

単一サイクルXFELパルス 生成手法の提案

田中隆次
理研放射光センター

Outline

- はじめに
- 単一サイクルパルス発生 の原理
- XFELにおける実装方法
- 適用例と計算結果
- まとめ

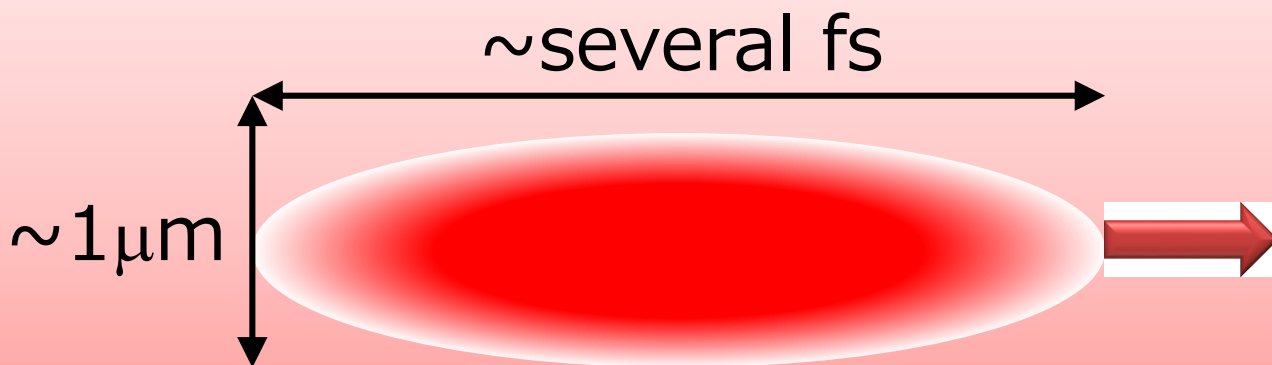
Outline

- **はじめに**
- 単一サイクルパルス発生 の原理
- XFELにおける実装方法
- 適用例と計算結果
- まとめ

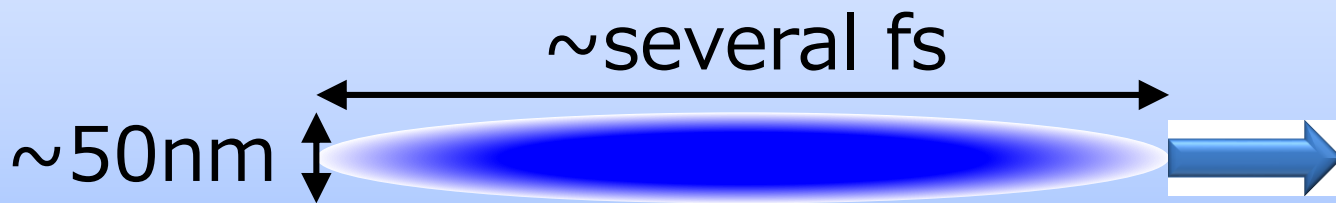
レーザー光源における理論限界と到達値

空間的下限（回折限界）：集光サイズ～波長
時間的下限（単一サイクル）：パルス幅～波長

赤外レーザー
($\lambda=800\text{nm}$)



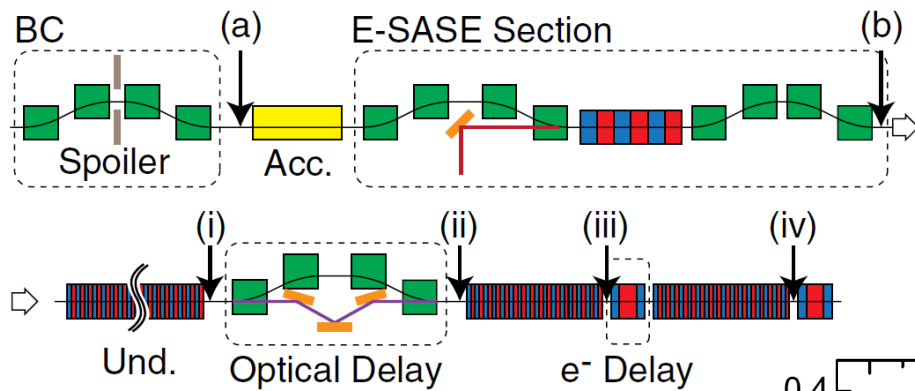
XFEL
($\lambda=0.1\text{nm}$)



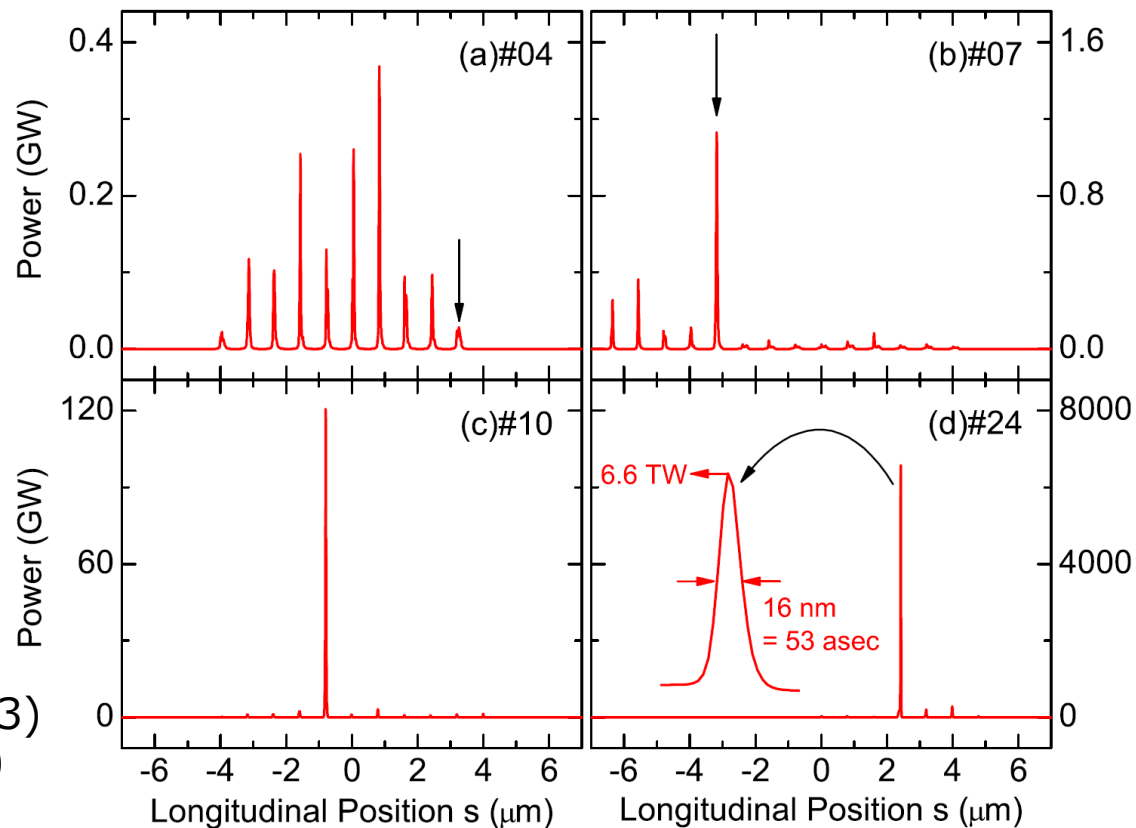
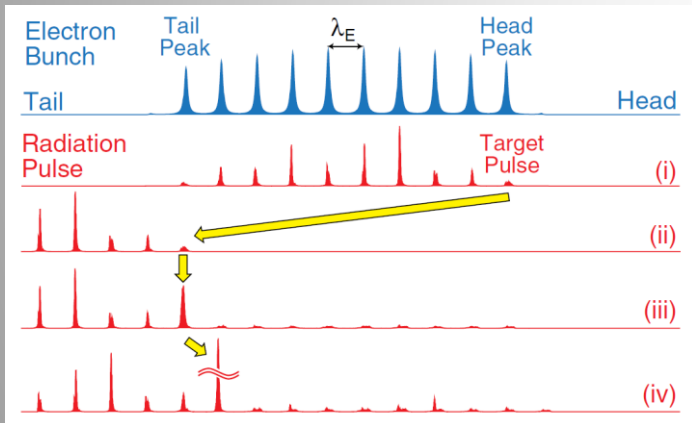
理論限界XFELに向けた技術開発

- 回折限界 (= 集光)
 - 物理的制限 (スリット : フラックス低下)
 - 集光光学系 (高精度ミラーなど)
- 単一サイクル (= パルス圧縮)
 - 電子バンチ圧縮
 - チャープパルス & 分散光学系
 - 長波長レーザーとの連携による特殊方式

