

# 事前位置合わせが不要な 高速プロジェクションマッピング

東北大学 未踏スケールデータアナリティクスセンター  
教授 鏡 慎吾

2025年7月3日

# 新技術のデモ



- 運動体へ遅延なく追従するプロジェクションマッピング
- プロジェクタとカメラ間のキャリブレーション不要
- 運動体への追跡用マーカ配置も不要

[Kagami+, ISMAR 2019, IEEE Trans Vis Comput Graph]

[http://www.ic.is.tohoku.ac.jp/ja/rtsense/animated\\_stickies](http://www.ic.is.tohoku.ac.jp/ja/rtsense/animated_stickies)

# 新技術のデモ



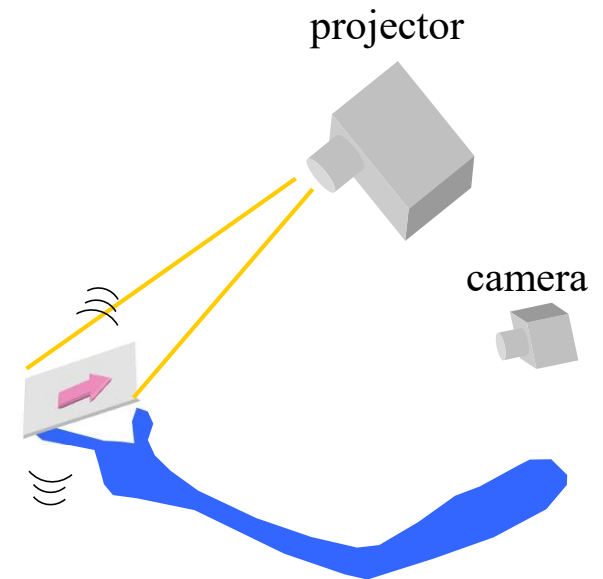
動的に変化するコンテンツと手描き模様とのインタラクションを実現した応用システム

[Kagami+, SIGGRAPH 2020  
Emerging Technologies]

[http://www.ic.is.tohoku.ac.jp/ja/rtsense/interactive\\_stickies](http://www.ic.is.tohoku.ac.jp/ja/rtsense/interactive_stickies)

# 従来技術とその問題点

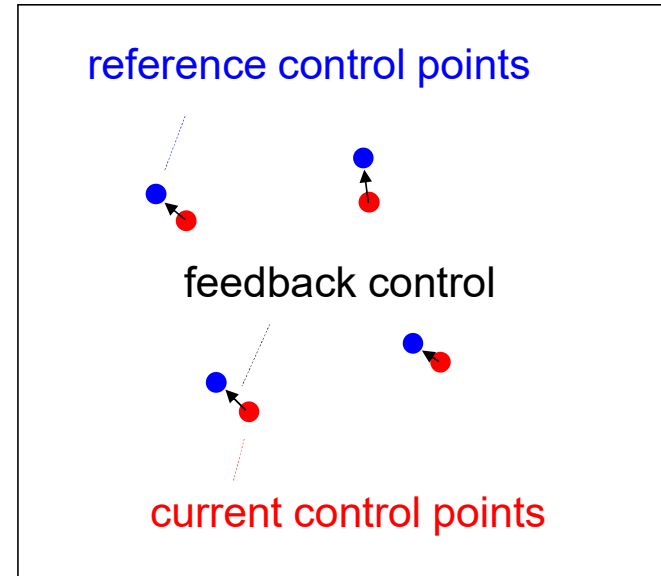
- 基本的な考え方
  - カメラで運動体の位置・姿勢を捉えて、それに合わせてプロジェクタからの投影コンテンツを変形
  - 高速プロジェクタを導入することで素早い運動体に対応可能
    - Kagami+, SIGGRAPH Asia 2015 (東北大)
    - Watanabe+, IDW 2015 (東大+東京エレクトロデバイス)
    - Bermano+, CGF 2017 (Disney Researchほか)
    - CES 2016, InfoComm 2017 (Panasonic)
- 通常、カメラとプロジェクタの位置決め (and/or 校正) が重要
  - 設置・維持のためのコストが大きい
- 位置決めに不要とするには、運動体だけではなく投影コンテンツもカメラで捉えて、両者のずれを最小化する処理 (閉ループ位置合わせ) を継続的に実行する必要がある
  - 高速で安定して実行するのが困難



