

高比重コンクリート“G コン”による放射能遮蔽・格納・長期保管技法

株式会社ホクコン 三好祥太

営業企画部 技術開発チーム

TEL : 03-3518-8103

E-mail : s_miyoshi@mail.hokukon.co.jp

1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東日本大震災は、東京電力福島第一原子力発電所に甚大な破壊をもたらし、かつ、大量広大な地域への放射能汚染という被害をもたらした。この人類未曾有の放射能汚染に対し、災害発生当初より官民を挙げた除染技術の研究開発および除染作業が行われており、環境省の公表によると、今後約1500～2800万 m^3 にもおよぶ膨大な量の放射性廃棄物の発生が予想されている。この膨大な放射性廃棄物の処理方法として、中間貯蔵施設にて長期的な保管・管理が行われるが、保管施設規模の縮小化や維持管理面から放射性廃棄物の保管量をできる限り減少させるため、今後一層の減容化が必須になる。しかし、減容化に伴う放射性廃棄物が高濃度化することから、長期的に安全な保管技法が重要課題とされている。

本研究では、これらの点を踏まえ、減容化によって発生する高濃度放射性廃棄物に対し、遮蔽効果の高い高比重コンクリート『G コン®』を用いた放射性廃棄物格納容器（図1）の開発により、格納、移動・運搬、保管までの一連において、長期的な安全を確保するため、総合的技法の構築を目的とし検証を行った。

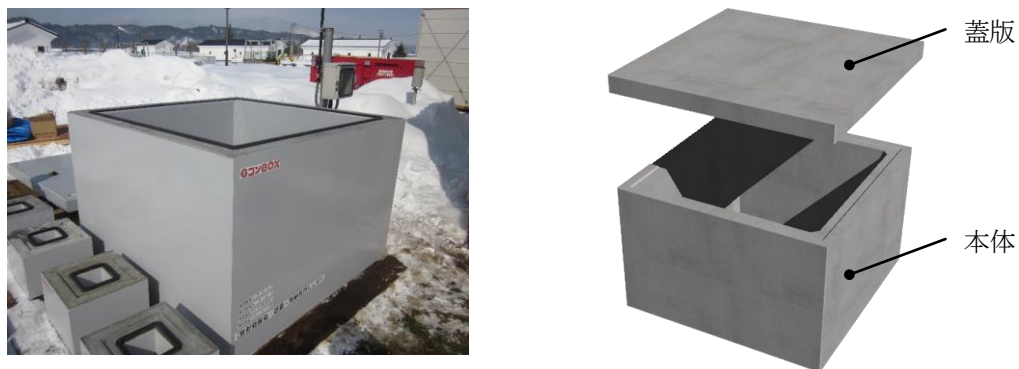


図1 放射性廃棄物格納容器『G コン BOX』

2. 高比重コンクリート『G コン®』の概要

現在、土木・建築構造物に用いられる材料の中で、最も代表的なもののひとつとしてコンクリートが挙げられる。コンクリートはセメントと骨材（砂や碎石など）と、水、各種添加剤を練り混ぜたものであるが、『G コン®』は、砂、碎石などの骨材の一部またはすべてを砂鉄や酸化鉄鉱石、スラグなどの高比重・高鉄分含有骨材に換えて製造した特殊コンクリートである。（図2）

砂鉄、酸化鉄鉱石は、マグネタイトであり、化学式で記すと Fe_2O_3 、億単位の年月で酸化され安定した状態にある。したがって、コンクリート中で水酸化 $\{\text{Fe}(\text{OH})_2\}$ つまり錆びて膨張することはない。また、ここで採用したスラグは、電気炉酸化スラグであり、これもコンクリート用骨材として実験を重ね公共事業にも採用され、実績を積んでいる材料である。

