

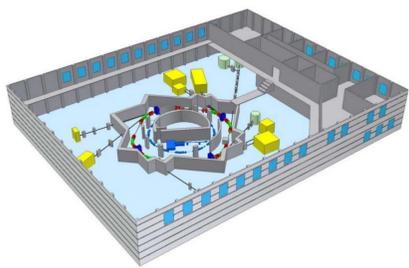
中部シンクロtron光利用施設(仮称)のためのRFノックアウトの開発

古居雄太^{1,2}、保坂将人¹、山本尚人¹、高嶋圭史¹、阿達正浩²、全 炳俊²、加藤政博²
¹名古屋大学大学院工学研究科、²分子科学研究所UVSOR

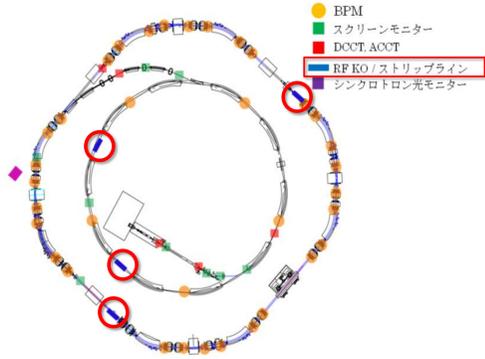
Abstract

中部シンクロtron光利用施設(中部SR施設)ではベータトロンチューン測定用に高周波ノックアウト(RFKO)システムを利用する予定であり、現在その開発を進めている。RFKOは、確実に動作すること、汎用機器を用いて安価に構築することが求められている。RFKOシステム検討の参考とするため、中部SR施設と同規模の放射光施設であるUVSORにてベータトロンチューン測定、ベータトロン振動の振幅測定を行った。また、POISSONによる磁場解析、C言語で作成したビームのトラッキングプログラムによりRFKOの効果をシミュレーションし、実験と比較した。これらの検討をもとにした中部SR施設のためのRFKOシステムの設計の現状について報告する。

中部SR施設



中部SR施設の概略図



中部SR光源のRFKO、ストリップラインの位置

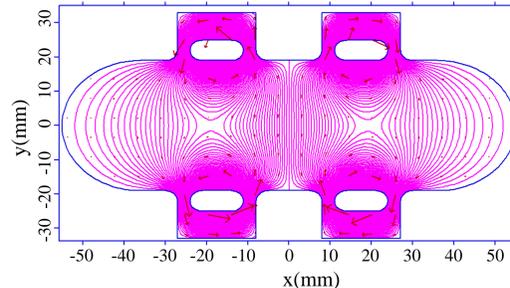
蓄積リング主要パラメータ

ビームエネルギー	: 1.2GeV
周長	: 72.0m
ビームカレント	: 300mA以上
ベータトロンチューン	: (4.72, 3.23)
エネルギー広がり	: 8.41×10^{-4}

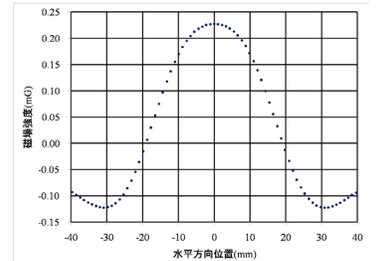
中部シンクロtron光利用施設ではストレージリング、ブースターそれぞれにRFKO、ストリップラインを一台ずつ設置する計画である。

(3)POISSONによる磁場シミュレーション

UVSORストレージリングのRFKOチャンバー設計図を元に、POISSONによる磁場シミュレーションを行った。前述のベータトロンチューンが測定でチューン測定が可能であった14mWの場合のシミュレーション結果を示す。



磁力線の様子(水平方向キック)

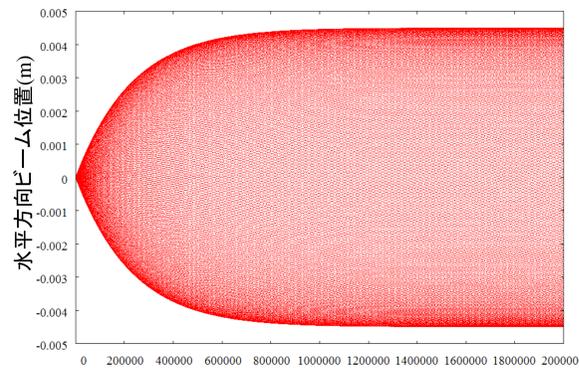


y=0における磁場分布(入力電力14mW)