# 閉ループ位置合わせの考え方



カメラ画像座標系



プロジェクタ画像座標系

## 1. 対象面を画像追跡

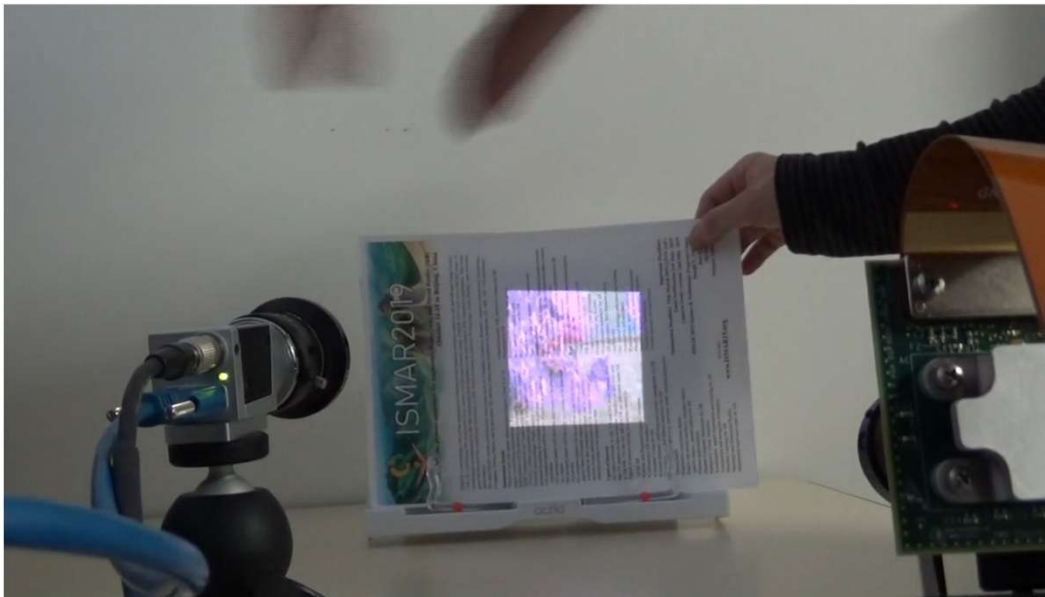
- カメラ画像上で制御目標を設定

## 2. 対象面上に映る投影コンテンツを画像追跡

- プロジェクタ画像座標・カメラ画像座標間の写像を取得

## 3. 制御目標をプロジェクタ画像座標系に写像し、投影コンテンツ上の制御点が目標に近づくようフィードバック制御

# 閉ループ位置合わせの考え方



課題：  
対象面と投影コンテンツ  
が互いの追跡を邪魔する

## 1. 対象面を画像追跡

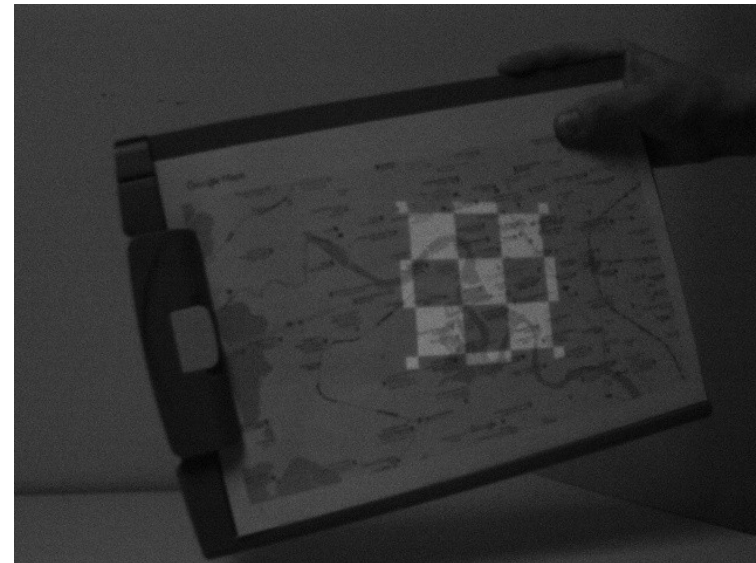
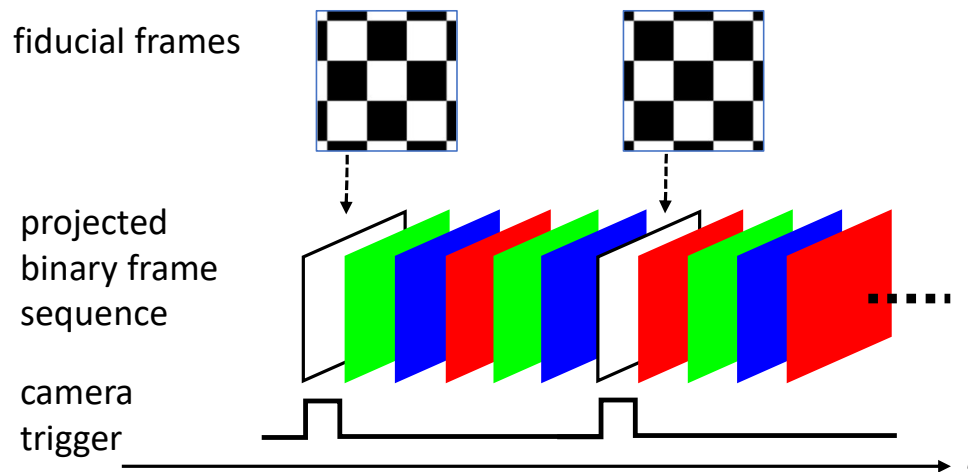
- カメラ画像上で制御目標を設定

