

米国の原子力施設解体と環境除染経験

大西康夫^{1, 2}

シャス マティゴッド¹

ジェフェリ サーニ¹

(yasuo.onishi@pnnl.gov)

2012年5月19日

1 : パシフィックノースウエスト国立研究所

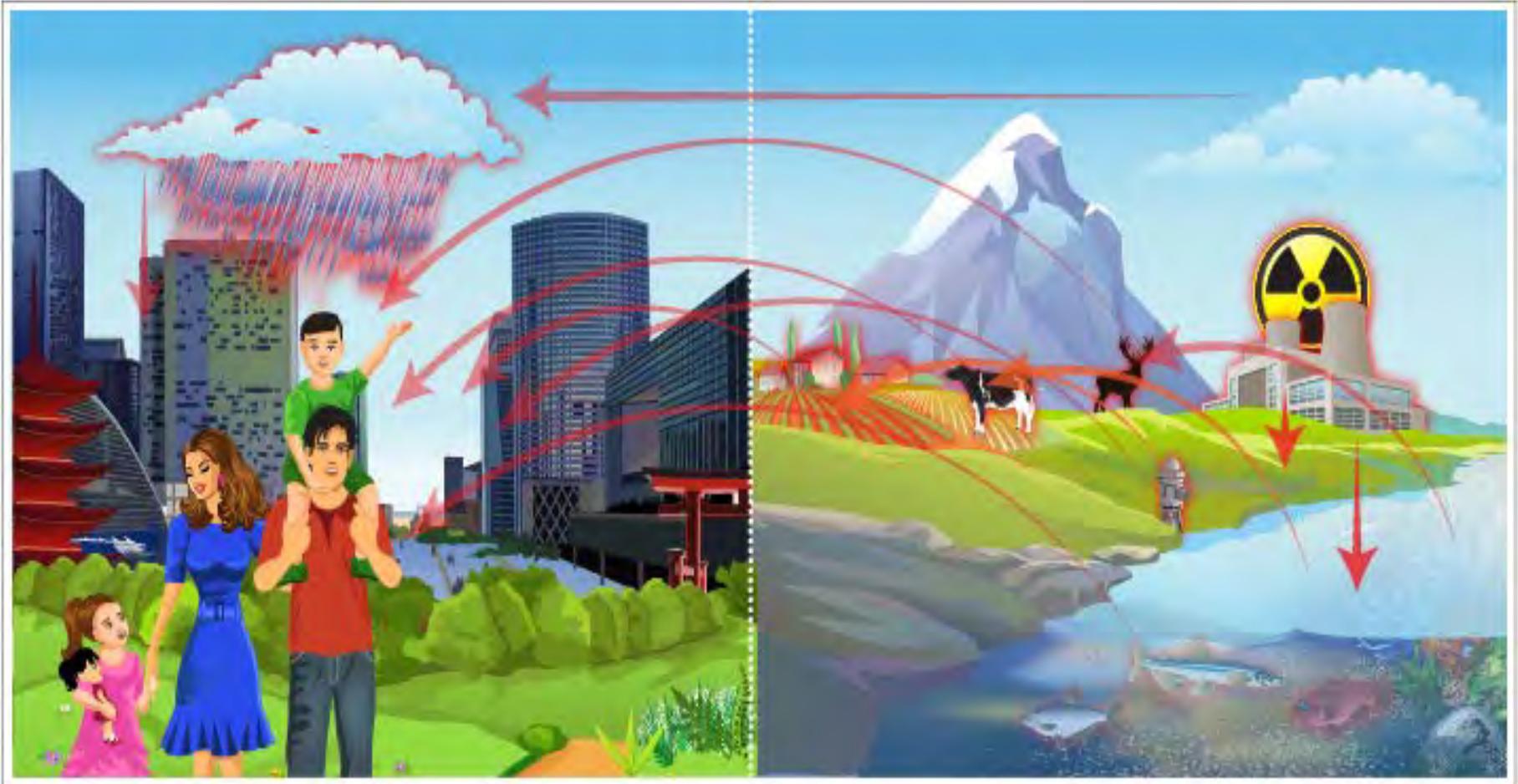
2 : ワシントン州立大学 土木・環境工学科

放射性物質の人体への汚染経路



Pacific Northwest
NATIONAL LABORATORY

Proudly Operated by **Battelle** Since 1965



セシウム被爆経路の重要性の比較

30年間の原子力施設運転により、空中に放出されたセシウムの汚染経路による濃度(Bq/m^3)から被爆量(Sv)の換算
(Report NCRP-123)

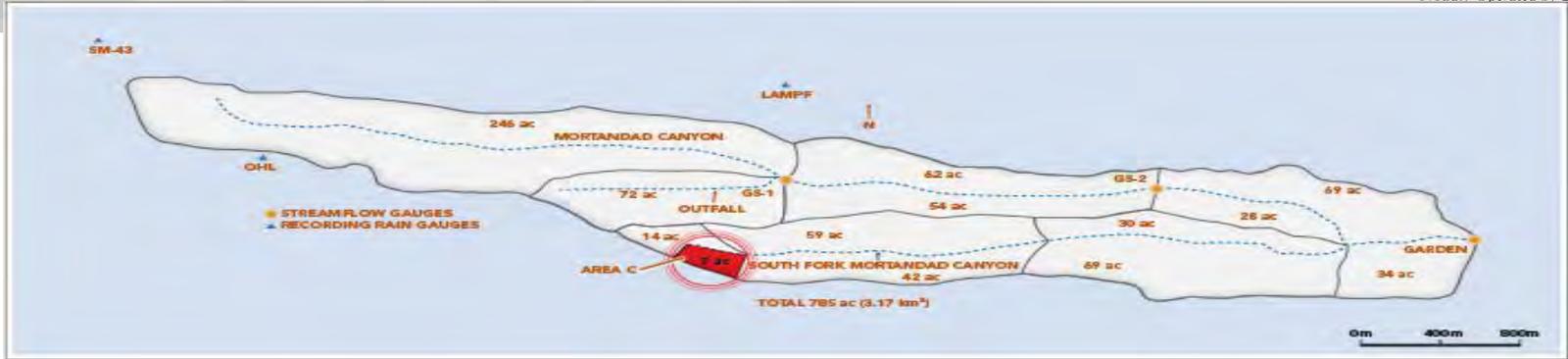
放射能物	半減期	呼吸吸入	プールム	地面	野菜	ミルク	肉	土壌	合計
Cs-134	2.062y	9.9E-5	2.0E-6	4.2E-2	1.3E-2	3.4E-2	4.3E-2	6.8E-4	1.3E-1
Cs-137	30.0y	6.8E-5	-	-	2.3E-2	4.1E-2	5.1E-2	3.1E-3	1.2E-1
Ba-137	2.552m	-	6.5E-7	9.9E-2	-	-	-	-	9.9E-2
Cs-137		6.8E-5	6.5E-7	9.9E-2	2.3E-2	4.1E-2	5.1E-2	3.1E-3	2.2E-1

