RCNP研究会 研究用原子炉を用いた原子核素粒子物理学

「もんじゅ」サイト新試験研究炉の 検討状況

京都大学 複合原子力科学研究所 中島健

注:本資料で使用した図表等の出典は以下のとおり。

参考資料1:「もんじゅ」サイトにおける新たな試験研究炉の検討状況について 原子力科学技術委員会 原子力研究開発・基盤・人材作業部会(第11回)(2022年3月16日)資料1 https://www.mext.go.jp/content/20220316-mxt_genshi-000021321_1.pdf

参考資料2:文部科学省委託事業「もんじゅサイト試験研究炉の概念設計及び運営の在り方検討」 第3回コンソーシアム委員会(2022年3月24日)資料3-1~3-3 https://www.jaea.go.jp/news/newsbox/2022/032401/s01.pdf



) 「もんじゅ」サイトでの新たな試験研究炉の設置について

試験研究炉の役割

カーボンニュートラル実現へ向けた取組が世界 規模で加速

- 安全確保を大前提とした原子力の安定的な平和利用の 推進
- 今後増加する原子力施設の廃止措置への着実な対応
- 試験研究炉を利用した高度な原子力人材の継続的な確保・育成強化が重要

中性子利用技術は学術のみならず、 産業利用でも発展

中性子利用需要に対応した研究基盤 (試験研究炉)の維持・整備が重要

●経緯·背景

"「もんじゅ」の取扱いに関する政府方針"

➤ 平成28年12月の原子力関係閣僚会議において、「もんじゅ」を廃止措置し、「もんじゅ」サイトに将来、新たな試験研究炉を設置することを決定。

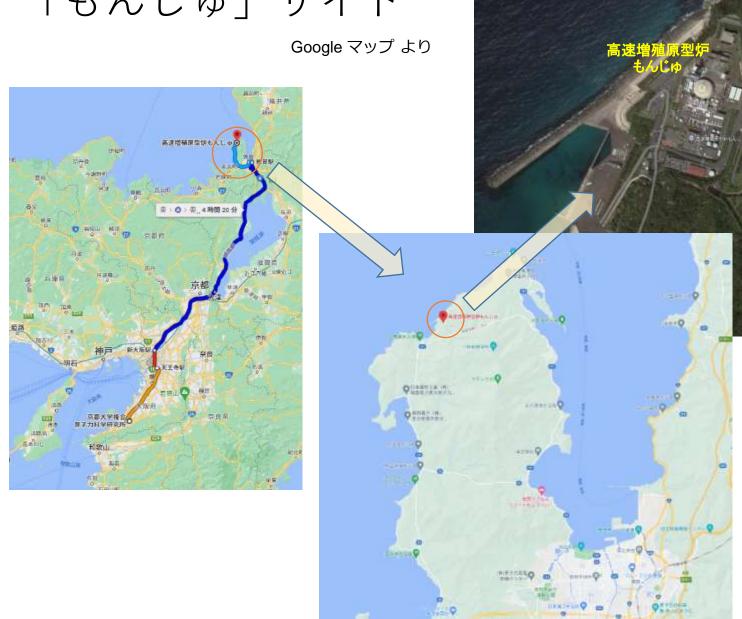
我が国の試験研究炉に係る状況

- ▶ 施設の高経年化や新規制基準への対応等に より多くが廃止の方針となっており、東日本大 震災後に再開した試験研究炉は6施設のみ。
- 我が国の研究開発・人材育成を支える基盤 がぜい弱化している状況。

人材育成・中性子利用の基盤として試験研究炉の重要度が増加

- ▶ 「もんじゅ」サイトに設置する新たな試験研究炉の在り方について、文科省審議会等を通じて検討を行った結果、①我が国の研究開発・人材育成を支える西日本における中核的拠点としての機能の実現、②地元振興への貢献の観点から、中性子ビーム利用を主目的とした中出力炉に絞り込み。
- ▶ 令和2年度より概念設計及び運営の在り方検討を開始(令和4年度中に詳細設計を開始予定)

「もんじゅ」サイト





((JAEA)) もんじゅサイト試験研究炉のスケジュール(見通し)

