

京都大学研究炉の運転再開について

京都大学複合原子力科学研究所¹

中島 健、三澤 毅

1. はじめに

大学が保有する3基の研究炉(近畿大学原子炉 UTR-KINKI(最大熱出力1W)、京都大学研究用原子炉 KUR(最大熱出力 5,000kW)及び京都大学臨界実験装置 KUCA(最大熱出力 100W))は、いずれも新規規制基準への適合性確認のために約3年間、運転を停止していたが、昨年(2017年)いずれの炉も適合性確認を終了し、利用運転を再開した。本稿では、京都大学の2基の研究炉(KUR及びKUCA)¹⁾の運転再開までの道のりについて述べる²⁻⁴⁾。

2. 新規規制基準とは

2.1 原子力安全規制の見直し

東京電力福島第一発電所の事故(以下、1F事故)の発生を受け、国は原子力安全規制の大幅な見直しを行った。それまでは、経済産業省資源エネルギー庁の下にある原子力安全保安院が発電用原子炉の規制を行い、原子力安全委員会がその規制状況を確認(ダブルチェック)する方式であったが、これを環境省の外局として新たに設置した原子力規制委員会に1本化することとなった。この変更に伴い、試験研究用原子炉(以下、研究炉)、核燃料、RIの規制も、従来の文部科学省による規制から、原子力規制委員会による規制に統合された(図1参照)。

2012年9月19日に発足した原子力規制委員会は、原子力施設の安全審査の判断基準(規制基準)の全面的な見直しを行い、それまでは原子力安全委員会の内規という位置付けであった指針⁵⁾に替えて、新たな規制基準を法令として整備することとした。2013年7月8日には発電用原子炉施設の新規制基準が施行され、同年12月18日に研究炉を含む核燃料施設等の新規規制基準が施行された。この新規規制基準では、既に許可を得た原子力施設に対する新基準の全条項に対する適合確認の義務づけ(バックフィット制度)が導入されており、新規規制基準に適合していることが原子力規制委員会により確認されたものに限り、運転を再開できることとなった。

2.2 試験研究炉の新規制基準

新規規制基準は、1F事故の教訓を踏まえ、地震・津波はもちろん竜巻や火山などの自然事象について、厳格な影響評価を要求している。また、これまでは事業者の自主的な対応としてきた重大事故(試験研究炉では「多量の放射性物質等を放出する事故」と呼ぶ)への対応も求められている。この他、安全上重要な機器等について、共通要因事象で機能喪失を起こさないための多重性・多様性・独立性が要求されるなど、多くの点で要求が厳しくなっている。

試験研究炉の新規制基準⁶⁾の61項目うち、水冷却型研究用原子炉であるKURに適用される条項は、表1に示す34項目(第1条の定義及び第2条の適用範囲を含む)であり、また冷却が不要なKUCAに対しては表2に示す30項目である。これらは従来の指針を基本としているが、以下の事項等が変更となっている。

¹ 2018年4月1日より、組織名を「原子炉実験所」から「複合原子力科学研究所」に変更しました。

- 中高出力炉(出力 500kW 以上の炉)等、事故時に及ぼす影響が大きい研究炉について、「多量の放射性物質を放出する事故の拡大の防止」を追加要求(第40条)
 - 発電用原子炉の新規制基準では、炉心(燃料)が損傷する「重大事故」(シビアアクシデント)の評価・対策を新たに要求しているが、研究炉に対しては「多量の放射性物質を放出する事故」として、周辺公衆の被ばくが5mSvを超える事象の対策を要求している。
- 地震・津波等の自然事象の評価方法を厳格化(第4条～第6条)
 - 1F事故では、地震及び津波の評価が過少であったことの教訓から、地震・津波に加え、洪水、風、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山、森林火災等の自然災害の評価方法が厳格化した。
- ◆ 外部人為事象(第三者の不法な接近)等に対する考慮を明確化(第7条)
 - テロ等の対策として、第三者の立入り等について必要な措置を実施する。
- ◆ 敷地内の外部研究者や見学者等に対する事故の発生の連絡や必要な指示を行うための対策を要求(第30条)
 - 試験研究炉では多くの外部利用者や見学者が施設内に立ち入ることから、彼等に対して緊急時の指示連絡が行えるような設備・体制を整備する。

