

本和訳資料は、参加各位のご参考用に、戸田建設(株)が著者の了解を得て、ボランティアで作成および編集したものです。訳の品質は問わないでください。訳文をセミナー中の参考とする以外に使わないでください。また、著作に関わる権利は全て英文資料の原著者にあります。

日本原子力学会 バックエンド夏期セミナー 2018年8月23日 仙台市

Integration of Safety, Reliability and Technology based on
experience of nuclear waste management in Finland

フィンランドにおける放射性廃棄物管理の 経験に基づく安全、信頼性、技術の統合

Dr. Sami Hautakangas, Senior Manager
Nuclear Service
Fortum

Join the
change

fortum

Fortum mid-sized European power generation player; major producer in global heat

Our core

Hydro and nuclear
Combined heat and power production
Circular economy
Energy-related products and expert services

9,000


professionals in the Nordics, the Baltics, Russia, Poland and India

We are the largest electricity retailer in the Nordics with **2.4 million** customers. And one of the leading heat producers globally

60% of our electricity generation is CO₂-free

2/3 of our power production is **hydro and nuclear**

 fortum



フィンランドにおける
原子力の知識・経験

フィンランドのここ数十年 における原子力の知識・経験

- ・フィンランドのエネルギー需要の増加は、フィンランドの急速な工業化によって促進されました。製造業がフィンランド経済の大部分を占めるため、かなりのエネルギーが必要でした。
- ・増大するエネルギー需要を満たすため、フィンランドの原子力発電は1977年に始まり、最初の原子力発電所がロヴィーサのヘストホメルン島で操業を開始しました。ロヴィーサの2基目は1981年に操業しました。また1979年と1982年にはオルキルオトに2基(TVO社)が建設されました。
- ・40年以上前の最初の原子力発電所の建設から：
フォルツム社の長い歴史から、世界に先駆けた豊富な原子力の知識・経験に基づくサービスを提供しています。

フィンランドとスウェーデンにおける 原子力関連資産



Loviisa

Two units
507 + 502 MW = 1009 MW

Fortum's ownership 100%



Olkiluoto

Two units, third under construction

880 + 890 MW = 1,770 MW
Under construction 1,600 MW

Fortum's share: 27% (471 MW)



Oskarshamn

One operating unit
1,400 MW

Fortum's share: 43% (607 MW)

In addition, Unit 2 of 630 MW was permanently shut down in 2015 and Unit 1 of 473 MW in 2017



Forsmark

Three units
984 + 1,120 + 1,167 = 3,271 MW

Fortum's share: 22% (720 MW)

フィンランド

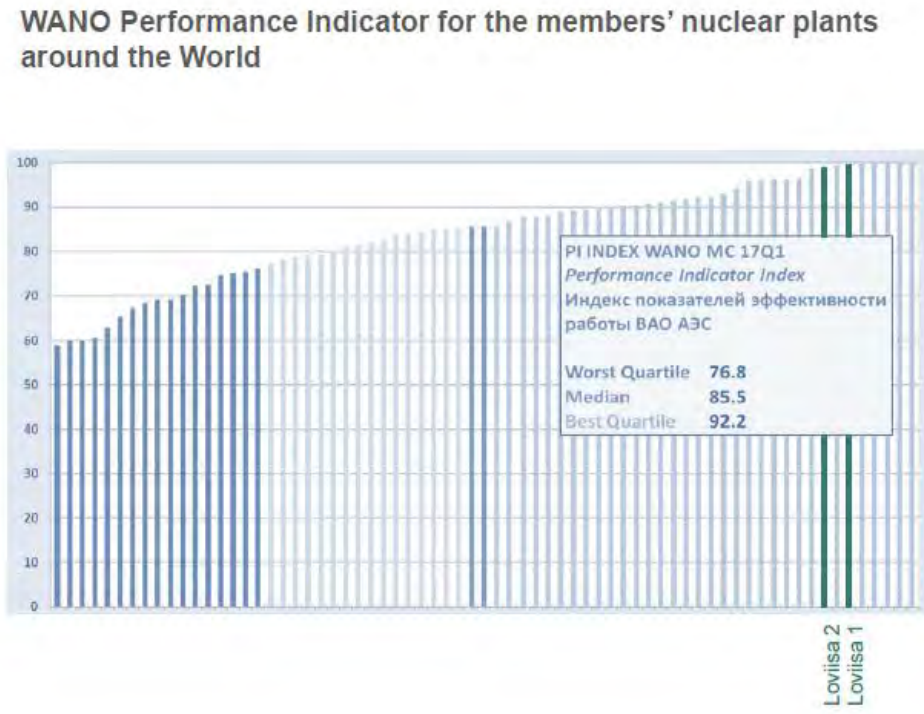
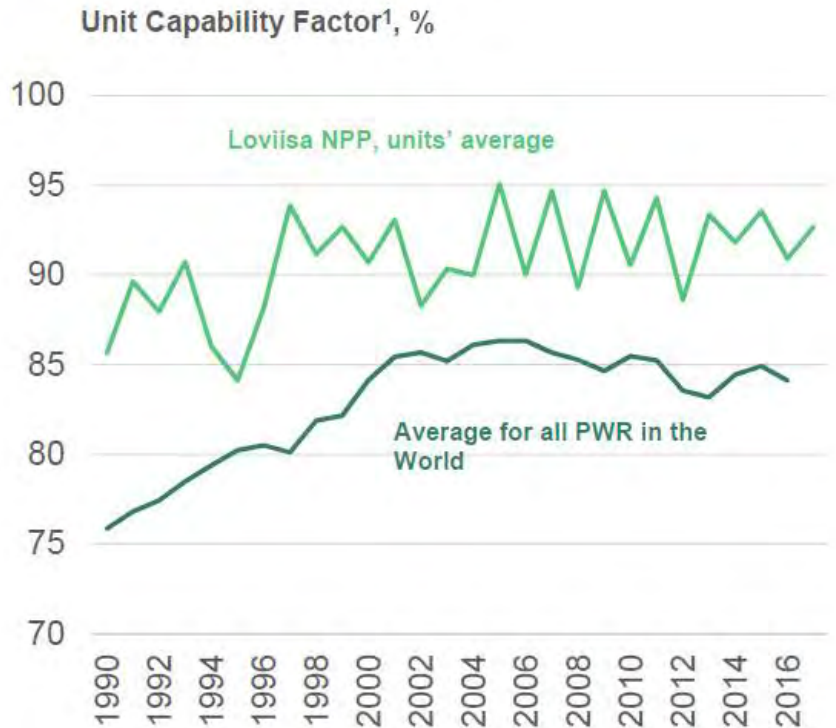
スウェーデン