R2年度~R4年度 概念設計 地區調査を含む※1

R4年度中~ 詳細設計 許額可含む※2

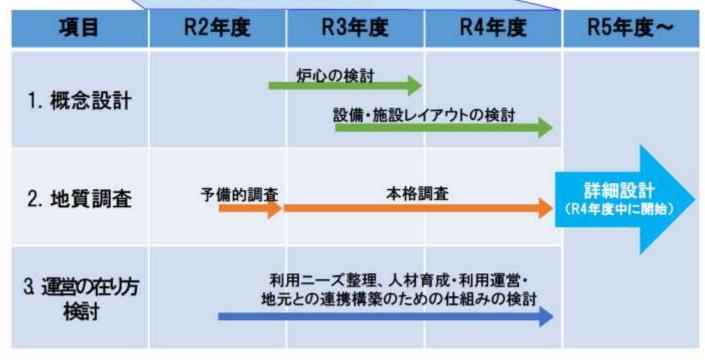
建設工事、検査など 許認可、基礎工事、施設建設工事。 地盤改典・基礎工事などを含む※3

運転開始

※1 予備的調査(1年目) 本格調査(2年目、3年目) ※2 設置許可取得及び建設のための 設工認取得に向けた詳細設計

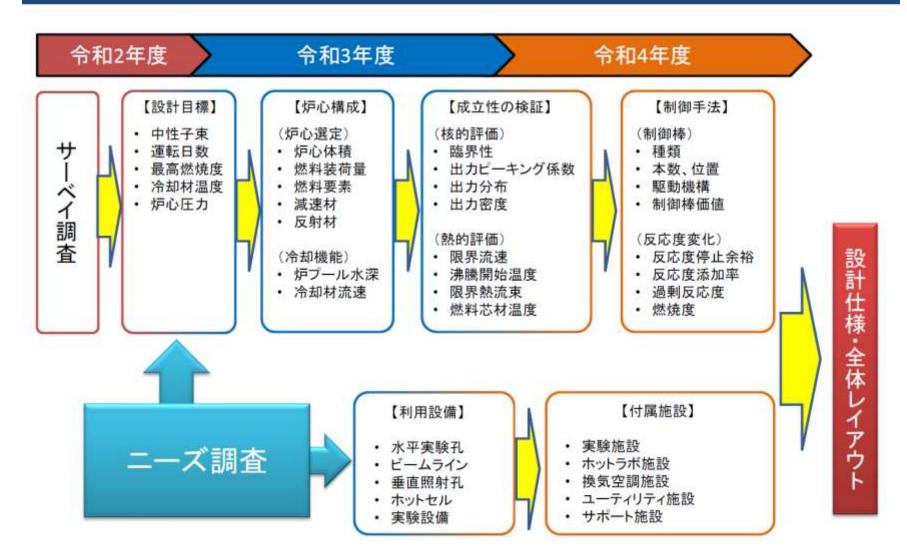
※3 設工認を段階的に取得しつつ建設着手 建設後、運転開始に向けた使用前検査を実施

文科省委託事業の期間





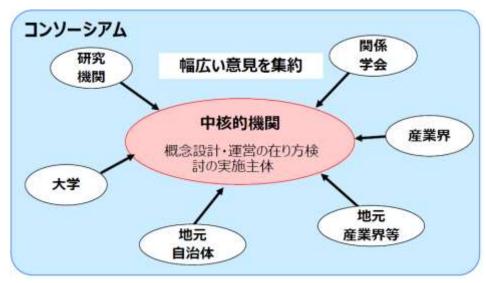
試験研究炉概念設計(今後の予定)





JAEA) もんじゅサイト試験研究炉検討の体制

中核的機関(原子力機構、京都大学、福井大学)に加えて、本試験研究炉の利用ニーズを有する学術界、産業界、 地元関係機関等からなるコンソーシアムを構築し、幅広い意見を反映しながら概念設計及び運営の在り方検討を実施



コンソーシアム参画機関

- 敦賀市
- 福井県
- 敦賀商工会議所
- 福井県商工会議所連合会
- 日華化学株式会社
- 東洋紡株式会社
- 若狭湾エネルギー研究センター
- 近畿大学 原子力研究所
- 日本原子力産業協会
- 中性子產業利用推進協議会
- 放射線利用振興協会
- 日本アイソトープ協会
- 日本原子力学会
- 日本中性子科学会

