

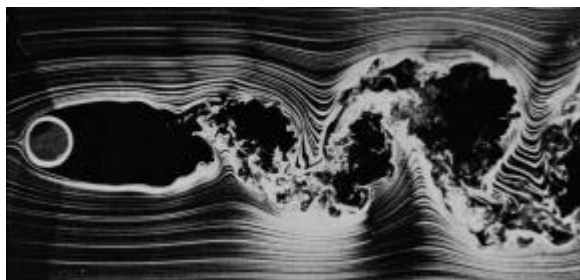
PCクラスターが変える流体力学

野球のピッチングとバッティングを例に

理化学研究所
姫野龍太郎

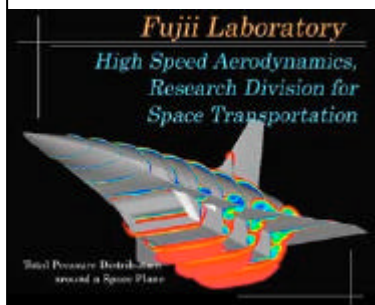
流体力学とは

- 流体力学
 - 流体の運動を扱う学問
 - 流体とは自由に変形し移動するもの (気体液体)
 - 解析方法
 - 理論解析、実験、数値計算

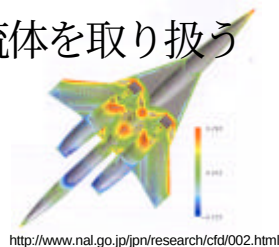


計算流体力学とは

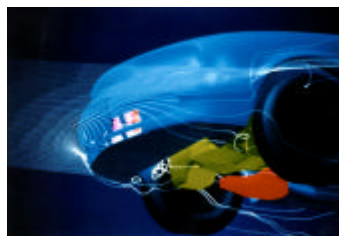
- CFD (Computational Fluid Dynamics)
- コンピュータによる数値実験で流体を取り扱う
学問分野



<http://flab.eng.isas.ac.jp/>



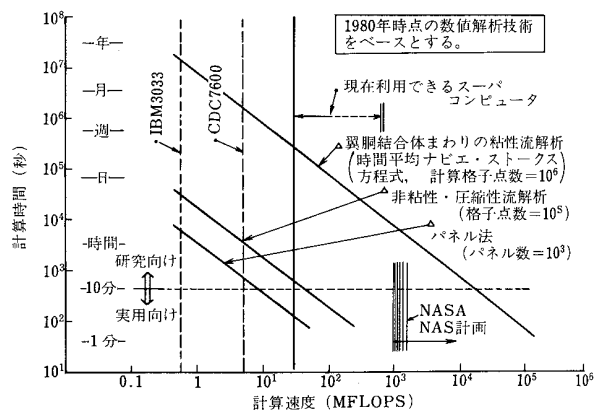
<http://www.nal.go.jp/jpn/research/cfd/002.html>



日産自動車提供
SAE920342

CFDとコンピュータ

- 基礎方程式 Navier-Stokes方程式



計算機が速ければ
より複雑な、
より実際に近い
計算が可能

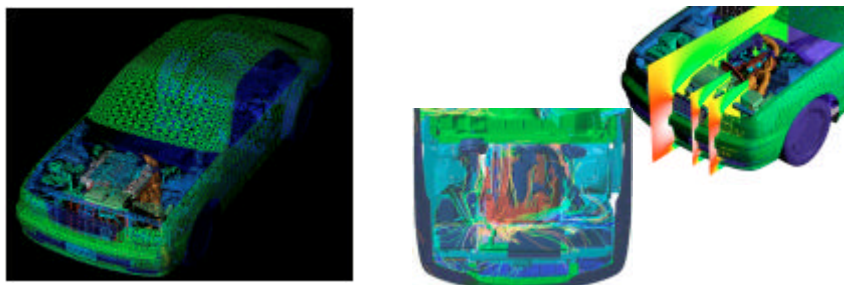
図7 三次元流の計算に必要なコンピュータ能力⁽¹⁾

大村、数値流体力学の動向、自動車技術、Vol.38, No.4, 1984.

