

研究責任者名 Name	富澤 正人 TOMIZAWA Masahito	所属機関 Affiliation	高エネルギー加速器研究機構 KEK Accelerator Laboratory
受理番号 Proposal No.	大型 14/15-28	研究課題名 Program title	Beam Dynamics Study for JPARC Synchrotron

研究を終了しましたので、下記の通り報告します。

成果の概要

Abstract

(和文)

J-PARC の大強度加速器施設は、400MeV リニアック、3GeV シンクロトロン、50GeV シンクロトロンにより構成されている。J-PARC 加速器における重要な課題の 1 つは、ビーム自身を作る空間電荷効果の評価とその対策である。空間電荷の効果はビームロスが発生させ周辺機器の残留放射能を生じる。

J-PARC において、ミューオンが電子に転換する過程を観測する実験 (COMET) の建設が開始された。この計画では、50GeV シンクロトロンに入射された 4 つのビームバンチを 8GeV まで加速し、バンチしたまま遅い取り出し方法によりリングから取り出し COMET ターゲットに輸送する。取り出されたビームは約 1 マイクロ秒のビームパルス構造を持つ。COMET の第 2 期計画では 56kW のビームパワーが要求される。大強度陽子ビームを 8GeV という低いエネルギーで遅い取り出しを行う必要があり、遅い取り出し過程のスペースチャージ効果の評価が重要となる。本研究では、space charge 効果を取り入れることができる PTC/ORBIT コードを使い遅い取り出し過程のスペースチャージ効果を調べた。

(英文)

An experimental searching coherent neutrino-less conversion of a muon to an electron has been planned in J-PARC. An 8 GeV-bunched proton beam with a 1 $\mu$ s pulsed structure is extracted from a 50 GeV main ring by the slow extraction and delivered to the COMET target. The COMET phase II require a 56 kW beam power. A space charge effect on such a low energy could not be negligible. The Space charge effect on the slow extraction process has been investigated by a beam simulation code, PTC-ORBIT installed in the KEK super computer. The extracted beam distributions with the beam intensity corresponding to 56 kW are compared with those of enough low beam intensity.

研究成果を公開しているホームページアドレス

事務局にて使用	論文 査読有	論文 査読無	講義・発表	招待講演	その他
	0	0	0	0	0

平成26-27年度大型シミュレーション研究  
実施報告書

Beam Dynamics Study for JPARC Synchrotron

課題グループ SCSCS

高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 富澤正人

## 1. 研究組織

研究責任者の Alexander Molodozhentsev 氏の移籍に伴い  
富澤正人が研究責任者を途中から引き継いだ。

・富澤正人

高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 准教授  
研究の総括 シミュレーション実施

・Alexander Molodozhentsev

Institute of Physics of the Czech Academy of Science  
ELI-Beamline / Department 92 Senior Researcher  
分担者 コード維持・開発、モデリング

・五十嵐進

高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 准教授  
分担者 シミュレーション結果解析

・佐藤洋一

高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 准教授  
分担者 シミュレーション結果解析

・小関忠

高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 教授  
分担者 シミュレーション結果評価

## 2. 実施報告の詳細

### 2.1 概要

大強度陽子加速器施設であるJ-PARCメインリング(50GeVシンクロトロン)のビームが発生する空間電荷力によるビーム自身への様々

な影響を、空間電荷力の効果を取り込むために開発されたビームシミュレーションコード PTC-ORBIT[1, 2]を使うことにより調べ、性能向上を目指す研究を行っている。

今期間は、新たに建設が開始されたミュオンが電子に転換する過程を観測する実験 (COMET) に用いられるメインリングからの遅い取り出し手法における空間電荷効果の影響を調べた。

通常の遅い取り出しビーム供給運転では、8つのビームバンチをメインリングで30GeVまで加速し、加速終了後のデバンチ操作によりビームのバンチ構造をなくした状態で高効率の遅い取り出しを行っている。一方、COMET実験で必要とされる陽子ビームのエネルギーは8 GeVに設定されている。さらにメインリングで4つのビームバンチを加速し、バンチ構造を保ったまま遅い取り出し方法によりビームを実験施設に供給する。これにより実験に必要とされる約1 $\mu$ 秒のパルス時間構造を持つビームの供給が可能となる[3]。これらの空間電荷効果が効きやすい条件で、遅い取り出しがを正常に行うことができるかどうかを、空間電荷力の効果を取り込むことができるビームシミュレーションコードPTC-ORBITにより調べた。

