ナトリウム冷却高速炉を用いた標的α線治療向け Ac-225 の生成法検討

Study on Ac-225 production for Targeted Alpha Therapy using sodium-cooled fast reactor

*川本 航大, 岩橋 大希, 井上 徹也, 佐々木 悠人, 高木 直行 東京都市大

核医学分野では Ac-225 に代表される短半減期のα線放出核種を体内に投与し,ガン細胞に直接α線を照射 することで治療を行う標的α線治療が世界的に注目されている.本研究では,Ra-226 をナトリウム冷却高 速炉に装荷し Ac-225 を生成する方策について検討した.

キーワード:ナトリウム冷却高速炉,核変換,医療用 RI,標的 α 線治療

1. 緒言

本検討では 1[ton]の天然 U に対して約 0.3[g]が放射平衡状態にある Ra-226 を原料として Ac-225 を生成する 方法について検討した.原子炉を用いた Ra-226 の核変換法には,1) (n,2n)反応と続く β ・崩壊にて Ac-225 を 生成する方法^[1]と,2)3回の(n,x)反応と2回の β ・崩壊を経て親核の Th-229 を生成する方法^[2]の2通り考え られるが、本検討では2)に比べて短い生成パスで多くの生成量を見込める1)の方法について検討した.

2. 解析条件

1)の (n,2n)法では、同時に(n,x)反応によって人体に有害な Ac-227 が生成される課題がある.しきい値 6.4[MeV]の反応である(n,2n)反応 を優位にしつつ、(n,x)反応を抑制するためには、照射スペクトルを硬 くする必要がある.以上のことを踏まえ、①中性子スペクトルが硬い Na冷却高速炉(表 1)を選択し、かつ②Raを燃料ピン中心に配置(図 1) し核分裂スペクトルに近い照射環境とすることを試みた.燃焼解析に は、汎用中性子・光子輸送計算モンテカルロコード MVP-3.0、核デー タは JENDL-4.0 を用いた.

3. 結果

解析の結果, Ac-225 生成量は 60 日照射後で約 47[GBq/g]となった.

これは世界供給量 63[GBq]^[3]の約 74%に相当する量である.①②の混入抑制策を講 じたが、Ac-227 割合は 39%と高い値となった.そこで Ac-227 割合と中性子スペク トルの関係を把握するため、原子炉内物質(冷却材 Na、構造材 SUS、MOX 燃料中 O₂)による影響について評価した.これまでの解析条件を(I)「基準ケース」として、 冷却材 Na を真空条件に変更した(II)「Na 真空条件ケース」、構造材 SUS を真空条 件に変更した(III)「SUS 真空条件ケース」, MOX 燃料を三元合金燃料(U-13Pu-10Zr) に置換した(IV)「三元合金燃料置換ケース」、Na、SUS を真空条件に変更し、燃料 を金属 U-235 に置換した(V)「U-235 核分裂スペクトル照射ケース」の5 ケースを 比較した.

図 2 に各ケースにおける高 E 中性子割合と Ac-227 割合の 関係を示す. ϕ >0.1MeV の中性子割合は,三元合金を用いたケ ース(IV)で最も高いが, ϕ >1MeV では MOX のケース(I)~(II) よりも少ない.またケース(II)については,SUS を真空条件 にすることで, ϕ >1MeV の割合が向上した.これらの結果より, 金属燃料や構造材に含まれる Zr, Cr, Fe といった金属元素 の非弾性散乱反応が MeV 以上のスペクトルに大きく影響し ていると考えられる.この高 E 中性子割合と Ac-227 割合の 相関関係より,Ac-227 割合を 10%以下にするためには ϕ >0.1MeV を 85%以上とする必要がある.

4. 結言

Na 冷却高速炉を活用した Ac-225 生成法について検討した. 本方式は大量の Ac-225 生成に適するものの,有害な Ac-227 混入低減には,高 E 中性子割合をさらに高める必要がある.



[1] G. Melville, P.Melville, A theoretical model for the production of Ac-225 for cancer therapy by neutron capture transmutation of Ra-226, *Applied Radiation and Isotopes*, 72 (2013), 152-157. [2] Susan Hogle, et al. Reactor production of Thorium-229, *Applied Radiation and Isotopes*, 114 (2016), 19-27. [3] Andrew Kyle Henderson Robertson, et al. Development of ²²⁵Ac Radiopharmaceuticals: TRIUMF Perspectives and Experiences, *Current Radiopharmaceuticals*, 11 (2018), 156-172.

*Kota Kawamoto, Daiki Iwahashi, Tetsuya Inoue, Yuto Sasaki and Naoyuki Takaki Tokyo City Univ.



<mark>燃料領域</mark> MOX

