



アト秒パルス、テラヘルツ光等 新しい光

理化学研究所

緑川レーザー物理工学研究室 主任研究員
エクストリームフォトンクス研究推進グループリーダー

緑川 克美 kmidori@riken.jp

Tel:048-467-9492

第4回光資源委員会

平成19年4月24日

科学技術の地平を切り開く新しい光技術



1990s~



Leeuwenhoek
Microscope
(circa late 1600s)



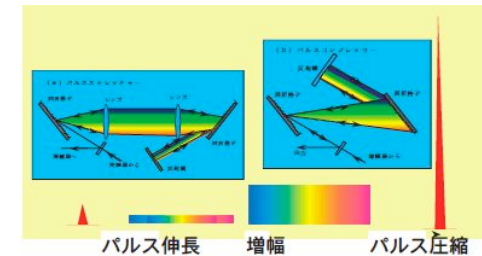
Telescope
(Hans Lippershery
1608)



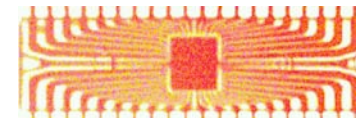
Historische Aufnahme
einer Hand mit Ring
(Röntgen, 23. Januar
1896)



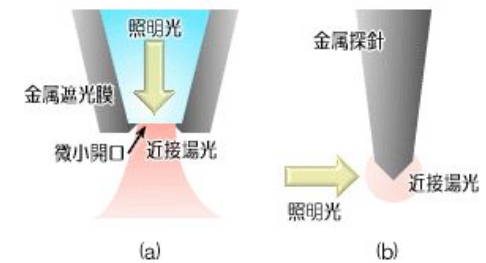
The first laser
(T. Maiman, 16
May 1960)



