

7月例会 議事録(2019年)

開催日：2019年7月24日(水)

出席者：KH、NI、OM、KT、HS、MH、YT

資料：「海外の長大橋事業の現状と今後の展開」 NI

「放射能を正しく理解して怖れよう」 KT

・・・・・・議事録・・・・・・

1. 「海外の長大橋事業の現状と今後の展開」について

- 1) NIさんが、雑誌「道路」の記事を説明した。
- 2) 筆者は、JFEエンジニアリング(株)河寄由裕之(かわさき ゆきひろ)氏である。
- 3) 長大橋といえば、国内では明石海峡大橋を思い浮かべる。
- 4) 本四架橋を最後に、日本では長大橋建設事業が途絶えて久しい。
- 5) この記事では、総延長の長い橋梁を含む道路事業を紹介する。
- 6) 世界で一番長い橋は、「中国の丹陽－崑山特大橋(鉄道橋) 164.8km」であり、一番長い道路橋は、「タイのバナーン高速道路 54.0km」である。
- 7) 筆者が関わった世界の長大橋事業について、紹介する。
- 8) 「インドのムンバイ湾横断道路建設プロジェクト」は、陸上3.6km＋海上18.2kmの海上道路である。入札が終わり、インド・日本JVとインド・韓国JVが受注し、現在詳細設計中である。
- 9) 「インドのマハトマ・ガンジー橋改修プロジェクト」では、川を渡る5.6kmの既存PC箱桁橋梁の補修工事である。構造上の弱点である中央径間がクリープによって垂れ下がる不具合が発生した。基礎は健全であるので、軽量の鋼トラス橋に架け替える計画がある。日本政府のODAではなく、インド政府の自己資金でインド業者が施工する。
- 10) 「フィリピンの島嶼連結構想」では、七つの島々を結ぶ壮大な橋梁計画である。アジア開発銀行が資金を融資するかかどうかを調査中である。
- 11) 「サウジアラビアの東西連結計画」では、サウジアラビアの両側(バーレーンとシナイ半島)をそれぞれ結ぶ橋梁である。バーレーン側はコンクリート橋でオランダ企業によって施工中である。またシナイ半島側は実現に向けて国際関与が進められている。

2. 「放射能を正しく理解して怖れよう」

(1) 原子力発電はどういう原理で発電し、そこから放射線はどのように発生するか。

- 1) 原子核分裂の際の発熱を熱源にして発電する。
- 2) 分裂する際に放射能物質が発生する。

(2) 関連する主な用語(キーワード)の説明・

- 1) 原子、原子核、核分裂、放射能、放射線、半減期を説明している。
- 2) ベクレル、グレイ、シーベルト、外部被ばく、外部被ばく、遮蔽、除染を説明している。

(3) 放射能はなぜ人体に危険か

- 1) 放射線は非常に強いエネルギーをもつ電磁波あるいは粒子であるため、人体の奥まで透過し、細胞に悪影響（がんの発生など）を及ぼす。

(4) 日本の原子力発電所での原子炉の種類

- 1) 沸騰水型軽水炉と加圧水型軽水炉の2つがある。
- 2) 沸騰水型軽水炉は、東日本地方で採用され、福島第一発電所もこれである。
- 3) 加圧水型軽水炉は、西日本地方の原発に多く、九州電力の原発はこれである。

(5) 放射能廃棄物の処分と核燃料の再利用

- 1) 原子力発電の最終的に発生する放射能廃棄物の処分である。
- 2) 使用済み燃料の一部は、核燃料リサイクル（MOX燃料）として再利用の試みがある。
- 3) 高レベルの放射性廃棄物は、深い地層に処分せざるを得ない。
- 4) しかし、その候補地は見当たらない。

(6) 夢の元素変換（核融合）技術

- 1) 原子力発電は、原子の核分裂を応用するものである。
- 2) 原子核どうしを物理的にくっつけて別の元素に変換する「核融合」の研究がある。
- 3) この方法では、放射性廃棄物の発生がないなど、夢のような技術である。
- 4) しかし、超高熱（1億℃以上）、超高压など多くのハードルがある。

4. 次回の予定

- 1) 8/21（第3水曜日）14時から。
- 2) テーマを、各自持参して下さい。

以上

海外の長大橋事業の現状と今後の展開

身近に接した事業を中心に

河 裕 之

KAWASAKI Hiroyuki

JFEエンジニアリング株式会社

社会インフラ本部

主席（海外インフラ輸出）



我が国では、一段落していた長大橋建設事業が、再び計画されつつある。1979年に社会人となり、最初に従事したのが南北備讃瀬戸大橋5Pケーソンの製作工事だった筆者としては、久々の大型プロジェクトに期待するところのだが、他方、世界でも現在、多くの長大橋事業が進行中である。本稿では、「距離の長い橋」に焦点を絞り、筆者が入社してから今まで、身近に接した長大橋事業について紹介する。

はじめに

昨年12月に本稿の執筆依頼を頂き、まず長大橋の定義を確認したところ、“一定の長さ以上の支間を有する橋”との事だが、その支間長については、100mあるいは道路橋示方書の設計適用範囲である200mと、定まったものは無いようである。筆者も、長大橋と言えませんが、明石海峡大橋を代表とする長大支間橋を思い浮かべるが、他方、近年、市場開拓の範囲が東南アジアから南西アジア、中東、更にはアフリカと広がるに従い、距離の長い橋梁案件に巡り合うようになってきた。やや古いものの、資料として時々活用させて頂いている土木学会「ものしり博士のドボク教室」^{*1}にも、未来の橋としてそのようなプロジェクトが紹介されている。そこで本稿では、筆者が身近に接したプロジェクトを主に「海外の距離の長い橋」について書いてみたい。

1. 既存の長大橋梁

行動範囲は広がったものの、既存の長大距離の橋梁に関する知見には全く乏しい。そこで、この項はGuinness World Recordsに頼る事をお許し願いたい。ここには、表-1の記録が認定されているとの事である。

表-1 既存の長大橋梁（出典：Guinness World Records）

項目	橋梁名	場所	長さ
一番長い橋	丹陽-昆山特大橋	中国	164.8km
一番長い道路橋	バンナ高速道路	タイ	54.0km
水上に架かる世界最長の橋	港珠澳大橋	中国	48.3km
連続して水上に架かる世界最長の橋	ボンチャートレイン湖コースズウェイ	米国	38.4km
（参考）我が国の事例	東京湾アクアライン	日本	4.4km



写真-1 丹陽-昆山特大橋（出典：Wikipedia）

丹陽-昆山特大橋は長さ164.8kmの鉄道橋で、最初、単位が一桁違うのではと見直した。ほぼ揚子江に沿って湿潤な同河デルタ地帯を通過するので、このような高架橋と橋梁で連続した構造が採用されたものと推測するが、東京・静岡間に近い距離とは……、長い！

また、2018年に開通した香港とマカオを結ぶ港珠澳大橋は、筆者も香港空港に立ち寄る機窓から、その規模と着々と進む工事を、いまや吊橋、斜張橋といった長大スパン橋の上位を独占する中国の勢いを感じながら眺めてきた。筆者の従事するODAでは、この勢いに対し、我が国の質の高い橋梁技術で如何に差別化を図るかが課題である。



写真-2 港珠澳大橋 (出典: 港珠澳大橋管理局)

マカオ

2. 現在建設が進行中の長大橋梁

ここでは、筆者が業務で直接関わったインドの2件のプロジェクトを紹介したい。

(旧ボンベイ)

(1) ムンバイ湾横断道路建設プロジェクト

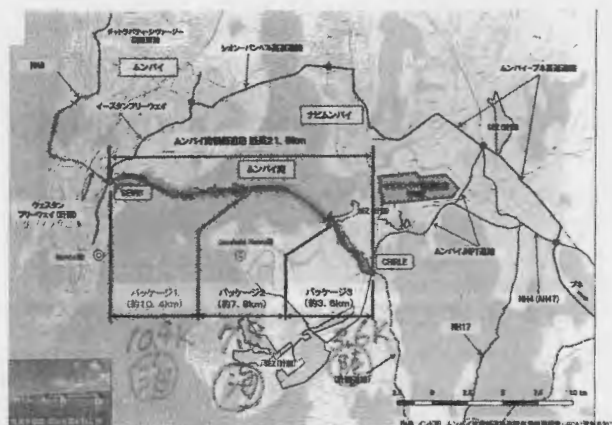
ムンバイ湾横断道路は、インド第2の都市で経済活動の中心であるムンバイ市の中心部から、ムンバイ湾を挟んだ対岸のナビムンバイに繋がる総延長約 22 km の海上道路である。ムンバイ市は世界トップクラスの人口過密都市であり、更に近年急速な都市化が進んでいる。このため、同市の広域的な経済発展のために対岸に位置するナビムンバイにおいて、経済特区開発、港湾拡張、新空港建設計画等が進められているが、ムンバイ市・ナビムンバイ間の交通手段が、道路、鉄道の各々1本のみと限られており、これら地域間の連結性の向上のために本プロジェクトが計画された。

