

記 録

文書番号	S C J 第 23 期 29082823550900060
委員会等名	日本学術会議基礎医学委員会・総合工学委員会合同 放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会
標題	研究炉の長期停止に伴う影響調査
作成日	平成 2 9 年（ 2 0 1 7 年） 8 月 2 8 日

※ 本資料は、日本学術会議会則第二条に定める意思の表出ではない。掲載されたデータ等には、確認を要するものが含まれる可能性がある。

この記録は、日本学術会議基礎医学委員会・総合工学委員会合同 放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会 研究用原子炉のあり方検討小委員会において実施した「研究炉の長期停止に伴う影響調査」に関するアンケートの集約結果について研究用原子炉のあり方検討小委員会で取りまとめて分科会で審議したものを、「記録」として公表するものである。

日本学術会議基礎医学委員会・総合工学委員会
合同 放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会

委員長	柴田 徳思	(連携会員)	株式会社千代田テクノ大洗研究所所長、東京大学名誉教授、高エネルギー加速器研究機構名誉教授、総合研究大学院大学名誉教授
副委員長	神田 玲子	(連携会員)	量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所放射線防護情報統合センター長
幹 事	神谷 研二	(第二部会員)	広島大学副学長・原爆放射線医科学研究所教授
幹 事	竹田 敏一	(連携会員)	福井大学付属国際原子力工学研究所特任教授
	中嶋 英雄	(第三部会員)	公益財団法人若狭湾エネルギー研究センター所長
	遠藤 啓吾	(連携会員)	京都医療科学大学学長
	甲斐 倫明	(連携会員)	大分県立看護科学大学理事・教授
	唐木 英明	(連携会員)	公益財団法人食の安全・安心財団理事長
	櫻井 博儀	(連携会員)	東京大学大学院理学系研究科教授、理化学研究所主任研究員
	佐々木 康人	(連携会員)	湘南鎌倉総合病院付属臨床研究センター放射線治療研究センター センター長
	山本 一良	(連携会員)	名古屋学芸大学 副学長・教授、名古屋大学名誉教授

本記録の作成にあたり、以下の方々にご協力いただいた。

日本学術会議基礎医学委員会・総合工学委員会合同 放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会 研究用原子炉の在り方小委員会

委員長	柴田 徳思	(連携会員)	株式会社千代田テクノ大洗研究所所長、東京大学名誉教授、高エネルギー加速器研究機構名誉教授、総合研究大学院大学名誉教授
副委員長	中嶋 英雄	(第三部会員)	公益財団法人若狭湾エネルギー研究センター所長

幹事	村山 洋二	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究炉加速器管理部長
幹事	川端 祐司	京都大学原子炉実験所所長
	唐木 英明 (連携会員)	公益団法人食の安全・安心財団理事長
	山本 一良 (連携会員)	名古屋学芸大学 副学長・教授、名古屋大学 名誉教授
	井頭 政之	東京工業大学グローバル原子力安全・セキュ リティ・エージェント教育院特任教授
	出光 一哉	九州大学大学院工学研究院教授
	上坂 充	東京大学大学院工学系研究科教授
	海老原 充	首都大学東京大学院理工学研究科教授
	小野 公二	京都大学原子炉実験所客員教授
	鬼柳 善明	名古屋大学工学研究科加速器 BNCT 用システム 研究講座特任教授
	四竈 樹男	八戸工業大学エネルギー環境システム研究所長
	柴山 充弘	東京大学物性研究所教授
	橋本 憲吾	近畿大学原子力研究所教授
	林 眞琴	一般財団法人総合科学研究機構中性子科学 センター・サイエンスコーディネーター
	藤田 全基	東北大学金属材料研究所教授
	古坂 道弘	北海道大学工学研究院量子理工学部門応用量 子ビーム工学分野触媒化学研究センター教授
	村田 勲	大阪大学大学院工学研究科教授
	山口 彰	東京大学大学院工学系研究科教授

日本学術会議基礎医学委員会・総合工学委員会合同 放射線・放射能の利用に伴う課
題検討分科会 研究用原子炉の在り方小委員会 ワーキンググループ

主査	上坂 充	東京大学大学院工学系研究科教授
	川端 祐司	京都大学原子炉実験所所長
	柴田 徳思 (連携会員)	株式会社千代田テクノル大洗研究所所長、東 京大学名誉教授、高エネルギー加速器研究機 構名誉教授、総合研究院大学院大学名誉教授
	柴山 充弘	東京大学物性研究所教授
	村山 洋二	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究炉加速器管理部長

本記録の作成にあたり、以下の職員が事務を担当した。

事務	石井 康彦	参事官 (審議第二担当) (平成 29 年 7 月まで)
	桑川 泰一	参事官 (審議第二担当) (平成 29 年 7 月から)
	松宮 志麻	参事官 (審議第二担当) 付参事官補佐 (平成 29 年 7 月まで)

高橋 和也 参事官（審議第二担当）付参事官補佐（平成 29 年 7 月から）
柳原 情子 参事官（審議第二担当）付審議専門職

1 調査の背景

平成 25 年、東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓の下に研究用原子炉（以下「研究炉」という。）に関する新規制基準が策定された。多くの研究炉が新規制基準への適合性確認に関する審査対応を進めているが、アンケート調査時点（平成 28 年 4 月）においては再稼働を見通せた施設はない¹。この結果、利用停止が 5 年間に及んでいるため、研究活動に大きな影響を与えていると思われる。この影響のうち、人材育成と教育に関する部分は日本原子力学会により実態調査が行われたので、研究用原子炉のあり方検討小委員会では、学術研究や産業界の開発研究に与える影響をアンケートにより調査することとした。本記録は、本分科会が今回のアンケート調査結果をまとめたものである。

2 調査の方法

研究炉を利用する研究者及び施設管理者に対して、平成 28 年 4 月から 7 月にかけてアンケート調査を行った。対象とした研究炉は、アンケート調査時点で広く利用に供されており、今後も運転を継続するものとして、JRR-3、JMTR（ホットラボを含む）（以下、「JMTR」という。）、常陽、KUR（KUCA を含む）（以下、「KUR」という。）、UTR-KINKI、NCA の 6 施設とした（施設名の略称は参考資料 2＜施設名の略称＞を参照）。また、研究炉の長期停止の代替施設となり得る海外の研究炉も対象とした。

3 調査結果

（１）利用者数

研究炉を利用する研究者の多い JRR-3 および KUR の利用者数（実人数）は、平成 23 年以前は年間およそ 2,000 人であった。現在は 0 人となっていて、2,000 人（大学院生を含む）の研究場所が奪われている。

（２）課題採択数

平成 23 年以前は年間およそ 1,000 課題が採択されていたが、現在は激減しており、かつ国内で実施された課題は殆どない。

（３）学術論文数

JRR-3 では平成 24 年以降減少している。KUR および UTR-KINKI では停止時期が遅かったため、影響はまだ見られていない。

（４）学位論文数

JRR-3 では平成 24 年以降急激な減少を示している。KUR および UTR-KINKI では停止時期が遅かったため、影響はまだ見られていない。海外施設での研究による学位論文が平成 24 年以降増加している。

（５）研究開発における外部資金

JRR-3 では平成 23 年を境に漸減している。KUR および海外施設では獲得件数が増加している。

¹ UTR-KINKI は平成 29 年 4 月 12 日に、KUCA は平成 29 年 6 月 21 日に再稼働した。

（６）産業利用における影響

自由記載の中の産業利用で以下の意見が出されている、「我が国のエネルギー政策で謳われている核燃料サイクルの開発が進まない」、「ペーパーチェンバー、ダイヤモンドライクカーボン膜、半導体用シリコン材料などの先端技術の開発が止まっている」、「国内に必要な RI 製造ができない」、「産業界で使い易い定常中性子源が使えず、中性子利用が進まない」

（７）研究開発及び人材育成と産業利用に関する自由記載より

研究炉の長期停止が研究開発及び社会貢献（人材育成、産業利用）に与える影響について自由記載で回答を求めた。代表的な意見を以下に示す。カッコ内は意見を寄せた組織。

「海外施設が国内研究炉の代替にはならない」（大学、国公立機関、民間）、
「国内の研究炉の研究設備の維持や開発ができず最先端を維持できない」（大学、国公立機関）、
「修士論文、博士論文の研究課題の変更などにより研究炉での実験経験のある学生がいなくなった」（大学、国公立機関、民間）、
「パルス中性子より原子炉の定常中性子が向いている散乱実験ができない」（国公立機関、民間）、
「磁気構造の決定ができない」（大学）、
「研究開発の土壌が無くなり国際競争力が失われる」（大学、国公立機関）、
「使用経験のないユーザーが増え成果の創出までに時間がかかる」（大学、国公立機関）、
「原子炉の比較的シンプルな実験装置による効果的な人材育成ができない」（大学、国公立機関）、
「国内研究炉を全く使わない学位取得者が輩出されている」（大学、国公立機関）、
「研究炉で実施されてきた実習プログラムに参加できない」（大学）

４ 調査結果のまとめ

JRR-3 の停止（平成 23 年）以降、海外施設を利用した論文や外部資金の件数が増加している。東京大学物性研究所・東京大学原子力専攻によれば、海外施設利用に関しては経費およびマシンタイムの制限から希望者の 1 割程度しか救済できていない。このことから、研究開発を海外施設に頼ることは厳しく、海外施設での研究実施が我が国の研究に大きく寄与するとは考えにくい。研究炉の長期停止は研究開発の面で、毎年約 2,000 人（大学院生を含む）の研究者の研究の場を奪い、学術論文や学位論文の減少を招いた。人材育成や産業利用という社会貢献という面で、中堅・若手研究者の育成ができない、日本がリードしている産業が外国にリードされかねないなどの指摘が寄せられた。このような事態の中で多くの研究者が研究炉の早期再稼働を願っていること、現在は代替手段として海外施設の利用を考えざるを得ないが、実際に海外施設に頼ることは難しい実態が明らかになった。

さらに、研究炉は、研究開発及び産業利用と人材育成の観点から重要であるだけでなく、当面、原子力エネルギーを利用する我が国の方針のもと、原子炉の安全研究及び今後の廃炉作業でも必要不可欠である。また、中性子を用いた分析法は、研究や産業で必要とされる放射光と並ぶ基盤分析法であり、技術立国を目指す我が国にとって不可欠な基盤技術である。このような観点から中性子利用の分野で J-PARC は大きな役割を果たしているが、我が国全体の中性子利用という観点から、J-PARC だけではと

ても全てをカバーできるものではなく、研究炉の役割は非常に大きい。

福島原子力発電所事故後の研究炉の稼働が遅れていることの大きな理由は、新規制基準対応である。発電所に比較しその出力が数パーセント以下の研究炉に対する規制の合理的なあり方について検討すべき点が多い。

目 次

1	はじめに	1
2	調査方法	1
	(1) 研究者を対象としたアンケート調査	1
	(2) 施設管理者を対象としたアンケート調査	2
3	研究者を対象としたアンケート結果	3
	(1) 所属する組織の種類	3
	(2) 利用した研究炉	3
	(3) 学術利用における研究分野	4
	(4) 産業利用における利用分野	5
	(5) 最も関心のある研究分野（利用分野）	6
	(6) 中性子利用の目的（研究手段）	7
	(7) 研究炉利用による学位論文数	9
	(8) 外部資金による研究開発における財源	9
	(9) 研究炉利用による特許、実用新案数	10
	(10) 研究炉の長期停止による影響	11
	(11) 研究炉の運転再開において利用しない場合の理由	11
4	施設管理者を対象としたアンケート結果	13
	(1) 研究炉利用による学位論文数	13
	(2) 研究炉の共同利用研究の採択課題数	13
	(3) 研究炉の利用者数	13
5	研究炉の長期停止による影響に係る自由回答	15
	(1) 質問 1 1（長期停止が研究開発与える影響）に対する意見の件数	15
	(2) 質問 1 2（長期停止が社会貢献に与える影響）への意見の件数	16
	(3) 質問 1 1（長期停止が研究開発与える影響）への意見	16
	(4) 質問 1 2（長期停止が社会貢献に与える影響）への意見	18
6	日本原子力学会による研究炉長期停止の人材育成への影響調査結果	22
	(1) 調査の目的と対象施設	22
	(2) 調査結果－原子力人材育成における状況と提言	22
7	研究炉の長期停止に伴う影響調査結果のまとめ	23
	(1) 利用者数	23
	(2) 課題採択数	24
	(3) 学位論文数	24
	(4) 学位論文数	24
	(5) 研究開発における外部資金	26
	(6) 産業利用における影響	26
	(7) 質問 1 1（長期停止が研究開発与える影響）に対する自由記載の回答	27
	(8) 質問 1 2（長期停止が社会貢献に与える影響）に対する自由記載の回答 ...	27

＜参考文献＞	29
＜参考資料 1＞ 審議経過	29
＜参考資料 2＞ 施設名の略称	30
＜付録 1＞ 研究炉の長期停止に伴う影響調査に関するアンケート調査票	31
＜付録 2＞ 研究炉の長期停止に伴う影響調査に関するアンケートの自由記載	41
(1) 質問 1 1（長期停止が研究開発与える影響）への意見	41
(2) 質問 1 2（長期停止が社会貢献に与える影響）への意見	56

1 はじめに

平成 25 年、東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓の下に研究用原子炉（以下、「研究炉」という。）に関する新規制基準が策定された。多くの研究炉が新規制基準への適合性確認に関する審査対応を進めているが、アンケート調査時点（平成 28 年 4 月）においては再稼働を見通せた施設はない²。この結果、利用停止が 5 年間に及んでいるため、各研究グループに大きな影響を与えていると思われる。この影響のうち、人材育成と教育に関する部分は日本原子力学会により実態調査[1]が行われたので、研究炉のあり方検討小委員会では、学術研究や産業界の開発研究に与える影響をアンケートにより調査することとした。本記録は、今回のアンケート調査結果をまとめたものである。なお、参考として日本原子力学会による調査結果の概要を「6. 日本原子力学会による研究炉長期停止の人材育成への影響調査結果」に示す。

2 調査方法

研究炉を利用する研究者及び施設管理者に対して、平成 28 年 4 月から 7 月にかけて、アンケート調査を行った（付録 1）。対象とした研究炉は、アンケート調査時点で広く利用に供されており、今後も運転を継続するものとして、JRR-3、JMTR（ホットラボを含む）（以下、「JMTR」という。）³、常陽、KUR（KUCA を含む）（以下、「KUR」という。）、UTR-KINKI、NCA の 6 施設とした。また、研究炉の長期停止の代替施設となり得る海外の研究炉も対象とした。

(1) 研究者を対象としたアンケート調査

① アンケート項目

- ア) 所属する組織の種類
- イ) 主に利用した研究炉
- ウ) 学術利用における研究分野
- エ) 産業利用における利用分野
- オ) 利用する際に最も関心のある研究分野
- カ) 中性子を利用する目的（研究手段）
- キ) 研究炉の利用による学位論文数
- ク) 外部資金の財源
- ケ) 研究炉を利用した研究・開発等による特許・実用新案出願数
- コ) 研究炉の長期停止による研究開発への影響の有無
- サ) 研究炉の長期停止が研究開発に与えている影響
- シ) 研究炉の長期停止が人材育成や産業利用などの社会貢献に与える影響
- ス) 研究炉が運転を再開しても利用しない場合の理由
- セ) 今後の研究炉を用いた研究・開発、産業利用などを行うにあたって、国や

² UTR-KINKI は平成 29 年 4 月 12 日に、KUCA は平成 29 年 6 月 21 日に再稼働した。

³ 平成 28 年 10 月に廃炉の方針が示されている。

施設管理者等への要望など
ソ) その他、コメント、要望等

② 調査対象者

次の学会等にアンケートへの協力を依頼した。146 名からの回答があった。

日本原子力学会、日本中性子科学会、J-PARC/MLF 利用者懇談会、中性子産業利用推進協議会、東京大学原子力専攻、東京大学物性研究所、アンケートの対象としている 6 施設

③ 調査対象年度

上記アンケート項目のうち、キ) 研究炉の利用による学位論文数、ク) 外部資金の財源及びケ) 研究炉を利用した研究・開発等による特許・実用新案出願数については、運転停止時期をはさんだ数年間の推移を調べることにした。なお、各施設の運転停止時期が異なることから、以下の範囲とした。

施設名	調査対象年度
JRR-3、KUR、UTR-KINKI 及び NCA	平成 20～26 年度
JMTR	平成 16～22 年度
常陽	平成 17～23 年度

(2) 施設管理者を対象としたアンケート調査

① アンケート項目

- ア 研究炉を利用して得られた成果に基づく学術論文数
- イ 研究炉における共同利用研究として採択された課題数
- ウ 研究炉の利用者数

② 調査対象者

JRR-3、JMTR、常陽、KUR 及び UTR-KINKI の各施設管理者

③ 調査対象年度

(1) の③と同じ。

3 研究者を対象としたアンケート結果

(1) 所属する組織の種類

今回のアンケート調査における回答者数は、大学 92 名、国公立機関 32 名、民間 16 名、その他 6 名の合計 146 名であったが、同一の回答者が複数の施設を利用した回答となっているため、これ以降の集計結果は回答者数を超えるところがある。

回答結果を図 1 に示す。大学が多いが、国立機関、民間からの回答もあった。

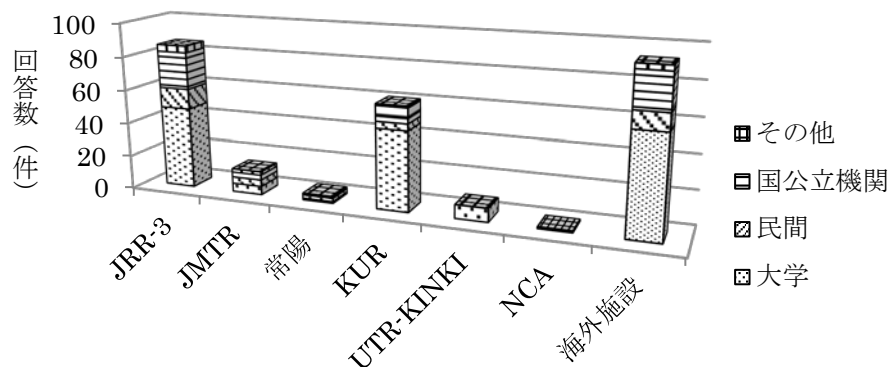


図 1 アンケート回答者の所属する組織（利用施設ごと）

(2) 利用した研究炉

回答結果を図 2 に示す。JRR-3 や KUR を利用するとの回答数が、JMTR や常陽に比べて多いが、前者が主に中性子ビーム実験など短時間で多岐にわたる実験に利用されているのに対し、後者は材料照射実験など長時間を要する加速照射試験のような実験に利用されているためであると考えられる。また、海外施設の回答のうち、海外施設のみを利用すると回答した数は 8 件であり、多くが研究炉の代替として、特に停止中の代替として利用されたものと推察する。



図 2 利用した研究炉の内訳

海外施設の利用件数の内訳を表 1 に示す。HFR は実験施設としての性能は高いが、OPAL に比べて稼働率は低く、実験採択の難易度（倍率）は高い。そのため、

HFR の使用件数は OPAL より少ないと考えられる。

表 1 海外施設の内訳

No.	施 設 名	国 名	使用件数
1	OPAL (ANSTO)、Bragg Institute	オーストラリア	22 件
2	HFIR, SNS (ORNL: Oak Ridge National Laboratory)	アメリカ	16 件
3	HFR (ILL, Grenoble)	フランス	13 件
4	NIST (National Institute of Standards and Technology)	アメリカ	9 件
5	HANARO (KAERI)	韓国	8 件
6	FRM II (TUM)	ドイツ	8 件
7	SINQ (PSI)、スイス核破砕中性子源施設	スイス	4 件
8	Orphee Reactor (LLB, CEA-Saclay)	フランス	3 件
9	BER II	ドイツ	3 件
	その他、オランダ Petten の HFR、ベルギー SCK/CEN の BR2、ノルウェー Halden の HBWR など		17 件
合 計			103 件

(3) 学術利用における研究分野

回答結果を図 3 に示す。JRR-3 では主に理学系の利用に供されているが、中性子散乱実験などによる物性研究が盛んに行われているためと考えられる。一方、KUR は、理学系、工学系（原子力系以外）、工学系（原子力系）及び医学・生命科学の各分野に均等に利用されており、幅広い技術を多方面に展開するという大学の実験装置の特徴が出ている。なお、医学・生命科学の利用が多いが、これは、原子炉を利用した国内で唯一のホウ素中性子捕捉療法（BNCT）⁴による臨床研究に利用されているためである。

⁴ 中性子捕捉療法は JRR-4 でも行われてきたが、平成 25 年 9 月に廃炉が決定した。

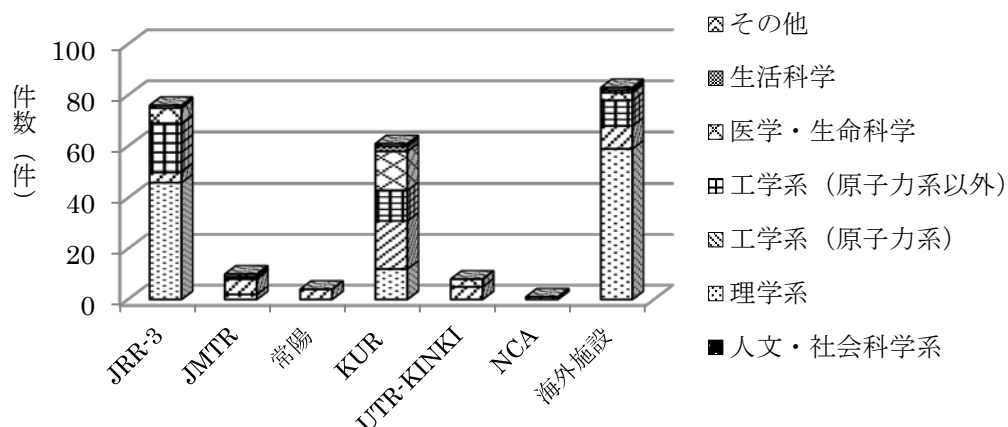


図3 学術利用における研究分野の内訳

(4) 産業利用における利用分野

産業利用分野及び利用の具体例に係る回答結果をそれぞれ図4及び表2に示す。利用分野では、化学・繊維、自動車・自動車部品、電気・電器、電力・ガス、製薬・食品・化粧品・バイオ応用など多岐にわたって活用されている。利用の具体例では、RI製造や原子炉材料の開発など継続して実施されているもののほか、ソフトマターのような新機能材料の開発など、利用領域の裾野の広がりが見られる。