フェムト秒レーザー



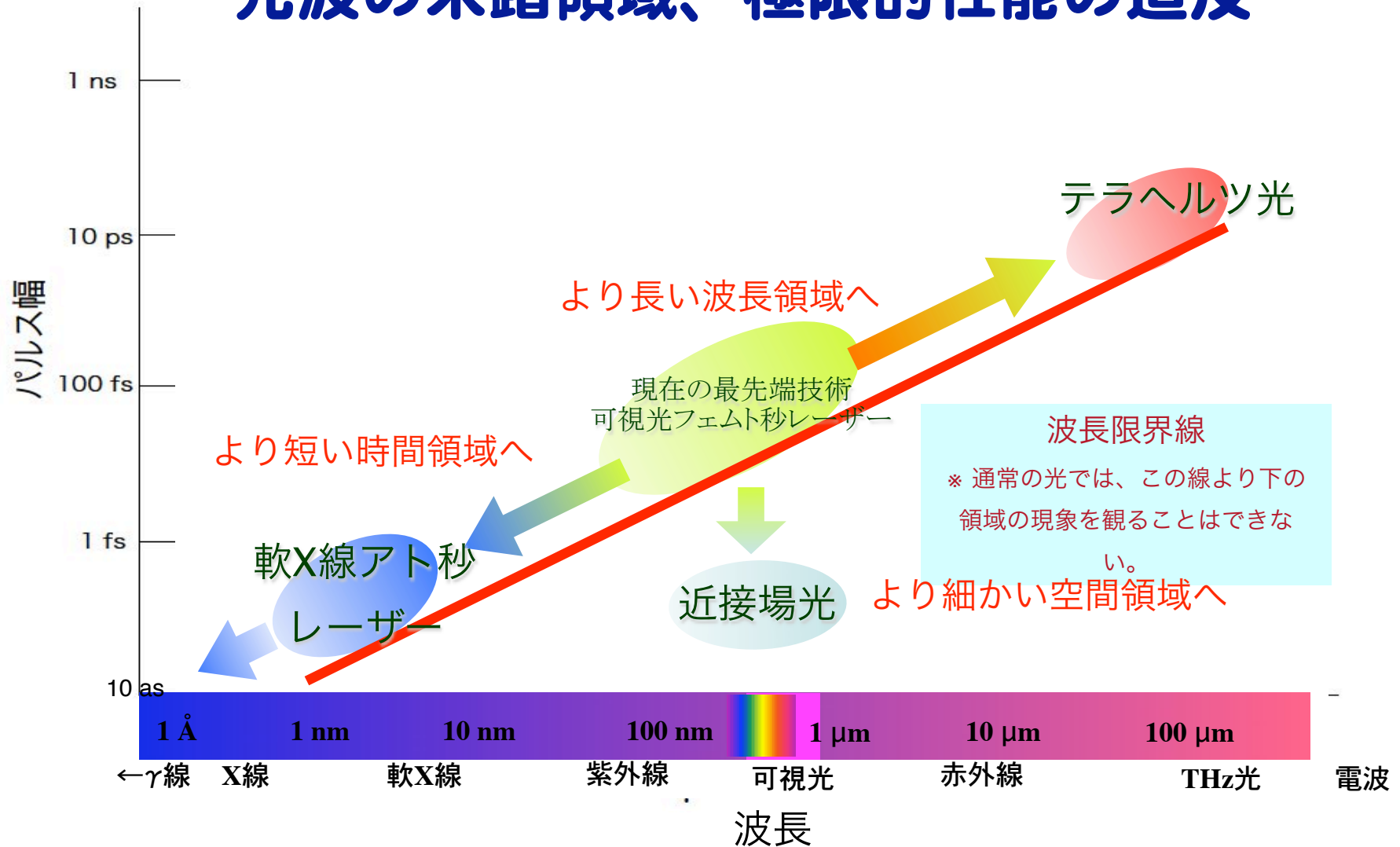
テラヘルツ光



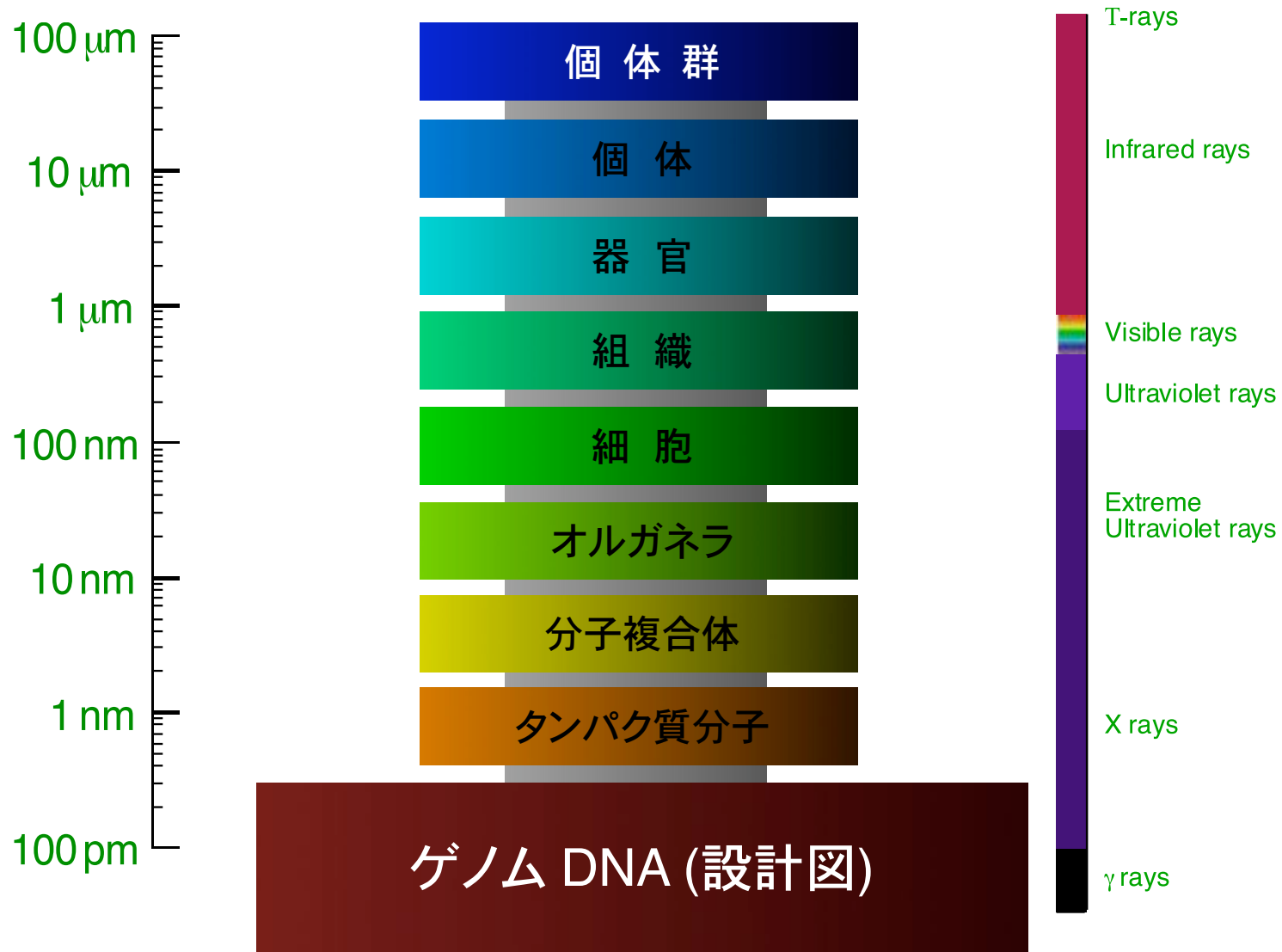
近接場光



エクストリームフォトンクス —光波の未踏領域、極限的性能の追及—

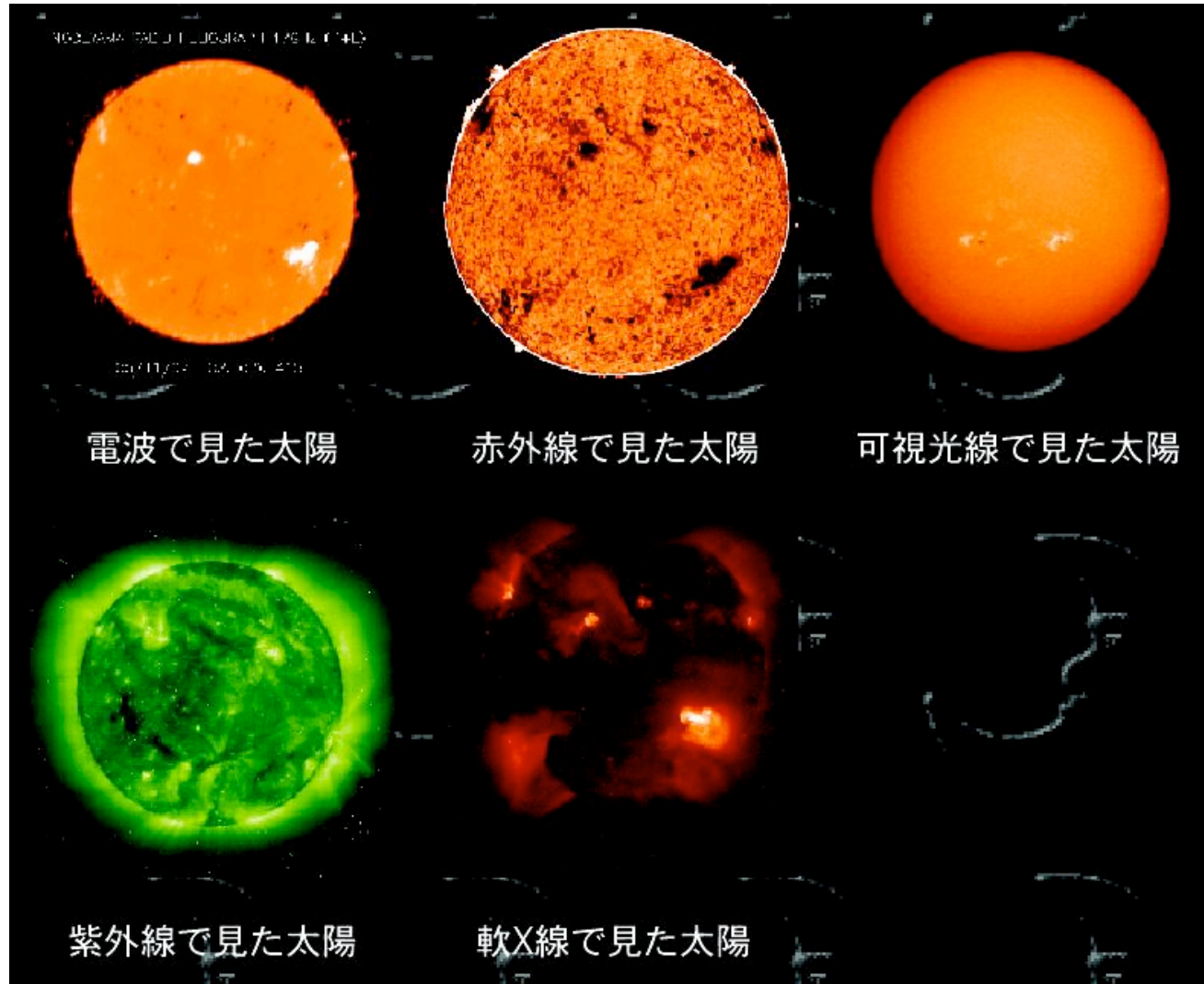


生体組織の階層とサイズに対応する光波



Scale

波長により異なる太陽の姿



Extreme Photonics

エクストリームフォトンクス

Tera Photonics (テラヘルツ光)

Nano Photonics (近接場光)

Atto Photonics (アト秒軟X線)

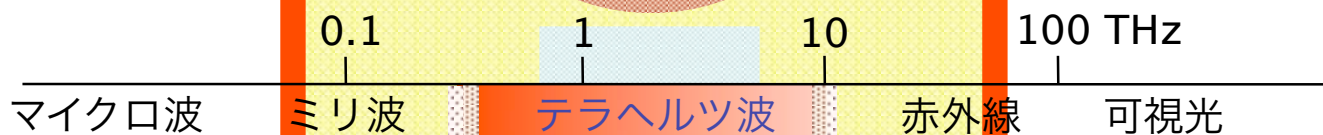
toward Bio Photonics Application

