

表2—ベラルーシ・ゴメリ州における、発症時14歳以下の小児の甲状腺がん発症数

年	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
がん登録数	0	1	2	2	2	15	34

わかるはずがないので、それ以前のデータと比較する必要があるでしょう。残念ながら、この論文にも、元データがある文献にも、1986年以前の甲状腺がん発症数は示されていません。

ではそんなデータはどこにもないか、ということもそんなことはなくて、ウクライナではなくベラルーシなのですが、Thyroid cancer incidence trends in Belarus: examining the impact of Chernobyl^{*5}という論文があって1986年以前の数値がでています。この論文では、ベラルーシ全体、診断時14歳以下で、男女合計1980~1986年合計3名、1987~1991年合計61名、1992~1996年合計201名となっています。この論文ではまた困ったことに1987年から91年までがひとまとめになってよくわからないのですが、山下俊一氏による「チェルノブイリ原発事故後の健康問題」^{*6}に、ベラルーシ全体ではなくゴメリ州だけですが、発症年と年齢ごとの詳しい表があります。この表から求めた、ゴメリ州での発症時14歳以下の人数を表2に示します。

ゴメリ州の人口はベラルーシの人口の概ね1/6なので、1986年までの年ごとの発生数の期待値は $3/(7 \times 6) = 0.07$ となります。これに対して、1987年と1988年の2年間で4名発生しており、これは期待値の28倍です。と書いて私も意外な結果に驚いたのですが、数値を見る限りベラルーシでは1988年までに既に被曝による小児甲状腺がんの明らかな増加がおこっているということになります。

今のまとめは以下のようになります。

*5—Martin C Mahoney et al., International Journal of Epidemiology, 2004, vol. 33: 1025-1033. <http://ije.oxfordjournals.org/content/33/5/1025.full>

*6—<http://www.nec.go.jp/jicst/NC/tyoki/bunka5/siryos/siryos42.htm>

・被曝による甲状腺がんの罹患と思われる研究者らが書いた福島県の甲状腺先行検査とウクライナでの統計の比較の論文では、先行検査の結果はウクライナでの、甲状腺がんの増加が始まる前の潜伏期での結果とよく一致しており、したがって被曝の影響はないと結論されている。

・しかし、実際にウクライナの年ごとのデータを見ると、「潜伏期」とされる1986~1989年のうち最後の1989年だけでそれまでの3年間とほぼ同じ数の甲状腺がんが発生している、明らかに被曝による急増は始まっている。

・では1989年以前はどうかというと、ベラルーシ・ゴメリ州のデータは1986年以前に比べて87年、88年の2年間は「28倍」にも増加した可能性があることを示している。

・すなわち、1989年までが「潜伏期」であるというのはデータが示すところではなく、データは1987年や1988年から既に増加が始まっていることを示している。

・このため、ウクライナのその時期のデータに福島の先行検査のデータが似ている、ということ、被曝の影響がないことを示しているわけではまったくない。もちろん、これだけから被曝の影響があるとは結論できない。

今回は、(b)の、福島では被曝量がチェルノブイリよりはるかに小さい、というのは本当か、という問題と、残りの2本の論文について検討する予定です。

岩波科学ライブラリー 236

被曝評価と科学的方法

牧野淳一郎著

B6判 132頁 本体1300円+税
2015年3月24日発行

岩波書店

日本における使用済み燃料貯蔵の安全性とセキュリティ

エドウィン・ライマン

Edwin S. Lyman, PhD
英連邦科学者連盟(Union of Concerned Scientists),
近況に「英語FLKUSHIMA—アメリカも被曝させた被災地」(複製品、共著)

はじめに

日本が2011年3月の福島事故の後制定された新しい安全性規則「規制基準」の下で一部の原子炉を再稼働させる道を進むなか、市民が関心を持ち続けなければならない脅威——規制当局が十分な注意を払っていない脅威——がある。稠密な形(高密度)で使用済み燃料を入れたプールの危険性である。原子炉にはすべて、もう使えなくなった照射済み燃料を入れたプールがある。貯蔵プール内の使用済み燃料は、放射性の核分裂生成物の崩壊による熱を発生させるから、冷却し続けなければならない。この冷却が中断すると、使用済み燃料の燃料棒は過熱・発火し、溶融する可能性がある。

