

J-PARC主リングにおける 補償用キッカー電磁石試験機の実験

Measurement of a Prototype Compensation Kicker Magnet
in J-PARC Main Ring

筑波大学大学院
博士後期課程2年
福岡翔太

Content

イントロダクション

J-PARC 主リング (MR) と入射システム

入射キッカー電磁石の問題点

補償用キッカー電磁石システムの概要

分布定数型キッカー電磁石

マルクス型電源

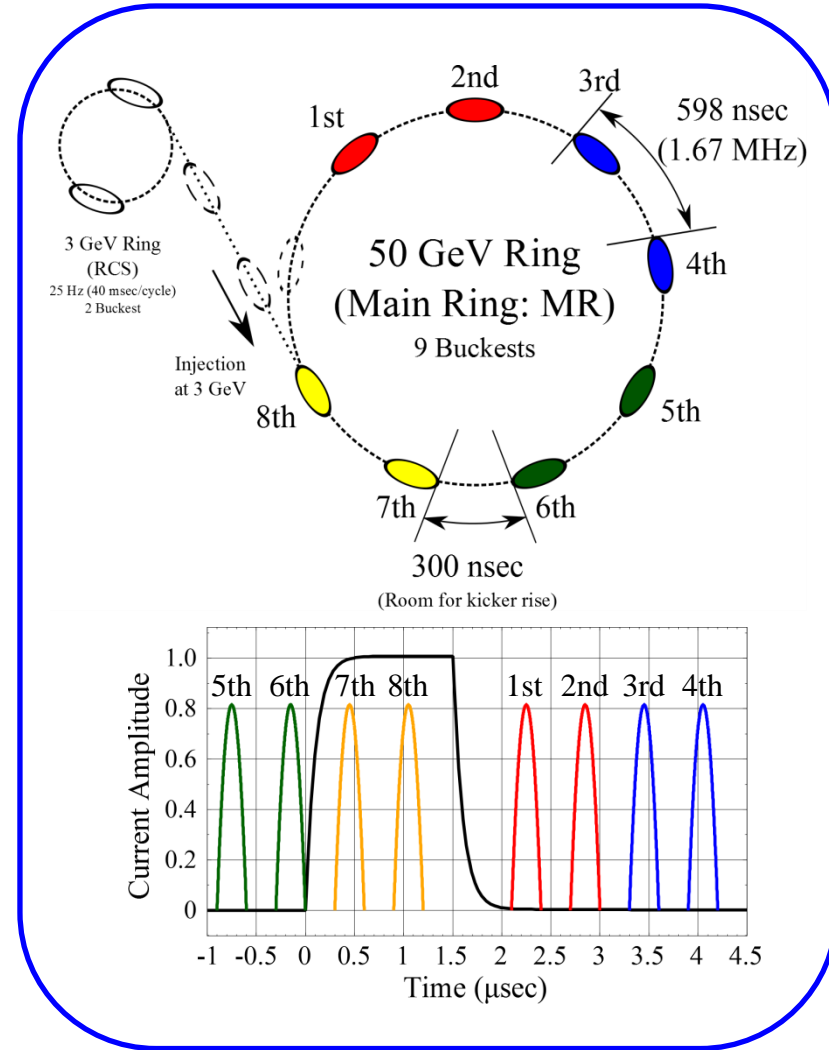
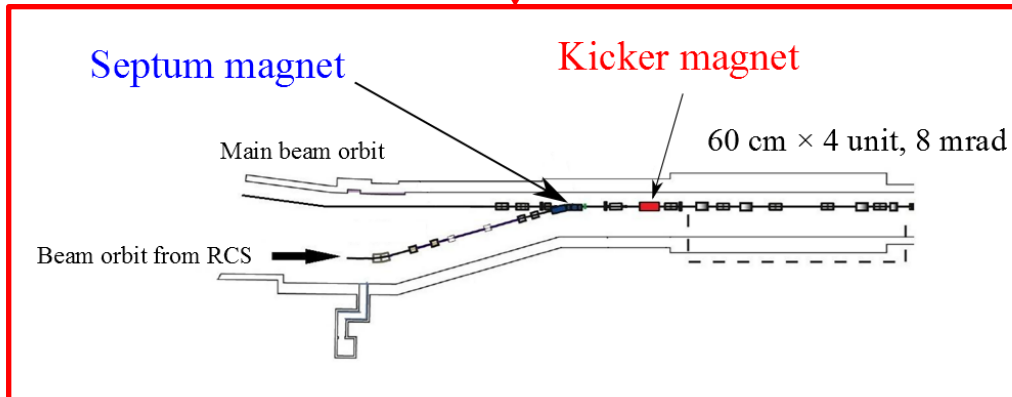
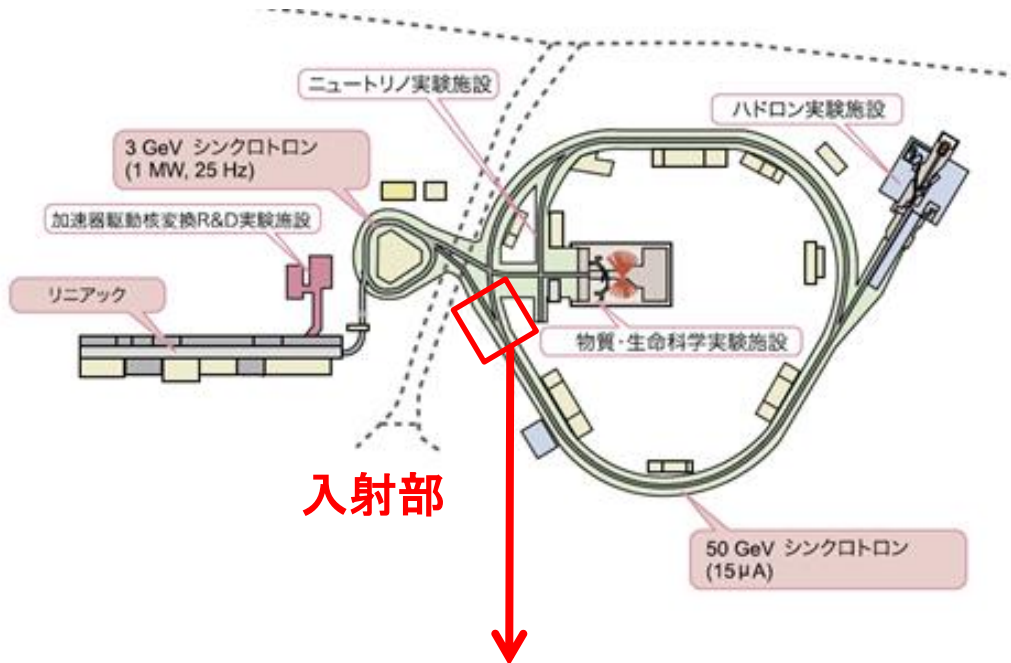
電磁石試験機

