

■本資料のご利用にあたって(詳細は「利用条件」をご覧ください)

本資料には、著作権の制限に応じて次のようなマークを付しています。
本資料をご利用する際には、その定めるところに従ってください。

***** : 著作権が第三者に帰属する著作物であり、利用にあたっては、この第三者より直接承諾を得る必要があります。

CC : 著作権が第三者に帰属する第三者の著作物であるが、クリエイティブ・コモンズのライセンスのもとで利用できます。

Ⓒ : パブリックドメインであり、著作権の制限なく利用できます。

なし : 上記のマークが付されていない場合は、著作権が東京大学及び東京大学の教員等に帰属します。
無償で、非営利的かつ教育的な目的に限って、次の形で利用することを許諾します。

- I 複製及び複製物の頒布、譲渡、貸与
- II 上映
- III インターネット配信等の公衆送信
- IV 翻訳、編集、その他の変更
- V 本資料をもとに作成された二次的著作物についての I からIV

ご利用にあたっては、次のどちらかのクレジットを明記してください。

東京大学 UTokyo OCW 学術俯瞰講義
Copyright 2014, 石川正俊

The University of Tokyo / UTokyo OCW The Global Focus on Knowledge Lecture Series
Copyright 2014, Masatoshi Ishikawa

コンピュータがよむ・かく



石川正俊

東京大学

工学部 計数工学科

基本コンセプト

システムアーキテクチャ
ダイナミクス整合

基本コンセプト

高速ビジョン

ヒューマンインターフェイス

産業応用/検査

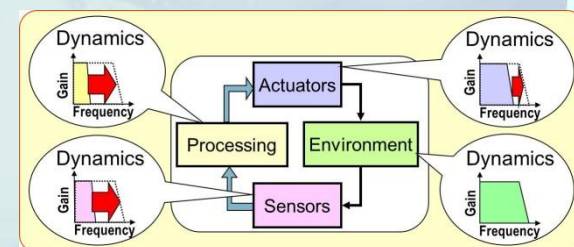
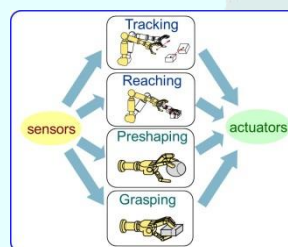
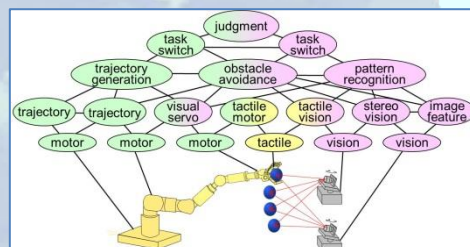
バイオ/医療

ロボットアーム

ロボットハンド

自動車/セキュリティ

まとめ



高速ビジョンの基本思想と未来

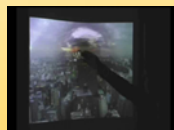
従来の技術と応用分野
技術：高分解能・低ノイズ画像の取得
応用：デジタルカメラ、スマートフォン、ビデオカメラ等
概況：高いシェアを維持しているが、次の展開が待たれる。



各種入力装置
無拘束動作入力



e-books
電子図書館



撮像・視線制御
対象トラッキング

映像メディア

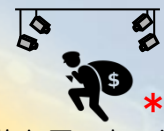
ヒューマン
インターフェイス

高速3D入力

様々な応用展開



手術の補助
細胞検査



人物トラッキング
個人識別

バイオ・医療

セキュリティ



障害物検出・回避
自動運転制御

自動車・交通



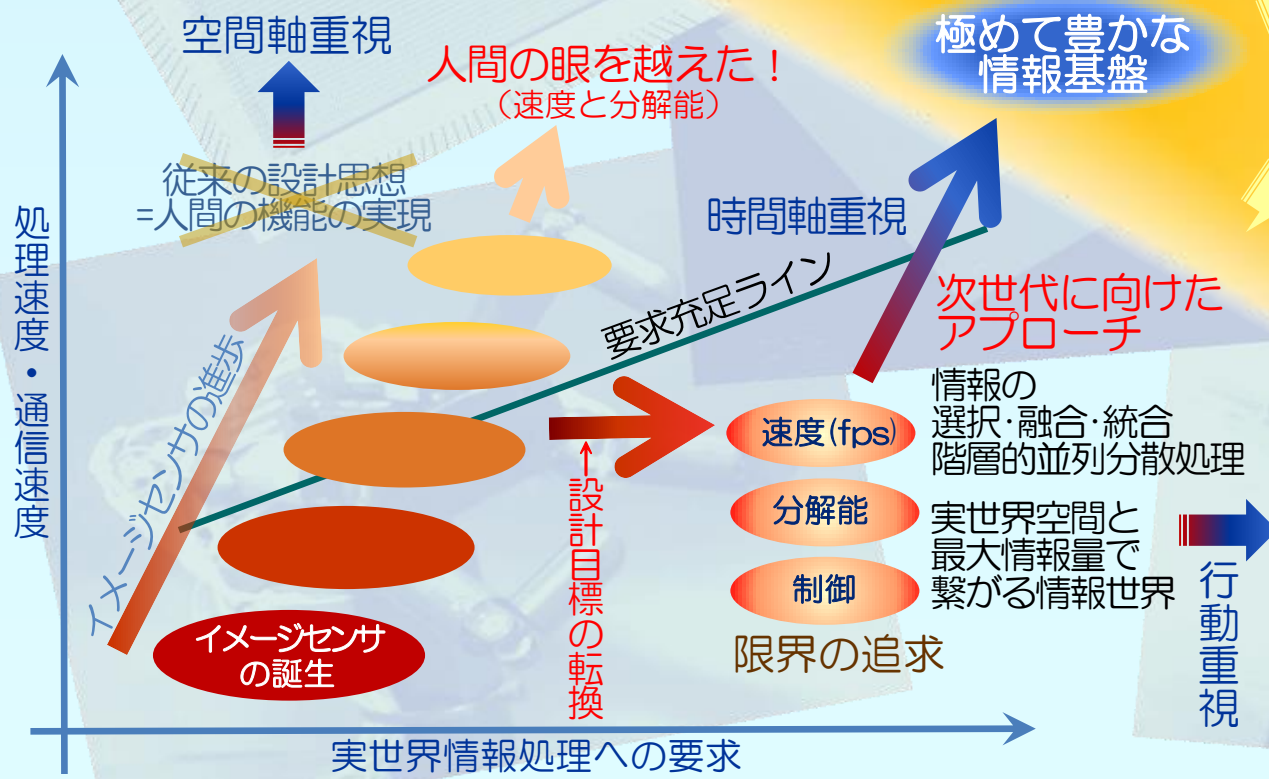
製造ラインの高速化
位置制御・検査

FA・高速検査

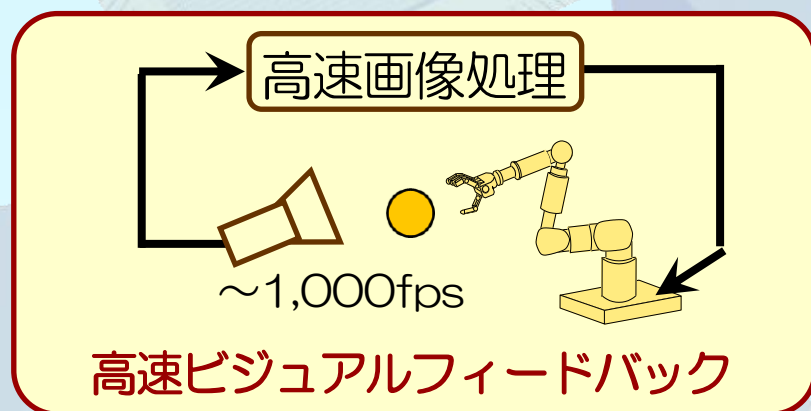
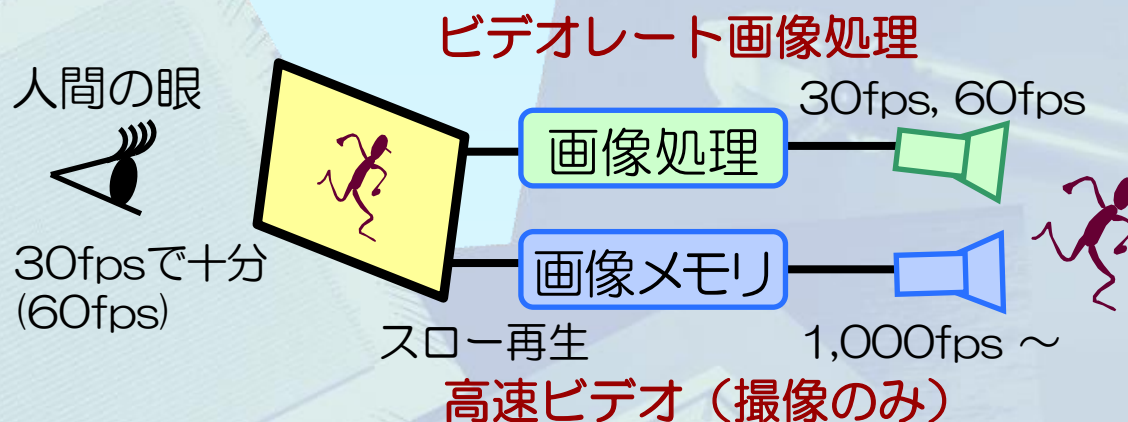


製造ラインの高速化
ロボットの高機能化

高速ロボット



新しい知能システムの考え方
技術：認識機能と行動機能の融合
応用：実世界で人間に取って代わる認識行動能力の発現。様々な応用システムの開発
概況：新しいシステムが続々と登場。機能設計と性能の競争



高速画像処理は、通常の処理を高速化したものではない。

- 空間重視から時間重視の画像処理への転換が必要

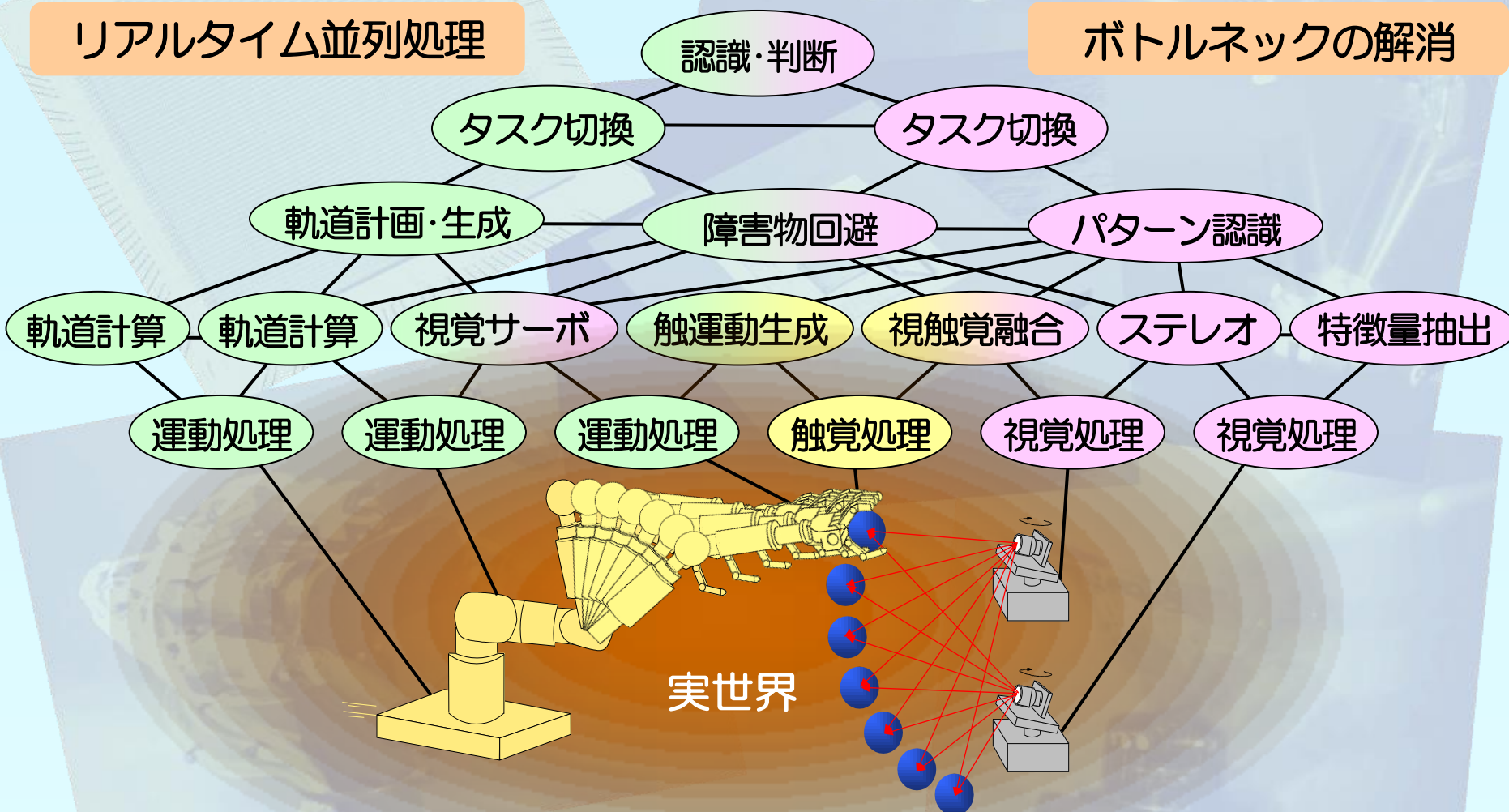
イメージャと画像処理装置を繋いだだけでは動かない。

- 応用も含めた知能システムの設計コンセプトの転換が必要

タスク分解問題

リアルタイム並列処理

ボトルネックの解消



センサ

認識

計画

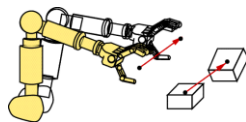
制御

アクチュエータ

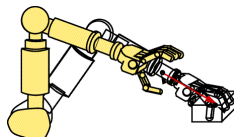
直列分解

センサ

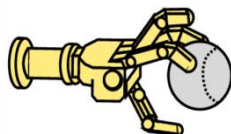
トラッキング



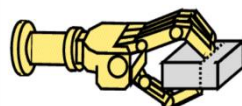
リーチング



プリシェーピング



グラスピング



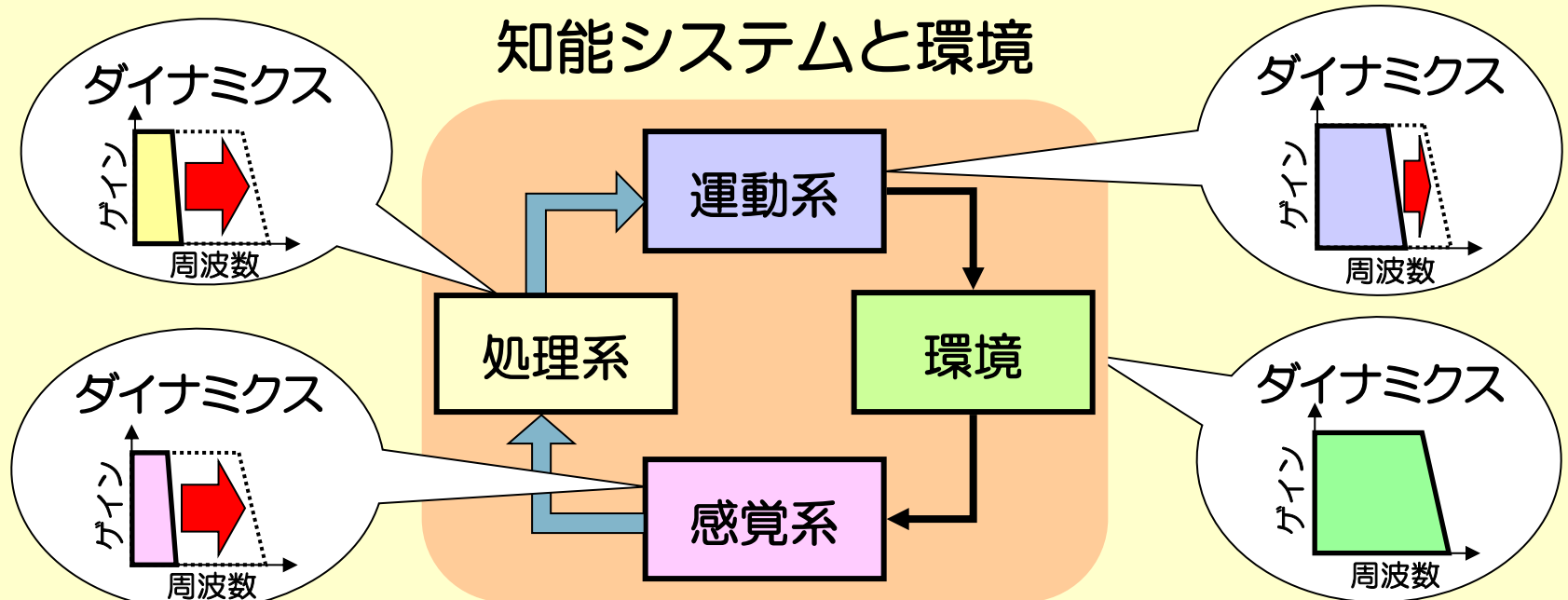
アクチュエータ

並列分解

並列分解の十分条件：
タスク間の直交性
(時間 and/or 空間)

