

---

知能制御システム学

高速視覚システムと  
高速ビジュアルフィードバック

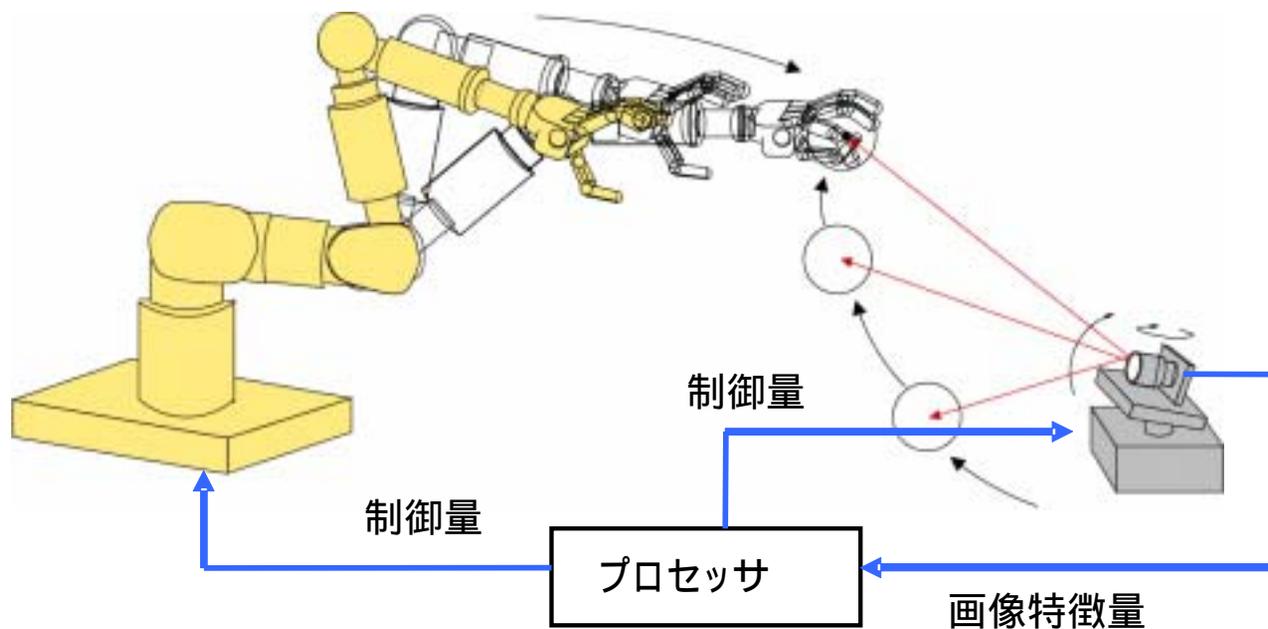
東北大学 大学院情報科学研究科

鏡 慎吾

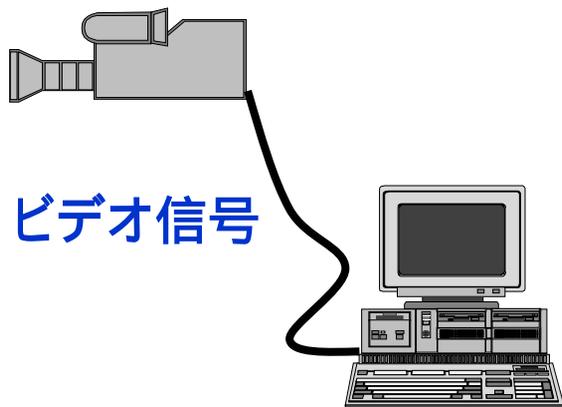
swk(at)ic.is.tohoku.ac.jp

2005.04.12

# ビジュアルフィードバック制御



# 「高速」かつ「リアルタイム」なビジョンシステム



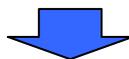
従来の視覚処理システム:

- CCD等のイメージセンサ+コンピュータ
- 30 ~ 60 フレーム/秒
- 高速な動きをとらえることができない

高速ビデオカメラの世界  
( > 1000フレーム/秒 )

+

リアルタイム視覚処理



高速リアルタイムビジョン

Video cited from [Photron]

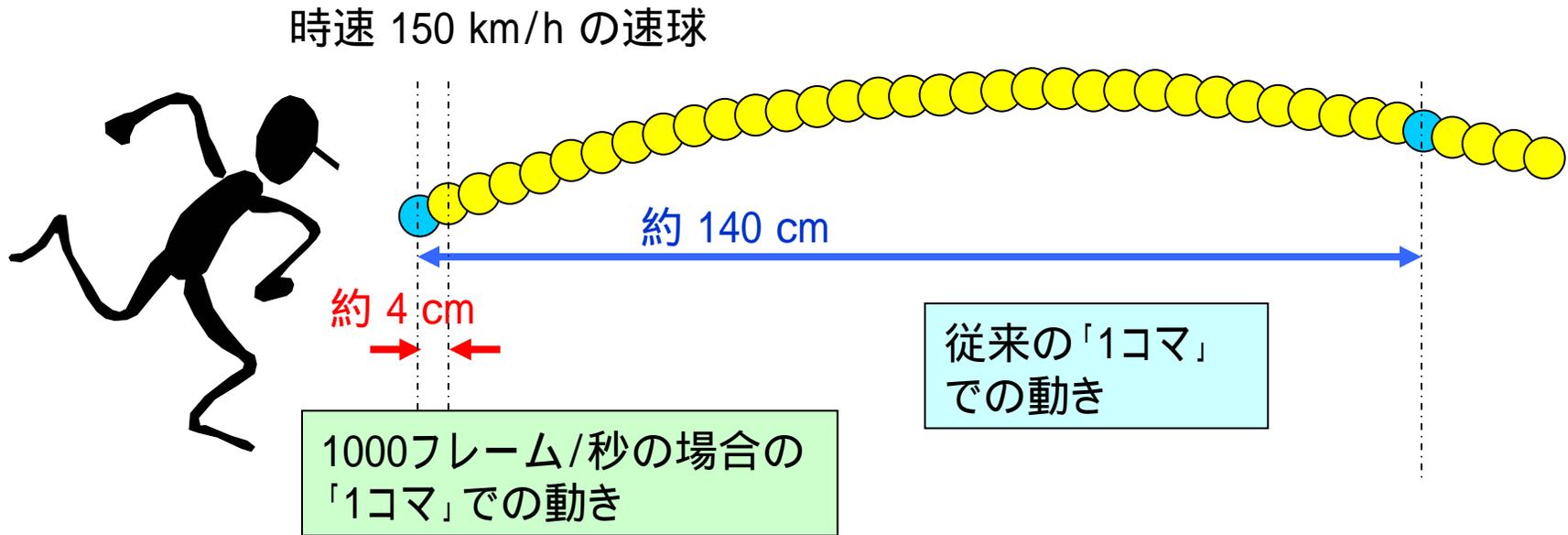
# 高速対象追跡のデモ



対象を視野の中心で捉えるように, カメラのパン・チルトの2軸を高速に制御 (視覚フィードバック制御)

