

JAERI-M
93-022

アスタチン放射性同位体の
年摂取限度と濃度限度

1993年2月

外川 織彦

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し込みください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokaimura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1993

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 ニッセイエプロ株式会社

アスタチン放射性同位体の年摂取限度と濃度限度

日本原子力研究所東海研究所環境安全研究部

外川 織彦

(1993年1月25日受理)

アスタチン放射性同位体のうち、ICRP Pub 1.30に記載されていない ^{209}At と ^{210}At に対して、ICRP Pub 1.30に示されている方法を用い、年摂取限度と濃度限度の算出を試みた。これらの値を計算するために必要な単位放射能摂取当りの標的器官の預託線量当量及び荷重預託線量当量の値は、評価済核構造データファイル(ENSDF)崩壊データを使用して、原研で開発した線量換算係数算出システムDOSDACにより算出した。計算された濃度限度を現行法令で定められた値と比較すると、空气中濃度限度と排気中濃度限度については6桁から7桁程度、排液中濃度限度については4桁程度緩い値となった。

DOSDACシステムによる計算を行う際、対象核種に関するENSDF崩壊データの不備を修正した。また、ICRP Pub 1.30に記載されている ^{207}At と ^{211}At に対して、線量算定用データを算出し、計算された値をICRP Pub 1.30の補遺に示された値と比較することによって、本計算に使用した計算コードシステムと関連パラメータ値の妥当性を検証した。

Annual Limits on Intake and Concentration Limits
for Radioactive Isotopes of Astatine

Orihiko TOGAWA

Department of Environmental Safety Research
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 25, 1993)

For ^{209}At and ^{210}At which are not considered in ICRP Publication 30, annual limits on intake and derived concentration limits were calculated with the methodology shown in ICRP Publication 30. Values of committed dose equivalent and weighted committed dose equivalent in target organs or tissues per intake of unit activity were calculated using Evaluated Nuclear Structure Data File (ENSDF) decay data with a computer code system DOSDAC for preparing dosimetric data, which has been developed in the Japan Atomic Energy Research Institute. Calculated values for concentration limits on air and exhaust air are from six to seven orders of magnitude larger than the values in the current regulations, and those on draining water are also larger by four orders.

Defects of ENSDF decay data for the radionuclides were modified in the calculation by the DOSDAC system. The dosimetric data were also calculated for ^{207}At and ^{211}At which are considered in ICRP Publication 30. The computer code system and relevant parameter values used here were verified by comparing these results with the values in the Supplement of ICRP Publication 30.

Keywords: Radioactive Astatine, Annual Limits on Intake,
Concentration Limits, ICRP Publication 30, ENSDF Decay Data,
DOSDAC System, Dosimetric Data

目 次

1. はじめに	1
2. 計算方法	1
2.1 計算コードシステム	1
2.2 年摂取限度と濃度限度の計算	2
3. 計算結果	4
3.1 ENSDF 崩壊データの修正	4
3.2 計算コードシステムと関連パラメータ値の検証	5
3.3 ^{209}At と ^{210}At の年摂取限度と濃度限度の計算	6
4. おわりに	7
謝 辞	7
参考文献	8
付 録 ^{207}At 、 ^{211}At 、 ^{209}At 及び ^{210}At に関する線量算定用データ	17

Contents

1. Introduction	1
2. Methods of Calculation	1
2.1 Computer Code System	1
2.2 Calculation of Annual Limits on Intake and Concentration Limits	2
3. Calculated Results	4
3.1 Modification of ENSDF Decay Data	4
3.2 Verification of the Computer Code System and Relevant Parameter Values	5
3.3 Calculation of Annual Limits on Intake and Concentration Limits for ^{209}At and ^{210}At	6
4. Concluding Remarks	7
Acknowledgments	7
References	8
Appendix Dosimetric Data for ^{207}At , ^{211}At , ^{209}At and ^{210}At	17

1. はじめに

日本原子力研究所（以下では「原研」という）高崎研究所では、アスタチン放射性同位体のうち、 ^{209}At と ^{211}At を非密封RIとして使用する計画である。 ^{209}At はアスタチンの化学的挙動の研究、 ^{211}At は抗癌モノクローナル抗体として利用される。これらのRIは荷電粒子誘起核反応によって製造され、その際に副生成物として ^{210}At の生成が避けられない。

現行の法令においては、昭和63年5月18日付けの科学技術庁告示第15号¹⁾（以下では「告示」という）の別表第1に、数多くの放射性核種に対して年摂取限度と濃度限度が示されている。これらの値の大部分は、ICRP Publ. 30²⁾の補遺に示された線量算定用データに基づいて計算されたものである。しかし、この別表に記載されていない放射性核種については、同告示別表第2に記載された濃度限度によって管理することになっており、上記のアスタチン放射性同位体のうち、 ^{209}At と ^{210}At が該当する。告示別表第2に示された濃度限度はかなり厳しい値であり、内部被曝管理の過剰防護と施設設計上の大きな負担を生ずる原因になる可能性があると考えられる。

そこで本報告書では、アスタチンの放射性同位体のうち、告示別表第1に記載されていない ^{209}At と ^{210}At を対象として、年摂取限度（ALI）、空气中濃度限度（DAC）、排気中濃度限度（DACp）及び排液中濃度限度（DWCp）を、原研で開発した線量換算係数算出システムDOSDAC³⁻⁵⁾で計算し、現行法令における濃度限度である告示別表第2の値との比較を試みた。

また上記の計算を行う際に、告示別表第1に記載されている ^{207}At と ^{211}At に対して、比実効エネルギー（SEE）、50年間における線源器官での累積崩壊数（Us）、単位放射能摂取当りの標的器官の預託線量当量（ $H_{50,T}$ ）と荷重預託線量当量（ $w_T H_{50,T}$ ）、ALI及びDACをDOSDACシステムで計算し、ICRP Publ. 30の補遺に示された値と比較することによって、計算コードシステムと関連パラメータ値の妥当性を検証した。

2. 計算方法

2.1 計算コードシステム

アスタチン放射性同位体の年摂取限度と濃度限度を計算するために必要な $H_{50,T}$ と $w_T H_{50,T}$ の算出には、原研で開発した線量換算係数算出システムDOSDACを使用した。この計算コードシステムは、核崩壊データ、原子データ、代謝データ、解剖学的データなどの基礎的なデータから、単位放射能摂取当りの内部被曝線量当量（内部被曝に関する線量換算係数）、放射線業務従事者に対するALIとDAC、及び単位核種濃度当りの外部被曝線量当量（外部被曝に関する線量率換算係数）を、系統的に一貫して算出する大型計算機用システムである。線量計算は、内部被曝についてはICRP Publ. 30に示された方法、外部被曝についてはORNLのKocherが提案した方法⁶⁾によって行われる。

1. はじめに

日本原子力研究所（以下では「原研」という）高崎研究所では、アスタチン放射性同位体のうち、 ^{209}At と ^{211}At を非密封RIとして使用する計画である。 ^{209}At はアスタチンの化学的挙動の研究、 ^{211}At は抗癌モノクローナル抗体として利用される。これらのRIは荷電粒子誘起核反応によって製造され、その際に副生成物として ^{210}At の生成が避けられない。

現行の法令においては、昭和63年5月18日付けの科学技術庁告示第15号¹⁾（以下では「告示」という）の別表第1に、数多くの放射性核種に対して年摂取限度と濃度限度が示されている。これらの値の大部分は、ICRP Publ. 30²⁾の補遺に示された線量算定用データに基づいて計算されたものである。しかし、この別表に記載されていない放射性核種については、同告示別表第2に記載された濃度限度によって管理することになっており、上記のアスタチン放射性同位体のうち、 ^{209}At と ^{210}At が該当する。告示別表第2に示された濃度限度はかなり厳しい値であり、内部被曝管理の過剰防護と施設設計上の大きな負担を生ずる原因になる可能性があると考えられる。

そこで本報告書では、アスタチンの放射性同位体のうち、告示別表第1に記載されていない ^{209}At と ^{210}At を対象として、年摂取限度（ALI）、空气中濃度限度（DAC）、排気中濃度限度（DACp）及び排液中濃度限度（DWCp）を、原研で開発した線量換算係数算出システムDOSDAC³⁻⁵⁾で計算し、現行法令における濃度限度である告示別表第2の値との比較を試みた。

また上記の計算を行う際に、告示別表第1に記載されている ^{207}At と ^{211}At に対して、比実効エネルギー（SEE）、50年における線源器官での累積崩壊数（Us）、単位放射能摂取当りの標的器官の預託線量当量（ $H_{50,T}$ ）と荷重預託線量当量（ $w_T \cdot H_{50,T}$ ）、ALI及びDACをDOSDACシステムで計算し、ICRP Publ. 30の補遺に示された値と比較することによって、計算コードシステムと関連パラメータ値の妥当性を検証した。

2. 計算方法

2.1 計算コードシステム

アスタチン放射性同位体の年摂取限度と濃度限度を計算するために必要な $H_{50,T}$ と $w_T \cdot H_{50,T}$ の算出には、原研で開発した線量換算係数算出システムDOSDACを使用した。この計算コードシステムは、核崩壊データ、原子データ、代謝データ、解剖学的データなどの基礎的なデータから、単位放射能摂取当りの内部被曝線量当量（内部被曝に関する線量換算係数）、放射線業務従事者に対するALIとDAC、及び単位核種濃度当りの外部被曝線量当量（外部被曝に関する線量率換算係数）を、系統的に一貫して算出する大型計算機用システムである。線量計算は、内部被曝についてはICRP Publ. 30に示された方法、外部被曝についてはORNLのKocherが提案した方法⁶⁾によって行われる。

DOSDACシステムの構成を第1図に示す。このシステムは、DOSDAC、REVEN S という2つの制御モジュールとこれらの制御下で作動する12個の機能モジュール、そして OUTDF、VADMAP⁷⁾ という2つの計算コード、及びいくつかのデータファイルから構成されている。第1表に各々のモジュール及び計算コードの機能を示す。

制御モジュールDOSDACの制御下で作動する各機能モジュールの入力データは、TDGENモジュールでまとめて準備されるため、このシステムは単一の計算コードのように扱うことができる。また、種々の必要なデータには標準値が用意されているので、これらのデータを使用する限りは、簡単な入力データを用意するだけで計算を実行できる。準備されている標準データは、核崩壊データと代謝データの一部を除くと、ICRP Publ. 30で使用されたデータ値と同じである。アクチニド元素の代謝データには、ICRP Publ. 48⁸⁾ に示された値を用いている。

