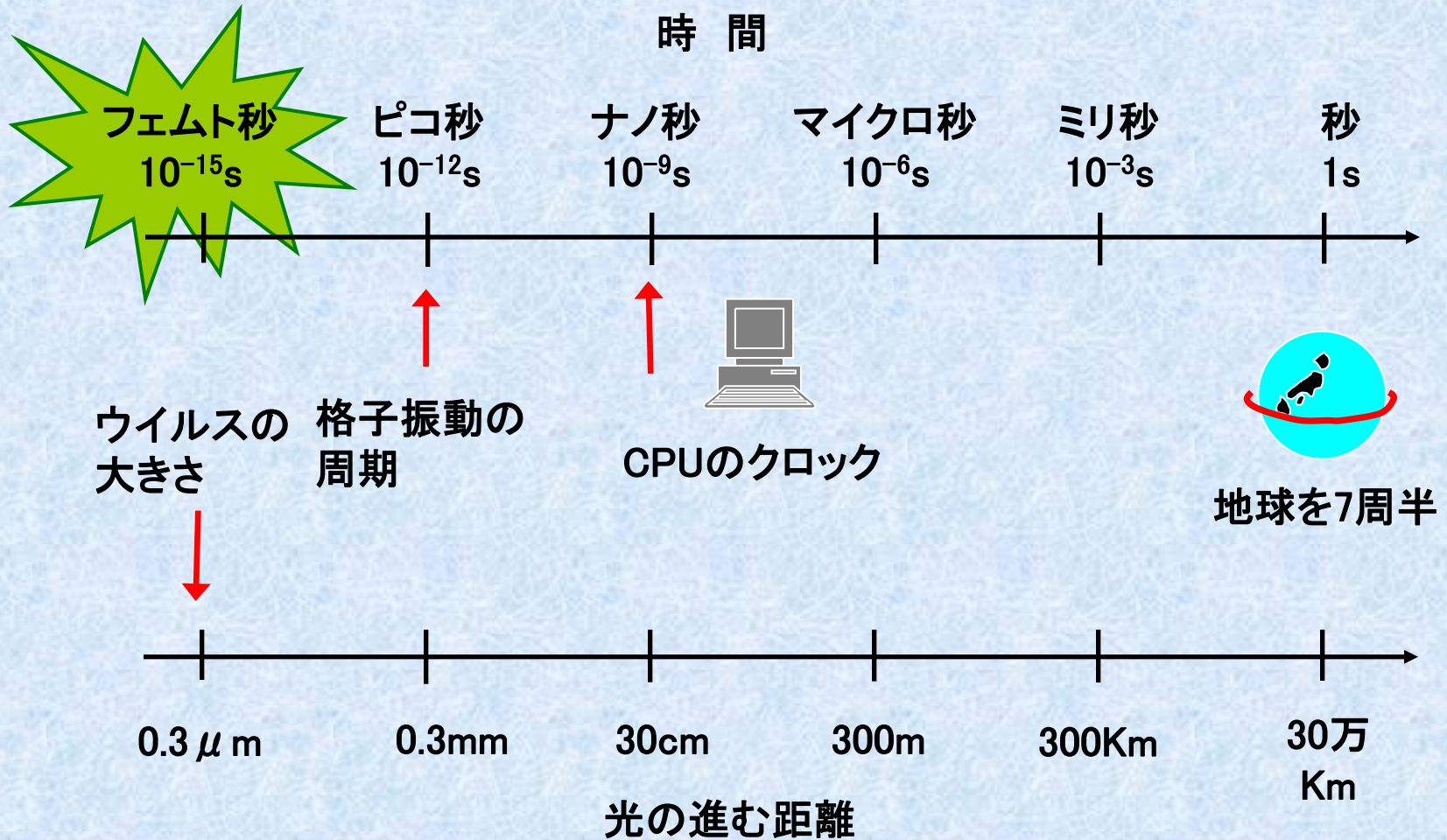


フェムト秒レーザー 超微細加工装置

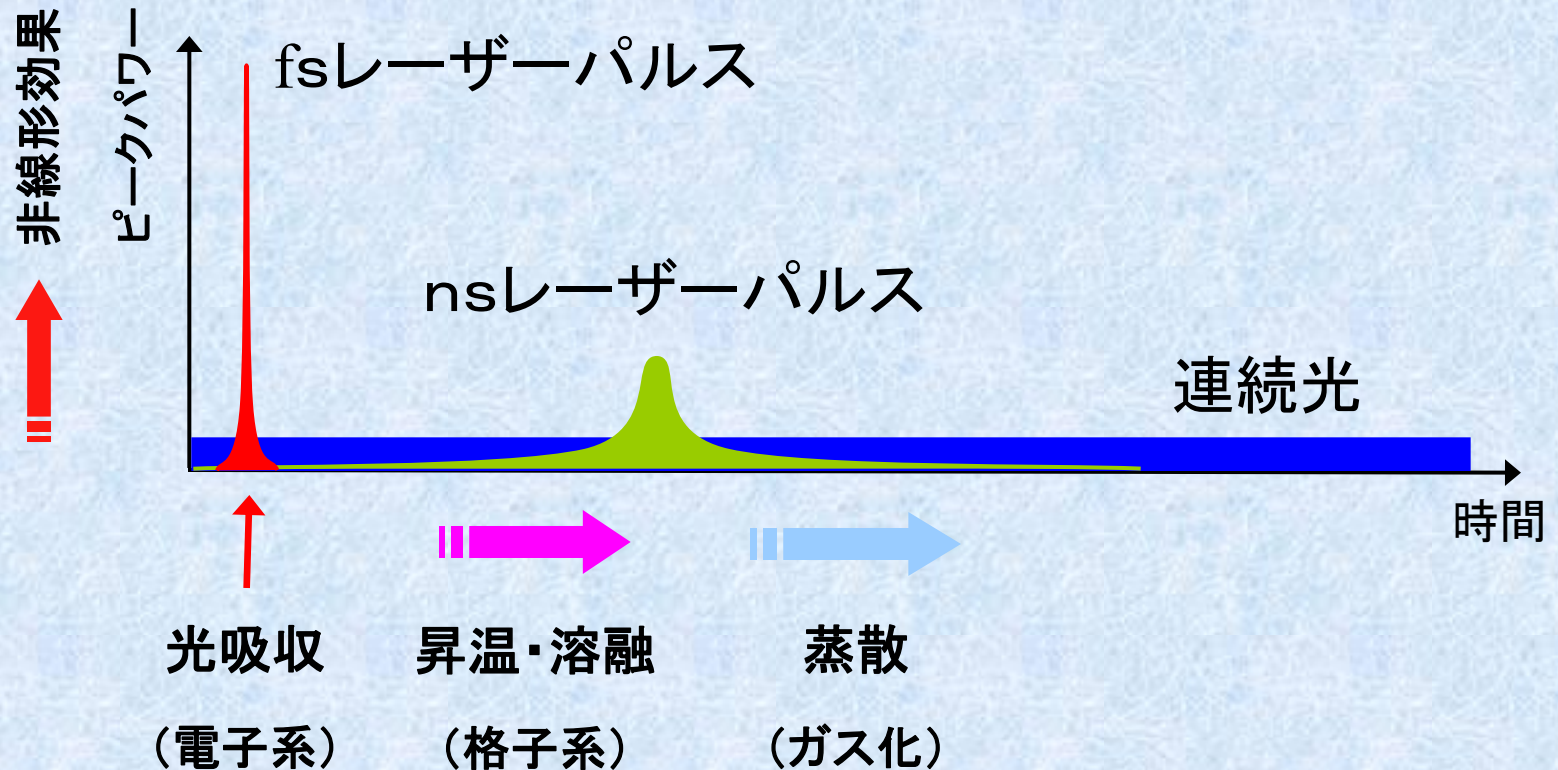
株式会社東京インスツルメンツ

フェムト(10^{-15})秒とは？

時間



フェムト秒(fs)レーザーパルスとは？



- 時間幅(τ)が非常に短い $\tau < \text{電子-格子緩和時間(数ps)}$
- ピークパワーが非常に大きい 非線形効果が顕著

フェムト秒レーザー加工の特徴

非熱加工(熱影響を極力抑えた加工)

熱が周囲に伝わるよりも短い時間に照射が終了

→ **熔融・再凝固相**が極めて少ない

→ 周囲への**熱損傷**が極めて少ない