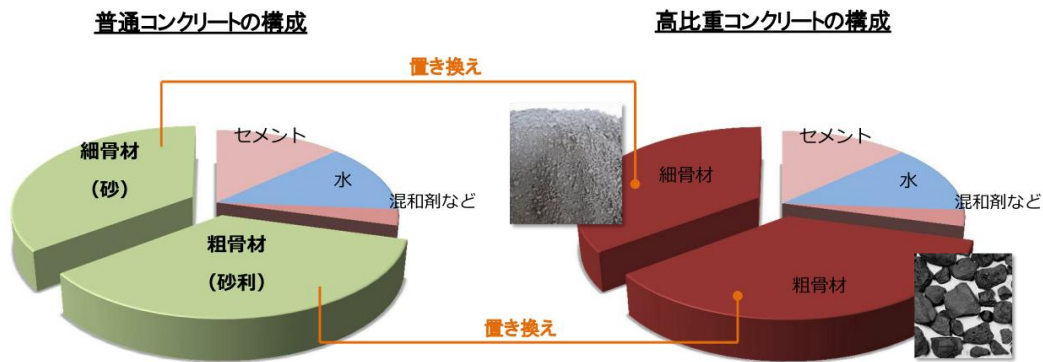


図 2 材料構成例

通常、コンクリートの骨材として重量骨材を用いる場合、骨材を均等に分散させることが難しく、ワーカビリティの悪化、コンクリート比重の上下でのバラツキ増大、強度低下などの品質が極端に低下する場合があるが、『G コン®』は、開発時の新規の着想からこの問題を解決し、均質で安定した品質を有する高比重コンクリートを製造する技術を有するものである。

『G コン®』は、その比重の大きさを利用し、主に高波浪地域の漁港や港湾における防波堤用消波ブロック（図 3）として公共工事に採用されているほか、特殊用途として斜張橋のカウンターウェイトや地下構造物の浮き上がり防止材、振動を発生する設備機械の基礎などにも用いられている。

また、『G コン®』はその高铁分含有により、高い放射能（特にガンマ線）遮蔽特性を有していることが「建築工事標準仕様書・同解説」からも明らかであることから、国立病院の放射線治療室躯体コンクリートとしての実績を有している。（図 4）

『G コン®』の硬化後における鉄分（Fe）成分のコンクリート 1m^3 あたりの重量比率は、比重 2.7 で 17%、比重 3.1 で 32%、比重 3.5 で 59%となっており、コンクリート比重が高くなれば鉄分（Fe）含有率も高くなることから、放射能遮蔽効果にも優れることがわかる。

今回紹介する内容は、『G コン®』の持つ高铁分含有特性を活用し、放射性廃棄物の収納・運搬や長期的な格納保管までの一連の対策を目的として開発した技術内容について、その概要を述べるものである。



図 3 防波堤用 G コン



図 4 放射線治療室躯体打設

3. 放射性廃棄物保管容器の性能検証

セシウム 137 を主とする大量に放出された放射性物質は、様々な状況で人間の生活環境に影響を及ぼし、如何にしてその対策を行い、安全性を確保するかが喫緊の課題となっている。

先に述べたように、除染作業に伴い発生する放射性廃棄物の格納・保管のほかに、除染作業や原子力発電所地域での作業時や移動時の安全性確保、高濃度放射能汚染地域における道路や鉄道、生活空間における安全性の確保など、放射性廃棄物の格納から移動運搬、保管までの一連において、長期的な安全、安心の確保を目的に、以下の項目について検証することとした。

3.1 放射能遮蔽性能

『G コン®』の放射能遮蔽効果については、その材質(化学分析値)により透過率を簡便に計算することが可能であり、現状調達しうる最も高性能といえるコンクリート比重 3.5 の『G コン®』で厚さ 20 センチの場合の化学成分による試算(図 5)によると、セシウム 137 ガンマ線(662keV) 透過率 0.29%、同一厚さの普通コンクリート(アイソトープ手帳より透過率 18%)に対して、約 60 倍の遮蔽効果があると算出される。(図 6) 今回、上記結果を実証するため、以下の 2 通りの放射線遮蔽性の検証試験を行い解析評価した。

