

# 深層学習認識を内包した 高速対象追跡アルゴリズム

広島大学 大学院先進理工系科学研究科  
スマートイノベーションプログラム  
教授 石井 抱

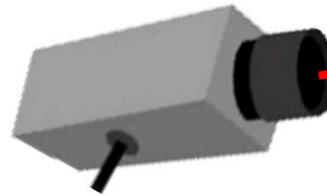
2022年2月17日

# トラッキング型広域監視システム

高速ビジョン = 数百コマ/秒以上の撮像・処理を行う実時間ビジョンシステム



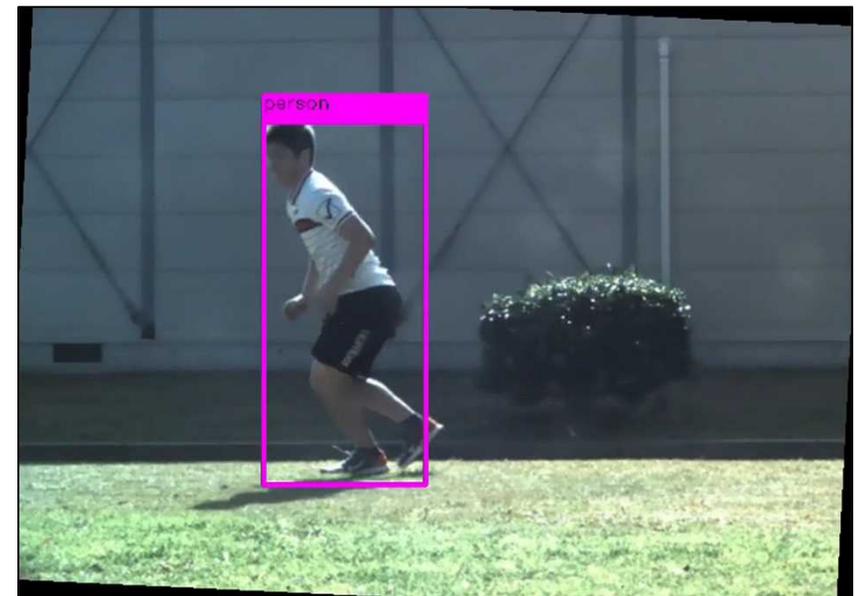
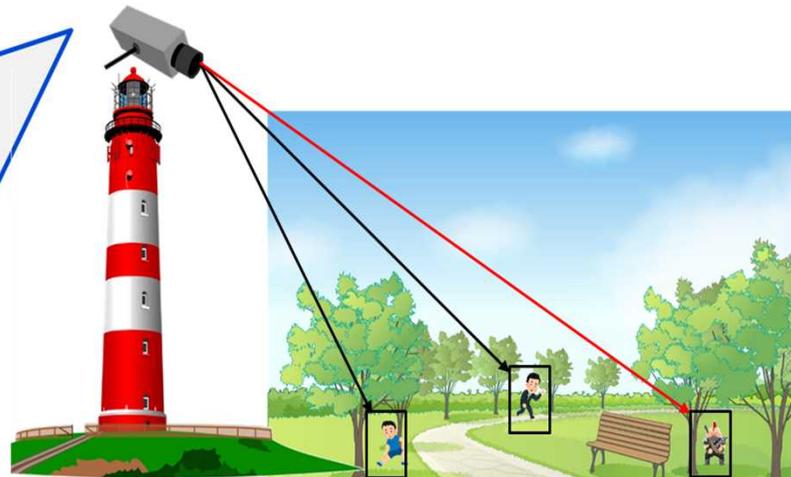
High-speed Tracking  
Optical Devices



Target

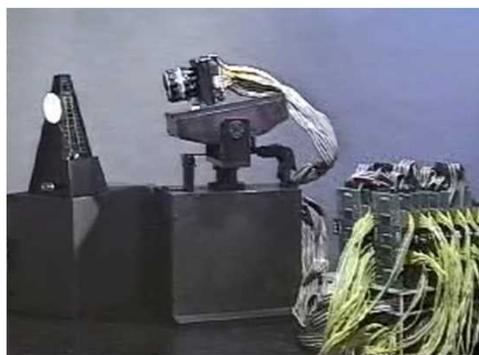
高速ビジョンを用いた  
広域ビデオサーベイランス

数百m先以上の遠隔人物・対象  
を高速ズームトラッキング認識



## 実環境下でのロバストな高速対象追跡に向けて

視覚フィードバックでの制御遅延を  
1msで実現した世界初システム



1msビジュアルフィード  
バックシステム (1996)

単純なアルゴリズムで動作

複雑な背景下での  
実対象を追跡したい  
(深層学習認識できる  
対象は全て)

