

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

## 主 論 文 の 要 旨

論文題目 中性子線及びガンマ線人体吸収線量計測技術  
の開発とその臨界事故影響評価への応用に  
関する研究

氏 名 曾野 浩樹

## 論 文 内 容 の 要 旨

我が国において初めて周辺住民の避難を要する原子力災害となったJCO臨界事故（1999年9月30日発生）を契機に、原子力施設が持つ潜在的危険性を考慮し、事故対応能力の向上が強く求められるようになった。臨界事故など不測の事態において事後応急対策（緊急被ばく医療の実施、周辺住民の避難措置の解除等）を的確かつ迅速に行うためには、事故状況及び放射線影響を早期に評価できる新技術の導入が不可欠であった。このため、本研究では、既存の評価法の迅速化及び高精度化を図る新たな方法として、（Ⅰ）放射線感度が人体筋肉と等価なアラニン線量計及びホウ酸リチウム線量計の組合せ使用による「中性子線及びガンマ線人体吸収線量計測技術」を開発し、（Ⅱ）その計測技術の「臨界事故影響評価への応用」に関する研究を行った。それらの開発及び応用に関する研究に当たっては、独立行政法人日本原子力研究開発機構の過渡臨界実験装置TRACYで模擬した臨界事故条件下における線量計測実験とそのシミュレーション解析が基になっている。以下、本研究の成果を総括する。

### 1. （Ⅰ）中性子線及びガンマ線人体吸収線量計測技術の開発（その1） 組織等価線量計による人体吸収線量計測技術の検討

臨界事故時線量評価の迅速化に資するため、線量計と人体組織との放射線感度補正が不要な組織等価線量計による人体吸収線量計測技術を検討した。組織等価線量計のアラニン線量計及びホウ酸リチウム線量計の組合せ使用による人体吸収線量計測技術の臨界事故状況下への適用を検討するため、両線量計の放射線感度特性、線量計測範囲及び線量応答について評価した。その結果、両線量計の放射線感度に係る類似性及び相違性を利用することにより、中性子線及びガンマ線に対する人体吸収線量を弁別計測できることを示した。さらに、アラニン線量計とホウ酸リチウム線量計の計測範囲がそれぞれ $1 \sim 10^5$  Gy及び $10^{-5} \sim 10^3$  Gyであり、臨界事故時の高線量下での使用に十分耐える計測範囲であること、また、両線量計を組合せて使用する場合の線量計測範囲が $1 \sim 10^3$  Gyであり、緊急被ばく医療を必要とする線量範囲（ $1 \sim$ 数十Gy）を広くカバーできることを明らかにした。

### 2. （Ⅰ）中性子線及びガンマ線人体吸収線量計測技術の開発（その2） 臨界事故時放射線放出特性の定量的評価

臨界事故時線量評価の高精度化に資するため、アラニン線量計及びホウ酸リチウム線量計の組合せ使用に基づく線量計測を対象に、溶液系臨界事故時の放射線放出特性の定量的な評価を行った。評価対象としたのは、臨界継続中の中性子線成分（または擬似ガンマ線成分）、即発ガンマ線成分及び遅発ガンマ線成分、並びに臨界停止後の残留ガンマ線成分である。その結果、中性子線成分（または擬似ガンマ線成分）、即発ガンマ線成分、遅発ガンマ線成分及び残留ガンマ線成分の線量割合は、各成分の空間線量分布の傾きの違いにより、空間的に変化することを明らかにした。そして、臨界継続中の正味の線量を求めるためにグロス線量から除くべき放射線成分の線量割合は、アラニン線量計について残留ガンマ線成分の2～15%、ホウ酸リチウム線量計について残留ガンマ線成分の3～23%及び擬似ガンマ線成分の11～17%と見積もられた。このうち、ガンマ線用線量計として用いるホウ酸リチウム線量計の擬似ガンマ線成分は、中性子線及びガンマ線弁別上の不確かさの要因となるが、その寄与はグロス線量の11～17%の範囲であり、発災後早期の段階において初期推定値として評価する限りにおいては、十分許容される程度であることを示した。

### 3. (II) 新計測技術の臨界事故影響評価への応用（その1）

#### 臨界事故時個人線量計としての応用

アラニン線量計及びホウ酸リチウム線量計の組合せ使用による人体吸収線量計測技術の臨界事故時個人線量計としての実用性を検証するため、TRACYで模擬した臨界事故状況下において人体模型を用いた線量計測実験とそのシミュレーション解析を行った。その検証に当たり、まず、人体吸収線量に対する体表線量測定値の正確性について評価した結果、アラニン及びホウ酸リチウム両線量計の測定値は、体表線量を±20%程度以内の精度で推定できることを明らかにした。この測定精度は、緊急被ばく医療への情報提供において許容される評価精度（発災後48時間以内で±50%程度、1週間以内で±25%程度）と比べても、十分実用に耐えるものである。

