



野球の変化球と投球動作の解析

理化学研究所

姫野龍太郎



変化球の解析に取り組んだきっかけ



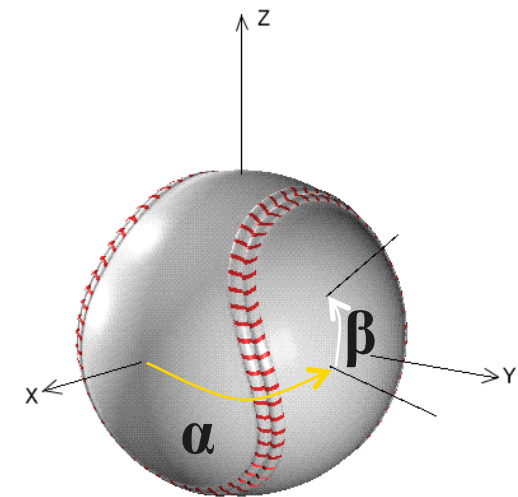


別の映像をスローで

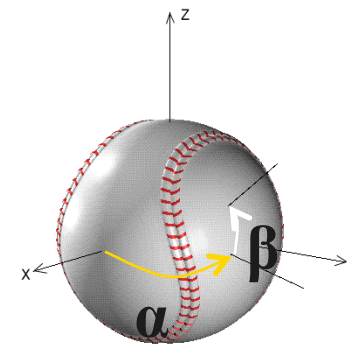
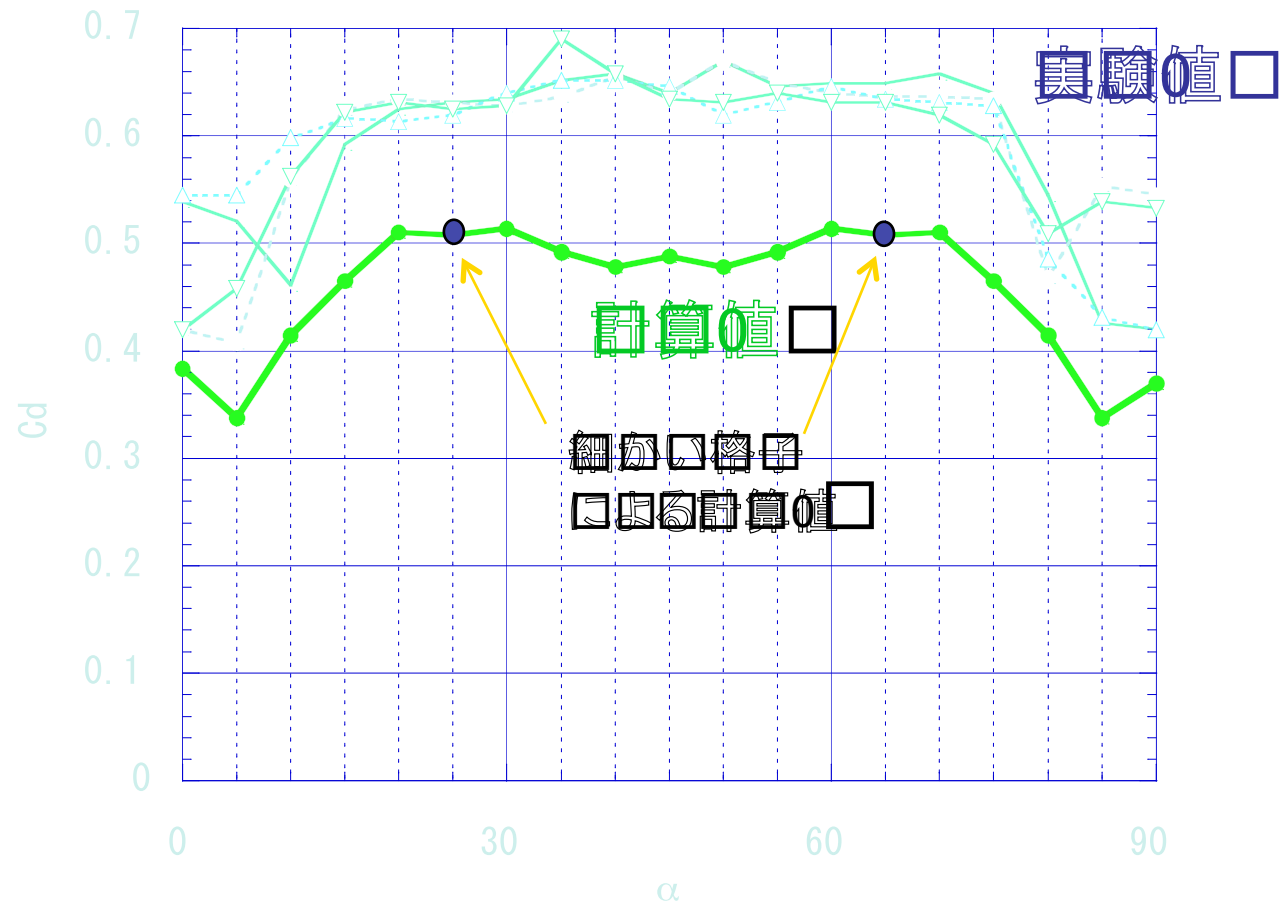


計算条件

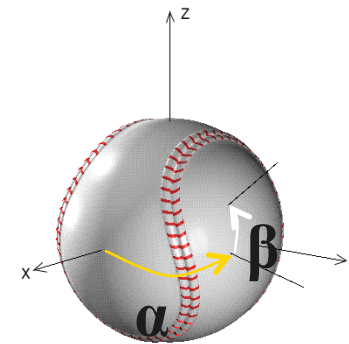
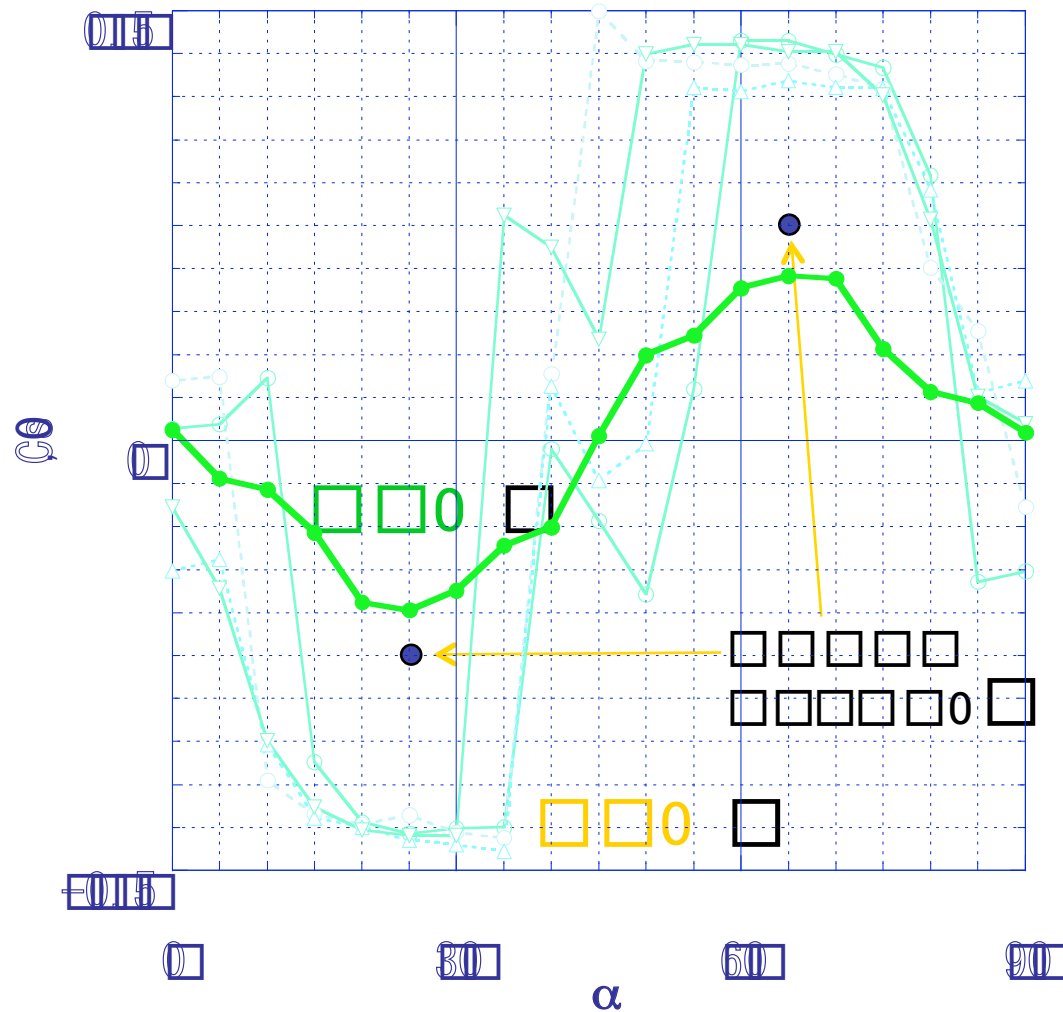
- 時速75km (レイノルズ数100,000)
- ボールは回転しない
- 縫い目と流れの角度をパラメータ
- 溝田先生の風洞実験と比較



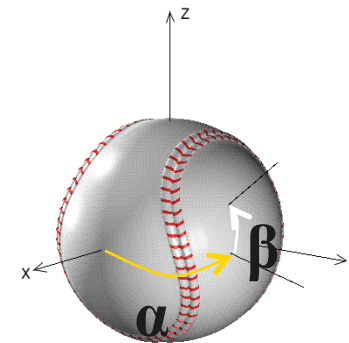
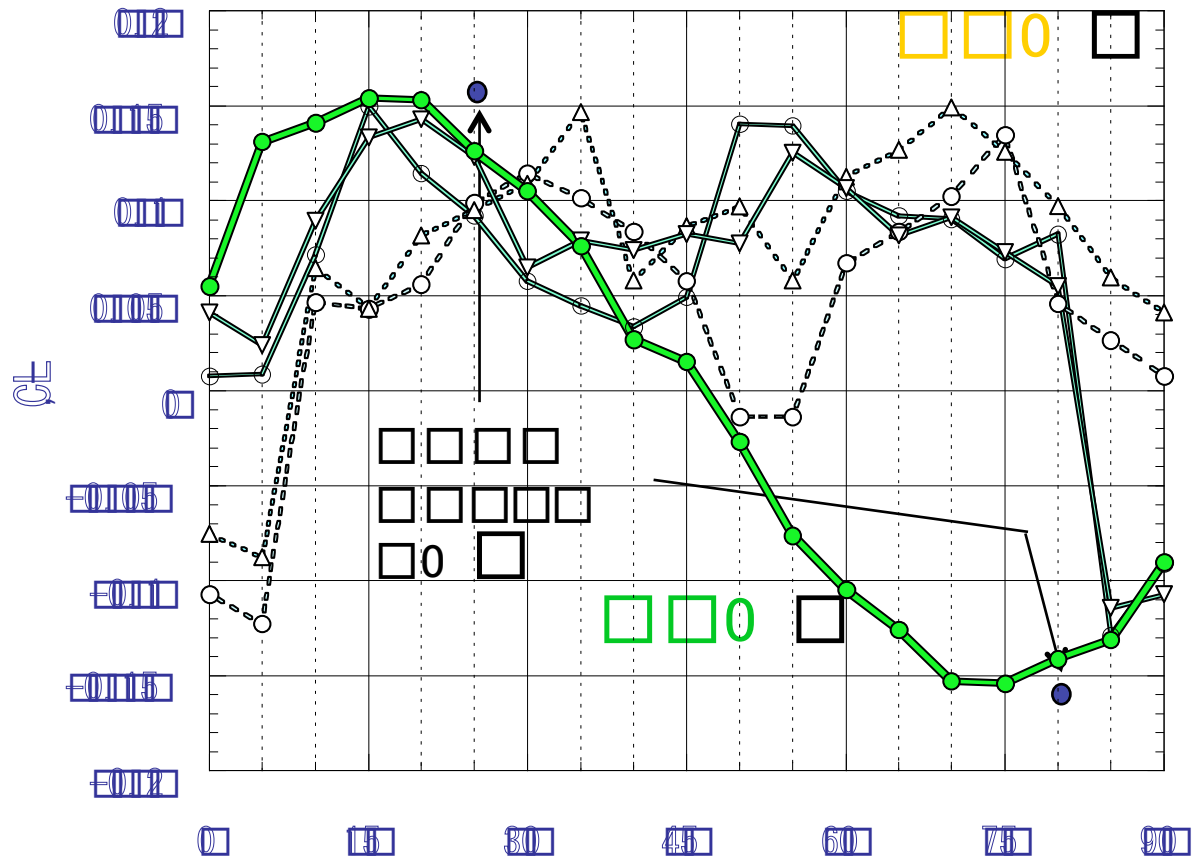
空気抵抗係数の実験との比較



横力係数の実験との比較



揚力係数の実験との比較



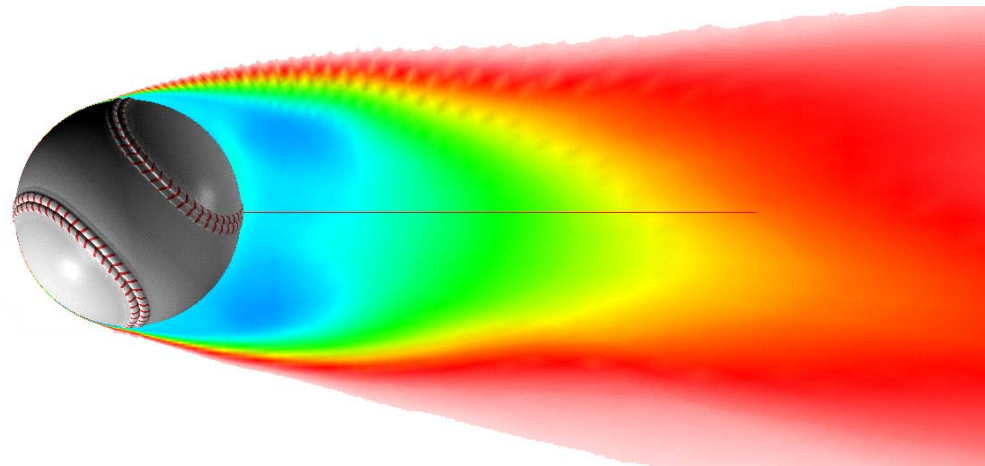
α

CPS□□□□

総圧で見る流れ場の変化： α

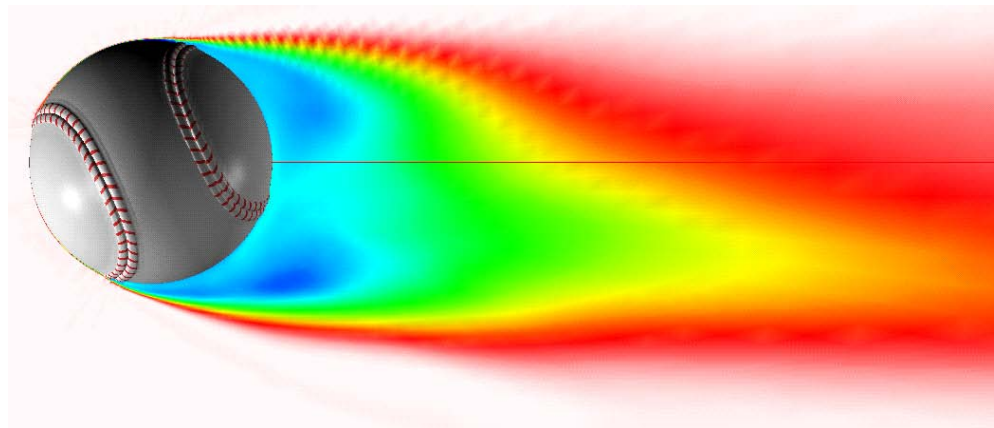
- $\alpha : 45$ 度

Cs:0.006



- $\alpha : 65$ 度

Cs:0.192



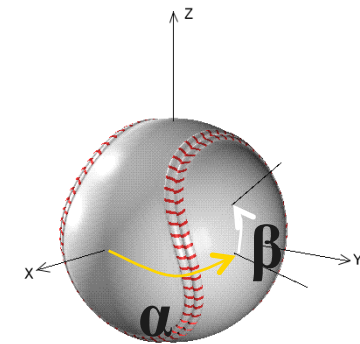
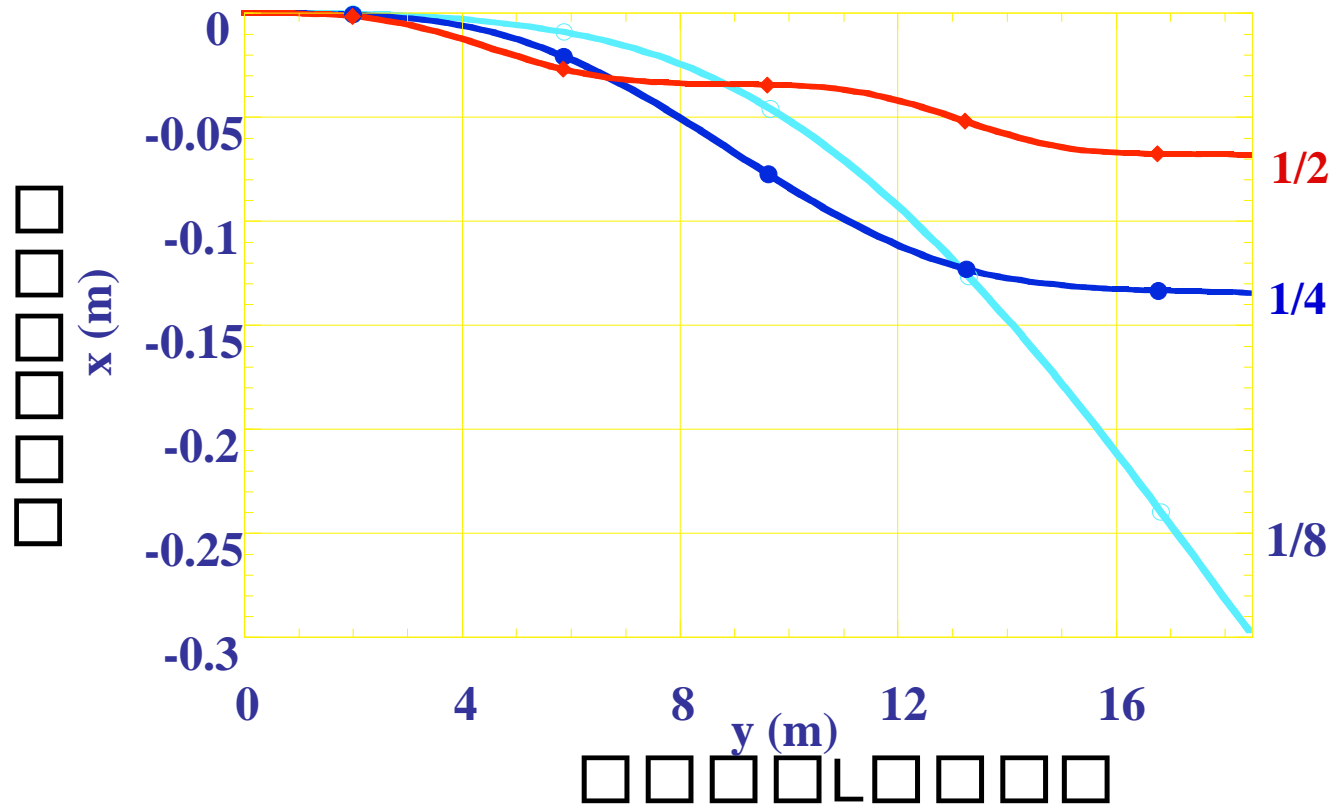
動的な流れの変化のようす