THz-wave

電波の透過性を有する最短波長域

光波の扱い易さを有する最長波長域

透過性
取り回し易さ
空間分解能
被曝なし



- 半導体・プラスチック・セラミックス・紙・ゴム・ビニル・木材・繊維・乾燥食品・氷・粉体・試薬・錠剤・歯・骨・脂肪などを透過
- 多くの試薬類にテラヘルツ帯指紋スペクトル

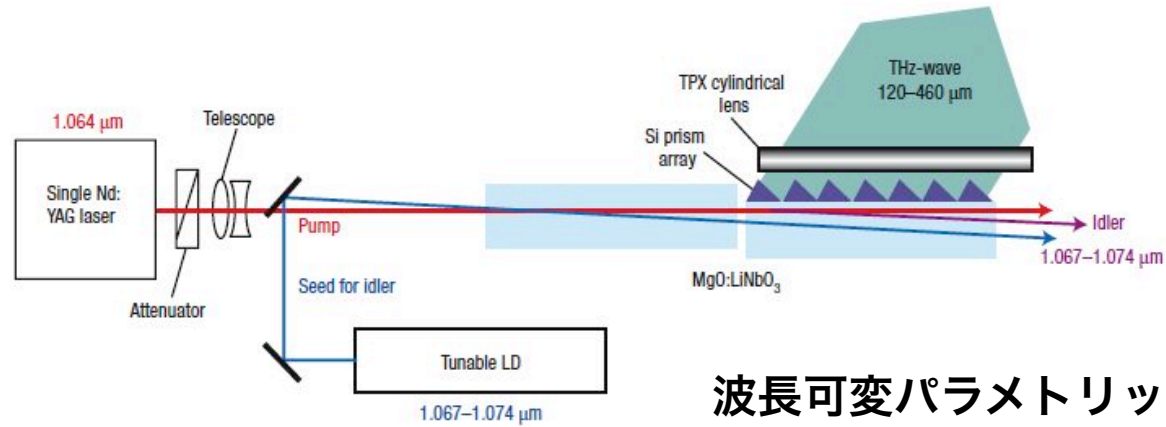
工業応用

医学応用

犯罪防止

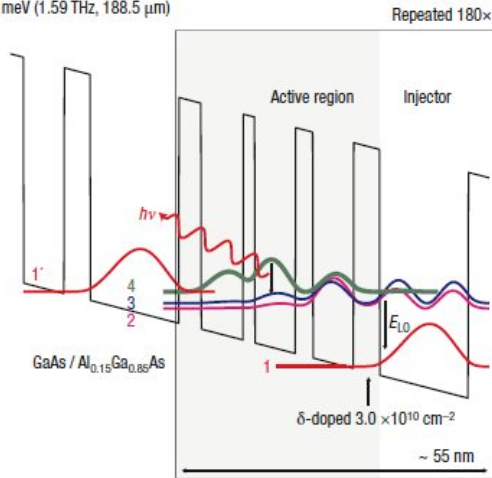
農学応用

各種テラヘルツ光源

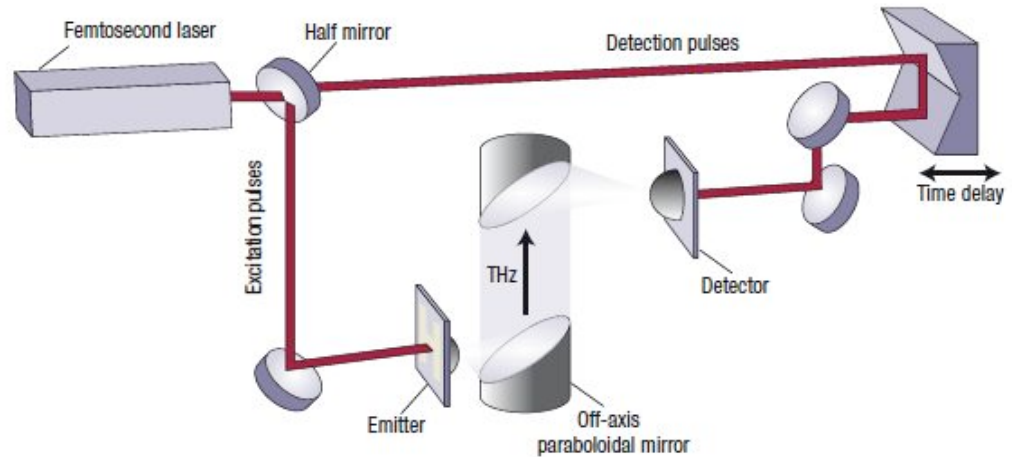


波長可変パラメトリック光源

44 mV per module (7.8 kV cm⁻¹)
 $h\nu = 6.58 \text{ meV}$ (1.59 THz, 188.5 μm)

