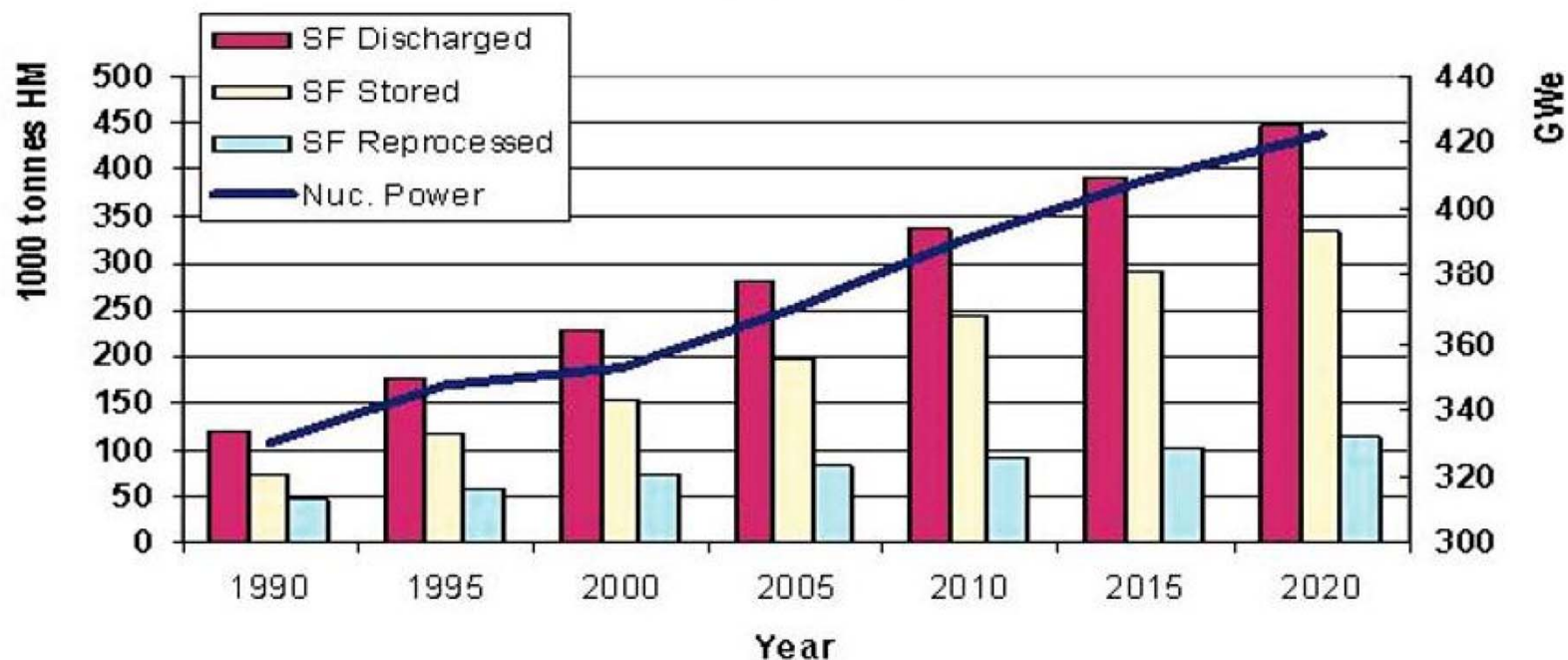


使用済燃料管理問題と 中間貯蔵の重要性 -世界の動向-

(財)電力中央研究所

2012年2月23日

世界の累積使用済燃料発生量 ・貯蔵量・再処理量

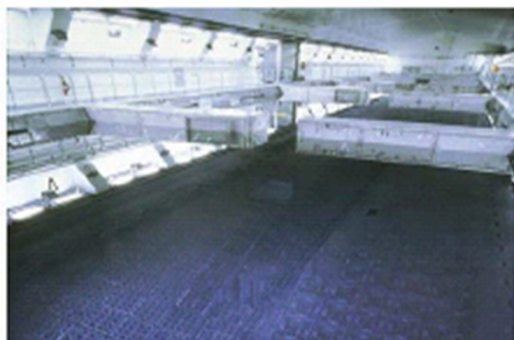


- ・ 2010年時点で、世界の使用済燃料累積発生量は、約**334,500 tHM**である。
- ・ 世界の年間使用済燃料発生量は約**10,500 tHM**である。

年間発生量の約1割は、
日本の分。

出典：Costing of Spent Nuclear Fuel
Storage, IAEA No.NF-T-3.5 (2009)