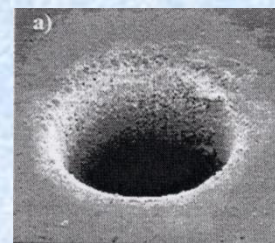
<切れ味の鋭い加工>

非線形加工(多光子吸収)

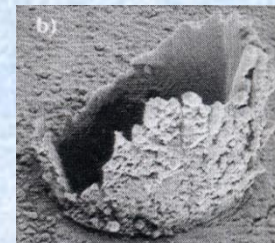
集光スポット部においてのみ強い**光吸収**が生じる

→ 光の**回折限界**を超えた超微細加工

→ 透明材料への3次元加工が可能

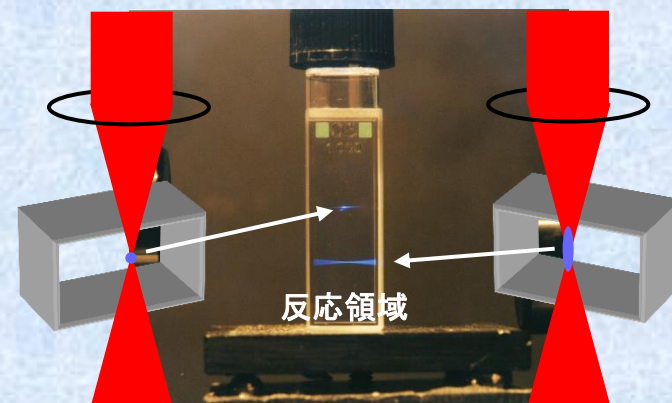


120fs

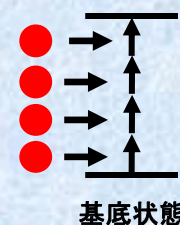


13ns

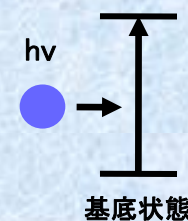
ステンレスへの穴あけ加工($\phi 80 \mu\text{m}$)



