

福島原発事故による被ばく住民の健康被害に関する4段階因果関係論（その1）

山田國廣著

「核分裂により放射能毒物と化学毒物は同時に生成され原子炉内に蓄積し事故により放出された」



福島原発事故被害放射能毒・化学毒被害原因裁定を求める会

福島原発事故による被ばく住民の健康被害に関する4段階因果関係論（その1）

「核分裂により放射能毒物と化学毒物は同時に生成され原子炉内に蓄積し事故により放出された」

| ページ数 | 内容 |
|------|---|
| 3 | 核分裂により放射毒と化学毒は同時生成される |
| 4 | U-235(熱中性子)、U-235(14MeV)、Pu-239(速中性子)の核分裂収率(%)のグラフ |
| 5 | 原発核燃料の核分裂生成物に関する基本情報はORIGEN(オークリッジ研究所が公表している核分裂による同位体生成と減衰に関するコード)により算定されてきた |
| 6 | 表1 ORIGEN-2における出力情報と単位の記述表 |
| 7 | 元東京電力福島原発省であった二見常夫氏は「原子力発電所の事故・トラブル分析と教訓(丸善出版)」において「100万kWのPWRが内蔵する主な核分裂生成物およびアクチニドの種類、質量、放射能量」をORIGEN2.2から算定した。 |
| 8 | 付録1「100万kWのPWR(加圧水型原子炉)が内蔵する代表的核分裂生成物およびアクチニドの種類、質量、放射能量」その1 |
| 9 | 付録1「100万kWのPWR(加圧水型原子炉)が内蔵する代表的核分裂生成物およびアクチニドの種類、質量、放射能量」その2 |
| 10 | 付録1「100万kWのPWR(加圧水型原子炉)が内蔵する代表的核分裂生成物およびアクチニドの種類、質量、放射能量」その3 |
| 11 | 福島第一原子力発電所1～3号機から大気中へ放出された放射性物質の量(単位Bq) |
| 12 | 福島第一原発事故直後の1号機、2号機、3号機原子炉内における核分裂生成物の放射能、質量などの基本情報は原子力研究開発機構発行の「JAEA-DaTa/Code 福島第一原発発電所の燃料組成評価」で公表されていた。 |
| 13 | 福島原発事故・核分裂停止後の1号機(1日後)、2号機(3日後)、3号機(3日後)の炉心部に堆積していた放射性テルル(Te-127,Te-127m,Te-129,Te-129m,Te-131,Te-131m,Te-132)、安定テルル(Te-128,Te-130)、放射性ヨウ素(I-129,I-131,I-132,I-133)、放射性セシウム(Cs-134,Cs-137)の①半減期、②放射能(Bq)と③質量(g)及び⑤放射能毒と化学毒の分類 |
| 14 | 核分裂生成物の「①毒 ②化学毒 ③放射毒」とは |
| 15 | 放射能毒(α線、β線)によるDNA損傷と発がんの仕組み |
| 16 | 表7 ORIGEN 2に組み込まれている元素の化学毒性:その1(単位は水中の最大許容濃度:g/m ³) |
| 17 | 表8 ORIGEN 2に組み込まれている元素の化学毒性その2(単位は水中の最大許容濃度:g/m ³) |
| 18 | 表9 広島衛研ニュースで紹介されていた「有害金属(テルル、ウランなど)の急性毒性:LD ₅₀ の毒性評価表」 |
| 19 | テルル化合物の化学毒性総括表 |

核分裂により放射毒物と化学毒物は同時生成される

(1) U-235, Pu-239など原爆、原発の核燃料に、熱中性子、速中性子などを当てて、どのような核分裂核種がどれくらいの収率 (%) でできるかを、核開発をリードしてきたアメリカなどの研究所において実験がなされてきた。

(2) それらの実験データによると、核分裂後に生成される核種は質量数が72~162まで分布し、U-235は質量数の真ん中 (117, 118) で二つに割れるのではなく、95を一つのピーク、135を二つ目のピークとするグループに分かれることがわかってきた。

(3) 原爆を製造研究してきたアメリカのロス・アラモス国立研究所の T.R.England and B.f.Rider は「Evaluation and Compilation of Fission Product Yield, LA-UR-94-3106(1993)」を公表している。この実験データでは、Th-232, U-235, U-238, Pu-239 どの核燃料に熱中性子、速中性子 (14MeV) を当てて、生成核種の収率 (%) を測定している。

(4) 図1にU-235(熱中性子)、U-235(14MeV)、Pu-239(速中性子) の核分裂収率 (%) を示す。グラフ下部表記の核種の累積核分裂収率 (200%に規格化) した収率である。中性子の種類は①熱中性子 (U-235を使用した原発モデル)、②14 MeV (U-235を使用した広島原爆リトル・ボーイのモデル)、③Pu-239の速中性子 (Pu-239を使用した長崎原爆ファトマンのモデル) である

(5) 3種類の核分裂収率を見ると、おおむね質量数が95と135の場所にピークがあり、中間の120あたりに谷がある傾向は共通していることがわから。原爆、原発では生成核種ごとの収率の違いは多少あるが、生成させる核種 (質量数) そのものは、大きな差はない。すなわち、原爆でも原発でも、初期原爆症を発生させるテルル同位体、ヨウ素同位体、セシウム同位体は135のピーク質量に近く、比較的高い収率で生成されることがわかる。

図1 U-235(熱中性子)、U-235(14MeV)、Pu-239(速中性子)の核分裂収率(%)

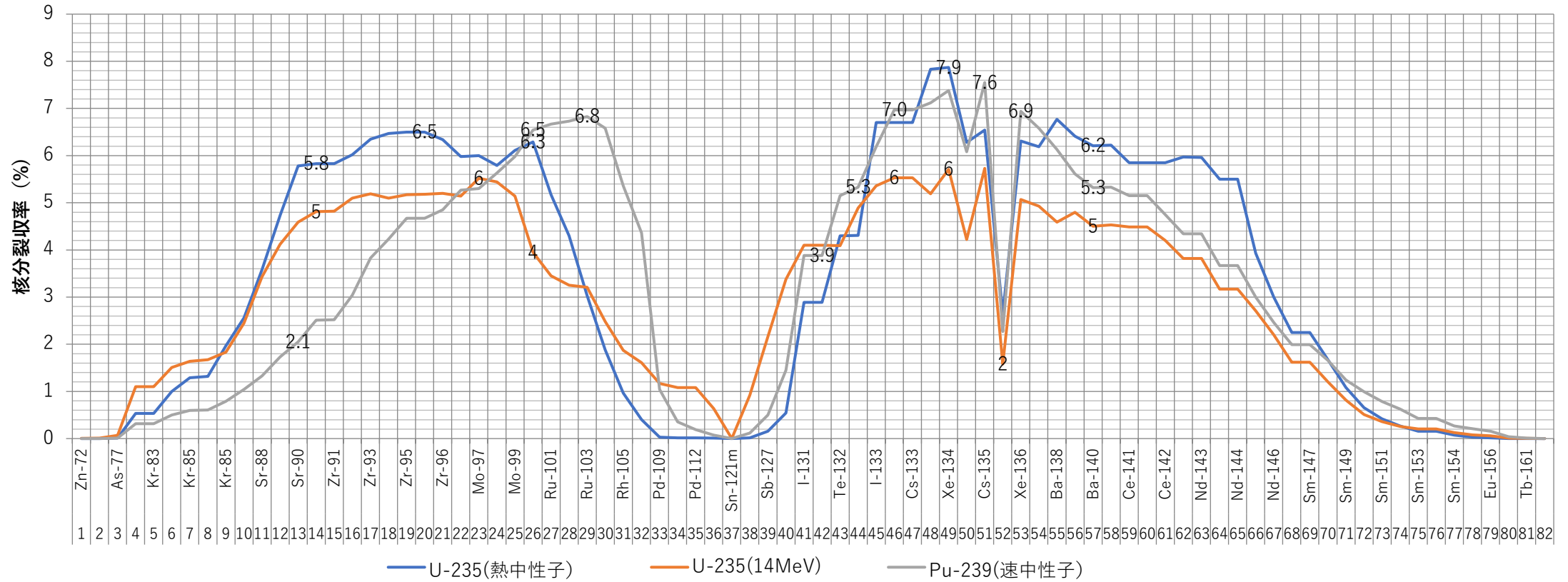
注1: グラフ下部表記の核種の累積核分裂収率(200%に規格化)した収率

注2: 中性子の種類は①熱中性子(U-235使用原発モデル)、②14MeV(広島原爆モデル)、③Pu-239の速中性子(長崎原爆モデル)

図1 U-235(熱中性子)、U-235(14MeV)、Pu-239(速中性子)の核分裂収率(%)

注1: グラフ下部表記の核種の累積核分裂収率(200%に規格化)した収率

注2: 中性子の種類は①熱中性子(U-235使用原発モデル)、②14MeV(広島原爆モデル)、③Pu-239の速中性子(長崎原爆モデル)



核分裂による生成核種: 記号後の数値は質量数すなわち(中性子数+陽子数)

原発核燃料の核分裂生成物に関する基本情報はORIGEN（オークリッジ研究所が公表している核分裂による同位体生成と減衰に関するコード）により算定されてきた

- ①ORIGEN（THE ORNL ISOTOPE GENERATION AND DEPLETION CODE）は、放射性物質の生成、壊変、減損について計算を行うためのコードシステムである。
- ②主に原子炉を対象とし、中性子照射や核分裂による放射性核種の生成と、その後の壊変の過程を連立1次方程式体系で表し、行列指数法でその数値解を求める。
- ③米国立オークリッジ研究所（ORNL）が1973年5月に「ORIGEN-THE ORNL ISOTOPE GENERATION AND DEPLETION CODE」の題名で初版ORIGEN 1を公表した。
- ④ORIGEN2は1980年7月に「ORIGEN2-A Revised and Updated Version of the Oak Ridge Isotope Generation and Depletion Code」という題名で公表され、ORIGEN①の改良版で、原子炉モデル、断面積、核分裂生成物の生成量、壊変データ等が更新された。
- ⑤その後、1991年年にはORIGEN2.1が公表され、項燃焼度のPWR（加圧水型原子炉）とBWR（沸騰水型原子炉）を対象とするデータライブラリーが追加された。
- ⑥2002年には、ORIGEN2.2が公表され、炉内の中性子照射時間ステップを小刻みにする等の改良によって、核分裂生成量の誤差が少なくなった。
- ⑦日本では、元東電福島第一原発所長の二見常夫氏が「原子力春伝書の事故トラブル 分析と教訓（丸善出版：2012年5月30日発行）」の付録1において、ORIGEN2.2のデータコードから「100万kWのPERが内蔵する代表的核分裂生成物およびアクチノイド種類、質量、放射エネルギー」を算定して公表した。
- ⑧2011年9月には、日本原子力研究開発機構の西原健司氏らにより「JAEA-DaTa/Code 福島第一原発発電所の燃料組成評価」が公表された。ORIGEN 2 コードから、福島第一原発事故直後の1号機、2号機、3号機原子炉内における核分裂生成物の放射能、質量などの基本情報が算定された。

