高熱流にさらされる炉壁内面候補材料のレーザー計測

糟谷紘一（島田、井澤、乗松）グループ、
那珂研(鈴木、横山、江里口、榎枝、秋場）グループ
ﾜﾙﾃﾞﾏｰﾙ･ﾑﾛｯ（ﾎﾞｸﾞﾞｽﾗｳ･ﾌﾞｯﾄﾅｰ）グループ
応用ながれ研究所、レーザー技術総合研究所、阪大レーザー研、原子力開発機構那珂研、オプトエレクトロニクス研

平成２３年度合同研究会（筑波大学プラズマ研究センターシンポジウム、プラズマ物理クラスター　スクレープオフ層とダイバータ物理サブクラスター（第１回会合）、炉工学クラスターブランケットブクラスター（第２回会合）、双方向型共同研究会合「ガンマ10の装置における炉壁材料の損耗・再堆積の研究とそのダイバータ開発研究における位置づけ」）

平成23年7月20日13;00-22日11;55
つくばサイエンスインフォメーションセンター大会議室

レーザー総研・レーザー研・ＩＯＥ研中心の研究目標：

高フルエンスレーザーによる広義の核融合炉材料耐力の研究

簡単な内容：

　核融合炉の構造物を構成する炉壁そのものや、各種の入出力用窓などに使われる可能性のある諸材料について、他の方法では実現できない領域を含む高フルエンスレーザー光照射を試み、関連の材料耐力や利用範囲などを明らかにする。

　その際、関連の新しい計測法を開発する。

応用ながれ研・原子力機構中心の関連研究目標：

　レーザーに加えて、粒子ビームを含む多種のソースによる材料表面照射研究と、核融合炉構造壁表面モニターなどへの応用。

2種のレーザー計測法

レーザー変位計による表面計測
　プローブ光の波長（可視光か赤外光）
　戻り光の単純計測（三角法）　か　干渉分光計測

レーザー誘起超音波計測装置による表面内部計測

表面近傍状態変化のための照射法

粒子ビーム（電子、イオン）
レーザー（ArF, KrF, 赤外（沃素、自由電子）, CO_2)
　X線
（中性子）

照射対象

MFE 向け（ITER等のダイバータ、第一壁、観測窓）
IFE向け（ダイバータを除く炉壁、観測窓等）

粒子ビーム・レーザー照射研究の経緯

高エネルギー密度入射による炉壁の損耗：　異なる損耗機構・特徴

現有装置による従来の研究：当初は慣性核融合研究向け

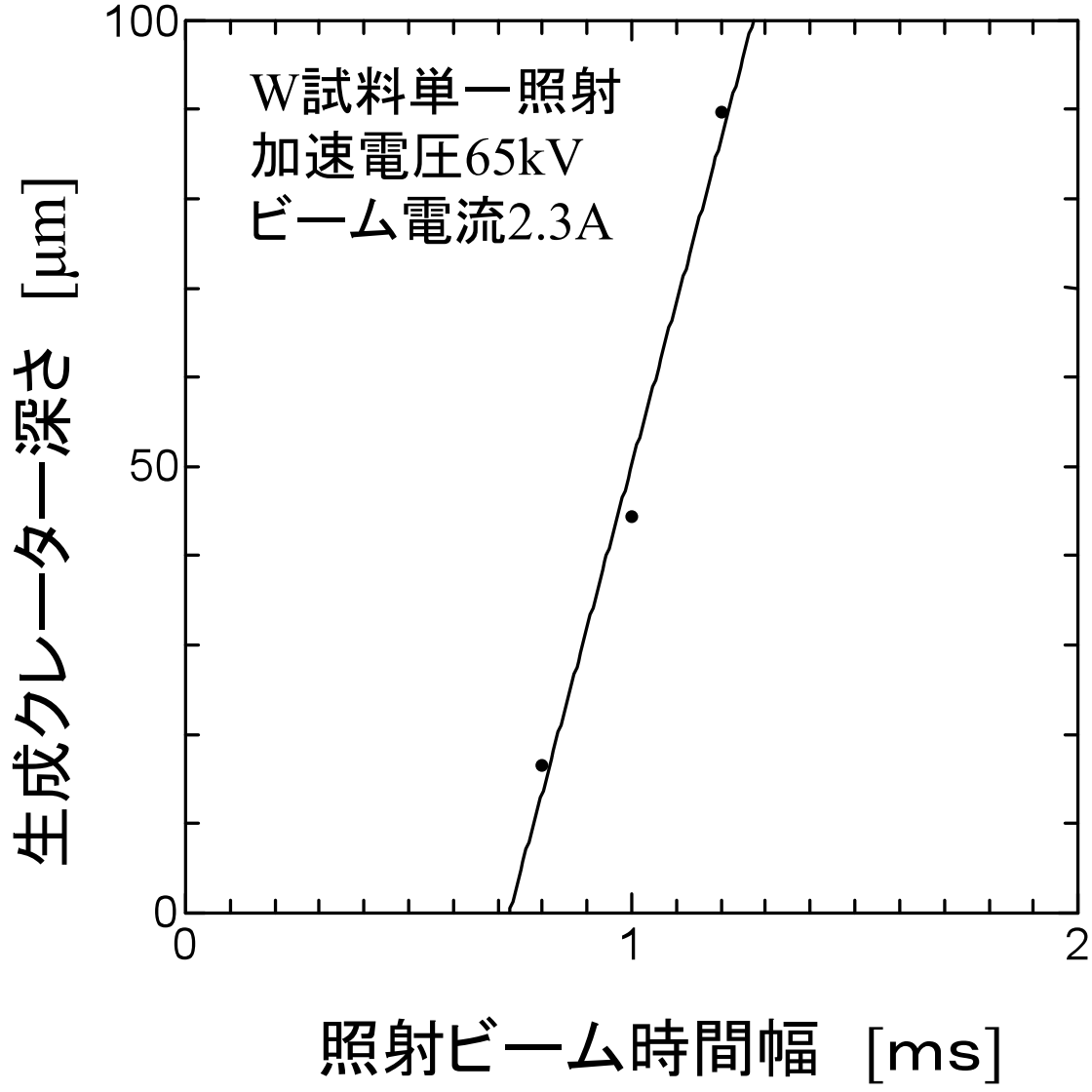
（1）イオンビームによる照射：100ns, 0．1MJ/m^2 程度まで、
　　単一照射による表面損耗量の比較
（2）レーザービームによる照射：10ns, 0．5MJ/m^2 程度まで、
　　多重照射による表面損耗量の変化