L.R. Miranda, L.Lockeed Horizon, Spring, 1982.

CFDの現状

- 複雑形状で計算が可能に
- 計算時間よりメッシュ生成が問題



日産自動車提供

野球の変化球は？

- ボールの変化は空気力だけで決まる
- ボールに働く空気力をCFDで求めれば軌道が分かる

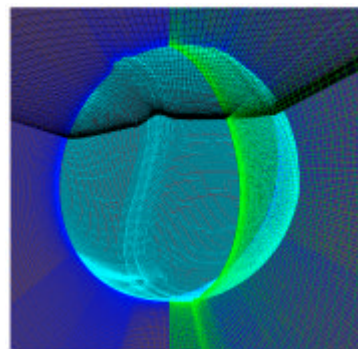
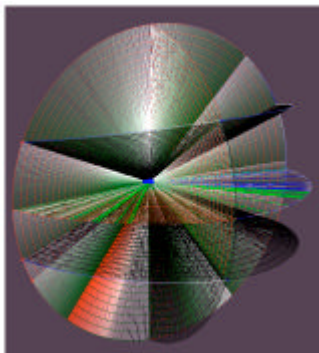
・動機 : どうして佐々木のフォークは打てないのか

佐々木のフォークボールの映像



縫い目による変化と予想

- 計算用メッシュ

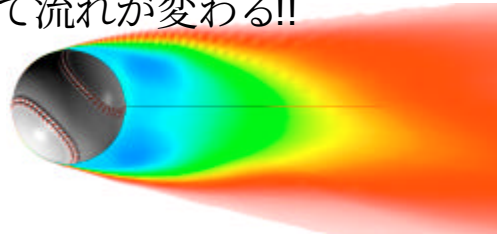


約600万点と約150万点で計算

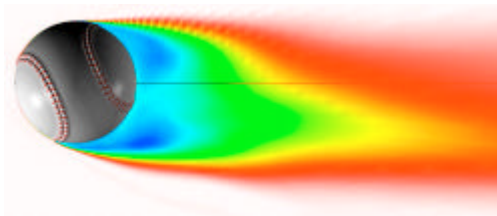
計算結果

- 縫い目によって流れが変わる!!