システムを構成する機能モジュールのうち、ICRP-TIMED、ICRP-SEE及びICRP-DOSEという3つは、ICRPコード⁹⁾の各モジュールを導入したものである。このうち第1の機能については、ICRP-TIMEDの機能を拡張したTIMED/Jを新たに開発してシステムに組み込んでいる。このモジュールでは、代謝モデルとしてICRPの標準モデル（各器官における元素の残留式は、アルカリ土類元素を除くと指数関数の線形結合で表現できる）とその拡張モデルを取り扱うことができる。拡張モデルでは、ヨウ素の代謝に見られるように核種が体内をリサイクルする場合、及び娘核種の代謝挙動が親核種のそれと異なる場合の取り扱いが可能である。またICRP Publ. 30では、アルカリ土類元素の骨に関する代謝データとして複合巾関数を用いているが、TIMED/Jでは取り扱うことができないため、NRPB-R82¹⁰⁾に記載された値を用いている。

放射線データは、EDISTRコード¹¹⁾と同等のモジュールRADCALを用いて、評価済核構造データファイル(ENSDF)崩壊データ¹²⁾から算出する。本計算では、1987年8月版のENSDF崩壊データを用いた。この際、データの妥当性をチェックし、必要な訂正をシステムに含まれる関連データファイルに渡って自動的に行う機能を持っている。

SEEの算出は、標準値としてORNL-5000¹³⁾に与えられた比吸収割合(SAF)の値を用いて行われる。さらに、欧米における成人(標準人:Reference Man¹⁴⁾)と異なる体型のSAFについても、VADMAPコードにより算出可能であり、被曝線量評価の対象集団に特有なSEE値を算出することができる。

以上のように、DOSDACシステムでは複数の計算コードを順次結合して、モジュラ・システム化が行われている。これにより、基礎データから線量換算係数までの計算を系統的に一貫して実施することが可能になり、基礎データの改訂を迅速かつ容易に線量換算係数の変更へ反映させることができる。

2.2 年摂取限度と濃度限度の計算

DOSDACシステムによって算出された $H_{50,T}$ と $w_T \cdot H_{50,T}$ を用いて、ALI、DAC、DAC_p及びDWC_pは以下のようにして計算される。

(1) 年摂取限度

a) 確率的影響から決まる年摂取限度

$$ALI_s = \frac{H_{wb,L}}{\sum w_T \cdot H_{50,T} \text{ per unit intake}} \quad (1)$$

ここで、

ALI_s : 確率的影響から決まる年摂取限度 (Bq)

$H_{wb,L}$: 確率的影響に関する線量当量限度 (50 mSv)

$\sum w_T \cdot H_{50,T} \text{ per unit intake}$: 単位放射能摂取当りの預託実効線量当量 (mSv/Bq)

b) 非確率的影響から決まる年摂取限度

$$ALI_{NS} = \frac{H_{T,L}}{H_{50,T} \text{ per unit intake}} \quad (2)$$

ここで、

ALI_{NS} : 非確率的影響から決まる年摂取限度 (Bq)

$H_{T,L}$: 非確率的影響に関する線量当量限度 (500 mSv)

$H_{50,T} \text{ per unit intake}$: 単位放射能摂取当りの預託器官線量当量 (mSv/Bq)

(2) 空气中濃度限度

$$DAC = \text{Min} \left\{ ALI_s^{inh} \text{ or } ALI_{NS}^{inh} \right\} \times \frac{1}{2.88 \times 10^9} \quad (3)$$

ここで、

DAC : 空气中濃度限度 (Bq/cm³)

ALI_s^{inh} : 確率的影響から決まる吸入摂取の場合の年摂取限度 (Bq)

ALI_{NS}^{inh} : 非確率的影響から決まる吸入摂取の場合の年摂取限度 (Bq)

2.88×10^9 : 放射線業務従事者の年間呼吸量 (cm³)

(3) 排気中濃度限度

$$DACp = \text{Min} \left\{ \frac{ALI_s^{inh}}{50} \text{ or } \frac{ALI_{NS}^{inh}}{10} \right\} \times \frac{1}{8.395 \times 10^9} \quad (4)$$

ここで、

- DAC_p : 排気中濃度限度 (Bq/cm³)
 $1/50$: 公衆に対する確率的影響に関する線量当量限度 (1 mSv) に対応させるための係数、すなわち $50 \text{ mSv}/50 = 1 \text{ mSv}$ である。
 $1/10$: 公衆に対する非確率的影響に関する線量当量限度 (50 mSv) に対応させるための係数、すなわち $500 \text{ mSv}/10 = 50 \text{ mSv}$ である。
 8.395×10^9 : 公衆成人の年間呼吸量 (cm³)

(4) 排液中濃度限度

$$DWC_p = \text{Min} \left\{ \frac{ALI_S^{ing}}{50} \text{ or } \frac{ALI_{NS}^{ing}}{10} \right\} \times \frac{1}{9.6725 \times 10^5} \quad (5)$$

ここで、

- DWC_p : 排液中濃度限度 (Bq/cm³)
 ALI_S^{ing} : 確率的影響から決まる経口摂取の場合の年摂取限度 (Bq)
 ALI_{NS}^{ing} : 非確率的影響から決まる経口摂取の場合の年摂取限度 (Bq)
 9.6725×10^5 : 公衆成人の年間摂水量 (cm³)

なお本計算では、(1)式における単位放射能摂取当りの預託実効線量当量の値には、単位放射能摂取当りの標的器官の荷重預託線量当量の値を、いわゆる「10%規則」に従って加算したものを使用する。

3. 計算結果

3.1 ENSDF崩壊データの修正

先にも述べたように、DOSDACシステムでは核崩壊データとしてENSDF崩壊データを使用している。ENSDFは崩壊図式を数値データ化したものであり、決められた形式に従って種々の物理量が記述されている¹⁵⁾。しかしENSDFには、必要データの欠如・不備、崩壊図式に組み込めなかった γ 転移 (unplaced- γ) の存在等による崩壊の分岐比の不整合、エネルギーバランスの不均衡などが時として見受けられる¹⁶⁾。ENSDFの使用時にデータの欠如・不備が見い出された場合には、これが原因となる不正確な放射線の算出を避けるためにデータを修正する必要がある。

修正前のENSDF崩壊データを使用した場合の、²⁰⁷At、²⁰⁹At、²¹⁰At及び²¹¹Atの崩壊図を第2図～第5図に示す。これらの図に見られるように、アスタチン4核種に関するENSDF崩壊データにはいくつかのデータの不備が存在する。このような核崩壊データの不

ここで、

- DAC_p : 排気中濃度限度 (Bq/cm³)
 $1/50$: 公衆に対する確率的影響に関する線量当量限度 (1 mSv) に対応させるための係数、すなわち $50 \text{ mSv}/50 = 1 \text{ mSv}$ である。
 $1/10$: 公衆に対する非確率的影響に関する線量当量限度 (50 mSv) に対応させるための係数、すなわち $500 \text{ mSv}/10 = 50 \text{ mSv}$ である。
 8.395×10^9 : 公衆成人の年間呼吸量 (cm³)

(4) 排液中濃度限度

$$DWC_p = \text{Min} \left\{ \frac{ALI_S^{ing}}{50} \text{ or } \frac{ALI_{NS}^{ing}}{10} \right\} \times \frac{1}{9.6725 \times 10^5} \quad (5)$$

ここで、

- DWC_p : 排液中濃度限度 (Bq/cm³)
 ALI_S^{ing} : 確率的影響から決まる経口摂取の場合の年摂取限度 (Bq)
 ALI_{NS}^{ing} : 非確率的影響から決まる経口摂取の場合の年摂取限度 (Bq)
 9.6725×10^5 : 公衆成人の年間摂水量 (cm³)

なお本計算では、(1)式における単位放射能摂取当りの預託実効線量当量の値には、単位放射能摂取当りの標的器官の荷重預託線量当量の値を、いわゆる「10%規則」に従って加算したものを使用する。

3. 計算結果

3.1 ENSDF崩壊データの修正

先にも述べたように、DOSDACシステムでは核崩壊データとしてENSDF崩壊データを使用している。ENSDFは崩壊図式を数値データ化したものであり、決められた形式に従って種々の物理量が記述されている¹⁵⁾。しかしENSDFには、必要データの欠如・不備、崩壊図式に組み込めなかった γ 転移 (unplaced- γ) の存在等による崩壊の分岐比の不整合、エネルギーバランスの不均衡などが時として見受けられる¹⁶⁾。ENSDFの使用時にデータの欠如・不備が見い出された場合には、これが原因となる不正確な放射線の算出を避けるためにデータを修正する必要がある。

修正前のENSDF崩壊データを使用した場合の、²⁰⁷At、²⁰⁹At、²¹⁰At及び²¹¹Atの崩壊図を第2図～第5図に示す。これらの図に見られるように、アスタチン4核種に関するENSDF崩壊データにはいくつかのデータの不備が存在する。このような核崩壊データの不

備の原因を検討し、他の核崩壊データ及び崩壊図式¹⁷⁾を参考にしてデータの修正を行った。核崩壊データの不備、その原因及び修正方法は以下の通りである。

(1) $^{207}\text{A t}$

$^{207}\text{A t}$ から $^{207}\text{P o}$ と $^{203}\text{B i}$ という2つの娘核種への分岐比の和が0.553であり、1より小さい。 $^{207}\text{A t}$ から $^{203}\text{B i}$ への α 崩壊の分岐比0.1は妥当であると考えられる。 $^{207}\text{A t}$ から $^{207}\text{P o}$ への β 崩壊の分岐比0.453は、ENSDFに記述されたデータではなく(記述されたデータは0.913)、娘核種の基底状態への転移強度の和を計算したものである。この転移強度の不整合は、 $^{207}\text{A t}$ の核崩壊データに数多く認められるunplaced- γ の存在に起因すると考えられる。本計算では、このようなunplaced- γ を崩壊図式に組み入れることはせず、 $^{207}\text{A t}$ から $^{207}\text{P o}$ への転移強度を0.9と仮定した。

