



# 研究要旨

## Abstract

6運動自由度を持つ脊椎の強度と変位の関係は、従来計測が困難であった。本研究では、平行メカニズムの力制御技術を活用し、6軸材料試験機を開発した。また、6軸材料試験方法を整理提案し、脊椎の代用としてウレタンゴムを使うことにより、6軸材料試験機の性能を確認した。最後に、イノシシの脊椎を用いて、曲げ試験や回旋試験を行い、脊椎の強度特性を計測したり、インプラント(体内埋込器具)の効果が評価できることを示した。

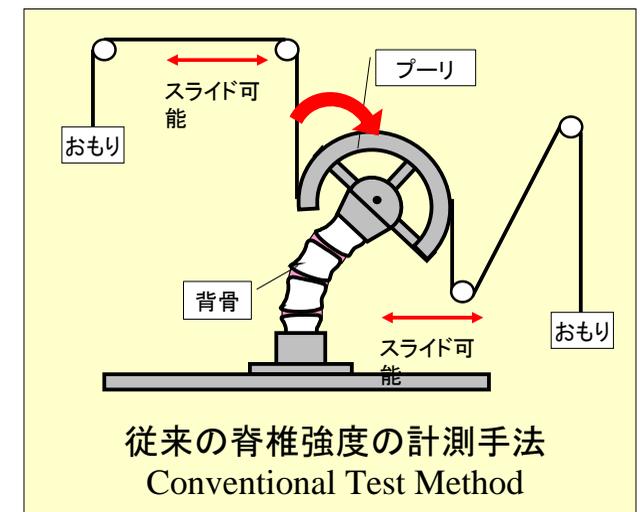
The relations of mechanical property of spine that have multiple degrees of freedom were conventionally difficult to measure. In this study, we developed the 6-axis material testing machine which was applied to the force control method of a parallel mechanism. And we arranged 6-axis testing methods and checked the performance of the 6-axis material testing machine by using polyurethane rubber as substitution of the spine. Finally, the results of the bending test and the turning test by the spine of a wild boar showed that it can be applied to measure mechanical property of a spine and to evaluate for a spinal instrumentation.

## 研究目標

### Research Target

脊椎の力学特性を計測する試験機として、ハイブリッド制御された6自由度平行メカニズムを適用する。

Apply the 6DOF Parallel Mechanism with Hybrid Control as the testing machine for the spinal mechanical property.



# 脊椎と評価指標

## Spine and Evaluation Indices

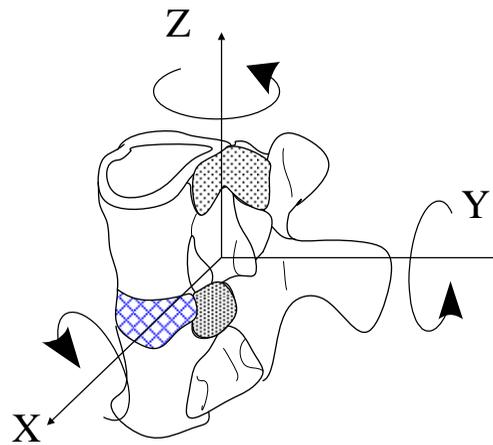
脊椎は、人間の運動器の要である。しかし、複雑に動くことができる(6自由度運動)ため、その強度特性は不明確である。脊椎疾病治療のためには、動きと強度の関係を計測する必要がある。



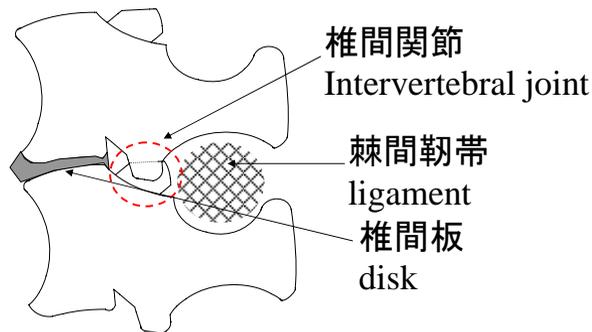
機能的脊椎単位 (FSU)

