



# 廃棄物安全研究 ～福島第一原発事故に起因する 汚染物の再利用に関わる評価～

(独)日本原子力研究開発機構  
安全研究センター  
サイクル施設等安全研究ユニット  
廃棄物安全研究グループ

澤口 拓磨

平成24年度安全研究センター成果報告会  
平成25年1月16日

✓ 原発事故の影響により汚染された**災害廃棄物**の発生量は膨大であることから、可能な範囲で**再利用**等を行うことにより、その**埋設処分量をできるだけ減少**させることが望まれる。

✓ 原子力安全委員会「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の影響を受けた廃棄物の処理処分等に関する安全確保の当面の考え方について」(H23/6/3)

汚染された**災害廃棄物の一部**を再利用して生産された製品は、市場に流通する前に**クリアランスレベル** の設定に用いた**基準(10 $\mu$ Sv/y)** 以下になるよう、放射性物質の濃度等が適切に管理されていることを確認する必要がある。

## 【クリアランスレベル】

放射性物質の放射能濃度が十分に低く、人の健康への影響が無視できるものであるならば、その物質を放射性物質として扱う必要がない(規制の枠組みから外される)ものとして区分するレベルのこと。クリアランスレベル以下の廃棄物は、一般の廃棄物と同様の処分や再利用、再使用が可能である。

セシウム(Cs-134、Cs-137)のクリアランスレベル: 100 Bq/kg

- ✓ 原子力安全基盤機構の報告※によると、福島県内の災害廃棄物中の放射性Cs濃度は、クリアランスレベル(100 Bq/kg)を超えるものも確認されている。

※第三回、第四回災害廃棄物安全評価検討会資料(H23/6/19、H23/7/14)

- ✓ 環境省「福島県内の災害廃棄物の処理の方針」(H23/06/23)

・ 100 Bq/kgを超える災害廃棄物であっても、被ばく線量を $10 \mu\text{Sv/y}$ 以下に低くするための対策を講じつつ、管理された状態で利用することは可能であり、公共用地において路盤材など土木資材として活用する方法が考えられる。



JAEA安全研究センターは、汚染されたコンクリートがれきを再生資材として道路の路盤材等へ利用した場合の作業員、一般公衆の被ばく線量を評価するとともに、再利用可能な放射性Cs濃度の検討を行った。

汚染されたコンクリートがれきを道路の路盤材等に再利用する際に考慮すべき過程、評価の対象となる具体的な行為、対象者、被ばく形態(外部、吸入、経口)を整理し、評価経路を決定した。

## 道路完成前

災害廃棄物  
(コンクリートがれき)



### ①運搬

- ・作業者 (積み下ろし作業、運搬作業)  
(外部・吸入・経口)
- ・一般公衆 (運搬経路周辺居住)  
(外部)



资源化施設から  
道路建設現場まで  
の運搬も包括

资源化施設



### ②资源化施設の運転

- ・作業者 (ストックヤード周辺での移動作業、処理作業)  
(外部・吸入・経口)
- ・一般公衆 (施設周辺居住)  
(スカイシャイン外部、吸入、経口)



道路建設現場



### ③道路建設

- ・作業者 (道路建設作業)  
(外部・吸入・経口)
- ・一般公衆 (建設現場周辺居住)  
(外部、吸入、経口)

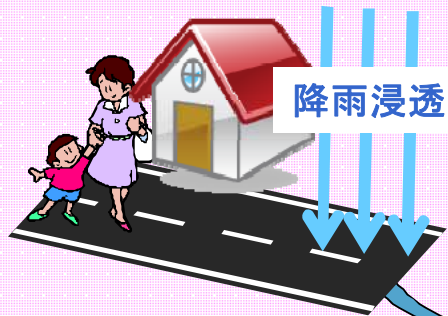
## 道路完成後

### ④道路の利用、道路周辺居住

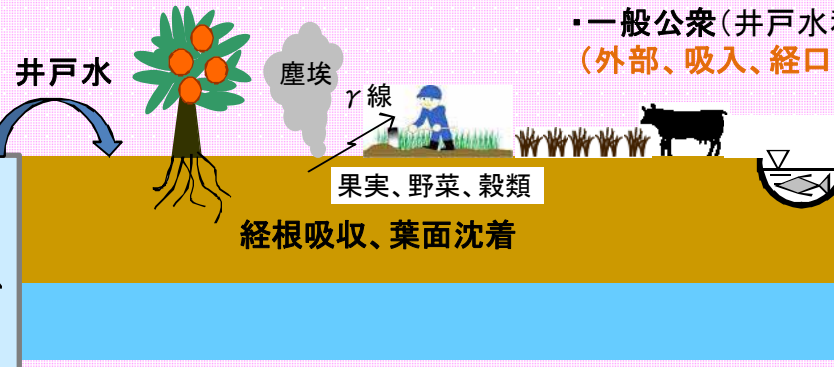
- ・一般公衆 (完成道路利用)  
(外部)
- ・一般公衆 (完成道路周辺居住)  
(外部、吸入、経口)

### ⑤地下水移行

- ・一般公衆 (井戸水利用)  
(外部、吸入、経口)

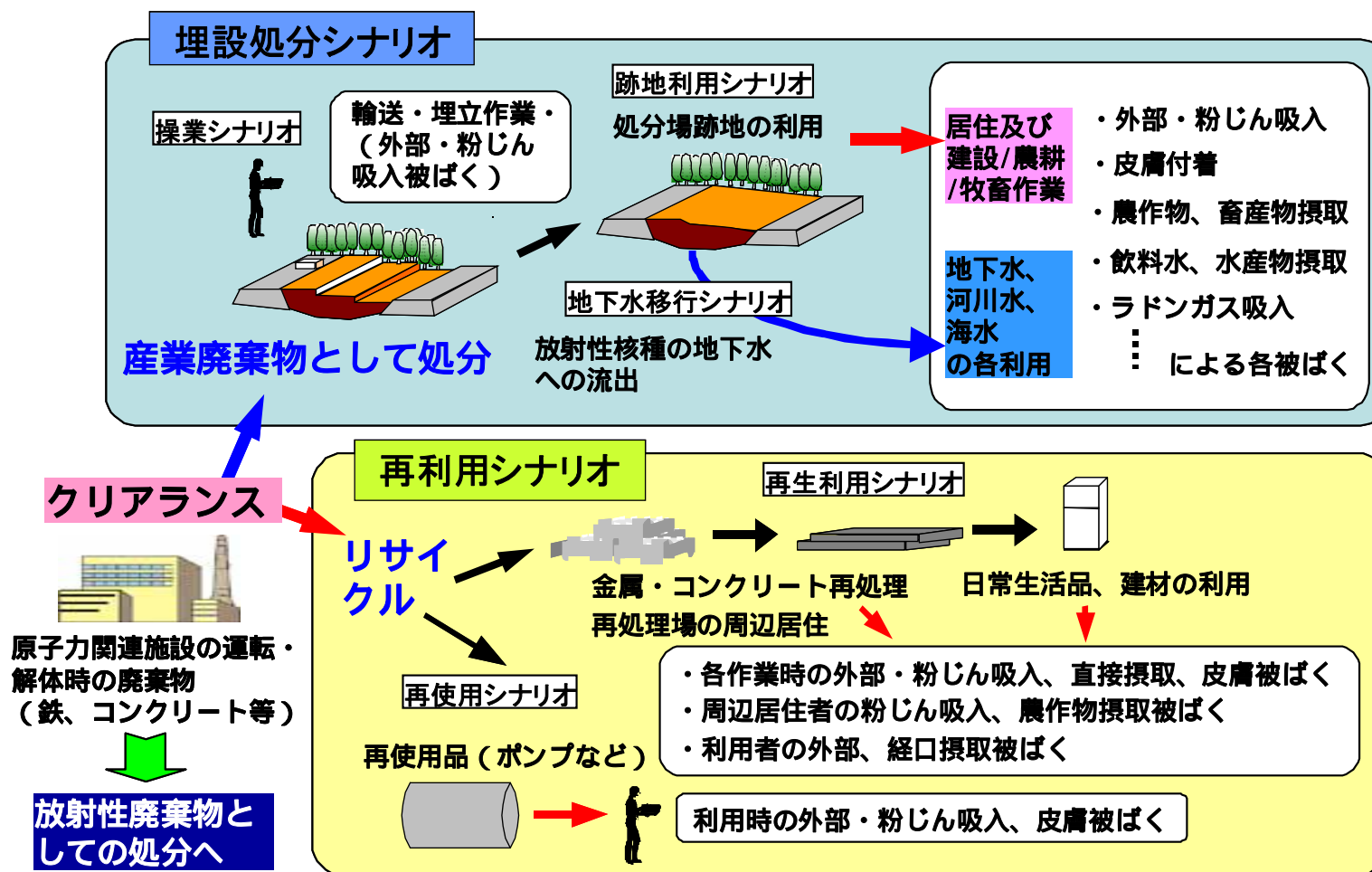


降雨浸透



- ✓ 評価対象核種はCs-134とCs-137（存在比として0.806:1.0を仮定）とする。
- ✓ 評価パラメータは、専門家の意見を踏まえた「災害廃棄物の処理・処分の評価」で実績のある設定の考え方を踏襲する。
  - ※放射性物質によって汚染された災害廃棄物の取扱いに係る意見聴取会（H23/6/1、6/13）
  - ※第三回災害廃棄物安全評価検討会 資料4（H23/6/19）
- ・文献等により、標準的な人を対象として現実的な値（平均値、代表値）を設定
  - 例）作業時間、呼吸量、農作物・畜産物等の摂取量、分配係数 等
- ・データが無いものについては現実的な範囲で保守的に設定
  - 例）居住時間、道路下流端から井戸までの距離、市場係数 等
- ・外部被ばく換算係数、遮蔽係数は、JAEAが独自に計算した値を使用（MCNPコード、QADコード）
  - 線源の形状、材質、密度、および評価点までの距離等を考慮して計算
- ✓ 利用形態、再生資材の物性等は、福島県内における調査結果に基づき、実態に則した値を設定する。
- ✓ 保守的な設定として、処理に伴う希釈は考慮しない。
- ✓ 線量評価は、JAEA開発のクリアランスレベル評価コードPASCLR2を使用。