また、崩壊系列を構成する $^{207\text{a}}\text{P b}$ の半減期が零であり、 $^{207\text{a}}\text{P b}$ から $^{207}\text{P b}$ への γ 崩壊が欠落している。これは、 $^{207\text{a}}\text{P b}$ の半減期(0.805秒)とこれに対応する $^{207}\text{P b}$ の準安定準位の半減期(0.8秒)が一致しておらず、作図コードにおいて半減期が零と見なされたためである。本計算では、0.805秒に統一した。

(2) $^{209}\text{A t}$

崩壊系列を構成する $^{205\text{a}}\text{P b}$ の半減期が零であり、 $^{205\text{a}}\text{P b}$ から $^{205}\text{P b}$ への γ 崩壊が欠落している。これは、 $^{205\text{a}}\text{P b}$ の半減期(5.54×10^{-3} 秒)とこれに対応する $^{205}\text{P b}$ の準安定準位の半減期(5.5×10^{-3} 秒)が一致しておらず、作図コードにおいて半減期が零と見なされたためである。本計算では、 5.54×10^{-3} 秒に統一した。

(3) $^{210}\text{A t}$

現時点におけるENSDFには、核崩壊データが存在しない $^{206\text{a}}\text{P b}$ が崩壊系列を構成している。また、崩壊系列を構成する $^{210}\text{P o}$ から核崩壊データが存在しない $^{206\text{a}}\text{P b}$ へ α 崩壊によって転移している。これは、 $^{206\text{a}}\text{P b}$ の核崩壊データが存在しないにもかかわらず、 $^{210}\text{P o}$ のデータに準安定準位を示す半減期(1.45×10^{-4} 秒)が記述されているためである。本計算では、 $^{210}\text{P o}$ の準安定準位は存在しないと仮定し、関連するデータを削除した。

(4) $^{211}\text{A t}$

崩壊系列を構成する $^{207\text{a}}\text{P b}$ の半減期が零であり、 $^{207\text{a}}\text{P b}$ から $^{207}\text{P b}$ への γ 崩壊が欠落している。また、崩壊系列を構成する $^{211}\text{P o}$ から α 崩壊によってそれへ転移するはずのない $^{207\text{a}}\text{P b}$ へ転移している。これは、 $^{207}\text{A t}$ の場合と同じ原因に起因し、データの修正方法も同じである。

修正されたENSDF崩壊データを使用した場合の、4つのアスタチン放射性同位体の崩壊図を第6図～第9図に示す。核崩壊データの不備が適切に修正されたことが理解される。

3. 2 計算コードシステムと関連パラメータ値の検証

本計算に用いた計算コードシステムと関連パラメータ値を検証するため、告示別表第1に記載されている $^{207}\text{A t}$ と $^{211}\text{A t}$ に対して、SEE、Us、 $H_{50.1}$ などの線量算定用データを計算し、ICRP Publ. 30の補遺に示された値と比較した。DOSDACシステムによる

SEE、 U_s 、 $H_{50,T}$ 、 $w_T \cdot H_{50,T}$ 、ALI及びDACの計算結果を付録に示す。ICRP Publ. 30の値と比較した結果は以下の通りである。

(1) ^{207}At

SEEについては、崩壊系列を構成するすべての放射性核種において、線源器官が肺または胃内容物であり標的器官が生殖腺である場合、DOSDACシステムによる計算値の方が4~12倍程度大きかった。また、 ^{207}At に対するSEEの相違が比較的大きく、線源器官が肺または胃内容物である場合、DOSDACシステムによる計算値の方が50%程度大きかった。これら以外のSEEのほとんどは、10%以内の相違であった。

SEE以外の線量算定用データのほとんどは、5%以内の相違で一致した。ただし、胃壁の $H_{50,T}$ と $w_T \cdot H_{50,T}$ については、DOSDACシステムによる計算値の方が15%程度大きかった。

なお、本計算に用いた ^{207}At の崩壊図(第6図)は、ICRP Publ. 30で用いられた崩壊図と若干異なっている。すなわち本計算の崩壊図には、 ^{207}Pb 、 ^{203}Pb 、 ^{199}Tl 及び ^{199}Hg が加えられている。

(2) ^{211}At

すべてのデータがよく一致した。なお、本計算に用いた ^{211}At の崩壊図(第9図)は、ICRP Publ. 30で用いられた崩壊図と若干異なっている。すなわち本計算の崩壊図には、 ^{207}Pb が加えられている。

以上の結果、DOSDACシステムによる線量算定用データの計算値は、 ^{207}At に関するSEEの相違を除くとICRP Publ. 30の補遺に示された値とよく一致した。SEEの違いは、核崩壊データとして使用したENSDFの版が互いに異なるため、崩壊図及び計算された放射線データが相違していることが原因であると考えられる。しかし上記の結果から、SEEの違いは ^{207}At のALIとDACの計算結果に影響を及ぼさないことが理解された。以上より、本計算に用いた計算コードシステムと関連パラメータ値の妥当性が示された。

3. 3 ^{209}At と ^{210}At の年摂取限度と濃度限度の計算

告示別表第1に記載されていない ^{209}At と ^{210}At について、吸入摂取及び経口摂取に対するALI、DAC、DACp及びDWCPをDOSDACシステムで計算した結果を第2表に示す。また参考のために、これらの放射性核種に関するSEE、 U_s 、 $H_{50,T}$ 、 $w_T \cdot H_{50,T}$ 、ALI及びDACの計算結果を付録に示す。

現行の法令では、告示別表第1に記載されていない放射性核種については、告示別表第2に記載された濃度限度を使用して管理することになっている。これによると、 ^{209}At と ^{210}At のDAC、DACp、DWCPはそれぞれ、 5×10^{-9} 、 6×10^{-11} 、 1×10^{-4} (Bq/cm³)と定められており、かなり厳しい値である。本計算でDOSDACシステムによって計算された濃度限度を告示別表第2の値と比較すると、DACとDACpについては6桁から7桁程度、DWCPについては4桁程度緩い値となっている。

また、第2表には ^{207}At と ^{211}At について、吸入摂取及び経口摂取に対するALI、DAC、

DAC_p及びDWC_pのDOSDACシステムによる計算結果を、告示別表第1の値と比較して示した。表に記載された4つのアスタチン放射性同位体の中では、²¹¹Atの年摂取限度と濃度限度が最も厳しい値となっている。

4. おわりに

現行の法令では、科学技術庁告示第15号別表第1に記載されていない放射性核種の濃度限度については、同告示別表第2に記載された値を使用することになっている。しかし、ここに示された濃度限度はかなり厳しい値であり、内部被曝管理の過剰防護と施設設計上の大きな負担を生ずる原因になる可能性があると考えられる。

告示別表第1に記載されていないアスタチン放射性同位体のうち、原研高崎研究所において使用する計画である²⁰⁹At及びその製造過程において副生成物として生ずる²¹⁰Atに対して、ICRP Publ. 30に示されている方法を用い、年摂取限度と濃度限度の算出を試みた。これらの値を計算するために必要な単位放射能摂取当りの標的器官の預託線量当量及び荷重預託線量当量の値は、評価済核構造データファイル崩壊データを使用して、原研で開発した線量換算係数算出システムDOSDACにより算出した。

今回計算された濃度限度を現行の法令における規制値と比較すると、空气中濃度限度と排気中濃度限度については6桁から7桁程度、排液中濃度限度については4桁程度緩い値となった。今回の計算結果を基にすれば、使用量の大幅な増加が可能になるとともに、施設設計の合理化及び内部被曝管理システムの軽減化に役立つことが期待される。

謝辞

計算コードシステムDOSDACの開発・整備の大部分は、原研原子炉安全工学部人的因子研究室の山口勇吉氏によって行われた。ここに感謝の意を表します。また、本計算を進めるに当たり、原研保健物理部体内放射能課の須賀新一課長と河合勝雄氏には貴重な助言をいただいた。原研アイソトープ部研究開発課の出雲三四六氏には、報告書原稿に対して有益なコメントをいただいた。これら諸氏に深く感謝致します。

DAC_p及びDWC_pのDOSDACシステムによる計算結果を、告示別表第1の値と比較して示した。表に記載された4つのアスタチン放射性同位体の中では、²¹¹Atの年摂取限度と濃度限度が最も厳しい値となっている。

4. おわりに

現行の法令では、科学技術庁告示第15号別表第1に記載されていない放射性核種の濃度限度については、同告示別表第2に記載された値を使用することになっている。しかし、ここに示された濃度限度はかなり厳しい値であり、内部被曝管理の過剰防護と施設設計上の大きな負担を生ずる原因になる可能性があると考えられる。

告示別表第1に記載されていないアスタチン放射性同位体のうち、原研高崎研究所において使用する計画である²⁰⁹At及びその製造過程において副生成物として生ずる²¹⁰Atに対して、ICRP Publ. 30に示されている方法を用い、年摂取限度と濃度限度の算出を試みた。これらの値を計算するために必要な単位放射能摂取当りの標的器官の預託線量当量及び荷重預託線量当量の値は、評価済核構造データファイル崩壊データを使用して、原研で開発した線量換算係数算出システムDOSDACにより算出した。

今回計算された濃度限度を現行の法令における規制値と比較すると、空气中濃度限度と排気中濃度限度については6桁から7桁程度、排液中濃度限度については4桁程度緩い値となった。今回の計算結果を基にすれば、使用量の大幅な増加が可能になるとともに、施設設計の合理化及び内部被曝管理システムの軽減化に役立つことが期待される。

謝辞

計算コードシステムDOSDACの開発・整備の大部分は、原研原子炉安全工学部人的因子研究室の山口勇吉氏によって行われた。ここに感謝の意を表します。また、本計算を進めるに当たり、原研保健物理部体内放射能課の須賀新一課長と河合勝雄氏には貴重な助言をいただいた。原研アイソトープ部研究開発課の出雲三四六氏には、報告書原稿に対して有益なコメントをいただいた。これら諸氏に深く感謝致します。

DAC_p及びDWC_pのDOSDACシステムによる計算結果を、告示別表第1の値と比較して示した。表に記載された4つのアスタチン放射性同位体の中では、²¹¹Atの年摂取限度と濃度限度が最も厳しい値となっている。

4. おわりに

現行の法令では、科学技術庁告示第15号別表第1に記載されていない放射性核種の濃度限度については、同告示別表第2に記載された値を使用することになっている。しかし、ここに示された濃度限度はかなり厳しい値であり、内部被曝管理の過剰防護と施設設計上の大きな負担を生ずる原因になる可能性があると考えられる。

