

# 第 1 章

## 放射線の基礎知識

## 放射能と放射線

## 放射線・放射能・放射性物質とは

- 電球 = 光を出す能力を持つ

ワット (W)

▶ 光の強さの単位



ルクス (lx)

▶ 明るさの単位

- 放射性物質 = 放射線を出す能力（放射能）を持つ



放射線



ベクレル (Bq)

▶ 放射能の単位

換算係数

シーベルト (Sv)

▶ 人が受ける放射線被ばく線量の単位

※ シーベルトは放射線影響に関係付けられる。

放射線、放射能、放射性物質について整理してみます。

どこの家にもある電球は光（明かり）を出す能力があります。その能力を「ワット」という単位で表します。その光を人は受け取り、明るさとして感じます。そのときの単位が「ルクス」です。

よく耳にするベクレルとシーベルトという放射線に関する単位もこの関係に似ています。例えば、岩石等が放射線を出すとき、この岩石を「放射性物質」といいます。（上巻 P 3、「放射線と放射能の単位」）

放射性物質は放射線を出しますが、その能力を「放射能」といいます。「この岩石は放射能を持っている」、「この岩石は放射線を出す」という表現を用います。この岩石の持っている放射線を出す能力の大きさを「ベクレル (Bq)」という単位で表します。

その受けた放射線で、どれ位の影響を受けるかを知る際に必要な放射線被ばく線量の単位として、「シーベルト (Sv)」が使われます。「Bq」から「Sv」を求めるためには特有の換算係数があります。

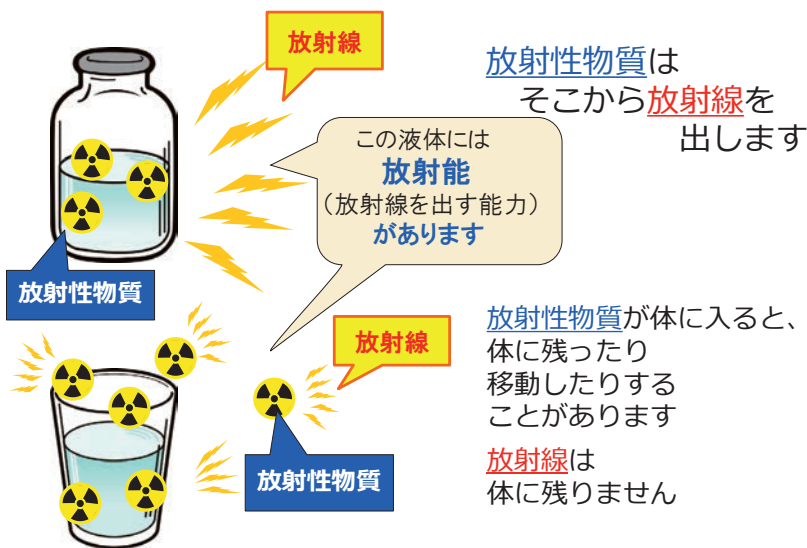
放射能（ベクレルで表した数値）が大きいほど、放射性物質からたくさんの放射線が出ていることを意味しますが、被ばく量（シーベルトで表した数値）は放射性物質と被ばくする人の距離によって変わります。放射線の強さは、放射線を出しているものから近ければ強く、遠ければ弱くなります。明るい電球であっても、離れた所では暗いのと同じです。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

## 放射能と放射線

## 放射線と放射性物質の違い

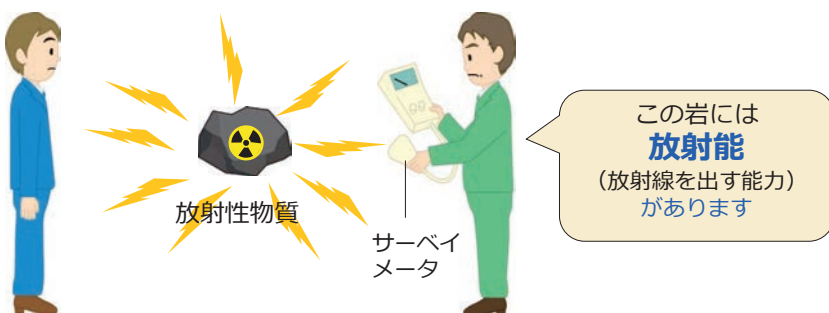


放射性物質とは放射線を出す物質のことです。例えば、「この水は放射性物質を含んでいる」といいます。放射能という言葉は、放射性物質と同じ意味に使われることもありますが、自然科学分野では放射線を出す能力の意味に使います。

密封された容器に放射性物質を含んだ水が入っていた場合、容器から放射線は出てきますが、放射性物質は出てきません。もしふたのない状態で放射性物質の入った水が置かれていたら、こぼれる等して放射性物質が広がっていく可能性があります。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

**ベクレル (Bq)**

放射能の強さの単位：

1 秒間に 1 個の割合で原子核が変化す  
る(壊変する) = 1 ベクレル**シーベルト (Sv)**人が受ける放射線被ばく線量の単位：  
放射線影響に関係付けられる

放射線は目に見えず、においもないため、人間が五感で感じることはできません。しかし、測定することが比較的容易という特徴があります。

最近よく見聞きする「ベクレル」や「シーベルト」は放射線に関する単位です。例えば、専用の測定器を使って土壌や食品の放射能を測れば、どんな放射性物質がどれだけ含まれているかを知ることができます。ベクレルというのはこうした放射能の強さを表す単位です。シーベルトというのは、人体への影響の大きさを表す単位です(詳しくは、上巻 P33～41、「2.3 放射線の単位」を参照)。

放射性物質が多くある所はどこなのか、手で持ち運びができるサーベイメータという機械を使って特定することができます。また物質が出す放射線の強さや種類も、人間が受ける放射線の大きさも、サーベイメータで調べることができます。