直交分解

知能システムと環境



- 対象のダイナミクスの理解
- アクチュエータの改良＝定格出力より瞬時出力の重視
- LSI技術の導入＝センサの性能向上・高速化（高速視覚、触覚）
- 並列処理の導入＝処理の高速化

対象のダイナミクスの完全制御

→ 機械の限界への挑戦 → 人間を超えるスピードの実現

高速ビジョン

ビジョンチップ 及び システム
並列アルゴリズム

基本コンセプト

高速ビジョン

ヒューマンインターフェイス

産業応用/検査

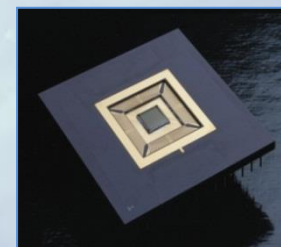
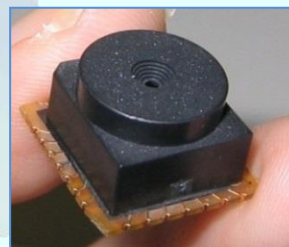
バイオ/医療

ロボットアーム

ロボットハンド

自動車/セキュリティ

まとめ

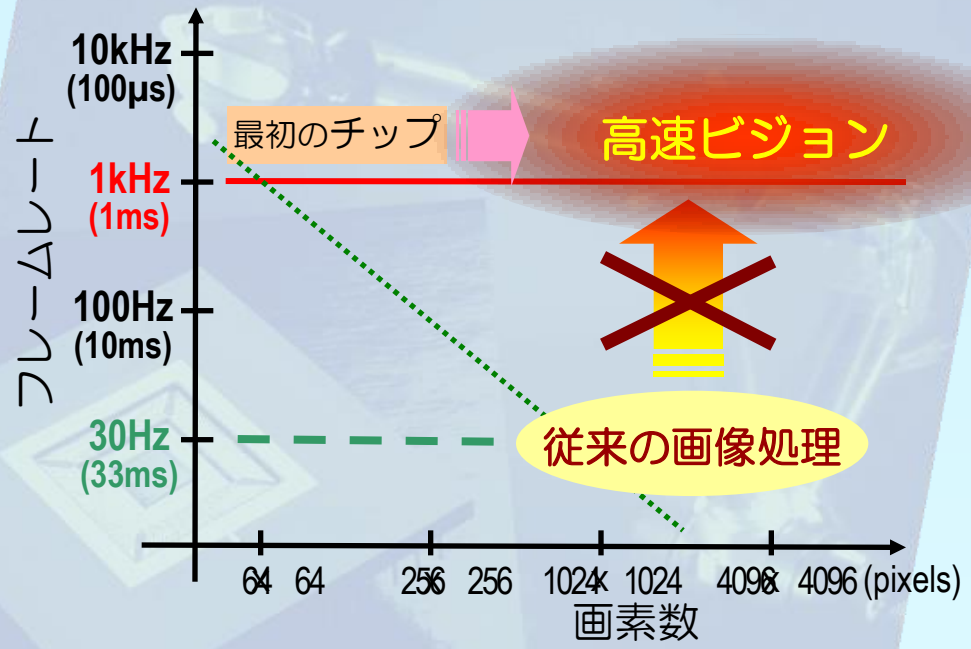
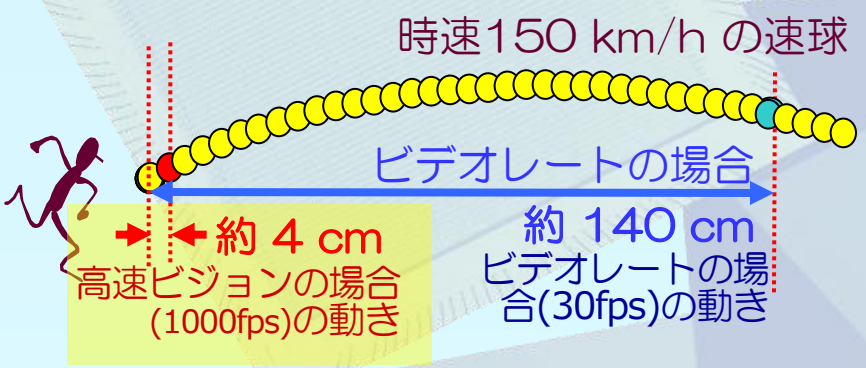


高速画像処理アーキテクチャ

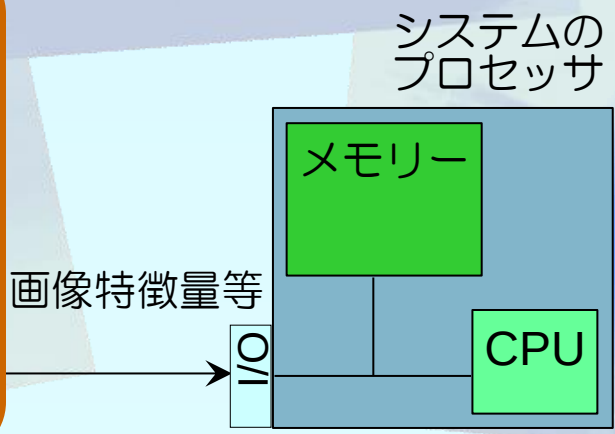
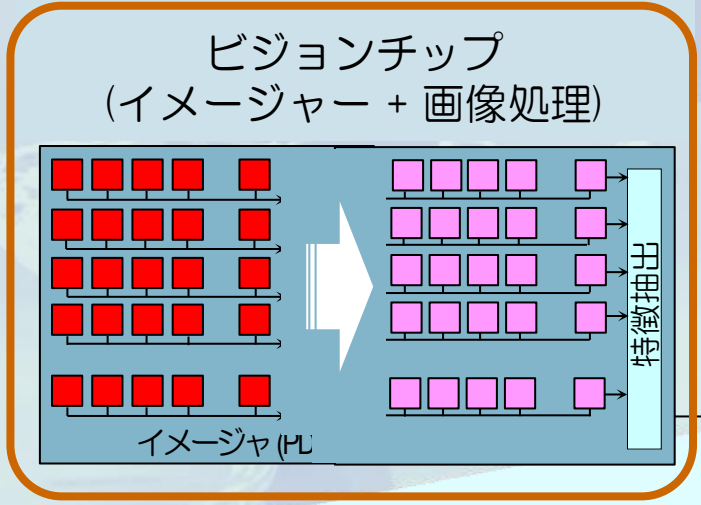
従来技術 人間の目=30枚/秒の画像処理

ビデオ信号の限界を打破

高速ビジョン 1000枚/秒の画像処理



SoC, 積層化, SIP等

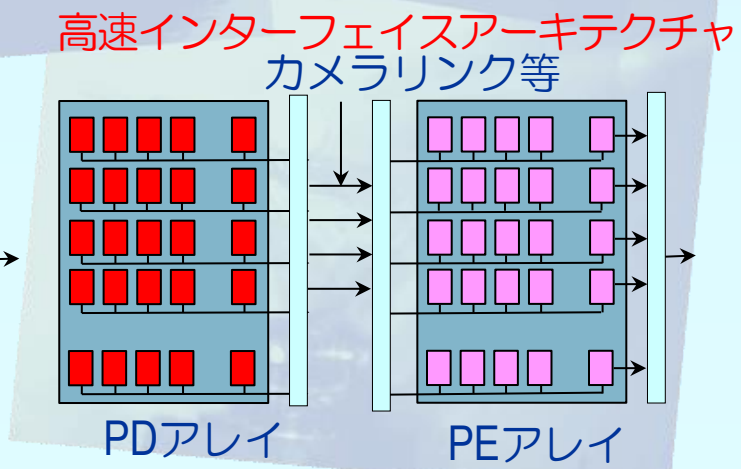
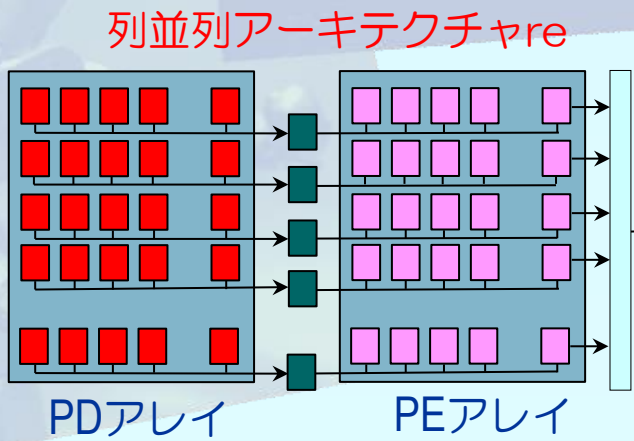
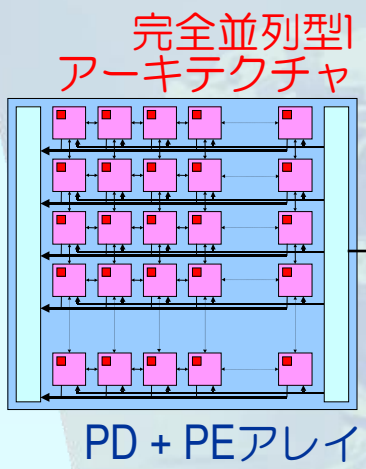
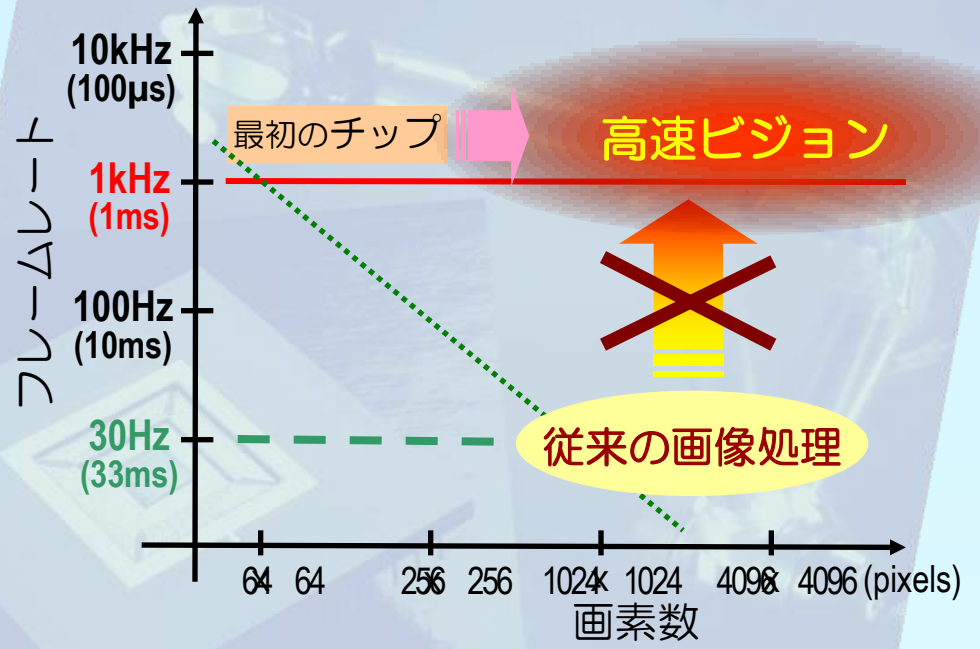
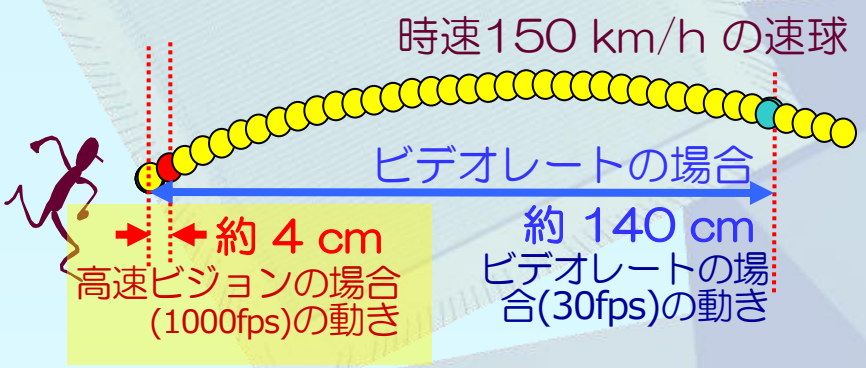


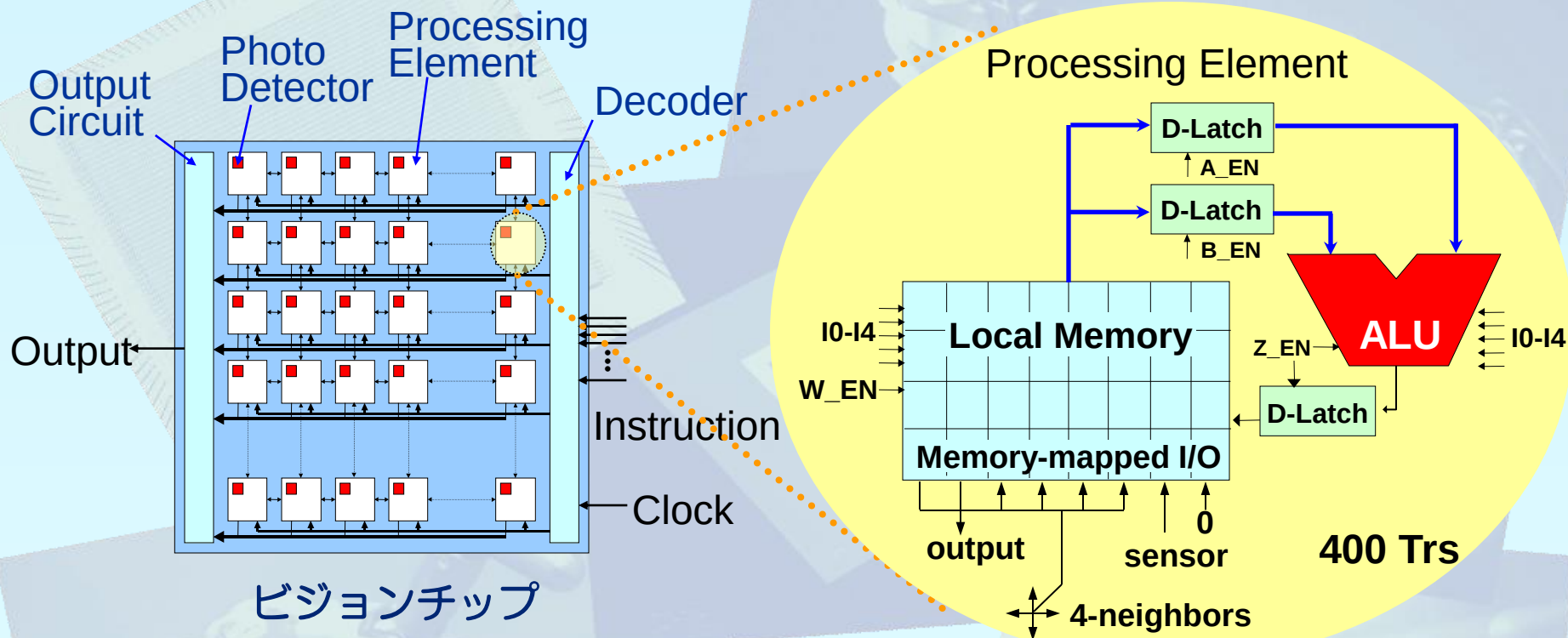
高速画像処理アーキテクチャ

従来技術 人間の目=30枚/秒の画像処理

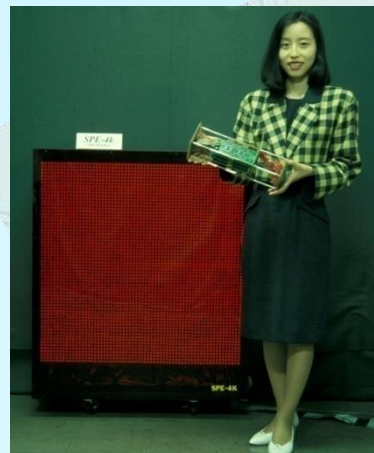
ビデオ信号の限界を打破

高速ビジョン 1000枚/秒の画像処理



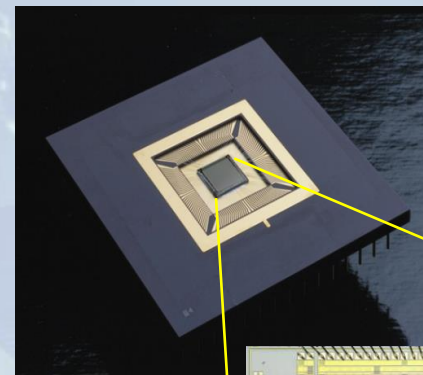


- 画素とPEが一對一で対応したSIMD型完全並列構造
- 汎用プログラマブルPE（マイクロインストラクション）
- ワンチップVLSI化を目指したコンパクト設計
（ビットシリアル演算、メモリマップドI/O、コンパクトAD変換）



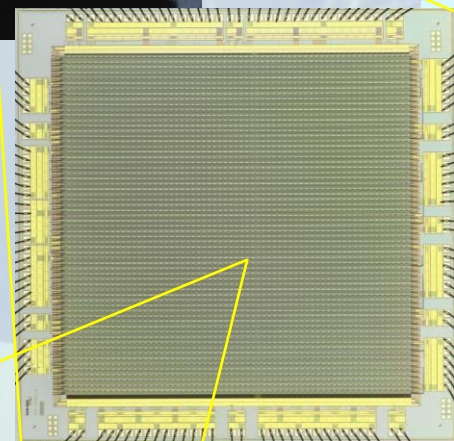
最初のモデル (1993)

