

論文の内容の要旨

論文題目 A study on radiation shielding and safety analysis for
synchrotron radiation beamline.

(和訳 放射光ビームラインの放射線遮蔽と安全解析の研究)

氏名

浅野芳裕

第3世代放射光施設の放射光ビームラインに対する遮蔽設計手法と安全解析手法について開発研究を行った。本研究では、極端に大強度でそのほとんどのエネルギーが数100 KeV以下の放射光に対する遮蔽安全解析の研究とビームラインに混入してくる非常にエネルギーの高い(数 GeV)放射線に対する挙動解析研究より構成される。

放射光に関する遮蔽研究ではwigglerやundulatorなどで発生する挿入装置光源スペクトルから、光学素子等で散乱された光子による遮蔽ハッチ外での漏洩線量までを一貫して短時間に精度良く計算できる、放射光ビームライン遮蔽設計コード「STAC8」を開発した。このコードは再生効果や放射光の直線偏光による散乱も考慮出来る。本コードの妥当性を検証するために、このコードとモンテカルロ計算コードEGS4との比較計算および高エネルギー加速器機構 Photon Factory BL14C ビームラインのハッチ内線量分布の比較実験を行い、良い一致を得た。

開発したコード「STAC8」を用いて第3世代大型放射光施設 SPring-8 の典型的な3種類の放射光ビームラインの遮蔽安全解析を実施することによって、直線偏光に依存するビームライン遮蔽上の特徴を明らかにした。また Bending Magnet Beamline BL14B1でのハッチ外漏洩線量分布との比較を行い、開発したコードが測定値を良く再現できることを示した。第3世代大型放射光施設ではかつて無かったほどの大強度ビームが得られるに伴い、それまで意識されなかった新しい遮蔽上の問題点であるハッチ、コンクリート床面からの放射光散乱線による漏洩線量の影響(グランドシャイン)を解明するとともに、尤も有効と思われる対策を提示した。

蓄積リング内の残留ガスと蓄積電子との相互作用の結果、発生するガス制動放射線がビームラインに必然的に混入してくる。このガス制動放射線はエネルギーが蓄積電子の8 GeV まで分布しており、安全評価上重要である。このガス制動放射線を正確にシミュレーションするための計算条件を提示した。タングステン酸鉛シンチレータを用いて、SPring-8 のビームラインに混入してくるガス制動放射線を高精度で測定した。フロントエンドに設置されているスリットの開口幅とガス制動放射線の強度の関係を得るとともに、モンテカルロコード EGS4 を用いたシミュレーション計算を実施することにより、蓄積電子のビーム発散角やビームサイズなどの電子ビーム蓄積状態との関係を解析した。この結果、SPring-8 の標準挿入装置光源ビームラインに置けるガス制動放射線の全パワーは $25.8 \pm 0.8 \text{ nW}/10^{10} \text{ Pa}/\text{mA}$ であること、及び蓄積リングの直線部中心から 40 m の地点でのガス制動放射線による線量当量は高ベータトロン関数ビームラインでは $15.8 \text{ nSv}/\text{s}/10^{10} \text{ Pa}/\text{mA}$ 、(計数半径 0.023 cm)、低ベータトロン関数ビームラインでは $9.22 \text{ nSv}/\text{s}/10^{10} \text{ Pa}/\text{mA}$ 、電子ビーム蓄積状態を考慮しないときには $25.9 \text{ nSv}/\text{s}/10^{10} \text{ Pa}/\text{mA}$ となることが明らかとなった。

ガス制動放射線がビームシャッターなどの標的に入射することによって光中性子が発生する。ガス制動放射線によって発生する光中性子発生には、いままで巨大共鳴吸収領域のみ考慮されていた。今回、準重陽子発生および π 中間子発生領域まで考慮してこの光中性子による線量を評価した。また、このガス制動放射線に付随して発生する光中性子を厚さの異なる減速材付き Bonner Type 円筒型高感度 ^3He 検出器を用いてハッチ外の位置で計測し、スペクトルを評価した。評価したスペクトルから得られた線量とモンテカルロ計算結果と比較を行い、その妥当性を検証した。

SPring-8 では蓄積電子の逆コンプトン散乱を利用することによって強度の非常に高い数 GeV の偏光光子を得ることが出来る。このレーザー電子光ビームラインは空間的な制約から、ビーム輸送パイプで連結された2つの分離されたハッチ構造とする必要があり、精度の高い遮蔽設計が要求される。そこで本研究で整備されたガス制動放射線とそれに付随する光中性子の解析手法を用いて、このビームラインで問題となる高エネルギー光子と付随する光中性子に対する遮蔽解析を実施した。また鉛コリメーターと sweep magnet を組み合わせることにより、電磁シャワーで発生した高エネルギー電子を除去することが出来、より効率的に遮蔽できることを示した。

これらの研究結果から、第3世代放射光施設の放射光ビームラインにおける遮蔽設計手法が確立され、すばやく正確にハッチからの漏洩線量が評価できるようになった。本手法を用いて SPring-8 の全ビームラインの安全評価を行うとともに、放射線測定テストを通じて本手法の有効性が確認された。また、第3世代放射光施設におけるガス制動放射線のビームプロファイルとその線量及び付随する光中性子の漏洩スペクトルが明らかとなった。その上、レーザー電子光ビームラインのような特徴のあるビームラインに対して有効な遮蔽手法が提示された。