多光子過程
4hv 励起状態



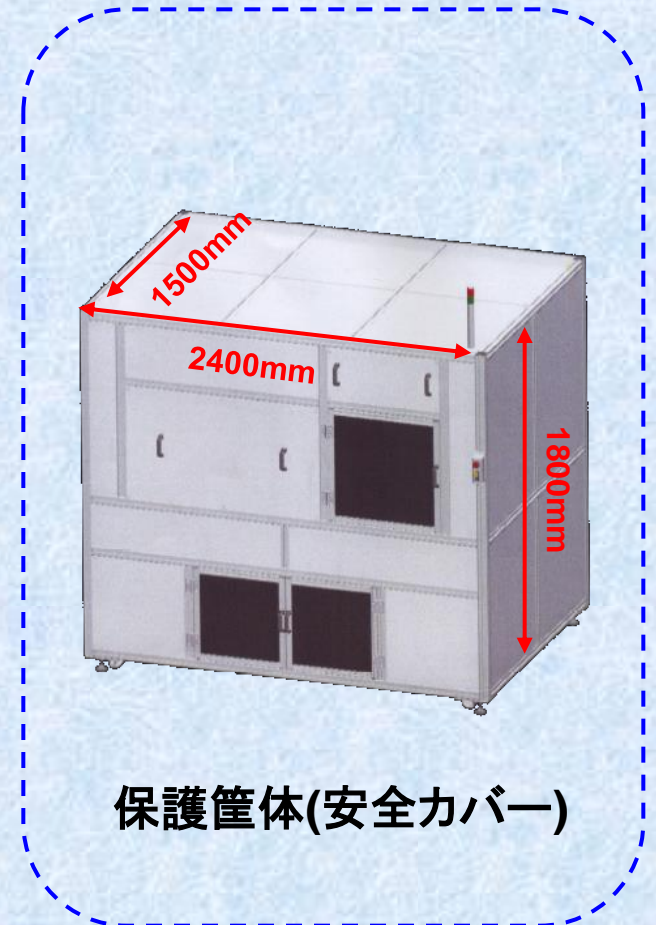
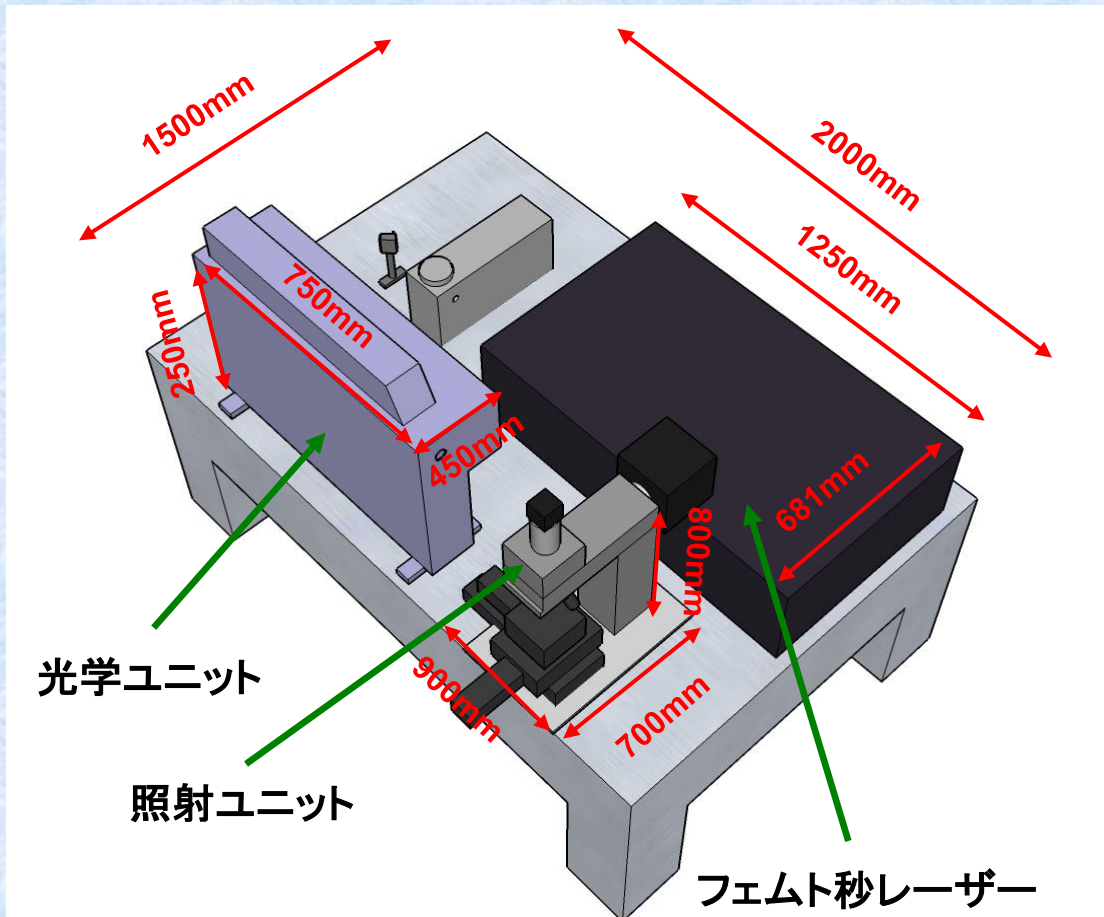
1光子過程
励起状態



フェムト秒とナノ秒のレーザー加工の比較

	ナノ秒レーザー	フェムト秒レーザー
光吸収	線形<1光子>	非線形<多光子>
材料の歪み	熱による歪み、クラックが発生	歪の発生なし
加工特性	光エネルギーによる熱加工	光エネルギーによる物理的な加工
材料の変質 (未照射部)	熱拡散による変質	熱拡散が少ない
加工分解能	波長程度	回折限界以下

フェムト秒レーザー超微細加工装置寸法



フェムト秒レーザー超微細加工装置外観例①



フェムト秒レーザー超微細加工装置外観例②



本装置の納入実績例



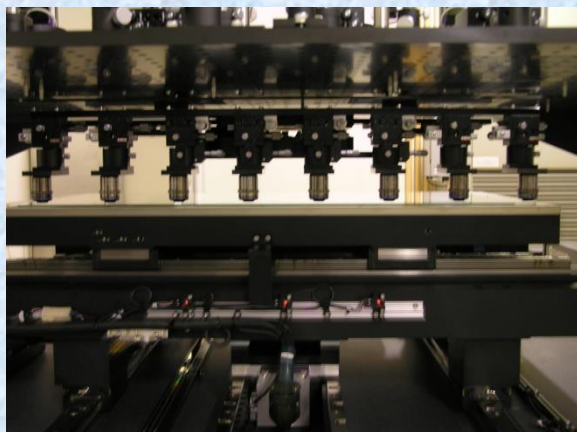
● 微細加工装置(標準機／縦置き)



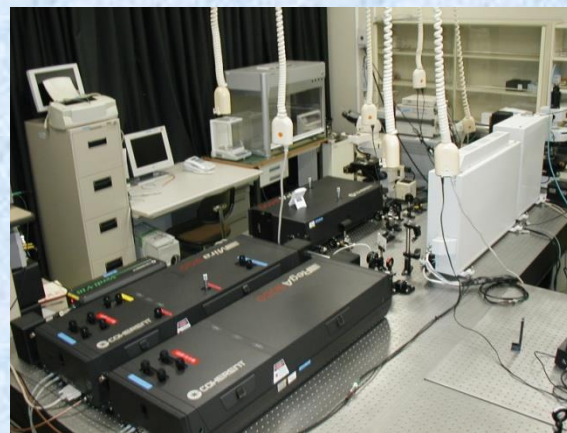
● 簡易光学系微細加工装置



● 大型ガラスパネル用微細加工装置



● 大型ガラスパネルの32点同時加工装置

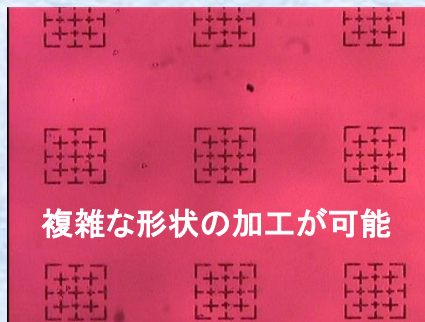


● 生体試料向けの微細加工装置(生体メス)

