

次世代半導体露光に向けた エネルギー回収線形加速器型 自由電子レーザーの開発

京都大学でのセミナー

2026.1.7

KEK 本田洋介

- 2025年度から新しいプロジェクトが始まりました。
- そこで、若手人材のリクルーティングを兼ねて本日来ています。

内容

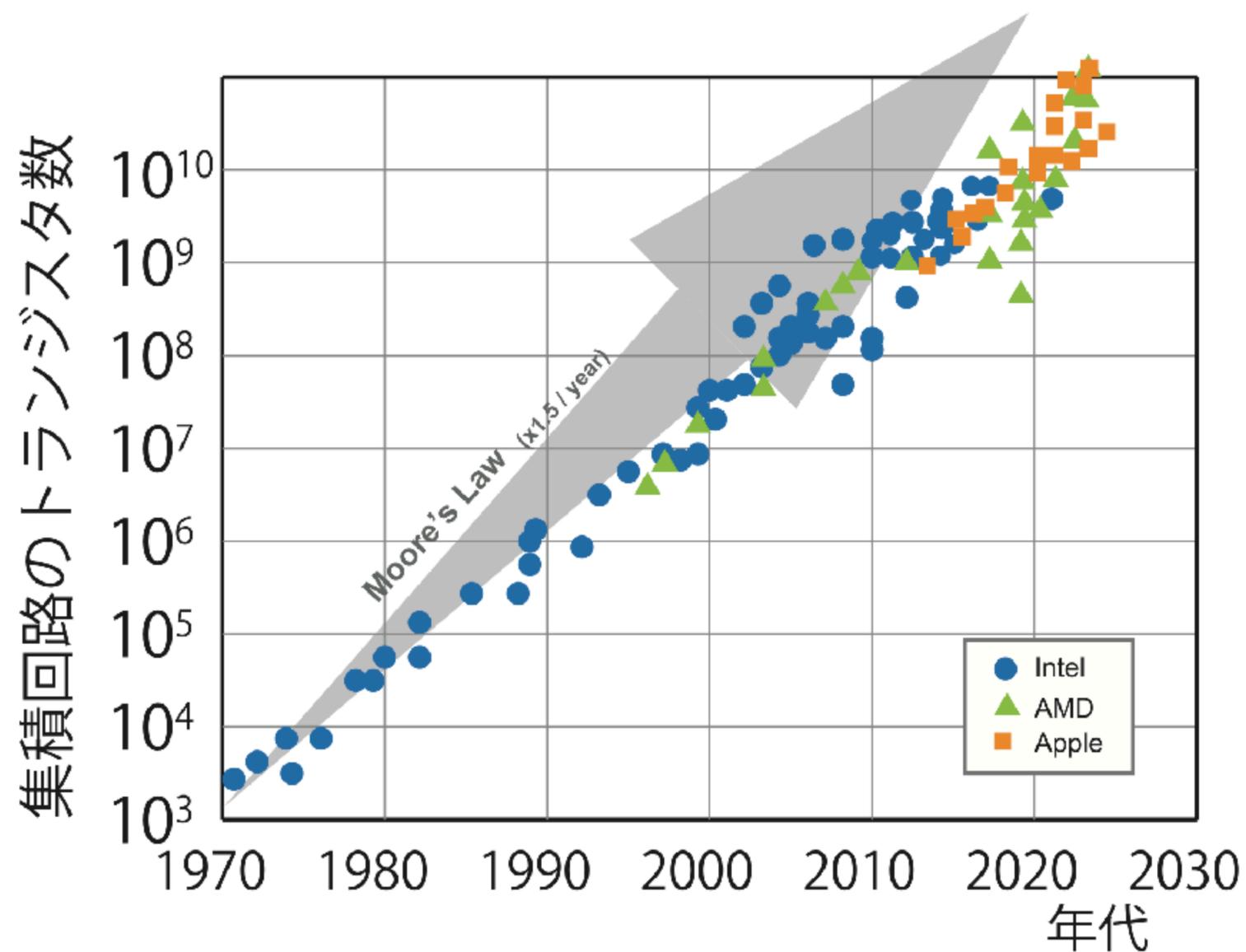
- 半導体背景のはなし
- 検討する加速器光源
- KEKの試験加速器の状況
- 開発計画

半導体背景のはなし

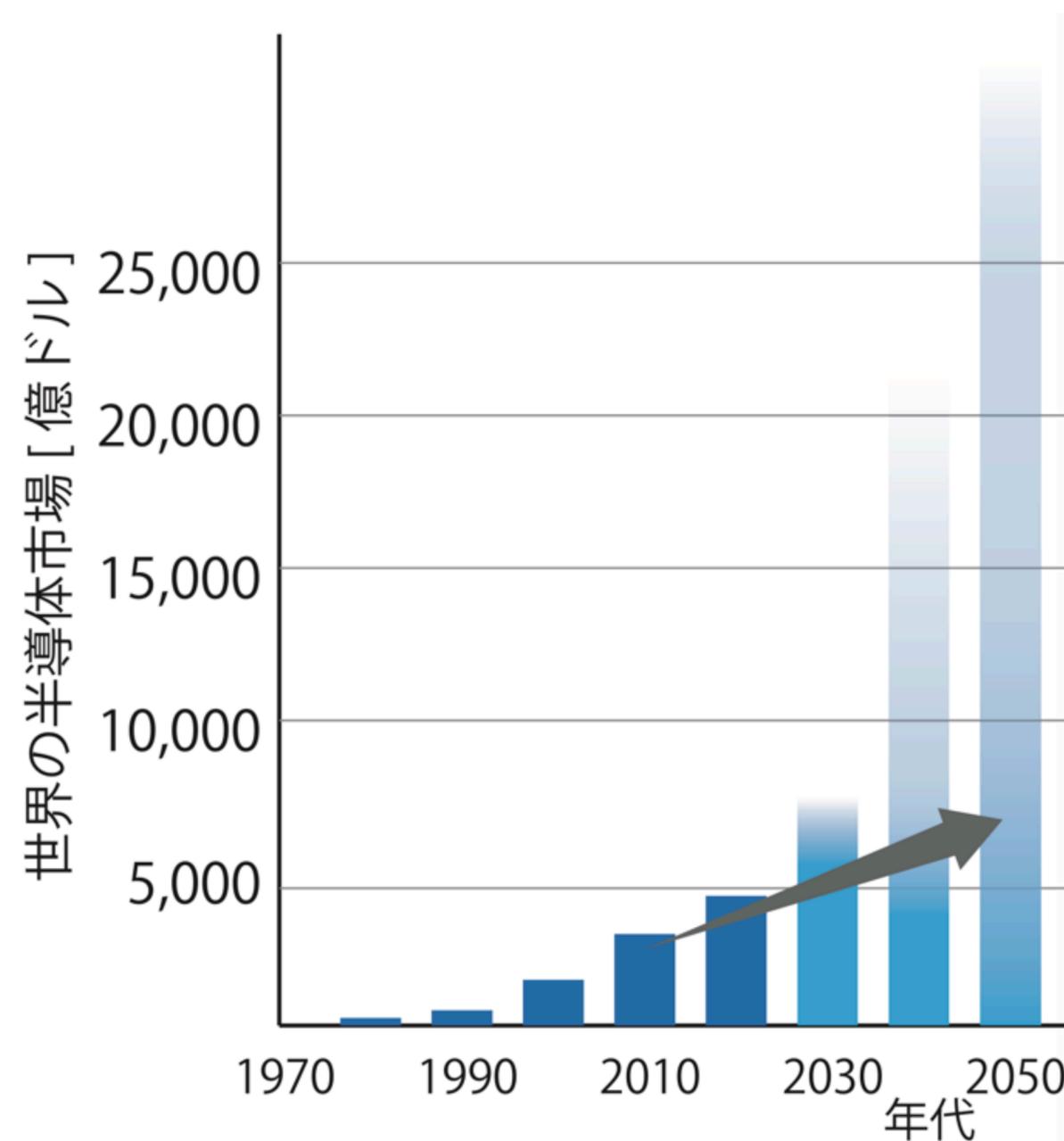
- とくに専門ではなく、
- 一般的なお話の範囲

半導体背景

- ・ムーアの法則
 - 集積回路のトランジスタ数は、1.5年ごとに2倍になる

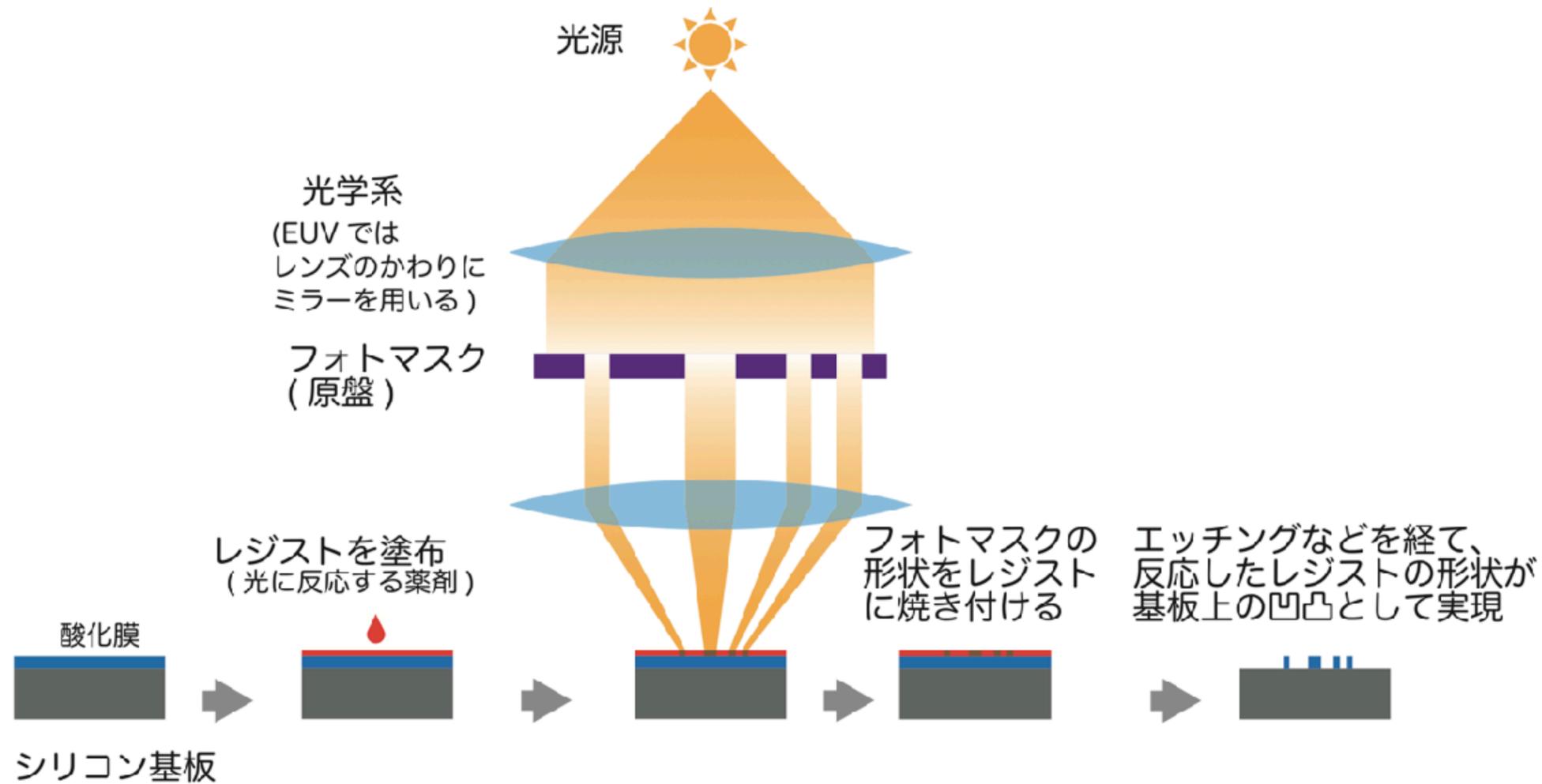


- ・将来の半導体需要
 - 今後も増加傾向は確実
 - 電力(運用も製造も)は成り立つのか？



露光(光リソグラフィ)

- 光を使った印刷の技術で、微細な3D構造を量産できる
- 量産は光源の強度次第



露光技術の例

感光樹脂



マスク原板



日光を照射



レジストを洗い流す

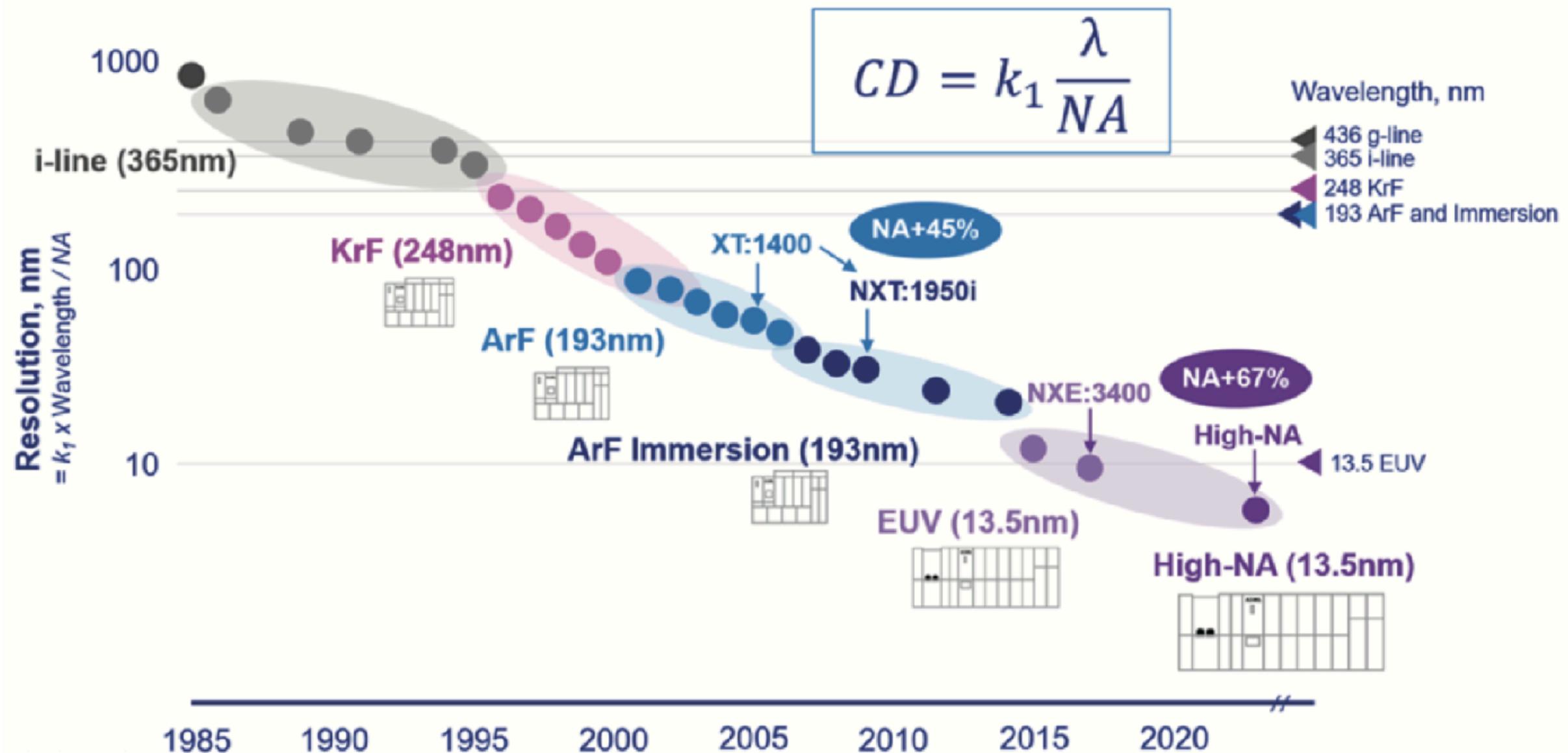


スタンプが完成!



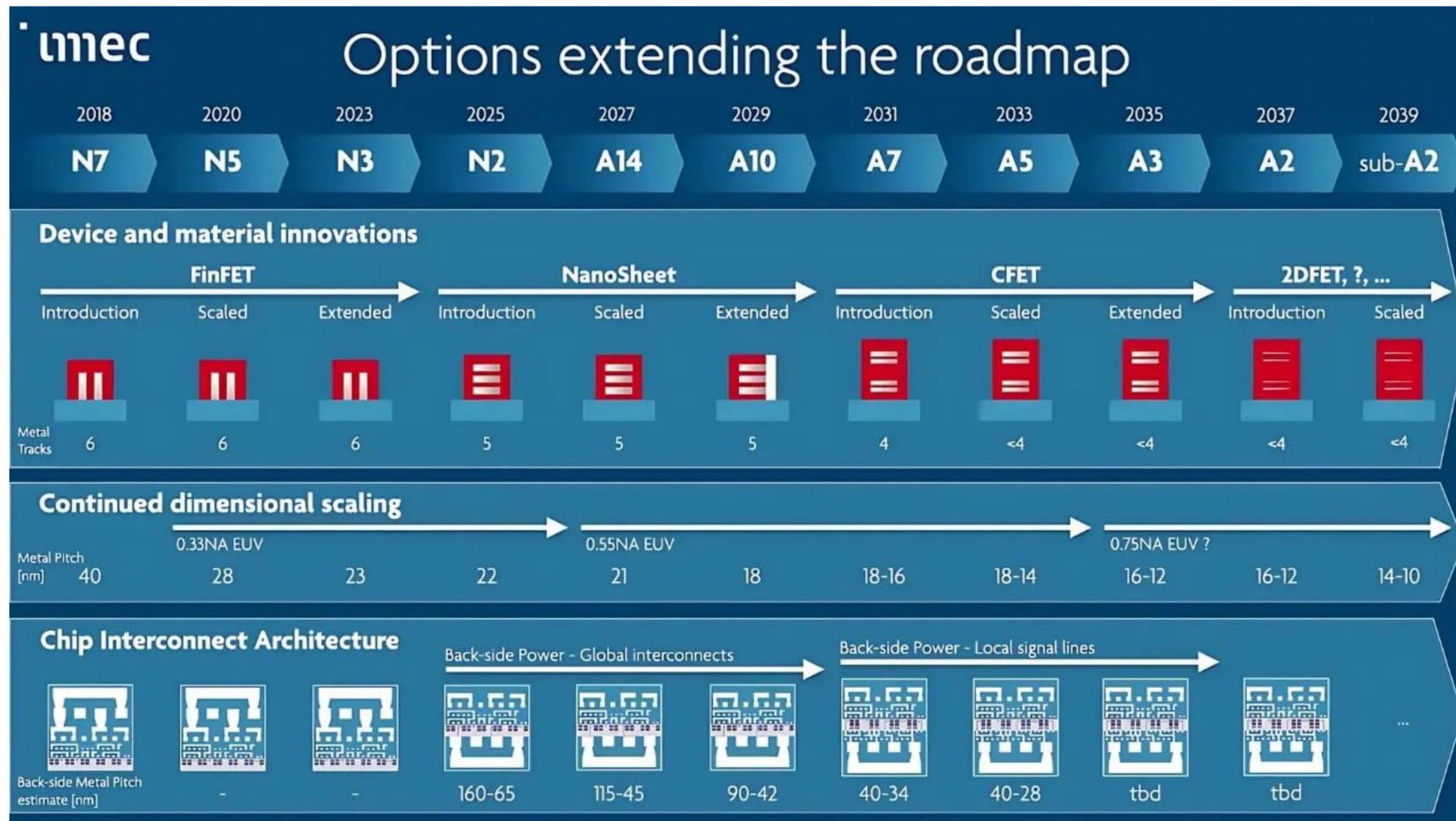
光源の短波長化

- 分解能は波長(λ)と集光(NA)で決まる。(CD: critical distance)
 - 年代とともに短波長化が進み、現在の最先端はEUV (13.5 nm)
 - 2019年以降のiPhoneはEUVの技術で作られている。
 - 将来はさらに短波長化が進むか (6.x nm、4 nm、2 nm)



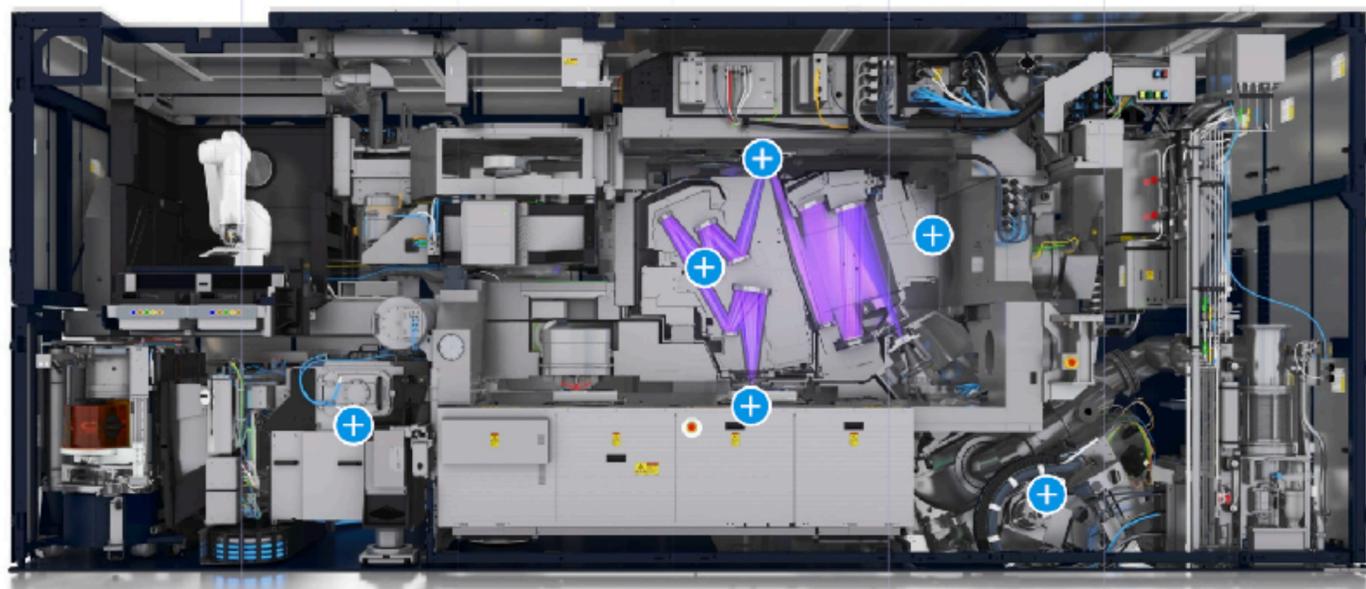
半導体ロードマップ

- 何年後に、どのくらいの線幅で、どの技術を使って、製造するのか、業界では決まっている。
- 今は、13.5nmで、NAを上げることで微細化が進行している段階。
- 実際の線幅: 近年の最先端は、(2nm世代とか言われるが)実際の電極間隔は20 nmくらい

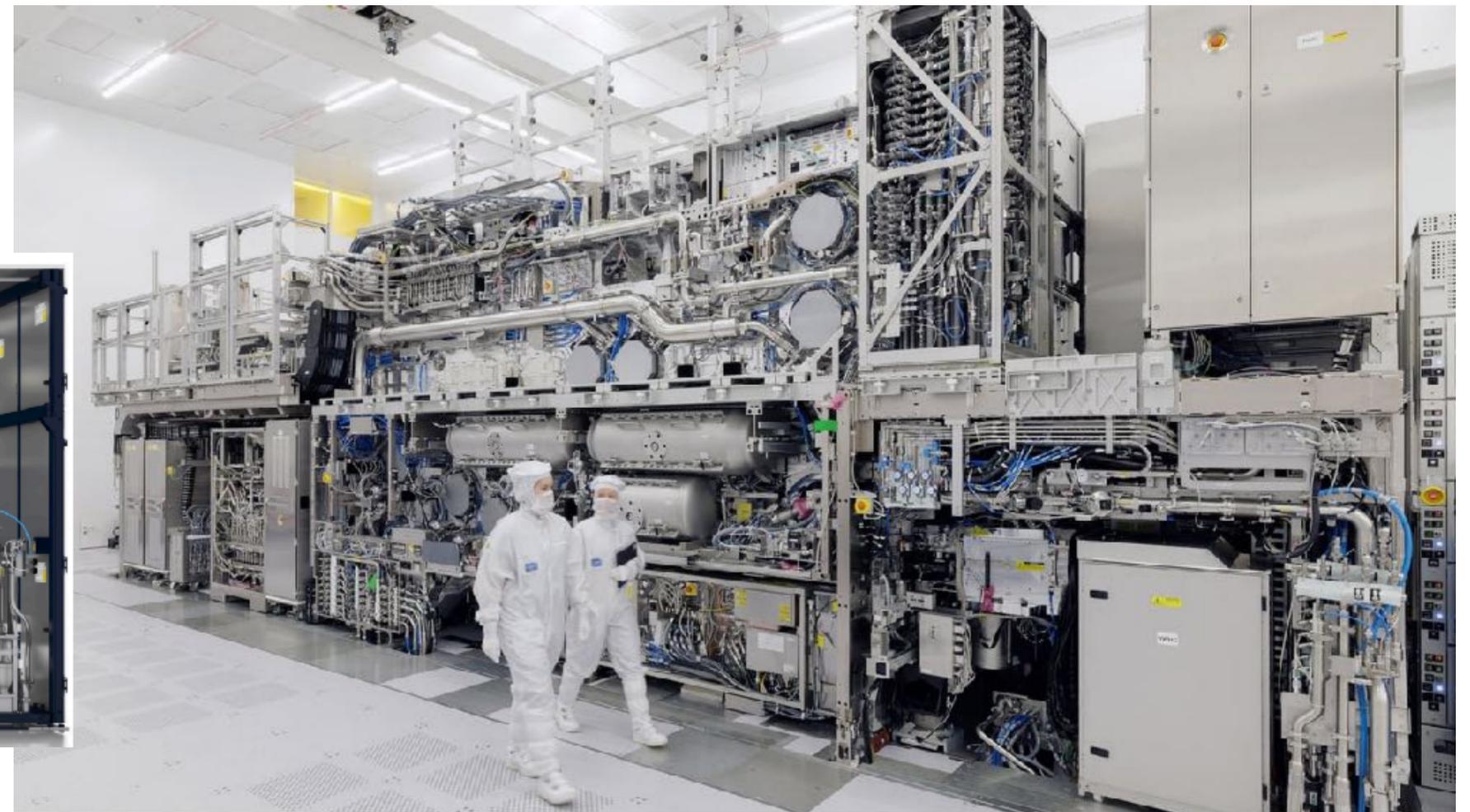


EUV露光装置

- オランダのASML社が独占、非常に高価(~500億円/台)
- 先端半導体の製造 (およびその経済圏) は、台湾のtsmc社が席巻
 - ファウンドリはEUV露光装置の奪い合い (tsmcは100台以上(世界の過半数)を所有)
 - 使いこなすこと自体が難しい。tsmcでも良品率は70%
- tsmcの消費電力は台湾全体の8% (24PWh) (2023年)ともいわれる。
 - スマホやAIの半導体を製造するために大量の電力を消費している現状



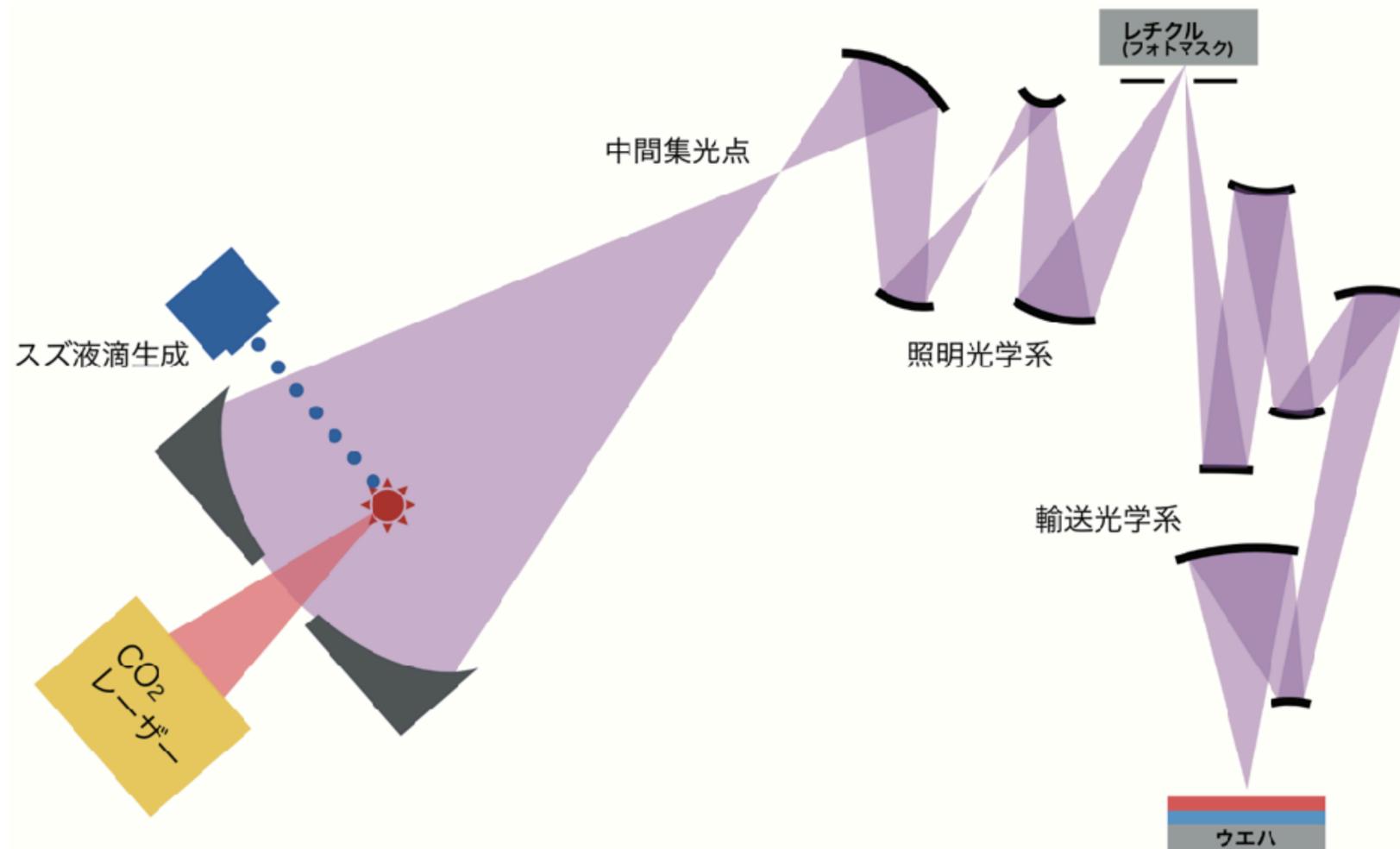
ASMLウェブサイトより引用



EUV光源

- レーザー生成プラズマ (LPP)光源。スズをプラズマ化して励起して、脱励起で出る光を集める。
- 課題
 - 大出力化が難航 (現状0.25kW、1kWを目指し開発中)。製造速度 = 光パワー
 - 電力効率。消費電力のうち、わずか0.02%がEUV光になる。
 - 短波長化には技術的飛躍が大きい
 - メンテナンスコスト。スズのデブリで高価なミラーが消耗品。

ASMLウェブサイトより引用



- Mo/Si 多層膜ミラー
 - 反射率は68%程度。10枚以上使う複雑な光学系で輸送、数%しか届かない。
 - 帯域は1%程度。帯域外の光は損失。(LPP光源は帯域が広く効率が悪い)

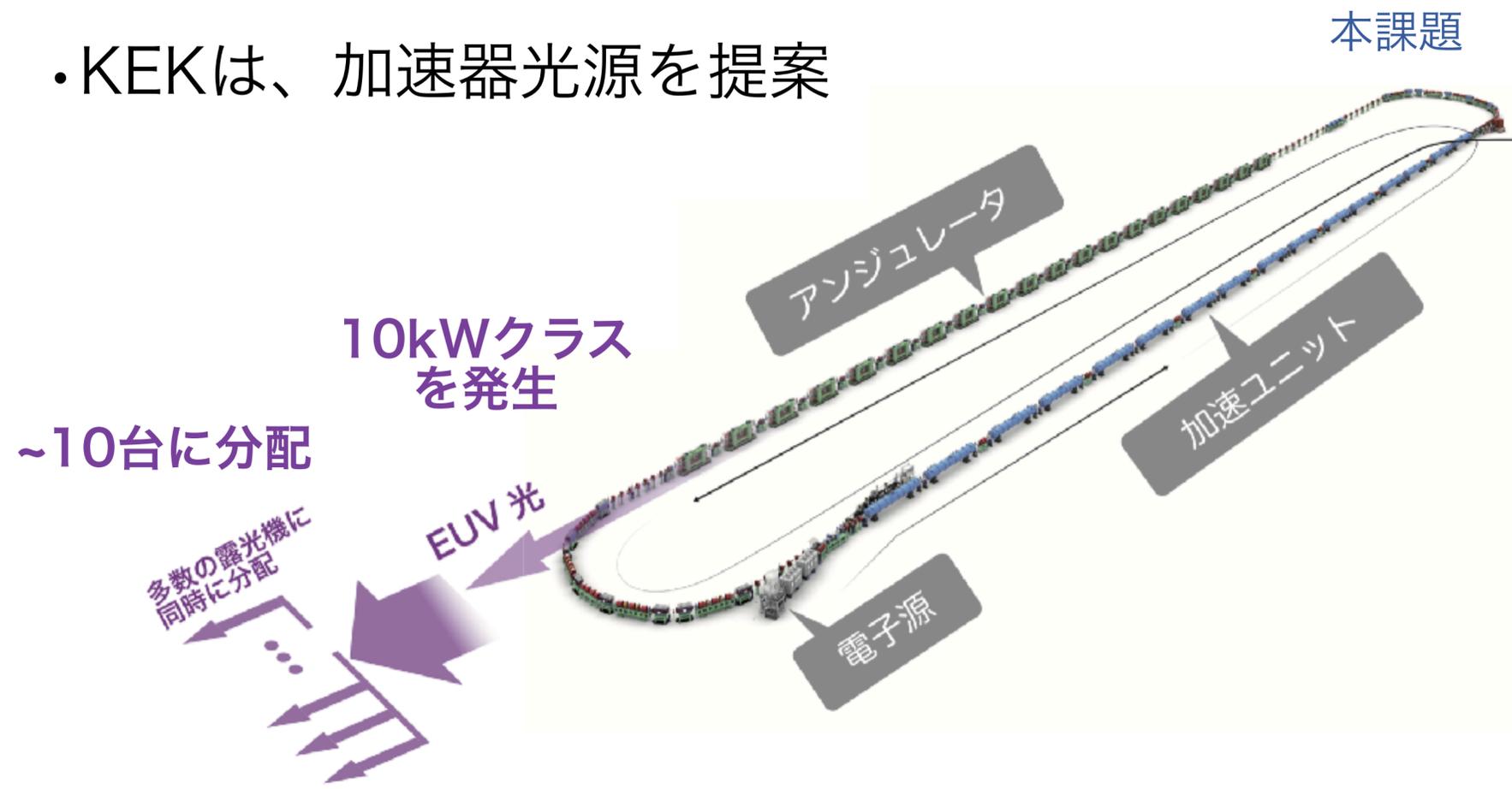
JST Kプログラム

- Kプログラム経済安全保障重要技術育成プログラム: 経済安全保障推進法(令和4年)に基づいて発足。重要分野に研究開発構想の公募が出された(5000億円規模)。(次世代半導体分野もその一つ、6課題で135億。)
- 2023年に公募、採択2025年2月、研究期間 2025年4月~2030年3月