さらに、様々な調査研究の結果から、事故の影響で受けている放射線と自然から受けている放射線のそれぞれの量や合計量も知ることができます。

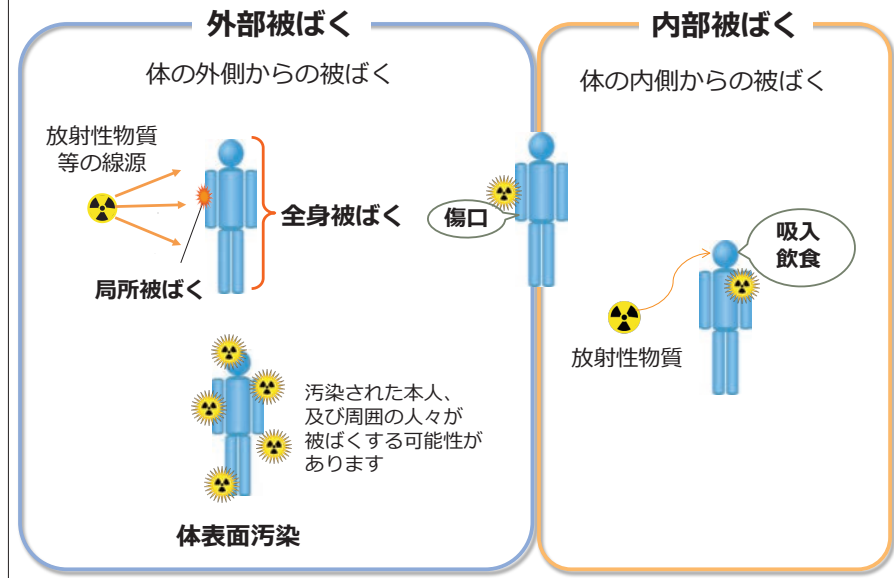
このように放射線の測定が容易であることを利用し、放射線の管理や防護が考えられています。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

## 放射能と放射線

## 被ばくの種類



放射性物質から放射線を受ける事を放射線被ばくといいます。一方、放射能汚染とは、放射性物質の存在によって物（人も含めて）や場所が汚染されることです。つまり、放射能汚染は通常存在しない場所に放射性物質が存在することを示すものです。

体の外にある放射性物質から、放射線を受けることを外部被ばくと呼びます。

空气中に飛散した放射性物質を空気と共に吸い込んだり、汚染された飲食物を取り込んだりすると、体の中から放射線を受けることになります。また傷口からも放射性物質が体の中に入ることがあります。この状況を内部被ばくと呼びます。

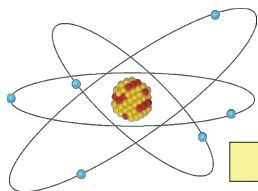
放射線の種類によって、空気中や体の中での通りやすさが異なるため、外部被ばくと内部被ばくでは、問題になる放射線の種類（ $\alpha$ （アルファ）線、 $\beta$ （ベータ）線、 $\gamma$ （ガンマ）線）（上巻 P13～22、「1.3 放射線」）や放射性物質（核種）が異なります。



また、放射性物質が体の表面に付いた状態を体表面汚染と呼びます。この場合、汚染した本人も被ばくをしますが、周囲の人々が二次的に汚染し、被ばくする可能性もあります。体表面に付着した放射性物質が鼻・口・傷口から侵入すれば体内汚染となり内部被ばくの原因にもなります。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

## 原子の構造と周期律



原子	電荷	
	原子核	陽子  +
	電子	中性子  0 -  -

陽子の数（原子番号）で化学的性質が決まります

元素の周期律表

族																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H 1.008																	2 He 4.003
3 Li 6.941	4 Be 9.012															10 Ne 20.18	
11 Na 22.99	12 Mg 24.31															18 Ar 39.95	
19 K 39.1	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.88	23 V 50.94	24 Cr 52	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.39	31 Ga 69.72	32 Ge 72.61	33 As 74.92	34 Se 78.95	35 Br 79.9	36 Kr 83.8
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc (99)	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3
55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57 La 138.9	58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm 144.9	62 Sm 150.4	63 Eu 152.0	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173.0	71 Lu 175.0	
87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 Ac (227)	90 Th (232)	91 Pa (231)	92 U (238)	93 Np (237)	94 Pu (239)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (260)	

( )をつけた値は、その元素の代表的な放射性同位体の質量数である (IUPAC)

文部科学省 「一家に一枚周期表第6版」

原子は原子核とその周りを回る電子から構成されています。原子核はプラスの電荷を持つ陽子と電荷を持たない中性子で構成されており、原子の化学的性質（元素の種類）は陽子の数（原子番号）で決まります。

例えば炭素は陽子が6個の元素ですが、中性子がそれぞれ5個、6個、7個及び8個の炭素が存在しています。いずれも化学的性質は同じです。

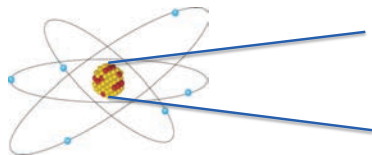
これらの原子を区別して呼ぶ場合は、元素名（同種の原子を包括する呼び名）の後に質量数（陽子と中性子の合計数）を付けて、炭素 11、炭素 12、炭素 13、炭素 14 と呼びます。炭素の中で、自然界で最も多いのは炭素 12 です。

炭素 14 は、窒素 14 に宇宙線の一つである中性子が当たり、陽子を追い出してできる、自然界に存在する放射性物質です。炭素 14 の原子核には陽子が6個、中性子が8個ありますが、両者の数のバランスが悪く、エネルギー的に不安定な状態です。

炭素 14 の中の一つの中性子が陽子になると、陽子も中性子も7個ずつになって安定します。このとき、余分なエネルギーが電子として放出されます。これがβ（ベータ）線の正体です。つまり、炭素 14 はβ線を出すことで、陽子数が7個の窒素に戻り、エネルギー的に安定した状態になります。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日