Process : Gate Array
Area Size : 1.2m × 1.2m
Resolution : 64x64 pixels



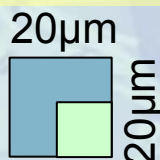
VLSI実装 (1999)

Process : 0.35μm CMOS TLM
Area Size : 5.4mm × 5.4mm
Pixel Size : 67.4μm × 67.4μm
Resolution : 64x64 pixels



近未来のデバイス

Process : 90nm CMOS
Area Size : 10mm × 10mm
Pixel Size : 20μm × 20μm
Resolution : 512x512pixels



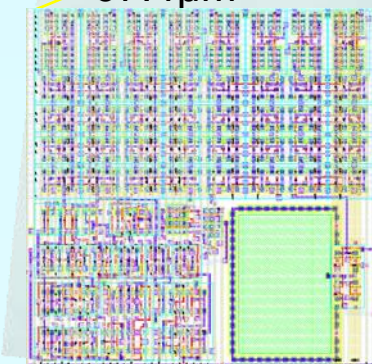
裏面照射型 CMOSイメージセンサ

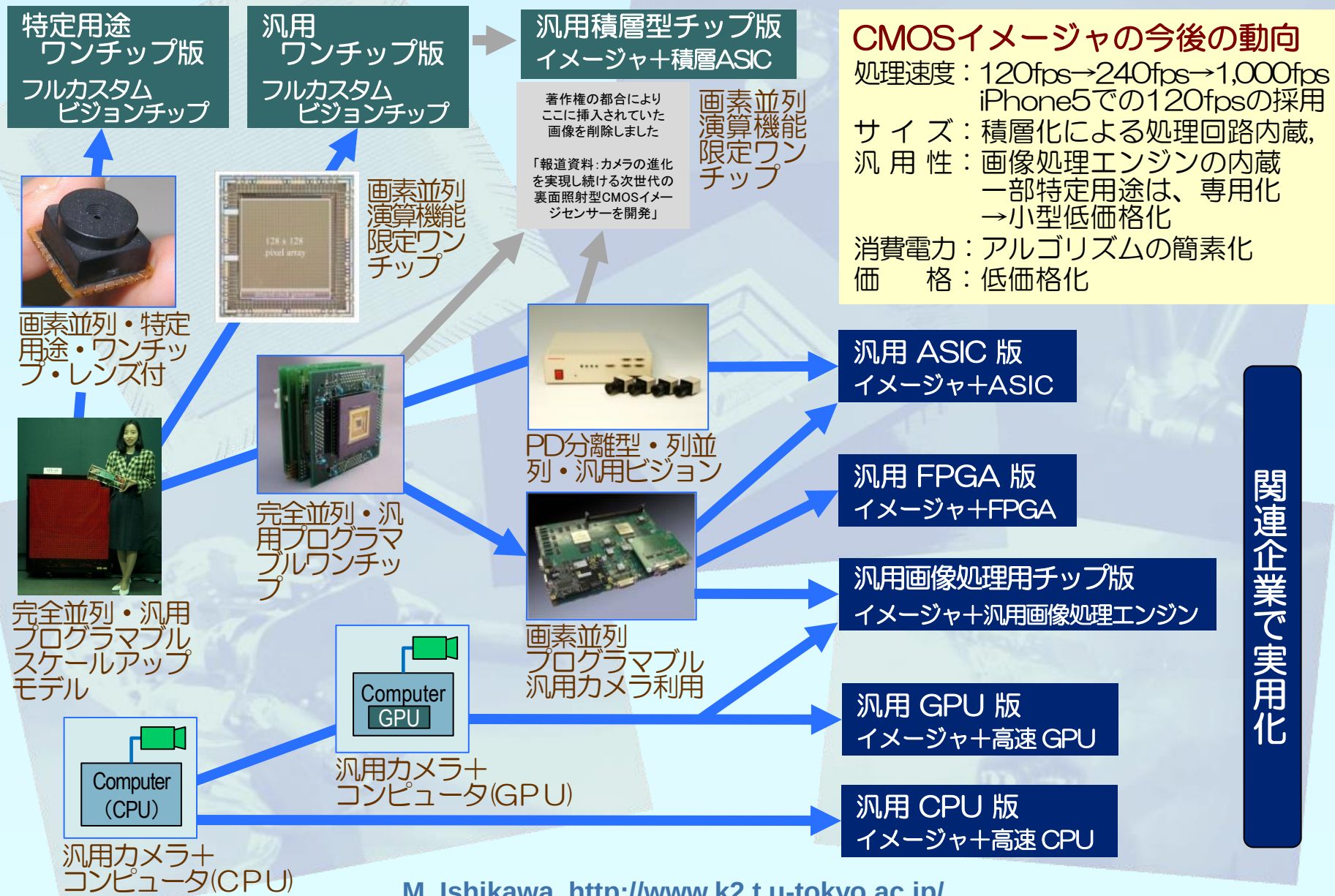
著作権の都合により
ここに挿入されていた画像を
削除しました

以下を参照:
「報道資料:カメラの進化を実現
し続ける次世代の裏面照射型
CMOSイメージセンサーを開発」
<http://www.sony.co.jp/SonyInfo/News/Press/201201/12-009/index.html>

67.4μm

67.4μm





関連企業で実用化

対象のダイナミクスに対して
十分高速なフレームレート

- 欠落のない情報の取得
- 予測不要

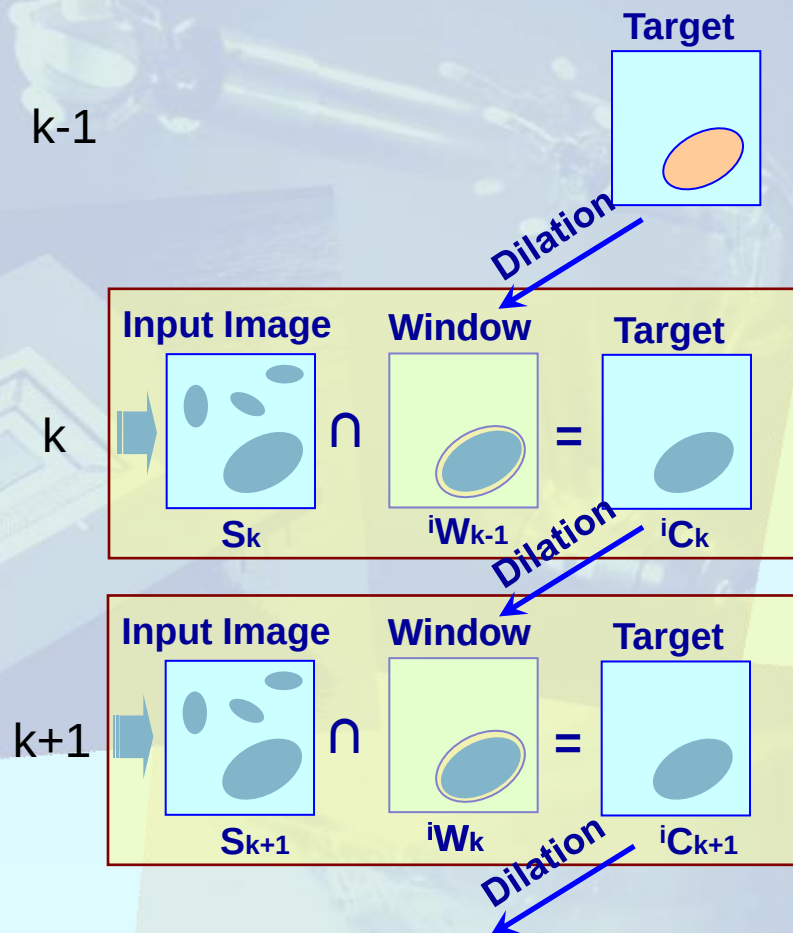
セルフウィンドウ法

S_k : 入力イメージ (フレーム: k)

iC_k : 対象イメージ (フレーム: k)

iW_k : ウィンドウ

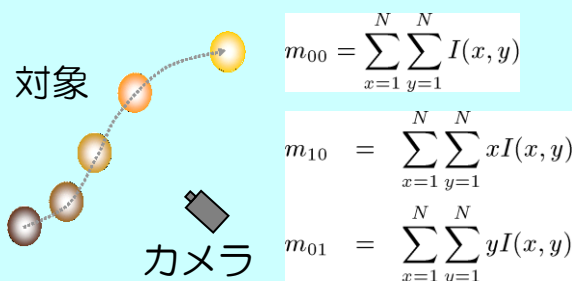
$$iC_{k+1} = S_{k+1} \cap iW_k$$
$$iW_k = D_1(iC_k)$$



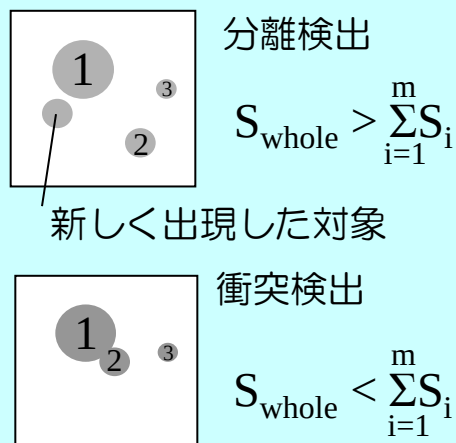
高速化はアルゴリズムを簡素化する
像面におけるサンプリング定理の意味

位置計測

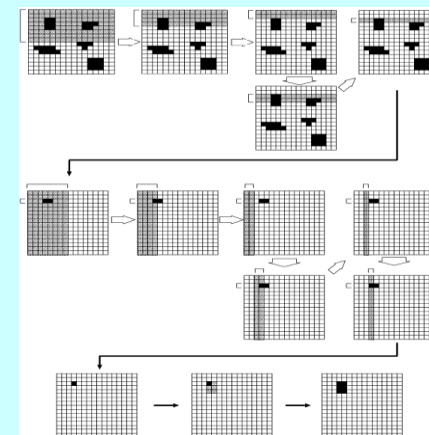
重心: $\bar{x} = m_{10} / m_{00}$, $\bar{y} = m_{01} / m_{00}$