## 2. 対象面上に映る投影コンテンツを画像追跡

- プロジェクタ画像座標・カメラ画像座標間の写像を取得

## 3. 制御目標をプロジェクタ画像座標系に写像し、投影コンテンツ上の制御点が目標に近づくようフィードバック制御

# 新技術の特徴

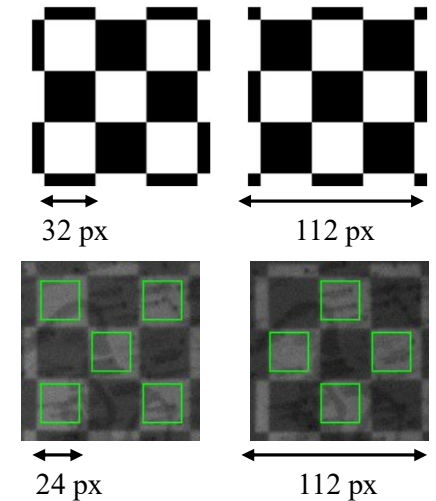
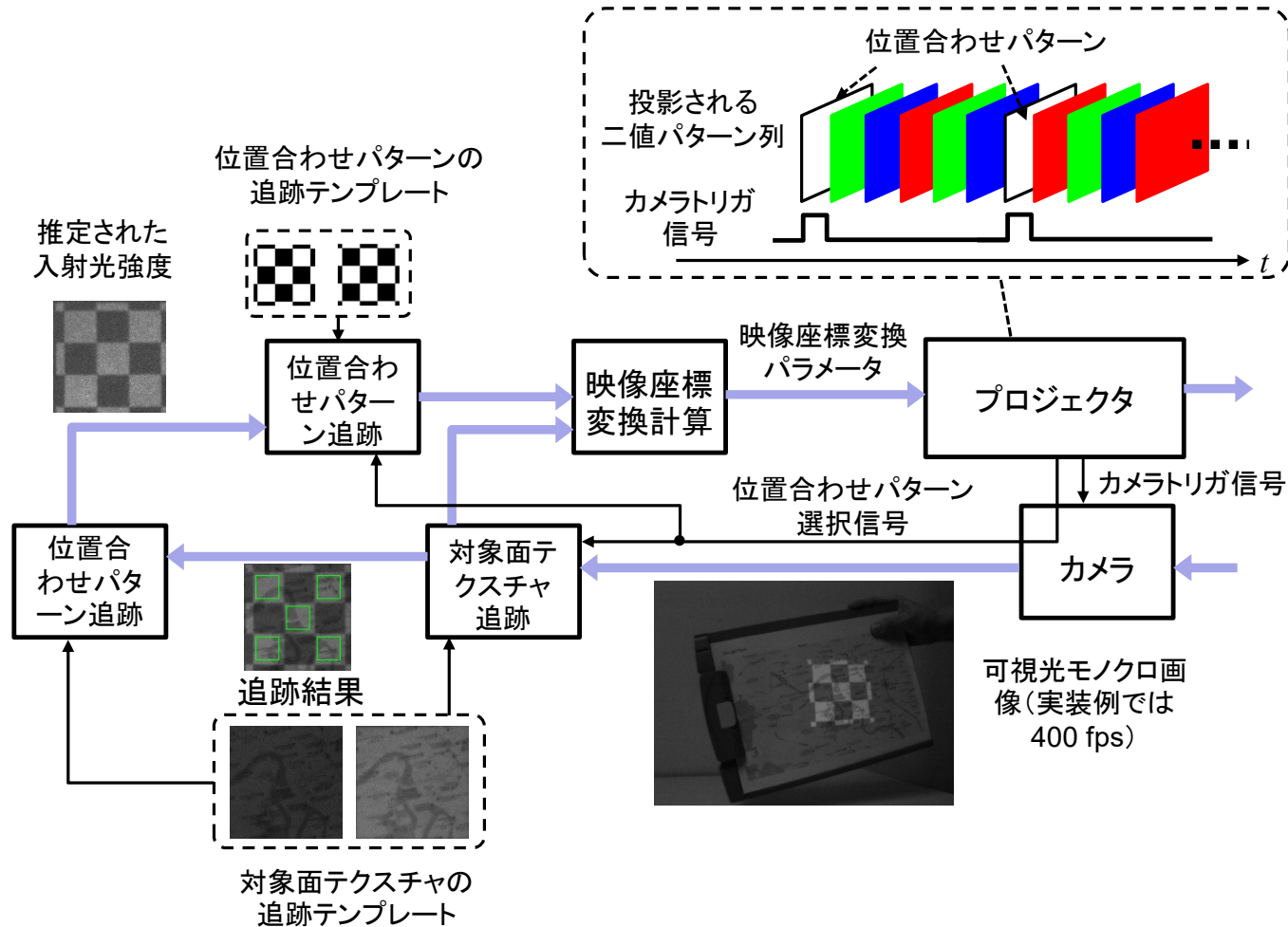


