

2023年8月2日16:35-16:50

分子研・理研レーザーG 室温動作DFCチップレーザーの開発成果

A) 理研レーザー (レーザー駆動電子加速技術開発グループ, 2018年発足)
PI: 平等拓範, 佐藤庸一, 石月秀貴, 長内昭宏, A. Kausas, 尾高英穂

B) 分子研レーザー (社会連携研究部門, 2019年発足)
PI: 平等拓範, 竹家啓, V. Yahia, H.H. Lim, F. Cassouret
, B. Baptiste

高エネ研

吉田光宏, 本田洋介, 周翔宇, 張叡

核融合研

安原亮

量研機構

桐山博光, 宮坂泰弘

「レーザー駆動による量子ビーム加速器の開発と実証」 2023年度シンポジウム

開催日 : 2023/08/02 場所 : 科学技術振興機構 東京本部別館

2017年 自然科学研究機構分子科学研究所, メゾスコピック計測研究センター

2018年 理化学研究所放射光科学研究センター,

レーザー駆動電子加速技術開発グループ発足

2019年 自然科学研究機構分子科学研究所,

社会連携研究部門, TILAコンソーシアム発足

● 大口径連続接合装置の研究開発、及びTILAモジュールの産業展開
(分子研レーザーG)

- 直径10cm相当大口径連続接合装置の実用化
- TILAモジュールの産業展開

● 電子加速のためのパワーレーザーの研究開発 (理研レーザーG)

- 基本波出力5J級DFCモジュールの開発
- TILAモジュールによるTi:サファイアレーザー励起実験
- スペクトル合成レーザーの検証研究

* TILA: Tiny Integrated LAser (小型集積レーザー)

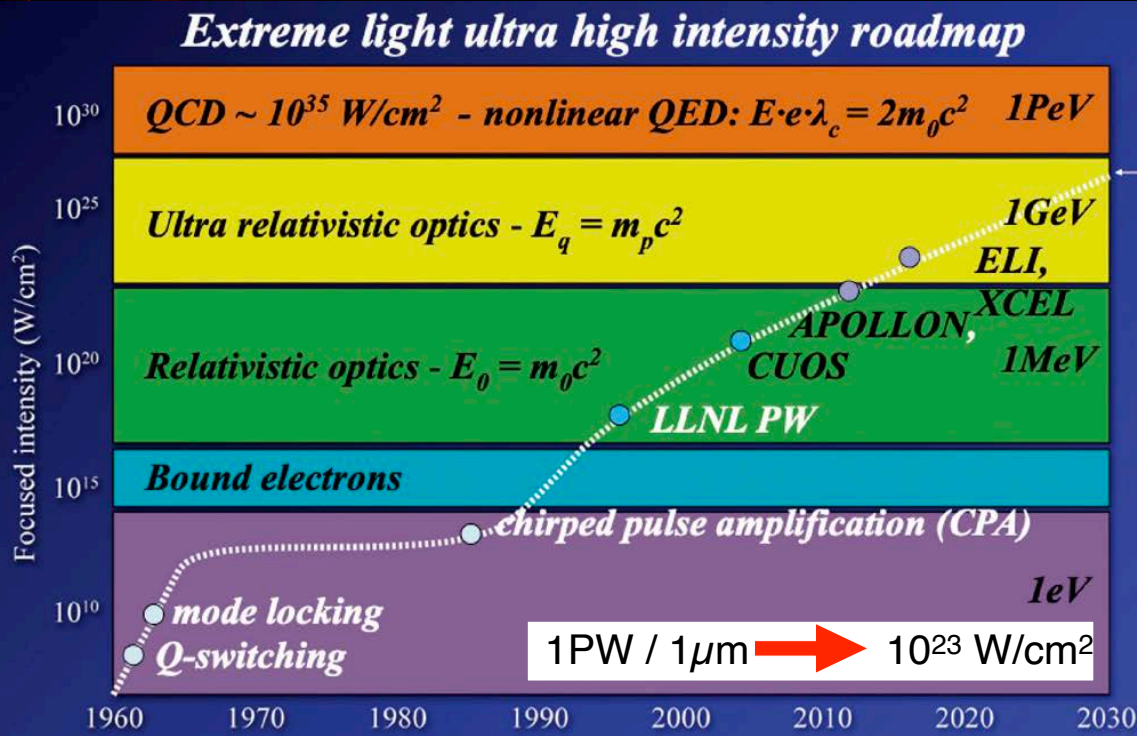
LASE PLENARY

“Passion extreme light”

Paper 11664-501, Monday, Monday, 8 March 2021 • 6:05 AM - 7:00 AM



Nobel Laureate Gérard Mourou
 École Polytechnique (France)



Light materialisation

- Laser Astrophysics and Cosmology
- Polarization of Vacuum, Materialization of Light
- Transmutation of Nuclear Waste

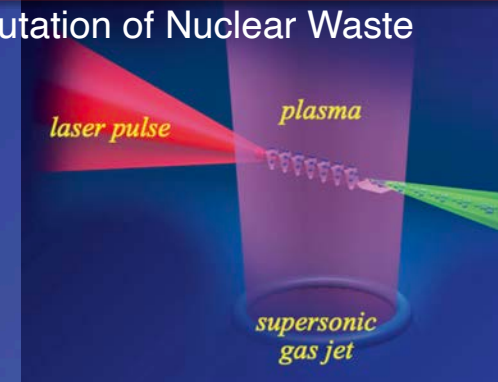


Figure 13. The Laser Wake Field Acceleration.

Figure 1. Laser intensity over years.

<https://www.nobelprize.org/lecture.pdf>

加速長は短いが レーザーは巨大!

<https://spie.org/program/conference/lase?SSD=1>

LASE 2021 Symposium Chairs



Craig B. Arnold
 Princeton Univ.
 (United States)

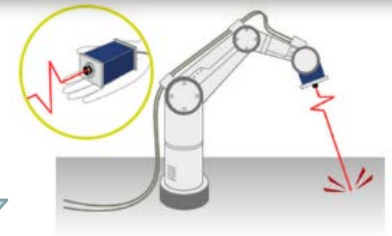


Takunori Taira
 RIKEN / IMS
 (Japan)



📌 **ブレイクダウンして社会実装 ⇒ 産業展開**

10Jモジュールを企業と協力し産業展開



📌 **束ねて究極を目指す：量子メスから宇宙の謎まで ⇒ 先端科学**

↓ 低価格化

現在
励起用ガラスレーザー

25 J @ 0.1 Hz

本提案
DFC 6Jモジュールを必要数並べてTi:Sapphireを励起

3×3
50 J

1モジュール

10 J @ ω_0 100 Hz
6 J @ $2\omega_0$ 100 Hz

パルス伸長器

超短パルス発振器

LD励起

広帯域チャープパルス増幅器

パルス圧縮器

超高ピーク出力の発生

CPA Strickland and Mourou, Opt. Comm. (1985)

