

「量子ビーム基盤技術研究開発プログラム」シンポジウム  
2010年2月25日 東京

U V S O R F A C I L I T Y  
INSTITUTE FOR MOLECULAR SCIENCE

# リング型光源とレーザーを用いた 光発生とその応用

加藤政博

自然科学研究機構 分子科学研究所  
極端紫外光研究施設

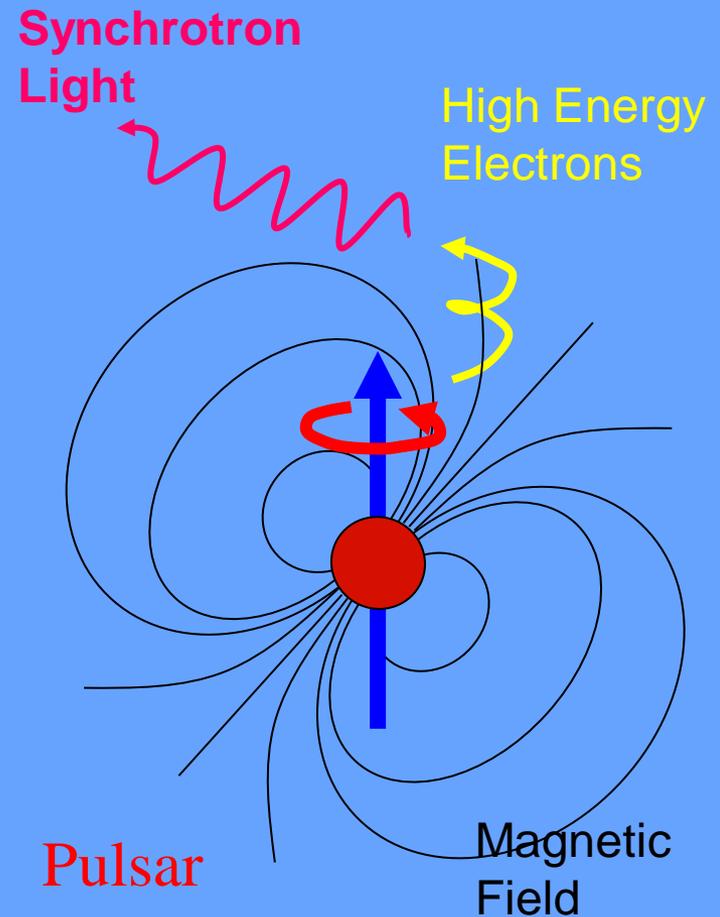
# Synchrotron Light in the Sky

Crab Nebula; A Super-nova Remnant  
The super-nova explosion was observed in AD1054.

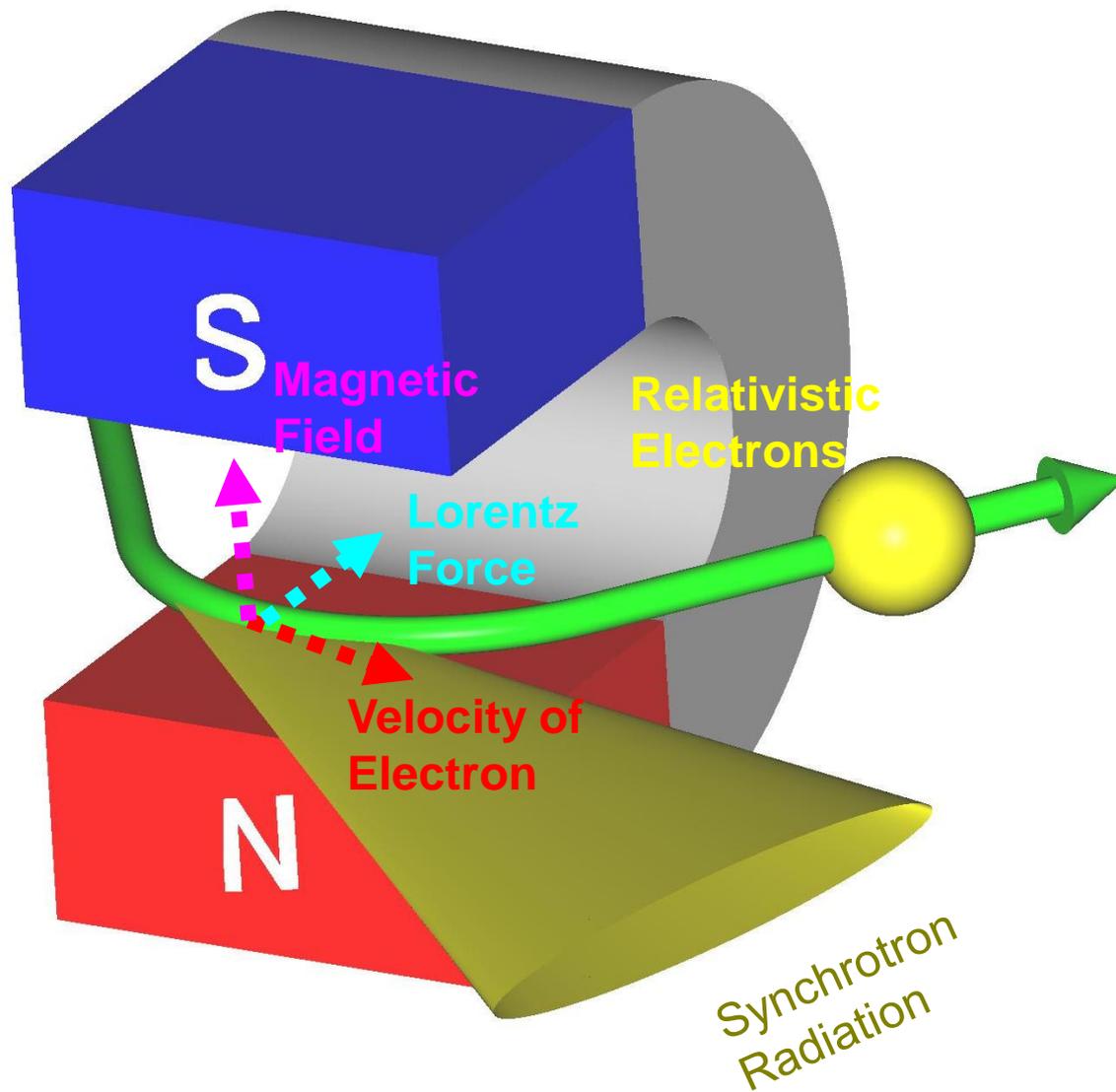


<http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/>

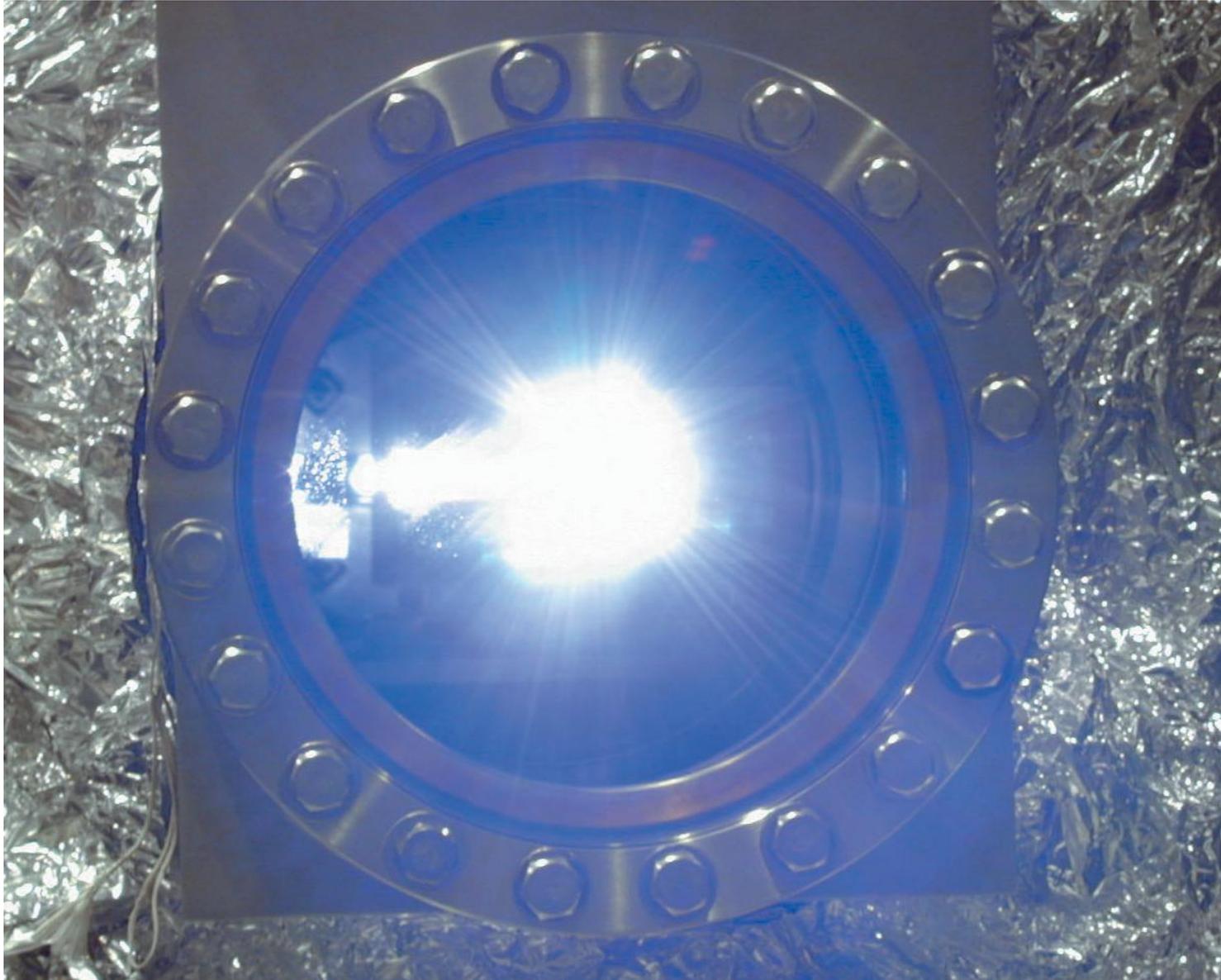
What is Pulsar?  
Magnetized Neutron Star  
Diameter 10 km  
Surface Magnetic Field  
 $10^{12}$ Gauss  
Rotating Period 33 msec



# Synchrotron Radiation



# Synchrotron Light on the Earth

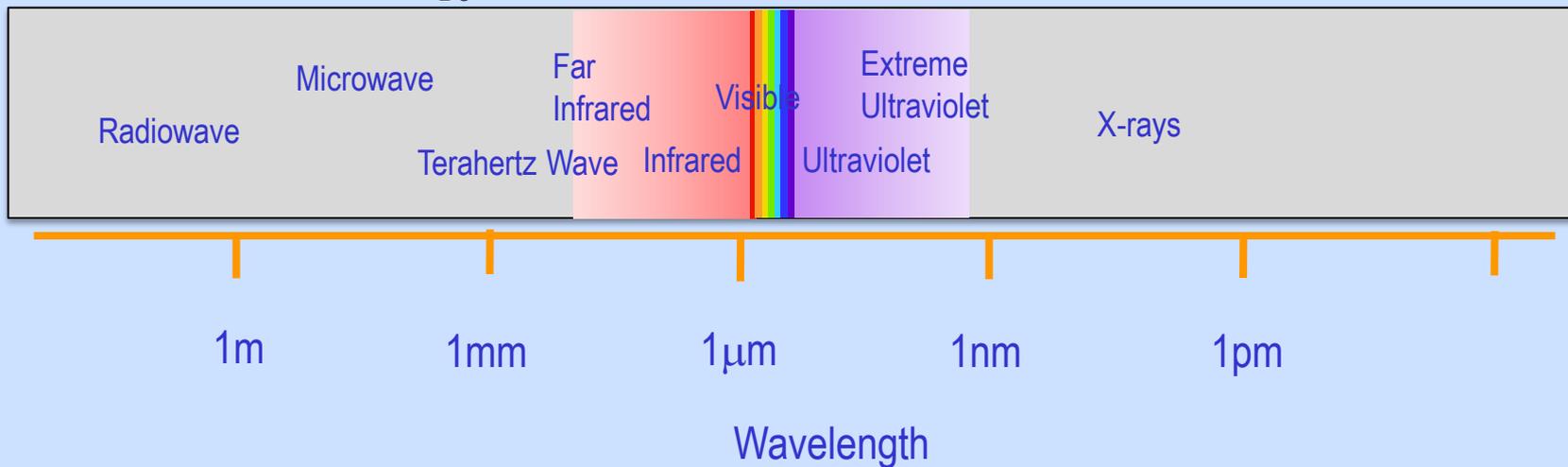
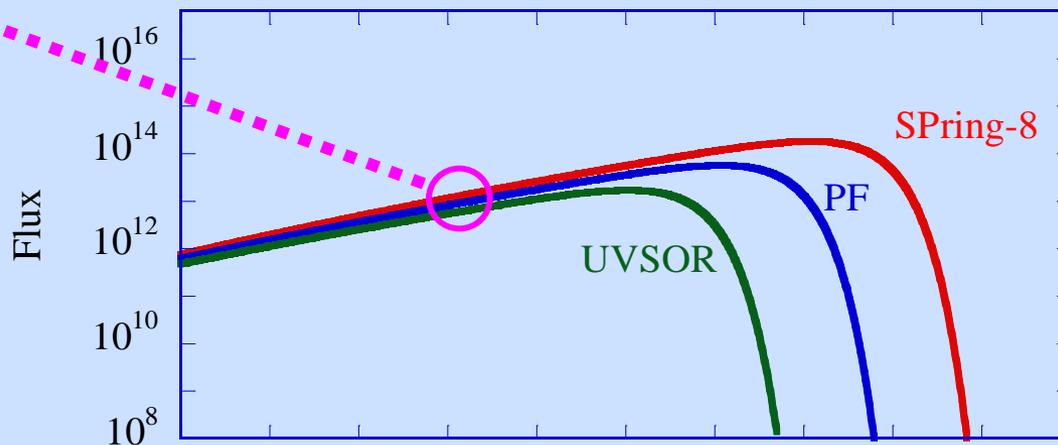
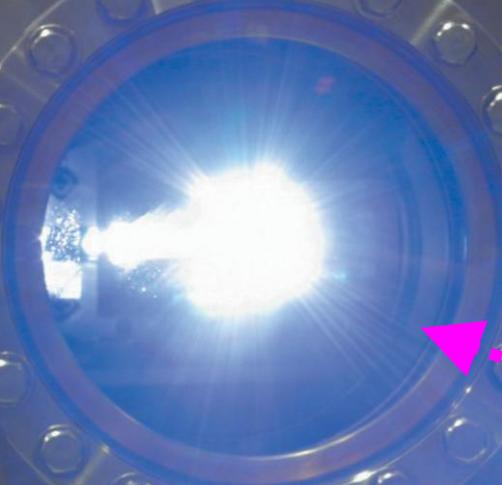


# Characteristics of Synchrotron Light

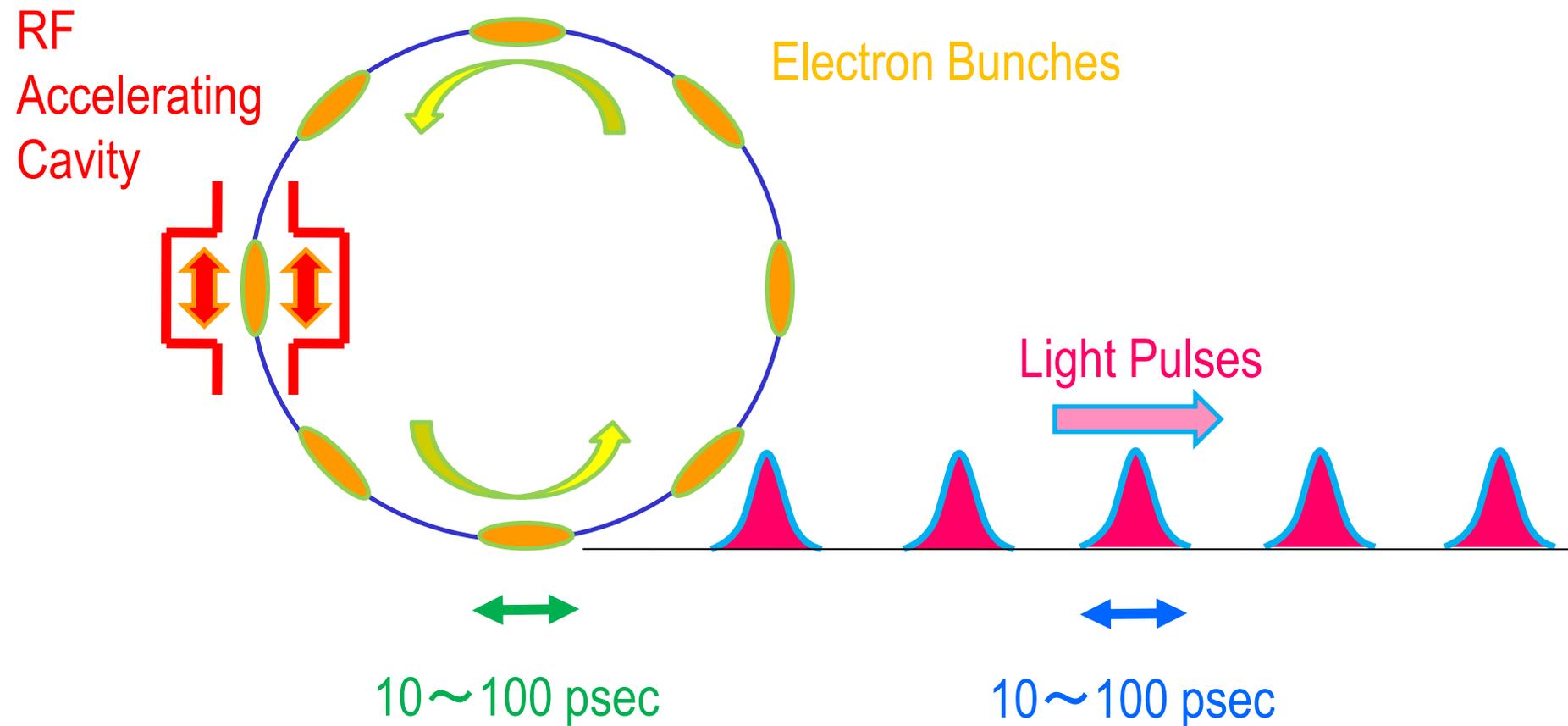
- Intense
- Collimated
- Broadband
- Polarized
- Pulsed



