



地方独立行政法人

岩手県工業技術センター

IWATE INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE

# 永久磁石を用いた 加速器用磁気回路の開発

- 事業名 : いわて戦略的研究開発推進事業  
実施期間 : H30.7 ~ R2.3  
参画機関 : (株)サンアイ精機、鈴木機械(株)、岩手県工業技術センター、  
高エネルギー加速器研究機構、いわて産業振興センター

担当者 機能材料技術部 目黒和幸

連携推進室 園田哲也



令和2年10月9日 岩手県工業技術センター 成果発表会

# 研究背景 加速器

電子や陽子などの粒子を電場で加速し、高エネルギービームを作り出す装置



医療用リニアック



電子顕微鏡

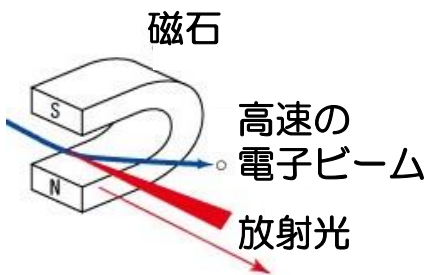


ブラウン管も加速器の一種

大型の加速器として、**放射光施設** や **衝突型加速器** があげられる。

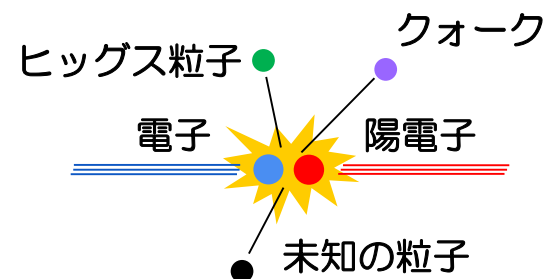
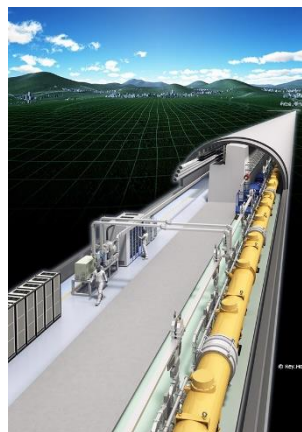


## SPring-8 (兵庫県)



高強度の放射光を用いて材料分析などを行う。

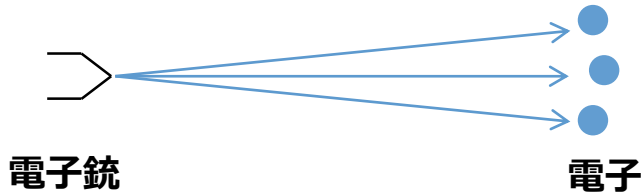
## 国際リニアコライダー(ILC)



高速の粒子同士を衝突させて様々な素粒子を生成する。

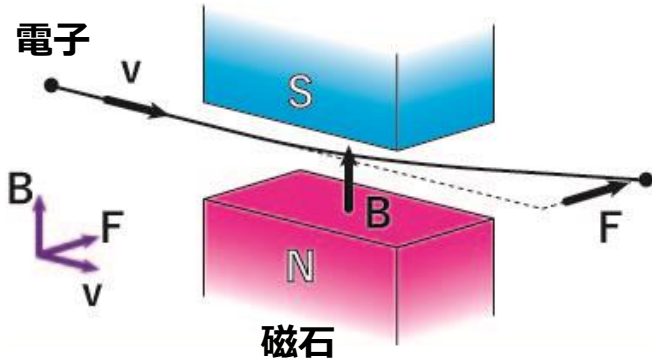
# 研究背景 加速器に用いられる電磁石

電子ビームは発散しながら直進する



→ 電子ビームの輸送には  
ビームの方向や発散度の制御が必要

**磁場**を用いて、ローレンツ力により電子の軌道を曲げる。



$$\vec{F} = -e (\vec{v} \times \vec{B})$$

<p><b>二極電磁石</b> 方向を曲げる(偏向)</p>		
<p><b>四極電磁石</b> 集束・発散</p>		
<p><b>六極電磁石</b> 色収差補正</p>		