Comparison of Flows
Around a Ball With
Different Seam Line
Positions



計算結果によるボールの軌跡(1)

- α が変化するようにN回転(投手・本塁間)



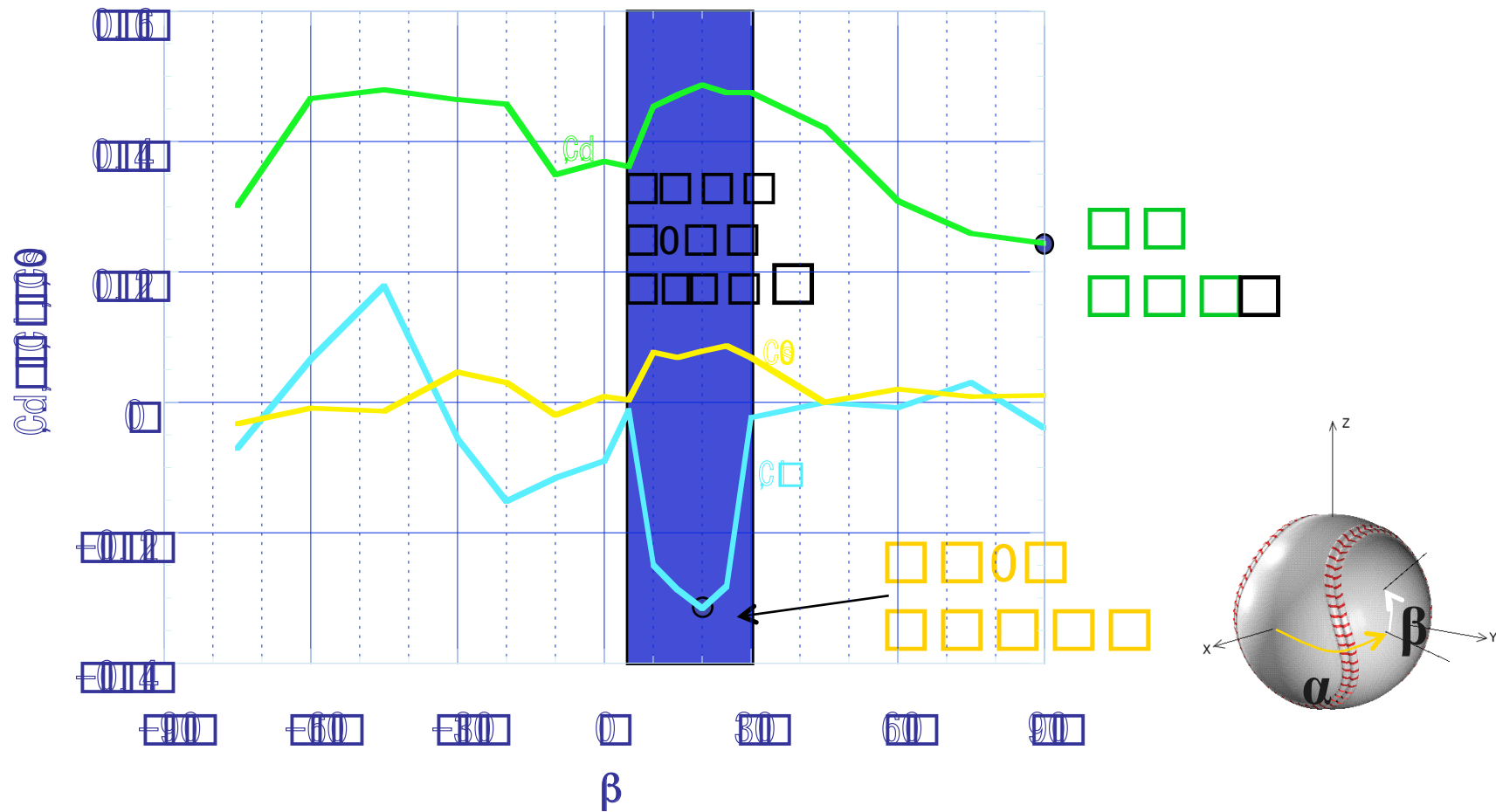
ナックルでは

わずかな回転の変化、
わずかな初期縫い目位置の変化が

大きな軌跡の変化をもたらす

ただし、これらは風洞実験でもわかっていた

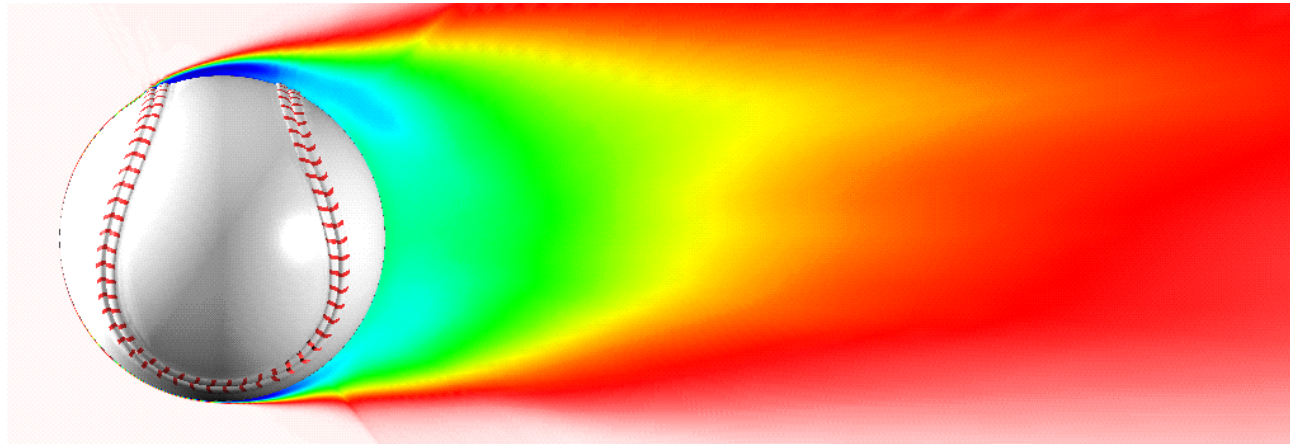
β を変えたときの変化 ($\alpha : 90$)



総圧で見る流れ場の変化($\alpha:90$)

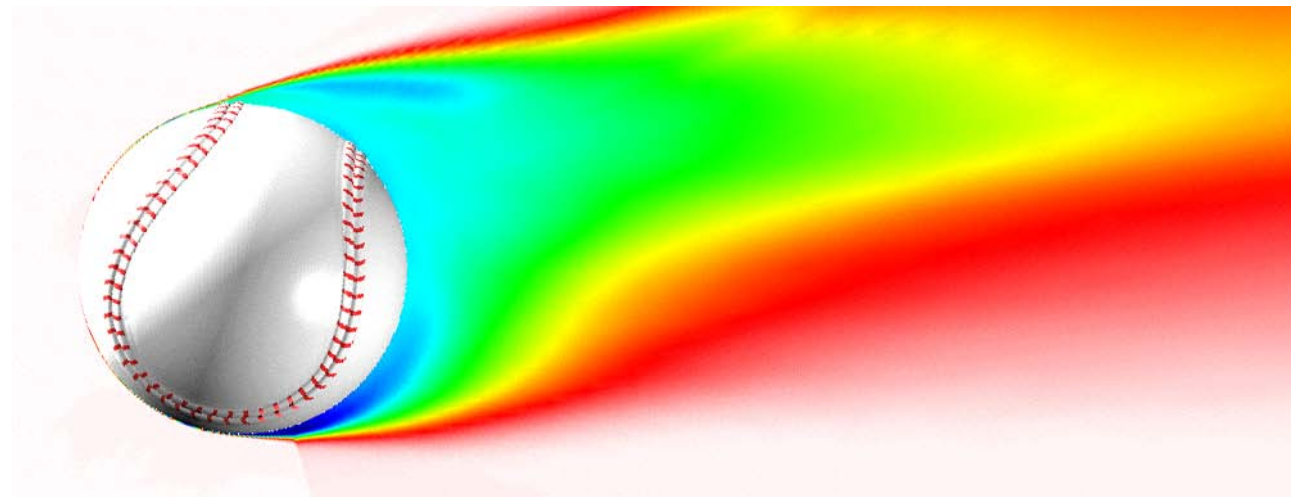
■ $\beta:0$

Cl:-0.090



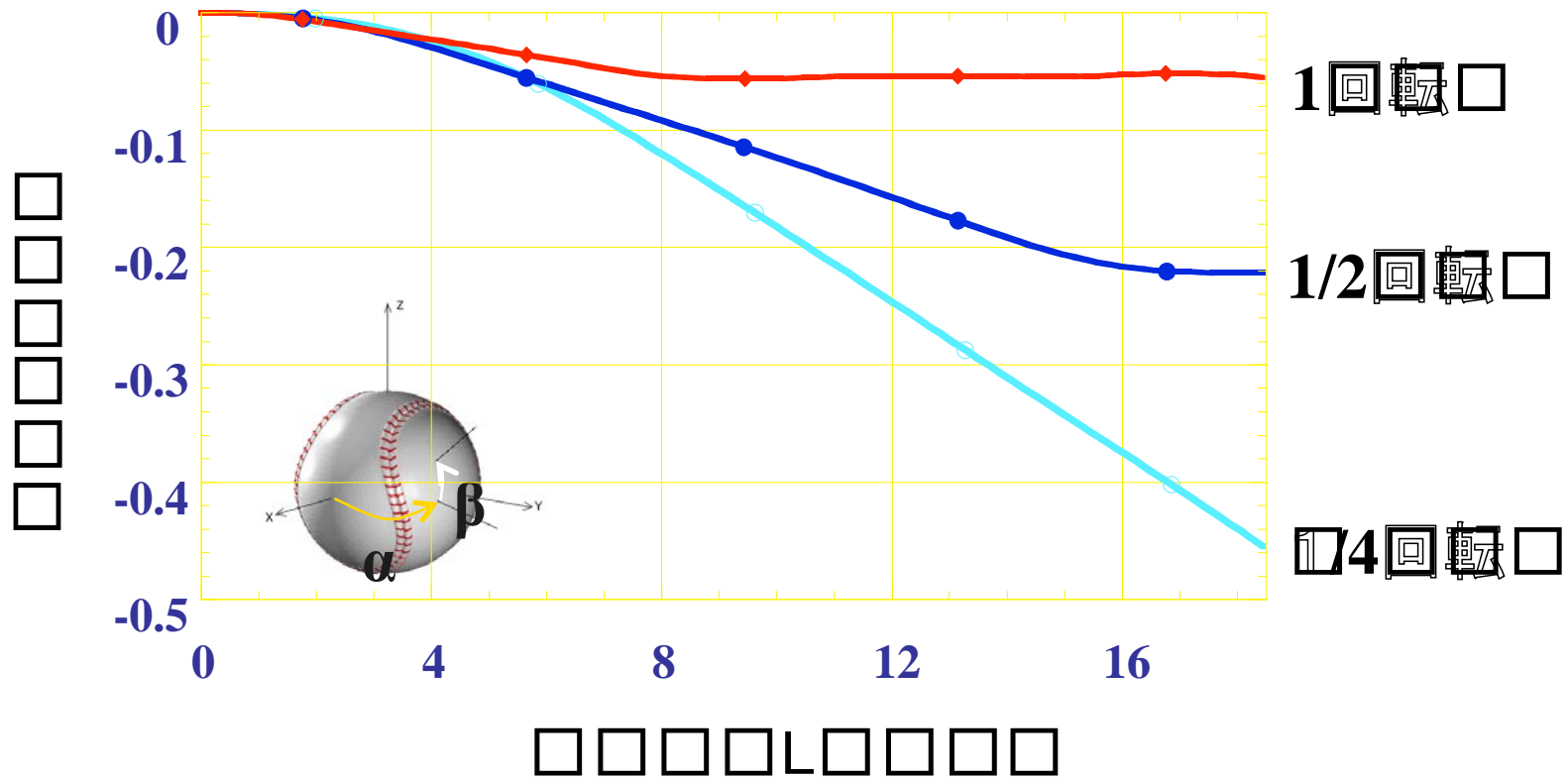
■ $\beta:0$

Cl:-0.316



計算によるボールの軌跡(2)

- β が変化するようにN回転(投手・本塁間)



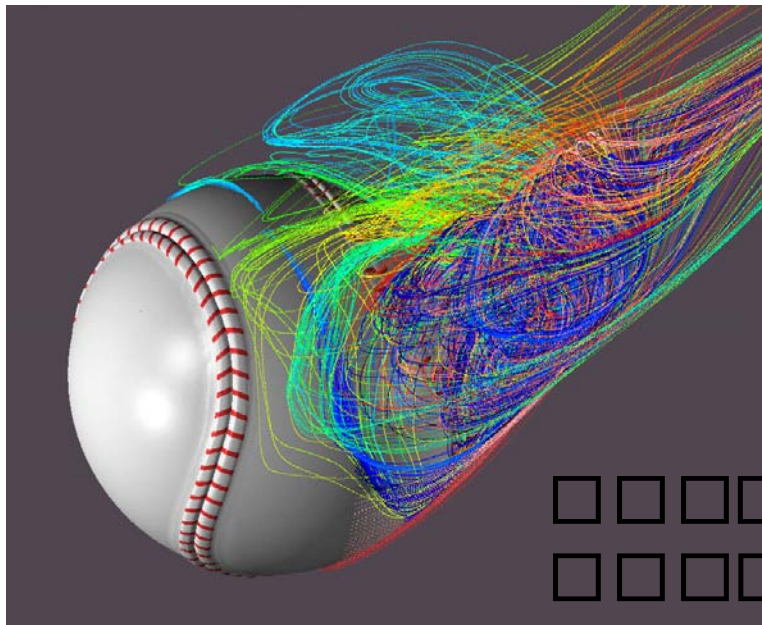
α 回転と β 回転の軌跡の比較

- 細線は α 回転、太線は β 回転

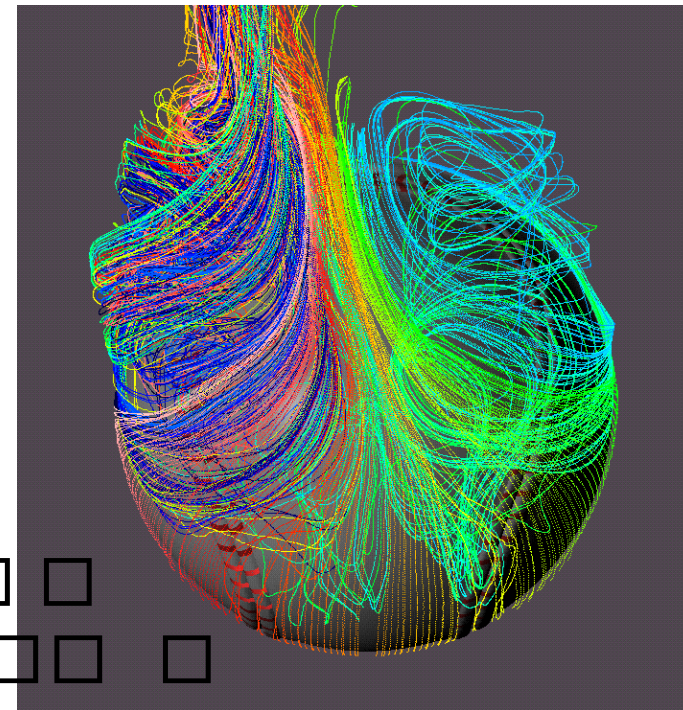


後流がなぜ偏るのか？ (1)

- 後流が偏る $\beta = 20$ の場合

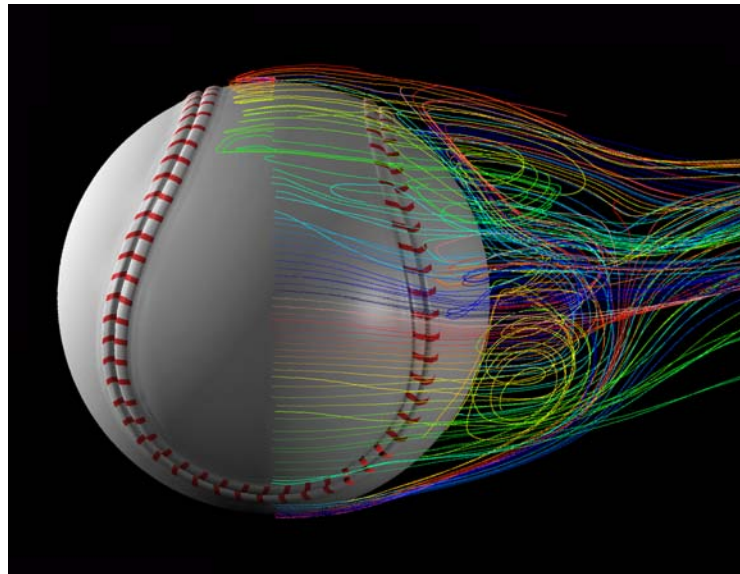


Rear Quarter View

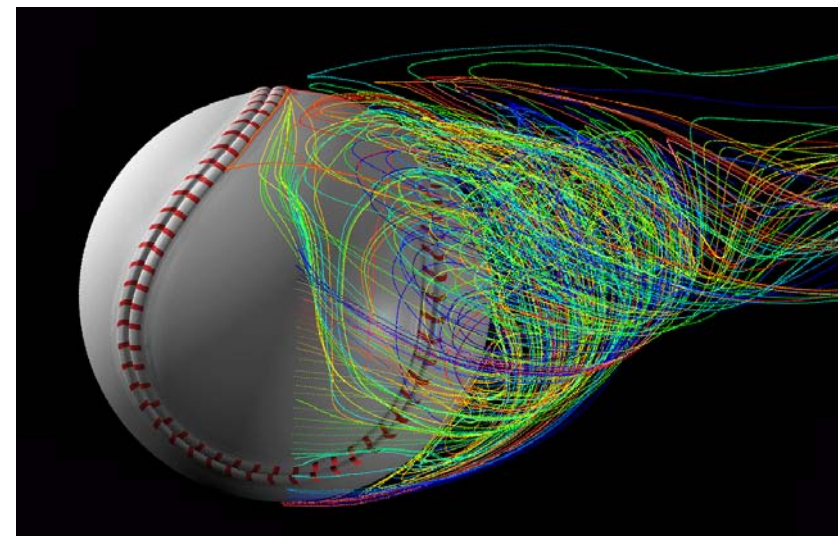


Rear View

後流がなぜ偏るのか？ (2)