使用済み燃料のプール火災と原子炉の炉心溶融の進行の仕方には技術的に違いがあるが、結果は似かよったものとなりうる。燃料から大量の放射性物質が出て、環境中に放出される。突を言うと、使用済み燃料のプール火災は炉心溶融よりもずっと大量の長寿命の放射性核種セシウム137(^{137}Cs)を放出しうる。なぜなら、使用済み燃料プールには普通、原子炉内の数倍の燃料が入っており、また、プールは密閉性の格納容器の中には入っていないからである。半減期30年(非常に低いレベルにまで崩壊するのに約300年かかる)のセシウム137は、

Safety and security of spent fuel storage in Japan
Edwin S. Lyman

チェルノブイリや福島第一のサイトの周りで続く放射能汚染地域の主たる原因となっている核種である。

何十年にもわたって原子力「エクスブリッシュメント」(規制当局、産業、電力会社、学術)は使用済み燃料火災の脅威を深刻に捉えてこなかった。炉心溶融と比べてリスクが非常に小さいと信じてきたからである。たしかに、プール内の燃料は最近炉心から取り出されたばかりの燃料を除けば、運転中の炉心の燃料よりずっと冷えている。そのため、多くの事故シナリオでは、発電所の作業員らは、プールの水が沸騰してなくなり使用済み燃料が危険なレベルにまで過熱する前に使用済み燃料プールの冷却を復旧するための期間として、何日も、場合によっては何週間も与えられている。

しかし、状況によってはこの期間が劇的に変わりうる。たとえば、大きな地震や場合によってはテロ攻撃によってプールのステンレス鋼製のライナー(内張り)が引き裂かれると、わずか数時間の内にプールの冷却水が完全に流れ出してしまう可能性がある。プール内の使用済み燃料の配列の仕方や前回の燃料交換用原子炉停止からの経過期間などの要因により、使用済み燃料プールの冷却材喪失事故(LOCA)は壊滅的なものになりうる。

使用済み燃料プール火災のリスクに影響を与えるもう一つの要因は、使用済み燃料を高稠密化ラックに詰め込むという一般的な方法である(図1)。元々のラックの設計は、低密度のもので、オープン・フレーム(格子状の枠だけで燃料を支える方式)となっており、垂直方向だけでなく、水平方向にも水

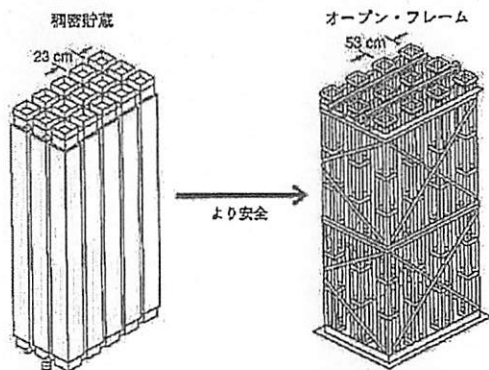


図1—オープン・フレーム・ラックはより安全
 鋼密なラックでは、冷却水がなくなると空気冷却が
 うまくいかず、燃料焼火の危険性が高くなる。5年
 以上貯蔵した使用済み燃料を乾式貯蔵キャスクに移
 せば、オープン・フレーム・ラックへ移行できる。
 積集部作成。

が流れるようにすることで冷却効果をもつものだった。規制当局は徐々に原燃運転者らに対し、使用済み燃料プールへの高密度ラックの導入を許可していった。これにより、貯蔵容量が大幅に増えた。しかし、詰め込む使用済み燃料の量が増え、熱負荷の総量が大きくなり、それぞれの燃料集合体の冷却が難しくなる。また、臨界事故(1999年の東海村事故のようなもの)のリスクを増やすことなく核分裂性物質の高い密度を達成するために、高稠密化ラックは、中性子吸収材が入った仕切り板を使って燃料集合体同士を隔てている。これらの仕切り板が燃料集合体間の横の流れを遮断し、熱い集合体から冷却の進んだ集合体へ、あるいはプール内の空の部分への対流熱伝達を止めてしまう。

日本では使用済み燃料貯蔵の詳細の一部は、国民に知らされていない。しかし、福島第一原発4号機の使用済み燃料は高稠密化ラックを埋めていたと報じられている。また、経済協力開発機構の原子力機関(OECD/NEA)の2015年報告書は、日本の原子炉の使用済み燃料プールではラックのセル間の横の流れがないと報告しており、ラックが高稠密化設計になっていることを示唆している。

