

六ヶ所再処理工場の操業と線量評価について

平成18年2月7日

青 森 県

六ヶ所再処理工場の操業と線量評価について

1. はじめに

青森県六ヶ所村に立地している原子燃料サイクル施設について、県では、「環境放射線モニタリングに関する指針（原子力安全委員会）」に準拠して策定したモニタリング計画に基づき、「原子燃料サイクル施設周辺住民等の健康と安全を守るため、環境における同施設に起因する放射線又は放射性物質による周辺住民等の線量（人体に及ぼす影響）が、年線量限度（1mSv（ミリシーベルト））を十分に下回っていることを確認する。」ことを目的として、環境放射線等に係るモニタリングを実施してきている。この結果をもとに、年度ごとに「原子燃料サイクル施設に係る環境放射線等モニタリング結果の評価方法（青森県）」（以下、「モニタリング結果の評価方法」という。）に基づき、測定結果に基づく線量の推定・評価（施設に起因する住民等の線量の推定・評価）を行うこととしているが、これまでは施設から環境への影響は認められていないことから省略してきており、参考として「測定結果に基づく線量算出要領（青森県）」（以下、「線量算出要領」という。）に基づき自然放射線等による線量を算出してきている。

一方で、六ヶ所再処理工場本体の操業開始以降において放出される放射性物質に起因する放射線（能）は、本県の環境放射線モニタリングにおいて施設からの影響の有無を把握可能なレベルのものと推定されている。

このようなことから、「モニタリング結果の評価方法」に記載されている「測定結果に基づく線量の推定・評価」の、より具体的な方法について、その基本的な考え方をここに示すものである。なお、今後、本基本的な考え方及び具体的事例に基づき、実施要領を策定していくこととする。

2. 六ヶ所再処理工場の操業に伴う環境モニタリングへの影響

六ヶ所再処理工場については、国内外の最良の技術を用いて、再処理に伴い発生する廃棄物をできる限り取り除く設計とされているが、その一部は排気又は排水とともに大気、海洋へ放出される。国の安全審査において、操業に伴い放出される放射性物質による施設周辺住民等が受ける線量は年間約0.022mSvと評価されており、国が定めている年線量限度の1mSvを十分下回るものである。この線量は、自然放射線による線量2.4mSv（世界平均）の約1%程度と小さく、また、日本国内における自然放射線の地域差（県別平均の差）の最大0.4mSvに比較しても十分低いものの、放出される放射性物質に起因する放射線（能）は、本県の環境放射線モニタリングにおいて施設寄与分として検出され得るレベルのものである。

これらの主要なものはクリプトン-85、トリチウム、炭素-14 等であり、表 1 は、安全審査の評価のベースとなる環境試料に含まれる施設寄与分の放射性核種濃度及び線量評価の予測値、これまでの測定値をまとめたものである。

また、線量評価に用いる 1 年間の積算値又は平均値として有意な増加が認められない場合でも、短期間では測定値に比較的大きな変動が予想される。例えば、フランスのラ・アーグ再処理工場の周辺地域における空間放射線量率の事例がある（参考図 1 , 2 ）。表 2 は、モニタリングステーション尾駸局において、大気中に放出されるクリプトン-85 による空間放射線量率の上昇について変動（上昇幅とその出現頻度）の試算結果をまとめたものである。

なお、表 1 及び表 2 に示す結果は年間 8 0 0 t ・ U の再処理を行った場合の予測値であるが、使用済燃料を用いた総合試験（アクティブ試験）においても、同様に測定値の上昇が予想される。