告示別表第1に記載されていないアスタチン放射性同位体のうち、原研高崎研究所において使用する計画である²⁰⁹At及びその製造過程において副生成物として生ずる²¹⁰Atに対して、ICRP Publ. 30に示されている方法を用い、年摂取限度と濃度限度の算出を試みた。これらの値を計算するために必要な単位放射能摂取当りの標的器官の預託線量当量及び荷重預託線量当量の値は、評価済核構造データファイル崩壊データを使用して、原研で開発した線量換算係数算出システムDOSDACにより算出した。

今回計算された濃度限度を現行の法令における規制値と比較すると、空气中濃度限度と排気中濃度限度については6桁から7桁程度、排液中濃度限度については4桁程度緩い値となった。今回の計算結果を基にすれば、使用量の大幅な増加が可能になるとともに、施設設計の合理化及び内部被曝管理システムの軽減化に役立つことが期待される。

謝辞

計算コードシステムDOSDACの開発・整備の大部分は、原研原子炉安全工学部人的因子研究室の山口勇吉氏によって行われた。ここに感謝の意を表します。また、本計算を進めるに当たり、原研保健物理部体内放射能課の須賀新一課長と河合勝雄氏には貴重な助言をいただいた。原研アイソトープ部研究開発課の出雲三四六氏には、報告書原稿に対して有益なコメントをいただいた。これら諸氏に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 科学技術庁；放射線を放出する同位元素の数量等を定める件の全部を改正する件，科学技術庁告示第15号，官報号外第59号2分冊の1，p.30，大蔵省印刷局発行（1988）
- 2) International Commission on Radiological Protection; Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP Publication 30, Part 1 - Part 3, Pergamon Press, Oxford (1979-1982)
- 3) 山口勇吉；内部被曝線量算出用計算コードの整備とシステム化，日本保健物理学会第17回研究発表会要旨集，p.48（1982）
- 4) 山口勇吉，外川織彦；内部被曝線量算定における娘核種の取扱い，日本原子力学会昭和58年秋の分科会予稿集第Ⅱ文冊，p.41（1983）
- 5) 山口勇吉，外川織彦，本間俊充，片倉純一，鴻坂厚夫；線量換算係数算出システム DOSDAC の開発，日本原子力学会昭和63年秋の大会予稿集第Ⅰ文冊，p.352（1988）
- 6) D.C. KOCHER; Dose-Rate Conversion Factors for External Exposure to Photon and Electron Radiation from Radionuclides Occurring in Routine Releases from Nuclear Fuel Cycle Facilities, Health Phys., 38, 543 (1980)
- 7) Y. YAMAGUCHI, O. TOGAWA and T. HONMA; The VADMAP Code to Calculate the SAF of Photon - Code Description and the Performance -, JAERI-M 87-186 (1987)
- 8) International Commission on Radiological Protection; The Metabolism of Plutonium and Related Elements, ICRP Publication 48, Pergamon Press, Oxford (1986)
- 9) S.B. WATSON and M.R. FORD; A User's Manual to the ICRP Code - A Series of Computer Programs to Perform Dosimetric Calculations for the ICRP Committee 2 Report, ORNL/TM-6980 (1980)
- 10) N. ADAMS, B.W. HUNT and J.A. REISSLAND; Annual Limits of Intake of Radionuclides for Workers, NRPB-R82 (1978)
- 11) L.T. DILLMAN; EDISTR - A Computer Program to Obtain a Nuclear Decay Data Base for Radiation Dosimetry, ORNL/TM-6689 (1980)
- 12) Evaluated Nuclear Structure Data File (ENSDF) - A computer file of evaluated nuclear structure and radioactivity decay data. The file is maintained by the National Nuclear Data Center (NNDC), Brookhaven National Laboratory, on behalf of the International Network for Nuclear Structure Data Evaluation.
- 13) W.S. SNYDER, M.R. FORD, G.G. WARNER and S.B. WATSON; A Tabulation of Dose Equivalent per Microcurie-Day for Source and Target Organs of an Adult for Various Radionuclides, ORNL-5000 (1974)
- 14) International Commission on Radiological Protection; Report of the Task Group on Reference Man, ICRP Publication 23, Pergamon Press, Oxford (1975)

- 15) J. K. TULI; Evaluated Nuclear Structure Data File. A Manual for Preparation of Data Sets, BNL-NCS-51655-Rev. 87, UC-34c (1987)
- 16) 山口勇吉, 外川織彦; ENSDFの二三の問題点, 核データニュース, No. 30, p. 73 (1988)
- 17) C. M. LEDERER and V. S. SHIRLEY (eds.); Table of Isotopes, Seventh Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York (1978)

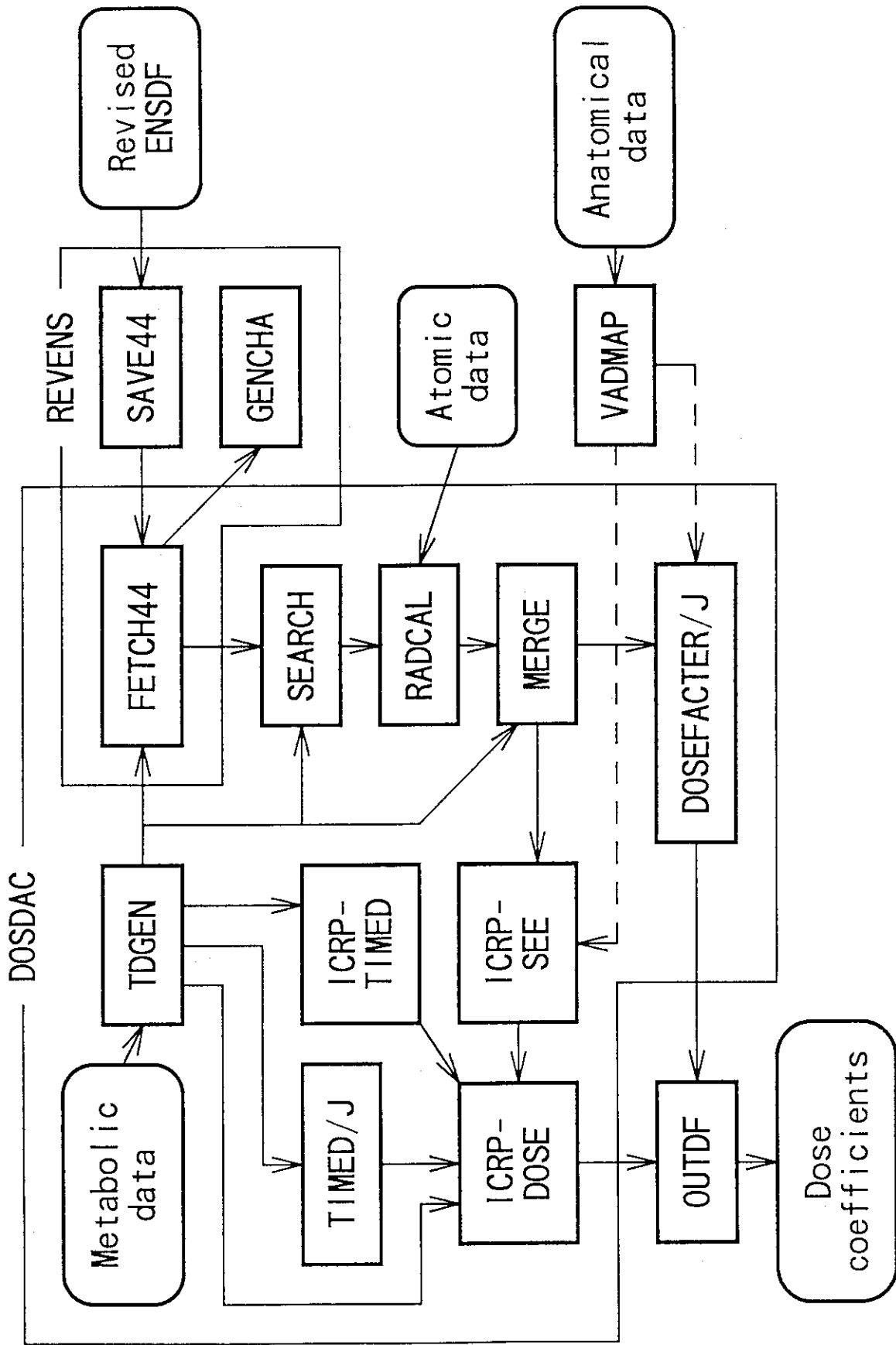
第1表 線量換算係数算出システムDOSDACを構成する各モジュールの機能

モジュール名	機能
制御モジュール DOSDAC	内部および外部被曝に関する線量換算係数を算出する。
機能モジュール TDGEN	制御モジュールDOSDACの制御下で作動する各機能モジュールの入力データを準備する。
FETCH44	評価済核構造データファイル(ENSDF)崩壊データから対象核種に関するデータを核種名によって抽出する。
SEARCH	FETCH44で選定された崩壊データから核種の半減期によってさらにデータを抽出する。
RADCAL	放射線データ(各放射線の放出率、平均エネルギーおよび最大エネルギー)を算出する。
MERGE	RADCALで計算した放射線データを対象核種に関して編集・統合する。
TIMED/J ICRP-TIMED	任意期間における線源器官での核種の累積崩壊数を求める。TIMED/Jでは各器官の代謝モデルに関して、ICRPの標準モデルとその拡張モデルが取り扱い可能である。
ICRP-SEE	内部被曝に関する線量換算係数を算出する際に使用する比実効エネルギー(SEE)を計算する。
ICRP-DOSE	核種の経口および吸入摂取による単位放射能当りの各標的器官の線量当量と荷重線量当量を計算する。
DOSE- FACTOR/J	環境媒体における単位核種濃度当りの各器官の外部被曝線量を計算する。
制御モジュール REVEN	ENSDF崩壊データの改訂を行う。
機能モジュール SAVE44	変更・修正されたENSDF崩壊データをDOSDACシステム用のデータファイルに保存する。
GENCHA	崩壊系列を作成するためのデータをENSDFから抽出し、データファイルに出力する。
計算コード OUTDF	内部および外部被曝に関する線量換算係数を環境中被曝線量評価用のデータファイルとして出力する。
VADMAP	モンテカルロ法およびビルドアップ係数法を用いて、任意体型に対する光子の比吸収割合(SAF)を計算する。

