

## 三次元CT画像解析装置を用いた股関節手術シミュレーションシステムの開発

報告者：国立埼玉病院整形外科  
泉 田 良 一

では、次は、国立埼玉病院の泉田良一先生ですが、「三次元CT画像解析装置を用いた股関節手術シミュレーションシステムの開発」どうぞよろしく。

〔泉田〕最初のスライドをお願いします。

5年ぐらい前から、名古屋大の情報工学部で開発されました、名古屋ユニバーシティー・クラニオフィシャル・サージカルプランニング・システム（NUCSS）というスーパーコンピュータ用のシステムを使いまして、サージカル・シミュレーションを開始しまして、そのワークステーション版が、先ほど津村先生の方からもご紹介いただいたサージプランです。今回は主として、サージプランの画像を紹介

させていただきますが、最後の方ではNUCSSの方の画像が出てきますので、ご了解いただきたいと思います。

今回の研究の目的は、本来、三次元的構造物である股関節を、そのまま三次元的に計測評価し、また術前プランニングに手術シミュレーションを導入することにより、股関節外科の進歩に役立てることです。

これが実際のサージプランを、先ほど津村先生の方からも紹介がありましたが、いじっているところです。（図1）

サージプランの機能を簡単にもう一度おさらいさせていただきますが、二次元データ処理、ここのところで、しきい値による

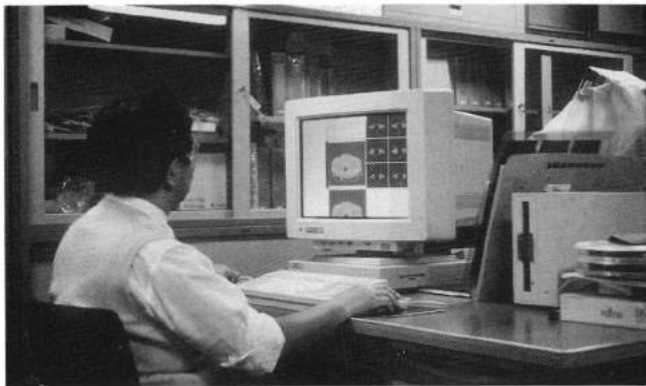


図1

SurgiPlan の機能	
1) 2次元データ処理	
a) CT画像解析	
b) シミュレーション前処理	i) しきい値による分離 ii) 手入力による分離
2) 3次元データ処理(シミュレーション実行)	
a) 表示制御	i) 視点方向の設定 ii) グリッド(格子)表示 ii) 画質指定 他
b) シミュレーション	i) 骨切り ii) 骨片移動 iii) 計測 iv) 属性指定

図 2

分離とか、骨を分離することがシミュレーション前処置として行われます。それからその次に、このシステムの眼目でありますシミュレーションの実行、それは機能としては骨切り、骨片の移動、計測、属性指定から成っています。(図 2)

整形外科ですので、おのおのの骨を個別に出さなければいけません。それで骨盤と大腿骨がどのように色が変わって表示されると、これはシステムとしては別個の骨と

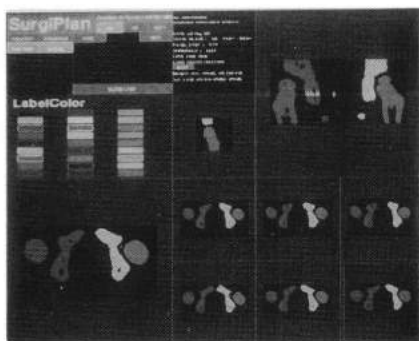
認識していることを示しています。

(図 3)

変性が進みますと、関節裂隙が狭小化したりしまして、この骨の分離がうまくいきません。これはこのラインを手入力で入れたところですよ。(図 4)

