



# SPring-8-IIに向けた 挿入光源開発

金城良太、備前輝彦<sup>2</sup>、貴田祐一郎、清家隆光<sup>2</sup>、長谷川照晃、  
鏡畑彰裕<sup>2</sup>、久間正之<sup>2</sup>、岸本輝<sup>2</sup>、大橋治彦<sup>2</sup>、山本樹<sup>3</sup>、田中隆次

*RIKEN SPring-8 Center*

<sup>2</sup> *Japan Synchrotron Research Institute*

<sup>3</sup> *KEK-PF*

# コンテンツ

✓ SPring-8-II概要

✓ 標準真空封止アンジュレータ (IVU-II)

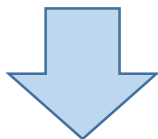
- Helical-8アンジュレータ
- スペクトル分割法を用いた高速偏光切り替え

特殊ビームライン用アンジュレータ

# SPring-8-IIにおける挿入光源の境界条件

## SPring-8

- 20年かけて40台のアンジュレータを製造・インストールしてきた



## SPring-8-II

- 停止期間は1年間

既存アンジュレータ再利用(輝度1/3)  
についてはポスター参照(長谷川WEP018)

標準型IDの諸元

	SP8	SP8-II
Energy	8 GeV	6 GeV
Current	100 mA	*100 mA
Straight section	5.7 m	<b>4.2 m</b>
ID section	4.5 m	<b>3.6 m</b>
Beta function	31.2, 5.0 (NA)	5.5, 3.0
Min. gap	8 mm	<b>5 mm</b>
Period	32 mm	<b>22 mm</b>

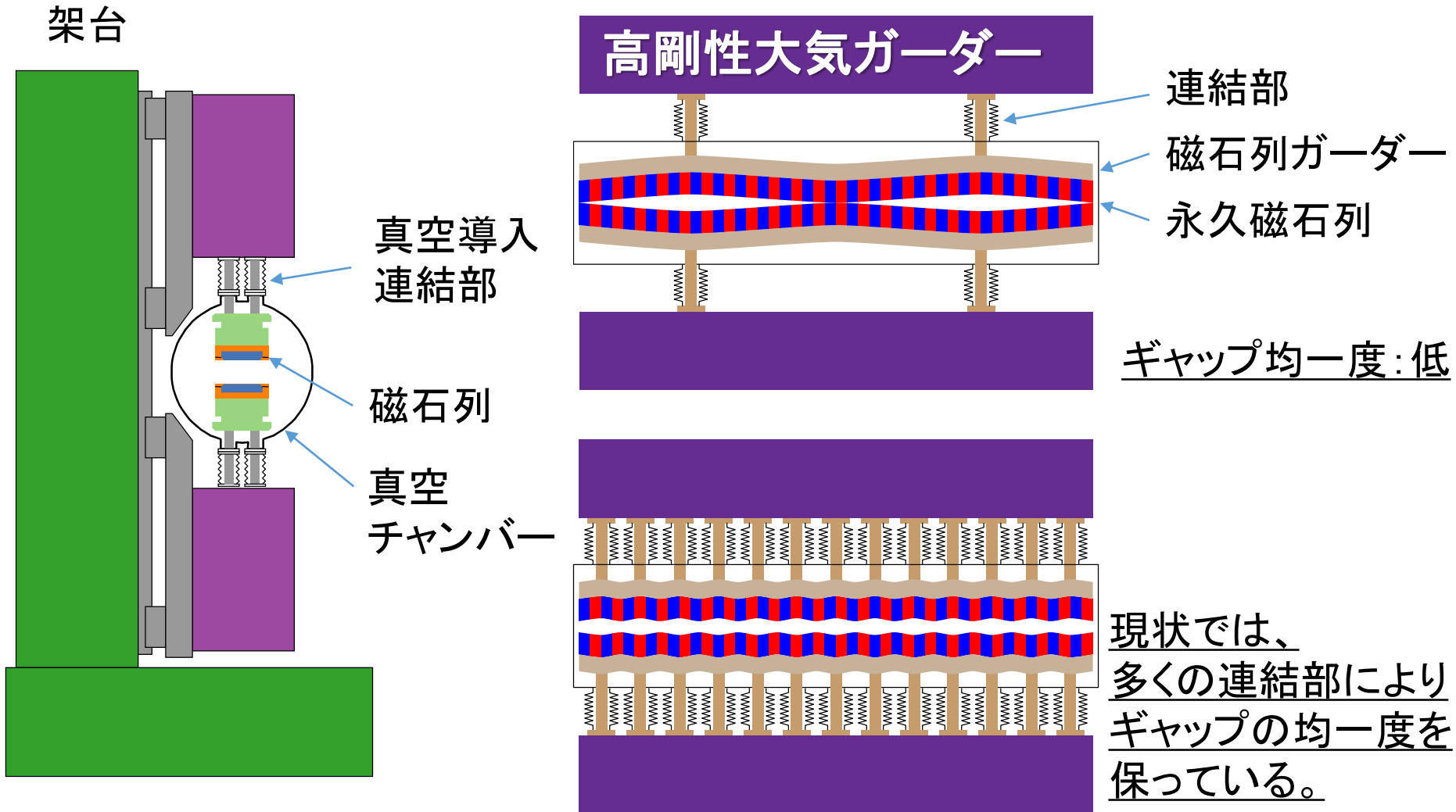
## IDグループのミッション:

40台ものIDの建造、調整、真空引き、収納部内への設置を行うため、磁気回路、機械構造、真空、熱対策、放射線対策、対電子ビーム揺動などのすべてのことを最適化する必要がある

# コンテンツ

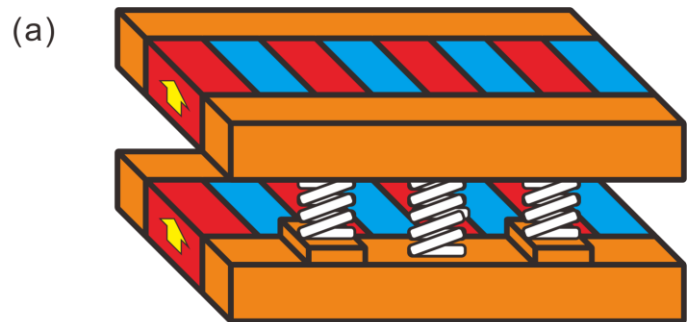
- SPpring-8-li概要
- ✓標準真空封止アンジュレータ(IVU-II)
- Helical-8アンジュレータ
- スペクトル分割法を用いた高速偏光切り替え

# 従来型の真空封止アンジュレータ 重厚長大な架台と多数の真空連結部

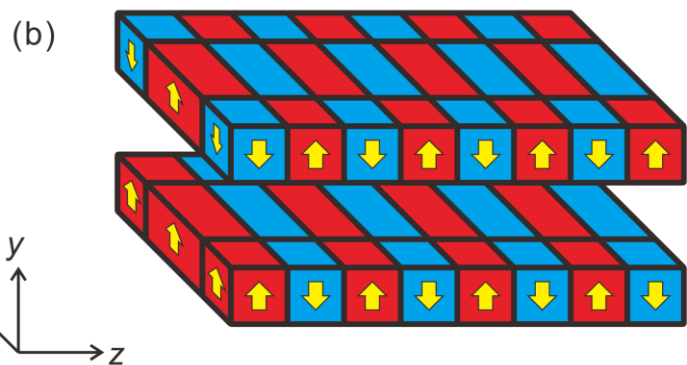


数トンに及ぶ磁気吸引力を相殺することで、機械構造を劇的に単純化

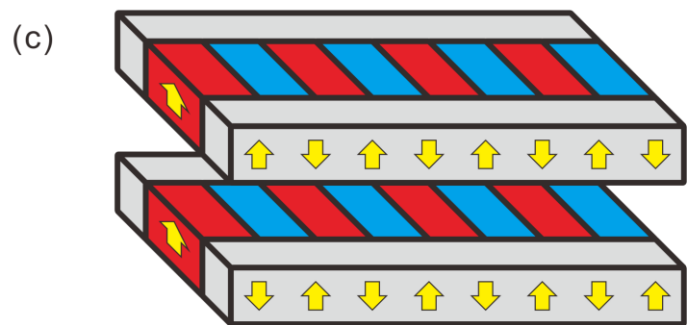
# 多極着磁ブロック (Multipole Monolithic Magnet: MMM) を用いた吸引力相殺機構



長さと効きの異なる反発バネ  
(SOLEIL真空封止ウィグラー)