表1 再処理工場の操業に伴う環境モニタリングへの影響（主なもの）

試料の種類等	核種	対象	単位	施設寄与分(増分)の予測値 ^{*1}	これまでの測定値 ^{*2}
積算線量		モニタリング測定値	μGy/91日	2	74~125
		線量評価値	mSv/年	0.006	0.146~0.245
大気 (気体状)	クリプトン-85換算 (Kr-85)	モニタリング測定値	kBq/m ³	ND (<2) ^{*3}	ND (<2)
		線量評価値	mSv/年	^{*4}	^{*4}
大気 (水蒸気状)	トリチウム (H-3)	モニタリング測定値	mBq/m ³	1000	ND (<40)
		線量評価値	mSv/年	0.0002	NE (<0.00005) ^{*5}
精米	炭素-14 (C-14)	モニタリング測定値	Bq/kg生	90	87~110
		線量評価値	mSv/年	0.006	0.0059~0.0068
葉菜	炭素-14 (C-14)	モニタリング測定値	Bq/kg生	5	^{*6}
		線量評価値	mSv/年	0.0004	^{*6}
根菜・いも類	炭素-14 (C-14)	モニタリング測定値	Bq/kg生	20	^{*6}
		線量評価値	mSv/年	0.0009	^{*6}
海水	トリチウム (H-3)	モニタリング測定値	Bq/	300	ND (<2)
		線量評価値	mSv/年	^{*7}	^{*7}
	プルトニウム (Pu)	モニタリング測定値	mBq/	0.05	ND (<0.02)
		線量評価値	mSv/年	^{*7}	^{*7}
海藻	プルトニウム (Pu)	モニタリング測定値	Bq/kg生	0.02	ND (<0.002)~0.007
		線量評価値	mSv/年	0.00007	NE (<0.00005) ^{*5}
魚類	トリチウム (H-3)	モニタリング測定値	Bq/kg生	300	ND (<2)
		線量評価値	mSv/年	0.0004	NE (<0.00005) ^{*5}
	プルトニウム (Pu)	モニタリング測定値	Bq/kg生	0.005	ND (<0.002)
		線量評価値	mSv/年	0.00009	NE (<0.00005) ^{*5}

*1：モニタリング測定値は、安全審査の被ばく経路における放射性物質の移行評価に基づく年間平均値。線量評価値は、モニタリング測定値をもとに青森県の定めた方法（線量算出要領）により算出。

*2：これまでの測定値の期間

・積算線量：平成11年4月～平成16年3月

・環境試料：平成元年4月～平成16年3月（ただし、精米の炭素-14は平成7年4月～、魚類のトリチウムは平成10年4月～）

*3：年間平均値として有意な増加が認められない場合でも、短期間では測定値に比較的大きな変動が予想されており、個々の測定値に施設寄与がみられる可能性がある。

*4：クリプトン-85の線による線量は、現状、県の線量算出要領の対象外。施設寄与分の予測値（線による実効線量）を日本原燃（株）の事業指定申請書に記載の方法で算出すると、0.0008 mSv/年となる。

*5：NDは定量下限値未満を意味し、NEは評価を行うレベル未満であることを意味する。モニタリング測定値がND又は線量評価値が0.00005 mSv/年未満の場合NEと表示している。

*6：平成17年度から調査を開始（アクティブ試験開始（予定）年度から実施することとしている項目）。

*7：外部被ばくの対象外であり、内部被ばくにおいても人が直接摂取しないため、線量として算出しない測定項目。

表 2 再処理工場の操業に伴うクリプトン-85 による空間放射線量率への影響

測定項目	施設寄与分（増分とその頻度） の予測値 ^{*1}		これまでの測定値 ^{*2}			
	空間放射線量率 (nGy/h)	尾駮局 ^{*3}	10以下	99.83%	尾駮局	平均
10～40			0.16%	最大		96
40以上			0.01%	最小		13

*1：短期間の運転条件及び気象条件を想定した際の、空間放射線量率（線による空気吸収線量率）の大きさ及びその頻度の試算値

*2：これまでの測定値の期間は平成13年4月～平成16年3月

*3：県及び事業者が設置しているモニタリングステーションのうち、気象条件等から、クリプトン-85による線量率への寄与が最も大きいと考えられる尾駮局について試算した。

<解説>

モニタリングステーション設置地点において、自然放射線による空間放射線量率は、通常20～30 nGy/h、最大で100 nGy/h（降雨雪時）程度が観測されている。

再処理工場から放出されるクリプトン-85によって、風下の測定値の上昇が観測され、気象条件等によっては、一時的に100 nGy/h以上の上昇も考えられるが、その出現頻度は低い。