電子ビーム照射研究の狙い：
　　よりエネルギー密度の高い照射：1ms, 1MJ/m^2 程度、
　　より広範囲の研究向け、核融合（磁場・慣性）分野全般向け、
　　特徴的なのは、ELM発生時のプラズマ対向壁の損耗研究、
　　将来的には、JT60-SA, ITER, DEMOにつながるデータ取得。

代表的な試料照射結果：第1グループの照射結果

タングステン試料損耗発生照射閾値の積極的推算

従来のカーボン報告値との比較



電子ビーム照射時間幅と生成クレーター深さの関係

Simple estimation of the threshold thermal load on divertor surface with ELM

For Carbon Divertor Case in a Reference:

$$Q/\triangle t^{1/2} = 45\ MJ/m^2/s^{1/2}$$

Q : the ELM energy flux [MJ/m^2]on the divertor surface,

△t : the deposition time duration [s]

For this Tungsten Case:

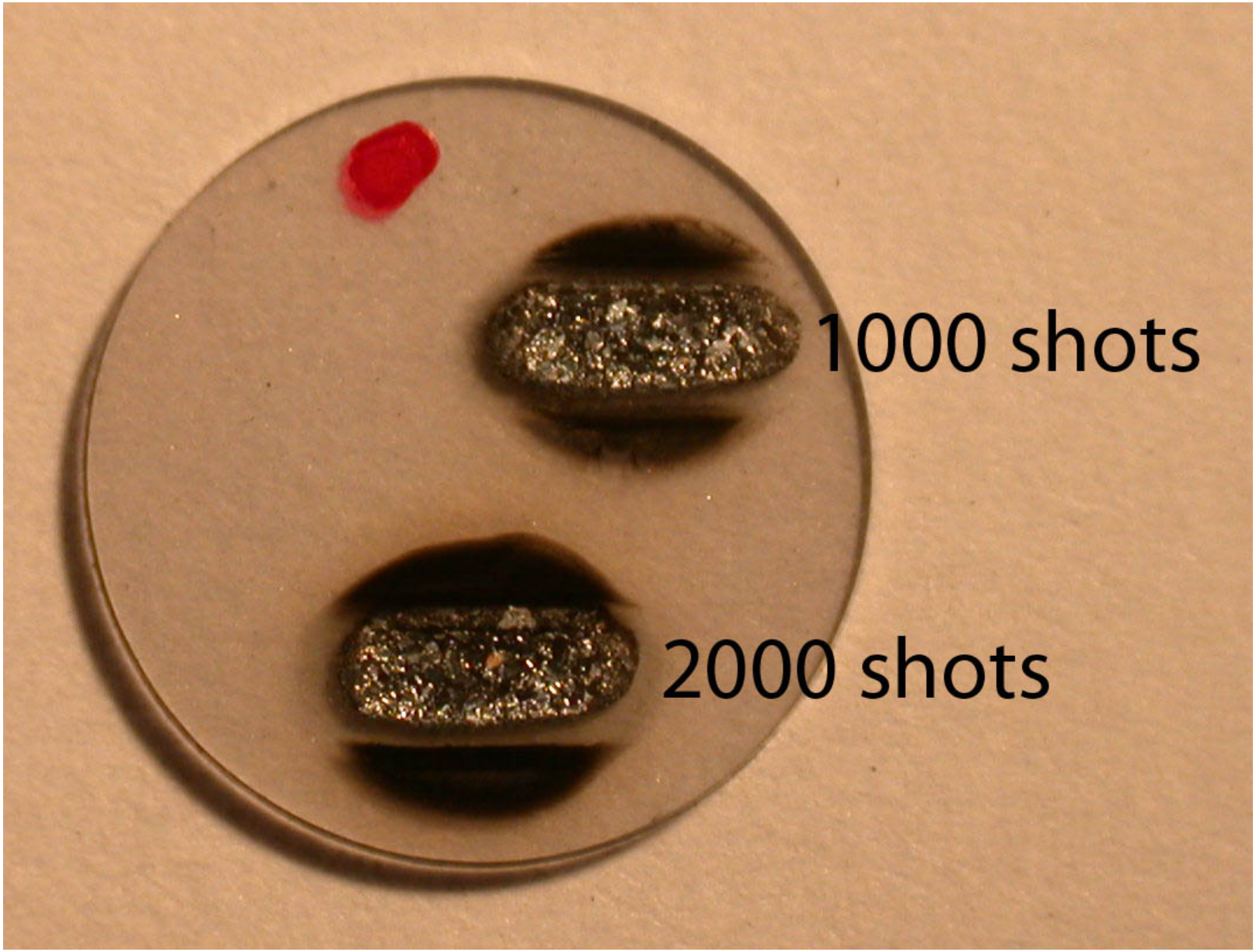
Q = 1.0 [MJ/ m^2] (JEBISカロリメータ測定、参考値），

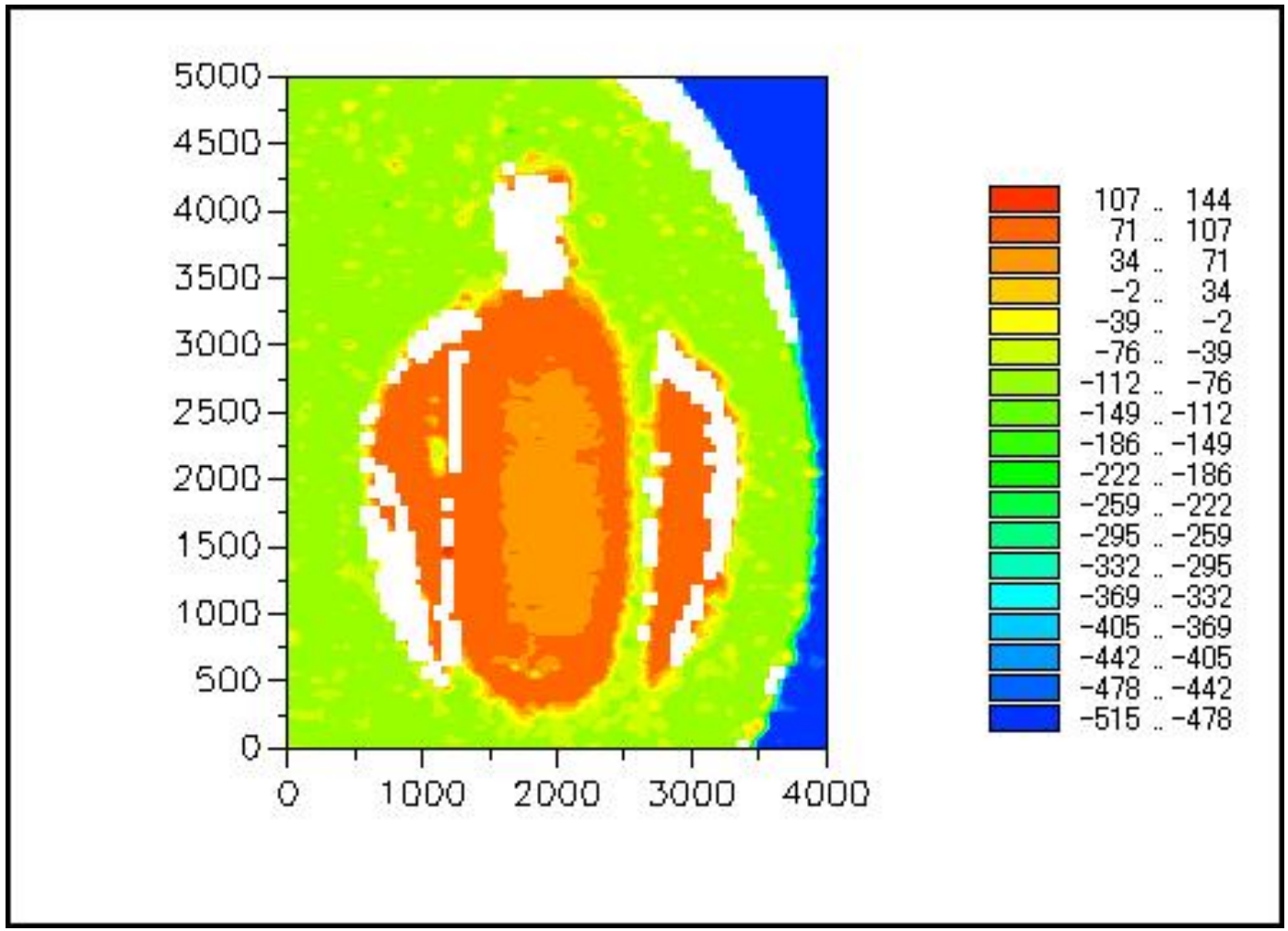
△t =0.73x10^{-3} [s]　（損耗閾照射時間幅値）

$$Q/\triangle t^{1/2} = 270\ MJ/m^2/s^{1/2}$$

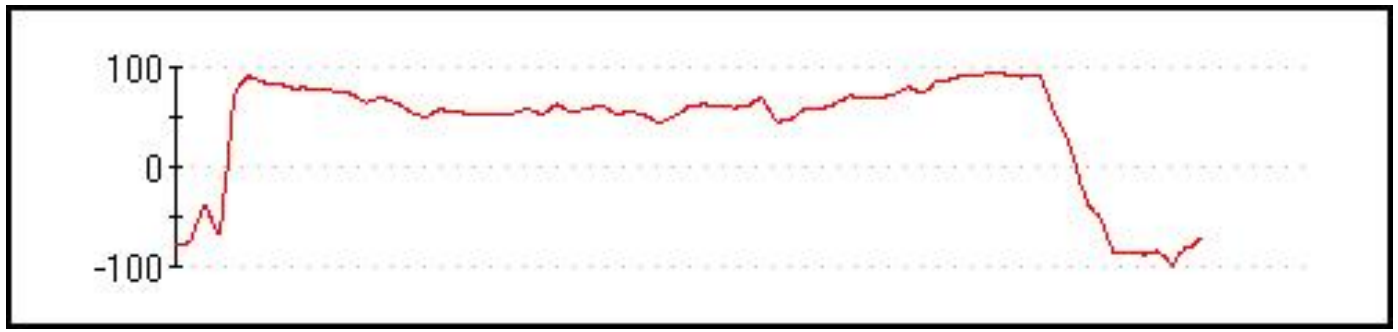
単純強度倍率、参考値　270 / 45 = 6 (Tungsten / Carbon: ）

