

## <概要>

試験研究用原子炉（以下「研究炉」という）は、発電用原子炉の熱利用とは異なり、核分裂連鎖反応で発生した多量の中性子を利用する原子炉である。中性子の利用は、多方面にわたっており、その利用の目的に対応した原子炉の構造、性能が求められ原子炉の型式も様々なものになる。最近の世界の研究炉の情勢をみると、旧型の原子炉は初期の目的を達成して閉鎖され、新しい研究目的に対応した高性能の原子炉が新たに建設されているものの研究炉全体の基数は減少傾向を示している。

## <更新年月>

2006年12月

## <本文>

### 1. はじめに

試験研究用原子炉（以下「研究炉」という）は、核分裂連鎖反応により発生した熱エネルギーを利用する発電用原子炉と異なり、核分裂連鎖反応で発生した中性子を基礎研究から工学的応用研究までの広い分野にわたって実験・研究等に利用する原子炉である。このため研究炉は、使用の目的に応じた様々の型式があり、その性能も様々である。例えば、原子炉構造材料の照射損傷などを研究することを目的とした材料試験炉の場合は、特に高い中性子束が得られるよう工夫した炉が作られ、出力も大きくなる。ビーム実験に用いる事を目的とするビーム炉の場合は、中性子束が高いことはもちろん、中性子線へのγ線の混入率やスペクトル等その線質が重要視される。また、照射研究やビーム実験、RI製造等多目的に使われる研究炉の場合は、炉心部分へのアクセスを重視した型式の炉が多く見られる。このように研究炉は、様々な目的に応じた様々な型式がある。

世界中の研究炉の数は、IAEAの統計資料（2001年5月）等によると、58か国で284基が稼働しており、このうちわが国の研究炉（臨界実験装置は除く）は、現在10基稼働し、5基が解体中である。研究炉は1960年代に世界各国で盛んに建設されたが、1970年代以降急速に建設数が落ち込み、1980年代では39基、1990年代にはわずか23基しか建設されていない。逆に永久停止の措置を施す、あるいは解体に向かう原子炉は1970年代には約100基、1980年代には93基あり、建設数を上まわっている。このため研究炉の総数は減少の傾向にある（図1 参照）。今後は、高い中性子束を持つ炉や医療照射や冷中性子源設備を有する炉等、高性能で高度な利用設備を有する特徴ある研究炉がニーズに応じていくものと思われる。

### 2. 現在稼働中の主な研究炉

世界の研究炉のうち、米国およびカナダの北米地域には、稼働中の研究炉が61基あり、世界の研究炉の約22%を占めている。また、東西ヨーロッパには稼働中の研究炉が125基あり、世界の稼働中の研究炉の45%以上を占めており、欧米諸国で世界の研究炉の70%弱を占めていることになる。これらの研究炉の中で、代表的な高中性子束炉としては米国のオークリッジ国立研究所にあるHFIR（High Flux Isotope Reactor）がある（図2 参照）。インボリュート型と呼ばれる断面が渦巻の形状をした板状燃料を使用するコンパクトな炉心により最大熱中性子束 $2.1\text{E}15\text{n/c m}2\cdot\text{s}$ 、最大高速中性子束 $1\text{E}15\text{n/c m}2\cdot\text{s}$ を得ることができ、RIの製造、超ウラン元素の製造、ビーム実験等に利用され、多くの成果をあげてきた世界で最高性能の中性子照射炉である。1960年代に建設された古い原子炉であり、現在は最高出力を100MWから85MWに下げて運転しているものの、最近では冷中性子源装置の取り付けが計画されるなど、この原子炉に寄せる期待は依然として大きい。

HFIRと同様のインボリュート型燃料を使用するHFR（High Flux Reactor）は仏国のグルノーブルにあり、炉心部は重水減速重水冷却のタンク型でこの炉心部をプール中に設置するいわゆるタンク・プール型炉である。出力は58.3MWではあるが、最大熱中性子束は $1.3\text{E}15\text{n}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$ で、こちらは後述のORPHEEと同様の、世界で最高性能の中性子ビーム実験主体の研究炉である。この他ヨーロッパではオランダにあるHFR-PETTENが、ヨーロッパ諸国の共同研究の照射炉として活躍をしている（図3参照）。この炉は、MTR型の板状燃料を33体使用して炉心を構成し、軽水減速冷却型のタンク型炉であり、熱出力45MW、最大熱中性子束 $2.7\text{E}14\text{n}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$ の性能を誇っている。多目的な材料照射に対応できる材料試験用原子炉（表1-1および表1-2参照）として、**軽水炉**を支える基盤施設として位置づけられる。最近ヨーロッパ地区の医療照射炉としても利用されており、照射設備の設置を終了し、すでに**脳腫瘍**の照射を開始している。医療照射を行っている研究炉では既存の医療照射設備を改良し、新たに医療照射に取り組んでいる米国のMITR-2がある（図4参照）。熱出力は、現在4.9MWの**タンク型原子炉**で最大熱中性子束は、 $7\text{E}13\text{n}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$ で、ボストン市内の大学（MIT）構内にある利便性とも相まって多くの研究者に利用されている。

最近建設される研究炉の数が少ないが、1980年代に建設された仏国のORPHEEは軽水減速、冷却のプール型炉で炉心の周囲に重水反射体を置き、炉心部周辺で高い熱中性子束が得られる構造となっている（図5参照）。この型式は、その後作られたわが国のJRR-3改造炉、インドネシアのRSG-GAS（MPR-30）や韓国のHANARO（KMPR）の設計にも取り入れられ、ビーム実験を主体とした多目的炉の標準的な形式ともいえる。ORPHEEは熱出力14MW、最大熱中性子束 $3\text{E}14\text{n}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$ の性能を誇り、9本の中性子導管を設置するほか、冷中性子源、高温中性子源の設備を持つ最新鋭のビーム炉として活躍している。

日本を除くアジア諸国の研究炉は約42基あり、このうちトリガ型の炉は6か国に7基存在する。この小出力炉は米国から導入され、原子力の基礎研究に使用されている。この型式の炉は、多目的に利用が可能なプール型であり、安全性も極めて高く、ウラン・ジルコニウムハイドライド燃料を使う等、取り扱いの容易さもあって世界中で広く使われている。近年は、出力の大きい多目的研究炉を建設する動きがあり、台湾では、**廃止措置**に入ったTPRを大幅に改造して使用する計画が進められている。インドネシアでは、熱出力30MWの多目的研究炉RSG-GAS（GASIWABESSY MPR）が1987年初臨界、RIの製造、中性子散乱等に利用されている。韓国では、NRU（カナダ）と同様の低濃縮棒状燃料を使用した高出力の研究炉**HANARO**（熱出力30MW、最大熱中性子束 $2\sim 3\text{E}14\text{n}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$ ）が1995年初臨界、中性子散乱、RIの製造等に利用されている（図6参照）。