周波数特性試験

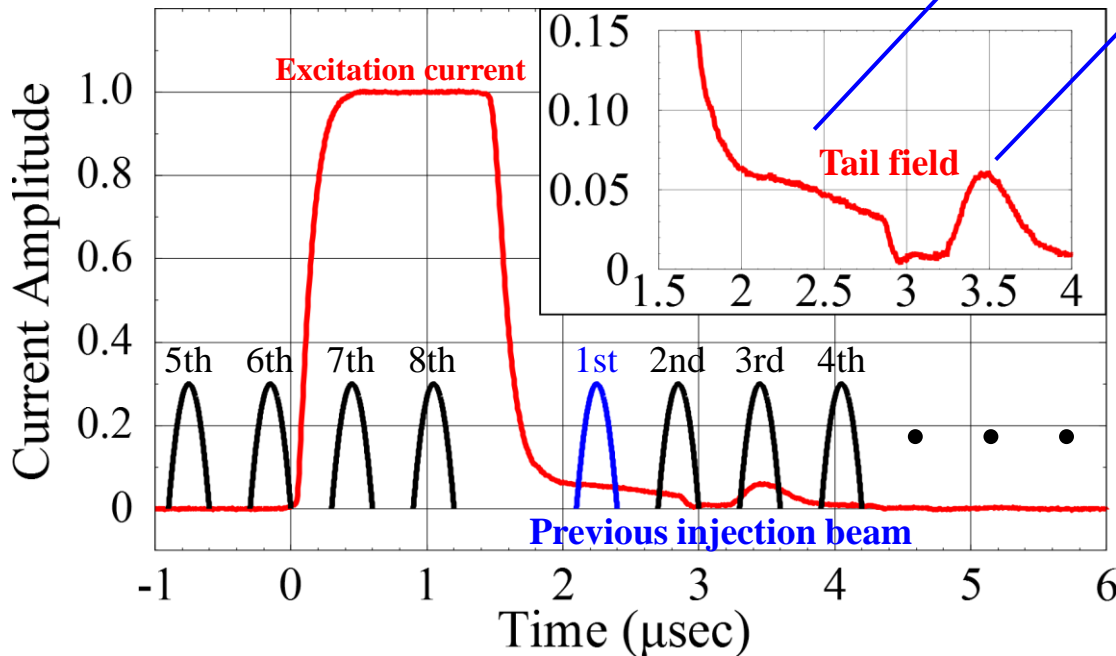
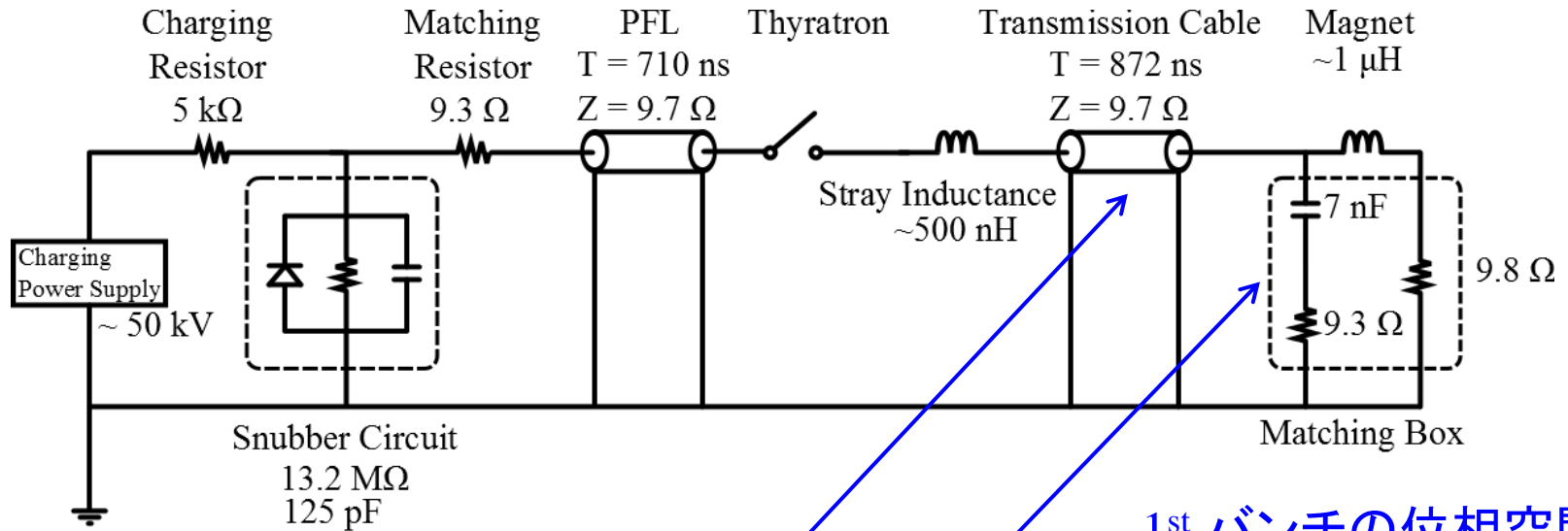
測定結果