# 加速器用電磁石の課題

## ☆メリット

コイルに流す電流を調整することにより、

- ① 磁場強度を制御しやすい
- ② 高速に制御できる
- ③ 設計がしやすい

## ★デメリット

### コストが高額

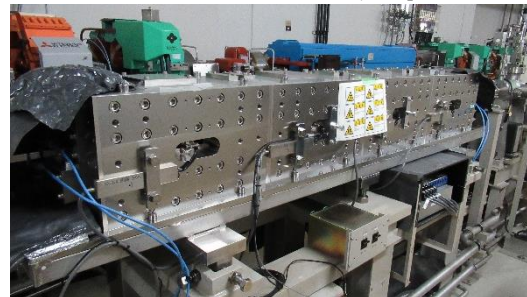
- ・ 運転時に大電流が流れ続ける → 電気料金、発熱
- ・ 電源や冷却の付帯設備が必要
- ・ 水漏れや腐食に対する定期補修・交換が必要



加速器用電磁石の一部を、



“永久磁石を用いた磁気回路”に置き換えて  
コスト低減する試みが研究されている。

SPring-8で運用されている  
永久磁石型ビーム偏向器



# 研究背景

# 電磁石と永久磁石の比較

		電磁石	永久磁石
		 <p>偏向電磁石 (KEK cERL)</p>	 <p>永久磁石型偏向器 (SPring-8)</p>
装置の大きさ		△ コイルの分だけ大きくなる	○ 小型にできる
磁場調整の方法		◎ 電流の調整により容易に制御可能 高速に制御できる	○ 特殊な機構により制御可能 高速には制御できない
トータルコスト		△ 高額	◎ 安価
内 訳	本体	○ 700~1,000万円	△ 1,500万円
	付帯設備	△ 電源：300~1,000万円 冷却設備：100~200万円	◎ 磁気回路切替用モーターのみ
	運転時 コスト	× 100~200Aの大電流が必要 発生する熱の冷却が必要 ILC運転時電力 10.5 MWと試算※	◎ ほとんどかからない
	保守費用	× 水漏れや腐食の保守が必要 350~500万円	◎ ほとんどかからない

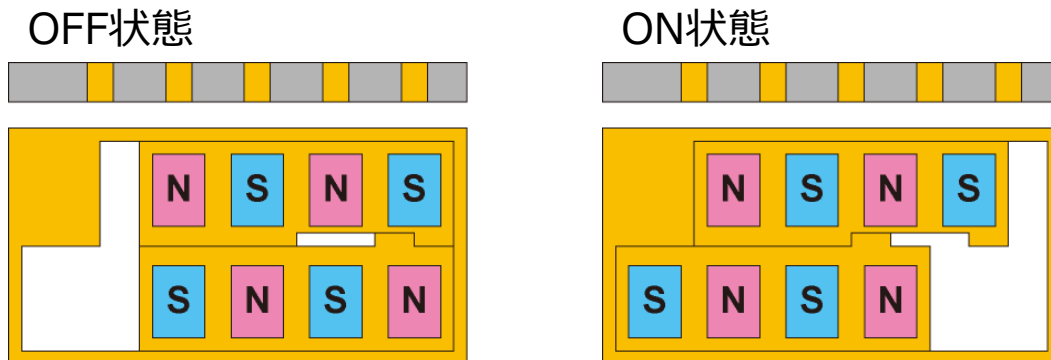
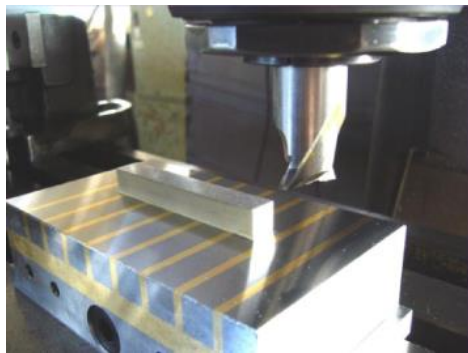
※ 国際リニアコライダー(ILC)に関する有識者会議 技術設計報告書(TDR)検証作業部会による調査