多くのCNNアルゴリズムは、ミリ秒オーダーの  
低遅延設計が考慮されていない

解決すべき問題点

処理遅延が数十～数百ミリ秒の  
深層学習認識がフィードバックループに  
あるとトラッキング制御性能が低下

### 様々なCNN物体検出アルゴリズム

#### 長所

- 追跡における頑強性が強い
- 学習できる対象は自動追跡・検出可能
- オートマチックな特徴量指定

#### 短所

- フレームレートが高くない (数十fps)
- 処理遅延が大きい (数十～数百ms)
- 認識結果がフリッキングする
- 追跡精度が高くない

## DL遅延補償型高フレームレート対象追跡

(1) フレーム補間による  
高フレームレート化処理

テンプレートマッチング  
(TM)による対象追跡

異なる画像間での対応づけ

500 fps

CNN+テンプレートマッチングを用いた  
ハイブリッド型高速対象追跡アルゴリズム

GPUによる実時間実装 → 500fps動作

深層学習認識に  
数十フレームの出力遅延

対象の動きが大きいと、  
初期ROIと対象位置に  
大きなずれが発生

深層学習(DL)による  
対象認識

1枚の画像に対する認識

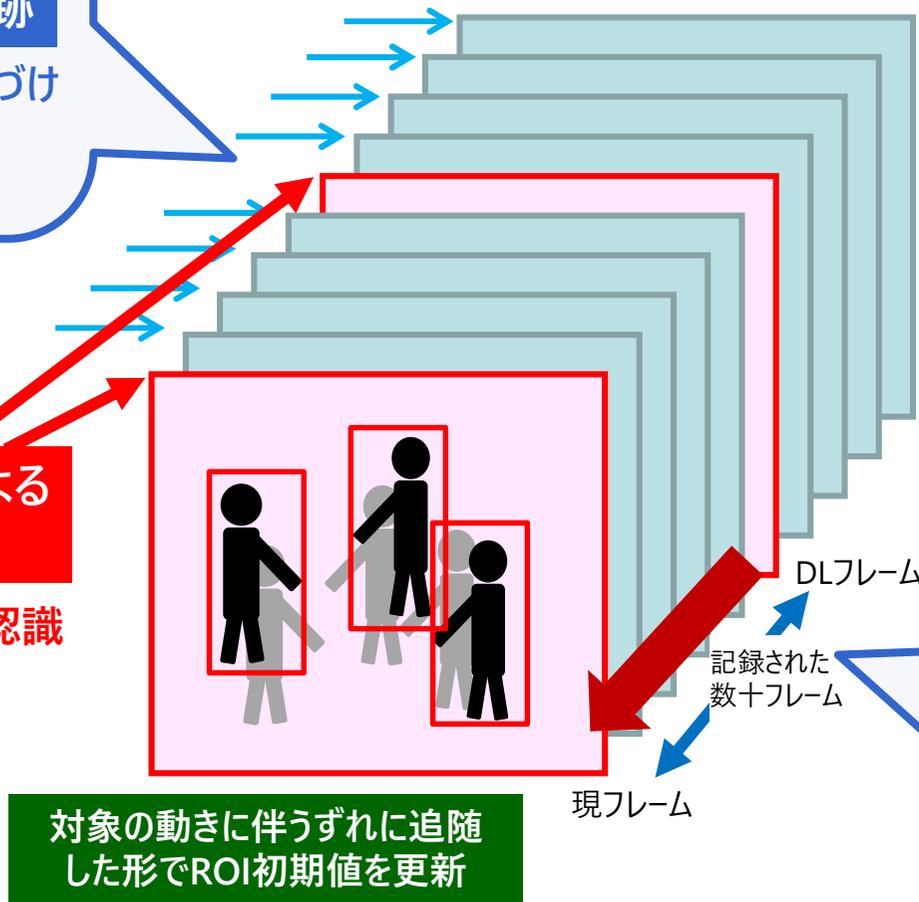
30 fps

対象の動きに伴うずれに追従  
した形でROI初期値を更新

(2) プレイバック型  
遅延補償処理

最新DLフレームから  
現フレームまで  
一気にTM追跡

1フレーム内に  
数十フレーム分の追跡



## ミラー駆動型パン・チルトカメラによる高速対象追跡



### 500fpsでの高速人物トラッキング

深層学習認識: Yolov3 @ 30 fps  
テンプレートマッチング: Mosse @ 500 fps

ミラー駆動型アクティブビジョン  
+  
高速ビジョン

frame rate: 500 [fps]  
shutter time: 1 [ms]  
resolution: 720×540 [pixel]  
focal length: 25 [mm]  
F value: 16

DL認識されたものを追跡



## ミラー駆動型パン・チルトカメラによる高速対象追跡



### 500fpsでの高速人物トラッキング

深層学習認識: Yolov3 @ 30 fps  
テンプレートマッチング: Mosse @ 500 fps

ミラー駆動型アクティブビジョン  
+  
高速ビジョン

frame rate: 500 [fps]  
shutter time: 1 [ms]  
resolution: 720×540 [pixel]  
focal length: 25 [mm]  
F value: 16