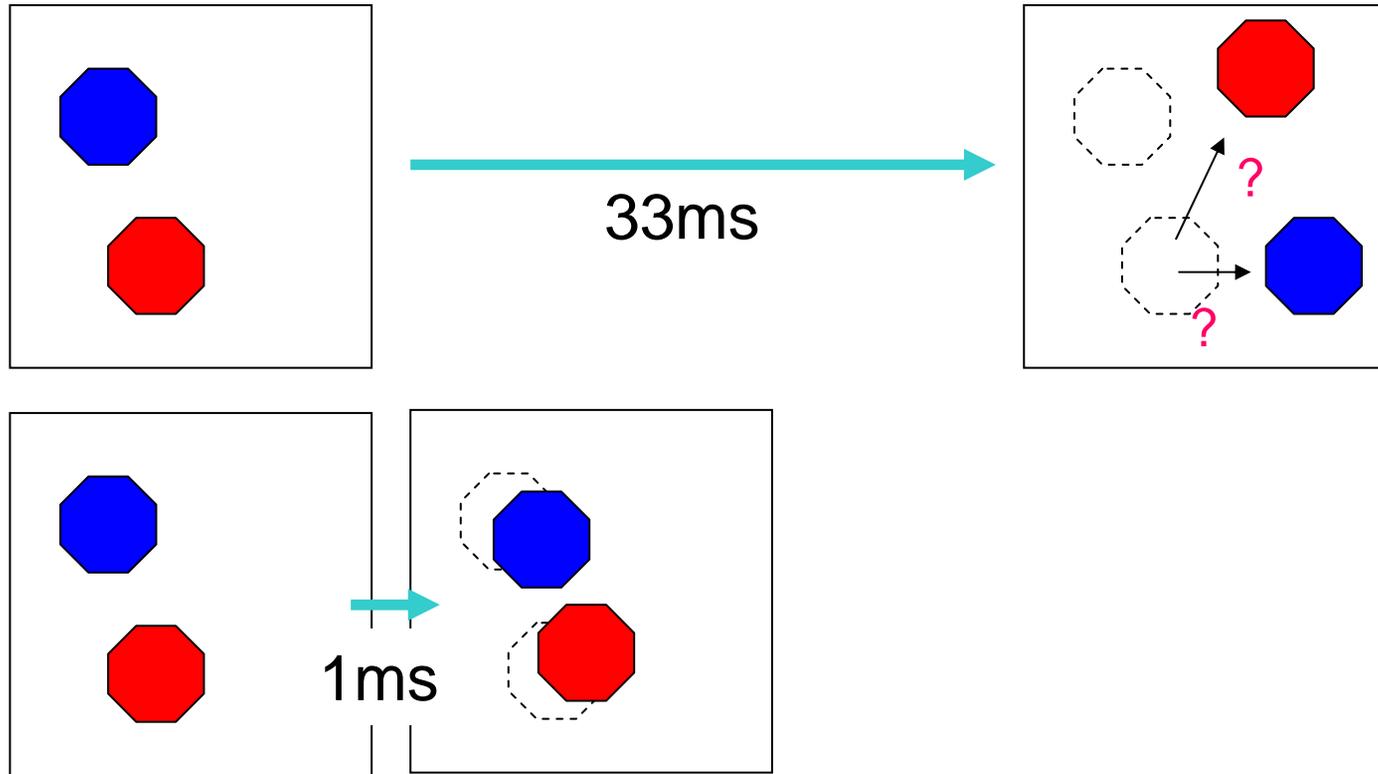
[中坊1999]

# なぜ高速ビジョンか？



高速な動きを确实・正確に認識できる

# なぜ高速ビジョンか？

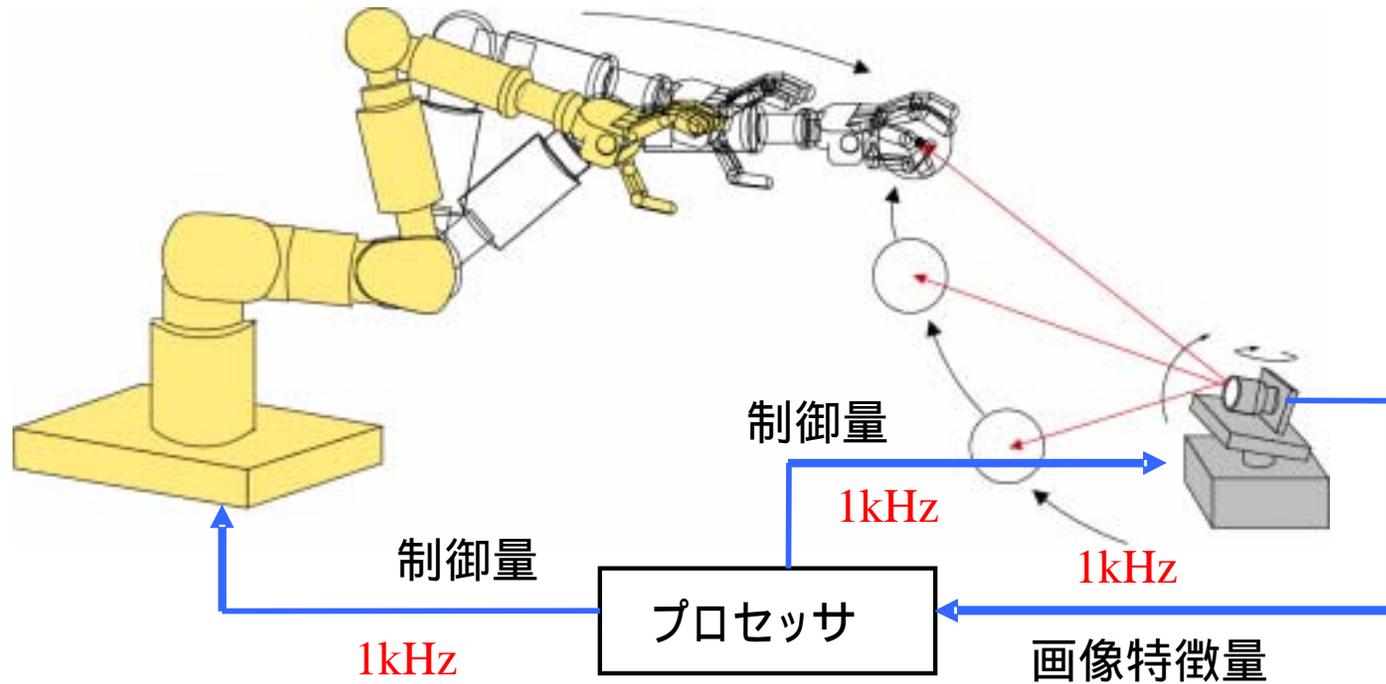


画像処理が簡単になる

さらなる高速化が可能

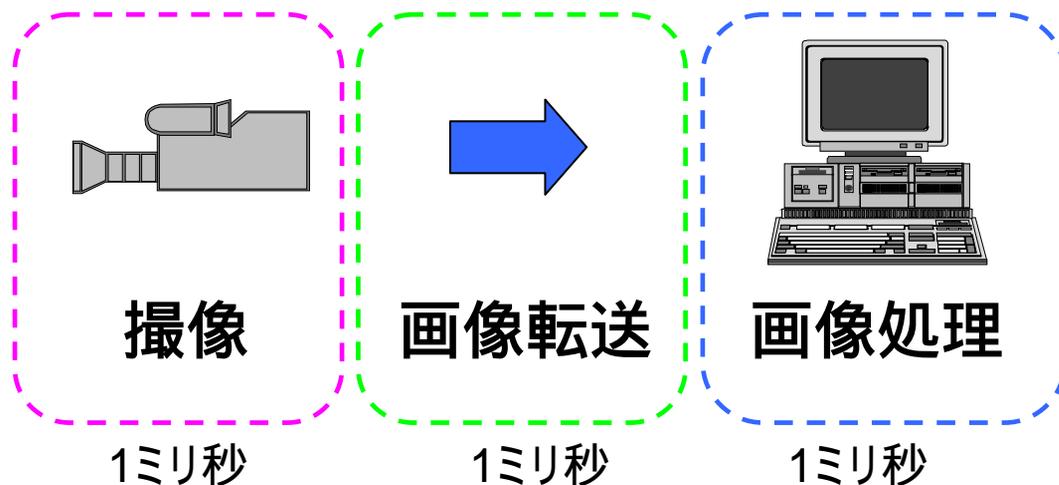
[石井1999]