なお、新規制基準の上位の法律である原子炉等規制法の第57条の9において、原子力事業者等の責務として原子力施設における安全に関する最新の知見を踏まえた必要な措置を講ずることが要求されている。これを受けて、上述のとおり既に許可を得ている原子炉に対しても新規制基準が適用される(バックフィット制度)こととなり、今回新規制基準の適合確認が行われた原子炉に対しても、今後安全上の新たな知見が得られた場合には、その知見を取り入れた改善が必要となる。

3. 京大研究炉の適合性確認

3.1 設置変更の審査

京都大学では、2014年9月30日に KUR 及び KUCA の新規制基準への対応内容を記載した設置変更申請書⁷⁾を原子力規制委員会に提出した。その後、原子力規制委員会により、この設置変更の内容が適切であるかを確認する作業、いわゆる安全審査が始まった。安全審査は基本的に、原子力規制委員会の事務局である原子力規制庁により実施され、合格(KUR は2016年9月、KUCA は同年5月)までにほぼ週1回のペースで100回を超えるヒアリング(非公開)または審査会合(公開)が行われた。新規制基準には、各条の解釈⁸⁾も作成されていたが、研究炉としては初めての審査ということもあり、個々の事例については、規制側と議論を進めながら対応を検討しなければならないことが多くあった。特に規制が強化された外部事象(自然現象)の評価とその対応策の策定には、多くの時間と労力を要した。

今回の設置変更の主な内容(変更点)を以下に示す。

- 重要度分類の策定・見直し
 - これまでは設置申請書に記載がなく審査の対象となっていなかった各施設の安全機能別の重要度分類を正式に策定するとともに、耐震基準の見直しに対応した耐震重要度分類の見直しを行った。これらの重要度分類に基づき、次で述べる外部事象及び内部事象の評価において、各施設が防護すべき対象となるかどうか判断されることとなる。
- 外部事象・内部事象の評価の厳格化

地震・津波・竜巻・火山・外部火災等の外部事象及び内部火災・内部溢水等の内部事象について、その評価を発電炉に準じた手法により評価し、必要な対策を講じた。例えば、竜巻評価では、発電炉と同じくF3クラス(藤田スケール3:風速92m/s)の竜巻を想定し、その対策を講じている。この場合、自動車が風で飛ばされてKURの炉室等を破損する恐れがあることから、竜巻警報発生時には近隣駐車場の自動車は直ちに所定の場所に退避させることとした。また、外部火災(森林火災)が発生した時の防護策として、想定火災区域と原子炉施設の間に予防散水エリアを設けて火災発生時には要員が直ちに駆けつけて同エリアに散水することで原子炉施設への延焼を防止する対策を講じた。内部火災対策としては、発火源及び可燃物の炉室内への持ち込み制限を行うとともに、管理されていない可燃物は炉室に放置しない等の火災発生防止策を講じた他、火災感知器や消火器の追加設置、難燃性ケーブルへの変更、さらに一部設備には防火カバーの設置などの影響軽減策を講じることとした。また、内部溢水に対しては、想定される最大量の溢水が生じた場合でも、必要な給水機能が確保できるようKURの非常用電源システムを給電システムも含めて2重化することとした。

- 「多量の放射性物質を放出する事故」の想定(KURのみ)

想定を超えた異常により、周辺環境に多量の放射性物質を放出する事故が発生した場合の対策を記載した。例えば、冷却水喪失事故時に恒設の給水設備がすべて使用できない場合に備えて、可搬型消防ポンプや大型の水タンクを配備し、使用できる体制としている。

- 品質保証体制・活動の追記

施設・設備の設計及び工事における品質保証体制やその活動内容について、明記した。

設置変更申請書では、施設の安全設計の基本方針を記載した文書であり、これが承認された後は、この基本方針を実際の原子炉施設の安全管理に適用させるために、保安規定等の規定類の変更や必要な設備の改造等の工事を実施しなければならない。これらについても、原子力規制委員会(あるいは原子力規制庁)の承認や確認を受ける必要がある。これらをすべて終了し、実際に原子炉の運転状態までを含めた機器類の動作確認を行った後に、新規制基準への適合確認が終了(合格)し、原子炉の利用運転が可能となる。

