解 説

EPA のウラン燃料サイクルにおける平常運転時の 環境放射線防護基準について

北 原 義 久^{*1}

(1978年4月10日受理)

Concerning of EPA's Environmental Radiation Standards for Normal Operations of Activities in the Uranium Fuel Cycle

Yoshihisa KITAHARA^{*1}

KEY WORDS: EPA, environmental radiation standards, uranium fuel cycle, NRC, environmental statement, environmental dose commitment, BEIR report, cost-benefit, health impact, whole body, thyroid, krypton-85, iodine-129, plutonium-239, variance.

I は し が き

米国の環境保護庁 (EPA) は、1977年1月6日に、ウラン燃料サイクルにおける平常運転時の環境放射線防護基準を正式に公布した。

EPA は、1970年1月1日に公布された国家環境政策法 (National Environmental Policy Act : NEPA) に基づき、1970年12月2日に新たに設置された連邦政府機関である。EPA は空気汚染と水汚染、廃棄物管理、殺虫剤、放射線および騒音などの環境問題について、基準の制定と施行、環境モニタリングの実施とその研究開発などの職務を主体とし、首都ワシントン、D.C. に本部を置くほか、各州の環境問題に関与するため 10 主要都市に地方事務所を設置している。

EPA はその権限に基づき1975年にこの基準 (案) を正式に提案し、その後原子力産業会議 (AIF) での検討と関係者の意見聴取、EPA に Task Force グループを設置して同案の再検討および公聴会の開催により基準 (案) を一部修正した後、1977年1月にこの基準を公布した。

この基準が実際に発行する施行日は段階的に決められ、年間線量当量と α 放射超ウラン放射性核種の放出量制限に係わる基準は1979年12月1日から、製錬操業に伴う年間線量当量についてはそれから1年後の1980年12月1日から、また ^{85}Kr と ^{129}I の放出量については1983年1月1日からそれぞれ施行されることになっている。

この基準は、ウラン燃料サイクル (ただし、採鉱、廃棄物処理および輸送を除く) の平常運転時に適用され、とくに放出量制限についてはこのサイクルの運転により発生する電気エネルギー 1GW-年をベースとしている。このサイクルから除外した採鉱工程は、もともとこれは原子力法が適用されないこと、また廃棄物処理については、現在、基準作成にいたるまでのデータがなく、将来データが蓄積次第再考することとしている。輸送については、その線量寄与が小さいと判断され、現行の輸送規則で十分である。さらに、廃棄物処理と同様の理由により、プルトニウムリサイクルならびにトリウム系の発電施設もこの基準から適用除外としている。

この基準の特長は、10 CFR Part 50 Appendix I のように軽水炉の設計ならびに運転指針と違い、ウラン燃料サイクル全体にかかわる環境防護基準である点と、「環境線量預託」 (environmental dose commitment) という概念を導入して長半減期の核種による環境効果を考慮している点である。

^{*1} 動力炉・核燃料開発事業団；東京都港区赤坂 1-9-13 (〒107)

Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation; 9-13, 1-chome, Akasaka, Minato-ku, Tokyo.

しかし、サイクル全体にかかわる環境防護基準といっても、実際の運用にあたってはウラン燃料サイクルを構成する製錬、転換、濃縮、加工、軽水炉、再処理の各施設ごとの割り当てが必要である。EPA はもともと原子力施設境界外の環境における規制の権限があるのみで、各施設の割り当ての決定は原子力規制委員会 (NRC) の権限に委ねている。もともと NRC は軽水炉以外の再処理とか燃料製造・加工などの施設についても Appendix I のような指針を制定しようと考えていて準備作業中であつたが、EPA の基準公布によって NRC はこの作業を促進させる結果となった。現在、まだその具体的数値は提示されていないが、遅くとも EPA の基準が施行される1979年までには Appendix I のような形で NRC より提示されることになろう。

本資料は、基準作成にいたる経緯と背景、基準の内容とその効果ならびにこの基準に対するコメントなどについて解説する。すでに、筆者は本誌に EPA から提案された基準案について「話題」として述べている¹⁾。その後の動きと決定された基準について重点的に述べたいが、上記内容と一部重複する点はご容赦願いたい。

II 基準作成にいたる経緯

1. 基準制定の権限

1970年12月2日付で公布された「大統領再組織計画」(Reorganization Plan No. 3)により、“放射性物質から一般環境を防護するために、一般的に適用できる環境放射線防護基準”を制定する権限が、連邦放射線審議会 (FRC) (同日付で EPA が設立されるとともに、FRC は EPA に統合された) と AEC から EPA に移管された。この際、基準の制定範囲は、“敷地境界外における放射線被曝線量または放射性物質の濃度あるいは量に関するもの”と「再組織計画」により限定されている。

このように、EPA は一般環境基準を制定する権限があるため、1973年9月、燃料サイクルの各段階における基準を作成しようとした。一方、AEC は原子力法に従い、FRC の勧告に基づき放射線防護基準の制定・施行を行なってきたため、当時の AEC と EPA の権限争いとなった。この両者の調停は、ホワイトハウスの Office of Management & Budget および Council on Environmental Quality (CEQ) が仲裁した結果、AEC は個々の施設 (フェンス内) について従来どおり基準制定・施行の権限をもち、一方 EPA は一般環境の放射線防護基準の制定・施行の権限をもつものと決定し、1973年9月11日に、AEC と EPA は本権限に関し了解メモを取り交わした。

2. EPA の当初計画²⁾

1973年における EPA と AEC の権限争いの前に、EPA はウラン鉱山から再処理までの燃料サイクルの各施設〔燃料供給 (含輸送)、動力炉、燃料再処理の3施設に分類〕に対する環境放射線防護基準を作成する意図をもっていた。この段階で EPA が考えていた基準は、第1表に示すように、各施設による最大個人線量と最大放出量の制限値を基準化しようと計画した。EPA の算定によると、現行の燃料サイクルの運転によって、1973年までに40件の癌と遺伝病の発生があるが、EPA の基準案によると統計的に3.7件以下に減少し、また2000年までのその累積発生推定値3,000件は、この基準によって175~625件の範囲に減少するものとしているが、その根拠は明確でない。

しかし、すでに述べたように、AEC と EPA の権限争いにより、施設に対する基準制定は AEC の権限となったため、EPA はその計画を中止して、改めて原子力施設のフェンスより外の一般環境に適用され、かつ各施設ごとの基準ではなく、ウラン燃料サイクル全体に適用される基準を再考することにした。

3. 提案基準と公布

EPA はその権限に基づき、1974年5月10日に基準提案の計画を改めて発表した。公聴会を招集してその意見を検討した結果、1年後の1975年5月29日に、原子力法と大統領再組織計画 No. 3 に従い、ウラン燃料サイクルにおける平常運転時の環境放射線防護基準を正式に提案し、規則化のため連邦登記所に提出し公示された³⁾。

告示された内容は、各機関相互間の関係、基本的考察、技術的考察、基準の施行、意見聴取の各項目についてその主旨を述べるとともに、規則の条文(案)が示された。これは Code of Federal Regulations (CFR) の Title 40, Part 190 (40 CFR 190) に新たに規則化しようとするものであった。また、同時に、この件に関する143ページにわたる Draft Environmental Statement が作成された⁴⁾。この報告書の構成は、I. 序文、II. 提案行為、III. 環境放射線防護基準の法的根拠、IV. 環境放射線防護基準の作成根拠、V. 提案基準に対する技術的考察、VI. 提案基準の予想効果、VII. 提案行為の代替案、となっていた。

EPA は公示した日から60日以内に、この提案規則に対する関係者の意見を求めていた。

1975年9月7日~10日にわたり、ワシントン、D.C. で開催された AIF 主催のセミナー (Seminar on Government Regulation of Nuclear Power—the Impact of Environmental Requirements on Facility Design

第1表 燃料サイクルの各施設に対する当初計画の EPA 基準

	最大個人線量 (敷地から) (mrem/年)	最大放出量 (施設ごと)
燃料供給 (含輸送)	15 (いかなる器官)	1 Ci/年 (U+娘元素-除く: ^{222}Rn)
動力炉*	5 (全身)*	5 Ci/年 (液体廃棄物)
	15 (小児甲状腺)*	600 Ci/年 (^3H)
燃料再処理	15 (いかなる器官)	25 mCi/年 (^{239}Pu と他の超ウラン元素)
		0.1 Ci/年 (^{129}I)
		1% (^{85}Kr インベントリーの)

* 幅一異常時一線量限度の3倍

第2表 各基準における健康への影響数*

	FRC ガイド 10 CFR 20		現 行 の 運 転		計 画 中 の EPA 基 準	
	1973	2000	1973	2000	1973	2000
燃 料 供 給	~30	~1,000	<1	50	<1	<25
原 子 炉	>200	>10,000	30	1,500	~1	100
燃 料 再 処 理	20	2,000	10	1,500	5	50**~500
計	>250	>13,000	40	3,000	<3.7	175**~625