次にシミュレーション機能についてちょっとお話をさせていただきます。

まず骨切りの方は置いておきまして、移動以下の話について、順番は逆ですが、先



色が異なるのは別々の骨と認識されていることを示す。

図 3 スライスデータ

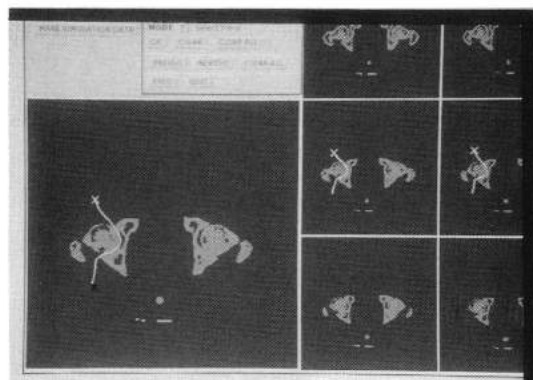


図 4

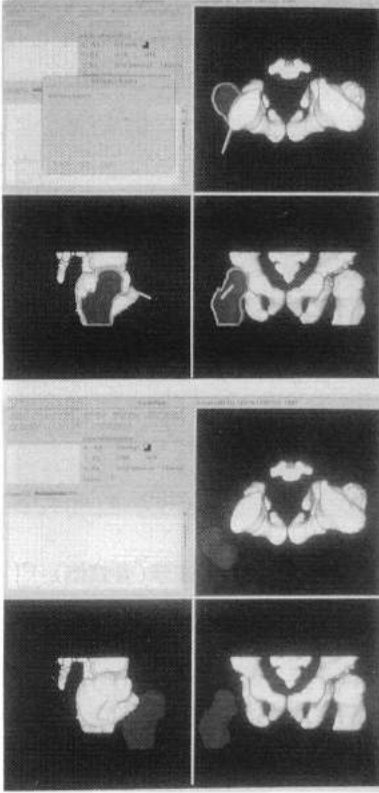


図5 平行移動

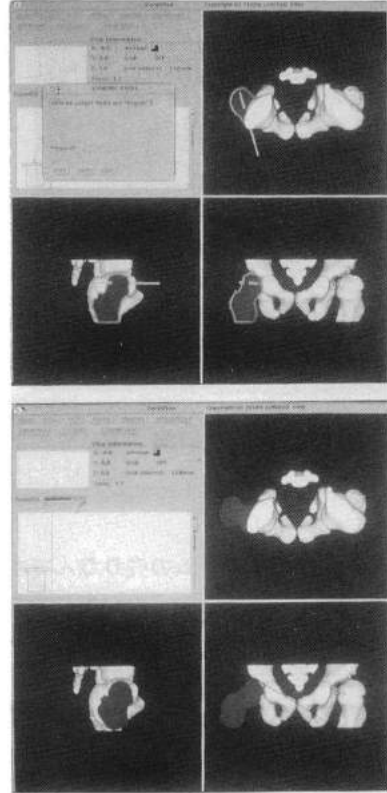


図6 回転

にさせていただきますが、これはここの大腿骨を緑色に染めたのを、この黄色い線に沿って動かそうとしているわけです。これが動かした後で、これは並行移動であります。(図5)

次に、この骨頭を、黄色い線に沿って回そうということで、こちらは回転させた後であります。(図6)

計測機能としましては、ちょうどこれはY軟骨線間距離をはかっているわけで、この黄色い線がそうですが、これが距離計測です。(図7)

ここのところに、ちょっと見えにくいかもしれませんが、黄色い三角が見えます。三次元的に角度をはかっております。

(図8)

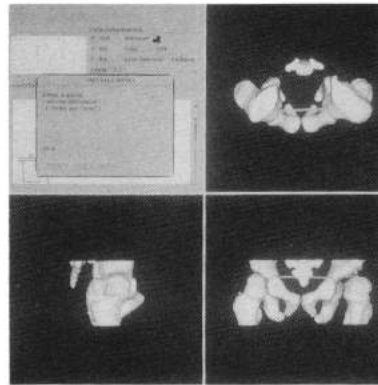


図7 距離計測

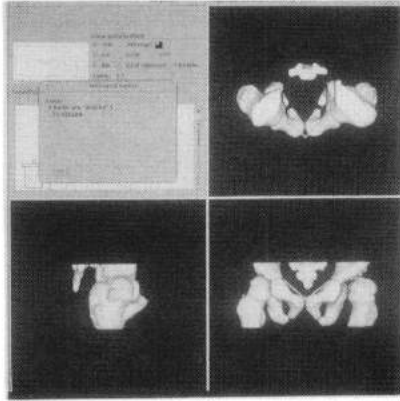


図8 角度計測

それから、このシステムの売りなんです  
が、接触面の表示機能というのがあります。  
これは例えば骨盤の方からちょうど1ミリの  
幅でパルスを出して行って、距離が1ミリの  
部分、2ミリの部分、3ミリの部分を  
それぞれ色分けして表示させようとしてい  
るわけです。(図9)

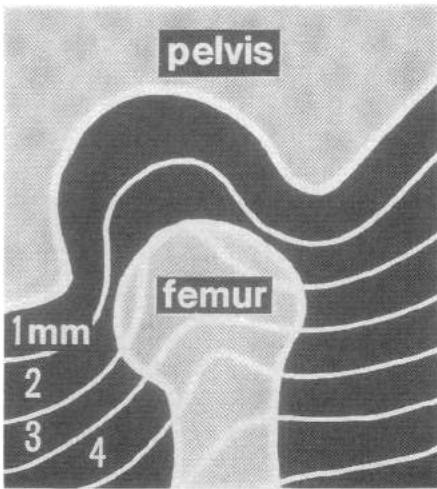


図9

その臼蓋を外しまして、骨頭上に臼蓋と  
の接触面を青とか緑とか赤、黄色でこうい  
うふうに表示しております。(図10)

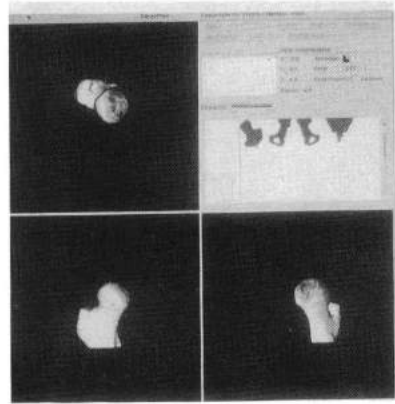


図10 接触面表示(骨頭側)