新技術は、

- ・ 投影像に**所定の条件のパターン画像**を時分割で挿入して、投影されたパターン像をカメラで撮影し、
- ・ **投影対象面**の動きと**投影パターン像**の動きをカメラ画像上で**分離して追跡**し、
- ・ それら相互間の**ずれを最小化するように投影コンテンツへの幾何学的座標変換を制御**する

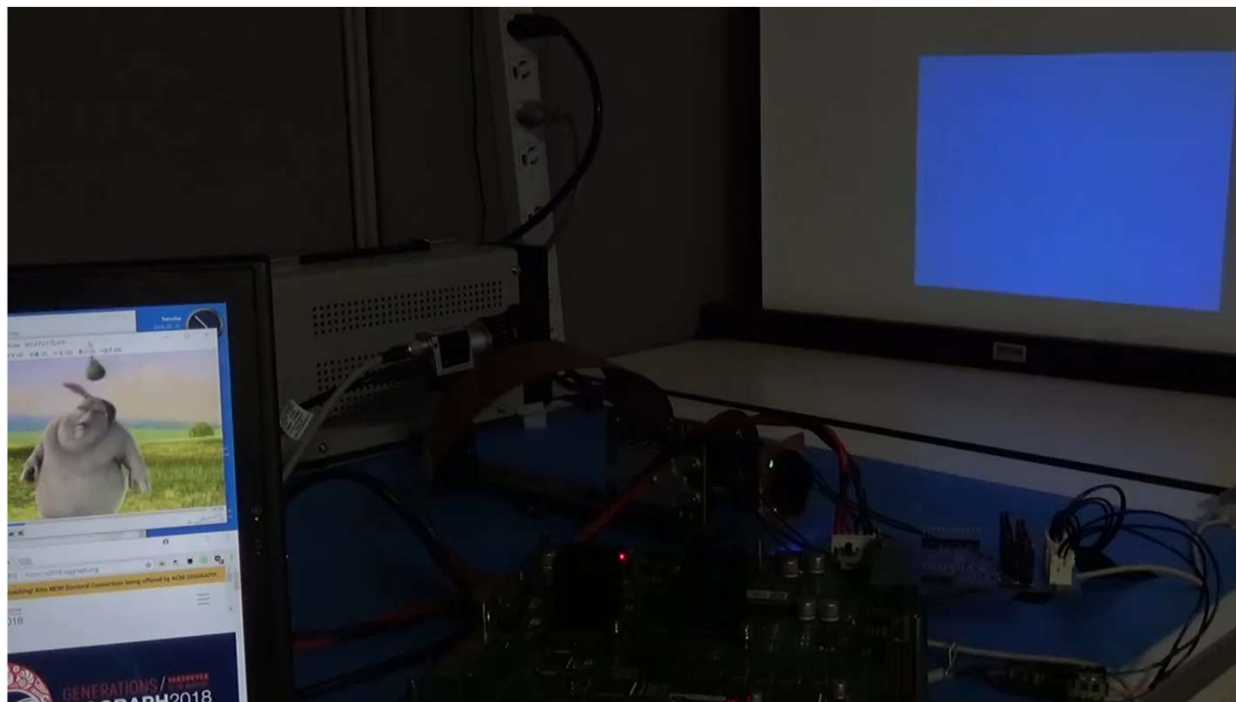