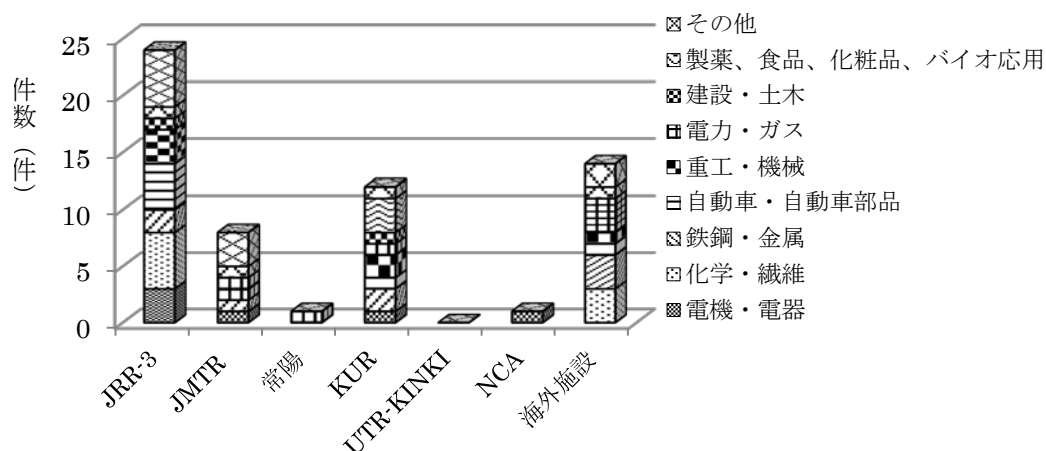


図4 産業利用における利用分野の内訳

表2 産業利用における主な利用例

施設名	主な具体的な利用例
JRR-3	有機薄膜材料等のソフトマター開発、ハードディスク用ヘッドの磁性膜の開発、機械・構造物の強度評価、RI製造（がん治療、非破壊検査用線源）
JMTR	原子炉材料の開発（長寿命化）、炉内計測用センサの開発、RI製造（非破壊検査用線源）
常陽	将来炉（動力炉）の開発

KUR	炉内計測用センサの開発、原子炉の安全性に係る研究、Mo-99 製造技術の開発
海外施設	物質科学（ソフトマター）、炉内計測、原子炉材料の開発、航空機ジェットエンジン部品の残留応力測定、がん治療用線源の製造、Mo-99 製造技術の開発

(5) 最も関心のある研究分野（利用分野）

回答結果を表 3 に示す。それぞれの炉の特徴（出力の大小、ビーム炉か照射炉かなど）に応じて、多岐にわたる学術研究が行われている。JRR-3 や KUR のように多種多様な実験設備を有する施設では、中性子散乱実験から RI 製造まで広範囲に利用されている。特に、KUR は我が国で唯一の原子炉を利用した BNCT による臨床研究に利用されている。JMTR や常陽は、燃料・材料の照射試験に係る研究分野が中心となっているが、JMTR はさらに RI 製造、検出器校正などにも利用されている。UTR-KINKI は原子炉運転実習、放射線医療に係る研究開発に利用されている。また、NCA は新型燃料の開発や臨界管理に関する研究に利用されている。

表 3 最も関心のある研究分野（利用分野）の主な具体例

施設名	最も関心のある主な研究分野例
JRR-3	【中性子散乱実験】中性子回折、固体物理、結晶構造解析、磁性研究、高分子科学、超伝導、医学・生命科学 【中性子ラジオグラフィ】燃料電池、建材中の水分挙動 【中性子放射化分析】高精度定量、環境分析、地球科学 【原子炉燃料材料】照射損傷機構の研究 【RI 製造】医療用、創薬研究、メスバウアー線源による研究 【その他】地球惑星科学、地質学、検出器校正
JMTR	【原子炉燃料材料】照射効果、照射損傷、照射脆化の研究 【RI 製造】Mo 製造技術の開発 【測定器校正】放射線計測器の特性評価 【地質学】地質試料の Ar-Ar 年代測定
常陽	【原子炉燃料材料】高速炉燃料材料の開発
KUR	【医療照射(BNCT)】がん治療に関する研究開発、ホウ素薬剤開発 【中性子散乱実験】中性子散乱分光法、固体材料の小角散乱 【中性子ラジオグラフィ】燃料電池、電子機器の放熱部材の開発、建材中の水分挙動の中性子イメージング 【中性子放射化分析】高精度測定、微量成分分析、地球科学、環境分析化学 【原子炉運転実習】学生実験を含む原子炉物理実験 【RI 製造】メスバウアー用線源、同位体及び Mo-99 の製造

	【核物理】不安定原子核などの核データ計測 【原子炉物理】未臨界度測定法の開発、新型炉・新材料の核特性の検証用データ取得、核変換工学 【材料工学】中性子と材料の相互作用、照射効果 【原子炉燃料材料】照射損傷機構、照射脆化機構の解明 【原子炉安全研究】軽水炉の安全性強化 【放射線計測】原子力施設用の計測機器の研究開発 【バックエンド】アクチノイド化学、核燃料サイクル工学、放射性廃棄物処理、ガラス固化プロセス 【加速器駆動システム(ADS)】未臨界炉の基礎研究、ADS 及び MA の核変換に関する研究開発 【その他】食品科学、地球惑星科学、放射線生物学、地質科学、陽電子消滅分光法、放射化学、核化学的研究
UTR-KINKI	【測定技術】医療用放射線の線量測定 【放射線防護】中性子線の生物影響、中性子線量評価技術 【医療照射(BNCT)】放射線医療応用、ホウ素薬剤の開発 【原子炉運転実習】原子炉起動や制御に関する教育訓練、原子炉物理実験の基礎研究
NCA	【原子炉燃料材料】新型原子炉燃料や制御棒の開発 【臨界管理】未臨界度測定法の開発
海外施設	【中性子散乱実験】中性子回折、固体物理、結晶構造解析、磁性研究、高分子科学、超伝導、医学・生命科学 【残留応力測定】機械・構造用材料の強度評価、材料工学、集合組織測定技術の標準化活動 【中性子デバイス開発】磁気光学素子開発のための極冷中性子を用いた性能評価実験 【RI 製造】Mo 製造に係る技術開発 【原子炉燃料材料】原子炉燃料の照射挙動、照射損傷に関する研究、核変換用燃料の開発

(6) 中性子利用の目的（研究手段）

回答結果及び学術利用の主な利用例を図 5 及び表 4 に示す。JRR-3 では、中性子散乱実験装置、中性子ラジオグラフィ及び即発ガンマ線分析装置を手段とする回答が約 7 割であり、中性子ビーム実験に多く活用されていることが判る。KUR では、放射化分析装置、医療照射設備、燃料・材料照射設備などの多くの設備がほぼ均等に利用されており、大学の実験装置の特徴が出ている。JMTR では、燃料・材料照射設備や RI 製造設備が使われている。海外施設では、中性子散乱実験が多く、中性子ビーム実験に活用されている。

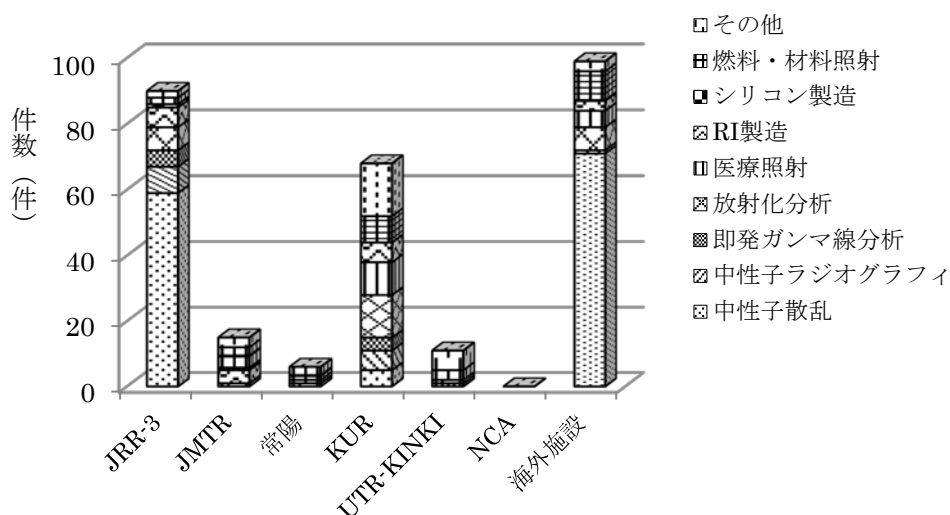


図5 中性子を利用する目的（研究手段）

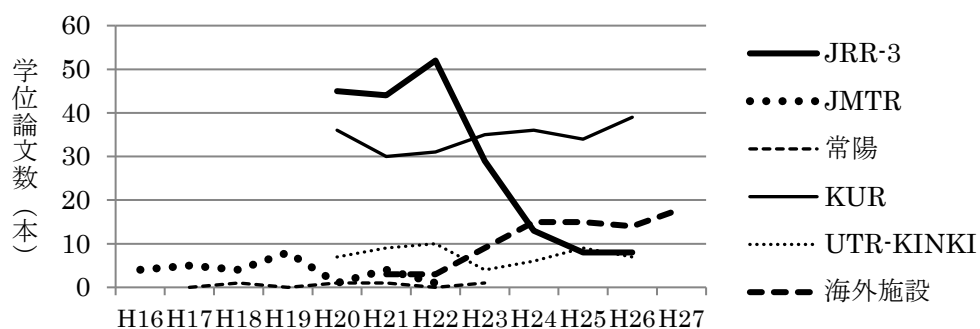
表4 学術利用における主な利用例

施設名	主な具体的な利用例
JRR-3	流動層熱交換器内の流動定量評価、タンパク質分子の機能解析、スピン励起及び格子振動の研究、バイオ・ソフトマターのナノ構造解析、高分子材料の小角散乱による構造解析、遷移金属化合物の結晶構造・磁気構造決定、スピンエコーを用いた磁性やナノ構造の解明、中性子反射率法に基づく高分子の界面構造解析、中性子光学デバイスの性能評価、機械内部の水分分布の可視化計測、残留応力測定による機械の内部構造や欠陥検査、天然試料や地質試料の年代測定、環境試料の元素分析、半導体シリコン中元素の高精度定量
JMTR	原子炉構造材の照射特性、原子力材料の経年劣化事象の解明、照射した半導体の電気特性測定等の非破壊評価、天然試料や地質試料の年代測定
常陽	廃棄物減容・有害度低減に向けたマイナーアクチニド含有燃料の照射挙動、高速炉燃料の中性子照射挙動及び高温照射特性把握
KUR	天然試料や地質試料の年代測定、ホウ素薬剤開発の有効性の検証、試料中に含有する微量元素分析、原子力材料の経年劣化事象の解明、1Fデブリの臨界管理技術開発、放射性廃棄物処理に適したガラス素材の研究、沸騰電熱管内の流動定量評価、中性子光学デバイスの性能評価、金属材料のナノ構造解析、半導体シリコン中元素の高精度定量
UTR-KINKI	高エネルギーX線がん治療装置周辺に発生する光中性子場の特性評価、ヒト、マウス培養細胞の照射による生存率、突然変異

	頻度等の解析、検出器開発のための特性評価
NCA	BWR、PWR 燃料の開発、1 F デブリ臨界管理技術の開発
海外施設	天然試料の年代測定、中性子反射率法に基づく高分子の界面構造解析、生物試料中の微量元素分析、原子力材料の経年劣化事象の解明、高速炉燃料の中性子照射挙動、タンパク質分子の機能解析、機械の内部構造・欠陥検査、スピン励起及び格子振動の研究、バイオ・ソフトマターのナノ構造解析、弾性散乱測定による次期構造解析、中性子の回折／散乱を用いた強相関物質系の新新奇な物性の探索及び解明

(7) 研究炉利用による学位論文数

回答結果を図 6 に示す。JRR-3 では、停止前は年間約 45 本の論文数であったが、停止後は急激に減少し、平成 25 年度は年間 8 本である。これに対して、平成 23 年度から海外施設で学位論文数が増加している。これは、JRR-3 中性子ビーム利用の大学利用を取り纏めている東京大学物性研究所及び東京大学原子力専攻が、JRR-3 の代替として海外施設の利用を支援した効果によるものと考えられる。しかし、東京大学物性研究所・東京大学原子力専攻によれば、経費及び海外施設のマシンタイムの制限により、希望者の 1 割程度しか救済できないとのことである。KUR では、平成 26 年 5 月まで原子炉が運転していたため、年間約 35 本の学位論文数を維持している。KUR によると、平成 27 年度の論文数もほぼこれまでと同数とのことであるが、今後、減少するものと考えられる。

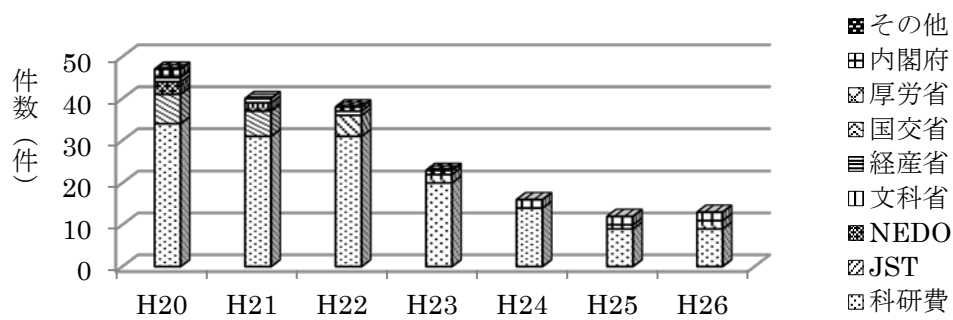


※各施設の停止時期：JRR-3 (H22 年 11 月)、JMTR (H18 年 8 月)、
常陽 (H19 年 5 月)、KUR (H26 年 5 月)、UTR-KINKI (H26 年 2 月)

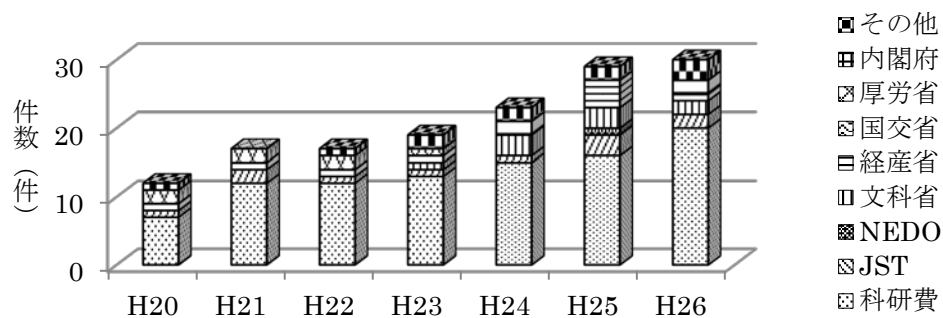
図 6 施設毎の学位論文（卒業論文、修士論文、博士論文）数の推移（表 9 参照）

(8) 外部資金による研究開発における財源

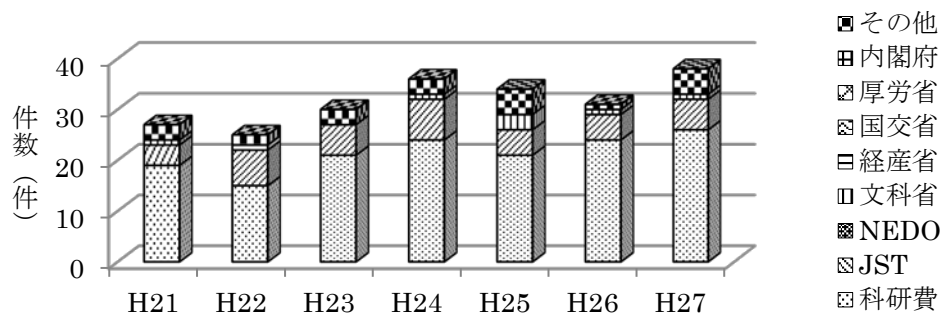
図 7 に JRR-3、KUR 及び海外施設における外部資金の財源の推移を示す。JRR-3 の停止後、JRR-3 における外部資金の件数が減少し、海外施設の件数が若干増加している。KUR では年々増加傾向にあり、まだ停止の影響が出ていないこと、また、JRR-3 の利用者が代替施設として KUR を使用したためと思われる。また、財源として最も多く活用されているのは科研費である。



(1) JRR-3



(2) KUR



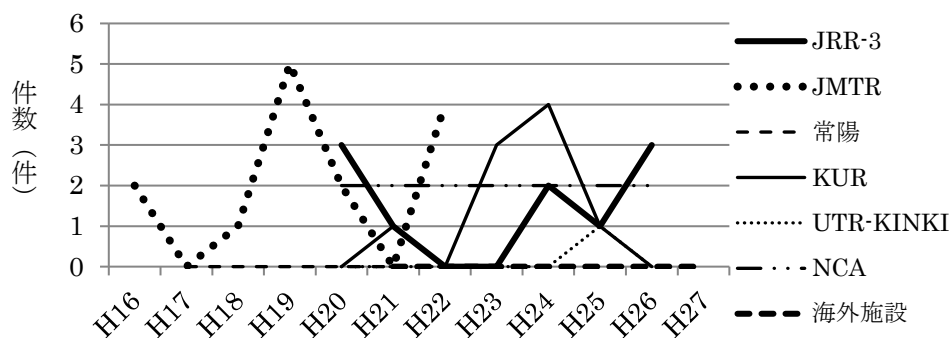
(3) 海外施設

図7 外部資金の財源

(文科省：文科省所管の外部資金のうち科研費以外のもの)

(9) 研究炉利用による特許、実用新案数

回答結果を図8に示す。年間最大5件と少なく、研究炉の長期停止による影響は把握できなかった。



※各施設の停止時期：図 6 に同じ

図 8 特許、実用新案出願研修の推移

(10) 研究炉の長期停止による影響

回答結果を図 9 に示す。JMTR を除いてほぼ 9 割が「大いにある」と回答している。JMTR では約 4 割が「大いにある」と回答しているが、無回答も同じ割合であった。JMTR は震災前から停止しており、停止の影響を量ることに窮したためであると考えられる。なお、海外施設においては、約 9 割が無回答であるが、これは、設問を海外施設の停止の影響と捕えた回答者が多かったためと考えられる。

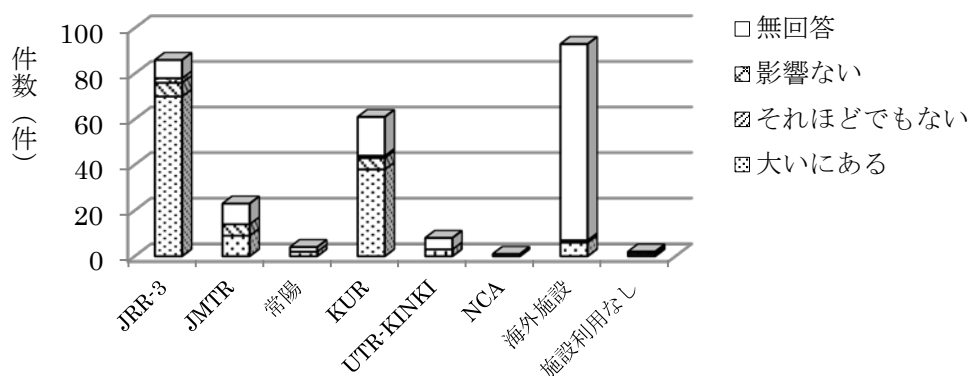


図 9 研究炉の長期停止による研究開発への影響

(11) 研究炉の運転再開において利用しない場合の理由

回答結果を図 10 に示す。回答数が少ないため（全回答者の約 1 割）必ずしも傾向を説明できるものではない。但し、「予算確保ができなくなったため」及び「やむを得ず代替手法を用いるため」の回答に、その他の回答のうち、「J-PARC を利用する」及び「常陽の運転が遅れるならば海外炉を利用する」のような回答を合せると、回答者のほとんどがやむを得ない理由により利用しないと回答している。