β □□□□□□□□



$\beta:20$ □□□□□□□□

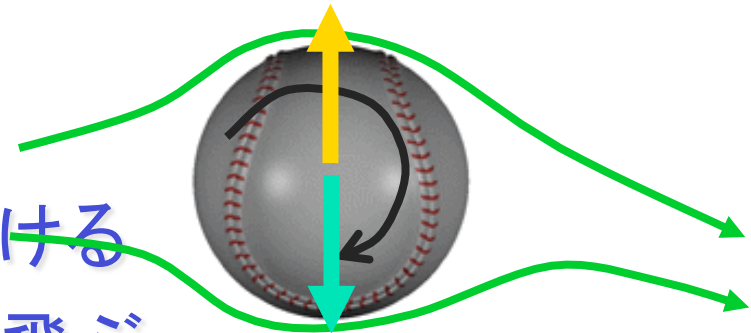
フォークは本当に落ちるのか？

- 高速度ビデオの解析（佐々木・野茂他）
 - 重力以外の力は働いていない
 - 空気抵抗が他の球種よりも大きい
- 打者のコメントから
 - 杉下投手のフォークは揺れながら落ちる
 - 縫い目が見えた
 - 蝶のように舞う

直球とフォークボール

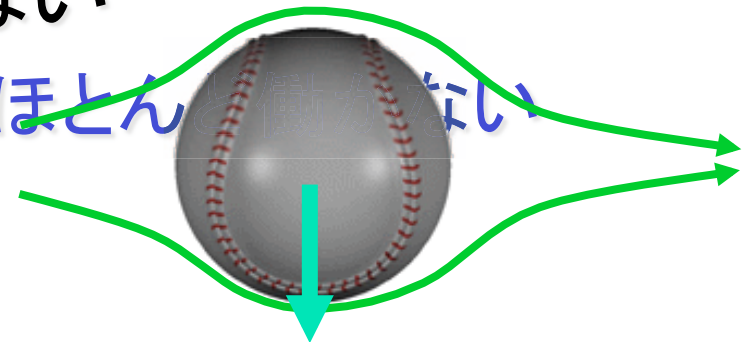
- 直球は変化球

- 上向きの力を流れから受ける
- 重力をうち消してまっすぐ飛ぶ



- フォークボールは変化しない

- 重力以外の下向きの力はほとんどない
- サイドスピン



実際の映像(ナックル)



4 シーム
9 8 km/h

$Re \approx 1.22 \times 10^5$



2 シーム
9 9 km/h

$Re \approx 1.23 \times 10^5$



ナックル・ボールの映像

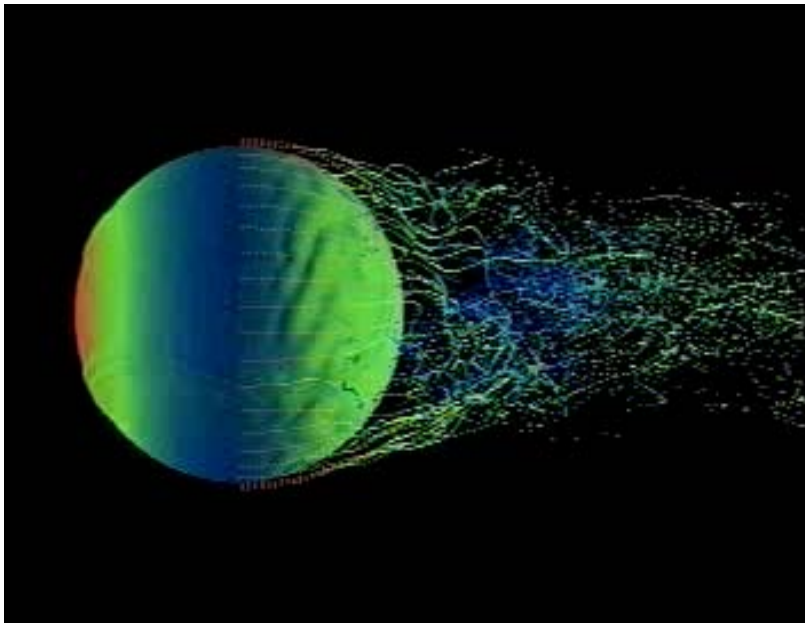


回転しているボールの解析

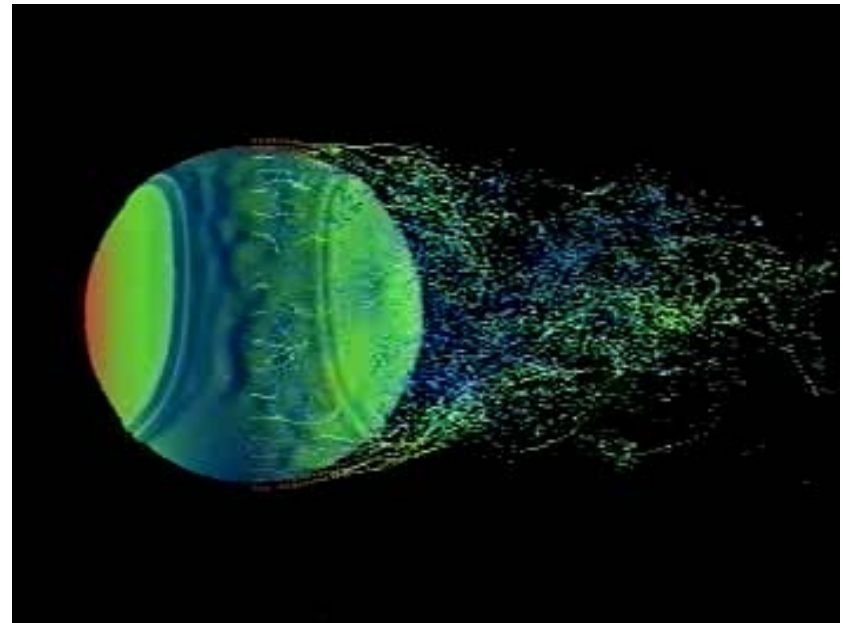
- ナックルボールは准定常：毎秒0.5-1回転
- 他の球種では毎秒10-30回転、動的な解析が必要

- 解析では静止流体中をボールに固体された座標系で回転移動する場合に変換して計算

ジャイロボールの解析

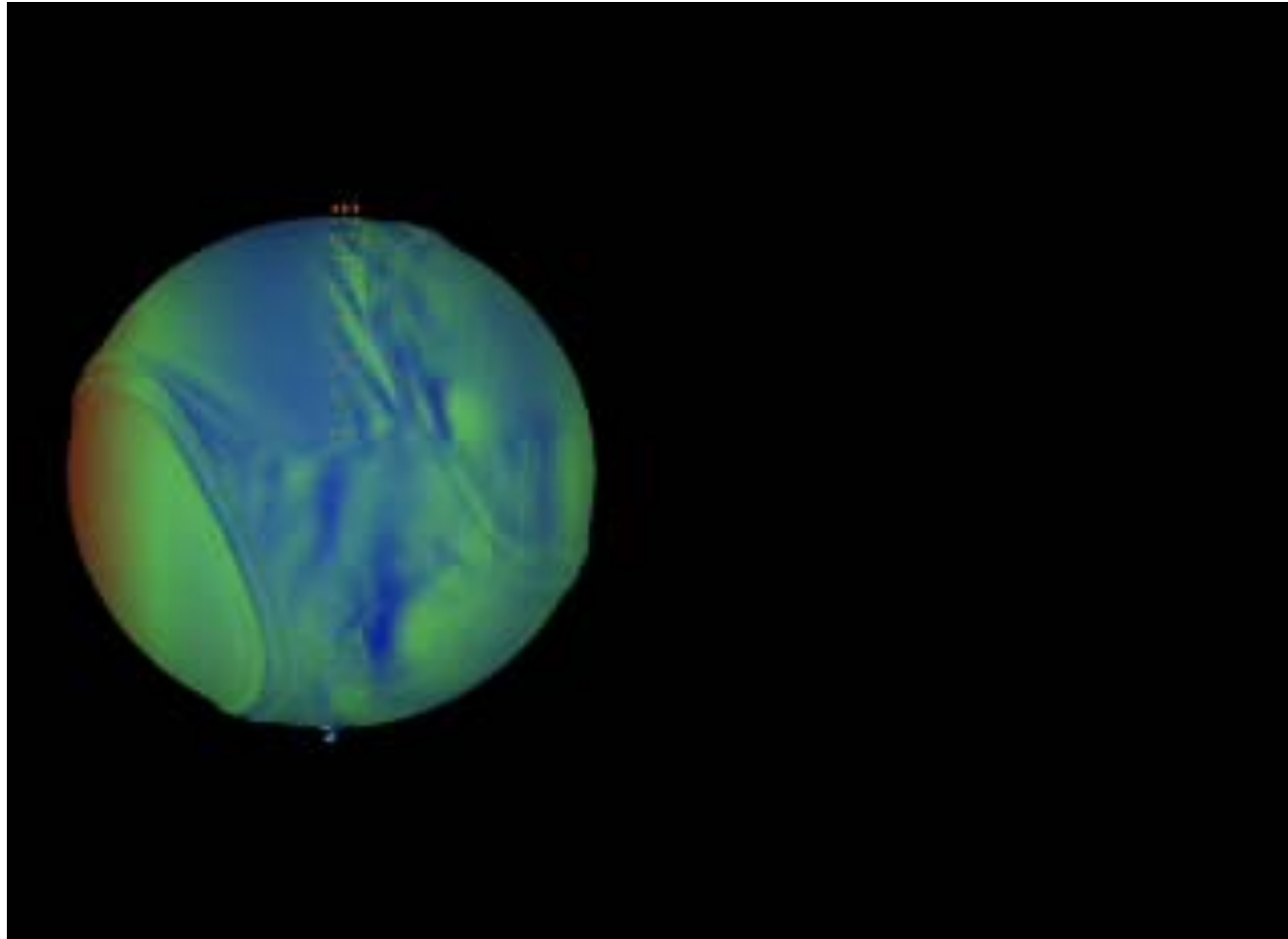


4シーム・ジャイロ



2シーム・ジャイロ

空気抵抗の違いを予測

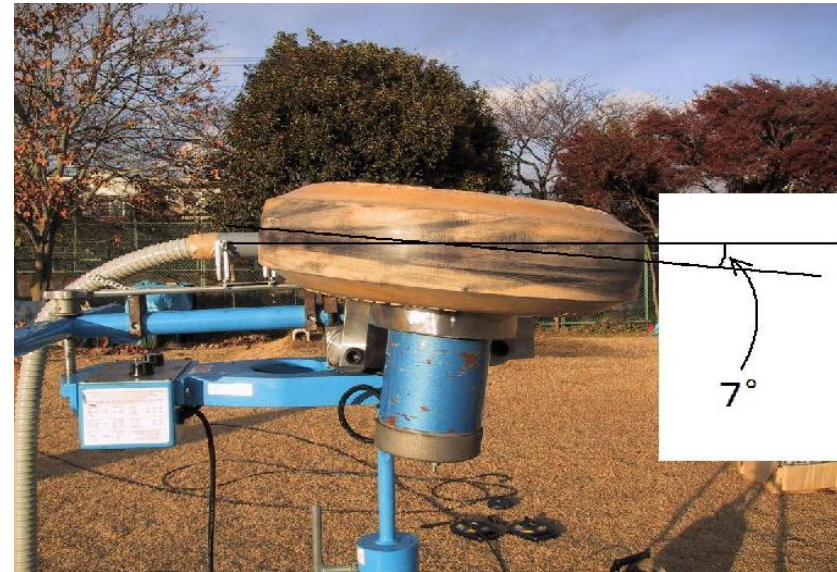




ジャイロボールの解析で予測された 空気抵抗の変化は本当か

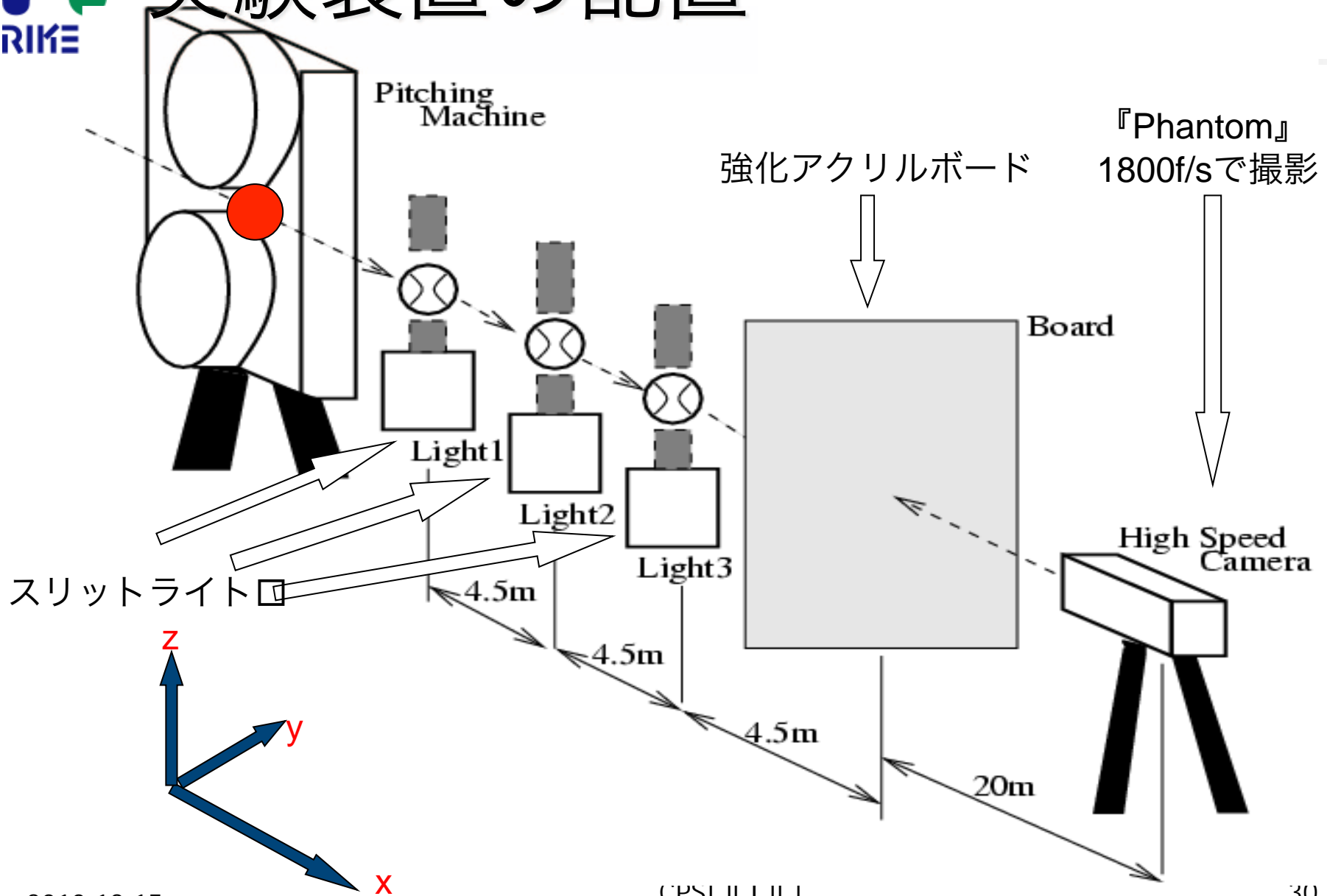
電気通信大学・宮寄研究室との
共同実験

実験に使用したピッチングマシン



電通大及び理化学研究所所有のマシン

実験装置の配置



実際の映像(ジャイロ)



$SP \approx 0.23$



2 シーム
129 km/h

$Re \approx 1.80 \times 10^5$

2010.12.15



$SP \approx 0.12$



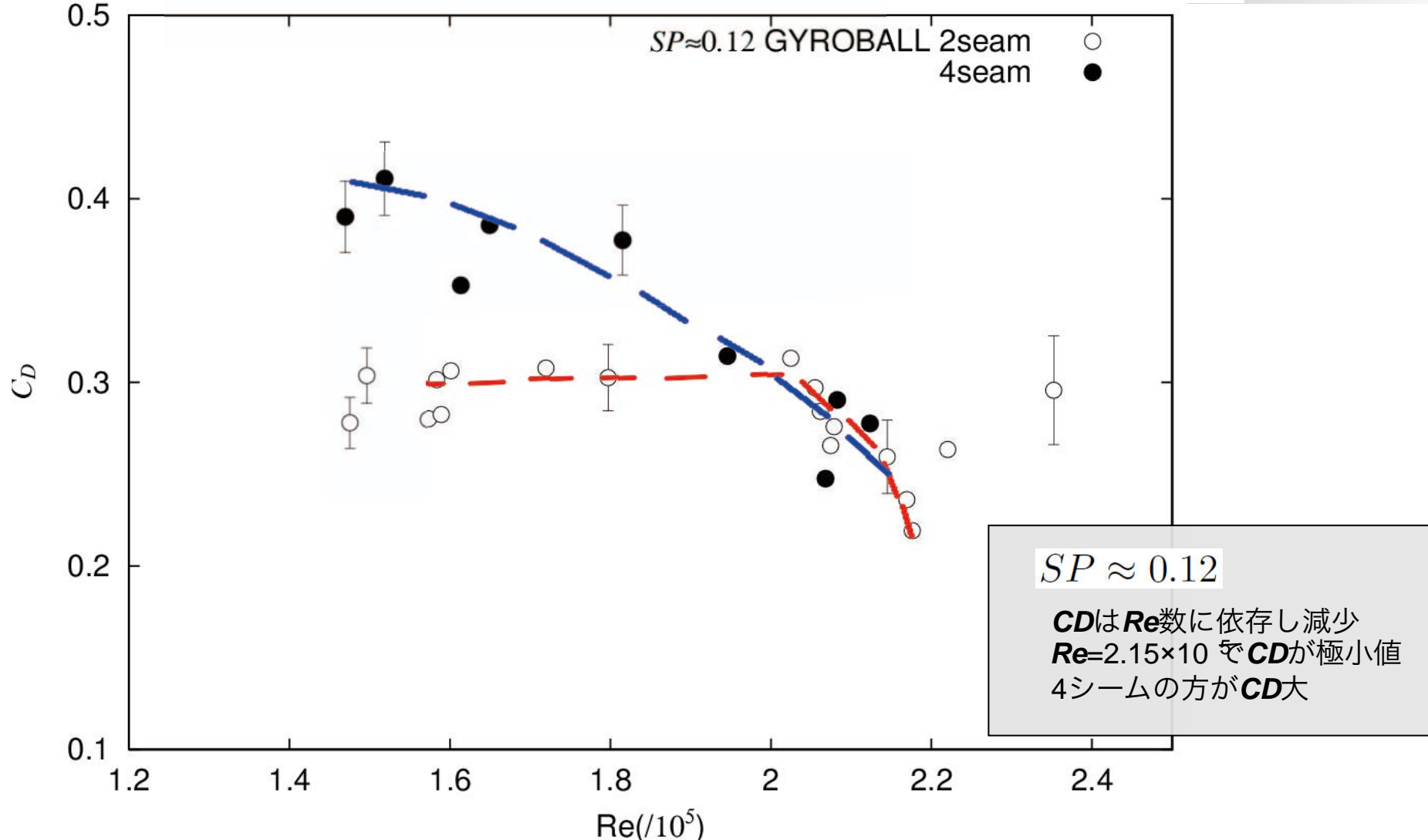
2 シーム
151 km/h

$Re \approx 2.16 \times 10^5$



ジャイロボール ($Re-C_D$ 関係図)