## 2.2 ビームシミュレーションの条件

COMET phase IIではメインリングにより8GeVに加速された陽子ビームに要求されるビームパワーは56kWである。メインリングの繰り返し時間は、計画されている主電磁石電源の高繰り返し化により、約0.6秒のフラットトップを確保した場合に可能となる1.02秒を仮定する。この場合、必要とされるバンチあたりの粒子数は、 $1.13 \times 10^{13}$  ppbとなる。縦方向のエミッタンスは、計画されているVHF空洞によるビーム分布の拡散効果により期待される12eV $\cdot$ sを仮定する。横方向のrmsエミッタンスは、今までの大高度ビーム試験の経験から2.6 $\pi$ mm $\cdot$ mrادとした。また2次高調波空洞の導入によりバンチングファクターは0.2が期待され、このとき解析的に求められるベータatron振動のチューンシフトは約0.027となる。この値はメインリングからの遅い取り出し中のチューン変化量と同程度である。8GeVビーム取り出し時のビームサイズは30GeVの設計ビームサイズより大きい

ため、遅い取り出しの3次共鳴を励起する共鳴6極磁石の強さ  $K_2=B'' L/B\rho$  値は30GeV取り出しの設計値の約55%としている。またバンパ軌道の再調整が必要であった。今回のシミュレーションでは、ビームスピルの平滑化はおこなっておらず、またJ-PARCで開発された高い取り出し効率を得るためのダイナミックバンパ取り出しはまだ取り入れていない。また取り出し時間はシミュレーションに必要な時間の制限から約74msと短くしているが、今回の結論への影響は少ないと考えている。さらに2次高調波空洞によるバンチングファクター改善のかわりに、取り出し時の基本波高周波空洞の電圧を100kVまで下げバンチングファクターを0.18にしている。

ビームシミュレーションにおける典型的なマクロ粒子数は10万粒子で、空間分割ビン数は $128 \times 128 \times 128$ である。4ノードジョブにおいて、ビームが取り出される直前の2000ターンあたりの総CPU時間は、約 $3.1 \times 256$ 時間であった。

### 2.3 ビームシミュレーションの結果と成果

図1, 2は、静電セプタムの電場領域に入ってきた取り出しビームの水平方向の位置( $X$ )、その傾き( $X'$ )、ビーム強度のターン数による分布を示している。図1は、ビーム強度が非常に低く空間電荷効果が完全に無視できる場合、図2はCOMET phase IIで仮定される粒子数の場合を示す。このシミュレーションから、COMET phase IIで想定しているビーム強度においても正常にビームは取り出されていることがわかる。低ビーム強度との比較では、 $X$ の分布はほぼ同じ、 $X'$ の分布は若干の影響が見られるが、ダイナミックバンパスキームにより高い取り出し効率を得ることはできると判断できる。ビームスピルは取り出しの後半に多く分布している。この分布のシフトは、取り出し直前の周回ビームの水平方向のチューンがビームコアからの空間電荷力により下がり、22.333の共鳴線から離されることにより生じると考えられる。

今回のシミュレーションにより、今回仮定された条件のもとでは、COMET phase IIで想定されるビームは、空間電荷効果により若干の影響を受けるもののメインリングから正常に取りだされることが明