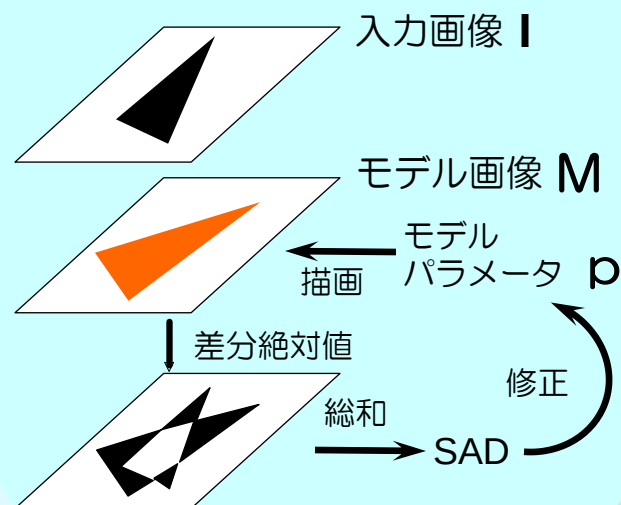
衝突と分離の判定



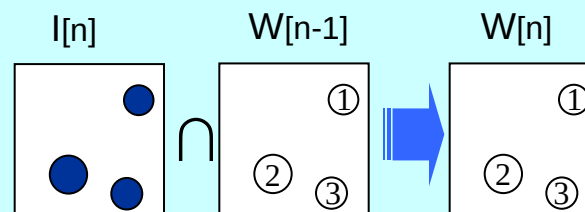
二分探索によるラベリング



モデルベース形状認識



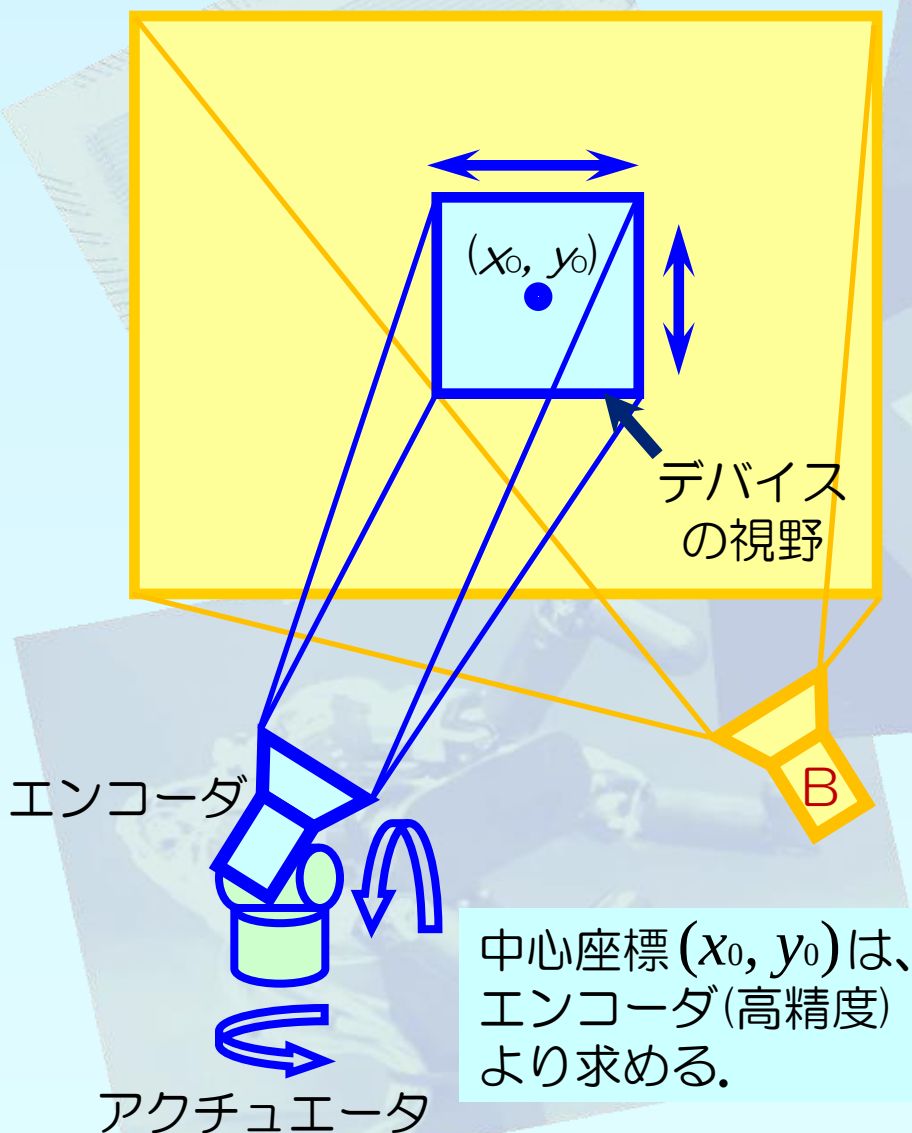
マルチターゲットトラッキング



- 対象追跡アルゴリズムを対象毎に順番に実行

- 背景の除去 (ウィンドウの設定)
- 高次モーメント
- 3次元セルフウィンドウ法
- ハフ空間セルフウィンドウ法

必要とする視野



中心座標 (x_0, y_0) は、
エンコーダ(高精度)
より求める。

速度

速い

遅い

A が優位

低分解能デバイスでも
実質的に高分解能が得
られる。

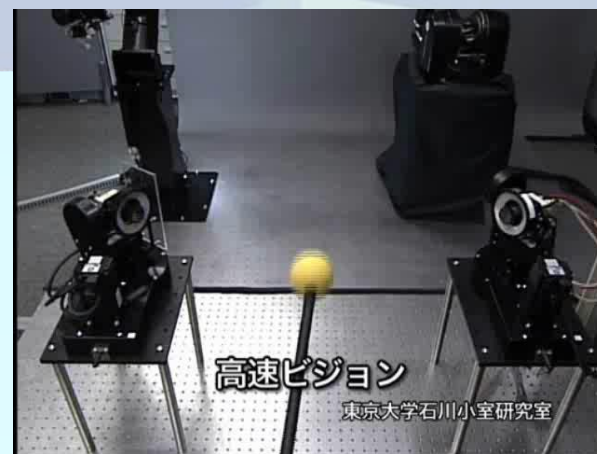
[条件] 対象物が1つ

A

B

64×64

4096×4096 分解能



インターフェイス

- 各種入力装置
- 無拘束動作入力



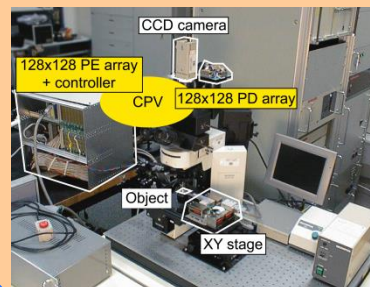
超高速ロボット

- 製造ラインの高速化
- ロボットの高機能化



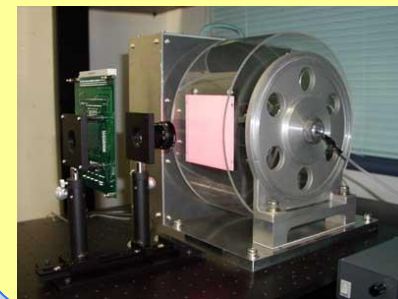
バイオ／医療

- 手術の補助
- 細胞検査



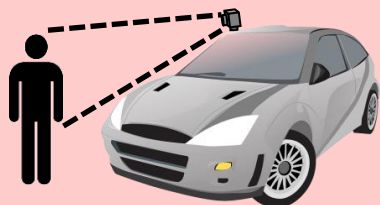
FA

- 製造ラインの高速化
- 位置制御・検査



自動車

- 障害物検出・回避
- 自動運転制御



セキュリティ

- 人物トラッキング
- 個人識別



映像メディア

- 映像・視線制御
- 対象トラッキング



その他の応用

- マイクロマシン
- 半導体製造
- 振動解析・除振
- 次世代光ディスク
- その他、現在の画像処理の速度では実現できない用途

ヒューマン インターフェイス

ジェスチャー認識
インタラクティブディスプレイ

基本コンセプト

高速ビジョン

——~~ヒューマンインターフェイス~~

産業応用/検査

バイオ/医療

ロボットアーム

ロボットハンド

自動車/セキュリティ

まとめ





16×16 ピクセル, 1,000 fps

アクティブビジョン

= 高速ビジョンチップ + 2軸高速アクチュエータ

ウェアラブルコンピュータ
ユビキタスコンピューティング
ゲーム入力
マルチモーダルインタフェース

Vision Chip

非接触・非拘束
高速・3次元入力

人間の動作の完全把握





200ms delay

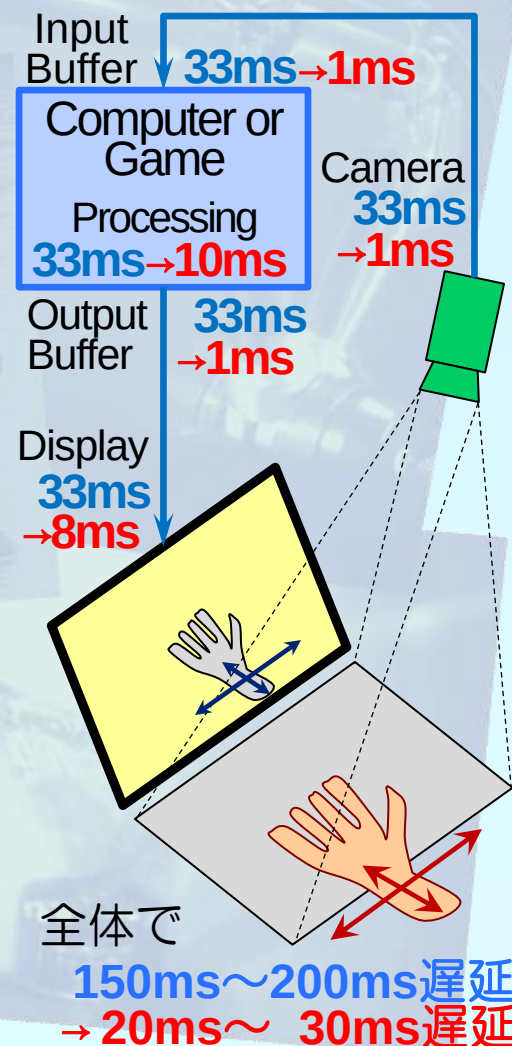
高速・低遅延ジェスチャーUI

→ 1,000fps 30ms遅延

没入感、自己認識の向上による制御性能の向上

(通常ジェスチャーUI 30fps 200ms遅延)

通常ビジョン





AIRR Tablet Floating Display with High-Speed Gesture UI



高速ビジョン

空中像

再帰反射シート

ハーフミラー

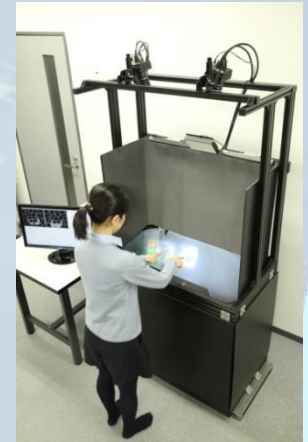
高速LED
ディスプレイ

AIRRは、宇都宮大学
山本裕紹先生の研究成果

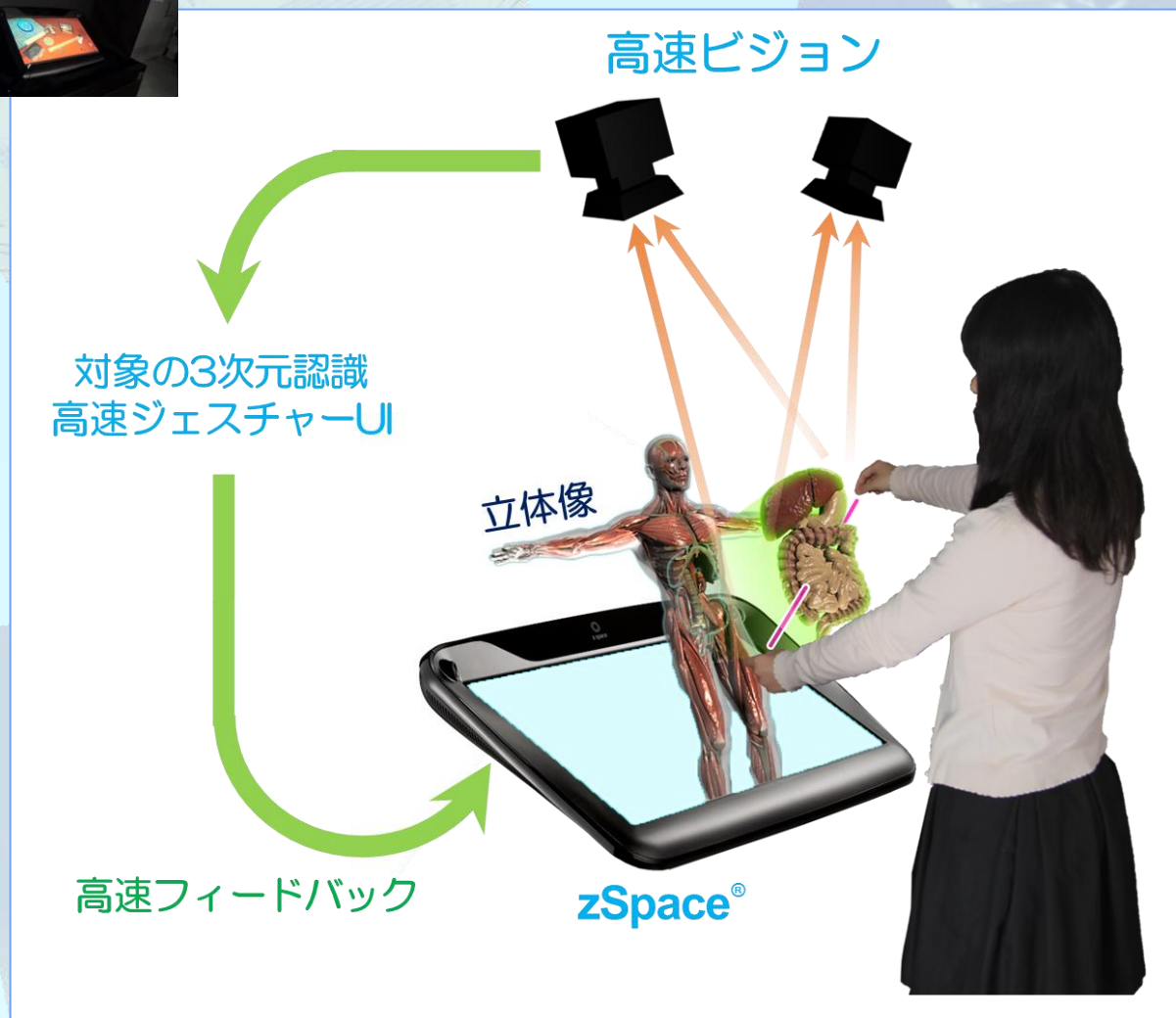
AIRR: Aerial Imaging by Retro-Reflection

対象の3次元認識
高速ジェスチャーUI
→ 高速・低レイテンシ
操作感・没入感の向上

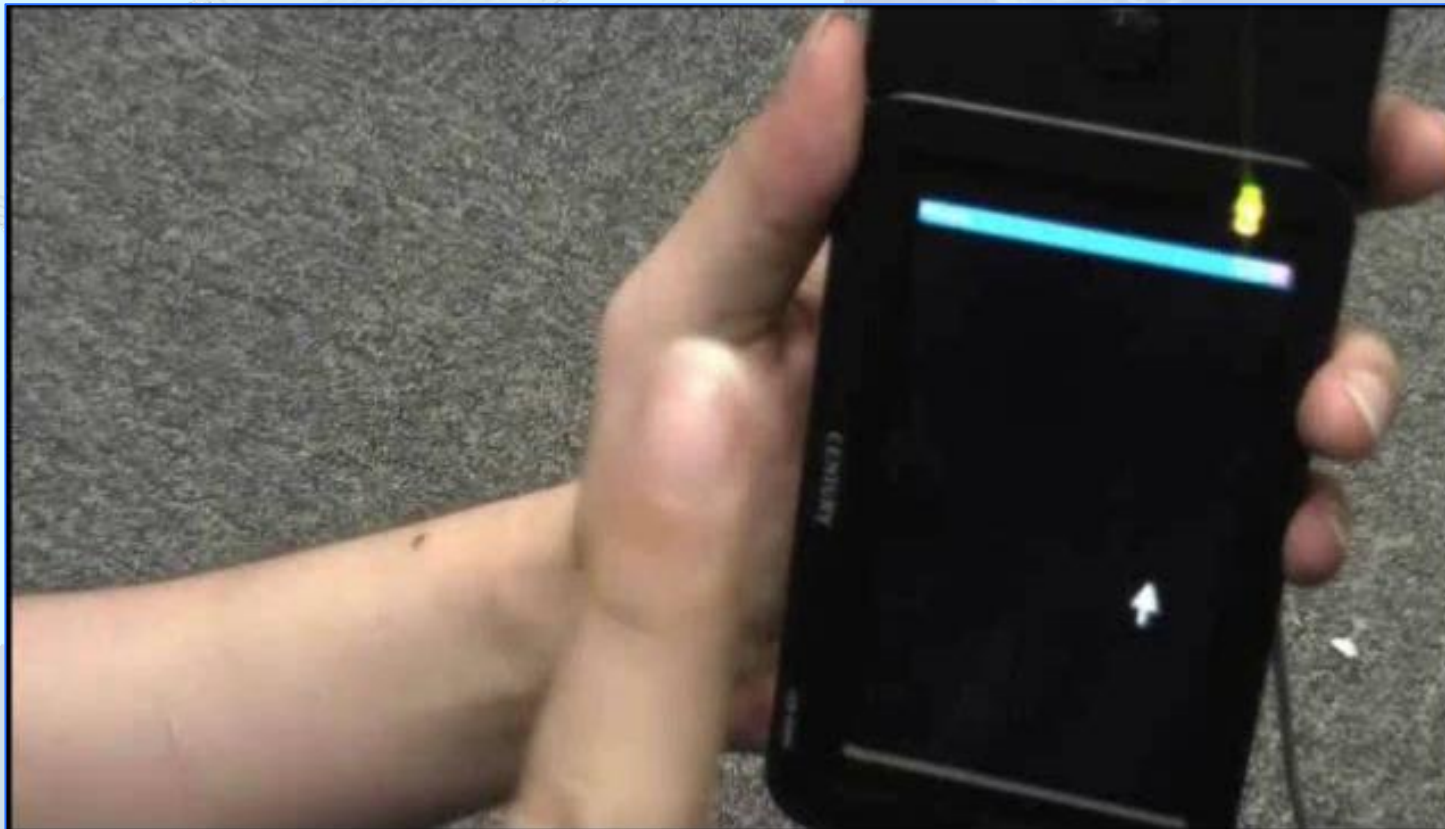
高速フィードバック



高速画像処理と空中ディスプレイの融合

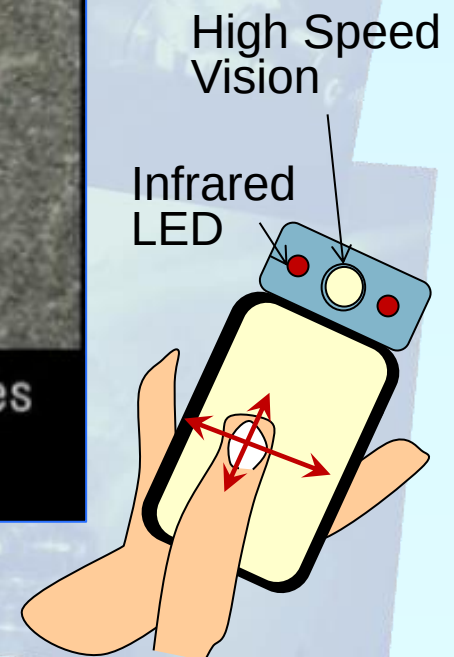


3Dディスプレイ (zSpace) 操作への高速ジェスチャーUI (500fps) の応用



We propose vision-based interface for mobile devices by tracking 3D motion of a human fingertip using a single camera.

3次元指位置入力 (154Hz)



サッカードミラーシステム

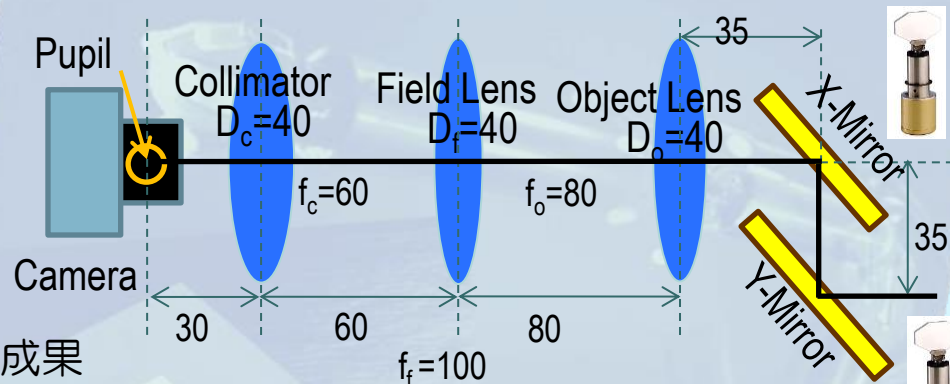
ガルバノミラーによる高速応答

- ステップ応答3ms以下
- 最大走査角： $\pm 15^\circ$

瞳転送系による広い画角

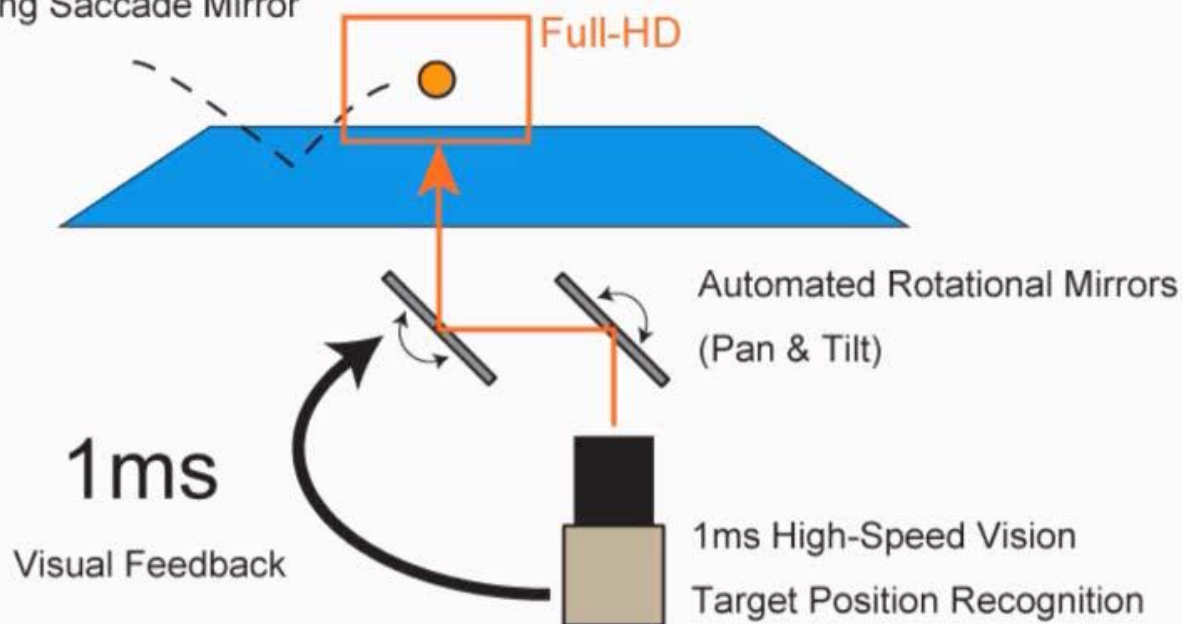
- 最大 30°

本システムは、群馬大学奥寛雅先生らの研究成果



1ms Auto Pan-Tilt

using Saccade Mirror



高速ビジョン
2ms = 500fps

プロジェクター

高速
視覚
フィード
バック

2軸
ミラー

動く対象

正確なターゲットトラッキングの実現



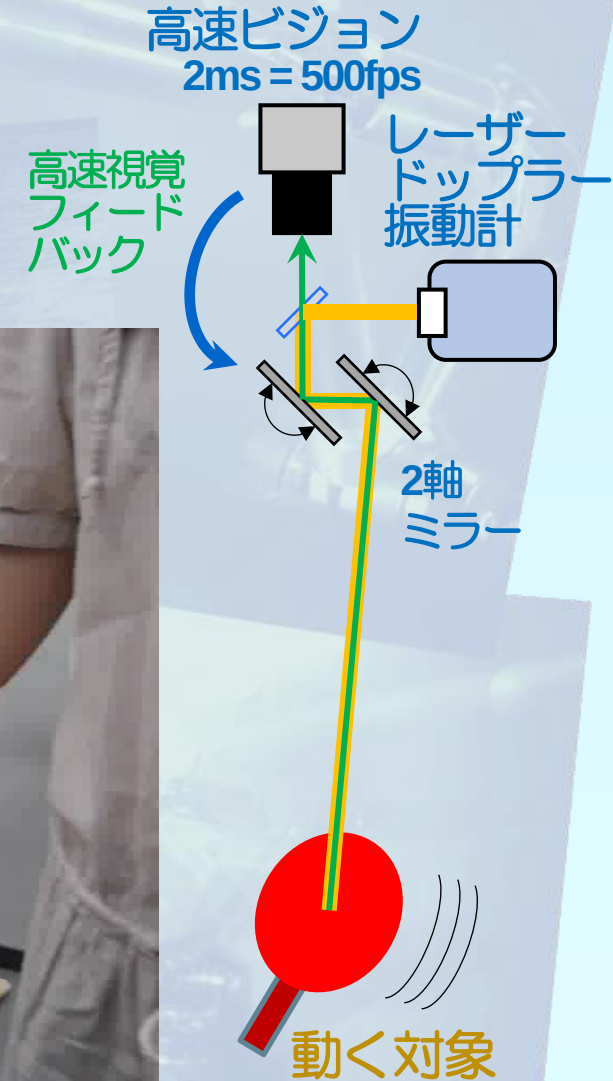
動いている対象に対して、
Projection Mappingが可能となる。
(3次元形状計測も可能)