これまで3回開催 2021/03/23 2021/10/22 2022/03/24

会合資料はJAEAホーム ページに掲載

※中核的機関の役割と体制

原子力機構:「試験研究炉の設計・設置・運転」

試験研究炉の設計やもんじゅサイトの知見を活かし、主に概念設計と地質調査を担当

体制:理事長直下の組織として新試験研究炉準備室を設置

京都大学:「幅広い利用ニーズ集約とサービス提供」

▶ 利用ニーズの整理、及びKURの利用運営経験を活かした利用運営の在り方検討を担当

▶ 体制:KURの利用運転の実績を活かす、複合原子力科学研究所全所的な対応体制として、 京大新型研究炉開発・利用センター(KNRR)を設置

福井大学:「地元の大学、研究機関、企業等との連携構築」

地元産業界との橋渡し活動、地元関係機関との連携構築に向けた制度の検討を担当

体制:学長を長とするタスクフォースのもとに、産学官連携本部も加わる体制を構築



WG1



WG2





令和3年度までの取組状況

1. 概念設計

- 炉心の検討:設計目標を設定し、炉心の構成を検討。設計目標を達成できる 炉心構成に絞り込み
- ○設備・レイアウトの検討:幅広いコミュニティからのニーズを整理し、実験装置群の 構成案を検討。冷中性子源の性能予備検討、ビーム実験装置整備案、照射 実験装置案、付帯施設・実験支援環境、ホットラボラトリ等の検討を実施

2. 地質調査

- ○ボーリング調査(R2(100m)、R3(200m))を実施、設置に支障となる脆弱な地 層構造の有無を確認
- ○地表地質踏査、ボーリングコア分析を実施

3. 運営の在り方検討

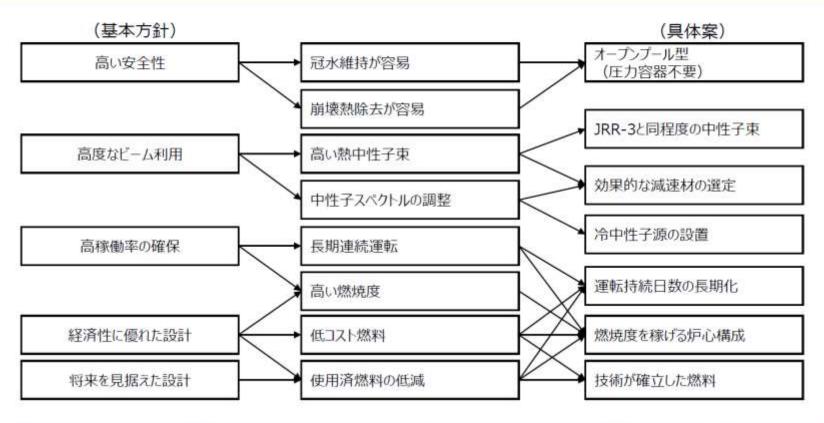
○運営体制の検討課題の抽出を実施

4. 地元関係機関との連携構築に向けた検討

- ○伴走型連携:産業利用技術としての中性子利用経験、地元企業・機関との交流として、中性子利用の情報提供や利用可能性について対話を実施
- ○新試験研究炉への地元企業等の関与を促進する仕組みの検討
- ○セミナー等による福井大学における学内教育、県との連携での講習会開催



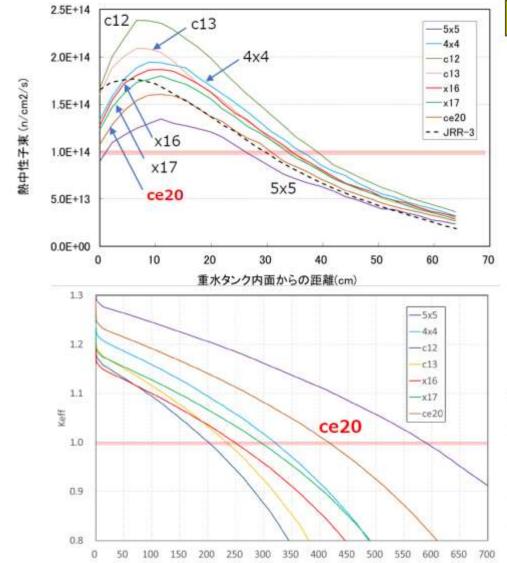
現状の設計目標と達成見通し・ニーズの反映



項目	現状の目標	現状の達成見通し	備考 (JRR-3参考値)
• 熱中性子東	10 ¹⁴ (n/cm ² /s) 以上	達成見込み	1.0~2.0×10 ¹⁴ n/cm ² /s
• 運転持続日数	400日以上	達成見込み	約370日
• 燃焼度 (燃料要素1体)	80 GWd/t以上	達成見込み	約100 GWd/t