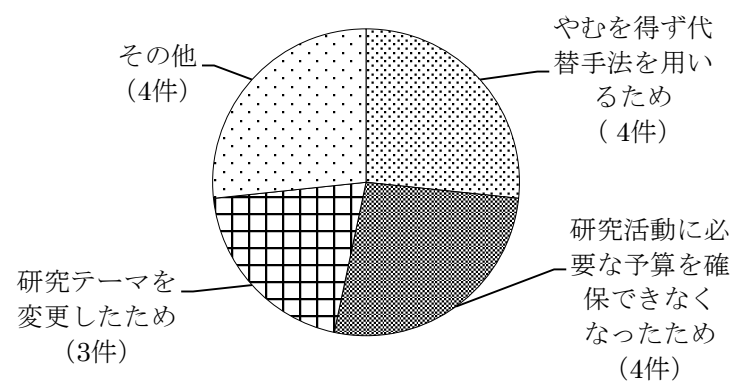
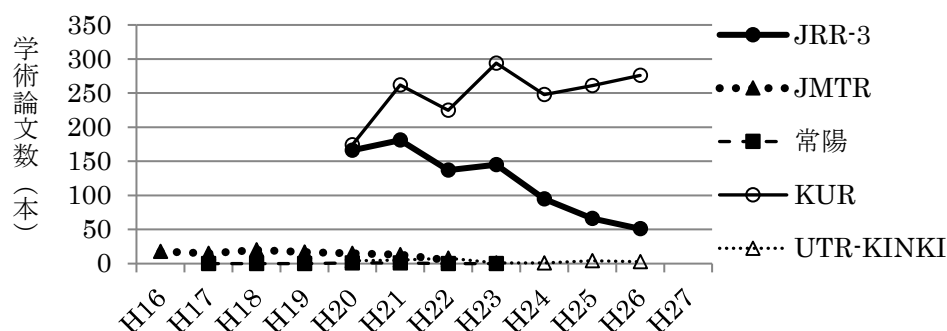


図 10 運転再開しても利用しない場合の理由

4 施設管理者を対象としたアンケート結果

(1) 研究炉利用による学術論文数

回答結果を図 11 に示す。研究炉が停止したことによる学術論文への影響は、JRR-3 において顕著に表れており、平成 22 年度を最後に運転がないため平成 23 年度以降は徐々に減少している。一方、KUR は平成 26 年 5 月まで運転をしていたため、アンケートの調査対象期間においては学術論文数への影響は表れていない。なお、KUR の論文数は、京都大学原子炉実験所のさまざまな利用をひとまとめにして計数したものであり、必ずしも KUR の利用に限ったものではない。そのため、数値そのものの比較はできないことに留意する必要がある。

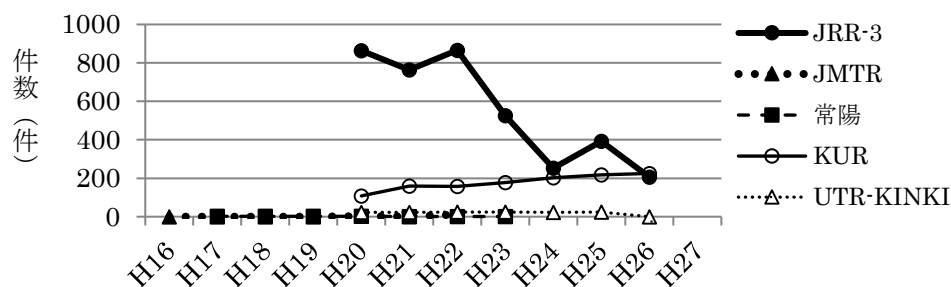


※各施設の停止時期：図 6 に同じ

図 1 1 研究炉を利用した学術論文数（表 8 参照）

(2) 研究炉の共同利用研究の採択課題数

回答結果を図 12 に示す。これにおいても、JRR-3 において長期停止の影響が顕著に見られる。なお、本調査では、課題採択後、原子炉が運転しなかった場合でも、採択数をそのまま計数している。



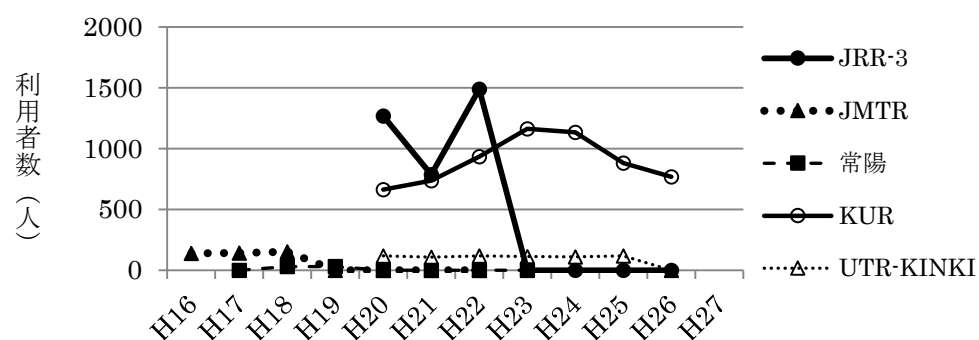
※各施設の停止時期：図 6 に同じ

図 1 2 共同利用研究として採択された課題数（表 7 参照）

(3) 研究炉の利用者数

回答結果を図 13 に示す。JRR-3 において長期停止の影響が顕著である。なお、

平成 21 年度の利用者数が少ないが、トラブルにより運転時間が短かったためである。KUR については、大きな変動はないが、平成 25 年度は運転時間が短かったため、やや減少している。



※各施設の停止時期：図 6 に同じ

図 1 3 研究炉の利用者数（表 6 参照）

5 研究炉の長期停止による影響に係る自由回答

アンケート調査の「質問 1 1. 研究用原子炉の長期停止が研究開発に与えている影響を記載してください。」及び「質問 1 2. 利用している研究用原子炉が長期停止した場合、人材育成や産業利用などの社会貢献に与える影響を記載してください。」において研究炉の長期停止による影響を自由回答として記載していただいた。

質問 1 1 及び質問 1 2 の回答を内容により、a) 実験実施への影響、b) 人材育成、c) 学生教育への影響、d) 産業利用、e) 中性子散乱、f) 中性子ラジオグラフィ、g) 即発 γ 線、h) 放射化分析、i) 測定器・測定技術の開発、j) 中性子分光法の開発、k) 照射実験、l) RI 製造、m) 原子力安全研究、n) 年代測定、o) 医療照射、p) 薬剤開発、q) 細胞照射、r) 防災研究、s) 高速炉開発の 19 の区分に分類し、各施設利用者からの回答を区分けした。

質問 1 1 及び質問 1 2 に対する回答件数を表 5 及び表 6 に示した

(1) 質問 1 1（長期停止が研究開発与える影響）に対する意見の件数

表 5 質問 1 1 への意見の件数

		JRR-3	JMTR	常陽	KUR	URT-KINKI	NCA	海外施設	施設利用なし	合計
a	実験実施への影響	24	1	0	16	0	0	4	1	46
b	人材育成	0	0	0	1	0	0	0	0	1
c	学生教育への影響	8	0	0	5	0	0	0	0	13
d	産業利用	2	0	1	1	0	0	0	0	4
e	中性子散乱	31	0	0	0	0	0	0	0	31
f	中性子ラジオグラフィ	1	0	0	2	0	0	0	0	3
g	即発ガンマ線分析	2	0	0	0	0	0	0	0	2
h	放射化分析	2	0	0	2	0	0	0	0	4
i	測定器・測定技術開発	1	3	0	0	1	0	0	0	5
j	中性子分光法の開発	2	0	0	0	0	0	0	0	2
k	照射実験	4	2	4	1	0	0	1	1	13
l	RI 製造	2	0	0	2	0	0	0	0	4
m	原子炉安全研究	0	1	0	2	0	1	0	0	4
n	年代測定	1	0	0	0	0	0	0	0	1
o	医療照射	0	0	0	5	0	0	0	0	5
p	薬剤開発	0	0	0	6	0	0	0	0	6
q	細胞照射	0	0	0	0	1	0	0	0	1
r	防災研究	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s	高速炉開発	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	合 計	80	7	6	43	2	1	5	2	146

質問 1 1（研究開発への影響）への回答件数は合計で 146 件であった。5 件以上の回答のあった区分は、a) 実験実施への影響、c) 学生教育への影響、e) 中性子散乱、i) 測定器・測定技術の開発、k) 照射実験、o) 医療照射、p) 薬剤開発である。

(2) 質問 1 2（長期停止が社会貢献に与える影響）への意見の件数

表 6 質問 1 2 への意見の件数

		JRR-3	JMTR	常陽	KUR	URT-KINKI	NCA	海外施設	施設利用なし	合計
a	実験実施への影響	3	0	0	4	0	0	1	0	8
b	人材育成	27	2	1	10	1	0	2	1	44
c	学生教育への影響	22	0	0	7	2	1	2	0	34
d	産業利用	17	0	0	4	0	0	0	0	21
e	中性子散乱	1	0	0	0	0	0	0	0	1
f	中性子ラジオグラフィ	0	0	0	1	0	0	0	0	1
g	即発ガンマ線分析	0	0	0	0	0	0	0	0	0
h	放射化分析	1	0	0	0	0	0	0	0	1
i	測定器・測定技術開発	0	1	0	0	0	0	0	0	1
j	中性子分光法の開発	0	0	0	0	0	0	0	0	0
k	照射実験	0	0	0	0	0	0	0	0	0
l	RI 製造	1	0	0	0	0	0	0	0	1
m	原子炉安全研究	0	1	0	0	0	0	0	0	1
n	年代測定	1	0	0	0	0	0	0	0	1
o	医療照射	0	0	0	7	0	0	0	0	7
p	薬剤開発	0	0	0	1	0	0	0	0	1
q	細胞照射	0	0	0	0	0	0	0	0	0
r	防災研究	1	0	0	0	0	0	0	0	1
s	高速炉開発	0	0	3	0	0	0	0	0	3
	合 計	74	4	4	34	3	1	5	1	126

質問 1 2（人材育成及び産業利用への影響）への回答件数は合計で 126 件であった。3 件以上の回答のあった区分は、a) 実験実施への影響、b) 人材育成、c) 学生教育への影響、d) 産業利用、o) 医療照射、s) 高速炉開発である。

質問 1 1 に対しては全部で 146 件、質問 1 2 に対しては 126 件の意見が出されていて、多くの方が困難な現状を訴え、早期再稼働を願っている様子が見えてくる。

(3) 質問 1 1（長期停止が研究開発与える影響）への意見

5 件以上の回答のうち、主なものを以下に示す。ただし、寄せられた意見の趣旨を変えないように短く記載している場合がある。

a) 実験実施への影響

- ・研究炉が停止しているので海外施設を用いるが、費用がかさみ時間も取られる、学生教育ができない、思いついた試みを試すことは困難などの理由で海外施設の利用で国内研究炉の代替にはならない。
- ・長期的な研究、セットアップの難しい研究、研究試料の保存の難しい実験などは国内に研究炉がないとできない。
- ・国内の原子炉施設の研究設備の維持や開発ができず研究の最先端を維持することができない。

c) 学生教育への影響

- ・修士論文、博士論文は長期の停止により中性子散乱を使わないで論文を書くようにシフトしている。
- ・長期停止で学生の研究課題を変更しなければならず、さらに長引けば研究課題自体の消失につながる。
- ・学生の研究テーマから外さざるを得なかった。再稼働後も実験経験のある学生もいないため事前の準備に多大な労力を要することとなる。

e) 中性子散乱

- ・J-PARC のようなパルス中性子源よりも研究炉のような定常中性子源の方が向いている中性子散乱実験ができず、海外の施設を使用せざるを得なくなり、スケジュール、予算、研究の柔軟性等で影響を受けている。
- ・無機化学、セラミックスの分野における遷移化合物の構造・物性解明を研究しているが、中性子回折実験は結晶構造と磁気構造決定で特に重要で、この結果なしに成果をまとめるため論文の質の低下、競合相手の研究グループに対して不利な状況が続いている。
- ・溶液系を研究対象にしている、小角領域を精度良く測定することが重要で、研究炉に設置された装置を用いるのが最適である。タンパク質など試料輸送では国内で実験できないと試料の変性に対応できず一発勝負的な実験になってしまっている。

i) 測定器・測定技術の開発

- ・今後予定の福島事故で生じたデブリ再臨界センサ開発ができない。
- ・BNCT 用の SPGD、SPND の出力特性試験ができない。
- ・ヨウ素含有シンチレータの自己放射化を用いた高感度熱中性子技術を考案し、医療現場で高エネルギーX線がん治療装置の周りの微弱な光中性子の測定に応用してきたが、研究炉の停止で大きな影響を受けている。

k) 照射実験

- ・コンクリートなどの建設材料は、長期間に亘って中性子照射による観察が必要となるため、安定した中性子源として研究炉の利用は不可欠である。また、建設材料の分野での適応は、国内外において始まったばかりであり、多くの研究課題が残されている。しかし、必要なデータが取得できないため、研究の進行が遅延しており、早期の再開が必要である。

- ・核融合炉構造材料研究や軽水炉圧力容器鋼などの研究で行われてきた系統的な照射研究が、研究炉の長期停止によって新たなデータを取得することが不可能となった。早急な研究炉の運転再開が望まれる。

- ・常陽での燃料や材料の照射試験が約 10 年実施されていないので、高速炉燃料材料の照射後試験を通じた照射挙動に係る新しい知見が全く得られていない。また、照射後試験技術が後輩に確実に伝承できず、照射後試験施設や設備を正常に維持できていない。常陽が再起動したとしても、研究開発活動が以前と同様なレベルに達するまでに相当の準備期間と予算、要員育成が必要な状況になっている。

o) 医療照射

- ・現在日本において加速器型中性子線照射装置の開発が進められ、ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) への関心は高まっている。このような新規開発をさらに推進するためには基礎および臨床のデータの蓄積が重要である。加速器 BNCT 装置はまだ開発段階のものが多く、データの蓄積には KUR による研究および臨床試験の実施が必要不可欠である。KUR の再稼働が BNCT 研究の進展に必要不可欠である。

- ・医療照射が行なえず、治療希望患者を断っている。患者にも申し訳ないし、こちらでも治療データの蓄積が出来ない。

p) 薬剤開発

- ・BNCT の免疫反応に対する影響、ホウ素のがん組織への DDS 開発、などの研究が止まってしまいプロジェクトが中断している。

- ・合成した BNCT 薬剤の中性子捕捉能の評価ができず、更なる誘導体設計が不可能となっている。

- ・BNCT 用のホウ素薬剤開発を行う上で、中性子を照射し、BNCT による治療効果を、腫瘍細胞および腫瘍モデル動物を用いて評価することが必須である。現在、中性子用加速器などの開発が進められているが、細胞および動物実験に利用できるものは皆無である。このため、研究用原子炉の停止は、大きく発展しようとしている BNCT の中核技術の一つであるホウ素薬剤開発を致命的に阻害していると言っている程の大きな悪影響を与えている。

(4) 質問 12 (長期停止が社会貢献に与える影響) への意見

3 件以上の回答のうち、主なものを以下に示す。ただし、寄せられた意見の趣旨を変えないように短く記載している場合がある。

a) 実験実施への影響

- ・研究炉の運営や研究開発を行える土壌が無くなってしまうので、当然ながらその分野での国際的な競争力は失われていくと思われる。

- ・JRR-3 の場合で、既に 5 年以上、運転が停止していて、研究炉が再稼働した場合、使用経験のないユーザーが増え、成果の創出までに時間を要することが懸念される。

- ・研究炉が長期停止した場合には、研究そのものの停止期間が長引くこととなり、研究資金の獲得が極めて困難となる結果、中堅・若手研究者が主要なテーマとして取り組むことができず、早晚、同分野の人材が枯渇し研究開発力の喪失が予想され

る。原子力研究は、工学、物理学、化学、安全学、社会学等を駆使する総合的な研究分野であり、関連技術を活用した国際貢献・経済的利益も期待される。このため、研究炉の長期停止は、我が国の学術研究レベルの低下及び国益の喪失に繋がる事態であり、可及的速やかに再稼働を進めるべきである。

b) 人材育成

- ・JRR-3 の場合、各装置の構成が比較的シンプルであるため、中性子を利用したことのない人間を一から育てやすいと考えている。勿論当人の努力にもよる所はあるが、人材育成という意味では研究炉の長期停止は影響が大きいと考えている。

- ・照射技術など、若手研究者・技術者への技術継承が難しい。例えば、照射試験をするうえで照射条件などを評価する際、照射キャプセルの核熱設計などモデルによる計算は可能であるが、実際の現象等を試験データとして得ることができないため、その妥当性を検証することができず、若手研究者・技術者が十分に理解できていない。

- ・研究炉の停止に伴い、照射研究を行ってきた研究者層の高齢化と研究をリードしてきた研究者の定年退職に伴う世代交代が十分進まず、中性子照射研究を知らない若手世代が出てきている。また研究の停滞は研究の魅力を大幅に損なっているため若い世代が照射研究に対して興味を示さなくなり、今まで世界をリードしてきた照射技術などが廃れてきているのは非常に強く危惧するところである。

c) 学生教育への影響

- ・JRR-3 が停止して5年が経過し、修士課程と博士課程を合わせた在学期間と同じ年数となったため、国内研究炉をまったく使わない学位取得者が輩出されてきている。放射光や加速器中性子、さらには海外での研究を多用しているが、JRR-3で行うことができた試行錯誤を繰り返しながら実験を進める（自身で装置を調整・製作するなど）という教育の場を確保できていない。周囲には中性子利用者でありながら、中性子を用いないテーマでの教育にシフトしている人も見受けられる。

- ・これまで、博士論文や修士論文を含め多くの人材を出してきたが、その中で研究炉利用は研究の根幹になることが非常に多かった。すでに、実験が長期間できずにより、科研費を含めた研究が頓挫している状況である。研究炉を通して普段身近にはないものから学生が多くのことを学び取っていることを、そばで目の当たりにしている。長期間停止した場合の影響は、このような観点から人材育成へ少なからず良くない方向に影響を与えていると考えている。

- ・これまでは、研究炉を所有する機関において実施している実習プログラムに本学所属学生を積極的に送り込んできていたが、近年の長期停止に伴い、そのようなプログラムに参加させることが出来なくなり、学生にとって研究炉を間近に触れて勉強する機会が失われた。とりわけ、炉物理分野に関しては、座学での理論を実習にて体験する機会が失われたことは、原子力人材育成の面で大きな損失であると憂えている。

d) 産業利用

- ・弊社は2000年より原子力研究開発機構から技術継承を受けラジオアイソトープの製造・頒布を行っています。研究炉や材料試験炉が稼働しないと外国の研究炉等

を利用しないとなります。停止前と停止後の供給量を比べると半分くらいになりユーザー離れに繋がっています。またラジオアイソトープの製造技術や取扱いについても使用頻度が少ないため人材育成の部分でも影響があります。

- ・半導体開発では、基板に含まれる不純物の低減は高品質化に向け重要である。放射化分析は微量不純物の定量に優れた手法であり、研究炉が使用できないと研究の推進に支障が出る。また、Si 系の半導体中に不純物添加は研究炉が必要であり、半導体産業（パワーエレクトロニクス）やその応用先の自動車産業に影響が出るのではと予想する。

- ・DLC（ダイヤモンドライクカーボン）膜は年間 100 億円の市場規模を持つ産業分野であり、日本が世界をリードする数少ない産業素材の一つである。日本の DLC メーカーの優位を保つために、経産省においても、国際標準規格（ISO 規格）の制定をするべく精力的に支援している。この結果、これまでに剥離試験と分類法に関して、ISO/TC107 に提案を行う成果となっている。DLC 膜の自由体積は、DLC 膜に残された大きな構造因子であり、このデータ把握は次の ISO 規格制定、さらには日本の DLC 産業にとって大きな貢献が期待されているが、研究炉の停止により、進捗が遅れている。データ取得が遅れた場合、ドイツ・イギリス・中国・韓国などに主導権を握られる可能性があり、一刻も早い再開が待たれる。

o) 医療照射

- ・中性子捕捉療法分野では世界をリードしてきたわけだが、長期に停止することで、研究自身が後退してだけでなく、他に治療法のない患者の駆け込み寺のような位置づけであるこの治療が受けられない。

- ・近年 BNCT に対して、強い関心が寄せられている。筑波大の陽子線センター内でも BNCT に関わる研究を希望する技師や医学物理士レジデント、生物研究者が急増している。しかし、KUR の長期停止がこれら興味を持つ学生や若い研究者の研究の場を奪う結果となっており、中性子源が確保できないので他分野を選んだ学生も少なくない。中性子線を用いた研究は、物理、工学、生物、化学と大変幅広く、本分野に関心を示す若い芽を摘まないためにも、研究炉の早期稼働が急務である。

- ・BNCT によるがん治療は、今年度からは第Ⅱ相臨床試験が始まった上、近年、多くの新聞やテレビメディアなどに取り上げられるなど、高い注目を集めている。このような BNCT に対する期待が高まる中、臨床試験の対象外となる症例のがん患者の唯一の受け皿となるのが研究炉であるのが現状である。しかし、長期停止となっている現在、多くのがん患者が研究炉の再開を待たされている。また、BNCT 用ホウ素薬剤の開発を始めとした BNCT の要素技術開発に関わる研究も非常に制限されてしまっており、これは大学などの研究機関における BNCT に関する技術者育成にも大きな悪影響を与えている。

s) 高速炉開発

- ・常陽が長期停止する場合は、国内の高速炉開発において常陽に代わる実験炉を国際的に確保することが必要になるが、高速炉開発の根幹をなす燃料・材料の照射試験データ等を自国で取得できなくなるため、我が国の高速炉開発は相当程度遅滞することになるのではないかと危惧される。また、現行のエネルギー基本計画では、

「米国や仏国等と国際協力を進めつつ、高速炉等の研究開発に取り組む」こととなっているが、常陽が長期停止した場合は、高速炉開発関連の国際協力に支障をきたす恐れがあると考ええる。

6 日本原子力学会による研究炉長期停止の人材育成への影響調査結果

日本原子力学会が「我が国における研究炉等の役割について」の中間報告書を平成 28 年 3 月に公開した。その報告書から研究炉の長期停止による原子力人材育成への影響に関する概要を以下に示す。

