

番号	線量 024
大項目	実験研究
中項目	内部被ばく（肺）
小項目	肺モデル
タイトル	吸入粒子の肺沈着モデルに関する研究 Deposition of aerosols in a human nasal cast
キーワード	放射性エアロゾル、呼吸気道、気道モデル、呼吸気道模擬キャスト、エアロゾル沈着機構、エアロゾル吸入実験装置
概要	
<p>人の呼吸気道を模擬する鼻咽頭部キャスト、気管-気管支部キャストを用いて $0.2 \mu\text{m}$ 以下の微小エアロゾルの沈着様式を調べた。その結果、$0.1 \mu\text{m}$ 以下のエアロゾルは通過してしまうと云われていた鼻咽頭部において、乱流拡散による微小粒子の多大な沈着を認めた。従来の ICRP の肺沈着モデルではほとんど考えられていなかった微小粒子に関して新たな知見を提供するものであり、ICRP の人呼吸気道モデルの改定（ICRP Publ. 66）に貢献した。</p>	
詳細	
<p>放射性のエアロゾルが発生する環境において、それを吸入摂取することにより内部被ばくが問題になることがある。吸入摂取の場合、吸入エアロゾルの化学形、粒度分布、粒子形状などの粒子性状が呼吸気道沈着部位、沈着率、排泄などその後の生体影響に大きく作用する。放射性エアロゾルの呼吸気道内沈着の様相とそれへの影響因子を実験的に調べることを目的として、人の呼吸気道を模擬した工学的模型（呼吸気道模擬キャスト）を作成し、エアロゾル沈着様式の解明を行った。</p> <p>呼吸気道は大きく分けると、鼻咽頭（NP）部、気管-気管支（TB）部、肺胞（P）部の 3 部位に区分できる。この中から、まず、鼻咽頭部及び気管-気管支部についてそれぞれ人の呼吸気道を模擬したキャストを作成した。鼻咽頭部キャストは、図 1 に示すように鼻腔から口腔を含め気管入口までである。気管-気管支キャスト（図 2）は気管から始まるが、気管支分岐次数は一律ではなく、4 から 10 分岐ある。分岐から次の分岐まで一つの気道と数えると、気道総数は 111 本（気管を含む）あり、また、また、終端の気管支断面口は全部で 56 か所ある。呼吸気道模擬キャスト内の空気の流れについては、一定流速で流れる定速呼吸と実際の呼吸のように吸気と呼気が交互に現れ、しかも、流速がサインカーブのように刻々と変化する往復呼吸を模擬した。</p> <p>実験に用いる試験エアロゾルは多分散の NaCl エアロゾルを発生させたうえで、単分散化することにより得た。粒子径は $0.005 \mu\text{m}$ から $0.2 \mu\text{m}$ までの間で変化させた。エアロゾルの沈着率はそれぞれのキャストの上流および下流におけるエアロゾル濃度を計測することにより求めた。</p> <p>鼻咽頭部キャスト内でのエアロゾル沈着率を定速呼吸下で調べたところ、4-50 リットル/分のいずれの呼吸量においても沈着率は 0 でなく、かなりの沈着が認められた（図 3）。特に、$0.01 \mu\text{m}$ 以下の超微小粒子領域においてそれは顕著であった。一般的傾向と</p>	

して粒子径が小さいほど、また、呼吸流量が小さいほど沈着率は高かったが、呼吸流量への依存性は弱かった。定速呼吸ながら空気の流れが全く逆方向である吸気と呼気を比べてみると、呼気時の方がわずかに沈着率が高かった。

気管-気管支部キャスト内でのエアロゾル沈着も、鼻咽頭部と同様に超微小粒子領域において高い沈着が認められた。粒子径が小さいほど、また、呼吸流量が小さいほど沈着率が高くなるという傾向も認められた(図4)。例えば、呼吸流量が4リットル/分の定速呼吸の場合、粒子径が $0.1\mu\text{m}$ では2-3%に過ぎなかった沈着率が $0.005\mu\text{m}$ では50%まで上昇している。

