

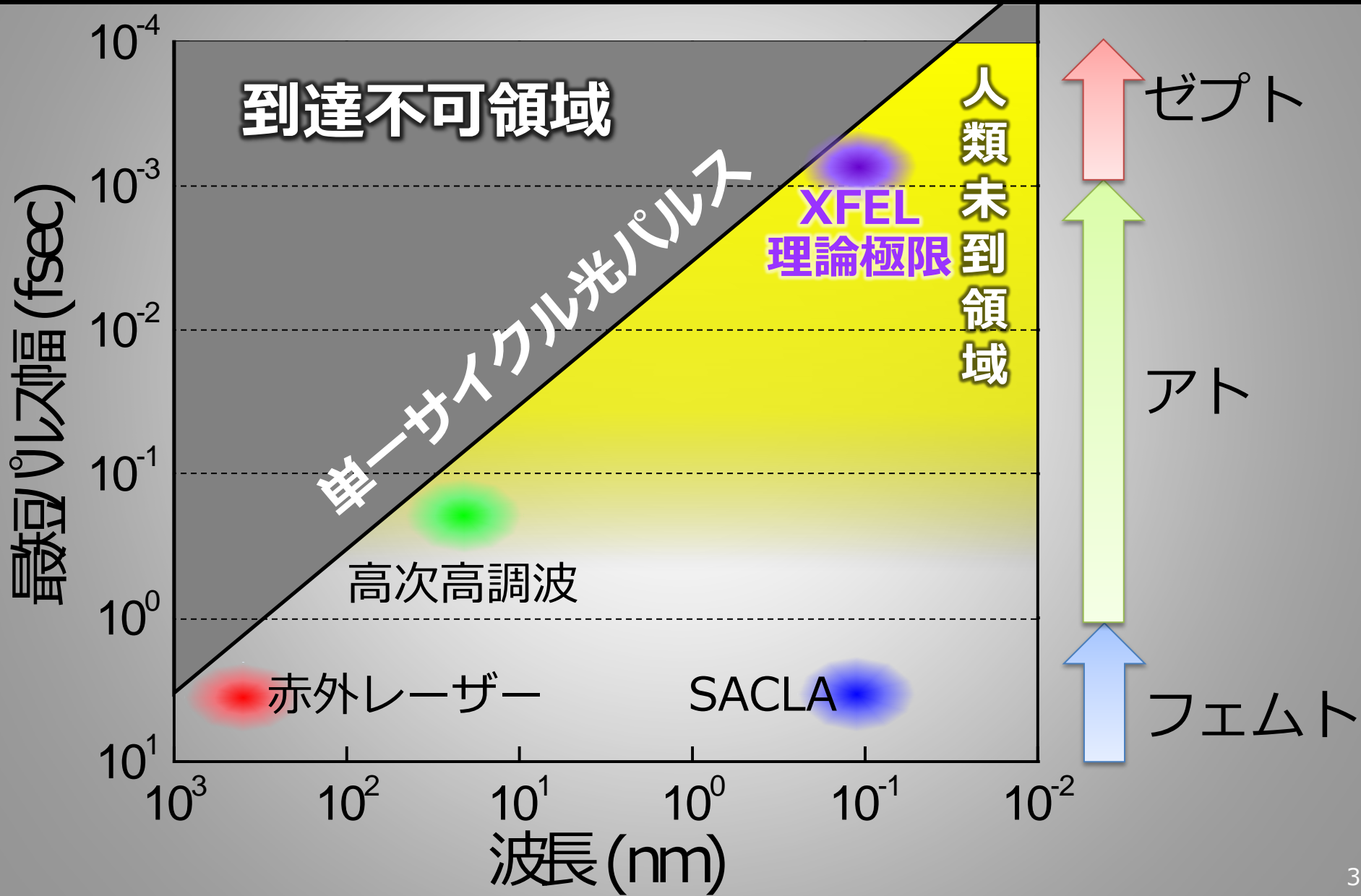
# ニュースバルにおける単一サイクル 自由電子レーザー原理実証計画

田中隆次<sup>A</sup>、貴田祐一郎<sup>A</sup>、金城良太<sup>A</sup>、富樫格<sup>B</sup>、富澤宏光<sup>B</sup>、  
橋本智<sup>C</sup>、宮本修治<sup>C</sup>、田中義人<sup>D</sup>

<sup>A</sup>理研放射光センター、<sup>B</sup>高輝度光科学研究センター、  
<sup>C</sup>兵庫県立大高度研、<sup>D</sup>兵庫県立大物質理学

