に試験研究炉施設（低出力炉＋臨界実験装置）を設置した場合の配置を示す。

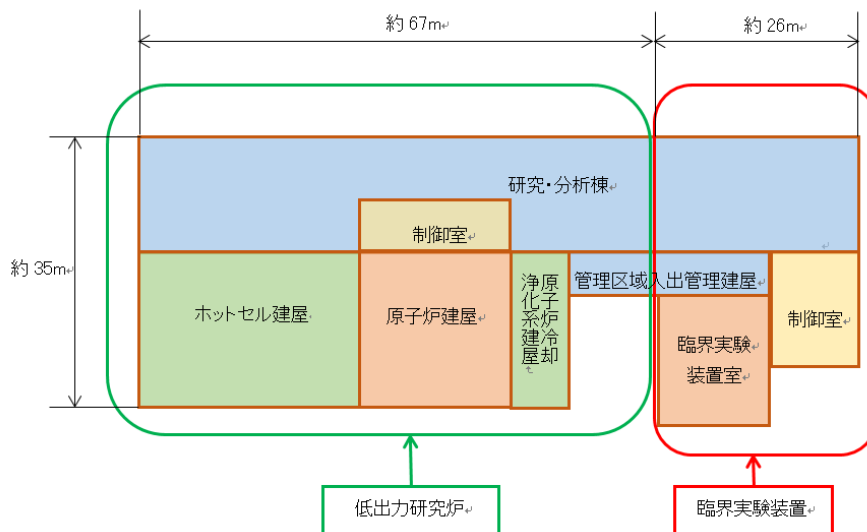
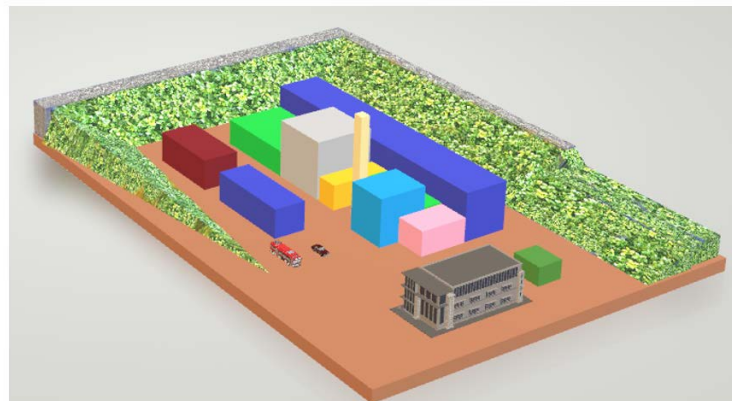


図 5-29 低出力研究炉と臨界実験装置を併設する場合の施設配置（例）



(a) 南側から北方向を見た試験研究炉施設のイメージ。



(b) 南西側斜め上方から見た試験研究炉施設のイメージ。

図 5-30 低出力研究炉と臨界実験装置を併設する場合の施設イメージ

表 5-3 試験研究炉（低出力炉＋臨界実験装置）の施設名称と想定外形寸法



No.	施設名称	想定外形寸法 (m)
①	臨界実験装置室	16mL × 15mW × 24mH (地上高 17m)
②	臨界実験装置制御室	16mL × 11mW × 8mH
③	管理区域入出管理建屋	25mL × 8mW × 8mH
④	研究炉原子炉建屋	20mL × 20mW × 30mH (地上高 20m)
⑤	原子炉冷却浄化系建屋	20mL × 7mW × 18mH (地上高 8m)
⑥	ホットセル建屋	30mL × 20mW × 15mH (地上高 8m)
⑦	研究・分析棟	93mL × 15mW × 24mH (地上高 17m)
⑧	スタック	2mL × 2mW × 33mH
⑨	受電施設	25mL × 12mW × 10mH
⑩	廃棄物・資材倉庫	30mL × 10mW × 10mH
⑪	管理棟	35mL × 17mW × 22mH (地上高 15m)
⑫	浄水施設	12mL × 8mW × 7mH



図 5-31 ⑧焼却炉場所に試験研究炉（低出力研究炉＋臨界実験装置）を設置する場合の施設配置（Google Earth の写真に重ねた図）

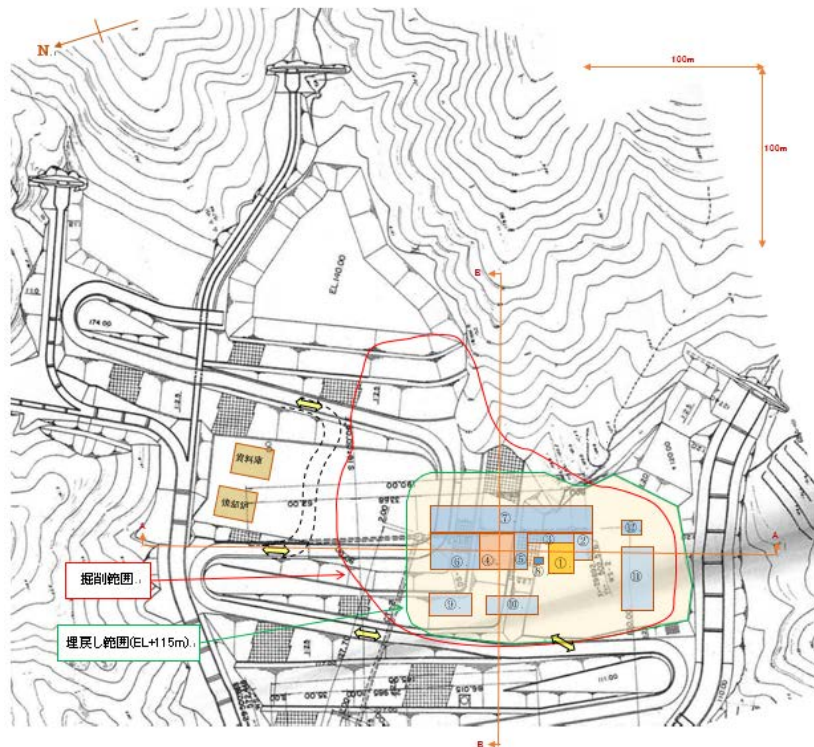


図 5-32 ⑧焼却炉場所に試験研究炉（低出力研究炉＋臨界実験装置）を設置する場合の施設配置（平面図）

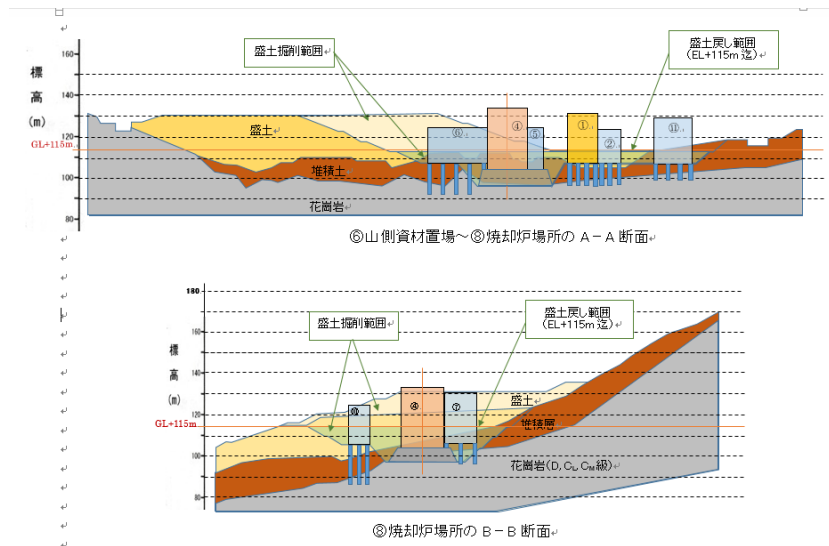


図 5-33 ⑧焼却炉場所に試験研究炉（低出力研究炉＋臨界実験装置）を設置する場合の設置配置（断面図）

東芝教育訓練用原子炉（TTR-1）

型式：スイミングプール型、板状燃料（U-Al 合金）

出力：100kW

ナトリウムのインパイルループも組み込み

- (a)原子炉建屋（20m^L×20m^W×20m^H）
 - (b)制御室建屋（20m^L×6m^W×11m^H）
 - (c)ホットセル建屋（30m^L×17m^W×5m^H）
 - (d)管理棟・分析棟建屋（80m^L×14m^W×5m^H）
- （建屋寸法は、Google Earth より推定。）

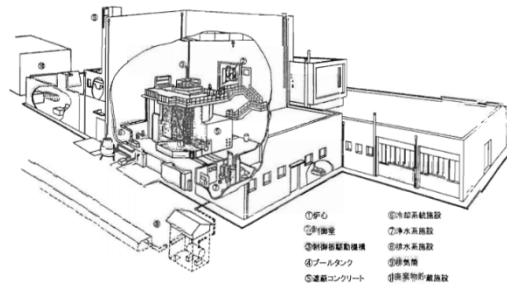


Fig.1 Overview of TTR-1
(RANDEC デコミッションング技報 No.32 より)

参考図-1 低出力研究炉の例

東芝臨界実験装置（NCA）

型式：軽水タンク型（1.6m^Φ×2m^H）、棒状燃料（UO₂ペレット）

出力：200W

- (a)原子炉建屋（10m^L×16m^W×11m^H）
 - (b)制御室建屋（14m^L×18m^W×4m^H）
 - (c)燃料貯蔵建屋（10m^L×6m^W×5m^H）
- （建屋寸法は、Google Earth より推定。）



NCA 施設の外観

参考図-2 臨界実験装置の例

(2) 試験研究炉（低出力研究炉＋臨界実験装置）を⑥山側資材置場に設置するケース

前述の(1)と同じ試験研究炉（低出力研究炉＋臨界実験装置）を、後述の 5.1.8 に示す中出力試験研究炉と同様に、⑥山側資材置場を拡張して設置（GL=EL+120m）する場合の配置例を図 5-34、図 5-35 に示す。

試験研究炉施設（低出力研究炉＋臨界実験装置）を⑥山側資材置場に設置するには、現状のスペース（約 130mx54m）を約 150mx98m に拡張する必要がある。⑥山側資材置場には約 20m 厚さの盛土があるため、試験研究炉施設（低出力研究炉＋臨界実験装置）を盛土が少ない⑧焼却炉場所に設置する場合に比べ、設置するための土木工事量（掘削土量）は、約 1.5 倍になる（5.1.9 を参照）。

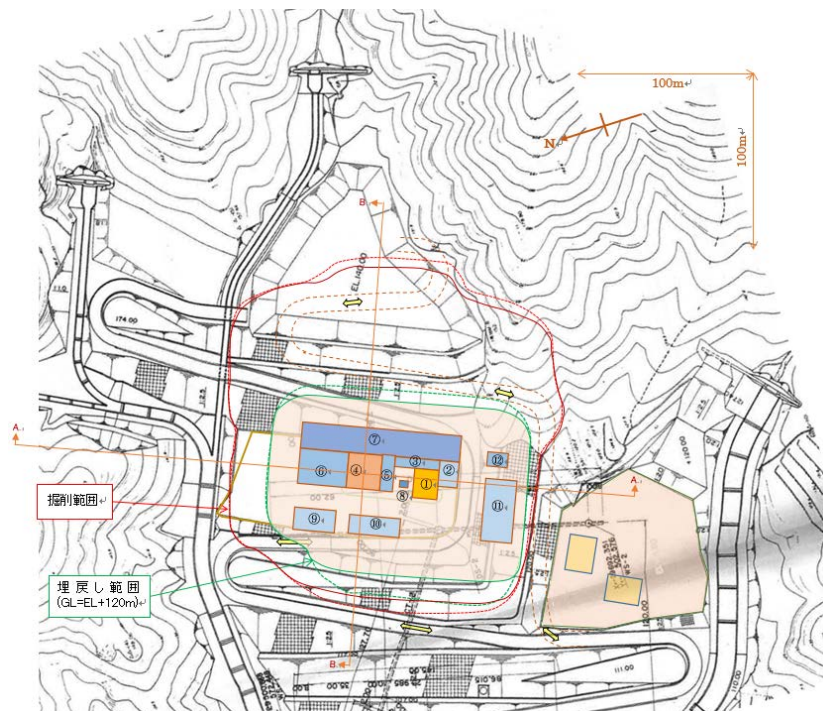


図 5-34 ⑥山側資材置場に試験研究炉（低出力研究炉＋臨界実験装置）を設置する場合の設置配置（平面図）

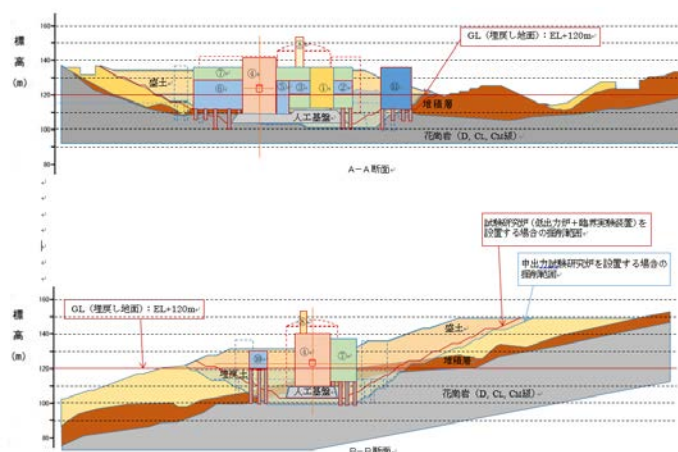


図 5-35 ⑥山側資材置場に試験研究炉（低出力研究炉＋臨界実験装置）を設置する場合の設置配置（断面図）

5.1.8 もんじゅサイトに試験研究炉（中出力炉）を設置する場合の検討

中出力の試験研究炉施設をもんじゅサイトに設置する場合の設置スペースの観点からの設置可能性の検討ケースとして、既設研究炉施設の大きさを参考に、以下に示す考え方で図 5-36～図 5-37 及び表 5-4 に示す原子炉建屋、燃料貯蔵建屋及び実験棟（ビームホール）等の建屋寸法・配置を想定した。なお、実際に設置する場合は、利用ニーズに応じた新規規制基準対応の中出力試験研究炉の施設設計を行い、配置を見直す必要がある。

(1) 原子炉建屋

試験研究炉の規制基準における中出力試験研究炉の出力は、500kW 以上～10MW 未満とされているが、ここでは約 5MW～10MW を想定した。このクラスの炉出力を持つ国内の既設研究炉として、KUR（5MW：原子炉建屋は約 28m^φx30m^H）、JRR-3（当初 10MW→改造後 20MW：原子炉建屋は約 33m^φx37m^H）がある。本設置可能性の検討における研究炉の原子炉建屋寸法は、両炉の原子炉建屋寸法の中間的な寸法として 30m^φx43m^H（マットスラブを含む高さ）と仮設定した。

原子炉建屋は、図 5-36 に示すように EL+約 100m にある岩盤上に人工基盤（厚さ約 5m）を造成し、その上に設置する。原子炉本体は原子炉建屋 1 階に設置し、その建屋 1 階地表面レベル（GL）は、実験棟のビームホール床レベルに合わせて EL+120m とする。原子炉制御室は、原子炉建屋内及びビームホール内の様子を監視できるように原子炉建屋横（KUR の制御室と同様な位置）のビームホール側に設置する。

(2) 燃料貯蔵建屋

KUR では、照射後 1 年程度までの使用済燃料は原子炉室（原子炉建屋）に隣接した原子炉棟内の燃料貯蔵プールに貯蔵・冷却し、長期貯蔵は別建屋の貯蔵施設に移して保管する。JRR-3 では、原子炉建屋内プールで貯蔵・冷却後、隣接した燃料管理棟（燃料貯蔵建屋プール）で貯蔵し、更に別の貯蔵施設（北地区）で長期保管する。本検討では、JRR-3 と同様に原子炉建屋内プールで貯蔵・冷却後、隣接した燃料貯蔵建屋（22m^Lx16m^W）内プールで貯蔵し、更に⑧焼却炉場所に設置する使用済燃料長期貯蔵施設で保管することを想定する。原子炉建屋と燃料貯蔵建屋間の使用済燃料・新燃料の移送は、建屋間の移送管を通して行う方式（ふげんと同様）を想定する。

(3) 実験棟（ビームホール）

KUR のビーム実験設備は、原子炉建屋内に設置され、一部は原子炉建屋に隣接した小部屋に設置されている。JRR-3 のビーム実験設備は、原子炉建屋内及び隣接した実験利用棟（ビームホール：約 50m^Lx30m^W）に設置している。本検討では、JRR-3 より少し小さいビーム実験設備を原子炉建屋内及び隣接した実験棟（B クラス建屋、45m^Lx28m^W）に設置することを想定した。また、本試験研究炉を設置する⑥山側資材置場は、北側付替え水路と⑧焼却炉場所の間にある盛土斜面の東西方向の幅が狭い南北に細長い形状の敷地であることから、実験棟、原子炉建屋、燃料貯蔵建屋は、図 5-36 に示すように横一列の配置として敷地幅を抑える配置を想定した。また、実験棟の地下に、ホットセルとホットラボ、及び機械室を設ける。原子炉で照射した試験片は気送管でホットセルに移送することを想定した。

(4) その他の付属施設

試験研究炉施設の研究機能を果たすには、その施設の運転・維持管理及び研究に必要なその他の付属施設として、研究棟、管理棟、工作棟、資材庫、放射性廃棄物処理・保管施設、二次冷却系施設、電源・浄化水等のユーティリティ施設等が必要である。これらの施設については、KUR の各

附属施設の大きさを Google Earth 上から読み取った値を参考に設定した。表 5-4 に想定した各施設の寸法を示す。上記(1)、(2)、(3)の主要建屋の周りに(4)の附属施設をコンパクトに詰めて配置することを想定し、各施設の間隔は建設重機が入って作業可能な広さ（約 8~10m）とした。また、第 2 廃棄物倉庫は、⑧焼却炉場所に設置した。

以上のとおり想定した中出力試験研究炉施設をもんじゅサイトの⑥山側資材置場~⑧焼却炉場所に設置した場合の配置を図 5-38~図 5-41 に示す。

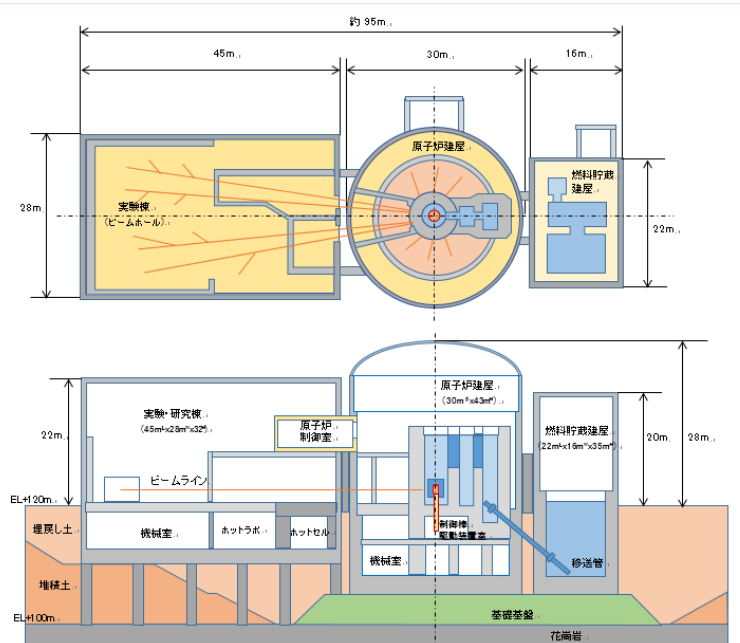
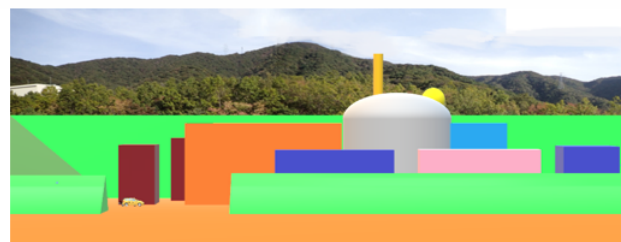
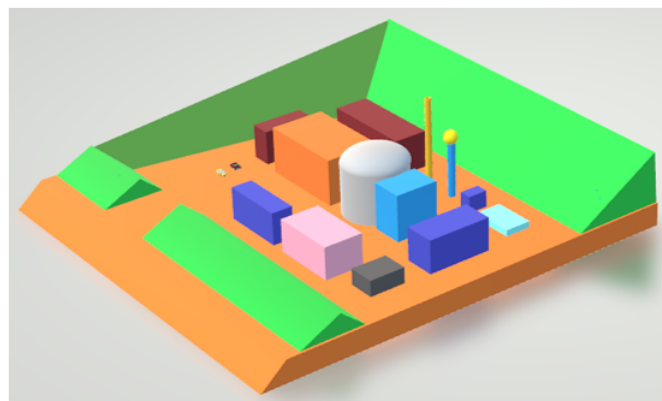