左映像：ORIGEN1の表紙の題名(オークリッジ研究所・同位体生成と減衰のコード)

右映像：ORIGEN 2 の表紙の題名（改編と更新版）

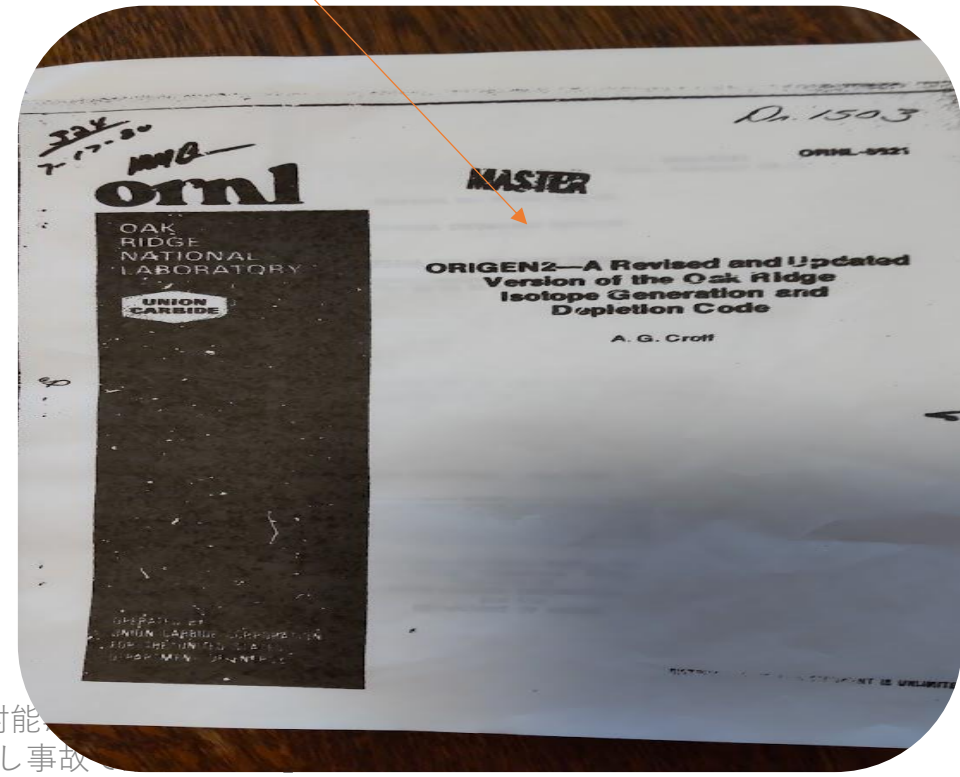
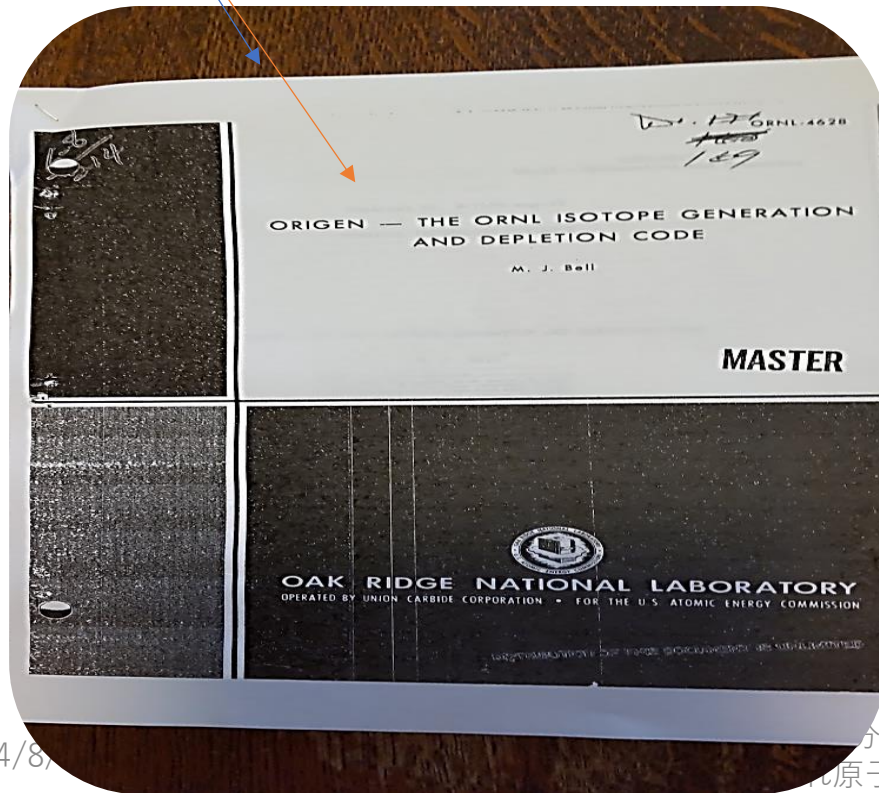


表1 ORIGEN-2における出力情報と単位の記述表

| 番号 | 表の記述項目 | 単位 1 | 単位 2 | 毒性単位の備考 |
|----|--|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | Isotopic composition of each element(各元素の同位体構造) | atom fraction(原子の分率) | weight fraction(質量分率) | |
| 2 | Composition(構造) | g -atom(g-原子) | atom fraction(原子分率) | |
| 3 | Radioactivity, total(放射能,全体) | Ci (キュリー) $Ci=3.7 \times 10^{10} Bq$ | fractional(濃度、分率) | 放射能単位はBqで表示される |
| 4 | Thermal Power (熱出力) | watts(ワット) | fractional(濃度、分率) | |
| 5 | Radioactive inhalation toxicity(放射能吸引摂取毒性) | m ³ air(立法メートル、空気) | fractional(濃度、分率) | 放射能濃度で表示される |
| 6 | Radioactive ingestion toxicity(放射能経口摂取毒性) | m ³ water(立法メートル、水) | fractional(濃度、分率) | 放射能濃度で表示される |
| 7 | Chemical ingestion toxicity(化学的経口摂取毒性) | m ³ water(立法メートル、水) | g /m ³ (水中最大許容濃度) | 化学毒性単位は質量濃度(g/m ³)で表示される |
| 8 | Neutron-absorption rate (中性子吸収速度) | neutrons/s(中性子/秒) | fractional(濃度、分率) | |
| 9 | Neutron-induced fission rate (中性子照射による核分裂速度) | fission/s(核分裂/秒) | fractional(濃度、分率) | |
| 10 | Radioactivity, α (放射能、 α 線) | Ci (キュリー) $Ci=3.7 \times 10^{10} Bq$ | fractional(濃度、分率) | 放射能単位はBqで表示される |
| 11 | (α, n)neutron production (中性子生成量) | neutrons/s(中性子/秒) | | |
| 12 | Spontaneous fission neutron production(自発的な核分裂時中性子の生成速度) | neutrons/s(中性子/秒) | | |
| 13 | Photon emission rate(光子放出速度) | photns/s(光子/秒) | Mev/s(メガ電子ボルト/秒) | |

元東京電力福島原発省であった二見常夫氏は「原子力発電所の事故・トラブル分析と教訓（丸善出版）」において「100万kWのPWRが内蔵する主な核分裂生成物およびアクチニドの種類、質量、放射能量」をORIGEN2.2から算定した。

左図：「原子力発電所の事故・トラブル分析と教訓（丸善出版）」の表紙

右表：「100万kWのPWRが内蔵する主な核分裂生成物およびアクチニドの種類、質量、放射能量」の総括表

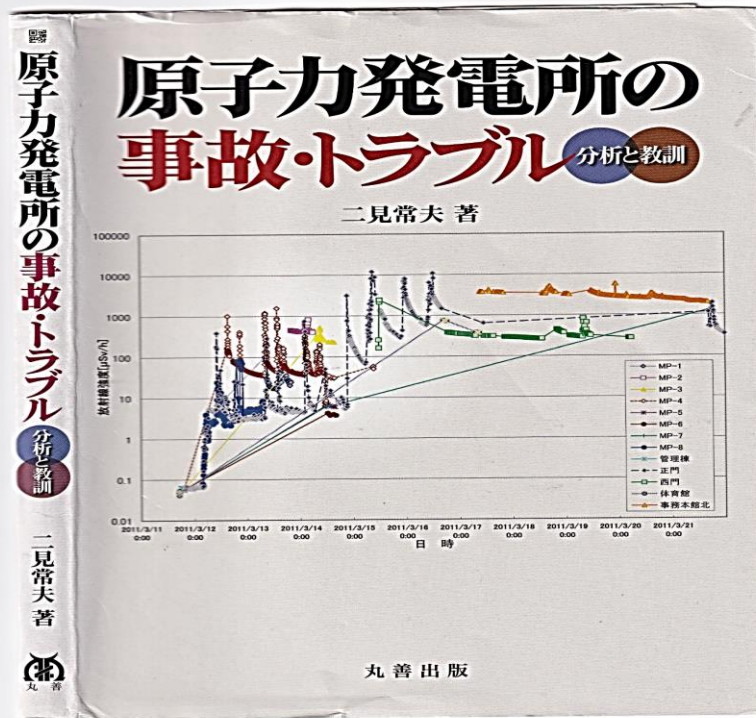


表 2.1 100万kWのPWRが内蔵する主な核分裂生成物およびアクチニドの種類、質量、放射能量
3,000 MWt, 炉心平均燃焼度 30,000 MWd/t

| グループ | 核分裂生成物・アクチニド | 合計質量 [kg] | 放射能量 [Bq] |
|------|-----------------------------------|-----------|-----------------------|
| 1 | Xe, Kr | 380.2 | 4.44×10^{19} |
| 2 | I, Br | 16.1 | 4.41×10^{19} |
| 3 | Cs, Rb | 231.9 | 4.61×10^{19} |
| 4 | Te, Sb, Se | 35.8 | 4.00×10^{19} |
| 5 | Sr | 73.4 | 3.08×10^{19} |
| 6 | Ru, Rh, Pd, Mo, Tc | 507.9 | 8.11×10^{19} |
| 7 | La, Zr, Nd, Eu, Nb, Pm, Pr, Sm, Y | 783.2 | 1.78×10^{20} |
| 8 | Ce, Pu, Np | 785.4 | 7.30×10^{19} |
| 9 | Ba | 96.2 | 3.09×10^{19} |