イントロダクション

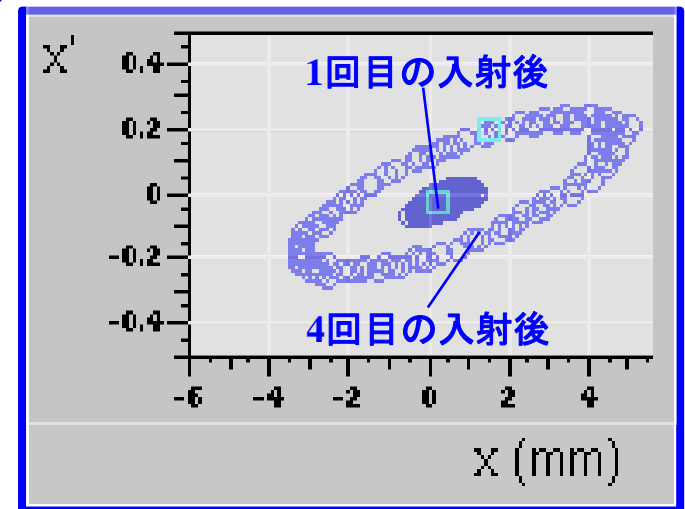
J-PARC MRと入射システム



入射キッカー電磁石の問題点



1st バンチの位相空間

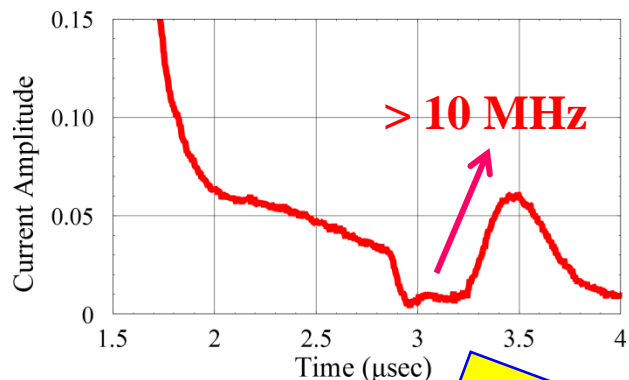


入射タイミングでのビームロスの原因

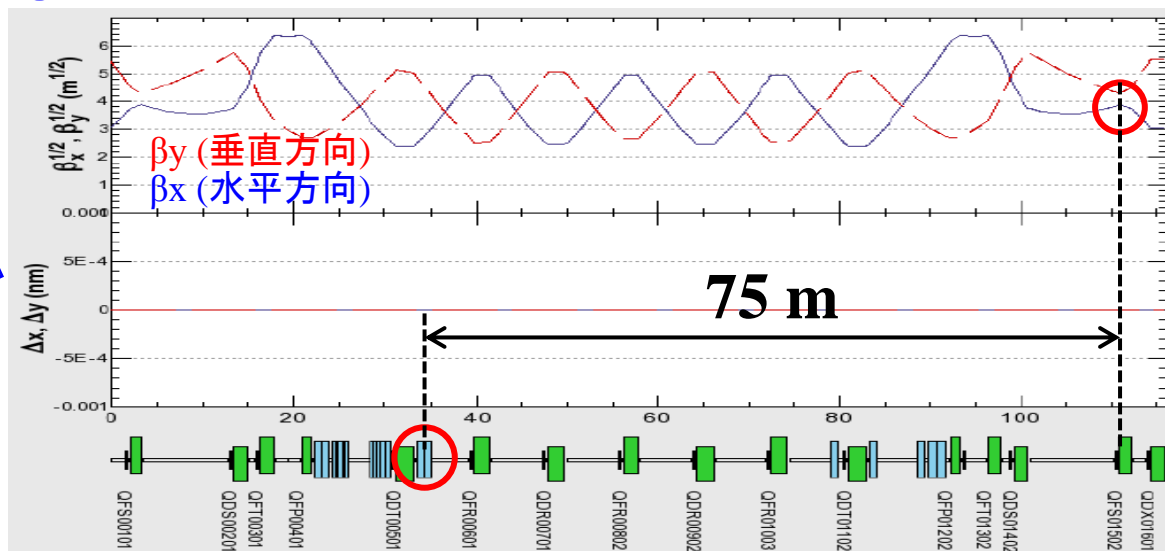
補償用キッカー電磁石システム

補正方法

① テール磁場の波形を忠実に再現

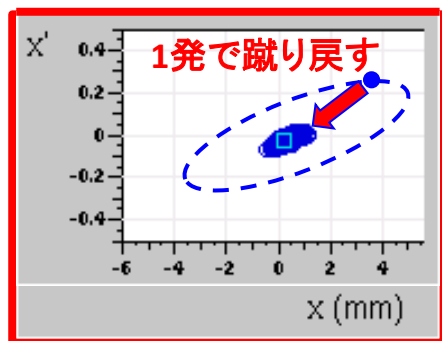


② 下流で反対方向へ蹴り戻す



入射キッカー電磁石

③ 1回のキックでビームを補正



Integrated magnetic field	0.006 Tm
Magnetic field	0.01 T

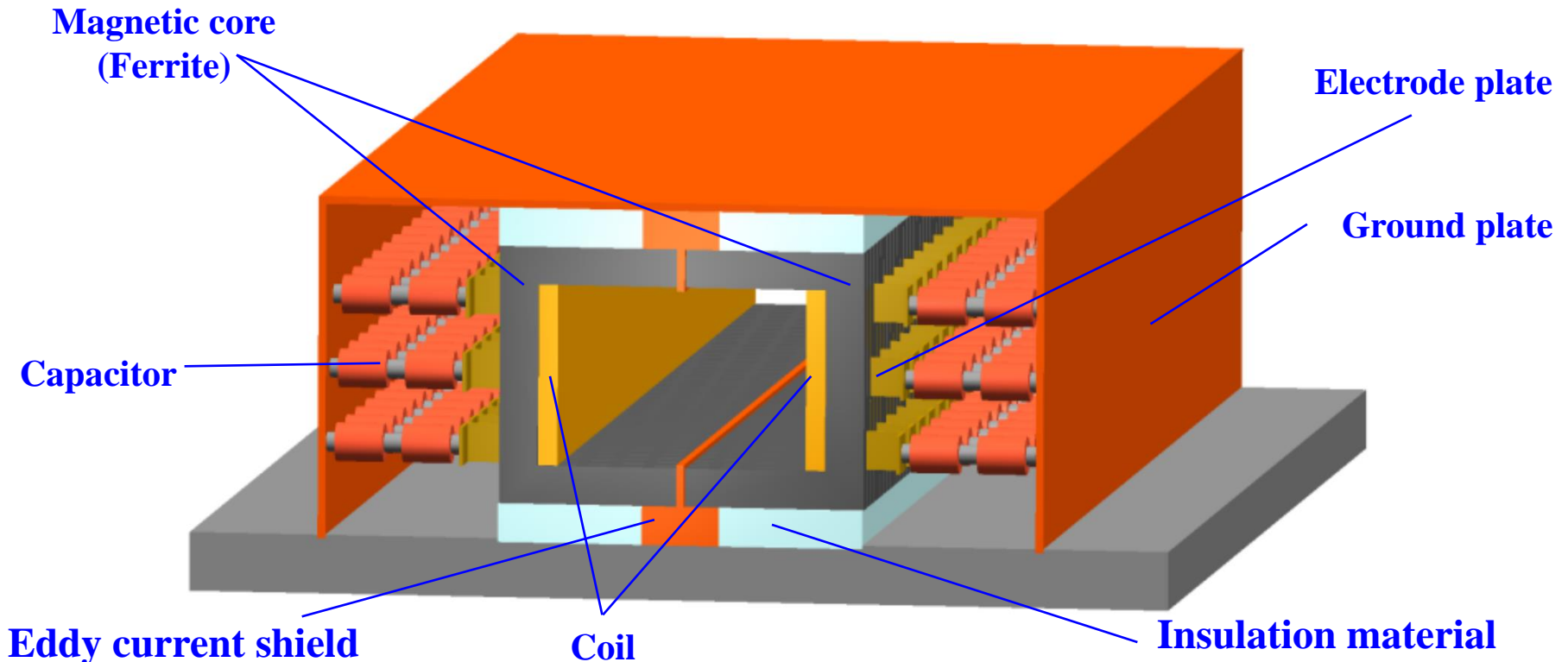
キッカー—電磁石と電源

キッカー電磁石

分布定数型電磁石

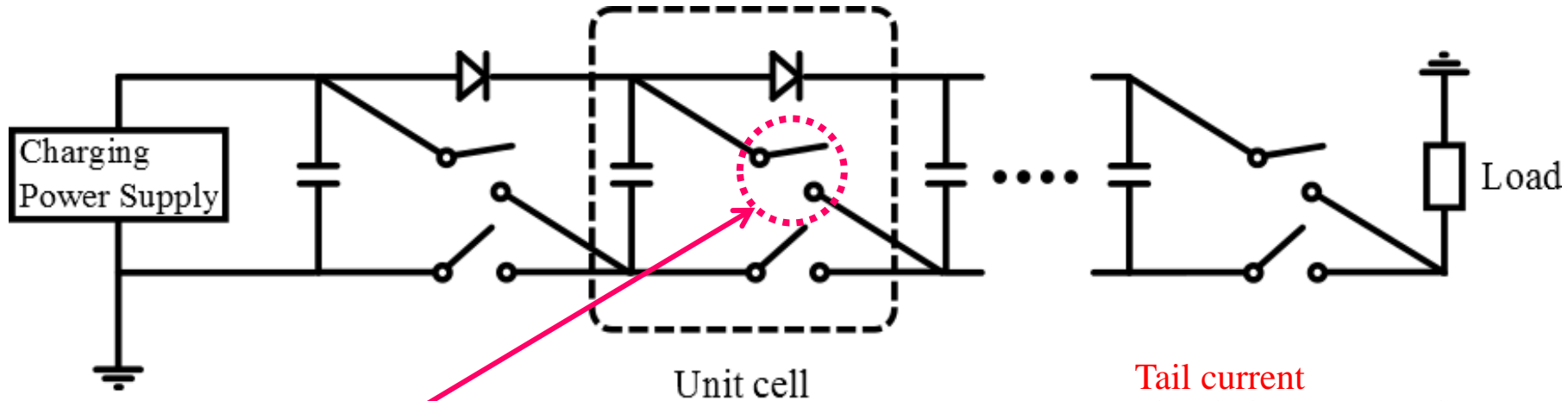
薄い磁性体コア