FSU : functional spinal unit

椎間板をはさんだ2つの隣接する椎骨で構成される。椎間板、椎間関節、棘間靭帯の安定要素で連結されている。強度特性評価の基準となるユニット。



脊椎の6自由度運動  
6-DOF motion of FSU



FSUの安定要素  
Stabilized Components of FSU

脊椎の力学的特性に関する臨床で用いられる評価指標

### NZ (Neutral Zone)

0負荷で生じる変位の大きさ。安定要素に損傷を受けると、NZが大きくなり、脊椎の不安定性が増大する。脊椎疾病の程度を示す指標として用いられる。

### CM (Coupling Motion)

主運動として回旋や並進を与えたときに、他方向に回旋や並進が発生する現象である。古くから知られていたが、従来その計測は困難であった。

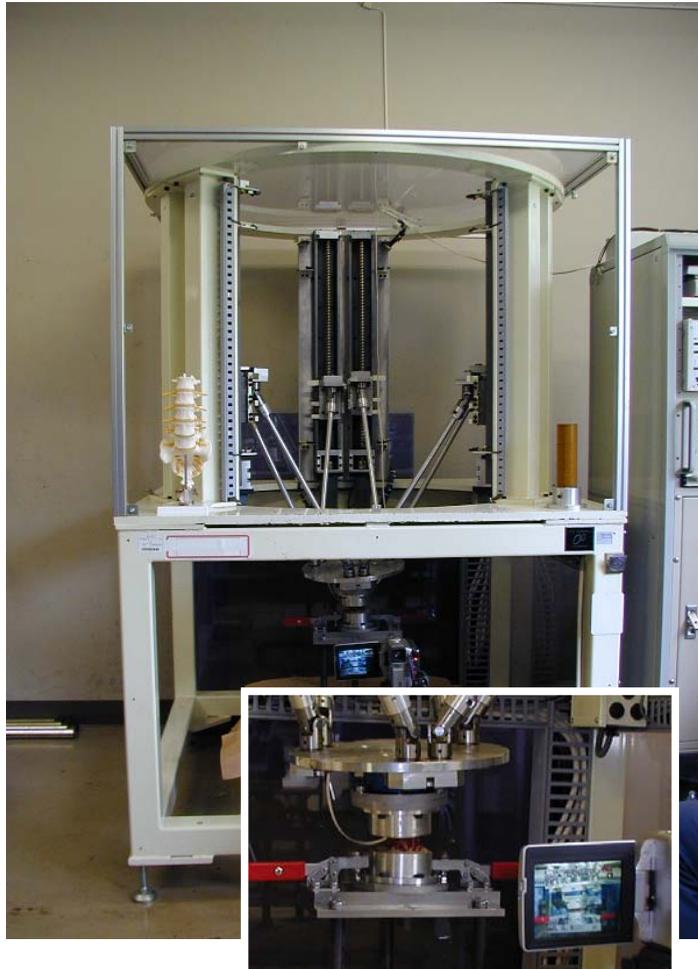
### IAR (Instantaneous Axis of Rotation)

