

2号機シールドプラグでの 新たな穴内部での測定

2021年12月21日

東京電力福島第一原子力発電所事故対策室

平山 英夫、林 克己、岩永宏平

測定の実施と目的

- IRIDの穴での測定結果を踏まえ、シールドプラグ表面での線量当量率(以下、「表面線量率」という。)と、シールドプラグ上段と中段の隙間のCs-137汚染密度の関係を求める
 - 両者の比例関係があれば、表面線量を用いて上段と中段の隙間のCs-137放射能を推定できる
- 東京電力ホールディングス株式会社(以下、「東電」という。)が新たにドリリングした13箇所(以下、「13箇所」という。)の穴内部で線量当量率の測定を行った

11月30日と12月1日の測定

- 11月30日の測定では、AT2533線量計(以下、「AT2533」という。)を高線量率モード(100 mSv/h以上対象の「Fof」モード)にして測定を行った
 - 当初の予想と異なり、ほとんどの測定結果が100 mSv/h以下であることを示す「L99」となった
- 12月1日に、IRIDの中央穴での測定と新たな穴(No.5)で測定を行い、データロガーの「表示」とデータロガーのデータは対応していることを確認した
 - 新たにドリリングした穴内部での線量率分布が、IRIDの穴内部の分布と異なることが分った
- 穴の周辺に遮蔽効果を高める物質が存在する可能性
 - シールドプラグ表面から10 cmの位置に直径2.54cmの鉄筋
 - 東西方向の鉄筋は15 cm間隔で、南北方向の鉄筋は 20 cm 間隔

12月6日と12月7日の測定

- 有意な線量率を得るために、AT2533を線量率により「GM検出器、表面から5 cmの位置(130 mSv/h以下)」または「Siセンサー、線量計表面から1.5 cmの位置(130 mSv/h以上)」に切り替わる「FoN」モードで測定を実施した
- 測定された線量率は、ほとんどが130 mSv/h以下であった
 - 床面から4.7 cmより浅い位置(10 cmまで挿入できた場合)であるが、すべての穴で線量率情報を測定することができた
- 穴の底での線量率を測定すること、鉄筋等遮蔽能力の高い物質の影響を確認するために
 - 線量計の切り替えが低い「Polimaster」線量計を使用
 - 床面の高さ(線量計の位置は、床面から1.5 cm)で穴の上部と東西南北を測定

12月14日の測定

- ドリリングした13本の表面での線量当量率の測定
 - 4番:3 mSv/h、6番:1.6 mSv/h (シールドプラグ中心)、12番:870 μ Sv/h (プラグ継ぎ目)、13番:520 μ Sv/h (表面での線量当量率が特異に高い箇所)以外は、周辺のBG (200 μ Sv/h) 程度
 - 表面の汚染密度が一番高い4番で、 5×10^5 Bq/cm²で、従来の床表面の推定値 10^6 Bq/cm²の範囲内
 - 床表面の汚染が、新しい穴内部の線量分布の原因ではない
- Polimasterによる測定は、表示値を読み取ることにより行った
 - IRIDの穴を含むすべて穴内部での線量率が得られた
 - IRIDの穴以外は、床からの距離の増加に伴い、線量率がほとんど変わらないか、減少する傾向
- IRIDの2箇所を含む15箇所で、穴内部と表面の5箇所の測定は、状況を理解する上で、非常に有益であった
 - 床面の穴の上部と東西南北の分布が、IRIDの穴と新しい穴で明確に異なった
 - 鉄筋との位置関係が影響していると思われる