図 5-36 もんじゅサイトに設置する試験研究炉（中出力研究炉）の主要施設（想定）



(a) 海拔+120mレベルで西側から東方向を見た試験研究炉施設のイメージ

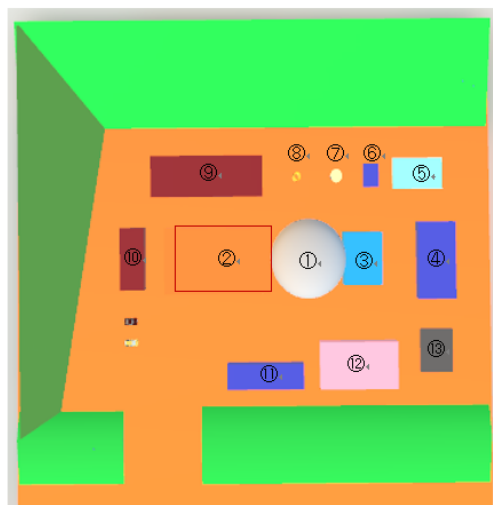


(b) 南西側斜め上から見た試験研究炉施設のイメージ

図 5-37 ⑥山側資材置場に試験研究炉（中出力研究炉）を設置する場合の施設イメージ

表 5-4 試験研究炉（中出力研究炉）の施設名称と想定外形寸法

No.	施設名称	想定外形寸法(m)	参考(KUR施設:5MW)
①	原子炉建屋	30mΦ×43mH(地上高 28m)	28mΦ×30mH(地上高 22m)
②	実験棟	45mL×28mW×32mH(地上 22m)	115mx16mx12m(地上 5m)
③	使用済燃料プール建屋	22mL×16mW×37mH(地上 20m)	29mx12mx?mH
④	研究棟	36mL×16mW×21mH(地上 16m)	43mx30mx6mH
⑤	二次冷却水プール	20mL×13mW×3mH	25mx11mx1mH
⑥	冷却塔	9mL×6mW×8mH	8mx6mx?mH
⑦	高架水槽	6mΦ球×30mH	6mΦ球×29mH
⑧	スタック	1.5mΦ×42mH	1.5mΦ×40mH
⑨	廃棄物処理施設	45mL×15mW×21mH(地上 16m)	78mx25mx8mH
⑩	固体廃棄物倉庫	25mL×10mW×21mH(地上 16m)	15mx7mx8mH
⑪	工作棟・資材庫	30mL×10mW×21mH(地上 16m)	30mx12mx6mH・40mx15mx6m
⑫	管理棟	30mL×18mW×21mH(地上 16m)	30mx24mx5mH
⑬	受電設備・浄水処理施設	20mL×12mW×8mH	25mx18mx8mH
⑭	使用済燃料貯蔵長期施設 (焼却炉場所に設置)	18mL×15mW×8mH	17mx14mx7mH
⑮	第2 固体廃棄物倉庫 (焼却炉場所に設置)	20mL×15mW×8mH	20mx15mx8mH
⑯	—	(右欄の施設が必要な場合、⑥山側資材置場と⑧焼却炉場所以外の場所に設置要。)	トレーサ棟、線照射施設 最終貯留槽



上方から見た試験研究炉施設の配置



図 5-38 現状の⑥山側資材置場 (EL+132m) の状態



図 5-39 ⑥山側資材置場に試験研究炉 (中出力研究炉) を設置する場合の施設配置 (Google Earth の写真に重ねた図)

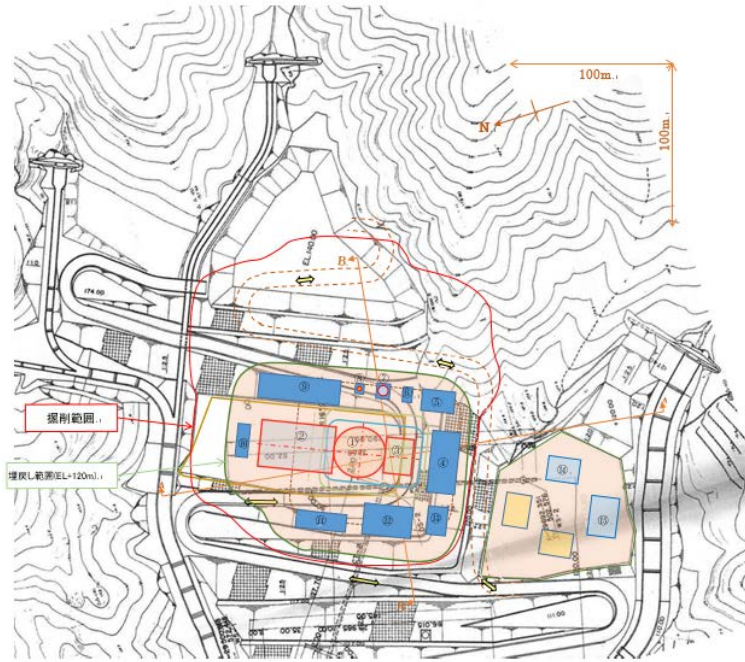


図 5-40 ㊸山側資材置場に試験研究炉（中出力研究炉）を設置する場合の施設配置（平面図）

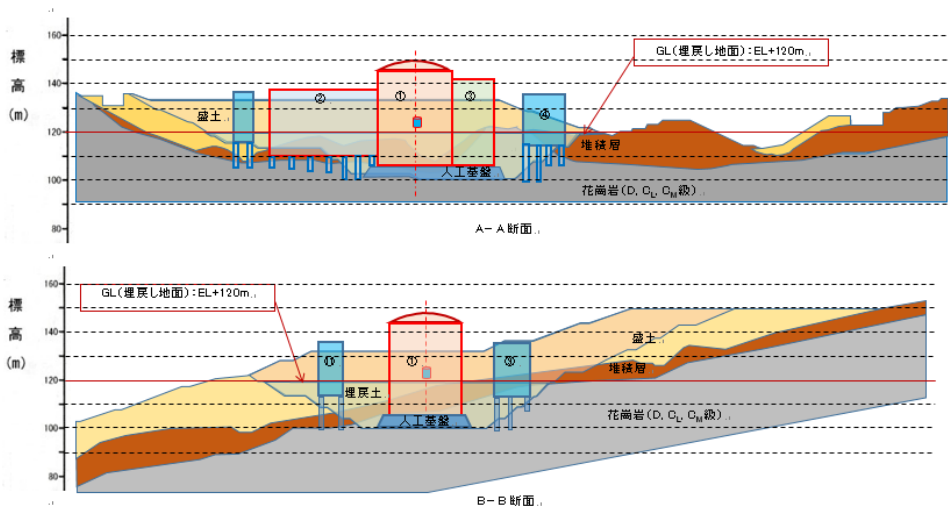


図 5-41 ㊸山側資材置場に試験研究炉（中出力研究炉）を設置する場合の施設配置（断面図）

5.1.9 もんじゅサイトに試験研究炉を設置する場合の土木工事の検討

もんじゅサイトの⑥山側資材置場のある斜面には、もんじゅ建設時の掘削土石が約 20m の厚さで盛土されている。この場所に試験研究炉を設置する場合、原子炉建屋、使用済燃料貯蔵建屋等の耐震重要施設（S クラス）になる施設建屋は、盛土を取り除き、堅固な基礎地盤（花崗岩岩盤）上に人工基礎を作り、その上に建屋を設置する必要がある。また、掘削した盛土の周囲斜面が崩壊しないような傾斜角度に斜面を掘削・切土して擁壁を設置し植栽する土木工事が必要になる。

この土木工事に先立ち、耐震重要施設の設置場所の基礎地盤に活断層がないこと及び周辺の斜面のすべり安定性の評価・確認をするための地質調査、環境影響評価法に基づく環境影響調査、自然公園法、森林法等に基づく諸申請手続きも行い、所管官庁（福井県等）から工事の許可を得る必要がある。

ここでは、土木工事に関する工事方法と工事土量、課題等の検討ケースとして、次の二つのケースを検討した。

- ・ ⑥山側資材置場に試験研究炉（中出力研究炉）を設置するケース（5.1.8 参照）
- ・ ⑧焼却炉場所に試験研究炉（低出力研究炉＋臨界実験装置）を設置するケース（5.1.7 参照）

以下に、各ケースの土木工事の方法と取り扱う土量、課題等を示す。

(1) ⑥山側資材置場に試験研究炉（中出力研究炉）を設置する場合の土木工事

1) 土木工事の概要

⑥山側資材置場の斜面は、図 5-41 の A-A 断面、B-B 断面に示すように、EL+約 100～115m は、花崗岩の岩盤とその上に堆積した堆積土の河成段丘斜面になっており、この段丘の上にもんじゅ建設時に建屋基礎部を掘削した土石（花崗岩岩盤を火薬で破砕した岩塊を含む土石）を EL+約 115～150m まで盛土し、EL+132m 部分を資材置場として平坦にした場所である。

⑥山側資材置場に中出力試験研究炉を設置する場合、原子炉建屋等の主要施設及び付属施設を設置するための必要な敷地広さは、前述の図 5-39、図 5-40 の平面図に示すように、現状の資材置場（広さ約 130m×54m）を拡張し、⑥山側資材置場（緑線の枠：約 150m×115m）＋⑧焼却炉場所が必要になる。

耐震重要施設（S クラス）となる原子炉建屋と使用済燃料貯蔵建屋は、堅固な基礎地盤上に設置する必要があるため、施設の地上 1 階の地表面（GL）を EL+120m とすると、前述の図 5-41 の A-A 断面、B-B 断面に示すように、これらの建屋を設置する基礎は、EL+約 100m にある岩盤上に高さ約 5m のコンクリート基礎台を造り、その上に建屋を設置するからマットスラブを含めた建屋地階深さは約 15m となる。

また、⑥山側資材置場の東側斜面は、EL+132～EL+150m まで盛土されている。⑥の試験研究炉施設の敷地を緑線の枠まで拡張するために、図 5-40 に示す赤線の枠内の範囲まで盛土斜面を掘削し、掘削後の盛土斜面が崩れないように斜面法面の勾配を約 1:2（傾斜角約 27 度）程度で切り取り、整形・擁壁する必要がある。

この一連の土木工事は、次の作業工程から成る。

- (a) 基準地表面（GL=EL+120m）より上方の EL+120m～EL+132m の掘削・切土工事と EL+132m～EL+150m の斜面を掘削・切土する工事
- (b) 基準地表面から下方の EL+95～120m を床掘（掘削）する工事

- (c) 掘削・床掘した土石の仮置き場（荷揚岸壁）への運搬
- (d) EL+120m～EL+150m の盛土斜面の掘削前の伐採・既設プレキャスト枠撤去、掘削後の盛土法面の整形、擁壁・植栽工事、ISI 建屋への道路付替え工事
- (e) 建屋建設後の建屋周囲地下部の EL+120m までの埋戻し工事
- (f) 残土処分（仮置き場から先の最終土捨場は未検討であるが、約 $200\text{m}^L \times 150\text{m}^W \times 15\text{m}^H = 450,000\text{m}^3$ の処分敷地が必要。）

2) 土木工事量

⑥山側資材置場に試験研究炉を設置する場合、この斜面は、図 5-9 に示したように、河成段丘であった場所であるので、図 5-40 の A-A 断面に示すように盛土の下の堆積土と花崗岩岩盤は河川で削られた箇所があり、各地層の厚さ（深さ）が一樣な地盤になっていない。土木工事費は、土木工事の方法と土量・土質（盛土、岩塊・玉石を含む堆積土砂、風化が進んだ軟岩、又は固い花崗岩）によって、大きく変わる。このため、現地の地質調査、地形測量による正確な土量と土質に基づき土木工事の実施設計を行い、これを基に工事方法を決めて土木工事費を算定する必要がある。

⑥山側資材置場の斜面を図 5-40 及び図 5-41 に示す形状に掘削した場合の土木工事の推定土量等を表 5-5 に示す。中出力試験研究炉を⑥山側資材置場に設置する場合の掘削土量は、試験研究炉（低出力研究炉＋臨界実験装置）を⑥に設置する場合の約 1.2 倍となり、また試験研究炉（低出力研究炉＋臨界実験装置）を⑧に設置する場合の約 1.8 倍になる。

なお、中出力試験研究炉を⑧焼却炉場所に設置する場合は、焼却炉場所の東側にある山斜面（花崗岩の岩体）を大きく掘削する必要があり大規模な土木工事になるので、本検討から外した。

表 5-5 山側資材置場に試験研究炉を設置する場合の土木工事量

作業項目	工事内容	取扱い土量等	備考
(a) 掘削工事	EL+120m～EL+132m の掘削工事と EL+132m～EL+150m の斜面を掘削・整形する工事	約 400,000m ³	土質：破碎した岩塊を含む土砂、軟岩 オープンカット工法
(b) 床掘（掘削）工事	EL+100m～EL+120m を床掘（掘削）する工事	約 150,000m ³	土質：堆積土、軟岩、一部は花崗岩の硬岩
		(1)+(2) の土量 ＝約 550,000m ³	
(c) 運搬	⑥山側資材置場から④荷揚岸壁（仮置き場）への運搬（運搬土量＝{(1)+(2)}×ほぐし率）	約 660,000～830,000m ³	⑥から④までの道程：約 3km ほぐし率：岩塊・玉石 1.2、軟岩 1.5、（硬岩 1.65）
(d) 擁壁・植栽工事	EL+120m～EL+150m の斜面の擁壁・植栽工事	約 34,000m ²	斜面擁壁はプレキャストコンクリート枠
(e) 埋戻し工事	建屋周囲地下部の EL+120m までの埋戻し工事	約 100,000m ³	地山量ベース
(f) 残土処分	最終土捨場までの運搬と盛土造成・法面擁壁工事	約 450,000m ³	地山量ベース、最終土捨場は未検討

(2) ⑧焼却炉場所に試験研究炉（低出力研究炉と臨界実験装置）を設置する場合の土木工事

1) 土木工事の概要

⑧焼却炉場所の地質構造は、前述の図 5-33 に示すように、EL+約 95～110m に花崗岩の岩盤とその上に山から流れてきた岩塊を含む土砂が堆積した河成段丘になっている。⑧焼却炉場所は、この河成段丘の EL+115m にある平坦地（広さ約 85m×70m）で、⑥山側資材置場と異なり、もろく建設時の土石が盛土されていない場所である。

⑧焼却炉場所に試験研究炉（低出力研究炉と臨界実験装置）を設置する場合、原子炉建屋等の主要施設及び付属施設を設置するための必要な敷地広さは、図 5-31 の緑枠線に示すように約 150m×80m となり、現状の⑧焼却炉場所のスペースでは不足するため、⑥山側資材置場の盛土の一部を取り除いて拡張する必要がある。

低出力試験研究炉の原子炉建屋と使用済燃料貯蔵建屋が耐震重要施設（S クラス）となる場合、堅固な基礎地盤上に設置する必要がある。図 5-33 の A-A 断面、B-B 断面に示すように、施設の地上 1 階の地表面（GL）を EL+115m とすると、これらの建屋を設置する基礎は、EL+約 95m の岩盤上に高さ約 10m のコンクリート基礎台を造り、その上に建屋を設置すると、建屋のマットスラブを含めた地階深さは 10m となる。又は、コンクリート基礎台の高さを約 5m とし、建屋地下を 2 階構造（マットスラブを含めた地階深さは約 15m）とする。

⑧焼却炉場所の周辺斜面は、掘削後の斜面が崩れないように斜面法面の勾配を約 1:2（傾斜角約 27 度：約 30° の傾斜、高さ 5m ごとに幅約 1m の小段を付ける。）で切り取り、斜面法面の整形・擁壁・植栽工事をする必要がある。

この一連の土木工事は、次の作業工程から成る。

- (a) 基準地表面（GL=EL+115m）より上方の EL+115m～EL+132m の⑥資材置場盛土部の掘削工事と EL+132m～EL+150m の斜面を掘削する工事
- (b) 基準地表面から下方の EL+95～115m を床掘（掘削）する工事
- (c) 土石の仮置き場（荷揚岸壁）への運搬
- (d) EL+115m～EL+150m の斜面の掘削前の伐採・プレキャスト枠撤去、掘削後の盛土法面の整形、擁壁・植栽工事、ISI 建屋への道路付替え工事
- (e) 建屋建設後の建屋周囲地下部の EL+115m までの埋戻し工事
- (f) 残土処分（④仮置き場から先のサイト外最終土捨場は未検討。）

2) 土木工事量

⑧焼却炉場所に試験研究炉（低出力研究炉と臨界実験装置）を設置するため、図 5-32 の赤線の範囲を図 5-33 に示す断面形状にする土木工事により発生する概算土量等は、表 5-6 のとおりである。この低出力試験研究炉を⑧に設置する場合の掘削土量は、中出力試験研究炉を⑥山側資材置場に設置する場合の掘削土量に比べて、約 56%（=310,000m³/550,000m³）になる。正確な土量等は現地の地形測量と工事实施設設計を行って工事方法を決め、土質（硬岩、軟岩、礫・玉石を含む土砂等）ごとに土量を見積り、土木工事費を算定する必要がある。

表 5-6 焼却炉場所に試験研究炉（低出力研究炉と臨界実験装置）を設置する場合の土木工事量

作業項目	工事内容	取扱い土量等	備考
(a) 掘削工事	EL+115m～EL+132m の掘削工事と EL+132m～EL+150m の斜面を掘削・整形する工事	約 150,000m ³	土質：盛土部は破碎した岩塊を含む土砂、軟岩。オープンカット工法
(b) 床掘（掘削）工事	EL+95m～EL+115mを床掘（掘削）する工事	約 160,000m ³	土質：堆積土、軟岩、一部は花崗岩の硬岩
		(1)+(2)の土量＝ 約 310,000m ³	
(c) 運搬	⑧焼却炉場所から④荷揚岸壁（仮置き場）への運搬（運搬土量＝[(1)+(2)]x ぼぐし率）	約 370,000～ 470,000m ³	⑧から④までの道程：3km ぼぐし率：岩塊・玉石 1.2、軟岩 1.5、（硬岩 1.65）
(d) 擁壁・植栽工事	EL+110m～EL+150m の斜面の擁壁・植栽工事	約 13,000m ²	斜面擁壁はプレキャストコンクリート枠
(e) 埋戻し工事	建屋周囲地下部の EL+115m までの埋戻し工事	約 130,000m ³	地山量ベース
(f) 残土処分	最終土捨場までの運搬と盛土造成・法面擁壁工事	約 180,000m ³	地山量ベース、最終土捨場は未検討

(3) ⑥山側資材置場に試験研究炉（低出力研究炉＋臨界実験装置）を設置する場合の土木工事

試験研究炉（低出力研究炉と臨界実験装置）を中出力研究炉の場合と同様に⑥山側資材置場に設置する場合、図 5-34 の緑枠線のスペース（約 150mx98m）を確保するには、図 5-34 の赤枠線の範囲の斜面を掘削し、また EL+約 100m～120m の盛土を掘削（床掘）して図 5-35 の A-A 断面と B-B 断面に示す形状にする土木工事が必要になる。

この場合、図 5-34 の緑枠線の南北方向（長さ）は約 150m で中出力研究炉と緑枠線とほぼ同じであるが、東西方向（幅）は中出力研究炉の約 115m に対して約 98m と幅が少し狭いので、図 5-35 の B-B 断面に示すように、EL+120m～150m の盛土斜面を掘削し、EL+約 100m～120m を掘削（床掘）する範囲・掘削深さは小さくなり、掘削土量は約 460,000m³となる。

この掘削土量は、同じ試験研究炉（低出力研究炉＋臨界実験装置）を⑧焼却炉場所に設置する場合の掘削土量（約 310,000m³）に比べて、約 1.5 倍となる。

(4) 土木工事に関する課題

もんじゅサイトの⑥山側資材置場又は⑧焼却炉場所に中出力試験研究炉又は低出力試験研究炉を設置する場合の土木工事上の課題として、次の課題がある。

- 1) 原子力規制委員会の「敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド」に従った地質調査の実施とこれに基づく基礎地盤の耐震安定性に関する評価（活断層がなく安定して支持力がある岩盤であること。）
- 2) 同上の審査ガイドに基づく斜面調査の実施と周辺斜面のすべり安定性に関する評価（動的地震力に対してすべり安全率が 1.2 以上あること。）

- 3) 工事期間：中出力試験研究炉を設置する場合、大量の土量（約 660,000～830,000m³：ほぐし率を考慮した運搬土量）を 10 トン積みダンプトラックで坂道（幅員約 7m）を下って荷揚岸壁に運搬する場合に要する期間は、図 5-42 に示す「もんじゅ建屋背後斜面耐震裕度向上工事」^{5.1-14)}における実績運搬量（300～500m³/日）と同程度の運搬量とすると、約 5 年～11 年（年間稼働日数約 250 日の場合）要する。工期の短縮化が必要。
- 4) 最終土捨場の確保：中出力試験研究炉を設置する場合の残土量は約 450,000m³。低出力試験研究炉の残土は約 180,000m³。この大量の残土を処分する土捨場の確保が必要。
- 5) 土木工事費の算定：もんじゅサイトでは、図 5-42 に示すように平成 24 年～26 年度に原子炉建屋背後斜面耐震裕度向上工事が行われ、斜面表土約 83,000m³を削り取り、一旦、⑥山側資材置場に移した後、ダンプトラックで防波護岸に運搬し盛土している。一方、試験研究炉を⑥山側資材置場又は⑧焼却炉場所に設置する場合、⑥又は⑧の掘削土石を一旦、④荷揚岸壁まで運搬して仮置きし、その後、サイト外の土捨場に船又はトラックで搬送して処分する必要がある。もんじゅサイトに試験研究炉を設置する場合の土木工事は、原子炉建屋背後斜面耐震裕度向上工事の土木工事と作業工程は類似しているが、掘削単価等が土質によって大きく異なってくることから、試験研究炉の設置場所（⑥山側資材置場又は⑧焼却炉場所）の現地測量、ボーリング調査による土質とその土量等のデータを基に土木工事の実施設計を行い、工事費算定を行う必要がある。