セラミックコンデンサ) → 広帯域
真空中にインストール

Aperture	130 mm x 98 mm
Total length (Length of 1 cell)	600 mm (10 mm)
Characteristic impedance	10 Ω
Inductance per cell	10 nH
Capacitance per cell	100 pF
Band width	160 MHz



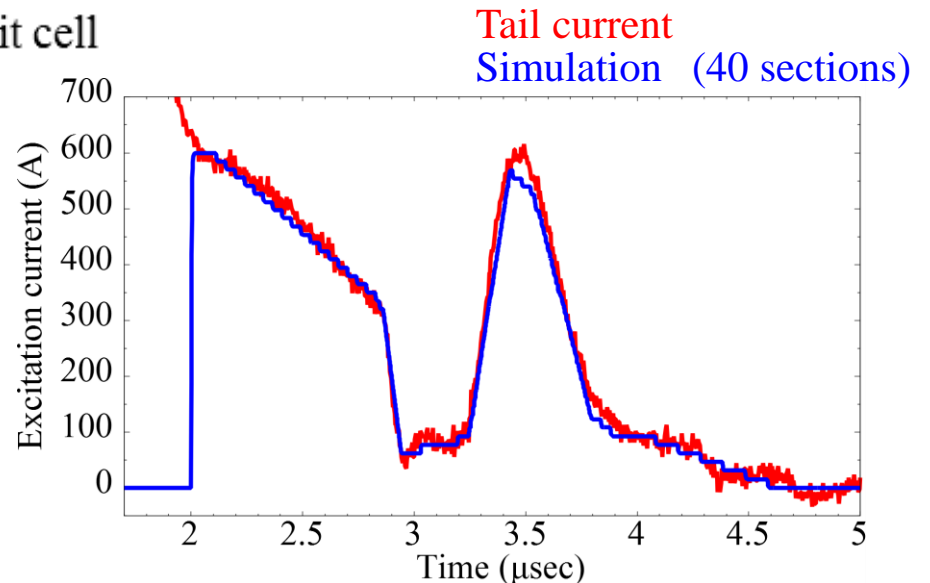
マルクス型電源

- テール磁場の波形を再現 ← 任意の形状の波形生成



半導体スイッチ
速い時間応答: 100 nsec以下
低浮遊インダクタンス・静電容量

Peak excitation current	500 A
Charging voltage (Max.)	10 kV
Characteristic impedance	10 Ω



テール磁場の波形を再現可能

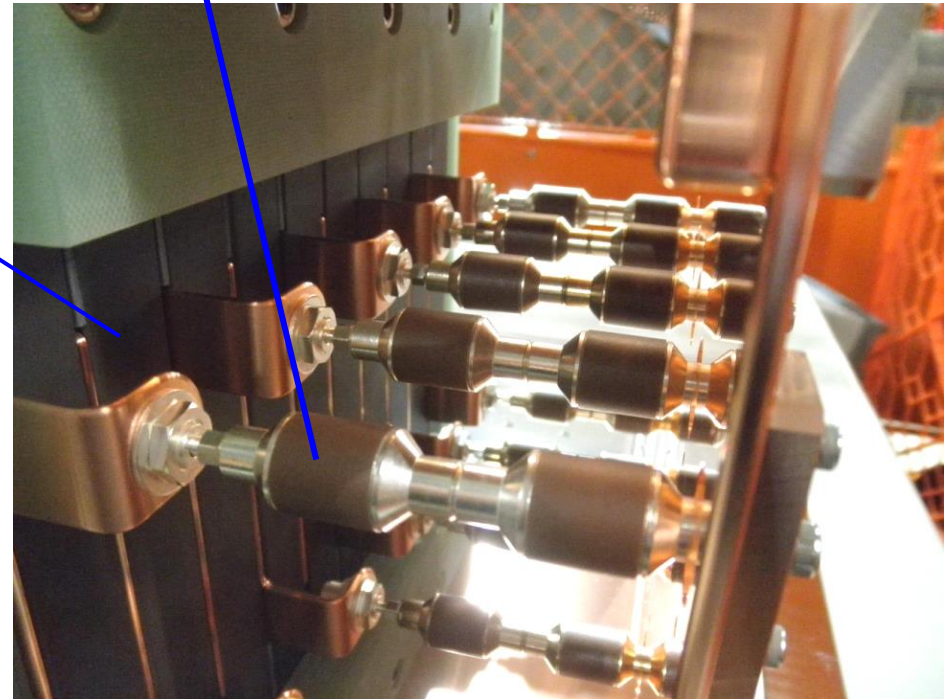
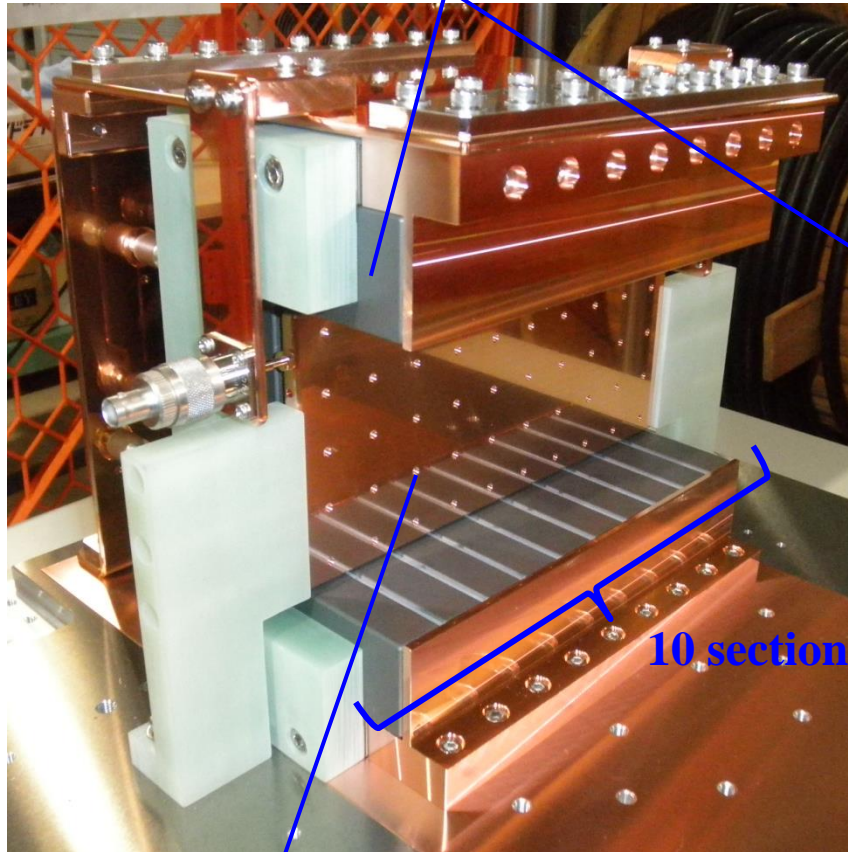
キッカー電磁石試験機