Time

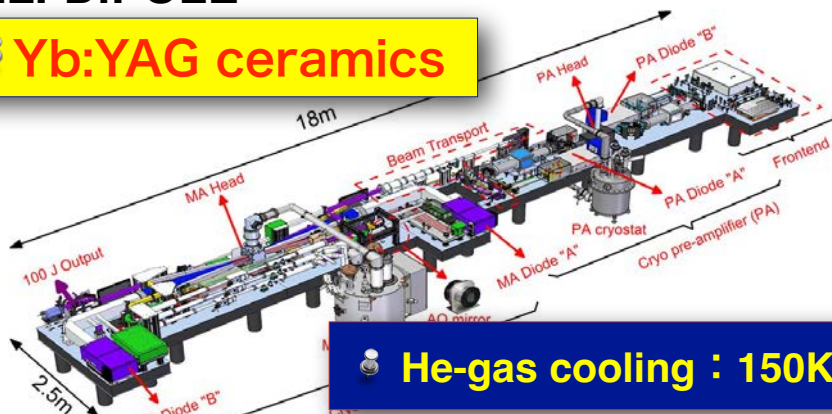


Ref. M. L. Spaeth et. al., FUSION SCIENCE AND TECHNOLOGY, 69, 25 (2016).

Thermal Problem !

ELI-DiPOLE

● **Yb:YAG ceramics**



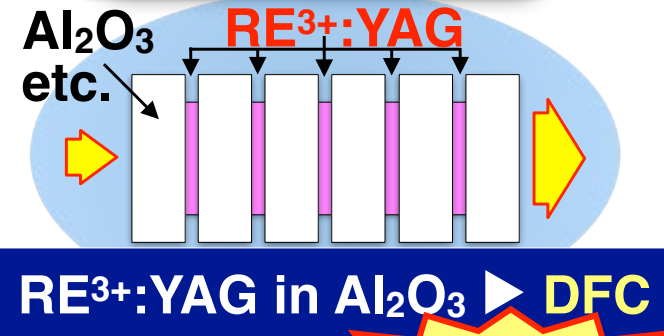
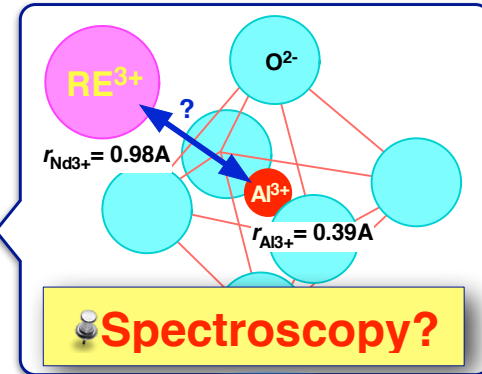
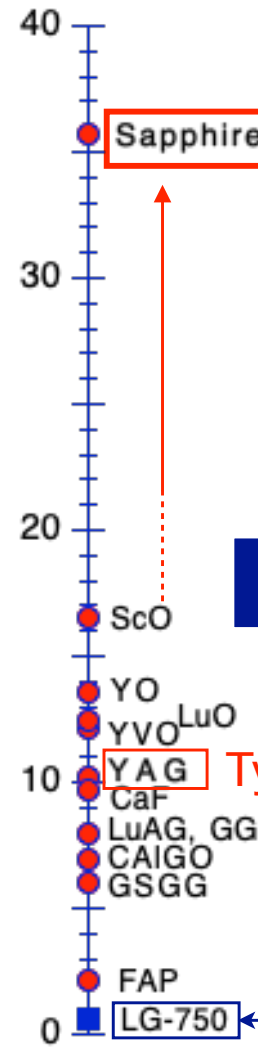
● **100J, 10Hz, World first 1kW average**

Ref. P. Mason et. al., Optica 4(4) 438 (2017).

* **il-SAB**: Inter layer assisted surface activated bonding

3x larger ion diameter

Thermal Conductivity κ @RT (W/mK)



