

J-PARC 3 GeV RCS

における

仮想加速器

に基づく

制御モデルの構築

志垣 賢太 ( 広島大学)

with

J-PARC RCS 軌道設計グループ

2006 年 3 月 28 日

日本物理学会 於 愛媛大学・松山大学

報告概要

■ J-PARC と 3 GeV RCS

- 大強度フロンティアにおける技術的挑戦性
- 原子核実験コミュニティからの特色ある（試行的）貢献

■ 仮想加速器に基づく大強度加速器の制御モデル

- 制御系組込可能な仮想加速器の枠組
- 仮想加速器の開発実装と実践利用
- 立上・調整・運転シナリオの作成と検証

ref. 28pWG3 原田寛之（広島大学）

■ まとめと展望

次世代物理学研究拠点 J-PARC

■ 多段構成加速器群

- 400 MeV (運転開始時 181 MeV) 線形加速器 (LINAC)
- 3 GeV 25 Hz シンクロトロン (RCS)
- 50 GeV (運転開始時 30/40 GeV) シンクロトロン (MR)

■ 2008 年後半稼動開始予定



大強度フロンティア

■ 1 MW @ 3 GeV RCS

□ 中性子源として ISIS の 4 - 6 倍

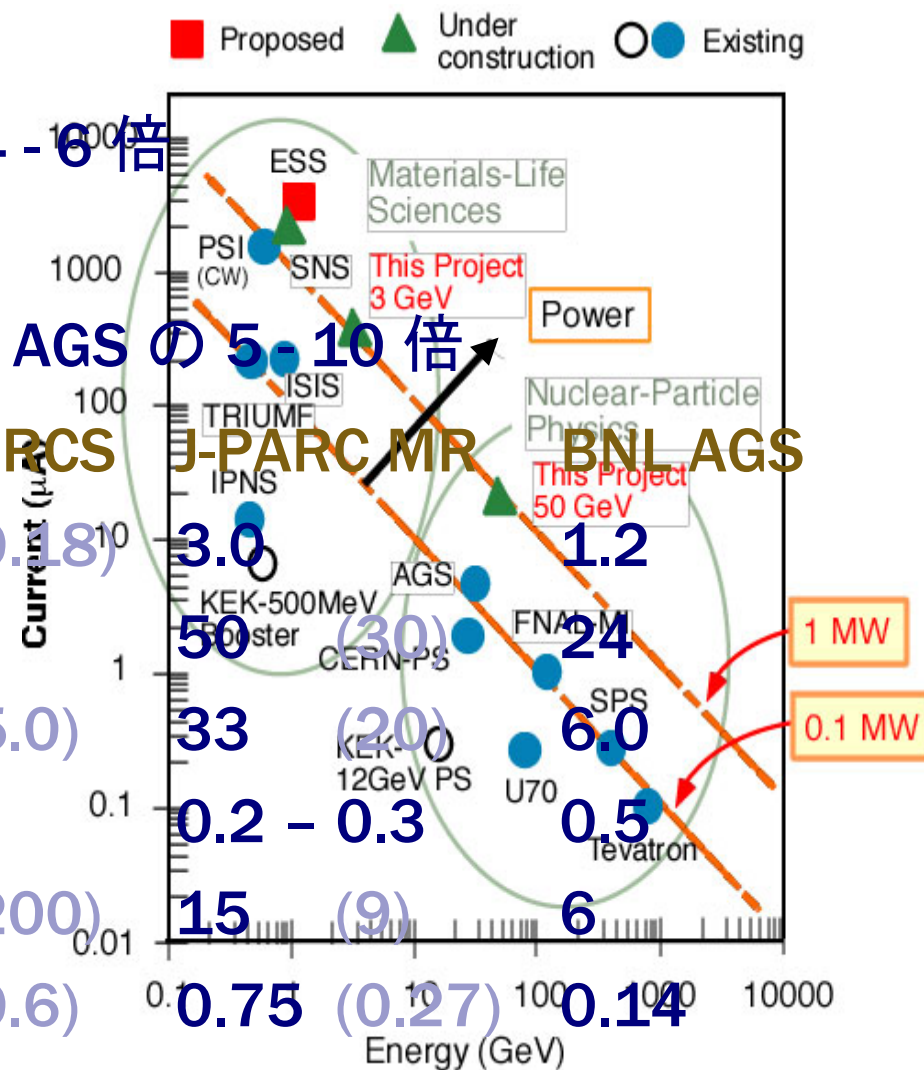
■ 0.75 MW @ 50 GeV MR

□ 陽子 / 2 次粒子源として AGS の 5 - 10 倍

■

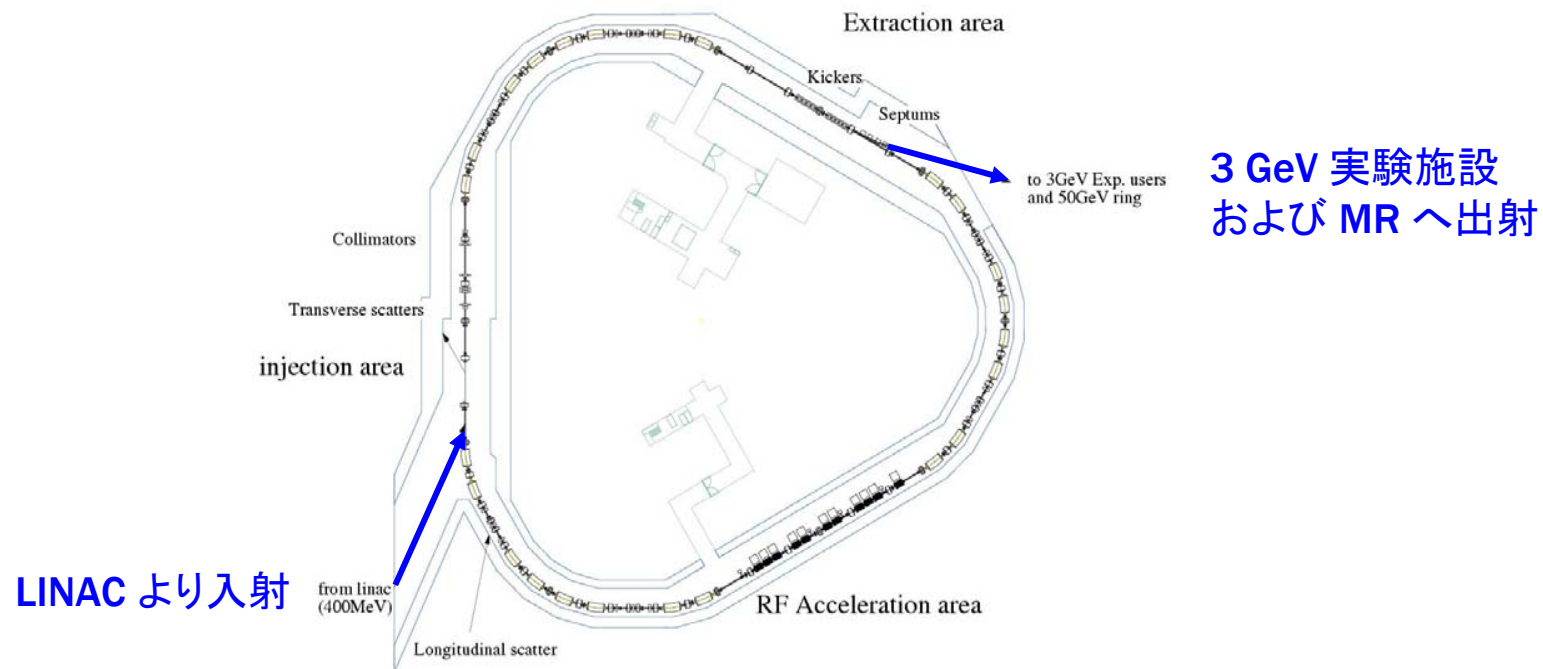
入射エネルギー [GeV]	0.4	(0.18)
出射エネルギー [GeV]	3.0	50
陽子数 / パルス [10^{13}]	8.3	(5.0)
繰返周波数 [Hz]	25	0.2 - 0.3
入出射電流 [μA]	333	(200)
出力 [MW]	1.0	(0.6)