# 本研究のねらい

## 【技術シーズ】

### 永久磁石型マグネットチャック

特許第5716232号

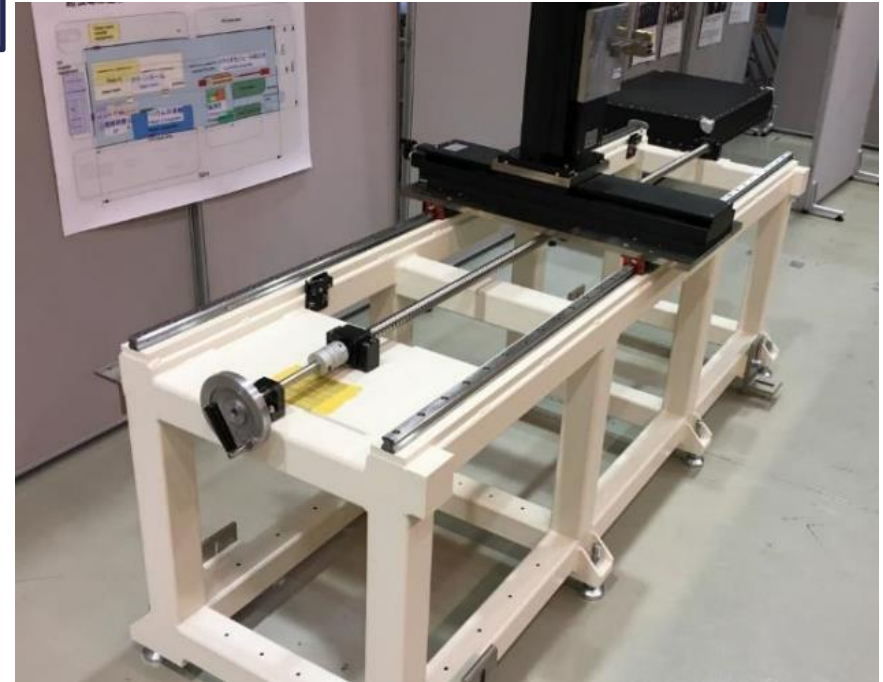
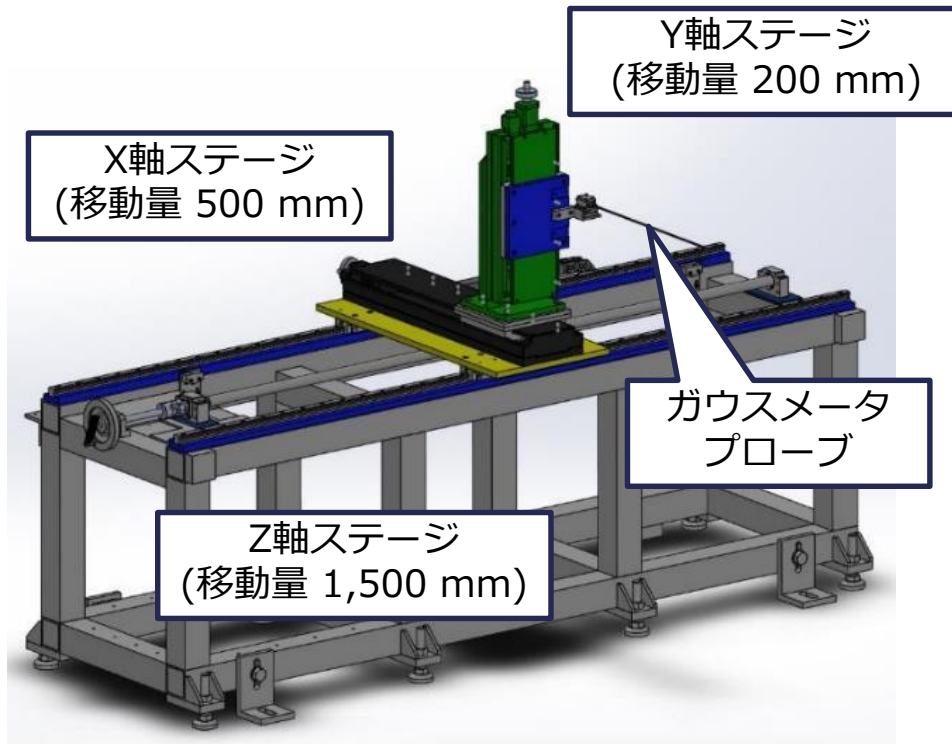