ロヴィーサ原子力発電所 (フィンランド)

- Two units with VVER-440 reactors
- Installed power capacity 507 + 502 = 1009 MW
- Unit 1 commissioned in 1977, Unit 2, in 1980
- Operation license valid through 2027 for unit 1 and through 2030 for Unit 2
- Annual generation about 8 TWh which covers about 10% of electricity consumption of Finland
- The power plant continuously employs about 500 Fortum employees and 100 subcontractors' employees



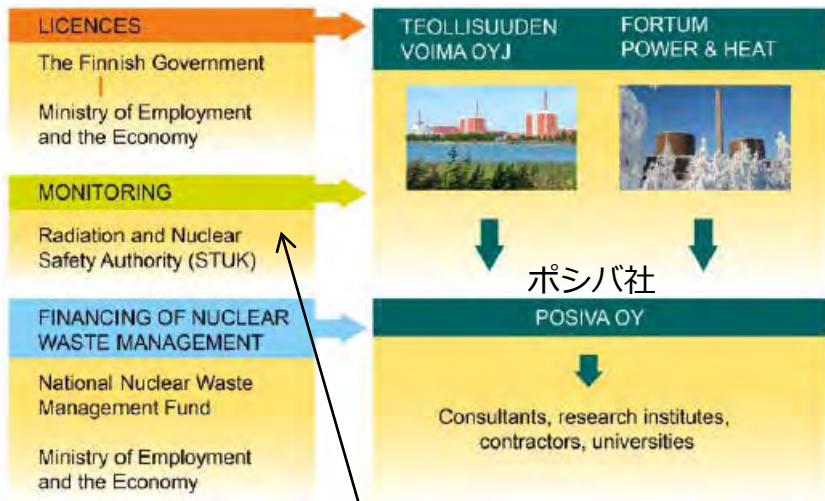
ロヴィーサ原子力発電所の優れた実績はフォルツム社の原子力に関する熟練度を示す指標の一つ



1. The Unit Capability Factor shows what could have been the annual electricity generation expressed in the percentage of the energy generation if the unit was operated continuously at full power, if there were no any limiting factors out of the control of plant management.

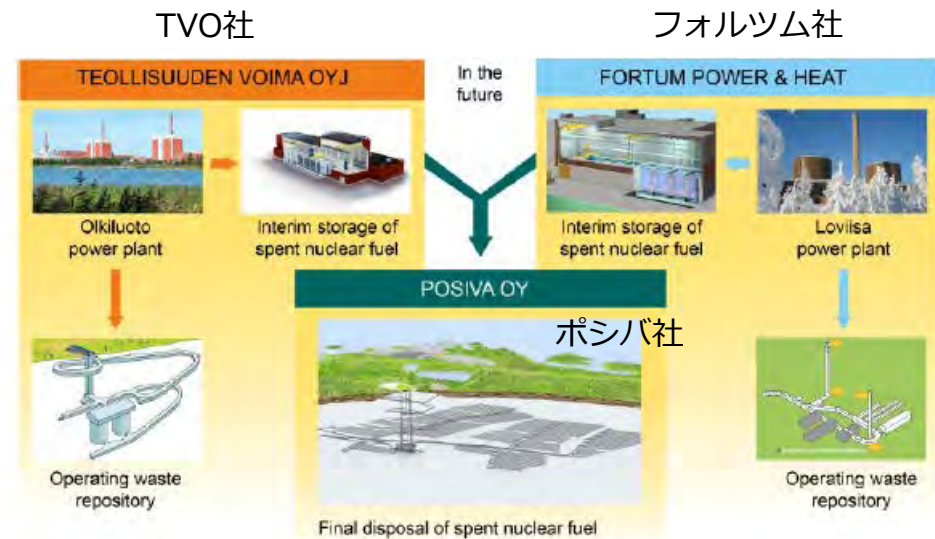
フィンランドの安全な放射性廃棄物管理のための施策と責任

政府（雇用経済省）による許認可



ファイナンス

規制当局
(STUKによる
モニタリング)



運転廃棄物の処分

使用済燃料の最終処分

運転廃棄物の処分

低中レベル
放射性廃棄物
の中間深度処分

高レベル放射性
廃棄物の地層処分

低中レベル
放射性廃棄物
の中間深度処分

オルキルオト

オルキルオト

ロヴィーサ

フィンランドの「汚染者負担の原則」：
原子力の時代の非常に初期段階の規制で実施された原則

2001年5月18日の議会における使用済み燃料処分に関する決定的な議論

- 「最終処分を目指すことは、単に中間貯蔵に頼るよりも優れた解決策である」
- 「廃棄物キャニスターの回収可能性のオプションを維持しなければならない」
- 「現世代は放射性廃棄物の責任を負わなければならない」