電磁石試験機

フェライトコア:
CMD5005 (Ni-Zn)
(厚さ: 20.5 mm)

セラミックコンデンサ
HX00- H130- 00 (AVX社)

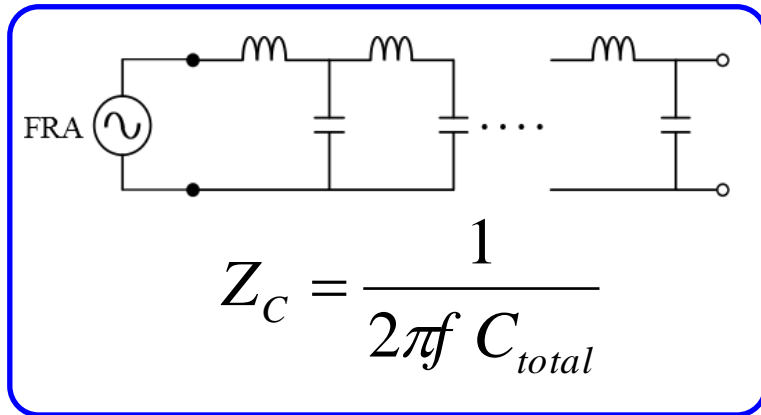
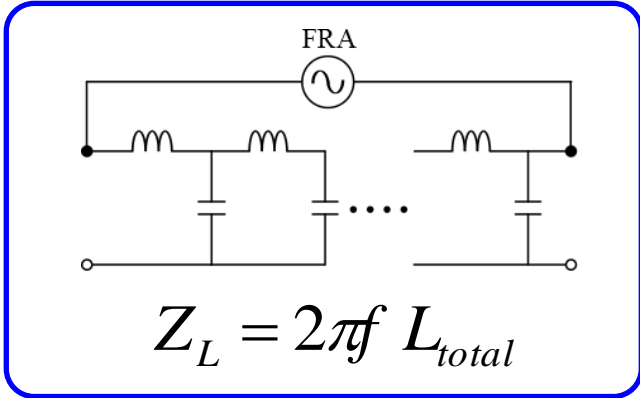
真空中で使用
(放出ガス速度測定中)



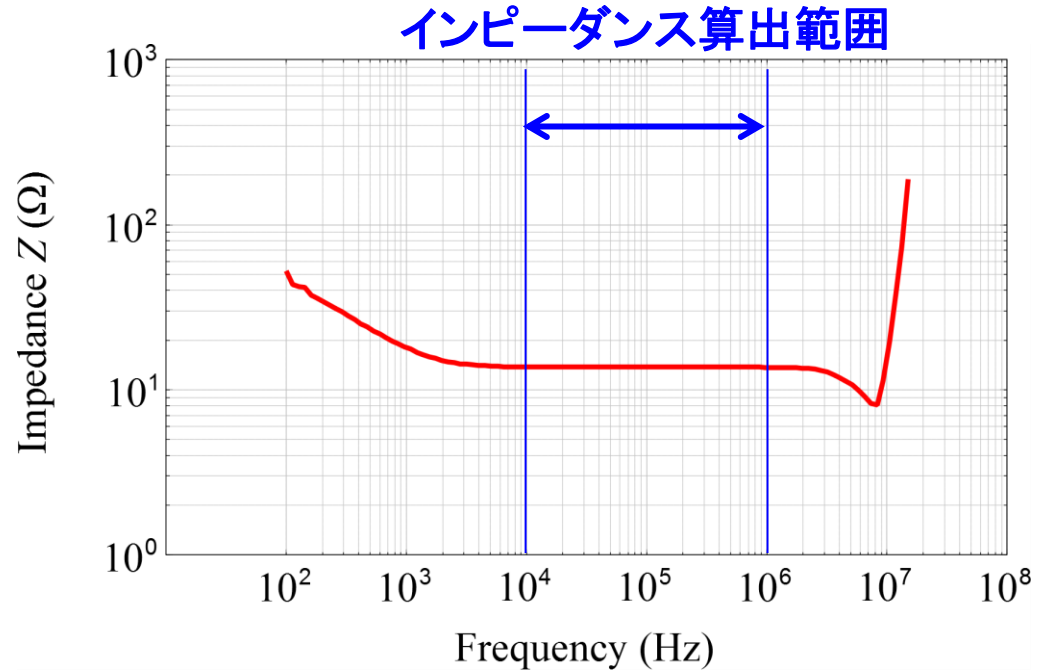
コイル
205 mm x 108 mm

Inductance per cell	14.3 nH
Capacitance per cell	100 pF
Characteristic impedance	12.0 Ω
Band width	130 MHz

インピーダンス測定



$$Z = \sqrt{\frac{L_{total}}{C_{total}}}$$



	Design	Measurement
Inductance per cell	14.3nH	19.3 nH
Capacitance per cell	100 pF	101 pF
Impedance	12.0 Ω	13.8 Ω
Band width	130 MHz	114 MHz