インド政府は当初、官民パートナーシップ (PPP) による案件実現を企図し、一旦は入札の資格審査まで行ったが結局応札者が現れず、我が国にODAの供与を要請したもので、総事業費約 3,300 億円の多くに円借款が供与される。

プロジェクトはインドの公共道路工事に一般的な設計施工方式であり、海上部約 18.2 km が2工区、陸上部 3.6 km が1工区の合計3工区に分けられている。海上部にはPC箱桁橋梁の採用が予想されるものの、航路及び海底パイプライン通過地域の橋梁には、鋼床版連続鋼箱桁橋の採用が規定されている。既に昨年、入札も終わり、海上及び陸上各1工区につき、同一のインドと日本の業者のJVが、また、残りの海上1工区はインドと韓国の業者のJVが受注したが、その下請けとして日本の別業者が鋼橋部分を担当しており、現在は詳細設計中である。

$$(18.2\text{K} + 3.6\text{K} = 21.8\text{K.m})$$

海上部 陸上部



(出典: 国土交通省)



(出典: Mumbai Metropolitan Region Development Authority)

図-1 ムンバイ湾横断道路の路線と完成予想図

(2) マハトマ・ガンジー橋改修プロジェクト

マハトマ・ガンジー橋はインド北東部のビハール州パトナ市でガンジス川を渡る延長 5.59 km のPC箱桁橋である。同橋は地場有力建設会社であったガモン社により設計施工で建設され、1982年に開通したインドでも有数の長大河川橋梁であり、建国の父の名前が付けられたことから当時の期待の高さがうかがえる。

本橋の構造は、PC橋の長大化に関し設計が容易であったこともあり、我が国でも1960年から1980年代にかけて多く建設された有ヒンジラーメン橋であり、その後、問題となった径間中央部のクリープによる垂れ下がり、ヒンジ部支承磨耗による変状が、過積載車両への規制が緩いこともあり、本橋ではより顕著に現れた。これに対しインド政府は、PC箱桁内部に補強ケーブルを施すと共に車両の通行速度を制限する等対策を講じたが変状は収まらず、その抜本的な対策が喫緊の課題となっていた。



写真-3 マハトマ・ガンジー橋 (出典: Wikipedia)



写真-4 中央ヒンジ部の変形による路面の陥没状況
(出典：経済産業省)

(JFE)

これに対し、弊社はインド政府の要請もあり、将来の円借款による支援を想定し、経済産業省の平成27年度エネルギー需給緩和型インフラ・システム普及等促進事業(円借款・民活インフラ案件形成等調査)に採択頂き、筆者はその調査団の一員として加わった。そして調査の結果、既存のPC箱桁橋の補修は困難である一方、基礎及び橋脚は未だ健全であると判定されたので、上部工のみ、軽量の鋼トラス橋で架け替える提案を行った。^{*2}



図-2 鋼トラス橋による架け替え完成イメージ
(出典：経済産業省)

この提案はインド政府に受け入れられたので、引き続き、円借款資金供与のための詳細調査要請が我が国政府に行われるものと予想していたが、何故かインド政府は自己資金により自国企業による補修実施と方針を変更、結果としてインド大手建設会社のAfcons社がこれも設計施工で受注し、現在工事中である。このプロジェクトは、その難易度、斬新さから非常に期待していた事もあり、海外工事における案件獲得の難しさを改めて実感したものであった。

3. 計画中の長大橋梁

ここでは、筆者が過去、長期出張あるいは赴任経験を有するフィリピンとサウジアラビアの案件を紹介する。

(1) フィリピンの島嶼連結構想

大小合わせて7,100以上の島々から構成される多島海国家であるフィリピンで、主要な島々を橋梁で結ぶ調査が始まっている。2016年に就任したドゥテルテ大統領は、

遅れているインフラ整備に注力する政策を打ち出しており、既にマニラにおいてはフィリピン初の地下鉄及び通勤新線の建設が、我が国の支援で始まっている。この調査もその一環であり、アジア開発銀行が主体となっている。

多島海国家における主要島嶼の連結は、インドネシアのジャワ島・スマトラ島間が以前より知られているが、このフィリピンの構想も決して新しいものではなく、更に、その第一号橋は我が国の支援で既に完成している事を御存知だろうか。それはレイテ島とサマル島を結ぶ全長2,600mのサン・ファニーコ橋である。この橋梁は我が国の戦後賠償でマルコス政権下の1973年に完成した鋼橋で、橋桁は我が国の橋梁ファブが製作し輸出された。その内の1社が弊社であり、主力工場である津の橋梁工場の初号製作案件であった。^(三豊)

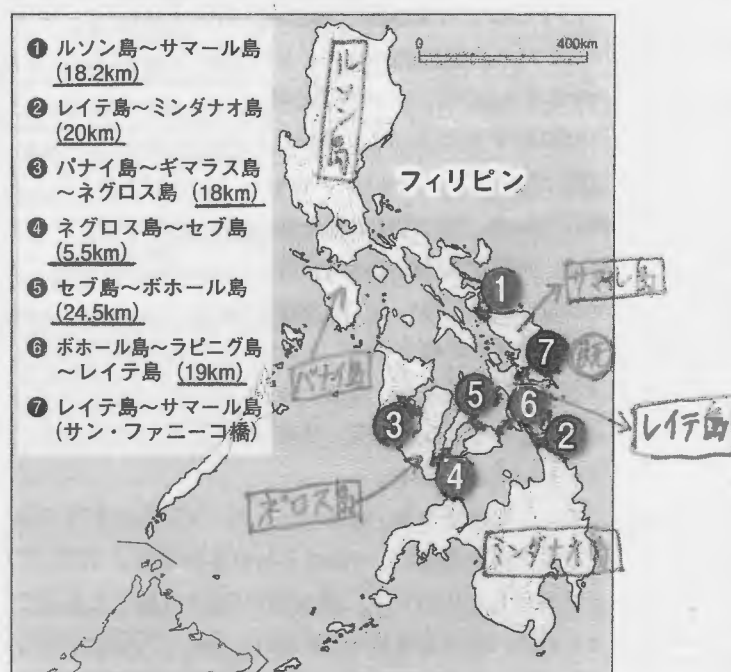


図-3 フィリピンの島嶼連結構想



写真-5 サン・ファニーコ橋 (提供：PIXTA)

フィリピンは2014年に人口が1億人を超え、その後も依然出生率は3%を超えているので、近い将来には我が国を抜くものと推定されるが、その多くはルソン島に住んでいる。他方、サン・ファニーコ海峡以外の島嶼間海峡は距離・水深共に条件が厳しく連結は容易ではない。

果たして、この構想の経済性は如何程なのか、アジア開発銀行の調査結果が期待される。

(2) サウジアラビア東西の連結計画

筆者は入社3年後に突然、サウジアラビア東海岸の合弁企業への赴任が命じられ、そこで3年強を過ごした。その際、サウジアラビアと対岸のバーレーンを結ぶキング・ファハド・コズウェイの建設工事がオランダの建設会社により始まっていた。全長25kmのこの海上道路橋は、内10kmが土工部、15kmが橋梁部であり、その中央に位置する人工島に両国の出入国管理事務所が置かれている。この橋は弊社にとっては、入札の原案であった鋼橋では一番札だったものの、オランダ企業の提案したコンクリート橋の代替案に敗北した悔しいプロジェクトでもある。宗教戒律が厳しいサウジアラビアは無論、他湾岸諸国からも、比較的戒律が緩いバーレーンへ息抜きに行く人々の車列で道路がしばしば渋滞する程交通量は多く、筆者も6年前に久しぶりにサウジアラビアに行った際、この状況に遭遇した。その後、現橋の混雑は人工島の拡張による出入国管理施設の増設により若干緩和されているものの、第2コズウェイの建設計画が進んでおり、現橋に並行して道路・鉄道併用で建設される予定との事である。