ArF laser erosion of various samples

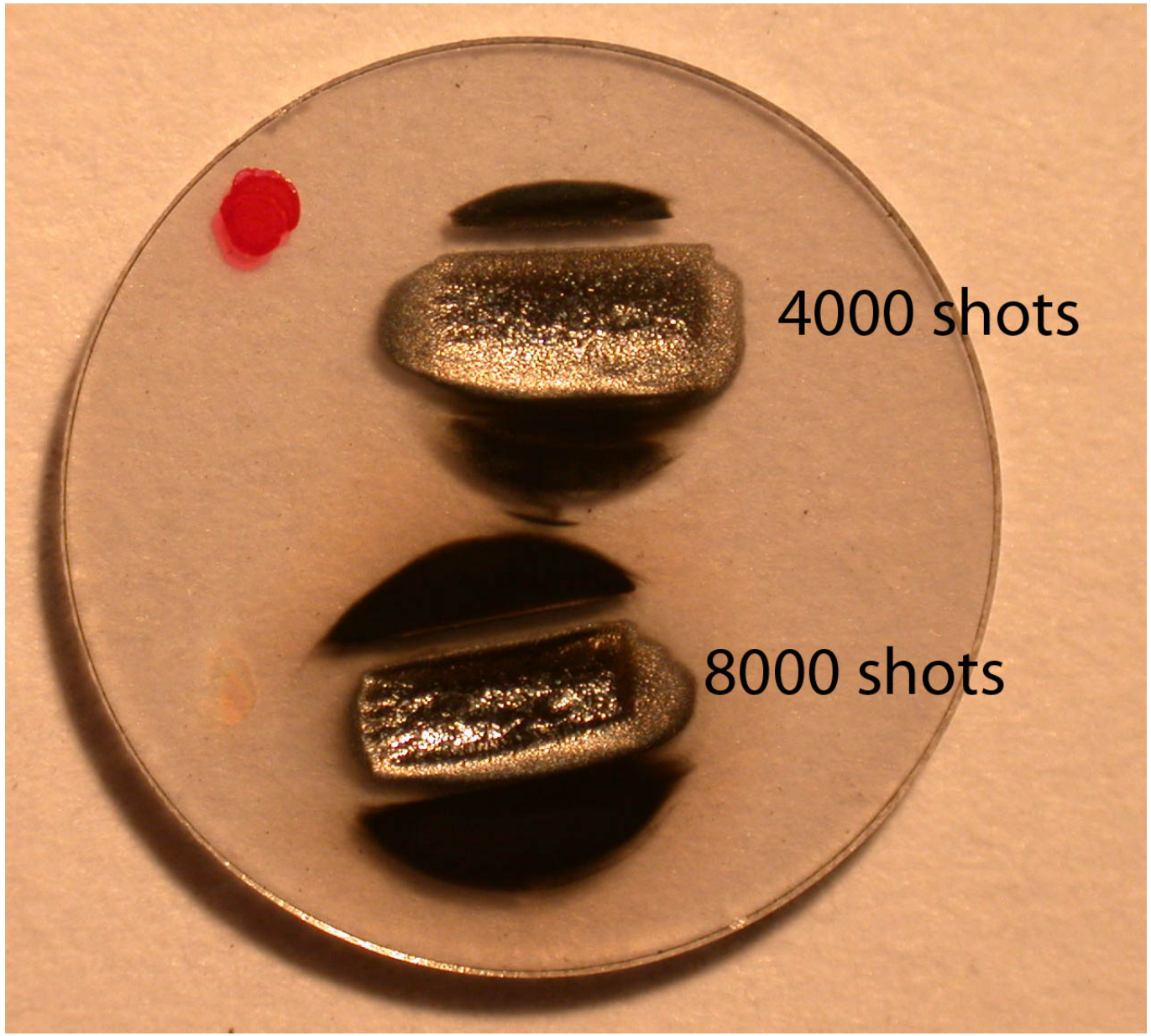

1000 shots
2000 shots

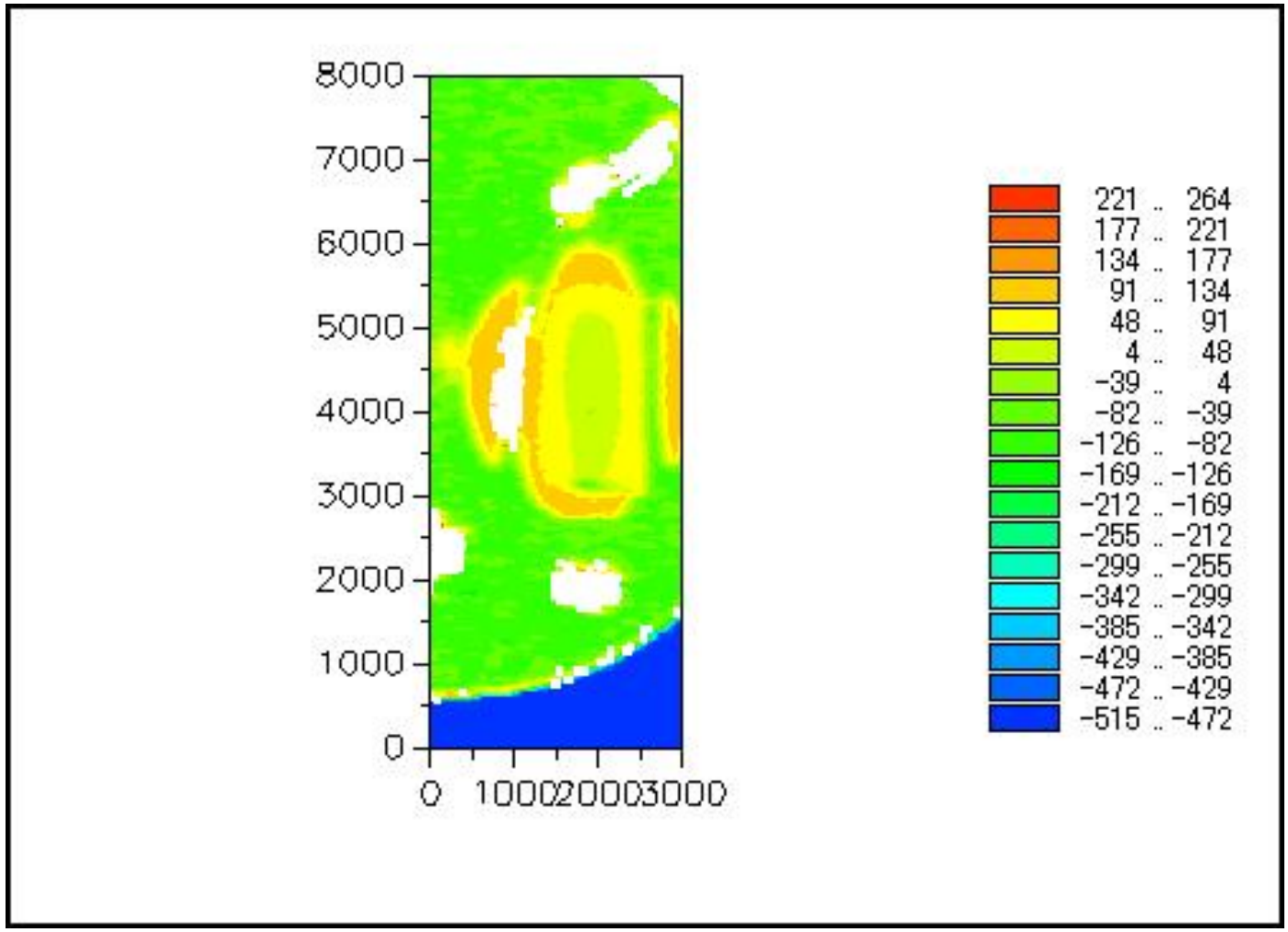


Erosion of Diamond with 1,000 Overlapped Short Pulse ArF Laser Light – 3D Plot Measured with Laser Displacement Sensor