* 白血病, 遺伝病を含む癌総数

** トリチウムのコントロールは1985年に可能と仮定

and Operation) で, EPA から提案基準の説明と, EPA にこれまで提出された主要なコメントが発表されるとともに, 同セミナーで質疑応答が行なわれた。一方, その意見聴取期限が1975年9月中旬まで延期された。

各界からの意見は, 総計 82 件となり, 一般人, 産業界, 専門家グループ, 州政府, 連邦機関の広範囲の各層から EPA に提出された。

また, 1976年3月8日~10日にわたる3日間, 17 機関・団体が参加して公聴会が開催され, その記録文書は 3,500 ページにおよんでいた。

EPA は, Task Force グループを設けて, これらのコメントをレビューして提案基準の改訂作業を行なうとともに, 1976年11月には Final Environmental Statement を作成した⁵⁾。これは, Draft の内容の修正とともに, VIII. Draft Statement の検討中に生じた主な問題, IX. コメントに対する回答, の項目が新たに追加された。IX章の附録には, EPA に提出された意見が手紙とともに全文の写しが掲げられている。

1976年12月28日, EPA は改訂した最終的な基準を発表し⁶⁾, 1977年1月6日, この基準が正式に公布された。

実際にこの基準が適用される施行日は, その内容によって3段階に分れ, 公布後一番早くて3年後, また一番遅いのは6年後からとなっている。

10 CFR Part 50 Appendix I の場合, 1971年6月9日に提案された後改訂され, 1974年に新しい Appendix I が示され, 提案から4年後の1975年4月30日にしてようやく公布された経過とくらべて, EPA の基準は約2年で規則化された。しかし, とくに NRC との基準制定の権限争い, また本資料のIX章で述べるように, この基準に対する産業界および環境保護グループからの反論があったが, 数値的な基準が変更されなかったことは EPA の当初計画が達成されたといつてよからう。以上述べた経緯を一覧表にして第3表に示す。

III EPA の環境安全にかかわるアプローチ法⁷⁾

EPA が用いている集団線量と健康への影響を解析・評価するアプローチ法は第1図に示すようになっている。計算に用いられた放出量は, NRC から報告されているデータを用いている。被曝評価法については, EPA と NRC などの機関で技術的な情報交換が行なわれてい

るが、EPA の評価モデルは他の機関の方法とわずかに違っている。その理由は、EPA の考え方に長寿命放射性核種による環境線量預託と健康へのリスクを考慮しているためである。

主要な被曝経路としては気体放出物による外部被曝であるが、EPA は AIREM コードを開発して外部被曝と

吸入による集団線量と個人線量を計算し、またこのコードは食物摂取による内部被曝線量の計算にも使われている。

EPA は、「環境放射線モニタリングシステム」(Environmental Radiation Ambient Monitoring System : ERAMS) を1973年7月に完成した。最近のシステムは、とくに長半減期の放射性核種の環境蓄積に重点を置くようになってきた。また、 ^{234}U と ^{238}U 、 ^{238}Pu と ^{239}Pu 、 ^{14}C 、 ^3H 、 ^{90}Sr および ^{85}Kr の核種については特別な分析を行なっている。第4表は、ERAMS の現状を要約して示してある。このシステムには、アメリカ本土、アラスカ、ハワイおよび准州のおよそ150カ所からサンプリングされた空気、水、ミルクおよび人体の骨について700件/年以上の分析が含まれている。このような定常モニタリングにより環境中放射能レベルの動向が調査されている。ERAMS は必要があれば追加・修正されることになっている。

線量とリスク評価について、EPA は「広範囲線量計算システム」(Comprehensive Dose Computational System : CDCS) を開発した。

IV 基準制定の背景と根拠

環境放射線防護基準を制定する主要な目的は、1) 燃料サイクルの操業に起因する放射線に対して一般公衆を防護し、2) 長寿命放射性核種による不可逆的な環境汚染を制限する、こととした。この目的に立って、EPA は原子力産業の諸活動に対する環境面からの基準作成にあたり、(1) 一般公衆に対する総放射線量の制限、(2) 個人に対する最大線量限度の制限、(3) 長寿命放射性核種の環境への放出によって生じる線量に起因する将来における健康への影響、および(4) 放出管理によりこれら核種のリスク低減に利用できる効果と費用、などを考慮すべきとの結論に達した。

一方、BEIR 報告⁸⁾は次のように述べている。“医療用

第3表 EPA の基準制定にかかわる経緯

年月日	経緯
1970. 12. 2	EPA の設立 (FRC の吸収)、大統領再組織計画 No. 3 の公布
1973. 9. 11	AEC と EPA の間で、環境基準制定に関する権限について了解メモ。EPA の当初計画の中止。
1974. 5. 10	EPA は基準提案の計画を発表、公聴会の開催、Draft Environmental Statement の作成
1975. 5. 29	ウラン燃料サイクルにおける平常運転時の環境放射線防護基準を提案し公示。
(1975. 7. 28)	関係者の意見聴取締切り (9月中旬まで延期)
1975. 9. 7~10	AIF 主催のセミナー開催
1976. 3. 8~10	公聴会 (17機関・団体が参加)
1976. 11. 1	Final Environmental Statement の作成
1976. 12. 28	EPA より最終的な改訂基準の発表
1977. 1. 6	EPA 基準の公布
1979. 12. 1	基準の施行日 (製錬を除く他、 ^{85}Kr 、 ^{129}I に関する放出量基準を除く他の基準)
1980. 12. 1	同上 (製錬)
1983. 1. 1	同上 (^{85}Kr 、 ^{129}I に関する基準)

第1図 環境へ放出される放射能に関連した集団被曝と健康への影響を推定するためのEPAのアプローチ法

第4表 EPA の環境放射線モニタリングシステム

測定対象	現在のネットワーク				以前のネットワーク	開始時期 (年)
	採取点数	採取頻度	分析項目	分析頻度		
〔大 気〕 全放射能と降下量	20 (実働)	2 回/週	全 β +	2 回/週	放射線監視ネットワーク	1956
	54 (待機)*		ガンマスキャン†			
	20 (実働)	毎降雨	全 β	降雨毎		
	54 (待機)*		ガンマスキャン§	〃		
			^3H	月間合成		
降下量			$^{238}, ^{239}\text{Pu}$, $^{234}, ^{238}\text{U}$	3 ~ 5 月の合成		1967 1974
大気中の プルトニウム, ウラン	20	2 回/週	$^{238}, ^{239}\text{Pu}$, $^{234}, ^{238}\text{U}$	3 カ月合成‡	大気浮遊塵中の プルトニウム	1965
大気中の ^{85}Kr	12	2 回/年	^{85}Kr	半年毎	ネットワークなし, 1962 年は単独に測定	1973
〔 水 〕 表面水	55	4 回/年	^3H	3 カ月合成‡	トリチウムサームベイスシステム	1964
			ガンマスキャン	年間合成‡		
	76	4 回/年	^3H	3 カ月間		
			全 α	年間合成‡		
			全 β , ガンマスキャン	〃‡		
飲料水			^{226}Ra	〃**	なし	1970
			^{90}Sr	〃++		
	20		$^{238}, ^{239}\text{Pu}$	〃‡		
			$^{234}, ^{238}\text{U}$	〃‡		
州間輸送システム	658 ~ 220/年	4 カ月毎	全 α , 全 β ^{90}Sr , ^{226}Ra	4 カ月毎	州間飲料水輸送プロジェクト	1960
〔ミ ル ク〕 市販乳	65	月毎	ガンマスベクトロメトリ (^{131}I , ^{137}Cs , ^{140}Ba , K) $^{89}, ^{90}\text{Sr}$, ^3H	月毎	市販乳ネットワーク	1960
				年合成‡		
原乳特別分析	9	月毎	^{14}C	年合成‡	^{14}C	1965
〔人体組織〕 骨	不定	年毎	安定 Ca, ^{90}Sr	年毎	人骨分析ネットワーク	1961

* 大気圏内核実験など汚染が起ったときに活動する ‡ 年合成はコンボジット (合成試料) 分析 + フィールド測定後, 持ち帰って定量 ** 全 α のレベルが 3 pCi/l を超えるとき † 全 β が 10 pCi/m³ 以上の場合実施 ++ 全 β のレベルが 10 pCi/l を超えるとき § 全 β が 15 nCi/m³ を超えたとき実施