Spent Fuel stored in World Regions



Region	Amount
West Europe	36 585
East Europe	31 327
America	88 930
Asia & Africa	29 291
World	186 133

2004年時点ではアメリカ大陸の使用済燃料貯蔵量が世界の約半分を占めている。今後は中国・インドなどアジアの割合が増えると思われる。

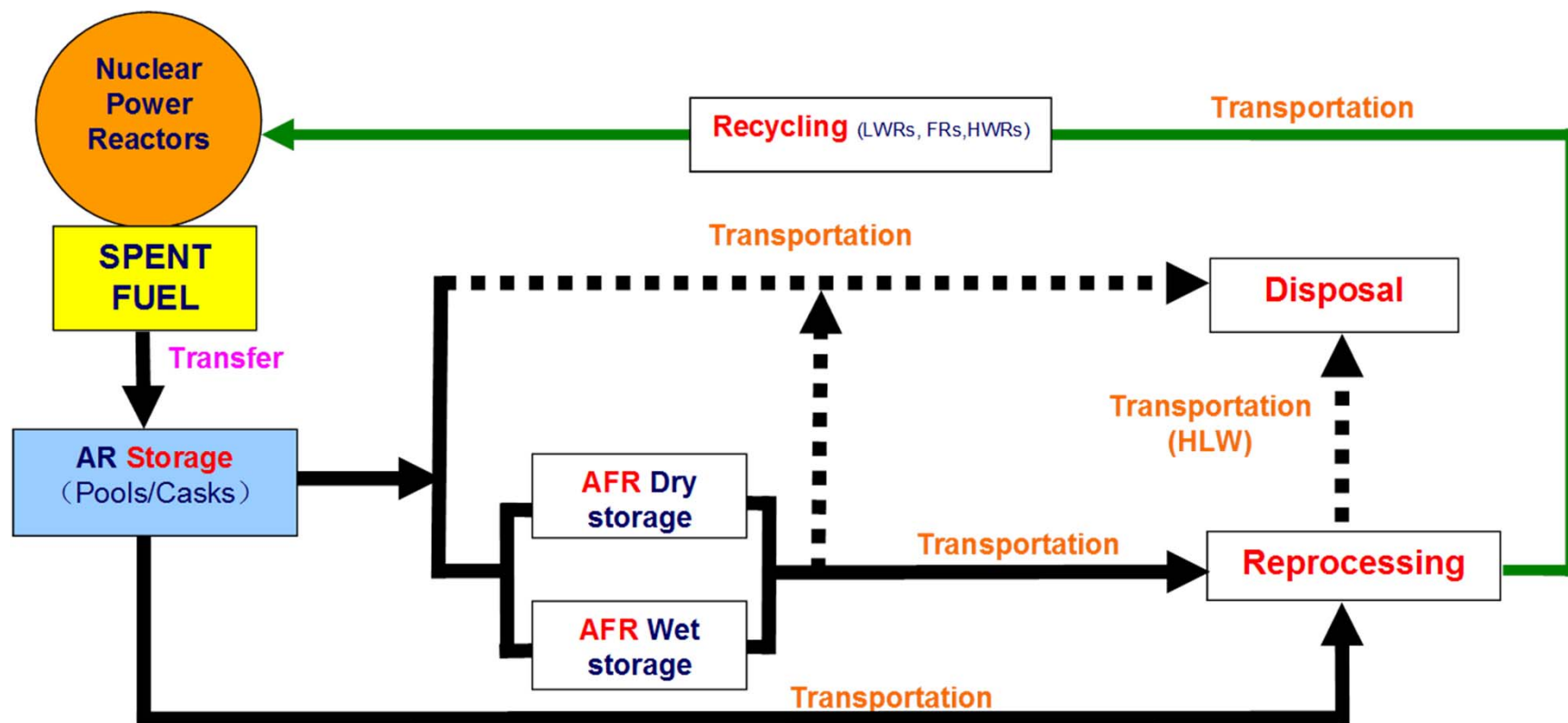
Through CY 2004

出典: Danker, W. (IAEA), ISSF 2006, Tsukuba 5

International Atomic Energy Agency



使用済燃料管理の選択肢



- より長期的には、使用済燃料のリサイクル指向が増加している。
- 使用済燃料の処分は技術開発が遅れている。

「処分」、「再処理」のいずれの政策であっても中間貯蔵はバッファ機能により、時間的柔軟性を付与する。

出典: Ryu, H. (IAEA), ISSF 2010, Tokyo

使用済燃料貯蔵の技術開発の歴史

Option	Year					
	1950	1960	1970	1980	1990	2000
WET	Most of the AR and AFR pools					
DRY			• Vault (1971, Wylfa)			
			• Concrete Silo (1977, Whiteshell)			
					• Metal Casks (1986, Surry)	
					• Gorleben (CASTOR)	
						• Concrete Casks (1992, Surry)