# Broadband from millimeter wave to X-rays

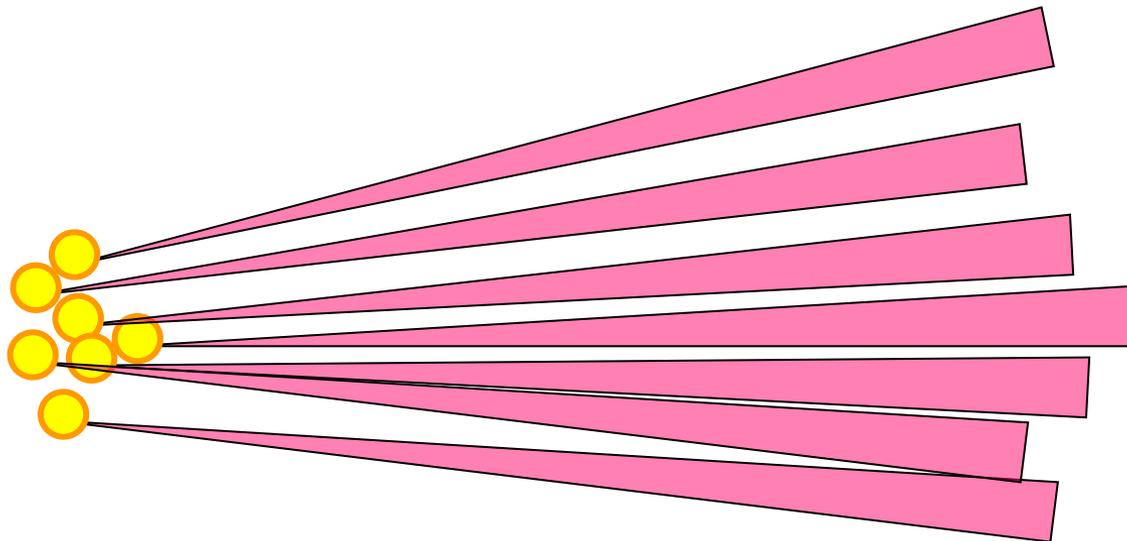


# Time Structure of Synchrotron Light

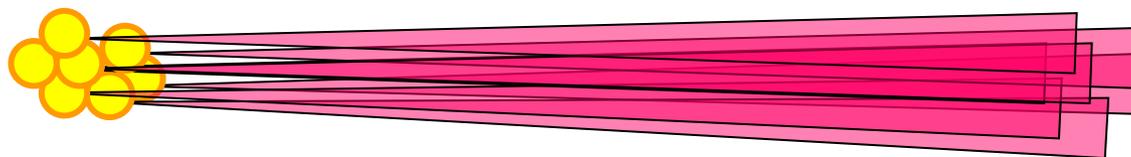


# Brightness of Synchrotron Light

High emittance  
electron beam



Low emittance  
electron beam

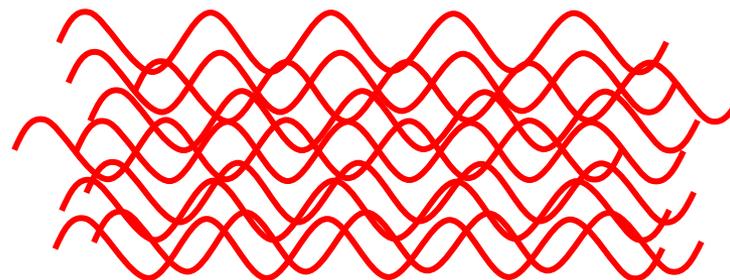


Emittance = Beam Size x Divergence

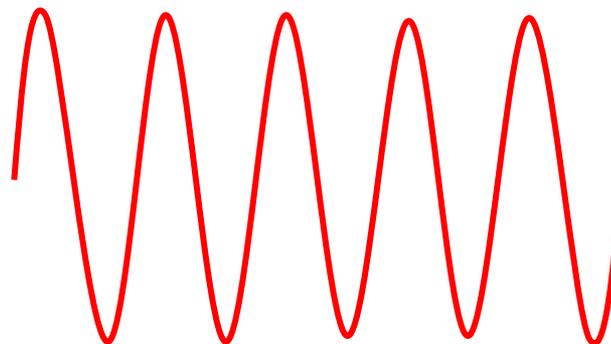


# Temporal Coherence of Synchrotron Light

Synchrotron Light

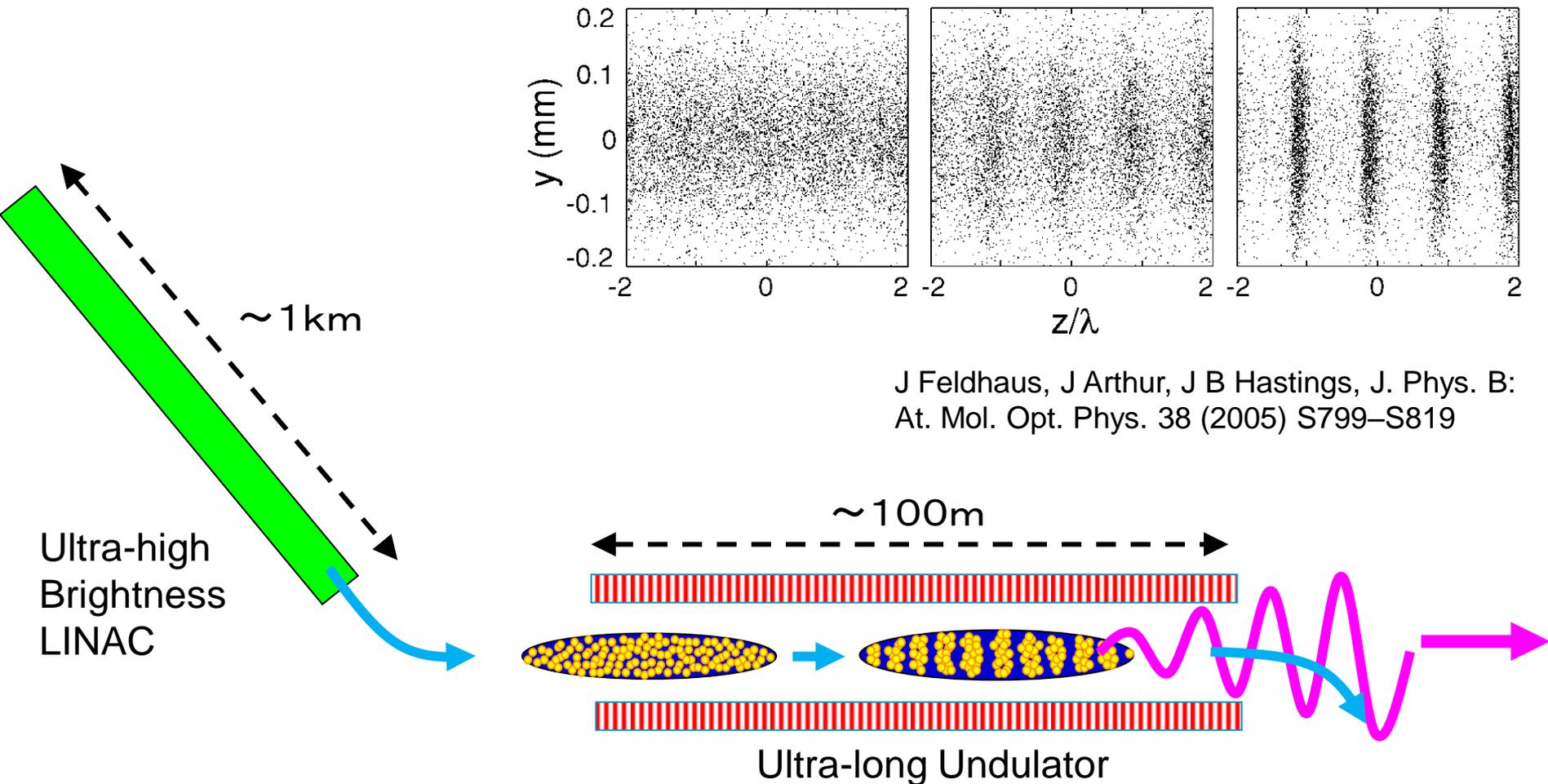


Laser

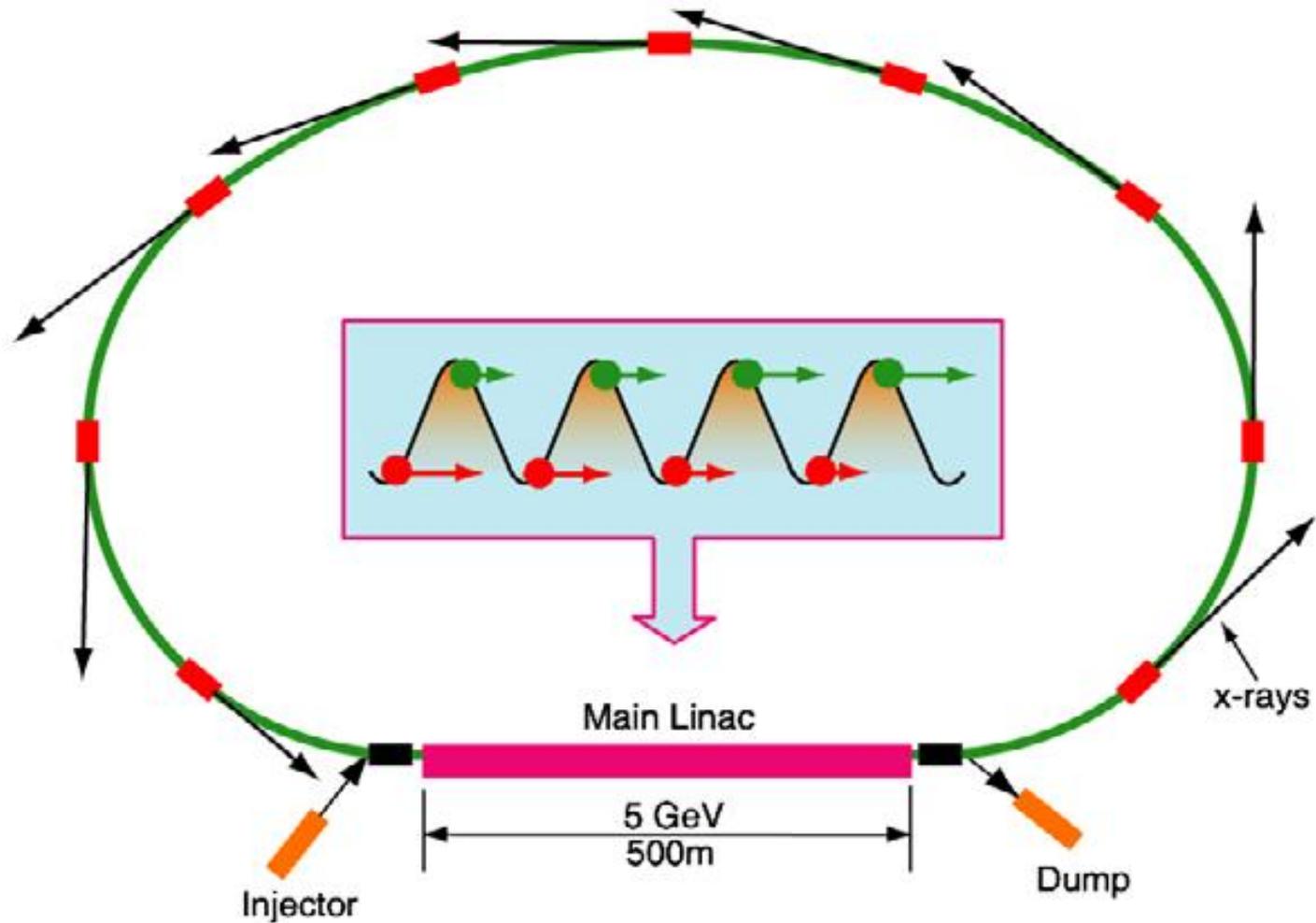


# Single Pass X-ray Free Electron Laser

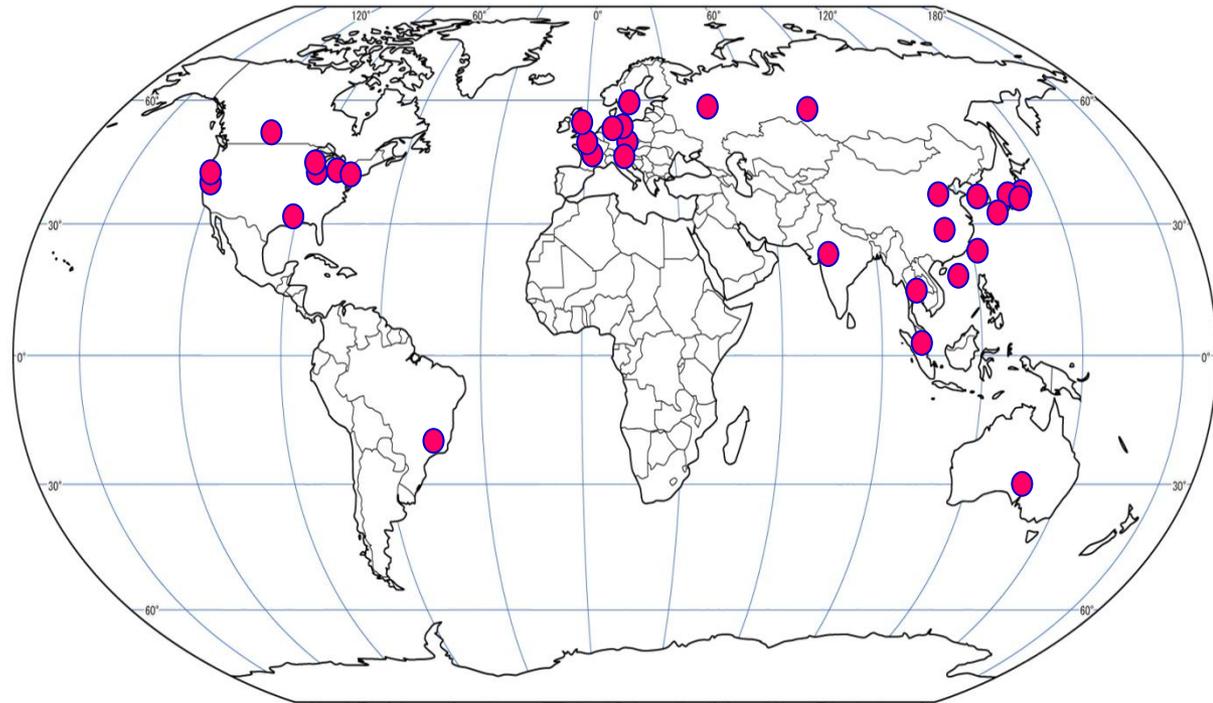
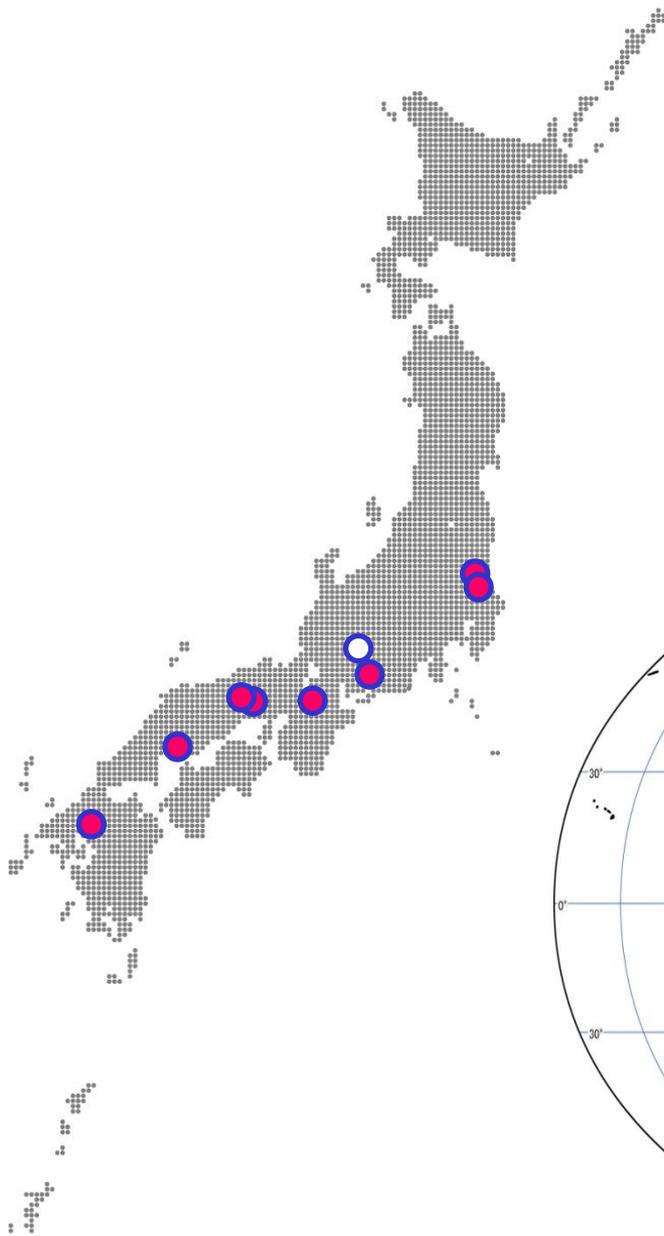
based on Self-Amplified Spontaneous Emission (SASE) Principle



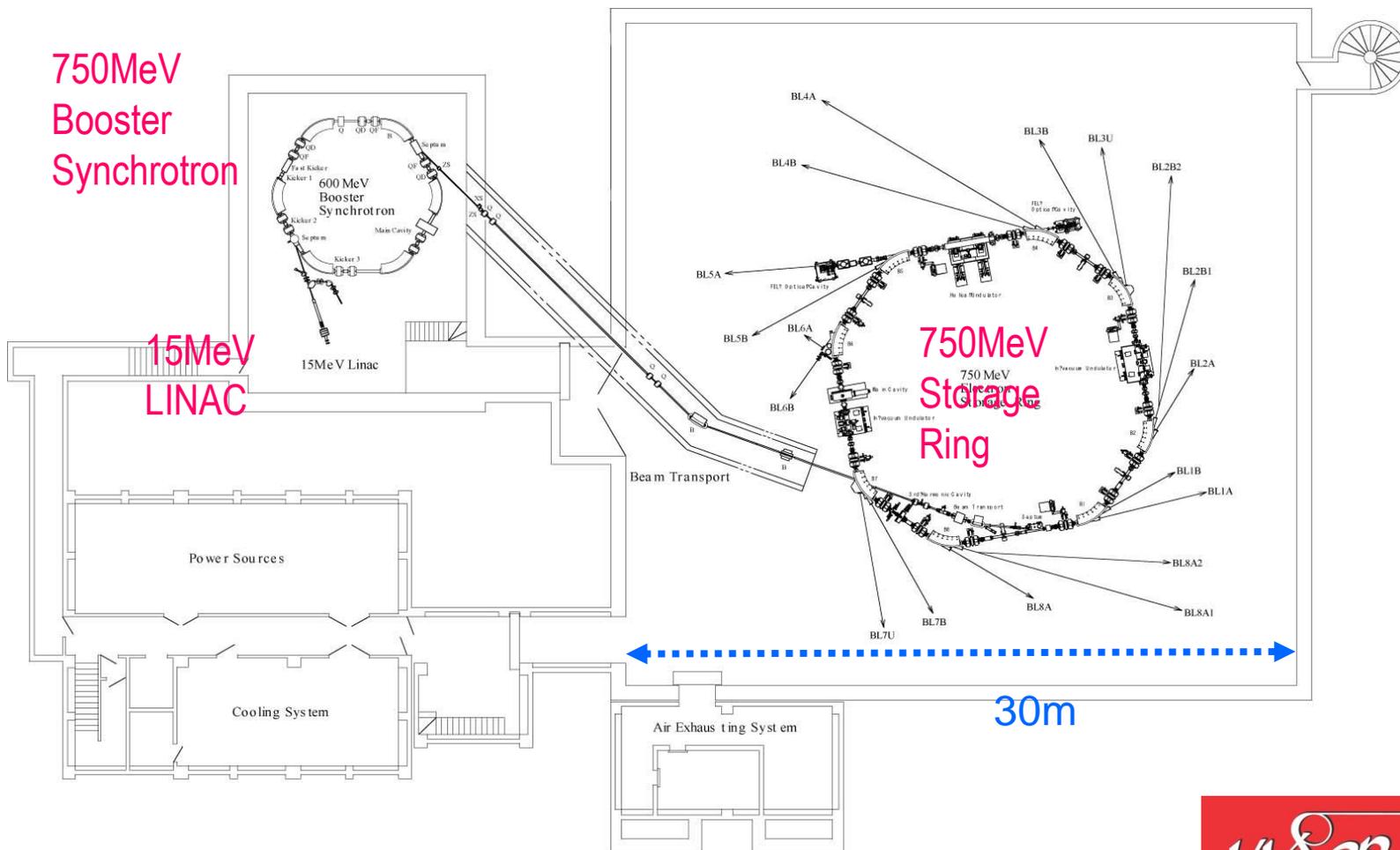
# Energy Recovery Linac



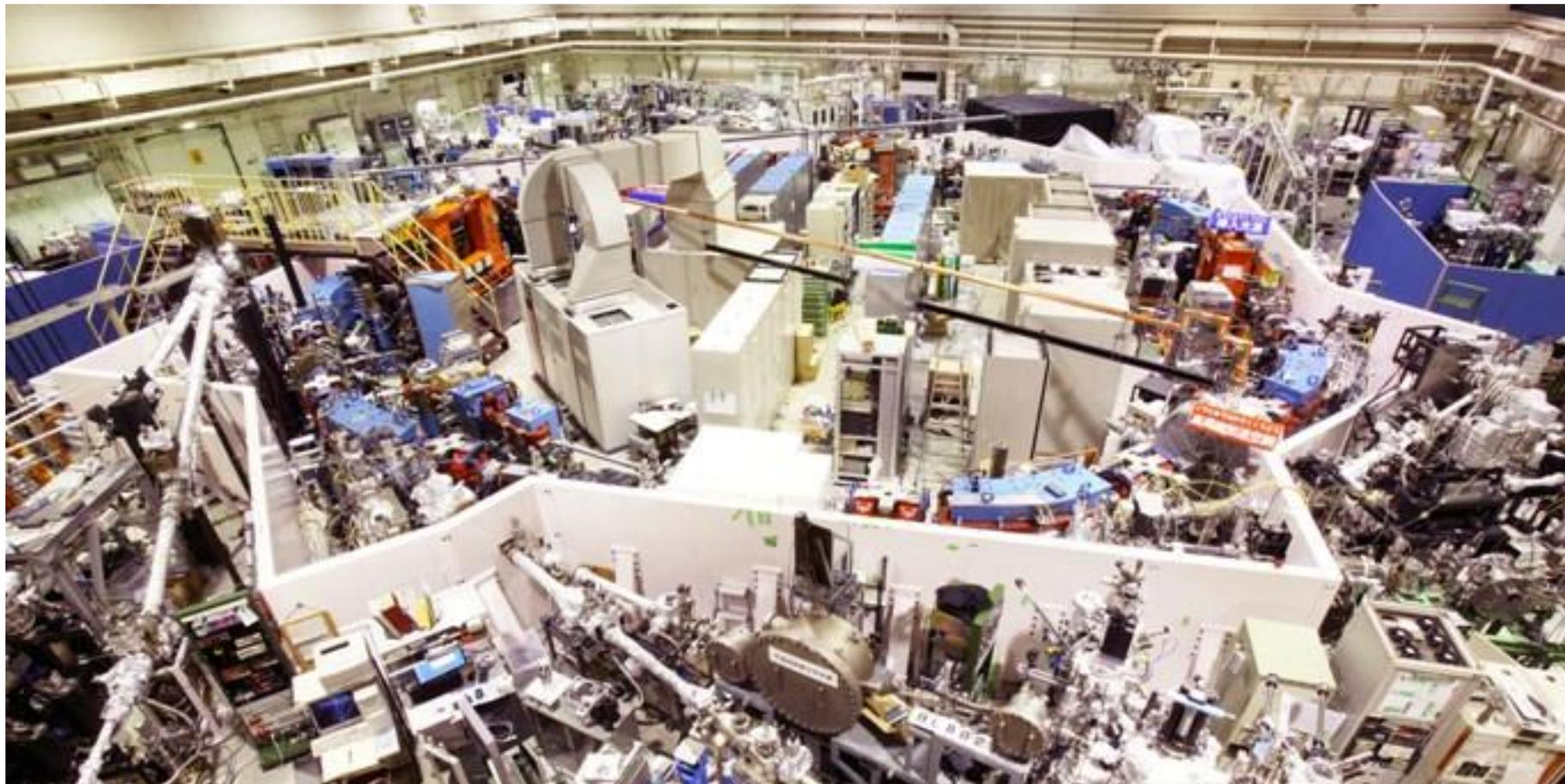
# Storage Ring Synchrotron Light Sources