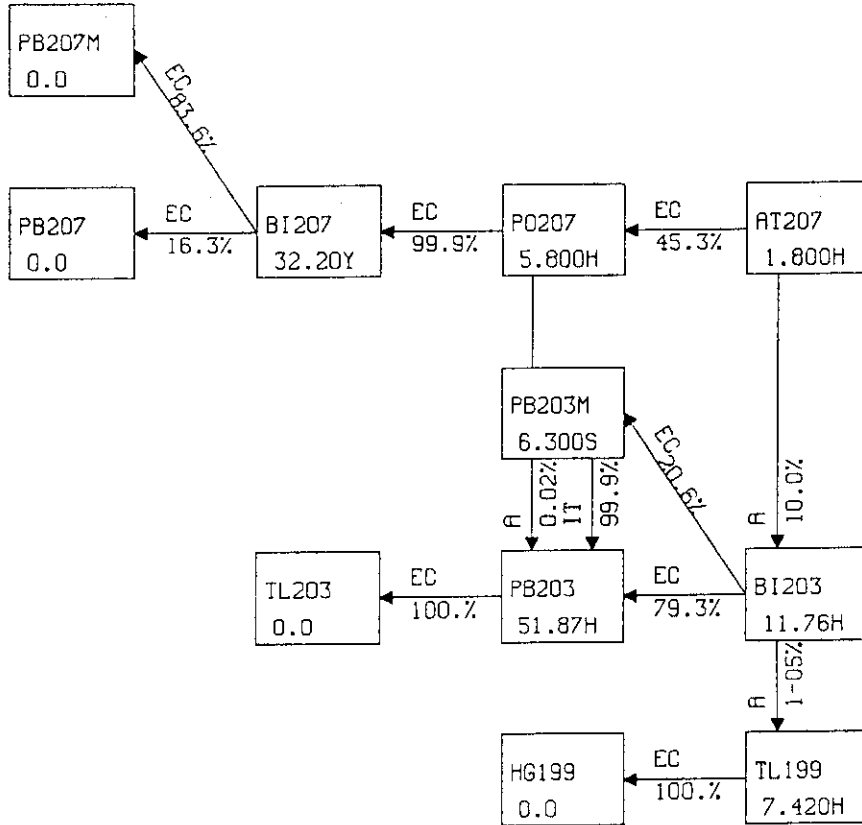
第2表 DOSDACシステムによるアスタチン放射性同位体の年摂取限度と濃度限度の計算結果

核種	吸入の 区分	f ₁ 値	吸入摂取に対する A L I (Bq)	経口摂取に対する A L I (Bq)	D A C (Bq/cm ³)	D A C p (Bq/cm ³)	D W C p (Bq/cm ³)
²⁰⁹ A t	D	1	9.6 X 10 ⁷	1.4 X 10 ⁸	3.3 X 10 ⁻²	2.3 X 10 ⁻⁴	2.9 X 10 ⁰
	W	1	6.9 X 10 ⁷	1.4 X 10 ⁸	2.4 X 10 ⁻²	1.7 X 10 ⁻⁴	2.9 X 10 ⁰
	D	1	8.5 X 10 ⁷	6.0 X 10 ⁷	3.0 X 10 ⁻²	2.0 X 10 ⁻⁴	1.2 X 10 ⁰
	W	1	1.3 X 10 ⁷	6.0 X 10 ⁷	4.5 X 10 ⁻³	3.1 X 10 ⁻⁵	1.2 X 10 ⁰
²⁰⁷ A t	D	1	9.6 X 10 ⁷ (9.6 X 10 ⁷) *	2.1 X 10 ⁸ (2.0 X 10 ⁸)	3.3 X 10 ⁻² (3 X 10 ⁻²)	2.3 X 10 ⁻⁴ (2 X 10 ⁻⁴)	4.4 X 10 ⁰ (4 X 10 ⁰)
	W	1	8.1 X 10 ⁷ (8.0 X 10 ⁷)	2.1 X 10 ⁸ (2.0 X 10 ⁸)	2.8 X 10 ⁻² (3 X 10 ⁻²)	1.9 X 10 ⁻⁴ (2 X 10 ⁻⁴)	4.4 X 10 ⁰ (4 X 10 ⁰)
²¹¹ A t	D	1	2.8 X 10 ⁶ (2.7 X 10 ⁶)	4.7 X 10 ⁶ (4.6 X 10 ⁶)	9.6 X 10 ⁻⁴ (9 X 10 ⁻⁴)	6.6 X 10 ⁻⁶ (6 X 10 ⁻⁶)	9.7 X 10 ⁻² (1 X 10 ⁻¹)
	W	1	2.0 X 10 ⁶ (2.0 X 10 ⁶)	4.7 X 10 ⁶ (4.6 X 10 ⁶)	6.9 X 10 ⁻⁴ (7 X 10 ⁻⁴)	4.8 X 10 ⁻⁶ (5 X 10 ⁻⁶)	9.7 X 10 ⁻² (1 X 10 ⁻¹)

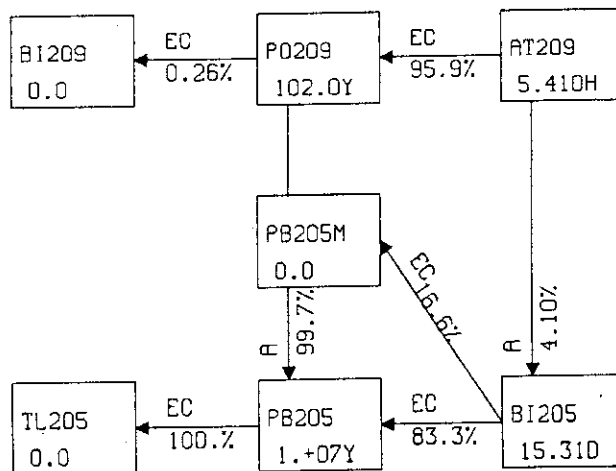
* 括弧内は告示別表第1の値



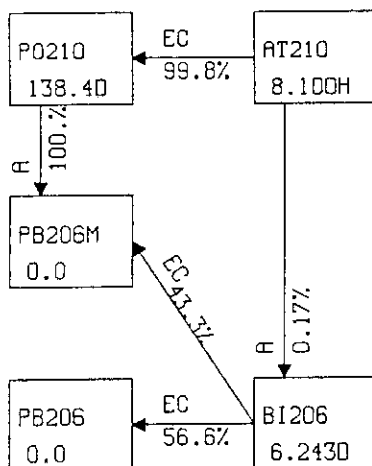
第1図 線量換算係数算出システムDOSDACの構成



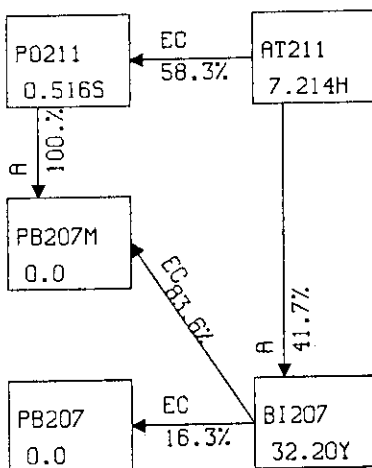
第2図 ^{207}At の崩壊図 (ENSDF崩壊データ修正前)



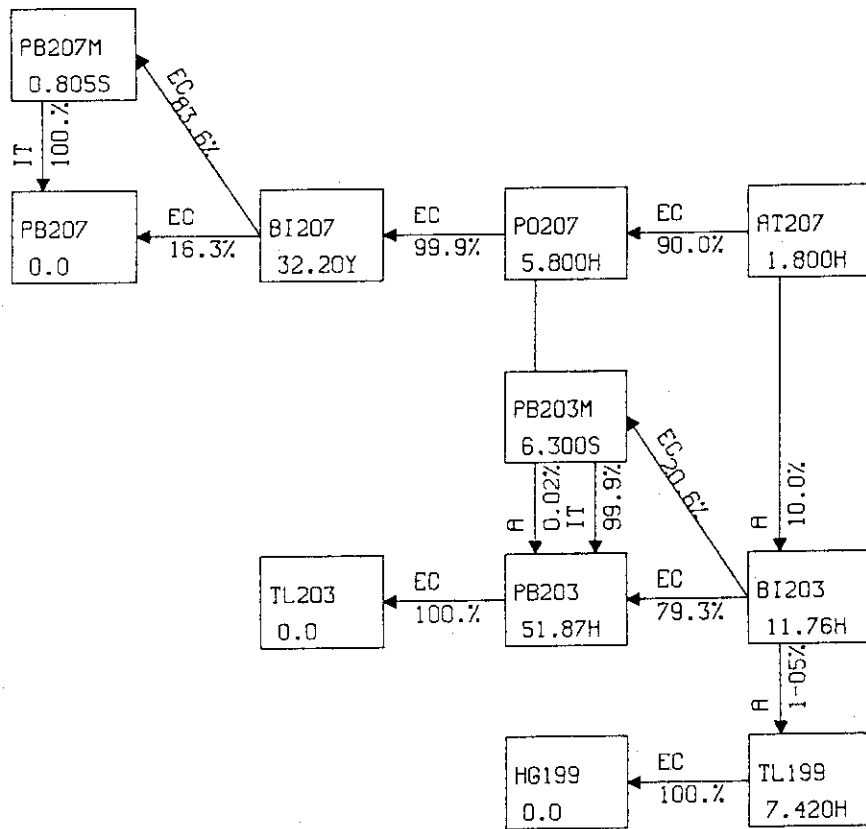
第3図 ^{209}At の崩壊図 (ENSDF崩壊データ修正前)



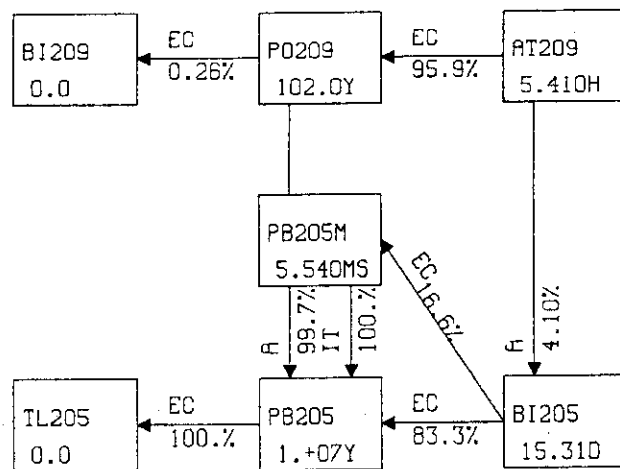
第4図 ^{210}At の崩壊図 (ENSDF崩壊データ修正前)