PASCLR2は、ウラン・TRU廃棄物を対象にクリアランスされた後の用途や行き先を限定しない無条件クリアランスの評価に対応させるため、クリアランス後に**産業廃棄物として埋設処分するシナリオ**と**リサイクル資源として再利用するシナリオ**の両方について、我が国で想定される被ばく経路を網羅した**被ばく線量評価が可能なコード**である。



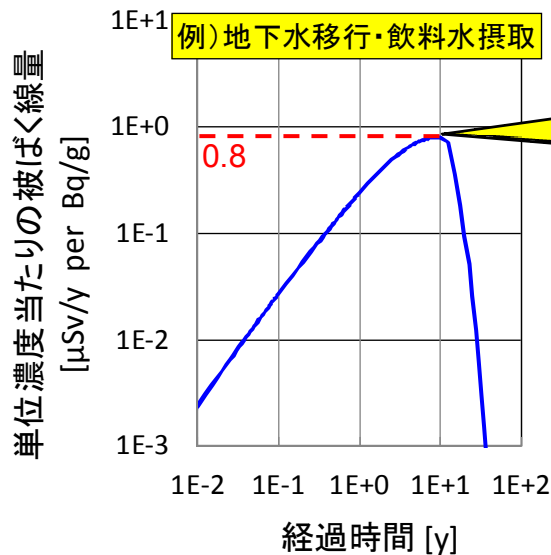


- ✓ 原安委による当面の安全確保の考え方(H23/6/3)に沿って整理
  - 処理に伴って周辺住民が受ける線量は1mSv/yを超えないようにする
  - 処理を行う作業者が受ける線量は、可能な限り1mSv/yを超えないことが望ましい
  - 再利用して生産された製品から受ける線量は10 μSv/y以下にする



道路完成前(運搬、資源化施設運転、建設)における基準線量 : 1mSv/y  
 道路完成後(完成道路、地下水移行)における基準線量 : 10μSv/y

災害廃棄物が再利用可能な放射性Cs濃度は、被ばく線量結果から、基準線量を満たす廃棄物中の全放射性Csの平均濃度(基準線量相当Cs濃度)として導出。



単位濃度当たりの  
最大被ばく線量

$$\text{基準線量相当Cs濃度} = \frac{\text{基準線量}}{\text{単位濃度当たりの最大被ばく線量}}$$

例)

$$\frac{10 \mu\text{Sv/y}}{0.8 \mu\text{Sv/y per Bq/g}} = 13 \text{ Bq/g}$$

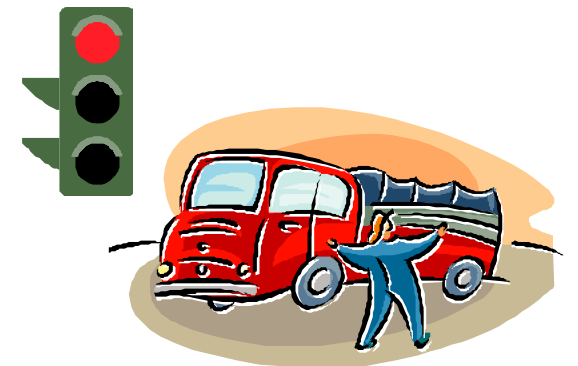
$$= 13,000 \text{ Bq/kg}$$

基準線量  
相当Cs濃度

被ばく線量評価結果

## 資源化施設/道路建設現場への運搬に係る被ばく線量評価:

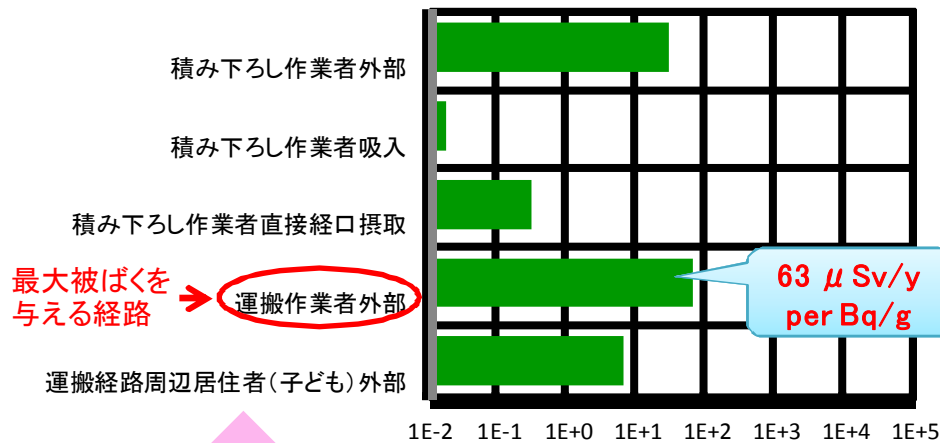
- ✓ 運搬に係る作業(積み下ろし作業、運搬作業)
  - 外部被ばく、粉塵吸入被ばく、経口摂取(直接)
    - 線源の形状:高さ1m×幅1m×長さ5mの直方体  
かさ密度 $2.0\text{g/cm}^3$  (再生資材を想定)
    - 評価点:荷台側面(1m×5m)中心から1m
    - 遮蔽係数:積み下ろし作業(重機):0.4、運搬作業:0.9
    - 被ばく時間:1000h/y(全労働時間2000時間の半分とした。)
  
- ✓ 運搬経路周辺居住者
  - 外部被ばく
    - 評価点:荷台側面(1m×5m)底辺中央から3m
    - 遮蔽係数:1.0(遮蔽は考慮しない)
    - 被ばく時間:450h/y  
(運搬トラックが月に4500台走行し、そのうち半分のトラックが赤信号で停止している1分間に被ばくすると仮定した。)