## 原子核

陽子と中性子の数のバランスにより、  
不安定な原子核が存在します  
＝放射性の原子核

		炭素11	炭素12	炭素13	炭素14	セシウム133	セシウム134	セシウム137
原子核	陽子数	6	6	6	6	55	55	55
	中性子数	5	6	7	8	78	79	82
性質		放射性	安定	安定	放射性	安定	放射性	放射性
記載法		$^{11}\text{C}$	$^{12}\text{C}$	$^{13}\text{C}$	$^{14}\text{C}$	$^{133}\text{Cs}$	$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$
		$^{11}_{6}\text{C}$	$^{12}_{6}\text{C}$	$^{13}_{6}\text{C}$	$^{14}_{6}\text{C}$	$^{133}_{55}\text{Cs}$	$^{134}_{55}\text{Cs}$	$^{137}_{55}\text{Cs}$
		C-11	C-12	C-13	C-14	Cs-133	Cs-134	Cs-137

同じ原子番号（陽子数）の原子で中性子数異なる原子核の関係を「同位体」といいます。同位体には放射性壊変を起こして放射線を放出する「放射性同位体」と放射線を出さずに原子量も変わらない「安定同位体」があります。

放射性物質が、不安定な状態を解消するために放出する放射線には、 $\alpha$ （アルファ）線、 $\beta$ （ベータ）線、 $\gamma$ （ガンマ）線があります。 $\alpha$ 線と $\beta$ 線の放出後には、原子の種類が変化しますが、 $\gamma$ 線が放出されるときには原子の種類は変わりません。どの放射線を出すかは、放射性物質の種類ごとに決まっています（上巻P33～41、「放射線の単位」）。

炭素は陽子の数が6個の元素ですが、中性子の数が5個から8個のもの等が存在します。セシウムは陽子の数が55個の元素ですが、中性子の数は57から96個のものまで見つかっています。そのうち安定なものは中性子の数が78個のセシウム133（陽子55個＋中性子78個＝133）だけで、残りは全て放射線を出す放射性物質です。原子力発電所の事故が起こると、ウラン235の核分裂により生成されたセシウム134やセシウム137が環境中に放出されることがあります。これらのセシウムは $\beta$ 線と $\gamma$ 線を放出します。

（関連ページ：上巻P31、「原子炉内の生成物」）

本資料への収録日：平成25年3月31日

改訂日：平成27年3月31日

陽子数（原子番号）は同じで中性子数の異なる原子核（同位体）

元素	記号	陽子数	安定	放射性
水素	H	1	H-1, H-2※	H-3※
炭素	C	6	C-12, C-13	C-11, C-14, …
カリウム	K	19	K-39, K-41	K-40, K-42, …
ストロンチウム	Sr	38	Sr-88	Sr-89, Sr-90, …
ヨウ素	I	53	I-127	I-125, I-131, …
セシウム	Cs	55	Cs-133	Cs-134, Cs-137, …
ウラン	U	92	なし	U-235, U-238, …
プルトニウム	Pu	94	なし	Pu-238, Pu-239, …

※：H-2は重水素、H-3は三重水素又は、トリチウムと呼ばれます。

…は、そのほかにも放射性物質があることを意味する。青字は自然に存在する放射性物質

水素原子のほとんどは、原子核が陽子1個のH-1ですが、陽子1個と中性子1個のH-2（重水素）、陽子1個と中性子2個のH-3（トリチウム）も存在します。このうち放射線を出す水素はH-3だけです。

このように放射性の原子核が1種類しかない元素（同種の原子を包括する呼び名）もありますが、複数の種類の放射性の原子核を持つ元素も多くあります。またウランやプルトニウムのように、原子番号の大きい元素では、放射線を出さない安定した原子核を持たないものもあります。

自然界にある放射性物質は、地球誕生のときから存在するものがほとんどですが、炭素14のように宇宙線と大気との相互作用で今でも生成され続けているものもあります。

本資料への収録日：平成25年3月31日

改訂日：平成27年3月31日



放射性物質	放出される放射線	半減期
トリウム232 (Th-232)	$\alpha, \gamma$	141億年
ウラン238 (U-238)	$\alpha, \gamma$	45億年
カリウム40 (K-40)	$\beta, \gamma$	13億年
プルトニウム239 (Pu-239)	$\alpha, \gamma$	24,000年
炭素14 (C-14)	$\beta$	5,730年
セシウム137 (Cs-137)	$\beta, \gamma$	30年
ストロンチウム90 (Sr-90)	$\beta$	29年
セシウム134 (Cs-134)	$\beta, \gamma$	2.1年
ヨウ素131 (I-131)	$\beta, \gamma$	8日
ラドン222 (Rn-222)	$\alpha, \gamma$	3.8日

赤字は人工放射性物質       $\alpha$  :  $\alpha$  (アルファ) 線、 $\beta$  :  $\beta$  (ベータ) 線、 $\gamma$  :  $\gamma$  (ガンマ) 線

トリウム系列のトリウム 232、ウラン系列のウラン 238、カリウム 40 のように半減期が長い放射性物質は、遠い昔に宇宙で作られ、地球が誕生するときに地球に取り込まれたものです。

トリウム 232 は鉛 208 になるまでに、ウラン 238 は鉛 206 になるまでに、いろいろな放射性物質に形を変え、 $\alpha$  (アルファ) 線や $\beta$  (ベータ) 線、 $\gamma$  (ガンマ) 線を出します。