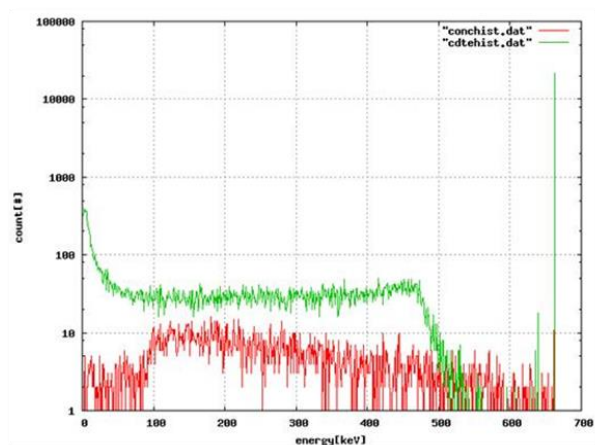


図 5 Cs137 (662keV ガンマ線) 透過率計算結果

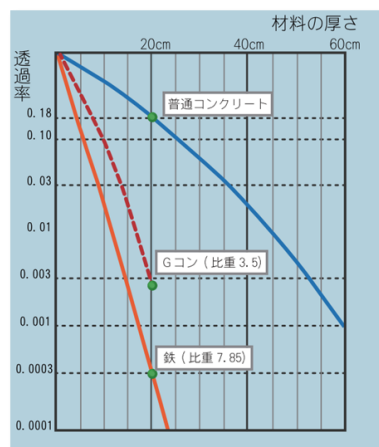


図 6 材料毎の Cs137 透過率

(1) サンプル供試体による遮蔽性検証試験

□500mm×厚さ 50mm の G コン製供試体を作成し、セシウム 137 密封線源による遮蔽性の検証試験を行った。

(図 7) その結果、比重 3.1、厚さ 20cm で透過率 0.6% の遮蔽性能(厚さ 10cm の場合で透過率 10%)とすることを確認した。なお、比重 3.5 で厚さ 20cm の場合、測定器の計測限界を超え、数字上は透過率 0.0% という結果であった。

(2) 実証試験現場による遮蔽性検証試験

福島県喜多方市での実証事業^{注1)}において、放射性物質を含んだ下水汚泥炭化物(11 万 Bq/kg)を内空 150mm×内高 150mm、部材厚さ 15cm の容器に封入し、実物線源での遮蔽性の確認試験を行った。(図 8)