DL認識されたものを追跡



高速ビジョン = 数百コマ/秒以上の撮像・処理を行う実時間ビジョンシステム

## 高速ビジョンによる広域監視システム

1台の高速ビジョンが数十台のカメラの撮影領域をカバーするトラッキング/スキャン型全域監視システム

不審人物等の高速に

高空間解像度  
広域



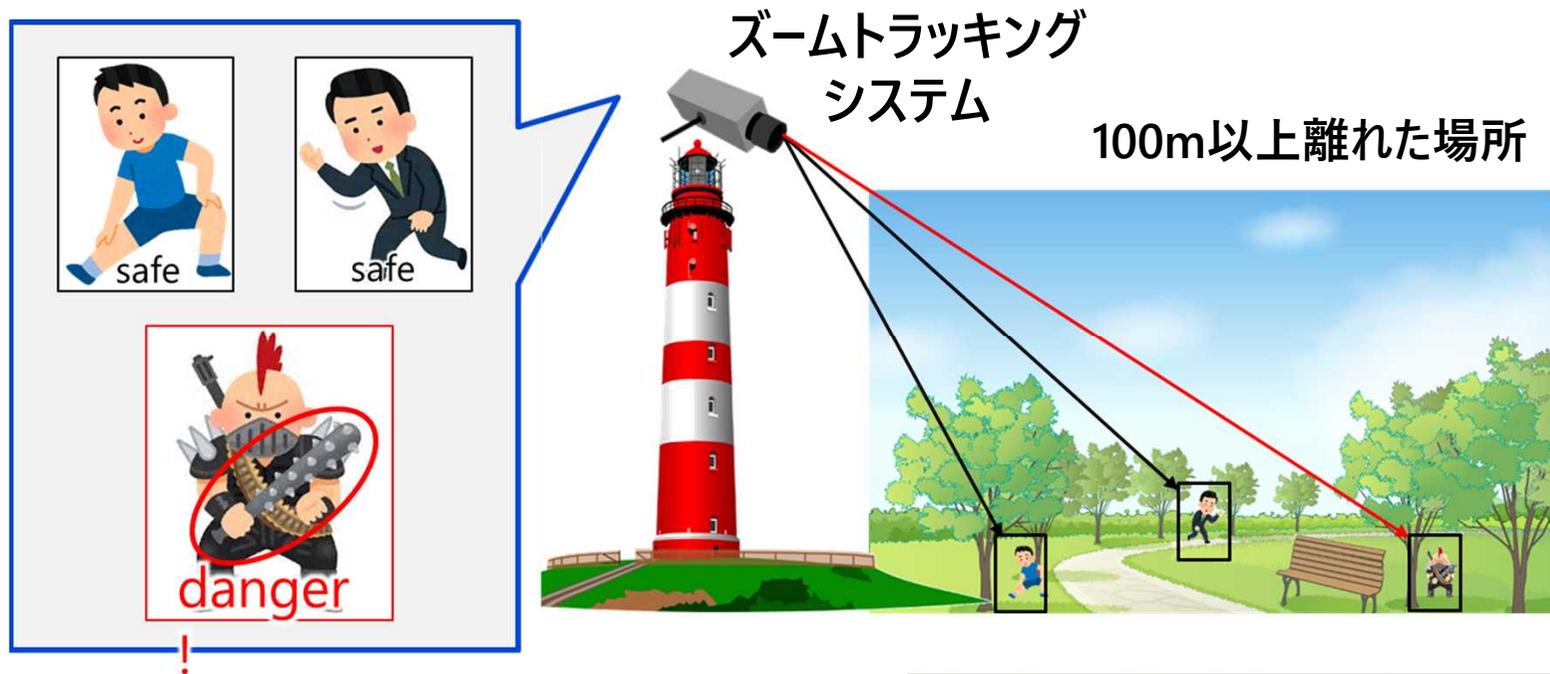
何を話している？

怪しいものなどを持っていないか？

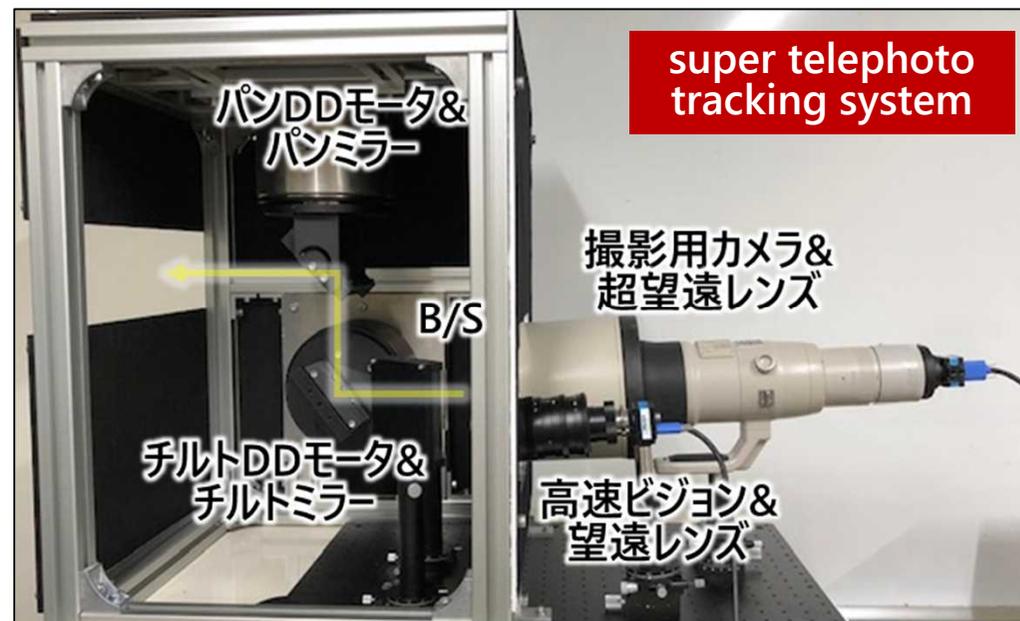
「時空間的に漏れのない完全監視の知能システム」  
に直結した位置づけ

1台の固定カメラでは  
カバーできない広域空間

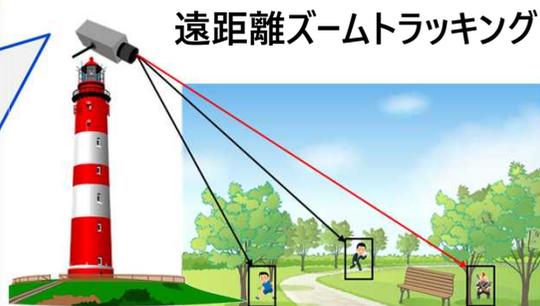
# 超望遠トラッキング撮影システムへの実装



遠距離の人物・対象に対し、表情、持ち物を鮮明に捉える望遠ズームトラッキング撮影