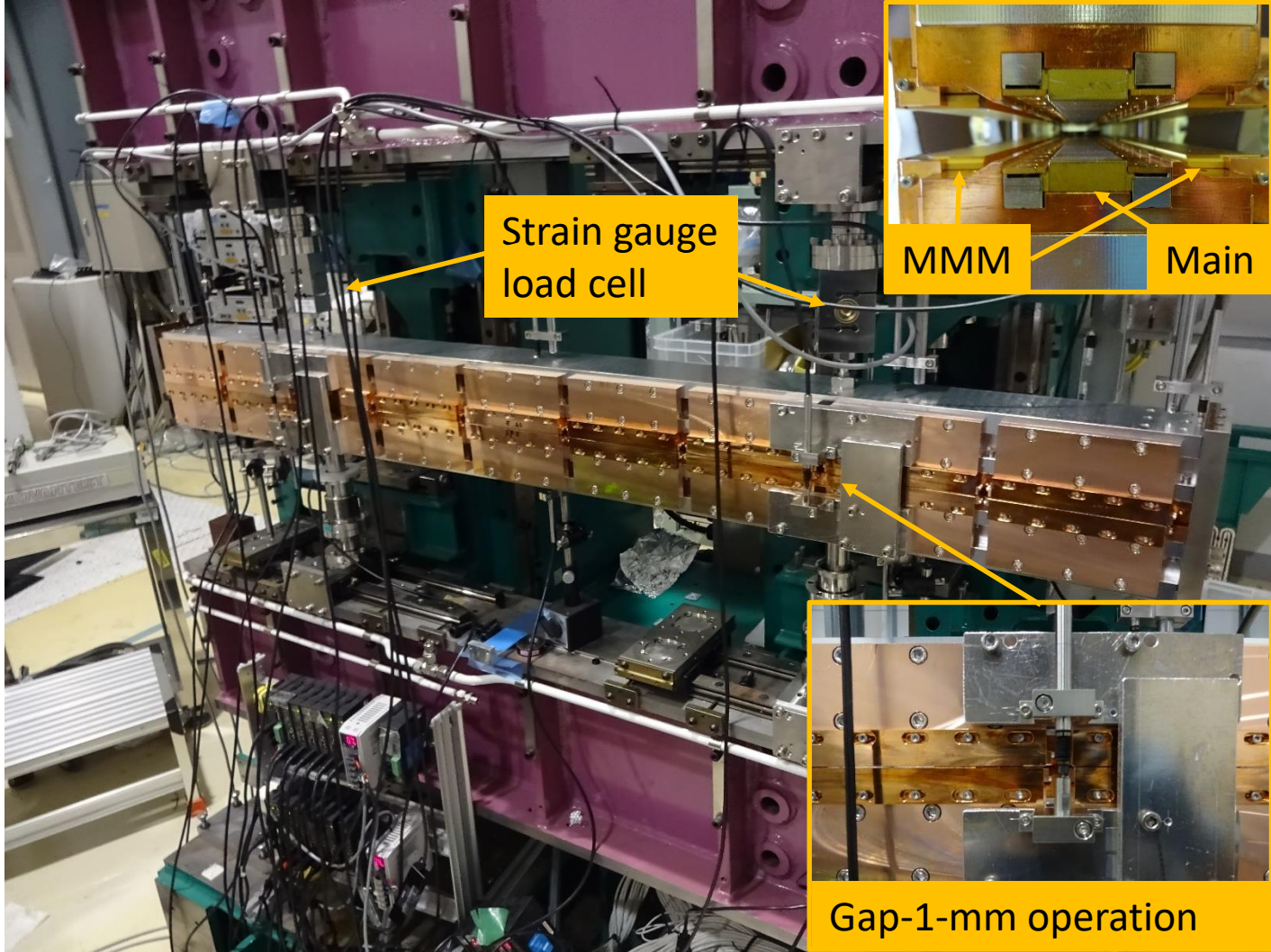
主磁石列と同じ周期を持つ反発磁石列  
(SPring-8真空封止リボルバーアンジュレータ)