il-SAB

Typical laser material → **Laser Ceramics***

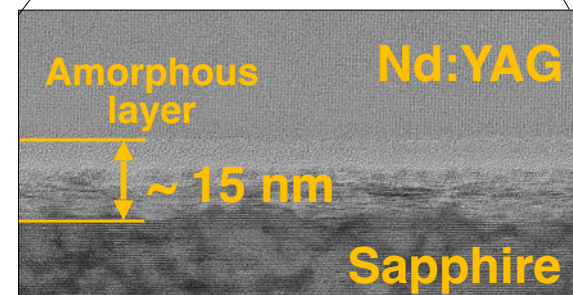
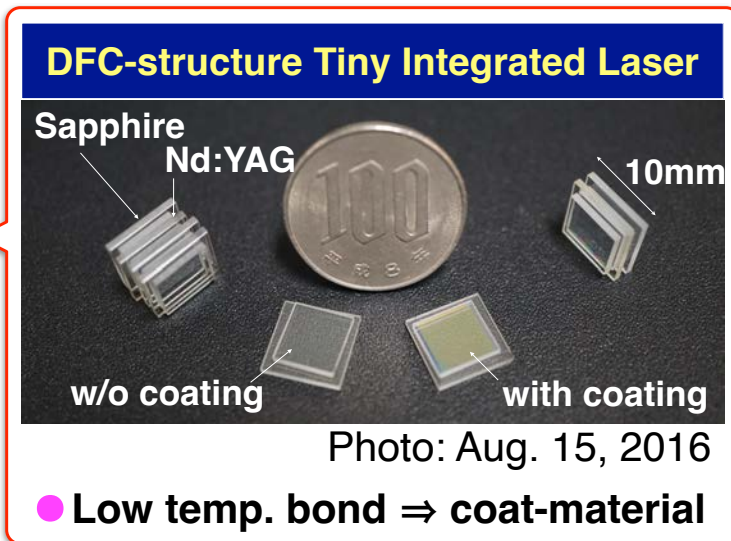
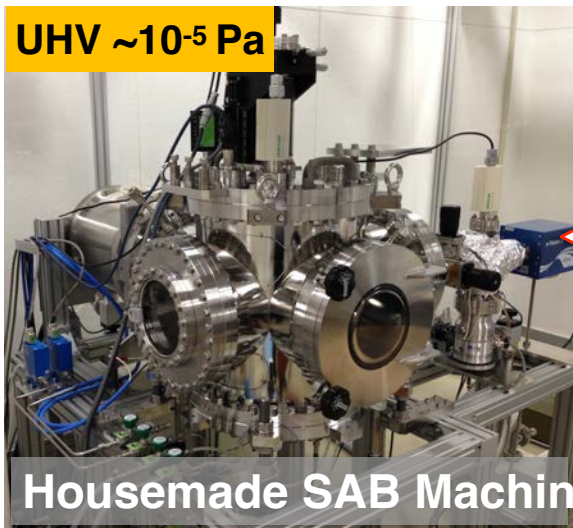
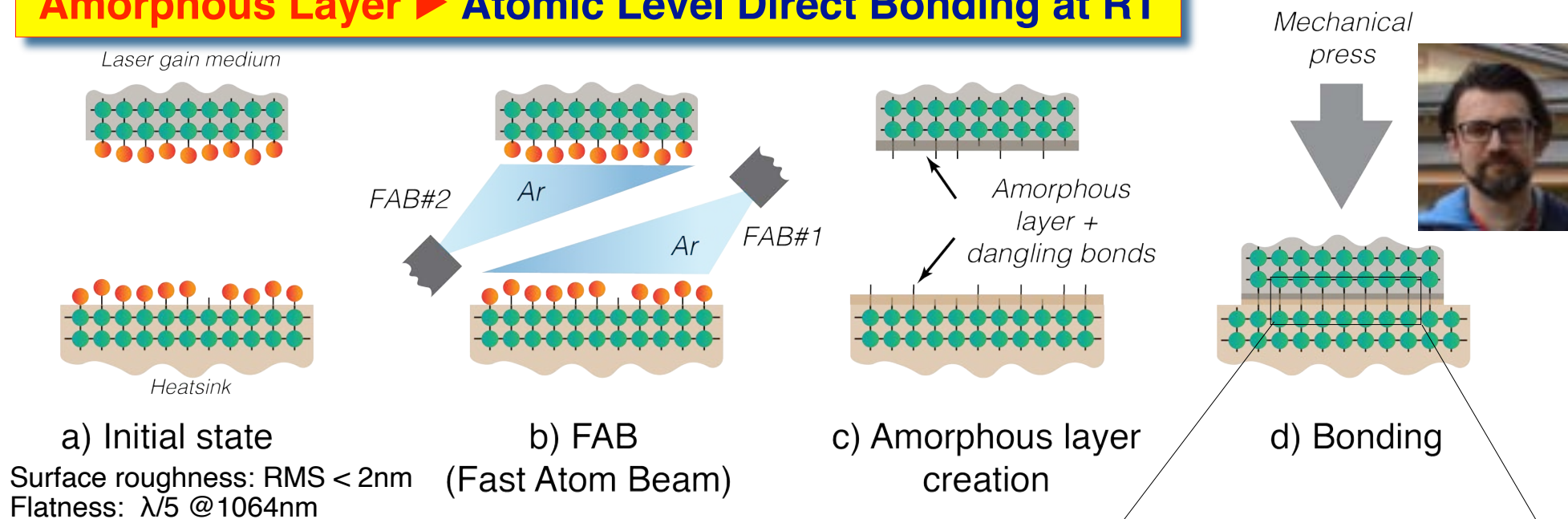
NIF (Laser Fusion)

Nd:glass

Ref. T. Taira: Rev. Laser Eng., 50(7), 382 (2022).
 * IEEE JSTQE 13 (3), 798(2007).

il-SAB : Intermediate Layer assist Surface Activated Bonding

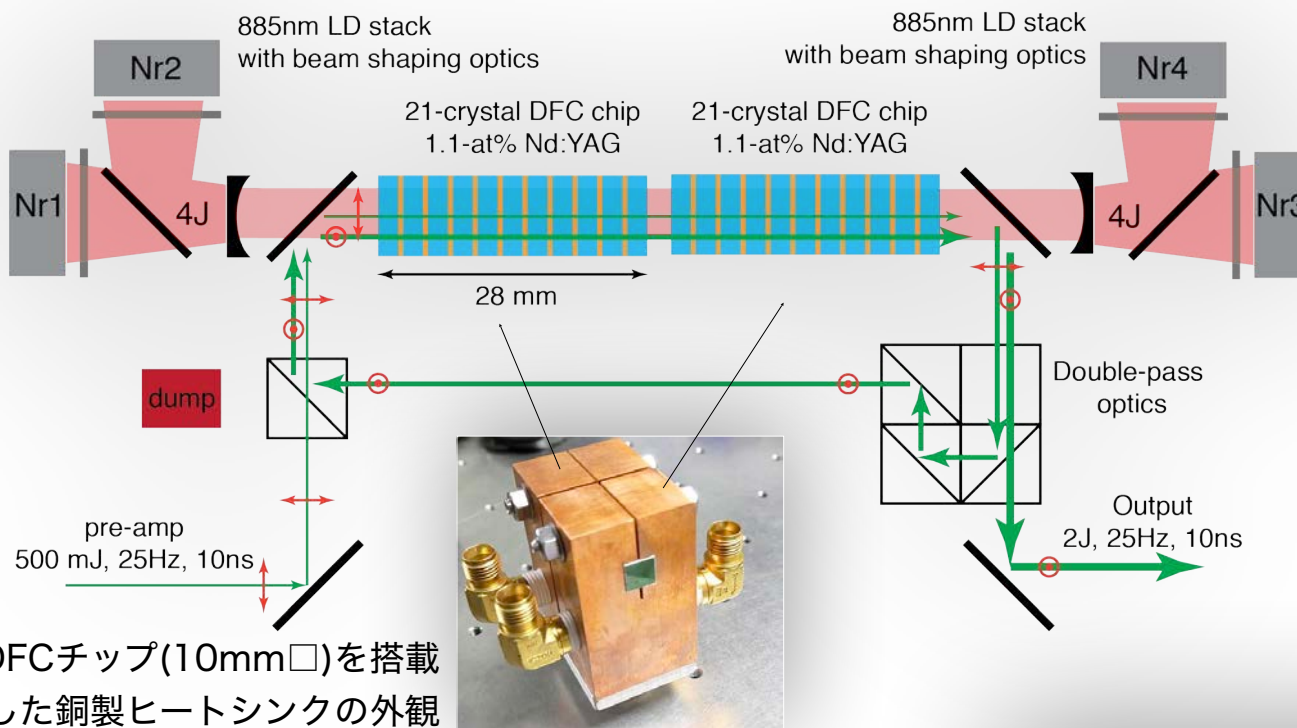
Amorphous Layer ▶ Atomic Level Direct Bonding at RT



Ref. Opt. Mater. Express 7, 3214 (2017).
Opt. Express 27, 30217 (2019).

日米欧で特許成立

室温動作 DFC チップ増幅器 (分子研, 理研, KEK)



DFCチップ(10mm□)を搭載した銅製ヒートシンクの外観

DFC chip 2x (gain length 10 mm)

1.1-at% doped Nd³⁺:YAG

10x10x0.5 mm³

c-cut Sapphire
10x10x2 mm³

LDの増設が限界!