## ミラー駆動型高速ズームトラッキング



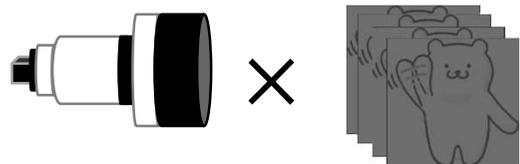
+



### 明るさの確保

F値:大

露光時間:短



露光時間の短い高速  
ビジョンにF値の大きい  
超望遠レンズを装着すると  
**光量の確保**が課題

### 高速・高精度な アクチュエータ

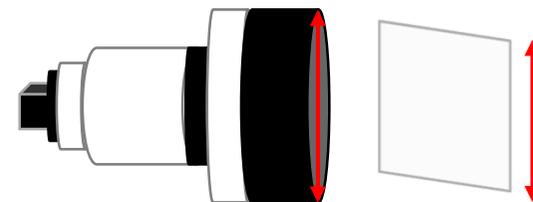
$\theta$ 微小

数百m ~5Hz



遠距離人物の手先といった  
高速運動対象を追跡する  
場合、ミラーを**高速・高精度**  
に制御する必要

### 大型・高精度ミラー



**大型**：大口径の超望遠レンズ  
の集光能力を生かす

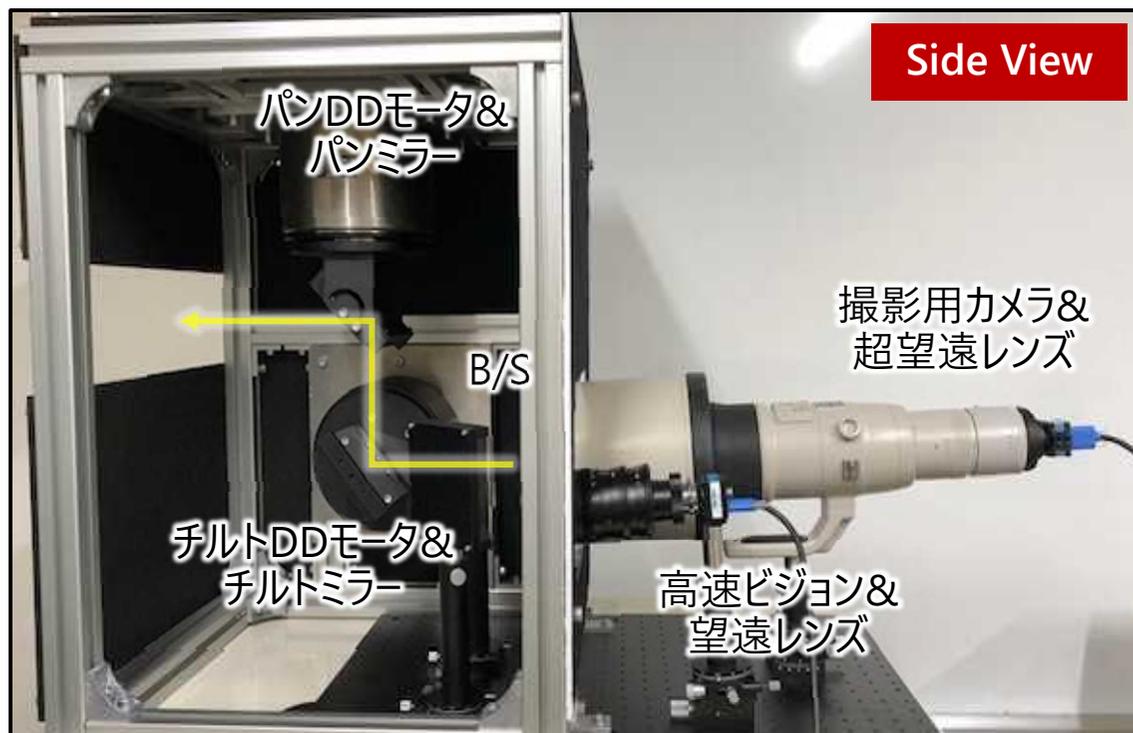
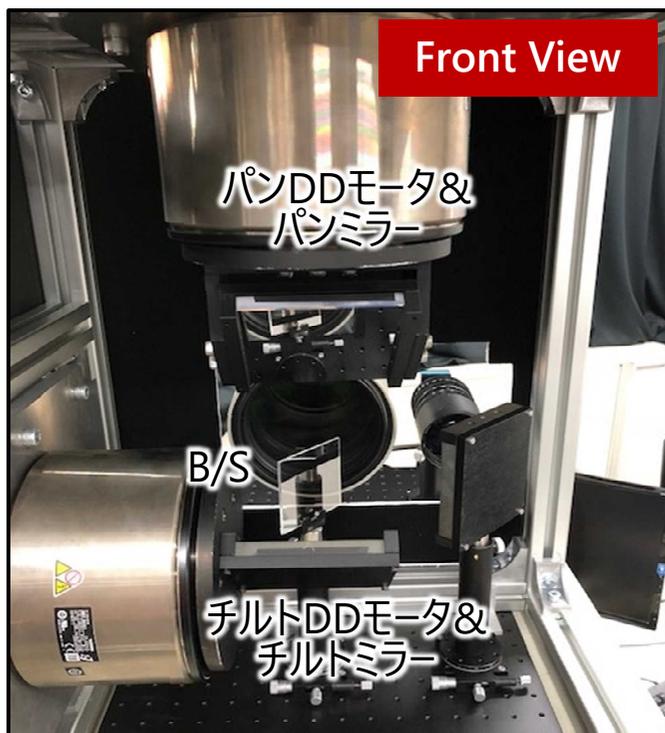
**高精度**：数百m遠方での  
画質を確保