以外のすべての人為的放射線源に対する線量預託は、次の数十年間にわたり年間の平均線量として数ミリレムを越すはずはないとすべき理由がある。(そしてさらに)……(社会的)要求は、……現行の放射線防護指針(Federal Radiation Protection Guide: FRPG)が許容するリスクよりもずっと低くすべきとされていると考えられる。このように、現行指針は不必要に高い。……基準は、cost-benefitの解析結果に基づいて制定すべきである”。そこで、もしも現行のFRPGが許容するレベルで、拡大しつつある原子力産業が操業されることになれば、放射性排出物に起因する健康への影響は大きなものとなろう。アメリカでの原子力産業は、現在の総発電容量に占める原子力発電の割合約8%を西暦2000年までに40~60%に高めるよう計画されている(すなわち約40 GWから400~1,500 GWへ増加)⁹⁾。現行指針は、公衆の構成員に対して全身に500 mrem/年と生殖腺に30年で5 rem、また他の器官についてもレベルが決められている。さらに、決定的な集団グループに平均として170 mrem/年の制限を勧告している。一方、この指針は「実用可能な」限り個人への被曝を指針よりいくらかでも低く保つべきであるという勧告を付しており、現在原子力産業側も大部分が現行の指針が許容するレベルの約1/10で操業している(軽水炉の場合はAppendix Iにより5 mrem/年以下)。これは、前のAECが各施設に認可を与える段階で履行することにより達成されていた。

しかし、個人の被曝のみに注目していると、年間の個人被曝線量としてはごくわずかな増加にしかならなくとも、集団に実質的に長期的影響をおよぼす長寿命放射性核種の管理が不十分になってしまう。他方、関連する集団線量とそれを低減しようとする放出管理に伴う経済的要因を考慮せずに個人線量のみを減らそうとすると、短寿命放射性核種に対して合理性のない放出制限管理となってしまうことがある。したがって、個人被曝線量を「実用可能な」できるだけ低いレベルに低減しても、それだけでは環境放射線防護基準としての十分な原則とはならないとしている。

このため、EPAはBEIR報告の結論を取り入れるとともに、長寿命放射性核種による長期影響を考慮することにより現行指針の不備を補うこととした。もちろん、この背景には、すでに述べたように、大統領再組織計画No. 3により、このような基準制定の権限がEPAに移管されたことが大きな要因ともなっていた。

V 基準の内容

1. 基本的考え方

この基準は、一般公衆の最大被曝線量を規制している現行のFRPG[F.R. Docs. 60-4539, 61-9402]を補足し、40 CFR Part 190に新たに追加して、平常運転時のウラン燃料サイクルに対して適用するもので、事故時は除くとともに、プルトニウムリサイクルとトリウム系の発電施設に対するこの種の基準は将来EPAによって検討される予定になっている。

基準作成にあたって、EPAが考慮した基本的考え方は次のとおりである。すなわち、(1)現行の公衆の構成員に関する年間線量当量は不必要に高いので、合理的に低くすること。(2)1年間に基づいていた被曝管理の考え方に、環境に放出された長寿命放射性核種による長期間の影響を含めること(いわゆる「環境線量預託」の考え方)。(3)ALAP(as low as practicable)の考え方で基準値を決めるとき、cost-benefitの考え方を導入する。

原子力施設から放出される放射性核種の多くは短寿命であり、その放射性壊変によって1年以内にそのほとんどが環境から除かれ、線量寄与はほとんど無くなってしまふ。しかし、一部の長寿命核種はその半減期が数十年から数百万年にわたるため、それらが環境へ移行したとき、長期間にわたり一般公衆に被曝を与えることになる。これは、集団に与えられる線量を年ごとに合計して得られ、EPAは「環境線量預託」と定義し¹⁰⁾、基準作成を進める分析上の目的でその期間を100年として計算された。この概念はUNSCEARが用いている線量預託と違い、後者は特定の被曝線源による集団の平均線量を無限時間で積分したものとして定義されている。EPAの環境線量預託の考え方について、スエーデンのDr. Bo LINDELLが異議を出し、EPAがこれにまた反論する経緯があった^{11),12)}。

判定された基準の主要点は、1)全身またはすべての器官(甲状腺を除く)に年間線量当量としてそれぞれ25 mrem、甲状腺に75 mrem、2)ウラン燃料サイクルにより生産されるGW-年の発電あたりに環境へ放出される⁸⁵Kr、¹²⁹I、プルトニウムと半減期1年以上の α -放射超ウラン核種の放出量をそれぞれ50,000 Ci、5 mCi、0.5 mCiに制限する、というものである。

第1カテゴリーの基準は、短寿命放射性核種による線量(長寿命核種による線量も含むが、線量寄与分は一般に小さいとされている)を規制するために設定されている。全身線量の制限値25 mrem/年は、気体状および液体状排出物による外部と内部被曝線量が含まれている。

これに対して第2カテゴリーでは、とくに長寿命核種を規制するもので、これら核種が基準値に達するまで何時、どこでも、またいかなる放出率でも年間線量当量を越えない割合で放出してもよいことになっている。

この基準が適用されるウラン燃料サイクルは第2図に示すような関係になっているが、このうち、採鉱、廃棄物処理および輸送は適用除外としている。

採鉱を除外したことは、もともと EPA の基準化が原子力法に基づいており、原子力法には採鉱にかかわる規制がないためであった。一方、採鉱作業からの液体排出物は、1972年の連邦水質汚染管理法補則 (Federal Water Pollution Control Act Amendments) で規制されている。EPA は、鉱山からの主要なエアボーン放出物 (^{222}Rn) の管理が将来必要と考えられる場合、この基準の適用または原子力法の改訂などについて再検討することとしている。

廃棄物処理については、放射性廃棄物の処分と施設の解体などによる施設管理の放棄の場合であって、これらの問題について EPA, ERDA (現在 DOE), 米国地質調査所, NRC, CEQ および他の政府機関によって、現在調査中であり、EPA は将来この分野についても基準化する予定になっている。

輸送については、現行の輸送規則に従えば一般公衆への被曝線量は少なく、ウラン燃料サイクルの中でのこの線量寄与はごくわずかと判断された。一方、もしこの基準 (全身 25 mrem/年) が輸送に適用されても、その確認が困難であることも一つの理由により、適用範囲から削除された (第2図)。

2. 規則条文

EPA の環境放射線防護基準は、Code of Federal Regulations に 40 CFR 190 として新たに規則化されたが、その全文を以下に示す。

Title 40—環境の防護

Chapter I—環境保護庁

Subchapter F—放射線防護計画

Part 190—原子力の操業に係わる環境放射線防護基準

A号 一般規定

190.01 適用

本項の規定は、核燃料サイクルにかかわる運転の結果として一般環境中の公衆の構成員が被曝する放射線量および一般環境中に放出される放射性物質に対して適用する。

190.02 定義

a) “核燃料サイクル” とは、核エネルギーを利用し

第2図 ウラン燃料サイクル施設の関係

た燃料サイクルが公共電力の発生に関係するものとして定義された各種の運転をいう。

- b) “ウラン燃料サイクル” とは、核エネルギーの利用により公共の需要電力の発電を直接支援する、ウラン鉱石の製錬、ウランの化学的転換、ウランの同位体濃縮、ウラン燃料の成形加工、ウラン燃料を使用する軽水冷却型原子力発電所での電力の発生、使用済燃料の再処理の運転をいうが、採鉱作業、廃棄物処理場における作業およびこれらの運転を支援する放射性物質の輸送ならびにこのサイクルから回収されたウラン以外の特殊核物質と副産物の再利用は除く。
- c) “一般環境” とは、核燃料サイクルを構成するあらゆる運転を行なう敷地以外の、すべての地上、大気および水環境をいう。
- d) “敷地” とは、本項に掲げた運転の1つまたはいくつかの運転を行なうとき、放射性物質を処理したりあるいは使用する人達によって管理されている場所の境界内の区域をいう。
- e) “放射線” とは、次のいずれか1つまたはすべてをいう： α , β , γ またはX線；中性子；高エネルギー電子，光子，または他の原子核粒子；ただし，音波，電波，可視光線，赤外線，または紫外線を除く。
- f) “放射性物質” とは，放射線を自発的に放出するあらゆる物質をいう。
- g) “キュリー” (Ci) とは， 3.7×10^{10} dps を生じさせる放射性物質の量をいう。(ミリキュリー (mCi) = 0.001 Ci)。
- h) “線量当量” とは，吸収線量と，放射線の線質および体内でのその空間的分布に依存する生物学的効