XFELパルス圧縮

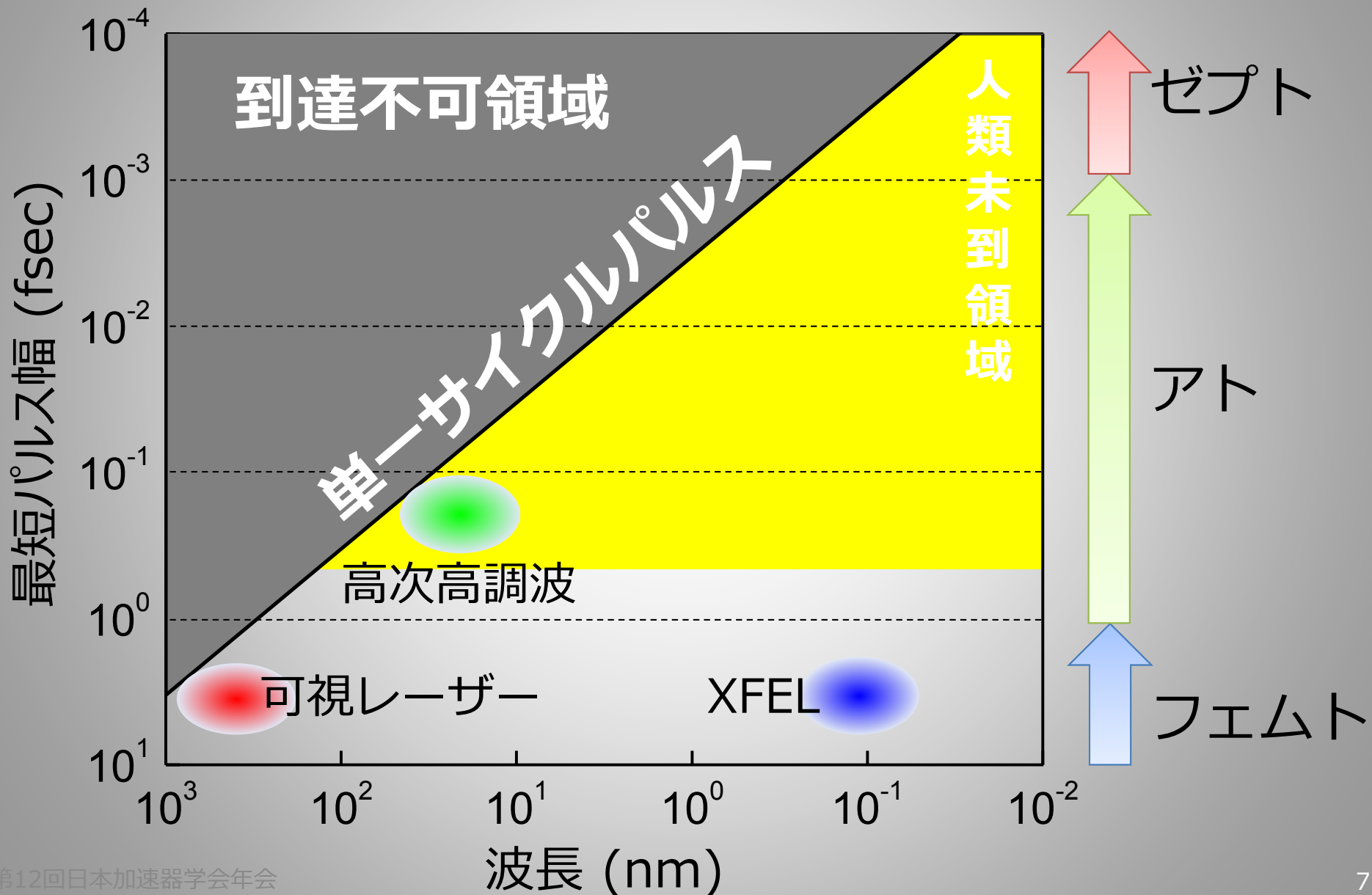


櫛状電流ピークにおける
逐次増幅によるパルス圧縮

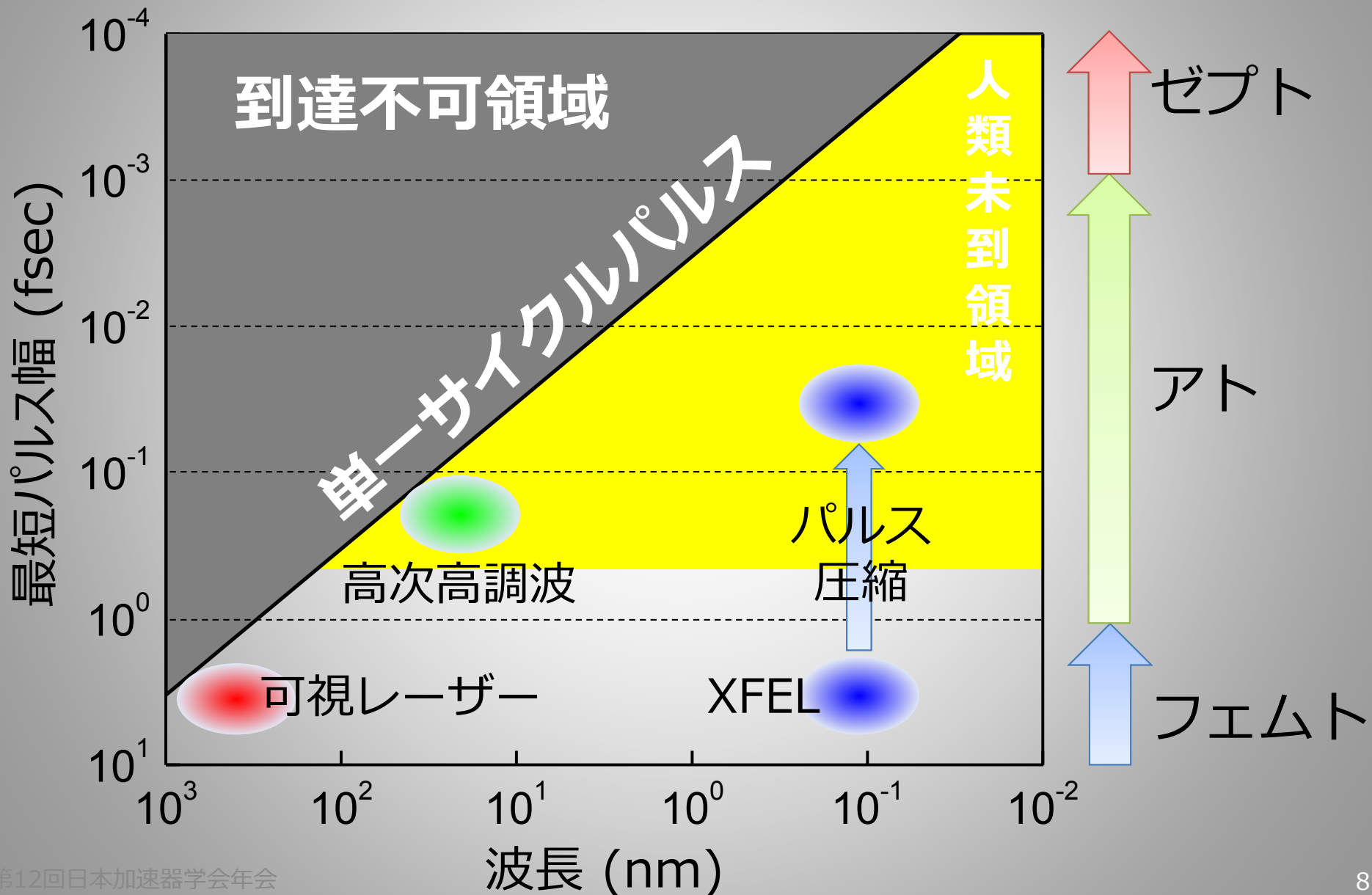


T. Tanaka, PRL 110, 084801 (2013)
田中、第10回加速器学会年会(2013)

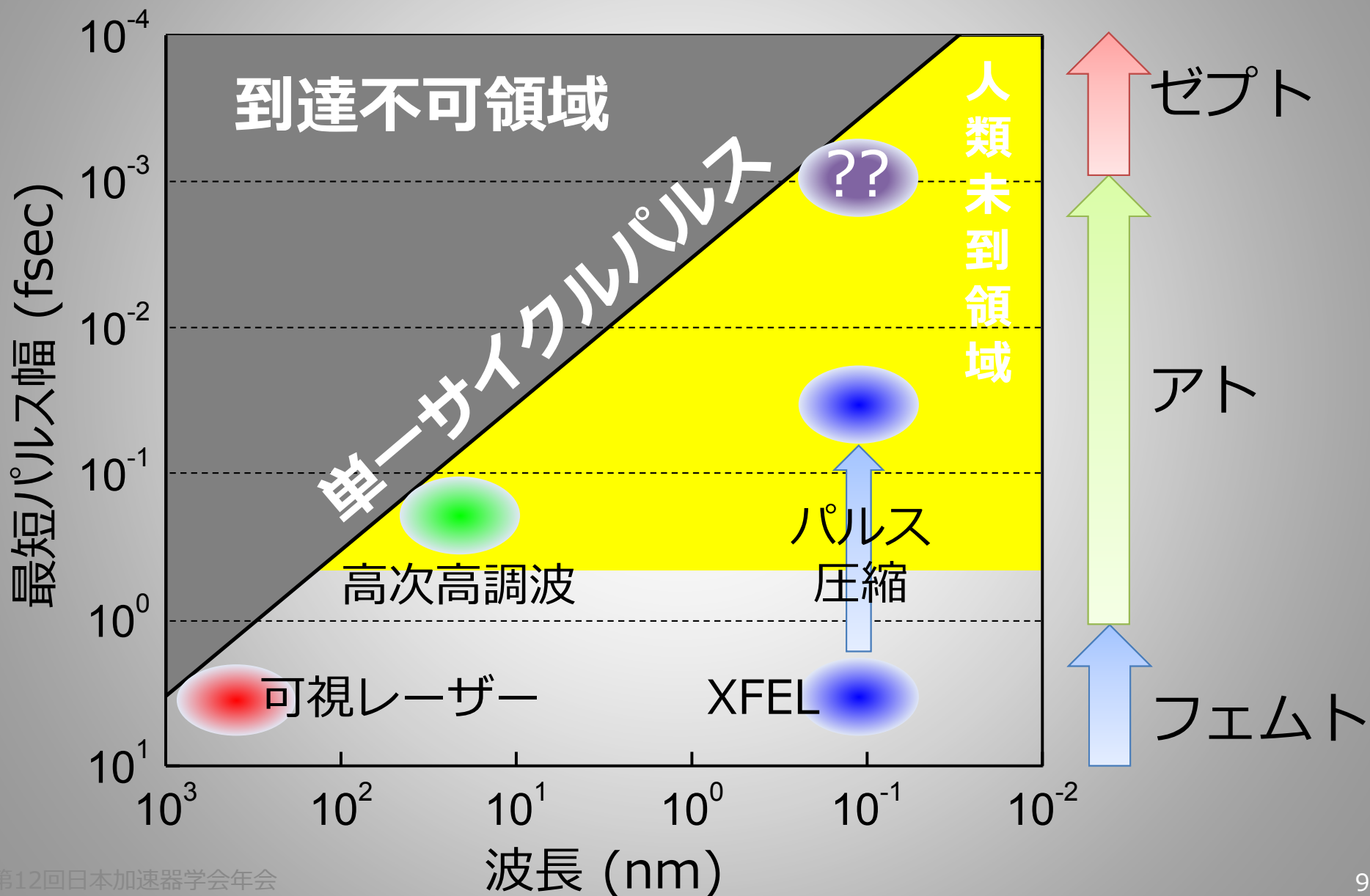
単一サイクルX線レーザーへ向けて



単一サイクルX線レーザーへ向けて



単一サイクルX線レーザーへ向けて



Outline

- はじめに
- **単一サイクルパルス発生 の原理**
- XFELにおける実装方法
- 適用例と計算結果
- まとめ

XFELのパルス幅

電子ビーム

アンジュレータ

X線レーザー

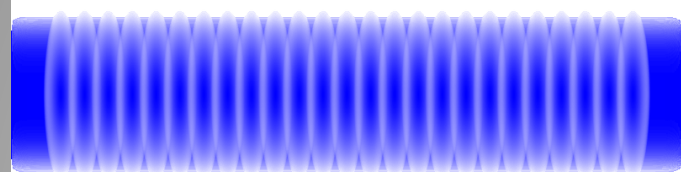


XFELのパルス幅

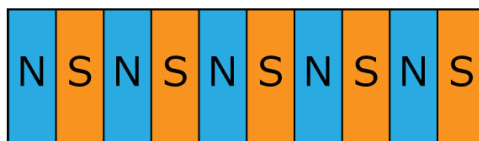
電子ビーム

アンジュレータ

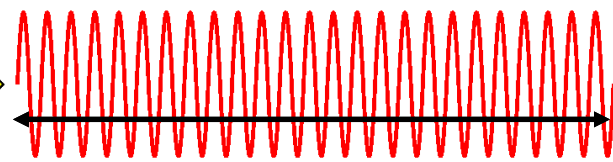
X線レーザー



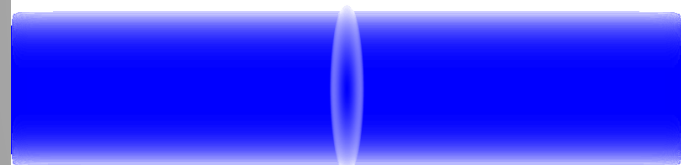
マイクロバンチ数 N



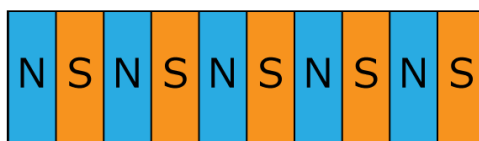
周期数 $M (<< N)$



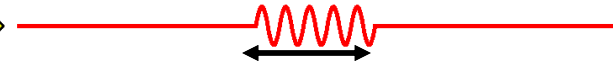
パルス幅 $N\lambda_x$



$N=1$



周期数 M



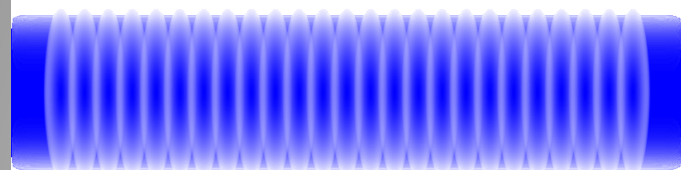
パルス幅 $M\lambda_x$

XFELのパルス幅

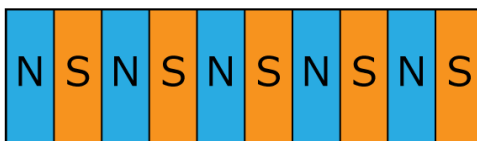
電子ビーム

アンジュレータ

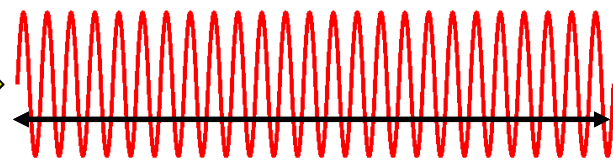
X線レーザー



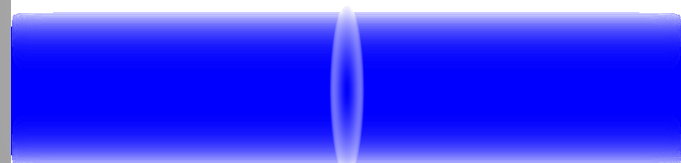
マイクロバンチ数 N



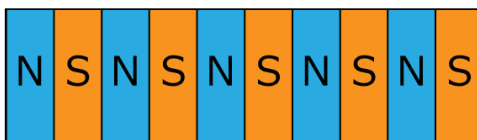
周期数 $M (<< N)$



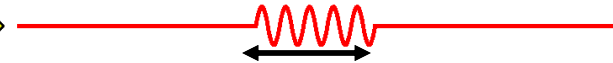
パルス幅 $N\lambda_x$



$N=1$



周期数 M



パルス幅 $M\lambda_x$

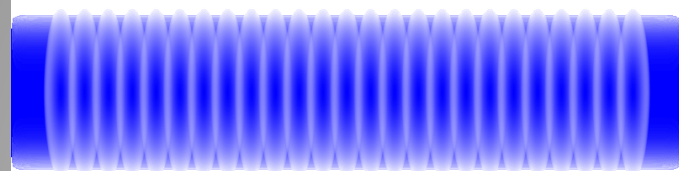
スリッページによるパルス伸長

XFELのパルス幅

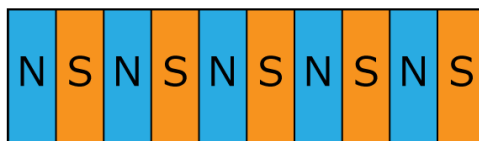
電子ビーム

アンジュレータ

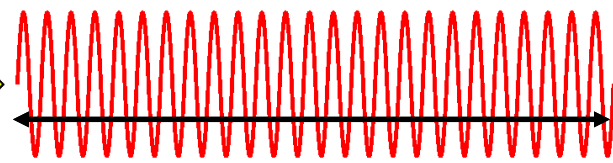
X線レーザー



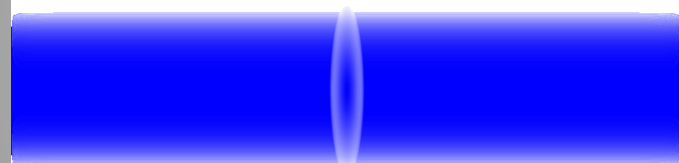
マイクロバンチ数 N



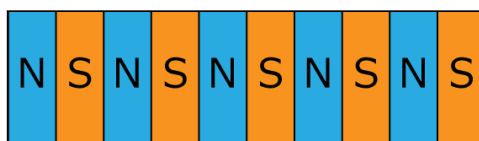
周期数 $M (<< N)$



パルス幅 $N\lambda_x$



$N=1$

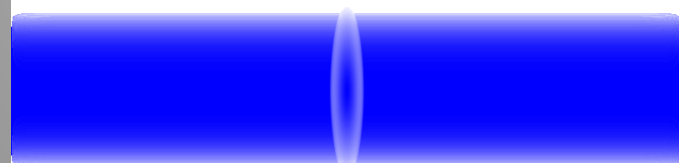


周期数 M

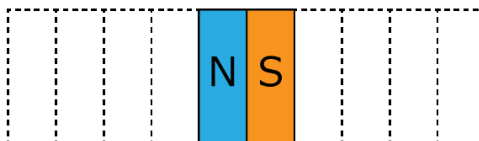


パルス幅 $M\lambda_x$

スリッページによるパルス伸長



$N=1$



$M=1$



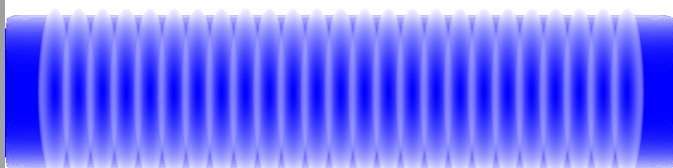
パルス幅 λ_x

XFELのパルス幅

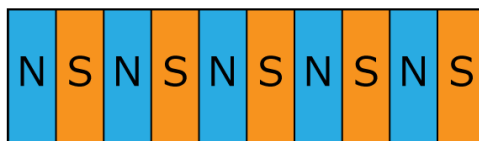
電子ビーム

アンジュレータ

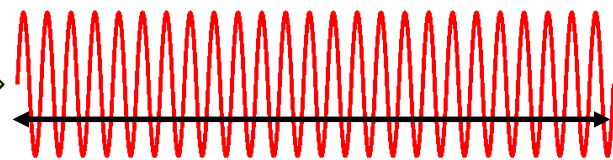
X線レーザー



マイクロバンチ数 N



周期数 $M (<< N)$

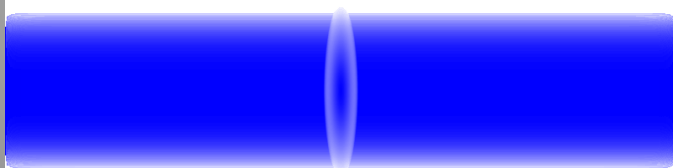


パルス幅 $N\lambda_x$

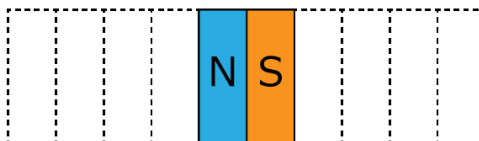
単一サイクルパルスを生成する新手法

- ✓ $N=M \gg 1$: 高出力
- ✓ スリッページによるパルス幅の伸長を回避 : 単一サイクルパルス

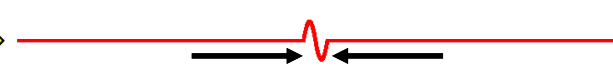
$M\lambda_x$
スリッページによるパルス伸長



$N=1$



$M=1$



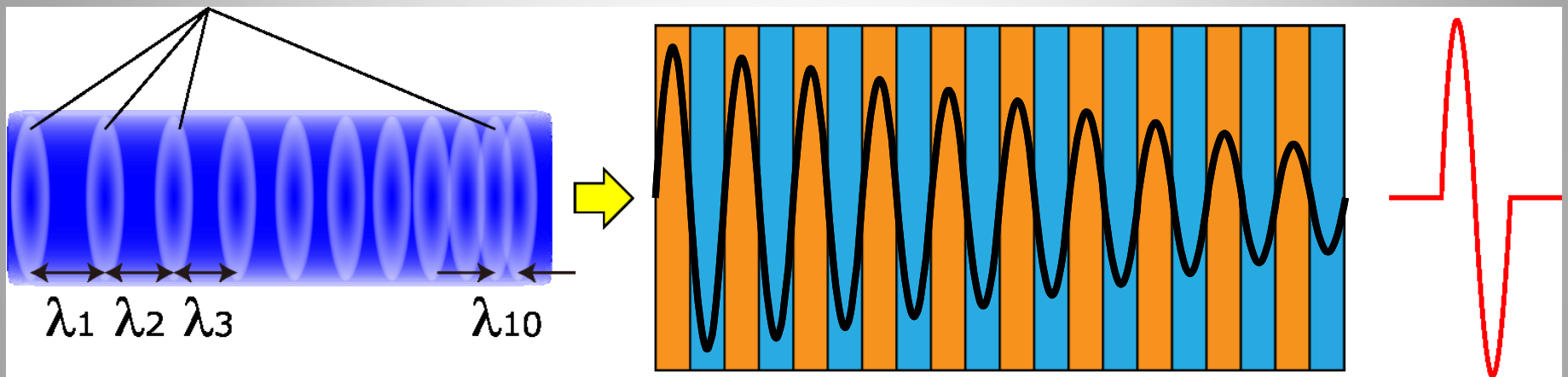
パルス幅 λ_x

基本概念

“チャープした”
マイクロバンチ

テーパー
アンジュレータ

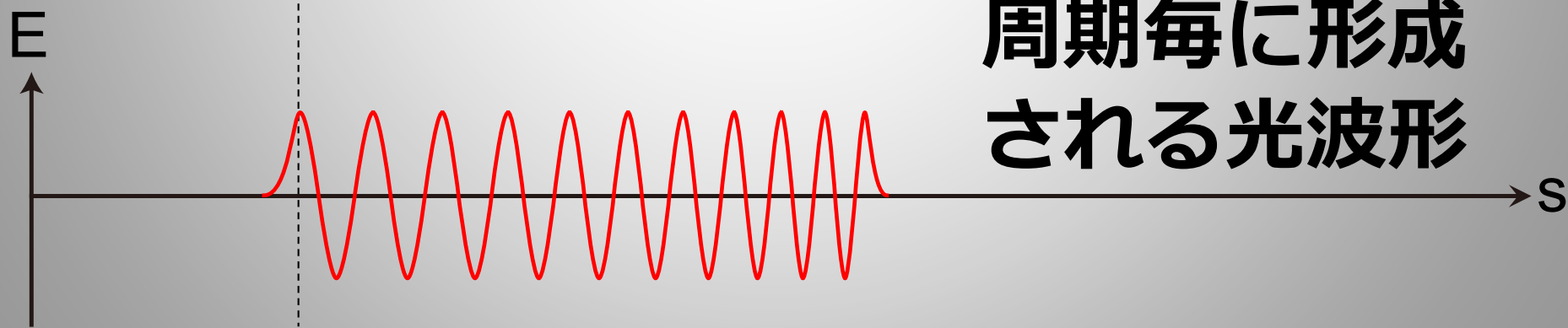
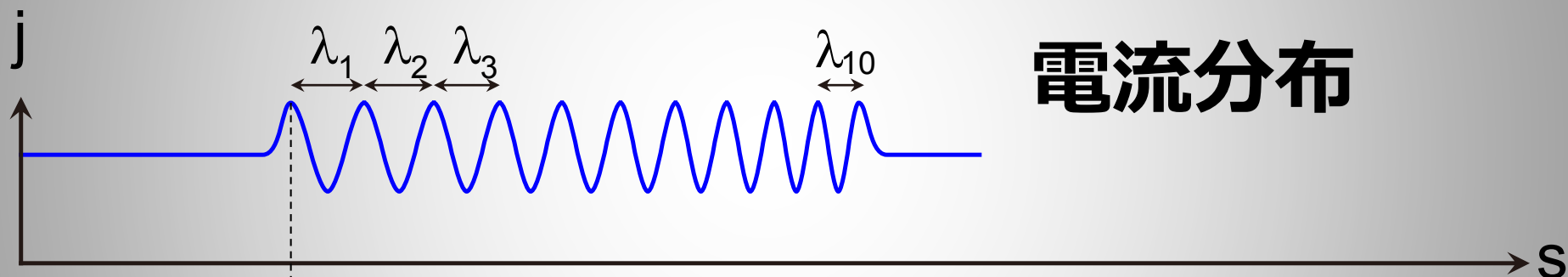
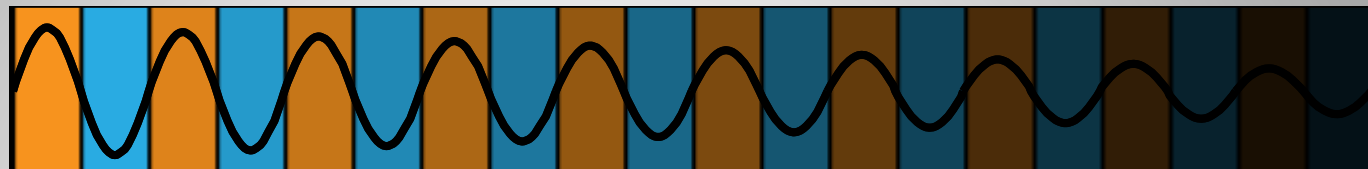
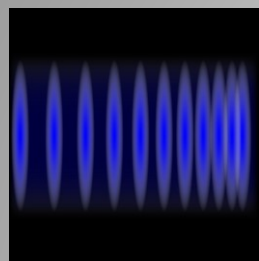
単一サイクル
光パルス



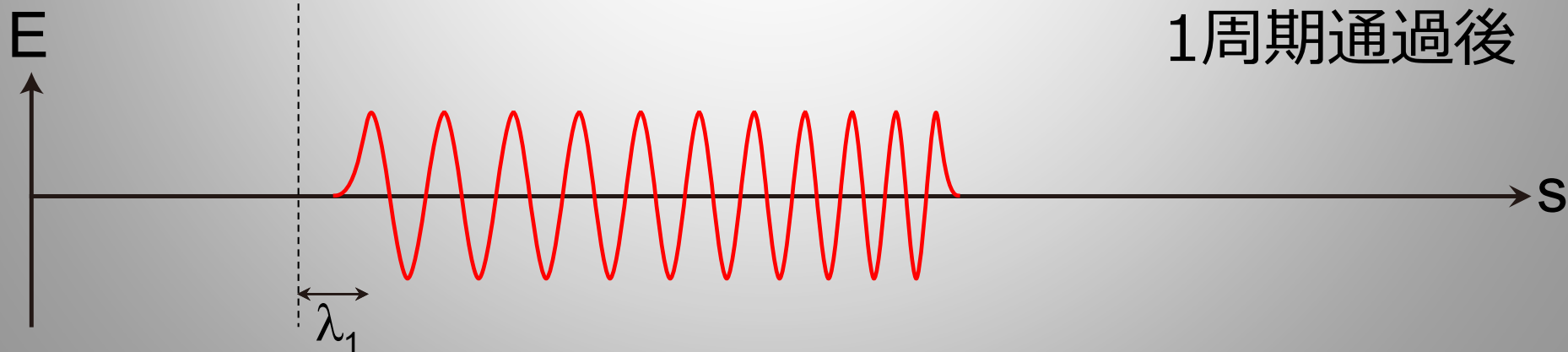
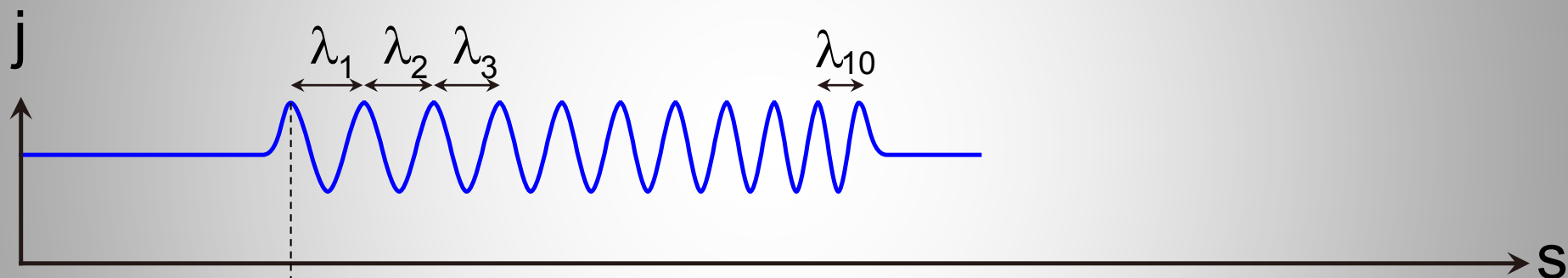
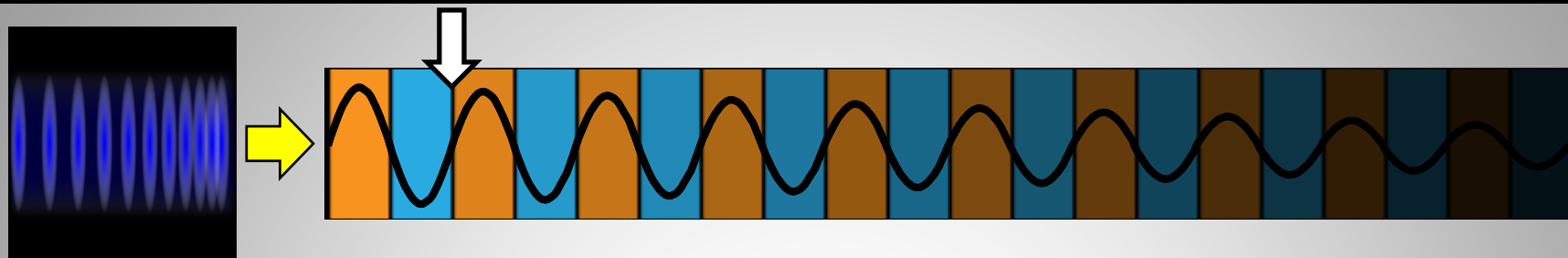
必要条件

**n番目のマイクロバンチ間隔
= n周期目のスリッページ長**

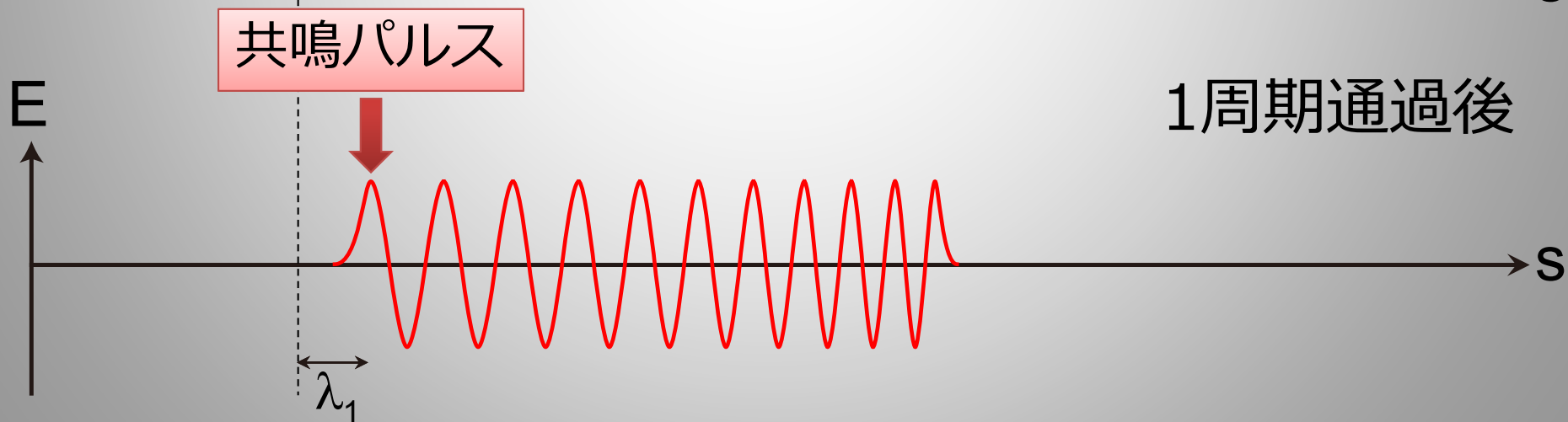
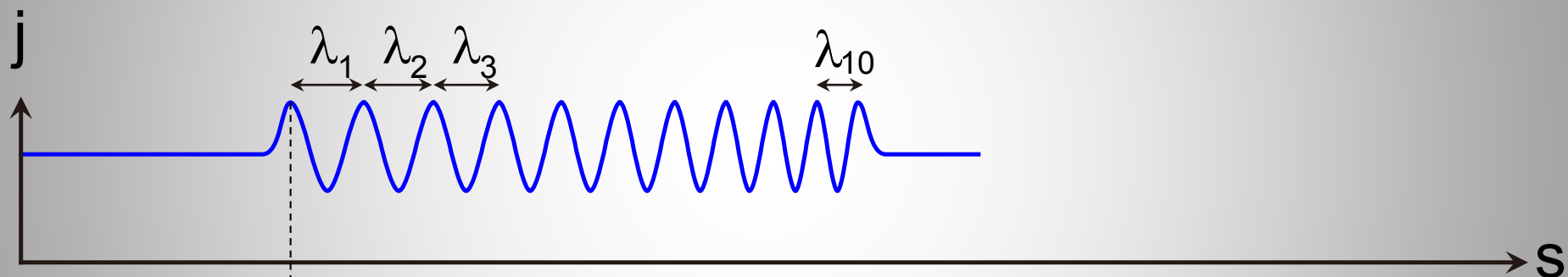
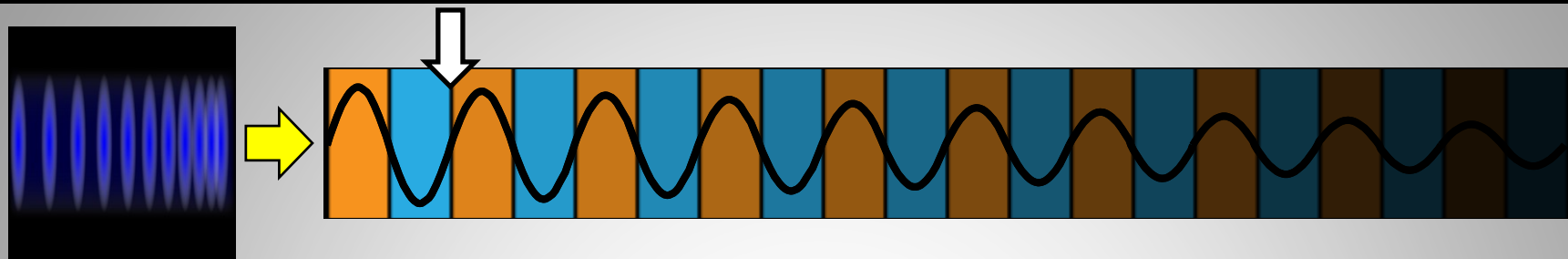
動作原理



