

三次元座標計測 (第1回) 2005年度大学院講義 2005年10月18日

高増 潔
 東京大学工学系研究科
 精密機械工学専攻
 E-mail: takamasu@pe.u-tokyo.ac.jp
 HP: http://www.nano.pe.u-tokyo.ac.jp/



2005年10月18日
三次元座標測定
1

講義の内容

- 三次元座標測定機の基礎
 - ハードウェアの構成
 - ソフトウェアの構成, データ処理
 - 校正, 精度評価
- 三次元測定に関する精密測定
 - 測定のトレーサビリティ
 - 測定の不確かさ
 - 最小二乗法の応用
- 成績の評価
 - 出席およびレポート

2005年10月18日
三次元座標測定
2


CMMのハードウェアの基礎

三次元座標測定機
 座標測定機
 三次元測定機
 Coordinate Measuring Machine
 CMM(シーエムエム)

2005年10月18日
三次元座標測定
3

高精度CMMの例


- LEGEX707 (ミットヨ)
 - 仕様
 - 500 mmに対して, 0.98 μm の測定精度
 - $20 \pm 2^\circ \text{C}$ の温度に対応
 - $E = (0.48 + L/1000) \mu\text{m}$
 - 測定範囲:
705 x 705 x 605 mm



2005年10月18日
三次元座標測定
4

一般的なCMMの例

- BrightApex 700 (ミットヨ)
 - 仕様
 - $E = (2.9 + 4L/1000) \mu\text{m}$
 - $20 \pm 4^\circ \text{C}$ の温度に対応



2005年10月18日
三次元座標測定
5

ミットヨブライト

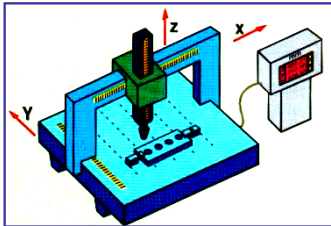


2005年10月18日
三次元座標測定
6

三次元座標測定

CMM (Coordinate Measuring Machine)