J-PARC RCS J-PARC MR BNL AGS



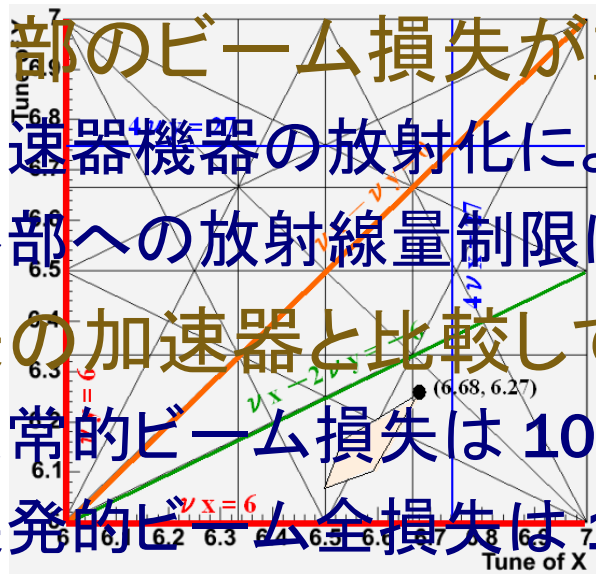
J-PARC 成功へ向けた外部からの貢献

- 原子核・素粒子実験領域からの注目は（当然）MR
- 加速器群の心臓部 RCS の運転・調整シナリオ作成
 - 高品質な MR 出力ビームには高品質な RCS 出力が必須
 - 大強度（目標出力 1 MW）・短周期運転に因る挑戦性



RCS: 大強度に起因する技術的挑戦性

- 極一部のビーム損失が重大問題
 - 加速器機器の放射化による保守不可能な事態の危険性
 - 外部への放射線量制限による運転停止の危険性
- 従来の加速器と比較して厳しい許容ビーム損失率
 - 定常的ビーム損失は 10^{-3} (1kW) 以下
 - 突発的ビーム全損失は1バンチ (40 kJ) 以内
- ビーム損失要因は強度に伴い増大
 - 粒子間相互作用によるベータトロン振動数分散