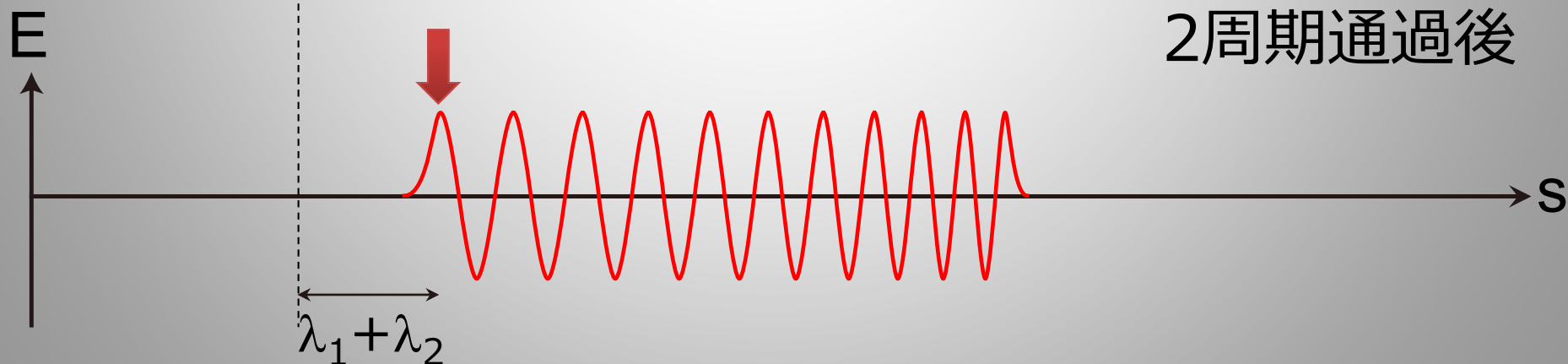
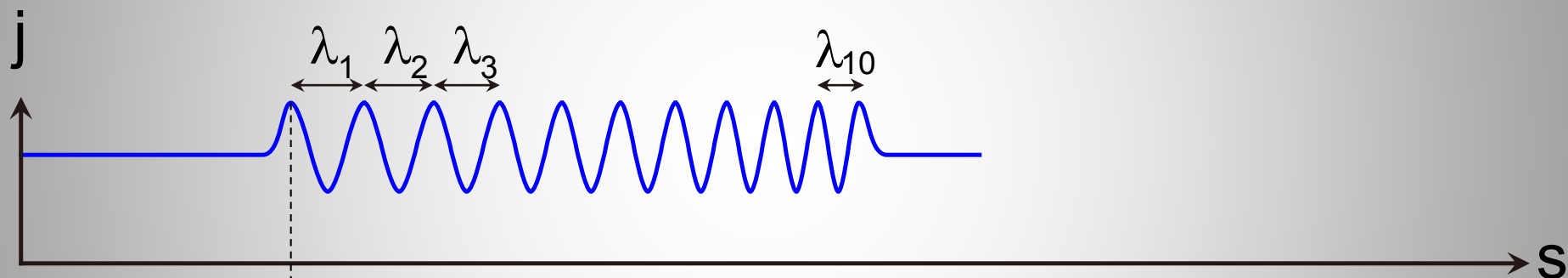
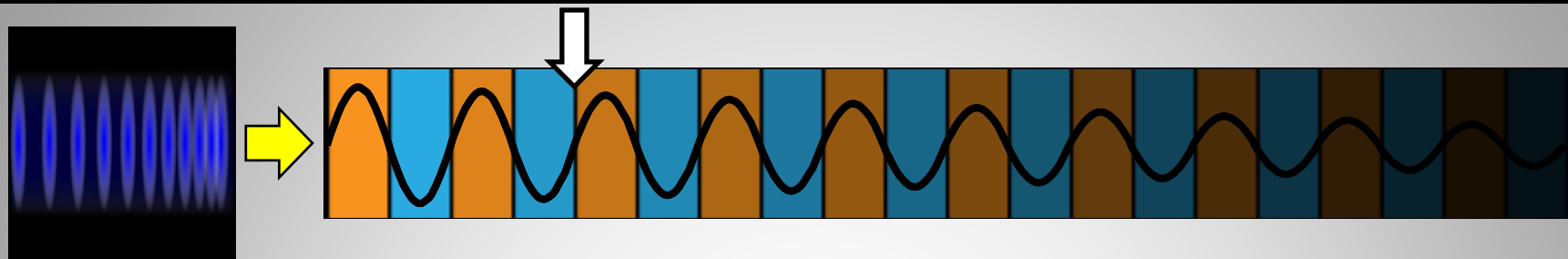
動作原理



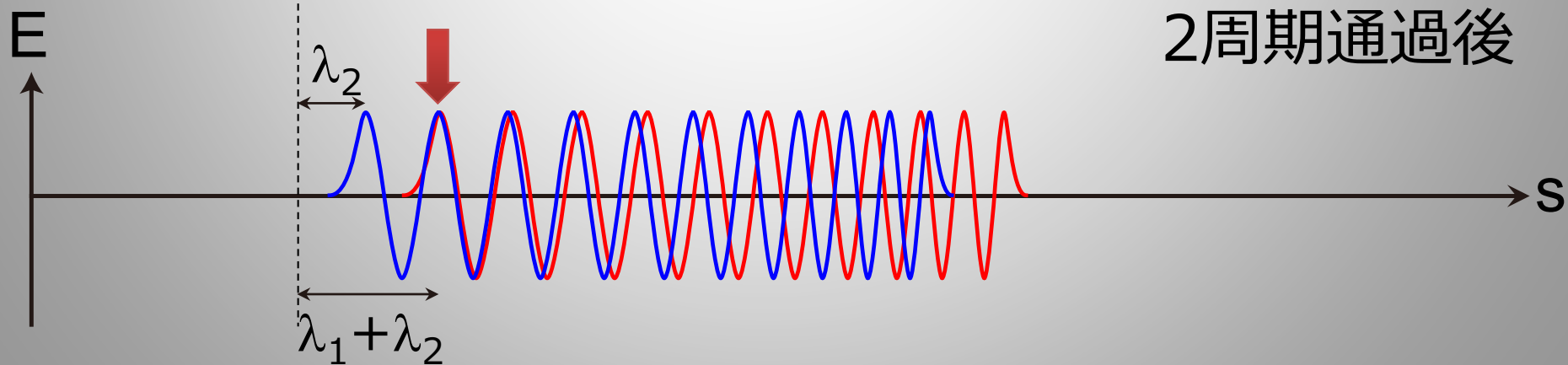
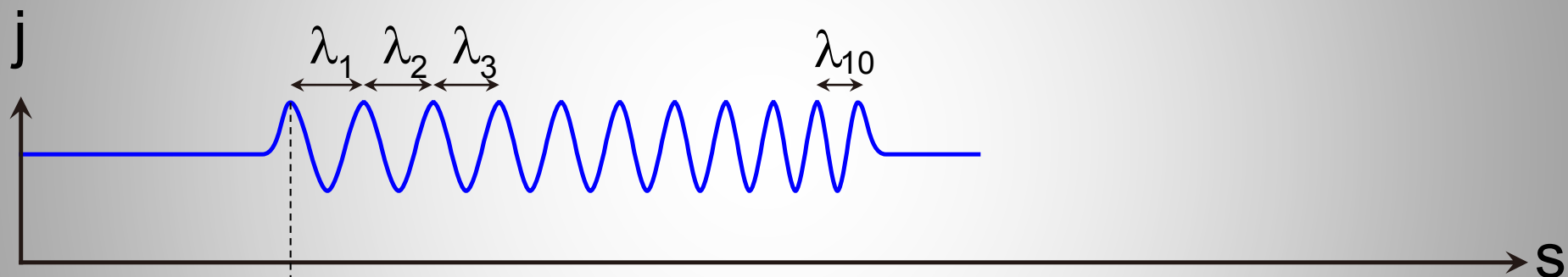
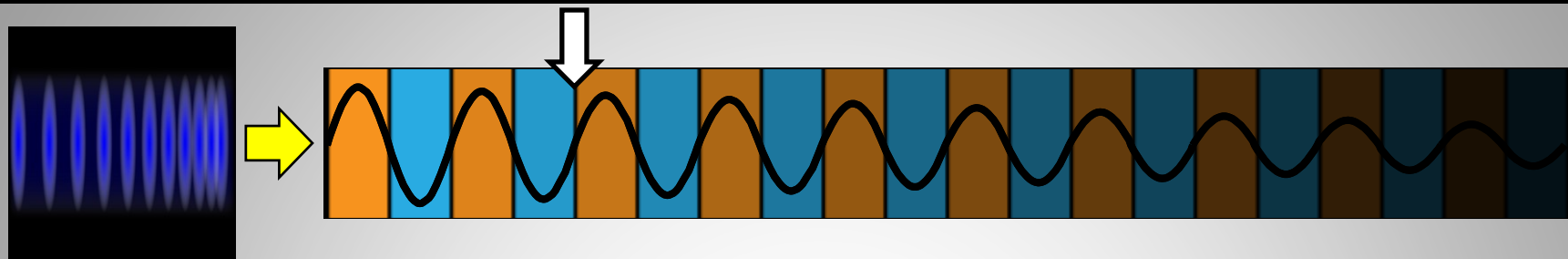
動作原理



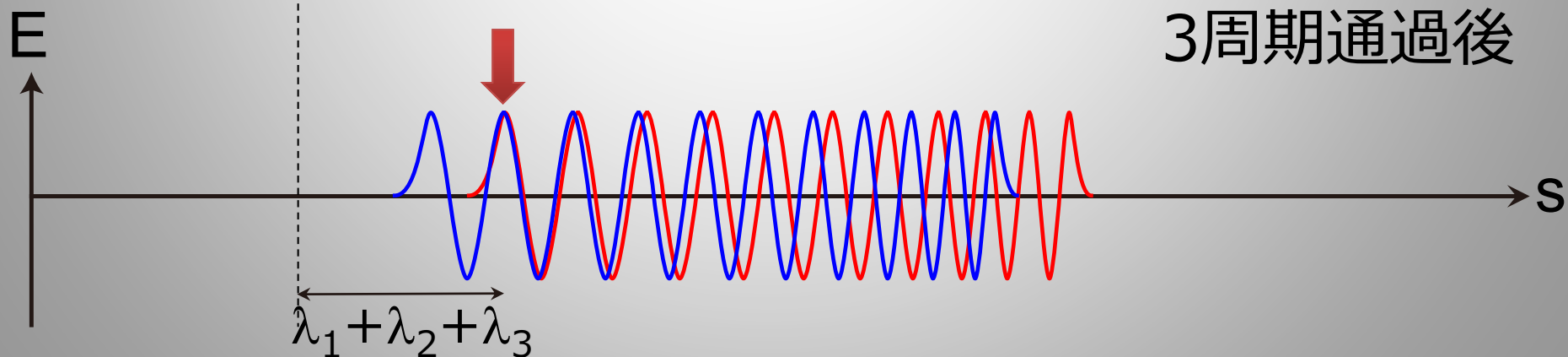
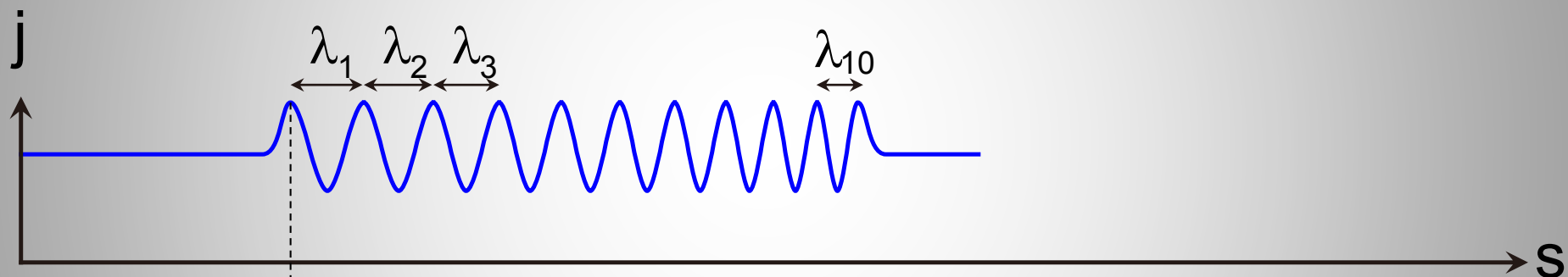
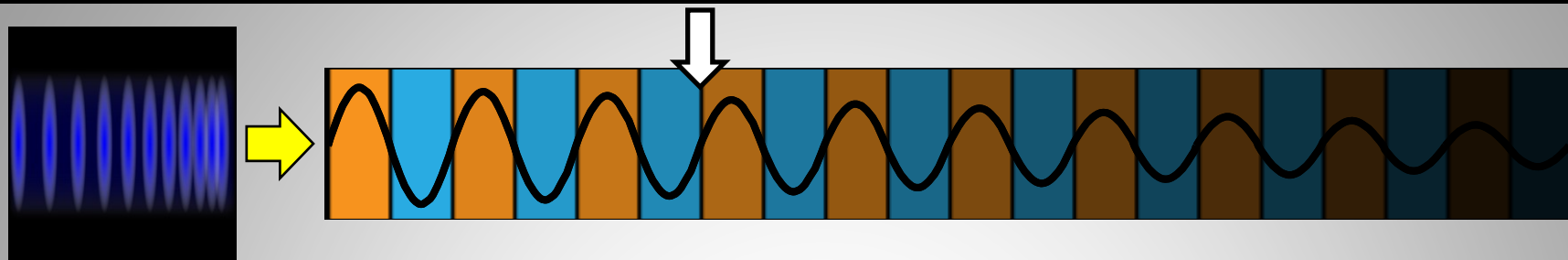
動作原理



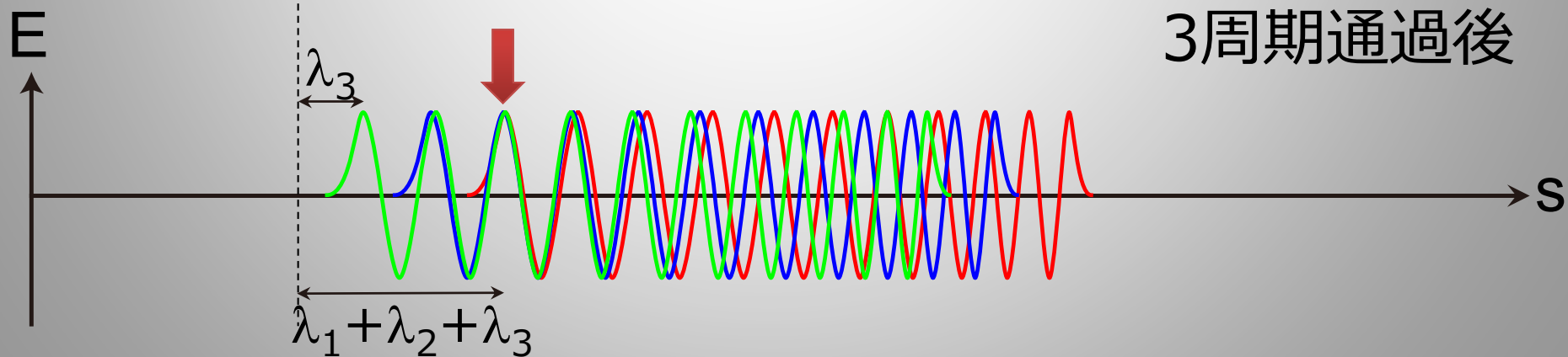
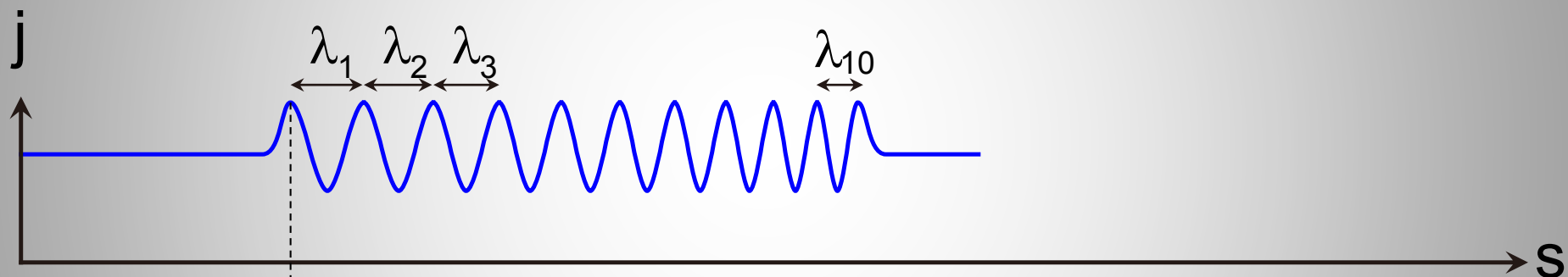
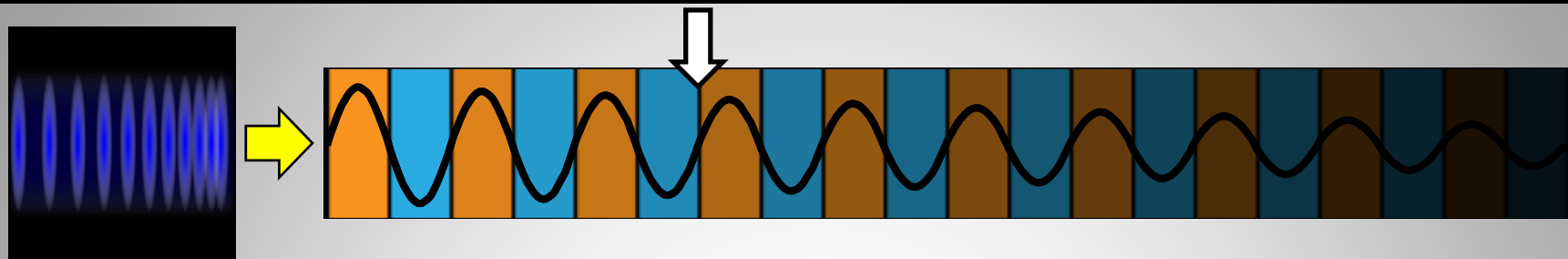
動作原理



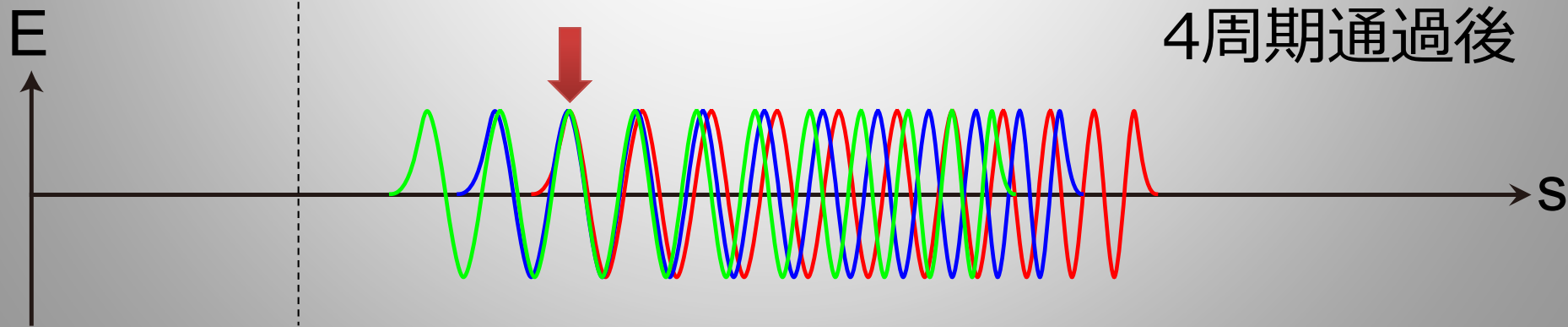
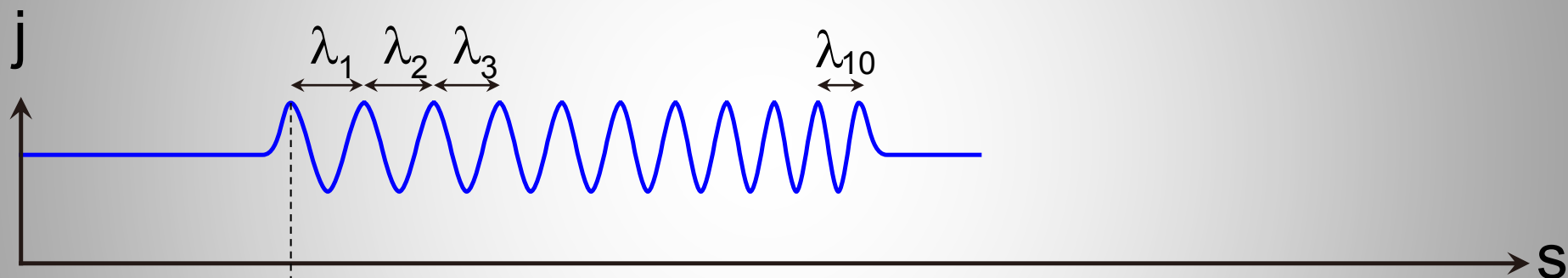
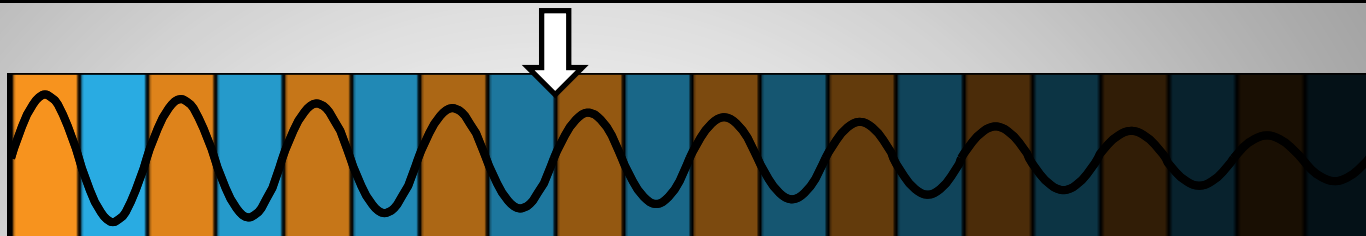
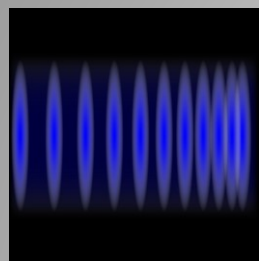
動作原理