壊滅的な使用済み燃料プール火災の潜在的危険性は、福島第一の惨事の際に浮き彫りになった。3号機と4号機の使用済み燃料プールが冷却材を失いつつあって過熱しているのではないかの危

惧のため、失われた分を補給する試みが必死で展開された。米政府はコンピューター・シミュレーションを実施して、両方のプールの使用済み燃料が焼火した場合どうなるかを検討した。米政府関係者は、東京の日本大使館の要員の安全性について心配していた。シミュレーションの結果は、米国の環境保護庁(EPA)が設定した基準に従えば、原発から約200 km離れた東京でも避難が必要となるかもしれないことを示した。

最終的には、福島第一の二つの使用済み燃料プールは安定化し、使用済み燃料は発火が可能なレベルまで過熱することはなかった。しかし、これで油断してはならない。使用済み燃料プール火災のリスクは、簡単な措置で大幅に低減することができる。使用済み燃料を稠密プールから敷地内乾式貯蔵キャスク、あるいは、敷地外の集中乾式貯蔵施設に移し、残った燃料をプール内でもっと広く離して置けるようにすればよい。現在の稠密な使用済み燃料貯蔵方式は、危険であり、日本人の健康、安全性および繁栄をリスクに晒すものである。日本の原子力規制委員会は、原子力発電所に対し、低密度の使用済み燃料プール形態にすることをできるだけ早く——望ましくは再稼働前に——義務づけるべきである。

フクシマの教訓

福島第一の惨事の主な教訓の一つは、原子力の過酷事故の確率の計算は、とりわけ、地震や洪水のような天災によって始まる事故の場合、極めて不確かだということである。何十年にもわたって、世界の原子力エスタブリッシュメントは、「確率論的リスク評価(PRA)」と呼ばれるこのような分析への依存を高めてきた——PRAは事故リスクを正確に計算できるとの間違った印象を与えると懸念が前からあったにもかかわらず。福島の場合、計算されたリスクは非常に小さなもので、規制当局は、最大の津波の高さなどの不確実性を与える影響についてほとんど注意を払っていなかった。その結果、事業者に、このような事象の可能性について予測しておらず、緊急時対応計画は、それに対処するのに十分なものではなかった。もっとやっかいなのはテロリスト攻撃の脅威が高まり続けていることである。テロリスト攻撃は予測不能だが、最悪の事故と同じような損害を原発に与えるからである。

広く受け入れられている原子力の安全性原則は、不確実性に備えるには原子力施設の設計や運転に大きな安全余裕と「多重防護」を組み入れるのが極めて重要だということである。国際原子力機関(IAEA)の説明によると、多重防護とは「数々の連続的に独立したレベルの防護の組み合わせ」を留意し、これらすべてが機能しない場合にのみ大きな放射能の放出が起きるといふ形にすることにより達成されるものだという。つまり、多重防護は、複数の独立した安全性の層が存在し、これらの層の一つあるいはそれ以上が機能不全となっても、少なくとも一つは残るといふことを含意している。

日本の原子力規制委員会の採用した規制アプローチは、多重防護を強調しており、重大な原子炉事故を防ぎ、その影響を低減するための措置を拡大・強化することに力点を置いている。しかし、使用済み燃料の安全性に関しては、多重防護に対する原子力規制委員会のアプローチは、主として、

使用済み燃料プール冷却と補給水の注入のための緊急時システムの新規性の向上を要求することとなっている。

このような措置はもちろん非常に重要ではある。しかし、これらの措置は要員による手動措置を前提としている。そういう措置は本質的にリスクのあるもので、すべての使用済み燃料プール火災を防止するという点では効果的ではないという可能性が残る。

原子力規制委員会はパッシブな方法で事故およびテロリスト攻撃からのリスクを減らすことのできる追加的多重防護措置の検討を無視してきている。その方法とは、電力会社に対し、燃料の一部を乾式貯蔵に移すことによってプールに貯蔵されている使用済み燃料の密度を下げるよう要求するというものである。プール内の使用済み燃料の密度を下げ、量を減らすことによって、予備の冷却・補給水注入システムが機能しなかった場合でもプールの冷却水の急激な喪失が公衆にもたらす危険性を大幅に減らすことができる。これは、一般的に、低密度のプールは高密度のプールよりも冷却が容易だからである。また、プール内の放射性物質の総量が小さくなるから、環境中に放出される可能性のある量(いわゆる「ソースターム」)も減ることになる。