瞬間回転中心。CMの影響を受ける

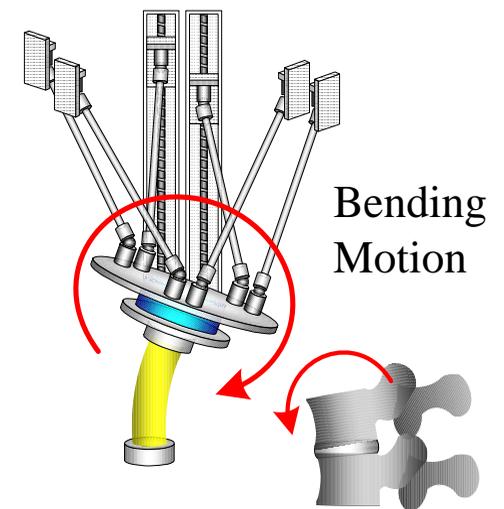
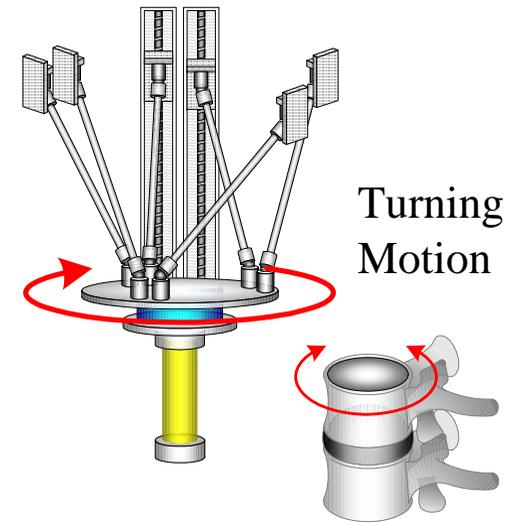
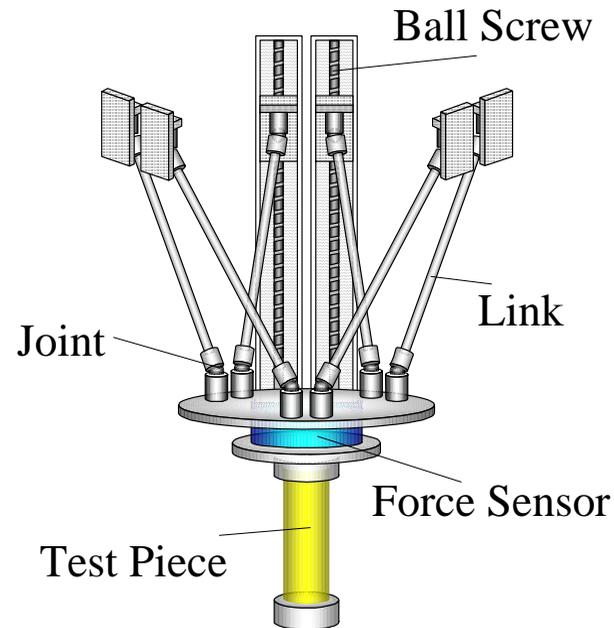
Viscoelasticity 粘弾性

# 6自由度平行メカニズム

## 6-DOF Parallel Mechanism



6DOF Vertical Actuated Parallel Mechanism,  
Mie Prefectural Science and Technology Promotion Center



### 垂直直動型平行メカニズム

#### Vertical Actuated Parallel Mechanism

- ・6自由度
- ・重力方向に大出力
- ・可動部質量が小さい
- ・駆動軸と座標軸が一致し、計算容易
- ・アクチュエータの垂直配置で、水平方向の設置面積最小化
- ・直動アクチュエータなど、市販部材を多用できる

# 位置／力ハイブリッド制御

## Position/Force Hybrid Control Method

### 力制御 : ダンピング制御 Damping Control

(ロボットハンドに作用する抗力に応じて物体の速度を修正する制御方法)

$$V = V_d + BF$$

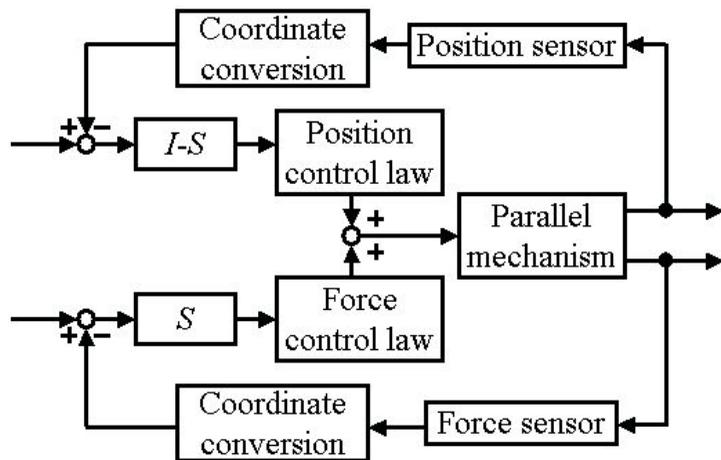
V : ロボットハンドへの指令速度

$V_d$  : 目標速度

B : アドミッタンス(粘性係数の逆数)