果の差を考慮して定めた適当な係数との積をいう。
線量当量の単位は“レム” (rem) である。(1 mrem = 0.001 rem)。

- i) “器官”とは、真皮、表皮、または角膜以外の人間のいずれかの器官をいう。
- j) “GW-年”とは、発電所の幹線に供給された電気エネルギーの量をいう。1 GW は 100 万 kW に等しい。1 GW-年は 1 GW の平均電力を 1 年間にわたって維持される出力エネルギー量に相当する。
- k) “公衆の構成員”とは、核燃料サイクルに関係して職業的に放射線に被曝しようとしまいと一般環境で放射線量を受ける個人をいう。しかしながら、1 個人でも、核燃料サイクルの一部であるいずれかの運転に従事している期間は公衆の構成員とは見なされない。
- l) “規制機関”とは、放射線源または放射性物質の使用もしくはそこからの放出物を規制する規則を制定したり、このような規則に従っていることを確認するための検査と施行業務の実施責任をもつ政府機関をいう。

B号 ウラン燃料サイクルに対する環境基準

190.10 平常運転時の基準

このB号にかかわる運転は、以下に示すことを合理的に保証するような方法で行なわなければならない：

- a) ウラン燃料サイクルの運転により一般環境へ計画的に放出される放射性物質（ラドンおよびその娘核種を除く）、ならびにこれらの運転による放射線によって受ける年間線量当量は、公衆の構成員に対して、全身に 25 mrem、甲状腺に 75 mrem、そしてその他の器官に 25 mrem を越えないこと。
- b) ウラン燃料サイクル全体から一般環境へ排出される放射性物質の総量は、燃料サイクルで発生した電気エネルギー GW-年あたり、 ^{85}Kr について 50,000 Ci 以下、 ^{129}I について 5 mCi 以下ならびに ^{239}Pu と半減期が 1 年以上の α 放射の超ウラン放射性核種を合せて 0.5 mCi 以下であること。

190.11 異常運転時の変動幅

190.10 項で規定した基準は、次に示す場合においては越えることがあってもよい：

- a) 規制機関が、一時的に異常な運転状態が存在しかつ連続運転が公共の利益であるとの決定に基づいて、ある変動幅を許可したとき。そして、
- b) 異常運転の状況、その運転の結果基準値を越える予想範囲、変動幅の原因、基準に復帰するための計画を述べた資料は公式の記録に迅速に載せられるも

のとする。

190.12 施行日

- a) 190.10, a) 項は、1979年12月1日より施行し、ウラン鉱石の製錬操業に起因する線量については適用除外とし、この施行は1980年12月1日とする。
- b) 190.10, b) 項の基準は、1979年12月1日より施行し、 ^{85}Kr と ^{129}I に係わる基準は1983年1月1日より施行するものとし、これらの施行日以後核分裂工程で生成した放射性物質について適用される。

EPA が提案した 基準案を変更した 主要な部分を示すと次のとおりである。

(1) 190.02, b) 項の定義で、基準の適用範囲でウラン燃料サイクルの中から廃棄物処理と輸送を削除するよう変更した。この理由については、前の1項ですでに述べているとおりである。

(2) 基準案の定義で、“ウラン鉱石”とは重量比 0.05 % またはそれ以上の ウランを含有するあらゆる鉱石をいう、としていたが、将来これ以下の品位の鉱石も利用することが予想されてきたので、全文削除するよう変更した。

(3) 190.12, a) 項で、基準案の施行日は公布後24カ月、 ^{85}Kr と ^{129}I については1983年1月1日としていたが、製錬を除く線量については1979年12月1日、製錬についてはそれから1年後の1980年1月1日と変更した。

製錬について、とくにこの操作に係わる鉱さい堆積場 (mill tailing) が、EPA の基準に適合しないことがわかってきた。EPA の調査によると、17 施設のうち7施設は EPA の基準を満足するが、残りの 10 施設はその堆積場からのエアボーン放射能を防止するためコンクリートなどでその表面を被うなどの安定化対策が必要と考えられた。このため、NRC は1976年6月に製錬操業の環境評価を行なう意図を発表した。また EPA は NRC と共同で、製錬施設周辺の環境モニタリングを実施することになった。このように、環境評価とその結果による対策のための期間が必要なため、施行日が他の施設よりも1年延期された。

(4) 190.12, b) 項には、EPA の当初の意図を明確にするため、基準は施行日後発生する放射性物質に適用するという条文を追加した。

VI 基準に関する技術的考察

1. 基準作成の解析評価方法

EPA は、その作成にあたって考慮した点は次の2点であった。すなわち、(1) ウラン燃料サイクルの運転に

よって一般公衆への影響をできるだけ正確に算定する。
(2) 放射性物質の環境への放出低減化に伴う費用とその効果関係を cost-benefit の観点からバランスさせる。公衆に不必要なリスクを与える（設置者にそれ相当の費用をかければそのリスクが少なくできるという意味で不必要な）基準を設定することも無責任であろうし、また設置者に不当な費用を出させるような（その費用が一般公衆のリスク低減にあまり寄与しないという意味で不当な）基準を設定することも無責任となる。

第1の考慮には、BEIR 報告に述べられているように、環境防護基準の作成にあたって、「線量-効果関係は直線性で閾値がなく、線量率に依存しないモデルを使用すべきである。」という結論を採用している。これに基づき、一般公衆の健康への影響評価をしている。

次に、第2の考慮には、基準によって当然要求される放射性放出物の低減化に要する費用とそれによるリスクとの関係が解析評価される。その費用算定には、放出低減化技術の評価（R & D も含む）、その効率と寿命とを考慮し、設置費、運転経費などが詳細に検討された。一般公衆のリスクについては集団はもちろん、個人に対する健康影響が評価され、いわゆる cost-benefit のバランスが解析評価された。

第2図に掲げたウラン燃料サイクルで、それを構成する各作業の年間処理能力とモデルプラントの特性を第5表に示す。このモデルは軽水炉が1GW-年の電力を維持するとき、その他のサイクル構成施設の年間処理能力を示している。アメリカで西暦2000年までに計画された発電量とウラン燃料サイクルを構成するモデル施設の必要数は、第3図に示すようになる。再処理を除いて、およそ1980年までは現在の処理能力で燃料サイクル要求量

を十分満たすものと考えられている。

EPA が基準作成に考慮した cost-benefit の考え方を述べると、第4図に示すように、このようなモデル施設を用いて西暦2000年までの30年間における各種放出低減化の費用（cost）と健康影響の減少効果（benefit）を解析評価した。この図では PWR と BWR の両者について示されているが、同時に消費電力料金（ミル/kWh）との関係も示されている。これはあくまでも参考値である。この図から、公共の利益となる原子力発電のために、社会的に容認できるあるバランスのとれた cost-benefit に相当する放出低減化の管理法が見つけられよ

第3図 計画されている核燃料サイクル施設の必要数

第5表 モデル燃料サイクル施設の諸特性

作 業 ¹⁾	燃料サイクルプラントの年間能力		施設により維持されるLWRモデル基数
	範 囲	モ デ ル	
ウラン製錬 (MTU ₃ O ₈)	500～1,100**	1,140	5.3
UF ₆ 生産 (MTU)	5,000～10,000	5,000	28
同位体濃縮 (SWU)	6,000～17,000	10,500*	90
UO ₂ 燃料成型加工 (MTU)	300～1,000	900	26
LWR (GW(e) 容量)	0.04～1.3	1	1
使用済燃料再処理 (MTU)	400～2,100	1,500	43

* 原子力産業界の現在の運転レベルとモデルプラント能力を仮定した。

** 現有施設の約70%の数値。

1) 各作業の単位は次のように略してある。MT, メートルトン; SWU, 分離作業単位; GW(e), ギガワット (電力)

第4図 リスク低減対ウラン燃料サイクルに対するコスト

う。EPA の解析結果によると、このバランスする費用として1GW(e)あたり、PWRで約300万ドル、BWRで約800万ドルと評価し、これ以上の経費をかけてもリスクを大幅に減らすことは期待できないとしている。また、1件の影響を回避する費用は約50万ドルと見積ら

れている。

2. 環境声明書による評価線量

1969年に制定されたNEPAに基づき、1974年までに、原子力施設の環境声明書(EIS)が82カ所の敷地で152基の原子炉について提出された。これらに記載されている

一般公衆の被曝線量についてまとめると次のとおりである。

第6表、第7表および第8表に、それぞれ PWR, BWR とその他の燃料サイクル施設による一般公衆の被曝線量が、また気体状、液体状放出物と γ 放射線による最大全身線量ならびに子供の甲状腺に対する最大甲状腺線量（もっとも近い牧草地で計算）が順に示されている。原子炉以外の他の燃料サイクル施設の場合には、最大全身線量、甲状腺線量と肺線量ないし骨線量が示されている。