出典: Costing of Spent Nuclear Fuel Storage, IAEA No.NF-T-3.5 (2009)

使用済燃料貯蔵の安全性など

安全機能・対策	湿式貯蔵	乾式貯蔵
未 臨 界	プール内ラックによる燃料集合体の隔離。	キャスク内バスケットによる燃料集合体の隔離。
除 熱	プール水による強制空冷。 (自然空冷もあり)	キャスクと建屋の自然空冷。
閉じ込め	プール水と建屋による。	キャスクによる。
遮 蔽	プール水と建屋による。	キャスクと建屋による。
冷却材喪失対策	代替注水手段の確保。	自然空冷を維持・確保。

発電電力量あたりの使用済燃料貯蔵単価 の試算例

[¥ / kWh]

貯蔵容量	3, 000MTU		5, 000MTU		10, 000MTU	
冷却期間	5年	15年	5年	15年	5年	15年
金属キャスク	0. 095	0. 058	0. 091	0. 056	0. 085	0. 052
プール	0. 214	0. 132	0. 150	0. 092	0. 112	0. 069

前提

現在価値換算割引率: 5%/年

燃焼度: 40,000MWd/t

発電効率: 33%

燃焼期間: 3年間

出典: 電力中央研究所 研究報告(U99047)

「使用済燃料敷地外貯蔵技術の経済性評価」, 2000年5月

IAEA加盟国の使用済燃料政策

2003年時点

□再処理:

□国内再処理: フランス、英国、ロシア、インド、日本、中国

□海外再処理: スイス、ベルギー、ドイツ、ブルガリア、日本

□処分:

□活動中: フィンランド、スウェーデン、米国、スペイン、ドイツ、カナダ、ベルギー

□検討中: スイス、アルゼンチン、ルーマニア、チェコ、ハンガリー

□Wait & See: その他の国

「福島事故後、見直している国がある。」

出典: Lee, J.S. (IAEA), ISSF 2003, Tokyo

米国の使用済燃料・HLW貯蔵施設のサイト



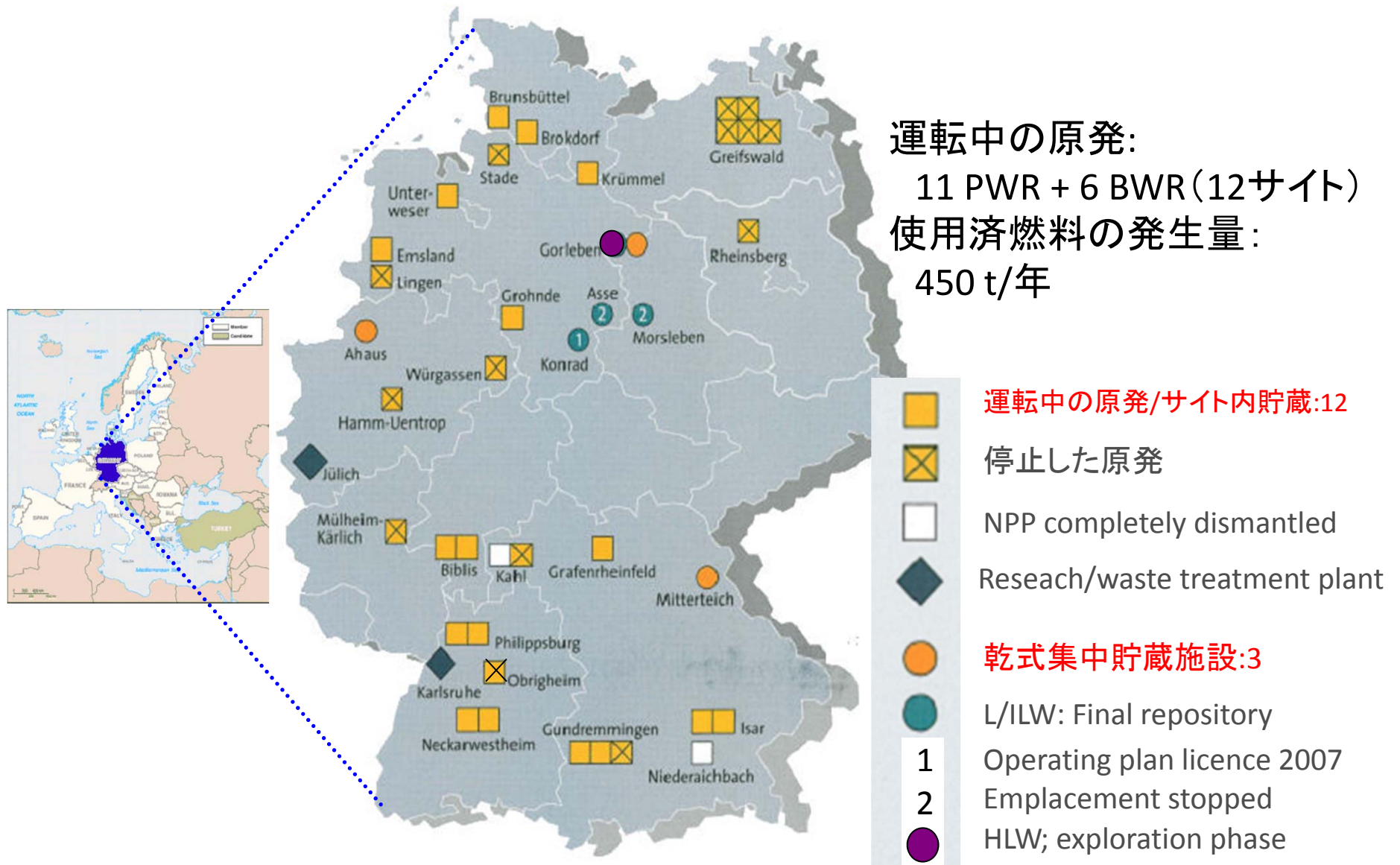
Symbols do not reflect precise locations

