資料

展示教育のための原子炉施設の基本構想 —展示教育用原子炉の実現に向けての問題点—

村田 貴司^{*1}, 吉 舖 信 也^{*2}, 中川 晴 夫^{*3}

A Basic Plan of Micro Reactor for the Promotion of Nuclear Literacy Problems in Realization of the Reactor

By Takashi MURATA,
Nobuya YOSHIKI and Haruo NAKAGAWA

It is difficult for new sciences and big technologies such as life sciences, nuclear energy, biotechnology, etc. to achieve the appropriate public understanding. One of the issues is the lack of scientific literacy in the public. We propose a new type of nuclear reactor to prepare the opportunity for the public to be acquainted with the information and technology of the nuclear science and engineering. This reactor for interpretation is a symbolic facility adjacent to the scientific and technological museum.

Features of the interpretative reactor must be safety and openness. The safety is satisfied by the excess reactivity less than 0.5% $\Delta k/k$ and little burn up based on the thermal output less than 1 W.

KEYWORDS : school facilities, nuclear safety, educational facilities, training, scientific literacy, nuclear power, exhibits, education, science museum

I. はじめに

原子力や宇宙等巨大科学技術あるいは生命科学など先端科学の必要性やその安全性について適切な議論ができる環境を構築することは、これらの科学技術が一般社会において適切に位置付けられるために必須の条件であるが、一般社会人にとってこれらの科学技術に関する情報を入手し、それを理解することは必ずしも容易なことではない⁽¹⁾。

筆者の一人は、原子力の低迷を打破するために解決すべき産業界、一般社会、政府を含む各セクターの課題を提言した⁽²⁾。一般社会に関しては、原子炉が核分裂反応を安定に制御できる設備であり、原水爆と基本的に異なることを体験的に理解する機会を提供できる環境の整備が重要である。

これまでも原子力発電所の展示館や一部の試験研究炉を活用し、展示や体験実習の機会を設けて社会人への原子炉、放射線、放射能に関する知識、情報提供の努力がなされている⁽³⁾⁽⁴⁾。しかし、施設の数やアクセスの制約等から多くの人が持つ原子力に対する疑問の解消には必ずしも十分には至っていない。したがって、実物の原子炉による体験学習や専門科学技術者との直接の交流の場を設けることが

強く望まれるところであり、従来から、1 W クラスの極低出力の小型の試験研究炉等を活用したさまざまな努力が行われている。本報ではこうした活動を一層本格化するため、もっぱら展示教育の用に供することを目的とする原子炉を科学技術系博物館等に設置することを想定して、新たな観点から原子炉の仕様、構造とその実現性を検討する。

II. 展示教育用原子炉の具備すべき条件

展示教育用原子炉施設が満たすべき要件として、村田らは「高い展示教育効果」と「優れた安全性」を指摘しており、都市部に設置することが望ましいとしている⁽⁵⁾。これを実現するための要件を設定するには、以下について十分考慮することが必要である。

(1) 量的に高い展示教育効果を上げるには、炉心を含む原子炉施設全体を公開するほか、施設を対象とした各種計測の結果情報、運転状況に関する情報を始めとして、漏洩放射線、放出放射能などのデータを積極的に公開する手段を講じる必要がある。

一方、質的に高い展示教育効果を上げるには、見る、聞くだけではなく自ら体験することが有効であり、原子炉の臨界、出力調整などの運転操作を体験すること、漏洩放射線、環境放射線、体内放射能の計測等を体験できる手段を講じる必要がある。

(2) 展示教育用原子炉施設は都市部に設置し、高い展示教育効果と優れた安全性を追求し、その実現を目指すことから、発電用原子炉施設とは仕様、機器構成が異

^{*1} 京都大学エネルギー科学研究科 (Graduate School of Energy Sci., Kyoto Univ.)

^{*2} 財電力中央研究所 (Central Res. Inst. of Electr. Power Ind.)

^{*3} 日立製作所 (Hitachi, Ltd.)