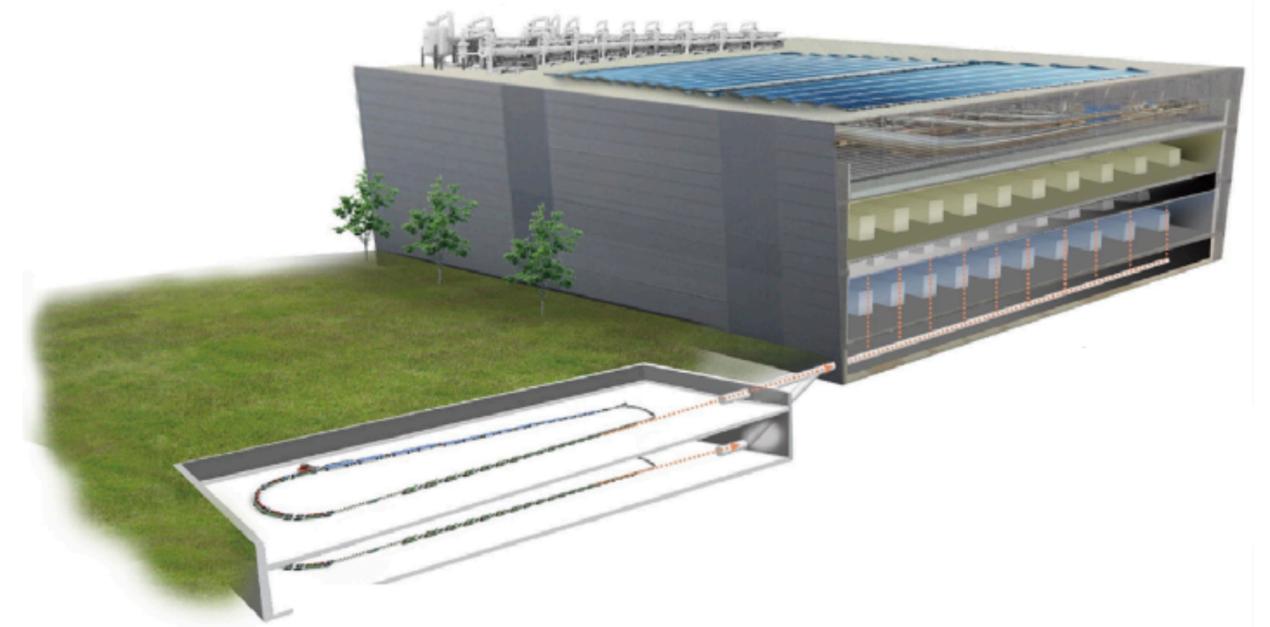


- 研究開発構想: 次世代半導体微細加工プロセス技術
 - 最先端露光技術の更に先を見据えたBeyond EUV実現も念頭に入れた革新的基盤技術の開発 (EUV露光用新規高性能光源開発)
- 既存のEUV光源では実現困難な、**高出力、EUV以下の短波長、高分解能、低消費電力、保守経費低減**を実現できる、EUV露光用の新規高性能光源の開発に向けた要素技術開発を行う。

- KEKは、加速器光源を提案



「革新的な次世代EUV露光用光源の実現を目指した自由電子レーザーの基盤技術開発」



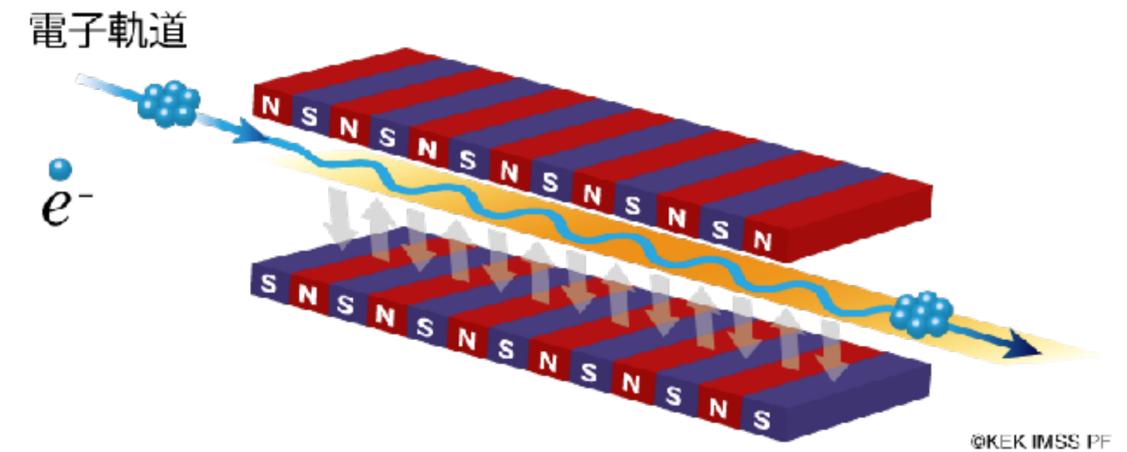
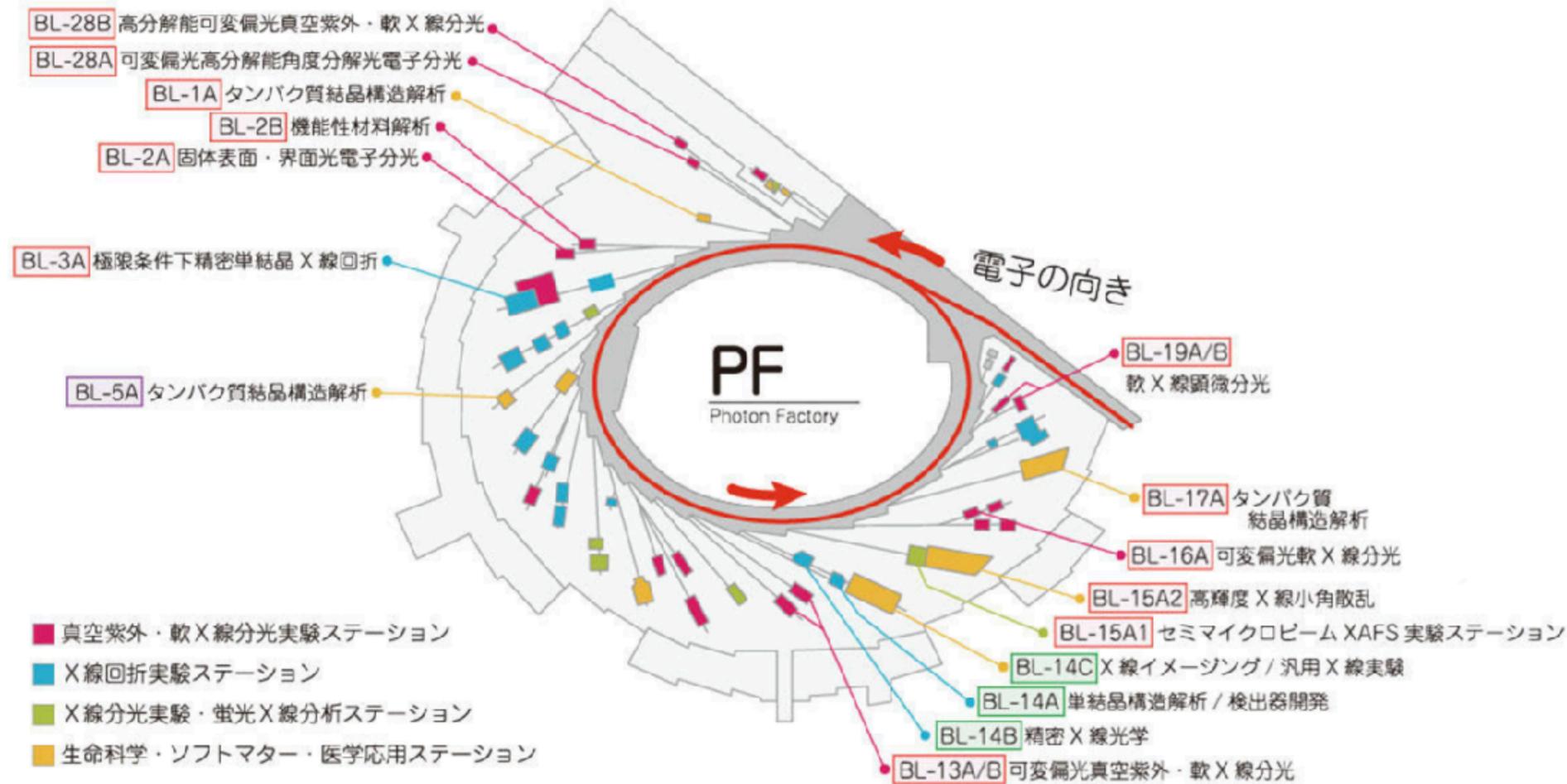
検討する加速器光源

- FELの原理とその必然性
- ERLの原理とその必然性
- マシンパラメータ

蓄積リング放射光

- 加速器光源といえは、従来の放射光ではダメなのか？
(自由電子レーザーではなく、インコヒーレントなアンジュレータ放射)

例えば、KEKのフotonファクトリ



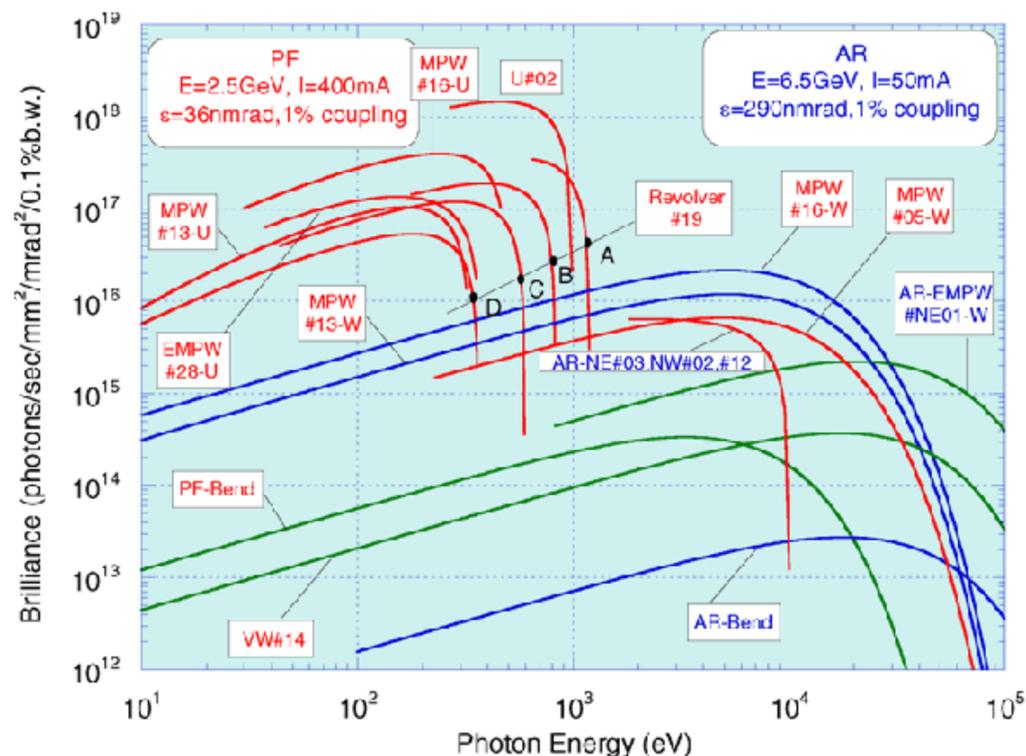
放射光の原理

- 磁場による軌道の曲がり
- 放射光によるエネルギー損失(リング1周)
- 放射光のスペクトル
 - 全体はカットオフを上限として概ね一様
 - ミラーの反射帯域から、その一部しか使えない

$$\rho[\text{m}] = 3.3 \times \frac{E[\text{GeV}]}{B[\text{T}]}$$

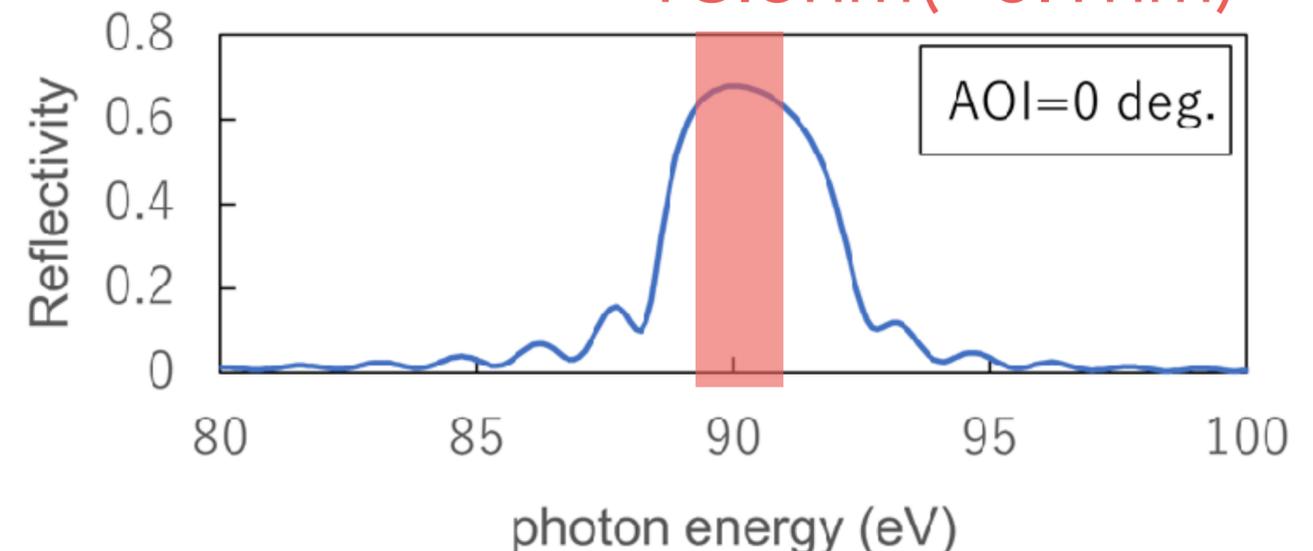
$$U_0[\text{keV}] = 88.5 \times \frac{E^4[\text{GeV}^4]}{\rho[\text{m}]}$$

$$\epsilon_c = 2217 \times \frac{E^3[\text{GeV}^3]}{\rho[\text{m}]}$$



Mo/Si多層膜ミラーの反射率

13.5nm(±0.1nm)



従来の放射光で得られるEUVパワー

- 簡単な、帯域内のEUV
パワーの見積もり

スペクトル全体のうち
ミラーの帯域内の割合

ビームパワー

$$P_{EUV} [W] = 10^9 \times E[\text{GeV}] I[A] \times C \times C_{sp} = 5.5 \times B[\text{T}] L_u[\text{m}] I[A]$$

ビームから放射光
への変換効率

- アンジュレータの磁場 (B: せいぜい 1T)
- アンジュレータの長さ (Lu: せいぜい 30m)
- ビーム電流 (I: せいぜい 1A)

- 数10W程度(せいぜい頑張っても100Wくらいが最大。)
 - 現行のLPP (250W)に及ばない。サイズもでかい。

→インコヒーレントな放射は効率が悪い、これでは無理。

FEL (自由電子レーザー)

- コヒーレント放射によって、狭いスペクトルで、強い光を発生できる。

アンジュレータ周期

アンジュレータ磁場強さ

$$\lambda = \frac{\lambda_u}{2\gamma^2} (1 + a_w^2)$$

発振波長

ビームエネルギー

飽和領域

FEL 光

マイクロバンチ化が進むとともに、指数関数的に光強度が増幅します。

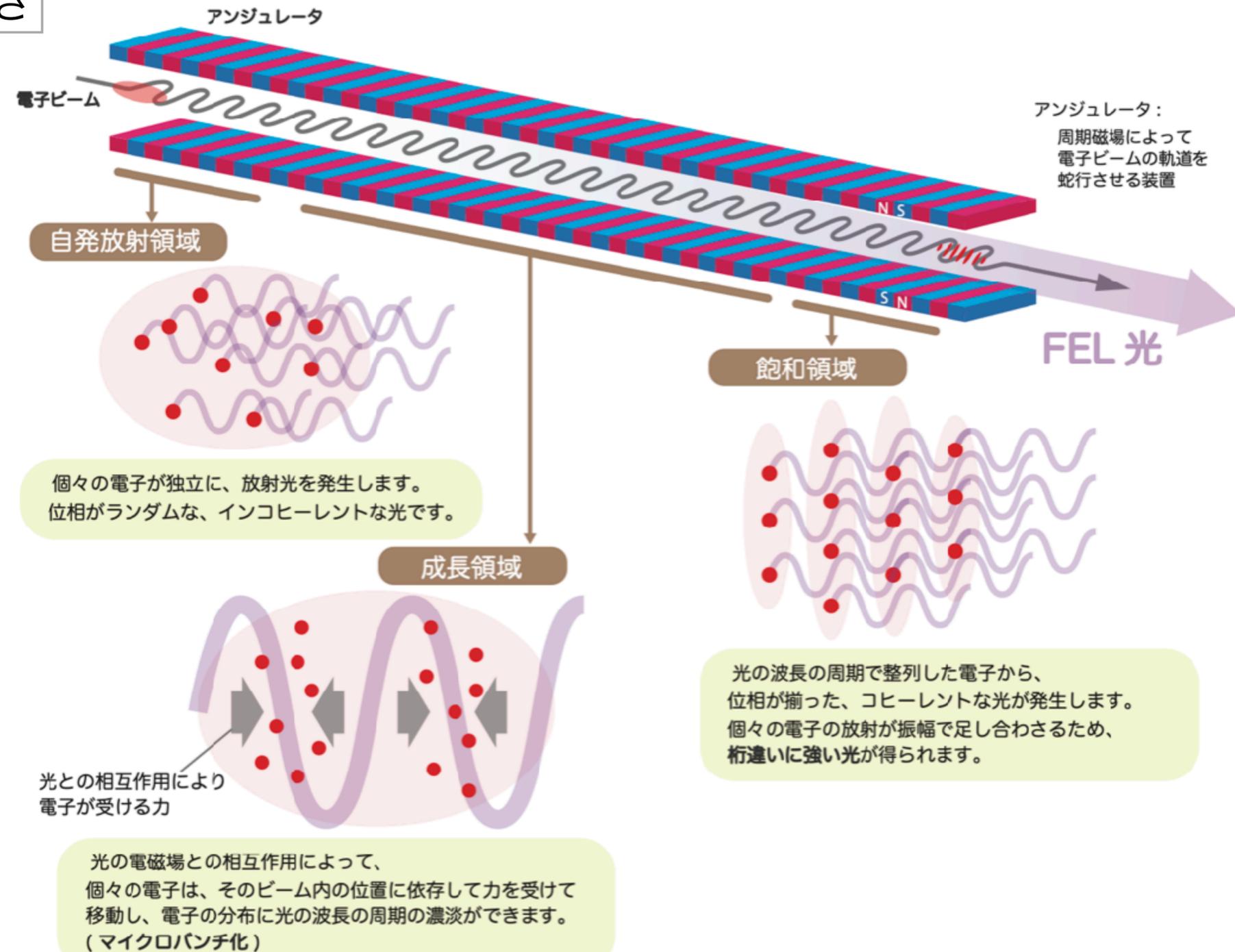
成長領域

FEL では通常の放射光と比べて桁違いに強いコヒーレントな光が発生します。

インコヒーレントなアンジュレータ放射の場合 (通常の放射光)

自発放射領域

アンジュレータに沿った伝搬距離



アンジュレータとビームの相互作用

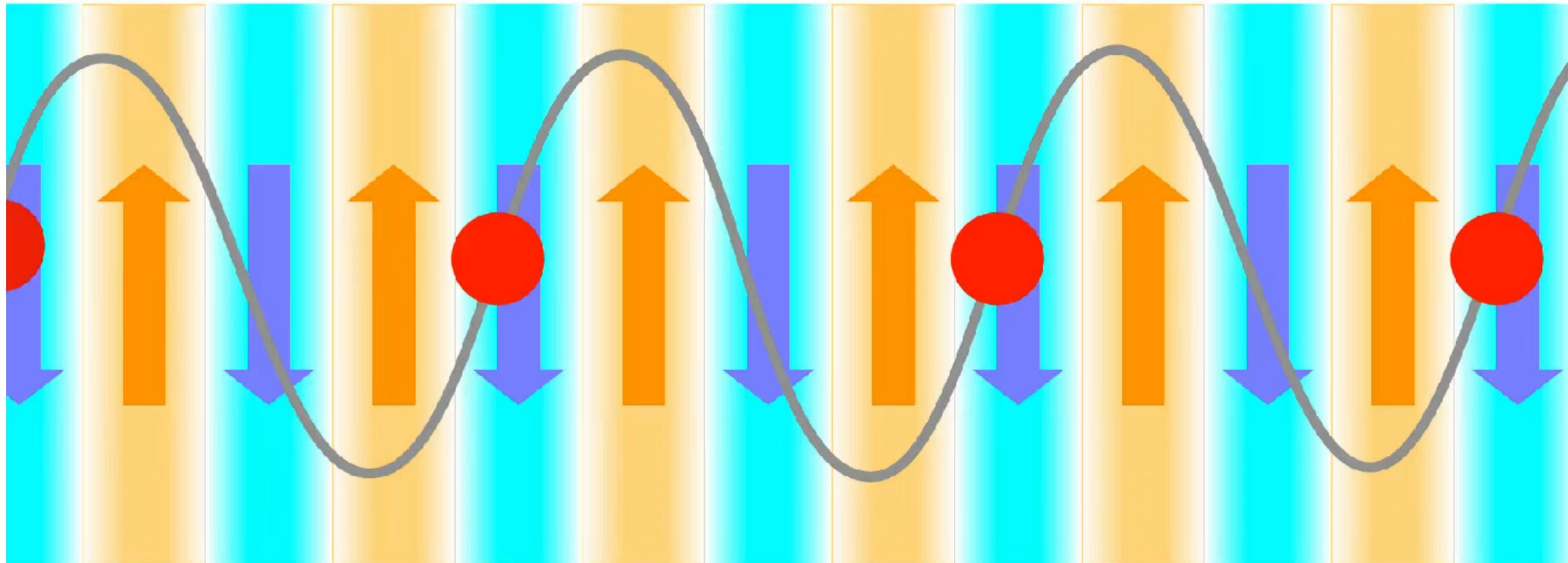
- 横波の電場による加速/減速が継続するのが、共鳴条件

$$\Delta W \propto q\vec{E} \cdot \vec{v}$$

$$\lambda = \frac{\lambda_u}{2\gamma^2} (1 + a_w^2)$$

アンジュレータ周期 アンジュレータ磁場強さ

発振波長 ビームエネルギー



詳細のメモ書き

- 無次元化するためのパラメータの置き換え

アンジュレータ強さ: $e\lambda_u B_w$ ←磁場の大きさ

$$a_w = \frac{e\lambda_u B_w}{2\pi m_e c}$$

プラズマ周波数:

$$\omega_p = \sqrt{\frac{e^2 n_e}{m_e \epsilon_0}} \quad \leftarrow \text{電子密度}$$

コヒーレント放射の振幅:

$$a = \frac{e\lambda E}{2\pi m_e c^2}$$
$$A = \frac{\omega}{\omega_p \sqrt{\rho \gamma_r}} a$$

- ρ のワンパラメータに集約されるし、
- ρ を用いて、規格化して表すことができる。

$$\text{FELパラメータ: } \rho = \frac{1}{\gamma_r} \left(\frac{a_w}{4} \frac{\omega_p}{ck_w} \right)^{2/3}$$

$$k_w = 2\pi / \lambda_u \quad \leftarrow \text{アンジュレータ周期}$$

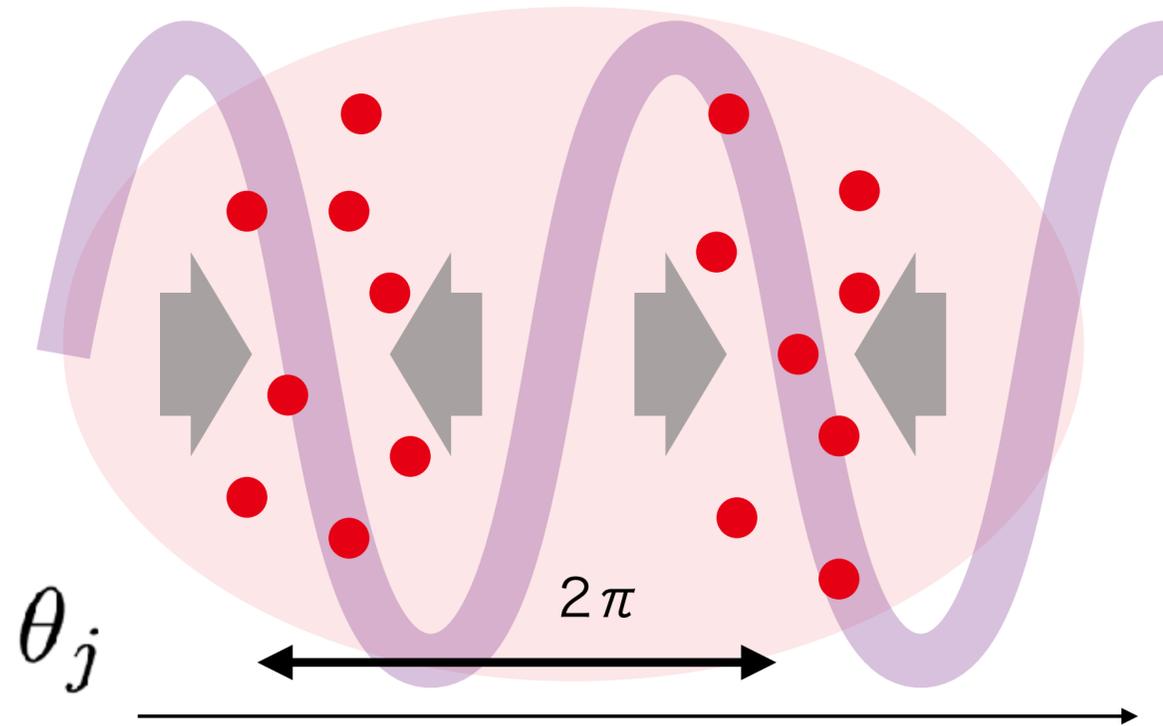
時間と伝搬距離のスケーリング:

$$\bar{t} = 2k_w \rho t \quad \leftarrow \text{時間}$$

$$\bar{z} = 2k_w \rho z \quad \leftarrow \text{伝搬距離}$$

FELの原理

- 普遍的スケーリング (パラメータを無次元化) して、一組の運動方程式で記述できる。
(どんな具体的なFELでも共通)



j番目の電子の位置

$$\frac{d\theta_j}{dz} = p_j$$

j番目の電子のエネルギー

$$\frac{dp_j}{dz} = -(A \exp(i\theta_j) + A^* \exp(-i\theta_j))$$

コヒーレント放射の振幅

$$\frac{dA}{dz} = \langle \exp(-i\theta) \rangle + i\delta A$$

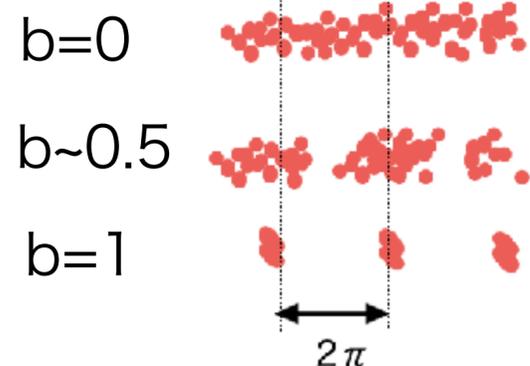
デチューニング

共鳴波長のミスマッチ具合

$$\delta = \frac{\langle \gamma \rangle_0 - \gamma_r}{\rho \gamma_r}$$

バンチングファクタ

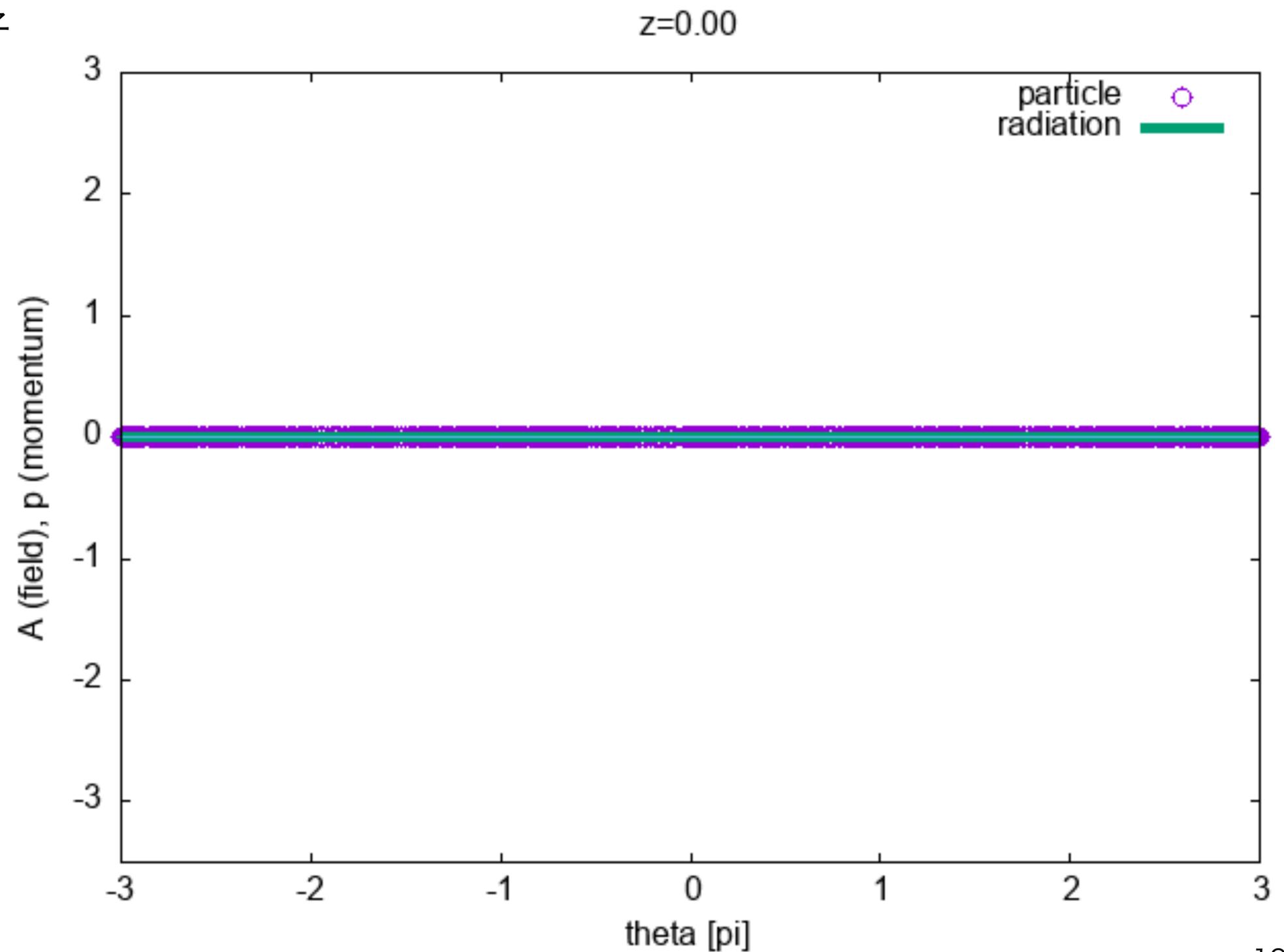
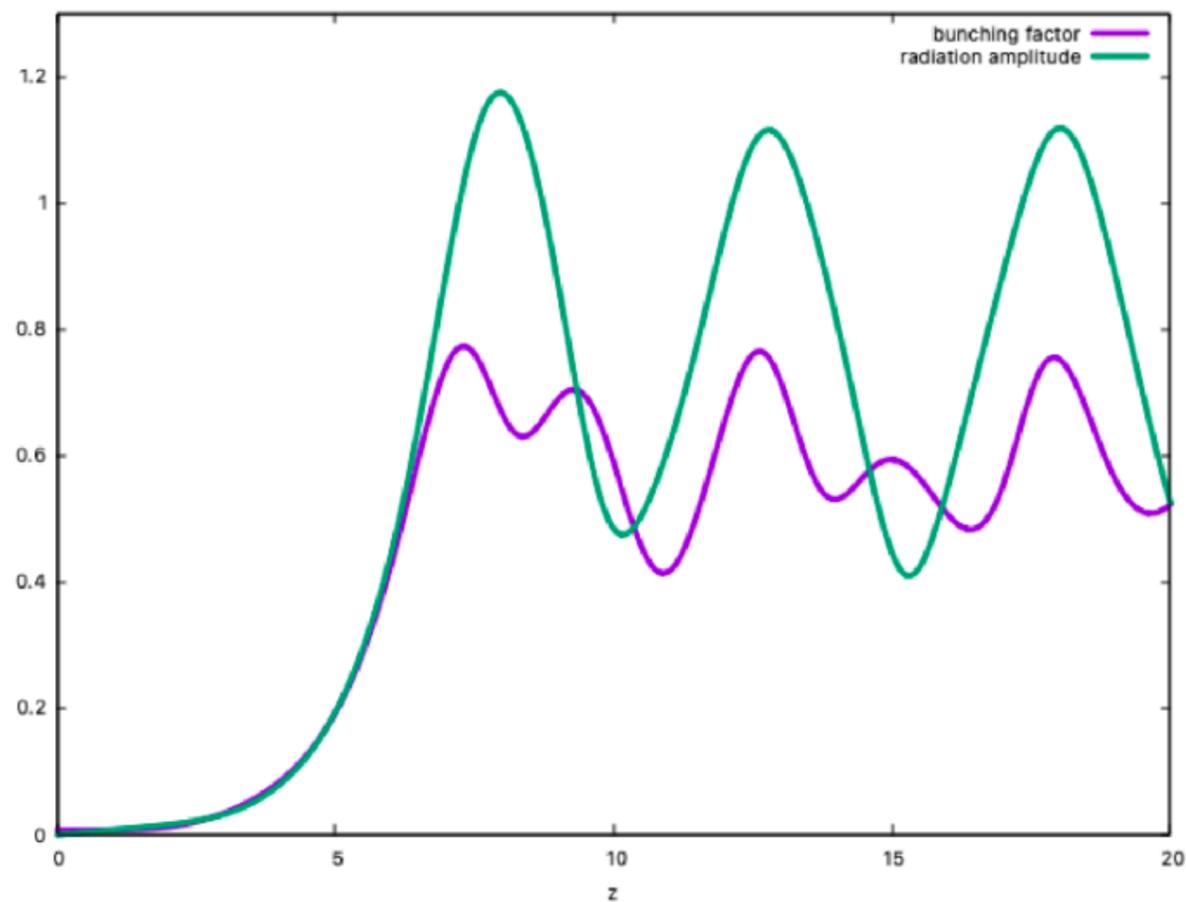
$$b \equiv \langle \exp(-i\theta) \rangle \equiv \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \exp(-i\theta_j)$$



マイクロバンチ構造の
形成状態の指標

FELアニメーション

- 普遍的スケーリングの運動方程式をシミュレーション
 - 電子の位相空間分布およびバンチング因子
 - コヒーレント放射の振幅と位相



身近なFEL現象

- ・振り子の同期現象とFELとの対応関係
 - 振り子: 電子ビーム中の個々の電子
 - 振り子の振動: 電子の位相空間での運動
 - テーブルの振動: コヒーレント放射

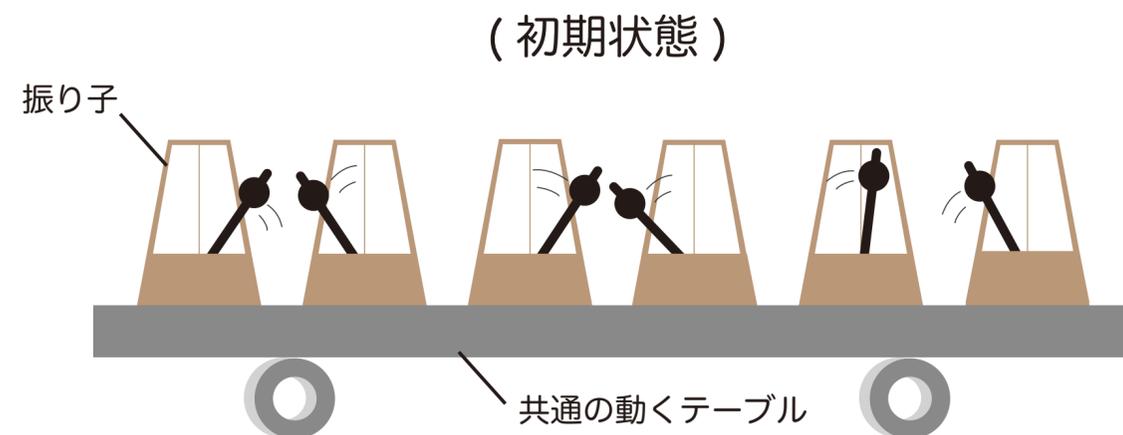
バンチングファクタが駆動する
コヒーレント振動

によって促進される
位相の同期

コヒーレント放射の振幅

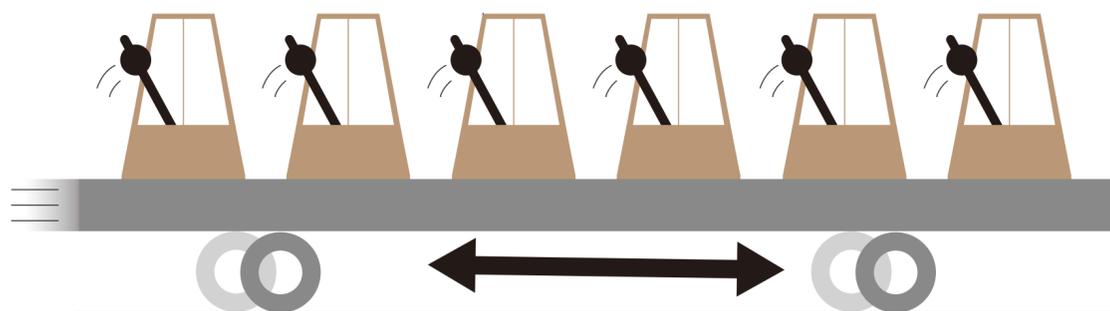
$$\frac{dA}{dz} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N e^{-i\theta_j}$$

バンチングファクタ



時間が経つと ↓

テーブルの動きを介して、振動の位相が揃ってきます。
同時にテーブルの振動は大きくなります。



FELの変換効率

- 運動方程式からこのような関係が成り立つ
(飽和では $|A| \sim 1$)

ビームのエネルギー
↓

電磁波のエネルギー
↓

$$\rho |A|^2 (n_e \gamma m_e c^2) = \epsilon_0 |E|^2$$

- ρ : FELパラメータ は、変換効率を表す量

$$P_{\text{rad}} = \rho P_{\text{beam}}$$

Radiation Power Beam Power

- ρ はだいたいこのくらい (短波長ほど小さくなる)

- ビームの密度や
- アンジュレータパラメータで決まる

$$\rho = \frac{1}{\gamma_r} \left(\frac{a_w}{4} \frac{\omega_p}{ck_w} \right)^{2/3}$$

$$\rho \sim 10^{-3}$$

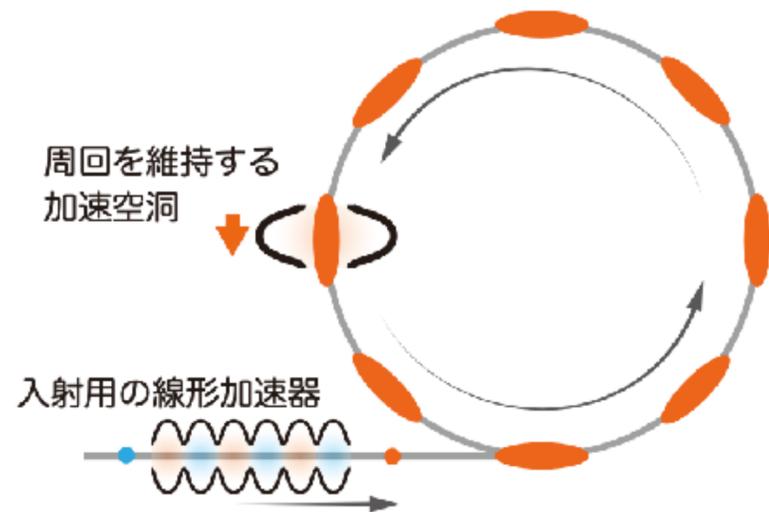
- 目標のEUV出力: 10kW

- 変換効率が0.001ということは、電子ビームパワー: 10MW が必要
- 例えば、ビームパワー (10MW) = エネルギー (1GeV) x 電流 (10mA)
- 線形加速器にとっては、かなり大きな量!