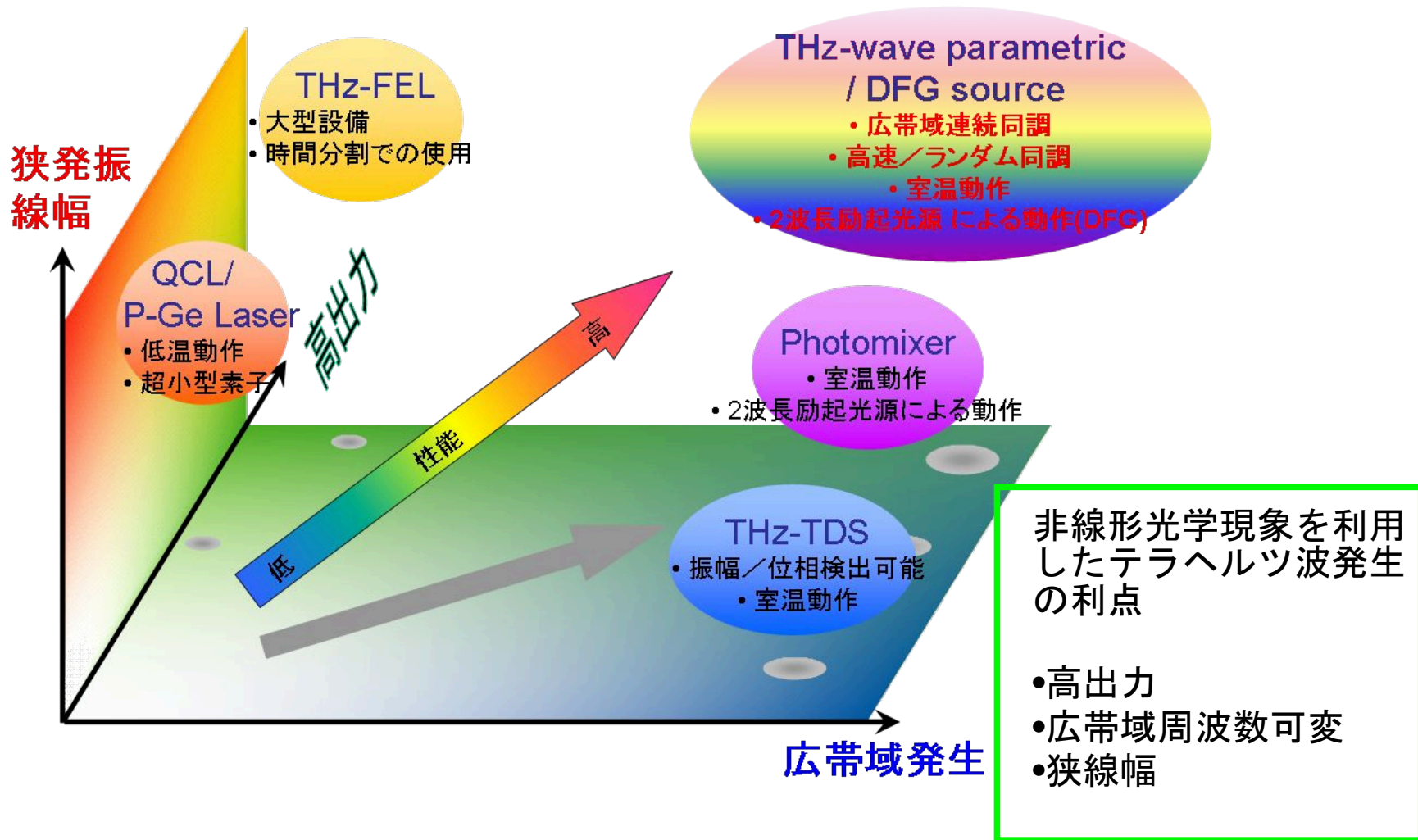


狭帯域量子カスケードレーザー



フェムト秒レーザー励起広帯域光源

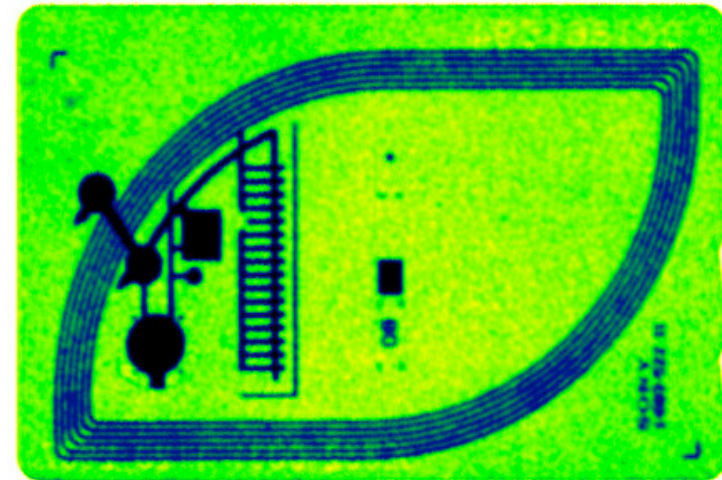
各種コヒーレントテラヘルツ光源と 期待される性能



テラヘルツ波の物質透過性と空間分解能



鉄道用ICカード



Dobroiu *et al.*, *Applied Optics* 43, 5367 (2004)