(1) 調査の目的と対象施設

研究炉等に対する新たな規制基準への対応のため、すべての研究炉等が長期停止し、既に原子力人材の育成・教育、研究開発や産業利用に支障をきたしているため、実態調査を行い、中間報告をまとめた。中間報告では、研究炉等が人材育成等に果たしている役割と実績、並びに現在抱えている課題を調査で明らかにし、それを踏まえて研究炉等が今後果たすべき役割とそのために解決すべき課題を示し、課題に対する取組の方向性を提言として示した。なお、調査対象とした施設は KUR、UTR-KINKI、JRR-3、NSRR、JMTR 及び常陽の研究炉 6 基、KUCA、NCA、STACY、FCA の臨界実験装置 4 基、さらに廃止予定の JRR-4、TCA の計 12 基である。

(2) 調査結果－原子力人材育成における状況と提言

① 研究炉等における原子力人材育成の状況

研究炉等の人材育成の役割は「研究炉等を用いるカリキュラムに沿って進める教育、実習、研修による育成」、「研究炉等を用いる研究開発を通じた研究者・技術者の育成」であり、毎年 1,400～1,700 名の学生等を育成していたが、震災後は約 300 名と 5 分の 1 程度に減少した。上記のうち学生に対しては新規規制基準施行前の平成 24 年度までは全国の原子力関連学科の学生総数に相当する年間約 500～600 名を育成していたが、現状のような長期停止の状況が続けば、原子力を専攻したものの多くの学生は研究炉等の実際の運転に一度も触れることなく卒業していく事態となることが懸念される。

② 原子力人材育成に対する提言

ア 我が国において、今後も行われる原子力利用を担うべき人材の継続的な育成に不可欠な研究炉等の役割を、エネルギー政策や科学技術政策において明確にし、国の公共財と位置付けるべきである。

イ その上で必要な施設を必要な期間にわたって確実に維持運用できるよう文部科学省及び経済産業省を中心に国レベルでの検討を行い、高経年化対策など当面の措置を行うとともに研究炉等の将来計画を明確にすべきである。

7 研究炉の長期停止に伴う影響調査結果のまとめ

平成 23 年より研究炉の稼働を停止したのは JRR-3 であり、JMTR と常陽はそれ以前に停止している。一方、KUR と UTR-KINKI は平成 26 年に稼働を停止している。このため調査期間内での影響は小さい。以下に示した中で「KUR」は京大原子炉実験所の研究炉 KUR および中性子発生装置やガンマ線照射装置などを含んだ設備の共同利用と臨界集合体 (KUCA) を用いる共同利用を含んだものを示している。

「第 3 章研究者を対象としたアンケート結果」の「(7) 研究炉利用による学位論文数」に記載したように、平成 23 年以降 JRR-3 の停止期間中の中性子ビーム利用については、東大物性研究所および東大原子力専攻が、JRR-3 の代替として海外施設の利用を支援したことによる効果で海外施設利用により学位論文数が増加していると考えられる。以下に研究炉の長期停止に伴う影響についてアンケート結果から読み取れることをまとめて記載した。

(1) 利用者数

表 7 利用者数の年次推移 (図 1 3 参照)

	JRR-3	JMTR	常陽	KUR	UTR-KINKI
H16		138			
H17		141	0		
H18		152	30		
H19		0	30		
H20	1, 268	0	0	662	117
H21	788	0	0	738	107
H22	1, 489	0	0	934	118
H23	0	0	0	1, 163	112
H24	0	0	0	1, 135	111
H25	0	0	0	881	117
H26	0	0	0	768	0

調査期間は、JRR-3 (H20～H26)、JMTR (H16～H26)、常陽 (H17～H26)、KUR (H20～H26)、UTR-KINKI (H20～H26) である。

利用者数 (大学院生を含む) の年次推移を表 7 に示した。この人数は実人数である。利用者数の多いのは JRR-3 と KUR である。なお、各炉の停止期間は JRR-3 (H22 年 11 月～現在)、JMTR (H18 年 8 月～現在)、常陽 (H19 年 5 月～現在)、KUR (H26 年 5 月～現在)、UTR-KINKI (平成 26 年 2 月～現在) である。JRR-3 の平成 21 年はトラブルにより稼働時間が短かったために利用者数は少ない。

平成 20 年以降の利用者数は JRR-3 と KUR が大部分を占める。このうち KUR は福島事故後も稼働していて、平成 26 年 5 月からの停止であるため調査期間中はほぼ稼働していた状況である。この結果から、平成 23 年の事故以前はおよそ 2,000 人の研究者の利用が H23 年以降はおよそ 1,000 人に減少し、現在は 0 人となってい

る。なお、JRR-3 と KUR の両方を利用する研究者の割合のデータは無いが、回答した 146 名の研究者の分布ではおよそ 12% である。研究者の実人員約 2,000 人が研究の場を奪われたという大きな影響を被ったことになる。

(2) 課題採択数

採択課題数の年次推移を表 8 に示した。JRR-3 は平成 23 年以降稼働していないので、稼働を見込んで課題は採択されたが実行はされていない。

表 8 採択課題数の年次推移（図 1 2 参照）

	JRR-3	JMTR	常陽	KUR	UTR-KINKI
H16		0			
H17		0	2		
H18		0	2		
H19		0	2		
H20	864	3	2	108	23
H21	763	1	1	160	23
H22	866	11	1	158	24
H23	525	0	1	178	24
H24	252	0	0	202	23
H25	393	0	0	217	24
H26	206	0	0	225	0

調査期間は表 7 に示した通り

採択課題数はおよそ 1,000 課題が事故前には採択され研究が行われていたが、事故後は稼働していた KUR および UTR-KINKI のみで、実施課題数はおよそ 200 課題に減じた。現在は両方の炉も実施課題数は 0 である。

(3) 学術論文数

発表学術論文数の年次推移を表 9 に示した。JRR-3 における発表論文数の年次変化は平成 24 年を境に減少していることがわかる。研究炉を用いて実験を行ってもそれを論文に仕上げるために時間がかかるので、実際の稼働している期間と論文を発表する時期には時間差が現れる。このような事情から、KUR および UTR-KINKI では調査期間中に大きな変化は見られない。

(4) 学位論文数

卒業論文、修士論文、博士論文数の年次推移を表 10 に示した。ここでも平成 23 年以降稼働の停止している JRR-3 における卒業論文、修士論文、博士論文などの学位論文の数を見ると平成 23 年度以降の数の減少が大きい。平成 20 年～平成 22 年の年平均の数と平成 23 年～平成 26 年の平均の数の比を見ると卒業論文で 1/7 で

ある。

表 9 学術論文数の年次推移（図 1 1 参照）

	JRR-3	JMTR	常陽	KUR	UTR-KINKI
H16		18			
H17		15	0		
H18		20	0		
H19		17	0		
H20	166	25	1	174	4
H21	181	13	1	262	5
H22	137	5	0	225	8
H23	145		0	294	1
H24	95			248	1
H25	66			261	4
H26	51			276	3

調査期間は表 7 に示した通り

に、修士論文で 1/2.9 に、博士論文で 1/1.9 と減じている。研究の減少と人材育成の観点からの学位論文の減少という影響が見て取れる。一方、平成 23 年～平成 26 年度の間には海外施設を利用して作成された修士論文と博士論文の数が増加し、卒業論文、修士論文、博士論文の数について平成 23 年から平成 26 年までの間では 53 に上る。

表 1 0 学位論文数の年次推移（図 6 参照）

	JRR-3			JMTR			常陽			KUR			UTR-KINKI			海外施設		
	卒	修	博	卒	修	博	卒	修	博	卒	修	博	卒	修	博	卒	修	博
H16				2	2	0												
H17				3	1	1	0	0	0									
H18				2	1	1	1	0	0									
H19				3	4	1	0	0	0									
H20	14	28	3	0	1	0	0	1	0	18	13	5	5	1	1			
H21	11	27	6	0	4	0	0	1	0	12	13	5	5	3	1	0	2	1
H22	13	29	10	0	1	0	0	0	0	10	16	5	5	2	3	0	1	2
H23	4	19	6				0	1	0	14	19	2	4	0	0	2	6	1
H24	1	11	1							17	18	1	5	1	0	2	8	5
H25	1	4	3							13	18	3	8	1	0	2	11	2
H26	1	4	3							13	20	6	5	1	1	1	12	1
H27																1	14	13

卒：卒業論文、修：修士論文、博：博士論文。調査期間は表 7 に示した通り

(5) 研究開発における外部資金

「第 3 章の(8)外部資金による研究開発における財源」のところで、JRR-3、KUR、および海外施設について示したように、停止期間による影響が見て取れる。財源の件数をみると JRR-3 は平成 23 年を境に漸減しているが KUR および海外施設では件数が増加している。

(6) 産業利用における影響

産業利用における影響は、自由記載の中に産業利用に対する影響を示す意見を以下に示した。

- ・我が国は、現行のエネルギー基本計画に謳われているとおり、核燃料サイクルの推進を基本方針としており、高速実験炉は今後の核燃料サイクルの開発において、高速炉用燃料・材料の基盤研究推進等の観点で必要不可欠であると考えている。常陽が停止状態で、運転再開時期が明確でない現状においては、常陽を利用した研究開発の実施計画を立案できない状況に陥っている。

- ・KUR で測定したデータは、ベーパーチャンバー⁵に関する研究分野において世界初のデータであり、従来の課題をクリアしたことを示す大変貴重な証拠である。ベーパーチェンバーは、高輝度 LED 開発やパワーエレクトロニクス的小型化など、大変広範な応用が見込まれていて、研究開発に関するニーズは非常に高い。研究開発の進展のためには、国内における研究用原子炉の早期運転再開が必須と考える。

- ・2000 年より原子力研究開発機構から技術継承を受けラジオアイソトープの製造・頒布を行っている。研究炉や材料試験炉が稼動しないとラジオアイソトープの安定的な供給の部分では支障がある。停止前と停止後の供給量を比べると半分くらいになりユーザー離れに繋がっている。またラジオアイソトープの製造技術や取扱いについても使用頻度が少ないため人材育成の部分でも影響がある。

- ・研究炉の長期停止により、それまで製造・供給されていた Ir-192 などの RI 製品が、海外からの輸入に頼らざるを得ないでいる。Mo-99 などの医薬品を含む RI 製品の国産化の開発が進まないでいる。

- ・パルス中性子を用いるよりも比較的安価な定常中性子利用は産業界にとってとりつきやすいものであるため、一部の企業は JRR-3 の長期停止のため中性子利用を断念しているようである。

- ・現在、電力業界はスマート社会を目指して変革の時代にある。NTD シリコンは高性能ディスクリート部品として電力用に供されていることからメーカーでも再稼動を待ちこがれている状態にある。しかしながらメーカーとしては SiC や GaN 等のパワー半導体の開発を継続しつつ、海外の照射炉の供給で急場を賄っている。

⁵ ベーパーチェンバーとはヒートパイプの一種で局所的な入熱に対して、熱を高速で移動拡散させるもの

・DLC（ダイヤモンドライクカーボン）膜は年間 100 億円の市場規模を持つ産業分野であり、日本が世界をリードする数少ない産業素材の一つである。日本の DLC メーカーの優位を保つために、経済省においても、日本の研究者が中心となって国際標準規格（ISO 規格）の制定をするべく精力的に支援している。この結果、これまでに剥離試験と分類法に関して、ISO/TC107 に提案を行う成果となっている。DLC 膜の自由体積は、DLC 膜に残された大きな構造因子であり、このデータ把握は次の ISO 規格制定、さらには日本の DLC 産業にとって大きな貢献が期待されているが、原子炉の停止により、進捗が遅れている。データ取得が遅れた場合、ドイツ・イギリス・中国・韓国などに主導権を握られる可能性があり、一刻も早い再開が待たれる。

(7) 質問 1 1（長期停止が研究開発与える影響）に対する自由記載の回答

第 5 章に示したように 146 の指摘の中で 5 件以上のあった区分は a) 実験実施への影響、c) 学生教育への影響、e) 中性子散乱、p) 測定器・測定技術の開発、k) 照射実験、o) 医療照射、p) 薬剤開発であった。指摘事項の多い区分で挙げられた指摘は「a) 実験実施への影響」では、「海外施設が国内研究炉の代替にはならない」、「国内の研究炉の研究設備の維持や開発ができず最先端を維持できない」

「c) 学生教育への影響」では、「修士論文、博士論文の研究課題の変更」、「実験経験のある学生がいなくなった」

「e) 中性子散乱」では、「パルス中性子より原子炉の定常中性子が向いている散乱実験ができない」、「磁気構造の決定ができない」
などが挙げられている。

(8) 質問 1 2（長期停止が社会貢献に与える影響）に対する自由記載の回答

第 5 章に示したように 126 の指摘の中で 3 件以上のあった区分は a) 実験実施への影響、b) 人材育成、c) 学生教育への影響、d) 産業利用、o) 医療照射、s) 高速炉開発であった。指摘事項の多い区分で挙げられた指摘は

「a) 実験実施への影響」では、「研究開発の土壌が無くなるので国際的競争力は失われる」、「使用経験のないユーザーが増え成果の創出までに時間がかかる」、「研究資金の獲得が困難となり中堅・若手研究者の育成が困難となり学術研究レベルの低下につながる」

「b) 人材育成」では、「原子炉の比較的シンプルな実験装置による効果的な人材育成ができない」、「中堅・若手研究者の育成が困難、研究者の高齢化が進み世代交代が進まない」

「c) 学生教育への影響」では、「国内研究炉を全く使わない学位取得者が輩出されている」、「長期に実験できず科研費を含めた研究が頓挫している」、「研究炉で実施されてきた実習プログラムに参加できない」

「d) 産業利用」前項（6）の記載に示したものが主なものである。

特に、若手研究者などの抱える問題点として以下のような意見があった。（質問 1 1 の回答を含む。）

原子炉の長期停止による影響で、中性子散乱実験、原子炉を利用した核種分析法、Ar-Ar 年代測定、照射キャプセル設計などの照射技術、原子力材料研究、研究炉を活用した基礎・応用研究、研究炉の管理・運営、原発の維持管理や廃炉技術などの原子力関連分野において技術継承が滞っている状況にあるため、次世代の原子力を担う学生や若手研究者などの人材育成の面で深刻な影響が見受けられる。この状況がさらに長期化すれば、これらの影響が拡大し、若手研究者の減少や流出による人材不足及び若手の技術レベルの低下並びに施設や設備の運営自体への影響が生じる可能性が生じ、今後の我が国の学術研究レベルの低下や原子力産業に係る国益の喪失に繋がる事態への懸念などが挙げられている。

(9) 調査結果のまとめ

調査結果のまとめを以下に示す。

JRR-3 の停止（平成 23 年）以降、海外施設を利用した論文や外部資金の件数が増加している。東京大学物性研究所・原子力専攻によれば、海外施設利用に関して経費および海外施設のマシンタイムの制限から希望者の 1 割程度しか救済できていない。このことから、研究開発を海外施設に頼ることは厳しく、海外施設での研究実施が我が国の研究に大きく寄与するとは考えにくい。研究炉の長期停止は研究開発の面で、毎年約 2,000 人（大学院生を含む）の研究者の研究の場を奪い、学術論文や学位論文の減少を招いた。人材育成や産業利用という社会貢献という面で、中堅・若手研究者の育成ができない、日本がリードしている産業が外国にリードされかねないなどの指摘が寄せられた。このような事態の中で多くの研究者が研究炉の早期再稼働を願っていること、現在は代替手段として海外施設の利用を考えざるを得ないが、実際に海外施設に頼ることは難しい実態が明らかになった。

さらに、研究炉は、研究開発及び産業利用と人材育成の観点から重要であるだけでなく、当面、原子力エネルギーを利用する我が国の方針のもと、原子炉の安全研究及び今後の廃炉作業でも必要不可欠である。また、中性子を用いた分析法は、研究や産業で必要とされる放射光と並ぶ基盤分析法であり、技術立国を目指す我が国にとって不可欠な基盤技術である。このような観点から中性子利用の分野で J-PARC は大きな役割を果たしているが、我が国全体の中性子利用という観点から、J-PARC だけではなくても全てをカバーできるものではなく、研究炉の役割は非常に大きい。

福島原子力発電所事故後の研究炉の稼働が遅れていることの大きな理由は、新規制基準対応である。発電所に比較しその出力が数パーセント以下の研究炉に対する規制の合理的なあり方について検討すべき点は多い。

＜参考文献＞

- 1 「我が国における研究炉等の役割について」中間報告書、平成28年3月、日本原子力学会 「原子力アゴラ」特別専門委員会 研究炉等の役割検討・提言分科会

＜参考資料1＞審議経過

平成27年

- 2月20日 放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会（第1回）
役員の選出、今後の進め方

平成28年

- 7月27日 放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会（第2回）
研究用原子炉の在り方検討小委員会のアンケート調査について

平成29年

- 3月21日 放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会（第3回）
記録案について
4月24日 放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会（第4回）
記録案について
5月23日～25日 放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会（メール審議）
記録案について採決

平成27年

- 9月7日 研究用原子炉の在り方検討小委員会（第1回）
役員選出、研究用原子炉の長期停止に伴う影響調査について、
ワーキンググループの設置について
12月8日 研究用原子炉の在り方検討小委員会（第2回）
アンケート案について

平成29年

- 3月3日 研究用原子炉の在り方検討小委員会（第3回）
記録案について

平成27年

- 10月9日 アンケートワーキンググループ（第1回）
アンケート案について

平成28年

- 10月4日 アンケートワーキンググループ（第2回）
アンケート回答集約結果について

平成29年

2月9日 アンケートワーキンググループ（第3回）

記録案について

5月22日～25日

基礎医学委員会・総合工学委員会合同 放射線・放射能の利用に伴う
課題検討分科会（第5回 メール審議）

記録案について承認

<参考資料2>施設名の略称

用 語	説 明
JRR-3	研究用原子炉 JRR-3（日本原子力研究開発機構）
JMTR	材料試験炉 JMTR（日本原子力研究開発機構）
常陽	高速実験炉 「常陽」（日本原子力研究開発機構）
J-PARC/MLF	J-PARC の物質生命科学実験施設
KUR	京都大学研究用原子炉 KUR（京都大学原子炉実験所）
KUCA	京都大学臨界集合体実験装置 KUCA（京都大学原子炉実験所）
UTR-KINKI	近畿大学原子力研究所 UTR-KINKI（近畿大学）
NCA	東芝臨界実験装置 NCA（東芝原子力技術研究所）

<付録 1> 研究炉の長期停止に伴う影響調査に関するアンケート調査票

①「研究炉の長期停止に伴う影響調査」に関するアンケート調査票
(研究者用アンケート様式)

平成28年4月8日
日本学術会議
研究用原子炉の在り方検討小委員会

「研究炉の長期停止に伴う影響調査」に関するアンケート

本アンケートは新規制基準対応等による研究炉の長期停止に伴う影響を調査するものです

氏 名	
所 属	
所在地	
電子メール	

1. あなたの所属する組織の種類として該当するものを選んでください。

【所属する組織の種類】

1. 大学 2. 民間 3. 国公立機関 4. その他

回答

※番号1～4を半角で入力

※「4. その他」を選択した場合は以下の空欄に記入してください。

2. あなたが主に利用していた研究用原子炉の番号を入力してください。(複数の施設を利用した場合は、使用した炉を選択してください。)

【利用した研究用原子炉】

1. JRR-3 2. JMTR(ホットラボを含む) 3. JOYO 4. KUR(KUCAを含む)
5. UTR-KINKI 6. NCA 7. 海外施設

回答	回答	回答	回答	回答
↓	↓	↓	↓	↓

番号1～7を半角で入力 | 番号1～7を半角で入力 | 番号1～7を半角で入力 | 番号1～7を半角で入力 | 番号1～7を半角で入力

※「7. 海外施設」を選択した場合は、その施設名を直下の空欄に記載してください。

--	--	--	--	--

【注意】複数の原子炉を利用している場合は、問3～問9及び問13は利用している原子炉の列ごとに記載してください。また、異なる研究分野(利用分野)での課題を並行して進めている方は一つの課題ごとに一つのアンケート用紙に記載してください。

3. (学術利用を行っている方)研究分野を選択してください。(単一回答)

該当する項目が無い場合は「その他」を選択し、空欄に研究分野(利用分野)を記入してください。

【研究分野】

1. 人文・社会科学系 2. 理学系 3. 工学系(原子力系) 4. 工学系(原子力以外)
5. 医学・生命科学 6. 生活科学 7. その他(その他の場合は以下の空欄に記入してください。)

研究分野1	研究分野2	研究分野3	研究分野4	研究分野5
回答	回答	回答	回答	回答
※番号1～7を半角で入力	※番号1～7を半角で入力	※番号1～7を半角で入力	※番号1～7を半角で入力	※番号1～7を半角で入力

※「7. その他」を選択された方はその研究分野(利用分野)を以下の空欄に記入してください。

--	--	--	--	--

4. (産業利用を行っている方)利用分野を以下の番号から選択し、入力してください。

【産業利用の分野】

1. 電機・電器 2. 化学・繊維 3. 鉄鋼・金属 4. 自動車・自動車部品
5. 重工・機械 6. 電力・ガス 7. 建設・土木 8. 製薬、食品、化粧品、バイオ応用
9. その他(※その他の場合は以下の空欄に記入してください。)

回答 .
※番号1～9を半角で入力

回答 .
※番号1～9を半角で入力

回答 .
※番号1～9を半角で入力

回答 .
※番号1～9を半角で入力

回答 .
※番号1～9を半角で入力

※「9. その他」を選択された方はその研究分野(利用分野)を以下の空欄に記入してください。

具体的な利用分野を記載してください。	具体的な利用分野を記載してください。	具体的な利用分野を記載してください。	具体的な利用分野を記載してください。	具体的な利用分野を記載してください。