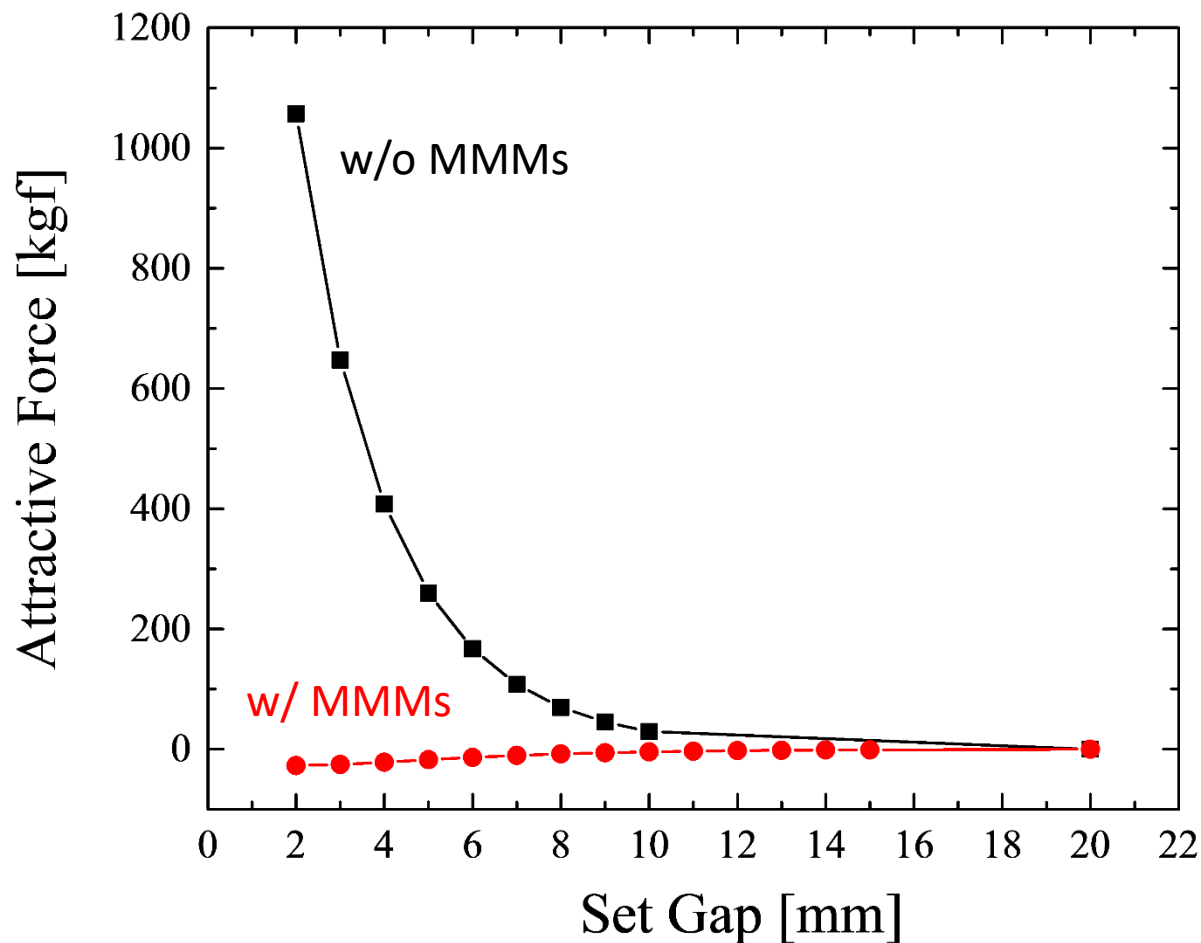
MMMによる反発磁石方式

- ✓ 吸引力と同じギャップ依存性
- ✓ 安価
- ✓ 組立コストが低い
- ✓ 表面積が小さいのでガス放出が少ない

# 吸引力測定ベンチにおける 吸引力相殺機構の実証実験



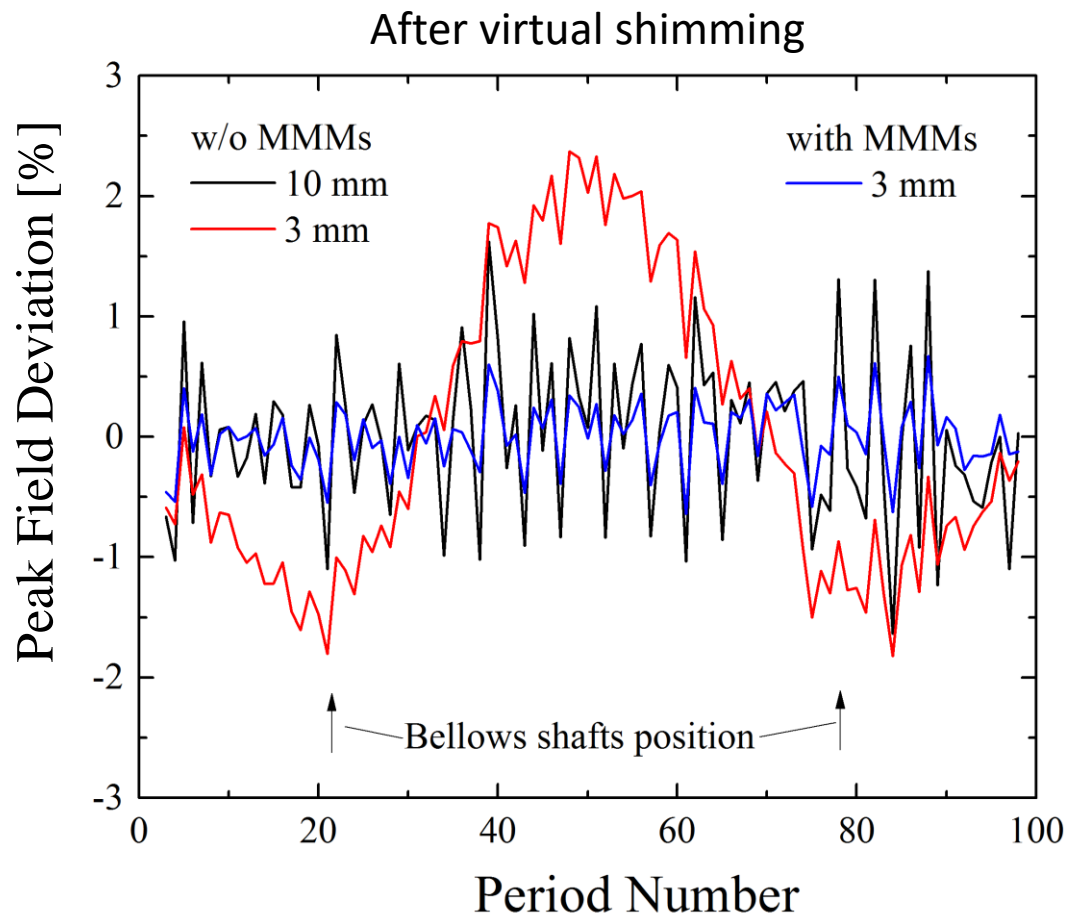
# MMMによる吸引力低減効果



吸引力+反発力は磁石列の自重以下まで抑え込めている



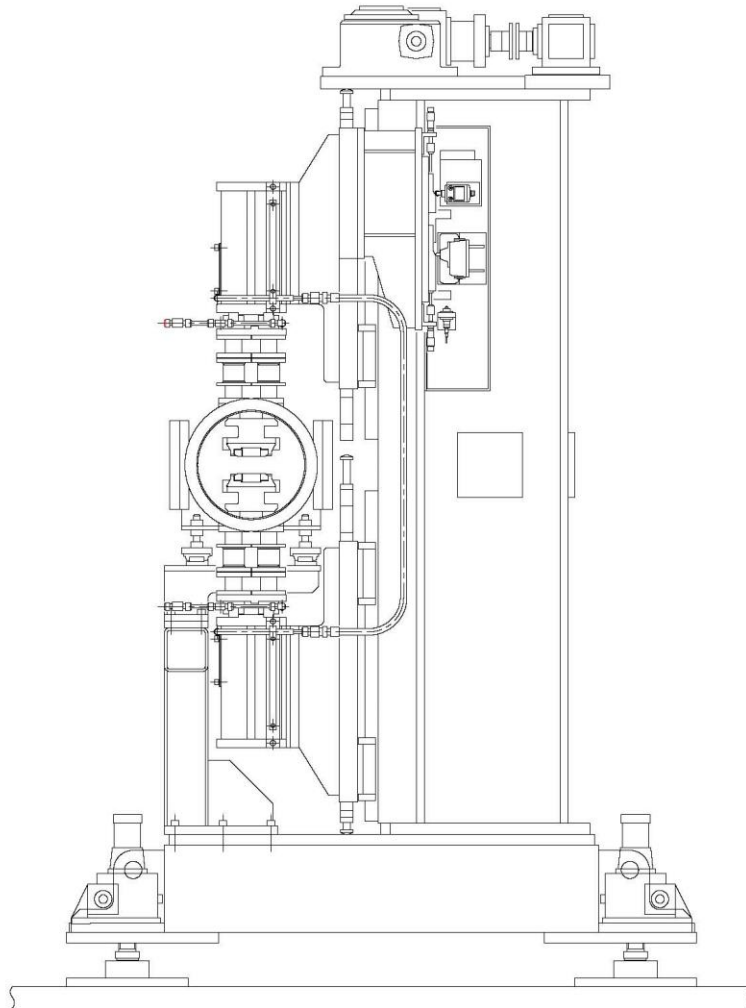
# MMMなし／ありでのピーク磁場分布



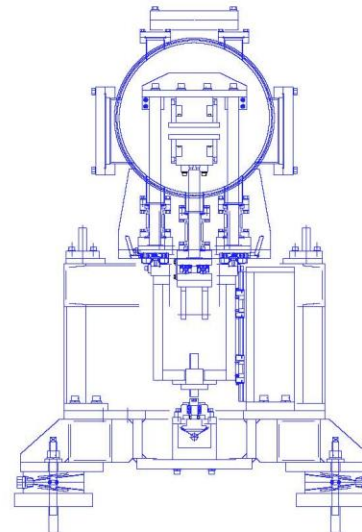
吸引力相殺機構によって、2点の支持点でも磁石列ガーダの吸引力によるたわみが解消された