では蓄積リングでFELはできないのか

- リングだと

- バンチ長が大きく電子密度が低い、
- エネルギー幅が広い、



- FELは非線形過程による自己組織化現象

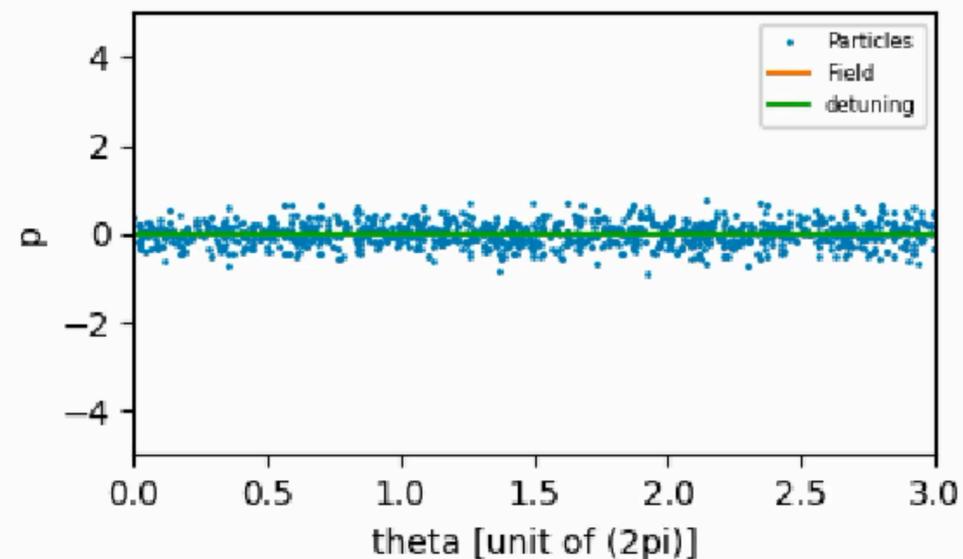
- 電子の密度が高い必要

$$\sim kA$$

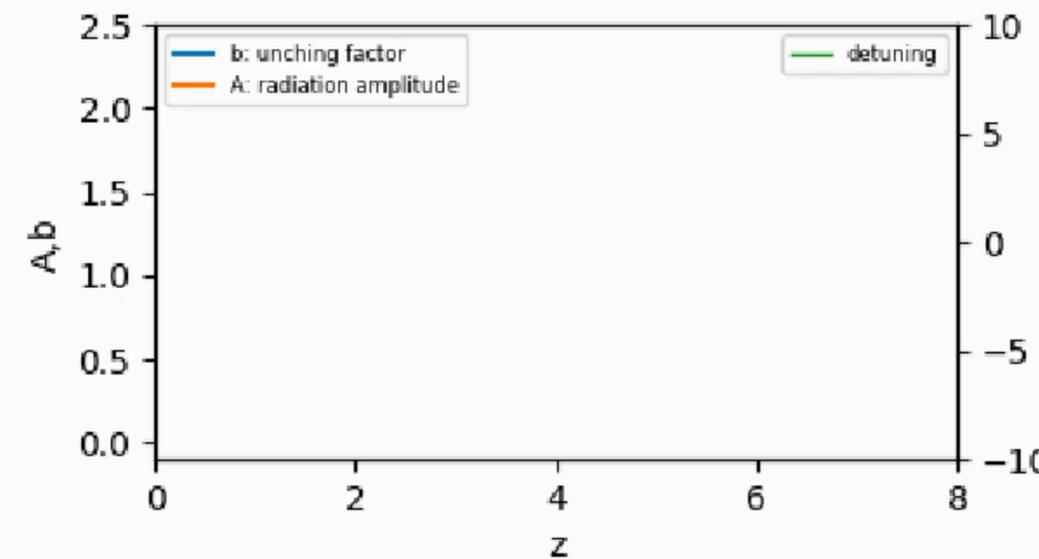
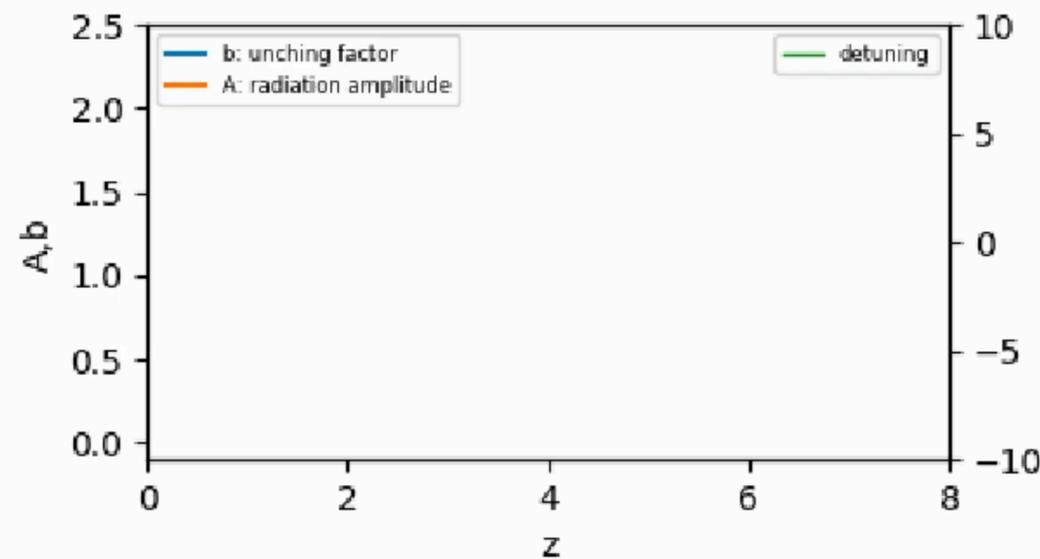
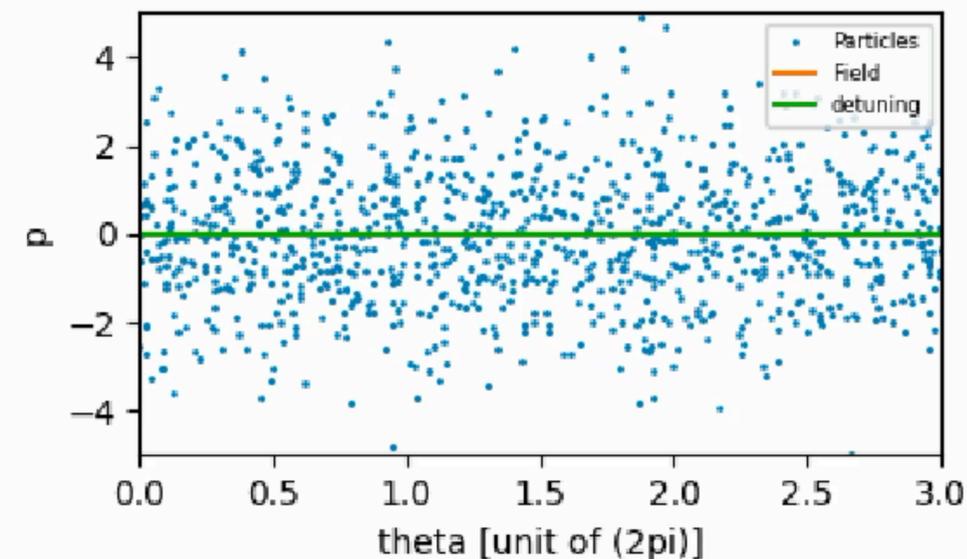
- 運動が良く揃っている必要

$$\Delta\gamma/\gamma < \rho \sim 10^{-3}$$

エネルギー幅が狭い場合



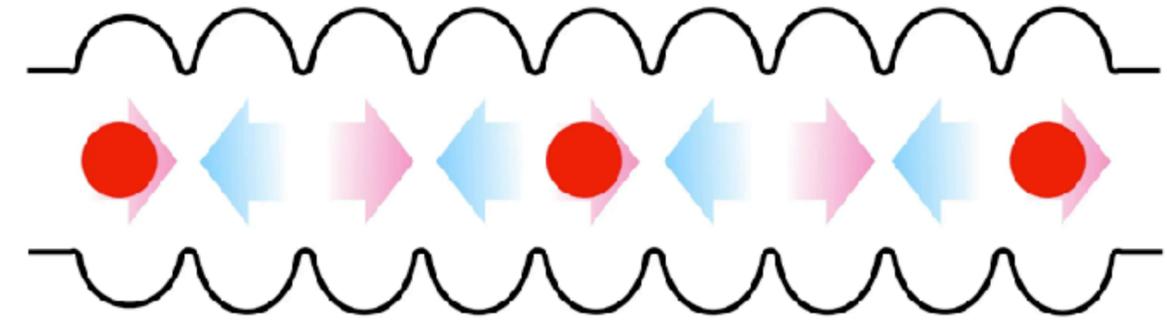
エネルギー幅が広い場合



→ 短波長FELは線形加速器である必要がある

超伝導加速器

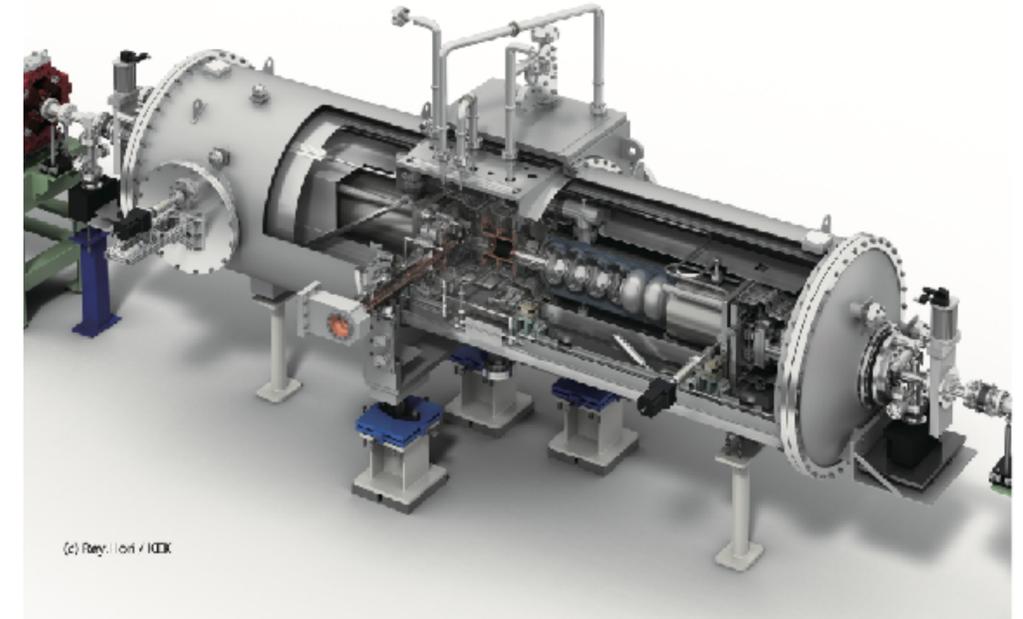
- 10MWものビーム加速ができる技術は、必然的に超伝導
 - 2Kニオブの電気抵抗は銅の1/1,000,000
 - 熱損失が圧倒的に小さい → 連続駆動できる。



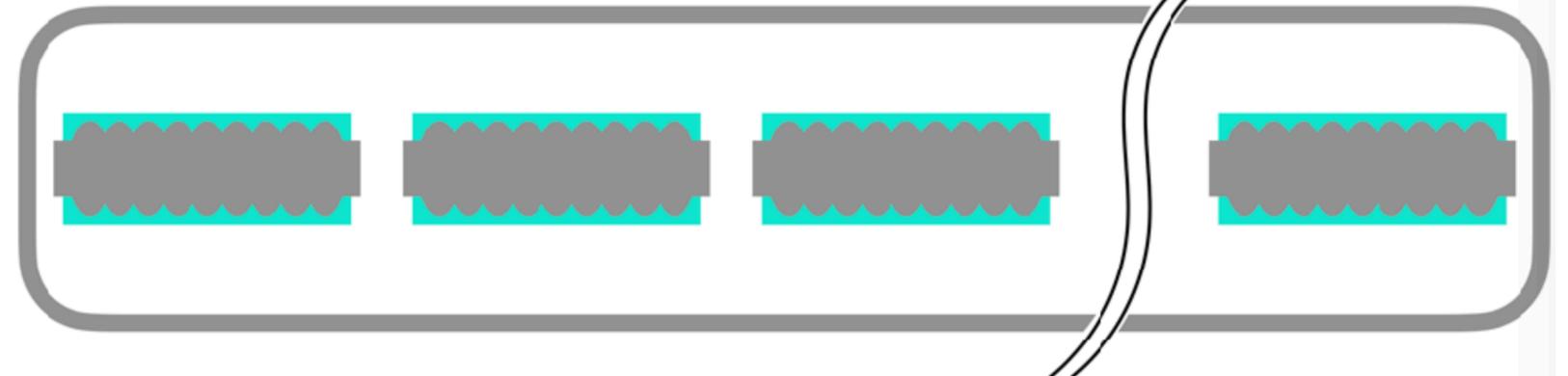
常伝導加速器



超伝導加速器



- ニオブの多セル加速空洞を2K液体ヘリウムで冷やす



電力効率

- 産業応用では効率が重要。
(LPP光源は 4.4MW/EUV1kW)

- 一般的なFEL (電子ビームは使い捨て)
 - マイクロ波だけでも効率0.001
(これでは効率が悪すぎる)



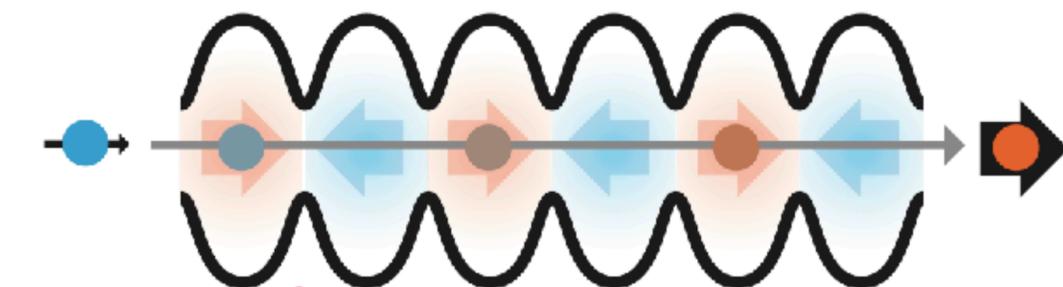
- エネルギー回収のアイデア
 - ビーム加速のエネルギーを大きく削減できる



エネルギー回収の原理

- とくに超伝導加速空洞では壁面での熱損失がほぼ無いため、理想的にエネルギー回収が成り立つ。

■加速の場合

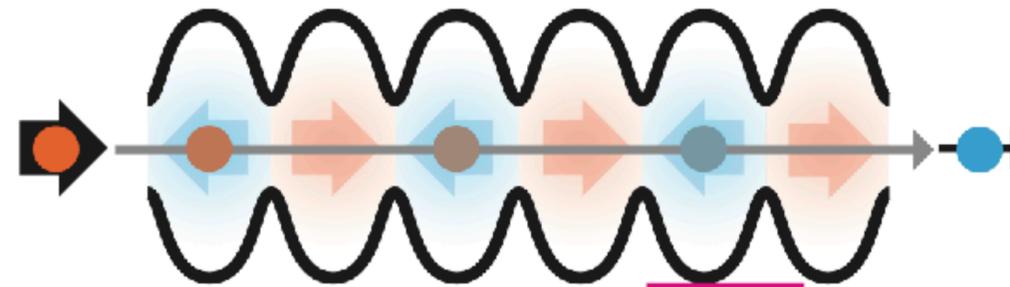


マイクロ波
を入力

ビームを加速する際、
加速空洞内の電磁場エネルギー
が消費されます。

加速によるビームパワー増加分
に相当するマイクロ波パワーを
外部から入力する必要があります。

■減速の場合

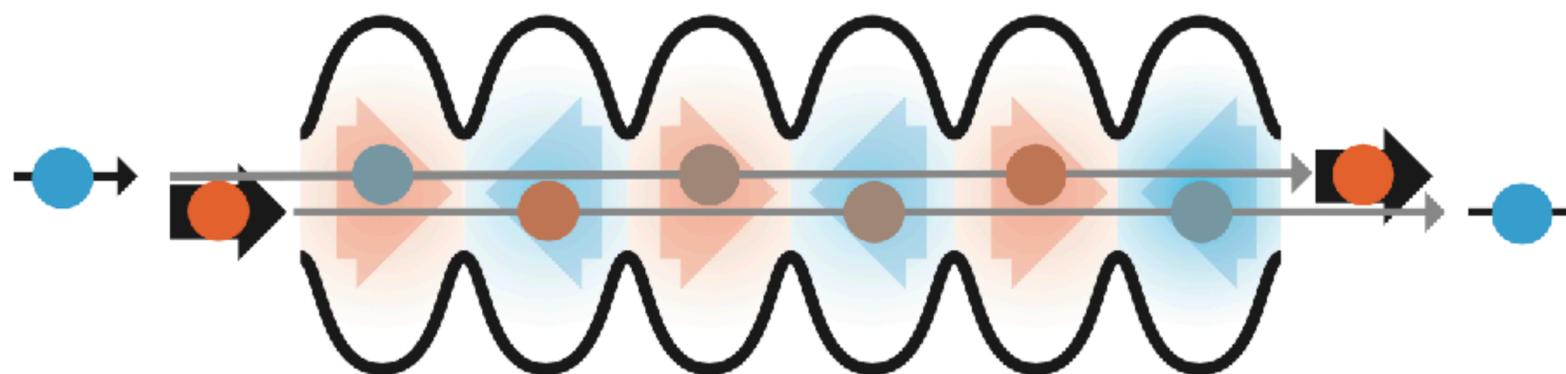


マイクロ波
が発生

ビームを減速する際、
加速空洞内に電磁場エネルギー
が発生します。

減速によるビームパワー減少分
がマイクロ波パワーに変換される
ことになります。

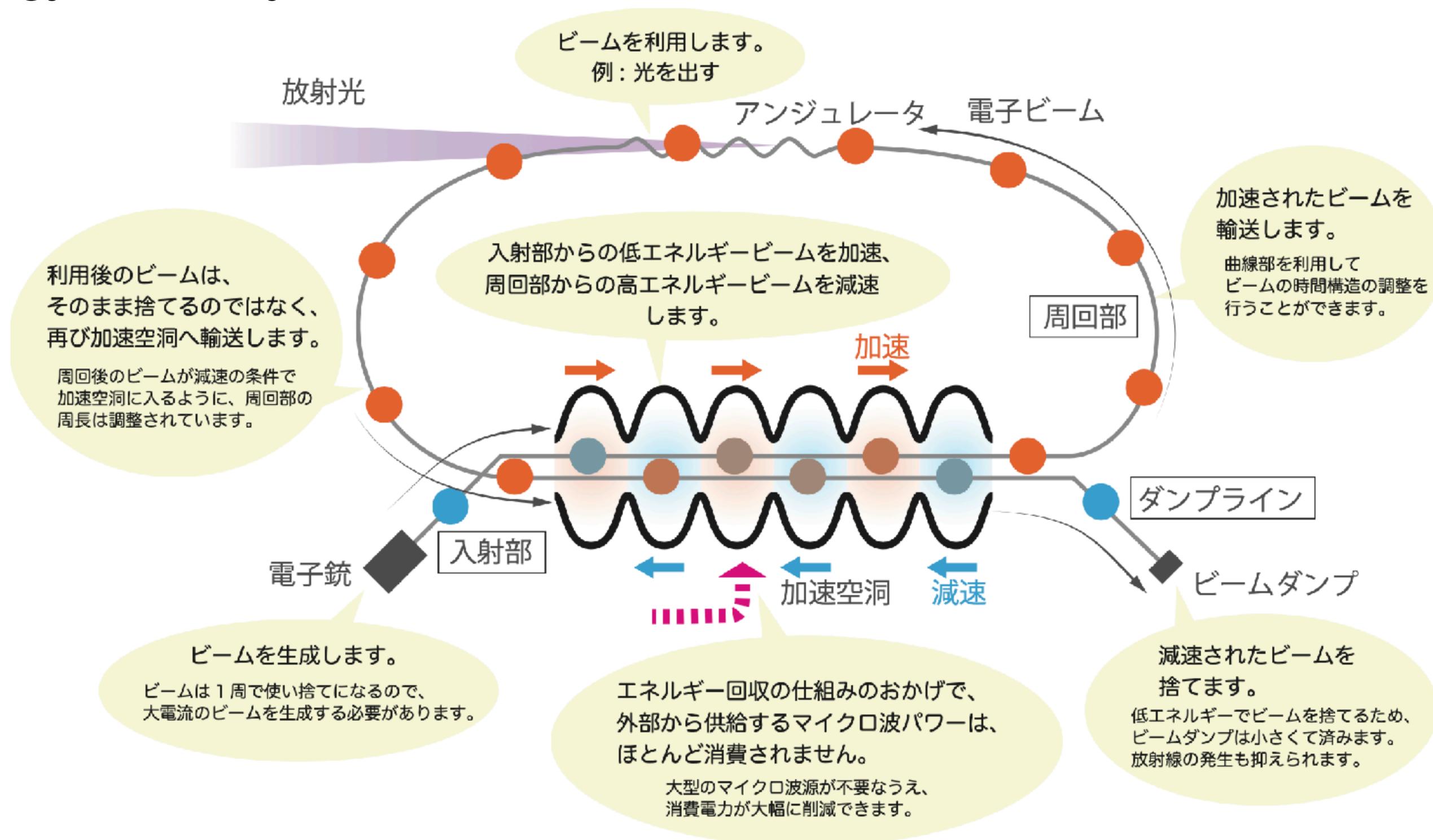
■加速と減速を同時に行う場合



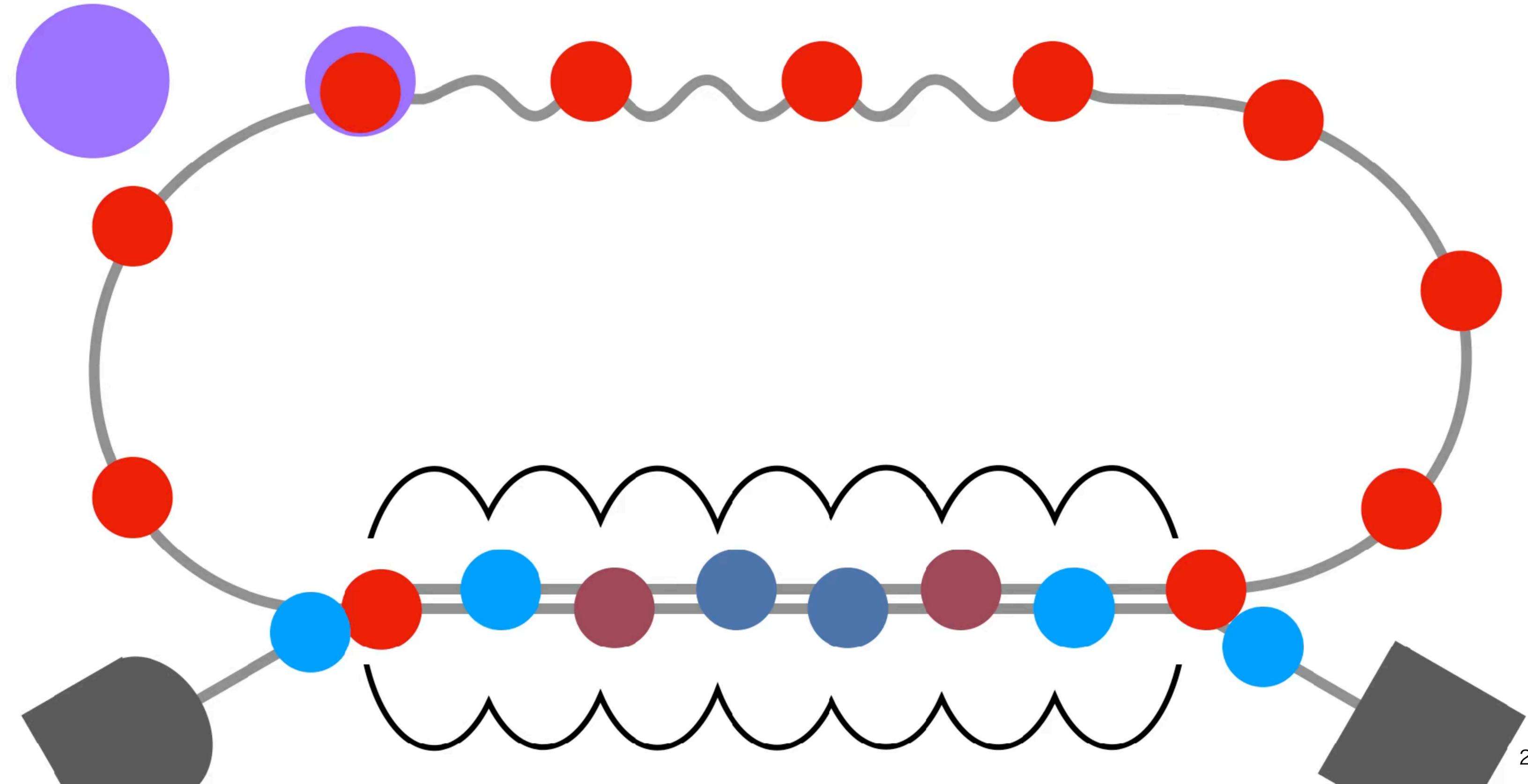
ビームの減速によって、加速空洞内に発生した電磁場エネルギーは、そのままビームの加速に使用されます。外部からエネルギーを供給することなくビーム加速が持続できる仕組みです。(エネルギー回収といいます)

エネルギー回収型線形加速器

• Energy-Recovery Linac (ERL)



ERLアニメーション

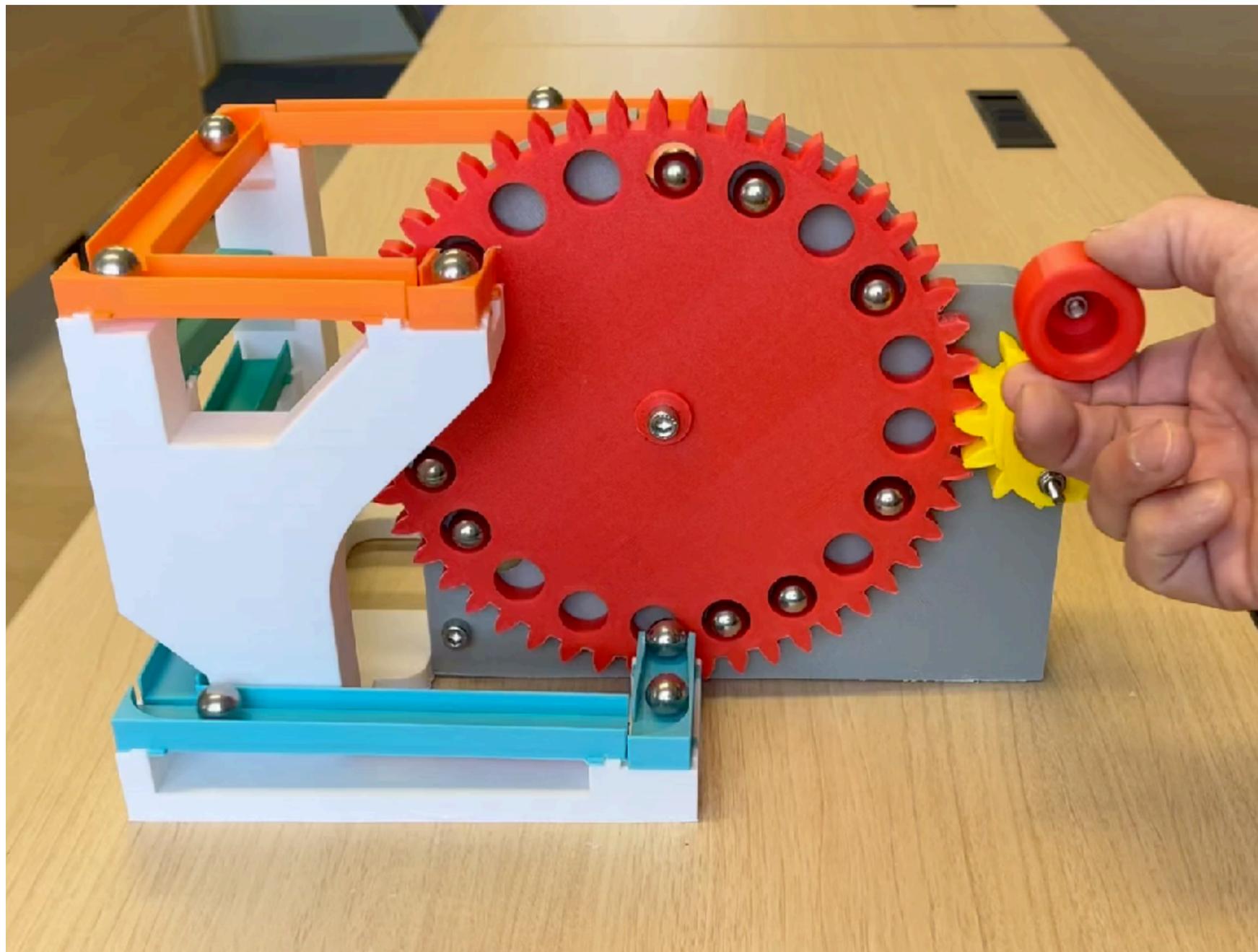
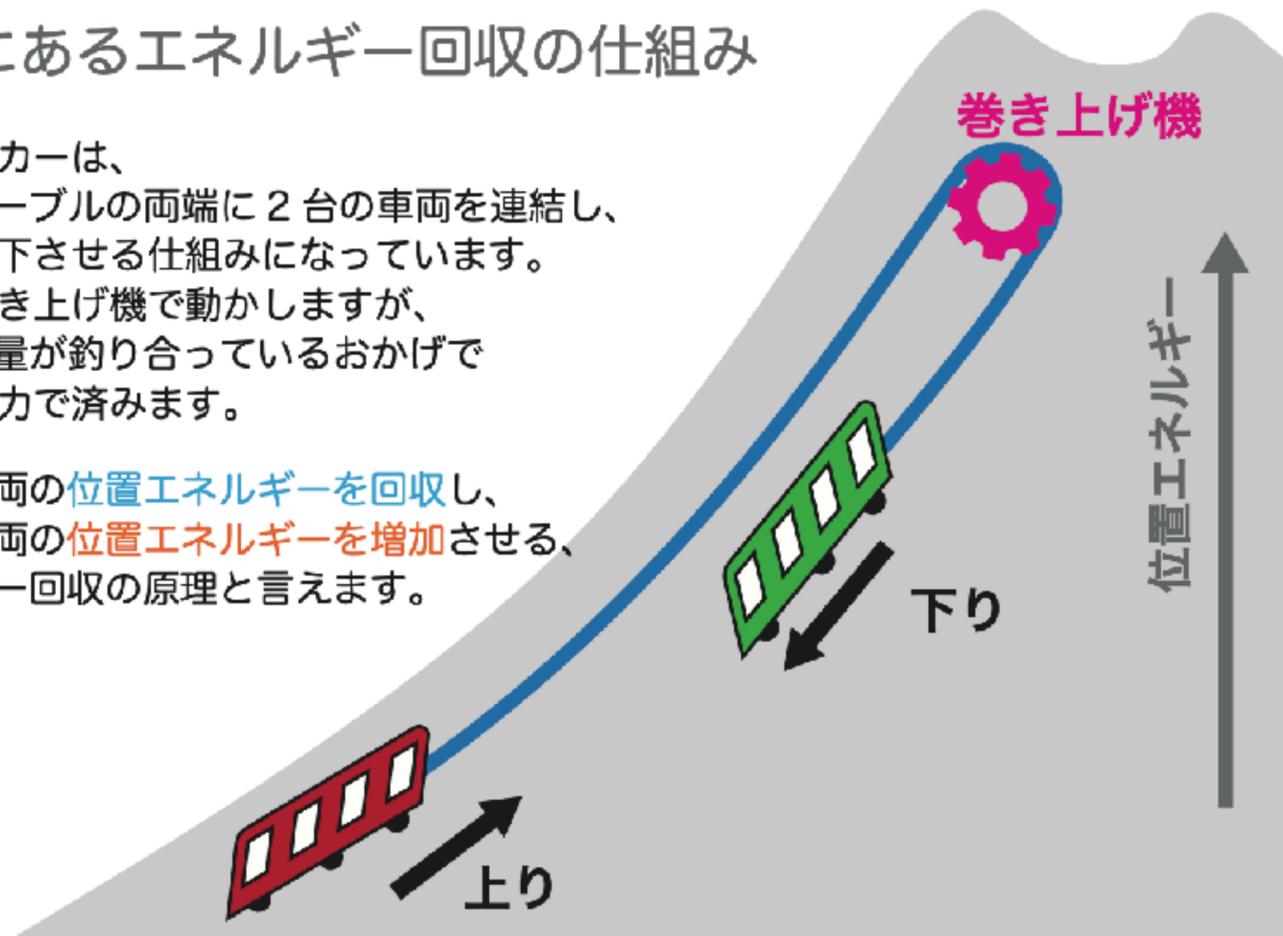