● Operating Commercial Reactors	▲ Research Reactors
✱ Shutdown Commercial Reactors	▼ DOE-Owned Spent Fuel and HLW
○ Commercial Dry Storage Sites	▼ Commercial HLW
◆ Commercial SNF Pool Storage (Away-From-Reactor)	

出典: US DOE, Third National Report for the Joint Convention on the Safety of SFM and on the Safety of RAM, 2008

軽水炉使用 済燃料貯蔵	サイト内	38個(乾式)	10,200 tHM
	サイト外	2個(湿式、乾式(PFS))	670 tHM (PFSは0)

ドイツにおける原子力発電所と使用済燃料貯蔵施設



出典: Jussotie, A. (GNS), ISSF 2010, Tokyo

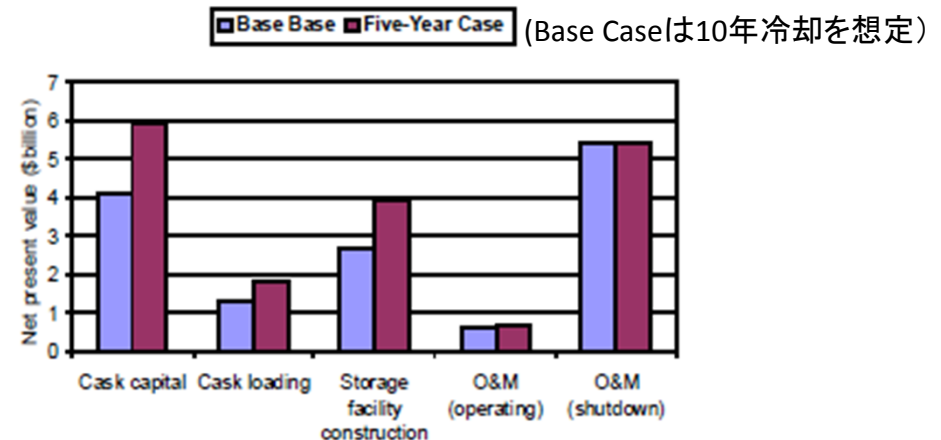
主な欧米諸国の貯蔵施設立地

	米 国	独 国	スイス	スウェーデン
サイト内貯蔵数	38(乾式)	17(乾式)	2(乾式、湿式)	0
サイト外貯蔵数	2(湿式、乾式)	3(乾式)	1(乾式)	1(湿式)
立地活動	①地元インディアン等は、雇用、経済的便益などにより合意(ユタ州PFS)。	①国内外の原子力施設訪問、キャスク試験参加、国・州による情報発信。 ②地元のインフラ整備。	①情報公開、透明性、地元民の貯蔵事業参画等。 ②建設・雇用等により、地域振興。	処分場立地の例 ①地元住民を情報担当者として長期雇用。 ②住民との接触機会を多く持つ介護福祉関係者の理解促進。 ③近隣家庭を招待し合う風習を活用して丁寧な情報提供活動等。
現 状	公共の土地利用について内務省と係争中(ユタ州PFS)。	輸送に反対のため、サイト外貯蔵施設の稼働率小。	特に問題なし。	海上輸送により、サイト外貯蔵施設へ。