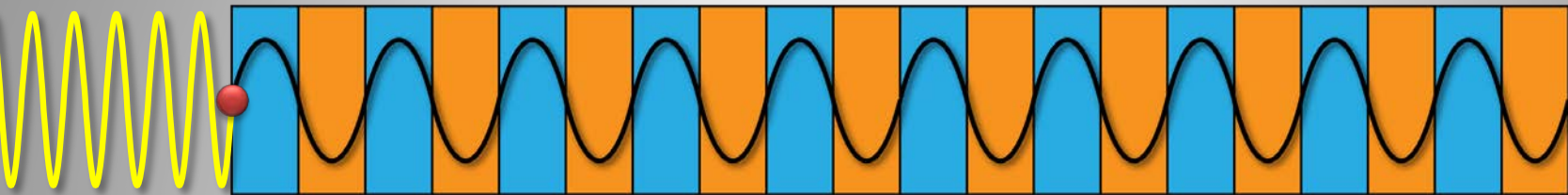
単一サイクリルFELとは？

# レーザー波長と最短パルス幅の現状

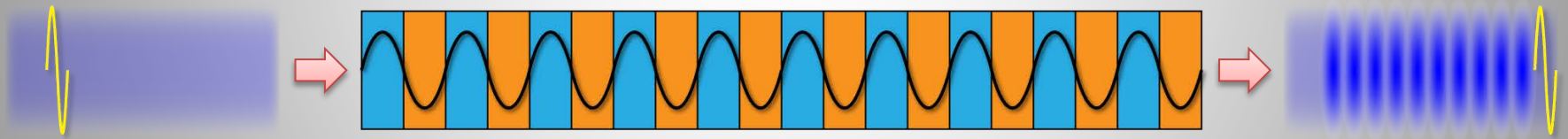


# 光スリッページ

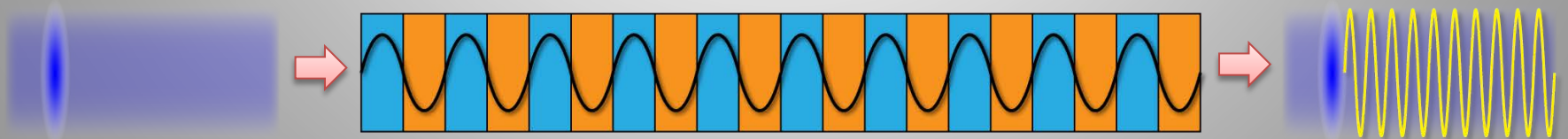
スリッページ：アンジュレータを通過する際、  
光が電子をすり抜けて前方へシフトする現象