日本の使用済み燃料プールのリスクは、現在、比較的下がっている。取り出されたばかりという燃料が入っていないからである(取り出し後間もない燃料は、取り出し後数カ月も、あるいは数年も冷やした燃料よりずっと熱い)。しかし、原子炉が再稼働されると、その最初の燃料取替の際に使用済み燃料の一部が炉心から取り出されてプールに移される。大体、再稼働から1年後のことである。川内1号——原子力規制委員会の新しい規制基準の下で再稼働される最初の原子炉——は2016年に燃料取替のために運転停止となる。

使用済み燃料プールの冷却材喪失事故 (LOCA) の危険性

使用済み燃料プールは、水泳プールのような構造物で、鉄筋コンクリートからなり、漏れを起こさないようにステンレス製防護壁で内張りされている。使用済み燃料集合体は、プールの底に置かれた金属ラックに収められている。プールは、燃料ラック上端の上方約7mの高さまで水が張られている。水は、冷却機能の他にプールの縁にアクセスしなければならない作業員を守る放射線遮蔽材の役割も果たす。水の厚い層が提供する遮蔽がなければ、強烈な放射能を持つ使用済み燃料の放射線レベルにより、作業員は作業要員にとって非常に危険な場所となるだろう。

使用済み燃料から水が急速に排出されると、燃料集合体の頂部は空気に曝され、最終的には、残っている水が蒸騰し始めるなか、蒸気に曝されることになる。燃料集合体の露出した部分は短時間で過熱する。各燃料集合体は、何十本もの燃料棒を束ねたものである。燃料棒は、酸化ウランのペレットをジルコニウム合金からなる被覆管の中に重ねて入れたものである。燃料棒が過熱すると、被覆管が膨張して破裂し、燃料ペレットと被覆管の間に閉じ込められていた放射性の核分裂生成物が放出される。ジルコニウム合金の被覆管が800~900℃に達すると発火する可能性がある。そうすると、さらに熱エネルギーを放出し、燃料の加熱速度を高めることになる。蒸気が存在すると、ジルコニウムは水蒸気と反応し、爆発の可能性のある水素ガスを発生させる。過熱が止められなければ、ウランの燃料ペレット自体が、損傷・溶融してしまうような温度にまで達する。最終的には、損傷した燃料は、含まれているセシウム137のほとんどすべてを放出しうる。

この事故シナリオは、サンディア国立研究所(ニューメキシコ州にある米国政府の研究施設)で行われた一連の実験によって検証されたものである(図2)。模擬使用済み燃料集合体が、水の排出されてしまっ

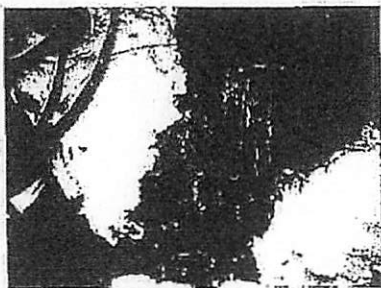


図2—模擬使用済み燃料の過熱実験
サンディア国立研究所のデータより。

た使用済み燃料プールで遭遇すると予測される熱的条件下で過熱させられた。集合体は過熱し、ジルコニウム合金の被覆管が発火し、燃料ペレットが軽く損傷した。

このようなシナリオでは、最も熱い燃料集合体——取り出してからの期間が最も短いもの——が最初に発火温度に達し燃え出すことになる。しかし、ある条件下では、火災は、温度のもっと低い集合体にまで伝播し、プール全体に及ぶ。そうすると、プール全体のセシウム137の大きな部分が放出されてしまうことになりうる。

3基の原子炉の炉心が損傷した福島第一のサイトから大気中に放出されたセシウム137の推定量は、20ベクテレル以下である(1ベクテレル(Bq)は毎秒1000発の放射性崩壊を意味する)。典型的な使用済み燃料プールにはその100倍レベルのセシウム137が入っている。