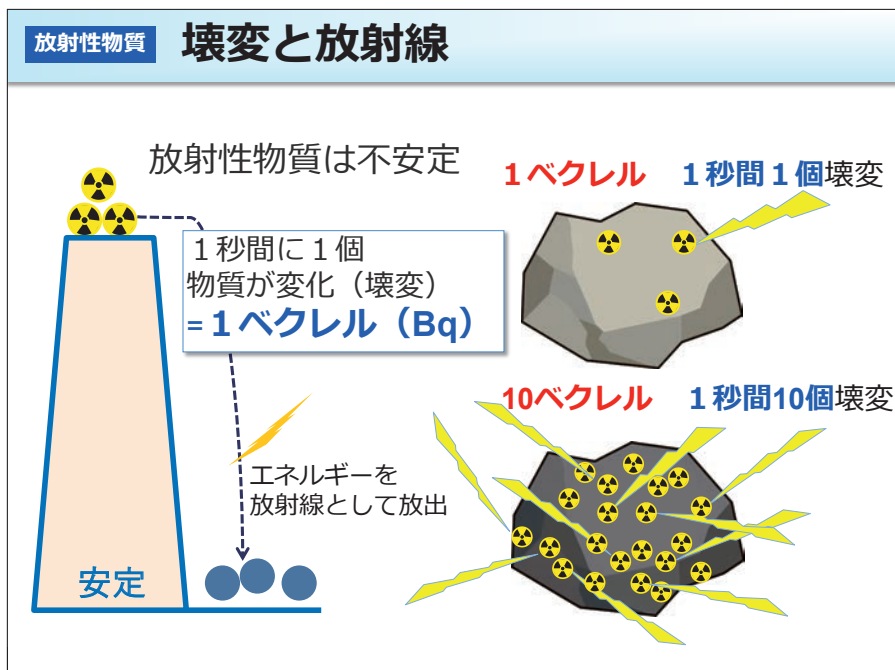
炭素 14 も自然界に存在する放射性物質ですが、空気中の 80% を占める窒素に宇宙線である中性子線が当たって生成されたものです。炭素 14 は $\beta$  線を放出して、再び窒素に戻ります。

セシウム 134、セシウム 137、ストロンチウム 90、ヨウ素 131、プルトニウム 239 は、原子力発電所が事故を起こすと環境中に放出されることがあります。人工放射性物質の中にも、プルトニウム 239 のように、半減期が極めて長いものもあります。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 28 年 3 月 31 日

# 壊変と放射線



放射性物質は、エネルギー的に不安定な状態にあります。そこで、余分なエネルギーを出して、安定な状態に変わろうとします。このエネルギーを放射線として放出します。

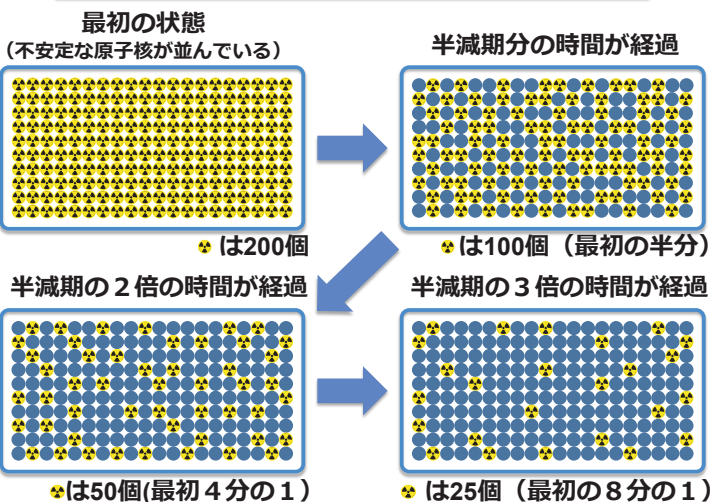
放射能の強さを定量的に表すときに、ベクレルという単位を使います。1ベクレルは「1秒間に1個原子核が変化（壊変）する」量です。原子核が変化する際に放射線を出すことが多いので、ベクレルが放射線を出す能力の単位となっています。例えば岩石の放射能が1ベクレルであった場合、岩石に含まれている放射性物質の原子核は、1秒間に1個変化することを意味します。10ベクレルであれば、1秒間に10個変化することになります。

放射性物質の原子核が変化し、放射線を出してエネルギー的に安定になれば、放射線を出さなくなります。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

## 放射線を出す能力（放射能）の減り方



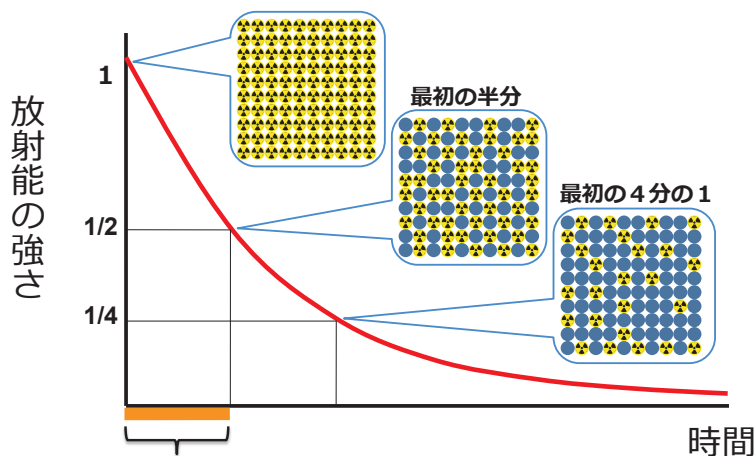
放射線を出すことでエネルギー的に安定な状態となった物質は放射線を出しません。時間がたてば放射性物質の量が減り、放射能も弱まります。こうして放射能が弱まり、はじめの半分になるまでの時間のことを半減期と呼びます。放射性物質の減り方と半減期の関係を絵で見てみます。

もともと 200 個の放射性物質があったとします。半減期分の時間が経過する間に、約 100 個の放射性物質は放射線を出し、別の物質に変化します。残り約 100 個は放射性物質のままです。

次に、半減期の 2 倍の時間が経過する間に残りの約 100 個の放射性物質のうち約 50 個は放射線を出し、別の物質になります。結果的に放射性物質は約 50 個（元の約 4 分の 1）までに減ります。さらに半減期の 3 倍の時間が経過した時点で、放射性物質の量はももとの約 8 分の 1 に減少します。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日



放射性物質の量が半分になる時間  
＝（物理学的）半減期

放射能の減り方と半減期の関係をグラフで見えます。

半減期分の時間が経過すると、放射性物質の量は元の半分になり、結果として放射能も半分になります。更に半減期分の時間が経過すると、放射性物質の量が更に半分（最初の4分の1）になります。このように、半減期分の時間が経過することにより、放射能は1→2分の1→4分の1→8分の1→16分の1と減っていきます。横軸に経過時間、縦軸を放射能の強さにして、放射能の減り方をグラフに表すと、曲線（指数関数）的に減ることが分かります。