単一サイクル光パルス→マイクロバンチ



単一マイクロバンチ→光パルス



# FELにおけるパルス長

電子ビーム

アンジュレータ

FEL

マイクロバンチ数:  $N$

周期数  $M (\ll N)$

パルス長:  $N\lambda_x$

$N=1$

周期数  $M$

パルス長:  $M\lambda_x$

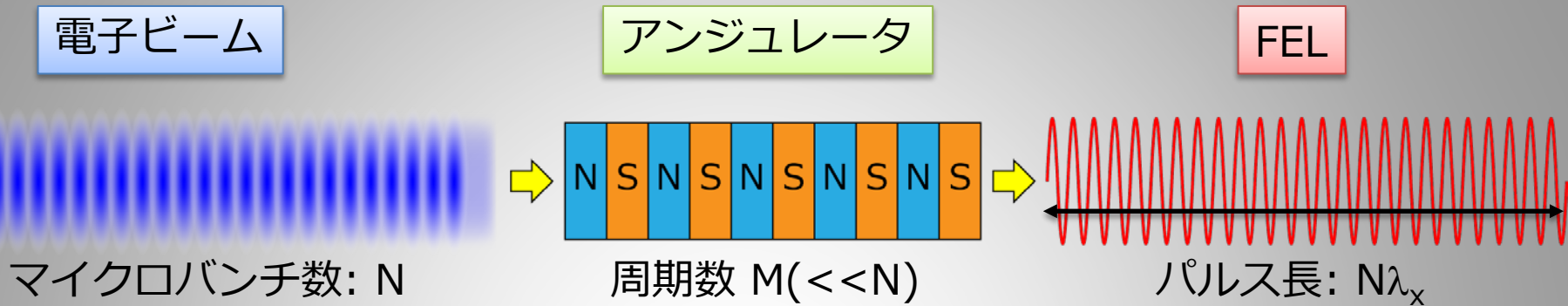
スリッページによる  
パルスの伸長

$N=1$

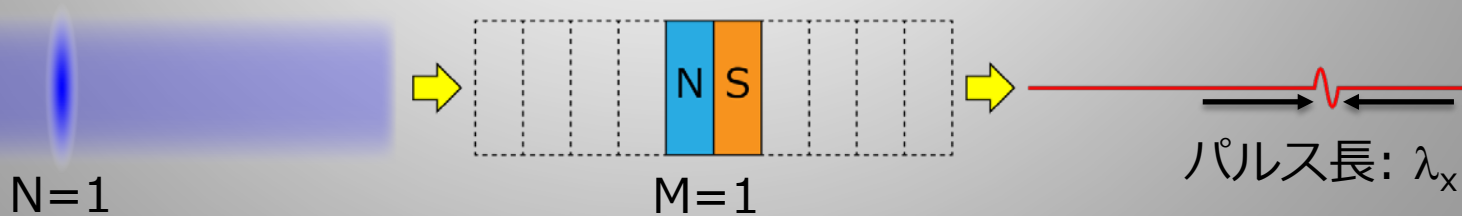
$M=1$

パルス長:  $\lambda_x$

# FELにおけるパルス長

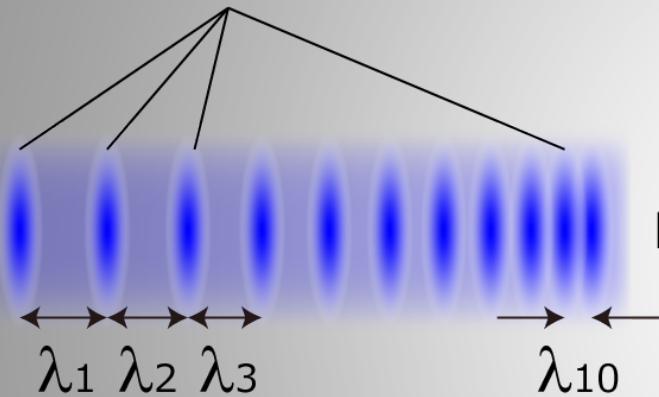


モノサイクルFELを実現する新手法を提案  
✓  $N=M \gg 1$ の条件でもスリッページによるパルスの伸長を抑制

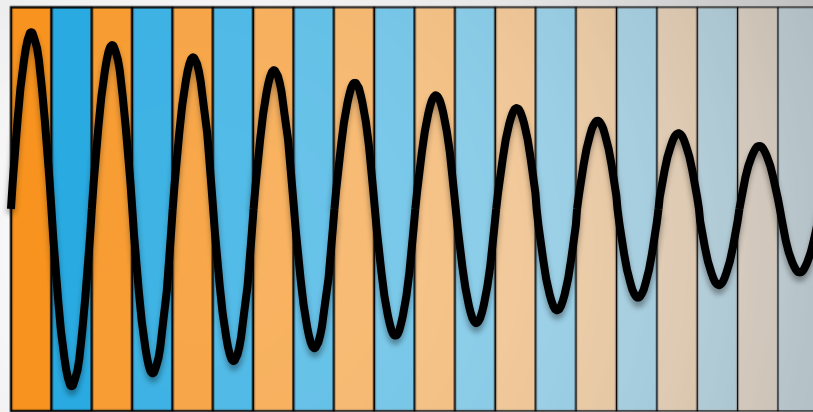


# 基本概念

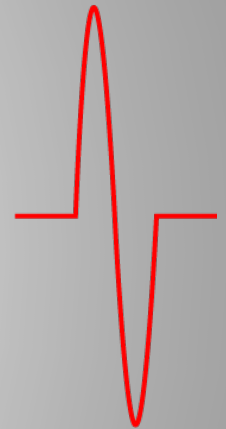
チャープ  
マイクロバunch



強テーパー  
アンジュレータ



モノサイクル  
パルス



必要条件

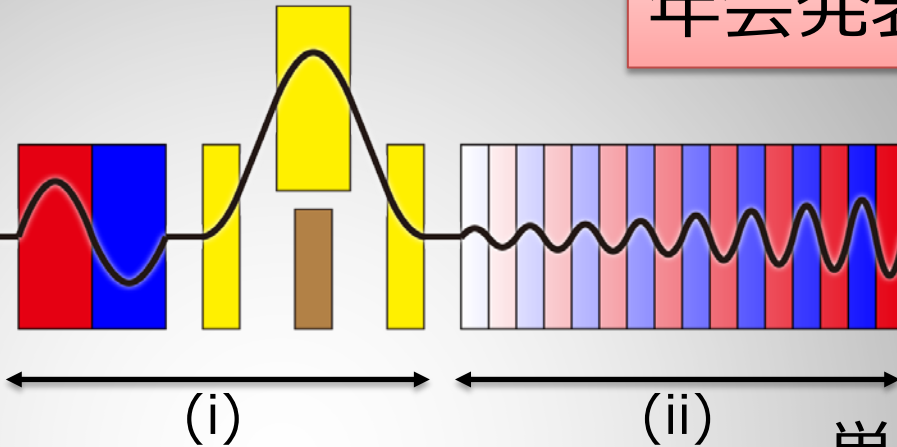
$n$  番目のマイクロバunch間隔  
=  $n$  周期目のスリッページ