3.2 設置変更承認後の対応

審査合格後は、設置変更申請書で約束した安全機能を確保するための各種の工事等に取り掛かったが、新たに研究炉の工事に対して導入された品質保証制度⁹⁾の運用に手間取り、運用の方法を皆で試行錯誤して確認しながら、また手引き等を整備しつつ進めていった。そうして、KUCAが2017年6月に、KURは2017年8月に、運転に必要なすべての検査が終了し、その後利用運転を開始した。結果的に、KUR、KUCAともに新規制基準対応のために、3年3ヶ月の間、運転休止となった。

表3に、新規制基準への適合のために実施した主な工事の内容を示す。表中「安全保護回路の変更」として「スクラム回路の2重化」があるが、これは新規制基準の第12条において安全施設に対して多重性が要求されており、これに対応するための工事である。また、「非常電源の強化」では、「KUCA用の非常用発電機(EG)をKUR用に変更し、KUR用EGを2台とする」工事を行うが、これは新規制基準第28条において、非常用電源設備に対して多重性(あるいは多様性)及び独立性が要求されており、これに

対応したものである。なお、この工事においては、2台のEGからの送電系統を分離独立させることにより、送電系の設備(配電盤など)のどこか1か所が損傷したとしても、別経路を経由して送電できる構成としている。さらに、「内部火災対策」として火災報知器や消火設備の整備が記載されているが、一部を除き、これら設備は消防法に基づき以前から設置されているものである。しかし、これらの設備が新規規制基準第8条により新たに原子炉の安全施設と位置付けられたことから、実際の工事は伴わないが「設計及び工事の方法の承認申請」を提出し、使用前検査を受ける必要がある。他に、表3には記載がないが、通信設備としての固定電話や携帯電話なども、新規規制基準第30条で設置が必要となったことから、使用前検査を受けることとなる。また、前述のように、外部事象への対応(新規規制基準第6条の要求事項)として、「外部火災対策」や「竜巻対策」の工事も実施している。

これらの工事等をすべて終了した後、施設定期検査として原子炉の運転状態までを含めた機器類の動作確認を行い、前述のとおりKUCAは2017年6月20日、KURは同年8月25日付けで新規規制基準への適合確認が完了(合格)し、原子炉の利用運転が可能となった。

図2に、これまでの京都大学の規制対応の経緯を示す。

4. 京大研究炉の現状

KUCAは、2017年6月21日より3年3カ月ぶりの利用運転を開始した。利用運転では、各種の研究及び全国大学院生実験を含む人材育成のための運転を行った。現在は、2018年3月12日より開始した施設定期検査期間中であり、6月下旬より利用運転を再開する予定である。

KURは、2017年8月29日より同じく3年3カ月ぶりの利用運転を開始し、2018年2月19日の施設定期検査開始までの間、医療照射をはじめとする各種の実験を行った。KUCAと同じく、6月下旬に利用運転を再開する予定である。なお、KURの利用運転期間中において、KURは実験施設のトラブルにより9月下旬から10月末まで約4週間運転を休止することとなった。また、2018年1月末には停止回路の故障により自動停止し、1週間運転を取りやめることとなった。いずれも、軽微な事象ではあったが、KURの利用を予定していた研究者に迷惑をかける事態となった。この場を借りて深くお詫び申し上げます。

KUCA及びKURの施設定期検査期間中には、通常の検査に加え、上記のトラブルを踏まえ、軽微な故障でも運転計画に影響を与える可能性がある機器等についての点検を実施する予定である。なお、これらのトラブルが必ずしも該当するわけではないが、長期間の停止は機械・装置にとって決して好ましいものではない。また、運転員にとっても、長期にわたり実際の運転を経験できないことは、いくら訓練を行ったとしても、技術的能力の低下をもたらすこととなる。この結果、原子炉を利用する際のリスクが高くなる可能性もあることから、研究炉のような内在する危険性(ハザード)が発電炉に比べて桁違いに小さい装置に対して、それを長期間停止して安全確認を行うことの必要性を見直すべきではないかと考える。