→片側コアの影響？

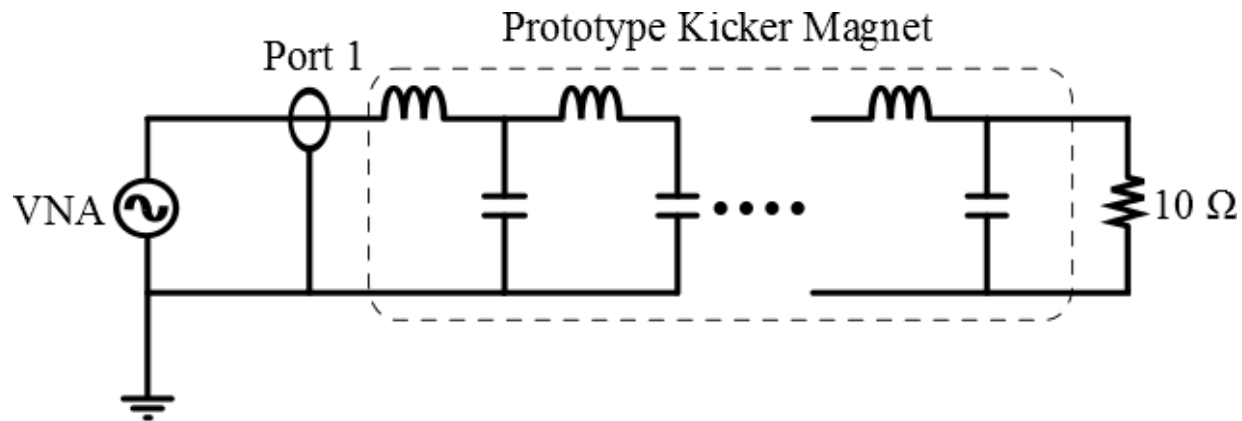
周波数特性の測定

- 反射率測定: S_{11}
 - 測定周波数: ~ 300 MHz
 - $10\ \Omega$ 終端

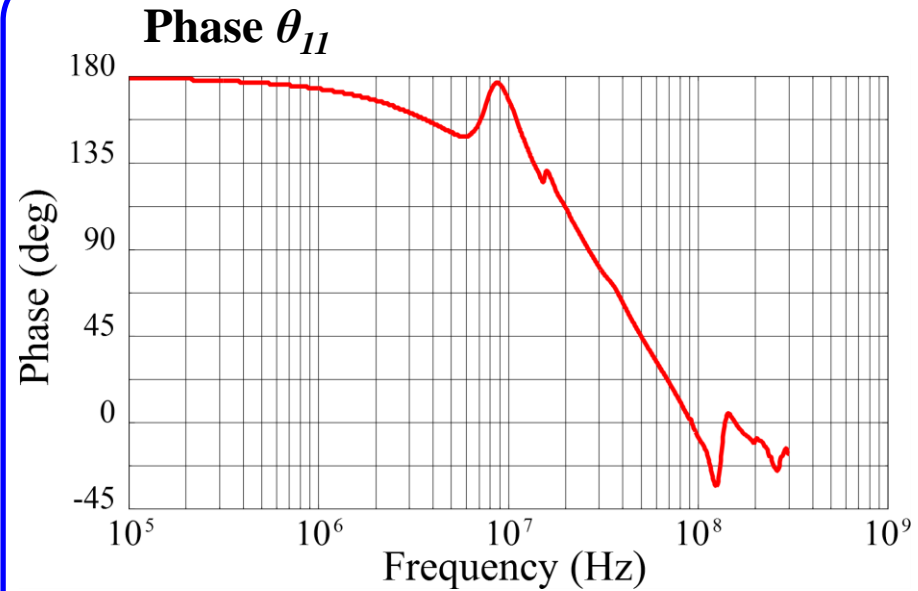
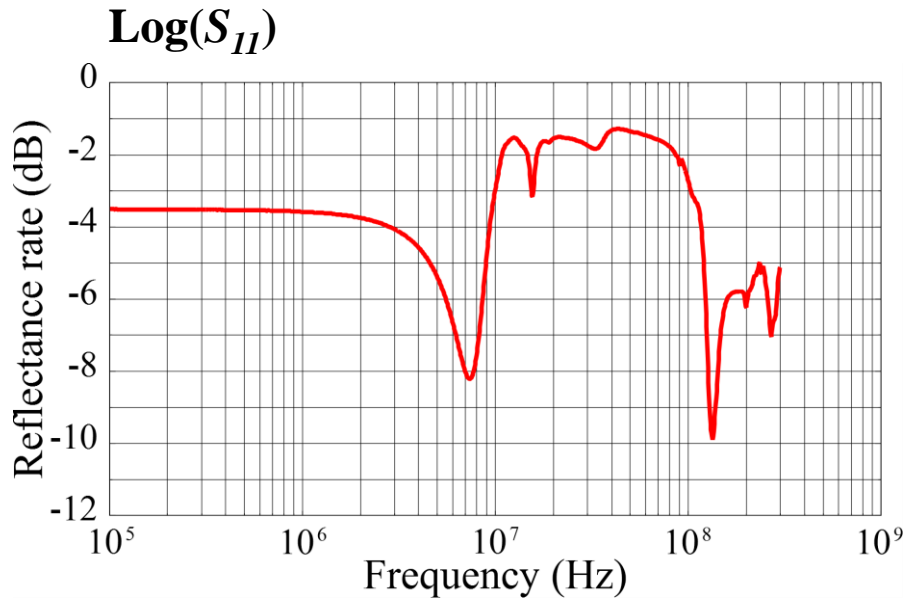


ベクトルネットワークアナライザ
(VNA)

キッカー電磁石
試験機



周波数特性の測定結果



→試験機の入インピーダンスを導出

シミュレーションとの比較

電気回路シミュレーション(SPICE)

(パラメーター)