# 実装方法:初期型

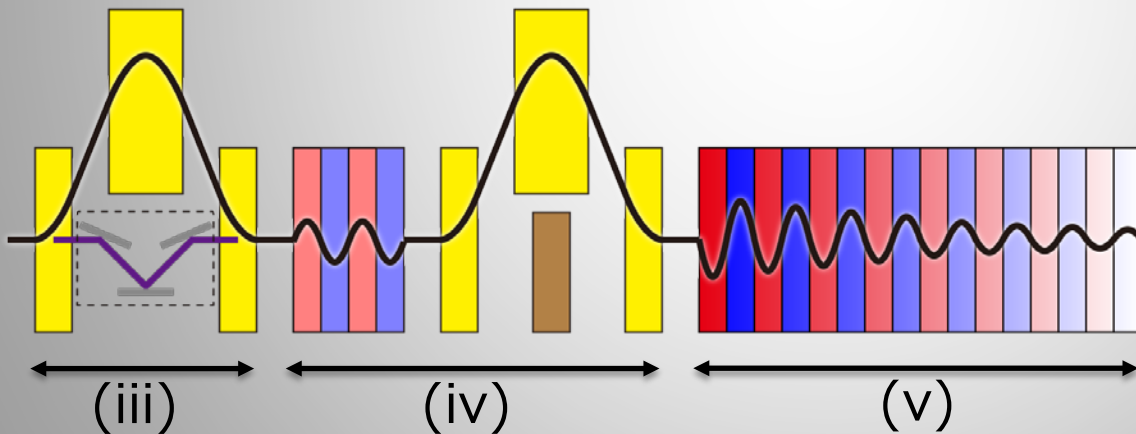
2015加速器学会  
年会発表資料

単一サイクル  
光パルス(波長 $\lambda_0$ )

電子バンチ



単一サイクル  
光パルス  
(波長 $\lambda_0/m$ )



波長( $\lambda_0$ )の単一サイクル光パルスをアップコンバート  
⇒ Monocycle Harmonic Generation (MCHG)



# 初期型における難点

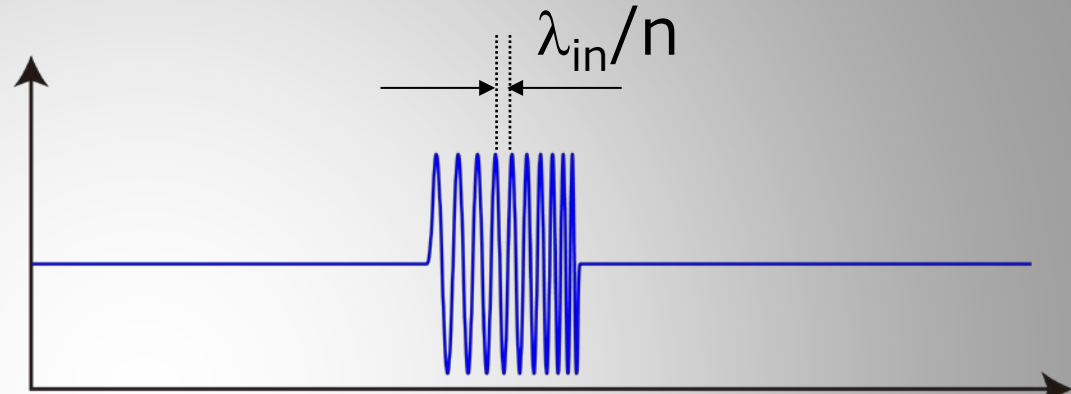
- 複雑な加速器配置
  - コンポーネントのほとんどが「チャープマイクロバンチ」を準備するために必要
- 電子ビーム条件
  - 光性能（強度・パルス長）がエネルギー幅に極めて敏感

