福島原発事故収束に向けたバックエンド領域の取り組み（実践編）

事故後処理に関わる基礎からの貢献　（JAEA 小川徹）

略歴（小川徹）

1975 年 3 月　東北大学大学院工学研究科原子核工学専攻修士課程終了

1975 年 4 月　日本原子力研究所入所、燃料工学部配属

1975-2005　高温ガス炉用被覆粒子燃料、超ウラン元素合金及び窒化物の熱物性研究、溶融塩と乾式再処理に関する基礎物性研究に従事。1982 年大阪大学工学博士。

2005 年 10 月　独立行政法人日本原子力研究開発機構発足とともに、原子力基礎工学研究部門副部門長

2007 年 10 月- 現在　日本原子力研究開発機構特別研究員、原子力基礎工学研究部門長

第27回バックエンド夏期セミナー
平成23年8月4～5日

福島第一発電所事故に関連する基礎・基盤的取組み

JAEA原子力基礎工学研究部門
小川　徹

1

福島第一発電所事故に関連する基礎・基盤的取組み

- WSPEEDI(世界版SPEEDI)の応用と機能拡張
- 過酷事故時の滞留水等への放出挙動評価
- 無機吸着剤試験(学会有志チーム活動の一部)
- 分析に関わる基礎技術開発
  - ストロンチウムの迅速定量技術
  - 放射性ヨウ素の化学形同定
- ヨウ素の化学形とAgゼオライトへの捕集、放射線影響
  (放射光利用 - 量子ビーム部門)
- 含水廃棄物の放射線分解水素発生
- 水素に関わるCFD解析技術(原子力水素センター)
- 除染効果評価システム開発
- ポリイオンによる土壌除染技術開発

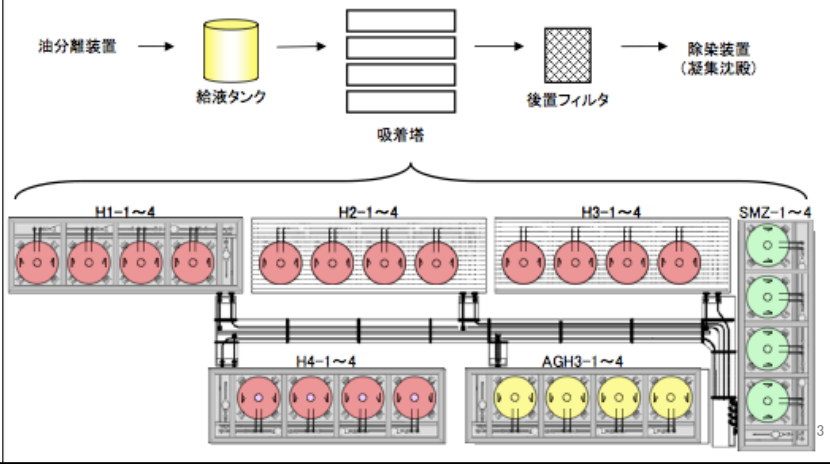
2

除染装置(吸着塔)の設備概要

平成23年6月17日
東京電力株式会社

KURION吸着塔は、以下の3種類の吸着剤を充填した吸着塔(ベッセル)を直列に通すことで、それぞれの汚染物質を除去する。

- a. SMZ(surfactant modified zeolite)：油分・テクネチウム(Tc)を除去するために表面改質したゼオライト　(現在は使っていてない)
- b. H(herschelite)：セシウム(Cs)を除去するchabaziteという種類のゼオライト
- c. AGH(Ag impregnated herschelite)：ヨウ素(I)を除去するために銀を添加したherschelite



3

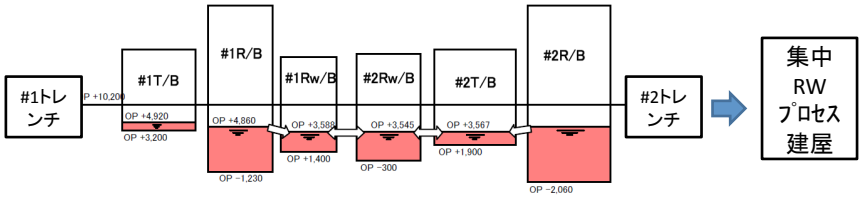
2号機　汚染水濃度

2号機タービン建屋内滞留水、3月26日

核種	半減期	Bq/cm^3 (測定値)	g/cm^3
CO56	77.27d	1.60E+05	1.43E-10
TC99M	6.01h	8.70E+04	4.46E-13
I131	8.0207d	1.30E+07	2.83E-09
CS134	2.0648y	2.30E+06	4.81E-08
CS136	13.16d	2.50E+05	9.26E-11
CS137	30.07y	2.30E+06	7.16E-07
BA140	12.752d	4.90E+05	1.81E-10
LA140	1.6781d	1.90E+05	9.23E-12