# なぜ高速ビジョンか？



視覚フィードバック制御に十分なレート

# 高速ビジョンシステム実現のためには

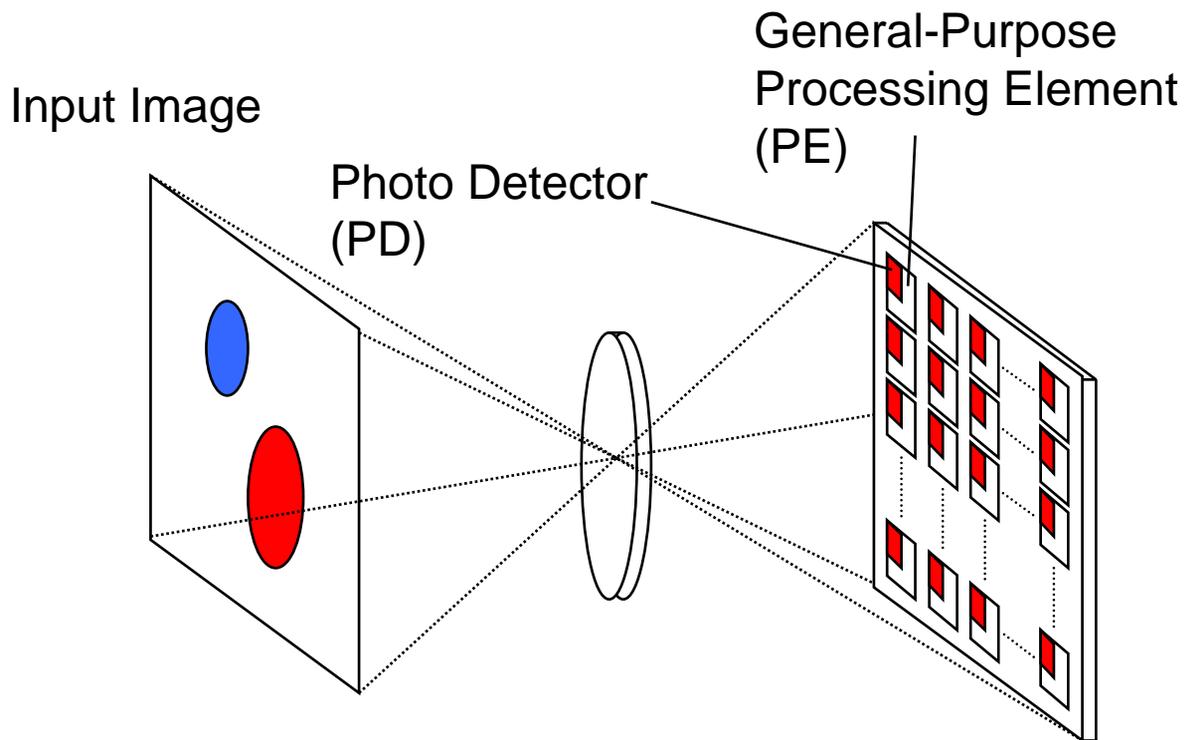


**すべてを高速化しなければならない**  
(高速化されない部分がボトルネックになる)

我々の2つのアプローチ:

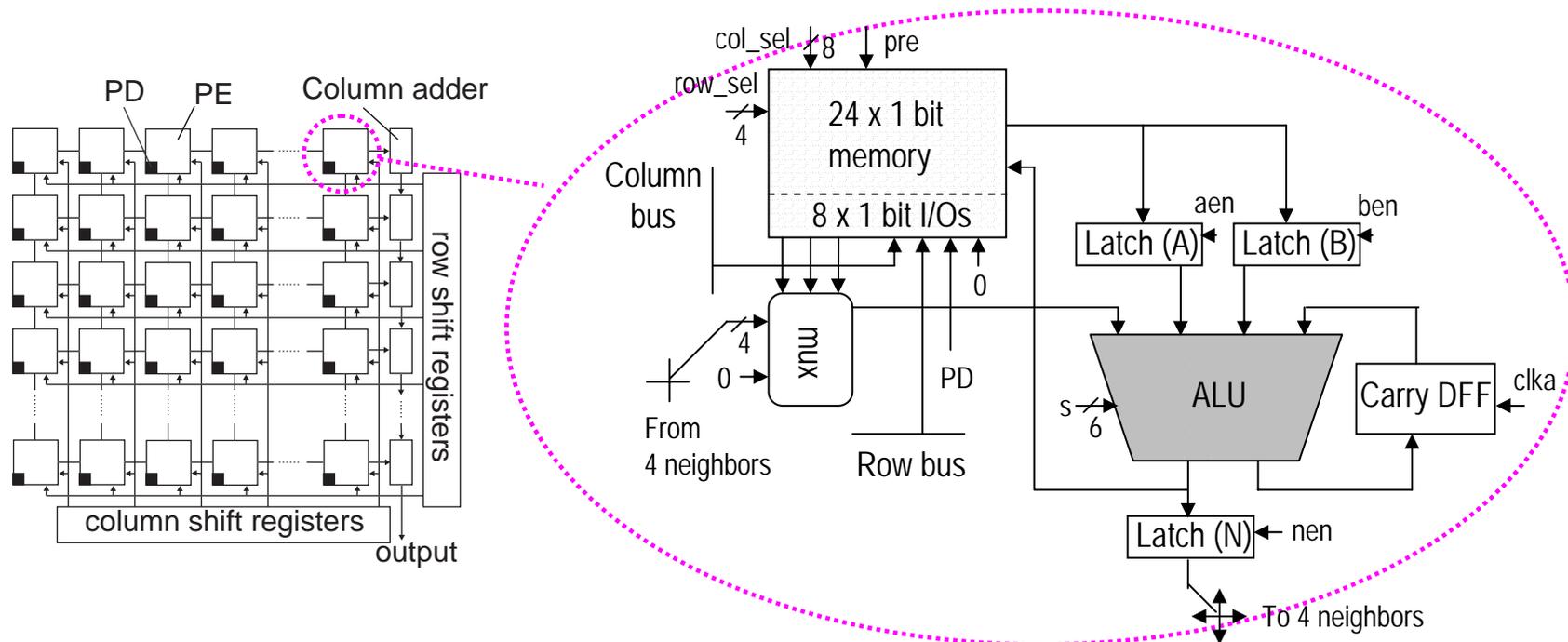
- 高速イメージセンサと並列画像プロセッサをワンチップ化
- 高速イメージセンサと並列画像プロセッサ間で高速転送を実現

# 「ビジョンチップ」によるアプローチ



- CMOSイメージセンサの各画素に処理回路を集積
- 「画像の転送」がそもそも不要
- 小型・ワンチップ

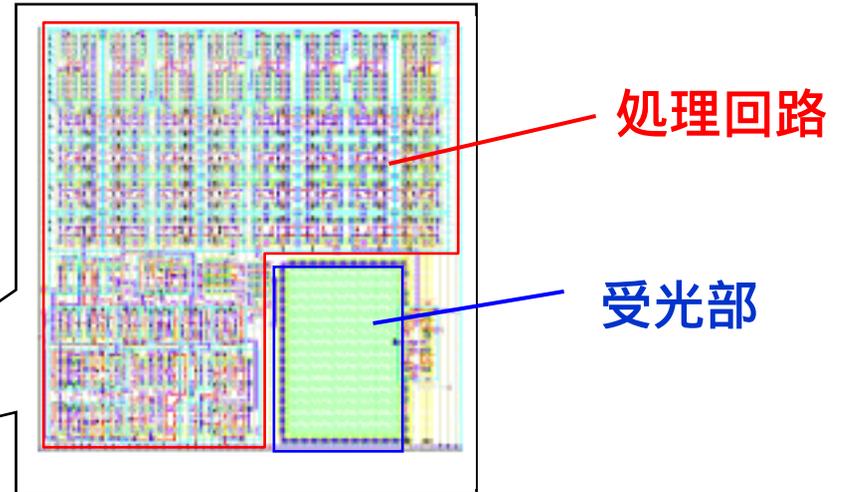
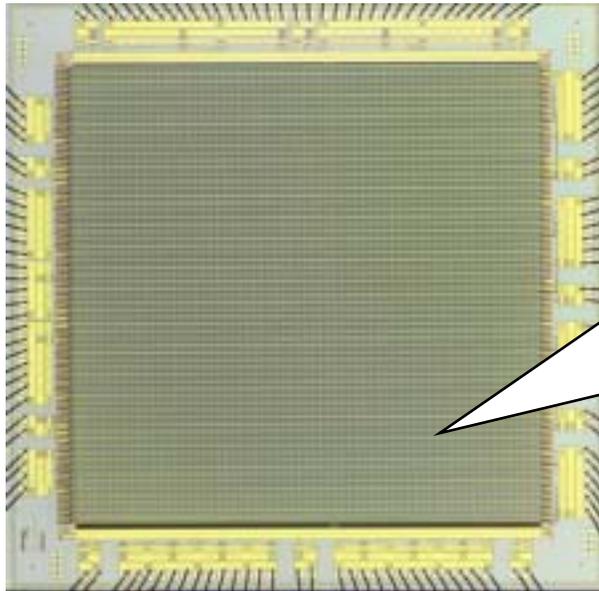
# ビジョンチップの構造



- CMOSイメージセンサ 処理回路の集積が容易
- 各画素に, デジタル処理回路を集積
- 与えられた命令を, 全画素が同時に実行 (SIMD型並列処理)
- プログラムによって, さまざまな画像処理を実現

[小室2003]