- 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



2005年10月18日 三次元座標測定 7

多関節

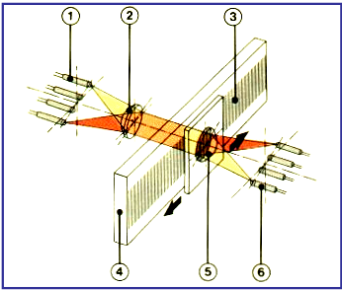


2005年10月18日 三次元座標測定 8

光学式スケール

- ① 半導体レーザーまたはLED
- ② 投影レンズ
- ③ スケール
- ④ 移動するスケール
- ⑤ 結像レンズと測定用窓
- ⑥ フォトダイオード

分解能: 0.1 μm ~



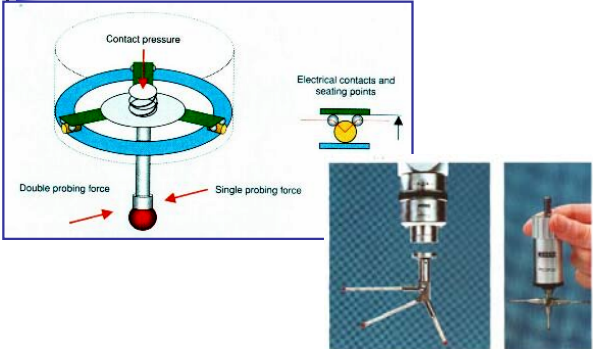
2005年10月18日 三次元座標測定 9

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年10月18日 三次元座標測定 10

タッチ信号式のプローブ

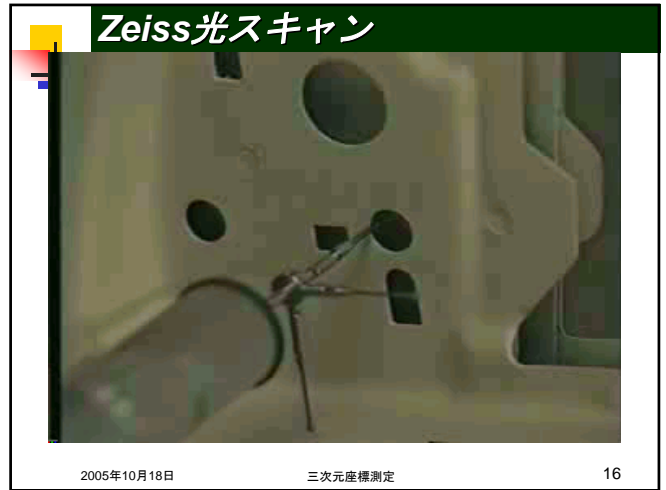
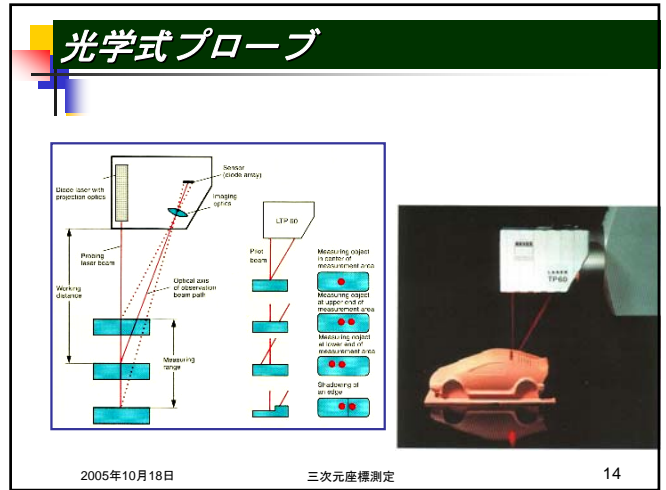


2005年10月18日 三次元座標測定 11

走査式プローブ



2005年10月18日 三次元座標測定 12



プローブの補正

■ 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年10月18日 三次元座標測定 17

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年10月18日 三次元座標測定 18

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年10月18日 三次元座標測定 19

測定結果 (1) 形体の測定

Element	Identification	Tag No. (ID)	Recommended
Point	1	1	
Circle	3	4	
Plane	3	4	
Sphere	4	6	
Cylinder	5	8	
Cone	6	12	
Paraboloid	8	9	
Torus	7	12	

2005年10月18日 三次元座標測定 20

測定結果 (2) 形状の測定

2005年10月18日 三次元座標測定 21

測定結果 (3) 自由曲面の測定

2005年10月18日 三次元座標測定 22

Zeiss 自動車

2005年10月18日 三次元座標測定 23

Zeiss エンジン

2005年10月18日 三次元座標測定 24

種々の応用例




2005年10月18日 三次元座標測定 25

Zeiss校正



2005年10月18日 三次元座標測定 26

CMMの例1 (簡易型, 手動)



項目	機種	GM Measure 333	GM Measure 353
測定範囲	X軸	300mm	500mm
	Y軸	300mm	500mm
	Z軸	300mm	300mm
測定精度	E = (3.0 + 4L/1000) μm / R = 4 μm (ミットコ接触)		
最小表示量	0.0005mm		
測高ユニット	リニアエンコーダ+ガラススケール		
各軸のガイド方式	エアベアリング		
各軸の駆動方式	マイクロメータヘッド (±5mm) / オプション		
Z軸のドライブ	ウェイトドライブ		
最大測定物質量	30kg		
使用空気圧	0.35MPa (空気圧としては0.5~0.9MPa)		
使用空気量	50L/min (空気圧としては100L/min)		
機種の質量	130kg	170kg	
操作	19~21℃		
湿度範囲	15~30℃ (湿度範囲未定)		
オプション	2.0K/1.5.0K/24K. 1.0K/1m		
標準付属品	エアホース、取扱説明書		

2005年10月18日 三次元座標測定 27


CMMの例2 (低精度, 手動)



機種	機種	Crystal Plus M34	Crystal Plus M14
測定範囲	X軸	500mm	300mm
	Y軸	400mm	300mm
	Z軸	400mm	400mm
測定精度**	E = (3.5 + 5L/1000) μm		
最小表示量	4.0μm		
駆動方式	各軸エアベ		
各軸のドライブ方式	各軸エアベ		
各軸の駆動	各軸少部駆動機構		
測定物	最大高さ	110mm	800mm
	最大質量	100kg	800kg
Z軸のドライブ方式	ウェイトドライブ (最大1.5kgまで調整可能)		
空気使用条件	使用空気圧	0.4MPa (空気圧としては0.5~0.9MPa)	
	空気消費量	50L/min (空気圧としては100L/min)	
機種の質量 (測定器含む)	495kg	615kg	1390kg
			1630kg

