

Nov. 27, 2009

先端計測分析技術・機器開発小委員会

固体レーザーの最前線

- 計測分析に変革をもたらすレーザー -

平等 拓範

Takunori TAIRA

taira@ims.ac.jp

自然科学研究機構分子科学研究所

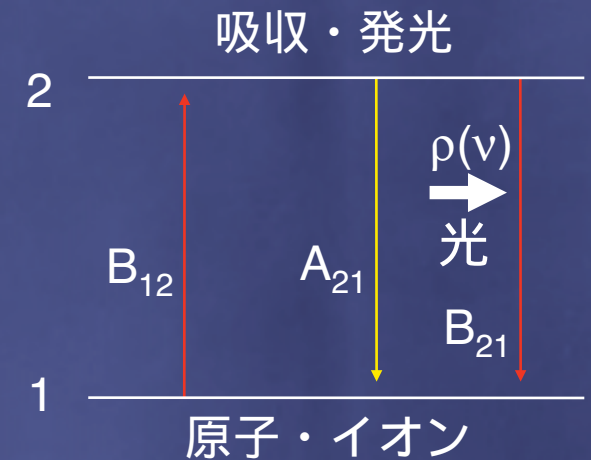
Institute for Molecular Science

発表の概要

- はじめに
 - レーザー開発の歴史 / 国際的競争力の観点からの必要性
- レーザー技術の現状と課題
 - 波長とその他機能項目による全体的整理
- レーザーの応用例と技術課題
 - 分析応用を中心に (MALDI, レーザーとイオンビーム)
- 未解決の課題と公募提案
 - まとめに代えて

はじめに

レーザー開発の歴史



- 1916年 A. Einstein

- » 誘導放出の概念の提案

- 1954年 C. H. Townes

- » MASER (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) の発明

- 1958年 C.H.Townes and A.C. Schawlow

- » より短波長の赤外や光波の領域でメーザー発振の可能性を指摘
広い波長域で高コヒーレント光が利用可能となった。

- 1960年 T.H. Maiman

- » 固体のルビーを用いて最初のレーザー発振に成功
(LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)。

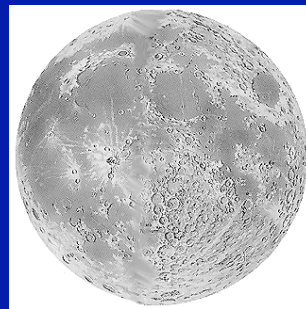
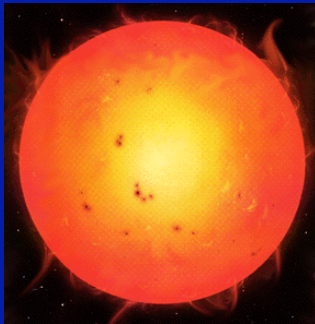
以降，気体や液体，半導体など種々の材料でレーザー発振が報告されるとともに，高輝度光によって可能となった非線形光学により紫外から赤外域にわたる広い波長域で高コヒーレント光が利用可能となった。



レーザー光の特長

● 自然光

- ▶ 方向，位相，波長がバラバラ
- ▶ 太陽光，月明かり，たき火，懐中電灯，蛍光灯など



● レーザー

- ▶ 方向，位相，波長が揃っている
- ▶ 指向性，単色性に優れ可干渉（コヒーレント）である
- ▶ 光強度（エネルギー密度）が高い，すなわち高輝度光，高輝度温度光である