# 吸引力相殺機構に基づく 軽量コンパクトアンジュレータ架台

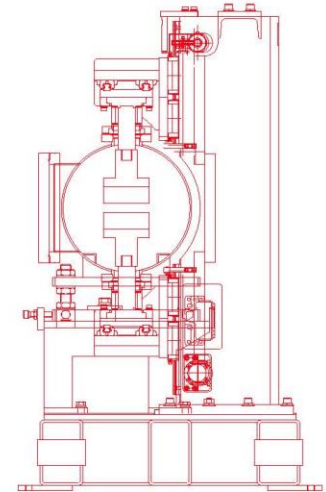
従来のIVU



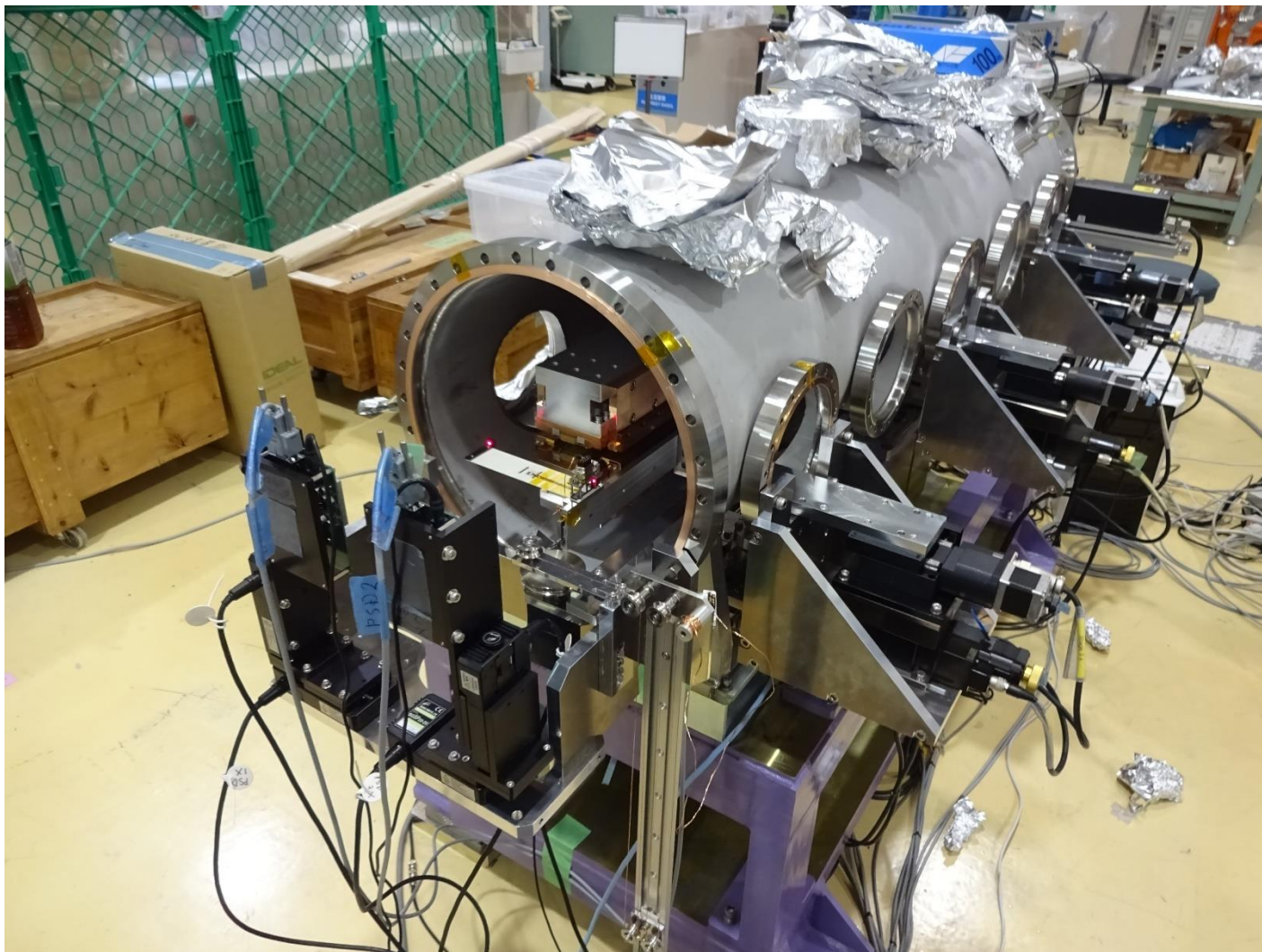
Prototype A



Prototype B



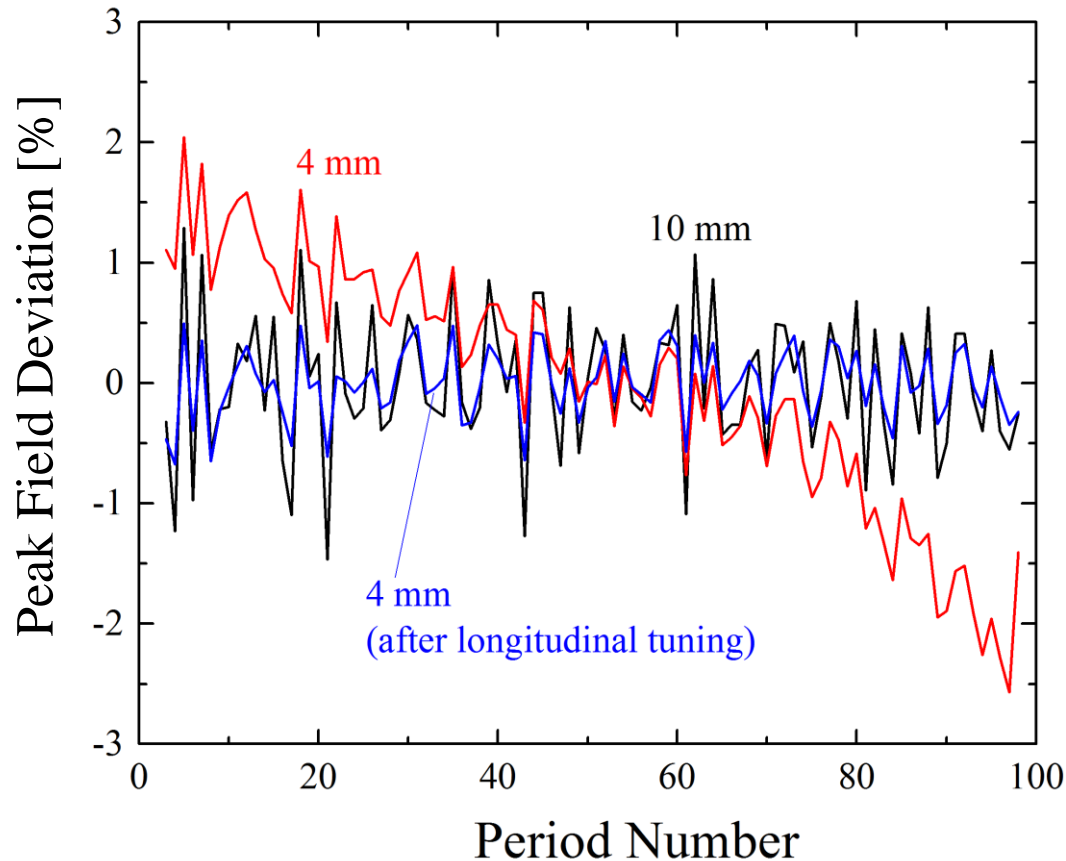
# プロトタイプA (SAFALIによるその場磁場計測中)



# プロトタイプB (SAFALIによるその場磁場計測中)



# プロトタイプAでのピーク磁場分布

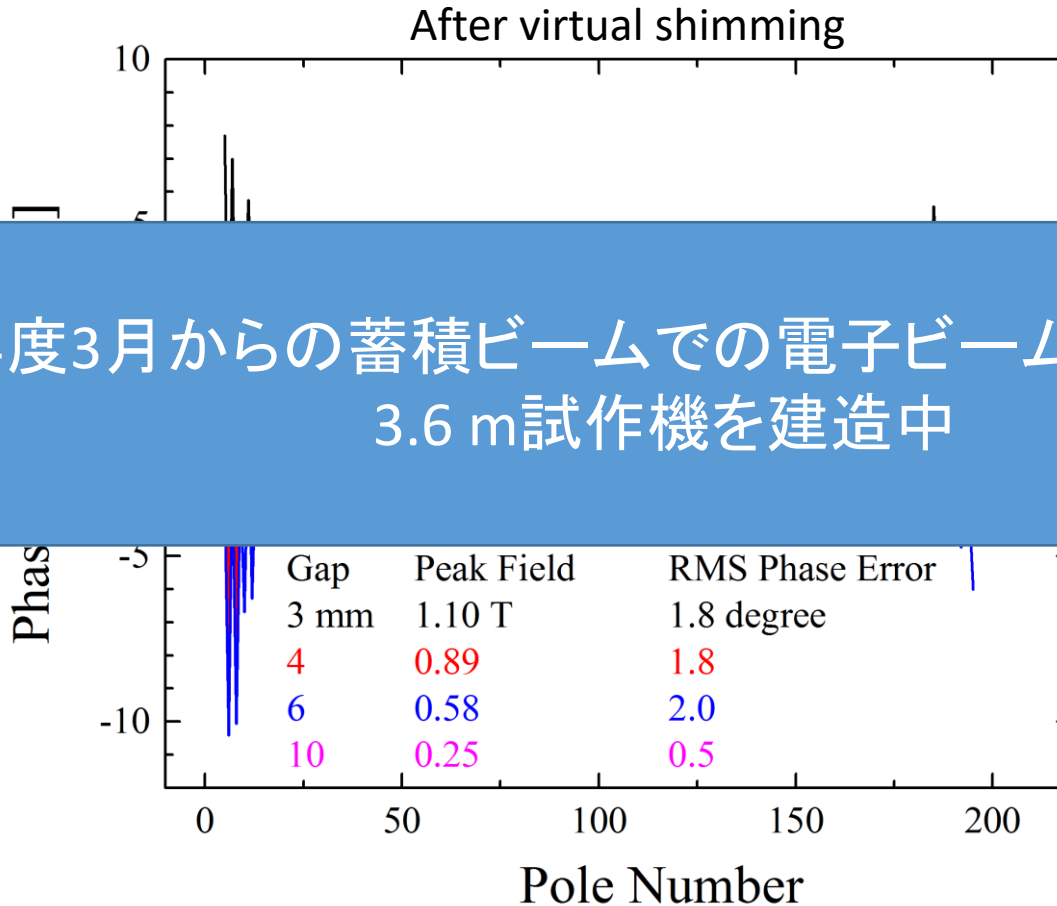


ミスアラインメントが大きなz方向のせんだん力を生む

- 主磁石列の上下の磁石列の位相が一致
- 反発磁石の上下の磁石列の位相が一致している必要



# プロトタイプAにおける位相誤差の分布



今年度3月からの蓄積ビームでの電子ビーム試験に向けて  
3.6 m試作機を建造中

- ✓ RMS位相誤差はすべてのギャップで $2^\circ$  以下となった
- ✓ ほぼ同じ結果がプロトタイプBでも得られている

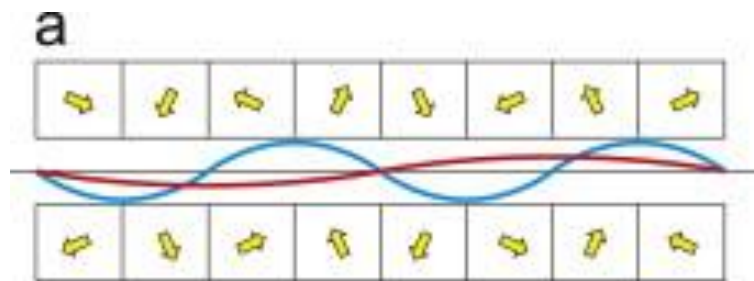
# コンテンツ

- SPring-8-II概要
- 標準真空封止アンジュレータ(IVU-II)
- ✓ Helical-8アンジュレータ
- スペクトル分割法を用いた高速偏光切り替え