永久磁石の配列を機械的に動かすことで、マグネットチャック表面の磁場を調整可能

## 【研究のねらい】

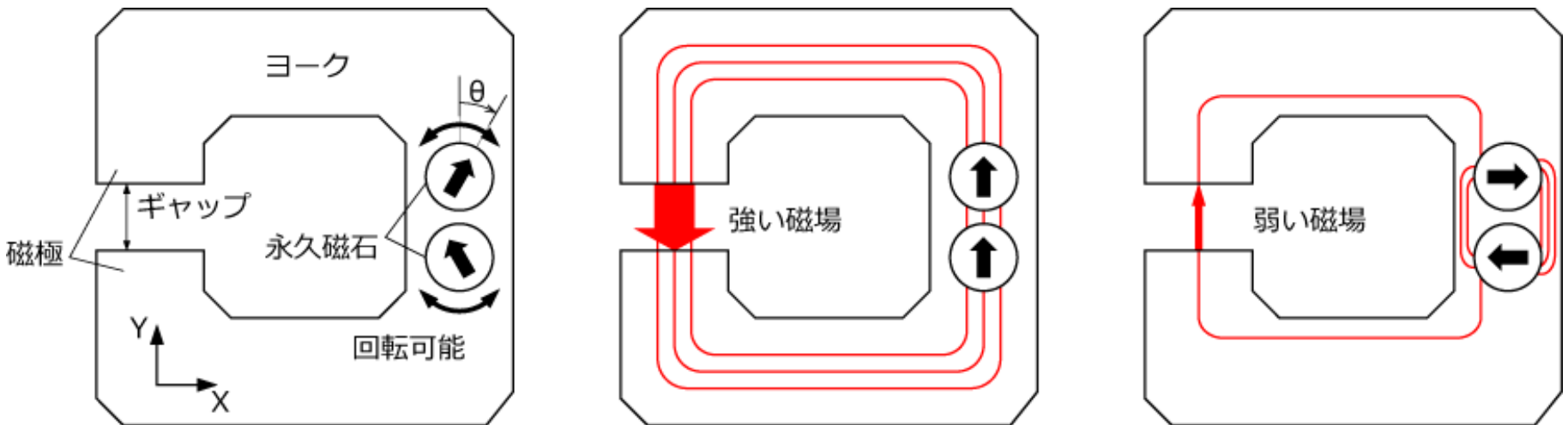
- ① 永久磁石を用いた**磁場調整機構を開発**する。  
目標値：max 2,000 G ~ 1,600 G(max-20%)の範囲で可変
- ② **3次元磁場測定システムの構築**および**標準磁石を製作**し、  
磁気回路の性能評価に用いる。

# 3次元磁場測定システム



- 可動域 X 500 mm、Y 200 mm、Z 1,500 mm
- 最大測定磁場 30,000 G  
分解能1 Gで磁場測定が可能
- 現在、自動測定に向け電動化を進めている

# 磁場調整機構 磁石回転方式



磁石を同じ向きに直列( $\theta=0^\circ$ )

→ ギャップに強い磁場が発生

磁石を反対向きに並列( $\theta=90^\circ$ )