これら稼働中の主な原子炉の性能等を表2に示す。

### 3. 停止した研究炉

前項にも述べたように世界の中では旧型の研究炉は次々と停止している。これらの中には世界の研究炉をリードしてきた大型の研究炉もある。また、新炉の計画が途中で中断された例もある。特に、米国では新たな研究炉の建設の計画は見当らず、近年HFIRに代わる高性能炉の建設が期待されたAdvanced Neutron Source（ANS）計画が中止となり、新たに**加速器**の建設計画が立ち上がるなどで研究炉の新設は当分の間なさそうである。英国では材料研究の照射炉として活躍した重水減速冷却タンク型のDIDOおよびPLUTOが1990年に停止し、仏国のSILOEも1997年に運転を終了した。アメリカのCP-5型原子炉は、JRR-2と同型の原子炉であり、小型で高性能の原子炉として日本にもなじみの深い原子炉であったが、JRR-2より一足早く1979年に停止し解体が始まっている。これら、運転が停止された研究炉の主な仕様を表3に示す。

### 4. 新設される研究炉

新たな研究炉の建設計画は世界各地にある。カナダではMAPLE型のMAPLE-1を建設中であり、2000年2月に臨界になっている。ロシアではPIKという熱出力100MW級の多目的研究炉を建設中であったが、工事は大分遅れており、完成迄には未だ時間はかかりそうである。独国では熱出力20MWのFRM-2は、2004年3月初臨界で、現在、運転中である。仏国では材料試験用原子炉であるOSIRISの後継炉として2014年の初臨界を目指して100MW級のジュールホロビッツ炉（JHR）の建設を計画している。タイ国OAEP（Office of Atomic Energy for Peace）では新しいサイトに熱出力5MWの多目的プール型の研究炉TRR-2を建設中である。これら計画中的の研究炉の主な仕様を表4に示す。

### 5. おわりに

以上のように研究炉全体の数は減っていくものの、世界的には、より高性能な研究炉に向けて新設計画あるいは改造が行われている。

今後、既設の研究炉の改造、あるいは高性能研究炉の新設等が進められ、研究炉から取り出される中性子ビームは、より質の高いものが供給されるようになる。これによって、例えば、医療

照射の拡充、超冷中性子源による新たな分子構造の解明の進展等、これ迄の利用範囲を超えた分野や、より高度な実験研究への応用が期待されている。

（前回更新：2002年9月）

---

### ＜関連タイトル＞

[わが国の試験研究用および開発中の原子炉一覧（2003年12月）（03-04-01-02）](#)

[ロシアの研究炉（03-04-09-02）](#)

[研究炉（08-01-03-05）](#)

---

### ＜参考文献＞

（1）IAEA（ed.）：Directory of Nuclear Reactors, Vol.2（1959）, Vol.3（1960）, Vol.5（1964）, IAEA

（2）IAEA（ed.）：Directory of Nuclear Research Reactors, （1995）および（1998）

（3）IAEA（ed.）：Nuclear Research Reactors in the World, Reference Data Series No.3, IAEA（1994）

（4）前田豊ほか：特集、研究用原子炉の現状と将来、日本原子力学会誌 38（11）、（1996）

（5）Argonne National Laboratory：20th Anniversary International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, Oct.5-10, 1997 Jackson Hole, Wyoming USA

（6）高柳政二：日本原子力研究所原子炉研修部門講義テキスト研究用原子炉（1997）

（7）Oak Ridge National Laboratory：A N Sパンフレット（1992）

（8）Kim H et al.：Design Characteristics and Startup Tests of HANARO-The Newly In-service Korean Research Reactor, J.Nucl.Sci.Technol., 33（7）, 527-538（1996）

（9）O.K.Harling.et.al：The New Fission Converter Based Epithermal Neutron Irradiation Facility At Mit, 8th Meeting of the International Group on Research Reactors, IGORR8, April 17-20, 2001, Germany（2001）

（10）REDUCED ENRICHMENT FOR RESEARCH AND TEST REACTORS:2000 International RERTR Meeting, 2000

（11）原子力安全委員会：原子力安全白書 平成13年度版、

（12）文部科学省ホームページ：原子力分野の研究開発に関する委員会（第16回）配布資料3-1（平成18年5月25日）我が国における材料試験用原子炉の役割とJMTRのあり方等に関する検討報告書（平成18年3月）JMTR利用検討委員会、

[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/shiryo/012/06061222/001.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/shiryo/012/06061222/001.htm)

---

# 表1-1 材料試験用原子炉の利用目的

原子炉名 項目	JMTR 日本	ATR アメリカ	HFIR アメリカ	HFR オランダ	HBWR ベルギー	BR-2 ベルギー	SM-2 ロシア
・ 現行軽水炉の寿命延長に関する研究	○	○		○	○	○	○
・ 軽水炉燃料の高性能化に関する研究 (MOX燃料の使用を含む高燃焼度化等)	○	○	○	○	○	○	○
・ 事故時等における軽水炉燃料の 挙動評価に関する研究	○		○	○	○	○	
・ 改良型軽水炉等の開発に関する研究					○	○	
・ その他							
-高温ガス炉、核融合炉	○	○	○	○	○	○	○
-アイソトープ (R1) の生産	○	○	○	○	○	○	○
-中性子散乱・中性子ラジオグラフィー			○	○	○	○	
-Si半導体の生産				○	○	○	
-BNCT (中性子捕捉療法)				○			

参考資料 Directory of Nuclear Research Reactors, IAEA, 1998

[出所]文部科学省:原子力分野の研究開発に関する委員会(第16回)配布資料3-1(平成18年5月25日)、  
我が国における材料試験用原子炉の役割とJMTRのあり方等に関する検討報告書(平成18年3月)  
JMTR利用検討委員会、[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/shiryo/012/06061222/001.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/shiryo/012/06061222/001.htm)