$$\Delta\nu \approx -\frac{n_t r_p}{2\pi\epsilon\beta^2\gamma^3 B_f}$$

- 大口径電磁石の非線形磁場・磁場干渉による不安定性

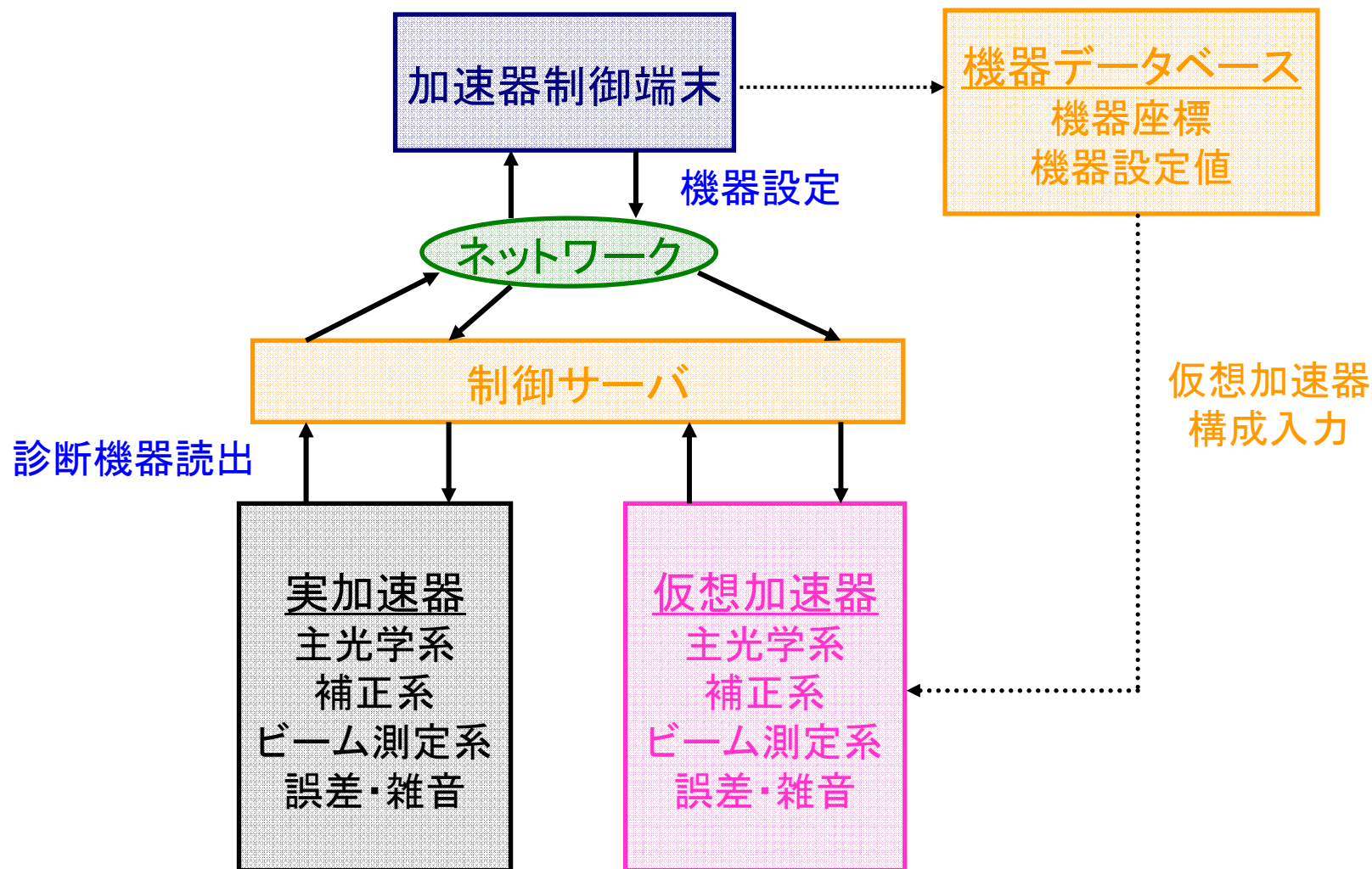
J-PARC 成功へ向けた外部からの貢献

- 原子核・素粒子実験領域からの注目は（当然）MR
- 加速器群の心臓部 RCS の運転・調整シナリオ作成
 - 高品質な MR 出力ビームには高品質な RCS 出力が必須
 - 大強度（目標出力 1 MW）・短周期運転に因る挑戦性
 - 最大の技術課題： 10^{-3} レベルのビーム損失抑制
 - 原子核物理学実験の技術蓄積を投下
 - 模擬計算技術に基づく仮想加速器の構築
 - 機器制御技術に基づく新制御モデルの構築
 - 実験技術蓄積に基づく開発・立上・調整・初期運転戦略の構築
 - 実加速器建設の現場からは一定距離
 - 建設部隊（だけ）では後手に回りがちな領域
 - 広島大学、原子力機構、KEK、英国 RAL（2006 年現在）

大強度ハドロン加速器の制御モデル

- 個々の経験に基づく設定適切性の判断は不可
 - 不適切な設定による一瞬のビーム損失が致命的
 - 加速器機器の放射化による保守不可能な事態の危険性
 - 外部への放射線量制限による運転停止の危険性
- 実時間仮想運転によりビーム損失を事前に回避
 - 実加速器と同等な仮想加速器を計算機上に構築
 - 実加速器と同等の入出力点
 - SAD, SIMPSONS, STRACT, ...
 - 制御端末からみて実加速器と並列同等に配置
 - 実加速器と同等の制御インターフェース
 - EPICS PCAS
 - 実時間模擬運転による設定適切性の判断