計算条件
 計算コード ORIGEN 2.2
 炉型 PWR
 熱出力 3,000 MW
 ウラン装荷量 75 t
 燃料濃縮度 4.7%
 比出力 40 MW/t (金属ウラン 1 tあたりの発熱量)
 燃料交換割合 1/3
 取出し燃焼度 45,000 MWd/t (原子炉から取り出されるまでの金属ウラン 1 tあたりの全発熱量)
 核分裂生成物ごとの値は付録 1 参照。ただしグループ分けは異なる。

付録1 「100万kWのPWR（加圧水型原子炉）が内蔵する代表的核分裂生成物およびアクチニドの種類、質量、放射エネルギー」その1

注：テルル同位体についてはTe-127～Te-135まで13種類が算定されているが、このうちTe-128とTe-130は放射能はゼロであるがLD₅₀で高度化学毒性を有して質量は6.15kgと24.7kgであり放射性テルルであるTe-132の質量0.37kgに比べて二けた大きな質量である。

付録 1 100 万 kW の PWR が内蔵する代表的核分裂生成物およびアクチニドの種類、質量、放射エネルギー

3,000 MWt-PWR, 炉心平均燃焼度 30,000 MWd/t-HM

| グループ | 放射性核種 | 放射エネルギー[Bq] | 質量[kg] | グループ | 放射性核種 | 放射エネルギー[Bq] | 質量[kg] | |
|-------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------|
| 1 | 希ガス | 4.38309 × 10 ¹⁹ | 379.8 | 4 | ⁹⁰ Rb | 3.00810 × 10 ¹⁸ | 0.00010 | |
| | ⁸³ Kr | 0 | 3.54450 | | ^{90m} Rb | 9.06038 × 10 ¹⁷ | 0.00005 | |
| | ^{83m} Kr | 3.96548 × 10 ¹⁷ | 0.00052 | | ⁹¹ Rb | 3.83505 × 10 ¹⁸ | 0.00005 | |
| | ⁸⁴ Kr | 0 | 7.76250 | | ¹³³ Cs | 0 | 81.30000 | |
| | ⁸⁵ Kr | 3.72683 × 10 ¹⁶ | 2.56650 | | ¹³⁴ Cs | 2.83328 × 10 ¹⁷ | 5.91675 | |
| | ^{85m} Kr | 1.20380 × 10 ¹⁸ | 0.00395 | | ¹³⁵ Cs | 1.32451 × 10 ¹² | 31.07250 | |
| | ⁸⁶ Kr | 0 | 16.64250 | | ¹³⁷ Cs | 2.72644 × 10 ¹⁷ | 84.67500 | |
| | ⁸⁷ Kr | 1.68248 × 10 ¹⁸ | 0.00161 | | ¹³⁸ Cs | 5.75813 × 10 ¹⁸ | 0.00368 | |
| | ⁸⁸ Kr | 2.35154 × 10 ¹⁸ | 0.00506 | | ¹³⁹ Cs | 5.42235 × 10 ¹⁸ | 0.00102 | |
| | ⁸⁹ Kr | 2.97203 × 10 ¹⁸ | 0.00012 | | ¹⁴⁰ Cs | 4.78688 × 10 ¹⁸ | 0.00010 | |
| | ⁹⁰ Kr | 3.24675 × 10 ¹⁸ | 0.00002 | | ¹⁴¹ Cs | 3.69075 × 10 ¹⁸ | 0.00003 | |
| | ¹³¹ Xe | 0 | 31.72500 | | テルル-アンチモン | ¹²⁷ Te | 3.46474 × 10 ¹⁹ | 31.5 |
| | ¹³² Xe | 0 | 68.04000 | | | ^{127m} Te | 2.20169 × 10 ¹⁷ | 0.00225 |
| | ¹³³ Xe | 6.02175 × 10 ¹⁸ | 0.86925 | | | ^{128m} Te | 1.69719 × 10 ¹⁶ | 0.04862 |
| | ¹³⁴ Xe | 0 | 103.20000 | | | ¹²⁸ Te | 0 | 6.15450 |
| | ¹³⁵ Xe | 1.92113 × 10 ¹⁸ | 0.02032 | | | ¹²⁹ Te | 8.68853 × 10 ¹⁷ | 0.00112 |
| | ^{135m} Xe | 1.23349 × 10 ¹⁸ | 0.00037 | | | ^{129m} Te | 1.22156 × 10 ¹⁷ | 0.10958 |
| | ¹³⁶ Xe | 0 | 145.42500 | | | ¹³⁰ Te | 0 | 24.77250 |
| | ¹³⁷ Xe | 5.55278 × 10 ¹⁸ | 0.00042 | | | ¹³¹ Te | 2.49750 × 10 ¹⁸ | 0.00118 |
| | ¹³⁸ Xe | 5.36685 × 10 ¹⁸ | 0.00151 | | | ^{131m} Te | 5.55833 × 10 ¹⁷ | 0.01883 |
| ¹³⁹ Xe | 4.05705 × 10 ¹⁸ | 0.00005 | ¹³² Te | 4.21800 × 10 ¹⁸ | | 0.37545 | | |
| 2 | ヨウ素 | 3.56038 × 10 ¹⁹ | 14.6 | ¹³³ Te | | 3.33278 × 10 ¹⁸ | 0.00079 | |
| | ¹²⁷ I | 0 | 2.40750 | ^{133m} Te | | 2.65706 × 10 ¹⁸ | 0.00281 | |
| | ¹²⁹ I | 7.40925 × 10 ¹⁰ | 11.34000 | ¹³⁴ Te | | 5.54445 × 10 ¹⁸ | 0.00446 | |
| | ¹³¹ I | 2.93318 × 10 ¹⁸ | 0.63945 | ¹³⁵ Te | 2.92485 × 10 ¹⁸ | 0.00002 | | |
| | ¹³² I | 4.29015 × 10 ¹⁸ | 0.01123 | ¹²⁹ Sb | 2.36347 × 10 ¹⁷ | 0.02390 | | |
| | ¹³³ I | 6.12998 × 10 ¹⁸ | 0.14618 | ^{129m} Sb | 8.98545 × 10 ¹⁷ | 0.00432 | | |
| | ¹³⁴ I | 6.83205 × 10 ¹⁸ | 0.00692 | ^{130m} Sb | 1.30675 × 10 ¹⁸ | 0.00015 | | |
| | ^{134m} I | 5.56665 × 10 ¹⁷ | 0.00004 | ¹³¹ Sb | 2.37457 × 10 ¹⁸ | 0.00103 | | |
| | ¹³⁵ I | 5.80253 × 10 ¹⁸ | 0.04464 | ¹³² Sb | 1.80042 × 10 ¹⁸ | 0.00010 | | |
| | ¹³⁶ I | 2.10983 × 10 ¹⁸ | 0.00006 | ^{132m} Sb | 8.87445 × 10 ¹⁷ | 0.00007 | | |
| 3 | アルカリ金属 | 4.49141 × 10 ¹⁹ | 231.8 | 5 | アルカリ土類金属 | 6.10227 × 10 ¹⁹ | 163.8 | |
| | ⁸⁵ Rb | 0 | 10.26000 | | ⁸⁸ Sr | 0 | 26.74500 | |
| | ⁸⁶ Rb | 7.20113 × 10 ¹⁵ | 0.00239 | | ⁸⁹ Sr | 3.34110 × 10 ¹⁸ | 3.10650 | |
| | ⁸⁷ Rb | 6.02453 × 10 ⁷ | 18.60000 | | ⁹⁰ Sr | 2.19725 × 10 ¹⁷ | 43.52250 | |
| | | | | | ⁹¹ Sr | 4.07093 × 10 ¹⁸ | 0.03034 | |

付録1 「100万kWのPWR（加圧水型原子炉）が内蔵する代表的核分裂生成物およびアクチニドの種類、質量、放射エネルギー」その2
 注： LD₅₀で中度毒性を有するBa-138は質量が90kg, Mo-100は63kgと大量に蓄積している。