# UVSOR Facility, Institute for Molecular Science



# UVSOR-II Storage Ring and SR Beam-lines



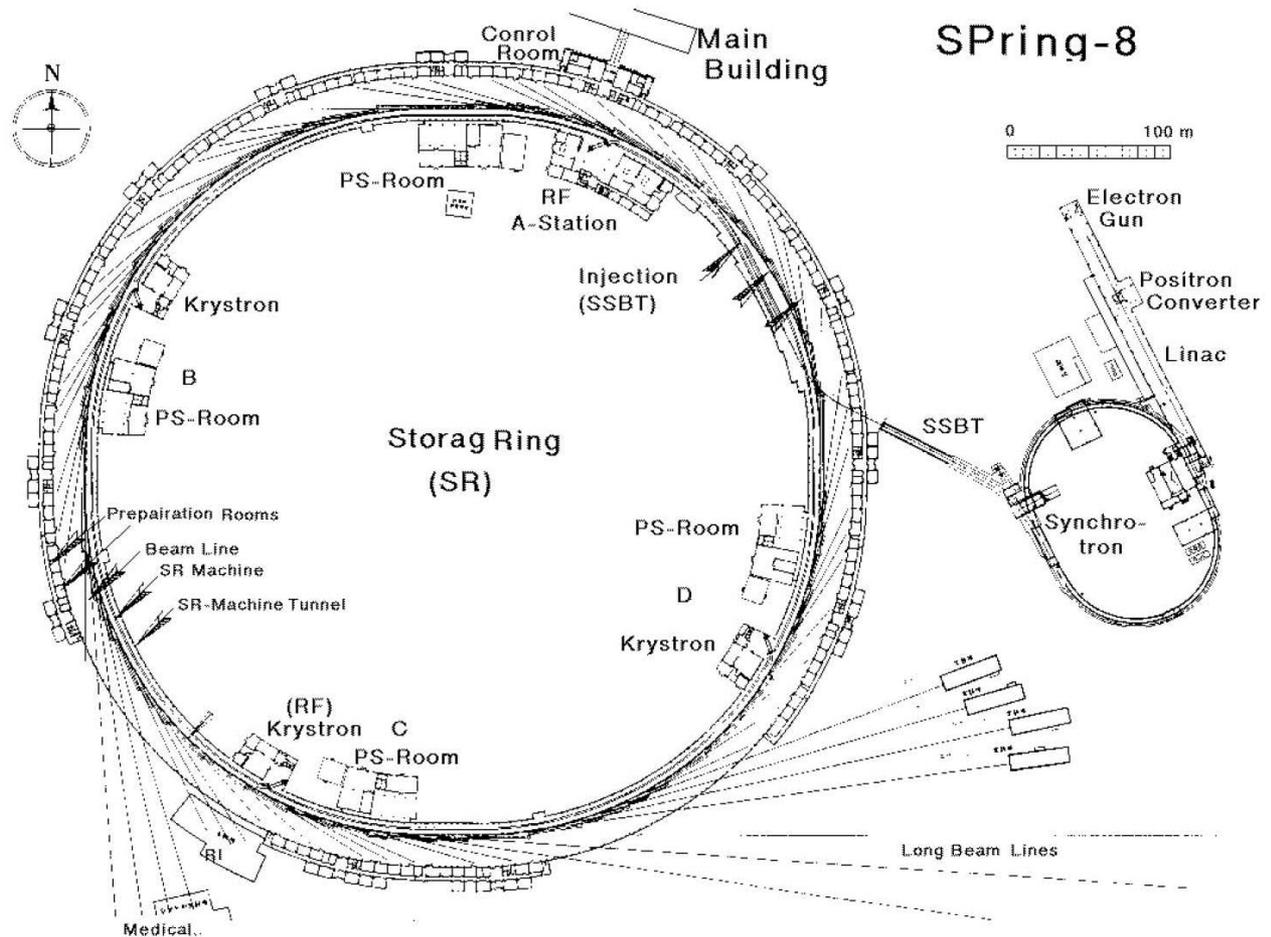
Electron Energy 750 MeV, Circumference 53 m



UVSOR FACILITY  
INSTITUTE FOR MOLECULAR SCIENCE

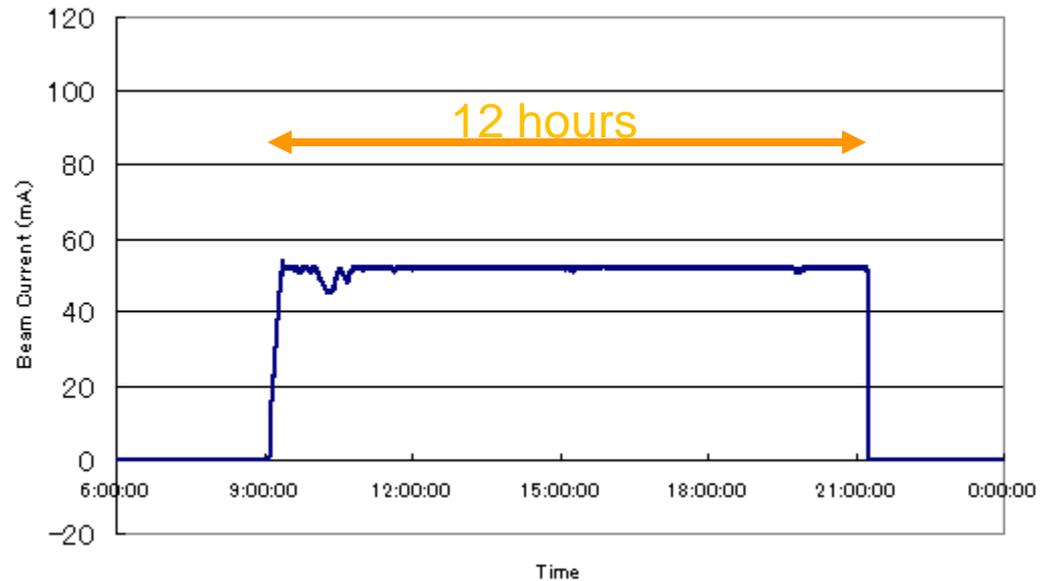
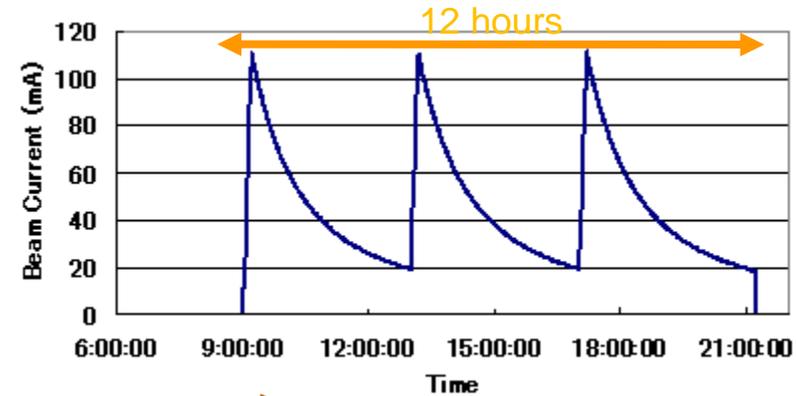
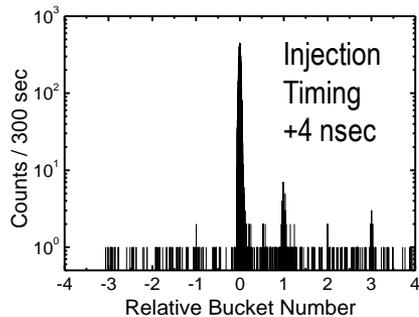
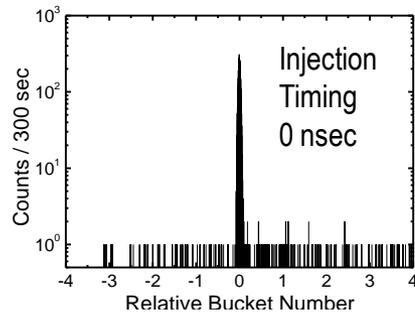
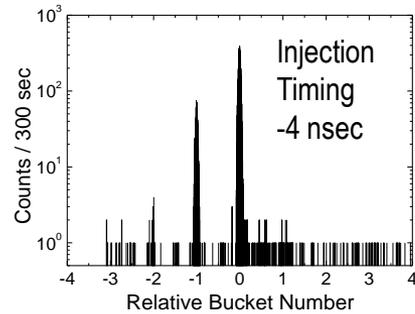


# Big and small



SPring-8 (<http://www.spring8.or.jp>) (C=1400m, E=8GeV,  $\epsilon_{x0}$ =5.9nm-rad)

# Single Bunch Top-up Operation at UVSOR-II



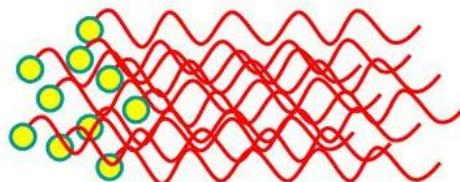
## 本技術開発の要点

- ◆ レーザー技術と加速器技術を融合
- ◆ 既存放射光リングに装着可能
- ◆ 通常の放射光にない特性を有する光を発生
- ◆ 新しい光の利用法の開拓

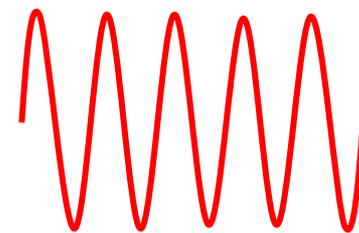
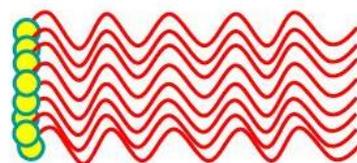


# コヒーレントシンクロトロン光

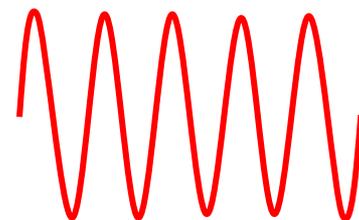
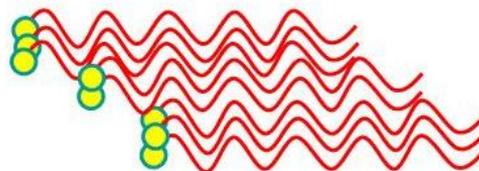
通常のシンクロトロン光  
(非コヒーレント)



極短電子パルスからの  
コヒーレント  
シンクロトロン光



マイクロバンチした電子  
パルスからのコヒーレント  
シンクロトロン光



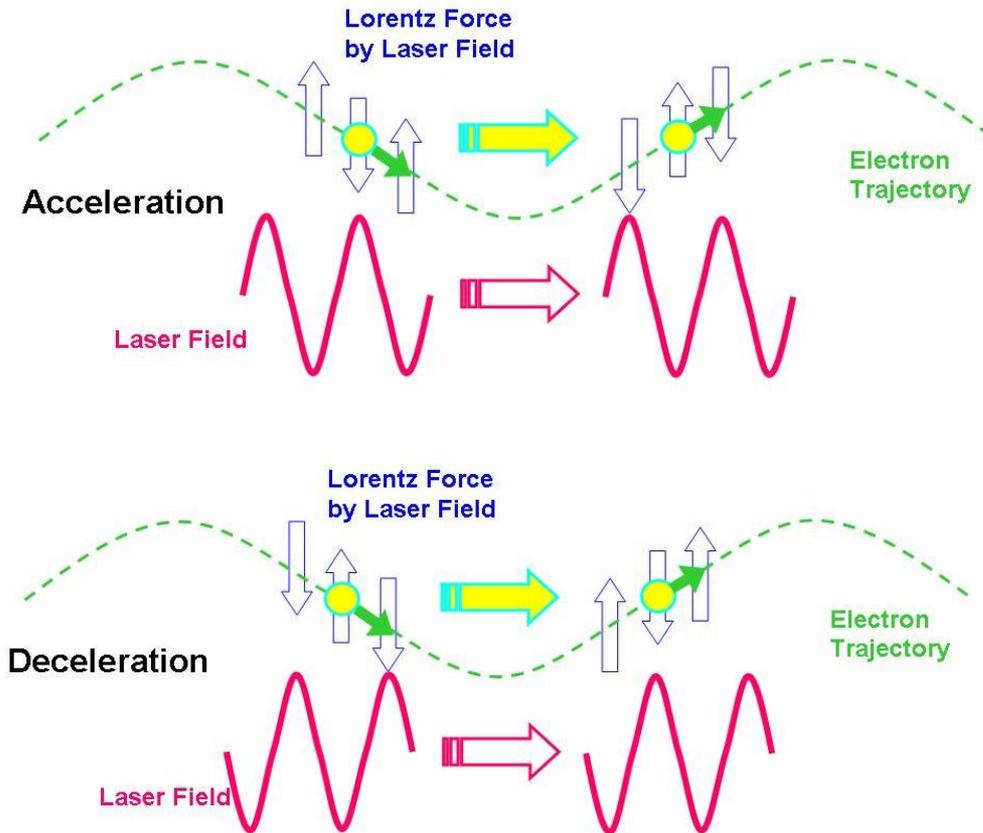
個々の電子からの放射場が同位相で重畳し、放射パワーは電子数の二乗に比例して増大する

シンクロトロン光の特長  
広帯域・高強度

+

レーザー光の特徴  
コヒーレンス・高輝度

# Laser-Electron Interaction in Undulator

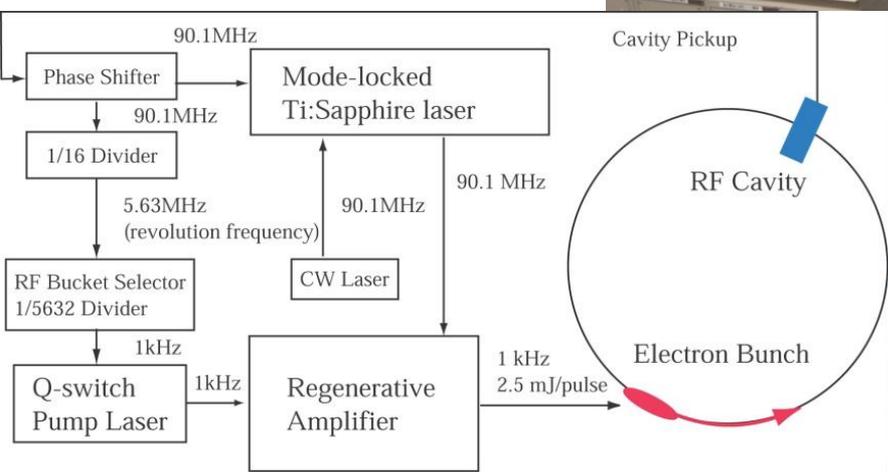
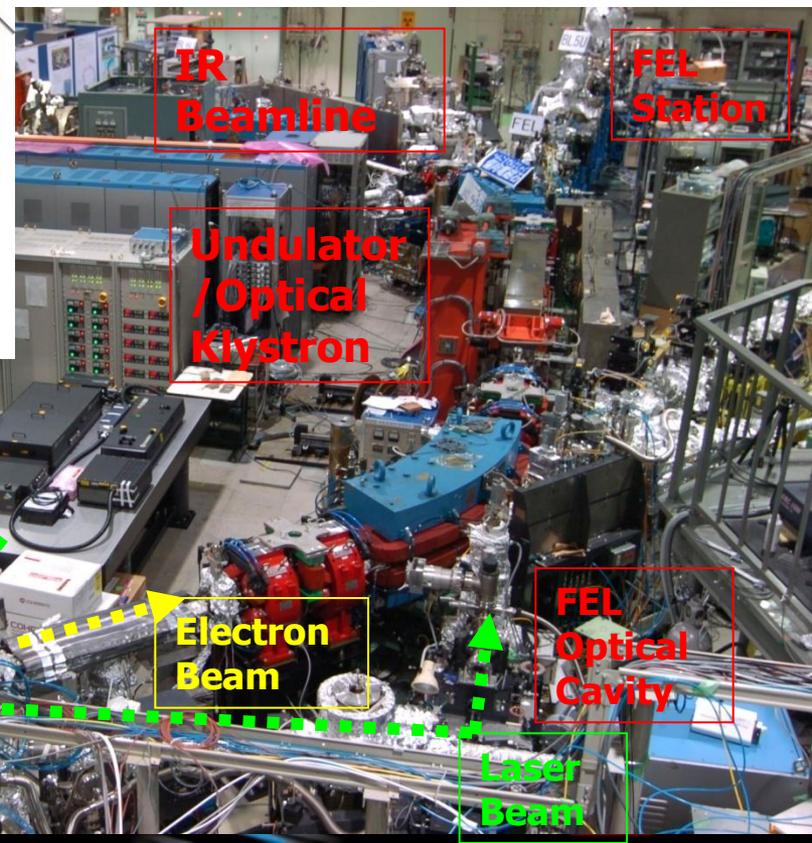
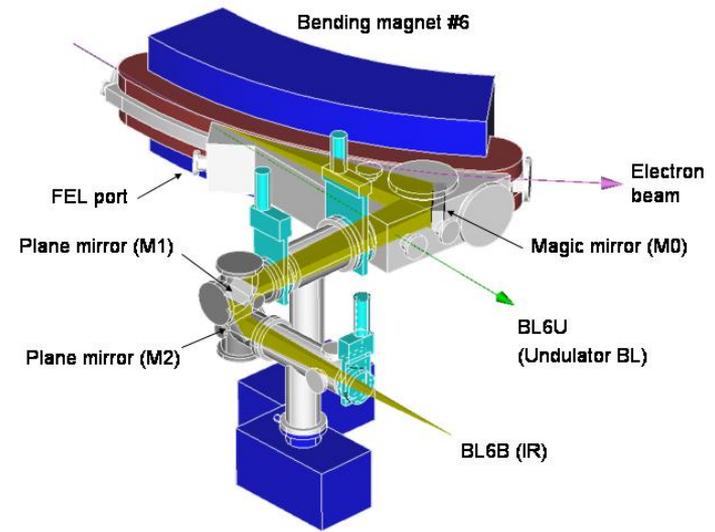
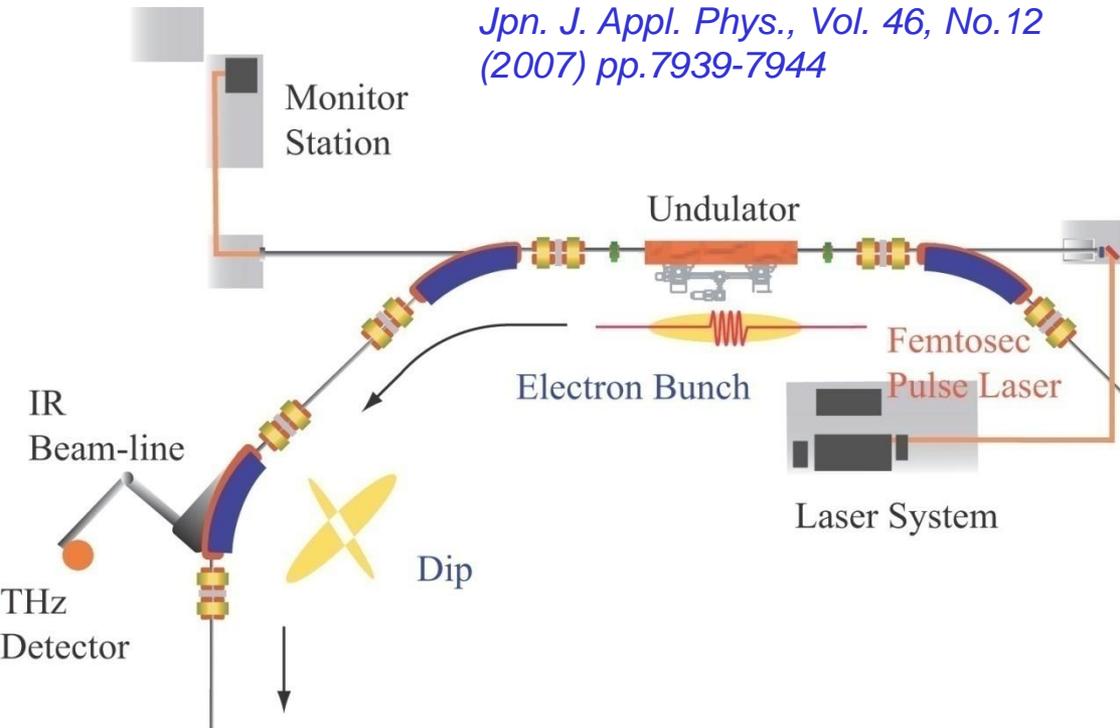


Electrons are accelerated or decelerated, depending on their relative position to the laser field under a resonance condition;



# Laser Injection System at UVSOR-II

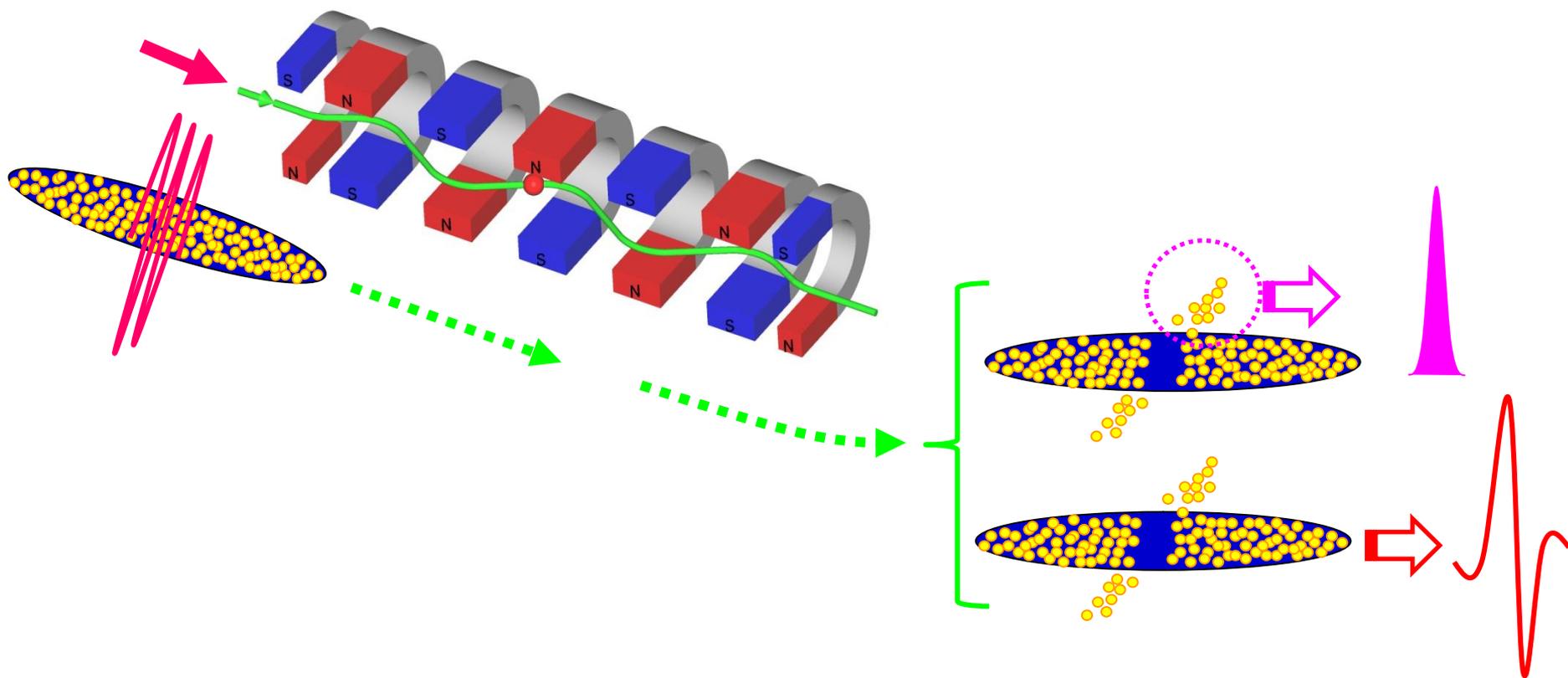
*Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 46, No.12  
(2007) pp.7939-7944*