半減期は放射性物質の種類によって異なります。例えば、ヨウ素 131 の半減期は8日、セシウム 134 の半減期は2年、セシウム 137 の半減期は30年です。

なお、体内に取り込まれた放射性物質は、臓器や組織に取り込まれた後、排泄されます。排泄によって体内の放射性物質の量が半分になる時間を生物学的半減期といいます。

（関連ページ：上巻 P28、「内部被ばくと放射性物質」）

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

## 例 宇宙の誕生と共に放射性物質が存在し、地球が生まれたときに取り込まれた放射性物質

地球誕生から  
46億年



**系列** 放射性の原子核から安定な原子核になるまで、  
次々に核種が変化しながら壊変する

- ・ ウラン238 半減期：45億年
- ・ トリウム232
- ・ ウラン235

**非系列** 放射性の原子核から直接安定な原子核に壊変する

- ・ カリウム40 半減期：13億年
- ・ ルビジウム87 等

放射線を出す原子核の中には、大変長い半減期を持つものがあります。ウラン 238 の半減期は 45 億年です。地球の年齢は約 46 億年といわれていますので、地球が生まれたときに存在したウラン 238 は今ようやく半分になったところです。

放射性物質の中には、1 回放射線を出して安定になるものもありますが、安定な物質になるまでに複数回壊変して、いろいろな放射性物質に変化するものもあります。

例えば、ウラン 238 は  $\alpha$ （アルファ）線を放出してトリウム 234 に変わりますが、これも放射性物質です。トリウム 234 は更に  $\beta$ （ベータ）線を放出し、やはり放射性物質のプロトアクチニウム 234 に変化します。安定な鉛 206 になるまでに 10 数回も異なる原子に変化する系列をなしています。

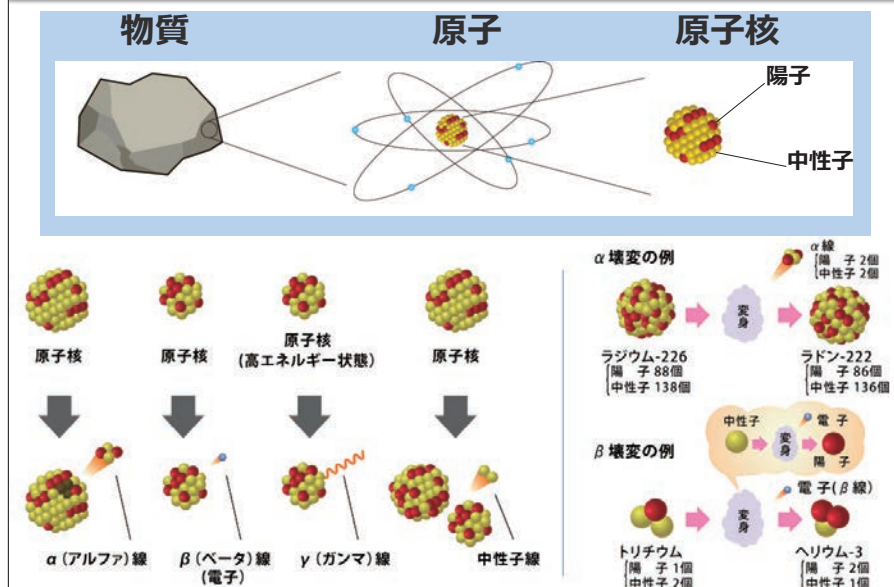
カリウム 40 も、半減期が 13 億年と長く、地球が誕生したときに地球に取り込まれた自然起源の放射性物質です。しかし、カリウム 40 は系列を作らず 1 回の壊変で安定なカルシウム 40 になります。

（関連ページ：上巻 P10、「半減期」）

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

## 放射線はどこで生まれる？



α (アルファ) 線、β (ベータ) 線、γ (ガンマ) 線、X (エックス) 線という名前は、これらの放射線が発見された当時、その実体が分からないために付けられた名称です。今では、α 線とは、陽子 2 個と中性子 2 個からなるヘリウム原子核が高速で飛び出したものであることが分かっています。また β 線は原子核から飛び出した電子です。ヘリウム原子核は、電子の約 7,300 倍の重さです。α 線や β 線を出した直後の原子核は、通常、まだエネルギーが高く、不安定な状態なので、γ 線を出して、より安定した状態になろうとします。しかし中には γ 線を出さないものもあります。

α 線、β 線、γ 線が原子核から放出されるのに対し、X 線は原子核の外側で発生する電磁波です。X 線と異なり、γ 線は原子核から発生しますが、どちらも実態は同じ電磁波です。中性子は、原子核を構成する粒子の一つです。原子核が核分裂する等の際に運動エネルギーを持って原子核の外へ飛び出す中性子のことを中性子線といいます。

(関連ページ：上巻 P14、「放射線の種類」、上巻 P15、「電離放射線の種類」)

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 28 年 3 月 31 日

## 放射線の種類

## 電離放射線

## 粒子線

## 荷電粒子線

(直接電離放射線)

 $\alpha$ 線 (原子核から飛び出るヘリウムの原子核) $\beta$ 線 (原子核から飛び出る電子)

陽子線, 重陽子線, 三重陽子線, 重イオン線

荷電中間子線

核分裂片等

## 非荷電粒子線

(間接電離放射線)

非荷電中間子線

中性微子 (ニュートリノ)

中性子線等 (原子炉, 加速器等から作られる)

## 電磁波

(間接電離放射線)

 $X$ 線 (原子核の外で発生) $\gamma$ 線 (原子核から出る)

## 非電離放射線

電波, マイクロ波, 赤外線, 可視光線, 紫外線等

放射線には電離放射線と非電離放射線がありますが、通常放射線といった場合は、電離放射線のことをいいます。

放射線と一般的にいう場合、電離放射線のことをいいます。電離放射線は物質を構成する原子を電離（正電荷のイオンと負電荷の電子に分離）する能力を有し、粒子線と電磁波があります。