呼吸気道模擬キャストと特殊人工呼吸器の開発により実験の可能性が広がった。今回実験を行った安静時および軽作業時の範囲では、1回換気量あるいは呼吸数で個別に評価するよりもこれらの積である呼吸流量で評価した方が、エアロゾル沈着をうまく説明できることも分かった。ただし、呼吸流量がこれより大きい重作業あるいは中作業時には、呼吸気道内の流れの乱流度が高まり、エアロゾル沈着に影響が現れる可能性がある。

図表

図1

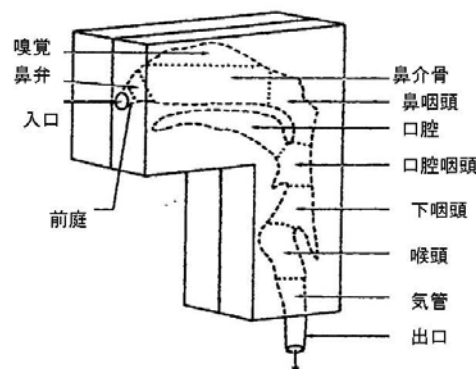


図1 ヒト鼻咽頭部キャスト

(プラトニウム内部被ばく研究報告書 NIRS-R-53 (2006) より)

図2

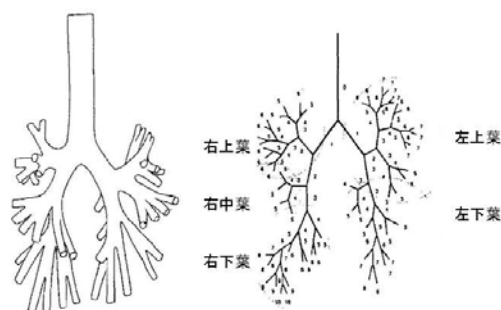


図2 ヒト気管と気管支の分岐キャスト

(プラトニウム内部被ばく研究報告書 NIRS-R-53 (2006) より)

図3

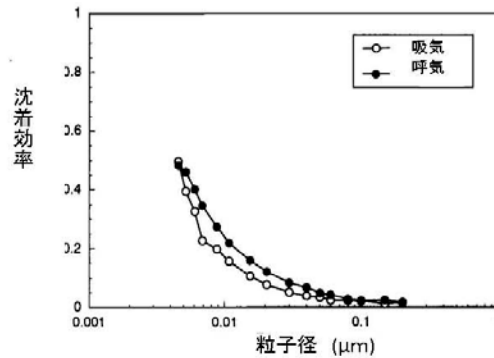


図3 20リットル/分の定速流でのヒト鼻咽頭部キャストにおけるエアロゾル沈着

(プルトニウム内部被ばく研究報告書 NIRS-R-53 (2006) より)

図4

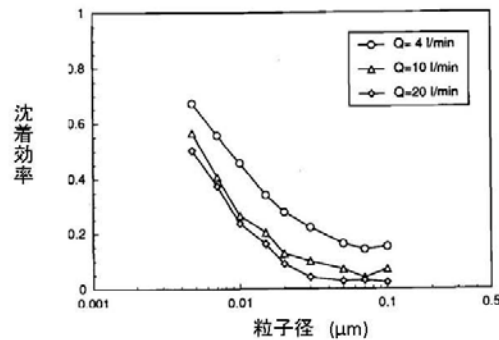


図4 定速流でのヒト気管と気管支分岐キャストにおける呼気沈着

(プルトニウム内部被ばく研究報告書 NIRS-R-53 (2006) より)

文献

1. Yamada Y., Cheng YS., Yeh HC. And Swift DL., Inspiratory and expiratory deposition of ultrafine particles in a human nasal cast. Inhal. Toxicol. 1, 1-11, 1988
2. Cheng YS., Yamada Y., Yeh HC. And Swift DL., Diffusional deposition of ultrafine aerosols in a human nasal cast, J. Aerosol Sci., 19, 741-751, 1988
3. Cheng YS., Yamada Y., Yeh HC., Deposition of ultrafine aerosols in a human nasal cast, Aerosol Sci. Technol., 12, 1075-1081, 1990
4. Yamada, Y., Koizumi, A., Fukuda, S., Inaba, J., Deposition of ultrafine aerosol particles in a human tracheobronchial cast, Jpn. J. Health Phys., 29, 23-31, 1994