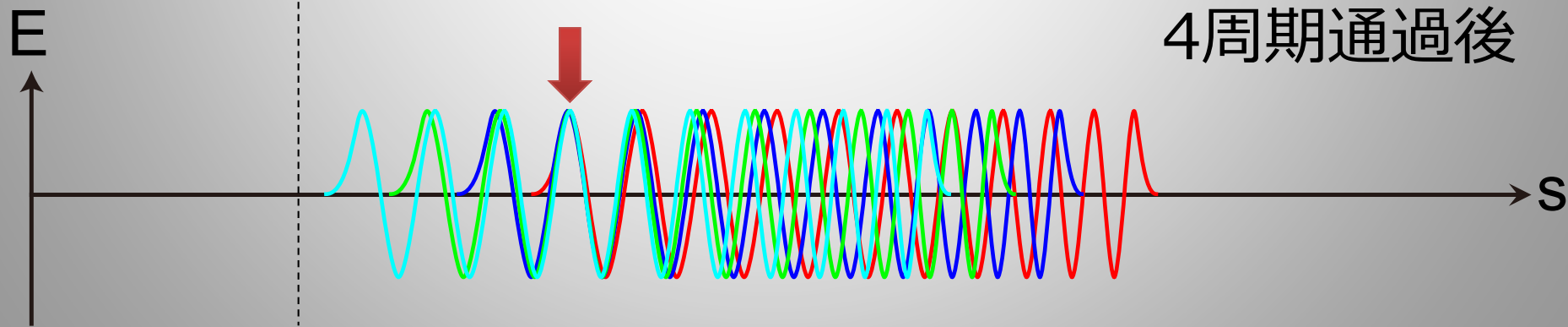
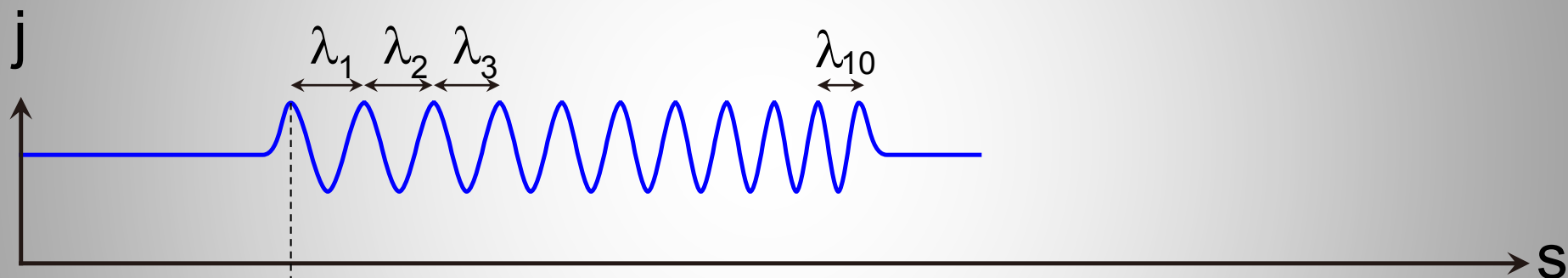
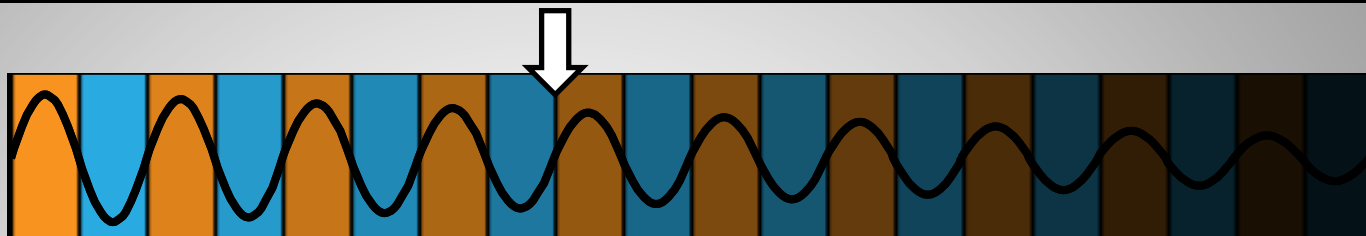
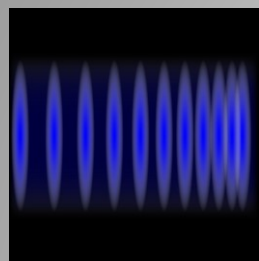
動作原理



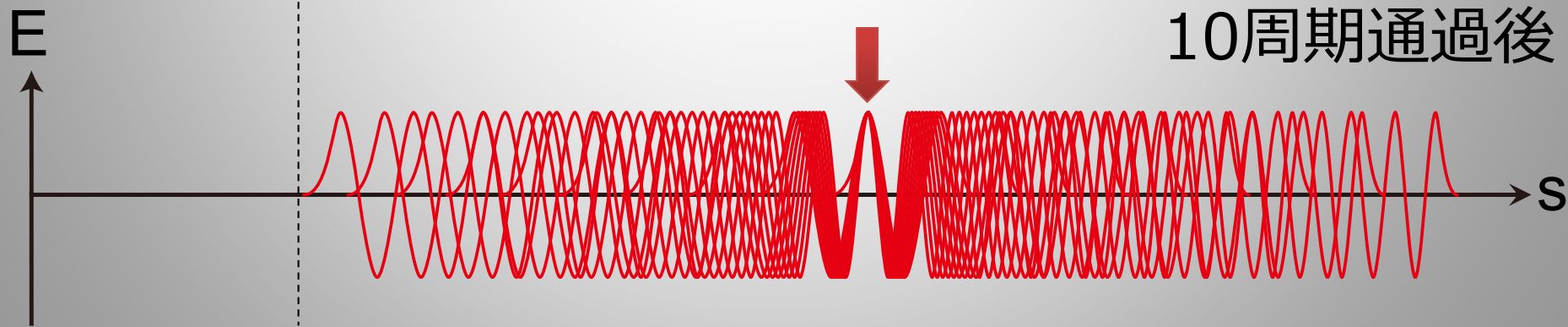
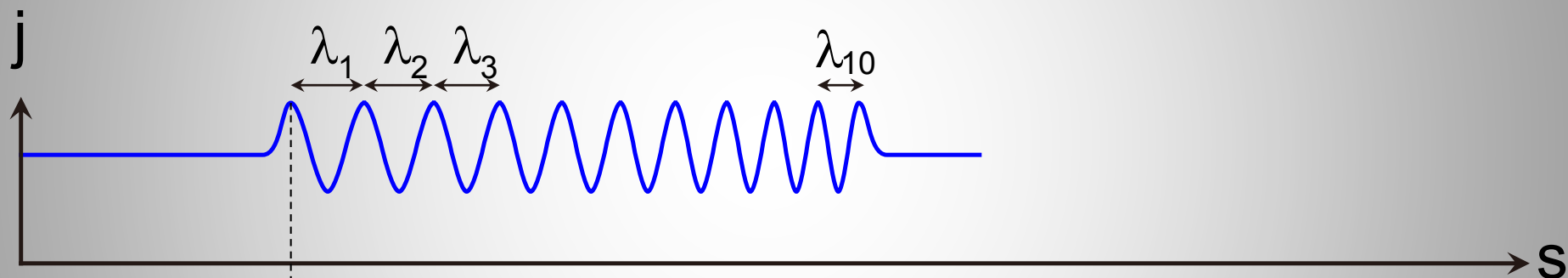
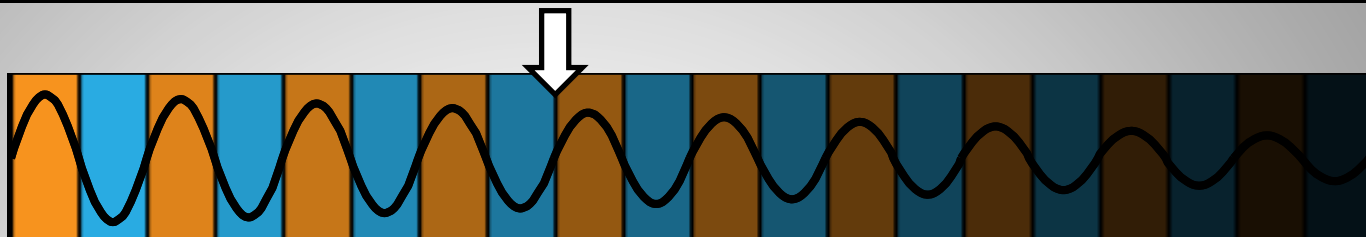
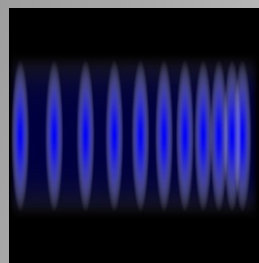
動作原理



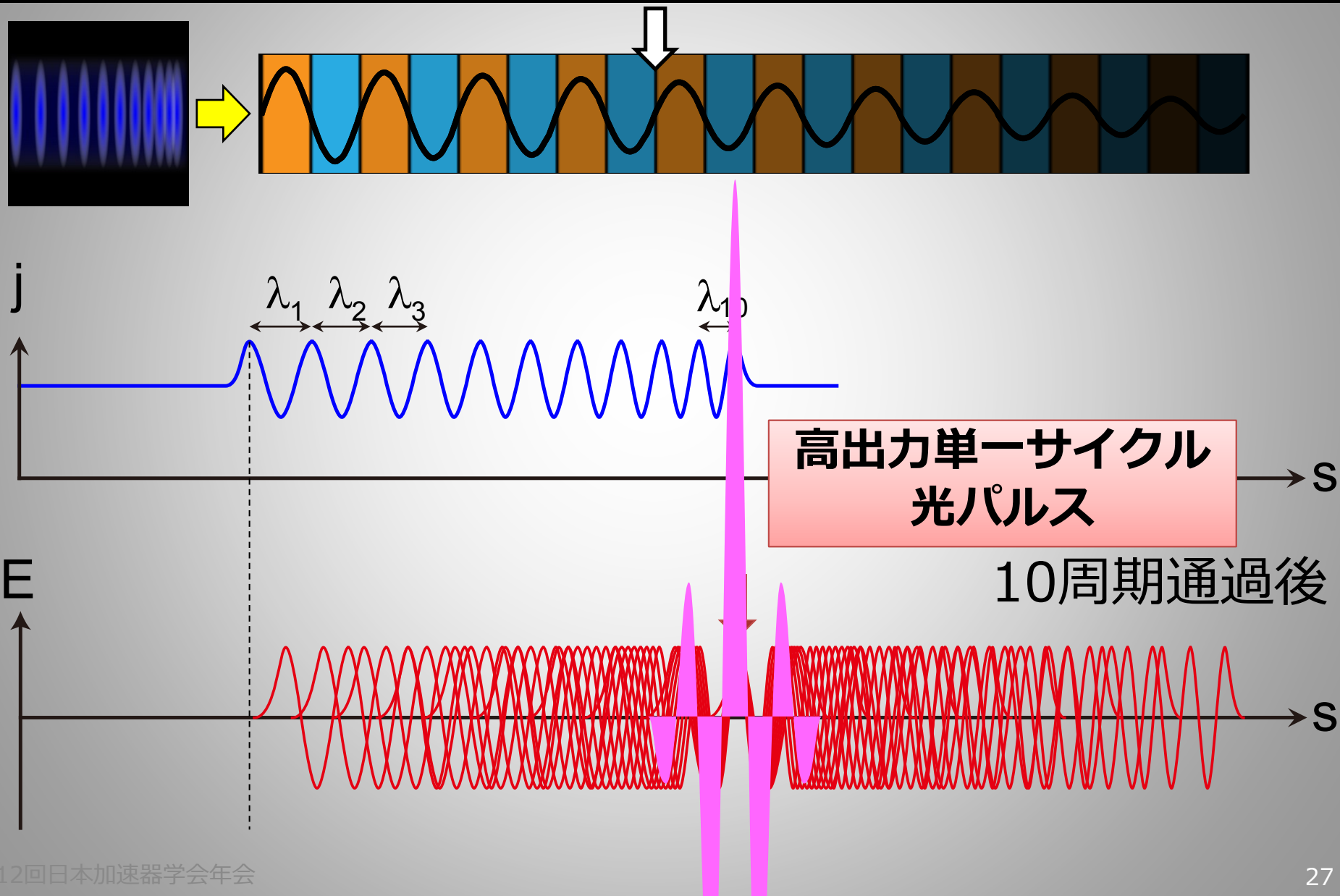
動作原理



動作原理



動作原理

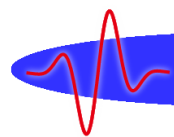


Outline

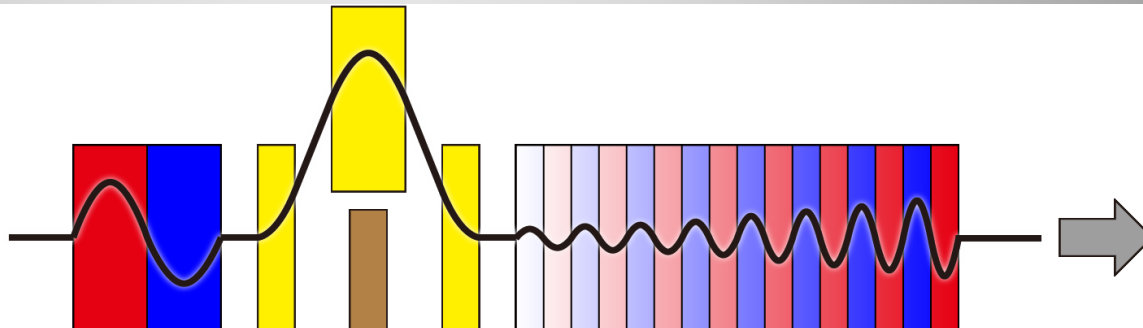
- はじめに
- 単一サイクルパルス発生 の原理
- **XFELにおける実装方法**
- 適用例と計算結果
- まとめ

加速器レイアウト

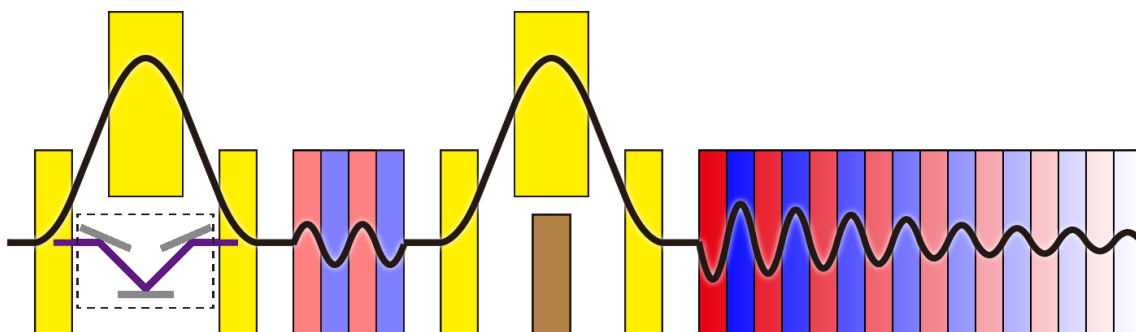
単一サイクル
光パルス(波長 λ_0)



電子バンチ

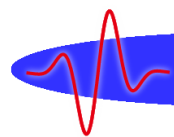


単一サイクル
光パルス
(波長 λ_0/m)

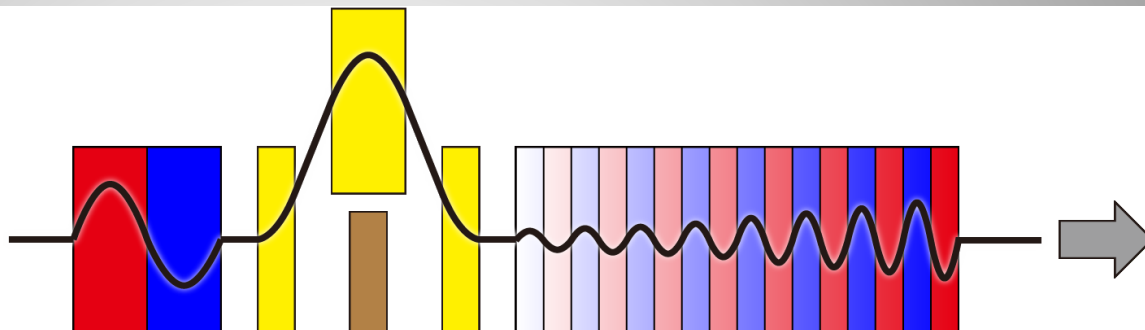


加速器レイアウト

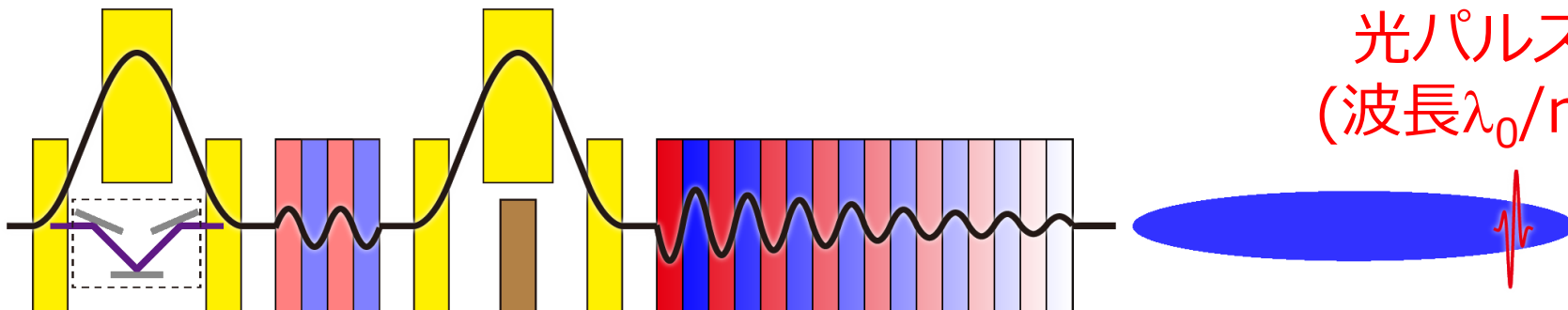
単一サイクル
光パルス(波長 λ_0)



電子バンチ



単一サイクル
光パルス
(波長 λ_0/m)

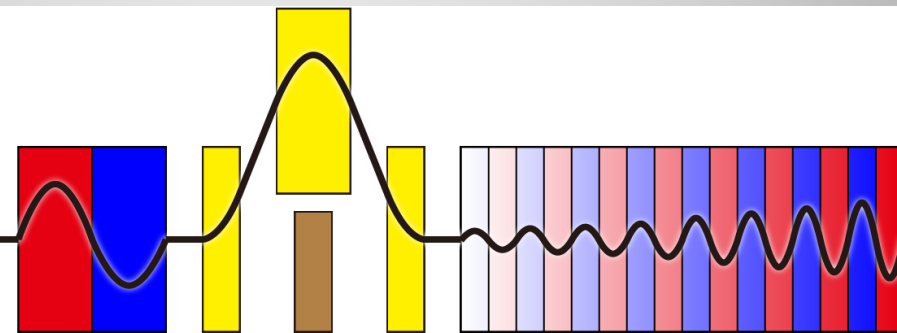


波長(λ_0)の単一サイクル光パルスをアップコンバート
➡ Monocycle Harmonic Generation (MCHG)

加速器レイアウト

単一サイクル
光パルス(波長 λ_0)

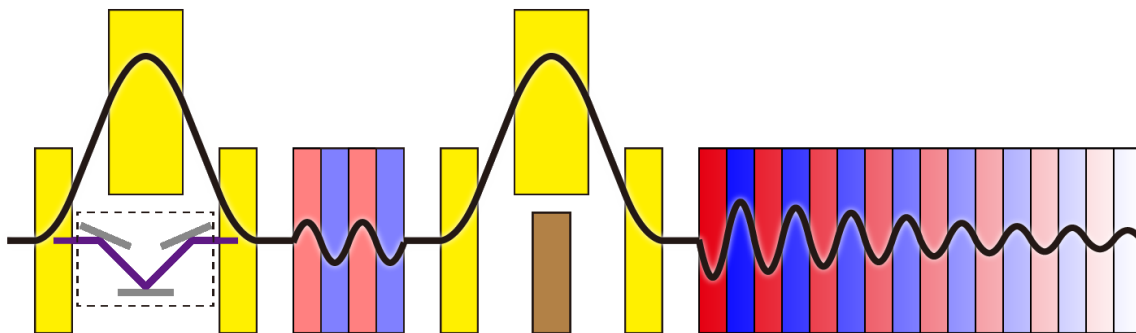
電子バンチ



(i)

(ii)

単一サイクル
光パルス
(波長 λ_0/m)

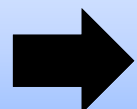


(iii)

(iv)

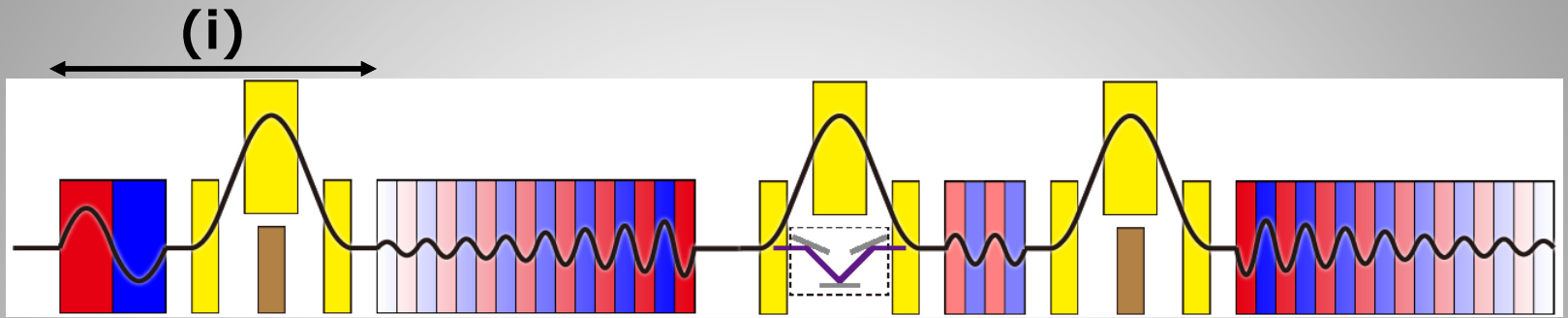
(v)

波長(λ_0)の単一サイクル光パルスをアップコンバート

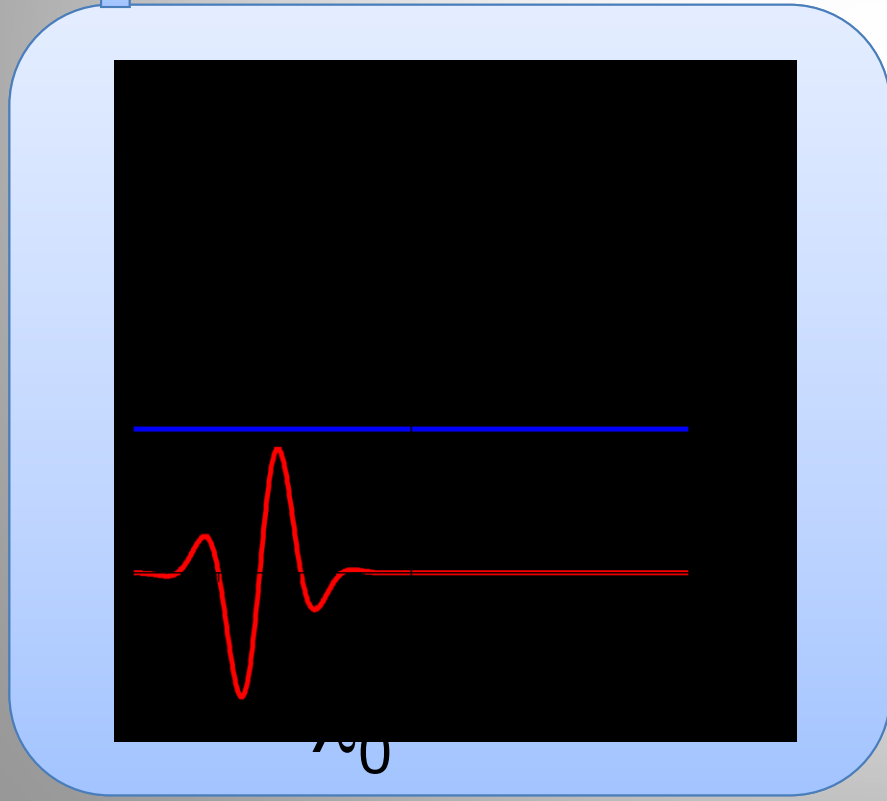
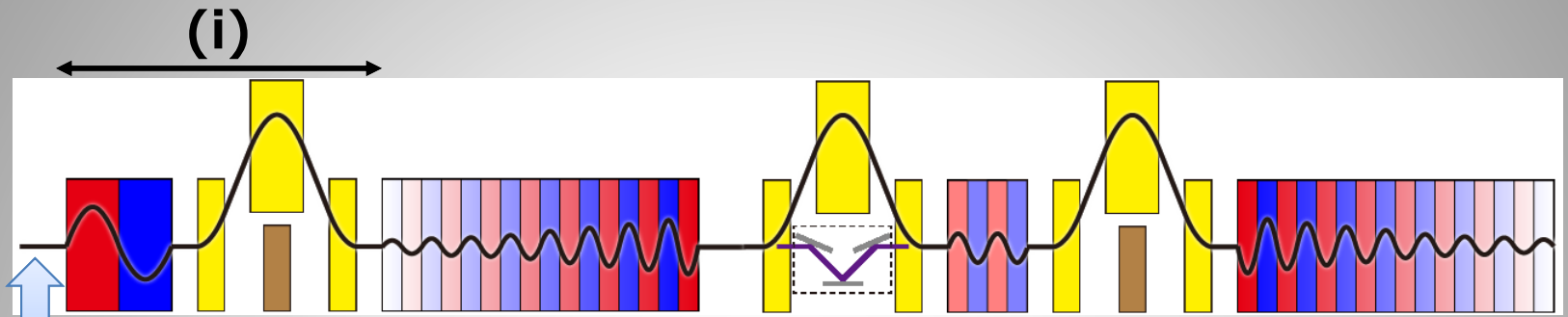


