

中間貯蔵の現状と課題

白井 孝治* 三枝 利有* 山本 知史**

平成10年6月の通産省（現在、経産省）総合エネルギー調査会原子力部会中間報告において、使用済燃料がリサイクル燃料資源と位置づけられ、この資源を有効に利用できるように再処理を行いうまで中間に貯蔵することとした。また、2000年6月には「貯蔵の事業」を規制する法律が施行された。2010年までに発電所敷地外貯蔵施設が運転開始する予定である。使用済燃料の中間貯蔵は、わが国のみならず、海外においても重要課題であり、様々な技術開発が行われている。

本稿では、まず、海外及びわが国における使用済燃料貯蔵の現状と課題について述べる。次に、使用済燃料貯蔵の研究開発について、電力中央研究所や原子力発電技術機構を中心に実施されている、コンクリートモジュール貯蔵および輸送・貯蔵兼用金属キャスク貯蔵技術確証試験の概要について述べる。

Keywords: 使用済燃料、リサイクル燃料資源、中間貯蔵、輸送・貯蔵兼用キャスク、コンクリートキャスク

The Sub-committee for Nuclear Energy of the Council for Conventional Energy Policy, an advisory body for MITI (now METI), issued a report in June 1998, and pointed out the necessity of introducing such interim storage facilities, "Storage of Recycled Fuel Resources", by around 2010. In June 2000, a law regulating the interim spent fuel storage has been implemented. In 2010, interim storage facilities of spent fuel will be commissioned away from reactor sites. Interim storage will be the primary spent fuel management option for the next decades in many countries.

This report introduces spent fuel management in not only Japan but also overseas countries. Moreover, this paper also introduces CRIEPI's and NUPEC's perspective concerning the research and development programs of spent fuel storage, especially related to concrete modular storage and dual-purpose metal cask storage technologies.

Keywords: spent fuel, recycle fuel resources, intermediary storage, dual-purpose metal cask, concrete cask

1はじめに

使用済燃料の中間貯蔵はわが国のみならず、海外においても重要課題であり、様々な技術開発が行われていて、参考になるところが多い。本稿では、海外の動向及びわが国における使用済燃料貯蔵の現状と課題について述べる。

2 海外における使用済燃料貯蔵の動向

2.1 世界全体の動向

2.1.1 使用済燃料対策の基本方針

Table1に、諸外国の使用済燃料対策の基本方針を示す[1]。現在、原子力エネルギーを抱える諸外国においては、再処理を軸としたクローズドサイクルオプション（日本・フランス・英国等）、直接処分を軸としたオープンサイクルオプション（米国・スペイン・韓国等）、脱原子力を含めた“Wait & See”の現状維持オプション（イタリアや東ヨーロッパ諸国）等、各国のエネルギーや経済事情に応じて様々な政策がとられている。このうち、ドイツ、ロシア、スロバキア、ウクライナの各国は、再処理と直接処分の両ケースを検討中で、近年、ロシア経済の崩壊により旧東ヨーロッパ諸国を中心に、従来の再処理路線から直接処分を検討に加える国が増加が目立つ

ている。

一方、使用済燃料の中間貯蔵は各国の使用済燃料対策の最終的な決定の遅れにより、その重要性は増している。また、使用済燃料の最終処分場の運営が2010年以前には期待できない状況から、中間貯蔵が今後20年間、再優先のオプションと考えられている。

2.1.2 使用済燃料貯蔵量の推移

Figure1に、世界の原子炉から発生した使用済燃料の推移と今後の予測[2]を示す。2000年の時点における世界的な使用済燃料の年間発生量は10,500tHMであり、累積発生量は220,000tHMである。一方、高レベル廃棄物処分対策については、世界的にも大きな進展はなく、2010年以前に運転開始する処分場はないと見られており、2010年に使用済燃料の累積発生量は340,000tHMを超える、その2/3を中間貯蔵せざるを得ないと予測されている。この不可避的な貯蔵量は、現在の世界的な貯蔵容量にほぼ匹敵し、各国とも長期貯蔵（100年程度）を視野に入れた貯蔵施設の確保に懸命である。

2.1.3 貯蔵対策の動向

Figure2に、世界の地区別に見た使用済燃料の貯蔵容量の推移を示す。また、Table2に、1998年度時点での世界の地区別に見た使用済燃料の貯蔵容量を示す。世界的な貯蔵容量は231,000tHMであり、そのうち46%が北米であり、30%が西欧、15%が東欧、残りがアジアとアフリカである。また、世界で建設中の貯蔵施設容量は約12,000tHMである。ほとんどの国の原子力発電所では、高密度ラックによる使用済燃料のリラッキングやバーンアップクレジットの導入により、現状のプールの増容量対策が進められており、使用済燃料の増加により、過去2年間で約10,000tHMの貯蔵スペースが減少した反面、米国、ヨ

Current status and key issues of spent fuel storage technologies, by Koji Shirai(shirai@criepi.denken.or.jp), Toshiaki Saegusa, Toyofumi Yamamoto. 本稿は、日本原子力学会「2000年秋の大会」における講演内容に加筆したものである。

* (財)電力中央研究所 我孫子研究所 Central Research Institute of Electric Power Industry Abiko Research Laboratory
〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646

** (財)原子力発電技術機構 Nuclear Power Engineering Corporation
〒105-0001 東京都港区虎ノ門 17-1 藤田観光虎ノ門ビル6階

Table1 Spent fuel storage management of member states of IAEA[1]

Member state	Not yet decided	Open cycle with direct disposal	Closed cycle with reprocessing	Total
Argentine	X			1
Belgium	X		X	2
Brazil	X			1
Bulgaria	X		X	2
Canada		X		1
China			X	1
Czech Rep.	X	X	X	3
Finland		X		1
France			X	1
Germany		X	X	2
Hungary	X		X	2
India	X		X	2
Italy	X		X	2
Japan			X	1
Korea	X			1
Lithuania		X		1
Mexico	X			1
Netherlands			X	1
Pakistan	X			1
Romania		X		1
Russian Federation		X	X	2
Slovakia		X	X	2
Slovenia	X			1
South Africa		X		1
Spain		X		1
Sweden		X		1
Switzerland	X		X	2
Ukraine	X	X	X	3
UK			X	1
USA		X		1
Total	14	13	16	43