これは今度、逆に骨頭からの距離を臼蓋  
の方に示したわけです。(図11)

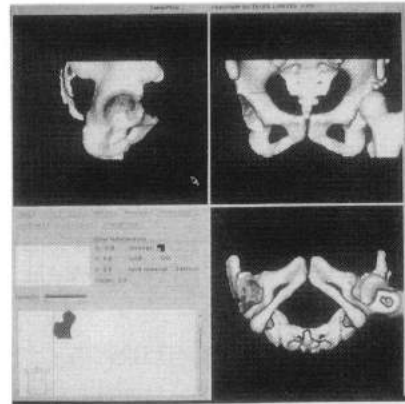


図11 接触面表示(臼蓋側)

先ほどの最後にあった属性ですが、これ  
は右側の大腿骨を外して臼底を見ているわ  
けです。このように大腿骨を表示したり、  
非表示したりすることができます。観察に  
不自由なときにはこういうことをして、観

察をより深めることができます。(図12)

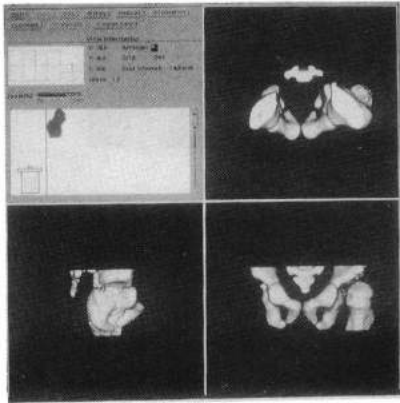


図12 非表示

これはグループ機能です。わざとこの臼蓋のところを小さく切り取ったのですが、緑色で染まった、臼蓋と大腿骨が一緒に移動していますね。これで骨盤骨切りをシミュレーションしようとしているわけです。(図13)

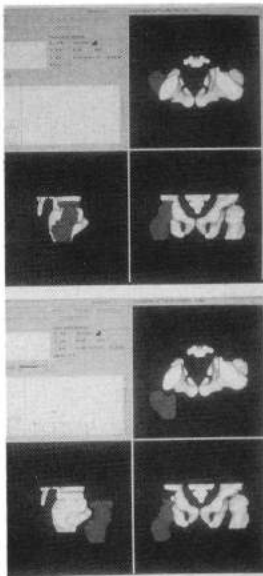


図13 グループ機能

これは余計ですが、色付け機能で、このようないろんなカラフルな画像もつくることができます。(図14)

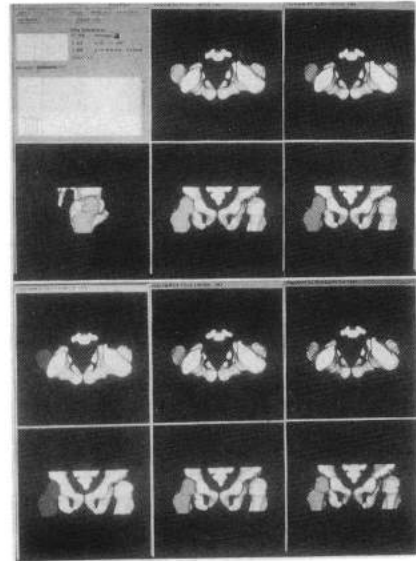


図14 色付け機能

このシステムの眼目である骨切りですが、骨盤骨切りを常に念頭に置いて開発したものですから、大抵のことはできると思うんですが、基本的には四つの骨切り法が可能です。(図15)