Monocycle Harmonic Generation (MCHG)

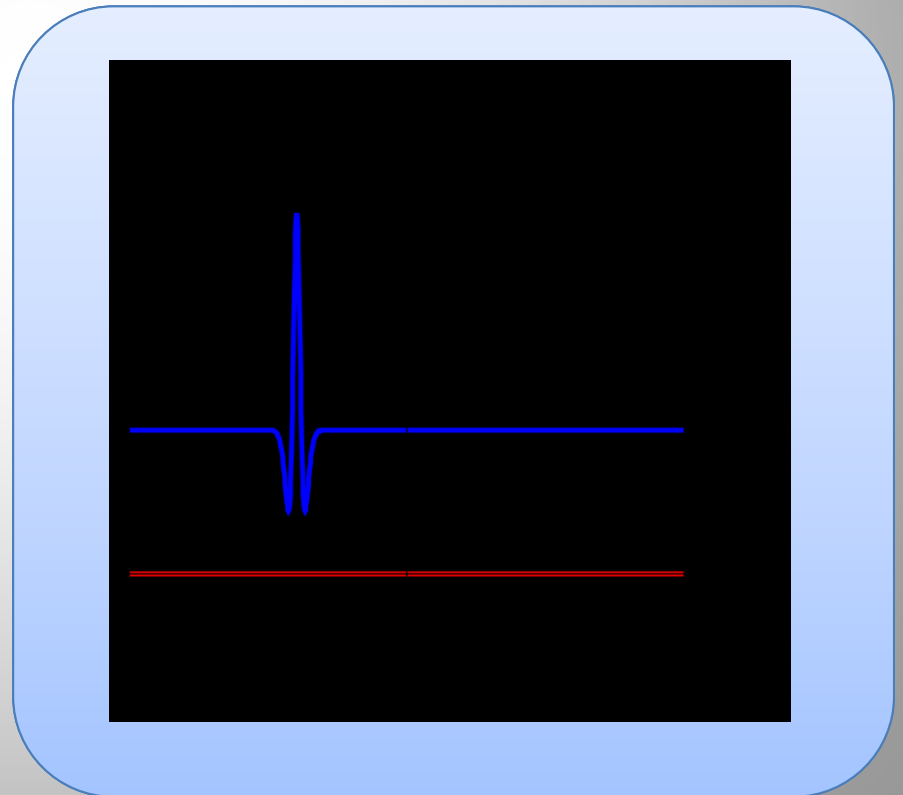
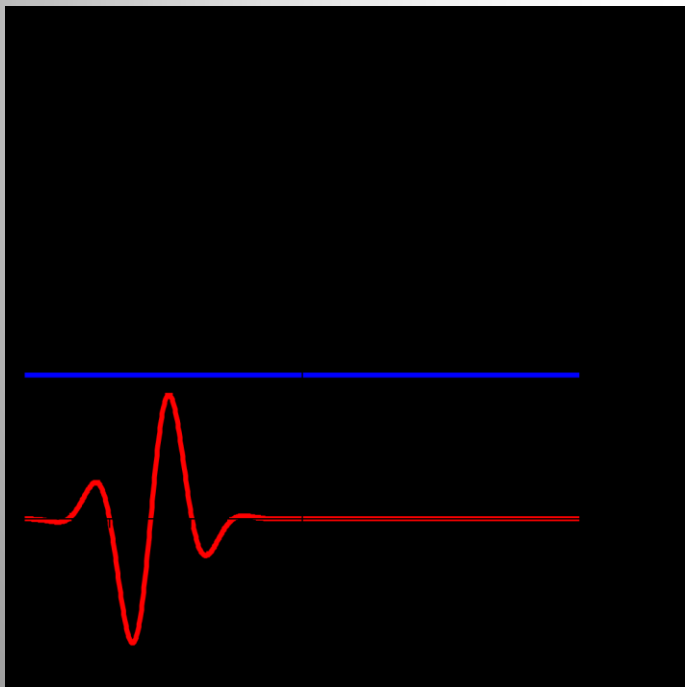
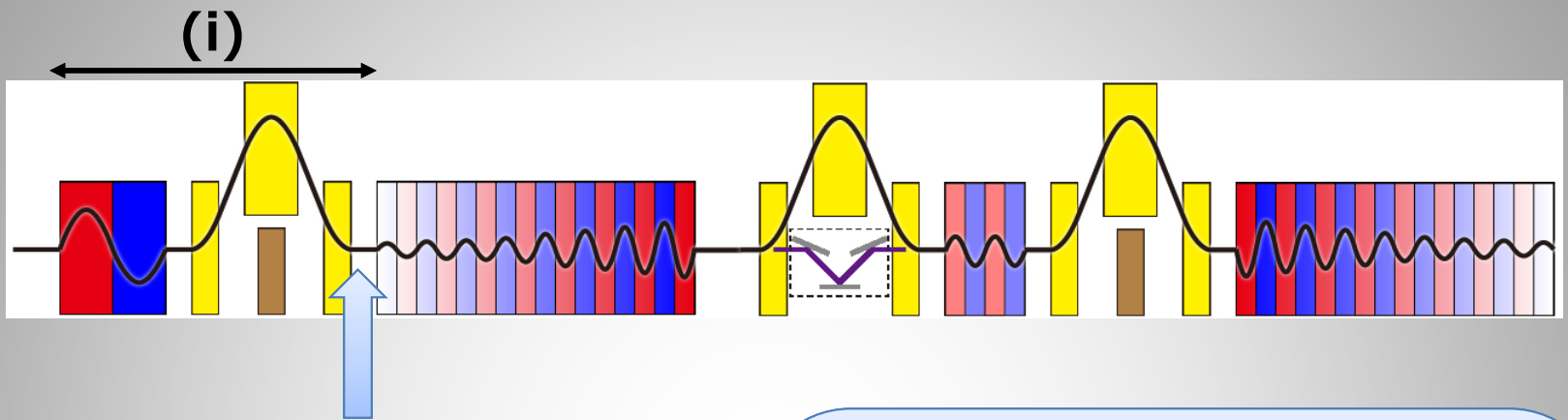
セクション(i)：単一サイクル マイクロバッチの生成



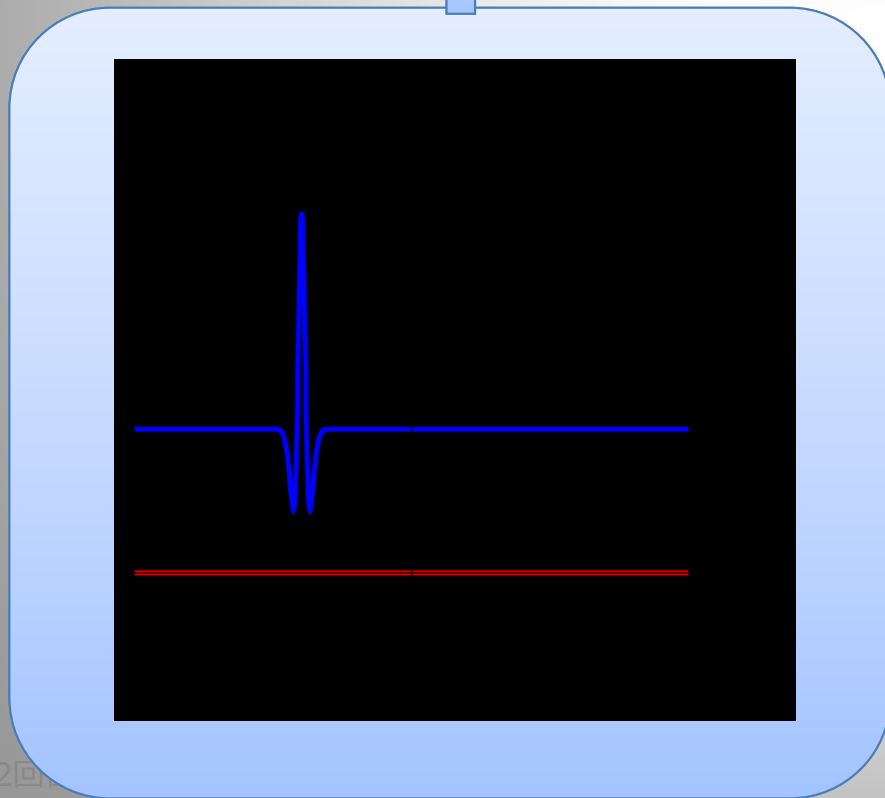
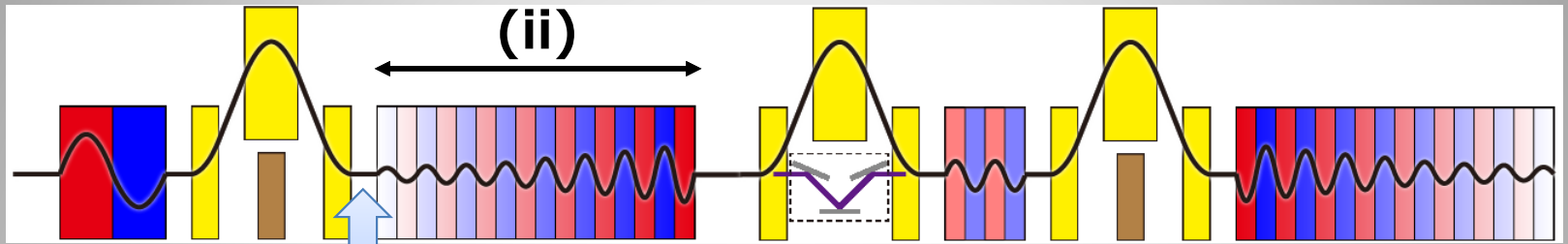
セクション(i)：単一サイクル マイクロバッチの生成



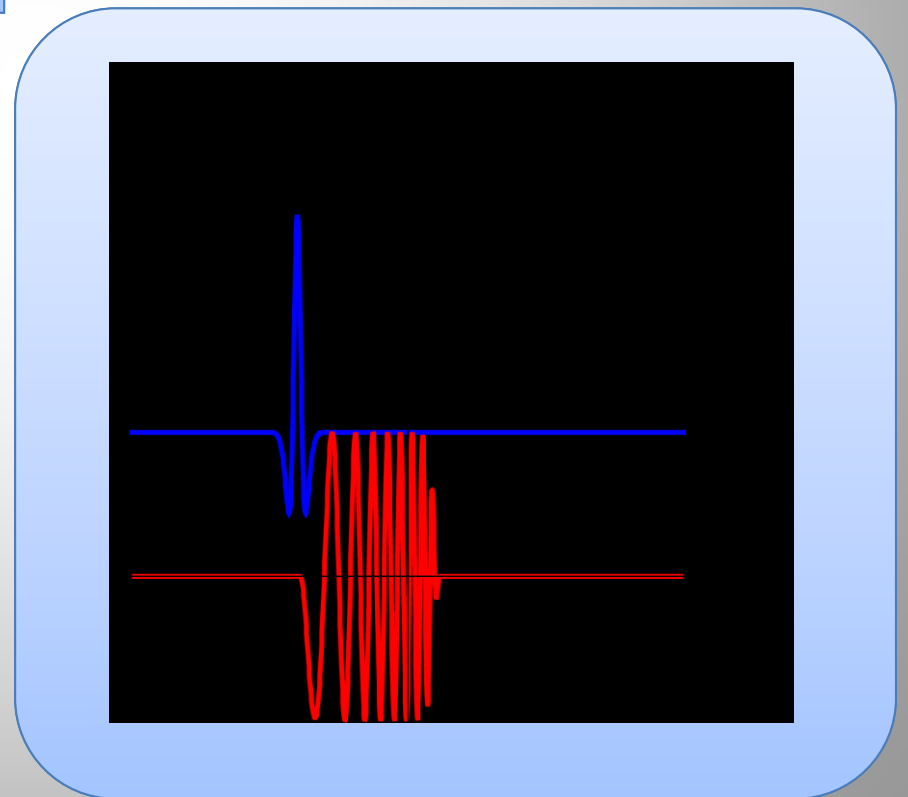
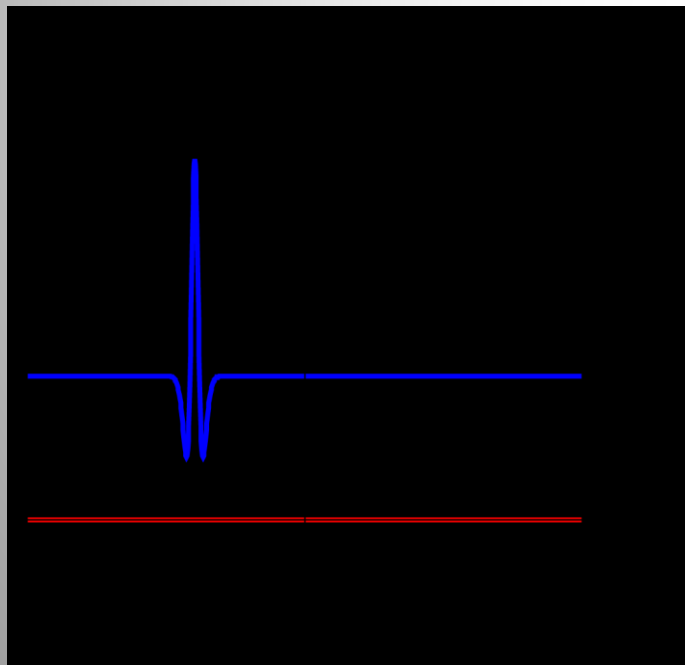
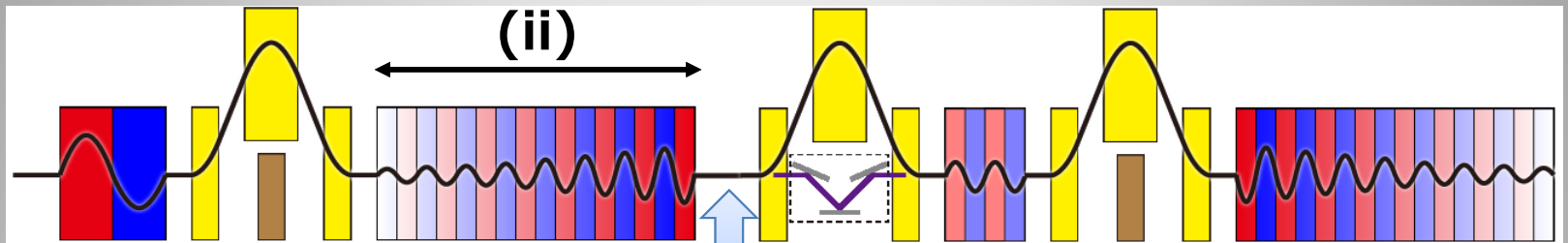
セクション(i)：単一サイクル マイクロバッチの生成



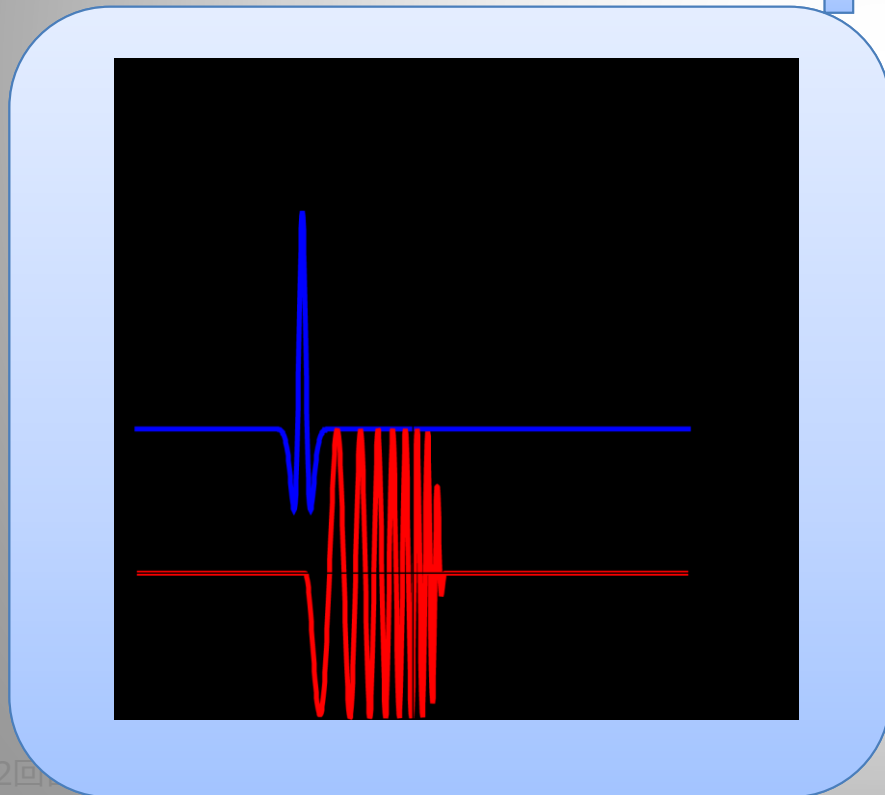
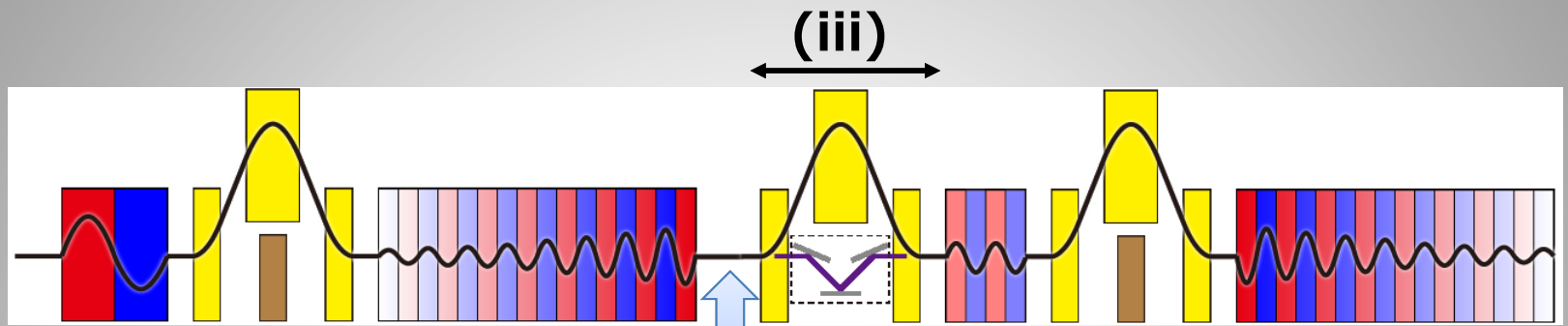
セクション(ii)：チャープパルスの生成



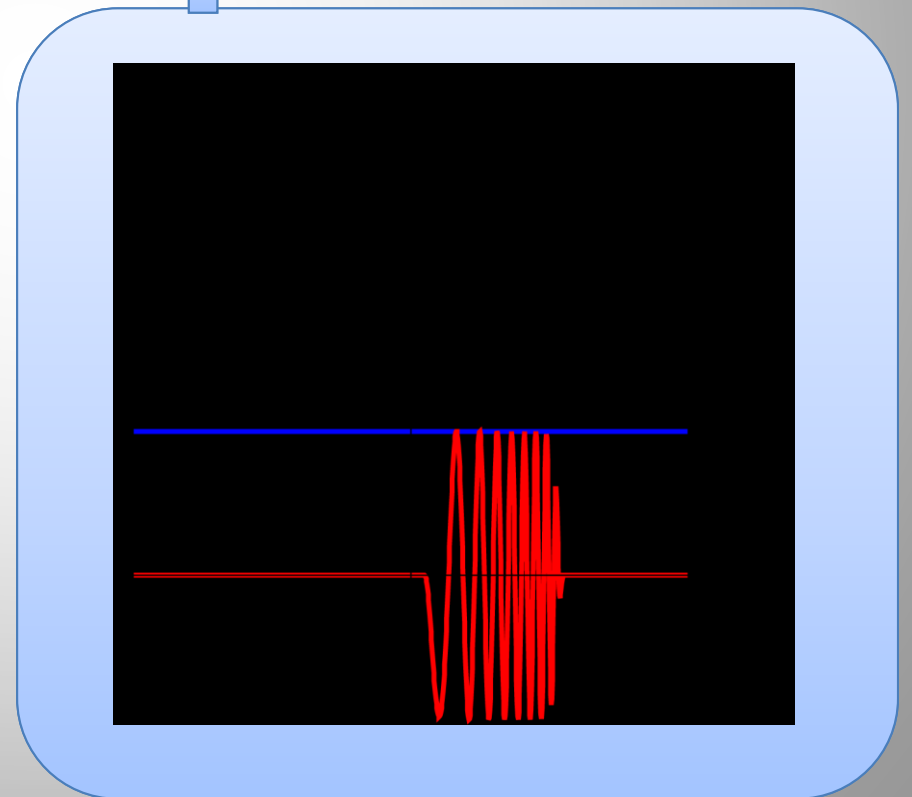
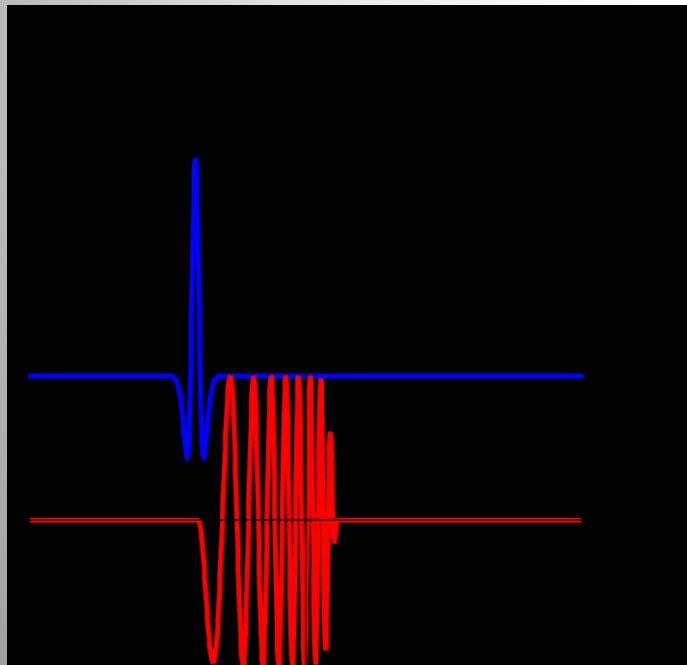
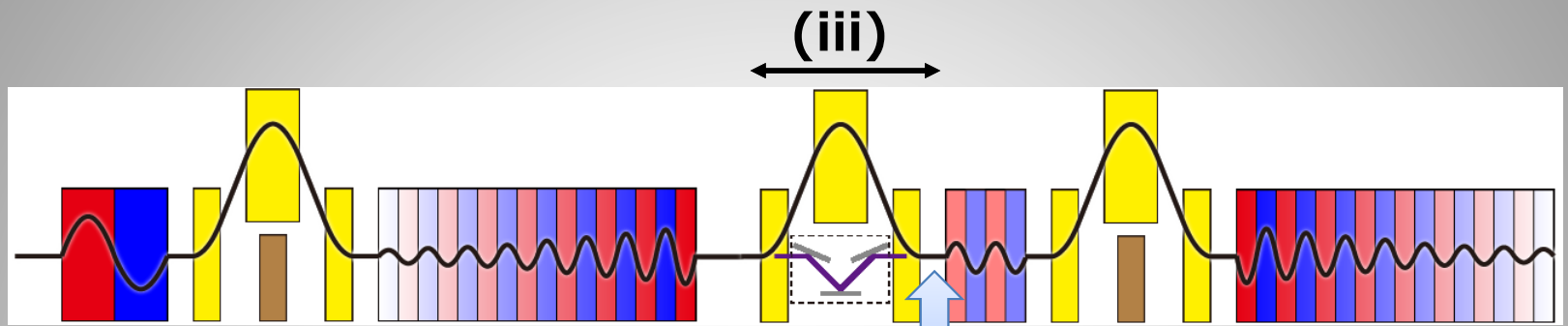
セクション(ii)：チャープパルスの生成