正確なターゲットトラッキングの実現

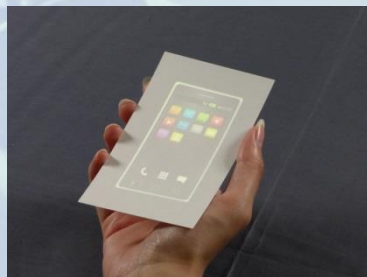
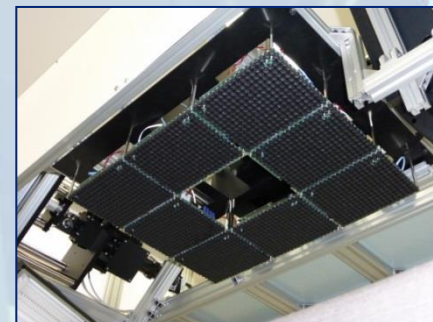
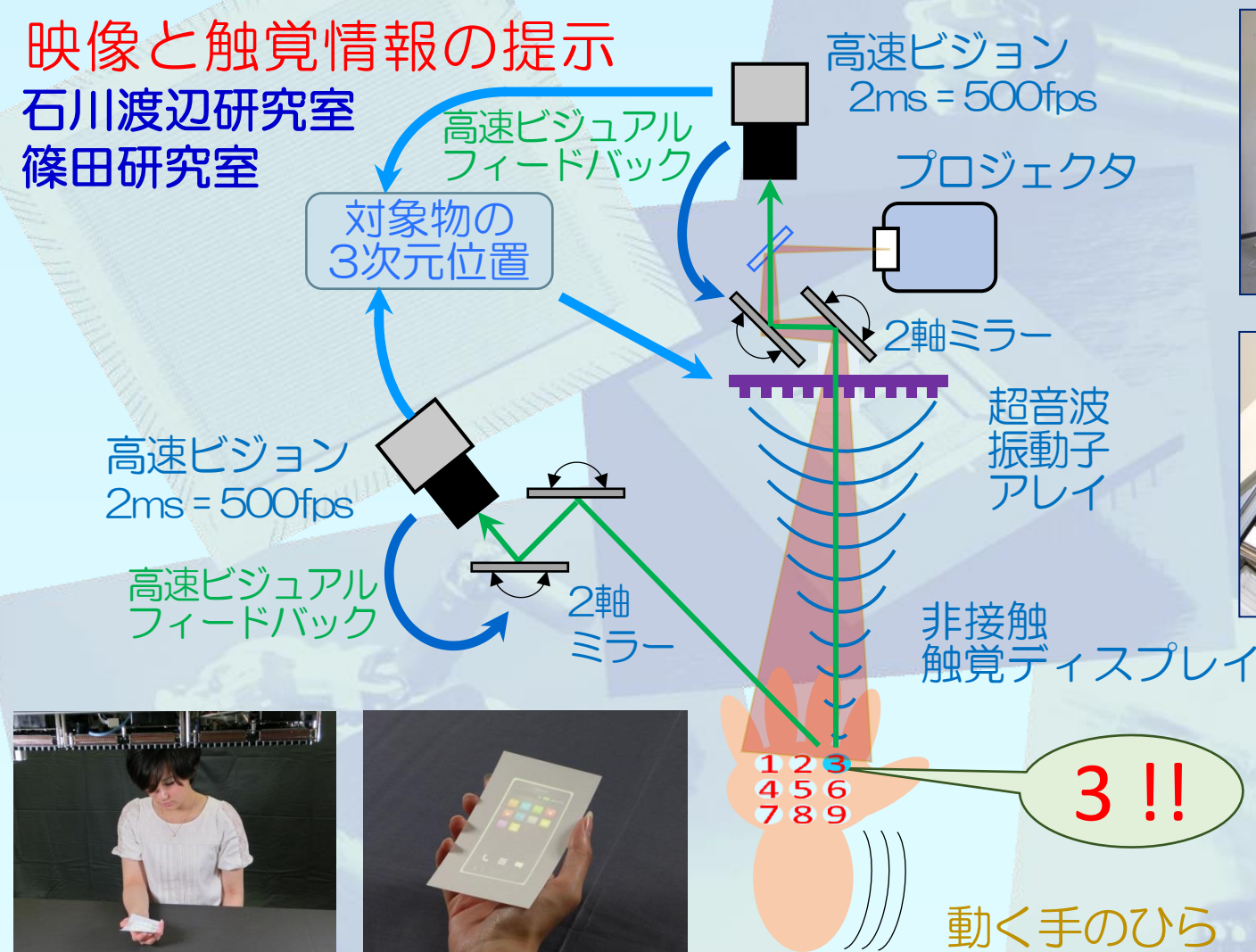


動いている対象に対して、
様々な光計測の適用が可能となる。



映像と触覚情報の提示

石川渡辺研究室
篠田研究室



高速で無拘束な視覚・触覚情報環境の実現

産業応用/検査

マルチターゲットトラッキング
3次元形状認識

基本コンセプト

高速ビジョン

ヒューマンインターフェイス

産業応用/検査

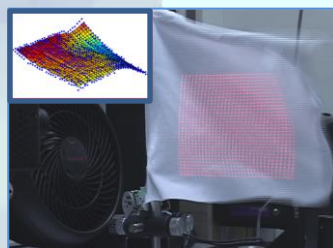
バイオ/医療

ロボットアーム

ロボットハンド

自動車/セキュリティ

まとめ



高速道路設備検査の高速検査

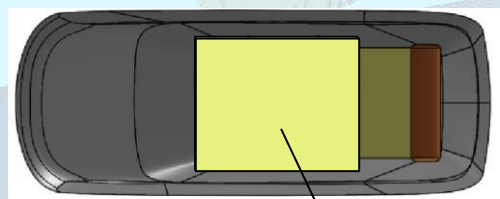
チャレンジ

通常巡回車両から、トンネル壁面の0.2mmを識別する！

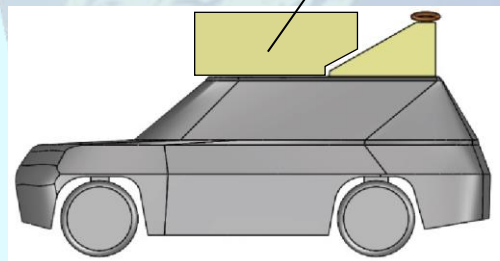
条件: 速度100km/h, 車載可能な体積重量, 他車の走行を妨げない低照度照明



Nexco中日本様との共同研究



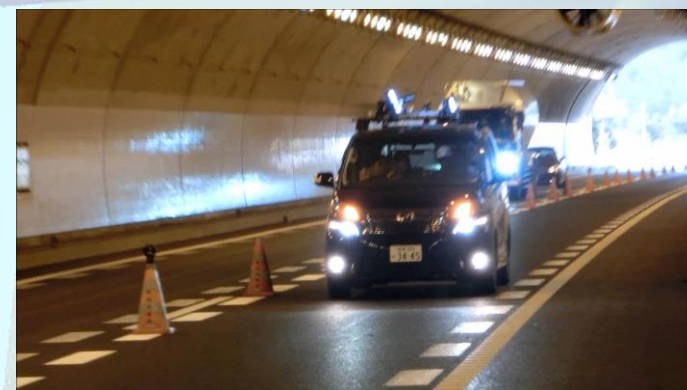
検査装置部



装置搭載イメージ
通常の維持管理車両へ搭載



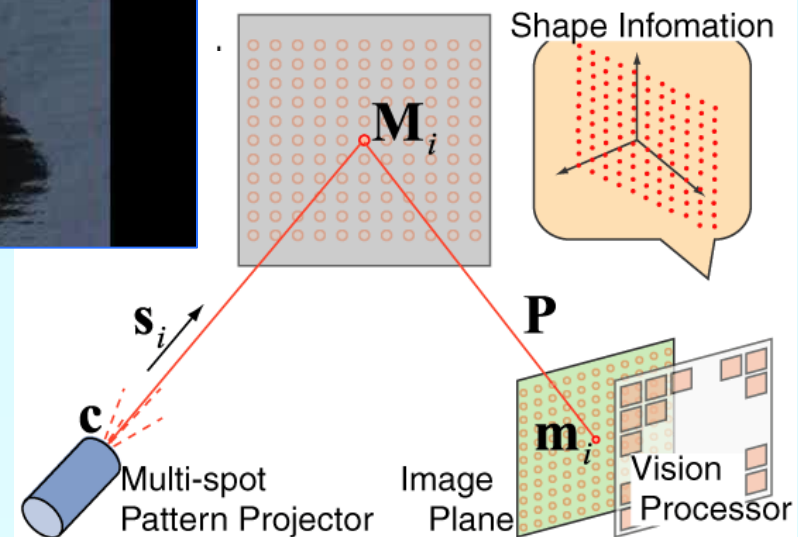
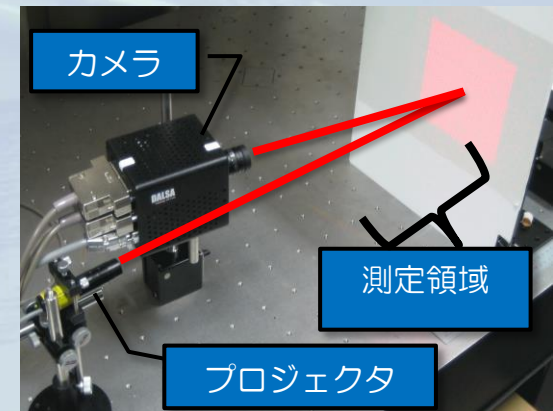
映像サンプル

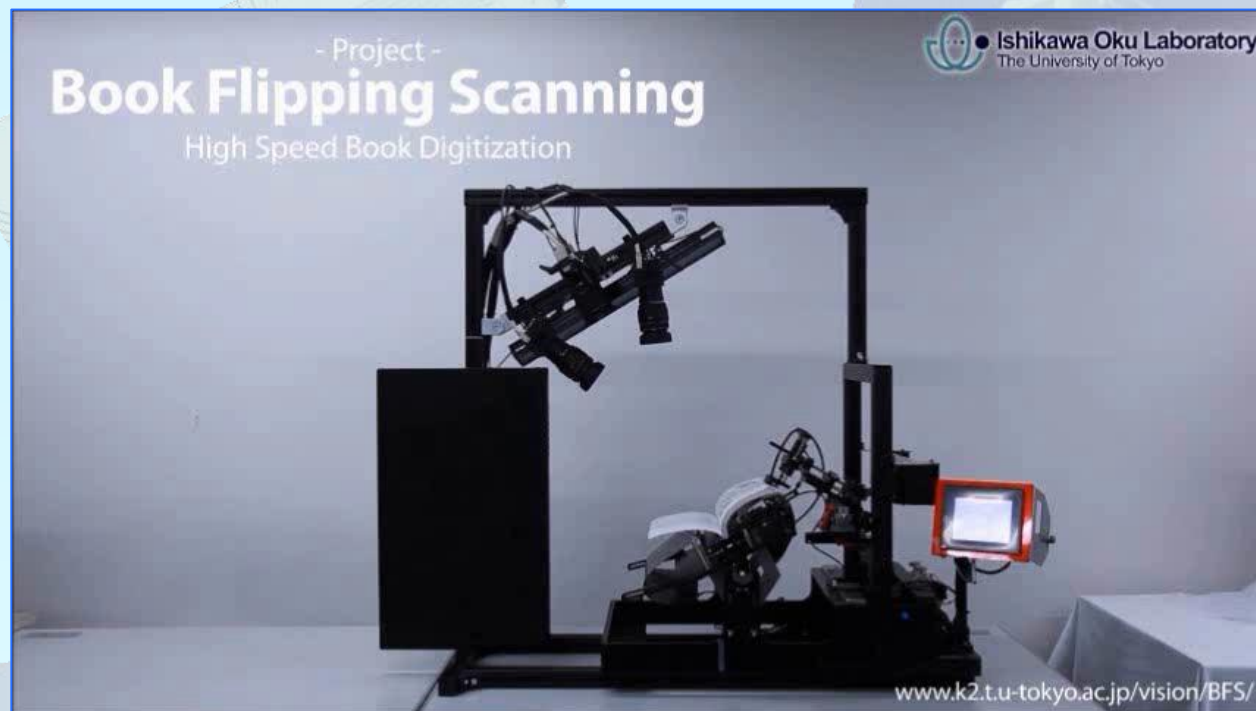


予備実験の様子

Multitarget Tracking for Visual Inspection

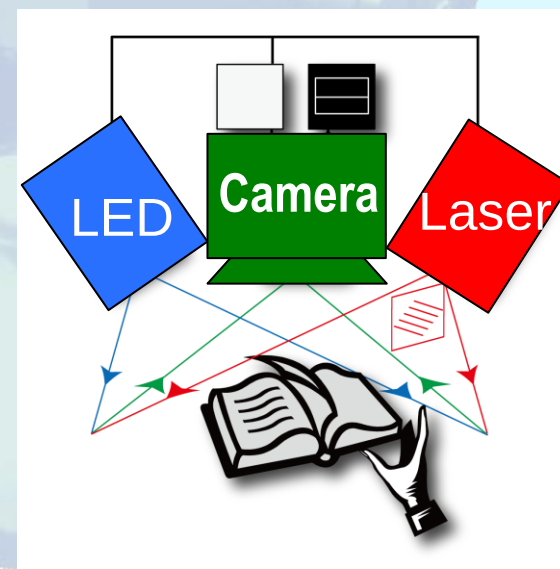
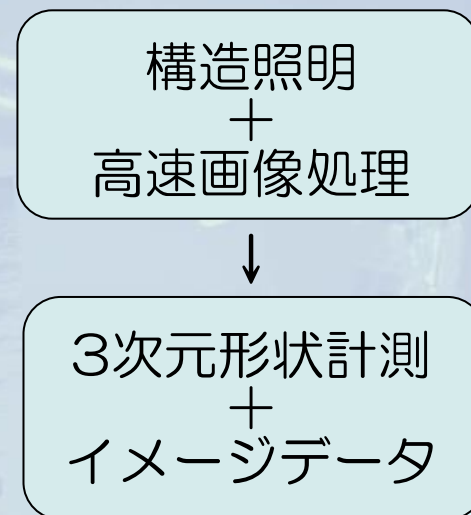
対象1,000個を約1,000FPSで
トラッキングが可能





BFS-Auto : 自動ページめくり機構を有し、高速3次元形状計測により撮像に適したタイミングで撮像し、3次元形状データを用いて平面イメージを再構成。1分間に250ページのスキャンを実現。電子書籍の普及を促進。

BFS-Solo : 単眼カメラでスキャンを行い、同一ページの複数の高速撮像映像から、平面イメージを再構成。スマートフォンやPDA等での利用を想定。変換速度の向上が課題。