(1999年 11月25日 受理), (2000年 10月18日 再受理)

なることはやむを得ない。したがって原子炉施設の理解を経て原子力発電へと理解を深めるためには、原子炉と原子力発電の間を補完する展示教育設備を有する展示教育用原子炉施設を目指した設計とする必要がある。

また、大都市部は人口が稠密であるが濃密な人間関係が形成されにくい一面も持ち合わせていることから、展示教育専用の原子炉施設として幅広い層の人々の参画を想定するためには、悪意のあるものに対する対策(サボタージュ対策)を考慮する必要がある。

III. 展示教育用原子炉の概要設計

原子炉等規制法第23条では、原子炉の工学的特性ではなく、その用途ないし開発段階上の位置付により、原子炉を4種類に区別している。そのうち今回新たに提案している「展示教育用原子炉」との関係では、「研究炉」(正式には試験研究の用に供する原子炉)との関係の整理が問題となる。すなわち同条第3号に規定する「研究炉」の規制の詳細は、同法の体系下にある「試験研究の用に供する原子炉等の設置、運転等に関する規則」(昭和32年12月9日総理府令第83号)により規制される。ところで原子炉等規制法では「試験研究」の規定はなく、この試験研究の内容については、原子炉等規制法が根拠とする「原子力基本法」によらねばならない。「原子力基本法」の第1条では、この法律の目的を原子力の「研究、開発」および「利用」としており、「原子力」とは「原子核変換の過程において原子核から放出されるすべての種類のエネルギーをいう」と定められていることから、これらを総合して解釈すると「研究炉」とは、「原子核変換の過程において原子核から放出されるすべての種類のエネルギーに関する試験、研究の用に供する原子炉」と定義付けることができる。一方、「展示教育用原子炉」は核エネルギーの試験、研究を研究目的としておらず、原子力「利用」についての理解促進、いわゆる教育活動のための補助手段として、展示教育の用に供する原子炉であり、その目的からして「研究炉」ではない。

しかしながら「展示教育用原子炉」は実物による教育効果を期待する「原子炉」であるところから、法規制上は原子炉等規制法の適用を受ける。「研究炉」の設置、運転に関する規則は総理府令第83号に定められているが、「展示教育用原子炉」の設置、運転に関する規則については、改めてこれを考える必要がある。具体的には現行の「研究炉」に適用されている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⁽⁶⁾に準拠することとなるが、同指針における出力による分類では低出力炉を500kW未満と区分しており、本報で提案するような極低出力炉に対する指針は見当たらない。

したがって極低出力炉に対して、現行の安全設計審査指針を準用するに当たって、工学的観点に立って低出力炉と極低出力炉を比較して極低出力炉の持つ安全余裕を抽出

し、これを社会的観点から評価し、安全設計審査指針の緩和に反映することとする。こうすることにより、展示教育のための原子炉に適した、より安心できる原子炉概念を構築することができる。本報では低出力炉としてもっとも多く採用されている100kWクラスの研究炉を取り上げ、これに対し1Wクラスの極低出力の研究炉との比較を行った上、この1Wクラスの極低出力研究炉に相当する原子炉を展示教育用原子炉のモデルとすることとした。

さらに、耐震重要度分類については、現行「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」が研究炉においても準用されているので、展示教育用原子炉に対しても同様に準用するとの考えに立って、発電用原子炉施設との直接の比較を試みた。

1. 主要仕様

展示教育用原子炉として、実験教育への活用、都市部設置の受容性の両立を図る観点から、主要項目の仕様を第1表のように設定した。

(1) 熱出力

従来より法令上位置付けられている試験研究用原子炉は、その目的に応じて熱出力数Wから数10MWのものまで存在する。本検討では、展示教育用という新しい概念に基づくものとして、1Wレベルの熱出力の極低出力原子炉を選定する。これは従来の試験研究用原子炉とは異なり、原子炉自体の機能を直接研究目的として活用することよりも、原子炉を見たり、直接触れることにより原子炉、ひいては原子力についての深い理解を得る機会を多くの人に提供するための施設を目的としている。その実現のためには、安全性はもとより、これに加えて立地の容易性を重点に基本概念を検討すべきと考えたものである。