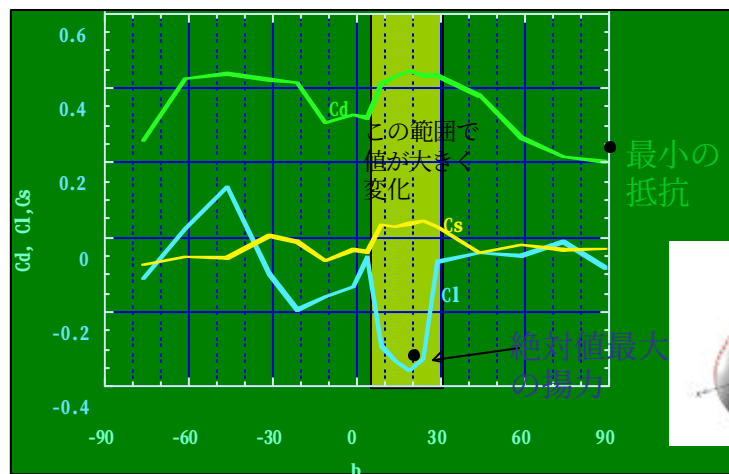
- $\alpha = 45^\circ$



- $\alpha = 65^\circ$

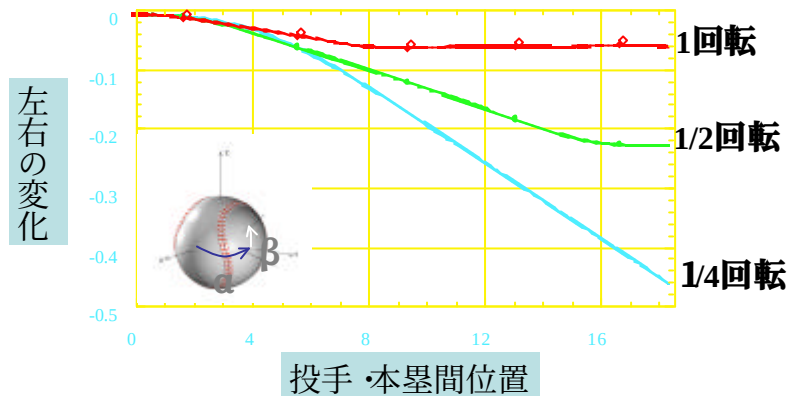


いろいろな角度で計算



横力の変化による変化球

- β が変化するようにN回転 (投手・本塁間)



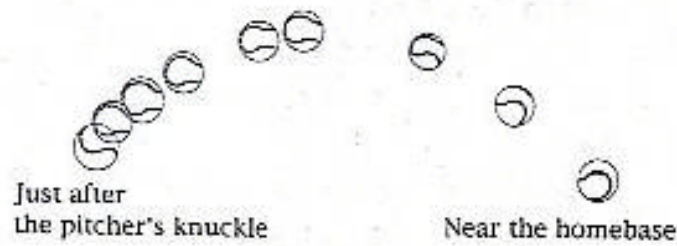
奇妙な変化球は実在する？

- ナックル、パームボール、伝説の杉下のフォーク



From NHK-BS (Prof. Mizota's Homepage)

回転しないように投げるナックル



- 溝田先生の論文 ‘ナックルの不思議’ より

他に新しい魔球は創れない？

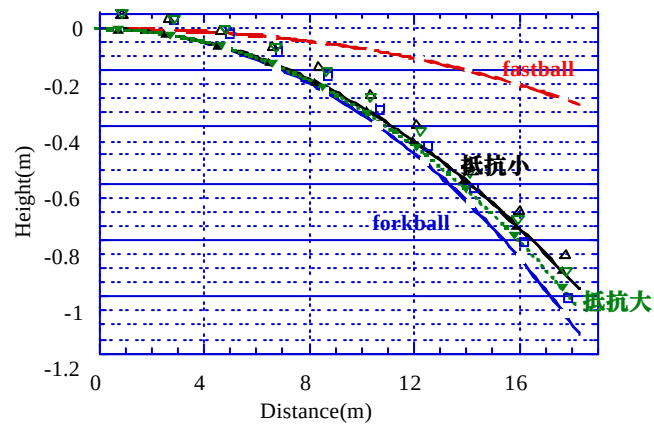
- 横力の変化を使ったナックル系変化球
- 抵抗の変化を使ったらどうなる？
 - 軌道の変化は小さいが、タイミングが変化

実際に計算してみると

	直球	フォークボール	抵抗小	抵抗大
初速(m/s)	37.5	37.5	37.5	37.5
終速(m/s)	33.7	31.8	35.6	34.6
差	3.8(10%)	5.7(15%)	1.9(5%)	2.9(8%)
落差(m)	0.58	1.42	1.25	1.3
直球との差	0	-0.84	-0.67	-0.72
時間(s)	0.519	0.538	0.505	0.514
直球との差	0	0.019(3.5%)	-0.014(-2.7%)	-0.005(-0.1%)

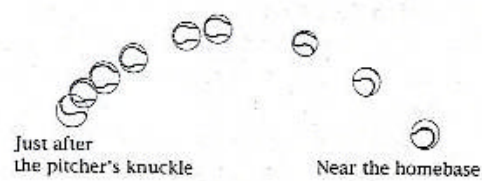
軌道は？

- 直球・大/小抵抗・フォークの比較



ところが、問題が...