5. 研究用原子炉を利用するにあたって、最も関心のある研究分野(利用分野)を具体的に記載してください。

研究分野(利用分野)の 具体的内容	研究分野(利用分野)の 具体的内容	研究分野(利用分野)の 具体的内容	研究分野(利用分野)の 具体的内容	研究分野(利用分野)の 具体的内容

6. 中性子を利用する目的(研究手段)を選択してください。(複数回答可)該当する項目が無い場合は、「⑨その他」を選択し、空欄に利用目的(研究手段)を記入してください。
中性子散乱実験を選ばれた方は、「具体的な利用目的」欄に具体的な目的(研究手段)を記載してください。

【中性子を利用する目的(研究手段)】

1. 中性子散乱実験 2. 中性子ラジオグラフィ 3. 中性子即発ガンマ線分析 4. 中性子放射化分析
5. 医療照射 6. ラジオアイソトープの製造 7. 半導体用シリコンの製造 8. 原子炉燃料・材料の照射試験
9. その他(下記の空欄に記入してください。)

利用目的1	利用目的2	利用目的3	利用目的4	利用目的5
☐ ①中性子散乱実験	☐ ①中性子散乱実験	☐ ①中性子散乱実験	☐ ①中性子散乱実験	☐ ①中性子散乱実験
☐ ②中性子ラジオグラフィ	☐ ②中性子ラジオグラフィ	☐ ②中性子ラジオグラフィ	☐ ②中性子ラジオグラフィ	☐ ②中性子ラジオグラフィ
☐ ③中性子即発ガンマ線分析	☐ ③中性子即発ガンマ線分析	☐ ③中性子即発ガンマ線分析	☐ ③中性子即発ガンマ線分析	☐ ③中性子即発ガンマ線分析

☐ ④中性子放射化分析 ☐ ⑤医療照射 ☐ ⑥ラジオアイソトープの製造 ☐ ⑦半導体用シリコンの製造 ☐ ⑧原子炉燃料・材料の照射試験 ☐ ⑨その他(空欄に記入 ↓)	☐ ④中性子放射化分析 ☐ ⑤医療照射 ☐ ⑥ラジオアイソトープの製造 ☐ ⑦半導体用シリコンの製造 ☐ ⑧原子炉燃料・材料の照射試験 ☐ ⑨その他(空欄に記入 ↓)	☐ ④中性子放射化分析 ☐ ⑤医療照射 ☐ ⑥ラジオアイソトープの製造 ☐ ⑦半導体用シリコンの製造 ☐ ⑧原子炉燃料・材料の照射試験 ☐ ⑨その他(空欄に記入 ↓)	☐ ④中性子放射化分析 ☐ ⑤医療照射 ☐ ⑥ラジオアイソトープの製造 ☐ ⑦半導体用シリコンの製造 ☐ ⑧原子炉燃料・材料の照射試験 ☐ ⑨その他(空欄に記入 ↓)	☐ ④中性子放射化分析 ☐ ⑤医療照射 ☐ ⑥ラジオアイソトープの製造 ☐ ⑦半導体用シリコンの製造 ☐ ⑧原子炉燃料・材料の照射試験 ☐ ⑨その他(空欄に記入 ↓)
具体的な利用目的	具体的な利用目的	具体的な利用目的	具体的な利用目的	具体的な利用目的

7. (教員の方)研究用原子炉を利用して得られた成果をもとに作成された学位論文数を記載してください。

但し、①JRR-3、KUR、UTR-KINKI及びNCAにおいては平成20年度から26年度までを、

②JMTRIにおいては平成16年度から22年度までを、

③JOYOにおいては平成17年度から23年度までを、記載してください。

学位論文1 学位論文数	学位論文2 学位論文数	学位論文3 学位論文数	学位論文4 学位論文数	学位論文5 学位論文数																																																																																																																																																																
<table border="1"> <tr> <th>年度</th> <th>卒業論文</th> <th>修士論文</th> <th>博士論文</th> </tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	年度	卒業論文	修士論文	博士論文																													<table border="1"> <tr> <th>年度</th> <th>卒業論文</th> <th>修士論文</th> <th>博士論文</th> </tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	年度	卒業論文	修士論文	博士論文																													<table border="1"> <tr> <th>年度</th> <th>卒業論文</th> <th>修士論文</th> <th>博士論文</th> </tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	年度	卒業論文	修士論文	博士論文																													<table border="1"> <tr> <th>年度</th> <th>卒業論文</th> <th>修士論文</th> <th>博士論文</th> </tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	年度	卒業論文	修士論文	博士論文																													<table border="1"> <tr> <th>年度</th> <th>卒業論文</th> <th>修士論文</th> <th>博士論文</th> </tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	年度	卒業論文	修士論文	博士論文																												
年度	卒業論文	修士論文	博士論文																																																																																																																																																																	
年度	卒業論文	修士論文	博士論文																																																																																																																																																																	
年度	卒業論文	修士論文	博士論文																																																																																																																																																																	
年度	卒業論文	修士論文	博士論文																																																																																																																																																																	
年度	卒業論文	修士論文	博士論文																																																																																																																																																																	

8. 外部資金を用いて研究開発を実施した場合は、外部資金の財源(※)を選んでください。記載年度は設問7のとおりです。

【外部資金の財源の分類】

1. 科研費 2. JST 3. NEDO 4. 文科省 5. 経産省 6. 国交省 7. 厚労省 8. 内閣府

	.
	.
	.

[illegible]

35

年度	特許・実用新案出願数
	件
	件
	件
	件
	件
	件
	件

年度	特許・実用新案出願数
	件
	件
	件
	件
	件
	件
	件

年度	特許・実用新案出願数
	件
	件
	件
	件
	件
	件
	件

年度	特許・実用新案出願数
	件
	件
	件
	件
	件
	件
	件

年度	特許・実用新案出願数
	件
	件
	件
	件
	件
	件
	件

10. 研究用原子炉が長期停止していますが、研究開発に影響はありますか。

【研究開発への影響】

1. 大いにある。 2. それほどでもない。 3. 影響ない。

回答

※番号1～3を半角で入力

11. (質問10で 1又は2を選択された方) 研究用原子炉の長期停止が研究開発に与えている影響を記載してください。

--

12. 利用している研究用原子炉が長期停止した場合、人材育成や産業利用などの社会貢献に与える影響を記載してください。

--

13. 研究用原子炉が運転を再開しても利用しないつもりである場合、その理由を選択してください。

【再開しても利用しない理由】

1. やむを得ず代替手法を用いるため。 2. 研究テーマを変更したため。 3. 長期停止に伴う予算削減などにより、研究活動に必要な予算を確保できなくなったため。 4. その他(その他の場合はその理由を空欄に記入してください。)

回	回	回	回	回
答	答	答	答	答
※番号1～4を半角で入力	※番号1～4を半角で入力	※番号1～4を半角で入力	※番号1～4を半角で入力	※番号1～4を半角で入力

※「4. その他」を選択された方はその研究分野(利用分野)を以下の空欄に記入してください。

----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

14. 今後の研究用原子炉を用いた研究・開発、産業利用などを行うにあたって、国や施設管理者等への要望などをご自由に記載してください。

15. その他、コメント、要望等を記載してください。

アンケート調査は以上で終了です。ご協力ありがとうございました。

②「研究炉の長期停止に伴う影響調査」に関するアンケート調査票
(研究用原子炉を管理されている方のためのアンケート様式)

平成28年4月8日

日本学術会議

研究用原子炉の在り方検討小委員会

「研究炉の長期停止に伴う影響調査」に関するアンケート
(研究用原子炉を管理されている方)

本アンケートは新規制基準対応等による研究炉の長期停止に伴う影響を調査するものです

氏 名	
所 属	
所在地	
電子メール	

1. あなたの所属する組織の種類として該当するものを選んでください。

【所属する組織の種類】

1. 大学 2. 民間 3. 国公立機関 4. その他

回答

※番号1～4を半角で入力

※その他の場合は、以下の空欄に記入してください。

2. あなたが管理している研究用原子炉※を選んでください。(複数の施設を管理している場合は、該当する研究用原子炉を選択してください。)

【管理している研究用原子炉】

1. JRR-3 2. JMTR(ホットラボを含む) 3. JOYO 4. KUR(KUCAを含む) 5. UTR-KINKI
6. NCA 7. その他(その他の施設を管理している場合は、空欄に記入してください。)

※番号1～7を半角で入力

※番号1～7を半角で入力

※番号1～7を半角で入力

「7. その他」の施設を管理している場合は、以下の空欄に記載してください。

--	--	--

【注意】複数の原子炉を管理されている方は問3～問5を管理している原子炉ごとに記載してください。

3. 研究用原子炉を利用して得られた成果をもとに作成された学術論文について、論文数を記載してください。

但し、①JRR-3、KUR、UTR-KINKI及びNCAにおいては平成20年度から26年度までを、

②JMTRにおいては平成16年度から22年度までを、

③JOYOにおいては平成17年度から23年度までを、記載してください。

論文実績1		論文実績2		論文実績3	
年度	論文数	年度	論文数	年度	論文数
	件		件		件
	件		件		件
	件		件		件
	件		件		件
	件		件		件
	件		件		件
	件		件		件
	件		件		件

4. 研究用原子炉を利用して行われた共同利用研究として採択された課題数を記載してください。記載年度は、設問3のとおりです。

共同研究1		共同研究2		共同研究3	
年度	共同利用研究	年度	共同利用研究	年度	共同利用研究
	件		件		件
	件		件		件
	件		件		件
	件		件		件
	件		件		件
	件		件		件
	件		件		件
	件		件		件

5. 研究用原子炉の利用者数を記載してください。記載年度は、設問3のとおりです。

研究人数1		研究人数2		研究人数3	
年度	人 数	年度	人 数	年度	人 数
	人		人		人
	人		人		人
	人		人		人
	人		人		人
	人		人		人
	人		人		人
	人		人		人

アンケート調査は以上で終了です。ご協力ありがとうございました。

＜付録２＞研究炉の長期停止に伴う影響調査に関するアンケートの自由記載

(1) 質問１１（長期停止が研究開発与える影響）への意見

研究開発に与える影響【a)実験実施への影響】（46 件）
JRR-3（24 件） ・研究・技術開発の進捗が遅れ、公募事業等の研究計画の変更をしなければならない。また、研究・技術開発が進まないことにより、より実用的な研究・技術開発に発展できない。 ・中性子利用が滞っており、この分野に於ける研究が完全に停滞している。このため、諸外国との差がますます広がっている。 ・必要な実験が海外でないと実施できない。 ・継続中の研究の停滞のみならず新規研究提案も困難となっている。また、海外炉利用で凌いでいるが、研究情報やノウハウなどこれまでに蓄積してきた知見および成果が海外流出。研究炉の装置担当者にとっては、新規ユーザーの開拓が困難で、最新の研究に直接かかわる機会が激減している。停止中の炉には外部資金の導入はほぼ不可能であり、装置、施設が陳腐化し、施設としても国際競争力を失いつつある。長期化すればするほど、これらの影響が拡大し、ついには若手研究者が流出（あるいは新規参入無し）し、人材不足となり、運営自体にも影響が出る可能性がある。 ・研究計画の根本的見直しや、海外施設の利用が必要となり、研究の遅延・停滞している状況にある。JRR-3 の長期停止中に海外施設に先行され、中止に至った研究もある。国際的競争力が大幅に低下している。また、J-PARC では、回答者の研究分野におけるユーザー数が多く、十分なマシンタイムを獲得することが難しいため、海外施設の利用を余儀なくされている。→研究コストが増大。 ・海外施設にて実験するほかにないが、渡航費が必要なため、頻繁に行けない。そのため、研究の進捗が遅くなる。 ・中性子実験の頻度が減っている。 ・J-PARC や海外施設では単発的な研究は可能であるが、長期的な研究や、セットアップの難しいチャレンジングな実験などは JRR-3 でないと難しい。 ・現在、研究用原子炉を使用する中性子科学の研究者達は海外の研究用原子炉を使って研究活動を行っているかと思います。既存の装置をユーザーとして使用する分には現行のシステムでも問題は無いのですが、新しいアイデアを元にして新規の装置を導入する場合等は、当然ながら原子炉を保有する国の意向が反映されることになります。日本の中性子科学に属する科学者の独立性が、失われて行くのではないかと危惧しています。 ・とにかく唯一である手段が封じられてしまい身動きできない。現研究を一端中止せざるを得なく、これは研究の進捗の遅れ、対外的な競争力の低下、院生の研究テーマの変更や学位獲得の遅れなど、多大な影響がある。 ・外国施設での実験実施を余儀なくされているため、分光器開発等の開発研究が停止している。さらに、最先端の固体物理テーマに関しても海外施設での実験実施にはどうしてもタイムラグが発生するため、中性子以外の他分野の動向から完全に取

り残されている。その意味で、広く物理学会を見ても、現在中性子が最先端テーマに貢献しているとは到底言いがたい状況とを感じる。(ただし、この事情は同時期に J-PARC の運転が不安定であった事も関連しているであろう。)このまま研究用原子炉が停止し J-PARC が不安定であるならば、中性子科学の重要性は極めて減じられると予想し危機感を感じている。

- ・現在は海外施設を中心に研究をしているが、マシンタイムの確保、旅費、時間、労力の点で、極めて効率が悪く、研究室の研究アクティビティーは 60-70%に落ちている。

- ・毎年課題申請をしているが、長期停止のため実験の実施ができていない。新規的な試みであるため、J-PARC や海外施設で実験を行うにはハードルが高く、JRR-3 や KUR で試験的な実験を行いたい、できていないために研究計画そのものが滞っている。

- ・J-PARC はトラブルなので運転が不安定で、実験再開を待っている内に海外の研究グループに先を越されたことがあります。

- ・J-PARC で代用可能なものが多いのでそれほど影響はないが、研究用原子炉が再開されると利用範囲が広がる。

- ・継続した研究が中断

- ・重要かつ競争の激しい研究課題に対して緊急の対応がとれない。

- ・実験をするのに海外の代替え施設などを使う場合には研究コストがかかる。(科研費等を持っていなければ実験できない。)

- ・JRR-3 は定常運転時には年間約 250 報の論文に寄与してきたが、この成果創出が失われている状況である。

- ・実験が出来ないため、研究が進まない。

- ・一部の研究内容に関して、研究が停止している。

- ・もう少しで論文になりそうなデータを補完する場合でも海外出張が必要になる。

- ・国内で原子炉を使えないことから中性子実験を控えるようになってしまい、論文出版に時間がかかるようになった。

- ・全くもって実験が実施できず、研究の一部がストップしている。

JMTR (1 件)

- ・国内の研究用原子炉の長期停止により、海外炉を利用するしか選択肢が無い状況である。一方で、世界的に見て研究用原子炉が十分あるとは言えず、また利用の自由度も限られるため、国内原子炉の長期停止前に比べて研究開発は停滞している。停止期間が長引くほど、この分野から離れていく関連技術者・研究者数も増えるため、技術継承の面でも問題は深刻である。

KUR (16 件)

- ・平成 27 年度に若手研究(B)が採択され、KUCA において未臨界実験を実施する予定であったが、予定通り実施することができなかった。

科研費申請においても、国内の研究炉を活用した計画を立案し難い状況となっており、自身の研究テーマについても変更を余儀なくされている。

また、将来的な廃炉に関連した研究開発として、中性子照射による放射化量評価に

関するテーマについて取り組みつつあるが、国内研究炉を用いた中性子放射化実験を実施できる見込みが現時点ではない。

- ・原子炉物理実験に関する研究が完全に停止状態にある。シミュレーションに関する研究しか行えない。

- ・科研費に原子炉での実験を明記しているため、実験が遂行できなくなった。また、物性情報においてクリティカルな情報を与えるため、結果が思うように出なくなった。場合によっては研究を大幅に変更せざるえない状況に陥っている。当然、新しい結果が出ないため、外部資金への応募が滞りがちであり、大学の研究室運営にも影響を与えている。旧帝大など、資金が潤沢なところならまだしも、地方大学においては場合によっては致命傷になりかねない。

- ・科学研究費補助金の研究計画に記載した中性子照射実験が実施できないため、研究計画の遂行そのものに支障を来している。

- ・本来 KUR で予定していた解析ができず海外の研究施設まで出向いている。そのため解析に必要なマシンタイムが確保できていない。

- ・開発した手法が有効であることを照射実験により確かめて問題抽出をする計画であるができないため、開発についての結論ができない。

- ・原子炉からの中性子線を利用するテーマで科研費を獲得したが予定していた成果が出せていない。

- ・本研究に関しては、実験室系の固定線源を用いた高エネルギーの陽電子ビームを用いた陽電子消滅実験は終了しており、定性的な把握には一定の成果を得ているが、研究上かつ産業界に必要な定量的なデータを得るためには、原子炉を用いた低速陽電子ビームの利用が必要であり、長期停止のため実験が2年に渡り、足止めされている。着想時にはオリジナリティある研究テーマであったが、近年似たような発想で実験を行っている研究グループもあり、テーマの喪失を懸念している。

- ・オンライン同位体分離装置は京大原子炉の特色ある装置であるが、それを利用した研究は完全に停止している。

- ・原子炉を利用して開発した認証標準物質の安定性モニタリングができず、頒布中の標準物質の安定性を継続的に確認することが困難となっている。

- ・実績のある研究者は、J-PARC 等の加速器中性子源や海外研究炉を利用して、活性の維持を図っているが、萌芽的な挑戦が難しくなっている。今後花開くような種が少なく、特にせつかく開拓した新規利用者が離れていっている。今まで中性子ビームを利用してきた研究者、特に大学の研究室が無くなっている。非常に厳しい状況である。

- ・研究用原子炉による中性子を利用した研究は、代替手段を採ることが容易ではなく、研究がストップしております。また、研究が停止している間も、試験用機材の維持管理は行っており、それに割くリソースも停止期間に比例してかさんでいる深刻な状況にあります。

- ・中性子照射研究ができないので、イオンビームを用いて研究を実施したが、照射損傷プロファイルが異なる、核変換影響が異なるなどの影響があり、実環境を模擬しにくい。

- ・代わりに、安全研究にシフトした。
- ・実験が行えないため、研究が停滞している。
- ・長期運転停止中は、米国の海外施設を利用して実験している（た）ので、大きな影響はない。むしろ長期停止を機会に実験施設を海外へ求めたことにより、海外研究者間のコミュニケーションが促進され、研究の幅も広がったと考えている。

海外施設（4件）

- ・実験の多くを海外施設で行わなければならない、実験回数が少なくなり経験を十分に積むことができない。
- ・国内で磁気構造解析を行える施設が少なくなり、海外での実験を余儀なくされている
- ・国内の中性子散乱実験の実施が困難となり、海外での実験が余儀なくされている。そのため、実験費用が嵩み、実験回数が制限され、さらに実験機器・試薬の運搬に支障が生じている。
- ・海外の施設を利用する場合、渡航費の問題により、あまり頻繁には応募ができない。その一方、採択倍率の高い海外原子炉への応募は、もし課題が採択されないと、研究計画が大きく変更となってしまう、支障が出てしまう。

施設利用なし（1件）

- ・Fe 以外の原子核に対するメスbauer測定が行えない。このため、研究に広がりが出ない

研究開発に与える影響【b)人材育成】（1件）

KUR（1件）

- ・運転が確実でないため、原子炉利用が必要となる手法を中心とする計画が立たない。また大学では学生が比較短期に入れ替わるためノウハウの伝承が一度途切れると再立ち上げに非常に時間がかかる（今年度はついに経験者が皆無となってしまった）。

研究開発に与える影響【c)学生教育への影響】（13件）

JRR-3（8件）

- ・J-PARC の分光器のみでは、十分なマシンタイムが得られない。したがって、学生の研究に中性子散乱法を導入したテーマを計画することができない。いくつかの分光的手法と中性子を合わせた研究を行っているが、中性子実験が占めるインパクトが大きかった。中性子散乱のデータがないため論文の質が低下しているといわざるを得ない。
- ・元来が中性子の専門家でないため、甚大な影響があるわけではありません。現在は、専門家の共同研究者に助言を得て、実験目的に合う海外施設のビームラインや加速器のビームラインをご紹介いただき、そちらへ実験課題申請書を提出して、マシンタイムが得られたら実験を実施するというスタイルで進めております。実験が不定期になるので、学生の学位論文のテーマとしては設定しづらいです。

・長期の停止によりすでに中性子散乱を使わないで、論文を書くようにシフトしている。大型装置が非常に使いにくくなっており（ビームタイムや分野などもあるが）、その意味でも、なかなかメインの装置として修論・博士論文を書くのはむずかしいと考えている。

・大学院の学生の研究用のビームタイムが実質的に期待できなくなっている。一部は、海外の原子炉で実験しているが、中性子散乱実験のみで修士論文を完成させるためには、ビームタイムが不十分である。他の測定手段との併用で論文を作成している。

・J-PARC で実験は可能ですが、中性子を利用する機会が減少したことと、学生への教育のためには原子炉を用いた回折実験も重要であること。

・原子炉を利用した核種分析法のノウハウが引き継がれず、学生や若手研究者が育っていない。このままでは、分析法そのものが廃れていくことが心配である。

・学生が入れ替わり、中性子および小角散乱の知識および技術を持つ学生が居なくなった。

・大学院の学生の研究用のビームタイムが実質的に期待できなくなっている。一部は、海外の原子炉で実験しているが、中性子散乱実験のみで修士論文を完成させるためには、ビームタイムが不十分である。他の測定手段との併用で論文を作成している。

KUR（5 件）

・これまでの実験結果を評価検討し、更に発展的に検討するための共同利用が途切れ、学生の研究テーマから外さざるをえなかったため、実験データを踏まえた継続的な研究開発は休止したままである。再稼働後には研究開発を再開したいが、実験経験のある学生もいないため、事前の準備に多大な労力を要することとなる。