南モータンドット峡谷でのプルトニウムの移行シミュレーション (TODAM モデル使用)



Pacific Northwest
NATIONAL LABORATORY

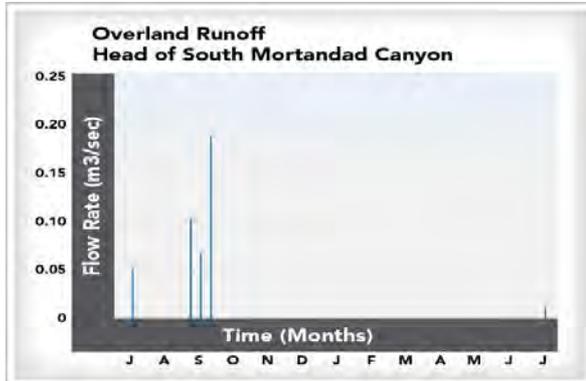
Proudly Operated by **Battelle** Since 1965



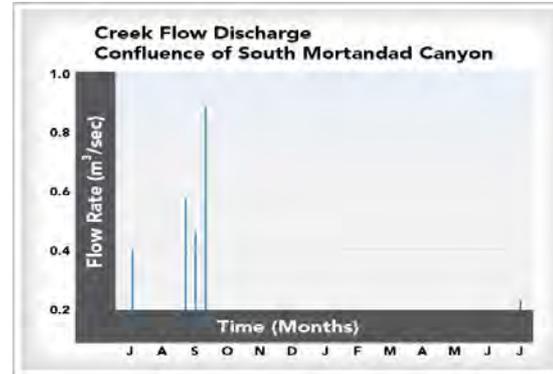
地上を流れる雨量

小川の流量

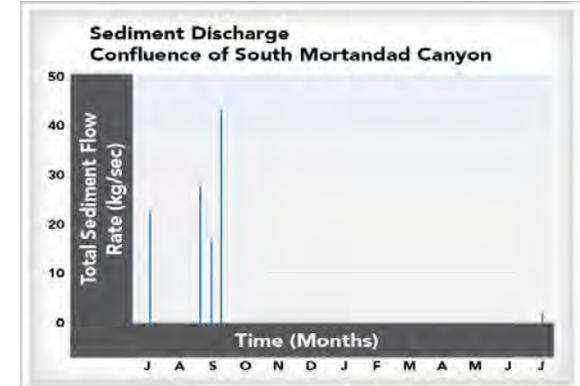
小川の土砂の流量



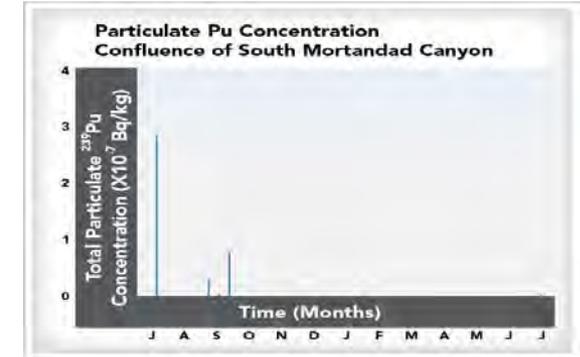
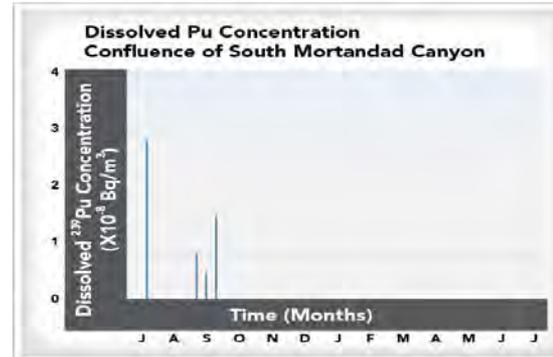
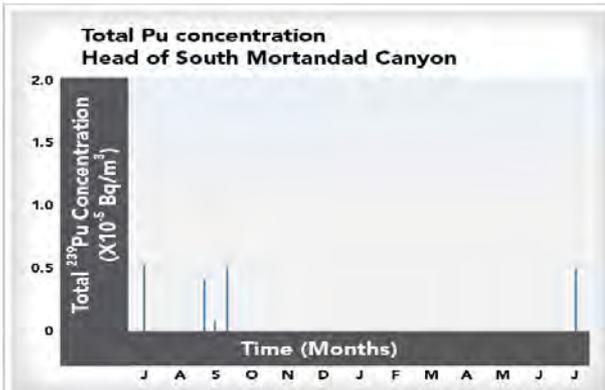
溶解と固体のプルトニウム