本装置の基本機能①

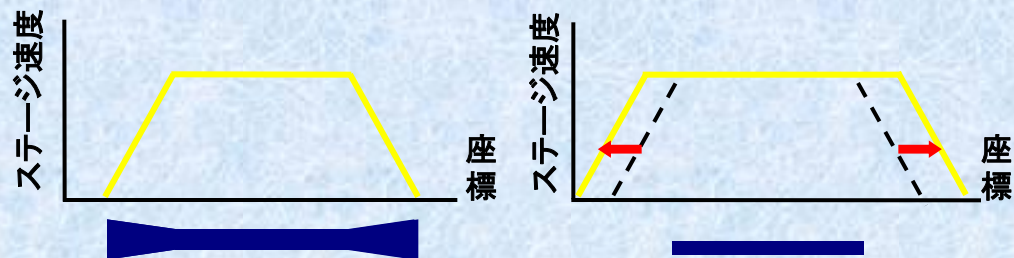
● レーザー(光源)とステージの同期制御

レーザー照射とステージ動作のタイミングを同期した制御



● ステージの加減速を考慮した制御

均一な幅の溝加工が可能。



● 加工状況のリアルタイム観察

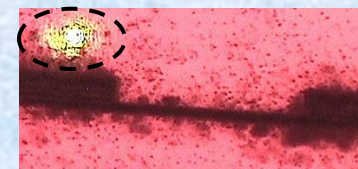
加工状況をモニター上で観察できます。



● ガイドレーザー

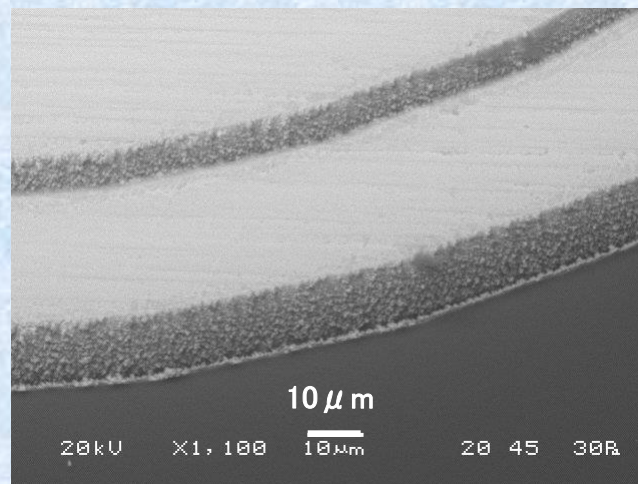
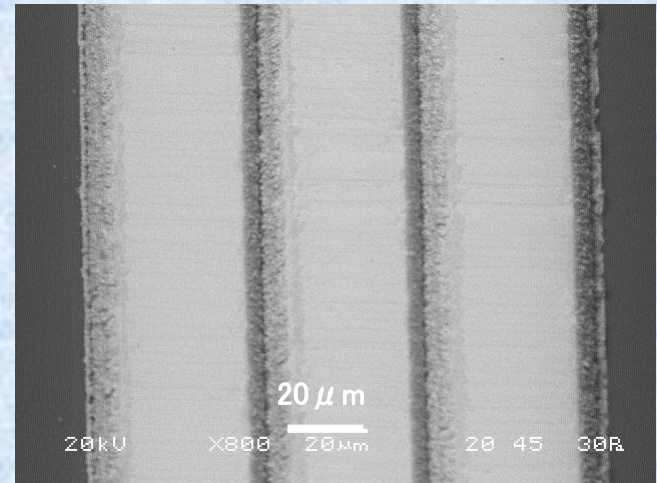
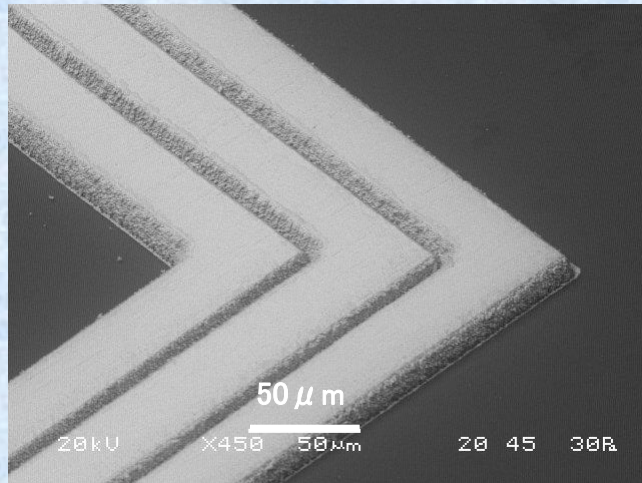
加工位置決め用レーザー

(He-Neレーザー: 660nm)



加工事例：切断加工

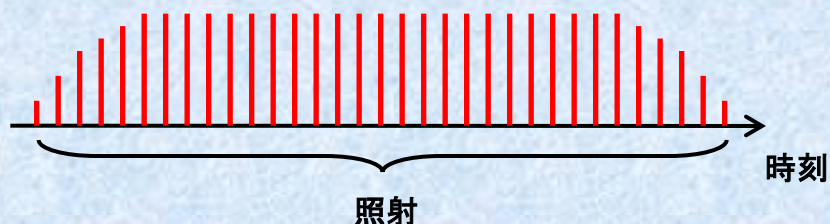
プラチナ薄膜(t:10 μm 、線幅:20 μm)



本装置の基本機能②

● 照射パルス数制御

メカニカルシャッターによる制御



シャッタースピードに依存: 1パルス制御不可

レーザーの直接制御



1パルスから任意のパルス数の選択照射可能

● オートフォーカス機能

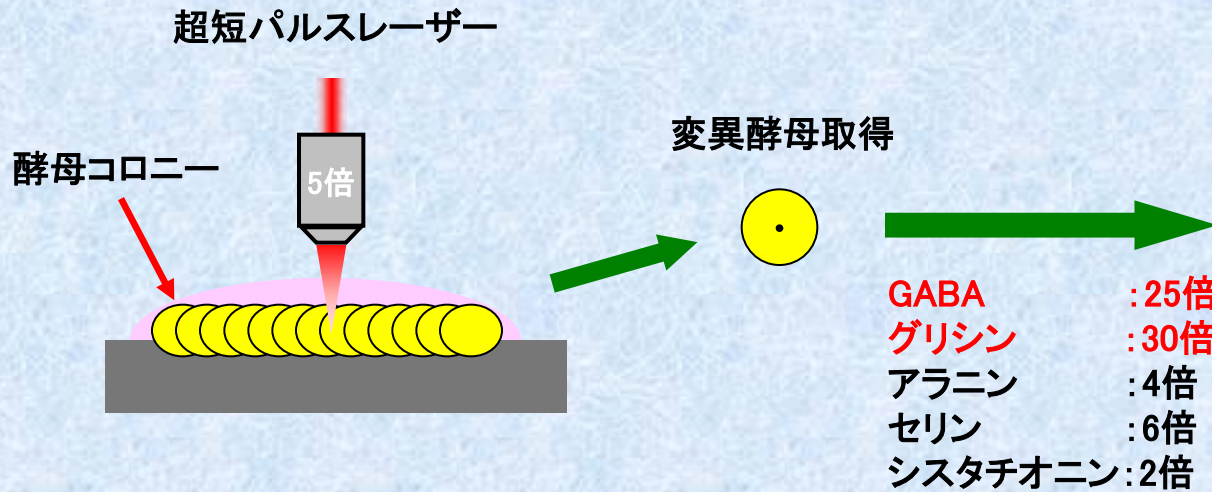
共焦点光学系の採用による、共焦点オートフォーカス機能
フォーカス精度は各集光レンズの焦点深度に対して十分な
精度で、再現性の高い加工を実現