運搬に係る各経路の、**単位濃度当たりの最大被ばく線量**と**基準線量相当Cs濃度**を以下に整理する。  
 道路完成前における基準線量:1mSv/y

運搬に係る「単位濃度当たりの最大被ばく線量(μSv/y per Bq/g)」

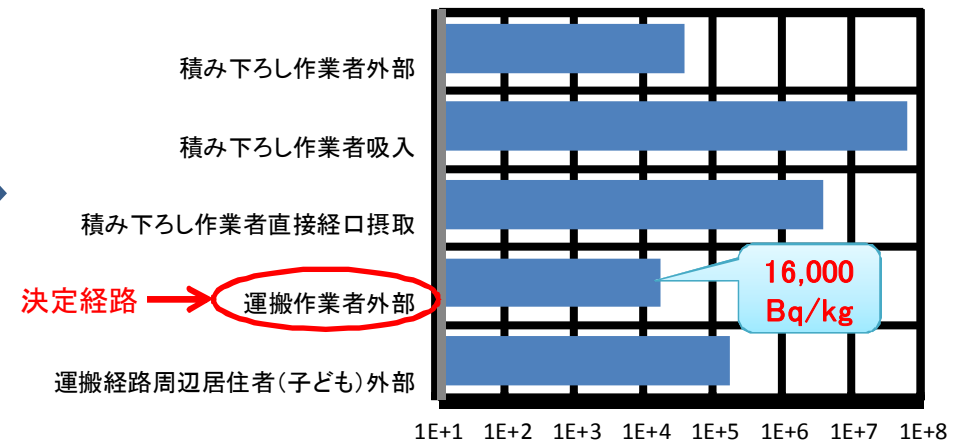


最大被ばくを与える経路

運搬作業員外部

63 μSv/y per Bq/g

運搬に係る「基準線量相当Cs濃度(Bq/kg)」



決定経路

運搬作業員外部

16,000 Bq/kg

- ・吸入、経口被ばくの影響 < 外部被ばくの影響
- ・遮蔽係数が大きく、被ばく時間が長いほど外部被ばく線量は高くなる。

被ばく線量結果から、災害廃棄物が再利用可能な放射性Cs濃度(基準線量相当Cs濃度)を導出

**【決定経路】**

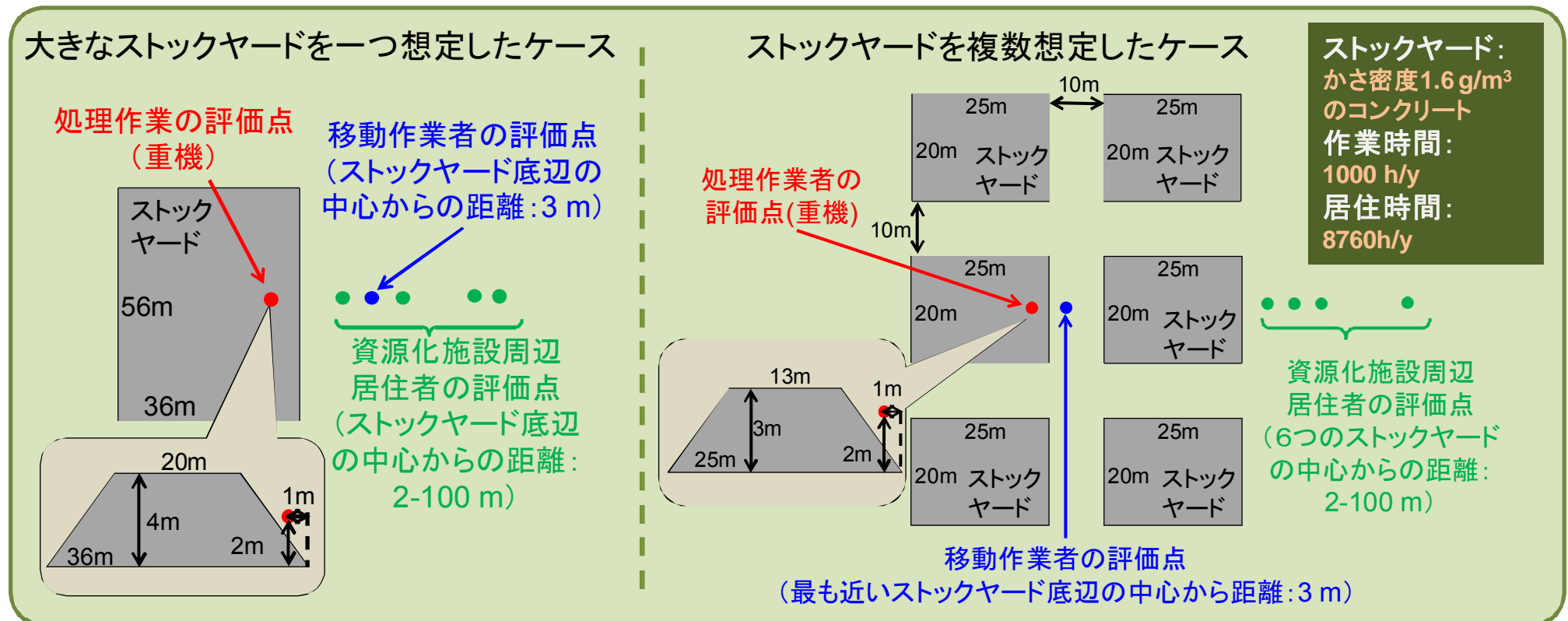
基準線量相当Cs濃度が最も小さくなり(最も線量が高くなり)、評価上重要となる経路。

以降、各過程における「基準線量相当Cs濃度」も同様に評価

## 資源化施設の運転に係る被ばく線量評価:

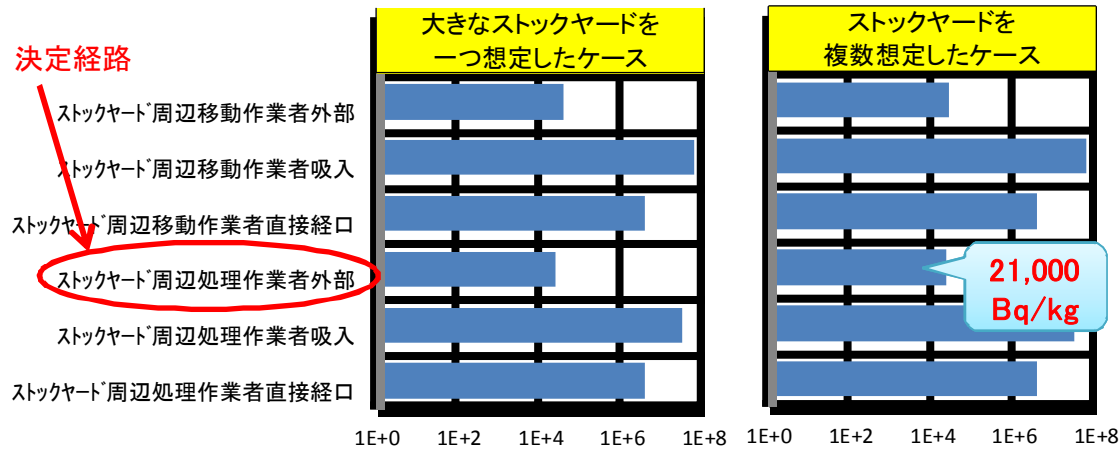
- ✓ 運転に係る作業員(ストックヤード周辺での移動作業、処理作業)  
外部被ばく※、粉塵吸入被ばく、経口摂取(直接)
- ✓ 資源化施設周辺居住者  
ストックヤードからのスカイシャイン外部被ばく※  
粉塵吸入被ばく、経口摂取(農作物)