周波数 : 0.6 THz (波長0.5mm)

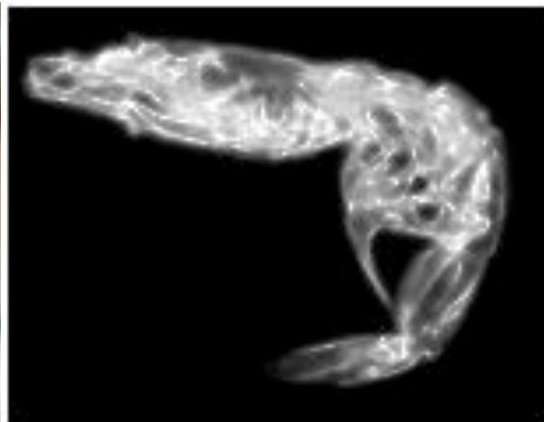
画像サイズ : 90mm × 60mm

空間分解能 : 0.5 mm

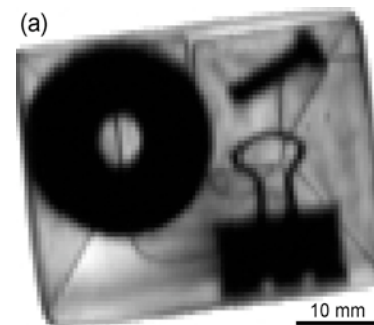
テラヘルツ波は、プラスチック、衣服、紙、ゴム、ビニール、木材、セラミック、半導体、コンクリート、油、歯、骨、乾燥食品などを透過

テラヘルツイメージング

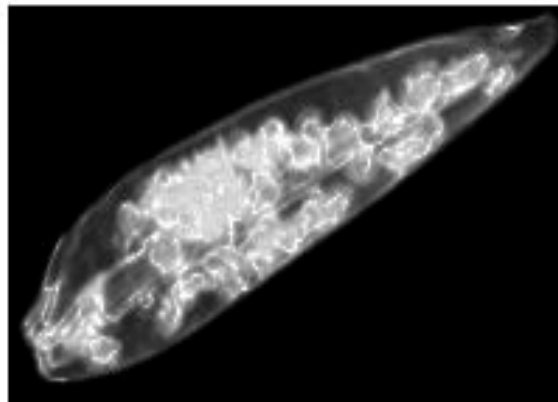
さくらえび



紙箱の中の五円玉、
ネジ、クリップ



赤とうがらし



可視光のイメージ

THz波イメージ

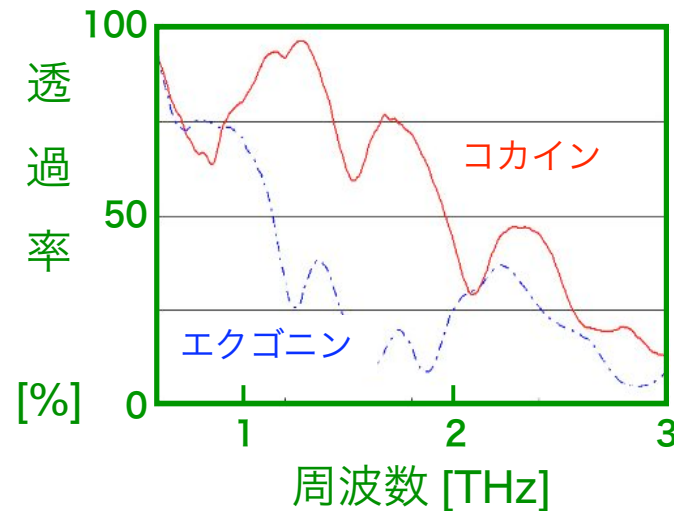
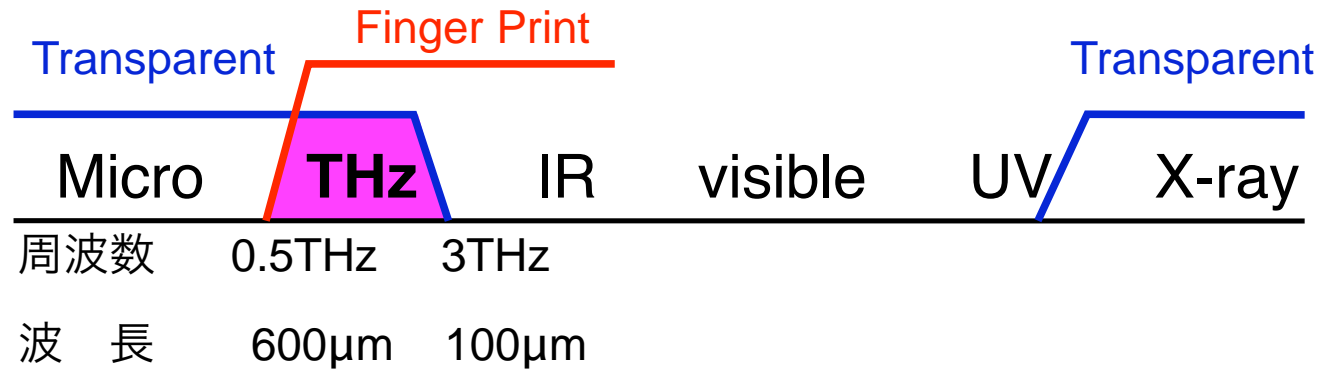