特殊ビームライン用アンジュレータ

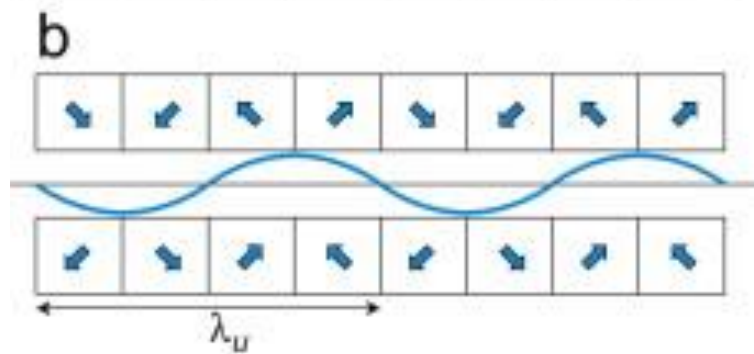
あらゆる偏光モードで軸上熱負荷を抑制するアンジュレータ

# 背景：複合周期アンジュレータ

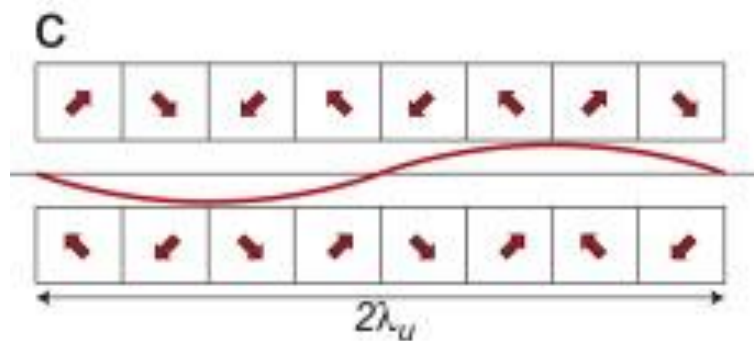


↑  
ギャップ駆動  
↓

→  
位相駆動  
←

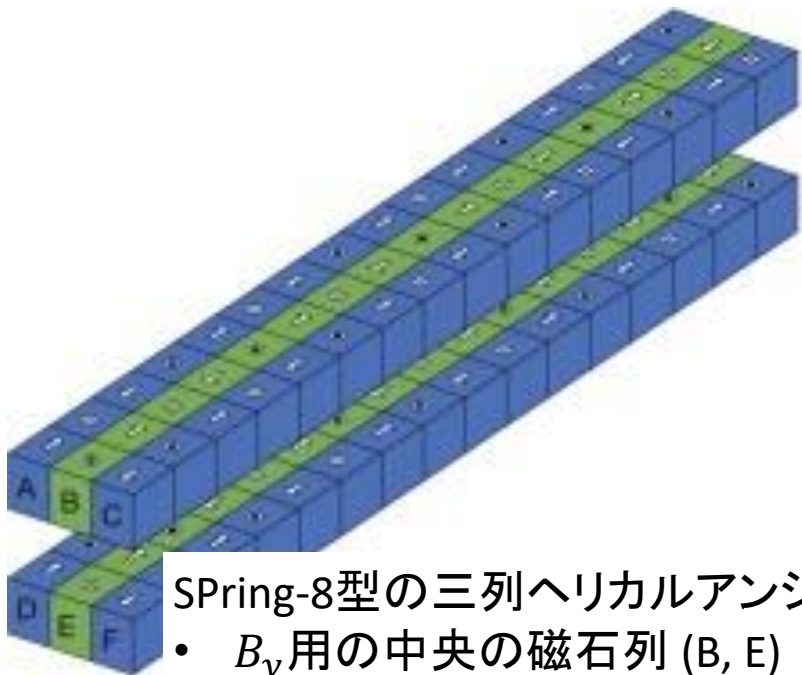


複合周期アンジュレータ  
= 位相駆動によって  
基本周期と倍周期を切り替え





# Halbach ( $B_y$ ) + 複合周期アンジュレータ( $B_x$ ) = Helical-8アンジュレータ



SPring-8型の三列ヘリカルアンジュレータ

- $B_y$ 用の中央の磁石列 (B, E)
- $B_x$ 用のサイド磁石列 (A, C, D, E)