溶解プルトニウム



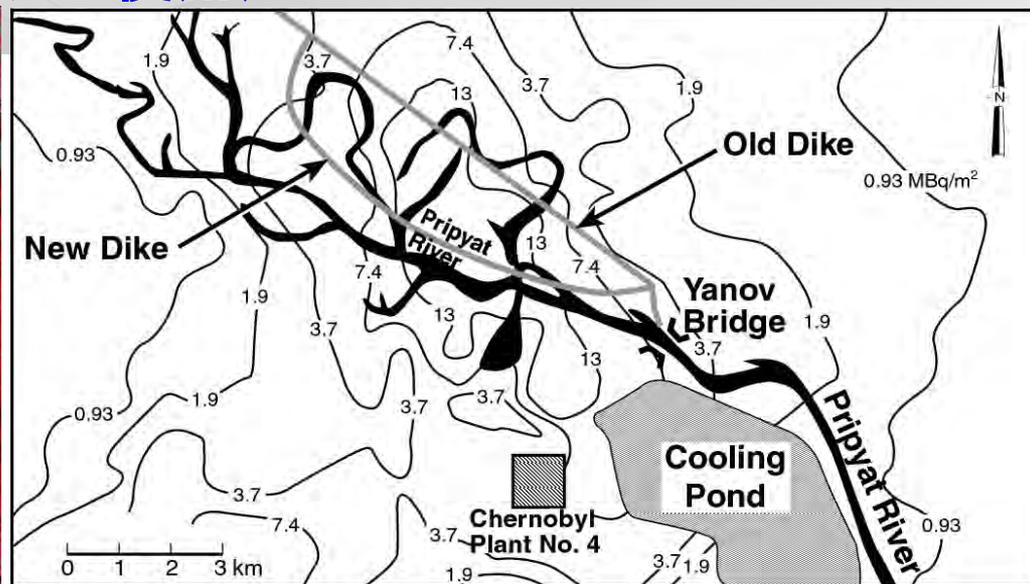
固体プルトニウム



プリペット河の洪水(1991年の河の氷結)と除染効果評価 (FETRAモデル使用)

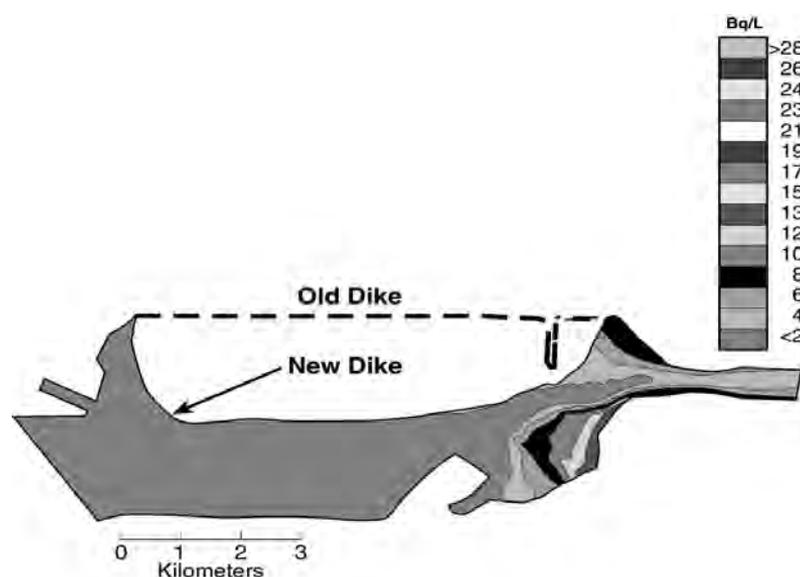
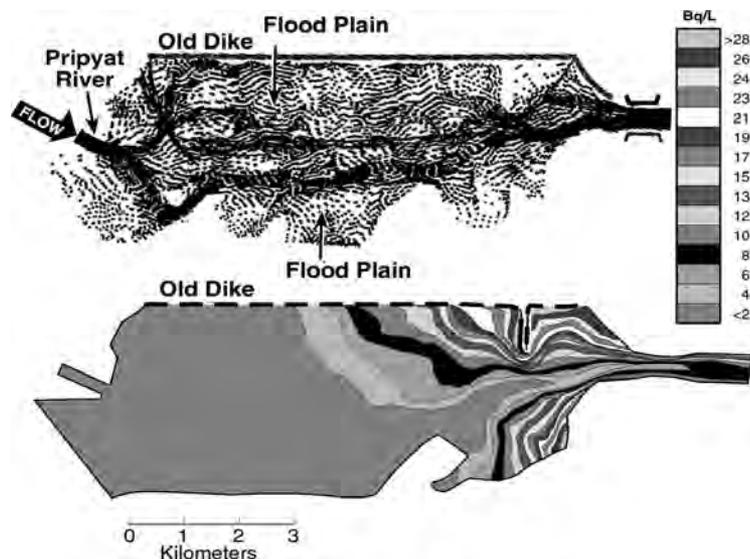