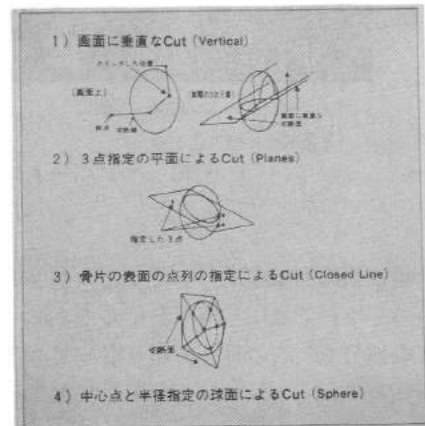


図15 骨切り法

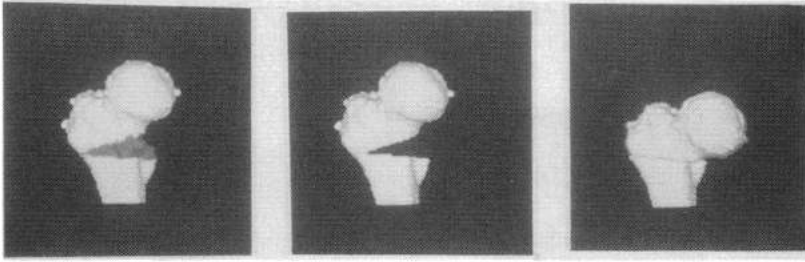
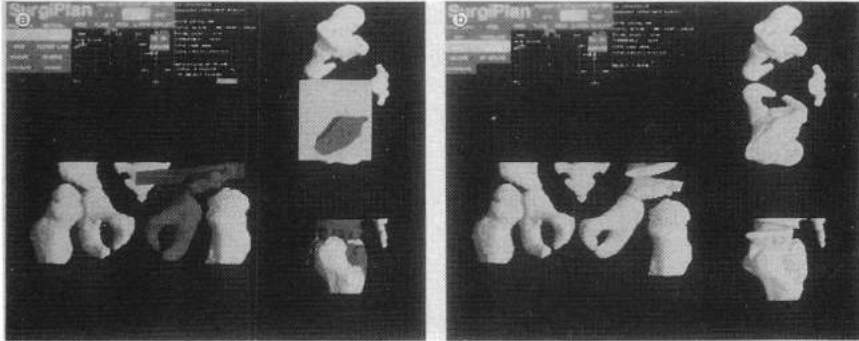


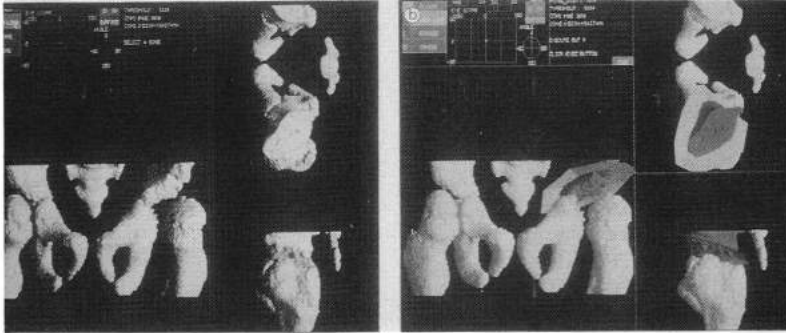
図16 内反骨切り術のシミュレーション



(a)骨切り面を入れたところ。

(b)骨切りが完成したところ。

図17 ソルター手術のシミュレーション



(a)シミュレーション前図、左側に  
骨頭肥大と側化がみられ

(b)ペンバートン手術の骨切り線をいれた  
ところ(closed line)

図18 ペンバートン手術のシミュレーション

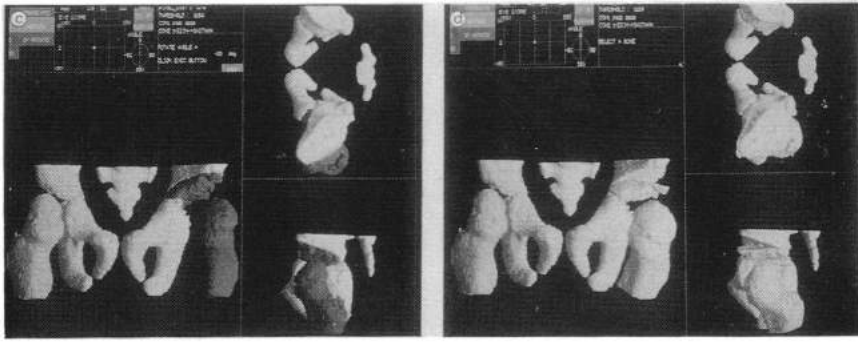
一番最初の簡単なパーチカルというやつは、ちょうどここに三角形が見えますが、この部分で、この骨片を切り取って、内反骨切りのシミュレーションをしたところ です。(図16)

2番目の3点指定の平面によるカットと

というのは、3点で一つの平面をつくって、その面で骨をカットするというものです。

これが、ソルター手術のシミュレーションです(図17)。

今度は逆に高さをかえて切ると、キアリー手術のシミュレーションとなります。



(c) グルーピング機能を用いて臼蓋骨片と大腿骨を一体化する(青色色付けされている)。

(d) 臼蓋骨片と大腿骨を連動させ、移動したところ。

図19

3番目の骨片の表面の点列の指定によるカットというのは、ペンバートン手術を意識して開発された骨切り法であります。

これはペンバートンの骨切りをやってみるところです。(図18)

これが先ほどのグルーピングということで、臼蓋と骨頭を同時に動かしてみたわけです。(図19)

最後の中心点と半径指定の球面によるカット、Sphereは、R A Oのためにつくったものであります。

これは半径50ミリの径で臼蓋を切り取っ

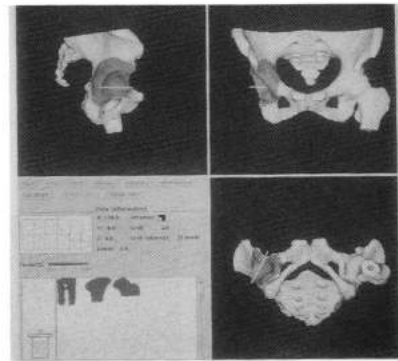


図21 寛骨臼骨片を回転する軸を示す

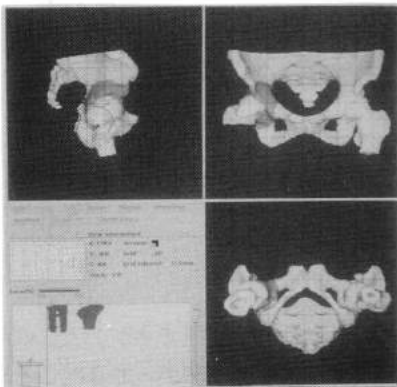


図20 骨切り後  
(寛骨臼骨片は青色)