葉

指紋スペクトルによる物質同定

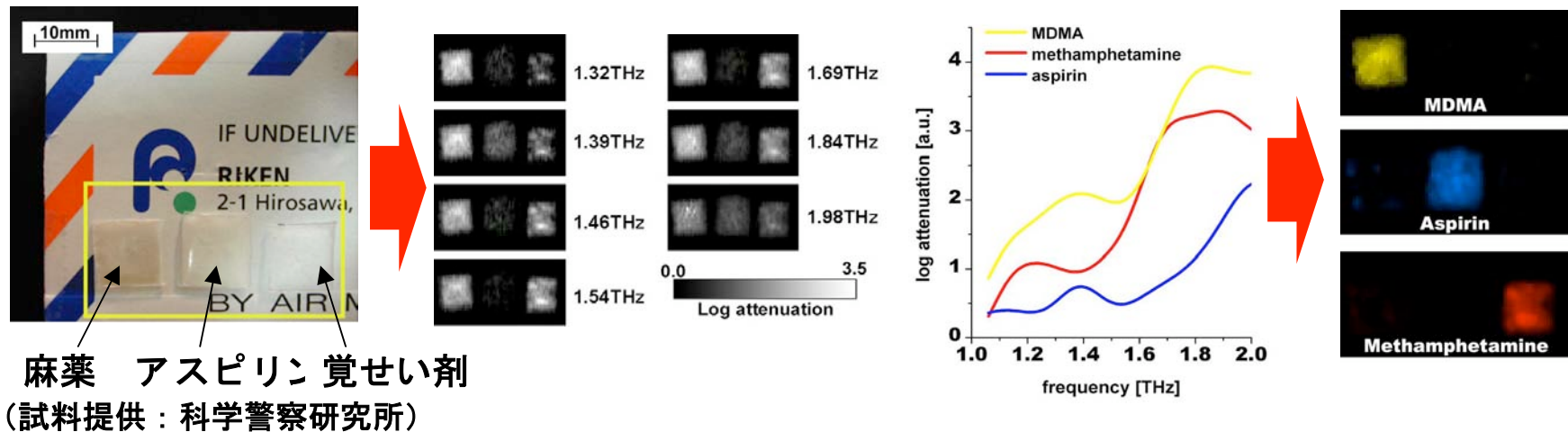
多くの指紋スペクトルがテラヘルツ帯に存在

多くの物質が 3 THz以下の領域で透明



封筒中の禁止薬物の非破壊検出

現在わが国で最も乱用されている覚せい剤メタンフェタミン（通称ヒロポン）、および世界的に乱用が拡大している合成麻薬MDMA（dl-メチレンジオキシメタンフェタミン、通称エクスタシー）、および比較対照としてのアスピリンの3種。

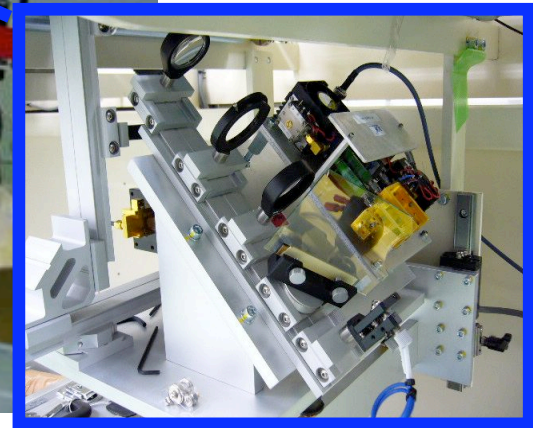


世界で初めて、郵便物中の試薬の非破壊検出・同定に成功

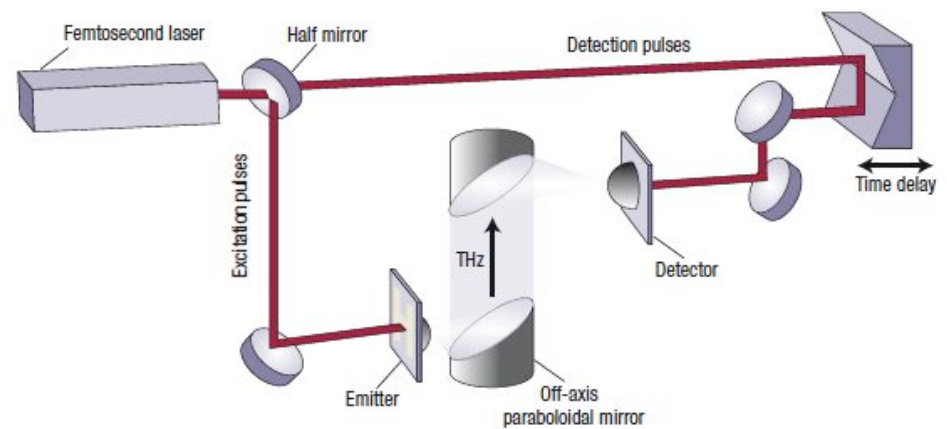
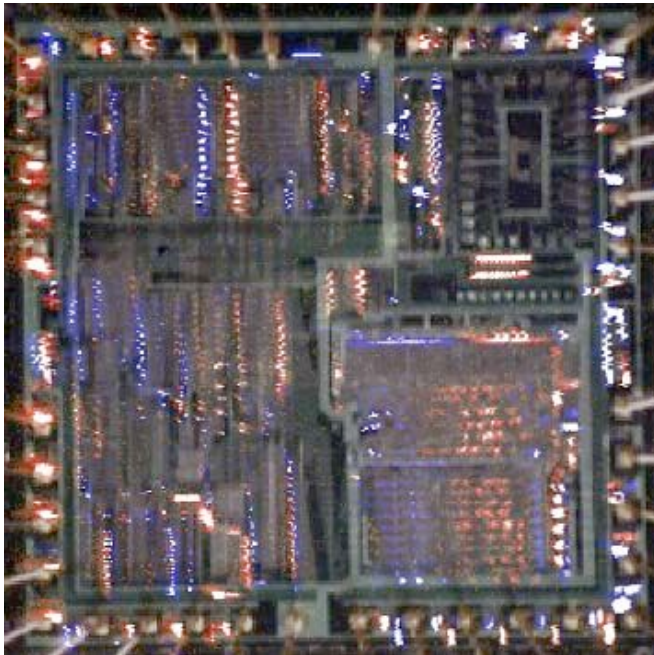
封筒スクリーニング装置