Pacific Northwest
NATIONAL LABORATORY



河の東岸の新しい堤防なし

河の東岸の新しい堤防あり



エネルギー省ハンフォード地



Pacific Northwest
NATIONAL LABORATORY

Proudly Operated by **Battelle** Since 1965



ハンフォード 用地の除染とデコミ



Pacific Northwest
NATIONAL LABORATORY

Proudly Operated by **Battelle** Since 1965

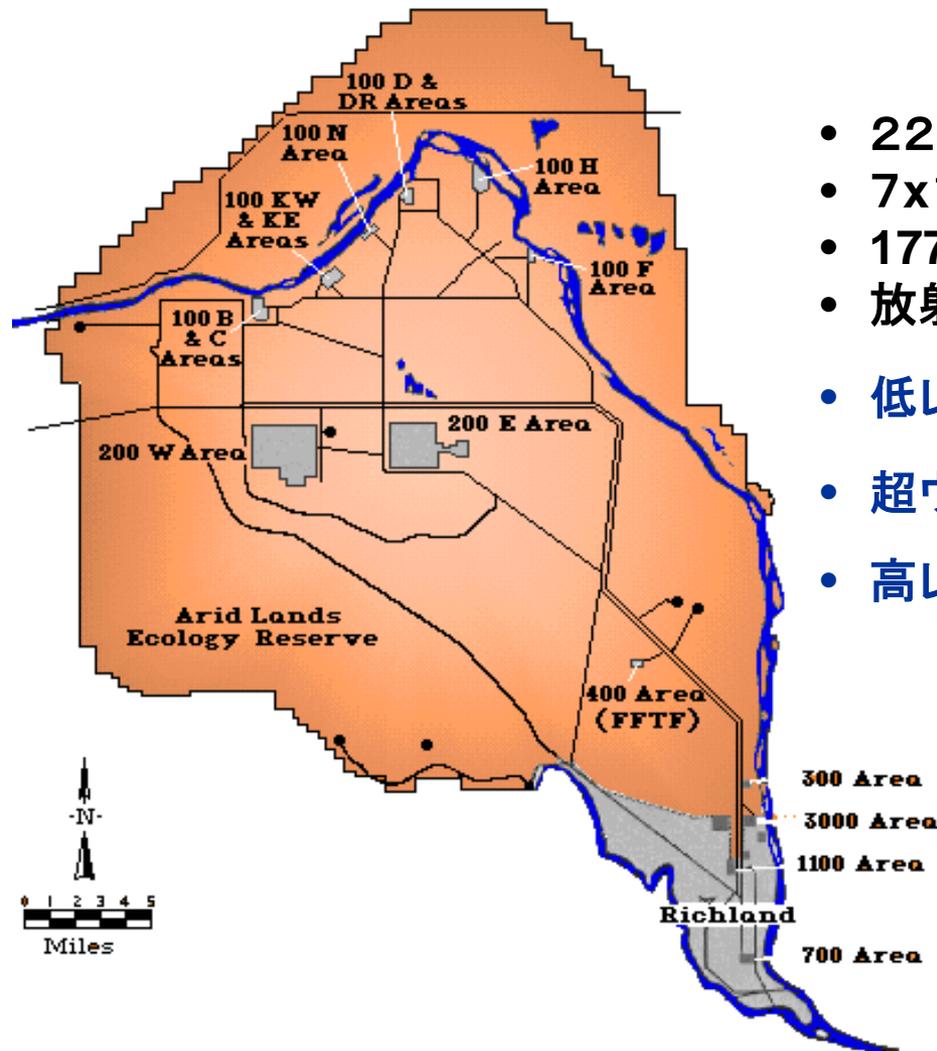
解体 → 汚染物除去 → 処理 → 貯蔵 → 処分

- ：敷地内の低レベル廃棄物処分地
- ：WIPPサイトに超ウランを輸送
- ：高レベル廃棄物を一時貯蔵後輸送

- 22万m³の固体と液体放射性物質
- 7x10²⁰Bq
- 177 地下貯蔵タンク
- 放射性物質の除去と固化処理
- 低レベル廃棄物とその化学毒性物混合
- 超ウラン(プルトニウム、ウラン等)と化学毒性物混合
- 高レベル廃棄物

コロンビア河沿い、

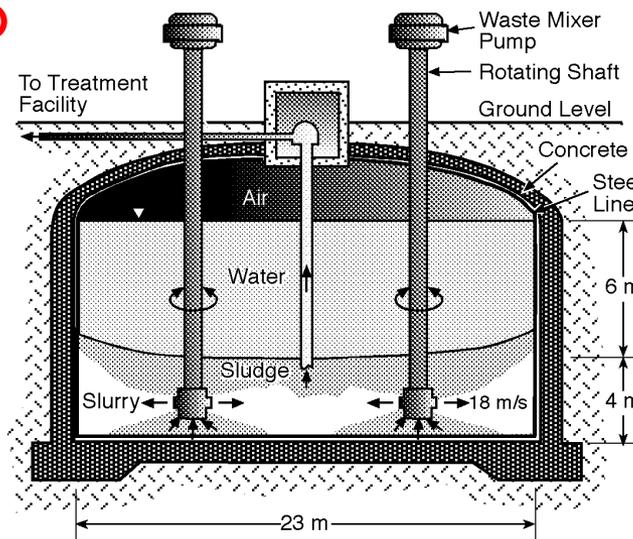
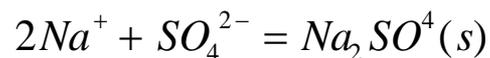
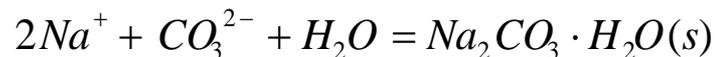
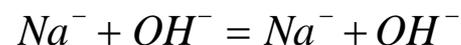
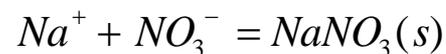
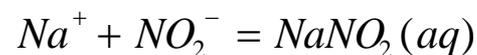
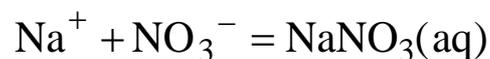
- 50 の埋蔵地
- 579 廃棄物サイト
- 357 余剰施設のデコミ
- 8 原子炉のデコミ