炉心概念検討:炉心構成



日数

中性子束分布·燃焼特性解析結果

・今後、ce20炉心 (燃料集合体20体)をベースに、制御棒や反射体等の配置を検討。



主な検討項目

- ・制御要素(タイプ、配置)
- ・炉心冷却(冷却性能、プール水深)
- ·照射利用
- · 炉心配置 (反射体、実験孔)



もんじゅ敷地内地質調査

令和2年度~令和4年度の調査のポイント

- ▶試験研究炉の設置を直ちに阻害するような地下構造の有無の確認
- ▶許認可申請に向けた地質・地盤情報の取得
 - 岩盤は、どれだけ掘れば出てくるか?
 - 岩の種類や硬さはどうか?
 - 大規模な破砕帯やすべり面となるような脆弱部は存在していないか?

令和3年度調査の調査結果

- ✓ 地表から約24.6m以深に花崗岩(岩盤)が分布している。
- ✓ 構造物の支持地盤となり得る性能(硬さ)を有している。
- ✓ 調査した深度200mの範囲には、大規模な破砕帯やすべり面となる ような脆弱部は確認されなかった。



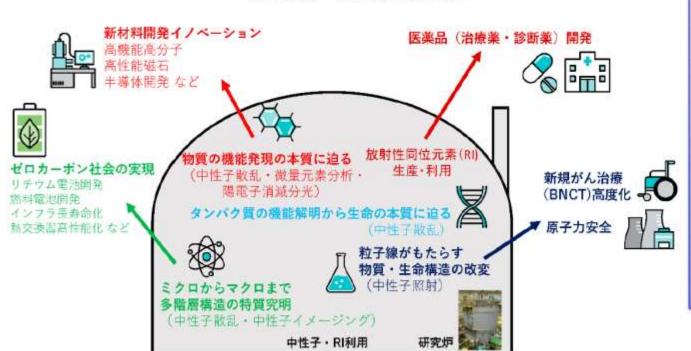
- 中性子ビーム利用を主目的として性能を最大限引き出した中出力炉において、持続可能性が期待できる幅広い利用運営のあり方(研究者を中心に広く人が集まる魅力的な施設のあり方)を検討する
- 中性子ビーム利用を主目的としつつも、多目的利用を旨とする研究炉において、特長を出すことに注意し、汎用性・先端性・多様性とバランス良く実験装置群を検討し、運営体制案(指針)構築につなげる



必要な利用装置検討にあたって

新試験研究炉は多岐にわたる革新的研究成果やイノベーション 創出が期待でき、「国際公共財」として世界に誇れる施設を目指 すことが重要。10MWの性能を最大限に活かすビーム利用設備 としてはまず冷中性子源(CNS)が挙げられる

新研究炉が拓く未来 本質を究明する基礎研究に基づく革新的イノベーション創成 次世代日本・世界を創る人材育成





必要な装置検討

ビーム利用

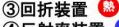
安定的に定常中性子ビームが供給できる研究炉では、遮蔽を少なくし装置 をコンパクトにできるため、多くの装置がビームラインに設置可能である。 まず汎用性や利用頻度が高い装置について最優先で設置し、新試験研究 炉の存在意義をアピールすること重要。下記の4つの装置を提案する

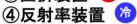
①小角散乱装置 🎾



②イメージング装置 🚨

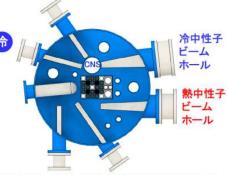






熟 主に熱中性子利用





まず中性子強度等の装置性能が重要だが、特長を出す試料環境(例えば、 他施設では測定困難な放射化した試料測定等)検討も重要

10MWの研究炉の性能を最大限活かし、今後益々多様化 する学術研究や産業利用のため整備すべき装置案

- 即発ガンマ線分析装置 🎢
- 偏極中性子小角散乱装置、極小角中性子散乱装置 🨘
- 大強度熱中性子イメージング装置 🔝
- 熱中性子回折装置(残留応力測定、単結晶用4軸解析)
- 偏極中性子反射率装置 🦮
- 大強度熱·冷中性子利用三軸分光装置 🚷 😘
- TOF型冷中性子非弾性散乱装置 🏠
- 中性子制御検出技術高度化のための開発試験装置 🥱 🔕