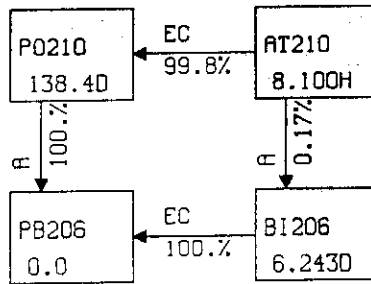
第5図 ^{211}At の崩壊図 (ENSDF崩壊データ修正前)



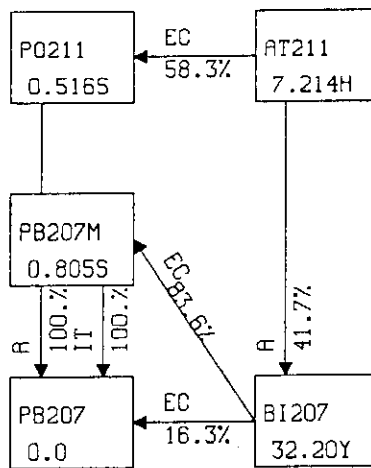
第6図 ^{207}At の崩壊図 (ENSDF崩壊データ修正後)



第7図 ^{209}At の崩壊図 (ENSDF崩壊データ修正後)



第8図 ^{210}At の崩壊図 (EN SDF 崩壊データ修正後)



第9図 ^{211}At の崩壊図 (EN SDF 崩壊データ修正後)

付録 ^{207}At 、 ^{211}At 、 ^{209}At 及び ^{210}At に関する線量算定用データ

以下には、 ^{207}At 、 ^{211}At 、 ^{209}At 及び ^{210}At の4核種に対する、比実効エネルギー（SEE）、50年間における線源器官での累積崩壊数（Us）、単位放射能摂取当りの標的器官の預託線量当量（ $H_{50,T}$ ）と荷重預託線量当量（ $w_T \cdot H_{50,T}$ ）、年摂取限度（ALI）、及び誘導空气中濃度（DAC）を示す。これらのデータは、原研で開発した線量換算係数算出システムDOSDACで得られた計算機出力をそのまま掲載したものである。

207 A t

SPECIFIC EFFECTIVE ENERGY (MeV PER GRAM PER TRANSFORMATION) OF AT-207

TARGETS	SOURCES		
	LUNGS	ST CONTENT	TOTAL BODY
GONADS	1.1E-06	6.3E-06	1.8E-04
BREAST	8.4E-06	9.0E-06	1.8E-04
R MARROW	8.3E-06	6.6E-06	1.8E-04
LUNGS	1.2E-02	1.1E-05	1.8E-04
THYROID	7.4E-06	1.1E-06	1.8E-04
BONE SURF	6.6E-06	3.9E-06	1.8E-04
ST WALL	1.2E-05	8.0E-04	1.8E-04
ULI WALL	2.6E-06	2.1E-05	1.8E-04
PANCREAS	1.5E-05	1.1E-04	1.8E-04
SPLEEN	1.3E-05	5.9E-05	1.8E-04
ADRENALS	1.4E-05	1.6E-05	1.8E-04

SPECIFIC EFFECTIVE ENERGY (MeV PER GRAM PER TRANSFORMATION) OF BI-203

TARGETS	SOURCES		
	LUNGS	ST CONTENT	TOTAL BODY
GONADS	1.3E-06	7.5E-06	1.4E-05
BREAST	9.4E-06	1.0E-05	1.1E-05
R MARROW	9.2E-06	7.1E-06	1.2E-05
LUNGS	1.4E-04	1.3E-05	1.0E-05
THYROID	7.9E-06	1.3E-06	1.1E-05
BONE SURF	7.2E-06	4.3E-06	1.1E-05
ST WALL	1.4E-05	4.4E-04	1.2E-05
ULI WALL	3.1E-06	2.3E-05	1.4E-05
PANCREAS	1.6E-05	1.2E-04	1.5E-05
SPLEEN	1.5E-05	6.5E-05	1.2E-05
ADRENALS	1.4E-05	2.0E-05	1.7E-05

SPECIFIC EFFECTIVE ENERGY (MeV PER GRAM PER TRANSFORMATION) OF PO-207

TARGETS	SOURCES		
	LUNGS	ST CONTENT	TOTAL BODY
GONADS	7.0E-07	5.3E-06	7.3E-06
BREAST	5.7E-06	6.0E-06	7.2E-06
R MARROW	5.7E-06	4.5E-06	8.4E-06
LUNGS	1.3E-04	7.6E-06	7.2E-06
THYROID	5.6E-06	7.0E-07	7.6E-06
BONE SURF	4.5E-06	2.7E-06	7.6E-06
ST WALL	8.3E-06	3.2E-04	8.3E-06
ULI WALL	1.7E-06	1.3E-05	9.0E-06
PANCREAS	1.0E-05	7.1E-05	8.3E-06
SPLEEN	9.3E-06	4.0E-05	8.5E-06
ADRENALS	1.0E-05	9.7E-06	9.1E-06

SPECIFIC EFFECTIVE ENERGY (MeV PER GRAM PER TRANSFORMATION) OF TL-199

TARGETS	SOURCES		
	LUNGS	ST CONTENT	TOTAL BODY
GONADS	1.1E-07	5.4E-07	2.5E-06
BREAST	1.2E-06	1.3E-06	2.2E-06
R MARROW	1.6E-06	1.3E-06	3.0E-06
LUNGS	7.6E-05	1.7E-06	2.3E-06
THYROID	8.7E-07	9.7E-08	2.1E-06
BONE SURF	1.3E-06	7.4E-07	2.7E-06
ST WALL	1.7E-06	1.7E-04	2.5E-06
ULI WALL	2.5E-07	3.2E-06	2.6E-06
PANCREAS	2.4E-06	1.7E-05	2.7E-06
SPLEEN	2.0E-06	9.4E-06	2.5E-06
ADRENALS	2.3E-06	2.2E-06	2.5E-06

SPECIFIC EFFECTIVE ENERGY (MeV PER GRAM PER TRANSFORMATION) OF PB-203M

TARGETS	SOURCES		
	LUNGS	ST CONTENT	TOTAL BODY
GONADS	3.6E-07	2.5E-06	5.4E-06
BREAST	2.9E-06	3.1E-06	5.4E-06
R MARROW	2.8E-06	2.2E-06	5.9E-06
LUNGS	1.9E-04	3.9E-06	5.5E-06
THYROID	2.9E-06	3.6E-07	5.6E-06
BONE SURF	2.2E-06	1.3E-06	5.5E-06
ST WALL	4.2E-06	4.3E-04	6.0E-06
ULI WALL	8.8E-07	6.8E-06	6.4E-06
PANCREAS	5.3E-06	3.6E-05	5.9E-06
SPLEEN	4.8E-06	2.1E-05	6.1E-06
ADRENALS	5.2E-06	4.7E-06	6.5E-06

SPECIFIC EFFECTIVE ENERGY (MeV PER GRAM PER TRANSFORMATION) OF PB-203

TARGETS	SOURCES		
	LUNGS	ST CONTENT	TOTAL BODY
GONADS	1.3E-07	5.5E-07	3.0E-06
BREAST	1.6E-06	1.6E-06	2.5E-06
R MARROW	2.0E-06	1.6E-06	3.5E-06
LUNGS	8.3E-05	2.1E-06	2.7E-06
THYROID	1.0E-06	1.2E-07	2.4E-06
BONE SURF	1.6E-06	9.2E-07	3.1E-06
ST WALL	2.2E-06	1.9E-04	3.0E-06
ULI WALL	2.9E-07	4.1E-06	3.1E-06
PANCREAS	3.0E-06	2.2E-05	3.3E-06
SPLEEN	2.6E-06	1.2E-05	3.0E-06
ADRENALS	2.9E-06	2.8E-06	3.1E-06

NUMBER OF NUCLEAR TRANSFORMATIONS OVER 50 YEARS
IN SOURCE ORGANS OR TISSUES PER UNIT INTAKE OF ACTIVITY
(TRANSFORMATIONS/Bq) OF AT-207

ORGAN	<u>ORAL</u>		<u>INHALATION</u>	
	ISOTOPE		CLASS D	CLASS W
	AT-207	f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00
	BI-203	f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00
	PO-207	f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00
	TL-199	f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00
	PB-203M	f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00
	PB-203	f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00
LUNGS	AT-207		2.2E+03	2.6E+03
LUNGS	BI-203		1.2E+02	2.2E+02
LUNGS	PO-207		1.4E+03	2.1E+03
LUNGS	TL-199		0.0	0.0
LUNGS	PB-203M		2.4E+01	4.4E+01
LUNGS	PB-203		2.5E+01	1.6E+02
ST CONTENT	AT-207	2.6E+03	3.5E+02	1.4E+02
ST CONTENT	BI-203	1.4E+01	2.9E+00	9.7E+00
ST CONTENT	PO-207	2.5E+02	5.0E+01	1.2E+02
ST CONTENT	TL-199	0.0	0.0	0.0
ST CONTENT	PB-203M	3.0E+00	6.1E-01	2.0E+00
ST CONTENT	PB-203	1.9E-01	5.3E-02	1.9E+00
OTHER TISSUE	AT-207	6.7E+03	3.0E+03	9.5E+02
OTHER TISSUE	BI-203	8.7E+02	4.4E+02	2.6E+02
OTHER TISSUE	PO-207	7.9E+03	3.8E+03	1.9E+03
OTHER TISSUE	TL-199	0.0	0.0	0.0
OTHER TISSUE	PB-203M	1.8E+02	9.2E+01	5.3E+01
OTHER TISSUE	PB-203	7.3E+02	4.4E+02	3.3E+02

(70000g)