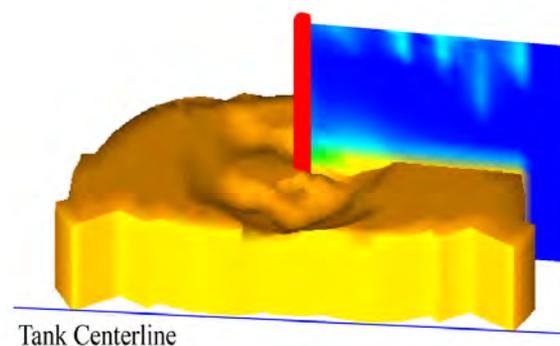
ハンフォード環境モニタリング



エアリアル3次元モデルで放射性物質の混合とタンクからの除去



CタンクとANタンク



0.000 0.0325 0.0650

Thermonatrite Volume Fraction

100 N and 100 K-East/K-West 原子炉 とトレンチ

100 N 原子炉と 長さ2キロ のトレンチ
15.7万トンの汚染土壌の除去(2010まで)



100 K 原子炉と長さ2キロ のトレンチ
36.1万トンの汚染土壌の除去(2010まで)

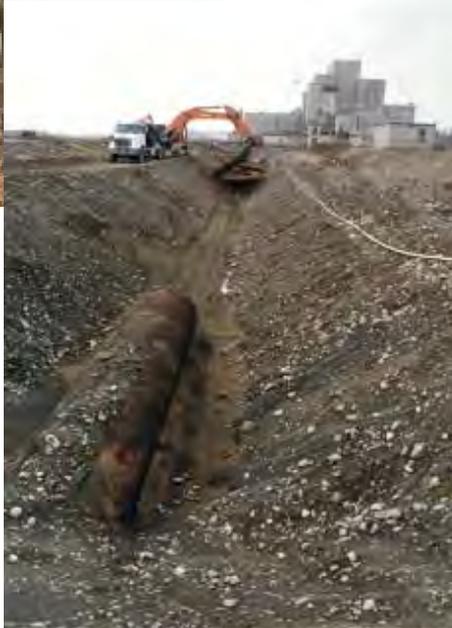


セシウムで汚染された土壌の幾つかの除染方法

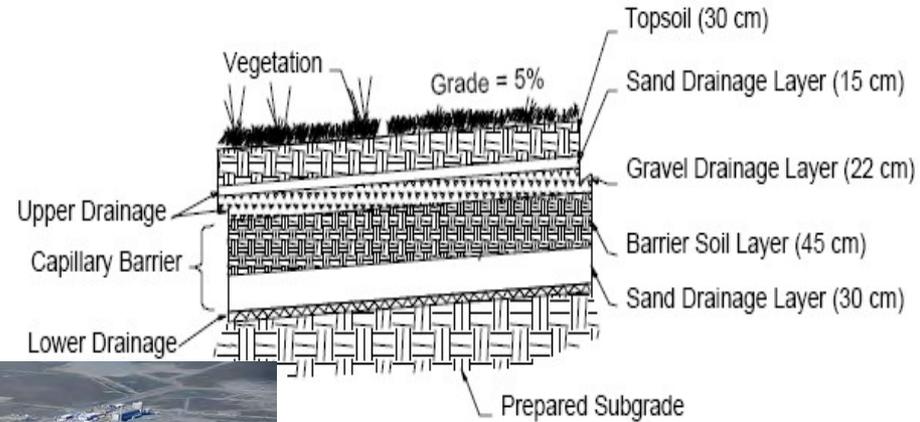
技術	記述	備考
掘削	上層部の土を掻きとり、洗浄するか、廃棄する	新しい土か、洗浄された土と入れ替かえない限り表土の損失
隔離	人工的に覆う	隔離により汚染物の露出をさける。
セメント固化	セメントの注入による固体化。	汚染物を・隔離する。 将来の土地利用を制限する。
現地での濾過	酸、イオン交換や錯化物(クエン酸塩等)による濾過	浅い土地に最も適切。過剰に使用された時は濾過水の回収が必要。制御できない汚染物移行の危険性あり。
物理的、放射能度等で土壌選別	高い濃度の土壌と低い濃度の土壌と選別	十分発展した技術。 効果は地質による
現地外での土壌洗浄	水や抽出溶液で土壌洗浄してセシウムを抽出	効果は地質による

コロンビア河沿いの汚染地の除染

- 6百万トンの汚染土砂の除去
- 埋め立てと植物発育が最終ステップ



ハンフォード低レベル放射性廃棄物処分地(ERDF)の建設



- ▶ 54 ヘクタール
- ▶ 現在の収容量 1.64 万トン
(~ 8 百万 m^3)
- ▶ 2011年3月現在で1.1万トン
の廃棄物処分
- ▶ 将来さらに拡大