TiSa Laser

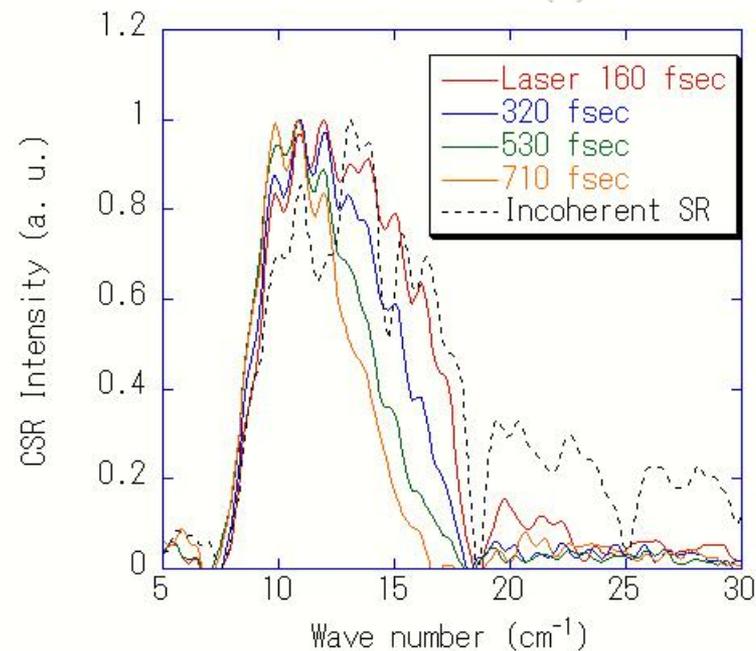
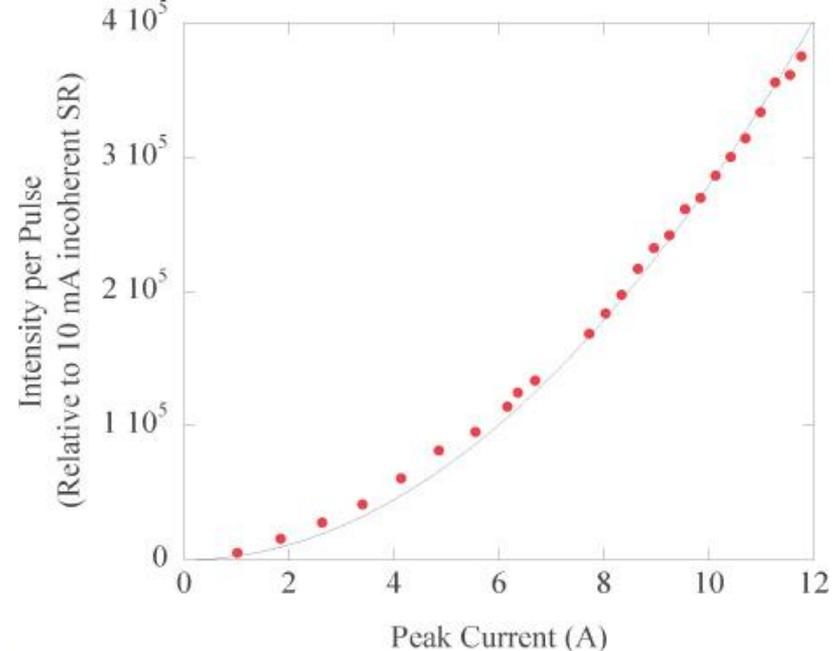
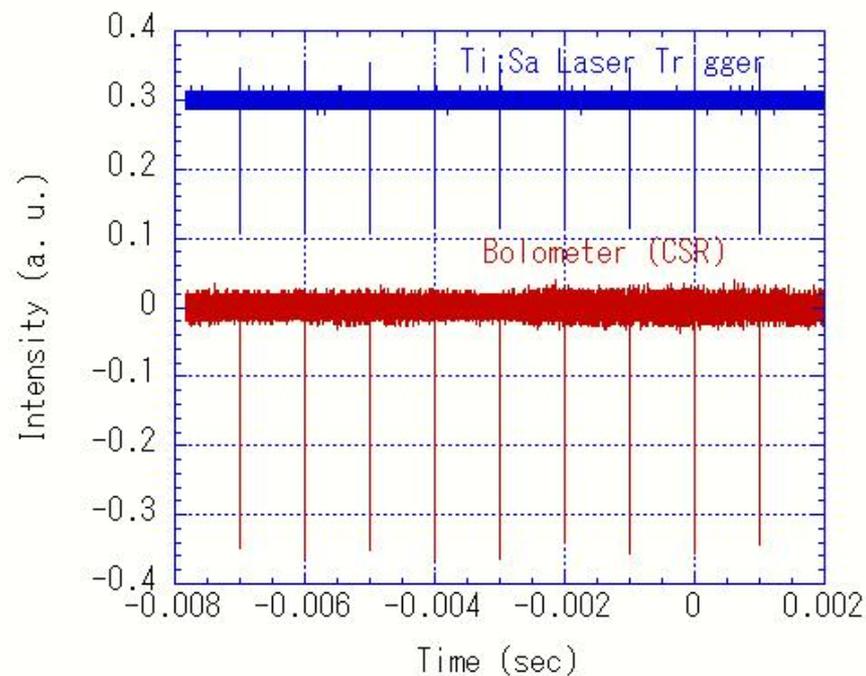
# レーザーと電子ビームを用いた光発生 (1)

バンチスライス ⇒ 極端パルス放射光  
⇒ 広帯域コヒーレントTHzパルス

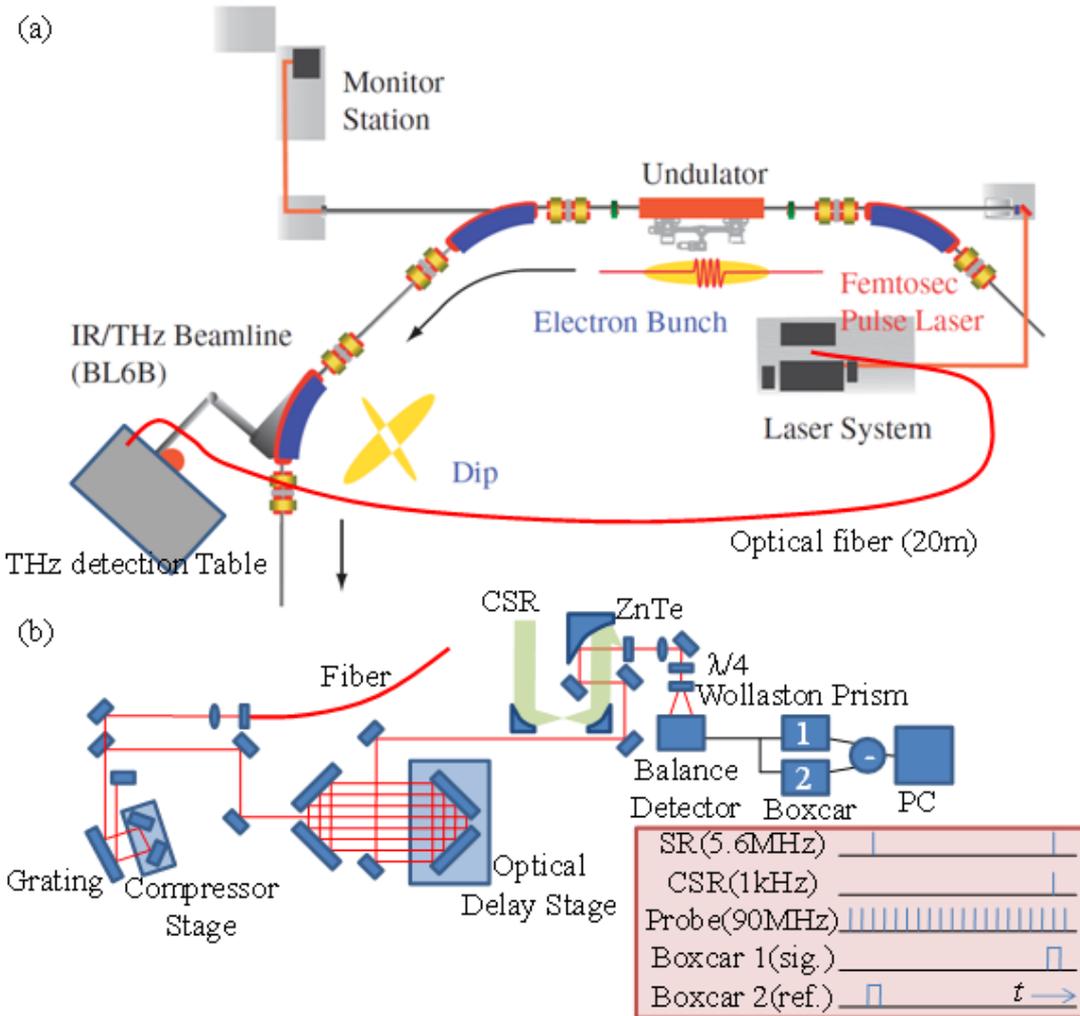


# Terahertz CSR by Laser Bunch-Slicing at UVSOR-II

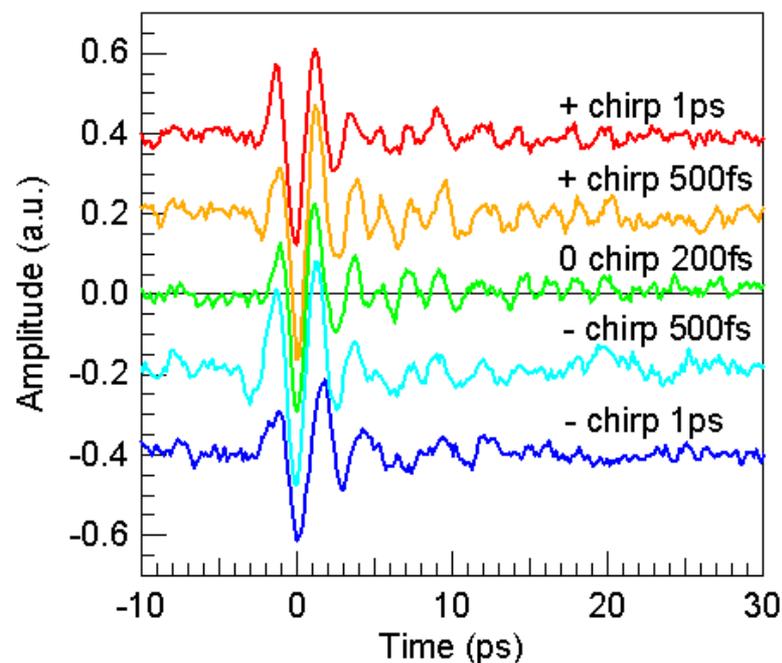
*Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 46, No.12  
(2007) pp.7939-7944*



# THz CSR Field Detection by EO Sampling Method at UVSOR-II



*I. Katayama, M Ashida et. al.,  
to be presented at CLEO10*

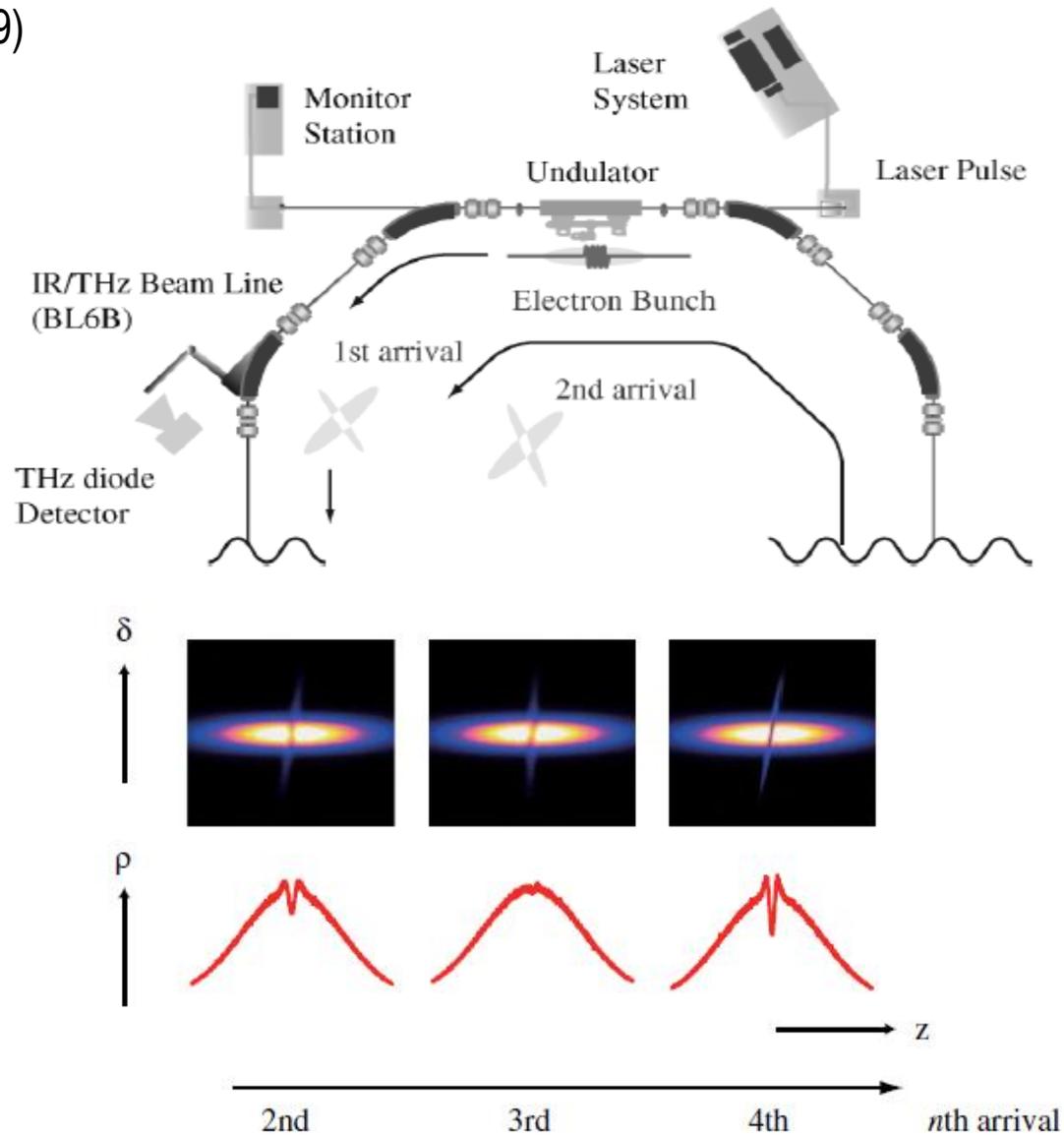
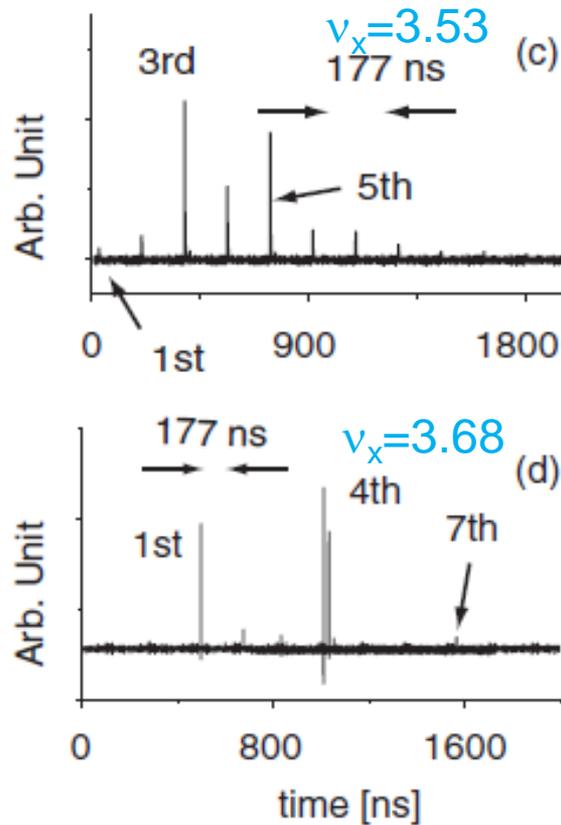


# Turn-by-turn Measurement of THz CSR by Laser Slicing at UVSOR-II

*Phys. Rev. Lett.* 103, 144802 (2009)

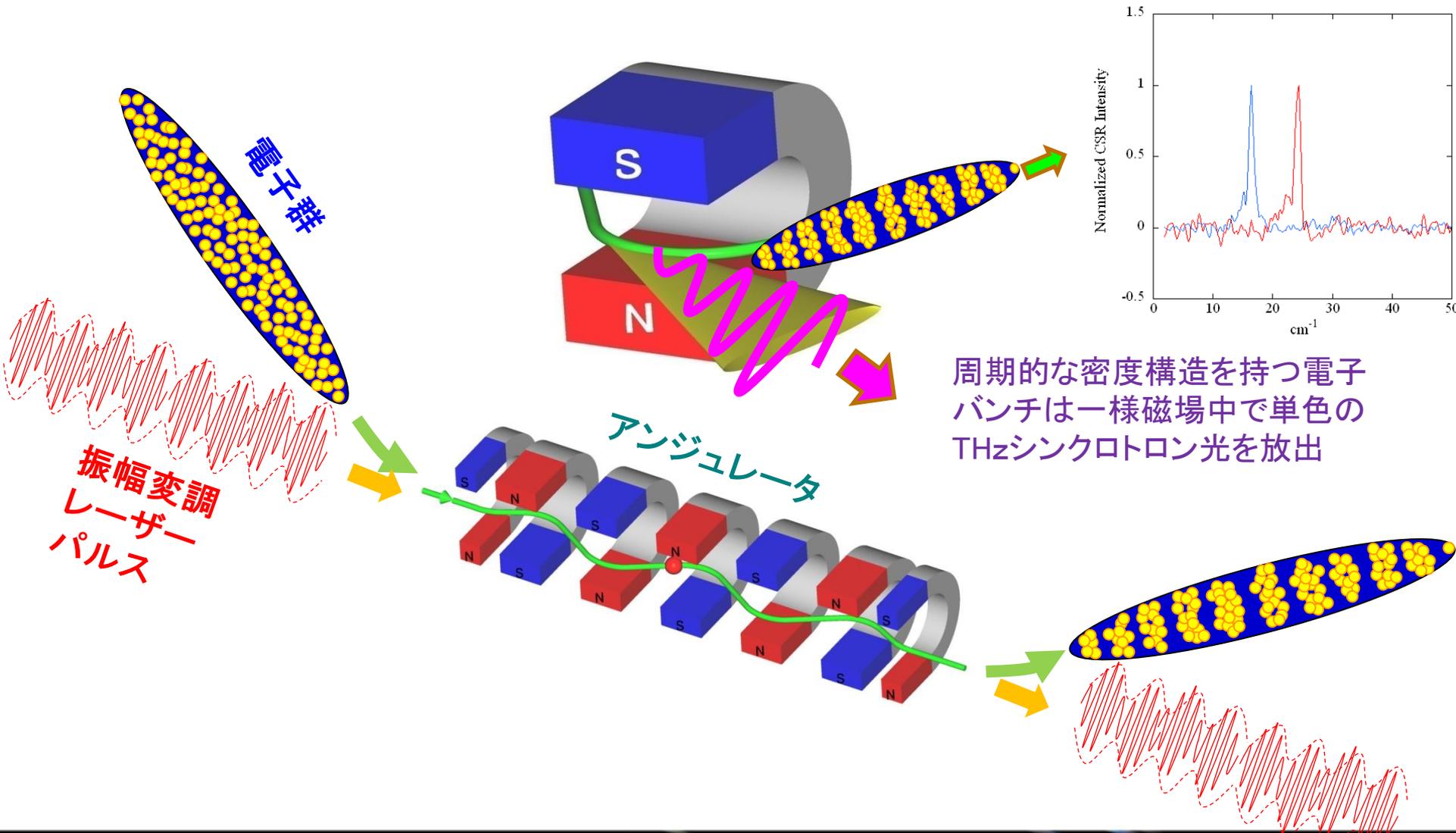
## Transverse-Longitudinal Coupling in Laser Slicing

### Measurement



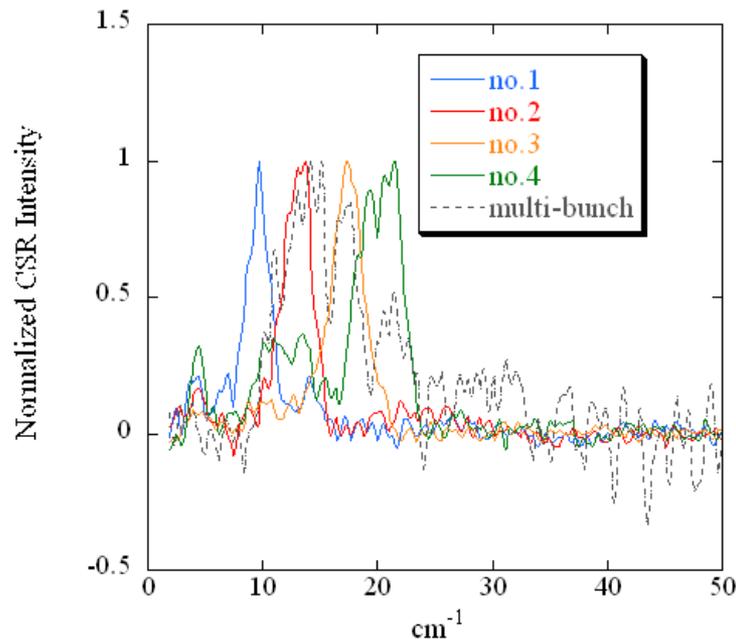
# レーザーと電子ビームを用いた光発生 (2)