## 問題複雑化の元凶

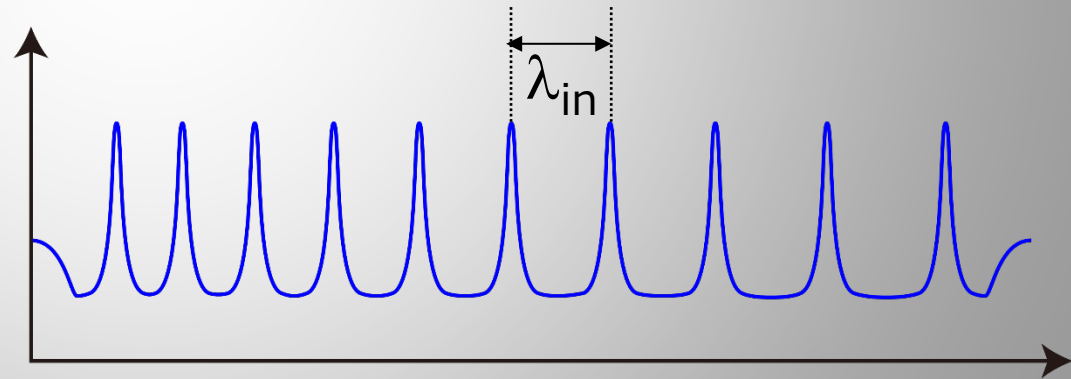
- ✓  $\lambda_c = \lambda_{in}$  のモノサイクルシードパルスによる、  
 $\lambda_c = \lambda_{in}/n$  のチャープマイクロバンチの生成
- ✓ 中間過程“チャープパルスの生成”が必要

