

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月20日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22540318

研究課題名（和文） J-PARCニュートリノビームライン運転中の放射線計測

研究課題名（英文） Radiation dose in the J-PARC neutrino beam line during the beam operation

研究代表者

大山 雄一（OYAMA YUICHI）

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・研究機関講師

研究者番号：30213896

研究成果の概要（和文）：J-PARC ニュートリノビームラインにおいて、ビーム運転中に人間が立ち入ることのできないビーム近傍の空間放射線量を測定した。測定結果はビームライン設計時にシミュレーションプログラムを用いて計算した設計値とよく一致していた。シミュレーション計算による設計手法が正しいことが結論づけられた。

研究成果の概要（英文）：Radiation dose in the vicinity of the beam axis of the J-PARC neutrino beam line were measured. The results well agree with the expectations from the numerical calculation based on a Monte Carlo simulation. Design of the radiation shielding with Monte Carlo simulation is confirmed to be effective.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学、素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：ニュートリノ・J-PARC・ビームライン・放射線

1. 研究開始当初の背景

茨城県東海村の J-PARC からニュートリノビームを 295km 離れたスーパーカミオカンデに向けて発射して、ニュートリノ振動について詳しく調べる実験（T2K 実験）が 2009 年にスタートした。世界最大強度のニュートリノビームを作るため、いままでの陽子加速器を大きく超える 750kW 一次陽子ビームの運転に向けて加速器の調整を進めている。

ニュートリノビームラインの設計段階ではビームライン周りの空間放射線量が基準値を満たすようにさまざまなシミュレ

ーションを用いて設計を行った。実験開始後はこの計算・設計過程が正しかったか詳細に検討する必要がある。そのためには実際に運転中のビームライン近傍の放射線を測定する必要がある。この測定を通してシミュレーションによる設計が正しかったかを検討することは、今後の同様のビームライン建設にも大きく役立つはずである。

2. 研究の目的

加速器運転時、陽子ビームのエネルギーのうち約 50%がターゲットステーションで、約 38%がビームダンプで吸収され、多量の放

放射線が発生する。このため、加速器設計値の750kW ビームではターゲットステーション内のサービスピット内では数 Sv/h 程度の空間放射線量率になることが予想される。ターゲットステーション内のサービスピットや機械室内の機器を守るため、ターゲットステーション設計時に放射線遮蔽の計算は十分に行われた。これと比較するためにサービスピット等におけるビーム運転時の空間放射線量を測定する。

3. 研究の方法

J-PARC ニュートリノビームラインに γ 線を測定するためのアミノグレイ計（アミノグレイ）を設置して陽子ビームの運転を行った。アミノグレイの設置場所はターゲットステーション・サービスピット内10ヶ所、ターゲットステーション・機械室内4ヶ所、ミューオンピット内2ヶ所である。

2010年11月から2011年3月の東日本大震災による実験中断まで約 1.124×10^{20} pot (proton on target)の陽子ビーム運転を行った。2011年の末に回収不能になった一部の資料を除いて取り出した。アミノグレイは電子スピン共鳴 (ESR, Electron Spin Resonance) を用いて測定し、照射された γ 線の空間放射線量をそれぞれ算出した。

2012年のビーム運転時においては、ターゲット上流の陽子ビーム近傍の運転時放射線測定を行った。ここにはビームの2次元的な位置をスパイルごとにモニターするOT (Optical Transition Radiation Monitor) が設置されており、この測定器の寿命や交換時期を的確に判断するために詳しい運転時空間放射線量の測定が欠かせないからである。上記のアミノグレイに加えて、中性子を測定するための6種類の金属箔 (アルミ、銅、チタン、金、ニッケル、テフロン) を設置した。2012年4月から2012年6月まで約 1.37×10^{20} pot (proton on target)の陽子ビーム運転の後、両方の試料を取り出し、検査を行った。

空間放射線量の数値計算は、モンテカルロシミュレーションプログラム、MARS を使って行われた。MARS はビームラインの構成物質を位置の関数として入力し、一次粒子

(J-PARC の場合は陽子) の位置、運動量を初期値として設定することにより粒子の反応を追いかけて周りの空間放射線量を計算する。ビームライン周りの鉄やコンクリートの遮蔽厚を調整、計算を繰り返すことにより最終的な設計に至った。最終的な geometry を用いてアミノグレイ設置点の空間放射線量を計算した。