Pump 4x LD modules

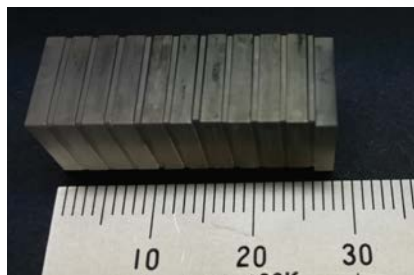
Wavelength 885 nm

Rep. rate 1 Hz to 50 Hz

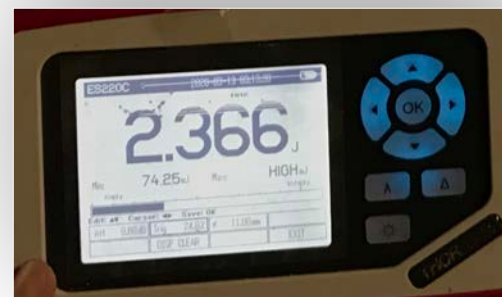
Pump pulse 250 μs

Pump power 8 kW per LD

Pump energy 2 J per LD



21枚の接合DFC (0.5mm Nd:YAG/ 2mm sapphire)



(a) 基本波 (1064nm)

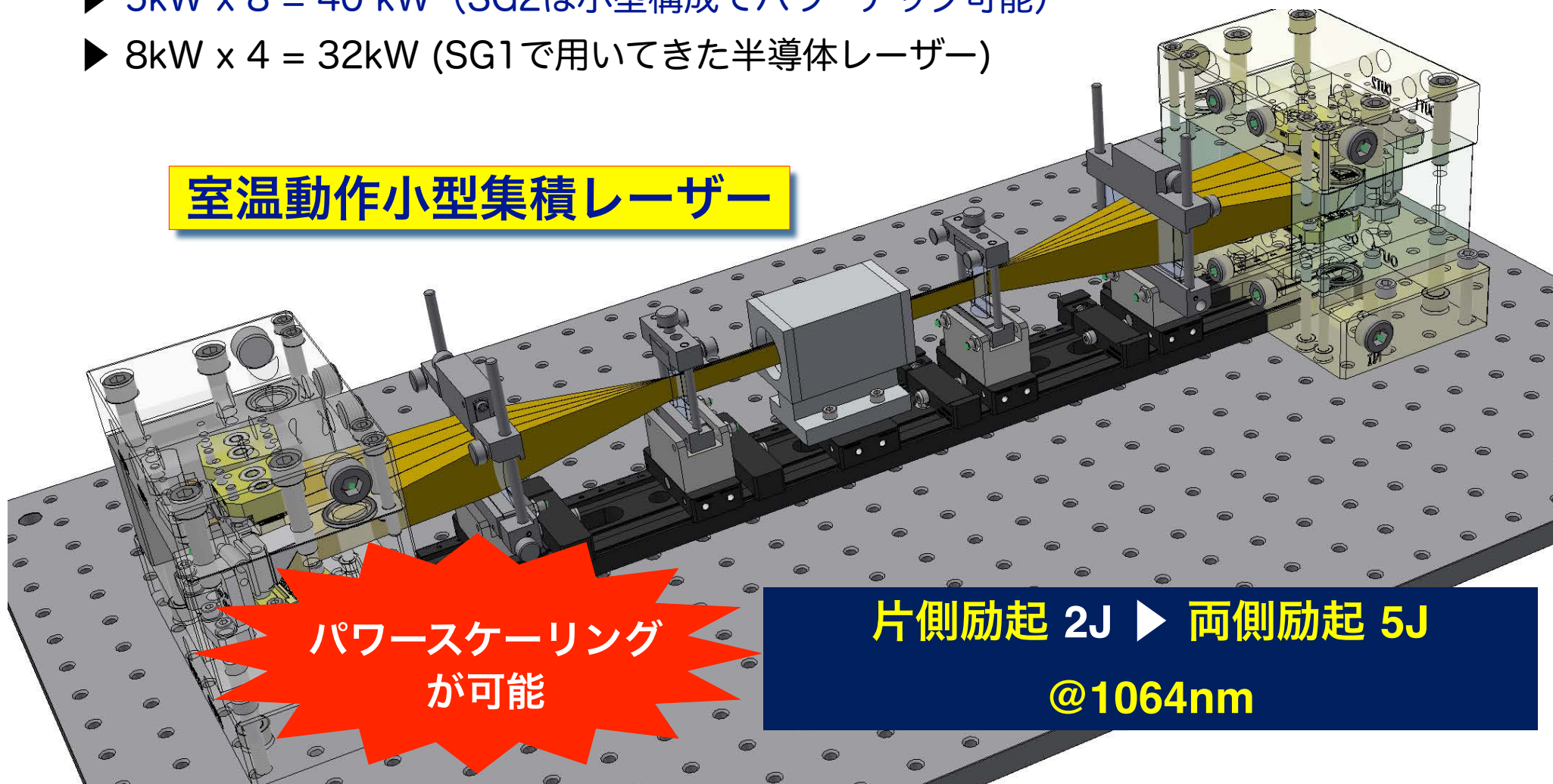


(b) SH波 (532nm)

基本波 >2J, 50Hz (偏光結合 100Hz) DFCチップレーザー (室温)

- 半導体レーザーを空間結合することで励起光の増強が可能
 - ▶ $5\text{kW} \times 8 = 40\text{ kW}$ (SG2は小型構成でパワーアップ可能)
 - ▶ $8\text{kW} \times 4 = 32\text{kW}$ (SG1で用いてきた半導体レーザー)

室温動作小型集積レーザー



パワースケーリング
が可能

片側励起 2J ▶ 両側励起 5J
@1064nm

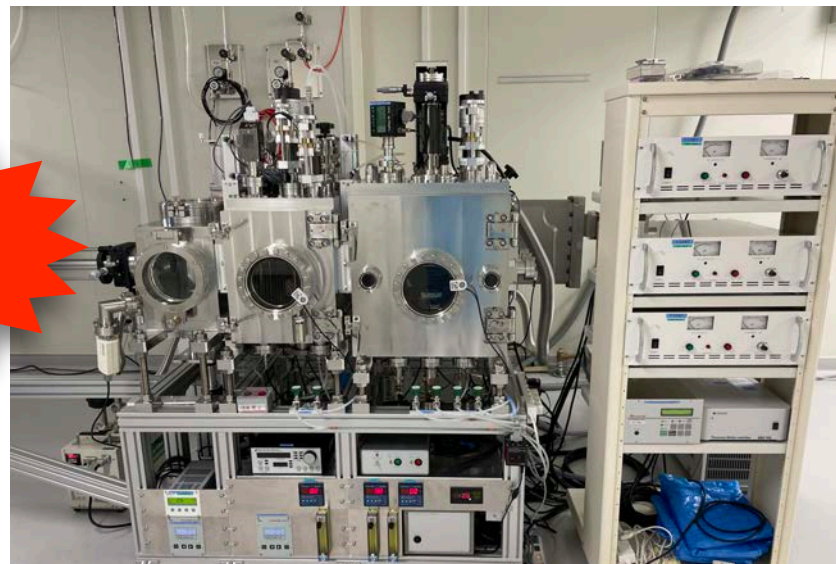
SG2で構想の2J-DFCチップによるレーザー増幅実証試験構成 (分子研、理研、KEK)