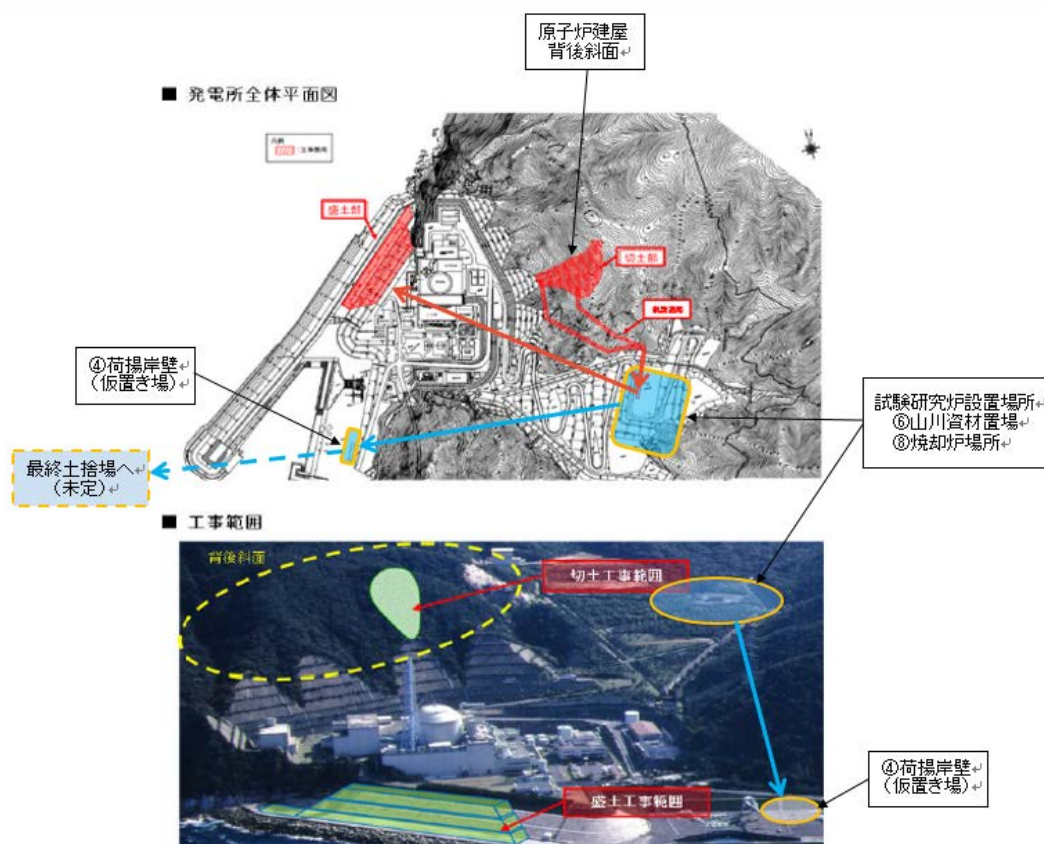


図 5-42 もんじゅ原子炉建屋背後斜面耐震裕度向上工事と試験研究炉の設置土木工事

5.1.10 まとめ

本年度のもんじゅサイトに試験研究炉を設置する場合の設置場所の地理的状況の調査として、(1)試験研究炉の設置場所としての「もんじゅ」サイトの地質・地質構造、活断層等に関する文献ベースでの調査と(2)サイトスペースの観点から見た試験研究炉の設置可能性の検討を行った。

(1)もんじゅサイトの地質構造、活断層等に関しては、もんじゅサイトは白亜紀後期～新生代古第三紀に形成された花崗岩岩盤の上に形成された扇状地上にある。原子力機構、関西電力（株）及び日本原子力発電（株）が調査した結果では、もんじゅサイトに最も近い活断層は白木一丹生断層である。もんじゅサイト内には活断層はないが、原子炉建屋基礎岩盤に破砕帯がある。また、山側資材置場及び焼却炉場所の地盤にも破砕帯がある可能性がある。

原子力規制委員会の「高速増殖原型炉もんじゅ敷地内破砕帯の調査に関する有識者会合」による調査結果では、原子炉建屋基礎岩盤のa～e 破砕帯は、後期更新世以降の活動はないと判断されるとの評価であるが、今後の課題として、a 破砕帯以外の破砕帯の活動性を評価するためデータの追加・拡充等が求められている。また、焼却炉場所南側の山地／段丘境界東側の低位段丘下に断層が伏在している可能性を否定できないとの評価である。今後、これらの場所に試験研究炉を設置する場合は、原子力規制委員会の「敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド」に従い、その設置位置の地盤に原子炉施設の設置に影響する活動性の破砕帯がないかの詳細な地質調査が必要である。

(2)サイトスペースから見た試験研究炉の設置可能性の検討では、既設の類似の試験研究炉施設を参考に建屋寸法・配置を想定（暫定設定）し、もんじゅサイト内の8か所について、設置スペースから見た設置可能性の検討を行った。①～③及び⑤は、設置スペースが狭く、また、もんじゅ廃止措置と干渉する。④荷揚岸壁は臨界実験装置程度の小さい試験研究炉の設置の可能性はあるが、津波対策が必要である。⑦もんじゅ原子炉施設跡地には、JRR-3 クラスの高出力研究炉施設の設置可能性があるが、設置できる時期はもんじゅ施設の廃止措置後になる。⑥山側資材置場～⑧焼却炉場所には、設置スペースを拡張することにより、低出力試験研究炉（低出力炉 TTR-1+臨界実験装置 NCA 相当）又は中出力試験研究炉（KUR 相当）の設置可能性がある。以上のサイト状況から、もんじゅサイトに試験研究炉を設置する場所は、⑥山側資材置場と⑧焼却炉場所の2か所が候補として考えられる。

⑥又は⑧の場所に中出力試験研究炉又は低出力研究炉と臨界実験装置を併設する試験研究炉を設置する場合は、敷地スペースを拡張する必要がある。中出力試験研究炉を⑥山側資材置場に設置する場合の盛土部の掘削・床掘の土量は、低出力試験研究炉を⑧焼却炉場所に設置する場合に比べて約1.8倍になるので、掘削土量の削減、工事期間の短縮化が必要である。また、大量の残土処分場所の確保が必要である。

以上をまとめると、現在、もんじゅサイトに設置する試験研究炉として、臨界実験装置、低出力炉、中出力炉、スペクトルシフト炉、高出力炉の5ケースの試験研究炉が提案されている。これらの試験研究炉のいずれかをもんじゅサイトに設置する場合、設置できる場所、スペースが限られている。本年度の検討では、試験研究炉の大きさを既設の試験研究炉を参考に想定（暫定設定）し、もんじゅサイト内での設置可能性を検討した。

今回想定した規模の試験研究炉は、スペース的には⑥山側資材置場又は⑧焼却炉場所を拡張することにより設置可能性はあるが、実際の試験研究炉が設置できるかどうかを判断するには、今後、利用ニーズに基づき試験研究炉を選定して試験研究炉施設の概念検討・設計を行い、設置する試験研究炉施設のスペックと必要な施設・設置スペース及び設置場所を選定した上で、もんじゅ廃止措置計画との調整をするとともに、設置場所の詳細な地質調査を行い、原子炉施設設置場所の基礎地盤としての基準適合性の評価・確認をする必要がある。

【参考文献】

- 5.1-1) 日本原子力発電（株）、関西電力（株）、原子力機構、新耐震指針に照らした耐震安全性評価のうち活断層評価について（敦賀半島周辺の断層評価）、平成 20 年 9 月 15 日
- 5.1-2) 日本原子力発電（株）、関西電力（株）、原子力機構、新耐震指針に照らした耐震安全性評価のうち活断層評価について（補足地質調査について）、平成 20 年 9 月 15 日
- 5.1-3) 日本原子力発電（株）、関西電力（株）、原子力機構、耐震指針に照らした耐震安全性評価のうち活断層評価について（敦賀半島周辺の断層評価）、平成 21 年 5 月 23 日
- 5.1-4) 日本原子力発電（株）、関西電力（株）、原子力機構、基準地震動 S_s の見直し状況について、平成 21 年 5 月 23 日
- 5.1-5) 原子力機構、高速増殖原型炉もんじゅ「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果報告書（改訂版）、平成 22 年 2 月 2 日
- 5.1-6) 伊藤、大島、高速増殖炉原型炉「もんじゅ」背後斜面の地震時健全性評価、JAEA-Research, 2010-064、2011 年 3 月
- 5.1-7) 岡田・東郷編、近畿の活断層（2000 年）、東京大学出版会
- 5.1-8) 原子力機構、もんじゅ敷地内破砕帯追加調査計画の概要、2013 年 4 月
- 5.1-9) 原子力規制委員会もんじゅ敷地内破砕帯の調査に関する有識者会合、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構もんじゅの敷地内破砕帯の評価について（報告）、平成 29 年 3 月 15 日
- 5.1-10) 原子力機構、津波評価の補足説明について、平成 30 年 2 月 13 日
- 5.1-11) 近畿大学原子力研究所、原子炉設置変更許可申請書、平成 26 年 10 月 20 日、同申請書の一部補正、平成 27 年 12 月 25 日
- 5.1-12) 国立大学法人京都大学、原子炉実験所原子炉施設変更承認申請書（研究用原子炉の変更）、平成 26 年 9 月 30 日、同申請書の一部補正、平成 28 年 7 月 20 日
- 5.1-13) 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構、原子力科学研究所原子炉設置変更許可申請書（JRR-3 原子炉施設等の変更）、平成 26 年 9 月 26 日、同申請書の一部補正、平成 30 年 2 月 22 日
- 5.1-14) 原子力機構、平成 23 年東北地方太平洋沖地震の知見等を踏まえた原子力施設への地震動及び津波の影響に関する安全性評価のうち周辺斜面の安定性評価について（報告）、平成 24 年 5 月 31 日

5.2 地理的状況を踏まえた建設費用・年数、見込まれる組織人員等炉型選定に必要となる情報の調査

研究炉の概念を決定するためには、研究炉本体の機能の議論と並び、計画遂行に必要な諸元について検討をしておく必要がある。

これらの諸元は、大別すると費用に関する項目群と運転／保守の規模についての項目群に分けられる。費用に関する項目では、建設費、年経費、運転／研究員の規模、建設期間、などがあり、管理に関する項目には使用する燃料や使用済燃料などである。

これらの算出に関する検討のプロセスとその結果について述べる。

5.2.1 研究炉の建設費の評価

【評価方法の選定】

研究炉の建設費の推定方法については、建設費の全体は公表されていても、その数は少なく、かつ詳細な内容の公表例はない。そのために、建設費の概要を推定する手法を許される時間内で評価検討を行った。原子力発電所の建設コストについては、1980年代からかなり多くの推定方式が検討され、最近の高出力炉（EPRのような170万kWe）から数万kWe級の超小型炉まで、その専門家でなくとも推定ができる手法が提示されている¹⁾。しかし、研究炉についての建設費の推定については、報告の数は非常に少なく、極僅かにEU第4世代原子炉の開発のプロジェクト管理の報告^{2),3)}に一部見られる程度である。

このための費用評価手法としては、以下の3ケースがある。

- i) 炉形（プール型、タンク型など）、炉出力、冷却材・減速材の種類、熱出力ごとに仮定をして、部品や建屋などの単価及び設計・エンジニアリング費用などを算出して、積み上げる方法
- ii) 関心のある研究炉出力に近い既設の研究炉の建設実績と総合費用を調べ、その研究炉の建設業者や時期などを勘案して出力別に研究炉の建設費を推定する方法
- iii) 出力が分かっている研究炉の建設費の値をグラフプロットし、そこから近似式を求めて、その式を使って着目する研究炉の建設費を推定する方法

これらの手法での特徴を以下のように評価した。

手法 i) については、専門的な企業に依頼すればかなり正確な評価ができるが、見積り設計ともいわれ、前提とする研究炉ごとの構造や材料の指定をする必要があり、多数の出力の研究炉のケースを評価するためにはかなり多額の費用を準備する必要がある。

手法 ii) についても、注目する研究炉の設計の詳細が判明しても、そこから多くの出力の研究炉について、多数の部品・機器・サブシステムなどと炉出力の関係が近似できるサーベイには専門家を通しての作業になるために、これも高い精度で費用算出は可能であるがコストパフォーマンスに課題が残る。

手法 iii) は、少ないデータから傾向を統計処理により近似式にまとめ、その近似式を使って多数の研究炉の建設費を短時間に推定できる。この方法は、参考文献2) からヒントを得たもので、この推定方法を以下に述べる。

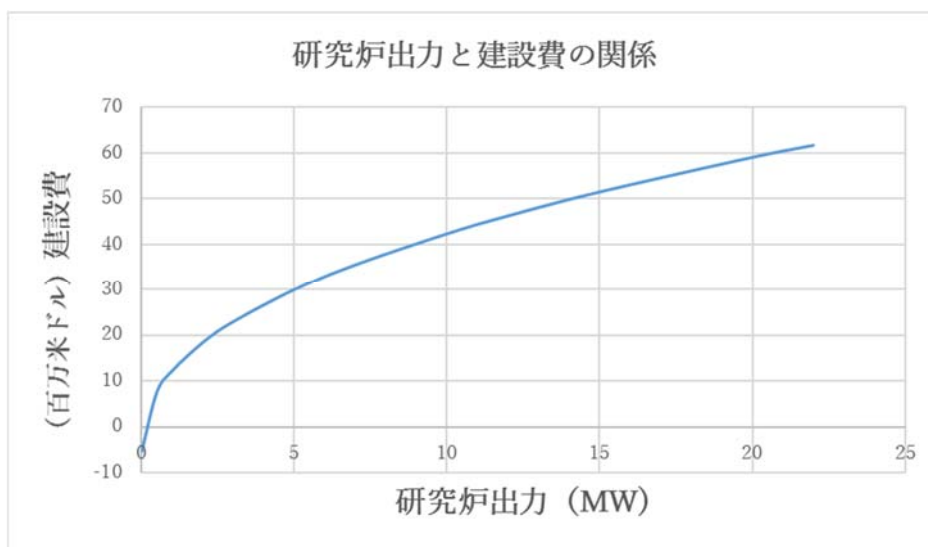


図 5-43 試験研究炉出力と建設費の関係の例²⁾

図 5-43 は、研究炉の建設コストと炉出力の関係をスウェーデンの研究炉計画で使用した近似式をグラフ化したものである。この近似式は、約 20MW までの研究炉の建設費を最小二乗法でフィッティングしたもので、近似式として、

$$\text{建設費 (MUD)} = -5.264 + 17.53 \times (\text{出力 MW})^{0.434}$$

としている。この近似式では建設費は、炉出力の累積関数で表示できることを示しており、ここでの建設費の推定に適用できると考えた。

【前提とした建設費データ】

研究炉の建設費を明らかにしている例は大変少なく、統計処理が可能かどうか懸念された。建設開始や終了時点が大きく異なると、時間経過による利率の変動（インフレ率）がある。しかし、10 年以内の枠に収まっていれば、変化幅は大きくても 20%程度であろうと判断し、2008 年から 2013 年までの間に建設や計画が検討された研究炉を対象とすることとした。その結果、前年度に報告した 5 基の研究炉を対象として建設費の近似を行うこととした。

この 5 基のうち高出力炉の 2 基はヨーロッパで建設又は計画中であり、公表されている建設費には 30%前後の不足対策費（コンティンジェンシー）が含まれていると考えた。その為、ここでの建設費の推定には、ヨーロッパの 2 基についてはコンティンジェンシーを差し引いた値で検討することとし、表 5-7 に示す値を検討対象とした。

表 5-7 代表的な試験研究炉の建設費

出力 MW	建設費 MUSD	実績炉
5	173	JRTR ⁴⁾
15	260	KJRR ⁵⁾
20	280	OPAL ⁶⁾
55	450	PALLAS ⁷⁾
100	492	JHR ⁸⁾

その値を用いて近似式を求めた結果を図 5-44 に示す。

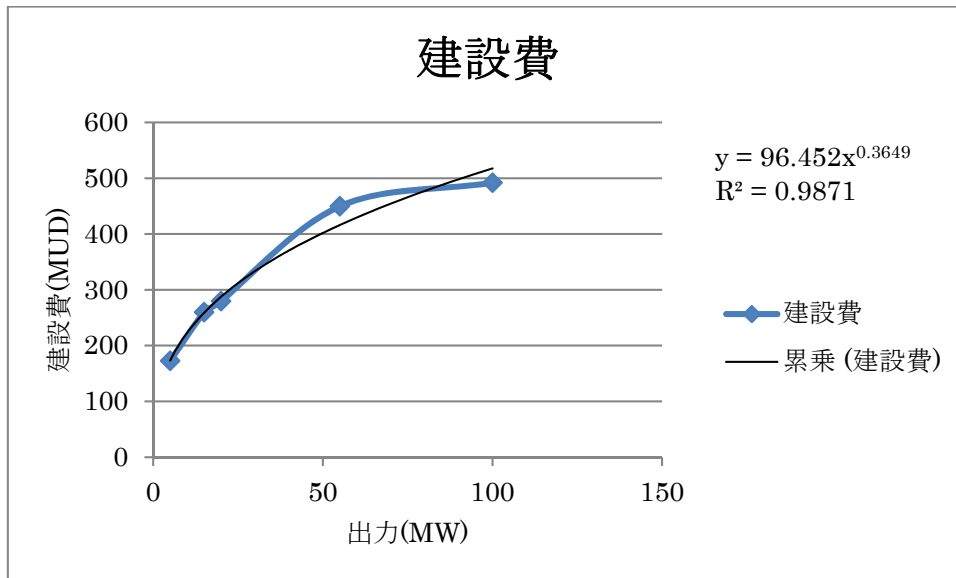


図 5-44 高出力まで拡張したコスト評価のグラフ

また、この近似法を 20MW 以下の研究炉に適用した結果、以下の式が得られた。

$$\text{建設費} = 98.2 \times (\text{研究炉出力})^{0.3538}$$

この近似式は、前で述べた 5 基の研究炉データによるものに比べ、当てはまり度合いも良好なため、建設費算出のための近似式とすることとした。

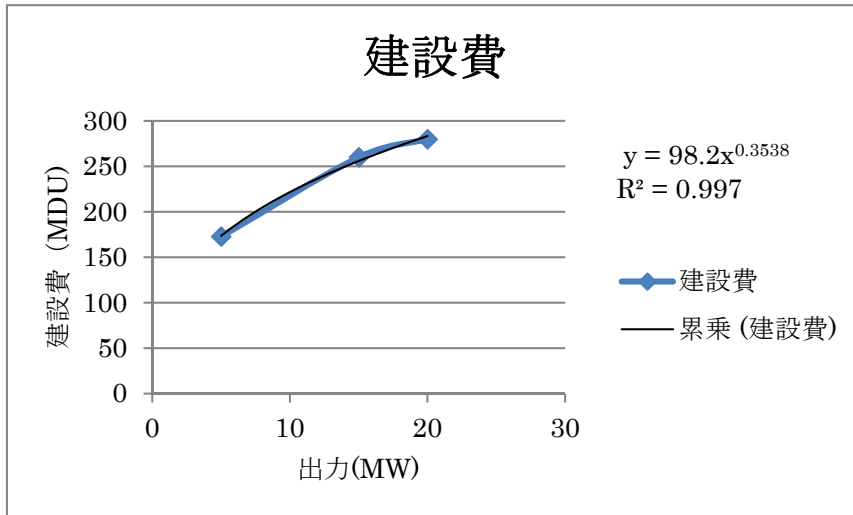


図 5-45 中出力を中心に近似したコスト評価のグラフ

建設費の評価において、今回使用した値は、韓国や南アメリカの企業が担当した結果であって、特に設計／製造／建設の**習熟効果**の影響、労働賃金の差、国内の政策的な支援、などもあることが想像される。

今回データとして収集した企業は、国内外での研究炉の建設や発電炉の建設に関わった経験もあると推定し、この日本企業が建設をする場合の格差を、発電炉の経験による低価格による影響と対応させ、日本が新たに建設を進める場合は1.7倍であると仮定した。

この根拠にしているデータ⁹⁾は、表 5-8 に示す 1998 年と 2009 年前後に完成した発電炉の建設投資コストを韓国、日本、及びヨーロッパの代表であるオランダについて比較したものを利用した。特に、韓国の発電炉の建設コストは世界に例を見ないほど安い実績があり、日本は韓国の約 1.4 倍から 1.7 倍である。また、最近国際入札が行われたオランダの研究炉 PALLAS についても参考のため掲載した。

このオランダを例として掲載した理由は、PALLAS の落札は韓国企業ではなく、アルゼンチンの企業であって、アルゼンチン企業の価格設定は韓国企業より更に低かったことが想定される。したがって、日本企業とアルゼンチン企業の建設コスト比は日本企業と韓国企業の建設コスト比よりも更に大きいことも想定されるが、競争が行われた事実などから、ここではアルゼンチン企業と日本企業のコストの比率は、日本企業と韓国企業のコスト比に比べ極端に大きな差は出ないと想定した。そこで、建設費のコストの国際的な差として、2009 年時の、韓国企業と日本企業のコスト比を使うこととし、日本企業の建設費を **1.7 倍と仮定**して評価を進めることとした。

それらの仮定の下に、算出した出力別建設費の算出結果のグラフを図 5-46 に示す。

表 5-8 韓国と日本、オランダでの発電炉建設費の比較⁹⁾

国名など	全建設費 (2009 年)	全建設費 (1998 年)	備考
韓国	2,340 USD/kWe	2,260 USD/kWe	PWR
日本	3,940 USD/kWe	3,146 USD/kWe	BWR と ABWR
オランダ	6,383 USD/kWe	—	PWR
日本／韓国	1.68	1.39	
オランダ／韓国	2.72	—	PALLAS 炉では韓国とアルゼンチンが競合