※福島県の資源化施設で想定されるストックヤードの形状データを基に以下の2ケースを設定。



資源化施設の運転に係る各経路の、**基準線量相当Cs濃度** を以下に整理する。  
 道路完成前における基準線量:1mSv/y

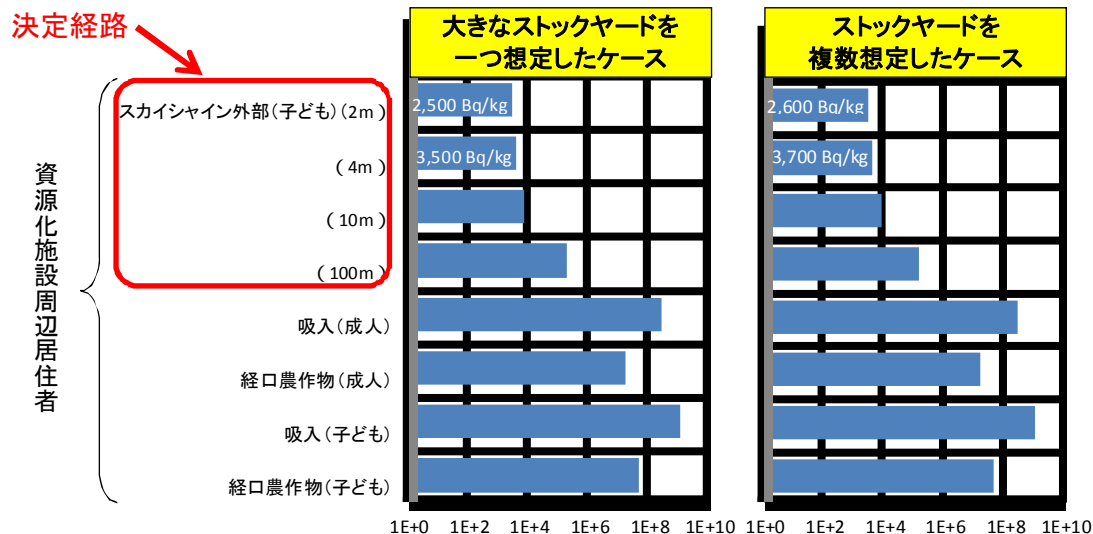
資源化施設運転(作業員)に係る「基準線量相当Cs濃度(Bq/kg)」



資源化施設(作業員)外部被ばくの影響は、

- ・移動作業 < 処理作業
- ・大きなストックヤード一つ < スtockヤード複数

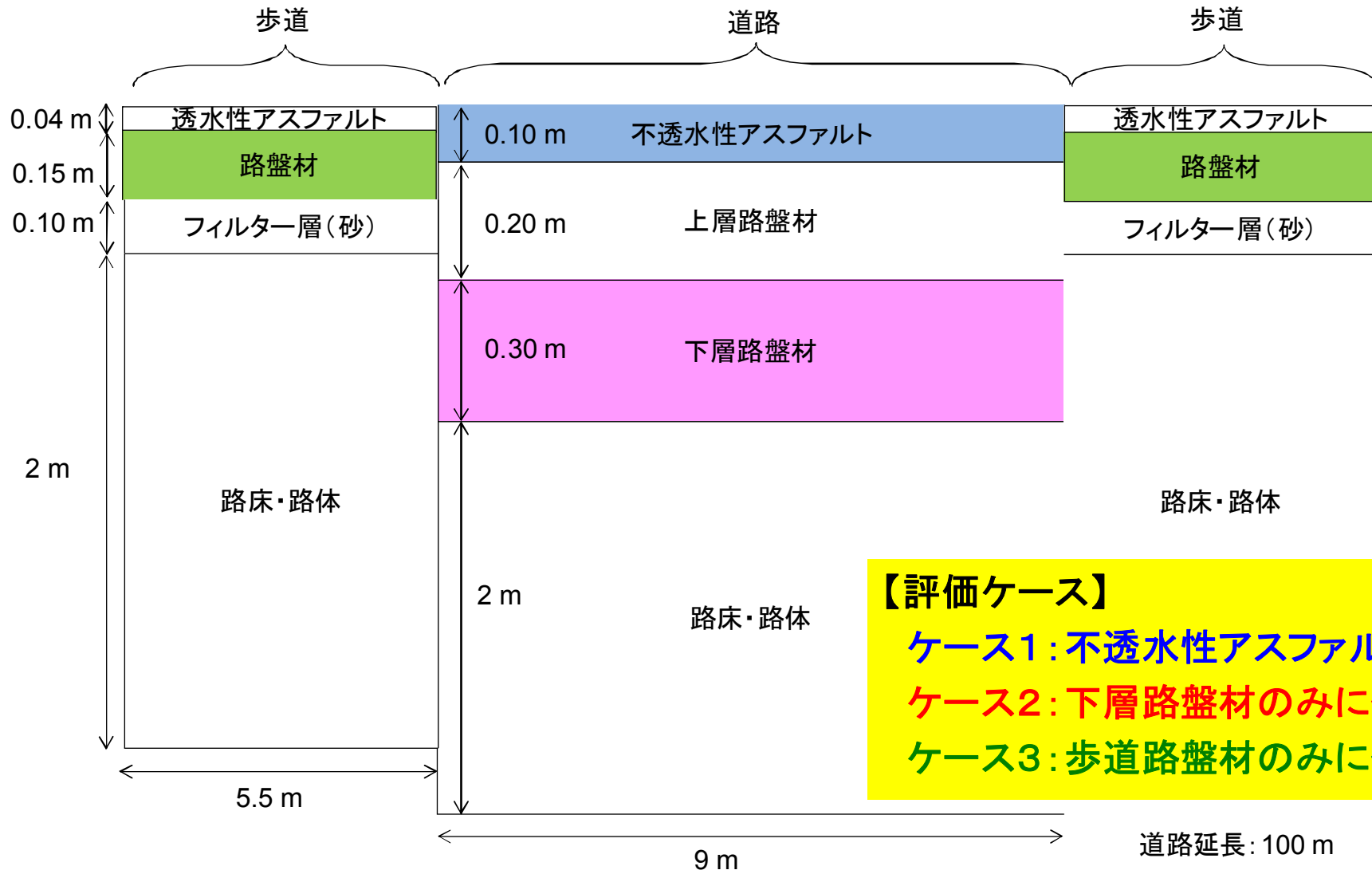
資源化施設運転(一般公衆)に係る「基準線量相当Cs濃度(Bq/kg)」



資源化施設(居住者)スカイシャイン外部被ばくの影響は、

- ・ストックヤード複数 < 大きなストックヤード一つ

道路建設、完成道路(道路利用、地下水移行等)に係る評価では、再生資材が使用される部材に応じてケース分けを行った。

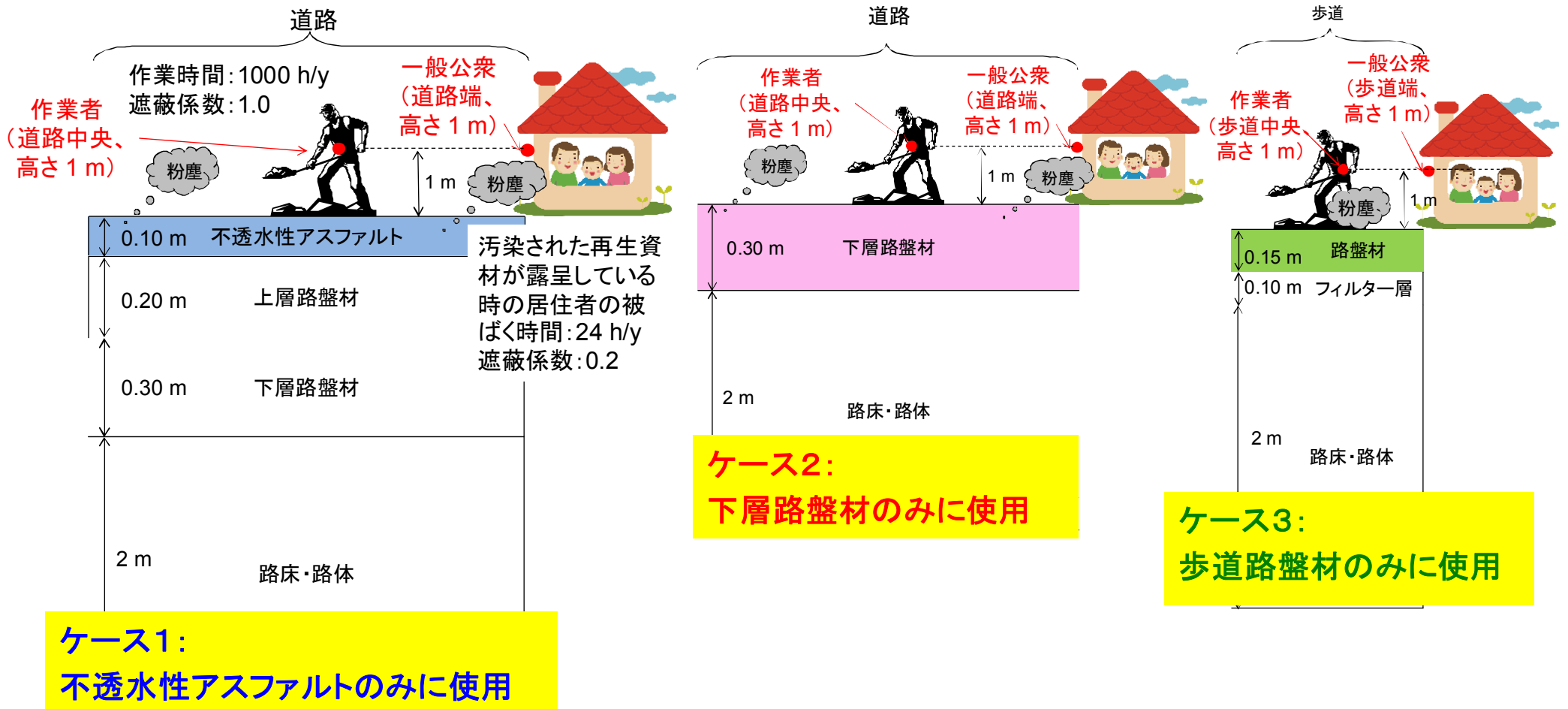


- 【評価ケース】**
- ケース1: 不透水性アスファルトのみに使用
  - ケース2: 下層路盤材のみに使用
  - ケース3: 歩道路盤材のみに使用

道路延長: 100 m

## 道路建設に係る被ばく線量評価:

- ✓ 道路建設作業者
  - 外部被ばく、粉塵吸入被ばく、経口摂取(直接)
- ✓ 道路建設現場周辺居住者
  - 外部被ばく、粉塵吸入被ばく



道路建設に係る各経路の、**基準線量相当Cs濃度** を以下に整理する。

道路完成前における基準線量:1mSv/y

## 基準線量相当Cs濃度 (Bq/kg)

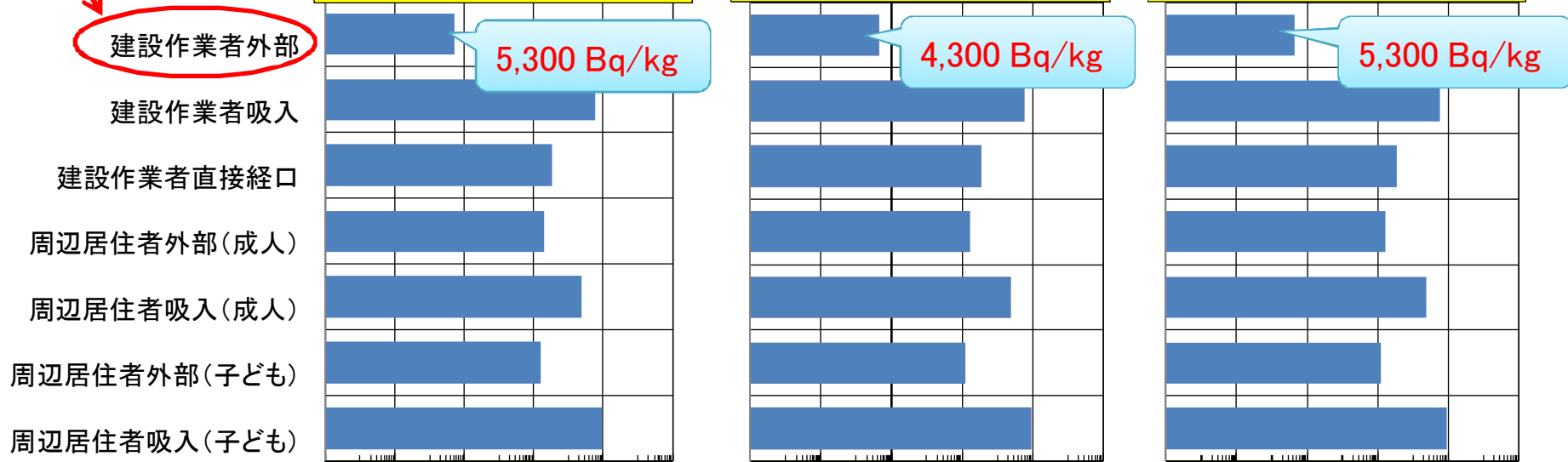
決定経路

