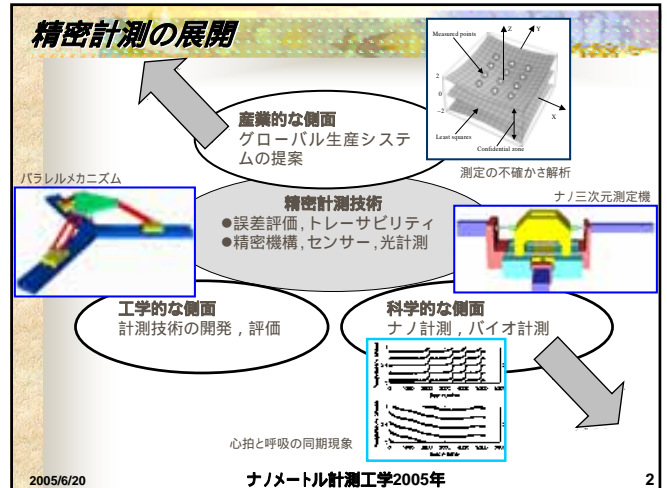


ナノメートル計測学 システム創成学科BISコース

2005年6月20日
東京大学工学系研究科精密機械工学専攻
高増潔



- ### 高増・高橋研究室のプロジェクト
- 新しいICMMの開発
 - Nano-CMMの開発
 - Nano-Probeの開発
 - Parallel-CMMの開発
 - 座標計測におけるソフトウェア
 - CMMのための統計的なデータ処理
 - CMMのための測定の不確かさ
 - 三次元機構のキャリブレーション
 - 多関節CMMのキャリブレーション
 - Parallel-CMMのキャリブレーション
 - 光学測定(三次元形状測定)
 - パターン投影法(自己参照パターン, デフォーカス)
 - 波長走査干渉法
 - 生体測定
 - 近接場光学のナノメートル加工, 計測への応用
- 2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 3



CMM (Coordinate Measuring Machine)

- LEGEX707 (ミツヨ)
 - $E = (0.48+L/1000) \mu\text{m}$
 - 500 mm に対して $0.98 \mu\text{m}$
 - $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ の温度に対応
 - 測定範囲: 705 x 705 x 605 mm
- BrightApex 700 (ミツヨ)
 - $E = (2.9+4L/1000) \mu\text{m}$
 - 500 mm に対して $4.9 \mu\text{m}$
 - $20 \pm 4 \text{ }^\circ\text{C}$ の温度に対応

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 5



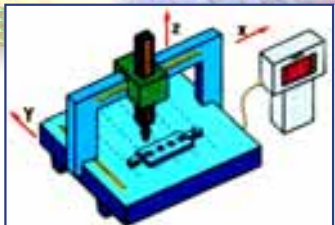
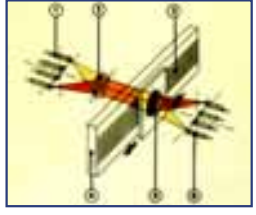
多関節



2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 7

三次元座標測定

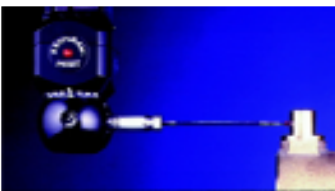
- 3つの直交した軸 (X, Y, Z)
 - 3つの直線案内
 - 3つのスケール
 - プロービングシステム
- CMM (Coordinate Measuring Machine)

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 8

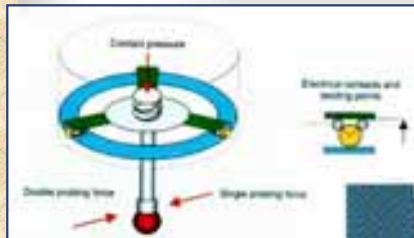

プロービングシステム

- タッチ信号式 (レニショー: 英国)
 - 対象を選ばない安定した測定
 - 低価格
- 走査式
 - 高価格
- 光学式
 - 対象の影響を受けやすい
 - 三角測量タイプ
 - 画像処理タイプ