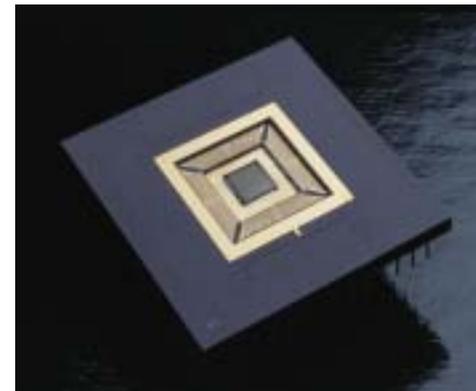
# ビジョンチップ V5.1



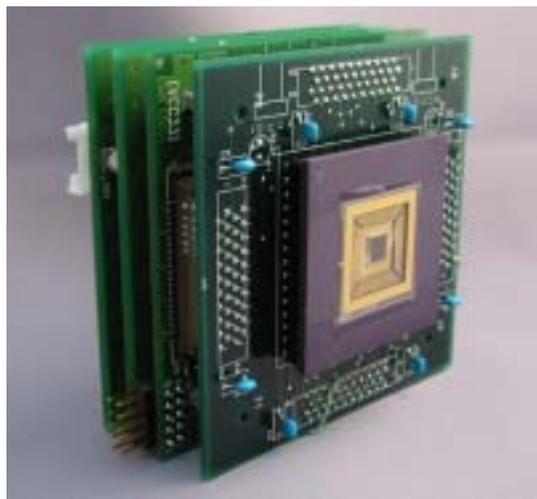
(1画素の拡大)

- ・ 0.35 $\mu\text{m}$  CMOS プロセス
- ・ 64 × 64画素
- ・ pixel area: 67.4 $\mu\text{m}$  x 67.4 $\mu\text{m}$
- ・ chip area: 5.4mm x 5.4mm

[小室2003]



# 視覚処理システム VCS-IV

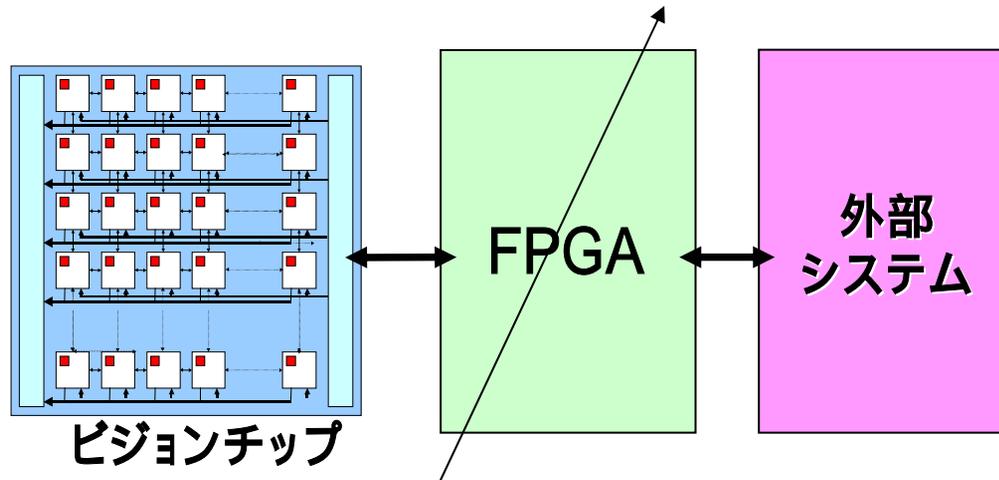


XILINX XC2V1000 を使用

- 専用コントローラ, 電源回路, インタフェース回路などをモジュール化, 必要に応じてスタックして利用
- FPGA を利用

[鏡2005]

# FPGAとは?



自由に書き換え可能なデジタル回路  
(Field Programmable Gate Array)

- (1) さまざまなセンサチップに対応可能
- (2) さまざまな外部システムとインタフェース可能

# FPGA の原理

メモリ(ルックアップテーブル)と  
スイッチ・配線がたくさん集積されている

addr	data
00	0
01	0
10	0
11	1



in1	in2	out
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

1ビット×4ワードのメモリ

ANDゲート

メモリの内容を書き換えるだけで、違う論理ゲートを作ることができる

# ビジョンチップの視覚処理結果



6-bit グレイスケール

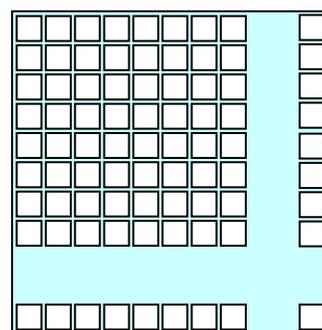
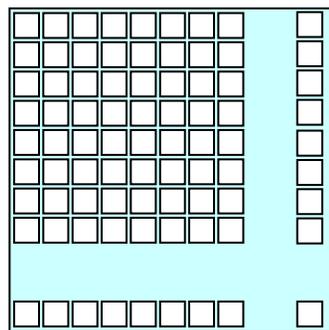


エッジ検出



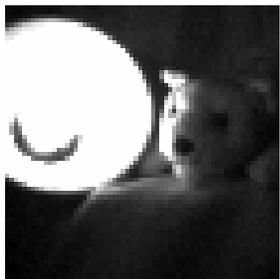
重心検出

さまざまな画像処理を実行 対象の位置, 大きさ, 向きなどの  
「特徴情報」をチップから直接出力できる (データ量の圧縮)