シールドプラグ表面に高密度の汚染が存在する可能性はない

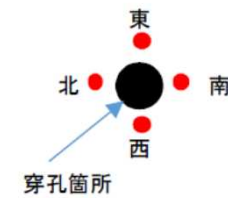
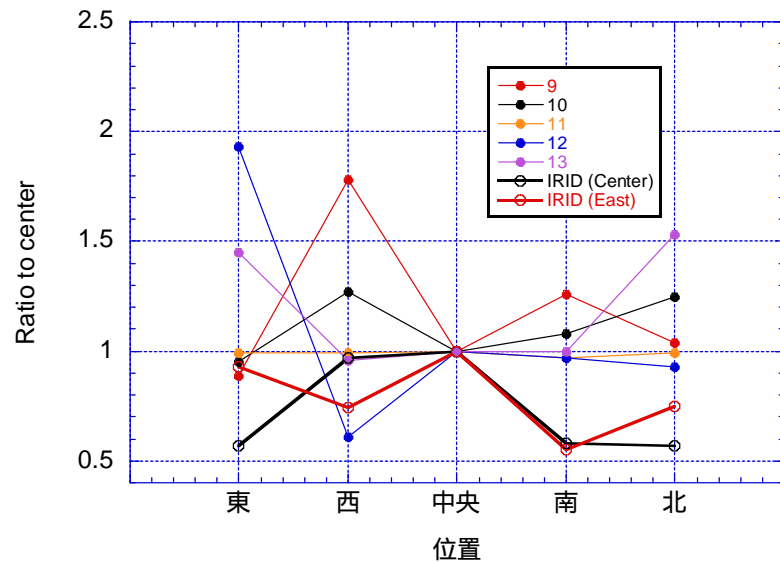
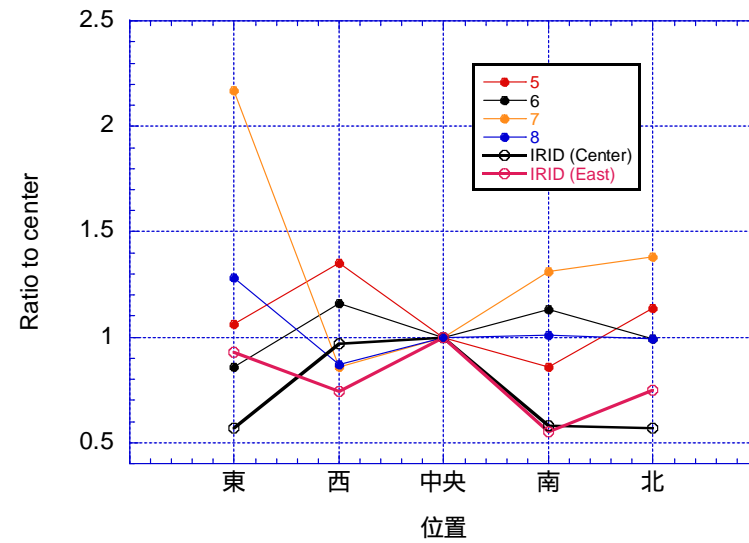
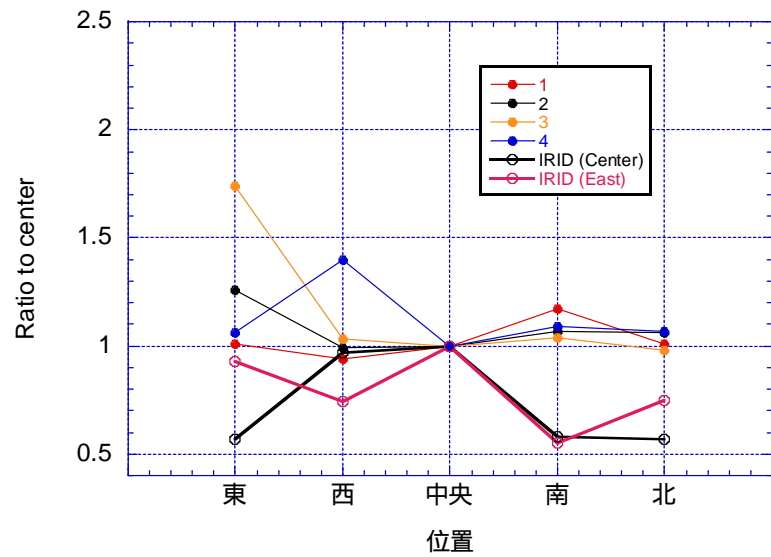
- ドリリングした13箇所のコア表面に顕著に線量当量率が高いものはなかった
 - 最大は、4番の3 mSv/h
- コア表面中心にPolimasterを密着して測定したので、表面から1 cm の位置で測定したとすると、4番で、コア表面の汚染密度は 5×10^5 Bq/cm²
- 従来 of 床表面の推定値 10^6 Bq/cm²の範囲内
- 床表面に局所的に高濃度の汚染が存在していることが穴内部の線量当量の原因とは考えられない

IRIDの穴での高線量率が穴内部の汚染による可能性は無い

- 高線量率に対応する汚染密度の点から
 - 中央付近の穴: 底から1.8 cmで、1,015 mSv/hとなる汚染密度は $6.0E+08$ Bq/cm²
 - 東側の穴: 底から1.8 cmで、255 mSv/hとなる汚染密度は $8.2E+07$ Bq/cm²
 - オペフロ床面の汚染密度は $1E+06$ Bq/cm²程度であることを考えると、取り残された砂状物質の汚染密度がこの様な高濃度となることは考えにくい
- 穴内部の線量当量率の変化から
 - 底からの距離が1.8 cm から 5.8 cmになると、1/6以下になるが、実際の変化は中央の穴の場合で1/1.7程度と大きく違っている
 - 東側の穴でも同様
- 穴の底の汚染が原因とは考えられない