159	賛成
3	反対
37	欠席



市議会の拒否権投票

- 2000年のユーラヨキ自治体評議会での投票

20 賛成
7 反対



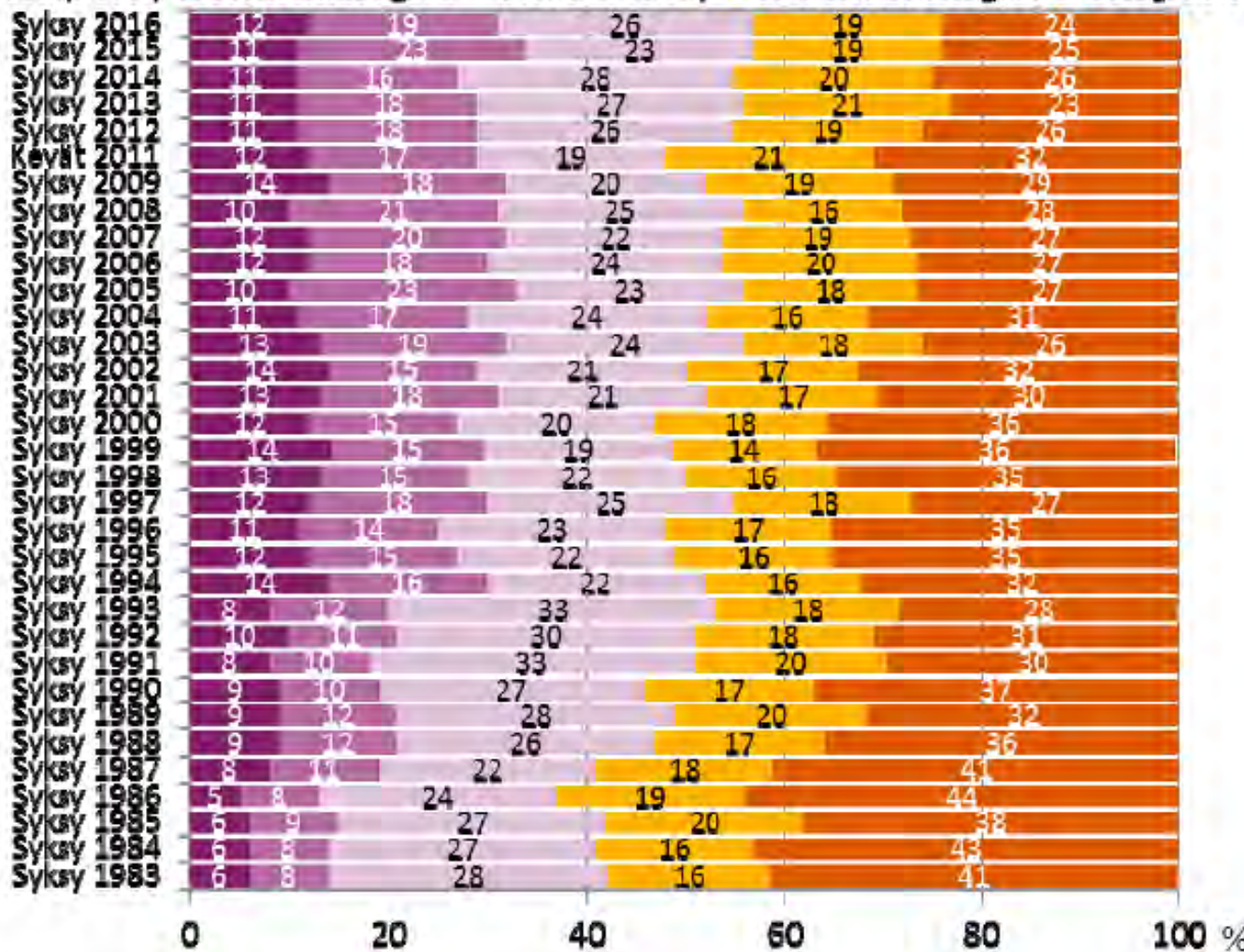
※ユーラヨキ自治体は、使用済燃料の最終処分の立地場所（オルキルオト）

フィンランドエネルギー協会1983年から2016年の年次調査

放射性廃棄物は、フィンランドの母岩の最終処分場に安全に格納することができる。 - あなたは同意しますか？

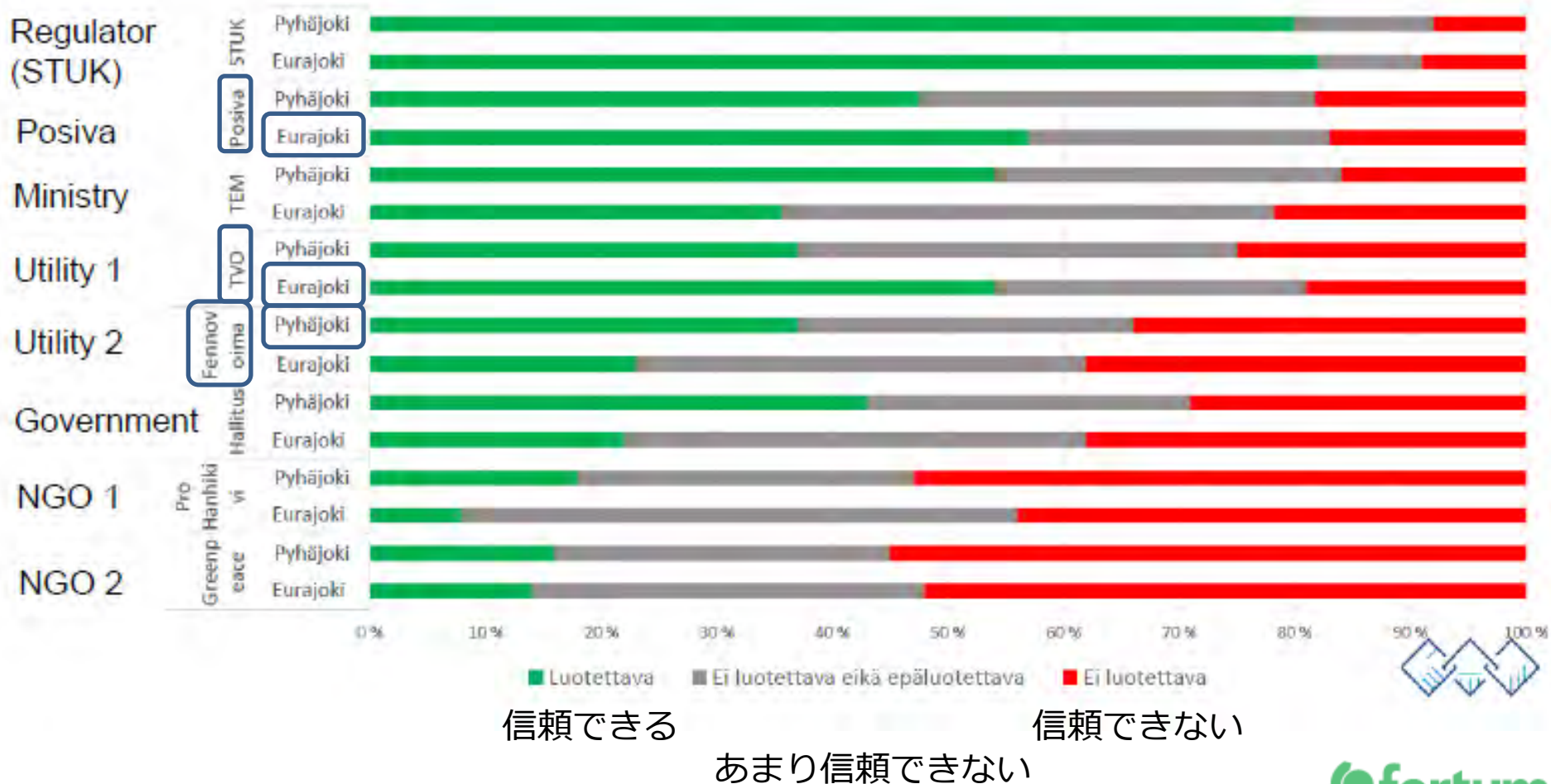
完全に同意 やや同意 どちらとも言えない やや反対 完全に反対

■ Agree completely ■ Somewhat agree ■ Diffcult to say ■ Somewhat disagree ■ Disagree completely



放射性廃棄物管理に関する様々な当事者に対する公衆の信頼 2017年のユーラヨキとピュハヨキ自治体の住民の意見

上段 ピュハヨキ 北西部の新しいサイト (フェンノヴォイマ社)
下段 ユーラヨキ オルキルオト (低中レベル: TVO社、高レベル: ポシバ社)