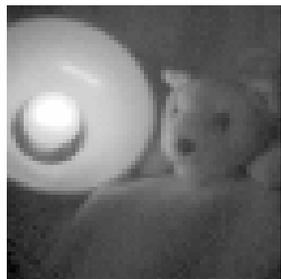


$$\mathbf{g} = (30.4, 25.6)$$

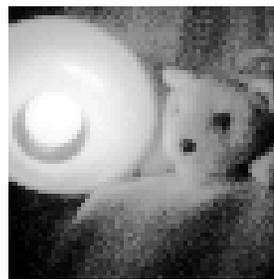
# ビジョンチップの視覚処理結果



比例スケール

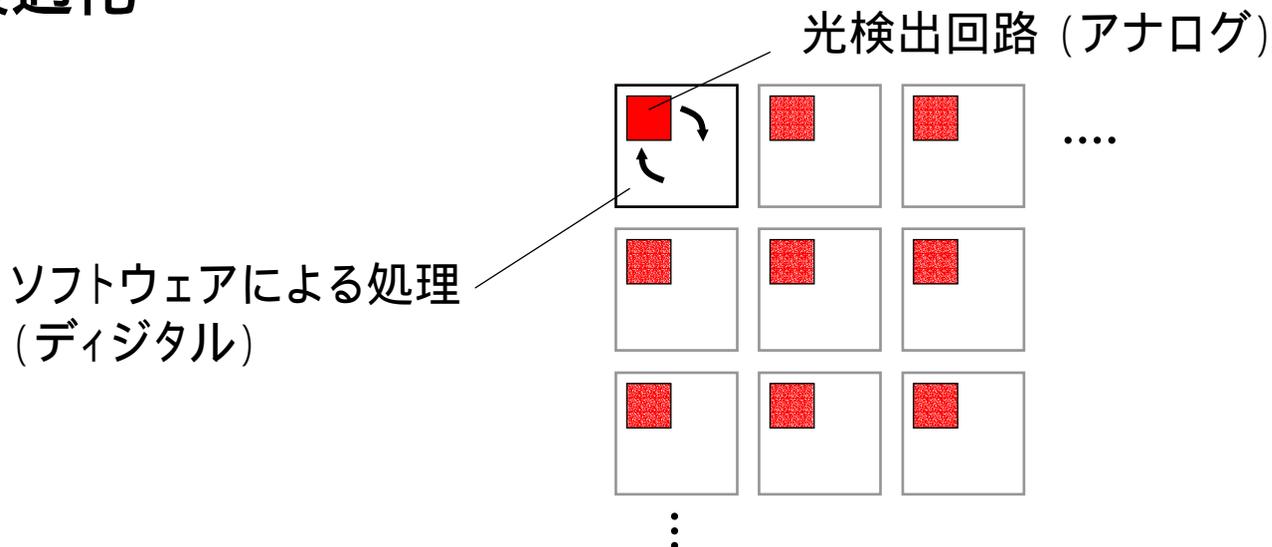


対数スケール



ヒストグラム均等化

「撮像の過程」を柔軟に制御できる 広いダイナミックレンジ, 画質最適化



# 対象追跡チップ

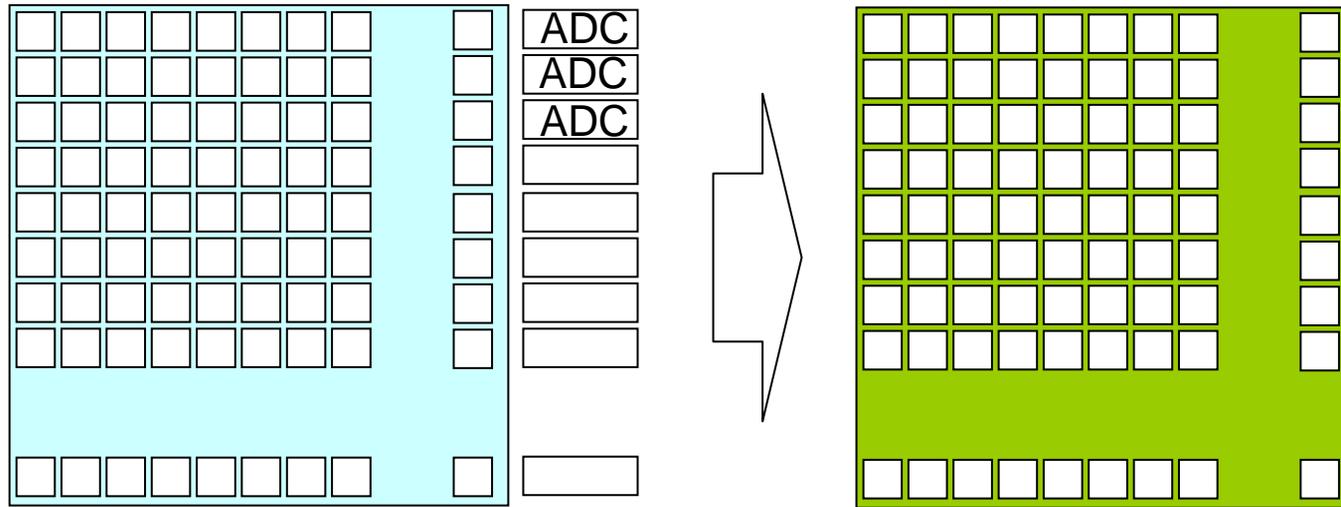


- ・ キラーアプリケーションである対象追跡に機能限定 小型化・低コスト化
- ・ 1/6型,  $32 \times 48$  (1,536) 画素
- ・ 外形寸法: 13.4 (幅) x 14.3 (高さ) x 7.4 (奥行き) mm
- ・ USB 評価キット



日本プレジジョン・サーキット(株)と共同開発  
[小室2004]

# 高速画像転送によるアプローチ

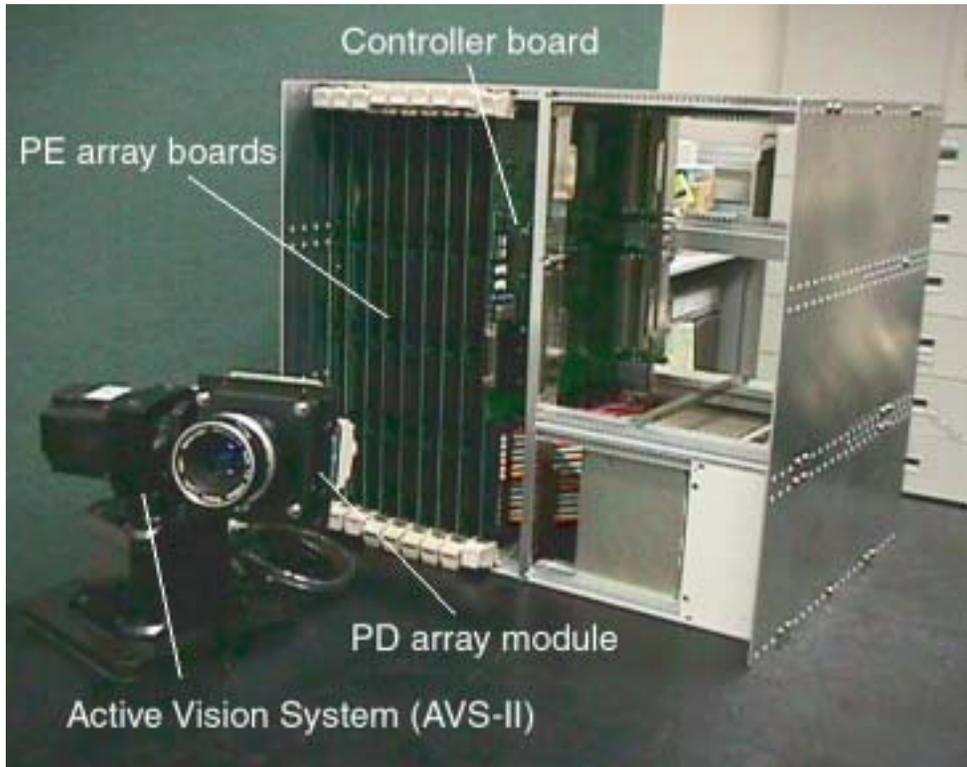


光検出素子アレイ 列並列A-D変換器

処理回路アレイ

- 光検出素子の出力を列並列A-D変換
- デジタル信号を高速に画素並列プロセッサに転送
- 処理部は、(基本的に)ビジョンチップと同一の構造

# CPV-I システム

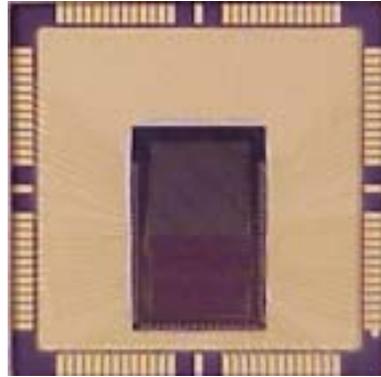


- 128 × 128画素
- XILINX XC4044XL 128個で  
並列処理アレイを構成  
(ボード8枚)

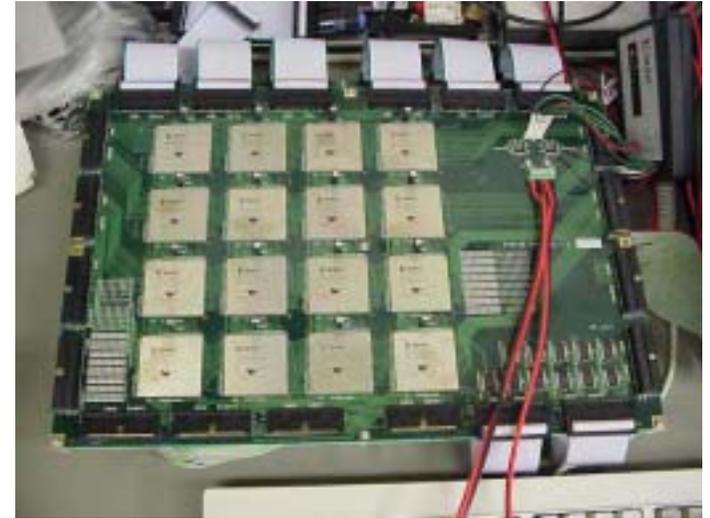
浜松ホトニクス(株)との共同研究

[中坊1999]