熱出力その他第1表に示した展示教育用原子炉の概念の選定に当たり、熱出力1Wの極低出力試験研究炉と試験研究用原子炉として実例の多い100kWの試験研究用原子炉について比較した結果を第2表に示す。

熱出力を低く抑えることは、展示用として魅力的なチェレンコフ光が観察できない、また、展示とはいえ、教育目的に高い中性子束を利用できない等のデメリットがあるが、メリットとして、

- ・燃料の燃焼が少なく、燃料の交換あるいは追加の必要性が少ない
 - ・放射化による廃棄物の発生が少ない
 - ・燃料の燃焼が少ないため核分裂生成物の蓄積も少なく、想定される事故の規模も小さい
 - ・炉心の発熱量が少ないため、冷却系が不要
- などが考えられる。これらは、展示教育用原子炉として、運転管理の容易さ、立地に際しての地域の受容性を高めるなどの効果が期待できる。

(2) 余剰反応度

展示教育用原子炉としては、余剰反応度を少なくして事

第 1 表 展示教育用原子炉の仕様

項 目	仕 様	備 考
熱出力	最大 1 W	
余剰反応度	0.5% $\Delta k/k$ 以下	反応度の抑制を出力制御系, 高出力スクラム系により実現する。
炉心構成	非均質	臨界実験装置と同様に, 炉心燃料配置の組替えの届出は不要とする。
制御棒	電源喪失でも, ばね力, 重力等でスクラム 炉心容器と駆動機構を一体化し, 耐震性を向上 耐震クラス C	教育目的も兼ねて設置する。
燃 料	低濃縮二酸化ウランペレット棒状 燃料集合体	燃料入手の容易さ, 核不拡散抵抗性の観点から, 濃縮度は 20% 未満とする。
減速材	軽 水	—
冷却系	な し	自然放熱
原子炉	原子炉プールバウンダリーの耐震 クラス C	原子炉プール水が喪失して炉心部が露出した場合であっても, 燃料破損に至る恐れはない。
原子炉室	耐震クラス C	原子炉室が損傷し, 内部気体が外部放散した場合であっても, 立地指針の目安線量を満足する。
生体遮蔽	耐震クラス B 以下のクラス	生体遮蔽は指針上の要求は耐震クラス B であるが, 地震検知によるスクラム機能があり, 停止後の残留放射能レベルも低いため, 耐震クラスが問題となる設備ではない。 建築基準を満足する建物構築物にて, 遮蔽機能が満足される場合には耐震クラス C としてよい。
排気筒	な し	一般換気系の排気口を兼用, フィルタやモニタリング系は見学可能な形で設置する。
排水系	展示目的を兼ねて小規模の設備を設置	排水処理過程, モニタリング系を見学可能な形で設置する。
廃棄物処理設備	気体廃棄物処理設備は換気系との機器の共用を図る。 固体廃棄物処理設備は廃棄物保管用ドラム缶を準備する程度	1 W レベルの原子炉では, 放射化による廃棄物の発生は少なく, 必ずしも処理設備のすべてを設置する必要はない。

注: 耐震クラスの表示は「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」に準拠した耐震重要度分類案である。

第 2 表 熱出力 1 W 炉と 100 kW 炉の比較

評価項目	1 W 炉	100 kW 炉	備 考
チェレンコフ光の目視	不 可	可	室内照明を制限すれば数 10 kW から目視可能
燃料の補充	不 要	総装荷量の約 5%, ^{235}U で約 220 g	定格出力 $\times 5 \text{ h/日} \times 200 \text{ 日/年} \times 50 \text{ 年}$ を想定
冷却系	不 要	必 要	—
廃棄物	ほとんど発生しない。	運転中少量発生する。 解体時は炉心構造物, 生体遮蔽の一部が廃棄物になる。	—
実験への適用性	照射用, 分析用には制約が生じる。	試験研究用としては, ほぼ十分な出力。	
本質安全	各種反応度係数が負 炉心タンクが小型で, 100 kW 炉に比べ耐震を含めた対策可能性が大	各種反応度係数が負	—
建設コスト	極低出力炉という, 新たな指針上の分類ができて規制緩和されれば, コスト低減, 開放性の向上が期待できる。	冷却系, 廃棄物処理系等の設置および建屋が大型化	