Fortum/Loviisa NPP

Nuclear Waste Management

フォルツム社/ロヴィーサ原子力発電所

放射性廃棄物管理

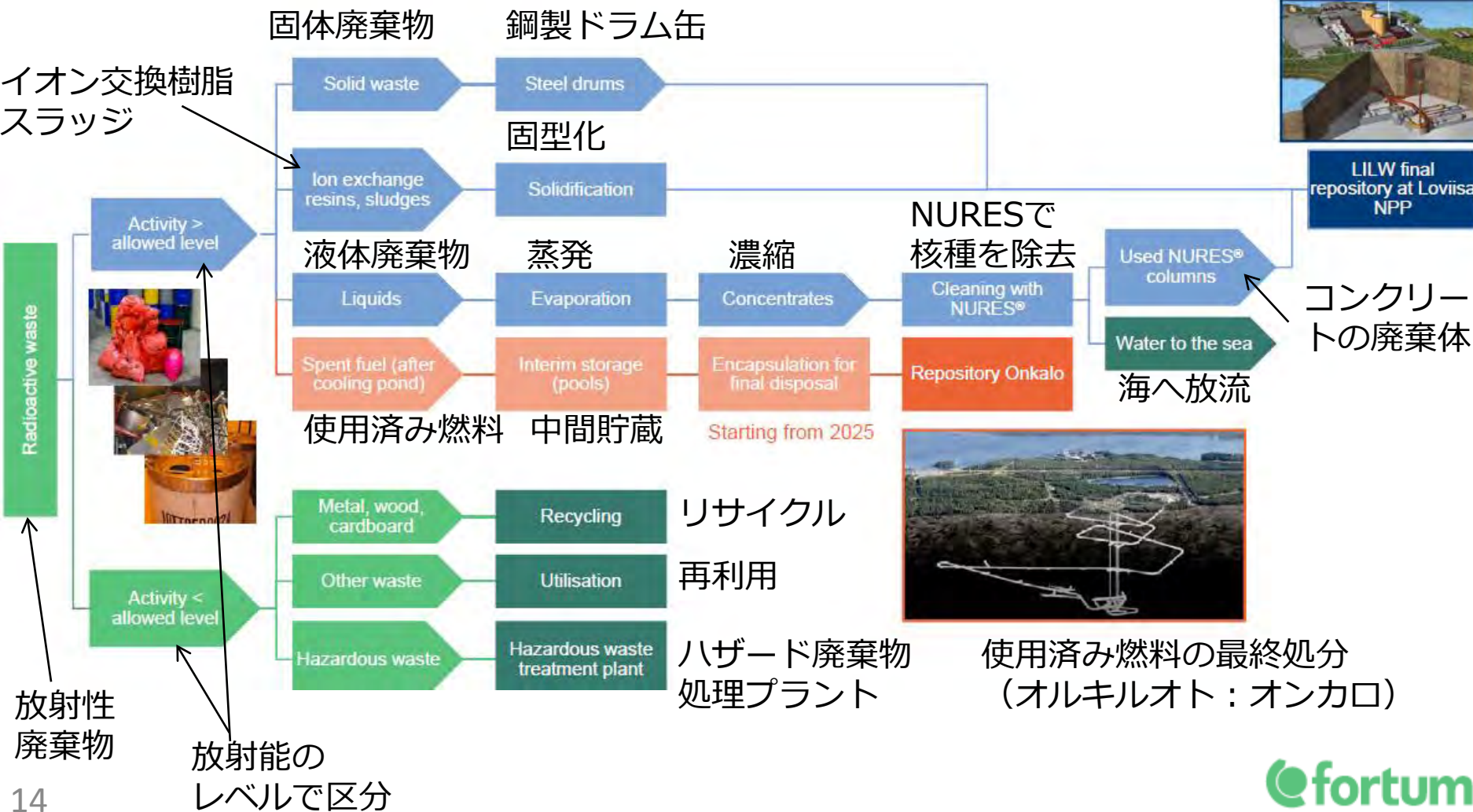
ロヴィーサ原子力発電所の廃棄物管理

低中レベルの最終処分
ロヴィーサ処分場



LILW final repository at Loviisa NPP

コンクリートの廃棄体



放射性廃棄物

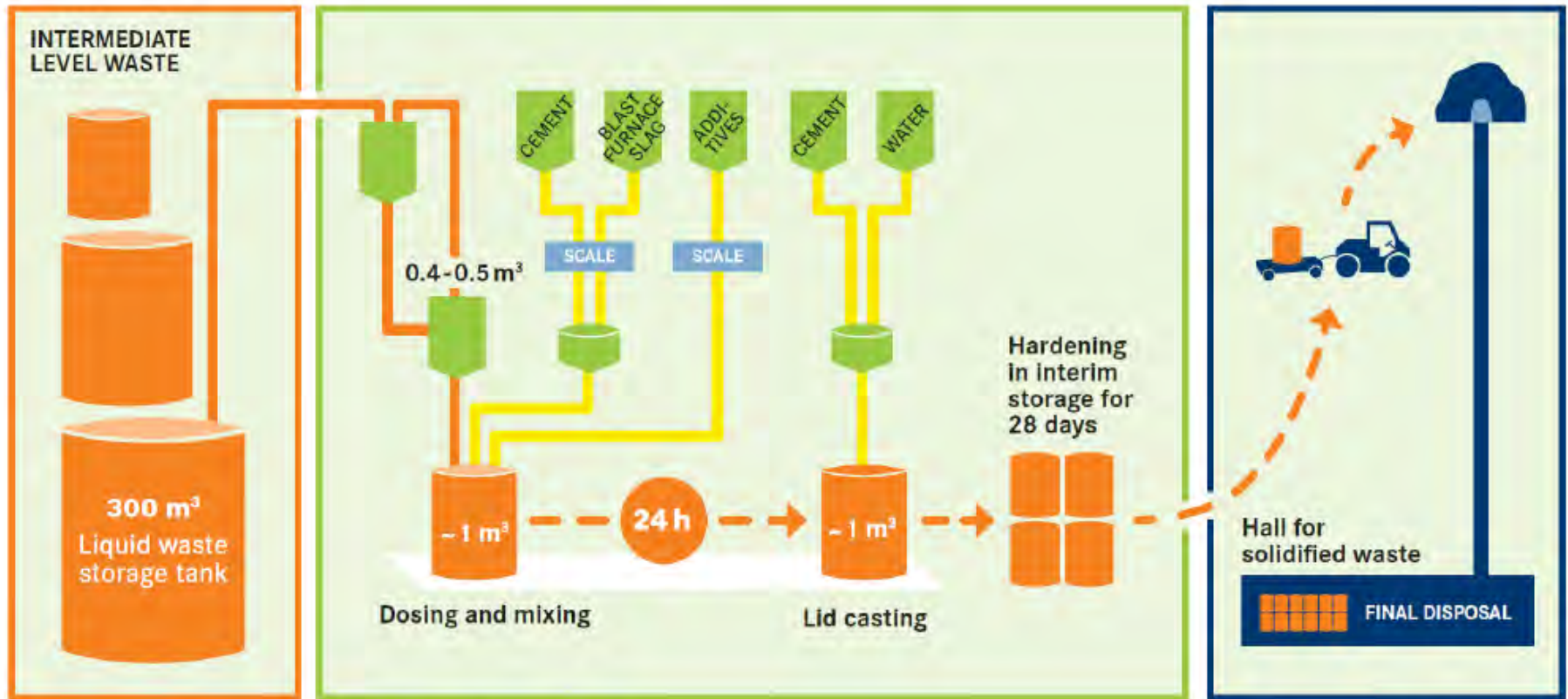
放射能のレベルで区分

ロヴィーサ原子力発電所の の固型化プラント

- 固型化プラントは独立したユニットであり、発電所の運転中 (> 50年)、使用済み燃料の廃炉および中間貯蔵中にすべての液体廃棄物を処理するように設計されている。
- マトリックスはセメントと高炉スラグに基づいている。