ERLおもちゃ

身近にあるエネルギー回収の仕組み

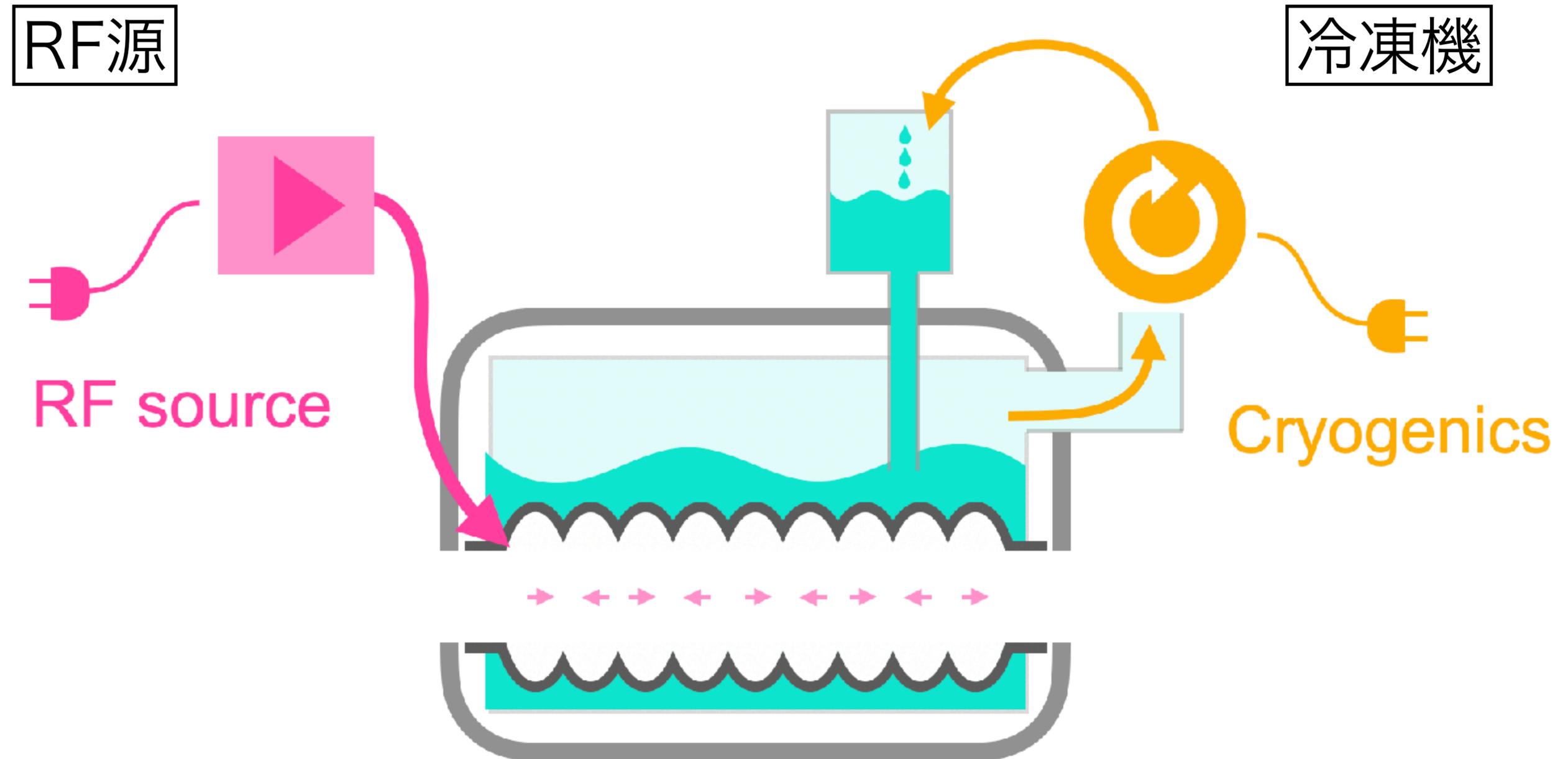
ケーブルカーは、
1本のケーブルの両端に2台の車両を連結し、
同時に上下させる仕組みになっています。
山頂の巻き上げ機で動かしますが、
2台の重量が釣り合っているおかげで
小さな動力で済みます。

下りの車両の位置エネルギーを回収し、
上りの車両の位置エネルギーを増加させる、
エネルギー回収の原理と言えます。



消費電力

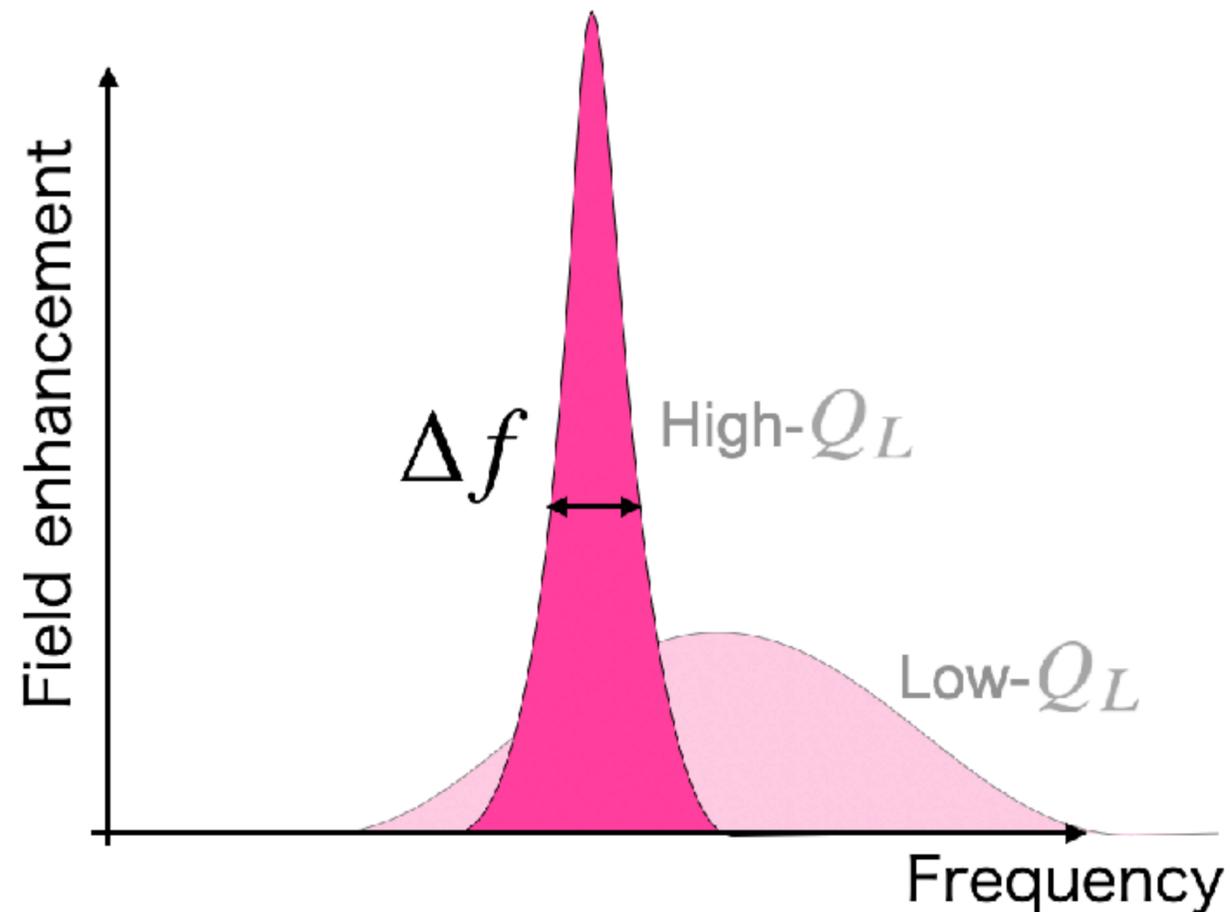
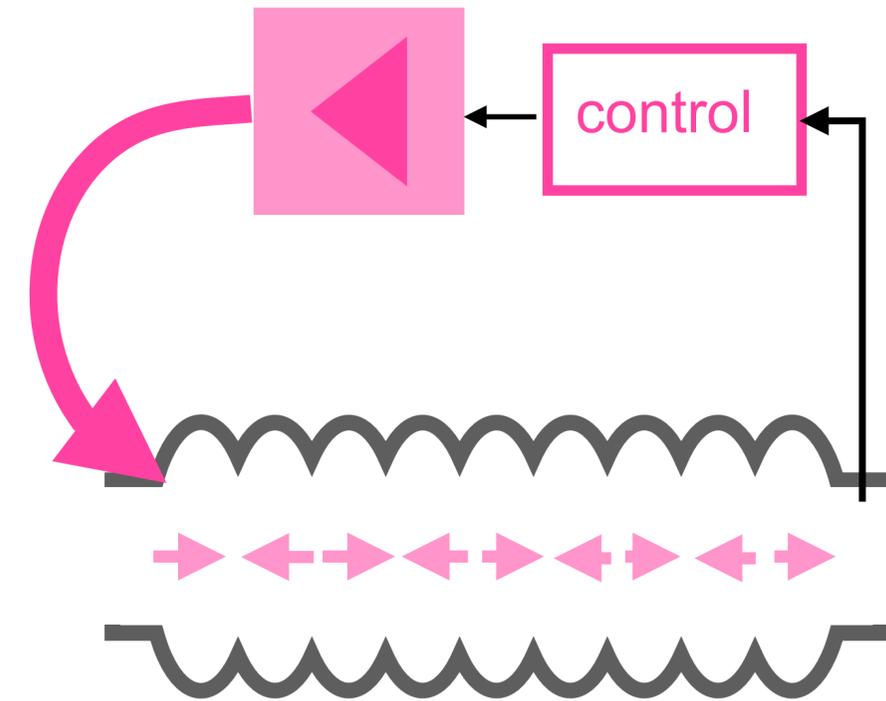
- 主なものはこの2つ



RF源

- 加速電場を立てるために必要なRFパワー
 - エネルギー回収が成り立つなら、ビーム負荷分は不要。
 - ビーム無し状態で最低限必要なパワーある。
- 制御技術とノイズ環境で決まる
 - QLと呼ぶ量が重要 (入力カップリング)
 - 空洞の共鳴幅はQLで調整される。
 - QLが大きいほど小さなRF源で足りる (しかし、制御が難しくなる)

$$P_{\text{RF}} = \frac{V_c^2}{4(R/Q)Q_L}$$

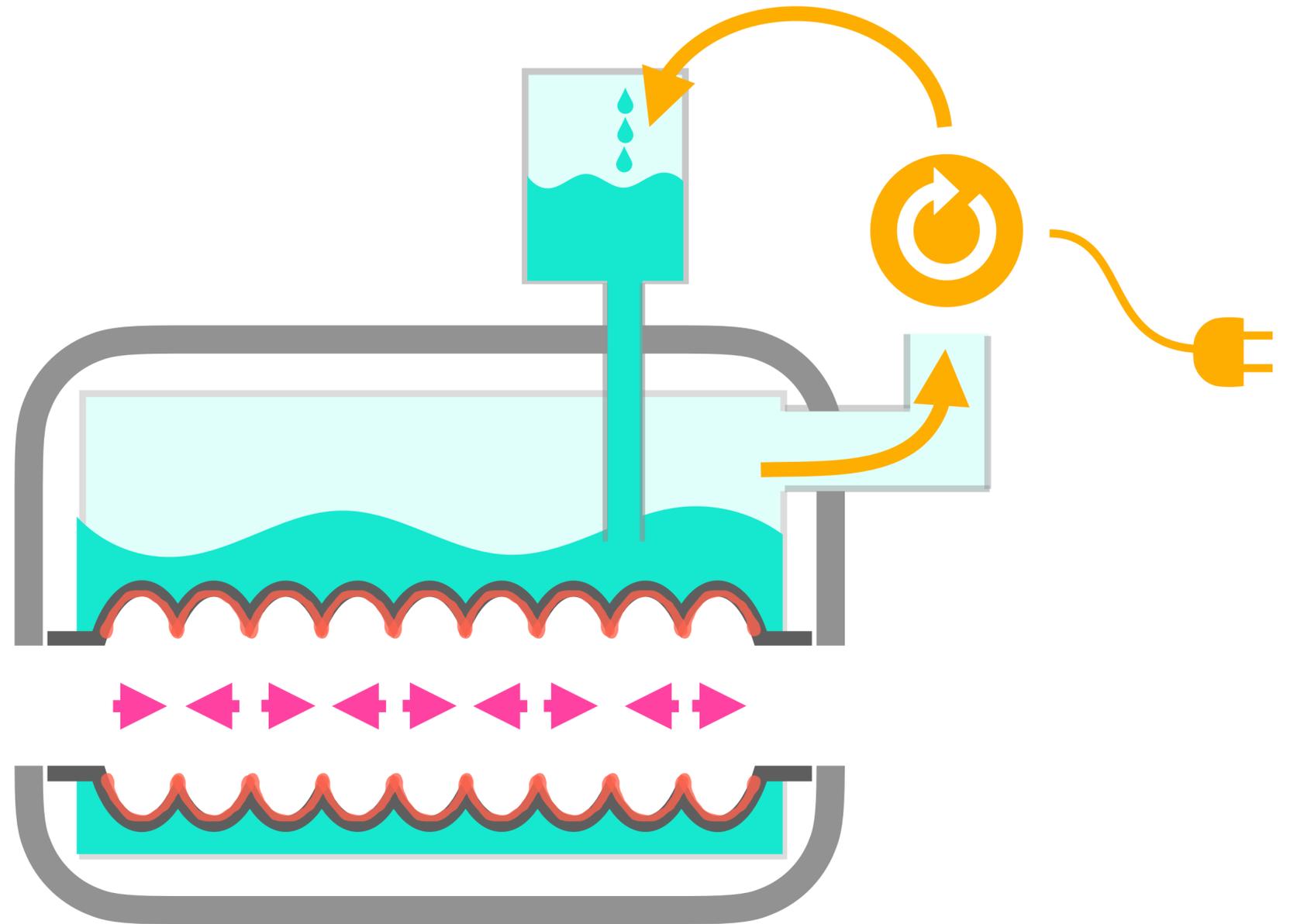


冷凍機

- 加速空洞の内壁の損失
 - Q_0 と呼ぶ量が重要
 - 表面抵抗で決まる。

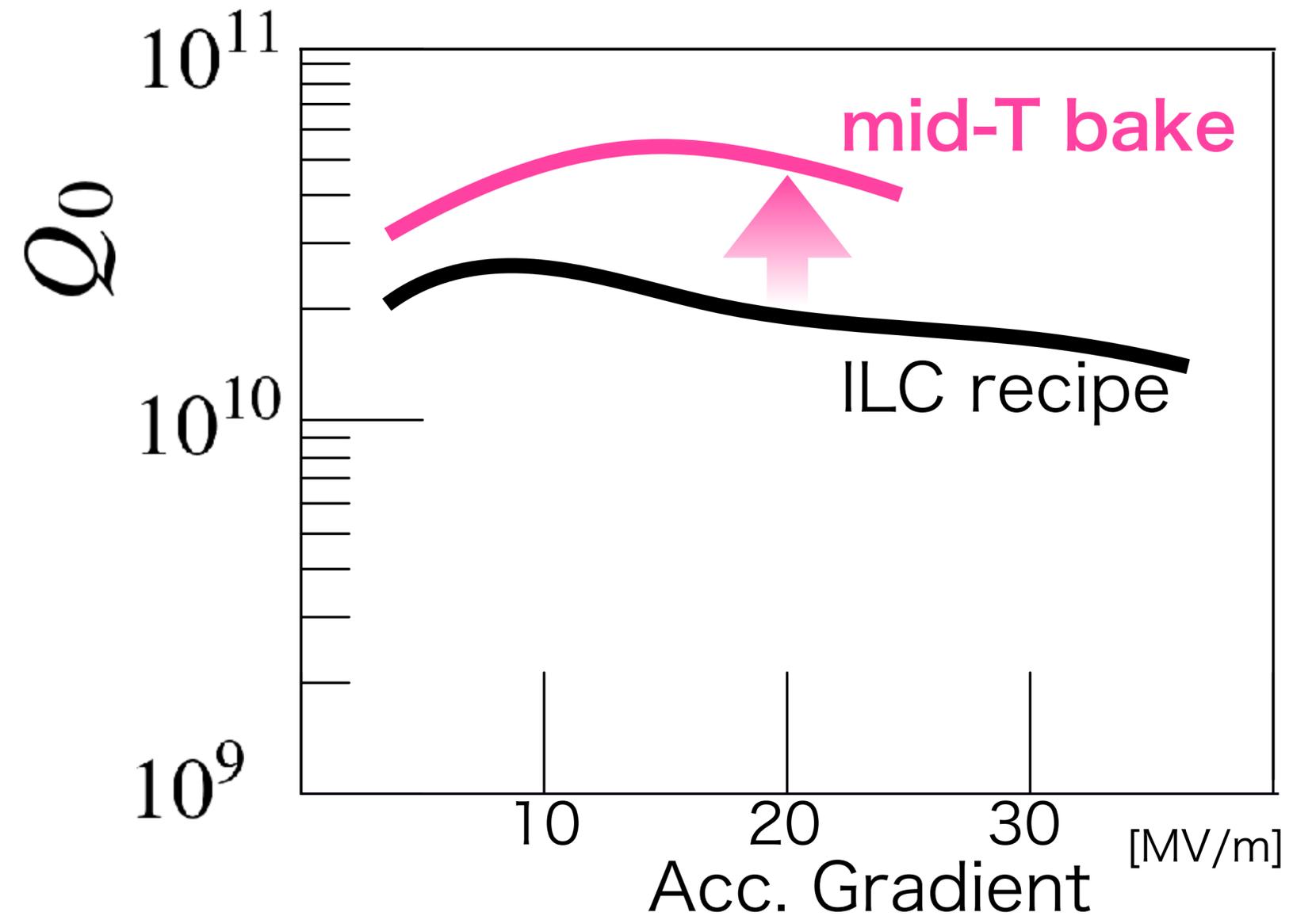
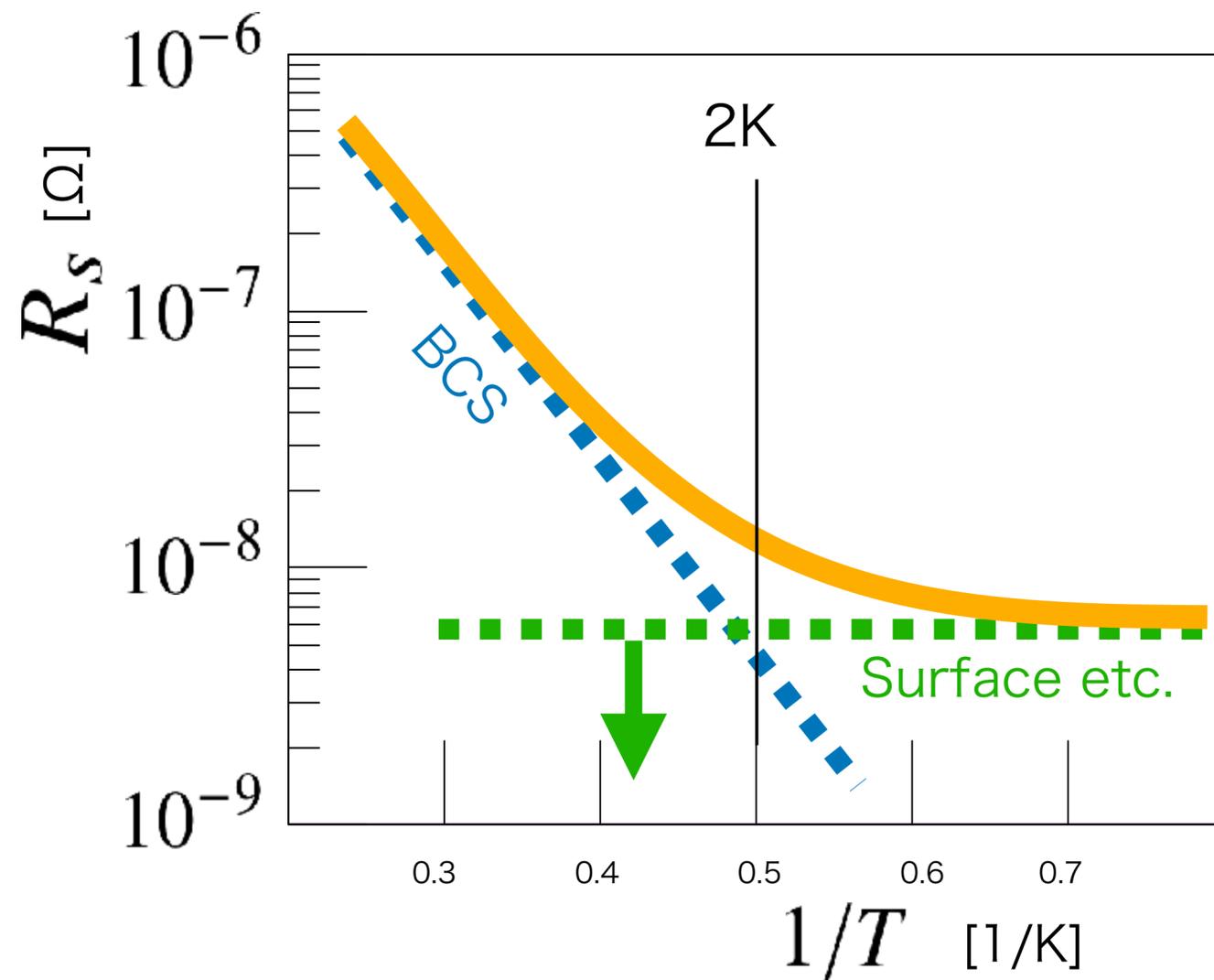
$$Q_0 = \frac{2\pi f U}{P_{\text{wall}}} \propto 1/R_s$$

$$P_{\text{Heat}} = \frac{V_c^2}{(R/Q)Q_0}$$



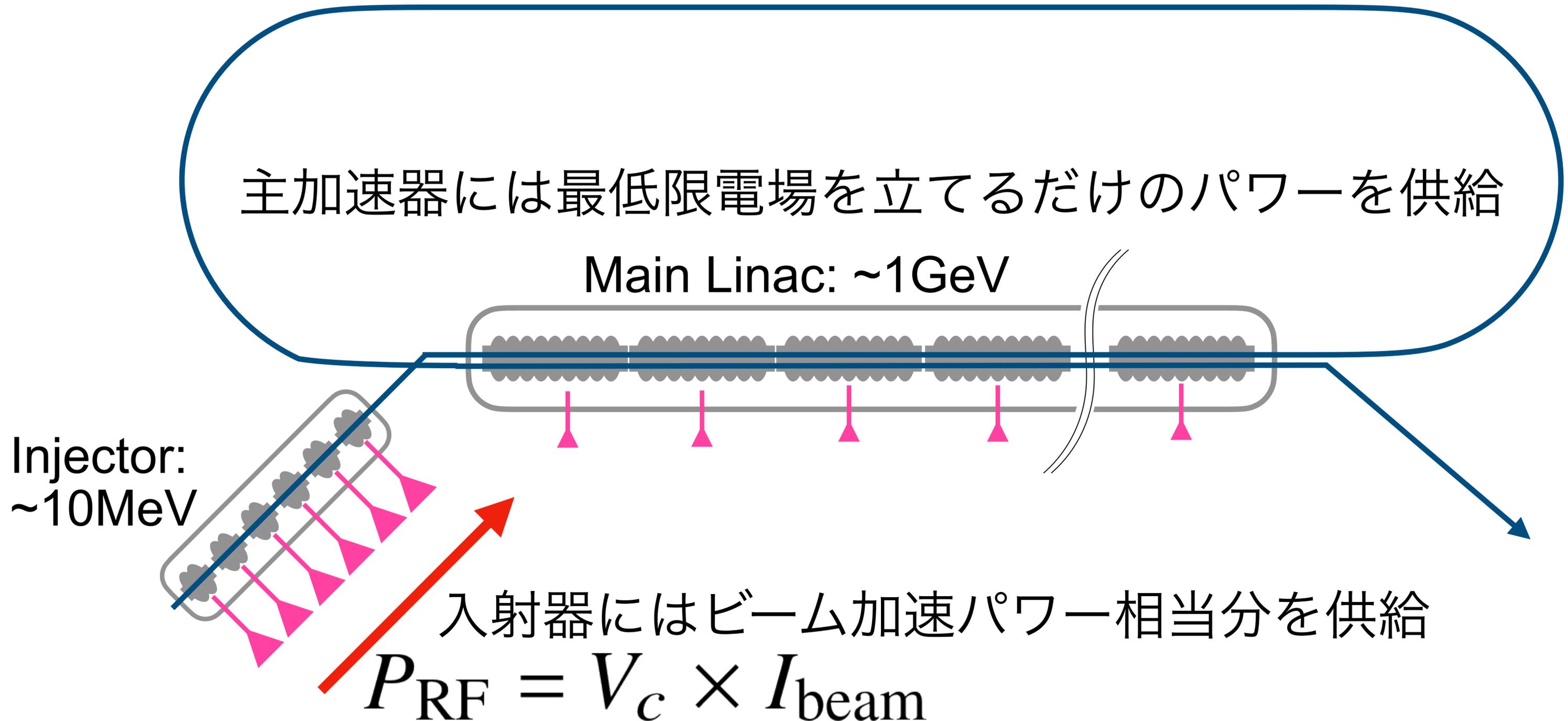
超伝導空洞の性能

- ニオブの表面処理技術は、近年大きく研究が進展したところ
 - BCS理論上の制限ではなく、表面処理の支配する領域に差し掛かっている



RF源の構成

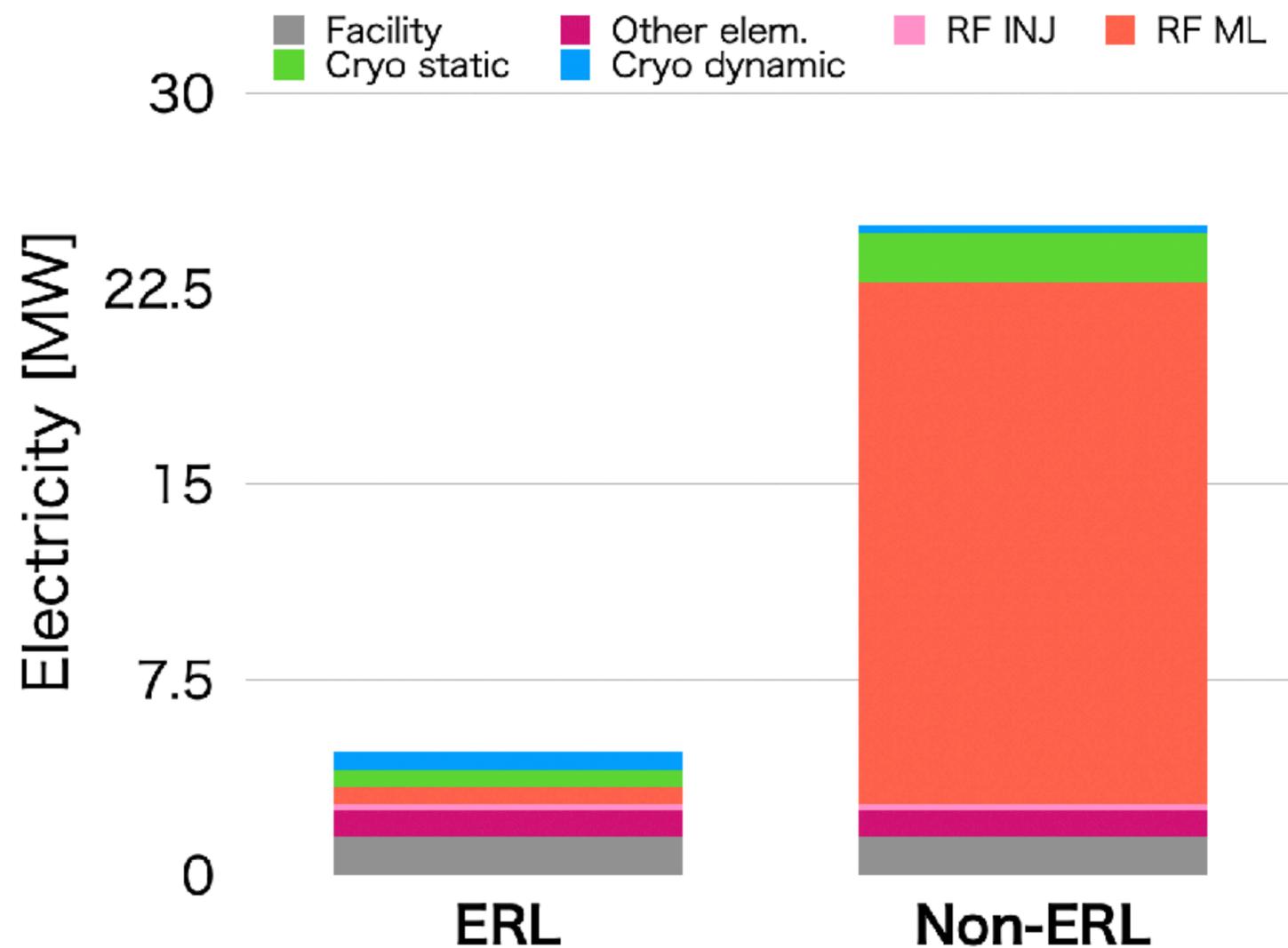
- 入射器: エネルギー回収ループの外
- 主加速器: エネルギー回収される



ERLの必然性

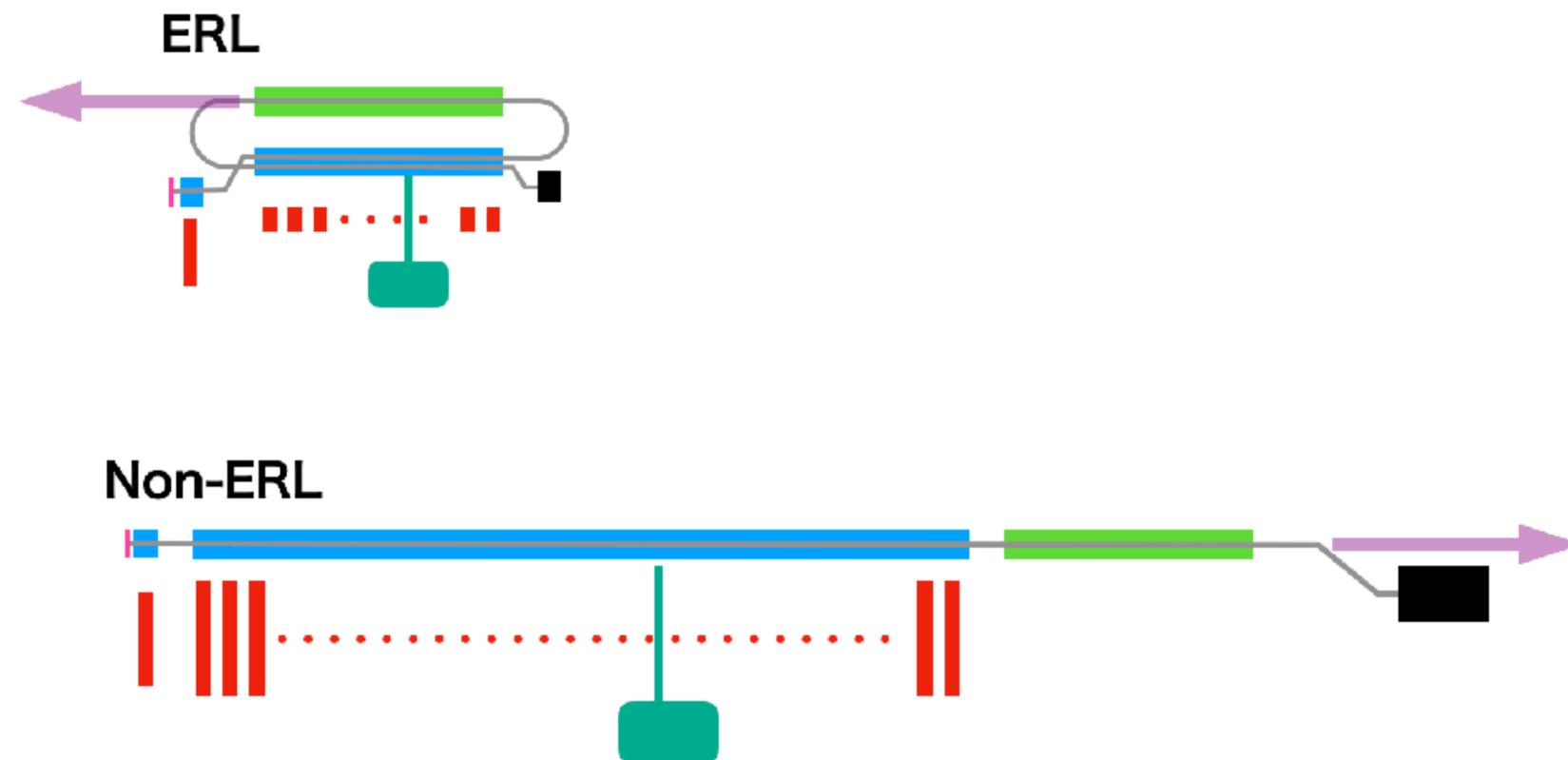
- ERLにしたことでどの程度儲けるのか
 - ERLだと 0.5 MW/EUV1kW
 - 比較: LPPの電力効率: 4.4 MW/EUV1kW

EUV 10kWを発生する
1 GeV-10mAクラス超伝導加速器
の想定



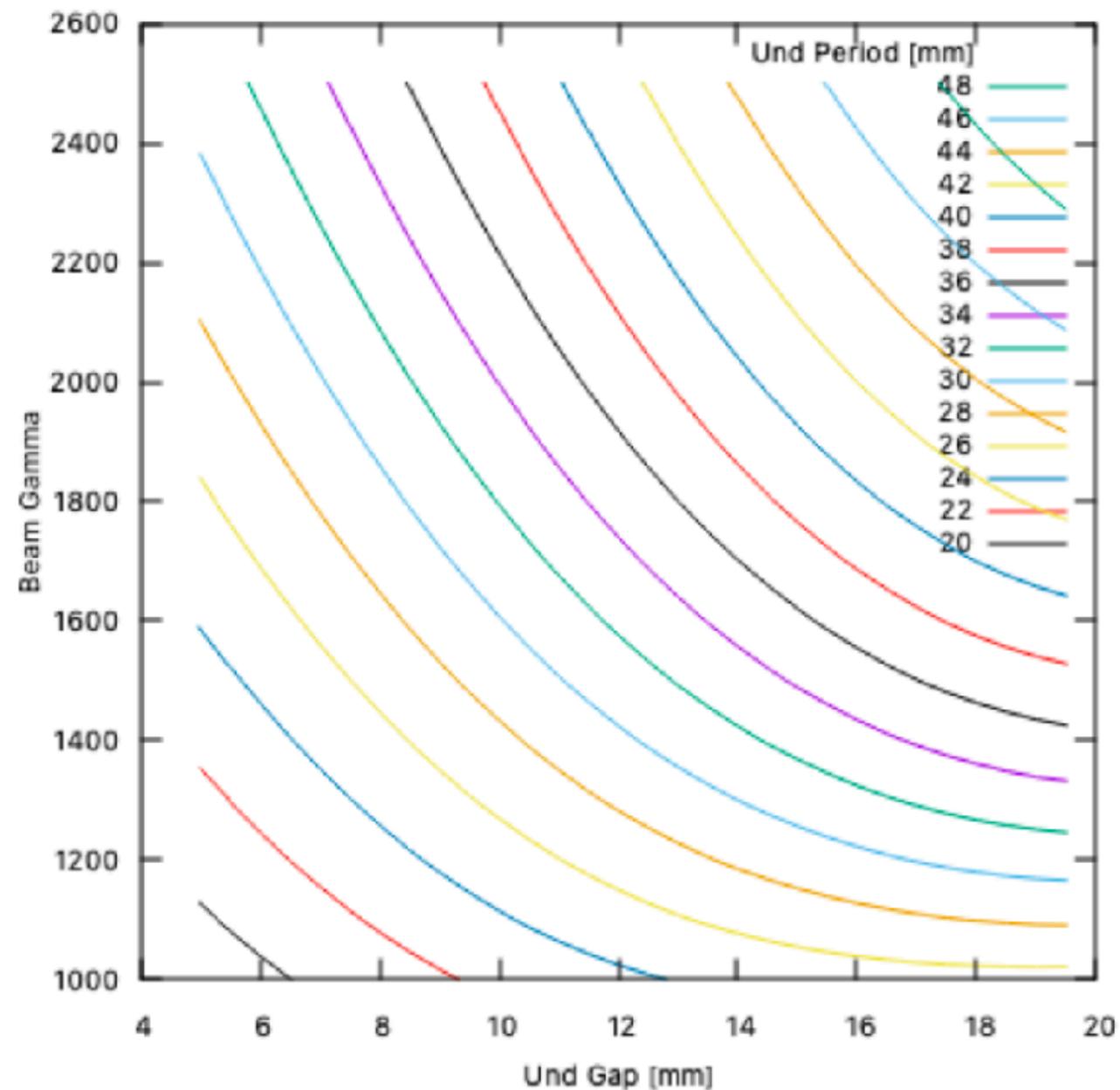
• サイズ感

- Non-ERLの場合、ハイパワーのRFを投入しないといけなないので入力カプラが保たない。→ 加速勾配を下げるしかない



アンジュレータ

- EUV(13.5nm)を発生するパラメータ
 - 磁石列の製造技術 (周期、磁場強さ) と
 - ビームエネルギー で決まってくる。



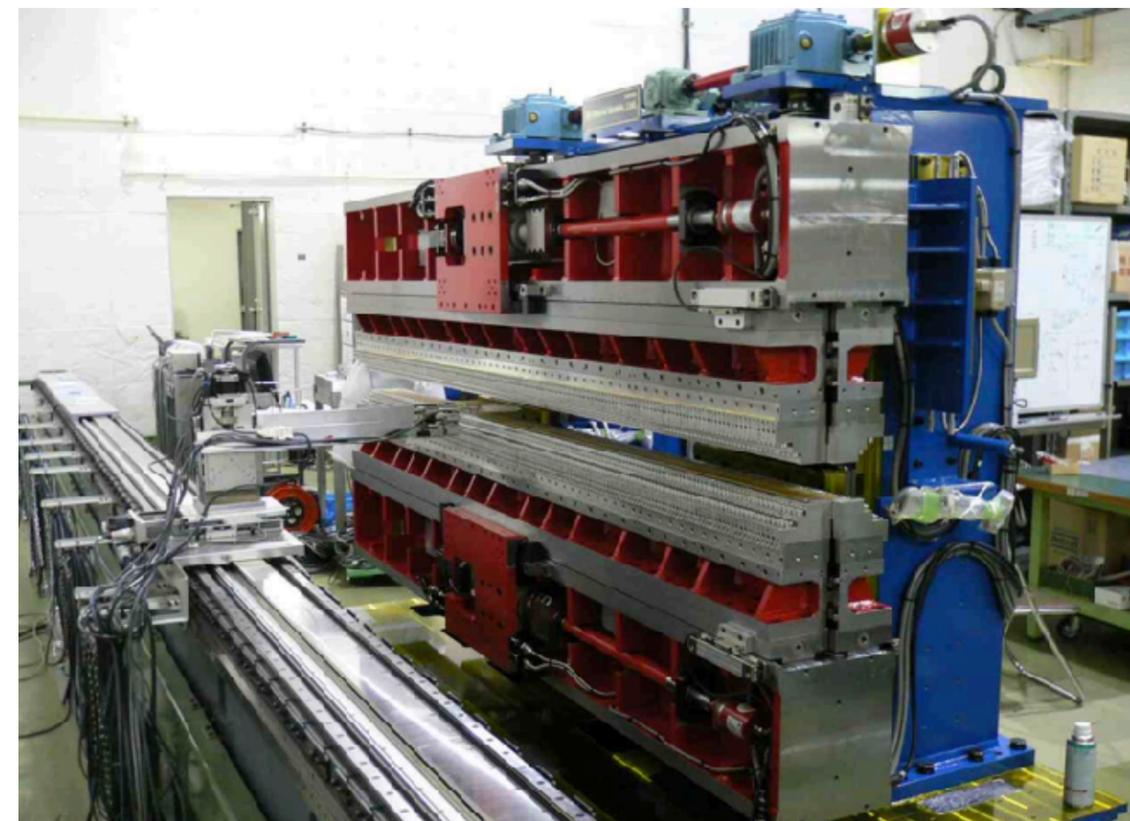
アンジュレータ周期

アンジュレータ磁場強さ

$$\lambda = \frac{\lambda_u}{2\gamma^2} (1 + a_w^2)$$

発振波長

ビームエネルギー



FELゲイン

• FEL施設の典型的なビームパラメータを想定

- バンチ電荷: 60 pC
- バンチ長: 50 fs (バンチ圧縮)