た後であります。(図20)

これは、ここの軸に沿って、臼蓋の寛骨臼の入口部と並行な線での回旋をしようとしております。(図21)

今、25度回したところですよ。(図22)

先ほどの接触面表示機能でコンタクトエリアを見てみますと、これは真上から骨頭を見たところですが、大体シミュレーション後にこれぐらいの形に持っていけばいいかなということですね。これができたところで、骨切り面での移動距離をはかっておいて、実際の手術のときの目やすにしてお

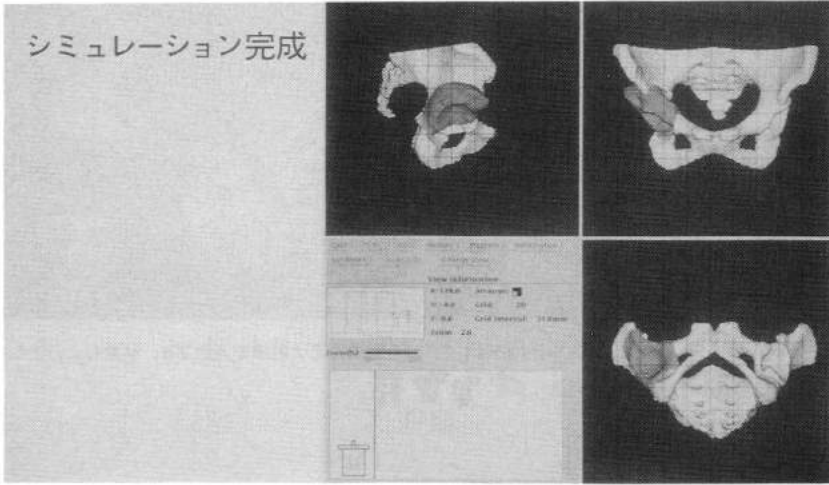


図22

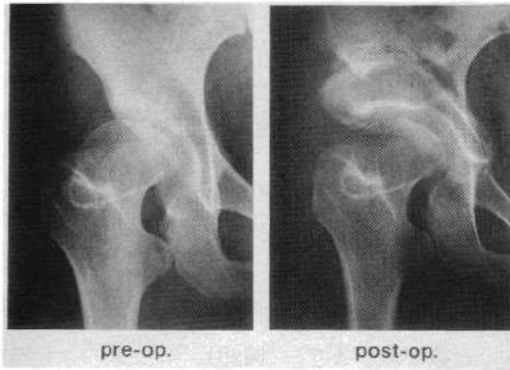
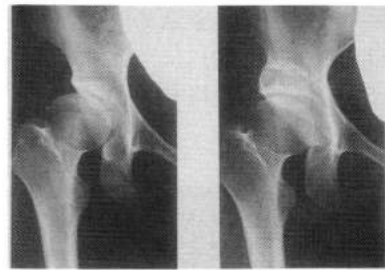


図23



術前 術後

図24 C. F. 18才 女性

ります。

これが実際の手術のレントゲンです。  
(図23)

接触面表示機能の例を幾つか挙げさせて  
いただきますが、これは一昨年出した例で  
す。(図24)

これは接触面表示機能ですが、ここの前  
面から見て、接触面が広がってきたことや、  
臼蓋の方向が前外側に倒されることによっ  
て変わってきたことを示しています。(図  
25)

これも同じようなことで、接触面が前方



から見てこれぐらいのものを前外側に持ってくることによって、真上から見た図でもコンタクトエリアが改善してくるところを示しております。

この例は実はこのところに臼蓋の前

縁があって、ここに後縁があると思いますが、前方へ回し過ぎた症例です。先ほどの頭を隠したら尻が出たというやつです。

(図26)