出典：US DOE、Third National Report、ISSF 2003、ISSF 2006、METI放射性廃棄物ホームページ
(http://www.enecho.meti.go.jp/rw/rikai/kaigai_sympo/1.pdf)

米国の取組- 5年冷却燃料のプール貯蔵から乾式貯蔵への移行に関するインパクト: EPRI, 2010 Technical Report)-

- 経済性評価
乾式貯蔵への移行で、36億ドルの増加



- 従事者被ばくの増加
乾式貯蔵への移行で、60年間で507 人-remの被ばく量増加がある。
- キャスク数の増加によるリスク
乾式貯蔵への移行で、キャスク数が711基増加し、それに伴うハンドリングや附帯システム建設に伴うリスクが増加

EPRIは、燃料プールから乾式貯蔵への早すぎる移行は、経済性、従事者被ばくへのインパクトが大きく、公衆への安全性向上には結びつかないと結論した。

米国ブルーリボン委員会の勧告

今後数十年間は、使用済燃料対策に関する技術革新は期待できず、今は安全に貯蔵し、処分の立地・許認可を急ぐべき。

1. 新しい、同意に基づく手法による立地・開発。
2. 新しい組織に、廃棄物管理計画に専従させ、権限と遂行のための資源を与える。
3. 核廃棄物管理基金の利用。
4. 一つ以上の処分施設を計画する早期の活動。
5. 一つ以上の総合的貯蔵施設を計画する早期の活動。

● 福島事故の教訓

- ① 国立科学アカデミーが、事故の米国行政への影響を研究する。
 - ② 福島事故では、乾式キャスク貯蔵と原子炉外のプール貯蔵が機能を維持。
 - ③ 使用済燃料管理には、長期的戦略と短期的な賢明策が重要。
6. 貯蔵施設または処分施設への大規模輸送の早期の準備。
 7. 米国による核エネルギー技術革新と人材育成の継続支援。
 8. 国際社会における米国の活力あるリーダーシップにより、安全・廃棄物管理・核不拡散・セキュリティ問題に取り組む。

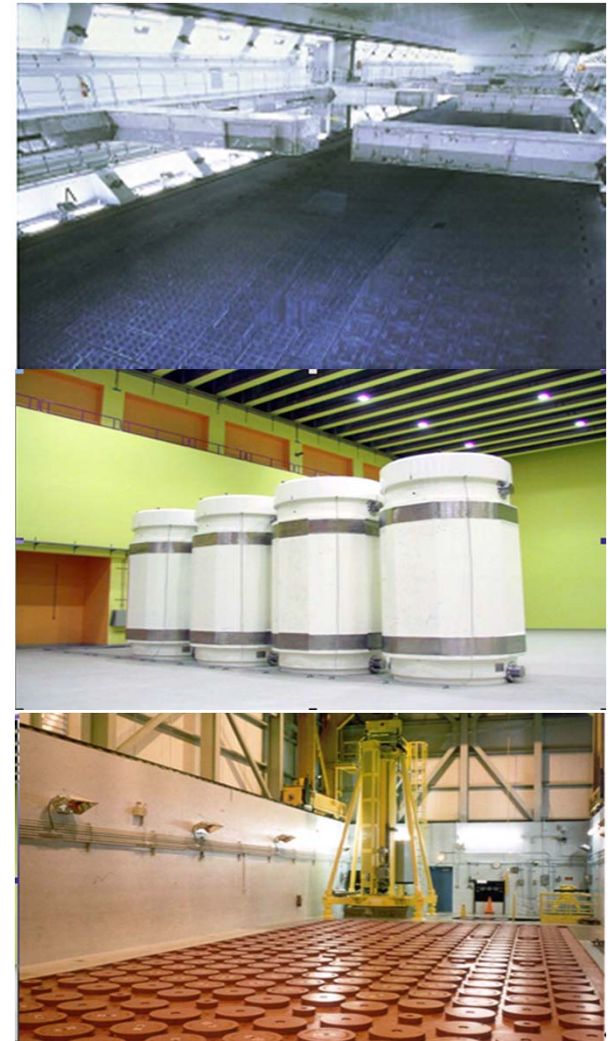
出典：P. Sharp, Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future, Report to the Secretary of Energy, INMM セミナー、Jan 2012, Arlington, VA.