粒子線の仲間には、 $\alpha$ （アルファ）線、 $\beta$ （ベータ）線、中性子線等が含まれます（上巻 P13、「放射線はどこで生まれる？」）。粒子線のうち、電荷を持つ（イオン化した）ものを荷電粒子線、電荷を持たないものを非荷電粒子線と呼びます。 $\gamma$ （ガンマ）線、 $X$ （エックス）線は電磁波の一種です。

電磁波でも、電波、赤外線、可視光線のように電離作用を持たないものがあり、それらを非電離放射線と呼びます。紫外線は一部に電離作用がありますが、一般的には非電離放射線に分類されます（上巻 P15、「電離放射線の種類」）。

（関連ページ：上巻 P19、「放射線の種類と生物への影響力」、上巻 P20、「放射線の透過力」）

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 28 年 3 月 31 日

## 電離放射線の種類

## 電離放射線

## 電離作用を有する放射線

## 粒子線

陽子

中性子

電子

 $\alpha$ 線（原子核から飛び出る  
ヘリウムの原子核） $\beta$ 線（原子核から飛び出る電子）中性子線（原子炉，加速器等  
から作られます）

陽子線（加速器等から作られます）

## 電磁波

電子

( $\beta$ 線)

X線（原子核の外で発生）

※電子の軌道間移動から生成されたものを特性X線と呼びます

 $\gamma$ 線（原子核から放出）

粒子線の仲間には、 $\alpha$ （アルファ）線、 $\beta$ （ベータ）線、中性子線等が含まれます。  
 $\alpha$ 線とは、陽子2個と中性子2個からなるヘリウム原子核が高速で飛び出したもの、  
 $\beta$ 線は原子核から飛び出した電子です。そのほかに中性子線や陽子線も粒子線の仲間です。

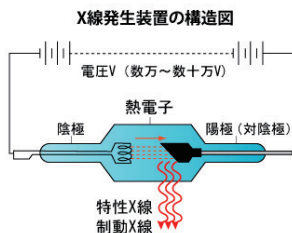
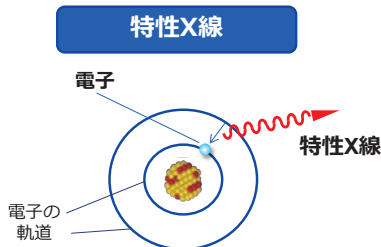
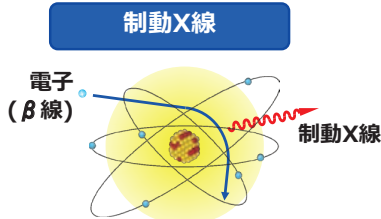
$\gamma$ （ガンマ）線とX（エックス）線は電磁波の仲間です。 $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線が原子核から放出されるのに対し、健康診査等で行われるX線検査で利用されるX線は原子核の外側で発生する電磁波です。X線検査の際には、X線管で発生させるX線が利用されます。X線には、制動X線と特性X線があります（上巻P16、「医療で使われるエックス線と発生装置」）。

（関連ページ：上巻P13、「放射線はどこで生まれる？」、上巻P14、「放射線の種類」）

本資料への収録日：平成25年3月31日

改訂日：平成28年3月31日



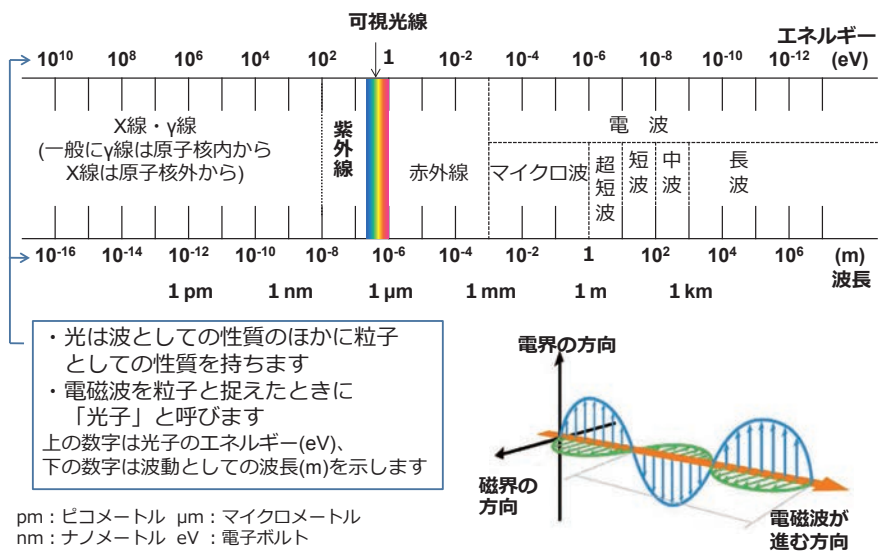


X（エックス）線検査の際には、X線管で発生させるX線が利用されます。X線管の内部では、陰極と陽極（タングステン、モリブデン、銅等）の間に高電圧がかけられており、熱電子が真空中を陰極から陽極に高速で移動します。熱電子が陽極の原子核に引き寄せられて進行方向を変えるとときに発生するX線を制動X線といいます。また、陽極の原子の内側の電子軌道の電子をはじき飛ばすと、この空いた電子軌道へ外側の電子軌道から電子が移動（遷移）します。これに伴い発生するX線を特性X線といいます。X線管で発生するX線のほとんどは制動X線です。

なお、X線管のスイッチを切れば、X線の発生は止まります。

医療分野で利用されるX線発生装置は、診断用と治療用に分けられます。撮影する目的や部位に応じてX線のエネルギーと量は調節されます。胸部X線撮影（診断）の場合、1回に受ける放射線量は、およそ0.06ミリシーベルトです。