2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 9

タッチ信号式のプローブ

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 10

走査式プローブ



2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 11

Zeiss スキャン



2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 12

光学式プローブ

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 13

Zeiss光スキャン

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 14

Zeiss画像

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 15

プロービングの補正

- 基準球を測定して、プローブの位置と直径の測定と補正
 - いくつかのプローブを1つのプローブとして扱う。
 - プローブの直径を0として扱う。
 - 測定する座標はプローブの中心と考える。
- このための補正を計算機で自動的に行う。

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 16

プローブ径の補正

- 穴と軸の直径を測定
 - d: ボールプローブのボールの直径
 - D: 測定した直径
 - 穴の直径の場合: $D - d$
 - 軸の直径の場合: $D + d$

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 17

ソフトウェアによる方向合せ

- X-Y面に測定物がある
 - 原点はどこ?
 - X軸の方向は?
- 2つの穴間距離を測定する。
 - 最初の穴の中心座標を原点 ($X=0, Y=0$) .
 - 2番目の穴の方向をX軸.

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 18

測定結果例

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 19

Zeiss自動車

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 20

Zeissエンジン

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 21

種々の応用例

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 22

ナノCMMの開発

ナノCMMの目的

- 測定対象
 - マイクロマシンおよびマイクロマシンの部品
 - 光学素子
- 仕様
 - 三次元測定
 - ナノメートル分解能(ナノメートル精度)
- 安定性
 - 温度
 - 振動

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 24

ナノCMMの仕様

	一般のCMM	ナノCMM
機械の大きさ	(2000 mm) ³	(200 mm) ³
機械の質量	1000 kg	10 kg
測定範囲	1 m ³	(10 mm) ³
測定分解能	1 μm	10 nm
測定精度	5 μm	50 nm
プローブの直径	5 mm	50 μm
測定力	10 ⁻³ N	10 ⁻⁵ N
スケールの精度	5 μm	50 nm