ハンフォード低レベル放射性廃棄物処分地 (ERDF) の運営と拡大



地下水の水処理による除染 – Pump and Treat

Pacific Northwest
NATIONAL LABORATORY

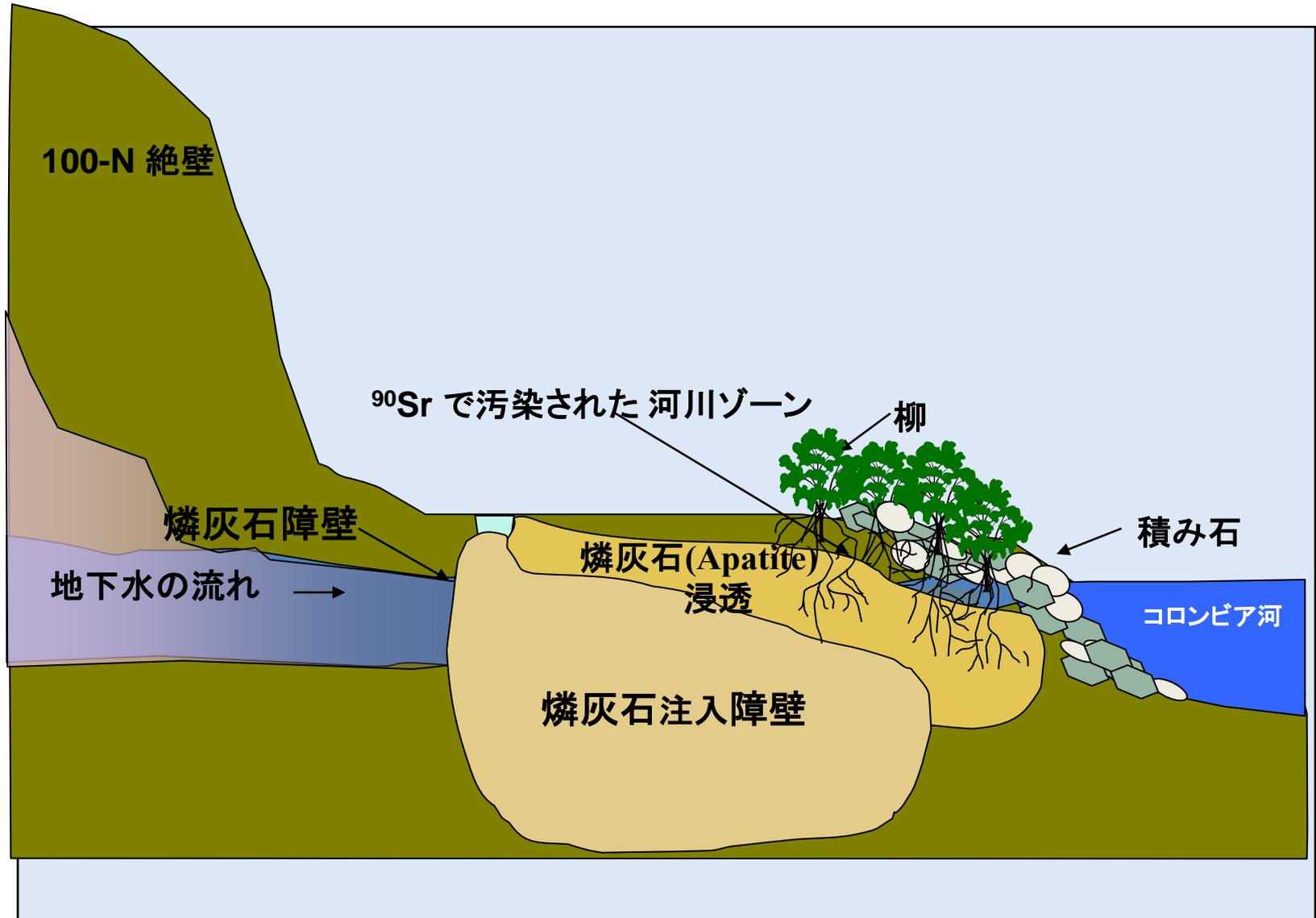
Proudly Operated by **Battelle** Since 1965

- 170平方キロメートルの汚染された地下水がハンフォード内にある
- 汚染された地下水をくみ上げ、除染した後、別の場所の地下水中に注入
- 水溶性の放射能物質には汚染減少の効果あり
- 吸着性の高いセシウム等にはあまり除染効果はないが、汚染地下水の流れの方向と速度を安全な方に変えて、被ばく量を減らす為には効果的

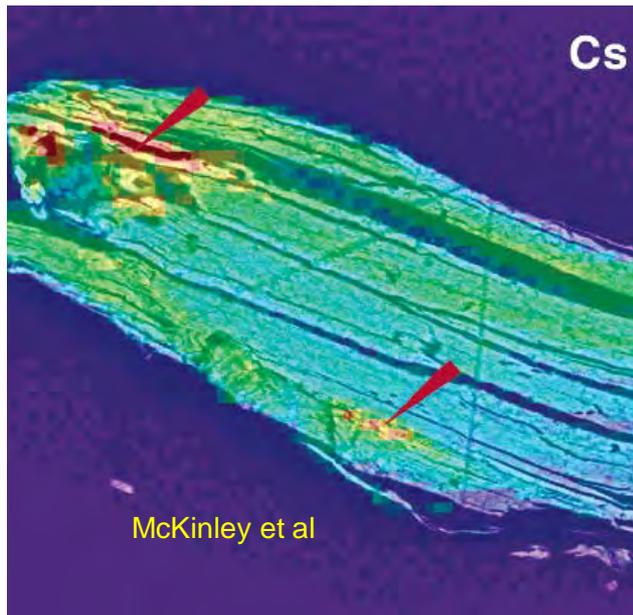
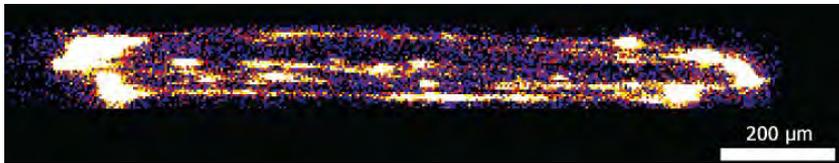
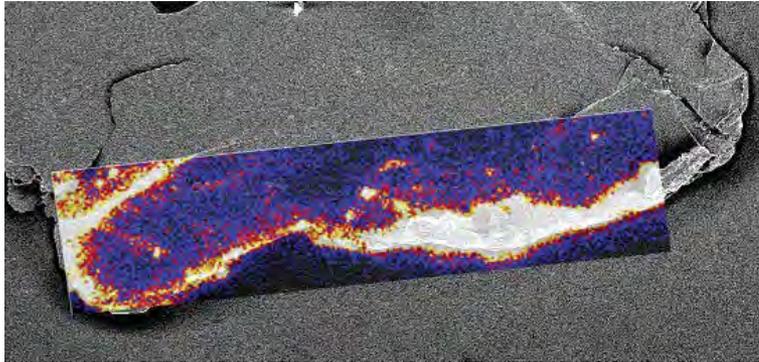