参考資料

- 使用済燃料管理の課題、長期貯蔵の実証試験(IAEA)
- 使用済燃料貯蔵の経済性(プールとキャスク貯蔵の比較例)(IAEA, ドイツ)
- 米国の長期貯蔵研究計画の概要と成果例

使用済燃料管理の論点(IAEA)

- 使用済燃料管理戦略：資源か廃棄物か。
- 長期貯蔵が現実味を帯びてきている。貯蔵期間は、100年またはそれ以上の期間もあり得る。
- 使用済MOX燃料や高燃焼度燃料は、濃縮度や発熱量が高く、機械的に脆化している。
- 既存の貯蔵施設の許認可期間の延長更新。



出典：Ryu, H. (IAEA), ISSF 2010, Tokyo

使用済燃料長期貯蔵の実証試験(IAEA)

- 使用済燃料貯蔵の研究課題
 - 高燃焼度・高濃縮度・MOX使用済燃料貯蔵
 - 100年以上の貯蔵
 - 長期貯蔵後の輸送
- 使用済燃料貯蔵時の長期健全性の実証手法が求められている。
 - 実験計画、モニタリング、検査、メカニズム、モデル化、加速試験の妥当性

→ IAEAの国際調整研究

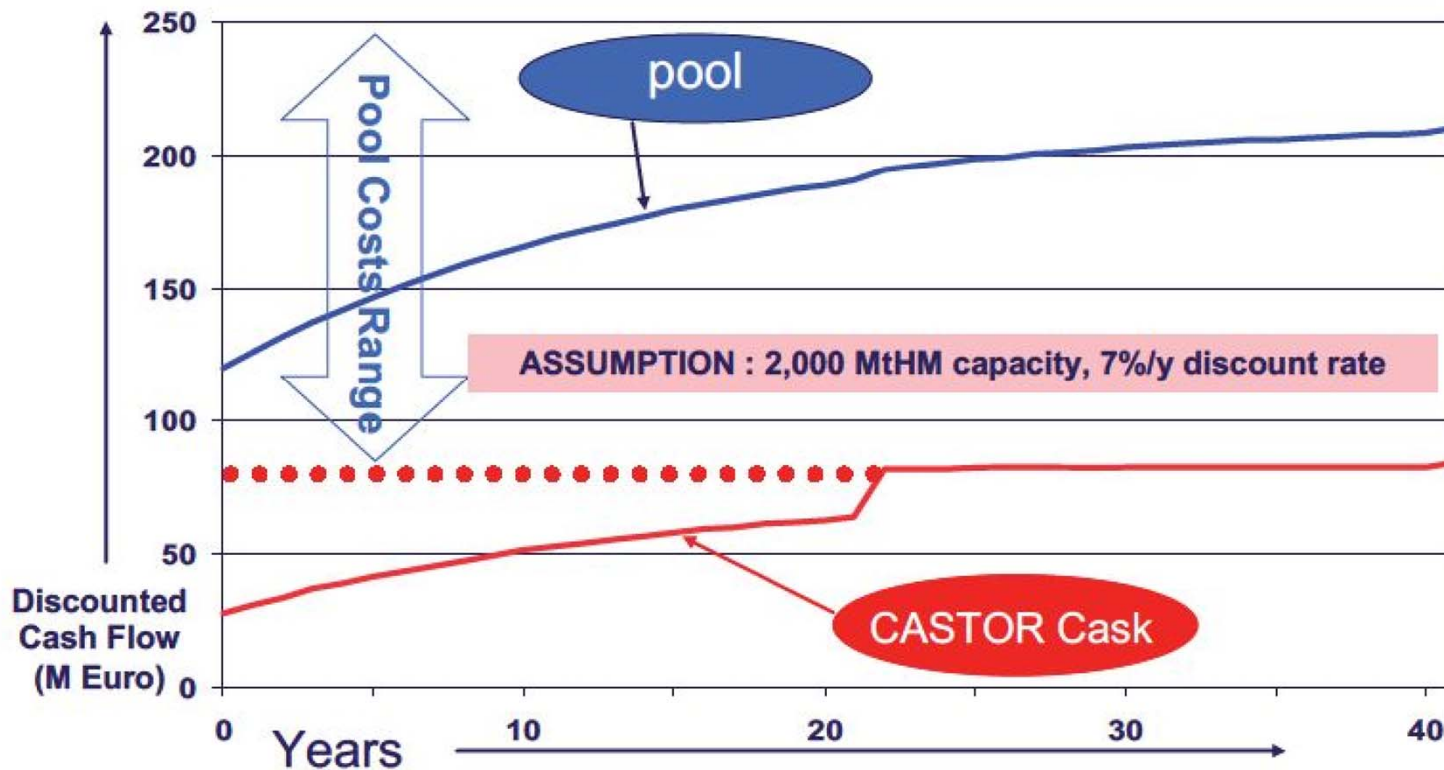


乾式貯蔵時の使用済燃料
集合体検査(米国 EPRI)

出典: Ryu, H. (IAEA), ISSF 2010, Tokyo

使用済燃料貯蔵の経済性

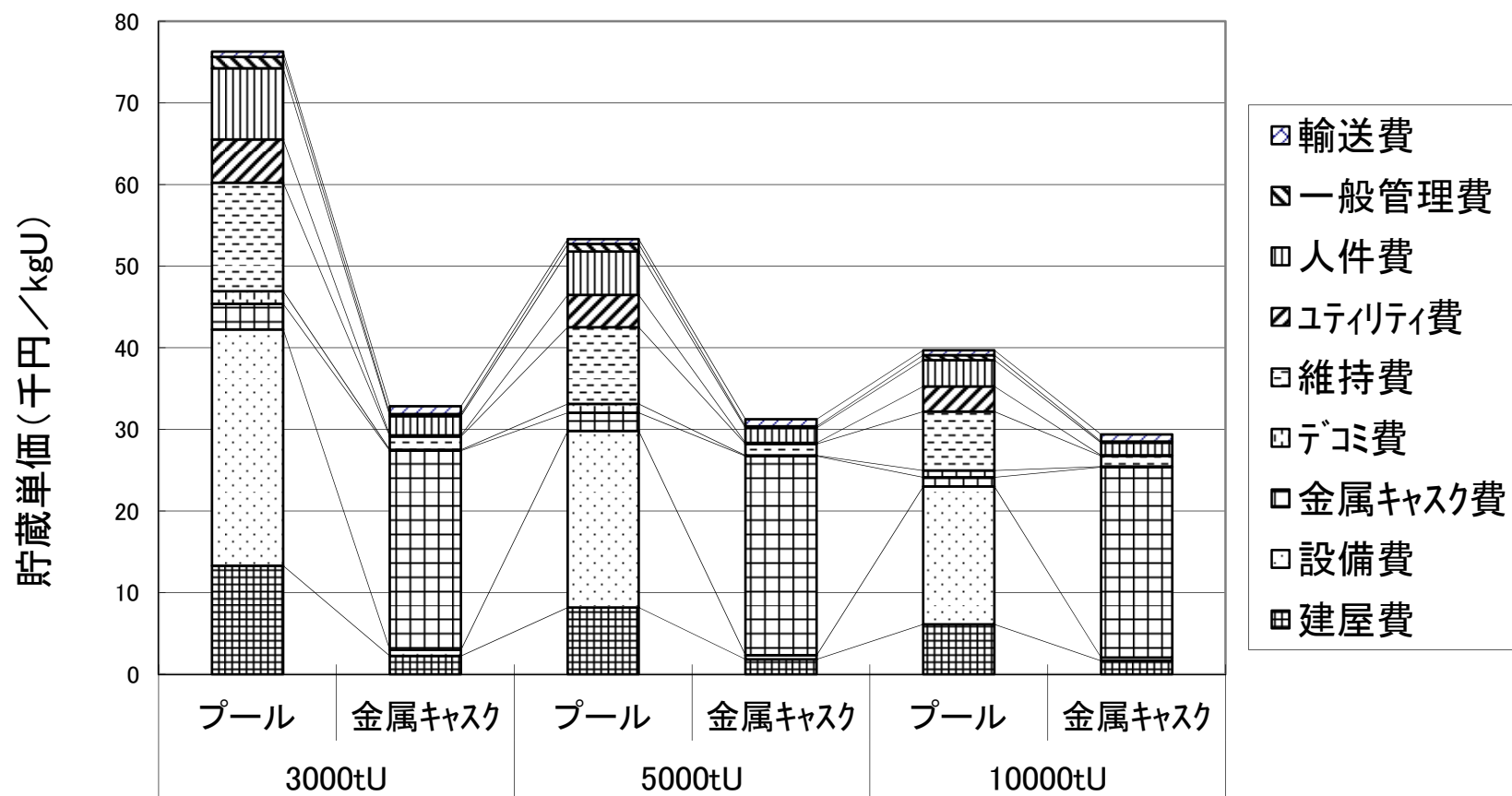
プール貯蔵とキャスク貯蔵の比較例(ドイツFluege, IAEA-CN-102/73, 2003)