• これでだいたい、 $\rho \sim 0.001$

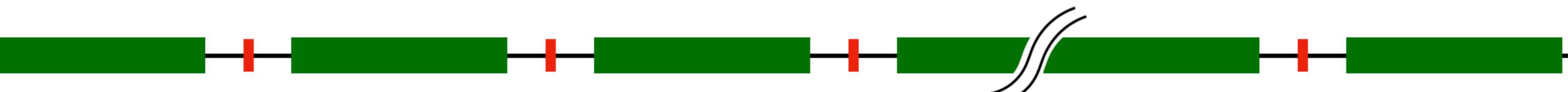
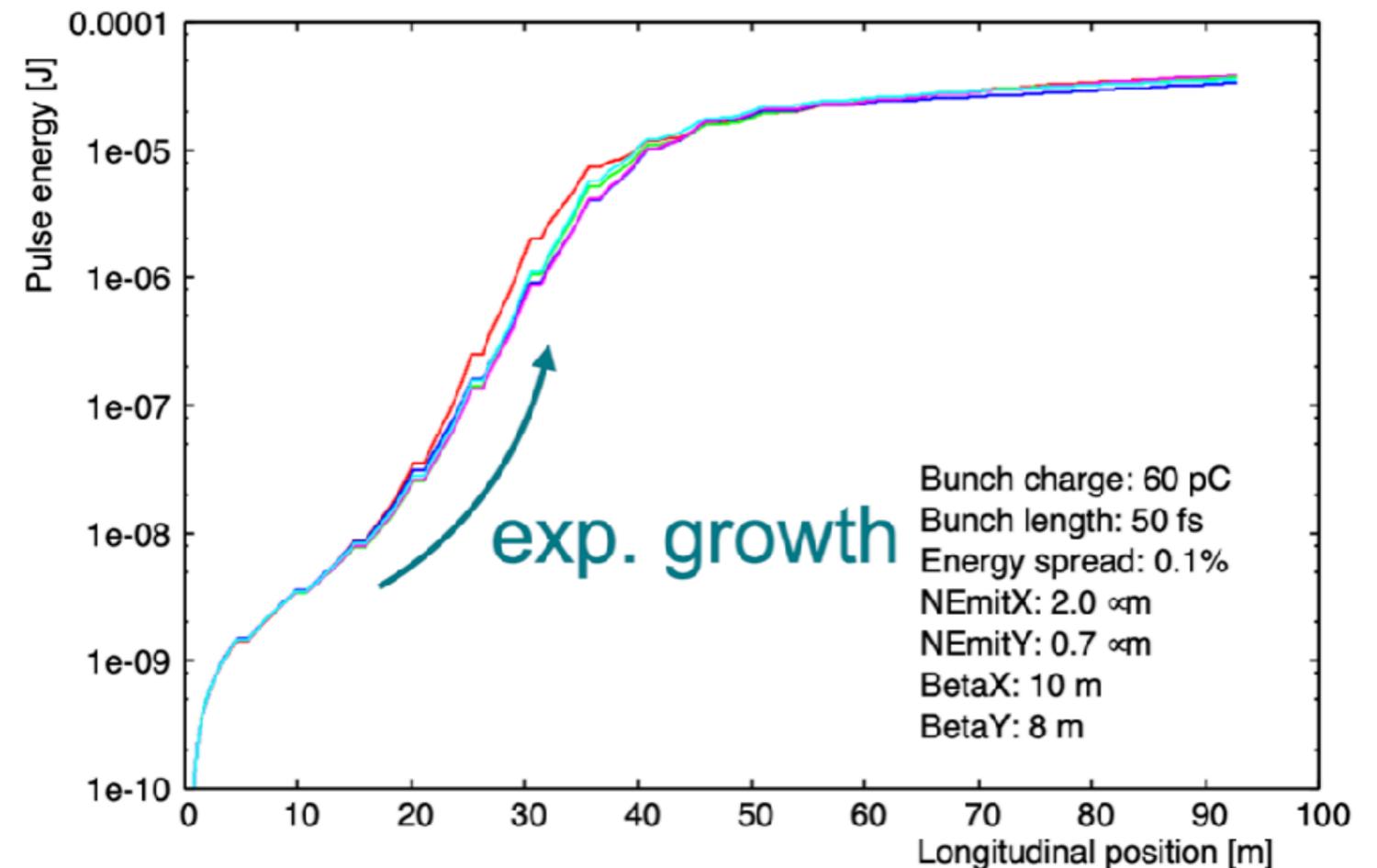
- 50 m強のアンジュレータが必要
- FELエネルギーは $60 \mu\text{J}/\text{pulse}$

• EUV 10kW を出すには

- 160 MHz 程度で運転
- つまり、10mA、1GeVクラス
(最初に述べた見積もりに合う)

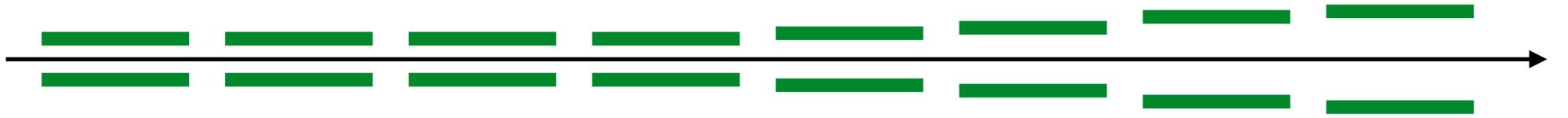
$$\text{ゲイン長: } L_g = \frac{\lambda_u}{4\pi\sqrt{3}\rho}$$

$$\text{飽和長: } L_{\text{sat}} \sim \frac{\lambda_u}{\rho} \sim 30 \text{ m}$$



FELの飽和とテーパ化

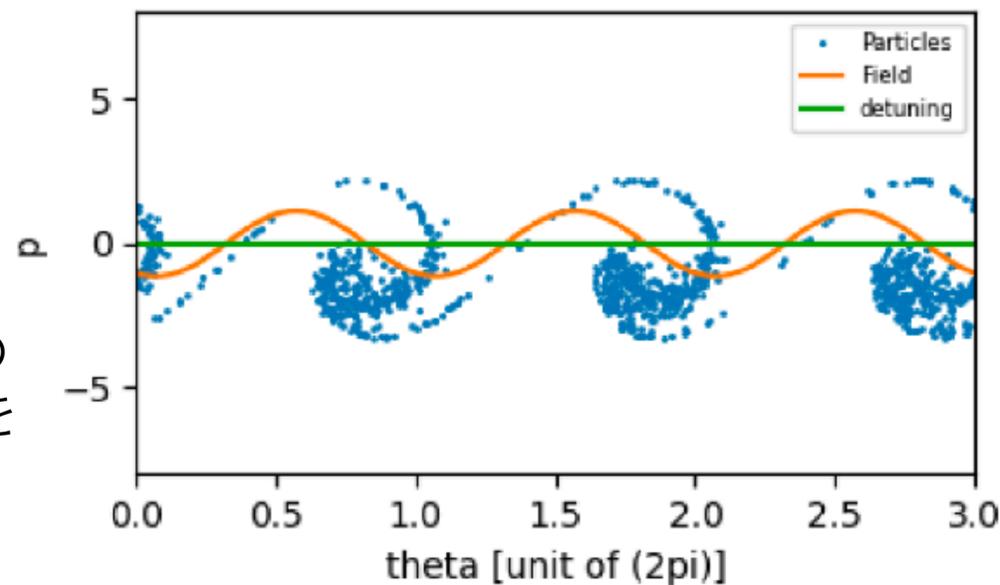
アンジュレータギャップ



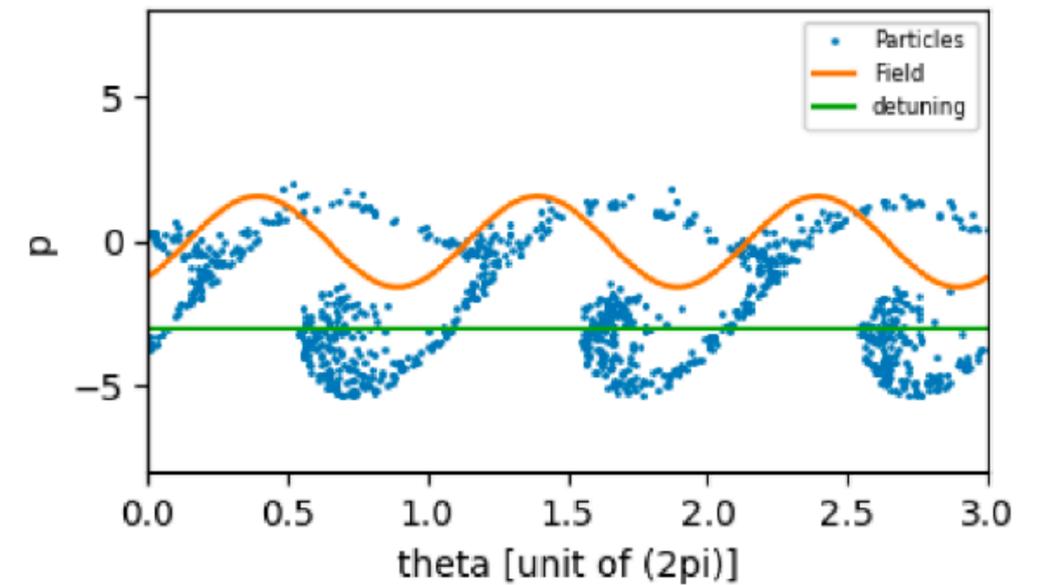
飽和とはどういう状態か

- バンチが完全に位相回転してしまって、バンチングファクタが崩れ、エネルギー拡がりも大きくなってしまった状態

Non-Tapering

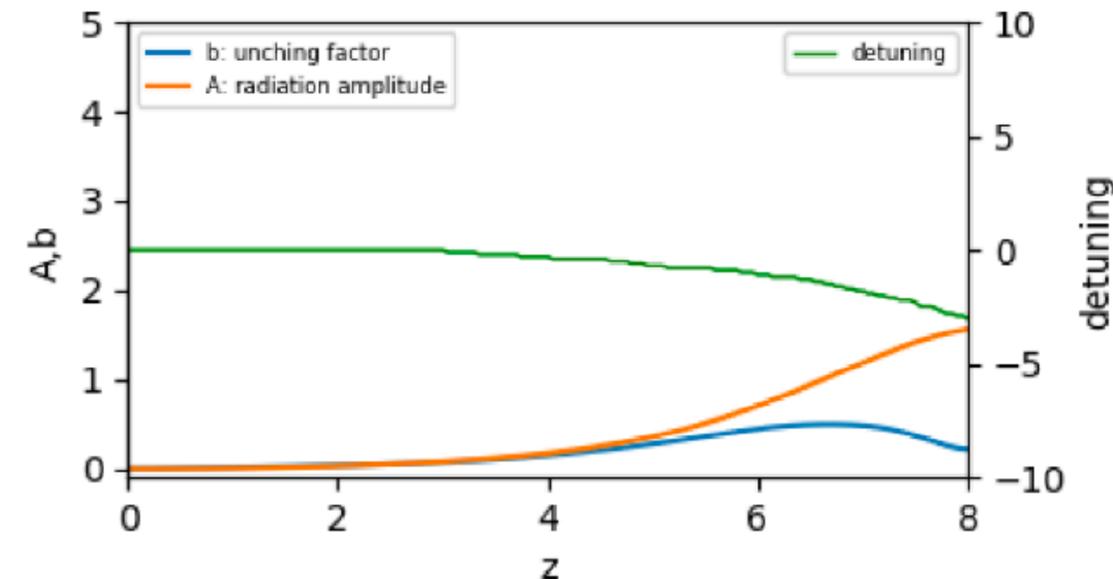
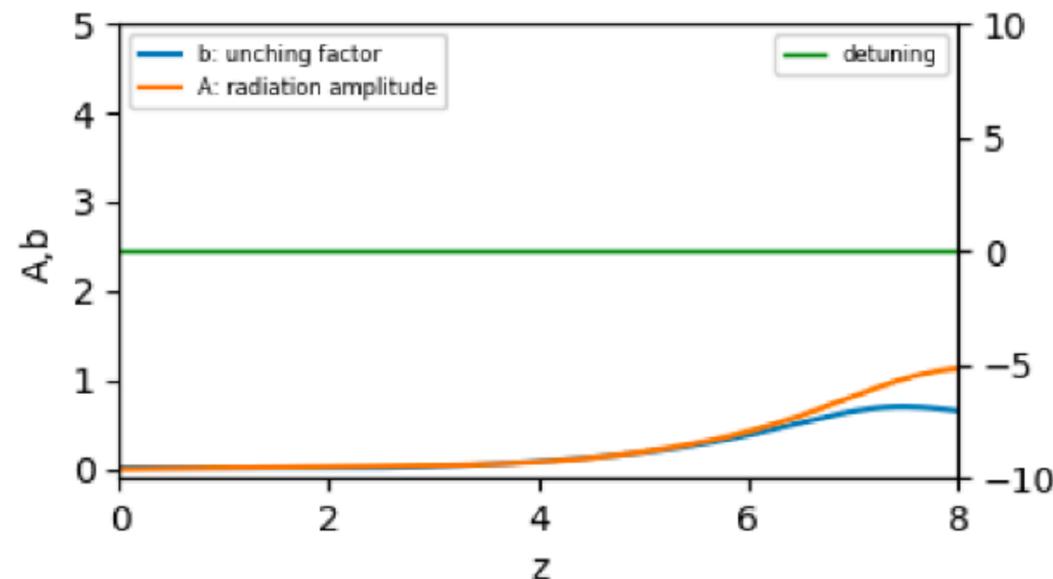


Tapering



テーパ化FELという裏技

- FELの発振に合わせてアンジュレータの強さを变化させて、位相空間での回転を制御する。
- 運動方程式における、デチューニング(δ)を変えることに相当



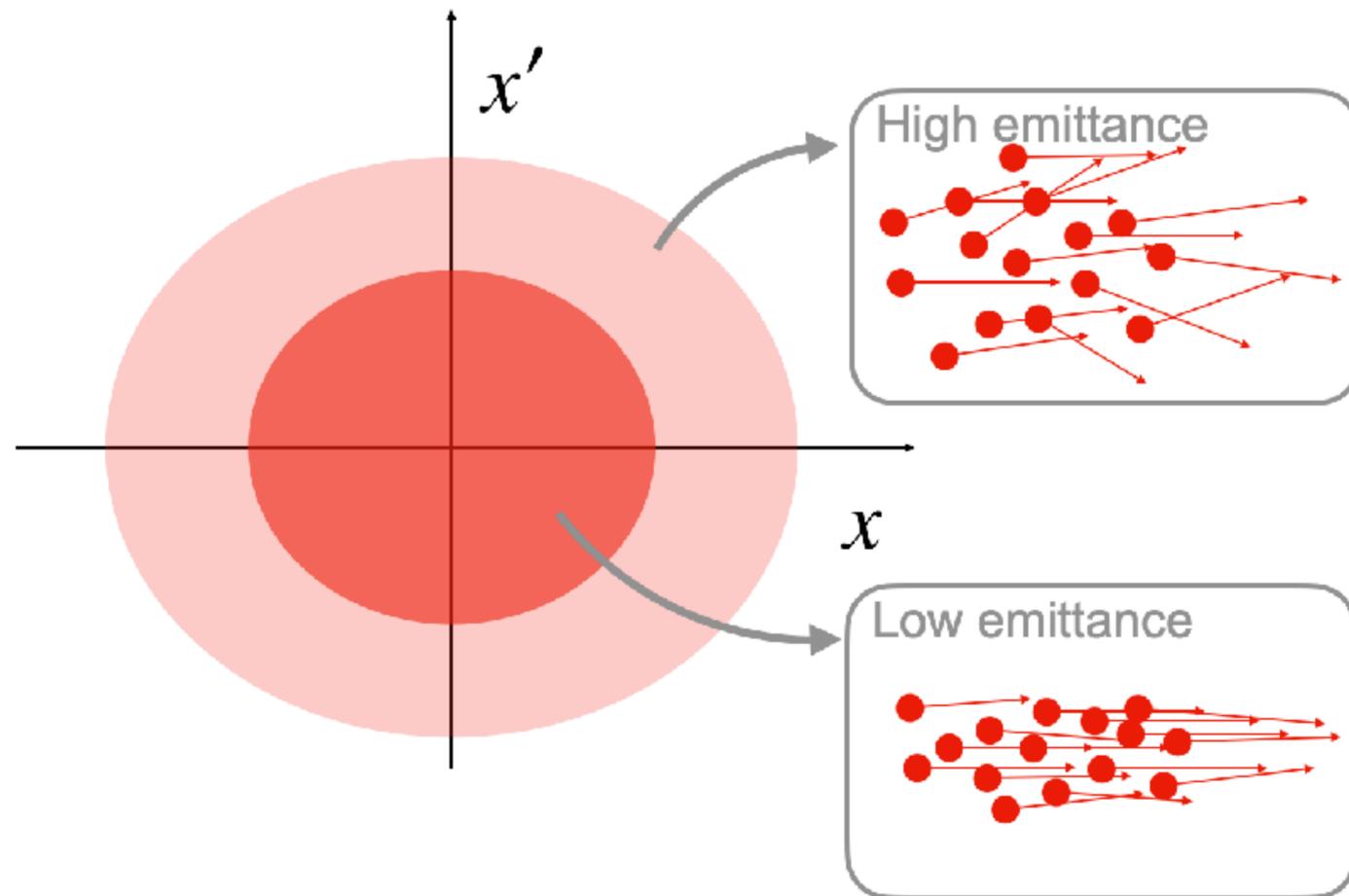
より多くのビームのエネルギーを放射に転換できる。

- ただし、ビームのエネルギー拡がり は、より大きくなる

ビームパラメータ

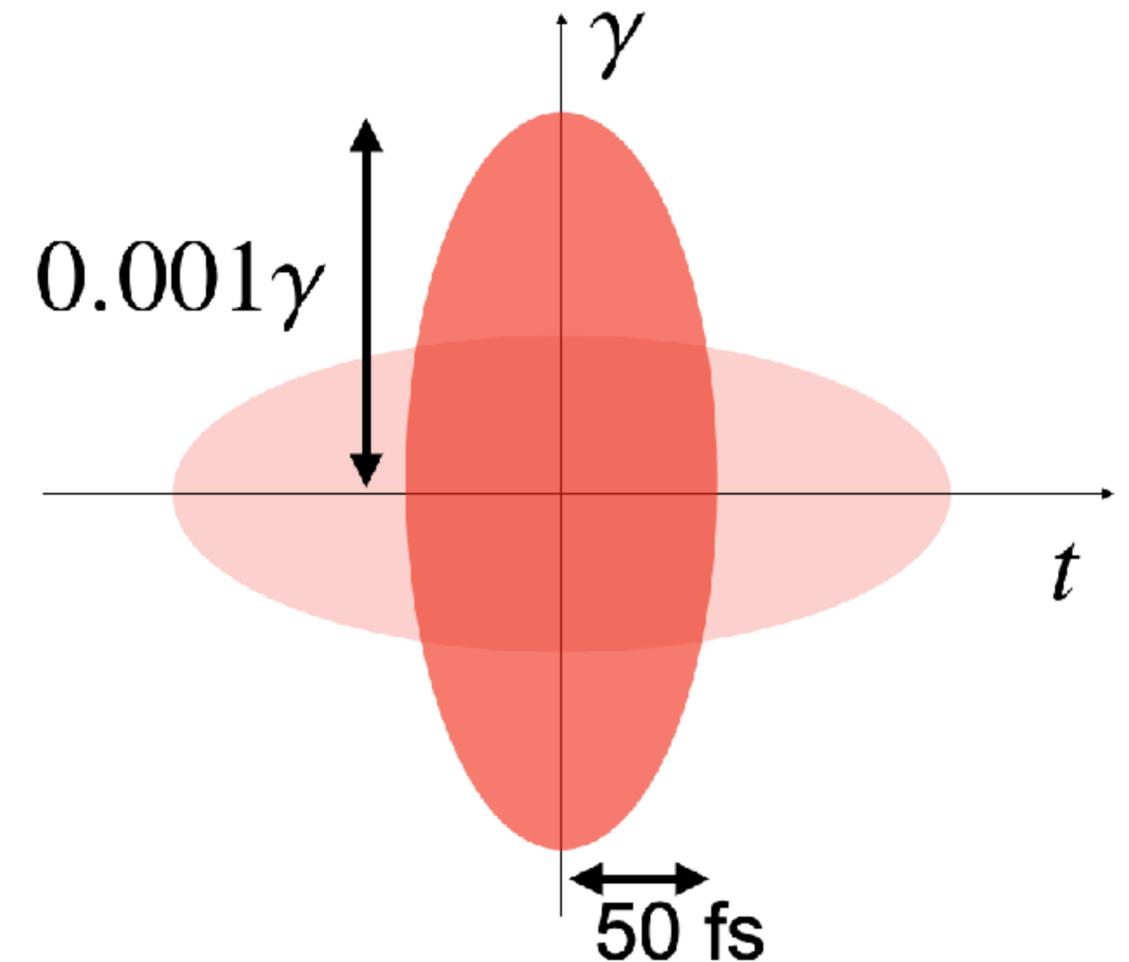
- FELは非線形過程による自己組織化現象
 - 高い密度で、静かな電子集団 が必要

エミッタンス: $\epsilon_n < \frac{\lambda}{\lambda_u} \gamma \rho \sim 10^{-6} \text{ m}$



- FELが発振するのに必要なビーム性能
 - 低エミッタンス、小エネルギー幅
 - 高ピーク電流

エネルギー幅: $\Delta\gamma/\gamma < \rho \sim 10^{-3}$



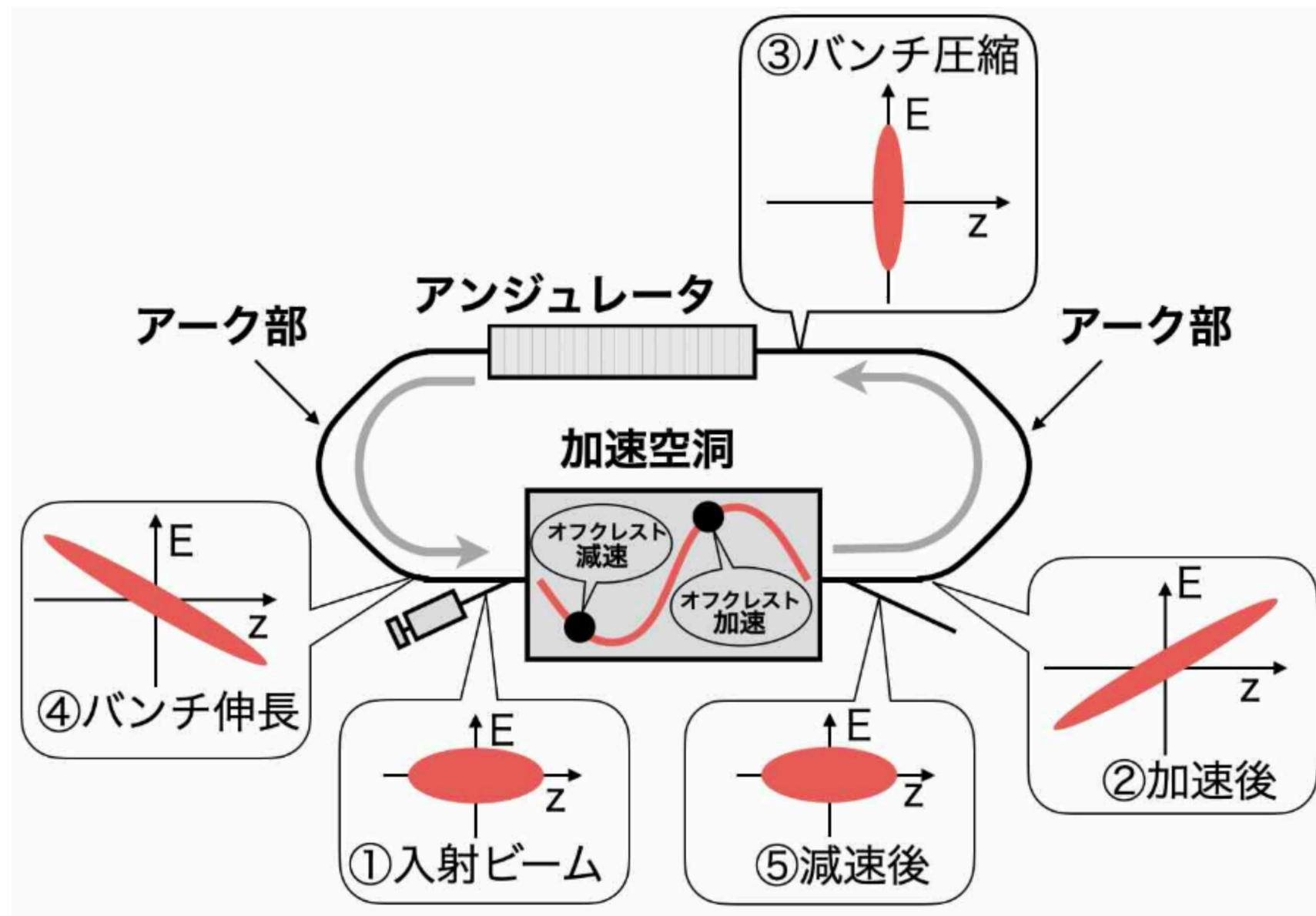
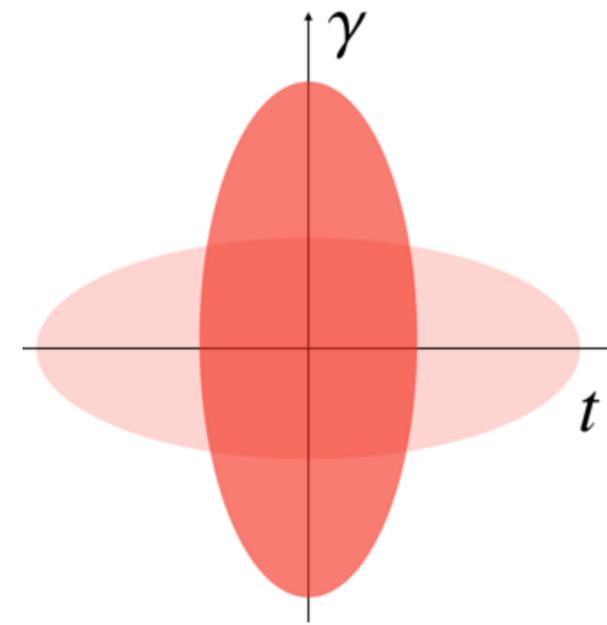
バンチハンドリング

- 電子ビームの縦方向位相空間を操作する技術が重要
 - アンジュレータ部では短バンチでFEL発振 (バンチ圧縮)
 - エネルギー広がりを抑えてダンプまで輸送 (バンチ伸長)