光科学技術の位置づけ

基礎科学の研究対象

戦略科学技術分野の
キーテクノロジー

- ▶ 量子力学
- ▶ 電磁気学
- ▶ 熱統計力学

光科学技術

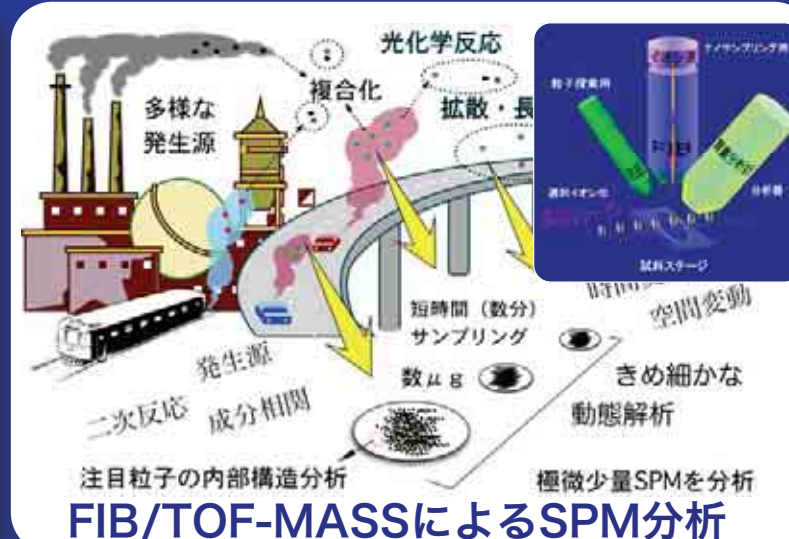
レーザー

- ▶ ライフサイエンス
- ▶ ナノテク・材料
- ▶ 環境・エネルギー

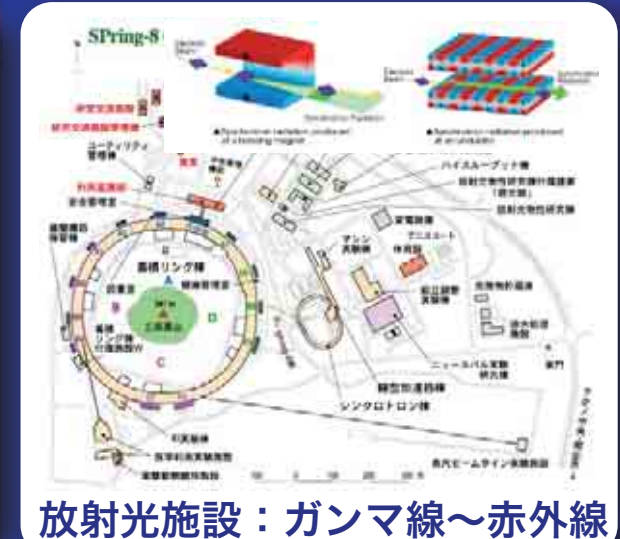
- 光技術は、光科学の理解の深化と拡大に伴って重要な社会基盤として普及・展開している
- 産業的に有用なツール、イノベーション創出の基盤である



MALDI/ソフトイオン化法



FIB/TOF-MASSによるSPM分析



放射光施設：ガンマ線～赤外線

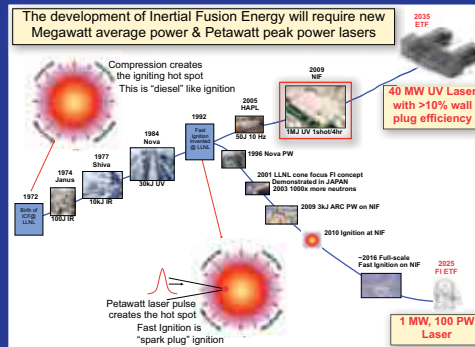
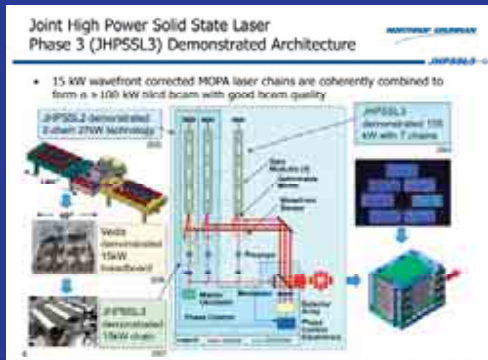
光科学技術 - 2009年のトピックス -

2009 – A Special year in Lasers

Jan - 105kw cw near diff limited Nd:YAG slab laser

Mar - NIF certified as completed - 4MJ IR laser

Apr – LCLS Coherent 8keV X-ray FEL Laser at SLAC



光科学技術で米欧に遅れていると言ってもビッグサイエンスでの話...