3. 線量評価について

(1) 線量評価の概要

六ヶ所再処理工場のアクティブ試験の開始以降は、平常運転において放出される放射性物質に起因する放射線（能）は、本県の環境放射線モニタリングにおいて、施設寄与分として検出され得るレベルのものと推定されることを踏まえ、県の計画に基づき、環境放射線モニタリングを引き続き着実に実施するとともに、施設起因の放射線及び放射性物質による周辺住民等の線量について適切に評価し、その結果について青森県原子力施設環境放射線等監視評価会議で評価・確認を行う。また、放出源情報に基づく線量評価については、事業者から国への報告に用いられている算出方法により行うこととし、その結果についても併せて報告する。

なお、線量算出要領に基づきこれまで報告してきた自然放射線等による線量については、施設起因の線量の比較参考データとして、今後も引き続き算出していくこととする。

(2) 具体的な線量評価の考え方

外部被ばく

ア 蛍光ガラス線量計（RPLD）の測定値（91日換算値）について施設寄与が認められた場合には、推定・評価した施設寄与分を合計して年間値を求め、年間値が最も高い地点の値に実効線量への換算係数0.8を乗じて線による実効線量とする。

イ 低線量率計 (NaI(Tl)シンチレーション検出器) の測定値 (1 時間値) については、シングルチャンネルアナライザ (SCA) 計数率と線量率の関係等から施設寄与分をより明確に推定・評価できる可能性があることから、今後具体的な線量算出方法を検討していくこととし、施設寄与が認められた場合には、参考として実効線量を試算する。

ウ 線ガスモニタによる測定値に基づき 線による外部被ばく線量を評価することについては、「六ヶ所再処理施設周辺の環境放射線モニタリング計画 (平成 17 年 2 月原子力安全委員会了承)」において線量評価の考え方が示されていることから、県としても今後具体的な線量算出方法を検討していくこととし、測定値に施設寄与が認められた場合には、参考として Kr-85 からの 線による実効線量を試算する。

内部被ばく

ア 評価に用いる環境試料と放射性核種については、モニタリング計画で対象としている試料及び核種のうち、線量評価に関連するものとする。ただし、モニタリング結果の評価方法及び線量算出要領において、評価対象となっている井戸水については、最近の聞き取り調査の結果、飲用に供されていないことから、評価の対象としない。

表 3 線量評価の対象とする試料及び核種

食品等の種類	該当する環境試料	評価対象核種
米	精米	線放出核種、 ¹⁴ C、 ⁹⁰ Sr、 ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu、U
葉菜	ハクサイ、キャベツ	線放出核種、 ¹⁴ C、 ⁹⁰ Sr、 ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu、U
根菜・いも類	ダイコン、ナガイモ、パレイショ	線放出核種、 ¹⁴ C、 ⁹⁰ Sr、 ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu、U
海水魚	ヒラメ	線放出核種、 ³ H、 ⁹⁰ Sr、 ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu
淡水魚	ワカサギ	線放出核種、 ⁹⁰ Sr、 ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu、U
無脊椎動物 (海水産)	ホタテ、ヒラツメガニ、イカ、アワビ、ウニ	線放出核種、 ⁹⁰ Sr、 ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu
無脊椎動物 (淡水産)	シジミ	線放出核種、 ⁹⁰ Sr、 ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu
海藻類	コンブ	線放出核種、 ⁹⁰ Sr、 ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu
牛乳	牛乳	線放出核種、 ⁹⁰ Sr、U
飲料水	水道水	線放出核種、 ³ H、 ⁹⁰ Sr、 ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu
空気	大気浮遊じん、大気	線放出核種、 ³ H、 ⁹⁰ Sr、 ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu、U、

イ 環境試料中の放射性核種濃度について施設寄与が認められた場合には、次のような手順により内部被ばくによる預託実効線量を求める。

- ・ 核種ごとに推定・評価した施設寄与分について、食品等の種類ごとに月又は四半期最大値の年間平均値あるいは年間の最大値を求める。
- ・ この値を用いて、核種ごとに預託実効線量を算出し、対象核種で合計して食品等の種類ごとの線量とする。
- ・ すべての食品等の種類について合計し、内部被ばくによる預託実効線量とする。