測定結果の検討

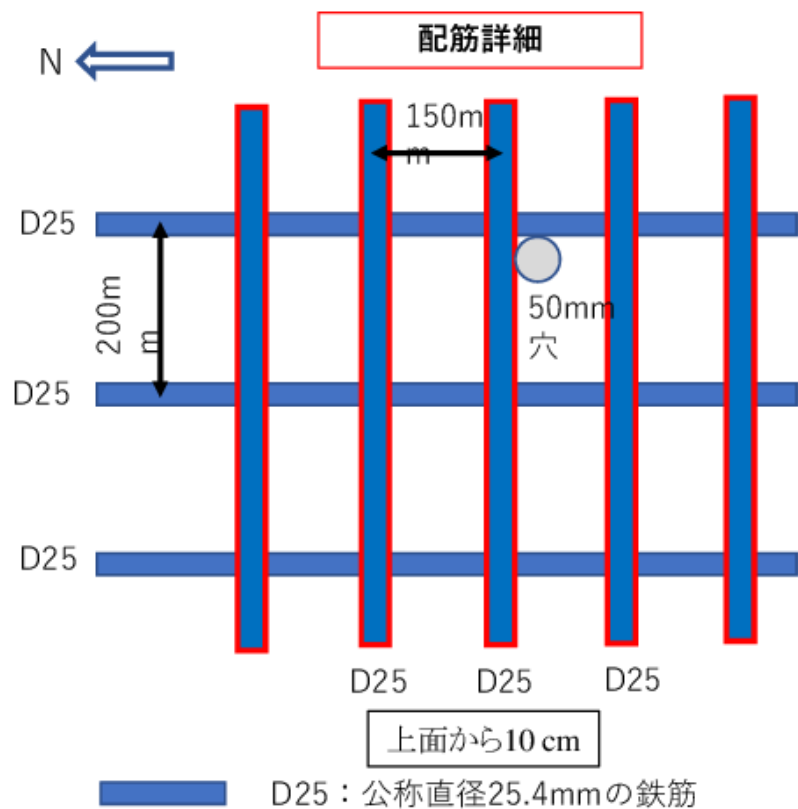
- シールドプラグ表面(床面から1.5 cm)での穴の「中央」、及び周辺の「東西南北」5箇所での比較から、穴下部のコンクリート中の状況が均一とは考えにくい
 - 穴の周辺(線量計の位置は、穴中心から5 cm)の狭い領域での測定なので、内部が均一であれば、コアが除かれた「中央」が最も高く、周辺の東西南北はほぼ同じで、中央よりも低い線量当量となる
 - 測定結果は、明らかに異なっている
- 表面からの深さと共に、線量当量率が増加するというIRIDの穴で見られた傾向がなかった
 - 穴の底に近い位置にコンクリート以外の物質があると、表面から深い位置の方が、影響が大きくなる。
- 床表面から10 cm 深さにある鉄筋が影響している可能性が高い



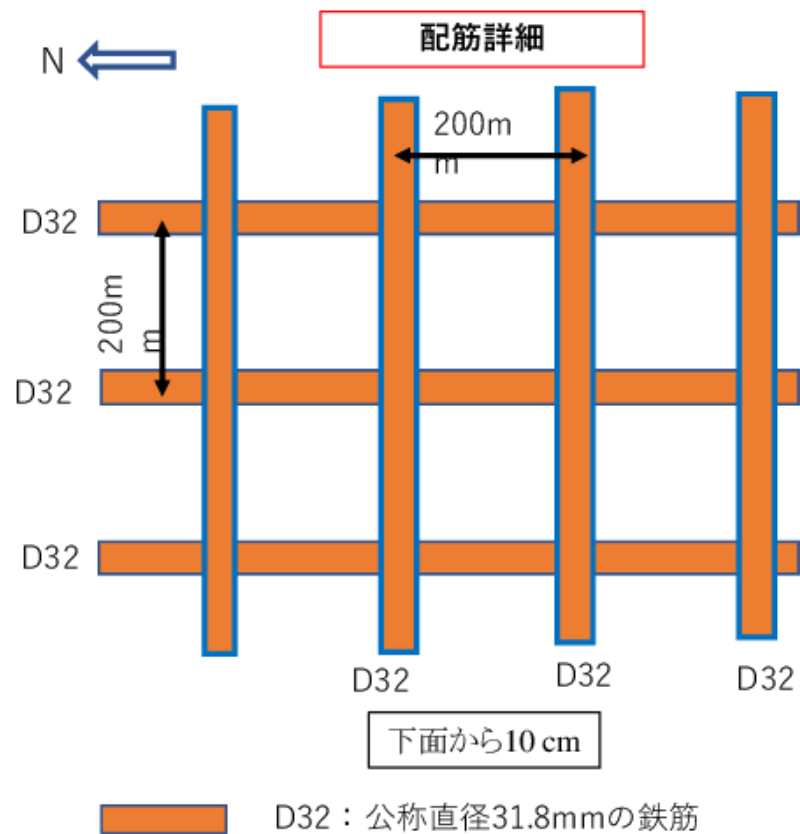
IRIDの穴では、穴の上部が一番高く、東西南北が低い
が、他の穴では逆の傾向と位置による大きな違い
が見られた