本資料への収録日：平成28年3月31日



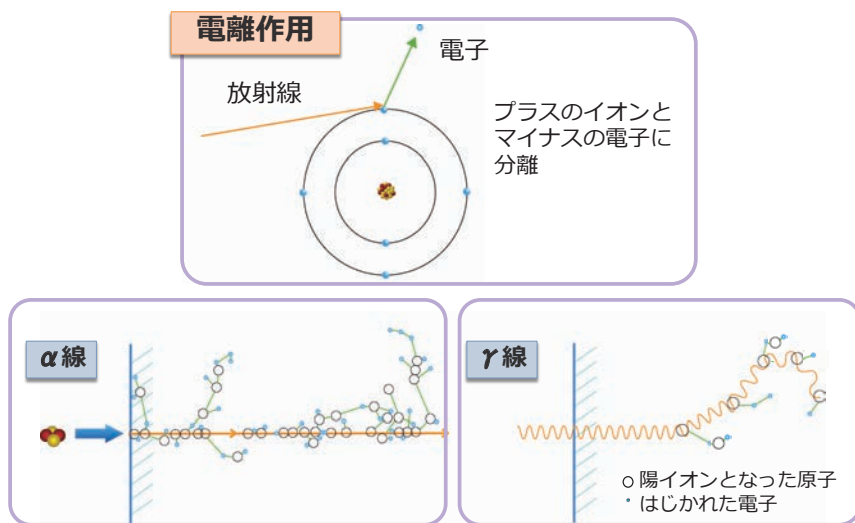
電磁波とは、電界（電場）と磁界（磁場）が相互に作用しながら空間を伝播する波のことです。波長が短くなる（周波数が高くなる）ほど、電磁波のエネルギーは高くなります。また放射線のエネルギーは電子ボルト（eV）で表されます。1 eV は  $1.6 \times 10^{-19}$  ジュール（J）です。

X（エックス）線とγ（ガンマ）線は、発生のメカニズムの違いがありますが、どちらもエネルギーの高い電磁波です。

のように電磁波は、文字どおり波としての振る舞いをするところから、図に示すように電磁波が進む方向に対し直角な波型に表すことがあります。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日



放射線が物質中を通過する場合、持っているエネルギーにより、物質を構成している原子が持つ軌道電子をはじき出して、陽電荷を帯びた状態の原子（又は陽イオンの分子）と自由な電子とに分離します。これを電離作用といいます。

電離作用を持つ電離放射線の中には、物質を直接電離するものと、間接的に電離するものがあります。

$\alpha$ （アルファ）線、 $\beta$ （ベータ）線等の電荷を持った粒子線は、物質を直接電離します。特に $\alpha$ 線は、電離密度が高く、 $\beta$ 線等の数百倍の密度の電離を引き起こします。

$\gamma$ （ガンマ）線、X（エックス）線は、物質との相互作用によって発生した二次電子によって、物質を間接的に電離します。

（関連ページ：上巻 P14、「放射線の種類」）

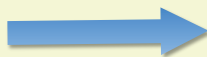
本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

## 放射線の種類と生物への影響力

・  $\alpha$  線

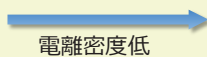
- 陽子 2 個 + 中性子 2 個
- ヘリウム (He) の原子核
- 荷電粒子 (2+)



電離密度高

・  $\beta$  線

- 電子 (あるいは陽電子)
- 荷電粒子 (-あるいは+)



電離密度低

・  $\gamma$  線・X線

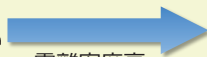
- 電磁波 (光子)



電離密度低・透過力大

## ・ 中性子線

- 中性子
- 非荷電粒子



電離密度高



$\alpha$  (アルファ) 線は、皮膚の角質層 (皮膚表面の死んだ細胞の層) を透過できないため、 $\alpha$  線による外部被ばくは問題になりません。しかし、 $\alpha$  線を放出する放射性物質による内部被ばくの場合は、組織内で局所的にたくさんの電離、すなわち高密度の電離を起こし、集中的にエネルギーを与えます。そのため、DNA に大きな損傷を与え、生物への強い影響を引き起こします。

$\beta$  (ベータ) 線は  $\alpha$  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  $\alpha$  線ほど強くありません。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。

$\gamma$  (ガンマ) 線・X (エックス) 線は透過力が強く、深部の臓器・組織にまで到達しますが、やはり電離密度は高くありません。生物への影響力は  $\beta$  線と同程度です。

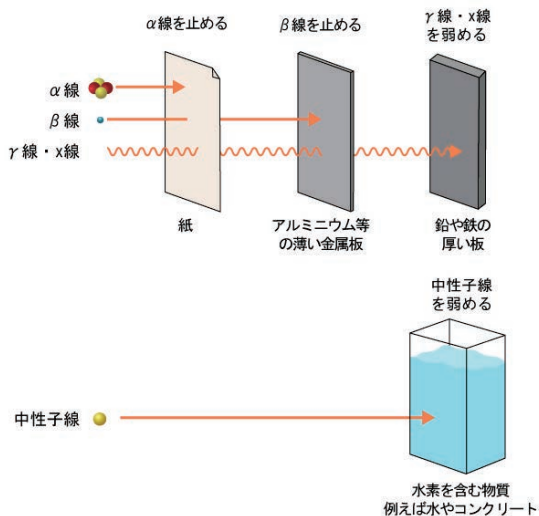
中性子は陽子と質量がほぼ同じであるため、中性子線は、陽子と衝突すると効率よく止まります。人体は水分を多く含んでいるため、中性子は水分子を構成する水素の原子核 (陽子) とぶつかりながら、エネルギーを失っていきます。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

## 放射線の透過力

放射線は、いろいろな物質で遮ることができます



電荷を持つ粒子や電磁波は、物質と相互作用し、エネルギー（速度）を失い、最終的には止まります。

α（アルファ）線は電離する量が極めて多いので、紙1枚で止まります。β（ベータ）線は、エネルギーによりますが、空気中では数m程度飛び、プラスチック1cm、アルミ板2～4mm程度で止まります。γ（ガンマ）線・X（エックス）線はα線やβ線よりも透過力が高く、これもエネルギーにより、空気中の原子と衝突しながら次第にエネルギーを失い、空気中を数十mから数百m飛びます。一方、密度の高い鉛や鉄の厚い板によって止めることができるため、放射線発生装置からのγ線やX線は、鉄等を用いて遮へいすることができます。