(2018 年 12 月 WNA Economics of Nuclear Power を参照にして作成)

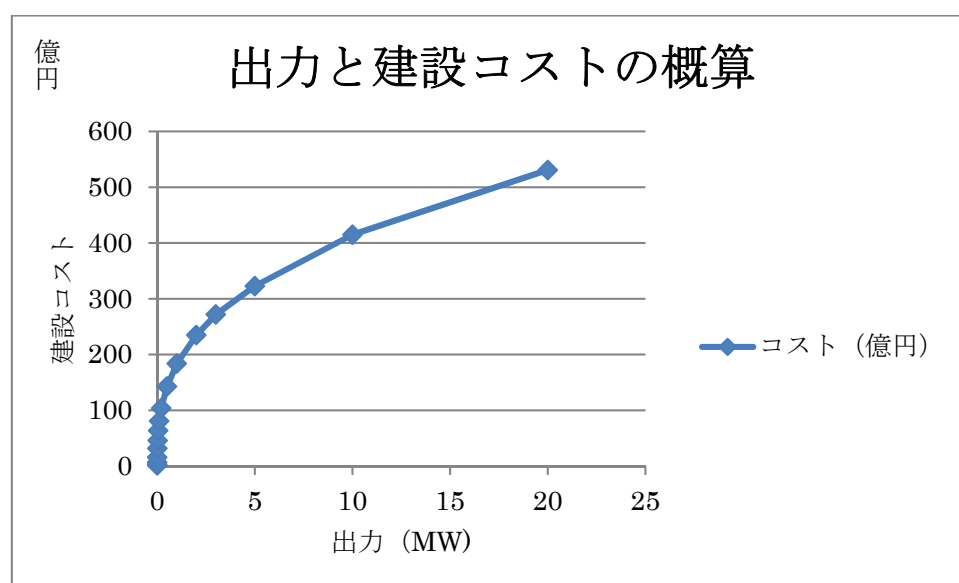


図 5-46 試験研究炉の出力とコストの概算

以上のように少ないデータから近似式を求め、かつ、外国の建設費との乖離の倍率で修正をした値であるために誤差はあるが、おおよその目安は評価できると考えて今年度のケーススタディで使う試験研究炉の出力別建設費の概算の算出に使うこととした。

5.2.2 組織人員の算出

平成 29 年度の調査では、IAEA RRDB¹⁰⁾を参照して世界の試験研究炉施設における運転員数、所属研究機関の職員数及び経費についての報告をした。今年度は、これらのデータを基にして試験研究炉の出力を変数とした推定式を導出した。

この結果、組織総人員の算出近似式 (y_1 : 総人数、 X : 研究炉出力: kW) は

$$y_1 = 2.5038x^{0.2728}$$

と表され、当てはまりの度合いを示す決定係数は、 $R^2 = 0.3831$ である。

また、運転員数は (y_2 : 運転員数) を累乗関数で表すと

$$y_2 = 1.8916x^{0.205}$$

決定係数は $R^2 = 0.4107$ である。

これらの近似式は、出力の低い研究炉の場合のばらつきが大きいため決定係数がかなり低い
が、運転員数の近似の度合いは図 5-47 になる。

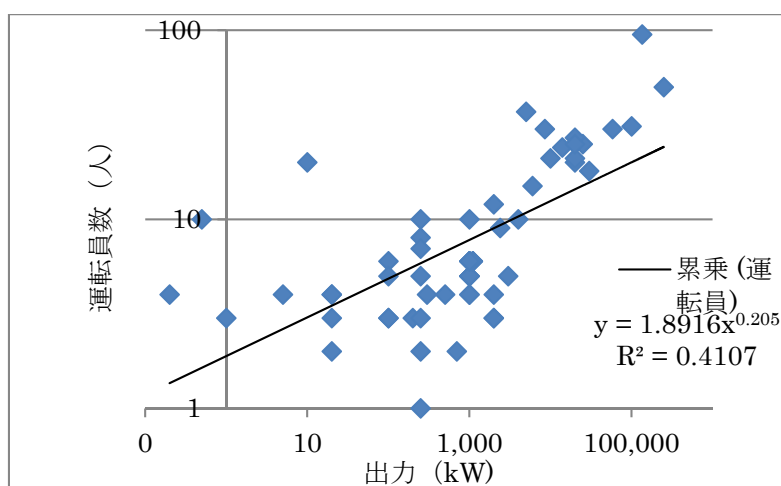


図 5-47 試験研究炉の出力と運転員数の近似

また年経費 y_3 (百万円) は、同様の手法で近似した結果、

$$y_3 = 0.6016x^{0.7067}$$

と表すことができ、そのときの決定係数は $R^2 = 0.7101$ である。この近似の度合いを図示すると図 5-48 のようになる。

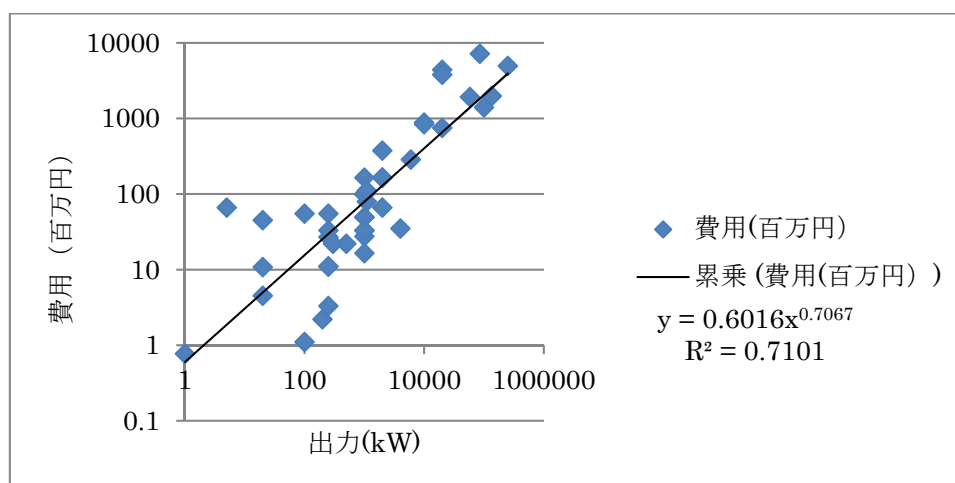


図 5-48 試験研究炉の出力と年経費の近似

5.2.3 試験研究炉管理に関する諸元のまとめ

以上の三つの式を使い、注目する試験研究炉の出力別の運転員数、研究所総員、及び年経費の算出をした。これらの結果を整理して表 5-9 に示す。

表 5-9 建設費などの算出結果

	臨界実験装置	低出力炉	中出力炉	高出力炉
建設費	～100 億円	250 億円 (2MW)	450 億円 (10MW)	550 億円 (20MW)
年経費	～1 百万円	82 百万円	400 百万円	700 百万円
運転員／研究所員	2 人／3 人	6 人／14 人	7 人／31 人	15 人／37 人

次に、1980 年代後半から建設された代表的な試験研究炉（チェルノブイリ発電所事故の前後から着工された炉）の建設期間を IAEA の RRDB¹⁰⁾で調べ、表 5-10 に炉出力別にまとめた。

この表から、ヨルダンでは臨界実験装置より試験研究炉の方が期間は短い例もあるように、炉出力の依存性より、政策的なニーズや規制動向への依存性が強く出ているように見える。しかし、低出力炉の例では最短でも 32 か月程度は必要で、中出力炉では最低でも 52 か月は必要と思われる。

表 5-10 出力別建設期間の例¹⁰⁾

臨界実験装置	低出力炉	中出力炉	高出力炉
<u>ヨルダン</u> JSA 2009 年 3 月～2013 年 6 月	<u>ヨルダン</u> JRTR (5MW) 2013 年 8 月～2016 年 4 月	<u>日本</u> JRR-3 (20MW) 1985 年 8 月～1990 年 3 月	<u>中国</u> CARR (60MW) 2002 年 8 月～2010 年 5 月
<u>日本</u> STACY 1989 年 6 月～1995 年 2 月	<u>中国</u> MJTR (5MW) 1986 年 10 月～1991 年 3 月	<u>韓国</u> HANARO (30MW) 1987 年 6 月～1995 年 2 月	<u>フランス</u> JHR (100MW) 2007 年 3 月～2021 年当初 (予定)
		<u>オーストラリア</u> OPAL (20MW) 2002 年 4 月～2006 年 8 月	

5.3 メーカー等建設主体からの意見聴取

我が国においては1960年代に多くの試験研究炉が建設されたが、JAEAのHTTR、STACYの建設を最後に約30年間建設は行われていない。そのため、国内の主要なプラントメーカーに設計経験者は不在であると思われる。このような状況において、もんじゅサイトに試験研究炉を建設する際に、プラントメーカーの参加の可能性があるのか、また、建設に当たっての課題にはどのようなものがあるか、保有している特徴的なノウハウ技術にはどのようなものがあるかなどの、建設に向けて考慮しておくべき点について専門的な観点から意見を聴取した。意見聴取先は、建設実績のある東芝エネルギーシステムズ(株)、三菱重工業(株)、日立GEニュークリア・エナジー(株)の重電3社である。

5.3.1 各社の原子力事業の概要と研究炉等の建設実績

各プラントメーカーの国内の事業展開は、東京電力福島第一原子力発電所の事故後の復旧、廃炉に向けた対応及び原子力発電所の運転再開や定検等が主要な業務となっている。一方、海外展開については、安全性向上等による建設費の高騰により、各プラントメーカーとも海外事業からの撤退を余儀なくされている。

東芝エネルギーシステムズ(株)は、これまで小型ナトリウム高速炉(4S)に見られるような次世代炉開発や高温ガス炉の研究を実施してきており、重粒子線、加速器の分野など幅広い事業展開を行っている。これまでの研究炉建設の実績は、常陽の建設時の幹事会社、JMTRの設計(日立と共同)、HTTRの一次系炉心部の設計や制御系の製作などを実施している。また、自社において、NCA(東芝臨界実験装置)やTTR(東芝教育訓練用原子炉：廃止措置中)を建設し運営しており、中性子利用、原子炉管理の経験も有している。図5-49に組織図を示す。

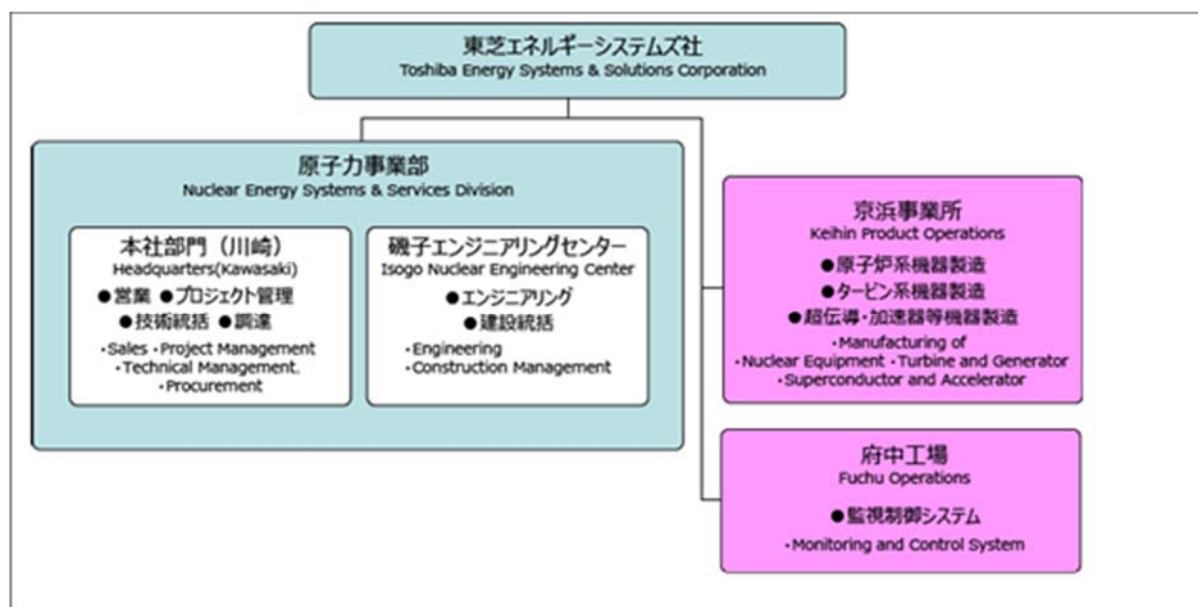


図 5-49 東芝エネルギーシステムズ(株)組織図¹¹⁾

三菱重工業（株）は、仏国フラマトム社と連携した ATM-1（APWR）の開発・事業化や COGEMA（現在は AREVANC）の子会社であるサンゴバン社（SGN）からの技術移転による六ヶ所再処理施設の設計、主要プロセスの建設を手がけてきた。特に、FBR 開発については幹事会社として取りまとめを行っており、エンジニアリングを行う三菱 FBR システムズ（株）を有する FBR 開発の主要メーカーである。研究炉等の設計建設実績は、もんじゅ建設時の幹事会社として一次系や HTTR の基本設計、格納容器の設計などの実績がある。図 5-50 に組織図を示す。



図 5-50 三菱重工業（株）組織図 12)

日立 GE ニュークリア・エナジー（株）は、関連会社である GE Hitachi Nuclear Energy と技術や営業などで連携して事業を展開している。新型炉開発では沸騰水型原子炉（ABWR）をベースとした稠密燃料を採用した軽水炉冷却高速炉（PBWR）と米国 NRC が評価済の小型モジュール金属燃料 Na 冷却高速炉（PRISM）の開発を実施している。研究炉については、これまで JRR-3 の設計、建設及び JMTR の共同取りまとめなどの実績がある。図 5-51 に組織図を示す。

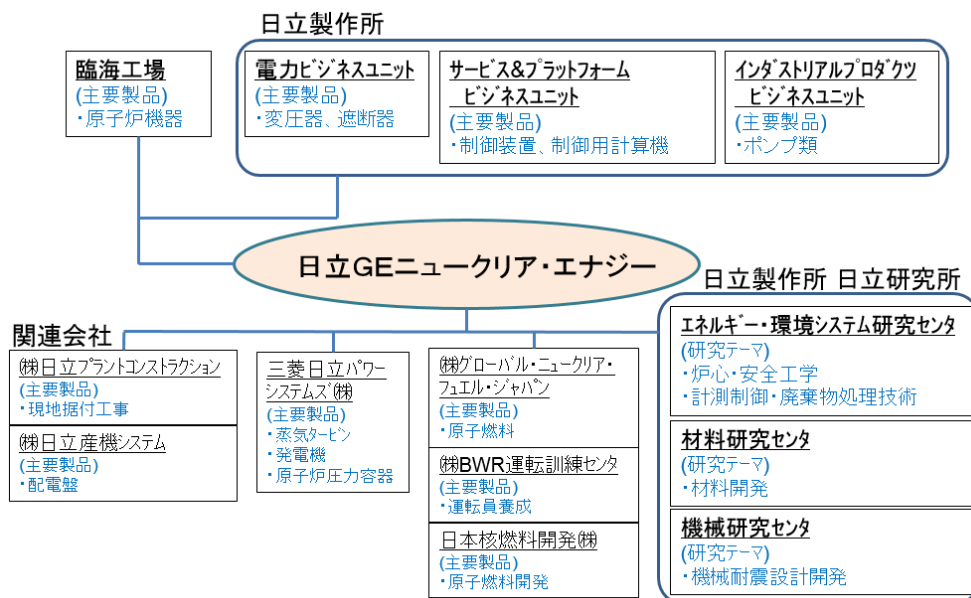


図 5-51 日立 GE ニュークリア・エナジー（株）組織図 13)

5.3.2 試験研究炉への取り組みや原子炉施設の建設経験からの助言

プラントメーカー各社は、もんじゅサイトに試験研究炉を建設するに際し、基本的に参加する意向を示している、設計、製作、建設は可能である。プラントメーカーは、発注者が実施する概念検討やシステムデザインなどの仕様に従い設計・製作を行うことになる。仕様の検討は研究機関や大学等の専門家が実施することになるが、軽水炉、高速炉、高温ガス炉などの経験が活かせる業務であれば協力は可能であるとの意見であった。海外のメーカーとの連携については、機器・サブシステムレベルの製品を供給するという方式を1900年代から行っていて、最近では国内の原子力発電所の新規制基準対応でフィルターベントシステムなどを輸出しているメーカーもあった。

また、建設以外に課題として燃料調達がある。試験研究炉の燃料は特殊で発電用の燃料とは異なった製造ラインが必要で、簡単には入手できない。板状燃料製造には軽水炉燃料の製造経験を活かすことができるとしている。しかしながら、研究炉の燃料を製作する専用の燃料工場を作って供給するのは経済的な観点から現実的ではないとの意見があった。燃料スペックの決定、調達については重要な課題であり、国内の現状を踏まえ計画段階から検討する必要がある。

プラントメーカーがこれまで実施してきた原子炉関係施設の設計や建設の経験から、以下のような課題や助言があった。

軽水炉プラントの経験から、高度化されたCAD・CAMシステムの利用、保全計画立案、全天候式建設工法の高度化やモジュール・プレハブ工法、先入れ工法による工程短縮のエンジニアリング、調達・製造・現地工事作業の平準化、土木建築との協調エンジニアリングなどが工事をすすめる上で重要である。また、試験研究炉には特有な付帯設備があることから、研究機関との調整、検証、他メーカーとの技術連携などプロジェクト管理も重要となる。建設工事に当たっての分担については、あまり細分化すると取り合い点が多く錯綜するので、ある程度大きくりにすることで取り合い点を減らす管理が合理的である。これらについては概念検討の段階からプロジェクト管理全体として考えていく必要がある。

5.3.3 もんじゅサイトに試験研究炉を建設する際に考慮すべき点

試験研究炉の規模によっては、新規制基準に従い強固な岩盤上へ設置する必要があり、最近の知見に基づく基準地震動における設計、斜面の安定性の確認が必要となる。

また、もんじゅの廃止措置と並行して試験研究炉を建設する場合は、廃止措置に影響を与えない建設計画とする必要があり、もんじゅ解体スケジュールや作業エリアの確保など細かい調整が必要となる。廃止措置では、機器等の解体、洗浄エリア以外にナトリウム処理設備の設置エリアが追加で必要となる可能性がある。軽水炉の建設経験では、原子力発電所の廃止措置とプラント建設の並行作業を実施した経験はないが、運転中のプラントに隣接して次号機を建設した経験がある。そのときの留意事項としては、大型機器の搬入、異常振動の発生、クレーン転倒など影響するリスクをあらかじめ検討して進めることが重要となる。

5.4 試験研究炉に求められる機能

3章では、学術利用、産業利用、人材育成、などのニーズについて整理をしたが、これらのニーズを研究炉の概念検討に反映するために、それぞれの出力の研究炉に要求される機能について検討し、以下の表 5-11 のように整理した。

表 5-11 試験研究炉に要求される主要な機能

分野		臨界実験装置	低出力炉	中出力炉	高出力炉
学術	核データ採取	反応度等変化評価 測定機能	同左	同左	同左
	燃料・材料研究	燃料集合体臨界特 性計測機能	小試験片材料照 射機能	小規模照射・照射 後試験機能	大規模照射・照射 後試験機能
	安全研究	—	冷却材流動模擬 試験機能	耐震、安全系作動 確認機能	同左
	中性子ビーム 科学	—	以下の研究実施 機能 ・小規模散乱研 究 ・放射化分析・中 性子ラジオグ ラフィ研究 ・陽電子消滅研 究	以下の研究実施 機能 ・大規模散乱研 究 ・動的・立体ラジ オグラフィ研 究 ・即発 γ 線分析 ・陽電子消滅	以下の研究実施 機能 ・大規模散乱研 究 ・即発 γ 線分析研 究
	医療応用研究	—	・被ばく評価研 究 ・医療用放射線 検出器研究	同左	—
	共用設備	・遠隔地データ解 析接続設備	・遠隔地データ 解析接続設備 ・試料調整／保 守部品加工施 設 ・小型ホットセ ル／グローブ ボックス	・遠隔地データ 解析接続設備 ・試料調整／保 守部品加工施 設 ・ホットセル／ グローブボッ クス	・遠隔地データ 解析接続設備 ・試料調整／保 守部品加工施 設 ・ホットセル
産業	炉心／燃料設計	・臨界実験 ・炉心解析コード 検証	・小規模燃料照 射と試験(イン パイルループ)	・中規模燃料照 射(インパイル ループ)	・大規模燃料照 射(インパイル ループ)