→ ギャップ間には磁場が生じない  
もしくは、極弱い磁場のみ

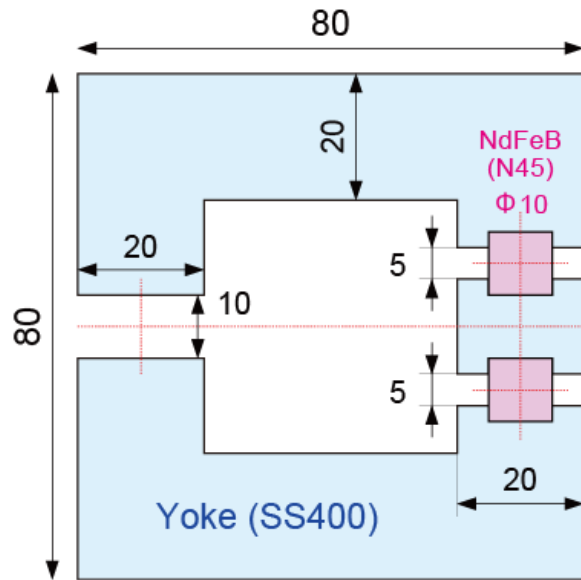
- 回転角 $\theta$ を任意の位置で止めることで、中間値の磁場を出すことも可能
- 磁石を反対向きに回すことで、逆磁場にすることも可能



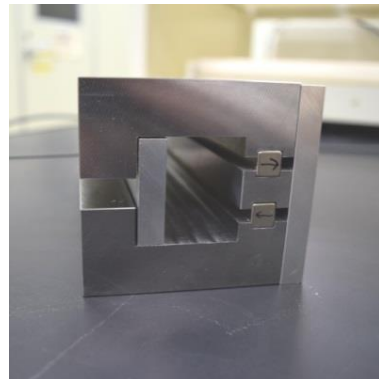
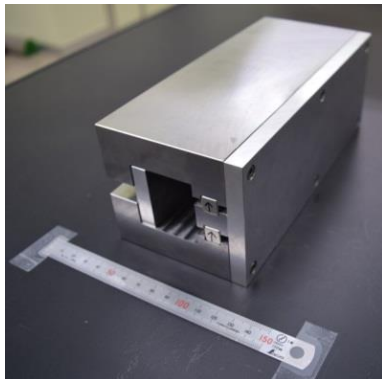
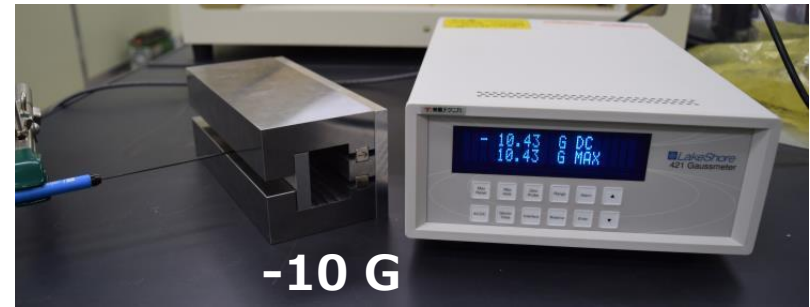
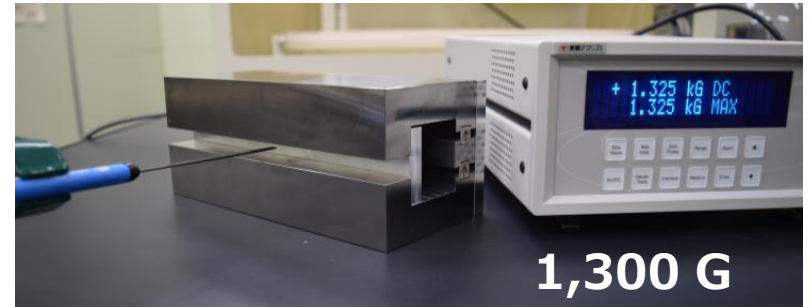
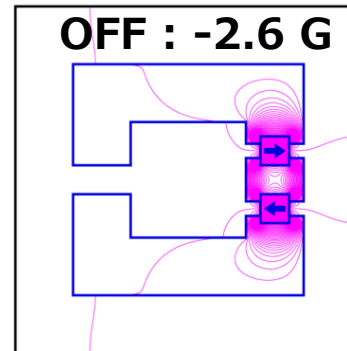
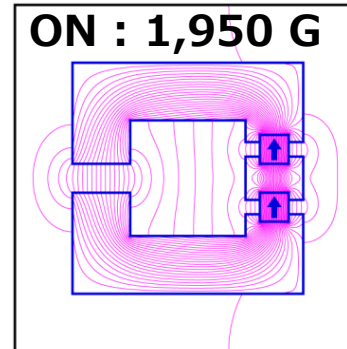
# 磁場調整機構