第6表によると、PWR からの気体状放出物により最大全身線量が 1 mrem/年 を越えないと評価され、また 3 施設については 2 mrem/年 と 1 施設については 4 mrem/年 と評価されている。液体状放出物による最大線量も同様のパターンを示している。1 mrem/年 よりもかなり大きな線量となっている理由は、希釈されていない排水で直接成育した魚を動物性蛋白として年間を通じて摂取するという、とてもあり得ない仮定に基づいて計算されている。同様に γ 線による被曝線量は 1 mrem/年 以下である。もっとも近い農場でのミルク摂取による子供の甲状腺線量は 10 mrem/年 以下である。15 mrem/年 を越えていた 1 施設は、空気抽出器と蒸気発生器ブローダウンからの排出物処理を簡単な改良によりその計画放出量の 98% を制御することができた。

第7表によると、BWR からの気体状放出物による最大全身線量が 2 mrem/年 を越えないものが 31 施設中 80% で、1 施設を除く残りが 5 mrem/年 以下である。Peach Bottom 発電所では、年間を通じて無遮蔽で居住すると、その境界にもっとも近い場所で 8 mrem/年 と予想されているが、もっとも近い住民での実際の線量はかなり低くならう。液体状放出物による線量はこれより小さく、90% の施設が 1 mrem/年 あるいはそれ以下と 4 mrem/年 を越えるものは皆無と評価されている。 γ 線量は、BWR の場合、 ^{16}N がタービンを循環するため、PWR より高くなっている。とくに 2 基の BWR については線量が高くなっているが、そのうち Nine Mile Point 発電所の場合、排水路近くでの舟遊びを制限することによりその線量を減らすことができる。Bailly 発電所の場合は、隣接する製鉄所の従業員に対する線量で、永住者に対するものでなく、これは不当に高いとは評価されていない。最大の被曝線源になり得る可能性を秘めたものは、BWR からのヨウ素放出である。もっとも近い農場での最大甲状腺線量は 70% の施設で 10 mrem/年 以下であるが、5 施設については 20~30 mrem/年 と、1 施設がそれ以上となっている。10 mrem/年 以上

になっているすべての施設で、主な発生源は、タービン排気口からのヨウ素放出によるものであった。

第8表には、原子炉以外の燃料サイクル施設の作業による予測線量が示されているが、製錬および再処理施設の作業による肺と骨線量、また後者の施設からの甲状腺線量は比較的小さいものと評価されている。

3. 環境モニタリングの結果

稼働している原子力施設の事業体は、少なくとも半年ごとに、実際の放出量に関する報告書を AEC（現在は NRC）へ提出している。一方、EPA は特定の施設を選んで、その周辺で詳細な環境モニタリングを実施してきた。この結果によると、希ガスについて PWR の場合、放出濃度が低いためにモニタリング結果から比較できないが、BWR の場合、平均して、実際の放出量は予測よりも係数 3 だけ低く、すべての施設で少なくとも 35% 低いことがわかった。液体状放出物による線量は、希ガスの場合よりもずっと低く、調査した範囲では 1 mrem/年 以下であった。ヨウ素については、とくに Monticello, Dresden および Quad Cities 発電所で調査され、 ^{131}I が 1 Ci 放出されたとき、子供に対する最大甲状腺線量は 10 分の数 mrem/年 にしかなかった。この結果を他の施設にも適用して線量を算出してもその値は 1 mrem/年 に満たないものであった。

このように、一般的に予測された線量は実際よりもかなり高いことがわかった。

VII 基準制定による効果

1. 健康効果

放射線の被曝によって予想される健康への影響は、第9表に示すように、基準制定によって現行指針のそれとどの程度減少するかがわかるようになっている。同表の第1欄は、現行指針 (FRPG) の集団に対する規制値 170 mrem/年 に相当し、第2欄は Appendix I に基づいた場合の影響数を示している。EPA の基準によって、西暦2000年までに環境へ放出される長寿命核種によりおよそ 1,000 件の影響を減らす効果があると評価された。一方、短寿命核種については Appendix I により、現行の FRPG による予想値よりかなり低くなっているが、EPA の基準によるこれからの 10 件程度の減少は、軽水炉以外の施設からの線量低下に起因するものである。

この場合、燃料サイクルにおいて残る主な影響は、 ^{14}C と ^3H によるもので、今回 EPA の基準にはこれらの核種に対して基準制定を考慮しなかったため、健康への影響数は現行指針と変っていない。

第5図は、西暦2000年までの計画により、基準がある

第6表 PWR の 環 境 へ の 影 響

施 設 (ユニットの数)	EIS (月/年)	被ばく線量 (mrem/年)			
		気 体	液 体 (全 身)	施設周辺 ガンマ*	よ う 素 (甲状腺)
Byron (1)	7/74	<1	2	<1	9
Pilgrim (3) ^{a)}	6/74 (draft)	<1	<1	<1	4
Commanche Peak (2)	6/74	<1	1	<1	5
Bellefonte (2)	6/74	<1	<1	<1	<1
Fulton (2) ^{d)}	5/74 (draft)	1	<1	<1	<1
St. Lucie (2)	5/74	<1	<1	<1	4
Surry 3 & 4 (2)	5/74	<1	<1	<1	1
Braidwood (2)	4/74 (draft)	1	1	<1	3
Seabrook (2)	4/74 (draft)	<1	<1	<1	12
Vogtle (4)	3/74	<1	<1	<1	4
S. Harris (4)	3/74	<1	12 ^{b)}	<1	15 ^{c)}
Millstone (3) ^{a)}	2/74	<1	<1	<1	10
Sequoyah (2)	2/74	2	<1	<1	<1
R.E. Ginna (1)	12/73 (draft)	<1	<1	<1	<1
Catawba (2)	12/73	<1	1	<1	15
Indian Point (3)	10/73 (draft)	2	<1	<1	6
Haddam Neck (1)	10/73	<1	2	<1	5
Trojan (1)	8/73	<1	<1	N. R.	<1
D.C. Cook (2)	8/73	<1	<1	<1	3
Beaver Valley (2)	7/73	<1	<1	N. R.	2
Diablo Canyon (2)	5/73	<1	<1	N. R.	<1
Crystal River (1)	5/73	<1	<1	<1	2
Prairie Island (2)	5/73	<1	<1	N. R.	2
H.B. Robinson (1)	4/73 (draft)	<1	2	<1	2
North Anna (4)	4/73	<1	1	<1	<1
Calvert Cliffs (2)	4/73	<1	<1	<1	3
Salem (2)	4/73	<1	<1	<1	4
Waterford (1)	3/73	<1	4	N. R.	5
San Onofre (3)	3/73	<1	<1	<1	<1
Davis-Besse (1)	3/73	<1	3	<1	1
Rancho Seco (1)	3/73	<1	3	N. R.	1
Arkansas (2)	2/73	<1	<1	N. R.	4
Forked River (1)	2/73	<1	1	<1	<1
V. Summer (1)	1/73	<1	5 ^{b)}	N. R.	8
Three Mile Island (2)	12/72	<1	<1	<1	5 ^{d)}
Zion (2)	12/72	1	<1	N. R.	3
Kewanee (1)	12/72	<1	1	N. R.	4
Watts Bar (2)	11/72	2	<1	<1	3
McGuire (2)	10/72	<1	<1	<1	<10
Fort Calhoun (1)	8/72	<1	<1	N. R.	10
Maine Yankee (1)	7/72	<1	<1	N. R.	<1
Turkey Point (2)	7/72	<1	<1	<1	<1
Surry 1 & 2 (2)	6/72	<1	<1	<1	48 ^{e)}
Farley (2)	6/72	1	<1	N. R.	12
Palisades (1)	6/72	<1	3	N. R.	1
Point Beach (2)	5/72	1	<1	N. R.	5
Midland (2)	3/72	4	<1	N. R.	<1
Oconee (3)	3/72	1	<1	N. R.	5