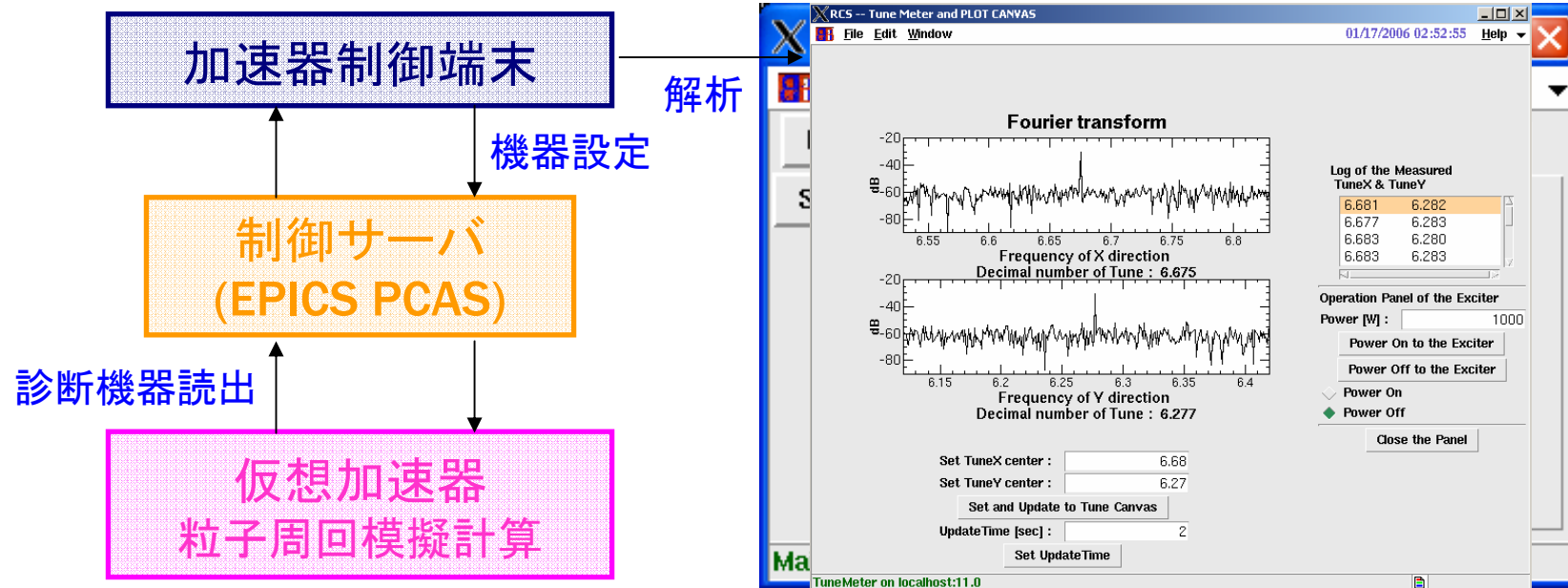
仮想加速器に基づく実加速器制御モデル



制御系組込可能な仮想加速器の枠組構築

■ 実加速器機器と同等の入出力点

- 制御プロトコル EPICS を介したプロセス間通信
 - 実加速器機器インタフェース: IOC
 - 仮想加速器機器インタフェース: PCAS
- 実運転に適用可能な制御／監視／解析インタフェース



仮想加速器の開発実装と実践利用

■ 実践利用に向けた開発実装上の課題

□ 実加速器の適切な模擬

- 非線形効果を含む多粒子多周回模擬計算機能拡張
- 加速過程の模擬計算機能拡張

□ 各種加速器機器の実装

- 実装済: ビーム位置検出器、横振動励起装置、高周波加速空洞

ref. 28pWG3 (原田)

- 機器データベースを介した機器个体差の反映機能拡張

□ 計算モデルの向上、並列化などによる高速化

■ 立上・調整・初期運転シナリオの作成・検証

□ 各種光学パラメータの測定・補正手法の検証

ref. 28pWG3 (原田)

まとめと展望

- J-PARC RCS の運転・調整シナリオ作成プロジェクト
 - J-PARC に対する多面的貢献の取組み
 - 多様な技術背景の融合効果！
- 大強度ハドロン加速器の実践的計算モデルへ
 - 非線形効果を含む多粒子多周回の高速模擬計算
 - → 立上・調整・初期運転シナリオの確立
- 大強度ハドロン加速器の新たな制御モデルへ
 - 仮想加速器による実時間模擬計算の制御系への組込
 - → 立上・調整・初期運転への実践適用
 - 技術的挑戦性の高い J-PARC 3 GeV RCS で実践利用
 - 2007 年秋 RCS 立上開始予定
 - 2008 年春 MR 立上 (i.e. RCS ビーム供給) 開始予定