故ポテンシャルを極限まで低いものとすることは重要である。

展示教育用原子炉では、1Wレベルの熱出力を想定しているため、燃焼による反応度の減少は無視できる。したがって、運転制御に必要な反応度を余剰反応度として持てばよいことになるが、極小に限定する。想定事故の規模を抑制するために、即発臨界の起こらない $0.5\% \Delta k/k$ 以下とする。

2. 構造

(1) 炉心

展示教育用原子炉概念の全体外観を第1図に示す。中央の格子板で区切った部分にて炉心格子を組み、炉心は燃料要素、制御棒および軽水減速材で構成する。炉心格子に挿入する反射体要素を含む全体炉心格子部分に対応して、これを内包する容器を設け、減速材はこの容器内部だけに注入する。減速材の使用量を削減し、純水製造装置や液体廃棄物処理装置の負荷を軽減するためである。その外周は黒鉛の反射体兼遮蔽体である。黒鉛反射体層を貫通する実験孔に対応する部分は反射体兼遮蔽体を要素分割して、必要に応じて黒鉛反射体層外表面と炉心との間の黒鉛層の厚さを変えられるようにする。

展示教育用原子炉の教育用実験面での利用を考えると、炉心構成の変更を容易にすることによって応用範囲の拡大が期待できる。炉心を 9×10 の格子に区切り、燃料要素と

反射体要素の組合せにより炉心形状を変更できる構造にする。格子部分に挿入する反射体要素は、燃料要素と同一の形状とし、炉心形状の変更時には格子内の任意の位置に挿入できる構造とする。制御棒は横方向から挿入することとし、上下2段、2ヵ所の計4本を設ける。安全棒2本、シム棒1本、調整棒1本の構成である。制御棒駆動機構は片側2台ずつ両面に配置しており、第1図では片側のみ表示している。格子部分の大きさは概略 $500 \times 500 \times 600$ mmの程度である。

(2) 燃料

試験研究用原子炉では、目的に応じて天然ウランから90%以上の高濃縮ウランまで種々利用されている。他方、展示教育用原子炉としては、発電用原子炉の設計思想を極力反映することで、発電用原子炉の概念理解に資することが望ましいと考え、発電炉用燃料に類似した低濃縮二酸化ウランペレットを被覆管に密封した棒状燃料集合体を選定する。濃縮度は発電用原子炉では数%であるが、展示教育用原子炉では炉心をコンパクトにするため10~20%とする。20%以下の低濃縮ウランを使用することは、核拡散防止の規制面から入手が容易であるというメリットもある。

(3) 付帯設備

付帯設備としては教育用のものと施設の運転管理用のものを用意する必要がある。

第1図 展示教育用原子炉鳥瞰図

(a) 教育用

展示教育の一貫として教育方法の開発のために実験を行うことを目的とし、これを可能とするための展示教育用施設である。

a) 実験孔

炉心から中性子線, γ 線等の放射線を取り出し、各種実験に利用するための設備である。使用時以外は遮蔽プラグをしておく。2本設置する。

b) 放射線計測設備

各種実験用として基本的な設備である。各種放射線検出器および γ 線エネルギー分析装置等を設置する。

(b) 施設運転管理用

施設の維持管理の目的を備えた設備であるが、これに加えて教育目的をも兼ねる。

a) 廃棄物処理設備

気体, 液体, 固体の廃棄物に対応するおのの処理設備を設ける。廃棄物処理系は展示教育としては重要な項目であり、原子炉に必要なとされる廃棄物処理機能を有する装置を一揃い設けて展示に供し、実際の原子力発電所におけるプロセスの理解に資することとする。

b) 放射線管理設備

個人被曝管理, 施設管理, 環境管理に対応する設備が必要である。展示教育目的を兼ねて十分な管理区域を設定するほか周辺監視区域も設定することとし、発電用原子炉と同等の方式を採用する。