一方、気体核種ヨウ素131について見ると、使用済み燃料プールの火災では、原子炉溶融事故と比べずっと少量、あるいは、無視してよいような量しか放出されない。なぜなら、ヨウ素131は半減期が8日で、燃料が原子炉から取り出されると急速に崩壊するからである。しかし、それでも、燃焼交換の原子炉停止から数週間以内に使用済み燃料プールの火災が起こった場合、相当量のヨウ素131が放出されうる。ヨウ素131は、1986年のチェルノブイリ事故の後、旧ソ連で小児甲状腺がんの大規模な増大をもたらした核種であ

る。

燃料集合体からの他の核種の放出も、使用済み燃料プール火災のほうが炉心溶融事故より大きくなるかもしれない。たとえば、空気中で損傷を起こす燃料集合体(使用済み燃料プールの急激な冷却材喪失事故での典型的な条件)のほうが蒸気中で損傷を起こす燃料集合体(炉心溶融事故の場合に、より典型的な条件)よりも多くの量のプルトニウムを放出しうる。

プルトニウム放出量の増大の可能性というのは、使用済み混合酸化物(MOX)燃料がプールにあった場合に生じる追加的問題の一つである。使用済みMOX燃料には使用済み低濃縮ウラン燃料集合体よりもずっと大きな量のプルトニウムが入っている。日本の多数の原発では、すでにプールに使用済みMOX燃料が入っているか、近い将来そうなることになる。もう一つの懸念事項は、使用済みMOX燃料の場合、使用済み燃料プール火災で典型的に生じる温度(1500~1800℃)において使用済みウラン燃料よりも大きな割合で揮発性核分裂生成物(ヨウ素、セシウム、テルル)を放出することが実験において観察されているという点である。

使用済み燃料プールの入った構造物は気密性を意図した設計にはなっていないが、事故で損傷しなければある程度は核分裂生成物の環境中への放出を抑えるかもしれない。しかし、これらの構造物は水素燃焼に弱い。このことは、福島第一の1、3、4号機での爆発で明らかになった。これらの炉では、原子炉建屋の頂部が吹き飛び、使用済み燃料プールが環境に曝されることになった。

使用済み燃料プール火災による放射性物質放出の影響

使用済み燃料火災が公衆の健康と環境にどのような影響を与えるかは二つの分析の結果がはっきり示している。一つは、米国政府がフクシマ事故の初期の数日間に行ったものである。当時、3号機と4号機の使用済み燃料プールが過熱の危機にさらされているのではと心配されていた。もう一つは、「米国原子力規制委員会(NRC)」がフク

シマの後行ったものである。この研究は、ピーチボトム原子力発電所のマークI型沸騰水炉(炉心第一の2-5号機に似た型)で大きな想定地震による使用済み燃料プール事故の結果を、高密度プールと低密度プールの両方について推定した。

最初の研究では、3号と4号の使用済み燃料プールから約590ベクテレルのセシウム137が放出されると推定された(この量は、福島第一の損傷した原子炉から実際に放出されたと現在推定されているセシウム137の量の約30倍である)。続いて全身線量(4R)が計算された。卓越風が放射能の雲を東京方向に運ぶという想定だった。結果は、個人の体全体の線量(4R)は放出後最初の96時間で、東京にまで至る地域(約200km)において10ミリシーベルト(mSv)を超えうるといったものだった。これは、米国環境保護庁の基準に従えば、米国で避難を要する閾値である。幸い、作業員らはこれらのプールの火災を防ぐことに成功し、悪夢のようなシナリオは現実とはならなかった。

2番目の研究では、NRCはピーチボトム原発における使用済み燃料プール火災からのセシウム137の放出量を推定した。プールには約550トンの使用済み燃料があると想定された。米国のすべての原発と同じく、ピーチボトムでは稠密貯蔵が行われている。結果:895ベクテレルもの放出。プール内のセシウム137の全量の42%に当たる。

しかし、NRCはまた、ほとんどの使用済み燃料が乾式貯蔵に移されているというシナリオの下でのピーチボトムの最大放出量も計算した。この場合は、セシウム137の最大放出量は12ベクテレルに留まった。これでも相当な量だが、高密度の場合よりはずっと小さく、福島第一の原子炉からの実際の放出量よりも少ない。

低密度貯蔵へ移行すれば健康被害が減少することもNRCの研究から明らかである。高密度プール火災の場合の集団被曝線量は85万6000人・シーベルトで、これは約4万~8万人のガン死をもたらす。低密度プール火災の場合、同じ事故シナリオでの集団被曝線量は2万2200人・シーベルトに留まり、これは1000~2000人のガン死に