4

滞留水量　1、2号機周辺



280 0　**840 0**　390 0　110 0　240 0　**11400**　600 0　480 0　**960 0**　（m³）

1号機由来：16,200t
$3x10^5$～$6x10^6$Bq/ml

2号機由来：34,200t
$6x10^6$Bq/ml

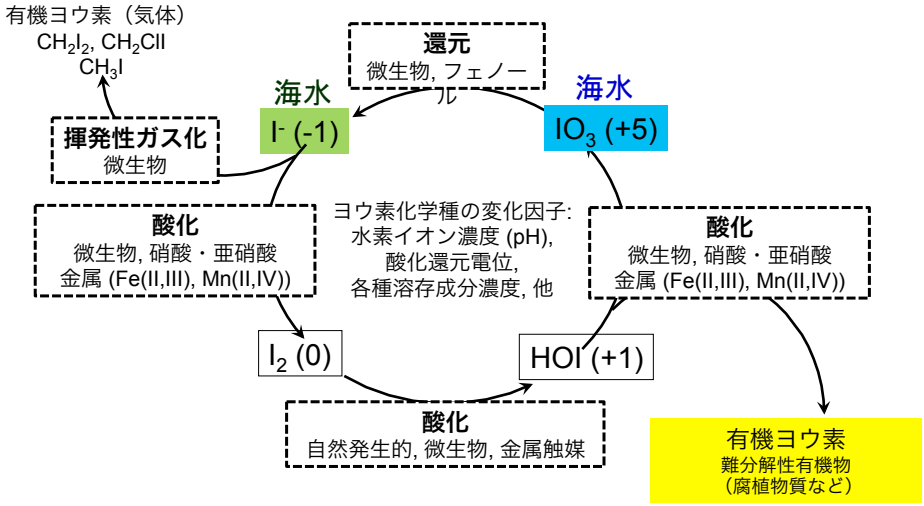
（Cs濃度）

* 東電「福島第一原子力発電所における高濃度の放射性物質を含む水の保管・処理に関する計画について」(6/2)