コイルのインダクタンス

コンデンサの静電容量

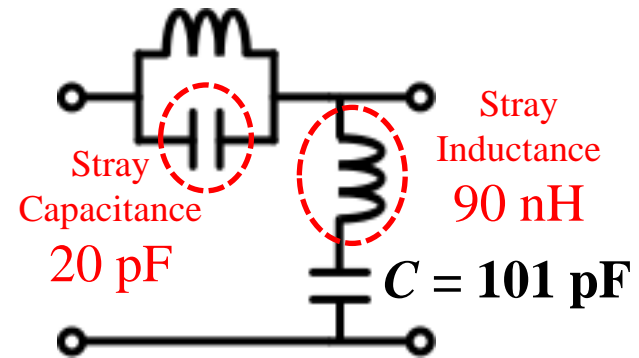
引出極板・コンデンサのインダクタンス

引出極板間の静電容量

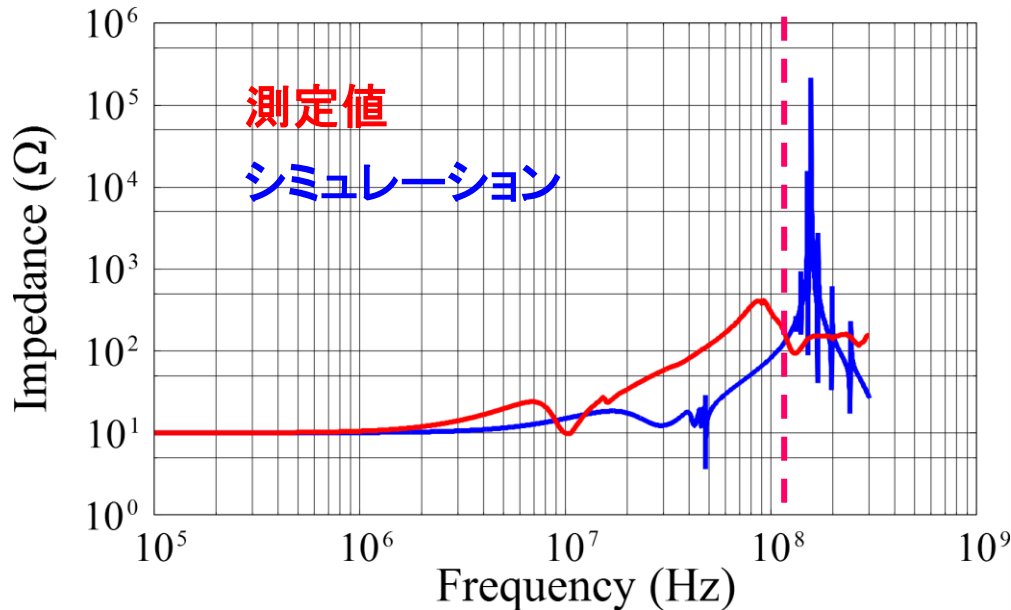
実測値

計算値

$L = 19.3 \text{ nH}$



114 MHz



測定値とシミュレーションで差異

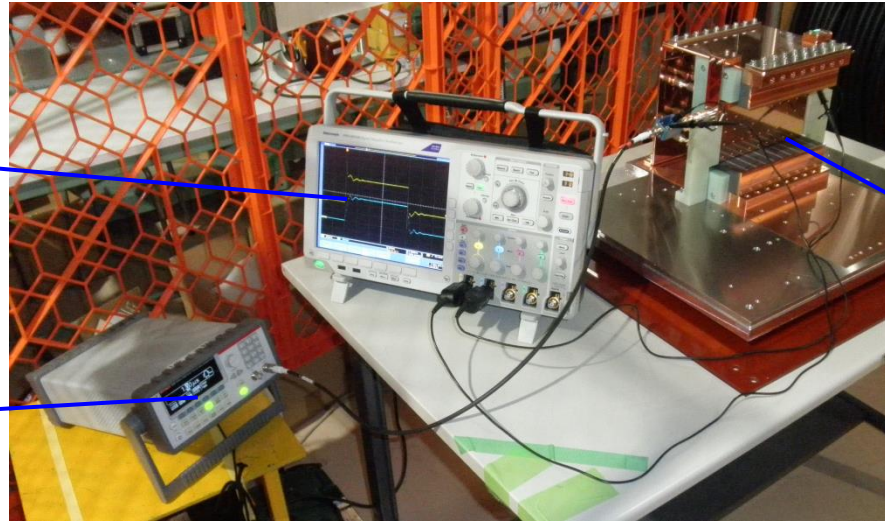
- フェライトコアの周波数特性
- 試験機構造によるインダクタンスの増加
- 考慮されていない浮遊成分