F : ロボットハンドに作用する抗力

### ハイブリッド制御 Position/Force Hybrid Control



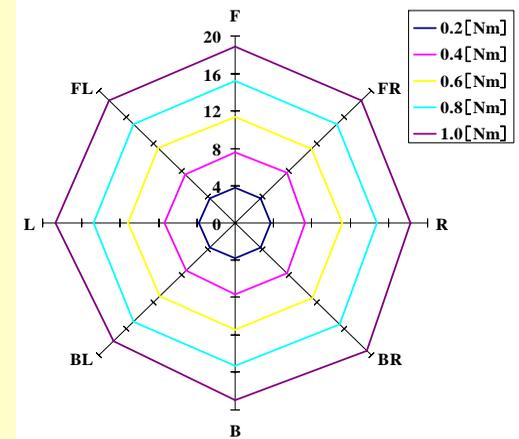
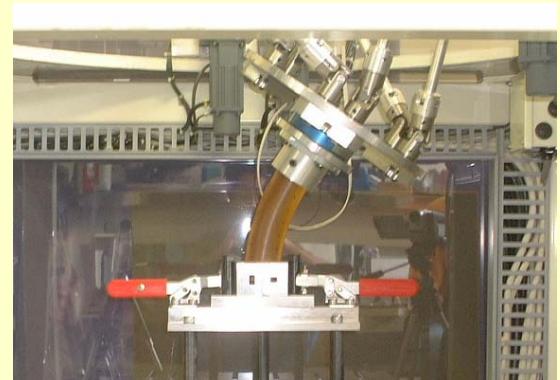
$$\begin{pmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \\ R_x \\ R_y \\ R_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{dx} \\ V_{dy} \\ V_{dz} \\ R_{dx} \\ R_{dy} \\ R_{dz} \end{pmatrix} + SB \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_x \\ M_y \\ M_z \end{pmatrix}$$

$$B = \text{diag}[B_{fx}, B_{fy}, B_{fz}, B_{mx}, B_{my}, B_{mz}]$$

$$S = \text{diag}[S_{fx}, S_{fy}, S_{fz}, S_{mx}, S_{my}, S_{mz}]$$

### ウレタンゴムを用いた確認試験

#### Check Test by Polyurethane Rubber



Bending Test for 8 Direction

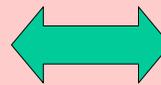
# 6軸試験の制御則

## Control Law of 6 Axis Material Test

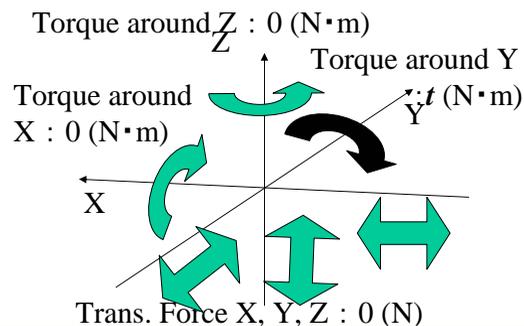
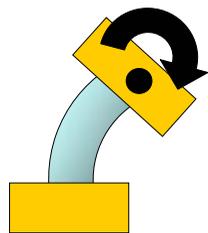
力制御 (指令値)  
Force Control, Input Value



力制御  
Force Control

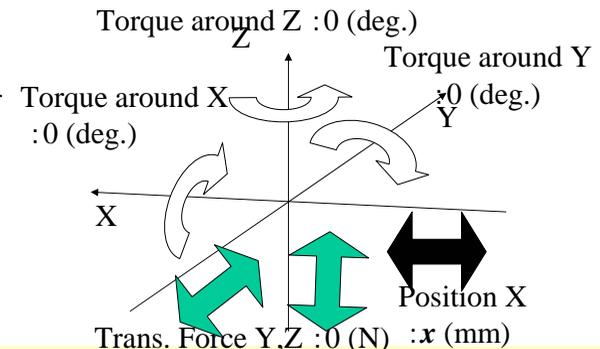
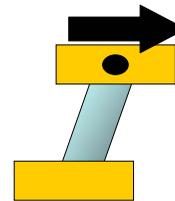