# 表1-2 材料試験用原子炉の状況

	JMTR	ATR	HFIR	HFR	HBWR	BR-2	SM-2
保有国 熱出力 初臨界年	日本 50 MW 1968年	アメリカ 250 MW 1967年	アメリカ 85 MW 1966年	オランダ 45 MW 1961年	ノルウェー 25 MW 1959年	ベルギー 100 MW 1961年	ロシア 100 MW 1961年
所有者	原子力 機構	USDOE	USDOE	European Commission	Institutt for energiteknikk	SCK/CEN	SRIAR
運転者 (運営者)	原子力 機構	INEL (BWXT)	ORNL (Battelle)	PETTEN (NRG)	Institutt for energiteknikk	SCK/CEN	SRIAR
改修計画等	6年毎に中性子反 射体を更新。	制御系、二次系等 を更新済。 9年毎に炉内構造 材を更新。 防漏バリアの高度化 を計画。	冷中性子源設置中 10年毎に中性子反 射体を更新。 20年以上運転予定。	圧力容器交換済。 低濃縮燃料炉心に変 更中。 新炉(PALLAS)計画あ り。	熱中性子束を増加さ せるための炉心改修済。 10年ごとに原子炉容器 の純化評価を実施。		



: 国等



: 国立研究所等



: 民間企業等

参考資料: <http://www.iaea.or.at/worldatom/rddb/>

[出所] 文部科学省: 原子力分野の研究開発に関する委員会(第16回)配布資料3-1(平成18年5月25日)、我が国における材料試験用原子炉の役割とJMTRのあり方等に関する検討報告書(平成18年3月) JMTR利用検討委員会、[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/shiryo/012/06061222/001.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/shiryo/012/06061222/001.htm)

表2 運転中の主な研究炉の主要目

研究炉名	国 名	炉 型	熱出力	中性子束 (n/cm <sup>2</sup> s)	主要利用目的	その他
MITR-II	米 国	軽水冷却減速重水反射体、 高濃縮ウラン、タンク型	5MW	熱 : $5 \times 10^{13}$ 高速: $1 \times 10^{14}$	基礎科学研究、 医療照射	1958年臨界 1976年改造
HFIR	米 国	軽水減速冷却、軽水及び ベリリウム反射体、 高濃縮ウラン、タンク型	85MW	熱 : $2.1 \times 10^{15}$ 高速: $1 \times 10^{15}$	基礎科学研究、 RI製造、 燃料・材料照射、	1965年臨界 1986年～1990年停止 1990年再開
GHFR	仏 国	重水減速重水冷却	57MW	熱 : $1.3 \times 10^{15}$ 高速: $5.0 \times 10^{14}$	基礎科学研究	1971年臨界
ORPHEE	仏 国	軽水減速冷却、重水反射体、 高濃縮ウラン、プール型	14MW	熱 : $3 \times 10^{14}$ 高速: $3 \times 10^{14}$	中性子科学研究、 RI製造	1980年臨界
HFR	オランダ	軽水減速冷却、 高濃縮ウラン	45MW	熱 : $2.7 \times 10^{14}$ 高速: $4.6 \times 10^{13}$	中性子科学研究、 RI製造、 医療照射	1961年臨界 1966年20MWから30MWへ 1970年30MWから45MWへ 1984年改造
DRHUVA	インド	重水減速重水冷却、 天然ウラン	100MW	熱 : $1.8 \times 10^{14}$ 高速: $4.5 \times 10^{13}$	基礎科学研究、 RI製造	1985年臨界
RSG-GAS (MPR30)	インドネシア	軽水減速冷却、低濃縮ウラン、 プール型	30MW	熱 : $5 \times 10^{14}$ 高速: $8.7 \times 10^{13}$	中性子ビーム実 験、 RI製 造	1987年臨界
HANARO (KMRR)	韓 国	低濃縮ウラン、プール型	30MW	熱 : $2 \times 10^{14}$ 高速: $1 \times 10^{14}$	基礎科学研究、 RI製造	1995年臨界

[出典] (1) IAEA(編): Nuclear Research Reactors in the World, Reference Data Series No.3, IAEA (1994)

(2) IAEA(編): Directory of Nuclear Research Reactors, IAEA (1995)

表3 運転停止した主な研究炉の主要目

研究炉名	国名	炉 型	熱出力	中性子束 (n/cm <sup>2</sup> s)	主要な利用目的	その他
CP-5	米国	重水減速冷却、軽水及びベリリウム反射体、高濃縮ウラン、タンク型	5MW	熱 : $1 \times 10^{14}$ 高速 : $5 \times 10^{13}$	中性子科学実験、 RI製造、 燃料照射、 材料照射	1954年2月臨界 1979年3月運転、停止、 解体中
DIDO	英国	重水冷却減速、黒鉛及び重水反射体、高濃縮ウラン、タンク型	10MW	熱 : $1.6 \times 10^{14}$ 高速 : $1.2 \times 10^{13}$	RI生産、 中性子科学実験、 材料照射、 燃料照射	1956年11月臨界 1990年3月運転、停止、 解体中
PLUTO	英国	重水冷却減速、黒鉛及び重水反射体、高濃縮ウラン、タンク型	10MW	熱 : $1.6 \times 10^{14}$ 高速 : $1.2 \times 10^{13}$	RI生産、 材料照射、 燃料照射	1957年10月臨界 1990年3月運転、停止、 解体中
SILOE	仏国	軽水冷却減速、ベリリウム及び軽水反射体、高濃縮ウラン、プール型	10MW	熱 : $9.5 \times 10^{13}$ 高速 : $1.4 \times 10^{14}$	中性子科学実験、 固体物理研究、 RI製造、 原子炉工学実験	1963年5月臨界 1997年12月運転、停止

[出典] (1) Directory of Nuclear Reactors, Vol. II (1959), Vol. V (1964), IAEA

(2) Nuclear Research Reactors in the World, Reference Data Series No.3, IAEA (1994)