- プロセスは制御室より操作する。
- 主な廃棄物の起源は、イオン交換樹脂およびスラッジである。
- 廃棄物およびバインダーは、最終処分の廃棄体で投与、混合される。



ロヴィーサ原子力発電所の 固型化のプロセス



Liquid waste storage

液体廃棄物の貯蔵

Solidification plant

固型化处理

Final repository

最終処分

ロヴィーサ原子力発電所で液体廃棄物の固型化のために開発されたマトリックスは伝統的なセメント固化に比べて2倍の効率

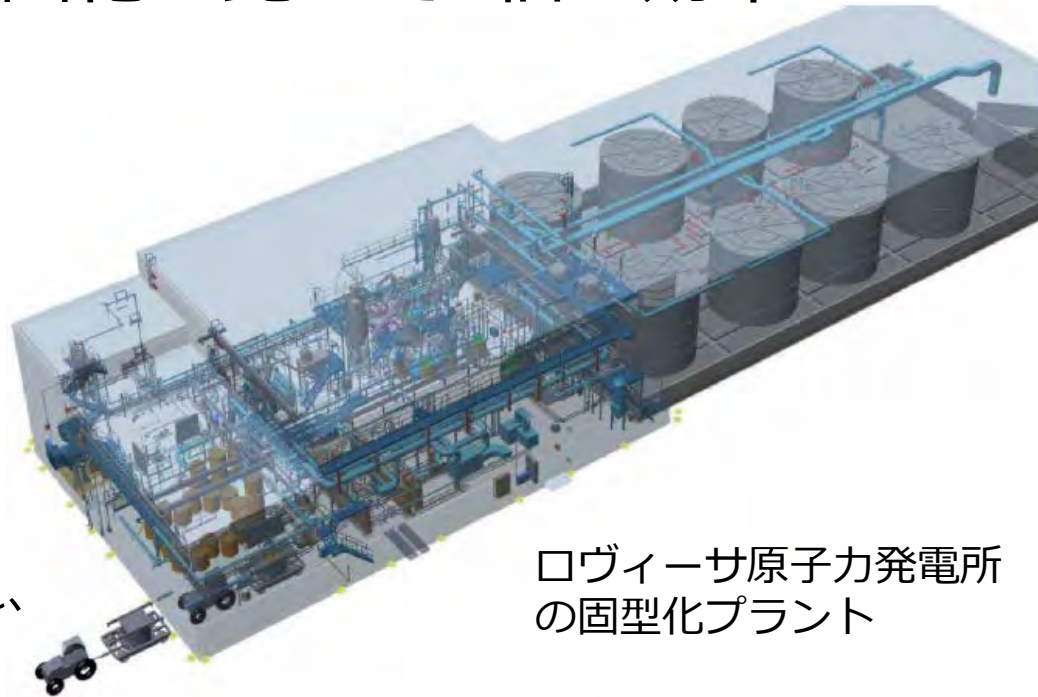
- フォルツム社で開発されたセメントマトリックスは、従来のマトリックスの2倍以上の効率
 - 固化した製品の廃棄物含有量は、40%~50%
 - コストは、従来のセメント固化と実質的に同じ