ウ 陸域の生物試料(米、葉菜、根菜・いも類及び牛乳)中のトリチウムについては、「六ヶ所再処理施設周辺の環境放射線モニタリング計画(平成17年2月原子力安全委員会了承)」においてその濃度を大気中湿分のトリチウム濃度から推定して線量評価を行うとの考え方が示されていることから、県としても今後具体的な線量算出方法を検討していくこととし、大気中湿分の測定値に施設寄与が認められた場合には、参考として生物試料の摂取による預託実効線量を試算する。

エ 海水魚中のトリチウムにおいて、海水中トリチウム濃度が大きく変化した場合、海水魚中の組織自由水は海水との交換速度が速いため、両者のトリチウム濃度は比較的容易に同程度となるが、有機結合型トリチウムについては、生体代謝反応によりトリチウムと有機物との結合又は脱離が起ることから、その濃度の変化は比較的ゆっくりであると考えられている。再処理工場からの放出により海水中トリチウム濃度に施設寄与が認められるような状況では、海水中トリチウム濃度は時間的・空間的に大きく変動するものと予想されるため、海水魚における組織自由水中トリチウムと有機結合型トリチウムの比放射能が、必ずしも一致しない可能性がある。

このようなことから、今後、これまで実施してきた海水魚の組織自由水中トリチウムの分析に加え、有機結合型トリチウム分析を環境モニタリングへ取り入れることについて検討していくこととする。

施設周辺住民等の実効線量

アの外部被ばくによる実効線量と イの内部被ばくによる預託実効線量を総合し、施設周辺住民等の年間の実効線量とする。

食品摂取量について

別に定める「線量評価における食品等の摂取量について(青森県)」の値を用いる。

評価対象年齢について

線量算出要領と同様に、線量評価は基本的に成人を対象として行う。

線量係数について

放射性核種の摂取量から線量へ換算するために用いる線量係数については、線量算出要領と同じ値を用いる。

表4 1 Bq を経口または吸入摂取した場合の成人の実効線量係数

(単位：mSv/Bq)

核種	経口摂取	吸入摂取
^{54}Mn	7.1×10^{-7}	1.5×10^{-6}
^{60}Co	3.4×10^{-6}	3.1×10^{-5}
^{106}Ru	7.0×10^{-6}	6.6×10^{-5}
^{134}Cs	1.9×10^{-5}	9.1×10^{-6}
^{137}Cs	1.3×10^{-5}	9.7×10^{-6}
^{144}Ce	5.2×10^{-6}	5.3×10^{-5}
^3H	1.8×10^{-8}	1.8×10^{-8}
^{14}C	5.8×10^{-7}	
^{90}Sr	2.8×10^{-5}	3.6×10^{-5}
U	4.9×10^{-5}	9.4×10^{-3}
$^{239+240}\text{Pu}$	2.5×10^{-4}	5.0×10^{-2}
^{131}I		1.5×10^{-5}

- ・ ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ の吸入摂取については、ICRP Publication 72 に示されているもののうち、タイプMの値を用いる。
- ・ ^3H の経口摂取、吸入摂取については、ICRP Publication 72 に示されているもののうち、水に対応する値を用いる。
- ・Uの経口摂取、吸入摂取については、ICRP Publication 72 に示されている ^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{238}U のうち、最も大きな値を用いる。
- ・上記以外の値は「環境放射線モニタリングに関する指針(平成13年3月原子力安全委員会)」による。
- ・ただし、分析方法等から化学形等が明らかな場合には、原則として Publication72 などから当該化学形等に相当する実効線量係数を使用する。

表5 1 Bq を経口又は吸入摂取した場合の成人の甲状腺の等価線量に係る線量係数

(単位：mSv/Bq)