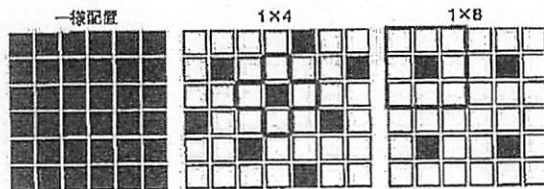


図3—使用済み燃料の配置パターン
色の濃い燃料は取り出されて時間が経っていないもの、色の薄い燃料は時間が経って温度の下がったもの。黒枠はくり返しパターンを示す。

相当する。日本の福島第一からの集団被曝線量は「原子放射線の影響に関する国連科学委員会(UNSCEAR)」の推定によると、4万8000人・シーベルトである。つまり、高密度使用済み燃料プール火災が公衆の健康に与える影響は、フクシマの影響の40倍近くになる一方、低密度プール火災の影響はフクシマの場合の約半分になると推定されたのである。

中に入っている核分裂生成物の総量が少ないことに加え、低密度プール火災が高密度プール火災よりも深刻度が下がるもう一つの理由は、低密度プール火災では発生する水蒸気がずっと少ないことである。これは、プールにあるジルコニウム被覆管の量がずっと小さいからである。NRCの計算で、高密度火災においてのみ使用済み燃料プールを取り囲む部分的防護構造物を壊滅的に破るような爆発を起こすのに十分な水蒸気発生することが明らかになっている。

使用済み燃料プール火災の影響を抑制するうえで低密度プールへの移行がもつ利点が明らかであるにもかかわらず、世界の規制当局が危険な高密度貯蔵方式に終止符を打つために行動を起こさないのはなぜだろうか。米国では、NRCは、使用済み燃料火災の可能性が非常に低いから影響を低減するための措置を義務づけることは必要ではないと主張している。

しかし、NRCは、使用済み燃料プール火災について常にこれほど否定的な態度を取ってきたわけではない。2001年9月11日のテロ攻撃の後、NRCは破壊行為に対する高密度プールの脆弱性

を低減するよう要求した。とりわけ、原子力発電所に対して、新しく取り出された燃料は、そのまま「分散型」配置状態に置くように命じた。これは、最も熱い使用済み燃料集合体をまとめて「一般な」配置状態に置くのではなく、プール全体に散らばらせて、古い、比較的冷えた集合体と混ぜて置くというものである(図3)。NRCは電力会社に対して、ただちに「1x4」の配置状態を採用するよう義務づけた。それぞれの熱い集合体を4体の比較的冷えた集合体で取り囲むというものである。取り出し後直接このような配置状態に置くことが実行不能で、一旦まとめて配置せざるをえない場合は、「1x4」の配置状態を達成するまでに原子炉停止から60日間の猶予が与えられた。分析の結果、分散型配置状態のほうがジルコニウム発火が起こりにくいことが明らかになっている。急速に水が排出されて数時間以内に完全な冷却材喪失事故に至るといった特殊な場合、燃料取り出しのための運転停止から60日ほど過ぎると「1x4」のプールの使用済み燃料は空気自然循環だけで効果的に冷却でき、ジルコニウムの発火温度に到達することはないとNRCは計算した。これとは対照的に、非分散型配置状態の場合、プール火災が起こりえない程度に冷えるまでに300日以上かかる。

使用済み燃料の分散型配置の利点は明らかではあるが、それで問題が完全に解決するわけではない。プールの水が急速にではなくゆっくりと排出された場合、燃料集合体の底部が水の中に浸かったままであるため、長期間にわたって空気の自然

循環がブロックされることになる。逆説的ではあるが、この部分的冷却材喪失事故と呼ばれる状況の場合、完全な冷却材喪失事故よりも急速な過熱が生じうる。NRCは部分的冷却材喪失事故についての計算を公表していない。いずれにしても、その計算は正確ではないかもしれない。なぜなら、これらのシナリオのモデル化のために使われたコンピューター・コードについての実験的検証が不十分だからである。これらの問題を研究するための実験プログラムがフランスで進行中であるが、しばらくは結果が得られない。現在のところ、部分的冷却材喪失事故においてジルコニウム火災が、十分に分散された配置状態や長期冷却の燃料の場合でさえ、除外できるかどうか明らかではない。