他方、サウジアラビアでは、反対の紅海側でも長大リンクが計画されている。これは、サウジアラビア半島北西部とエジプトのシナイ半島先端部の間のアカバ湾と紅海の境界となる約8kmのティラン海峡を結ぶもので、そのきっかけは、本四架橋建設気運を一気に高めた紫雲丸の事故と同様に、2006年に両国間のフェリーが沈み、約1,000人の犠牲者を出した悲劇にある。弊社がスエズ運河架橋工事に携わった事もあり、本件についても時々情報に接するが、地政学的理由等から過去、紆余曲折は多かったものの、サウジアラビア・エジプト両政府間で海峡内島嶼の領土問題も合意に至り、また、近傍ではサウジアラビアを中心に、米国、イスラエル、エジプト、ヨルダン各国政府が深く関与する未来都市ネオムの建設が始まり、中東和平の象徴的意味合いも有り、実現への歩みが続いているとの事である。



写真-6 キング・ファハド・コズウェイ (出典: Wikipedia)



図-4 キング・ファハド・コズウェイ (バーレーン側) とサウジアラビアの東西2カ所の連結計画

おわりに

筆者は1998年に、新たに創設された特別円借款案件の形成のために海外部門に戻ってから20年が経過した。最近驚くのは、当時、その特別円借款案件として実現を図るも果たせなかったアジアの多くの橋梁建設計画が、その後、自己資金で、あるいは他国の援助で、あるいは我が国の支援で実現している事である。また、先日、フィリピンの島々を巡った際、真っ青な海のすぐ向こうに浮かぶ島に「橋を架けたら」と思い、同国の島嶼連結構想を素朴に理解した。2地点間を繋ぎ、より利便性を向上したいという人間の意志は、いつか果たされるものと思う。

脚注

- ※1 公益社団法人土木学会「ものしり博士のドボク教室橋のものの知りコーナー 未来の橋はどうなるの?」(1999年)
- ※2 経済産業省平成27年度エネルギー需給緩和型インフラ・システム普及等促進事業(円借款・民活インフラ案件形成等調査)「インド: ビハール州マハトマガンジー橋再生計画調報告書」

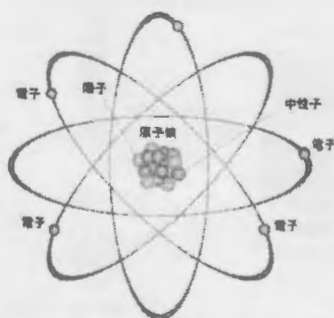
放射能を正しく理解して怖れよう

1. 原子力発電はどういう原理で発電し、そこから放射線はどのように発生するのか

原子力発電は、ウラン²³⁵の放射性同位体 235の原子核分裂の際に発生する熱を熱源にして、水を蒸気に変えて蒸気タービンを回転させ発電機で電気を起こす発電方式である。原子力発電は、燃料の単位質量当たりのエネルギー発生量では、化石燃料の燃焼による火力発電に比べて桁違いに大きい。さらに地球温暖化の原因物質である二酸化炭素の発生量が極めて少ないため、理論上は低コストで環境負荷が小さいエネルギー源として世界中で稼働している。

一方で、原子力発電所は複雑なシステム・設備で成り立っていて、ひとたび事故や災害を受けると放射性物質の拡散による被曝、使用済み核燃料などの放射性廃棄物の処理の問題が発生している。

原子の構造



	陽子の数	中性子の数	陽子と中性子の数の和	自然界に存在する割合
ウラン234	92	142	234	0.0055%
ウラン235	92	143	235	0.7200%
ウラン238	92	146	238	99.2745%

核燃料のウランは元素番号 92 番、陽子数 92 個、天然に存在する最も重い元素で 8,950Kg/m³、鉄の 2.4 倍、鉛の 1.7 倍の密度である。同位体には、原子量 234、235、238 の 3 種類が存在する。

ウランは地球上の地殻や海水中に広く分布しており、銀の 40 倍、スズと同量が存在すると推定されている。主要産出国は、カナダ、カザフスタン、オーストラリア、ナミビア、ロシア、ニジュール等

(確認可採埋蔵量は 100 年余分)

図-1 原子の構造のイメージ

ウラン 235 は自然界にはウラン全体の 0.7% しか存在しない。ほとんどが 238 で分裂しにくい。原子力発電では 235 の含有量を 3~5% に濃縮して核燃料 (濃縮ウラン) として用いている。

ウラン 235 の原子核は不安定で、中性子を当てると 2 つの原子核に分かれる。これを核分裂といい、大量の熱が発生する。さらに核分裂が連鎖して次々に不安定な他の放射性同位体が生じると同時に、1 個の原子核から新たに 2~3 個の中性子が飛び出し、この中性子が別のウラン 235 に当たって核分裂がさらに連鎖して (連鎖反応) 次々に 2~3 個の中性子が発生する。核燃料の中の大半を占めるウラン 238 は核分裂しにくい、中性子に当たると核分裂しやすい プルトニウム 239 (⁹⁴Pu) に変化する。

この核分裂の際に熱とともに発生するのが、放射性物質から出てくる放射線である。代表的な放射線には、α (アルファ) 線、β (ベータ) 線、γ 線 (ガンマ) 線、X (エックス) 線、中性子線と、5 種類あって、いずれも人体の奥まで透過して、細胞に悪影響 (ガンの発生など) を及ぼす性質がある。

安定した元素でも中性子が当たると、不安定な放射性同位元素に変化することがある。プルトニウムと同じようにこの原子核分裂反応の副産物でもあり、ウランの 4 倍の資源が存在するといわれるトリウム (⁹⁰Th) が、原子力発電への利用に向けて研究が進められている。

* 《この資料は、2011 年発行「放射能キーワード 70」に「完全図解周期律表」、「よくわかる新元素の基本と仕組み」、「元素変換」に加え、ウィキペディアと関係機関の HP から引用して作成している。》

2. 関連する主な用語（キーワード）の説明

原子と原子核

原子は物質の化学的な基本単位で、あらゆる物質は原子という非常に小さい粒子（直径 10^{-10}m ）が集まってできている。その中心にあるのが原子核で、陽子（プラスの電荷をもつ）と中性子（陽子とほぼ同じくらいの質量をもち電荷をもたない）の組み合わせでできている。原子核の周りにはマイナスの電荷をもった電子が軌道上を運動している。電子は大きさが陽子の約 $1/2000$ 以下のさらに微粒子である。

原子の種類（性質）は基本的には陽子の数で決まり陽子数の順に元素番号が割り振られている。あらゆる元素（原子）の中で、最もシンプルな元素は水素（元素番号 1） ${}^1\text{H}$ で、例外として中性子がなく、陽子 1 個と電子 1 個から出来ている。しかしこの水素にも自然界に同位体があり、陽子 + 中性子 1 個（重水素・デューテリウム 記号 D）、中性子 2 個（三重水素・トリチウム 記号 T：放射性）ある水素原子が確認されている。「原子」と「元素」用語の違い

原子：物質を構成する実体的な粒子（要素） 元素：性質を表す抽象的な概念

核分裂

核分裂はウラン(U)に中性子が衝突したときに起こる現象として最初に発見された。

図-2 に示すようにウラン 235 のような不安定な原子核に、中性子をぶつけると原子核が割れて大きさの異なる原子核に分裂する。その際、その原子核から中性子が 2~3 個飛び出す。その中性子が次の原子核にぶつかりその原子核が分裂し、そこでまた中性子が飛び出し、その中性子が次の原子核をという具合に反応が連鎖的に起こる。このようにして、分裂を起こす原子核の数も「ねずみ算」的に増える。これが核分裂の連鎖反応である。 中性子

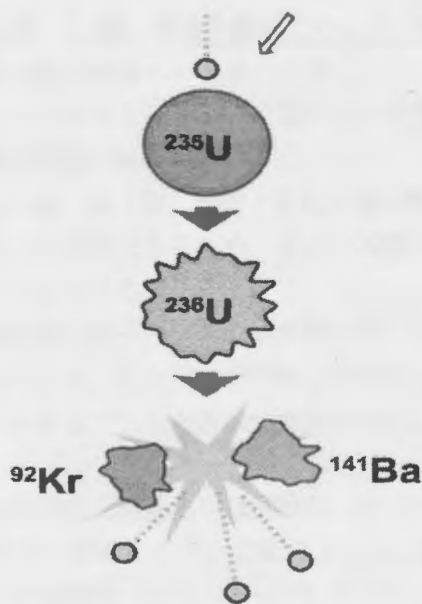


図-2 ウラン 235 の核分裂連鎖反応図

ちょうど 1 個の中性子だけが連鎖反応を起こしていく状態を臨界といい、1 個を超えると核分裂が急速に増え、核燃料工場などで起こると臨界事故になる。原子炉は、臨界状態を保つように制御されている。