位置制御  
Position Control



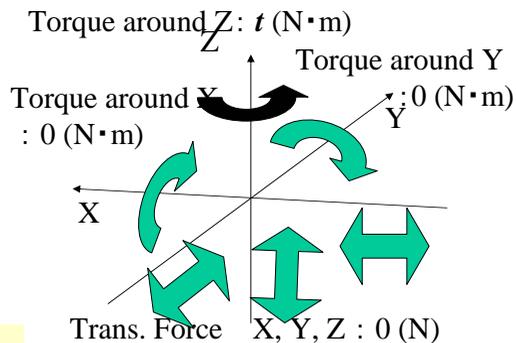
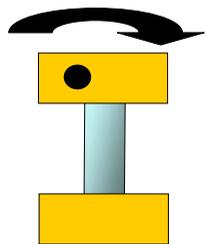
### 曲げ試験 Bending Test

特定軸回りを指定トルクとし、他軸を0負荷(フリー)にする



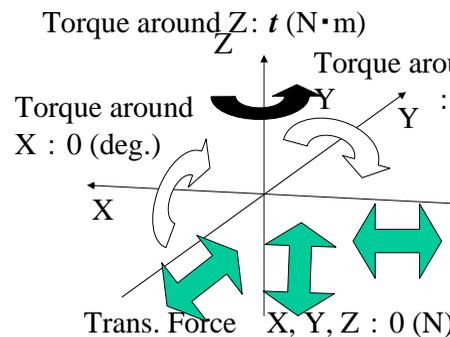
### せん断試験 Shearing Test

姿勢を固定し、並進方向の指定軸を力制御する

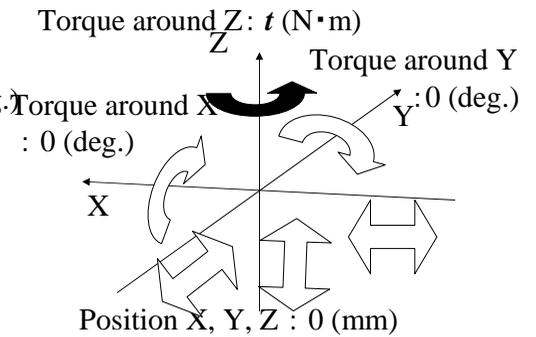


### 回旋試験 Turning Test

位置姿勢自由: All Free  
発生力を0に制御することでCM  
によるカー変位が計測できる。



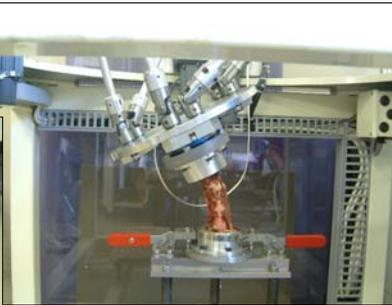
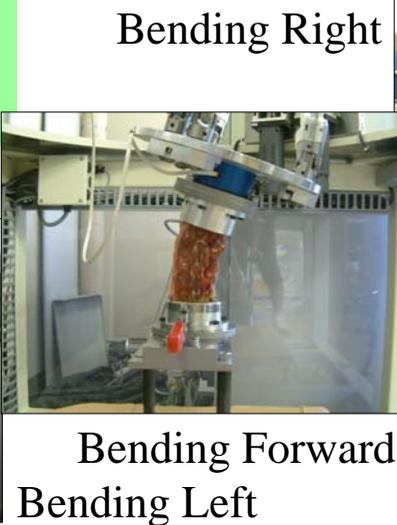
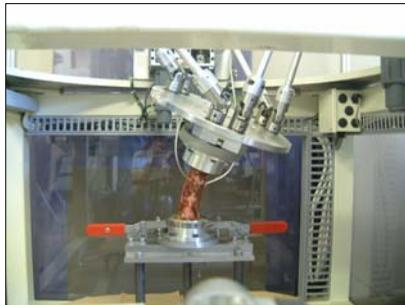
半姿勢固定: Pose Fixed  
姿勢を固定することでCMにより  
発生する変位量が計測できる。