# CPV-II システム



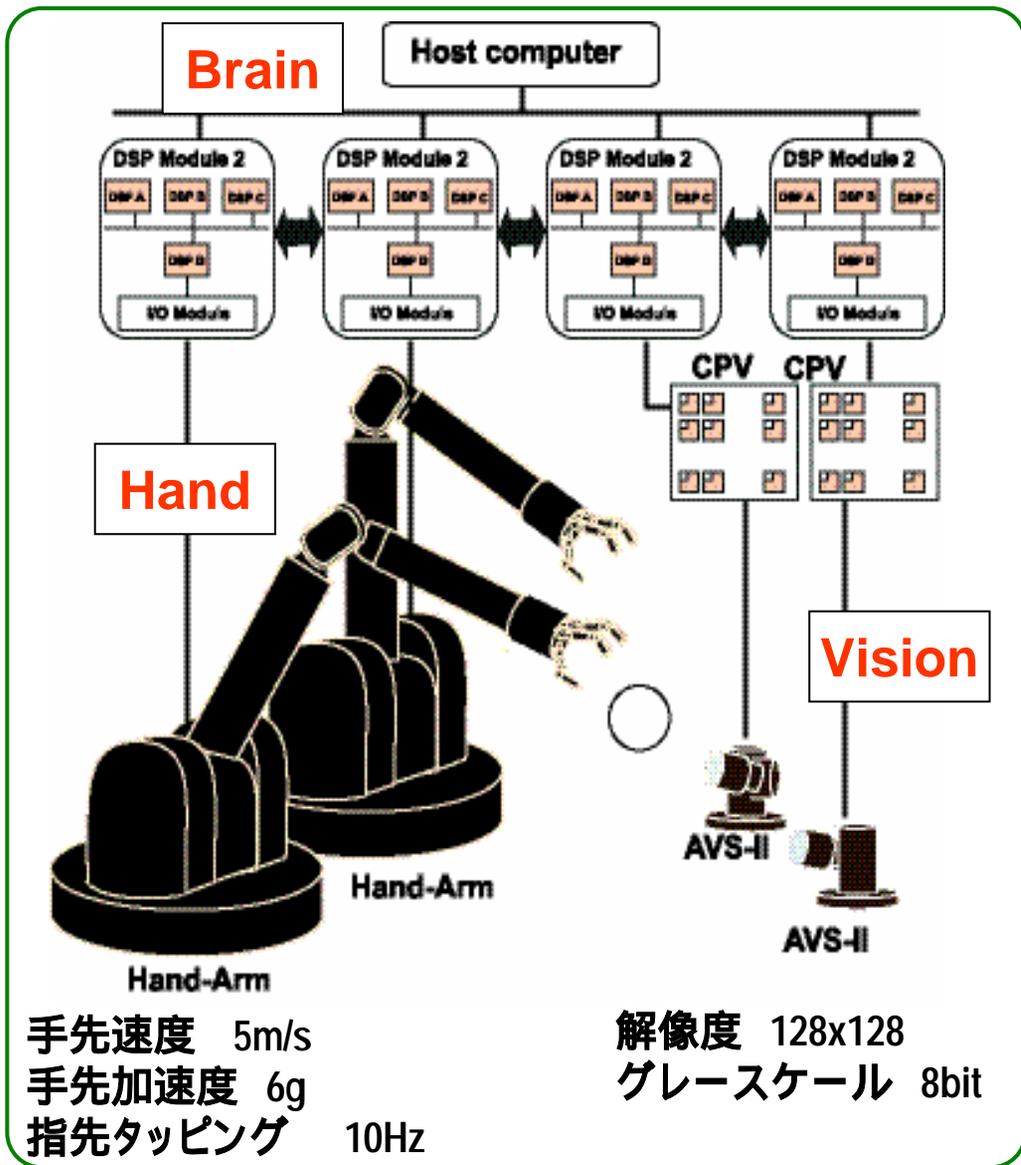
光検出素子  
+ADC



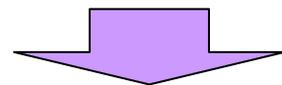
- 128 × 128画素
- XILINX XCV1000E 16個で  
並列処理部を構成

浜松ホトニクス(株)との共同研究  
[豊田2001]

# 1ms 感覚運動統合システム



- 階層並列制御システム (DSP)
- 高速アーム + 高速多指ハンド
- 双眼高速アクティブビジョン + CPVシステム



1ms センサフィードバック  
(視覚、力覚、内界センサ)

[並木2001]

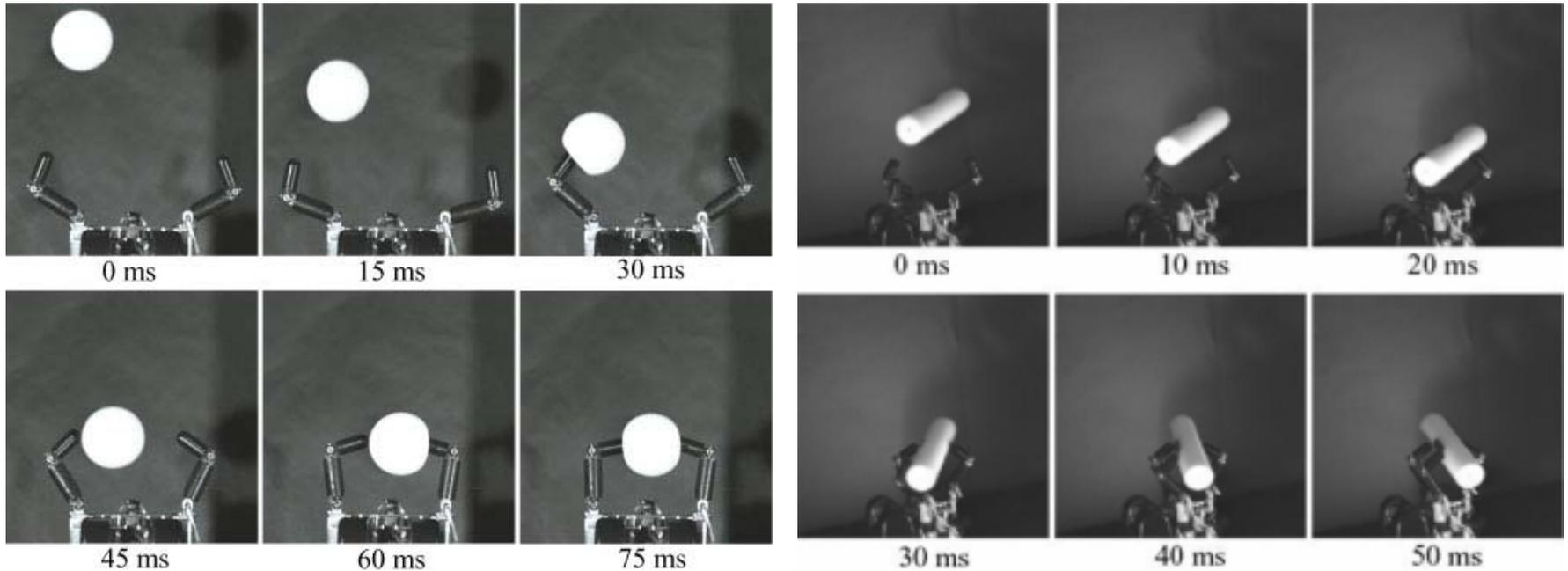
# 高速ロボットアームによる把握動作



- 2台の高速ビジョンで対象の3次元位置を追跡
- 素早く不規則な動きにも追従し, 把握可能

[並木2001]

# 高速ハンドによる捕球動作

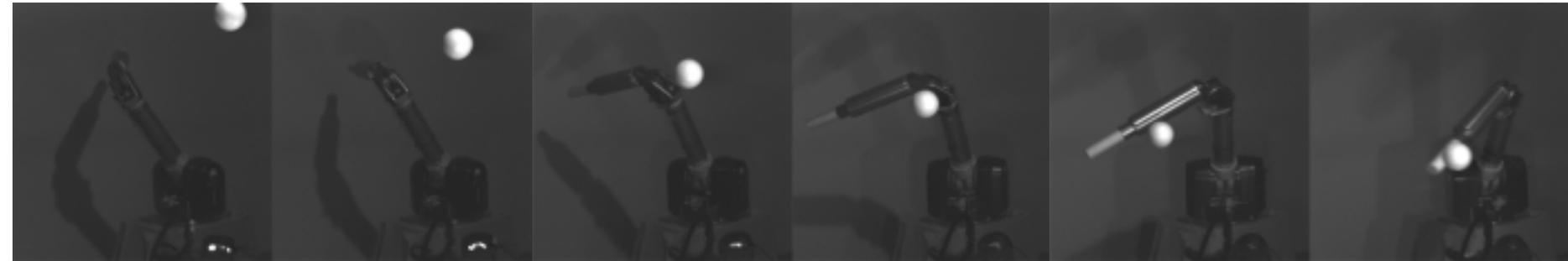


(株)ハーモニック・ドライブ・システムズの協力を得て高速ハンドを開発

**落下する物体を指先でキャッチング**  
(つかみやすい姿勢にする能動的操作が実現できている)

[今井2004]