Note : Spent fuel management depends on the spent fuel characteristics

一ロッパを中心としたリラッキングによる増容量対策により、ほぼ同程度の貯蔵容量が増加したといわれている。

Figure3に、世界的な使用済燃料の貯蔵方式の推移を示す。現在、湿式（プール貯蔵）や乾式（キャスクやボルト、サイロ貯蔵等）によるいろいろなタイプの敷地内貯蔵並びに敷地外貯蔵施設が運転中である。Table3に、1996年度時点での運転中の敷地外貯蔵施設（炉付属プール以外の施設）の貯蔵容量を示す[1]。多くの国では、

今後さらなる増容量は困難な状況となってきており、原子力発電所外での貯蔵施設の建設・計画が急速に進められつつある。

2.2 米・仏の使用済燃料貯蔵の動向

わが国に特に参考になりそうな国の例として、使用

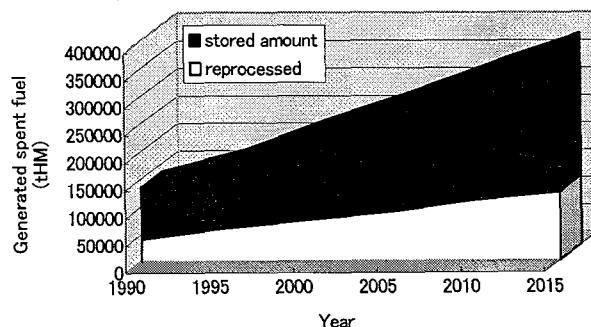


Fig.1 World amounts of spent fuel reprocessed and stored

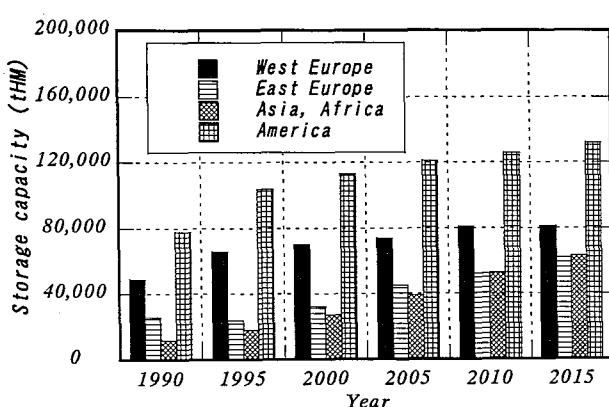


Fig.2 Trend of spent fuel storage capacity in the world regions

Table2 Status of spent fuel storage capacity in world regions (ktHM)

Regions	In operation				Under construction		
	at NPP	Wet	Dry	Total	Wet	Dry	Total
West Europe	26.1	31.7	9.2	67.0	3.0	0.8	3.8
Asia, Africa	20.0	1.9	0.7	22.6	0.7	0.8	1.5
East Europe	14.3	19.6	0.8	34.7	0.8	1.6	2.4
North & South America	94.9	1.8	10.0	106.7		6.8	6.8
World	155.3	55.0	20.7	231.0	4.5	10.0	14.5

Table3 Spent fuel storage capacity of member states of IAEA
(as of 1996)⁽¹⁾

Member state	Operating	Under construction	Planned
Argentine	1,250		1,280
Belgium		665	1,800
Brazil	600		
Canada	1,150	5,050	10,000
China		1,000	
Czech Rep.	600		
Finland	1,270		
France	14,700		
Germany	3,650		700
Hungary		160	
India	520		
Italy	3,210		
Japan	600		3,000
Lithuania		350	
Russian Federation	13,800	1,900	13,000
Slovakia	600		
Spain			5,500
Sweden	5,000		3,000
Ukraine	1,900	150	
UK	10,350		
USA	1,760	2,000	23,000
Total (tHM)	60,960	12,075	61,280

済燃料の直接処分政策をとる米国と、再処理政策をとるが最近その見直しの動きのあるフランスにおける使用済燃料貯蔵の動向について紹介する。

2.2.1 米国

1982年核廃棄物政策法により、エネルギー省(DOE)は1998年1月31日までに商業用発電所からの使用済燃料を引き取ることになっていたが、現在契約不履行の状態にある。処分場運営の遅れと中間貯蔵施設の建設が認可されないため、1998年においては10ヶ所のサイトで、1,500tUの乾式貯蔵施設が建設、運転されている(Fig.4)。このままの状態が続ければ、2010年には53サイト・13,000tU、2020年には63サイト・40,000tUの乾式貯蔵施設が必要となる[3]。2000年2月には、米議会上院で、使用済燃料貯蔵施設の建設などを盛り込んだ「核廃棄物政策法の改正2000年」(上院1287号)が可決され[4]、最終的な動向が注目される。同法案では、2006年1月31日までに、NRCがユッカマウンテンに最終処分場を建設する認可を与えるか否かを決定する事としている。同認可に際しては、使用済燃料および高レベル廃棄物をその最終処分場と同一地域の地上施設に貯蔵する施設の建設認可も与えることになる。一方で、民間の中間貯蔵施設計画も具体化しつつあり、今後の動向に目が離せない。