ステッピングモーターステージ使用。
ステージ単体の繰り返し精度は、仕様 $\pm 1 \mu\text{m}$ 程度。
焦点深度は、径6.5mm、M1.5のガウスビームで計算

集光レンズ		× 100	× 40	× 20	× 10	× 5	f50mm
偏差 3σ	um	0.05	0.09	0.12	0.30	0.65	4.10
理論焦点深度	um	0.9	2.5	5.9	23.4	93.6	180.0

共焦点オートフォーカスの繰り返し精度 (30回)

加工事例：酵母への代謝変異誘導



YPD Culture	親株 K701	変異株 K701-L1	変異株 K701-L2
	mg / g (dry cell)		
Ser	0.12	0.68	0.74
Gly	0.06	1.63	1.35
Ala	0.54	1.95	1.73
Val	0.93	0.32	0.35
Cysthi	0.05	0.11	0.12
GABA	0.04	1.05	0.89
Orn	0.17	0.06	0.05
Arg	2.40	1.37	1.43
Urea	0.00	trace	trace
Asp	1.30	0.30	0.27
GSH	1.25	1.34	1.49
GSSG	0.44	0.31	0.35

変異酵母との成分比較

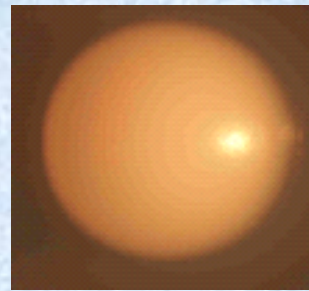
GABA、グリシンが大幅に増加

既存の変異導入法(EMS、放射線、紫外線)では取得例がない

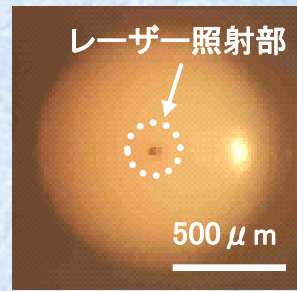
新規の変異有用株の期待大



培養プレート上のコロニー



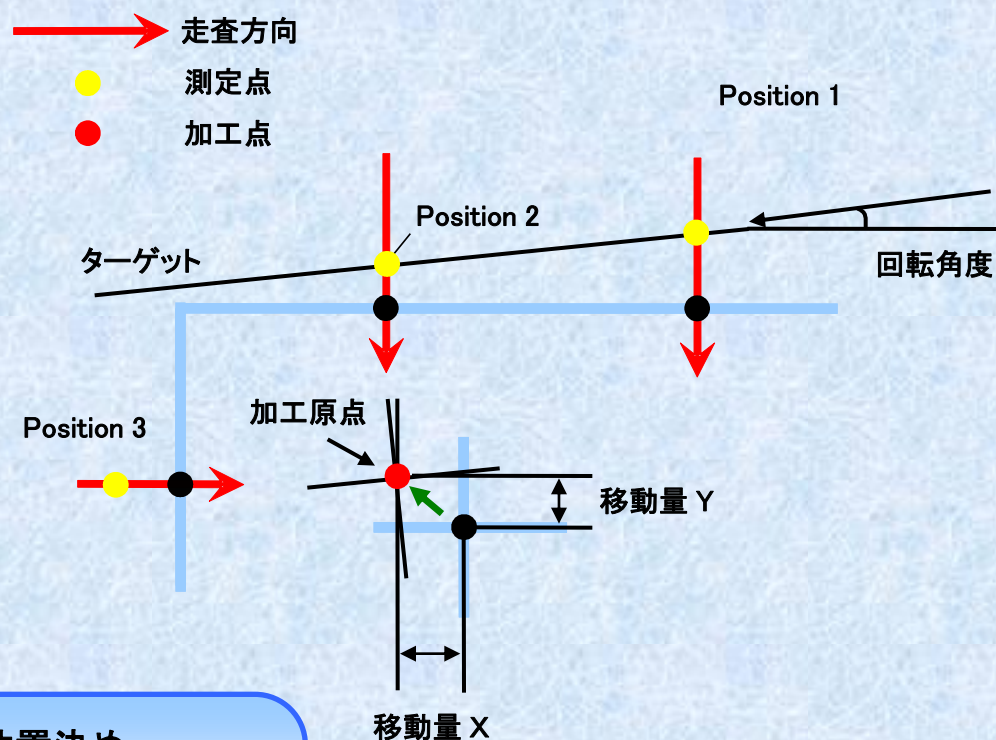
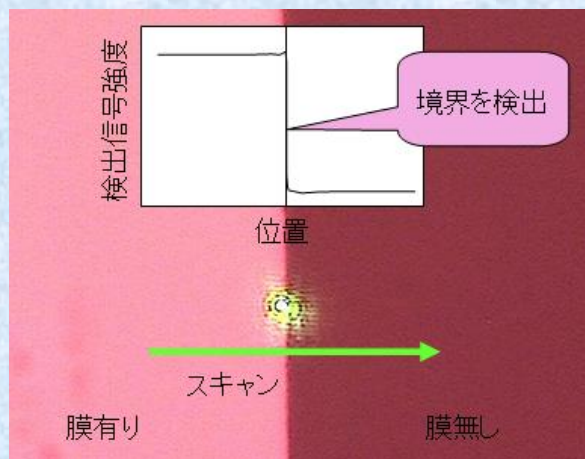
レーザー照射前