## 周期的密度構造 ⇒ 準単色コヒーレントTHzパルス

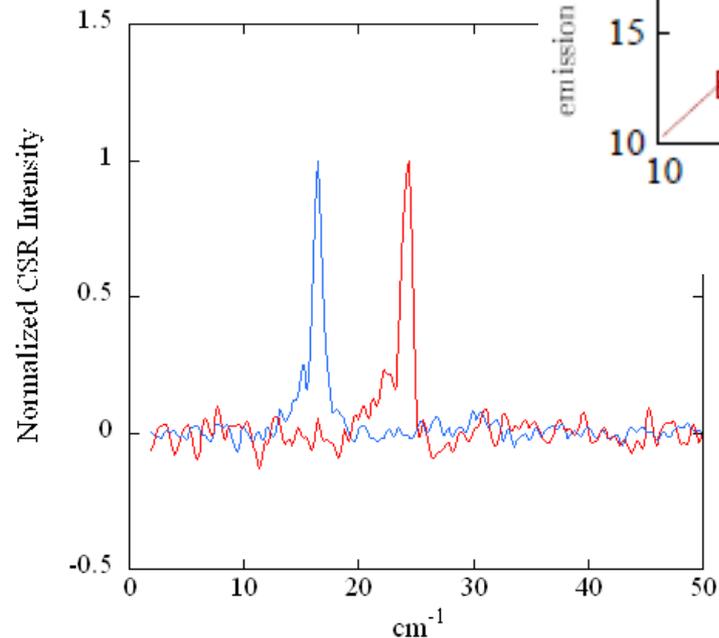


# Quasi-monochromatic & Tunable THz CSR from Uniform Magnetic Field at UVSOR-II

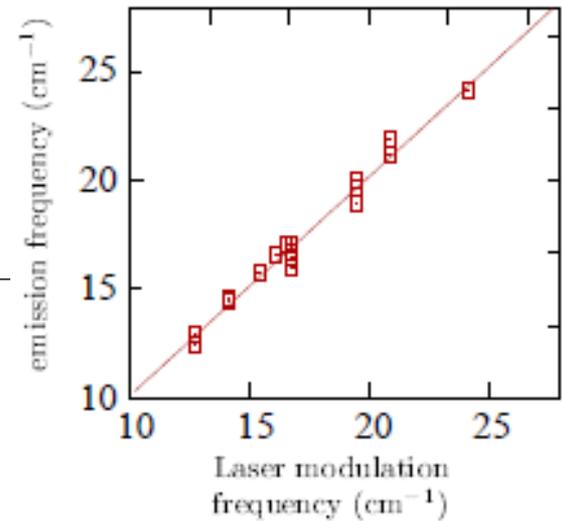
*Nature Physics*, 4 (2008), 390-393



Less beating with shorter pulse duration ( $\sim 2\text{ps}$ )

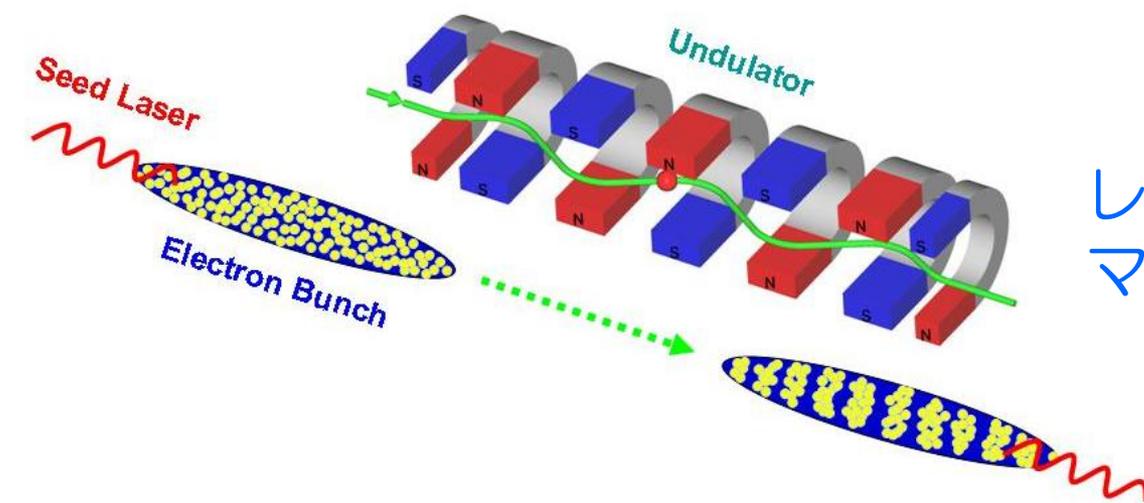


More beating with longer pulse duration ( $\sim 60\text{ps}$ )

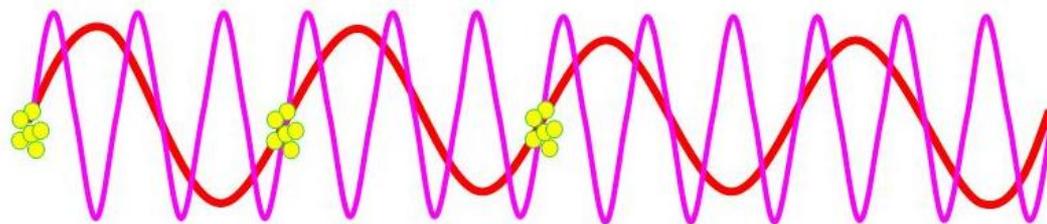
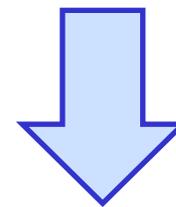


## レーザーと電子ビームを用いた光発生 (3)

## コヒーレント高調波発生



レーザー波長間隔で  
マイクロバンチング



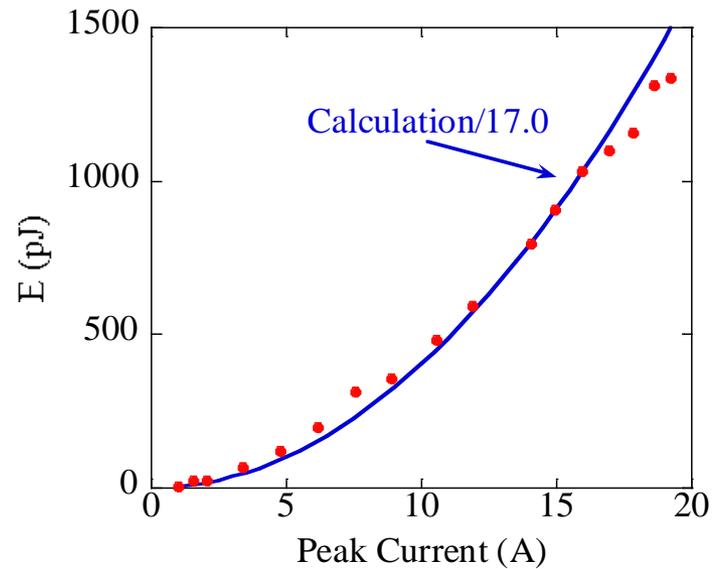
マイクロバンチ  
ビームからの高調  
波発生

# Coherent Harmonic Generation at UVSOR-II

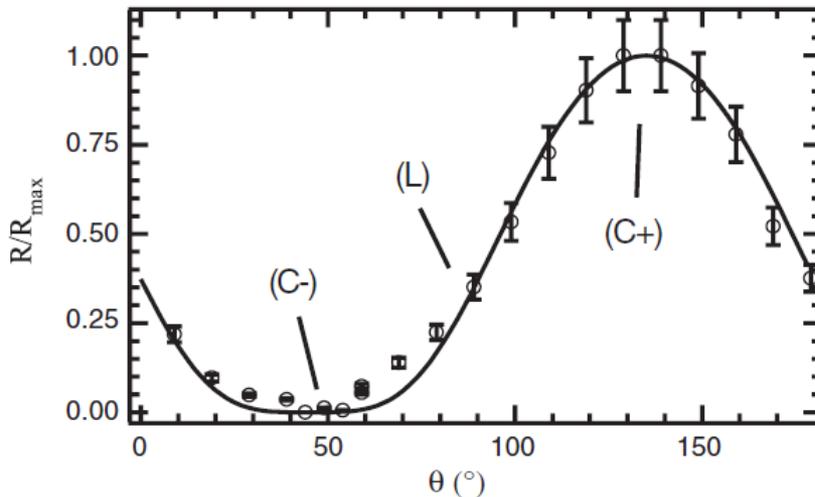
*Eur. Phys. J. D.*, 44, 1 (2007) 187-200

*Phys. Rev. Lett.* 101, 164803 (2008)

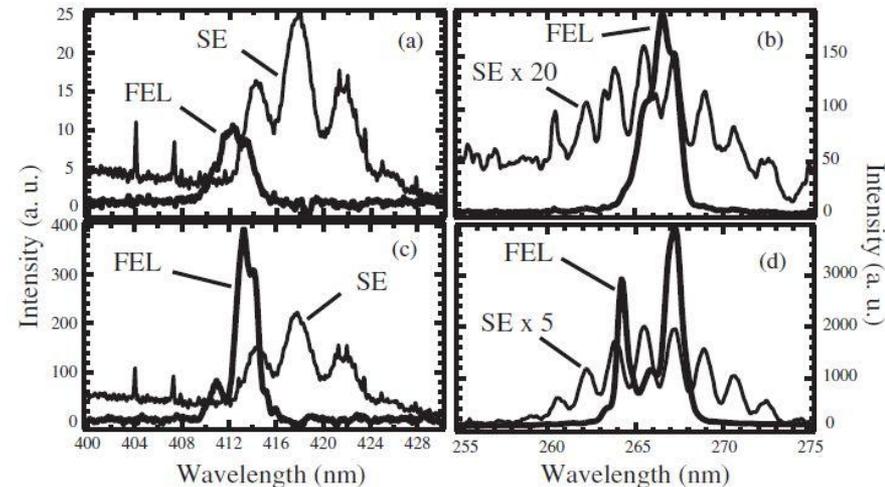
*Phys. Rev. Lett.* 102, 014801 (2009)



CHG (3<sup>rd</sup> Harmonics) by using femto-second laser



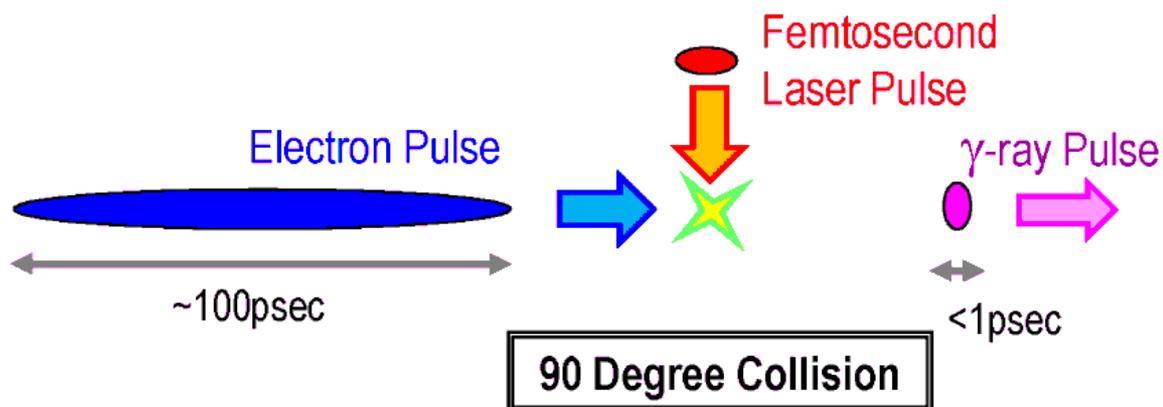
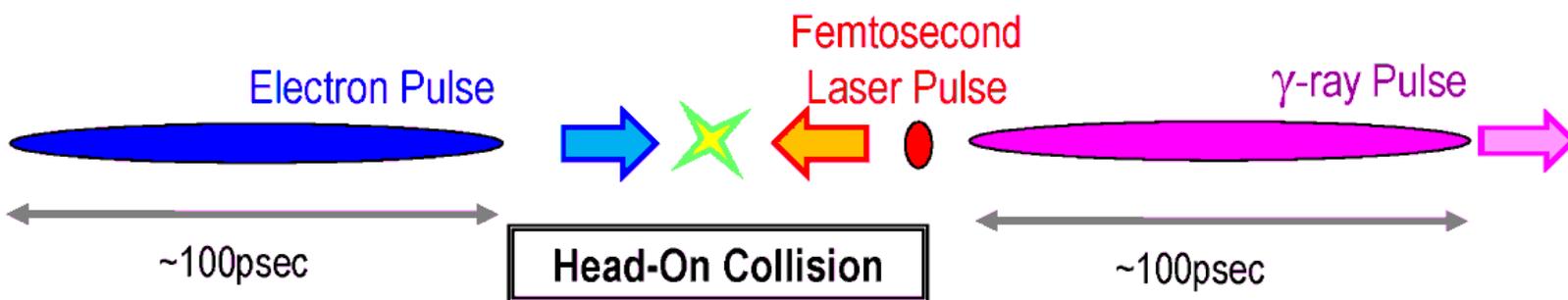
CHG in Helical Undulator



Effect of the seed laser focusing on CHG Spectra

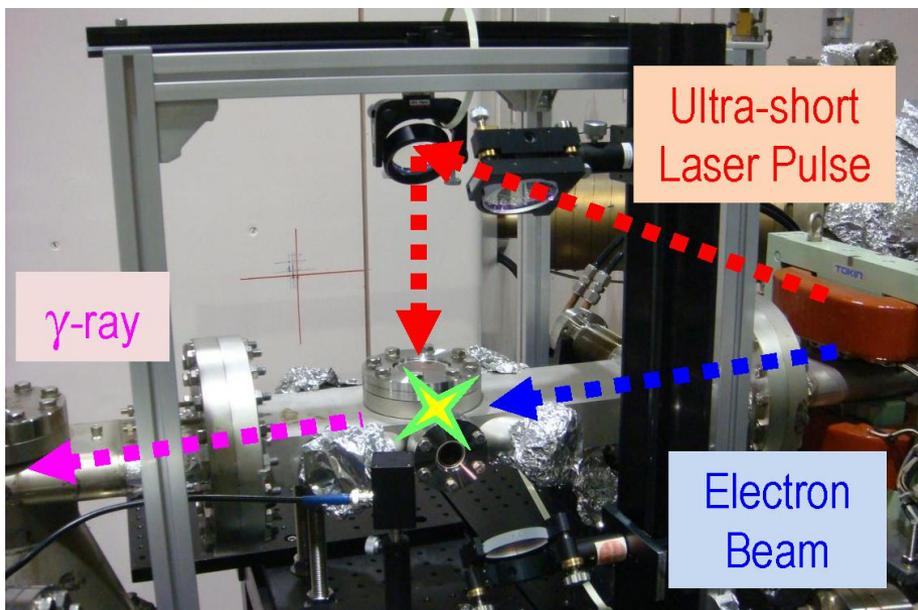
## レーザーと電子ビームを用いた光発生 (4)

## レーザーコンプトン散乱によるガンマ線発生



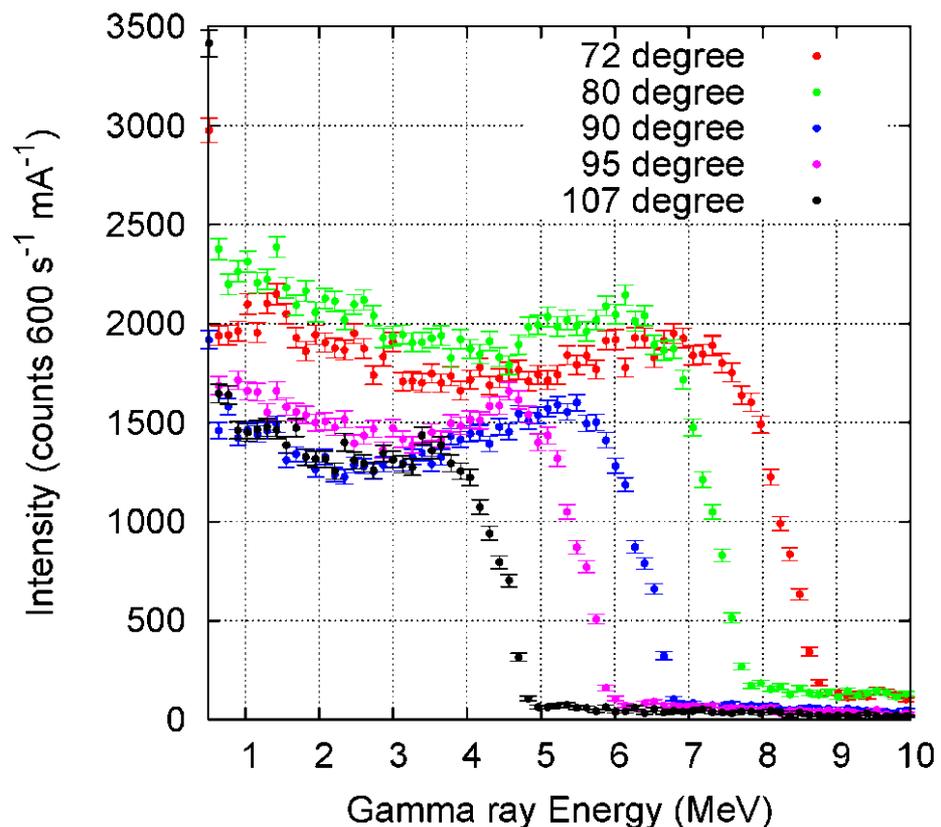
# Ultra-short Gamma-ray Pulses by Laser Compton Scattering at UVSOR-II

- Quasi-monochromatic
- Energy-variable
- Polarization-variable
- Sub-picosecond



*Nucl. Instr. Meth. (accepted)*

*to be presented at SORMA XII*



# 加速器を使った光発生技術の新しい概念 - 電子ビームを光学媒質として利用 -

## ◆ 波長変換

◆ IR ~ Vis  $\Rightarrow$  THz ~ VUV ~  $\gamma$ -rays

## ◆ 偏光制御

◆ 直線偏光  $\Rightarrow$  円偏光

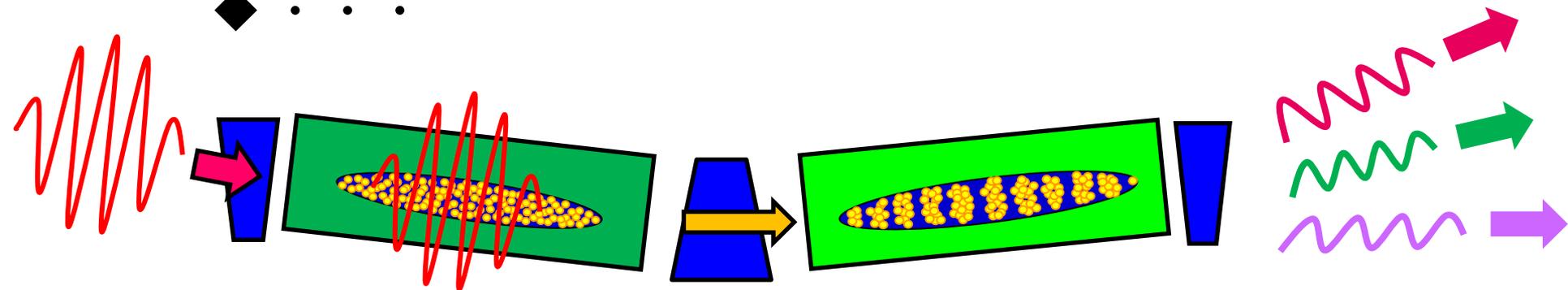
## ◆ 波長選択

◆ ガス高次高調波から特定の高次光選択

## ◆ パルス長制御

◆ . . .

時間的に同期



## これまでの成果

- ・ 既存の装置群（アンジュレータ、FEL用光学路、赤外ビームライン・・・）を流用し安価に構築したシステムで原理の検証を行った。

## 本プログラムによる展開

- ・ 新しく創出する直線部に専用の装置群を設置し、光源技術を確立し、利用法の開拓を進める。





# 実施体制

分子科学研究所  
 極端紫外光研究施設(UVSOR)  
 小杉信博施設長

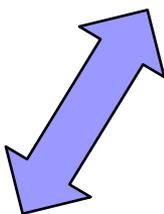
役割  
 技術支援(技術職員)  
 共同利用展開  
 (木村真一准教授、繁政英治准教授)

幹事機関 分子科学研究所  
 研究責任者 加藤政博

役割  
 研究総括、新光源開発、  
 人材育成(総研大生、ポスドク)、  
 研究会、国際共同等推進

分子科学研究所  
 分子制御レーザー開発研究センター  
 大森賢治センター長

役割  
 技術支援(技術職員)



参画機関 京都大学  
 研究責任者 高橋俊晴

役割  
 研究開発・技術開発  
 (新光源の利用)

参画機関 名古屋大学  
 研究責任者 保坂将人

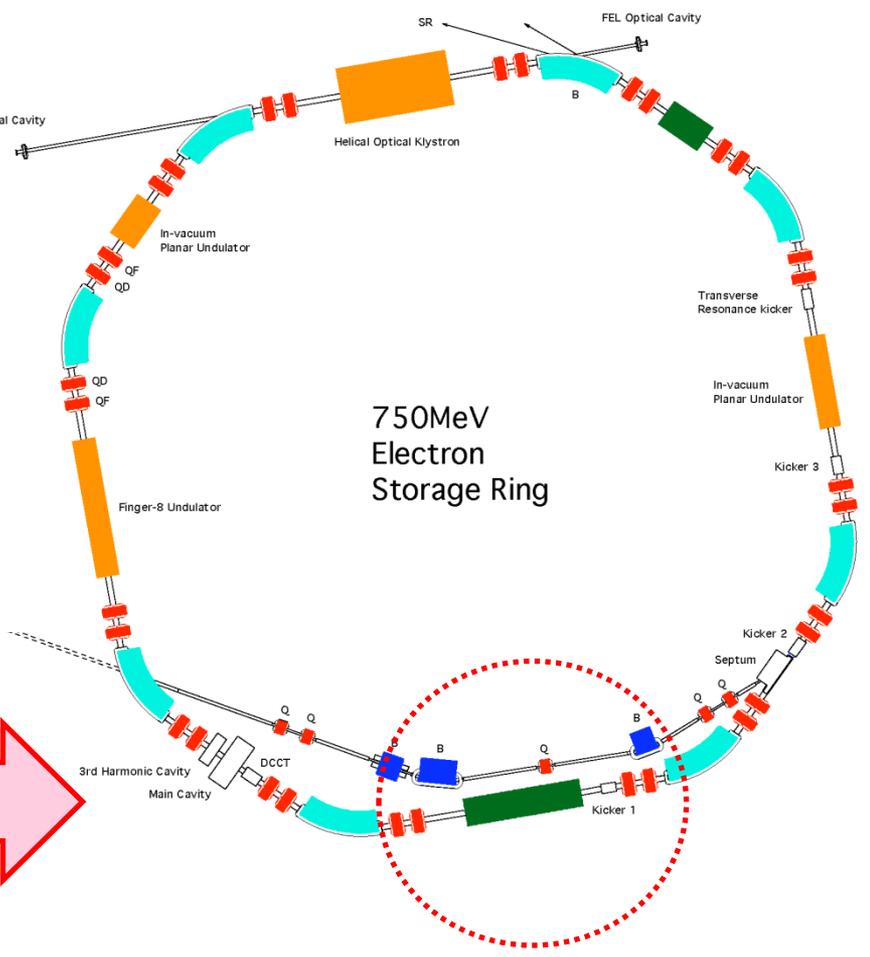
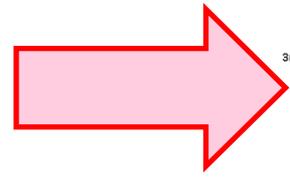
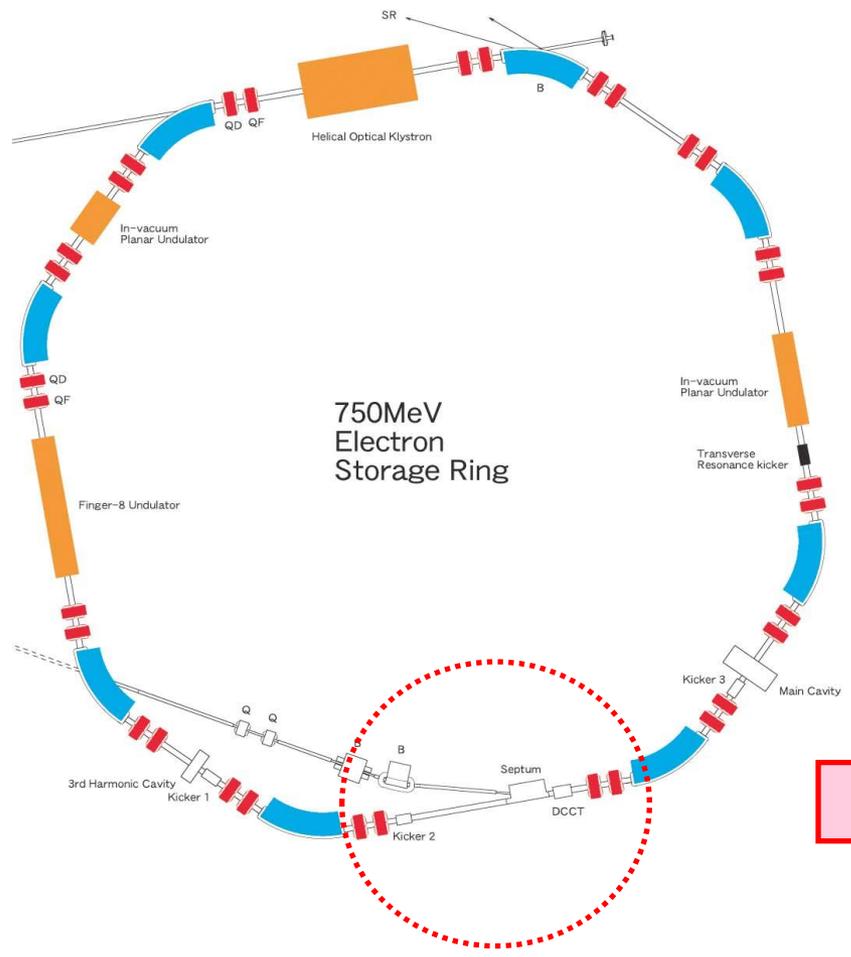
役割  
 研究開発(光源開発)、  
 人材育成(大学院生参加)

...