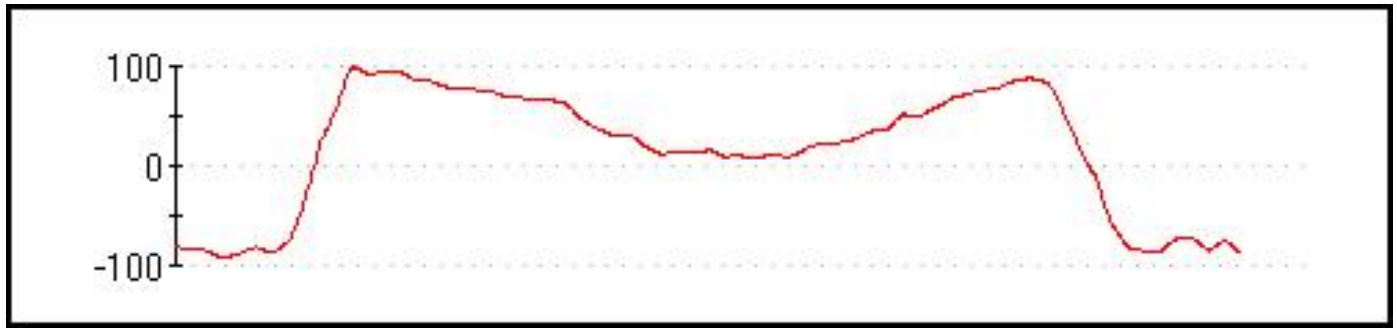


Erosion Depth Measurement with the Same Surface Profiler
(1,000 Overlapped Case)

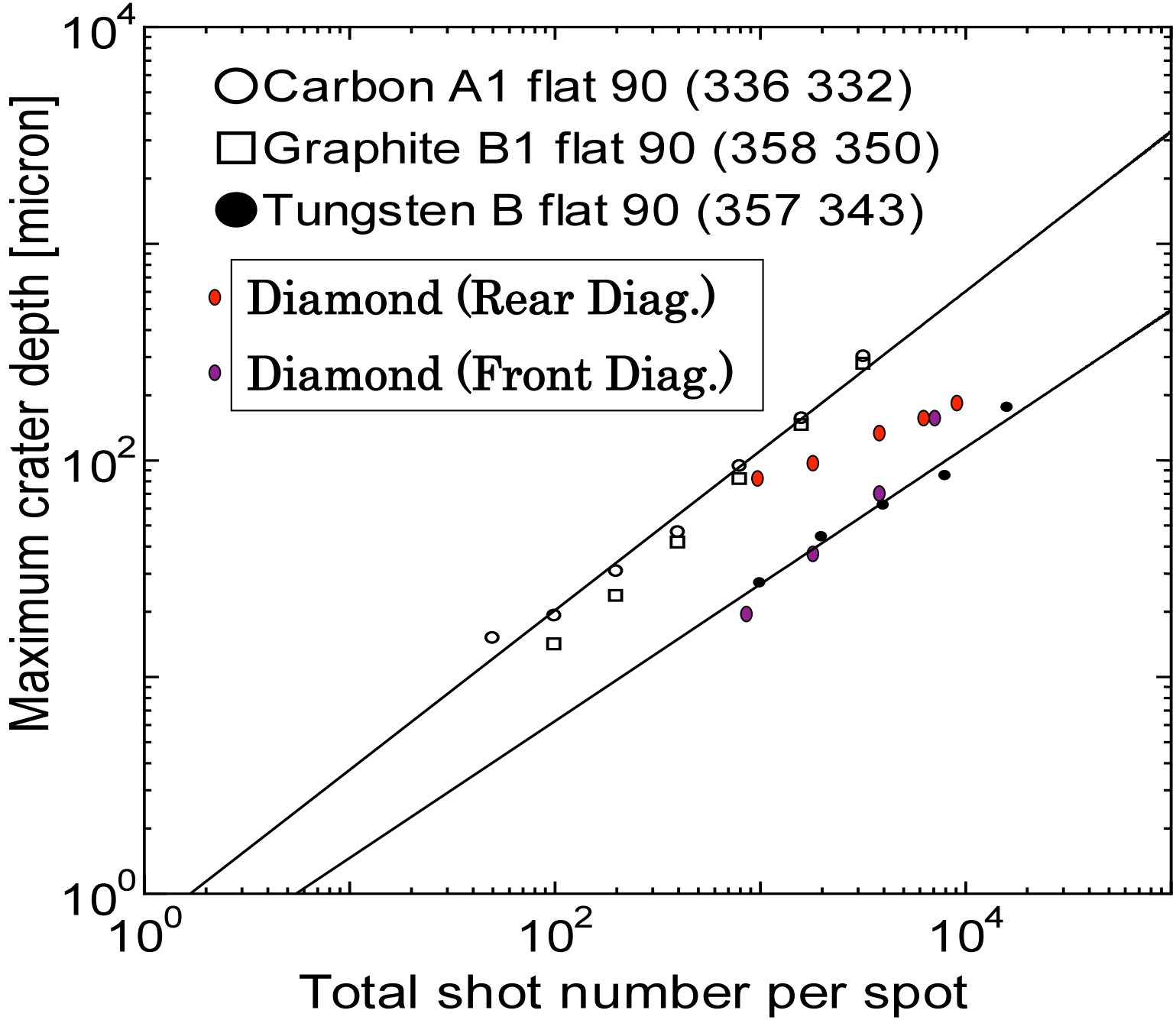

4000 shots
8000 shots



Erosion of Diamond with 4,000 Overlapped Short Pulse ArF Laser Light – 3D Plot Measured with Laser Displacement Sensor



Erosion Depth Measurement with the Same Surface Profiler
(4,000 Overlapped Case)