原子炉の制御棒とはこの中性子の発生数を調整するために、中性子を吸収する性質があるいくつかの金属材料（炭化ホウ素、カドミウム合金、インジウム、銀、ハフニウム等）を組み合わせ、棒状にしたものである。核分裂はウラン 238 から生じるプルトニウム(Pu)などでも起こり、これらを核分裂性物質という。

ウラン 235 が 1 個、核分裂反応を起こせば中性子が平均 2.5 個放出されるが、このうち 1.5 個をウラン 235 以外の物質で吸収させ、1 回の核分裂につき 1 個の中性子が、他のウラン 235 に当たって再び核分裂を引き起こしていくといった連鎖反応を起こすが、出力が一定となった状態の原子力発

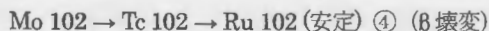
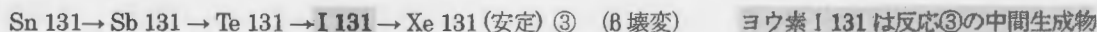
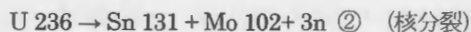
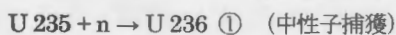
電であり、核分裂に使われる中性子が 1 個をわずかでも上回れば短い時間で（たとえ 1 万分の 1 秒であっても）たちまち指数関数的に反応が増大して暴走してしまう。このように原子力発電では出力の調整は根本的に困難が常につきまとい、これが実際に起こってしまったのがチェルノブイリ原発事故例である。

核分裂連鎖反応は、核燃料がある限り続き、発電を停止後も核燃料棒の放射性物質から放射線と熱が続く。そのため、使用済みの燃料棒でも遮蔽と冷却は長期間続けなければならない。

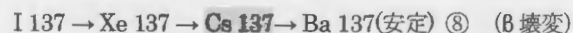
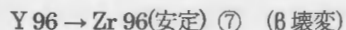
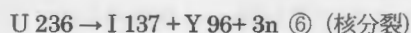
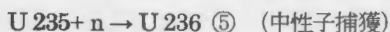
核分裂では電子のやりとりだけによる化学反応とは桁違いのエネルギーが放出される。わずか 1g のウランの核分裂は化石燃料である石炭 3t、または石油燃料 1.8t（タンクローリー 1/4 台分）が燃えたカロリーに相当する。この連鎖反応を制御しながらゆっくり起こさせるのが原子炉で、瞬間的に

起こさせるのが原爆であって 235 の含有量を 90%以上にした濃縮ウランを用いる。両者の核分裂反応には本質的な違いはない。以下はウラン 235 の中の反応式の一例である。

ウランU235の核分裂によるヨウ素I131の形成過程 * 元素記号の後の数字は原子核の質量、nは中性子



ウランU235の核分裂によるセシウムCs137の形成過程



セシウムCs137は反応③の中間生成物。

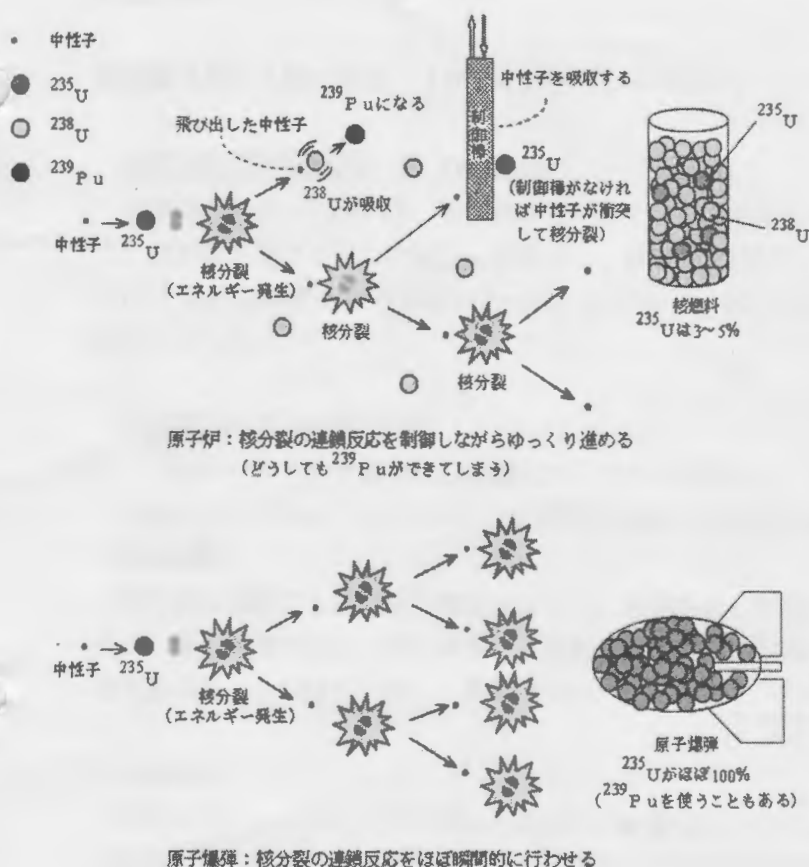


図-3 原子炉と原子爆弾での核分裂

※ ウラン(ウラン 235)やプルトニウム(プルトニウム 239)などは、一定量以上を集めると、自然に核分裂の連鎖反応が始まってしまう。臨界が起こる最少量が「臨界量」で、形や不純物の割合で大きく変わる。球形の金属ウランでは約 15kg、金属プルトニウム 239 は数 kg といわれている。

エネルギー資源の確認埋蔵量(可採年数)

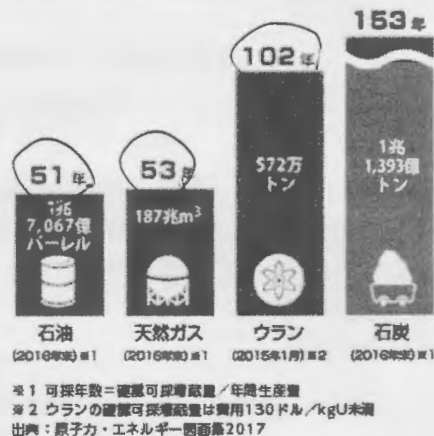


図-4 主要なエネルギー資源の可採年数

図-4 に示されるように、エネルギー資源の確認埋蔵量(可採年数)は、ウランは石油資源の約 2 倍、石炭の次に多いとされている。

核分裂の連鎖反応を起こす放射性物質として、他にプルトニウム 239 があって、燃料棒の約 97%を占めているウラン 238 から生成される。(プルトニウムは天然には存在しない)

プルトニウム 239 はウラン 235 と混合して、MOX燃料*1 でプルサーマル*2 発電に再利用される。

(*1) MOX燃料：混合酸化物燃料 Mixed oxide fuel (MOX) の略称

(*2) プルサーマル：プルトニウムのプルとサーマル ニュートロン・リアクター(熱中性子炉)のサーマルを繋げた和製英語(plutonium thermal use)

放射能とは何か

物質が放射線を出す能力。能力であるから物質ではなく、放射線そのものを指すわけではない。

放射線とは

放射線は強力なエネルギーをもつ粒子の流れあるいは波長が極めて短い電磁波である。(電磁波は「紫外線」よりもさらにエネルギーが強くて波長は短いため不可視である。)代表的な放射線には5種類がある。

α (アルファ) 線、 β (ベータ) 線、 γ (ガンマ) 線、 X (エックス) 線、 中性子線



図—5 放射線（電磁波と粒子線）のイメージ

α 線、 β 線、中性子線はごく小さい粒子の波で粒子線といい、X線と γ 線は光子線ともいう。

放射線の医療への最新の利用として、粒子線（陽子＝水素の原子核）を利用した陽子線治療がある。さらにヘリウムイオンより重いものを重粒子線と呼び、この重粒子線を活用したのが重粒子線治療で、炭素イオンが用いられている。

粒子線（陽子線）治療と重粒子線治療は、それぞれの特性により、ごく限られたガン細胞の部位に狙いを定めて照射できるため、従来のX線などを用いた放射線治療に比べ、正常な細胞に有害な影響を低減することができる。