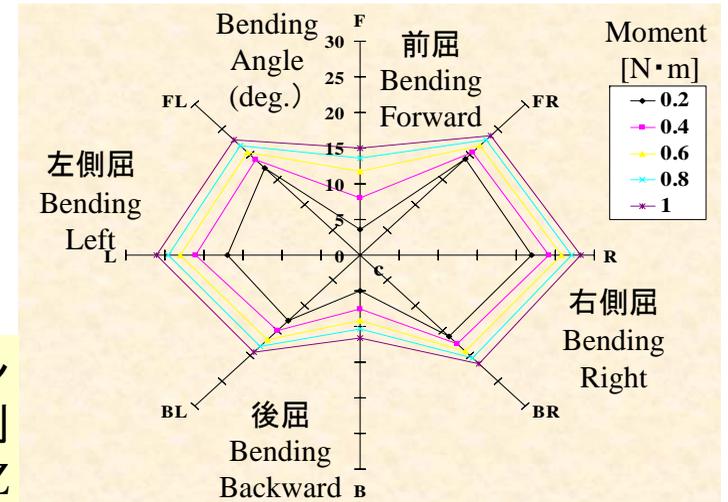
位置姿勢固定: All Fixed  
位置姿勢を固定することでCMに  
より発生する力が計測できる。

# 脊椎の強度特性試験 Spinal Mechanical Property Test

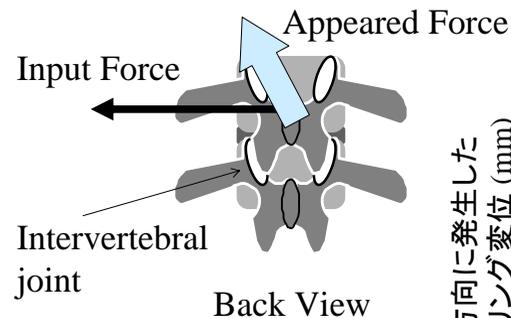
## 曲げ試験 Bending Test



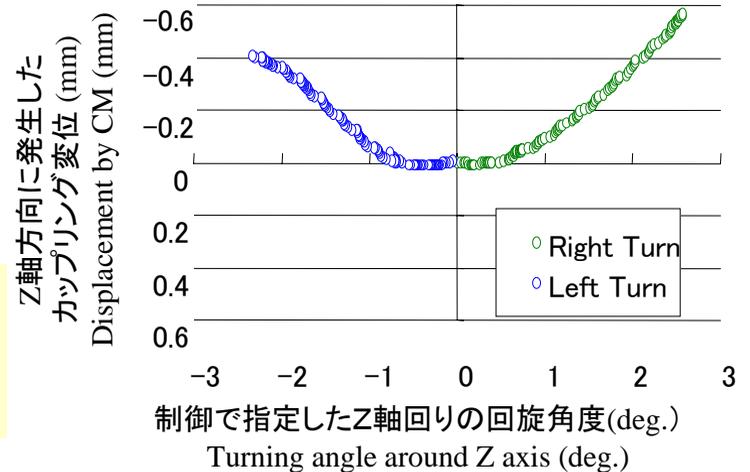
## ニュートラルゾーン (NZ)の計測事例 Measurement of NZ



