

総説

原子力発電所における職業性放射線被曝の動向

今堀 彰*

TREND OF OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURE
AT NUCLEAR POWER PLANTS

Akira IMAHORI*

Now in Japan, 24 nuclear power reactors are in commercial operation, and about 20% of the total electric power supply is provided by nuclear power. Corresponding to the development of nuclear power plants, the number of workers engaged in jobs with radiation exposure has also been increased markedly.

The annual statistical summaries of occupational radiation exposure at each nuclear power plant were compiled by reactor types, and the trend of occupational exposure at the nuclear power plants was investigated for the years 1970-80.

The summary of results and comments are as follows.

1. The individual exposure level has been well controlled below the occupational dose limit (5 rem/yr).
2. The collective dose (man-rem) has been increasing with plant age, and the difference of collective dose among reactor types is noticeable.
3. The proportion of external personnel to the total workers in both the number of radiation workers and the collective dose has been gradually increasing. In 1980, 89% of the total number of workers and 93% of the total collective dose were occupied by external personnel.
4. Most occupational exposure at nuclear power plants has been incurred during maintenance and repair rather than the routine operation, so the annual collective dose is in inverse proportion to the plant annual availability.
5. Occupational exposure at the nuclear power plants must be controlled as low as reasonably achievable (ALARA), not only for the individual dose but for the collective dose to total workers. To achieve ALARA, reactor and plant design reducing exposure, automation and remote control in radiation work and radiation protection training for the radiation workers must be developed.

I. はじめに

いわゆるオイルショック以後、限りある石油資源にかわる各種の新しいエネルギー資源の開発とその利用可能性が広く検討されてきた。とくにエネルギー資源のほとんどを海外に依存しているわが国にとっては、来たるべきエネルギー欠乏時代にそなえて、新しいエネルギー資源の開発は、国家の存亡にかかわる緊急課題となった。

このような状況のもとで、原子力発電は経済的にも技術的にも実用化の段階にすでに一步踏み出したものとし

て、将来石油に替るエネルギー源の一番手として大きな期待を集めている。

わが国の原子力発電は昭和41年に茨城県東海村に最初の商業用原子力発電所が運転を開始して以来、十数年の実績がある。その間、原子力発電をめぐる国の内外の情勢はめまぐるしく変転し、多くの困難な問題をかかえながらも、現在すでに二十数基の原子力発電炉が稼動しており、米国、フランスに次いで世界第3位の原子力発電保有国となった。

しかしながら、原子力発電所の建設をめぐって、その安全性に対する不安や新しい環境汚染源として多くの論争があり、国民的合意を得るにはほど遠いのが現状である。とくに1979年3月、米国スリーマイルアイランド原子力発電所で発生した原子炉事故は、商業用原子力発電炉の歴史上最大のもので、原発の安全性に対する不安が

* 順天堂大学医学部公衆衛生学教室

昭和57年3月18日受付

* Department of Public Health, Juntendo University School of Medicine

Received for publication, March 18, 1982

Table 1 原子力発電所の運転状況 (電気事業用)²⁾

(昭和57年 5 月 1 日現在)

	設 置 者	発電所名 (設備番号)	炉 型	認可出力 (万 kW)	運転開始年月日
運 転 中	日本原子力発電(株)	東 海	G C R	16.6	41— 7—25
	"	東 海 第 二	BWR	110.0	53—11—28
	"	敦 賀 (1号)	"	35.7	45— 3—14
	東 京 電 力 (株)	福島第一原子力 (1号)	"	46.0	46— 3—26
	"	" (2号)	"	78.4	49— 7—18
	"	" (3号)	"	78.4	51— 3—27
	"	" (4号)	"	78.4	53—10—12
	"	" (5号)	"	78.4	53— 4—18
	"	" (6号)	"	110.0	54—10—24
	"	福島第二原子力 (1号)	"	110.0	57— 4—20
	中 部 電 力 (株)	浜 岡 原 子 力 (1号)	"	54.0	51— 3—17
	"	" (2号)	"	84.0	53—11—29
	関 西 電 力 (株)	美 浜 (1号)	PWR	34.0	45—11—28
	"	" (2号)	"	50.0	47— 7—25
	"	" (3号)	"	82.6	51—12— 1
	"	高 浜 (1号)	"	82.6	49—11—14
	"	" (2号)	"	82.6	50—11—14
	"	大 飯 (1号)	"	117.5	54— 3—27
	"	" (2号)	"	117.5	54—12— 5
	中 国 電 力 (株)	島 根 原 子 力 (1号)	BWR	46.0	49— 3—29
	四 国 電 力 (株)	伊 方 (1号)	PWR	56.6	52— 9—30
	"	" (2号)	"	56.6	57— 3—19
	九 州 電 力 (株)	玄 海 原 子 力 (1号)	"	55.9	50—10—15
	"	" (2号)	"	55.9	56— 3—30
	小 計		(24基)	1,717.1	