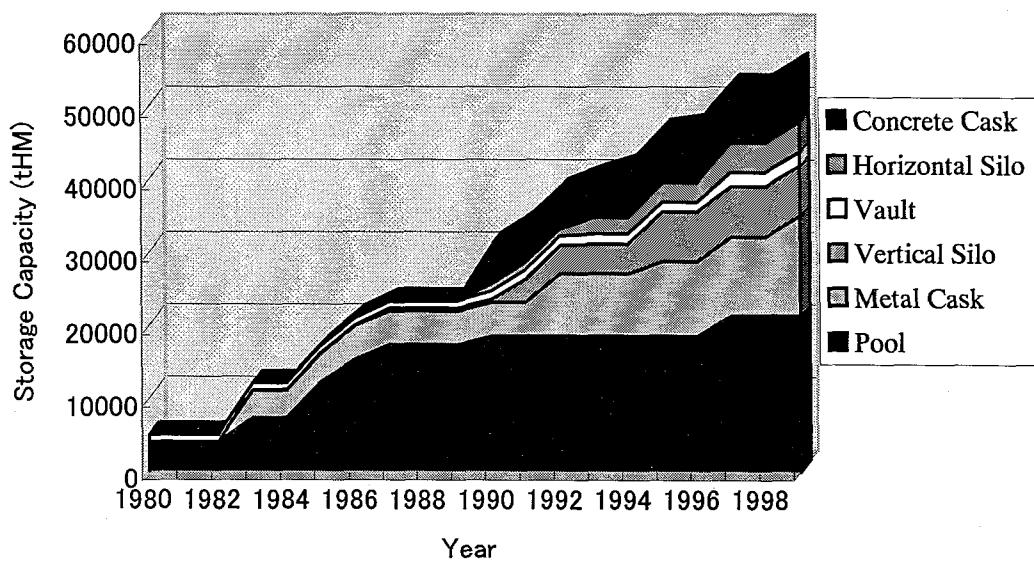


Fig.3 Trend of Spent fuel storage type in the world

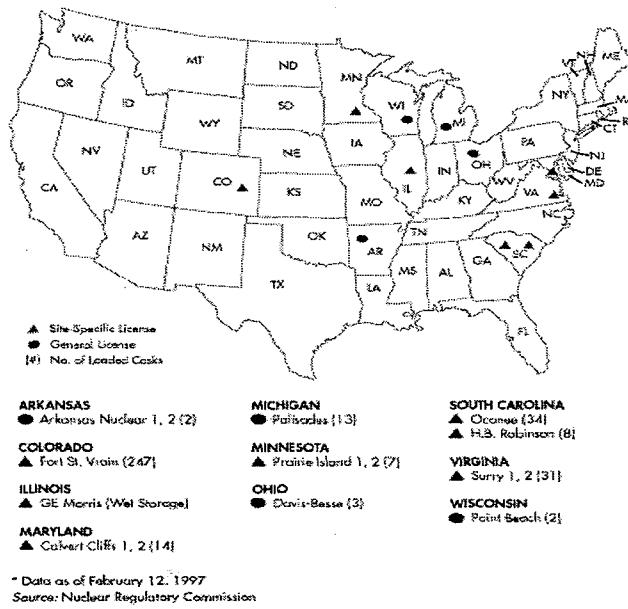


Fig.4 Locations of operating ISFSI in USA (dry 10 sites, Wet 1 site)[5]

2.2.2 フランス

フランスのバックエンド政策立案の根幹を規定しているのは、1991年12月30日に制定された「放射性廃棄物管理とその研究に関する法律」(以下、1991年廃棄物法)である。同法に基づく、1997年の研究開発省の報告書において、以下の3点を重要課題として提示した。

- 炉型戦略の検討、とくに長寿命核種の分離・消滅処理技術の研究開発
- 放射性廃棄物の地層処分の検討、とくに地下研究施設の立地促進
- 放射性廃棄物の長期貯蔵の検討、とくに貯蔵パッケージ概念の構築

このうち、a.及びc.については原子力庁(CEA)、b.については放射性廃棄物管理庁(ANDRA)に、各々所要の研究開発の実施を要請している。ここでは、とくにc.の「長期貯蔵の検討」について、最新動向を記す。

フランスの原子力政策には、「プルトニウムにはエネルギー的価値があるため、使用済燃料は廃棄物として処分されるべきものではなく、再処理されるまで中間貯蔵されるべきである」との基本原則がある。現状では、「将来の柔軟性」、「回収可能性」を最重要視すべきとの考え方から、「長期貯蔵」の構想が生まれ、公式には1998年7月の国家評価委員会の報告書[6]において提示された。

現在の検討では、技術的成立性や性能の優劣に拘らず、考え得る技術の候補対象を広げておくという目的で、12通りの「長期貯蔵オプション」[7]について、タスクフォースを設置して検討している。これは、5通りの地上(surface)貯蔵、7通りの浅地層(sub-surface)貯蔵の技術構想から成る。

長期貯蔵の考え方は、(ある基準貯蔵期間) × N (更新回

数)，一例としては 50 年 × 6 回の 300 年間までを視野に収めた検討を進めている。すなわち、基準貯蔵期間を繰り返し更新し、長期間の貯蔵を実現しようとするものである。

今後、2006 年まで研究開発と意思決定のための情報、データの蓄積に重点をおき、最終決定が行われる。2006 年の決定は、基本的には将来世代が取り得る選択の幅と柔軟性を広げることが主眼とされ、廃棄物の長期貯蔵が当面の柱となることが予想される[8]。

3 わが国における使用済燃料貯蔵の現状と課題

3.1 使用済燃料貯蔵をめぐる最近の動向

平成 6 年 6 月に改訂された現在の原子力長期計画では、第 2 民間再処理工場の計画が、従来より延期された。将来的な使用済燃料貯蔵の方法等についても検討を進めることとなり、使用済混合酸化物(MOX)燃料も再処理までの間、適切に貯蔵・管理すること等が示されている。

一方、平成 4 年 8 月には、発電所の敷地内における乾式キャスク貯蔵を対象とした安全指針「原子力発電所内の使用済燃料の乾式キャスク貯蔵について」(原子力安全委員会決定)が整備され、電気事業においても、金属キャスクによる使用済燃料貯蔵の敷地内貯蔵がすでに行われている。

平成 9 年 2 月通産省総合エネルギー調査会原子力部会において、当面の対応として「使用済燃料施設増強も含め貯蔵の長期化に対する立地地域の理解を得る努力を得ることが重要である」と示されるとともに、長期的対応として「2010 年頃を目途に発電所外での貯蔵も可能となるような所用の環境整備を行うことが重要である」との見解が示された。

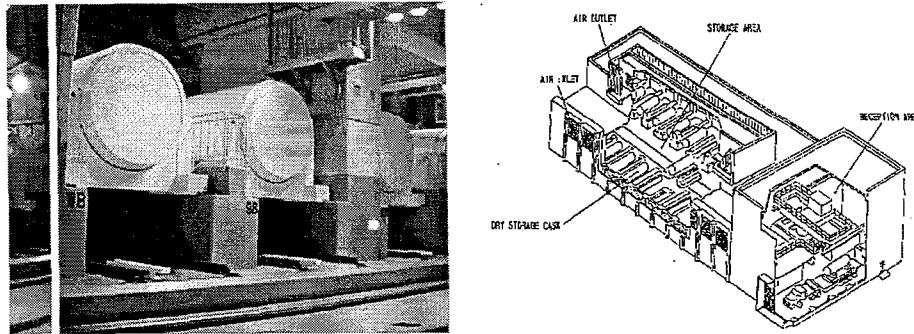


Fig.5 Dry cask storage facility of Tokyo Electric Power Company (TEPCO)