## 表4 新設・計画中の研究炉の主要目

研究炉名	国名	炉型	熱出力	中性子即(n/cm <sup>2</sup> s)	主要利用目的	その他
PIK (建設中)	ロシア	軽水冷却減速、重水反射体 高濃縮ウラン、ツイスト ロッド型	100MW	熱 : $4 \times 10^{15}$ 高速: $5 \times 10^{14}$	中性子ビーム実験、 照射、高温・冷中性子 中性子ラップ	1976年建設開始 工事が遅延している
MAPLE-1 (建設中)	カナダ	軽水冷却・重水反射体 低濃縮ウラン、シリサイド フィン付棒状クラスタ	10MW	熱 : $2.6 \times 10^{14}$ 高速: $1.4 \times 10^{14}$	医療、工業用RI生産、 MAPLE炉設計の実証	1990年建設開始 運転開始後NRX炉は廃炉 の予定である
FRM-II (建設中)	ドイツ	軽水冷却減速、重水反射体 高濃縮ウラン、シリサイド 渦巻き板状	20MW	熱 : $8 \times 10^{14}$ 高速: 不明	中性子ビーム実験、 燃料・材料照射、 水平ビームチューブ、 垂直照射孔	運転日数:50日/サイクル 低濃縮ウランを使用した場 合も検討している。 FRM代替炉
MAPLE -MTR (計画中)	カナダ	軽水冷却減速、重水反射体 高濃縮ウラン、シリサイド、 フィン付棒状クラスタ	15MW	熱 : $1.4 \times 10^{14}$ 高速: $3 \times 10^{14}$	燃料・材料照射、 CANDU炉支援、 RI生産	NRU代替炉
JULES HOROWITS (計画中)	仏国	軽水冷却減速、軽水Be反射 体、低濃縮ウラン、シリサイ ド、円筒型板状	100MW	熱 : $7 \times 10^{14}$ 高速: $8 \times 10^{14}$	燃料・材料照射	西暦2005年完成予定 運転日数:28日/サイクル 9サイクル/年
ONRC (計画中)	タイ国	軽水冷却減速、重水反射体 低濃縮ウラン 棒状クラスタ	10MW	熱 : $1 \times 10^{14}$ 以上 高速: $1 \times 10^{18}$ 以上	RI生産、 中性子ビーム実験、 照射	タイ国OAEPIによる設計書 の審査が開始された
ANS (計画中止)	米国	重水冷却減速、低濃縮ウラ ン、インポリュート燃料タンク プール型	330MW	熱 : $1 \times 10^{15}$ 高速: $1 \times 10^{15}$	RI生産、燃料・材料 照射、中性子ビーム 実験	1995年計画が中止となる

(注)下記の出典より作成した。

[出典]1)Argonne National Laboratory:20th Anniversary International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, Oct.5-10,1997 Jackson Hole, Wyoming USA

2)International Group on Research Reactors:IGORR NEWS,No.15,April,2002

3)Atomic Energy of Canada Limited:<http://www.aec.ca/index.asp>



(基数)

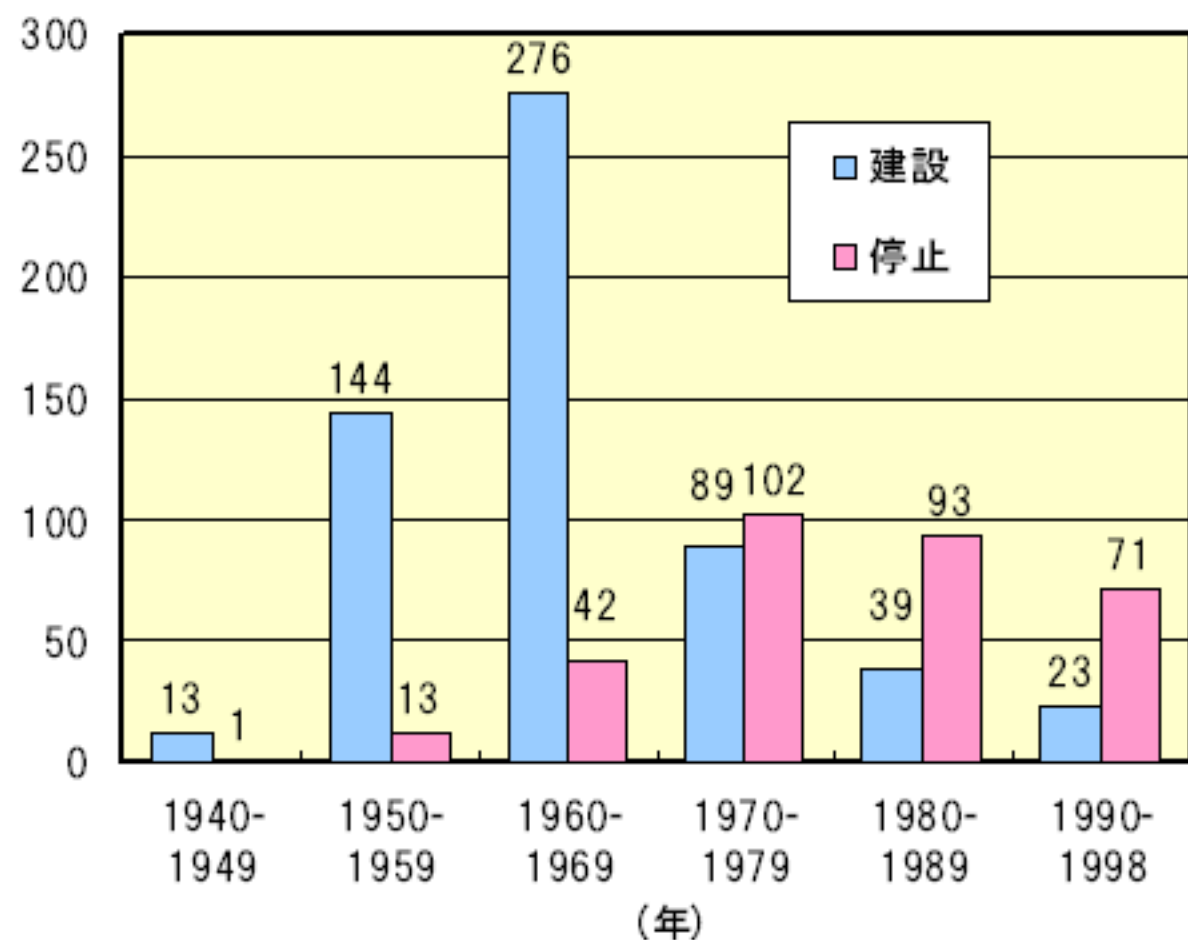
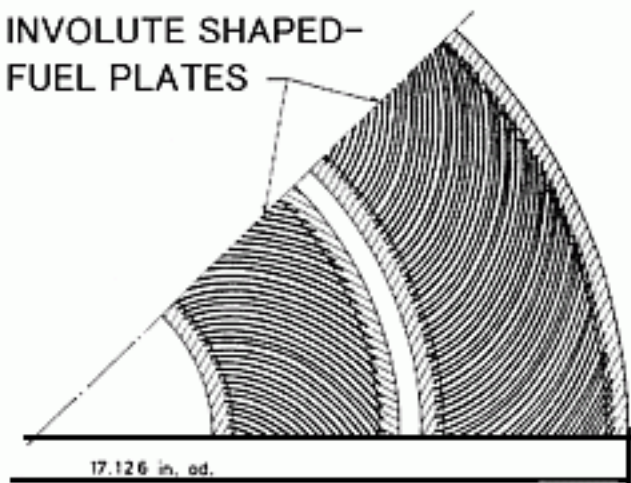