2022年4月21日稼働開始



JST未来社会創造事業で開発した常温接合装置

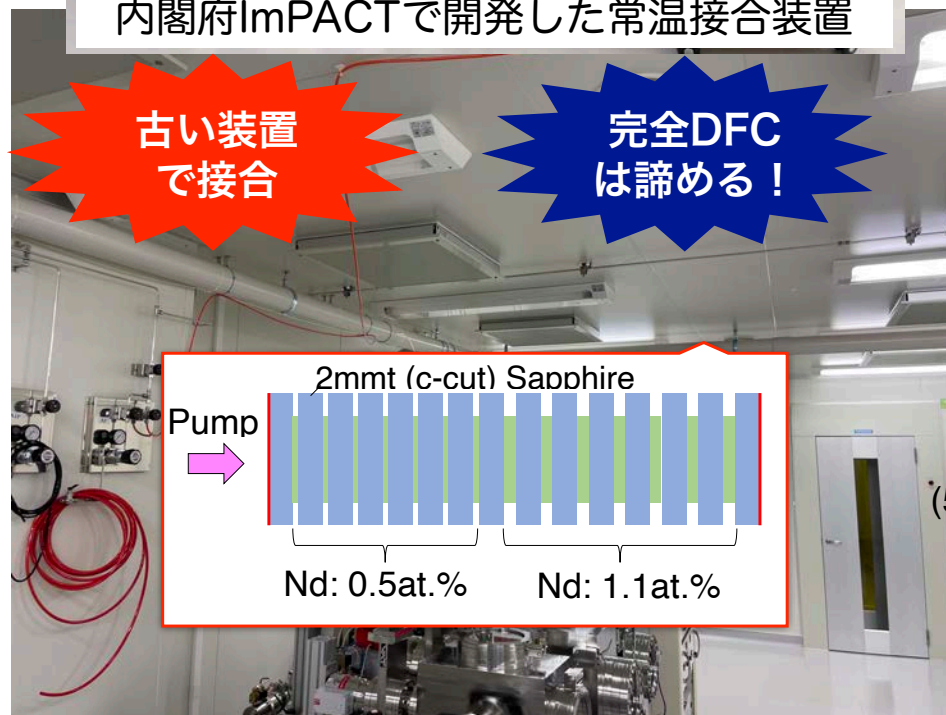
不測の
事態！



内閣府ImPACTで開発した常温接合装置



2022年4月にトラブル：故障



開発環境の整備 (D棟1F@分子研) 理研・分子研 (三菱電機)



2021.5
建屋完成



2022.2.4
クリーンルーム完成

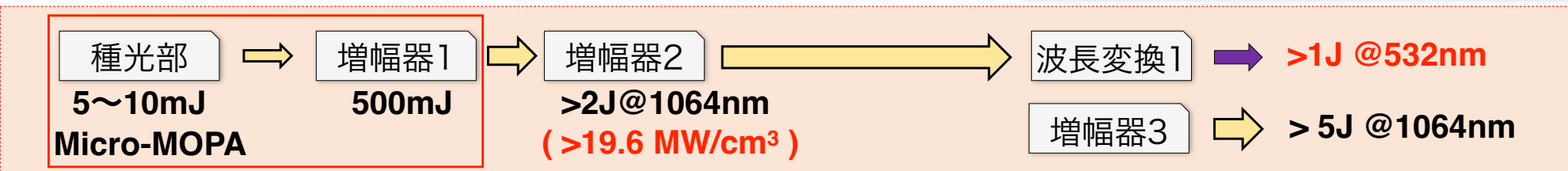


2022.7.13
本格始動

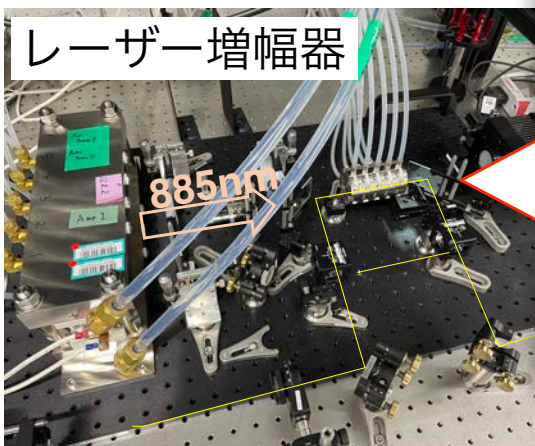


2J @1064nm
2.8 GW @RT

2022.9.20



レーザー構成



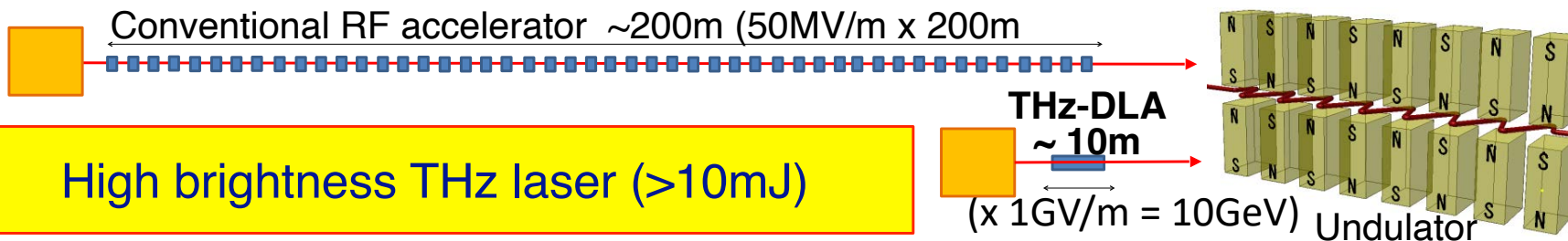
DFC-PowerChip (Al₂O₃/Nd:YAG)

不完全

Nd:YAG

増幅器1：単結晶
増幅器2：セラミックス(神島化学)