その結果、比重 3.1 で 93.1%、比重 3.5 で 96.8% の遮蔽性能となることを確認した。

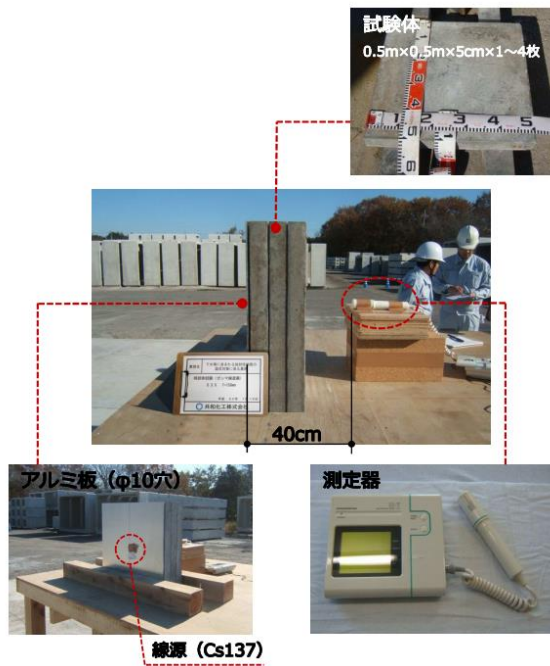


図 7 遮蔽性試験（供試体）

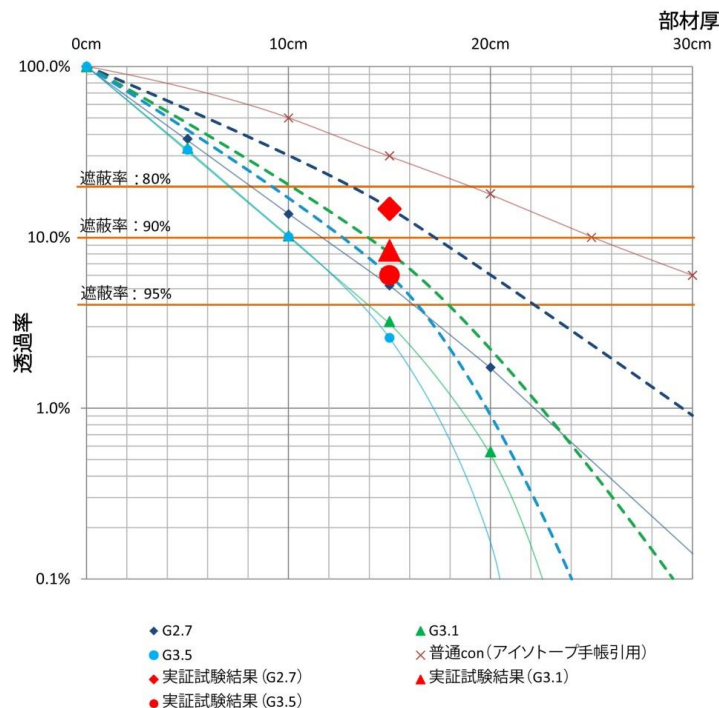


図 8 遮蔽性試験（実証試験現場）

(3) 供試体試験と実証試験における遮蔽率の比較

本結果（表 1）より、今回実施した供試体試験と実証試験において、遮蔽率の結果に若干の差異が生じた。これらの要因として、供試体試験においては密封線源（点線源）を用い、放射線測定には、ゲルマニウム半導体測定器にてセシウム 137 線源（662keV）自体の減少量を計測したのに対し、実機試験においては、容器内全面に格納された体積線源を用い、放射線測定にはシンチレーション式放射線測定器にて放射線量を計測したことにより違いが生じたものではないかと推測する。

表 1 供試体試験と実証試験における遮蔽率の比較



試験名	比重	厚さ		
		10cm	15cm	20cm
供試体試験	2.7	86.3%	94.8%	98.3%
	3.1	89.8%	96.8%	99.4%
	3.5	89.9%	97.7%	
実証試験現場	2.7	—	86.7%	—
	3.1	—	93.1%	—
	3.4	—	96.8%	—

3.2 放射性廃棄物格納容器『G コン BOX』の耐久性

放射性廃棄物格納容器は、耐用年数 100 年を目途に格納した放射性廃棄物が期間中に外部に散逸しない性能が求められる。

『G コン®』を用いた放射性廃棄物格納容器は、コンクリート標準示方書に規定する中性化および部材の安全性の照査を行ない、かつ想定外の荷重や劣化要因によってひび割れが発生した場合においても、原子力発電所にも採用されている耐放射線性に優れるフェニル基付与型のシリコン樹脂材（図 9）を保管容器内面に防水材としてコーティングすることにより、構造体として 100 年を越える長期耐久性のコンクリート容器を製造可能なことがわかった。