図1 建設および停止した研究炉の推移

[出典]IAEA(ed.):Directory of Nuclear Research Reactors,  
(1998)、p.751

INVOLUTE SHAPED-  
FUEL PLATES



CORE ASSEMBLY (炉心燃料集合体)

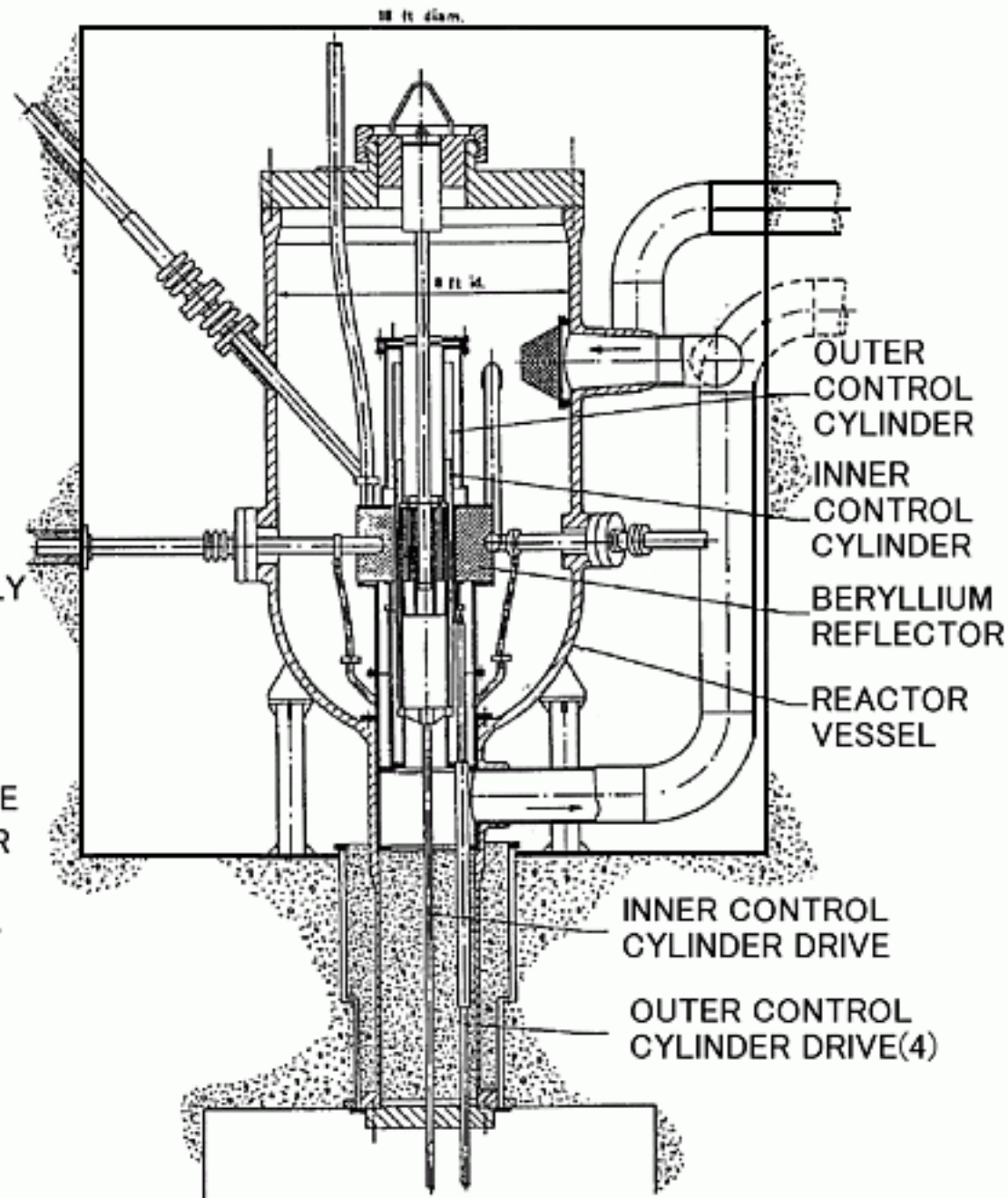
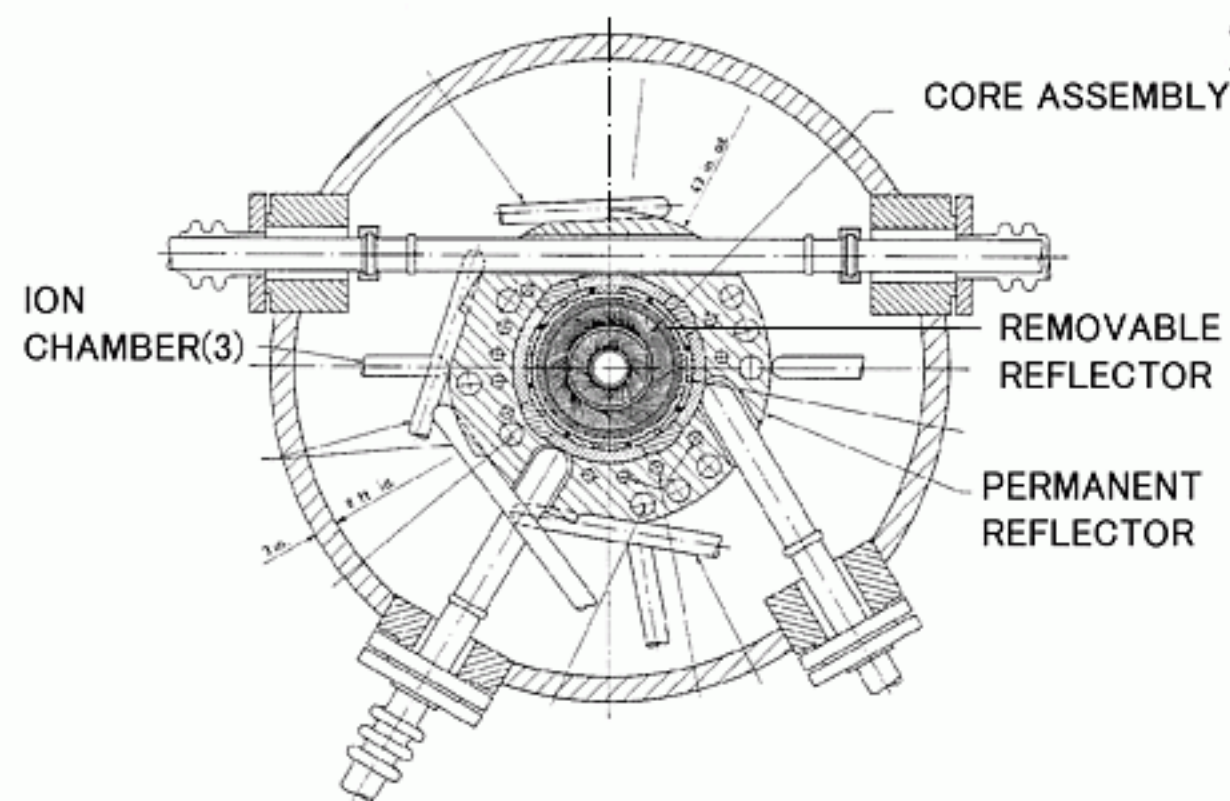