次に、体内線量に対する体表線量測定値の代表性を定量的に評価するため、ファントム内部の平均線量に対するファントム表面の線量の比を「体内線量代表係数」として導入した。この係数を用いることにより、個人線量計により体表線量が測定されたとき、それを体内線量代表係数で除することによって、体内平均の吸収線量を簡便に推定することが可能となる。そして、体表線量及び体内線量の相関を評価した結果、両線量計による体表線量測定値の体内線量代表係数は、ガンマ線についておよそ1.4（前面）～0.6（背面）、中性子線についておよそ1.8（前面）～0.5（背面）の範囲と見積もられた。実際の臨界事故においては、体内線量代表係数は、事故現場から退避した作業員からの聴き取り調査を踏まえ、臨界事故となった機器（放射線源）に対する人体の向きなどを勘案して決定される。このとき、退避時の行動が不詳であっても、上述の体内線量代表係数の範囲により、個人線量計で測定した体表線量から体内線量を推定する際の不確かさの範囲（体内線量が取り得る線量範囲）を限定することが可能となった。

### 4. (II) 新計測技術の臨界事故影響評価への応用（その2）

#### 臨界事故状況の遡及的評価に関する応用

臨界事故状況を確実かつ速やかに把握することを目的として、アラニン線量計及びホウ酸リチウム線量計をエリア線量計として用いる遡及的評価法を提唱し、その実用性をTRACYで模擬した臨界事故状況下において検証した。検証の結果、以下の4点を明らかにした。

第一に、エリア線量計の設置基準について検討した結果、臨界となるおそれのある機器（臨界想定機器）からおよそ5mの範囲をカバーするように、線量計を配置すれ

ばよいことが分かった。そうすることで、アラニン線量計及びホウ酸リチウム線量計の少なくとも一方で、臨界事故時の空間線量を確実に計測することができる。

第二に、線源中心の探査について検証した結果、幾何学的考察に基づき予想される線源中心の位置（予想線源中心）は、実際の線源中心（臨界発生機器）からおよそ2 mの範囲内に見出され、複数の予想線源中心を重ね合わせることによって、線源中心の探査範囲を半径1 m程度の範囲内に限定することができることを示した。もし、臨界事故後に燃料移送があり、残留ガンマ線のサーベイによる線源中心探査が困難な場合でも、この探査法であれば、線源中心を十分特定し得ると考えられる。

第三に、事故現場近傍の空間線量分布の推定について検証した結果、室内機器により局所減弱を受けたと思われる線量測定値を除くことによって、局所減弱を受けていない場所（非減弱エリア）の空間線量分布をほぼ正確に再現できることを示した。さらに、局所減弱を受けたと思われる場所（減弱エリア）の空間線量分布についても、非減弱エリアの空間線量分布を減弱エリアの線量測定値に平行移動することで、簡便に推定できることを指摘した。このように室内の局所減弱状況を加味した空間線量分布は、事故現場に居合わせた作業員の外部被ばく線量評価値を裏付ける物理的証拠として極めて有用である。

第四に、核分裂数の推定について検証した結果、その推定値は真値の±40%の範囲内で算出され、それらの変動係数（平均値に対する標準偏差の比）は±20%程度と見積もられた。このとき、核分裂数の算出に当たっては、当該体系の線源中心から1 m離れた位置における1核分裂当たりの線量（単位線量強度）を必要とするが、発災後早期において単位線量強度が不詳であっても、溶液系臨界事故時の典型値（その変化範囲は±30%程度）を用いることによって、およそ±50%の精度で核分裂数を推定できることを示した。この±20%ないし±50%程度という推定精度は、発災後早期における事故規模の把握や事後応急対策の検討・実施に当たっては、十分実用的なものである。

臨界事故など社会に与える影響が大きい事故・災害の発生を未然に防止することは言うまでもない。それに加え、万一事故が発生した場合にも応急対策を的確に実施できる準備を講じておくことが、原子力施設の立地及び運転管理に対する一般公衆の理解を得る上で重要である。本研究において新たに開発した、アラニン線量計及びホウ酸リチウム線量計の組合せ使用による中性子線及びガンマ線人体吸収線量計測技術と、それに基づく溶液系臨界事故時の放射線放出特性の定量的評価によって、臨界事故時線量評価の迅速化及び高精度化を図ることができた。また、その計測技術を個人線量計として応用することにより、事故現場に居合わせた作業員の外部被ばく線量を迅速かつ高精度で推定することが可能となった。さらに、両線量計をエリア線量計として使用することにより、臨界事故状況に係る情報として線源中心、事故現場近傍の空間線量分布及び核分裂数を正確かつ速やかに把握することも可能にした。これらのことによって、臨界事故対応においてこれまで懸案となっていた緊急被ばく医療の適切かつ効果的な実施及び事後応急対策の的確かつ迅速な実施に大きく貢献することができる。