ニュートリノビームライン・ターゲットステーション内の垂直断面図・水平断面図を、アミノグレイ設置場所がわかるように図1

と図2に示す。

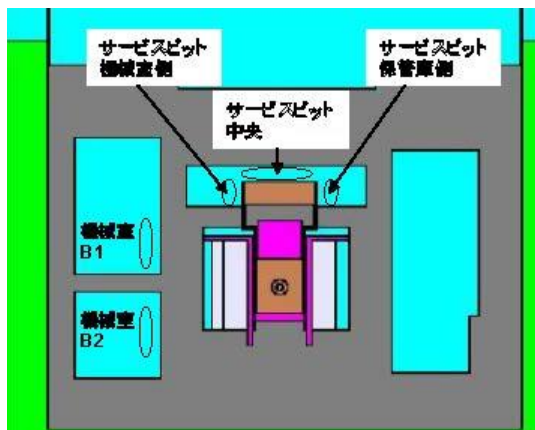


図1：ニュートリノビームライン・ターゲットステーションのビーム軸垂直断面図

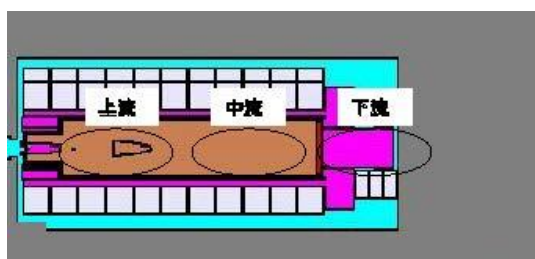


図2：ニュートリノビームライン・ターゲットステーションの水平断面図

4. 研究成果

ターゲットステーション内の13か所についてアミノグレイを使った空間放射線量と、MARS モンテカルロシミュレーションによる計算値を得た。結果を表1に示す。

場所	計算値	実験値
サービスピット中央上流	36	112
サービスピット中央中流	93	97
サービスピット中央下流	80	115
サービスピット機械室側上流	17	254
サービスピット機械室側中流	45	208
サービスピット機械室側下流	30	237
サービスピット保管庫側上流	19	N/A
サービスピット保管庫側中流	12	587
サービスピット保管庫側下流	38	499
機械室 B1 中流	0.37	48
機械室 B1 下流	0.34	50
機械室 B2 中流	1.07	45
機械室 B2 下流	0.91	43

表1：計算及び実験から求めた空間放射線量。単位は mSv/h。N/A は試料の回収不能。

各データ測定点ではアミノグレイ3本を用いて計測を行っており、各アミノグレイの結果のばらつきは高々5%程度であった。統計的にアミノグレイによる測定の精度は十分であると言える。

ターゲットステーション中央のヘリウムベッセル上部では、計算値 93mSv/h に対して測定値 97mSv/h (中流部) 等、非常に一致が見られた。一方、機械室内では B1 機械室中流で計算値 0.37mSv/h に対して測定値 48mSv/h 等、2桁も測定値の方が大きい結果が得られた。機械室の結果についてはビームそのものからの寄与よりも機械室中を通っている冷却水配管中の放射化水による空間放射線量の効果が大きかったと考えられる。放射化水の影響がないヘリウムベッセル上部を考えると、モンテカルロ計算は十分測定値と一致していると考えられる。

2012年の測定においては、2本のアミノグレイに照射された γ 線の空間放射線量はそれぞれ 26Sv と 27Sv であった。これを我々の目標ビーム強度である 750kW 連続ビームに換算すると 107mSv/h である。一方、陽子ビームからの放射線に関するモンテカルロシミュレーションプログラム MARS を用いて OTR の位置における空間放射線量の値は 70mSv/h である。計算値はアミノグレイを用いた測定値を十分再現しているといえる。70mSv/h の空間放射線量に十分耐えるように設計されている OTR は、十分な放射線耐性を備えていることが確認された。

6種類の金属箔を用いた中性子による空間放射線量の測定結果は、KEK の放射線グループによりスペクトロメーターを用いて測定中であり、近いうちに結果を得る予定である。