5

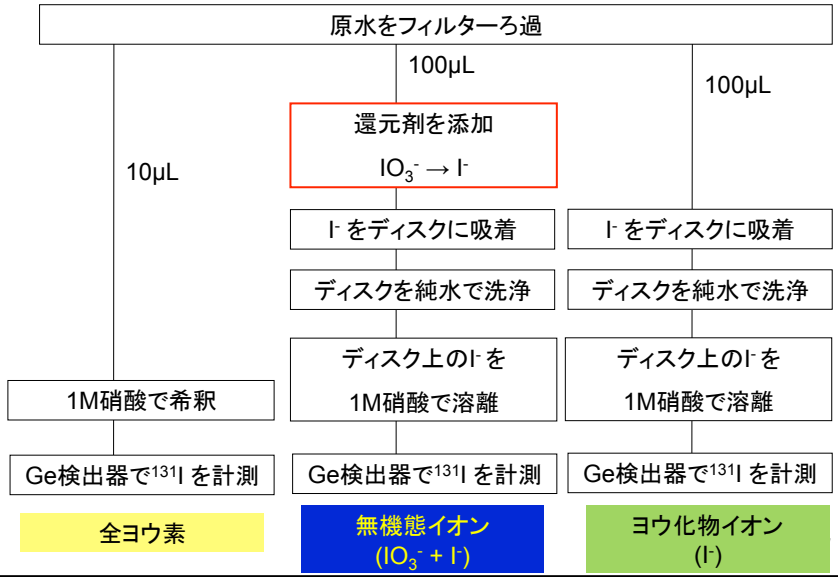
ヨウ素の化学形

JAEA 乙坂 重嘉, 大貫 敏彦, 森田 泰治



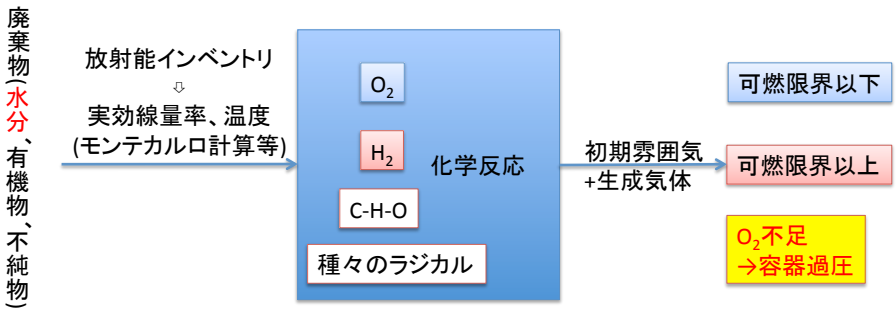
6

固相抽出ディスク法による化学種定量



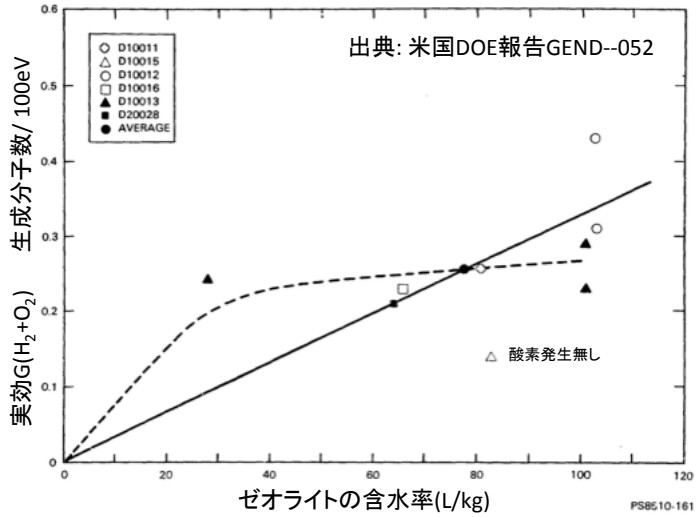
7

放射性廃棄物の長期管理と水素安全



8

放射性廃棄物からの水素発生
TMI-2汚染水処理後のゼオライト実測値



*実効G値は容器内ゼオライトの有効放射線吸収率を考慮

9

ゼオライト-水系からの水素放出
JAEA 熊谷友多、永石隆二、他

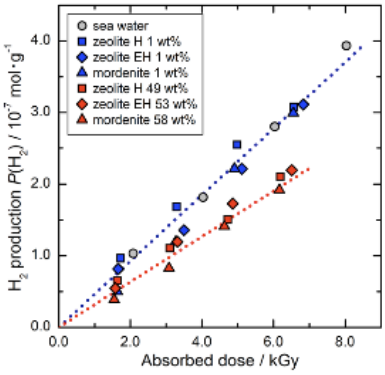


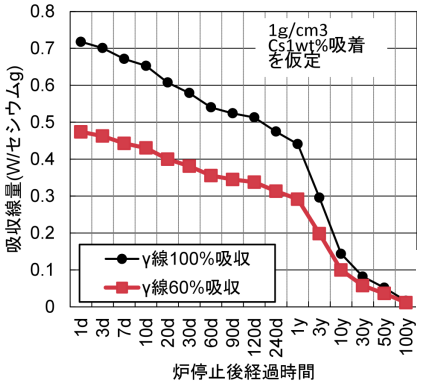
Table 1　$G(H_2)$ measured in the mixtures of zeolites and sea water

Sample		$G(H_2)$ / 10^{-8}mol J^{-1}
zeolite H	1 wt%	4.9±0.2
	53 wt%	3.4±0.1
zeolite EH	1 wt%	4.4±0.2
	49 wt%	3.5±0.1
mordenite	1 wt%	4.4±0.3
	58 wt%	3.0±0.1