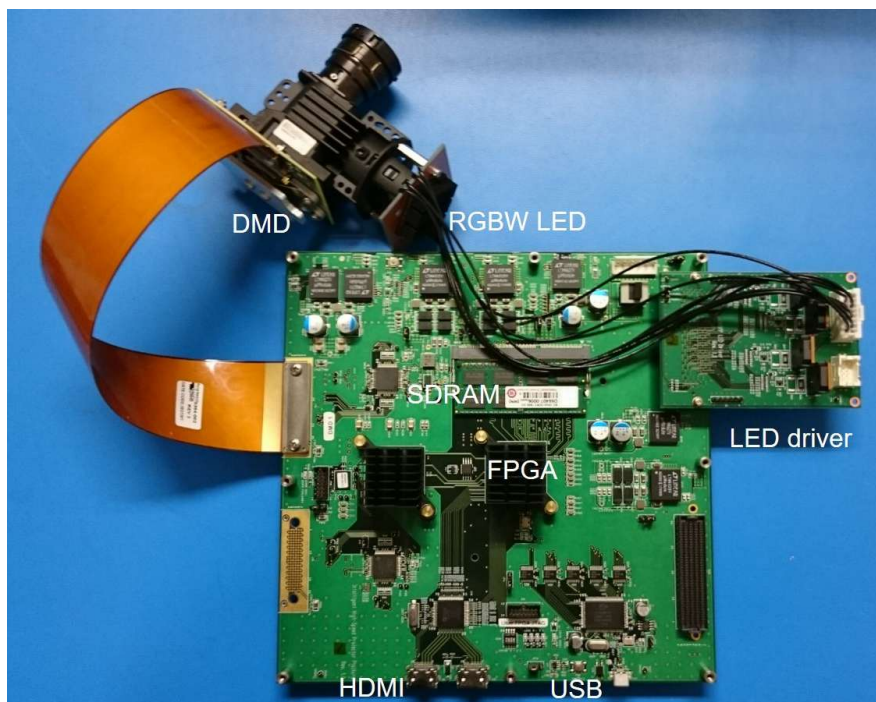
ことにより、移動する投影対象面においても少ない計算量でずれのない画像を結像することを可能とする

# 新技術の実施例詳細



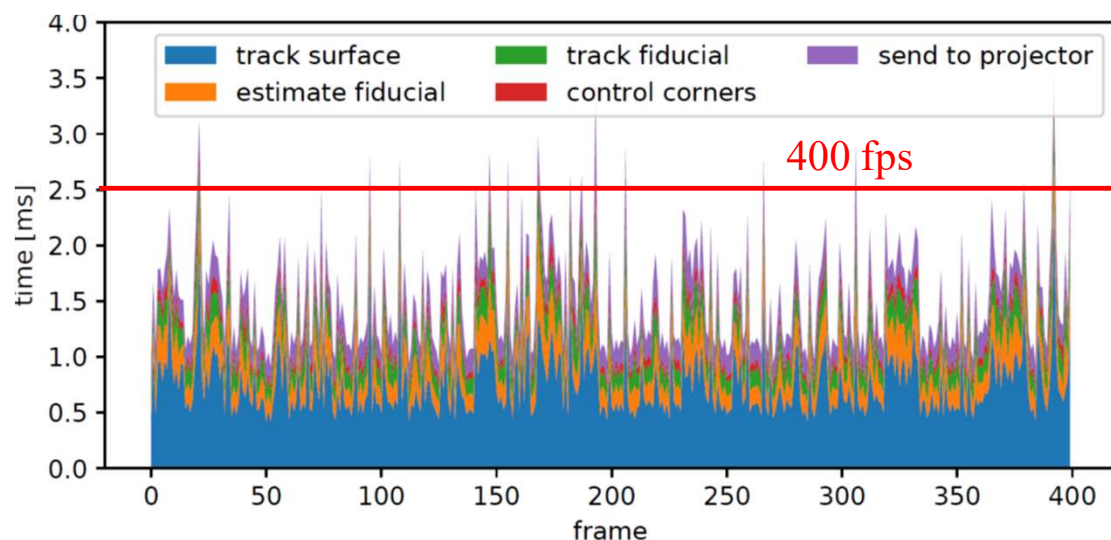
現在投影されているパターン（上段）に対応して，緑色の矩形内部の画素のみを用いて，画素値の差分二乗和が最小となるように追跡を行う