現実のものとして、全世界に大きな衝撃を与えた。

現在、原子力発電所をめぐる論争では、原子炉事故時あるいは定常運転時における発電所からの放射性物質の放出にともなう環境汚染、周辺住民の放射線被曝という発電所サイト外への影響が中心課題であり、発電所サイト内で働く放射線作業員の被曝の問題はあまり取り上げられていない。

本論文では原子力発電所に特有の産業医学上の問題である放射線下労働にともなう従業員の被曝について、わが国の現状を紹介¹⁾し問題点を考えてみる。

II. わが国の原子力発電の現況²⁾

現在、わが国には Table 1 に示すように、24 基の商業用原子力発電炉が稼動している。第 1 号炉である東海発電所は英国から導入されたガス冷却型原子炉 (GCR) で天然ウランを燃料として、炭酸ガスを冷却材に用いて

いる。その後、昭和 45 年に運転を開始した敦賀発電所以降、すべての炉型は米国から導入された軽水炉で、低濃縮ウランを燃料とし、水を冷却材に用いている。軽水炉はその熱交換の仕組によって沸とう水型 (BWR) と加圧水型 (PWR) があり、現在 BWR 12 基、PWR 11 基が稼動している。

最初の東海炉は出力 16 万 kW と小型であったが、最近では 100 万 kW を超す大型炉が主流を占めつつある。発電容量の年次推移は Fig. 1 に見るように 15 年間で約 100 倍に急成長している。現在、全電力供給量のうち約 20% が原子力発電でまかなわれている。

III. 原子力発電所における被曝の動向

1. 個人被曝管理

原子力発電所をはじめとする放射線使用施設においては、施設内で働く作業員の健康保持と施設内外の環境保

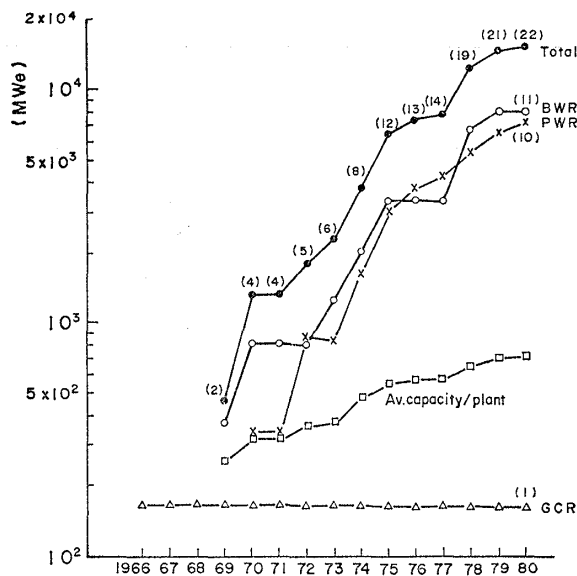


Fig. 1. Development of nuclear power plants in Japan. Accumulated electric capacity by reactor types. (The number in parentheses indicates number of nuclear power reactors in commercial operation at the end of each fiscal year. MWe=Megawatt electricity.)

全のために、厳重な放射線管理が義務づけられている。放射線管理の一環として、放射線作業者の個人被曝量の測定が実施されている。原子力発電所における個人被曝管理には通常、フィルムバッジ (FB)、熱発光線量計 (TLD) およびポケット線量計 (PD) が併用されている。また高線量作業に際しては、アラームメーターが携帯され過剰被曝を防止している。上述の線量計は、外部被曝線量の測定を目的としたものである。原子力発電所においては、外部被曝の管理とならんで放射性物質の吸入摂取による内部被曝の管理が個人被曝管理上、重要な課題である。内部被曝線量の測定は、技術的に大変むずかしく、現状では定期的に全身放射エネルギーを全身カウンターで測定し、あるいは尿中放射エネルギーを定量して内部被曝線量を推定している。

原子力発電所の現場で働く労働者は、被曝管理上、放射線管理区域に常時立入る“従事者”と、放射線作業に常時関与しない“非従事者”に大別される。現在、わが国の原子力発電所では、“従事者”は男性に限られている。“非従事者”も個人被曝線量計を着用して管理されているが、被曝線量はほとんど検出限度以下で問題とならない。また、雇用関係により発電所プロパーの社員従事者と、請負などの社員外従事者に大別される。社員従事者は若干の転勤者を除いて通常、発電所に年間通して勤務する。一方、請負従事者の内訳は複雑多岐にわたっ

ているが、発電所に年間通して常駐して一定の作業を請負うものと、発電所の定期検査にさいして外部からきて一時的に放射線作業に従事するものと大別される。この定期検査というのは、年1回春あるいは秋の電力需要の少ない時期に、原子炉を停止して内部の点検補修を行なうもので、原子炉停止の期間は短くて2か月、保修工事の内容によっては6か月以上におよぶ場合もある。