IV. 展示教育用原子炉の安全性

展示教育用原子炉の異常事態に対する安全対策の基本方針は、本質安全化である。そのため試験研究用原子炉と同等の安全性に加えて、極低出力原子炉では必ずしも必要性を要求されない安全機能であっても、教育効果をより高めることを目的として、必要な設備には発電用原子炉と同等の機能を付加する。こうすることで、安全性に加えて人々の安心感をも確保する。

1. 異常事態の予防対策

異常事態が発生する可能性を十分に小さくすることを念頭に、次の方針で設計する。

(1) 事故・故障対策

試験研究用原子炉で想定される事故は、次の項目が代表的である。

- ・ 反応度投入
- ・ 燃料破損
- ・ 冷却材喪失：熱出力が大きな場合

展示教育用原子炉では、これらの事故に至るポテンシャルを極力低減するため、以下の方針で設計する。

(a) 余剰反応度は0.5% $\Delta k/k$ 以下

制御棒がすべて抜けてしまうような事態を考えても、即発臨界に至らない条件である。実験目的には制約が生じる

が、立地条件を緩和するには有効と考えられる。

(b) 低燃焼度

仮に製造上の欠陥等で燃料被覆が破損しても、核分裂生成物の放出量を抑制できる。

(c) 熱出力は1W以下

1Wレベルの極低出力の原子炉では冷却系は不要であり、冷却材喪失を心配する必要はない。減速材の軽水が漏出したとしても炉心の反応度が減少し原子炉は停止し、燃料が過熱し被覆管が破損することはない。漏水検知装置は安全に影響がないことから必須の装置ではない。

(d) 可動部品の低減

展示教育用原子炉では、制御棒駆動機構以外には可動部品を設けない設計とする。

(2) 地震・津波対策

(a) 地震対策

都市部の人口密集地域に展示教育用とはいえ、原子炉施設を建設する場合には、地震対策に万全を期すことを前提としない限り、地元自治体あるいは地域住民の同意を得ることは極めて困難である。ここで、地震対策に万全を期すというのは、例えば以下の要件を満足することと等価である⁽⁷⁾。

1) 原子炉施設を構成する設備が、地震により機能喪失した場合でも、放射線による環境への影響を最小限に食い止めることが可能な原子炉仕様としておく。こうすることにより、発電用原子炉施設と同様な耐震設計審査指針に基づく安全審査が行われた場合であっても、重要な建物・構築物に対する岩盤支持要求等の立地上の特別な制約条件は回避できる可能性が大きい。参考までに、展示教育用原子炉に想定した熱出力1Wレベルの原子炉について耐震重要度分類を検討した結果を第1表に示す⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

2) 免震構造の採用により、原子炉施設を構成する設備を一般産業施設と同等の耐震設計とした場合でも、十分な耐震安全性が確保できるようにしておく。免震構造は兵庫県南部地震以後に広く一般建築物に採用されており、また海外では原子力発電所に採用された実績があり、さらに日本でも免震構造を取り入れた「再処理ユーティリティ施設」が建設予定である。こうすることにより、東京都地域防災計画に示される直下地震(マグニチュード7.2、震源深さ20~30km)に対する被害想定⁽¹⁰⁾が行われた場合であっても、放射能による有為な被害は発生せず、原子炉施設の被害も軽微に抑えることが期待できる。

(b) 津波対策

津波、高潮に対しては、原子炉建屋の基礎を高くすることで対応できる。

(3) 外部事象対策

異常事態に至る外部事象としては、停電とサボタージュを考える。

(a) 停電

制御室に設けた制御盤には、停電時、自動的に原子炉を停止するようインターロック回路を設ける。制御棒駆動機構は、ばね、重力等により、電源喪失時にも挿入できる機構とする。また、炉心出力監視系には後備電源を設ける。

(b) サボタージュ

制御室の占拠を想定して、非常用の制御盤を設置する。本来の制御盤と体験運転制御盤を、相互に停止機能に関してバックアップする構成とする。また、展示教育用原子炉では体験用制御盤を後備炉停止装置の一部とする。