# 原理モデル設計・試作

※このモデルでは永久磁石は回転できない



L = 200 mm

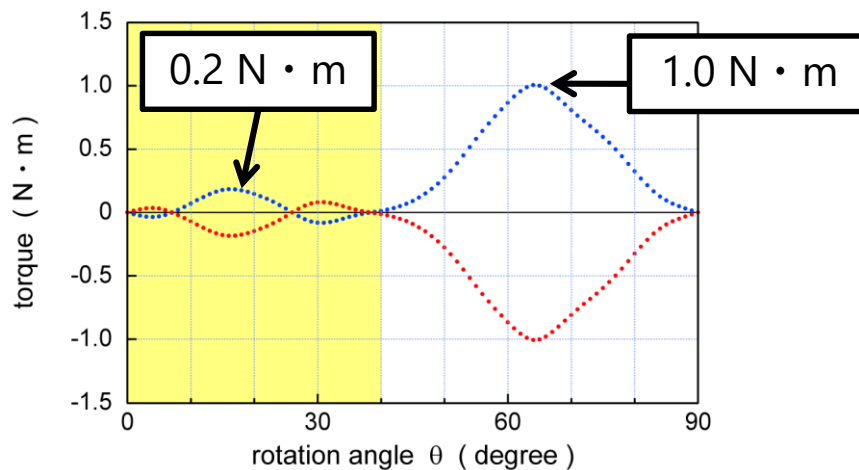
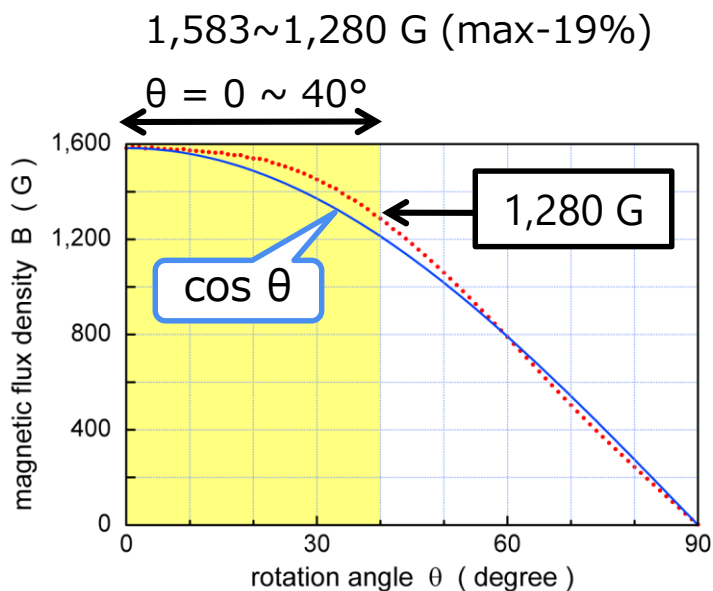
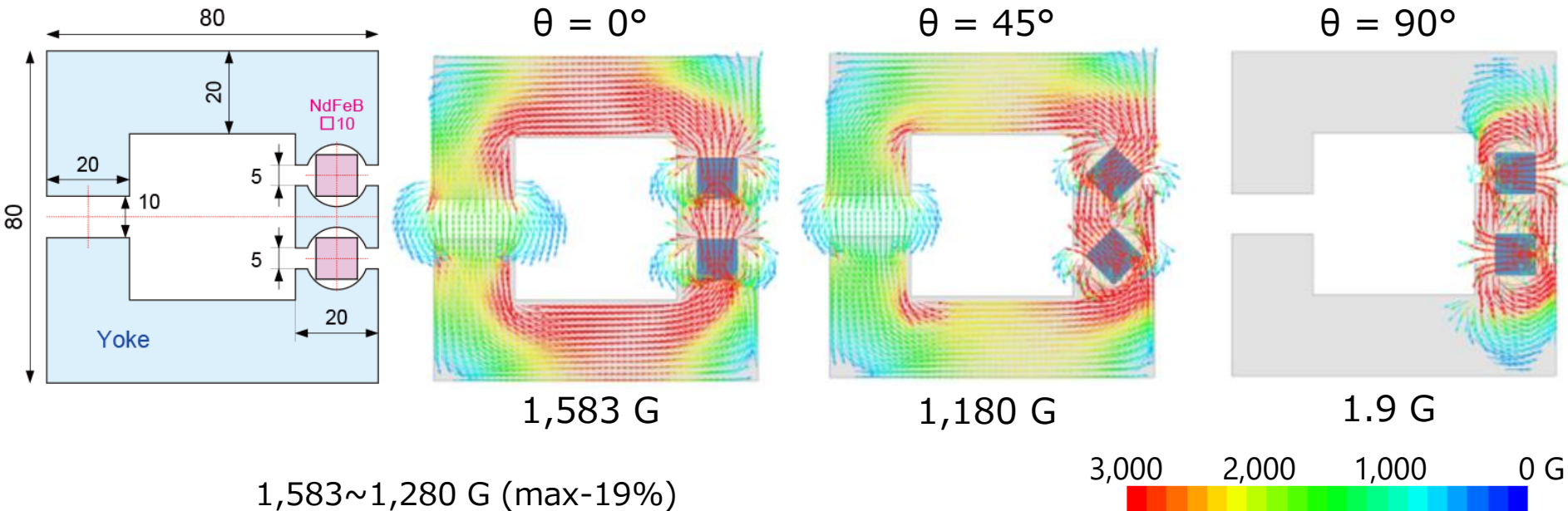