電荷を持たない中性子は、衝突によりエネルギーを失い、その後、物質との相互作用等で吸収されます。すなわち、中性子は、物質を構成する原子核と直接衝突することで運動エネルギー（速度）を失います。質量がほぼ同じである陽子（水素の原子核）と衝突する場合に最も効果的に運動エネルギーを失います。

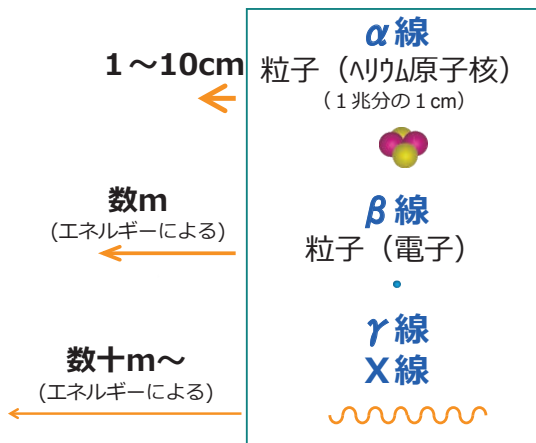
（関連ページ：上巻 P21、「放射線の体内での透過力」）

本資料への収録日：平成25年3月31日

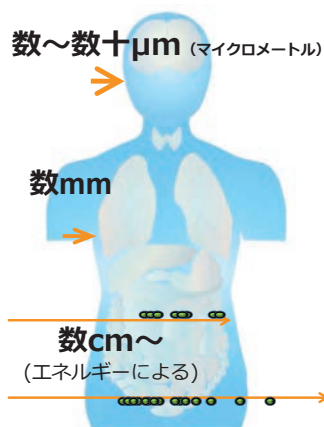
改訂日：平成28年3月31日

## 放射線の体内での透過力

空気中で飛ぶ距離



体に当たると



放射線はその種類によって、空気中や人体中の通りやすさが違います。そのため、外部被ばくと内部被ばくでは、問題となる放射線（α（アルファ）線、β（ベータ）線、γ（ガンマ）線）や放射性物質（核種）が異なります。

α線は空気中を数 cm 程度しか飛ぶことができず、紙一枚で止めることができます。

外部被ばくでは、皮膚表面の死んだ細胞の層（角質層）より深く到達しないので、影響が現れることはありません。しかし、体内に入った場合には、近傍にある細胞に集中的にエネルギーを与えます。

β線が空気中で飛ぶ距離は数 m なので、線源が体から離れた所にある場合には、β線はほとんど被ばくに寄与しません。体表面に付いた場合は皮膚と皮下組織に、体内に入った場合は、周囲数 mm の範囲にエネルギーを与えます。

γ線・X（エックス）線は透過力が強く、空気中を数十 m から数百 m まで飛びます。体に当たった場合は、体の奥深くまで到達し、通り抜けてしまうこともあります。この通り道にエネルギーを与えます。X線検査では、X線が通り抜けやすい部分（肺等）は黒く映り、通り抜けにくい部分（骨等）は白く映ります。

（関連ページ：上巻 P22、「透過力と人体での影響範囲」）

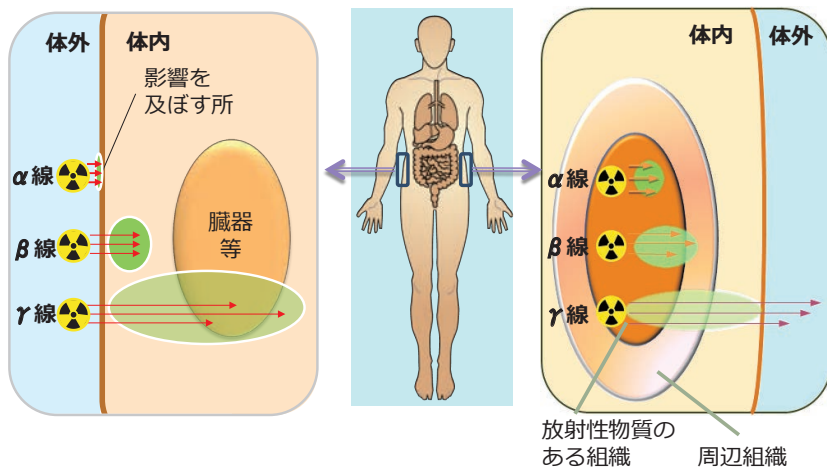
本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

## 透過力と人体での影響範囲

放射性物質が体外にある場合

放射性物質が体内にある場合



外部被ばくでは、α（アルファ）線に被ばくした場合、体表の角質層で止まってしまうこと（α線の透過距離はおよそ数十μm（マイクロメートル））から、影響が現れることはありません。β（ベータ）線は皮膚を通過すること（透過距離はおよそ数mm（ミリメートル））から、線量が相当高い場合には熱傷（やけど）のような症状を引き起こしますが、体の奥深くまで届くことはありません。γ（ガンマ）線は体の奥の重要な臓器まで到達します。こうしたことから、外部被ばくで問題になるのは主にγ線です。

一方、内部被ばくでは、α線、β線、γ線を放出する全ての放射性物質が体内の細胞に影響を及ぼす可能性があります。α線の場合は、飛ぶ距離から考えても、その影響は放射性物質が存在する組織内に限定されますが、生物への影響力は強く、内部被ばくに関しては特に気を付ける必要があります。γ線の場合は、飛ぶ距離が長いので、全身に影響を及ぼす可能性があります。

なお、ウランやプルトニウム等放射性物質の種類によっては、体内に取り込まれた場合、内部被ばくの影響だけでなく、化学的な金属毒性等においても他方影響を受ける場合があります。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日