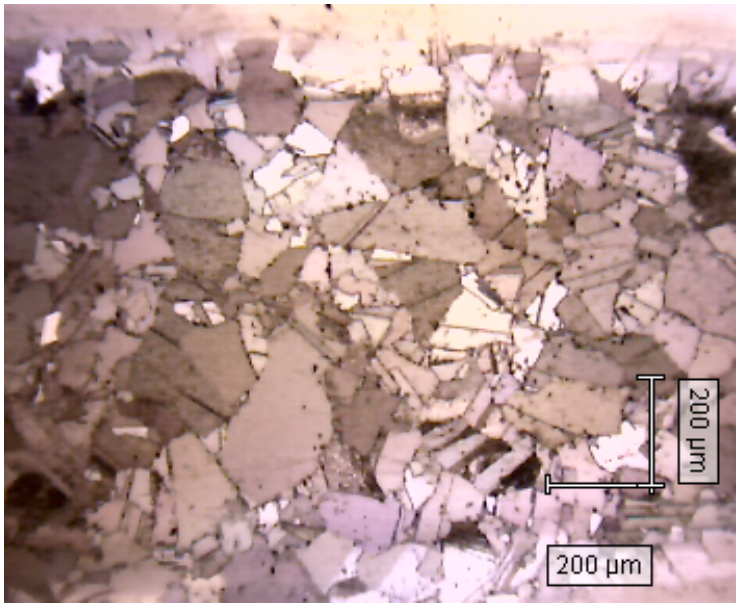


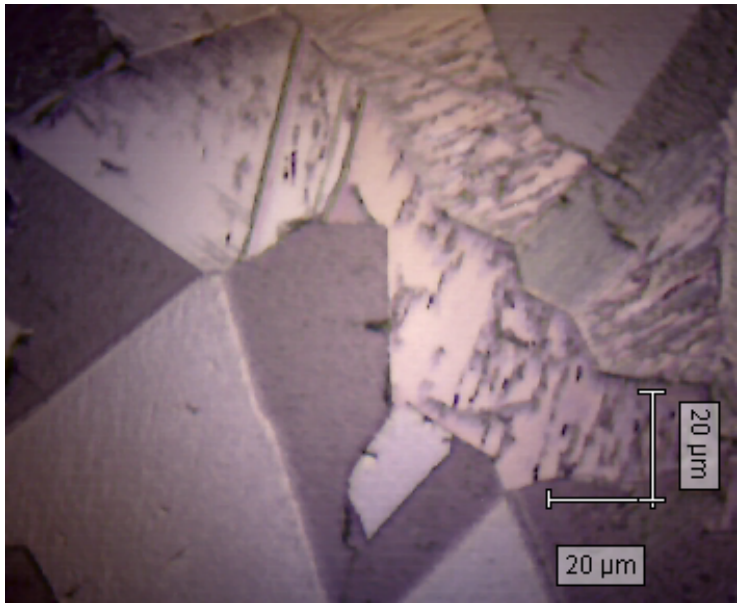
Four Different Species Eroded with Pulsed ArF Laser

x5

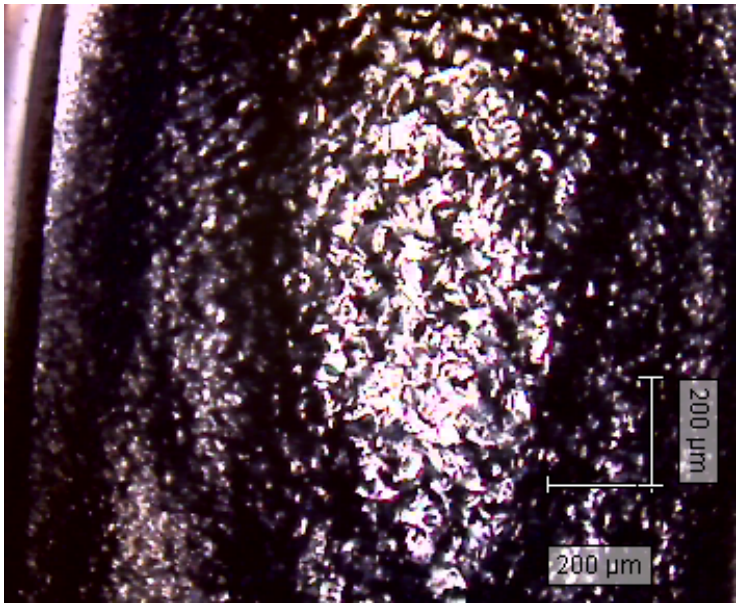
x20

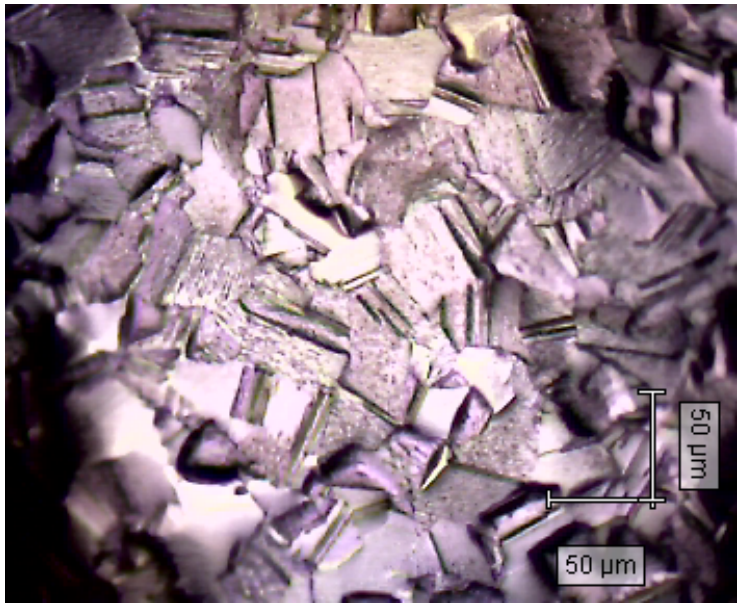
100
Shots





4000
Shots





AFM Photos of Diamond Crater with x5 & x20 Magnification

Raman Diagnostics of the Eroded Surfaces;

Amorphous Diamond Formations, Observed,

Precise Measurements , Now going on.