## 新技術のシステム実装

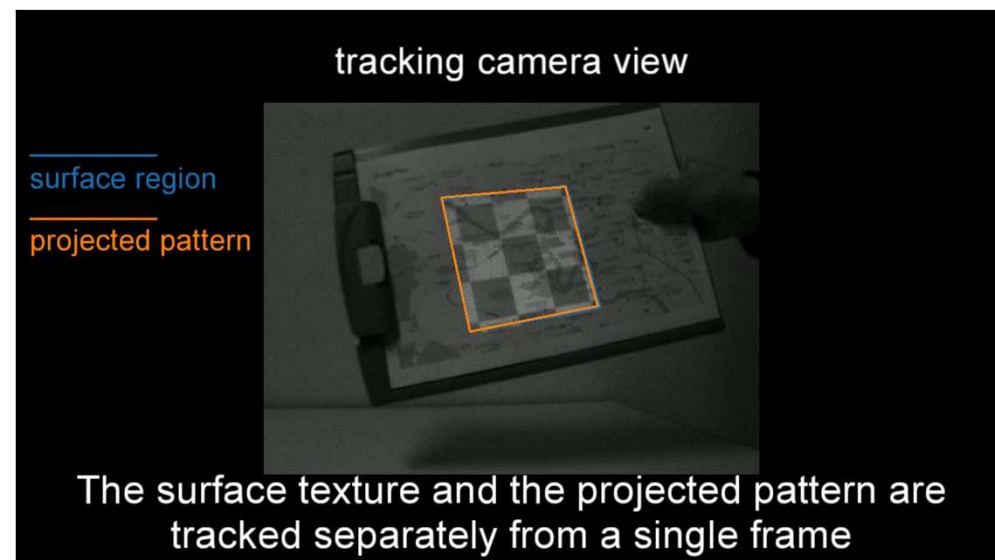


独自開発のプロジェクタは、HDMIポートを持ち、Windows からは外部ディスプレイとして認識される。入力映像の変形はプロジェクタ内のハードウェアで行われる

# 新技術のシステム実装

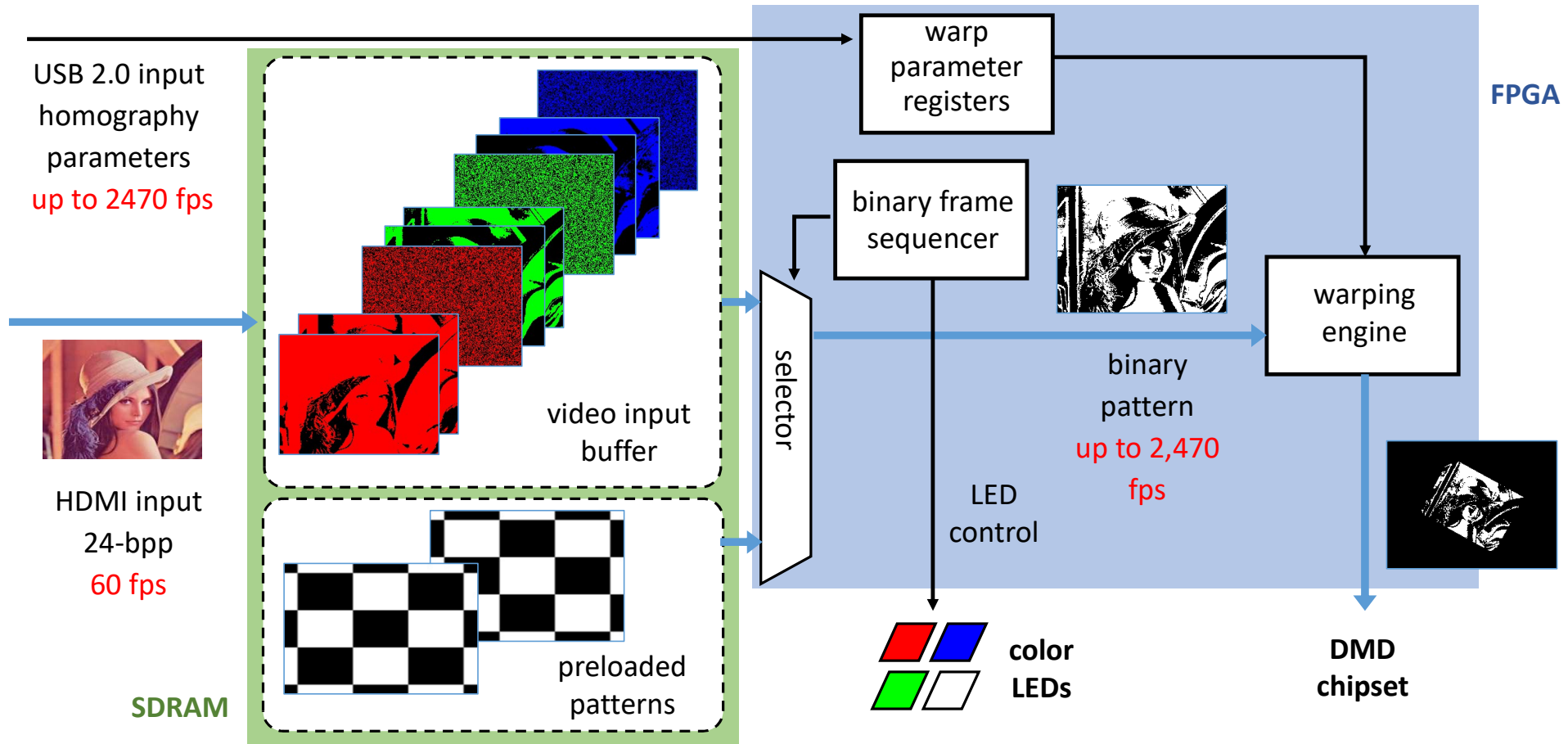


USB3 カメラ映像の画像処理はPCで実行.  
Core i7-7600Uでの計算時間内訳は上記の通り



400 fps のフィードバックにより, カメラ画像上で 2 ピクセル程度の追従誤差を実現

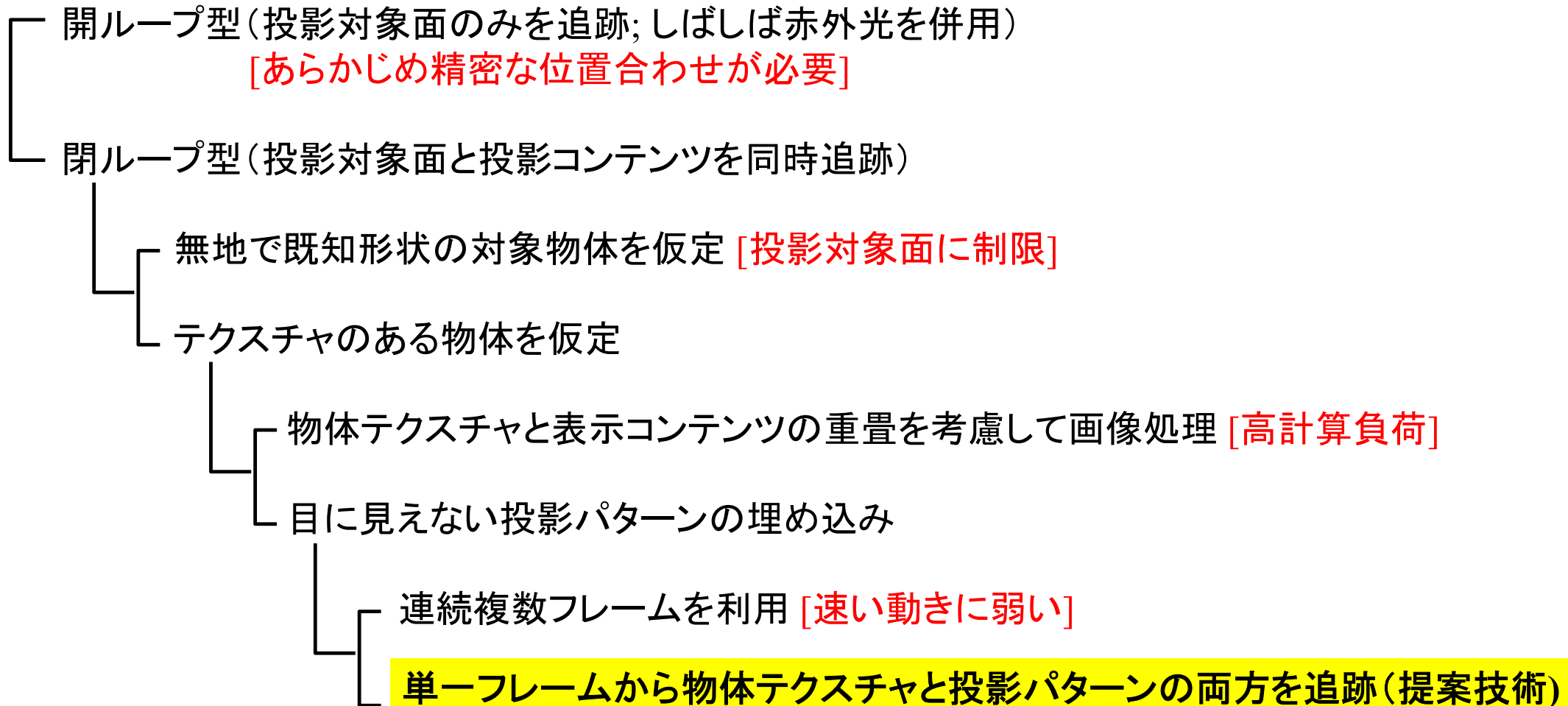
## (参考) 独自プロジェクトの内部構成



[Kagami+, SIGGRAPH 2018  
Emerging Technologies]

[http://www.ic.is.tohoku.ac.jp/ja/rtssense/fullcolor\\_highspeed\\_warping\\_projector](http://www.ic.is.tohoku.ac.jp/ja/rtssense/fullcolor_highspeed_warping_projector)

## 従来技術との比較



## 想定される用途

- 店舗や広告スペース等における展示や商品アピール
- 製造現場，医療等における作業指示
- 空間型ユーザインタフェース
