

## 技術報告

### 線量算定評価システムの構築とその運用

原 正憲<sup>1</sup>, 赤丸 悟士<sup>1</sup>, 波多野 雄治<sup>1</sup>, 松山 政夫<sup>1</sup>, 柴尾 幸伸<sup>2</sup>, 渡辺 国昭<sup>1</sup>

<sup>1</sup>富山大学 水素同位体科学研究センター

〒930-8555 富山市五福3190

<sup>2</sup>アロカ株式会社 金沢営業所

〒921-8051 金沢市黒田1-17

### Construction of Computer System for Dose Assessment and its Operation

Masanori HARA<sup>1</sup>, Satoshi AKAMARU<sup>1</sup>, Yuji HATANO<sup>1</sup>, Masao MATSUYAMA<sup>1</sup>,  
Yukinobu SHIBAO<sup>2</sup> and Kuniaki WATANABE<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hydrogen Isotope Research Center, Toyama University,  
Gofuku 3190, Toyama 930-8555, JAPAN

<sup>2</sup>ALOKA Co., LTD. Kuroda 1-17, Kanazawa, Ishikawa 921-8051, JAPAN

(Received June 30, 2005; Accepted November 28, 2005)

#### ABSTRACT

A computer system for dose assessment was installed to evaluate radiation dose of each worker in a controlled area and to automatically produce reports on dose assessment. The main computer was connected to both a tritium monitor control computer and a gate control computer. This computer network has been isolated from a public network. The gate control computer registers data on working hours of each worker in the controlled area and on tritium concentration of each room. The dose assessment computer acquires essential data from the gate control computer to evaluate the radiation dose of each worker. The potential of the specialized network system to improve dose assessment was examined over a period of two years. It was found that this system significantly contributed to improvement of dose assessment. The basis of assessment was made clear, and reports on dose assessment without errors were readily produced.

## 1. 緒言

放射線作業従事者（以下、従事者）の放射線障害の防止には、従事者への教育訓練、健康診断、放射線の量の測定が必須である。特に、放射線の量の測定において、従事者の外部被ばく及び内部被ばくの線量の測定は特に重要である。この測定は文部科学省令[1]により、4月1日、7月1日、10月1日、1月1日を始期とする各3ヶ月間について集計し記録することが義務付けられている。また、一定期間内における実効線量限度は5年間で100mSv、1年間で50mSvである。さらに、女子においては3ヶ月で5mSv、妊娠の事実がある場合には特別な条件が付加される。

実際の実効線量の算定においては浴びた放射線と吸入或いは経口摂取した放射性同位元素の量を知る必要がある。そのためには従事者が管理区域内で過ごした時間、そのときの放射線の量と放射性同位元素の濃度を把握する必要がある。しかし、大学等の教育研究機関の放射性同位元素使用施設では多数の従事者が不定期に施設内の複数の作業室を利用する事が多く、実効線量の算定に際し従事者の利用形態の把握に多大の労力が必要である。同様に、大規模な放射性同位元素使用施設では全ての従事者の線量算定に必要な情報を手作業により管理するのは困難となる。例えば、将来のエネルギー源として期待される核融合炉[2]では大量の放射性同位元素であるトリチウムの大量使用が想定され、炉運転に伴い生成する放射性同位元素からの放射線も存在する。炉の運転及び保守・整備には多くの人が従事し、作業箇所が多岐に渡るために管理作業が複雑となる。

このため、従事者の管理区域への入退記録と作業中の放射性同位元素濃度の記録を用いて自動的に従事者の個人線量の算定を行うシステムは、多種の放射性同位元素を扱う研究施設、及び多量の放射性同位元素を扱う大規模施設において、迅速かつ客観的な算定と放射性同位元素使用施設の管理要員の負担軽減に必要なものである。

このような観点から水素同位体科学研究センターにおいて実効線量の自動算定システム（線量算定評価システム）の構築を行い、実際に2年間の運用を行った結果を報告する。さらに、本システムの他への適用性についても検討を行った。

## 2. 線量算定評価システムの概要

### 2.1. 放射線測定及び入退室管理の現状

水素同位体科学研究センターで使用の許可を受けている非密封放射性同位元素はトリチウム ( $^3\text{H}$ ) と炭素14 ( $^{14}\text{C}$ ) であり、それぞれの貯蔵数量は185TBqと74MBqである。また、一日最大使用数量は $^3\text{H}$ で7.992TBq、 $^{14}\text{C}$ は3.7MBqである。非密封放射性同位元素の使用量の大部分はトリチウムで占められている。作業室内の非密封放射性同位元素濃度の測定は、トリチウムについては常時、炭素14については必要に応じて行っている。また、密封された放射性同位元素として370MBqのコバルト57 ( $^{57}\text{Co}$ ) の使用