建設作業者外部

ケース1:  
不透水性アスファルトのみに使用

ケース2:  
下層路盤材のみに使用

ケース3:  
歩道路盤材のみに使用



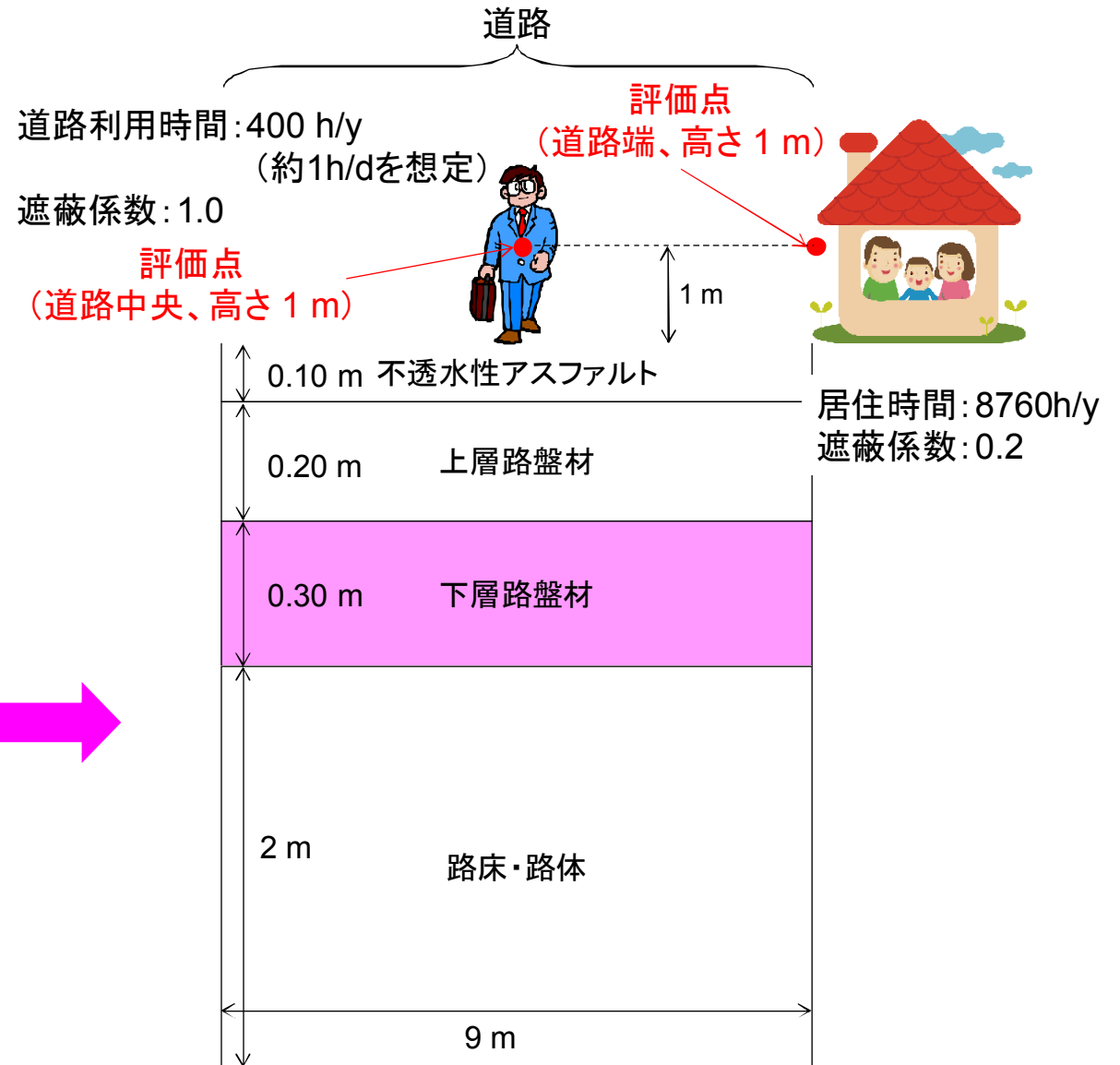
1E+0 1E+2 1E+4 1E+6 1E+8 1E+10 1E+0 1E+2 1E+4 1E+6 1E+8 1E+10 1E+0 1E+2 1E+4 1E+6 1E+8 1E+10

➤ 決定経路の「建設作業者外部被ばく」の影響は、  
 ケース1      ケース3 < ケース2 (線源の厚さに起因)



## 完成道路利用、周辺居住に係る被ばく線量評価:

- ✓ 道路利用者  
外部被ばく
- ✓ 完成道路周辺居住者  
外部被ばく、粉塵吸入被ばく  
経口摂取(直接)



### 【評価点】

ケース1:

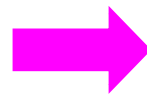
道路中央(利用者)、道路端(居住者)

ケース2:

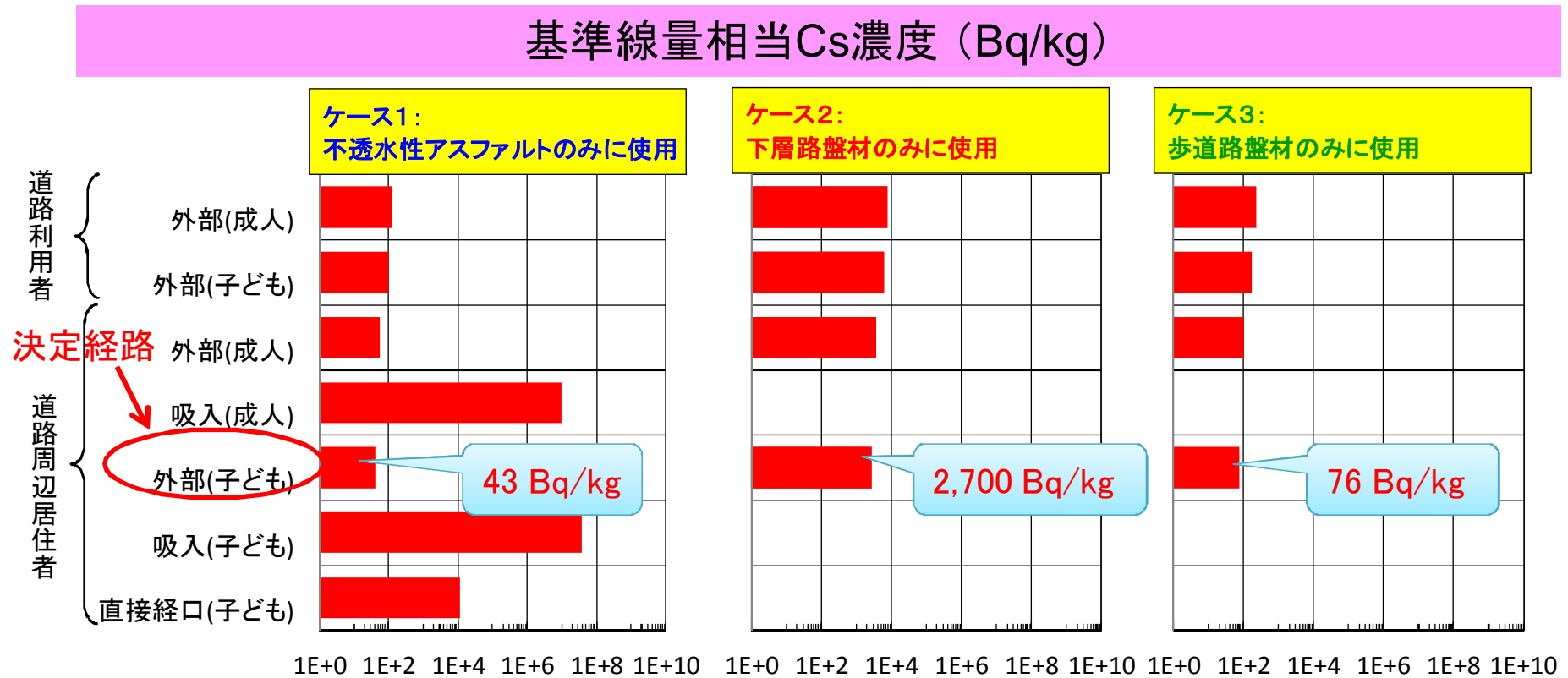
道路中央(利用者)、道路端(居住者)

ケース3:

歩道中央(利用者)、歩道端(居住者)



完成道路利用、周辺居住に係る各経路の、**基準線量相当Cs濃度** を以下に整理する。  
 道路完成後における基準線量は**10 $\mu$ Sv/y**



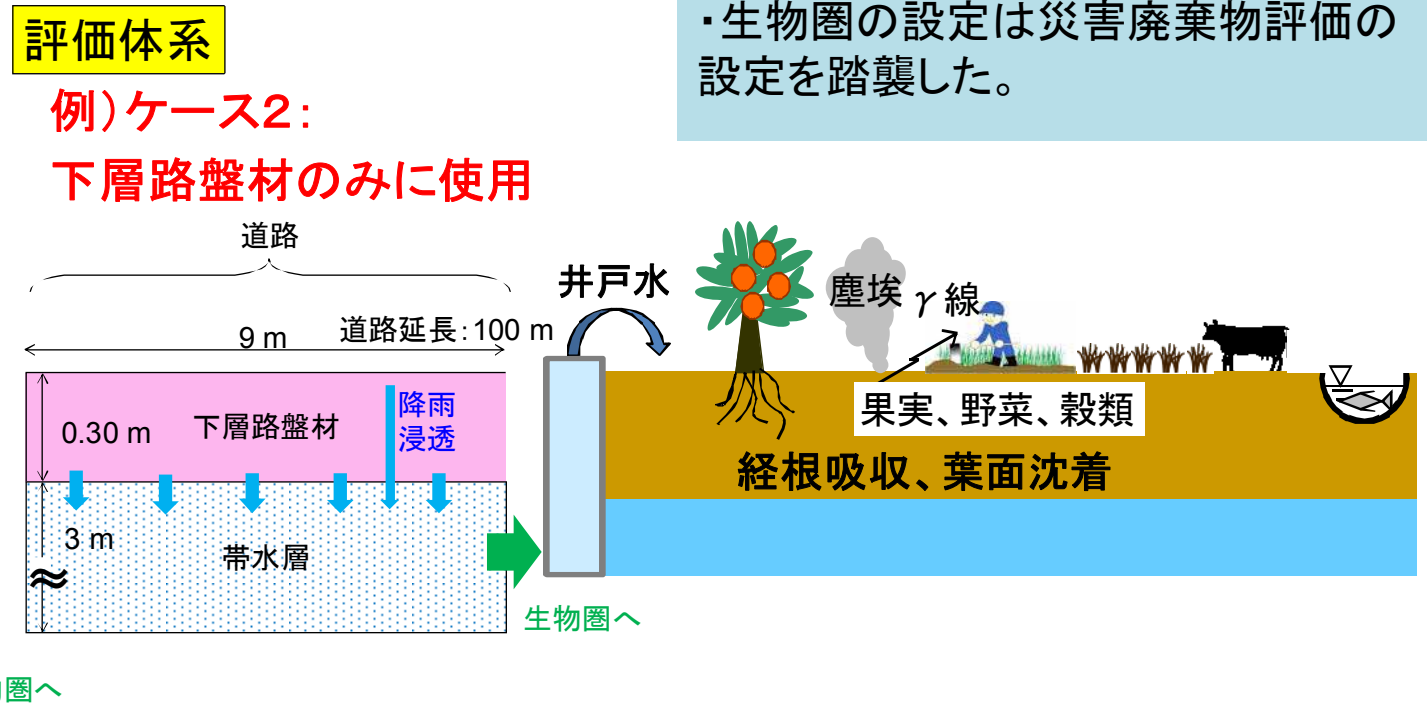
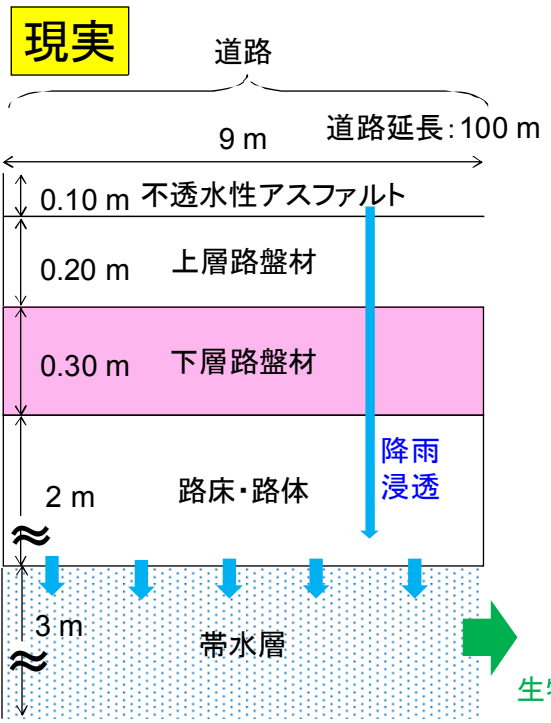
➤ 外部被ばくの影響は、  
 道路利用者(遮蔽なし、被ばく時間400 h/y) < 周辺居住者(遮蔽あり、被ばく時間8760 h/y)  
**ケース2 << ケース3 < ケース1** (遮蔽効果を有する資材の厚さに起因)