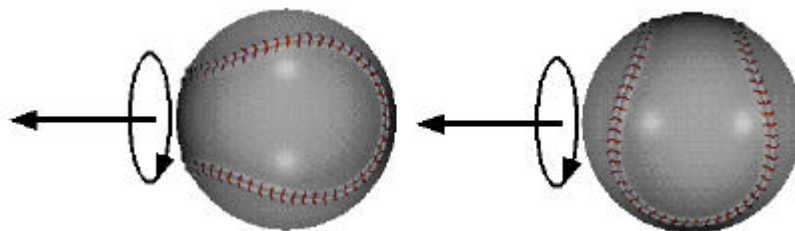
- 無回転・高速で投げるのは絶望的
- しかも、無回転で投げても勝手に回転



- 溝田先生の論文 'ナックルの不思議' より

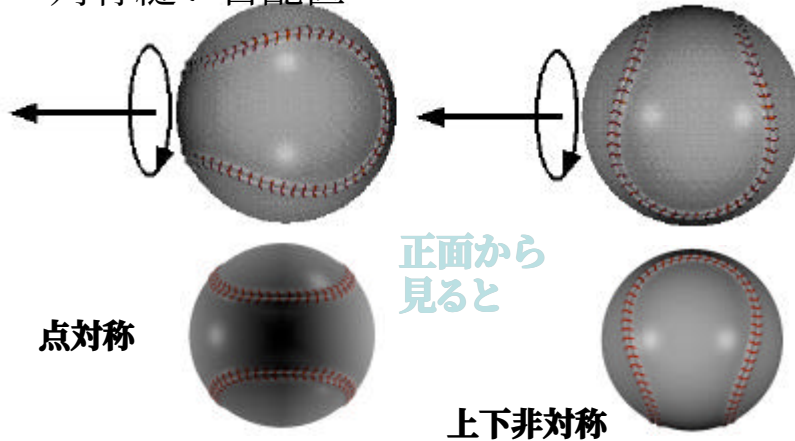
解決策

- アメフトのパス
- 飛ぶ方向と回転軸が同じ回転を使う



2種類の計算

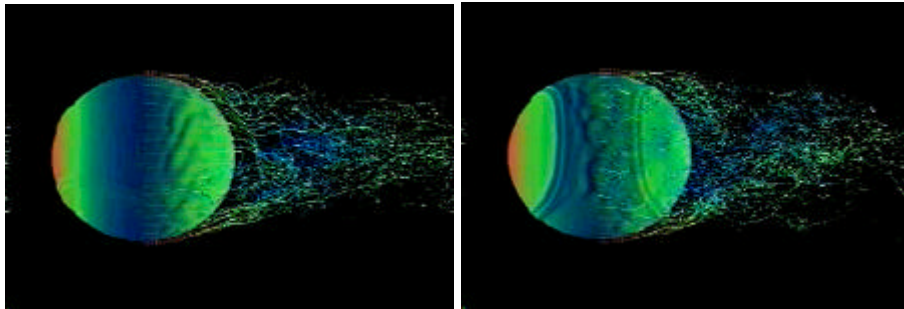
- 対称縫い目配置
- 非対称縫い目配置



計算条件

- 球速155km/h(43m/s)
- Re:約200,000
- ジャイロ回転30rps 推定)