レーザー照射後

本装置の基本機能③

● 試料位置決め機能

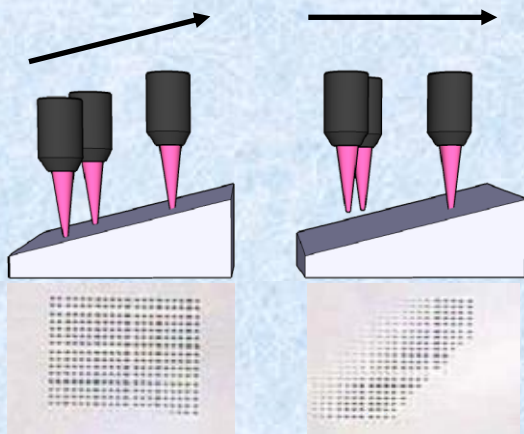


オートフォーカス機能を利用した試料の位置決め

- 境界面の検出
- 試料上のターゲット3箇所を測定し、試料の平行移動量回転量を求め、加工に反映します。

本装置の基本機能④

● サンプル傾斜補正機能



傾斜補正あり

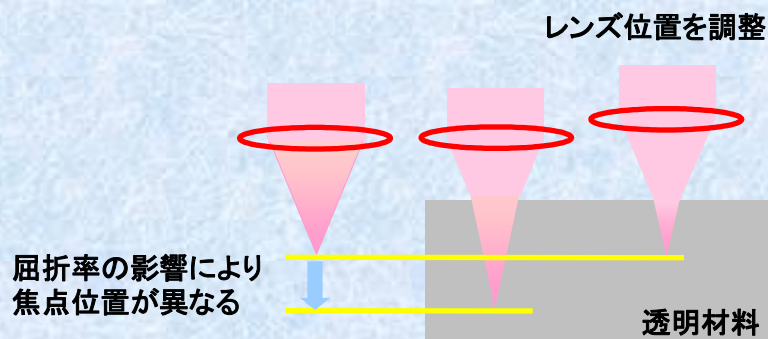
傾斜補正なし

任意に選択した3点の位置におけるサンプル表面位置を検出し、
サンプルの傾きをパソコン上で計算



サンプル傾きに沿った加工が可能

● 屈折率補正機能



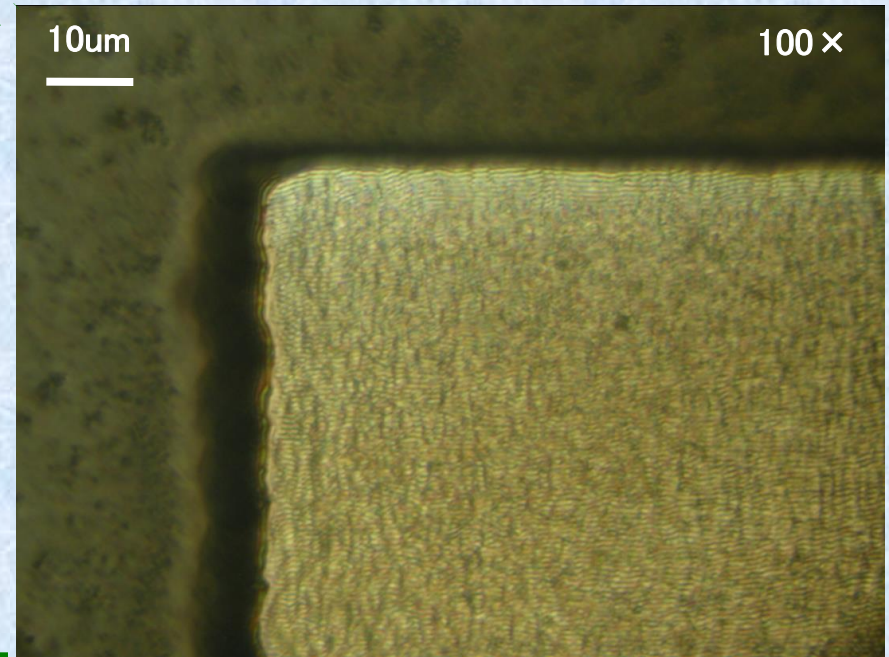
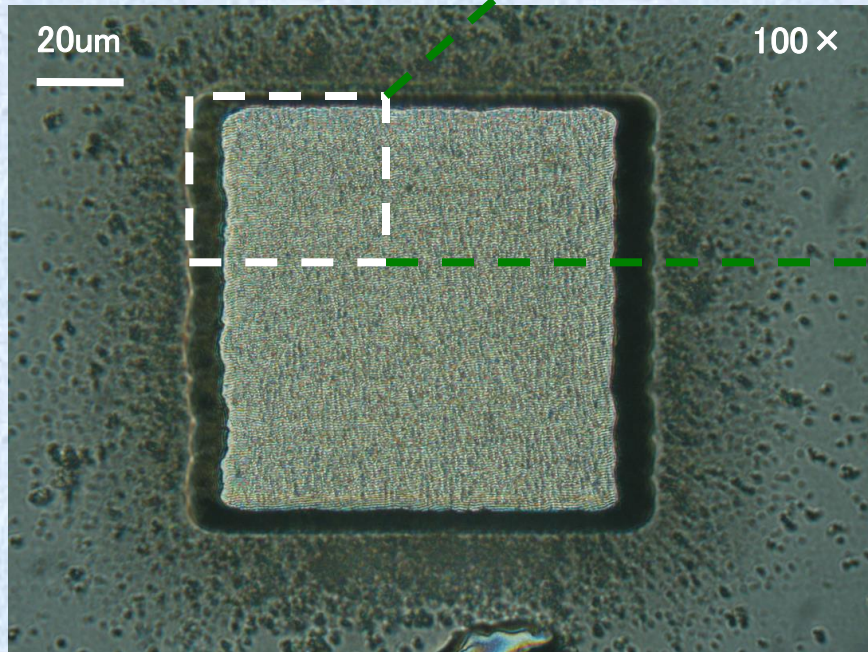
透明料において試料内部に照射する場合、
屈折率の影響により設定した位置と異なる
位置に照射される