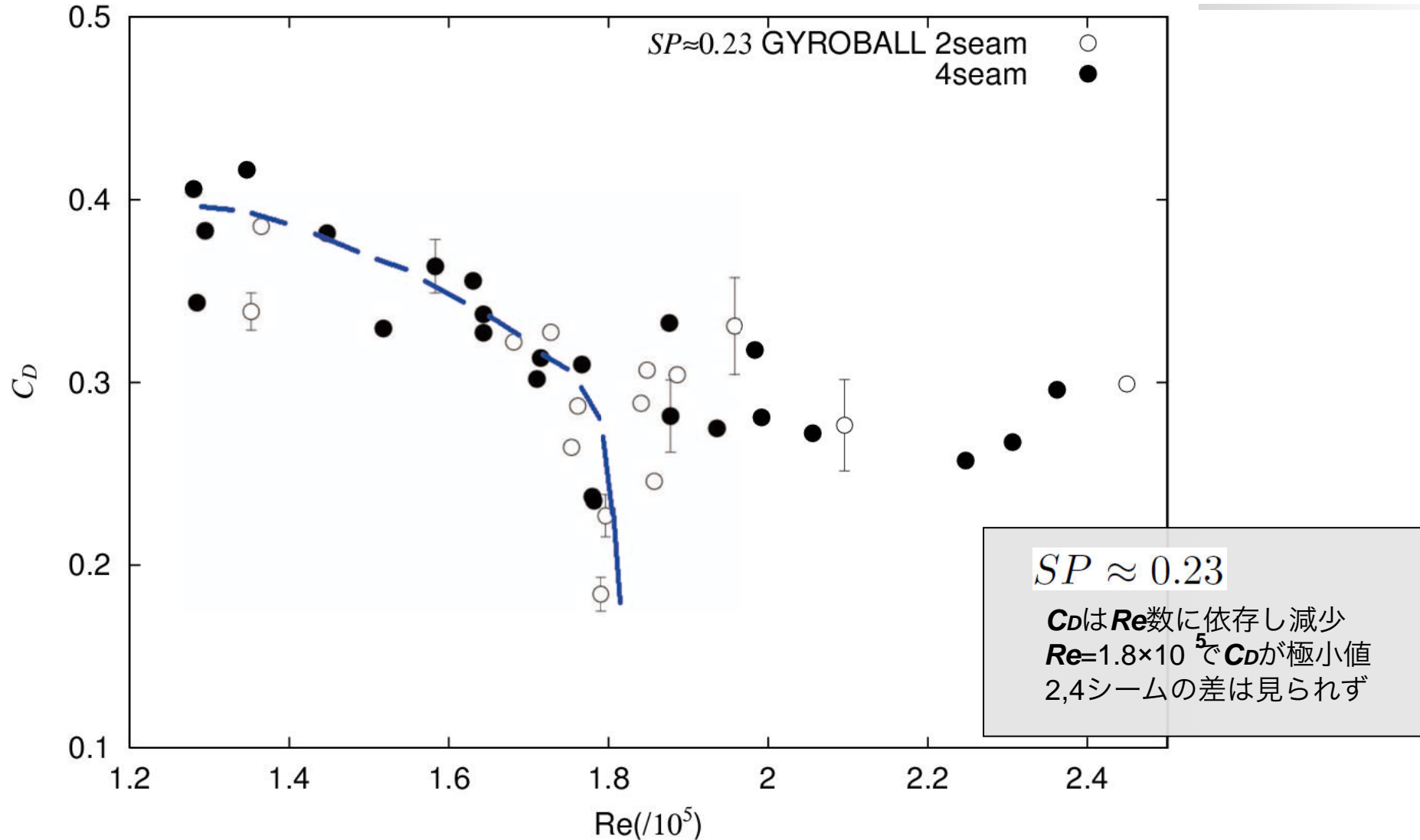
$SP \approx 0.12$





ジャイロボール ($Re-C_D$ 関係図)

$SP \approx 0.23$



2シームと4シームの差

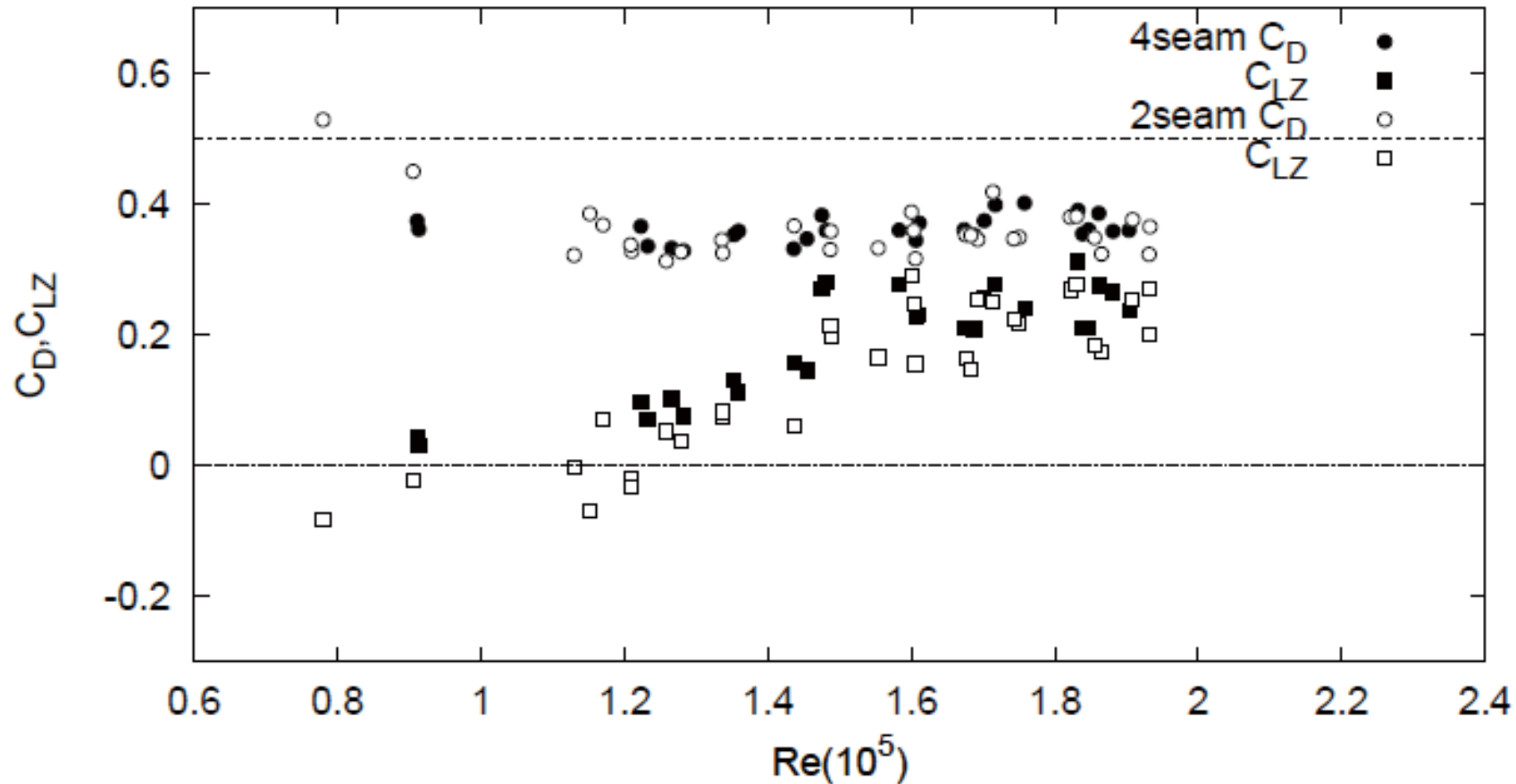


図 15 $C_D, C_{LZ}-Re$ 数関係図 (JPN:SP = 0.23)

Major League

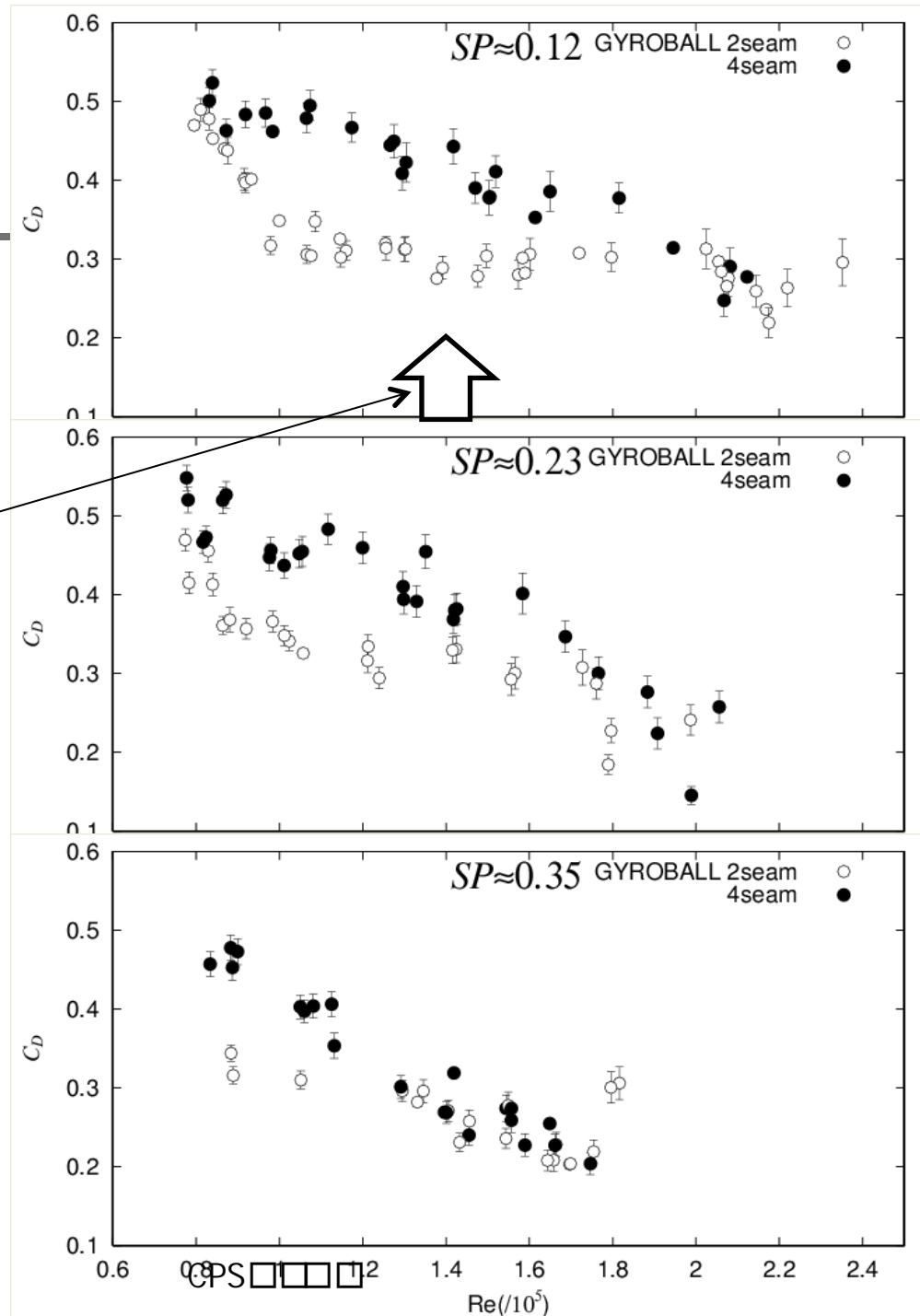
$Re \approx 140,000$

2seam Gyro-ball

$C_D \approx 0.319$ (n=4)

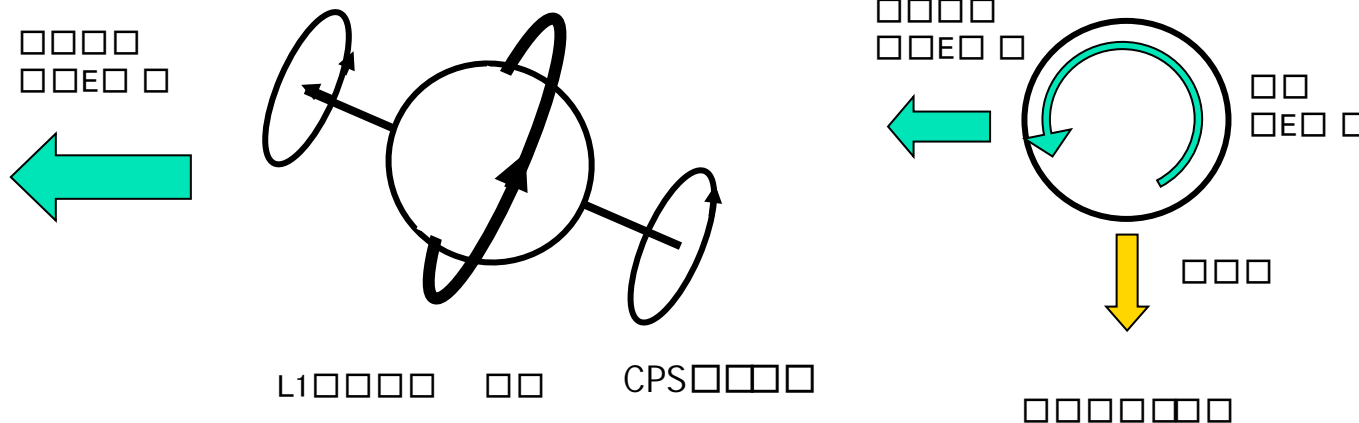
4seam Gyro-ball

$C_D \approx 0.339$ (n=4)



まとめ(1)

- 魔球と呼ばれるナックルボールの変化の原因をコンピュータによる流れの解析から解明
- ジャイロボールの変化も予測
 - 実験で実証
 - 実はジャイロボールはスライダーの一種
 - スライダーは誤解の多い変化球



まとめ(2)

- 落ちる球の作り方
 - 回転数を落とす : SFFB、チェンジアップ
 - 回転軸を前に向ける
 - 斜め前横 : カットボール
 - 斜め上 : スライダー(横にも曲がる)
 - 正面 : 落ちるスライダー(ジャイロボール)
- 科学的な分析によって野球は更に進化する



なぜ藤川投手は打たれないのか？

2007年6-7月

協力:TV朝日

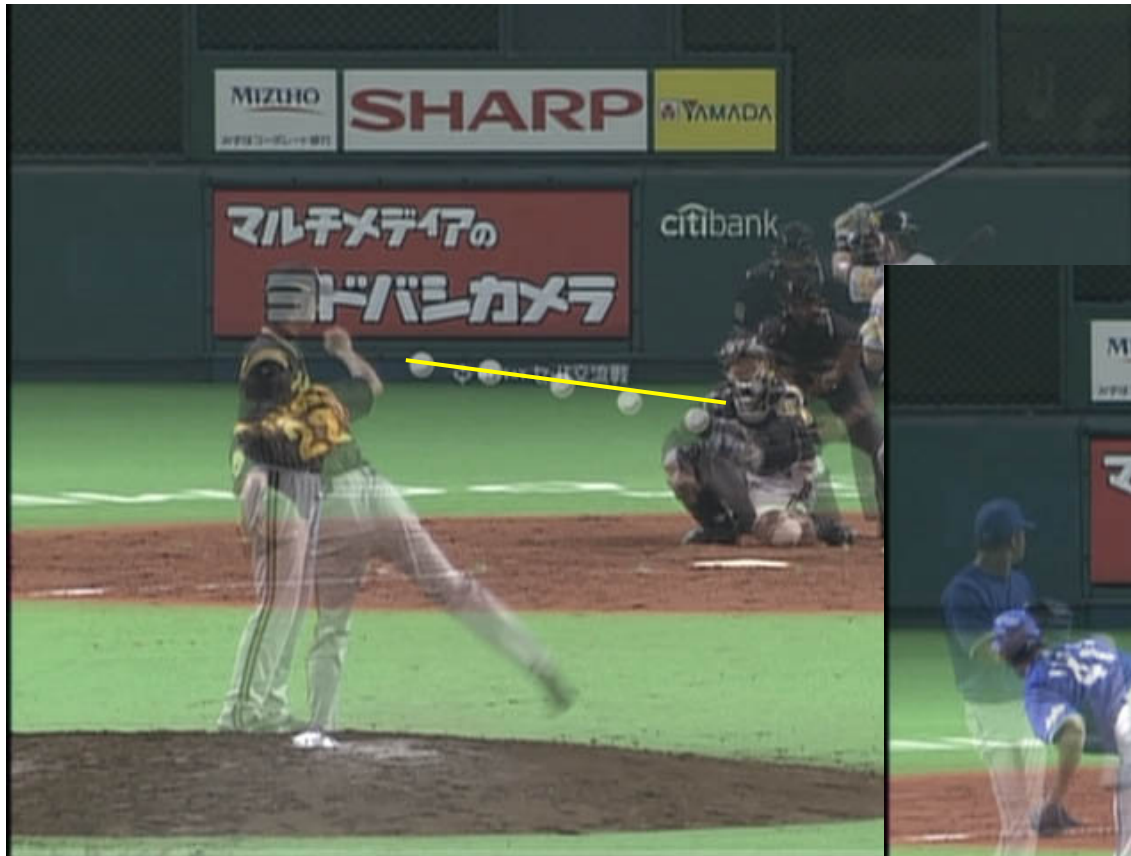


2007年17投手高速度ビデオ解析

各投手BE ST(ストレートのみ)	回転数(r ps)	初速(時速)	回転軸傾き(度)
井川(HT) ストレート左	38.47	140	-45
石川(YS) ストレート左	38.47	136	-55
藤川(HT) ストレート右	45.46	149	5
牛田(YB) ストレート右	38.47		5
ゴンザレス(YS) ストレート右	38.47		30
ダーウィン(HT) ストレート右	38.47	148	45
安藤(HT) ストレート右	38.47	144	20
木田(YS) ストレート右	38.47	147	50
江草(HT) ストレート左	38.47		-45
松坂(SL) ストレート右	41.68	149	10
小林(TL) ストレート右	38.47	140	10
藪田(TL) ストレート右	38.47	145	15
クルーン(YB) ストレート左	43.49	157	-10
吉見(YB) ストレート右	33.34	143	10
グローバー(YG) ストレート右	38.47	147	10