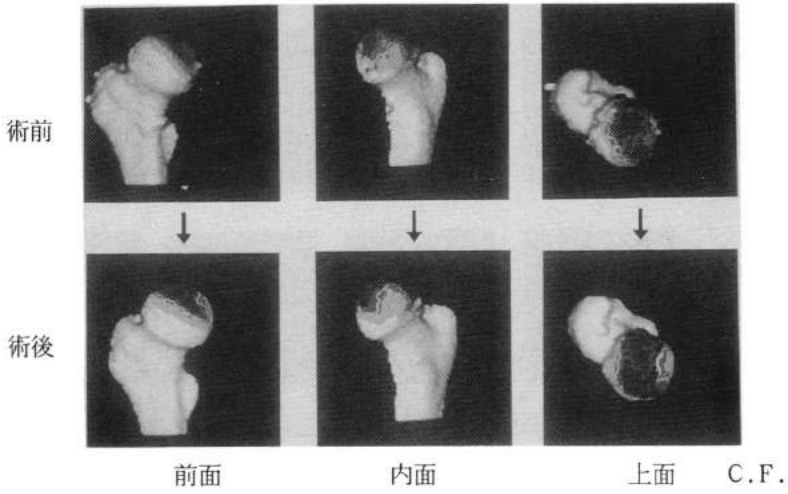


図25 関節の接触面表示

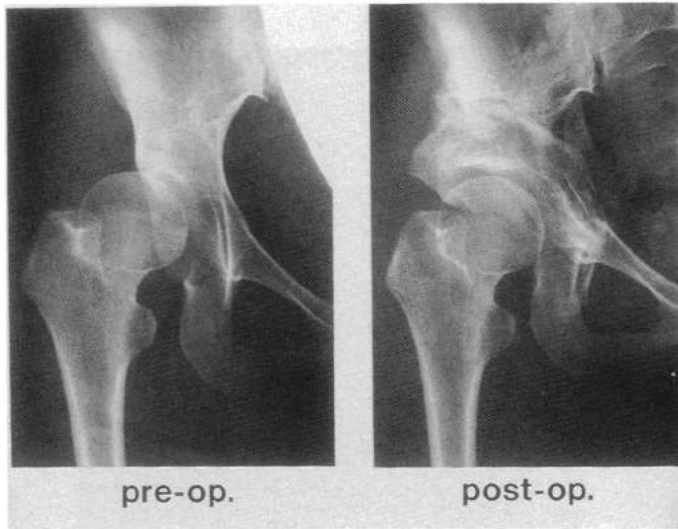


図26 K.W. 22J ♀

ちょっと見えにくいんですが、臼蓋の前方の覆いが大き過ぎることを示しております。また、これは後ろから見た図ですが、

術前に比べて、術後は後があいてしまったことがよくわかります。(図27)  
最近の症例です。(図28)

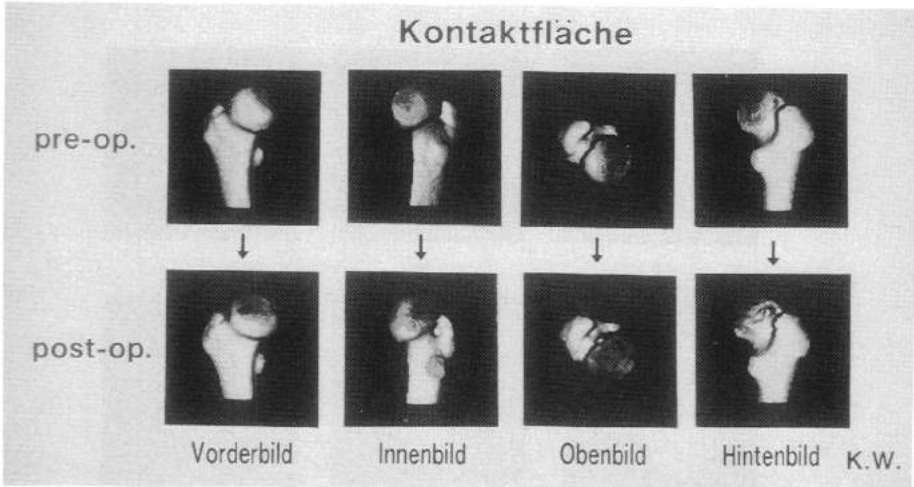


図27



図28

42歳女性です。これが先ほどの球状の骨切りを示しております。(図29)

それを切り終わった後、回そうとしております。

これがちょうどグルーピングをして、大腿骨と一緒に回したところです。(図30)

これが術後です。(図31)

これはNUCSSの画像で大変汚いので恐縮なんですけど、人工関節のシミュレーションを少しつくってみたので、報告させていただきます。こちら側が見ても悪い方ですね。(図32)

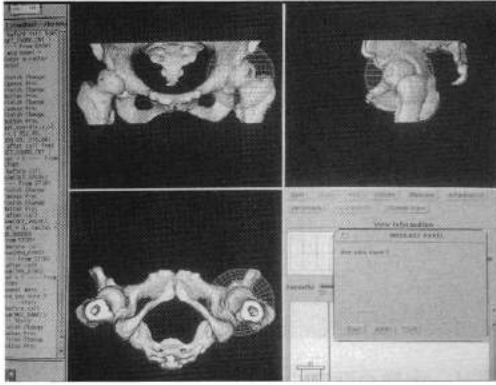


図29

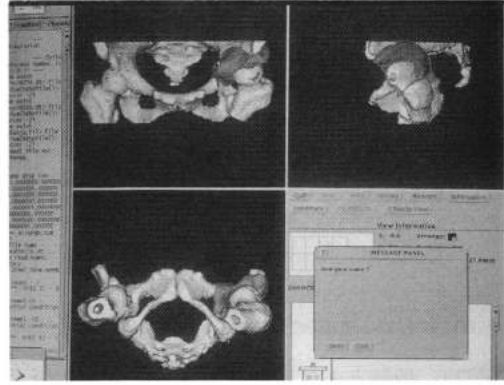


図30



図31

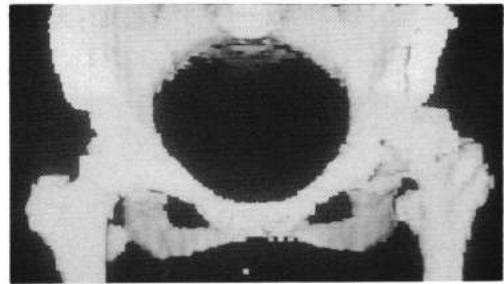


図32

これは症例の骨盤と、これはオステオニクスとPCAだと思いますが、人工関節のファントムも表示させました。(図33)