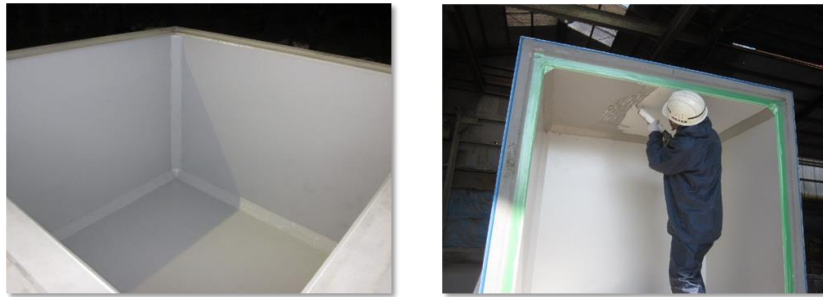


図 9 耐放射線性特殊シリコン樹脂

3.3 放射性廃棄物格納容器『G コン BOX』のコンパクト化

『G コン®』の高い遮蔽性能より、普通コンクリートと比べると同等の遮蔽率を満足するために必要な部材厚を薄くすることができることから、外形寸法が同じ場合、内空断面を大きくすることが可能である。（図 10）これにより、容器 1 個に対し大容量の格納ができることから、格納容器の最小化を図ることができる。また、3 段程度の積み上げが可能であることから、保管スペースの最小化、長期保管施設の用地面積の最小化を図ることができる。（図 11）

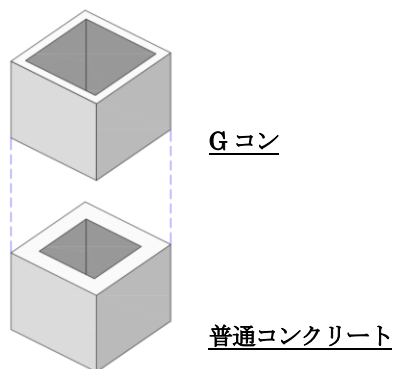


図 10 内容量の比較

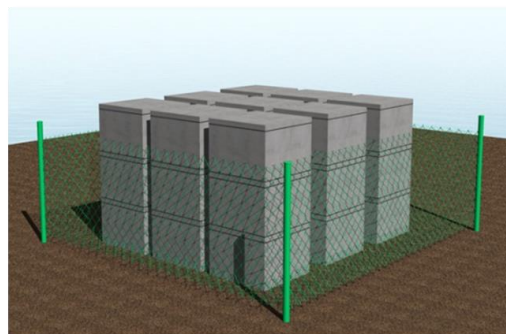


図 11 保管方法

3.4 放射性廃棄物格納容器『G コン BOX』の可搬性

除染作業および減容化後の高濃度放射性廃棄物を将来的に長期貯蔵施設まで運搬する必要性を考慮すると、格納容器の形状や重量には移動時の制約が生じる。『G コン®』を用いた放射性廃棄物格納容器は、内寸：横 1.5m、奥行き 1.5m、高さ 1.0m、外寸：横 1.8m、奥行き 1.8m、高さ 1.3m の形状（内容量 2.25m³）で、1m³ のフレコンバッグが 2 個を収納できる形状を可搬タイプの基本寸法とした。この形状寸法により、総重量が内容物を含め 10t を超えない大きさとして設計したことにより、10t 積載の普通トラックが利用でき、移動や運搬時の利便性を確保できることが検証された。