## 完成道路からの地下水移行に係る被ばく線量評価:

- ✓ 井戸水利用者
  - 飲料水摂取(経口)
  - 農耕作業(外部、吸入)
  - 農産物摂取(経口)
  - 飼料経由畜産物摂取(経口)
  - 飼育水経由畜産物摂取(経口)
  - 養殖淡水産物摂取(経口)

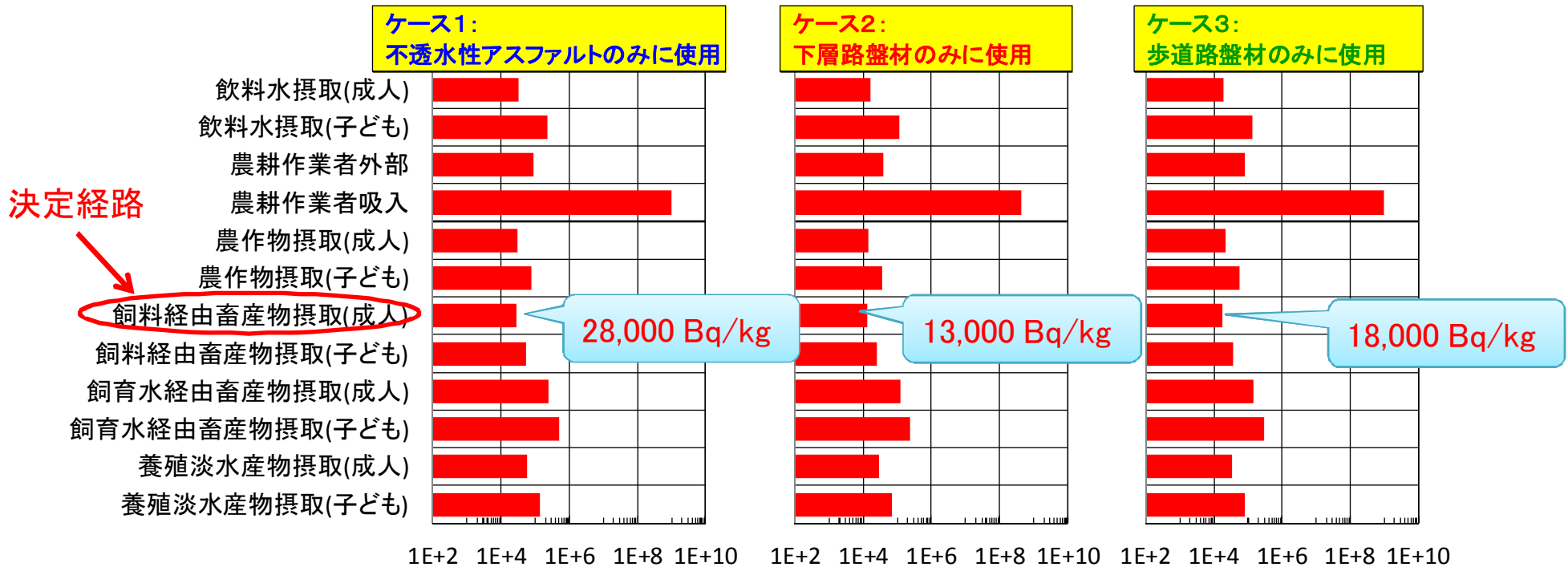
**【評価条件】**

- ・保守的に再生資材を使用しない部材の影響は無視する。
- ・浸透水量は、道路:0.4 m/y、歩道:1.6 m/yとする。
- ・保守的に完成道路下流端から井戸までの距離は0 mとした。
- ・生物圏の設定は災害廃棄物評価の設定を踏襲した。



地下水移行に係る各経路の、**基準線量相当Cs濃度** を以下に整理する。  
 道路完成後における基準線量は**10 $\mu$ Sv/y**

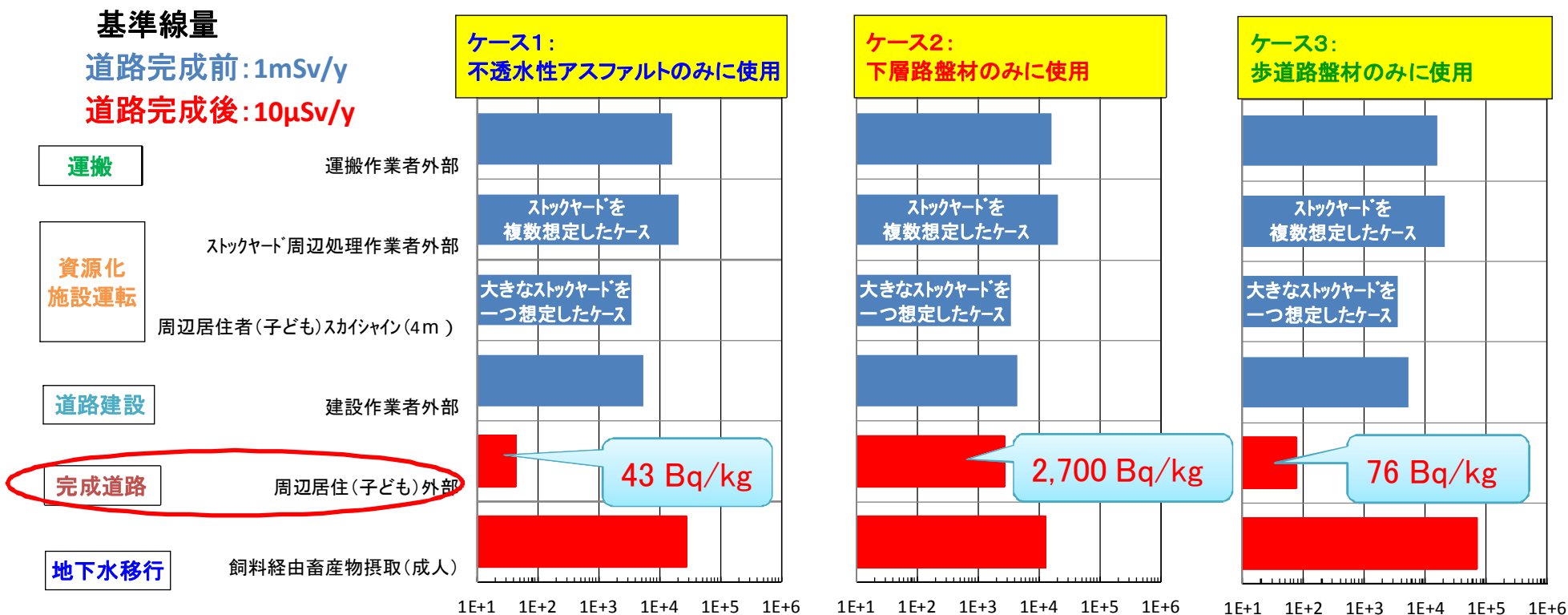
## 基準線量相当Cs濃度 (Bq/kg)



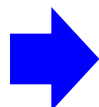
➤ 地下水移行による被ばくの影響は、  
 ケース1 < ケース3 < ケース2 (線源厚さと浸透水量に起因)

各過程で最も基準線量相当Cs濃度が小さかった経路の結果をケースごとに整理

## 基準線量相当Cs濃度 (Bq/kg)



資源化施設周辺居住者(子ども)の評価点をストックヤードから4m以上とした場合



0.3 m(不透水性アスファルト0.1 m+上層路盤材0.2 m)の遮蔽がある「ケース2: 道路の下層路盤材のみ」の使用に限定すれば、2,700 Bq/kgの当該廃棄物を再利用することが可能である。