180m³/時

100-N 地域での地下水中での⁹⁰Sr の除染

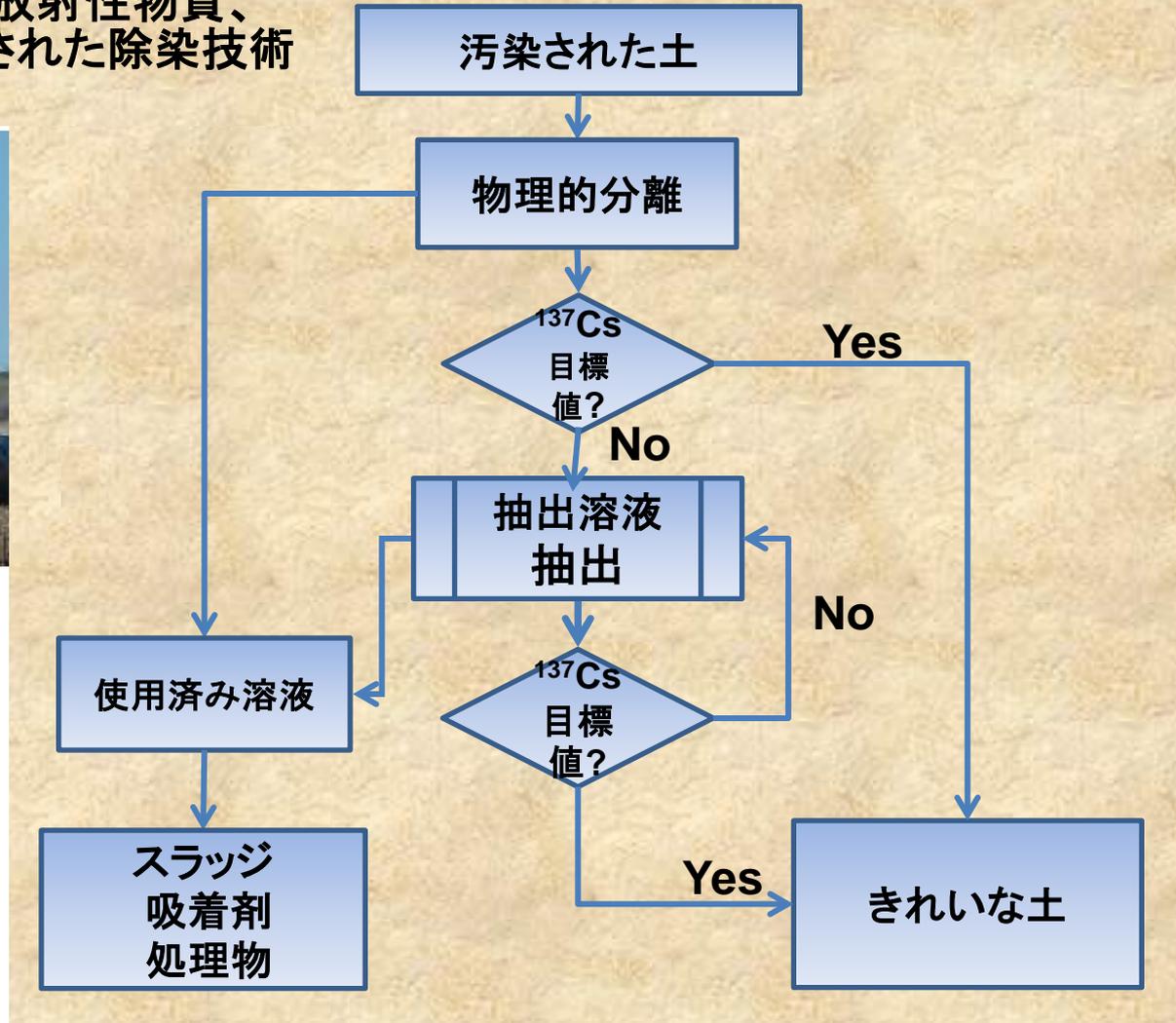


^{137}Cs で汚染された土壌



- ❖ ^{137}Cs – マイカ系の鉱物に強く、選択的に吸着
- ❖ ^{137}Cs はよく端非水和性、内部球状表面化合物の端に吸着する
- ❖ ^{137}Cs は強く吸着されるので脱着させるには特別の溶液が必要
- ❖ PNNLが開発した溶液は ^{137}Cs をハンフォードの土壌から約85%脱着させた

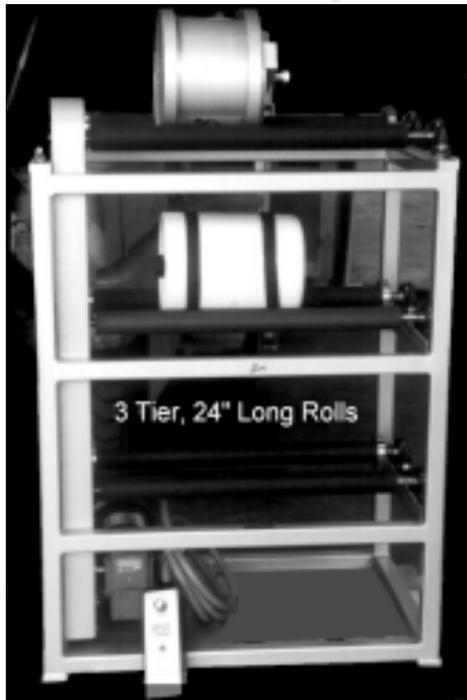
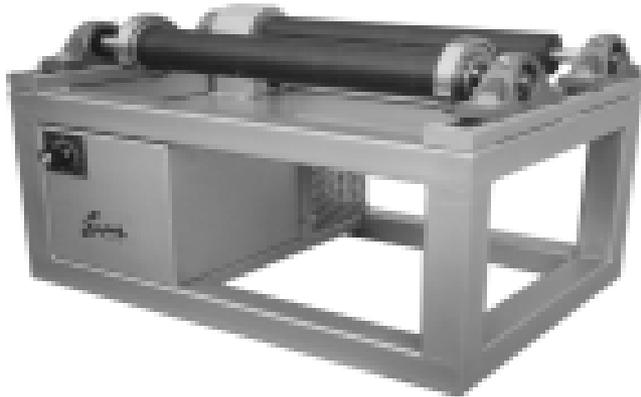
土砂洗淨 (Soil Washing) – 放射性物質、 重金属、炭化水素などに確立された除染技術