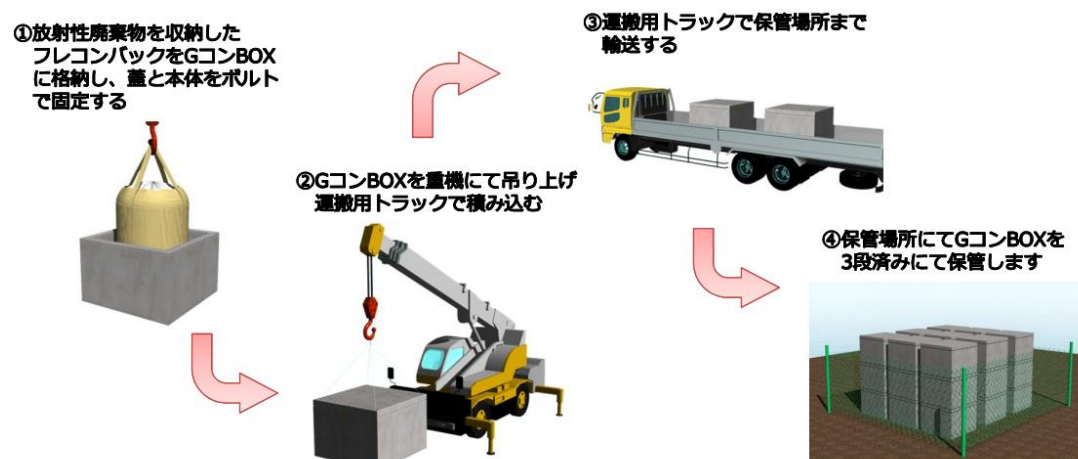


図 12 保管・格納処理フロー

3.5 放射性廃棄物格納容器『G コン BOX』の作業安全性

減容化を進めることによって生じる高濃度スラッジの取り扱いについては、今後、保管期間内の遮蔽安全性は元より、容器への投入時、移動時、保管時の作業員の安全性への配慮が必要となる。放射能除染や減容を行う現場から発生する放射性廃棄物を直接収納し、かつ即座に移動・搬出できることから、作業時間を短縮し、作業員の被ばく時間を最小化すること、更に、仮置き場に一時保管された状態から中間処理施設へ運搬する際の安全性も高めることの可能である。

3.6 まとめ

本検証試験において、遮蔽率は比重によって大きく変化することが実証されたと同時に、今回実証試験で使用した高比重コンクリートによる放射性廃棄物格納容器の遮蔽性能の高さが検証できた。これにより、同等の遮蔽率を有する普通コンクリート製の放射性廃棄物格納容器に対して、薄肉軽量化を実現することにより、経済性、可搬性などトータルの優れているといえる。

また、長期保管安全性に対しコンクリートおよび防水材の耐久性能の検討を行い、その実現性を検証した。

今回の研究開発で示された放射性廃棄物保管容器への格納は、周辺住民に対する説明の中で安心安全を提示し、納得できる仕様を提案できるものであり、作業員の安全、仮置き中の自然災害からの安全性等、様々な面から見て、放射性廃棄物の処理について最も有効な手段と結論付けられる。

4. 高比重コンクリート『G コン®』の活用事例提案

放射線遮蔽性能検証結果に基づき、高比重コンクリート『G コン®』をプレキャスト製品として、規格化することにより、作業性の向上かつ工事費の抑制可能な耐放射線対策技術として、以下の提案を行う。

4.1 放射能遮蔽壁

除染特別地域で道路周辺が高線量である場合など、通行する人や車両を放射線から防護する。

(図 13)

4.2 がれき保管施設

放射能汚染物質に汚染されたがれきなどの処理において、『G コン®』製の L 型擁壁にて囲い、がれき保管施設を設置することにより、簡単かつ短期間で構築することができる。(図 14)



図 13 『G コン®』遮蔽板

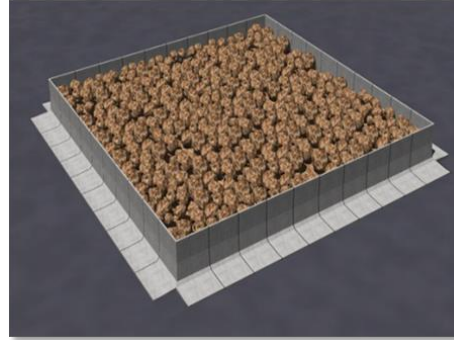


図 14 『G コン®』がれき保管施設

4.3 移動用通路、L 型遮蔽壁

放射性物質放出事故の現場では空間放射線量が非常に高レベルであることから、事務所と現場間の移動時においても作業員が多量に被ばくすることが懸念される。そこで、『G コン®』製プレキャスト遮蔽通路を設置することにより、移動時の作業員の安全確保および簡単に短期間で通路を構築することができる。(図 15)

また、従来の L 型擁壁の型枠を活用し、通常のコングリートの代わりに『G コン®』を打設することにより、高性能な遮蔽壁を構築することができる。(図 16)