222 100万kWのPWRが内蔵する代表的核分裂生成物およびアクチニドの種類、質量、放射エネルギー

| グループ | 放射性核種 | 放射エネルギー[Bq] | 質量[kg] | グループ | 放射性核種 | 放射エネルギー[Bq] | 質量[kg] |
|------|--------------------|----------------------------|----------|------|-------------------|----------------------------|----------|
| | ⁹⁴ Sr | 4.61760 × 10 ¹⁸ | 0.00008 | | ^{99m} Tc | 4.80075 × 10 ¹⁸ | 0.02467 |
| | ⁹⁵ Sr | 4.16528 × 10 ¹⁸ | 0.00002 | | ¹⁰¹ Tc | 4.98945 × 10 ¹⁸ | 0.00103 |
| | ¹³⁴ Ba | 0 | 1.36425 | | ¹⁰³ Tc | 4.21245 × 10 ¹⁸ | 0.00005 |
| | ¹³⁷ Ba | 0 | 2.04000 | | ¹⁰⁴ Tc | 3.29393 × 10 ¹⁸ | 0.00090 |
| | ¹³⁸ Ba | 0 | 89.92500 | | ¹⁰⁵ Tc | 2.56993 × 10 ¹⁸ | 0.00031 |
| | ¹³⁹ Ba | 5.53890 × 10 ¹⁸ | 0.00915 | | ¹⁰⁶ Tc | 1.73909 × 10 ¹⁸ | 0.00002 |
| | ¹⁴⁰ Ba | 5.46675 × 10 ¹⁸ | 2.02575 | 7 | 希土類 | 1.21955 × 10 ²⁰ | 717.4 |
| | ¹⁴¹ Ba | 5.01165 × 10 ¹⁸ | 0.00185 | | ⁸⁹ Y | 0 | 32.99250 |
| | ¹⁴² Ba | 4.78133 × 10 ¹⁸ | 0.00104 | | ⁹⁰ Y | 2.26412 × 10 ¹⁷ | 0.01124 |
| | ¹⁴³ Ba | 4.18193 × 10 ¹⁸ | 0.00002 | | ⁹¹ Y | 4.24853 × 10 ¹⁸ | 4.68000 |
| 6 | 貴金属 | 7.99574 × 10 ¹⁹ | 511.9 | | ^{91m} Y | 2.36180 × 10 ¹⁸ | 0.00154 |
| | ¹⁰⁰ Ru | 0 | 3.96375 | | ⁹² Y | 4.28738 × 10 ¹⁸ | 0.01204 |
| | ¹⁰¹ Ru | 0 | 52.37250 | | ⁹³ Y | 4.80908 × 10 ¹⁸ | 0.03894 |
| | ¹⁰² Ru | 0 | 49.28250 | | ⁹⁴ Y | 4.96725 × 10 ¹⁸ | 0.00128 |
| | ¹⁰³ Ru | 4.19580 × 10 ¹⁸ | 3.51150 | | ⁹⁵ Y | 5.15318 × 10 ¹⁸ | 0.00074 |
| | ¹⁰⁴ Ru | 0 | 30.07500 | | ⁹⁶ Y | 4.90898 × 10 ¹⁸ | 0.00016 |
| | ¹⁰⁵ Ru | 2.59712 × 10 ¹⁸ | 0.01043 | | ¹³⁹ La | 0 | 85.50000 |
| | ¹⁰⁶ Ru | 1.06616 × 10 ¹⁸ | 8.61000 | | ¹⁴⁰ La | 5.61938 × 10 ¹⁸ | 0.27278 |
| | ¹⁰⁷ Ru | 1.36863 × 10 ¹⁸ | 0.00009 | | ¹⁴¹ La | 5.05050 × 10 ¹⁸ | 0.02413 |
| | ¹⁰⁸ Ru | 8.56920 × 10 ¹⁷ | 0.00006 | | ¹⁴² La | 4.93395 × 10 ¹⁸ | 0.00933 |
| | ¹⁰³ Rh | 0 | 28.84500 | | ¹⁴³ La | 4.76745 × 10 ¹⁸ | 0.00137 |
| | ^{103m} Rh | 3.77955 × 10 ¹⁸ | 0.00314 | | ¹⁴⁴ La | 4.25130 × 10 ¹⁸ | 0.00006 |
| | ¹⁰⁵ Rh | 2.43090 × 10 ¹⁸ | 0.07778 | | ¹⁴⁵ La | 2.92485 × 10 ¹⁸ | 0.00003 |
| | ¹⁰⁷ Rh | 1.37168 × 10 ¹⁸ | 0.00046 | | ¹⁴⁰ Ce | 0 | 86.10000 |
| | ¹⁰⁹ Rh | 6.99300 × 10 ¹⁷ | 0.00002 | | ¹⁴¹ Ce | 5.06438 × 10 ¹⁸ | 4.80300 |
| | ¹⁰⁴ Pd | 0 | 8.63250 | | ¹⁴² Ce | 7.10123 × 10 ⁷ | 79.95000 |
| | ¹⁰⁵ Pd | 0 | 19.81500 | | ¹⁴³ Ce | 4.80075 × 10 ¹⁸ | 0.19530 |
| | ¹⁰⁶ Pd | 0 | 7.47975 | | ¹⁴⁵ Ce | 3.85725 × 10 ¹⁸ | 32.66250 |
| | ¹⁰⁷ Pd | 1.79265 × 10 ¹¹ | 9.42000 | | ¹⁴⁶ Ce | 3.24120 × 10 ¹⁸ | 0.00020 |
| | ¹⁰⁸ Pd | 0 | 5.99625 | | ¹⁴⁷ Ce | 2.54246 × 10 ¹⁸ | 0.00076 |
| | ¹⁰⁹ Pd | 7.69230 × 10 ¹⁷ | 0.00974 | | ¹⁴⁸ Ce | 1.89366 × 10 ¹⁸ | 0.00005 |
| | ¹¹⁰ Pd | 0 | 1.86075 | | ¹⁴⁹ Ce | 1.34227 × 10 ¹⁸ | 0.00002 |
| | ¹⁰⁹ Ag | 0 | 4.00200 | | ¹⁴¹ Pr | 0 | 73.29000 |
| | ⁹⁵ Mo | 0 | 45.37500 | | ¹⁴³ Pr | 4.70640 × 10 ¹⁸ | 1.88850 |
| | ⁹⁶ Mo | 0 | 1.52025 | | ¹⁴⁴ Pr | 3.87945 × 10 ¹⁸ | 0.00139 |
| | ⁹⁷ Mo | 0 | 55.04250 | | ¹⁴⁵ Pr | 3.24398 × 10 ¹⁸ | 0.02426 |
| | ⁹⁸ Mo | 0 | 57.06750 | | ¹⁴⁶ Pr | 2.55966 × 10 ¹⁸ | 0.00130 |
| | ⁹⁹ Mo | 5.48340 × 10 ¹⁸ | 0.30893 | | ¹⁴⁷ Pr | 1.98496 × 10 ¹⁸ | 0.00050 |
| | ¹⁰⁰ Mo | 0 | 63.36000 | | ¹⁴⁸ Pr | 1.53291 × 10 ¹⁸ | 0.00007 |
| | ¹⁰¹ Mo | 4.98668 × 10 ¹⁸ | 0.00106 | | ¹⁴⁹ Pr | 1.02703 × 10 ¹⁸ | 0.00005 |
| | ¹⁰² Mo | 4.57598 × 10 ¹⁸ | 0.00074 | | ¹⁴³ Nd | 0 | 64.56750 |
| | ¹⁰³ Mo | 4.13753 × 10 ¹⁸ | 0.00006 | | ¹⁴⁴ Nd | 2.29520 × 10 ³ | 52.41750 |
| | ¹⁰⁴ Mo | 3.14685 × 10 ¹⁸ | 0.00008 | | ¹⁴⁵ Nd | 0 | 50.22000 |
| | ¹⁰⁵ Mo | 2.18726 × 10 ¹⁸ | 0.00003 | | ¹⁴⁶ Nd | 0 | 45.42750 |
| | ⁹⁹ Tc | 3.46320 × 10 ¹³ | 55.18500 | | ¹⁴⁷ Nd | 1.98413 × 10 ¹⁸ | 0.66743 |

付録1 「100万kWのPWR（加圧水型原子炉）が内蔵する代表的核分裂生成物およびアクチニドの種類、質量、放射エネルギー」その3
 注：LD₅₀で高度化学毒性を有するU-236は質量が363kg, Pu-239は347kg, Pu-240は129kgと大量に蓄積している。

100万kWのPWRが内蔵する代表的核分裂生成物およびアクチニドの種類、質量、放射エネルギー 223

| グループ | 放射性核種 | 放射エネルギー[Bq] | 質量[kg] | グループ | 放射性核種 | 放射エネルギー[Bq] | 質量[kg] | |
|------|-------------------|----------------------------|-----------|-------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|---------|
| | ¹⁴⁸ Nd | 0 | 25.17750 | | ^{244m} Am | 5.73870 × 10 ¹⁶ | 0.00005 | |
| | ¹⁴⁹ Nd | 1.08308 × 10 ¹⁸ | 0.00241 | | ²⁴² Cm | 4.19858 × 10 ¹⁶ | 0.34313 | |
| | ¹⁵⁰ Nd | 0 | 11.16750 | | ²⁴⁴ Cm | 8.34443 × 10 ¹⁴ | 0.27863 | |
| | ¹⁵¹ Nd | 5.26695 × 10 ¹⁷ | 0.00014 | 9 | 耐久酸化物 | 7.60075 × 10 ¹⁹ | 267.2 | |
| | ¹⁴⁷ Pm | 5.57498 × 10 ¹⁷ | 16.24500 | | ⁹⁰ Zr | 0 | 1.14750 | |
| | ¹⁴⁸ Pm | 7.05405 × 10 ¹⁷ | 0.11595 | | ⁹¹ Zr | 0 | 41.36250 | |
| | ¹⁴⁹ Pm | 1.38150 × 10 ¹⁸ | 0.09458 | | ⁹² Zr | 0 | 48.25500 | |
| | ¹⁵¹ Pm | 5.31135 × 10 ¹⁷ | 0.01963 | | ⁹³ Zr | 4.92840 × 10 ¹² | 52.99500 | |
| | ¹⁴⁷ Sm | 4.01265 × 10 ¹⁸ | 4.76850 | | ⁹⁴ Zr | 0 | 55.31250 | |
| | ¹⁴⁸ Sm | 8.35275 × 10 ¹⁷ | 7.47525 | | ⁹⁵ Zr | 5.37518 × 10 ¹⁸ | 6.75975 | |
| | ¹⁵⁰ Sm | 0 | 18.86250 | | ⁹⁶ Zr | 0 | 57.59250 | |
| | ¹⁵¹ Sm | 1.04340 × 10 ¹⁵ | 1.07175 | | ⁹⁷ Zr | 5.08380 × 10 ¹⁸ | 0.07186 | |
| | ¹⁵² Sm | 0 | 8.66250 | | ⁹⁸ Zr | 5.19203 × 10 ¹⁸ | 0.00004 | |
| | ¹⁵³ Sm | 8.89388 × 10 ¹⁷ | 0.05478 | | ⁹⁵ Nb | 5.40848 × 10 ¹⁸ | 3.73725 | |
| | ¹⁵⁴ Sm | 0 | 1.88250 | | ⁹⁷ Nb | 5.11155 × 10 ¹⁸ | 0.00514 | |
| | ¹⁵³ Eu | 0 | 5.91300 | | ^{97m} Nb | 4.81740 × 10 ¹⁸ | 0.00007 | |
| | ¹⁵⁶ Eu | 3.28005 × 10 ¹⁷ | 0.16080 | | ⁹⁹ Nb | 5.34188 × 10 ¹⁸ | 0.00002 | |
| 8 | ウラン+超ウラン | 9.96281 × 10 ¹⁹ | 947.6 | | 10 | その他 | 1.31399 × 10 ¹⁹ | 6.33 |
| | ²³⁶ U | 8.69963 × 10 ¹¹ | 363.30000 | | | ⁸⁰ Se | 0 | 1.02600 |
| | ²³⁷ U | 2.26440 × 10 ¹⁸ | 0.74948 | | | ⁸² Se | 0 | 2.47350 |
| | ²³⁸ U | 4.80075 × 10 ¹⁹ | 0.03881 | ⁸⁴ Se | | 6.72105 × 10 ¹⁷ | 0.00003 | |
| | ²³⁷ Np | 6.47130 × 10 ¹¹ | 24.80250 | ⁸⁵ Se | | 7.16783 × 10 ¹⁷ | 0.00001 | |
| | ²³⁸ Np | 6.15495 × 10 ¹⁷ | 0.06417 | ⁸¹ Br | | 0 | 1.52025 | |
| | ²³⁹ Np | 4.79520 × 10 ¹⁹ | 5.58600 | ⁸³ Br | | 3.96548 × 10 ¹⁷ | 0.00068 | |
| | ²⁴⁰ Np | 4.55933 × 10 ¹⁶ | 0.00010 | ⁸⁴ Br | | 6.85425 × 10 ¹⁷ | 0.00026 | |
| | ²³⁸ Pu | 2.97480 × 10 ¹⁵ | 4.69425 | ⁸⁵ Br | | 1.20213 × 10 ¹⁸ | 0.00004 | |
| | ²³⁹ Pu | 7.98923 × 10 ¹⁴ | 347.25000 | ⁸⁷ Br | | 1.36280 × 10 ¹⁸ | 0.00002 | |
| | ²⁴⁰ Pu | 1.09141 × 10 ¹⁵ | 129.37500 | ¹²⁶ Sn | | 1.37945 × 10 ¹² | 1.31325 | |
| | ²⁴¹ Pu | 2.16700 × 10 ¹⁷ | 56.82750 | ¹³⁰ Sn | | 1.03258 × 10 ¹⁸ | 0.00007 | |
| | ²⁴² Pu | 1.84427 × 10 ¹² | 13.05000 | ¹³¹ Sn | | 8.56643 × 10 ¹⁷ | 0.00002 | |
| | ²⁴³ Pu | 3.04418 × 10 ¹⁷ | 0.00316 | ¹³² Sn | | 6.35753 × 10 ¹⁷ | 0.00001 | |
| | ²⁴¹ Am | 1.60423 × 10 ¹⁴ | 1.26300 | | | | | |
| | ²⁴² Am | 1.02092 × 10 ¹⁷ | 0.00341 | 計 | | | 6.10708 × 10 ²⁰ | 3,277.0 |
| | ²⁴⁴ Am | 3.01088 × 10 ¹⁵ | 0.00006 | | | | | |