N. R. = 報告なし

* 1年間に500時間境界線に無遮蔽で居住

a) BWR 1基, PWR 2基

b) 冷却水放水路に公衆が接近し、排出水中から取られた18kgの魚と軟体動物の消費を仮定

c) この線量レベルを維持するために、モニタリングと適当な運転実施がAECにより要求されようが、AECはこのような方法(28mrem/年)を取らないで、計算した線量をひじょうに安全と考えている(すなわち、実際の線量はより低いであろう)。

d) EISで計算された線量(18.5mrem/年)は、申請者がAECによって要求された管理能力に変えることにより、この水準に下げられるだろう。

e) 放出の98%はコンデンサーの空気エジェクターと蒸気発生器のプロードダウンからのもので、既存のコントロール装置の単純な改良によって除去できる。

f) HTGR 2基

第7表 BWR の 環 境 へ の 影 響

施 設 (ユニットの数)	EIS (月/年)	被ばく線量 (mrem/年)			
		気 体	液 体 (全 身)	施設周辺 ガンマ*	よう素 (甲状腺)
River Bend (2)	9/74	<1	<1	<1	22 ^{a, b)}
Allen's Creek (1)	7/74 (draft)	<1	<1	<1	<1
Clinton (1)	6/74 (draft)	<1	<1	<1	2
Pilgrim (3) ^{c)}	6/74 (draft)	1	<1	<1	4
Douglas Point (2)	5/74 (draft)	<1	<1	1	6
Perry (2)	4/74	<1	<1	<1	24 ^{a, b)}
Hope Creek (2)	2/74	<1	1	3	1
Millstone (3) ^{c)}	2/74	<1	<1	1	10
Nine Mile Point (2) ^{d)}	1/74	<1	<1	12	<1
Brunswick (2)	1/74	<1	<1	<1	28 ^{e)}
Limerick (2)	11/73	1	<1	<5	<1
Dresden (3)	11/73	<1 ^{f)}	<1	<1	7
Grand Gulf (2)	8/73	2	4	<1	3
Oyster Creek (1)	7/73 (draft)	<1	<1	<1	6
Susquehanna (2)	6/73	4	<1	<1	<10
Peach Bottom (2) ^{g)}	4/73	8	<1	<1	480 ^{h)}
Fitzpatrick (2)	3/73	3	<1	3	11
Duane Arnold (1)	3/73	1	<1	<1	7
LaSalle (2)	2/73	<1	<1	<1	9
Bailly (1)	2/73	1	4	25	<1
Cooper (1) ⁱ⁾	2/73	5	4	N. R.	5
Hanford No. Two (1)	12/72	3	<1	<1	3
Monticello (1)	11/72	1	<1	N. R.	29 ^{b)}
Hatch (2)	10/72	1	<1	<1	17 ^{a, b)}
Zimmer (1)	9/72	<1	<1	<1	9
Shoreham (1)	9/72	2	<1	N. R.	<1
Brown's Ferry (3)	9/72	2	<1	<1	<1
Quad Cities (2)	9/72	4	<1	N. R.	2
Vermont Yankee (1)	7/72 (draft)	<1	<1	N. R.	7
Fermi Unit Two (1)	7/72	2	<1	N. R.	<28 ^{j)}

N. R. = 報告なし

* 1年間に500時間境界線に無遮蔽で居住

a) AEC は EIS に関するコメントで、線量を 15 mrem/年 以下に保つために追加装置の設置を要求した。

b) 計画線量の少なくとも 3/5 以上は処理しないタービン建家の排出によるものである。

c) BWR 1基, PWR 1基

d) Fitzpatrick からの寄与を含む。この場所のγ線量は、最も接近しうる地点のボート内で年間100時間と仮定している。ここに示した数値は、1台のガス排出制御装置を1975年に予定して設置した後のものである。

e) AEC は、また山羊のミルクの経路に 43 mrem/年 の線量を計画している。この線量の半分以上はタービン建家の排気による。申請者は改良装置を評価中である。

f) EIS の表 5.3 に示された 1 基の 22 mrem/年 の線量は、申請者が約束した予定の付設で係数 100 だけ減少する予定。

g) 40 MW(e) の HTGR 1基追加。

h) 申請者は最大線量を 0.45 mrem/年 と計算している。AEC は申請者にヨウ素の線量を「実用可能な限り低い」レベルに低減することを要求する予定 (EIS のコメント要旨を参照)。

i) EIS の表では、10 mrem/年 (全身) と 95 mrem/年 (幼児甲状腺) までの線量を計算した。しかし、申請者は両者に 5 mrem/年 以下を確保するため、追加制御装置の設置を言明した。

j) 境界線で仮想的な牛の放牧を仮定。この初めの EIS では、最も近い牧草地への距離は測定されなかった。

第 8 表 他の燃料サイクル施設の環境への影響

施 設 (内容)	EIS (月/年)	被ばく線量 (mrem/年)			
		全 身	甲 状 腺	肺	骨
Humeca (製錬)	12/72 (draft)	—	—	11	42 ^{a)}
Highland (製錬)	3/73	—	—	<1	3-12
Shirley Basin (製錬)	12/74	—	—	1	<1
Sherwood (製錬)	4/76 (draft)	—	—	<1	<1
Sequoyah (転換)	5/75	—	—	3	<1
Barnwell (転換)	4/75 (draft)	—	—	<1	1
Exxon Nuclear (燃料製造)	6/74	—	—	<1	N. R.
Midwest ^{b)} (再処理)	12/72	1	1	N. R.	2
Barnwell ^{c)} (再処理)	4/74 (draft)	4	6	4	7

N. R. = 報告なし

^{a)} 初めの EIS ドラフトには、この線量を詳細に評価するには不十分な情報しかなかったが、その線量は他の現在の同種施設のものより 1 桁大きい。

^{b)} この施設は、現時点で予想される将来において運転されることはないと思われる。牛はしばしば北方 1.5 マイルの場所に放牧される。この牛から供給されるミルクによる幼児の甲状腺への最大算定年間線量は 7.4 mrem である。

^{c)} 線量は最短距離の個人に対する値。

第 9 表 各種環境放射線防護レベルによる西暦2000年の核燃料サイクルの操業に起因する潜在的な健康への影響

放射性物質の種類	連邦放射線指針	現行の AEC ^{a)}	EPA の一般適用基準 ^{a)}
1. 短寿命物質	34,000	170	160
2. 長寿命物質 ^{b)}			
1) コントロール可能 (⁸⁵ Kr, ¹²⁹ I, ²³⁹ Pu, etc)	1,040	1,040	20
2) ³ H	440	440	440
3) ¹⁴ C	12,000	12,000	12,000

^{a)} Appendix I の施行による。

^{b)} 放出後 100 年間について考慮している。

場合と無い場合を比較して、長寿命核種による健康への影響の累積数を年ごとに示している。

2. 経済的効果

新設する 1 GW(e) の原子力発電所の建設費は 1972 年の見積りで 4 億 5,000 万ドル程度で、現在ではかなり高

くなっており 7 億ドルを越えるという。Appendix I の指針に適合するような放出低減化の費用は、1 GW(e) の発電所について PWR の場合で 150~280 万ドル (1972 年ベース)、BWR の場合で 620~760 万ドルの追加と見積られていた。この費用に幅があるのは、異なっ

第5図 長寿命放射性核種の放出に起因する予想される健康への影響 健康への影響は放出後100年間について考えていて、ウラン燃料だけが使われるものと仮定

た敷地ごとにヨウ素の放出低減化装置に幅があることを示している。EPAの基準を満足させるための低減化費用は、PWRの建設費の1%以下、そしてBWRのその1~1.5%以下であると見積られている。また、これら装置の追加に伴う年間運転費の増加分は、PWRの場合で1%以下、BWRの場合で5%程度である。BWRに対する費用がPWRよりも高くなる理由は、この原子炉の基本設計が簡単にもかかわらず、多量の放射性排出物を処理しなければならないためである。

EPAの基準が経済面に及ぼす影響は、主として ^{85}Kr の低減化によるものである。これは再処理工場の場合であり、その建設費をおよそ10%ほど上昇させ、約3,000万ドル、または1GW(e)あたり70万ドルと見積られている。他の燃料サイクル施設における放出低減化の費用は、1GW(e)あたり合計30万ドル以下である。発電炉と直接関連しない燃料サイクルの費用が、総発電コストの20%以下に当たるので、電力コストの一部である燃料供給および再処理費のこれらの増加による電力費への影響は1%をかなり下廻るものと見ることができる。この費用の増加分は、Appendix Iによる増加分を加えた場合でも、PWRで総発電コストの1%以下、そしてBWRでその2%以下と見積られている。

このように、EPAの基準およびAppendix Iによる経済的な影響の合計額は少額であり、かつ理論的に見て産業界の電力供給能力にささかでも影響を与えとは思われないとEPAは述べている。

3. 行政効果

EPAの基準によって主として影響を受ける連邦政府機関は、ウラン燃料サイクルの各施設からの放射性排出

物の放出量を規制するNRCである。EPAは、すでに述べたように、各施設に対する規制権限はないので、NRCはEPAの基準に基づき各施設ごとの配分を考えなくてはならない。当時のAECは、1974年5月、軽水炉以外の燃料サイクル構成施設に対してもALAPの指針を作成すると発表していたが、EPAの基準制定によってこの作成をむしろ促進させる結果となった。しかし、現在まだこの決定はされていないようである。

また、ERDA(現在DOE)は、その運営するウラン濃縮施設と ^{85}Kr と ^{129}I を対象とした放出管理に関するR & Dないしは実証試験をDOEの実験所で行なう範囲内で影響を受けることになる。