バイオ/医療

マイクロビジュアルフィードバック
3次元ターゲットトラッキング

基本コンセプト

高速ビジョン

ヒューマンインターフェイス

産業応用/検査

バイオ/医療

ロボットアーム

ロボットハンド

自動車/セキュリティ

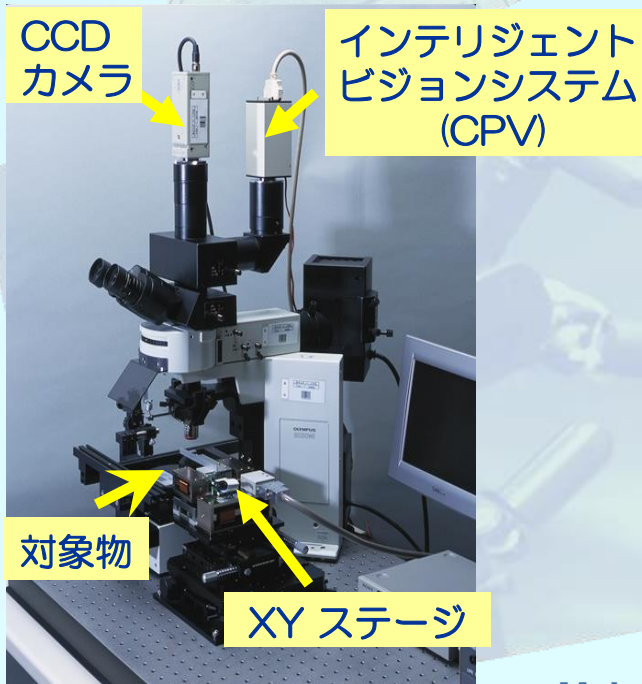
まとめ





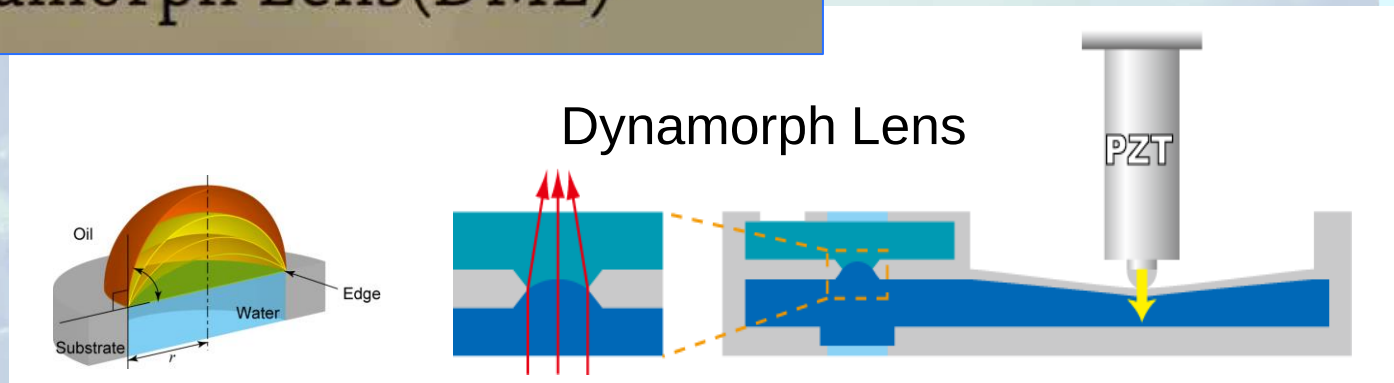
視覚フィードバックなし

ゾウリムシ、ホヤの精子のトラッキング

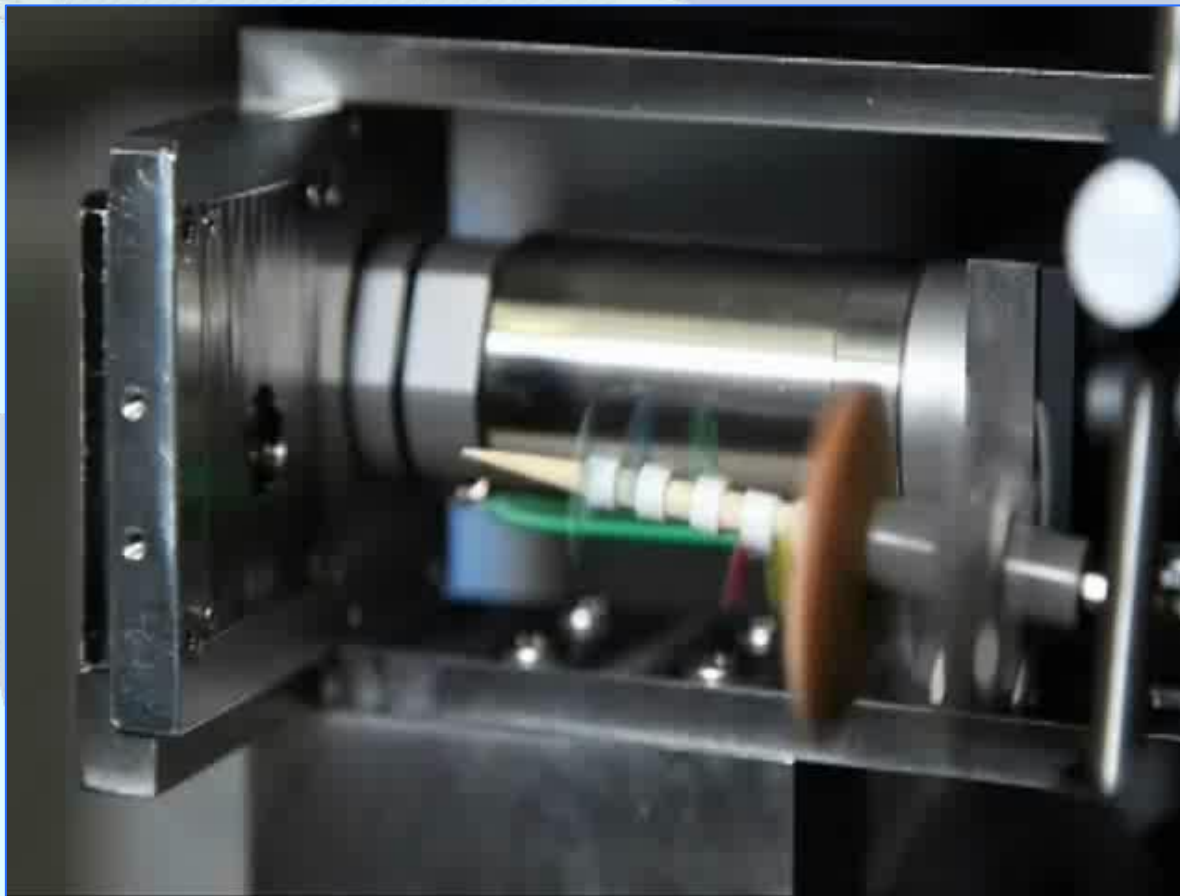
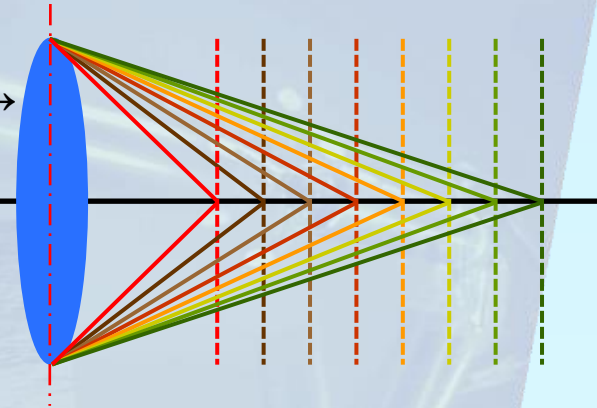




1kHz以上の高速な応答をもつ油圧による変位増幅機構



Dynamorph Lens →



焦点走査 8,000 Hz
→ 画像合成により、
1,000 fps 全焦点画像

ロボットアーム

バッティングロボット
スローイングロボット

基本コンセプト

高速ビジョン

ヒューマンインターフェイス

産業応用/検査

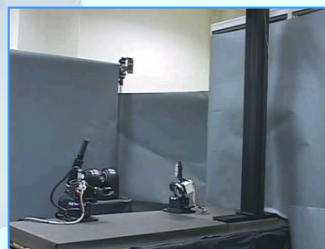
バイオ/医療

ロボットアーム

ロボットハンド

自動車/セキュリティ

まとめ



ロボット技術は何を目指すべきか

ロボットの目標は、人間か？

No

理由：システムの限界は、人間の機能よりずっと上にあり、人間を超えるロボットが実現可能

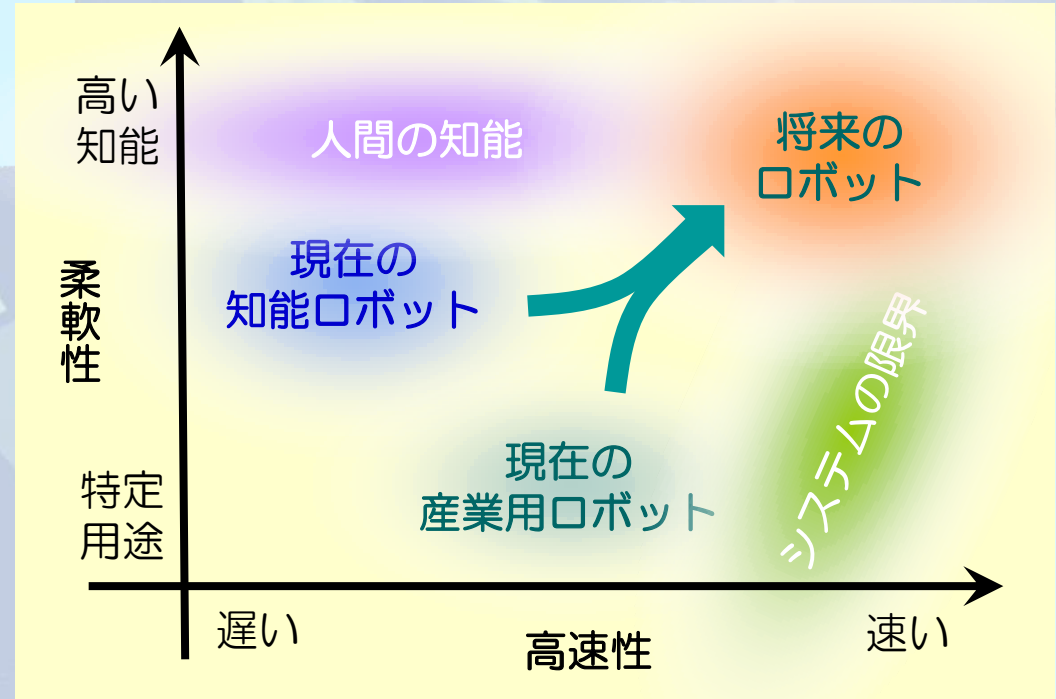
なぜ、ロボットは遅いのか？

答え：産業ロボットは速いが、プレイバック動作のみ。センサと処理系が遅い。

ロボットの限界への挑戦

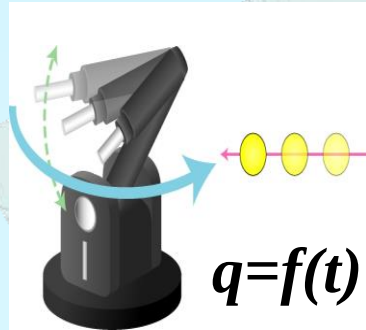
サンプリング定理遵守(理論限界)
知能の高速化(ダイナミックな知能)
ボトルネックの除去
(VLSI・アクチュエータの開発)

→ より速く、より賢く



- 産業用ロボット
プレイバック動作は高速、知能レベルが低い
- 知能ロボット
知能レベルが高い、動作は極端に遅い

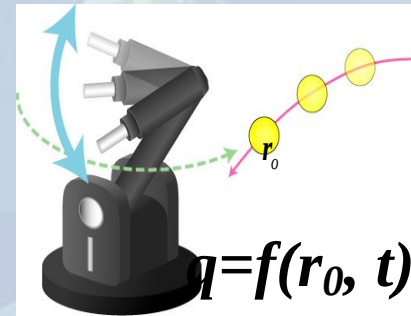
バッティングロボット



対象に依存しない
高速な動作

スイングモード

+



対象を追従する
正確な動作

ヒッティングモード

時間関数によるスイング動作と、
視覚フィードバックによる
ヒッティング動作の
ハイブリッド軌道生成

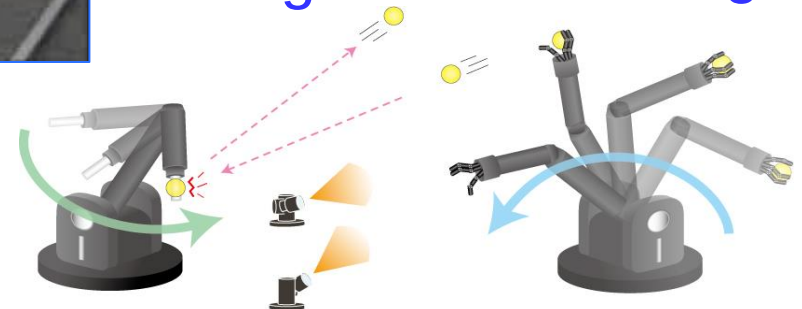
フィードバックモード
の直交分解





Batting

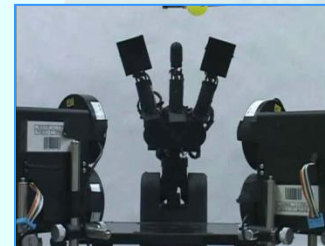
Throwing



ロボットハンド

ダイナミックキャッチ
マテリアルハンドリング

基本コンセプト
高速ビジョン
ヒューマンインターフェイス
産業応用/検査
バイオ/医療
ロボットアーム
~~ロボットハンド~~
自動車/セキュリティ
まとめ



ダイナミックキャッチング

ダイナミクス整合



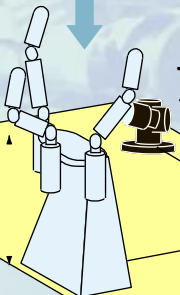
目に見えないロボット



低コスト・高速製造
ラインの実現
産業の空洞化を回避



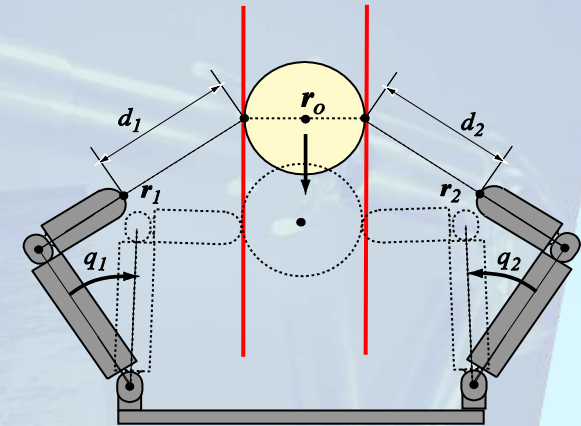
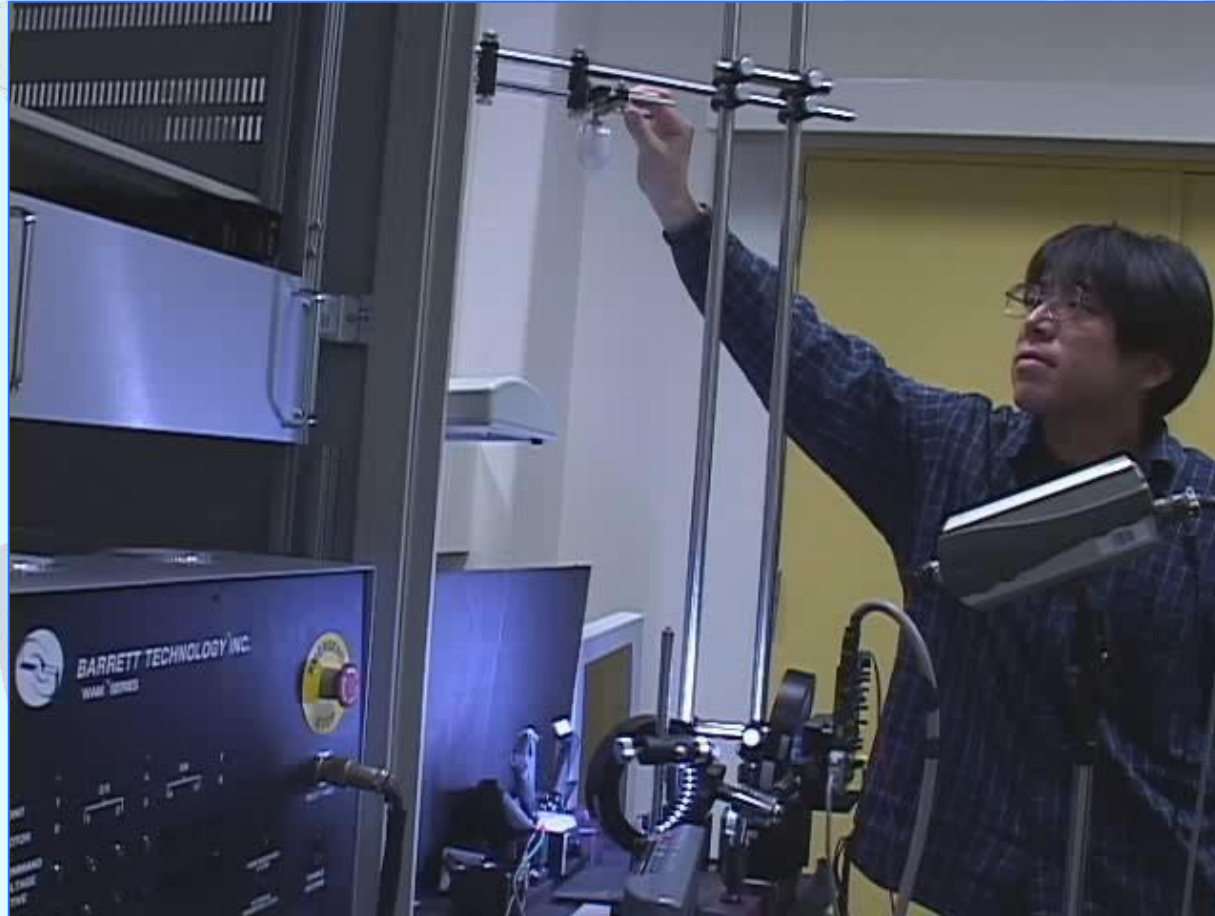
対象 