被曝線量の公式記録としては、従来FBの測定値が用いられてきた。最近ではFBに替ってTLDの値を公式の被曝記録として採用する発電所もできたが、大部分は従来通りFBの値が用いられている。

通常FBは1か月ごとに交換され、現像してその黒化度から外部被曝線量が読みとられる。この測定結果は4半期ごと、年度ごとに各発電所で集計され、“従事者”については、社員従事者、請負従事者別にまとめて監督官庁に報告される。各原子力発電所からの報告を全国的にとりまとめたものが、通産省資源エネルギー庁より発表されている³⁾。

以下この従事者被曝統計をもとに、原子力発電所における職業性放射線被曝の現状を紹介する。

2. 個人被曝線量

Table 2 に最近3年間の年間個人被曝線量の分布を社員従事者、請負従事者別に示した。この全国集計で見ると、個人の被曝線量に関しては、職業人の許容線量限度である年間5レムを超えたものはなく、約75%が0.5レム未満の被曝におさまっている。従事者1人当りの平均線量も、年間許容限度の1/10以下と十分低いレベルに管理されている。

ここで注意を要することは、発電所の定期検査に際して臨時に放射線作業に従事する請負従事者は、各地の原子力発電所を渡り歩いて定検作業に従事する機会が多く、被曝管理上、各発電所の現場での被曝線量を総合して管理する必要がある。しかし、これらの臨時作業員は中小零細企業に雇用されているものが多く、移動がはげしいため職歴、被曝歴を完全に把握することは困難である。Table 2 の請負等外部従事者の総数は、各年度に2か所以上の原子力発電所にまたがって放射線作業に従事した労働者に関しては重複して数えられており、被曝線量も各発電所単位で集計したもので、1か所では被曝が許容レベル以下に管理されていても、年間を通しての被曝管理に一貫性を欠くうらみがある。

これら発電所の現場から現場へ渡り歩く請負作業員の被曝量を、全国的に統一して把握するシステムとして、昭和53年度より被曝線量の中央登録管理制度が発足した⁴⁾。この制度は、発足後まだ日も浅く、運用上いろい

Table 2. Distribution of individual annual dose at nuclear power plants in Japan (1978-1980).

yr.	Dose range (rem)	<0.5	0.5-1.5	1.5-3.0	3.0-5.0	>5.0	No. of workers	Collective dose (man-rem)	Average dose (rem)
1978	Plant personnel	3,077	501	0	0	0	3,578	782	0.22
	External personnel	22,297	8,242	38	0	0	30,577 (89%)	12,418 (94%)	0.41
	Total	25,374 (74%)	8,743 (25%)	38	0	0	34,155 (100%)	13,200	0.39
1979	Plant personnel	3,171	547	41	0	0	3,759	858	0.23
	External personnel	22,835	5,814	1,841	5	0	30,495 (89%)	10,872 (93%)	0.36
	Total	26,006 (76%)	6,361 (19%)	1,882 (5%)	5	0	34,254 (100%)	11,730	0.34
1980	Plant personnel	3,415	541	20	0	0	3,976	828	0.21
	External personnel	23,611	6,238	2,122	7	0	31,978 (89%)	12,105 (93%)	0.38
	Total	27,026 (75%)	6,779 (19%)	2,142 (6%)	7	0	35,954 (100%)	12,933	0.36

る問題があるが、とにかくこれまでなおざりにされていた請負労働者の被曝管理、健康管理充実のきっかけをつくるものとして評価される。

3. 総被曝線量

Table 2 にある総被曝線量 (collective dose: man-rem) は、個人の被曝線量を集団について合計したもので、100 人が1レムずつ被曝しても、1,000 人が0.1レムずつ被曝しても総被曝線量はともに100人・レムとなる。この総被曝線量は放射線被曝の集団に対する影響を評価するさいに用いられる。これは職業上の被曝のみならず、一般公衆の被曝にも適用される。ちなみにスリーマイルアイランド原発事故で、半径50マイル以内の人口200万人が受けた総被曝線量は2,000~3,500人・レムと推定されている⁵⁾。

被曝管理において、従来は個人の被曝を一定レベル以下に管理することに重点がおかれたが、最近では集団に対する総被曝線量を制限する、いわゆる総量規制の考え方が導入されつつある。

総被曝線量の推移は Fig. 2 に示すように、発電容量の伸び (Fig. 1) とほぼ並行して増加している。BWR, PWR の原子炉のタイプによって被曝線量にかなりの差が出ていることが注目される。この炉型による差は、原子炉1基当りの総被曝線量 (Fig. 3) により顕著に現われている。この炉型による被曝線量のちがいは、米国の原子力発電所においても認められている⁶⁾。この原因としてはいくつかの要因が考えられるが、その一つとして原子炉の構造上の相違があげられる。すなわち、BWR では放射線汚染区域が、原子炉建屋のみならずタービン建