シールドプラグ中の鉄筋

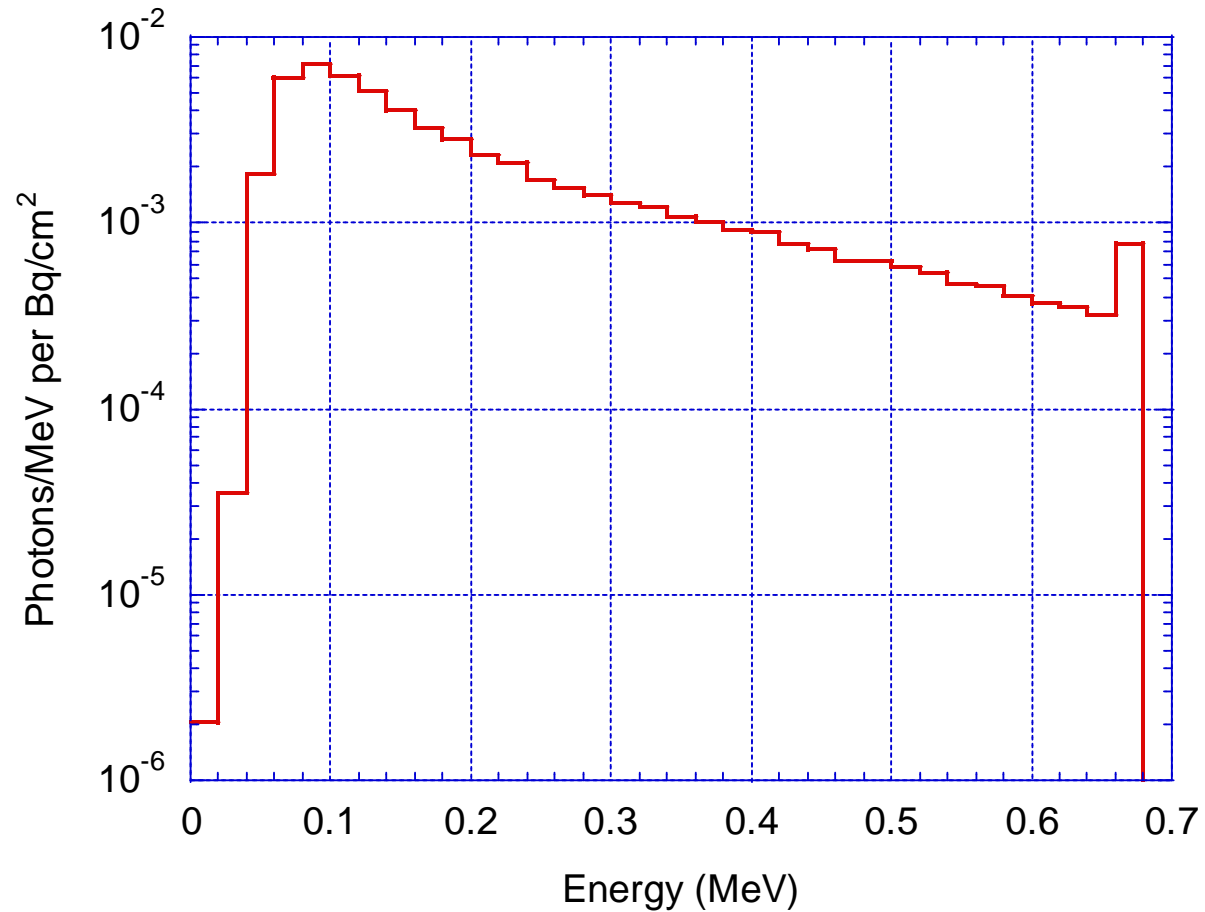
上面



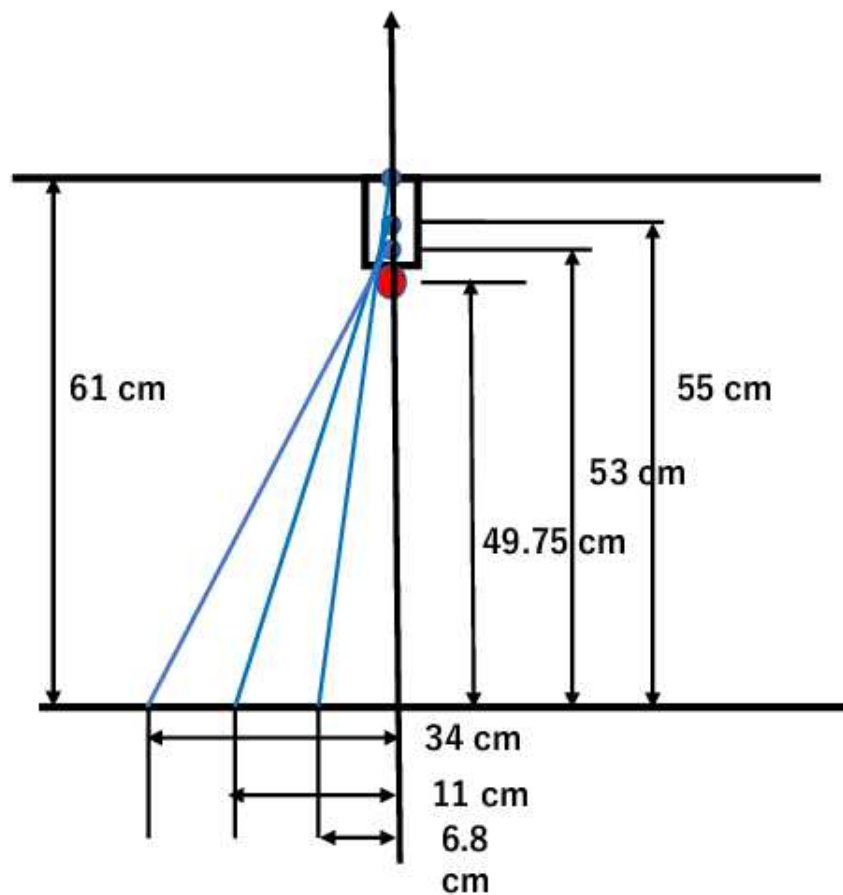
下面



上面の鉄筋位置に到達するのは散乱線が中心の低エネルギー光子であるので、鉄筋の影響を受けやすい



Cs-137の面線源上部の50 cmコクリート透過後の光子スペクトル

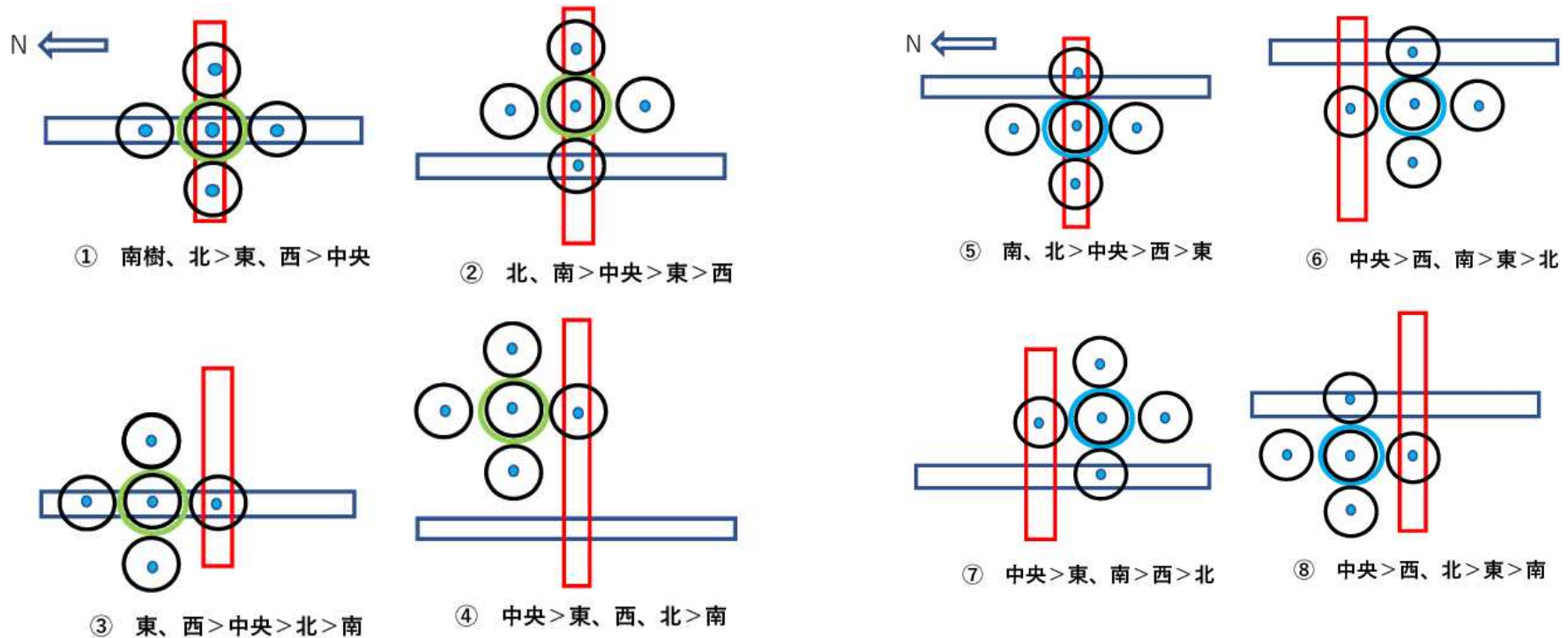


鉄筋との距離が近いほど、
鉄筋の影響がある領域
面積が広がる

1

穴の真下に鉄筋がある場合

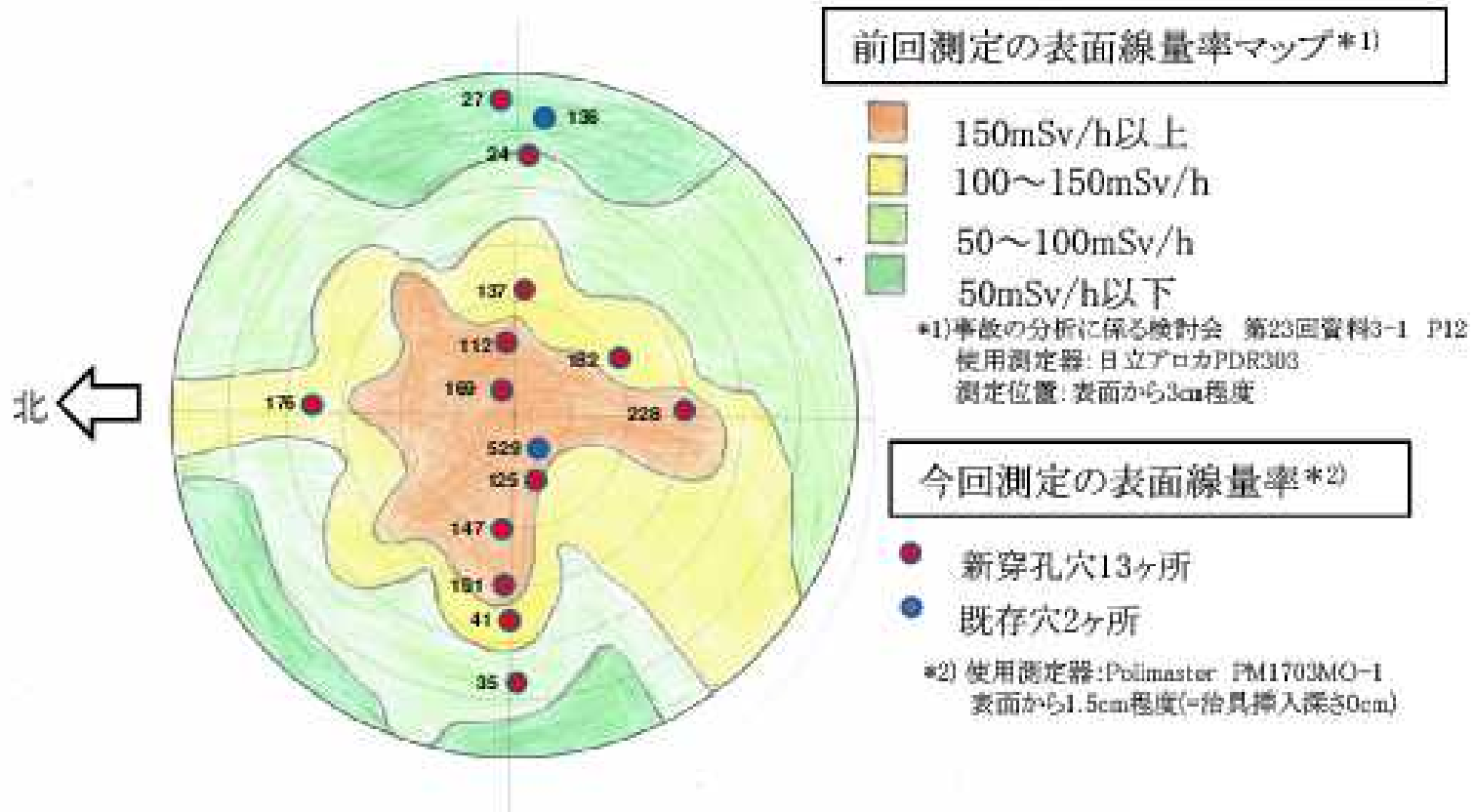
上部から見た配置の典型的な場合でも、以下の様なケースが考えられる。