藤川投手とクルーン投手の投球映像



2010.12.15

CPS□□□□□

41

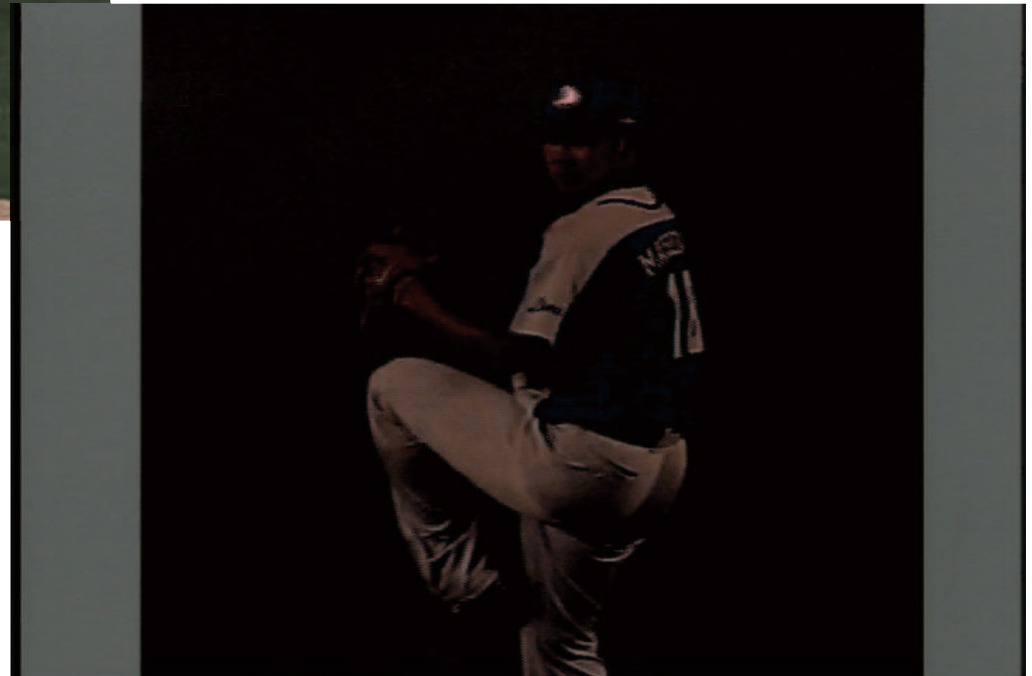


2007年松坂投手のスライダーが落ちなくなった？

NHKからの依頼



NHKの依頼：落ちないスライダー？



2010.12.15

CPS□□□□

43

松坂の直球(2007.3)



□□□□2□

2006:10□

2007:45-60□□

CPS□□□□



大村研究グループとの出会い

ジャイロボール
投球動作の最適化

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

以下の一連の投球フォーム最適化の研究は
大村皓一・望月 義幸・横山 太一らによる

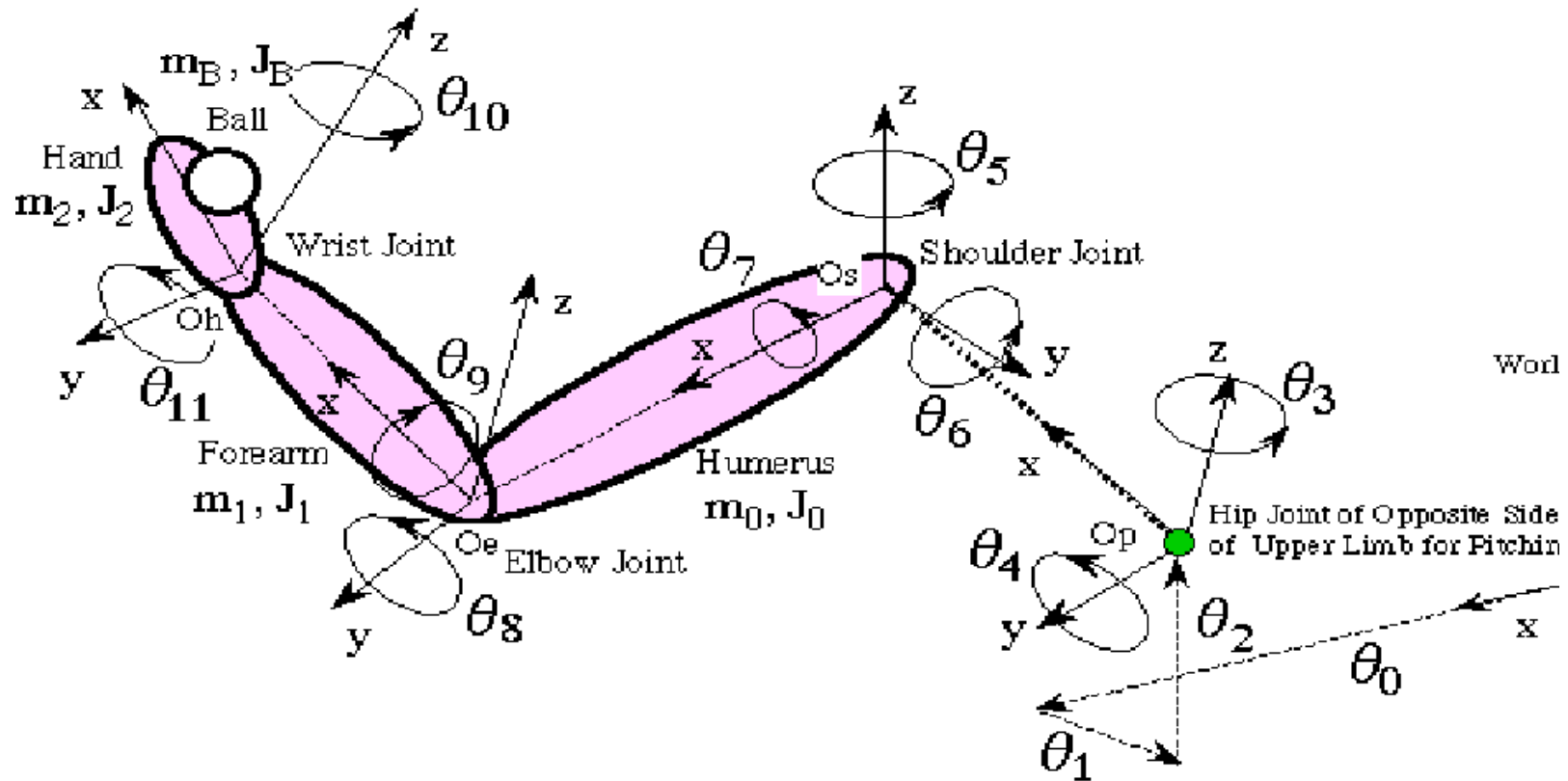
(旧イメージ情報科学研究所)

初期動作

- モーション・キャプチャー



上肢の筋肉骨格モデル



目的関数

$E(\Theta(t)) = W_0$ (Penalty for Joint Movability)

+ W_1 (Penalty for Joint Torque)

+ W_2 (Penalty for Ball Velocity)

+ $W_3 \int_{t^s}^{t^e} \sum_{i=5}^{11} (\tau_i)^2 dt$ 無駄のない動き

+ $W_4 \int_{t^s}^{t^e} \sum_{i=5}^{11} (d\tau_i / dt)^2 dt$ トルク変化最小

+ $W_5 \int_{t^s}^{t^e} \sum_{i=5}^{11} (d^2 \tau_i / dt^2)^2 dt$ トルク変化の滑らかさ

最適化前後のフォームの変化



最適化フォーム

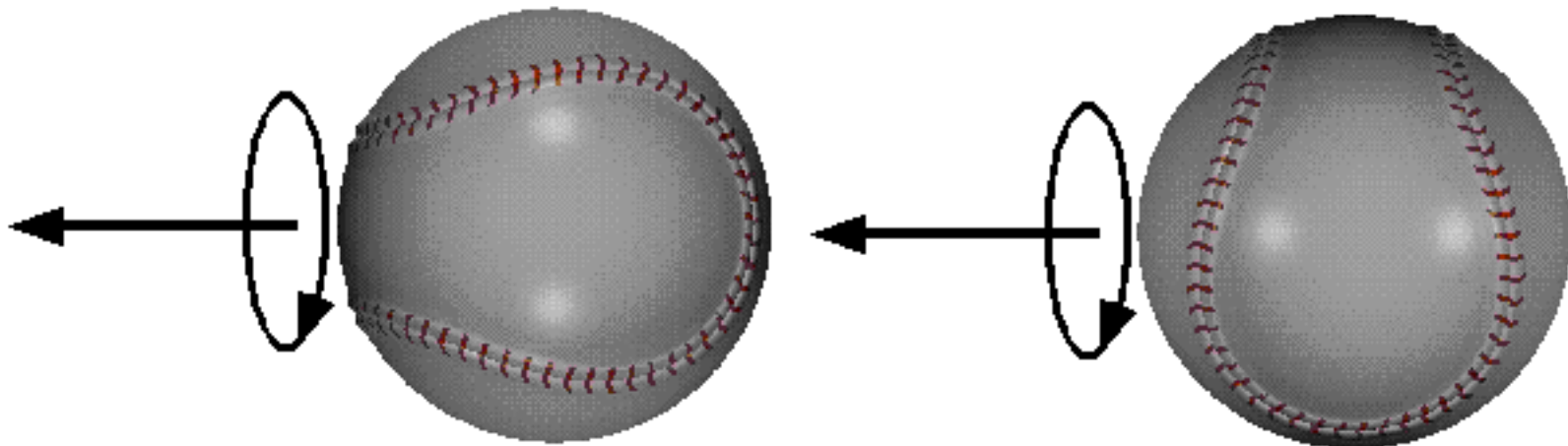


最適化フォーム(スロー再生)



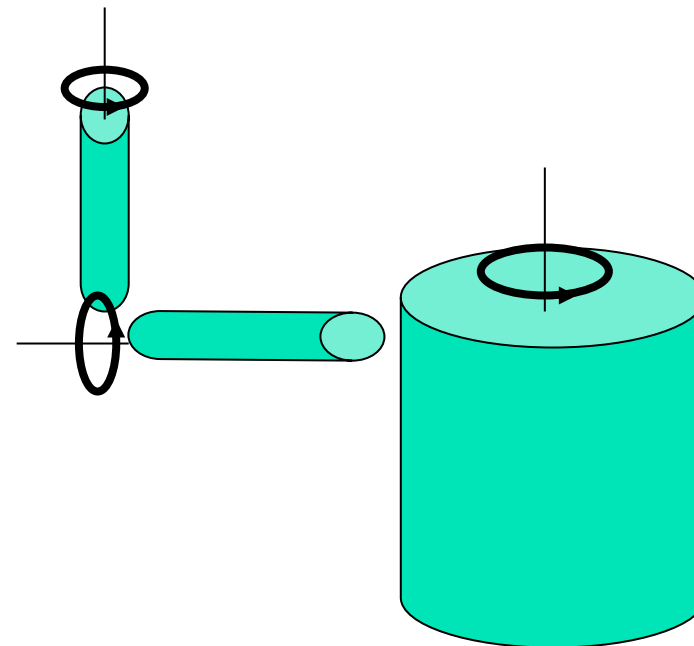
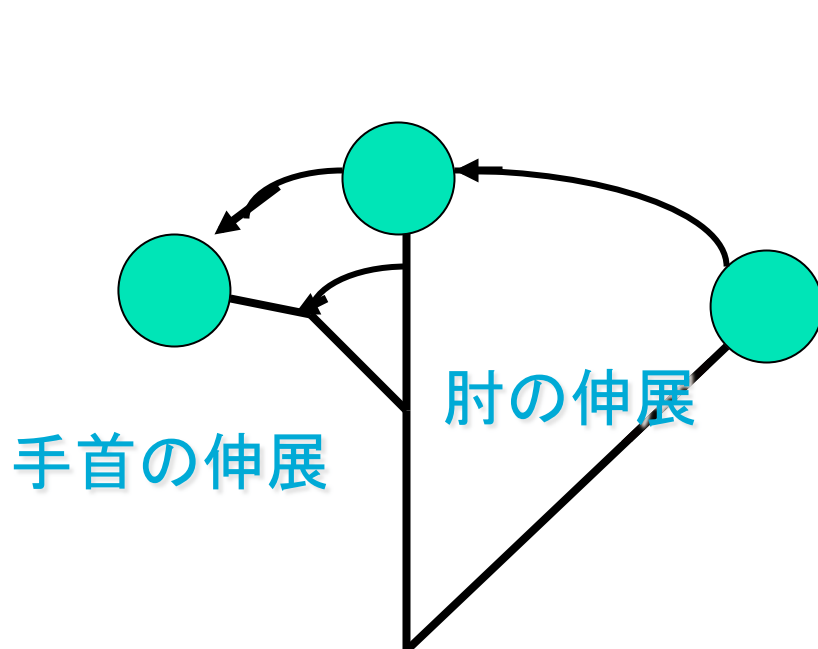
投球と球の回転の特徴

- 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



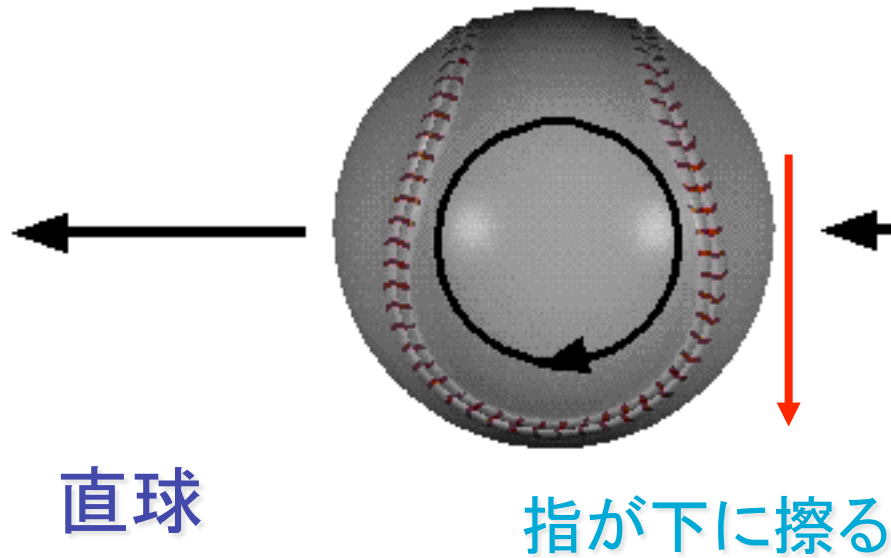
投球フォームの違い

- 三重振り子式(直球)と三重回旋式(GB)

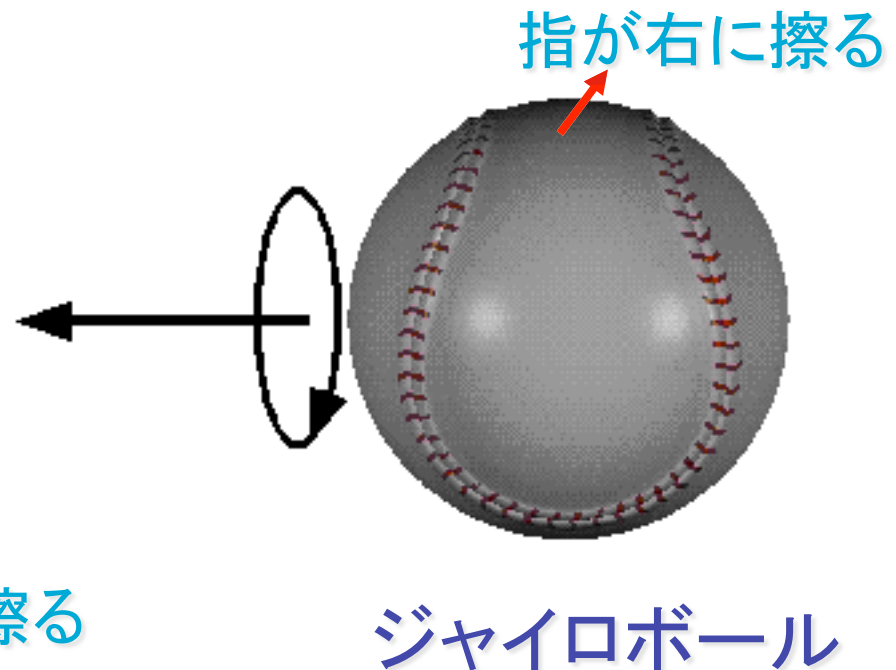


ボール回転の違い

- 手首のスナップ



- 回旋運動





プロ野球投手の投球動作の 生体力学的エネルギー解析

青木 慶(産総研)

持丸正明(産総研)

姫野龍太郎(理研)

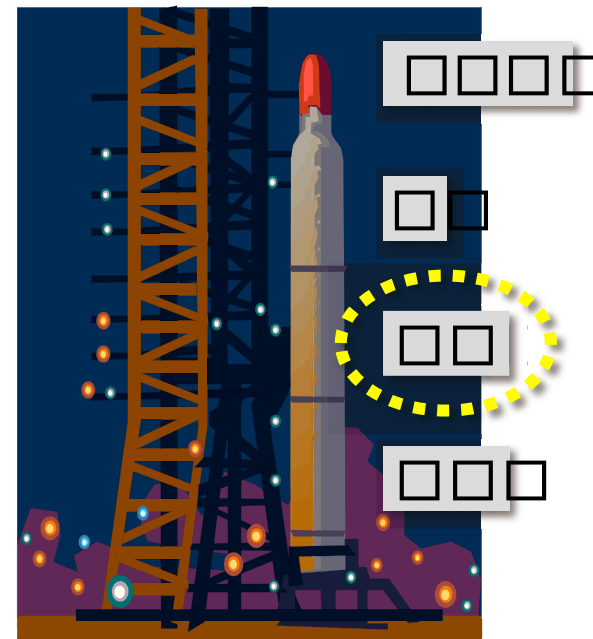
「長持ちする投球」とは？

- 本研究における投球の定義
 - ボールを18.44 m先に速く真っ直ぐ投げる

■ 投球原理



=



? □

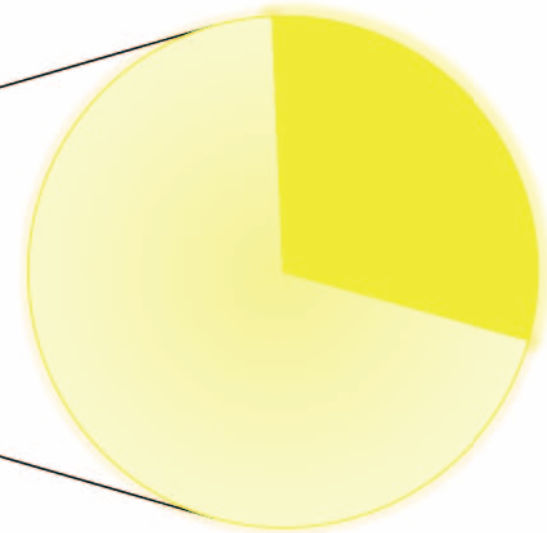
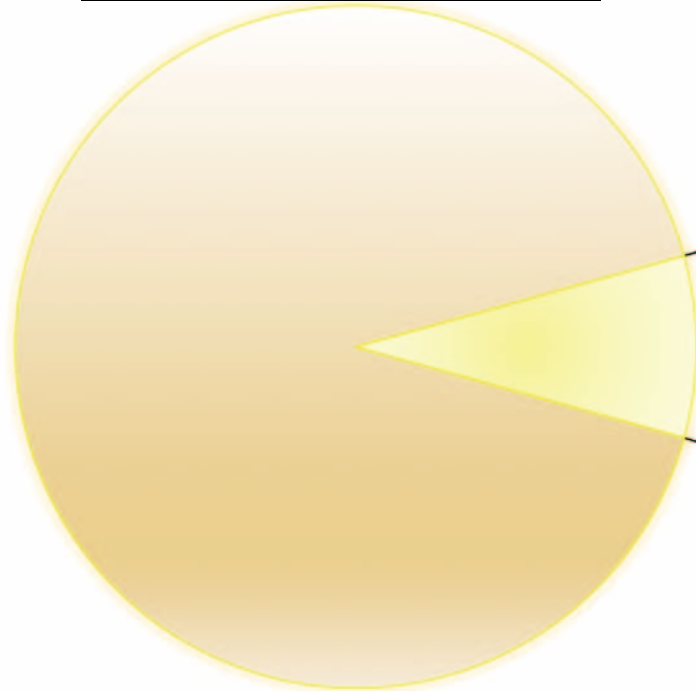


日本の野球人口

■ 総務省統計局平成18年度

10□□□□A □

□□□A □



□□□A□970□□

(8.6%) □

10□19□□297□□

(□□□A□□ 39)



若年層が野球を続けられると...