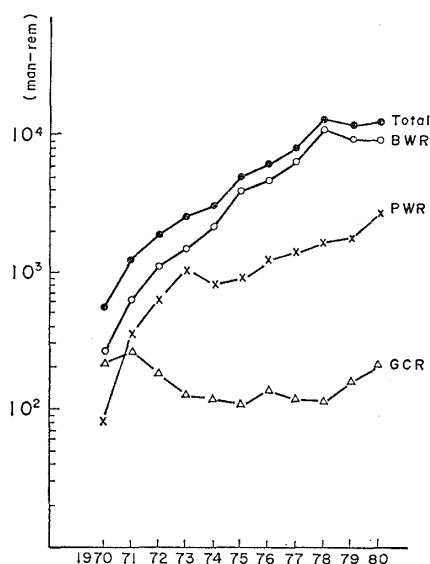


Fig. 2. Summation of annual collective dose by reactor types.

屋にもおよんでいる。一方PWRでは、放射線汚染区域は原子炉建屋に局限されている。したがってBWRではPWRに比較して多くの放射線下作業が定常運転時および定期検査時に必要となり、その結果、総被曝線量の増加をもたらしている。

Fig. 4 に示すように、総被曝線量の増加とともに、放射線作業従事者の数も増加しており、その内訳は、昭和55年度で総被曝線量の93%、従事者数の89%が請負作業員によって占められている。このように原子力発電所における放射線下作業が、請負等の外部作業員に大きく依存していることがわかる。

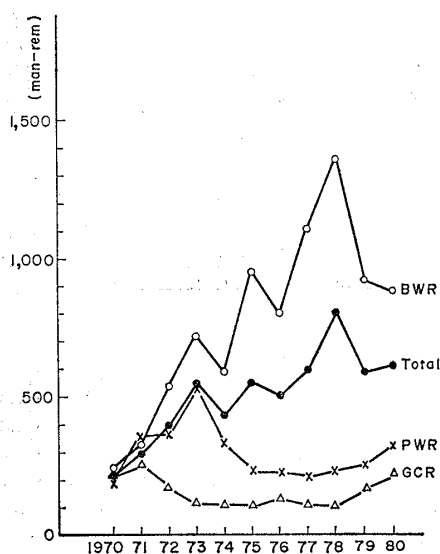


Fig. 3. Annual collective dose per reactor-year by reactor types. (One reactor-year means a full year of commercial operation.)

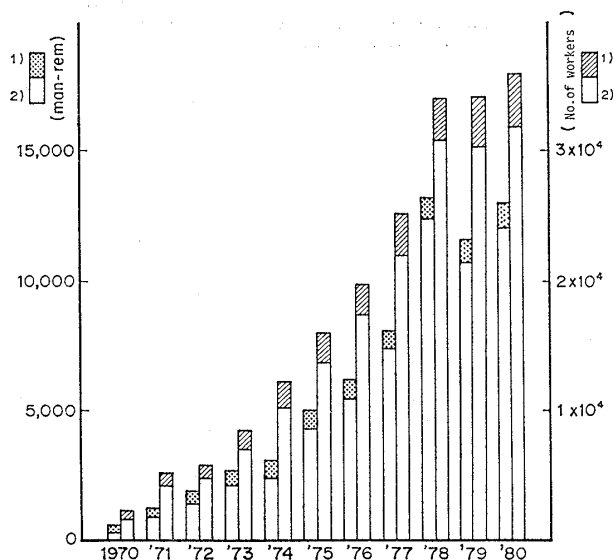


Fig. 4. Summation of annual collective dose and number of workers at nuclear power plants.
1) Plant personnel, 2) External personnel.

原子力発電所において高被曝をともなう作業は、定期検査時や臨時の点検時に原子炉を停止して行われる⁷⁾。Fig. 5 は定常運転時と定期検査時の被曝状況を、某原子力発電所の昭和 55 年度の実績について見たものである。定常運転時には社員、請負業者ともほぼ一定のレベルで推移しているが、4月から6月にかけての定期検査時に被曝が集中しており、とくに請負業者の総被曝線量が著しいことが注目される。これは定期検査時に運転中は通常立入れない原子炉まわりの高被曝をともな

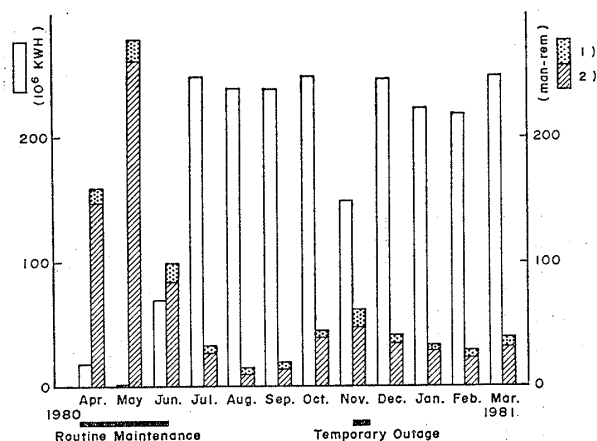


Fig. 5. Monthly collective dose and electric output in the fiscal year 1980 at a nuclear power plant (BWR: 357 MWe). 1) Plant personnel, 2) External personnel.