Helical-8アンジュレータではサイド磁石列が複合周期アンジュレータになっており、周期長が可変

Helical mode

$B_y$  period:  $\lambda_u$

$B_x$  period:  $\lambda_u$

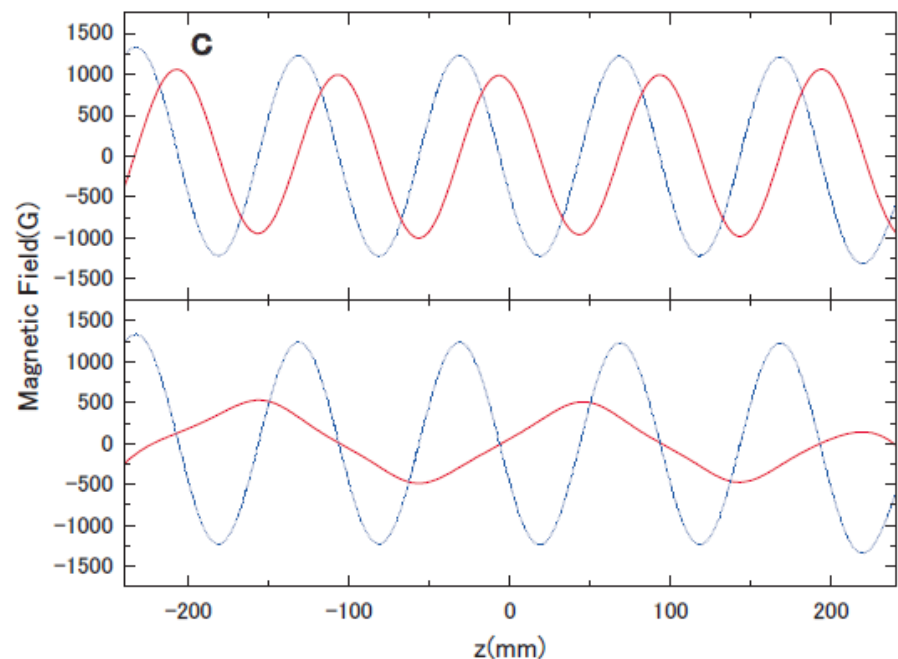


Figure-8 mode

$B_y$  period:  $\lambda_u$

$B_x$  period:  $2\lambda_u$

# 計測した磁場分布と磁場から計算した電子ビームの軌道およびパワー分布

Helical mode

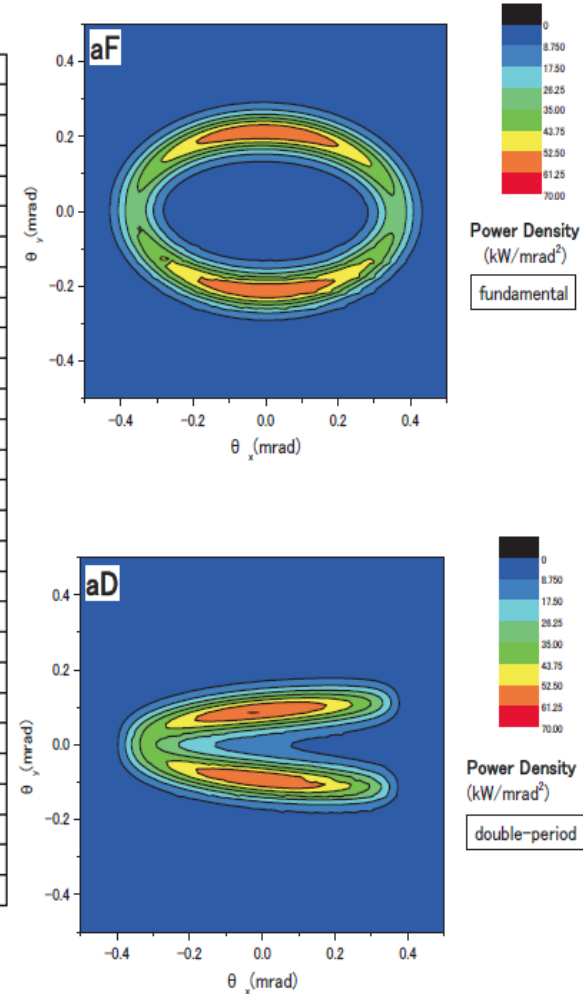
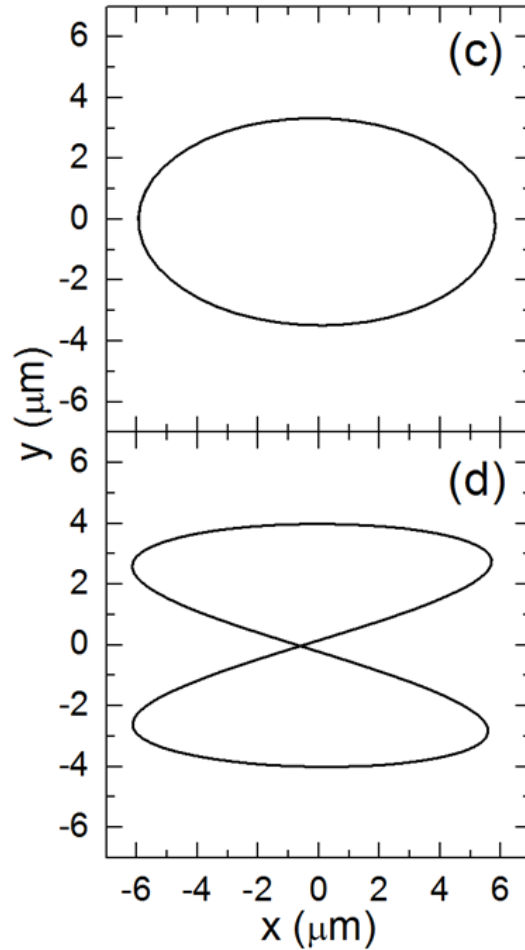
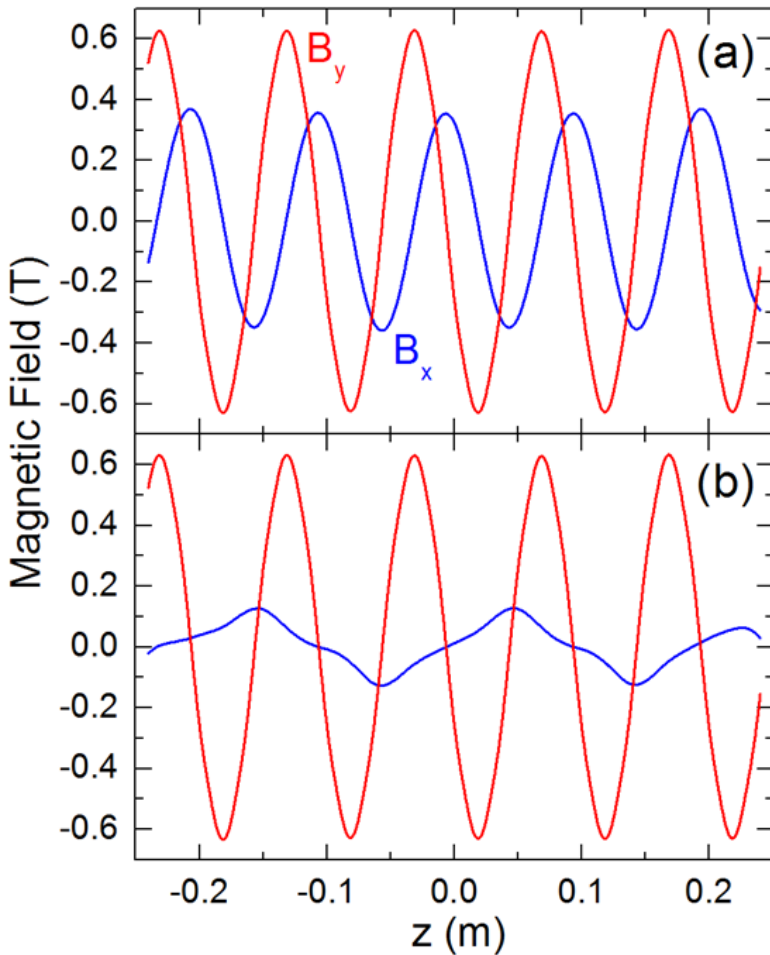
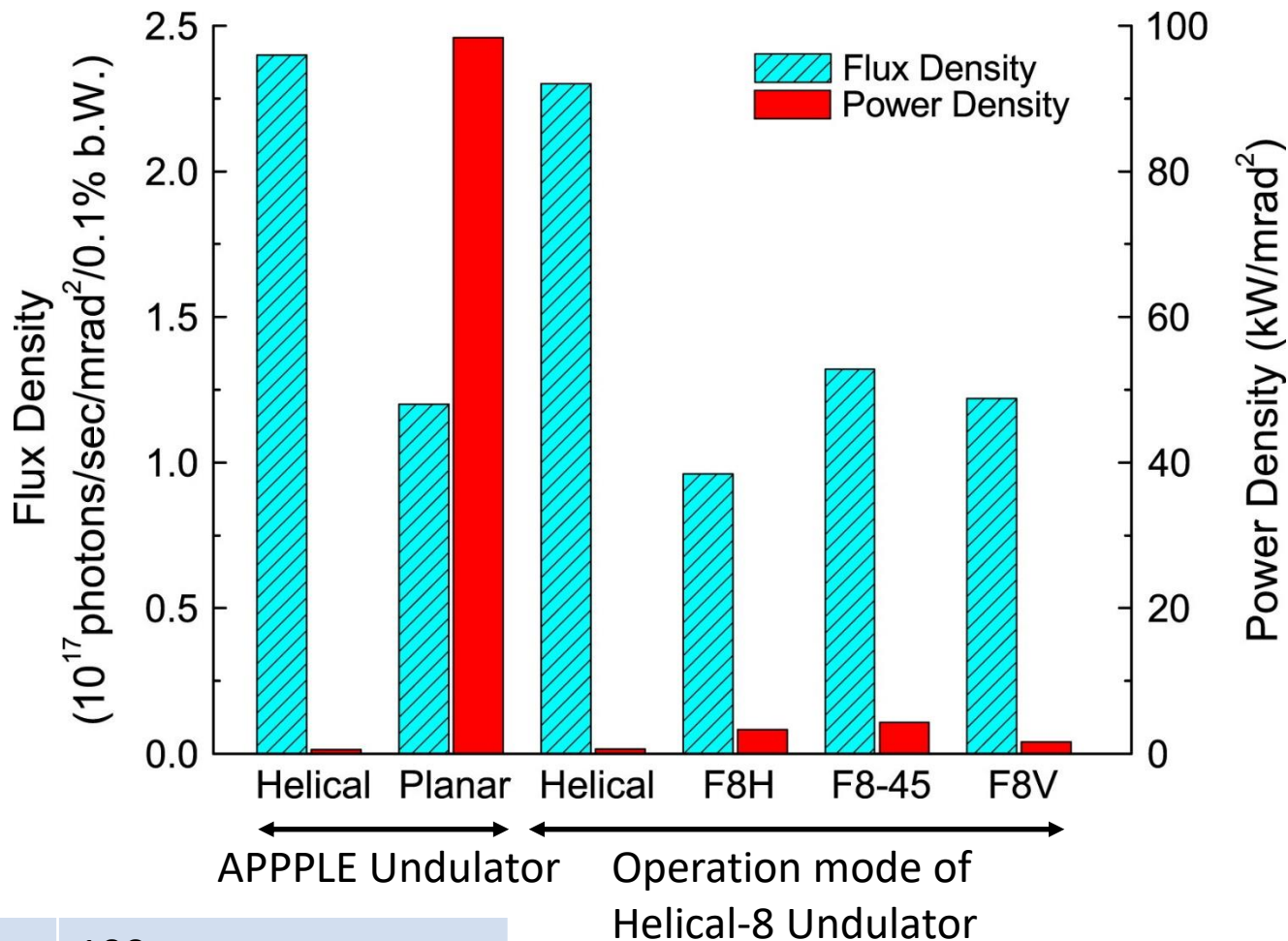