- 個人
 - 心身の健康増進
- 社会
 - コミュニティの活性化
- メーカー
 - 野球用品の購買力

傷害回避・予防の必然性

パフォーマンスの維持・向上

研究の目的

- 長持ちする投手の
投球動作のメカニズムの解明
 - 高い傷害発生率
 - 野球の道具に非依存
- 必要となる対象被験者
 - 長く野球を続けている
 - 高いパフォーマンスを持つ
 - 傷害が少ない



被験者

■ 現役プロ野球投手2名

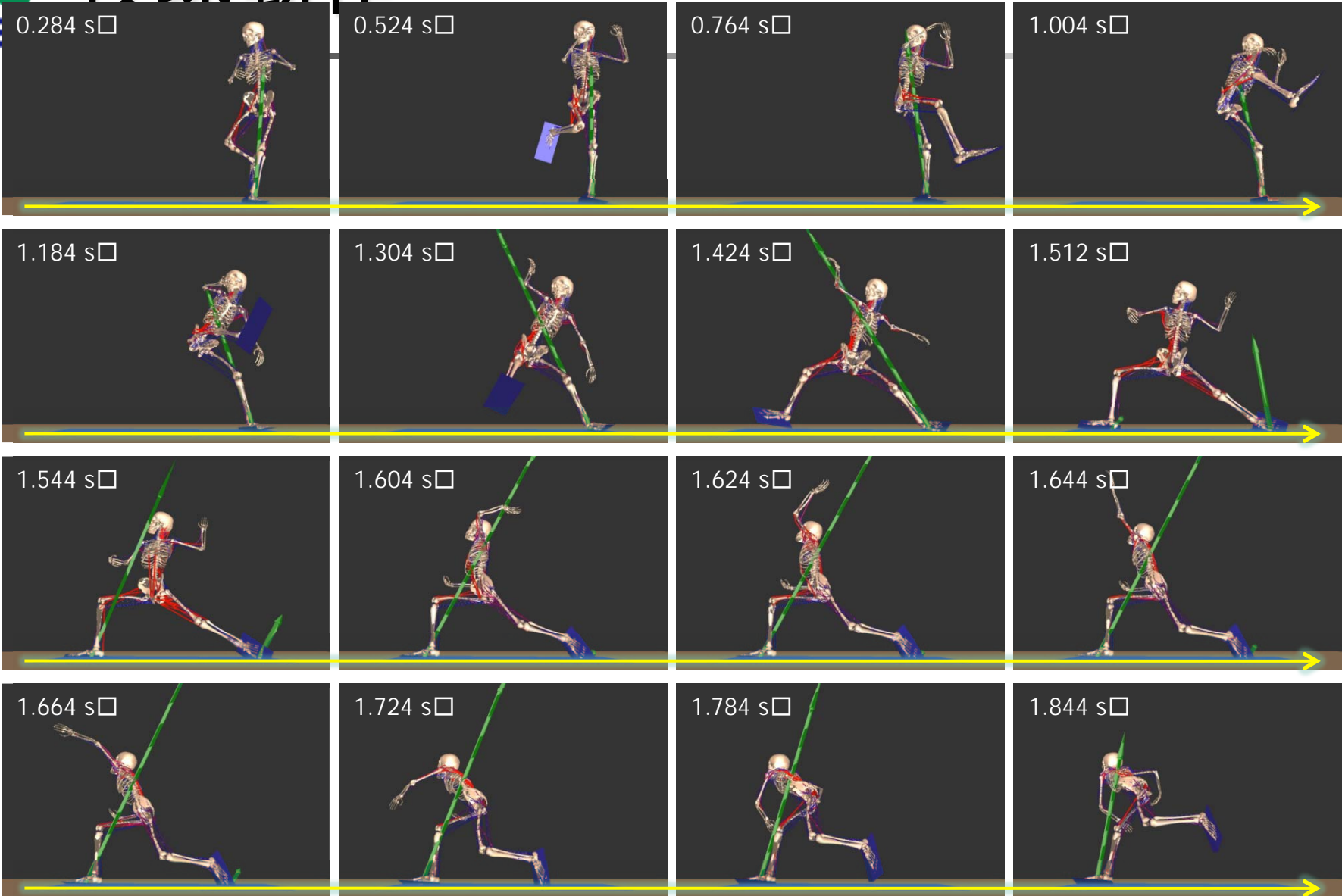


被験者A(左投) □□20[□□
 □□175.6 cm/□□84.6 kg
 □□□□□□□□□□□□□□121km/h

被験者B(右投) 2[□
 □□182.1 cm/□□84.1 kg
 □□□□□□□□□□□□□□133km/h□



投球動作



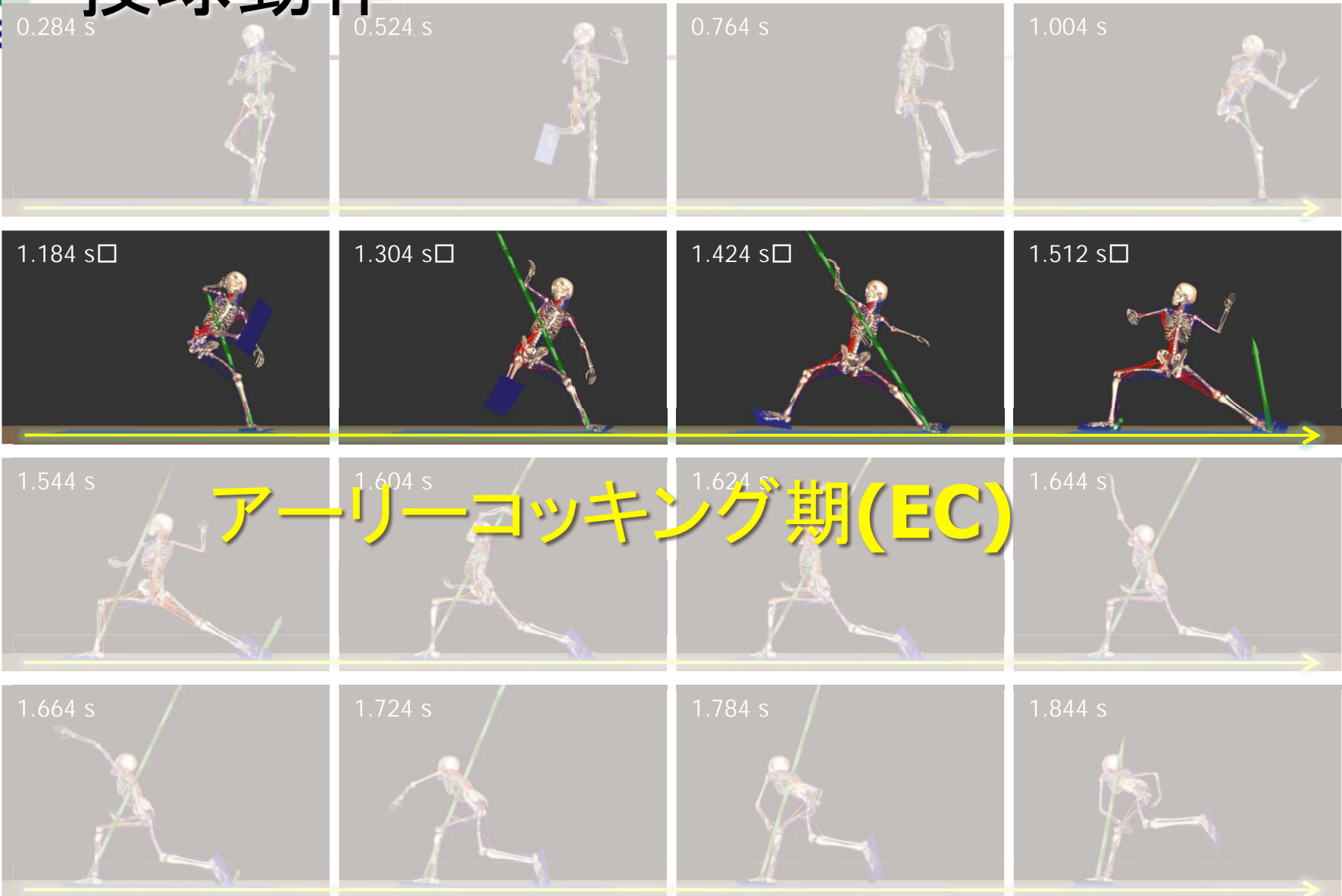


投球動作



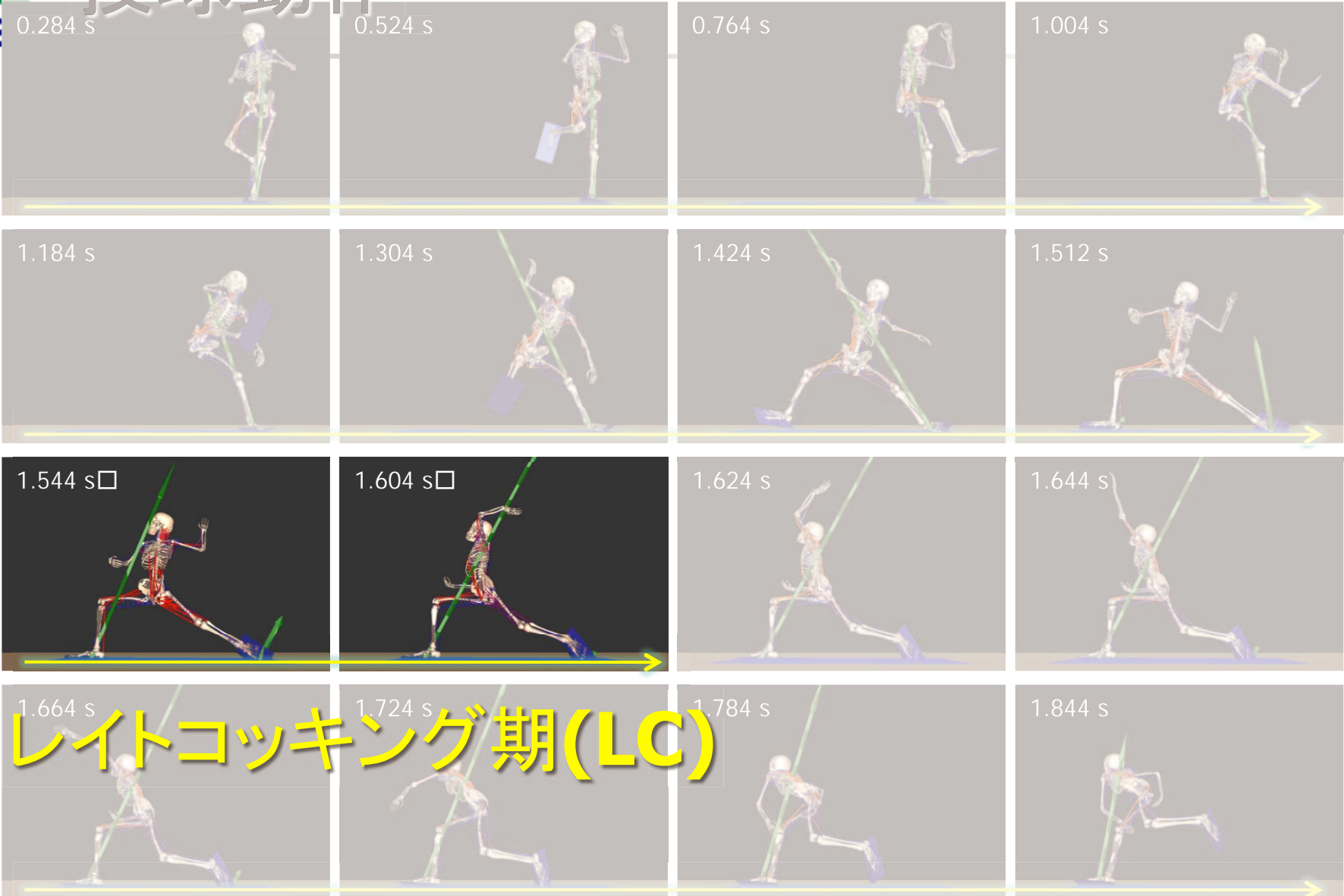


投球動作





投球動作





投球動作

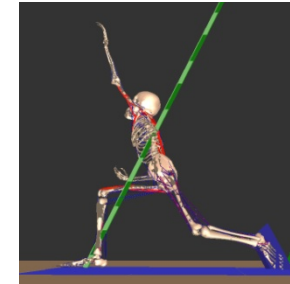
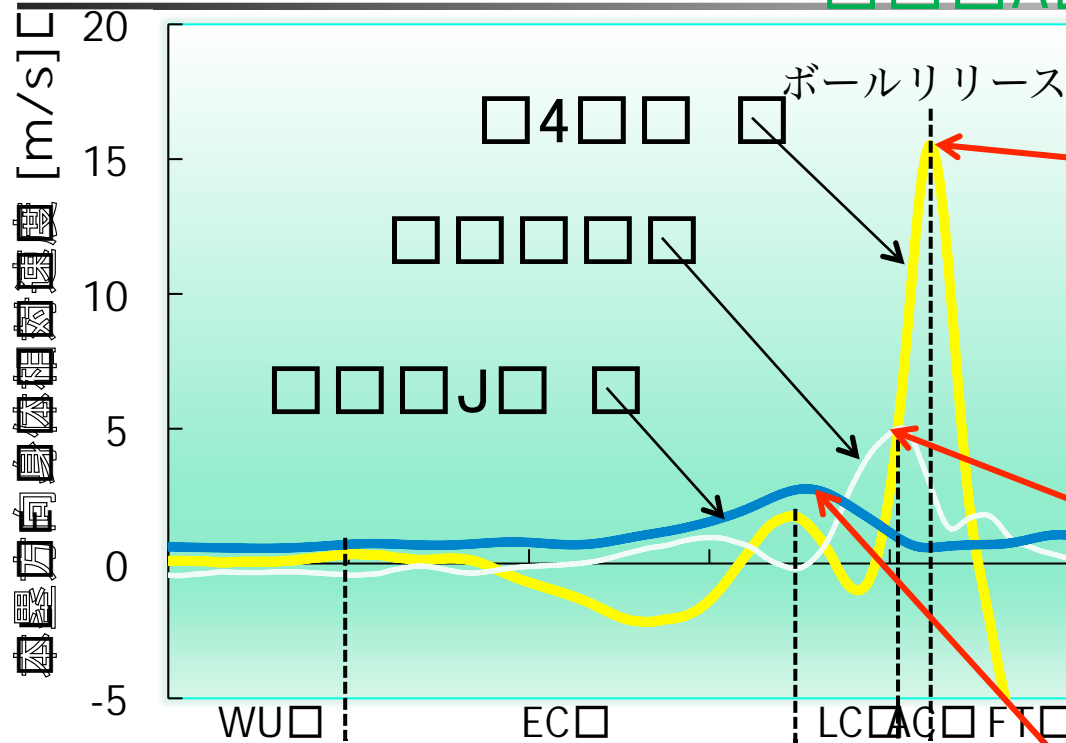




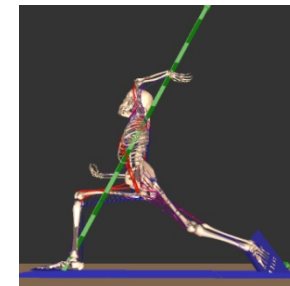
投球動作



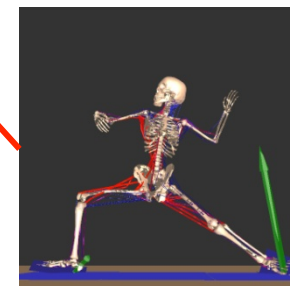
投球方向の身体各部位の相対速度



□□□□
□□□□



□□□□
□□□□□□



□□□□□□
□□□□□□

3段式ロケットシステム

□ □□□□□□□□□□□8□ □□□□7□ □□

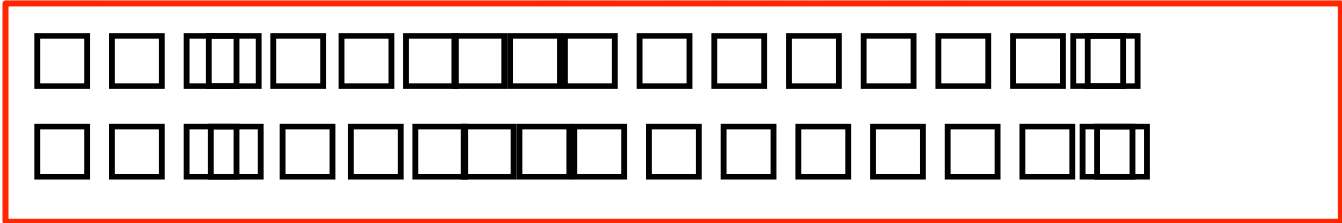
□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□7□ □□□□