う作業が集中して行われ、その作業要員として外部よりいろいろな職種の作業員が大量に動員されることを示している。

放射線防護の原則として、時間 (time)、遮へい (shield)、距離 (distance) の3原則と呼ばれるものが広く用いられている。この原則は、外部被曝の防護を目的としたものであり、三つの要素を適切に組合せることにより、放射線作業にともなう被曝の低減をはかることができる。原子力発電所においても、この原則ののっとって厳重な被曝管理が行われている。放射線の源である原子炉は、鉄とコンクリートの厚い壁で二重三重に遮へいされている。通常運転時には、放射線の強い場所に作業員が立入ることは制限されており、被曝をともなう作業も比較的少ない。一方、定期検査時には、通常立入制限区域である原子炉まわりの高線量区域での保守作業が多く、十分な遮へいと距離を保つことが困難なせまい場所で作業することが多いため、被曝量を“時間”でコントロールしているのが現状である。したがって1人1人の作業時間を制限して被曝を一定レベル以下に抑えるため、多数の請負作業員が必要となり、その結果、総被曝線量の増加がもたらされることが考えられる。

Fig. 6 に某原子力発電所の発電実績と総被曝線量の年次推移を示した。運転年数を経るにしたがい、総被曝線量は増加の傾向にあること、発電量が年度によって大きく変動していることがわかる。とくに昭和 52 年度は稼働率が 41% と低く、1年の半分以上原子炉が停止していたことになり、長期にわたる保守作業の結果、総被曝線量の著しい増加が注目される。

運転年数を経るにしたがい、年々総被曝線量が増加す

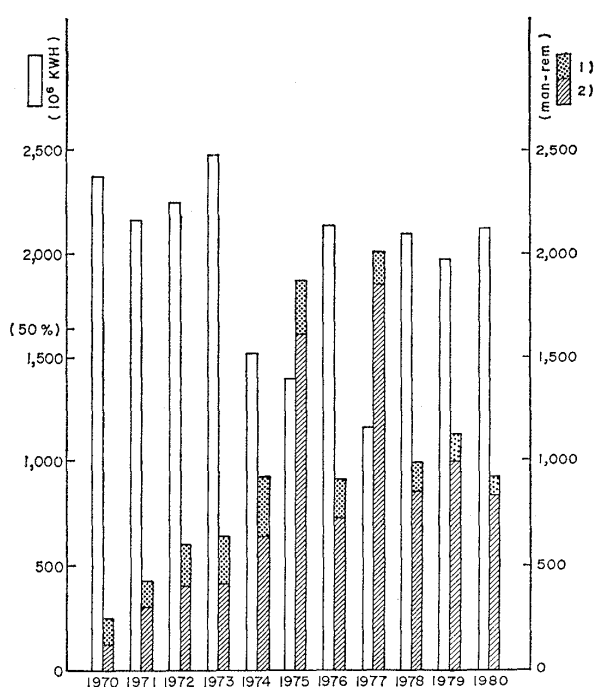


Fig. 6. Annual collective dose and electric output at a nuclear power plant (BWR: 357 MWe). 1) Plant personnel, 2) External personnel.

る傾向は、現在運転中の内外の原子力発電所に共通に認められる傾向である⁸⁾。これは主として原子炉まわりのパイプ、バルブ、ポンプなどの周辺機器類に漸次放射能が蓄積されるため、定期や臨時の保守作業時の作業環境の放射能レベルが年々上昇していることを示している。

個人被曝線量の線量限度とならんで、総被曝線量についても総量規制の観点から、一定の限度を設けることが考えられる。たとえば、原子力発電所1基当り年間 500 人・レムという具合に上限を定めて被曝管理を行う。しかし、総被曝線量の許容限度を一律に定めることには運用上問題が多く、現在のところ実施されていない。

個人の被曝を低く抑えるために、不慣れた労働者を大量に動員することは、非生産的な被曝が大きくなり、結果として総被曝線量の増大をもたらすという弊害もでる。

したがって、将来なんらかの形で総被曝線量の規制を具体化することが原子力発電所における被曝管理上の重要な課題である。

4. 設備利用率と総被曝線量

原子力発電所は、定期検査のため原子炉を計画的に停止する以外にも、いろいろの原因で臨時に原子炉を停止する場合が多い。また、fail-safe の観点から、ほんのささいな異常が生じて、自動的に原子炉が停止する安