これを受け、同年2月の閣議において「使用済燃料は有用な資源として再処理されるまでの間、適切に貯蔵保管される必要がある一方、長期的に貯蔵量が増大する見通しであることから、従来の発電所内貯蔵に加え、発電所外での貯蔵についても検討を進める。」との了解がなされた。

さらに、これらの決定を受け、国・電気事業からなる使用済燃料貯蔵対策検討委員会が発足し、使用済燃料をリサイクル燃料資源と位置付けた上で貯蔵の必要性、貯蔵事業のあり方、関連法規の整備等についての検討が行われ原子力部会に報告された。原子力部会では、この報告をもとに、リサイクル燃料資源中間貯蔵について2回にわたり審議を行い、平成10年6月11日に出された報告書[9]の中で、リサイクル燃料資源中間貯蔵施設を実現していくために、国においては法制度の整備等を、事業者においては施設の立地に向けた取り組み等を早急に進めることが肝要であるとの見解を示した。平成11年6月には原子炉等規制法の改正によって「貯蔵の事業に関する規制」が追加され、法律を受けた技術基準等の制定が行われた。同法は平成12年に施行された。現在は、通産省（今の経済産業省）でリサイクル燃料資源の金属キャスク貯蔵の技術的要件が検討され、原子力安全委員会でその安全審査指針の検討に入った。また、日本原子力学会や日本機械学会等においても輸送・貯蔵兼用キャスクの安全評価要件や構造規格（民間規格）の策定作業が行われている。

3.2 使用済燃料貯蔵の需要と経済性

3.2.1 貯蔵の需要

原子燃料サイクルにおける使用済燃料貯蔵の基本的な意義について、以下の3つの側面が指摘される[10]。

- ・原子炉付設プールの容量超過を回避する「緊急避難措置」
- ・再処理施設への使用済燃料搬入の調整機能
- ・将来の不確実性への対処

わが国の原子力発電部門においては、まず第2の必要性が1987年の「原子力長計」において指摘され、相前後して第1の必要性が差し迫ったものとなり、その結果、各発

電所におけるプール容量増強、日本原子力発電敦賀発電所における使用済燃料の号機間移送、東京電力福島第一発電所における共用プール及びキャスク貯蔵施設の設置等、個別の対策が相次いで導入されてきた。さらに、第3の意義及びエネルギー資源利用上の意義に関連して、1999年の原子炉等規制法の改正により「貯蔵の業」が新たに規定されるなど、着実な制度整備が行われている。Figure.5に東京電力福島第一発電所の金属キャスク貯蔵施設、およびFig.6に日本原子力発電東海第2発電所で計画中の金属キャスク貯蔵施設の概要を示す。また、Table4に、我が国の各発電所において実施されている貯蔵対策を示す。

Figure7に、1998年度時点での我が国における原子力発電所の運転状況を示す。現在、52基の商業用原子炉（26BWRs, 2 ABWRs, 23 PWRs, 1 ATR）が稼働している。これらプラントの総発電容量は、45,082 MWeである。ATRを除くこれら発電所の平均稼働率は、1998年度（1998年4月～1999年3月）で84.2%であり、全発電量の1/3以上を原子力発電がまかなっている。4つのプラント（2 BWRs, 1 ABWR, 1 FBR）が建設中であり、3つの軽水炉（1 BWR, 2 ABWRs）が計画されている。2010年における発電容量は、66,000～70,000 MWeと予想されている。原子力発電設備容量が着実な伸びを続けることにより、年間の使用済燃料発生量は徐々に増加し、所要となる貯蔵対策の規模もまた着実に増大すると予測されている。

Table5に、資源エネルギー庁による2020年程度までの貯蔵需要に関する予測評価結果を示す。2020年以降については、原子力発電設備容量のみならず、2010年を目途に方針が決定される第二民間再処理工場などの動向など、多くの不確実性要因があるため、厳密な予測は困難であるが、予測に介在する不確実性を除去していく努力とともに、貯蔵技術が外部の状況変化に応じてその貯蔵能力、搬入・搬出能力等において十分な対応力を確保できるよう、着実な施策の展開が求められる。

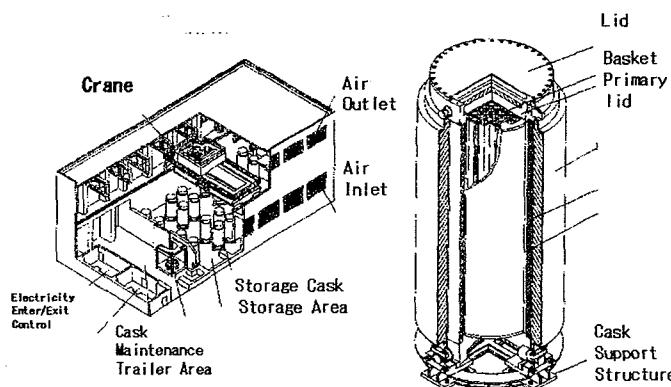


Fig.6 Design concept of cask storage facility of the Japan Atomic Power Company (JAPCO)

Table4 Status of spent fuel storage and measures to cope with the increasing of spent fuel from LWRs