VIII 本基準と代替案

基準提案の段階で、EPAは本基準と異なる3つの代替案を検討したので、参考までに以下に述べる。

① 代替案“A”: 本基準のB号を次のような案に替える。

- a) ウラン燃料サイクルから環境へ放出される放射線または放射性物質により、公衆の構成員への年間線量当量は、全身に対して50 mrem、甲状腺に対して150 mrem、そしてその他の器官に対して150 mremを越えないものとし、b) 集団の年間全身線量の合計が1 MW(e)あたり1 man-remを越えないものとする。

この代替案のa)は、本基準より2倍ほど高い線量当量を規定しており、いずれかの燃料サイクル施設がこの基準を越えた場合はその運転を停止するように要求していて、運転停止値として解釈するよう意図したものである。このため変動幅条件は設けられていない。この制限

値を越えて実際に施設が運転される可能性はほとんどないため、この基準案による環境面での利益はほとんどあり得ない。また、b) の内容について、現在の運転状況でも、1 MW(e) あたり約 0.13 man-rem、あるいは発電能力 1 MW あたり約 0.1 man-rem で、これらは、 ^{85}Kr または ^3H などの長寿命核種の放出を制限することなく達成されている値である。このように、1 man-rem/MW(e) という基準は、実際上何ら効果をもたないことになる。

この代替案に伴う経済的効果は、本基準に対する費用をわずかに下廻るに過ぎない。

このように、環境面および経済面から考えても、基準制定の効果は少なく、むしろ長寿命核種により環境汚染をますます拡大させることになる。

② 代替案“B”：本基準のB号を次のように修正する。

全身線量：15 mrem/年、甲状腺線量：45 mrem/年、その他の器官の線量：15 mrem/年、 ^{85}K ：25,000 Ci、 ^{129}I ：5 mCi、超ウラン核種：0.5 mCi；変動幅の条件は本基準どおりとする。 ^{85}Kr と ^{129}I の施行日は1980年とする。

この代替案は、一般公衆の防護という観点からは、本基準のそれと比較してそれほど大きな改善は期待できない。また、この基準案によって、主として原子炉でのヨウ素と製錬での粒子状物質の放出低減化が必要となり、本基準による必要な経費にくらべて約60万ドル/GW(e)が余分に必要であると見積られている。

結論として、この代替案は、本基準にまさる大きな利

益はもたらさないとされた。

③ 代替案“C”：本基準のB号を次のように修正する。

全身線量：5 mrem/年、甲状腺線量：15 mrem/年、その他の器官の線量：5 mrem/年、 ^{85}Kr ：5,000 Ci、 ^{129}I ：1 mCi、超ウラン核種：0.1 mCi；変動幅条件を含み、その他の内容は本基準と同様とする。

この代替案は、健康への影響が本基準の1/3程度に減少するが、一方、この基準案を達成するために放出低減化に要する費用が本基準より約3倍ほど上昇することとなる。これは、産業界に大きな経済的負担をかけるとともに、ひいては電力費の上昇となる。このように、cost-benefit の観点から、そのバランスが大きくずれることになる。

以上の結果を一覧表にして、本基準と3つの代替案を比較して第10表に示す。

IX 基準に対するコメント

1975年5月に、EPAより基準が提案された後、約4ヵ月間、EPAは関係者からこの提案基準に対するコメントを求めている。これらは、Final Environmental StatementのVol. IIに、関係者のコメントとして全文が記載されている。この内訳は、一般人（専門家も含む）から28件、産業界から28件、州政府から20件および連邦政府機関から6件、計82件となっている。

主要なコメントを述べると次の3つに要約される：1) 基準の適用にあたり、不必要に控え目すぎたり、あるいは費用がかかりすぎる、2) ^{85}Kr とその他の長寿命核種

第10表 基準と代替案レベルの比較

行 為	健康への影響/ GW(e)**	低減化放出管理費用/ GW(e)**	長寿命放射性核種の制限 (施行年)	変動条件
代 替 案 “A”	4.7	6.7 M\$	な し	な し ⁺⁺
本 基 準	0.92	7.2 M\$	^{85}Kr , ^{129}I , 超ウラン元素 (1983)	あ り
代 替 案 “B”	0.88	10.2 M\$	^{85}Kr , ^{129}I , 超ウラン元素 (1980) ⁺⁺⁺	あ り
代 替 案 “C”	0.32	2.2 M\$	^{85}Kr , ^{129}I , 超ウラン元素 (1983)	あ り

* 1970～2000年にわたる代表的施設の30年間の操業について、第9表の注1参照。

** 現在の価格、30年間の工場寿命に対する建設費と運転費用を含む。

+ ^{14}C と ^3H を除く。これらの核種は代替案に含まれていない。これらの核種は、30年間運転されたときの燃料サイクル GW(e) あたり 100 年間の環境線量預託の結果として、潜在的な 45 件の健康への影響の追加となると推定されている。

++ この代替案は、shutdown が起る前に、異常放出レベルを制限しようとするものである。

+++ この代替案で長寿命物質に対する制御を早期に導入すると、1980～1982年の燃料サイクルからの放出による100年間の環境線量預託の減少のため、25件の健康への影響の追加だけになった。

の環境放出管理に対する必要性と cost-benefit の関係について同意できない、3) 基準作成に 仮定した 健康への影響と放射線量との関係についても同意できない。

以下に、各項目ごとにまとめて、主なコメントと EPA の見解を (EPA) と示して述べる。

(1) 基準の適用範囲について：

① プルトニウム燃料サイクルとか研究開発用施設あるいは他国のそれにも適用すべきである。

(EPA) ウラン燃料サイクルには、現在アメリカにおいて商業用原子力産業の大多数が占めていることと、この基準は cost-benefit の分析に基づいて決められたので、研究用施設とか外国の施設まで適用するのは適当でない。とくに、研究用施設は、そこからの放射能の影響が軽微であり、また適切な運転レベルを決める根拠がないためである。プルトニウム燃料サイクルについては、NRC によって商業用として承認されたとき、EPA はこれにかかわる基準化を検討する。

② ^{14}C 、 ^3H の両核種についても基準化すべきである。

(EPA) 両核種について基準化するには、これらの放出低減化の技術評価が現在データ不足である。これについては現在検討中であり、なるべく早く、先ず ^{14}C に関して、次に ^3H について基準化できると考えている。

③ 基準には、 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 、 ^{222}Rn についても考慮すべきである。

(EPA) ^{90}Sr 、 ^{137}Cs の放出量制限を基準に入れていない理由は、線量制限で適切にカバーされると考えている。しかし、Appendix I では Ci 制限を削除したことでもあり、また、これら核種の放出量が予想以上に大きい、あるいは環境中に蓄積されることになると予想された場合には、基準化の必要性を再考することになる。また、 ^{222}Rn の場合、現在データが不足しているため、基準化には至らなかったが、継続して検討することとしている。

④ 基準には、平常時の放出はもちろん、事故時の放出についても考慮すべきである。

(EPA) cost-benefit の観点から得られた基準に事故を含めることができないし、実際このような分析は行われていない。

⑤ 環境に放出される特定の放射性核種の量を制限する基準は、一般に適用できる基準ではない。基準で示された核種は、主に一種類の操業（再処理）からのみ放出されるためである。EPA は放出量の制限ではなく、これら核種の環境中の濃度で制限すべきである。

(EPA) 一般に適用される基準制定の権限が EPA に移管された主旨の中には、放射性物質の量を制限すること

にあった。基準に示した長寿命核種（たとえば、 ^3H と ^{14}C にしても）は燃料サイクルを構成するいくつかの施設から放出される。また、濃度を制限しても、総放出量を制限することにはならず、ひいては環境全体の安全を確保することにはならない。

(2) 基準作成の根拠について：

⑥ NRC が Appendix I を決めるとき、集団被曝を低減するための合理的な支出として、man-rem あたり 1,000 ドルを使っている。これは基準作成の根拠となる。

(EPA) NRC の線量あたりの費用に基づくよりは、EPA のように、健康への影響を避けるための費用に基づいた方が基準作成には合理的であると考えている。NRC の 1,000 ドル/man-rem の値は、影響あたりに換算すると 140 万ドルよりやや高い値となり、これは EPA が使用した値より 3~14 倍ほど高い値となっている。

⑦ NRC 規則と関連している現行の FRPG は、一般公衆の防護に十分であって、EPA の基準は必要ない。

(EPA) FRPG だけではウラン燃料サイクルから一般公衆を防護する基準として適切であるとは EPA は考えていない。また、NRC が決めている Appendix I は基準ではなく、軽水炉の設計指針であり、長寿命核種の放出量制限についても触れていない。

⑧ 基準は公衆の構成員に適用するよりも、集団の決定的なグループに適用すべきである。

(EPA) 集団の決定的なグループの定義は難かしいため、適用することができない。一般公衆の防護は、いずれにせよ個人の線量制限と長寿命核種の放出量制限の組合せにより十分達成されると考えられる。