 実際は、この中間的な状況が多いのではないかと考えられる。
 鉄筋の影響が小さい場合(15 cm × 20 cm の中心近くに穴がある場合)には、穴の中央の線量
 率が東西南北よりも高く、東西南北はほぼ同じ線量率になると思われる。



測定結果からシールドプラグ上段と中段のCs-137総汚染量の推定

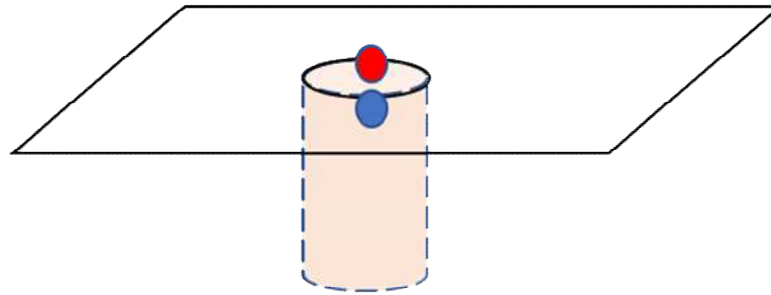
- 鉄筋の位置(鉄筋の上部が表面から10 cm)から。表面に近く穴の底からの距離が高い位置の方が鉄筋の影響が少ないと考えられる
 - 治具の底が表面から2 cm(線量計の位置は表面から0.5 cm)の測定結果を使用
 - 線量率と汚染密度の関係は、鉄筋を考慮しない密度 2.1 g/cm^3 のコンクリートについてegs5で計算した結果を使用して穴下部の半径50 cmの領域の汚染密度を求める
 - 鉄筋があると、 1 Bq/cm^2 当たりの線量当量率が低くなるので、得られた汚染密度は実際よりも小さい
- 実際のドリリング位置は、設定場所に近いが厳密に同じではないこと、東西南北で線量率に大きな違いが見られた場所が多かったので、穴の上部の床面から1.5 cmの測定結果を「表面線量率」とする
 - 直径5 cmで深さ10 cmのコンクリートが無い状態での測定なので、ドリリング前の線量率よりは高い
- 表面線量率とシールドプラグ上段と中段の汚染密度(穴の中心から大凡半径50 cmの領域)の関係を調べた
 - 比較のために、IRIDの2つの穴での同様の関係を調べた