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 25

ナノCMMの基本構造

- 対称構造
- ダブルV溝(テフロンシート付き)
- 高精度シリンダー

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 26

ナノCMMのプロトタイプ

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 27

摩擦駆動の構造

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 28

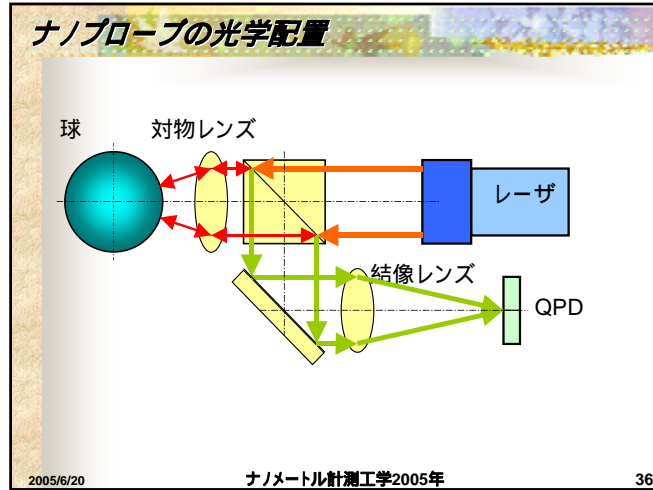
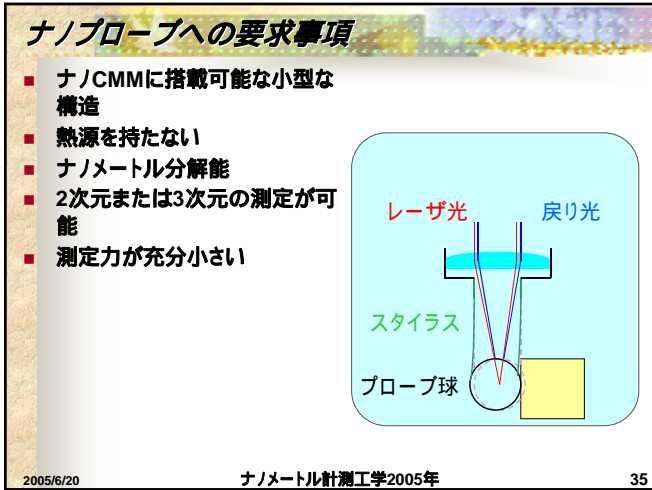
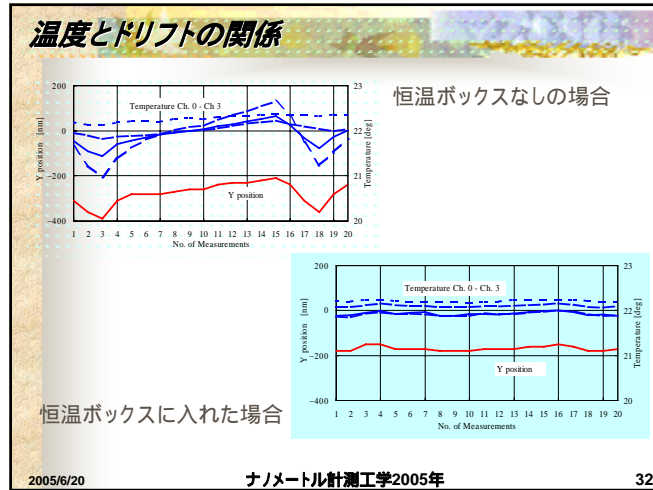
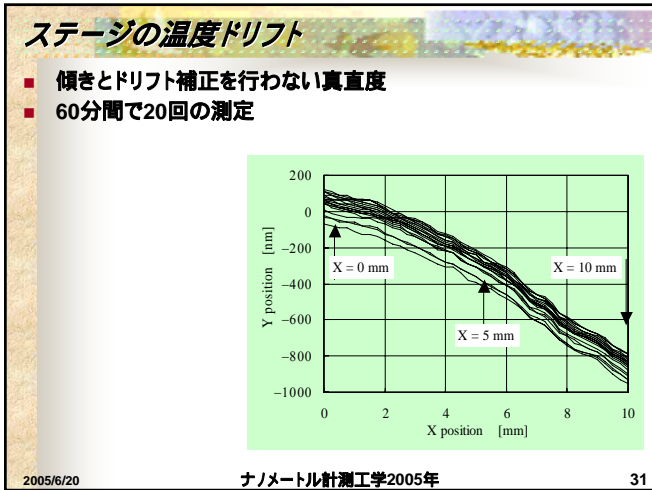
真直度の測定

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 29

Xステージの縦真直度

- Xステージの縦真直度(10 mmに対して10回測定)

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 30



実験装置

Labels in the image: Holo-gauge, QPD+Amp, Image lens, Laser tube, Mirror, Target sphere, Piezo stage, PBS, Collimator, Stage for fiber, Objective lens, Optical fiber.

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 37

ナノプローブのプロトタイプ

仕様	
長さ (Z)	120 mm
幅 × 奥行き	30 mm × 30 mm
質量	180 g
対物レンズの焦点距離	15 mm
結像レンズの焦点距離	60 mm

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 38

ナノプローブの構造

Labels in the diagram: 半導体レーザー, 4分割フォトダイオード, ナノプローブシステム, ナノCMM, 測定物, スタイルラス球.

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 39

ナノプローブの分解能

Y-axis: Output of QPD [au]
X-axis: Shift of ball [nm]

測定分解能は、約8 nm

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 40

2次元測定例

Y-axis: QPD出力 ey
X-axis: QPD出力 ex

ピエゾテーブルの駆動は、直径約100 nm
測定分解能は10 nm ~ 20 nm

2005/6/20 ナノメートル計測工学2005年 41