が許可されている。

室内のトリチウム濃度の測定システムとして通気式電離箱のトリチウムモニターが各実験室及びスタックに備え付けられ、トリチウム濃度を常時測定している。さらに、トリチウムと炭素14の放射性濃度を測定できる可搬型の通気式電離箱が各実験室に備えられ、随時併用し測定を行っている。これらによる測定値はオンラインで記録用コンピュータに送られ保存されている。

一方、従事者の管理区域内への入室と退室の管理は管理区域入り口にある、扉式のゲートにより行っている。従事者は個人ごと貸与されたカードを使いゲートを開き入室し、同様に退室もカードを使いゲートを開き退室する。この際の時刻を記録することにより、従事者ごとに管理区域の滞在時間を把握している。

## 2.2. 計算方法の検討

実効線量の計算プログラムの作成に先立ち、使用放射性同位元素と使用数量から外部被ばく及び内部被ばくについて検討を行いプログラムへの反映方法を検討した。

外部被ばくについて検討する。トリチウムの線の最大エネルギーは18.6keVと小さく空気中での最大飛程(5mm程度)と短く、外部被ばくには寄与しない。また、その制動X線による外部被ばくも極めて小さいと想定されるが、計算によりその寄与を求めた。計算は高レベル実験室で7.40TBqのトリチウムをガラス容器に入れ、ガラス容器から50cm離れた場所での実効線量に対して行った。これは、通常の作業で考えられる最大の使用数量を遮蔽なしに使用している条件である。なお、トリチウムの実効線量率定数には $3.412 \times 10^{-11} \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ [3]を用い、一週間の作業時間は48時間とした。その結果、

$$7.4 \times 10^6 \times 3.412 \times 10^{-11} \times 48 / (0.5)^2 = 4.8 \times 10^{-2} (\mu\text{Sv/week})$$

となる。即ち、13週間である3ヶ月では $6.2 \times 10^{-1} \mu\text{Sv}$ である。この値は事業所境界での規制値である $250 \mu\text{Sv}/3\text{month}$ に比べ、十分に小さくトリチウムからの外部被ばくは無視できることを示している。

次に、炭素14を検討した。炭素14は崩壊し、その線の最大エネルギーは156keVと小さいため線による外部被ばくは無視できる。そこで、トリチウムと同様に制動X線による外部被ばくの検討を行った。作業室での一日最大使用数量である3.7MBqをガラス容器に入れ、50cm離れた場所での制動X線による実効線量を求めた。実効線量率定数は $6.655 \times 10^{-6} \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ [3]を用いた。なお、一週間の作業時間は48時間とした。その結果、

$$3.7 \times 6.655 \times 10^{-6} \times 48 / (0.5)^2 = 4.73 \times 10^{-3} (\mu\text{Sv/week})$$

となる。3ヶ月間で $6.1 \times 10^{-2} \mu\text{Sv}$ となる。この値は、 $250 \mu\text{Sv}/3\text{month}$ に比べ極めて小さく外部被ばくは無視できることを示している。

以上のことより、非密封放射性同位元素であるトリチウムと炭素14からの外部被ばくは十分小さく、外部被ばくの算定時に考慮に入れなくても良いことが明らかとなった。一方、密封された放射性同位元素であるコバルト57は電子捕獲により崩壊しX線を放射するため、外部被ばくは無視できない。コバルト57の外部被ばくの算定には従事者毎に身に付けるポケット線量計の値を用いることとした。即ち、外部被ばくには非密封核種であるトリチウム及び炭素14からの寄与はないものとし、それ以外のものについては実測し算定に反映することとした。

内部被ばくは非密封放射性同位元素により発生することから、トリチウム及び炭素14について検討を行う必要がある。内部被ばくの算定方法は科学技術庁告示第5号の第19条[4]に記載されており $E_i = e \times I$ で求めることができる。ここで、 $E_i$  (mSv)は内部被ばくによる実効線量、 $e$  (mSv/Bq)は告示別表第1の1欄の値[4]、 $I$  (Bq)は吸入摂取した摂取量である。吸入摂取した量は作業環境中の放射性元素の濃度( $c$ , Bq/cc)、作業時間( $t$ , min)と呼吸量( $b$ , cc/min)により $I = c \times b \times t$ で算出[5]できる。即ち、作業環境のトリチウム濃度と作業時間を用いて内部被ばくを算定できる。