高速パン・チルトミラー機構による超望遠アクティブビジョン

# 超望遠トラッキング撮影システムへの実装

## 高速パン・チルトミラー機構による超望遠アクティブビジョン



### 高速パン・チルトミラー

モータ駆動部: 高出力ダイレクトドライブモータ  
(繰返精度:  $6.30 \times 10^{-6}$  rad)

ミラー部: 面精度 $\lambda/10$ ミラー  
(大きさ: 100x100x10 mm)

大型・高精度ミラーを用いた  
高速・高精度な画角制御が可能

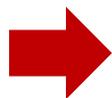
### 撮影用カメラ

1/2.9型 CMOSセンサ  
画素ピッチ:  $3.45 \times 3.45 \mu\text{m}$   
解像度: 1440x1080画素 @ 30 fps  
焦点距離: 1600 mm / 開放F値: 11

### トラッキング用 高速ビジョン

1/2.9型 CMOSセンサ  
画素ピッチ:  $6.9 \times 6.9 \mu\text{m}$   
解像度: 720x540画素 @ 500 fps  
焦点距離: 300 [mm] / 開放F値: 4

同じ視野での明るさを確保した撮影

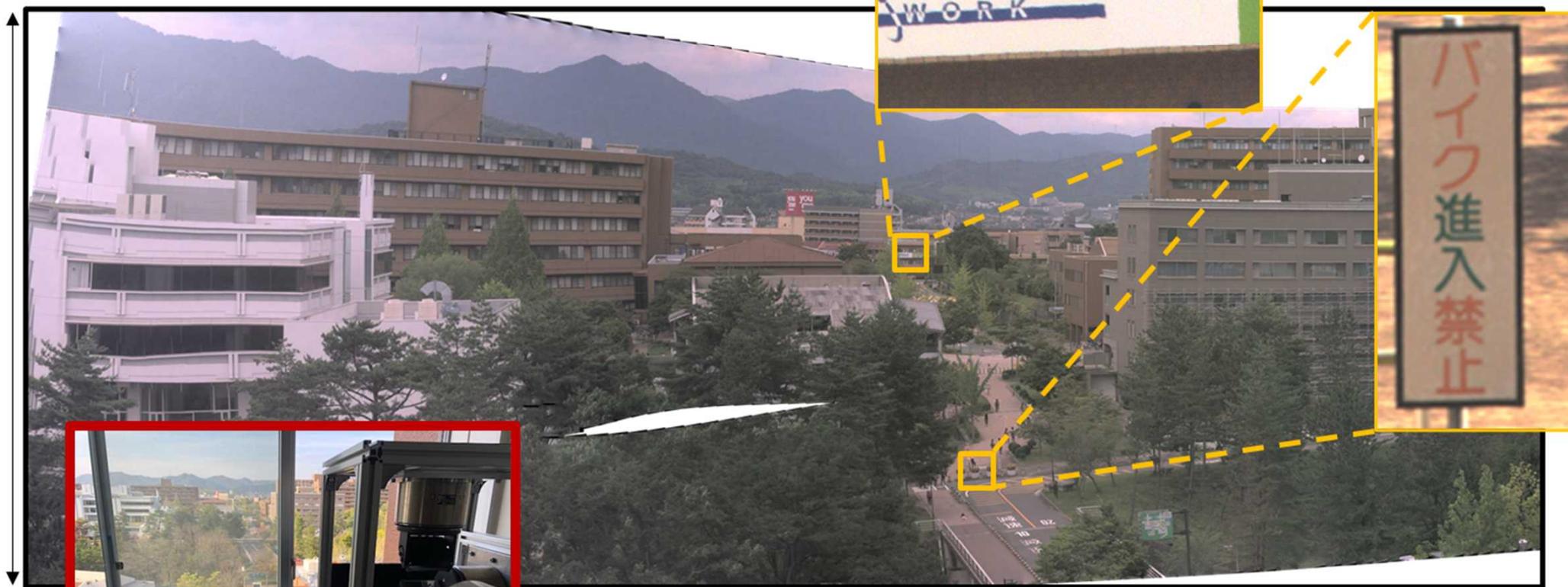


DL遅延補償ハイブリッド型高速対象追跡アルゴリズムを500fps実装

## 大学キャンパスでのパノラマ画像撮影例

広島大工学部A1棟7Fから撮影した  
東広島キャンパス風景

±3度 31視点



550m先

200m先

±16度, 81視点

(計2511視点)