時間幅が大きく、
エネルギー幅が小さい

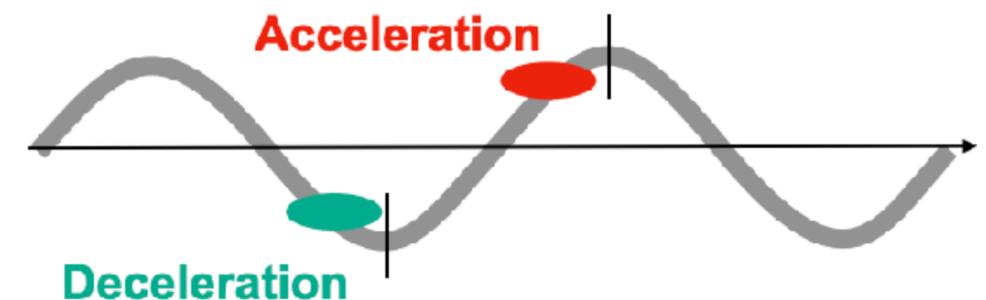


時間幅が小さく
エネルギー幅が大きい



使える技

Off-crest RF acceleration



Arc dispersion



KEK の試験加速器の状況

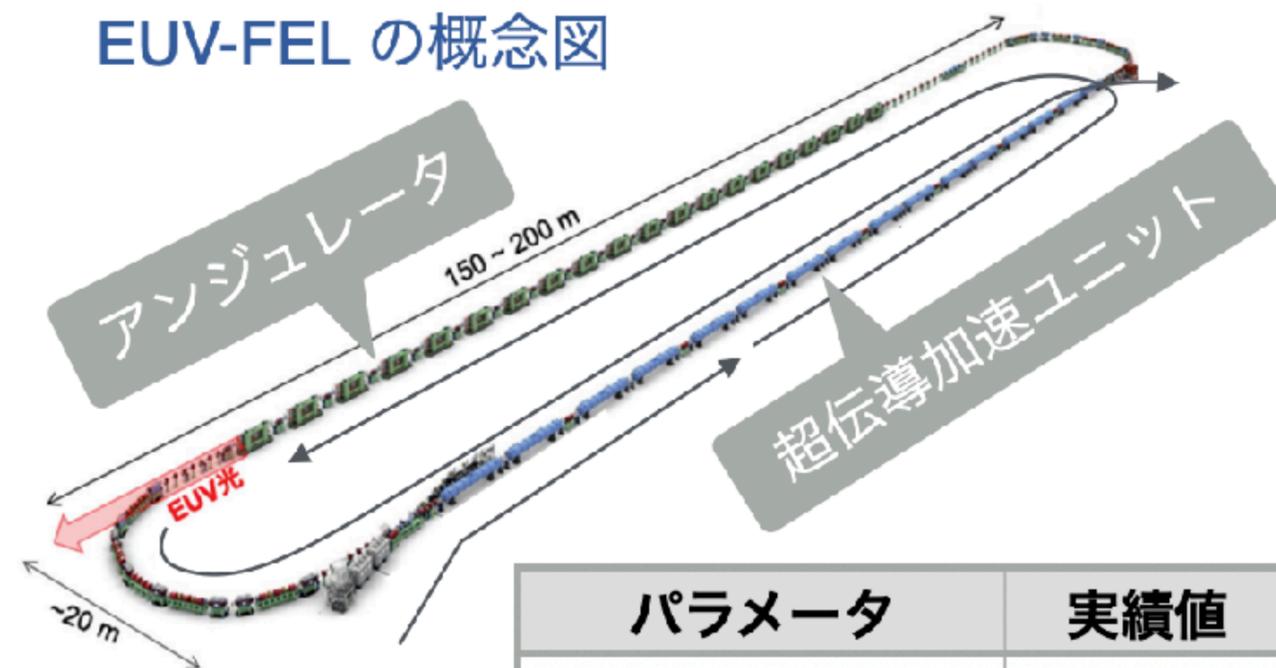
- コンパクトERLの紹介
- 他所の状況

試験加速器 cERL

- 規模は小さいが、ERLとしての一通りの要素が入った試験加速器
 - 2009年建設開始、2013年運転開始
 - 年に 1 or 2 ヶ月のビーム運転



EUV-FEL の概念図



パラメータ	実績値
ビームエネルギー	800 MeV
入射エネルギー	10 MeV
平均電流	10 mA
FEL発振波長	13.5 nm

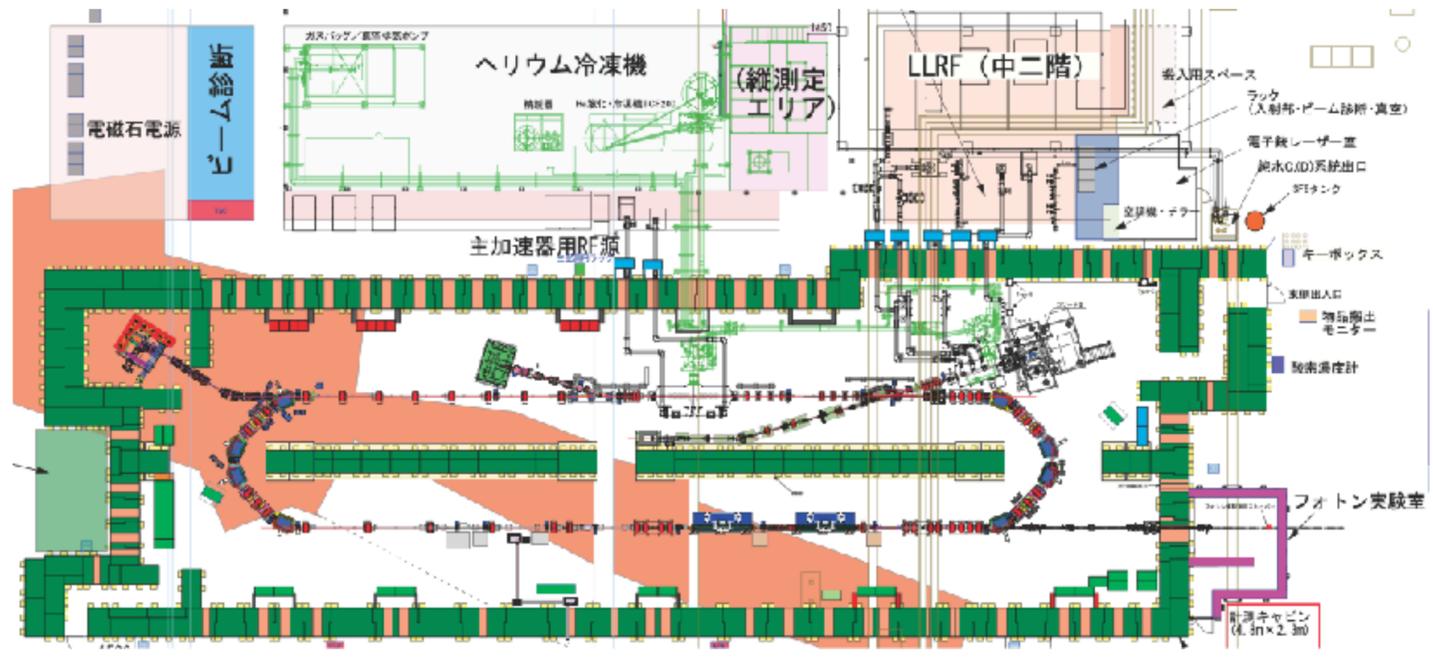
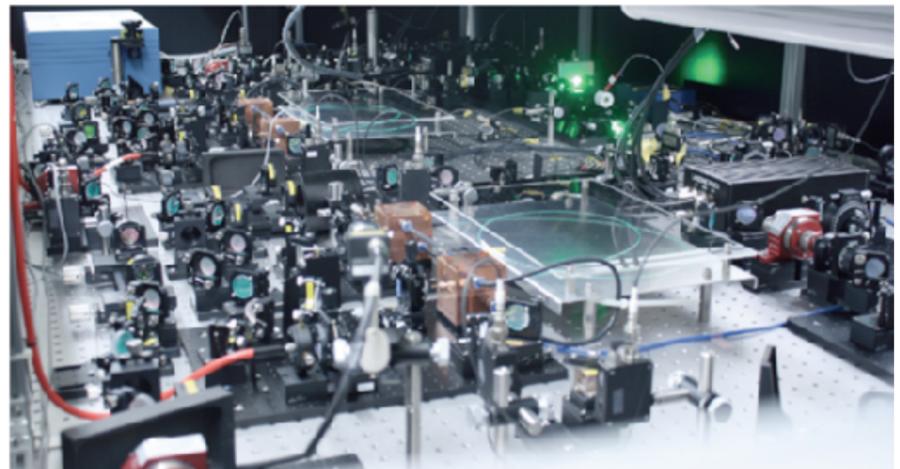
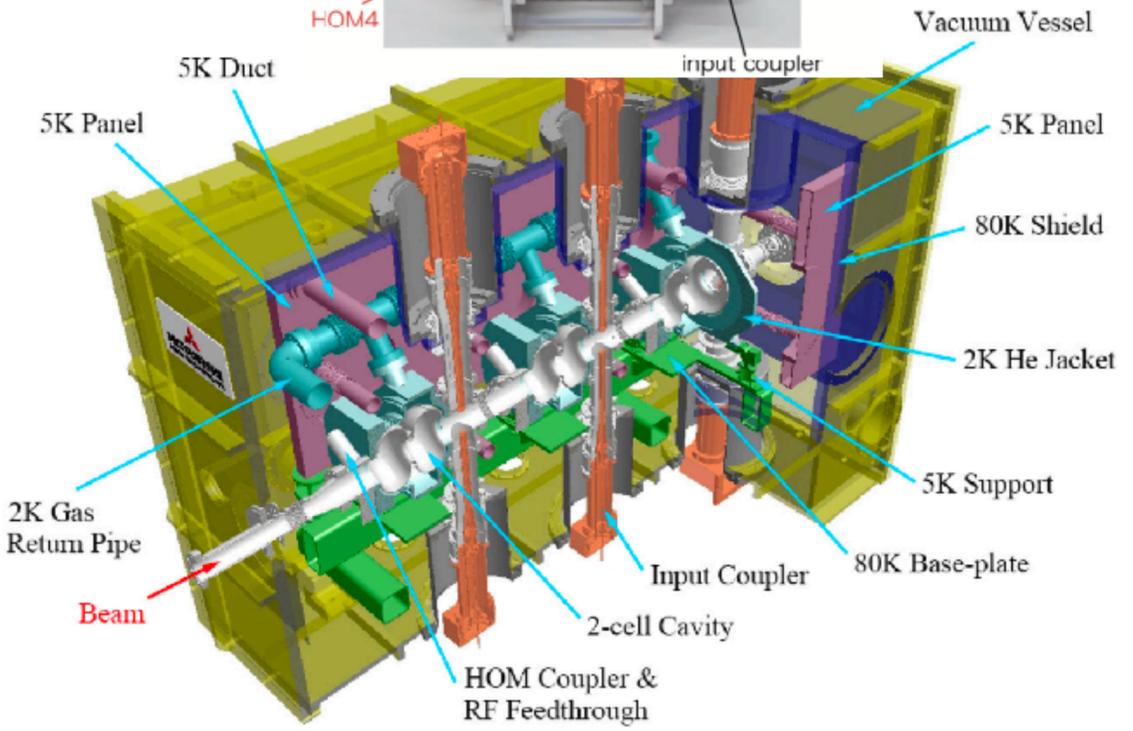
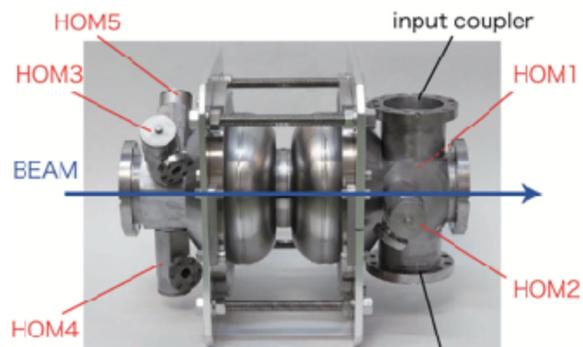
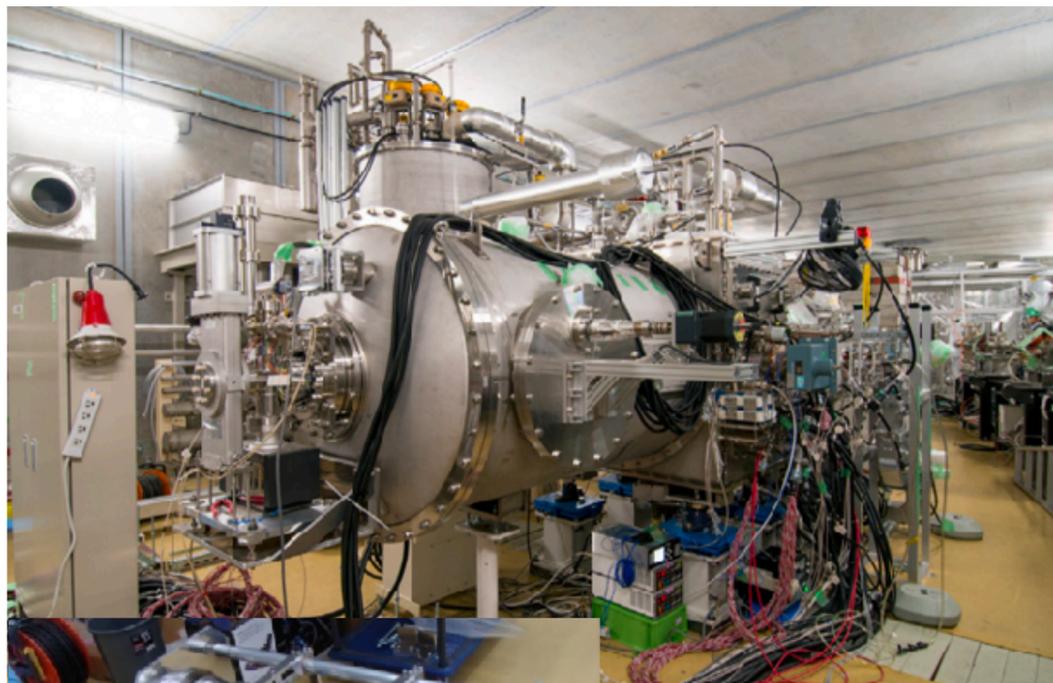
Jpn. J. Appl. Phys. 62, SG0809 (2023)

既存試験加速器 (cERL)

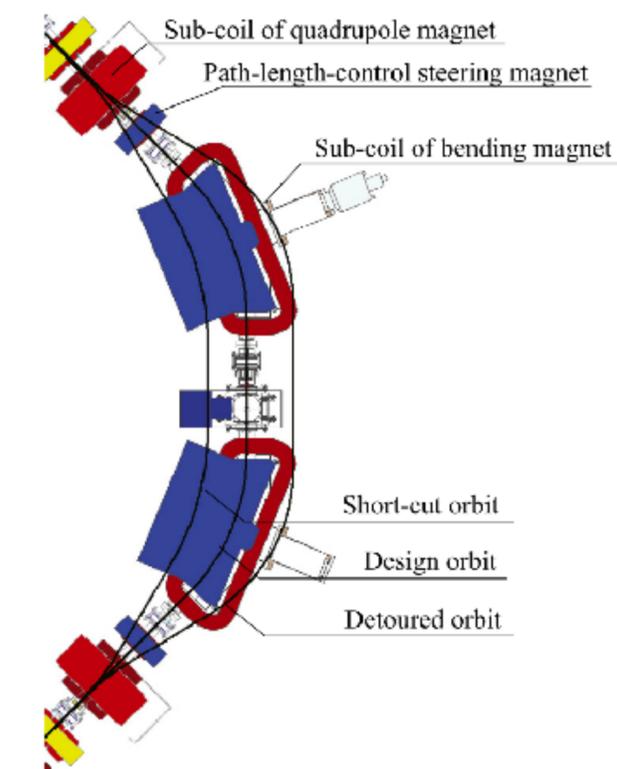
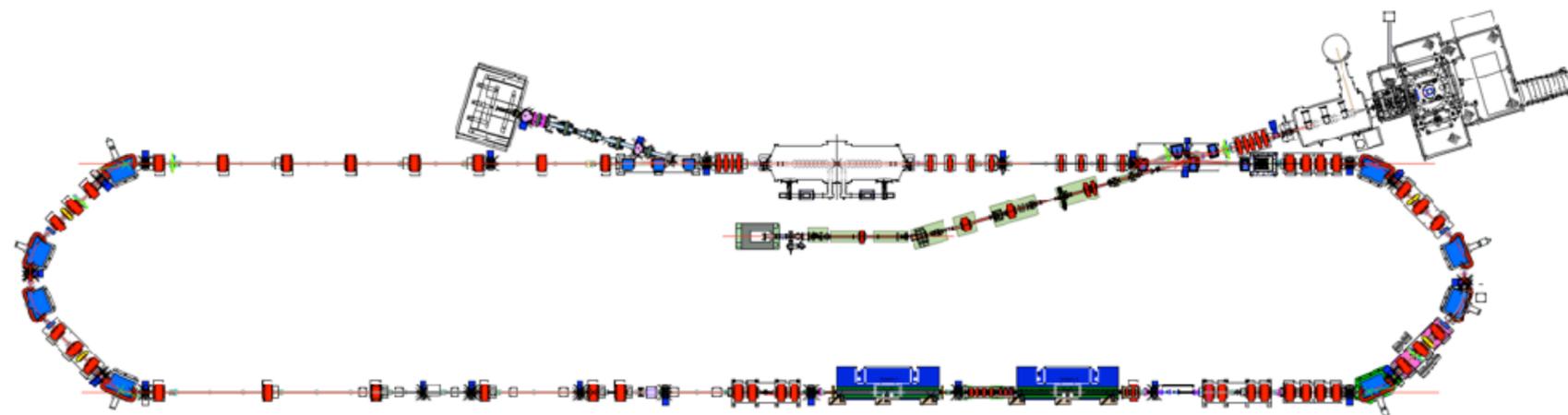
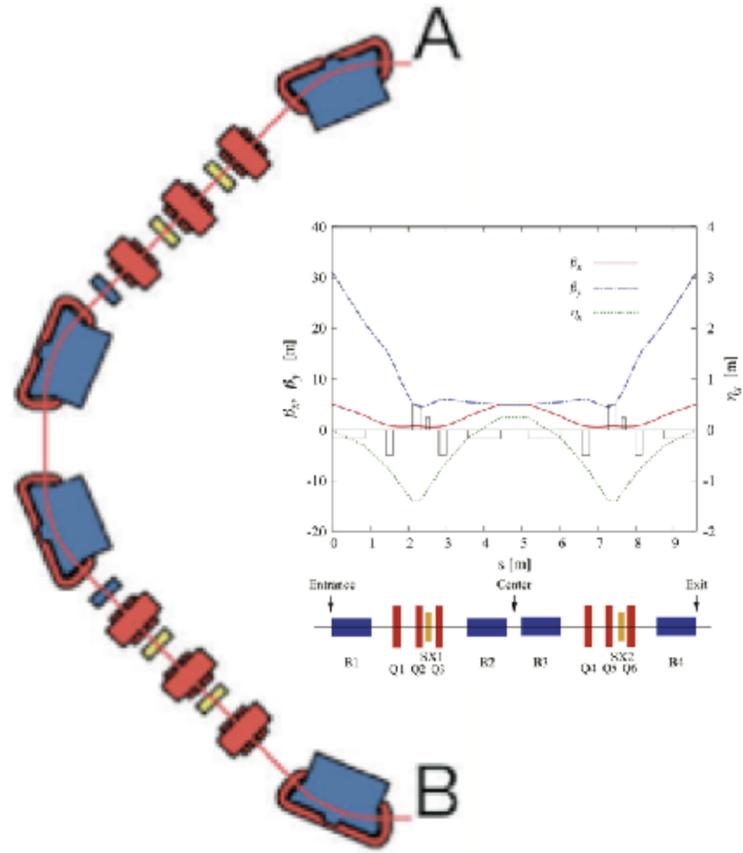
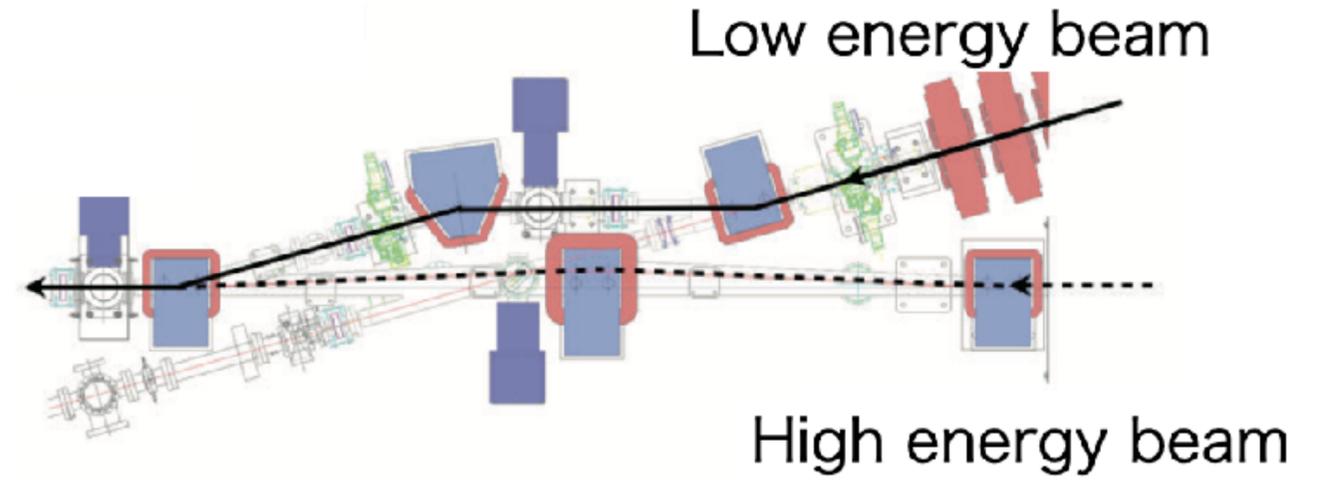
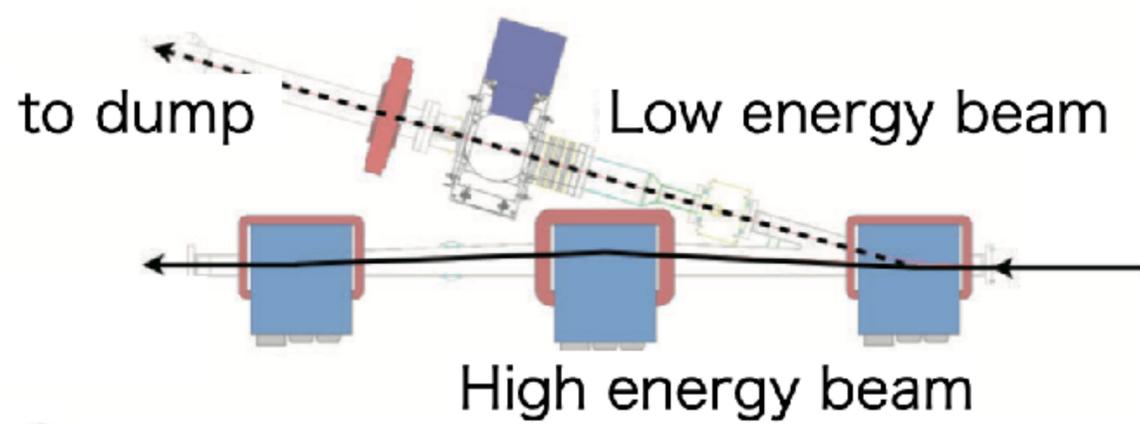


パラメータ	実績値
ビームエネルギー	20 MeV
入射エネルギー	3~5 MeV
平均電流	1 mA
FEL発振波長	20 μm

cERLの構成要素

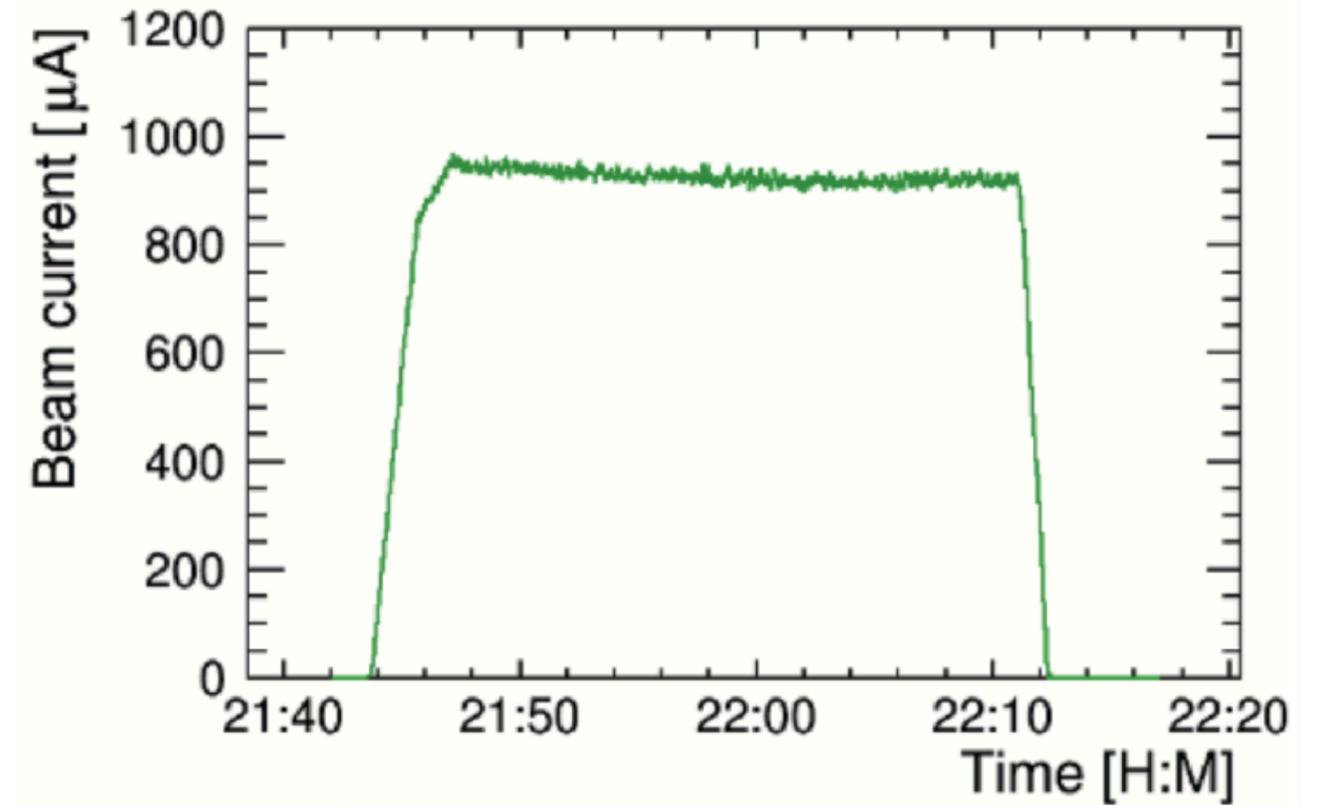
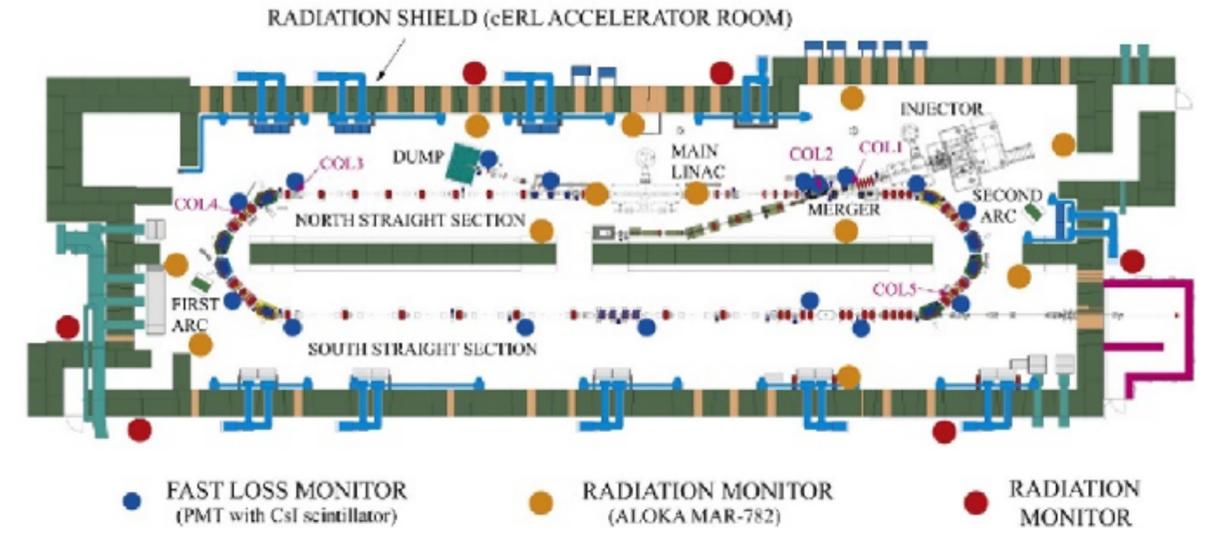
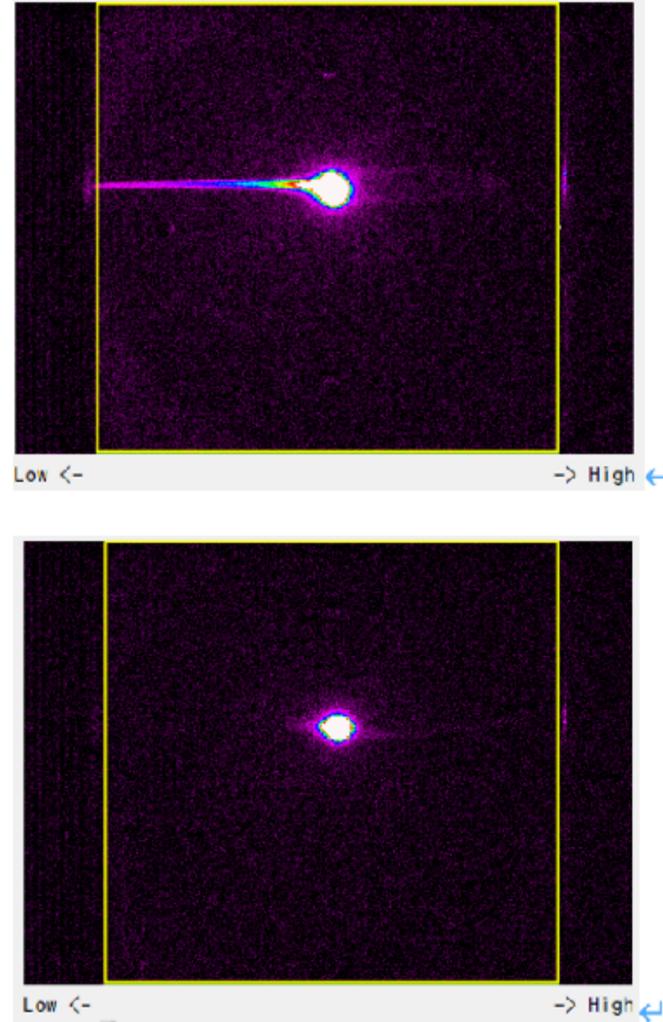
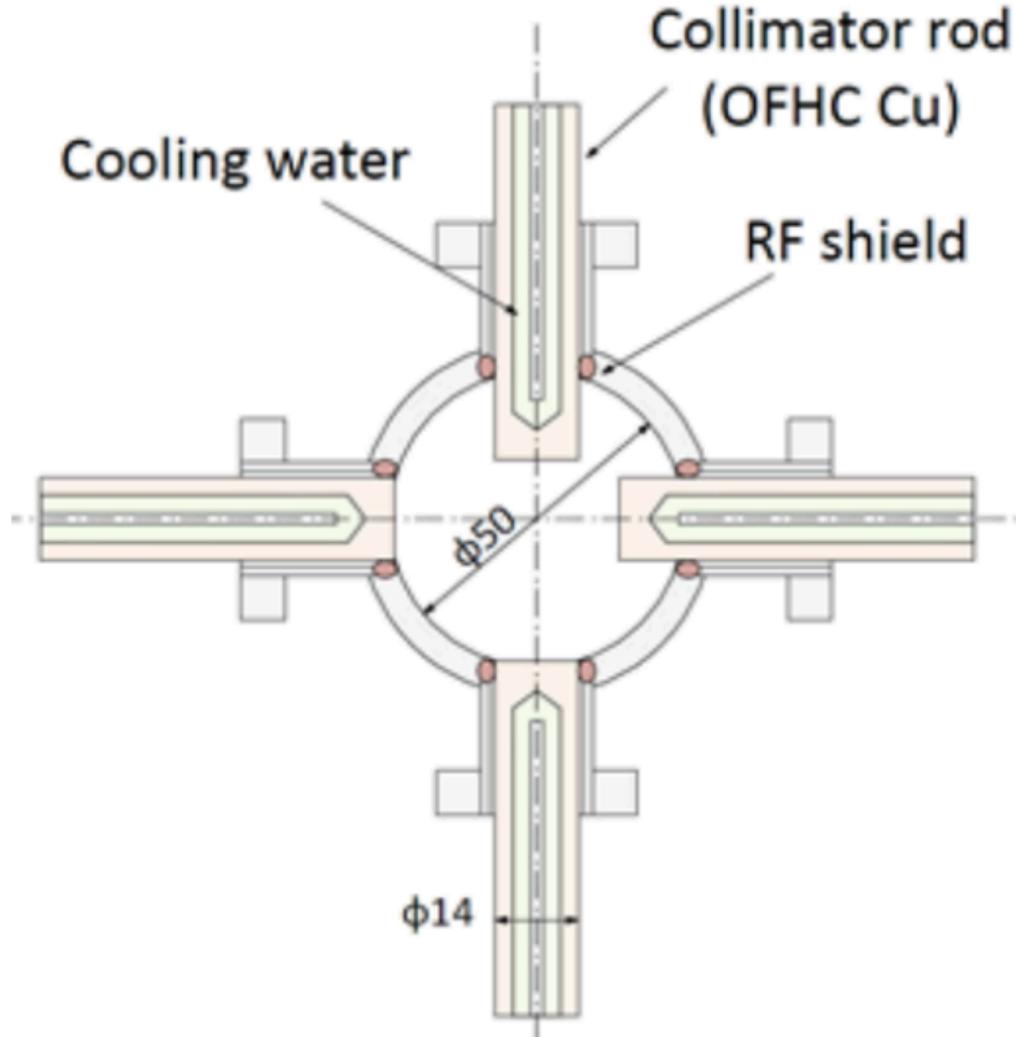


cERLのビーム光学



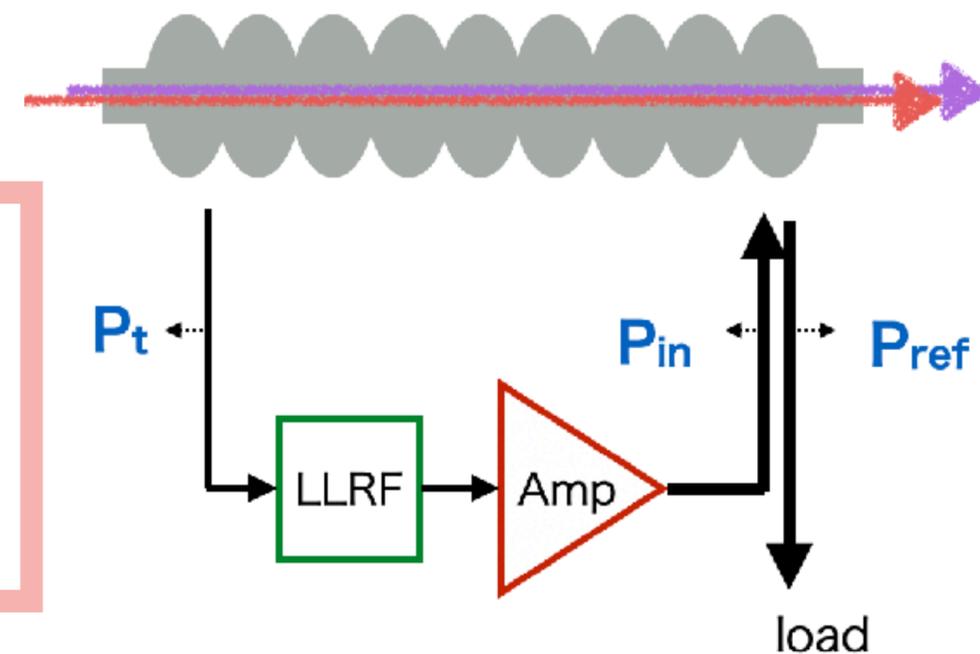
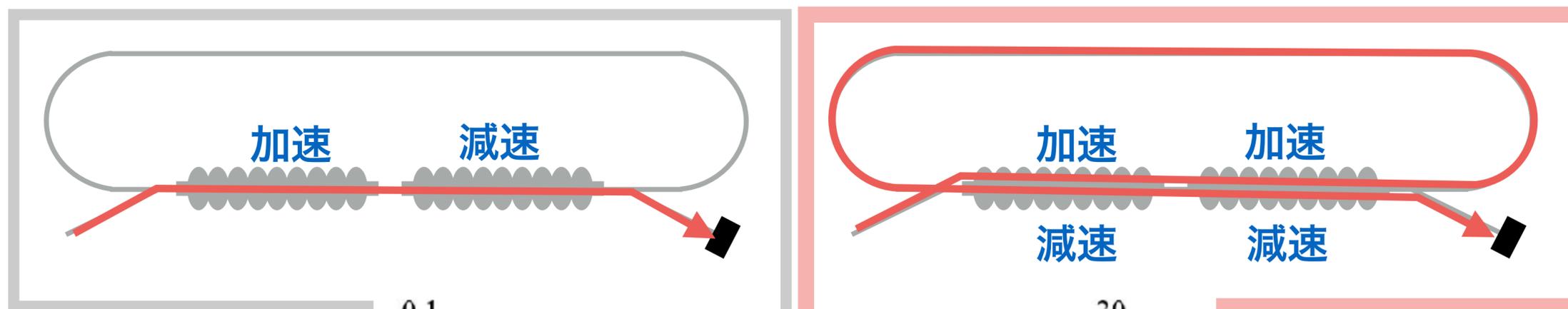
大電流運転の実証

- 最大 1mA のビーム周回に成功
 - ビーム損失モニター
 - ビームハローの観測
 - ビームコリメータ



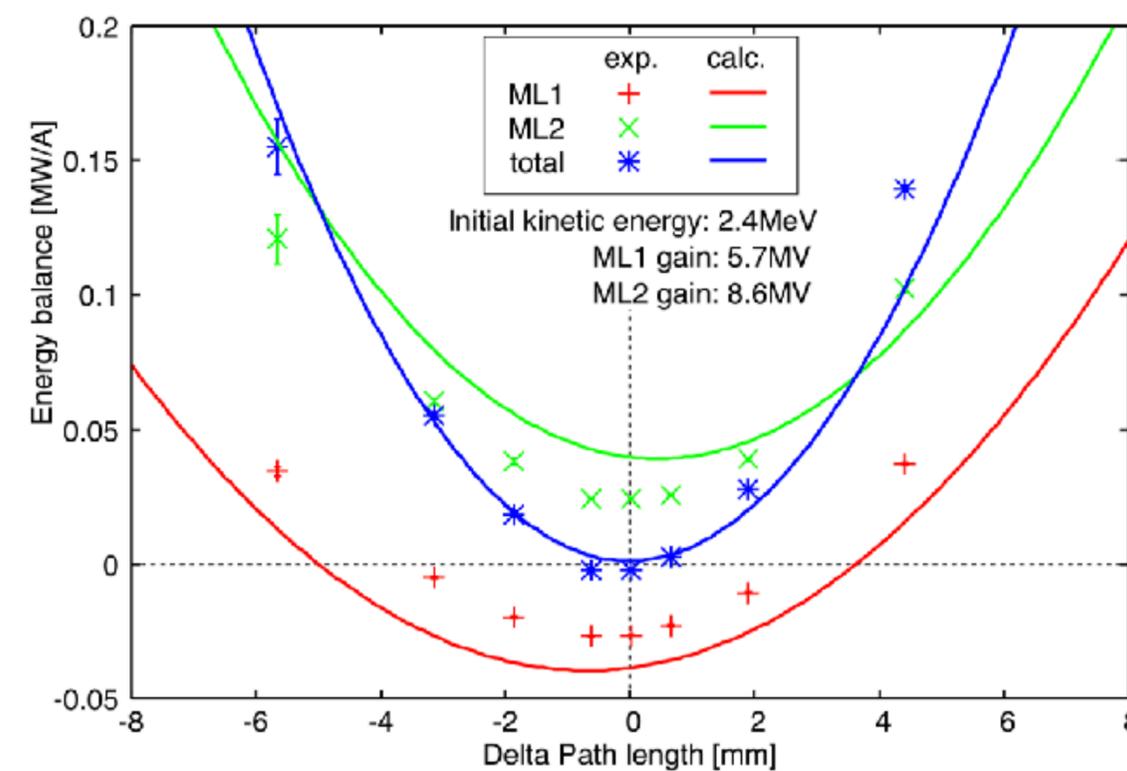
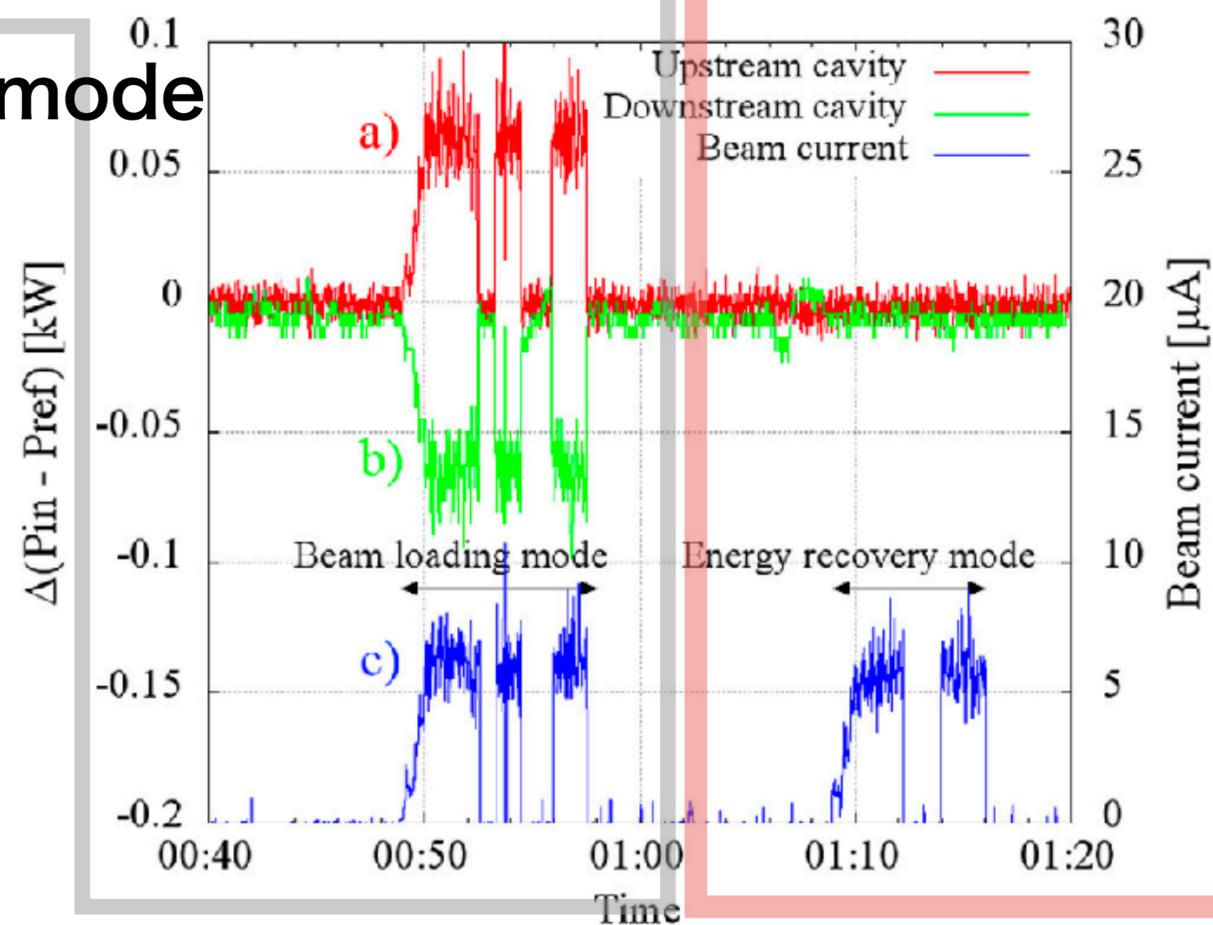
エネルギー回収の実証