5. 京大研究炉の今後について

これまで述べてきたとおり、京大炉では1F事故後に強化された新規規制基準への対応など様々な取り組みを行ってきた。これらの取り組みは、全て京大炉の職員が行っているが、大学の法人化後の定員削減により、研究炉の運転管理を行う人員は大きく減少している。一方、新規規制基準では、従来よりも厳しい安全管理が求められており、この対応のため従来以上の労力が必要となっている。また、昨年4月に公布となった原子炉等規制法等の改正法¹⁰⁾により、今後3年以内に改正炉規法が施行されることとなっ

たが、この改正では、これまで規制当局が実施してきた各種の検査等を事業者が実施する制度など、事業者の自主的な対応が要求されている。大学における研究炉の安全管理業務は、現状においても人的・経済的に大きな負担となっており、今後の更なる規制要求への対応は非常に大きな課題である。現在、文部科学省では、原子力研究の基盤施設としての研究炉を我が国としてどう位置付けるのか、またその運用体制をどのようにするのかといった議論が行われている¹¹⁾が、少なくとも現状の大学における運営方法では、将来もこれを維持することは難しく、早急な対応が必要と考えている。

また、KUR の使用済燃料は、米国に返送することが日米の取り決めにより決まっているが、この取り決めは、2026年5月まで使用した燃料を2029年5月まで米国が引き受けるという内容であり、この期限を過ぎた使用済燃料の取扱いについては、決まっていない。従って、現状では使用済燃料取扱いの問題が解決しない限り2026年5月を超えての KUR の運転継続は困難な状況である。これは、KUR 以外の国内の研究炉(臨界装置等の低出力炉で実質的に使用済燃料が発生しない炉を除く)についても同様の問題であり、国としての対応が必要である。

さらに、現在まだ高濃縮ウランを使用している KUCA では、燃料を低濃縮化することが2016年に開催された第4回米国核セキュリティ・サミットでの日米共同声明¹²⁾において宣言されている。このために、今後、安全審査や高濃縮ウラン燃料の米国への輸送、低濃縮ウラン燃料の製造・輸送、各種の検査など非常に大きな労力と経費を要する作業を行わなくてはならない。このため、今後の KUCA の利用運転にも何らかの影響が生じる可能性がある。なお、低濃縮化後の炉心については、これまでの実験範囲(中性子スペクトル等)を包含し、かつ、より幅広い実験が実施できるように燃料組成や数量を検討しているところである。

参考文献

- 1) KUR,、KUCA の概要については以下を参照
<http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/facilities>
- 2) 中島健、「研究炉の再稼働に向けて 一新規制基準への適合確認について」、アトムサイエンスくまとり、Vol.19 春夏号、京都大学原子炉実験所(2017)。
- 3) 中島健、「京都大学研究用原子炉 KUR の状況」、放射化学、第 36 号、p.1、日本放射化学会(2017)。
- 4) 中島健、「大学における研究炉の現状と課題」、エネルギーレビュー、第 38 巻、第 1 号、p.38(2018)。
- 5) 「水冷却型試験研究用原子炉施設に関する安全設計審査指針」及び「水冷却型試験研究用原子炉施設の安全評価に関する審査指針」、平成 3 年 7 月 18 日、原子力安全委員会決定。
- 6) 「試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則」、原子力規制委員会規則第 21 号、平成 25 年 12 月 6 日。
- 7) 京都大学原子炉実験所原子炉設置変更承認申請書、平成 28 年 9 月(補正)。
- 8) 「試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」、平成 29 年 8 月 30 日(改正)、原規技発第 1708302 号、原子力規制委員会決定。
- 9) 「試験研究の用に供する原子炉等に係る試験研究用等原子炉設置者の設計及び工事に係る品質管理の方法及びその検査のための組織の技術基準に関する規則」、原子力規制委員会規則第 22 号、平成 25 年 12 月 6 日。

- 10) 「原子力利用における安全対策の強化のための核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律等の一部を改正する法律」、法律第十五号(平成29年4月14日).
- 11) 文部科学省 原子力科学技術委員会 原子力研究開発基盤作業部会
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/087/index.htm
- 12) 第4回米国核セキュリティ・サミット「核セキュリティ協力に関する日米共同声明」
http://www.mofa.go.jp/mofaj/dns/n_s_ne/page3_001646.html

表1 新規制基準のうち KUR に適用される条項(34 個)