## 災害廃棄物の道路の路盤材等への再利用に係る評価:

- ✓ 基準線量相当Cs濃度が最も小さくなる(被ばく線量が最も高くなる)経路は「完成道路周辺居住(子ども)外部」であることを示した。
- ✓ 遮蔽効果を有する資材を0.3 m上部に確保することで、Cs平均濃度で 2,700 Bq/kgの資材を「道路・下層路盤材」として利用できる見通しを示した。

本評価結果に基づき、環境省は「管理された状態での災害廃棄物(コンクリートくず等)の再生利用について(H23/12/27)」および都道府県宛通知「東日本大震災からの復旧復興のための公共工事における災害廃棄物由来の再生資材の活用について(H24/5/25)」において、**管理された状態での災害廃棄物の再生利用の方針**を示した。

- 災害廃棄物を、発生場所の近くで十分な管理の下で利用する場合、
- 30cmの遮蔽材を有すれば、放射性Csの平均濃度が3,000 Bq/kg程度までの資材を利用可能。
  - より高い放射性Csの濃度の資材を用いる場合は、遮蔽材の厚さを増す必要がある。
  - 上記指標は、道路構造以外の構造物に対する目安として活用しても良い。



**現在、仙台市、長野県等で、災害廃棄物の道路への再生利用が進みつつあるところである。**

仙台市: 震災がれき等をかさ上げ道路の盛土材として利用

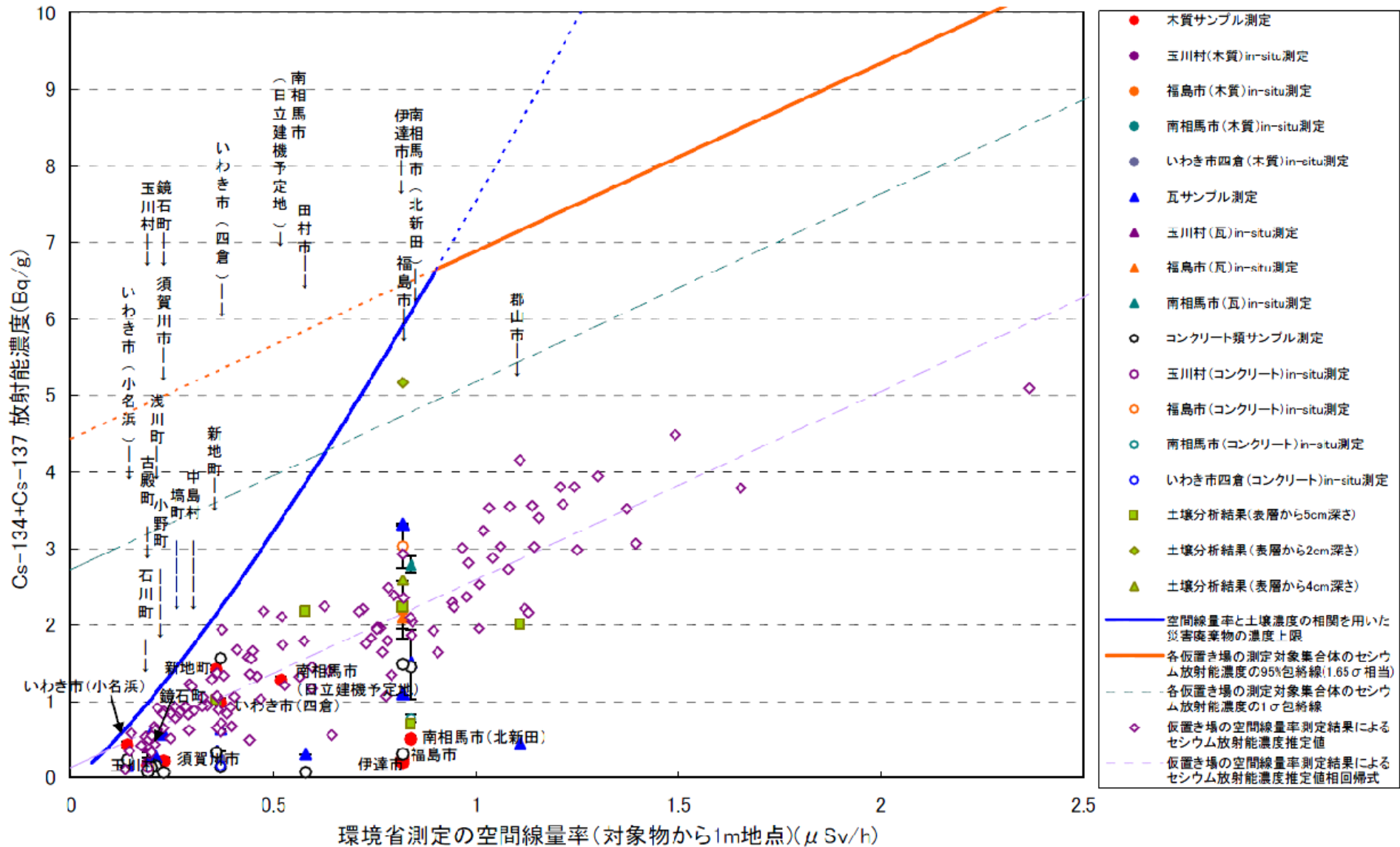
長野県: 汚泥焼却灰を処理して道路の人工骨材(路盤材)として再利用する予定





以下、補足

# 災害廃棄物の放射能濃度

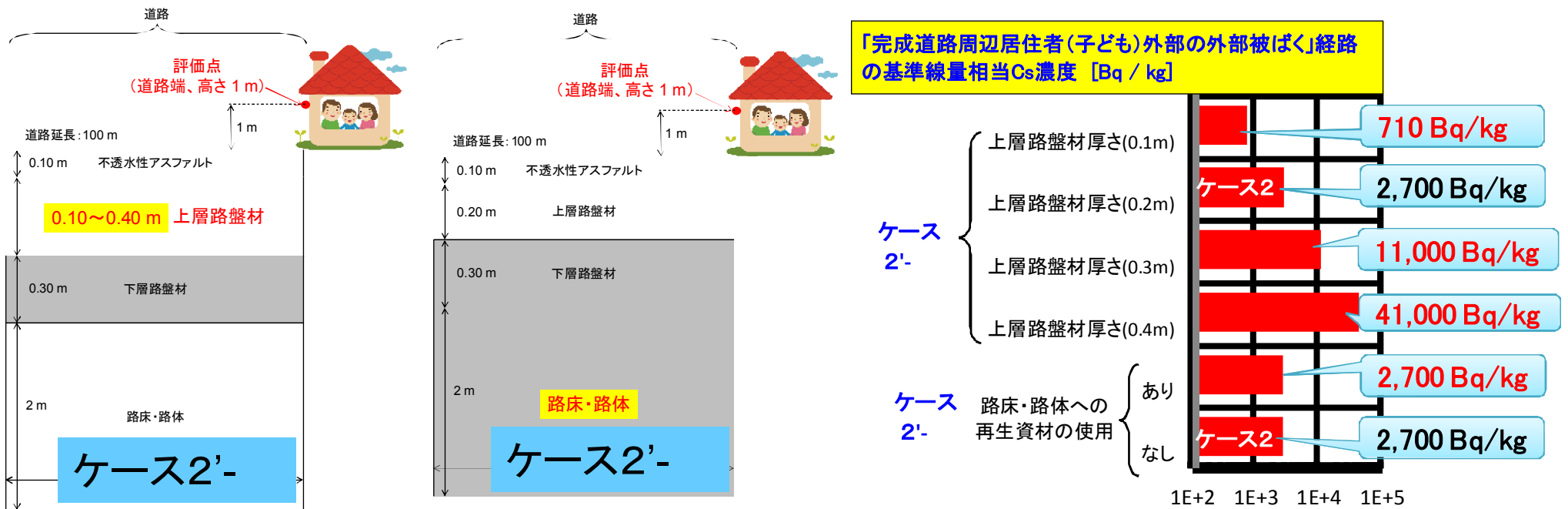


災害廃棄物の放射能濃度の上限と平均放射能濃度

# ケース2に対する追加計算

ケース2の「完成道路周辺居住(子ども)外部」経路に対して以下の追加計算も実施。

- ・上層路盤材の厚さを0.1、0.3、0.4 mに変えた場合の計算(ケース2'- )
- ・路床・路体にも再生資材を使用した場合の計算(ケース2'- )



- ・基準線量相当Cs濃度に対する上層路盤材の厚さの感度を把握(ケース2'- I)
- ・路床・路体への再生資材の使用は基準線量相当Cs濃度に影響を与えないことを明確にした(ケース2'- II)。