図2 HFIR概要図

[出典] Oak Ridge National Laboratory: High Flux Isotope Reactor, p.6-7(July,1991)

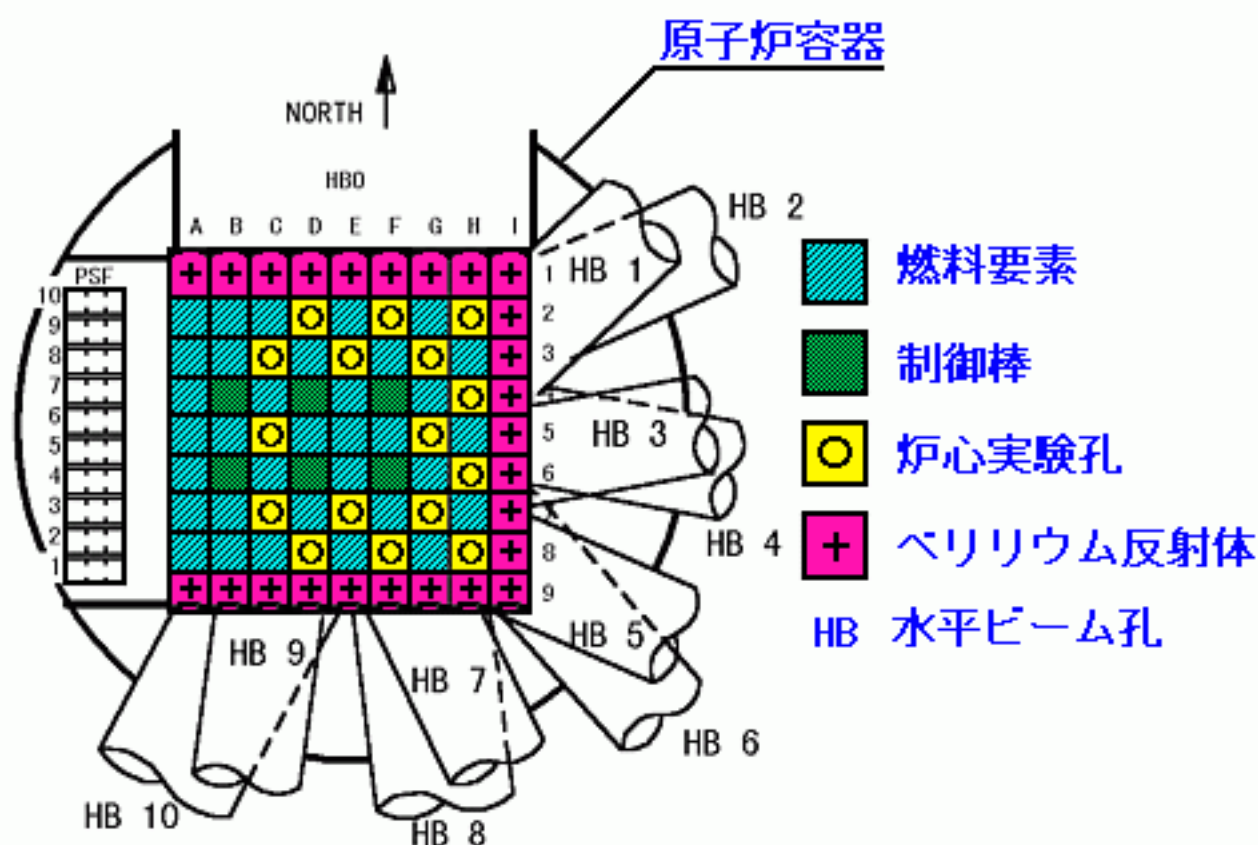
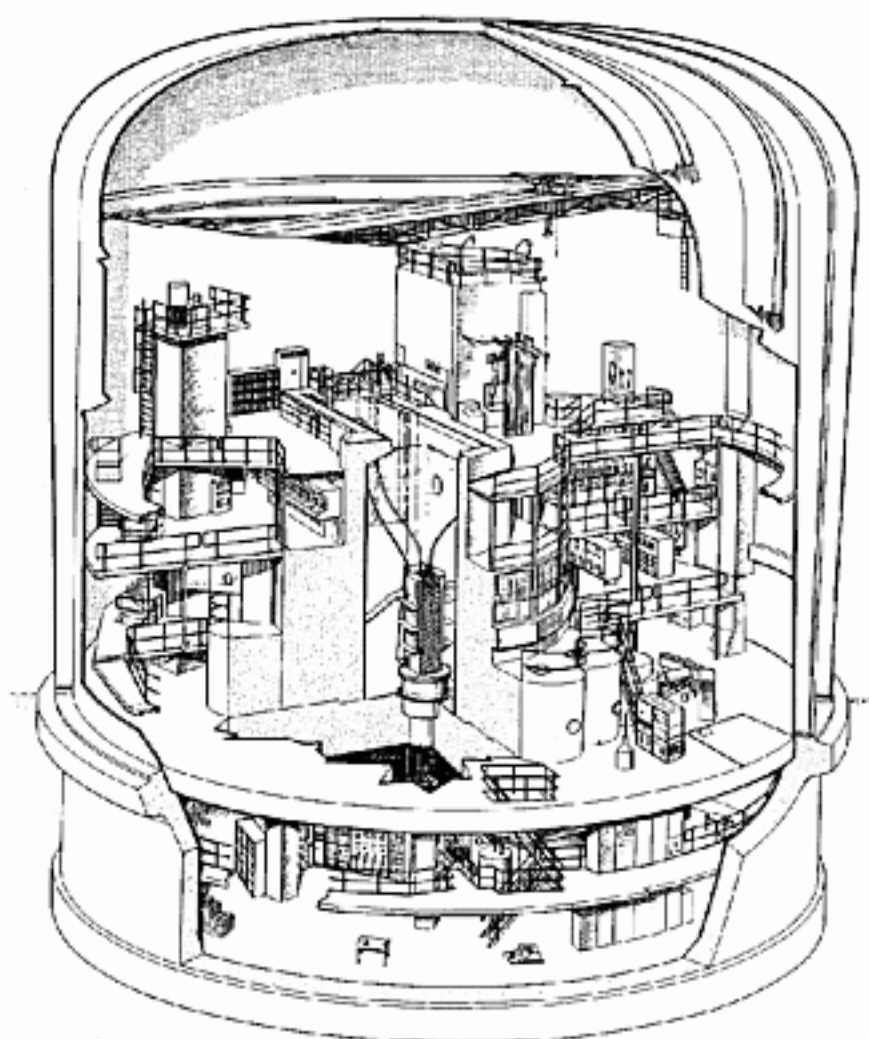