まず骨頭を切り取ります。(図34)

その次に、こちらに切った大腿骨と、ここにPCAのステムをもってきて、次にそ

の軸合わせを行っております。(図35)

これはちょうど軸合わせをして、大体上に持ってきて、ステムを途中まで入れてきたところです。(図36)

その次に、それを少し回旋させたところでは、この辺はまだまだ実用性はないと思

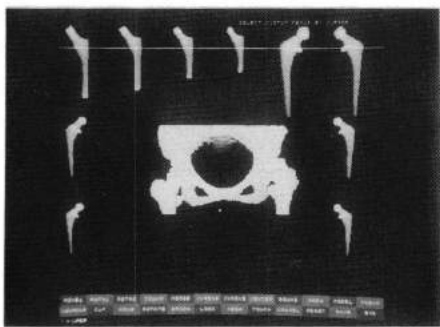


図33 骨盤と人工股関節ファントムの表示

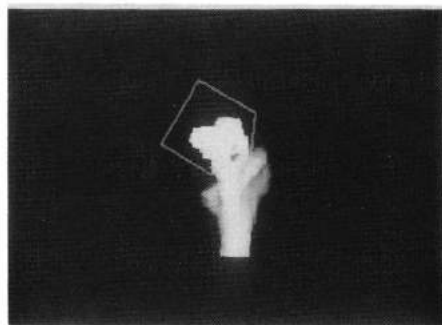


図34 大腿骨頭部の骨切り

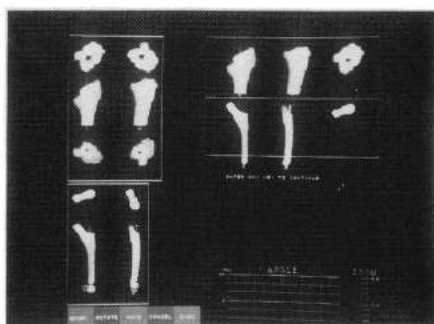


図35 大腿骨とステムの軸合わせ

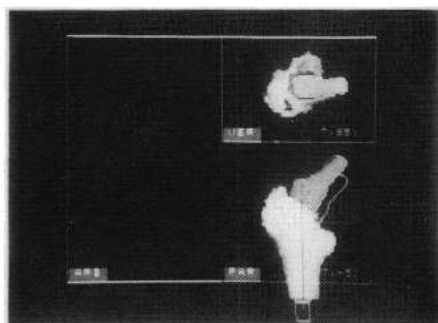


図36 ステムの挿入(1)

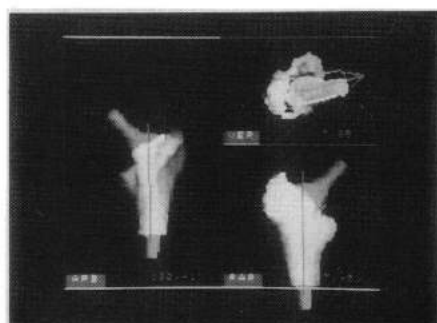


図37 ステムの挿入(2)

います。(図37)

入れた後、評価をどういふふうにしようかということで、これはステムと大腿の横断面を自動的にぱっと並べて、どういふふうに入っているかというところを表示して、評価しようとしているところです。(図38)

これは先ほどの接触面表示機能を使いまして、ステムのファントムに、コルテクススの内面と思われるところから距離を表示させたところです。このピンク色のところ

が食い込んでいるところですから、この部分の骨を削っているということがわかるわけです。(図39)

逆に発想を変えまして、大腿骨髓腔、本当は空ですが、その部分のファントムをつくってしまうと、こういう形を髓腔はしているわけですね。(図40)

今度はそれにステムを合わせてしまう。そうすると、この黄色い部分が皮質を削らなきゃいけない部分ですので、こんなこと

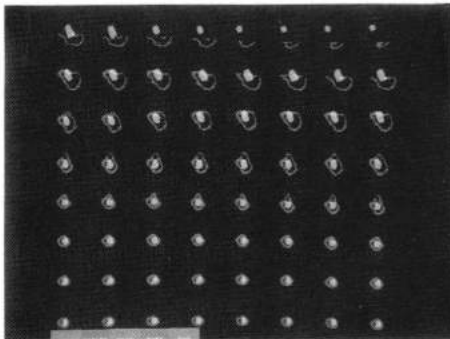


図38 ステムと大腿骨のフィッティング  
(横断面)