- 1980年にレシピ開発が開始され、レシピ完成まで作業が継続する。

- マトリックスの品質を低下させることなく、55%以上の廃棄物をターゲットとする。

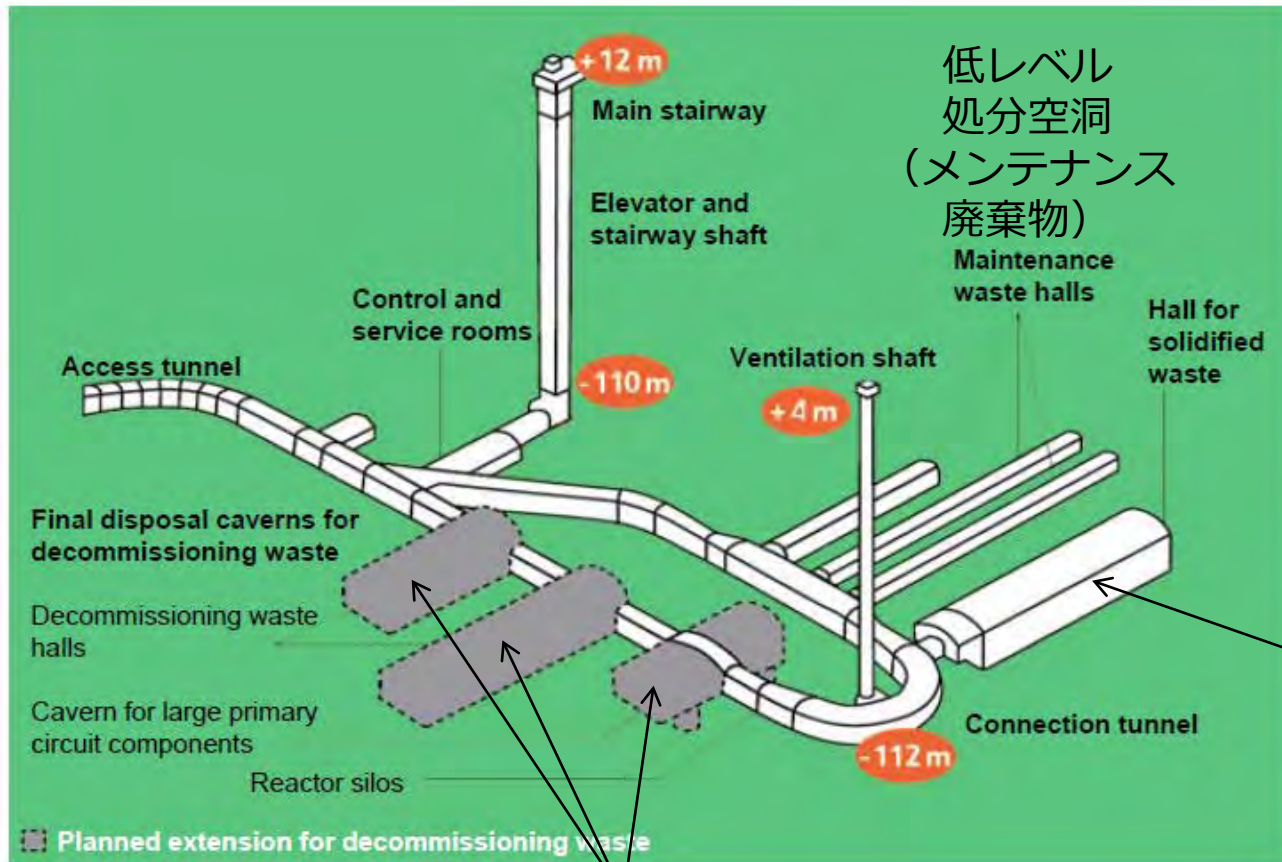
- マトリックスを地下水にさらす試験は、マトリックスが4年後に弱くならないことを示している。

- すべてのタイプの低中レベル廃棄物に適している。



ロヴィーサ原子力発電所の固型化プラント

ロヴィーサ原子力発電所の 低中レベル放射性廃棄物の最終処分



廃止措置廃棄物の最終処分の空洞
(未施工)

中レベル処分空洞
(固型化処理された廃棄物の処分)

低中レベル放射性廃棄物の最終処分場の設計

References:

- Loviisa, Posiva (FI)
- STUK (FI)
- Puram / Bátorom Ltd. / Batkontroll (HU)
- EC/ PHARE (HU)
- LSK RADON (RU)

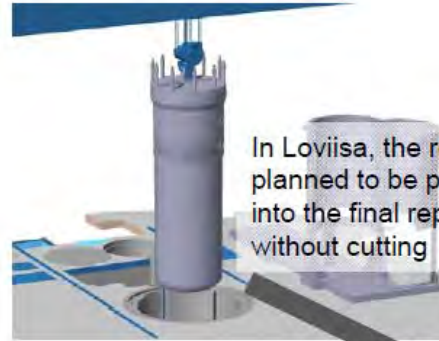
- 低中レベル放射性廃棄物の最終処分場の設計、ライセンス供与、コスト分析、処分場とその環境の長期評価、安全分析を実施
- 放射能レベルの低いものと高いものを同じ処分場の異なる場所（中間深度）に埋設
- 低中レベル放射性廃棄物処分場は、閉鎖後、メンテナンスフリー
- 原子力発電所の敷地内の場所のため、最小限の努力で、低中レベル放射性廃棄物処分場に対する公衆の容認を獲得