2005年10月18日 三次元座標測定 28

CMMの例3 (高精度, NC)



項目	機種	FALCO-Apex776	FALCO-Apex7106	FALCO-Apex9106	FALCO-Apex9166
測定範囲	X	705mm	1005mm	1040mm	1605mm
	Y	705mm	1005mm	1040mm	1605mm
	Z	705mm	1005mm	1040mm	1605mm
最小表示量	0.0001mm (0.1μm)				
最大測定速度	4.30mm/s				
最大駆動加速度	0.11G				
測定テーブル	材質	鉄鋼			
	最大高さ (取付面)	840 x 1320mm	840 x 1620mm	1040 x 1220mm	1040 x 2220mm
	最大質量	500kg	800kg	1700kg	2900kg
	機種の質量 (測定台・コントローラ含む)	1405kg	1635kg	1940kg	2900kg
空気使用条件	使用空気圧	標準状態 (23℃) 5.0L/min (空気圧としては100L/min)			
	空気消費量	標準状態 (23℃) 5.0L/min (空気圧としては100L/min)			

2005年10月18日 三次元座標測定 29

CMMの例4 (超高精度)



機種	機種	LEDEX 812	LEDEX 874	LEDEX 874	LEDEX 876	LEDEX 916	LEDEX 1018
測定範囲	X軸	355mm	515mm	715mm	715mm	915mm	1215mm
	Y軸	355mm	515mm	715mm	715mm	915mm	1215mm
	Z軸	355mm	415mm	415mm	415mm	415mm	415mm
最小表示量	0.0001mm						
精度	MPE, Z軸	0.3μm/100mm					
	MPE, X/Y	0.4μm/100mm					
	MPE, Y/Z	0.4μm/100mm					
駆動方式	2.5次元エア						
最大駆動速度	200mm/min						
最大駆動加速度	600mm/s ²						
測定テーブル	材質	鉄鋼					
	最大高さ	270mm	330mm	330mm	330mm	330mm	330mm
	最大質量	150kg	250kg	300kg	300kg	300kg	300kg
空気使用条件	使用空気圧	0.4MPa**					
	空気消費量	120mm ³ /min** (標準状態において)					
機種の質量	300kg	300kg	300kg	300kg	300kg	300kg	

2005年10月18日 三次元座標測定 30


CMMの例5 (大型)



仕様	
型番	FALCIO
測定範囲	X: 2005mm, Y: 2005mm, Z: 2005mm
最小表示量	0.1μm
最大移動速度	520mm/s
精度保証温度範囲	18~22°C

2005年10月18日 三次元座標測定 31

CMMの例6 (超大型)



仕様	
型番	FALCIO-Apex203015, FALCIO-Apex204015, FALCIO-Apex205015, FALCIO-Apex305015
測定範囲	X: 2005mm, Y: 2005mm, Z: 2005mm
最小表示量	0.1μm
最大移動速度	520mm/s
精度保証温度範囲	18~22°C

2005年10月18日 三次元座標測定 32

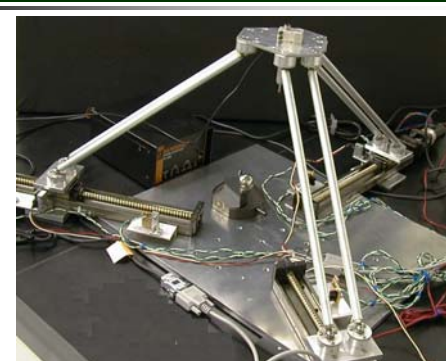
CMMの例7 (多関節型)



仕様	
型番	SA2-40-18, SA2-40-24, SA2-40-30, SA2-40-36
測定範囲	1800mm, 2400mm, 3000mm, 3600mm
最小表示量	0.001mm
最大移動速度	520mm/s
精度保証温度範囲	18~22°C

2005年10月18日 三次元座標測定 33

CMMの例8 (平行)



2005年10月18日 三次元座標測定 34

CMMの例9 (外国)




2005年10月18日 三次元座標測定 35

CMMの例10 (外国)




2005年10月18日 三次元座標測定 36