→ 遮蔽効果を有する資材を0.3m上部に確保することで、放射性セシウムの平均濃度が2,700 Bq/kgの資材を利用出来る可能性が示唆された。



# 一般的再利用の評価概要

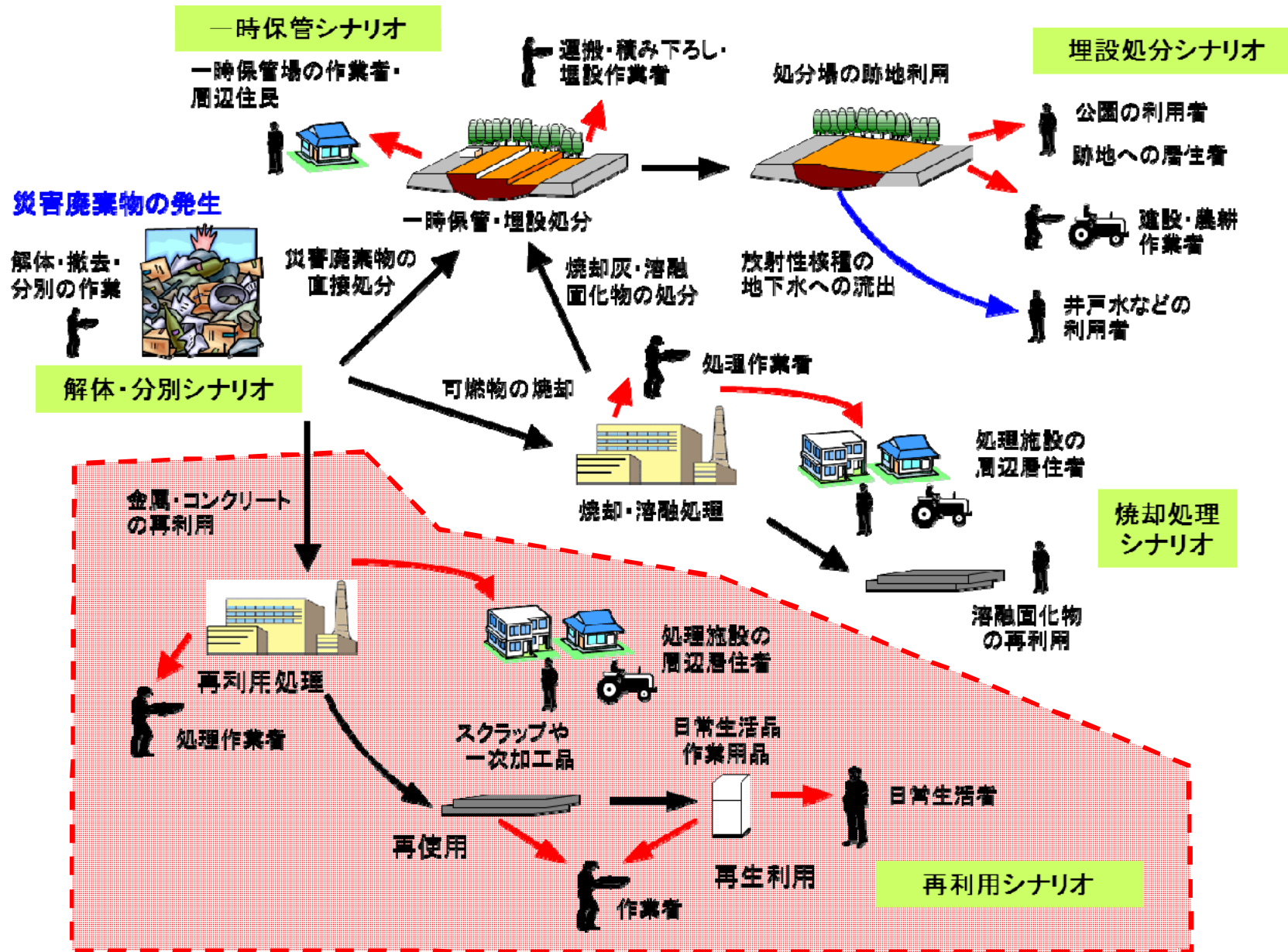
## 経緯:

- ✓ 環境省「**災害廃棄物安全評価検討会**」の設置し、**災害廃棄物の基準や処理方法**について検討(H23/05/ ~)
- ✓ 同検討会において、JAEA安全研究センターは、その処理・処分の方策の検討のための**安全評価の実施を担当**。  
※第3回、第9回災害廃棄物安全評価検討会(H23/6/19、H23/6/19)で報告
- ✓ 評価の一環として、**一般的な再利用を行った場合**の公衆(消費者等)、作業者に与える影響を評価。

## 評価方法:

- ✓ 原安委及び文科省の**既往のクリアランスレベル評価**に用いられた手法(シナリオ・モデル・パラメータ)を基本的に使用する。評価コードは**PASCLR**を使用。
- ✓ 災害廃棄物の**一般的再利用に係る評価経路**として、汚染された金属やコンクリートを**日常生活品、作業用品、壁材、駐車場**に再利用したときにおける、**消費者、処理施設周辺居住者、作業者**への被ばく経路を考慮する。可燃物の再利用は想定しない。
- ✓ 評価対象核種は**Cs-134とCs-137**(存在比として0.806:1.0を仮定)とする。
- ✓ 原安委による当面の安全確保の考え方(H23/6/3)に沿った評価
  - 処理に伴って周辺住民**が受ける線量は**1mSv/y**を超えないようにする
  - 処理を行う作業員**が受ける線量は、可能な限り**1mSv/y**を超えないことが望ましい
  - 再利用して生産された製品**から受ける線量は**10  $\mu$  Sv/y**以下にする

# 評価シナリオ(災害廃棄物)

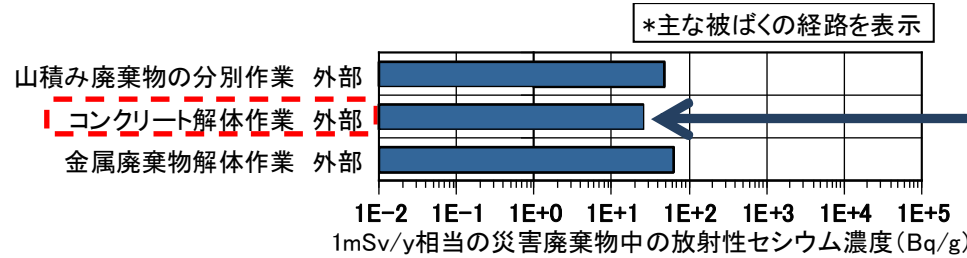






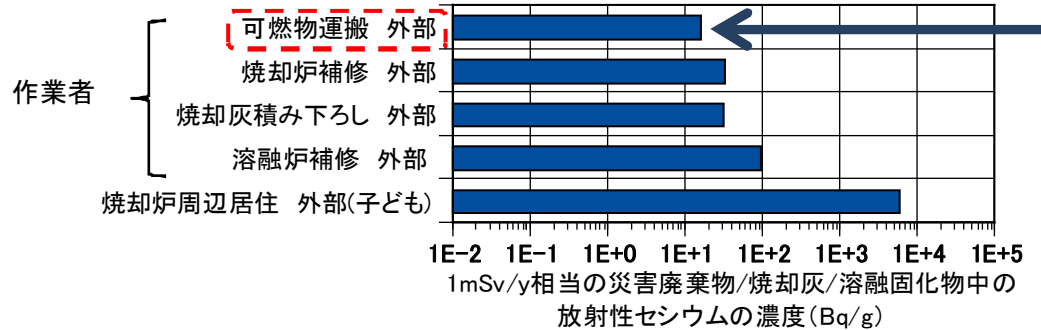
# 災害廃棄物の一般的再利用に係る評価結果

## 解体・分別シナリオ



24Bq/g

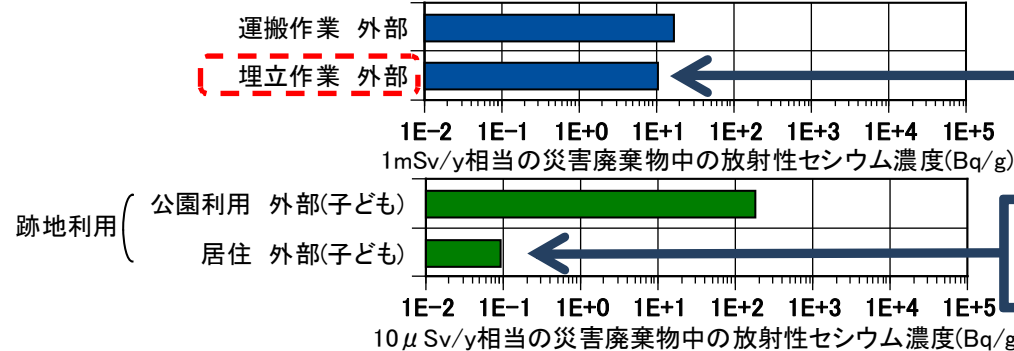
## 焼却処理シナリオ



15Bq/g

焼却処理の量(汚泥<災害廃棄物)作業時間が長く、より線量が高い

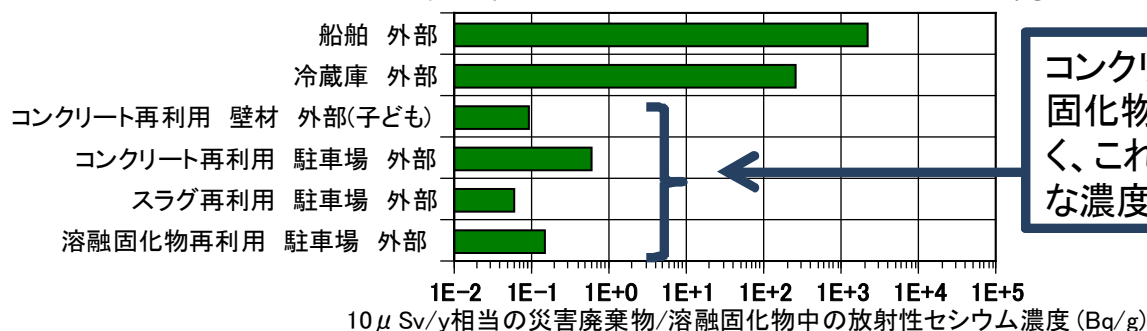
## 埋設処分シナリオ



10Bq/g(最小濃度)  
脱水汚泥と同様に、跡地の居住などの用途への利用制限により、8,000Bq/kg以下の災害廃棄物は埋設処分可能

跡地を居住などの用途に利用することは好ましくない。

## 再利用シナリオ



コンクリートの壁材、スラグや熔融固化物の建材の利用時の線量が高く、これらに対して再利用時の適切な濃度管理の必要性を示唆