Electric Power Company	Sites	Stored Spent Fuel* (tU)	Controlled-Capacity* (tU)	Measures to cope with the increasing of spent fuel	
				As of Aug. 1999	Future
Hokkaido	Tomari	190	420	n/a	n/a
Tohoku	Onagawa	130	370	Common use of the pools	n/a
Tokyo	Fukushima-Dai-Ichi	880	2,100	Use of Dry casks Expansion of the pool	<u>Use of dry casks</u>
	Fukushima-Dai-Ni	1,060	1,360	Re-racking	Common use of the pools
	Kashiwazaki-Kariwa	1,000	1,890	Common use of the pools	Expansion of the pools Re-racking
Chubu	Hamaoka	540	860	Re-racking	Common use of the pools Expansion of the pools
Hokuriku	Sika	20	100	n/a	n/a
Kansai	Mihama	210	300	n/a	Common use of the pools Re-racking
	Takahama	670	1,100	Expansion of the pool	Common use of the pools
	Ohi	500	840	Common use of the pools	Expansion of the pools
Chugoku	Shimane	230	390	n/a	Common use of the pools Re-racking
Shikoku	Ikata	250	530	Common use of the pools	Re-racking
Kyusyu	Genkai	260	1,060	Common use of the pools	n/a
	Sendai	510	570	Re-racking	Re-racking
Japan Atomic Power Corp.	Tsuruga	370	450	Common use of the pools	Re-racking
	Tokai-Dai-Ni	200	260	Re-racking	<u>Use of Dry casks</u>
Total		7,020	12,600		

*) as of September, 1998

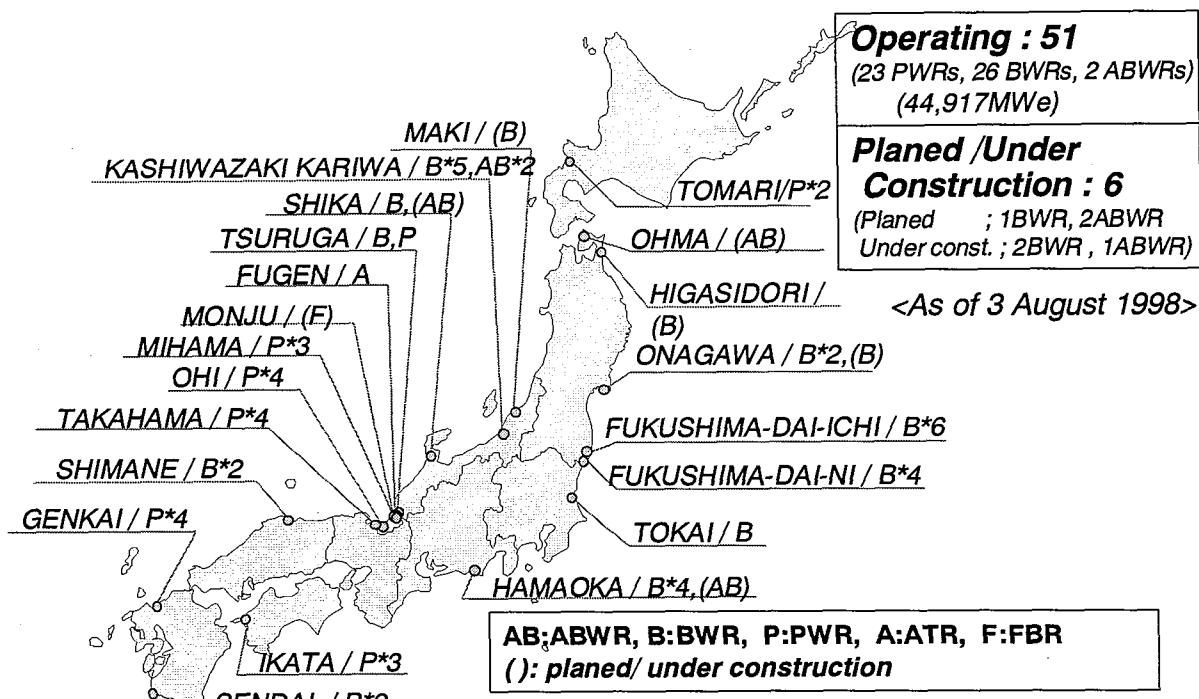


Fig.7 Nuclear power stations in Japan

3.2.2 貯蔵の経済性

(a) プール貯蔵方式とキャスク貯蔵方式の比較

1998 年に資源エネルギー庁総合エネルギー調査会原子力部会中間報告一リサイクル燃料資源中間貯蔵の実現に向けて—[9]では、使用済燃料敷地外貯蔵の実用化検討に資することを目的として、プール貯蔵方式とキャスク貯蔵方式を対象に貯蔵期間などをパラメータとした評価を行い、敷地外貯蔵にかかるコストを試算し、貯蔵方式間の技術経済性比較を行っている。

試算の前提と結果は次のとおりである。

- ① 貯蔵施設の容量 5,000 トン U
- ② 貯蔵期間 40 年（事業期間：54 年間）

③ 貯蔵単価（現在の価値に換算する割引率：5 %／年）

プール貯蔵の場合 51.83 百万円／トン U

キャスク貯蔵の場合 31.19 百万円／トン U

④ 発電電力量あたりの貯蔵単価

プール貯蔵の場合 0.150 円/kWh

キャスク貯蔵の場合 0.091 円/kWh

貯蔵技術による差違は一見大きいが、平成 11 年 12 月の資源エネルギー庁総合エネルギー調査会原子力部会で報告されたフロントエンドからバックエンドまで含めた総発電原価 5.9 円/kWh のうち 1.5%（金属キャスク）から 2.5%（プール）程度の値となっている。

(b) 将来のコンクリートモジュール貯蔵方式等も含めた比較

将来の動向としては軽水炉の高燃焼度化が順調に進展

Table 5 Amount of spent fuel to be stored away from reactor sites

Items	Period	From April 1997 to March 2011	From April 2011 to March 2021
Spent fuel arising (a)		15,200 tU	16,000 tU
Transportation to Rokkasho Reprocessing Plant (b)		5,900 tU	8,000 tU
Transportation to overseas reprocessing plants (c)		70 tU	n/a
Storage at reactor sites (d)		5,300 tU	4,200 tU
Necessary capacity of the interim storage facilities away from reactor sites (a-b-c-d)		3,900 tU	3,800 tU
Cumulative necessary capacity of the interim storage facilities away from reactor sites		3,900 tU	7,700 tU

し、今後発生する使用済燃料は、高燃焼度燃料が主体になると予想される。さらには、高速増殖炉の実用化の遅れに伴い、軽水炉におけるプルサーマル利用の方針が決定され、貯蔵の対象として従来の燃焼度の低い使用済燃料以外に、高燃焼度燃料と混合酸化物(MOX)燃料を想定しておく必要が生じている。これらの使用済燃料は初期濃縮度が高く、放射能、発熱量が高いので、従来技術のままでは貯蔵密度の低下、ひいては貯蔵コストの上昇が避けられない。

