

韓国の原子炉の 使用済み燃料プール火災 シミュレーション

カン・ジョンミン, PhD
独立核アナリスト

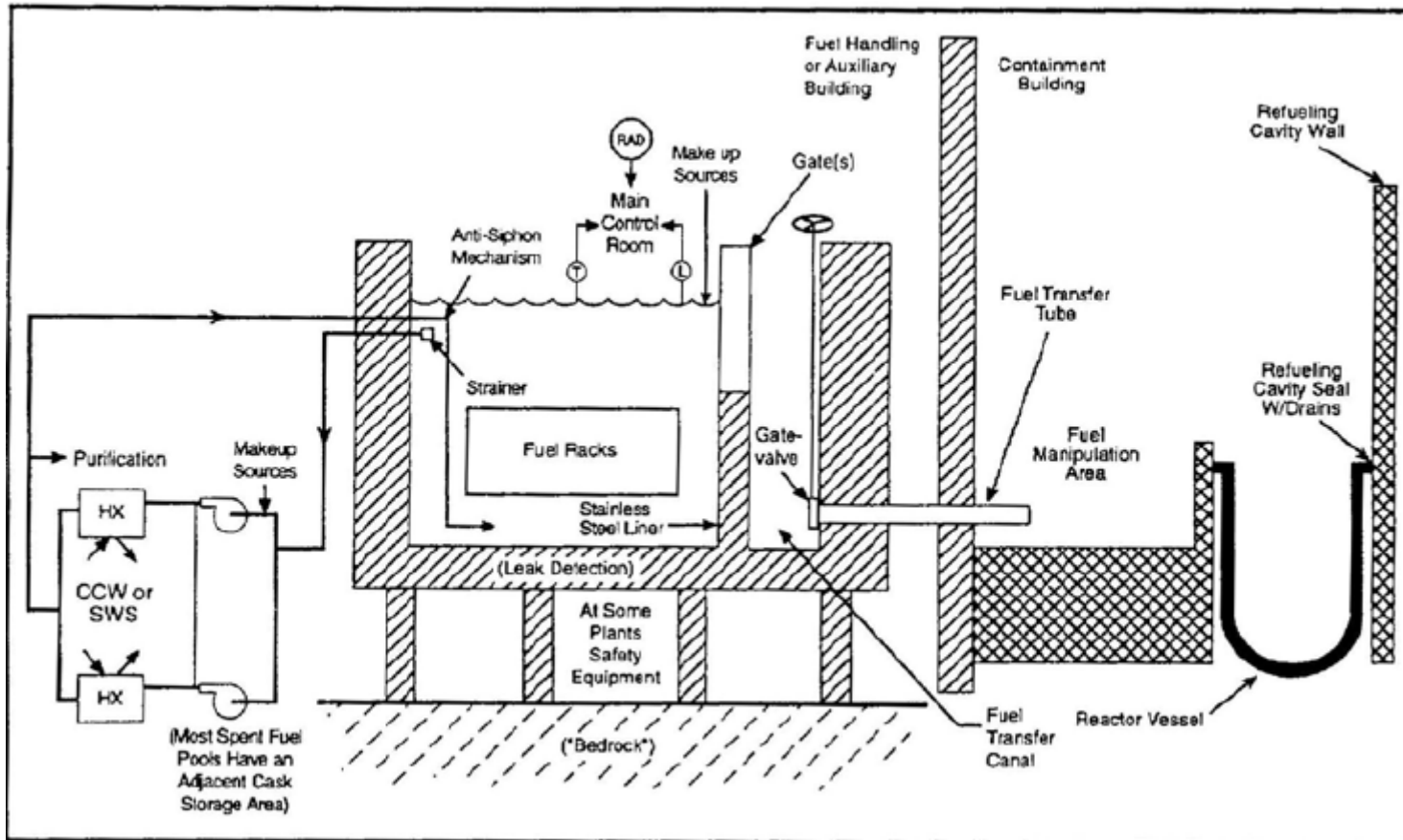
東京 衆議院議員会館
2019年6月4日

使用済み燃料の危険性

- チェルノブイリ事故と福島事故の共通点
 - 冷却喪失 → 使用済み燃料溶融 → 使用済み燃料内の放射性物質の大気中への放出
- 使用済み燃料には高レベル放射性核種が入っている。特にセシウム137
 - セシウム137（半減期30年）は、強力な地表汚染物質。なぜならその崩壊の95%で生じるのが励起状態のバリウム137で、これが貫通力の強い(0.66-MeV) ガンマ線を放出して脱励起するから。
 - セシウム137は、チェルノブイリと福島の事故において広範な地域の人口の長期的避難をもたらした。
 - チェルノブイリ事故では約80PBqが原子炉から放出された。
 - 加圧水型原子炉から取り出して10年間冷却した燃焼度40MWd/kgHMの使用済み燃料1tHMには、約4PBqのセシウム137が含まれている。
- (Ref: R. Alvarez et al, “Reducing the Hazards from Stored Spent Power-Reactor Fuel in the United States,” Science and Global Security, 11:1-51, 2003; Frank von Hippel and Michael Schoeppner, “Reducing the Danger from Fires in Spent Fuel Pools,” Science and Global Security, 24:141-173, 2016)

プール内の使用済み燃料冷却

加圧水型炉の一般的な使用済み燃料プールの設計



(Ref: Ibarra, J.G., et al., Operating experience feedback report: Assessment of spent fuel cooling, 1997, Report NUREG-1275, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, USA.)

使用済み燃料プールの脆弱性

- 使用済み燃料冷却の喪失シナリオ
 - 蒸発：冷却システムのポンプや、プールの熱を最終ヒートシンクに導く熱交換器の故障により、冷却水から熱を取り除く冷却システムが機能しなくなった場合、冷却水の温度が上がり、蒸発をもたらす。
(Ref: "Safety and Security of Commercial Spent Nuclear Fuel Storage: Public Report," The National Academies Press, 2006)
 - 排水：「使用済み燃料プールの壁は厚さ1メートル以上の鉄筋コンクリートでできており、溶接した鋼板で内張りされている。緊急時給水源から強力なポンプでくみ上げても対処できないほどの漏水が起きるのは、近傍の強力な地震や、100トンのキャスクの落下、大型航空機の墜落、テロリストの指向性爆薬による攻撃のような極端な激変的現象があった場合だけだ。」

(Ref: Jungmin Kang, Masafumi Takubo, and Frank N. von Hippel, "Plutonium, Nuclear Power, and the Bomb: The global threat from the failed quest for a dream reactor," To be published by Springer Nature)