注) 質量の残りはおもに ²³⁵U および ²³⁸U, ORIGIN 2.2 は核分裂収率が多少多めに計算される。

計算条件
 計算コード ORIGIN 2.2, JENOL 3.2 (核データ)
 炉型 PWR
 熱出力 3,000 MW
 ウラン装荷量 75 t
 燃料濃縮度 4.7%
 比出力 40 MW/t (金属ウラン 1 t あたりの発熱量)
 燃料交換割合 1/3
 取出し燃焼度 45,000 MWd/t (原子炉から取り出されるまでの金属ウラン 1 t あたりの全発熱量)

福島第一原子力発電所 1～3号機から大気中へ放出された放射性物質の量 (単位Bq)

注: Te-127m, Te-129m, Te-132, Te-133, I-131, I-132, I-133, Cs-134, Cs-137等の放出放射エネルギーが算定されている

出典: 原子力安全・保安院「東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故に係る1号機、2号機、3号機の炉心の状態に関する評価について」より

表 3.4 福島第一原子力発電所 1～3号機から大気中へ放出された放射性物質の量 (単位 Bq)

| 核種 | 半減期 | 1号機 | 2号機 | 3号機 | 合計 |
|--------------------|----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| ¹³³ Xe | 5.2 d | 3.4 × 10 ¹⁸ | 3.5 × 10 ¹⁸ | 4.4 × 10 ¹⁸ | 1.1 × 10 ¹⁹ |
| ¹³⁴ Cs | 2.1 y | 7.1 × 10 ¹⁴ | 1.6 × 10 ¹⁶ | 8.2 × 10 ¹⁴ | 1.8 × 10 ¹⁶ |
| ¹³⁷ Cs | 30.0 y | 5.9 × 10 ¹⁴ | 1.4 × 10 ¹⁶ | 7.1 × 10 ¹⁴ | 1.5 × 10 ¹⁶ |
| ⁸⁹ Sr | 50.5 d | 8.2 × 10 ¹³ | 6.8 × 10 ¹⁴ | 1.2 × 10 ¹⁵ | 2.0 × 10 ¹⁵ |
| ⁹⁰ Sr | 29.1 y | 6.1 × 10 ¹² | 4.8 × 10 ¹³ | 8.5 × 10 ¹³ | 1.4 × 10 ¹⁴ |
| ¹⁴⁰ Ba | 12.7 y | 1.3 × 10 ¹⁴ | 1.1 × 10 ¹⁵ | 1.9 × 10 ¹⁵ | 3.2 × 10 ¹⁵ |
| ^{127m} Te | 109.0 d | 2.5 × 10 ¹⁴ | 7.7 × 10 ¹⁴ | 6.9 × 10 ¹³ | 1.1 × 10 ¹⁵ |
| ^{129m} Te | 33.6 d | 7.2 × 10 ¹⁴ | 2.4 × 10 ¹⁵ | 2.1 × 10 ¹⁴ | 3.3 × 10 ¹⁵ |
| ^{131m} Te | 30.0 h | 2.2 × 10 ¹⁵ | 2.3 × 10 ¹⁵ | 4.5 × 10 ¹⁴ | 5.0 × 10 ¹⁵ |
| ¹³² Te | 78.2 h | 2.5 × 10 ¹⁶ | 5.7 × 10 ¹⁶ | 6.4 × 10 ¹⁵ | 8.8 × 10 ¹⁶ |
| ¹⁰³ Ru | 39.3 d | 2.5 × 10 ⁹ | 1.8 × 10 ⁹ | 3.2 × 10 ⁹ | 7.5 × 10 ⁹ |
| ¹⁰⁶ Ru | 368.2 d | 7.4 × 10 ⁸ | 5.1 × 10 ⁸ | 8.9 × 10 ⁸ | 2.1 × 10 ⁹ |
| ⁹⁵ Zr | 64.0 d | 4.6 × 10 ¹¹ | 1.6 × 10 ¹³ | 2.2 × 10 ¹¹ | 1.7 × 10 ¹³ |
| ¹⁴¹ Ce | 32.5 d | 4.6 × 10 ¹¹ | 1.7 × 10 ¹³ | 2.2 × 10 ¹¹ | 1.8 × 10 ¹³ |
| ¹⁴⁴ Ce | 284.3 d | 3.1 × 10 ¹¹ | 1.1 × 10 ¹³ | 1.4 × 10 ¹¹ | 1.1 × 10 ¹³ |
| ²³⁹ Np | 2.4 d | 3.7 × 10 ¹² | 7.1 × 10 ¹³ | 1.4 × 10 ¹² | 7.6 × 10 ¹³ |
| ²³⁸ Pu | 87.7 y | 5.8 × 10 ⁸ | 1.8 × 10 ¹⁰ | 2.5 × 10 ⁸ | 1.9 × 10 ¹⁰ |
| ²³⁹ Pu | 24,065 y | 8.6 × 10 ⁷ | 3.1 × 10 ⁹ | 4.0 × 10 ⁷ | 3.2 × 10 ⁹ |
| ²⁴⁰ Pu | 6,537 y | 8.8 × 10 ⁷ | 3.0 × 10 ⁹ | 4.0 × 10 ⁷ | 3.2 × 10 ⁹ |
| ²⁴¹ Pu | 14.4 y | 3.5 × 10 ¹⁰ | 1.2 × 10 ¹² | 1.6 × 10 ¹⁰ | 1.2 × 10 ¹² |
| ⁹¹ Y | 58.5 d | 3.1 × 10 ¹¹ | 2.7 × 10 ¹² | 4.4 × 10 ¹¹ | 3.4 × 10 ¹² |
| ¹⁴³ Pr | 13.6 d | 3.6 × 10 ¹¹ | 3.2 × 10 ¹² | 5.2 × 10 ¹¹ | 4.1 × 10 ¹² |
| ¹⁴⁷ Nd | 11.0 d | 1.5 × 10 ¹¹ | 1.3 × 10 ¹² | 2.2 × 10 ¹¹ | 1.6 × 10 ¹² |
| ²⁴² Cm | 162.8 d | 1.1 × 10 ¹⁰ | 7.7 × 10 ¹⁰ | 1.4 × 10 ¹⁰ | 1.0 × 10 ¹¹ |
| ¹³¹ I | 8.0 d | 1.2 × 10 ¹⁶ | 1.4 × 10 ¹⁷ | 7.0 × 10 ¹⁵ | 1.6 × 10 ¹⁷ |
| ¹³² I | 2.3 h | 1.3 × 10 ¹³ | 6.7 × 10 ¹⁶ | 3.7 × 10 ¹⁰ | 1.3 × 10 ¹³ |
| ¹³³ I | 20.8 h | 1.2 × 10 ¹⁶ | 2.6 × 10 ¹⁶ | 4.2 × 10 ¹⁵ | 4.2 × 10 ¹⁶ |
| ¹³⁵ I | 6.6 h | 2.0 × 10 ¹⁵ | 7.4 × 10 ¹³ | 1.9 × 10 ¹⁴ | 2.3 × 10 ¹⁵ |
| ¹²⁷ Sb | 3.9 d | 1.7 × 10 ¹⁵ | 4.2 × 10 ¹⁵ | 4.5 × 10 ¹⁴ | 6.4 × 10 ¹⁵ |
| ¹²⁹ Sb | 4.4 h | 1.4 × 10 ¹⁴ | 5.6 × 10 ¹⁰ | 2.3 × 10 ¹² | 1.4 × 10 ¹⁴ |
| ⁹⁹ Mo | 66.0 h | 2.6 × 10 ⁹ | 1.2 × 10 ⁹ | 2.9 × 10 ⁹ | 6.7 × 10 ⁹ |