EUV-DBシステムを用いた共同研究

（極端紫外（EUV）光源開発研究データベースシステム）

担当：西村 博明 nishimu@ile.osaka-u.ac.jp

従来のEUV光源開発やその応用研究はもとより、ナノ秒小型レーザーの特性を生かしたプラズマ発生、レーザーアブレーション、各種計測器の開発や較正などの共同利用研究を募集致します。萌芽的な研究におけるアイデアの実証や大型装置へスケールアップする場合の問題点の洗い出しなどに適した装置です。提案に当たっては、所内プロジェクト計画や装置性能との整合性を勘案する必要があるため、受け入れ担当者と事前打ち合わせを実施するようお願いいたします。

＜EUVデータベースレーザー装置及びEUV計測装置の仕様＞

EUVデータベースレーザー装置

EUV発生用レーザー
Qスイッチ Nd: YAGレーザー
ビーム数　　1ビーム
繰り返し　　10 Hz（シングルショットの実験も可能）
波長　1.06, 0.53, 0.36, 0.27 μm
パルス幅　　短パルスモード　30ps,　300ps
エネルギー　最大 2J（10 ns/1.06 μm）（可変）

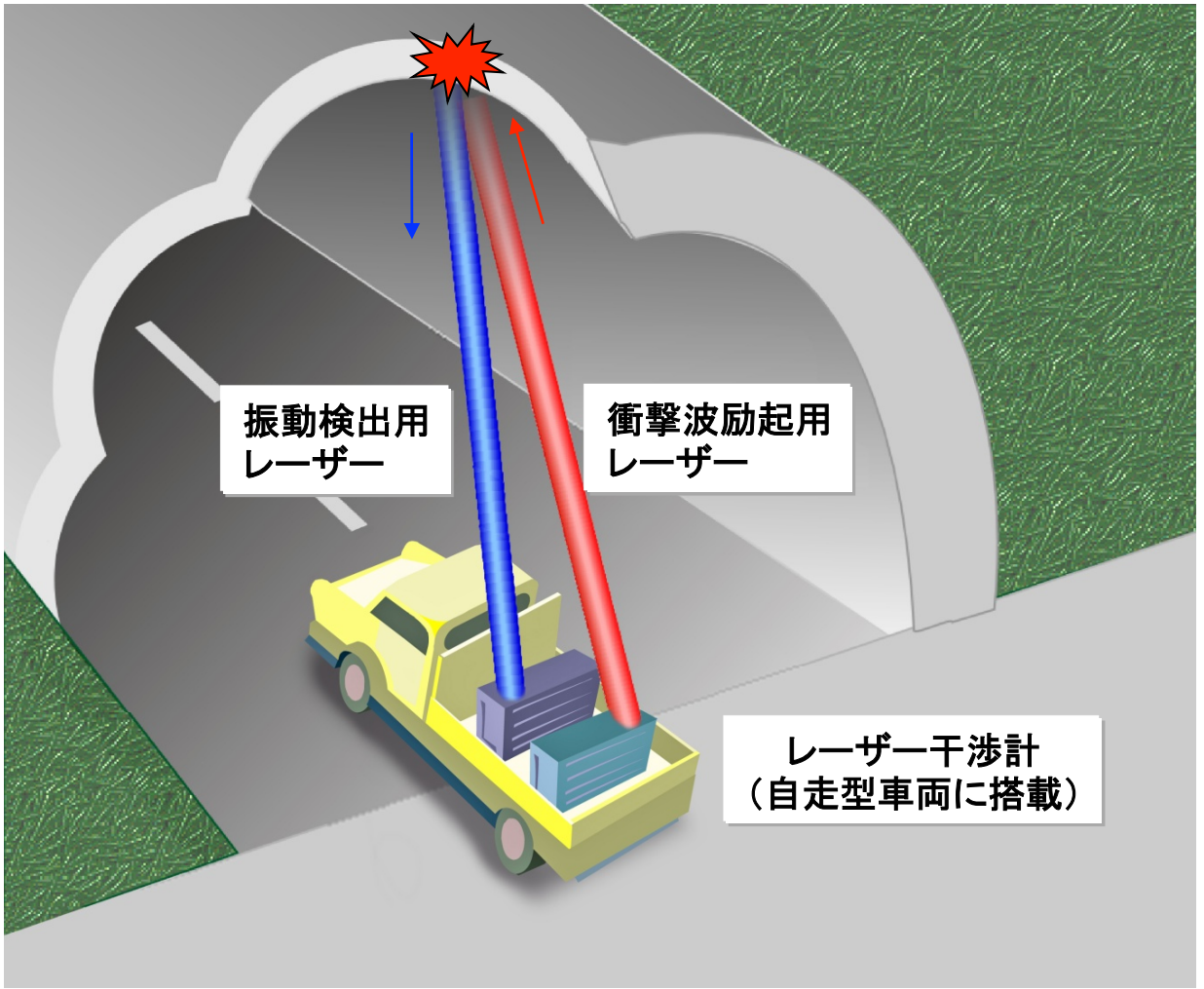
・ 計測用レーザー
Qスイッチ Nd: YAGレーザー（EUV発生用レーザーと同期運転可能）
ビーム数　　1ビーム
繰り返し　　10 Hz（シングルショットの実験も可能）
波長　1.06, 0.53, 0.27 μm
パルス幅　　10 ns（固定）
エネルギー　最大 1J　（10 ns/1.06 μm）

・計測器
斜入射分光器GIS (λ：6 - 22 nm、Δ　λ：0.02～0.05 nm)
透過型回折格子分光器TGS (λ：λ ＜20 nm、Δλ：0.2 nm)
EUV標準エネルギーメータ（原器）
EUV小型エネルギーメータ（通常使用、角度分布等）
EUVピンホールカメラ（Δx：30 μm（代表値））
シュワルツシルト型EUV顕微鏡　（Δx：10 μm）
背面照射型X線CCDカメラ
X線ストリークカメラ
I.I.高速ゲート付きCCDカメラ
EUV光学素子 較正光源
トムソンパラボラ・イオンスペクトロメータ
レーザー干渉計測器

レーザー超音波法によるコンクリート内部欠陥のリモートセンシング

Institute for Laser Technology

・パルスレーザーを照射して超音波を発生させる
・超音波による表面の微小な振動をレーザー干渉計で観測　→ 非接触、遠隔計測
・欠陥の有無による干渉信号の違いから欠陥を検出