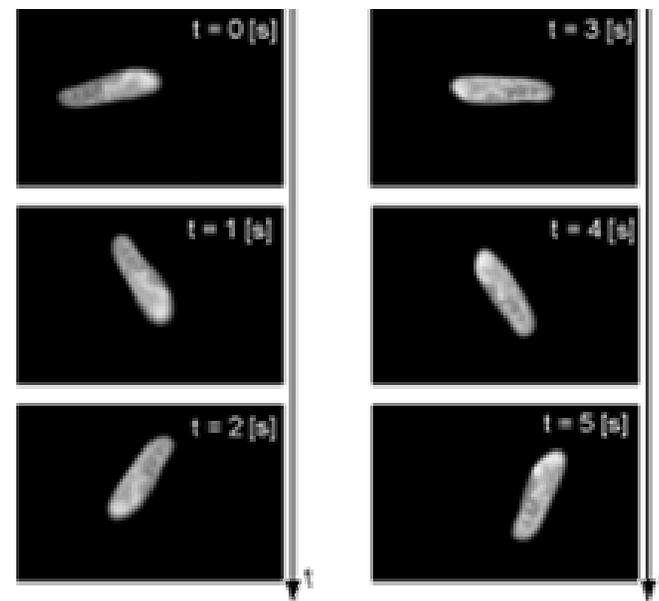
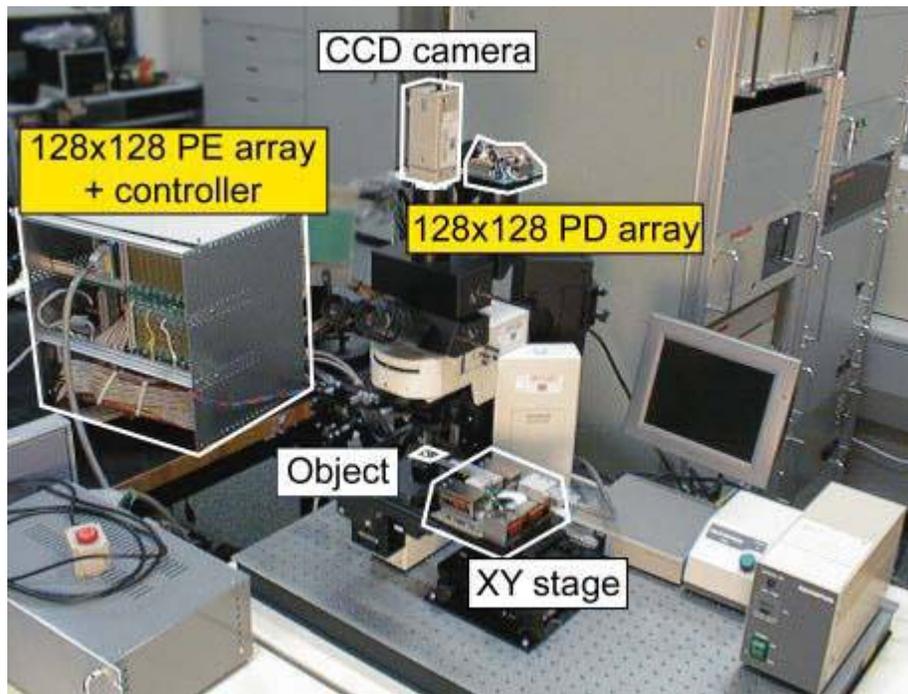
# ロボットアームによるバッティング動作



- バットを高速に振り切る動作と、ボールの動きに追従する動作を両立して、バットの芯で打撃
- 2.5m 離れたところから、5 ~ 8m/s のボールを投球
- 成功率 90% 程度

[妹尾2005]

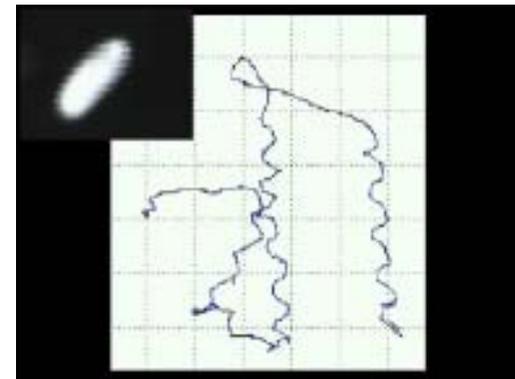
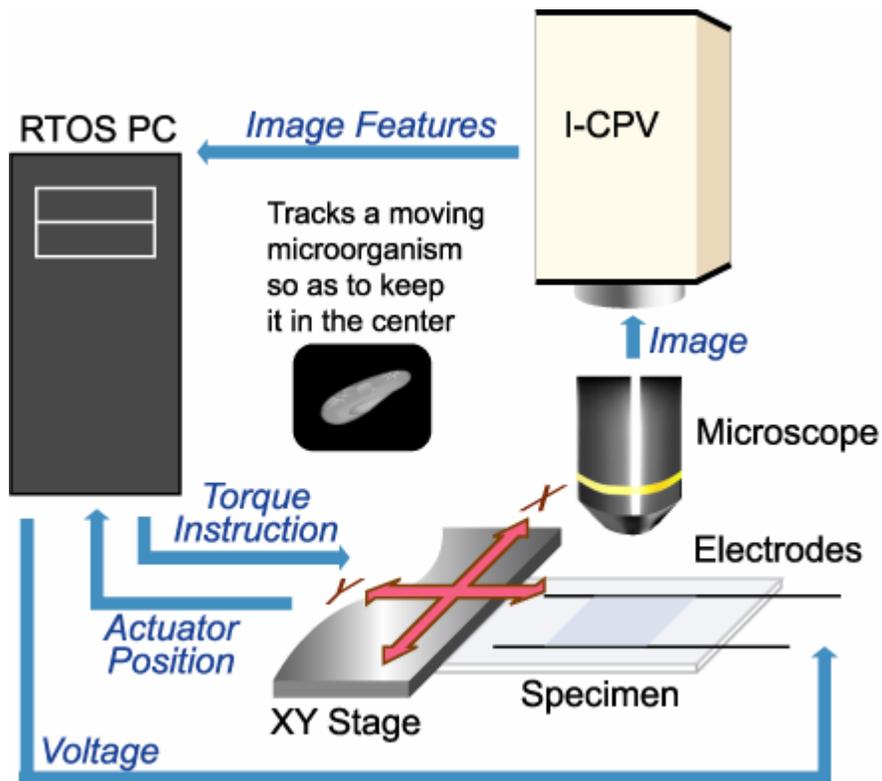
# 顕微鏡システムへの応用



- 顕微鏡下の観察対象がつねに視界の中央に来るように XY ステージを制御
- バイオテクノロジー, マイクロマシンへの応用

[奥2001]

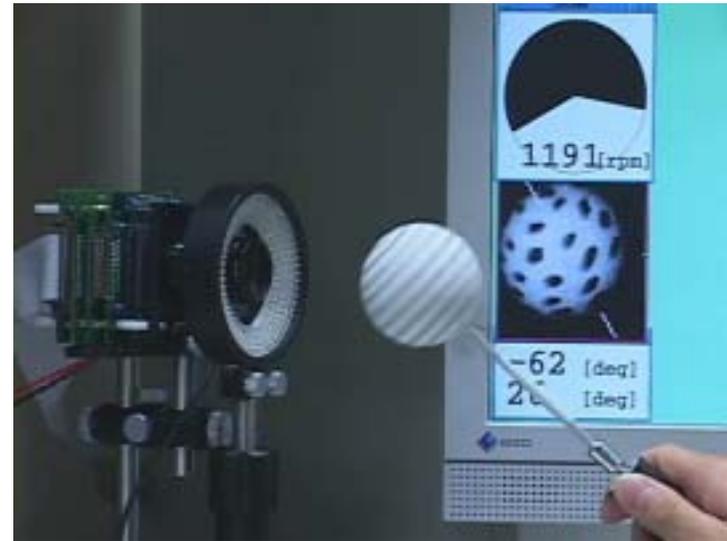
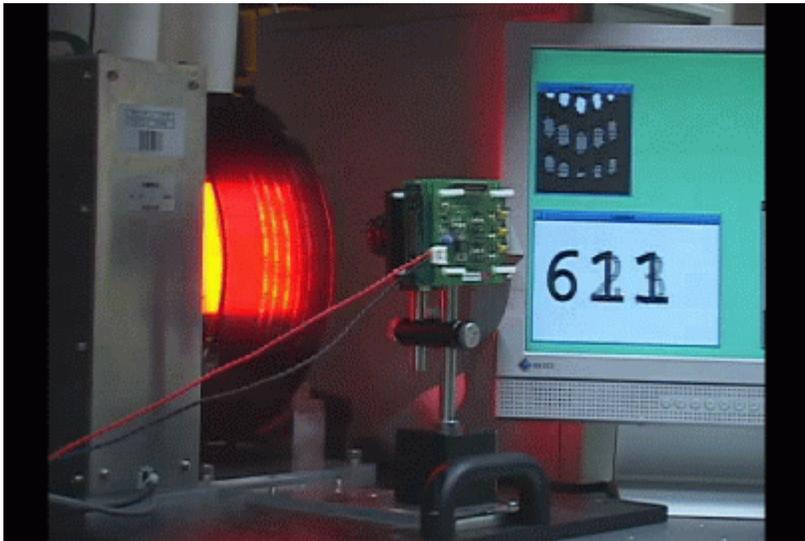
# 微生物の観察・制御