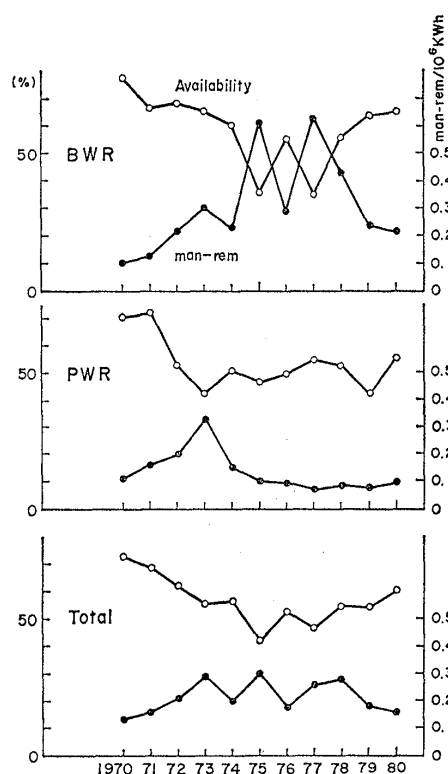


Fig. 7. Relationship between annual plant availability and collective dose per unit electric output, average of BWRs, PWRs and all plants including a GCR.

全装置が二重三重に設備されており、各種のトラブルによる原子炉停止が頻発している。

原子力発電所の運転状況を表わす指標の一つに設備利用率がある。これは定格出力で1日24時間、365日フル運転した場合の総発電量に対して、年間の実発電量の割合をパーセントで表わしたものである。定期検査による原子炉停止を90~100日と見込んで、年間70%の設備利用率が一応の運転目標となっている⁹⁾。

Fig. 7 は設備利用率と単位発電量当りの総被曝線量の年次推移を炉型別にまとめたものである。

設備利用率は年度ごとに大きく変動しており、とくにBWRでは昭和50年、52年に30%台の低い利用率を示し、それに対応して高い総被曝線量をもたらされている。この利用率が低かった原因は、個々の発電所によって状況異なるが、全国各地の発電所で大規模な保守改造工事が実施され、原子炉の停止期間が長期化したものである。

全炉型の平均で見ると、利用率は昭和45年より漸減の傾向をたどり、昭和50年、52年には50%を割っている。この利用率の低さは原子力発電の技術の安定性のみならず、経済性にかかわる大きな問題となっている。

さらに利用率の低下は、原子炉まわりの高被曝作業が増加することを意味し、ひいては作業者の被曝線量の増加をもたらすことになる。

昭和50年、52年を境に利用率は漸次上向いてきており、昭和55年度は61%とかなり良い運転実績を示している。

IV. 職業性放射線被曝の健康影響

以上、わが国の原子力発電所における職業性放射線被曝の現状を見てきた。作業者一人一人の個人被曝は、現行の許容線量に較べて十分低いレベルに管理されているといえるが、急速な原子力発電の発展にともない、放射線作業従事者の数とともに、総被曝線量は急増している。

原子力発電所における現在の個人被曝および総被曝線量のレベルが放射線作業個人および集団の健康にどのような影響を与えるかは、現場で働く労働者自身にとってはもちろん、原子力発電を推進する立場にある電力会社、国にとっても重大な関心事である。またこの問題は、原子力発電所をはじめとした原子力施設で、従業員の健康管理にたずさわる現場の産業医にとって、避けて通ることのできない大きな問題である。

以下、放射線障害、とくに低線量被曝の影響について概説し¹⁰⁾、この問題を考えてみる。

人間に対する放射線の影響は被曝した個人に発生する身体的障害と被曝した子孫に影響がおよぶ遺伝的影響に大別される。身体的障害はさらに被曝後比較的短時間に生ずる急性障害と、長い潜伏期を経て発生する晩発性障害に分けられる。放射線皮膚炎や白血球減少症などの急性障害には一定の線量以上で障害が発生するしきい線量(threshold)が認められている。このようにしきい値があるものを非確率的影響(non-stochastic effect)ともいい、線量の変化によってその重篤度が変わる。たとえば皮膚障害では500ラドの被曝で一過性の紅斑や脱毛が生ずるが、線量が増すにつれて永久的脱毛、潰瘍形成、壊死と重篤な症状を呈する。一方、白血病や放射線誘発突然変異にはしきい線量が認められず、被曝線量と障害発生率の間に直線的な線量効果関係を仮定して、わずかな被曝でもその線量に応じてなにかしらの影響が生ずるものと考えられている。このようにしきい値が存在せず、障害の発生率が被曝線量に依存するようなものを確率的影響(stochastic effect)という。

原子力発電所に働く放射線作業従事者の被曝による健康影響を考える場合、高線量被曝によって個人に発生する急性放射線障害が問題となることは、現在の放射線管

理体制の下では特殊なケース以外考えられず、問題となるのは、許容線量レベルないしはそれを下まわる低線量被曝を長年月継続的に受けた場合、放射線作業者の集団やその子孫に将来いかなる晩発性障害や遺伝的影響が生ずるかという点である。このような低線量被曝にともなう危険の評価は原子力発電所に働く職業人のみならず、発電所周辺の一般住民の健康にかかわる問題として、原子力発電の是非をめぐる論争点の一つとなっている。