エネルギー解析

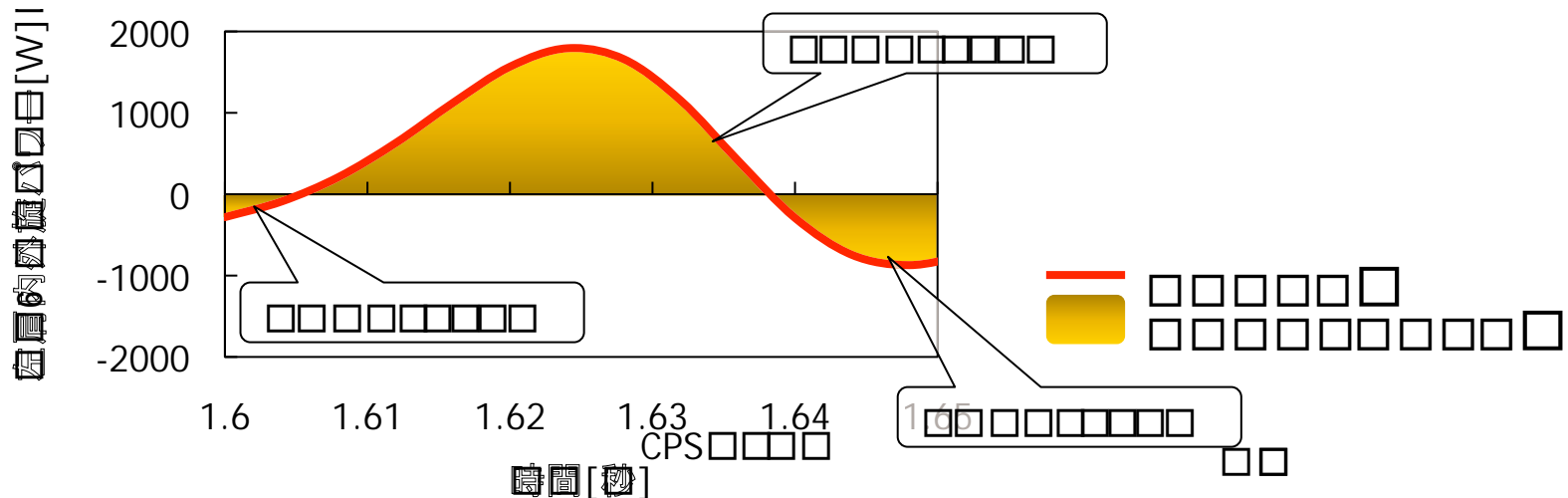
■ 関節パワー

= 関節モーメント × 関節角速度



■ 関節消費エネルギー

= 関節パワーの運動中の総和 (面積分)



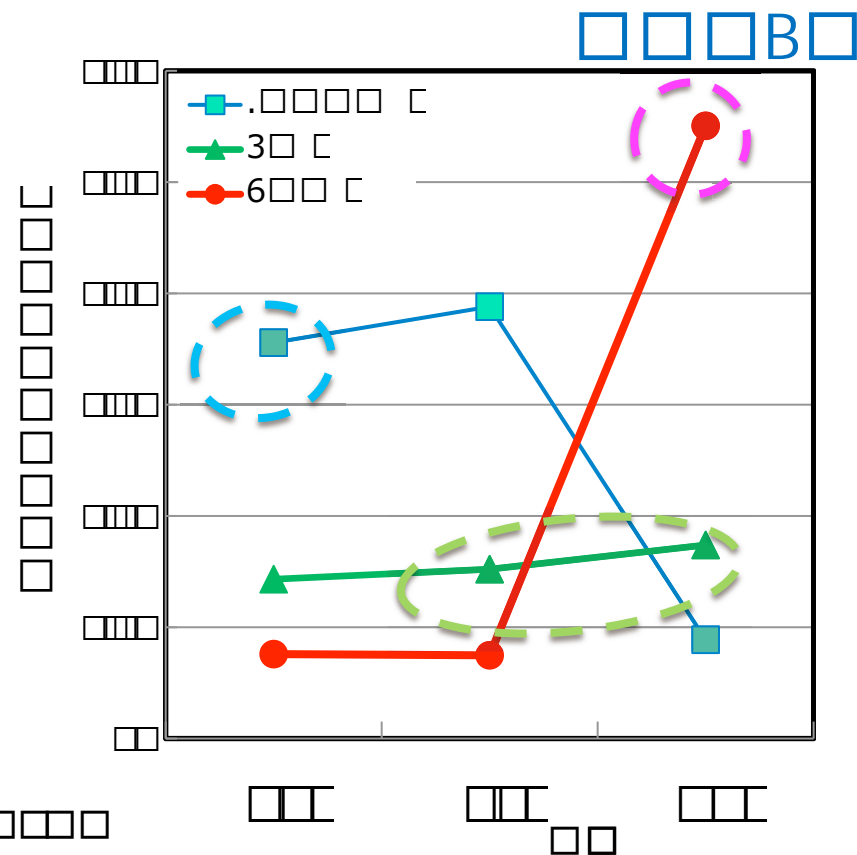
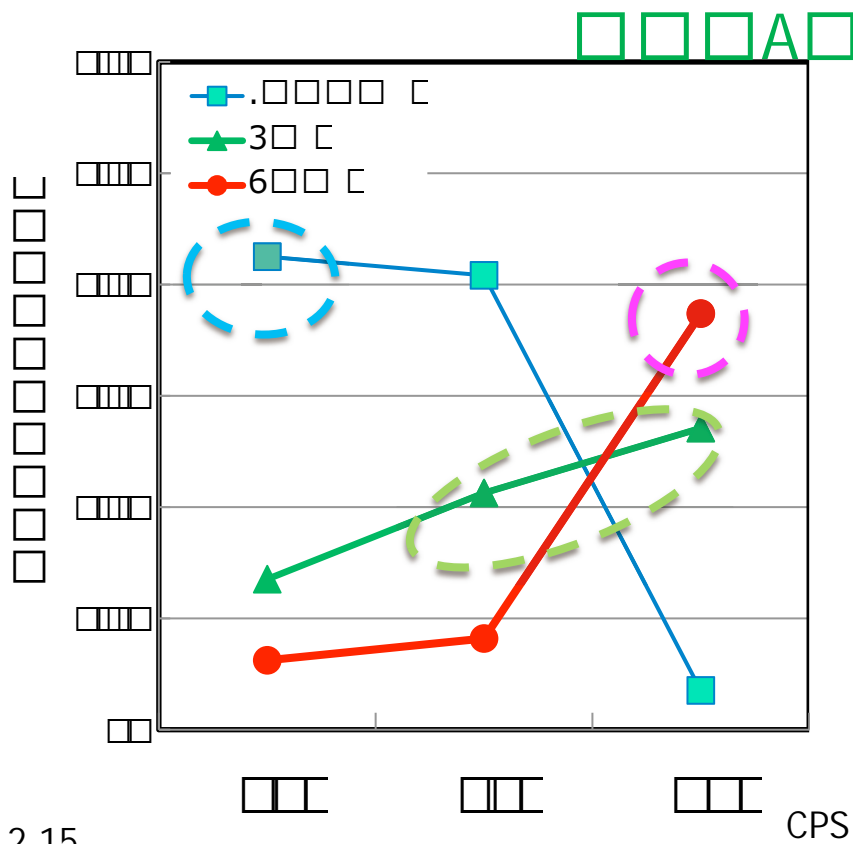
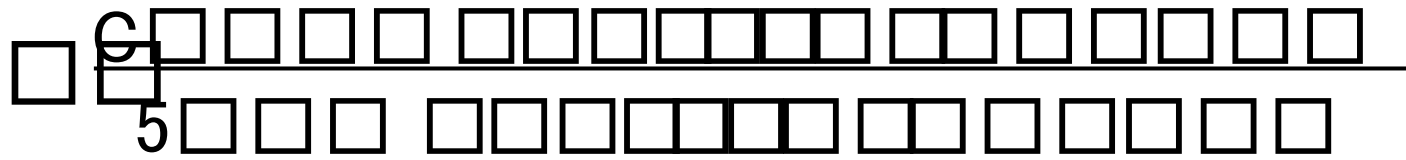
エネルギー解析が評価できないもの

- 筋骨格系
 - 拮抗筋の影響
 - 靭帯・腱・関節包などの粘弾性の影響
- 競技としての投球能力
 - 打者から見た打ちやすさ
 - 走者から見た走りやすさ

エネルギー解析：両者の違いの定量化 □□

投球メカニズムの定量化

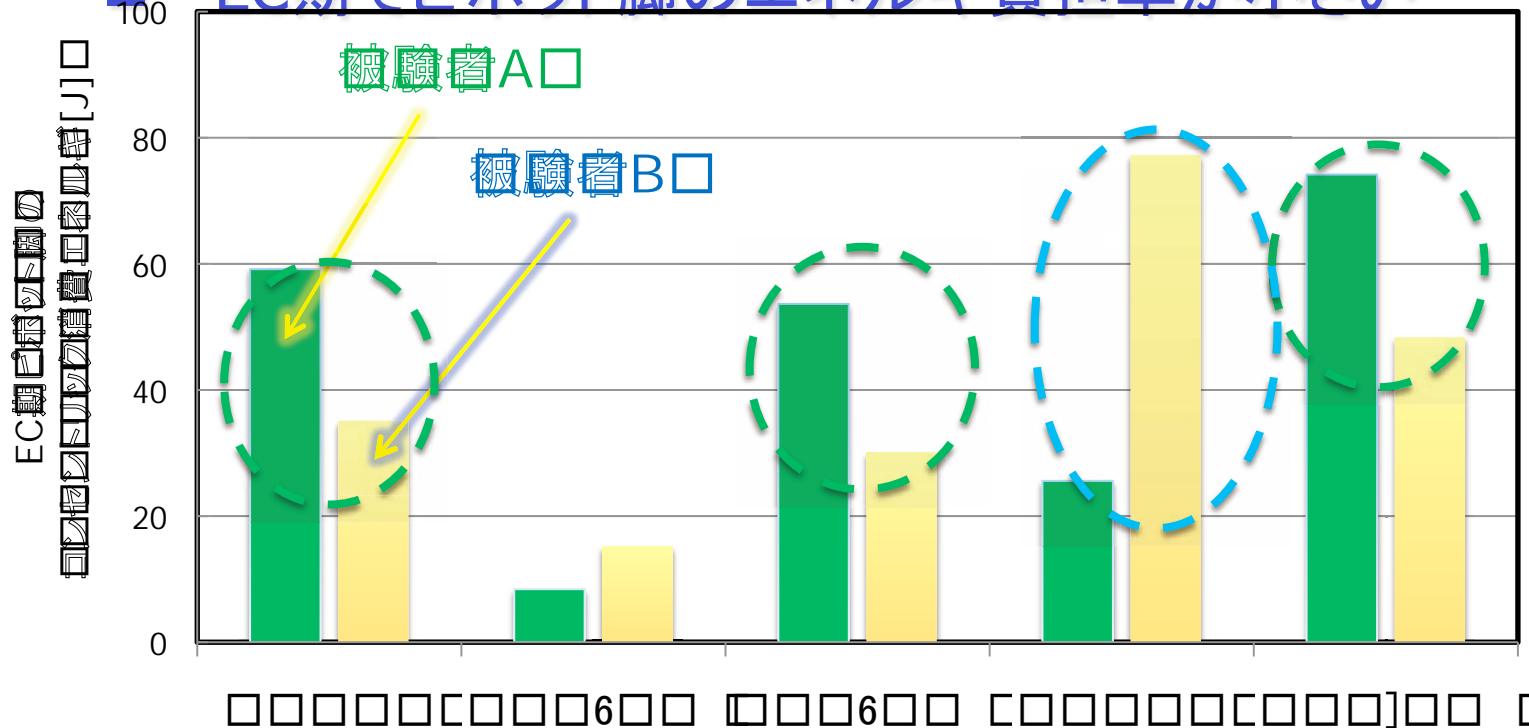
関節エネルギー負担率



ピボット脚の使い方の違い

■ 被験者Bは被験者Aと比べて...

■ EC期でピボット脚のエネルギー負担率が小さい

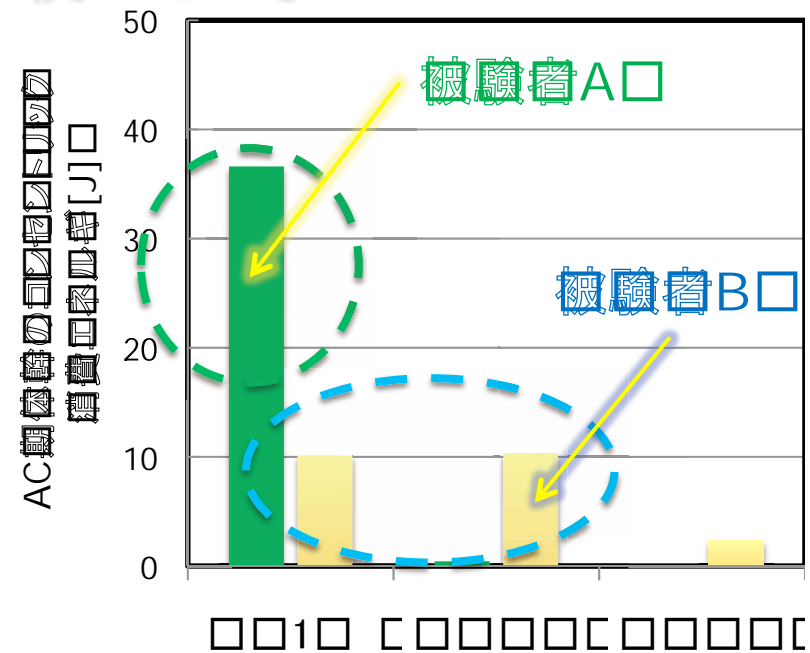
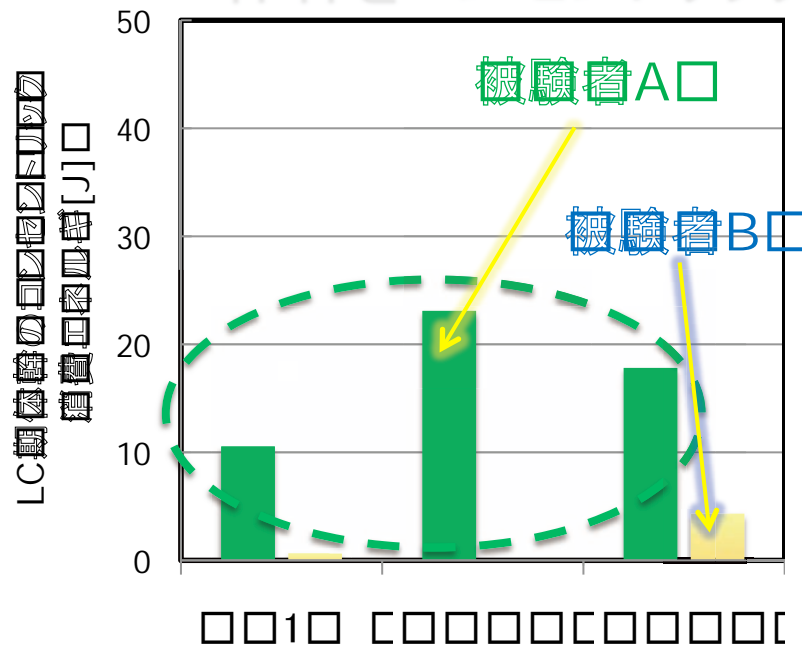


蹴り出しを膝だけで負担

体幹の使い方の違い

■ 被験者Bは被験者Aと比べて...

■ 体幹をコンセントリックに使っていない

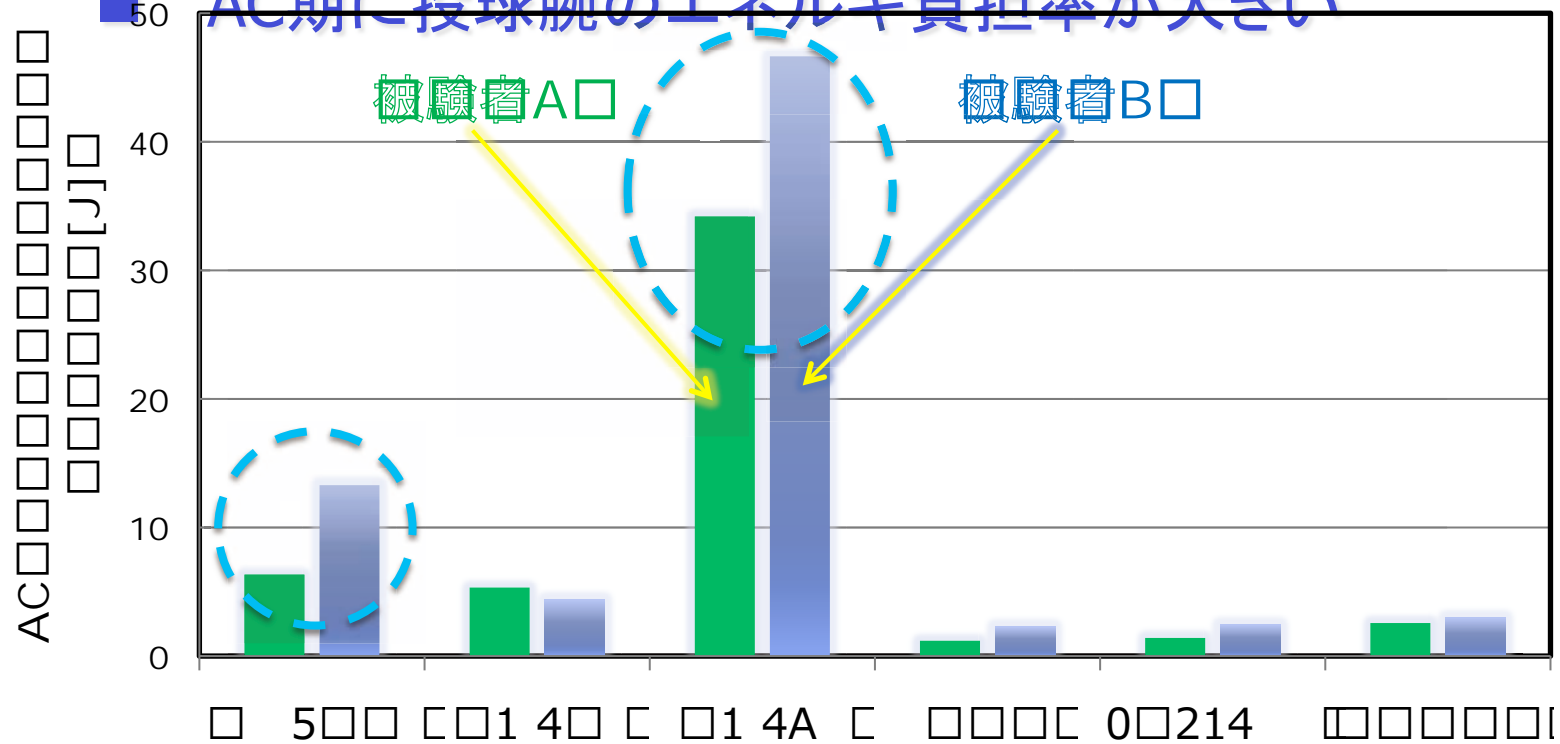


腰部を使うタイミングが遅い

投球腕の使い方の違い

■ 被験者Bは被験者Aと比べて...