・研究炉を利用できないと実施できない研究課題がある。例えば、その研究を実施することを予定していた学生にとって、1 年もの間原子炉が停止してしまうと研究の実施、つまり卒業が不可能になる。研究課題を変更しなければならず、研究炉の停止がさらに長引けば、研究課題自体の消失にもなりかねない。これは研究炉の利用者数を減らず結果となってしまう、研究炉自体の存続危機にも繋がりにかぬないと思われる。

・研究用原子炉の長期停止により、共同利用にて実施予定だった実験を行うことができなかった。それにより、論文を執筆するために必要な実験データを測定することができなかったことに加え、学生の論文テーマを変更せざるを得ない状況となった。

・必要とする同位体の製造ができず、学生の研究テーマの変更を余儀なくされた。また、その影響で十分な成果が得られなかった。

・年度単位で研究開発業務を遂行する組織にとって、年単位の原子炉停止は年度成果が「無」になり、担当部署の存続に係わってくるため、原子炉を用いない研究開発業務への変更が求められる。

研究開発に与える影響【d）産業利用】（4 件）

JRR-3 (2 件)

- ・シリコン照射による業務収入がなく経営が厳しい状態にある。
- ・民間の立場として、実証試験ができないので、事業化（研究開発成果からの社会貢献）の道筋が立たない。

常陽 (1 件)

・高速炉プラント設計のエンジニアリングを担う企業としての立場から回答致します。我が国は、現行のエネルギー基本計画に謳われているとおり、核燃料サイクルの推進を基本方針としており、高速実験炉は今後の核燃料サイクルの開発において、高速炉用燃料・材料の基盤研究推進等の観点で必要不可欠であると考えています。弊社は常陽での照射試験等に直接関与する立場にありませんが、常陽が停止状態で、運転再開時期が明確でない現状においては、常陽を利用した研究開発の実施計画（例えば常陽による照射試験の試験実施工程）を立案できない状況に陥っています。

KUR (1 件)

・平成 25, 26 年度に KUR にて測定させて頂きましたデータは、ベーパーチャンバーに関する研究分野におきまして世界初のデータであり、かつ、われわれが研究開発中のベーパーチャンバーは、従来の研究開発において課題とされていた部分をクリアしたことを示す、大変貴重な証拠でありました。当該分野につきましては、高輝度 LED 開発やパワーエレクトロニクス的小型化など、大変広範な応用が見込まれているため、研究開発に関するニーズは非常に高いといえます。KUR で実施させて頂きました様な測定を国内で実施可能でありますと、国外への情報の流出などの懸念も無く、移動にかかる旅費も安価でありますため、研究開発の進展のためには、国内における研究用原子炉の早期運転再開が必須と考えております。

研究開発に与える影響【e）中性子散乱】(31 件)

JRR-3 (31 件)

- ・J-PARC のようなパルス中性子源よりも原子炉のような定常中性子源の方が向いている中性子散乱実験ができず、海外の施設を使用せざるを得なくなり、スケジュール、予算、研究の柔軟性等の点で制約を受けている。
- ・中性子散乱実験はソフトマターの構造やダイナミクス研究、新材料開発に不可欠な実験手段であり、JRR-3 での実験は当該研究室の研究活動の主であった。原子炉の長期停止により、修士および博士の研究テーマを中性子散乱以外のものに変更したりして、海外施設での実験でなんとかしのいでいるが、本格的な中性子散乱実験ができないこと、中性子散乱実験はもとより、散乱装置に習熟した若手育成ができないなど、深刻な影響を与えている。5 年にも及ぶ長期停止により、中性子散乱を全く知らないで学位取得となる学生ばかりとなっている。さらに、装置の高度化ができないだけでなく、装置維持についても深刻な影響がでている。
- ・無機化学、セラミックスの分野における、遷移金属化合物の構造・物性解明をテーマとして研究を行っているが、中性子回折実験は結晶構造と磁気構造決定の特に重要な実験手法である。研究用原子炉の長期停止により、決定的な実験データ無しで研究成果をまとめざるを得ないため、成果発表する論文誌の質の低下や論文発表の

アクティビティ自体の低下が起きている。また、競合する他の研究グループに対しても不利な状況が続いている。海外の実験設備の利用は代替手段の一つだが、多くの旅費や時間を要する事や、臨機応変に実験を行う事が困難であるため、根本的な解決手段とはなっていない。特に、ある程度自由に実験を行える施設があることで、個別の閉じたテーマで実験を終えるのではなく、目的を達成しつつ次に研究に繋げることが可能となる。このような場が国内にある事には計り知れない重要性がある。

- ・中性子小角散乱及び中性子スピンエコーという、J-PARC より原子炉の装置が優れている実験手法を用いた主な研究に影響が出ている。

- ・中性子散乱実験を行う施設として日本国内には主に J-PARC と JRR-3 の 2 つの施設があるが、それぞれ JRR-3、J-PARC の装置が得意な測定がある。JRR-3 の装置が得意な測定に関して、日本国内で測定を実施できないため、海外の研究用原子炉施設を用いているが、出張費用がかさむため、実験の頻度が限られてしまっている。

- ・スピン偏極中性子散乱実験が国内でできなくなり、磁気励起の研究に支障が出ている。

- ・簡単な実験(試料の軸立など)をすることが出来なくなった。小回りの利く研究がやりにくくなり、総体的には大きな負の影響がある。

- ・高分子の高次構造解析において、J-PARC BL 大観の測定レンジを超える領域である数十 μm の評価ができないでいる。

- ・高分子の水界面、無機固体界面の凝集構造を解析するためには、高い透過力と空間分解能を持ち、重水素化によるラベリングが可能である中性子反射率測定法が不可欠である。JRR-3 が停止している現在では、J-PARC MLF の SOFIA など、加速器を中性子源とした装置を用いた実験を行っている。しかし、加速器は稼働に大電力を要するため、社会的に電力需要が高まる夏期は実験を行うことができず、年間に使用できるビームタイムも限られる。安定した単色中性子源である原子炉の長期停止によりビームタイムが減少し、測定できるサンプルの数および実験内容が制限されているのが現状である。

- ・弊社の研究開発において、中性子散乱実験を用いた研究を計画しているが、必要とする MLF の装置は倍率が高く、課題がなかなか採択されず、また、採択されたものの J-PARC の断続的な停止により、実験実施が思うように進んでいない。研究炉がない状況では安定的な中性子利用が難しい状況があると考えている。

- ・自分たちの研究グループの実験装置が JRR-3 内に設置されており、炉が稼働していないことから、装置開発ができない。また、当該実験装置を用いた施設供用等の外部ユーザーに対する支援ができない。

- ・タンパク質分子の機能解析研究が効率よく進められない。

- ・JRR-3 でしか実現できない試料環境がある。難しい試料環境の実験は海外では必ずしも実施できないため、JRR-3 で計画していた条件よりも簡略化しなければならない場合がある。実験は、海外の高強度が必要な条件のものだけではなく、アイデアを思いついて即実施、確認したいケースが多々ある。特に、競争が激しい分野では大変不利な状況になる。トライアル的なビーム利用は海外施設では困難。施設のビーム、装

置に併せて最適化しなければならない装置開発では、ビームが出ないままでは何も進められない。

- ・原子炉と加速器の装置の特性上、J-PARC MLF では代替実験が不可能な場合があり、その場合はやむを得ず海外原子炉施設を利用する。もちろんお金と時間が余分にかかるだけではなく、国内で出されるべき成果が海外の施設で出されることになるので望ましくない。

- ・試的な測定、系統的な測定ができず、新しい研究の展開が非常に制限されている。J-PARC や海外施設では、成果がでることがほぼ確実な測定に申請内容が偏りがち。

- ・日本でも行える実験を実施するのに海外で実験する必要性が生じている。海外での実験は高い渡航費が必要な上、特に輸出入に関わる規制によって実験に大きな不都合が生じるため、日本で実験する場合と比較してコストと労力が大きくなる。これは本来研究に割くべき時間を移動や手続きに要してしまうことを意味しており、研究の敷居を大きく上げることになる。

- ・現在、定常炉を用いた中性子散乱実験を行うためには海外施設を用いる必要がある。海外施設での実験では渡航のための諸手続きに時間を要する上、試料の輸送や実験装置のセットアップ等、実験自体に制約がかかることも多い。このようなデメリットに加えて実験自体の機会も必然的に減るため、研究を遂行する上で大いに悪影響を受けていると言える。

- ・これまで JRR-3 において、物資中水素のダイナミクス研究のための試料環境を構築していたが、停止により実験ができなくなった。

- ・JRR-3 が長期停止している現状で中性子散乱を利用した研究を続けていくには J-PARC の他にも海外の研究用原子炉を利用していくしかないが、海外での実験は長時間の移動など研究以外の部分での経済的、時間的負担が大きく、研究が遅れる原因になっている。

- ・遷移金属および希土類元素を含んだ無機化合物の新規な磁気特性の発現およびその機構の解明を研究目的としているが、中性子回折実験を行えないことで磁気構造を決定することができずにいる。磁性現象の解明について中性子回折は極めて有効なツールであるが、それを行えないことで厳密な議論を行うことができず、研究の遂行にあたって多大な支障をきたしている。

- ・海外実験に対する旅費支援（東京大学物性研）を受け、定常炉を持つ海外の中性子散乱実験施設で同等な実験ができることは大変ありがたいことではあるが、施設へのアクセスがより容易で、試料環境の持ち込みについても自由度がある、きめの細かい実験が可能な JRR3 での実験が確実に有利であり、研究のスピードを落としていることは確かであると思われる。また、大学院生の研究において威力のある中性子散乱の機会が十分持てないことは、残念である。

- ・原子力研究炉の長期停止の間に研究業務の進め方は大幅に変更しました。従来、JRR-3 の角度分散法中性子回折装置を活用し、集合組織評価技術を開発して高強度鋼の弾塑性変形に関する応用研究を進める中間計画があったが、震災後、J-PARC の飛行時間法中性子回折装置を利用し、集合組織評価技術の開発に取り込んだ。そのた

め、応用研究には幾つの課題を延期してしまい、研究予算の確保にも支障が出た。なお、この間に海外研究炉の回折装置の関連技術現状を調査し、位置敏感型中性子検出器の面積化配置の魅力を改めて認識してきた。

- ・研究の大幅な遅れはいなめない。特に私が研究対象とする材料は XRD だけでは構造、組成決定ができないため、中性子が頻繁に利用できる環境が必須である。

- ・新しい化合物をいくつか合成することに成功しているものの原子炉が停止しているために、化合物の結晶構造や磁気構造が明らかにできない状態が続いており、これらに関する研究が滞っている。

- ・回答者が研究対象としている溶液系の小角散乱では広い散乱角範囲を測定するのではなく小角領域を精度良く測定することが重要であり、この点において原子炉に設置された装置を用いるのが最適である。したがって、JRR-3 の停止は非常に打撃である。その分、海外施設の使用を行っているが、変性しやすく長時間の安定性が担保されていないタンパク質の試料輸送では非常に事前準備や現地での対応・経済的な点で苦勞をしている。例えば国内で実験が可能であれば変性の一番の原因である長時間の輸送が避けられる上に仮に変性していることがあれば再精製などで回避できる可能性があるが海外ではそのような事は困難で問題が発生したら回避が困難な「一発勝負」的な実験になってしまっている。

- ・研究で中性子散乱実験を使いたいと思うことはあるが、ほかの手段でなんとか賄ったり、諦めたりしている。

- ・小角散乱、スピンエコー測定が国内でできない（やり難くなった）。

- ・中性子散乱実験を研究開発計画に組み込むことができない。

- ・現状、J-PARC では小角領域まで測定できないため日本国内で小角中性子散乱実験を実施することができない。有機物が研究対象のため X 線散乱で代替できないものは断念するしかない。

- ・中性子の研究利用としては現状パルス中性子源の J-PARC が稼働中であり、研究開発が完全に閉ざされているわけではない。しかし JRR-3 をはじめとする研究用原子炉で数十年間培われてきた技術の開発は止まっている。そのうえ問題なのはこれらの技術の次世代への伝達が滞っていることだと思う。停止期間が長引くほど、失われていた時間を取り戻すために非常に大きな代償を支払わなければならないばかりか、過去先人たちが築いてきた金額的には代えがたい技術を完全に失われてしまうことが危惧される。

- ・大学において下記の教育面と研究面は表裏一体で、学生を中性子散乱分野で育てながら成果をあげる十分な機会は失われている。私自身、JRR-3 の中性子散乱装置（6G TOPAN）を中心に活動するというミッションだった組織から他組織への異動を決心した。

研究開発に与える影響【f）中性子ラジオグラフィ】（3 件）

JRR-3（1 件）

- ・可視化計測技術を開発してきたが、それらを応用に利用しきれていない。

KUR（2 件）

・エアコンなどに代表されるヒートポンプにおいて、熱交換器への着霜は、伝熱性能の劣化、除霜運転の実施など機器のエネルギー効率を最も低下させる要因として、空調冷凍産業の分野においては、着霜のメカニズムの解明は、省エネルギー社会に向けた解決すべき緊急の課題の一つとされている。これまでの霜の研究分野では、霜層を破壊して、霜を掻き取るしか測定の方法がなかった。本アンケート回答者は、中性子ラジオグラフィを用いた非破壊での霜計測の手段を提案し、これまで KUR の B4 ポート、E2 ポートのラジオグラフィ施設を利用して熱交換器への着霜を評価し、これまで計測不能であった着霜分布の時間変化を評価した。その研究成果は、放射線測定技術を霜研究に取り入れた先駆的な研究として高く評価され、冷凍空調技術の発展に大きく寄与するものとして、2015 年 5 月に公益社団法人日本冷凍空調学会学術賞を受賞した。その後、着霜量を大幅に減少させるための熱交換器表面形状の検討、除霜時に冷凍機を運転停止しなくとも除霜ができる微弱付着力霜構造の検討など、冷凍空調機器の大幅なエネルギー効率の向上に直接的につながる研究を画策していたが、長期の研究炉の停止により研究が停止している。着霜が空調冷凍機器（エアコン、冷蔵庫などの家庭用機器から、大型産業用冷凍機器まで）に与えているエネルギー効率の低下を、大幅に改善できる可能性があったと言える。

・中性子イメージングを用いた研究を行わなくなった。

研究開発に与える影響【g】即発 γ 線】（2 件）

JRR-3（2 件）

・素粒子・原子核物理学研究の一環として、中性子崩壊の精密測定を行っている。中性子崩壊を測定する実験において、バックグラウンドが非常の問題になる。検出器材質を PGA 分析にて評価を行う予定であったが、未だ測定ができていない。中性子照射時のガンマ線が問題になるので、他の分析方法では限界があり、PGA の再開が求められている。

・古代土器片の元素組成分析

研究開発に与える影響【h】放射化分析】（4 件）

JRR-3（2 件）

・炭化ケイ素 (SiC) 基板中の微量不純物の定量を行いたいが実施できていない。自身が行っている研究は他テーマもあるので、研究が完全に停止している訳ではないが、不純物を評価する部分は停止中であり目途が立っていない。

・土器片中の希土類の組成を非破壊で評価したいが、現時点では SPring-8 を利用せざるをえないが、経費の確保が難しい。

KUR（2 件）

・定常的に行っていた、原子炉を利用した放射化分析による同位体化学組成の分析は、他の機器を利用する方法の開発を行う事によって、影響を最小限に抑えた。しかし、核分裂飛跡に関する基礎実験を行う事ができなくなり、その関連の研究は実施をしていない。

・海底熱水鉱床から採取される鉱石試料を対象とした放射化分析を行う上での最適条件を探索する研究を進めていた。この途上で、長期停止になり研究の進展がスピードダウンした。現在、5ヵ年計画で進行している大型プロジェクトにその成果を応用しようと考えていたが、既に3年目に入っており、スケジュール的に間に合わなくなった。

研究開発に与える影響【i）測定器・測定技術開発】（5件）

JRR-3（1件）

- ・測定技術開発の停滞

JMTR（3件）

- ・今後行う予定の福島のリトリート再臨界計測センサ開発ができない。
- ・福島のリトリート再臨界計測センサ開発が出来ない
- ・今後行う予定の BNCT 用 SPGD, SPND の出力特性試験ができない。

UTR-KINKI（1件）

・近畿大学原子炉 UTR-KINKI は、低出力で安定した中性子源であり、低中性子束の照射が容易に可能であるため、中性子検出技術、中性子線量評価技術の開発に極めて有用である。筆者は、2012年度、2013年度の共同利用を通じて、ヨウ素含有シンチレータの自己放射化に基づく高感度熱中性子技術を考案し、同技術を医療現場で用いられている高エネルギーX線がん治療装置周りの微弱な光中性子測定に応用してきた。また、関連技術について、特許出願(PCT/JP2014/056812)を行った。これらの成果をまとめた原著論文は、優れた内容であることが認められ、「2015年度・Radiological Physics and Technology 誌論文賞(土井賞)・治療分野」を受賞した。しかしながら、2014年度からの原子炉停止に伴い、その後の研究開発の進捗状況は大きな影響を受けている。これは、代替となりうる適当な中性子源が存在しないことが主たる理由である。

研究開発に与える影響【j）中性子分光法の開発】（2件）

JRR-3（2件）

・モノクロメータ開発といった中性子基盤技術開発がストップし、この方面の開発をほぼ断念した。

・研究テーマが中性子ビーム制御デバイスおよび中性子分光法の研究開発なので、原子炉が停止すると中性子ビームが使える施設・ビームタイムが限られて、実験の機会が少なくなった。海外の研究施設を使用せざるを得なかった。

研究開発に与える影響【k）照射実験】（13件）

JRR-3（4件）

・材料の照射研究ができない。海外炉を代替利用しているが、コストや自由度の面で国内の原子炉の完全な代替は不可能。

・メインテーマとして、中性子放射化と放射線測定器(ベータ線)があったので、前者を止め、後者に全力を挙げている。従って、研究自体は出来ているが、研究の目的の1つをあきらめているという意味で、影響が有る。

・回答者の実施している研究では、分析対象の試料の中性子照射が必須であり、また照射後の試料は一年以内に分析しなければならないという制約があるため、研究用原子炉が停止して以後、新たな試料の分析ができず研究に重大な支障をきたしている。現在はやむなく海外の共同研究者に依頼し、海外の研究炉を利用しているが、照射後試料の分析も国外で行わなければならないため、研究にかかる経費が嵩むだけでなく、研究者の培ってきた世界最高レベルの希ガス同位体分析技術を全く有効に活用できないという問題がある。

・対象のコンクリートなどの建設材料は、長期間に渡って中性子照射による観察が必要となるため、安定した中性子源として原子炉の利用は不可欠である。また、建設材料の分野での適応は、国内外において始まったばかりであり、多くの研究課題が残されている。J-PARC などの利用も考えているが、長期の安定した中性子強度が得られないことや、使用時間が限られているため、限定した計測に限定される。その為、必要なデータが取得できないため、研究の進行が遅延しており、早期の再開が必要である。

JMTR (2 件)

・核融合炉構造材料研究や軽水炉圧力容器鋼などの研究で行われてきた系統的な照射研究が、研究炉の長期停止によって新たなデータを取得することが不可能となった。研究の進展によって得られた研究成果の検証に対する照射研究ができずイオン照射などで対応しているが中性子による実践的な研究の場が必要で有り、早急な研究炉の運転再開が望まれる。

・イオン照射等で中性子照射の模擬を行っているが、照射損傷構造は全く異なるため、完全な比較を行うことができない。実際の中性子照射を行える場が必要である。

常陽 (4 件)

・常陽での燃料や材料の照射試験が約 10 年実施されていないので、高速炉燃料材料の照射後試験を通じた照射挙動に係る新しい知見が全く得られていない。

・照射後試験が実施できていない期間も 10 年近く経過し、照射挙動評価能力に加えて照射後試験技術が後輩に確実に伝承できていない。

・同様に、照射後試験施設や設備を正常に維持できていない。

・以上より、常陽が再起動したとしても、照射挙動評価のための研究開発活動が以前と同様なレベルに達するまでに相当の準備期間と予算、要員育成が必要な状況になっている。

KUR (1 件)

・原子炉の燃料や構造材開発において研究炉による照射試験は不可欠だが、現状は解析・評価の結果を検証できない。各種試験計画の策定(照射試験だけでなく、それを含むプロジェクト全体)に滞りが生じている。海外施設の利用も検討しているが、

費用やマシンタイム、試験精度、試験体の授受に問題がある。その結果、現行の原子炉システムの安全性高度化や廃炉対策の進捗に多大な影響が生じている。

海外施設（1 件）

- ・PLM 関連の研究開発においては、中性子照射脆化、照射誘起応力腐食割れの研究において、電共研や旧 JNES の国プロにおいて、材料の照射を国内外の照射施設や実炉を用いて行ってきた。

これらの研究は原子炉圧力容器および炉内構造物の健全性を確保する上で重要な研究であり、これからも研究に取り組んでいく予定であり、長期停止することの影響は大きい。

施設利用なし（1 件）

- ・将来的に、不活性ガス雰囲気あるいは冷却材中における被覆管材の照射試験などを考えており、その候補となるべき国内の試験炉が再開していないため、選択肢が海外試験炉にだけに制限されています。国内の照射試験技術向上と人材育成、輸送費（時間）の軽減の観点からも、国内試験炉を利用する選択肢があるべきであると考えます。

研究開発に与える影響【1）RI 製造】（4 件）

JRR-3（2 件）

- ・四つある研究テーマのうち二つは原子炉で線源を作成するものであるため、研究が停止している。海外からの測定依頼についても線源を作成できないので、共同研究に応えることができなくなっている。金はいろいろな分野で注目されている元素であるが、国際的に見ても Au-197 の測定ができる場所は限られているので、研究者コミュニティにも影響がある。