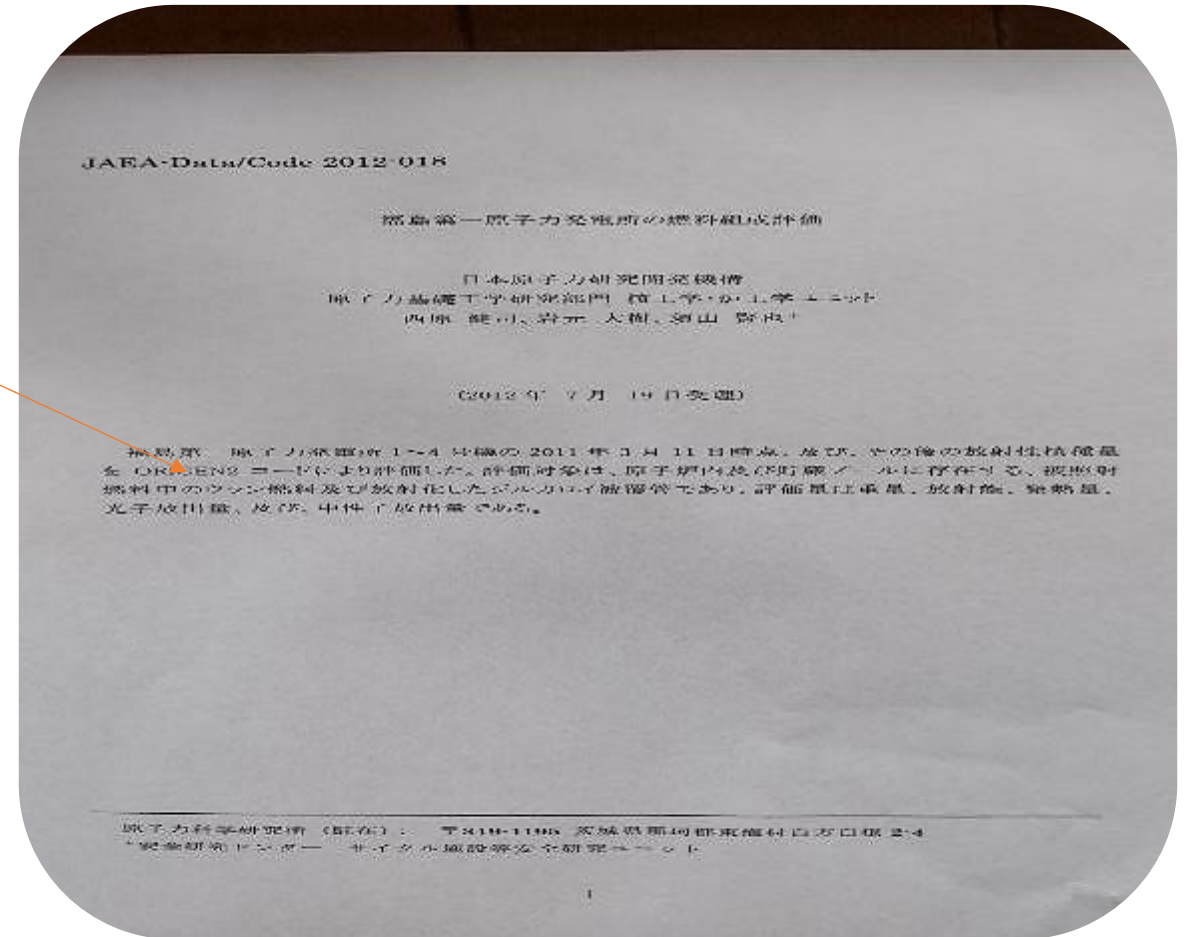
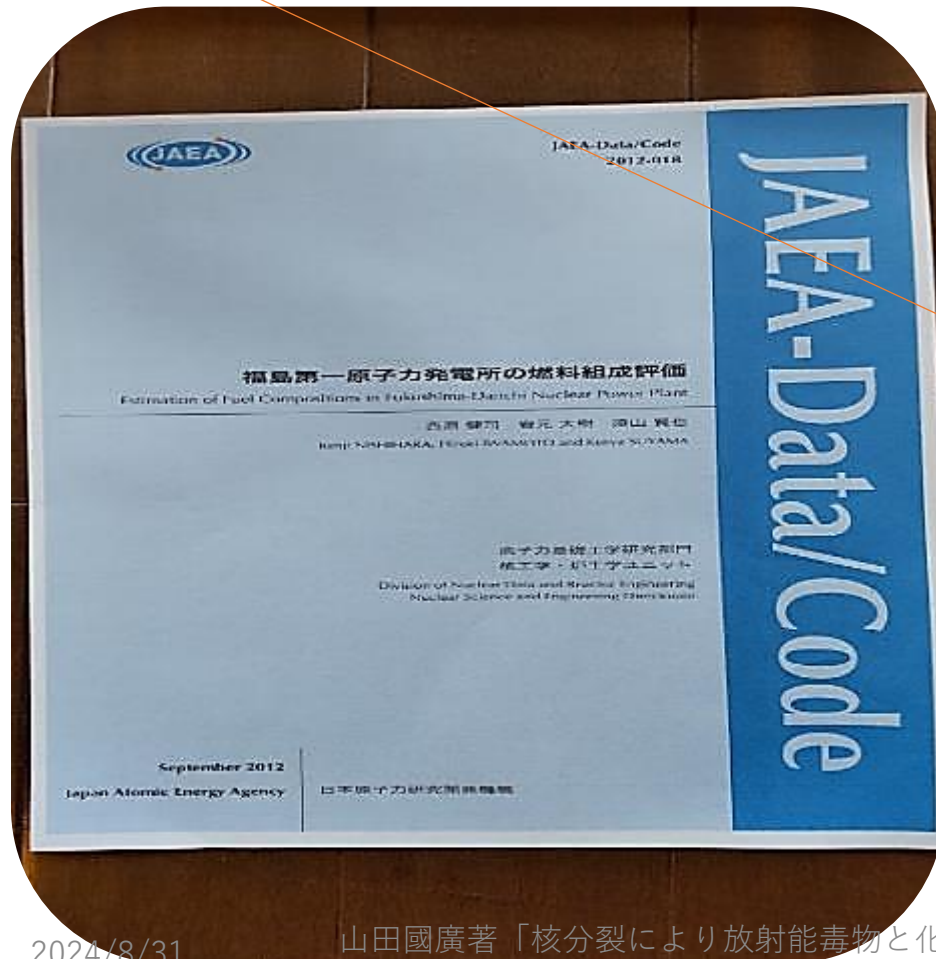
原子力安全・保安院, 「東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故に係る1号機, 2号機及び3号機の炉心の状態に関する評価について」(平成23年6月6日)(平成23年10月20日訂正).

福島第一原発事故直後の1号機、2号機、3号機原子炉内における核分裂生成物の放射能、質量などの基本情報は原子力研究開発機構発行の「JAEA-DaTa/Code 福島第一原発発電所の燃料組成評価」で公表されていた。

注：ORIGEN2モデルを使用して2011年3月11日以後の福島第一原子力発電所1号機~4号機の原子内及び使用済み核燃料プールにおける、ホットパーティクル形成核種の質量、放射能、発熱量などの時間変化が網羅的に算定されていた。

<https://jopass.jaea.go.jp>JAEA-Data-Code-2012-018>

「ORIGENとは"ORNL Isotope Generation and Depletion Code"のことである。放射性物資の生成、壊変、減損について計算を行うためのコードシステム。主に原子炉を対象として中性子や核分裂による放射性核種の生成とその後の壊変の過程を算定している。オークリッジ国立研究所（ORNL）が30年以上にわたる長い開発の歴史の中で、いくつかのバージョンを公表してきた。ORIGEN2（1981年）は初代ORIGENの改良版で、原子炉モデル、断面積、核分裂生成放射能、質量、熱量などが算定されている。」



2024/8/31

山田國廣著「核分裂により放射能毒物と化学毒物は同時に生成され原子炉内に蓄積し事故で放出された」

福島原発事故・核分裂停止後の1号機（1日後）、2号機（3日後）、3号機（3日後）の炉心部に堆積していた放射性テルル（Te-127,Te-127m,Te-129,Te-129m,Te-131,Te-131m,Te-132）、安定テルル（Te-128,Te-130）、放射性ヨウ素（I-129,I-131,I-132,I-133）、放射性セシウム（Cs-134,Cs-137）の①半減期、②放射能（Bq）と③質量（g）及び⑤放射能毒と化学毒の分類

出典：、原子力研究開発機構が発行している「JAEA-Data/Code2012-018 福島第一原子力発電所の燃料組評価」より

| | | 原発事故前から1号機、2号機、3号機の炉心部に堆積していた②放射能（Bq）と③質量（g） | | | | | | | | |
|---------|---------|--|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|-----------------|---------|
| | | ①半減期 | 1号機炉心部の放射能（Bq） | 1号機炉心部の質量（g） | 2号機炉心部の放射能（Bq） | 2号機炉心部の質量（g） | 3号機炉心部の放射能（Bq） | 3号機炉心部の質量（g） | ④Bq当たりの質量(g/Bq) | ⑤毒性の分類 |
| 毒物テルル1族 | Te-127 | 9.35時間 | 9.48E+16 | 0.7 | 1.16E+17 | 1.2 | 1.20E+17 | 1.23 | 1.02E-17 | 化学毒+放射毒 |
| | Te-127m | 109日 | 8.19E+15 | 2.4 | 1.23E+16 | 3.5 | 1.34E+16 | 3.83 | 2.86E-16 | 化学毒+放射毒 |
| | Te-128 | 7.7×10 ²⁴ 年 | 0 | 7070 | 0 | 6160 | 0 | 5810 | 0 | 化学毒 |
| | Te-129 | 69.6秒 | 3.97E+16 | 0.03 | 4.28E+16 | 0.1 | 4.53E+16 | 0.584 | 1.29E-18 | 化学毒+放射毒 |
| | Te-129m | 33.6日 | 4.33E+16 | 37.3 | 6.95E+16 | 62.4 | 7.07E+16 | 63.5 | 8.98E-16 | 化学毒+放射毒 |
| | Te-130 | 2.7×10 ²¹ 年 | 0 | 19840 | 0 | 24100 | 0 | 22700 | 0 | 化学毒 |
| | Te-131 | 25分 | 4.06E+16 | 0.01 | 2.26E+16 | 0.01 | 2.31E+16 | 0.0109 | 4.72E-19 | 化学毒+放射毒 |
| | Te-131m | 30日 | 1.80E+17 | 2.0 | 1.01E+17 | 3.4 | 1.03E+17 | 3.49 | 3.39E-17 | 化学毒+放射毒 |
| | Te-132 | 3.2日 | 1.57E+18 | 90.8 | 1.76E+18 | 157 | 1.76E+18 | 157 | 8.90E-17 | 化学毒+放射毒 |
| 放射性ヨウ素 | I-129 | 1.57×10 ⁷ 年 | 6.2E+9 | 9490 | 7.5E+9 | 10500 | 7.1E+9 | 10800 | 1.53E-07 | 放射能毒 |
| | I-131 | 8.02日 | 1.26E+18 | 236 | 1.87E+18 | 408 | 1.86E+18 | 406 | 2.18E-16 | 放射能毒 |
| | I-132 | 2.3時間 | 1.84E+18 | 2.8 | 1.81E+18 | 4.7 | 1.81E+18 | 4.74 | 2.62E-18 | 放射能毒 |
| | I-133 | 20.8時間 | 2.65E+17 | 6.3 | 4.58E+17 | 10.9 | 4.57E+17 | 10.9 | 2.38E-17 | 放射能毒 |
| 放射性セシウム | Cs-134 | 2.065年 | 1.90E+17 | 3970 | 2.76E+17 | 5770 | 2.51E+17 | 5250 | 2.09E-14 | 放射能毒 |
| | Cs-137 | 30.17年 | 2.02E+17 | 62700 | 2.55E+17 | 79100 | 2.41E+17 | 74700 | 3.10E-13 | 放射能毒 |