■ AC期に投球腕のエネルギー負担率が大きい

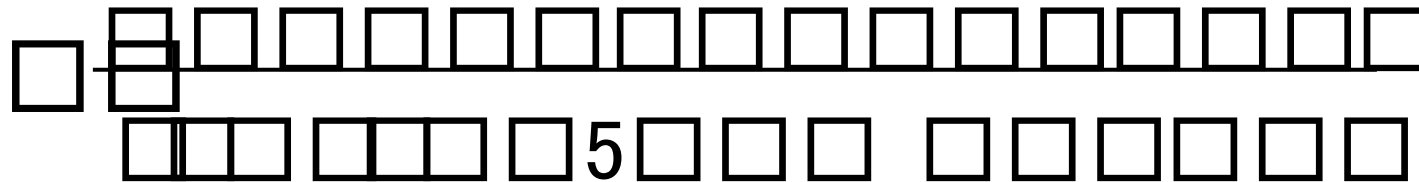


投球腕の挙動が速い



投球効率

- 速さとエネルギー負担の両方を評価



- ボール速度大→投球効率○
- 全身エネルギー消費大→投球効率×

投手の投球持久力

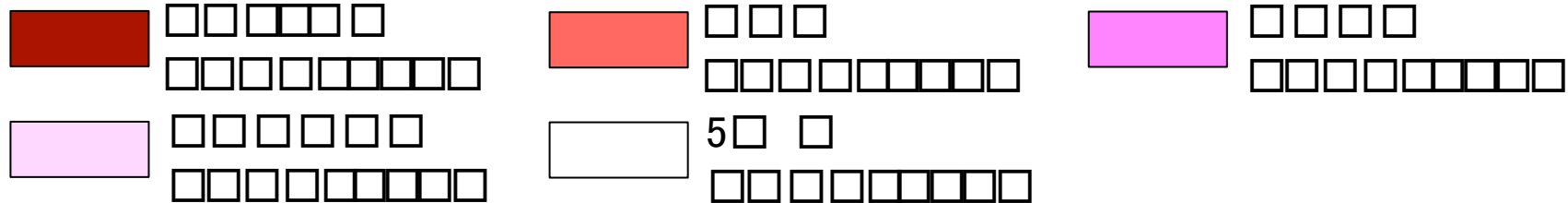
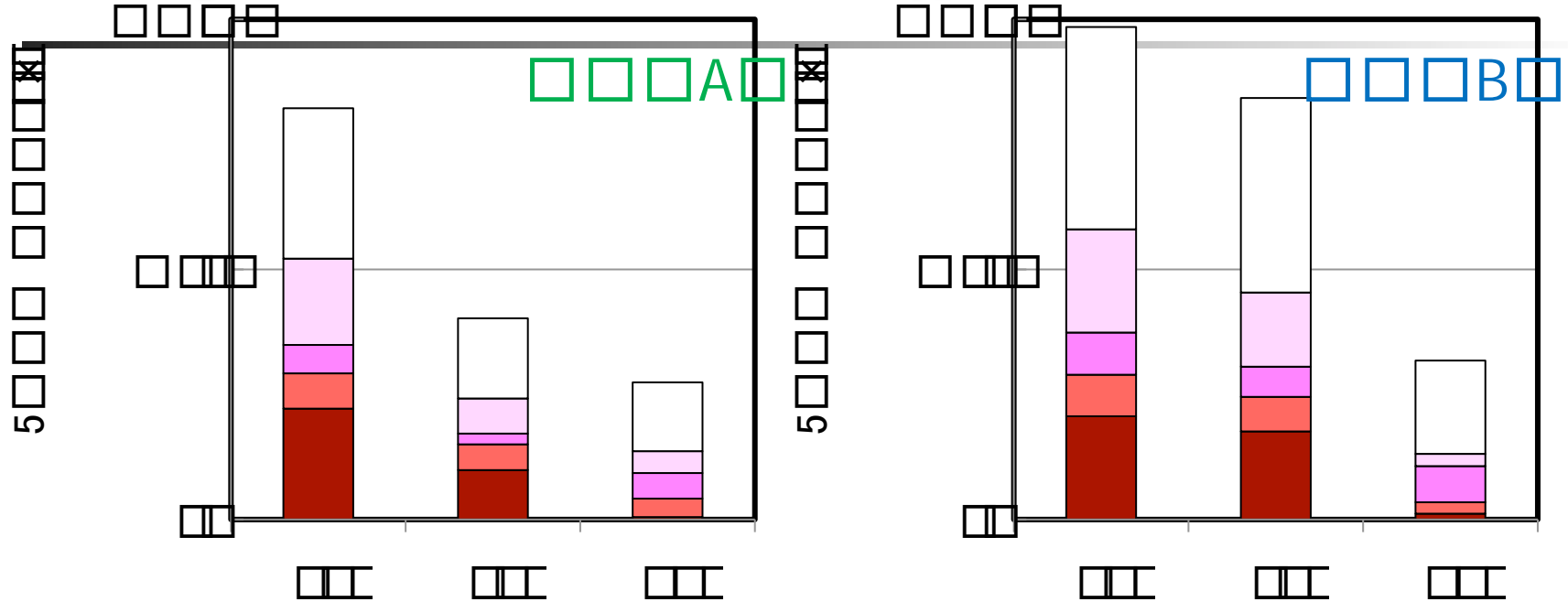


投球効率の比較

	被験者A□	被験者B□
□□□[m/s]□	33.6	36.9
□□□□ □□□□□□□□□□	79.1	95.5
5□□ □□□□□□□□	1498.9	2145.3
□□□□□	0.05276	0.04454

被験者A > 被験者B

全身のエネルギーの内訳

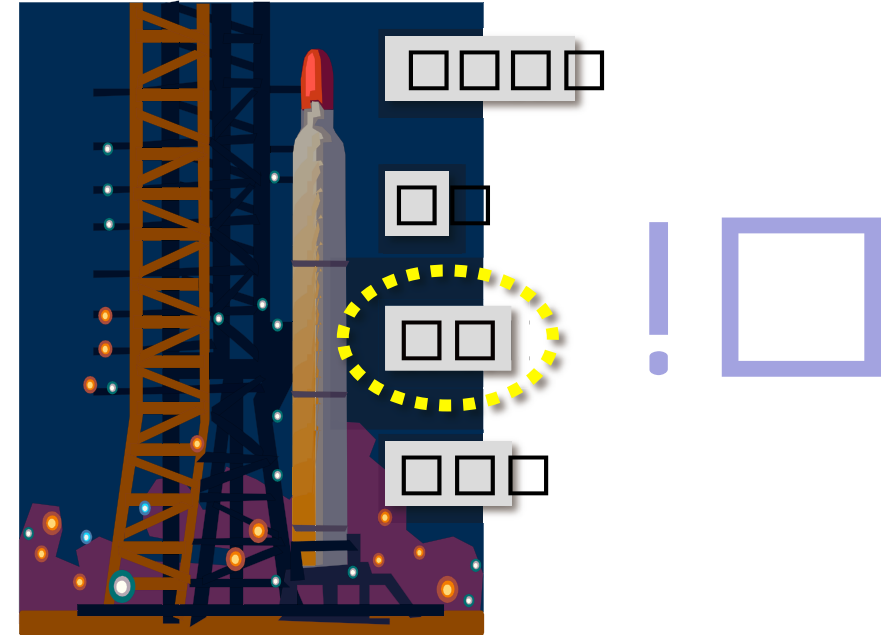


LC期のイーセントリックな筋活動が投球効率に影響

投げ球百押



=



■ 長持ちする投手は...

■ 全身を下肢から順に使用

■ 特にLC期に体幹で加速

評価しうる
定量化指数



実験条件

■ 計測・解析システム

■ モーションキャプチャシステム

■ Vicon NEXUS, Vicon社, 250 Hz

■ 床反力計

■ BP400600-1000PT, AMTI社, 1000 Hz

■ 高速度カメラ

■ MEMRECAM GX-1, ナック社, 1000 Hz

■ 解析システム

■ SIMM, MusculoGraphics社

解析方法

- 臨床バイオメカニクスの運動解析

1. コンセントリック (短縮性収縮)

2. イーセントリック (伸張性収縮)

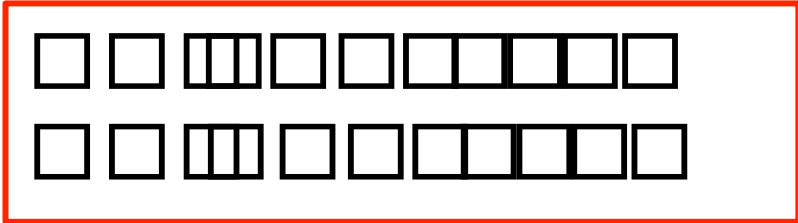


関節パワー・消費エネルギーで評価

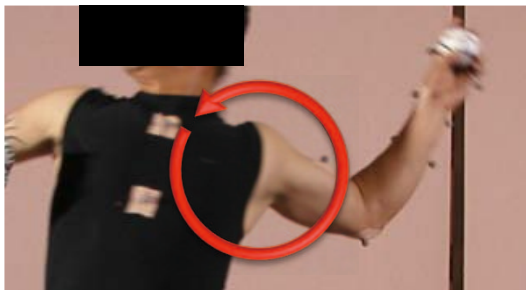
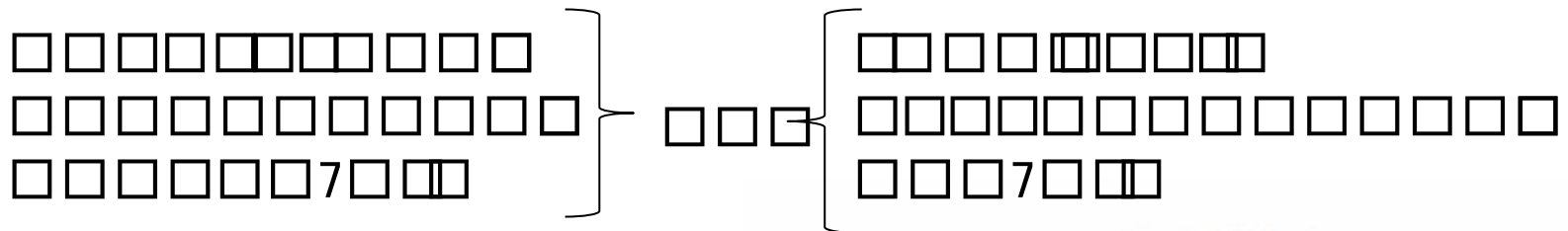
関節パワー

■ 定義

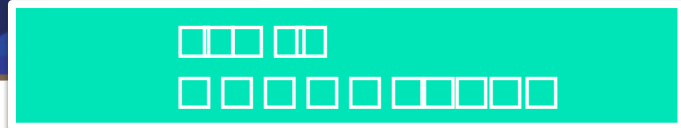
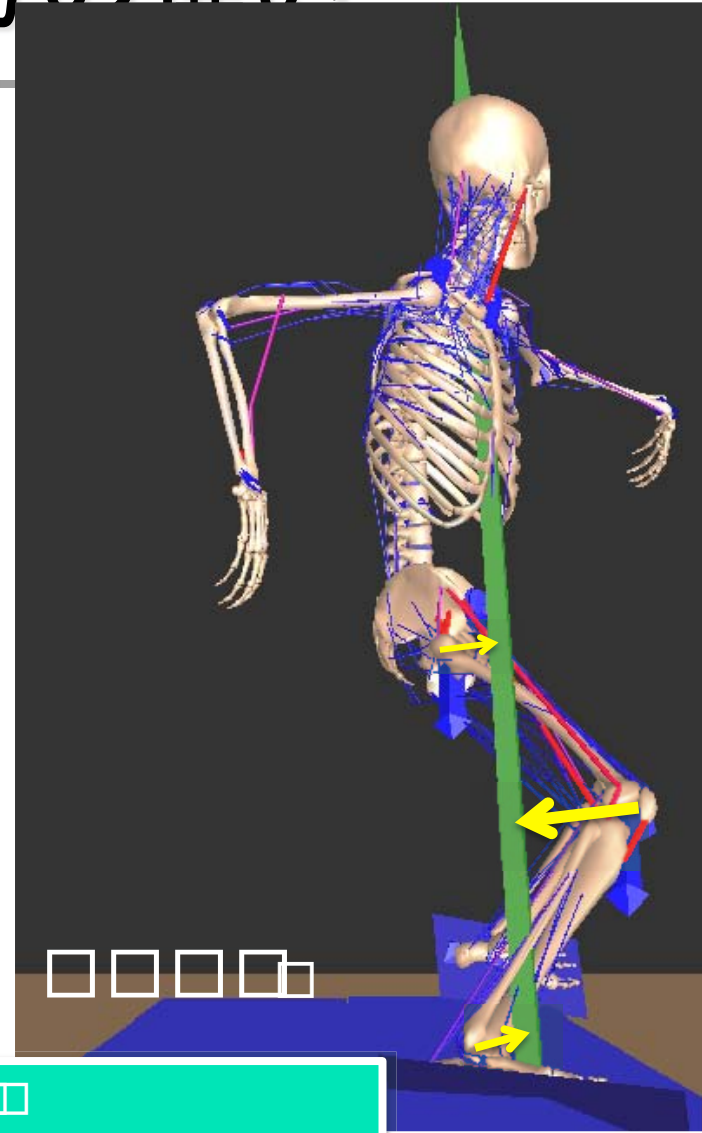
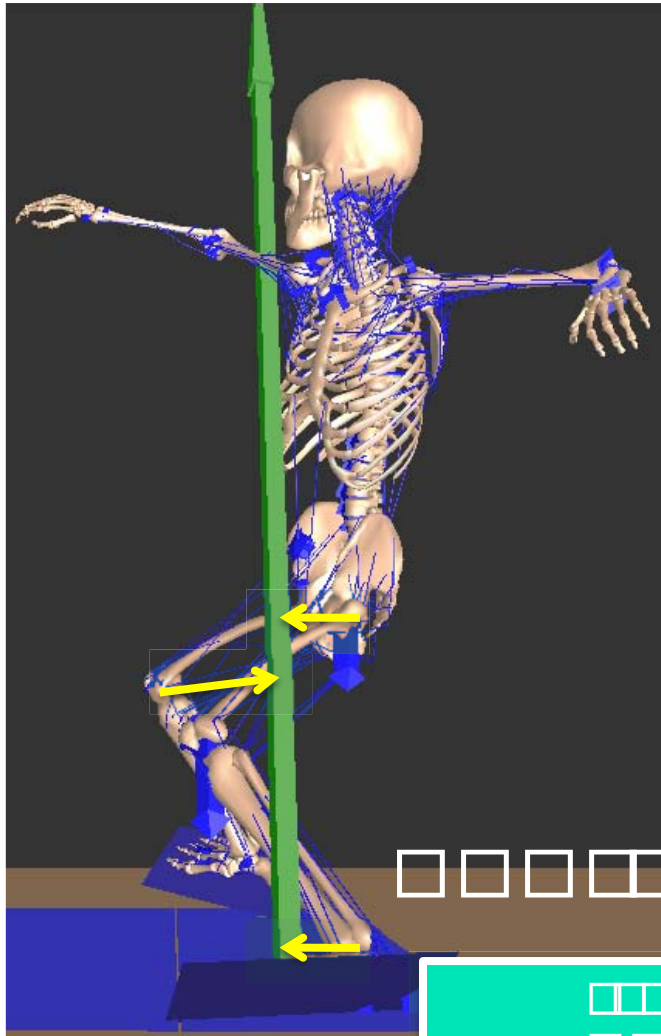
- 関節パワー=関節モーメント×関節角速度



■ イメージ



ピボット脚の使い方の違い

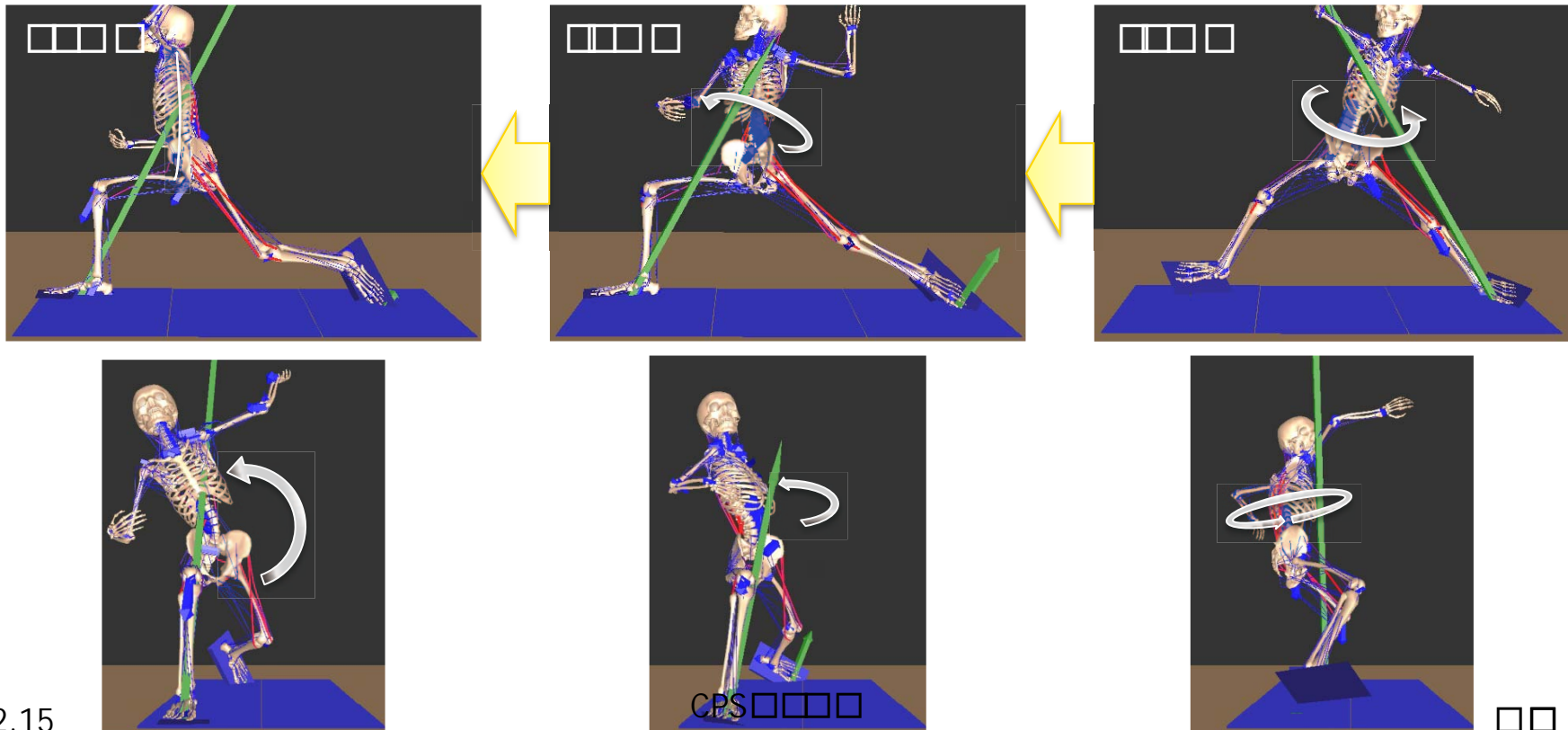


CPS□□□□

□□

被験者Aの体幹の使い方

- EC期: 骨盤に対して上体を投球腕側にねじる
- LC期: ねじった腰部を元に戻すように体幹を動かす
- AC期: 腰部がねじれないようにしつつ
投球腕を挙げるように側屈



全体のまとめ

- 野球の投球も科学的な分析でパフォーマンスを向上することができる
- その場でフィードバックできることが理想
- 現在は特殊な装置、特殊な環境下で計測
- 分析には人手で長時間の作業が必要
- しかし、それも定型化することができれば、改良の余地がある
- 今よりパフォーマンスを向上させるのに、どこをどう変えれば良いか、どこをどうトレーニングしたら良いか、その答えを示すような分析手法を開発する必要がある