2. 異常事態の規模と影響

熱出力と余剰反応度から考えて展示教育用原子炉に異常事態が発生した場合でも、その影響は小さいことは容易に想定できる。反応度投入と燃料破損の2種類の仮想事故について、展示教育用原子炉と同等の規模の試験研究用原子炉での解析例を第3, 4表に示す⁽¹¹⁾。

(1) 反応度投入の仮想事故

1W以下の熱出力、余剰反応度0.5% $\Delta k/k$ の条件では、全余剰反応度を投入したと仮定しても、燃料の破損には至らず放射性物質の放出はないとの結論である。

(2) 燃料破損の仮想事故

上記(1)の結果から、過熱による燃料破損は考えられないから、製造上の欠陥や取扱い中の事故による破損を想定する。この場合、燃料破損の規模をどう設定するか議論のあるところである。

製造時の欠陥の検査漏れや取扱い時の事故を想定する場合、炉心の全燃料が同時に破損することは考えられない。引用例では炉心に蓄積された核分裂生成物の1%に相当する放出量を想定している。結果は、周辺監視区域境界での

第3表 熱出力1W炉の仮想反応度事故解析例⁽¹¹⁾

項目	解析条件および結論	備考
投入反応度	0.5% $\Delta k/k$	原子炉出力に依存
最大出力	1.4MW	—
放出エネルギー	171MW-s	—
結論	燃料被覆管の破損は起こらず、放射性物質の放出はない	立地指針非居住区域のめやす 全身被曝：0.25Sv

第4表 熱出力1W炉の仮想燃料破損事故解析例⁽¹¹⁾

項目	解析条件および結果	備考
燃料破損規模	炉心内に蓄積した核分裂生成物全量の1%を放出	—
施設外への放出放射能	^{131}I 換算で $1.1 \times 10^9 \text{ Bq}$	—
結論	周辺監視区域境界で全身被曝：0.3μSv	立地指針の非居住区域のめやす 全身被曝：0.25Sv

被曝線量は1日の自然放射線量と比較しても低い値である。参考までに、第4表備考には立地審査指針の規制値を示す⁽¹²⁾。ただし、この値は10MW以上の原子炉に適用されるもので、10MW未満の場合は審査の参考値である。

V. 展示教育用原子炉を用いた教育方法等

1. 展示教育用実験

展示教育用原子炉は、第II章で述べた展示教育用原子炉の具備すべき条件を具体化した施設とすることに加えて、展示教育用実験を遂行できる施設とする必要がある。また、展示教育用実験の成果を用いて展示教育が行われるが、これには生徒の実験・計測実習や運転・保守実習からなる体験型学習も含まれる。

(1) 実験・計測

実験・計測は身近な物質中の環境放射能、環境放射線、体内放射能の測定、放出放射能のモニタリングなどを測定を中心に自然放射線の存在と自然放射線レベルを体験によって理解する機会を与えることに重点を置く。

(2) 運転・保守

原子炉運転体験、退避に関する知識・経験を通して原子炉の構造、特性を知り、安全性確保の仕組みへの理解を深める。また、原子炉の起動、停止等の運転体験を通して、核分裂反応が制御できる現象であることの理解を深める。このほか、廃棄物処理系、安全系の動作状況を展示したり、多重系の動作等の体験を通して、安全確保の機構の理解を深めることに重点をおく。

(3) 見学等

炉心見学窓、見学スタンドからの炉心・燃料要素の見学により、原子炉構造のイメージ構築を支援する。さらに、1Wレベルの極低出力の原子炉では直接原子力発電の仕組みを体感することはできないので、実プラント機器の展示やヒータ加熱の模擬燃料体による蒸気発生等の実験により、原子力・原子力発電の知識を深める身近な体験の場を提供する。