結果として MARS を用いた空間放射線量の計算は、少なくとも 100mSv/h~1Sv/h の高放射線量の領域では正しいことが証明された。しかし、機械室等におけるビームライン中の空間放射線量はビームがターゲットに衝突することによって生じたパイ粒子等の放射線によるもの以上に、放射化水等によるものであろうとわかった。

放射線機器を冷却するための放射化冷却水は、機器冷却数十秒後に熱交換のため機械室等を通る。水には寿命数十秒の放射線核種が含まれており、これらの崩壊によって高い空間放射線量が生じたものであろう。該当する核種は ^{14}O (E=2.3MeV, 半減期 70 秒) や ^{16}N (E=6MeV, 半減期 7 秒) 等であろう。

現在、ニュートリノ第3設備棟では、床の厚さが不十分で1階の空間放射線量が高過ぎ、床を厚くする追加工事が検討されているが、これも放射化冷却水の効果を低く見積もり過ぎていたことによるものであろう。

今後のビームライン設計等における大きな教訓であるといえる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① T2K neutrino flux prediction, T2K collaboration, K. Abe, T. Ishida (148 番目), Y. Oyama (293 番目), T. Tsukamoto (350 番目), Y. Yamada (421 番目, 他 437 名), Phys. Rev. D87, 012001 (2013), 査読あり DOI:10.1103/PhysRevD.87.012001
- ② Current status of the T2K experiment, Yuichi Oyama, J. Phys. Conf. Ser. 347 012005 (2012), 査読あり DOI:10.1088/1742-6596/347/1/012005
- ③ First muon-neutrino disappearance study with an off-axis beam, T2K collaboration, K. Abe, T. Ishida (147 番目), Y. Oyama (295 番目), T. Tsukamoto (349 番目), Y. Yamada (423 番目, 他 437 名), Phys. Rev. D 85, 031103 (2012), 査読あり DOI:10.1103/PhysRevD.85.031103
- ④ Indication of Electron Neutrino Appearance from an Accelerator-Produced Off-Axis Muon Neutrino Beam, T2K collaboration, K. Abe, T. Ishida (134 番目), Y. Oyama (271 番目), T. Tsukamoto (330 番目), Y. Yamada (394 番目, 他 406 名), Phys. Rev. Lett. 107, 041801 (2011), 査読あり DOI:10.1103/PhysRevLett.107.041801
- ⑤ The T2K experiment, T2K collaboration, T2K collaboration, K. Abe, T. Ishida (191 番目), Y. Oyama (351 番目), T. Tsukamoto (420 番目), Y. Yamada (507 番目, 他 518 名), Nucl. Instrum. Meth. A 659 106-135 (2011), 査読あり DOI:10.1016/j.nima.2011.06.067

[学会発表] (計 5 件)

- ① T2K radioactive drainage treatment, Yuichi Oyama, Talk at "8th International Workshop on Neutrino Beams and Instrumentation (NBI2012)", CERN, Geneva, Switzerland, November 6-10, 2012

- ② T2K radioactivity in the exhaust air, Taku Ishida, Talk at "8th International Workshop on Neutrino Beams and Instrumentation (NBI2012)", CERN, Geneva, Switzerland, November 6-10, 2012
- ③ Current status of the T2K experiment, Yuichi Oyama, Talk at "2nd International Conference on Particle Physics (ICPP-Istanbul II)", Istanbul, Turkey, June 20-25, 2011
- ④ T2K radiation shield and waste, Yuichi Oyama, Talk at "7th International Workshop on Neutrino Beams and Instrumentation (NBI2010)", Tokai, Ibaraki, Japan, August 28-31, 2010
- ⑤ Introduction to the secondary beam-line, Yoshikazu Yamada, Talk at "7th International Workshop on Neutrino Beams and Instrumentation (NBI2010)", Tokai, Ibaraki, Japan, August 28-31, 2010

[その他]

ホームページ等

http://jnusrv01.kek.jp/public/t2k_ja/

(H22-H23)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大山 雄一 (OYAMA YUICHI)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・研究機関講師

研究者番号：30213896

(2) 研究分担者

石田 卓 (ISHIDA TAKU)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・助教

研究者番号：70290856

山田 善一 (YAMADA YOSHIKAZU)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授

研究者番号：00200759

(H22-H23)

塚本 敏文 (TSUKAMOTO TOSHIFUMI)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授

研究者番号：20192643