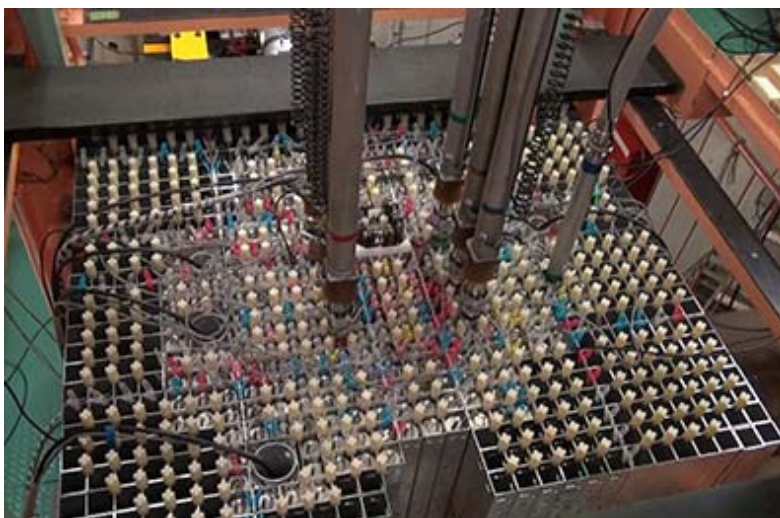
分野		臨界実験装置	低出力炉	中出力炉	高出力炉
産業	構造材料照射	—	小規模材料照射 と試験	中規模材料照射 (照射中試験)	大規模材料照射 (照射中試験)
	散乱/回折技術 応用	—	・粉末回折試験 ・小規模試料残 留応力測定	・冷中性子利用 ・散乱/回折技 術全般	同左
	中性子ラジオ グラフィ	—	・中性子ラジオ グラフィ	・高分解能動画・ トモグラフィ	同左
	放射化分析	—	・ラビット方式・ キャプセル照 射	・ラビット方式・ キャプセル照 射 ・即発 γ 線分析	同左
	RI 製造	—	・短寿命核種製 造	・全核種製造	同左
	Si ドーピング他	—	—	—	—
	共用設備	学術利用と同じ	同左	同左	同左
人材育成	研究炉	・学生教育用支援 設備 (燃料モデ ルなど) ・教育記録装置	・学生教育用支 援設備 (燃料、 研究炉、炉心部 モデルなど)	同左	同左
	その他の 補完設備	・フルスコープ又 は PC ベースシ ミュレータ ・熱流動試験装置 (炉心部、熱交 換部、緊急冷却 系、事故模擬) ・保全モックアッ プ (一次系及び 機器、熱交換系 及び機器) ・遠隔教育用機材	同左	同左	同左

5.5 試験研究炉の候補

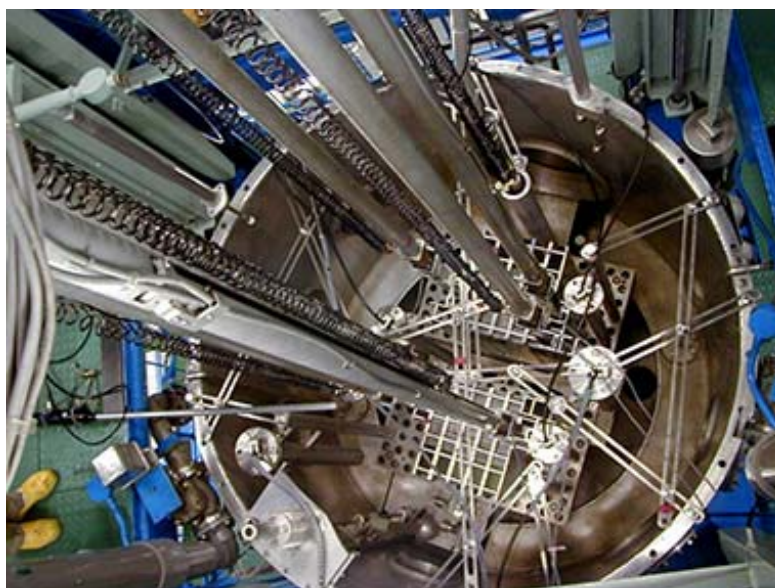
ここまでに調査分析した内容を踏まえ、今後建設に向けて検討を進める上で、レファレンスとして設定する試験研究炉の候補を5機種選定した。

提案1：臨界実験装置

人材育成、炉心・燃料設計などの機能を持った臨界実験装置（先行例：KUCA、FCA、NCA いずれも日本）。図 5-52 に示した例は、京都大学で運転中の臨界実験装置（臨界集合体実験装置：KUCA）で、減速材は、必要なスペクトルを得るために、固体又は液体を選択して運転している。中性子の発生は少ないため遮蔽材などは使われていない。



(a) 固体減速の臨界炉心



(b) 液体減速の臨界炉心

図 5-52 京大 複合原子力科学研究所 臨界実験装置 (KUCA) ¹⁴⁾

本提案の場合、図 5-53 に示すように、臨界実験装置に加え、原子炉シミュレータ、炉外伝熱流動試験装置を併設することも考えられる。臨界実験装置で静的な炉物理特性試験、シミュレータでは臨界実験装置で得られた炉心データをを用いた動特性、炉外伝熱流動試験装置で LOCA を含めた伝熱特性試験を行うことができ、次世代炉開発、新燃料開発に有効である。また、教育訓練に関しては、原子炉の通常運転時に加え、過渡時、異常時の運転訓練を行うことができる。

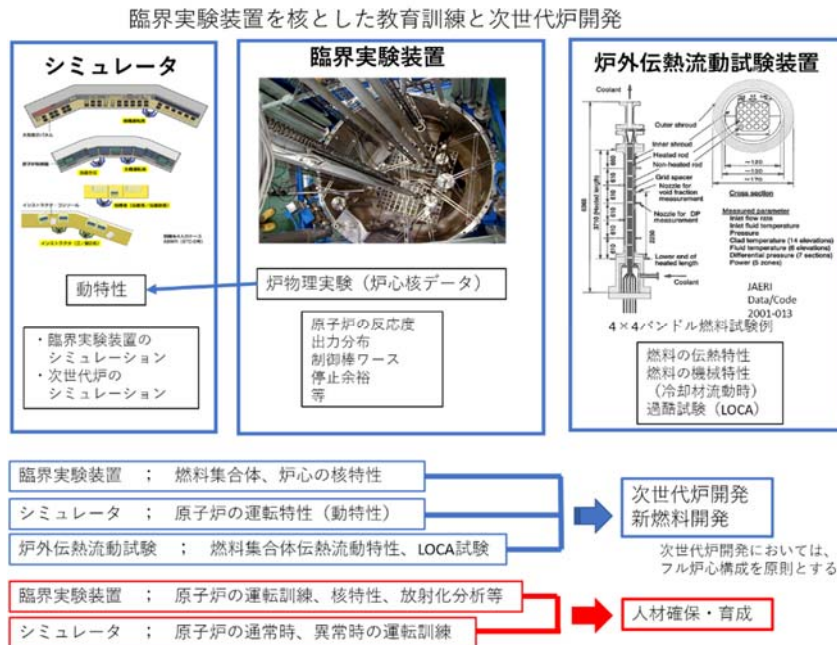


図 5-53 臨界実験装置、シミュレータ、炉外伝熱流動試験装置の併設ケース

提案 2：低出力試験研究炉

低出力試験研究炉として、出力 2MW 未満のパルス運転方式の研究炉と連続ビーム方式の研究炉を提案する。

提案 2-1：低出力試験研究炉（パルス運転方式）

人材育成、産業応用（中規模散乱、ラジオグラフィ、放射化分析、短寿命 RI 製造）、学术研究（炉物理、炉心設計、材料・燃料開発）及び炉心燃料の安全研究などに利用できる機能を持ったパルス運転の試験研究炉（先行例：IBR-2（露 高速炉）¹⁵⁾、NSRR（日）、TREAT（米））。

図 5-54～図 5-56 に、IRBR-2 の炉心、主要パラメータ及び中性子利用ビーム実験装置のレイアウトを示す。この研究炉は、酸化物燃料による Na 冷却の高速炉で、中心部は高速炉、周辺に軽水タンクを設置して減速し、熱中性子を使えるようにしている。中性子ビームのパルス化は、回転式反射材により、5Hz で 0.2msec の幅のパルスを発生させている。このパルス運転方式の研究炉は、瞬間的に大きな中性子パルスを発生させ、散乱実験ができるようにしていることが特徴であり、その利用実験は、中性子回折（結晶構造解析）、小角散乱（微粒子や界面構造解析）、非弾性散乱（結晶の動的な構造・性質解析）、などである。

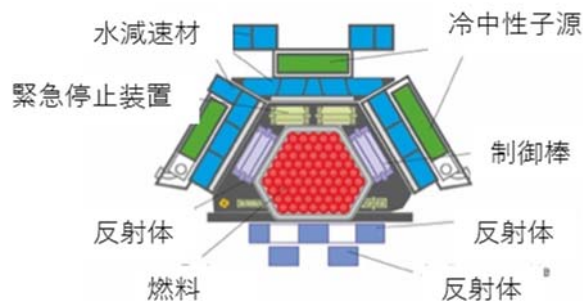
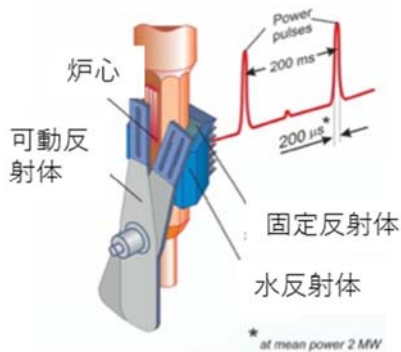


図 5-54 Na 冷却高速パルス炉 IRB-2 の炉心近傍での減速材配置図¹⁵⁾



燃料	PuO ₂
平均出力	2 MW
冷却	Na
パルス特性	半値幅；速中性子 245 μs、熱中性子 340 μs
	パルス数；5, 10 Hz

図 5-55 Na 冷却高速パルス炉 IRB-2 のパルス化と主要パラメータ¹⁵⁾

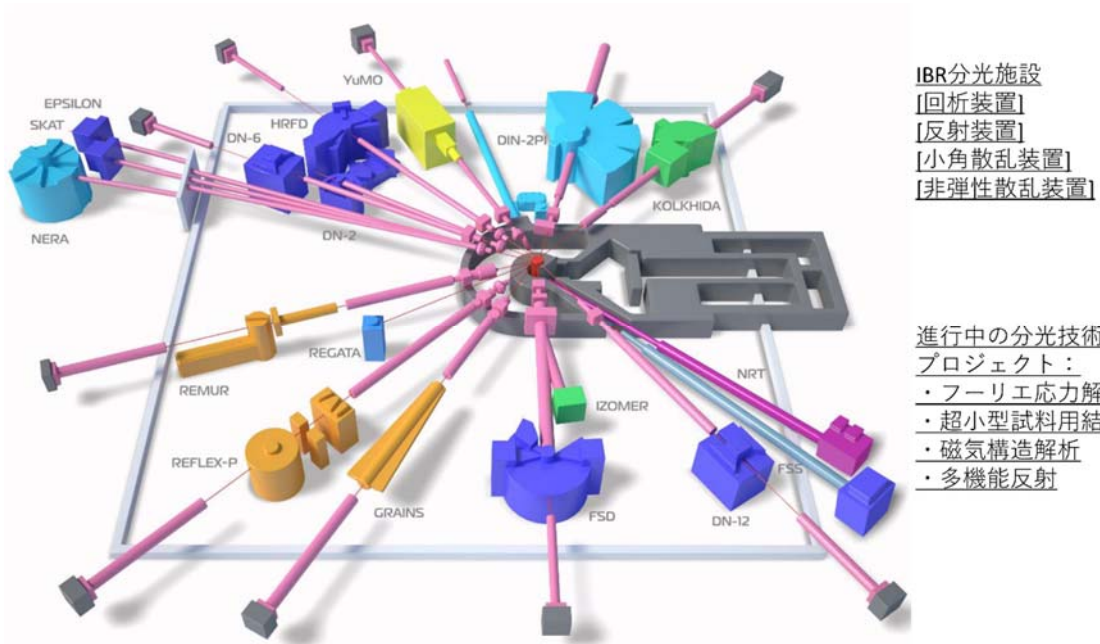


図 5-56 Na 冷却高速パルス炉 IRB-2 の中性子利用研究や産業応用のレイアウト ¹⁵⁾

提案 2-2 : 低出力試験研究炉 (連続ビーム炉)

人材育成、産業応用 (小規模散乱、ラジオグラフィ、放射化分析、短寿命 RI 製造)、学術研究 (炉物理、炉心設計、材料・燃料開発)、などに利用できる機能を持った連続出力 2MW 未満の試験研究炉 (先行例 : PULSTAR (1MW 米) ¹⁶⁾、HOR (2.3MW オランダ) ¹⁷⁾、TTR (100kW 日本))。

図 5-57 に米国ノースカロライナ大学の研究炉 PULSTAR の炉心構成を、表 5-12 に PULSTAR のビームポートの仕様を示す。

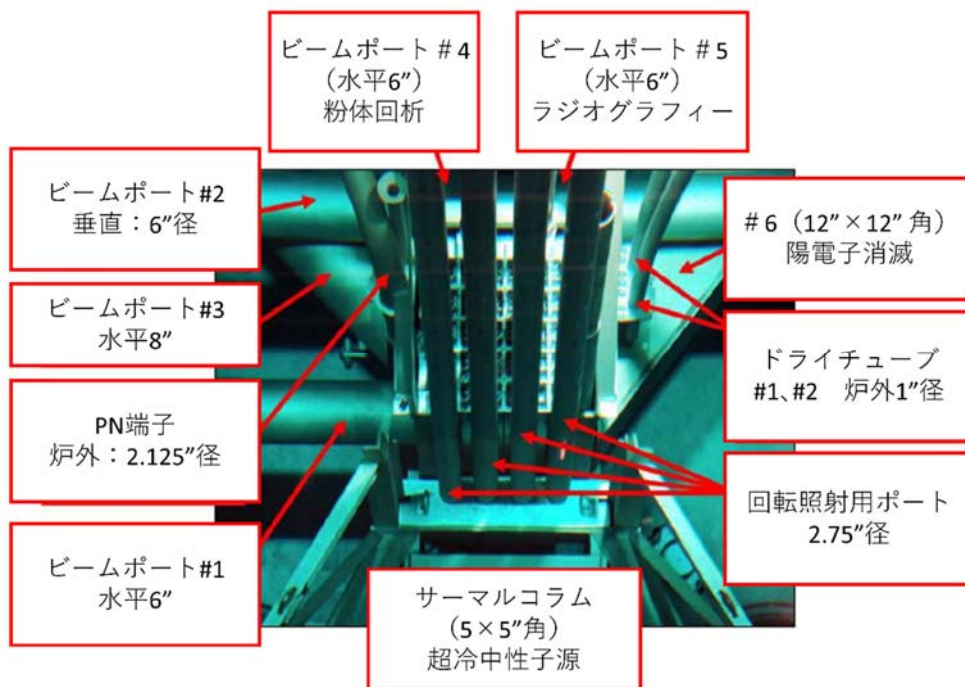


図 5-57 米国ノースカロライナ大学 PULSTAR 炉の炉心構成 ¹⁶⁾

表 5-12 PULSTAR 炉の利用可能な中性子束とビームポート 16)

PULSTAR 原子炉の性能

施設の性能	場所と寸法	ビーム強度
回転式照射ポート (炉外 4"プール)	2.5"径 (湿分含有試料)	$1.0 \times 10^{13} \text{n/cm}^2/\text{sec}$ (熱) $1.0 \times 10^{12} \text{n/cm}^2/\text{sec}$ (高速)
乾燥試料照射ポート (炉外 1"プール)	1.25"径 (乾燥試料)	$4.0 \times 10^{12} \text{n/cm}^2/\text{sec}$ (熱) $1.0 \times 10^{11} \text{n/cm}^2/\text{sec}$ (高速)
気送系端末	1.25"径ラビット搬送システム	$1.0 \times 10^{13} \text{n/cm}^2/\text{sec}$ (熱) $1.0 \times 10^{12} \text{n/cm}^2/\text{sec}$ (高速)
水圧系パイプ	3.5"径乾燥試料照射	$1.0 \times 10^{11} \text{n/cm}^2/\text{sec}$ (熱) $5.0 \times 10^9 \text{n/cm}^2/\text{sec}$ (高速)
ビームポート#1	6"径 水平管	$1.0 \times 10^{12} \text{n/cm}^2/\text{sec}$ (熱)
ビームポート#2	6"径 垂直管	$1.0 \times 10^{12} \text{n/cm}^2/\text{sec}$ (熱)
ビームポート#3	8"径 水平管	$1.0 \times 10^{12} \text{n/cm}^2/\text{sec}$ (熱)
ビームポート#4 粉体回折装置 (NPDF)	6"径 水平管	$\sim 0.5 \times 10^9 \text{n/cm}^2/\text{sec}$ (1.4 \AA)
ビームポート#5 イメージング装置 (NIF)	6"径 水平管	$\sim 5 \times 10^6 \text{n/cm}^2/\text{sec}$ (熱)
ビームポート#6 陽電子源 (IPS)	12×12 角 水平管	$6 \times 10^8 \text{positrons/sec}$ (陽電子) (最大 30KeV)
サーマルコラム 超冷中性子源 (UCN)	5×5×7 冷却系 (ボロンシールド付き)	$6 \sim 16 \times 10^6 \text{n/sec}$ (超冷中性子数)
PULSTAR インターネット 原子力研究室	ビデオ会議システム (制御室内)、遠隔操作カメラ計測系、直読システム、オンラインデータ収集システム	

PULSTAR の試験研究炉は、軽水減速・低濃縮燃料で出力 1MW の低出力研究炉であるが、散乱実験の中の粉体回折が実施可能で、かつ冷中性子も発生させて中性子科学の研究も可能にし、また中性子ラジオグラフィも実施可能であり、中性子の基礎物理研究、リチウムイオン電池電極の構造解析、陽電子消滅の研究等を行っている。さらに、この試験研究炉では、インターネットを利用したビデオ遠隔教育や、オンラインでデータ採取も行えるような設備もある。

次の図 5-58 と図 5-59 は、オランダの Delft 大学の HOR (2.3MW) ¹⁷⁾ である。この試験研究炉では、昨年まで、冷中性子発生用の機器設置の工事が行われていたが、これらを活用した散乱実験も活発に行っている。中性子散乱システム、小角散乱装置等も充実して、金属結晶の構造分析研究、蛋白質の液体空気接触反応、金属表面への水素吸着、磁気フィルムの記憶・読み出し現象の解析など、材料関係の研究開発に貢献している。

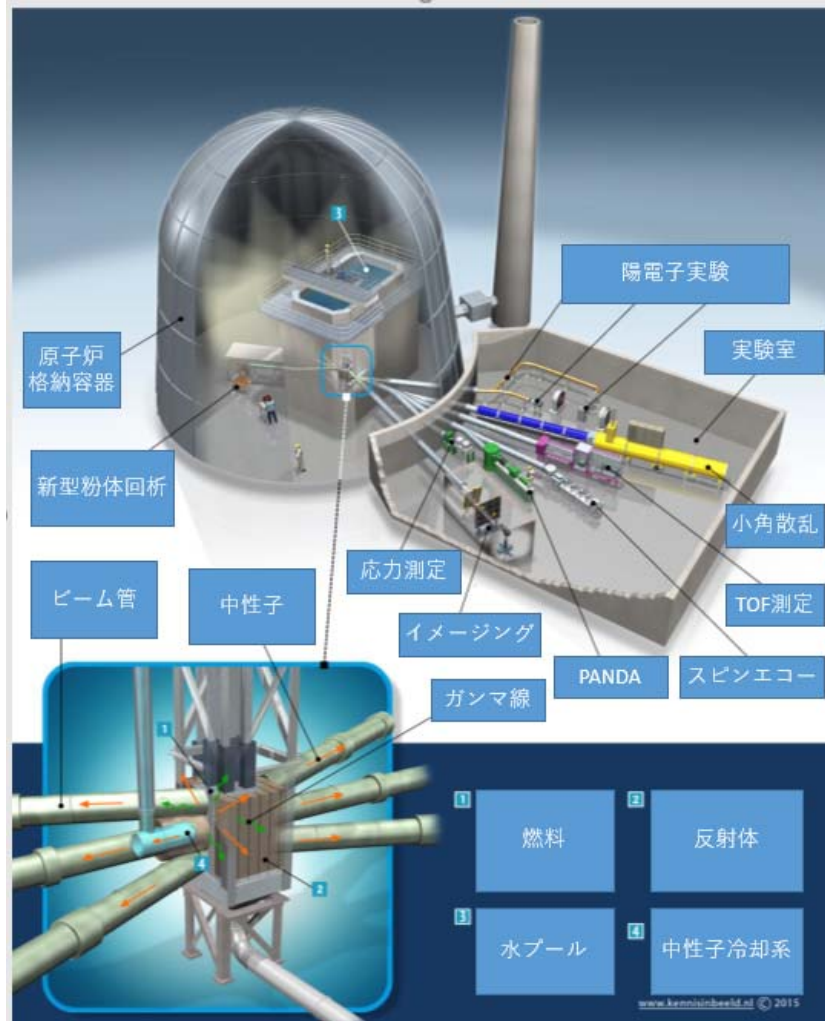


図 5-58 HOR 炉のビームポート ¹⁷⁾



SANS

建設中の計測系と古典的な小角散乱装置

図 5-59 HOR 炉の小角散乱試験装置 ¹⁷⁾

提案 3：中出力試験研究炉¹⁴⁾

この試験研究炉の提案は、京都大学複合原子力科学研究所に設置されている KUR 炉（5MW）が 2026 年頃に米国への燃料返還期限となり運転停止の可能性があることから、その後継研究炉としての役割を果たすことを想定して検討したものである。

本提案の中出力試験研究炉は、炉出力 10MW、燃料は低濃縮 U-Mo で、反射体に Be、Pb、黒鉛、などを使って利用目的に合致したスペクトルを持たせ構造にし、冷中性子や超冷中性子（VCNS）なども準備した中性子科学（散乱を中心）の展開を可能にし、かつ原子炉の燃料・材料などの小規模照射実験、生物や新材料の精密制御照射、陽電子利用研究、など先端の学術利用や、ラジオグラフィなども含めた産業化利用にも利用可能な機能を持たせることも可能であるとしている。また人材育成も実習や OJT により実行可能であるとしていて、今回の試験研究炉のニーズの多くをカバーできる可能性のある提案である。