- 超伝導加速空洞で消費されるRFパワーを検証



Non-ERL mode

ERL mode



バンチ圧縮運転の実証

- ・オフcrest加速 と 非等時性アーク の調整で短バンチビームの生成

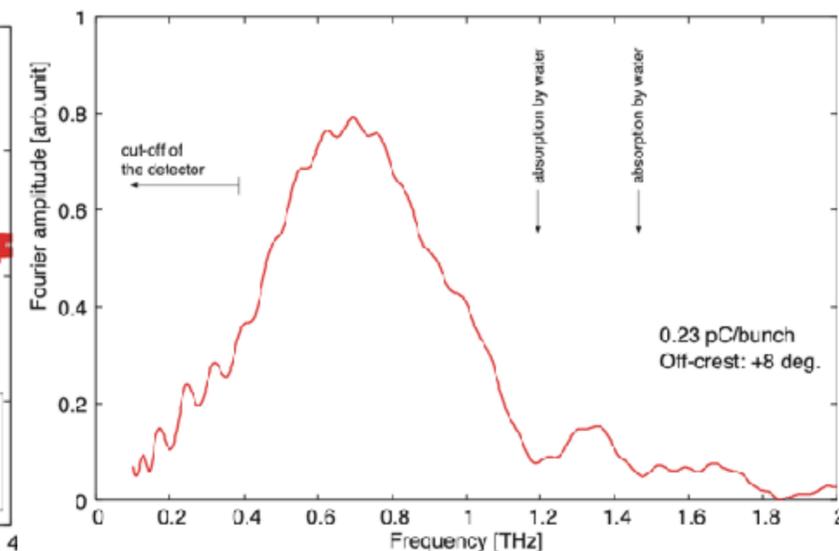
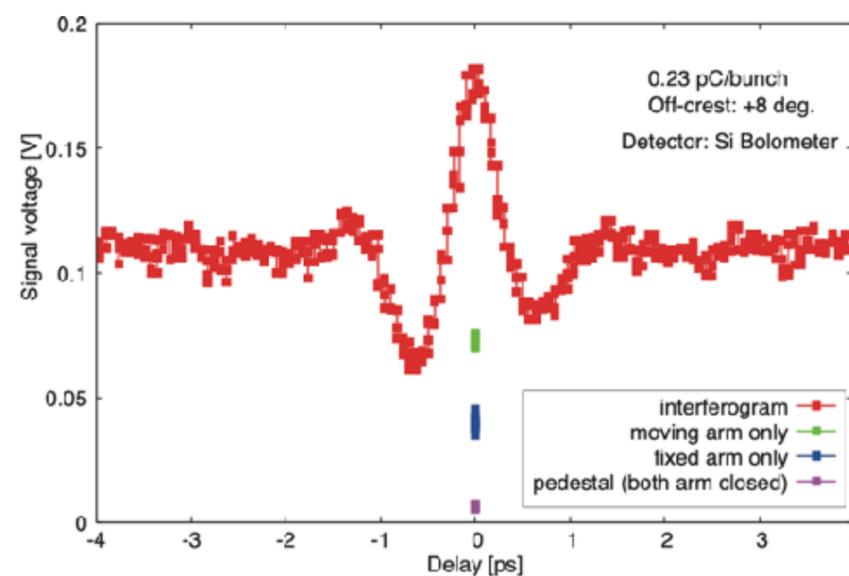
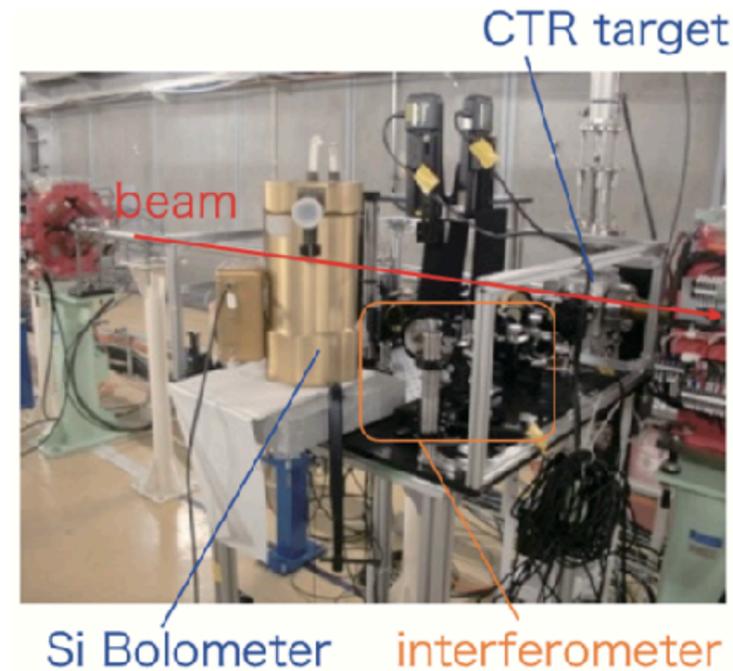
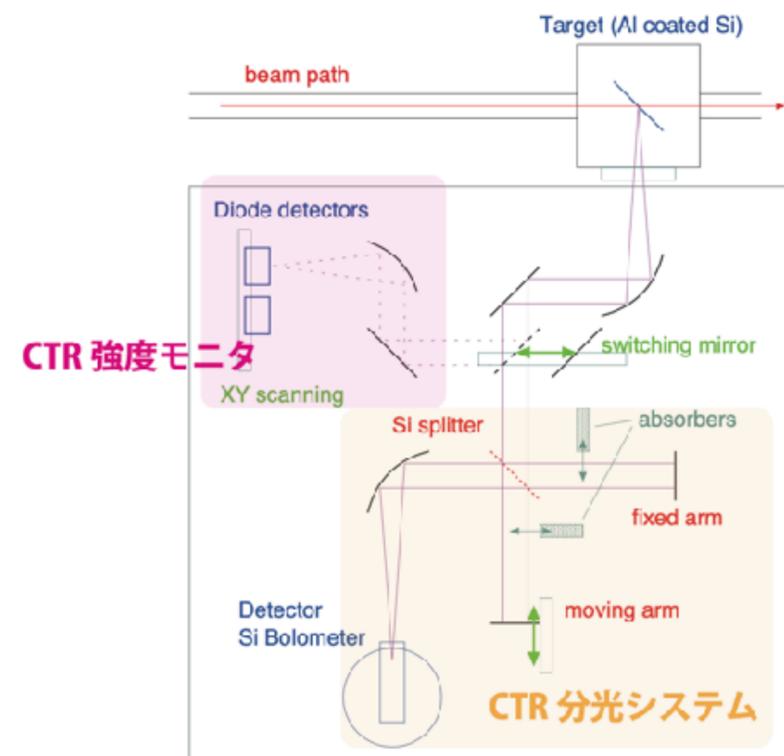
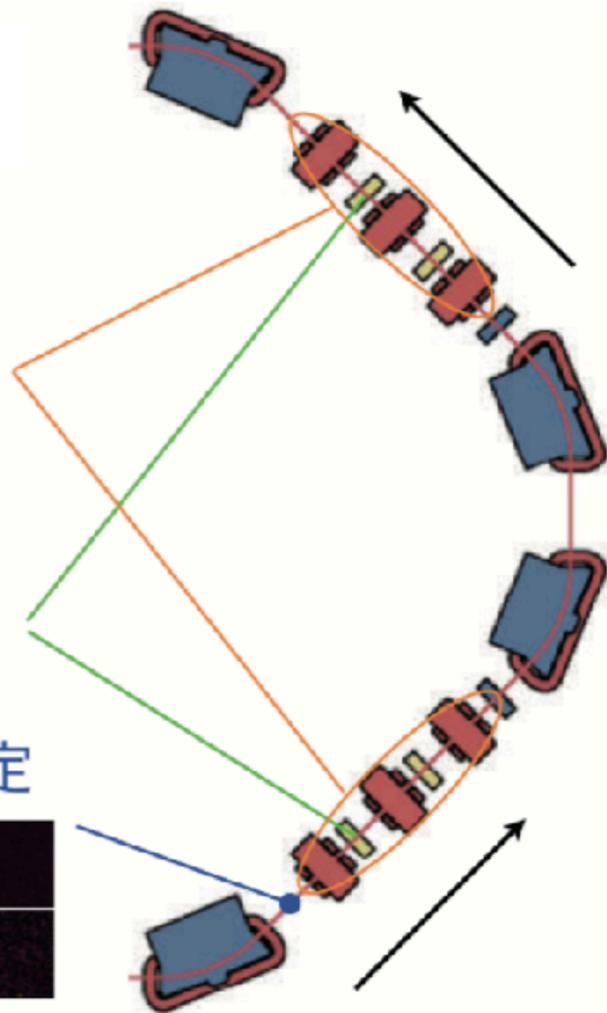
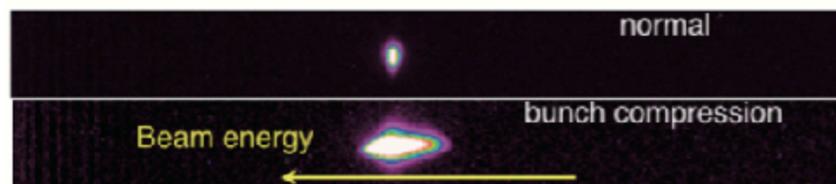
$$\Delta z = R_{56} \frac{\Delta E}{E}$$

$$R_{56} = \int \frac{\eta(s)}{R(s)} ds$$

2組の3連4極でR56を調整

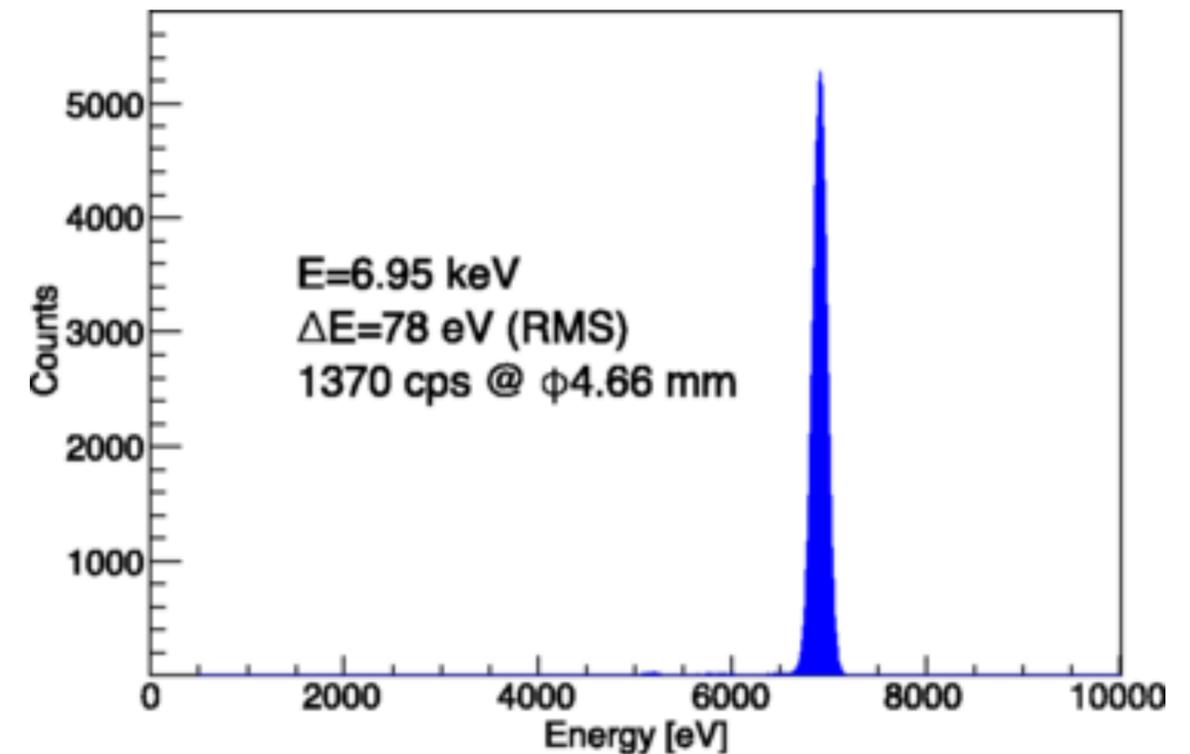
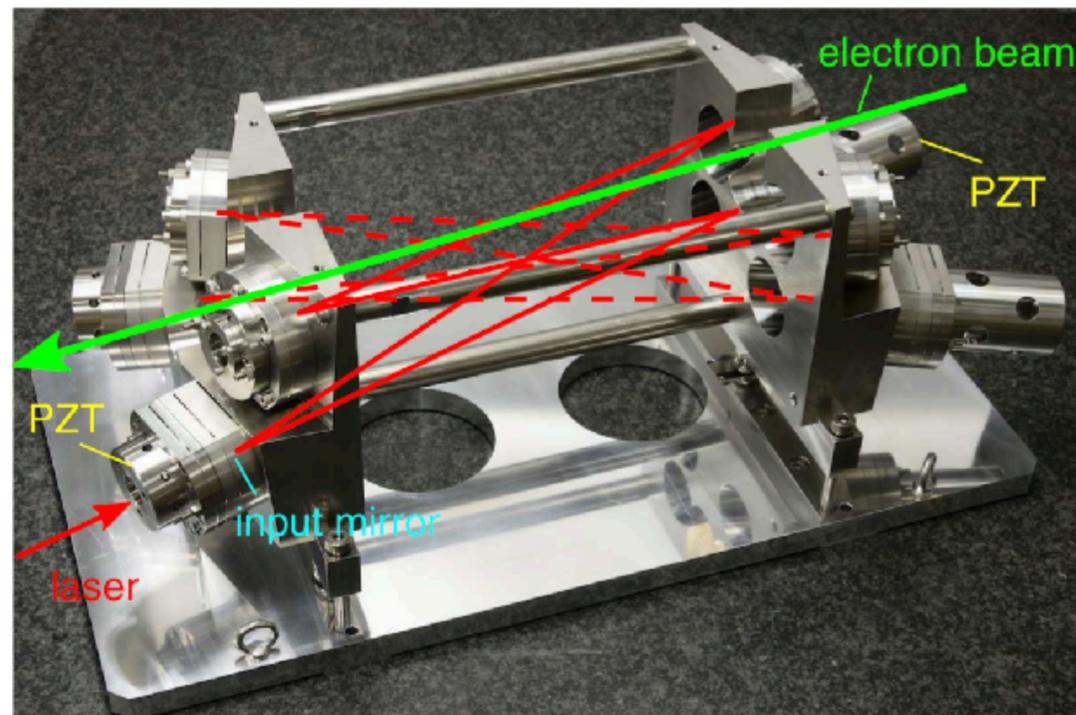
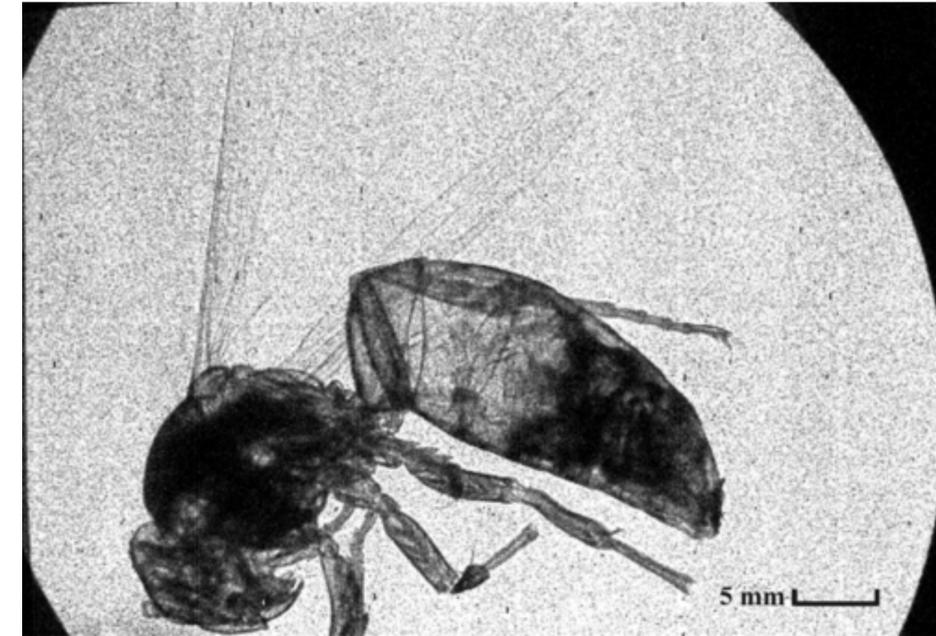
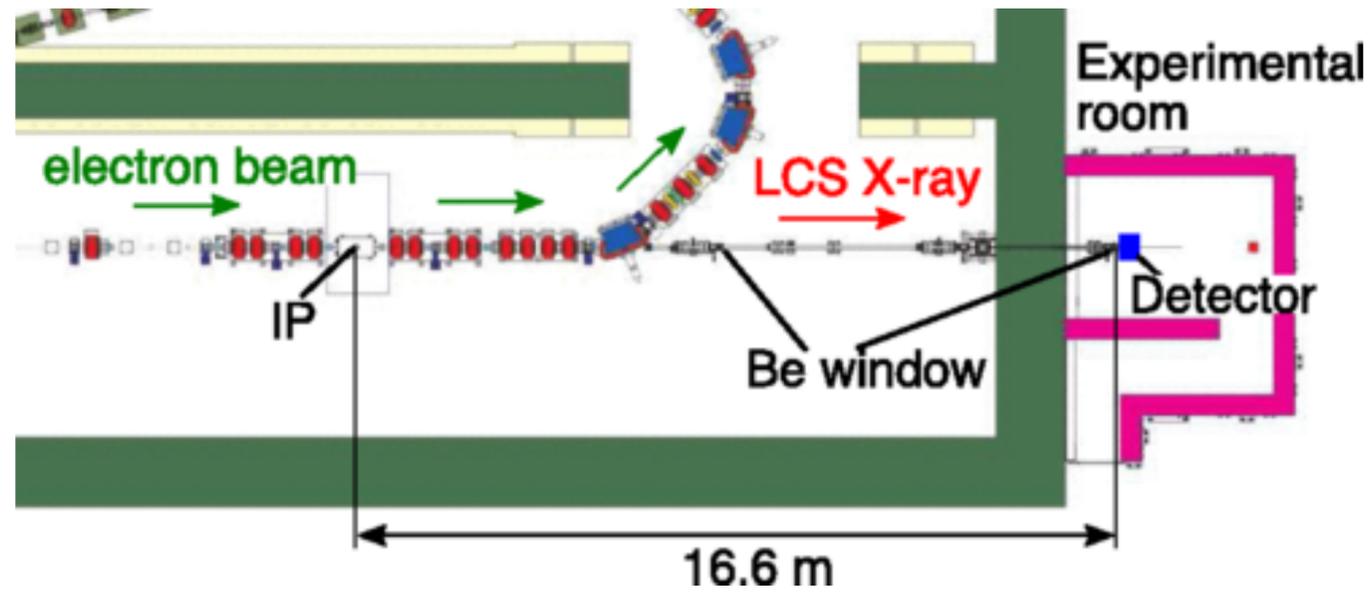
6極で高次の分散の補正

スクリーンモニターで
エネルギー広がりを測定



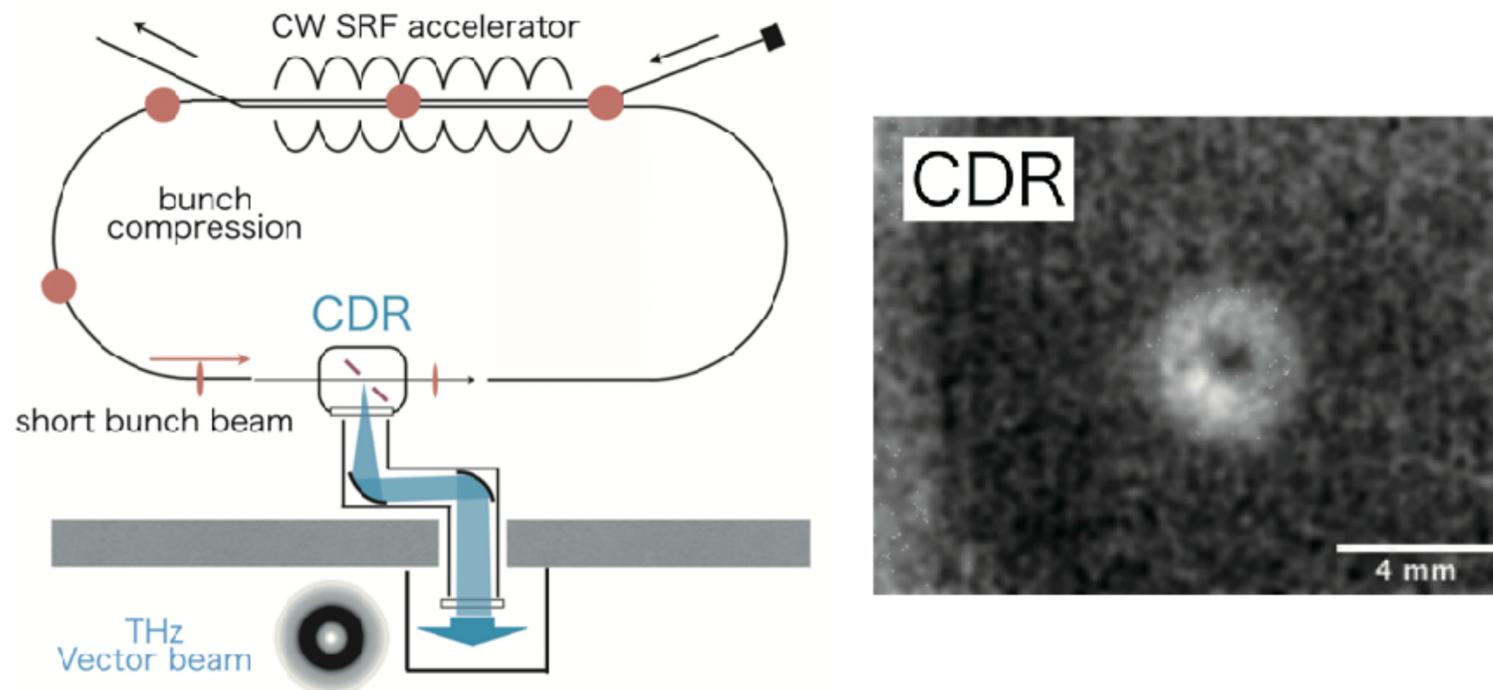
これまでの成果のハイライト

- レーザーコンプトン散乱X線源
 - ERLの特長を生かした狭帯域X線発生の実証

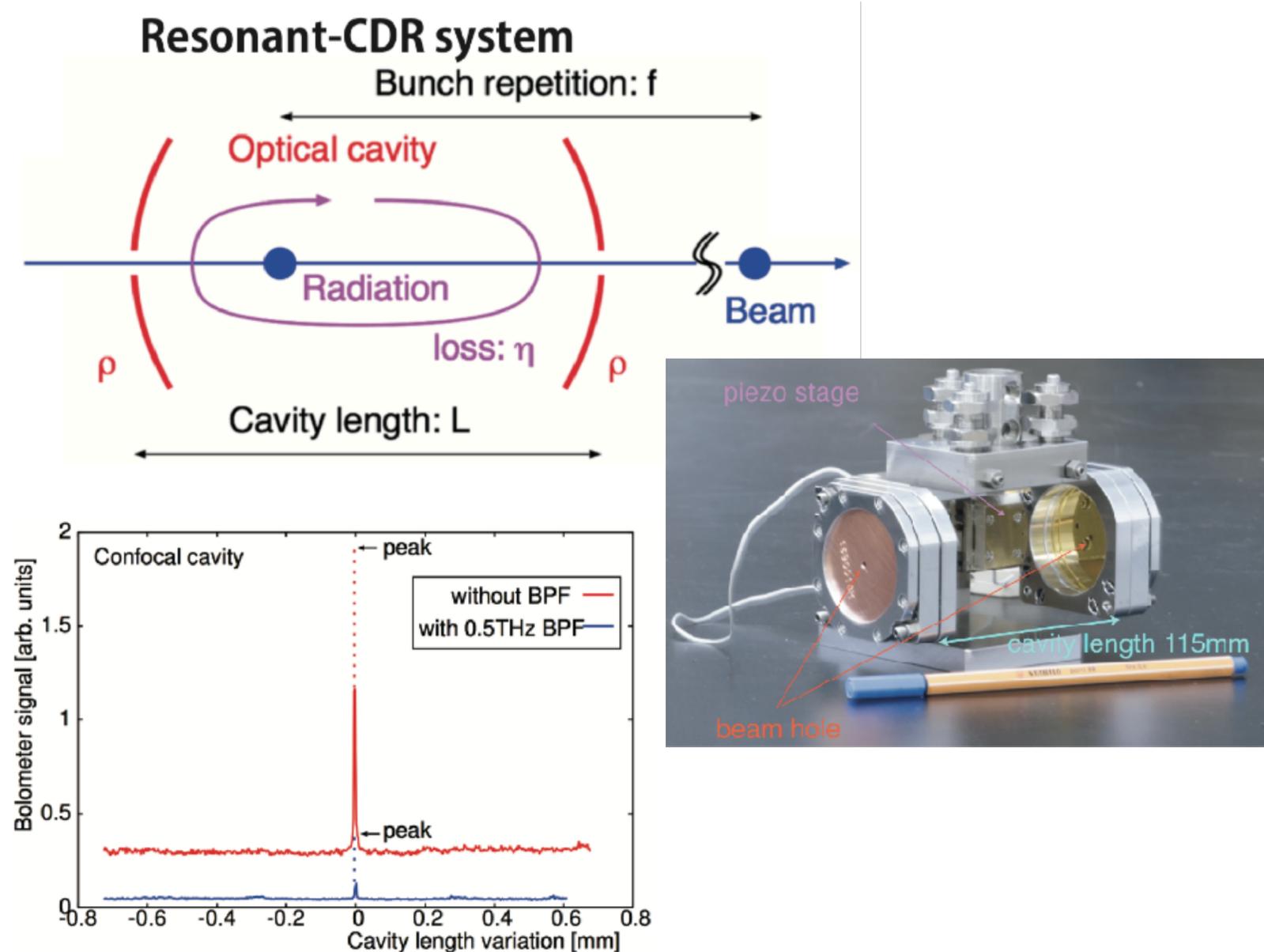


これまでの成果のハイライト

- 回折放射テラヘルツ光源
 - ~Wクラス広帯域THz光源
 - シールド外まで光の輸送を確立



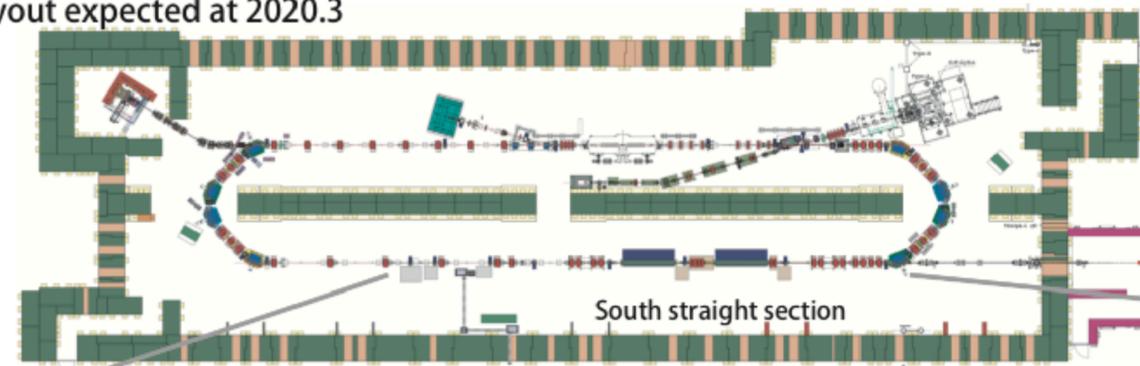
- テラヘルツ誘導回折放射
 - 回折放射共振器の広帯域発振の世界初の実証
 - ビームによって励起されるテラヘルツレーザー



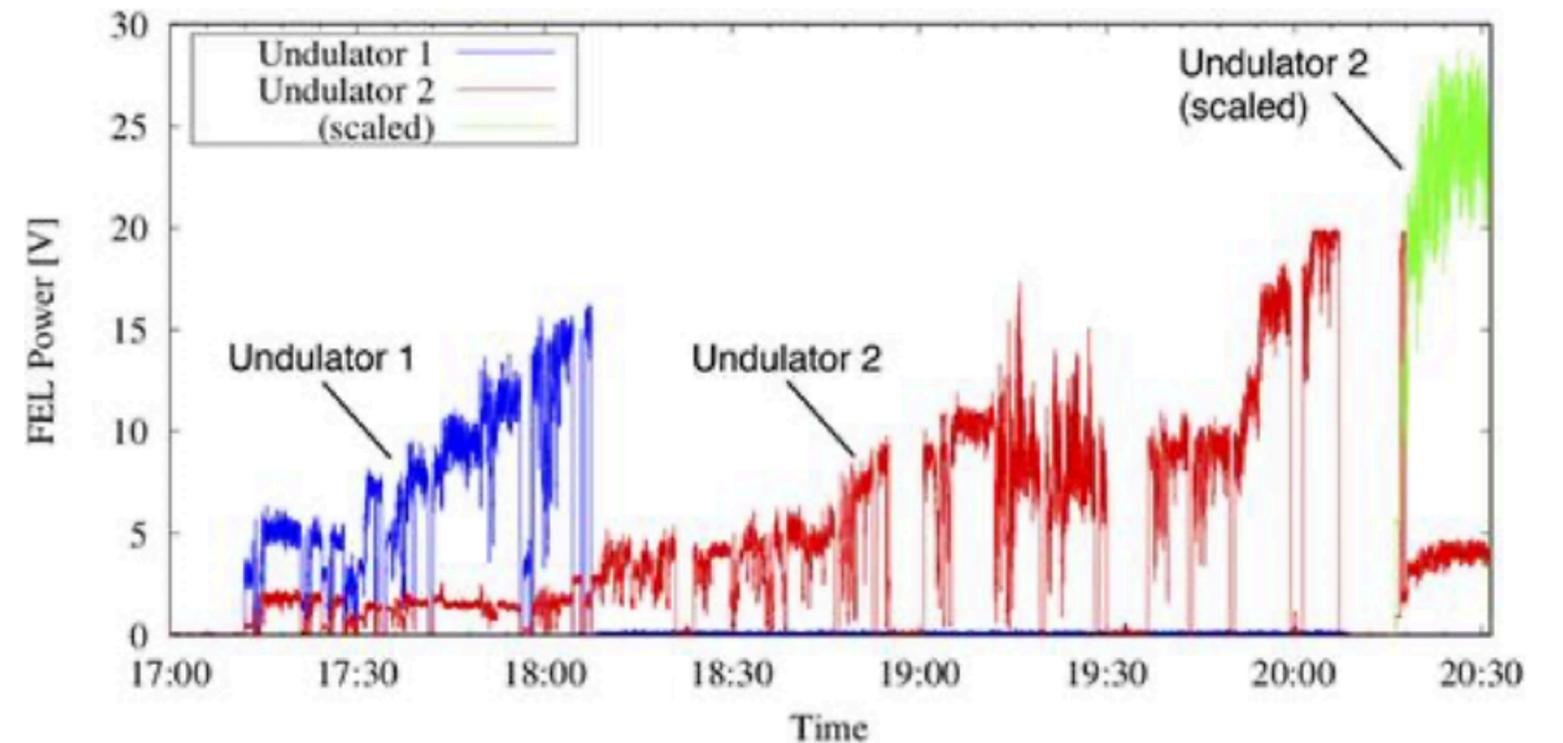
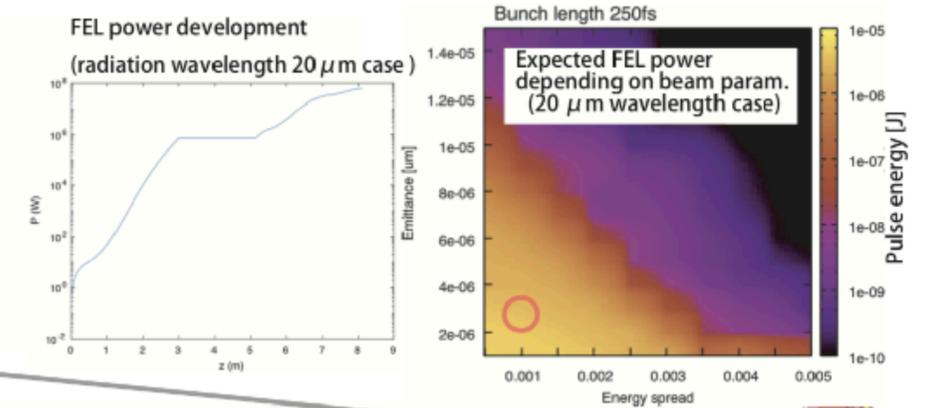
これまでの成果のハイライト

- 中赤外SASE-FELの実証
 - 波長 $20\mu\text{m}$, $\sim 5\text{nJ/pulse}$

Layout expected at 2020.3



parameter	value
Undulator period	24 mm
N period	125 period
Beam energy (γ)	34.25
Energy spread	1×10^{-3}
Norm. emittance	$3\mu\text{m}$
Bunch charge	60 pC/b
RMS bunch length	250 fs