(4) 展示教育用実験

実験内容は、実際にこれらの業務に携わる人々によって決められる。1Wレベルの極低出力原子炉では、材料の耐放射線性試験のような高中性子束を必要とする実験はできないが、炉物理や放射線計測に関する実験には幅広く対応できると考えられる。第5表に、展示教育用実験内容の基本となる試験研究用原子炉での実験項目の一例を示す⁽¹³⁾。

2. 教育効果を高めるための工夫

第2, 3図に展示教育用原子炉の平面図と立面図を示す。原子炉建屋において全体構成を検討する上で以下の配慮を行う。

(1) 情報公開の観点から、展示室以外の原子炉室、制御室、放射線管理室、実験室、建屋外壁にも見学窓を設け、

第 2 図 展示教育用原子炉建屋の1階レイアウト

第 3 図 展示教育用原子炉建屋の縦方向レイアウト

第 5 表 試験研究用原子炉の実験項目例⁽¹³⁾

分野	実験項目	備考
原子炉物理・工学	原子炉特性測定 中性子束分布, 中性子エネルギー・スペクトル, 反応度, 熱出力	—
原子炉材料試験	核燃料物質の中性子照射特性試験 燃料被覆管材料の中性子照射特性試験	比較的高出力必要
放射化分析	生体試料中の微量元素分析 食品中の有害元素分析 半導体中の微量不純物分析 美術品の鑑定	放射化断面積の小さな 元素の分析には比較 的高出力必要
放射性同位元素の 製造とトレーサ実験	地下水, 河川水の流路と流量計測 摩耗, 潤滑, 拡散実験 薬物毒性等の動物実験 オートラジオグラフィ	非密封 RI の取扱い設 備が必要
非破壊検査	鋳物, 溶接部の欠陥検査	—
放射線利用計測	水分計, 密度計 液面計 厚さ計	—
放射線化学	水素添加, 酸化反応への放射線照射効果	比較的高出力必要
放射線物性	半導体, 金属の電気電導度に及ぼす放射線の影響 結晶格子に及ぼす放射線の影響	—
保健物理	緊急時の被曝線量の評価 身体汚染の測定, 除去	—
医療照射	脳腫瘍治療照射	比較的高出力必要
教育訓練および PA	原子炉運転, 管理 放射線管理 施設見学	教育訓練目的は研究 者, 設計者の養成 PA 目的は見学のみ

施設の構造や所員の活動状況を公開する。

- (2) 研修参加者以外の一般見学者も炉心を見学できる。
- (3) 制御室に隣接して運転体験制御室を設置し、研修参加者が原子炉の運転を体験できる施設を設ける。
- (4) 制御室および運転体験制御室に見学窓を設け、研修に参加しない一般見学者に原子炉運転状況を身近に見学する場を提供する。
- (5) 見学・展示のメインフロアとして、原子炉の真上に炉心を見学するための炉心見学窓を設置する。
- (6) 体験展示室, 体験展示コーナ, 発電炉機器展示コーナ等、主要な展示をこのフロアに集める。

VI. 考 察

展示教育用原子炉は出力レベルに限定して考えると、既存の臨界実験装置や1Wクラスの試験研究炉と同じ極低出力レベルの原子炉である。これは、原子炉等規制法による安全規制上では、反応度と出力の抑制で安全性を確保する極低出力のレベルの原子炉として取り扱われるであろう。原子炉の炉心構成の変更は、原子炉等規制法第30条によって、政令で定める原子炉以外は運転計画の届出が義務付けられている。この法令で例外が適用される原子炉は、同法施行令第11条で臨界実験装置を上げている。展示教育用原子炉では教育効果をより高めるために、現場で自主的に

炉心構成の変更が行えるようにすべきである。

したがって、ここで提案する展示教育用原子炉のような極低出力、低余剰反応度の原子炉については、従来の試験研究炉とは別の設計指針を定め、これを適用することが望まれる。また、社会学的な評価も含めて展示教育用という目的に適合する新たな設計指針も必要であろう。