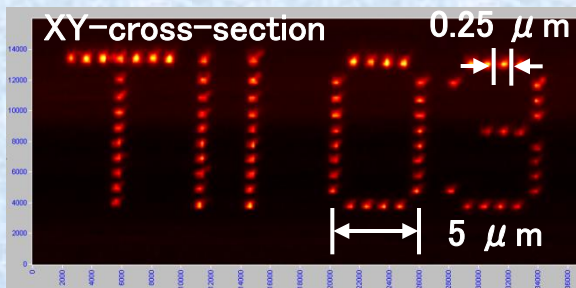
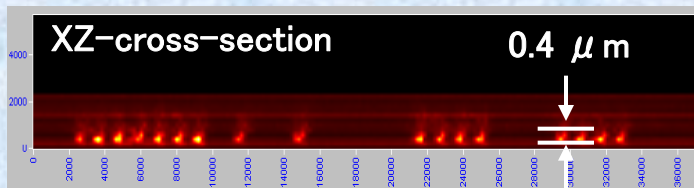
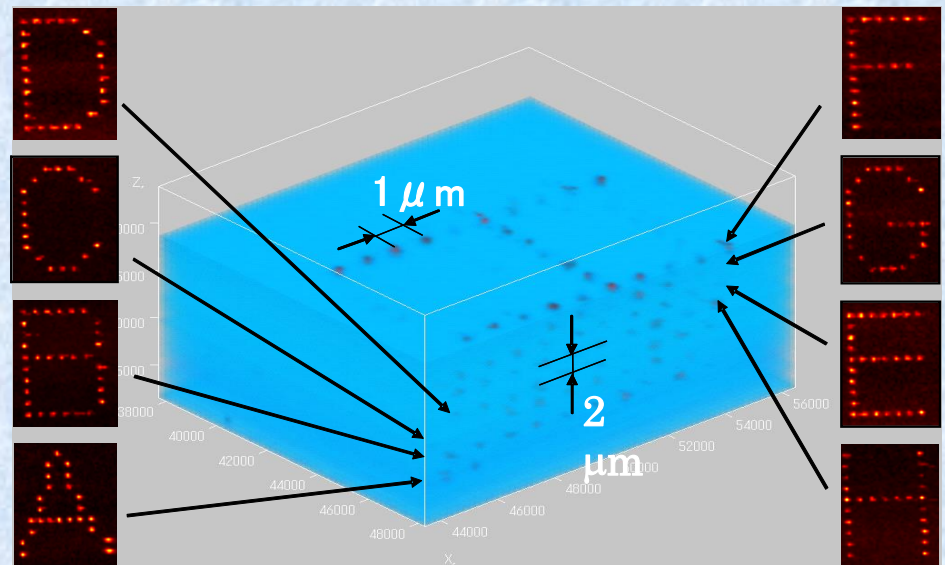
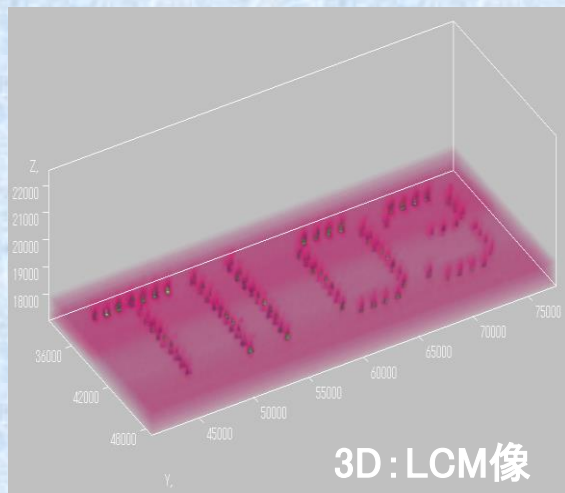
試料の屈折率を設定をすること焦点位置の
変化を補正した加工が可能

加工事例：薄膜除去

DLC薄膜の除去加工($t:3\ \mu\text{m}$)



～加工事例:石英ガラス内部加工～



ドットサイズ : $< 500\text{nm}$
ドット間隔 : $1 \mu\text{m}$
文字サイズ : $10 \times 10 \mu\text{m}$
文字間隔 : $2 \mu\text{m}$

本装置の基本機能⑤

インタラクティブな操作性

加工データの作成機能

The screenshot displays the Nanosculptor TII software interface. The main window shows a 3D topographic map of a sample with a highlighted region. The interface includes a menu bar (File, View, Tools, Help), a toolbar with 3D navigation tools (XY, XZ, YZ), and a central camera view labeled '顕微鏡像' (Microscope Image). On the left, there is a 'Camera' panel with a table of shapes and their corresponding icons, and a 'Batch' panel with buttons for 'Batch', 'Tiling', 'Processing Order', 'Overlap', 'Return', 'Data Deletion', and 'Data Editing'. On the right, there is a 'Settings' panel with checkboxes for 'Stage Current Position', 'Coordinate Display', 'Stage Movable Range', 'Carrier', 'Sample Shape', 'Processing Data', 'Grid', 'Processing Area', and 'Area Coordinate Display'. Below the main view, there is a 'Stage Control' panel with directional buttons and a table of current and target values for X, Y, Z, and A. The bottom panel contains 'Processing Parameters' and 'Presets' sections, with buttons for 'Move', 'Acquire', and 'AF'. The status bar at the bottom indicates 'ステージ停止中' (Stage stopped).

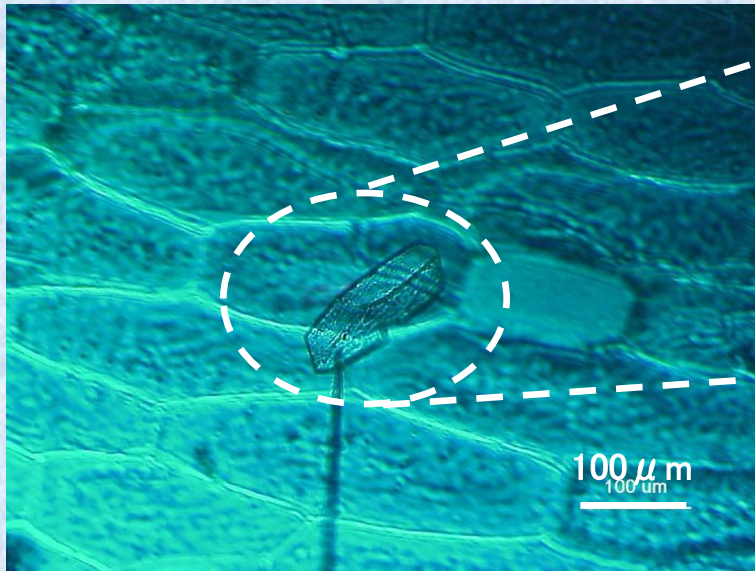
現在値	目的値	ステップ
X: -32007.20	1000.00	100.00
Y: -7619.40	1000.00	100.00
Z: -3495.20	100.00	5
A: 0.00 [度]	0.00	0.00

加工パラメータ	サンプル補正	加工原点/プリセットポジション	加工情報
<input checked="" type="checkbox"/> X[um]	<input checked="" type="checkbox"/> Y[um]	<input checked="" type="checkbox"/> Z[um]	<input type="checkbox"/> A[um]
加工原点: -32307.20 -7819.40 -3505.20 0.00			
プリセットポジション			
Position1	移動	取得	(ロードポジション) ポジション編集
Position1	移動	取得	
Position1	移動	取得	
Position1	移動	取得	
Position1	移動	取得	
Position2	移動	取得	