核分裂生成物の「①毒 ②化学毒 ③放射毒」とは

◎化学毒と放射能毒の意味

◎毒とは：

「毒とは化学反応によって生物に障害を引き起こす物質＝生体異物のことである」（小城勝相著、体の中の異物”毒“の科学、講談社ブルーバックス、16Pより）

◎化学毒とは：

「体内に侵入した毒物の分子が、体内で機能する様々な化学反応のどこかに介入することで生体に障害を与えることである。それは、神経を阻害したり、たんぱく質を編成させたり、エネルギー代謝を阻害したりする。化学毒は、反応性が高い分子であることが多い。塩素、フッ素などハロゲン元素化合物に化学毒物が多いのはその例である。生物への化学毒作用には、神経毒、血液毒、細胞毒、発がん毒、遺伝毒などに分類される」

◎放射能毒とは：

「 α 線(陽子と中性子が2個のヘリウムの原子核：5MeV程度)、 β 線(電子：0.1MeV~5MeV)、 γ 線(光子：0.01MeV~5MeV)など放射線は、カッコ内数値で示すようにMeV(100万電子ボルト)単位の集中的な高エネルギーを有している。放射線が人体組織に入り細胞内のDNAや染色体などの化学結合を局所的に切断して損傷を与え、がんや他の疾病などを起こすことを「放射能毒」と呼ぶ。DNAや染色体の化学結合はおおむね5~7eVであり、放射線のエネルギーは桁違いに大きいので、いくら低線量であってもDNAや染色体の化学結合を切断するエネルギーがあることに注目する必要がある」

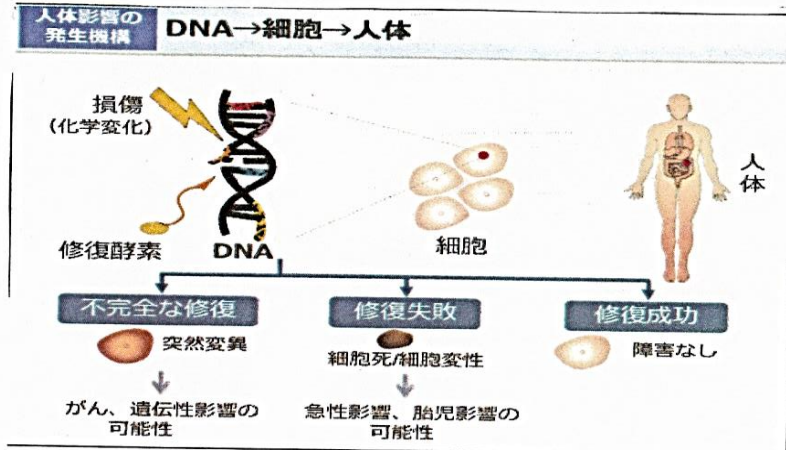
放射能毒（ α 線、 β 線）によるDNA損傷と発がんの仕組み

出典：「環境省、放射能の種類と生物への影響」より

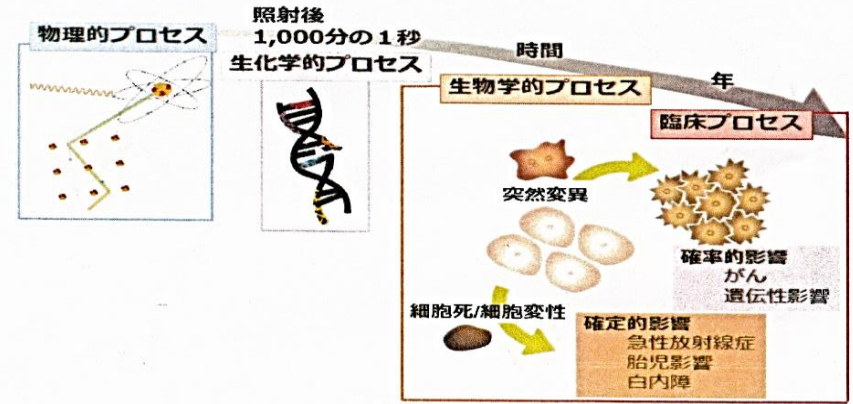
放射線 放射線の種類と生物への影響力

- α 線**
 - 陽子2個 + 中性子2個
 - ヘリウム (He) の原子核
 - 荷電粒子 (2+)
- β 線**
 - 電子 (あるいは陽電子)
 - 荷電粒子 (-あるいは+)

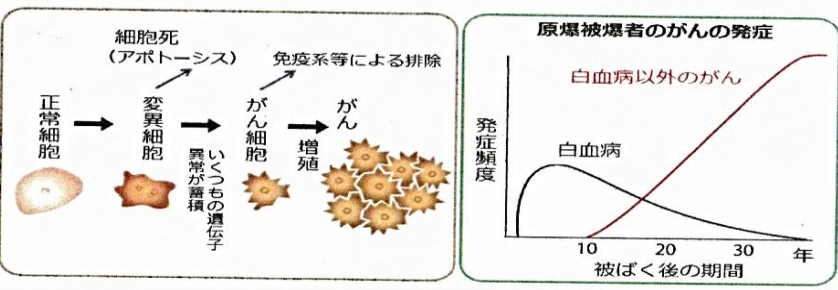
β (ベータ) 線は α 線同様、通った所の物質に直接電離を引き起こしますが、電離の密度は低く、生物に及ぼす影響力は α 線ほど強くありません。 β 線も透過力は弱いですが、 α 線よりも透過しますので、体外からの被ばくでは、皮膚や皮下組織に影響を与える可能性があります。



人体影響の発生機構 被ばく後の時間経過と影響



がん・白血病 発がんの仕組み



- 放射線はがんを起こす様々なきっかけの一つ
- 変異細胞ががんになるまでには、いろいろなプロセスが必要 → 数年～数十年掛かる

表7 ORIGIN2 に組み込まれている元素の化学毒性:その1 (単位は水中の最大許容濃度: g/m³)

注: 元素の化学毒性値はORIGIN2のBLOCK DARA サアブルーチンに組み込まれています。以下の表の数値は"水中の最大許容濃度"で単位は g/m³です。これらの値は元素の化学毒性の尺度として使用されます。

文献: G.W.Dawson, The Chemical Toxicity of Elements, BNWL-1815 (June 1974)

| 原子番号 | Element (元素名) | Toxicity(毒性⇒水中の最大許容濃度) ⇒ g/m ³ | 原子番号 | Element (元素名) | Toxicity(毒性⇒水中の最大許容濃度) ⇒ g/m ³ | 原子番号 | Element (元素名) | Toxicity(毒性⇒水中の最大許容濃度) ⇒ g/m ³ |
|------|---------------|---|------|---------------|---|------|---------------|---|
| 1 | H(水素) | 3500 | 21 | Sc (スカンジウム) | 0.5 | 41 | Nb (ニオブ) | 0.02 |
| 2 | He (ヘリウム) | 0.2 | 22 | Ti (チタン) | 0.1 | 42 | Mo (モリブデン) | 0.5 |
| 3 | Li (リチウム) | 5.0 | 23 | V (バナジウム) | 0.1 | 43 | Tc (テクネチウム) | 100 |
| 4 | Be(| 1.0 | 24 | Cr (クロム) | 0.02 | 44 | Ru (ルテニウム) | 1.0 |
| 5 | B (ホウ素) | 1.0 | 25 | Mn (マンガン) | 0.01 | 45 | Rh (ロジウム) | 0.05 |
| 6 | C (炭素) | 400 | 26 | Fe (鉄) | 0.05 | 46 | Pd (パラジウム) | 0.05 |
| 7 | N (窒素) | 0.01 | 27 | Co (コバルト) | 0.05 | 47 | Ag (銀) | 0.001 |
| 8 | O (酸素) | 45500 | 28 | Ni (ニッケル) | 0.05 | 48 | Cd (カドミウム) | 0.01 |
| 9 | F (フッ素) | 1.0 | 29 | Cu (銅) | 0.01 | 49 | In (インジウム) | 0.02 |
| 10 | Ne (ネオン) | 1.0 | 30 | Zn (亜鉛) | 0.05 | 50 | Sn (スズ) | 0.05 |
| 11 | Na(ナトリウム) | 1000 | 31 | Ga (ガリウム) | 0.2 | 51 | Sb (アンチモン) | 0.05 |
| 12 | Mg (マグネシウム) | 10 | 32 | Ge (ゲルマニウム) | 0.5 | 52 | Te (テルル) | 0.2 |
| 13 | Al(アルミニウム) | 0.01 | 33 | As (ヒ素) | 0.01 | 53 | I (ヨウ素) | 10 |
| 14 | Si (ケイ素) | 5.0 | 34 | Se (セレン) | 0.01 | 54 | Xe (キセノン) | 150 |
| 15 | P (リン) | 0.01 | 35 | Br (臭素) | 3.0 | 55 | Cs (セシウム) | 5.0 |
| 16 | S (硫黄) | 50.0 | 36 | Kr (クリプトン) | 40 | 56 | Ba (バリウム) | 0.5 |
| 17 | Cl (塩素) | 0.15 | 37 | Rb (ルビジウム) | 50 | 57 | La (ランタン) | 1.0 |
| 18 | Ar (アルゴン) | 10 | 38 | Sr (ストロンチウム) | 10 | 58 | Ce (セリウム) | 2.0 |
| 19 | K (カリウム) | 1000 | 39 | Y (イットリウム) | 0.001 | 59 | Pr (プラセオジウム) | 1.0 |
| 20 | Ca (カルシウム) | 30 | 40 | Zr (ジルコニウム) | 1.0 | 60 | Nd (ネオジウム) | 0.2 |

表8 ORIGEN 2 に組み込まれている元素の化学毒性その2 (単位は水中の最大許容濃度: g/m³)

注: 元素の化学毒性値はORIGEN2のBLOCK DARA サブルーチンに組み込まれています。以下の表の数値は”水中の最大許容濃度”で単位はg/m³です。これらの値は元素の化学毒性の尺度として使用されます。