放射線は原子力発電や核兵器に用いられるだけでなく、医療や非破壊検査、殺菌（防腐）などにも利用されている。また原子炉や粒子加速器などで人工的に作り出されるほかに、宇宙空間を含む地球上の自然界にも微量であるが放射性物質が存在して人体にも影響を及ぼしている。

放射性同位元素あるいは同位体（ラジオアイソトープ）

ウラン 235 とウラン 238 のように、陽子の数が同じ（92 個）で、中性子の数の異なるものを同位元素あるいは同位体（アイソトープ）といい、他の元素では同位体には崩壊しやすい不安定なものと、安定したものがある。特に放射線を出して崩壊（核分裂）して他の元素に変わる同位体を放射性同位元素（放射性同位体）：ラジオアイソトープという。

半減期と実効半減期

放射性物質が、放射線を出して別の物質に変わる際に、元の半分の量が別の物質になる期間を（物理的）半減期という。半減期には数秒以下（一瞬）から数億年と非常に長いものがある。ウラン 235 は半減期が7億年、プルトニウム 239 は2万4000年と、いずれも非常に長い。

これに対し体内に取り込んだ放射性物質が体外に排泄されるので、この量が半分になると影響が減り、排泄も加味した半減期を実効半減期という。

放射線を出す側の単位 「ベクレル Bq : Becquerel」

あるものが1秒間にどれだけの回数、放射線を出しているかを表す単位。

例えば「野菜1Kgから400ベクレルの放射能が検出された」というと、この野菜1Kgの中に含まれた放射性物質が、1秒間に400個の放射線を出していることになる。

1ベクレルの定義は、放射性物質の原子核が1秒間に1個崩壊して放射線を出すことである。ただし、放射性物質の種類によって出てくる放射線の種類は異なるので、ベクレルは「量」の単位であって「質」を表す単位ではない。ベクレル値で表される場合、それが「どの放射性物質のベクレル値か」を合わせて示される。つまりベクレル値は放射性ヨウ素や放射性セシウムなど、放射性物質の種類ごとに測定される。同じ「400ベクレル」という値でも、放射性物質の種類によって、出す放射線の種類が違うからである。ウランが放射能をもつことを初めて発見したフランスの物理学者、アンリ ベクレルにちなんで単位の名称として使われている。ベクレルと同じ放射能の多さを表す単位として、昔はキュリー (C) という単位が使われていた。

放射線を受ける側の単位 「グレイ」と「シーベルト」

「グレイ (Gray)」 (吸収線量)

放射線が当たったものが、放射線からどれくらいのエネルギーを受けたかを表す単位。放射線の種類と、放射線を受けるものの種類に関係なく、放射線を浴びて「吸収」したエネルギーの量を表す。昔は「ラド(rad)」という単位があった。(1グレイ=100ラド) さらにその以前は「レントゲン」という単位もあった。

「シーベルト (Sievert)」

「シーベルト」で表される線量には、次の等価線量と、実効線量の2種類がある。

以前はレム (Rem) という単位で表されていた。(1シーベルト=100レム)

(等価線量)

同じ吸収線量でも放射線の種類によって、人体が被る影響は異なる。それを加味して考えられた放射線量が、等価線量である。吸収線量に、放射線の種類別に定められた影響(有害性)の度合いである「放射線荷重係数」をかけて計算し、単位はシーベルトで表す。

(実効線量)

等価線量に、さらに人体の臓器・組織別の影響の受けやすさ(感受性)を加味した線量。

国際放射線防護委員会(ICRP)は、事故などがない通常で一般人が年間に浴びてよい限度を実効線量で年間1ミリシーベルト以下としている。公的機関が発表する地点ごとの放射線量が「シーベルト」で示されている場合、この実効線量のことと解釈してよい。

外部被曝と内部被曝

体の外部からの被曝を避けるには、次の3つが原則である。

- ① 放射線の発生源から距離を保つ。(放射線の強さは、光の明るさと同様に距離の二乗に反比例する)
- ② 放射線源との間に遮蔽(しゃへい)物を置く。(鉄、鉛、コンクリート、砂袋等の遮蔽物を置くことにより、被ばくを少なくする。) 遮る工夫をする。建物の中に待避する。

- ③ 浴びる時間を短くする。

放射線を受ける時間が長ければ長いほどダメージを受ける。

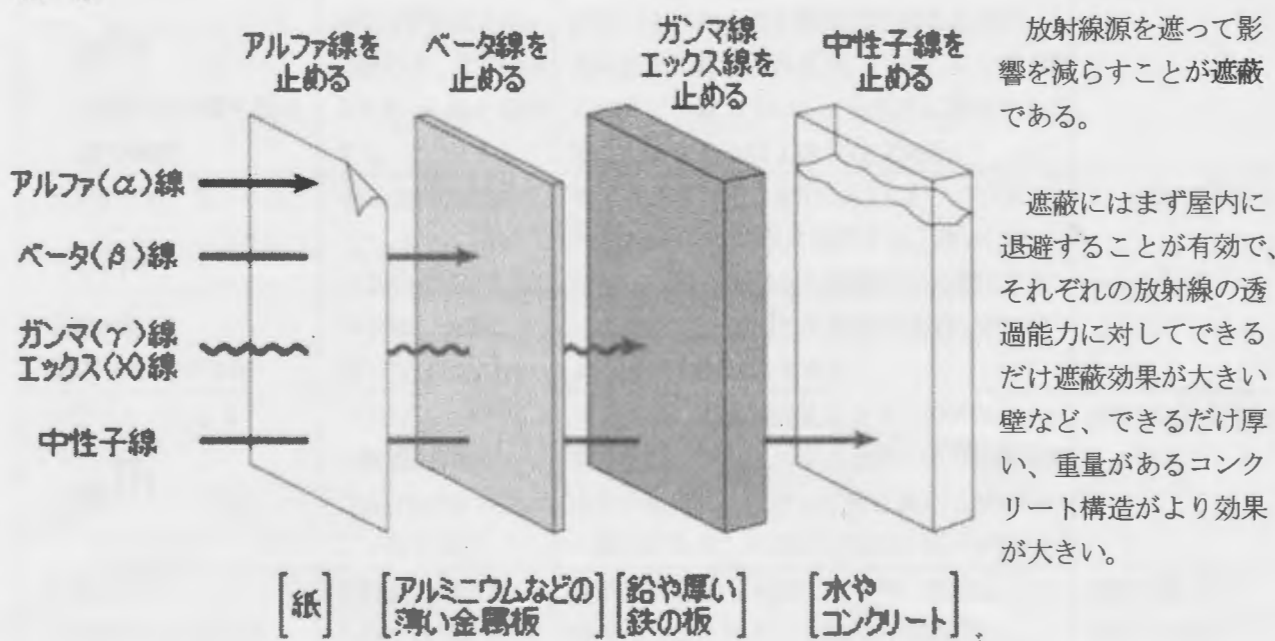
内部被曝

内部被曝は体内に放射性物質が入り込むことで被曝する。そのルートは主に2つで食品、飲料水からと、呼吸（粉塵など）からである。内部被曝は外部被曝と違って放射線を出す能力がなくなるか、新陳代謝によって体外に排出されない限り、放射線を体内で出し続ける。

体外に排出されにくい放射性物質として代表的なのはヨウ素 131 である。ヨウ素は生命の成長に欠かせない元素で、人体にはふつう 10～20mg が含まれている。その大半が甲状腺にあって、とりわけ成長期に成長ホルモンを作り出すために必須であるので、若年層（特に幼児など）に事故で放出されたヨウ素 131 が飲みものなどから取り込まれないよう、迅速に対応する必要がある。

そのために原発が立地する自治体（近隣を含む）では放射能を出さない安定したヨウ素 127 で作ったヨウ素剤を準備しておき、先にこのヨウ素剤を服用して体内に充足しておくという対策である。

遮蔽



原子力発電所など核施設内での作業で放射線の影響を防ぐためには専用の防護服がある。放射性物質が体についたり吸い込んだりすることを回避するためのものや、放射線防護機能を持つ、あるいは遮蔽体を組み込んだものなどさまざまな種類があって、放射線が飛び交う環境内での作業の際に着用する。空間中のX線や γ 線などに対してある程度は有効だが、 γ 線を遮蔽する能力をもたせると遮蔽体はたいへん重くなる。（鉛ですら厚さ 10 センチを必要とする γ 線を遮蔽できる防護服を作るとするならば、総重量が少なくとも 100 キログラム以上に達するという）