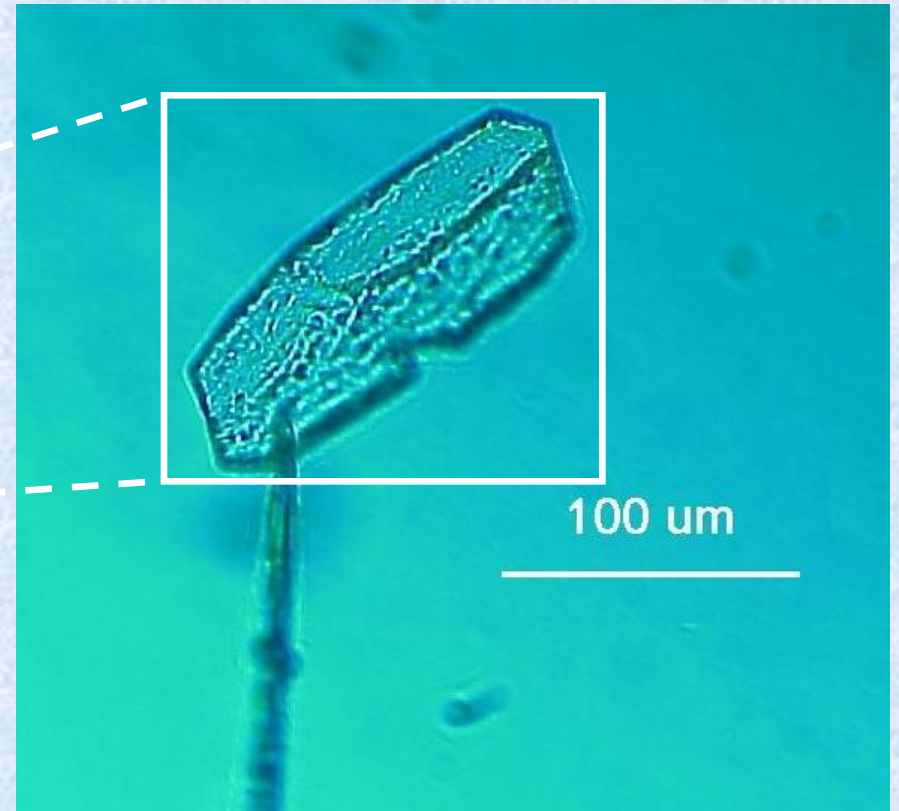
加工データの編集機能

各種加工条件の設定

加工事例：植物試料の切断



タマネギの単一細胞の単離



熱による**損傷を受けず**に単一細胞を取得

加工データの作成方法①

● テキストデータ形式

The Notepad window displays a 3D coordinate system with X, Y, and Z axes. A starting point (始点) is marked at the origin. Three planes are defined at different Z heights: 平面① at $z=10000\text{nm}$, 平面② at $z=5000\text{nm}$, and 平面③ at $z=0\text{nm}$. Red arrows indicate the direction of processing on each plane. The text data in the Notepad window is as follows:

```
0 0 10000
0 50000 10000
50000 50000 10000
50000 0 10000
0 0 10000

0 0 5000
0 50000 5000
50000 50000 5000
50000 0 5000
0 0 5000

0 0 0
0 50000 0
50000 50000 0
50000 0 0
0 0 0
```

テキストデータでXYZの各軸の座標を指定します。
この座標に沿って加工がおこなわれます。

● 簡易データ作成機能

The 'Create scan array' dialog box has the following settings:

Quantity of points	Value of one step	Inverse direction
X: 25	2000 nm	<input type="checkbox"/>
Y: 25	2000 nm	<input type="checkbox"/>
Z: 5	1000 nm	<input checked="" type="checkbox"/>

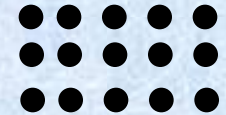
Buttons: Create, Cancel

Options: XYZ (dropdown), Order of points creating, Creation of lines, Optimum scanning

ラインの長さや間隔を入力して、
ライン(ドット)加工データを作成します。



ライン加工データ



ドット加工データ

加工データの作成方法②

●加工データ作成支援ソフトウェア

The screenshot shows the NMG Data Processing software interface. The main workspace displays a grid with a blue outline of a flower-like shape on the left and a red bitmapped version of the same shape on the right. The text '複雑な形状データ' (Complex shape data) is positioned above the red shape. At the bottom of the grid, the text 'さくら2012' (Sakura 2012) is displayed, with '数値/文字データ' (Numerical/Text data) below it. The software's toolbar and control panels are visible at the top, including options for file operations, display settings, and data processing parameters.

Grid=2
(118, -b9)

複雑な形状データ

さくら2012
数値/文字データ

ビットマップデータ(白黒)

加工データの作成方法③

●NCデータ形式(レーザー加工用CAD/CAMデータ形式)

The screenshot displays the Nanosculptor TII software interface (Ver. 0.01) with the following components:

- Top Panel:** Menu bar (File, View, Tools, Help) and a toolbar with icons for file operations, 3D/XY/XZ/YZ views, camera, and execution.
- XY View (Top Left):** 2D grid view with a grid size of 946.25um.
- XZ View (Bottom Left):** 2D grid view with a grid size of 946.25um.
- 3D View (Bottom Right):** 3D perspective view of the grid-based workpiece with a grid size of 946.25um.
- Microscope Image (Top Right):** A live microscope image of the workpiece, labeled "顕微鏡像".
- Right Panel:** A settings sidebar with sections for Stage (Stage position, coordinate display, range), Sample (Shape), Processing Data (Data, Grid, Area, Area coordinate display), Registration Point (Reference point, origin, loading position), Color specification (Color bar), Line width, and Dot size.
- Bottom Panel:** Control and parameter sections.
 - Stage Control:** Includes directional movement buttons, a table for current, target, and step values for X, Y, Z, and A axes, and a movement speed of 10000.
 - Processing Parameters:** Includes a table for current, target, and step values for X, Y, Z, and A axes, and a "移動" (Move) button.
 - Laser Parameters:** Includes fields for Laser wavelength (800nm), Frequency (1000 Hz), Objective lens (x5), Energy (30 mW), and Laser correction, with "セット" (Set) and "再取得" (Refresh) buttons.
 - Additional Controls:** Includes buttons for "詳細設定" (Detailed Settings), "周波数設定" (Frequency Setting), "ステージドライブ" (Stage Drive), "ステージドライブ設定" (Stage Drive Setting), "パワーメータ" (Power Meter), and "AFディテクト" (AF Detect).

加工データの2次元/3次元表示

加工データの表示

●加工データの2次元(XY/XZ/YZ面)／3次元及び顕微鏡像の表示

- ・最大で4画面まで表示可能(1画面／2画面切り替えも可能)