- ・アクチナイド化合物は、原子力機構を筆頭に精力的な研究がなされているが、J-PARC で使用出来ない上に海外への輸送も容易ではないため、中性子による研究はほぼ停止している状態にある。その他、海外での実験については、申請から実験実施までタイムラグを生じる上に、旅費の確保が出来ないと実施出来ないため、制約が大きく、進展を妨げている。

KUR（2 件）

- ・原子炉での照射による RI トレーサーの製造では、多様な核種を得ることができる。市販の RI 試薬として入手が困難なものもあり、研究計画を変更せざるを得ない状況にある。

- ・短半減期核の製造ができないため、主実験ができない。長半減期核を用いた予備的な実験（測定手法の開発など）は研究炉無しでも行うことができるが、主たる関心の対象である短半減期核は原子炉で生成する必要がある。

研究開発に与える影響【m）原子炉安全研究】（4 件）

JMTR（1 件）

・当所においては、次世代軽水炉をテーマに研究開発を実施してきている。福島第一事故後、次世代軽水炉の要素技術の内、既設炉の更なる安全性の高度化に資する研究に限定し、要素技術開発を継続している。国内外の研究用原子炉にて、実施を予定していた材料の照射試験は、主に長寿命化に係るものであり、経済性の向上に資する要素技術の開発は、中断せざるを得ない状況となっている。

KUR（2件）

・福島事故燃料デブリの臨界・計量管理の手法を高度化するための実験研究が2年半進んでいない。これがために、廃炉の作業手法でコストのかかる、かといって安全を必ずしも保証しない手法が採用されれば、それは世の中を危険にするだけである。

・シビアアクシデント事故で生じる様々な燃料デブリの状態予測や、炉の緊急冷却により生じる汚染水等の2次廃棄物の性状研究には、核燃料に核分裂生成物や超ウラン元素を生成するための熱中性子照射が不可欠であるが、研究用原子炉の長期停止により実験が滞り、研究課題の中断や計画変更を余儀なくされた。

NCA（1件）

・Fデブリの臨界管理方法の開発が遅れている。事故耐性燃料の開発が遅れる可能性がある。非破壊検査技術開発が遅れている。

研究開発に与える影響【n】年代測定（1件）

JRR-3（1件）

・試料の中性子照射ができないため、Ar-Ar年代測定ができず全くデータを生産できない状況である。このため国内外のプロジェクトにおいて期待された役割を果たせず、他国の研究者との共同研究に切り替えられてしまうケースも複数出ている。また当方の研究室では、1）国の国連への大陸棚限界画定申請のサポート、2）活動的火山の噴火予測シナリオの高度化、3）日本の各火山の火山活動史解明に資するデータの生産、4）海底鉱物資源探査に資する海底火山、地質構造の解明を担ってきたが、これについても実施できず、国から期待される役割を果たすこともできなくなっている。

研究開発に与える影響【o】医療照射（5件）

KUR（5件）

・中性子捕捉療法のための基礎的な薬剤評価が出来ない。特に26年度よりドイツの研究者とKURを利用した薬剤開発の共同研究を進めているが、日本の役割が果たせていない。毎週数名の癌患者から問い合わせが来るが、原子炉が停止中であるため、治療が受けられないまま、他界される方を見ていると、そのご家族の無念を鑑みると、研究用原子炉のリスクに応じた審査対応により早期の運転再開を要望する。

・BNCTの臨床研究、臨床試験ができない

・現在特に日本において加速器型中性子線照射装置の開発が進められ、それに伴い中性子線を用いたホウ素中性子捕捉療法（BNCT）への周囲の関心は高まっている。茨城県でも特区事業としてBNCT開発を推し進めているが、これらの新規開発をさらに

推進するためには基礎および臨床のデータの蓄積が重要である。加速器型 BNCT 装置はまだ開発段階の物が多く、データの蓄積には KUR による研究および臨床試験の実施が必要不可欠である。私自身 BNCT に関する研究テーマで科研費や財団からの研究助成を受けているが、KUR が止まっていることによりこれらの研究が進まない事態が生じている。さらに、加速器型 BNCT が稼働したとしても、従来の原子炉型との比較が重要であり、その意味でも KUR がの稼働が BNCT 研究の進展に必要不可欠である。

- ・ BNCT による治療戦略を全く検討できない。
- ・ 医療照射が行なえず、治療希望患者さんを断っている。患者さんにも申し訳ないし、こちらも治療データの蓄積が出来ない。

研究開発に与える影響【p】薬剤開発】（6 件）

KUR（6 件）

- ・ 中性子照射が行えないため、研究が全く進捗していない。非照射実験で、周辺のデータは蓄積されていくが、実際に薬剤としての効果は中性子照射実験を行わねば評価できない。
- ・ 合成できた含ホウ素化合物の BNCT 活性（分解反応、動物実験）を測定することができないことが影響しています。
- ・ ガドリニウムへの熱中性子照射により発生したガンマ線によるヒト由来細胞の死滅の有無とその定量的な検討が本研究の要であったが、肝心の原子炉が使えない状況で、研究の進展が全く望めなかった。結果として、材料創製のみに終始し、肝心の医療分野への応用に関する知見が全く得られなかった。これにより、無機材料を用いる DDS の分野で新たな応用分野を確立するつもりでいたが、結局のところ、結果が出せず、資金も無くなり継続できなくなった。非常に残念である。
- ・ 合成した BNCT 薬剤の中性子捕捉能の評価ができず、更なる誘導体設計が不可能となっている。
- ・ BNCT の免疫反応に対する影響、ホウ素のがん組織への DDS 開発、などの研究が止まってしまいプロジェクトが中断している。
- ・ BNCT 用のホウ素薬剤開発を行う上で、薬剤の評価を行う上では実際に中性子を照射し、BNCT による治療効果を、腫瘍細胞および腫瘍モデル動物を用いて評価することが必須である。現在、中性子用加速器などの開発が進められているが、その殆どが臨床治療用のものであり、細胞および動物実験に利用できるものは皆無である。このため、研究用原子炉の停止は、今まさに大きく発展しようとしている BNCT の中核技術の一つであるホウ素薬剤開発を致命的に阻害していると言っても過言ではない程の大きな悪影響を与えている。

研究開発に与える影響【q】細胞照射】（1 件）

UTR-KINKI（1 件）

- ・ 原子炉照射後の細胞生存率、突然変異、DNA 修復分子の挙動を解析する実験は繰り返しが必要で、毎年 2, 3 回の利用時間では数年かかる。平成 17 年に開始したが、も

う少しでまとめられるというところで長期停止となり、成果を論文として発表することができないでいる。主に実験を担当してきた大学院生の博士論文で近大原子炉実験は重要な1章であったが、その内容も大きく変更せざるを得なかった。また、中性子線を用いた細胞の性質、機能の変換は構想がまとまり、着手する直前であった。成功すれば学術的にも大きな波及効果が期待され、抗体、医薬品など国民の健康向上に資する物質の産生にも結びつく可能性があるが、開始することができずにいる。

研究開発に与える影響【r)防災研究】
無し

研究開発に与える影響【s)高速炉開発】(1件)
常陽(1件) ・我が国は、高速炉燃料材料開発の後進国になりつつある。

(2) 質問12(長期停止が社会貢献に与える影響)への意見

人材育成や産業利用に与える影響【a)実験実施への影響】(8件)
JRR-3(3件) ・原子炉の運営や研究開発を行える土壌が無くなってしまうので、当然ながらその分野での国際的な競争力は失われていくかと思われます。 ・中性子散乱実験の場合、海外施設を利用することで研究を行うことはできるが、ビームタイムはわずかししか得られないため結論を出すために時間がかかる。最悪の場合、実験せずに研究テーマを終えることになる。 ・既にJRR-3の場合で5年以上、運転が停止している。大学で言えば、国内の研究炉を使用できずに博士号を取得された方がいる状況である。今後、研究炉が再稼働した場合、使用経験のないユーザーが増え、成果の創出までに時間を要することが懸念される。また、施設側にとっても、長期間の停止にともなう運転経験の伝承などが問題として顕在化することが懸念される。
KUR(4件) ・研究用原子炉が長期停止した場合には、研究そのものの停止期間が長引くこととなり、研究資金の獲得が極めて困難となります。したがって、特に中堅・若手研究者が主要なテーマとして取り組むことができる研究開発とはなり得ず、早晚、同分野の人材が枯渇し研究開発力の喪失が予想されます。原子力研究は、工学、物理学、化学、安全学、社会学等を駆使する総合的な研究分野であり、研究がストップすることは我が国の学術研究レベルそのものの地盤沈下にも繋がりがかねません。一方で、原子力は発電インフラの乏しい発展途上国において安定した安価な電力を供給し得る有力な手段でもあることから、今後の人類社会における産業基盤として未だ必要とされるものであり、関連技術を活用した国際貢献・経済的利益も期待されます。こうした状況から、研究用原子の長期停止は、我が国の学術研究レベルの低下及び国益の喪失に繋がる事態であり、可及的速やかに再稼働を進めるべきであると考えます。

- ・中性子を使った放射線科学研究が停滞すること
- ・中性子利用研究の場を大きくそがれた。
- ・代替の研究手段があるので特に困らない。

海外施設（1 件）

- ・長期的に停止すると十分に経験を積んでいる研究者が限られることになり、いざ再開した際に運用に不安が残ると考えられる。

人材育成や産業利用に与える影響【b）人材育成】（41 件）

JRR-3（27 件）

- ・中性子利用研究の停滞、産業利用の停滞とそれによる国際競争力低下、人材育成の停滞、若手研究者の原子力離れ、海外炉利用による情報・成果の海外流出
- ・研究用原子炉を活用した基礎・応用研究の衰退並びにこれらに従事する若手研究・若手技術者数の減少。さらには再稼働が予定される原発の維持管理や廃炉技術の確立に欠かせない人材育成への影響が大きく生じる。
- ・研究用原子炉を用いた実験の経験がある人が今後減少することで、今まで蓄積されてきた実験技術が受け継がれなくなる。
- ・短期的に海外の研究用原子炉を利用することによりある程度の代替は可能だが、長期的には、総コスト（金・時間）の上昇、研究成果等の機密漏洩の可能性、運用リスクの海外への押しつけ、人材育成の停滞とノウハウの消失などデメリットが大きいと考えられる。結果として、基礎研究、産業利用ともに大いに影響があると考えられる。
- ・将来、中性子というユニークな性質をもった量子ビームを利用する研究者および技術者の人材育成がなくなり、知見や技術の継承が途絶えてしまう。その結果、例えば、ユニークな切り口をもった社会に役立つ有用分子の創製研究の発展が遅れる。
- ・海外の施設を容易に利用できる（資金の潤沢な）研究室を除いて、定常中性子源における中性子散乱実験を経験した大学院生が皆無となり、人材育成の点で大きな問題である。
- ・今後の原子炉の廃炉に向けた人材育成には、研究用原子炉の長期停止は深刻な問題と予想される。
- ・大学院生の卒業研究や修士論文研究で中性子を用いた実験を行いたいが、J-PARC はトラブルなので運転が不安定で予定通りの実験ができません。J-PARC での実験再開を待っている内に、大学院生が卒業時期・修士修了時期を迎えてしまうので研究テーマを変えざるを得ない。
- ・JRR-3 の場合、各装置の構成が比較的シンプルであるため、中性子を利用したことのない人間を一から育てやすいと考えている。勿論当人の努力にもよる所はあるが、人材育成という意味では研究炉の長期停止は影響が大きいと考えている。
- ・中性子研究に携わる人材の育成が滞る。
- ・1 年ごとに研究者の高齢化が進んでいるが、若手の研究者が中性子利用を始めることや職を見つけることが難しく、今後を担う人材育成の点で非常に不安がある。また、中性子の産業利用もほとんど広がっておらず、その影響は大きい。

・照射技術など、若手研究者・技術者への技術継承が難しい。例えば、照射試験をするうえで照射条件などを評価する際、照射キャプセルの核熱設計などモデルによる計算は可能であるが、実際の現象等を試験データとして得ることができないため、その妥当性を検証することができず、若手研究者・技術者に対して、十分に理解できていない。

・JRR-3 の定常中性子を用いた実験施設は教科書的な装置が多いため、中性子利用の人材育成に極めて有効であるが、これが現在できていない。

・長期停止により、原子炉照射を経験していない若手原子力材料研究者が増えている。研究コミュニティ全体のアクティビティの低下をもたらし、今後の人材育成に深刻。

・現在、JRR-3 や京都大学の施設が利用できないため、新たなデータを取得できない状況であり、卒論や修論・博論の研究では、過去に測定したデータによる解析を進めるなど、研究の継続をはかっている。しかし、より停止状況が長期化した場合には、新たなデータを得られなくなり、研究の継続が困難になる。更に、実際に中性子を利用した経験の無い学生を輩出することになるため、人材育成への影響は甚大となり、その影響は長期にわたると予想される。また、民間との共同研究での中性子の利用についても、複数の課題を考えているが、それも中止状態となっている。人材育成や産業利用の点からも早期の利用再開を要望している。

・将来的に原子炉を動かす状況に至っても、人材が育たないまま、あるいは、技術や経験の継承がなされないままでは充分な対応が出来るはずもなく、人的に利用出来ない状況になりかねない。

・中性子散乱実験、解析のスキルを持った研究者はもともと少なく、貴重な存在である。この技術を使って明らかにできる事象は広範に及ぶため、中性子散乱を実施できる研究者を育てることが重要であり、長期停止による影響は大きいと考えられる。

・中性子実験のハードルが上がり、特に若い人材が中性子を気軽に利用できなくなっている。現在、J-PARC が運転しているが、ビームタイムも限られている上、成果創出の方を強く求められる傾向にあり、これまで研究用原子炉で回っていた人材供給のサイクルが崩れてしまっているように思う（実際、施設のスタッフの平均年齢は上がる一方である）。

・原子炉定常中性子を使った分かりやすい実験での教育ができず、人材育成に大きくマイナスとなっている。

・J-PARC ばかり利用している学生は、中性子散乱、 k_i , k_f , Q の関係を全く理解できないままであることが多い。中性子散乱をきっちり理解している人材が全く育たなくなる

・すでに原子炉が止まり 5 年以上が経過し、少なくとも地方大学には中性子散乱をやったことがある人材はほぼいないと考えてもいいと思われる。今後、復帰していくのは非常に結構であるが、非常に使いづらい装置・メソッドになっていることを危惧する。J-PARC があるので、まったく高分子・ソフトマターの中性子散乱測定自体のアクティビティを高くすることはむずかしいのでは、とまで考えている。

・中性子実験を行なう場合、現状では海外実験しか選択肢がない。そのため予算の都合上、受け持っている博士課程学生を連れて行って測定技術を学ばせられる機会が大幅に減ってしまったことは非常に憂慮している。

・海外での利用だと研究の遅れだけでなく、限られたごく僅かな学生しか参加できない。これは人材育成にとって大きな損失である。

・外国施設や J-PARC で中性子散乱研究者の育成を行う事は原理的に不可能なので、この 5 年間で中性子散乱を本当の意味でメインテーマにして学位取得した学生はいないと言える。このように中性子次世代育成という意味では危機的である。私の研究室に限らず国内全体において若手世代の中性子の技術レベルの低下を強く感じている。

・施設に所属していた人が大学に異動している

・大学から施設に、施設から大学に移動する研究者の欠如。それによる大学、施設の分極。

・装置担当者の育成や利用者の拡大に向けては、単一波長を使用することが多い研究炉が適しているが、ここ 6 年の JRR-3 の停止により、完全に滞っている。今後の後継者育成や、J-PARC/MLF 利用者の拡大に向けて、甚大な影響があると考えている。
JMTR (2 件)

・研究炉の停止に伴い、照射研究を行ってきた研究者層の高齢化と研究をリードしてきた研究者の定年退職に伴う世代交代が十分進まず、中性子照射研究を知らない若手世代が出てきている。また研究の停滞は研究の魅力を大幅に損なっているため若い世代が照射研究に対して興味を示さなくなり、今まで世界をリードしてきた照射技術などが廃れてきているのは非常に強く危惧するところである。特に炉内引き上げ制御照射や光ファイバその場観察試験など唯一無二の研究資産がむざむざ廃れていく現状は携わってきたものとして大変悲しいものである。

・原子力分野の若手技術者・研究者の養成に支障をきたしており、関連分野での人材不足が将来大きな問題になる。

常陽 (1 件)

・研究開発活動が停滞しているので、照射挙動評価に係る人材が育成できていない。

KUR (10 件)

・今回のような研究炉の長期停止が続く、再発するような場合、上記のように研究炉を利用した研究をする研究者が減り、海外の研究炉の利用にシフトしていくだろう。そうすると、国内の研究炉の需要がなくなってしまう。国内の研究炉の数が減ると、それを利用して研究する学生数は格段に減り、未来の原子力関係、放射性物質を取り扱うことのできる研究者の数が格段に減ることが懸念される。当然、ひとつの分野、産業を支えるのはそこに居る人間（数と能力）であるため、未来の原子力産業や、廃炉問題、環境放射能の問題に取り組むことが困難になる。無責任に始めた原子力発電に関わる原子炉とその遺物を無責任に放置する結果になることは明らかであり、日本という国が、「世界に対して責任ある対応ができない国」という扱いになってしまうだろう。

・長期停止によって、若手を所属で採用しても、貴重な実験作業を経験させる機会を失っている。また、実験計画を先送りしても、停止期間中にベテランが退職や人事異動等で不在になる可能性もあり、研究開発の継続が困難になる。

・がん治療に係る治療法の人材育成でも、広島大学工学部・大学院工学研究科の研究指導を通じた人材育成でも成果が損なわれる。

・自分の場合も含めて、自身で施設を持たない研究グループは共同利用に大きく依存しているため、さらに長期に及ぶと研究内容の大きな変更を余儀なくされる。大学等での放射線利用の研究は、将来産業界で活躍する人材育成の場でもあり、その分野が大きく欠落することになることは、当該分野のみならず廃炉や再処理等の原子力分野でも重要な問題となる。放射線という技術・手法に関わる機会として、研究用原子炉は重要と思う。

・座学で学んだだけでは原子炉の運転・制御などは分かった気になるだけであり、原子炉を学んだ人材とはなりえない。代替としてのシミュレーションなどは現場としての管理運営なども全く体験できていない訳であり、原子炉を実際に使用した人材育成には遠く及ばない。この数年間の停止期間において、卒業後に原子力関連企業等へ就職した方々は原子炉運転・制御の実習を受ける必要があると考える。

・将来、原子炉技術者を目指す学生の人材育成事業については座学のみで、現場の実学教育については劣化状態にある。また、原子炉を熟知し研究の対象とする大学教員も減少傾向にある。今後の大学教育にとって大きなハードルとなることが予想される。

・原子炉の物理を理解するという人材育成の観点からは影響は非常に大きい。ただし、その理解を発展させて学術研究を行うという意味では、今回の長期運転の影響は大きくない。

・実機を用いても研究機会を失うことは、人材育成上致命的である。実施を維持運用し続けることは原子炉の管理者を育成し、その技術を伝承し、新たな技術を開発する意味合いもある。机上の議論はときに役には立たない。

・同位体利用の研究においては、研究炉の存在は必須であり、長期的な影響として同位体利用の研究人材の育成に大きな影響が出る。今後原子力発電所の廃炉等の事業を進めるうえで、非密封の同位体利用の経験のある技術者の育成は必須である。

・人材育成への影響は今後深刻化してくると予想しているが、現状ではまだ顕在化していない。

UTR-KINKI (1 件)

・筆者の所属する保健学科・放射線技術科学専攻では、診療放射線技師の養成をおこなっており、学生は技師免許の資格取得をめざしている。近年の高度な放射線医療現場では中性子の発生を伴う状況が増えてきており、今後、中性子に関連する知識や技術の修得の重要性が増加していくことが予想される。また、大学院に進学する学生も増えてきており、彼らは医学物理士養成コースを経て、医学物理士資格を取得するケースが多くなってきている。その中には、最近、盛んに開発研究が行われているホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) での臨床業務に携わることを希望するものもいる。さらに、最近では加速中性子源を利用した治療施設の建設もあいついでおり、そ

のような病院に就職を希望する学生もでてきている。

しかるに、筆者の在籍する放射線技術科学専攻には、放射線の一種である中性子の基礎特性や測定技術を習得するのに適した中性子源が存在しない。このため、学生実験などで適切なテーマを設定することができない。そこで、希望する学生は近畿大学共同利用の共同研究員として原子炉実験に参加させており、たいへん貴重な教育の場となっていたが、原子炉の停止によりそれが中断している。この結果、次世代の中性子を利用した放射線医療を担う人材の育成が著しく滞っている。

海外施設（2件）

- ・近年、大学において、照射脆化や放射線水化学など分野の研究室の減少が続いており、学术界のみならず産業界における将来の人材確保に懸念が生じている。照射施設および照射後試験施設の整備は、学术界の活性に不可欠であると共に将来の人材確保の観点からも重要である。

- ・同世代の若手研究者や学生は、国内原子炉を利用したことがないという方が多数である。そのような状況では、次世代の研究用原子炉の管理、運営に携わることができる人材が急激に減少してしまう。

施設利用なし（1件）

- ・物性発現への理解が進まず、新規材料開発なども行えない状況が続いてしまう。

人材育成や産業利用に与える影響【c】学生教育への影響（34件）

JRR-3（22件）

- ・中性子を使わないで卒業していく学生が増える事は研究室の技術維持を困難にさせ、かつ社会に出た彼らからのある意味での中性子の広告効果が得られなくなる。産業利用においては継続的にかつ安定的に使えない手法は利用されなくなります。次、いつ使えるかわからない測定では利用計画は立てられません。