核種	経口摂取	吸入摂取
^{131}I		2.9×10^{-4}

- ・「環境放射線モニタリングに関する指針(平成13年3月原子力安全委員会)」による。

(3)線量評価の実施時期について

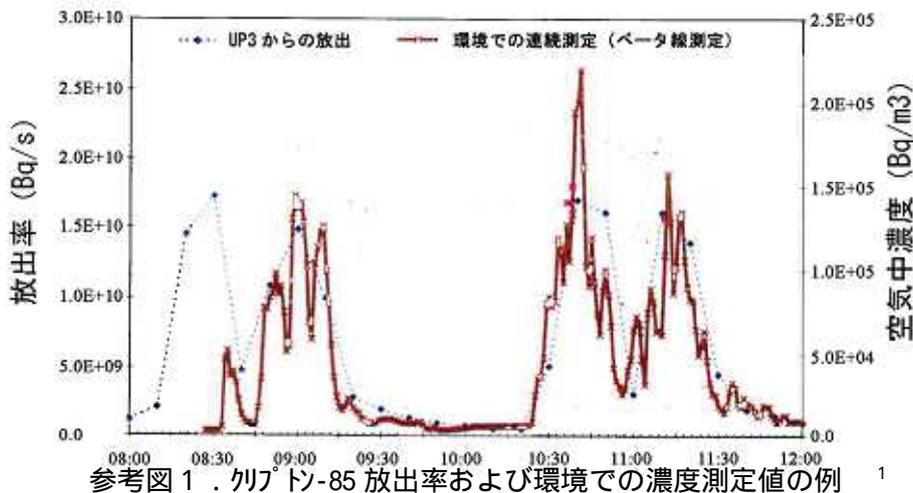
モニタリング結果の評価方法において、線量の推定・評価は、1年間の外部被ばくによる実効線量と1年間の飲食物等の摂取からの内部被ばくによる預託実効線量に分けて別々に算定し、その結果を総合することとしているため、線量評価は年度ごとに実施する。

一方で、再処理工場からの液体廃棄物の海洋放出については法令で3箇月間の線量限度により規制されていること、環境モニタリング結果の取りまとめを四半期ごとに行っていること等を考慮し、四半期報告時に施設寄与が認められた項目については、暫定的に1年未満の期間においても線量を算出する。

(4)調査研究について

今後、六ヶ所再処理工場から環境への影響をより詳細に把握し、県が実施する環境モニタリングにおける線量評価の妥当性を裏付けるとともに、必要に応じて改善に資するため、県と事業者が分担して調査研究を実施する。調査研究結果については、定期的に監視評価会議で報告する。

先行施設における線量率等の観測例

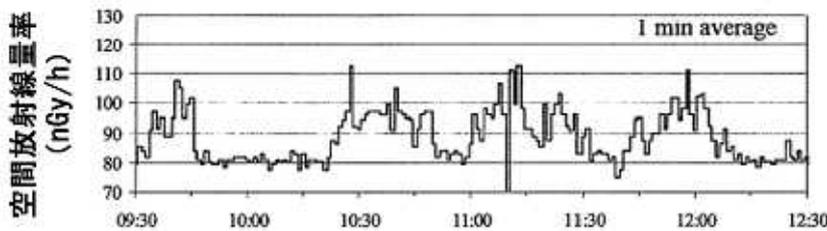


参考図 1 . クリプトン-85 放出率および環境での濃度測定値の例 1

- ・排気筒高さ：100 m
- ・環境測定：放出源から 1,000 m 地点 (Herqueville)
- ・風速：11.1 m/s (排気筒高さ)
- ・大気安定度：D

考察

線量率は風速に反比例することから、風速が 2 m/s の条件を仮定すれば、濃度及び線量率はこの図の5倍程度の値が考えられる。



参考図 2 . クリプトン-85 による環境での線量率 (電離箱) 測定値の例 2

- ・排気筒高さ：100 m
- ・環境測定：放出源から 630 m 地点
- ・風速：10.7 m/s (排気筒高さ)
- ・大気安定度：D
- ・平均放出率： 1.0×10^{10} Bq/s

- 出典： 1 : Comparaison des modèles gaussiens de dispersion atmosphérique de Doury, Pasquill et Caire avec les résultats des mesures du Krypton 85 réalisées autour de l'usine de retraitement des combustibles irradiés de La Hague, IRSN, Rapport DPRE/SERNAT 2000-021 (2000)
- 2 : R.Gurriaran et al., In situ metrology of ^{85}Kr plumes released by the COGEM La Hague nuclear reprocessing plant, J.Environ.Radioact.(2004) ほか