原子力利用の歴史が30年を越す米国および英国では、原子力産業に従事した経験のある労働者の追跡調査を行い、これらの職業被曝集団と対照群との間の死亡率、発癌率などが比較検討されており、最近いくつかの中間報告が発表されている^{14,15)}。放射線被曝の晩発性障害である白血病やその他の悪性腫瘍の特徴として、被曝から発症まで非常に長い潜伏期(数年~数十年)を有すること、発生頻度が希な疾患であること、放射線に特異的な疾患でないこと(放射線以外の他の多くの要因が複雑に関与している)などがあげられる。したがって低線量被曝の影響を疫学的調査により統計的に有意に検出するには、大きな被曝集団を長期間追跡調査して、放射線被曝以外の諸条件が類似した対照集団と比較することが必要となる。今のところ原子力産業従事者を対象とした疫学的調査の結果、白血病をはじめとする悪性腫瘍の発生に関して、許容線量以下の低線量被曝の影響があったかどうかの結論を出すにはいたっていない。

現在、晩発性障害に関する知見は、高線量域で発生した人間の障害例や、動物実験データが基礎となっている。晩発性障害の代表例である白血病の発生に関しては、広島・長崎の原爆被曝生存者をはじめとする被曝した人間集団を対象とした疫学的調査が数多くあり¹¹⁻¹³⁾、これらの研究から100レム以上の高被曝群に白血病の発生が確実に増加すること、白血病の発生率が線量とともに直線的に増加することが認められている。

一方、許容線量以下の低線量域における利用可能なデータはごく限られている。したがって低線量域における障害発生率の推定は、高線量域におけるデータをもとに、線量効果関係の直線性を仮定して低線量域まで外挿して求めているのが現状である。このように高線量域における線量と効果の直線関係が低線量域においてもそのまま成立するかどうかは放射線生物学上の興味ある課題であるとともに、低線量被曝にともなうリスクの評価に際して常に問題となるところである¹⁶⁾。低線量域における実証データの乏しい現状では、直線性を仮定することにより危険の評価が過大評価になることはあっても過小評価にはならない。換言すると安全サイドの仮定である

として直線性の仮説が採用されている。このように低線量域における危険の評価には多くの不確定要素が含まれているが、直線性を仮定することにより、被曝集団に対する確率的影響の定量的評価が一応可能となった。たとえば米国科学アカデミーの専門委員会は最近、電離放射線による健康障害について現在まで得られている知見を精査して、低線量被曝による発ガンのリスクを発表した¹⁶⁾。それによると、百万人がおのおの1レムずつ被曝した場合の全ガンの推定増加数は160~450である。これは1,000人の放射線作業員が全就業期間中、平均10レムずつ被曝したとすると、総被曝線量は1万人・レムで、その結果この1,000人の被曝集団から将来1~4例のガンが自然発生によるガン死亡約250例に余分に加わることを意味している。

現在、放射線防護の基本的指針は、国際的にも国内法規上もICRP(国際放射線防護委員会)の勧告に求められている。1977年のICRP勧告¹⁷⁾では、放射線防護の目的は“放射線による非確率的な有害な影響を防止し、確率的影響の確率を容認できるレベル(Acceptable Level)にまで制限すること”と規定している。“防止”と“制限”の表現の違いに見られるとおり、直線性の仮説にもとづくかぎり、放射線の利用は必然的になにかの危険をともしない、晩発性障害や遺伝的障害などの確率的影響のリスクを厳密な意味でゼロにすることはできないことを示唆している。したがって現行の許容線量の持つ意味は、そのレベルまでの被曝は安全であるという、安全と危険との間に一線を画する安全線量を提示したのではなく、あくまで人間を放射線障害から防護するための放射線管理上の一つの基準と考えるべきものである。許容レベル以下の放射線被曝によるリスクはゼロではないが、そのリスクの程度は、日常生活にともなうものもろものリスクや他の職業上のリスクに比較して、十分小さいものであり、放射線の利用によって得られる利益を考えると容認できるものであるということになる。

放射線の利用に際しては許容線量を守るだけでなく、不必要な被曝を避けることはいうまでもなく、必要やむをえない場合にも、合理的に達成可能なかぎり被曝を低く抑える(as low as reasonably achievable: ALARA)ことが強く要請されている。

V. ALARA 達成の方策

原子力発電所における職業性放射線被曝は合理的に達成可能なかぎり低く抑えなければならない。これは単に個人の被曝を一定限度以下に管理するのだけでは十分でなく、集団に対する総被曝線量もできるだけ低く抑える

ことが必要である。

個人の被曝を低減するために、余分の作業員を必要とすることにより、かえって総被曝線量が増加する場合がある。これは線量と効果の直線性仮説に立つかぎり、個人の危険は減少しても、集団の中に危険が分散しただけで、全体の危険はむしろ増加することを意味する。