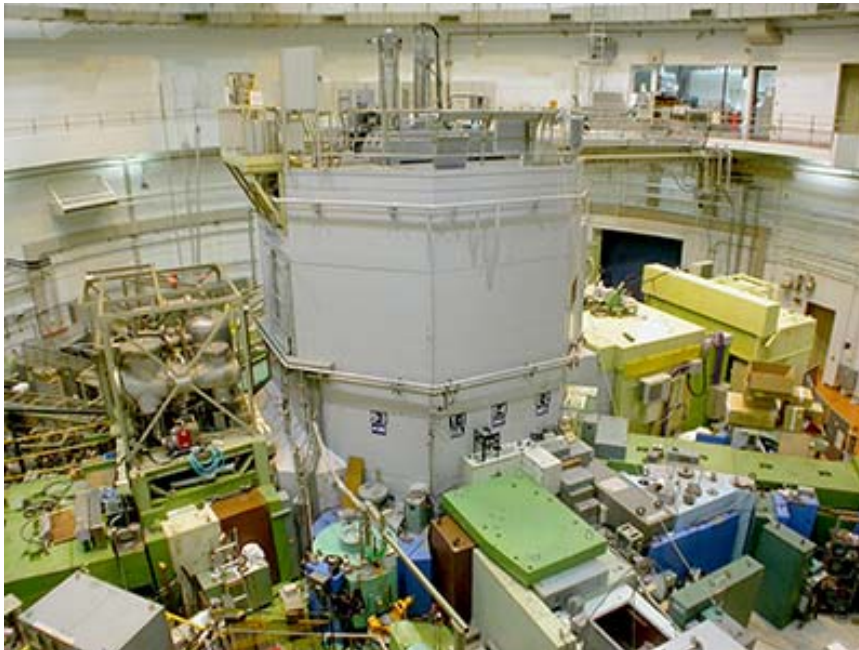


図 5-60 京都大学複合原子力科学研究所で運転中の KUR 炉室¹⁴⁾

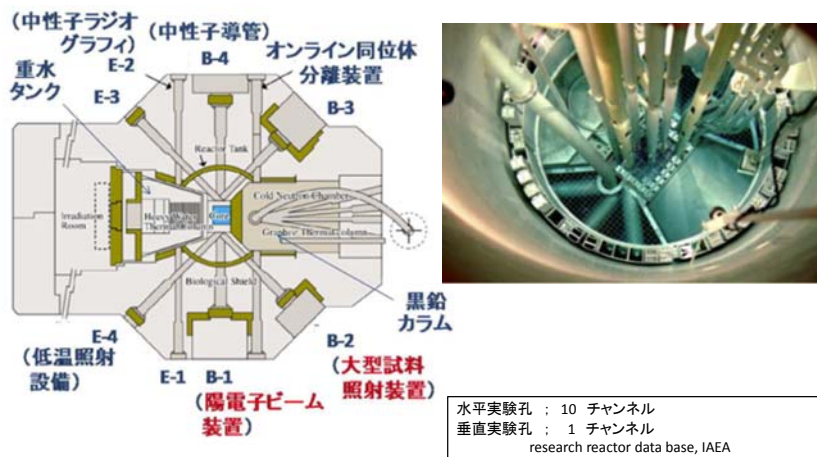


図 5-61 KUR の炉心¹⁴⁾

提案 4：スペクトルシフト試験研究炉

この試験研究炉の概念は地元大学の研究成果に基づいて提案され、次世代の高速炉の研究開発に向けた試験研究炉の概念である。高速炉の中性子スペクトルと熱中性子炉の中性子スペクトルの両方が同じ原子炉容器内に、一定の区画をした領域に存在するようにした試験研究炉を建設し、それを利用して、将来の安全な高速炉の基礎研究を行うという構想である。

このような試験研究炉は実存していないため、レファレンスにする炉はないが、やや近い形式の試験研究炉は、図 5-54 に示した IBR-2 である。

今後、このスペクトルシフト試験研究炉の実現性を含め検討の枠組みを構築することが必要である。

提案 5：中小型炉の確認試験研究炉

現在、世界各国で、大型炉の建設時の資金調達リスク回避のために発電用中小型原子炉¹⁸⁾の検討が進められている。本提案は、この中小型炉の実証・確認のための試験研究炉である。米国では、PRISM 炉をモデルにして INL サイトに多目的炉として VTR を計画しているが、ここでは、それに類するものとしての提案である。米国では、第 4 世代炉として Na 冷却炉も一つの候補として取り上げられていて、中小型炉でも有望視されている例が PRISM 炉である。日本ではどのような方向に向かうかは現在のところ不明ではあるが、多様な冷却方式に対応できる多目的試験研究炉を選択すれば、将来の原子力発電への貢献は可能だと思われ、この選択肢も提案することとした。

この検討には、米国の VTR¹⁹⁾が参考になることは確かであり、出力は全体を包括する意味で高出力炉に位置づけたが、設計次第では中出力、低出力などでも可能であると思われる。

参考のために、米国の VTR が参照している発電用中小型炉の PRISM 炉（約 300MWe）を図 5-62 に示す。

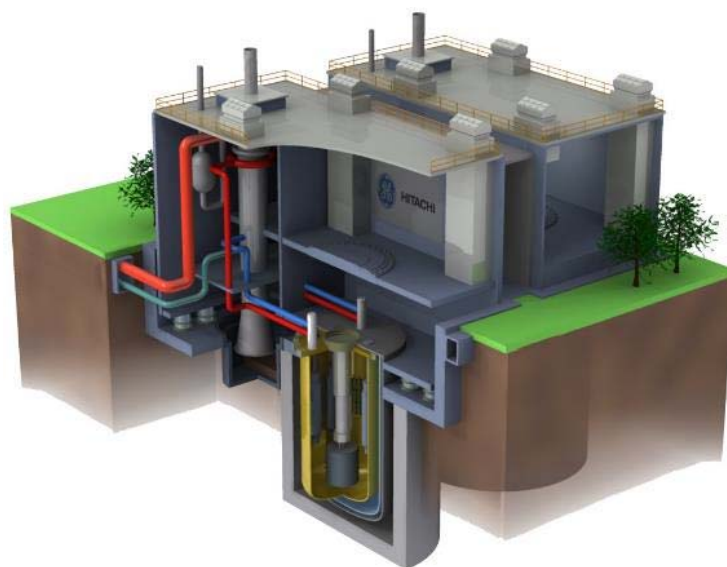


図 5-62 GE-HITACHI 社の PRISM 炉¹⁹⁾

5.6 もんじゅサイトの試験研究炉の選定に関するケーススタディ

以上の調査に基づき、今回提案する試験研究炉の諸元をまとめると表 5-13 に示すようになる。この表には、試験研究炉の出力別に、臨界実験装置（提案 1）、2MW 未満の低出力炉（提案 2-1、提案 2-2）、2MW 以上 20MW 未満の中出力炉（提案 3、提案 4）、20MW 以上の高出力炉（提案 5）に分けて、試験研究炉の機能の特長をまとめ、国内外の代表的な試験研究炉を例示し、ニーズ調査などから想定した利用目的を人材育成、新型炉開発、学術研究、産業利用に分けて整理して示した。さらに、試験研究炉の建設から運転管理にわたる費用に関する概略の推定値を示すとともに、もんじゅサイトの地形的、地盤的要件をまとめ、最後に各出力の研究炉に対応する 5 件の提案の試験研究炉型の候補を示した。

表 5-14 に、既存の試験研究炉と今回提案する 5 件の試験研究炉について、利用目的ごとの有用性の相対比較を示した。また、図 5-63 に、国内の主要な試験研究炉の運転予定のタイムスケジュールともんじゅサイトに新設する試験研究炉の設計、建設～運転の想定時期も併せて記載した。

今回提案した 5 件の試験研究炉の候補からの絞り込み・選定には、ニーズに基づく機能の優先度の議論を詰めるとともに、試験研究炉の先端性や新規性、地域や国際的な貢献度合い、必要な資金や財務課題、施設の建設・運用体制、必要な設計や建設期間課題、などの検討が必須の要件である。次年度以降、早急にこれらの検討に着手することを期待する。

本検討には、高い専門性が必要とされる課題もあるため、研究炉の技術課題の検討を進める技術タスクホースと運営・管理・試験研究炉の貢献などの社会経済課題を扱う、社会経済タスクホースに分けて検討を進める必要があると考える。

表 5-13 試験研究炉のケーススタディ

項目	臨界実験装置	低出力炉 (2MW 未満)	中出力炉 (2MW 以上 20MW 未満)	高出力炉 (20MW 以上)
主な特徴 (機能の特徴)	<p>【出力と構造】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・低出力 ・小型プール型容器と低発熱 ・燃料集合体構成、模擬減速材、炉心構成などの変更が比較的容易 ・設備の追加、改造は比較的容易 <p>【人材育成】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・炉物理・炉工学基礎教育 ・反応度関係安全管理基礎訓練 ・技術者継続教育 (CPD) 訓練 ・遠隔教育用施設 <p>【学術利用・産業応用】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・燃料体関連基礎研究 ・新型炉炉心構成の研究 ・反応度特性評価研究 ・認可対応炉心解析コード検証 	<p>【出力と構造】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自然循環冷却など簡素化構造 ・連続運転、パルス運転の両モード運転可能 ・炉内機器 (燃料、反射体、減速材、遮蔽材など) の限定的な変更は可能 ・学術利用や産業応用のための小規模な付帯設備の増設、改造などは比較的容易 ・使用済燃料、廃棄物管理設備の常設 <p>【人材育成】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・炉物理・炉工学応用教育 (OJT) ・技術者向け基盤、応用技術訓練 (原子炉工学全般、各種機器使用技術、管理技術) ・公的運転資格取得訓練 ・技術者継続教育 (CPD) 訓練 ・国際人材育成連携施設 ・遠隔教育用施設 <p>【学術利用・産業応用】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・燃料/材料照射基礎試験 ・中性子利用研究と産業化開発 ・小規模産業サービス事業 ・医学応用基礎研究 	<p>【出力と構造】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・安定運転のための強制冷却系が必要 ・運転時間制限あり ・炉心位置移動などの若干の運転モードの変更可 ・自然災害・人災などへの発電炉並みの規制対応 ・学術利用や産業応用のための多様な恒久的な付帯設備の設置が必要 ・使用済燃料、廃棄物管理施設の常設 <p>【人材育成】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・同左 <p>【学術利用・産業応用】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・小規模燃料/材料、部品照射試験 (含むインパイルループ) ・多様な中性子利用研究と産業化開発 ・多様な産業サービス事業 ・医学応用基礎研究 	<p>【出力と構造】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・安定運転のための強制冷却系が必要 ・緊急時冷却系や予備電源設備が必要 ・連続運転可能 ・自然災害・人災などへの発電炉並みの規制対応 ・学術利用や産業応用のための多様な大型、恒久付帯設備の設置 ・使用済燃料、廃棄物管理の大型施設の常設 <p>【人材育成】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・同左 <p>【学術利用・産業応用】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大規模燃料・材料照射試験 (大型インパイルループ) ・高フラックス中性子利用研究と産業サービス事業
注目する国内外の 主な研究炉	<p>KUCA (日) 100W</p> <p>STACY (日) 200W</p> <p>AGN (米) 5W</p> <p>AGN-201K (韓) 10W</p> <p>RBMK (露) 25W</p> <p>VIENUS (ベルギー) 100W</p> <p>CROUCUS (スイス) 100W</p> <p>WRCF (米) 100W</p>	<p>UTR-KINKI (日) 1W</p> <p>NSRR (日) 300W</p> <p>TTR (日) 100kW</p> <p>TAPIRO (伊) 5kW</p> <p>MUTR (米) 250kW</p> <p>OSURR (米) 500kW</p> <p>UWNR (米) 1MW</p> <p>PULSTAR (米) 1MW</p>	<p>KUR (日) 5MW</p> <p>HOR (オランダ) 2MW</p> <p>IBR-2 (露) 2MW</p> <p>MITR (米) 6MW</p> <p>MURR (米) 10MW</p> <p>LVR (チェコ) 10MW</p> <p>ORPHEE (仏) 14MW</p> <p>IVV-2M (露) 15MW</p> <p>KJRR (韓) 15MW : 建設中</p>	<p>JRR-3 (日) 20MW</p> <p>HBR (ノルウェー) 20MW</p> <p>FRM-2 (独) 20MW</p> <p>OPAL (豪) 20MW</p> <p>HANARO (韓) 30MW</p> <p>CARR (中) 60MW</p> <p>JHR (仏) 100MW : 建設中</p> <p>BR-2 (ベルギー) 100MW</p> <p>ATR (米) 250MW</p> <p>VTR (米) 300MW : 計画中</p>

項目	臨界実験装置	低出力炉 (2MW 未満)	中出力炉 (2MW 以上 20MW 未満)	高出力炉 (20MW 以上)																																
人材育成	<p>【教育・訓練】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・シミュレータ、遠隔教育システム、熱流動装置の組み合わせ実習による原子力物理／工学基礎教育の実施 ・見学や実験補助的作業参加による実習の体験学習（主に非原子力系学生・教官） ・原子力施設全体の理解を目指す行政官、企業技術者、研究者などの導入教育 ・遠隔教育ネットワークの枠組みによる近隣諸国との国際連携 ・技能認定と訓練 ・核燃料保障措置対応教育 <table border="1"> <thead> <tr> <th>分類</th> <th>KUCA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>教育・実習・研修</td> <td>約 180 人</td> </tr> <tr> <td>研究開発(研究者、技術者)</td> <td>約 20 人</td> </tr> <tr> <td>計</td> <td>約 200 人</td> </tr> </tbody> </table> <p>*2006 年～2014 年の年間最大利用者数</p>	分類	KUCA	教育・実習・研修	約 180 人	研究開発(研究者、技術者)	約 20 人	計	約 200 人	<p>【教育・訓練】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・シミュレータ、遠隔教育システム、熱流動装置の組み合わせ実習による原子力物理／工学教育・訓練の実施 ・実験や管理業務の補助作業を通じた OJT による実務教育 ・原子力施設全体の理解を目指す行政官、企業技術者、研究者などの実務訓練 ・遠隔教育ネットワークによる国際連携 ・見学・体験訪問によるパブリックアウトリーチの実践 ・公的運転資格取得に向けた訓練 ・核燃料保障措置対応教育 <table border="1"> <thead> <tr> <th>分類</th> <th>UTR-KINKI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>教育・実習・研修</td> <td>約 950 人</td> </tr> <tr> <td>研究開発(研究者、技術者)</td> <td>約 120 人</td> </tr> <tr> <td>計</td> <td>約 1,070 人</td> </tr> </tbody> </table> <p>*2006 年～2014 年の年間最大利用者数</p>	分類	UTR-KINKI	教育・実習・研修	約 950 人	研究開発(研究者、技術者)	約 120 人	計	約 1,070 人	<p>【教育・訓練】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・施設設計・改造などの設計補助産業を通じた訓練 (OJT) ・原子力施設全体の理解を目指す行政官、企業技術者、研究者などの実務訓練 ・遠隔教育ネットワークによる国際連携 ・見学・体験訪問によるパブリックアウトリーチの実践 ・公的運転資格取得に向けた訓練 ・核燃料保障措置対応教育 <table border="1"> <thead> <tr> <th>分類</th> <th>KUR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>教育・実習・研修</td> <td>約 20 人</td> </tr> <tr> <td>研究開発(研究者、技術者)</td> <td>約 120 人</td> </tr> <tr> <td>計</td> <td>約 140 人</td> </tr> </tbody> </table> <p>*2006 年～2014 年の年間最大利用者数</p>	分類	KUR	教育・実習・研修	約 20 人	研究開発(研究者、技術者)	約 120 人	計	約 140 人	<p>【教育・訓練】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大型になるにつれて、左記の項目の実施は可能ではあるが、多様な利用スケジュールの調整、高度な実験の展開、などにより制約される機会が増える ・IAEA による国際研究炉利用連携枠組み (ICRR) へ登録し、導入計画国の技術者・技術指導を行う枠組みがある。現在は、仏 (JHR)、露 (各種高速研究炉)、ベルギー (BR-2)、米 (ATR、HIFR) が協力している。 <table border="1"> <thead> <tr> <th>分類</th> <th>JRR-3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>教育・実習・研修</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>研究開発(研究者、技術者)</td> <td>約 280 人</td> </tr> <tr> <td>計</td> <td>約 280 人</td> </tr> </tbody> </table> <p>*2006 年～2014 年の年間最大利用者数</p> <p>【技術継承】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・上記 ICRR や研究炉地域ネットワーク (ヨーロッパ、アフリカ、東欧など) による導入計画国への技術継承の枠組みがあるが、費用負担、言語の問題、技術拡散、国際的な競争など国際的な継承には課題が多い。 	分類	JRR-3	教育・実習・研修	—	研究開発(研究者、技術者)	約 280 人	計	約 280 人
	分類	KUCA																																		
教育・実習・研修	約 180 人																																			
研究開発(研究者、技術者)	約 20 人																																			
計	約 200 人																																			
分類	UTR-KINKI																																			
教育・実習・研修	約 950 人																																			
研究開発(研究者、技術者)	約 120 人																																			
計	約 1,070 人																																			
分類	KUR																																			
教育・実習・研修	約 20 人																																			
研究開発(研究者、技術者)	約 120 人																																			
計	約 140 人																																			
分類	JRR-3																																			
教育・実習・研修	—																																			
研究開発(研究者、技術者)	約 280 人																																			
計	約 280 人																																			
期待される利用目的																																				

項目		臨界実験装置	低出力炉 (2MW 未満)	中出力炉 (2MW 以上 20MW 未満)	高出力炉 (20MW 以上)
期待される利用目的	学術研究	<ul style="list-style-type: none"> 次世代高速炉、新型炉などの核データ取得と評価 各種被覆管材料やバーナブルポイズンの反応度影響評価 多様な燃料の組み合わせや濃縮度変更に伴う反応度特性評価 冷却材流動による燃料体内の流動現象の研究 中性子検出器の基盤技術開発 	<ul style="list-style-type: none"> 軽水炉炉心部の熱流動モデルの検証研究 過酷事故シミュレーション 鉛代替放射線遮蔽材の開発 陽電子消滅画像装置の開発 炉内 FP 計測装置、新計測技術開発 中性子輸送モデル開発 (遅発中性子の挙動解析) と反応度制御の動的特性研究 低エネルギー核物理の研究 新遮蔽材の開発 (基本特性把握) 小動物の BNCT 研究炉の起動時、停止時の核/熱特性解析モデルと実験値の比較研究 中性子散乱研究 (小規模) 放射化分析応用技術開発 	<ul style="list-style-type: none"> RIA 時核熱流動挙動研究 燃料照射と FP 放出挙動評価 中性子カメラの高速化 冷中性子による中性子散乱研究 炉内照射用計測機器の開発 炉心材料の水素化、酸素化の研究 ハイク機器・部品の照射による特性変化研究 材料劣化、放射線下の腐食プロセスのシミュレーション研究 陽電子消滅技術、メスバウアー分析技術研究 BNCT など照射治療時の被ばく管理関連研究 中性子ラジオグラフィの三次元的イメージング化と応用研究 バイオ科学基礎研究 	<ul style="list-style-type: none"> 流路閉塞事故シミュレーション 高燃焼度燃料開発と燃焼度計測技術の研究 冷中性子による大規模中性子散乱研究 強磁場中での中性子散乱現象の研究 インパイルループによる燃材料の高温環境下での照射特性研究 バイオ技術基礎研究 炉内構造物のレーザー溶接と性能評価研究 群断面積の確認研究 RELAP などの安全解析コードの V&V 大型インパイルループによる軽水炉燃材料評価、材料腐食の評価研究とモデル化
	産業利用 (新型炉開発を除く)	<p>【材料・部品照射】</p> <ul style="list-style-type: none"> 炉心、燃料設計支援 高燃焼度燃料、MOX 燃料などの構成検証試験 炉心管理コードの検証支援 	<p>【散乱技術】</p> <ul style="list-style-type: none"> 中性子深度分布測定 粉体回折による材料評価 (Li イオン電池電極材など) <p>【RI 製造】</p> <ul style="list-style-type: none"> ^{24}Na、^{18}F、^{198}Au <p>【材料・部品照射】</p> <ul style="list-style-type: none"> 電子回路の放射線損傷やビットエラーの評価 検出器の校正 <p>【放射化分析】</p> <ul style="list-style-type: none"> 金属、半導体中の不純物分析 原子炉構造材、遮蔽材などの成分分析 新材料などの不純物分析 <p>【中性子ラジオグラフィ】</p> <ul style="list-style-type: none"> 燃料電池内の水分測定 内燃機関の燃料・潤滑油移動挙動 	<p>【散乱技術】</p> <ul style="list-style-type: none"> 3 軸回折による残留応力測定 冷中性 2MW 未満子による分子運動測定 粉体回折による高充填密度金属、Li イオン電池電極材などの構造分析 残留応力測定 <p>【RI 製造】</p> <ul style="list-style-type: none"> ^{75}Se、^{192}Ir、^{41}Ar、^{99}Mo、^{177}Lu、^{90}Y <p>【材料・部品照射】</p> <p>新型炉取り組みと同じ</p> <p>【放射化分析】</p> <ul style="list-style-type: none"> PGNAA や陽電子消滅などによる分析の高度化や応用範囲の拡大 (半導体中の水素検出など) 犯罪残留物の分析 (爪、髪、銃弾など) <p>【中性子ラジオグラフィ】</p> <ul style="list-style-type: none"> 内燃機関などの動作の動画、三次元画像化 	<p>【散乱技術】</p> <ul style="list-style-type: none"> 左記の利用の、スピネコー手法などの高度化、それらの技術統合による磁性材料、各種金属・非金属材料特性解析、ソフトマター、高分子材料、などの原子、分子構造決定などの応用新技術開発 <p>【RI 製造】</p> <ul style="list-style-type: none"> ^{99}Mo、^{60}Co、^{252}Cf <p>【材料・部品照射】</p> <p>新型炉取り組みと同じ</p> <p>【放射化分析】</p> <ul style="list-style-type: none"> 放射化学分離 (アクチニド物質など) の効果測定 高純度物質中の極微物質分析 <p>【中性子ラジオグラフィ】</p> <ul style="list-style-type: none"> 散乱技術との組み合わせによる高度化