さらに、中性子線はメートル単位の厚さがなければ防ぐことが出来ないため、完璧な防護服は存在しない。よって、中性子線が飛び交う原子炉付近や原子炉内での作業は人間では不可能なので、作業用のロボットに委ねなければならない。

除染

除染とは放射性物質を洗い流すなどして落とすことをいい、人体では脱衣とシャワーや入浴が有効である。汚染された土壌や植生などの除染には、汚染部分を掻き落したりしてその場所から除く。

いずれも除染とは放射性物質による汚染を除くというより、拡散あるいは分散して汚染の濃度を基準値以下にするか、集積して外部に影響を及ぼさないようまとめて管理する方法である。放射線の発生や効力そのものを停止させる方法は今のところはない。

3. 放射線はなぜ人体に危険か

放射線は非常に強いエネルギーをもつ電磁波あるいは粒子であるため、人体の奥まで透過し、細胞に悪影響（ガンの発生など）を及ぼす。放射線による体への障害は、すぐに現れる急性障害と、かなり後に現れる晩発障害があり、特に細胞や遺伝子のDNAにダメージを及ぼす。被曝した本人以外に後の世代にも遺伝的影響を及ぼす可能性がある。

そして目に見えない、つまり人間の五感では感知し難く、特殊な装置でないと検知できないので、気がつかないうちに被曝することも危険な要因である。

表—1 代表的な放射線の種類、性質と危険度

α（アルファ）線 : ヘリウムの原子核（陽子2個、中性子2個）の粒子の流れ 透過力は他の放射線に比べて弱いので体の内部には影響は少ないが、周囲に大きな影響を及ぼす。体内にアルファ線を発生される物質が取り込まれると、周辺細胞の染色体を傷つけ、ガンの原因になる。細胞に及ぼす影響力はβ線やγ線に比べて20倍大きいとされる。 空気中では数mmしか飛ばず、線源から離れるか、40μm厚のティッシュペーパー程度で防護できる。
β（ベータ）線 : 速度が速い電子の流れ 分子に当たると構造を変えてしまう働きがあり、突然変異やガンの原因になりやすい。空気中を数cmかm単位で透過する。透過力はアルファ線の次に弱い（アルファ粒子の100倍程度）、 マイナスの電荷を帯びているので、磁石で簡単に曲がる。アルミ箔など薄い金属板で防御できる。
γ線（ガンマ）線 : 波長がごく短い電磁波 可視光線、紫外線やX線よりも波長が短い電磁波なので透過力が数十mと非常に強く、X線と同じように、容易に体内に届くので、内臓への被曝は危険である。 発生源から離れた場所でも検知でき、人体も容易に透過するので体外でも計測できる。数cmの鉛板か数十cmのコンクリート版で防護する必要がある。
X（エックス）線 : 波長が短い電磁波 容易に発生させられ、防護の研究も進んでいるので、医療などの分野で最も用いられている。数mmの鉛板で防護する。γ線よりも波長は長い。
中性子線 : 中性子（原子核を構成する電気を帯びていない中性の粒子）の流れ γ線と同じく人体の奥深くまで通り、臓器に悪影響を与える。外部被曝でも中性子線はγ線に比べると10倍危険といわれる。原子核の中の中性子だけの粒子の流れが中性子線。電気を帯びていないので、プラスの電気を帯びている原子核に妨げられないから、透過力は強い。 防護には数メートル厚さのコンクリートや水、パラフィンのような水素分子（H_2）を多くもつ物質が有効である。

表-2 名前をよく聞く放射性物質（放射性同位元素）の特徴の概説

放射性同位元素の名称	危険度	特 徴	半減期
ヨウ素 131 ⁵³I 原子炉の事故などで最も多く発生する。	β 線、 γ 線を出してキセノン(Xe)131に変わる。 他の物質に比べて半減期は約8日と、短い	ヨウ素 131 は原子炉などで人工的に発生する放射性同位元素である。自然界に存在するヨウ素 127 は生物に必須の元素で、人体（主に甲状腺）に 10~20mg 含まれている。ヨウ素 127 と 131 は体内では区別できないので、取り込まれると甲状腺に沈着してガンなどを引き起しやすい。	8.05 日
セシウム 134 137 ⁵⁵Cs 土壌汚染で最も要注意の物質	137 は β 線を出してバリウム (Ba) 137 (半減期 3 分) に変わり、これからさらに γ 線を放出する	セシウム 134,137 は原子炉などで人工的に発生する放射性同位元素である。特に半減期が長い 137 は、長い期間悪影響を及ぼす。主に筋肉に蓄積されるが、代謝によって 100 日程度で半減していく。自然界に存在する安定したセシウムは 133 だけである。	134 2.07 年 137 30.2 年
トリチウム T ¹H 三重水素 (陽子+中性子 2 個)	弱い β 線を放射してヘリウム(He) 3 に変化する 宇宙線と大気の影響で天然にも存在	原子炉内で酸素と結びついてトリチウム水 (HTO) として水に混在する。過去に核実験で、また原発から環境中に大量に放出された。毒性は弱く生物学的半減期が短いいため比較的軽視されてきた。	12. 32 年
トリウム 232 ⁹⁰Th	トリウム 232 からの崩壊生成物のタリウム(Tl)208 が強烈な γ 線を放出	天然資源の可採資源量はウランの 3 倍以上と推定され、プルトニウムと同じように原子炉内での副産物。ウランに置き換わる核燃料への期待がある。利用には長所と短所が拮抗	232 141 億年
ウランウム (ウラン) 235 ⁹²U 原子力発電の燃料	放射線を出しながら他の物質に変化し、最終的に鉛になって安定する 自然界に存在する最も重い元素	ウラン 235 を 4~20% に分離、濃縮し、二酸化ウランに加工して核燃料に用いている。核分裂の連鎖反応を起こして、大きなエネルギーを出す。ウランは自然界の 3 つの同位体すべてが放射性であるが、238 が 99% で、自然界では核分裂を起こさず α 線を出して崩壊する。238 は原子炉内では核分裂を生じプルトニウムを生成する。	234 25 万年 235 7 億年 238 45 億年
プルトニウム ⁹⁴Pu 自然界には存在しない	ウラン 238 の核分裂で作り出される人工物質	自然界には存在しない元素で、238、239、240 の 3 つの放射性同位体を生成し、239 はウラン 235 と同じように核分裂連鎖反応を起こす。MOX 燃料として再利用される。	238 88 年 239 2.4 万年 240 6600 年
ラジウム 226 ⁸⁸Ra	強い α 線を放出し、ラドン (Rn) を経て鉛になる	放射能という概念を生み出した最初の物質。安定した同位体はなく、ウラン 238 から常に作り出されている。	1600 年
参考 炭素 14 ⁶C	自然由来の放射性物質で、 β 線を出して安定な窒素 (^{14}N) 14 に変化する	14 は大気圏内で窒素原子(N)に熱中性子(n)が吸収されることによって生成され、自然界にごくわずかに存在する。人体内にもあって微量の放射線を出している。同位体の存在比は 12 (98.9%) 13(1.07%) 14 (0.03%以下) 原子炉からの発生はない。考古学で年代測定に用いられている。	5730 年

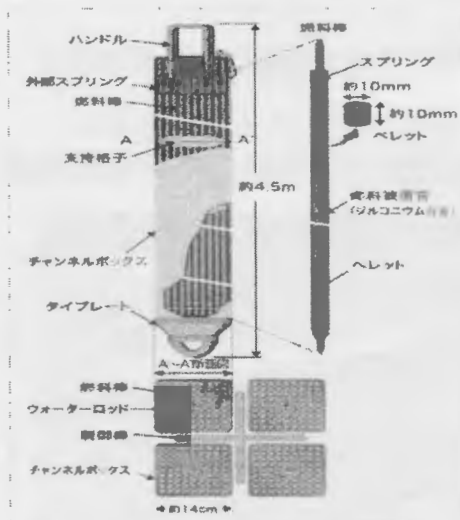
4. 日本の原子力発電所での原子炉の種類

一般社団法人日本原子力文化財団 HPより引用

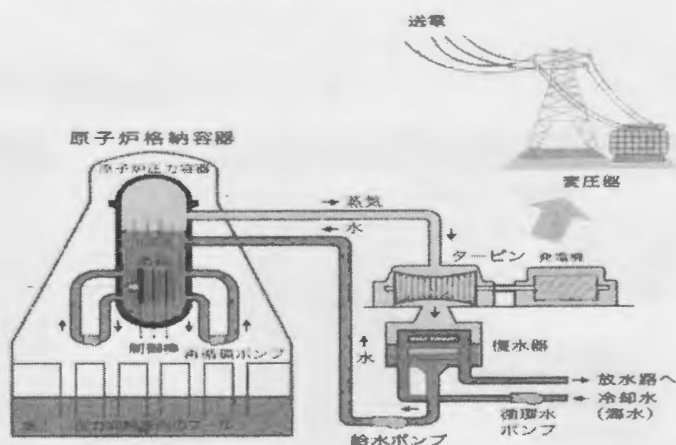
現在、日本にある商業用の原子力発電所は、冷却材としてすべて軽水（普通の水）を使う軽水炉である。その他冷却材にナトリウムを使う高速増殖原型炉「もんじゅ」がある。