- 微生物(ゾウリムシ)の動きを追跡
- 電場を生成することで, その動きを制御

[尾川2003]

# 高速計測・検査応用



多数の対象の同時追跡処理をベースとした計測応用

- 対象計数システム
- 回転計測システム

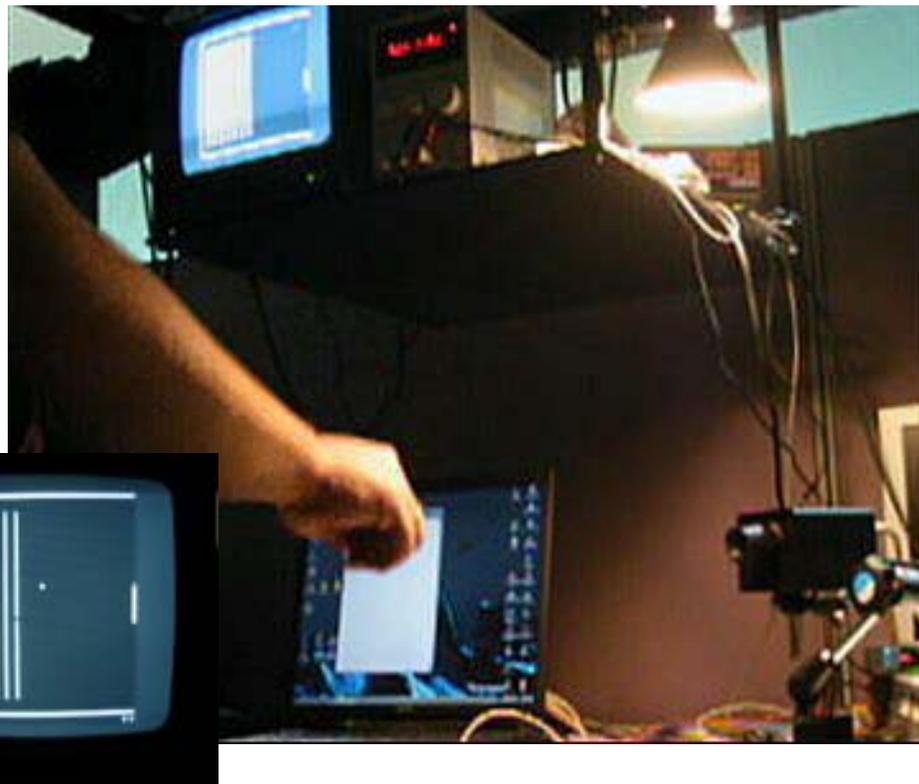
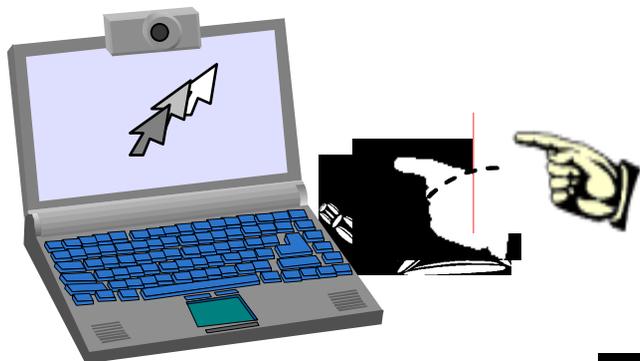
[渡辺2003]

# アミューズメント応用



(株)セイコープレジジョンによるデモ  
高校生クイズに登場 高校生誰も勝てず

# ヒューマンインタフェースへの応用



コンピュータ機器やゲーム機器へのジェスチャ入力・認証システムへの応用などが期待できる

[Ebert 2004]

# さまざまな応用分野

## ヒューマンインターフェイス

- ・ コンピュータ用入力装置
- ・ ゲーム用入力装置



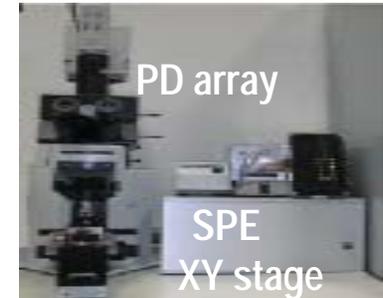
## 超高速ロボット

- ・ 製造ラインの高速化
- ・ ロボットの高性能化



## バイオ / 医療

- ・ 遠隔医療システム
- ・ 外科手術の補助



## 目視検査の自動化

- ・ 製造ラインの高速化
- ・ 無停止製造ラインの実現



**自動車**: ITS (自動運転、室内外監視、障害物検出・回避)

**セキュリティ**: 人物トラッキング、動物体検出、個人認証

**メディア**: 映像制御、対象物追跡

**ナノ・マイクロマシン**: 位置フィードバック制御、対象認識

**半導体製造**: 検査装置、位置決め

# まとめ

高速リアルタイムビジョンシステムの構成と、高速ビジュアル  
フィードバックのさまざまな応用を紹介した

- ビジョンチップによるアプローチ
- 高速画像転送によるアプローチ
- 応用事例: ロボティクス, 検査, インタフェース, バイオ・マイク  
クロ

# References

- [Photron] <http://www.photron.co.jp/products/image/hsvcam/admission/sample.html>
- [中坊1999] 中坊嘉宏, 石井抱, 石川正俊, 豊田晴義, 水野誠一郎: 列並列S3PEアーキテクチャによる超高速ビジョンシステム (CPV-I), 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'99 (東京, 1999.6.13) / 講演論文集, 1P1-65-096
- [石井1999] 石井抱, 石川正俊: 1msビジュアルフィードバックシステムのための高速対象追跡アルゴリズム, 日本ロボット学会誌, Vol.17, No.2, pp.195-201 (1999)
- [小室2003] 小室孝, 鏡慎吾, 石川正俊: ビジョンチップのための動的再構成可能な SIMD プロセッサ, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J86-D-II, No.11, pp.1575-1585 (2003)
- [鏡2005] 鏡慎吾, 小室孝, 渡辺義浩, 石川正俊: ビジョンチップを用いた実時間視覚処理システム VCS-IV, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J88-D-I, No.2, pp.134-142 (2005)
- [小室2004] 小室孝, 石川正俊, 石井抱, 吉田淳, 稲田喜昭, 小宮泰宏: 高速対象追跡ビジョンチップの開発, 計測と制御, Vol.43, pp.802-804 (2004)
- [豊田2001] 豊田晴義, 向坂直久, 田中博, 宅見宗則, 水野誠一郎, 中坊嘉宏, 石川正俊: 超高速インテリジェントビジョンシステム: CPV-II - センサ部および並列演算部の小型集積化 -, 第19回日本ロボット学会学術講演会 (東京, 2001.9.18) / 予稿集, pp.383-384
- [並木2001] 並木明夫, 中坊嘉宏, 石川正俊: 高速視覚を用いたダイナミックマニピュレーションシステム, 第19回日本ロボット学会学術講演会 (東京, 2001.9.19) / 予稿集, pp.389-390
- [今井2004] 今井睦朗, 並木明夫, 橋本浩一, 石川正俊, 金子真, 亀田博, 小山順二: 高速多指ハンドと高速視覚によるダイナミックキャッチング, 第9回ロボティクスシンポジア(那覇, 2004.3.9) / pp.517-522
- [妹尾2005] 妹尾拓, 並木明夫, 石川正俊: 高速ロボットシステムによるバッティングタスクの実現, 第10回ロボティクスシンポジア(箱根, 2005.3.14) / 予稿集, pp.75-80
- [奥2001] 奥寛雅, 石井抱, 石川正俊: マイクロビジュアルフィードバックシステム, 電子情報通信学会誌 D-II, Vol. J84-D-II, No.6, pp.994-1002 (2001)
- [尾川2003] 尾川順子, 奥寛雅, 橋本浩一, 石川正俊: 微生物の電気走性の継続観察システム, 第4回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2003), (東京, 2003.12.20) / pp.385-386
- [渡辺2003] 渡辺義浩, 小室孝, 鏡慎吾, 石川正俊: ビジョンチップのためのマルチターゲットトラッキングとその応用, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J86-D-II No.10, pp.1411-1419 (2003)
- [Ebert2004] Dirk Ebert, Takashi Komuro, Akio Namiki, Masatoshi Ishikawa: Safe Human-Robot-Coexistence: Emergency Stop Using a High-speed Vision Chip, The 22nd Annual Conference of the Robotics Society of Japan (Gifu, 2004.9.16)/Proceedings, 2E11