# 修正の要点

チャープパルスの生成を要する複雑な過程



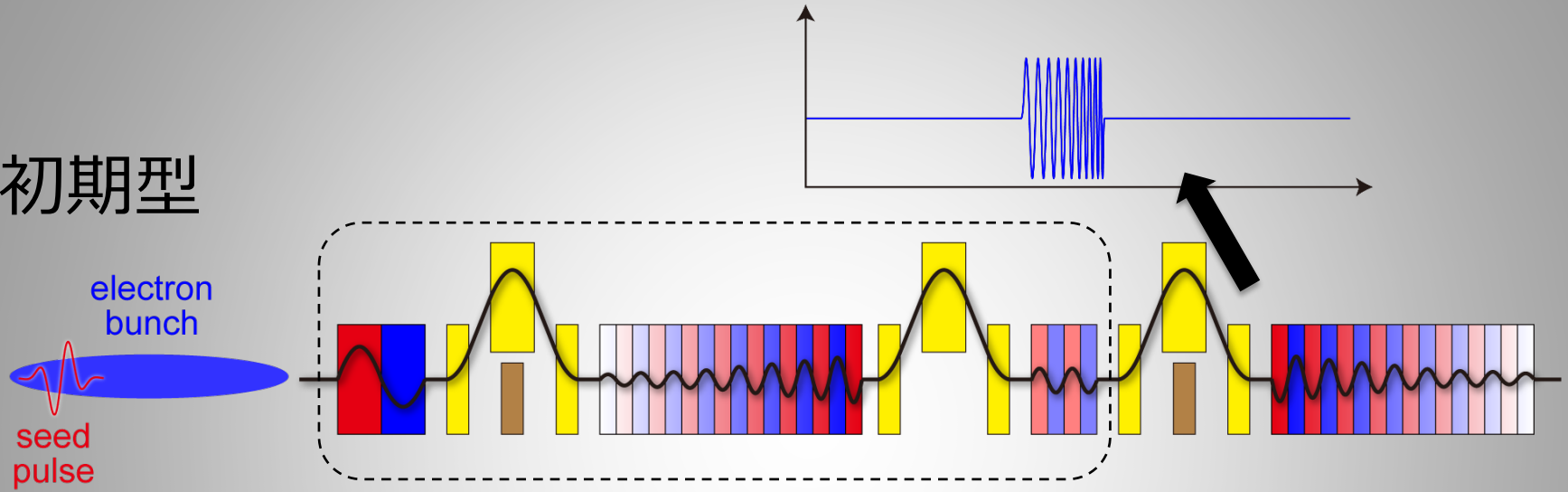
直接的な変調が可能



条件  $g(t) = f(T - t)$  を満足すれば  
モノサイクルパルスの生成可能

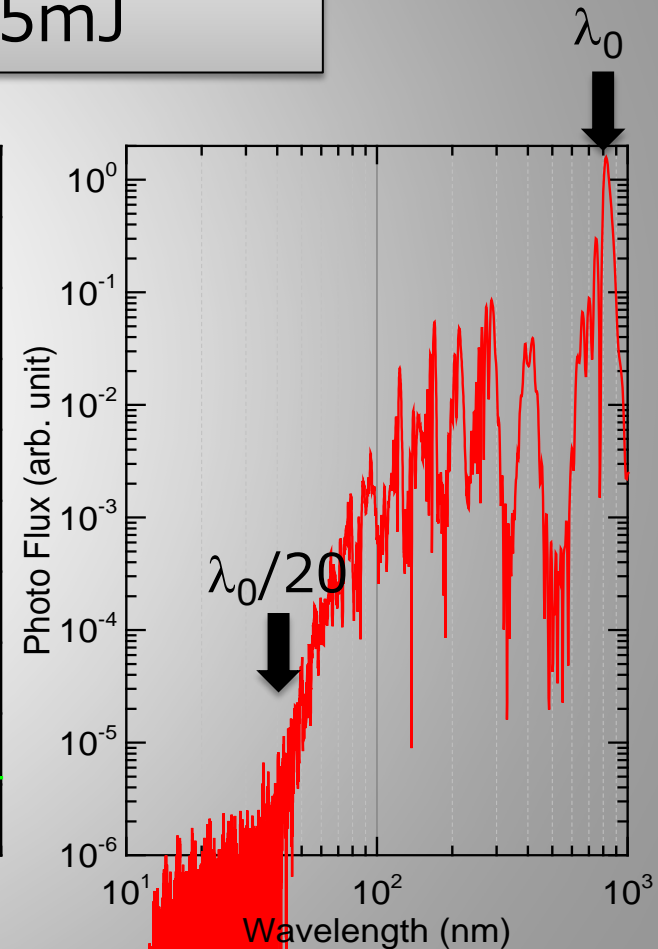
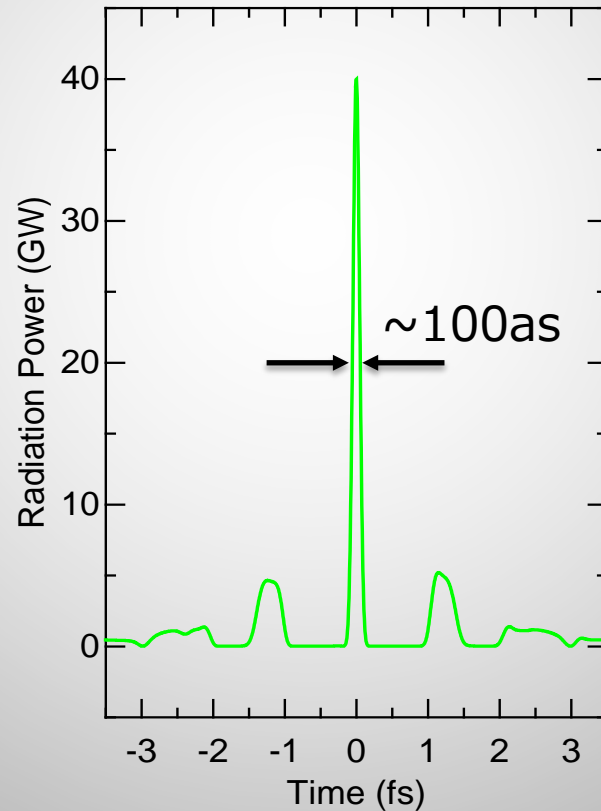
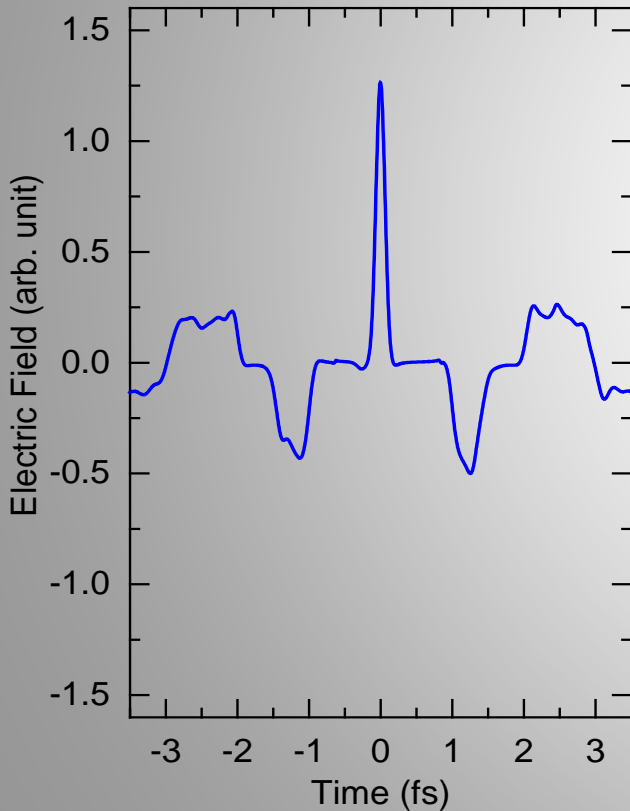
# 修正型MCHG