※ 繰り返し周波数：2Hz -> 10Hz



● THz-DLA: THz wave-Dielectric Laser Acceleration

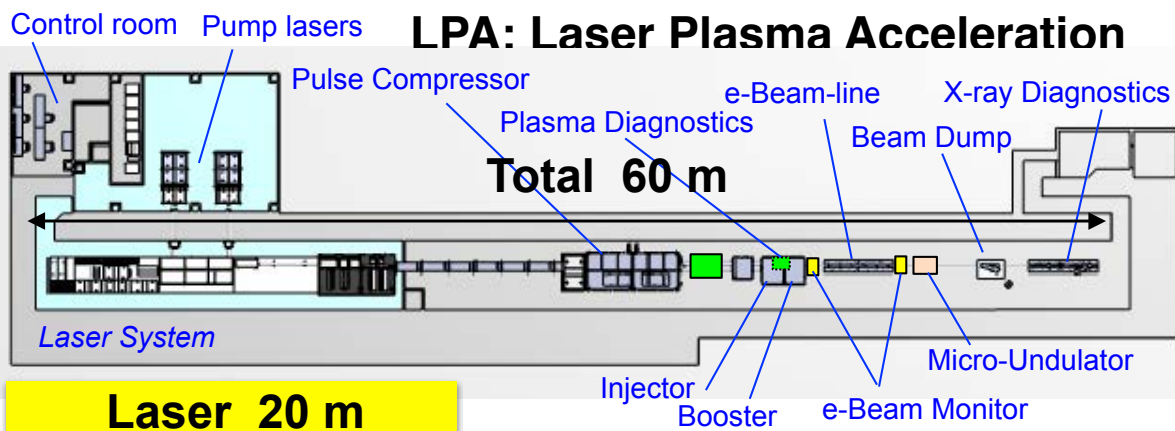
Prof. Yoshida (KEK)

SACLA (XFEL)
~700 m (8GeV)

SPring-8



LPA Platform



● Future Image



60 + years of Lasers: High-Power Lasers

AW2A High Energy Sources **ASSL2022 (12/14)**

President: Marc Eichhorn, Inst Franco-Allemand Recherches St Louis, Germany
Room 111

ADD TO CALENDAR ▾

9:15 - 9:30 (UTC + 01:00)
AW2A.1
10 J, 10 Hz Amplification in a DiPOLE Cryogenic Amplifier Using Crystalline Adhesive-Free Bonded Yb:YAG Slabs

Presenter: Mariastefania De Vido, STFC Rutherford Appleton Laboratory, United Kingdom

PRESENTATION DETAILS

9:30 - 9:45 (UTC + 01:00)
AW2A.2
KW Average Power Operation of 10 J, 100 Hz, Conductive-Cooled Active-Mirror Laser

Presenter: Jumpei Ogino, Inst of Laser Engineering, Osaka Univ, Japan

PRESENTATION DETAILS

9:45 - 10:00 (UTC + 01:00)
AW2A.3
>80 MW Peak Power/80 Hz Nd:YAG Microchip Laser

Presenter: Hwanhong Lim, Institute for Molecular Science, Japan

PRESENTATION DETAILS

10:00 - 10:15 (UTC + 01:00)
AW2A.4
Upgrades of L1 Allegra Laser at ELI-Beamlines



PM - 2:00 PM

<https://www.ico25.org/?s=welcome>

>70 MW peak power/100 Hz unstable cavity microchip laser (#801) Postdeadline

H.H. Lim¹, T. Taira^{1,2}

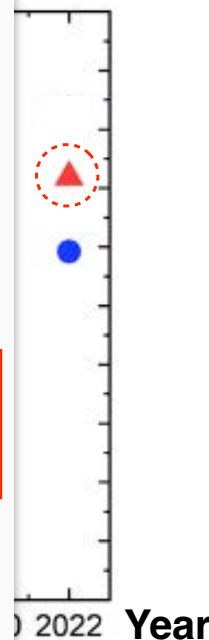
世界記録

(#801)

Postdeadline

Ref.

- [1] Opt. Express **30**: 5151-5158 (2022).
- [2] Opt. Express **27**: 31307-31315 (2019).
- [3] Opt. Express **27**: 30217-30224 (2019).
- [4] Opt. Express **25**: 6431-6439 (2017).
- [5] IEEE J. Quant. Electron. **49**: 454-461 (2013).
- [6] ASSL, AF2A.8, 2013.
- [7] IEEE J. Quant. Electron. **46**: 277-284 (2010).
- [8] Opt. Express **16**: 19891-19899 (2008).
- [9] Opt. Express **15**: 14516-14523 (2007).
- [10] App. Phys. Lett. **89**: 101120 (2006).





TILAコンソーシアム (<https://tila.ims.ac.jp/>)



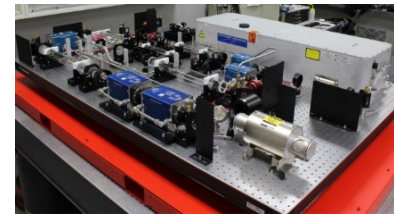
関連情報

- ・高性能レーザーの社会実装のためのコラボスペースとして分子研建屋リニューアルを開始，R3年度完成
- ・マイクロチップレーザーの製品化，販売が浜ホトに続きオプトクエスト、ユニタックからも販売開始



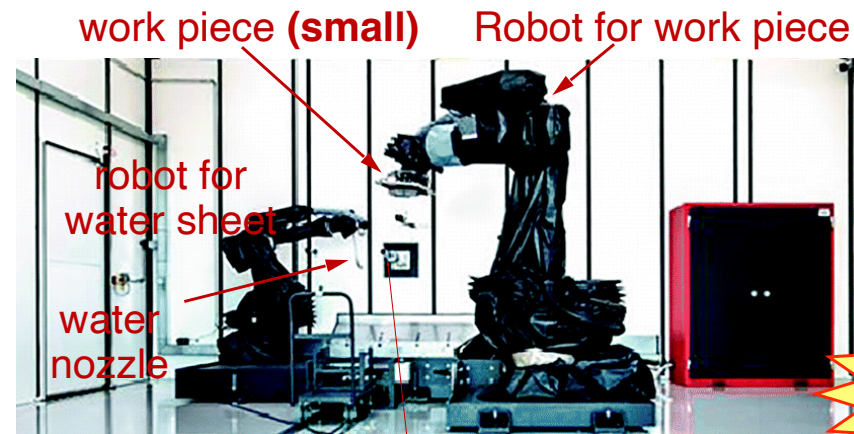
産金有料会員：39団体（発足時：17 団体）

Laser peening system for Product (LSPT, MIC etc.)