施設側が準備する装置だけではなく、意欲のある研究者や企業が 自らの資金で独自の装置を開発・設置し、それを継続的に利用する ためのビームラインや実験スペースを事前に確保しておくことも重要

照射利用

汎用性や利用頻度からまず①放射化分析装置が挙げられる。 ただしビーム利用同様、10MW研究炉の性能を最大限活かすため、 ② RI製造(開発)以降、⑤までの照射利用装置検討も重要。

①放射化分析:非破壊で(貴重な試料の高確度な)微量元素分析

- ②RI製造:特に99Mo製造や177Lu等の医学利用RI製造(開発含む)
- ③材料照射:精密温度制御等自由度の高い高速中性子照射場
- ④陽電子ビーム:原子空孔(欠陥)探索等(ビーム利用との相乗効果)
- ⑤生物照射: BNCT基礎研究を中心に生物的照射効果基礎研究

炉心領域:②、③ 重水反射体領域:①、② 水平実験孔:④、⑤

ホットラボラトリ(ホットラボ)や分析装置等の付帯設備が必須。日本放射化学会 、日本アイソトープ協会、日本薬学会、日本原子力学会材料部会、生物照射関 係の学協会からアンケート等により意見を求め、それぞれの研究分野における ホットラボラトリの用途と必要な機能や設備の検討も進めている。

200 利用運営について

国際公共財として世界に誇れる施設を目指すことを前提に、利用に関するユー ザーの声を収集するとともに、下記①~⑤検討範囲で調査分析を行った

- ①組織運営(利用支援)
- ②利用設備(設備保守·技術運用)
- ③利用制度(課題審査、共同利用)
- ④ユーザーサービス(施設体制)
- ⑤新試験研究炉の建設・運用に向けた準備活動を行う体制

本格的な産業利用を目指すことも求められており、JRR-3のトライアルユース 制度のような新規活動支援から次世代放射光施設(SRIS)における産業利用 の考え方である「Coalition Concept」等も参考に検討中

今後、学術・産業利用ニーズに対応した持続的な装置整備及び 高度化は、まず⑤準備活動を行う体制、広く連携しながらも主体 的に運営できる組織の必要性が求められる

WG3(地元関係機関との連携構築)

活動計画

- 1. 伴走型連携
 - 1)産業利用技術の検討 産業利用として有力な中性子ビーム、照射利用技術を検討する。
 - 2) 地元企業・機関との交流 地元企業との意見交換、情報発信を進める。 既存炉のトライアルユースを促す。
 - 3) 地元企業・機関の参画と連携のしくみ検討 先行事例を踏まえ、地元産学官連携のしくみ(福井スタイル)を検討。

2. 学内教育

- 1)もんじゅサイトの試験研究炉セミナーの開催(2回程度)
- 2)福井県との共催講習会・セミナー

WG3(地元関係機関との連携構築)

活動状況

- 1. 伴走型連携
- 1)WG活動

これまで産業利用として、中性子ビーム利用とRI製造について専門家意見を聴取し検討を進めてきた。

引き続いて、第3回及び第4回WGにて産業利用経験や地元企業意見並びに茨城県の取組み事例の紹介をして頂き、産業利用の促進検討に反映している。

- ◎産業利用経験と地元企業意見(第3回WG)
 - ・JRR-3利用経験と要望:JSR株・湯淺毅
 - ·中性子回折利用経験:JFE·末吉仁
 - 放射光利用経験と試験研究炉への期待:東洋紡・船城健一
 - 試験研究炉活用促進と人材育成:日華化学・稲継崇宏
- ◎産業利用参画連携のしくみ(第4回WG)
 - ・茨城県の中性子産業利用取組み:茨城県庁・児玉弘則

(参考)

- ◎活動計画の検討を実施(第1回WG)
- ◎産業利用技術について検討を実施(第2回WG)
 - ·産業利用候補技術:京都大学·川端祐司
 - ·RI製造:RI協会·中村伸貴
 - ·JRR-3の利用: JAEA·松江秀明

WG3(地元関係機関との連携構築)