高燃焼度燃料・MOX燃料を対象とした場合、燃焼度クレジットの導入がキャスク等の貯蔵施設設計の合理化によるコスト低減への寄与が期待され、様々な導入方策が検討されている[11]。燃料棒の軸方向の燃焼度分布や運転パラメータのキャスク反応度への影響を解析し、これらの各種のバイヤス量を等価均一燃焼度の概念で統一的にとりまとめ得る可能性があることが示されており、幾つかの燃焼度クレジット導入方策を比較評価し、導入のためのフロー・チャートも明らかにされている。

Figure 8 に、プール、金属キャスク、ボルト、サイロおよびコンクリートキャスク貯蔵方式に燃焼度クレジットを採用して概念設計を行い、経済性比較を行った結果を示す(ただし、この図において、金属キャスク、サイロ及びコンクリートキャスクは、貯蔵建屋上屋部分の建設費は含まれていない)。燃焼度クレジットの導入は、貯蔵密度の向上や経済性に大きな効果を及ぼすことが理解される。ただし、燃焼度クレジットの導入は運用等の面で課題も多いことから燃焼度クレジットが導入できない状況ではボロン含有ステンレス等の適用は有効な手段であると考えられる。また、サイロ貯蔵、コンクリートキャスク貯蔵は貯蔵コストが低く有望な方式であることがわかった。サイ

ロ貯蔵やコンクリートキャスク貯蔵については海外での実績はあるものの我国ではまだ実用化されていないので、使用済燃料貯蔵方式のオプションを拡げるという観点からも我が国での実用化に向けた研究・試験が望まれる。

3.3 わが国における使用済燃料貯蔵技術の開発状況

上述のような使用済燃料貯蔵需要の顕在化を反映して、わが国においても様々な貯蔵技術が開発されつつある。次に、これら技術の主な種類・例を示す。また、Fig.9に、海外において実用化している金属キャスク、縦型・横型サイロ、コンクリートキャスク、ボルト貯蔵施設の概要を示す。

3.3.1 金属キャスク貯蔵

輸送・貯蔵兼用または貯蔵専用。キャスク内に使用済燃料を密封・収納する。キャスク容器本体の材質・構造によって、主に次の3種類がある。

- ① 鍛造炭素鋼製(単層タイプ)(例: TN-24, MHI型)
- ② ステンレス鋼・鉛製(多層タイプ)(例: HZ-S/T)
- ③ 鋳鉄製(単層タイプ)(例: CASTOR-V)

3.3.2 コンクリートキャスク貯蔵

キャニスタ内に使用済燃料を密封し、縦置きしたコンクリート容器内に貯蔵する。鉄筋コンクリートにするか又はコンクリート容器本体の内外面にライナーをつけるか否かで、主に次の2種類がある。

- ④ 鉄筋コンクリート構造(Reinforced Concrete 例: IHI型)
- ⑤ 鉄板コンクリート構造(Steel Plate Reinforced Concrete 例: MHI型, HI-STORM)

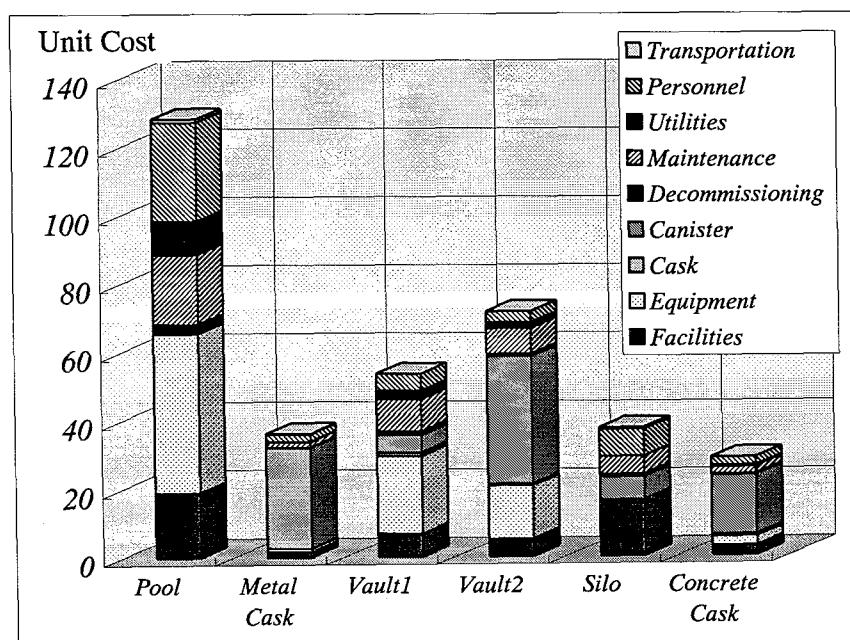


Fig.8 Comparison of leveled unit storage costs for 3000MTU BWR high burn-up spent fuel considering burn-up credit