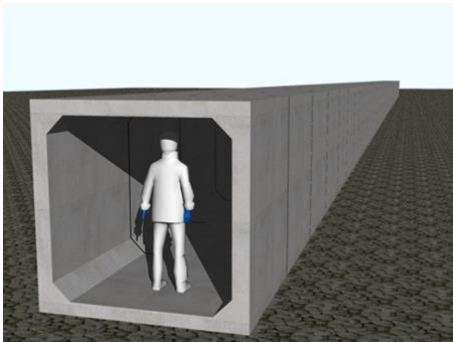


図 15 『G コン®』遮蔽通路



図 16 『G コン®』遮蔽壁

4.4 放射能退避施設

移動用通路と同様に、作業員が作業箇所近傍で安全に活動するために、周囲の放射性物質による被ばくを最小限に抑え、まとまった作業時間を確保することを目的として休憩から宿泊まで様々な用途で活用することができる施設である。また、緊急時に素早く一時避難する施設としても有効と考える。(図 17)

プレキャスト製品であることから、短期間で設置が可能であり、現場作業の簡易化を図ることができる。また、隔壁により部屋を自由に間仕切ることができ、施設上必要な設備（電気、空調設備、厨房、トイレなど）もプレキャスト製品にユニット化することが可能であり、原子力発電所直近の現場事務所としての利用も可能である。

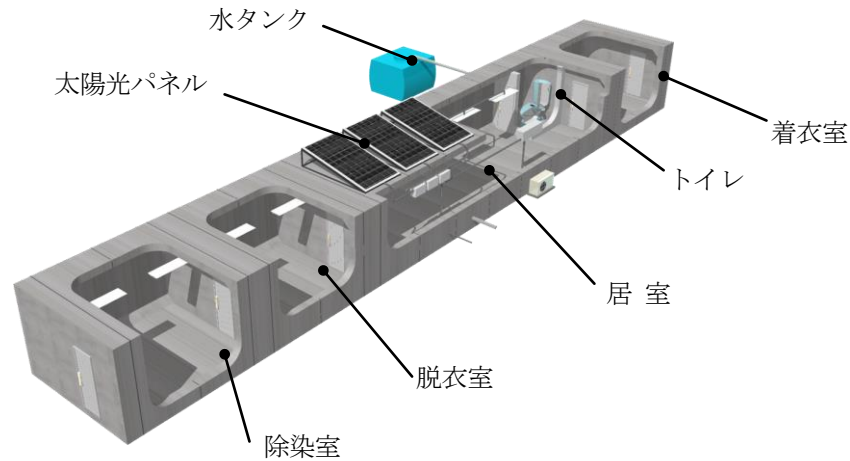


図 17 『Gコン®』放射能退避施設イメージ

5. おわりに

平成 23 年 12 月、本技術は国土交通省水管理・国土保全局発注の「小規模下水処理場の放射性物質を含む汚泥の安定化・保管の実証実験」に受託者である共和化工株式会社との連携で採用された。

これをひとつのきっかけとして、平成 24 年 4 月に本技術の研究開発の推進と工法の確立を目的として「放射能対策先端システム技術協会（AIRC） HP：<http://airc2012.jp/>」を設立した。本協会は、協会会員の持つ独自の基本技術を元に、除染から格納・長期保管に至る放射能対策トータルシステムとして放射能汚染水ならびに放射能汚染物質を効果的に処理し、高濃度放射性廃棄物を安全に格納保管できる技術を提案することを主な目的としている。これにより、現在直面している放射能汚染問題を解決し、一日も早く国民の放射能汚染への不安軽減と早期の被災地復興に貢献することが本協会員の切なる願いであり使命と考えている。

なお最後に、本放射能対策トータルシステムを構築するに当たり、懇切丁寧にご指導賜りました東京大学 高橋浩之教授、京都大学 松井三郎名誉教授、福島大学 稲森悠平教授ならびに共和化工株式会社殿にこの場をお借りしてお礼申し上げますとともに、今後ともご協力とご指導、ご鞭撻を頂けるよう、お願い申し上げます次第である。