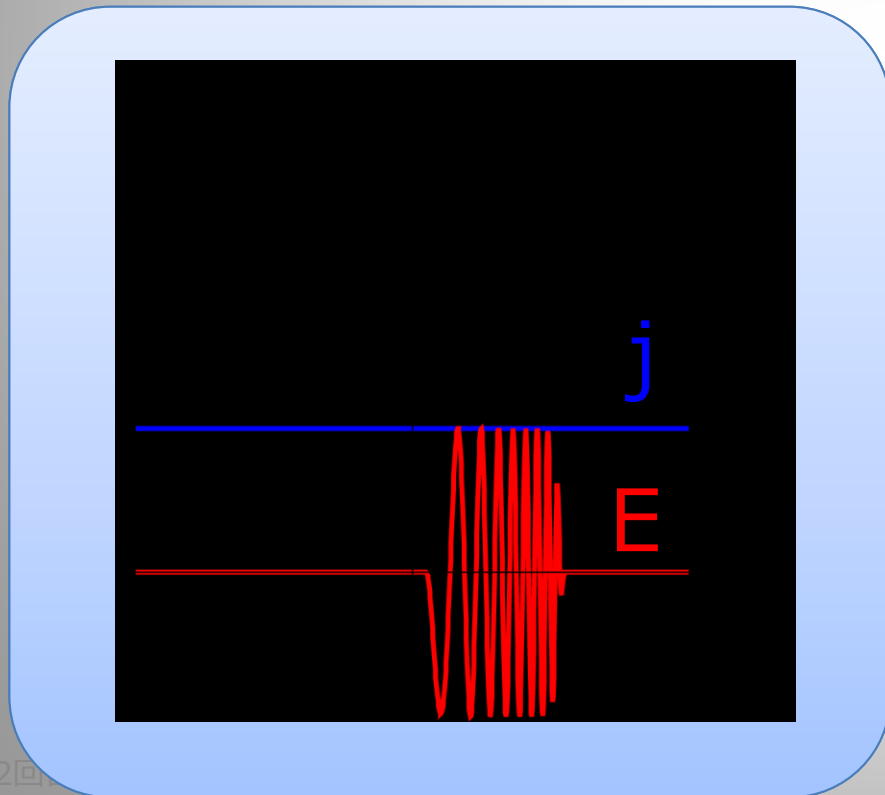
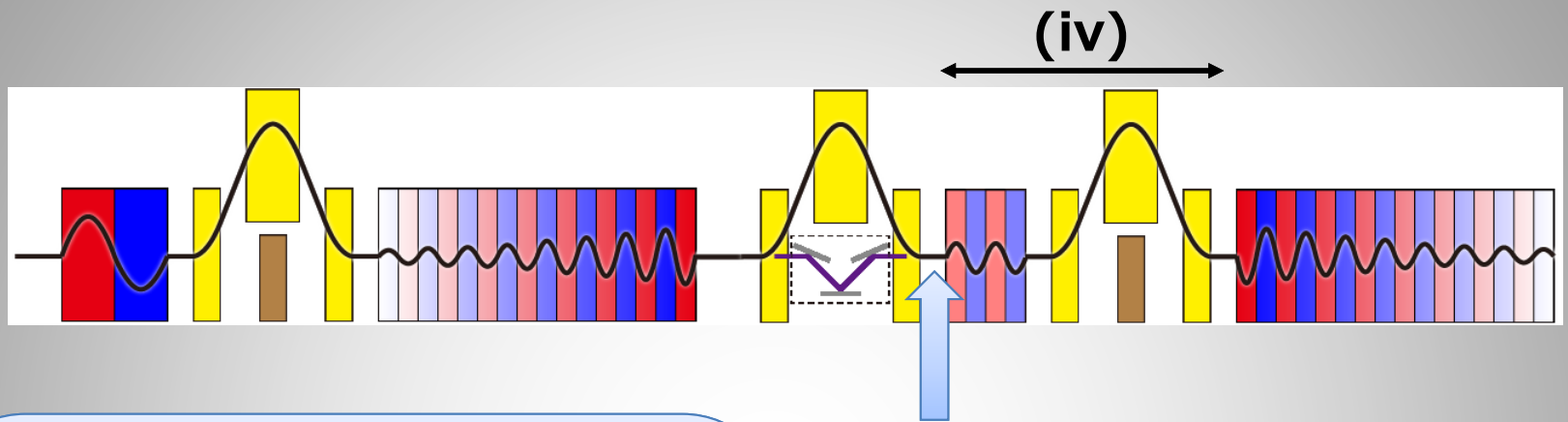
セクション(iii)：フレッシュバッチ



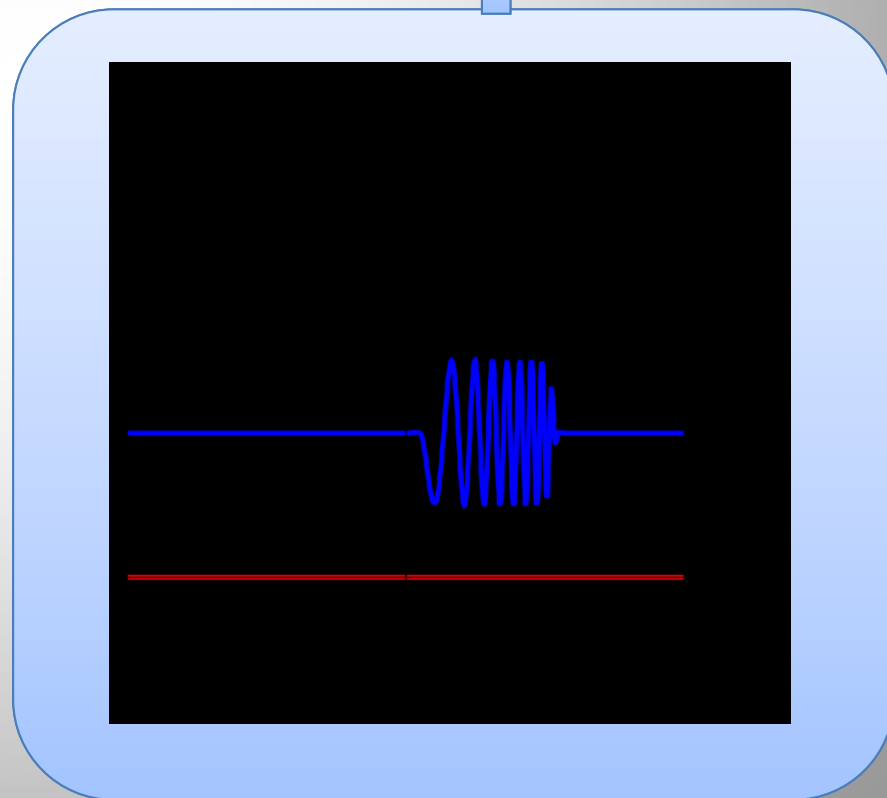
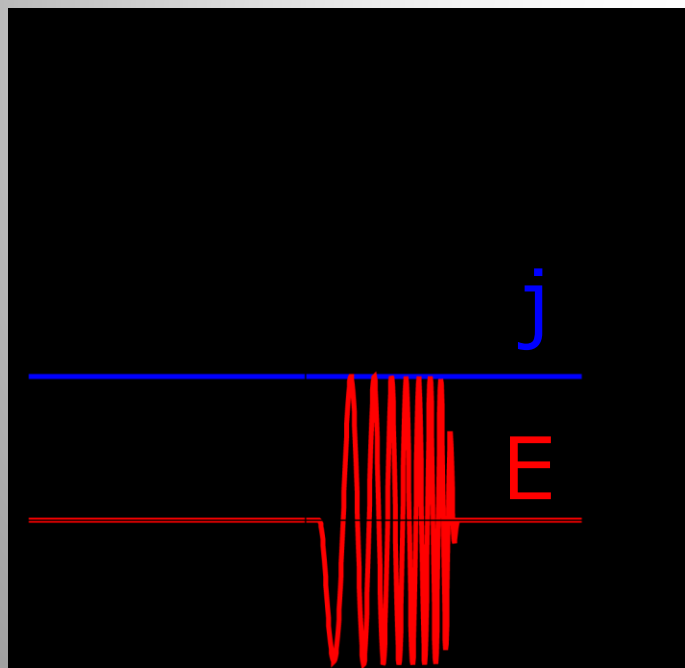
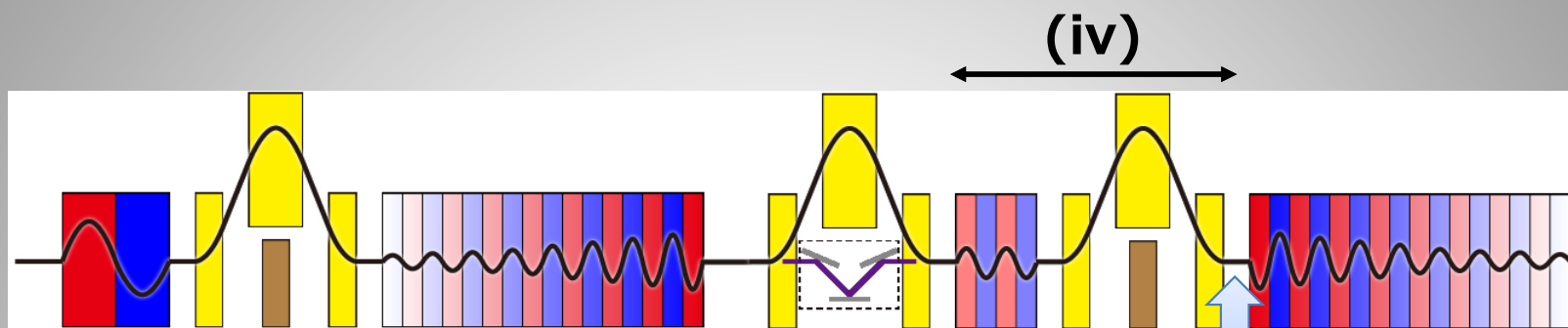
セクション(iii)：フレッシュバンチ



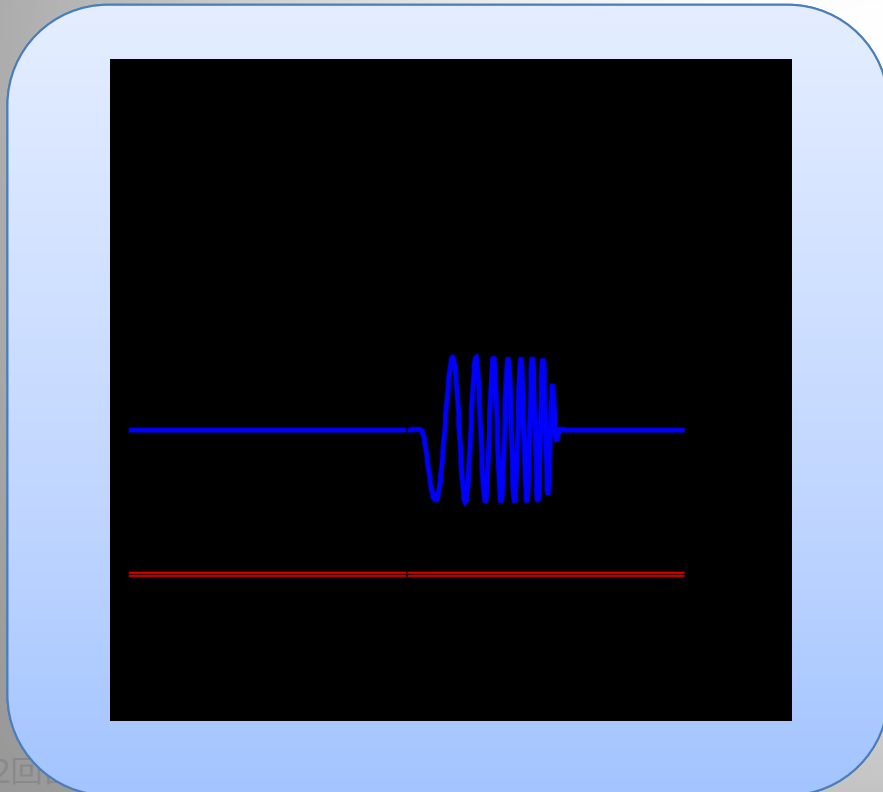
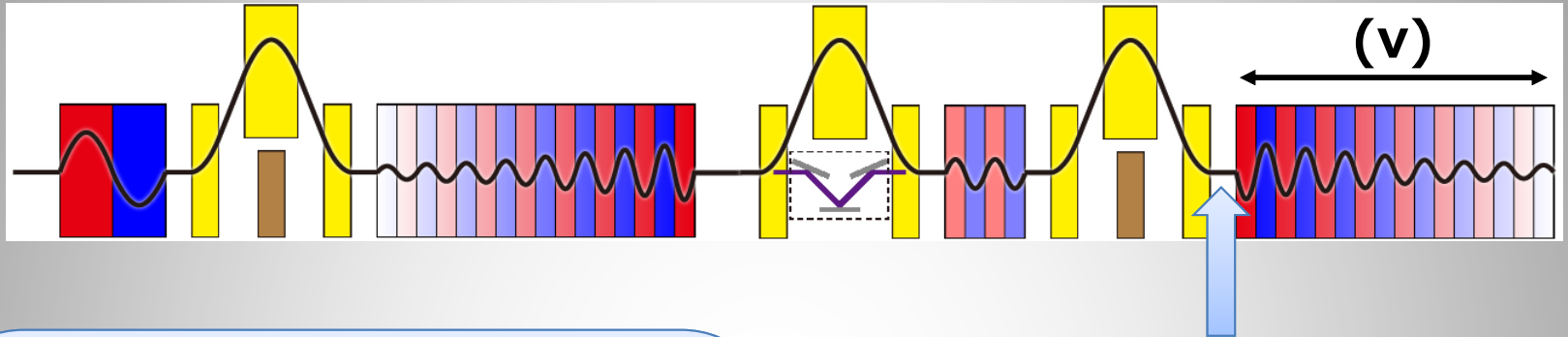
セクション(iv)：チャープマイクロバッチの生成



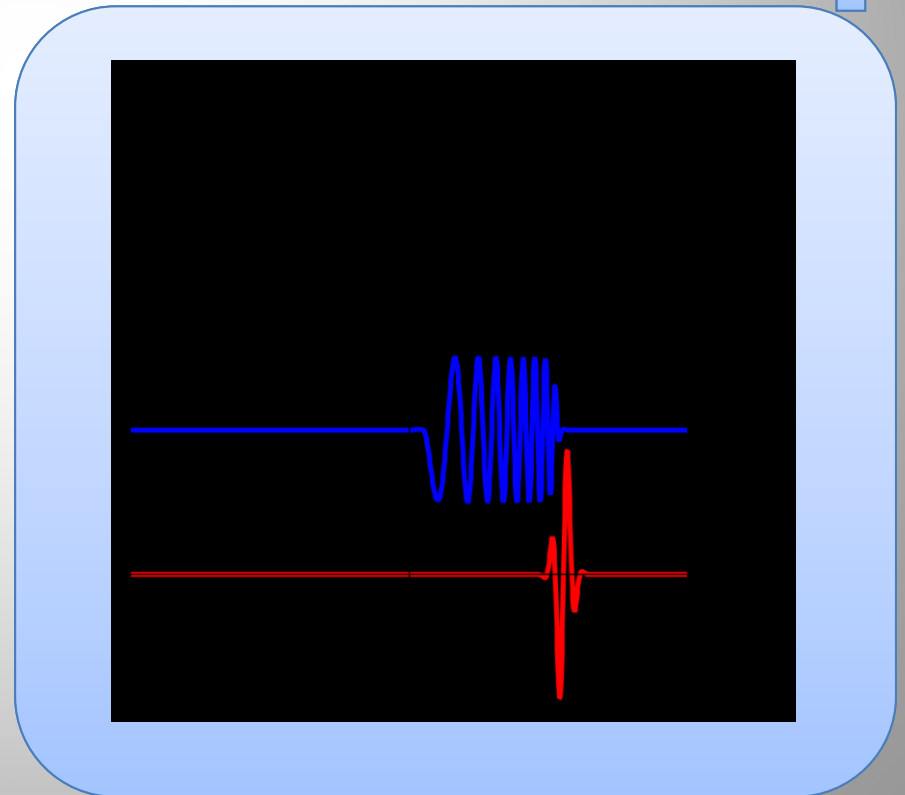
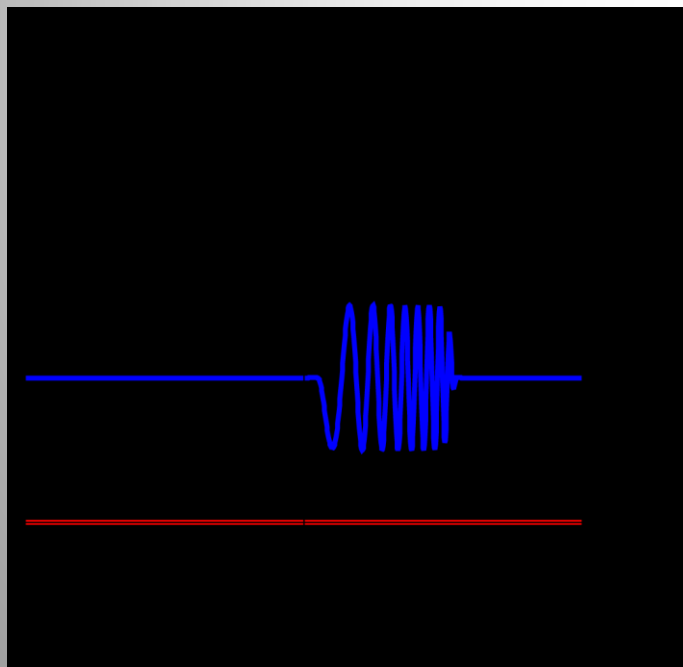
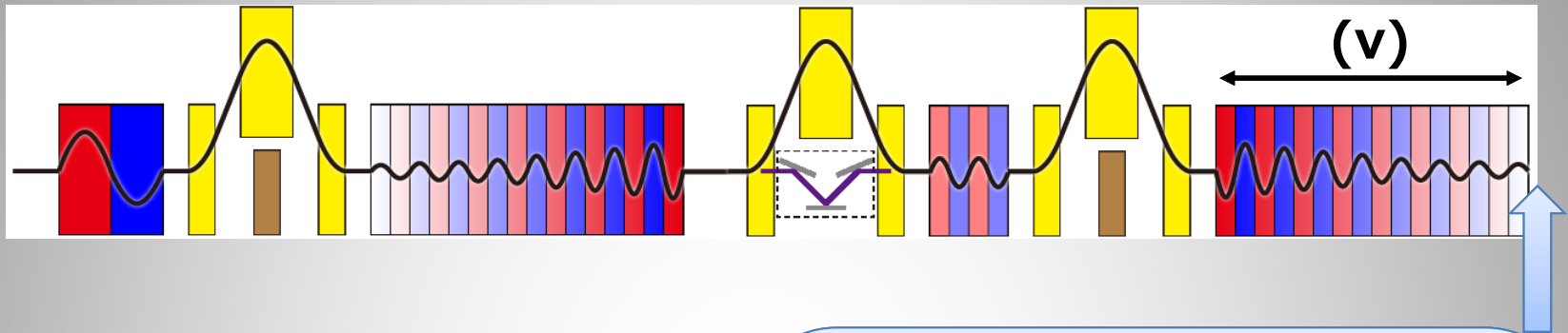
セクション(iv)：チャープマイクロバッチの生成