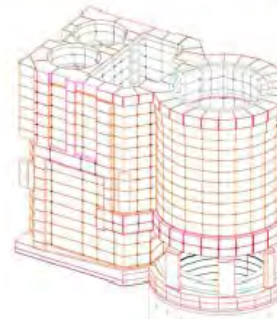
原子力発電所および研究炉 の廃止措置計画

- 廃止措置の戦略、ライセンス供与、廃棄物管理計画、廃棄物インベントリー、作業計画とコスト見積り、安全解析、放射線量率の推定、資源計画を実施
- 廃棄物の回収、処理から最終処分までのプロセス全体の最適化（例えば、除染と処分間のコストの最適化）
- 費用効率の良い廃止措置の方法
例：原子炉圧力容器を切断せずにそのまま処分
- 高機能の焼却による有害廃棄物のリサイクルと安全な処分

ロヴィーサでは、原子炉は切断することなく最終処分場に埋設の計画



In Loviisa, the reactor is planned to be placed into the final repository without cutting



セメント構造は埋設前に切断の計画

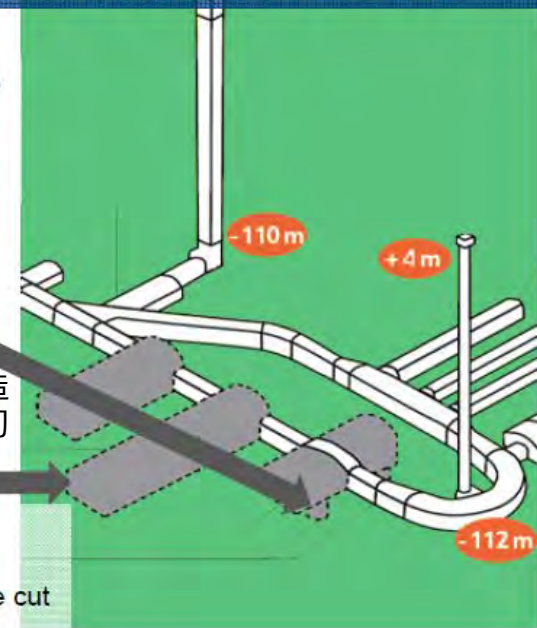
The cement structure is planned to be cut before burial

顧客のメリット：

- 廃止措置コストの削減
- 最終処分の廃棄物量の最小化

Benefits for the customer:

- Reduced decommissioning cost
- Minimized final waste volumes



References:

- Loviisa NPP
- Several contracts for decommissioning planning of Olkiluoto NPP (FI)
- Executing the largest demolition project in Finland (Inkoo power plant demolition).

放射能の汚染水を浄化するための NURES® the NUclide REmoval System

- 放射能の汚染水の浄化のために開発されたソリューション（解決法）
- 例えばCs、Sr、Coを除去するための高選択性イオン交換材料に基づく
- 世界で最も効果的なものの1つ：
 - 純粋な液体
 - 最小の廃棄物の量
 - 大幅なコスト削減
- 1990年代から世界中の60以上の顧客に提供
- 汚染水問題を解決するために、日本の福島第一原子力発電所の現場へ相当量供給



NURES®

放射性液体廃棄物の浄化の解決方法

- ・NURES®溶液は、無機の高選択性のイオン交換物質をベースとして、Cs、Sr、Co、Sb(アンチモン)などの核種やその他の腐食生成物、さらには液体からプルトニウムや他の超ウラン核種を除去するためのものです。