アクティブライト

アクティブライト

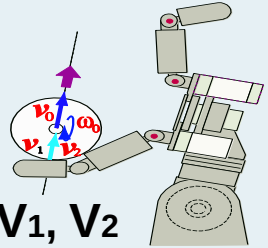
高速ハンド



仮想壁にそって落下する
生卵の最適キャッチング
位置を計算

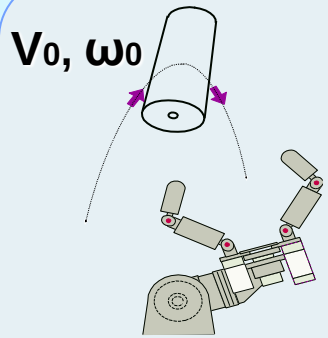
= 仮想壁に沿ってハン
ドを動かす

ビジュアル
インピーダンス
↓
低衝撃キャッチング



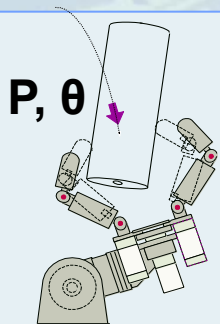
V_1, V_2

投げ上げ前



V_0, ω_0

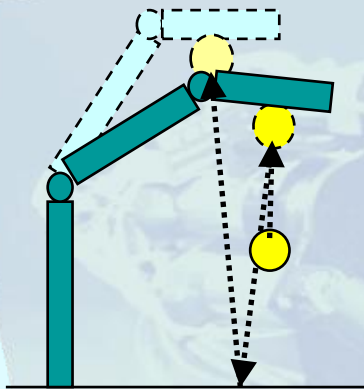
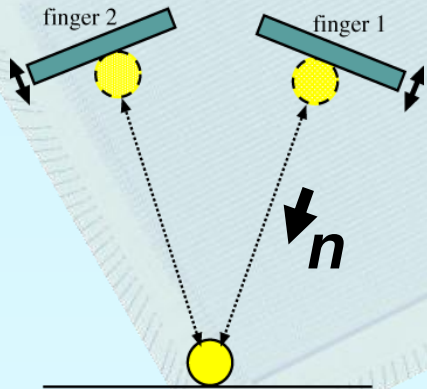
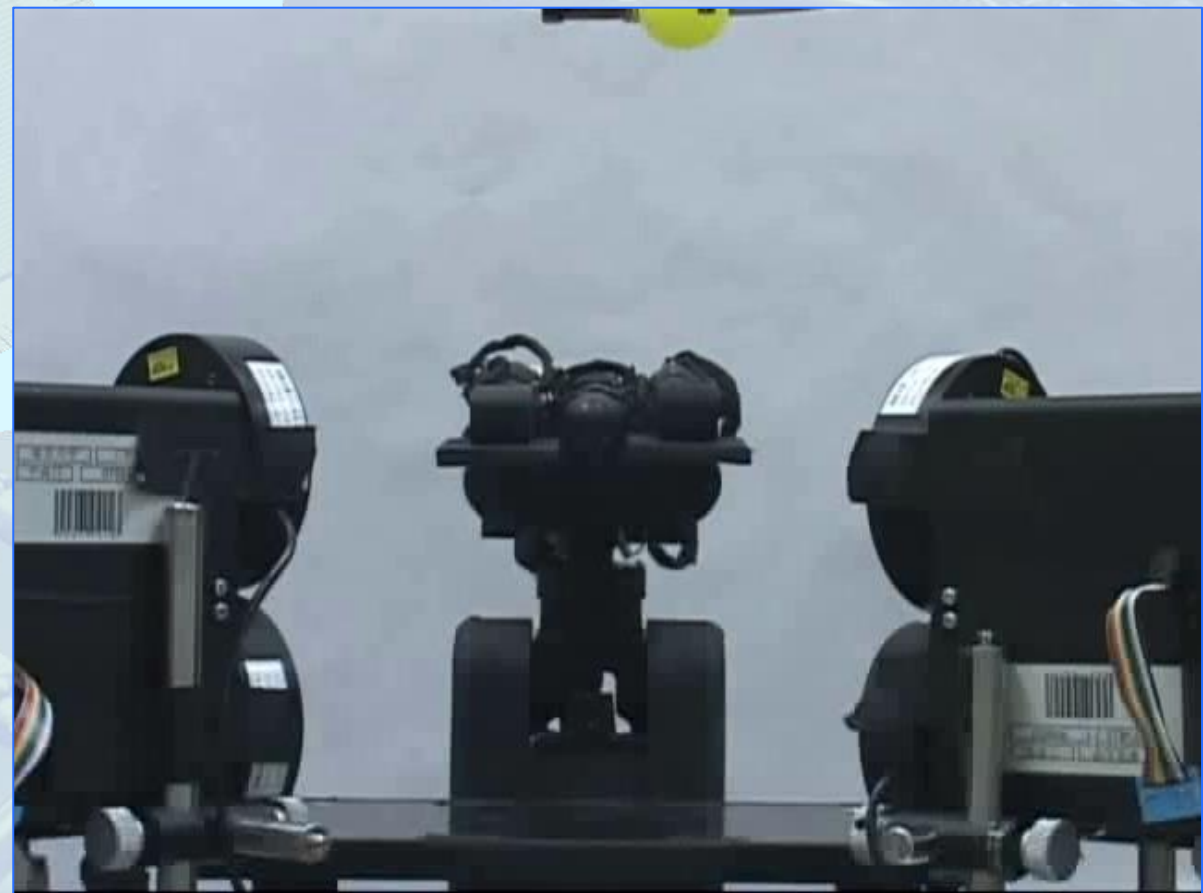
投げ上げ後

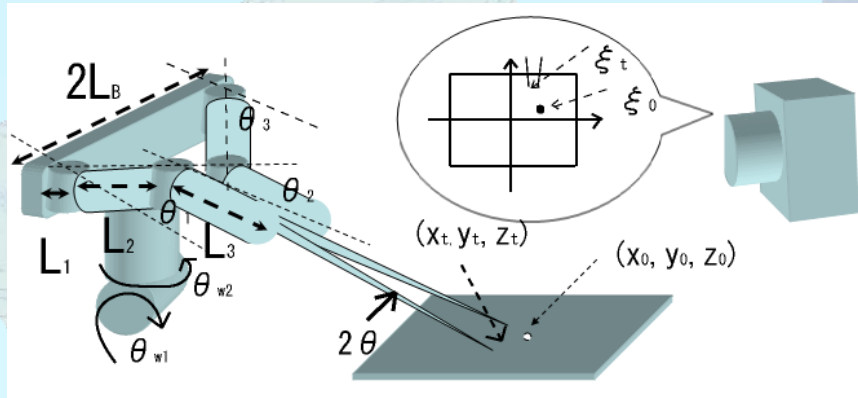


P, θ

キャッチング



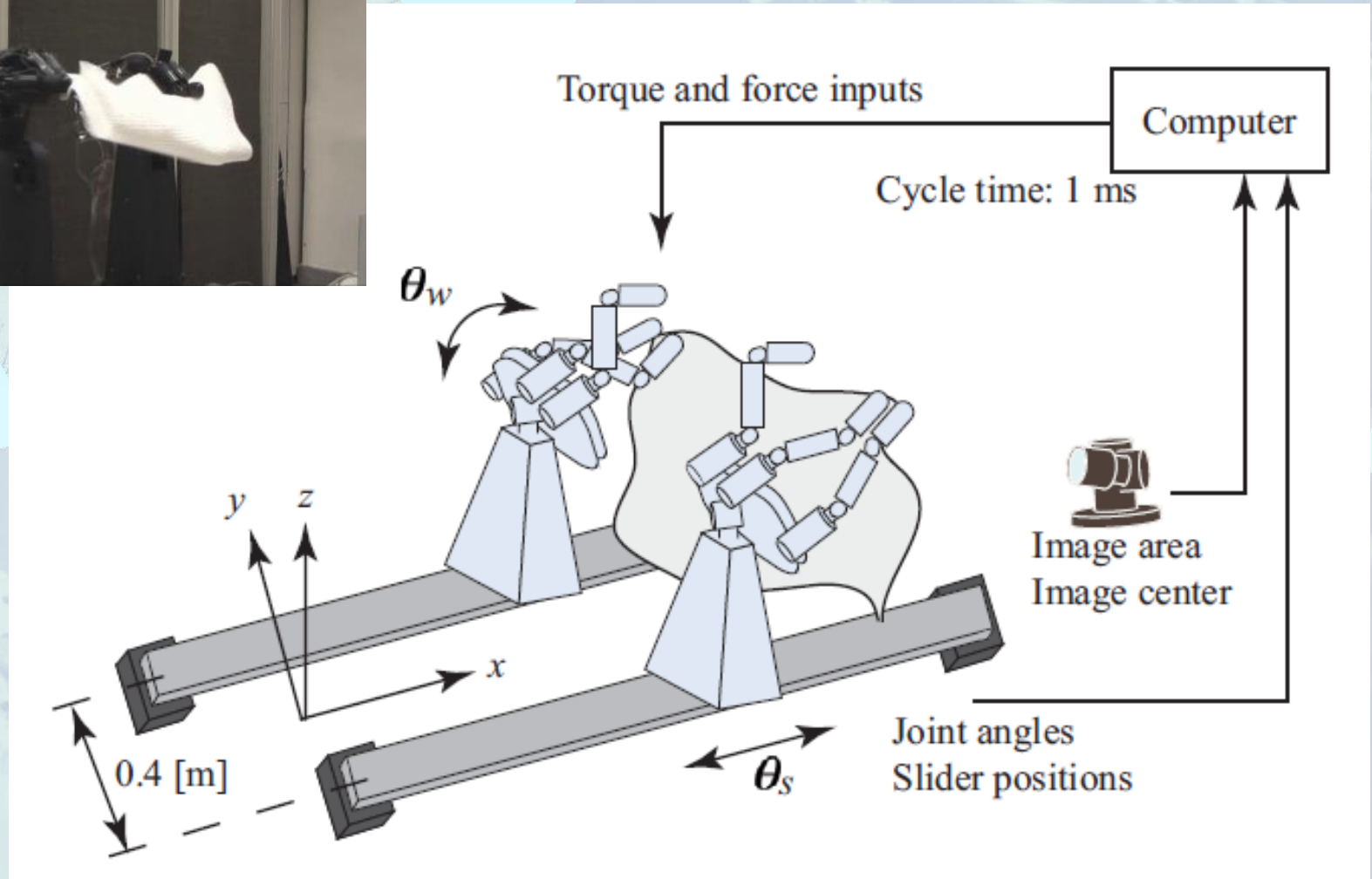




特徴ベースビジュアルサーボ

$$\theta_d = kJ^{-1}(\xi_d - \xi_t) + \theta$$

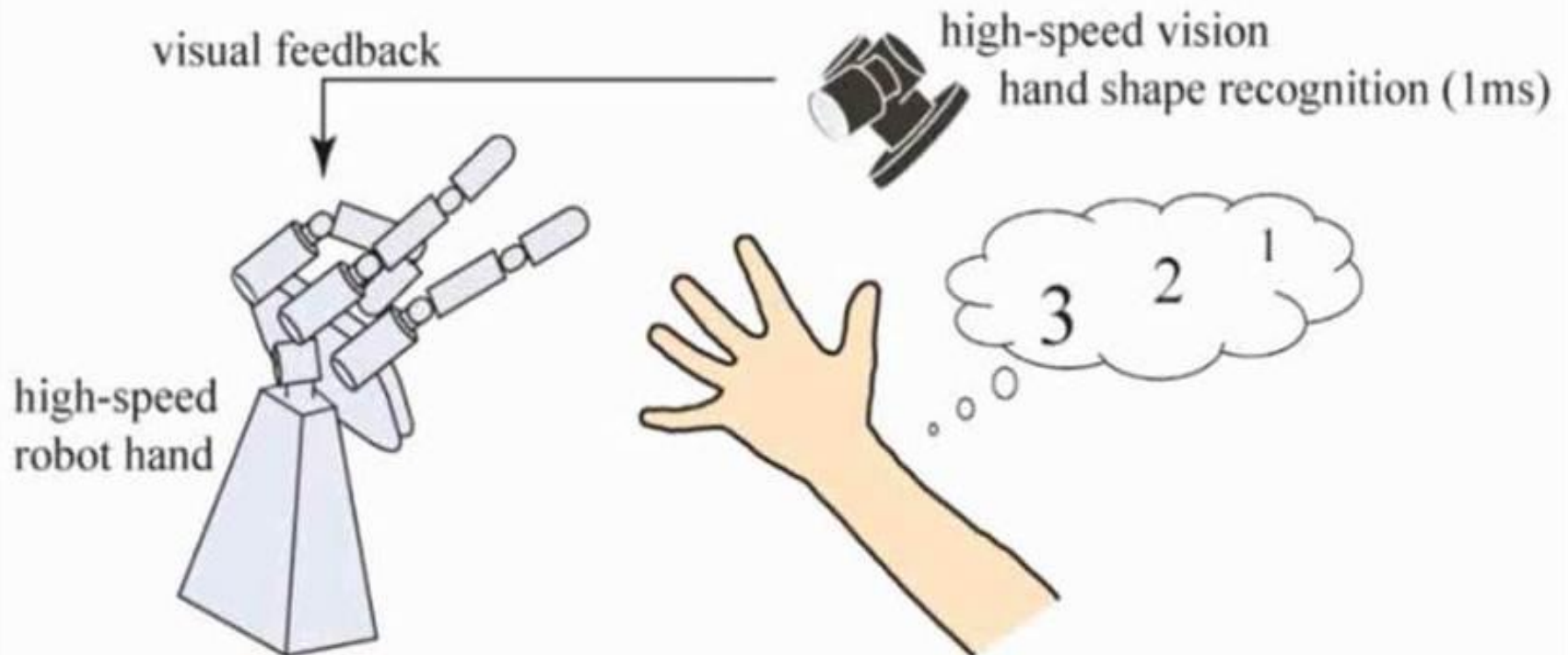




じゃんけんロボットの動作

2012年6月26日: YouTube に Up → 28日:100万 → 30日:200万 → 7月8日:300万views
2014年11月1日: 新バージョンをUp → 11日: 50万 現在 ver.1:381万 + ver.2:62万 = 443views

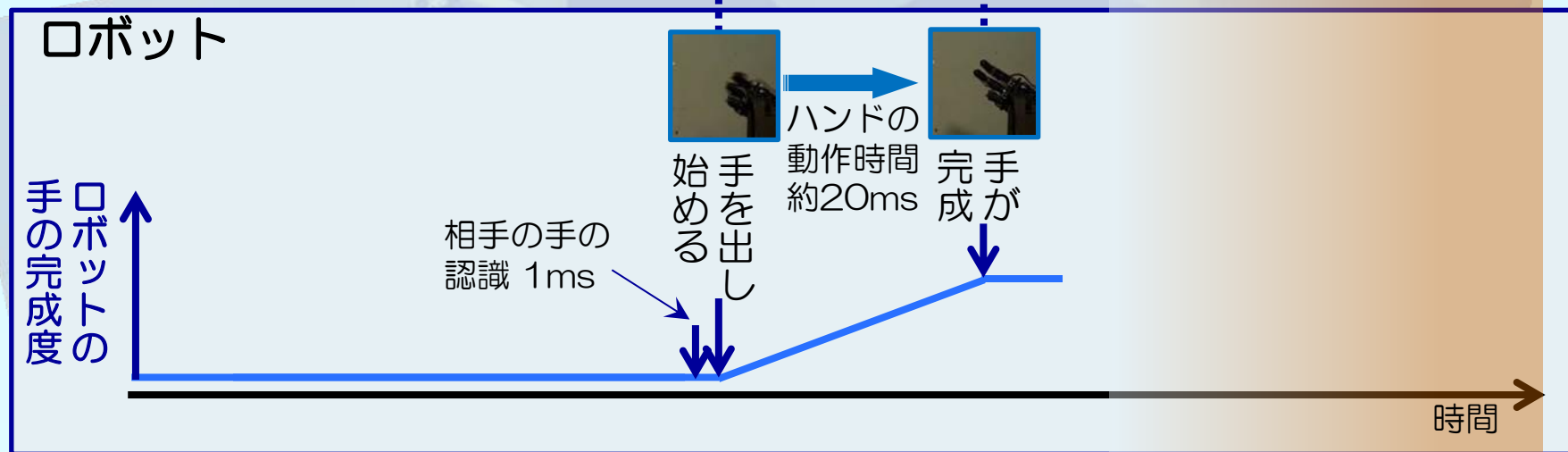
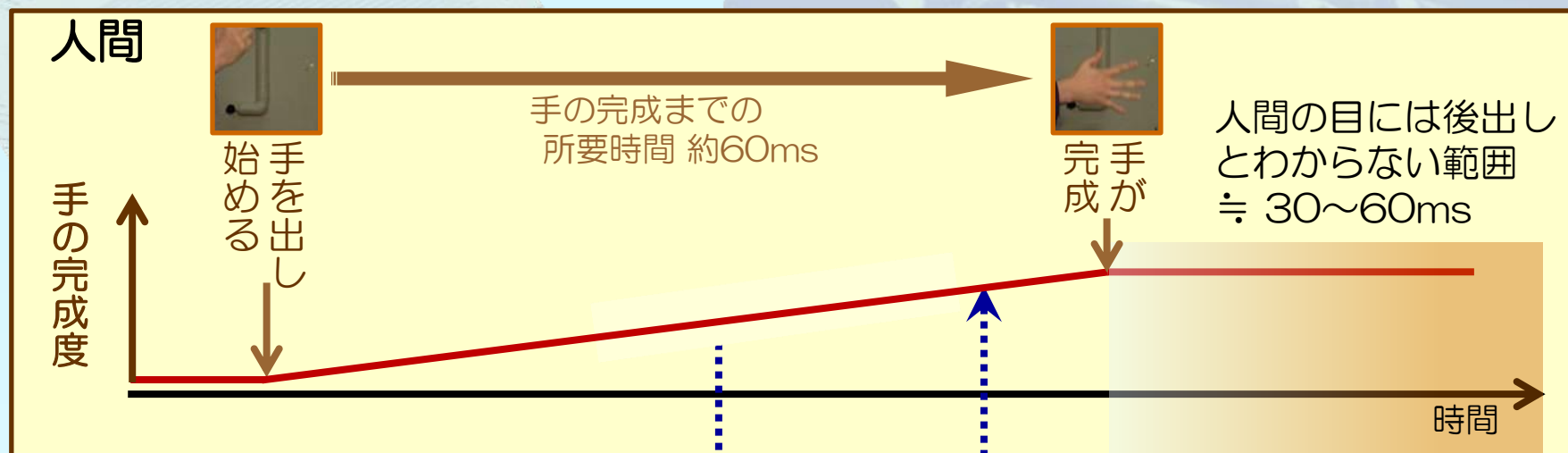
Janken (rock-paper-scissors) Robot with 100% winning rate



After the high-speed vision recognizes shape of human hand, put the robot hand out to beat them within 1 ms.