撮影システム

広範囲の視野に対して超望遠撮影が可能

## 自動車の追跡



キャンパス内道路を通過する自動車の自動追尾撮影



140m先からナンバープレート視認可能な画像を撮影

## 超望遠人物トラッキングを用いたリモート顔認証 (200m)



### ① 探索

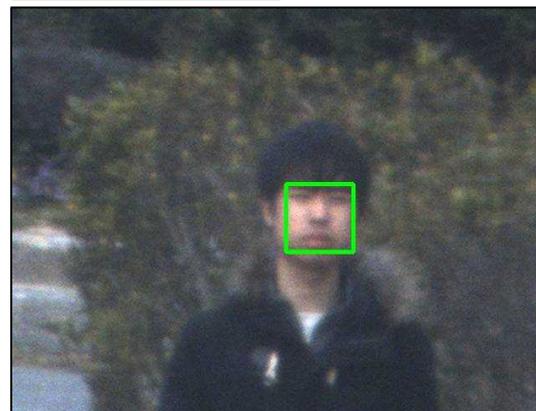


### ② 追跡



高速ビジョン画像において、CNNにより人物が検出されると追跡開始

### ③ 顔認証



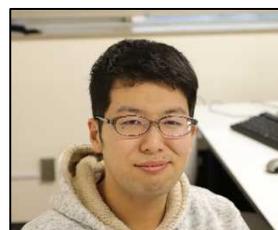
撮影用カメラ画像を、顔認証クラウドに転送し、顔認証結果を取得

再探索

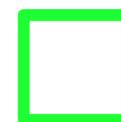
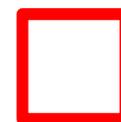
未登録者 → 再探索  
登録者 → 追跡続行

追跡続行

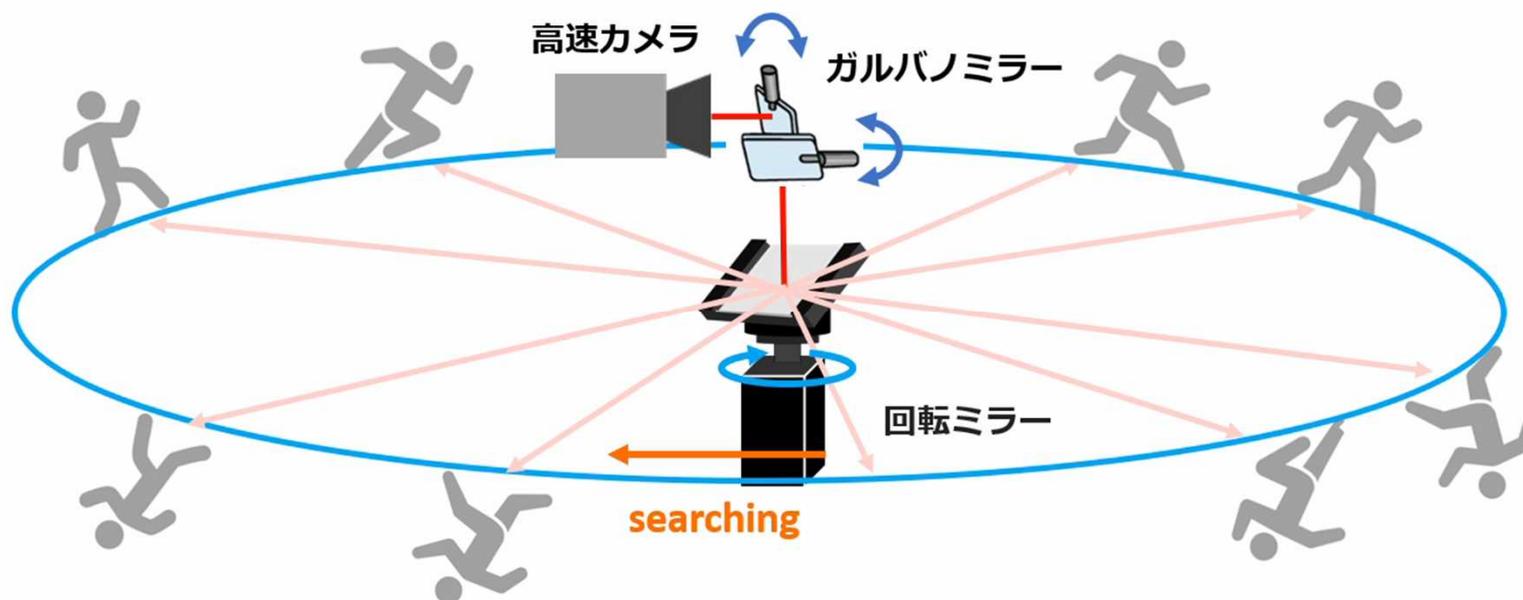
## 超望遠人物トラッキングを用いたリモート顔認証 (200m)