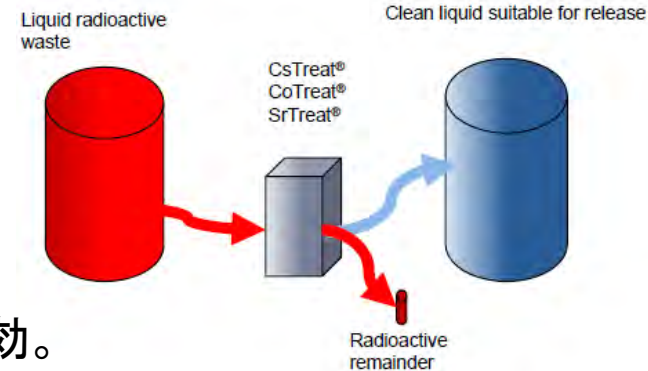
- 本来、蒸発濃縮液等の難しい液体を処理するために開発された。

- また、例えば、床排水は伝統的な脱塩システムの代わりに非常に高い除染係数で適用されている。

- NURES®は、市場に出回っている競合する有機または無機イオン交換体よりも放射性液体を洗浄し、廃棄物の量はより少ない。

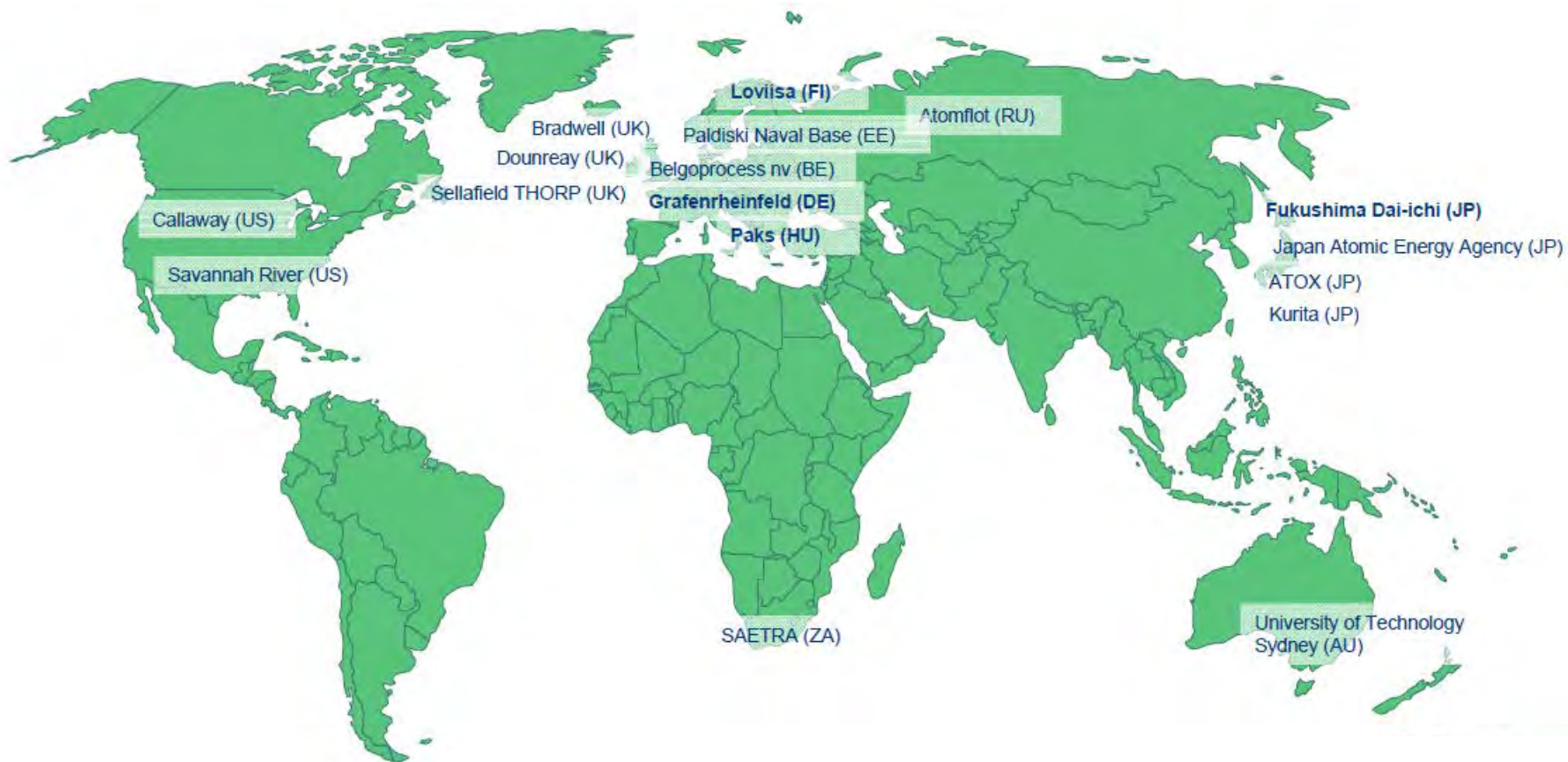
- 洗浄された液体は、他の吸着剤と比較して放射能レベルが最も低い。

- 異なる液体特性(高または低pH値および高塩濃度)に有効。



- ・NURES®は、減容化処理および最終貯蔵費用の削減による大幅なコスト削減をもたらす。
 - 例: 処理された蒸発濃縮物を海に放出することができるため、1991年以来、ロヴィーサ原子力発電所の2基の原子炉(VVER-440)で年間250万ユーロの節約

世界中でのNURSE®を使用した成功例 (13ヶ国以上、30以上の顧客)



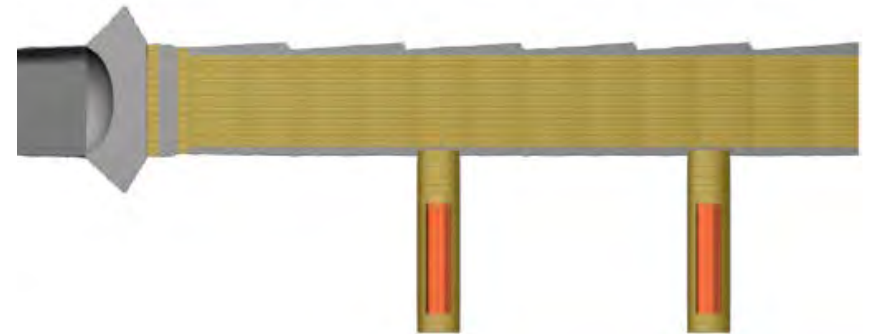
一つの島における完全な放射性廃棄物管理 - フィンランド、オルキルオト



実規模原位置実証試験 2018-2019

Full Scale In-Situ System Test (FISST)

- 実規模原位置実証試験（FISST）は、オンカロ™のデモンストレーションエリアの処分深さ420メートルに建設されている。
- 人工バリアシステムの構成要素の設計、設置および包括的な監視：
 - 銅製キャニスター 2個（燃料崩壊熱に相当する加熱を伴う）
 - 2つの処分坑の緩衝材
 - 約50mの埋戻し
 - 定置トンネルのプラグ
- 設置は2018年6月に開始された。
 - 外部パートナーが参加。



実規模原位置実証試験 (FISST) の概況

- 岩盤工事の定置トンネルと、処分坑が準備完了
- 計測器とセンサー（プラグを除く）が配備
 - 残りは、熱源の設備と同時に設置
 - 隣接トンネルへ貫通させる計装計器設置は5月に終了
- 継続中のトンネルのインフラ
 - 電気の仕様変更は5月までに準備
 - テストのセットアップのためのコンクリート工事が5月に完了の予定



実規模原位置実証試験（FISST）、人工バリアシステム構成要素の設置スケジュール

- ・ 設置準備完了
- ・ 最初の緩衝材の設置
- ・ 最初のキャニスタの設置
- ・ 埋戻し材の設置
- ・ プラグの設置

2018/5/28

2018/5/29

2018/5/31

6月末に開始

年末まで



FISST-preparation in ONKALO™

Thank You!

Fortum, Generation P.O. Box 100
00048 Fortum, Finland
Tel. +358 10 4511
www.fortum.com/nuclearservices



@FortumNuclear