前回(10/7)測定線量率マップと今回(12/14)測定結果(穴上部)の比較



シールドプラグ表面線量率と上段中段間の汚染密度の相関式導出

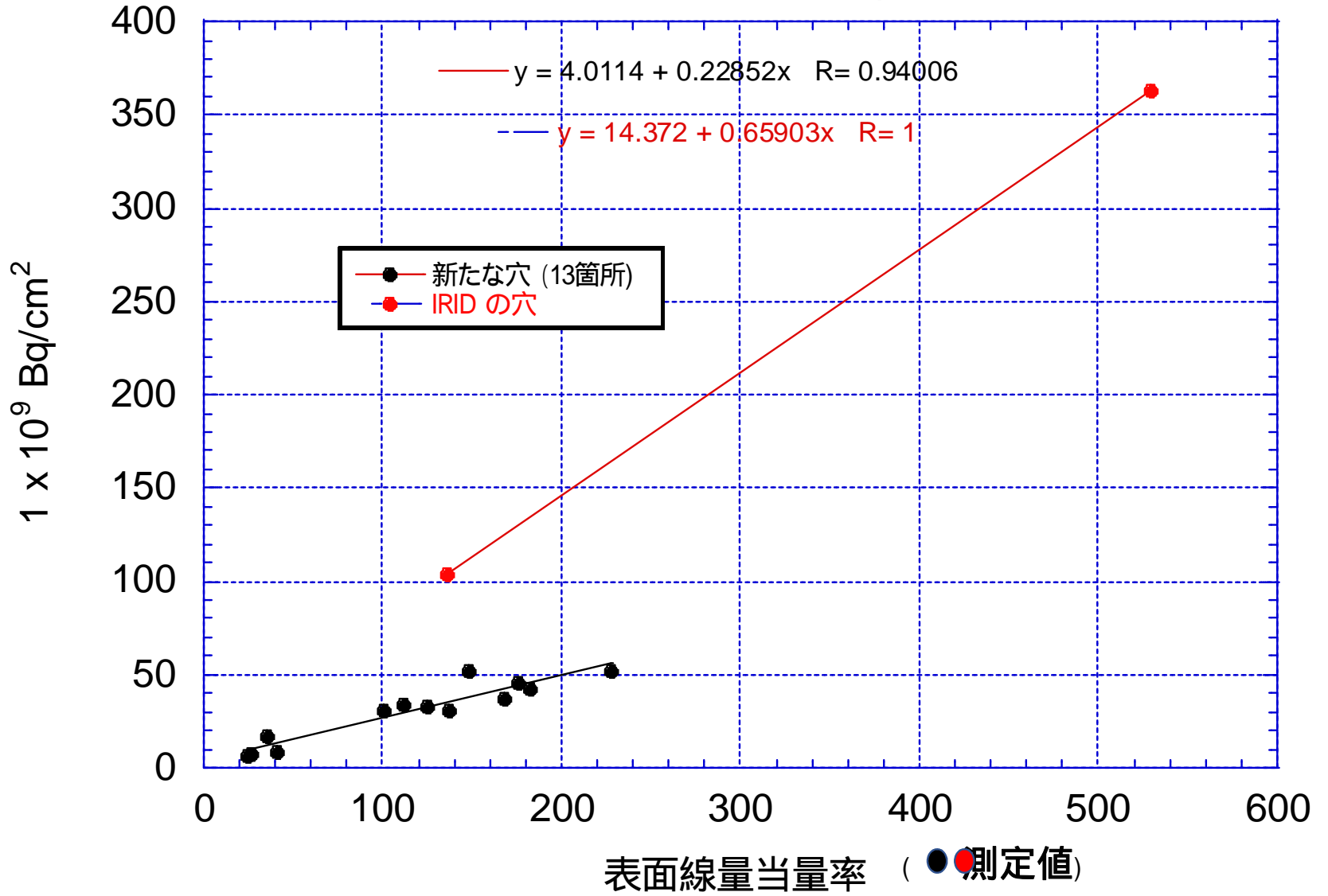
1. 今回(12/14)のPolymasterでの線量率
床上1.5cm ●と穴中床下0.5cm ●の値を使用