セクション(v)：単一サイクルパルスの生成



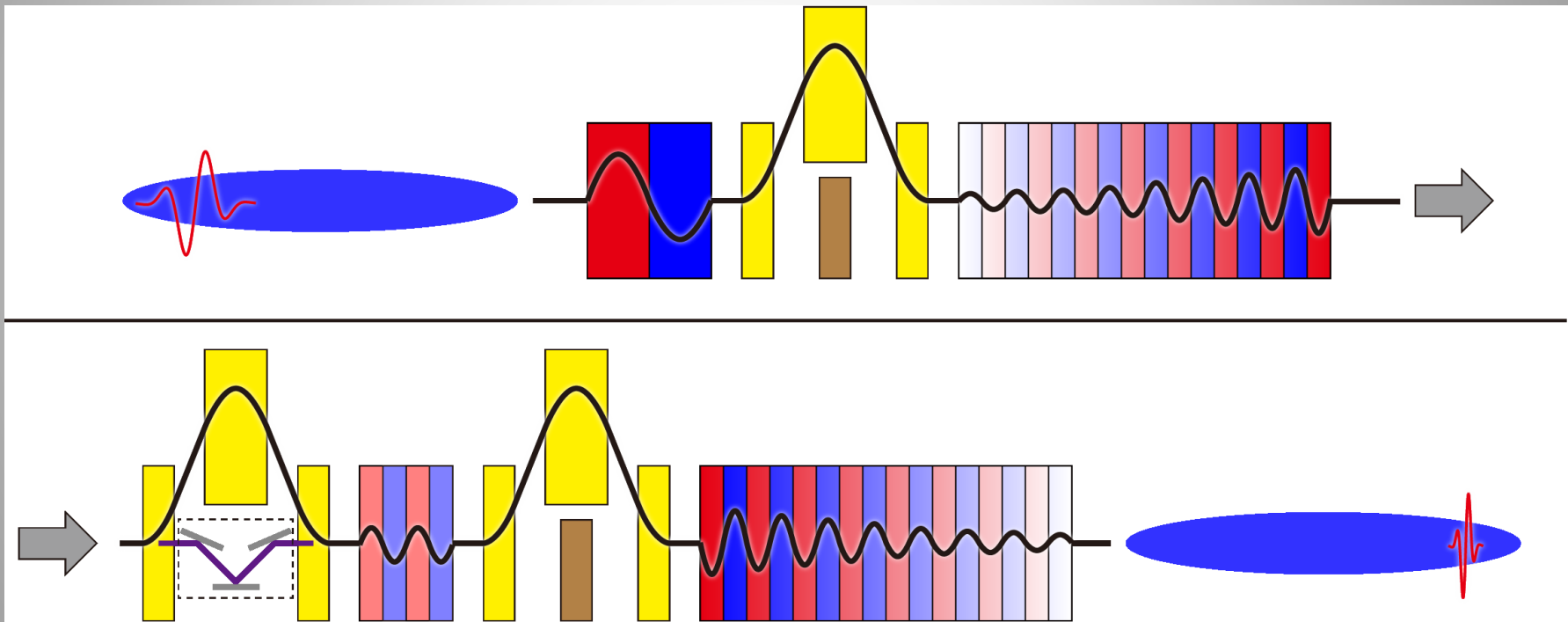
セクション(v)：単一サイクルパルスの生成



Outline

- はじめに
- 単一サイクルパルス発生 の原理
- XFELにおける実装方法
- **適用例と計算結果**
- まとめ

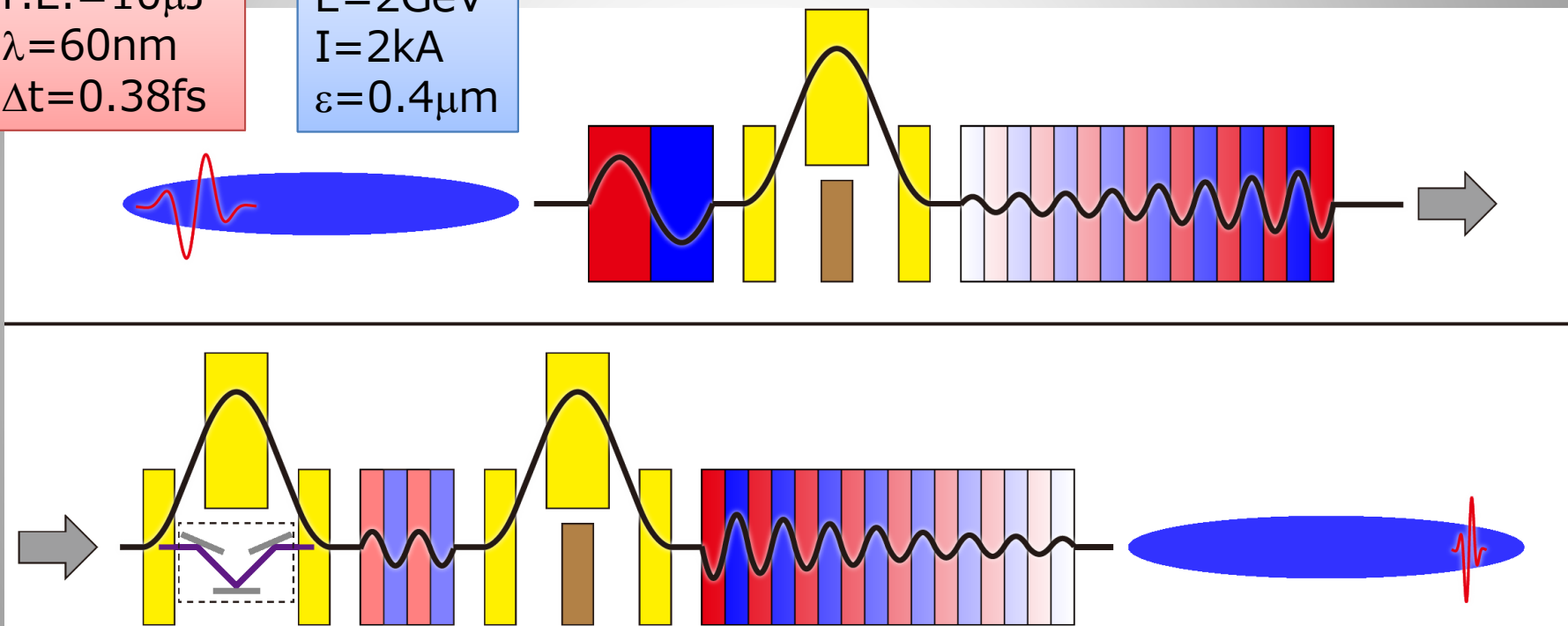
想定パラメータ



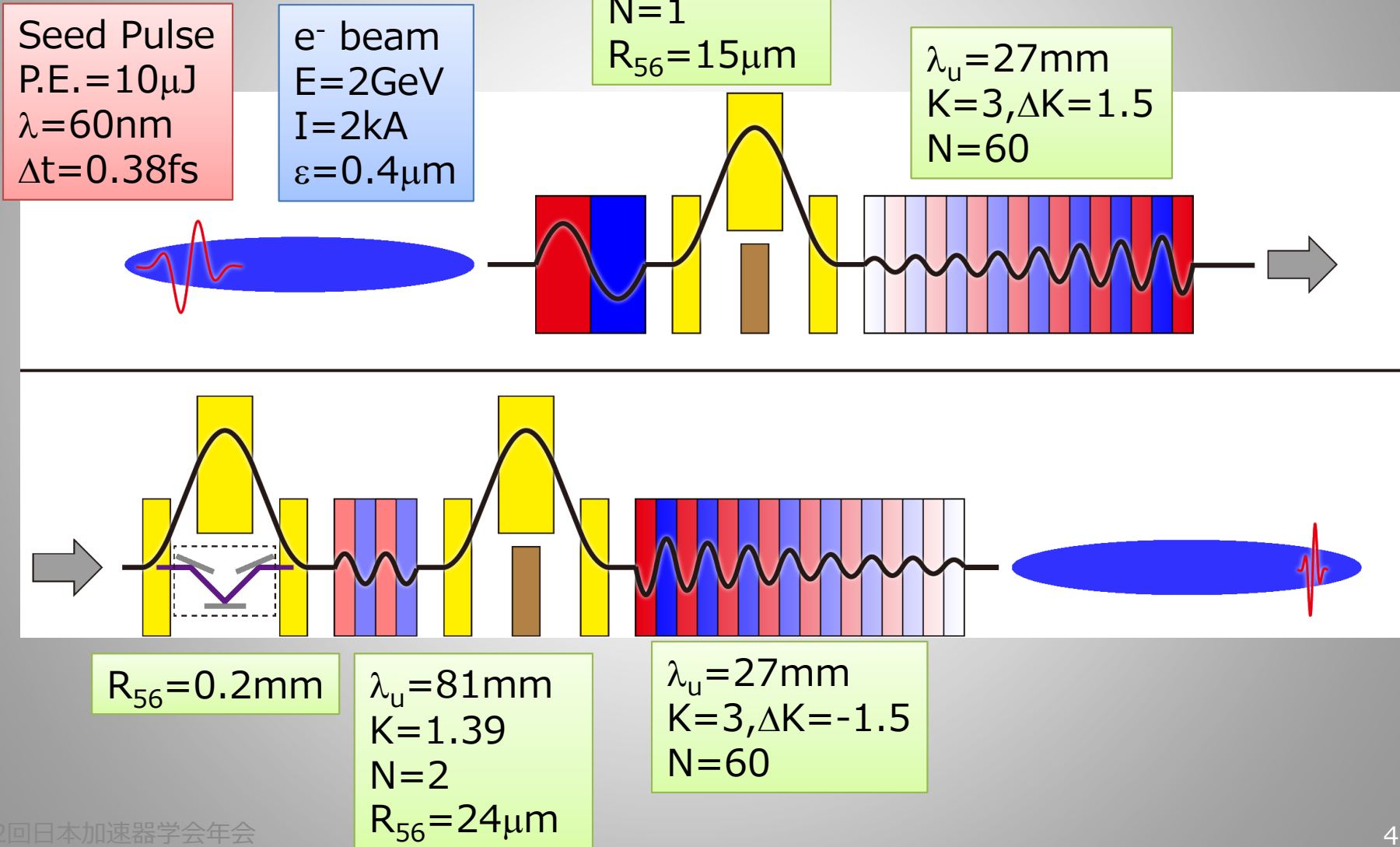
想定パラメータ

Seed Pulse
P.E. = $10\mu\text{J}$
 $\lambda = 60\text{nm}$
 $\Delta t = 0.38\text{fs}$

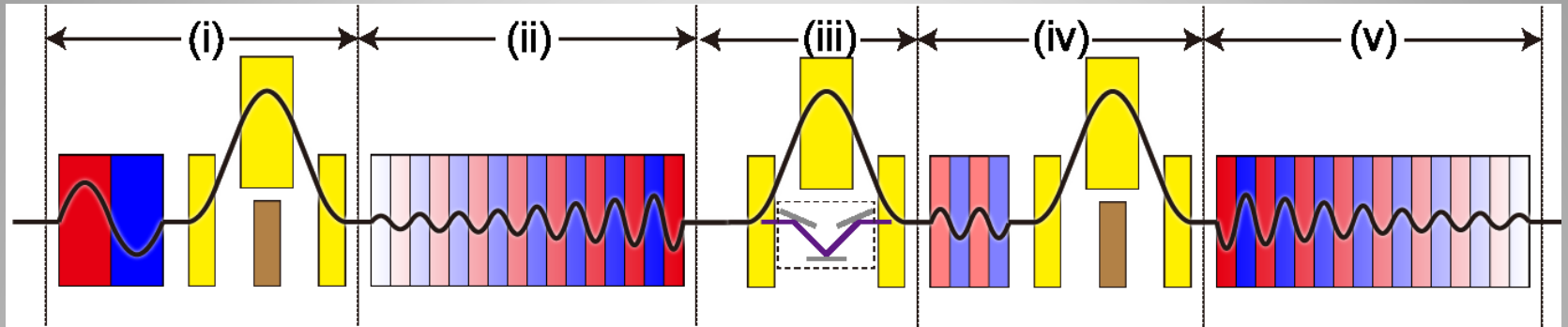
e^- beam
 $E = 2\text{GeV}$
 $I = 2\text{kA}$
 $\varepsilon = 0.4\mu\text{m}$



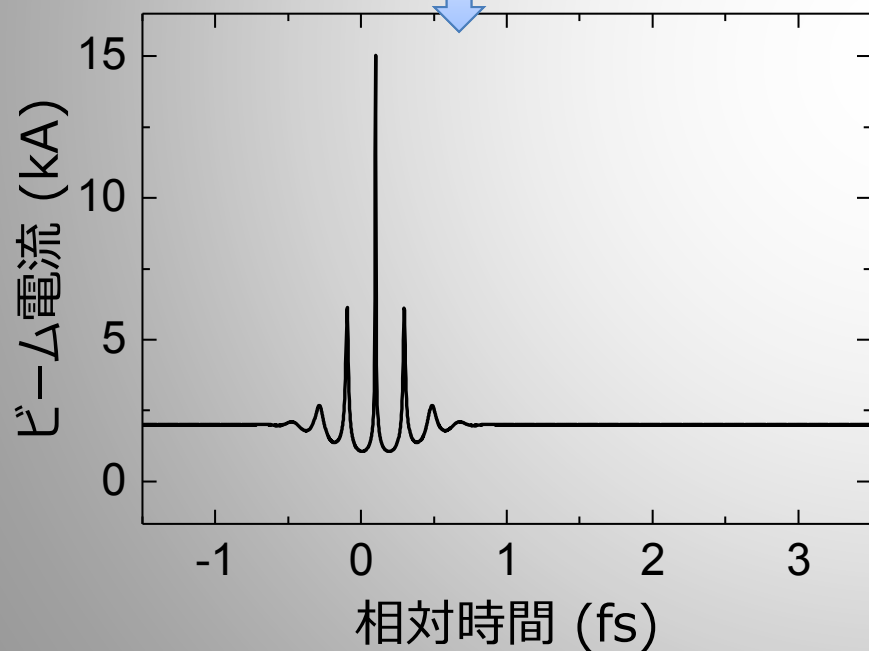
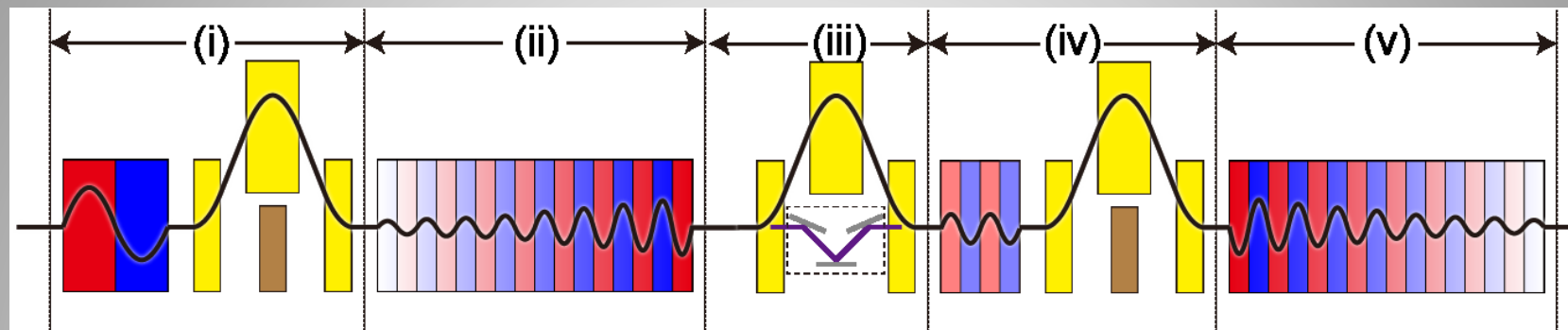
想定パラメータ



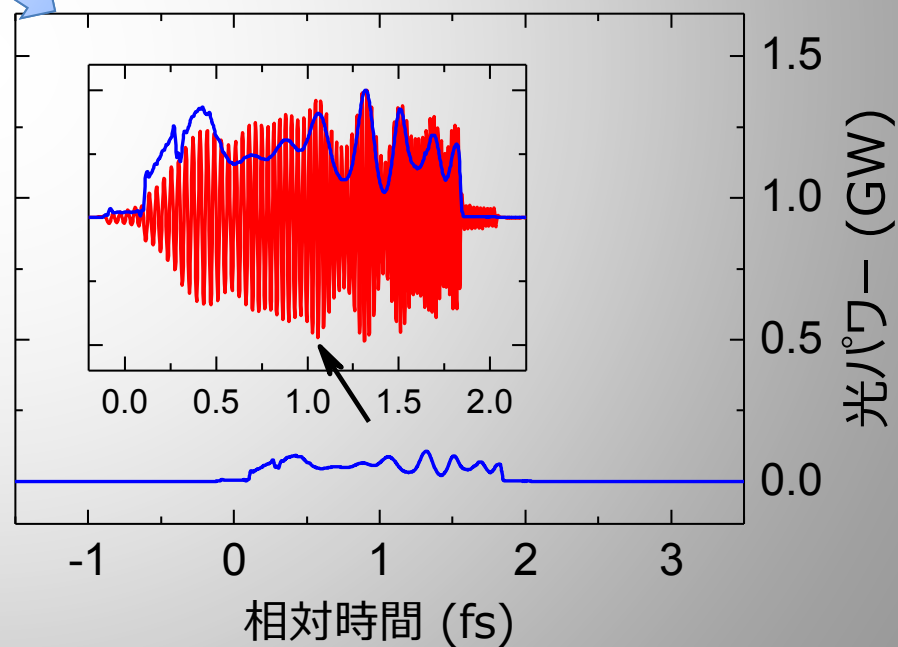
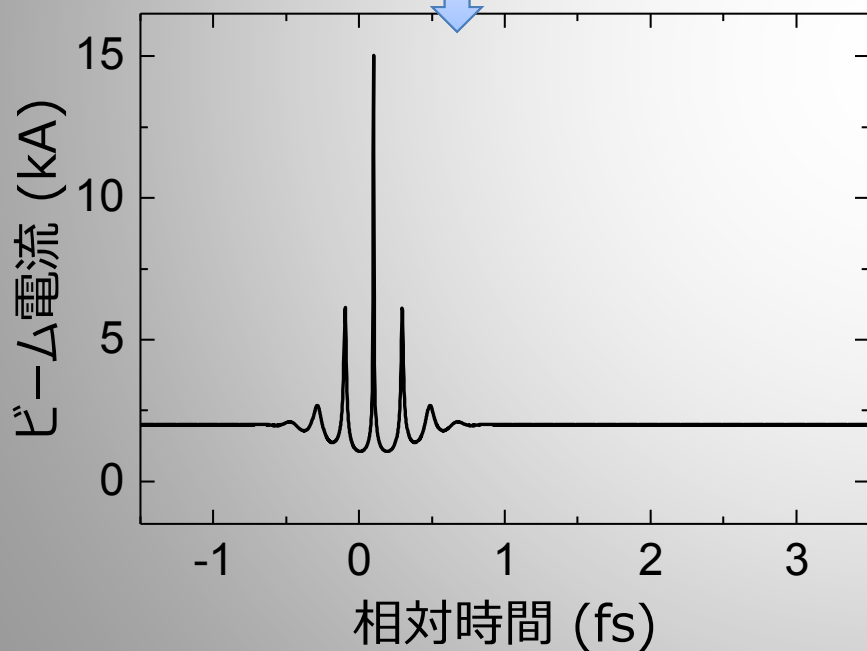
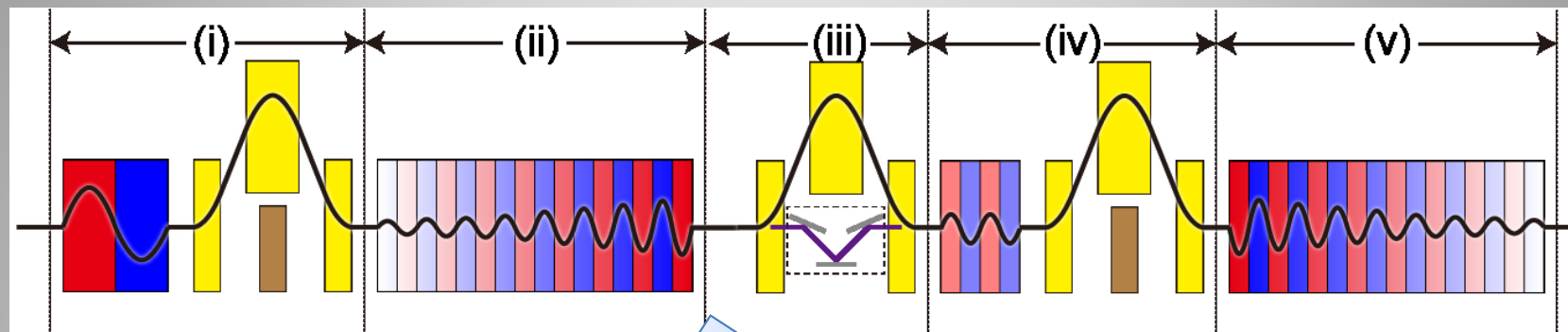
計算例 ($m=7, \sigma_\gamma/\gamma=5 \times 10^{-5}$)



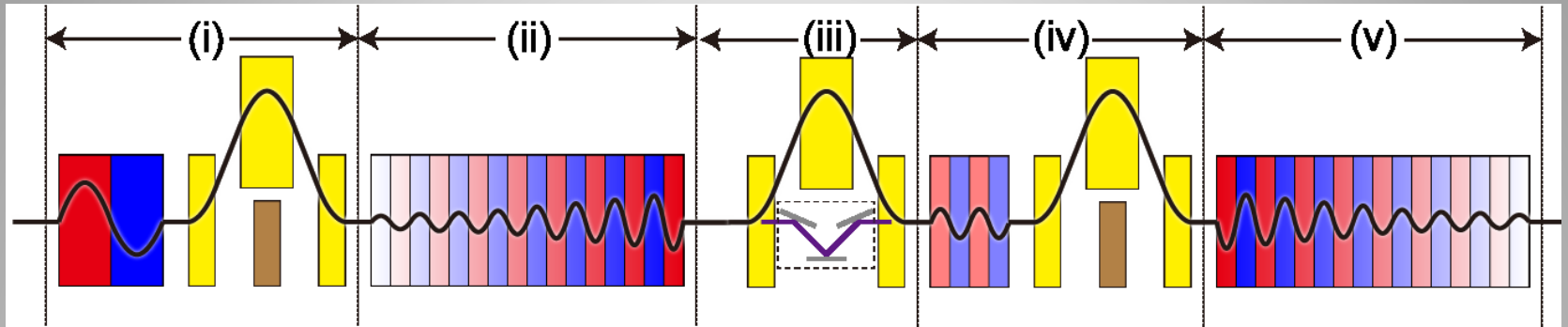
計算例 ($m=7, \sigma_\gamma/\gamma=5 \times 10^{-5}$)