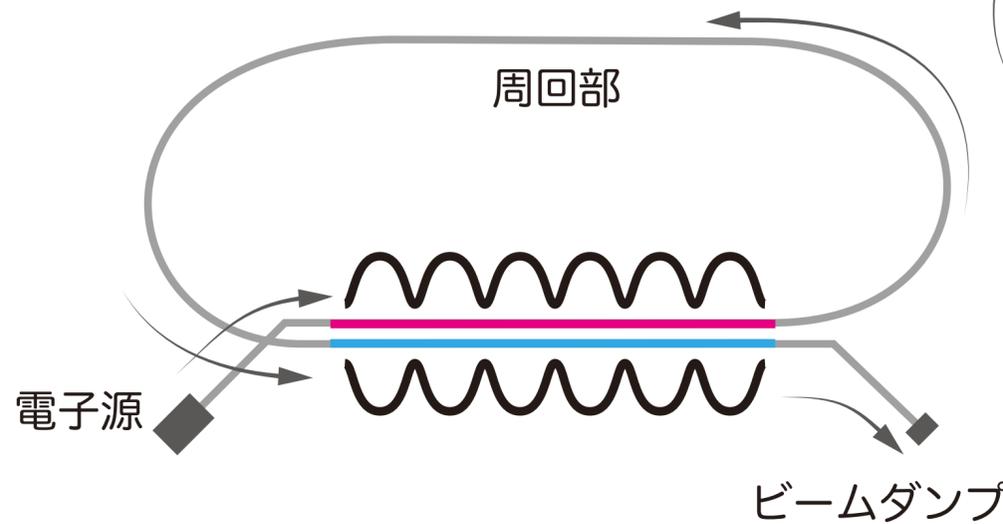
様々なERL

• 発展形はいろいろ考えられる

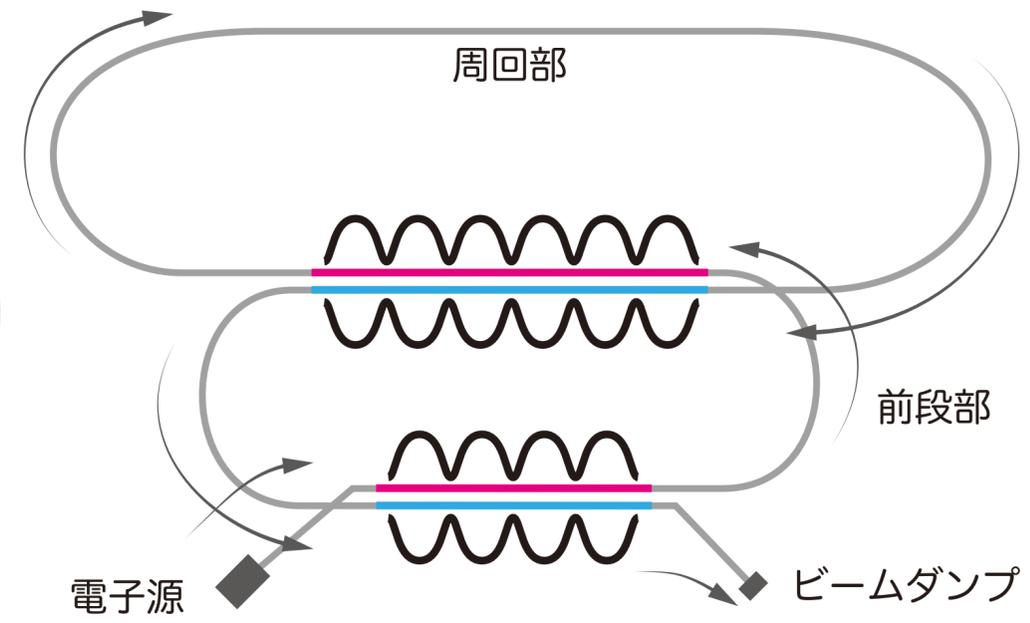
• エネルギー回収の成立条件

- 電子源からビームダンプまで一筆書き
- 各加速空洞には加速ビームと減速ビームが同じ回数通過
- 加速空洞への到達タイミングを調整可能

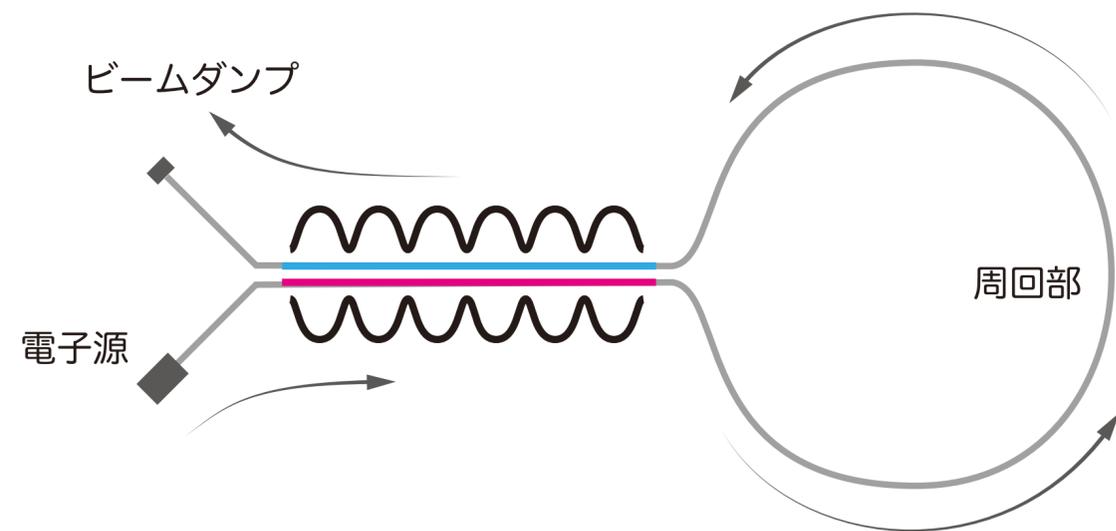
基本型



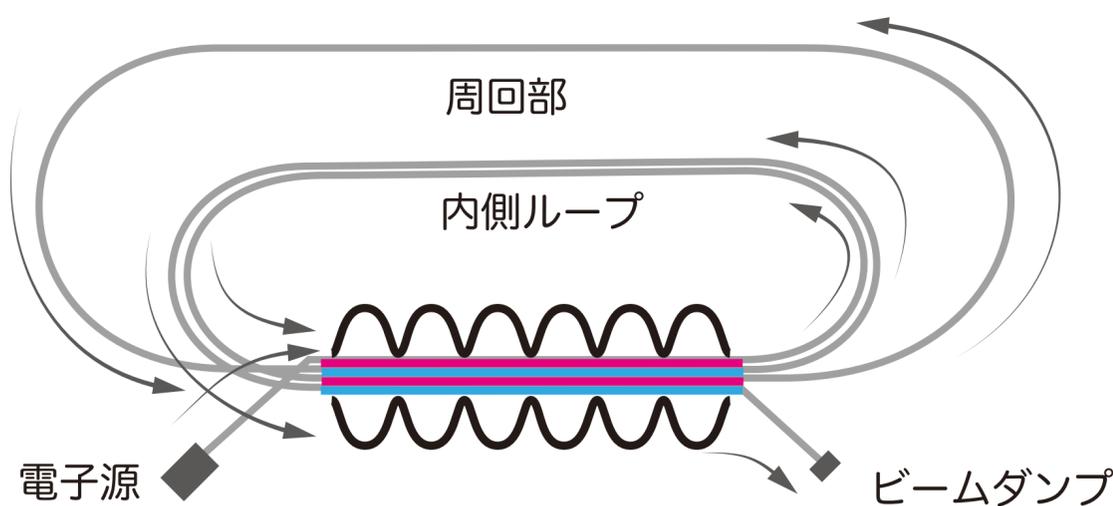
多段型



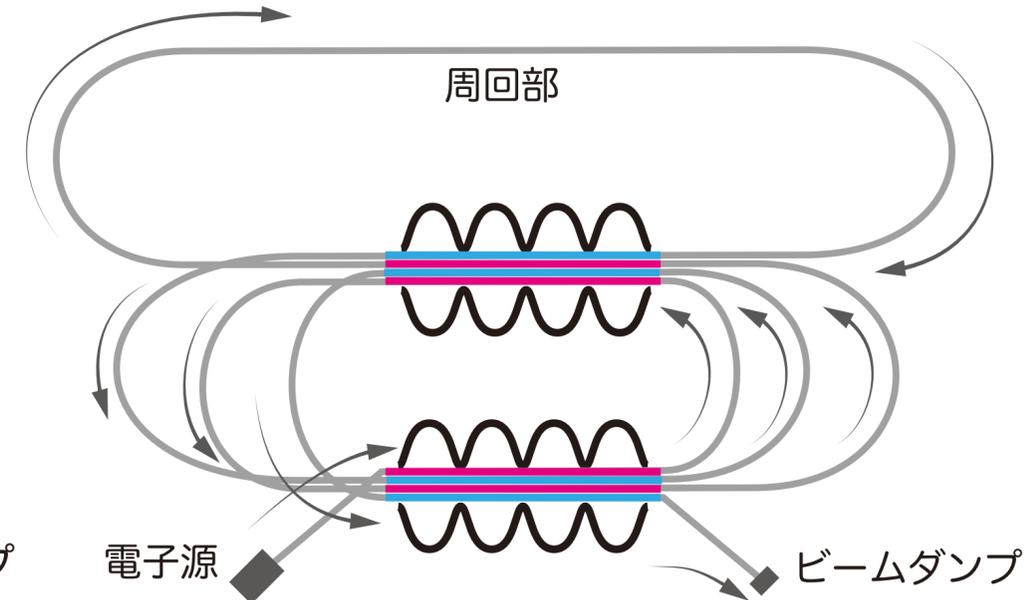
往復型



複数回加速型 (共通アーク)

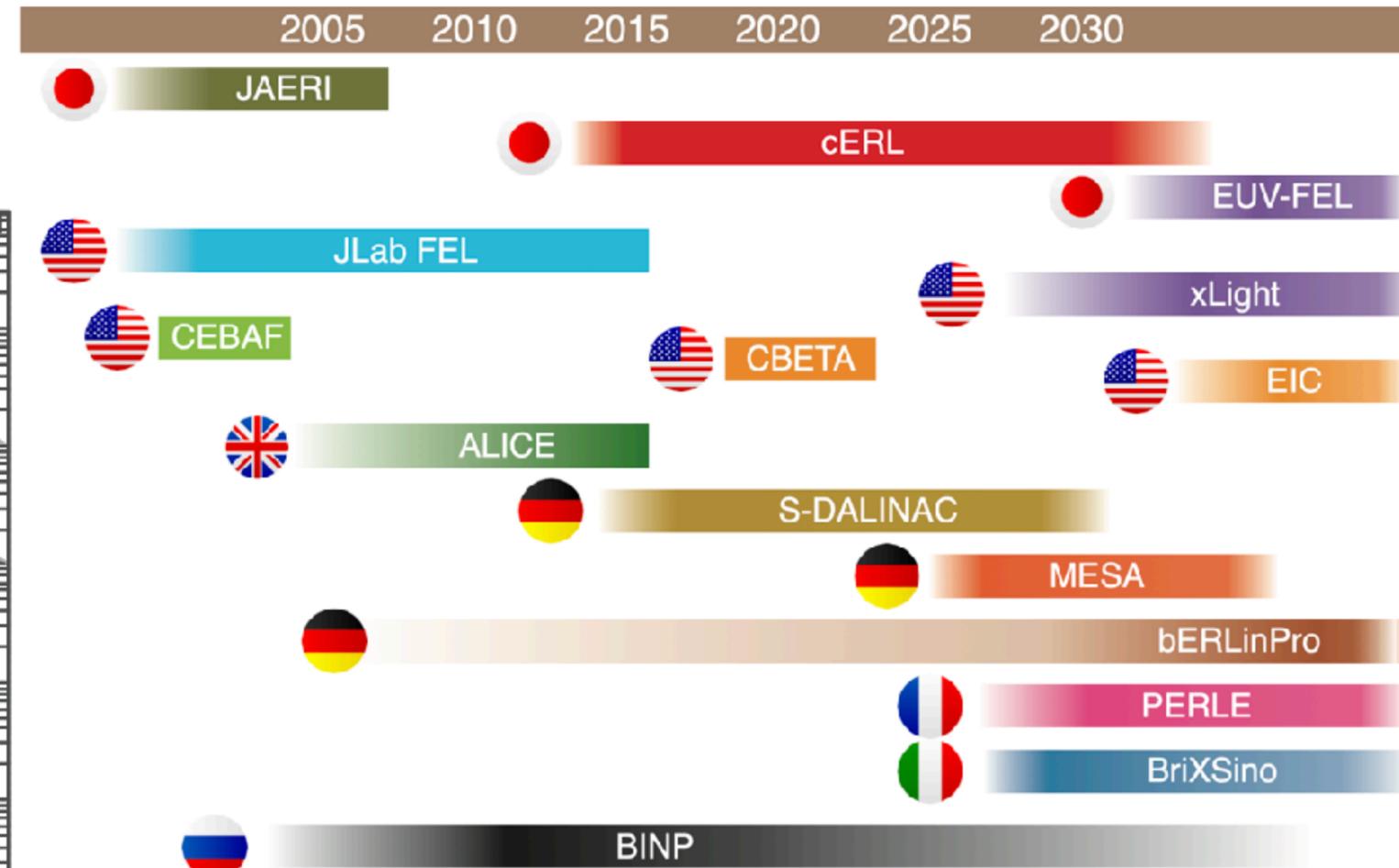
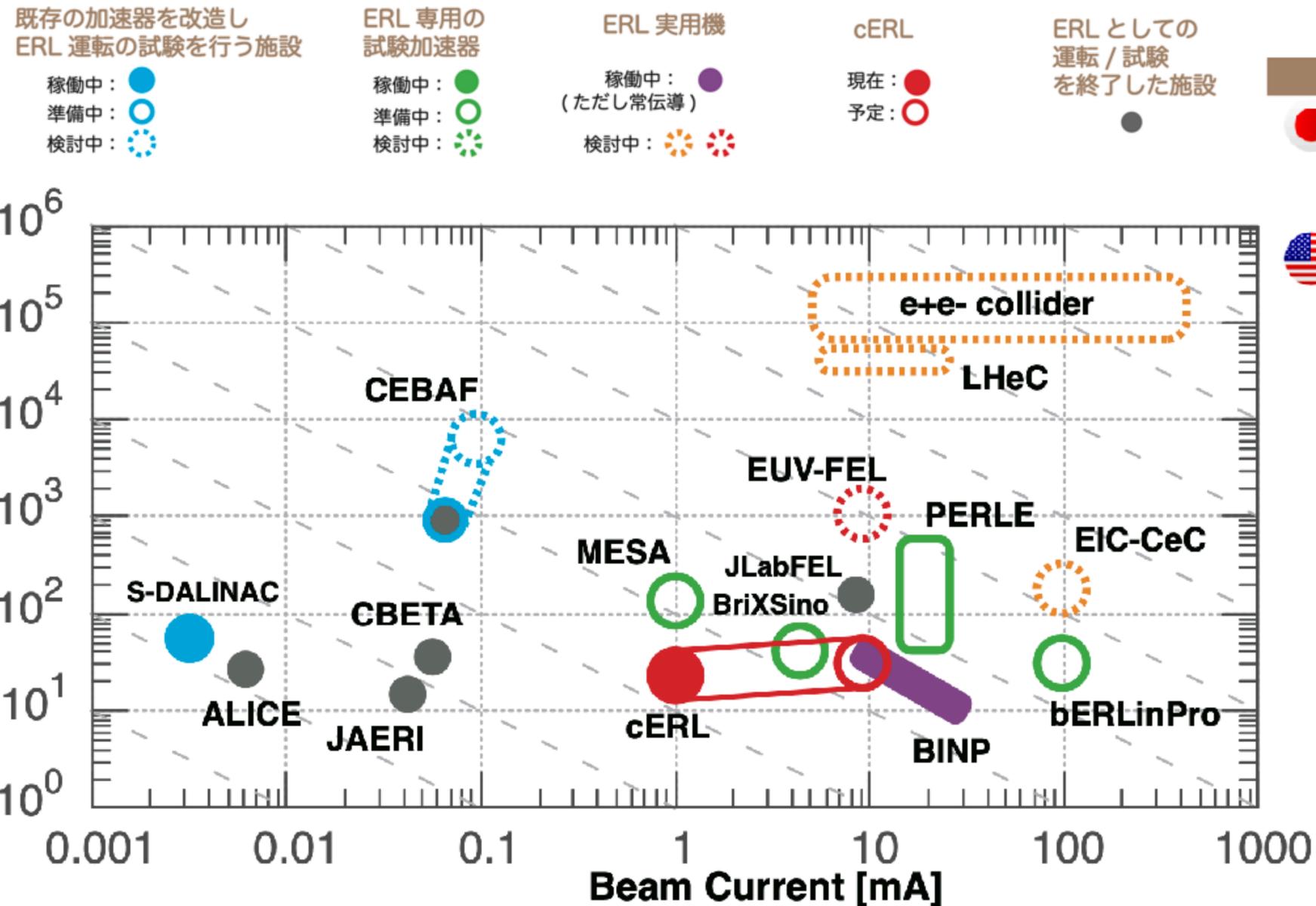


複数回加速型 (独立アーク)



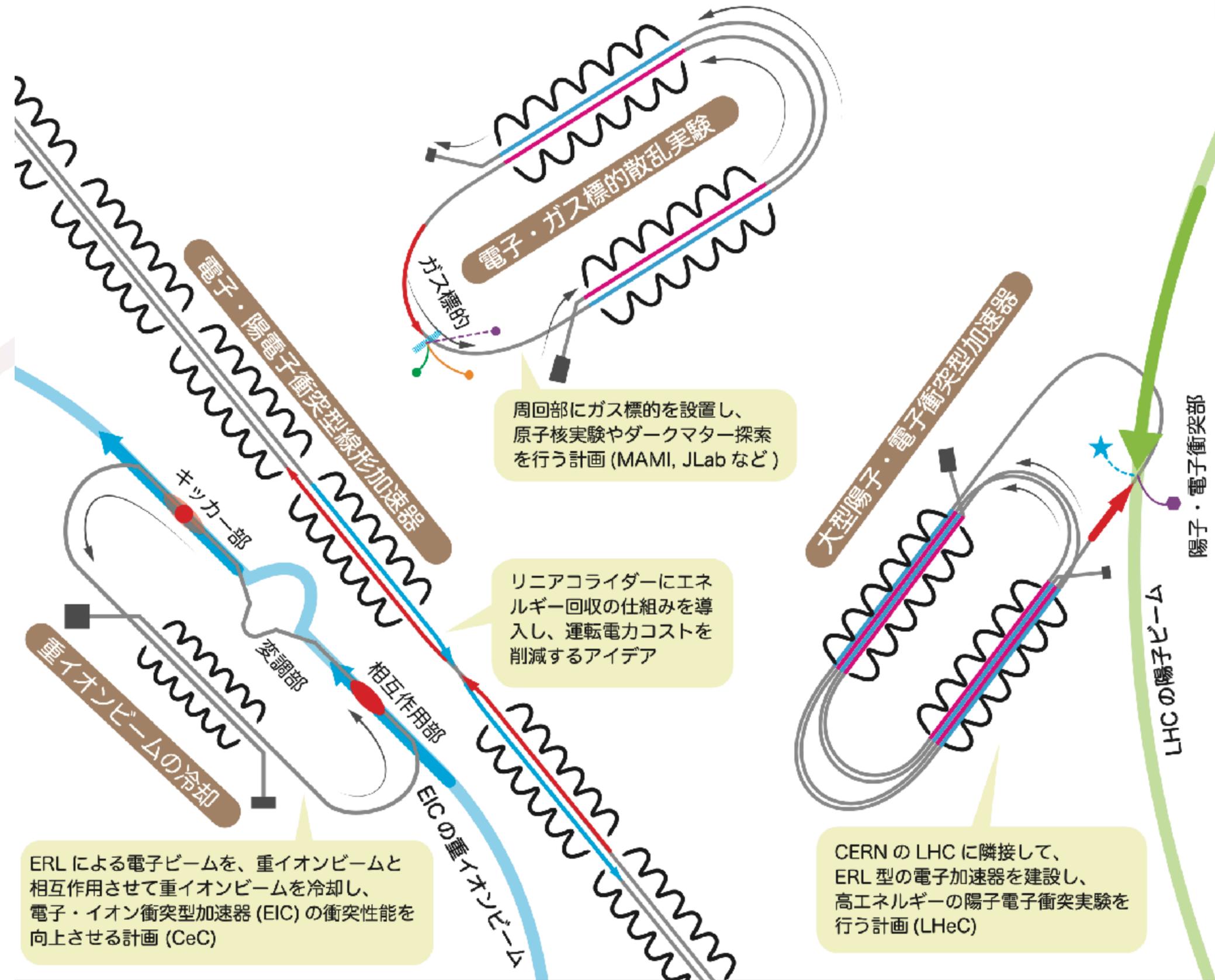
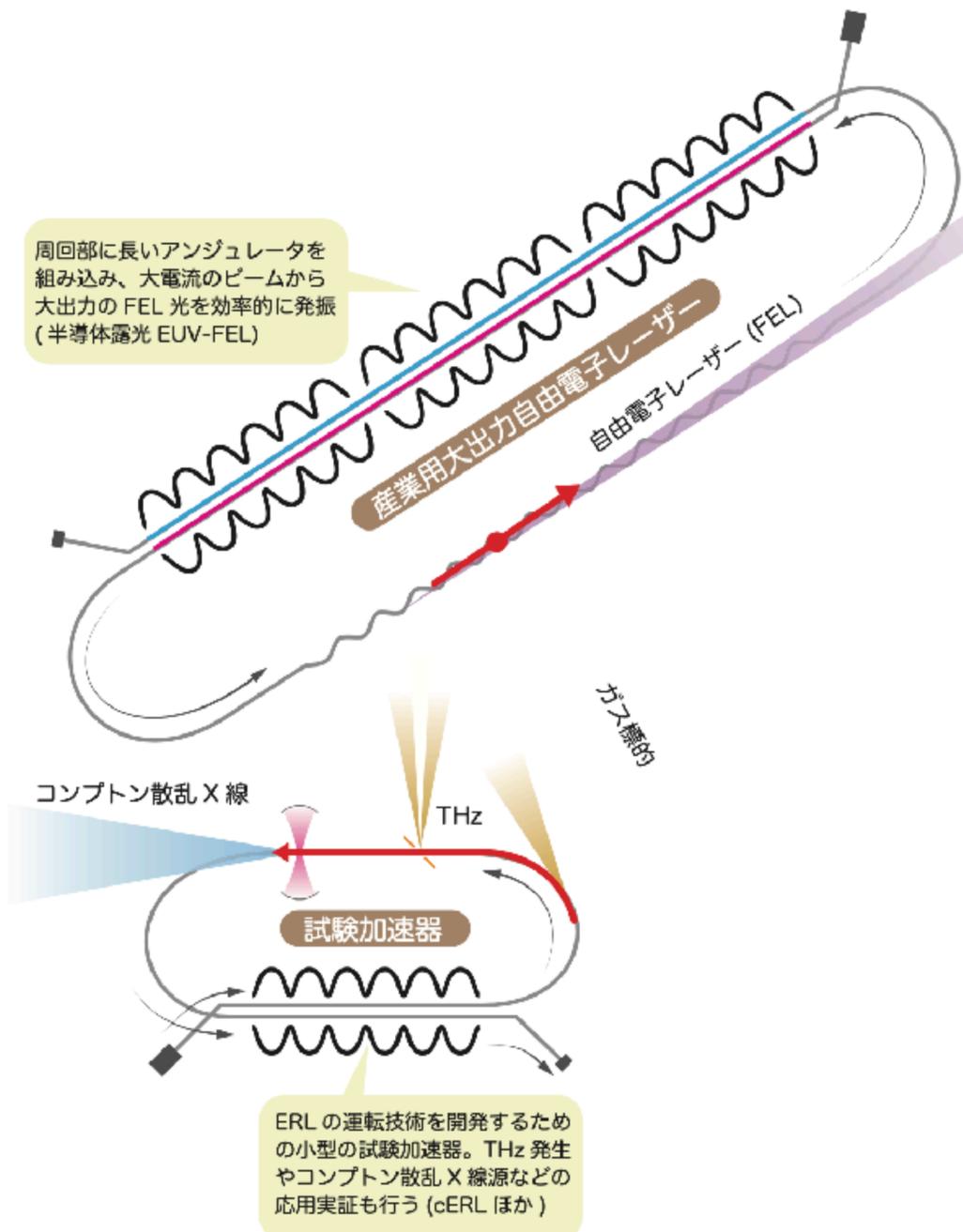
世界のERL

- 現時点でcERLは稼働中の最も運転経験のあるERL試験施設
 - 運転期間中は運転に参加したいという国外の研究者も多い



世界のERL

- ERL業界としては、放射光よりも粒子実験が多数派

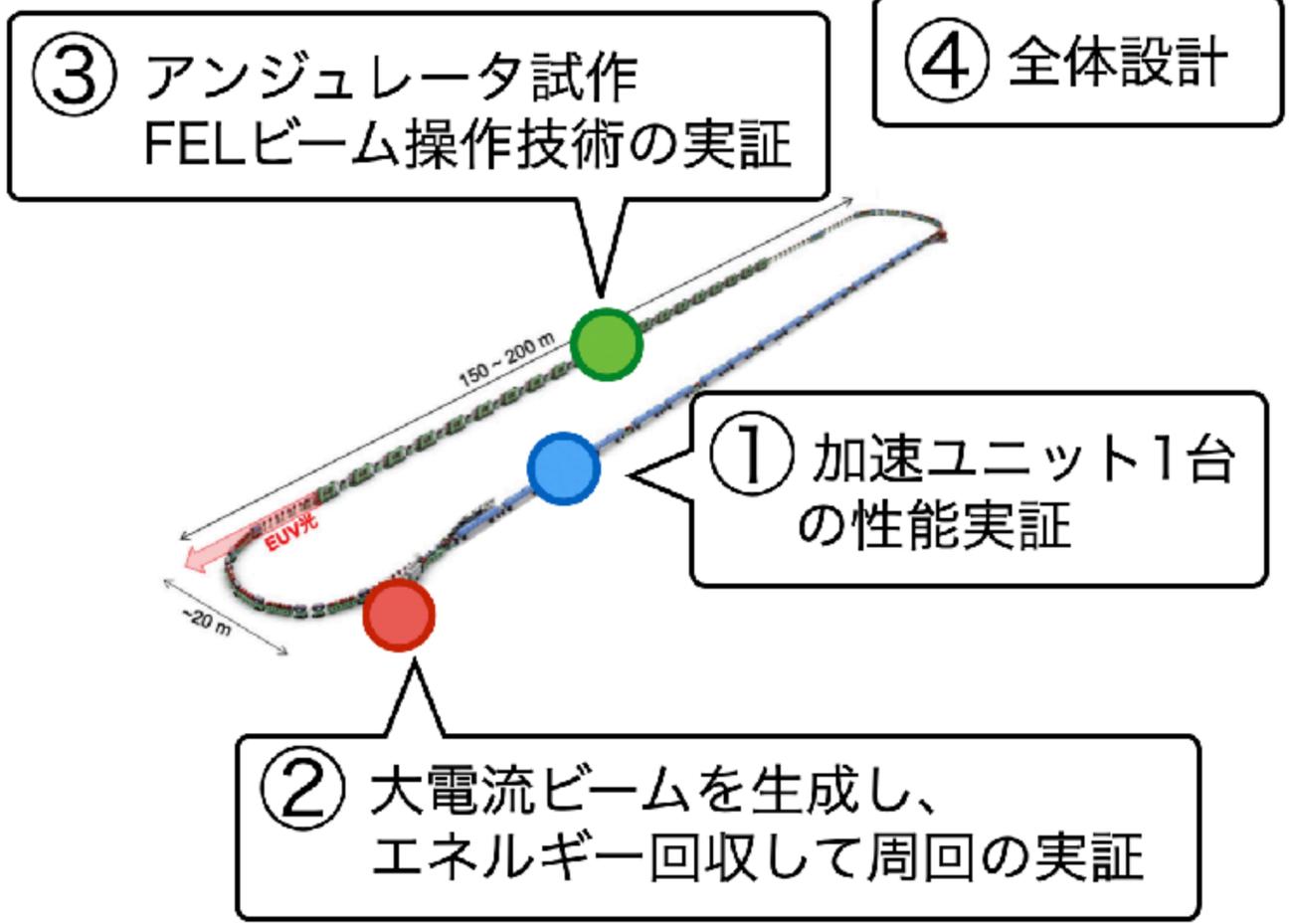


開発計画

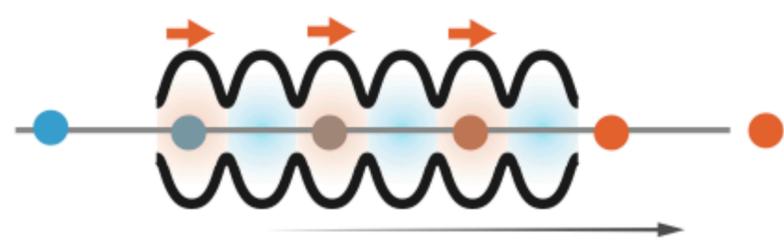
- Kプログラムで要素技術開発を開始

5年間の要素技術開発

- EUVプロトタイプ機の建設を始める前に、技術的ハードルの高い要素技術の開発を済ませる。

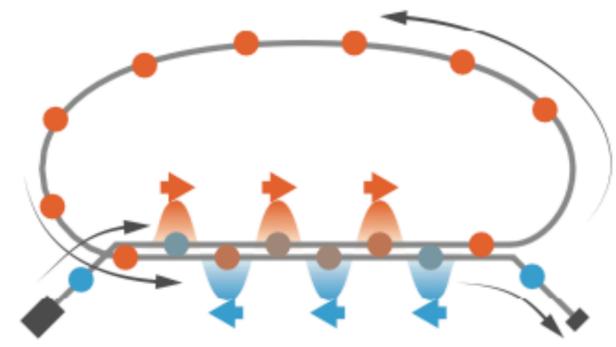


1. 高効率ビーム加速技術



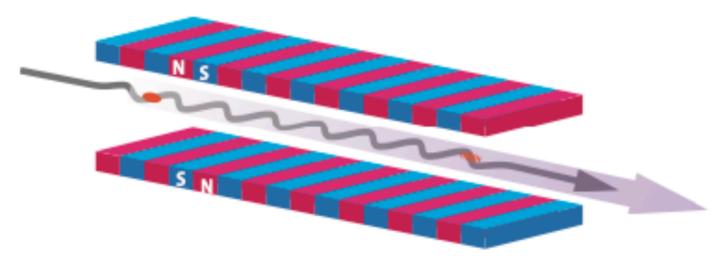
大パワービームを加速できる超伝導加速空洞を開発します。

2. 大電流ビーム周回技術



エネルギー回収型線形加速器の運転技術を開発します。

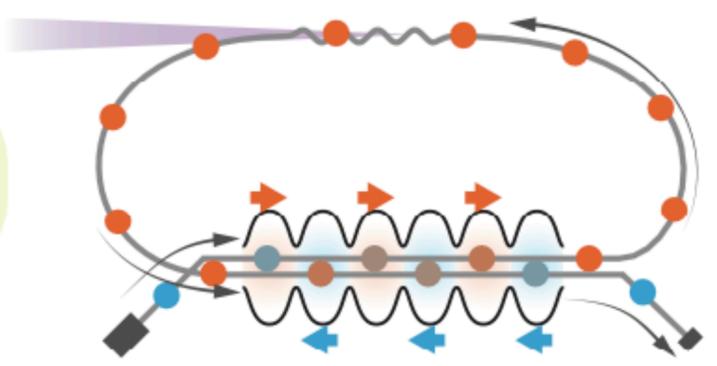
3. FEL 発技術



EUV 光を発生するアンジュレータと、FEL 発振のためのビーム調整技術を開発します。

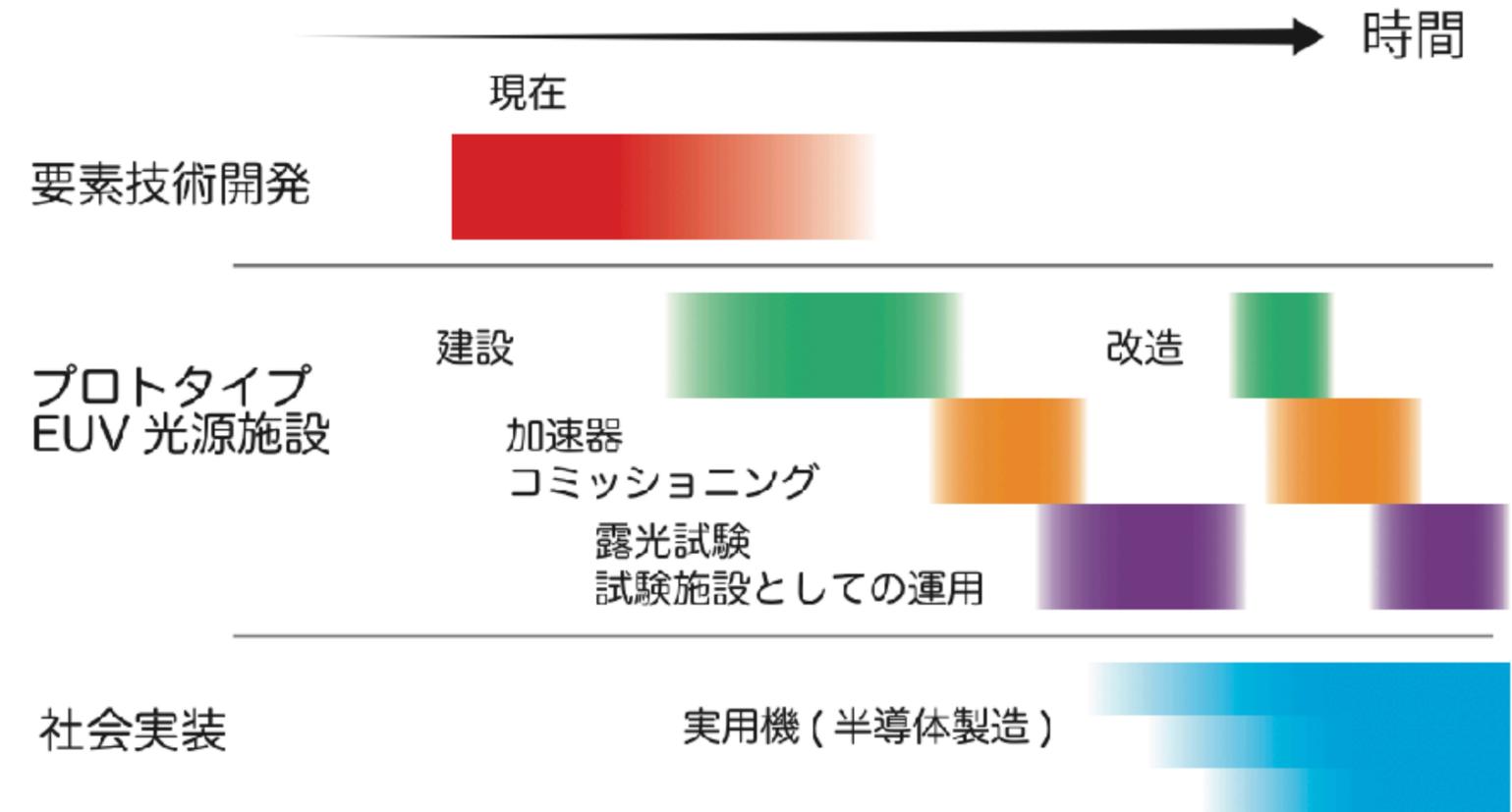
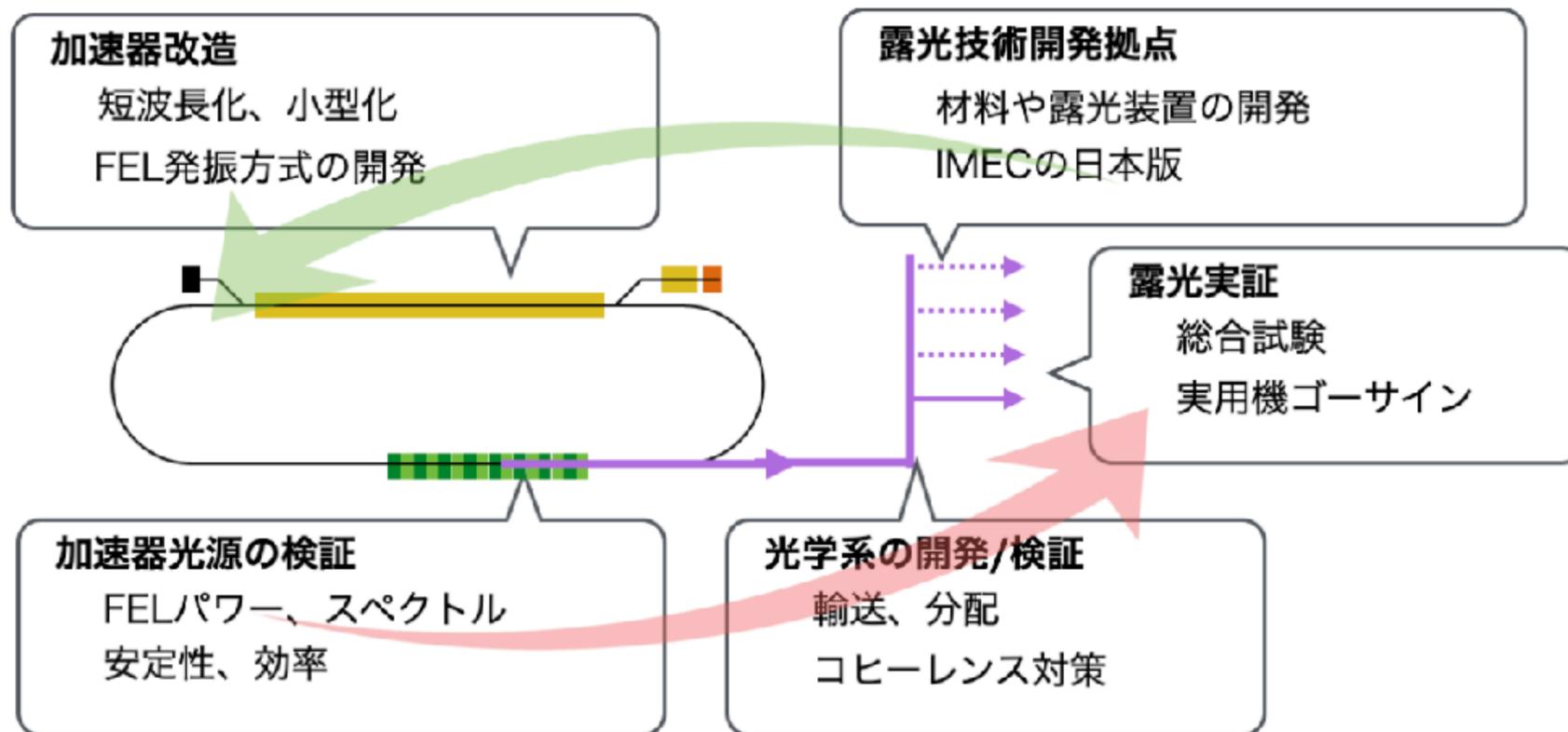
4. 全体設計

上記の技術開発を踏まえてプロトタイプ ERL 型 FEL 光源の設計検討を進めます。



本研究後に想定する展開

- EUVプロトタイプ機の建設を開始できる状態になる。(予算獲得、母体となる体制次第)
- プロトタイプ機: EUV光を出して露光実証と、光源および露光技術の様々な開発をする拠点となる。
- 製造を行う実機はその次。



若手公募

・Kプログラムの特任助教の公募

公募番号 加速器 25-9

1. 公募職種及び人員

特任助教 若干名 (任期:単年度契約で最長 2030 年 3 月まで)

本機構の教員の職名は、教授、准教授、講師、研究機関講師及び助教であるが、機構の性格から、大学における講座制とは異なる運営が行われる。また、本機構の教員の定年は63歳である。

※契約の更新は次により判断する。

(1)勤務成績、勤務態度 (2)労働者の能力 (3)契約期間満了時の業務量 (4)従事している業務の必要性 (5)予算状況

2. 研究(職務)内容

加速器研究施設に属し、経済安全保障重要技術育成プログラム(K-Program)「次世代半導体微細加工プロセス技術」における「革新的な次世代 EUV 露光用光源の実現を目指した自由電子レーザーの基盤技術開発(代表:本田洋介)」に関する特任助教として、超伝導高周波空洞の高周波技術等に関する開発研究、電子ビーム源やエネルギー回収型線形加速器におけるビームダイナミクスおよび加速器制御等に関する開発研究、のいずれかに従事する。勤務地はつくばキャンパスである。

- これまでの研究分野は問わない
- 公募締め切り: 2026.2.17
- 着任: 採用決定後できるだけ早い時期

まとめ

- ERL型FELは次世代半導体露光のEUV光源の候補
- KEKではその要素技術開発をはじめめています。
- 加速器をやると、エネルギー保存側や運動方程式で遊べます。