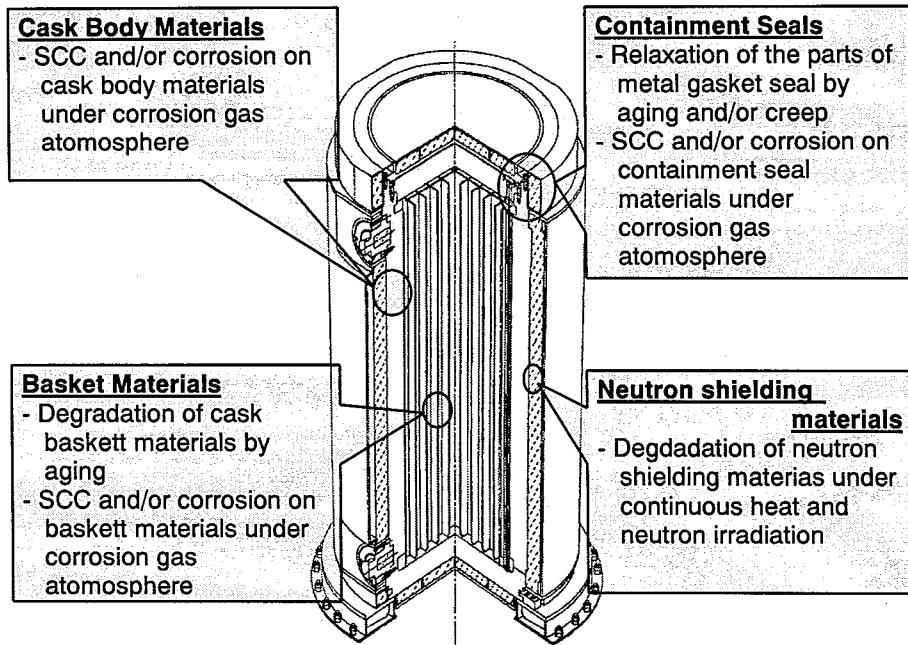


Fig.9 Issues of dual-purpose cask that should be verified by testing

3.3.3 横型サイロ貯蔵

キャニスター内に使用済燃料を密封し、横置きしたコンクリートサイロ構造物内に貯蔵する。(例：KHI-NUHOMS)

3.3.4 ポールト貯蔵

大容量貯蔵建屋内に、使用済燃料を密封したキャニスターを縦置きに収納する。自然冷却用の空気を水平に流すか垂直に流すかで、2種類の方式がある。

- ⑥ 垂直流ポールト(例：IHI型)
- ⑦ 水平流ポールト(例：SMM型、MHI型、水平流2段式ポールト型)

4 輸送・貯蔵兼用キャスクの実用化

使用済燃料貯蔵に関する今後の課題として輸送・貯蔵兼用キャスクの実用化がある。輸送・兼用キャスクとは、同一のキャスクで、使用済燃料の輸送(発電所から貯蔵施設、貯蔵施設から再処理施設)と貯蔵の要件を満たす機能を持つキャスクのことをいう。さらに、一般的には、貯蔵後、蓋を開放すること無く、輸送に供することのできるキャスクのことをいう。このような、キャスクのメリットとしては、輸送と貯蔵に同一のキャスクを用いることで、コスト低減を図れること、および蓋の開放作業がなくなることで、作業従事者の被ばく線量を低減できることにある。

わが国では、すでに輸送キャスクおよび貯蔵キャスクについて実用化され実績があるが、この兼用キャスクを実用化するためには、技術的な観点から、貯蔵終了後にキャスクや燃料が輸送可能な状態すなわち輸送キャスクに関する要件が満たされていることを明らかにする必要があ

る。このため、貯蔵期間中の使用済燃料からの発熱や放射線によるキャスクの構成部材の、経年劣化の影響を評価する必要がある。

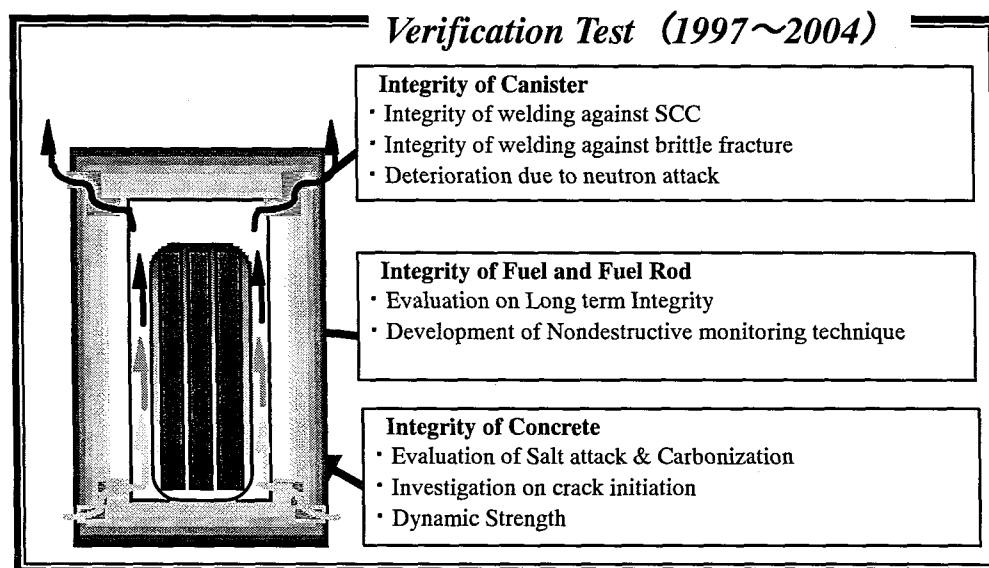
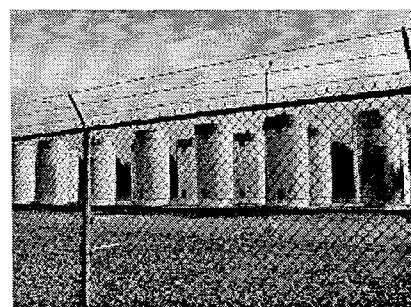
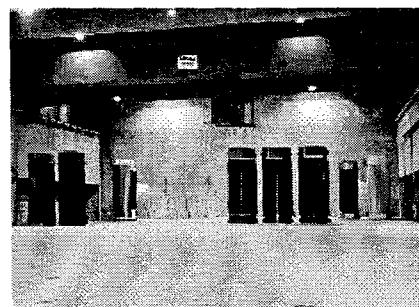
原子力発電技術機構では、輸送・貯蔵兼用金属キャスクの実用化を図るため、平成11年度から約5カ年の計画で、確証試験を実施中である[12]。Figure9に、確証試験で評価する検討課題を示す。主な実用化の課題は、次の通りである。

- ・貯蔵期間中に使用済燃料から受ける熱、放射線及びキャスク内外の腐食環境によるキャスクの経年変化評価
- ・経年変化を踏まえた貯蔵及び輸送時の健全性評価

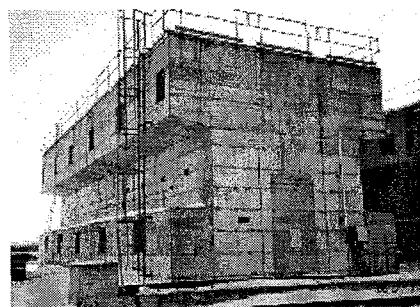
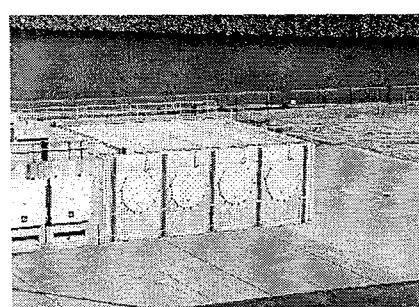
5 コンクリートモジュール貯蔵の実用化