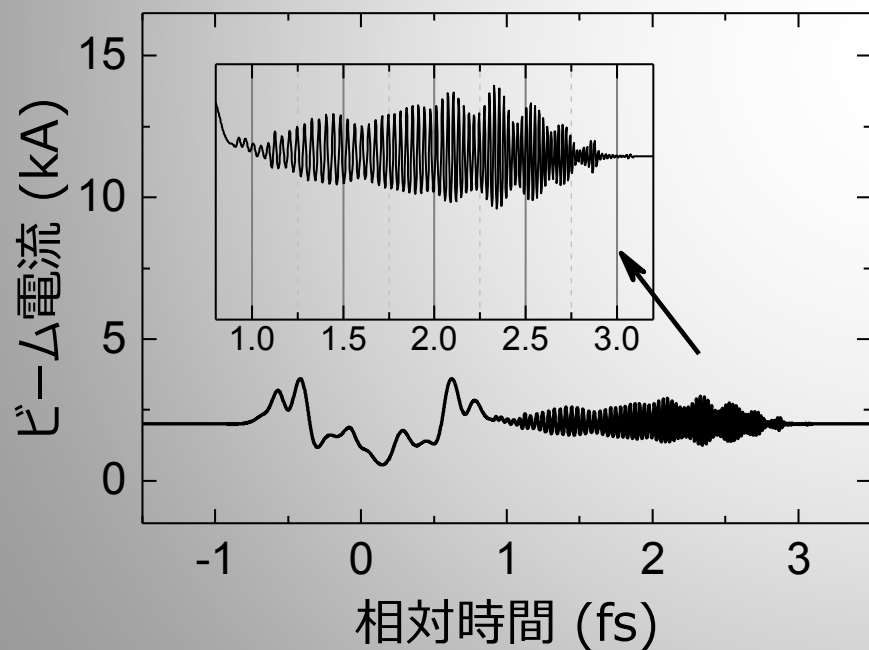
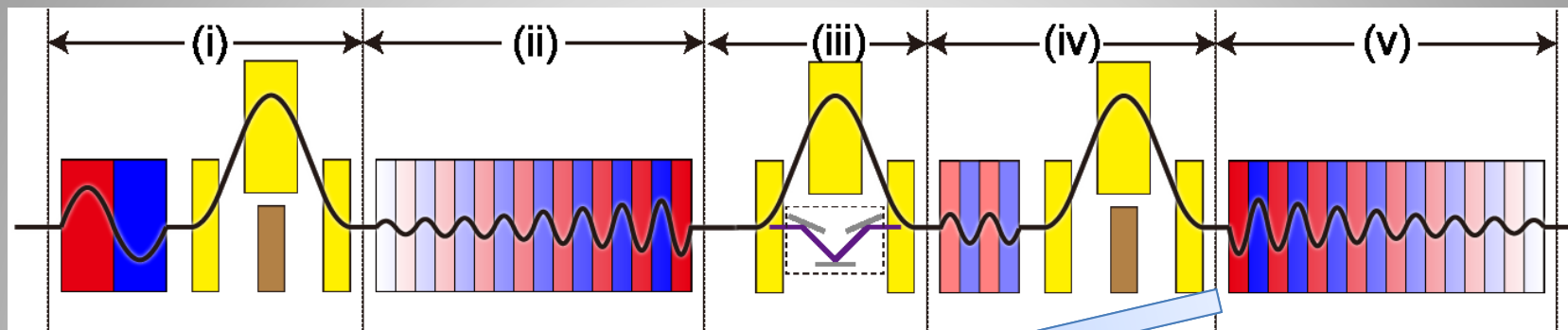
計算例 ($m=7, \sigma_\gamma/\gamma=5 \times 10^{-5}$)



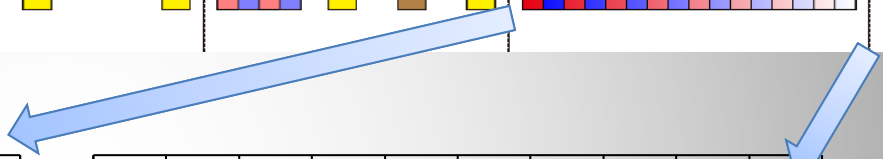
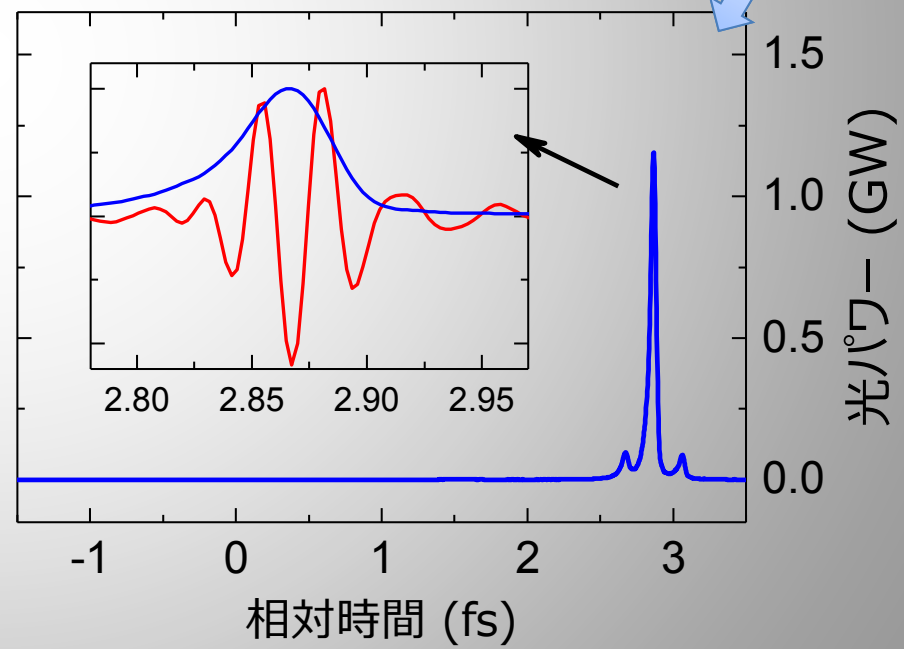
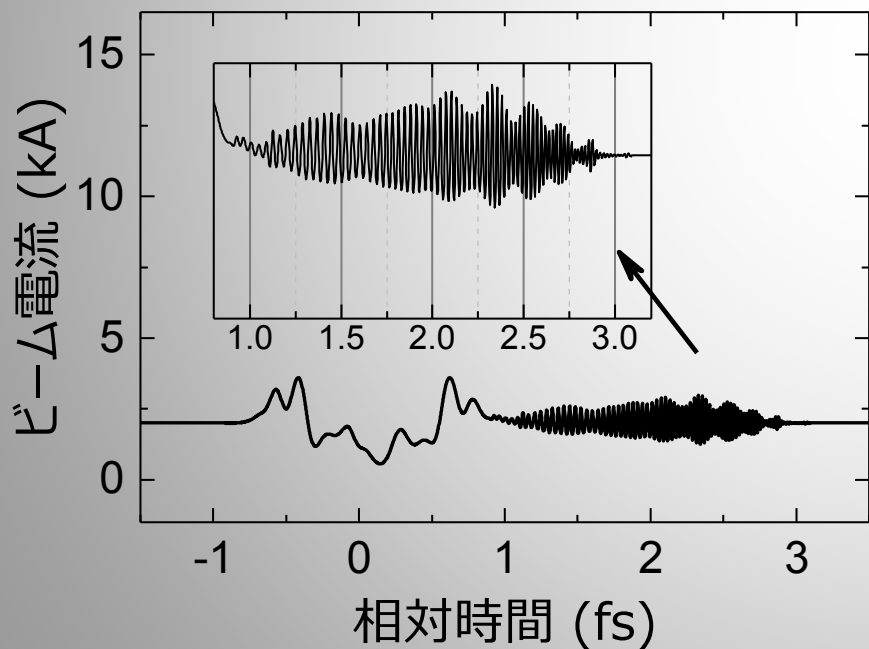
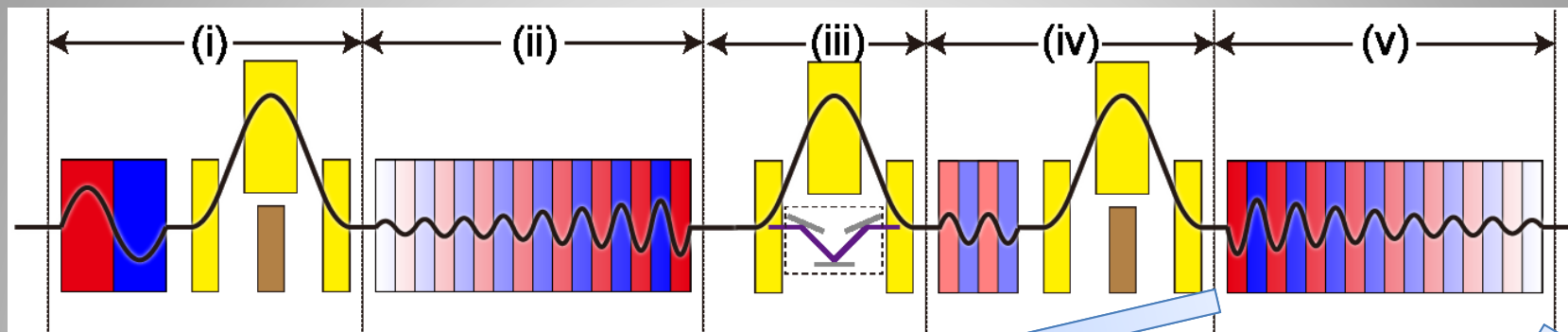
計算例 ($m=7, \sigma_\gamma/\gamma=5 \times 10^{-5}$)



計算例 ($m=7, \sigma_y/\gamma=5 \times 10^{-5}$)

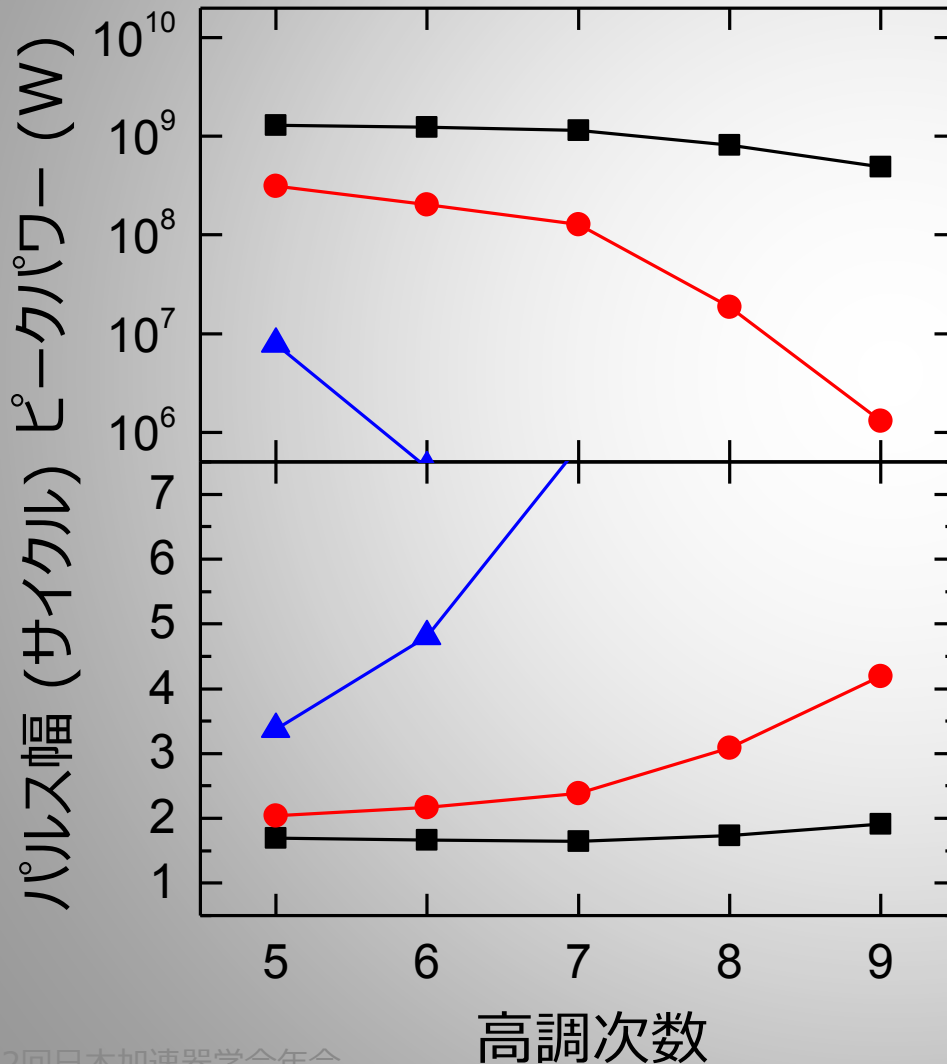


計算例 ($m=7, \sigma_\gamma/\gamma=5 \times 10^{-5}$)



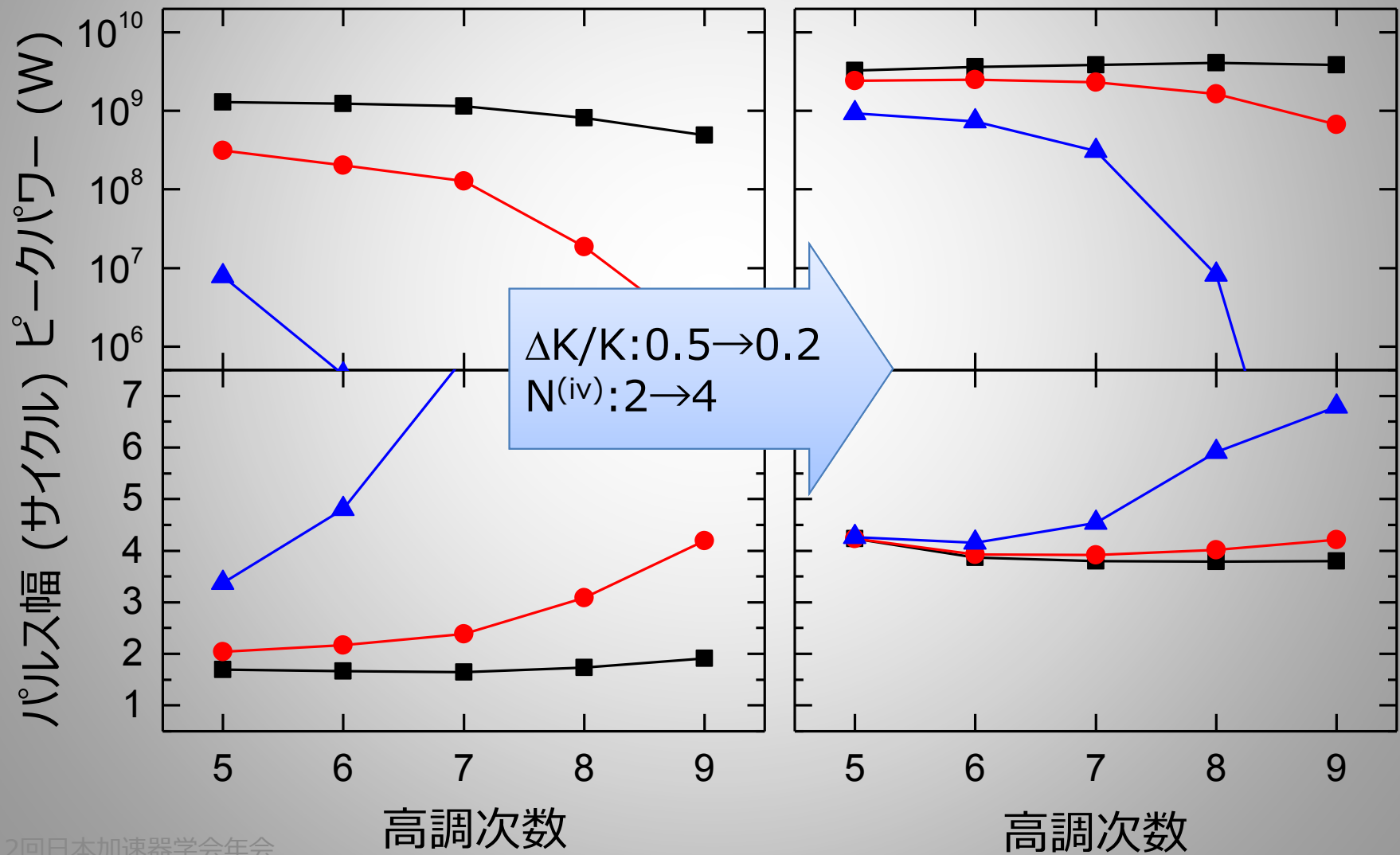
高調次数とエネルギー幅の関係

σ/γ : \blacksquare 5×10^{-5} , \bullet 8×10^{-5} , \blacktriangle 1.2×10^{-4}



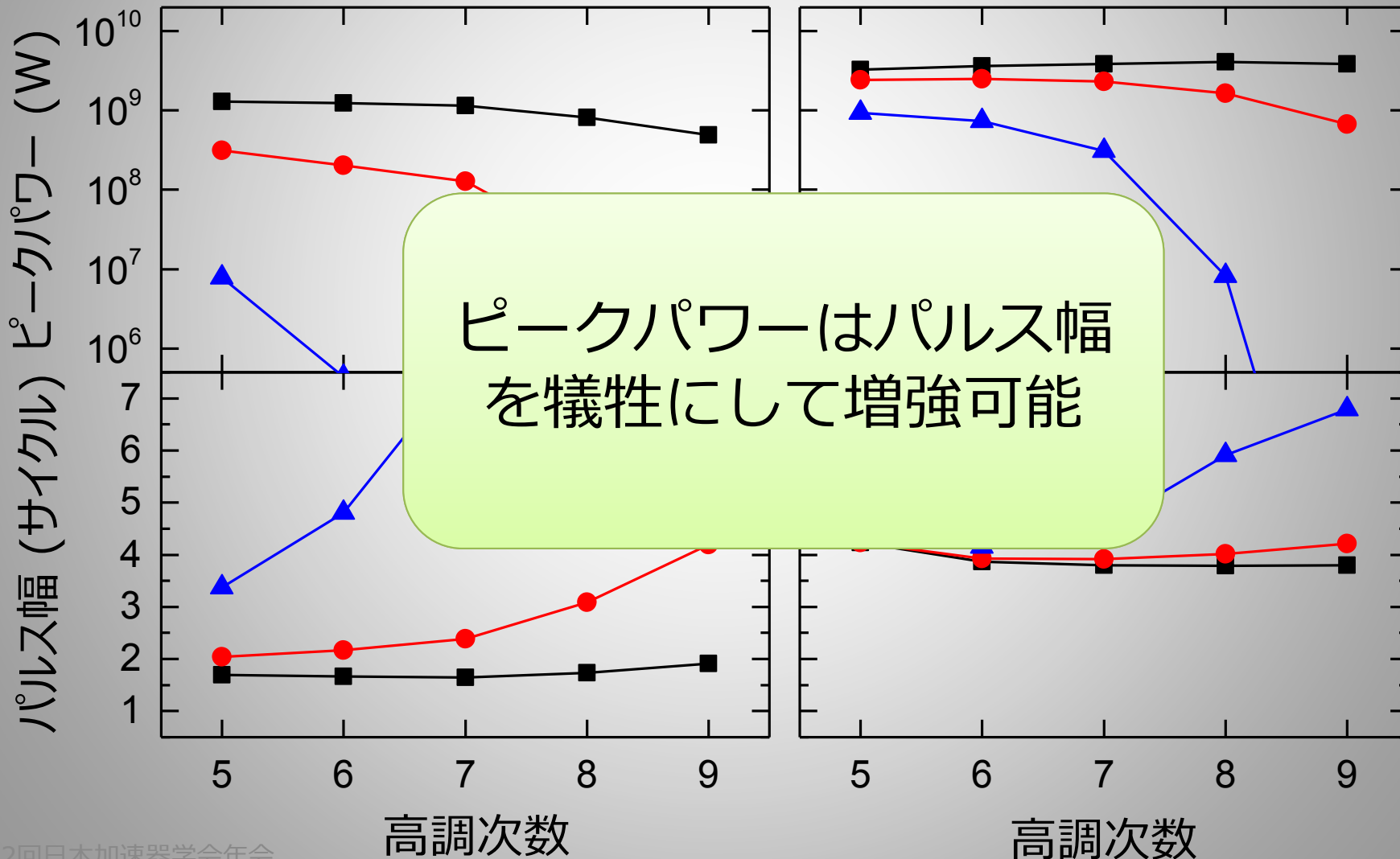
高調次数とエネルギー幅の関係

σ_γ/γ : \blacksquare 5×10^{-5} , \bullet 8×10^{-5} , \blacktriangle 1.2×10^{-4}

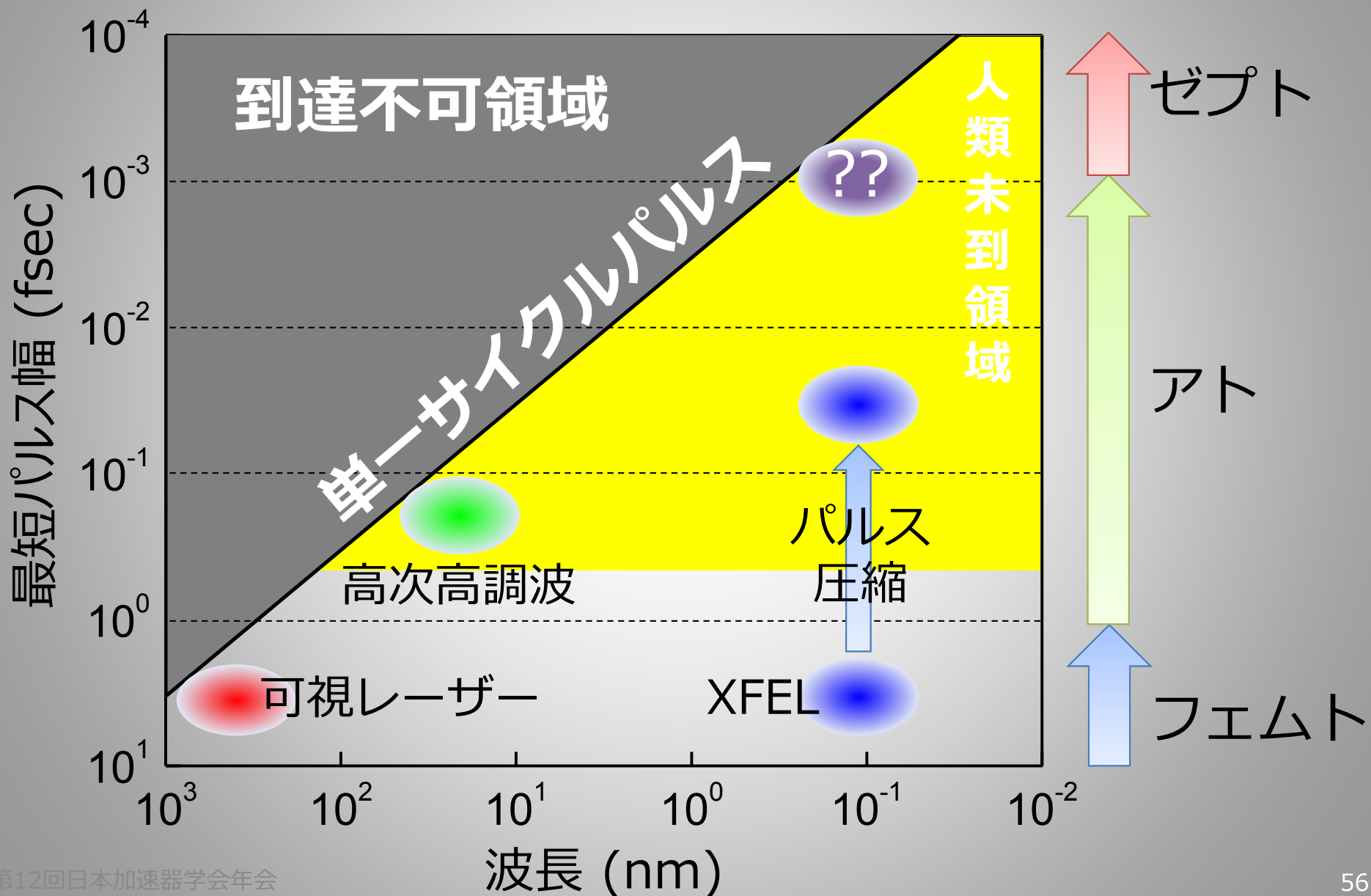


高調次数とエネルギー幅の関係

σ/γ : \blacksquare 5×10^{-5} , \bullet 8×10^{-5} , \blacktriangle 1.2×10^{-4}



まとめと今後の展望



まとめと今後の展望

