

CERN/CHARM における 24GeV 陽子を用いた遮蔽実験

(12) 放射化検出器を用いた鋼鉄・コンクリート遮蔽内中性子減衰分布測定とシミュレーション

Shielding Experiment with 24 GeV Protons at CERN/CHARM

(12) Measurement and simulation of neutron attenuation through steel and concrete shielding with using activation detectors

*中尾徳晶¹, 佐波俊哉², 梶本剛³, 八島浩⁴, 李恩智^{5,2}, 大山隆弘², 萩原雅之², 長畔誠司², 松本哲郎⁶, 増田明彦⁶, 上叢義朋¹, Froeschl Robert⁷, Bozzato Davide⁷, Iliopoulou Elpida⁷, Infantino Angelo⁷, Roesler Stefan⁷, Brugger Markus⁷ (¹清水建設, ²KEK, ³廣大, ⁴京大, ⁵九大, ⁶産総研, ⁷CERN)

欧州原子核研究機構(CERN)の高エネルギー加速器混合粒子場(CHARM)において 24GeV/c 陽子ビーム軸から 90 度方向に様々な厚さの鋼鉄又はコンクリート遮蔽体を設置し、放射化検出器による中性子減衰分布を測定した。また、3つのモンテカルロコードによるベンチマーク計算を行ない、精度検証を行なった。

キーワード： CHARM、高エネルギー加速器、遮蔽実験、放射化検出器、中性子減衰、モンテカルロ

1. 緒言 高エネルギー粒子による生成二次粒子の遮蔽や迷路での減衰分布やエネルギー分布は、理論計算の精度検証が必要であるが、実験値が極めて乏しい。2015~2018 年の間、CERN/CHARM 施設にて陽子ビームと銅標的を用いた遮蔽実験を行なって来た。本報告では放射化法による実験と計算の結果を報告する。

2. 実験と計算 2016 年以降は遮蔽上部を様々な遮蔽材と厚さに変更できるよう改造した体系(図 1)を用いて実験を行なった。コンクリート角柱遮蔽内の 4 つの位置に、または厚さを変化させた鋼鉄板遮蔽またはコンクリート板遮蔽越しに、ビスマス、アルミニウム、インジウム、黒鉛の放射化検出器を設置し、透過中性子を測定した。放射化検出器中での $^{209}\text{Bi}(n, xn)^{210-x}\text{Bi}$ ($x=4\sim 9$), $^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$, $^{115}\text{In}(n, n')^{115\text{m}}\text{In}$, $^{12}\text{C}(n, 2n)^{11}\text{C}$ の反応で生じた放射性核種からの放出 γ 線を測定・解析することにより核種生成率を得た。これらは理論計算の精度検証をするための貴重なベンチマーク実験データとなる。そこで、3つのモンテカルロコード FLUKA、PHITS、GEANT4 を用いてベンチマーク計算を行ない、各計算コードの精度検証を行なった。

3. 結果 図 2 にコンクリート板遮蔽の厚さを変化させて測定した核種生成率減衰分布の実験値と計算値の一部を示す。実験値の厚さによる減衰曲線から各体系における減弱距離を導出した。その結果、遮蔽形状等の条件が減弱距離の値に影響を与えることが示された。また、精度検証として行なった 3つのモンテカルロ計算は、コード間でのばらつきは見られるが、概ね 2 倍以内で実験値と一致する結果を得た。

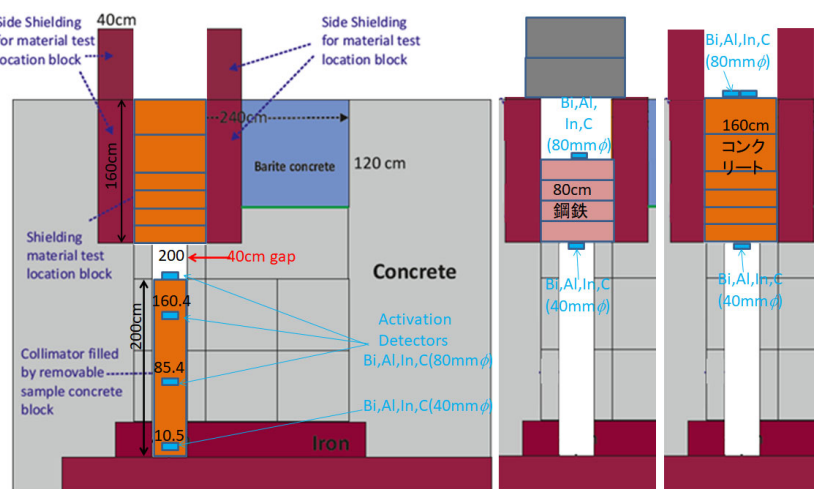


図 1 : CHARM 施設での遮蔽実験体系と検出器位置

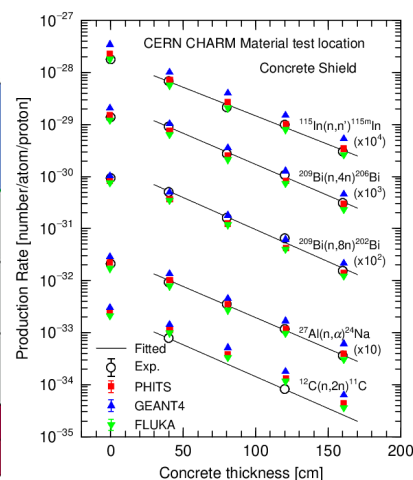


図 2 : 核種生成率減衰分布

*Noriaki Nakao¹, Toshiya Sanami², Tsuyoshi Kajimoto³, Hiroshi Yashima⁴, Lee Eunji^{5,2}, Takahiro Oyama², Masayuki Hagiwara², Seiji Nagaguro², Tetsuro Matsumoto⁶, Akihiko Masuda⁶, Yoshitomo Uwamino¹, Robert Froeschl⁷, Davide Bozzato⁷, Elpida Iliopoulou⁷, Angelo Infantino⁷, Stefan Roesler⁷, Markus Brugger (¹Shimizu Corporation, ²KEK, ³Hiroshima Univ., ⁴Kyoto Univ., ⁵Kyushu Univ., ⁶AIST, ⁷CERN)