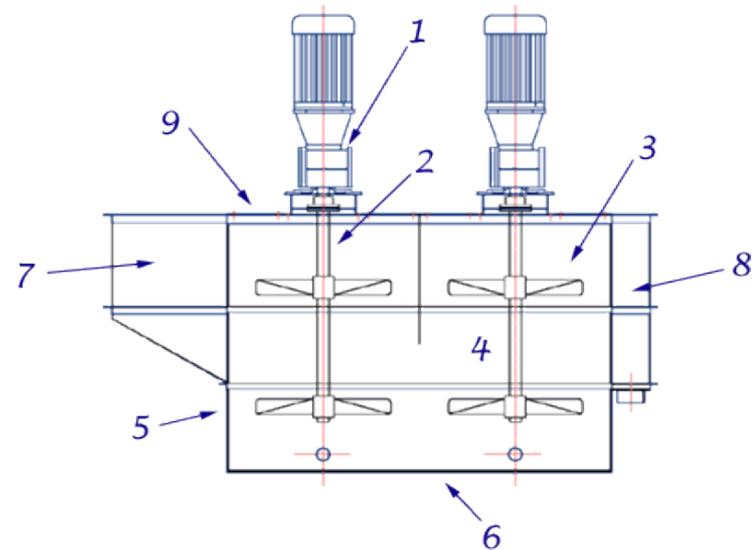
PNNLの化学性抽出溶液は無毒、バイオディグレイアブル

土壤磨耗装置

じやりの金属ローラーによる湿式粉碎



大きな砂の湿式洗浄



^{137}Cs で汚染されたハンフォードのクリブの土砂の除染

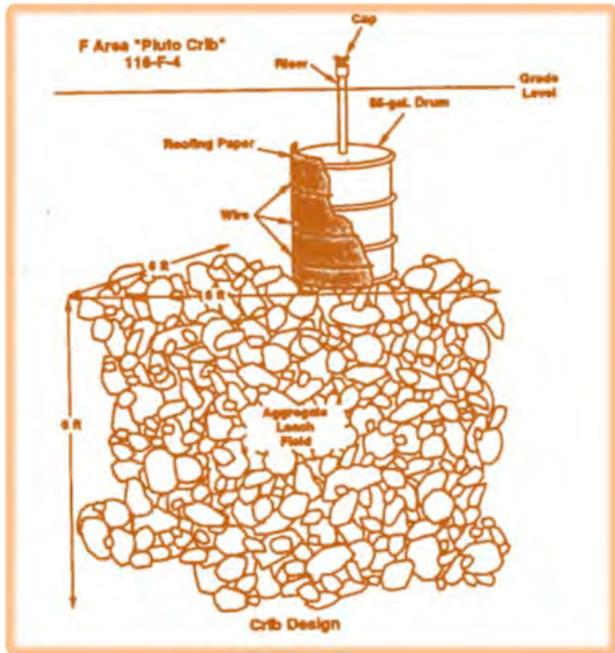


Pacific Northwest
NATIONAL LABORATORY



^{137}Cs 抽出溶液の抽出結果 (最適化以前の抽出溶液) 粒径 2.00 – 0.25 ミリの土

抽出溶液濃度	抽出前の ^{137}Cs 濃度 (Bq/kg)	抽出後の ^{137}Cs 濃度 (Bq/kg)	^{137}Cs 減少率 (%)
0.25	9.6E+03	2.7E+03	72
0.50	9.6E+03	2.1E+03	78
1.00	9.6E+03	1.6E+03	83
0.25	4.2E+03	1.5E+03	64
0.50	4.2E+03	1.0E+03	76



^{137}Cs の抽出作業は温度96度で6時間行った。
(PNNLの化学性抽出溶液は無毒、バイオディグレイアブル)

K-East/K-West 原子炉 と使用済み燃料プール



Pacific Northwest
NATIONAL LABORATORY

Proudly Operated by **Battelle** Since 1965

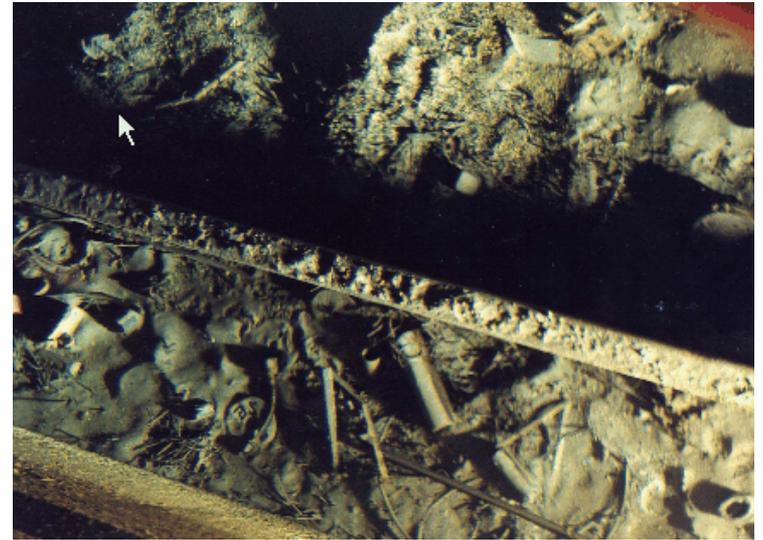


KE 原子炉のプールから使用済み燃料取り出し



Pacific Northwest
NATIONAL LABORATORY

Proudly Operated by **Battelle** Since 1965



KE 原子炉の解体と長期貯蔵



Pacific Northwest
NATIONAL LABORATORY

Proudly Operated by **Battelle** Since 1965



環境除染決定の地元参加



- 地元参加の為の地元グループの促進
- 除染度と時期の決定に参加
 - 汚染土壌と地下水の除染
 - 放射性物質の
 - 処理
 - 処分
 - 輸送
- 将来のハンフォード土地利用
- 将来の地元産業の開発



- ▶ **アメリカの豊富な経験**
 - 環境放射能汚染評価
 - 環境除染
 - 汚染建物の解体
 - 個体・液体汚染物の処理
 - 汚染物の処分
 - 地元参加
- ▶ **米国の除染方法と技術の福島への適応性は福島地域特性を考慮**
- ▶ **人体への被爆を減らすには総合的、システムティックに**
 - 環境除染と
 - 被爆経路の遮断をする