シミュレーションソフト  
SUPERFISH PANDIRA code (2D静磁場解析)

絶対値に差はあるものの、  
**+1,300 G ⇔ -10 G**で磁場調整が可能  
であることを確認

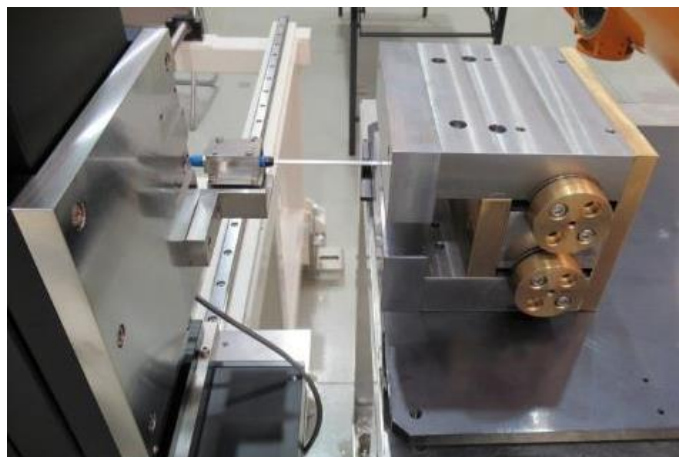
# 磁場調整機構 磁場可変域と回転トルク

シミュレーションソフト ANSYS Maxwell (2D静磁場解析)