沸騰水型軽水炉 (BWR or ABWR) 原子力発電

BWRは、核分裂によって発生した熱エネルギーを使って原子炉の中の水を沸騰させて蒸気をつくり、蒸気の力で発電用のタービンを回して電気をつくる。（水は中性子の減速材と炉内の一次冷却材を兼ねる）北海道を除く東日本の原発に多く採用され、福島第一原発はこの方式である。日本では大型化を目指すためBWRを改良した「改良型沸騰水型軽水炉」（Advanced BWR：ABWR）を製作して、改良型を採用している原子炉も多い。

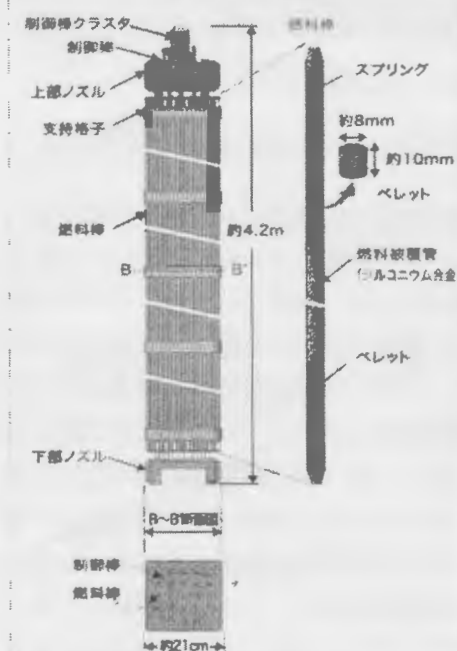


図一7 BWRの構造概略図

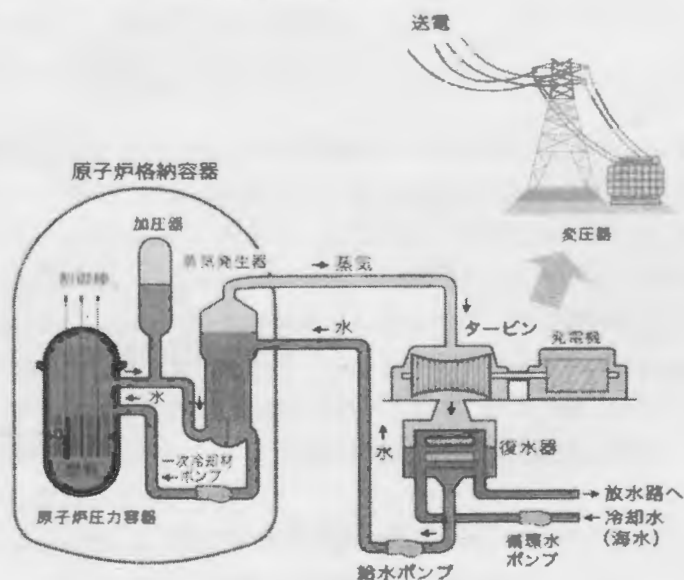


加圧水型軽水炉 (PWR) 原子力発電

PWRは、原子炉内の水を高圧、高熱にして炉外に送り熱交換によって炉内とは別の系統の水で蒸気をつくる。原子炉格納容器が小さくでき、炉内の水が直接外部に漏れにくい反面、配管系統が複雑になる。西日本地方の原発に多く、九州電力の原発（川内、玄海）はすべて加圧水型の原子炉である。（米国スリーマイル島の事故原発は加圧水型）



図一8 PWRの構造概略図



原子炉事故で最も深刻なのは、大量の放射性物質が原子炉から放出されて、広範囲に放射能汚染が起きることである。福島第一原発（東日本大震災発災の当日は1～3号機が運転中で、4号機～6号機は定期検査中）の事故のタイプからそのキーワードの意味をまとめる。

電源の喪失

原発は発電所でありながら、同時に運転のためには当然電気の供給が必要である。特に重要なのは運転停止後も核燃料は発熱して高温・高圧の蒸気を生成しているので、常にポンプによって循環しながら冷却し続けなければならない。冷却の循環が止まると、炉心に核燃料から放出が続く熱が蓄積して最悪の場合、炉の中心にある圧力容器内の蒸気圧が高まり過ぎて破損したり、燃料が高熱で溶けたりする。（メルトダウン）地震などの自然災害時に発電を緊急停止しても、冷却水を供給し循環ポンプを回し続けるためには電気の供給を止めてはならない。そのために外部からの電力供給以外に自家発電装置などの電源を備えているが、それらの電源がすべて失われると、原子炉はコントロール不能となる。

冷却水喪失

核燃料の収めている炉心を冷却する水の供給が減ったり失われたりすると、炉心の温度がどんどん上がり、通常は水に浸して冷却している核燃料がむき出しになると、いわば”空だき”状態となって原子炉は極めて危険な状態になる。冷却水を送るポンプや配管の破損、電源喪失などが主な原因である。

福島第一原発では、電源喪失により冷却水を外部の消防ホースなどで供給し、緊急措置として海水を炉心に直接注いだ。十分な冷却が遅れて重大な事態となった。

炉心溶融（メルトダウン）

炉心を十分冷却することができず、高温になると炉心にある燃料棒などが熱で溶けてしまうことで、燃料棒を収めた核燃料集合体が溶融して炉の底に落ちてしまうことを「メルトダウン」と定義している。核燃料が原子炉の圧力容器を突き抜け、格納容器の底のコンクリート部分に溶け落ちて固まった状態は「燃料デブリ」と呼ばれる。1～3号機でメルトダウンが起きて、冷却水の供給ができず圧力容器（鋼鉄製）、さらに格納容器（鉄筋コンクリート、またはPCコンクリート製）を壊してしまうと、大量の放射性物質が外部に放出されて重大な放射能汚染が生じる。1号機と2号機ではメルトダウンがさらに進んで格納容器の底に穴があいた状態「炉心溶融貫通（メルトスルー）」が生じているとみられている。これらは廃炉作業を進めるうえで非常に困難な問題になる。

水素爆発

福島第一原発では、1～3号機ともメルトダウンの影響で、水素ガスが大量発生して原子炉建屋、タービン建屋各内部に水素ガスが充満し、1・3・4号機はガス爆発を起こして原子炉建屋、タービン建屋および周辺施設が大破した。これは燃料棒のケースに使われているジルコニウム合金が、高温のため炉内の水と化学反応を起こして大量の水素ガスを発生させ、空気中の酸素と反応して爆発したと考えられている。原子炉建屋の破壊によって、原子炉内の放射性物質が外部（空气中）に放出された。4号機は定期検査中だったが、非常用ガス処理系配管を通じて充満した可能性が高い。

再臨界

炉心溶融により、溶けて炉底にたまった核燃料の制御が不能となって再び核分裂を続ける臨界状態になること。再臨界が起こってしまうと原子炉内で爆発が起きる危険性が高まる。そのため事故後に注入する冷却水には核分裂を止める働きがあるボロンを混ぜる。

この他に原子力発電所で過去に起きた重大事故として、放射能漏れではないが、配管（主に復水系）の損傷による熱水（蒸気）の噴出事故が起きている。（関西電力 美浜発電所第3号機 平成16年8月5名死亡）

5. 放射性廃棄物の処分と核燃料の再利用

原子力発電での次の問題は、最終的に発生する放射性廃棄物の処分である。廃棄物は、原子炉で発電した後のウラン燃料の「燃えかす」のような使用済み核燃料（HLW）のほか、原子炉を構成する交換部品類、さらに、原則として運転開始から40年後（最大でさらに+20年後）に直面する廃炉に伴って原子炉を解体する際に発生する放射性物質によって汚染された大量の構造物や部材（パーツ）類の廃材である。