University of Fukui

①繊維・化学分野

業種	主要な二一ズ	対応するシーズ設備・機器	
高分子·樹脂製造	樹脂・電子材料などの不純物分析	放射化分析	
	添加剤、エマルジョンなどの分子構造解析	散乱(小角散乱法)	
材料製造(有機・無機・電子)	合金中の軽元素分析	放射化分析	
電子材料製造	電池電極材の構造解析	散乱(粉末回折法)	
表面処理·加工	加工後の不純物分析と加工状況確認	放射化分析、散乱法(反射法)	
	有機材の表面加工の状況確認	散乱(反射法) 72	

②電気·機械·建設産業分野

業種	主要なニーズ	対応するシーズ設備・機器
A 51 to 40 C 51 VA	鉄鋼材料中の元素分析	放射化分析
	溶接部・摺動部の残留応力分布測定	散乱(残留応力測定)
自動車部品製造	構造物内部の欠陥検出や変形測定	中性子ラジオグラフィー
	電動機部品の磁気特性解析	散乱(小角散乱法)
原子力発電	照射材料の内部構造解析、	散乱(小角散乱法)
	残留応力分布測定	散乱(残留応力測定)
	照射材料の内部欠陥の測定	陽電子消滅法
建設材製造	材料表面加工状態解析	散乱(反射法)
電子部品製造	セラミックスの分子構造	散乱(粉末回折法)

3放射性同位元素製造

莱種	主要なニーズ	対応するシーズ設備・機器	
原子炉·放射線管理	照射管理業務	放射性同位元素製造設備·機器	
40.人由地	Lu-177製造		
総合病院	Mo-99製造		

福井県が地元企業の ニーズ調査を実施

- •今後は専門家との対話や支援、JRR-3やKURでの試行等 きめ細かな対応が必要
- ・利用だけでなく、建設、運転・ 保守等に積極的に参画した い企業もあり
- •ニーズ調査を踏まえ、ニーズ と必要な技術や機器・装置の マッチングをまとめている



令和4年度での取組について

1. 概念設計

- 炉心の検討:
 - フォロワ型燃料の導入の場合の制御要素や反射体等の材質や配置
 - > RI製造を行う能力を付与する可能性について、計算を行いJRR-3での製造と比較し検証する
 - 冷中性子源に関する設計の実施
- 設備・レイアウトの検討
 - ▶ 炉室、ガイドホール、ビームラインや大型実験装置について遮へい等も考慮したレイアウトの具体化
 - ホットラボラトリ等使用施設の仕様の絞込み(取扱う放射性物質、廃棄物管理も考慮)

2. 地質調査

- 現在の候補地での建設へ判断を行うための各調査の推進
 - 高角度の破砕帯、割れ目の調査(斜め方向のボーリング実施等)花崗岩風化部厚さの空間分布の把握(物理探査実施等)
 - 土石流に関するリスク評価
 - → 以上から詳細設計の前提となる仕様等を明らかにするとともに科学的見地から建設候補地としての妥当性を確認

3. 運営の在り方検討

- 学術利用と産業利用の双方を調和させた開放的な運営体制の検討
 - ➤ 安全確保を最優先とした原子力施設の建設・運転と中性子ビーム利用、照射利用を行うのに適切な体制について検討着手
 - ▶ ビームラインや実験装置の維持管理、利用の促進について別の主体となる法人設置に関する実現可能性の検討

4. 地元関係機関との連携構築に向けた検討

- 伴走型連携による潜在的な中性子利用需要の掘り起こし、将来のユーザーの育成のため、セミナー等の開催。トライアルユースを促進する制度や関心のある企業を支援する窓口となる主体の整備に関する検討
- 人材育成拠点とするための大学の役割や中性子利用の専門教員の配置等の検討
- 新試験研究炉の設置による経済的効果の評価

→ 以上から運営の在り方(利用運営、地元連携の在り方)について提案

以上の取組が着実に進捗し、完了を見込める状況が整った時点で、 地元自治体の了解を得た上で、令和4年度中に詳細設計に着手予定。

参考:試験研究炉の設置に係る規制の流れ

- ①原子炉施設**設置許可**申請/審査/許可(基本的な安全設計の確認、いわゆる安全審査)
- ②設計及び工事計画認可申請(**設工認**)/審査/認可(詳細設計及び工事内容の確認)

【認可後に機器製作・工事等を実施】

- ③使用前事業者検査及びNRAによる確認【検査合格/確認後に使用開始】
- ④保安規定認可申請/審査/認可【運転開始までに認可】