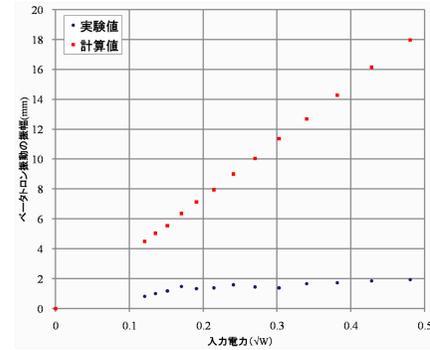
入力電力が14mWの場合で中心付近の磁場は0.227mGとなった。キック角にすると3.7nrad/turnとなる。

(4)ビームトラッキング

UVSOR線形ラティスのデータから放射減衰、RFKOによるキックの効果を考慮したビームのトラッキングプログラムを作成し、実験値と比較した。キック角はPOISSONによりシミュレーションした磁場から計算したものをを入力した。

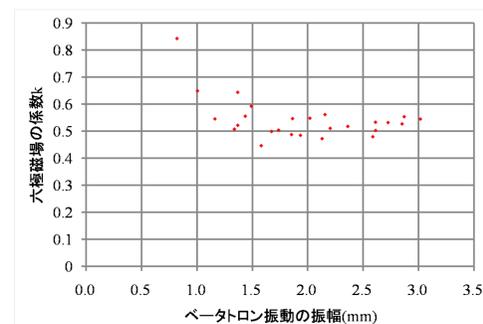


ビームトラッキングの結果(入力電力14mW)



実験値と計算値の比較

計算値が入力電力の平方根に比例するのに対して、実験値はあまり振幅が大きくなる。これは六極磁場などの非線形磁場の影響ではないかと考えられる。



トラッキングの計算式

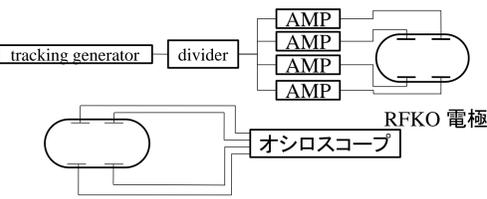
$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_1' \end{pmatrix} = (M_c) \begin{pmatrix} x_0 \\ x_0' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ \Delta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ kx_0^2 \end{pmatrix}$$

$\Delta = A \sin(2\pi v)$ Δ : キック角(rad)
 A : キックの振幅(m)
 k : 六極磁場の係数

疑似的に六極磁場の効果(x^2 に比例する効果)を考慮し、実験値からその係数を算出した。0.5付近に集まる結果となった。これは非線形磁場の効果を考慮してシミュレーションをしなければならないことを示唆していると考えられる。

UVSORストレージリングのRFKOの性能評価

(1)ベータトロン振動の振幅測定

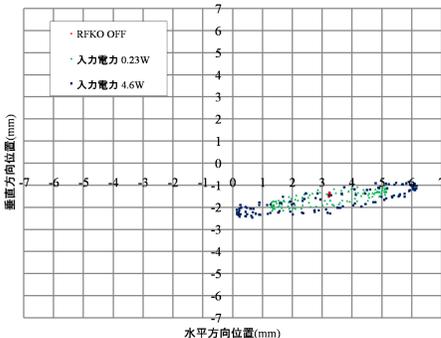


BPM 電極

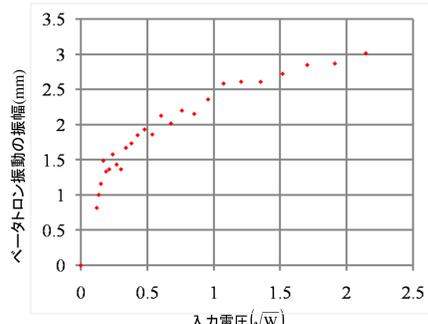
ベータトロン振動振幅測定のブロック図

測定条件

ビームエネルギー	: 600MeV
ビームカレント	: 10~6.6mA
運転モード	: シングルバンチ運転
キック方向	: 水平方向
測定BPM	: B1U(入射点の下流)
TG source Power	: 0dBm
TG frequency	: 7.258MHz