コンクリートモジュール貯蔵施設は、原子力発電所から取り出された使用済燃料をキャニスターと呼ばれる金属製の輸送・貯蔵兼用の密封容器に収納し、鉄筋コンクリート構造物で貯蔵する方式であり、コンクリートキャスク、横型コンクリートサイロ、コンクリートポールトの3形式に大別される。

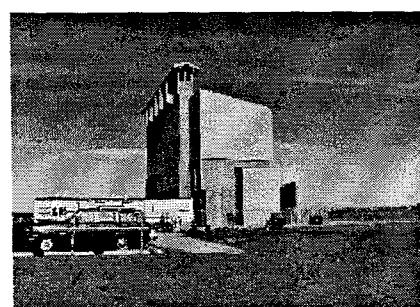
- コンクリートモジュール貯蔵方式は、
- ・鉄筋コンクリートを適用したモジュール構成であるため、材料単価が安価で初期投資が小さく、金属キャスクと同様に必要に応じて貯蔵容量を拡張できる。
 - ・自然空冷方式であるため、保守が容易である。
 - ・輸送・貯蔵兼用のキャニスターの採用により、輸送キャスクが繰返し使用できる。

**Fig.10 Demonstrative studies of concrete cask storage technology**(AR : USA)
(Metal Cask Storage facility)

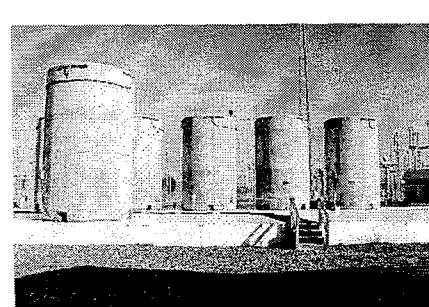
(AFR : Germany)

(Vertical : Canada)
(Silo Storage facility)

(Horizontal : USA)



(Vault storage : Canada)



(Concrete cask storage: USA)

Fig.11 Storage facilities in operation on abroad

等の特徴を有しており、経済的な貯蔵対策として期待されている。

電力中央研究所では、経済的なコンクリートモジュール貯蔵技術の敷地外貯蔵施設への実用化を図るため、平成11年度から平成15年度までの5カ年計画で、コンクリートキャスク確証試験を実施中である[12]。Figure10に、コンクリートキャスク貯蔵技術確証試験の全体研究概略フローを示す。

主な実用化の課題は、次の通りである[11]。

- ① キャニスター等の金属容器・構造材の健全性評価
- ② キャニスターに収納されている使用済燃料や被覆管等の燃料健全性評価
- ③ キャニスターを包蔵するコンクリート容器・構造材の健全性評価

米国等と異なり、わが国は海岸での潮風環境下でのコンクリートキャスクの耐久性評価や、コンクリート等の温度制限上、高精度な除熱設計評価手法等が必要とされる。これらの課題に対し、実規模または縮尺モデルを用いた確証試験や、これらモジュールを集合させた貯蔵システムについての検討・評価の実施により、わが国に適したコンクリートモジュール貯蔵技術の確立が期待される。

6 おわりに

今後の使用済燃料の貯蔵需要は、単に量的な面だけではなく、燃料の仕様や組成、排出年度及び貯蔵対策対象としての存在期間等を考慮すると、ますます多様性が増していくと言える。このことは、貯蔵施設だけでなく発電所からの搬出、輸送、再処理を含めた「使用済燃料管理」全体の問題として、最も経済的、安全でかつわが国原子力開発利用計画に照らして適切な方を立案し選択することが要請される。その中で、FBRへのプルトニウム利用計画等の「時期的な不確実性」に対処する手段の要として、使用済燃料貯蔵が柔軟かつ機動的なバッファ機能を果たすことが不可欠であり、これを達成するための研究開発や新技術の導入に積極的に努力すべきである。

参考文献

- [1] "IAEA Yearbook 1997", IAEA, Vienna, 1997.
- [2] Dyck, P.: Introduction to the TCM long term storage. *Technical Committee Meeting on Good Practices for Long Term Storage of Spent Fuel including Advanced, High Burnup and MOX Fuel*, Vienna, 15-19 Nov. (1999).
- [3] Williams, J.: Status of spent nuclear fuel management in the United States. *Spent Fuel Management: Current Status and Prospects 1997* (Proc. Regular Advisory Group Meeting, Vienna, 9-12 Sept. 1997, IAEA-TECDOC-1006), IAEA (1998).
- [4] S.1287 Nuclear Waste Policy Amendments Act of 2000

(Engrossed in Senate).

- [5] NRC: Dry cask storage documents, September 13(1999).
- [6] Commission Nationale D'Evaluation: *Reflexions sur la reversibilité des stockages*. France, (1988).
- [7] Camaracat, N., Bernard, P., Sicard, B.: The 1991 long-lived radioactive waste management law: current situation in France. November 1998.
- [8] 長野浩司: フランスのバックエンド政策についてー1991年廃棄物法と最近の動向ー. 電力中央研究所調査報告 No.Y98011(1991).
- [9] 通産省資源エネルギー庁: 総合エネルギー調査会 原子力部会中間報告-リサイクル燃料資源中間貯蔵の実現に向けて. 平成10年6月11日(1998).
- [10] 電力中央研究所: 原子燃料サイクルバックエンドの確立に向けて. 電中研レビューNo.40 (2000).
- [11] 松村 哲夫: 使用済燃料貯蔵のための燃焼度クレジット導入方策並びに高燃焼度・MOX燃料特性試験. 平成9年度電力中央研究所研究発表会-原子力部門-予稿集 (1997).
- [12] Shirai, K., Fujisawa, K.: Current status of R&D program of spent fuel storage technology and long-term storage. TCM on Requirements for Extremely Long-Term Spent Fuel Storage Facilities, IAEA (2000).