文献: G.W.Dawson, The Chemical Toxicity of Elements, BNWL-1815 (June 1974)

| 原子番号 | Element (元素名) | Toxicity(毒性) ⇒ 水中の最大許容濃度) ⇒ g/m ³ | 原子番号 | Element (元素名) | Toxicity(毒性 ⇒ 水中の最大許容濃度) ⇒ g/m ³ |
|------|---------------|--|------|----------------|---|
| 61 | Pm (プロメチウム) | 1.0 | 81 | Tl (タリウム) | 0.005 |
| 62 | Sm (サマリウム) | 0.2 | 82 | Pb(鉛) | 0.01 |
| 63 | Eu (ユウロビウム) | 0.2 | 83 | Bi (ビスマス) | 0.1 |
| 64 | Gd (ガドリウム) | 0.2 | 84 | Po (ポロニウム) | 0.2 |
| 65 | Tb (テルビウム) | 0.5 | 85 | At (アスチタン) | 10 |
| 66 | Dy (ジスプロシウム) | 1.0 | 86 | Ra (ラドン) | 500 |
| 67 | Ho (ホルミウム) | 1.0 | 87 | Fr (フランシウム) | 5.0 |
| 68 | Er (エルビウム) | 0.1 | 88 | Ra (ラジウム) | 0.001 |
| 69 | Tm (ツリウム) | 0.2 | 89 | Ac (アクチニウム) | 0.02 |
| 70 | Yb (イッテルビウム) | 0.1 | 90 | Th (トリウム) | 0.0005 |
| 71 | Lu (ルテチウム) | 0.1 | 91 | Pa (プロトアクチニウム) | 0.005 |
| 72 | Hf (ハフニウム) | 0.05 | 92 | U (ウラン) | 0.5 |
| 73 | Ta (タンタル) | 1.0 | 93 | Np (ネプツニウム) | 0.003 |
| 74 | W (タングステン) | 100 | 94 | Pu (プルトニウム) | 0.0008 |
| 75 | Re (レニウム) | 10 | 95 | Am (アメリシウム) | 0.04 |
| 76 | Os (オスミウム) | 1.0 | 96 | Cm (キュリウム) | 0.5 |
| 77 | Ir (イリジウム) | 0.8 | 97 | Bk (バークリウム) | 0.005 |
| 78 | Pt (白金) | 0.3 | 98 | Cf (カルホニウム) | 0.01 |
| 79 | Au (金) | 0.02 | 99 | Es (アインスタニウム) | 0.01 |
| 80 | Hg(水銀) | 0.002 | | | |

表9 広島衛研ニュースで紹介されていた「有害金属(テルル、ウランなど)の急性毒性：LD₅₀の毒性評価表」
 注1：テルル化合物、ウラン化合物、カドミウム、鉛などは高度毒性（LD₅₀が1～10mg/kg）の評価であった。バリウム、モリブデン、ニオブ、プラセオジウム、アンチモン、スズは中毒毒性（LD₅₀が10～100mg/kg）である。

本文

衛研ニュース／食品中の重金属について

ページ内目次

ページ番号：0000000225 更新日：2020年12月7日更新

重金属について

重金属とは、比重が4以上の金属元素とされています。一般に軽金属と呼ばれるナトリウム等のアルカリ金属、カルシウム等のアルカリ土類金属や、ミニウムを除く約60種類の金属が重金属に相当します。

例えば、カドミウム、鉛、亜鉛、銅、マンガン、鉄、コバルトなどです。重金属と聞くと、人体に有害で危険な物質というイメージがあると思いますが、一般的に、重金属は毒性が強いものが多く、微量であっても繰り返し摂取すると体内で蓄積されて有害です。

ただし、重金属は有害であるばかりではありません。元素には、生元素あるいは生体元素と呼ばれる生物にとって大変重要な役割を持つものがあります。次の表に示すものがそれらで、生物体を構成している11種の主要元素と、生命維持に必須とされている15種の微量元素です。この微量元素のうち、ケイ素、フッ素、ヨウ素を除く12種の元素は重金属なのです。

表のサイズを切り替える

生元素(生体元素)(※1)

| | |
|-----------------------|---|
| 主要元素(成人1日必要量が100mg以上) | 水素、炭素、窒素、酸素、リン、硫黄、塩素、ナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウム |
| 微量元素(成人1日必要量が100mg以下) | 鉄、亜鉛、銅、マンガン、バナジウム、クロム、ニッケル、コバルト、ヒ素、セレン、モリブデン、スズ、ケイ素、フッ素、ヨウ素 |

(※1)「衛生試験法・注解2020,日本薬学会編,204(2020)」より引用

また、食品に含まれる有害元素はその存在形態によって毒性が大きく違うため、元素の存在量だけで議論することはできません。

例えば、無機ヒ素は毒性が高いにもかかわらず、ジメチルアルシノ酸やアルセノシュガー等の有機ヒ素化合物は毒性ははるかに低いということが分っています。参考までに、有害元素の急性毒性量を次の表に示します。

表のサイズを切り替える

有害元素の急性毒性(※2)

| LD50(mg/kg)(注1) | 元素名 | |
|--------------------|--------|--|
| 高度毒性 1～10 | 経口(注2) | ヒ素(3価)、黄リン、プルトニウム(4価、6価)、セレン(4価)、テルル(4価)、タリウム(1価) |
| | 静注(注3) | プルトニウム(4価、6価)、テルル、ベリリウム、カドミウム、クロム(6価)、水銀、鉛、硫黄(-2価)、コバルト、バナジウム(5価) |
| 中等度毒性 10～100 | 経口 | カドミウム、銅、フッ素、水銀、鉛、アンチモン、ウラン、バナジウム |
| | 静注 | 金、バリウム、カルシウム、セリウム、コバルト、フッ素、カリウム、マグネシウム、マンガン、モリブデン、ニオブ、ニッケル、プラセオジウム、白金、アンチモン、スズ、タンタル、トリウム、ノニ、亜鉛 |
| わずかな毒性 100～1000 | 経口 | アルミニウム、ホウ素、バリウム、鉄、インジウム、モリブデン、タンタル、トリウム、タングステン、鉛、ジルコニウム |
| | 静注 | ホウ素、クロム(3価)、ゲルマニウム、ランタン、リチウム、レニウム(7価)、ストロンチウム、イットリウム、亜鉛 |
| 比較的無害 1000以上 | 経口 | 臭素、塩素、セシウム、ヨウ素、ナトリウム、ルビジウム、カルシウム、カリウム、ランタン、レニウム(8価) |

(※2)「衛生試験法・注解2020,日本薬学会編,431(2020)」より引用

(注1) 50% Lethal Doseの略で半数致死量のこと。ある化学物質を実験動物に投与した時、その実験動物の半数が死亡する量を表す。例えば、LD50=10mg/kgとは、体重1kgあたり10mg投与すると半数が死ぬ事を示している。

(注2) 口から投与すること。

(注3) 静脈注射により投与すること。

テルル化合物の化学毒性総括表

◎テルル化合物の化学毒性総括表：急性毒性、生殖発生毒性、遺伝毒性、免疫での発ガン性、免疫毒性、神経毒性
 (赤字部分が注目すべき毒性)

出典：国立環境研究所発行：「テルル及びその化合物」など

| 毒性の種類 | 毒性の内容 | 出典 |
|--|--|--|
| ①テルル化合物の急性毒性 (LD ₅₀) | ①テルル単体のマウスに対する経口摂取・半数致死量は20 mg / kg (単位の意味：体重 kg当たりの経口毒物量 mg) ②ジメチルテルルのラットに対する経口摂取・半数致死量は 7.5 mg/kg (注：青酸カリの半数致死量は 10 mg / kgなので、それに匹敵する毒性がある)。 ③テルルは体内に入ると還元されてメチル化してジメチルテルルになると毒性が 2.7倍強くなる。 | 国立環境研究所発行「テルル及びその化合物」 (急性毒性, 10p) より |
| ②テルル化合物の急性毒性 (急性原爆症 + 金属の味) | ①テルルエアロゾルは眼、気道を刺激して、肝臓、中枢神経に影響を与えることがある。吸入すると嗜眠、口内乾燥、金属味、頭痛、ニンニク臭、吐気を生じ、経口摂取ではさらに腹痛、便秘、嘔吐を生じる。眼に入ると発赤、痛みを生じる。 ②動物実験でのテルルの急性毒性は、肺炎、溶結性貧血であり、経口摂取では振戦、反射低下、麻痺、痙攣、傾眠、昏眠、血尿、死亡がみられた。 ③ヒトの事例では、2 gの亜テルル酸ナトリウムの尿管カテーテル曝露では、嘔吐、呼吸困難、チアノーゼ、意識喪失、腎臓の痛み、肝臓の脂肪変性、浮腫がみられた。少量のテルル汚染肉片を摂取した37歳の女性の症状では、吐気、嘔吐、口内の金属味、呼吸や汗のニンニク臭、発熱が生じ、2週間後には脱毛がみられるようになった。胃には点状出血がみられた。 | ①国立環境研究所発行「テルル及びその化合物」 (急性毒性, 10p、ヒトへの影響, 13p) より ②ACGIH, 7th, 2001 |
| ③テルル化合物の生殖発生毒性 | ①テルルを一定濃度経口摂取したラットでは、胎児の水頭症、尾や足の奇形、低体重出生がみられ、母ラットには体重減少がみられた。 ②ラットの一定濃度以上のテルル与えると、胎児では奇形 (主に水頭症) および変異 (椎骨や肋骨の骨化遅延)、低体重出生、生存率の低下、脳側室拡張が認められた。母ラットでは分娩前の腔出血、活動低下が認められた。 ③ラットに皮下注射で催奇形性試験において、全ての胎児に水頭症及び水腫がみられ、死亡、体重減少、停留精巣、水頭症、水腫、眼球突出、眼球出血、臍ヘルニアがみられた。 | ①②国立環境研究所発行「テルル及びその化合物」 (体内動態・代謝, 9p) より ③Tellurium and its inorganic compounds: MAK Value Documentation, Vol 22 DFG, Deutsche Forschungsgemeinschaft |
| ④テルル化合物の遺伝子障害 (DNA障害、染色体切断、リンパ球の小胞誘発など) に関する知見 | ①テルル酸アンモニウムは代謝活性系 S9無添加のヒト白血球で染色体切断を誘発した。 ②テルル酸は S9無添加のヒト・リンパ球で小核を誘発した。 ③亜テルル酸ナトリウム、メタテルル酸ナトリウムは S9無添加のネズミチフス菌で遺伝子突然変異を誘発した。 ④S9無添加の二酸化テルル、メタテルル酸ナトリウムは大腸菌で DNA障害を誘発した。 ⑤S9無添加の塩化テルル、亜テルル酸アンモニウムは枯草菌で DNA障害を起こした。 | ①~⑤国立環境研究所発行「テルル及びその化合物」 (発がん性：遺伝子障害性に関する知見, 14p) より |
| ⑤テルル化合物の神経毒性 (末梢神経ミエリン脱髄) | ①雄雌ラット 122匹 (対照群 72匹) を1群として 0%、1.25%の濃度で餌にテルルを添加して 15日齢から 35日間投与した結果 1.25%群では後肢の麻痺が現れたが 6日後には消失傾向になった。坐骨神経では 1日後から節性脱髄、2日後から神経シュワン細胞の細胞質でテルルの蓄積がみられるようになった。腕神経叢でも脱髄がみられたが、11日後には再生ミエリンがみられるようになった。1.25%群では運動神経伝達速度は 120日後まで一貫して低かった。 | 国立環境研究所発行「テルル及びその化合物」 (中・長期毒性 11p) より |