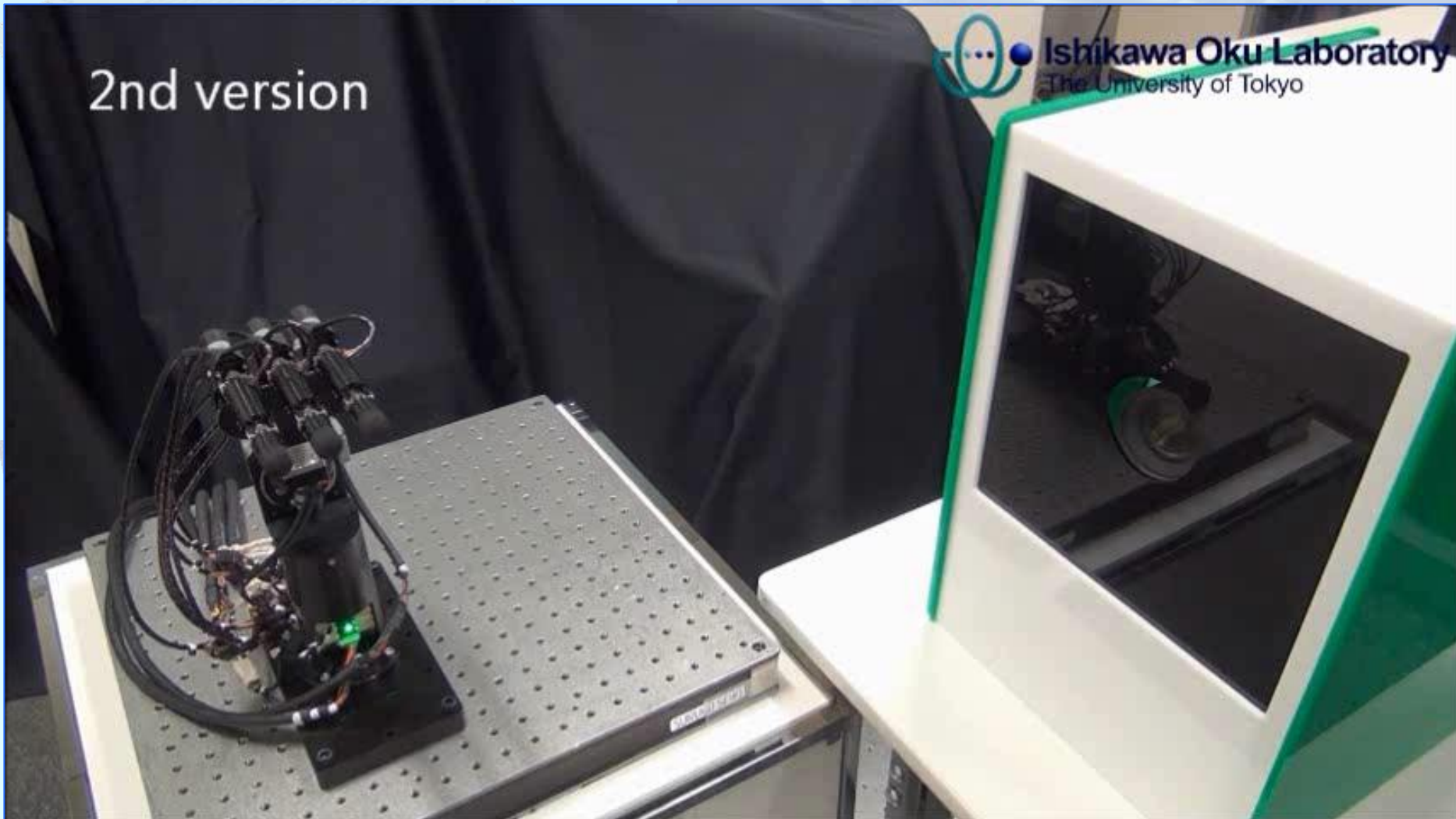
じゃんけんロボットの動作

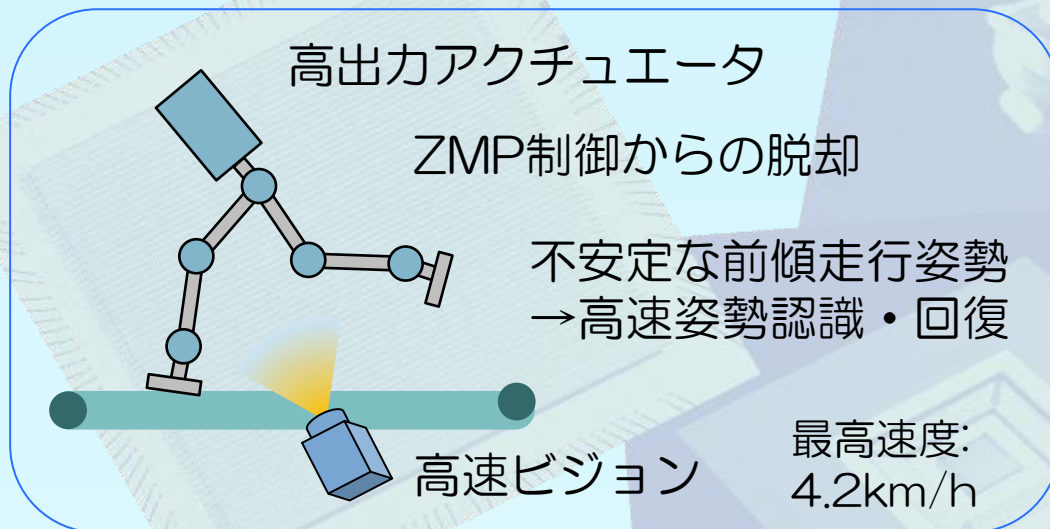
2012年6月26日: YouTube に Up → 28日:100万 → 30日:200万 → 7月8日:300万views
2014年11月1日: 新バージョンをUp → 11日: 50万 現在 ver.1:381万 + ver.2:62万 = 443views



じゃんけんロボットの動作

2012年6月26日: YouTube に Up → 28日:100万 → 30日:200万 → 7月8日:300万views
2014年11月1日: 新バージョンをUp → 11日: 50万 現在 ver.1:381万 + ver.2:62万 = 443views





二足ロボットを高速ビジョンで制御して高速走行を実現

瞬間的な行動
(高出力アクチュエータ)



瞬間的な認識
(高速ビジョン)

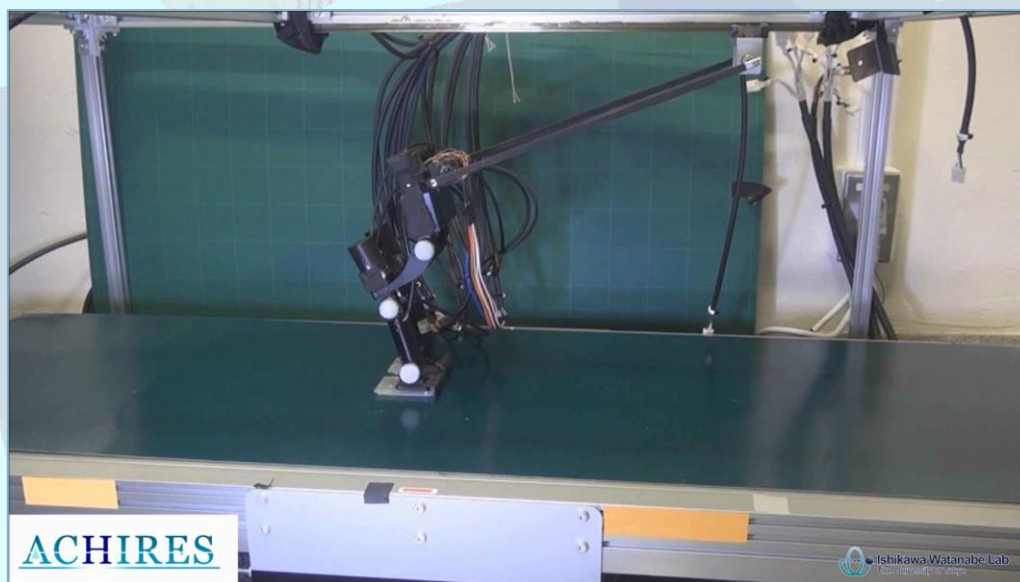


転倒回避のための

- ・ バランス回復可能な許容範囲が拡大
- ・ 反応スピードが増加

転倒しそうになったら、走行軌道を瞬時に修正して許容範囲へ回復する動作を繰り返す。

通常の二足ロボット：
転倒しないための狭い許容範囲で走行軌道を生成

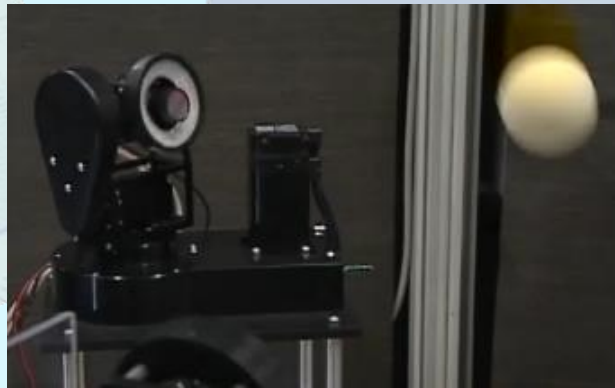


野球ロボットの実現に向けて

Throwing



Tracking



Batting



Running



Catching



野球 = Throwing + Tracking + Batting + Running + Catching

自動車/セキュリティ

社会システム

基本コンセプト

高速ビジョン

ヒューマンインターフェイス

産業応用/検査

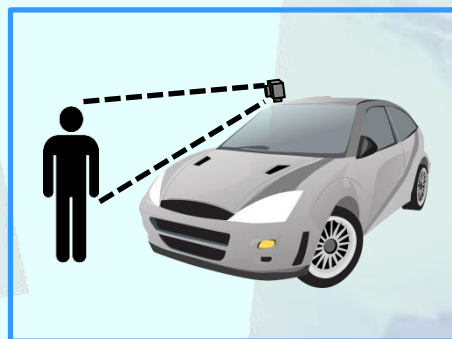
バイオ/医療

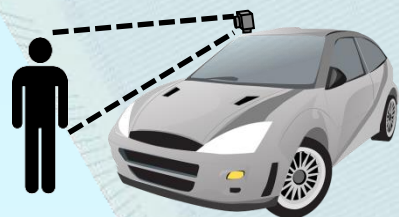
ロボットアーム

ロボットハンド

~~自動車/セキュリティ~~

まとめ





自動車 ITS
鉄道 飛行機

自動運転 (前方・遠方・後方・側方監視)

近未来では自動車運転補助。将来は完全自動運転の実現。車車間・路車間制御。群走行制御。駐車・車庫入時対応。飛行体(飛行機・ヘリコプター)の視覚制御・無人計画飛行、空撮情報取得。

路面・障害物検出・リアルタイム環境情報取得

実走行時の路面・架線等の3次元形状計測。障害物・衝突対象の瞬時検出。完全マップの取得と活用。環境情報取得・ネットワーク化。

交通流制御

交通流計測・全車追跡。信号の知能化。死角の衝突情報の提供。

監視カメラ (人物追跡・高速高精度動画記録)

ビル内のID付き完全人物追跡。見逃しの防止による高信頼化。カメラからの知的選択出力による不要情報の除去と必要情報の選択によるスロー再生可能な高分解能監視カメラの実現。危急時の自動制御の実現。

高精度顔認識・個人識別

能動的顔トラッキングによる高精度顔画像取得。POS陳列棚等の視線検出。



セキュリティ
建物管理

まとめ

基本コンセプト
高速ビジョン
ヒューマンインターフェイス
産業応用/検査
バイオ/医療
ロボットアーム
ロボットハンド
自動車/セキュリティ
まとめ

高速ビジョンとその応用システム

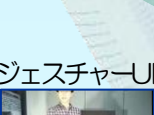
Khronos Projector



3次元表現



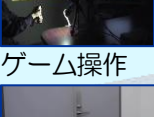
映像メディア



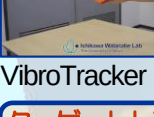
ジェスチャーUI



ゲーム操作



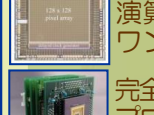
VibroTracker



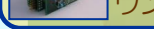
ターゲットトラッキング



完全並列・特定用途・レンズ付



画素並列演算機能限定ワンチップ



完全並列プログラマブルワンチップ



高速ビジョンの開発

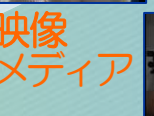


画素並列プログラマブル汎用カメラ利用

3D入力



デフォーダブル3D



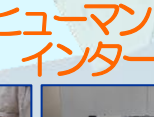
空中3D入力



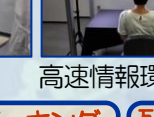
マウス操作



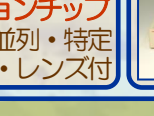
ゲーム操作



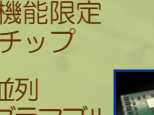
高速情報環境



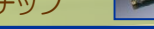
列並列ビジョンシステム



PD分離型汎用ビジョンシステム



高速ビジョンの開発



画素並列プログラマブル汎用カメラ利用



画素並列プログラマブル汎用カメラ利用



Sticky Light



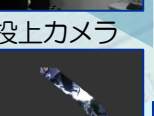
Modality Transform



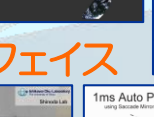
高速ジェスチャー



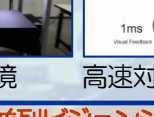
投上カメラ



るみペン



1ms Auto Pan-Tilt



1ms Visual Feedback



1ms High-Speed Vision Target Position Recognition



1ms High-Speed Vision Target Position Recognition



1ms High-Speed Vision Target Position Recognition



1ms High-Speed Vision Target Position Recognition



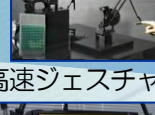
SensingDisplay



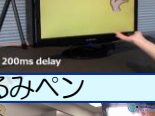
どこでもキーボード



AIRR Tablet



3D Display操作



3D形状計測



個数形状検査



3D形状計測



高速可変焦点レンズ



能動ビジョン



全焦点画像



ネットワークカメラ



ITS、自動運転、室内外監視、障害物検出・回避



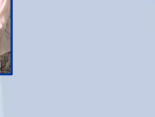
セキュリティ



個人追跡、動体検出、個人認証



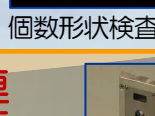
バイオ医療



微生物追跡



高速細胞検査



FA高速検査



トンネル検査



3D形状計測



書籍電子化 auto



書籍電子化 solo

バットイング

スローイング

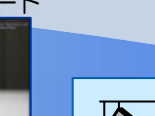
衝突回避

ベグインホール

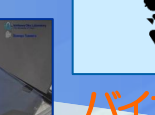
自動車交通



じゃんけんロボット



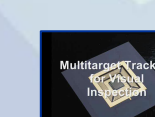
じゃんけんロボット2



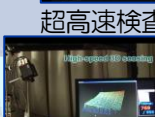
高速走行ロボット



ピンピッキング



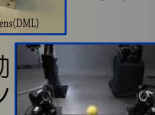
超高速ロボットハンド



ペン回し



柔軟体操作



コネクタ挿入



スピニング



高速ドリブル



空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

リグラスピング

空中キャッチ

生卵キャッチ

ボールキャッチ

本日の講義の関連資料は、以下から入手可能です。



研究室ホームページ [動画もあります] → 約100万アクセス/年
<http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/index-j.html>

研究成果集 [A4×178頁] 数千～1万ダウンロード/年
<http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/Booklet/all.pdf>

ビデオ集 (88本のビデオ) とセットで発売中！



YouTube Ishikawa Watanabe Laboratory チャンネル
<http://www.youtube.com/IshikawaLab>

Facebook Ishikawa Watanabe Laboratory ページ
<https://www.facebook.com/IshikawaLab>



YouTube Ishikawa Watanabe Laboratory Channel (2014.11.4 現在)

IshikawaLab Channel 動画数 58 登録者数 2,422 動画の再生回数 626万回
他で紹介された当研究室のビデオの主要なものを含めた再生回数 1,326万回

<比較> (2014.7.3 現在)	動画数	登録者数	動画の再生回数
Harvard大学のChannel	1,809	188,354	2,741万回
Stanford大学のChannel	2,224	399,961	7,825万回
MIT Media LabのChannel	66	7,587	244万回