COMMITTED DOSE EQUIVALENT IN TARGET ORGANS OR TISSUES
PER INTAKE OF UNIT ACTIVITY (Sv/Bq) OF AT-207

<u>ORAL</u>	<u>INHALATION</u>	
	CLASS D f1=1.E+00	CLASS W f1=1.E+00
GONADS 2.1E-10 A	LUNGS 4.3E-09 A (1, 5, 94)	LUNGS 5.1E-09 A (0, 12, 88)
BREAST 2.1E-10		
R MARROW 2.1E-10		
LUNGS 2.1E-10		
THYROID 2.0E-10		
BONE SURF 2.1E-10		
ST WALL 5.5E-10		
ULI WALL 2.2E-10		
REMAINDER 2.5E-10 WT=.18		

WEIGHTED COMMITTED DOSE EQUIVALENT IN TARGET ORGANS OR TISSUES
PER INTAKE OF UNIT ACTIVITY (Sv/Bq) OF AT-207

<u>ORAL</u>	<u>INHALATION</u>	
	CLASS D	CLASS W
f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00
GONADS 5.2E-11 A	LUNGS 5.2E-10 A	LUNGS 6.2E-10 A
BREAST 3.1E-11		
R MARROW 2.5E-11		
LUNGS 2.5E-11		
THYROID 6.1E-12		
BONE SURF 6.2E-12		
ST WALL 3.3E-11		
ULI WALL 1.3E-11		
REMAINDER 4.6E-11		

ANNUAL LIMITS ON INTAKE, ALI, AND DERIVED AIR
CONCENTRATIONS, DAC, (40 Hr/Wk) FOR AT-207

<u>ORAL</u>	<u>ALI (Bq)</u>		<u>DAC (Bq/m3)</u>	
	<u>INHALATION</u>		<u>INHALATION</u>	
	CLASS D	CLASS W	CLASS D	CLASS W
f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00
2.E+08	1.E+08	8.E+07	4.E+04	3.E+04

211 A t

SPECIFIC EFFECTIVE ENERGY (MeV PER GRAM PER TRANSFORMATION) OF AT-211

TARGETS	SOURCES		
	LUNGS	ST CONTENT	TOTAL BODY
GONADS	1.1E-08	8.3E-08	7.1E-04
BREAST	2.2E-07	2.2E-07	7.1E-04
R MARROW	3.9E-07	2.8E-07	7.1E-04
LUNGS	5.0E-02	2.9E-07	7.1E-04
THYROID	1.2E-07	7.4E-09	7.1E-04
BONE SURF	3.1E-07	1.6E-07	7.1E-04
ST WALL	3.0E-07	1.0E-03	7.1E-04
SI WALL	2.2E-08	4.2E-07	7.1E-04
ULI WALL	2.8E-08	5.8E-07	7.1E-04
PANCREAS	4.1E-07	3.2E-06	7.1E-04
SPLEEN	3.6E-07	1.7E-06	7.1E-04

SPECIFIC EFFECTIVE ENERGY (MeV PER GRAM PER TRANSFORMATION) OF BI-207

TARGETS	SOURCES		
	LUNGS	ST CONTENT	TOTAL BODY
GONADS	1.5E-07	7.6E-07	2.1E-06
BREAST	1.3E-06	1.4E-06	1.6E-06
R MARROW	1.5E-06	1.2E-06	2.2E-06
LUNGS	2.8E-05	1.8E-06	1.6E-06
THYROID	9.8E-07	1.5E-07	1.5E-06
BONE SURF	1.2E-06	7.0E-07	1.9E-06
ST WALL	1.9E-06	7.5E-05	1.8E-06
SI WALL	2.8E-07	2.5E-06	2.1E-06
ULI WALL	3.7E-07	3.4E-06	2.0E-06
PANCREAS	2.5E-06	1.7E-05	2.2E-06
SPLEEN	2.1E-06	9.5E-06	1.8E-06

SPECIFIC EFFECTIVE ENERGY (MeV PER GRAM PER TRANSFORMATION) OF PO-211

TARGETS	SOURCES		
	LUNGS	ST CONTENT	TOTAL BODY
GONADS	4.3E-09	2.7E-08	2.2E-03
BREAST	3.4E-08	3.6E-08	2.2E-03
R MARROW	3.2E-08	2.6E-08	2.2E-03
LUNGS	1.5E-01	4.7E-08	2.2E-03
THYROID	3.4E-08	4.3E-09	2.2E-03
BONE SURF	2.6E-08	1.5E-08	2.2E-03
ST WALL	4.9E-08	3.0E-03	2.2E-03
SI WALL	7.9E-09	6.6E-08	2.2E-03
ULI WALL	1.0E-08	8.0E-08	2.2E-03
PANCREAS	6.4E-08	4.3E-07	2.2E-03
SPLEEN	5.6E-08	2.4E-07	2.2E-03

NUMBER OF NUCLEAR TRANSFORMATIONS OVER 50 YEARS
IN SOURCE ORGANS OR TISSUES PER UNIT INTAKE OF ACTIVITY
(TRANSFORMATIONS/Bq) OF AT-211

ORGAN	ISOTOPE	ORAL			INHALATION	
		f1=1.E+00	CLASS D	CLASS W	f1=1.E+00	f1=1.E+00
	AT-211	f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00
	BI-207	f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00
	PO-211	f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00
LUNGS	AT-211		6.4E+03	9.5E+03		
LUNGS	BI-207		1.3E-01	1.1E+01		
LUNGS	PO-211		3.8E+03	5.5E+03		
ST CONTENT	AT-211	3.3E+03	4.8E+02	5.1E+02		
ST CONTENT	BI-207	3.4E-03	7.4E-04	1.4E-02		
ST CONTENT	PO-211	1.9E+03	2.8E+02	3.0E+02		
OTHER TISSUE	AT-211	3.3E+04	1.6E+04	7.6E+03		
OTHER TISSUE	BI-207	1.3E+01	8.2E+00	8.3E+00		
OTHER TISSUE (70000g)	PO-211	1.9E+04	9.2E+03	4.4E+03		

COMMITTED DOSE EQUIVALENT IN TARGET ORGANS OR TISSUES
PER INTAKE OF UNIT ACTIVITY (Sv/Bq) OF AT-211

<u>ORAL</u>	<u>INHALATION</u>	
	CLASS D	CLASS W
f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00
GONADS 1.0E-08 A	LUNGS 1.5E-07 A (2, 3, 95)	LUNGS 2.1E-07 A (1, 7, 92)
R MARROW 1.0E-08		
LUNGS 1.0E-08		
THYROID 1.0E-08		
BONE SURF 1.0E-08		
ST WALL 1.2E-08		
SI WALL 1.0E-08		
ULI WALL 1.0E-08		
REMAINDER 1.0E-08 WT=.12		

WEIGHTED COMMITTED DOSE EQUIVALENT IN TARGET ORGANS OR TISSUES
PER INTAKE OF UNIT ACTIVITY (Sv/Bq) OF AT-211

<u>ORAL</u>	<u>INHALATION</u>	
	CLASS D	CLASS W
f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00
GONADS 2.6E-09 A	LUNGS 1.8E-08 A	LUNGS 2.5E-08 A
BREAST 1.6E-09		
R MARROW 1.3E-09		
LUNGS 1.3E-09		
THYROID 3.1E-10		
BONE SURF 3.1E-10		
ST WALL 7.2E-10		
SI WALL 6.3E-10		
ULI WALL 6.3E-10		
REMAINDER 1.3E-09		

ANNUAL LIMITS ON INTAKE, ALI, AND DERIVED AIR
CONCENTRATIONS, DAC, (40 Hr/Wk) FOR AT-211

<u>ORAL</u>	<u>ALI (Bq)</u>		<u>DAC (Bq/m3)</u>	
	<u>INHALATION</u>		<u>INHALATION</u>	
	CLASS D	CLASS W	CLASS D	CLASS W
f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00
5.E+06	3.E+06	2.E+06	1.E+03	8.E+02

209 A t

SPECIFIC EFFECTIVE ENERGY (MeV PER GRAM PER TRANSFORMATION) OF AT-209

TARGETS	SOURCES		
	LUNGS	ST CONTENT	TOTAL BODY
GONADS	2.3E-07	7.3E-07	8.3E-05
BREAST	1.0E-05	1.1E-05	8.0E-05
R MARROW	1.0E-05	8.2E-06	8.2E-05
LUNGS	5.0E-03	1.4E-05	8.1E-05
THYROID	9.5E-06	1.2E-06	8.0E-05
BONE SURF	8.1E-06	4.8E-06	8.1E-05
ST WALL	1.5E-05	7.1E-04	8.2E-05
ULI WALL	3.0E-06	2.5E-05	8.4E-05
PANCREAS	1.9E-05	1.3E-04	8.2E-05
SPLEEN	1.7E-05	7.3E-05	8.3E-05
ADRENALS	1.8E-05	1.7E-05	8.5E-05

SPECIFIC EFFECTIVE ENERGY (MeV PER GRAM PER TRANSFORMATION) OF BI-205

TARGETS	SOURCES		
	LUNGS	ST CONTENT	TOTAL BODY
GONADS	1.9E-07	7.4E-07	8.2E-06
BREAST	6.3E-06	6.7E-06	7.2E-06
R MARROW	6.2E-06	4.8E-06	8.4E-06
LUNGS	9.3E-05	8.4E-06	7.0E-06
THYROID	5.1E-06	8.5E-07	7.1E-06
BONE SURF	4.9E-06	2.9E-06	7.6E-06
ST WALL	9.6E-06	2.9E-04	7.8E-06
ULI WALL	2.0E-06	1.6E-05	9.0E-06
PANCREAS	1.1E-05	7.8E-05	1.0E-05
SPLEEN	9.7E-06	4.4E-05	8.0E-06
ADRENALS	9.0E-06	1.3E-05	1.1E-05

SPECIFIC EFFECTIVE ENERGY (MeV PER GRAM PER TRANSFORMATION) OF PO-209

TARGETS	SOURCES		
	LUNGS	ST CONTENT	TOTAL BODY
GONADS	3.0E-10	1.2E-09	1.7E-03
BREAST	1.4E-08	1.5E-08	1.7E-03
R MARROW	1.5E-08	1.2E-08	1.7E-03
LUNGS	1.2E-01	1.9E-08	1.7E-03
THYROID	1.3E-08	1.6E-09	1.7E-03
BONE SURF	1.2E-08	7.1E-09	1.7E-03
ST WALL	2.1E-08	2.3E-03	1.7E-03
ULI WALL	3.9E-09	3.4E-08	1.7E-03
PANCREAS	2.6E-08	1.8E-07	1.7E-03
SPLEEN	2.4E-08	1.0E-07	1.7E-03
ADRENALS	2.6E-08	2.4E-08	1.7E-03