項目		臨界実験装置	低出力炉 (2MW 未満)	中出力炉 (2MW 以上 20MW 未満)	高出力炉 (20MW 以上)	
期待される利用目的	新型炉開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 中小型炉炉心特性研究開発 ・ 次世代炉 (SMR、FBR、ガス炉、熔融塩炉、超臨界圧炉) などの炉心構成の研究開発 ・ ADS 技術の臨界特性研究 ・ 反応度制御コードなどの検証 ・ 新規バーナブルポイズンの特性評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 新型軽水炉、高速炉などの燃料要素の特性検証研究 ・ 次世代炉などの炉心構造材料や燃料被覆材の小規模照射基礎研究 ・ ADS のための核データ確認検討 ・ 核/熱特性解析・シミュレーション技術開発 (コード V&V を含む) ・ RIA などの事故時燃料挙動安全研究 (パルス炉利用) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 次世代炉などの炉心材料や燃料被覆材の多様な模照射効果の基礎研究 ・ 新規事故耐性燃料被覆管の健全性評価研究 ・ 中性子束分布測定や各種 FP 測定のための計測技術開発研究 ・ 溶接構造物の残留応力解放と測定技術開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 第 3+ 世代、第 4 世代、小型炉などの材料の長期照射効果・腐食の評価研究 ・ 次世代発電炉の核、熱流動の解析シミュレーション研究 ・ 高温ガス炉、熔融塩炉などの材料評価研究 ・ ADS のための材料についての照射評価研究 ・ 溶接構造物の残留応力解放と測定技術開発 ・ RIA などの事故時燃料挙動安全研究 	
	運転	燃料	模擬燃料 体系による必要本数	(UTR-KINKI の例) 装荷燃料数; 板状燃料 12 本	(KUR の例) 装荷燃料数; 板状燃料 22 本	(JRR-3 の例) 装荷燃料数; 板状燃料 32 本 (JMTR の例) 装荷燃料数; 板状燃料 26 本
		使用済燃料	なし	なし	(KUR の例) 10 本/年間、20 年後 222 本	(JRR-3 の例) 20 本/年間、20 年後 432 本 (JMTR の例) 63 本/年間、20 年後 1,286 本
		運転形式 (参考)	1 日単位	1 日単位	直勤務	直勤務
費用	建設費 (概算)	~約 100 億円	約 250 億円 (2MW)	約 450 億円 (10MW)	約 550 億円 (20MW)	
	年経費 (概算)	約 1 百万円~	約 80 百万円	約 4 億円	約 7 億円 (20MW)	
サイト要件	スペースからみた設置可能場所	荷揚岸壁 (約 3,000 m ²) 山側資材置場 (約 7,000 m ²) 焼却炉場所 (約 6,000 m ²) もんじゅ設置場所 (約 51,000 m ²) 約 220 m ² (NGA)	山側資材置場 焼却炉場所 もんじゅ設置場所 約 2,600 m ² (UTR-KINKI) 約 3,500 m ² (TTR)	山側資材置場 焼却炉場所 もんじゅ設置場所 約 21,000 m ² (KUR 相当)	もんじゅ設置場所 ・ 約 32,000 m ² + α (JRR-3) α : 廃棄物処理保管庫、使用済燃料貯蔵施設が別途必要 ・ 約 91,000 m ² (JMTR)	
	耐震	<ul style="list-style-type: none"> ・ 低出力炉の条項を適用 ・ 耐震 B 又は C クラス 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 耐震 B 又は C クラス ・ サイト条件によっては S クラス 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉、原子炉建屋基礎は耐震 S クラス、その他は B 又は C クラス ・ 地盤変形、活断層及び斜面すべり安定性評価が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉、原子炉建屋基礎は耐震 S クラス、その他は B 又は C クラス ・ 地盤変形、活断層及び斜面すべり安定性評価が必要 	
UPZ の範囲	原子力災害対策重点区域	UPZ の設定は不要	UPZ の設定は不要	UPZ 500m (2~10MW)	UPZ 5km	
研究炉の概念検討	候補	臨界実験装置 (提案 1)	低出力研究炉 (提案 2-1、提案 2-2)	中出力研究炉 (提案 3、4)	提案 5	
	炉型・減速材などの特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ 軽水、液体金属など中小型炉、次世代炉での減速材に対応 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自然循環冷却方式 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 軽水減速、強制冷却方式 ・ 中性子ビーム炉 (提案 3) ・ スペクトルシフト方式 (提案 4) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 中小型実験炉 ・ 基礎ビーム実験 	
	参照する先行炉	<ul style="list-style-type: none"> ・ FCA、TRACY (JAEA) ・ KUCA (京大) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ IBR-2 (露)、TREAT (米): パルス炉 ・ NSRR (JAEA): パルス炉 ・ PULSTAR (米): 連続ビーム炉 ・ HOR (オランダ): 連続ビーム炉 	<ul style="list-style-type: none"> ・ KUR (京大) ・ MITR (米) ・ KJRR (韓) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ PRISM (米) ・ VTR (米) ・ DMS (日立) ・ IMR (三菱重工) } 開発中	

項目		臨界実験装置	低出力炉 (2MW 未満)	中出力炉 (2MW 以上 20MW 未満)	高出力炉 (20MW 以上)
研究炉の概念検討	想定する研究炉の機能	<ul style="list-style-type: none"> ・人材育成・技術継承 ・次世代炉、中小型炉炉心 ・燃料設計設計、規制対応 ・ADS プロジェクト対応 	<ul style="list-style-type: none"> ・人材育成、産業応用 (散乱、ラジオグラフィ、放射化分析、RI 製造など)、学研究 (炉物理、炉心設計、材料・燃料開発、中性子物理応用、医学応用など) に利用できる機能 ・NSRR とは異なり、学術・産業利用を中心に据える (パルス炉) 	<ul style="list-style-type: none"> ・人材育成 ・学術利用: スペクトルシフト炉の設計研究により、炉形式を決め、利用範囲も明確にする。中性子応用技術開発 (散乱、陽電子消滅、ラジオグラフィ高度化など)、次世代原子炉技術の工学検証 (コード検証など)、医学利用支援技術 (計測法開発、被ばく管理技術開発) ・産業利用: 散乱技術の応用による先端電池、高分子、無機材料などの開発、放射化分析の高度化による地域貢献、RI 製造による新規事業の萌芽 	左記に加え <ul style="list-style-type: none"> ・中小型炉の実証とビーム利用研究と産業化 ・VTR の方針に類似
	総合的な特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・研究炉を中心に据えた統合化人材育成・技術継承の場の提供と国際的モデル ・多様な炉形選択に対応した核燃料・炉心構成研究 	<ul style="list-style-type: none"> ・学術研究施設と統合化人材育成・技術継承及びパルス炉の産業利用技術継承 	<ul style="list-style-type: none"> ・炉工学関係の先端技術を取り入れた、高稼働率、広利用技術領域、対応の学術利用・産業利用を両立する研究炉。人材育成・技術継承も炉工学、応用工学までカバーした総合教育センターとしての性能 	<ul style="list-style-type: none"> ・中小型炉の国際的競争力向上 ・ビーム利用、照射性能 ・技術継承

参考資料:

- 1) IAEA “Research Reactor Data Base” (最新更新 2018 年 3~7 月)
- 2) WNA “Research Reactor” (最新更新 2018 年 11 月)
- 3) IAEA NP-T-53 “Applications of Research reactors” (IAEA 2014)
- 4) ENS “Proceedings on RRFM” 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 (ENC 2013~17)
- 5) IAEA No482 “History, development and Future of TRIGA Research Reactors” (IAEA 2016)
- 6) OECD NEA “Research and test facilities required in Nuclear Science and technology” (NEA 6947 2010)
- 7) MLZ “Scientific Highlights and Reports” (MLZ)
www.miz-garching.de
- 8) ORNL “ORNL Neutron Sciences Strategic Plan 2014” (ORNL 2014)
- 9) North Carolina University “Nuclear Reactor Program NC State University Users Guide” (NC State University 2015)
- 10) MIT “Nuclear Reactor Program MIT Users Guide” (MIT 2015)

表 5-14 将来を見据えた研究炉の主な研究開発

場所	機関	原子炉	炉型(熱出力)	主な研究開発等	利用目的												
					エネルギー利用研究 (原子炉工学研究)			中性子科学研究 (学術/企業)				産業利用		医学・治療/研究	人材育成		
					炉物理 原理実証	工学	安全研究	散乱	分析	ラジオ グラフィ	検出器 開発	シリコン ドーピング	RI製造	BNCT	教育・実 習・研修	研究開発 技術者	
福井 (もんじゅサイト)		〈提案1〉 臨界実験装置	次世代炉開発研究	◎ (次世代 炉)											◎	○	
		〈提案2〉 低出力炉 パルス/連続(2MW未満)	次世代炉開発+基礎的中性子利用研究	○ (次世代 炉)			◎ (パルス)	○	○	○		△			◎	◎	
		〈提案3〉 中出力炉 (~10MW)	基礎的中性子利用研究 (基礎開発、学術/産業利用)				○	◎	◎	○		○	○	○	○	◎	
		〈提案4〉 中出力炉 (スペクトルシフト炉)	次世代炉開発(高速炉) +基礎的中性子利用研究	◎ (次世代 炉)			(○)	(○)	(○)	(○)		(○)			○	◎	
		〈提案5〉 高出力炉 (~300MW)	SMR実験炉+基礎的中性子利用研究		◎ (小型炉)		(○)	(○)	(○)						○	◎	
東海	JAEA	JRR-3	定常ビーム炉(20MW)	中性子利用研究(産学官利用) (我が国の最高強度の中性子炉)				◎	◎	◎	○	○	○			◎	
		STACY	臨界実験装置 (200W)	(軽水炉の臨界安全に関する研究開発) 1F燃料デブリ模擬試料による臨界管理技術開発	◎ (1F)		◎ (1F)										
		NSRR	安全性研究炉(パルス炉) (定出力 300KW、パルス 23,000MW)	燃料安全研究(RIA)			◎ (軽水炉)										
大洗		HTTR	高温ガス冷却炉 (30MW)	高温ガス炉開発			◎ (ガス炉)										
		常陽	高速実験炉 (140MW)	高速炉燃料・材料照射研究 MA燃料照射試験			◎ (高速炉)										
熊取	京大	KUR	研究用原子炉 (5MW)	基礎的中性子利用研究 (基礎開発、大学共同利用)				○	◎	◎	○			◎	○	◎	
		KUCA	臨界集合体実験装置 (100W)	高速炉、熱炉体系の臨界実験 ADSによる核変換	◎										◎	○	
東大阪	近畿大	UTR- KINNKI	低出力研究炉(1W)	動植物の照射研究、計測器開発、放射化研究					△	△	○			◎	◎		
		(JMTR-後継機)	材料試験炉	工学的照射試験		◎						○	◎				

炉型	試験研究炉	使用目的	2016~2021	2022~2028	2029~2039	
研究炉	水冷型炉	JMTR(50MW)	燃料・材料照射、放射化分析、RI 製造	→ 廃止	→ JMTR 後継機	
		JRR-3(20MW)	中性子ビーム実験、放射化分析、RI 製造	→	→	
		KUR(5MW)	中性子基礎基盤研究、人材育成、BNCT	→	→ (廃止)	
		UTR-KINKI(1W)	人材育成、基礎基盤研究	→	→	
		NSRR (0.3MW, 23000MW)	原子炉安全性研究(事故時の燃料破損挙動)、教育訓練	→	→	
		もんじゅ	高速増殖炉の技術実証	→ 廃止		
		常陽 (140→100MW)	高速増殖炉の基礎基盤技術実証、燃料・材料照射、人材育成 将来炉開発のための革新技術検証	→	→	
研究炉	ガス冷却炉	HTTR(30MW)	高温ガス炉の技術基盤技術の確立、高温炉心を用いた照射試験	→	→	
臨界実験装置	STACY(0.2kW)	燃料デブリ臨界実験	→	→		
	FCA(2kW)	高速炉の炉物理研究	→ 廃止			
	KUCA(0.1kW)	人材育成、基礎基盤研究 ADS 研究	→	→		
	NCA(0.2kW)	軽水炉炉心の臨界実験 中性子束検出器の校正	→ 廃止			
もんじゅサイトの試験研究炉		中性子基礎基盤研究、将来炉の炉物理実験、人材育成		→ 設計	→ 建設 ~ 運転	

図 5-63 試験研究炉の使用目的と今後の運転・設置計画

【参考文献】

- 1) US Energy Information Administration “Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants” (US DOE Nov. 2013)
- 2) Martin Lundholm “Cost analysis of Lead Cooled Fast Reactors and the ELECTRA Project.” (Department of Nuclear and Reactor Physics Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden (2013))
- 3) Roelofs, F, 2011, “European new build and fuel cycles in the 21st century” (Nuclear Engineering and Design 241 (2011))
- 4) WNA “Nuclear Power in Jordan” (2019年2月) JTRの建設費
- 5) WNA “Nuclear Power in South Korea” (2019年2月) KJJRの建設費
- 6) WNA “Australian Research Reactor and Synchrotron”
- 7) WNA “Nuclear Power in Netherland” (2018年4月) PALLASの建設費
- 8) WNA “Nuclear Power in France” (2018年11月) JHR建設費
- 9) WNA “Economics of Nuclear Power” (2018年12月)
- 10) IAEA RRDB (2018年5月～2018年12月)
- 11) 東芝エネルギーシステム
<https://www.toshiba-energy.com/company/about.htm>
- 12) 三菱重工 パワードメイン
<https://www.mhi.com/jp/finance/mr2017/valuecreation/powersystems/index.html>
- 13) 日立GEニュークリア・エナジー
<http://www.hitachi-hgne.co.jp/index.html>
- 14) 京都大学複合原子力科学研究所
<https://www.rri.kyoto-u.ac.jp/facilities>
- 15) A.V. Belushkin “Neutron scattering at IBR-2 in Dubuna: some history, present status and future perspectives” (Joint Institute for Nuclear Research 2018)
- 16) NCSU “Nuclear Reactor Program PULSTAR Reactor User Facilities” (NUSUF Catalog 2013)
- 17) TU Delft “2017 OYSTER Annual Report” (TU Delft 2018)
- 18) WNA “Small Nuclear Power Reactors” (2019年1月)
- 19) J.W. Herczegder “U.S. Department of Energy Advanced Reactor Research and Development Program for Fast Reactors” (US DOE Office of Nuclear Energy April 24, 2018)

6 調査のまとめ

もんじゅサイトを活用した新たな試験研究炉に関する調査結果のまとめと、次年度に向けた課題を以下に示す。

6.1 国内外の原子力を取り巻く状況

6.1.1 調査結果

今年度の試験研究炉の調査は、平成 29 年度調査の内容を踏まえ、人材育成を含め学術研究や産業利用などのニーズの詳細化、運営体制や建設候補地のより精緻な検討を目指して取り組んだ。特にニーズに基づく試験研究炉の機能の検討や運営体制の構築において、国内外の原子力政策や事業の動向は重要な因子であり、それらを幅広く把握しておくことが必要である。

本調査では、海外及び国内における次世代炉や SMR についての動向や、それを推進するために中核となるインフラの一つである試験研究炉の役割や最近の動きについて調査した。調査結果は、次のとおりである。

- ① 世界全体の発電量のうち、約 10%は原子力発電によるものであり、60 基の発電プラントを新規に建設中である。2018 年の IAEA の見通しによれば、原子力発電の設備容量は、高成長ケースでは、2050 年には現在の約 1.9 倍の設備容量 (748GWe) と予測しており、低成長ケースでは、現在の設備容量は 2040 年までは漸減するが、2050 年までには現在レベルまでに復帰すると予測している。

ここ数年は、中国の順調な発電プラントの建設により、原子力発電量は増加傾向にあるが、一方で、日本のプラントメーカーの海外進出の要のプロジェクトであった米国、英国などの主要な原子力建設計画が先送りや中止になり、原子力事業の不安材料となっている。

- ② 将来に向けた次世代炉の開発は、欧米をはじめ、中国、ロシアを含め、国際的な共同・連携で活発に進められている。我が国でも、2018 年 12 月に高速炉開発のロードマップが公表されている。
- ③ 現在建設を進めている、更なる規模の経済性を狙った大型発電炉に代わり、建設投資リスクの低減を目指した SMR は、公的な支援のもとに各国の産業界が活発に開発の取り組みを行っている。

安全性の向上や負荷追従、モジュール化などの特徴を有し、海外ではすでに 50 基以上の SMR が開発され、2025 年～2030 年には商品化が検討されている。

- ④ 試験研究炉では、ヨーロッパだけではなく、米国でも第 4 世代の研究開発のために多目的実験炉 VTR の建設が決定され、2026 年には運転を目指している。中性子を利用した研究開発や高経年化対策、出力増加対策などを行い、継続・発展させる取り組みがあり、試験研究炉の必要性は今後も高まっていくと見られる。

6.1.2 今後の取り組み課題

原子力発電事業や原子力の研究開発に関する動向調査は、海外における学術的、政策的、社会的ニーズなどを把握し、我が国の試験研究炉の機能ニーズや研究動向などを評価するため継続して調査を行うことが重要である。

6.2 求められる試験研究炉のニーズ調査

6.2.1 調査結果

本ニーズ調査は、試験研究炉における学術利用、産業利用、人材育成等に関するニーズについて、国内の企業や研究機関、大学などの訪問調査や文献調査及び米国の試験研究炉施設等の現地訪問調査を行い、試験研究炉に対する利用者側のニーズについて調査した。調査結果は、以下のとおりである。

- ① 試験研究炉の学術利用の調査では、国内の原子力学会の発表論文、OECD/NEA等の海外文献調査を行った。欧州研究炉会議 RRFM での5年間の発表論文の傾向は、炉工学、燃料・材料、ビーム利用の比率はほぼ拮抗して約30%程度で、中性子ビームの研究は散乱回折の冷中性子の発生装置に関する報告が多い。日本原子力学会の試験研究炉を使った研究テーマは、東京電力福島第一原子力発電所事故対応の研究として事故耐性のある材料の評価、解析コードの見直し・検証、断面積評価などの基盤技術などである。中性子利用の研究件数は、約30件で全体の10%弱で10年間ほぼ一定である。
- ② 地元や関西・中部地域の大学の先生方からは、KURの2026年停止予定を踏まえた後継機（出力としては5～10MW程度あるいは2MW程度）の必要性、学術利用と産業利用のバランス、教官や組織の牽引の必要性、交通の利便性などについて意見があった。
- ③ 産業利用ニーズの調査は、福井県と協働で20企業を訪問し調査を実施した。

試験研究炉に対する主な利用目的は、中性子散乱回折関係の利用希望者が多く、次いでラジオグラフィ及び放射化分析である。

関心を寄せている事業分野は繊維・化学業界で、高分子材料や炭素繊維などの原子や分子の構造（中性子散乱）や動き（ラジオグラフィ）などを把握するニーズが多い。電器・自動車産業はリチウムイオン電池の電極材などの構造や動作に関する観察のニーズや構造材に使用する複合材料の応力解析や水素挙動などの構造観察（中性子散乱）へのニーズがある。リチウム電池以降も次世代の電池開発に向けて定常的なニーズがある。また、電気自動車や航空機の軽量化を目指した新材料の開発や構造材の健全性を確保するために中性子散乱を用いた残留応力測定やラジオグラフィによる欠陥検出などのニーズがある。

原子力産業では、軽水炉の長寿命化や高出力化のために、燃材料の照射ニーズがある。

一方、利用上の要望としては、利用料金、コーディネータ、実験参加者の待機場所、管理区域の出入管理など、研究や利用環境の整備に関する意見・要望が多かった。JRR-3と同等以上の出力を望む声がある一方で、出力が低くともビームライン数やマシンタイムの割り当てを増やすことや既存施設ではできない分析が可能な特色のある研究炉とすべきとの意見や、一貫した支援体制やユーザーズミーティングの開催などの要望がある。もんじゅサイトの地理的条件について不都合はなく、敦賀駅とのシャトルバスの運用や宿泊施設の完備などの意見が多い。これらの要望・意見は、今後の計画や将来の運用制度設計に大変参考となる。

- ④ 人材育成について、欧米での需要は増加傾向にある。試験研究炉は、炉物理の原理学習には必要なインフラであるが、EUや米国の大学や研究所では、加えて過酷事故に関連した熱流動現象の把握のための熱流動装置、プラント全体の動特性や制御性を把握できるシミュレータを人材育成用のインフラとして整備している。これらを参考にして、プラントの保全作業も学習できるツールや遠隔教育が可能なツールを加えた統合型の人材育成ツール等の構築も