スクリーニング光学系



レーザーテラヘルツ放射顕微鏡



- LSIチップの断線やpn接合の欠陥の診断
- バイオチップの蛍光ラベルフリー診断

超伝導検出器アレイの開発

直接検出型超伝導検出器

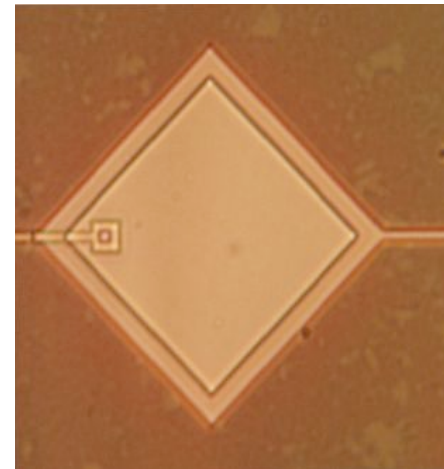


高感度、バンド型、アレイ化
($\nu < 0.7$ THz)



計測時間の短縮、汎用性

基板吸収型超伝導検出器



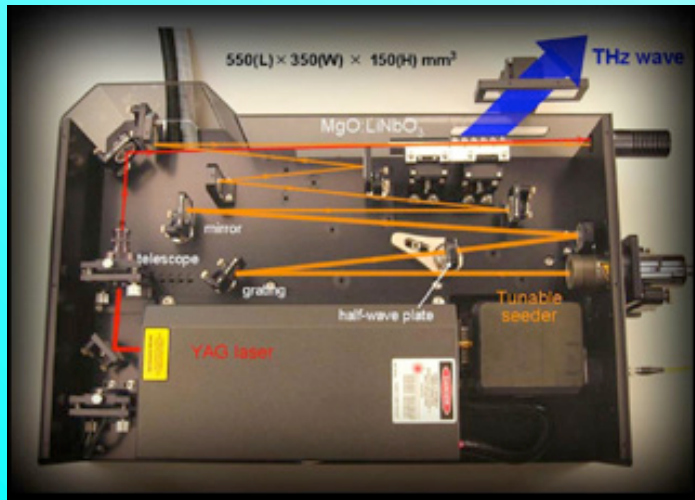
広帯域、高速応答、大面積
($\nu > 0.7$ THz)



吸収スペクトルの利用

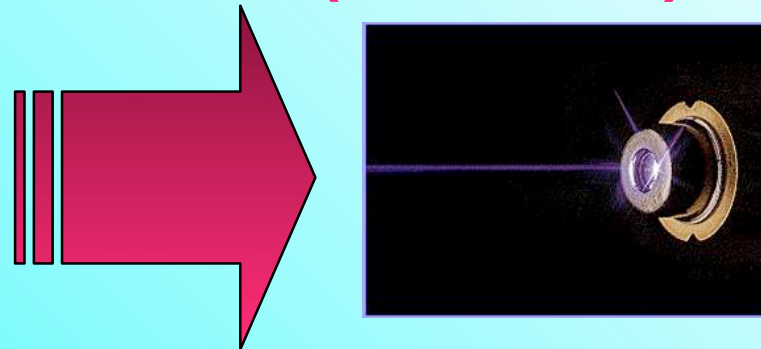
THz量子カスケードレーザ (QCL) の利点

THzパラメトリック発振器 (0.65~3THz)



- ×サイズ大： ~50×30 cm
- ×寿命： ~1000Hour
- ×高価
- ×パルス動作
- 波長可変が容易

THz量子カスケードレーザ (THz-QCL) (2~3.5THz)



(利点)

- サイズ小： ~0.3×0.3×1mm
- 高出力： 10W (アレー), ~100W(スタック)
- 狭線幅 (~10KHz)
- 長寿命： >10000時
- メンテナンスフリー
- ローコスト
- CW動作

アト秒パルスの発生と計測

赤外

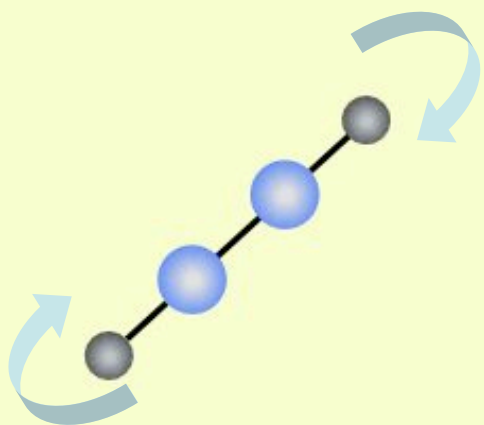
可視

紫外

軟X線

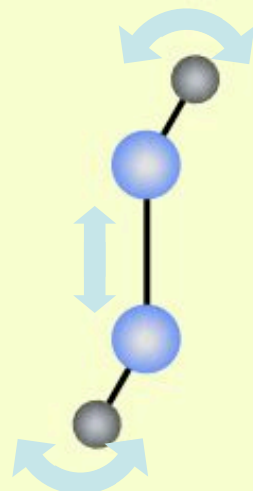


分子の回転運動



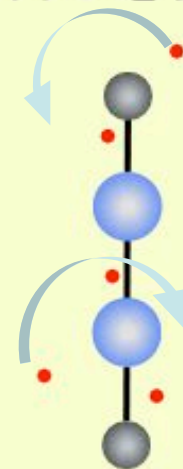
ピコ秒(一兆分の一秒)

分子の振動運動



フェムト秒(千兆分の一秒)

分子内の電子運動



アト秒(百京分の一秒)