流れの違い



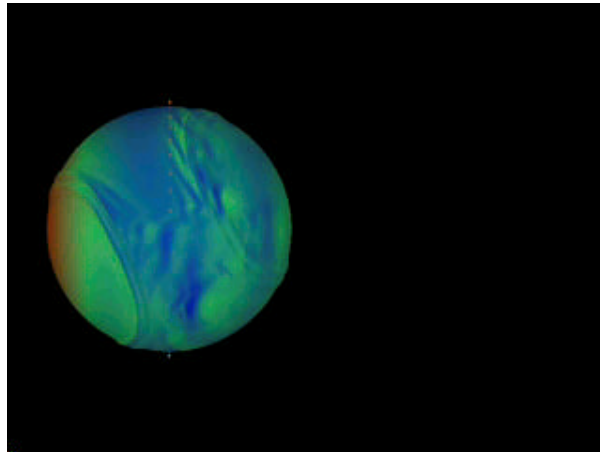
■ 対称

■ 非対称

ジャイロボール後流の比較

- 対称
 - 後流が狭い
 - 時間的变化が小さい
 - $C_D=0.169$
- 非対称
 - 後流が広く 偏っている
 - 偏る方向も時間とともに変化
 - $C_D=0.292$

フオークボールの場合

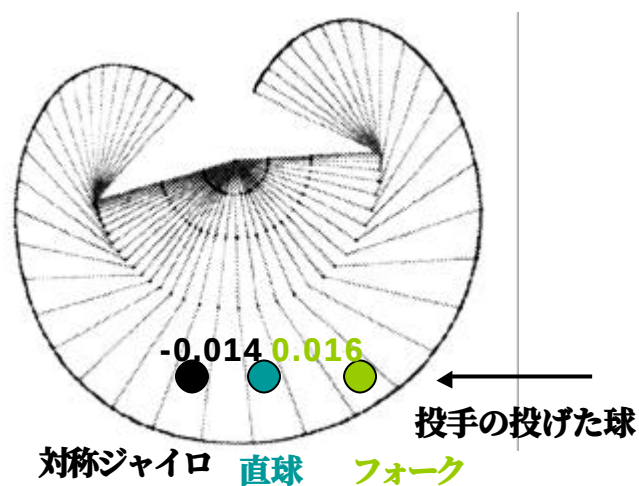


135km/h
10rps
sidespin

フオークボールの後流

- 特徴
 - 後流が大きい
 - 偏る
 - 時間的に変化が大きい
 - $C_D=0.468$
- 非対称ジャイロの特徴と同じ
 - 抵抗は 50%大きい

タイミングの差

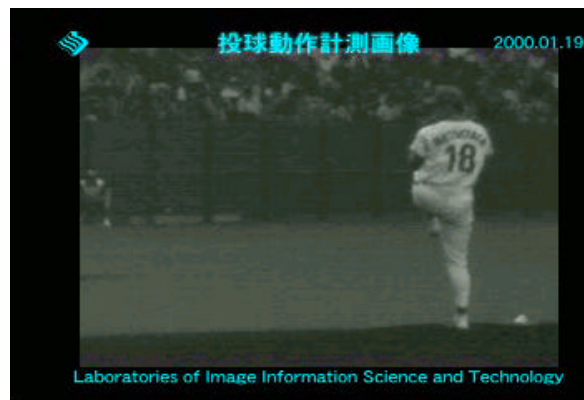


ジャイロボールは可能か？

- 手塚一志 (ピッチングの正体)
- イメージ情報科学研究所
 - 大村皓一研究グループ：“人工技能”
 - 望月義幸：人体運動の最適化
 - アイ・キューブ 横山太一、高野光太郎
- NHK
- 西武球団