計算に用いるトリチウム濃度の定義を検討した。トリチウムは各実験室で常時濃度を測定しているが、従事者がどの作業室で作業を行ったかまで入退室管理を行っていない。そこで、安全側の評価をするために、作業日 (Am9:00-Pm9:00) の全てのモニターの最大トリチウム濃度を作業環境中のトリチウム濃度として計算を行うとした。なお、計算に使用する最大トリチウム濃度は計測値からバックグラウンドを減じたものである。一方、炭素14は使用頻度が少なく使用量も少ないことから、作業ごとに可搬型の通気電離箱で濃度を測定し、その際の濃度に基づいて算定することとした。

算定に用いる管理区域内の作業時間は、入退室管理システムの記録を基に作業者毎に求める。入退室管理システムは管理区域内での作業時間を秒単位で記録するが、計算は一時間単位で行うものとした。なお、一時間未満の値は切り上げを行った。これは、実効線量率定数は一時間あたりの定数であること、算定結果が安全側の評価となるようにするためである。以上の検討により内部被ばくの実効線量評価に必要なトリチウム濃度と作業時間の決定に対し次の様な指針を得た。

外部被ばくについて

- ・トリチウムと炭素14の外部被ばくによる寄与は無視できる。
- ・トリチウムと炭素14以外の外部被ばくは実測し、その値を線量評価システムに反映する。

内部被ばくについて

- ・トリチウムについてのみ自動計算を行う。
- ・トリチウムの摂取量は全モニター中の最大トリチウム濃度と作業時間により算出する。
- ・炭素14は使用の都度、算定を行う。

### 2.3. 線量算定評価システムの概要

線量算定評価システムのハードウェアの概念図をFig.1に示す。システムはトリチウムモニタリング用，入退室管理用，及び線量算定用の3台のコンピュータネットワークにより構成されている。さらに，モニタリング用と入退室管理用のコンピュータは無停電電源を備えている。また，入退室管理用コンピュータはデータを一括で保存するサーバー機能も持たせてある。なお，オペレーティングシステムは常時稼働しているトリチウムモニタリング及び入退室管理にはWindows2000 server，必要に応じて起動する線量計算用コンピュータにはWindowsXP Professionalを用いた。

線量算定評価用プログラムは上述した内部被ばく及び外部被ばくの算定の方針に従い作成した。なお，プログラムはMicrosoft AccessのVBAを用いて記述した。また，線量算定に必要な定数は別途データファイルとして，法令改正に伴う告示別表値等の変更に柔軟に対応できる構成にした。