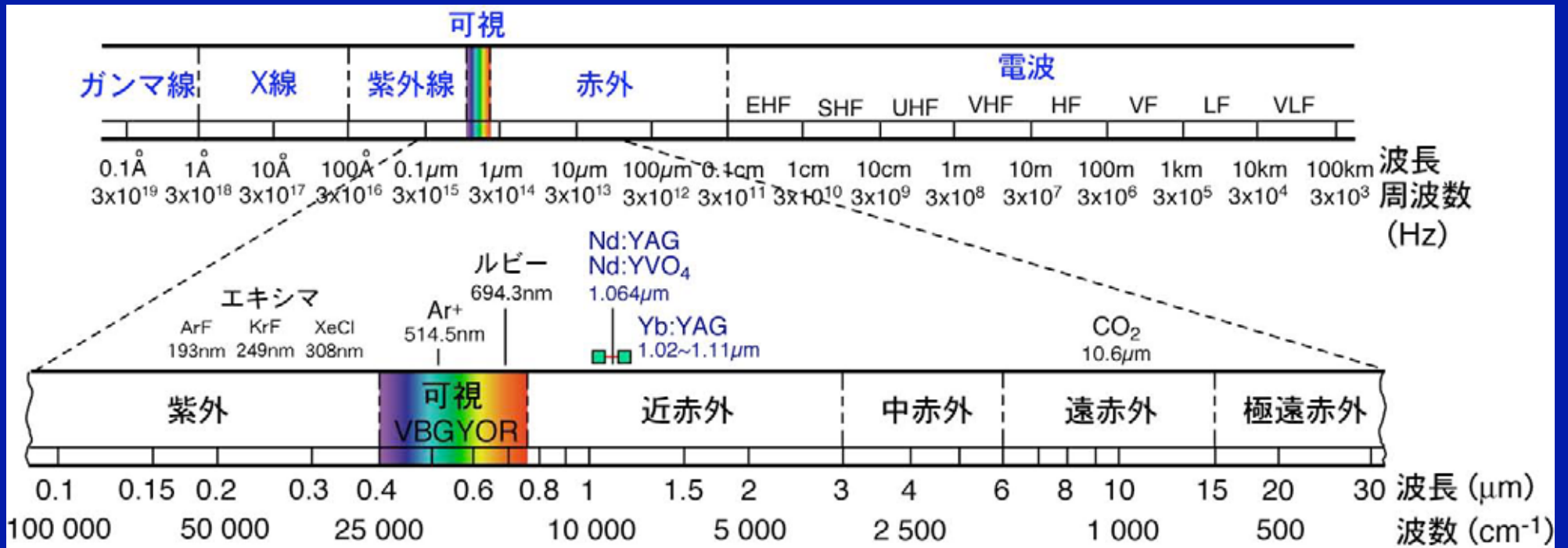


小型・高出力レーザーでは日本が優位：計測分析には相性が良い！？

発表の概要

- はじめに
 - レーザー開発の歴史 / 国際的競争力の観点からの必要性
- レーザー技術の現状と課題
 - 波長とその他機能項目による全体的整理
- レーザーの応用例と技術課題
 - 分析応用を中心に (MALDI, レーザーとイオンビーム)
- 未解決の課題と公募提案
 - まとめに代えて

レーザー技術の現状と課題



エキシマレーザー



Arレーザー



YAGレーザー



CO₂レーザー

レーザー技術の現状と課題

輝度	×	×	×			×	×
波長可変	×	×					
帯域	×	×	×			×	
繰り返し						×	
平均出力	×					×	×
サイズ	×	×	×	×		×	×
安定性・操作性	×	×	×	×	×	×	×
波長	X-ray	VUV	UV	VIS	NIR	MIR	FIR/THz

発表の概要

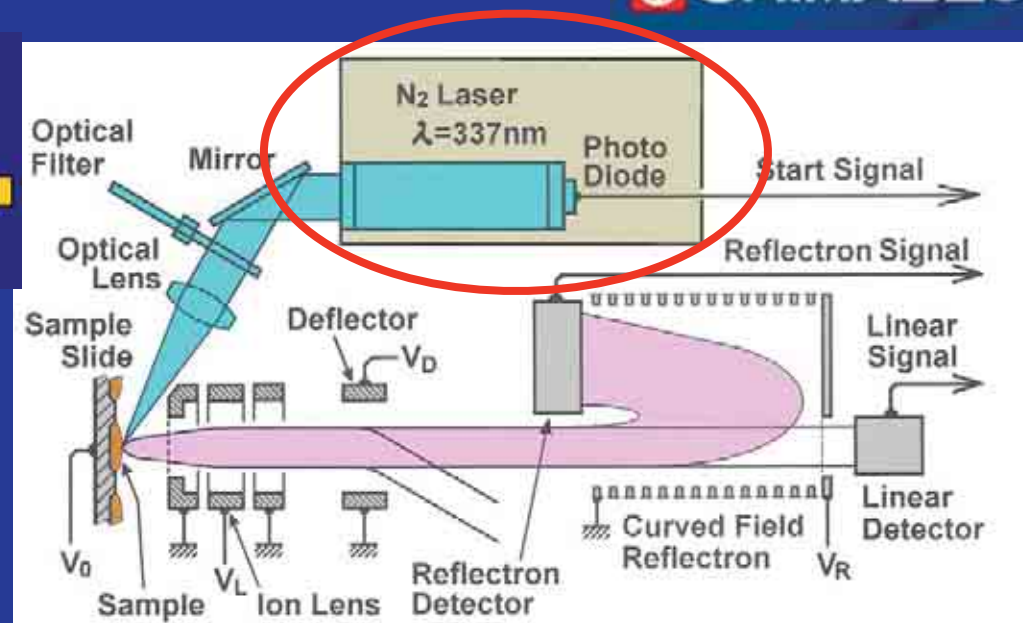
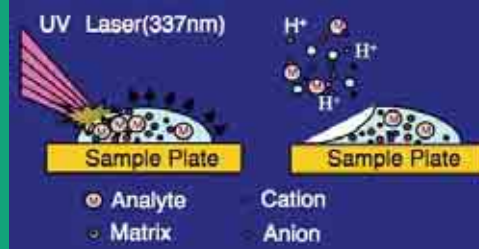
- はじめに
 - レーザー開発の歴史 / 国際的競争力の観点からの必要性
- レーザー技術の現状と課題
 - 波長とその他機能項目による全体的整理
- レーザーの応用例と技術課題
 - 分析応用を中心に (MALDI, レーザーとイオンビーム)
- 未解決の課題と公募提案
 - まとめに代えて