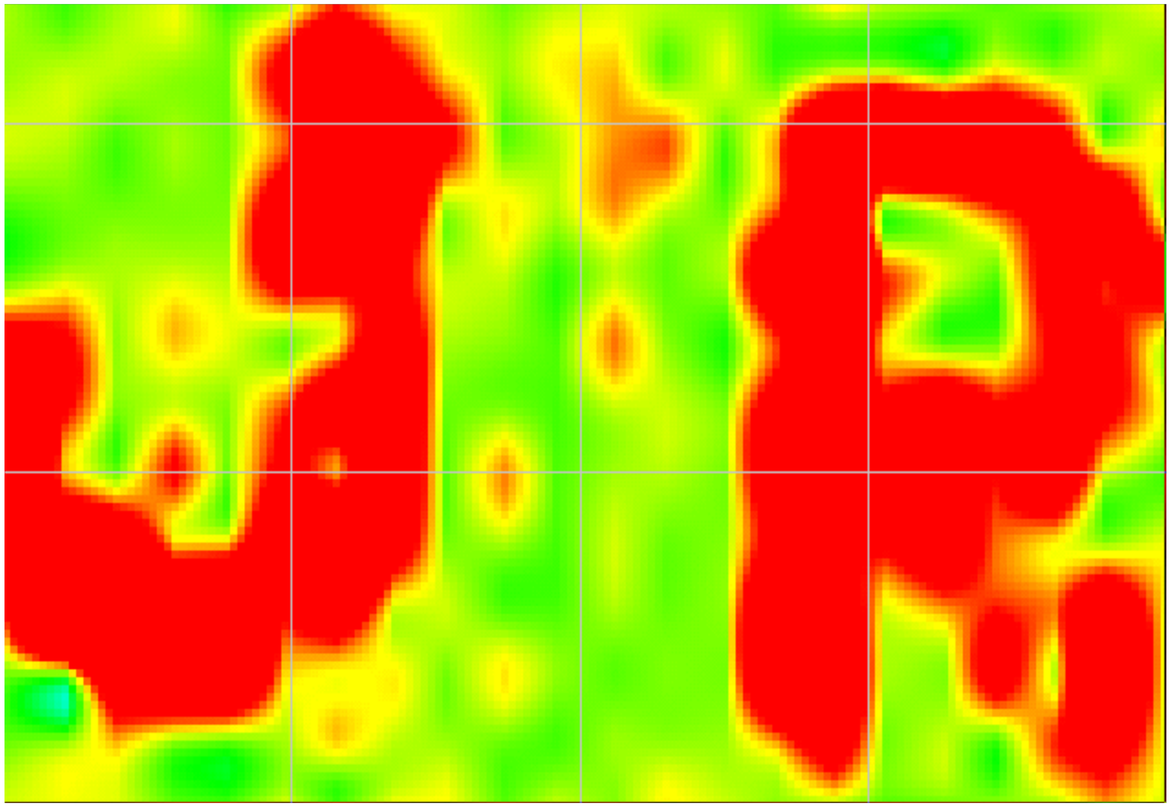


模擬欠陥入りのコンクリート供試体を探傷した結果
内部構造が検出できる

Institute for Laser Technology

コンクリート供試体

探傷結果



“J” “R”

Nondestructive Detection of Small Internal Defects in Carbon Steel by Laser Ultrasonics

T.Tanaka and Y.Izawa, Institute of Laser Technology

Japanese Journal of Applied Physics Vol.40 (2001) pp.1477-1481

Smallest diameter was 100 micron or so.

Other observable was fatigue of structural material.

Keywords; nondestructive detection, laser ultrasonics, Nd;YAG laser, Fabry-Pelot etalon, internal defect, carbon steel,

List of Publications

K.Kasuya, S.Ozawa , T.Norimatsu, S.Nakai, S.Suzuki, K.Esato, M.Enoeda, M.Akiba, W.Mroz, T.Renk and M.Sato et al., “Summary of the plasma facing surface material ablations with high-flux pulsed particle beams, UV laser”, 5th IAEA Technical Meeting on “Physics and Technology of Inertial Fusion Energy” 24-26 March 2010 Vienna, Austria, (in print) (2010).

Koh.Kasuya, S.Ozawa, T.Norimatsu, S.Nakai, S.Suzuki, K.Esato, M.Enoeda, M.Akiba, W.Mroz, T.Renk and M.Sato, “Analyses of liquid wall responses against the high flux fusion products”, IAEA Research Coordinated Meeting of Coordinated Research Project on “Pathways to Energy from Inertial Fusion: an Integrated Approach”, 22-24 March 2010, IAEA's Headquarters in Vienna, Austria, (in print) (2010)

K.Kasuya et al., “First Wall Ablations with High-Flux Pulsed Particle Beams, UV Laser Lights and X-rays for Nuclear Fusion Energy Reactor Design Base”, 2010 Eni Award (Recommended and Applied, no selection as final winner) (2009-2010).

K.Kasuya, S.Ozawa, S.Suzuki, K.Esato, M.Akiba, W.Mroz, A.Prokopiuk, M.Sato, K.Shimoda, T.Norimatsu, M.Nakai, K.Nagai, T.Ohshige, H.Furukawa, “Applications of Laser and Particle Beam Apparatuses to Fusion Reactor Plasma Facing Future Research Works”, Proceedings of 4th IAEA Technical Meeting on Physics and Technology of IFE Targets and Chambers, Kobe, Japan, September 13, 2007, CD-ROM Distribution (2008).

K.Kasuya, S.Ozawa, S.Suzuki, K.Esato and M.Akiba, “Material Surface Ablation with ELM-like E-Beam Thermal Load”, Proceedings of the 22nd IEEE/NPSS Symposium on Fusion Engineering, Albuquerque, NM, USA, CD-ROM Distribution (2007).

K.Kasuya, S.Ozawa, S.Suzuki, K.Esato and M.Akiba, “Simulation Experiments for Divertor Ablation with ELM-like Electron Beams”, Japan-US Workshop on Heat Removal and Plasma Materials Interactions for Fusion, Fusion High Power Density Components and System, and IEA Workshop on Solid Surface Plasma Facing Components, Proceedings of the Japan-US Workshop on Heat Removal and Plasma Materials Interactions for Fusion, Fusion High Power Density Components and System, and IEA Workshop on Solid Surface Plasma Facing Components (2007).

研究項目の時系列表示（まとめに代えて）

以前の研究：　イオンビーム照射
レーザー照射
X線照射

最近の研究：　電子ビーム照射（ELMとダイバータ）
レーザー照射

近い将来の研究（希望）：　第一壁材料照射
新計測法の開発
レーザー誘起超音波法
干渉分光法の応用
より長波長赤外光源の利用
中性子照射効果の検証
ITER内壁表面モニターの開発

（参考情報・文献等）
糟谷紘一のインターネットホームページ
URL: https://sites.google.com/site/kasuyakouichihomupeji/

ご清聴ありがとうございました。