- ・卒研・修論等に、放射化に興味を持つ学生は居るが、そちらに進ませられない。その意味で、人材育成ができていない。

- ・中性子散乱実験はソフトマターの構造やダイナミクス研究、新材料開発に不可欠な実験手段であり、JRR-3での実験は当該研究室の研究活動の主であった。原子炉の長期停止により、修士および博士の研究テーマを中性子散乱以外のものに変更したり、海外施設での実験でなんとかしのいでいるが、本格的な中性子散乱実験ができないこと、中性子散乱実験はもとより、散乱装置に習熟した若手育成ができないなど、深刻な影響を与えている。5年にも及ぶ長期停止により、中性子散乱を全く知らないで学位取得となる学生ばかりとなっている。さらに、装置の高度化ができないだけでなく、装置維持についても深刻な影響がでている。

- ・私自身、研究用原子炉の装置を使用して、学位論文の研究を行った。J-PARCの装置を用いて学生の実験を行うことは出来るが、J-PARCは世界最高の中性子フラックスを誇る事から、課題申請の倍率が高く、学生の研究を途切れなく進めることが難しいと感じている。JRR-3が稼働すれば、学生により多くの実験する機会を提供することが出来、将来の中性子散乱研究者（大学、民間を問わず）を育成する上で重要な

役割を果たすと思われるが、長期停止した場合にはそのような人材の輩出が滞る恐れがあると思われる。

- ・原子炉に設置されている分光器は、実験者が主体的に手を加えることのできる部分が多く、学生の教育には適している。このような分光器が日本国内で使用できていないため、人材育成には大きな負の影響が出ている。

- ・JRR-3 が停止して 5 年が経過し、修士課程と博士課程を合わせた在学期間と同じ年数となったため、国内研究炉をまったく使わない学位取得者が輩出されてきている。放射光や加速器中性子、さらには海外での研究を多用しているが、JRR-3 で行うことができた試行錯誤を繰り返しながら実験を進める（自身で装置を調整・製作するなど）という教育の場を確保できていない。また長期間大学を離れる遠距離出張は困難となっているので、中性子散乱をメインに研究教育を継続するのは厳しい状況にある。周囲には中性子利用者でありながら、中性子を用いないテーマでの教育にシフトしている人も見受けられる。

- ・他者の研究と差別化できるデータが取れず学生の教育に影響している。

- ・初めて中性子回折実験に取り組む方（学生）に対して、中性子回折法による結晶構造解析が理解しにくくなったと思われます。

- ・研究用原子炉の長期停止は研究活動の停滞に直結するため、学会発表および学術論文等による社会貢献を減少させている。また、学生が大型実験施設を利用した実験を経験する貴重な機会を減らすことになる。原子炉を中性子源とした装置は構成がシンプルでわかりやすく、測定方法への理解を深めるという点でも学生への教育的効果は高い。

- ・JRR-3 では東京大学による全国大学共同利用において多くの学生が利用し、これまで 230 件ほどの学位論文に寄与してきたが、これが停滞している。

- ・日本国内において中性子を用いた物質科学研究を行える場が J-PARC に限定されており、学生の教育を含む人材育成のためのビームタイム確保が難しくなっている。これまでに蓄積された高度なノウハウが継承されない事態が懸念される。

- ・学生の学位論文のテーマとして設定することは全く不可能になります。

- ・現在利用している原子炉が長期停止すると学生に中性子散乱実験を経験させる機会がなくなってしまう、今後の中性子散乱研究を支えていく若手の人材を育てられなくなると考えられる。

- ・2011 年 4 月に学部 4 年生で卒業研究生として指導を始め、2016 年度に博士課程を修了予定で、そのまま中性子科学の分野で研究を続ける予定の学生が 1 名いますが、一度も JRR-3 に立ち入ったことがない状態であるのは人材育成の観点からは憂慮すべき状況であると思いますし、今後も停止が続くことがあれば、定常炉からの中性子ビームを活用できる研究者世代に確実な空白領域ができ、我が国における中性子科学の発展に重大なダメージを与えることは明らかなです。

- ・学生の研究幅が狭まった。

- ・国内であれば、原子炉での実験は失敗してもビームタイムを補充できるが、海外であれば補填がきかない。余裕のない状況で実験をするのは学生にとって教育上良くない。

- ・学生に中性子散乱実験の十分な経験を積ませることが難しい。とくに、装置についての知見は一度実験しただけでは得られないことが多く、数多く経験を積ませることが、スペシャリストを育てることになる。
- ・博士課程の大学院生や、博士研究員に研究上のビームタイムを十分に経験させ、中性子散乱実験の専門家としての十分な知識やスキルを持った人材として育てる事が、困難となっている。
- ・研究炉の長期停止の間には、従来の人材育成や産業利用の社会貢献の方向性を変えることがあった。
- ・院生自身に責任無い理由での研究テーマの変更や学位獲得の遅れなどは実際に起こったことである。これにより関連分野の研究者や専門家の育成に大きな穴ができてしまったのではないか。日本の科学にとっての損失も少なからずあったと考える。
- ・研究用原子炉が長期停止したことで、その間の学生・大学院生は、原子炉やそこから得られる中性子ビームを利用した実験の機会が著しく限られたまま卒業・修了してしまった。また、中性子利用の経験が少ない研究者に対しても、施設利用の敷居はいっそう高くなってしまった。このような状況では研究用原子炉が関連する分野を支え発展させるための人材は当然育たなくなる。
- ・学生に中性子散乱測定を中心としたテーマを与え難くなった。
- ・現在は海外施設を中心に研究をしているが、マシンタイムの確保、旅費、時間、労力の点で、極めて効率が悪く、全ての学生のテーマを中性子散乱中心にすることはできなくなった。かなりの学生が SPring-8 や研究室内の X 線装置を用いて研究を行い、学位を取得している。

KUR (7 件)

- ・卒論・修論研究のテーマとして、数値解析を主とした研究内容に変更せざるを得ず、原子炉物理実験に関連した研究テーマを実施することが不可能となった。名古屋大学では、平成 26, 27 年度に慶熙大学校原子炉 (AGN-201K) を利用した原子炉実験を実施させて頂く機会に恵まれ、原子力工学専攻の学部生・院生が臨界実験を実際に体験し学ぶことができた。しかし、今後そういった場が提供できなくなった場合、国内において原子炉物理実験を学んだ学生がいなくなることとなり、国内の人材(原子炉の運転管理に関わるような技術者/規制担当者、原子炉物理実験分野の若手研究者)が育成できなくなることを危惧している。
- ・データを取得できないので、学術論文として発表する際にも支障が出ている。そのため、博士課程への進学を躊躇するケースも発生している。
- ・これまで、博士論文や修士論文を含め多くの人材を出してきたが、その中で研究用原子炉利用は研究の根幹になることが非常に多かった。私の研究は、化学系でおおよそ原子炉とは関係ないように見えるが、物性研究で必要不可欠な技術である。すでに、実験が長期間できずにより、科研費を含めた研究が頓挫している状況である。人材育成は、化学分野の場合は他の部分でカバーせざるをえないと考えているが、研究用原子炉を通して普段身近ではないものから学生が多くのことを学び取っていることを、そばで目の当たりにしている。長期間停止した場合の影響は、このような観点から人材育成へ少なからず良くない方向に影響を与えていると考えている。

・上記研究の取りやめは、学生に対し特に深刻な影響を及ぼしている。核燃料を扱う極めて高度な実験技術修得の機会を減じ、大学での基礎研究に不可欠な学生相互の知見継承を断ち切る結果となった。福島原発の安全な廃炉に高い志を持って入学した学生にとっての希少な教育環境を奪う結果となっている。

・分析手法は時代によって変化するが、教育的にはその分析の歴史を理解する事が、かつて報告されたデータを理解し、自分の研究に行かすために必要である。しかし原子炉が止まっているため、その技術を学生に伝える事ができない点が問題だと感じている。

・研究ノウハウの伝承ができなくなったため、リカバリーに時間を要する。学生への教育の観点からも影響が大きい。せつかくの研究機会を逃して卒業する学生が出た。学生のアイデアを研究に生かすことなく卒業せざるをえなくなった。

・これまでは、研究用原子炉を所有する機関において実施している実習プログラムに本学所属学生を積極的に送り込んできていたが、近年の長期停止に伴い、そのようなプログラムに参加させることが出来なくなり、学生にとって原子炉を間近に触れて勉強する機会が失われた。とりわけ、炉物理分野に関しては、座学での理論を実習にて体験する機会が失われたことは、原子力人材育成の面で大きな損失であると憂えている。また、今年度行われる予定の実習プログラムの募集を現在行っているところであるが、前年度に参加した学生の数が極めて少ないことも影響してか、参加希望者が少なく、実習プログラムへの参加意欲が減退している様子が現に見受けられる。

UTR-KINKI (2 件)

・UTR-KINKI を使用した原子力専攻学部学生の原子炉実習を通して、机上の学習からは得ることはできない体験学習の貴重な場となっている。今後の原子力（原子力政策の如何によらず）分野での技術者育成と確保は国家的にも極めて重要な事柄であり、そのような観点から生の原子炉に触れる体験学習の場が途絶えることは望ましいことではない。

・原子力に関する国の今後の施策のいかんによらず、廃炉のためであっても、原子炉の仕組みを理解することは必要である。KUCA、UTR-KINKI を用いた学生実験は、座学の講義や教科書で学ぶより、はるかに教育効果が大きかった。

NCA (1 件)

・NCA ではこれまで、学生を受け入れ、人材育成教育を行ってきた。臨界実験ができないことで学生教育の質の低下が懸念される。

海外施設 (2 件)

・国内での実験であれば学生を帯同しやすいが、海外施設の利用であれば帯同人数は制限される。このため、学生の教育の面で影響がある。

・海外での実験が中心となっているので、旅費の関係上、実験へ同行できる学生・研究員の数に大きな制限があり、研究室内では中性子実験をせずに卒業する学生もいる。

JRR-3 (17 件)

- ・人材育成の面から研究炉が使えなくなると、産業利用ができなくなるので製品開発が遅れてしまう。
- ・企業との共同研究により、産業利用としての成果創出を目指しているが大きな歯止めが掛かった状態にある。また、いつ稼働するのかの見込みが読めないため、具体的な計画が立てにくく困惑している。
- ・弊社は 2000 年より原子力研究開発機構から技術継承を受けラジオアイソトープの製造・頒布を行っています。研究炉や材料試験炉が稼働しないと外国の研究炉等を利用しないとなりません。ラジオアイソトープの安定的な供給の部分では支障があると考えます。停止前と停止後の供給量を比べると半分くらいになりユーザー離れに繋がっています。またラジオアイソトープの製造技術や取扱いについても使用頻度が少ないため人材育成の部分でも影響があります。
- ・研究炉 (JRR-3, JMTR) の長期停止により、それまで製造・供給されていた Ir-192 などの R I 製品が、海外からの輸入に頼らざるを得ないでいる。Mo-99 などの医薬品を含む R I 製品の国産化の開発が進まないでいる。今後の新製品開発に関して、我が国は加速器製造限定の制約を受けることとなる。
- ・中性子ラジオグラフィの産業利用を図ってきたが、中断されている。
- ・人材育成の面から研究炉が使えなくなると、産業利用ができなくなるので製品開発が遅れてしまう。
- ・J-PARC が稼働していれば、研究用原子炉の長期停止は産業利用にはほとんど影響がないと思われる。
- ・パルス中性子を用いるよりも比較的安価な定常中性子利用は産業界にとってとりつきやすいものであるため、一部の企業は JRR-3 の長期停止のため中性子利用を断念しているようである。
- ・中性子の利用者が減少することで、人材育成が難しくなり、産業利用にもつながらない。
- ・半導体開発では、基板に含まれる不純物の低減は高品質化に向け重要である。放射化分析は微量不純物の定量に優れた手法であり、原子炉が使用できないと研究の推進に支障がでる。また、自身は携わっていないが、Si 系の半導体中に不純物添加は原子炉が必要であり、半導体産業 (パワーエレクトロニクス) やその応用先の自動車産業に影響が出るのではと予想します。
- ・企業との共同研究契約の破棄等が発生。成果創出の困難化によって、研究資金・人的資源の獲得が困難化するとともに、産業界に対する求心力を喪失、→成果創出がさらに困難化するという悪循環。
- ・長期停止する以前は産業界より多くの利用があったが、震災以降そのほとんどが中性子利用研究から離れている。
- ・産業利用に関しても、J-PARC だけでは需要や新しい挑戦を受けきれず、海外に流出している状況であり、国内に優れたインフラを有していることの優位性が活かされていない。

- ・研究炉の長期停止の間には、従来の人材育成や産業利用の社会貢献の方向性を変えることがあった。
- ・産業界の方との中性子散乱を軸とした共同研究がほとんどなくなった。
- ・社内での人材育成は困難であり、研究開発に中性子を利用するというアイデアも出なくなる。
- ・現在、電力業界はスマート社会を目指して変革の時代にある。半導体はその主要な要素を担うハード材料であり増々の需要が期待される。NTD シリコンは高性能ディスクリット部品として電力用に供されていることからメーカーでも再稼動を待ちこがれている状態にある。しかしながらメーカーとしては SiC や GaN 等のパワー半導体の開発を継続しつつ、海外の照射炉の供給で急場を賄っている。

KUR (4 件)

- ・現在研究開発しておりますベーパーチャンバーは世界的な水準で見た場合にも大変性能が高く、研究開発の推進は、国内の様々な産業に対して大きな貢献を出来ると考えております。従いまして、研究用原子炉が長期停止状況にありますと、研究開発に対して重大な障害となり、海外の当該分野研究に対して立ち遅れが生じる懸念があり、ひいては、国内産業の国際的な競争力を低下させる要因になると考えます。
- ・DLC (ダイヤモンドライクカーボン) 膜は年間 100 億円の市場規模を持つ産業分野であり、日本が世界をリードする数少ない産業素材の一つである。日本の DLC メーカーの優位を保つために、経産省においても、戦略的国際標準化加速事業を用いて、日本の研究者が中心となって国際標準規格 (ISO 規格) の制定をするべく精力的に支援している。この結果、これまでに剥離試験と分類法に関して、ISO/TC107 に提案を行う成果となっている。DLC 膜の自由体積は、DLC 膜に残された大きな構造因子であり、このデータ把握は次の ISO 規格制定、さらには日本の DLC 産業にとって大きな貢献が期待されているが、原子炉の停止により、進捗が遅れている。データ取得が遅れた場合、ドイツ・イギリス・中国・韓国などに主導権を握られる可能性があり、一刻も早い再開が待たれる。
- ・上記大型プロジェクトは、鉱石試料を対象とした分析を産業化することを目指しており、このプロジェクトに乗り遅れたことで、放射化分析を利用した分析法を民間利用に供する重要なチャンスを逸するおそれがある。
- ・産業利用としては、安全性の高度化や廃炉技術の開発に影響が現れている。

人材育成や産業利用に与える影響【e】中性子散乱】(1 件)

JRR-3 (1 件)

- ・無機化合物の結晶構造の決定には実験室系では X 線回折が一般に良く用いられており、我々の研究グループでも大学院生および学部学生は X 線回折により、結晶中における回折現象を理解し、結晶構造の決定に取り組んでいる。しかし、これに加えて中性子回折実験を行うことで、結晶構造のみならず磁気構造の決定にも取り組むことができ、より一層回折現象への理解を深めるのみならず、磁性現象への議論を掘り下げることが可能となる。しかし、研究用原子炉が長期停止していることで、大学院生達が自分たちの研究成果について議論を掘り下げることができないばかり

か、先輩達の研究テーマを引き継いでいる場合には継続性も失われ、かつ議論の質も損なわれている。

人材育成や産業利用に与える影響【f）中性子ラジオグラフィ】（1 件）
KUR（1 件） ・中性子ラジオグラフィによる着霜の研究は、着霜低減、除霜時冷凍機無停止運転などの産業分野に応用される研究成果を生み出すことができるツールである。空調冷凍機器に与えている着霜によるエネルギー効率の低下を、大幅改善できる研究成果をもたらす可能性があったと言える。

人材育成や産業利用に与える影響【g）即発γ線】
無し

人材育成や産業利用に与える影響【h）放射化分析】（1 件）
JRR-3 ・中性子放射化分析法のスキルの伝達が中断されているため、国際学会に参加しても、日本からの参加者はほとんど見られない。

人材育成や産業利用に与える影響【i）測定器・測定技術の開発】（1 件）
JMTR（1 件） ・今後予定している福島デブリの再臨界計測センサ（TIP 配管から挿入できる SPND、SPGD）の出力特性の確認が出来ないので、やめるしかない。

人材育成や産業利用に与える影響【j）中性子分光法の開発】
無し

人材育成や産業利用に与える影響【k）照射実験】
無し

人材育成や産業利用に与える影響【l）RI 製造】（1 件）
JRR-3（1 件） ・これまで培ってきた技術が、日本で生かされることなく海外に流出していく。核医学で最も利用頻度が高いテクネチウムの供給問題については、2008 年から今なお世界的課題となっていますが、日本では 2013 年の KUR での小規模製造試験を最後に、実用化に向けた研究開発はなされていないのが現状。人材については、技術継承がなされない、研究が衰退する、学生の受け皿がなくなる、魅力がなくなる、の負の連鎖反応が既に始まっており、日本における将来の原子力産業は危機的状況になりつつある。

人材育成や産業利用に与える影響【m】原子炉安全研究】（1 件）
JMTR（1 件） ・安全性の更なる高度化に限定し、要素技術の開発を行っているものの、経済性向上に資する材料開発等、研究用原子炉を用いて実現可能な研究開発が滞っている状況は、新たな原子力発電施設建設における競争環境に対し、人材育成も含め、大きな影響がある。

人材育成や産業利用に与える影響【n】年代測定】（1 件）
JRR-3（1 件） ・中性子照射を利用した Ar-Ar ならびに I-Xe 年代測定は、地球惑星科学において最も重要な情報である時間軸を与える上で極めて有用な手法であり、また極微量ハロゲン分析は、地球に存在する水など揮発性物質の起源や挙動を探る上で将来の発展が大いに期待される手法であるが、いずれも希ガス同位体分析に高度な技術を要するため国内のみならず、世界的にも実施できる研究機関が限られている。この手法を習得した若手研究者を国内外に輩出し、技術を伝承することは当研究室の重大な責務であるが、研究用原子炉の停止以来、学生の研究テーマとして設定することを躊躇せざるを得ず、人材育成の面で重大な支障をきたしている。

人材育成や産業利用に与える影響【o】医療照射】（7 件）
KUR（7 件） ・がん治療をテーマに扱っているため、長期停止すると当該治療法の高度化研究の一端がストップすることになる。 ・長期に停止することで、中性子捕捉療法の分野では世界をリードしてきたわけだが、研究自身が後退していくだけでなく、他に治療法のない患者の駆け込み寺のような位置づけであるこの治療で救えたかもしれない命を考えると、原子炉の社会貢献に対して非常に大きな影響を与えていると言わざるをえない。 ・人命に関する影響は計り知れない ・中性子照射による新規治療法の確立が大きく遅れてしまう。 ・これまで目も向けられなかった中性子線を用いたがん治療法である BNCT に対し、強い関心が寄せられている。筑波大の陽子線センター内でも BNCT に関わる研究を希望する技師や医学物理士レジデント、生物研究者が急増している。しかし、KUR の長期停止がこれら興味を持つ学生や若い研究者の研究の場を奪う結果となっており、事実中性子源が確保できないので他分野を選んだ学生も少なくない。中性子線を用いた研究は、物理、工学、生物、化学と大変幅広く、本分野に関心を示す若い芽を摘まないためにも、研究用原子炉の早期稼働が急務である。 ・BNCT によるがん治療は、今年度からは第Ⅱ層臨床試験が始まった上、近年、多くの新聞やテレビメディアなどに取り上げられるなど、高い注目を集めている。このような BNCT に対する期待が高まる中、臨床試験の対象外となる症例のがん患者の唯一の受け皿となるのが研究用原子炉であるのが現状である。しかし、長期停止とな

っている現在、多くのがん患者が研究炉の再開を待たされている。また、このように注目が高まっている最中に、BNCT 用ホウ素薬剤の開発を始めとした BNCT の要素技術開発に関わる研究も非常に制限されてしまっており、これは大学などの研究機関における BNCT に関する技術者育成にも大きな悪影響を与えている。

- ・安全、かつ効果的な BNCT の開発が遅れ、BNCT の臨床応用に支障がきたされる。

人材育成や産業利用に与える影響【p】薬剤開発【1 件】

KUR（1 件）

- ・より効果の高い BNCT 薬剤の開発速度が低下する。

人材育成や産業利用に与える影響【q】細胞照射【1 件】

無し

人材育成や産業利用に与える影響【r】防災研究【1 件】

JRR-3（1 件）

- ・社会に影響を与えるような活動的火山の噴火史の解明（すなわち今後の活動予測にもつながる）や、資源探査及びその手法開発という社会に貢献できるプロジェクトの進行を著しく妨げている。

人材育成や産業利用に与える影響【s】高速炉開発【3 件】

常陽（3 件）

- ・常陽が長期停止する場合は、国内の高速炉開発において常陽に代わる実験炉を国際的に確保することが必要になりますが、高速炉開発の根幹をなす燃料・材料の照射試験データ等を自国で取得できなくなるため、我が国の高速炉開発は相当程度遅滞することになるのではないかと危惧されます。また、現行のエネルギー基本計画では、「米国や仏国等と国際協力を進めつつ、高速炉等の研究開発に取り組む」こととなっていますが、常陽が長期停止した場合は、高速炉開発関連の国際協力に支障をきたす恐れがあると考えられます。

- ・高速炉サイクルの実用化に向けて必要な基礎基盤データが蓄積できていない。
- ・国の研究開発機関として求められる研究成果を社会に還元できていない。