# 磁場調整機構

# 磁場の均一性



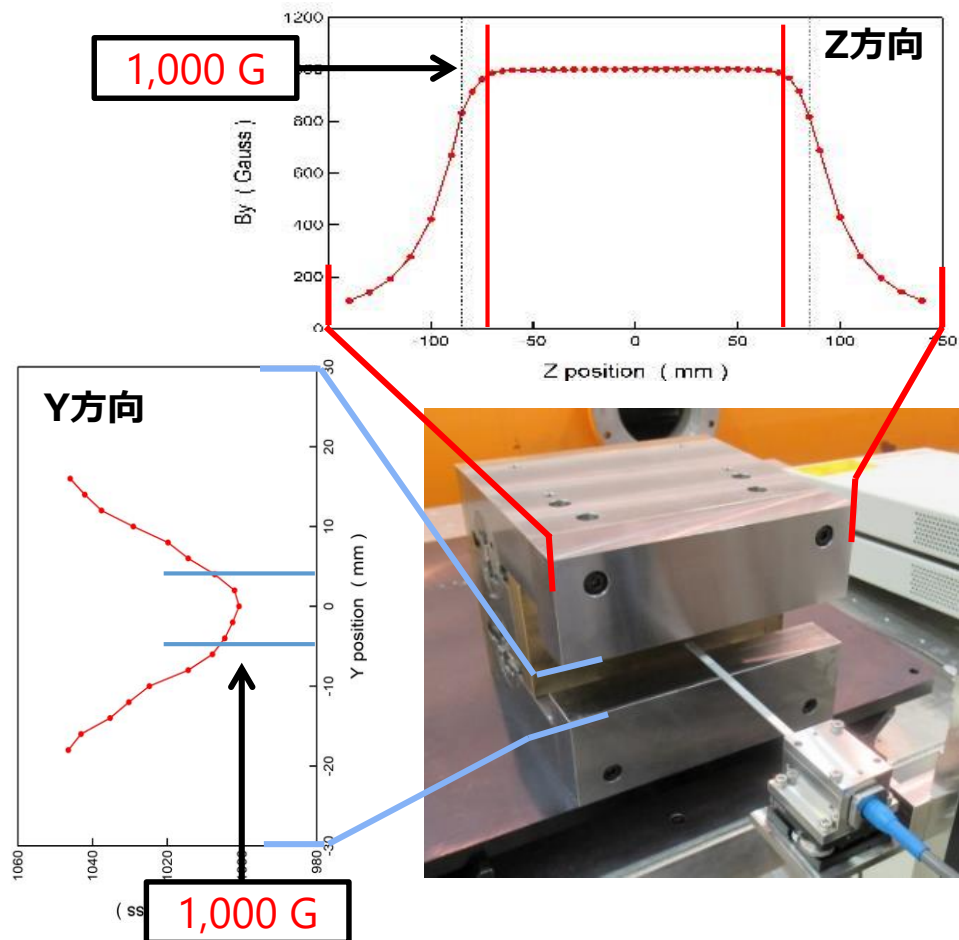
最大磁場強度：1,000 G

X :  $\pm 4$  mm

Y :  $\pm 5$  mm

Z :  $\pm 65$  mm

の範囲で $\pm 1$  %の精度



- 最大磁場強度は1,000 G
- ガウスメータを校正する標準磁石として機能することを確認した

# まとめ

- ・ 永久磁石による磁場調整機構の開発を行った。
  - ・ 磁石回転式では最大磁場 1,000 Gであった。  
(別方式では2,913 ~1,898 G (max-35%) 特許出願準備中)
  - ・ X :  $\pm 4$  mm、Y :  $\pm 5$  mm、Z :  $\pm 65$  mmの範囲で  
1,000 G  $\pm 1$  %の精度を有する標準磁石として機能することを確認。
- ・ 3次元磁場測定システムを構築した。
  - ・ 可動域 X 500 mm、Y 200 mm、Z 1,500 mm
  - ・ 最大測定磁場 30,000 G、分解能1 Gで磁場測定が可能

ILCをはじめとする大型加速器施設および医療機器などの小型加速器への採用を目指し、引き続き開発を進めてまいります。