レーザー技術の現状と課題

輝度	×	×	×			×	×
波長可変	×	×					
帯域	×	×	×			×	
繰り返し						×	
平均出力	×					×	×
サイズ	×	×		×		×	×
安定性・操作性	×	×	×	×	×	×	×
波長	X-ray	VUV	UV	VIS	NIR	MIR	FIR/THz

レーザーの応用例と技術課題（バイオ関連）

● 次世代MALDI/TOF-MS



Shimadzu Biotech “AXIMA®” series

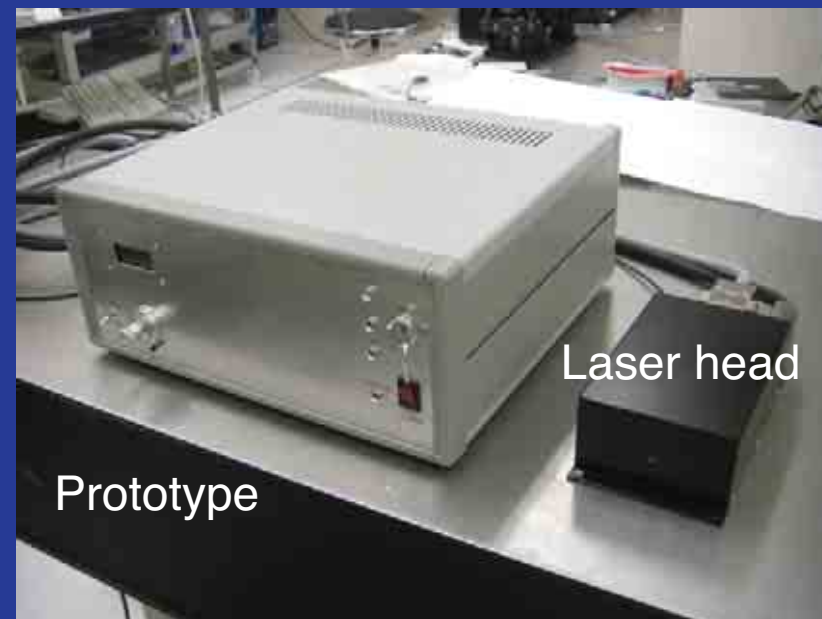
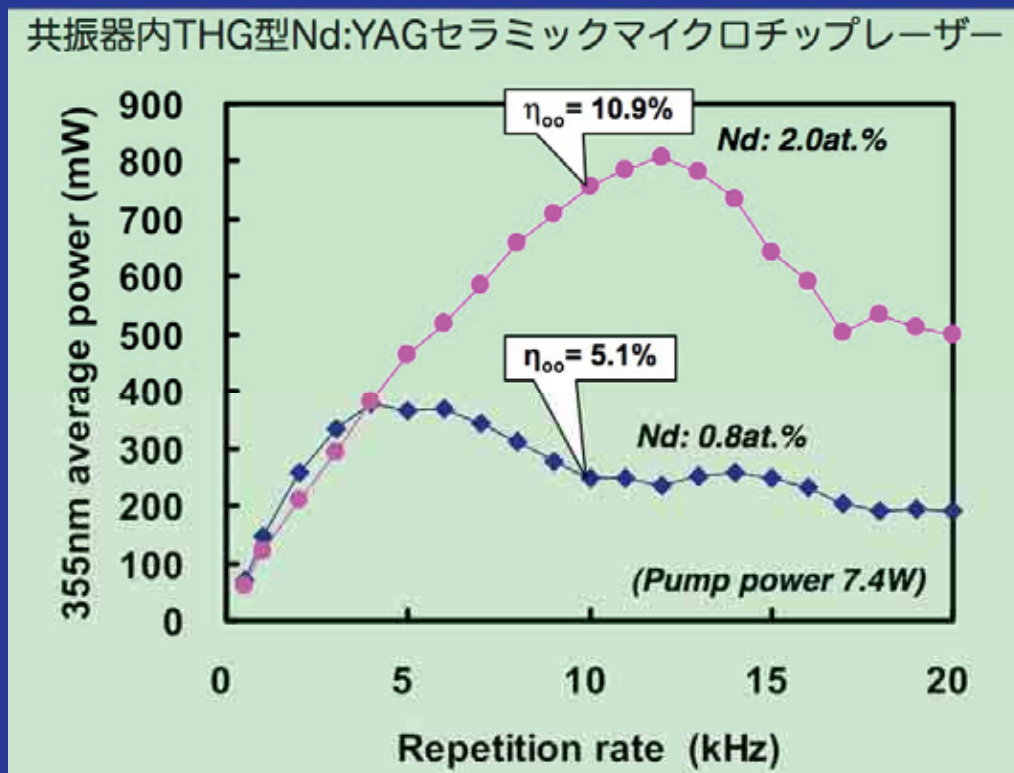
Koichi Tanaka, Shimadzu Review, Vol.54 [1](1997.3)