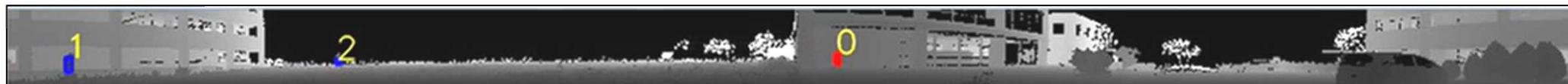
認証成功 認証失敗



キャンパス内歩行者に対する  
リモート自動顔認証を実現



全方位画像



3自由度ミラー駆動型  
全方位高速視線トラッキングシステム

+

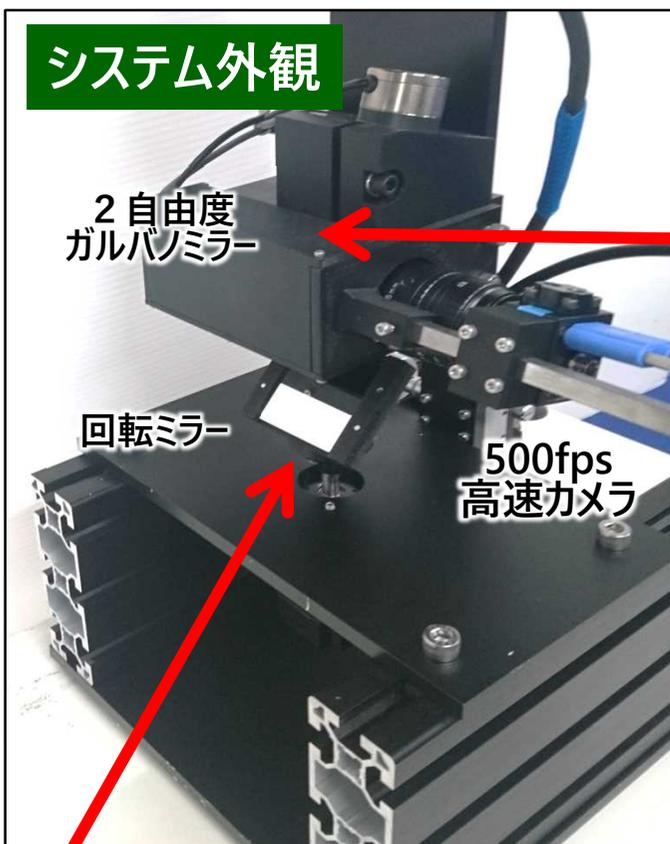
DL遅延補償ハイブリッド型  
高速対象追跡アルゴリズム



10~20m先の人物に対して高解像度画像を撮影する360°人物追跡システム

## 3自由度ミラー駆動型トラッキングシステムの構成

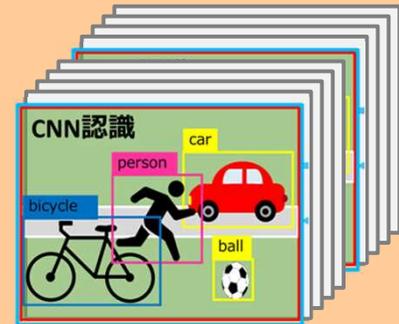
### システム外観



### ガルバノミラー



パン・チルト2自由度  
-10~10deg  
ミラーサイズ  
パン:27×18 mm  
チルト:36×27 mm

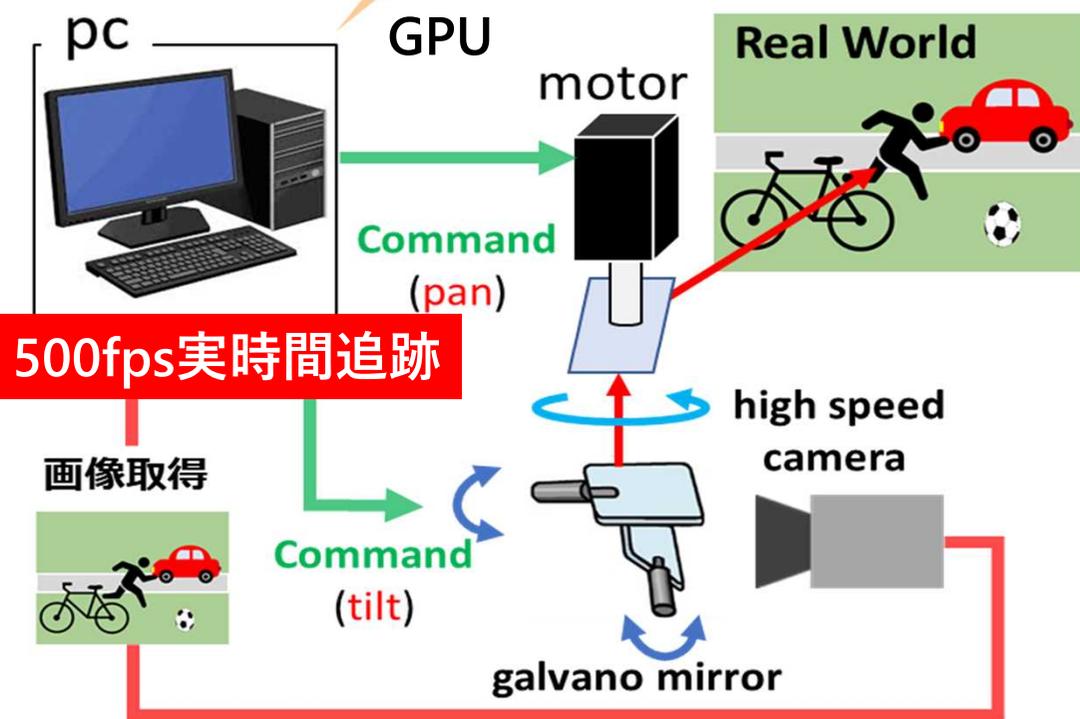


DL遅延補償ハイブリッド型  
高速対象追跡アルゴリズム



### 回転ミラー

DDモータ  
最高回転速度: 6000 rpm  
分解能:  $3.74 \times 10^{-7}$  rad  
平面ミラー  
面精度: 4~6λ  
50×50 mm, 60 g