第1条	適用範囲	第23条	保管廃棄施設
第2条	定義	第24条	工場等周辺における直接ガンマ線からの防護
第3条	試験研究用等原子炉施設の地盤	第25条	放射線からの業務従事者の防護
第4条	地震による損傷の防止	第27条	原子炉格納施設
第5条	津波による損傷の防止	第28条	保安電源設備
第6条	外部からの衝撃による損傷防止	第29条	実験設備等
第7条	試験研究用等原子炉施設への人の不法な侵入等の防止	第30条	通信連絡設備等
第8条	火災による損傷の防止	第31条	外部電源を喪失した場合の対策設備等
第9条	溢水による損傷の防止等	第32条	炉心等
第10条	誤操作の防止	第33条	一次冷却系統設備
第11条	安全避難通路等	第34条	残留熱を除去することができる設備
第12条	安全施設	第35条	最終ヒートシンクへ熱を輸送することができる設備
第13条	運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止	第36条	計測制御系統施設
第16条	燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	第37条	原子炉停止系統
第18条	安全保護回路	第38条	原子炉制御室等
第19条	反応度制御系統	第39条	監視設備
第22条	放射性廃棄物の廃棄施設	第40条	多量の放射性物質等を放出する事故の拡大防止

表2 新規制基準のうち KUCA に適用される条項(30 個)

第1条	適用範囲	第16条	燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設
第2条	定義	第17条	計測制御系統施設
第3条	試験研究用等原子炉施設の地盤	第18条	安全保護回路
第4条	地震による損傷の防止	第19条	反応度制御系統
第5条	津波による損傷の防止	第20条	原子炉停止系統
第6条	外部からの衝撃による損傷防止	第21条	原子炉制御室等
第7条	試験研究用等原子炉施設への人の不法な侵入等の防止	第22条	放射性廃棄物の廃棄施設
第8条	火災による損傷の防止	第23条	保管廃棄施設
第9条	溢水による損傷の防止等	第24条	工場等周辺における直接ガンマ線からの防護
第10条	誤操作の防止	第25条	放射線からの業務従事者の防護
第11条	安全避難通路等	第26条	監視設備
第12条	安全施設	第27条	原子炉格納施設
第13条	運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止	第28条	保安電源設備
第14条	外部電源を喪失した場合の対策設備等	第29条	実験設備等
第15条	炉心等	第30条	通信連絡設備等

表3 主な工事等

項目	施設	概要
耐震性の確認	共通	KUR、KUCA 建屋等の耐震性を確認する。(必要に応じて、補強工事を実施)
安全保護回路の変更	KUR	スクラム回路の2重化による安全施設の多重性確保、一部実験設備の使用取り止めによる該当する警報及びスクラム項目の削除など。
	KUCA	最大出力の変更、自動制御運転の取りやめにより、該当する安全保護回路を変更する。
非常用電源の強化	KUR	従来の KUCA 用の非常用発電機(EG)を KUR 用に変更し、KUR 用 EG を2台とする(多重化)。このとき、2台の EG からの送電系統を分離独立させることにより、送電系の設備(配電盤など)のどこか1か所が内部火災や内部溢水等により損傷したとしても、別経路を経由して送電できる構成とする。また、監視設備用の無停電電源の容量を増強する。 屋外放射線モニタ用の無停電電源を設置する。
	KUCA	非常用発電機(EG)の使用を取りやめるとともに、監視設備用の無停電電源を新規設置する。
内部火災対策	共通	原子炉施設内の可燃物の管理を徹底する(発火源及び可燃物の炉室内への持ち込み制限を行うとともに、管理されていない可燃物は炉室に放置しない等の火災発生防止策を講じる)とともに、火災報知器・消火設備を整備する。
	KUR	実験孔に防火カバー等を整備する。
	KUCA	ハロン消火設備、遮熱板を設置し、炉心を防護する。絶縁油の漏えい防止堰の設置。核計装系統を難燃性ケーブルに変更または防火カバーの取り付け。
外部火災対策	共通	森林火災から施設を保護するため、防火帯(予防散水エリア)整備、散水栓設置、消防体制整備の実施。
竜巻対策	共通	固形廃棄物倉庫内の廃棄物の固縛設備を設置。
	KUR	発電炉と同じくクラス F3(風速 92m/s)の竜巻を想定し、その対策として、非常用電源室(KUCA)の壁厚増強、落下物から EG を保護するための防護ネット設置、非常用電源用屋外冷却塔(KUR)の防護設備設置、竜巻監視システムの導入と竜巻発生時の自動車退避等の実施。
落雷対策	KUR	避雷設備の更新
漏えい対策	共通	放射性廃液の漏えい検知の設置
避難対策	KUCA	非常用照明の設置