- ゲーミング，エンタテインメント

## 実用化に向けた課題

- 現在は独自開発のプロジェクタハードウェアを前提とした実装のみ
  - 大きさ, 明るさ, 投影サイズなどに制限
  - 投影対象面が平面であると仮定して映像処理がハードウェア化されている

## 社会実装への道筋

- 現在：独自のプロジェクタハードウェアの更新に着手中．平面以外の投影対象面にも対応できるよう準備中
- 近年は市販DLPプロジェクタでも高フレームレート投影（例えば 240 Hz）が可能なものが増えてきたため、それらへの適用についても検討（今後1～2年を目処）
- AR/VR, ユーザインタフェース等の分野での応用開拓は継続的に実施中

## 企業への期待

- プロジェクト製品の開発またはプロジェクトを含むシステムインテグレーションを行う企業様へ
  - 大学単独では社会実装に耐えるハードウェア実装（サイズ，照明光学系，熱設計）が難しいため，そのような技術を有する企業様とのシナジーを期待
- プロジェクションマッピング，空間型拡張現実感などを活用するデジタルコンテンツ制作企業様へ
  - 動的プロジェクションマッピングの新しい応用を共同で開拓していけることを期待

## 企業への貢献、PRポイント

- リアルタイム高フレームレート画像処理とその応用に関する25年以上の技術蓄積あり
- プロジェクトに関しても、フレームレートを抑えながら低遅延運動追従が可能な映像制御技術を保有

## 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：投影システム、投影システム制御装置、投影方法及びプログラム
- 出願番号： 特願2019-156876；PCT/JP2020/32650
- 出願人： 国立大学法人東北大学
- 発明者： 鏡 慎吾
- 権利化進展状況： 登録済み
  - ・ 特願2019-156876 (登録番号7599717)
  - ・ US 17/587,292 (登録番号11838696)
  - ・ EP 20856478.1 (登録番号4024385)
  - ・ ドイツ 20856478.1 (登録番号4024385)
- 公開済み
  - ・ 特願2024-126118 (分割出願)

## 産学連携の経歴

- 2016年-2021年 JST ACCEL事業のサブテーマとして採択
- 2019年 海外A社と共同研究実施  
(投影ハードウェアの応用に関する研究)
- 2020年-2021年 国内B社へ学術指導実施
- 2024年- 国内C社へ学術指導実施

## お問い合わせ先

東北大学 産学連携機構 ワンストップ窓口

問い合わせフォーム:

<https://www.rpip.tohoku.ac.jp/jp/aboutus/form/>

TEL: 022-795-5275

E-mail: [sangaku-suishin@grp.tohoku.ac.jp](mailto:sangaku-suishin@grp.tohoku.ac.jp)