Figure-8 mode

# パフォーマンスの比較



Period	100 mm
No. of periods	44
Magnet length	4.4 m
Fundamental energy	500 eV

# コンテンツ

- SPring-8-II概要
- 標準真空封止アンジュレータ(IVU-II)
- Helical-8アンジュレータ
- ✓スペクトル分割法を用いた高速偏光切り替え

特殊ビームライン用アンジュレータ

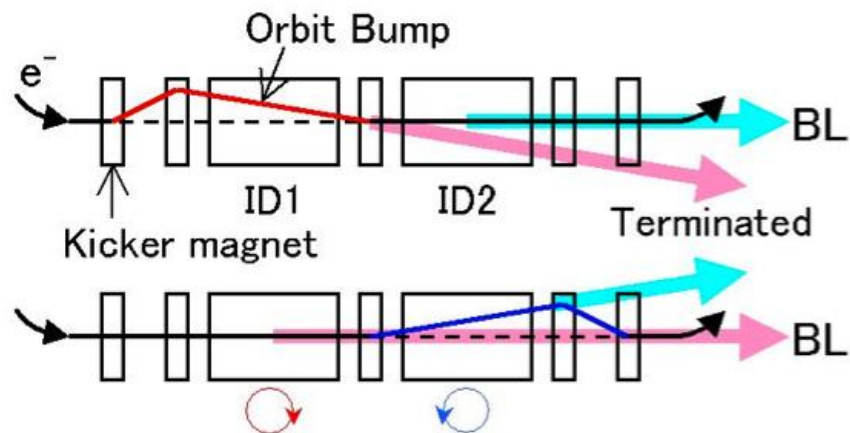
# 背景

- X-ray Magnetic Circular Dichroism (XMCD)
  - 多磁性元素からなる系の元素選択的分析に効果的
  - 高速なスイッチングによって不純物を含む小さい磁化の測定にも高い S/N ratioを達成
- Hard X-ray (> 5 keV)
  - ダイヤモンド位相子による高速偏光切り替え(数10 – 100 Hz)が実現
- Soft X-ray
  - 広いスペクトルをカバーするよい位相子がない



光源側での偏光制御の必要性

# 軟X線領域における高速偏光切り替え



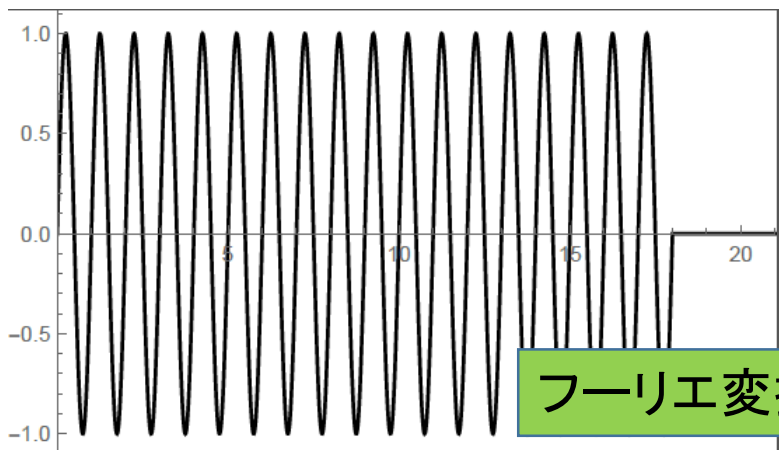
SPring-8 BL23SU / BL25SUで採用されている高速キッカーメソッド

- これまで多くの成果を上げてきている
- キッカーによるバンプ軌道が大きいためCODの補正が非常に大変
- また、キッカーのドリフトスペースが必要で有効ID長が失われるため、もともと直線部の長さが4.2 mしかないSPring-8-IIIには不向き

➡ 新しい高速偏光切り替え手法の必要性

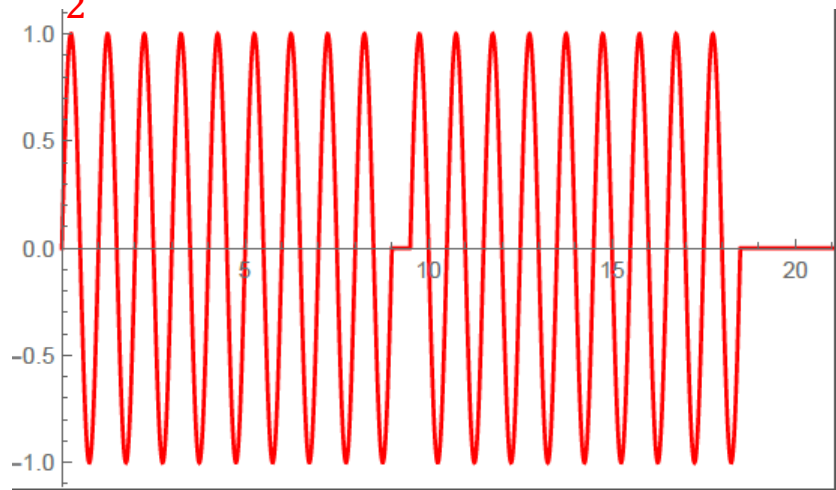
# スペクトル分割法の原理

ひとつの波束

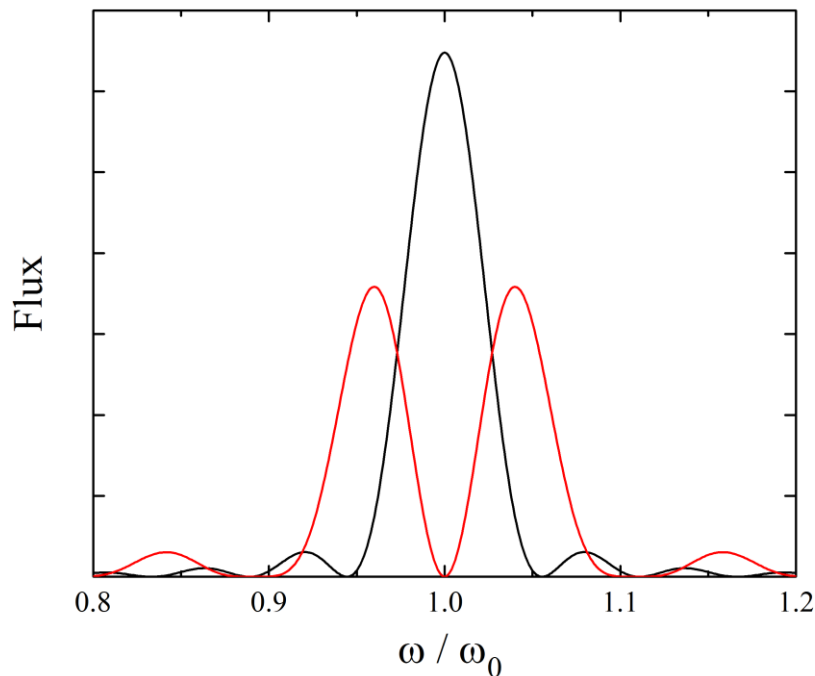


フーリエ変換

$\frac{\lambda_1}{2}$  のスペースを持つ二つの波束



Frequency Spectrum



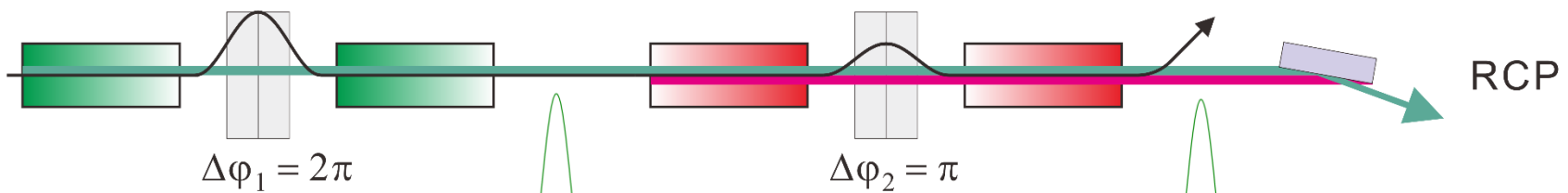
$\frac{1}{2} \lambda_1$  の間隔を二つの波の間に設けることによって、基本波でのスペクトルを分割