### 3. 線量算定評価システムの波及効果と課題

線量算定評価システムを構築後，現在までに2年間のシステム運用を行ってきた。線量算定，デー

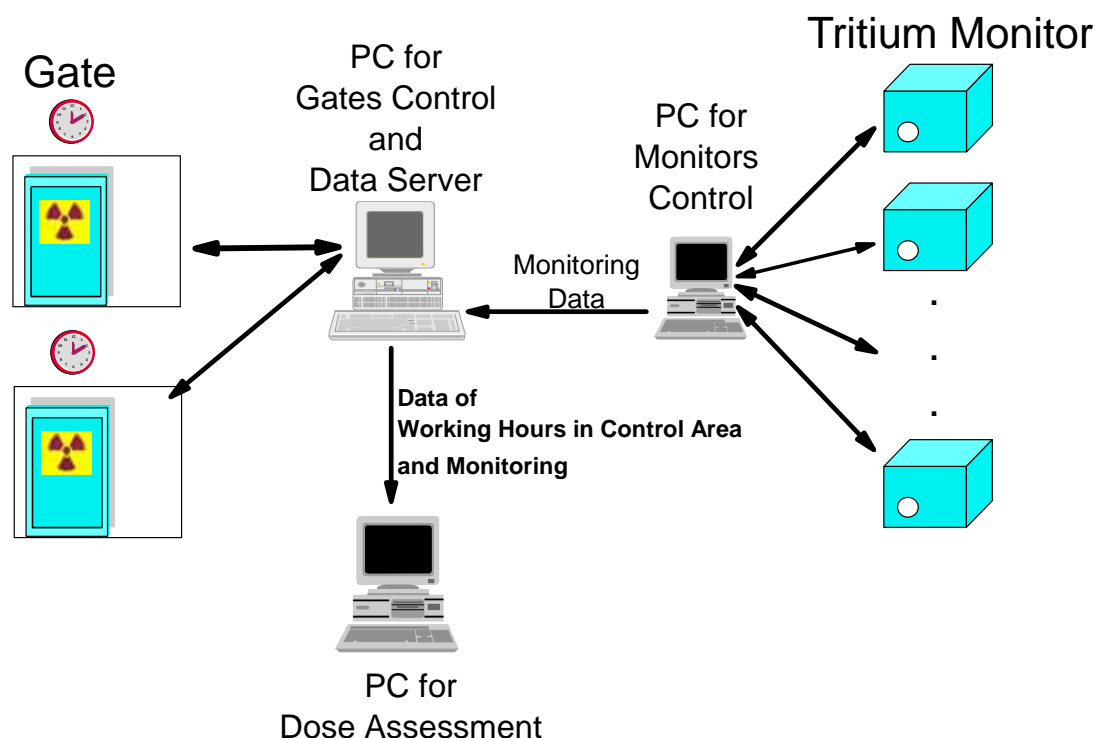


Fig. 1. Schematic diagram of a computer system for dose assessment.

タ保存及び算定の効率化の観点からシステム導入の効果と課題について述べる。

システムを導入した効果を線量算定の高度化，算定の迅速化及び効率化の観点より検討する。まず，線量算定の高度化について述べる。実効線量の計算手続きがプログラミング化されたことで，実効線量算定の指針が明瞭となったことが挙げられる。このことにより，線量算定された従事者にその数値根拠を迅速かつ明瞭に説明できる。さらに，従事者の作業時間を反映した実効線量の評価が行えるようになり，より確度の高い実効線量の評価が行われるようになった。

算定の迅速化及び効率化への効果は，大きく分けて2点挙げられる。一点目は，トリチウムモニターの測定記録と入退室の記録が一元的に電子ファイルとして保存され，そのデータを用いて線量算定を随時行えるのみでなく，過去にさかのぼって再計算をすることが迅速に行えるようになったことである。二点目は，線量算定評価システムによる算定はトリチウムモニターのデータファイルと入退室を記録したファイルを指定することにより，実効線量の算定と表帳の作成が自動で行われ，誤記の恐れが無くなった。さらに，以前は一日がかりで行っていた算定と表帳の作成がほぼ自動で行われ，算定に必要な時間が大幅に削減された。この削減された時間を安全管理担当者及び主任者は施設管理に使うことができるようになり，線量管理のみならず放射線施設の管理の質も向上した。

今後の課題として幾つか挙げられる。一点目は，現在のシステムで算定される線量は実際の量よりも多めに見積もられ安全側の評価となっており，以前より線量算定の精度が向上したとはいえまだ改良の余地がある。この改良のためには，従事者の管理区域内の行動を記録し，作業場所とその際の作業環境の放射性同位元素濃度を把握する必要がある。二点目として，現状では自動的に線量が算定される核種はトリチウムのみであり，他の放射線による内部被ばく及び外部被ばくには対応していない。このためには，内部被ばくに対して算定される放射線に応じたルームモニターの整備，外部被ばくに対しては入退室管理システムと連動した個人線量計の整備が必要である。いずれも技術的に達成可能なものであり，今後の整備の課題である。

放射線に応じたモニターが整備されていれば，線量算定評価システムと同様なシステムを構築することは容易で有り，他の施設においても効果的に運用できると考えられる。

#### 4. まとめ

線量算定評価システムを構築し，二年間の運用を行った。その結果，放射線管理の上で有用な波及効果が見られた。以下にその効果を示す。

システム構築時に線量計算方法を再度確認し，その過程を明文化するとともにプログラミング化できた。

モニタリングデータと入退室時間のデータより直接に線量評価を行うことにより，実作業時間に

即した線量評価ができるようになった。

モニタリングデータと入退室時間のデータがコンピュータに蓄えられており、必要なときに線量算定が迅速に行えるとともに、過去のデータについても常時計算が可能となった。

線量算定から表帳作成まで自動化されたことにより、算定を行うのに必要な時間が削減された。削減された時間を安全管理担当者及び主任者は施設維持に使用でき放射線施設の管理の質が向上した。

#### 参考文献

- [1] 放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則
- [2] 例えば、ITER設計報告書、 - 3章、プラズマ。核融合学会誌、73巻増刊号、1997年。
- [3] 放射線施設のしゃへい計算 実務マニュアル：原子力安全技術センター、2000年。
- [4] 放射線を放出する同位元素の数量等を定める件
- [5] 被ばく線量の測定・評価マニュアル：原子力安全技術センター、2000年