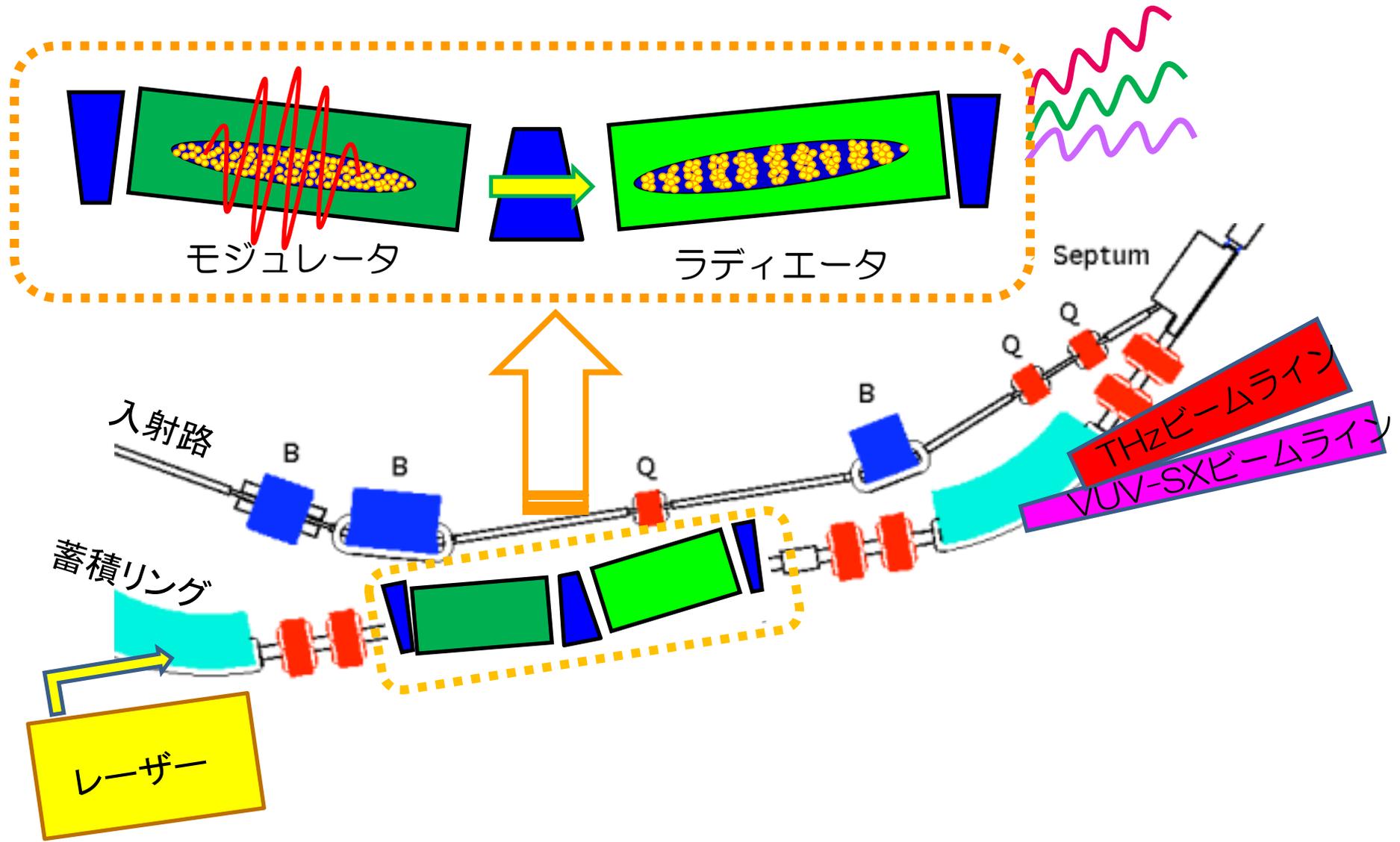


# UVSOR-II → UVSOR-II<sup>+</sup>

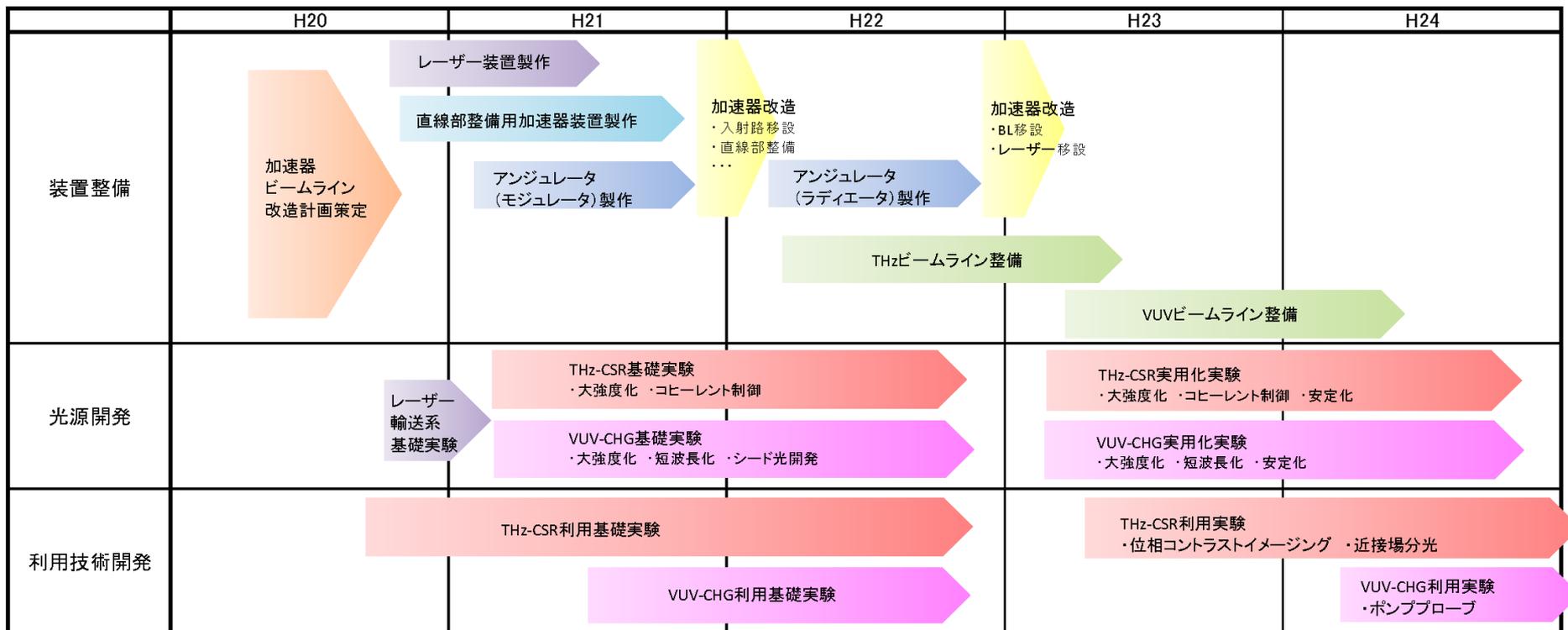
入射点の移動により4m直線部を創出

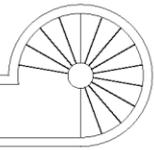


# 新しい実験配置

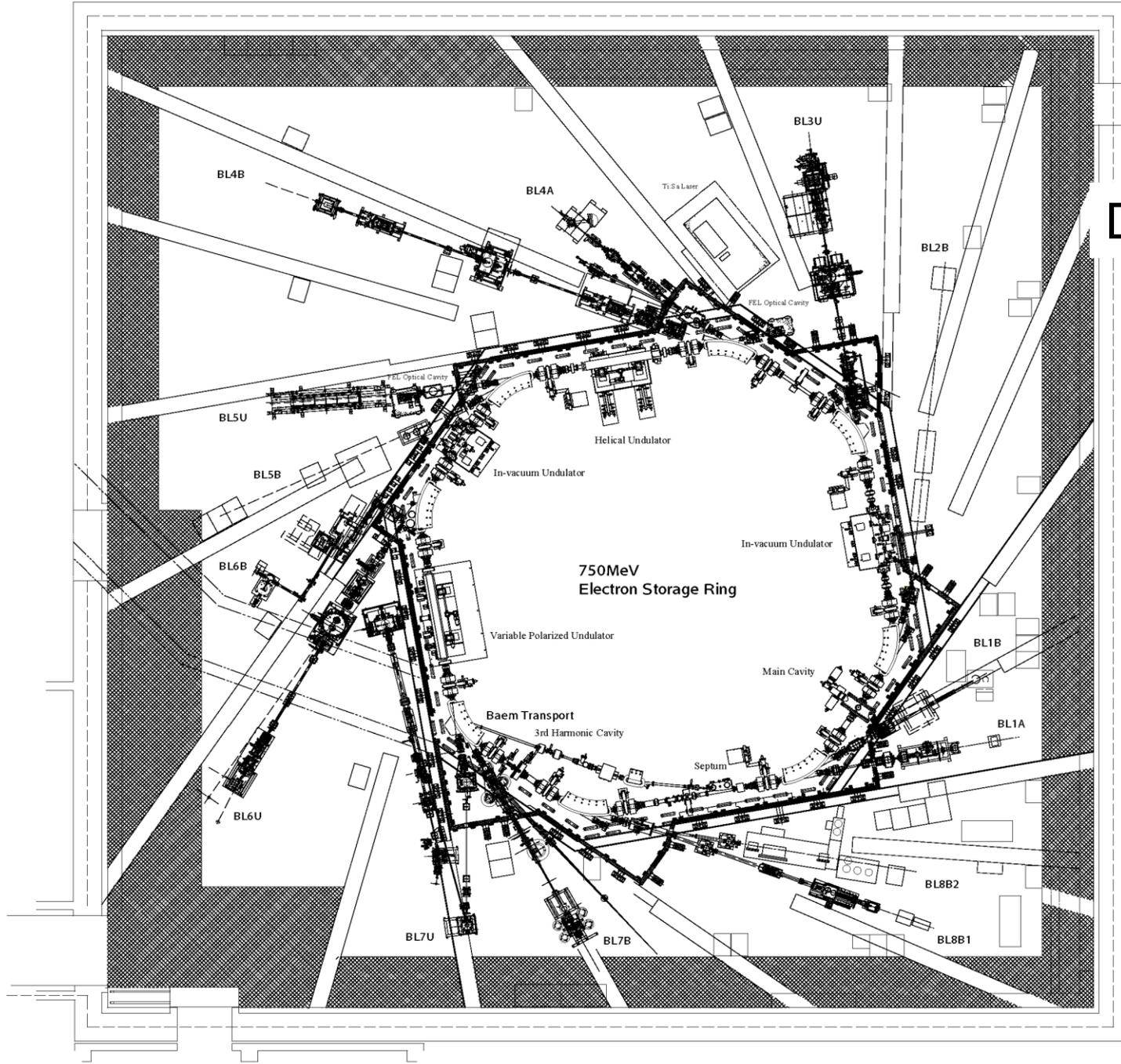


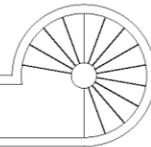
# 開発スケジュール





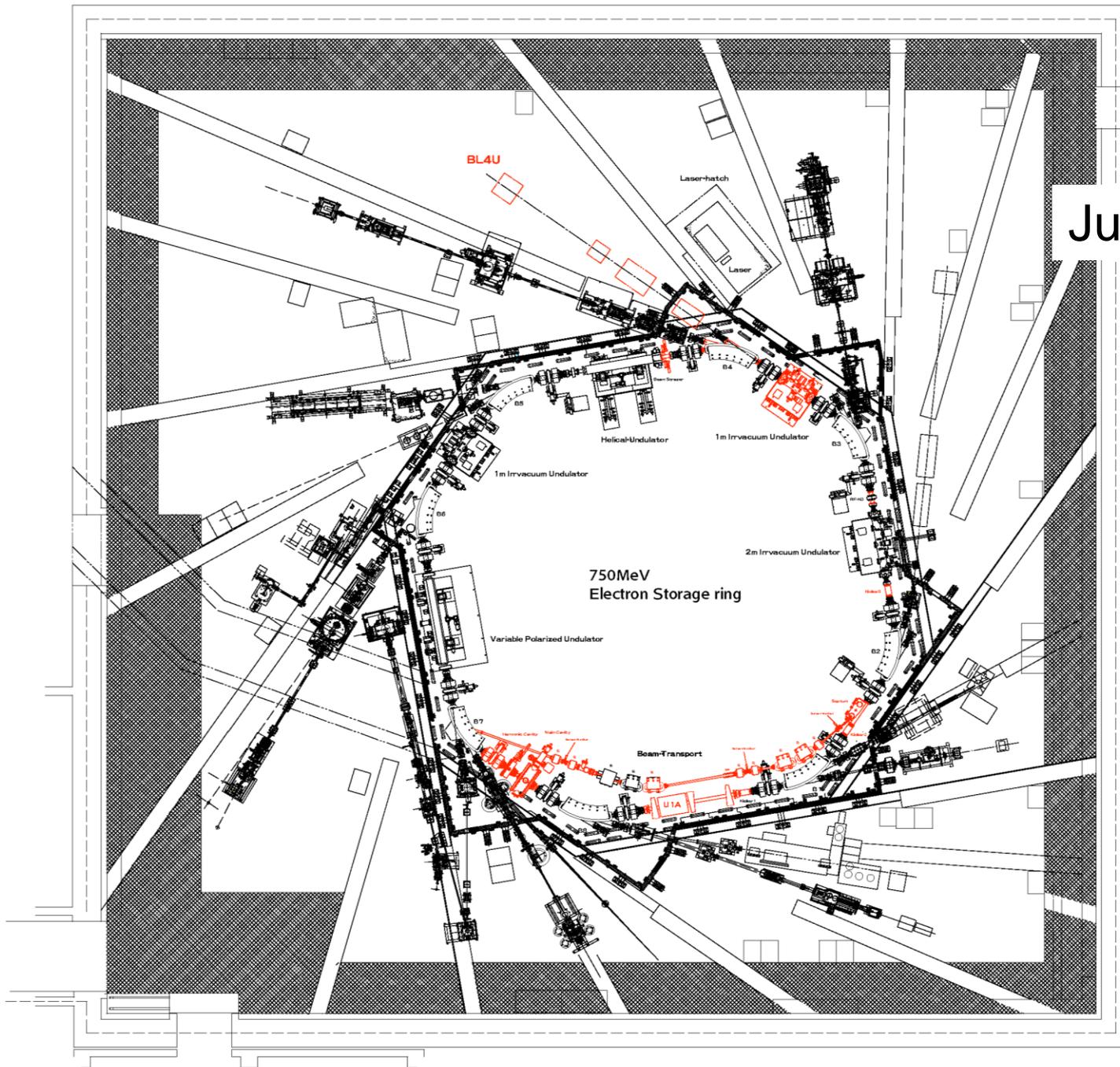
Dec. 2008

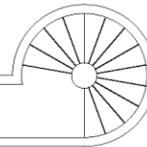




June. 2010

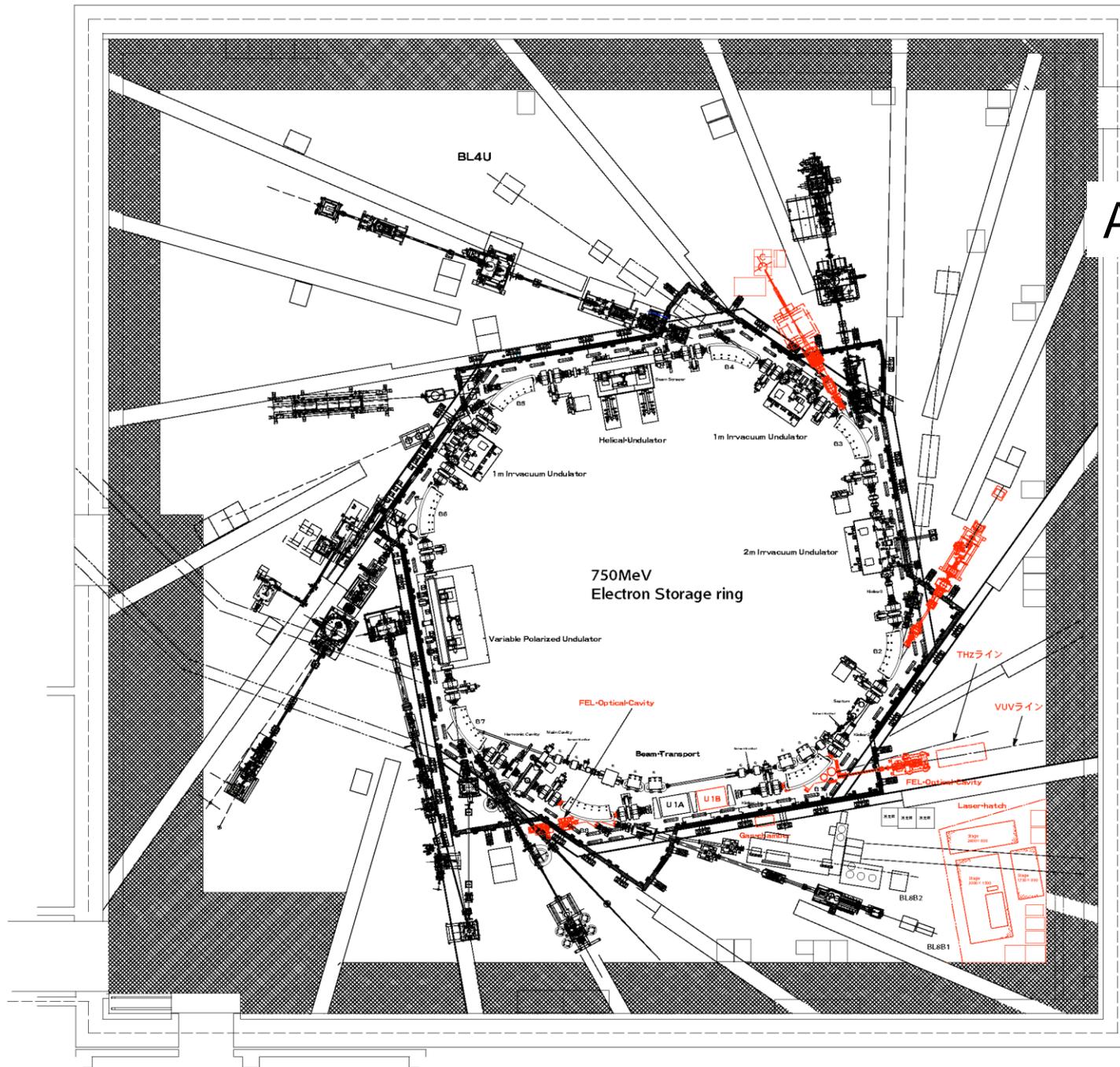
赤：新設または移設



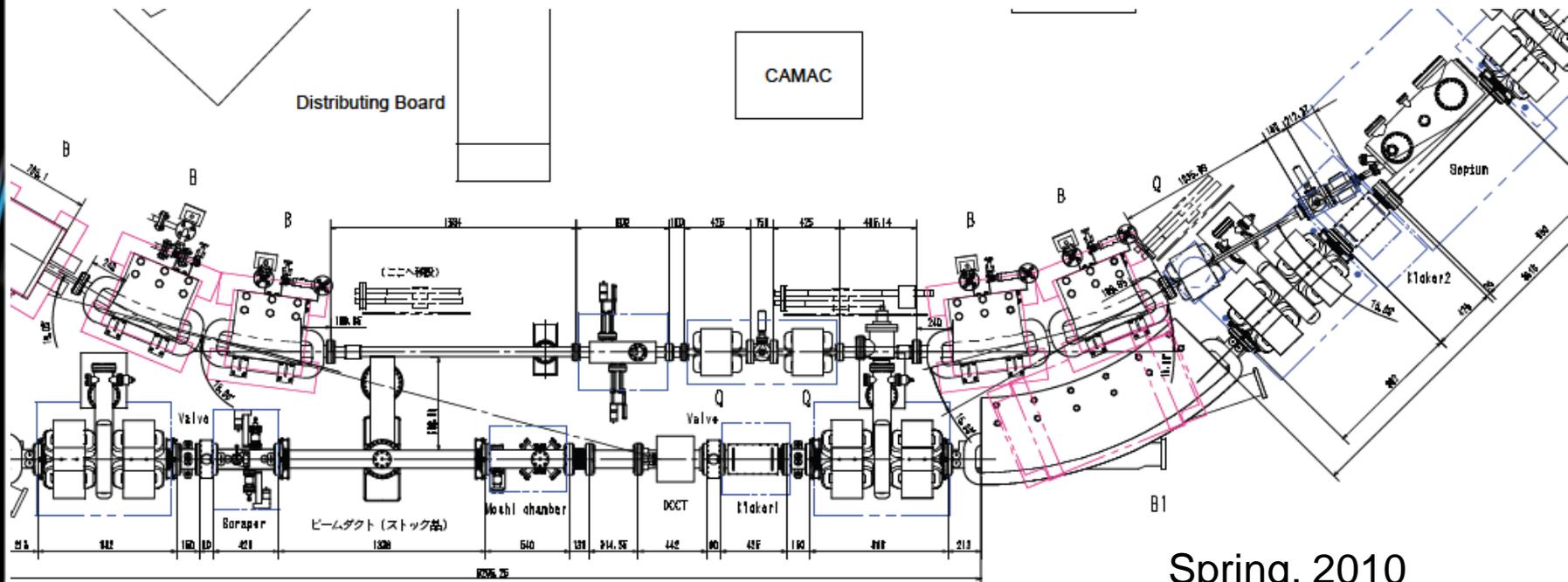


Apr. 2011

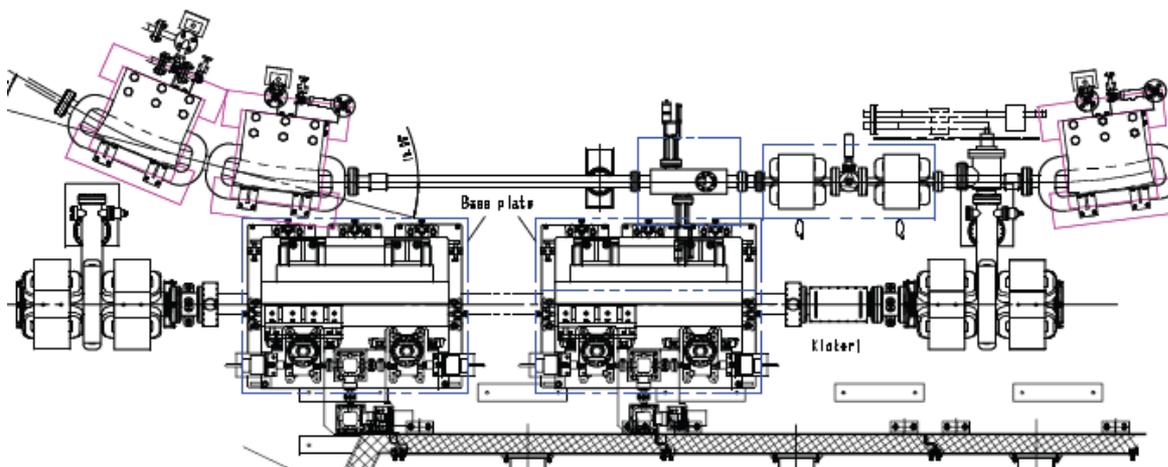
赤：新設または移設



# 新入射路電磁石・真空機器配置案



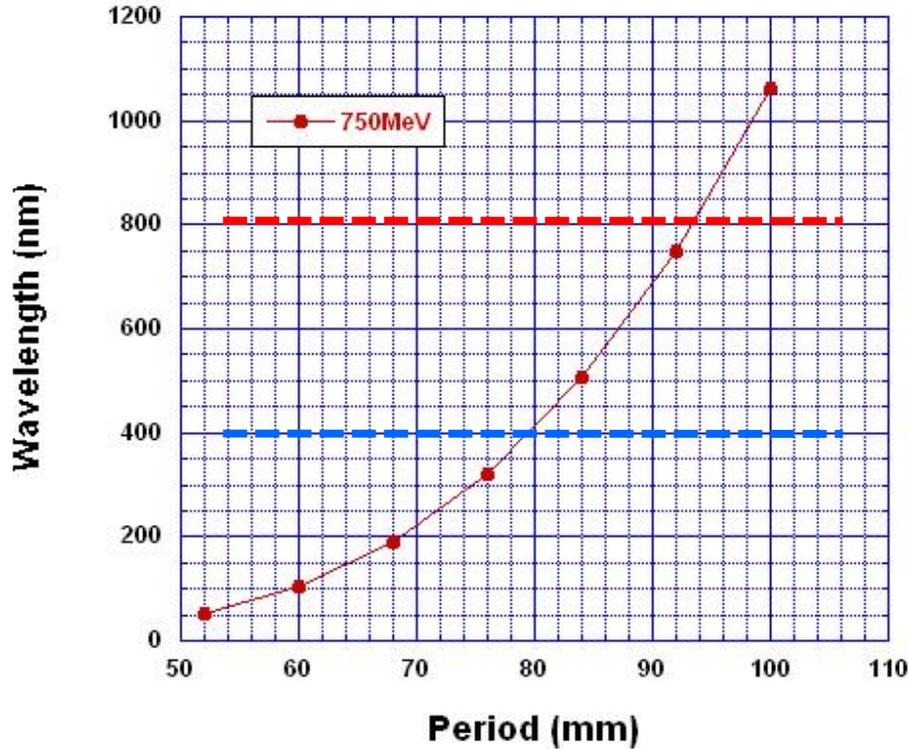
Spring, 2010



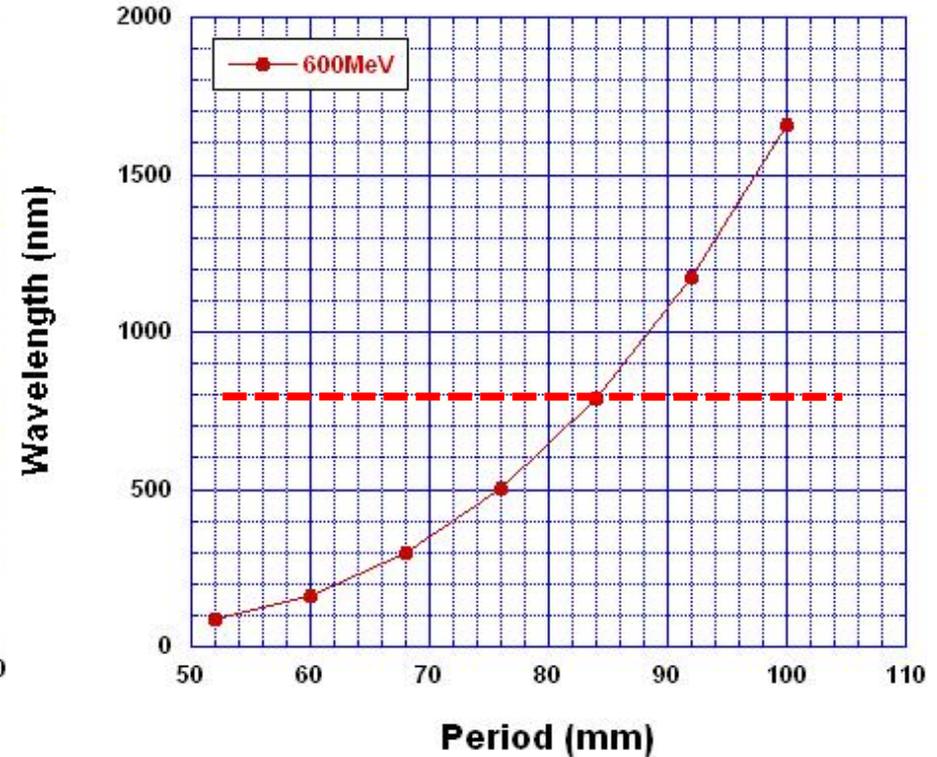
Spring, 2011