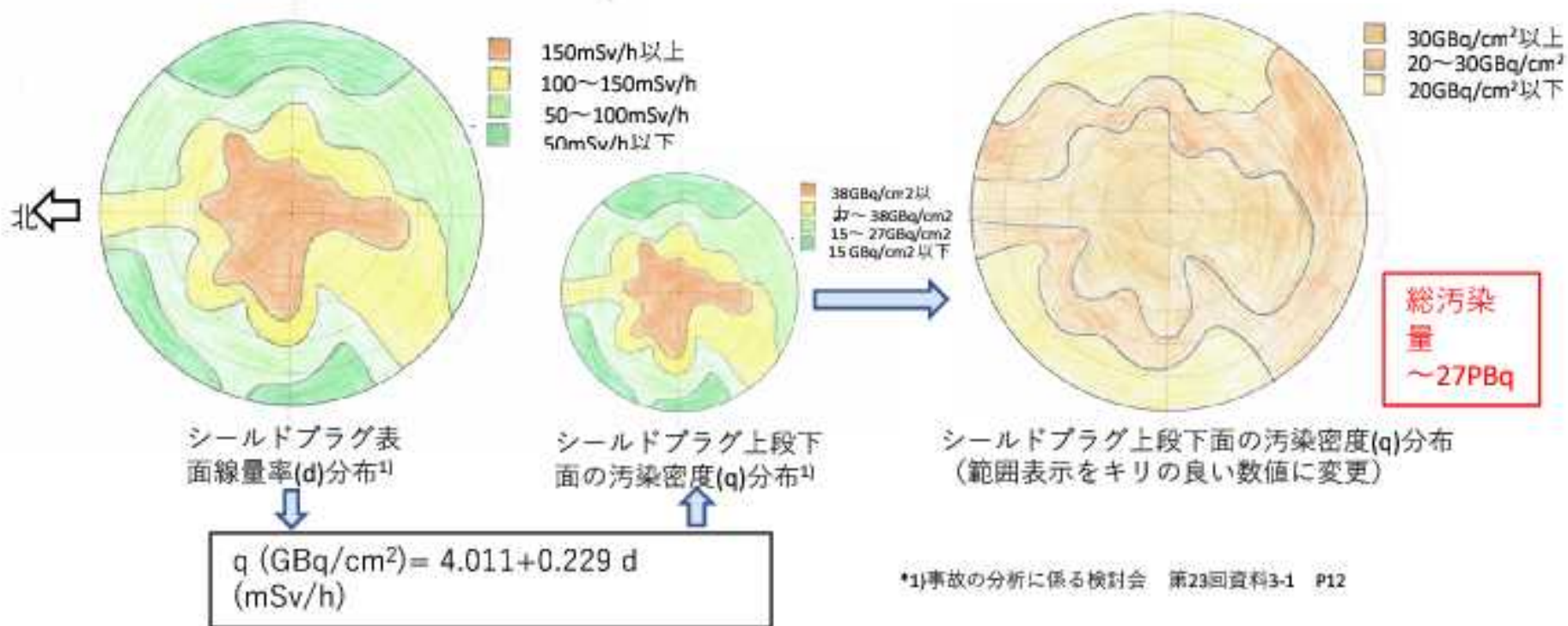
2. 上段中段間の汚染密度と線量率の関係
egs5による穴中床下0.5cm線量率 ●と汚染密度の換算
3. 今回の床上測定値と汚染密度の相関グラフ作成
横軸：床上1.5cm ●表面線量率
縦軸：穴中床下0.5cm ●の線量率で求めた上段中段間の汚染密度
4. 床上線量率測定値と汚染密度の相関式を導出
 $q \text{ (GBq/cm}^2\text{)} = 4.011 + 0.229 d \text{ (mSv/h)}$

表面線量当量率の測定値と汚染密度の相関

(●測定値から求めた汚染密度)



シールドプラグ表面線量率から汚染密度への変換



シールドプラグ上段中段間の汚染総量の評価

- 穿孔した穴の12月14日の測定値と10月4日に測定した表面線量率から上段中段間の総汚染量 27 PBqが得られた。
- この総汚染量に関しては以下の過小評価要因がある。
 - 上段中段間の汚染密度と線量率の関係をegs5で求めるときに、材質はコンクリートとした。実際は上面側にD25、下面側にD32の鉄筋が格子状に入っており、換算係数を低めに見積もっている。
(この効果は計算中)
- 今回新たに穿孔した穴13個の測定値のみ使用して換算係数を求めたが、既存のIRIDの穴では換算係数が3倍になる。(この原因は検討中)
- 換算係数に関するこれらの要因は今後検討を行ない、総汚染量評価値の変動範囲を 求める予定である。

鉄筋を含めたegs5の計算

- 鉄筋を含めた形状は複雑なので、従来使用していた「衝突確率法」(各散乱点からの寄与を積算する方法)は適用するのが難しい
- 線源から 40 cm の位置まで到達した粒子情報を記録し、40 cm の位置から記録された粒子情報を用いて、検出器での線量当量率を計算する「接続計算」を試みている