## 回旋試験 Turning Test

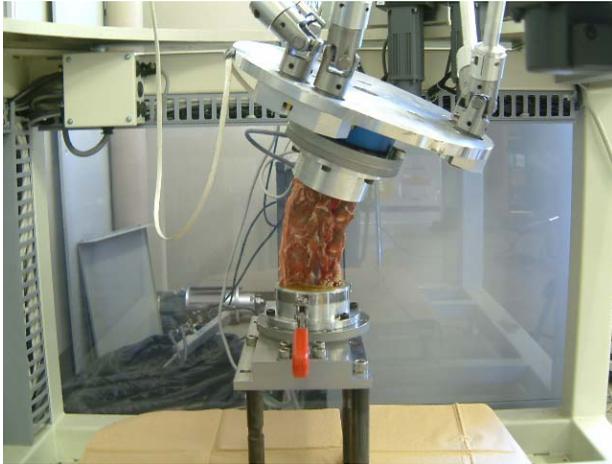


## カップリング効果 (CM)の計測事例 Measurement of CM



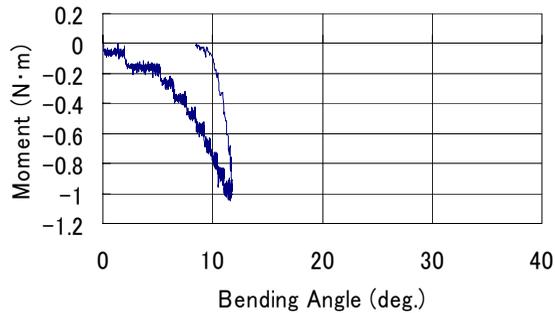
# インプラントの適正評価

## Suitability Test for Instrumentation Devices



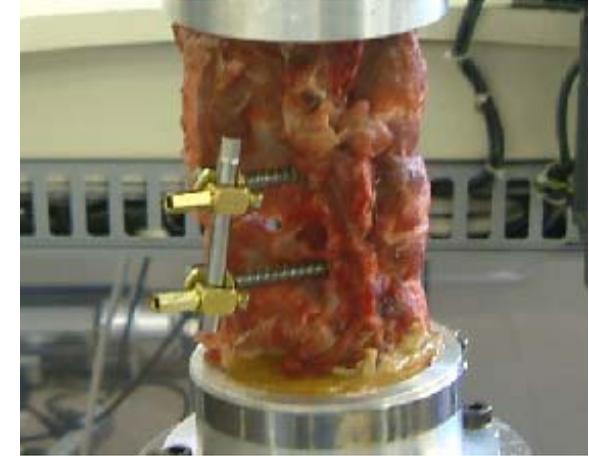
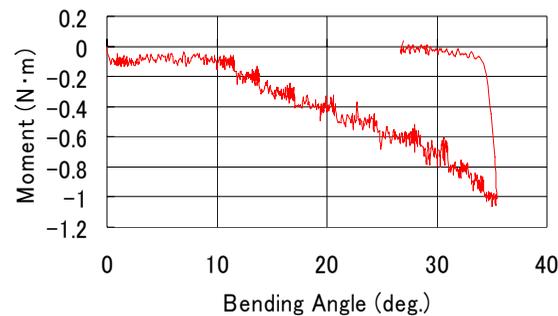
正常状態  
Normal Condition

Normal Condition



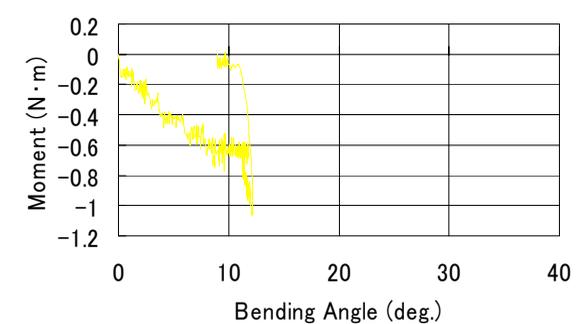
靱帯が断裂した状態  
Damaged Ligament

Damaged Condition



インプラントねじで補強した状態  
Reinforced with Spinal Instrumentation

Reinforced Condition



従来限られた条件でしか計測できなかったインプラントの効果を、より正確に評価することができる

# まとめ Conclusion

脊椎の強度評価を目的に、力／位置ハイブリッド制御ソフトウェアを組み込んだ6自由度平行メカニズムを活用し、6軸材料試験機を開発した。また6軸材料試験の制御則を整理し、従来困難であった特性評価ができることを示した。更に動物脊椎を用いて、脊椎の強度特性を示すとともに、インプラントなどの製品評価に有効であることを示した。

本技術は、「6軸材料試験機」として特許出願されています。  
【 特願 2004-258783 】



6-AXIS Material Testing Machine  
for the exclusive spine, Mie Univ.

## 今後の予定／Future Work

- ・ 人脊椎による計測実験
- ・ 安定要素の強度特性の定量化
- ・ IAR(瞬間回転中心)の推定実験
- ・ 様々なインプラント品の特性評価試験
- ・ 工業製品の6軸強度試験

三重県科学技術振興センター工業研究部  
金属研究室は、公設試験研究機関です。  
「6軸材料試験機」を用いた、各種材料・製品  
の強度評価・技術相談に応じています。  
masudt01@pref.mie.jp  
T:0594-31-0300 F:0594-31-8943