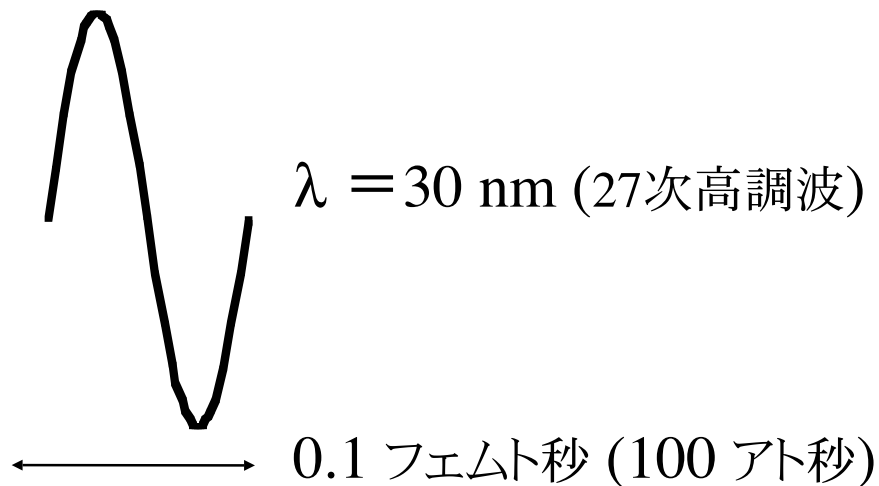
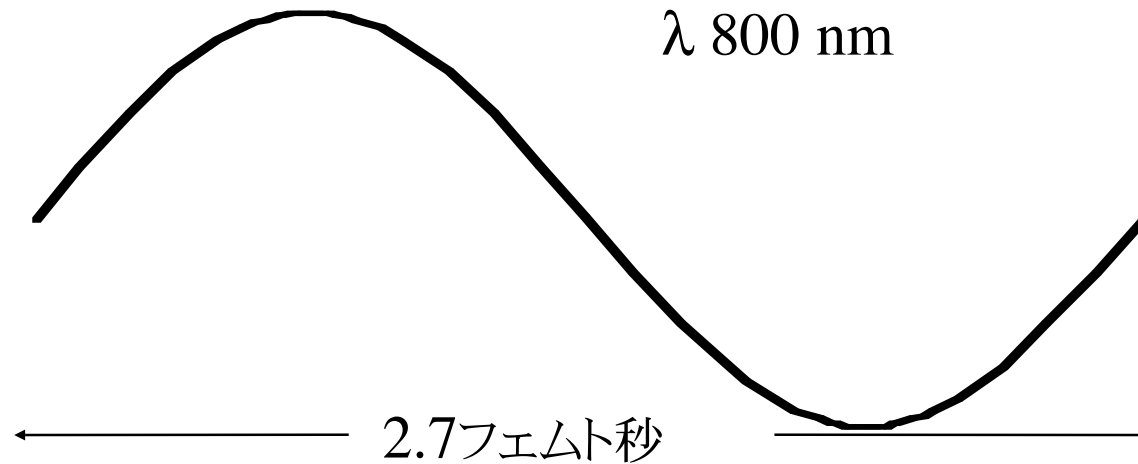
1990年

2000年

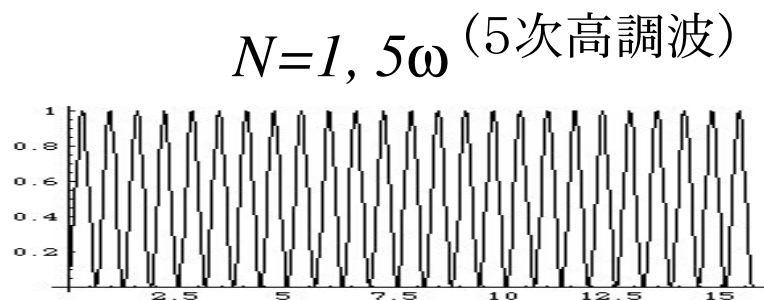
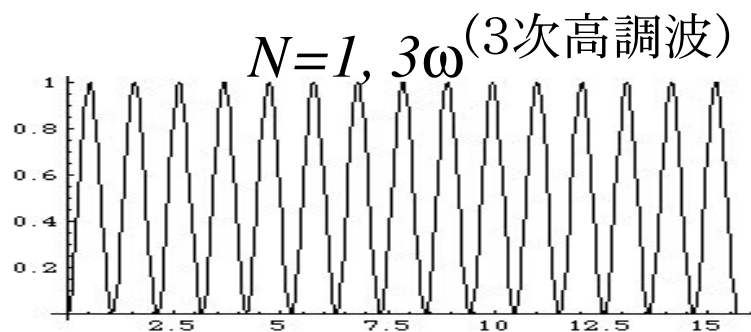
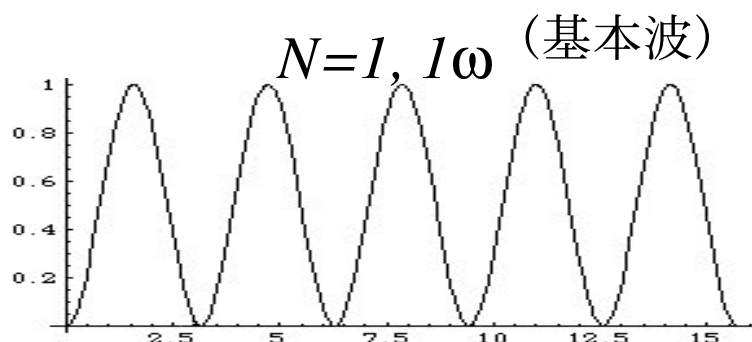
2010年

アト秒軟X線による電子運動のイメージング

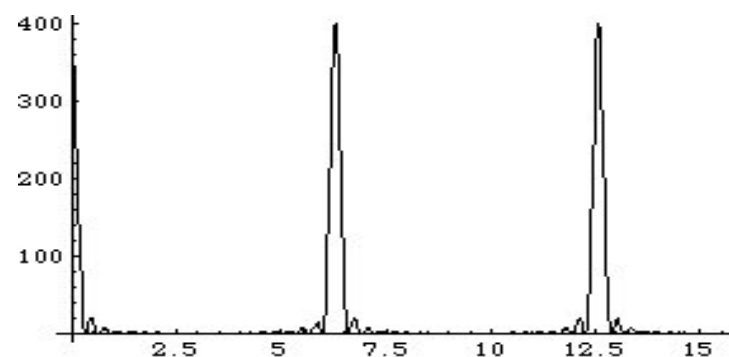
波長が短いほど時間的に短いパルスが生成可能
—波長と時間の関係—



高調波のフーリエ合成による短パルスの生成



$N=20, \phi=const$



不確定性原理

$$\Delta\nu\Delta\tau \approx 1$$

$$\Delta\tau \approx 1/\Delta\nu$$

$\Delta\tau$: パルス幅 (100 アト秒)

$\Delta\nu$: 周波数帯域 (10000 THz)