10

放射線吸収エネルギーの時間変化

JAEA 西原健司



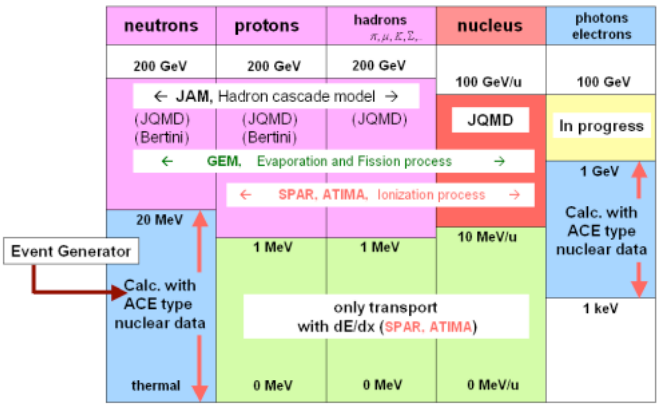
β+γ吸収エネルギーの時間変化

- 過酷事故時に格納容器に放出され、汚染水に混入する核分裂生成物の放射線は^{131}I(半減期8日)を除けば、^{134}Cs(半減期約2年)+^{137}Cs(半減期約30年)が支配的。

	半減期	比放射能 (Bq/g)	比発熱 (W/g)	1 日経過後の重量割合
Cs133	stable			0.41
CS134	2.0648y	4.78E+13	1.32E+01	0.030
Cs135	2.3E+06y	4.26E+07	3.82E−07	0.14
Cs136	13.16d	2.70E+15	1.12E+03	1.5E−4
Cs137	30.07y	3.21E+12	3.89E−01	0.42

11

除染効果評価システム開発
粒子輸送計算コードPHITSの活用



12

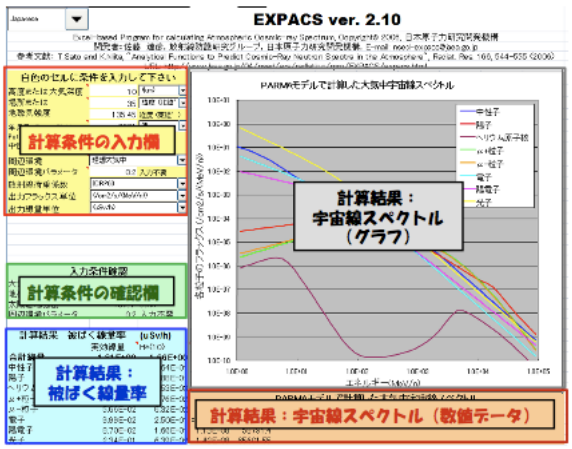
EXPACS

Excel-based Program for calculating
Atmospheric Cosmic-ray Spectrum

PHITS 解析結果を解析式に変換。

解析式をEXCEL表に組み込んだものを配布。

高度・緯度経度(もしくは地磁気強度)・時間(もしくは太陽活動強度)・周辺条件を入力すると，その条件に対する各放射線スペクトル及びそれに対応する被ばく線量が表示される。



http://phits.jaea.go.jp/expacs/jpn.html

13

除染効果評価システムの作成-予備検討

- **汚染土壌の除染領域と線量低減効果（除染前後の線量率比）の関係**についての検討

・3次元粒子・重イオン輸送計算コード（PHITS）（空気中や土壌中の放射線の吸収や散乱現象を高精度かつ詳細に計算可能）を利用

・任意の除染率、除染半径に対する中心位置での線量率低減比（$D_{x\%}(R)$）を評価する簡易式を提案

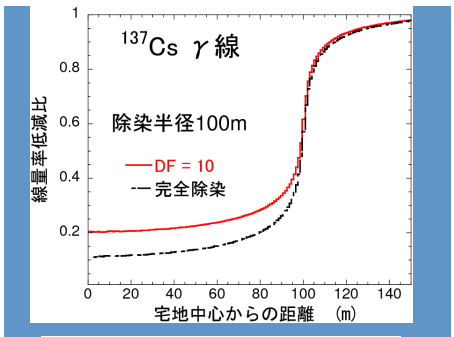
$$D_{x\%}(R) = \frac{H_{x\%}(R)}{H_0} = 1 - \left(1 - \frac{H_{100\%}(R)}{H_0}\right) \times x \times 0.01$$