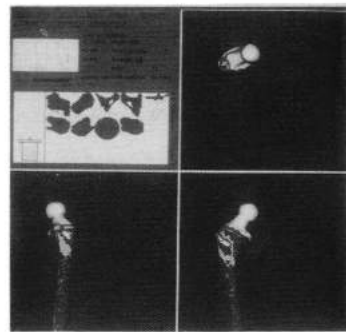
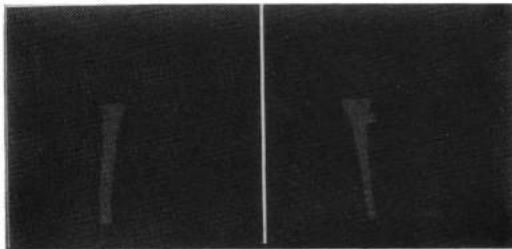
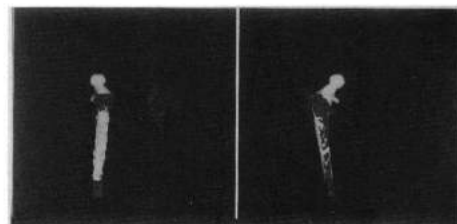


図39 ステムのフィッティングの評価  
(接触面表示機能による)



側面 正面  
図40 大腿骨骨髓腔のファントム



側面 正面  
図41 人工股関節ステムと骨髓腔のフィッティング

でも評価できるかなということを考えております。(図41)

これは半透明表示、要するに大腿骨の表示にトランスパレンシーを与えて、中のPCAのステムを骨越しに見せておりますが、これはレントゲンでテンプレートを当ててみるのを三次元的にやろうという機能です。(図42)

これは昨年も出したスライドですけれども、最近では実体モデル、紫外線硬化樹脂モデルというものもつくっております。(図43)

これで、骨髓腔をつくることができますものですから、それでモデルをつくってみて、実際に人工関節ステムの挿入を術前にシミュレートしてみようかというところまで来ております。

シミュレーションの結果としまして、本システムの接触面表示機能を用いると、RAOの前で臼蓋が前外方に拡大し、適正な荷重面が得られていることが明確に示されました。ただし、一部の症例に骨片の前

方への廻し過ぎも見られました。

シミュレーション機能を用いて骨切り線を設定したところ、従来述べられてきたよりも、恥坐骨の骨切りを大きくした方がよいように思われました。また、人工関節手術のシミュレーション機能の開発は一応の原型が示されました。

まとめといたしましては、三次元画像情報を駆使しての手術シミュレーションは、骨切りの現実感との点で、まだサージカル・シミュレーションと言うにはちょっとおこがましいと思いますが、サージカル・ナビゲーションとしては十分実用化の段階に立ち至っていると考えております。

ご後援とご理解をいただいた伊丹教授を初め、関係各位の皆様様に深謝いたします。どうもありがとうございます。

〔伊丹〕 どうもありがとうございました。ご質問はございませんでしょうか。

実は財団としましては、ぜひこのシミュレーション・システムというものを、関節

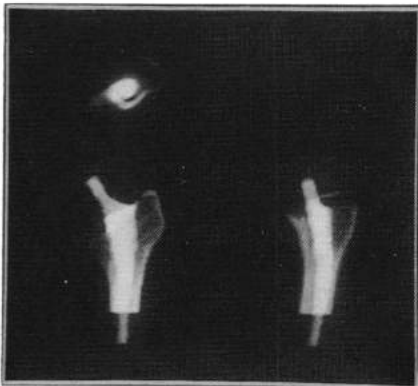


図42 大腿骨の半透明表示

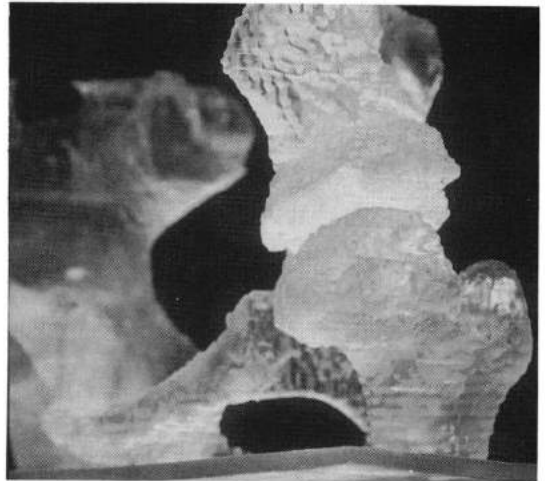


図43

の手術をなさる方に、応用していただくということで、かなり力を入れまして、ただ今ご発表いただいた先生方に盛んに研究をしていただいております。これらの研究をもとにいたしまして、ことしの秋ごろから、パイロットスタディーをお願いしております。来春になりましたならば、財団の方でシミュレーション・センターをつくり

まして、皆さんのご要望に応じ、CTの像を送ってくだされば、ただ今、お三方がご発表になったようなことのデータを差し上げて、それを応用して手術をしていただくということに持っていきたいと思っておりますので、どうぞその節は大いに応用していただきたいと思っております。どうもありがとうございました。