使用済み燃料プールのジルコニウム火災

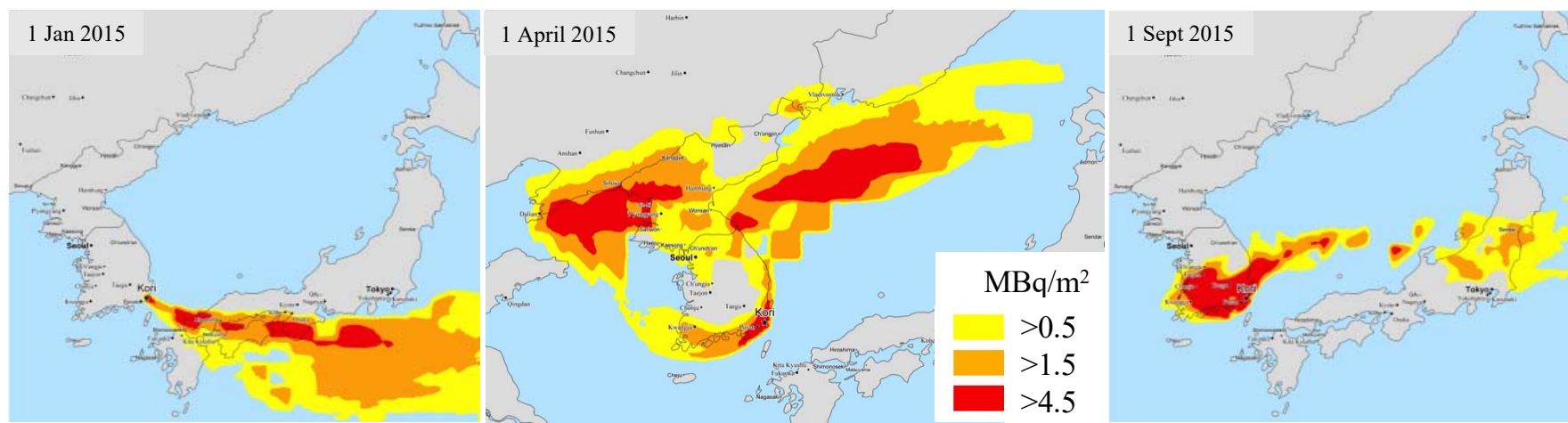
- ジルコニウム火災
 - 「使用済み燃料の冷却が復元されなければ、燃料は1000°Cレベルの高温に達する。この温度になると、使用済み燃料のジルコニウム被覆は空気と発熱化学反応を起こし始める。ジルコニウム酸化暴走反応とか自己触媒点火とか言われるものだ。この事故シナリオはしばしば「使用済み燃料プール・ジルコニウム火災」とも称される。損傷した使用済み燃料から放出された放射性のエアロゾルや蒸気は、使用済み燃料プールの建物内や周辺環境中に運ばれていく可能性がある。」
- 水素の発生
 - 水蒸気と高温のジルコニウム被覆の反応によって水素が発生する:
$$\text{H}_2\text{O (vapor)} + \text{Zr} \rightarrow \text{H}_2 + \text{ZrO}$$
 - 米NRCは、稠密度の低いプール貯蔵だと水素が少なくなり、爆発の可能性がずっと低くなる、との研究結果を得ている。

韓国の古里（コリ）原発での 使用済み燃料火災シミュレーション

- 「2015年末現在、韓国の稼働中軽水炉にある20の使用済み燃料プールには平均で340トンの使用済み燃料が置かれていた。韓国で2番目の大都市釜山の近くに位置する古里原発の4つのプールには、それぞれ約600トンの使用済み燃料が稠密貯蔵されていた。我々は、古里3号機の使用済み燃料のセシウム137の放射能を約2570PBqと推定する。稠密貯蔵の加圧水型炉のプールでの火災によるセシウム127の放出に関するNRCのミッドレンジ（中央）推定値は75%。古里3号のプールでの火災に当てはめると約1925PBqの放出となる。
- 古里原発でのこの規模の放出が2015年の毎月最初の日に始まり3日間続くと想定された。その結果生じる避難地域の計算にはその日の実際の天候データが使われた。」

(Ref: Jungmin Kang, Masafumi Takubo, and Frank N. von Hippel, "Plutonium, Nuclear Power, and the Bomb: The global threat from the failed quest for a dream reactor," To be published by Springer Nature)

HYSPLITモデルによる 古里3号機の使用済み燃料プール火災の結果



(Ref: Dr. Michael Schoeppner, Calculations in 2018)

(注：避難の汚染境界値 1.5 MBq/m^2 は、福島とチェルノブイリ周辺の住民を対象に使われたもの。米国環境保護庁 (EPA)もこれを推奨している。)

HYSPLITモデルによる 古里3号機の使用済み燃料プール火災の結果

国	避難人口		避難面積 (km ²)	
	平均	最大	平均	最大
韓国	420万	2100万	8,000	51,000
北朝鮮	90万	1100万	4,000	51,000
日本	780万	2700万	22,000	58,000
中国	70万	80万	2,000	23,000

(注：平均は、2015年の各月の最初の日に始まる合計12の火災の数値の平均を計算したもの)

(Ref: Dr. Michael Schoeppner, Calculations in 2018)

結論

- 古里3号機の使用済み燃料プールに関する仮想火災事故の事例は、この地域における使用済み燃料プール火災は、隣接する国々に大きな影響を与えうることを示している。