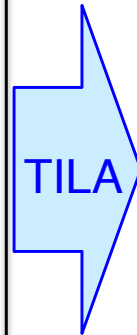


Laser oscillator / amp. (large)

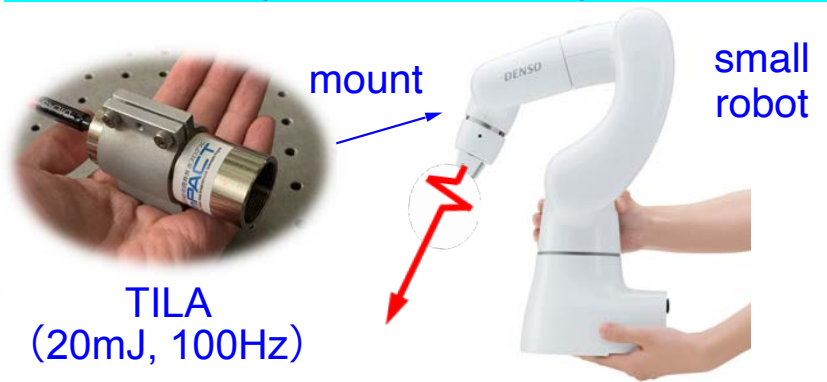
Laser system (10J, 20Hz)



laser peening only for small piece



Laser peening for Maintenance (LAcubed, TILA)



laser peening from small piece until large system

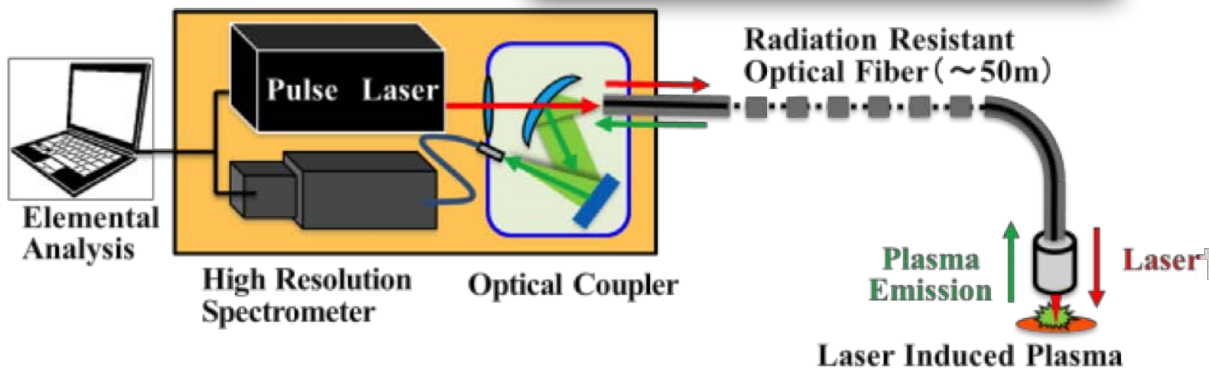
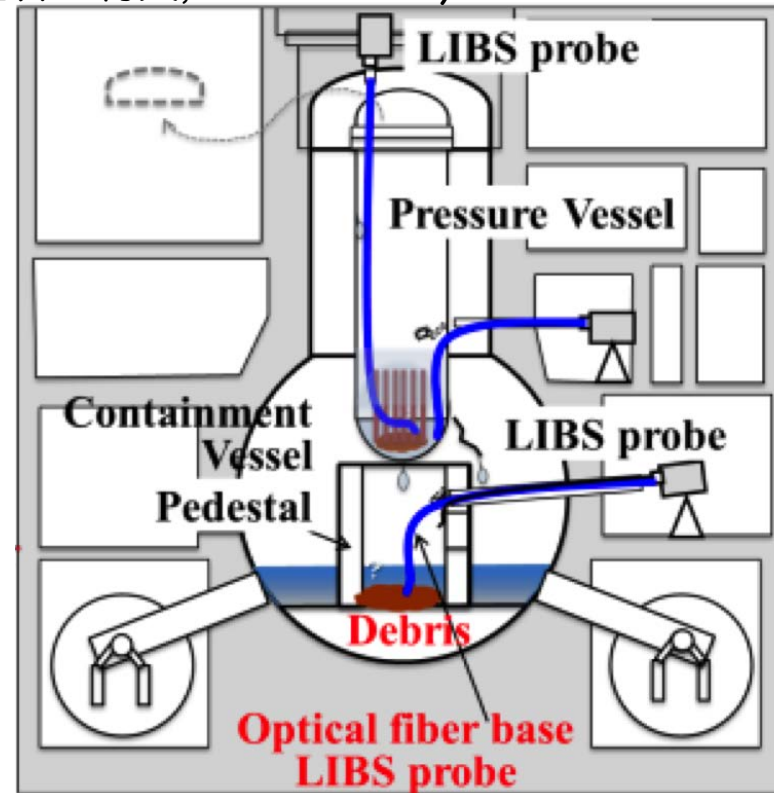
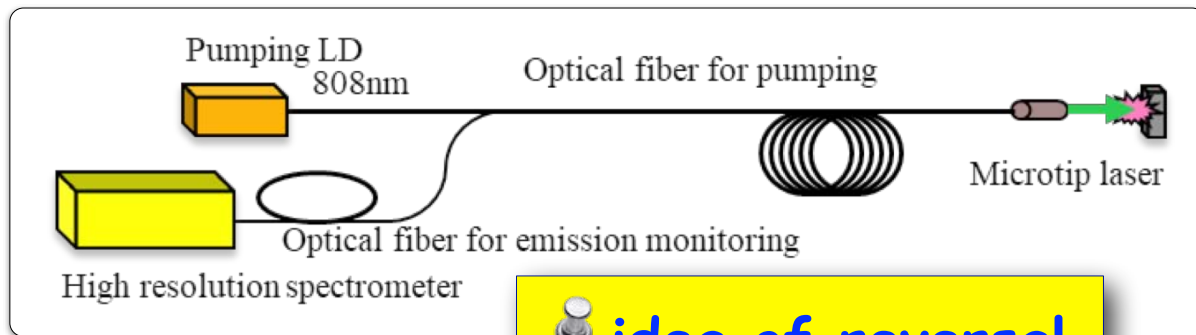