図3 HFR本体および炉心配置概要図

[出典] CEC Joint Research Center: HFR-Petten Characteristics of Facilities and Standard Irradiation Devices EUR 5700EN, p.6-18(1986)



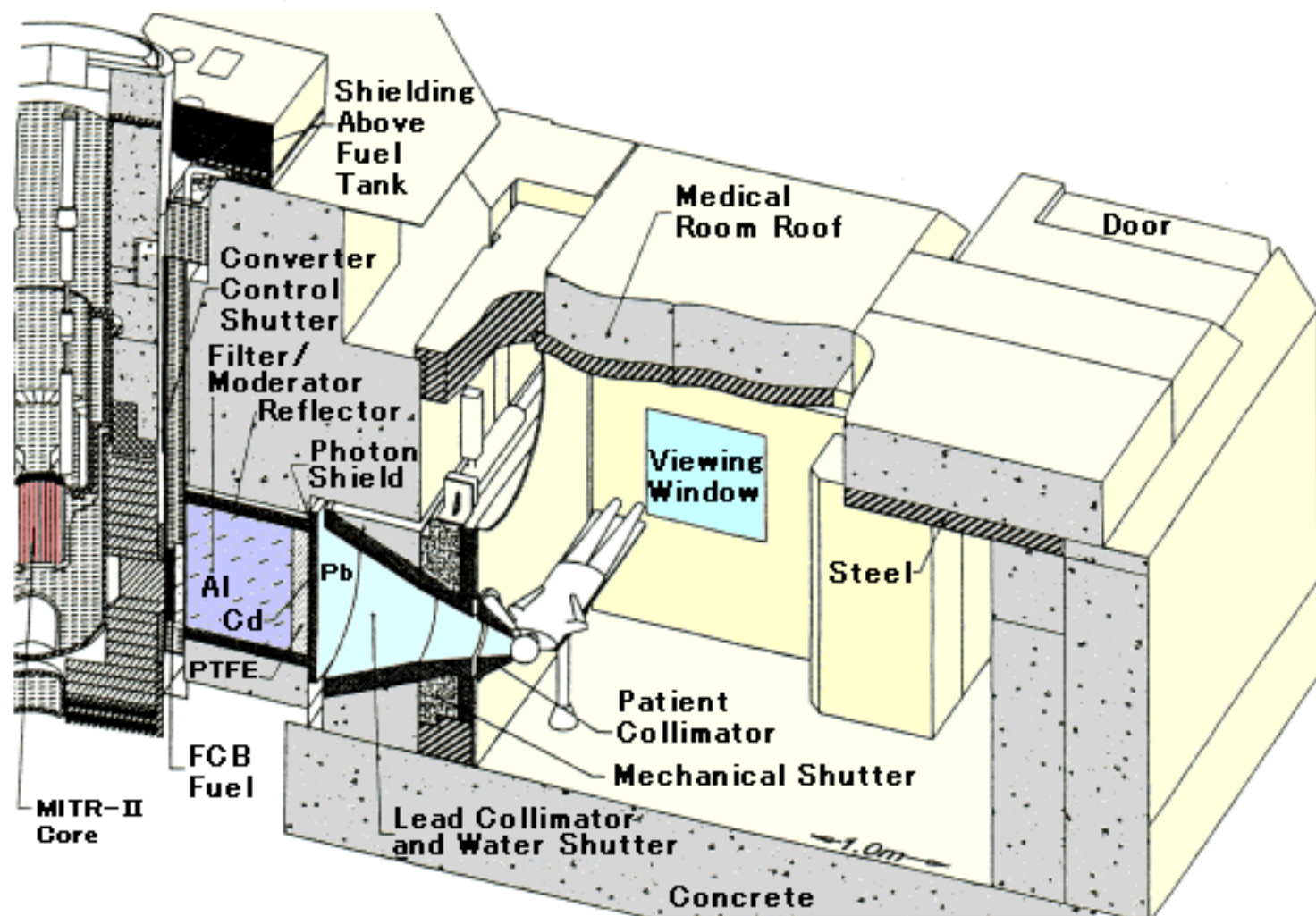
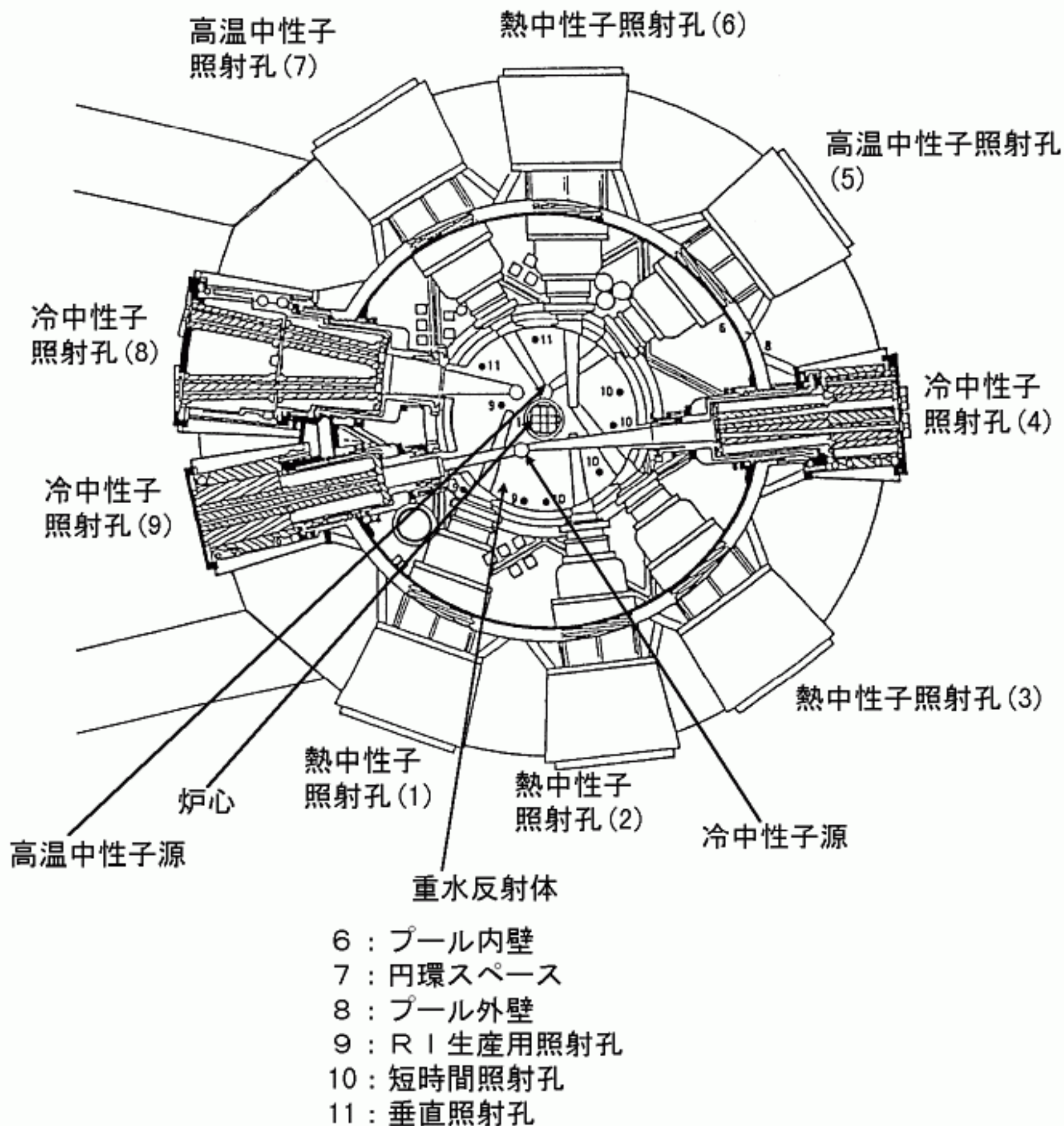