初期投資額が、プール貯蔵で大きい一方、キャスク貯蔵で比較的小さいことが特徴。

出典: Costing of Spent Nuclear Fuel Storage, IAEA No.NF-T-3.5 (2009)

使用済燃料貯蔵技術の経済性比較 [貯蔵単価]: 千円/kgU]



出典:
 電力中央研究所 研究報告(U99047)
 「使用済燃料敷地外貯蔵技術の経済性評価」, 2000年5月

米国の長期貯蔵期間に関する考え方

- NRCは、これまで120年間（炉の許認可60年＋貯蔵60年）、安全に貯蔵できるとしてきた。今後は、300年間の長期貯蔵についても検討するとしている。
- ブルーリボン委員会は、300年間の貯蔵の評価が行われていることが、このような長期貯蔵を望ましい、又はコストやリスク管理の観点からも擁護されるべきとの意思表示と考えてはならない、としている。

出典

1. [NRC Policy Issue Information](http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML1102/ML110260244.pdf), Plan for the Long-term update to the Waste Confidence Rule and Integration with the Extended Storage and Transportation Initiative,

<http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML1102/ML110260244.pdf>

2. Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future, Report to the Secretary of Energy, Jan 2012.

米国の長期貯蔵研究計画の概要

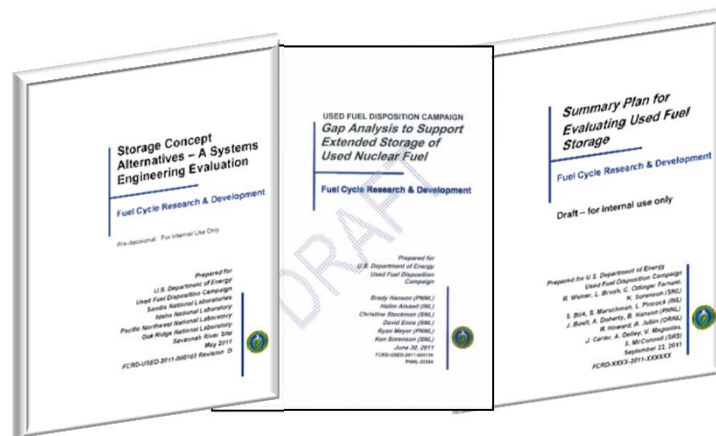
目的:

- 既存の乾式貯蔵システムの長期健全性を実証する技術的根拠の整備。
- 長期貯蔵後の再取出し・輸送を可能にする術的根拠の整備。
- 高燃焼度燃料の輸送を可能にする技術的根拠の整備。



2010年

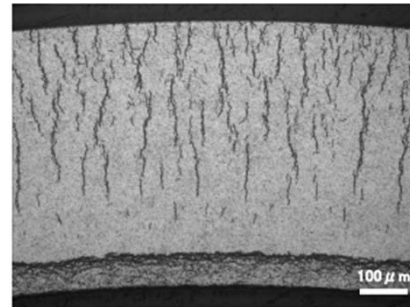
- 使用済燃料対策研究の立上げ



ギャップ解析計画書(DOE)

2015年

- 研究実施計画
- 技術的根拠の整備
 - 短期的な実験と解析



使用済燃料被覆管の水素
化物再配向の例

2020年

- 長期貯蔵の実証計画
- 更なる長期実証



コンクリートキャスク
貯蔵の例

米国の長期貯蔵研究 2011年の成果例

構成部品	課題	研究開発の重要性
使用済燃料被覆管	照射効果の焼鈍の影響	中
	酸化	中
	水素の影響：脆化	高
	遅れ水素破壊	高
	クリープ	中
集合体部品	応力腐食割れ	中
中性子吸収材	熱的劣化の影響	中
	脆化と割れ	中
	クリープ	中
	腐食(膨れ)	中
キャニスタ	大気腐食(海洋環境)	高
	水分による腐食	高