## キャンパスでの全方位人物トラッキング監視



0 deg

パノラマ上の追跡画像位置

360 deg



360度全方位に対し、10~20m離れた人物を自動検出・追跡

## 夜間での全方位人物トラッキング監視

### 夜間対応

LiDAR+サーチライトを追加

### 全方位高速視線 トラッキングシステム

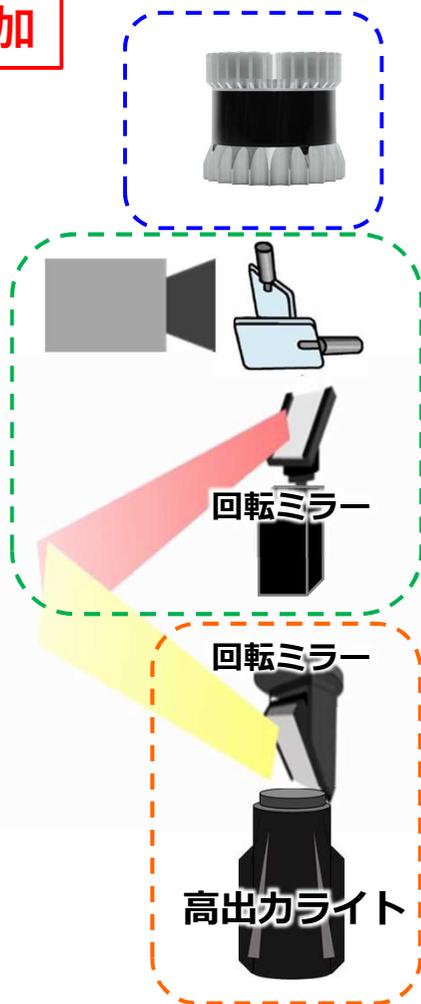
AI人物検出・追跡



追跡ミラーと連動した  
サーチライト照射

全方位サーチライト照射

- DDモータ 最高回転速度: 3000 rpm  
分解能:  $3.74 \times 10^{-7}$  rad
- ミラー 面精度:  $\lambda/10$   
100×100×10 mm, 220g
- 照明 250W LED照明



### LiDARによる 夜間の全域監視

解像度 : 64×1024画素  
計測距離 : 最長100m  
回転速度 : 20Hz



### 動態検出・三次元距離計測

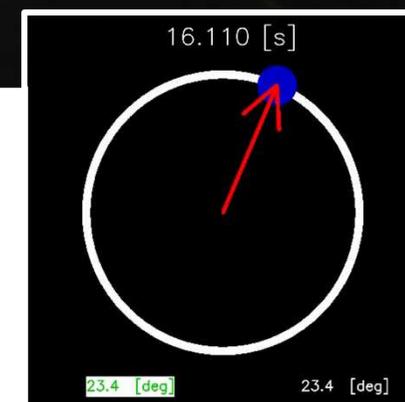


暗闇での不審人物検出に向けた  
全方位人物トラッキング監視

## 夜間での全方位人物トラッキング監視



サーチライト色  
黄: 人物未検出時  
白: 人物追跡時



LiDAR・サーチライトと連動による夜間での人物トラッキング撮影・認識を実現

## 実用化に向けた課題

- 任意のAI認識アルゴリズムを低遅延化するライブラリ群構築
- パン・チルト視線装置を含めたシステムの小型モバイル化
- 複数カメラを用いた高速三次元トラッキング技術の確立

## 企業への期待

- 遠隔リモート監視技術を持つ企業との共同研究を希望
- セキュリティ分野だけではなく、ものづくり、農業、インフラ管理など点検エキスパートの人材不足に悩む業界との連携を希望
- ズーム撮影機能が進化しているモバイル機器での超望遠トラッキング撮影の実現を考えている企業には、本技術の導入が有効

## 高速ビジョンを用いた 広域ビデオサーベイランス

### トラッキング型広域監視システム

- 深層学習認識を内包した  
高速対象追跡アルゴリズム
- 超望遠トラッキング撮影システム
- 全方位高速視線トラッキングシステム



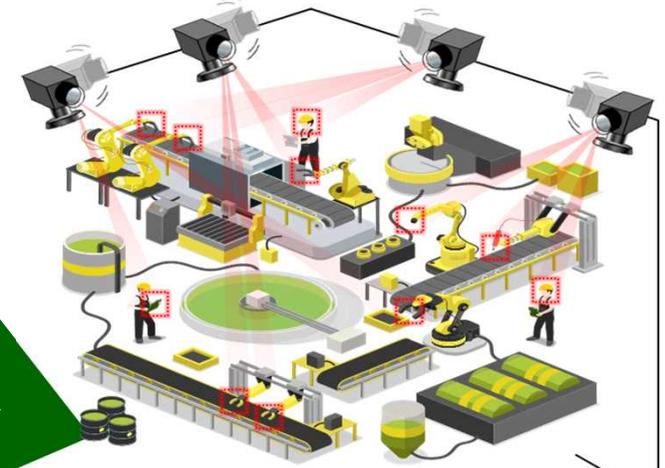
## 深層学習認識と遅延のない 高速トラッキングの両立 本発表で紹介した新技術

広島大  
+  
広島県  
産官学連携  
ものづくり

### 広島大 デジタルものづくり教育研究センター

高速ビジョンにより実現される「振動見える化」や  
「広範囲同時見える化」を行うスマート検査・モニタリング

共創コンソーシアム 19団体, 共同研究実施 6件 (2020)



高速ビジョン技術の本格的  
社会実装に向けた活動

広島大学



まちづくり  
産官学連携

広島大  
+  
東広島市  
+  
アリゾナ州立大

### スマートシティ、スマートキャンパス

数百m以上離れた遠隔システム間での  
高速ビデオ画像・処理結果の瞬時共有



カーボンニュートラル×スマートキャンパス5.0宣言 (21/1/26)

広島大 Town & Gown構想

- 発明の名称 : 対象追跡方法、対象追跡システムおよび対象追跡プログラム
- 出願番号 : 特願2018-196575, PCT/JP2019/041143
- 出願人 : 国立研究開発法人科学技術振興機構
- 発明者 : 石井 抱、岸 則政、姜 明俊

## 問合せ先

国立研究開発法人科学技術振興機構

知的財産マネジメント推進部 知財集約・活用グループ

TEL 03-5214-8486

e-mail [license@jst.go.jp](mailto:license@jst.go.jp)