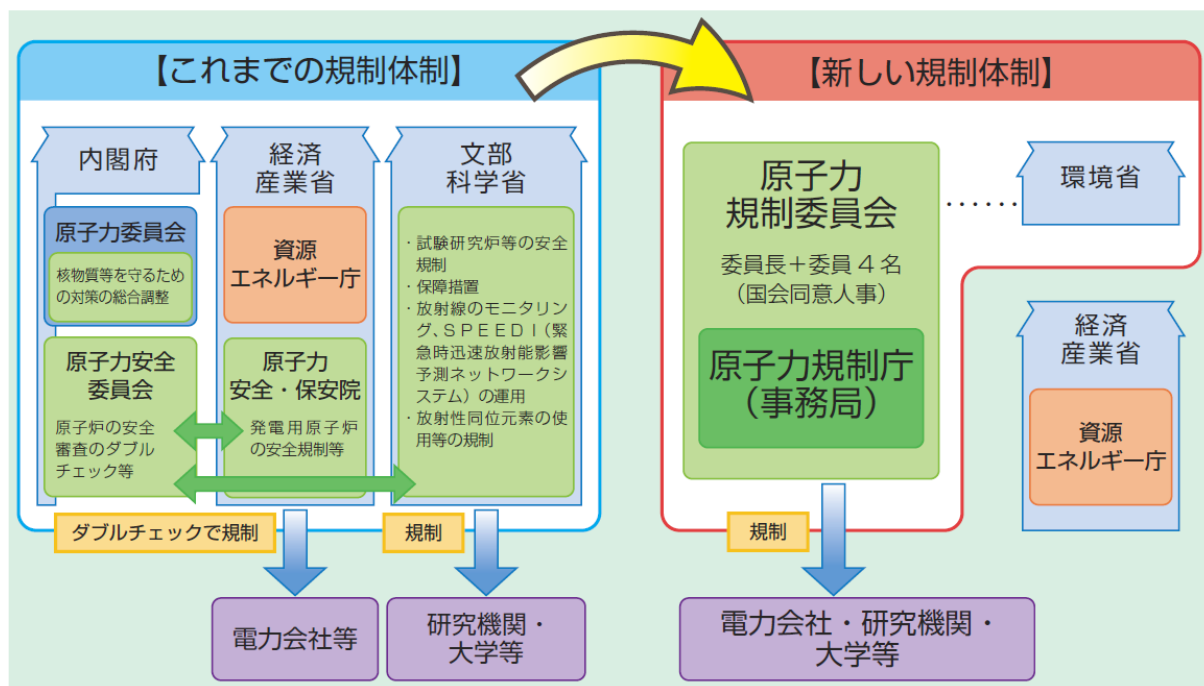


図1 原子力規制体制の見直し(原子力規制委員会パンフレットより)

2011年3月11日	東京電力福島第一発電所事故
2012年9月19日	原子力規制委員会発足
2013年7月8日	原子力発電所の新規制基準施行
2013年12月18日	※試験研究炉の新規制基準施行
2014年3月10日	KUCA停止(施設定期検査開始)
2014年5月26日	KUR停止(施設定期検査開始) (「現状確認」により3/19~5/22運転)
2014年9月30日	KUR及びKUCAの申請 設置変更承認申請書及び保安規定変更承認申請書を原子力規制庁に提出 —新規制基準適合確認審査のためのヒアリング及び審査会合—
2016年5月11日	KUCA設置変更の承認(合格)
2016年9月21日	KUR設置変更の承認(合格)
2017年2月28日	保安規定変更の承認(2017年6月15日に一部変更承認) —各種工事等の実施、使用前検査、施設定期検査の実施—
2017年6月20日	KUCA施設定期検査の合格
2017年6月21日	KUCA利用運転開始
2017年8月25日	KUR施設定期検査の合格
2017年8月29日	KUR利用運転開始

※試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則の施行

図2 新規制基準への京都大学の対応(経緯)