高密度の「1x4」使用済み燃料プール貯蔵が安全だということについてのNRCの確信は、数々の楽観的な想定にもとづいている——大地震の確率は低い、地震はプールの底部に亀裂を生じさせ完全な冷却材喪失事故をもたらす(つまり部分的冷却材喪失事故は起こらない)、冷却材喪失事故は水の緊急注入などのアクティブな措置によって緩和できる、などである。しかし、これらの措置の信頼性が高く高密度貯蔵は安全だと結論を出すに当たって、NRCは多重防護の価値を無視した。プールをまばらな状態にしておけば、NRCの楽観的な想定が間違いだと判明した場合に追加的な防護層として機能することになる。しかし、フクシマの後でさえ、NRCは新しい安全措置を義務づけるべきか否かを検討するに当たって多重防護を考慮することを拒否している。

日本の原子力規制委員会(NRA)も同様に、使用済み燃料の冷却材喪失事故に対処するうえで、緊急注水のような緩和措置にのみ頼ることでよしとしているようである。しかし、NRAの規制哲学は多重防護に依存するとところが大きい。したがって、NRAは、乾式貯蔵の導入により日本の原子炉のプール内の使用済み燃料配置状態をまばらにするよう要求することにより得られる多重防護について検討すべきである——できれば、これ以上の再稼働を進める前に。

文献

- International Atomic Energy Agency, "Fundamental Safety Principles," IAEA Safety Standards Series No. SF-1, IAEA, Vienna, 2006. On line at http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/pub1273_web.pdf
- K. G. Wagner and R. O. Gauntl, "Mitigation of Spent Fuel Pool Loss of Coolant Inventory Accidents and Extension of Reference Plant Analyses to Other Spent Fuel Pools," Sandia Letter Report, Revision 2, Sandia National Laboratories, New Mexico, USA, November 2006 (redacted).
- United States Nuclear Regulatory Commission, Near-Term Task Force, "Recommendations for Enhancing Reactor Safety in the 21st Century," July 2011. On line at <http://nrc.gov/docs/ML1116/ML111681807.pdf>
- Nuclear Regulation Authority, "Enforcement of the New Regulatory Requirements for Commercial Nuclear Power Reactors," July 8, 2013. On line at <http://www.nra.gov/jp/data/00067212.pdf>
- D. Lochbaum, E. Lyman and S. O. Stranahan, Fukushima: The Story of a Nuclear Disaster. The New Press, New York, 2014. 邦訳: 災時 FUKUSHIMA——アメリカも震撼させた核災害, 岩波書店, 2015.
- United States Nuclear Regulatory Commission, "Staff Requirements - COMSECY-13-0030 - Staff Evaluation and Recommendation for Japan Lessons-Learned Tier 3 Issue on Expedited Transfer of Spent Fuel," May 23, 2014. Online at <http://nrc.gov/docs/ML1209/ML120970088.pdf>
- E. Lyman, "Spent Nuclear Fuel Sabotage: An Unnecessary Risk," Proceedings of the Institute of Nuclear Materials Management 55th Annual Meeting, Atlanta, Georgia, USA, July 2014.
- United States Nuclear Regulatory Commission, "Consequence Study of a Beyond-Design-Basis Earthquake Affecting the Spent Fuel Pool for a U.S. Mark I Boiling-Water Reactor," NUREG-2181, September 2014. On line at <http://nrc.gov/docs/ML1425/ML14255A365.pdf>
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), "Levels and Effects of Radiation Exposure Due to the Nuclear Accident After the 2011 Great East-Japan Earthquake and Tsunami (UNSCEAR 2013 Report)," Volume 1, Scientific Annex A, October 2014. On line at http://www.unscear.org/docs/reports/2013/1406338_Report_2013_Annex_A_Ebook_web.pdf
- Organization for Economic Co-operation and Development, Nuclear Energy Agency, "Status Report on Spent Fuel Pools Under Loss-of-Coolant and Loss-of-Coolant Accident Conditions: Final Report," NEA/CSNI/R (2015)2, OECD/NEA, Paris, France, May 2015. On line at <https://www.oecd-nea.org/ned/docs/2015/csni-r2015-2.pdf>

邦訳: 田窪雅文(ウェブサイト「核情報」主宰),
協力: 原子力資料情報室