⑨ ^{85}Kr の放出低減化装置は、技術的にも立証されず、また商業ベースで利用できない状況で基準を制定すべきではない。

(EPA) 現在、液化蒸留 (cryogenic distillation) システムが軽水炉と再処理工場に商業ベースで採用されつつある。具体例として、Brunswick 炉 (BWR) では、復水器空気抽出器の排出ガスの処理用に、また Exxon 核燃料工場に ALAP の精神に基づき設置しつつあり、これらは商業ベースに利用されると考えられる。また、選択吸着方式も再処理工場に利用できるように思われる。したがって、 ^{85}Kr の放出量制限に関する EPA の基準が施行される 1983 年前にこれらのシステムが使用されていたり、その可能性の検討がこの期間にできると考えられる。

(3) 環境移行モデルについて：

⑩ EPA が評価に用いた環境移行モデルは適切でな

い。

(EPA) たとえば、NRC の同様なモデルは、軽水炉以外の施設とか長寿命核種については利用できないので、EPA のモデルは、この基準化にあたっては適切であると EPA は確信している。

(4) 健康への影響と線量評価について：

⑩ 線量-効果関係について、直線性で閾値がないという仮説を用いて健康への影響評価を行なっているが、これは妥当ではない。

(EPA) 線量-効果関係について直線性ではなく凸形または凹形の関係を支持する科学者もいるが、EPA としては BEIR 報告の勧告するとおり、現在の科学的知識によれば、直線性で閾値のない仮説を用いることが妥当であると決定した。

⑪ EPA の行なったリスク評価は、もっぱら BEIR 報告に準拠しており、UNSCEAR 報告 (1972)¹³⁾、NCRP No. 43¹⁴⁾、WASH-1400¹⁵⁾ などで示されているリスク評価を考慮していない。また、ICRP 勧告の改訂 (Pub. 26 を意味する) を待ってから基準を考えるべきである。

(EPA) 指摘された各報告書について、すべて EPA はレビューした。UNSCEAR 報告によるリスク評価は、BEIR 報告のそれと一致している。また NCRP No. 43 に述べられているように、低線量および線量率で直線性の仮説は控え目すぎるといふ見解については、EPA は疑問をもっている。同様に、WASH-1400 では、低線量および線量率で線量率効果係数 (Dose-Rate Effectiveness Factors : DREF) 値として 0.2 を使用しているが、いずれも採用すべきでないとの結論になった。

また、ICRP 勧告の改訂を待ってから、基準を検討することは、施行日が当初計画よりさらに遅延することになり EPA の基本方針からいっても妥当でない。

(5) 放出低減化について：

⑫ ⁸⁵Kr の低減化対策費用にその貯蔵と長期処分の費用を加算すべきである。

(EPA) 放射性廃棄物の最終処分について最終的な結論が出されるまで、これらの費用を評価することは早計である。一方、長寿命核種にくらべて比較的その半減期 (10.8年) が短いいため、それらの費用は永久処分のそれと比較して小さくなる。

(6) 基準の施行について：

⑬ EPA はこの基準の施行にあたり、実施計画を作成すべきである。

(EPA) EPA の基準に従うよう各施設を規制する権限は NRC にあり、NRC が詳細な実施計画を作成すべきである。しかし、EPA の考え方としては次のとおりで

ある。基準の適合性の証明法：線量限度を実際に測定することは難しいので、放出量を測定して、線量評価モデルで線量を算出して基準と比較する。また、放出制限の確認は、放出低減化装置の除去係数 (DF) を常時監視することにより行なわれる。具体的には、放出口でのモニタリングにより、基準が守られているかの判断とされる。

⑭ ⁸⁵Kr、¹²⁹I および超ウラン核種に対する放出量制限値は、施行日の1983年1月1日以降の電力発電に基づく放出核種に適用されるのか明確でない。

(EPA) この基準はすべて、施行日以降の発電に伴なう諸施設からの放出核種に適用され、それ以前に発生した核種には適用されない。

⑮ EPA の基準により、NRC の Appendix I の指針を改訂しなければならない。

(EPA) EPA の基準のうち、放出量制限は原子炉からわずかに放出される長寿命核種に適用され、Appendix I の改訂は考えられない。将来基準化予定の ³H または ¹⁴C について放出量制限が決められた場合、Appendix I にこれらについて追加されることになる。また、1敷地に原子炉5基までは、EPA の基準を十分満足すると評価されているが、きわめて異常な配置状況や1敷地に5基以上の原子炉が設置された場合には、あるいは Appendix I のわずかな修正がありうるかも知れない。

⑯ EPA は ⁸⁵Kr の放出低減化について国際的に話合う必要がある。

(EPA) EPA として、この件について国際協力が必要であると考えている。アメリカはもちろん、日本、西ドイツが再処理施設からの ⁸⁵Kr 低減化について積極的に取り組んでいることと、さらに IAEA が現在放出低減化技術の指針を作成中であることもあり、EPA としてはこの指針作成に積極的に参加している。

X あ と が き

基準提案の初め頃、これは EPA が NRC に対して戦いの道を作ったと、マスコミからセンセーショナルに報道されたが、EPA はその基準提案から約2年後にその規則を公布することになった。この間、各界からのコメントを求め、また AIF の公開の場で議論し、さらに公聴会を開き各方面からの検討を行なった結果、ほとんど EPA の当初の基本方針どおり規制化に至ることができた。

この基準は、ICRP が勧告するように、一般公衆の線量限度 500 mrem/年 が危険であるから低減しようという考えではないことにとくに注目すべきである。あくま

でも、cost-benefit のバランスで決めたものであり、また、アメリカの原子力計画、気象条件、あるいは立地条件に基づいて解析評価されて決められたものである。したがって、基準値だけを見て議論することは早計すぎることになる。もし、他の国がこのような考え方に同調して基準を作成しようとする場合には、その国の社会的ニーズ、考え方、またその国の気象条件、立地条件ならびに将来の原子力計画などを考慮して作成すべきであろう。したがって、EPA の基準値と違った数値の基準値が出てくることは当然考えられることである。

また、EPA の基準はウラン燃料サイクルの操業による電力発生 (1GW-年) を基礎にしていることから、そのサイクルが欠けている場合にも、上記と同様に、違った数値が考えられることになるだろう。

EPA は、この基準を5年に1回は見直すとしているが、近い将来追加される基準としては ^3H と ^{14}C の両核種についての基準である。さらに、ウラン燃料サイクルで現在適用範囲外としている廃棄物処理あるいは輸送についてもバックデータがそろい次第組入れられることになるだろう。また、プルトニウムあるいはトリウム燃料サイクルが商業ベースになったときには、EPA は同種の基準を提案する方針であるが、カーター政策の方針とのからみで、これはかなり先のことと予測される。

参 考 文 献

- 1) 北原義久; AIF 主催の「原子力の政府規制—施設設計と運転に対する環境諸要件の影響—に関するセミナー」に出席して、保健物理, **11**, 65 (1976).
- 2) McGraw-Hill, Inc.; Nucleonics Week, Jan. 17 (1974).
- 3) Federal Register; Radiation protection for nuclear power operations, May 29 (1975).
- 4) EPA; Draft Environmental Statement, Environmental radiation protection requirements for normal operations of activities in the uranium fuel cycle (1975).
- 5) EPA; Final Environmental Statement (1976).
- 6) R.E. TRAIN; Promulgation of Environmental Radiation Protection Standards (1976).
- 7) W.D. ROWE, F.L. Galpin, H.T. Peterson, Jr.; EPA's environmental radiation—assessment program, *Nucl. Saf.*, **16**, No. 6, pp. 667-682 (1975).
- 8) NAS-NRC; The effects on populations of exposure to low levels of ionizing radiation, Report of the advisory committee on the biological effects of ionizing radiation (1972).
- 9) AEC; Nuclear power growth, 1974-2000, WASH-1139(74) (1974).
- 10) EPA; Environmental radiation dose commitment: An application to the nuclear power industry, EPA-520/4-73-002 (1974).
- 11) B. LINDELL; The "new" concept of the EPA, *Health Phys.*, **27**, pp. 324-325 (1974).
- 12) A.C.B. RICHARDSON; Environmental dose commitment, *Health Phys.*, **29**, pp. 353-354 (1975).
- 13) UNSCEAR; Ionizing radiation: Levels and effects (1972).
- 14) NCRP; Review of the current state of radiation protection philosophy, NCRP Report No. 43 (1975).
- 15) NRC; Reactor safety study: An assessment of accident risks in U.S. commercial nuclear power plants (WASH-1400) NUREG-75/014 (1975).