松坂投手の投球フォーム

- モーション・キャプチャー



協力
NHK

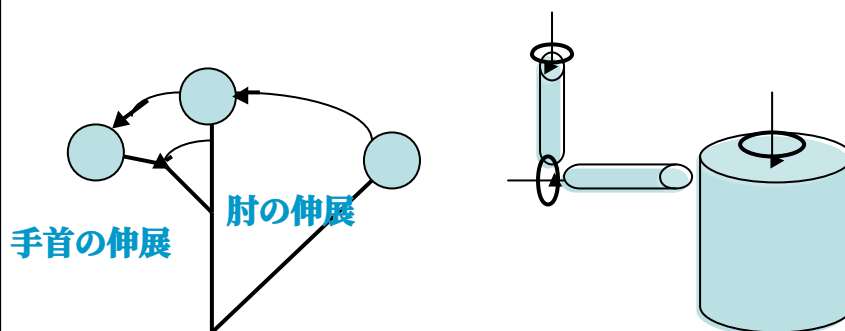
キャプチャーしたフォーム

- 西武 松坂投手



投球フォームの違い

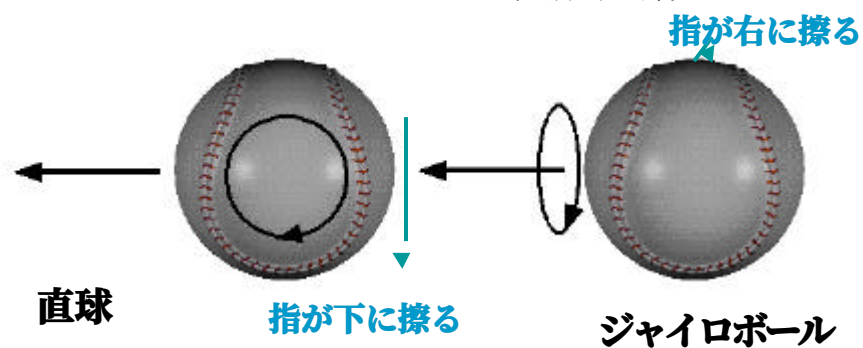
- 三重振り子式 (直球) と三重回旋式 (GB)