図4 MITR-2本体概要図

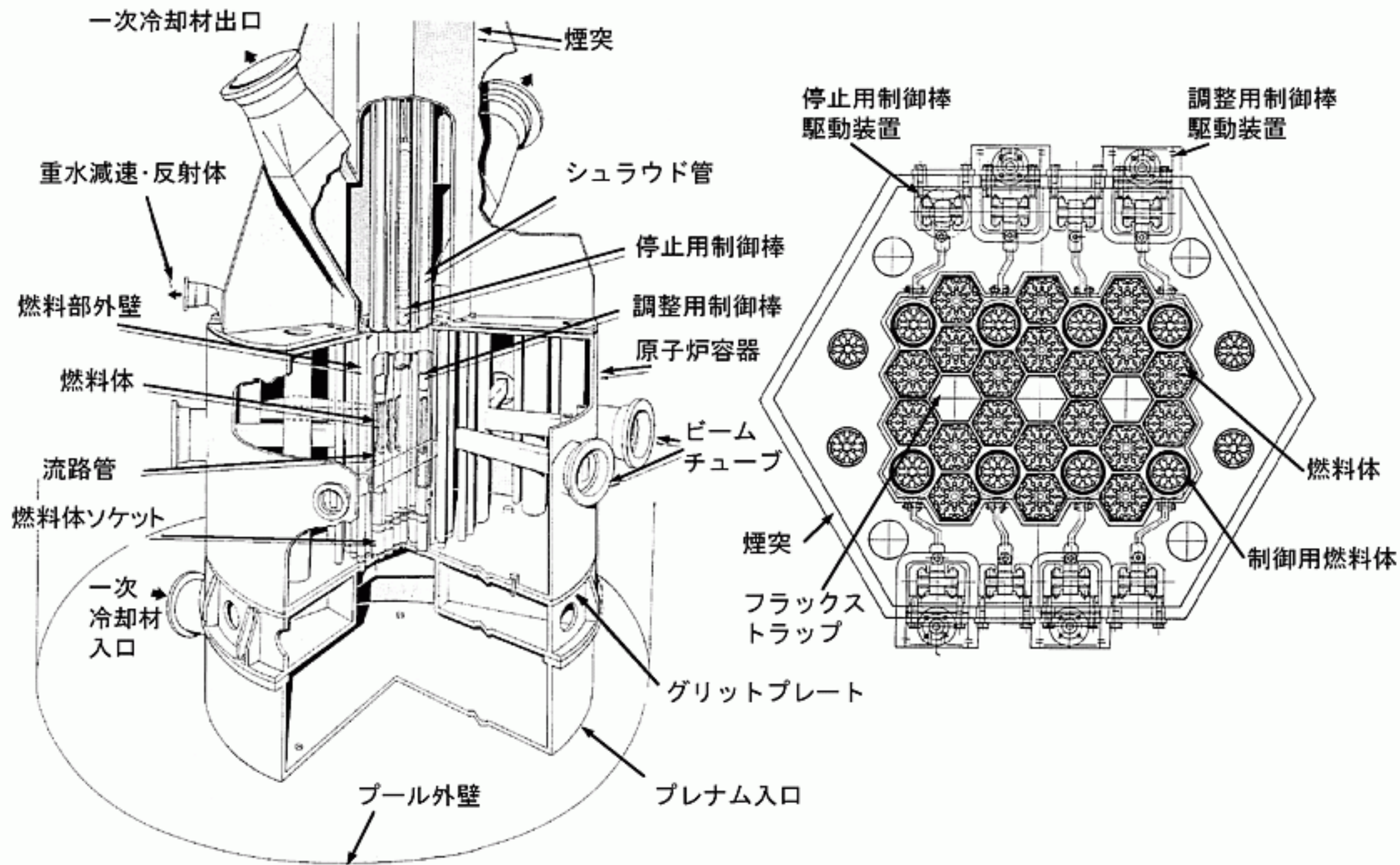
[出典] O.K.Harling et.al: The New Fission Converter Based Epithermal Neutron Irradiation Facility At Mit, 8th Meeting of the International Group on Research Reactors, IGORR8, April 17-20, 2001, Germany (2001)、p.79





**図5 ORPHEE炉体水平断面概要図**

[出典]日本原子力研究所(編):オルフェ炉の冷中性子設備に関する  
 2編の報告書、JAERI-memo 04-355、p.17(1993年1月)



**図6 KMRR(HANARO)炉体および水平断面概要図**

[出典] KMRR、KOREA ATOMIC ENRGY RESEARCH INSTITUTE、p.8-9