1. 安全設計

展示教育用原子炉の設計にあたり安全設計のガイドラインは、現行の安全設計審査指針に準拠することになる。本安全設計審査指針は熱出力に応じて、低出力炉, 中出力炉, 高出力炉に区分して、適用することとしている。しかし、低出力炉でも、その定義は500kW未満であり、本報で検討した極低出力の展示教育用原子炉とは趣が異なる。例えば、現行の低出力炉では炉心冷却系は必須の設備であり、それに対する規制も当然必要である。展示教育用原子炉では1W以下の熱出力を想定しているが、この程度の熱出力では炉心冷却系は不要であるし、原子炉停止中の燃料の崩壊熱除去も問題にならない。このような極低出力の原子炉に、炉心冷却系の規制を適用することは、必ずしも合理的ではない。

一方、展示教育用原子炉として、中高校生から一般社会人まで、多くの人々を受け入れる観点から、体験運転中の

ヒューマンエラーや被曝線量の管理目標値等に関する施設の設計指針については、現状以上に厳しくする面も必要と考えられる。

展示教育用原子炉の安全性についての広い認知を得て、原子力に関する知識の習得と情報の発信源として、国内各所に設置するためには、安全設計審査指針の熱出力区分に炉心冷却系の不要な熱出力レベルの区分を新設し、展示教育用原子炉としての新たな観点からの合理的な規制が望まれる。

2. 放射線管理

現行労働基準法の規制では、18歳未満の青少年の職業被曝は認められていない。したがって研修や教育の場における被曝は、一時立入り者としての区分で扱われていることが多い。この場合の18歳以下の扱いは明確な法令上の規定がないことから、研修や教育目的で受け入れる施設側にも戸惑いがあり、現行施設の青少年への開放が進まない要因の一つと考えられる。

展示教育用原子炉を普及させ、一般社会人を始め、将来の原子力を担う青少年に興味ある体験の場を提供するために、展示教育に対応する放射線管理の規制を明確にすることは有用である。展示教育を提供する側、受ける側双方にルールを提示することで安心して展示教育を推進することが可能になると考えられる。

VII. 結 論

原子力活動に対するリテラシー涵養の一助とすることを目的に、展示教育用原子炉の都市部設置の実現性を検討し以下の結論を得た。

- (1) 余剰反応度と燃料の燃焼度を制限することで、本質的に安全な原子炉を設計できる。
- (2) 展示教育用原子炉を実現普及させるために、法律の適用に際し、展示教育用原子炉が相当する極低出力レ

ベルの出力区分を設け、新たな観点から安全設計審査指針、放射線管理等の規制体系を検討することが望まれる。

本報の作成に当たっては、京都大学エネルギー科学研究科神田啓治教授に詳細なご指導、ご助言をいただきました。本報を締めくくるに当たり、篤く感謝の意を表する次第です。

— 参 考 文 献 —

- (1) 長谷川真理子：“科学の目科学の心”，岩波新書，p.55 (1999)。
- (2) Murata, T: Recent developments in the peaceful use of nuclear energy in Japan and its social aspects, *Nucl. Energy*, 38, 185~188 (1999)。
- (3) 柴田俊一：体当たり学習のすすめ，*広領域教育*，36，14~23 (1994)。
- (4) 京大げんしろ実験教室，<http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/RUC/kyositu.htm>
- (5) 村田貴司，吉鋪信也，木根原良樹：展示教育のための原子炉施設の基本構想—展示教育用原子炉施設の必要性，*原子力誌*，42 [2]，145~150 (2000)。
- (6) 原子力安全委員会：水冷却型試験研究炉用原子炉施設に関する安全設計審査指針，(1991)。
- (7) 通商産業省資源エネルギー庁 公益事業部：地震、津波が発生した場合の安全性—万全な対策で安心を，(1995)。
- (8) 原子力安全委員会：発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針，(1981)。
- (9) 日本電気協会：原子力発電所耐震設計技術指針—重要度分類編，JEAG4601・補，(1984)。
- (10) 東京都：東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書，(1997)。
- (11) 近畿大学：近畿大学原子炉の原子炉設置変更許可申請書，(1973)。
- (12) 原子力安全委員会：原子炉立地審査指針およびその運用に関する判断のめやすについて，(1989)。
- (13) 藤井正昭：私信。