パルス応答試験

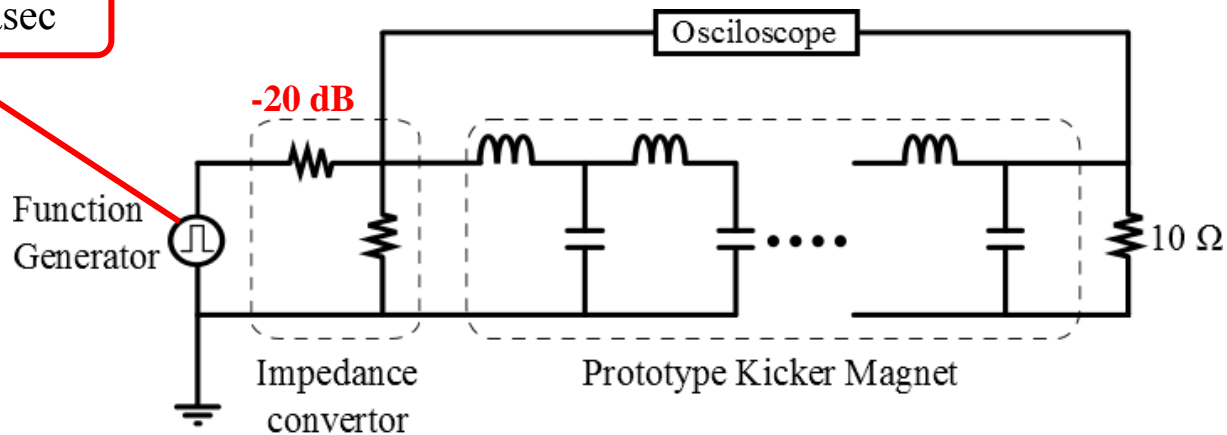
オシロスコープ

ファンクション
ジェネレーター

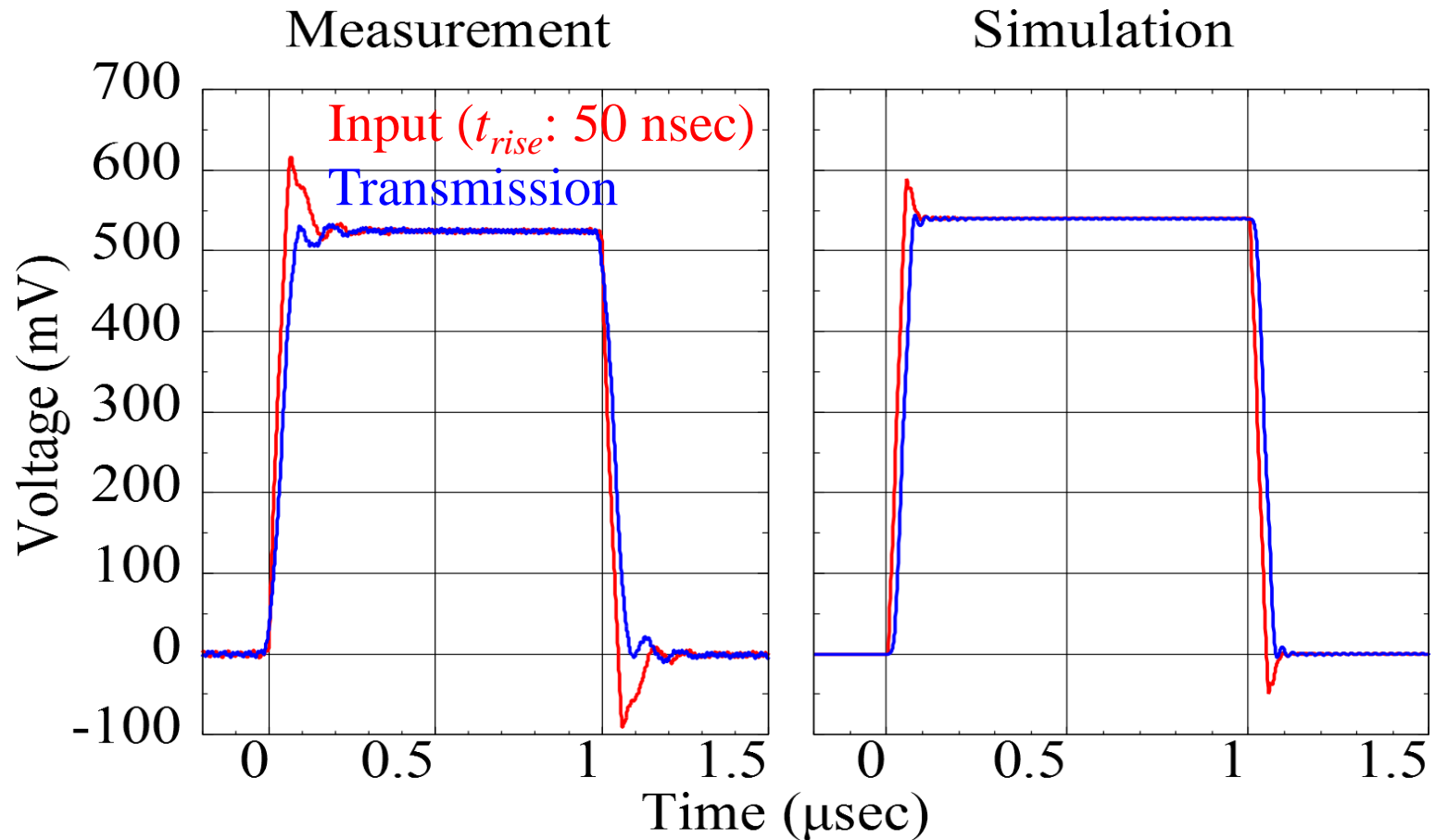
キッカー電磁石
試験機



パルスの高さ: 5 V
パルス幅: 1 μ sec

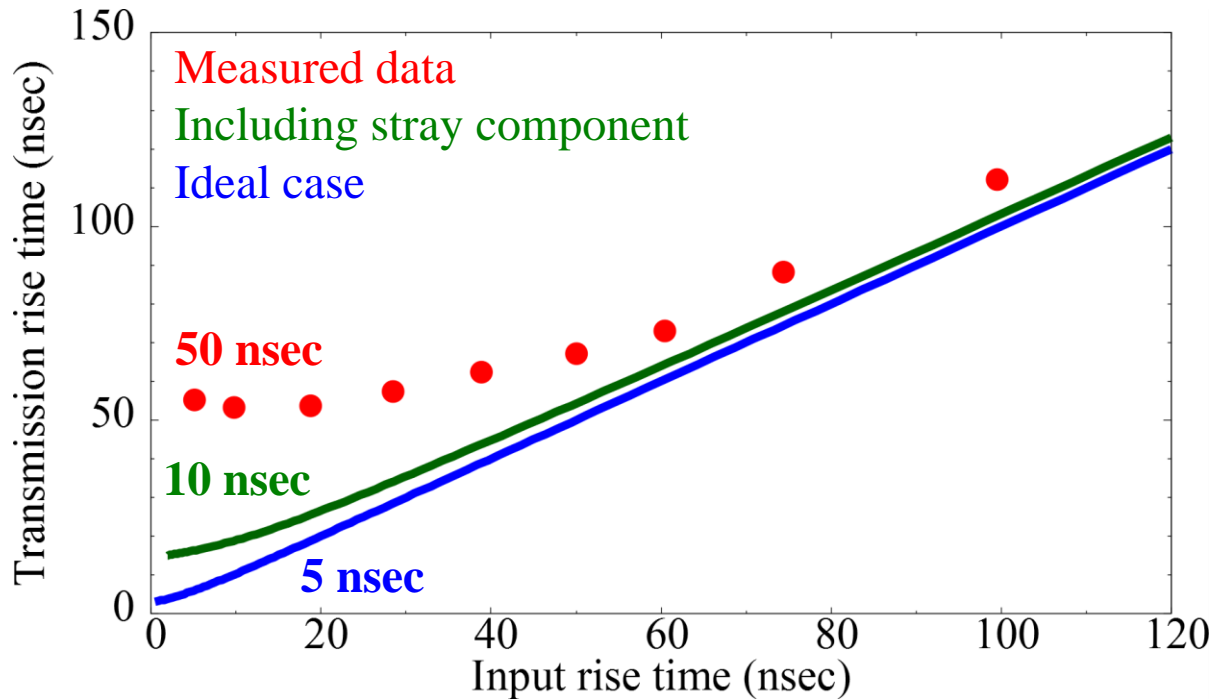


パルス応答



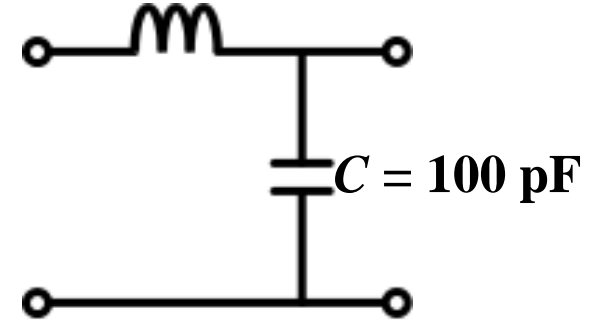
入力パルスの立ち上がり < 透過パルスの立ち上がり
→ 電磁石の周波数帯域によるパルス応答の制限

立ち上がり時間依存性



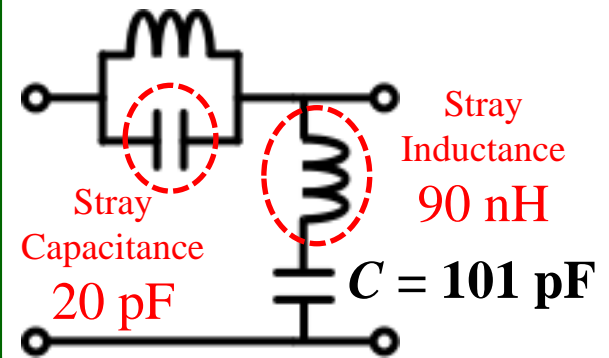
理想的なLC回路

$L = 10 \text{ nH}$



浮遊を含む回路

$L = 19.3 \text{ nH}$



透過パルスの立ち上がり: **50 nsec 程度**

実測とシミュレーションのパルスの不一致

- 電磁石のインピーダンスの周波数特性と同じ傾向
- 帯域の制限を示唆

まとめと今後の展望

補償用キッカー電磁石

J-PARC主リングの入射ビーム軌道を改善するための補正方法の開発
システム構成: 分布定数型のキッカー電磁石, マルクス型電源

電磁石試験機の測定結果

特性インピーダンス測定 **デザイン値: 12.0 Ω** , **実測値: 13.8 Ω**

周波数特性測定 **デザイン値: 20 MHz**, **実測値: 10 MHz**

パルス応答試験 立ち上がり時間:**計算値: 10 nsec**, **実測値: 50 nsec**

計算される浮遊成分の影響を考慮しても計算値とは一致しない。

磁極が短いために漏れインダクタンスが想定よりも大きい可能性がある。

磁性体コアの周波数特性により、コイルのインダクタンスが周波数依存性を持っている。

浮遊のインダクタンスや容量が想定よりも大きな値を持つ。

今後の計画

電磁石

帯域を制限している要因の特定する(フェライトコアの周波数特性、磁極長の延長等)。
電磁石実機を設計する。

電源

電源試験機の製作と性能評価を行う。