● 技術課題：UV光源としてN₂レーザーを用いていたこと

- 大型，不安定 --> 操作性が悪く研究室から持ち出せない
- 高電圧・大電流電源 --> 危険で電磁（EMI）雑音が問題になる
- 繰り返し，ビーム品質（輝度）が低い --> 2Dマッピングが不可能

バイオ・医療分野をはじめ先端研究の進展，研究の実用化の障害

次世代MALDI/TOF-MSに貢献



Y. Ido, T. Taira *et al.*, The Review of Laser Engineering, 37(4), 290 (2009).

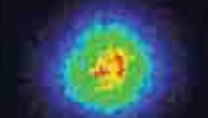
ヒトの大腸癌転移肝組織のMALDIイメージング

小型構成で輝度・繰り返し・操作性の向上を実現

- ▶ 不可能だったイメージングが可能
- ▶ 次世代MALDIの決めて

Nd:YAG THG355nm

100 μ J
1kHz



$M^2 = 1.3 \times 1.1$

ビーム品質が高い（高輝度）

もし、さらなる小型化が進んだら . . .

光を利用した脳機能モジュールの抽出と操作

光脳科学



高時間・空間分解能
高感度・低侵襲性
波長選択性

脳科学への貢献

高精度の時間・空間情報の抽出

脳機能の4次元モジュールの

細胞から個体の統一的理解
高次脳機能プロセッシングの解明

光工学

測定装置の開発
新規光源の開発

埋め込み用マイクロレーザー

小型
高性能
レーザー

光計測

分子導入技術

解析技術の開発
超解像・現象抽出手法
(生物物理的解析)

光化学

プローブの開発
光活性化・不活性化物質
光活性化プロモーター

光計測試薬
(分子、電気活動、代謝など)

蛍光試薬

観察

行動と細胞・回路活動の同時観察

情報処理領域の同定

細胞集団コミュニケーション

情報伝達・細胞活動

時空間的細胞形態観察

細胞内器官

分子動態・1分子観察



操作

行動

特定機能領域

細胞集団の機能

局所回路の活動

細胞・シナプス活動

細胞・極局所回路の除去

遺伝子発現制御

分子・遺伝子導入

機能分子制御

社会貢献

医療: 光による
診断・治療、極局所薬物投与、脳機能活性化の促進 (リハビリ、BMIへの応用)
創薬: 光活性化薬剤、
光工学: 光による神経機能操作デバイスの開発
次世代融合新領域研究者育成 (脳科学・光工化学)
脳型情報処理システムの開発
他の生物系分野への観察・操作技術の波及

病態一 個体差・個性の機能単位からの理解