・直接成分と散乱成分の寄与割合の把握

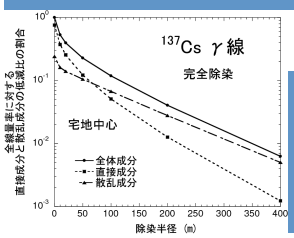
・Cs-137により汚染された土壌の除染の例

条件： 除染係数DF=10(除染率90%)
半径100mまでの領域を除染

- 宅地中心での線量率は約1/5に低下
- 敷地境界内のほぼ全域にわたって一様な線量率低減比を得るには、敷地領域からさらに外側約30%大きな範囲まで除染する必要あり［参考］
- 覆土(10cm)により線量率は約1/10に低減



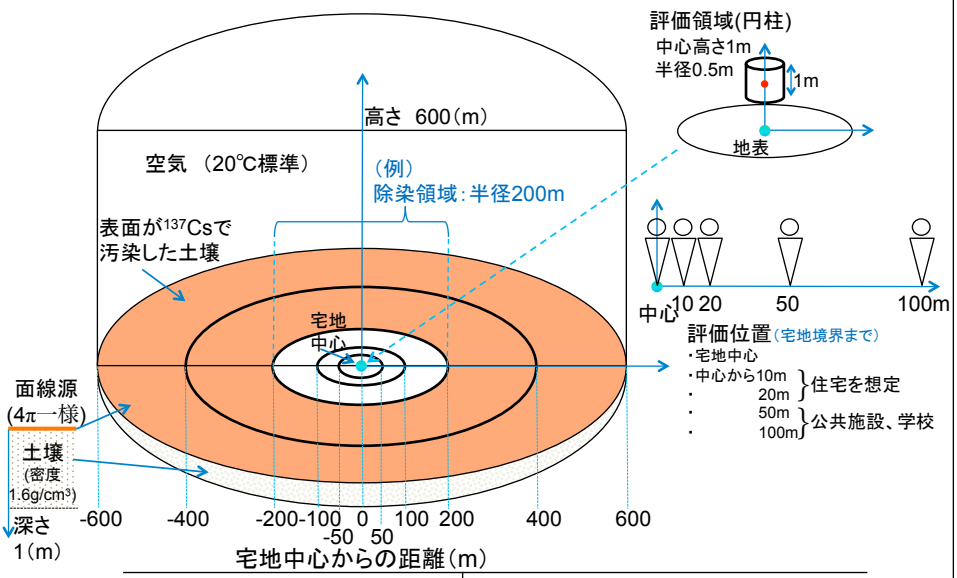
除染半径100mの場合の線量低減率比分布



全線量率低減比における直接成分と散乱成分の寄与

岩元洋介 他、JAEA-Technology 2011-026

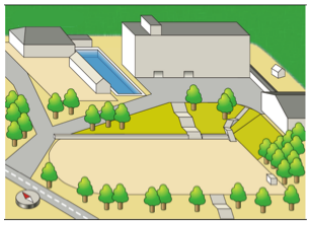
計算体系



除染半径(宅地中心からの半径)	10, 20, 50, 80, 100, 150, 200, 400 m
評価位置(宅地中心と宅地境界)	0, 10, 20, 50, 100 m

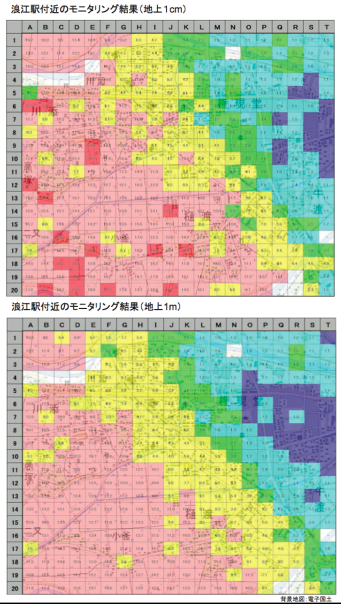
15

除染効果評価システムの作成
地形、線量率実測情報等を組込んだ評価



チェルノブィリ後 (J. Roed, RISO/NKA, 1990)		
	当初	2年後
場所	Cs表面濃度(相対値)	
舗装	0.4-0.8	0.01-0.2*
壁面	0.01-0.03	0.01-0.03
草地	1	1
樹木	1.7	測定値なし?
屋根**	0.3-0.9	0.1-0.7

*交通量影響　**材質、傾斜影響



16