- expensive
- large system
- only for small piece
- impossible for small hall

- not expensive
- small enough
- until large sample
- fastener hall

DFC型高出力マイクロチップレーザーの開発

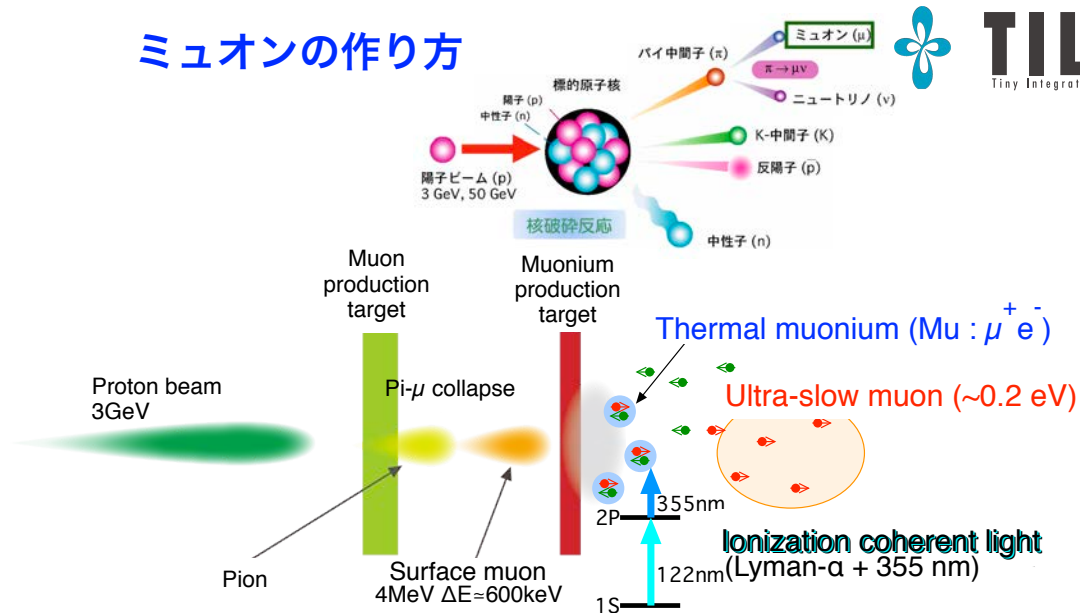
廃炉・汚染水・処理水対策事業「燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発」
(若井田育夫, 2021-2025)



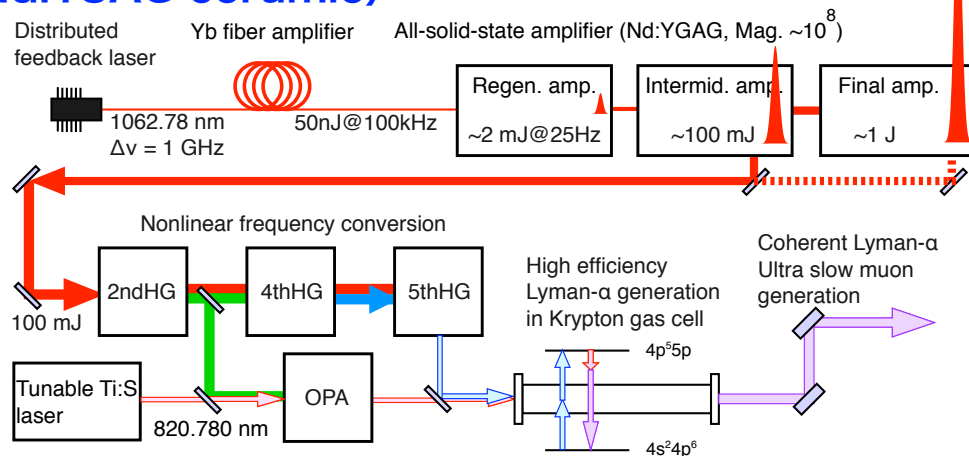
- >10mJ
- SHG
- 100m pump fiber
- radiation resistance
- short / long pulses



ミュオンの作り方

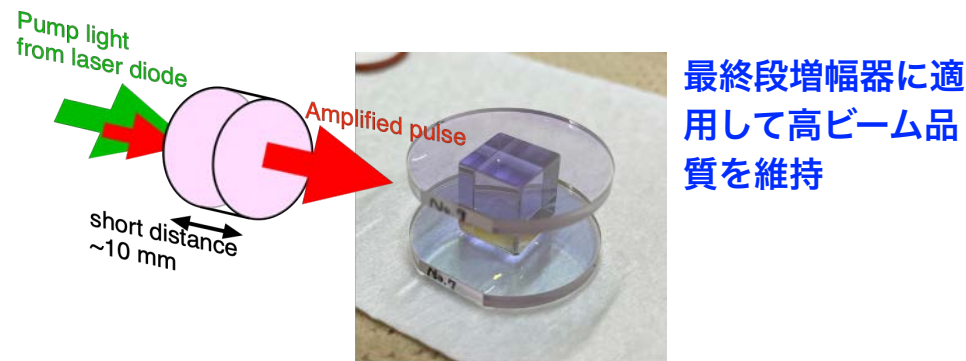


ライマン α レーザーシステム (Nd:YGAG, Nd:YAG ceramic)



ライマン α 光による共鳴イオン化により
ミュオンの運動量幅を狭窄化してビーム応用へ展開

接合材料を用いた励起方式 (大口徑短尺)



2.6倍 (22 μJ) のパルスライマン α 光発生に成功

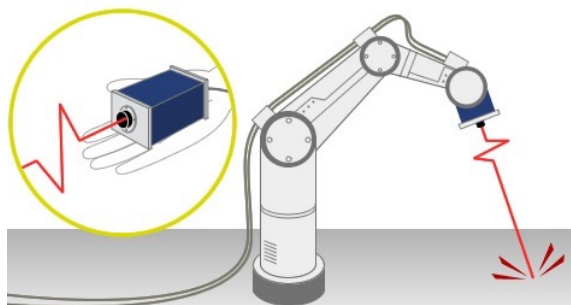
破壊的イノベーション

- ▶ 特性のせいで潜在的顧客数が制限されているとき
- ▶ 不便で集中的な場所で消費を行わざる得ないとき

Ref. C. クリステンセン (翔泳社, 2001, 2004).

- モジュール化
- バリューチェーン進化

パワーレーザーの小型集積化 + α



- Power density
- Energy density
- Wavelength
- Beam quality
- Bandwidth
- Efficiency
- Reliability
- **Cost, etc.**

新方式

新材料・素子

小型集積レーザー (TILA) コンソーシアム



Manufacturing



Infrastructure



Medical



Security



● ブレイクダウンして社会実装 ⇒ 産業展開



Tiny Integrated Laser

● 極限の探求 ⇒ 先端科学



- SG2における励起モジュールTILAの開発
 - * 基本波 5J, 10J への対応励起モジュール設計・試作
 - * >2J x 10 Hz 動作検証（新モジュールの妥当性検証）
- パワーレーザーの研究開発
 - * >1J @532nm をLBOを用いて検証（Ti:S レーザー励起検証中）
 - * TILA（小型集積レーザー）の社会実装

ベンチャー



TILA
Tiny Integrated Laser