有用である。

- ⑤ 米国の研究炉施設の訪問調査では、アイダホ国立研究所（INL）、マサチューセッツ工科大学の原子炉施設（MITR）等を訪問し、試験研究炉を利用した研究開発内容の現状と将来、研究炉管理、新規の試験研究炉（VTR）の計画、人材育成、シリコンドーピング等の産業利用状況などを調査、意見交換を行った。米国での試験研究炉の開発動向、利用状況等は、日本での試験研究炉の検討に参考になる点が多く、継続して発信される情報をフォローしていくことが重要である。

6.2.2 今後の取り組み課題

試験研究炉の検討を行う上で、その研究炉施設の機能、性能を可能な限り利用者ニーズとマッチさせることが重要である。今後とも利用者側とのコミュニケーションを密にし、試験研究炉の概念検討・設計を進める必要がある。

6.3 試験研究炉の運営体制の検討

6.3.1 検討結果

試験研究炉の設計・建設フェーズから運転・保守・利用の運営フェーズに向けて、運営体制をどのように構築するかについて、平成 29 年度に引き続き検討を行った。今年度は、想定される運営主体や利用者組織の在り方について、主な組織、研究機関から意見を聴取するとともに、先行して新たな展開をしている東北放射光施設の事例を調査して、今後の運営体制の構築に参考とすることとした。調査・検討の結果は、次のとおりである。

- ① 試験研究炉の運営体制に関する 4 大学、1 研究機関の主な意見として、試験研究炉の概念検討の体制は大学+研究機関+メーカー、運営体制は JRR-3 と東京大学物性研究所のような施設といった、運営と利用者が独立した組織が望ましいとの意見が多かった。

試験研究炉の運営には、安定した経営基盤の確保やマネジメントが重要であるとの意見があった。原子力分野の技術者が少なく安全管理を研究者が兼務している実態が示され、さらには施設管理者と利用者をつなぐコーディネータも外部からの支援を必要としており、将来に向けた人材確保や育成に関する課題が浮き彫りになった。さらに、設計・建設・運営など各フェーズでの特有な設計思想、知識、技術の継承が重要との指摘と、設計段階から規制当局の参加も含めたグレーデッドアプローチが望まれるとの意見もあった。また、敦賀地区に大学の分室を設置するなど積極的な提案もあった。

- ② 東北放射光施設では、その周辺に大学や企業の研究者や研究施設が集積し、さらにそれらの研究成果を製品化する生産機能も集約して、産学が一体的に展開するという大型リサーチコンプレックスの形成を目標としており、地域の推進を先導する主体として一般財団法人光科学イノベーションセンターが設立されている。この推進・運営体制は、試験研究炉の運営体制の検討の参考になる。
- ③ 試験研究炉の体制構築の全体的な進め方は、まず調査検討段階で研究機関と大学で構成する推進会議を立ち上げ、また産業促進や普及啓発のために、地域の産学官の関係主体をベースに推進協議会の設置を進める。さらに具体的な段階において推進主体を立ち上げる。この推進主体は、研究炉の設計・建設を進める整備主体と利用主体を集約したコンソーシアムであ

り、施設整備計画や役割分担、地域との連携など建設、運営までの推進役となる。推進主体は、グランドデザイン、設計、建設段階において、発注の一部も担うことから、法人（公益法人を想定）格とすることが考えられる。

- ④ これらを推し進めるためには、国（研究機関）や大学だけでなく北陸、関西、中部等の産業界及び自治体が一体となった取り組みが必要であり地元自治体の役割は大きい。

6.3.2 今後の取り組み課題

試験研究炉の運営体制に関する今後の取り組みとして、大学・研究機関を中心とした産学官の体制を構築することがスタートであり、具体的な推進会議の設立に向けて、関係者による議論が必要である。設立に当たっては、理解促進、利用促進などの機運醸成とともに、ビジョン、施設概要などの予備的検討、連携や推進シナリオなど具体化に向けた活動展開を視野に入れて検討する必要がある。

6.4 試験研究炉の建設開始に必要な諸事項の整理

建設開始に必要な諸事項の整理については、6.4.1「もんじゅサイト」の地理的状況調査として活断層の概略調査とサイトスペースから見た試験研究炉の設置可能性の検討、6.4.2 地理的状況を踏まえた建設費用・年数、見込まれる組織人員等炉型選定に必要な情報の調査、6.4.3 メーカー等建設主体からの意見聴取、6.4.4 利用ニーズに対応した機能・規模のケーススタディとして、試験研究炉の規模別に機能、運転・保守、建設費などのパラメータ比較一覧とそれに対する炉型の提案を行った。各項目の調査結果は、次のとおりである。

6.4.1 「もんじゅサイト」の地理的状況調査

(1) 調査結果

- ① もんじゅサイトの地盤、活断層に関する文献調査の結果、もんじゅサイト周辺の30km圏内には13か所の活断層があり、もんじゅサイトに最も近い活断層は白木-丹生断層である。もんじゅサイト内には活断層はないが、原子炉建屋基礎岩盤に破砕帯がある。また、山側資材置場及び焼却炉場所の地盤にも破砕帯がある可能性がある。

原子力規制委員会の「もんじゅ敷地内破砕帯の調査に関する有識者会合報告書」等によれば、もんじゅ原子炉施設基礎岩盤（花崗岩）にある破砕帯は後期更新世（12～13万年前）以降の活動はないと判断されるが、サイト西側の白木-丹生活断層との関連性について、更に調査・検討が必要としている。また、サイト南側水路（焼却炉場所付近）に沿った山地／段丘境界の段丘堆積物下に断層が伏在している可能性を否定できないのとの評価であるため、更なる地質データの追加・拡充が必要である。

- ② サイトスペースから見た試験研究炉の設置可能性の検討では、既存の試験研究炉を参考に建屋寸法・配置を想定し、もんじゅサイト内候補地8か所に対して設置の可能性を検討した結果、山側資材置場と焼却炉場所の2か所が有力な候補として挙げられる。

想定したケースとして、人材育成・教育訓練及び中性子利用の基礎的実験研究を主目的とした低出力試験研究炉（2MW未満）と臨界実験装置を組み合わせた試験研究炉の場合、山側資材置場と焼却炉場所に設置可能性がある。また、中性子利用の実験研究と産業利用を目的と

した中出力試験研究炉（約 2～10MW）については、山側資材置場に設置可能性がある。低出力試験研究炉と臨界実験装置を組み合わせた試験研究炉や、中出力試験研究炉を山側資材置場に設置する場合、盛土と周辺斜面の掘削のために大きな土木工事量となり、掘削土量の削減や工事期間の短縮化、大量の残土処分場所の確保が必要である。

(2) 今後の取り組み課題

実際の試験研究炉が設置できるかどうかを判断するには、今後、利用ニーズに基づき試験研究炉を選定して試験研究炉施設の概念検討・設計を行い、設置する試験研究炉施設のスペックと必要な施設・設置スペース及び設置場所を選定した上で、もんじゅ廃止措置計画との調整をするとともに、設置場所の詳細な地質調査を行い、原子炉施設設置場所の基礎地盤としての基準適合性の評価・確認をする必要がある。

6.4.2 地理的状況を踏まえた建設費用・年数、見込まれる組織人員等炉型選定に必要となる情報の調査

(1) 調査結果

本調査では、試験研究炉の建設費用について 2008 年から 2013 年までの海外の実績をベースに発電炉建設の経験を考慮し、炉出力と費用の近似式を求めた。低出力炉が約 250 億円程度、中出力炉が約 450 億円と算出されたが、新規制基準前のデータであることや国内での研究炉の建設は 30 年ぶりとなることなどから、更に膨らむことが予想される。

建設期間に関しては、その規模や場所によって大きく異なる。特にもんじゅサイトについては、廃止措置との並行作業となり、また設置場所が山側盛土斜面という特殊事情であることから現時点での推定は難しい。さらに環境アセスメント、新規制基準による許認可対応などの期間が必要となる。

参考までに建設期間の海外事例では、低出力炉の例では最短で 32 か月程度、中出力炉で最低でも 52 か月程度必要であり、研究炉によってはその 2 倍程度の期間を要した例もある。

(2) 今後の取り組み課題

試験研究炉の建設費、建設期間等については、試験研究炉の概念検討・設計を進める中で、具体的なスペック、設計に基づき検討・評価する必要がある。

6.4.3 メーカー等建設主体からの意見聴取

国内の主要な原子力プラントメーカーから試験研究炉に関して聴取した主な意見は、次のとおりである。

- ① 我が国においては、試験研究炉の建設はここ 30 年間行われていないが、発電炉の経験を生かし概念設計、製作及び建設は可能である。
- ② 試験研究炉の板状燃料の製作経験はほとんどなく、燃料の調達試験研究炉の計画で重要な課題の一つである。
- ③ もんじゅの廃止措置と並行して試験研究炉を建設する場合は、大型重機の使用などで廃止措置に影響を与えない建設計画とする必要がある。

6.4.4 利用ニーズに対応した機能・規模のケーススタディ

本ケーススタディでは、臨界実験装置、低出力炉、中出力炉、高出力炉の分類に従い、学術利用、産業利用、人材育成に関して主要な機能を評価した。この結果を基に、もんじゅサイトに設置する試験研究炉の提案として、臨界実験装置、低出力研究炉（パルス運転方式、連続運転方式）、中出力炉、中出力スペクトルシフト炉、高出力炉の五つの提案をまとめた。

今後の取り組み課題としては、もんじゅサイトへ設置する試験研究炉の五つの提案に対する具体的な概念検討を進めるとともに、既存の研究炉との利活用・目的などの整合性、もんじゅサイトに設置する試験研究炉の絞り込み・選定のための評価法と指標・基準の設定など、更に検討が必要である。

6.5 次年度の調査

今年度の検討結果を踏まえ、次年度の調査は、もんじゅサイトに設置する試験研究炉をより具体化するため、以下の調査・検討を行う必要がある。

- ① 人材育成、学術利用、産業利用とそれぞれの利用目的・ニーズを満足する機能、スペックについての更なる検討・評価が必要である。試験研究炉のエネルギー利用研究については、次世代炉、中小型炉等の研究開発動向等の調査とともに、利用者側ニーズを引き続き調査し、試験研究炉の機能、スペックの検討に反映させる。
- ② 有識者委員会で提案された五つの試験研究炉の候補について、サイトスペースなどを考慮し技術的な観点からの概念検討を行う。
- ③ もんじゅサイトに設置する試験研究炉の概念とその設置候補場所が絞られてきた段階で、設置候補場所の地盤と周辺斜面について、新規制基準の審査ガイドに基づき原子炉施設（耐震重要施設）の基礎地盤の地質調査（コアボーリング他）と地盤安定性（活断層、支持力等）の評価及び周辺斜面の地質調査とすべり安定性を評価し、試験炉設置許可基準規則に適合することを確認する必要がある。
- ④ 試験研究炉の評価・選定に当たっては、制約条件（サイト要件（サイトスペース、活断層など）、予算規模、スケジュール、技術的成立性）、既存の研究炉の研究機能や運用状況など整合性を図りつつ、地元を含めたステークホルダーとの丁寧な議論を通して、原子力研究、人材育成の拠点形成を図ることが必要である。

7 外部有識者委員からの意見

本調査では、各専門家からなる外部有識者委員会を設置し、計 3 回の外部有識者委員会を開催した。委員の方から頂いた意見は、以下のとおりである。なお、意見において更なる検討が必要な内容については、次年度に検討を行う必要がある。

<試験研究炉の方向性>

- (1)日本学術会議でも「研究と産業に不可欠な中性子の供給と研究用原子炉の在り方」の中で炉型やユーザーのニーズをまとめており、喫緊に必要なのが JMTR の後継機と結論付けている。また、JRR-3 も永遠に動くわけではないので散乱の実験が行える JRR-5 も考えていく必要があるとしている。
- (2)海外の例ではモバイル炉で地域の電力を確保する方式が考えられている。何年先のレンジで考えるかにもよるが、小型の次世代炉を念頭に置くと、炉物理学が可能な研究炉であれば産業界にとっても良いのではないかと。
- (3)散乱を行うなら 20MW~30MW クラスでないと恐らく海外に太刀打ちできない。JRR-3 が 10 年ぶりに再稼働したとしても相当遅れていると認識しており、いかに軌道に乗せるかが大きな課題となっている。新たな試験研究炉において、散乱をメインに据える場合はそれぐらいの覚悟がないと予算や規模的、人材的にも困難であると考えられる。研究者は海外で良い結果が出るのであれば旅費を払ってでも海外に行く。その現状を見た上で今後の試験研究炉の方向性を検討する必要がある。JRR-3 には 32 台の放射化分析装置や散乱回折等の様々な装置があり、J-PARC には 23 本のビームラインがある。それらと違う個性の施設を作ることが視野に入れ、全て満足するような方向で議論しなければならない。
- (4)散乱に限って言えば、5MW クラスでは統計誤差が大きいことから十分な成果が出ない。教育用に限定的に利用するのであれば可能であるが、1990 年代あるいはそれ以前の技術に戻ってしまう。JRR-3 は 10MW クラスで使われていたが、それでも研究成果が十分に得られず、20MW にしたことである程度の研究成果が出るようになった。装置を独占して統計的なデータを蓄積するのであれば 5MW クラスもあると思うが、企業のニーズにも応えられないのではないかと。
- (5)元々 J-PARC と JRR-3 は対になるように計画され、2 つの施設で日本の中性子研究、産業利用を行う計画であった。JRR-3 も設置から 30~40 年経っており、次期炉の計画として 30MW クラスの JRR-5 を JAEA で検討していたが、震災後は検討が止まっている。一方で JRR-3 の延命策も講じているようであり、今後 10 年、場合によっては 20 年以上使われる可能性がある。その場合、もんじゅサイトに設置する試験研究炉は、完全に利用形態や方向性が違うものかを考えるとよいのではないかと。
- (6)重要なことは新しい試験研究炉のセールスポイントである。中性子コミュニティとして、J-PARC の第 2 期計画や JRR-3 の再稼働を予定している中で、どのような施設が加われば学術から産業までのバランスが取れて、需要満たされるのかを考える必要があるのではないかと。
- (7)中性子散乱を利用するときは 20MW 相当以上の試験研究炉を作らないと魅力的でない。新しい試験研究炉と JRR-3 の棲み分けとして、新しい試験研究炉は原子炉工学の研究にかなり軸足を置いたものにするのが一つの考え方ではないかと。JRR-3 はもちろん原子炉工学も可能であるが、これまでの実績から考えて中性子研究に軸足を置くとすれば、新しい試験研究炉のサイズもフ

レキシブルになるのではないか。

- (8)いつの時代の成果を目指していくのかを考えるべき。日本における次世代炉も考えて基礎データがとれるような試験研究炉にすべきではないか。米国の TREAT のような安全性に関するデータが取得できるとよい。人材育成と学術研究を主軸として、できれば民間ユーザーも利用できるというようなぎりぎりの範囲を狙ってはどうか。FCA が廃止となった今、放射化分析などが可能で高速炉スペクトルの実験データも取れるような炉にしてはどうか。米国の VTR はスペクトルを変えて熱中性子による放射化分析も可能というフレキシブルな炉心であり、参考になるのではないか。
- (9)試験研究炉の性能として、企業が希望する散乱回折やラジオグラフィの利用を考えると、出力は KUR 以上で 5~10MW の規模、性能が必要ではないか。企業からは既存施設ではできない分析が可能な特色のある施設を求める声がある。例えば、信頼性の高いデータを短時間で効率よく抽出できる測定装置を備えた施設などハード面の差別化が重要である。具体例としてデータの誤差が少なく必要なデータを確実に取得できるとか、試料調整や交換が容易な装置を目指すべきである。
- (10)新しい試験研究炉を作るとしたら、来年度予算がついたとしても 10 年はかかる。その時点では JRR-3 や KUACA はまだ動いており、KUR は 10 年後には止まっている。これらの状況を踏まえた上で、どのような研究炉が必要なのかを考えるべきである。敷地的には大きい試験研究炉を考えるともんじゅの解体後にならざるを得ないので、現状では 10MW 以下の試験研究炉と考える。
- (11)J-PARC のような大型施設を作るのは簡単でなく、予算的にも厳しい状況であるため、大型の試験研究炉を作るのは大変ではないか。ニーズのヒアリング先は試験研究炉の利用経験者であるため、そのニーズは J-PARC や JRR-3 で吸収できるのではないか。
- (12)次世代のモジュール炉を考えた場合、どのくらいの規模でどのような機能が必要なのか。炉心をどうするのが課題である。
- (13)スペクトルシフト炉の提案は、高速中性子が炉心にあり、低速・熱中性子が外側にあるという斬新なもので、技術的に成立すれば、内側では高速炉の研究、外側では熱中性子等の研究、さらには次世代のための炉物理の研究や教育もできる可能性がある。
- (14)中出力炉の提案は、ビーム炉を基本と考えている。規制法上では 10MW を超えるか超えないかで中出力となるので、できる限り 10MW に近いところを考えた。10MW に対して最新のミラー技術を取り入れると JRR-3 を超えて世界でもトップクラスのビームのパフォーマンスを出せる。ビームラインを大きく曲げたとしてもビーム強度は稼げる。燃料はウラン-トリウム燃料を想定しているが、技術的に難しいのであればウラン-シリサイド燃料も考えられる。
- (15)戦略ロードマップでは、イノベーションが必要と言われ、色々なタイプのことにチャレンジできることが重要であると示されていて、今後のニーズになってくるのではないか。スペクトルシフト炉は高速炉研究だけでなく様々なことができる。また、原子力学会員のメーカーのエンジニアからは、新型炉の設計機会が全くなく設計経験を積みたいとのニーズがあり、小さいものでも新しい炉を早めに作った方がよいという意見がある。

(16)福井に作るならば、スペクトルシフト炉の提案も一つである。特色のある新しい試験研究炉であれば、新しい発想やチャレンジが含まれることで、学生も興味が沸くだろう。

<ニーズ・人材育成>

- (1)インターネットを使った遠隔教育は、規制庁職員の人材育成にも適しているように感じる。
- (2)ユーザーの立場は、今ある施設だけでは不足しているから新しい試験研究炉が欲しいと言っているのか。それとも試験研究炉が存在すると良いので欲しいと言っているのか。後者では予算はつかない。本当に今何が不足しているのかを知る必要がある。
- (3)ユーザーからの運営に関する様々な意見に対しては SPrig-8 等の前例が参考となる。運営主体、あるいはサポートする文科省の努力が必要であり、特に人員の配置に苦労するだろう。
- (4)施設の利用面ではサポート体制の充実が重要である。「あいちシンクロトロン光センター」のように利用相談から課題解決まで一貫した支援を行うコーディネータを複数配置することや、利用者のニーズ反映のためのユーザーズミーティングの定期的な開催といった取組みが必要である。
- (5)施設の利用申し込みについて、企業は課題が出てきた時にすぐ測定を実施したいという思いがある。施設の利用申し込みに2か月以上待つとなると、利用を諦めざるを得ないとの意見もあるので、随時利用申し込みができる工夫が必要である。
- (6)利用者の利便性向上の面では、多くの企業から宿泊施設や敦賀駅からもんじゅサイトまでのシャトルバスが必要との声がある。
- (7)インターネットによる人材育成であれば、試験研究炉以外も利用できると良いのではないかな。例えば、若狭エネ研や大学の施設と連携ができれば面白い。その際、どのような人をターゲットに育成するのか検討したい。研究者、運転員、自治体等の防災担当の方々等、様々なニーズがある。また、これらの教育を修了したら技術士や炉主任等の資格が取れるような仕組みや、規制庁の教育システムとリンクするのも良い。
- (8)加速器 BNCT については、30MeV のサイクロトロンが福島、京都に設置されるが、安くはなく、それほど簡単ではない。京大炉のように治験として実施することができるのではないかな。何本か BNCT ラインを置けば、医療に対する理解が深まり、PA や学生の興味も向上するのではないかな。
- (9)人材育成を、「教育・実習・研究」と「研究開発」に分けて評価することは重要である。KUCA や近大炉で原子力がどのようなものかという導入教育を受けるのと、KUR を用いてビームを使う研究開発に大学院生が研究者として参加するのとでは、全く異なる。

<その他>

- (1)福井県内外に関わらず、企業は新たな試験研究炉に対して大きな期待を持っており、早期の利用開始を求める声が強い。スピード感を持って議論を進めることが重要である。
- (2)もんじゅを廃炉にした際に、ASTRID があるという説明であったが、昨年撤退の話があった。また、JMTR が廃炉となり、日米で共同研究をすることで進められたが、米国の方針でキャンセルとなった。日本としては他力本願では何も進めることができないということ認識すべきである。

- (3)廃止措置と試験研究炉の建設が同じサイト内での作業となるが、廃止措置が主体であり、新たに研究炉を加え、両立することはできにくいのではないか。
- (4)東北放射光の建設は、大学発の提案に対して産業界、国が応じたという経緯があるが、一方で、もんじゅサイトの新たな試験研究炉とは生い立ちが異なり、産官学のうち産業界の参画が薄く、今後どうやって参加してもらうかが課題である。
- (5)試験研究炉利用についての様々な課題には、国としての考え方、試験研究炉を日本としてどのように維持していくのか、足りないところをどう補っていくのか、地元はどこまでの範囲と考えるのか等がある。
- (6)新しい試験研究炉について、幅広い分野の学生や企業の関心を惹きつけるための議論を、早い段階から進めることが肝要である。また、試験研究炉の有用性についての知見や情報を広めることで、潜在的利用人や利用分野の掘り起こしに努める必要がある。
- (7)炉心概念等の検討にあたっては、海外事例にあるような学生コンペも含めて検討する方法も一案である。

以上