このうち、最大の放射線量が残る使用済み燃料については、一部は核燃料リサイクル（*MOX燃料）の試みが行われているが、さまざまな問題に直面している。いずれにしても現在のところ高レベルの放射性廃棄物は最終的には地層処分という方法によらざるを得ない。廃棄物を堅牢な容器に封入し、ガラス固化体で固め、さらに金属製の容器に入れ、粘土で覆って封じ込める。これらは人工的に行うので、人工バリアと呼ばれる。この容器を天然のバリアとして地下300m以下の岩盤に閉じ込めてモニタリングなどによって管理するという処分方法である。

放射性廃棄物の種類と処分の概要

廃棄物の放射能レベルに応じた深度や障壁（バリア）を選択して、以下のようなトレンチ・ピット処分、中深度処分、地層処分が行われる。

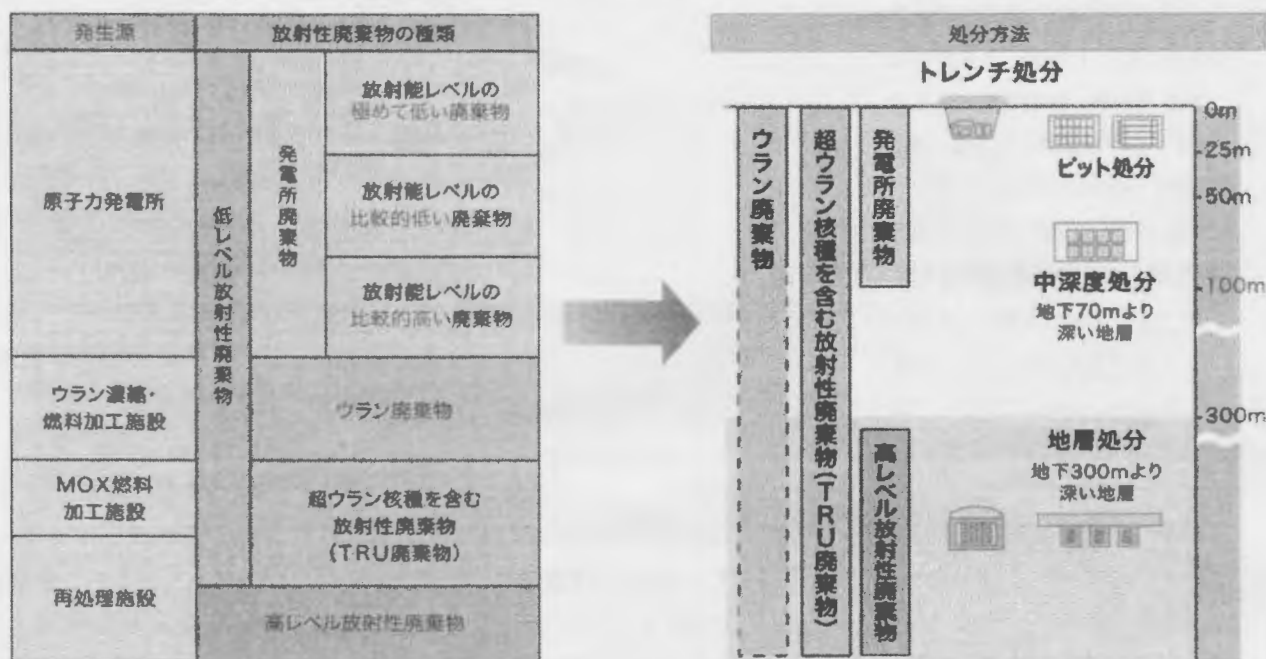


図8 放射性廃棄物の種類と処分の概要

* MOX燃料（モックスねんりょう） 核燃料のリサイクル

原子炉の使用済み核燃料中に1%程度含まれるプルトニウムを再処理により取り出してプルトニウム濃度を4~9%に高めて、二酸化プルトニウム（PuO₂）として二酸化ウラン（UO₂）に混ぜた核燃料をMOX燃料という。主として専用の高速増殖炉の燃料に用いようとしたが、既存の軽水炉用燃料ペレットと同一の形状に加工し、適切な位置に配置することにより、軽水炉のウラン燃料の代替として用いることができる。これを**プルサーマル**利用と呼ぶ。**新型転換炉（ふげん）**は実験終了し現在廃炉、高速増殖炉（**もんじゅ**：廃炉作業中）は、安全性、管理の困難さ、再処理の困難さなど、利点よりも問題点の方が多いため、高速増殖炉は現在稼働していない。新品のウラン燃料に比べ放射能が強い（特にアルファ線、中性子線が著しく強い）ため、燃料の製造については遠隔操作化を行い、作業員の被曝防止に十分配慮して行う必要がある。再処理の困難さや管理の問題なども指摘されている。

電力各社のプルトニウムの保有量の総計は1,630Kg（電気事業連合会HP）となっている。

MOX燃料を用いて運転中の軽水炉は、九州電力玄海発電所第3号機その他6カ所ある。

原子核の反応はこれまで解説してきた通り、自然界で起きている核分裂の現象を応用した、大きな原子核（ウラン）を分裂させて生じるエネルギーを利用した核分裂反応が主流である。

このほかに、比較的小さい原子核どうしを物理的にくっつけて別の元素に変換するという「核融合」という現象の理論を実用化する研究がある。この現象は宇宙の始まりから、太陽のような恒星の熱源になっている反応である。非常に高熱（1億℃以上）と超高压の下でなければ生じないが、近年国際協力によって、実現に近い条件下で核融合の技術の実現性を研究するための実験施設ITER（イーター：ラテン語で「道」）がフランスに設けられて研究が進められている。

核融合に関する研究は、過去には日本は他の国に比べて一歩進んでいる（いた？）という評価もある。反面、他の国では過去に真偽が疑われる怪しげな論文や報告が出されたこともあり、困難な課題が山積して実用化は実現しないという考えもある。

核融合技術の研究には、我が国として次の3つの目的があるとされる。

1. 放射性廃棄物を無害な安定した別の元素へ変換
2. 核分裂によらない新たなエネルギー源への期待
3. 資源として安価で豊富な元素から希少な元素へ変換して生成

1. 放射性廃棄物の安定化処分には、現在は最終処分場所（関連する住民の合意を含む）の問題、長期間の安全性の保証（リスクの世代先送り）、処分費用の問題があつて、原子力発電に賛成/反対に関わらず批判も多く、最終決定を先送りしている。そこで、放射性廃棄物である放射性同位元素（特に半減期が長いプルトニウムなど）を安定した無害の元素に変換できれば、現在確立されていない最終処分の問題解決に近づく可能性が期待できる。

2. 新エネルギーは、例えば同じ質量当たりの原料（燃料）から現在の核分裂反応によるエネルギー発生量に比べて約4倍のエネルギーが生まれ、さらに放射性廃棄物の発生がない、という夢のような話である。つまり、1gのウランの核分裂で発生するエネルギーは石炭3t、石油燃料1.8t（タンクローリー1/4台分）が燃えたカロリーに相当するが、重水素+三重水素（トリチウム）での核融合では、原料1gから石油燃料で約8t（タンクローリー1台分）に相当するカロリーが得られると試算されている（ただし高エネルギーをもった中性子は発生する）

3. 希少元素の生成は、核分裂でも生じる元の元素から別の元素に変換する現象である。もしこれが実現すれば、現代版の「錬金術」ともいえる。
例えば、タングステン（元素記号W：白熱灯などのフィラメントや電熱器に用いられているポピュラーな元素）から白金（Pt：プラチナ 触媒や宝飾品に使用される需要の多い希少な貴金属）に元素変換するとしたら、現在価値で1g当たり約1700倍の勘定になる。
（1g当たりの価格 タングステン 1.65円 プラチナ 2,856円：いずれも2019/07/13調べ）
プラチナがもつ性質から、例えば燃料電池車には1台当たり金額にして約20万円に相当するプラチナ材料が使われているという。

近年、ICT技術からの需要の急激な高まりに対し、供給源が中国など特定の国に依存しているレアメタルやレアアースと呼ばれる希少な元素材料の供給不安にも、耳寄りな技術である。

むろん、現段階では多くのハードルがあつて、簡単には実現しそうもないが、次世代のためにも研究を安全に進めてぜひ実現してほしい技術である。