ベータトロン振動励起時のビームポジション

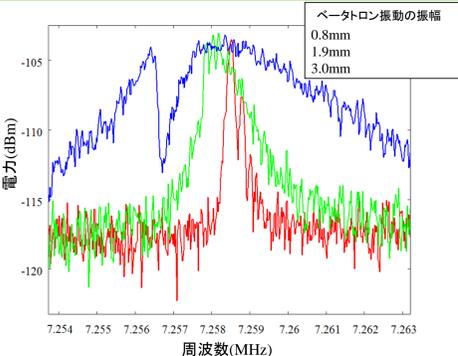


RFKO入力電圧とベータトロン振動の振幅の関係

RFKOを用いて励起した水平方向のベータトロン振動の振幅を測定した結果、14mW~4.6Wの入力電力に対して振幅は0.8~3.0mmという結果となった。4つのアンプの出力に微妙な差があったためビームの振動方向がx方向に対して少し傾く結果となった。

(2)ベータトロンチューン測定

ピックアップ電極からの信号をスペクトルアナライザーに入力し、ベータトロンチューンのピークを観測した。



水平方向のピーク

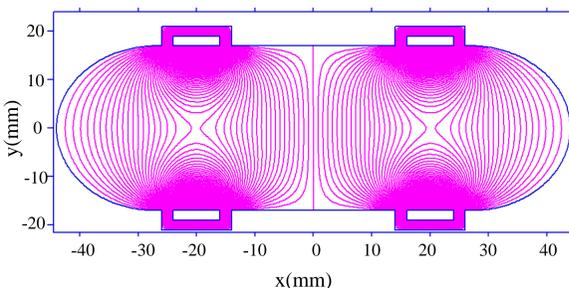
測定条件

ビームエネルギー	: 600MeV
ビームカレント	: 3.0mA
運転モード	: シングルバンチ運転
キック方向	: 水平方向
TG source Power	: 0dBm
TG frequency	: 7.2582MHz
測定ピーク	: revolution frequency(5.6MHz)の上側のサイドバンド

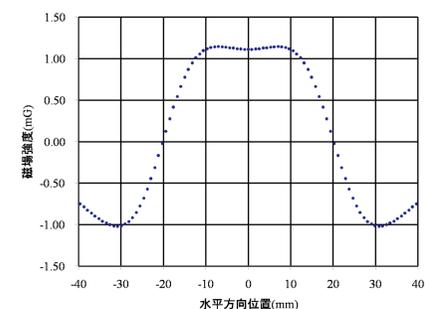
ビームの振幅を変化させベータトロンチューンを測定した結果、振幅が大きくなるにつれてチューンのピークが広がっていくことが分かる。これはビームが大きく振動することにより非線形磁場の効果が大きくなっているのではないかと考えられる。また、振幅が約0.8mm(入力電力14mW)であってもチューンのピークが観測できることが分かった。

中部SR施設のためのRFKOチャンバーの設計

チャンバーは真空ダクトの直線部標準形状を元に設計しており、ダクト内に溝を作り、電極を配置した。1つのチャンバーで垂直キック、水平キックの両方を可能にするため、電極は4本とした。溝の深さや電極の配置は、特性インピーダンスが50Ωとなるようにした。



中部SR施設RFKOチャンバーの設計案と磁力線の様子(水平方向キック)



y=0における磁場分布(入力電圧1W)

中心付近の磁場の値は1W/rodで水平キックの時0.0011(G)となった。RFKO電極の長さを300mmとすると、キック角にして8.25(nrad)となる計算である。これは中部SR施設においてチューン測定をするのには十分な大きさであると考えられる。

まとめ

- UVSORストレージリングにおいてRFKOを用いて励起した水平方向のベータトロン振動の振幅を測定した結果、振幅は0.8~3.0mmという結果となった。
- UVSORストレージリングのベータトロンチューンを測定したところ、ベータトロン振動の振幅が大きくなるにつれて観測されるチューンのピークの幅が広がっていった。
- ビームのトラッキングシミュレーションをしたところベータトロン振動の振幅には非線形磁場の効果が大きく影響していることが分かった。
- これらの結果をもとに、現在、中部SR施設のためのRFKOシステムの設計を進めている。

今後の発展

- 非線形磁場の効果を考慮したビームシミュレーション
- ストリップラインで得られる信号強度のシミュレーション