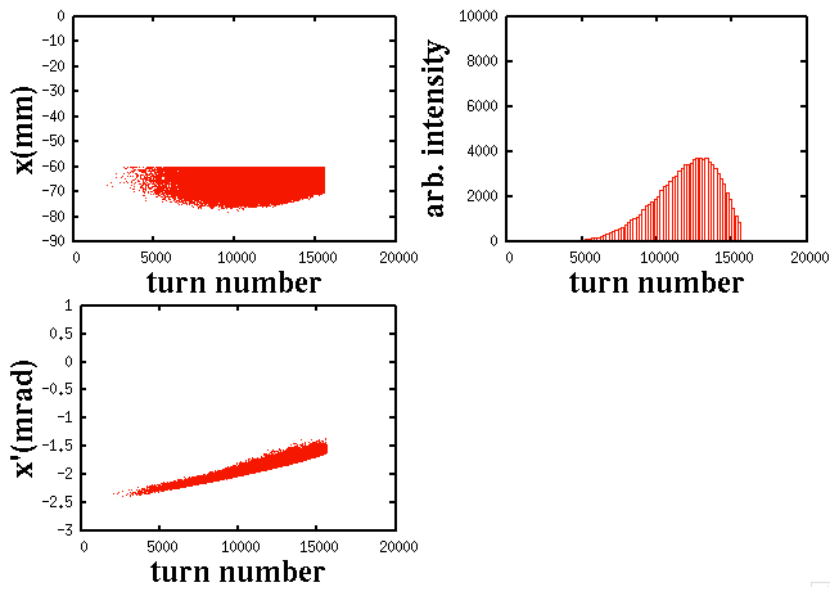


図1 ビーム強度が十分小さい場合の取り出しビームの分布

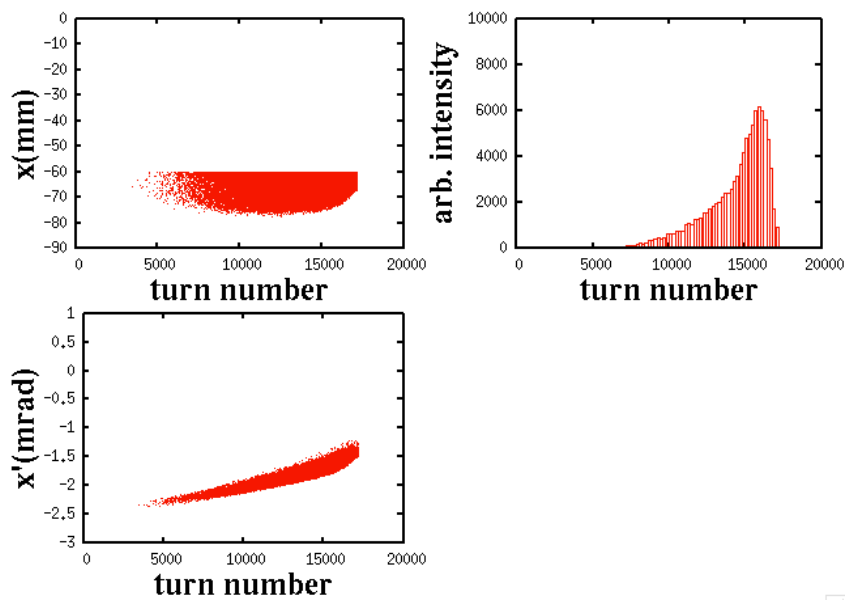


図2 COMET phase II ビーム強度での取り出しビームの分布

らかになり、現在考えているCOMET phase IIビーム取り出しスキームの正当性を裏付けるものと言える。

## 2.4 今後のビームシミュレーションの展望

今後のビームシミュレーションでは、RCS(3GeVシンクロトロン)からトラッキングにより得られた縦方向分布に対して2次高長波洞の導入によりバンチングファクターを改善したビーム分布を初期条件として使うことを計画している。取り出し過程においては、ビームスピルの平滑化、ダイナミックバンプの影響を取り入れたよりリアリスティックなモデリングによるシミュレーションを計画している。

### 3. 参考文献

- [1] A. Molodzhentsev *et al.*, Beam dynamics study for J-PARC main ring by using the ‘pencil’ and space-charge dominated beam: measurements and simulations, Proc. of HB2014, p.157-161.
- [2] A. Molodzhentsev, Modeling Slow Extraction Process for J-PARC Main Ring, Proc. Of IPAC2014, p.3032-3034.
- [3] M. Tomizawa *et al.*, Extraction Aperture and 8 GeV-Beam Size for  $\mu$ -e Conversion Experiment in J-PARC, JPS Conf. Proc. 8, (2015) 012019-1-5.