ボール回転の違い

- 手首のスナップ

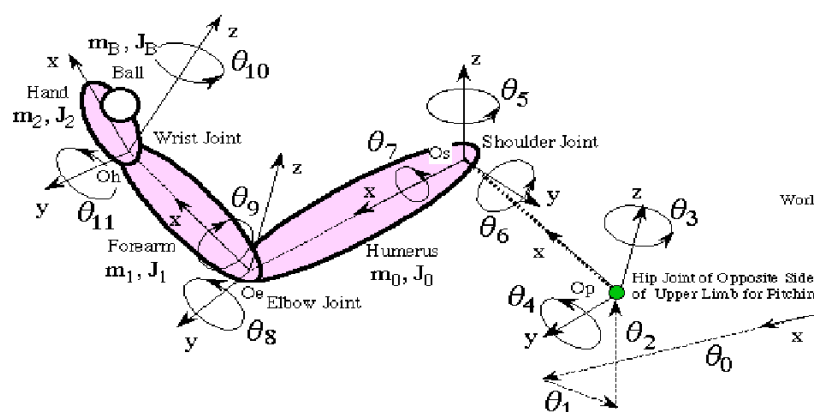
- 回旋運動



一般の投球フォームの改良

- 初期動作 : 実際の投球動作
 - 速度・なめらかさを最適化
 - 上肢の骨格筋肉モデル
 - 肩と腰の動きは計測から
 - 関節の可動範囲を考慮

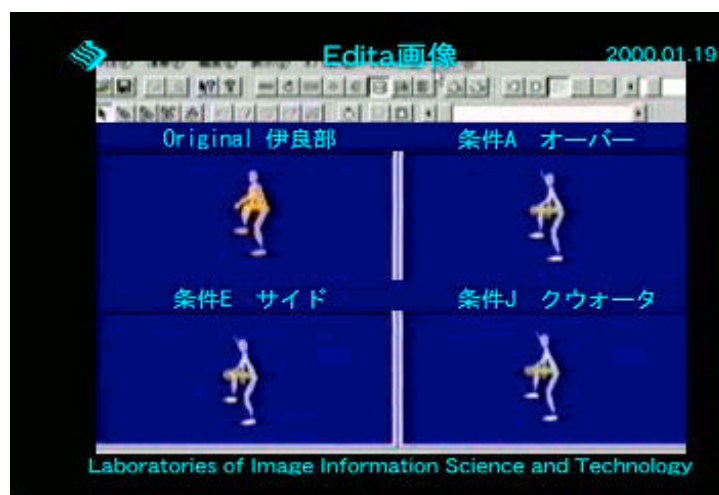
上肢の筋肉骨格モデル



目的関数

$$\begin{aligned}
 E(\Theta(t)) = & W_0 (\text{Penalty for Joint Movability}) \\
 & + W_1 (\text{Penalty for Joint Torque}) \\
 & + W_2 (\text{Penalty for Ball Velocity}) \\
 & + W_3 \int_{t_i}^t \sum_{i=5}^{11} (\tau_i)^2 dt \quad \text{無駄のない動き} \\
 & + W_4 \int_{t_i}^t \sum_{i=5}^{11} (d\tau_i / dt)^2 dt \quad \text{トルク変化最小} \\
 & + W_5 \int_{t_i}^t \sum_{i=5}^{11} (d^2 \tau_i / dt^2)^2 dt \quad \text{トルク変化の滑らかさ}
 \end{aligned}$$

最適化前後のフォームの変化



最適化フォーム



最適化フォーム (スロー再生)

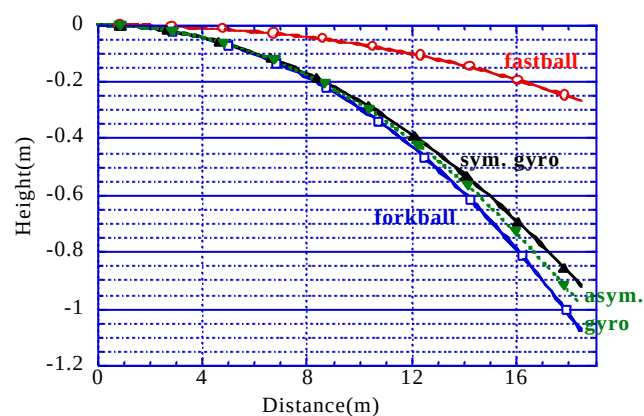


最適化を行うとジャイロボールに

- 三重振り子運動から三重回旋運動
- バックスピンから螺旋回転
- カール・ハッベルのスクリーボールは螺旋状に回転していたらしい
- 現在のスクリーボールはシュートのこと

軌道を比較

- 直球・フォーク・ジャイロ2種



直球との比較

	直球	フォークボール	対称ジャイロ	非対称ジャイロ
初速(m/s)	37.5	37.5	37.5	37.5
終速(m/s)	33.7	31.8	35.6	34.6
差	3.8(10%)	5.7(15%)	1.9(5%)	2.9(8%)
落差(m)	0.58	1.42	1.25	1.3
直球との差	0	-0.84	-0.67	-0.72
時間(s)	0.519	0.538	0.505	0.514
直球との差	0	0.019(3.5%)	-0.014(-2.7%)	-0.005(-0.1%)