# Period Length of Modulator

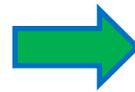
plannar 750 MeV



plannar 600 MeV



800 nm for 600 MeV  
400 nm for 750 MeV

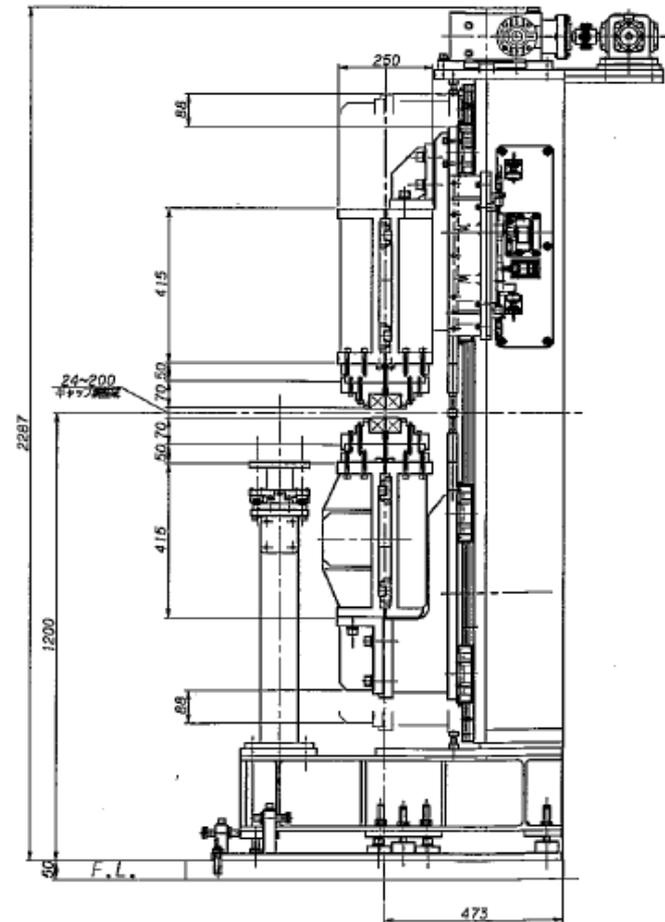
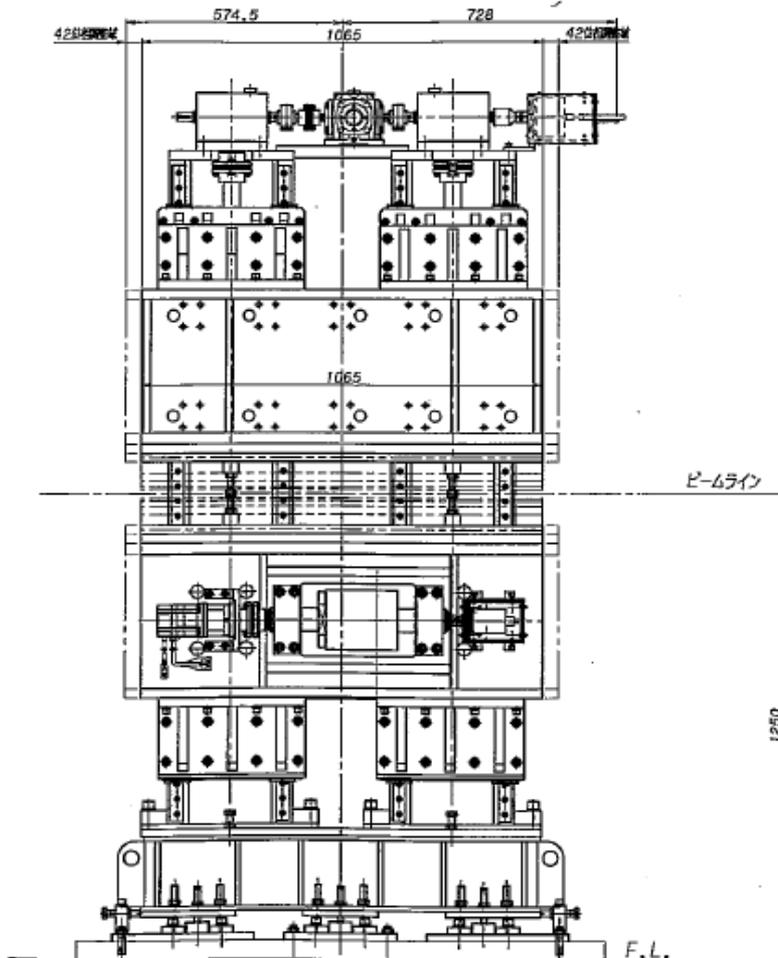


$$\lambda_u = 84 \text{ mm}$$

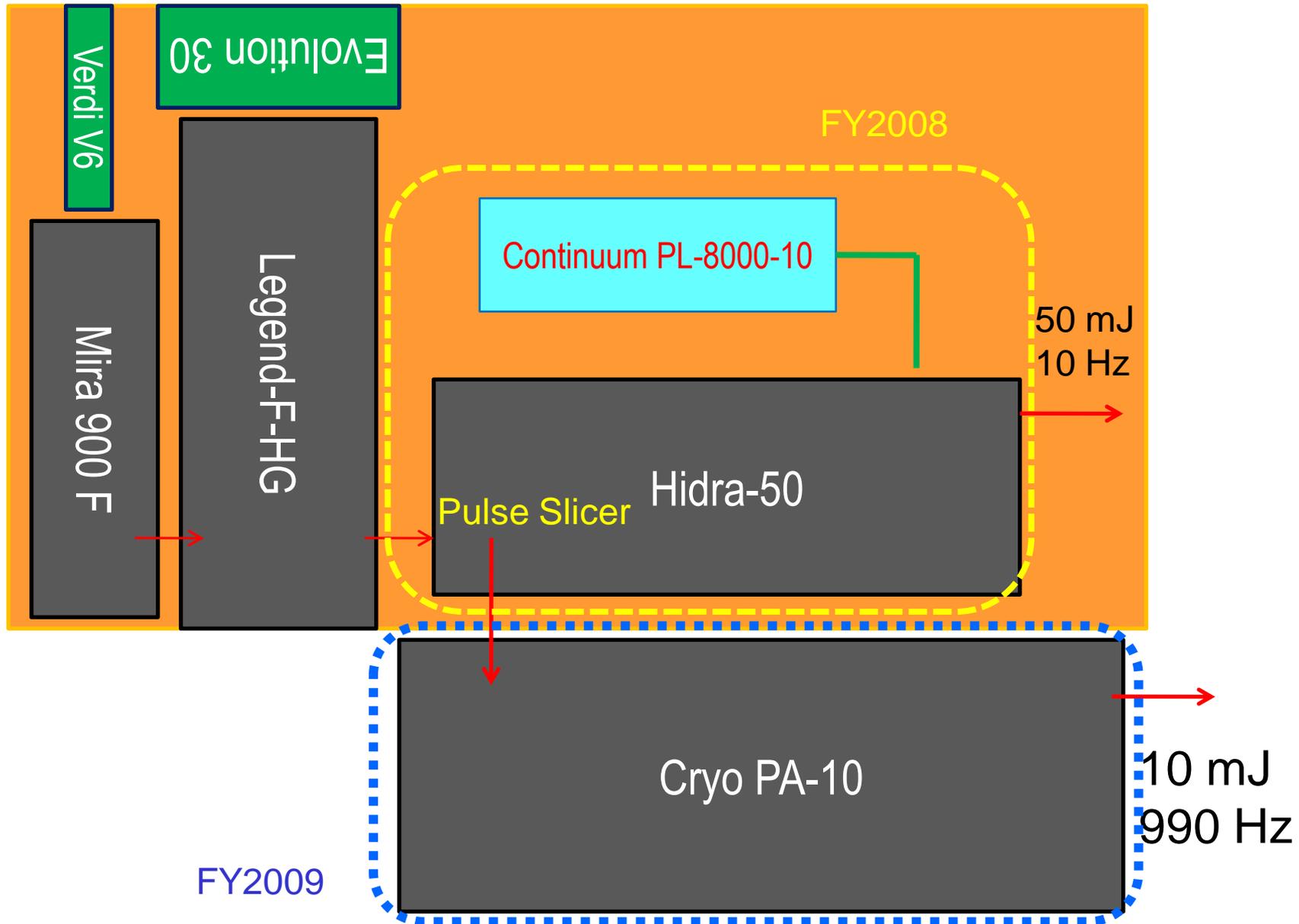


# Modulator Design

- Configuration APPLE-II
- Pole Length ~1m
- Minimum Pole Gap 24mm
- Period Length 84mm

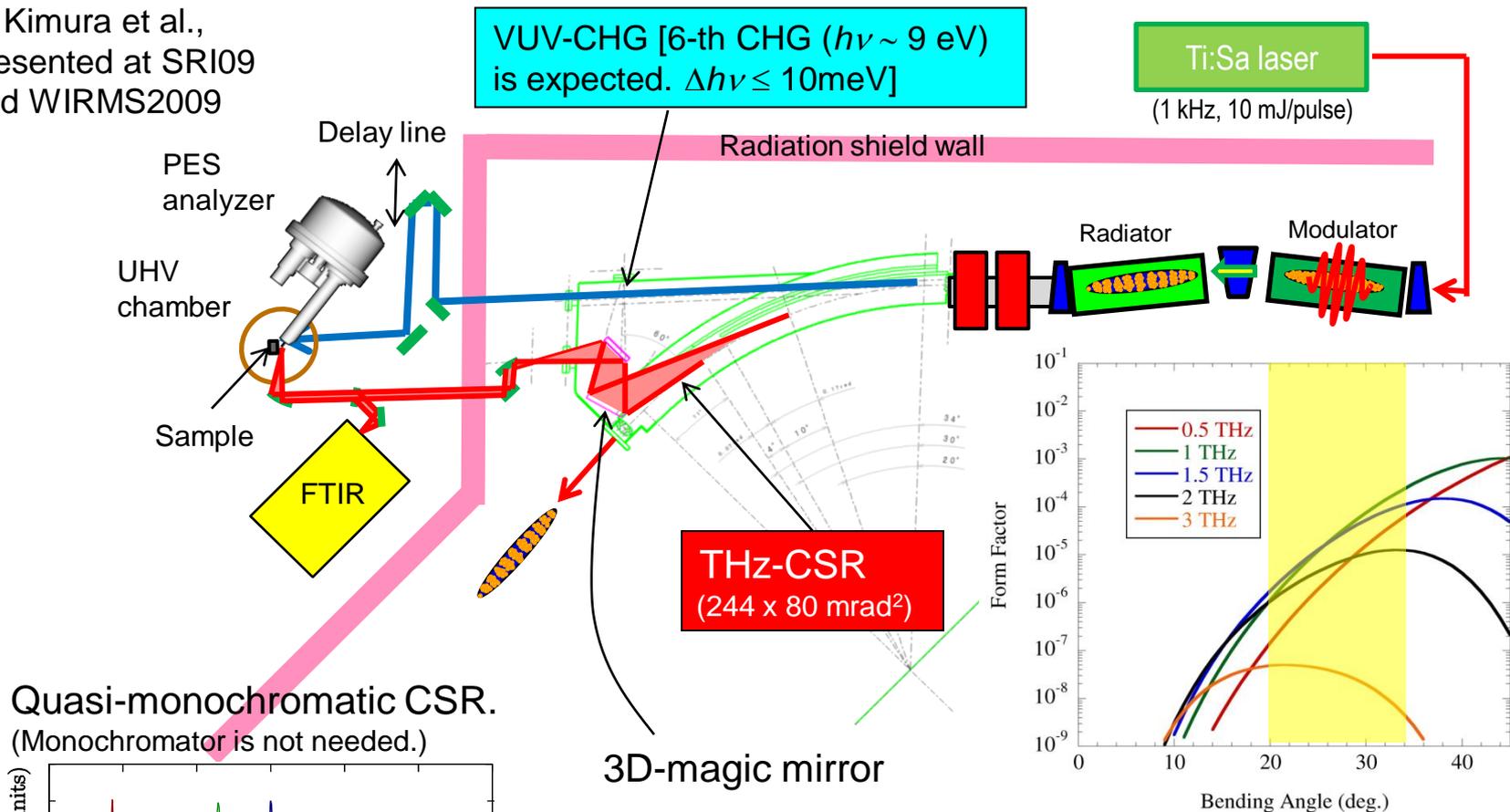


# Laser Upgrade

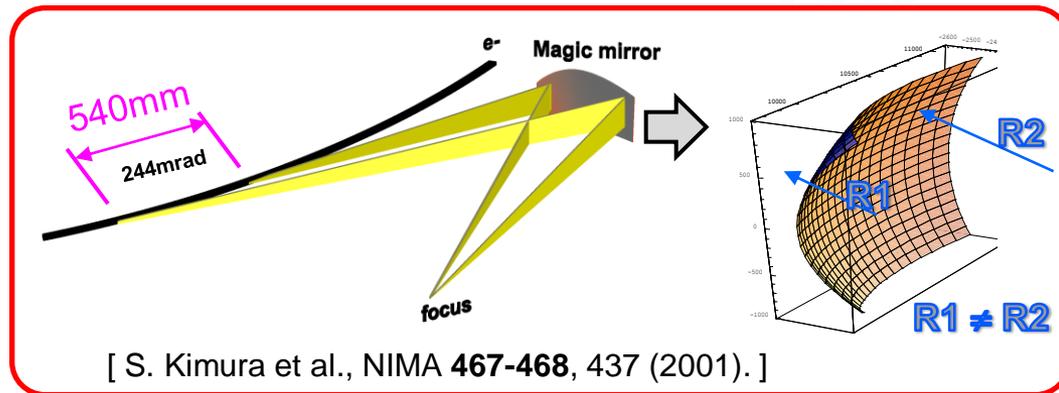
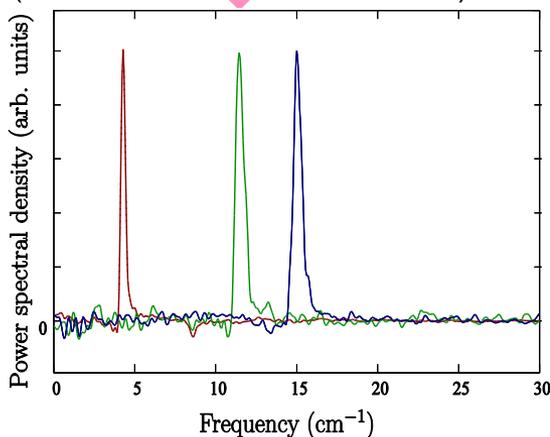


# THz pump – PES probe beamline at UVSOR-II

S. Kimura et al.,  
presented at SRI09  
and WIRMS2009



Quasi-monochromatic CSR.  
(Monochromator is not needed.)