# スペクトル分割法による高速偏光切り替え

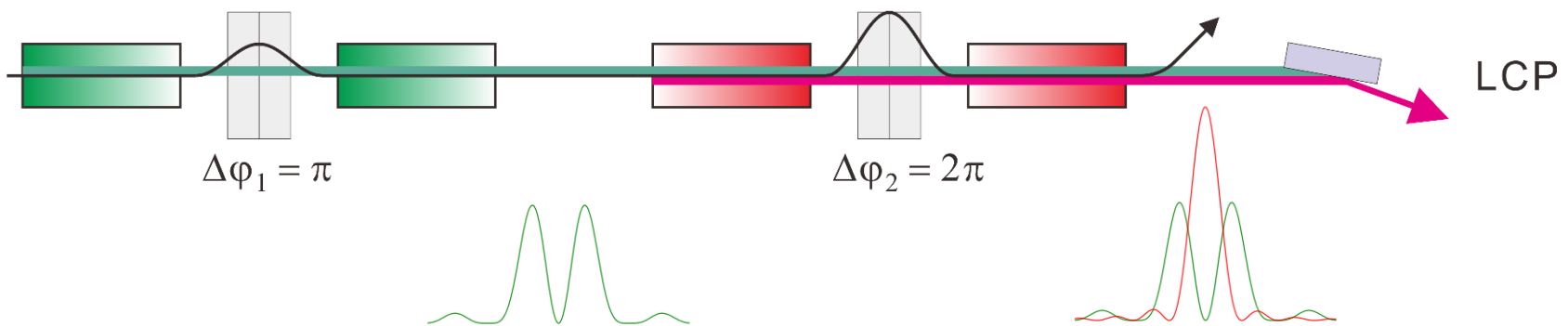
R. Kinjo and T. Tanaka, J. Synchrotron Radiant., 23 (2017) pp. 751—757



(a) RCP



(b) LCP



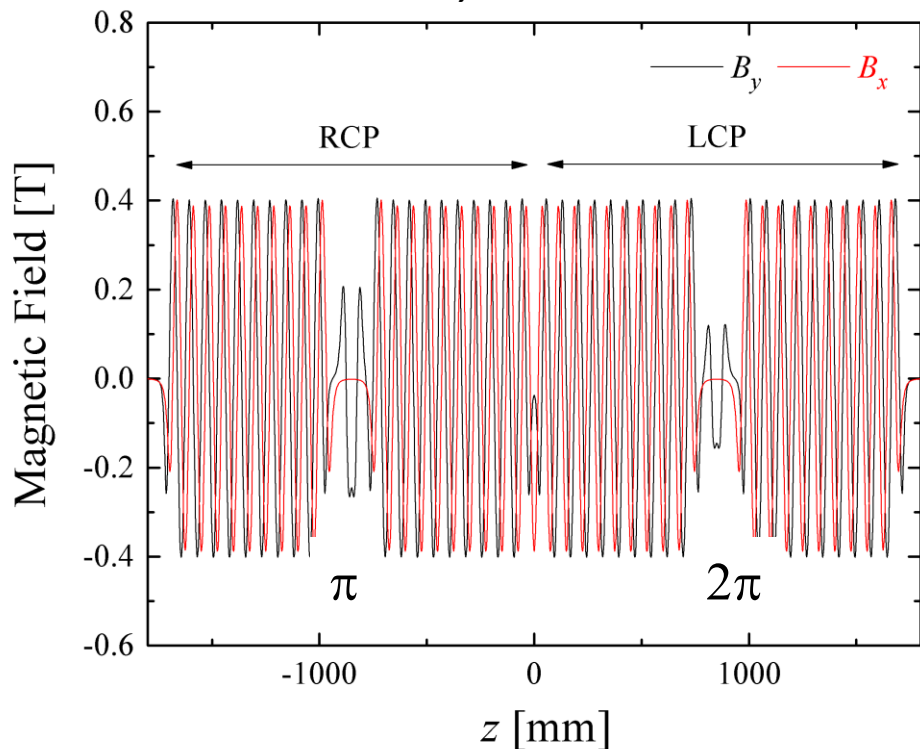
- ✓ 電磁石フェーズシフターによるローカルバンプは、キッカーによるものより小さく、また軌道もフェーズシフター内で閉じている為、高速動作してもCODが小さい<sup>24</sup>



# シミュレーション結果

$$\lambda_u = 75 \text{ mm}, g = 20 \text{ mm}$$

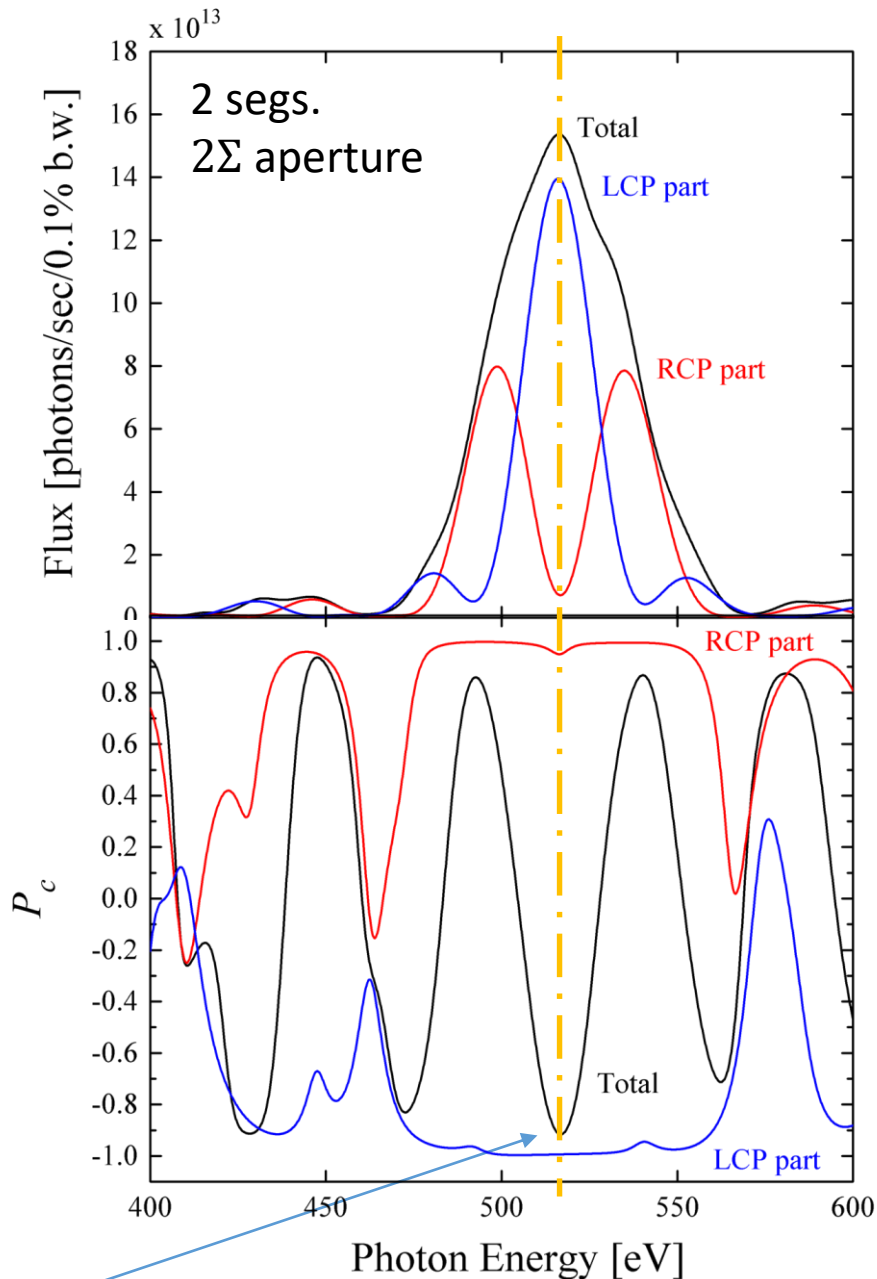
$$K_x = 2.76, K_y = 2.84$$



$$P_C = S_3 / S_0$$

$S_3$ : RCP - LCP

$S_0$ : Intensity



✓ 基本波のエネルギーで90%近い円偏光度を得られている

# Summary

- 標準真空封止アンジュレータ (IVU-II)
  - MMMを用いた吸引力相殺機構の実証実験に成功
  - 吸引力相機構を前提とした軽量コンパクトアンジュレータの試作機で実用的な磁場性能を達成
- 特殊ビームライン向けアンジュレータの紹介
  - Helical-8アンジュレータ
  - スペクトル分割法を用いた高速偏光切り替え