NUMBER OF NUCLEAR TRANSFORMATIONS OVER 50 YEARS
IN SOURCE ORGANS OR TISSUES PER UNIT INTAKE OF ACTIVITY
(TRANSFORMATIONS/Bq) OF AT-209

ORGAN	ISOTOPE	ORAL		INHALATION	
		f1	CLASS D	CLASS W	f1
	AT-209	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
	BI-205	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
	PO-209	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
LUNGS	AT-209		5.3E+03	7.3E+03	
LUNGS	BI-205		7.9E+00	1.4E+02	
LUNGS	PO-209		7.9E-02	5.9E+00	
ST CONTENT	AT-209	3.2E+03	4.7E+02	4.1E+02	
ST CONTENT	BI-205	2.5E-01	5.4E-02	6.7E-01	
ST CONTENT	PO-209	2.4E-03	5.2E-04	8.3E-03	
OTHER TISSUE	AT-209	2.4E+04	1.1E+04	5.0E+03	
OTHER TISSUE	BI-205	4.5E+02	2.8E+02	2.3E+02	
OTHER TISSUE (70000g)	PO-209	7.1E+00	4.5E+00	4.5E+00	

COMMITTED DOSE EQUIVALENT IN TARGET ORGANS OR TISSUES
PER INTAKE OF UNIT ACTIVITY (Sv/Bq) OF AT-209

<u>ORAL</u>	<u>INHALATION</u>	
	CLASS D f1=1.E+00	CLASS W f1=1.E+00
GONADS 3.2E-10 A	LUNGS 4.3E-09 A (2, 3, 95)	LUNGS 6.0E-09 A (1, 8, 91)
BREAST 3.2E-10		
R MARROW 3.3E-10		
LUNGS 3.2E-10		
THYROID 3.2E-10		
BONE SURF 3.2E-10		
ST WALL 6.9E-10		
ULI WALL 3.4E-10		
REMAINDER 3.9E-10 WT=.18		

WEIGHTED COMMITTED DOSE EQUIVALENT IN TARGRT ORGANS OR TISSUES
PER INTAKE OF UNIT ACTIVITY (Sv/Bq) OF AT-209

<u>ORAL</u>	<u>INHALATION</u>	
f1=1.E+00	CLASS D f1=1.E+00	CLASS W f1=1.E+00
GONADS 8.1E-11 A	LUNGS 5.2E-10 A	LUNGS 7.2E-10 A
BREAST 4.8E-11		
R MARROW 3.9E-11		
LUNGS 3.9E-11		
THYROID 9.5E-12		
BONE SURF 9.6E-12		
ST WALL 4.1E-11		
ULI WALL 2.0E-11		
REMAINDER 7.0E-11		

ANNUAL LIMITS ON INTAKE, ALI, AND DERIVED AIR
CONCENTRATIONS, DAC, (40 Hr/Wk) FOR AT-209

<u>ORAL</u>	<u>ALI (Bq)</u>		<u>DAC (Bq/m3)</u>	
f1=1.E+00	CLASS D f1=1.E+00	CLASS W f1=1.E+00	CLASS D f1=1.E+00	CLASS W f1=1.E+00
1.E+08	1.E+08	7.E+07	4.E+04	3.E+04

210 A t

SPECIFIC EFFECTIVE ENERGY (MeV PER GRAM PER TRANSFORMATION) OF AT-210

TARGETS	SOURCES		
	LUNGS	ST CONTENT	TOTAL BODY
GONADS	1.7E-06	1.0E-05	2.1E-05
BREAST	1.2E-05	1.3E-05	1.7E-05
R MARROW	1.2E-05	9.5E-06	1.9E-05
LUNGS	4.0E-04	1.7E-05	1.7E-05
THYROID	1.0E-05	1.7E-06	1.7E-05
BONE SURF	9.4E-06	5.7E-06	1.8E-05
ST WALL	1.9E-05	6.1E-04	1.8E-05
SI WALL	3.0E-06	2.3E-05	2.2E-05
LIVER	2.2E-05	1.9E-05	2.0E-05
PANCREAS	2.2E-05	1.6E-04	2.0E-05
SPLEEN	1.8E-05	8.8E-05	1.9E-05
THYMUS	4.0E-05	6.8E-06	2.0E-05
ADRENALS	2.0E-05	2.9E-05	2.8E-05

SPECIFIC EFFECTIVE ENERGY (MeV PER GRAM PER TRANSFORMATION) OF BI-206

TARGETS	SOURCES		
	LUNGS	ST CONTENT	TOTAL BODY
GONADS	1.3E-06	7.9E-06	1.4E-05
BREAST	1.0E-05	1.1E-05	1.2E-05
R MARROW	1.0E-05	7.9E-06	1.4E-05
LUNGS	2.1E-04	1.4E-05	1.2E-05
THYROID	9.0E-06	1.3E-06	1.3E-05
BONE SURF	7.9E-06	4.7E-06	1.3E-05
ST WALL	1.5E-05	5.8E-04	1.4E-05
SI WALL	2.4E-06	1.9E-05	1.6E-05
LIVER	1.8E-05	1.5E-05	1.5E-05
PANCREAS	1.8E-05	1.3E-04	1.5E-05
SPLEEN	1.6E-05	7.2E-05	1.4E-05
THYMUS	3.1E-05	4.6E-06	1.3E-05
ADRENALS	1.7E-05	1.9E-05	1.8E-05

SPECIFIC EFFECTIVE ENERGY (MeV PER GRAM PER TRANSFORMATION) OF PO-210

TARGETS	SOURCES		
	LUNGS	ST CONTENT	TOTAL BODY
GONADS	5.4E-12	3.6E-11	1.5E-03
BREAST	4.3E-11	4.6E-11	1.5E-03
R MARROW	4.0E-11	3.3E-11	1.5E-03
LUNGS	1.1E-01	5.8E-11	1.5E-03
THYROID	4.3E-11	5.4E-12	1.5E-03
BONE SURF	3.2E-11	1.9E-11	1.5E-03
ST WALL	6.2E-11	2.1E-03	1.5E-03
SI WALL	1.0E-11	8.3E-11	1.5E-03
LIVER	7.7E-11	6.4E-11	1.5E-03
PANCREAS	7.9E-11	5.4E-10	1.5E-03
SPLEEN	7.0E-11	3.0E-10	1.5E-03
THYMUS	1.3E-10	2.0E-11	1.5E-03
ADRENALS	7.8E-11	6.9E-11	1.5E-03

NUMBER OF NUCLEAR TRANSFORMATIONS OVER 50 YEARS
IN SOURCE ORGANS OR TISSUES PER UNIT INTAKE OF ACTIVITY
(TRANSFORMATIONS/Bq) OF AT-210

ORGAN	ISOTOPE	ORAL		INHALATION	
		f1	CLASS D	CLASS W	f1
	AT-210	f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00
	BI-206	f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00
	PO-210	f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00
LUNGS	AT-210		6.9E+03	1.0E+04	
LUNGS	BI-206		1.1E+00	1.1E+01	
LUNGS	PO-210		2.9E+01	1.8E+03	
ST CONTENT	AT-210	3.3E+03	4.9E+02	5.5E+02	
ST CONTENT	BI-206	2.7E-02	6.1E-03	8.6E-02	
ST CONTENT	PO-210	6.9E-01	1.5E-01	2.9E+00	
OTHER TISSUE (70000g)	AT-210	3.7E+04	1.8E+04	9.0E+03	
OTHER TISSUE	BI-206	4.5E+01	2.8E+01	2.2E+01	
OTHER TISSUE	PO-210	2.7E+03	1.7E+03	1.6E+03	

COMMITTED DOSE EQUIVALENT IN TARGET ORGANS OR TISSUES
PER INTAKE OF UNIT ACTIVITY (Sv/Bq) OF AT-210

<u>ORAL</u>	<u>INHALATION</u>	
	CLASS D	CLASS W
f1=1.E+00	f1=1.E+00	f1=1.E+00
GONADS 8.1E-10, A	GONADS 4.9E-10 (49, 13, 38)	LUNGS 3.2E-08 A (1, 0, 99)
BREAST 7.9E-10	BREAST 5.0E-10 (47, 13, 40)	
R MARROW 8.0E-10	R MARROW 5.0E-10 (48, 13, 39)	
LUNGS 7.9E-10	LUNGS 1.4E-09 A (16, 5, 79)	
THYROID 7.8E-10	ST WALL 5.5E-10 (51, 12, 37)	
BONE SURF 7.9E-10	REMAINDER 5.4E-10 (48, 13, 39) WT=.24	
ST WALL 1.1E-09		
SI WALL 8.2E-10		
REMAINDER 8.8E-10 WT=.18		

WEIGHTED COMMITTED DOSE EQUIVALENT IN TARGRT ORGANS OR TISSUES
PER INTAKE OF UNIT ACTIVITY (Sv/Bq) OF AT-210

<u>ORAL</u>	<u>INHALATION</u>	
f1=1.E+00	CLASS D f1=1.E+00	CLASS W f1=1.E+00
GONADS 2.0E-10 A	GONADS 1.2E-10	LUNGS 3.9E-09 A
BREAST 1.2E-10	BREAST 7.4E-11	
R MARROW 9.6E-11	R MARROW 6.0E-11	
LUNGS 9.5E-11	LUNGS 1.7E-10 A	
THYROID 2.3E-11	ST WALL 3.3E-11	
BONE SURF 2.4E-11	REMAINDER 1.3E-10	
ST WALL 6.7E-11		
SI WALL 4.9E-11		
REMAINDER 1.6E-10		

ANNUAL LIMITS ON INTAKE, ALI, AND DERIVED AIR
CONCENTRATIONS, DAC, (40 Hr/Wk) FOR AT-210

<u>ORAL</u>	<u>INHALATION</u>		<u>INHALATION</u>	
f1=1.E+00	ALI (Bq) CLASS D f1=1.E+00	CLASS W f1=1.E+00	DAC (Bq/m3) CLASS D f1=1.E+00	CLASS W f1=1.E+00
6.E+07	8.E+07	1.E+07	4.E+04	5.E+03