個人および集団の被曝を低減する方策には、次のような点があげられる。

- 1) 原子炉自体の構造設計を改良して故障がなく保守点検のやりやすいシステムを作る。
- 2) 定期検査時の保守作業が少数の熟練作業員で行えるよう、作業の自動化、遠隔操作化など合理化をはかる。
- 3) 作業員に対する放射線防護教育を徹底して、作業員一人一人が積極的に被曝低減につとめる¹⁸⁾。
- 4) 被曝をともしなう作業ごとに、計画の段階で個人および集団の被曝線量の目標値を定めて、被曝低減のためきめこまかい工夫をする。
- 5) 各原子力発電所における被曝実績をふまえて総被曝線量の規制を検討する。

以上あげた被曝線量低減の諸方策には、現在、すでに各発電所の現場で実施されているものもある。また現時点ではただちに実行するのに困難なものもある。どこまでが“合理的に達成できる”限界かは、技術的、経済的な要因が大きく関与しており、総合的なcostとbenefitの判断がからんでくる。

VI. お わ り に

原子力発電所における職業性被曝は、個人についても集団についても、合理的に達成できるかぎり低く抑えなければならない。

しかし、原子力発電を続けるかぎり、被曝をゼロにすることは実際上不可能で、ある程度の被曝にともなう危険を容認せざるをえない。この容認できる危険のレベルを、原子力利用によって得られる利益とのかねあいで、どこに求めるかという大変やっかいな問題が残される。

原子力発電所の運転にともなう放射線被曝によって発電所で働く労働者および周辺の一般住民にもたらされる危険は、はたして原子力発電によって社会全体が受ける便益に較べて妥当なものであるかどうか、この点をめぐって多くの論争があるところである。

放射線には安全線量というものはなく、放射線の利用にともなう、なにかの潜在的危険を放射線作業員ひいては国民全体が負担しなければならないという認識に立って、今後の放射線利用、原子力利用の方向を考えて

行く必要がある。

文 献

- 1) Imahori, A.: Occupational radiation exposure at nuclear power plants in Japan, *Health Phys.*, 40: 317-322, 1981.
- 2) 資源エネルギー庁(編): 原子力発電関係資料, 昭和57年5月.
- 3) 資源エネルギー庁(編): 実用発電用原子炉施設における放射性廃棄物管理の状況及び従事者の被ばく状況について, 昭和56年9月.
- 4) 星野雅之: 被曝線量登録管理制度について, *保健物理*, 13: 21-26, 1978.
- 5) U.S. Nuclear Regulatory Commission: Population dose and health impact of the accident at the Three Mile Island Nuclear Station, NUREG-0558, 1979.
- 6) U.S. Nuclear Regulatory Commission: Occupational radiation exposure at light water cooled power reactors, NUREG-0482, 1979.
- 7) 桑島謙臣: 加圧水型原子力発電所における放射線管理の経験とその解析, *原子力工業*, 23(6): 20-24, 1977.
- 8) The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Occupational exposure in the nuclear fuel cycle, UNSCEAR Report, Annex E, 234-239, 1977.
- 9) 長谷好泰: わが国原子力発電所の設備利用率について, *原子力工業*, 26(8): 18-23, 1980.
- 10) 今堀 彰: 低線量被曝の問題点, *順天堂医学*, 23: 350-354, 1977.
- 11) 宮田久寿: 放射線と白血病, *臨床血液*, 4: 1-17, 1963.
- 12) Lilienfeld, A.M.: Epidemiological studies of leukemogenic effects of radiation, *Yale Biol. Med.*, 39: 143-164, 1966.
- 13) Beebe, G.W.: The atomic bomb survivors and the problem of low-dose radiation effects, *Am. J. Epidemiol.*, 114: 761-783, 1981.
- 14) Mancuso, T.F., Stewart, A and Kneale, G.: Radiation exposures of Hanford workers dying from cancer and other causes, *Health Phys.*, 33: 369-385, 1977.
- 15) Marks, S., Gilbert, E.S. and Breitenstein, B.D.: Cancer mortality in Hanford workers, IAEA-SM 224/509: 369-386, 1978.
- 16) National Academy of Sciences: The effects on populations of exposure to low levels of ionizing radiation, Report of the Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR), 1980.
- 17) Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 26, Pergamon Press, London, 1977.
- 18) U.S. Nuclear Regulatory Commission: Radiation protection training for personnel at light-water-cooled nuclear power plants, NRC Regulatory Guide 8.27, 1981.

著者への通信先: 今堀 彰, 〒113 東京都文京区本郷 2-1-1 順天堂大学医学部公衆衛生学教室
Reprint requests to Department of Public Health, Juntendo University School of Medicine,
1-1, Hongo 2-chome, Bunkyo-ku, Tokyo, 113 Japan (A. Imahori)