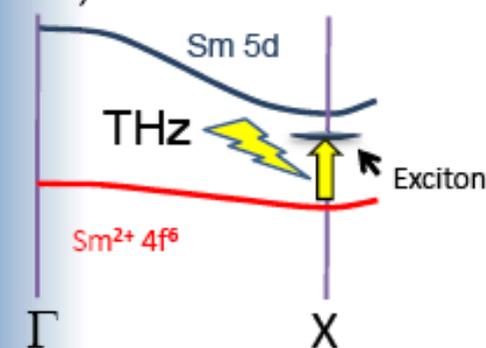
# THz励起・VUV/SX分光のターゲット

by S. Kimura

➤フェルミ準位近傍の電子状態を選択的に励起して、機能性の起源を調べる。

✓価数揺動系の局所価数転移と格子の緩和過程。

ex.) SmS

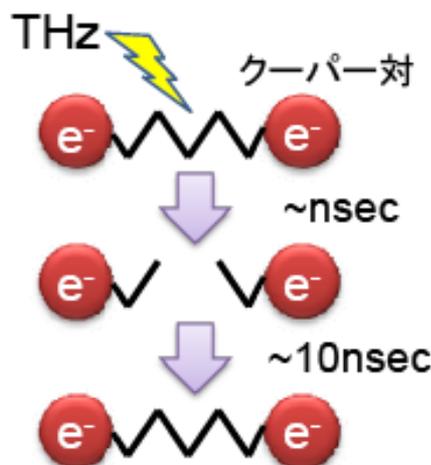


Sm<sup>2+</sup>4fからエキシトンへの電子励起による  
Sm<sup>2+</sup>→Sm<sup>3+</sup>の価数転移。

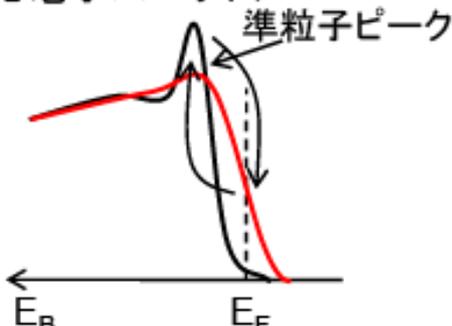


格子間隔の収縮→電子状態の変化。試料全体へ。  
(~psec - msec?)

✓超伝導ギャップ間の電子励起によるクーパー対の崩壊と再結合過程。

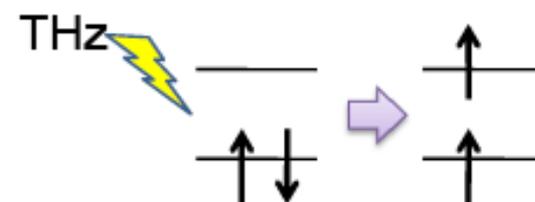


光電子スペクトル

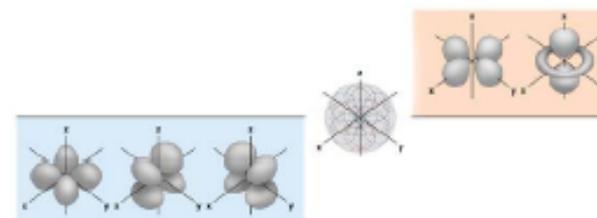


✓スピン励起とヤンテラーひずみによる格子緩和過程。

Ex.) V<sup>3+</sup>, Cr<sup>4+</sup>系



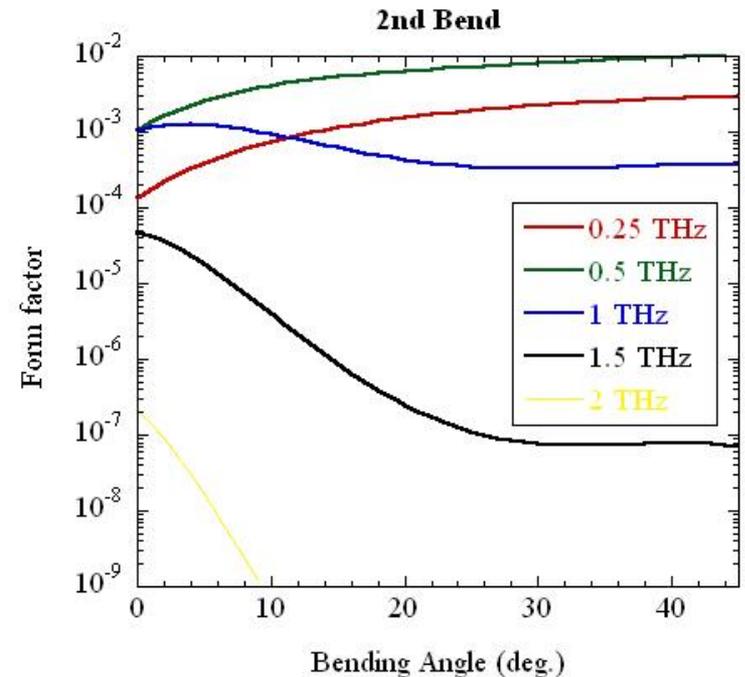
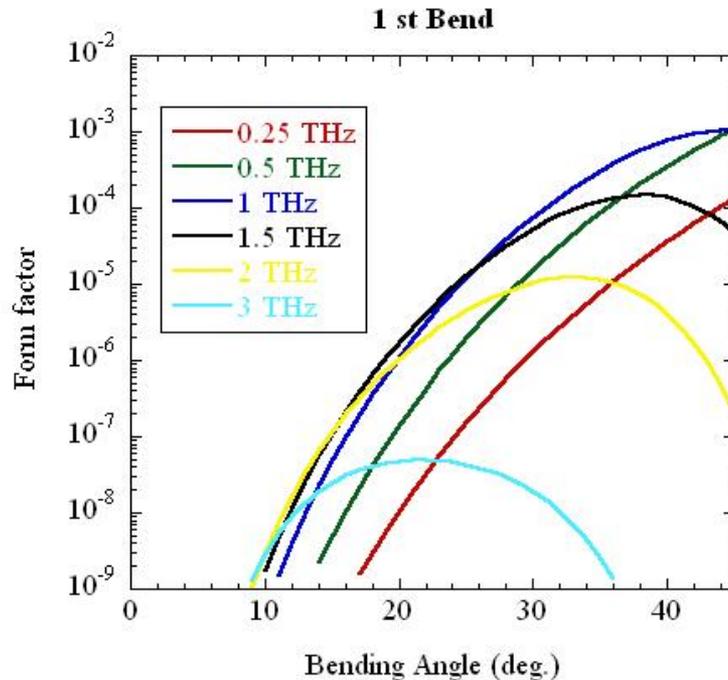
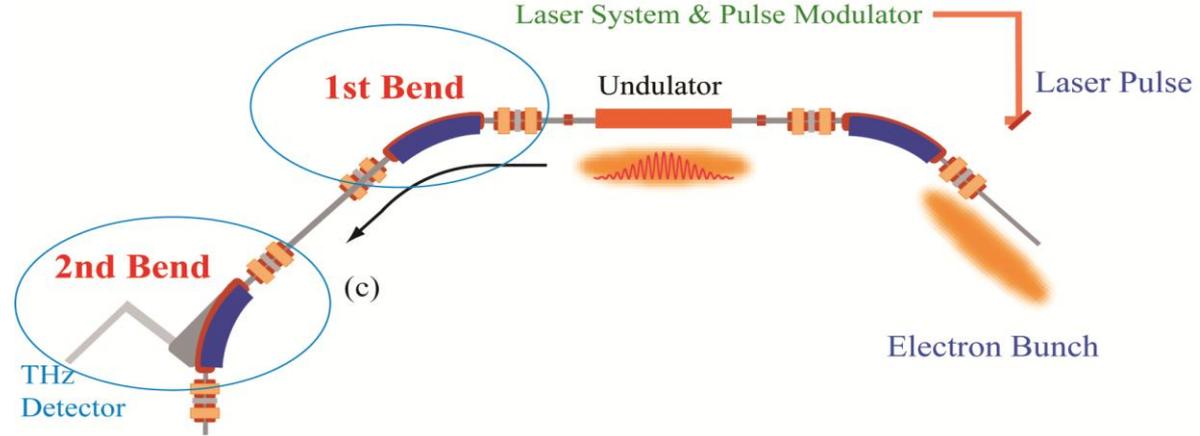
どの軌道に電子が入るかによって、配位子への電場が変わる。  
→ヤンテラーひずみ。





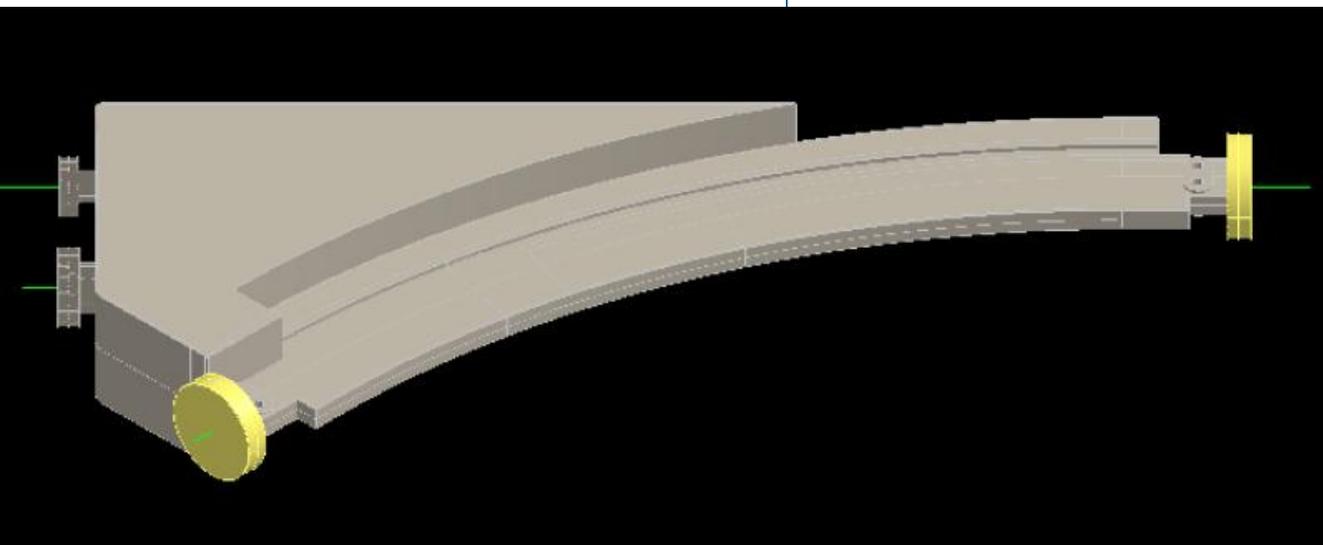
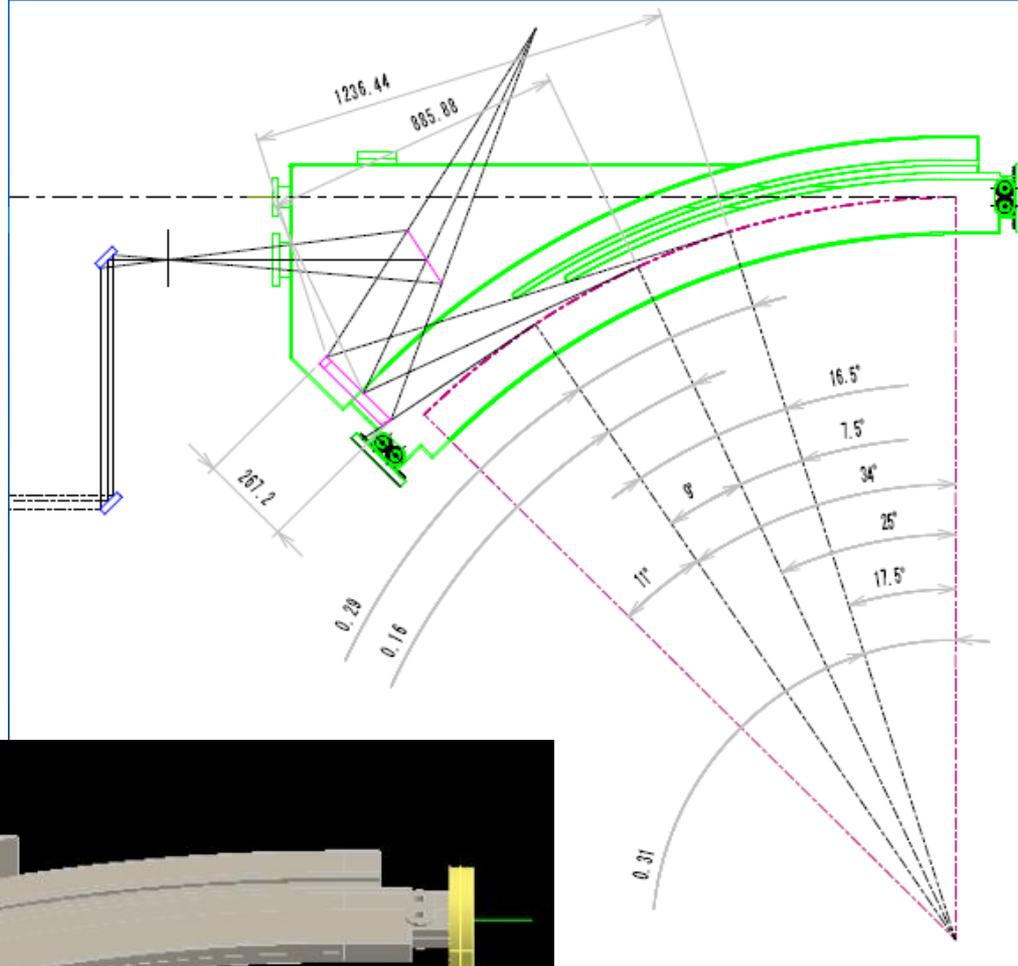
# Extraction of THz CSR

M. Hosaka et al.,  
presented at WIRMS2009



# Bending Duct for THz Beam-line

by E. Nakamura



# テラヘルツ近接場分光技術の開発

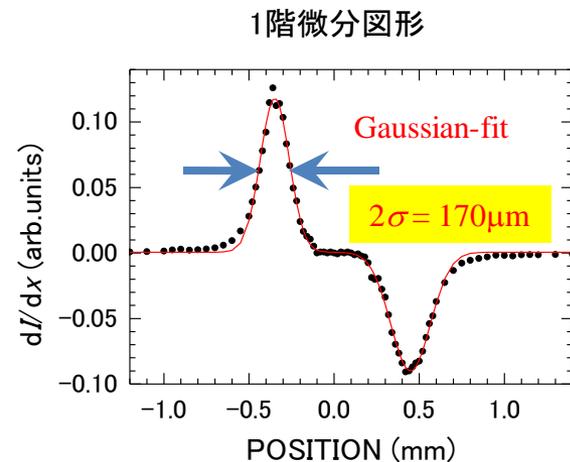
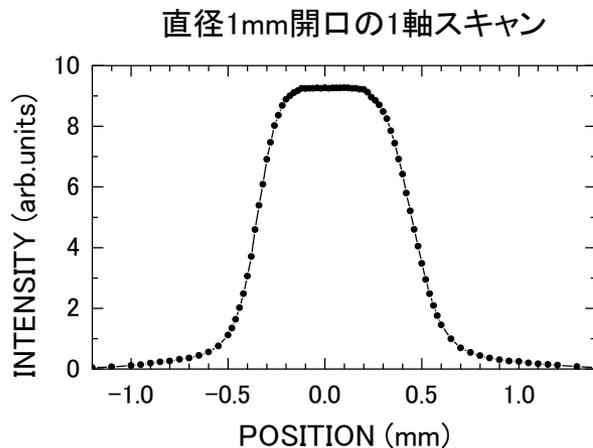
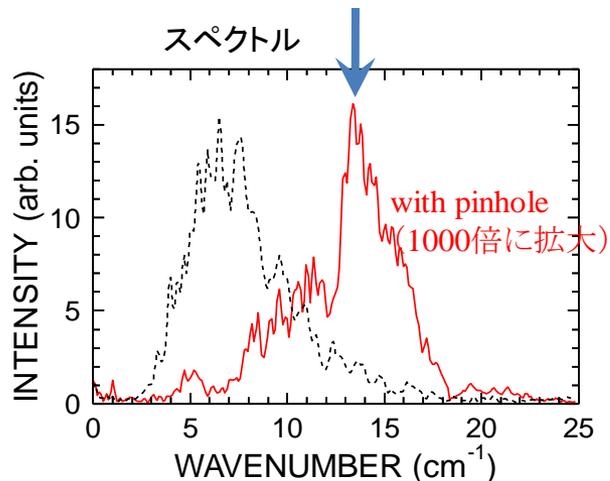
京都大学原子炉実験所 電子ライナック



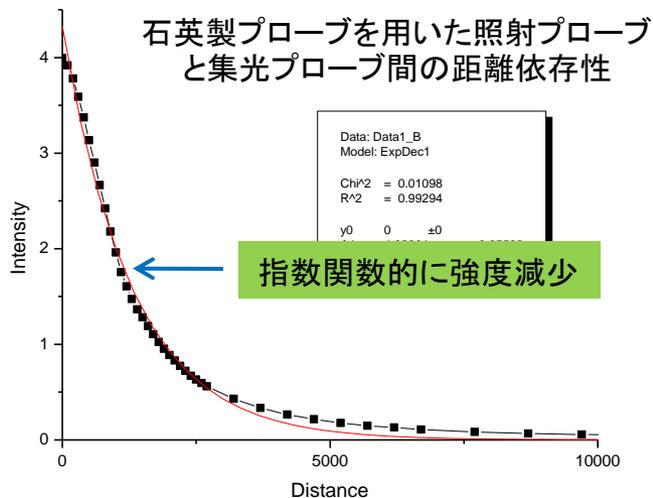
by T. Takahashi

先端に $\phi 260\mu\text{m}$ ピンホールの照射プローブ

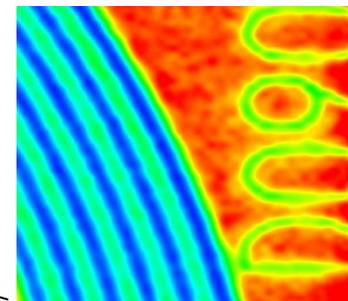
$\lambda = 750\mu\text{m}$



空間分解能  $\sim \lambda/4$



テラヘルツ透視のデモンストレーション  
(ICカード)



1mm

ループアンテナ

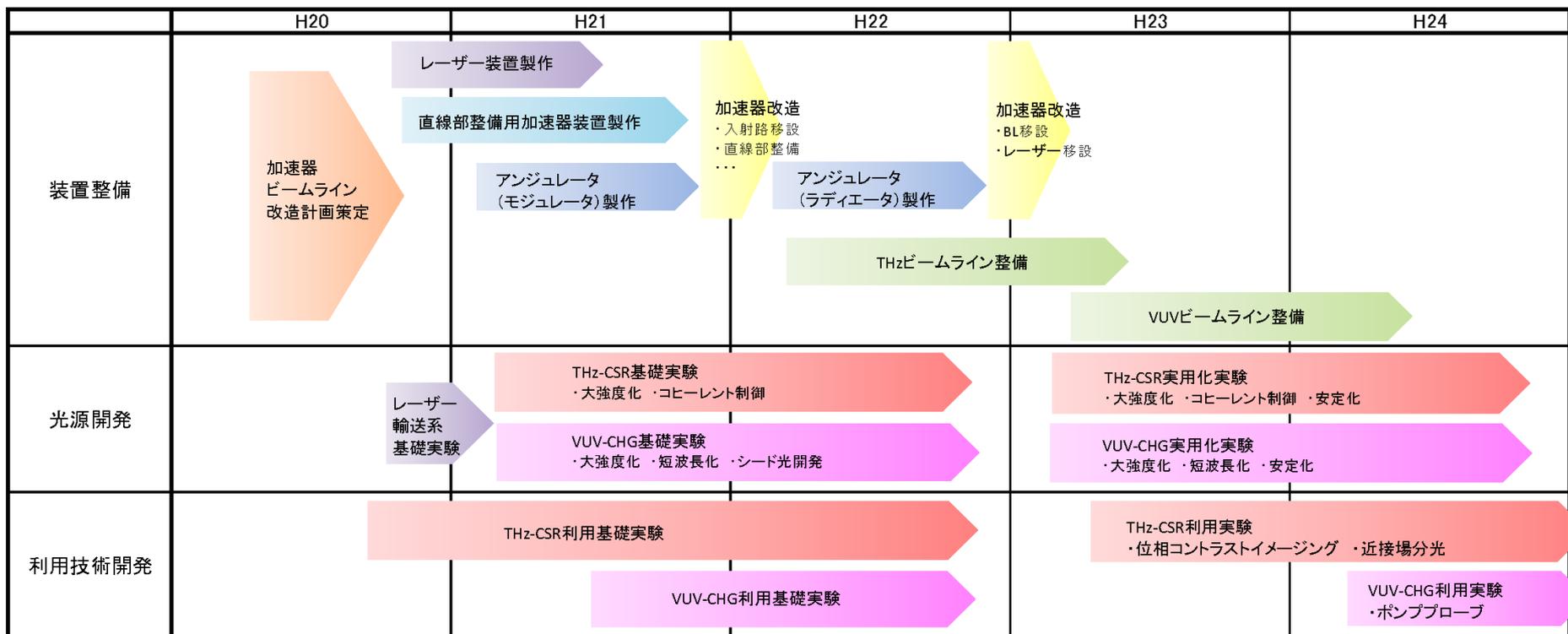
# 現状

— 2010年2月現在 —

- ・ 加速器改造用機器類製作完了
- ・ レーザー装置（1）；製作完了、立上調整済
- ・ レーザー装置（2）；製作進行中
- ・ アンジュレータ（1）；製作進行中
- ・ アンジュレータ（2）；設計進行中
- ・ ビームライン；設計進行中
- ・ THz近接場分光法；予備実験進行中
- ・ レーザーアライメント・輸送技術；予備実験進行中



# 開発スケジュール





Thank You



UVSOR FACILITY  
INSTITUTE FOR MOLECULAR SCIENCE