初期型

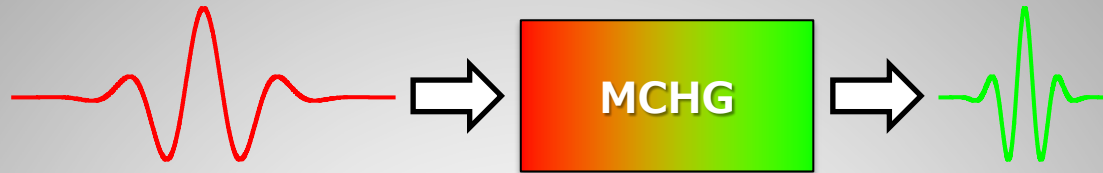


# 計算例

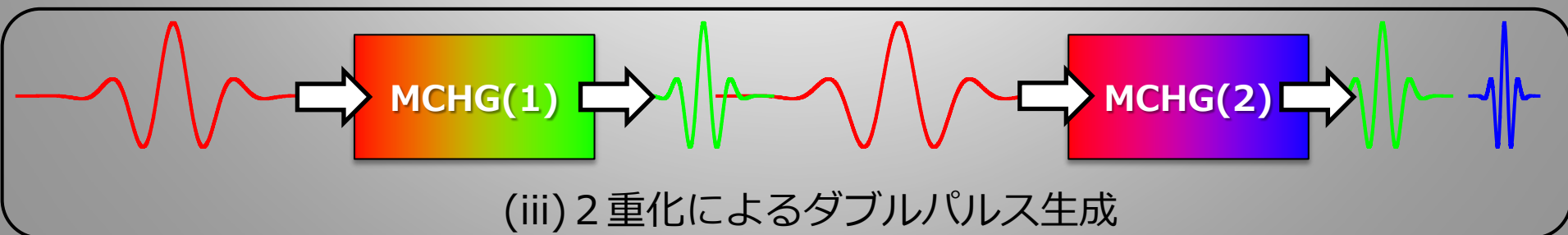
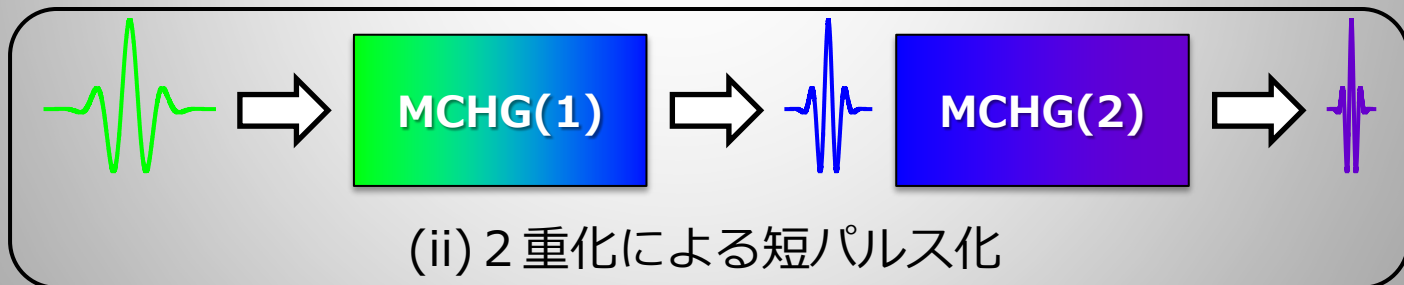
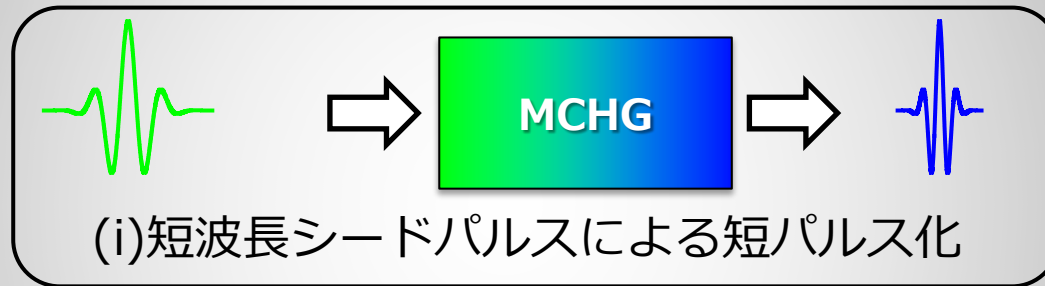
電子 :  $E=1.5\text{GeV}$ ,  $I=1.5\text{kA}$ ,  $\sigma_E/E=5\times 10^{-4}$   
シードパルス :  $\lambda_0=800\text{nm}$ ,  $E=5\text{mJ}$