ボール軌道の実寸大立体表示



松坂の直球



協力
NHK

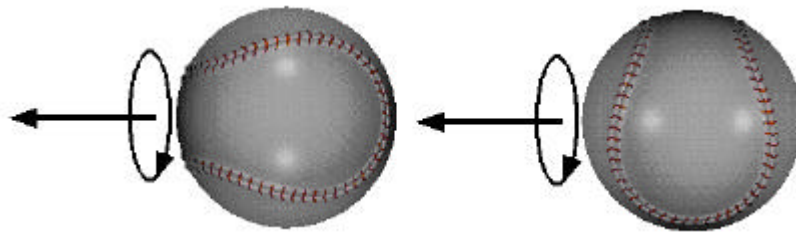
松坂のスライダー



協力
NHK

松坂の投球と球の回転の特徴

- 手のひらが正面でなく体の内側向き
- 回転軸が進行方向と同じ
- 同じ縫い目パターンが正面
- 手塚らがジャイロボールと呼んでいる球

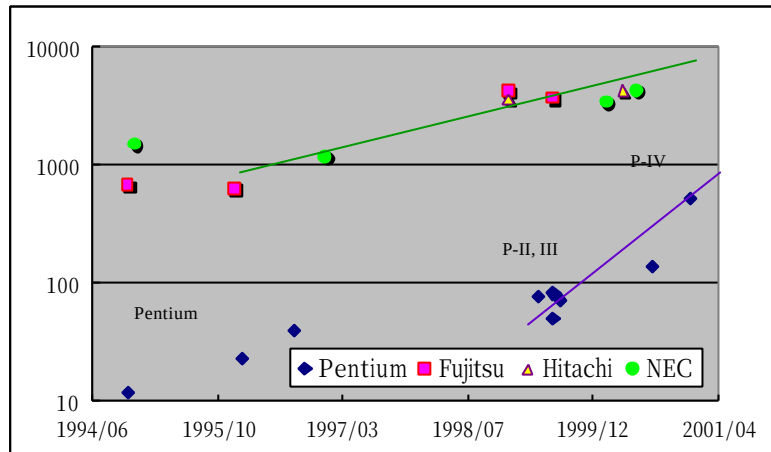


PCクラスターとCFD

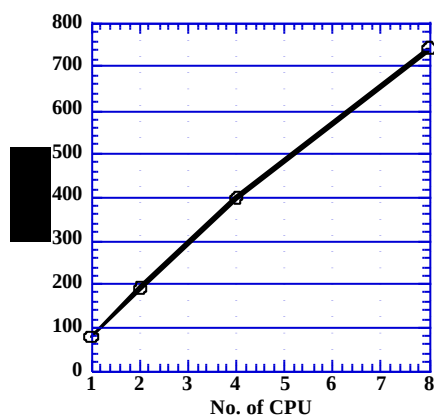
- CFDはベクトル計算機で発達
- ベクトル機で実効性能が非常に高い
 - SXでは実効性能が理論性能の50%以上
 - スカラー機では実効性能は理論性能の10-20%
- これまではPCクラスターでは性能が出ないと思われてきた

1 GHz 超 IA-32 の登場

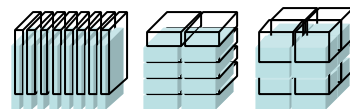
- 実効性能でベクトル機の 1CPU に迫る



ソフトの工夫で並列性能を向上



3D分割＋通信隠蔽
処理で1台の8倍



1次元分割から3次元分割へ

計算を境界と内部に分離、
通信と計算を並列化

従来のPCクラスターとCFD用との違い

- 計算ノードに最も速いCPU
- CPUの1つに対し、ひとつの通信インターフェース
- デメリット
 - 高価
 - 大きなスペース (4U←1U)



なぜPCクラスターが今重要か

- 必要に応じ、計算したい
- 実時間で解析したい
- 計算結果を計算しながら見たい

必要に応じ、計算したい

- 事前に計算する条件が不明
 - 投げ方を変えたときの変化
 - 打者の心理を予想して裏をかく投球

実時間で解析したい

- モーションキャプチャーとリンクした計算
- 最適計算を投手や打者にフィードバック
- いろいろなトレーニングに最適

計算結果を計算しながら見たい

- 計算パラメータを変えるとどうなるか
- 設計パラメータを動かしながら計算、最適値が見ながら分かる

PCクラスターはパーソナル

- 占有可能
- 予算に応じてスケラブルに構成
- 小規模ほど効率が良い

逆に

- バッチで使う限り、従来の計算機との差はコストだけ!!
- 現状では大規模計算機センターには不向き

今後のPCクラスターへの期待

- グラフィック用のPCクラスター
 - 演算性能からグラフィック性能へ
- 計算機センター向きのPCクラスター
 - ハードウェア : 信頼性、故障診断
 - ソフトウェア : 課金、GRIDへの対応