# MCHGの潜在的オプション



MCHGによる短波長モノサイクル(=孤立アト秒)パルス生成



# 原理実証実験の概要

# MCHG原理実証実験：SC<sup>3</sup>計画

- SC<sup>3</sup> = Slippage-Controlled Coherent radiation by Chirped microbunching
- SPring-8キャンパス内で稼働中の、小型放射光リングNewSUBARUにおける原理実証実験を計画中
- 科研費採択を機にプロジェクト発足
  - 期間：2018~2022
  - 予算が厳しい：既存リソースを最大限活用

# ニュースバル蓄積リング



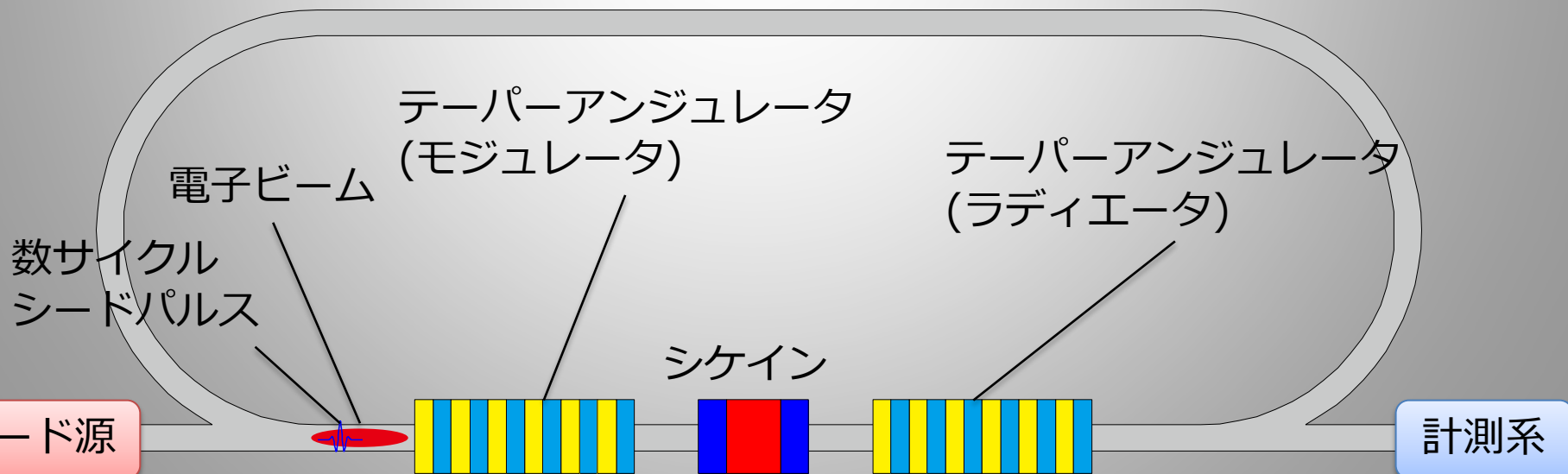
周長	118 m
エネルギー	1 GeV (1.5, 0.5)
エミッタンス	37 nm.rad
エネルギー広がり	$4 \times 10^{-4}$
バンチ長	33 psec

施設規模、ビーム特性、レイアウト(長直線部&レーザー導入ポート)等の点でMCHG原理実証に適している



# 実証実験の概要

- 長直線部(11m)を利用
- 必要機器を実装
  - シードレーザー
  - テーパーアンジュレータx2、シケインx1
- 電子エネルギー1GeV、可能なら0.5GeV
- シードパルス波長800nm、数サイクル(~15fs)



# 準備状況(1)

- シード光
  - SCSS試験加速器でユーザー実験に供されていたチタンサファイアレーザーを整備
  - 中空ファイバーによるスペクトル拡大とチャープミラーによる分散補償によって、5サイクル程度までパルス長を圧縮
- テーパーアンジュレータ
  - 周期長150mm(基本波長800nm)
  - テーパー形状や周期数を任意に調整できるように、周期毎にギャップが変更可能な機械構造を設計検討中

# 準備状況(2)

- タイミング系
  - 既存レーザーの共振器長を大幅に変更することなく、ニュースバルにおけるマスターオシレータ(基準周波数500MHz)と同期するための手法検討中
- 蓄積リング
  - 低エネルギー運転の可能性
  - アンジュレータの自然収束による影響(ベータ関数の歪みやチューンシフト)の補正手法

# 年次計画

項目／年度	2018	2019	2020	2021	2022
計算による評価・パラメータ決定	→				
既存アンジュレータ搬出		×			
既存レーザー整備・短パルス化	→				
テーパーU設計・製作		→			
テーパーU・設置		×			
タイミング系整備	→				
近赤外・紫外分光器整備	→				
近赤外パルス幅計測装置整備	→				
紫外パルス幅計測装置開発		→			
シードレーザー設置		×			
実証実験			→		

ご清聴ありがとうございました